

補強材を有する ALC ブロックを用いた組積壁の  
面内せん断性状と剛性評価に関する研究

STUDY ON IN-PLANE SHEAR BEHAVIOR AND STIFFNESS EVALUATION  
OF MASONRY WALLS USING REINFORCED AAC BLOCKS

平成 31 年 3 月

高 島 健 史

## 1. はじめに

無機材料による壁式構造は、高い耐火性、耐久性および耐震性を有することが確認されているが、断熱性に課題がある。そこで、壁を構成する材料に断熱性能を有する軽量気泡コンクリート（ALC）を用い、現行の建築基準法を満足するために構造種別を組積造とし、ALC ブロック内部にひび割れ防止の補強材（内部鉄筋）を用いることで、高性能かつ質の高い屋内空間を提供できる住宅構法が可能と考えられる。

本構法の構法概要を図 1 に、組積壁の工法概要を図 2 に、使用材料一覧を表 1 に示す。本構法は厚さ 250mm の組積造の壁と木造の床および屋根からなる混構造で、1 層の高さが 2.55~3m の 2 階建ての住宅を想定した建物である。図 2 および表 1 に示すように比重 0.37 の ALC（ALC37）ブロックを積み上げた後に、縦筋（両端 M20 転造ネジの丸鋼、SNR490B）と横筋（D10、SD295A）で補強し、プレミックスタイプのグラウト（日鉄住金高炉セメント製、商品名：エッセイバーH、以下 NMH）を空洞部に充填する打ち込み工法により組積壁を作製する。

本構法の構造計算方法はルート 1 を想定し、許容応力度計算を行う。組積壁の設計基準強度 $F$ は実状に応じた圧縮強度試験により求めた材齢が 28 日の供試体の圧縮強度の平均値以下のもの定められ、許容応力度は表 2 に示すように告示で定められているが、本構法への適用の妥当性は明らかでない。また、各耐力壁が負担するせん断力を求めるためには、耐力壁のせん断剛性が必要となる。そこで本研究では、本構法における許容応力度の妥当性を確認して設計クライテリアを定めるとともに、壁幅、開口部および階数の影響を考慮した弾性範囲における耐力壁の設計用せん断剛性の評価方法を確立することを目的とする。

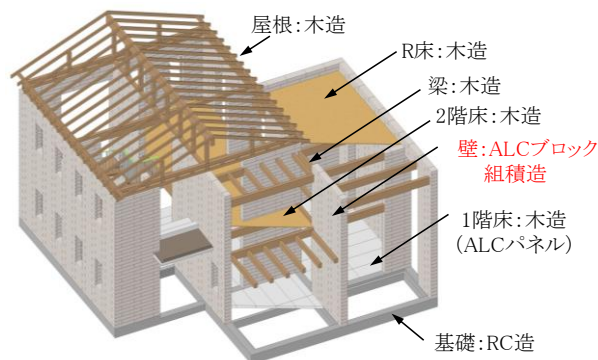


図 1 ALC ブロック組積造の構法概要

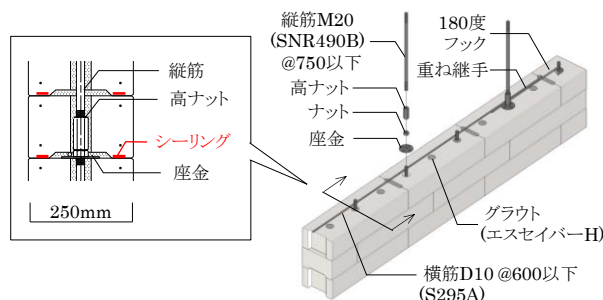


図 2 組積壁の工法概要

表 1 使用材料一覧

部位	使用材料
ブロック	絶乾比重0.37の軽量気泡コンクリート
内部鉄筋	SWRM6軟鋼線材を延伸(JIS G 3505) プレミックスタイプのグラウト(NMH)
充填材	日鉄住金高炉セメント製 エッセイバーH
縦筋	SNR490Bの丸鋼(M20転造ネジ加工)
横筋	SD295A(D10)

表 2 組積体の許容応力度（打ち込み RC を除く）

	長期		短期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
$F/3$		$\sqrt{0.1F}/3$	$2F/3$	$\sqrt{0.1F}/2$

## 2. 材料特性と組積体の構造特性

本構法で使用する ALC、グラウトおよび鉄筋の材料試験、組積体の圧縮試験、せん断試験およびブロックとグラウトの界面の引張試験を行い、それぞれの構造特性を確認した。試験結果を表 3 に示す。

ALC の材料試験では ALC37 に加え、一般の ALC

表 3 材料特性と組積体の構造特性

部位	試験	材料	試験体形状 (mm)	試験体数	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
ブロック	圧縮	ALC50	□100×100	6	4.3	2.1
		ALC37	□75×75	6	3.3	1.7
		ALC42	φ64×128	32	3.3	—
	引張	ALC50	φ50×100	6	0.69	2.0
		ALC37		6	0.61	1.7
		ALC42		5	0.66	1.4
グラウト	圧縮	NMH*1	φ50×100	22	42.4	17.6
		SLG*2		18	14.6	10.2
縦筋		SNR490B	M20×500	3	354 <sup>*3</sup>	208
横筋	引張	SD295A	D10×450	3	363 <sup>*3</sup>	202
内部鉄筋		SWRM6	φ3.2×600	9	671 <sup>*3</sup>	214
組積体	圧縮	ALC50+SLG	250×250×750	3	2.9	1.6
		ALC37+NMH	250×250×750	3	2.8	1.3
		ALC42+NMH	250×1000×250	3	2.4	1.4
	せん断	ALC50+SLG	250×750×750	3	0.53 <sup>*4</sup>	0.63
		ALC37+NMH	250×750×750	3	0.25 <sup>*4</sup>	0.43
		ALC42+NMH	250×1000×1000	3	0.14 <sup>*4</sup>	0.4
引張	ALC37+NMH	□75×250(×530)	7	0.23	—	

\*1:無収縮グラウト材(日鉄住金高炉セメント(株)、商品名:エッセイパーH)

\*2:セルフレベリング材(宇部興産(株)、商品名:床レベラーG)

\*3:降伏点、\*4:せん断ひび割れ強度

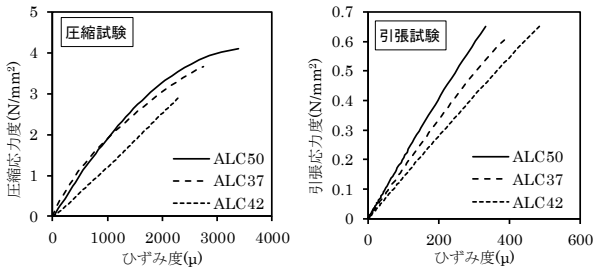


図 3 ALC の応力度—ひずみ度関係

パネルで使用される比重 0.50 の ALC (ALC50、内部鉄筋有)と海外で使用される比重 0.42 の ALC (ALC42、内部鉄筋無) の 3 種類を行った。ALC の応力度—ひずみ度関係を図 3 に示す。ALC はコンクリートと比較して 1/10 程度の圧縮強度とヤング係数を持つことが確認された。また、ALC37 は ALC50 と近い材料特性を持ち、φ64×128 の 32 体の試験体について圧縮強度のばらつきが  $\sigma = 0.29$  と小さいことが確認された。

グラウト (NMH) は 1 週強度で 42.4N/mm<sup>2</sup> が得られた。縦筋および横筋は規格値通りの降伏点とヤング係数が得られ、内部鉄筋は明瞭な降伏点を示さず 0.2% オフセット耐力で 671 N/mm<sup>2</sup> が得られた。

組積体の圧縮試験およびせん断試験の試験方法を図 4 に、破壊後の試験体を図 5 に、応力度—ひずみ度関係を図 6 に示す。圧縮試験では、すべての試験体で小口面の目地部のグラウト充填端部にひび割れが確認された。ブロック表面 50mm の底部にはブロック積み上げ時にシーリングが塗布されて目地部に隙間が生じているため、応力の伝達は表面両側の 50mm を除いたグラウト充填範囲 (有効断面積) で主に行われているものと考えられる。圧縮試験およびせん断試験において

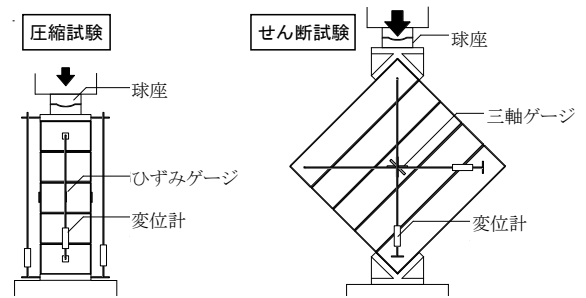


図 4 組積体の圧縮・せん断の試験方法

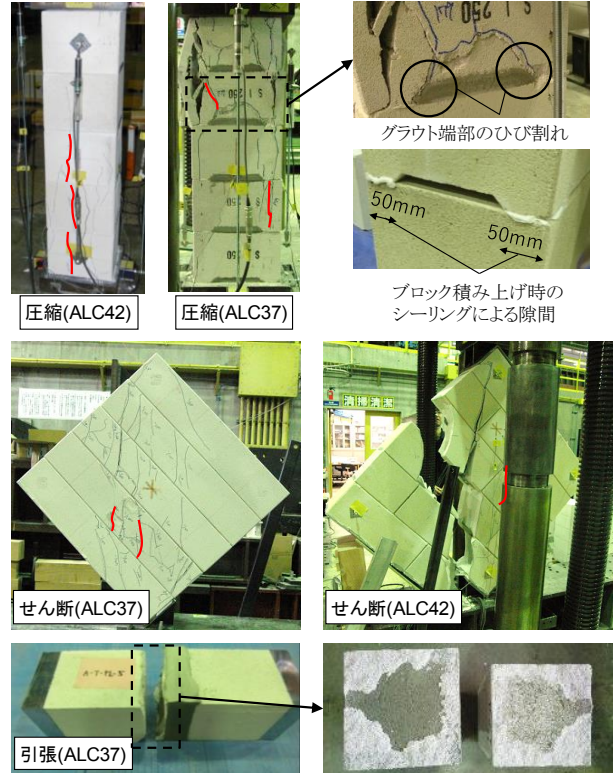


図 5 組積体の破壊後の試験体 (赤線は初ひび割れ)

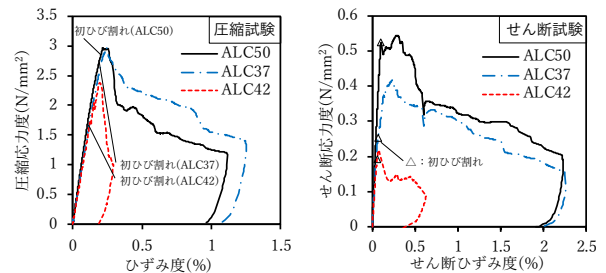


図 6 組積体の応力度—ひずみ度関係

内部鉄筋を有する ALC50 と ALC37 を用いた試験体では、内部鉄筋の無い ALC42 を用いた試験体と比較して最大荷重後の荷重低下が抑制され、変形性能が向上していることが確認された。また、ALC37 を用いた組積体の設計基準強度は 2.8N/mm<sup>2</sup> が得られ、短期許容せん断応力度は 0.26N/mm<sup>2</sup> が得られた。組積体の引張試験ではグラウトと ALC の界面で破壊し、引張強度は 0.23N/mm<sup>2</sup> が得られた。

表 4 無開口壁の面内せん断実験計画

試験体	ブロック	高さ (m)	壁厚 (m)	壁幅 (m)	グラウト	鉄筋	
						縦筋	横筋
InW-A50-w10	ALC50	3.0	0.25	1.0	SLG	M16・M22 (SGD3)	D10 (SD295A)
InW-A50-w15				1.5			
InW-A37-w15	ALC37	3.0	0.25	1.5	NMH	M20 (SNR490B)	D10 (SD295A)
InW-A37-w45				4.5			
InW-A42-w15	ALC42	3.0	0.25	1.5			

表 5 無開口壁の面内せん断実験結果

試験体名	荷重(kN/m)					破壊性状
	P <sub>1</sub>	P <sub>bc</sub>	P <sub>sc</sub>	P <sub>y</sub>	P <sub>max</sub>	
InW-A50-w10	5.6	13.5	20.9	20.3	21.0	曲げ破壊
InW-A50-w15	12.8	29.4	29.4	50.8	51.9	曲げ降伏後のせん断破壊
InW-A37-w15	10.7	12.3	29.0	35.0	44.7	曲げ破壊
InW-A37-w45	22.0	29.1	42.4	57.8	67.3	曲げ降伏後のせん断破壊
InW-A42-w15	8.7	16.0	24.0	33.3	37.7	曲げ降伏後のせん断破壊

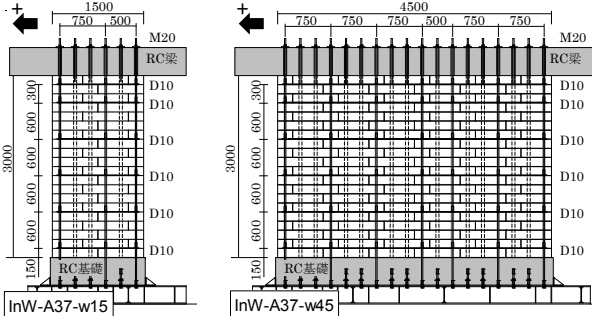


図 7 無開口壁の試験体

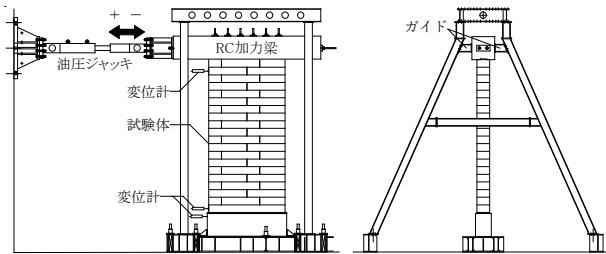


図 8 面内せん断実験の実験方法

### 3. 無開口組積壁の面内せん断実験

#### 3.1 実験計画と実験結果の概要

実験計画を表 4 に、代表的な試験体を図 7 に、実験方法を図 8 に示す。試験体は高さ 3m、壁厚 0.25m の実大規模とし、壁幅は 1.0m、1.5m、4.5m の 3 種類、ブロック材料は ALC37、ALC50、ALC42 の 3 種類とした。養生期間は 4~8 日とした。加力は基礎脚部を固定した片持ち梁形式の正負交番繰返し载荷とし、荷重と層間変形角の測定を行った。

実験結果を表 5 に、代表的な試験体の破壊状況を図 9 に、荷重-変形関係を図 10 に示す。全ての試験体で、曲げひび割れ  $P_{bc}$ 、せん断ひび割れ  $P_{sc}$ 、引張鉄筋の降伏  $P_y$  が確認され、曲げひび割れ前に初期剛性が低下する点  $P_1$  が確認された。破壊性状は、曲げ破壊と曲げ降伏後のせん断破壊が確認された。図 10 に示すように単位壁長さあたりの初期剛性をみると、壁幅が長いほど高くなり、ブロック種類の違いによる影響は小さかった。ブロックに内部鉄筋を有しない InW-A42-w15 は、内部鉄筋を有する InW-A37-w15 と比較して縦筋の降伏後すぐに荷重が低下して、変形

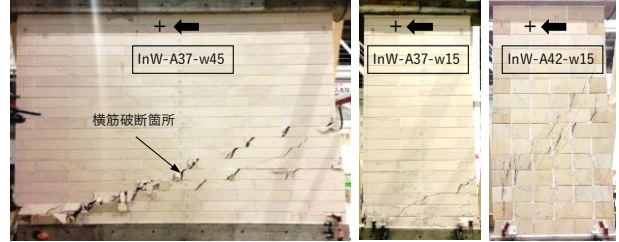


図 9 無開口壁の破壊状況 (最大変形時)

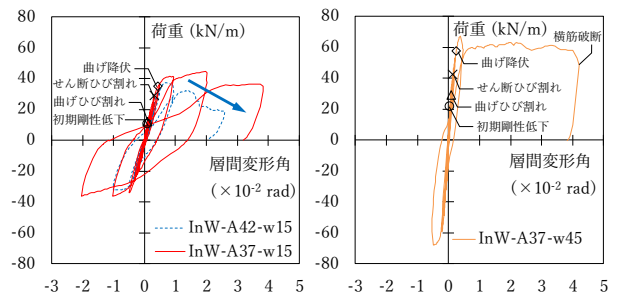


図 10 無開口壁の荷重-変形関係

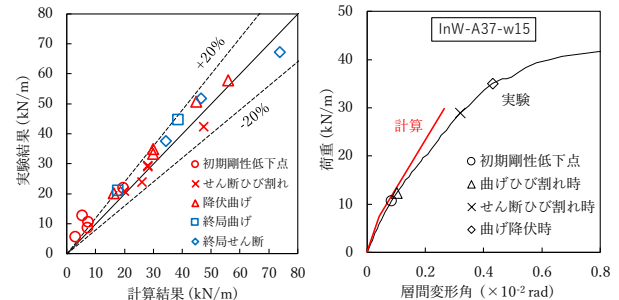


図 11 耐力と変形の実験結果と計算結果の比較

能力も低く、せん断ひび割れも試験体全体に広がった。プリズムせん断試験と同様に、内部鉄筋を有する試験体ではその拘束効果により耐力と変形能力が向上し、耐力壁としての性能が高まったものと考えられる。

#### 3.2 計算式による耐力と剛性の評価

AIJ による既往のメーソンリー構造の計算式 2) を参考に、材料試験より得られた材料特性とブロックの内部鉄筋の効果などを考慮して、終局耐力までの耐力と変形の計算を行った。曲げモーメントの計算では、平面保持を仮定した RC 造の計算方法を踏襲して曲げひび割れ時と曲げ降伏時の耐力を計算した。曲げ終局時の耐力はメーソンリー構造耐力壁と同様の略算式 2) により計算した。せん断耐力の計算では、松村による補

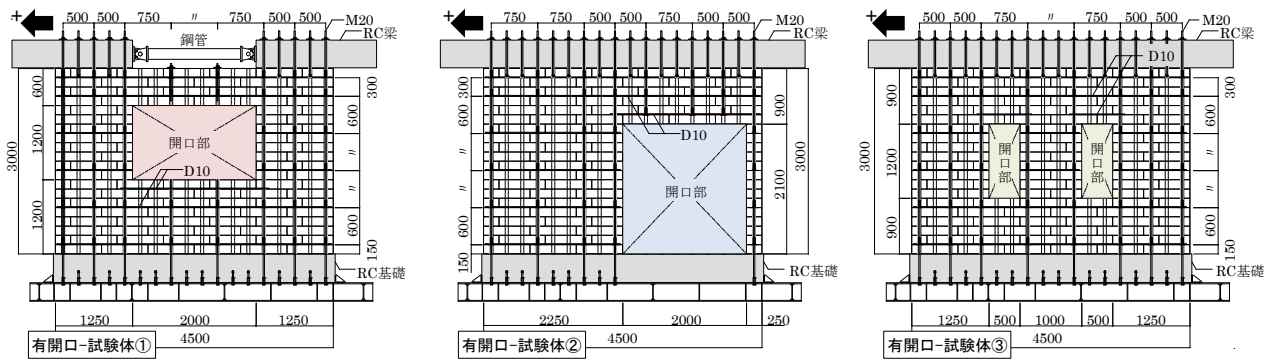


図 12 有開口壁の試験体

強コンクリートブロック造のせん断ひび割れ耐力式と終局せん断耐力式<sup>2)</sup>を組積体の圧縮強度とせん断ひび割れ強度の関係および内部鉄筋の効果を考慮した式に修正して計算した。変形の計算は弾性論に基づき算出し、せん断変形ではせん断ひび割れ後の剛性低下を考慮せずに弾性と仮定して求めた。

耐力と変形の実験結果と計算結果の比較を図 11 に示す。初期剛性低下点は下限値で、その他の耐力は±20%の精度で評価できることを確認した。変形は、せん断ひび割れ後の剛性低下には対応していないが、初期剛性と曲げひび割れ後の剛性低下について、おおむね評価できることを確認した。

#### 4. 有開口組積壁の面内せん断実験

##### 4.1 実験計画と実験結果の概要

開口形状をパラメータとした有開口組積壁の面内せん断実験の試験体を図 12 に、実験計画を表 6 に示す。ブロックには ALC37 を用い、グラウト、縦筋および横筋は無開口壁と同様とした。試験体は高さ 3m、幅 4.5m で、等価開口周比 $r_0$ <sup>3)</sup>は試験体①で 0.42、試験体②で 0.56、試験体③で 0.30 の 3 種類とした。試験方法は無開口壁の試験方法と同様とした。

実験結果を表 7 に、破壊状況を図 13 に、荷重-変形関係を図 14 に示す。全ての試験体で、1/1500rad ( $P_{1500}$ ) までは開口隅角部にわずかな損傷が生じる程度に留まり、1/1000rad を超えたあたりから壁全体に曲げひび割れ、せん断ひび割れが進展した。破壊性状は、試験体①と試験体③で曲げ降伏後のせん断破壊が、試験体②でせん断破壊が確認された。試験体①ではまぐさ部のせん断破壊が生じたことから、まぐさ部にせん断補強筋を十分に配筋するなどの配慮が必要と考えられる。試験体③では開口両側でせん断破壊面が横筋を跨がずに破壊し、急激な耐力低下が生じたことから、

表 6 有開口壁の面内せん断実験計画

項目	試験体①	試験体②	試験体③
ブロック	ALC37		
グラウト	NMH		
鉄筋	縦筋M20(SNR490B) 横筋D10(SD295A)		
試験体形状(m)	高さ3.0×壁幅4.5×壁厚0.25		
開口形状(m)	2.0×1.2	2.0×2.1	2-0.5×1.2
等価開口周比 $r_0$	0.42	0.56	0.30

表 7 有開口壁の面内せん断実験結果

項目	試験体①	試験体②	試験体③	
荷重(kN/m)	$P_{1500}$	10.2	11.0	18.4
	$P_y$	24.1	-	52.0
	$P_{max}$	31.1	33.2	52.7
破壊性状	曲げ降伏後 せん断破壊	せん断破壊	曲げ降伏後 せん断破壊	

開口両側の壁幅が短い場合には横筋を増やすなどの配慮が必要と考えられる。

##### 4.2 許容せん断耐力と設計クライテリア

無開口壁と有開口壁の荷重-変形関係のまとめを図 15 に、実験結果と短期許容せん断耐力 $Q_s$ を比較したものを表 8 に示す。短期許容せん断耐力は、2 章で得られた短期許容せん断応力度に、開口部を除いた壁幅と壁厚を乗じて求めた。短期許容せん断耐力は各試験体の最大荷重 $P_{max}$ より高い値を示し、危険側の評価となった。そのため、表 8 に示すように損傷の程度が軽微で、荷重-変形関係も弾性範囲と判断でき、最大耐力までの余裕度が 2 以上あることから、本構法の 1 次設計時の設計クライテリアを 1/1500rad 以下と設定した。

#### 5. FEM 解析と設計用せん断剛性の提案

ここでは、設計用せん断剛性の算定式を提案するために、壁幅、開口形状および階数をパラメータとした FEM による弾性解析を行い、それぞれの影響を確認する。本構法では 2 階建ての住宅規模の建物を想定しているため、本論文で提案する算定式の適用範囲は中でも頻度が高いと思われる述べ面積が 30~40 坪程度の総 2 階の住宅に限定し、耐力壁の壁幅は 1m か



図 13 有開口組積壁の破壊状況（最大変形時）

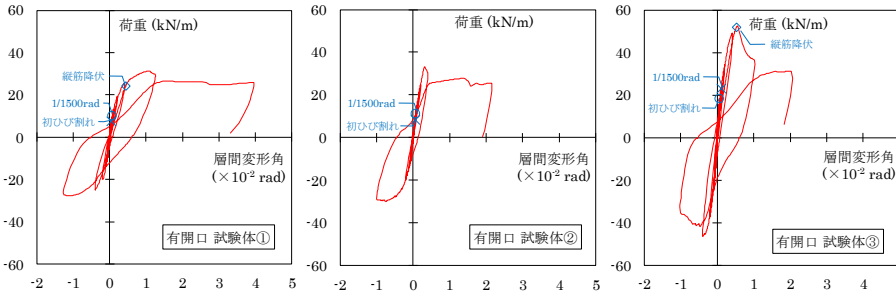


図 14 有開口組積壁の荷重－変形関係

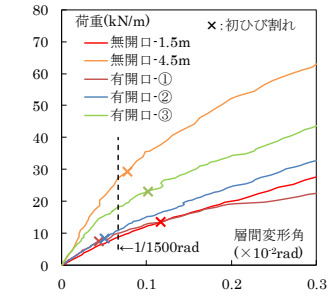


図 15 荷重－変形関係まとめ

ら 9m までとした。

初めに、これまでの実験を模擬した FEM 解析を行い、解析モデルの妥当性を確認した。組積体の圧縮試験より応力の主な伝達範囲が壁表面の 50mm を除いたグラウト充填範囲(有効断面積)と確認されたため、解析モデルの断面は有効断面積とした。材料特性は組積体の試験結果を有効断面積に補正し、ヤング係数は  $2.0\text{kN/mm}^2$ 、せん断弾性係数は  $0.5\text{kN/mm}^2$ 、比重は 1.1 とした。モデル高さは各試験の計測区間または試験体高さと同合わせた。解析結果と実験結果の比較を表 9 と図 16 に示す。実験結果の剛性  $K_{exp}$  と解析結果の剛性  $K_{FEM}$  がおよそ一致し、解析の圧縮ストラット領域と実験のせん断ひび割れ位置が一致したため、解析モデルは妥当と判断した。有開口壁では剛性がやや低めに評価されたため、以降、 $K_{exp}/K_{FEM}$  の平均値 1.09 を用いて有開口壁の FEM 解析結果の剛性を補正する。

次に、壁幅をパラメータとした FEM 解析と 3 章で行った弾性論による弾性剛性の計算を行い、単層無開口壁の壁幅ごとの剛性（設計用基準剛性  $K_{dh}$ ）を求めた。FEM 解析結果および計算結果と実験結果を比較したものを図 17 に示す。解析結果、計算結果および実験結果がおおよそ一致したため、 $K_{dh}$  ( $\text{kN/rad/m}$ ) は弾性剛性の計算式である(1)式とした。

続いて、開口形状をパラメータとした FEM 解析を行い、開口による剛性への影響を確認した。等価開口周比  $r_0$  と開口による剛性低下率  $K_{op}'/K_0$  の関係を図 18

表 8 実験結果と設計クライテリア

試験体	短期許容せん断耐力 $Q_s$ ( $\text{kN/m}$ )	荷重 ( $\text{kN/m}$ )		$P_{1500}$	$P_{max}$	1/1500rad時の損傷状態
		$P_{1500}$	$P_{max}$			
無開口	幅1.5m	65.0	10	44.7	4.5	損傷なし
	幅4.5m	65.0	28.7	67.3	2.3	わずかな曲げひび割れ
有開口	試験体①	36.1	10.2	31.1	3	開口隅角部にわずかなひび割れ
	試験体②	36.1	11	33.2	3	損傷なし
	試験体③	50.6	18.4	52.7	2.9	損傷なし

表 9 FEM 解析結果と実験結果の比較

解析モデル名	解析モデル (mm)	$K_{exp}$ ( $\text{kN/rad/m}$ )	$K_{FEM}$ ( $\text{kN/rad/m}$ )	$\frac{K_{exp}}{K_{FEM}}$
FEM-A37-w15	1400×2750×150	13270	13822	0.96
FEM-A37-w45	4400×2750×150	43110	42927	1.00
FEM-有開口①	4400×3000×150	14769	12896	1.15
FEM-有開口②		16308	16197	1.01
FEM-有開口③		26648	24551	1.09

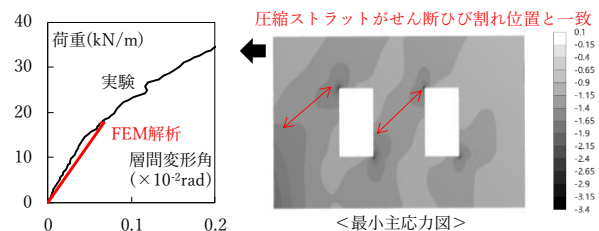


図 16 FEM 解析結果と実験結果(FEM-有開口③)

に、解析モデルを図 19 に、解析結果を表 10 に示す。解析モデルは腰窓から掃出し窓の形状とし、 $K_{op}'$  は FEM 解析結果の有開口壁の剛性  $K_{op}$  に 1.09 を乗じて補正した値とした。図 18 をみると、解析結果は既往の RC 造の開口部による剛性低減率  $r_1$  よりも小さくなることから、 $r_0 \leq 0.4$  の範囲における解析結果の近似直線により本構法の開口部による剛性低減係数  $r_{op}$  を(2)式のように求めた。 $r_0 > 0.4$  の範囲では、実験結果

と開口部を除いた耐力壁について(1)式より求めた剛性がおおよそ一致したことから、まぐさ部の曲げ戻し効果を見込まずに安全側に剛性を評価することとした。

最後に、幅 1.5m と幅 4.5m について単層モデルと総 2 階の連層モデルの FEM 解析を行い、連層時の剛性への影響を確認した。解析モデルを表 11 および図 20 に示す。連層壁の剛性 $K_{h55}$ を単層壁の剛性 $K_{h30}$ で除した値(連層による剛性低下率 $K_{h55}/K_{h30}$ )は表 11 に示す値が得られたため、連層による剛性低減係数 $r_{si}$ は図 21 のように解析結果を壁幅について直線補間して求めた(3)~(5)式とした。

これまでの検討から、本構法の弾性範囲における設計用せん断剛性 $K_D$ (kN/mm)は、(6)式により求められることを提案する。

$$K_{dh} = 1/(H_w^2 L_w / 3_m E' I + 1.2 L_w / m G' b' D) \quad (1)$$

$$r_{op} = 1 - 1.50 r_0 \quad (r_0 \leq 0.4) \quad (2)$$

$$r_{s1} = 0.058 L_w + 0.6 \quad (1.0 \leq L_w \leq 6.75) \quad (3)$$

$$r_{s1} = 1.0 \quad (7.0 \leq L_w \leq 9.0) \quad (4)$$

$$r_{s2} = 0.065 L_w + 0.09 \quad (1.0 \leq L_w \leq 9.0) \quad (5)$$

$$K_D = r_{si} r_{op} K_{dh} L_w / H_w \quad (6)$$

ここに、

$H_w$  : 壁高さ

$L_w$  : 壁幅

$m E'$  : 組積壁の壁厚 150mm に対するヤング係数

$I$  : 断面 2 次モーメント(=  $b'D^3/12$ )

$m G'$  : 組積壁の壁厚 150mm に対するせん断弾性係数

$b'$  : 組積壁のモデル壁厚(=150mm)

$D$  : 組積壁のモデル壁幅(=  $L_w - 0.1$ (m))

## 6. まとめ

本論文では内部鉄筋を有する ALC ブロック組積造の面内せん断性状を確認し、1 次設計時の設計クライテリアを 1/1500rad と設定した。また、壁幅、開口形状および階数を考慮した設計用せん断剛性を提案し、本構法の構造設計方法の一部を確立した。

### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所 他:2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書, 全国官報販売協同組合, pp.584-590, 2015.6
- 2) 日本建築学会 構造委員会 壁式構造運営委員会:

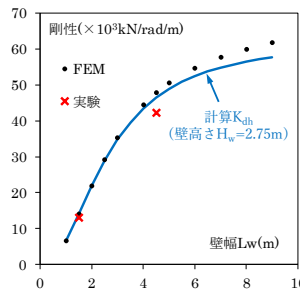


図 17 壁幅による影響

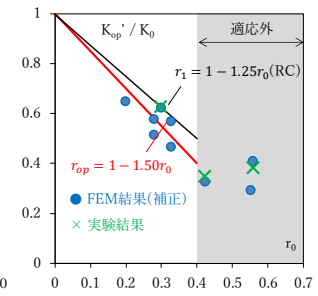


図 18 開口による低減

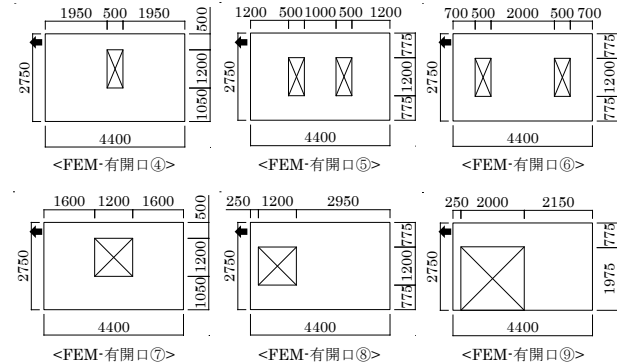


図 19 有開口壁の解析モデル

表 10 有開口壁の FEM 解析結果と実験結果まとめ

解析モデル名 試験体名		$r_0$	$K_0$ (無開口) (kN/rad/m)	$K_{op}$ (有開口) (kN/rad/m)	$K_{op}' / K_0$ (補正後)
FEM 解析	FEM-有開口①	0.42	42927	12896	0.33
	FEM-有開口②	0.56		16197	0.41
	FEM-有開口③	0.30		24551	0.63
	FEM-有開口④	0.20		36300	0.65
	FEM-有開口⑤	0.28		28933	0.52
	FEM-有開口⑥	0.28		32400	0.58
	FEM-有開口⑦	0.33		26167	0.47
	FEM-有開口⑧	0.33		31833	0.57
	FEM-有開口⑨	0.55		16467	0.30
実験	有開口-試験体①	0.42	42326	14771	0.35
	有開口-試験体②	0.56		16313	0.39
	有開口-試験体③	0.30		26652	0.63

表 11 連層の解析モデルと解析結果

解析モデル名	モデル 壁幅 (m)	高さ (m)	壁厚 (m)	剛性K (kN/rad/m)		連層/単層 ( $K_{h55} / K_{h30}$ )	
				1F壁	2F壁	1F壁	2F壁
FEM-単層1.5m	1.5	3	0.15	12206	—	—	—
FEM-連層1.5m				8420	2222	0.69	0.18
FEM-単層4.5m	4.5	3	0.15	45530	—	—	—
FEM-連層4.5m				39376	17114	0.86	0.38

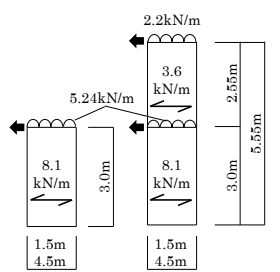


図 20 連層の解析モデル

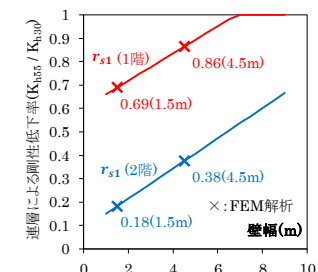


図 21 連層による低減

各種メーソニー構造設計ノート 2009, 2009.3

- 3) 日本建築学会: 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算規準・同解説, pp.163-179, 2015.12

# 目次

## 第1章 序論

1.1 研究背景 .....	1-1
1.2 国内における組積造の歴史と現状 .....	1-3
1.3 既往の研究.....	1-5
1.3.1 国内における既往の研究 .....	1-5
1.3.2 海外における既往の研究 .....	1-8
1.4 構法概要 .....	1-11
1.4.1 建物全体概要.....	1-11
1.4.2 ALCブロック .....	1-16
1.4.3 組積壁.....	1-22
1.4.4 梁・床・屋根.....	1-29
1.5 構造計算方法と本研究の目的.....	1-37
1.5.1 建築基準法における位置づけと構造計算ルート .....	1-38
1.5.2 組積体の許容応力度.....	1-40
1.5.3 建物全体における力の流れと構造計算方法 .....	1-41
1.5.3.1 構造計算上の基本的な考え方.....	1-41
1.5.3.2 長期荷重時における完全性の確認.....	1-42
1.5.3.3 地震時における壁面内方向の安全性の確認.....	1-45
1.5.3.4 風圧時における壁面外方向の安全性の確認.....	1-47
1.5.4 本研究の目的.....	1-49
1.6 本論文の構成.....	1-51
1.7 用語の定義.....	1-52
第1章 参考文献.....	1-53

## 第2章 材料特性および組積体の構造特性

2.1 はじめに .....	2-1
2.2 ALCの圧縮試験および引張試験.....	2-2
2.2.1 目的と概要 .....	2-2
2.2.2 試験体.....	2-3
2.2.3 試験方法.....	2-8
2.2.4 試験結果.....	2-10
2.3 グラウトの圧縮試験および割裂試験.....	2-19
2.3.1 試験体.....	2-19
2.3.2 試験方法.....	2-20



2.3.3	試験結果	2-23
2.4	鉄筋の引張試験	2-36
2.4.1	試験体	2-36
2.4.2	試験方法	2-39
2.4.3	試験結果	2-41
2.5	プリズム圧縮試験	2-48
2.5.1	試験体	2-48
2.5.2	試験方法	2-50
2.5.3	試験結果と考察	2-52
2.5.3.1	破壊性状と圧縮応力度－圧縮ひずみ度関係	2-52
2.5.3.2	プリズム圧縮試験結果と ALC の材料特性の比較	2-60
2.5.3.3	組積体の設計基準強度および許容応力度	2-61
2.6	プリズムせん断試験	2-62
2.6.1	試験体	2-62
2.6.2	試験方法	2-65
2.6.3	試験結果と考察	2-69
2.6.3.1	破壊性状とせん断応力度－せん断ひずみ度関係	2-69
2.6.3.2	プリズムせん断試験結果と ALC 材料特性の比較	2-80
2.6.3.3	組積体のせん断ひび割れ強度と圧縮強度の関係	2-81
2.7	ALC とグラウトの界面の引張試験および曲げ試験	2-83
2.7.1	試験体	2-83
2.7.2	試験方法	2-88
2.7.3	試験結果と考察	2-91
2.7.3.1	破壊性状	2-91
2.7.3.2	付着強度と各パラメータの影響	2-97
2.8	まとめ	2-100
	第 2 章 参考文献	2-103

### 第 3 章 無開口組積壁の面内せん断実験と耐力および剛性の評価

3.1	はじめに	3-1
3.2	実験計画	3-2
3.2.1	試験体	3-2
3.2.2	実験方法	3-9
3.3	実験結果	3-25
3.3.1	荷重－変形関係と破壊経過	3-25
3.3.1.1	実験結果の記載内容	3-25
3.3.1.2	InW-A50-w10	3-29

3.3.1.3	InW-A50-w15 .....	3-49
3.3.1.4	InW-A50-w45 .....	3-65
3.3.1.5	InW-A37-w15 .....	3-70
3.3.1.6	InW-A37-w45 .....	3-86
3.3.1.7	InW-A42-w15 .....	3-101
3.3.2	試験体のすべりおよび浮上りの確認 .....	3-117
3.3.3	破壊性状と荷重－変形関係のまとめ .....	3-122
3.3.4	曲げおよびせん断による変形成分と層間変形角の関係 .....	3-126
3.3.5	ひび割れ状況およびひび割れ幅と層間変形角の関係 .....	3-131
3.3.6	中立軸位置と層間変形角の関係 .....	3-138
3.4	メーソンリー構造の計算式を用いた耐力と剛性の評価 .....	3-142
3.4.1	計算における仮定と材料特性 .....	3-143
3.4.2	耐力および変形の計算式 .....	3-145
3.4.2.1	曲げひび割れ耐力 .....	3-145
3.4.2.2	降伏曲げ耐力および終局曲げ耐力 .....	3-147
3.4.2.3	せん断ひび割れ耐力 .....	3-148
3.4.2.4	終局せん断耐力 .....	3-152
3.4.2.5	変形の計算 .....	3-154
3.4.3	計算結果と実験結果の比較 .....	3-155
3.4.3.1	曲げひび割れ耐力の比較 .....	3-155
3.4.3.2	降伏曲げ耐力の比較 .....	3-156
3.4.3.3	せん断ひび割れ耐力の比較 .....	3-157
3.4.3.4	終局耐力の比較 .....	3-158
3.4.3.5	各試験体の耐力と荷重－変形関係の比較まとめ .....	3-159
3.4.3.6	中立軸位置の比較 .....	3-163
3.5	まとめ .....	3-164
	第3章 参考文献 .....	3-166

#### 第4章 有開口組積壁の面内せん断実験と設計クライテリアの提案

4.1	はじめに .....	4-1
4.2	実験計画 .....	4-2
4.2.1	試験体 .....	4-2
4.2.2	実験方法 .....	4-7
4.3	実験結果 .....	4-19
4.3.1	荷重－変形関係と破壊経過 .....	4-19
4.3.1.1	実験結果の記載内容 .....	4-19
4.3.1.2	InWO-A37-w45-20012 .....	4-21

4.3.1.3 InWO-A37-w45-20021.....	4-37
4.3.1.4 InWO-A37-w45-2_05012.....	4-51
4.3.2 試験体と基礎および加力梁のずれの確認.....	4-65
4.3.3 InWO-A37-w45-20012における鋼管の軸力の確認.....	4-68
4.3.4 ひび割れ状況およびひび割れ幅と層間変形角の関係.....	4-70
4.3.5 破壊性状および荷重-変形関係のまとめと開口による剛性低下率の確認.....	4-73
4.3.6 曲げおよびせん断による変形成分と層間変形角の関係.....	4-78
4.4 短期許容せん断耐力と設計クライテリアの提案.....	4-85
4.5 まとめ.....	4-88
第4章 参考文献.....	4-89

## 第5章 有限要素法を用いた組積壁の弾性解析と設計用せん断剛性の提案

5.1 はじめに.....	5-1
5.2 設計用せん断剛性の適用範囲と壁の分類.....	5-2
5.2.1 想定建物と適用範囲.....	5-2
5.2.2 壁の分類.....	5-4
5.3 FEM解析モデルの妥当性の確認.....	5-5
5.3.1 解析モデルおよび解析条件.....	5-5
5.3.2 解析結果と実験結果の比較.....	5-8
5.4 単層無開口壁の設計用基準剛性.....	5-11
5.4.1 FEM解析モデルおよび解析条件.....	5-11
5.4.2 弾性論に基づく面内剛性の計算方法.....	5-13
5.4.3 解析結果と設計用基準剛性.....	5-15
5.5 開口部による剛性低減係数.....	5-17
5.5.1 解析条件および解析結果.....	5-17
5.5.2 開口周比が0.4以下となる場合のせん断剛性低減係数.....	5-19
5.5.3 開口周比が0.4を超える場合の剛性への影響.....	5-21
5.6 連層時における剛性低減係数.....	5-22
5.6.1 解析モデルおよび解析条件.....	5-22
5.6.2 解析結果と連層時における剛性低減係数.....	5-24
5.7 耐力壁の設計用せん断剛性の提案.....	5-25
5.8 まとめ.....	5-26
第5章 参考文献.....	5-28

## 第6章 結論

6.1 本研究で得られた成果.....	6-1
6.2 今後の課題と展望.....	6-3

## APPENDIX A メーソンリー構造の曲げモーメントの計算

A.1 計算における仮定（再掲） .....	A-1
A.2 曲げひび割れモーメント時における中立軸位置の算出 .....	A-3
A.3 降伏曲げモーメントの算出 .....	A-5

## APPENDIX B FEM 解析の材料モデル.....B-1

## 発表論文リスト

## 謝辞

# 第1章

## 序論



## 1.1 研究背景

石やレンガ、コンクリートなどの無機材料は高い耐久性、耐火性などの理由により古くから建物の構造材料として世界中で使われている。その中でも、壁式鉄筋コンクリート造（以下、WRC造）や全充填型の補強組積造などの壁式構造は、兵庫県南部地震でも損傷が皆無であり、高い耐震性を有することが確認された<sup>1.1)~1.3)</sup>。しかし、構造材料として使われてきた無機材料の多くは熱を通し易いため、建築物のエネルギー消費性能の向上が強く求められる近年では<sup>1.4)</sup>、外皮に十分な断熱材を施して断熱性能を確保する必要があるといった課題も残されている。

無機材料の中でも熱を通しにくい材料としてオートクレーブ養生軽量気泡コンクリート（以下、ALC、英文では Autoclaved Aerated Concrete または AAC）がある。ALC はコンクリートと比較して軽量性、断熱性、工場生産性などの向上を目的に発明された材料であり、海外ではレンガや石などの代わりに ALC ブロックを用いた住宅が現在でも建設されている<sup>1.5)~1.7)</sup>。ALC の熱伝導率は、表 1.1 に示すようにグラスウールの 3~4 倍程度にとどまるため<sup>1.8)~1.10)</sup>、壁厚が 200~300mm 程度の厚さになれば ALC だけでも外壁の断熱性能を確保することができる。また、ALC はコンクリートやレンガなどと比較して比重が小さいため、地震による慣性力は小さくなる。日本でも ALC の草創期には ALC ブロックが製造されたが、歴史的に組積造への馴染みがないことや高度経済成長期の高工業化への要求により、図 1.1 および図 1.2 に示すようにブロックが大型 ALC パネルによる耐力壁へと変化し<sup>1.11)</sup>、現在では面内せん断力を負担しない帳壁などの ALC パネル<sup>1.12)</sup>が一般的である。そこで、無機材料としての高い耐久性、耐火性を生かしながら耐震性、断熱性の高い住宅を実現できる可能性として、ALC による耐力壁構造を見直すことが考えられる。ALC による耐力壁構造は過去には建設することが出来たが<sup>1.13)</sup>、現在の建築基準法に従うと建設することは出来ない。そのため、まずは構造種別を特殊な材料でも許容応力度が規定できる組積造とし、型枠コンクリートブロック造<sup>1.14)</sup>（以下、型枠 CB 造）や鉄筋コンクリート組積造<sup>1.15)</sup>（以下、RM 造）のように鉄筋で補強して充填材を打設する打ち込み工法とすることで、現行の建築基準法を満足しながら耐震性を確保することができると考えられる。

表 1.1 各素材の熱伝導率

素材	熱伝導率 $\lambda$ (W/m $\cdot$ K)		
	文献8)	文献9)	文献10)
鋼材(鋼)	45	53	55
コンクリート	1.4 <sup>*1</sup>	1.6	1.6
れんが	0.62 <sup>*2</sup>	0.62 <sup>*5</sup>	0.64
ALC	0.15	0.17 <sup>*6</sup>	0.19
木材(天然木材)	0.12	0.12 <sup>*7</sup>	0.12
グラスウール	0.047 <sup>*3</sup>	0.049 <sup>*8</sup>	0.050 <sup>*10</sup>
セルローズファイバー	0.040 <sup>*4</sup>	0.044 <sup>*9</sup>	0.040 <sup>*11</sup>

\*1:鉄筋コンクリート、鉄筋はシングル

\*2:赤れんが

\*3:JIS A 9505

\*4:JIS A 9525

\*5:普通れんが、JIS R 1250

\*6:JIS A 5416

\*7:比重400kg/m<sup>3</sup>

\*8:JIS A 9504、3号

\*9:JIS A 9523

\*10:通常品10-50

\*11:吹込み用25K、45K、55K

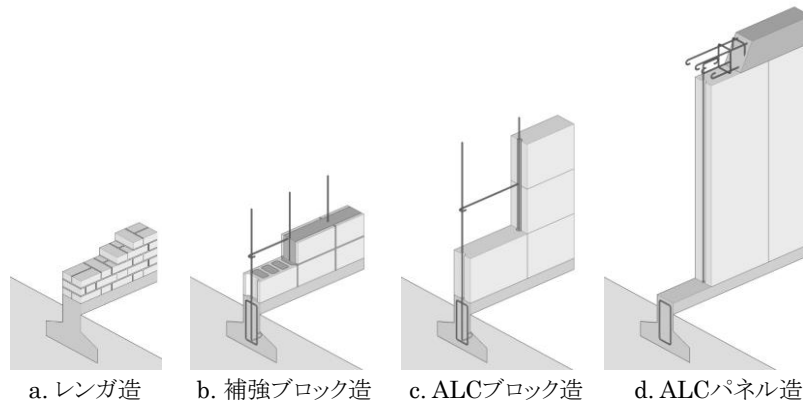


図 1.1 組積造から ALC パネル造の変化 (文献 1.11)を参考に筆者が作成)

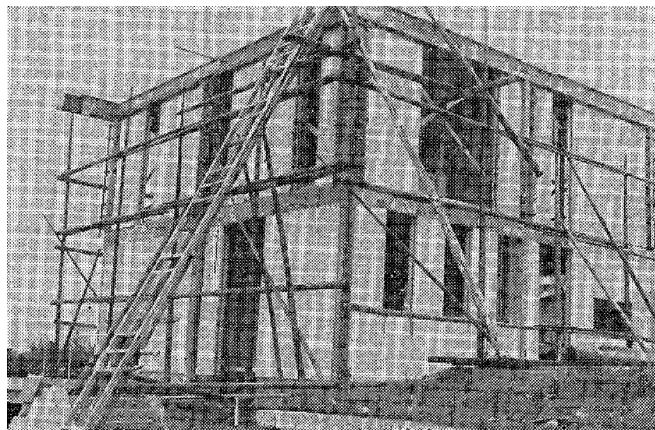


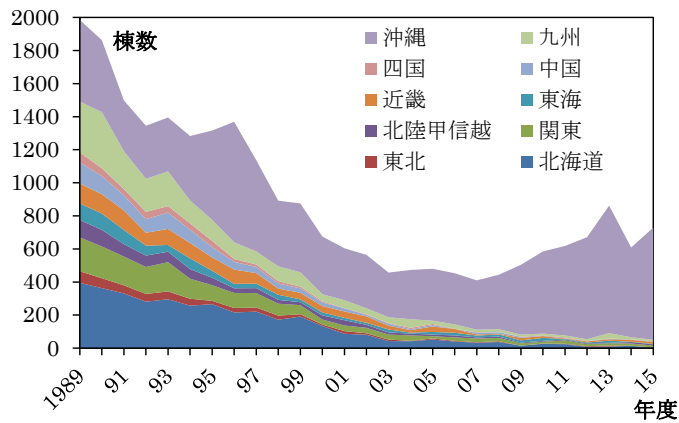
図 1.2 大型 ALC パネルによる耐力壁構造 1.11)



## 1.2 国内における組積造の歴史と現状

組積造は施工の簡易性や平面形状の自由度の高さからも世界中の多くの国や地域で最も一般的な構法であり、耐久性、耐火性のほかその独特の美観も大きな特徴の一つである。わが国では歴史的に馴染みが薄いですが、明治時代に文明開化の象徴として高い耐火性を要求される重要な建物を中心に普及が始まった。しかし、導入当初は無補強のレンガ造が主な工法であったため明治 24 年の濃尾地震や大正 12 年の関東大震災などで大きな被害が生じ、レンガ造はそれ以降ほとんど見られなくなった。戦後、コンクリートブロック（以下、CB）を使った補強組積造が普及したが、一部の粗悪な製品を用いた建築における耐久性や防水性の欠如のために昭和 42 年ごろをピークに激減した。これらの問題を解決するため、1984 年に開始した日米共同耐震研究では高品質、高耐久性の新しい補強組積造として RM 造が開発された<sup>1.16),1.17)</sup>。

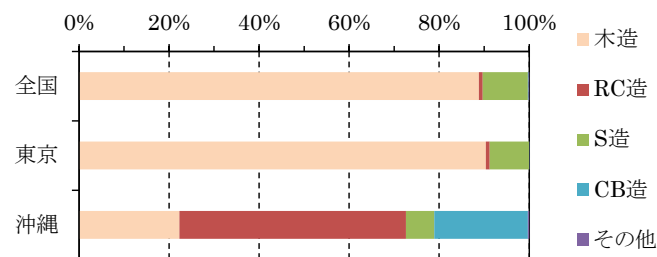
近年の住宅用途におけるコンクリートブロック造（以下、CB 造）の着工棟数の推移を図 1.3 に、2015 年度における一戸建て住宅の構法種別の割合を図 1.4 に示す。国内における CB 造の住宅は 1989 年度には全国各地で 2000 棟近く建設されていたが、現在ではその総棟数は半減し、全体の 90%以上が沖縄県で建設されている。沖縄県では耐風性の高さなどの理由により鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）の住宅が歴史的に一般的となったため<sup>1.18)</sup>、2015 年度では一戸建て住宅のうち 21%が CB 造となっているが、全国ではその割合は 0.15%程度と非常に低い。しかし、最近ではその独特の美観が見直され、壁面に表れる素材の表情をありのままに見せる設計事例も増えつつある<sup>1.19)</sup>。そのため、本研究のように ALC の素材自体で断熱性を確保することで、無機材料としての高い耐久性や耐火性、壁式構造としての高い耐震性や遮音性、気密性と相まって、住宅として必要な機能性の高さと組積造の特徴的な意匠が両立した良質な空間を実現できると考えられる。



(棟数)

地域	1989年度	2000年度	2007年度	2015年度
北海道	395	134	33	3
東北	70	9	3	1
関東	205	30	22	12
北陸甲信越	105	25	7	7
東海	100	18	11	3
近畿	121	39	7	11
中国	126	21	10	1
四国	62	7	3	4
九州	307	43	16	9
沖縄	494	349	298	678
計	1985	675	410	729

図 1.3 CB 造住宅の着工棟数の推移 (文献 1.20)を加工して筆者が作成)



(上段は戸数/下段は総計に占める割合)

地域	木造	RC造	S造	CB造	その他	総計
全国	371496 89%	3421 0.82%	42031 10%	643 0.15%	711 0.17%	418302 100%
東京	31121 90%	309 0.90%	3014 8.7%	1 0.00%	19 0.06%	34464 100%
沖縄	677 22%	1528 50%	192 6.3%	631 21%	15 0.49%	3043 100%

図 1.4 一戸建て住宅の構法種別の割合(2015 年度) (文献 1.20)を加工して筆者が作成)

## 1.3 既往の研究

### 1.3.1 国内における既往の研究

ここでは、国内における組積造およびALCパネル等に関する研究を述べる。以下に示すように、国内においてはALCブロックを用いた耐力壁に関する既往の研究は見られない。

#### (1) 補強コンクリートブロック造等

補強コンクリートブロック造（以下、補強CB造）や型枠CB造<sup>1.14), 1.21)</sup>、RM造<sup>1.15)</sup>を中心とした補強組積造の設計方法は既に確立されており、先に述べたように震災時にも高い耐震性を持つことが確認されている。補強CB造は、全断面積圧縮強さが4~8N/mm<sup>2</sup>以上の空洞ブロック<sup>1.22)</sup>を使用し、図1.5のようにブロックの空洞部をコンクリートで部分的に充填して各階にRC造の臥梁を設ける構法である。

型枠CB造やRM造は、図1.6および図1.7のように圧縮強さが20~30N/mm<sup>2</sup>以上の縦横に連続した大きな空洞を持つ型枠状ブロック<sup>1.22)</sup>を使用して、CBを積み上げた後にコンクリートを充填する構法である。コンクリートが型枠状のブロック内に十分行きわたるため、補強CB造のようなRC造の臥梁だけでなく、型枠ブロックによる臥梁を設けることができる。しかし、これらの構法は強度の低いALCを用いる本研究の工法とは構造特性が大きく異なると考えられる。

#### (2) 無補強の組積造

無補強の組積造については、主に国内および国外の歴史的建造物の修復を目的とした研究は数多くなされており、最近では振動実験<sup>例えば 1.24), 1.25)</sup>や個別要素法による解析<sup>例えば 1.26)</sup>などが行われている。しかしながら、一般的な戸建住宅の建設においては、これまでの慣習に沿った仕様規定による設計が一般的であり<sup>1.27)</sup>、現状では十分な耐震性を確保し、評価できる設計手法は未だ確立されていないと考えられる。

#### (3) ALCパネル等

松村らにより、ALC部材の曲げ、せん断強度に関する研究や大型ALCパネルを用いた耐力壁の面内せん断強度に関する研究が報告されている<sup>例えば 1.28)~1.33)</sup>。そこでは、ALC部材の曲げおよびせん断性状についてはRC部材の曲げおよびせん断性状と定性的にはほぼ等しいことが確認されており、大型ALCパネルを用いた耐力壁については平均せん断応力度と部材角の関係などが確認されている。しかし、ALCブロックによる組積壁とパネルとして製造されたALC部材や大型ALCパネルを用いた耐力壁とでは構造特性が異なるものと考えられる。

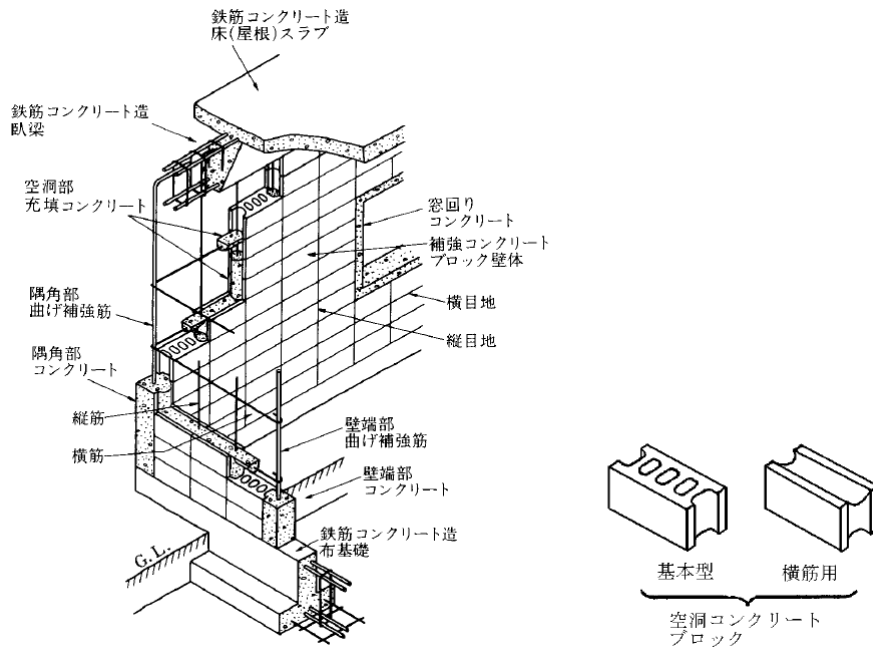


図 1.5 補強コンクリートブロック造 (部分充填型メーソナリー) の概要 1.21)

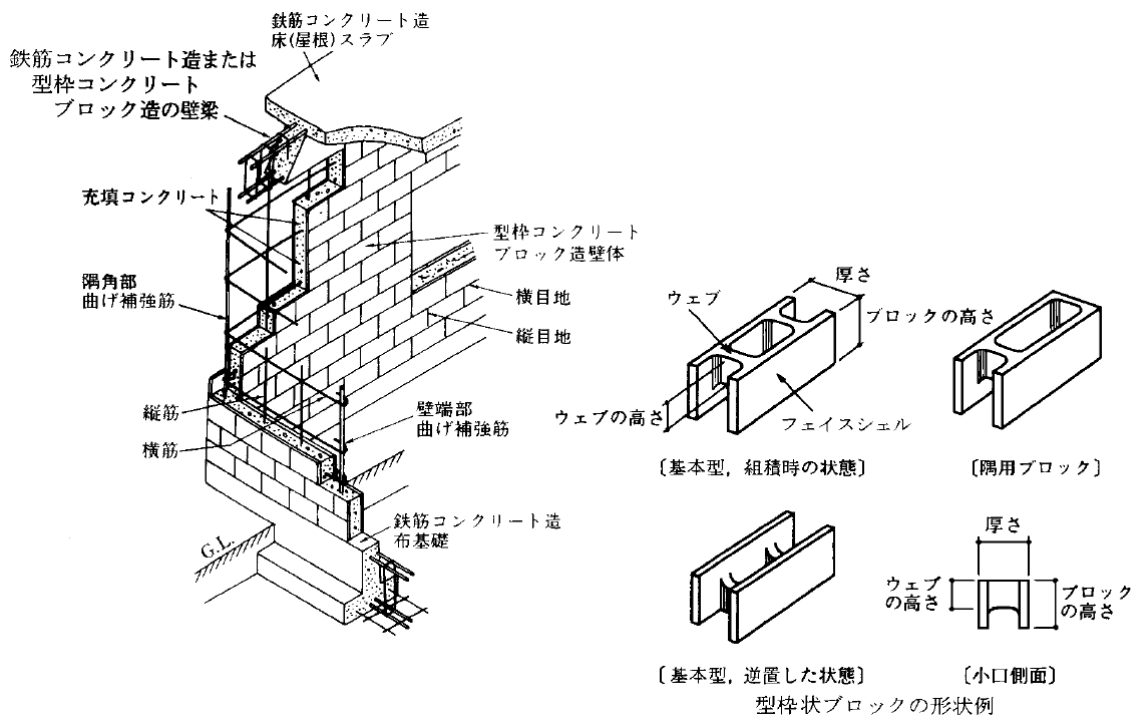


図 1.6 型枠コンクリートブロック造 (全充填型メーソナリー) の概要 1.21)

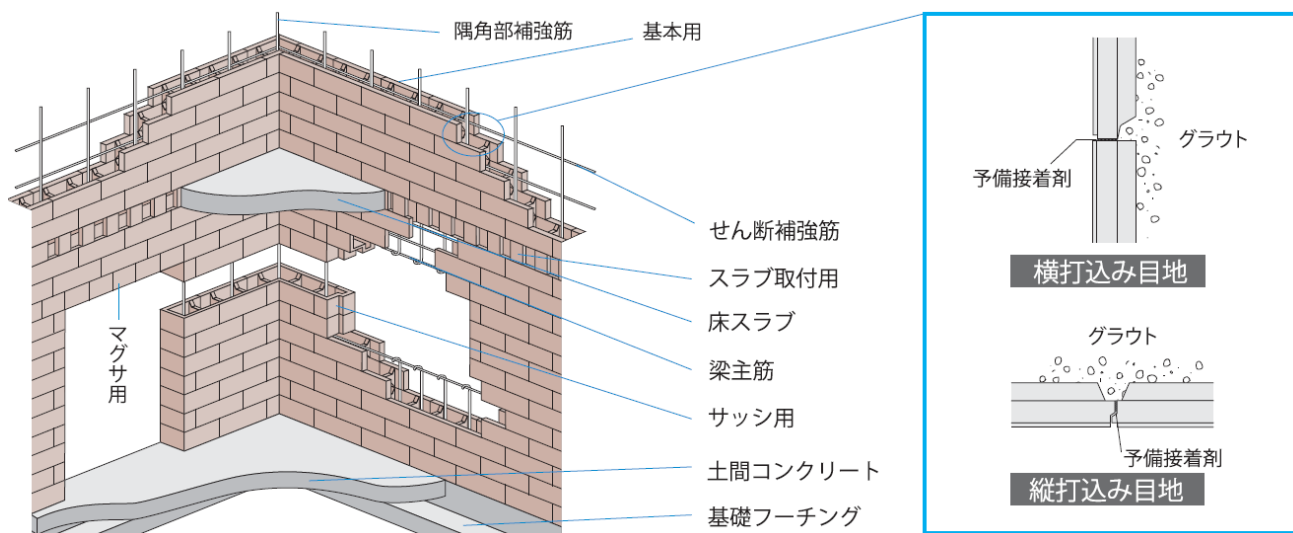


図 1.7 鉄筋コンクリート組積造 (RM 造) の概要 <sup>1.23)</sup>

### 1.3.2 海外における既往の研究

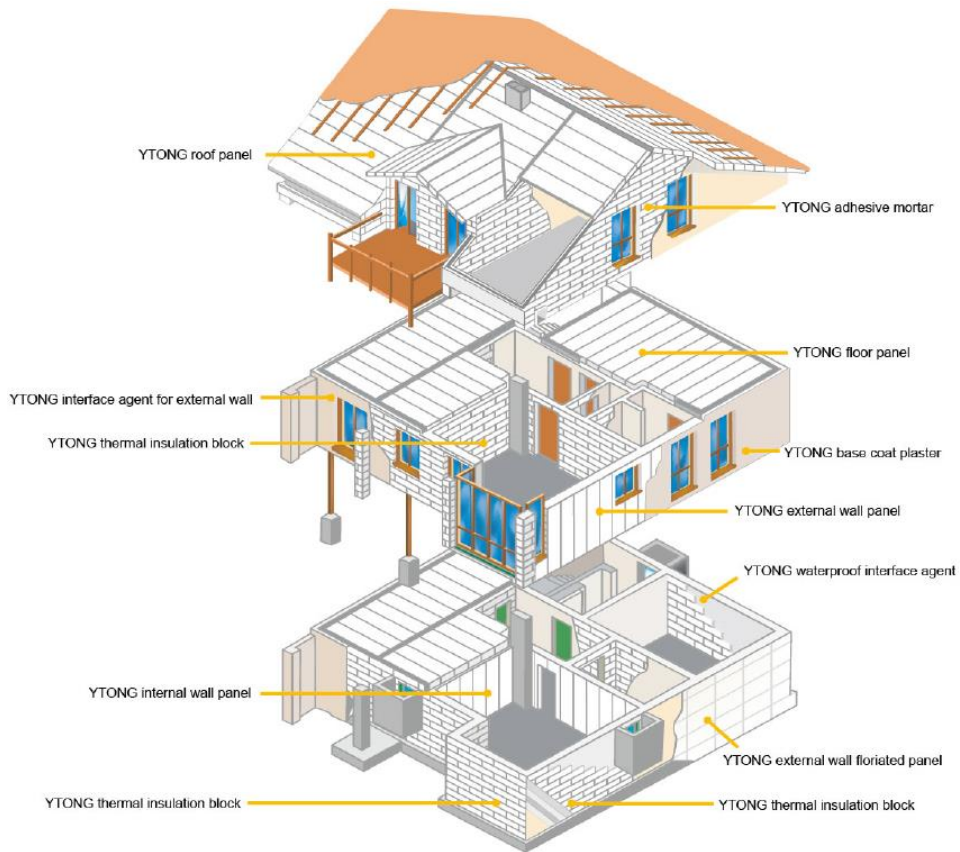
海外では、図 1.8 に示すような ALC ブロックや大型 ALC パネルを用いた住宅が一般的に建設されている<sup>1.34)~1.38)</sup>。近年では、ALC を断熱材料として利用した省エネルギー性の向上や低比重であることによる省資源への貢献という視点からも、ヨーロッパだけでなく中国やインド、北アフリカなどで ALC の普及がめざましく、アメリカでも徐々に広がりを見せている<sup>1.7)</sup>。ここでは、近年の地震国を中心とした ALC ブロック組積造の低層建築物における既往の研究について述べる。なお、RC フレームを併用した低層から中層の建築物における耐力壁については、構造特性が異なることから基本的には除外している。

アメリカなどの北米の地域では Tanner J.、Varela J.、Klinger R.らにより、図 1.9 に示すような大型 ALC パネルの 2 層建物の静的加力実験や ALC ブロック耐力壁の面内せん断実験が行われ、それぞれの破壊モードに応じた設計式が提案されている<sup>1.39)~1.43)</sup>。

イタリアでは Penna A.、Costa A.A.、Magenes G.らにより、図 1.10 に示すような ALC ブロックによる無補強の耐力壁および水平補強筋や RC コアなどで補強された耐力壁の静的加力実験が行われており、水平補強筋により変形能力が向上することや RC コアにより強度および剛性が上昇することが確認されている。また、無補強の耐力壁を持つ低層建物の非線形のプッシュオーバー解析により、中程度の地震に対しては耐震性を有することが確認されている<sup>1.44)~1.48)</sup>。

上記 2 つは静的実験による研究であるが、スロベニアでは Tomažević M.らにより図 1.11 に示すような RC フレーム付の ALC ブロック耐力壁の振動実験が組積造の振動実験の一環として行われている。ここでは、1/4 スケールの 3 階建ておよび 4 階建ての建物を用いた振動台実験が行われ、静的実験より得た履歴特性を持つ質点系モデルの時刻歴応答解析が実験結果と比較して良い対応を示すことが確認されている<sup>1.49)</sup>。

以上の研究については、いずれも無筋の ALC ブロックを使っており、横補強筋が少ない耐力壁ではせん断ひび割れが生じやすいことが挙げられる。海外では ALC の壁は基本的に下地として扱われ、最終的に図 1.8(e)に示すような仕上げが施されるため、壁面にひび割れが生じた際には補修後に化粧材等で意匠性を保つことが容易である。しかしながら本構法では素材を生かした意匠性も確保できるように、中地震程度であればせん断ひび割れの発生を防ぐことが望まれる。そこで、ALC パネルでも見られるように、ブロック内部に鉄筋を配置し（以下、配置した鉄筋を内部鉄筋と呼ぶ）、この内部鉄筋によりせん断ひび割れの伸展を抑制し、靱性を向上させることが考えられるが、そのような研究は見られない。



(a) 海外の ALC ブロック住宅の構法概要 1.34)



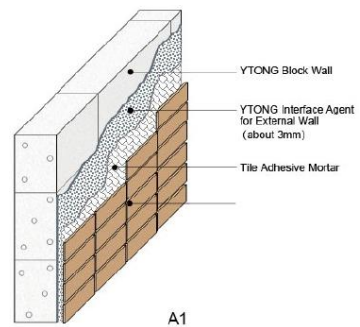
(b) ALC ブロック住宅 1.35)



(c) 大型 ALC パネル住宅 1.36)

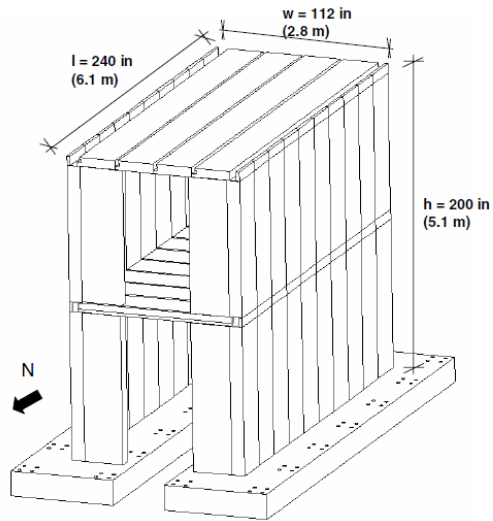


(d) RC フレームと ALC ブロックの併用 1.37)

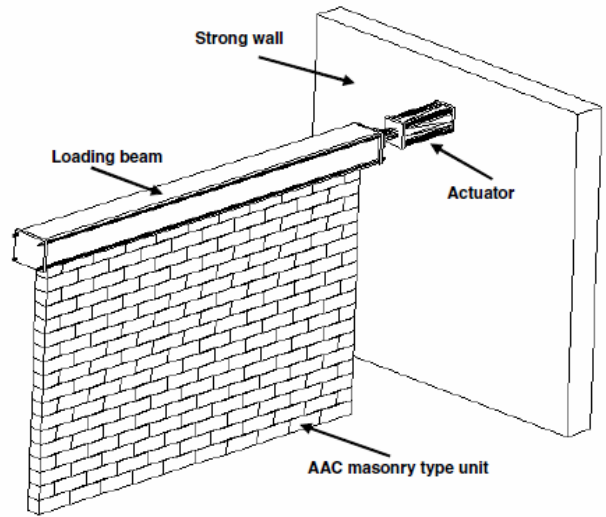


(e) ALC ブロック造の仕上げ 1.38)

図 1.8 海外における ALC ブロック住宅や大型 ALC パネル住宅



(a) 大型 ALC パネル 2 層建物の静的加力実験

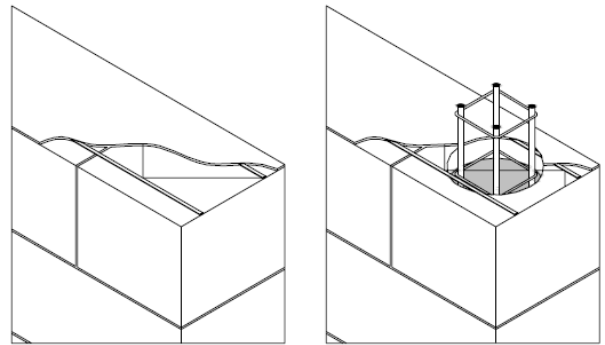


(b) ALC ブロック耐力壁の面内せん断実験

図 1.9 Tanner J らによる実験 1.39)



(a) ALC ブロック耐力壁の面内せん断実験 1.45)



< 水平補強筋 >

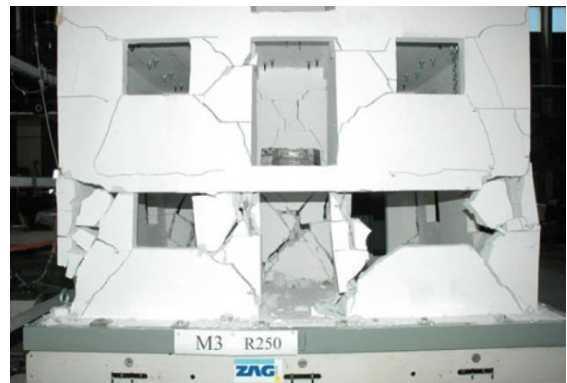
< RCコア + 水平補強筋 >

(b) 補強筋の形状 1.44)

図 1.10 Penna A. らによる面内せん断実験



(a) 振動実験



(b) 破壊状況

図 1.11 Tomažević M. らによる 1/4 スケールの振動実験 1.49)



## 1.4 構法概要

### 1.4.1 建物全体概要

本項では、本研究で提案する構法の概要を述べる。初めに、建物全体の概要を述べる。建物各部の構造および仕上げの概要を表 1.2 に、建物全体概要のアイソメ図を図 1.12 に、開口部の考え方を図 1.13 に、材料の仕様一覧を表 1.3 に、本構法によるプラン例を図 1.14 に、施工手順概要を図 1.15 に示す。なお、本論文に記載する実験には構法検討段階におけるパラメータの一部としての内容も含んでいるため、ここに述べる材料や構法が一部異なる点があるが、本論文の実験結果や他の実験結果を踏まえた最終的な構法が本節で示す内容であることを留意して頂きたい。

本構法は、基礎が RC 造、壁が ALC ブロックを用いた組積造、梁、床および屋根が木造の混構造で、鉛直力、水平力を組積造による壁（以下、組積壁）に期待する壁式構造である。建物の階数は 2 階建てまでとし、用途は主に住宅を想定している。1 層の高さは、居室の天井の高さを 2.1m 以上確保するため最低で 2.55m とし、最大で 3m までとする。図 1.14 に示すプラン例では 1 階の高さを 3m、2 階の高さを 2.55m としている。壁厚は、階数や階高によらず一律で 250mm とする。そのため、平面の基本モジュールは 250mm となり、ブロックの高さが 150mm のため立面の基本モジュールは 150mm となる。

ALC は、一般的なコンクリートと比べて圧縮強度は 1/8～1/10 程度であるが、比重は 1/4～1/6 と軽い材料である。組積造や補強 CB 造では RC の臥梁や床により建物としての一体性を確保しており、臥梁による曲げ戻し効果も期待しているが<sup>1.50),1.51)</sup>、建物総重量が増えるため地震時に発生する慣性力も大きくなるというデメリットも生じる。また、建物の断熱性能の観点からは、熱橋となる RC を用いることは必ずしも得策ではない。そこで、比重や熱伝導率が ALC と近い木造を併用することで、地震時に作用する慣性力を小さくして耐震性能を確保する設計とする。そのため、構造モデルは基礎からの片持ち梁形式として梁の曲げ戻し効果を期待せず、床は壁の面内剛性よりも小さくなるため、剛床仮定が成立しない柔床構造となる。わが国の住宅として慣れ親しんだ木材を併用することで、木と ALC の素材の質感を感じることができる新しい屋内空間を実現することができる。

外壁に設ける開口部については、用途が住宅のため、腰窓などの通風や非居室の採光などを目的とした比較的小さい窓と、掃き出し窓などの居室の採光や眺望などを目的とした比較的大きい窓が必要となる。本構法では臥梁がないため、図 1.13 に示すように腰窓などの小開口は組積造による壁に設け、掃き出し窓などの大開口は壁同士を木梁でつないだ箇所<sup>1.50)</sup>に設けることとする。組積壁同士は 2 階と R 階床レベルで木梁により連結されて同一構面の面内方向の一体性が確保される。

表 1.2 建物各部の構造および仕上げの概要

陸屋根	木造、構造用合板24mm、シート防水
勾配屋根	木造、構造用合板12mm、アスファルト防水、 ガルバリウム鋼板仕上げ
2階床	木造、構造用合板24mm、フローリング仕上げ
1階床	ALCパネル または 構造用合板24mm、フローリング仕上げ
各階天井	石膏ボード左官仕上げ
各階梁	木造、集成材
壁	ALCブロック組積造、ブロック素地仕上げ(撥水処理)
基礎	RC造、布基礎 または ベタ基礎

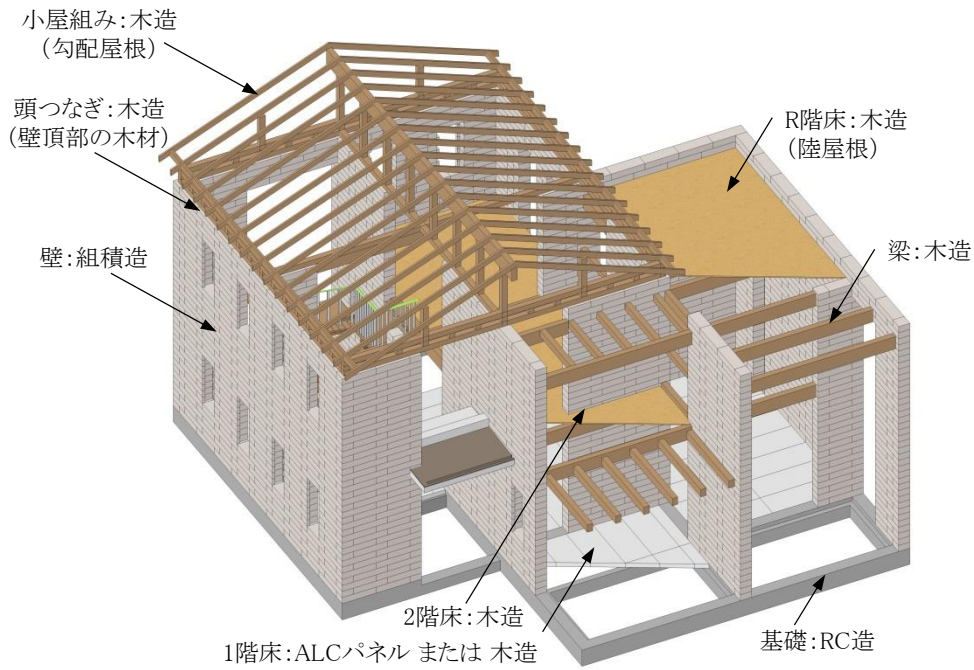


図 1.12 建物全体概要のアイソメ図

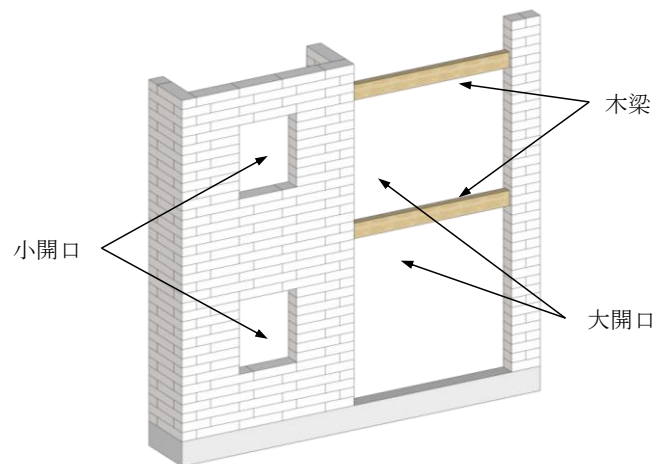
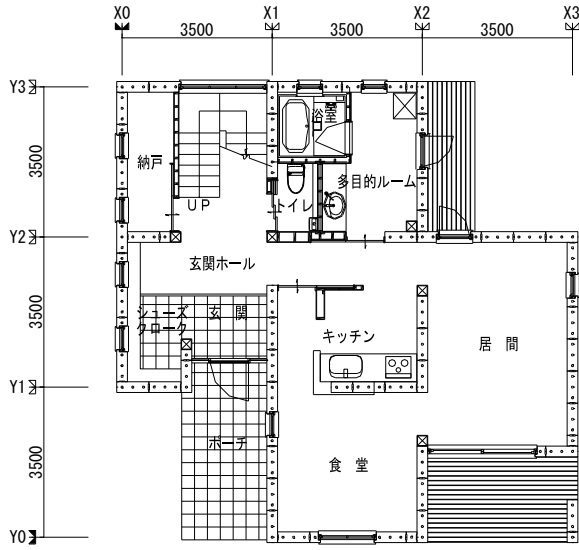


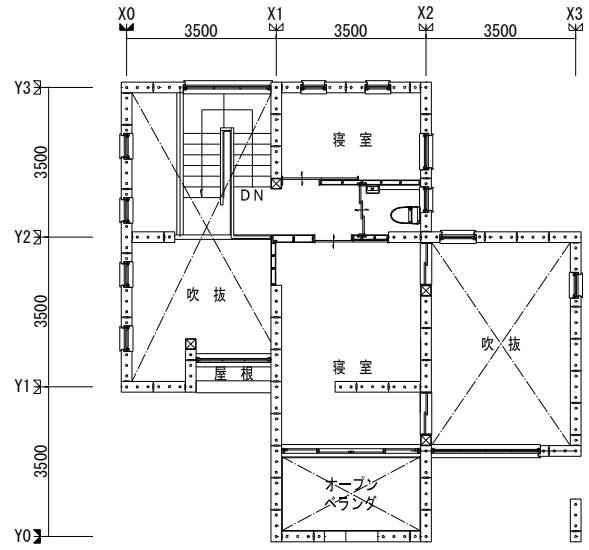
図 1.13 開口部の考え方

表 1.3 材料の仕様一覧

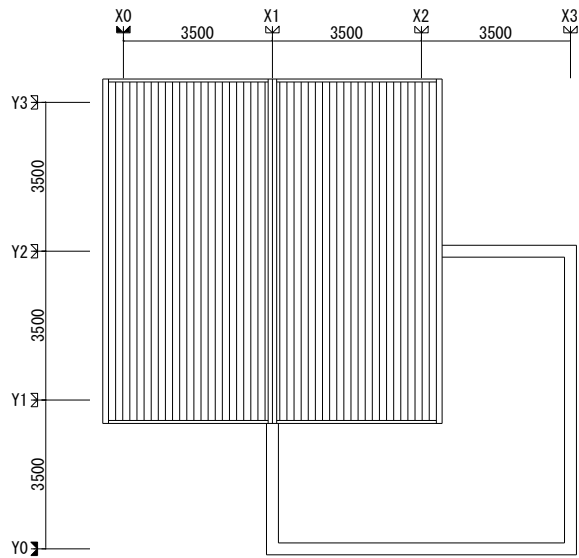
部位	材質	材料規格	形状
ブロックの母材	絶乾密度:320~420kg/m <sup>3</sup> の軽量気泡コンクリート	—	—
ブロックの内部鉄筋	JIS A 5416「軽量気泡コンクリートパネル」箇条7.2 補強材に規定されている鉄線で軟鋼線材 SWRM6(JIS G 3505)を延伸したもの	JIS G 3532	φ3.2
グラウト	日鉄住金高炉セメント製 エスセイバーH	—	—
縦筋	建築構造用圧延棒鋼 SNR490B	JIS G 3138	両端をM20の転造ネジ加工した丸鋼または総ネジ
まぐさ補強筋	建築構造用圧延棒鋼 SNR490B	JIS G 3138	両端をM12の転造ネジ加工した丸鋼または総ネジ
横筋	鉄筋コンクリート用棒鋼 SD295A	JIS G 3112	異形鉄筋 D10
横筋(Gタイプ)	鉄筋コンクリート用棒鋼 SD345	JIS G 3112	異形鉄筋 D10、片端M10の切削ネジ加工
ナット	冷間圧造用炭素鋼 SWCH10R または SWCH12R	JIS G 3507-2	M20、M12
高ナット	冷間圧造用炭素鋼 SWCH10R または SWCH12R	JIS G 3507-2	M20、M12
座金	一般構造用圧延鋼材 SS400	JIS G 3101	PL-3.2、φ90
梁受け金物	一般構造用圧延鋼材 SS400	JIS G 3101	PL-6
床接合金物	一般構造用圧延鋼材 SS400	JIS G 3101	PL-2.3
床ALCパネル	軽量気泡コンクリートパネル(ALCパネル)	JIS A 5416	厚さ100mm
床・屋根合板	構造用合板 特類2級	JAS	厚さ12~24mm
木梁・頭つなぎ	構造用集成材 オウシュウアカマツ E105-F300	JAS	幅105、120mm せい120~360mm
構造ビス	カナイ製 YA-S45	—	—
構造釘	鉄丸くぎ N75 または 太め鉄丸くぎ CN75	JIS A 5508	—
ドリフトピン	カネシン製 DP-118、DP-103	—	—



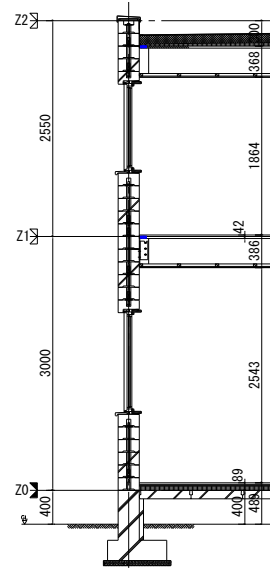
(a) 1階平面図



(b) 2階平面図



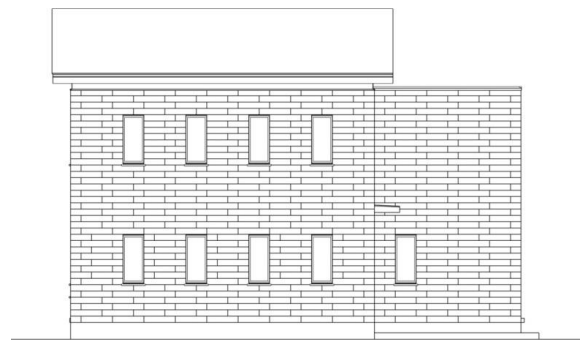
(c) R階平面図



(d) 矩計図



(e) 南立面図



(f) 西立面図

図 1.14 プラン例

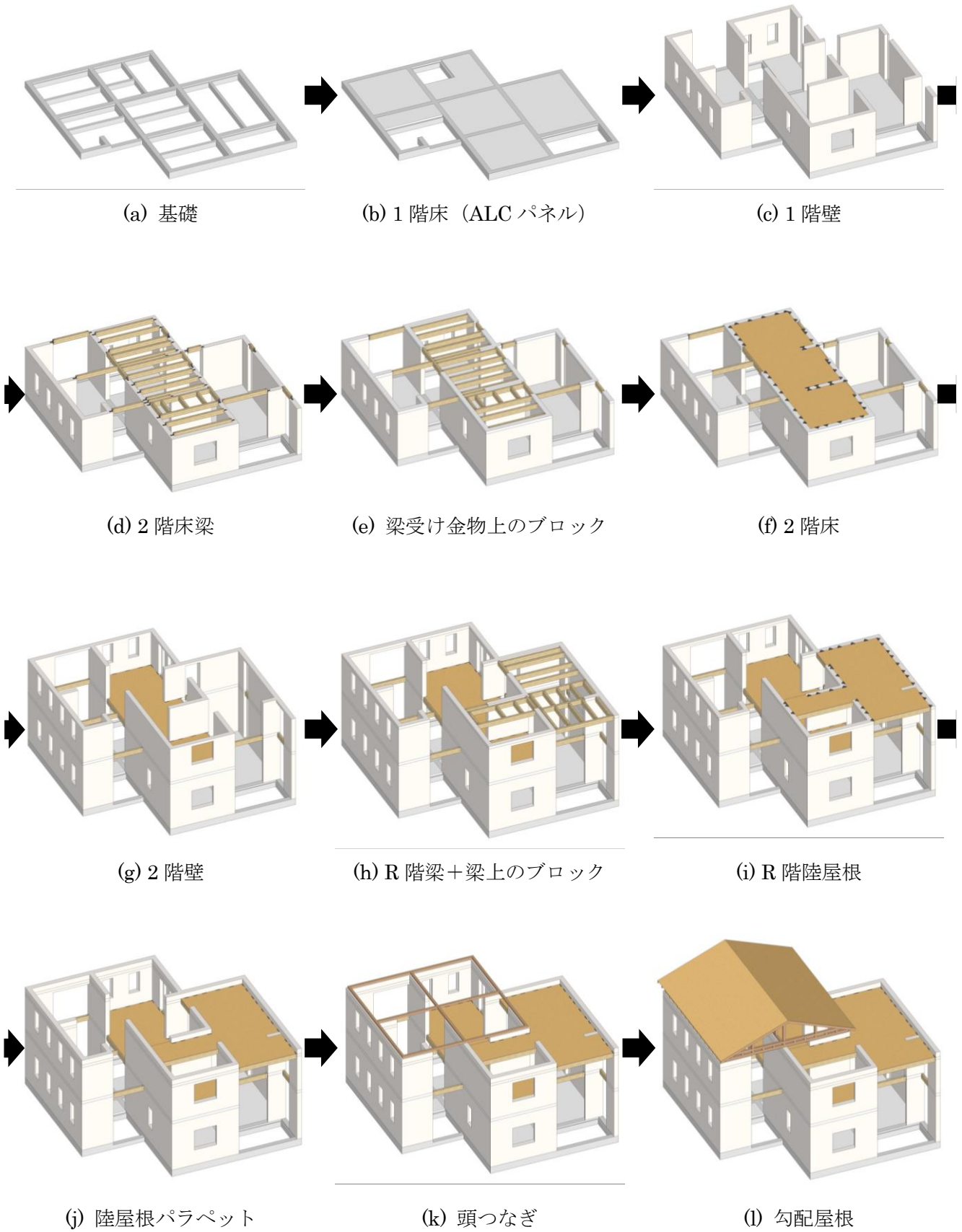


図 1.15 施工手順概要

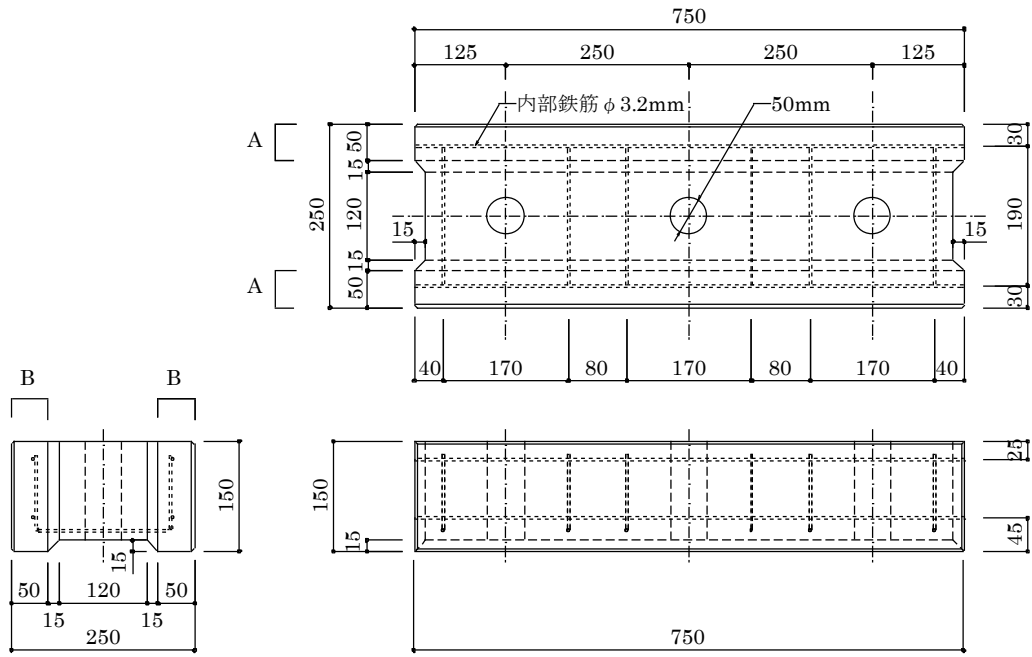
## 1.4.2 ALC ブロック

ブロックの詳細図、アイソメ図および写真を図 1.16 に示す。

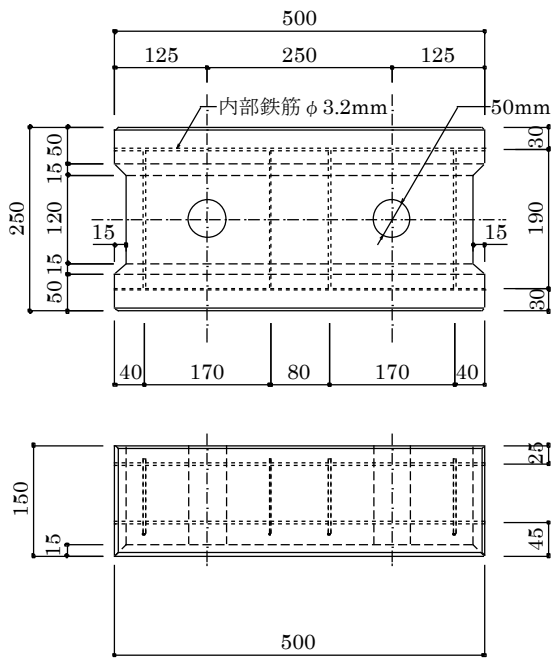
ブロックの母材には、絶乾比重が 0.37 の ALC（以下、ALC37）を用いる。これは、一般に ALC パネル<sup>1.12)</sup>として利用される ALC よりも絶乾比重が 3 割程度小さく、熱伝導率も小さいため、建物の断熱性能をさらに高めることができる材料である。ブロック内部には、ALC パネルに用いられる  $\phi 3.2\text{mm}$  のコの字型に折り曲げられたメッシュ状の内部鉄筋（JIS A 5416<sup>1.12)</sup>「軽量気泡コンクリートパネル」箇条 7.2 補強材に規定されている鉄線<sup>1.52)</sup>で軟鋼線材 SWRM6<sup>1.53)</sup>を延伸したもの）がブロック断面 4 隅の長辺方向に配筋される。内部鉄筋には、通常の ALC パネルと同様に防錆処理が施されている。また、一般的な ALC のクリープ係数はコンクリートの 1/10 程度と言われており<sup>1.6)</sup>、本構法で使用する ALC についても長期的な寸法変化は小さいものと考えられる。

ブロックの外形は幅 750mm、高さ 150mm を標準とし、幅方向は 500mm、250mm のブロックも存在する。ブロックには  $\phi 50\text{mm}$  の縦穴と幅 150mm、深さ 15mm の台形状の溝が設けられており、縦穴や溝形状により複数の種類のブロックがある。標準ブロック（N タイプ）には  $\phi 50\text{mm}$  の縦穴が端部から 125mm の位置に 250mm ピッチで空けられており、ブロックの底部および小口部には幅 150mm、深さ 15mm の台形状の溝が設けられている。端部ブロック（C タイプ）は、標準ブロックと比較してブロックの片側の小口部のみに溝が設けられており、壁端部や開口端部に用いられる。両端ブロック（O タイプ）はブロックの両側が壁端部となったときなどに用いられる。まぐさブロック（M タイプ）は開口上部に、窓台ブロック（D タイプ）は開口下部に用いられ、それぞれ開口側には溝を設けず、縦穴も貫通されない形状となっている。実際の設計時に生じる様々な納まりに対しては、溝や縦穴形状などを変更させて対応する。

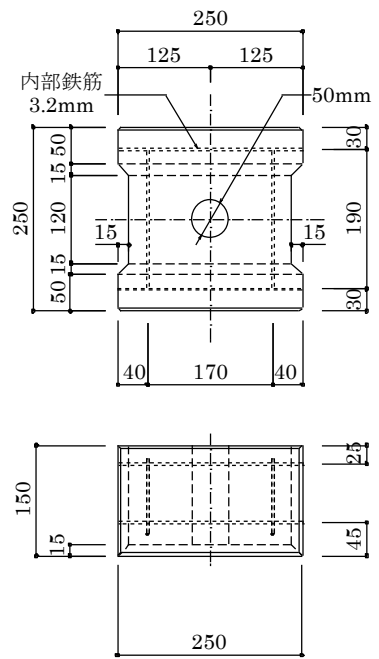
このほか、実験では比重が異なる ALC を 2 種類加え、表 1.4 に示すように計 3 種類の ALC ブロックを使用する。ALC の後に絶乾比重に由来する数字を表記し、3 種類の ALC を区別する。絶乾比重 0.50 の ALC（以下、ALC50）は外壁や床などで使用される一般的な ALC パネルと同じ材料である。ALC50 のブロックは ALC37 と同様に内部鉄筋を有し、幅 750mm、高さ 150mm を標準とする。絶乾比重 0.42 の ALC（以下、ALC42）は海外で用いられる ALC ブロックで、内部鉄筋は存在せず、幅 500mm、高さ 200mm を標準とする。また、実験時には内部鉄筋の配筋形状が本項記載の内容と一部異なる箇所があり、詳細は表 1.5 に示す。



(a) N-750

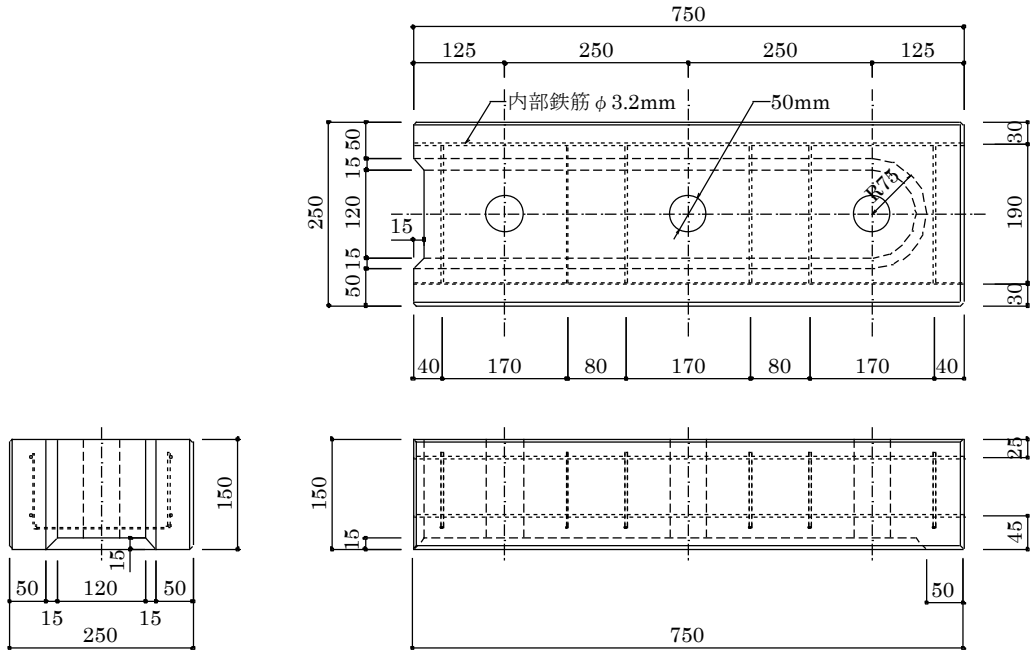


(b) N-500

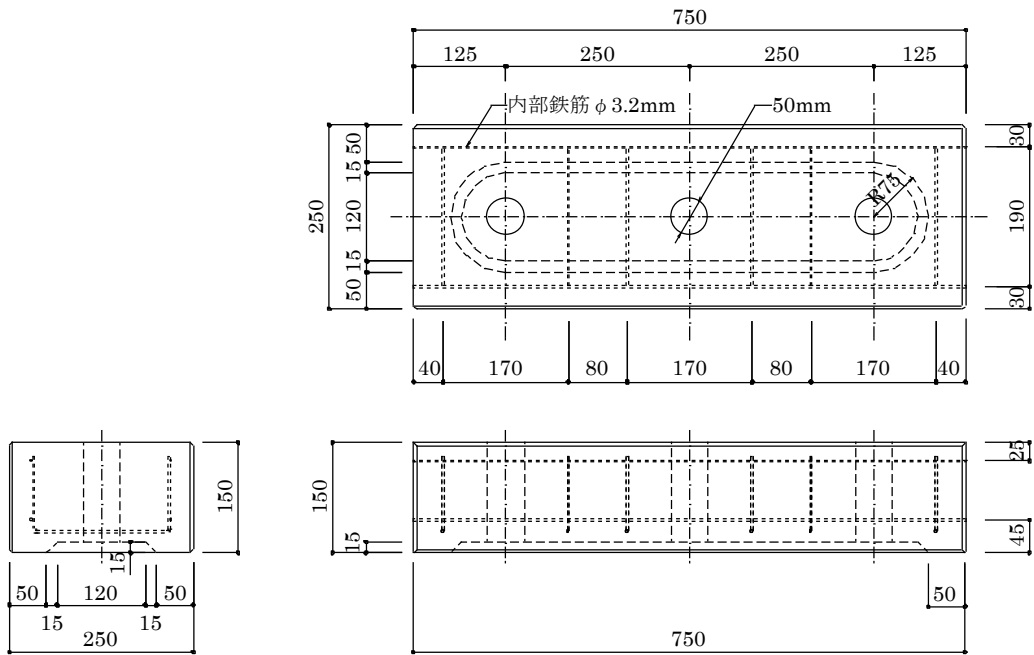


(c) N-250

図 1.16-1 ブロックの形状



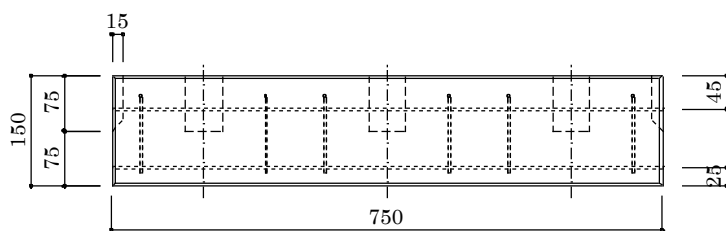
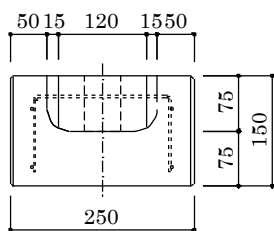
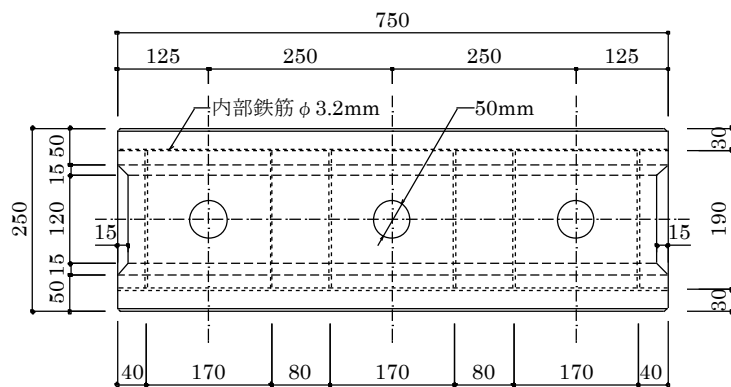
(d) C-750



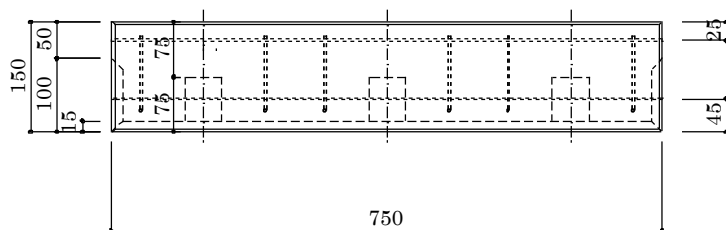
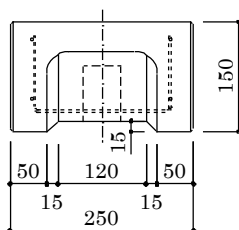
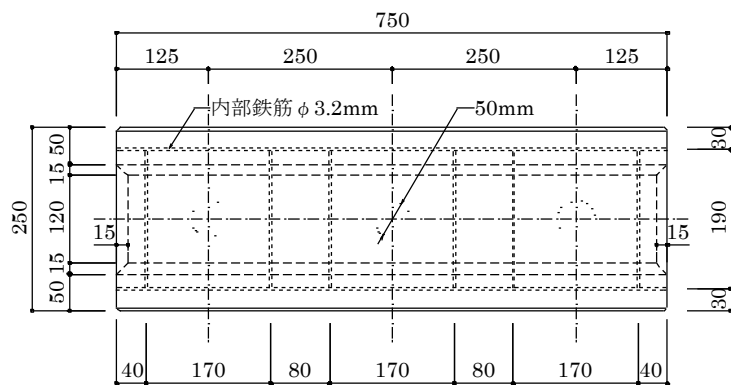
(e) O-750

図 1.16-2 ブロックの形状



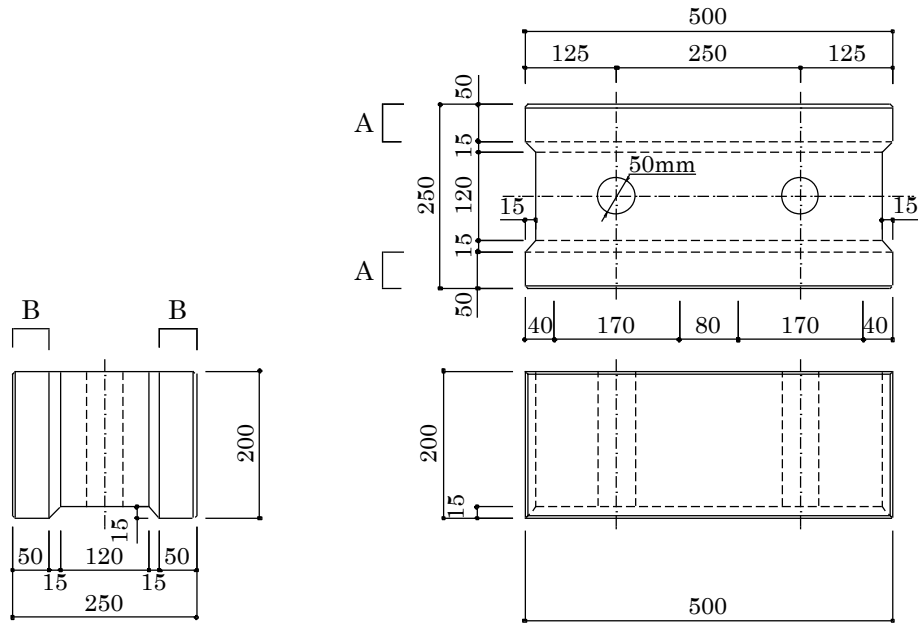


(f) M-750

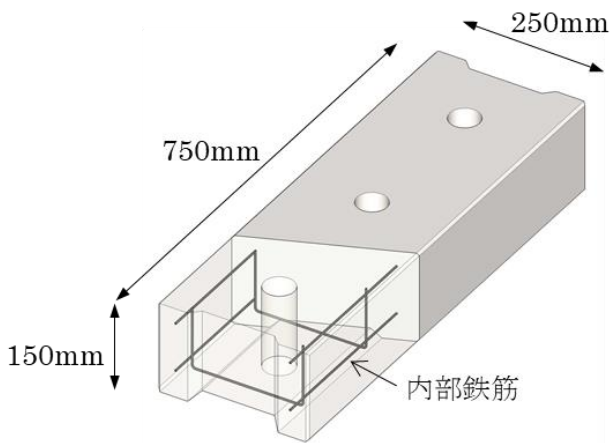


(g) D-750

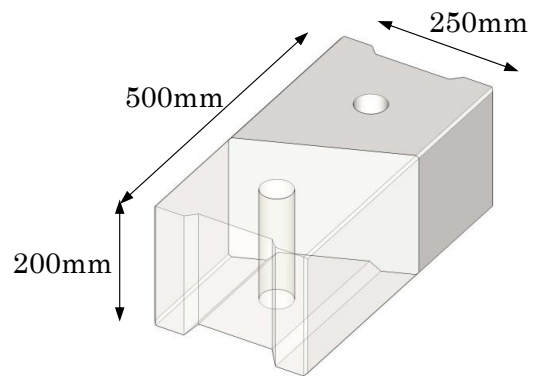
図 1.16-3 ブロックの形状



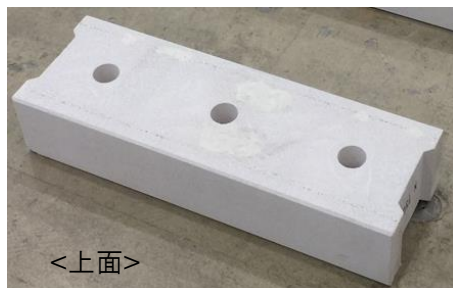
(h) N-500 (ALC42)



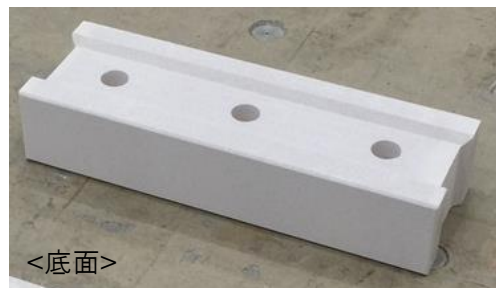
(i) アイソメ図 (ALC37)



(j) アイソメ図 (ALC42)



<上面>



<底面>

(k) N-750 の写真

図 1.16-4 ブロックの形状

表 1.4 ALC ブロックの種類

材料	絶乾比重	内部鉄筋	基本ブロック外形 (mm)	特徴
ALC50	0.50	φ3.2	750×150×250	一般のALCパネルで使用される
ALC37	0.37			本構法で使用される材料で ALC50より低比重で断熱性が高い
ALC42	0.42	無	500×200×250	海外で使用されるALCブロック

表 1.5 ALC ブロックの内部鉄筋の違い

断面詳細	<p style="color: red;">断面上部にも鉄筋がある</p>	
実験・試験名称	プリズム圧縮試験 プリズムせん断試験 無開口壁の面内せん断実験	有開口壁の面内せん断実験

### 1.4.3 組積壁

#### (1) 全体概要

組積壁の全体構成図を図 1.17 に示す。本構法の組積壁は、ALC ブロック、鉄筋および充填モルタル（以下、グラウト）など複数の材料で構成されている。本項では、組積壁の各部位の納まりと役割について述べる。図 1.17 の括弧内の番号は本項のタイトル番号と対応している。

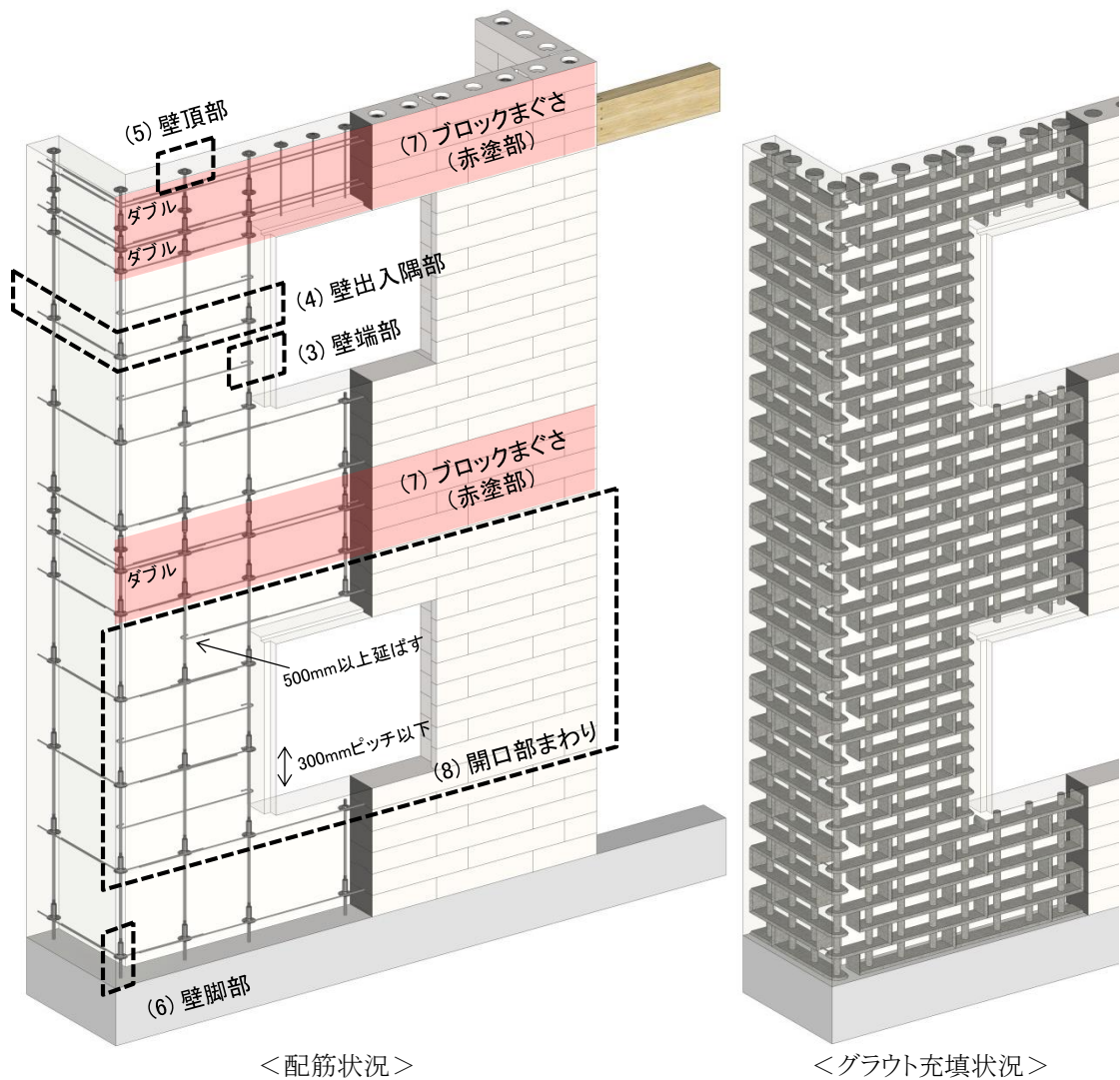


図 1.17 組積壁の全体構成図

## (2) 壁一般部

組積壁の仕様一覧を表 1.6 に、組積壁の構法概要を図 1.18 に、断面詳細図を図 1.19 に、施工手順を図 1.20 に示す。

組積壁はブロック底部および小口部の表面から 50mm の範囲（前述の図 1.16 (a)の A と B および図 1.20 の A と B）にシーリングを塗布して積み上げられる。ブロックを積みながら縦筋と横筋を配筋し、4 段～8 段程度毎にグラウトが打設される。グラウトはブロックの溝および縦穴全体に充填される。縦筋には M20（SNR490B<sup>1.54)</sup>、両端転造ネジ、胴細加工）の丸鋼を、横筋には D10（SD295A<sup>1.55)</sup> の異形鉄筋を使用する。縦筋は 1 つのブロックに最低 1 本の縦筋が貫通するように 750mm ピッチ以下に配筋し、継手は高ナット（SWCH10R または SWCH12R<sup>1.56)</sup>）による機械式継手、定着にはφ90mm の座金（SS400<sup>1.57)</sup>、PL-3.2）を用いる。ALC の圧縮強度が小さいため、プレストレスは導入しない。横筋は 600mm ピッチ（4 段）以下に配筋し、継手は継手長さ 500mm（ $\geq 40d$ 、 $d$  は横筋の呼び径を表す）の重ね継手、定着は 180° フックとして縦筋に接合する。グラウトには、プレミックスタイプの無収縮グラウト材（日鉄住金高炉セメント製、商品名：エッセイバーH<sup>1.58)</sup>、以下 NMH）を用いる。

このほか実験時には、ALC50 および ALC42 に対して、表 1.6 に示すような材料を使用する。ALC50 では、縦筋に M16 および M22（SGD3<sup>1.59)</sup>、両端切削ネジ）を用い、グラウトにはプレミックスタイプのセルフレベルング材（宇部興産製、商品名：床レベラーG<sup>1.60)</sup>、以下 SLG）を使用する。横筋ピッチは 750mm 以下とする。ALC42 の縦筋、横筋およびグラウトには、ALC37 と同じ材料を使用する。

表 1.6 組積壁の仕様一覧

ブロック材料	縦筋				横筋			グラウト
	径	材料	ピッチ(mm)	ネジ加工	径	材料	ピッチ(mm)	
ALC50	M16, M22	SGD3	750以下	切削ネジ	D10	SD295A	750以下	セルフレベルング材(SLG)
ALC37	M20	SNR490B		転造ネジ			600以下	
ALC42				無収縮グラウト材(NMH)				

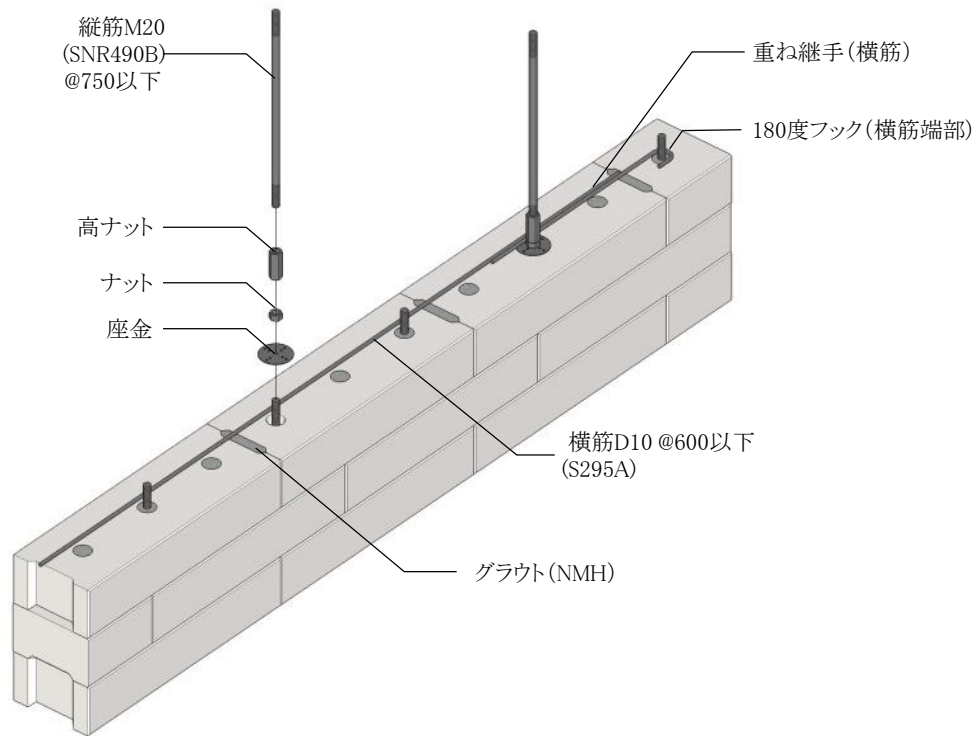


図 1.18 組積壁の構法概要

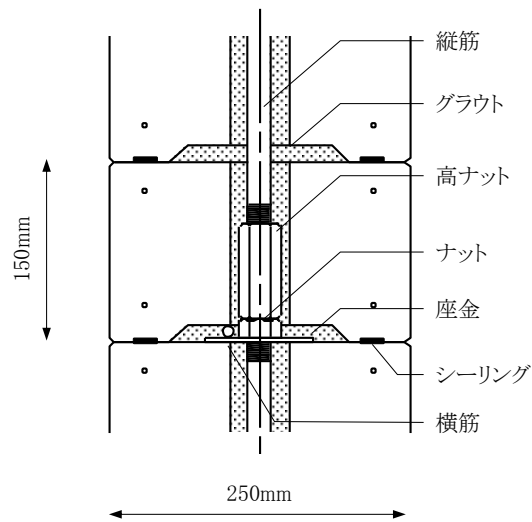
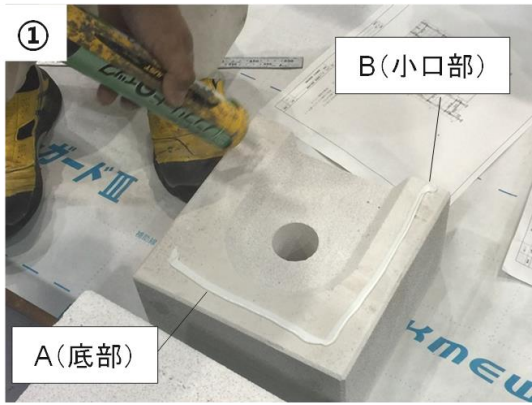
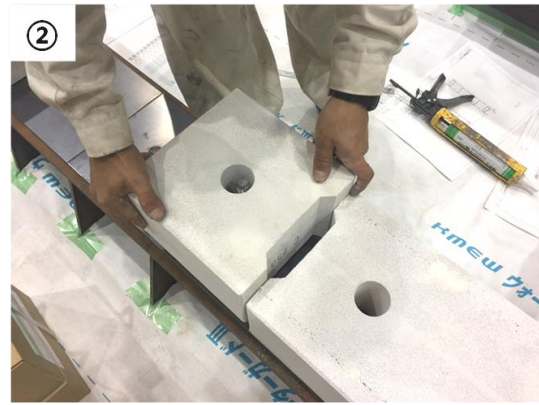


図 1.19 組積壁の断面詳細図



<シーリング塗付>



<ブロック積み>



<縦筋および横筋の配筋>



<グラウト打設>

図 1.20 組積壁の施工方法

(3) 壁端部

壁端部詳細図を図 1.21 に示す。壁端部には 180° フックの J 型の横筋を重ね継手により配筋する。J 型の横筋の折曲内法寸法は 4d、余長は 5d とする。

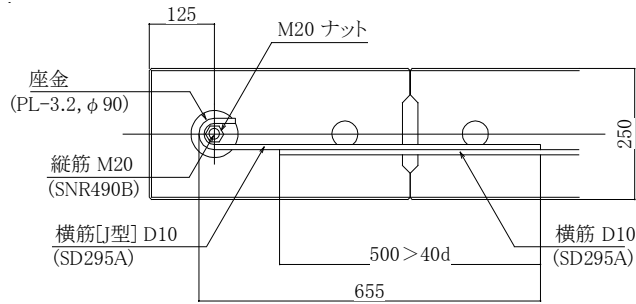


図 1.21 壁端部詳細図

(4) 壁出入隅部

壁出入隅部詳細図を図 1.22 に示す。壁の出入り隅部には L 型の横筋を重ね継手により筋配する。L 型の横筋の折曲内法寸法は 4d とする。

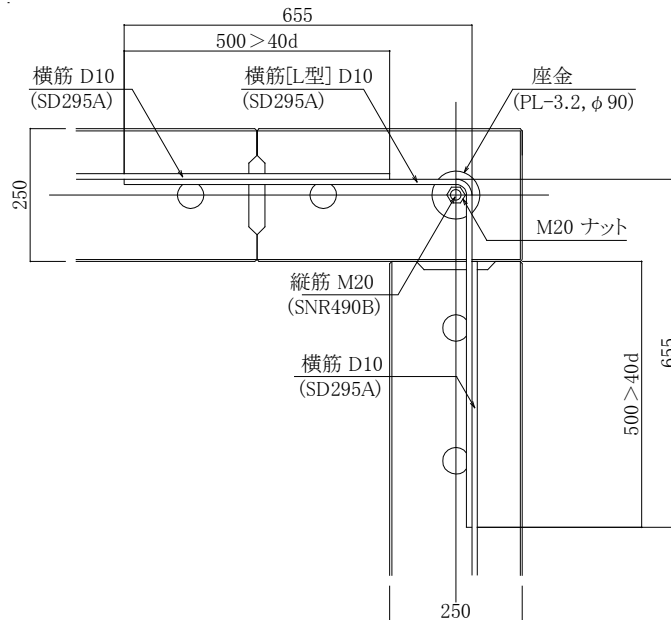


図 1.22 壁出入隅部詳細図



(5) 壁頂部

壁頂部詳細図を図 1.23 に示す。陸屋根部分の壁頂部（パラペット部分）では、頂部の座彫りされたブロックにを入れてボルトで固定し、グラウトで埋め込むことで定着する。小屋組み部分の壁頂部は、1.4.4 項にて後述する。

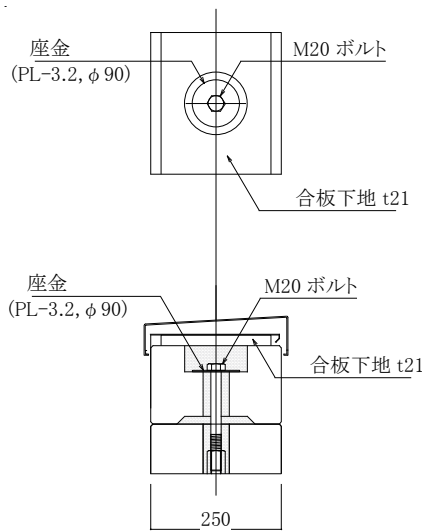


図 1.23 壁頂部詳細図

(6) 壁脚部

壁脚部詳細図を図 1.24 に示す。基礎から立ち上げたアンカーボルト D22 には M20 のねじ切り加工が施されており、高ナットにより縦筋と接合する。

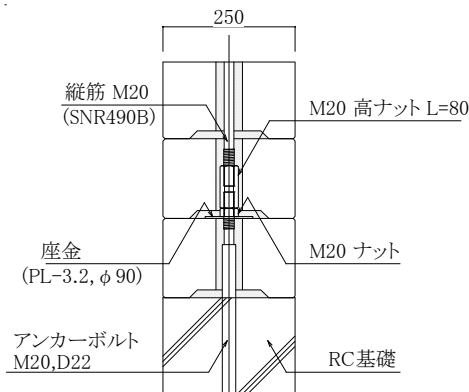


図 1.24 壁脚部詳細図

## (7) ブロックまぐさ

ブロックまぐさの断面図を図 1.25 に示す。2 階床レベルと最上部のブロック 4 段分をブロックまぐさと呼び、特殊な配筋を行う。2 階床レベルでは 1 か所、最上部では 2 か所でダブル配筋の横筋を配筋し、耐風梁として面外方向に抵抗する役割を持たせる。また、開口上部の組積壁がブロックまぐさのみの 4 段となる場合は、縦筋を除いた 250mm ピッチにまぐさ補強筋 (M12、SNR490B<sup>L.54</sup>) を配筋する。

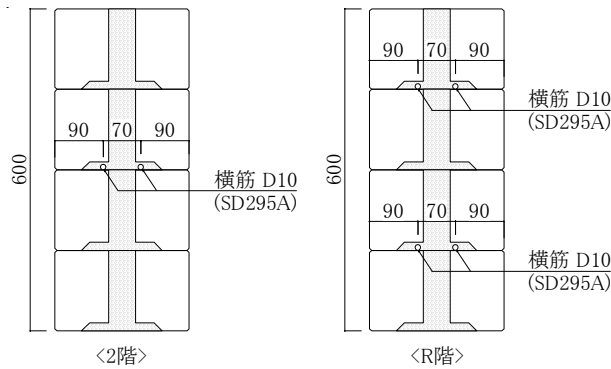


図 1.25 ブロックまぐさ断面図

## (8) 開口部周辺の壁

窓台部とまぐさ部の詳細図を図 1.26 と図 1.27 に示す。窓台部とまぐさ部には専用のブロックを使用する。開口両側端部の縦穴には必ず縦筋が配筋され、開口脇の壁長さが 1250mm 以下の壁では横筋を 300mm ピッチ以内に配筋する。開口上下の横筋は開口端部から 500mm 以上延ばして縦筋に定着させる。

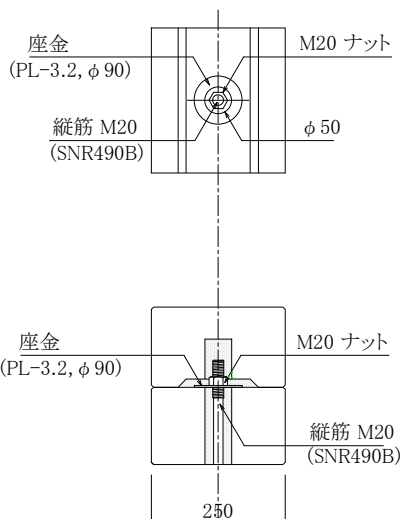


図 1.26 窓台部 (開口下部) 詳細図

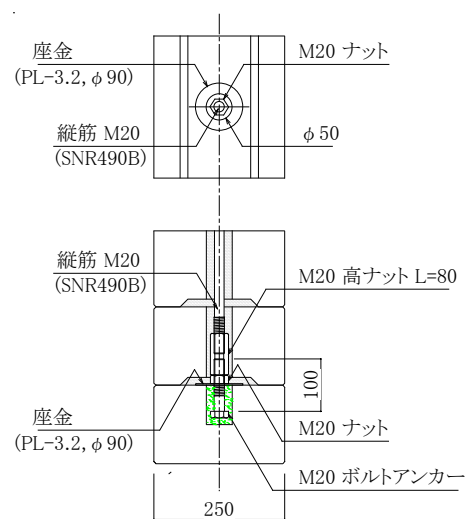


図 1.27 まぐさ部 (開口上部) 詳細図

#### 1.4.4 梁・床・屋根

##### (1) 全体概要

梁、床および屋根の全体概要を図 1.28 に示す。本構法では、梁、床および屋根は木造とする。各部位と組積壁は金物やボルトで接合されることにより、各部位に作用する力が組積壁に伝達される。本項では、梁、床および屋根の各部位の納まりと役割について述べる。図 1.28 の括弧内の番号は本項のタイトル番号と対応している。

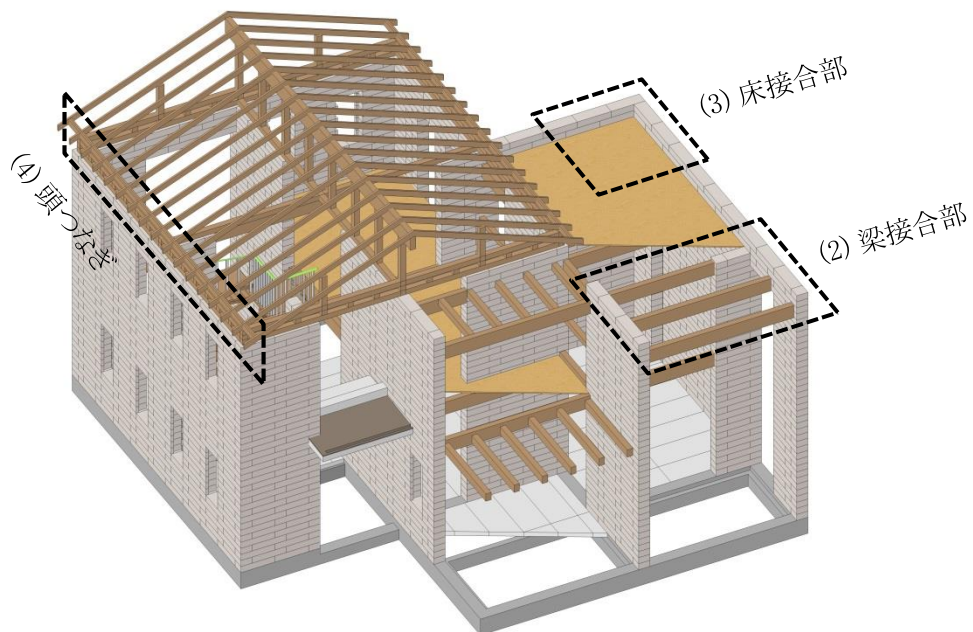


図 1.28 梁・床・屋根の全体概要

## (2) 梁接合部

梁－壁接合部の納まり概要を図 1.29 に、梁－壁接合部の詳細図を図 1.30 に、梁受け金物の写真および図面を図 1.31 に示す。

木梁には、オウシュウアカマツ集成材 (E105-F300<sup>1.61)</sup>) を用いる。木梁には鉛直力と軸力を伝達する大梁と鉛直力のみを伝達する小梁の 2 種類があり、木梁と壁は、梁受け金物 (PL-6、SS400<sup>1.62)</sup>) により接合される。梁受け金物には鉛直力を支持するためのリブが図 1.31(e) に示すように設けられており、ブロックへの局所的な支圧が生じない機構となっている。梁受け金物は縦筋に定着され、ナットで仮締めされた後にグラウトに埋められて壁に固定される。木梁と梁受け金物は、木造で一般的に用いられる金物構法と同様にドリフトピンにより接合され、木梁には予めスリットとドリフトピン用の穴が設けられている。

梁受け金物には大梁の出隅用、大梁の一般用および小梁用が存在し、図 1.31(a) から (c) に示すように壁に埋め込まれる部分の鋼板の形状が異なる。大梁の一般用の鋼板端部には、図 1.31(d) に示すように M10 の雌ネジ加工がされており、雄ネジ加工された横筋 (i タイプ) が接合される。大梁の出隅用では軸方向に横筋がないため、図 1.31(b) に示すように 6mm の立上げを設けてグラウトに支圧で抵抗する。

大梁が設置される段の横筋はダブル配筋とし、梁の軸力を壁に伝達する役割とブロックまぐさの面外方向の曲げ補強筋としての役割を持っている。

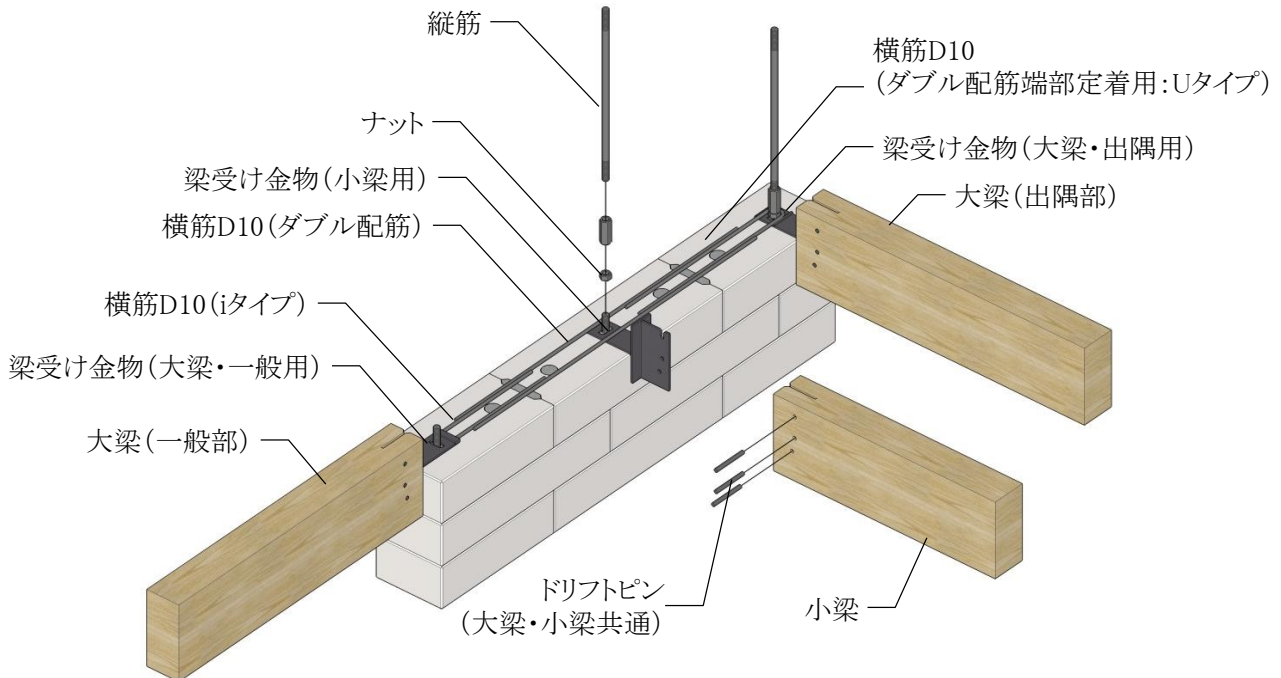
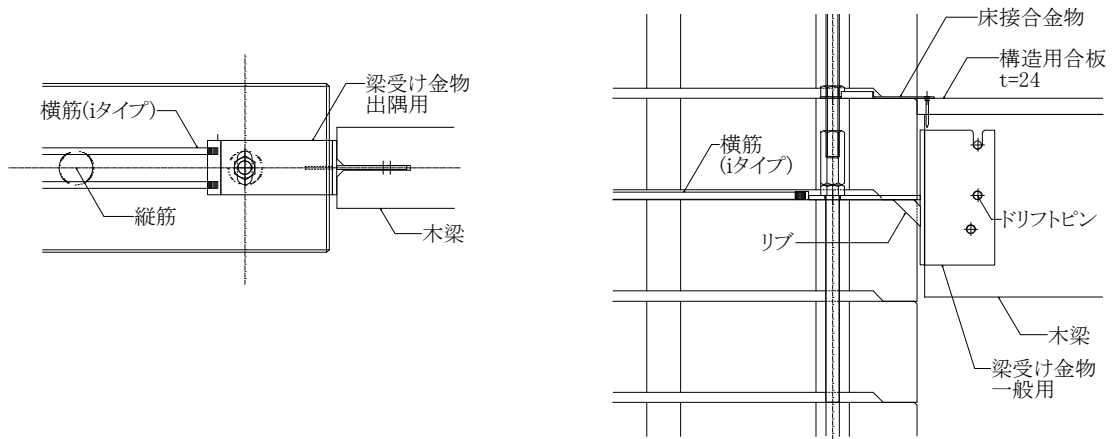
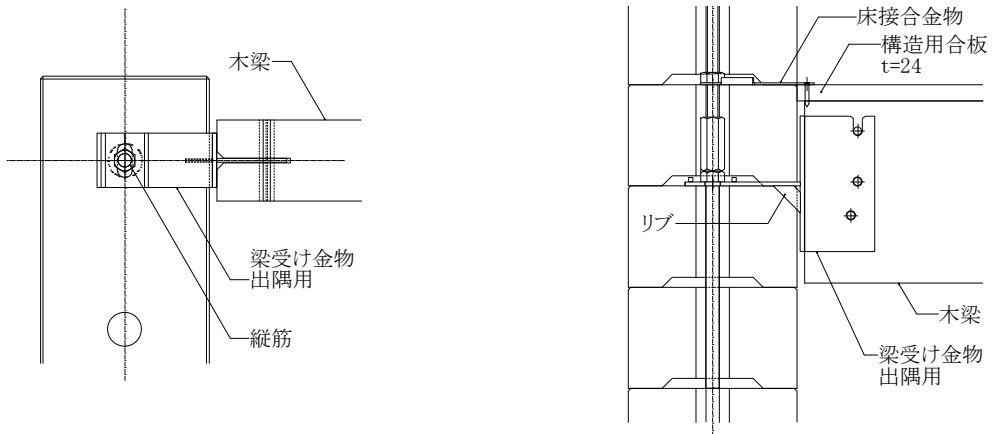


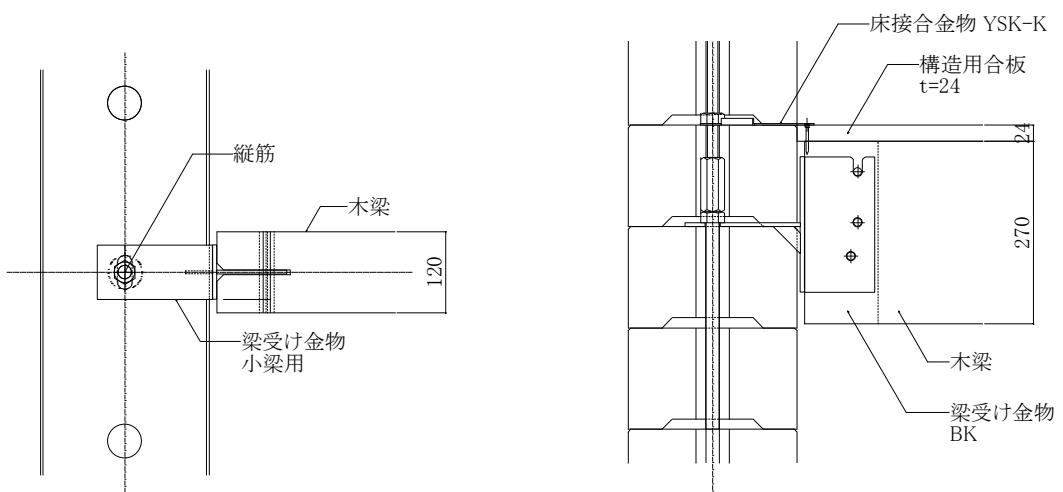
図 1.29 梁－壁接合部の納まり概要



(a) 大梁一般部



(b) 大梁出隅部

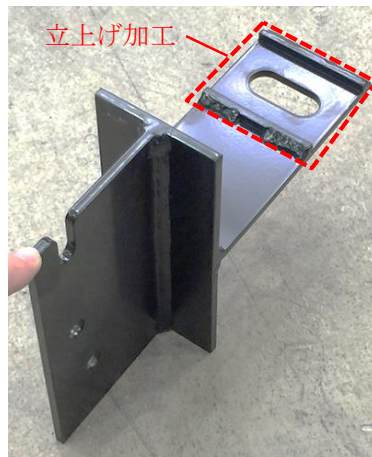


(c) 小梁部

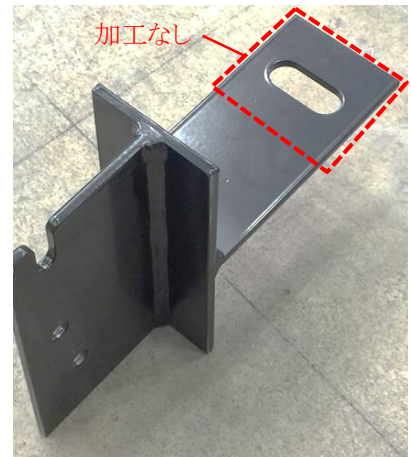
図 1.30 梁-壁接合部詳細図



(a)大梁一般用



(b) 大梁出隅用



(c) 小梁用

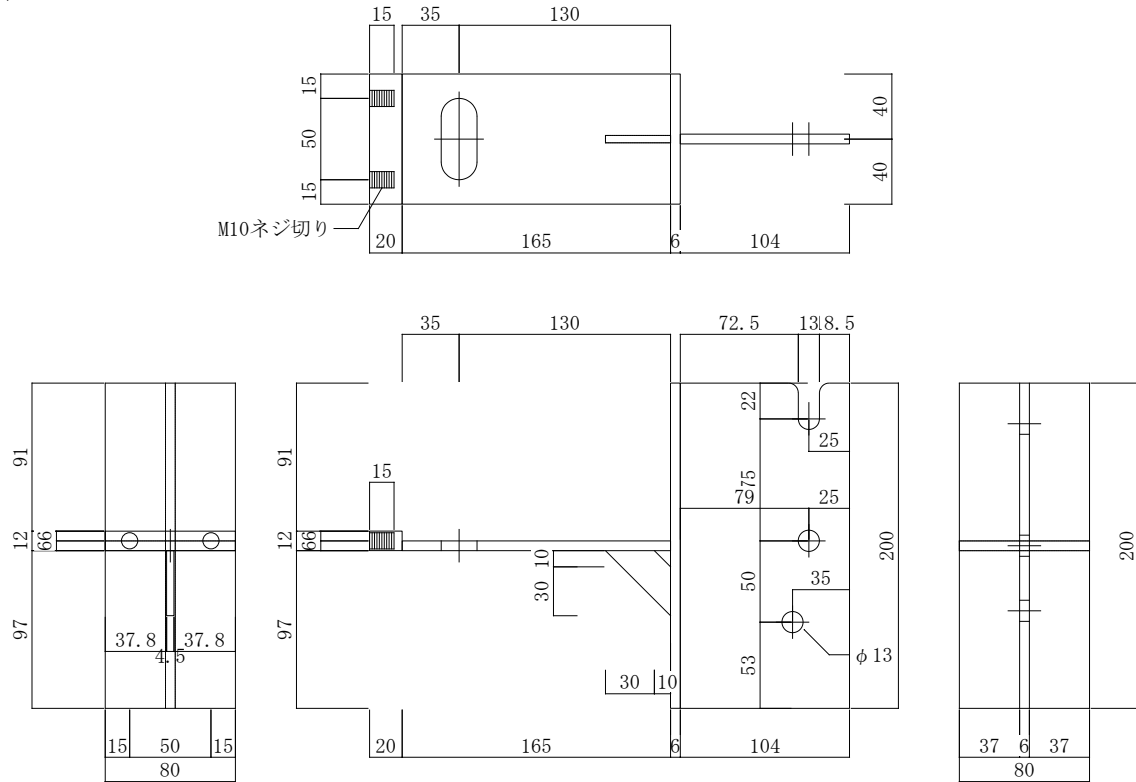


(d) 雌ネジ加工部分拡大

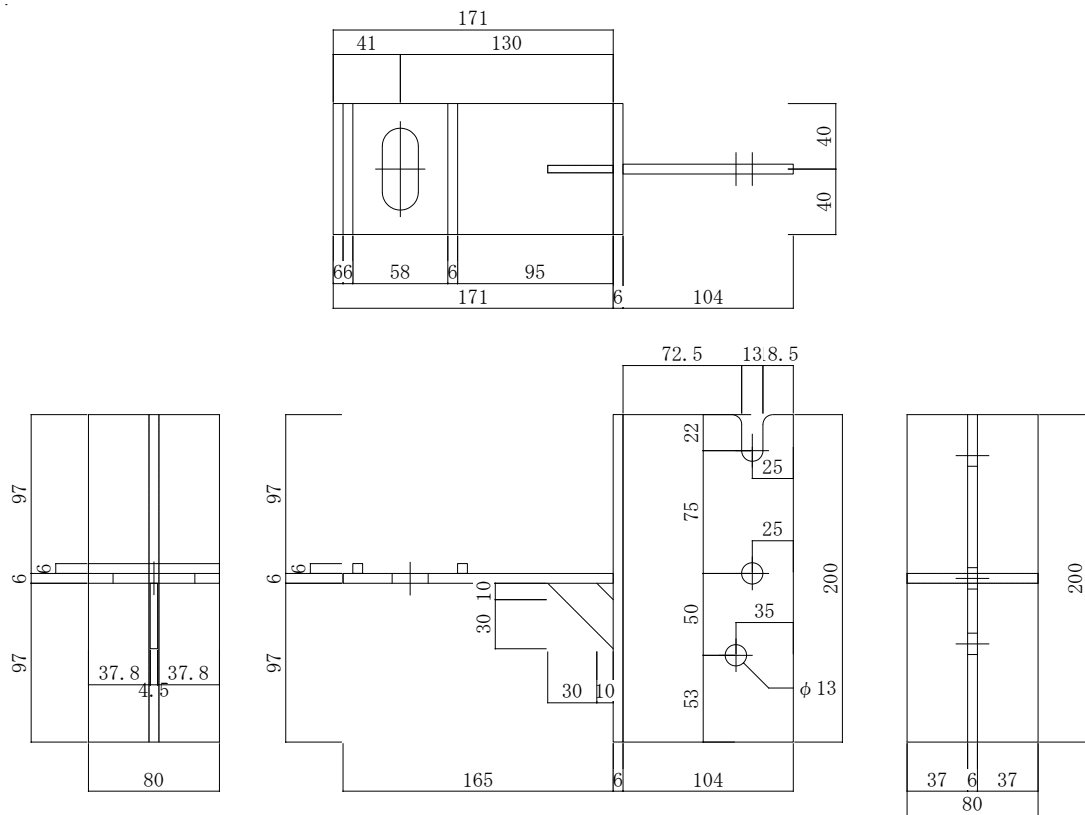


(e) リブ加工

図 1.31-1 梁受け金物



(f) 大梁一般用



(g) 大梁出隅用

図 1.31-2 梁受け金物

### (3) 床接合部

床－壁接合部の納まり概要を図 1.32 に、梁接合金物と接合部詳細図を図 1.33 に示す。

床には、厚さ 24mm の構造用合板が用いられ、床と壁は床接合金物（PL-2.3、SS400）により接合される。床接合金物は 750mm ピッチ以内に配置され、壁側の縦筋に定着した後にグラウトで埋められる。壁側の鋼板は L 字に折曲げられており、この立ち上がり部分の支圧によって床面内方向の軸力およびせん断力の伝達が行われる。

床と金物は、構造ビスにより接合される。図 1.33(b)に示すように金物はビスの形状に合わせて座掘り加工されており、金物と床はビスの張力により圧接される。

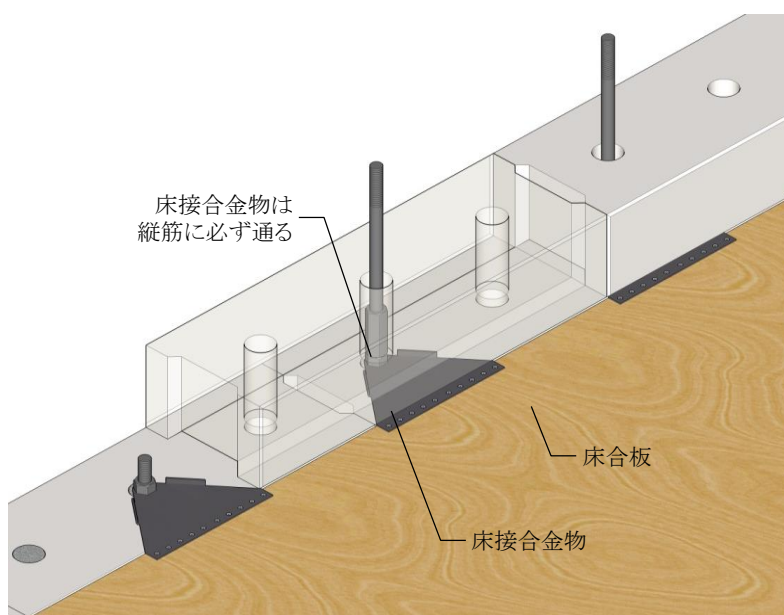
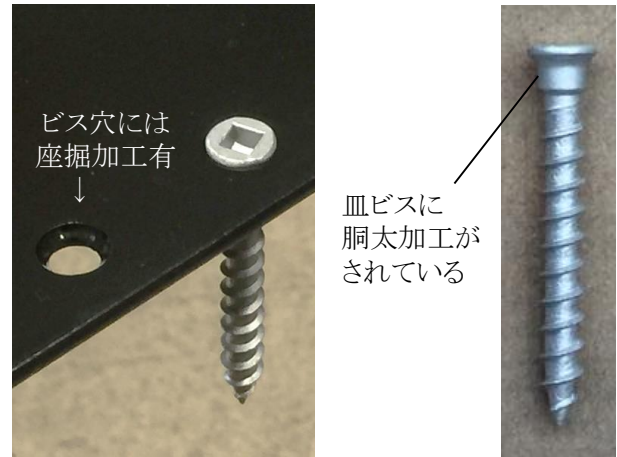


図 1.32 床－壁接合部の納まり概要

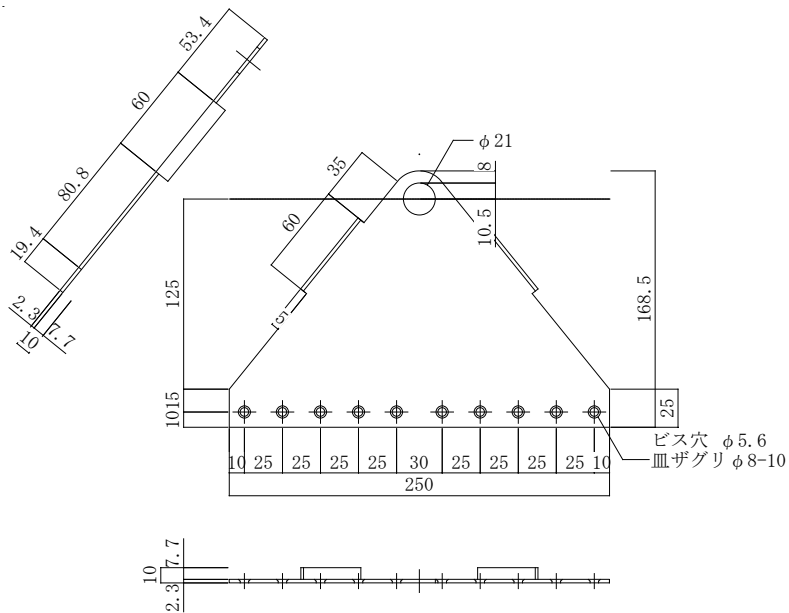




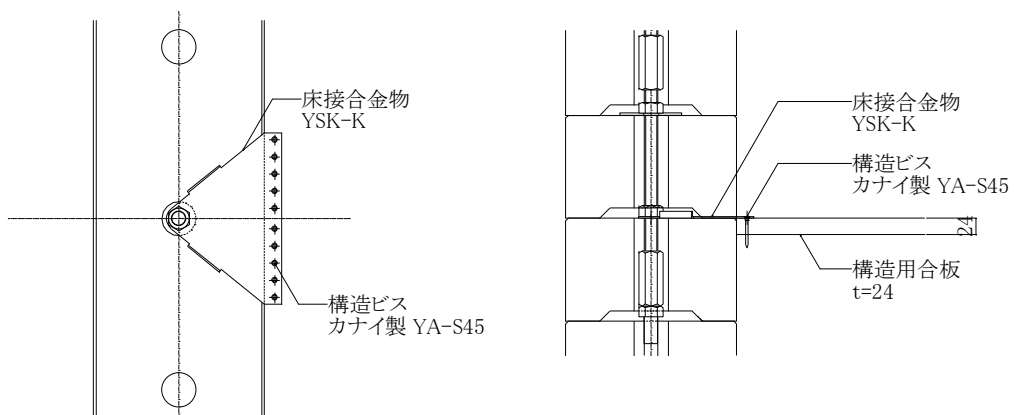
(a) 床接合金物



(b) ビス形状とビス穴



(c) 床接合金物



(c) 床接合部の詳細図

図 1.33 梁接合金物と接合部詳細図

#### (4) 頭つなぎ

頭つなぎ接合部の概要図と詳細図を図 1.34 に示す。

小屋組みが乗る壁頂部には頭つなぎが設置され、木造による小屋組み部分の土台となる。頭つなぎには、 $\square 120 \times 120 \text{mm}$  のオウシュウアカマツ集成材を用いる。頭つなぎの縦筋が通る箇所には  $\phi 30 \text{mm}$  の貫通穴が空いており、グラウトを充填させた後に座金およびナットで固定される。

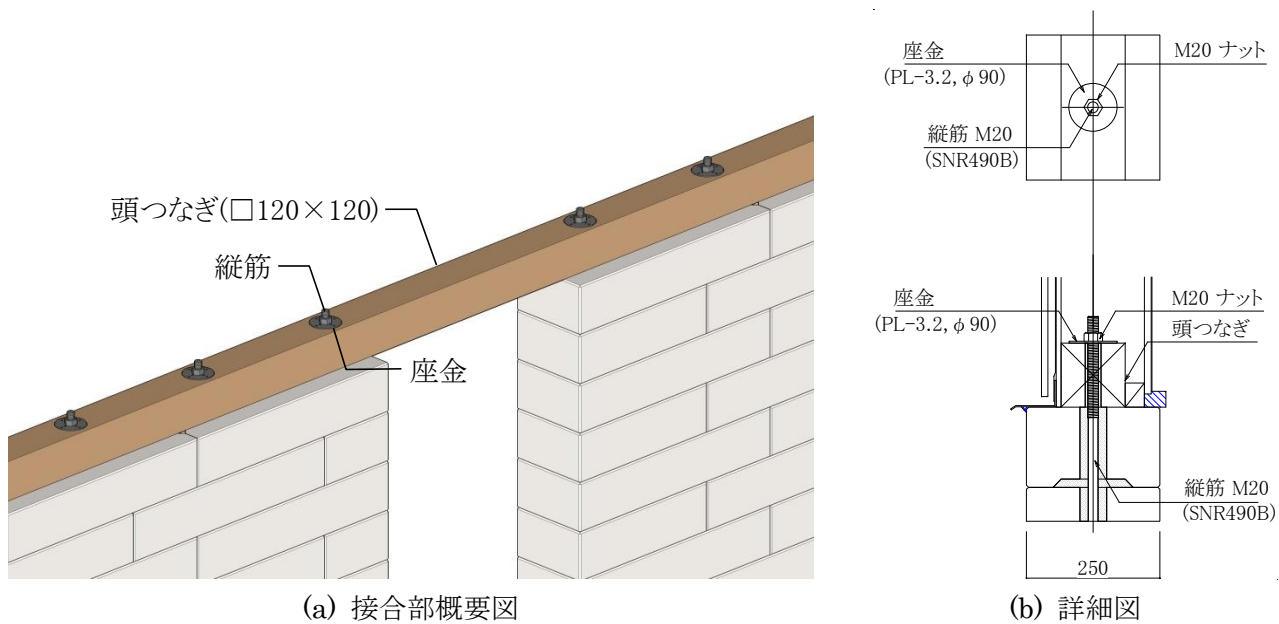


図 1.34 頭つなぎ接合部

## 1.5 構造計算方法と本研究の目的

本節では、本構法の建築基準法上での位置づけや構造計算方法を確認し、本研究で扱う範囲と本研究の目的を述べる。本節では、本研究とは別に行った実験や解析の結果も踏まえ、本構法の建物全体の構造計算方法の最終的な内容について述べる。

初めに 1.5.1 項では、前節で述べた本構法の建築基準法上の位置づけと構造計算ルートを確認する。

次に 1.5.2 項では、告示で定められる組積体の設計基準強度の定め方と許容応力度の求め方を確認する。

続いて 1.5.3 項では、本構法の構造計算上の基本的な考え方と力の流れを確認し、本構法による建物全体の構造計算方法の概要を確認する。

最後に 1.5.4 項では、構造計算全体のうち本研究で扱う範囲と課題を確認し、本研究の目的を述べる。

### 1.5.1 建築基準法における位置づけと構造計算ルート

本構法による建物の構造種別は、壁部分が組積造、床および小屋組み部分は木造の混構造となる。組積造の部分については、建築基準法施行令（以下、令）の第4節（令第51条～令第62条）の仕様規定に従うことになるが、令第51条第1項のただし書きによれば平成12年建設省告示（以下、平12建告）第1353号に定める構造計算によって安全性を確かめられた場合、第4節の適用を除外することができる。平12建告第1353号には、RCで補強された組積造建物の部分等の構造計算の基準は、令第82条各号および令第82条の4に定めることによる構造計算、いわゆる許容応力度計算を行うこととするとある。このほか、1階床にALCを用いた場合は平成19年国土交通省告示（以下、平19国交告第）第593号第六号に該当するため、法第20条第二号に該当し、ルート2以上の計算が求められる。ルート2以上の構造計算では、許容応力度計算のほかに偏心率が0.15以下、剛性率が0.6以上、許容応力度計算時の層間変形角の最大値が $1/200\text{rad}$ 以下となることの確認が必要となる<sup>1.27), 1.63)</sup>。ルート1、ルート2のいずれにしても許容応力度計算が中心となるため、本研究では主に許容応力度計算の範囲、すなわち弾性範囲における構造特性を扱うこととする。

以上の本構法の構造計算ルートと仕様規定の関係をまとめたものを図1.35に示す。

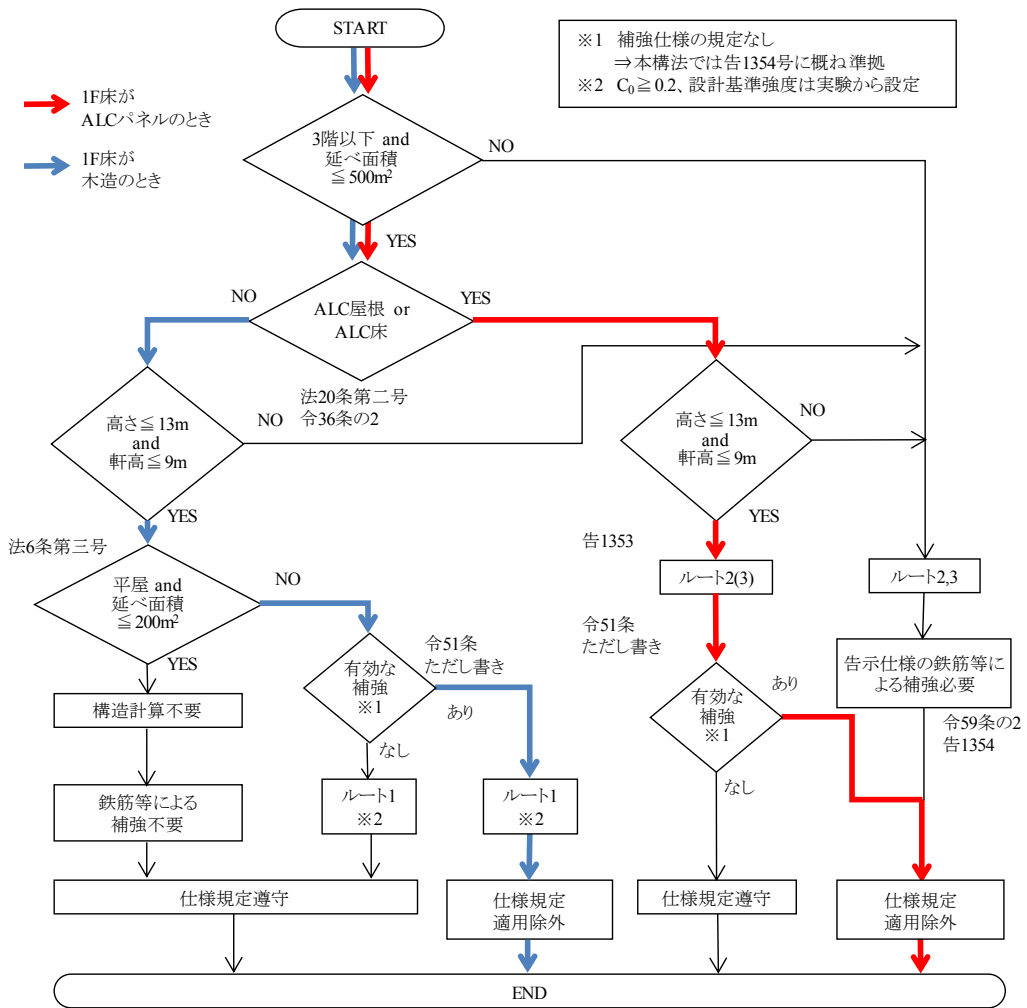


図 1.35 本構法の構造計算ルートと仕様規定の関係



### 1.5.3 建物全体における力の流れと構造計算方法

#### 1.5.3.1 構造計算上の基本的な考え方

本項では、本構法の構造計算上の基本的な考え方と力の流れを確認し、本構法による建物全体の構造計算方法の概要を述べる。はじめに、本構法における構造計算上の基本的な考え方を以下に述べる。

- 1) 鉛直力、水平力に対して耐力壁にて抵抗する壁式構造とする。耐力壁は平面上つり合い良く配置し、上階の耐力壁は下階の耐力壁の上に配置する。
- 2) 耐力壁は基礎からの片持ち形式で水平力に対して抵抗する。基礎は RC 造のため耐力壁と比較して十分高い剛性・耐力が有るものとする。
- 3) 水平力作用時において、耐力壁の面内剛性と比較して木造の床、屋根の面内剛性が相対的に低くなるため、剛床仮定が成立しない柔床構造となる。したがって本構法では、床を介して行われる耐力壁線同士の力のやり取りは考えず、各耐力壁線で負担する重量はそれぞれの耐力壁線内の耐力壁で抵抗するものとする。
- 4) 床の接合部剛性が壁の面内剛性に比べて十分高いため、床、屋根に発生する慣性力は最も近い耐力壁または横架材に均一に伝達されると考える
- 5) ひとつの耐力壁線内の耐力壁は横架材（大梁、頭つなぎ、ブロックまぐさ）により壁面内方向にそれぞれ接合される。各層の同一耐力壁線内のせん断力は、横架材によりそれぞれの耐力壁に分配される。各耐力壁が負担するせん断力は、耐力壁の剛性、横架材の軸剛性および接合部のバネ剛性を考慮したフレーム解析により算出する。
- 6) 安全側の評価として、耐力壁の L 型や T 型配置による効果は考慮しない。
- 7) 1 次設計時の地震力に対して、各部位に作用する設計用応力度等を算出し、実験結果および許容応力度等と比較することで安全性の確認を行う。水平力作用時の耐力壁の安全性の確認では、組積壁の短期許容せん断応力度よりも安全側となるように、層間変形角が  $1/1500\text{rad}$  以下となることを確認する。 $1/1500\text{rad}$  に設計クライテリアを設定した経緯については、4.4 節で詳細を述べる。

### 1.5.3.2 長期荷重時における完全性の確認

長期荷重時における建物全体の力の流れのアイソメ図とフロー図を図 1.36 に、梁端部における鉛直方向の力の流れを図 1.37 に示す。

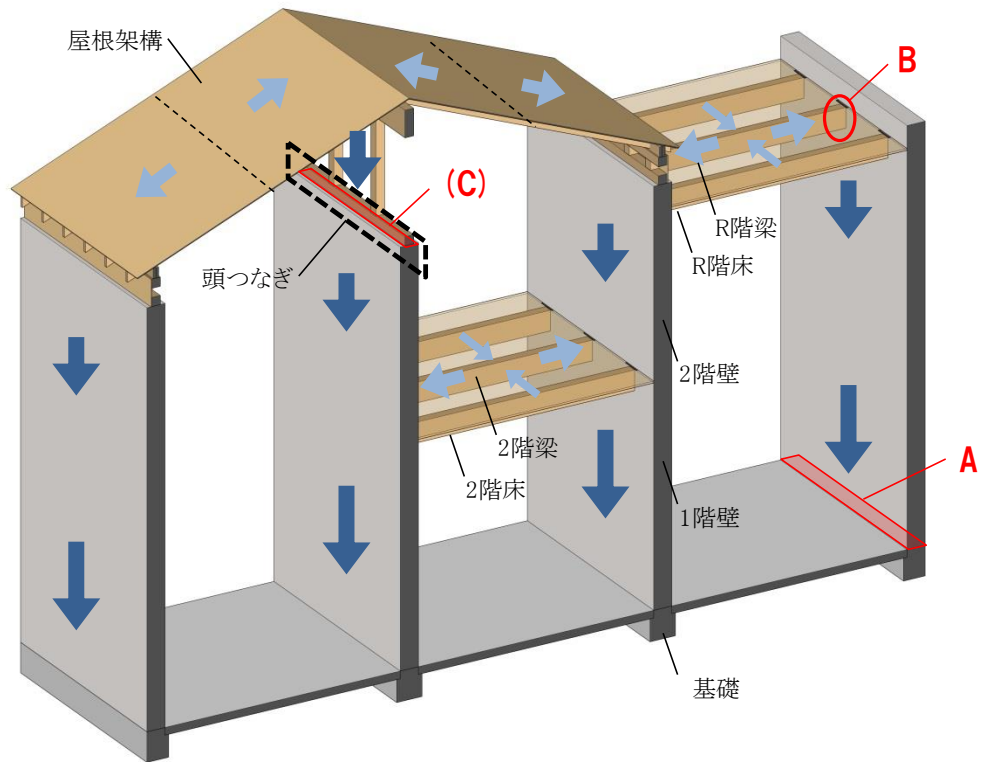
長期荷重時における各部位における力の流れを以下に示す。

- 1) 勾配屋根の鉛直荷重は屋根架構から組積壁頂部の頭つなぎに伝達され、その後組積壁に伝達される。
- 2) R 階の陸屋根の鉛直荷重は、R 階床から R 階梁に伝達され、図 1.37 に示すように梁端部の梁受け金物を介して組積壁に伝達される。
- 3) 2 階床の鉛直荷重は、R 階と同様に梁、梁受け金物の順に組積壁に伝達される。
- 4) 1 階床の鉛直荷重は、直接基礎に伝達される。

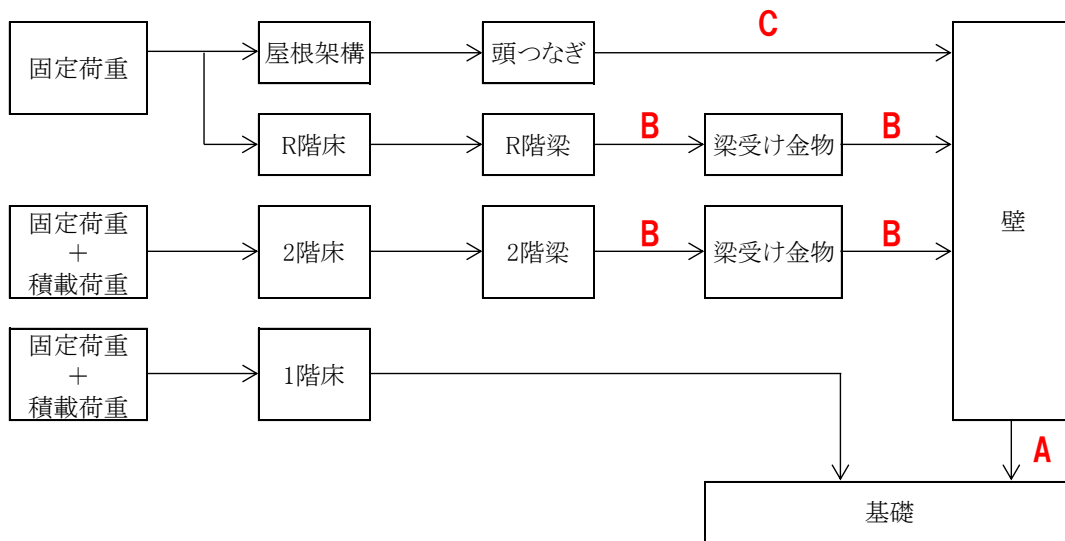
以上より、鉛直荷重時には図 1.36 の A から C に示す部位について下記の設計用応力度等を求め、安全性を確認する。

- A) 耐力壁底部における組積体の圧縮応力度
- B) 梁端部の鉛直力
- C) 頭つなぎ部における組積体の圧縮応力度





(a) アイソメ図



(b) フロー図

図 1.36 建物全体の力の流れ図 (長期荷重時)

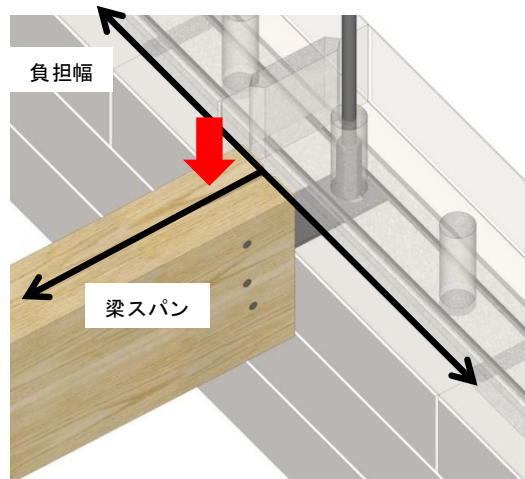


図 1.37 梁端部における鉛直方向の力の流れ

### 1.5.3.3 地震時における壁面内方向の安全性の確認

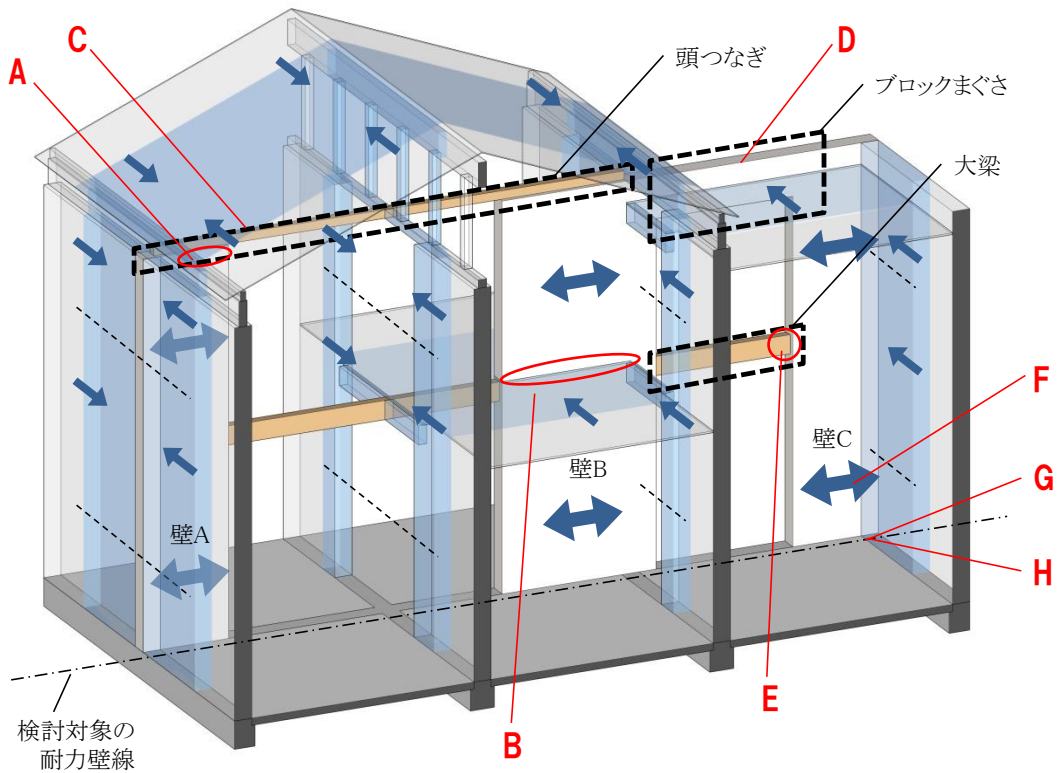
地震時における壁面内方向における建物全体の力の流れのアイソメ図とフロー図を図 1.38 に示す。面外方向に関しては後述の風圧時の力の流れで示す。

地震時における壁面内方向の各部位における力の流れを以下に示す。

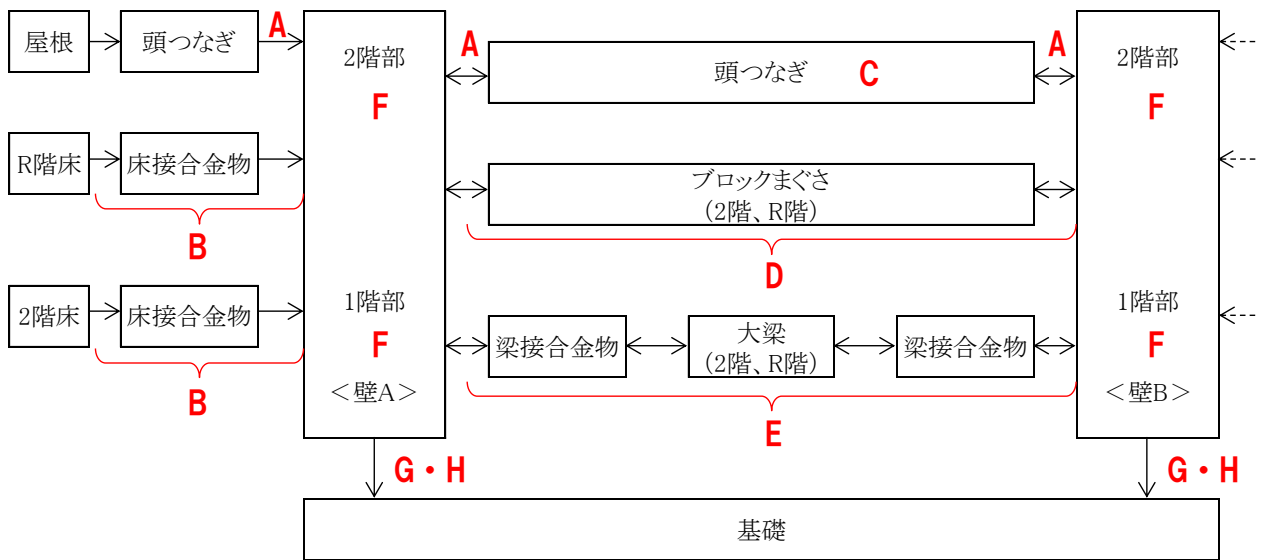
- 1) 屋根に作用する慣性力は最も近い耐力壁線に分配され、壁頂部の頭つなぎを介して 2 階の耐力壁頂部に伝達される。
- 2) R 階陸屋根部の床と 2 階床に作用する慣性力は屋根と同様に最も近い耐力壁線に分配され、床接合金物を介して各階の耐力壁頂部に伝達される。
- 3) 各耐力壁に伝達されたせん断力は、各階耐力壁の頂部に接合される大梁などの横架材により、各耐力壁の剛性に応じて負担するせん断力が分配される。

以上より、地震時の面内方向では図 1.38 の A から H に示す部位について下記の設計用応力度等を求め、安全性を確認する。

- A) 頭つなぎ接合部のせん断力
- B) 床接合金物のせん断力
- C) 頭つなぎに作用する軸力
- D) ブロックまぐさの軸力
- E) 大梁の軸力
- F) 耐力壁の層間変形角
- G) 引張鉄筋の応力度
- H) 圧縮側組積壁の圧縮応力度



(a) アイソメ図



(b) フロー図

図 1.38 建物全体の力の流れ図 (地震時の壁面内方向)

#### 1.5.3.4 風圧時における壁面外方向の安全性の確認

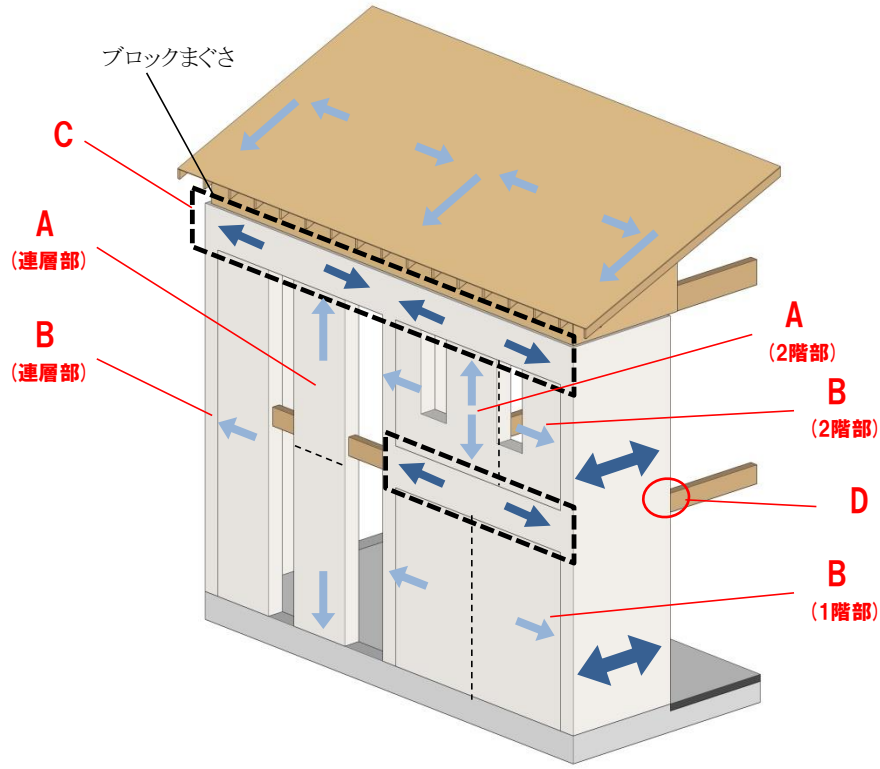
風圧時の壁面外方向における建物全体の力の流れのアイソメ図とフロー図を図 1.39 に示す。面内方向に関しては地震時と同様のため省略する。

風圧時における壁受圧面に作用する風圧力の力の流れは、次のいずれかとなる。

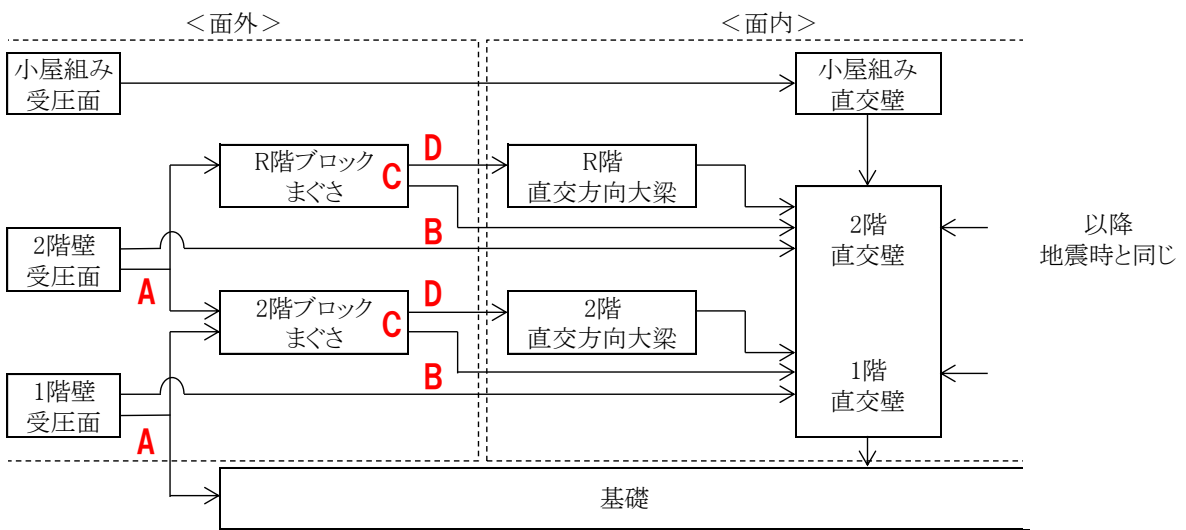
- 1) 壁受圧面に作用する風圧力は、各階の壁受圧面から上下方向のブロックまぐさまたは基礎に伝達される。ブロックまぐさからは各階の直交方向の大梁から各階の直交方向の耐力壁に伝達されるか、直接直交方向の耐力壁に伝達される。
- 2) 壁受圧面に作用する風圧力は、各階の受圧面から直接各階の直交方向の耐力壁に伝達される。

以上より、風圧時の面外方向では図 1.39 の A から D に示す部位について下記の設計用応力度等を求め、安全性を確認する。

- A) 壁受圧面の鉛直方向における面外方向に作用する曲げモーメント
- B) 壁受圧面の水平方向における面外方向に作用する曲げモーメント
- C) ブロックまぐさの水平方向における面外方向に作用する曲げモーメント
- D) 梁－壁接合部の軸力



(a) アイソメ図



(b) フロー図

図 1.39 建物全体の力の流れ図 (風圧時の壁面外方向)

#### 1.5.4 本研究の目的

これまでに述べたように、本構法は内部鉄筋を有する ALC ブロックを用いた組積造による壁式構造であり、2 階建てまでの住宅を想定した構法である。本構法による建物は組積造という構造の特性上、過去の様々な地震被害からも水平力に対する安全性を確保することが特に重要となる。水平力の安全性の確認には、壁面内方向と壁面外方向の検討が必要となるが、前項で述べたように壁面外方向に作用する力も最終的には壁面内方向のせん断力により抵抗することとなる。そのため、まずは壁面内方向のせん断力に対する評価を行う必要がある。

本構法では構造計算ルート 1 の許容応力度計算を行うため、1 次設計時における地震力に対して組積壁に生じる設計用応力度が許容せん断応力度を超えないことを確認することになる。そのためには、告示で定められる許容応力度を本構法に適用する妥当性を確認する必要があり、許容応力度が危険側の評価となる場合には独自の設計クライテリアを設定する必要がある。また、ひとつの耐力壁線内におけるそれぞれの耐力壁に作用するせん断力を求めるためには、耐力壁の弾性範囲におけるせん断剛性の評価が必要となる。具体的には、以下のような内容を順に確認する必要がある。

##### (1) 材料特性

本構法で使用する材料の材料特性を把握する必要がある。本構法では、一般的に使用される ALC パネルで用いられる ALC50 よりも比重の小さい ALC37 をブロックの材料に用いるため、特に ALC37 の基本的な材料特性を確認する必要がある。

##### (2) 組積体の構造特性

組積壁を構成する基本的な要素として、ブロックを複数段積んだ小規模の組積構造体（以下、組積体）の圧縮、せん断および引張特性を確認する必要がある。組積体の設計基準強度は実験より求められた組積体の圧縮強度により定められるため、組積体の構造特性は本構法への短期許容せん断応力度の妥当性を確認するために重要な内容となる。また、本構法では内部鉄筋を有する ALC ブロックを用いて組積壁を構成するため、内部鉄筋を有しない ALC ブロックとの比較を行って内部鉄筋の効果についても確認する必要がある。

##### (3) 組積壁の面内せん断性状の把握と弾性範囲における面内せん断剛性の評価

耐力壁に作用するせん断力を求めるには耐力壁の面内せん断剛性が必要となるため、無開口組積壁の基本的な面内せん断性状を確認するほか、壁幅や開口形状などが組積壁の面内せん断性状に与える影響についても確認する必要がある。また、本構法では 2 階建てまでの建物を想定しているため、耐力壁が

連層した時の影響についても確認する必要がある。

開口部を有する耐力壁の剛性評価方法は、型枠 CB 造と RM 造では耐力壁の反曲点を仮定したラーメンフレームとしてモデル化して求められ<sup>1.51), 1.65), 1.66)</sup>、壁式 RC 造では等価開口周比（以下、開口周比）が 0.4 以下の場合には無開口耐力壁の剛性にせん断剛性低減率を乗じて求められる<sup>1.67)</sup>。本構法による耐力壁では比較的小さい開口部を想定しているため、壁式 RC 造と同様にせん断剛性低減率を用いる評価方法が妥当と考えられるが、壁式 RC 造のせん断剛性低減率はラーメンフレーム付の RC 耐震壁を対象に提案されたものであり<sup>1.68)~1.70)</sup>、本構法への適用の妥当性を確認する必要がある。また、開口周比が 0.4 より大きい場合の剛性評価方法についても確認する必要がある。

以上のような耐力壁の幅や高さ、開口部などのパラメータは、建物用途や平面、立面形状によって様々な値を取り得るため、本研究では 2 階建ての住宅規模の建物の中でも比率が高いと考えられる 30 坪から 40 坪程度の総 2 階の住宅に限定した範囲で検討を行うこととする。

#### (4) 組積壁の破壊性状および終局耐力の把握

本構法による建物では許容応力度計算を行うため、構造計算をする上で組積壁の破壊性状や終局耐力を把握することは必ずしも必要ではない。しかしながら、建物の安全性を高い精度で把握するためには組積壁の終局状態や終局耐力を把握することは重要であり、特に 1 次設計時における地震動に対する安全性を確認する上でも必要な情報となる。そのため、既往のメーソンリー構造部材の評価式を参考に、本構法による耐力壁の終局までを見据えた耐力と変形の評価を行い、その妥当性を確認する必要がある。また、ブロックの内部鉄筋が破壊性状に及ぼす影響も大きいと考えられることから、内部鉄筋の有無による組積壁の面内せん断性状の違いを確認することも必要となる。

以上のことから、本研究では、内部鉄筋を有する ALC ブロックを用いた組積造による 30 坪から 40 坪程度の総 2 階の住宅について、組積壁で使用する材料特性、組積体の構造特性、組積壁の面内せん断性状を確認し、ブロックの内部鉄筋がそれぞれに与える効果について確認する。また、設計基準強度から求めた許容せん断応力度の妥当性を評価し、1 次設計時の設計クライテリアを設定する。さらに、組積壁の弾性範囲における面内せん断剛性を評価するため、壁幅や開口形状、階数などのパラメータが面内せん断剛性に与える影響の把握し、それぞれの影響を考慮した設計用面内せん断剛性の評価方法を確立することを目的とする。



## 1.6 本論文の構成

本論文は以下の全 6 章から構成されている。前節で述べた本研究の目的に対し、各章で行う概要を以下に述べる。

第 1 章では、研究背景と既往の研究を整理し、本構法の概要と構造計算の考え方および研究目的を述べた。研究背景では、内部鉄筋を有する ALC ブロックを用いて縦筋および横筋で補強した打込み工法による組積造とすることで、耐久性、耐火性、断熱性、耐震性などに優れ、組積造特有の意匠性を持つ住宅構法となる可能性について述べた。また、本構法と構造計算方法の概要を述べ、本研究では内部鉄筋の効果と許容応力度の妥当性を確認し、30 坪から 40 坪程度の総 2 階の住宅における組積壁の面内方向の設計用せん断剛性の評価方法を確立することを目的とすることを述べた。

第 2 章では、本構法で使用する ALC、グラウト、鉄筋の材料特性と組積体の構造特性を確認する。初めに、ALC、グラウト、鉄筋の素材実験を行い、それぞれの材料特性を確認する。次に、本構法で使用する ALC37 を中心に比重と内部鉄筋の有無が異なる 3 種類の ALC を用いた組積体の圧縮試験、せん断試験と、ALC とグラウトの界面の引張試験と曲げ試験を行い、それぞれの強度特性と設計基準強度を確認する。また、組積体の圧縮およびせん断特性において内部鉄筋が与える効果についても確認する。

第 3 章では、無開口組積壁の面内せん断性状実験を行い、無開口壁の面内せん断性状の確認と計算による耐力および剛性の評価を行う。初めに、壁幅とブロック材料が異なる無開口壁の面内せん断実験を行い、それぞれの面内せん断性状と内部鉄筋が耐力や変形能力へ与える効果について確認する。次に、補強ブロック造などで用いられている耐力および剛性の計算式を応用し、終局耐力までの耐力評価とせん断ひび割れまでの変形の評価を行う。

第 4 章では、有開口組積壁の面内せん断実験により面内せん断性状の確認を行い、これまでの実験結果を踏まえて本構法の設計クライテリアを設定する。初めに、開口形状の異なる有開口壁の面内せん断実験を行い、それぞれの破壊性状や開口部の影響を確認する。次に、設計基準強度より求めた短期許容せん断耐力と実験結果を比較し、設計基準強度より求めた許容せん断応力度の妥当性について確認する。その後、これまでの実験で得られた損傷の程度や最大耐力までの余裕度を考量して、本構法の 1 次設計時の設計クライテリアを新たに設定する。

第 5 章では、壁長さ、階数、開口形状の異なる FEM 解析を行い、設計用せん断剛性を提案する。はじめに、本研究で想定する建物と提案する評価式の適用範囲について述べる。次に、これまでの実験を模擬した FEM 解析を行い、解析モデルの妥当性を確認する。そして、壁長さ、開口形状、階数をパラメータとした FEM 解析等を行い、それぞれが剛性に及ぼす影響を確認し、本構法の設計用せん断剛性式を提案する。

第 6 章は本論文の結論で、以上の研究の成果を要約するとともに、今後の課題について述べる。

## 1.7 用語の定義

本論文で良く使用されている用語や略語について、本章で前述したものも含めて以下に示す。

ALC	オートクレーブ養生軽量気泡コンクリート (英文では Autoclaved Aerated Concrete または AAC)
ALC50	絶乾比重が 0.50 の ALC
ALC37	絶乾比重が 0.37 の ALC
ALC42	絶乾比重が 0.42 の ALC
内部鉄筋	ブロック内部に配置した鉄筋
グラウト	組積壁に打ち込まれる充填モルタル
NMH	プレミックスタイプの無収縮グラウト材 (日鉄住金高炉セメント製、商品名：エッセイバーH)
SLG	プレミックスタイプのセルフレベルング材 (宇部興産製、商品名：床レベラーG)
組積体	ブロックを複数段積んだ小規模の組積構造体
プリズム試験	組積体を用いた試験
RC 造、RC	鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート
WRC 造	壁式鉄筋コンクリート造
CB 造、CB	コンクリートブロック造、コンクリートブロック
補強 CB 造	補強コンクリートブロック造
型枠 CB 造	型枠コンクリートブロック造
RM 造	鉄筋コンクリート組積造
FEM 解析	有限要素法解析
メーソンリー規準集	壁式構造関係設計規準集・同解説 (メーソンリー編)
令	建築基準法施行令
平**建告第****号	平成**年建設省告示第****号
平**国交告第****号	平成**年国土交通省告示第****号

## 第1章 参考文献

- 1.1) 松村晃, 吉村浩二, 田中礼治, 菊池健児, 沢井布兆, 信沢宏由, 五十嵐泉: 兵庫県南部地震における壁式鉄筋コンクリート造建築物の被害調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.967-968, 1996.7
- 1.2) 松村晃, 渡辺光良, 信澤宏由, 五十嵐泉: 兵庫県南部地震による組積造建築物の被害について その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.1091-1094, 1998.7
- 1.3) 松村晃: 阪神・淡路大震災における壁式構造建築物の被害について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.1035-1036, 2000.7
- 1.4) 国土交通省: 建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律について, [http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakukentiku\\_house\\_tk4\\_000103.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakukentiku_house_tk4_000103.html), (2018.11.23参照)
- 1.5) 白山和久, 上村克郎: 気泡コンクリート, オーム社, 1964
- 1.6) 笠井芳夫: 軽量コンクリート, 技術書院, pp.188-226, 2002
- 1.7) 松井久仁雄: ALCの歴史と耐久性の考え方, Journal of Society of Inorganic Materials, Japan, Vol.23, pp384-390, 2016
- 1.8) 日本建築学会: 建築環境工学用教材 環境編, p.49, 2002.4
- 1.9) 日本建築学会: 建築材料用教材, p.115, 2004.2
- 1.10) 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構: 住宅の平成25年省エネルギー基準の解説, pp.432-437, 2015.11
- 1.11) 松村晃: 特殊コンクリート造とプレファブリケーション, 建築雑誌, pp.1029-1032, 1971.12
- 1.12) 日本工業規格: 軽量気泡コンクリートパネル (ALC パネル) JIS A 5416, 2007
- 1.13) ALC 協会: ALC 構造設計基準・同解説, 1967
- 1.14) 日本建築学会: 型枠コンクリートブロック造設計規準, 壁式構造関係設計規準集・同解説 (メーソンリー編), 2006.3
- 1.15) 建築研究振興協会: 鉄筋コンクリート組積造 (RM 造) 構造設計指針・同解説, 2004.12
- 1.16) 山下和正: メーソンリー建築の展望, 住サイエンス (創樹社), 23号, pp.4-9, 1993
- 1.17) 馬場明生: 新しい組積造の開発と日米共同耐震研究の目標, 住宅建築別冊・22 組積造の住宅<壁の建築>の魅力をひきだす組積造の試み (建築資料研究社), pp.9-11, 1986.2
- 1.18) 知念良之、芝正己: 沖縄における住宅構造材の歴史的変遷に関する一考察, 日林誌, 97, pp.143-152, 2015
- 1.19) 日経 BP 社: 特別レポート デイテール研究 「積む」構造で素材を見せる, 日経アーキテクチュア NO.1100, pp.40-57, 2017.7.27
- 1.20) 国土交通省 総合政策局情報政策課建設経済統計調査室: 建築着工統計調査, 2015年度, [http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku\\_list.html](http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html), (2016.9.23参照)
- 1.21) 日本建築学会 構造委員会 壁式構造運営委員会, 各種メーソンリー構造設計ノート 2009, 2009.3
- 1.22) 日本工業規格: 建築用コンクリートブロック JIS A 5406, 2017
- 1.23) 一般社団法人ハイブリッドメーソンリー工業会 (JHMA): MaP+P 2011 組積造都市住宅特集号 vol.1, <http://www.jhma.or.jp/epub-pdf.image/Masonry%20Project%20and%20Proposal.pdf>,

(2018.11.23 参照)

- 1.24) 犬飼瑞郎, 小豆畑達哉, 森田高市, 谷昌典: 無筋組積造試験体の面外方向振動実験における減衰定数及びせん断力係数の推定について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.897-898, 2016.8
- 1.25) 犬飼瑞郎, 森田高市, 小豆畑達哉, 谷昌典: 無筋組積造試験体の面外方向振動実験と振動性状について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.791-792, 2015.9
- 1.26) 弘中敏之, 前田寿朗, 新谷真人, 江尻憲泰: バイヨン寺院内回廊の個別要素法による安全性評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.899-900, 2016.8
- 1.27) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか監修, 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 全国官報販売協同組合, pp.134-142, 2015.6
- 1.28) 松村晃: オートクレーブ養生軽量気泡コンクリート (ALC) 部材の基本的曲げ強度性状, 日本建築学会論文報告集, pp.42-52, 1984.2
- 1.29) 松村晃: オートクレーブ養生軽量気泡コンクリート (ALC) 部材のせん断強度性状, 日本建築学会論文報告集, pp.13-23, 1984.9
- 1.30) 黒正清治, 松村晃: 実大 ALC 耐力壁の水平加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系, pp.837-838, 1968.9
- 1.31) 松村晃: ALC 耐力壁のせん断強度性状について: 両端固定状態の加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系, pp.761-762, 1970.9
- 1.32) 松村晃: ALC 耐力壁のせん断強度性状について: 第 2 報 軸力を加えた実験および総括, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系, pp.839-840 1971.9
- 1.33) 松村晃, 高本秀幸: ALC 耐力壁のせん断強度性状について: 第 3 報せん断補強筋および目地コッターによる強度改善について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系, pp.1221-1222, 1972.9
- 1.34) Ytong: [https://www.ytong.asia/en/docs/Ytong\\_Product\\_Catalogue\\_\(EN\).pdf](https://www.ytong.asia/en/docs/Ytong_Product_Catalogue_(EN).pdf), (2017.11.16 参照)
- 1.35) Xella: [https://www.xella.com/en/img/YTONG\\_0\\_08.\\_high.jpg](https://www.xella.com/en/img/YTONG_0_08._high.jpg), (2017.11.16 参照)
- 1.36) Xella: [https://www.xella.co.uk/en/docs/XEL50225\\_xella%20UK%20brochure%20casco\\_C2.pdf](https://www.xella.co.uk/en/docs/XEL50225_xella%20UK%20brochure%20casco_C2.pdf), (2017.11.16 参照)
- 1.37) Ytong: <http://www.ytong.gr/files/downloads/brochures/YTONG%20Brochure%20-%20Ferousa%20Tixopoiia.pdf>, (2017.11.16 参照)
- 1.38) Ytong: [https://www.ytong.asia/en/docs/Ytong\\_Design\\_Book\\_\(EN\).pdf](https://www.ytong.asia/en/docs/Ytong_Design_Book_(EN).pdf), (2017.11.16 参照)
- 1.39) Tanner J., Varela J., Brightman M., Cancino U., Argudo J., Klinger R.: Seismic Performance and Design of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Structural Systems, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 541, 2004
- 1.40) Varela J., Tanner J., Klinger R.: Development of response modification coefficient and deflection amplification factor for design of AAC structural systems, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 1058, 2004
- 1.41) Tanner J.E., Varela J.L., Klinger R.E: Design and Seismic Testing of a Two-story Full-scale Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Assemblage Specimen, ACI Structures Journal, 102(1), pp.114-119, 2005

- 1.42) Tanner J.E., Varela J.L., Klingner R.E., Brightman M.J., Cancino U. : Seismic testing of autoclaved aerated concrete shearwalls: a comprehensive review, *ACI Structures Journal*, 102(1), pp.374–382, 2005
- 1.43) Varela-Rivera J, Fernandez-Baqueiro L., Chan-Esquivel S. : Overstrength actors for the seismic design of AAC structures, 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012
- 1.44) Penna A., Magenes G., Calvi G.M., Costa A.A. : Seismic performance of AAC infill and bearing walls with different reinforcement solutions, 14th International Brick and Block Masonry Conference, 2008
- 1.45) Penna A., Magenes G., Rota M., Mandirola M. : Enhancement of the seismic performance of AAC masonry by means of flat-truss bed-joint reinforcement, 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012
- 1.46) Costa A.A., Penna A., Magenes G. : Seismic Performance of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Masonry Buildings, 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008
- 1.47) Penna A., Magenes G., Rota M., Frumento S. : Seismic performance assessment of AAC masonry, 14th European Conference on Earthquake Engineering, 2010
- 1.48) Costa A.A., Penna A., Magenes G. : Seismic performance of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry: from experimental testing of the in-plane capacity of walls to building response simulation, *Journal of Earthquake Engineering*, 15 (1), pp.1-31, 2011
- 1.49) Tomaževič M., Gams M. : Shaking table study and modelling of confined AAC masonry buildings, *Bulletin of earthquake engineering*, 10, pp.863–893, 2012
- 1.50) 日本建築学会: 組積造設計規準・同解説, 壁式構造関係設計規準集・同解説 (メーソンリー編), pp.406-431, 2006.3
- 1.51) 日本建築学会 構造委員会 壁式構造運営委員会: 各種メーソンリー構造設計ノート 2009, pp.5-13, 2009.3
- 1.52) 日本工業規格 : 鉄線 JIS G 3532, 2011
- 1.53) 日本工業規格 : 軟鋼線材 JIS G 3505, 2004
- 1.54) 日本工業規格 : 建築構造用圧延棒鋼 JIS G 3138, 2005
- 1.55) 日本工業規格 : 鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3112, 2010
- 1.56) 日本工業規格 : 冷間圧造用炭素鋼, JIS G 3507-2, 2005
- 1.57) 日本工業規格 : 一般構造用圧延鋼材, JIS G 3101, 2010
- 1.58) 日鉄住金高炉セメント : エスセイバーH, [http://www.kourocement.co.jp/sld/07document/pdf\\_ssh.pdf](http://www.kourocement.co.jp/sld/07document/pdf_ssh.pdf), (2018/11/24 参照)
- 1.59) 日本工業規格 : みがき棒鋼用一般鋼材 JIS G 3108, 2004
- 1.60) 宇部興産 : 床レベラーG, [https://www.ube-ind.co.jp/ubekenzai/documents/catalog/yuka-reveler-g\\_east\\_catalog.pdf](https://www.ube-ind.co.jp/ubekenzai/documents/catalog/yuka-reveler-g_east_catalog.pdf), (2018/11/24 参照)
- 1.61) 日本農林規格 : 集成材の日本農林規格, 2012.6
- 1.62) 日本工業規格 : 一般構造用圧延鋼材, JIS G 3101, 2010
- 1.63) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか監修, 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 全国

官報販売協同組合, pp.21-57, 2015.6

- 1.64) 国土交通省国土技術政策総合研究所 他：2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 全国官報販売協同組合, pp.584-590, 2015.6
- 1.65) 日本建築学会: 型枠コンクリートブロック造設計規準・同解説, 壁式構造関係設計規準集・同解説 (メーソンリー編), pp.55-62, 2006.3
- 1.66) 建築研究振興協会: 鉄筋コンクリート組積造 (RM 造) 構造設計指針・同解説, pp.2-66 - 2-68, 2004.12
- 1.67) 日本建築学会: 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算規準・同解説, pp.163-179, 2015.12
- 1.68) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2010.2
- 1.69) 富井 政英: 耐震壁の開口の影響による負担せん断力の低減率 (有開口耐震壁のせん断抵抗に関する研究・第3報), 日本建築学会論文報告集, 67, pp.23-27, 1961.3
- 1.70) 武藤 清: 建築学大系 14, 彰国社, pp.86, 109, 1954.9

## 第2章

材料特性および組積体の構造特性





## 2.1 はじめに

本章では、本構法で使用する ALC やグラウトなどの材料特性と組積体の構造特性を確認する。材料特性は材料試験により、組積体の構造特性はプリズム試験により確認を行う。試験内容と本章の構成を表 2.1 に、本章の試験結果が対応する次章以降の実験名の記号を表 2.2 示す。

表 2.1 試験内容と本章の構成

試験	試験体	試験方法	本章の構成
材料試験	ALC	圧縮・引張	2.2節
	グラウト	圧縮・割裂	2.3節
	縦筋・横筋 内部鉄筋	引張	2.4節
プリズム試験	組積体	圧縮	2.5節
		せん断	2.6節
		引張・曲げ	2.7節

表 2.2 実験名の記号

実験名	英名	記号
プリズム試験	Prism test	P
無開口組積壁の面内せん断実験	<b>In</b> -plane shear test of masonry <b>W</b> all without openings	InW
有開口組積壁の面内せん断実験	<b>In</b> -plane shear test of masonry <b>W</b> all with <b>O</b> penings	InWO

## 2.2 ALC の圧縮試験および引張試験

### 2.2.1 目的と概要

本節では、ブロックの主要材料である ALC の材料特性を確認するために行った圧縮試験と引張試験について述べる。ALC は、原料が型枠に流し込まれて化学反応により発生した水素ガスにより約 2 倍に体積膨張した後、オートクレーブ養生されて製造される<sup>例えば 2.1)</sup>。ALC の圧縮特性は製造時の発泡による影響により採取位置の高さや発泡方向に対する角度の影響を受け、発泡方向上部よりも下部のほうが圧縮強度はやや高く、発泡方向に対して垂直に載荷する方が平行に載荷するよりも圧縮強度が 1.2 倍程度高くなると言われている<sup>2.2)</sup>。本構法のブロックは発泡下部から中部で製造され、発泡方向と平行方向に圧縮力や引張力を受けることから、当該部位における圧縮特性と引張特性を確認する。

## 2.2.2 試験体

### (1) 試験体と採取ロット

ALC の圧縮および引張試験の試験計画を表 2.3 に、試験体と試験体の採取状況の写真を図 2.1 に、型枠端部からの試験体採取状況を図 2.2 示す。

ALC には、ALC50、ALC37 および ALC42 の 3 種類の ALC を用いた。ALC50 と ALC37 では、図 2.2 に示すように ALC パネル製造時における型枠端部の無筋部分から試験体を採取し、製造時の発泡方向からの傾斜角は 0 度、試験体を採取する高さは発泡下部から中部とした。試験体数は 3 種類のロットから 2 体ずつの計 6 体とし、ロット名は ALC50 を A、B、C、ALC37 を D、E、F とした。圧縮試験体と引張試験体はそれぞれ共通のロットから試験体を採取した。ALC37 の圧縮試験については、上記のロットと異なる 3 ロット（ロット名 G、H、I）に対して、計 32 体の試験体を採取して圧縮試験を行い、ロット毎およびロット内の圧縮強度のばらつきを確認した。ロット G～I のばらつきを確認した試験では、図 2.1(d)のように試験体をブロックから直接採取した。ALC42 については、製造時の発泡方向と採取位置の管理が出来なかったため傾斜角と採取位置は不明とし、ブロックの鉛直方向が加力方向となるように計 5 体の試験体を切り出した。

圧縮試験の試験体形状は□100×100mm が一般的であるため<sup>2,3)</sup>、ALC50 と ALC42 では試験体形状を□100×100mm とした。ALC37 のロット D～F の試験体では採取可能な最大形状となる□75×75mm とし、ロット G～I の試験体では“直径：高さ”が“1：2”となるφ64×128mm の円柱状の試験体とした。

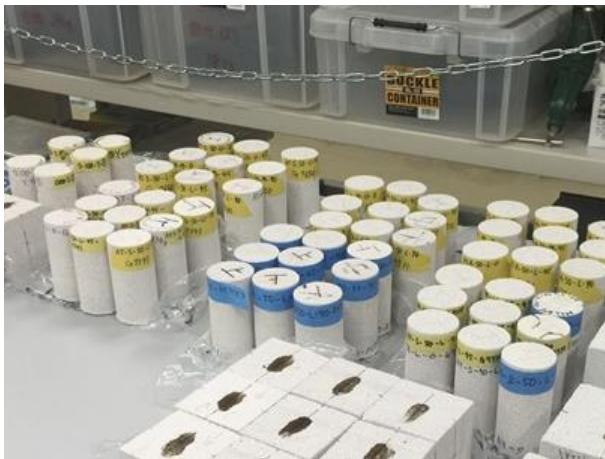
試験体名は以下のように定めた。ロット A～F の ALC50 と ALC37 では試験体が 1 体ずつのため試験体番号を省略し、ALC42 では試験体採取高さ、傾斜角およびロット名が不明のためそれらを省略した。ロット G～I の試験体採取高さはすべて L とした。シリーズ名は以下の(2),(3)の名称とし、ALC37 の□75 のシリーズ名は ALC50 および ALC42 と統一するために C-□100 とした。

シリーズ名  
┌───────────┐  
A50 — C — □100 — H — 0 — A — 1  
(1)    (2)    (3)    (4)    (5)    (6)    (7)

- (1) ALC の種類 [ALC50 : A50、ALC37 : A37、ALC42 : A42]
- (2) 試験方法 [圧縮(Compression) : C、引張(Tension) : T]
- (3) 試験体の平面形状 [□100、□75、φ50、φ64]
- (4) 試験体採取高さ [下部(Low) : L、中部(Middle) : M]
- (5) 発泡方向に対する傾斜角 [0 度 : 0]
- (6) ロット名 [A～I]
- (7) 試験体番号 [1,2,3...]

表 2.3 ALC の圧縮・引張試験の試験計画

試験方法	材料	試験体形状 (mm)	シリーズ名	傾斜角 (度)	試験体数	ロット
圧縮	ALC50	□100×100	C-□100	0	6	ロットA,B,Cから各2体採取
	ALC37	□75×75		0	6	ロットD,E,Fから各2体採取
	ALC42	□100×100		不明	5	不明
	ALC37	φ64×128	C-φ64	0	32	ロットG,H,Iから9,11,12体採取
引張	ALC50	φ50×100	T-φ50	0	6	ロットA,B,Cから各2体採取
	ALC37	φ50×100		0	6	ロットD,E,Fから各2体採取
	ALC42	φ50×100		不明	5	不明

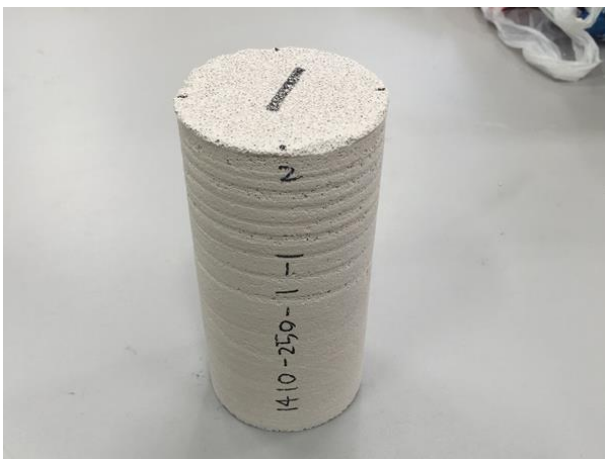


(a) 引張試験体 (φ50×100mm)



(b) 圧縮試験体

(左 : □75×75mm、右 : □100×100mm)



(c) 圧縮試験体 (φ64×128mm)



(d) φ64×128mm 試験体の採取状況

図 2.1 試験体形状と試験体の採取状況

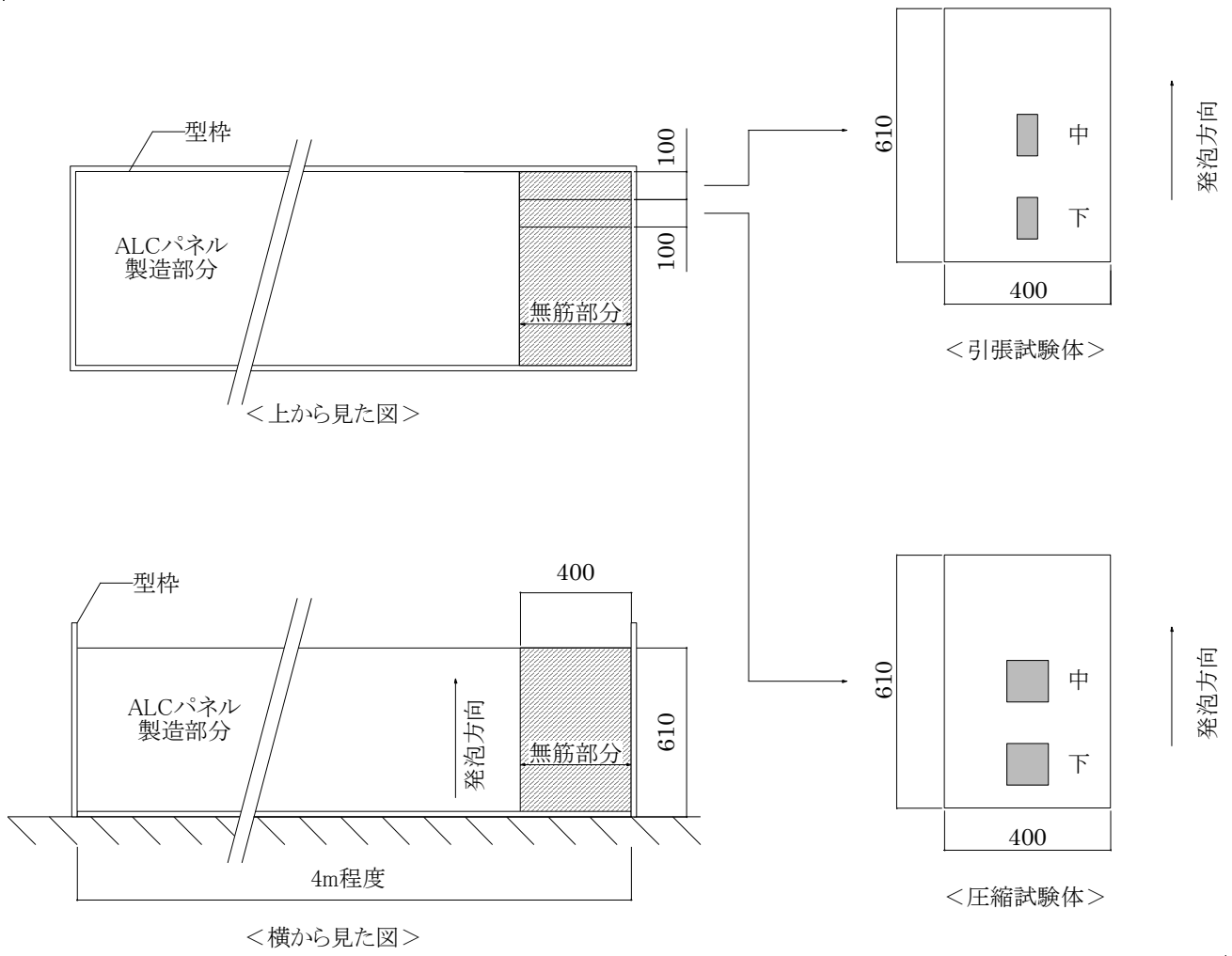


図 2.2 型枠端部からの試験体採取状況

(2) 含水率と比重

ALC は一般に比重が高いほど、含水率が低いほど圧縮強度は高くなると言われている<sup>2.2)</sup>。そのため、各試験体について断面積、体積、試験時の比重、絶乾時の比重および重量含水率の測定を行った。試験体の含水率と絶乾比重の統計値を表 2.4 に、各試験体の測定結果を表 2.5 に示す。

断面積は直径または各辺の平均値から求め、体積は断面積に高さの平均値を乗じて求めた。試験時の比重は、試験前の試験体の重量を体積で除して求めた。重量含水率 $u(\%)$ は、試験直後の試験体の重量 $w_1$ と、その試験体を重量が一定になるまで 105°Cの乾燥炉で乾燥させて絶乾状態にした時の重量 $w_0$ から(2.1)式による全乾法で求めた。絶乾時の比重は、試験前の重量と重量含水率から試験前の絶乾時の重量を計算し、体積で除して求めた。

表 2.4 の統計値をみると、すべての試験体について含水率は 1.1~7.5%となり一般的な気乾状態における含水率 5~10%<sup>2.2)</sup>と同程度となった。絶乾比重は ALC50 で 0.48~0.52 が、ALC37 で 0.37~0.42 が、ALC42 で 0.36~0.40 が得られ、ALC37 と ALC42 は同程度の絶乾比重となった。

$$u(\%) = (w_1 - w_0)/w_0 \times 100 \tag{2.1}$$

ここに

$w_1$  : 試験直後の試験体の重量

$w_0$  : 試験後に絶乾状態にした試験体の重量

表 2.4 含水率および絶乾比重の統計値

(a) 含水率

材料	ロット	試験体数	含水率(%)				
			平均値	標準偏差	変動係数 (%)	最大値	最小値
ALC50	A~C	12	2.0	0.13	6.5	2.2	1.9
ALC37	D~F	12	2.3	0.54	23.9	2.6	1.8
	G~I	32	2.3	0.61	27.1	2.6	1.8
ALC42	-	10	2.3	0.31	13.9	2.6	1.8

(b) 絶乾比重

材料	ロット	試験体数	絶乾比重(-)				
			平均値	標準偏差	変動係数 (%)	最大値	最小値
ALC50	A~C	12	0.50	0.01	1.8	0.51	0.49
ALC37	D~F	12	0.39	0.01	3.3	0.42	0.38
	G~I	32	0.41	0.01	2.2	0.42	0.39
ALC42	-	10	0.40	0.01	1.5	0.40	0.38

表 2.5 試驗體一覽

試驗體名	斷面積 (cm <sup>2</sup> )	體積 (cm <sup>3</sup> )	比重		試驗體名	斷面積 (cm <sup>2</sup> )	體積 (cm <sup>3</sup> )	比重		重量 含水率 (%)
			試驗時 ( <sup>○</sup> )	絕乾時 ( <sup>△</sup> )				試驗時 ( <sup>○</sup> )	絕乾時 ( <sup>△</sup> )	
A50-C-□100-M-0-A	99.3	989.0	0.51	0.50	A37-C-φ64-L-0-G-1	32.0	410.4	0.41	0.40	2.0
A50-C-□100-M-0-B	100.2	998.9	0.50	0.49	A37-C-φ64-L-0-G-2	31.9	341.1	0.41	0.41	1.9
A50-C-□100-M-0-C	99.6	993.1	0.50	0.49	A37-C-φ64-L-0-G-3	32.0	380.7	0.42	0.41	2.1
A50-C-□100-L-0-A	99.5	998.0	0.52	0.50	A37-C-φ64-L-0-G-4	31.8	407.8	0.42	0.41	2.2
A50-C-□100-L-0-B	99.8	995.4	0.51	0.50	A37-C-φ64-L-0-G-5	31.7	342.8	0.42	0.41	1.9
A50-C-□100-L-0-C	99.4	992.8	0.50	0.49	A37-C-φ64-L-0-G-6	32.1	406.7	0.42	0.41	2.1
A37-C-□75-M-0-D	55.7	416.6	0.39	0.38	A37-C-φ64-L-0-G-7	31.9	406.5	0.42	0.41	2.8
A37-C-□75-M-0-E	56.3	422.5	0.40	0.39	A37-C-φ64-L-0-G-8	32.0	409.5	0.42	0.41	3.1
A37-C-□75-M-0-F	56.3	424.2	0.40	0.39	A37-C-φ64-L-0-G-9	32.1	372.7	0.42	0.41	3.4
A37-C-□75-L-0-D	55.9	418.1	0.41	0.40	A37-C-φ64-L-0-G-10	32.0	407.8	0.42	0.41	2.9
A37-C-□75-L-0-E	55.8	417.9	0.41	0.40	A37-C-φ64-L-0-G-11	32.0	325.0	0.42	0.41	2.9
A37-C-□75-L-0-F	57.5	431.2	0.39	0.38	A37-C-φ64-L-0-H-1	31.7	405.6	0.43	-	2.9
A42-C-□100-1	99.6	1000.3	0.41	0.40	A37-C-φ64-L-0-H-2	31.8	404.4	0.43	0.42	2.4
A42-C-□100-2	100.1	1004.9	0.39	0.38	A37-C-φ64-L-0-H-3	31.9	408.5	0.42	0.41	2.6
A42-C-□100-3	100.5	1011.7	0.41	0.40	A37-C-φ64-L-0-H-4	31.8	403.1	0.42	0.42	2.4
A42-C-□100-4	99.8	1001.6	0.41	0.40	A37-C-φ64-L-0-H-5	32.0	390.8	0.42	0.41	2.6
A42-C-□100-5	99.9	1003.7	0.41	0.40	A37-C-φ64-L-0-H-6	31.9	405.4	0.43	0.42	2.5
A50-T-φ50-M-0-A	19.9	199.5	0.52	0.51	A37-C-φ64-L-0-H-7	32.0	410.8	0.42	0.41	1.9
A50-T-φ50-M-0-B	19.9	199.2	0.51	0.50	A37-C-φ64-L-0-H-8	32.0	407.4	0.42	0.41	2.2
A50-T-φ50-M-0-C	20.0	198.9	0.50	0.49	A37-C-φ64-L-0-H-9	32.0	410.6	0.42	0.41	1.9
A50-T-φ50-L-0-A	19.9	199.7	0.53	-	A37-C-φ64-L-0-I-1	32.1	356.8	0.41	0.39	-
A50-T-φ50-L-0-B	19.9	199.9	0.52	0.51	A37-C-φ64-L-0-I-2	32.0	414.5	0.41	0.39	2.1
A50-T-φ50-L-0-C	19.9	199.5	0.51	0.50	A37-C-φ64-L-0-I-3	31.9	407.9	0.41	0.40	2.1
A37-T-φ50-M-0-D	19.9	200.8	0.39	0.38	A37-C-φ64-L-0-I-4	32.0	410.5	0.41	0.40	2.2
A37-T-φ50-M-0-E	20.0	199.5	0.39	0.38	A37-C-φ64-L-0-I-5	31.9	410.9	0.41	0.40	1.9
A37-T-φ50-M-0-F	19.9	200.7	0.39	0.38	A37-C-φ64-L-0-I-6	31.9	408.9	0.41	0.39	2.2
A37-T-φ50-L-0-D	20.0	199.5	0.43	0.42	A37-C-φ64-L-0-I-7	31.9	410.4	0.40	0.39	2.1
A37-T-φ50-L-0-E	20.0	199.8	0.42	0.41	A37-C-φ64-L-0-I-8	32.1	337.8	0.41	0.40	2.0
A37-T-φ50-L-0-F	19.8	198.4	0.42	0.41	A37-C-φ64-L-0-I-9	31.9	412.8	0.41	0.40	1.7
A42-T-φ50-1	19.6	196.5	0.41	0.40	A37-C-φ64-L-0-I-10	32.1	409.8	0.41	0.39	1.9
A42-T-φ50-2	19.8	198.5	0.39	0.39	A37-C-φ64-L-0-I-11	32.0	411.4	0.41	0.39	2.3
A42-T-φ50-3	19.8	198.0	0.40	0.40	A37-C-φ64-L-0-I-12	31.9	338.8	0.41	0.39	1.8
A42-T-φ50-4	19.6	196.9	0.41	0.40						2.2
A42-T-φ50-5	19.7	197.7	0.41	0.40						1.8

## 2.2.3 試験方法

試験状況を図 2.3 に、試験方法を図 2.4 に、ひずみゲージ貼り付け位置を図 2.5 に示す。

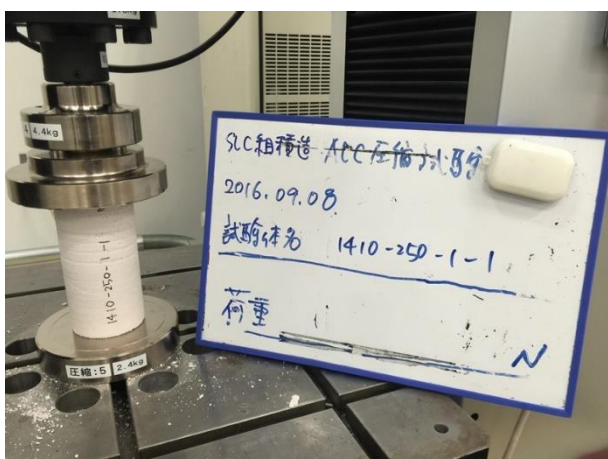
試験装置には(株)島津製作所製の電気機械式万能試験機オートグラフを用い、圧縮試験では AG-250kNX を、引張試験では AG-10kNX を用いた。圧縮試験の載荷時には、オートグラフの圧縮試験用の治具を用いた。引張試験の載荷には、試験体上下の小口面に鋼製の治具を接着剤で貼り付け、治具のワイヤーを試験装置のチャックで挟むことで引張力を作用させた。載荷は、加力開始から終了まで 1 分程度となるように変位制御で行った。測定項目は、C-□100 シリーズと T-φ50 シリーズでは荷重、縦方向と横方向のひずみ度とし、C-φ64 シリーズでは荷重のみとした。荷重は試験装置のロードセルより求め、ひずみ度は試験体に貼り付けたひずみゲージ（東京測器研究所製、コンクリート用ひずみゲージ）より求めた。ひずみゲージは、試験体の対面方向に縦および横方向にそれぞれ 2 箇所ずつ貼り付けた。



(a) □100×100 圧縮試験



(b) □75×75 圧縮試験



(c) φ64×128 圧縮試験



(d) φ50×100 引張試験

図 2.3 試験状況



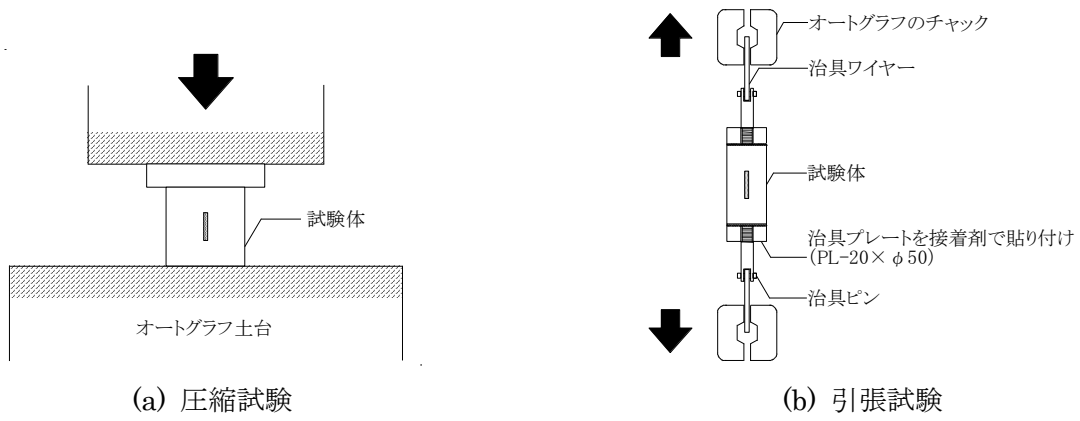


図 2.4 試験方法

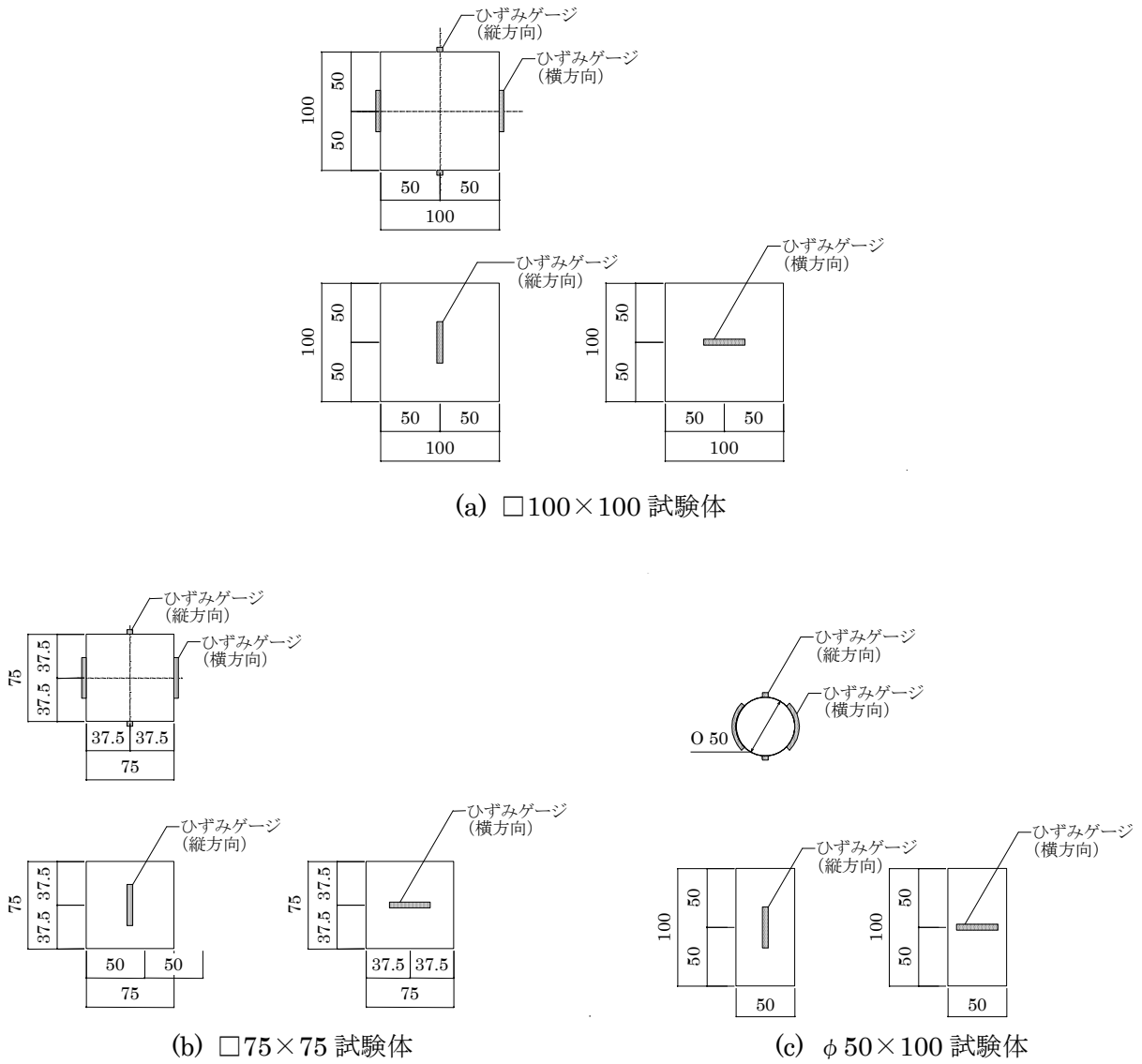


図 2.5 ひずみゲージ貼り付け位置

## 2.2.4 試験結果

圧縮試験の代表的な破壊状況を図 2.6 に、引張試験の代表的な破壊状況を図 2.7 に、試験結果一覧を表 2.6 に、応力度－ひずみ度関係を図 2.8 および図 2.9 に、試験体の破壊性状一覧を表 2.7 に、C-□100 シリーズおよび T-φ50 シリーズの試験結果のまとめを表 2.8 に、C-φ64 シリーズの統計値を表 2.9 に示す。最大応力度（圧縮： $\sigma_c$ 、引張： $\sigma_t$ ）は、試験より得られた最大荷重を試験体の断面積で除した値とした。ヤング係数（圧縮： $E_c$ 、引張： $E_t$ ）は、試験より得られた応力度－縦ひずみ度関係において、最大荷重の 1/3 となる点と原点との割線剛性より求めた。 $\varepsilon_{max}$  は、最大応力度におけるひずみ度とした。ポアソン比は、最大荷重の 1/3 となる点における縦ひずみ度 $\varepsilon_v$ と横ひずみ度 $\varepsilon_h$ から、(2.2)式を用いて求めた。表 2.8 の“圧縮”、“引張”には各材料試験結果の平均値を、“引張/圧縮”には引張試験結果の平均値を圧縮試験結果の平均値で除した値を、“ALC50 との比率”には ALC37 と ALC42 の最大応力度とヤング係数を ALC50 のそれぞれの値で除した値を示した。

$$\mu = -\varepsilon_h / \varepsilon_v \quad (2.2)$$

ここに

$\mu$  : ポアソン比

$\varepsilon_h$  : 縦ひずみ度

$\varepsilon_v$  : 横ひずみ度

### (1) 破壊性状

圧縮試験では、試験体全体にひび割れが確認されて安定した圧縮強度が得られたことから、試験体に荷重が均等に作用して圧壊が生じたものと判断し、表 2.7 に示す破壊性状①とした。

引張試験の破壊性状は、表 2.7 に示す②、③の 2 つが確認された。破壊性状②では試験体が試験体中央部分で引張破断し、破壊性状③では試験体端部の接着部分付近で試験体が破断した。破壊性状②の試験体は、ALC の引張強度に達して破壊した判断した。破壊性状③の試験体は、接着剤による ALC の拘束の影響を受けた可能性が考えられたが、破壊性状②を示した試験体と最大応力度に大きな違いがなかったため、その影響は小さいと判断して以降の考察では区別を行わないこととした。

### (2) 応力度－ひずみ度関係・最大応力度・ヤング係数

図 2.8 に示す応力度－縦ひずみ度関係をみると、圧縮試験については最大荷重付近ではやや剛性が低下するが、すべての ALC の種類で最大荷重まではおおそ直線を示した。表 2.8 をみると、最大圧縮応力度の平均値は 2.71～4.26N/mm<sup>2</sup> が、圧縮ヤング係数の平均値は 1.04～2.14kN/mm<sup>2</sup> が、最大圧縮応力時のひずみ度の平均値は 2254～3418 $\mu$  が得られた。圧縮ヤング係数および最大圧縮応力度時におけるひずみ度は、圧縮強度が高い ALC ほど値が大きくなる傾向が確認された。

引張試験については、すべての ALC の種類で最大荷重までほぼ直線を示した。最大引張応力度の平均値は  $0.61\sim 0.69\text{N/mm}^2$  が、引張ヤング係数の平均値は  $1.45\sim 2.00\text{kN/mm}^2$  が、最大圧縮応力時のひずみ度の平均値は  $365\sim 472\mu$  が得られた。引張ヤング係数は圧縮ヤング係数と同様に圧縮応力度が高い ALC ほど値が大きくなる傾向を示したが、最大引張応力度と最大引張応力時のひずみ度については、ALC42 の平均値が ALC50 や ALC37 の平均値を上回るなど圧縮試験とは異なる傾向が見られた。

表 2.8 の ALC50 との比率をみると、ALC37 は ALC42 と同程度の比重だが最大圧縮応力度と圧縮ヤング係数は ALC42 よりも高い値を示し、一般的な ALC パネルで用いられる ALC50 と近い材料特性を持つことが確認された。これは、ALC42 が海外で製造された ALC のため、国内で製造された ALC37 と製造方法が異なることによるものと考えられる。

### (3) 引張試験と圧縮試験の比較

表 2.8 に示す引張試験結果を圧縮試験結果で除した値を見ると、最大応力度では ALC50 と ALC37 で 0.16 程度、ALC42 で 0.24 が得られ、ヤング係数では ALC50 と ALC37 で 0.9 程度、ALC42 では 1.39 が得られ、ALC50 および ALC37 と ALC42 では異なる傾向が確認された。

### (4) ポアソン比

表 2.8 に示すポアソン比の値をみると、圧縮試験の ALC42 の結果を除いてすべての ALC で 0.2 程度が得られ、一般的な ALC と同様の値が確認された<sup>2.2)</sup>。応力度-ひずみ度関係を見ると、主に ALC42 の圧縮試験では図 2.8 の(m)~(q)で示すように载荷初期に横ひずみ度が正の値(収縮方向)を示す試験体を確認されたため、ばらつきが大きい結果となった。圧縮試験と引張試験で試験体形状が異なることや加力方法が異なることなどの要因があると考えられる。

### (5) 最大圧縮応力度のばらつきについて

表 2.9 に示す C-φ64 シリーズ 32 体の最大圧縮応力度の平均値は  $3.35\text{N/mm}^2$  が得られた。標準偏差は  $0.3\text{N/mm}^2$  程度、変動係数は 10%程度とばらつきが小さく、ロット毎の平均値にも大きな違いは見られないことから、製造ロットの違いによる最大圧縮応力度のばらつきは小さいものと考えられる。

### (6) 本論文で用いる ALC ブロックの鉛直方向の材料特性

本構法で用いる ALC50、ALC37 および ALC42 の鉛直方向の材料特性は、圧縮応力度、ヤング係数を表 2.8 に示す値とし、ポアソン比を 0.2 とすることとする。



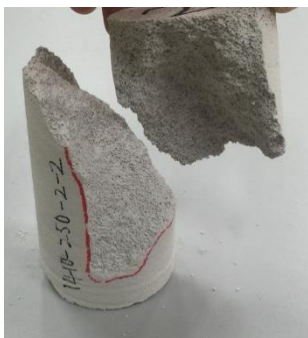
(a) 破壊性状①  
(A50-C-□100-L-0-C)



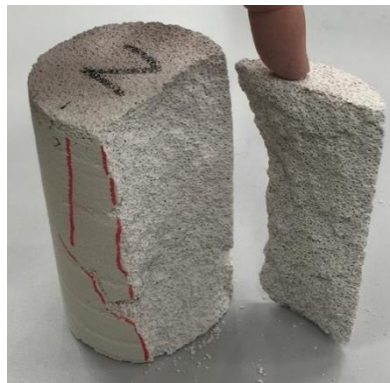
(b) 破壊性状①  
(A37-C-□75-M-0-D)



(c) 破壊性状①  
(A42-C-□100-1)



(d) 破壊性状①  
(A37-C-φ64-L-0-G-5)



(e) 破壊性状①  
(A37-C-φ64-L-0-G-11)



(f) 破壊性状①  
(A37-C-φ64-L-0-G-7)

図 2.6 圧縮試験の破壊性状



(a) 破壊性状② (A50-T-φ50-L-0-A)

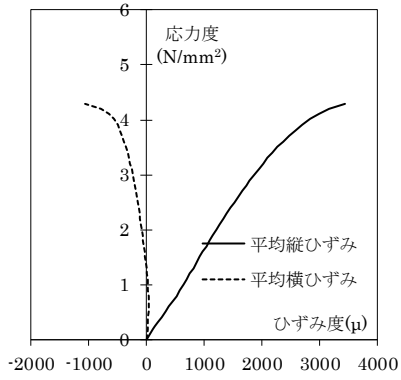


(b) 破壊性状③ (A50-T-φ50-L-0-B)

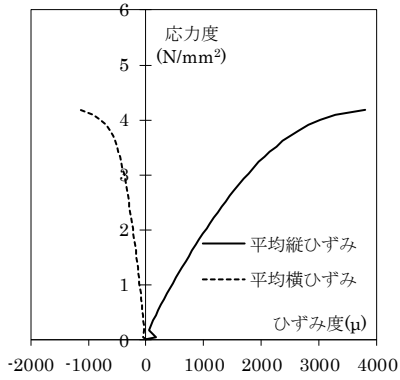
図 2.7 引張試験の破壊性状

表 2.6 ALC 圧縮引張試験の試験結果一覧

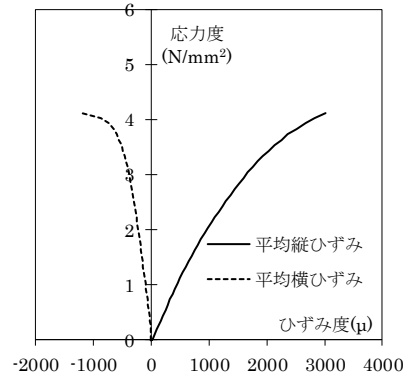
試験体名	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_{max}$ ( $\mu$ )	ポアソン比 ( $\nu$ )	破壊性状	試験体名	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
A50-C-□100-M-0-A	4.29	1617	3446	0.01	①	A37-C-φ64-L-0-G-1	2.91	①
A50-C-□100-M-0-B	4.18	2104	3799	0.23	①	A37-C-φ64-L-0-G-2	2.78	①
A50-C-□100-M-0-C	4.12	2231	3009	0.23	①	A37-C-φ64-L-0-G-3	3.02	①
A50-C-□100-L-0-A	4.45	2770	3128	0.33	①	A37-C-φ64-L-0-G-4	3.36	①
A50-C-□100-L-0-B	4.40	2138	3730	0.24	①	A37-C-φ64-L-0-G-5	3.76	①
A50-C-□100-L-0-C	4.10	1992	3396	0.28	①	A37-C-φ64-L-0-G-6	3.64	①
A37-C-□75-M-0-D	3.30	2454	2666	0.43	①	A37-C-φ64-L-0-G-7	3.19	①
A37-C-□75-M-0-E	3.62	1437	2485	0.02	①	A37-C-φ64-L-0-G-8	3.47	①
A37-C-□75-M-0-F	2.29	1342	—	0.06	①	A37-C-φ64-L-0-G-9	3.26	①
A37-C-□75-L-0-D	3.67	2288	2759	0.42	①	A37-C-φ64-L-0-G-10	3.12	①
A37-C-□75-L-0-E	3.72	1333	2269	-0.02	①	A37-C-φ64-L-0-G-11	3.09	①
A37-C-□75-L-0-F	3.41	1435	2429	0.13	①	A37-C-φ64-L-0-H-1	2.99	①
A42-C-□100-1	2.89	886	—	0.01	①	A37-C-φ64-L-0-H-2	3.16	①
A42-C-□100-2	2.75	1110	2153	0.10	①	A37-C-φ64-L-0-H-3	3.20	①
A42-C-□100-3	2.88	1190	2290	0.04	①	A37-C-φ64-L-0-H-4	3.20	①
A42-C-□100-4	2.52	938	2221	-0.05	①	A37-C-φ64-L-0-H-5	3.20	①
A42-C-□100-5	2.52	1093	2352	0.00	①	A37-C-φ64-L-0-H-6	3.51	①
A50-T-φ50-M-0-A	0.73	2039	389	0.21	②	A37-C-φ64-L-0-H-7	3.47	①
A50-T-φ50-M-0-B	0.65	2053	333	0.19	②	A37-C-φ64-L-0-H-8	3.83	①
A50-T-φ50-M-0-C	0.57	1900	310	0.19	③	A37-C-φ64-L-0-H-9	3.32	①
A50-T-φ50-L-0-A	0.77	1994	416	0.20	②	A37-C-φ64-L-0-J2-1	3.45	①
A50-T-φ50-L-0-B	0.69	2045	335	0.21	③	A37-C-φ64-L-0-J2-2	3.13	①
A50-T-φ50-L-0-C	0.75	1978	409	0.00	③	A37-C-φ64-L-0-J2-3	3.71	①
A37-T-φ50-M-0-D	0.61	1692	386	0.23	②	A37-C-φ64-L-0-J2-4	3.80	①
A37-T-φ50-M-0-E	0.60	1684	369	0.23	②	A37-C-φ64-L-0-J2-5	3.92	①
A37-T-φ50-M-0-F	0.62	1697	366	0.24	②	A37-C-φ64-L-0-J2-6	3.33	①
A37-T-φ50-L-0-D	0.60	1594	377	0.21	②	A37-C-φ64-L-0-J2-7	3.36	①
A37-T-φ50-L-0-E	0.63	1690	390	0.22	③	A37-C-φ64-L-0-J2-8	2.92	①
A37-T-φ50-L-0-F	0.63	1639	406	0.23	②	A37-C-φ64-L-0-J2-9	3.69	①
A42-T-φ50-1	0.72	1522	490	0.24	②	A37-C-φ64-L-0-J2-10	3.52	①
A42-T-φ50-2	0.66	1400	489	0.24	②	A37-C-φ64-L-0-J2-11	3.22	①
A42-T-φ50-3	0.71	1464	503	0.23	②	A37-C-φ64-L-0-J2-12	3.78	①
A42-T-φ50-4	0.49	1364	362	0.21	②			
A42-T-φ50-5	0.73	1493	517	0.23	③			



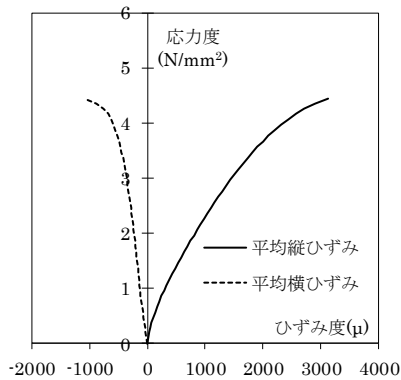
(a) A50-C-□100-M-0-A



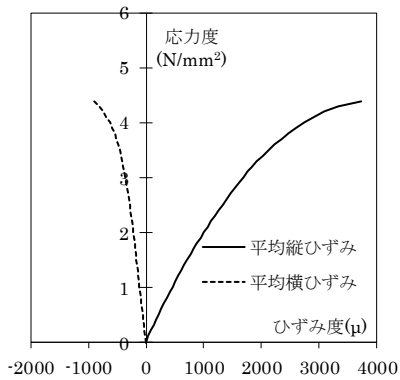
(b) A50-C-□100-M-0-B



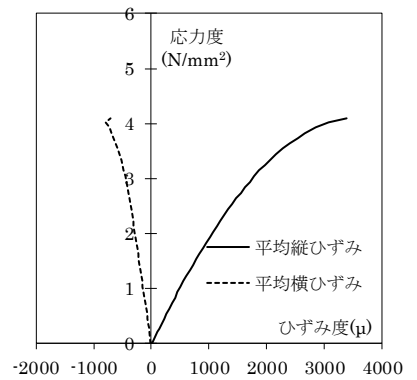
(c) A50-C-□100-M-0-C



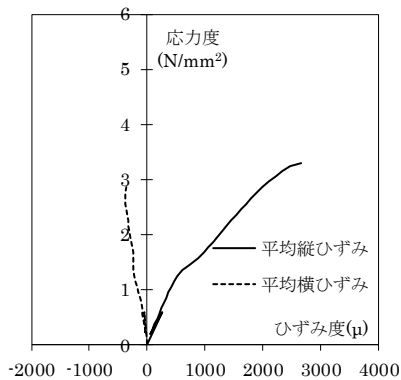
(d) A50-C-□100-L-0-A



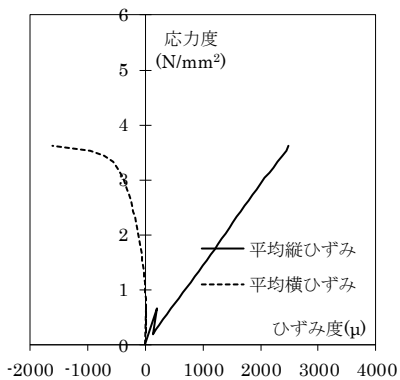
(e) A50-C-□100-L-0-B



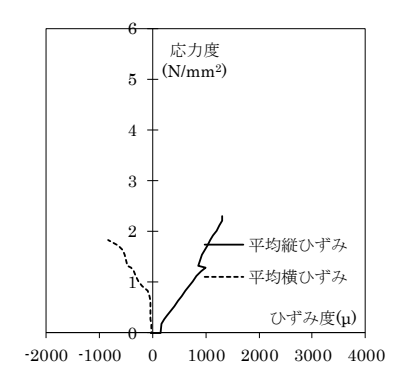
(f) A50-C-□100-L-0-C



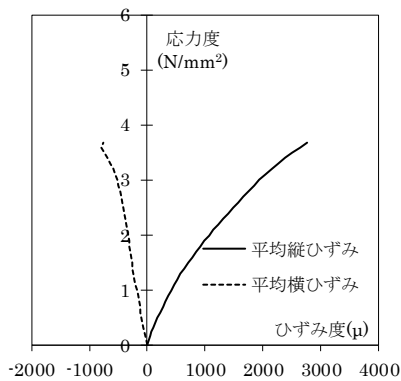
(g) A37-C-□75-M-0-D



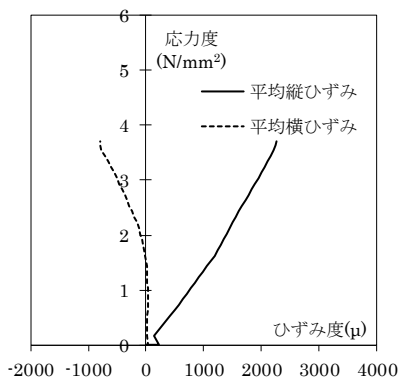
(h) A37-C-□75-M-0-E



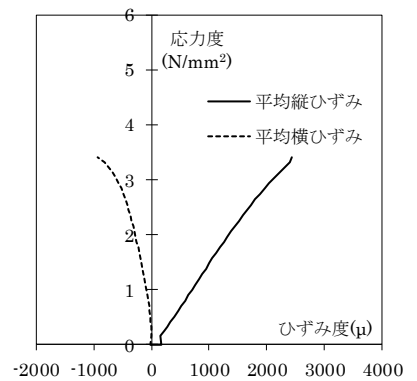
(i) A37-C-□75-M-0-F



(j) A37-C-□75-L-0-D

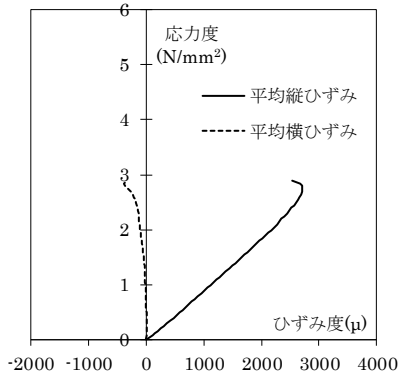


(k) A37-C-□75-L-0-E

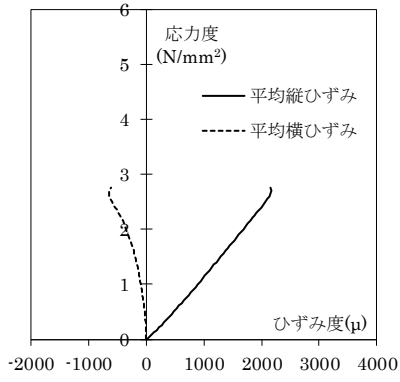


(l) A37-C-□75-L-0-F

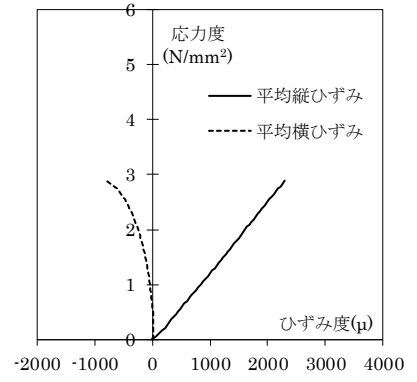
図 2.8-1 応力度—ひずみ度関係 (圧縮試験)



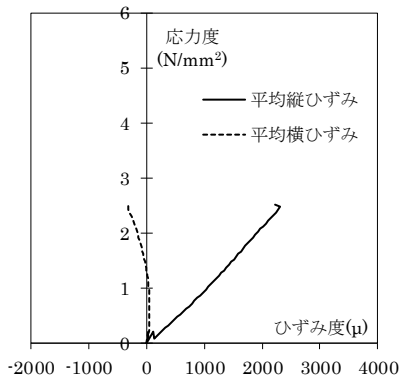
(m) A42-C-□100-1



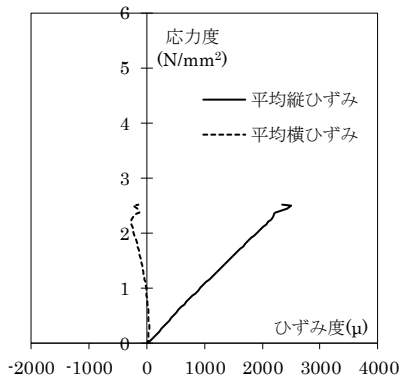
(n) A42-C-□100-2



(o) A42-C-□100-3

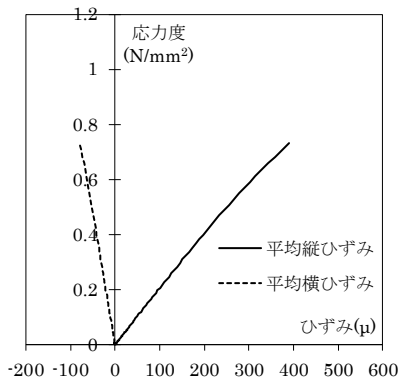


(p) A42-C-□100-4

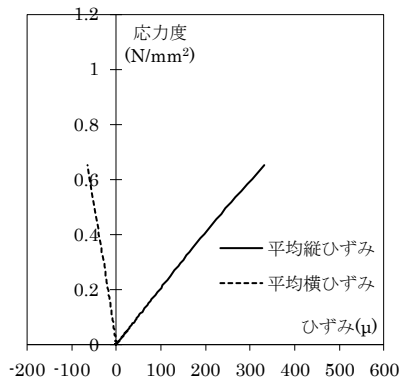


(q) A42-C-□100-5

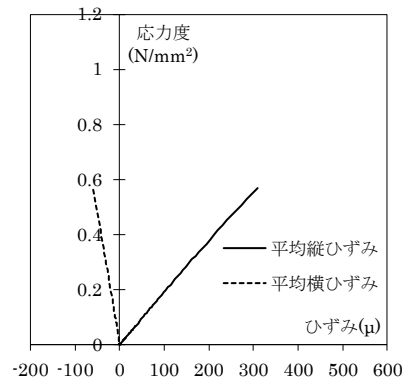
図 2.8-2 応力度－ひずみ度関係（圧縮試験）



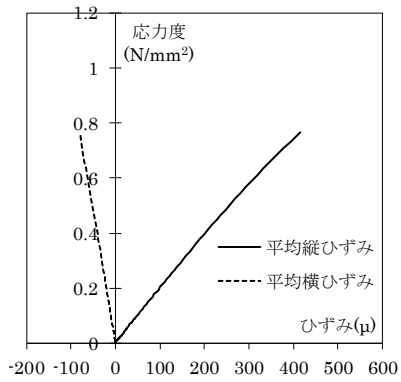
(a) A50-T-φ50-M-0-A



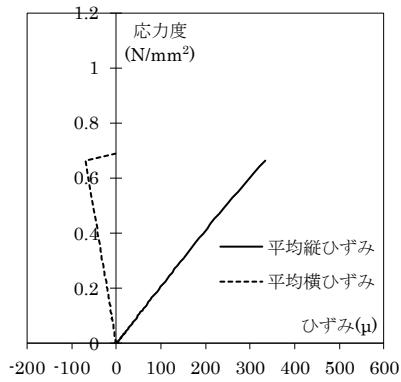
(b) A50-T-φ50-M-0-B



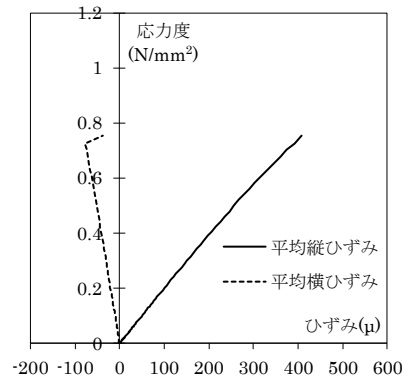
(c) A50-T-φ50-M-0-C



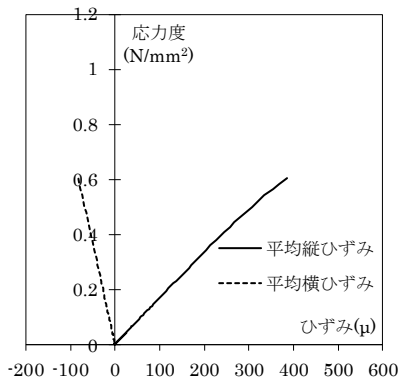
(d) A50-T-φ50-L-0-A



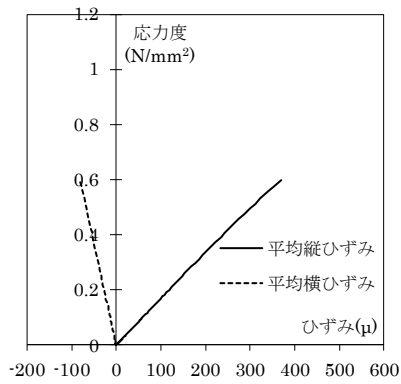
(e) A50-T-φ50-L-0-B



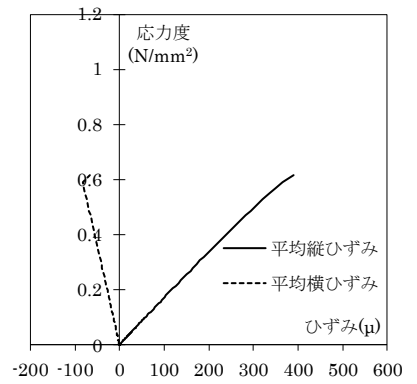
(f) A50-T-φ50-L-0-C



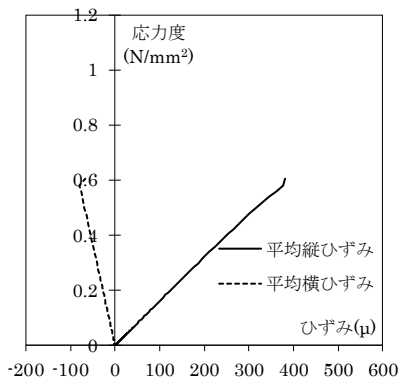
(g) A37-T-φ50-M-0-D



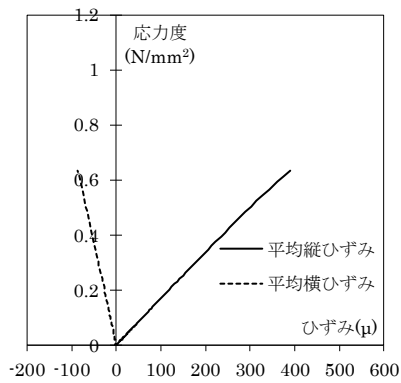
(h) A37-T-φ50-M-0-E



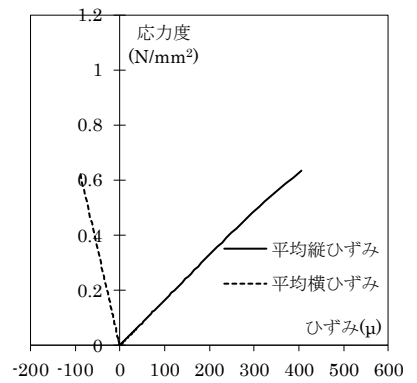
(i) A37-T-φ50-M-0-F



(j) A37-T-φ50-L-0-D



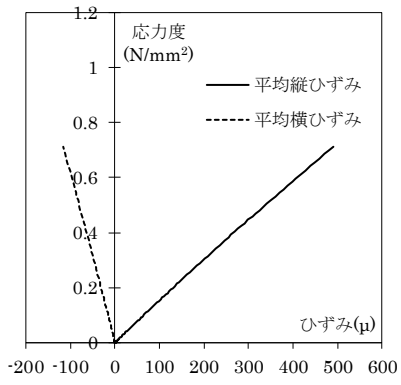
(k) A37-T-φ50-L-0-E



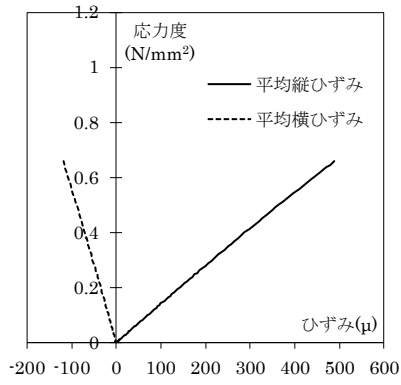
(l) A37-T-φ50-L-0-F

図 2.9-1 応力度－ひずみ度関係 (引張試験)

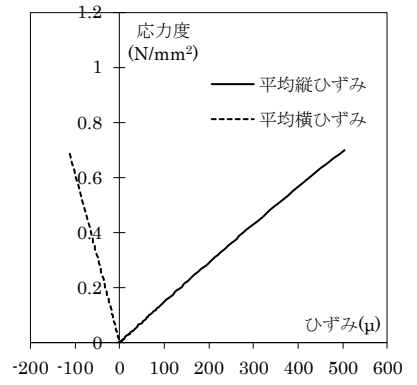




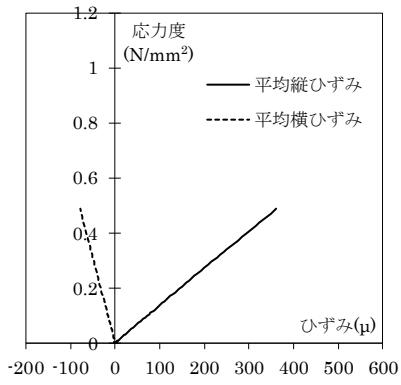
(m) A42-T-φ50-1



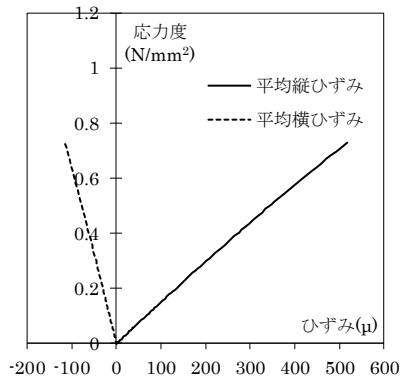
(n) A42-T-φ50-2



(o) A42-T-φ50-3



(p) A42-T-φ50-4



(q) A42-T-φ50-5

図 2.9-2 応力度—ひずみ度関係 (引張試験)

表 2.7 破壊性状一覧

試験	番号	破壊性状
圧縮試験	①	縦～斜め方向にひび割れが入り、断面全体で破壊する。
引張試験	②	試験体中央で水平方向に二分する。
	③	試験体端部の接着面付近の母材で水平方向に二分する。

表 2.8 C-□100 シリーズおよび T-φ50 シリーズの試験結果まとめ

試験	材料	試験体数	最大応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	最大応力時の ひずみ度(μ)	ポアソン比 (-)	ALC50との比率	
							最大応力度	ヤング係数
圧縮	ALC50	6	4.26	2.14	3418	0.22	1.00	1.00
	ALC37	6	3.33	1.71	2521	0.17	0.78	0.80
	ALC42	5	2.71	1.04	2254	0.02	0.64	0.49
引張	ALC50	6	0.69	2.00	365	0.17	1.00	1.00
	ALC37	6	0.61	1.67	382	0.23	0.89	0.83
	ALC42	5	0.66	1.45	472	0.23	0.95	0.72
引張 圧縮	ALC50	-	0.16	0.93	0.11	0.76	-	-
	ALC37	-	0.18	0.97	0.15	1.30	-	-
	ALC42	-	0.24	1.39	0.21	11.35	-	-

表 2.9 C-φ64 シリーズの統計値

ロット	G～I			
	G	H	I	合計
試験体数	11	9	12	32
平均値σ (N/mm <sup>2</sup> )	3.24	3.32	3.49	3.35
標準偏差μ (N/mm <sup>2</sup> )	0.30	0.25	0.31	0.30
変動係数 (%)	9.3	7.5	8.8	9.0
最大値 (N/mm <sup>2</sup> )	3.76	3.83	3.92	3.92
最小値 (N/mm <sup>2</sup> )	2.78	2.99	2.92	2.78
μ-3σ (N/mm <sup>2</sup> )	2.33	2.58	2.57	2.45
μ+3σ (N/mm <sup>2</sup> )	4.14	4.07	4.40	4.26

## 2.3 グラウトの圧縮試験および割裂試験

### 2.3.1 試験体

本節では、次節以降に述べる各実験で使用したグラウトの材料特性を確認するために行った圧縮試験と割裂試験について述べる。

試験計画を表 2.10 に示す。グラウトには NMH と SLG を用いた。試験体形状は、圧縮試験および割裂試験ともに文献 2.6)を参考にφ50×100mm とした。各材料で規定されている水量および時間にてグラウトを攪拌し、モルタル用の供試体成形型枠を用いて試験体を作製した。養生方法は封緘養生とし、養生期間中は大気中にて保管した。養生期間は各実験の養生期間と合わせて 4~28 日とした。試験体名は以下のように定め、(1)~(3)までをシリーズ名とした。

$$\begin{array}{c} \text{シリーズ名} \\ \hline \text{NMH} - \text{C} - \text{P} - 1 \\ \begin{array}{cccc} (1) & (2) & (3) & (4) \end{array} \end{array}$$

- (1) グラウトの種類 [NMH、SLG]
- (2) 試験方法 [圧縮 (Compression) : C、割裂 (Splitting Tension) : ST]
- (3) 実験名の記号 [表 2.2 参照]
- (4) 試験体番号 [1,2,3...]

表 2.10 試験計画

試験方法	本論文の章・節	実験名	充填材	シリーズ名	養生期間 (日)	試験体数
圧縮	2.5・2.6	プリズム試験	NMH	NMH-C-P	6~28	52
			SLG	SLG-C-P	7~28	29
	3.2	無開口組積壁の面内せん断実験	NMH	NMH-C-InW	5~8	27
			SLG	SLG-C-InW	4~7	48
	4.2	有開口組積壁の面内せん断実験	NMH	NMH-C-InWO	5~7	9
	割裂	2.5・2.6	プリズム試験	NMH	NMH-ST-P	7~9
SLG				SLG-ST-P	7~9	6

### 2.3.2 試験方法

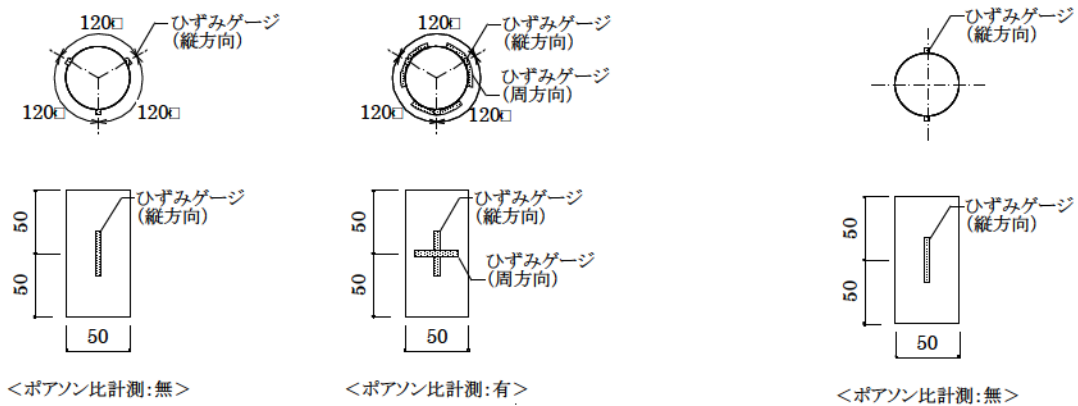
各シリーズの測定計画一覧を表 2.11 に、圧縮試験のひずみゲージ貼り付け位置を図 2.10 に、試験状況の写真を図 2.11 に示す。図 2.10 の試験日は表 2.13 にて後述する。

試験には、アムスラー型万能試験機（以下、アムスラー）を用いた。測定項目は、荷重、縦方向ひずみ度および周方向ひずみ度から各シリーズに応じて選択して測定を行った。荷重は試験機のロードセルより求め、各ひずみ度は試験体に貼り付けたひずみゲージ（東京測器研究所製、コンクリート用ひずみゲージ）により求めた。ひずみゲージの貼り付け箇所は、試験日に応じて図 2.10 の(a)と(b)の2種類とした。

本構法では打ち込み目地工法を採用していることからグラウトには高い流動性が求められるため、流動性の確認も合わせて行った。流動性を確認する試験は、J14 ロートを用いた流動性確認試験<sup>2.7)</sup>（以下、J ロート試験）と簡易テーブルフロー試験<sup>2.8)</sup>（以下、フロー試験）の2種類を行った。J ロート試験は、図 2.11(c)に示すような漏斗を流れる流下時間からグラウトの流動性を確認する試験であり、測定値には0.01 秒の単位まで測定できるストップウォッチにて3回測定した値の平均値を用いた。フロー試験は無収縮モルタル用に提案されているフロー試験で、測定値には円状に広がったグラウトの直角2方向をコンベックスにて測定した平均値を用いた。

表 2.11 各シリーズの測定計画一覧

シリーズ名	測定項目				
	荷重	縦方向 ひずみ度	周方向 ひずみ度	Jロート試験	フロー試験
NMH-C-P	○	一部○	一部○	○	○
SLG-C-P	○	一部○	一部○	○	○
NMH-C-InW	○	—	—	一部○	一部○
SLG-C-InW	○	—	—	—	—
NMH-C-InWO	○	—	—	—	—
NMH-ST-P	○	—	—	—	—
SLG-ST-P	○	—	—	—	—



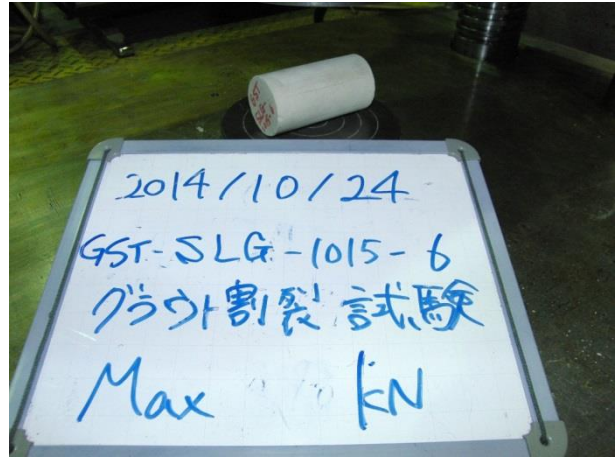
(a) 試験日 2014/10/22～2012/10/24

(b) 試験日 2014/10/22～2012/10/24 以外

図 2.10 圧縮試験のひずみゲージ貼り付け位置



(a) 圧縮試験



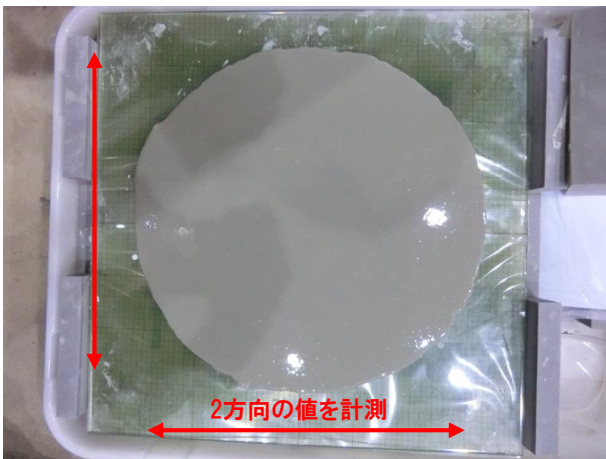
(b) 割裂試験



(c) Jロート試験



(d) フロー試験 (試験前)



(e) フロー試験 (試験後)

図 2.11 試験状況

### 2.3.3 試験結果

#### (1) 破壊性状・応力度－ひずみ度関係・圧縮強度・ヤング係数

破壊後の試験体を図 2.12 に、プリズム試験における養生期間 7～9 日の試験体の統計値を表 2.12 に、圧縮試験の結果一覧を表 2.13 に、割裂試験の結果一覧を表 2.14 に、応力度－ひずみ度関係を図 2.13 および図 2.14 に示す。圧縮強度は、最大荷重を試験体の断面積で除して求め、ヤング係数は試験より得られた応力度－ひずみ度関係における圧縮強度の 1/3 の点と原点との割線剛性とした。試験体断面積の測定を省略した試験体では、断面積を直径 50mm の円と仮定して圧縮強度を算出した。表 2.12 の圧縮試験の統計値は、NMH-C-P シリーズおよび SLG-C-P シリーズのうち、養生期間が 7～9 日のひずみゲージを貼り付けた試験体の値を用いた。圧縮強度時のひずみ度は、破壊の進行によりひずみ度が測定できなかった試験体については除外した。割裂強度 $\sigma_{st}$ は(2.3)式より求めた。

圧縮試験の破壊性状は、NMH と SLG 共にコンクリートと同様の圧縮破壊が生じた。割裂試験では、加力方向に試験体が 2 分するように破壊した。応力度－ひずみ度関係は、NMH、SLG とともに最大荷重の 2/3 程度で剛性が低下して最大荷重を迎えた。表 2.12 の統計結果をみると、養生期間が 7～9 日の平均値において、NMG では圧縮強度が 42.4N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数が 17.6N/mm<sup>2</sup>、圧縮強度時のひずみ度が 4269 $\mu$ 、ポアソン比が 0.23、割裂強度が 2.64N/mm<sup>2</sup> が得られ、SLG では圧縮強度が 14.6N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数が 10.2N/mm<sup>2</sup>、圧縮強度時のひずみ度が 2841 $\mu$ 、ポアソン比が 0.20、割裂強度が 1.20N/mm<sup>2</sup> が得られた。

$$\sigma_{st} = 2P_{max}/\pi dh \quad (2.3)$$

ここに

$\sigma_{st}$  : 割裂強度

$d$  : 試験体の直径

$P_{max}$  : 最大荷重

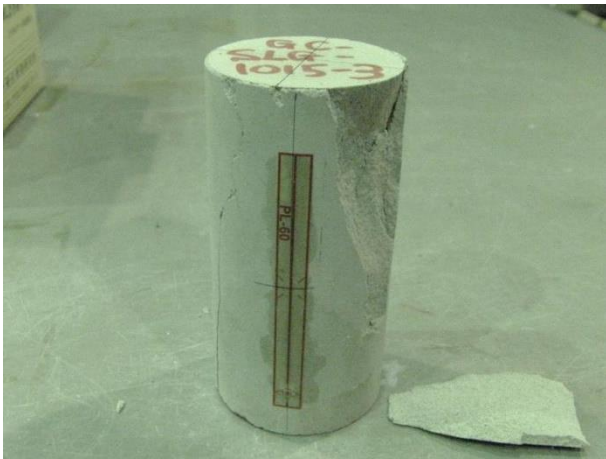
$h$  : 試験体の高さ



(a) NMH (圧縮試験)



(b) NMH (割裂試験)



(c) SLG (圧縮試験)



(d) SLG (割裂試験)

図 2.12 破壊後の試験体



表 2.12 プリズム試験における養生期間 7～9 日の試験体の統計値

(a) NMH-C-P シリーズ

項目	NMH-C-Pシリーズ				
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度時の ひずみ度( $\mu$ )	ポアソン比 (-)	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
試験体数	22	22	21	3	6
平均値	42.4	17.6	4269	0.23	2.64
標準偏差	3.9	1.3	668	0.02	0.54
最大値	48.8	20.3	5218	0.24	3.16
最小値	34.6	14.8	2202	0.20	1.66
$\mu+3\sigma$	54.1	21.5	6272	0.29	4.25
$\mu-3\sigma$	30.7	13.6	2265	0.16	1.03

(b) SLG-C-P シリーズ

項目	SLG-C-Pシリーズ				
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度時の ひずみ度( $\mu$ )	ポアソン比 (-)	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
試験体数	18	18	16	3	6
平均値	14.6	10.2	2841	0.20	1.20
標準偏差	2.3	0.8	762	0.00	0.10
最大値	17.4	11.1	3966	0.20	1.40
最小値	9.6	8.8	1253	0.19	1.11
$\mu+3\sigma$	21.6	12.6	5126	0.21	1.51
$\mu-3\sigma$	7.6	7.9	556	0.19	0.89

表 2.13-1 グラウト圧縮試験の試験結果一覧

試験体名	試験日	養生 (日)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	高さ (mm)	Jロート (秒)	フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	最大強度時 ひずみ度(μ)	ポアソン比 (-)
NMH-C-P-1	2014/10/22	7	1977	-	14.4	338	45.2	18.8	4584	0.23
NMH-C-P-2	2014/10/22	7	1991	-	8.5	395	39.8	14.8	4766	-
NMH-C-P-3	2014/10/22	7	1987	-	11.5	335	42.9	17.8	4630	-
NMH-C-P-4	2014/10/23	8	1983	-	14.4	338	46.8	18.8	4936	0.20
NMH-C-P-5	2014/10/23	8	1985	-	8.5	395	41.4	14.8	5218	-
NMH-C-P-6	2014/10/23	8	1975	-	11.5	335	45.5	18.0	4650	-
NMH-C-P-7	2014/10/24	9	1975	-	14.4	338	36.3	20.3	2202	0.24
NMH-C-P-8	2014/10/24	9	1985	-	8.5	395	42.5	15.5	4620	-
NMH-C-P-9	2014/10/24	9	1987	-	11.5	335	47.3	17.8	4966	-
NMH-C-P-10	2014/10/29	7	1983	-	14.0	315	45.1	17.6	4107	-
NMH-C-P-11	2014/10/29	7	1983	-	12.8	323	43.1	17.3	4684	-
NMH-C-P-12	2014/10/29	7	1979	-	11.5	323	40.9	17.4	4218	-
NMH-C-P-13	2014/10/30	8	1981	-	14.0	315	47.1	18.5	4541	-
NMH-C-P-14	2014/10/30	8	1981	-	12.8	323	45.0	17.4	4306	-
NMH-C-P-15	2014/10/30	8	1983	-	11.5	323	44.1	18.1	4058	-
NMH-C-P-16	2014/11/19	28	1981	-	14.0	315	66.6	20.8	5185	-
NMH-C-P-17	2014/11/19	28	1981	-	12.8	323	62.5	19.3	-	-
NMH-C-P-18	2014/11/19	28	1979	-	11.5	323	59.5	23.6	3371	-
NMH-C-P-19	2014/11/5	7	1975	-	13.3	330	41.4	17.5	4355	-
NMH-C-P-20	2014/11/5	7	1983	-	17.1	303	48.8	19.1	-	-
NMH-C-P-21	2014/11/5	7	1979	-	14.0	313	38.8	17.3	4031	-
NMH-C-P-22	2014/11/5	7	1979	-	11.0	318	36.0	17.0	3946	-
NMH-C-P-23	2014/11/5	7	1977	-	13.8	313	38.4	16.8	4007	-
NMH-C-P-24	2014/11/5	7	1973	-	14.1	316	41.9	17.8	3531	-
NMH-C-P-25	2014/11/5	7	1975	-	12.0	321	34.6	18.0	3285	-
NMH-C-P-26	2014/11/6	8	1975	-	13.3	330	42.5	-	-	-
NMH-C-P-27	2014/11/6	8	1991	-	17.1	303	49.0	-	-	-
NMH-C-P-28	2014/11/6	8	1979	-	14.0	313	41.7	-	-	-
NMH-C-P-29	2014/11/6	8	1985	-	11.0	318	36.9	-	-	-
NMH-C-P-30	2014/11/6	8	1973	-	13.8	313	41.6	-	-	-
NMH-C-P-31	2014/11/6	8	1975	-	14.1	316	43.2	-	-	-
NMH-C-P-32	2014/11/6	8	1985	-	12.0	321	38.9	-	-	-
NMH-C-P-33	2014/11/7	9	1977	-	13.3	330	43.5	-	-	-
NMH-C-P-34	2014/11/7	9	1979	-	17.1	303	51.8	-	-	-
NMH-C-P-35	2014/11/7	9	1983	-	14.0	313	43.0	-	-	-
NMH-C-P-36	2014/11/7	9	1979	-	11.0	318	36.9	-	-	-
NMH-C-P-37	2014/11/7	9	1975	-	13.8	313	41.7	-	-	-
NMH-C-P-38	2014/11/7	9	1991	-	14.1	316	44.3	-	-	-
NMH-C-P-39	2014/11/7	9	1975	-	12.0	321	39.1	-	-	-
NMH-C-P-40	2014/11/12	7	1985	-	14.5	315	40.9	-	-	-
NMH-C-P-41	2014/11/12	7	1977	-	13.0	323	39.3	-	-	-
NMH-C-P-42	2014/11/12	7	1975	-	14.5	322	39.5	-	-	-
NMH-C-P-43	2014/11/12	7	1977	-	13.7	307	38.6	-	-	-
NMH-C-P-44	2014/11/12	7	1989	-	14.3	323	41.2	-	-	-
NMH-C-P-45	2014/11/12	7	1981	-	14.0	324	41.3	-	-	-
NMH-C-P-46	2014/11/12	7	1979	-	17.0	321	43.3	-	-	-
NMH-C-P-47	2014/11/12	7	1981	-	14.8	336	41.2	-	-	-
NMH-C-P-48	2014/11/12	6	1981	-	12.0	328	35.2	-	-	-
NMH-C-P-49	2014/11/19	7	1987	-	16.7	335	40.2	-	-	-
NMH-C-P-50	2014/11/19	7	1973	-	15.9	342	41.3	-	-	-
NMH-C-P-51	2014/11/19	7	1987	-	15.1	331	40.9	-	-	-
NMH-C-P-52	2014/11/19	7	1971	-	13.8	332	38.3	-	-	-

表 2.13-2 グラウト圧縮試験の試験結果一覧

試験体名	試験日	養生期間 (日)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	高さ (mm)	Jロート (秒)	フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	最大強度時 ひずみ度(μ)	ポアソン比 (-)
SLG-C-P-1	2014/10/22	7	1983	-	9.7	305	16.5	10.4	2649	0.20
SLG-C-P-2	2014/10/22	7	1977	-	9.7	305	16.4	10.6	2801	-
SLG-C-P-3	2014/10/22	7	1989	-	9.7	305	11.9	10.5	-	-
SLG-C-P-4	2014/10/23	8	1979	-	9.7	305	16.5	10.8	2697	0.20
SLG-C-P-5	2014/10/23	8	1979	-	9.7	305	16.0	10.6	2607	-
SLG-C-P-6	2014/10/23	8	1983	-	9.7	305	9.6	11.1	-	-
SLG-C-P-7	2014/10/24	9	1987	-	9.7	305	13.2	10.7	1253	0.19
SLG-C-P-8	2014/10/24	9	1981	-	9.7	305	11.9	10.9	1595	-
SLG-C-P-9	2014/10/24	9	1981	-	9.7	305	16.2	10.4	3166	-
SLG-C-P-10	2014/10/29	7	1975	-	7.9	309	12.9	8.9	3027	-
SLG-C-P-11	2014/10/29	7	1977	-	8.4	315	15.3	10.2	2893	-
SLG-C-P-12	2014/10/29	7	1977	-	13.4	295	17.4	11.1	3565	-
SLG-C-P-13	2014/10/30	8	1979	-	7.9	309	11.3	9.7	1817	-
SLG-C-P-14	2014/10/30	8	1977	-	8.4	315	15.7	10.2	3499	-
SLG-C-P-15	2014/10/30	8	1973	-	13.4	295	17.4	11.1	3016	-
SLG-C-P-16	2014/11/19	28	1979	-	7.9	309	11.3	9.3	1536	-
SLG-C-P-17	2014/11/19	28	1983	-	8.4	315	16.9	9.4	3777	-
SLG-C-P-18	2014/11/19	28	1981	-	13.4	295	19.4	10.6	3127	-
SLG-C-P-19	2014/11/5	7	1977	-	14.8	287	16.4	9.5	3855	-
SLG-C-P-20	2014/11/5	7	1971	-	11.1	300	14.6	8.8	3966	-
SLG-C-P-21	2014/11/5	7	1973	-	11.0	298	13.5	8.9	3047	-
SLG-C-P-22	2014/11/6	8	1991	-	14.8	287	17.2	-	-	-
SLG-C-P-23	2014/11/6	8	1981	-	11.1	300	15.0	-	-	-
SLG-C-P-24	2014/11/6	8	1973	-	11.0	298	16.5	-	-	-
SLG-C-P-25	2014/11/7	9	1987	-	14.8	287	17.6	-	-	-
SLG-C-P-26	2014/11/7	9	1973	-	11.1	300	16.1	-	-	-
SLG-C-P-27	2014/11/7	9	1973	-	11.0	298	15.6	-	-	-
SLG-C-P-28	2014/11/19	7	1979	-	9.8	300	15.6	-	-	-
SLG-C-P-29	2014/11/19	7	1983	-	9.5	295	17.4	-	-	-
NMH-C-InW-1	2014/12/25	7	1963	-	22.9	313	32.4	-	-	-
NMH-C-InW-2	2014/12/25	6	1963	-	-	-	32.7	-	-	-
NMH-C-InW-3	2014/12/25	6	1963	-	41.5	305	32.5	-	-	-
NMH-C-InW-4	2014/12/25	6	1963	-	-	-	35.1	-	-	-
NMH-C-InW-5	2014/12/25	6	1963	-	45.7	306	42.6	-	-	-
NMH-C-InW-6	2014/12/25	6	1963	-	-	-	37.1	-	-	-
NMH-C-InW-7	2014/12/8	7	1963	-	30.5	299	37.3	-	-	-
NMH-C-InW-8	2014/12/8	7	1963	-	-	-	41.9	-	-	-
NMH-C-InW-9	2014/12/8	7	1963	-	-	-	35.0	-	-	-
NMH-C-InW-10	2014/12/8	7	1963	-	-	-	35.7	-	-	-
NMH-C-InW-11	2014/12/8	7	1963	-	-	-	25.2	-	-	-
NMH-C-InW-12	2014/12/8	7	1963	-	-	-	29.7	-	-	-
NMH-C-InW-13	2014/12/8	7	1963	-	-	-	37.4	-	-	-
NMH-C-InW-14	2014/12/8	6	1963	-	-	-	35.0	-	-	-
NMH-C-InW-15	2014/12/8	6	1963	-	29.8	303	39.7	-	-	-
NMH-C-InW-16	2014/12/8	6	1963	-	-	-	38.6	-	-	-
NMH-C-InW-17	2014/12/8	6	1963	-	-	-	30.2	-	-	-
NMH-C-InW-18	2014/12/8	6	1963	-	-	-	35.5	-	-	-
NMH-C-InW-19	2014/12/8	6	1963	-	26.5	306	33.4	-	-	-
NMH-C-InW-20	2014/12/8	6	1963	-	-	-	33.3	-	-	-
NMH-C-InW-21	2014/12/8	5	1963	-	-	-	-	-	-	-
NMH-C-InW-22	2014/12/8	5	1963	-	-	-	34.6	-	-	-
NMH-C-InW-23	2014/12/17	8	1963	-	-	-	40.9	-	-	-
NMH-C-InW-24	2014/12/17	8	1963	-	24.6	322	37.0	-	-	-
NMH-C-InW-25	2014/12/17	8	1963	-	22.5	318	39.0	-	-	-
NMH-C-InW-26	2014/12/17	8	1963	-	22.8	317	37.1	-	-	-
NMH-C-InW-27	2014/12/17	6	1963	-	-	-	30.9	-	-	-

表 2.13-3 グラウト圧縮試験の試験結果一覧

試験体名	試験日	養生期間 (日)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	高さ (mm)	Jロート (秒)	フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	最大強度時 ひずみ度(μ)	ポアソン比 (-)
SLG-C-InW-1	2013/11/12	5	1984	-	-	-	12.7	-	-	-
SLG-C-InW-2	2013/11/12	5	1979	-	-	-	8.8	-	-	-
SLG-C-InW-3	2013/11/12	5	1978	-	-	-	14.5	-	-	-
SLG-C-InW-4	2013/11/12	4	1982	-	-	-	15.4	-	-	-
SLG-C-InW-5	2013/11/12	4	1979	-	-	-	15.3	-	-	-
SLG-C-InW-6	2013/11/12	4	1980	-	-	-	13.9	-	-	-
SLG-C-InW-7	2013/11/12	4	1980	-	-	-	15.9	-	-	-
SLG-C-InW-8	2013/11/12	4	1978	-	-	-	15.4	-	-	-
SLG-C-InW-9	2013/11/12	4	1981	-	-	-	14.9	-	-	-
SLG-C-InW-10	2013/11/12	4	1988	-	-	-	15.0	-	-	-
SLG-C-InW-11	2013/11/12	4	1985	-	-	-	14.3	-	-	-
SLG-C-InW-12	2013/11/12	4	1979	-	-	-	15.0	-	-	-
SLG-C-InW-13	2013/11/12	4	1982	-	-	-	14.8	-	-	-
SLG-C-InW-14	2013/11/6	6	1973	-	-	-	13.9	-	-	-
SLG-C-InW-15	2013/11/6	6	1978	-	-	-	11.3	-	-	-
SLG-C-InW-16	2013/11/6	6	1979	-	-	-	14.8	-	-	-
SLG-C-InW-17	2013/11/6	6	1972	-	-	-	14.3	-	-	-
SLG-C-InW-18	2013/11/6	6	1976	-	-	-	14.3	-	-	-
SLG-C-InW-19	2013/11/6	6	1978	-	-	-	17.8	-	-	-
SLG-C-InW-20	2013/11/6	6	1976	-	-	-	14.8	-	-	-
SLG-C-InW-21	2013/11/6	6	1985	-	-	-	15.5	-	-	-
SLG-C-InW-22	2013/11/6	6	1973	-	-	-	15.4	-	-	-
SLG-C-InW-23	2013/11/6	6	1979	-	-	-	11.7	-	-	-
SLG-C-InW-24	2013/11/6	6	1969	-	-	-	15.3	-	-	-
SLG-C-InW-25	2013/11/6	6	1979	-	-	-	14.1	-	-	-
SLG-C-InW-26	2013/11/6	5	1982	-	-	-	15.7	-	-	-
SLG-C-InW-27	2013/11/6	5	1980	-	-	-	14.9	-	-	-
SLG-C-InW-28	2013/11/6	5	1981	-	-	-	16.1	-	-	-
SLG-C-InW-29	2013/11/6	5	1978	-	-	-	14.0	-	-	-
SLG-C-InW-30	2013/11/6	5	1985	-	-	-	14.8	-	-	-
SLG-C-InW-31	2013/11/6	5	1982	-	-	-	14.5	-	-	-
SLG-C-InW-32	2013/11/6	5	1982	-	-	-	15.0	-	-	-
SLG-C-InW-33	2013/11/6	5	1982	-	-	-	14.8	-	-	-
SLG-C-InW-34	2013/11/6	5	1983	-	-	-	15.0	-	-	-
SLG-C-InW-35	2013/10/30	7	1979	-	-	-	12.9	-	-	-
SLG-C-InW-36	2013/10/30	7	1979	-	-	-	13.4	-	-	-
SLG-C-InW-37	2013/10/30	7	1971	-	-	-	13.5	-	-	-
SLG-C-InW-38	2013/10/30	7	1995	-	-	-	14.1	-	-	-
SLG-C-InW-39	2013/10/30	7	1979	-	-	-	12.8	-	-	-
SLG-C-InW-40	2013/10/30	7	1995	-	-	-	12.4	-	-	-
SLG-C-InW-41	2013/10/30	7	1987	-	-	-	12.5	-	-	-
SLG-C-InW-42	2013/10/30	7	1995	-	-	-	11.9	-	-	-
SLG-C-InW-43	2013/10/30	7	1979	-	-	-	11.1	-	-	-
SLG-C-InW-44	2013/10/30	7	1979	-	-	-	12.4	-	-	-
SLG-C-InW-45	2013/10/30	7	1995	-	-	-	12.6	-	-	-
SLG-C-InW-46	2013/10/30	7	1987	-	-	-	13.2	-	-	-
SLG-C-InW-47	2013/10/30	7	1987	-	-	-	14.6	-	-	-
SLG-C-InW-48	2013/10/30	7	1987	-	-	-	14.7	-	-	-
NMH-C-InWO-1	2015/8/31	7	1963	-	-	-	81.1	-	-	-
NMH-C-InWO-2	2015/8/31	6	1963	-	-	-	70.7	-	-	-
NMH-C-InWO-3	2015/8/31	5	1963	-	-	-	62.5	-	-	-
NMH-C-InWO-4	2015/9/8	6	1963	-	-	-	66.6	-	-	-
NMH-C-InWO-5	2015/9/8	6	1963	-	-	-	60.4	-	-	-
NMH-C-InWO-6	2015/9/8	6	1963	-	-	-	59.3	-	-	-
NMH-C-InWO-7	2015/9/16	7	1963	-	-	-	67.4	-	-	-
NMH-C-InWO-8	2015/9/16	6	1963	-	-	-	63.1	-	-	-
NMH-C-InWO-9	2015/9/16	6	1963	-	-	-	69.8	-	-	-

表 2.14 グラウト割裂試験の試験結果一覧

試験体名	試験日	養生期間 (日)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	高さ (mm)	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
NMH-ST-P-1	2014/10/22	7	1985	98.7	3.07
NMH-ST-P-2	2014/10/22	7	1981	99.4	2.63
NMH-ST-P-3	2014/10/22	7	1983	98.6	2.74
NMH-ST-P-4	2014/10/24	9	1981	98.7	3.16
NMH-ST-P-5	2014/10/24	9	1983	99.0	2.58
NMH-ST-P-6	2014/10/24	9	1981	98.9	1.66
SLG-ST-P-1	2014/10/22	7	1985	97.9	1.20
SLG-ST-P-2	2014/10/22	7	1981	99.5	1.11
SLG-ST-P-3	2014/10/22	7	1977	99.7	1.14
SLG-ST-P-4	2014/10/24	9	1979	99.8	1.18
SLG-ST-P-5	2014/10/24	9	1979	100.3	1.15
SLG-ST-P-6	2014/10/24	9	1979	99.4	1.40

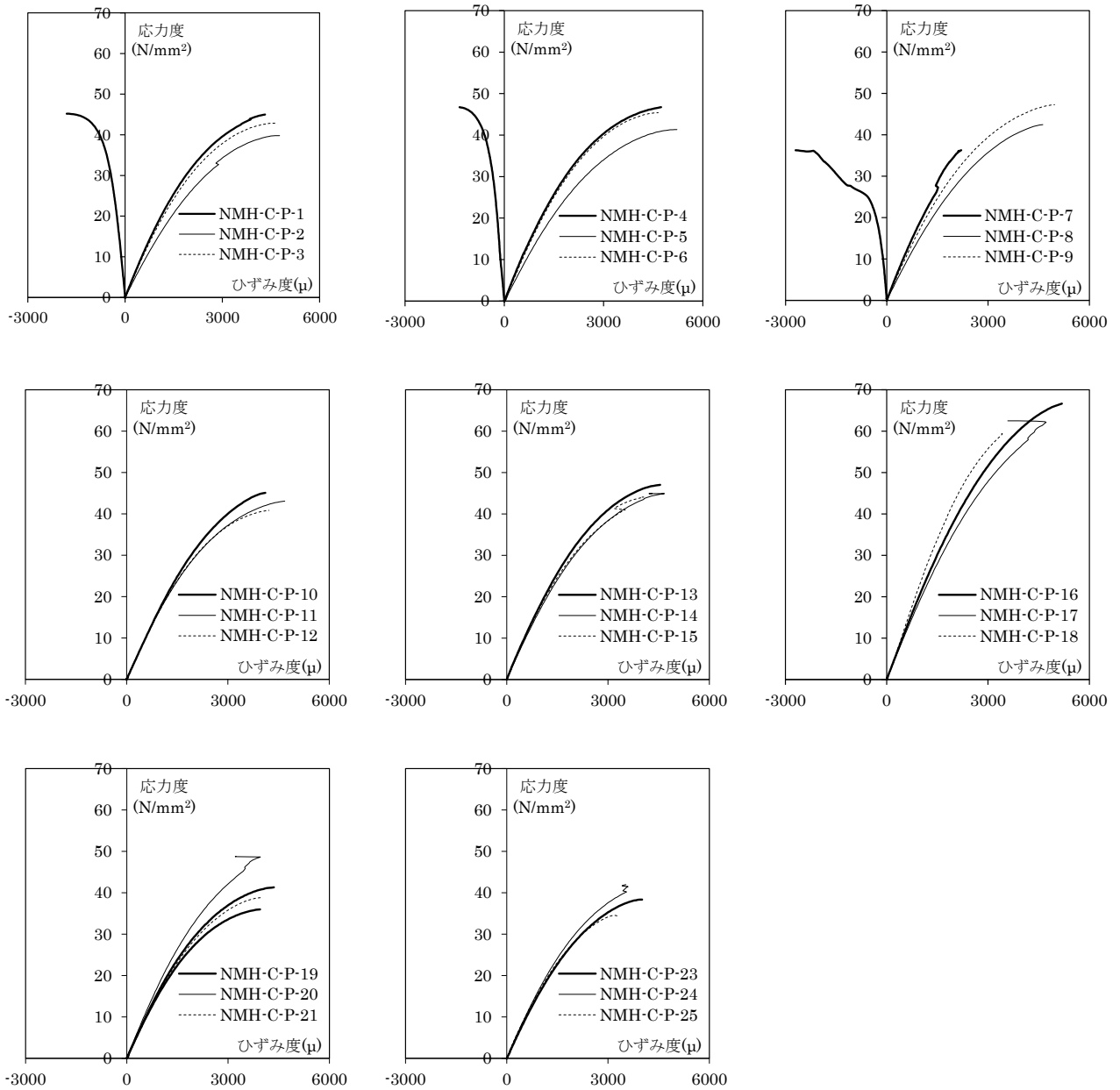


図 2.13 応力度－ひずみ度関係 (NMH-C-P シリーズ)

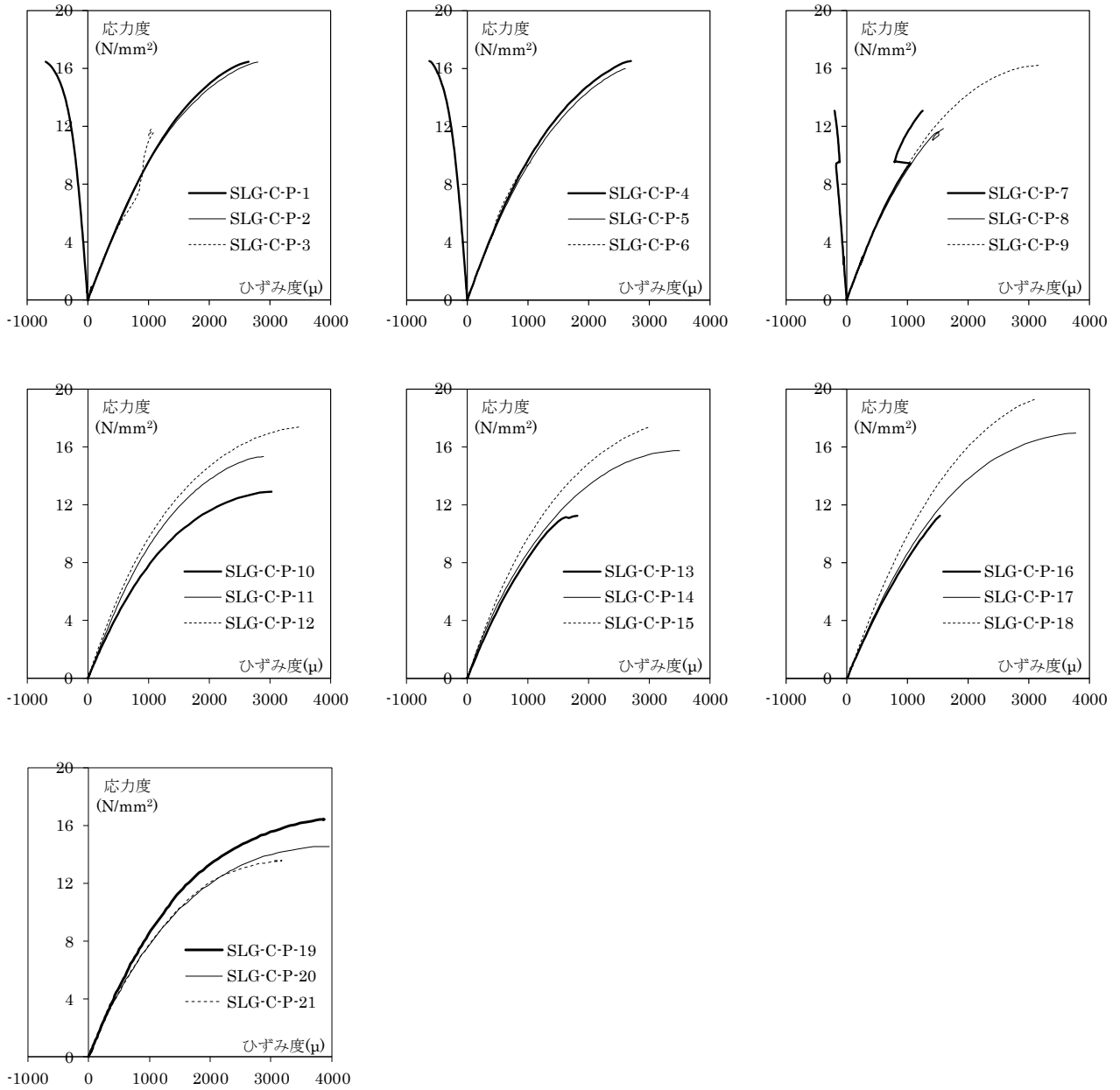


図 2.14 応力度－ひずみ度関係 (SLG-C-P シリーズ)

(2) 各シリーズのグラウトの材料特性

各シリーズのグラウトの材料特性を表 2.15 に示す。表 2.15 には、それぞれの項目における平均値を示した。NMH では圧縮強度が 40~70N/mm<sup>2</sup> 程度、ヤング係数が 17~21kN/mm<sup>2</sup> 程度が得られ、試験時期の気温によりばらつきがあるものの、1 週強度は安定して 40N/mm<sup>2</sup> 以上の値を示した。SLC は圧縮強度が 13~16N/mm<sup>2</sup> 程度、ヤング係数が 9~11kN/mm<sup>2</sup> 程度が得られ、NMH と比較してばらつきの小さい値が得られた。

表 2.15 各シリーズのグラウトの材料特性

試験方法	シリーズ名	試験体番号	試験体数	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
圧縮	NMH-C-P	1~9	9	43.1	17.4	-
		10~15	6	44.2	17.7	
		16~18	3	62.9	21.2	
		19~39	21	41.6	17.6	
		40~52	13	40.1	-	
	SLG-C-P	1~9	9	14.2	10.7	
		10~15	6	15.0	10.2	
		16~18	3	15.9	9.8	
		19~27	9	15.8	9.1	
		28~29	2	16.5	-	
	NMH-C-InW	1~6	6	35.4	-	
		7~22	16	34.8	-	
		23~27	5	37.0	-	
	SLG-C-InW	1~13	13	14.3	-	
		14~34	21	14.7	-	
		35~48	14	13.0	-	
	NMH-C-InWO	1~3	3	71.5	-	
		4~6	3	62.1	-	
7~9		3	66.8	-		
割裂	NMH-ST-P	1~6	6	-	-	2.6
	SLG-ST-P	1~6	6	-	-	1.2



### (3) 圧縮強度およびヤング係数と各試験条件の関係

圧縮強度およびヤング係数と各試験条件の関係を図 2.15 に示す。(a)～(d)には圧縮強度およびヤング係数と J ロートまたはフローの関係を、(e)には J ロートとフローの関係を、(f)～(h)には圧縮強度およびヤング係数と養生期間の関係を、(i)および(j)にはヤング係数および割裂強度と圧縮強度の関係を示した。(f)と(g)には、NMH と SLG のカタログに記載される試験結果の値も併記した<sup>2.9),2.10)</sup>。(i)の割裂強度と圧縮強度の関係では、割裂試験と試験体作製日および養生期間が同じ圧縮試験の結果について比較した。(h)には(2.4)式に示すコンクリートに関するヤング係数推定式<sup>2.11)</sup> (以下、AIJ 式) を、(i)には(2.5)式に示すコンクリートに関する割裂強度推定式<sup>2.12)</sup> (以下、靱性指針式) を併記した。AIJ 式と靱性指針式ではコンクリートをグラウトと読み替え、 $f_c$ にはグラウトの圧縮強度を、 $\gamma$ には  $21.3\text{kN/m}^3$ を代入した<sup>2.13)</sup>。

$$E_c = 33500 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{f_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.4)$$

$$f_t = 0.33\sqrt{f_c} \quad (2.5)$$

ここに

$E_c$  : コンクリートのヤング係数

$\gamma$  : コンクリートの比重

$f_c$  : コンクリートの設計基準強度

$f_t$  : コンクリートの引張強度

### 1) 圧縮強度およびヤング係数と流動性の関係

(a)および(b)をみると圧縮強度と J ロートおよびフローの相関関係は低い、(c)および(d)をみると NMH のヤング係数は J ロートの秒数が短いほど、フローの値が大きいかほど小さくなる傾向が見られた。NMH に関しては、流動性は圧縮強度への影響は小さいが、ヤング係数には影響を与える可能性があると考えられる。

(e)の J ロートとフローの関係をみると、フローの値は J ロートの秒数が短いほど大きくなる傾向が見られた。

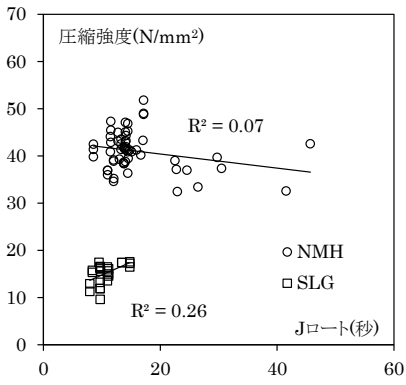
### 2) 圧縮強度およびヤング係数と養生期間の関係

(f)および(g)の圧縮強度と養生期間の関係をみると、NMH は養生期間が長くなるにつれて圧縮強度が高くなり、SLC は養生期間によらず圧縮強度はほぼ一定の値を示した。また、NMH はカタログ値とも比較的良い対応を示したのに対し、SLG は実験値がカタログ値よりも小さい値を示した。これは、SLG のカタログ値が文献 2.14)に従い $40 \times 160\text{mm}$ の標準養生をした試験体を使用するなど、本試験との試験条件が異なることなどによるものと考えられる。

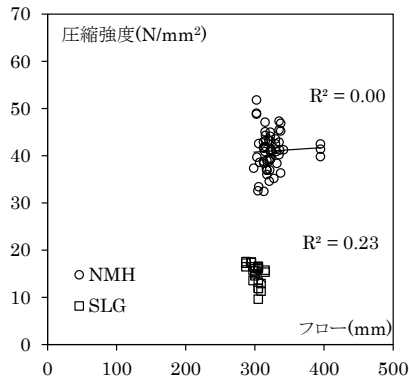
(h)のヤング係数と養生期間の関係についても、NMH では養生期間が長くなるとヤング係数が大きくなるのに対し、SLG では養生期間に関わらずほぼ一定の値を示した。

### 3) ヤング係数および割裂強度と圧縮強度の関係

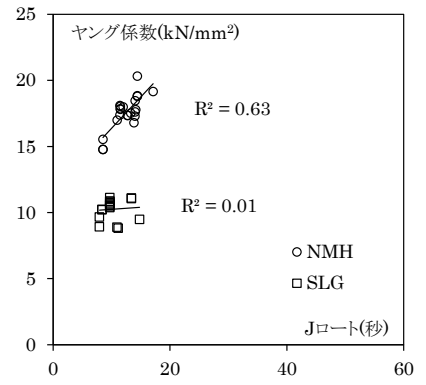
(i)のヤング係数と圧縮強度の関係をみると、AIJ 式はグラウトのヤング係数をやや低めに評価することが確認された。また、(j)の割裂強度と圧縮強度の関係をみると、靱性指針式は NMH では割裂強度をやや低めに、SLG では割裂強度のおおよそ平均値を評価することが確認された。



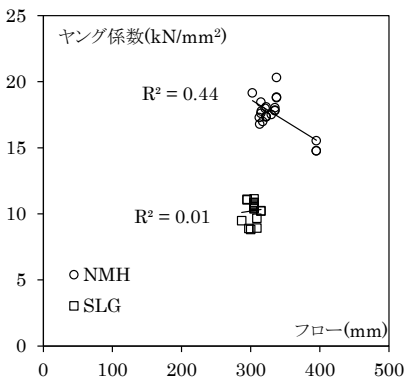
(a) 圧縮強度-J ロート



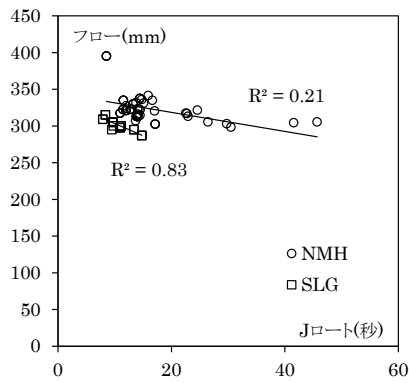
(b) 圧縮強度-フロー



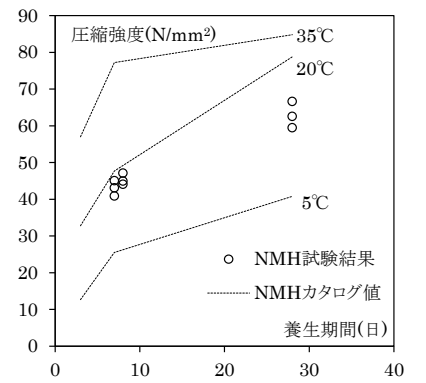
(c) ヤング係数-J ロート



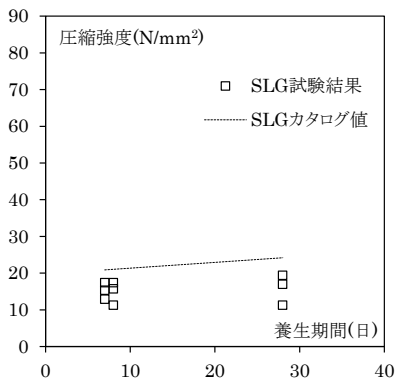
(d) ヤング係数-フロー



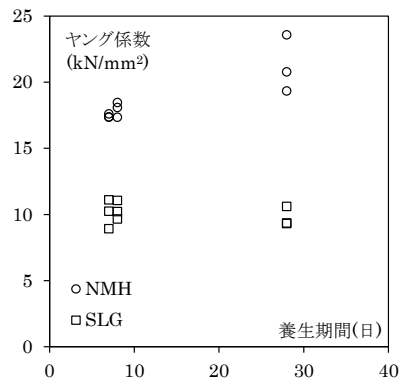
(e) フロー-J ロート



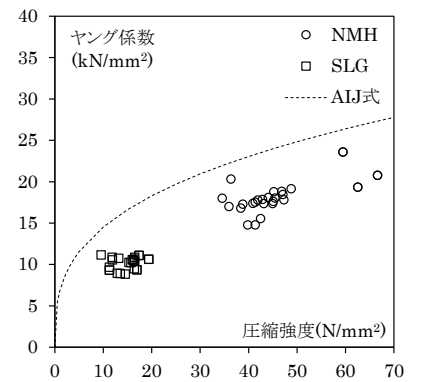
(f) 圧縮強度-養生期間(NMH)



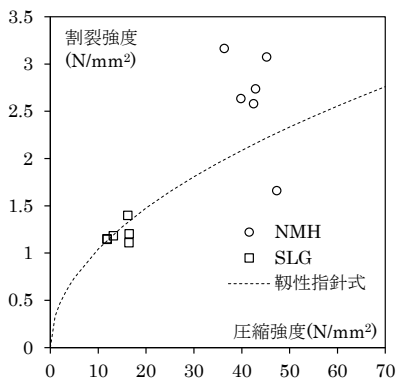
(g) 圧縮強度-養生期間(SLG)



(h) ヤング係数-養生期間



(i) ヤング係数-圧縮強度



(j) 割裂強度-圧縮強度

図 2.15 圧縮強度およびヤング係数と各試験条件の関係

## 2.4 鉄筋の引張試験

### 2.4.1 試験体

本節では、次章以降に述べる各実験で使用した縦筋、横筋、内部鉄筋の材料特性を確認するために行った引張試験（以下、本節では鉄筋試験）について述べる。併せて、高ナットを用いた機械式継手の縦筋接合部（以下、縦筋継手）の力学的特性を確認するために行った引張試験（以下、継手試験）について述べる。

試験計画を表 2.16 に、試験体の図および写真を図 2.16 と図 2.17 に示す。表 2.16 には各試験体のシリーズ名を併記した。

鉄筋試験の試験体には、縦筋では M16 と M22（みがき棒鋼用一般鋼材 SGD3<sup>2.15)</sup>）および M20（建築構造用圧延棒鋼 SNR490B<sup>2.16)</sup>）のネジ加工を行っていない丸鋼を、横筋では D10 の異形鉄筋（鉄筋コンクリート用棒鋼 SD295A<sup>2.17)</sup>）を、内部鉄筋では 3.2 の鉄線（JIS A 5416<sup>2.3)</sup>「軽量気泡コンクリートパネル」箇条 7.2 補強材に規定されている鉄線<sup>2.18)</sup>で軟鋼線材 SWRM6<sup>2.19)</sup>を延伸したもの）を用いた。縦筋および横筋の形状は JIS Z 2241<sup>2.20)</sup>の 2 号試験片に従い、試験体長さはつかみの距離が径の 10 倍程度確保できる長さとした。

継手試験の試験体には、各径の高ナット（冷間圧造用炭素鋼 SWCH10R<sup>2.21)</sup>、高さは径によらず 80mm）の両端にネジ加工した縦筋を接合したものを用いた。ネジの埋込み長さは実際に施工される最も短い寸法として両側 30mm とし、M16 および M22 については第 3 章での実験結果と比較するために埋込み長さを片側のみ 15mm とした試験体も用いた。

試験体番号は以下のように定め、(1)～(4)までをシリーズ名とした。SGD3 は SS400 相当品として使用されているため、試験体番号の(2)の値は 400 とした。φ 3.2 の材料強度の規格値は省略した。D10-295-T-InW シリーズについて、試験体番号 1～6 は無開口組積壁の ALC50 を用いた試験体に、試験体番号 7～12 は無開口組積壁の ALC37 および ALC42 を用いた試験体に対応する。

シリーズ名  
┌──────────────────┐  
M16－ 400 － T － InW－ 1  
          (1)      (2)      (3)      (4)      (5)

(1) 縦筋・横筋・鋼線の径または継手試験の径および埋込み長さ

[M16、M22、M20、φ3.2、M16C15、M16C30、M22C15、M22C30、M20C30]

(2) 縦筋の引張強度の規格値または横筋の降伏点の規格値 [400、490、295]

(3) 载荷方法 [単調载荷：T、繰返し载荷：TC]

(4) 実験名の記号 [前述の表 2.2 参照]

(5) 試験体番号 [1,2,3...]

表 2.16 試験計画

実験名	載荷方法	部位	径(断面) (mm)	素材	試験体長さ (mm)	シリーズ名	試験 体数
無開口組積壁の 面内せん断実験 (ALC50)	単調	縦筋	M16	SGD3	800	M16-400-T-InW	3
			M22			M22-400-T-InW	3
		横筋	D10	SD295A	800	D10-295-T-InW	6
		縦筋継手	M16	SGD3	(15-30) <sup>*1</sup>	M16C15-400-T-InW	3
					(30-30) <sup>*1</sup>	M16C30-400-T-InW	3
		M22	SWCH10R	(15-30) <sup>*1</sup>	M22C15-400-T-InW	3	
	(30-30) <sup>*1</sup>			M22C30-400-T-InW	3		
	繰り返し	縦筋継手	M16	SGD3	(30-30) <sup>*1</sup>	M16C30-400-TC-InW	1
M22			SWCH10R	M22C30-400-TC-InW		1	
無開口組積壁の 面内せん断実験 (ALC37・ALC42)	単調	縦筋	M20	SNR490B	500	M20-490-T-InW	3
		横筋	D10	SD295A	450	D10-295-T-InW	6
		内部鉄筋	φ3.2	SWRM6	600	φ3.2-T-InW	9
		縦筋継手	M20	SNR490B SWCH10R	(30-30) <sup>*1</sup>	M20C30-490-T-InW	3
有開口組積壁の 面内せん断実験	単調	縦筋	M20	SNR490B	600	M20-490-T-InWO	3
		横筋	D10	SD295A	600	D10-295-T-InWO	3

\*1: ネジ部の高ナットへの埋込み長さ



(a) M16-400-T-InW シリーズ



(b) M22-400-T-InW シリーズ



(c) D10-295-T-InW シリーズ

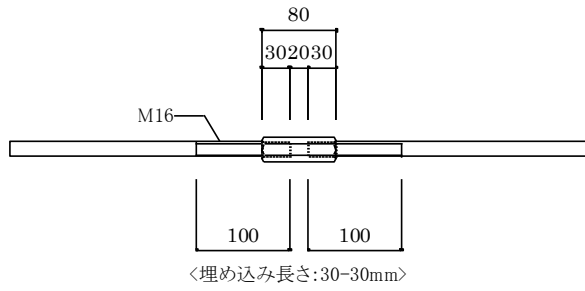
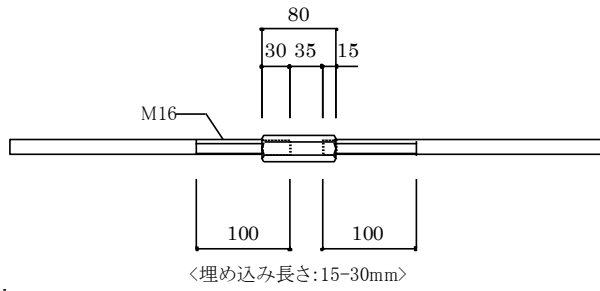


(d) M20-490-T-ST シリーズ

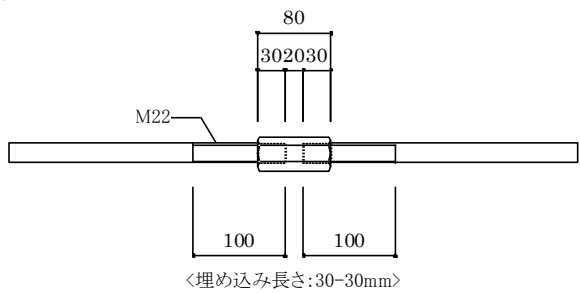
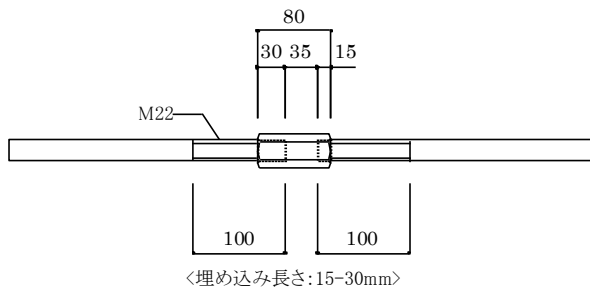


(e) φ3.2-T-InW-1

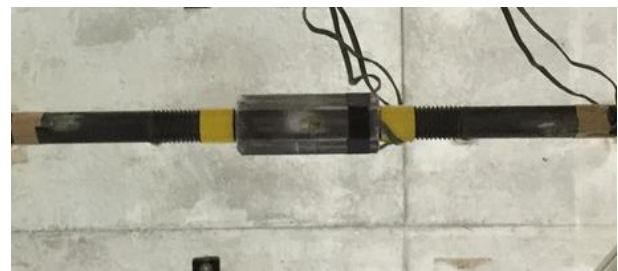
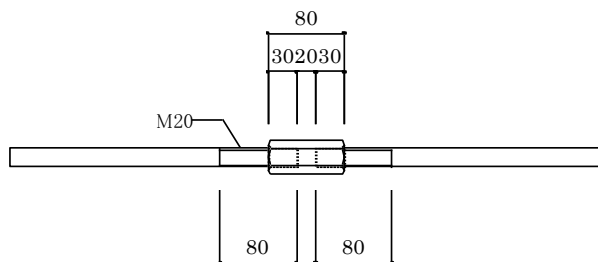
図 2.16 試験体 (鉄筋試験)



(a) 縦筋継手-M16 (SDG3)



(b) 縦筋継手-M22 (SDG3)



(b) 縦筋継手-M20 (SNR490B)

図 2.17 試験体 (継手試験)

## 2.4.2 試験方法

継手試験の加力スケジュールを表 2.17 に、継手試験の測定方法を図 2.18 に、試験状況を図 2.19 に示す。

試験装置にはアムスラーを用いた。載荷方法は、鉄筋試験では単調引張載荷を、継手試験では単調引張載荷と繰り返し載荷の 2 種類を行った。継手試験では、高ナットとボルトの間のわずかな隙間により変形が進行してしまうため、試験機にて微力の引張荷重を載荷させた後に荷重をゼロに戻し、その点を原点として載荷を開始した。繰り返し載荷は、機械式継手及び圧着継手性能判定基準の一方向繰り返し試験 2.22)を参考にして、表 2.17 に示す  $0.02P_{y0}$  から  $0.95P_{y0}$  の荷重範囲で 30 回繰り返し載荷を行い、その後破断まで単調引張載荷を行った。 $P_{y0}$  は降伏荷重の規格値を表し、規格降伏点に縦筋軸部の規格断面積を乗じて求めた。

測定項目は、鉄筋試験では荷重、軸方向ひずみ度、破断伸び（以下、伸び）および絞りとし、M16 と M22 の継手試験では荷重と軸方向変形とし、M20 の継手試験では荷重、軸方向変形、縦筋の軸方向ひずみ度および高ナットの軸方向ひずみ度とした。 $\phi 3.2$  の鋼線では伸びの測定を省略した。また、D10-295-T-InW シリーズについて、ひずみゲージ貼り付け時の表面処理の影響を確認するため試験体番号 4~6 および 10~12 ではひずみゲージを貼り付けなかった。荷重はアムスラーに付属するロードセルより求め、軸方向ひずみ度は試験体中央に貼り付けたひずみゲージ（東京測器研究所製、金属用一般ひずみゲージ）により求めた。伸び  $A(\%)$  および絞り  $Z(\%)$  は JIS Z 2241<sup>2.20)</sup> に従って(2.6)式と(2.7)式より求めた。標点間距離は、試験体の直径  $D$  の 8 倍とした。M20-490-T-InW シリーズについては、標点間距離を呼び径の 8 倍としたため参考値とする。軸方向変形は両側の縦筋に取り付けた測定用治具の相対変位を接触型変位計（東京測器研究所製、CDP-25 または CDP-50）により測定した。

$$A(\%) = (L_u - L_0) / L_0 \times 100 \quad (2.6)$$

$$Z(\%) = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100 \quad (2.7)$$

ここに

$A$  : 伸び

$Z$  : 絞り

$L_u$  : 試験後の標点間距離

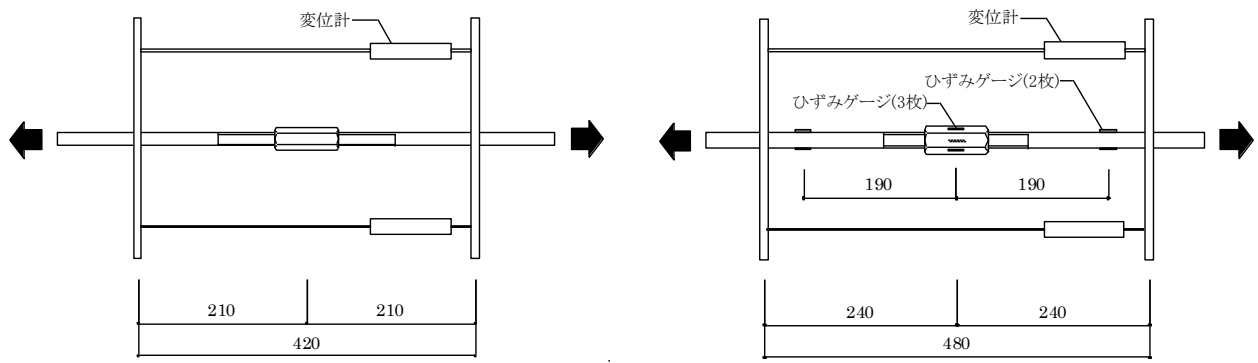
$L_0$  : 元の標点間距離

$S_0$  : 試験前の断面積

$S_u$  : 破断面の最小断面積

表 2.17 継手試験の加力スケジュール

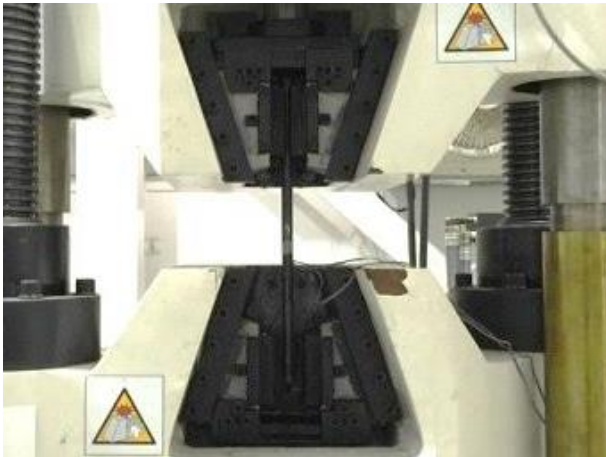
径	規格降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	縦筋軸部の 規格断面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏荷重 $P_{y0}$ (kN)	$0.02P_{y0}$ (kN)	$0.95P_{y0}$ (kN)	繰り返し回数
M16	235	201.1	47.2	0.94	44.9	30
M22		380.1	89.3	1.8	84.9	



(a) M16・M22 (SDG3)

(b) M20 (SNR490B)

図 2.18 測定方法 (継手試験)



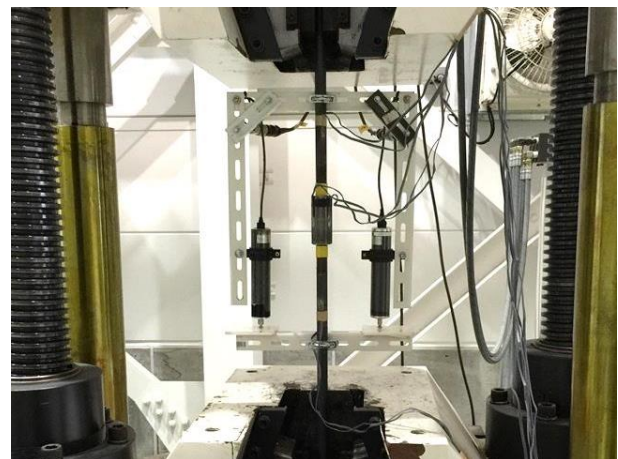
(a) 縦筋-M20



(b) 縦筋継手-M16



(b) 縦筋継手-M22



(c) 縦筋継手-M20

図 2.19 試験状況



### 2.4.3 試験結果

破壊後の代表的な試験体を図 2.20 に、縦筋試験の試験結果一覧を表 2.18 に、継手試験の試験結果一覧を表 2.19 に、各試験の鉄筋の材料特性の平均値を表 2.20 に、応力度－ひずみ度関係および荷重－変形関係を図 2.21 と図 2.22 に示す。断面積については、丸鋼では試験体の複数個所で測定した直径の平均値より求め、異形鉄筋では規格値とした。継手試験では、断面積は縦筋の軸部の規格値とし、高ナットでは高ナットの全断面の規格値から雌ネジの外径の断面積を除いた値とした。応力度は、荷重を試験体のそれぞれの断面積で除して求めた。降伏棚が確認された試験体では上降伏点の値を降伏点とし、明瞭な降伏棚が確認されなかった試験体では 0.2%オフセット耐力を降伏点とした。φ3.2-T-InW-7 では 0.2%オフセット耐力が確認される前に試験体が引張破断したため降伏点の値は省略した。ヤング係数は、降伏点の 10%から 50%の範囲における応力度－ひずみ度関係に対して最小自乗法により求めた直線の傾きとした。応力度－ひずみ度関係の『○』で示した箇所では、ひずみ度が 10000 $\mu$  程度を超えた点でひずみゲージが剥がれるなどの理由によりデータが不安定となったため、それ以降の記載を省略した。

#### (1) 鉄筋試験

鉄筋試験では、すべての試験体で鉄筋の引張破断が生じた。破断位置は、標点間で破断した試験体と標点間の外側（以下、標点外）で破壊した試験体を確認された。標点外で破断した試験体については、伸びの測定を省略した。

各シリーズの降伏点、引張強度およびヤング係数は表 2.20 に示す値が得られた。D10-295-T-InW シリーズについて、ひずみゲージを貼り付けた試験体（試験体 NO.1～3 および 7～9）とひずみゲージを貼り付けていない試験体（試験体 NO.4～6 および 10～12）の引張強度には明瞭な違いがみられなかったため、ひずみゲージを貼り付けることによる断面欠損の影響は小さいと考えられる。そのため、表 2.20 の値にはひずみゲージを貼り付けた試験体（試験体 NO.1～3 および 7～9）の試験結果を用いた。

応力度－ひずみ度関係をみると、M20 および D10 では明瞭な降伏点を確認されたのに対し、M16、M22 および φ 3.2 では明瞭な降伏点を確認されなかった。

#### (2) 継手試験

破壊性状は、M22C15-400-TC-InW シリーズではネジ山のせん断破壊が確認され、それ以外の試験体では縦筋ネジ部の引張破断が確認された。図 2.22 に示した荷重－変形関係をみると、载荷初期の剛性が低くて徐々に剛性が高くなる傾向が見られたが、これは载荷初期には高ナットとボルトの間のわずかな隙間によって変形が進行したためと考えられる。

M22C15-400-T-InW シリーズの荷重－変形関係をみると、変形が 2mm 程度のところで荷重が急激に低下し、この時にネジ山せん断破壊が確認された。また、M20C30-490-T-InW のグラフを見ると、荷重－変形関係における変形の進行と共に縦筋の軸部が降伏し、その後ネジ部の破断が生じていることがわ

かる。組積壁の縦筋に M20 に転造ネジ加工した SNR490B を用いることで、切削加工した SGD3 を用いた縦筋よりも粘り強い構造特性を持つことと考えられる。また、縦筋が破壊に至るまでは高ナットは弾性範囲を保っていることが確認された。

表 2.19 に示した単調載荷の継手試験で得られた引張強度と鉄筋試験で得られた引張強度の比率（継手試験／鉄筋試験）をみると、M16 で 0.77～0.78、ネジ部の引張破断した M22 で 0.81、M20 で 0.99 が得られ、M20 では継手試験と鉄筋試験の差が小さいことが確認された。ネジ部の有効断面積は M16（切削加工）で 157(mm<sup>2</sup>)、M22（切削加工）で 303(mm<sup>2</sup>)、M20（転造加工）で 245(mm<sup>2</sup>)であり、それぞれを軸部の断面積の規格値で除した値は M16 で 0.78、M22 で 0.80、M20 で 0.94 となる。この値は、継手試験／鉄筋試験の値とおおよそ一致することから、径による継手試験／鉄筋試験の値の違いはネジ部の加工方法の違いによるものと考えられる。

ネジ山せん断破壊した M22C15-400-TC-InW シリーズでは継手試験／鉄筋試験の値が 0.74 となり、ネジ部の有効断面積と軸部の断面積の比率 0.80 よりも小さくなった。これは、ネジ径に対する埋込み長さが不足していたため、ネジ部の引張破断よりもネジ山せん断破壊が先行して生じたためと考えられる。

M16 および M22 における繰返し載荷について、繰返し載荷後の引張強度と単調載荷の引張強度や荷重・変形関係に大きな違いは見られなかった。このことから、今回の試験範囲における繰返し載荷による引張強度への影響は小さいと考えられる。



(a) M16-400-T-InW-1



(b) M22-400-T-InW-1



(c) D10-295-T-InW-1



(d) φ3.2-T-InW-1



(e) M20-490-T-InWO-1



(f) ネジ部の引張破断 (M16)



(g) ネジ部の引張破断 (M22)



(h) ネジ山のせん断破断 (M22)



(i) ネジ部の引張破断 (M20)

図 2.20 載荷後の試験体

表 2.18 試験結果一覧 (鉄筋試験)

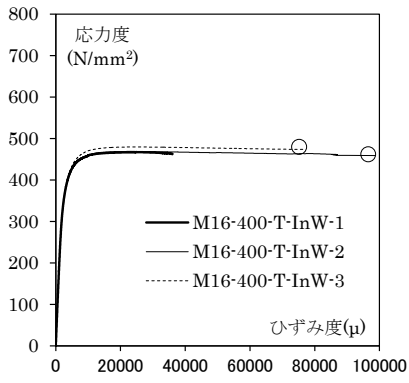
試験体名	断面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	破壊位置	標点間距離		伸び (%)	試験後 断面積 (mm <sup>2</sup> )	絞り (%)
						試験前 (mm)	試験後 (mm)			
M16-400-T-InW-1	199.7	414.1	467.1	186.6	標点外	127.6	131.4	-	80.2	60
M16-400-T-InW-2	199.9	414.8	468.8	184.1	標点間	127.8	146.4	15	80.8	60
M16-400-T-InW-3	199.8	418.8	479.6	185.9	標点間	128.0	145.7	14	81.2	59
M22-400-T-InW-1	378.4	499.8	549.9	198.7	標点外	176.6	184.2	-	162.5	57
M22-400-T-InW-2	377.9	500.1	549.9	198.8	標点間	176.6	193.5	10	170.9	55
M22-400-T-InW-3	378.1	501.6	552.8	197.5	標点外	176.5	188.2	-	176.8	53
D10-295-T-InW-1	71.3	343.7	462.4	172.3	標点間	80.1	97.0	21	29.0	64
D10-295-T-InW-2	71.3	348.6	466.2	175.8	標点間	80.0	94.5	18	31.1	61
D10-295-T-InW-3	71.3	350.2	460.5	171.1	標点間	79.6	96.0	21	28.8	64
D10-295-T-InW-4	71.3	-	471.2	-	標点間	77.6	100.0	29	40.4	50
D10-295-T-InW-5	71.3	-	468.9	-	標点間	79.7	104.6	31	40.0	49
D10-295-T-InW-6	71.3	-	476.0	-	標点間	79.3	103.8	31	46.4	44
M20-490-T-InW-1	262.2	354.3	560.3	204.1	標点間	160.5	207.6	29	96.1	63
M20-490-T-InW-2	260.3	345.5	561.1	210.5	標点間	160.3	200.0	25	91.8	65
M20-490-T-InW-3	261.6	361.8	557.2	208.6	標点間	160.3	202.5	26	91.1	65
D10-295-T-InW-7	71.3	359.1	507.7	229.2	標点外	80.5	97.9	-	-	-
D10-295-T-InW-8	71.3	364.4	508.2	187.5	標点間	79.7	101.7	28	-	-
D10-295-T-InW-9	71.3	364.4	506.9	188.9	標点間	80.7	102.0	26	-	-
D10-295-T-InW-10	71.3	-	505.1	-	標点間	80.8	100.9	25	-	-
D10-295-T-InW-11	71.3	-	505.1	-	標点間	80.1	101.5	27	-	-
D10-295-T-InW-12	71.3	-	501.3	-	標点外	79.4	96.8	-	-	-
φ3.2-T-InW-1	8.0	683.0	710.1	216.5	-	-	-	-	-	-
φ3.2-T-InW-2	8.0	687.3	691.0	221.8	-	-	-	-	2.9	64
φ3.2-T-InW-3	7.8	682.9	693.0	210.1	-	-	-	-	2.2	72
φ3.2-T-InW-4	8.0	667.5	682.3	211.5	-	-	-	-	2.0	75
φ3.2-T-InW-5	8.0	677.2	712.8	211.9	-	-	-	-	2.7	67
φ3.2-T-InW-6	7.9	664.4	684.0	214.7	-	-	-	-	-	-
φ3.2-T-InW-7	8.0	-	642.0	211.3	-	-	-	-	2.7	66
φ3.2-T-InW-8	8.0	641.9	666.6	214.3	-	-	-	-	3.0	62
φ3.2-T-InW-9	7.9	663.1	689.1	211.7	-	-	-	-	3.1	61
M20-490-T-InWO-1	261.3	354.5	565.5	210.3	標点間	145.3	183.4	26	101.5	61
M20-490-T-InWO-2	261.5	352.3	566.1	208.2	標点間	145.7	185.5	27	120.6	54
M20-490-T-InWO-3	260.3	354.9	564.8	211.5	標点間	145.6	185.1	27	106.4	59
D10-295-T-InWO-1	71.3	375.5	526.5	193.9	標点間	80.3	102.4	28	-	-
D10-295-T-InWO-2	71.3	383.7	534.4	196.6	標点間	80.8	102.5	27	-	-
D10-295-T-InWO-3	71.3	391.2	539.3	198.7	標点間	80.4	102.0	27	-	-

表 2.19 試験結果一覧（継手試験）

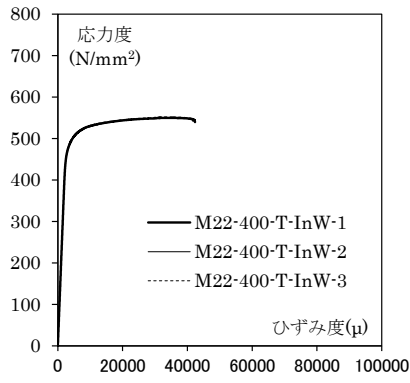
試験体名	最大荷重 (kN)	縦筋軸部 断面積 (mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 の平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	継手試験 鉄筋試験	破壊性状
M16C15-400-T-InW-1	73.1	201.1	363.4	365.0	0.77	ネジ部の引張破断
M16C15-400-T-InW-2	73.6		366.3			
M16C15-400-T-InW-3	73.5		365.4			
M16C30-400-T-InW-1	73.5		365.7	369.4	0.78	
M16C30-400-T-InW-2	74.0		367.9			
M16C30-400-T-InW-3	75.3		374.6			
M16C30-400-TC-InW-1	72.0		358.1	-	0.76	
M22C15-400-T-InW-1	153.7	380.1	404.4	406.7	0.74	ネジ山せん断破壊
M22C15-400-T-InW-2	155.1		408.1			
M22C15-400-T-InW-3	155.0		407.8			
M22C30-400-T-InW-1	170.2		447.7	446.2	0.81	ネジ部の引張破断
M22C30-400-T-InW-2	168.4		442.9			
M22C30-400-T-InW-3	170.3		448.0			
M22C30-400-TC-InW-1	170.3		448.1	-	0.81	
M20C30-490-T-InW-1	142.7	260.2	548.3	551.7	0.99	縦筋降伏後に146.22kNで除荷
M20C30-490-T-InW-2	143.8		552.6			縦筋降伏後にネジ部の引張破断
M20C30-490-T-InW-3	144.1		554.1			

表 2.20 各試験シリーズの鉄筋の材料特性の平均値

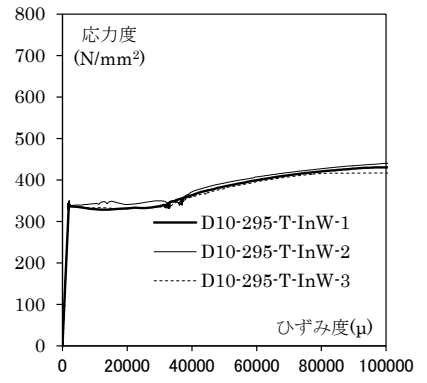
シリーズ名	実験時の ブロック種類	試験体数	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
M16-400-T-InW	ALC50	3	415.9	471.8	185.5
M22-400-T-InW		3	500.5	550.9	198.3
M20-490-T-InW	ALC37・ALC42	3	353.9	559.5	207.7
D10-295-T-InW	ALC50	3	347.5	463.0	173.1
	ALC37・ALC42	3	362.6	507.6	201.9
φ3.2-T-InW	ALC50・ALC37	9	670.9	685.6	213.8
M20-490-T-InWO	ALC37	3	353.9	565.4	210.0
D10-295-T-InWO	ALC37	3	383.5	533.4	196.4



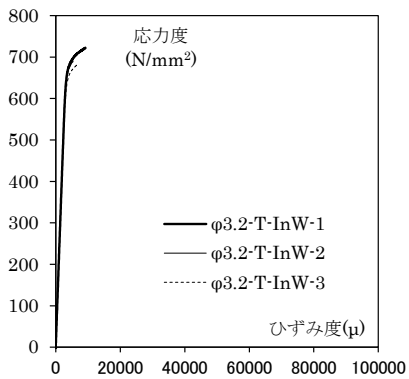
(a) M16-400-T-InW



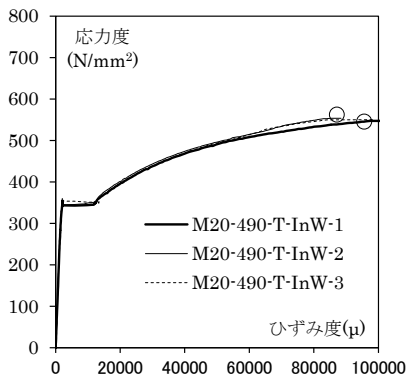
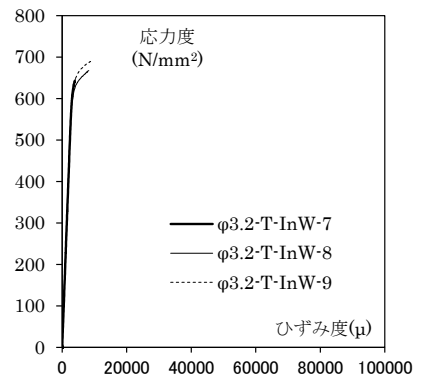
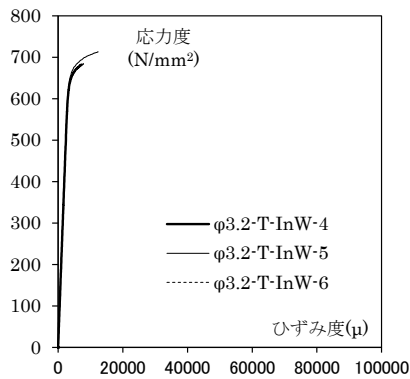
(b) M22-400-T-InW



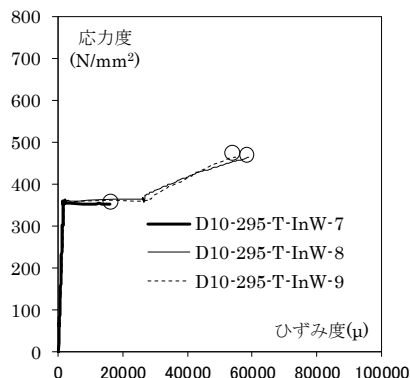
(c) D10-295-T-InW



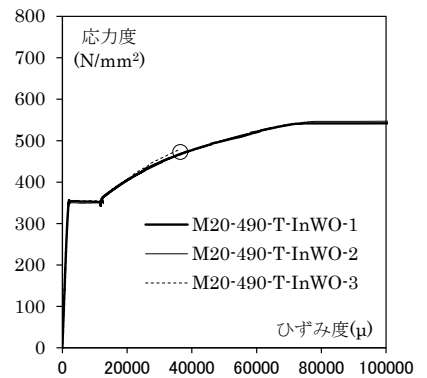
(d) φ3.2-T-InW



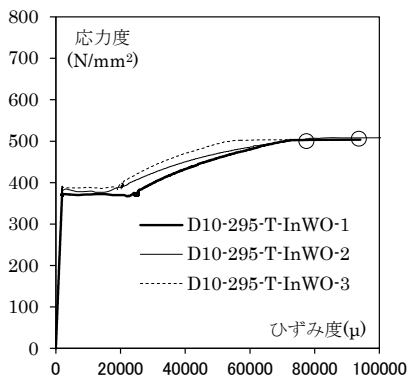
(e) M20-490-T-InW



(f) D10-295-T-InW

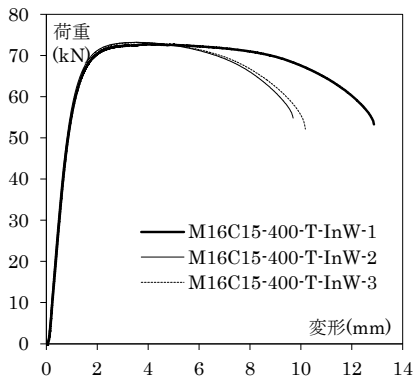


(g) M20-490-T-InWO

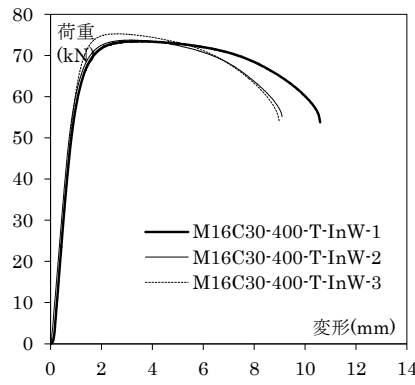


(h) D10-295-T-InWO

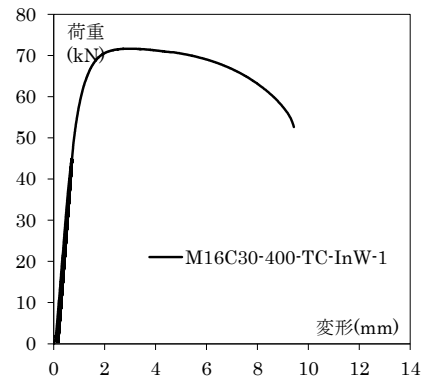
図 2.21 応力度－ひずみ度関係



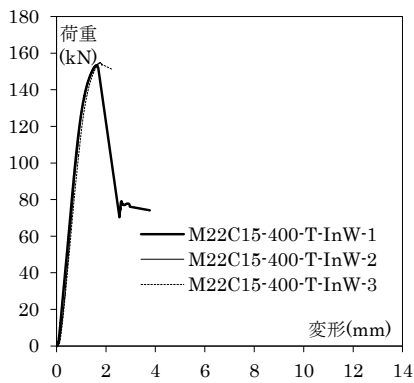
(a) M16C15-400-T-InW



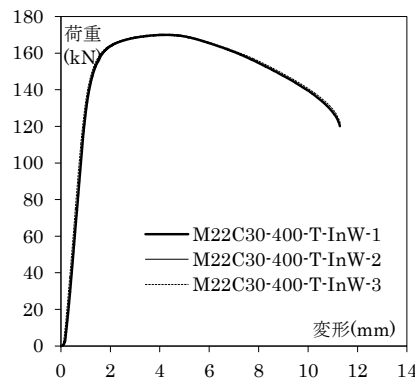
(b) M16C30-400-T-InW



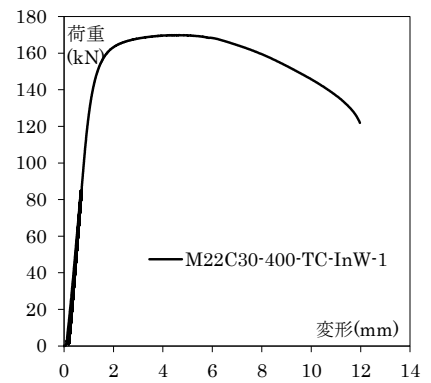
(c) M16C30-400-TC-InW



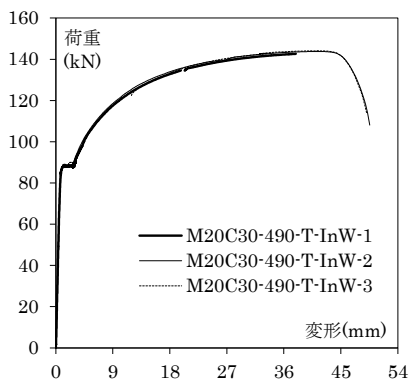
(d) M22C15-400-T-InW



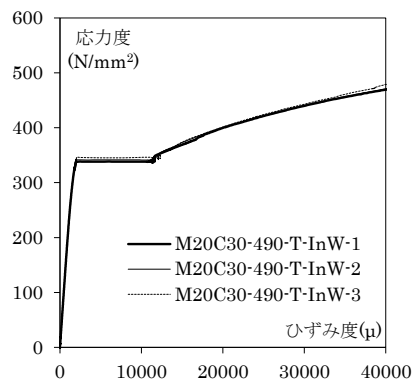
(e) M22C30-400-T-InW



(f) M22C30-400-TC-InW

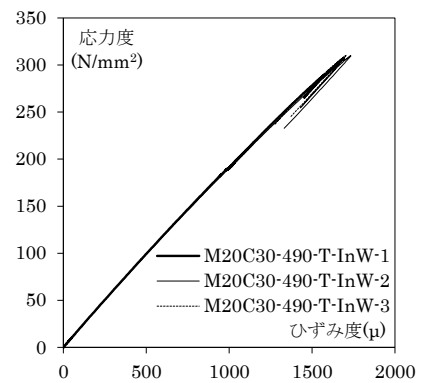


<荷重-変形関係>



<応力度-ひずみ度関係>

(試験体下側の縦筋軸部)



<応力度-ひずみ度関係>

(高ナット)

(g) M20C30-490-T-InW

図 2.22 荷重-変形関係および応力度-ひずみ度関係

## 2.5 プリズム圧縮試験

### 2.5.1 試験体

本節では組積体の圧縮特性を確認するために行ったプリズム圧縮試験について述べる。

プリズム圧縮試験の試験計画を表 2.21 に、試験体形状を図 2.23 に示す。ブロック材料には、ALC50、ALC37 および ALC42 の 3 種類を用いた。試験体は、ブロックを 5 段積層した後、縦穴からグラウトを打ち込んで作製した。ブロックの寸法は、ALC50 および ALC37 では幅×厚さ×高さ=250×250×150mm、ALC42 では 250×250×200mm とした。ブロック中央にはφ50 の縦穴が空けられ、底部には幅 150mm 深さ 15mm の台形状の溝加工が幅方向全体に設けられており、小口面には溝加工を設けなかった。グラウトには、ALC50 では SLG を、ALC37 および ALC42 では NMH を用いた。試験体数はそれぞれ 3 体とし、養生期間は 6～9 日とした。表 2.21 には、2.3 節で示したグラウトの試験体番号と該当する圧縮強度およびヤング係数の平均値を示した。

試験体名は以下の様に定め、(1)～(3)までをシリーズ名とした。

シリーズ名  
┌───────────┐  
P — C — A50 — 1  
(1)    (2)    (3)    (4)

- (1) 実験名の記号 [プリズム試験 : P]
- (2) 試験方法 [圧縮 : C]
- (3) ブロック材料 [ALC50 : A50、ALC37 : A37、ALC42 : A42]
- (4) 試験体番号 [1,2,3]



表 2.21 プリズム圧縮試験の試験計画

シリーズ名	ブロック材料	試験体形状 (mm)	グラウト				試験体番号	養生期間 (日)
			材料	グラウト試験体番号	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		
P-C-A50	ALC50	250 × 250 × 750	SLG	28~29	16.5	-	1	7
							2	7
							3	8
P-C-A37	ALC37	250 × 250 × 750	NMH	49~52	40.2	-	1	7
							2	7
							3	8
P-C-A42	ALC42	250 × 250 × 1000	NMH	1~9	43.1	17.4	1	7
							2	8
							3	9

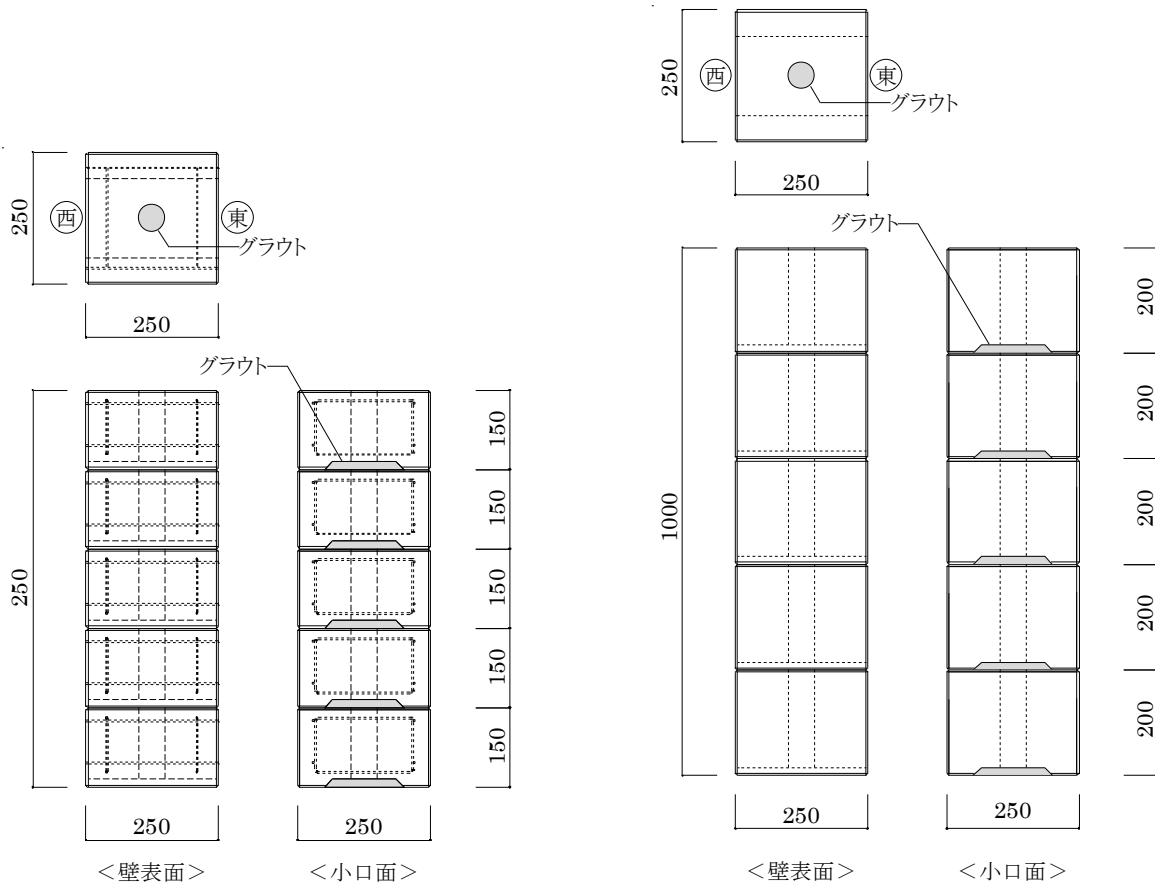


図 2.23 プリズム圧縮試験の試験体形状

## 2.5.2 試験方法

加力スケジュールを表 2.22 に、試験状況を図 2.24 に、測定方法を図 2.25 に示す。载荷にはアムスラーを用いた。測定項目は、荷重、軸方向変形、軸方向ひずみとした。荷重はアムスラーに付属するロードセルを用いて測定した。軸方向変形は、試験体の壁表面と試験体上下に設置した载荷治具の小口面にそれぞれ 2 点、計 4 点で測定した。測定器には、接触型変位計（東京測器研究所製、CDP25）を用いた。軸方向ひずみは、ひずみゲージ（東京測器研究所製、PL-60-11）を用いてブロックの壁表面と小口面の計 4 点で測定した。

表 2.22 プリズム圧縮試験の加力スケジュール

シリーズ名	試験体番号	加力スケジュール
P-C-A50	1,2	単調载荷
P-C-A37	3	1.0(N/mm <sup>2</sup> )、1.5(N/mm <sup>2</sup> )で繰返し。その後単調载荷。
P-C-A42	1,2,3	単調载荷

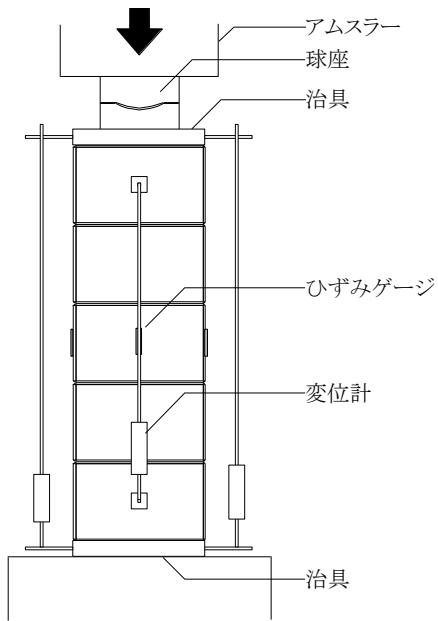


(a) P-C-A37-1

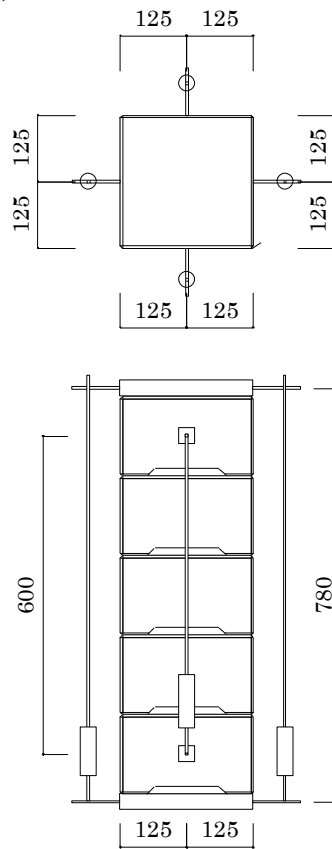


(b) P-C-A42-2

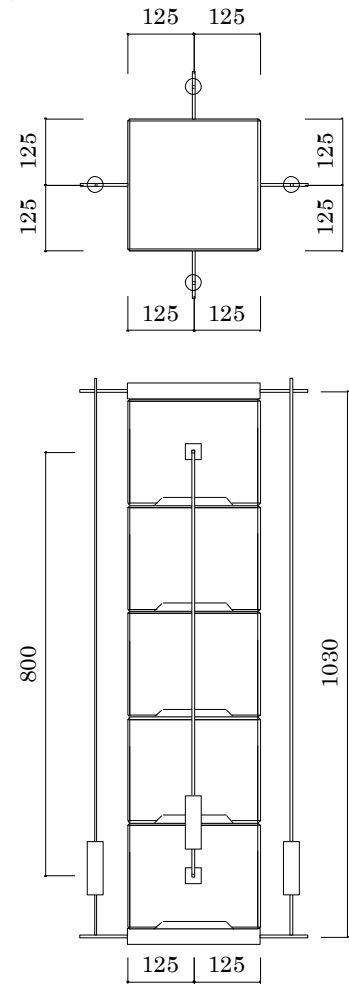
図 2.24 プリズム圧縮試験の試験状況



(a) 測定方法



(b) P-C-A50 シリーズ  
・ P-C-A37 シリーズ



(c) P-C-A42 シリーズ

図 2.25 プリズム圧縮試験の試験方法

## 2.5.3 試験結果と考察

### 2.5.3.1 破壊性状と圧縮応力度－圧縮ひずみ度関係

試験結果一覧を表 2.23 に、変位計から得られた圧縮応力度－ひずみ度関係を図 2.26 に、載荷後の試験体の様子を図 2.27 に示す。断面積は、各面の最上段および最下段におけるブロックの一辺の長さを測定し、南北方向の平均値と東西方向の平均値を乗じて求めた。圧縮応力度は、荷重を断面積で除して求めた。変位計から得たひずみ度は、壁表面に設置した変位計の軸方向変形を測定間距離で除して求めた。破壊の進行とともに壁表面の変位計取り付け位置が不安定になったため、小口面の載荷治具に取付けた変位計の値を用いて補正した。補正方法は、図 2.26 の(d)に示すように、各試験体の壁表面と小口面に取付けた変位計の値を比較し、その差分が大きくなった点の壁表面のひずみ度の値に、同じ時点における小口面のひずみ度の増加分を加算する方法とした。表 2.23 には、最大荷重時  $P_{max}$  のひずみ度とその後最大荷重の 85%まで荷重が下がった点  $0.85P_{max}$  を示した。ヤング係数は、圧縮応力度と変位計より得たひずみ度の関係における最大荷重の 1/3 の点と原点の割線剛性とした。載荷中のひび割れは、目視によりひび割れが確認された点、ひび割れ音が発生した点および応力度－ひずみ度関係において荷重が微小に低下する点から判断した。図 2.27 のひび割れ図における赤色の点線は初ひび割れの位置を表し、青色の実線は載荷終了時に確認されたひび割れを表す。

#### (1) P-C-A50 シリーズの破壊性状

P-C-A50-1 は、 $2.72\text{N/mm}^2$  で東西小口面の脚部に縦方向の初ひび割れが発生し、圧縮応力度がやや低下した。その後  $2.88\text{N/mm}^2$  で南壁表面下部が圧壊して最大圧縮応力度  $2.90\text{N/mm}^2$  を迎え、最大荷重後はひび割れが発生しながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の 2/3 以下となった  $1.75\text{N/mm}^2$  で加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

P-C-A50-2 は、最大荷重直前の  $2.95\text{N/mm}^2$  で西小口面脚部に縦方向の初ひび割れが発生し、最大圧縮応力度  $2.97\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後はひび割れが発生しながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の 1/2 以下となる  $1.66\text{N/mm}^2$  まで加力を続け、ひび割れ観察後に加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

P-C-A50-3 は、 $0.99\text{N/mm}^2$  および  $1.49\text{N/mm}^2$  で繰返し載荷を行い、それぞれの点でひび割れの観察を行ったが、ひび割れは確認されなかった。その後、 $2.66\text{N/mm}^2$  で西小口面の下から 3 段目に縦方向の初ひび割れが発生し、 $2.78\text{N/mm}^2$  で東小口面脚部にひび割れが発生し、最大圧縮応力度  $2.86\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後はひび割れが発生しながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の 2/3 以下となった  $1.60\text{N/mm}^2$  で加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

## (2) P-C-A37 シリーズの破壊性状

P-C-A37-1 は、最大荷重直前の  $2.53\text{N/mm}^2$  で西小口面および北壁表面の上部に縦方向の初ひび割れが発生し、最大圧縮応力度  $2.55\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後はひび割れが発生しながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の  $2/3$  以下となった  $1.70\text{N/mm}^2$  で加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

P-C-A37-2 は、最大荷重直前の  $2.86\text{N/mm}^2$  で東西小口面に縦方向の初ひび割れが発生し、最大圧縮応力度  $2.98\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後はひび割れが発生しながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の  $1/2$  以下となる  $1.34\text{N/mm}^2$  まで加力を続け、ひび割れ観察後に加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

P-C-A37-3 は、 $0.97\text{N/mm}^2$  および  $1.50\text{N/mm}^2$  で繰返し載荷を行い、それぞれの除荷前にひび割れの観察を行ったが、ひび割れは確認されなかった。その後、最大荷重直前の  $2.77\text{N/mm}^2$  で東西小口面に縦方向の初ひび割れが発生し、最大圧縮応力度  $2.78\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後はひび割れが発生しながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の  $2/3$  程度となった  $1.77\text{N/mm}^2$  で加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

## (3) P-C-A42 シリーズ

P-C-A42-1 では、試験体の方位を  $90$  度回転させ、さらに上下を逆さにして加力を行った。加力開始から最大荷重の  $2/3$  程度の  $1.62\text{N/mm}^2$  で東壁表面の下から  $5$  段目の中央および西壁表面の下から  $3\sim 5$  段目の中央に縦方向の初ひび割れが発生したため、観察を行った。その後、最大荷重付近で新しく縦方向のひび割れが発生し、最大圧縮応力度  $2.43\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後は最大荷重の  $1/2$  程度まで急激に荷重が低下し、 $1.02\text{N/mm}^2$  で加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

P-C-A42-2 は、 $1.11\text{N/mm}^2$  で東小口面の下から  $3$  段目のグラウト端部に亀裂が生じ、 $1.69\text{N/mm}^2$  で南壁表面の下から  $1\sim 3$  段目の中央に縦方向のひび割れが発生した。 $1.11\text{N/mm}^2$  の東小口面のひび割れは局所的なひび割れのため、 $1.69\text{N/mm}^2$  の南壁表面のひび割れを初ひび割れとみなした。その後、 $1.95\text{N/mm}^2$  で北壁表面の下から  $1\sim 3$  段目中央に縦方向のひび割れが発生し、最大圧縮応力度  $2.38\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後は最大荷重の  $1/2$  程度まで急激に荷重が低下し、 $0.96\text{N/mm}^2$  で加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

P-C-A42-3 は、 $1.23\text{N/mm}^2$  でひび割れ音が発生したが、観察の結果ひび割れは確認されなかった。その後、 $1.95\text{N/mm}^2$  で西小口面および北壁表面の下部に縦方向の初ひび割れが確認され、 $2.26\text{N/mm}^2$  で東小口面下部および南壁表面中央部に縦方向のひび割れが確認された直後最大圧縮応力度  $2.30\text{N/mm}^2$  を迎えた。最大荷重後は最大荷重の  $2/3$  程度まで急激に荷重が低下し、 $1.59\text{N/mm}^2$  で加力を終了した。破壊性状は圧壊と判断した。

#### (4) 各シリーズの破壊性状および応力度－ひずみ度関係の比較

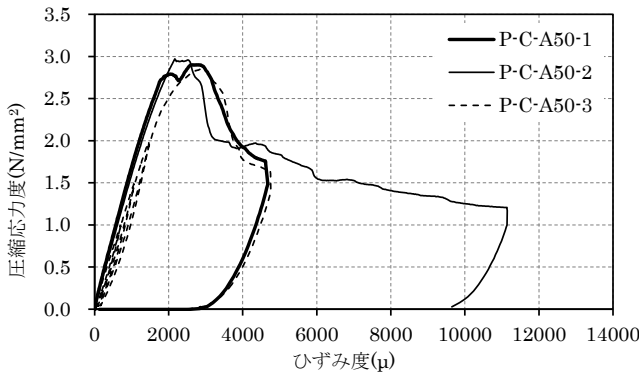
ブロックに内部鉄筋を有する P-C-A50 シリーズおよび P-C-A37 シリーズでは、最大荷重の直前に主に小口面に縦方向のひび割れが確認された後に最大荷重を迎え、変形が進むにつれて主に図 2.27-2(j)で示すような内部鉄筋および小口面のグラウト端部付近における縦方向のひび割れが増加していった。これに対してブロックに内部鉄筋の無い P-C-A42 シリーズでは、図 2.27-2(k)で示すように最大荷重の 2/3 程度で壁表面の中央に縦方向のひび割れが確認された後に最大荷重を迎え、その後図 2.27-2(l)で示すように小口面のグラウト端部付近における縦方向のひび割れが増加して、急激に荷重が低下した。P-C-A50 シリーズおよび P-C-A37 シリーズでは内部鉄筋によりブロックが拘束されたため、最大荷重前の壁表面の縦方向のひび割れと最大荷重後の荷重低下が抑制され、変形能力が向上したものと考えられる。

#### (5) 各面のひずみゲージから得られた圧縮応力度－ひずみ度関係

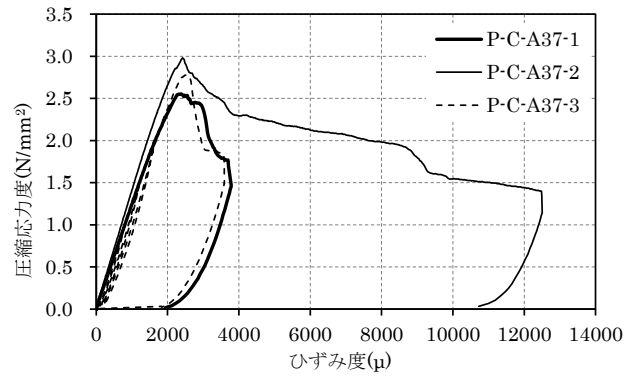
ひずみゲージから得られた圧縮応力度－ひずみ度関係を図 2.28 に示す。ひずみ度は、壁表面、小口面それぞれ 1 対のひずみゲージの値の平均値とした。すべての試験体で、ひび割れによりひずみ度が変化するまでは壁表面のひずみが小口面のひずみの半分程度の値となった。本構法による組積体では壁表面側から 50mm の範囲の目地部には非常に剛性の低いシーリング塗布され、図 2.29 に示すように 0.5mm 程度に潰れた状態となり、その後グラウトが打設される。そのため、壁表面から 50mm の範囲はブロック同士が接しておらず、断面中央部分の幅 150mm のグラウト打設範囲で応力伝達が主に行われたものと考えられる。

表 2.23 プリズム圧縮試験の結果一覧

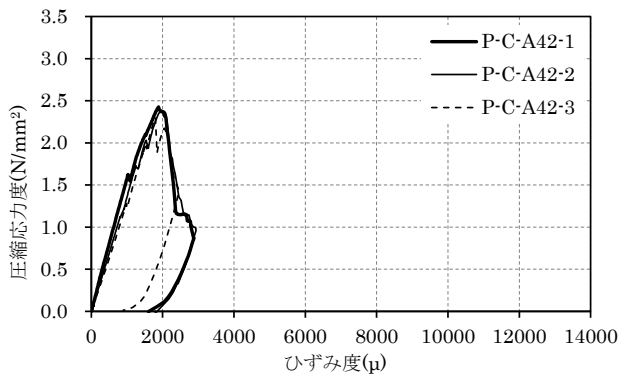
シリーズ名	試験体名	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ひずみ度(μ)		破壊性状
						P <sub>max</sub>	0.85P <sub>max</sub>	
P-C-A50	1	62546	181.4	2.90	1746	2697	3347	圧壊
	2	62481	185.6	2.97	1622	2165	2972	圧壊
	3	62634	178.9	2.86	1435	2913	3560	圧壊
	平均値	62554	181.9	2.91	1601	2591	3293	—
P-C-A37	1	62715	160.1	2.55	1254	2383	3074	圧壊
	2	62491	186.2	2.98	1414	2421	3291	圧壊
	3	62459	173.4	2.78	1275	2505	2767	圧壊
	平均値	62555	173.2	2.77	1314	2436	3044	—
P-C-A42	1	62653	152.0	2.43	1597	1886	2170	圧壊
	2	62775	149.4	2.38	1371	1960	2196	圧壊
	3	62800	144.4	2.30	1253	1799	2182	圧壊
	平均値	62743	148.6	2.37	1407	1881	2183	—



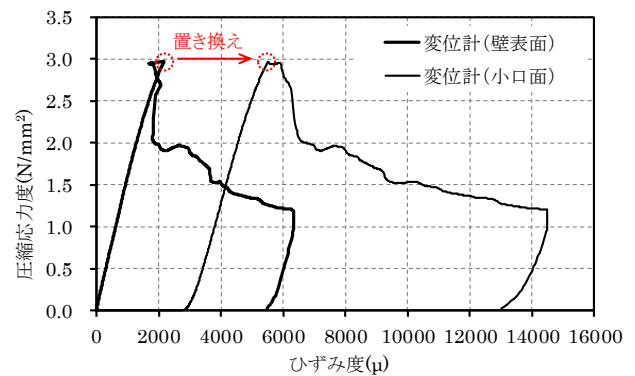
(a) P-C-A50 シリーズ



(b) P-C-A37 シリーズ

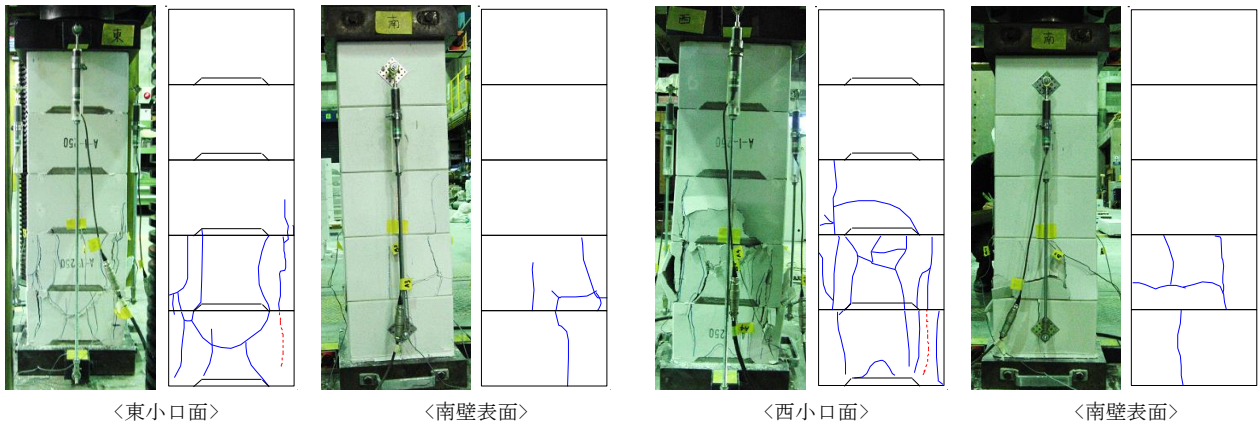


(c) P-C-A42 シリーズ



(d) 南北と東西の変位計の関係(P-C-A50-2)

図 2.26 圧縮応力度—ひずみ度関係 (変位計)



<東小口面>

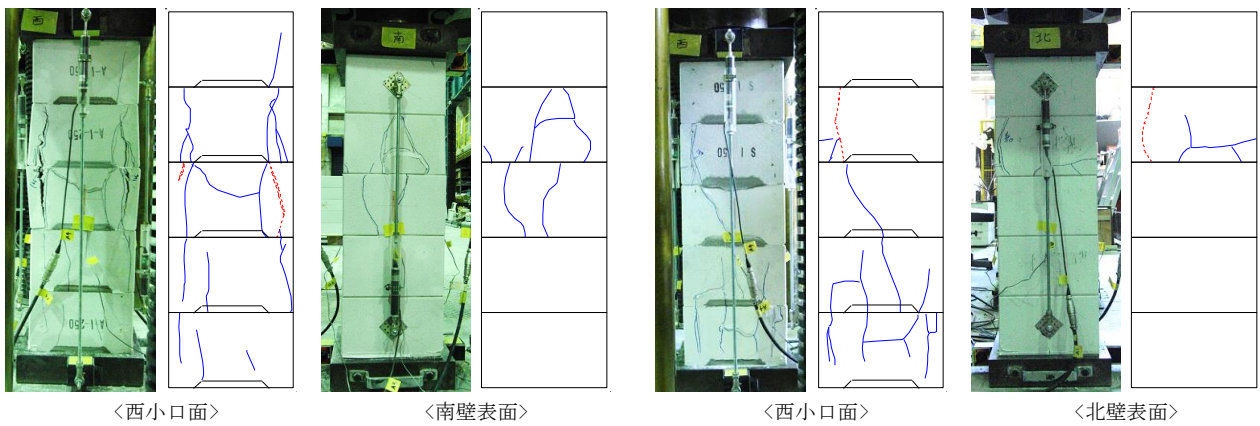
<南壁表面>

<西小口面>

<南壁表面>

(a) P-C-A50-1

(b) P-C-A50-2



<西小口面>

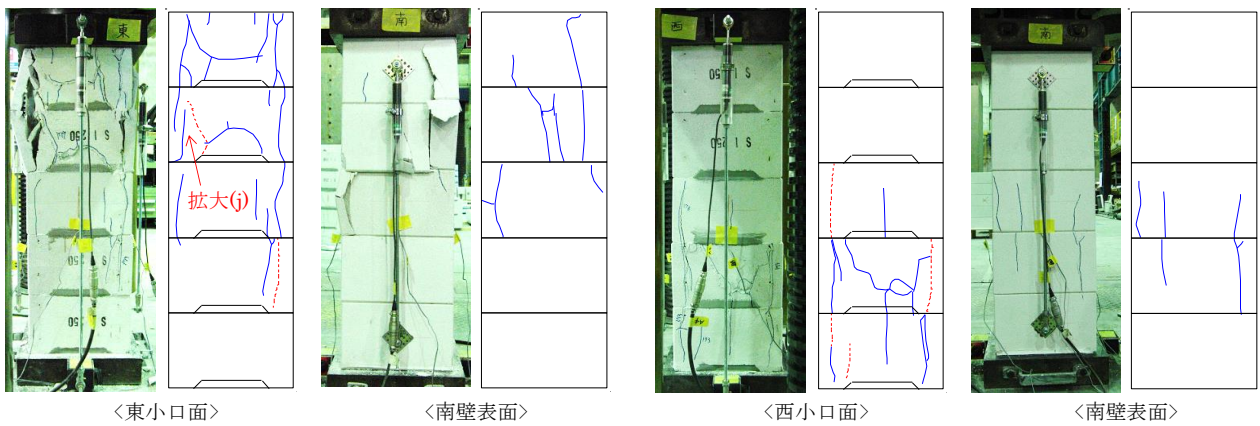
<南壁表面>

<西小口面>

<北壁表面>

(c) P-C-A50-3

(d) P-C-A37-1



<東小口面>

<南壁表面>

<西小口面>

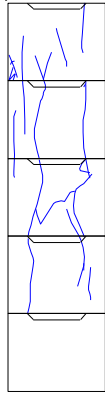
<南壁表面>

(e) P-C-A37-2

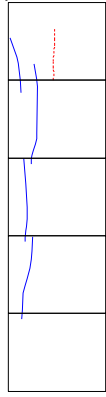
(f) P-C-A37-3

図 2.27-1 載荷後の試験体

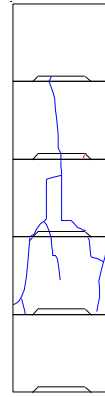




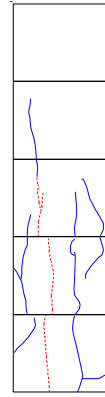
〈北小口面〉



〈東壁表面〉



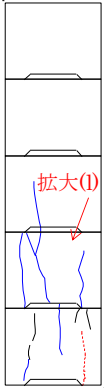
〈東小口面〉



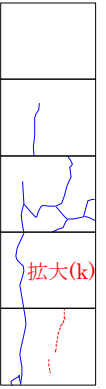
〈南壁表面〉

(g) P-C-A42-1

(h) P-C-A42-2

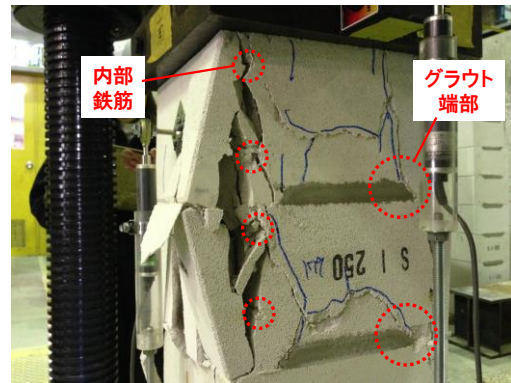


〈西小口面〉



〈北壁表面〉

(i) P-C-A42-3



(j) 載荷後 (P-C-A37-2 の東面)

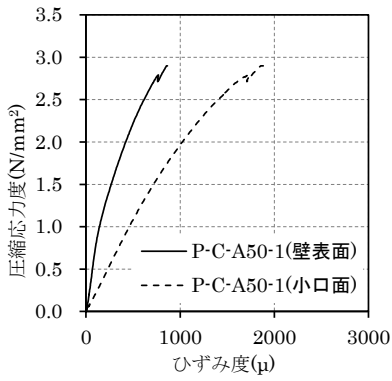


(k) 初ひび割れ (P-C-A42-3 の北面)

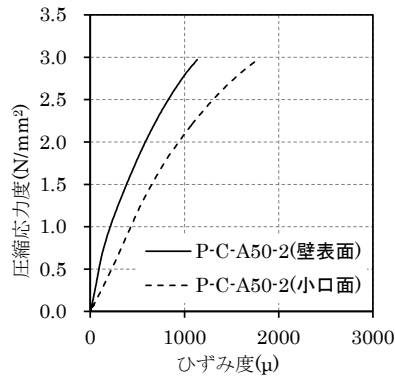


(l) 載荷後 (P-C-A42-3 の西面)

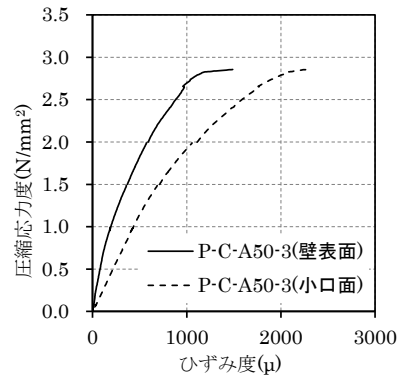
図 2.27-2 載荷後の試験体



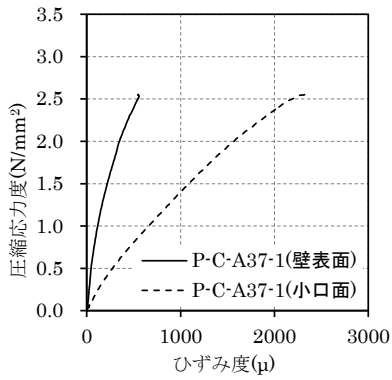
(a) P-C-A50-1



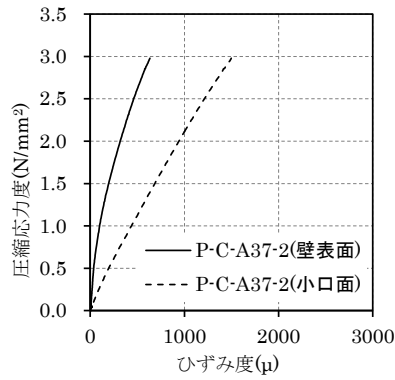
(b) P-C-A50-2



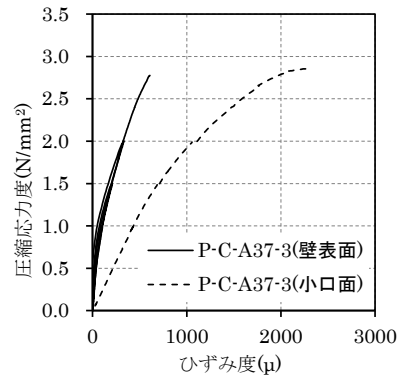
(c) P-C-A50-3



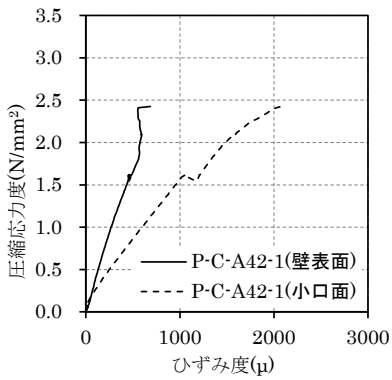
(d) P-C-A37-1



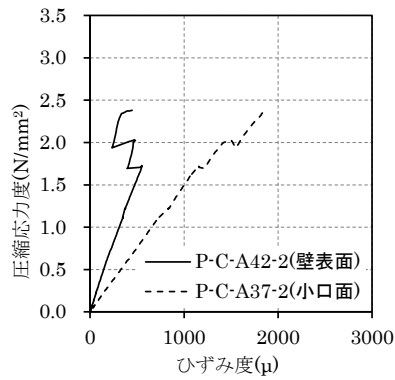
(e) P-C-A37-2



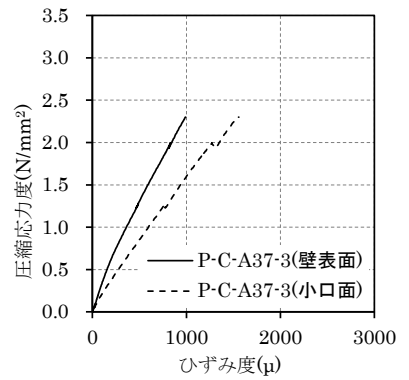
(f) P-C-A37-3



(g) P-C-A42-1



(h) P-C-A42-2



(i) P-C-A42-3

図 2.28 圧縮応力度－ひずみ度関係 (ひずみゲージ)

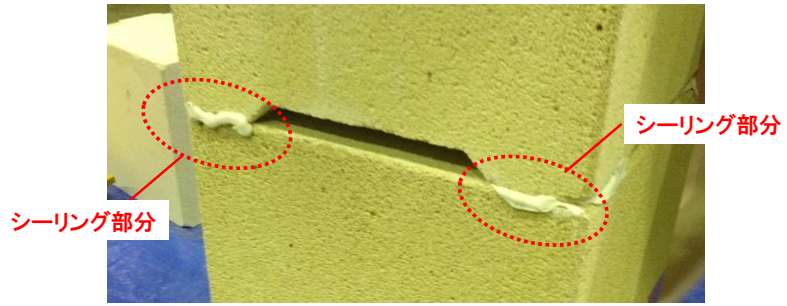


図 2.29 目地部のシーリング

### 2.5.3.2 プリズム圧縮試験結果と ALC の材料特性の比較

ここでは、プリズム圧縮試験結果と 2.2 節で行った ALC の圧縮試験結果を比較する。

表 2.23 に示すように、圧縮強度の平均値は P-C-A50 シリーズで  $2.91\text{N/mm}^2$ 、P-C-A37 シリーズで  $2.77\text{N/mm}^2$ 、P-C-A42 シリーズで  $2.37\text{N/mm}^2$  が得られ、ヤング係数の平均値は、P-C-A50 シリーズで  $1601\text{N/mm}^2$ 、P-C-A37 シリーズで  $1314\text{N/mm}^2$ 、P-C-A42 シリーズで  $1407\text{N/mm}^2$  が得られた。2.2.4 項の表 2.8 で示した ALC 材料の圧縮強度およびヤング係数と比較すると、P-C-A42 シリーズのヤング係数以外で ALC 材料の値よりもそれぞれ小さい値が得られた。これは、2.5.3.1(5)で示したように、応力伝達が主にグラウト打設範囲で行われたため、見かけの圧縮強度とヤング係数が低下したためと考えられる。

### 2.5.3.3 組積体の設計基準強度および許容応力度

ここでは、本章で行ったプリズム圧縮試験結果から、第1章で示した組積体の設計基準強度を確認し、許容応力度を算出する。プリズム圧縮試験結果より求めた組積体の設計基準強度と許容応力度を表 2.24 に示す。設計基準強度はプリズム圧縮試験の平均値とし、許容応力度は文献 2.23)に示す打ち込み目地鉄筋コンクリートを除く組積体および文献 2.24)に示す全充填型メーソンリー構造の許容応力度より求めた。

表 2.24 を見ると、ALC37 では長期許容応力度の圧縮で  $0.92\text{N/mm}^2$ 、せん断で  $0.18\text{N/mm}^2$  が、短期許容応力度の圧縮で  $1.85\text{N/mm}^2$  が、せん断で  $0.26\text{N/mm}^2$  が得られた。本節以降の各ブロック材料における組積体の許容応力度については、表 2.24 に示す値を参照する。

表 2.24 本構法による組積体の設計基準強度および許容応力度

ブロック 材料	設計基準強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	許容応力度( $\text{N/mm}^2$ )			
		長期		短期	
		圧縮	せん断	圧縮	せん断
ALC50	2.91	0.97	0.18	1.94	0.27
ALC37	2.77	0.92	0.18	1.85	0.26
ALC42	2.37	0.79	0.16	1.58	0.24

## 2.6 プリズムせん断試験

### 2.6.1 試験体

本節では組積体のせん断特性を確認するために行ったプリズムせん断試験について述べる。

プリズムせん断試験計画を表 2.25 に、試験体形状を図 2.30 に示す。ブロック材料には、ALC50、ALC37 および ALC42 の 3 種類を用いた。試験体はブロックを 5 段積層した後、グラウトを打ち込んで作製した。ALC50 と ALC37 を用いた試験体では幅×厚さ×高さ=750×250×150mm のブロックを、ALC42 を用いた試験体では 500×250×200mm および 250×250×200mm のブロックを用いた。ブロックには、φ50 の縦穴が端部より 125mm の位置に 250mm ピッチで空けられ、底部には幅 150mm、深さ 15mm の台形状の溝加工が幅方向全体に行われ、小口面には溝加工を設けなかった。グラウトには、ALC50 では SLG を、ALC37 および ALC42 では NMH を用いた。試験体数はそれぞれ 3 体とし、養生期間は 7～28 日とした。表 2.25 に示すように、試験体番号 1、2 で 7 日程度、試験体番号 3 で 21～28 日程度の養生期間を設けて養生期間の違いによる影響を確認した。表 2.25 には、2.3 節で示したグラウトの試験体番号と該当する圧縮強度およびヤング係数の平均値を示した。

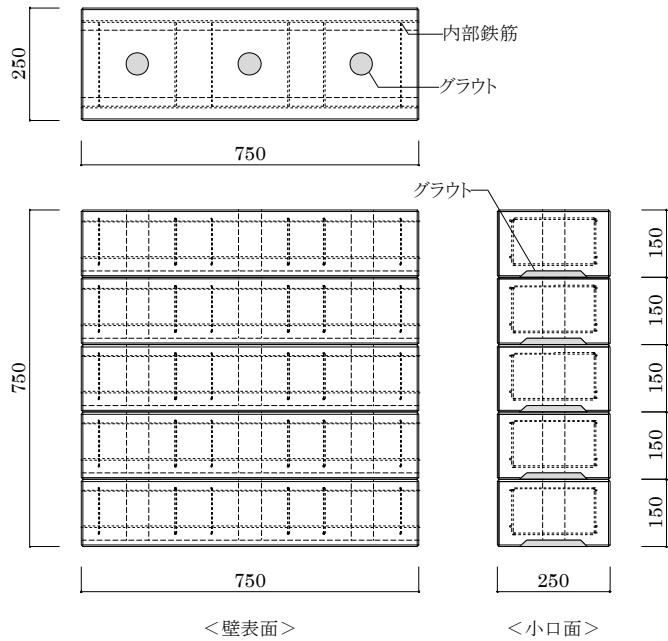
試験体名は以下のように定め、(1)～(3)までをシリーズ名とした。

シリーズ名  
┌───────────┐  
P — S — A50 — 1  
(1)    (2)    (3)    (4)

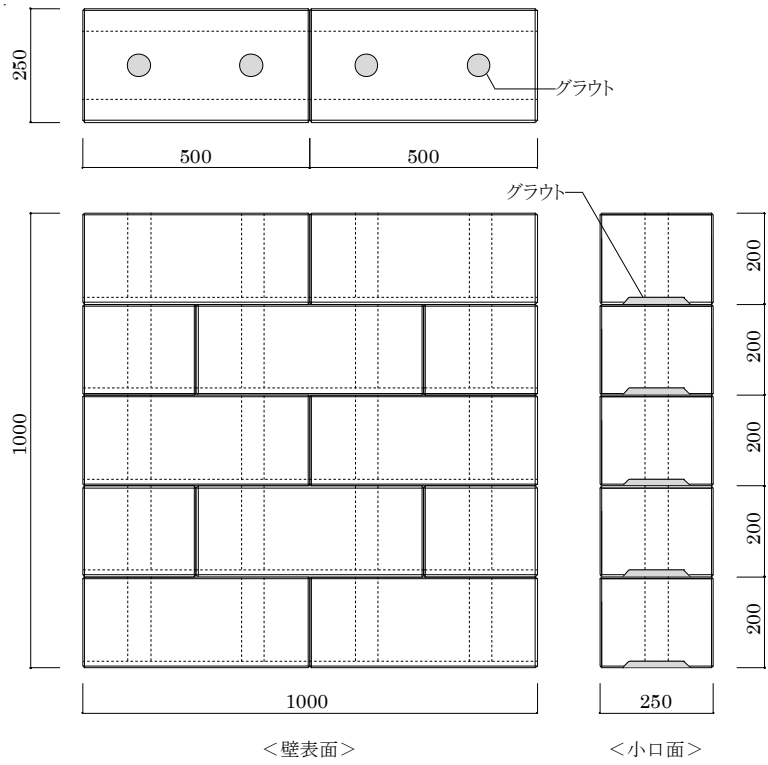
- (1) 実験名の記号 [プリズム試験 : P]
- (2) 試験方法 [せん断 : S]
- (3) ブロック材料 [ALC50 : A50、ALC37 : A37、ALC42 : A42]
- (4) 試験体番号 [1,2,3]

表 2.25 プリズムせん断試験のパラメータ概要

シリーズ名	ブロック材料	試験体形状 (mm)	グラウト			試験体番号	養生期間 (日)	
			材料	グラウト 試験体番号	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
P-S-A50	ALC50	750 × 250 × 750	SLG	19~24	47.8	18.2	1	7
				—	—	—	2	8
				—	—	—	3	20
P-S-A37	ALC37	750 × 250 × 750	NMH	26~39	14.4	—	1	7
				—	—	—	2	9
				—	—	—	3	19
P-S-A42	ALC42	1000 × 250 × 1000	NMH	26~39	14.4	—	1	8
				—	—	—	2	9
				—	—	—	3	28



(a) P-S-A50 シリーズおよび P-S-A37 シリーズ



(b) P-S-A42 シリーズ

図 2.30 プリズムせん断試験の試験体形状



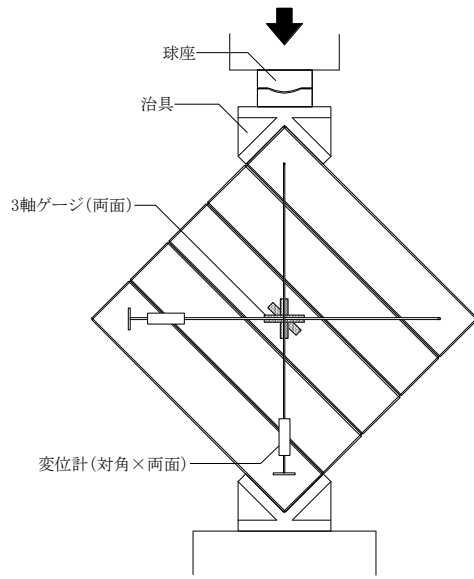
## 2.6.2 試験方法

試験方法を図 2.31 に、試験状況の写真を図 2.32 に、ブロックの内部鉄筋へのひずみゲージ貼り付け位置を図 2.33 に、加力スケジュールを表 2.26 に示す。

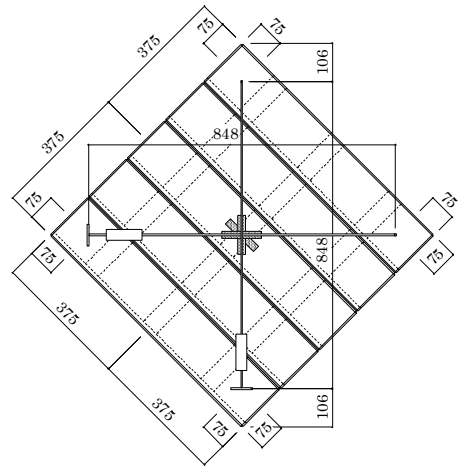
載荷にはアムスラーを用いた。測定項目は、荷重、対角方向の変形、3 軸方向のひずみとした。荷重はアムスラーに付属するロードセルを用いて測定した。対角方向の変形は試験体の両表面に対角方向に設置した計 4 点で測定し、測定器には接触型変位計（東京測器研究所製、CDP25）を用いた。3 軸方向のひずみは、試験体両表面の中央部または加力中心軸の試験体上方部にひずみゲージ（東京測器研究所製、PLR-60-11）を貼り付けて測定した。

P-S-A50-3 と P-S-A37-3 については、図 2.33 に示すようにブロックの内部鉄筋へひずみゲージ（東京測器研究所製、金属用一般ひずみゲージ）を 4 箇所貼り付けて内部鉄筋のひずみ度を確認した。内部鉄筋までブロックの表面を削り取り、ひずみゲージを貼り付けた後に ALC 用プレミックス補修材（旭化成建材製、商品名：サンモル C、以下 ALC 補修材）で補修を行った。ALC 補修材の材料特性は、2.3.2 項のグラウトの圧縮試験および割裂試験と同様の方法で確認を行った。試験結果を表 2.27、表 2.28 および図 2.34 に示す。圧縮強度およびヤング係数は、ともに ALC よりもやや高い値が確認された。

加力スケジュールは、表 2.26 に示すように試験体 NO.1 と NO.3 で繰り返し載荷を行い、試験体 NO.2 で単調載荷を行った。

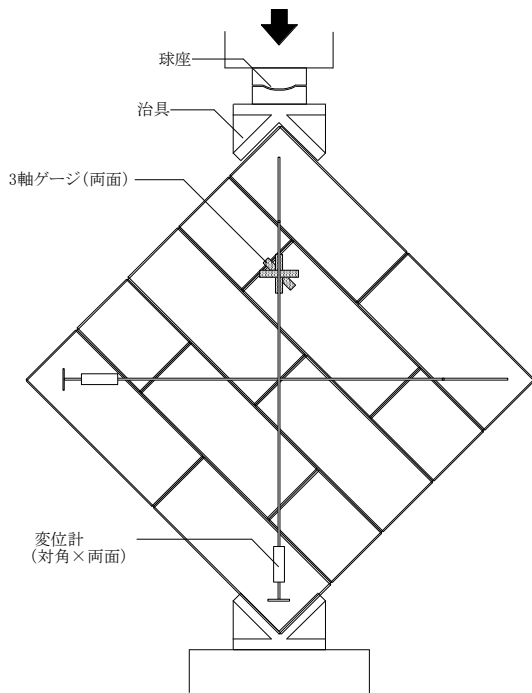


<測定方法>

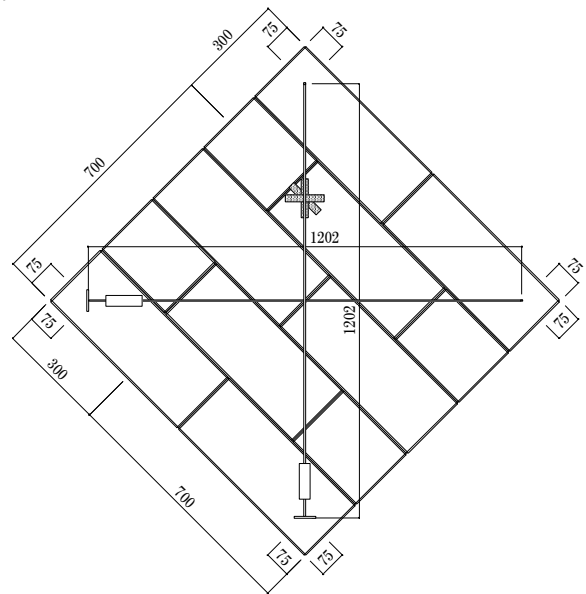


<測定器設置位置>

(a) ALC50・ALC37



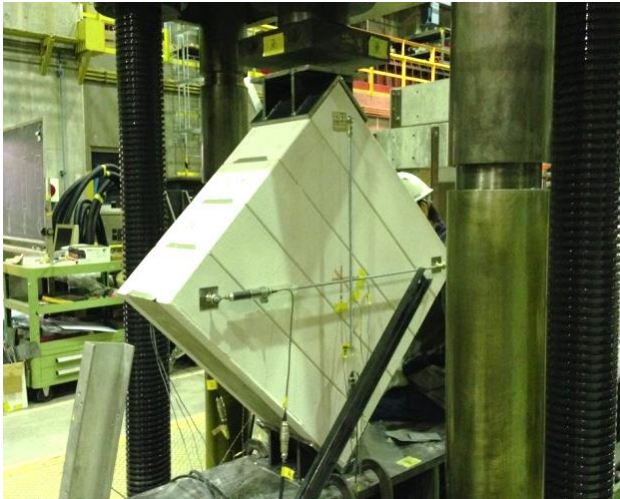
<測定方法>



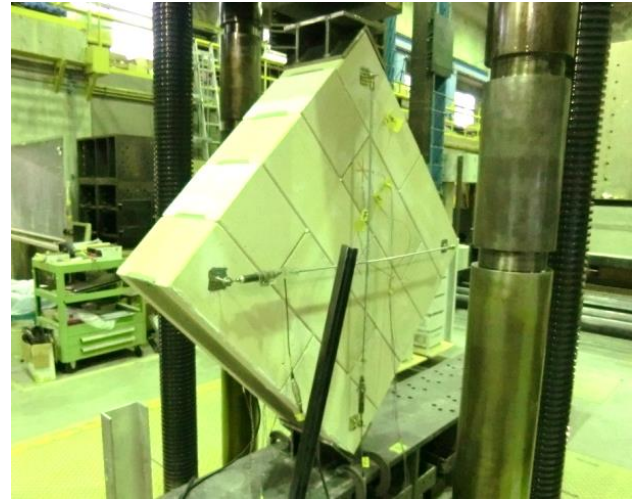
<測定器設置位置>

(b) ALC42

図 2.31 プリズムせん断試験の試験方法



(a) P-S-A50-2



(b) P-S-A37-1

図 2.32 プリズムせん断試験の試験状況

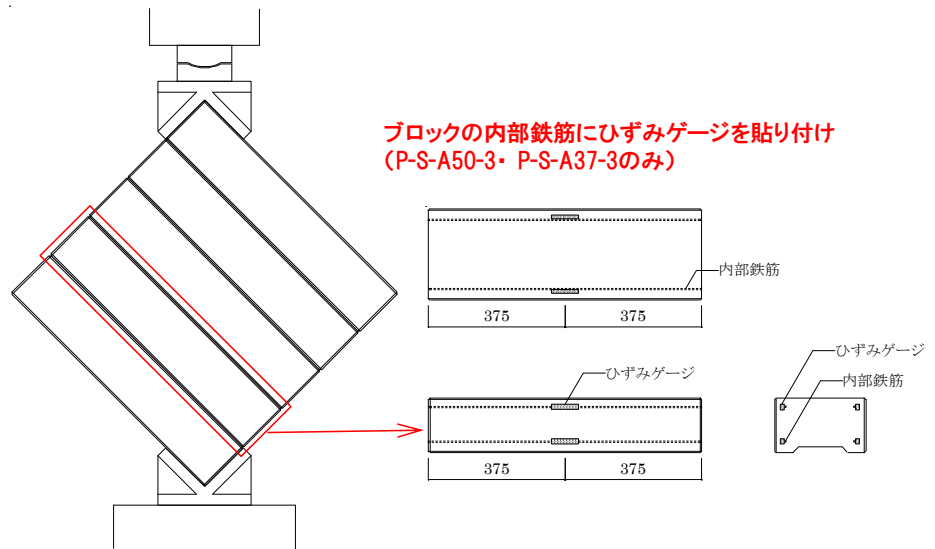
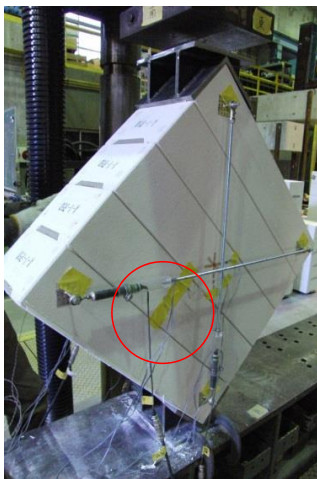


図 2.33 ブロックの内部鉄筋へのひずみゲージ貼り付け位置

表 2.26 プリズムせん断試験の加力スケジュール

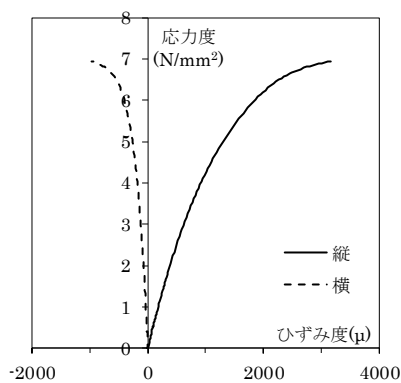
シリーズ名	試験体番号	加力スケジュール
P-S-A50	1	1/6000rad、1/3000rad、1/1500radで繰返し、その後単調載荷。
	2	単調載荷
	3	1/3000rad、1/1500radで繰返し、その後単調載荷。
P-S-A37	1	1/3000rad、1/1500rad、1/800radで繰返し、その後単調載荷。
	2	単調載荷
	3	1/3000rad、1/1500radで繰返し、その後単調載荷。
P-S-A42	1	1/7500rad、1/3000rad、1/1500radで繰返し、その後単調載荷。
	2	単調載荷
	3	1/3000rad、1/1500radで繰返し、その後単調載荷。

表 2.27 ALC 補修材の圧縮試験結果

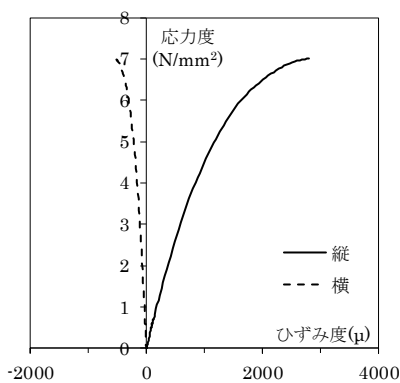
試験体番号	面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大荷重時ひずみ度 (μ)	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 (-)
1	1973	10.8	5.47	—	—	—
2	1977	10.2	5.14	—	—	—
3	1975	12.6	6.35	—	—	—
4	1977	13.7	6.93	3167	5073	0.19
5	1981	13.9	7.02	2813	5337	0.20
6	1977	10.8	5.47	2276	5245	0.18
7	1983	15.2	7.64	—	—	—
8	1979	13.5	6.80	—	—	—
9	1969	15.3	7.78	—	—	—
平均値	1977	12.9	6.51	2752	5219	0.19

表 2.28 ALC 補修材の割裂試験結果

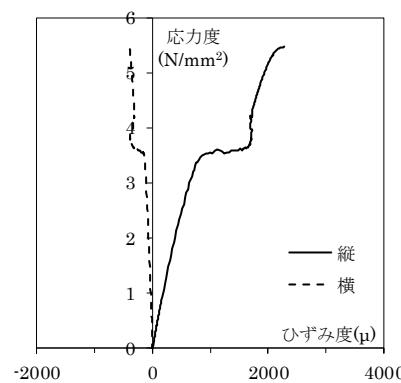
試験体番号	直径 (mm)	高さ (mm)	最大荷重 (kN)	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
1	50.2	100.3	6.8	0.86
2	50.1	100.2	5.9	0.75
3	50.2	100.2	7.1	0.90
平均値	50.1	100.2	6.6	0.84



(a) 圧縮試験 NO.4



(b) 圧縮試験 NO.5



(c) 圧縮試験 NO.6

図 2.34 ALC 補修材の応力度－ひずみ度関係

## 2.6.3 試験結果と考察

### 2.6.3.1 破壊性状とせん断応力度－せん断ひずみ度関係

プリズムせん断試験の結果一覧を表 2.29 に、せん断変形の模式図を図 2.35 に、載荷後の試験体とひび割れ図を図 2.36 に、せん断応力度－せん断ひずみ度関係を図 2.37 に示す。断面積は、最上段および最下段におけるブロックの向かい合う幅と厚さを測定し、それぞれの平均値より求めた。せん断応力度は、試験体の水平目地方向にベクトル分解した荷重を試験体の全断面積で除した値とした。せん断ひずみ度 $\gamma$ は、図 2.35 に示す対角方向の変形量から(2.8)式より求めた。図 2.37 に示すせん断応力度－せん断ひずみ度関係は、観察による荷重低下を除くため観察後の荷重が観察前の荷重に戻るまでの 2 点間を直線補間した。せん断弾性係数は、せん断応力度－せん断ひずみ度関係におけるせん断強度の 1/3 の点と原点との割線剛性により求めた。初ひび割れは、目視および音によりひび割れが確認された点について、応力度－ひずみ度関係において荷重がやや低下することが確認された点とした。表 2.29 の $P_{max}$ は最大荷重を、 $P_{cr}$ は初ひび割れ時の荷重を表す。図 2.36 に示したひび割れ図は、凡例で示す変形角で載荷を中断して目視により観察を行った記録であるため、凡例の変形角とひび割れの発生時の変形角は一致していないことに留意する。

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (2.8a)$$

$$\gamma_1 \cong (\delta_1/2\cos\theta + \delta_2/2\cos\theta)/(h_s - \delta_1/2\sin\theta + \delta_2/2\sin\theta) \quad (2.8b)$$

$$\gamma_2 \cong (\delta_1/2\sin\theta + \delta_2/2\sin\theta)/(w_s - \delta_1/2\cos\theta + \delta_2/2\cos\theta) \quad (2.8c)$$

ここに

$\delta_1$  : 縦方向の変形量

$\delta_2$  : 横方向の変形量

$h_s$  : 試験体の高さ

$w_s$  : 試験体の幅

$\theta$  : 試験体の角度

## (1) P-S-A50 シリーズの破壊性状

P-S-A50-1 では、1/3000rad の観察まではひび割れは確認されず、せん断ひずみ度が  $664\mu(1/1506\text{rad})$  において上部加力点付近で縦方向のひび割れが確認され、その後も試験体全体に縦方向の大きなひび割れが確認された  $1086\mu$  まで剛性を維持しながら線形的に変形が進行した。 $664\mu$  におけるひび割れは、試験体上部が面外方向に傾いていたために加力治具付近の局所的な圧縮力により生じたものと考えられるため、初ひび割れからは除外して  $1086\mu$  のひび割れを初ひび割れと判断した。ひび割れ発生直後、 $1095\mu$  で最大せん断応力度  $0.55\text{N/mm}^2$  が確認された。最大荷重後は  $2500\mu$  程度まで荷重を維持したが、 $2500\mu$  以降はせん断ひび割れの拡大と目地のすべりを伴いながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の 8 割まで荷重が低下した  $6000\mu$  を超えた点で加力を終了した。破壊性状は、せん断ひび割れ後の目地のすべり破壊と判断した。

P-S-A50-2 では、 $1036\mu$  でひび割れ音を確認されて荷重の低下と変形の進行が確認されたため、初ひび割れが発生したと判断した。その後、 $0.5\text{N/mm}^2$  程度を保ちながら変形が進行し、 $2903\mu$  で最大せん断応力度  $0.54\text{N/mm}^2$  が確認された。最大荷重後はせん断ひび割れの拡大と目地のすべりを伴いながら  $0.35\text{N/mm}^2$  程度で一定の荷重を保って変形が進行し、 $22000\mu$  を超えた点で加力を終了した。破壊性状は、せん断ひび割れ後の目地のすべり破壊と判断した。

P-S-A50-3 では、 $400\mu$  程度で内部のグラウトが割れるような音を確認されたが、 $660\mu(1/1515\text{rad})$  で観察した際にはブロック表面にひび割れは確認されなかった。その後、 $1005\mu$  でひび割れ音と共にブロック表面のひび割れ発生が目視で確認され、荷重の低下と変形の進行が確認された。その後、 $0.5\text{N/mm}^2$  程度を保ちながら変形が進行し、 $3970\mu$  で最大せん断応力度  $0.54\text{N/mm}^2$  が確認された。最大荷重後はせん断ひび割れの拡大と目地のすべりを伴いながら徐々に荷重が低下し、 $11000\mu$  を超えた点で加力を終了した。破壊性状は、せん断ひび割れ後の目地のすべり破壊と判断した。

## (2) P-S-A37 シリーズの破壊性状

P-S-A37-1 では、 $100\mu$  程度でひび割れ音を確認されたため観察したところ、加力治具付近でわずかなひび割れが確認された。図 2.37(d)に示すように、剛性の低下は確認されず、局所的なひび割れのため初ひび割れからは除外した。その後  $669\mu(1/1494\text{rad})$  でひび割れ音が発生して剛性が低下し、直後の観察で試験体下部に鉛直方向のひび割れが確認されたため、初ひび割れと判断した。その後、 $800\mu$  程度でひび割れ音が発生して剛性が低下し、 $1200\mu(1/833\text{rad})$  程度で行った観察では初ひび割れ位置から上部にひび割れが進展していることが確認された。その後、 $2316\mu$  で最大せん断応力度  $0.39\text{N/mm}^2$  が確認された。最大荷重後はせん断ひび割れの拡大と目地のすべりを伴いながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の 8 割程度まで低下した  $4400\mu$  程度で加力を終了した。破壊性状は、せん断ひび割れ後の目地のすべり破壊と判断した。

P-S-A37-2 では、 $678\mu$  でひび割れ音が発生して剛性が低下したため、初ひび割れと判断した。その後、 $1400\mu$  で再度ひび割れ音が発生して剛性が低下し、 $2364\mu$  で最大せん断応力度  $0.42\text{N/mm}^2$  が確認された。最大荷重後はせん断ひび割れの拡大と目地のすべりを伴いながら徐々に荷重が低下し、 $22000\mu$  を超

えた点で加力を終了した。破壊性状は、せん断ひび割れ後の目地のすべり破壊と判断した。

P-S-A37-3 では、100 $\mu$  程度から 300 $\mu$  程度までグラウトが欠けるような音が断続的に発生したが、340 $\mu$ (1/2941rad)で観察を行った際には、ブロック表面にひび割れは確認されなかった。その後も音が断続的に発生し、697 $\mu$ (1/1434rad)で剛性が低下し、直後の観察でひび割れが発生したため、初ひび割れと判断した。除荷後にはひび割れは閉じたことが確認され、その後の载荷により 2085 $\mu$  で最大せん断応力度 0.43N/mm<sup>2</sup>が確認された。最大荷重後はせん断ひび割れの拡大と目地のすべりを伴いながら徐々に荷重が低下し、15000 $\mu$  程度で加力を終了した。破壊性状は、せん断ひび割れ後の目地のすべり破壊と判断した。

### (3) P-S-A42 シリーズの破壊性状

P-S-A42-1 では、300 $\mu$  程度(1/3000rad)における観察では壁表面にひび割れは発生していなかったが、497 $\mu$  でわずかに剛性が低下し、その後 650 $\mu$ (1/1538rad)で観察を行ったところ壁中央部に鉛直方向のひび割れが確認されたため、剛性が低下した点を初ひび割れと判断した。除荷後にはひび割れは閉じることが確認され、その後の载荷により 770 $\mu$  で最大せん断応力度 0.20N/mm<sup>2</sup>が確認された。最大荷重後は荷重が 0.13N/mm<sup>2</sup> 程度まで急激に低下しながら変形が進行し、その後の荷重低下は緩やかになったが、4000 $\mu$  程度で観察をした際に図 2.36(e)に示すように試験体が大きく 2 分して破壊したため加力を終了した。破壊性状は、せん断破壊と判断した。

P-S-A42-2 では、150 $\mu$  程度から断続的にグラウトまたは ALC が欠けるような音が断続的に発生しており、564 $\mu$  で剛性がやや低下したため、剛性が低下した点を初ひび割れと判断した。その後も音は発生し続け、700 $\mu$  で最大せん断応力度 0.22N/mm<sup>2</sup>が確認され、900 $\mu$  程度で大きな音が発生して 0.13N/mm<sup>2</sup> 程度まで荷重が急激に低下しながら変形が進行した。その後の荷重低下は緩やかになったが、4000 $\mu$  程度から再度荷重が低下し始め、6000 $\mu$  を超えた点で加力を終了した。破壊性状は、せん断破壊と判断した。

P-S-A42-3 では、212 $\mu$  で剛性がわずかに低下し、その後 310 $\mu$ (1/3225rad)で観察を行った際に鉛直方向のひび割れが試験体下部に確認されたため、剛性が低下した点を初ひび割れとした。その後、650 $\mu$ (1/1538rad)の観察でひび割れが新たに試験体中央に確認され、787 $\mu$  で最大せん断応力度 0.18N/mm<sup>2</sup>が確認された。最大荷重直後に大きなひび割れ音と共に急激な荷重低下が生じ、変形が多く進行したため加力を停止した。破壊性状は、せん断破壊と判断した。

表 2.29 プリズムせん断試験の結果一覧

シリーズ	試験体番号	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 P <sub>max</sub> (kN)	せん断応力度		せん断 弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断ひずみ度		ε <sub>max</sub> (P <sub>cr</sub> ) (μ)	σ <sub>t</sub> (P <sub>cr</sub> ) (N/mm <sup>2</sup> )	破壊性状
				P <sub>cr</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	P <sub>max</sub> (N/mm <sup>2</sup> )		P <sub>cr</sub> (μ)	P <sub>max</sub> (μ)			
P-S-A50	1	186757	145.9	0.55	0.55	699	1086	1095	269	0.36	せん断ひび 割れ後の すべり破壊
	2	186913	143.8	0.52	0.54	601	1036	2903	279	0.35	
	3	186676	143.3	0.52	0.54	590	1005	3970	243	0.34	
	平均値	186782	144.3	0.53	0.55	630	1042	2656	263	0.35	—
P-S-A37	1	186929	103.7	0.23	0.39	441	669	2316	180	0.15	せん断ひび 割れ後の すべり破壊
	2	187250	110.5	0.25	0.42	429	678	2364	201	0.17	
	3	187291	114.0	0.25	0.43	420	697	2085	202	0.17	
	平均値	187156	109.4	0.25	0.41	430	681	2255	194	0.16	—
P-S-A42	1	250037	71.2	0.17	0.20	430	497	770	119	0.11	せん断 破壊
	2	249126	76.1	0.19	0.22	393	564	700	123	0.13	
	3	249712	63.2	0.07	0.18	390	212	787	59	0.05	
	平均値	249625	70.2	0.14	0.20	404	424	752	101	0.09	—

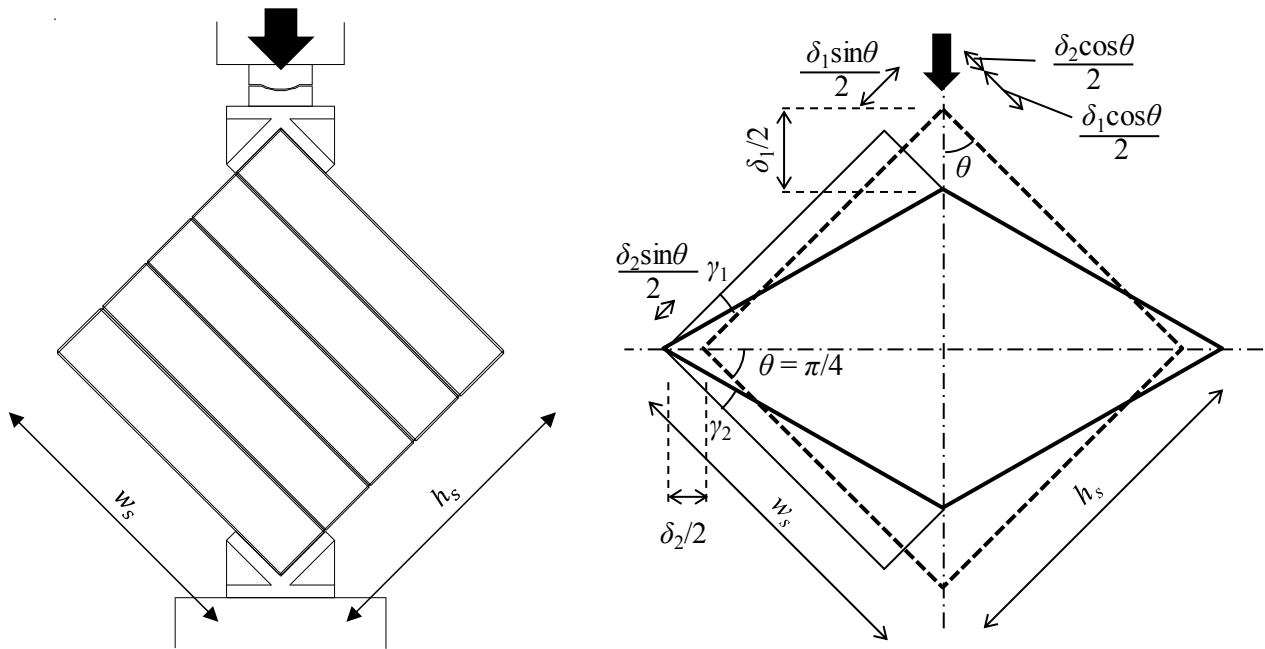
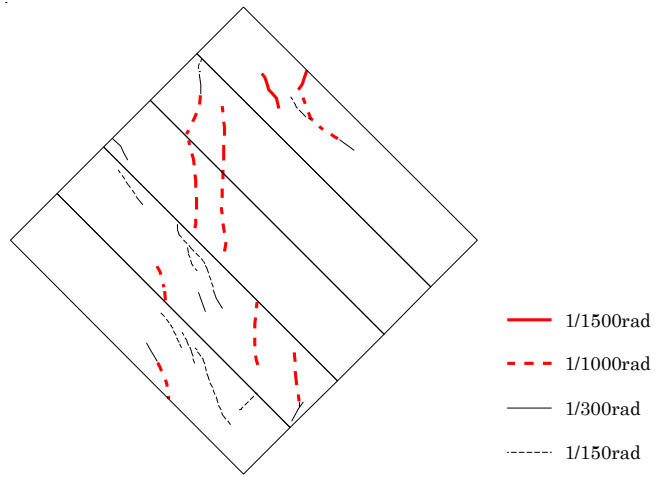
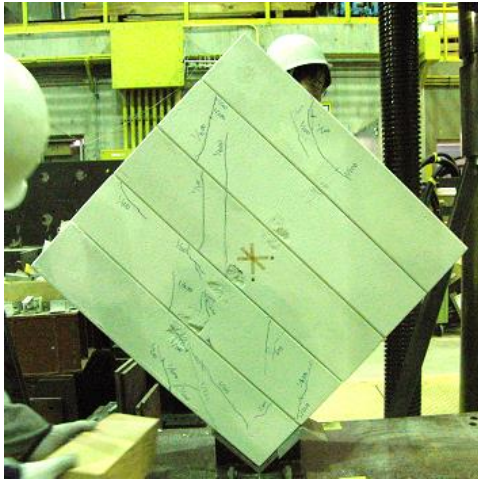
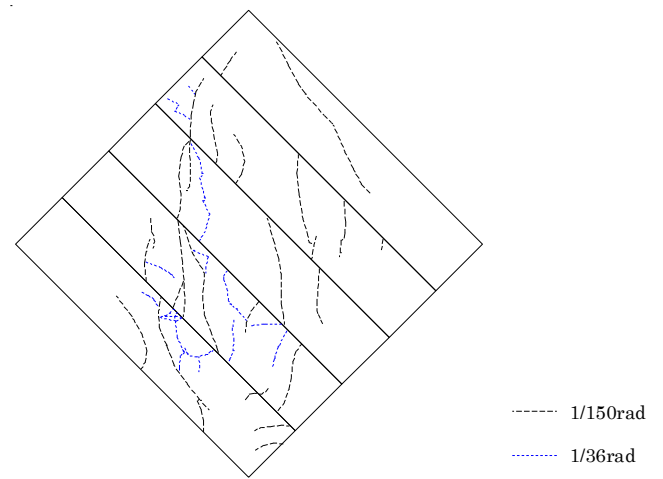
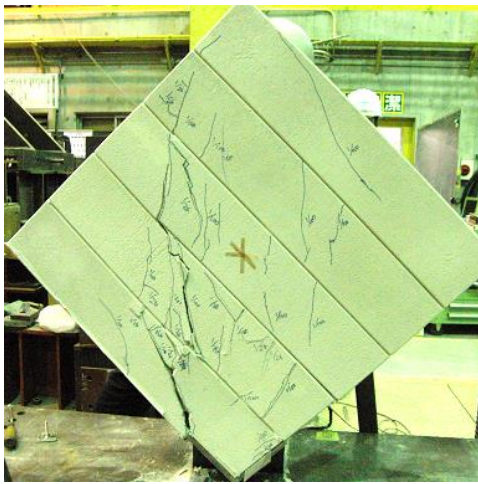


図 2.35 せん断変形の模式図

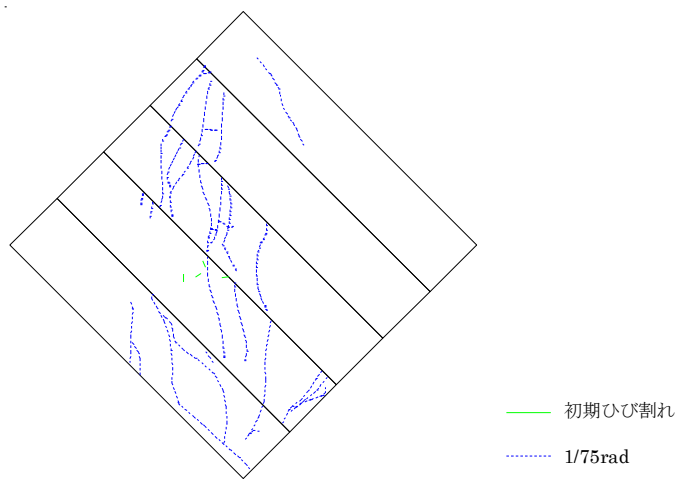
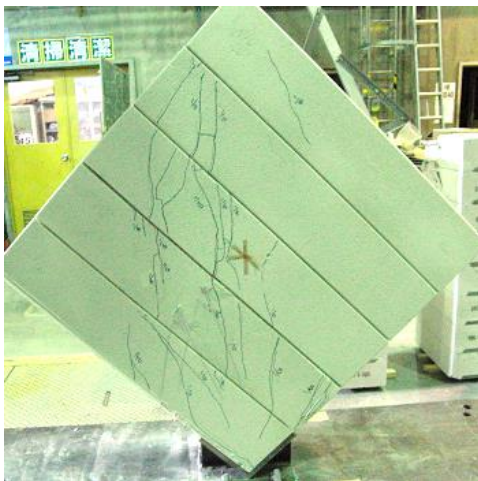




(a) P-S-A50-1

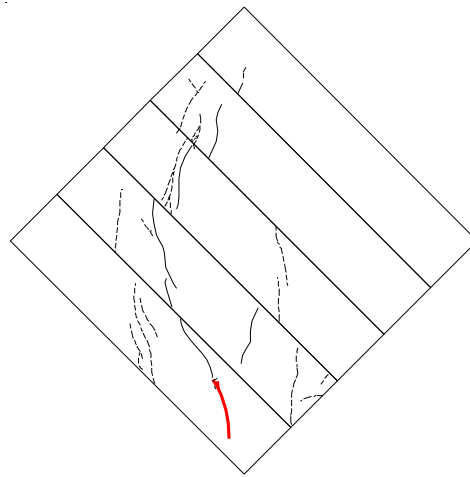
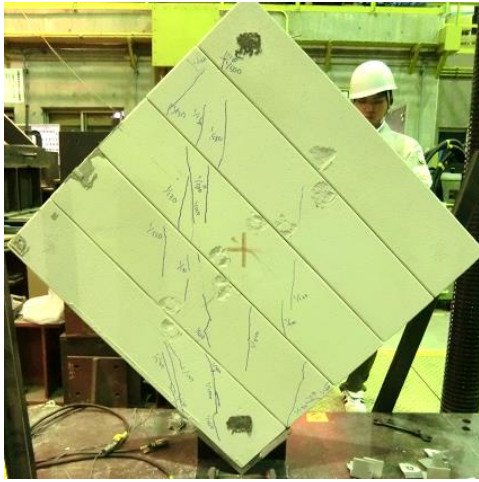


(b) P-S-A50-2

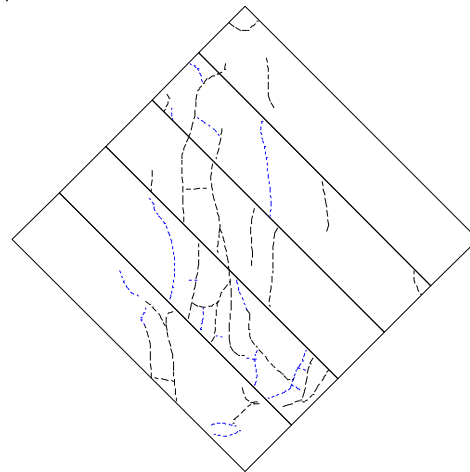
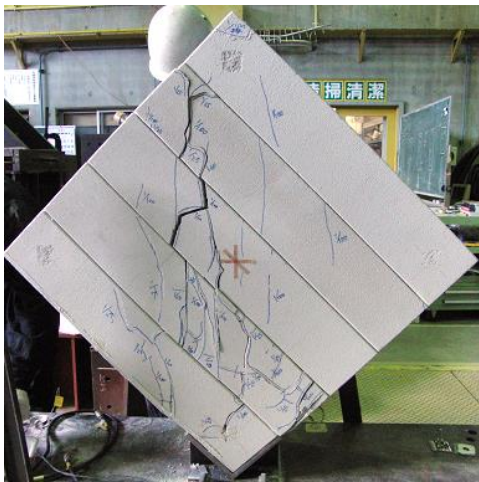


(c) P-S-A50-3

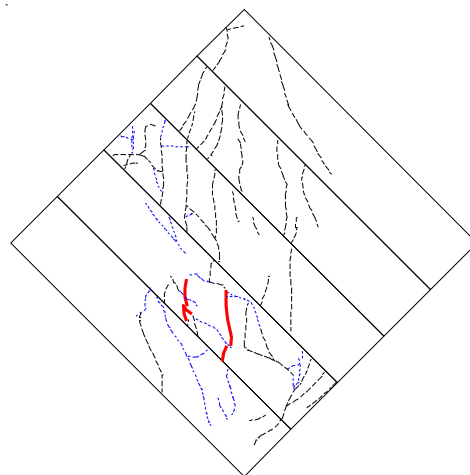
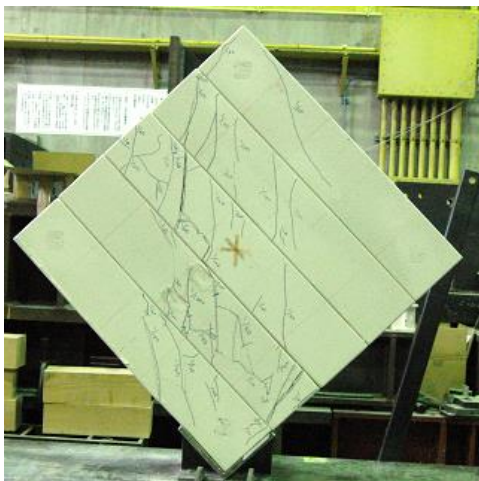
図 2.36-1 載荷後の試験体とひび割れ図



(d) P-S-A37-1

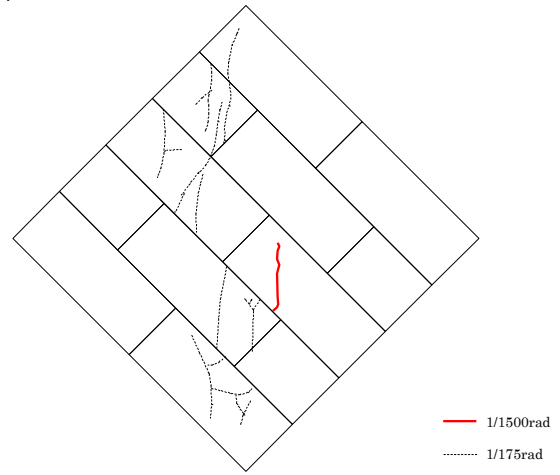


(e) P-S-A37-2

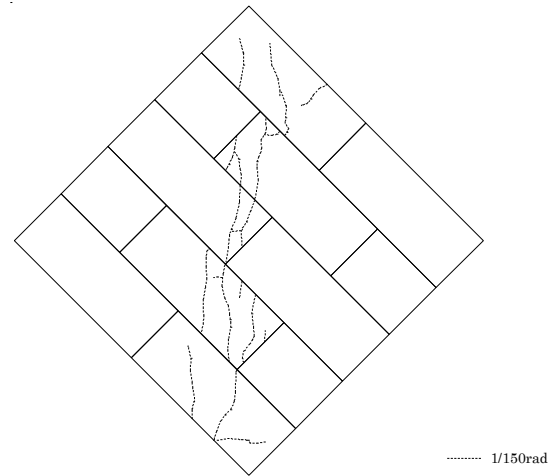


(f) P-S-A37-3

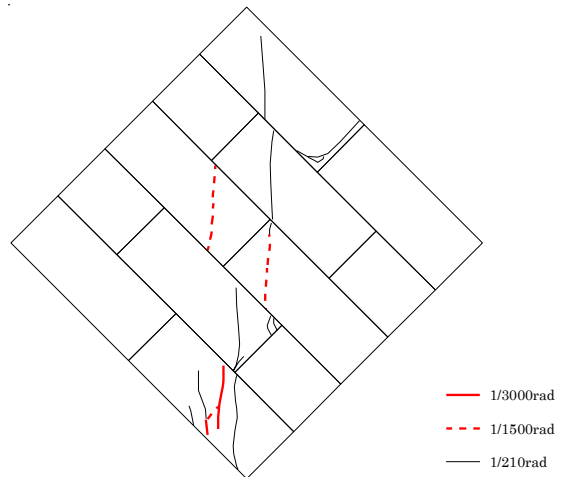
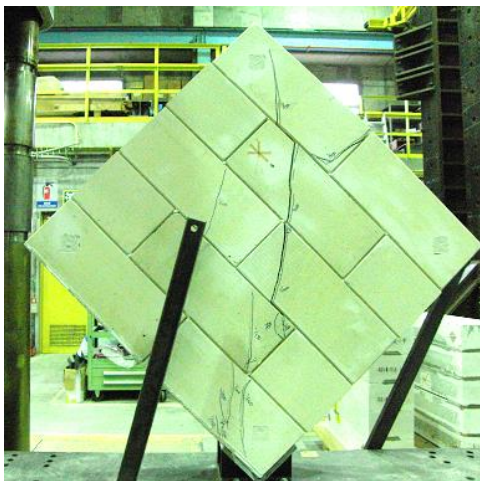
図 2.36-2 載荷後の試験体とひび割れ図



(e) P-S-A42-1

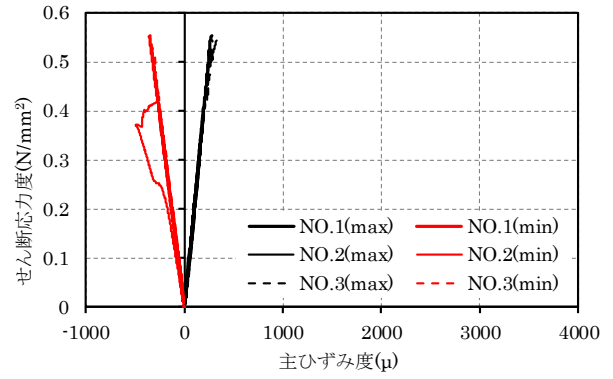
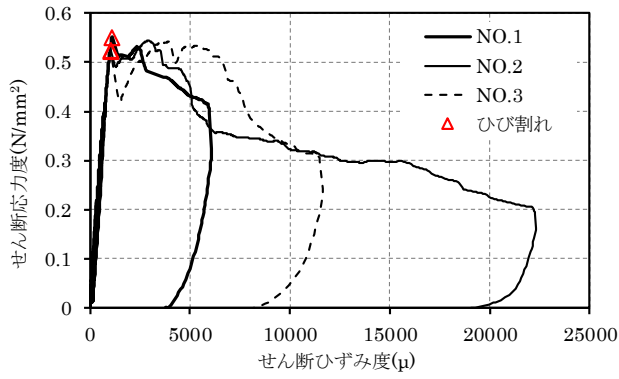


(f) P-S-A42-2



(g) P-S-A42-3

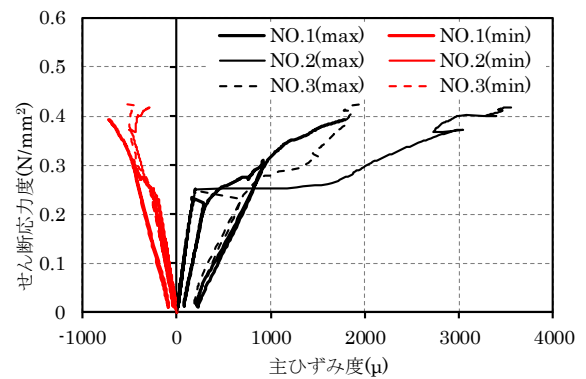
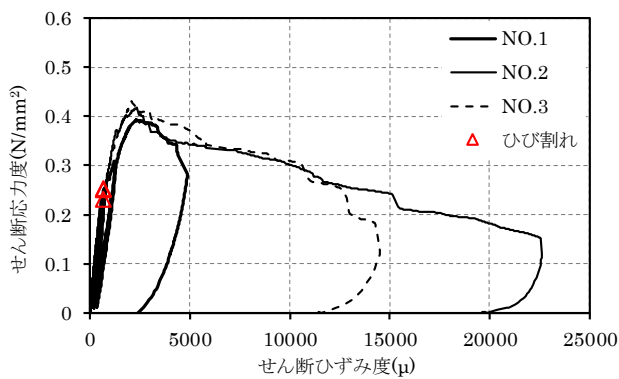
図 2.36-3 載荷後の試験体とひび割れ図



<せん断応力度－せん断ひずみ度関係>

<せん断応力度－主ひずみ度関係>

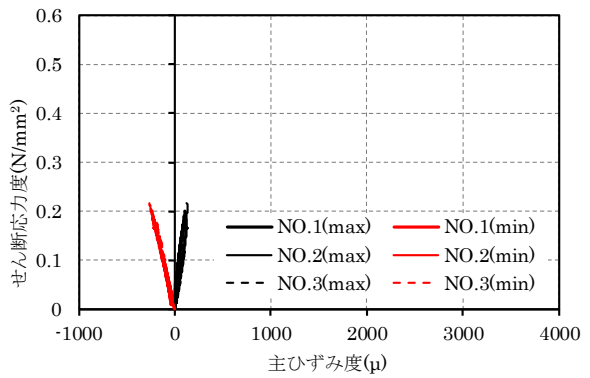
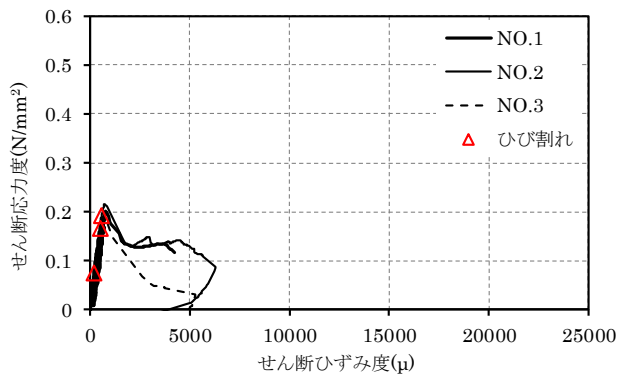
(a) P-S-A50 シリーズ



<せん断応力度－せん断ひずみ度関係>

<せん断応力度－主ひずみ度関係>

(b) P-S-A37 シリーズ

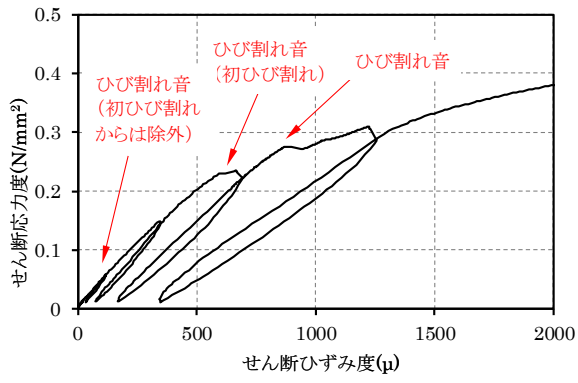


<せん断応力度－せん断ひずみ度関係>

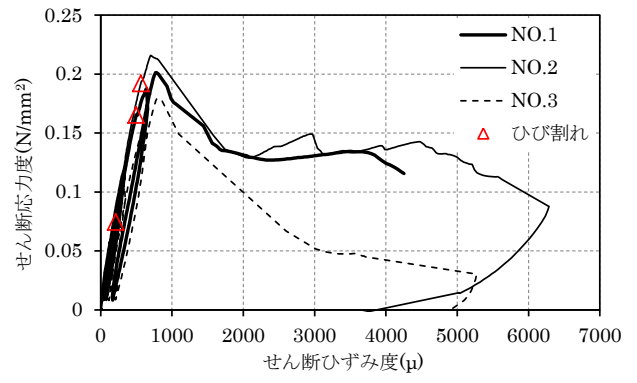
<せん断応力度－主ひずみ度関係>

(c) P-S-A42 シリーズ

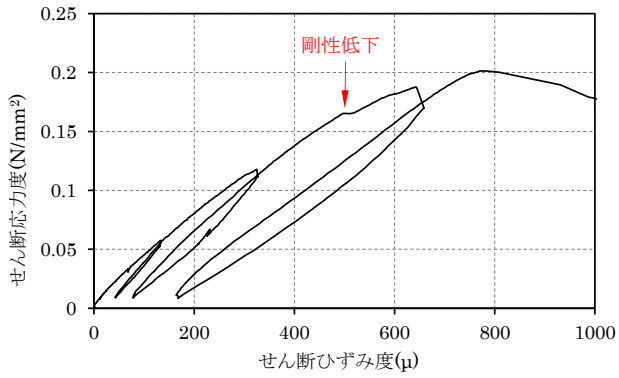
図 2.37-1 せん断応力度－せん断ひずみ度関係



(d) P-S-A37-1 拡大



(e) P-S-A42 シリーズ拡大



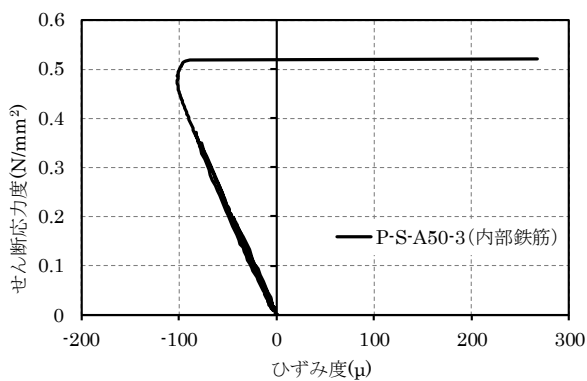
(f) P-S-A42-1 拡大

図 2.37-2 せん断応力度—せん断ひずみ度関係

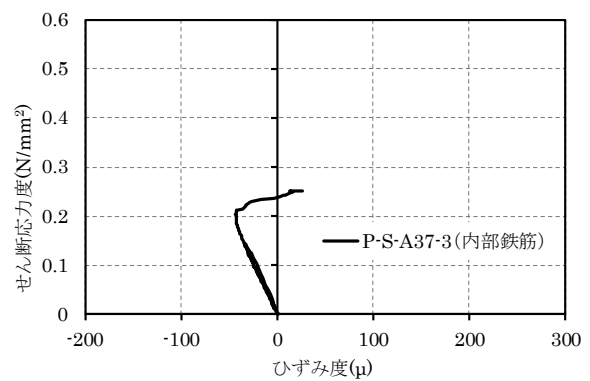
#### (4) せん断応力度と内部鉄筋のひずみ度の関係

ここでは P-S-A50-3 と P-S-A37-3 について、内部鉄筋に貼り付けたひずみゲージの値とせん断応力度の関係を確認する。せん断応力度と内部鉄筋のひずみ度の関係を図 2.38 に示す。内部鉄筋のひずみ度は、4箇所貼り付けたひずみゲージの平均値とし、ひび割れ発生直後までの値を示した。

P-S-A50-3 では  $0.52\text{N/mm}^2$  でせん断ひび割れが、P-S-A37-3 では  $0.25\text{N/mm}^2$  でせん断ひび割れが発生しているが、せん断ひび割れの発生と共に内部鉄筋に引張力が作用しており、ALC から内部鉄筋に引張応力が移行していることがわかる。以上から、内部鉄筋はせん断ひび割れに対して補強筋の効果を有するものと考えられる。



(a) P-S-A50-3



(b) P-S-A37-3

図 2.38 せん断応力度－内部鉄筋のひずみ度関係

(5) 各シリーズの破壊性状およびせん断応力度－せん断ひずみ度関係の比較

ここでは、各シリーズについて破壊性状とせん断応力度－せん断ひずみ度関係を比較する。各シリーズのせん断応力度－ひずみ度関係の代表図を図 2.39 に示す。図 2.39 には、すべてのシリーズで試験体番号“2”の試験結果を示した。

P-S-A50 シリーズではせん断ひび割れ発生後も最大荷重程度の荷重を保ちながら、P-S-A37 シリーズではせん断ひび割れ発生後も荷重が上昇して 2000 $\mu$  程度で最大荷重を迎え、その後はひび割れ幅の拡大とひび割れ本数の増加、目地部のすべりを伴いながら徐々に荷重が低下した。一方、P-S-A42 シリーズではせん断ひび割れ後のすぐに最大荷重を迎え、その後の急激な荷重低下とともに変形が進行して試験体が鉛直方向に 2 分するように破壊した。ひび割れの様子を見ると、P-S-A50 シリーズと P-S-A37 シリーズでは幅の小さいひび割れが多数確認されたのに対し、P-S-A42 シリーズではひび割れ幅が拡大して破壊に至った。

これらの結果と(4)の結果から、P-S-A50 シリーズと P-S-A37 シリーズでは、内部鉄筋によりひび割れの伸展が拘束されたことでひび割れ後の荷重低下が大幅に改善されたと考えられる。そのため、目地部のすべり耐力まで荷重が上昇し、最大荷重後は摩擦により荷重を維持したまま徐々に変形が進行したものと考えられる。

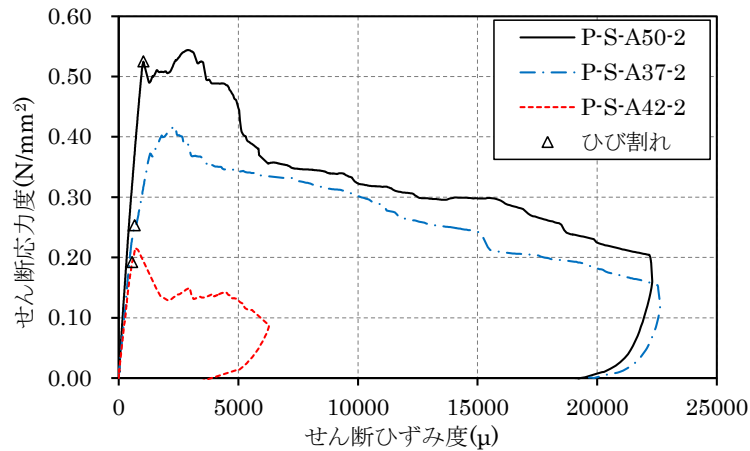


図 2.39 各シリーズのせん断応力度－せん断ひずみ度関係の代表図

### 2.6.3.2 プリズムせん断試験結果と ALC 材料特性の比較

ここでは、プリズムせん断試験結果と ALC の材料試験結果の比較を行う。各試験体のせん断応力度－主ひずみ度関係を前述の図 2.37 に、ひび割れ発生時の最大主ひずみ度 $\epsilon_{max}$ を前述の表 2.29 に併記する。最大主ひずみ度 $\epsilon_{max}$ と最小主ひずみ度 $\epsilon_{min}$ は、3 軸ゲージより測定したひずみ度から(2.9)式および(2.10)式より求めた。ひび割れ発生時の最大主ひずみ $\epsilon_{max}$ の値は、P-S-A50 シリーズでは 243～279 $\mu$  が、P-S-A37 シリーズでは 180～202 $\mu$  が、P-S-A42 シリーズでは 59～123 $\mu$  が得られた。一方、2.2.4 項で示した表 2.8 の ALC の引張試験結果をみると、引張強度時のひずみ度の平均値は、ALC50 で 365 $\mu$ 、ALC37 で 382 $\mu$ 、ALC42 で 472 $\mu$  となっており、本試験の結果は ALC 引張試験の結果の半分以下の値を示した。

プリズムせん断試験における割裂強度算定式を(2.11)式<sup>2.25),2.26)</sup>に示す。(2.11)式は、文献 2.25)に示されるように加圧部のくさび効果を考慮した W.F. Chen<sup>2.26)</sup>による引張強度式であり、得られた引張応力度 $\sigma_t$ を前述の表 2.29 に併記した。 $\sigma_t$ は P-S-A50 シリーズでは 0.34～0.36N/mm<sup>2</sup>が、P-S-A37 シリーズでは 0.15～0.17N/mm<sup>2</sup>が、P-S-A42 シリーズでは 0.05～0.13 N/mm<sup>2</sup>が得られた。一方、2.2.4 項で示した表 2.8 の ALC の引張強度の平均値をみると、ALC50 で 0.69N/mm<sup>2</sup>が、ALC37 で 0.61N/mm<sup>2</sup>が、ALC42 で 0.66N/mm<sup>2</sup>が得られており、ひずみ度の値と同様に本試験の結果は ALC 引張試験の結果の半分以下の値を示した。これらの要因の 1 つとして、プリズム圧縮試験で述べたように断面中央部分のグラウト充填箇所に応力が集中しているため、壁表面の破壊よりも断面中央部分の破壊が先行してひび割れが生じていることが考えられる。

$$\epsilon_{max} = [\epsilon_1 + \epsilon_2 + \sqrt{2\{(\epsilon_1 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2\}}]/2 \quad (2.9)$$

$$\epsilon_{min} = [\epsilon_1 + \epsilon_2 - \sqrt{2\{(\epsilon_1 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2\}}]/2 \quad (2.10)$$

$$\sigma_t = 0.465 {}_sP_{cr}/tw_s \quad (2.11)$$

ここに

$\epsilon_{max}$  :最大主ひずみ度

$\epsilon_{min}$  :最小主ひずみ度

$\epsilon_1$  :水平方向のひずみ度

$\epsilon_2$  :鉛直方向のひずみ度

$\epsilon_3$  :斜め 45 度方向のひずみ度

$\sigma_t$  :試験体中央の水平方向の引張応力度

${}_sP_{cr}$  :せん断ひび割れ時の荷重

$t$  :試験体の厚さ



### 2.6.3.3 組積体のせん断ひび割れ強度と圧縮強度の関係

ここでは、組積体のせん断ひび割れ強度と圧縮強度の関係を確認する。日本建築学会の各種メーソリー構造設計ノート 2009 によると、組積体のせん断ひび割れ強度  $m\tau_{cr}$  は組積体の圧縮強度  $m\sigma_c$  の平方根に比例し、図 2.40 に示すような関係にあると言われている<sup>2.24)</sup>。図 2.40 の  $\sigma_m$  と  $\tau_c$  はそれぞれ実験で得られた組積体の圧縮強度とせん断ひび割れ応力度を表すが、型枠ブロック造壁体ではせん断ひび割れ強度の平均値は  $\sqrt{0.1\sigma_m}$  ( $\equiv 0.32\sqrt{m\sigma_c}$ ) で、補強ブロック造壁体ではせん断ひび割れ強度の平均値は  $2\sqrt{0.1\sigma_m}/2.5$  ( $\equiv 0.25\sqrt{m\sigma_c}$ ) でおおよそ示されることがわかる。同様の関係を本構法のプリズム試験結果で確認したものを図 2.41 および表 2.30 に示す。ALC50 を用いた壁体では  $\sqrt{0.1m\sigma_c}$  が、ALC37 を用いた壁体および ALC42 を用いた壁体では  $\sqrt{0.1m\sigma_c}/2.5$  ( $\equiv 0.13\sqrt{m\sigma_c}$ ) が、全体では  $0.18\sqrt{m\sigma_c}$  がせん断ひび割れ強度の平均値をおおよそ示していることが確認された。第 3 章では、 $m\tau_{cr} = 0.18\sqrt{m\sigma_c}$  の関係を用いて実験結果の耐力評価を行うこととする。

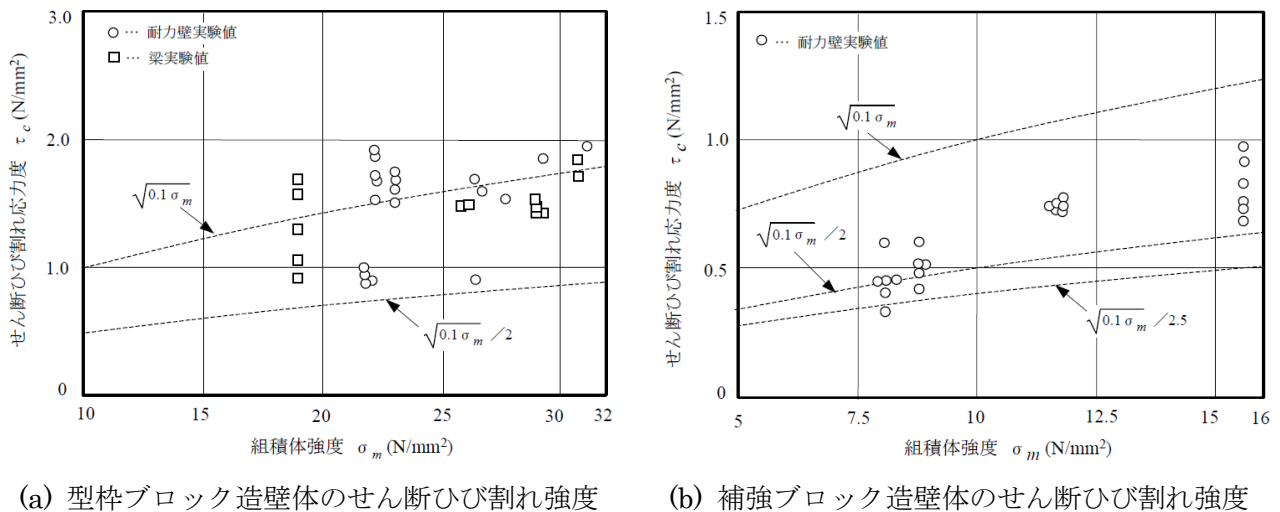


図 2.40 せん断ひび割れ応力度と組積体強度の関係<sup>2.24)</sup>

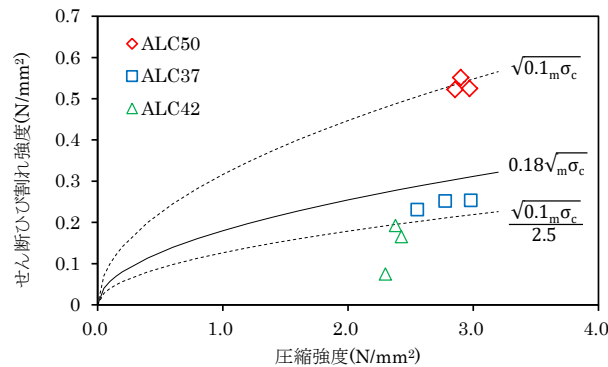


図 2.41 せん断ひび割れ強度と圧縮強度の関係

表 2.30 せん断ひび割れ強度と圧縮強度の関係

ブロック種類	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 ひび割れ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sqrt{0.1_m\sigma_c}$	$\frac{\sqrt{0.1_m\sigma_c}}{2.5}$	$\frac{m\tau_c}{\sqrt{m\sigma_c}}$
ALC50	2.90	0.55	0.54	0.22	0.32
	2.97	0.52	0.55	0.22	0.30
	2.86	0.52	0.53	0.21	0.31
ALC37	2.55	0.23	0.51	0.20	0.14
	2.98	0.25	0.55	0.22	0.15
	2.78	0.25	0.53	0.21	0.15
ALC42	2.43	0.17	0.49	0.20	0.11
	2.38	0.19	0.49	0.20	0.12
	2.30	0.07	0.48	0.19	0.05
				平均値	0.18

## 2.7 ALC とグラウトの界面の引張試験および曲げ試験

### 2.7.1 試験体

本節では ALC とグラウトの界面の引張強度（以下、付着強度）を確認するために行った引張試験と曲げ試験について述べる。試験計画を表 2.31 に、試験体形状を図 2.42～図 2.43 に示す。

試験パラメータは、試験方法、ブロック材料、グラウトの有無およびブロック小口面の状態とした。試験方法は、引張試験と曲げ試験の 2 種類とした。ブロック材料には ALC50 と ALC37 の 2 種類を用い、グラウトには共通して NMH を用いた。工法的には ALC50 を用いた組積壁では SLG をグラウトに用いるが、十分な量の ALC37 の試験体が確保できなかったため、ブロック材料が確保可能な ALC50 に対して NMH を用い、小口面の状態のパラメータを設定した。

試験体形状は ALC50 では□90mm、ALC37 では□75mm の断面とし、2 つの ALC ブロック間に幅 30mm のグラウトを打設して試験体を作製した。曲げ試験については、ALC との比較を行うためにグラウトを用いない ALC のみの曲げ試験体も合わせて行った。ALC とグラウトの界面側の小口面には、撥水剤の有無と ALC 粉末の付着量の 2 種類のパラメータを設けた。撥水剤は ALC ブロックの吸水防止のために使用されることを想定し、その影響を確認するために行った。撥水剤には、シリコン系の撥水剤（旭化成ワッカーシリコン製、製品名：BC2103）を用いた。撥水剤はメーカー指定の使用方法に従って水で 5～10 倍に希釈し、ブロック小口面を 30 秒間浸漬させて撥水剤を塗着させたのち、1 週間程度養生させたものを試験体に用いた。ALC の切削加工時には、ALC の粉末が断面の気泡を埋めるように付着するため、その影響を確認するために付着量のパラメータを設けた。付着量は、ブロック加工後にエアブローガンを用いて粉を取り除いたものを“なし”、エアブローガンで粉を取り除いた後に紙やすりを用いて小口面を数回擦ったのちに粉をウェスにて拭き取ったものを“少ない”、拭き取らなかったものを“多い”とした。試験体数は、それぞれ 5 体を標準とし、JB-T-A37 シリーズのみ合わせて 12 体とした。

引張試験体の端部加工の詳細を図 2.44 に示す。引張試験体端部には、□90×25mm の端部プレート治具を ALC 用ビス（日本パワーファスニング製、商品名：ALinC（アリンコ）、M6×80）で固定した。ALC 用ビスは、JB-T-A50 シリーズでは 9 本、JB-T-A37 シリーズでは 4 本または 9 本用いた。JB-T-A37 シリーズでは試験体の断面が小さいため、いくつかの試験体の試験体端部でビスの引抜力による ALC の割裂破壊が生じたことから、図 2.42(b)および図 2.43(c)で示したように試験体に巻きつけたガーゼにエポキシ樹脂をしみこませて試験体端部の割裂破壊を防止させた試験体も併用した。ALC と端部治具の引張耐力を確保するため、エポキシ樹脂は試験体端部の ALC と端部プレートの接合部にも塗布した。

試験体名は以下の様に定め、(1)～(3)までをシリーズ名とした。曲げ試験のうち ALC のみの試験体のシリーズは、JB・B・A50N と表記した。

シリーズ名  
┌───────────┐  
JB — T — A50 — PL — 1  
(1)    (2)    (3)    (4)    (5)

- (1) 実験名の記号 [ALC とグラウトの付着試験 : JB]
- (2) 試験方法 [引張試験 : T、曲げ試験 : B]
- (3) ブロック材料 [ALC50 : A50、ALC37 : A37]
- (4) ブロック表面の仕上げ [粉無 : PL、粉少 : PM、粉多 : PH、撥水有 : PLwr、ALC のみ : N]
- (5) 試験体番号 [1,2,3... ]

表 2.31 付着試験の試験計画

試験方法	ブロック	シリーズ名	形状 (mm)	グラウト	ブロック小口面の状態		試験体数	試験体 番号	備考
					撥水剤	ALC粉末 付着量			
引張試験	ALC50	JB-T-A50	□90×250	NMH	無	なし	5	1~3	垂直方向に載荷
						少ない		5	4,5
						多い	5	1~3	垂直方向に載荷
	ALC37	JB-T-A37	□75×250 □75×530		なし	9	1~10 (3は欠番)	垂直方向に載荷	
					有		5		1~5
					無	3	11~13		
曲げ試験	ALC50	JB-B-A50N	□90×530	無	—	—	1~5	—	
		JB-B-A50		NMH	無	なし	5	1~5	—
					少ない	5	1~5	—	
	多い		5		1~5	—			
	ALC37	JB-B-A37	□75×530	有	なし	5	1~5	—	
				無	なし	5	1~5	—	

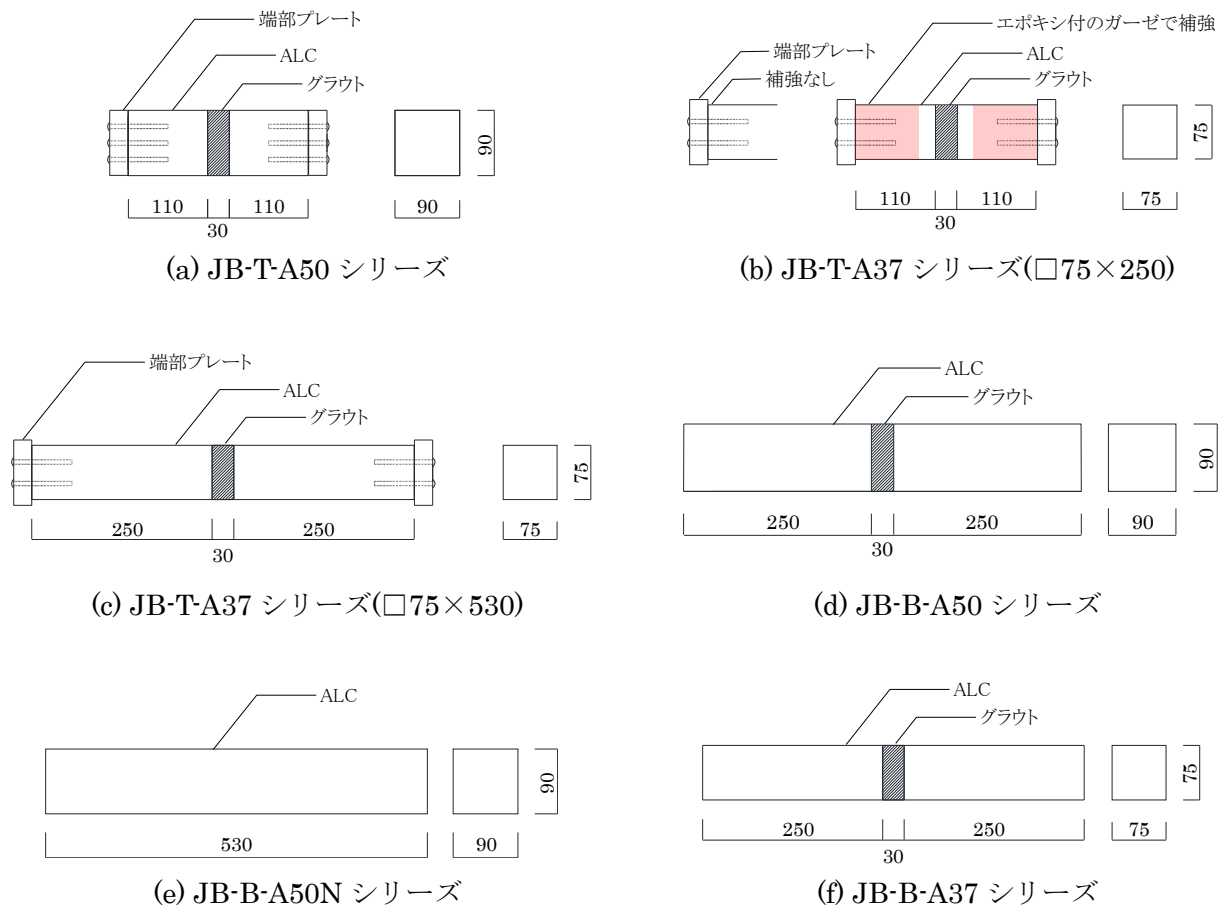
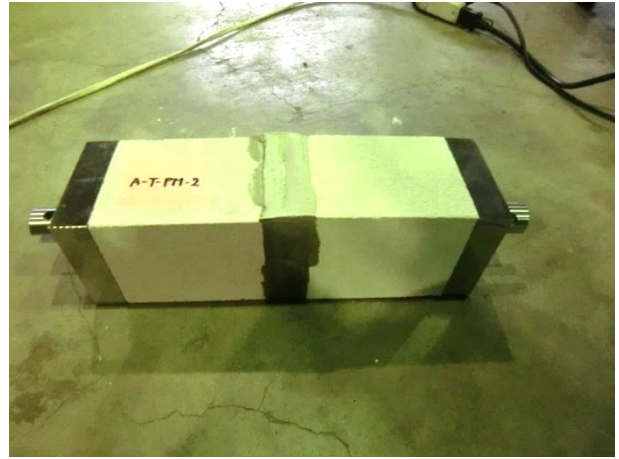


図 2.42 付着試験の試験体形状



(a) 試験体作製状況



(b) JB-T-A50 シリーズ

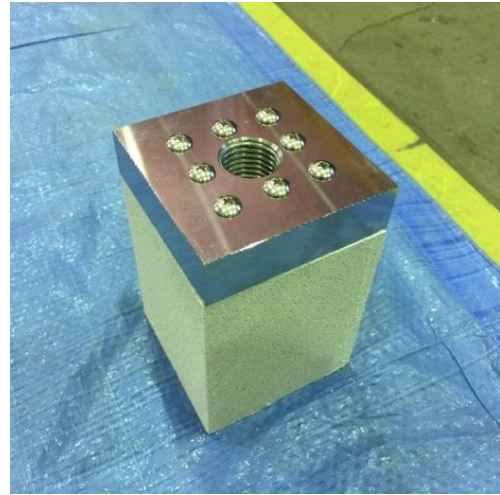
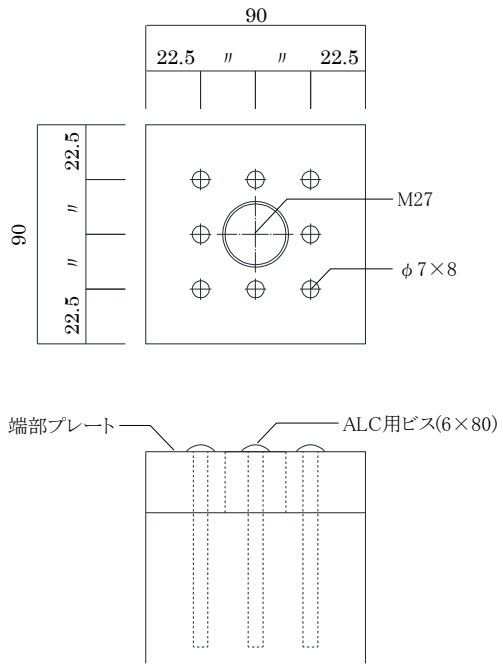


(c) JB-T-A37 シリーズ(□75×250・エポキシ有)

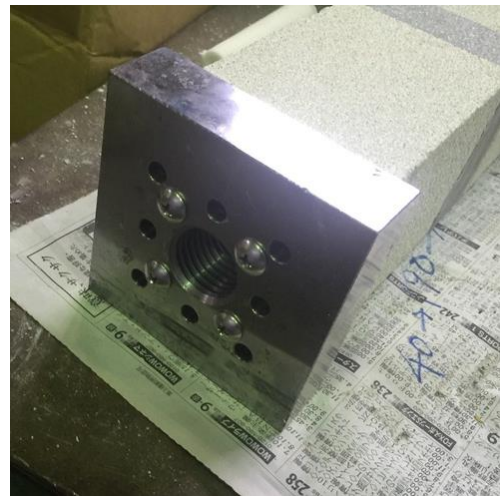
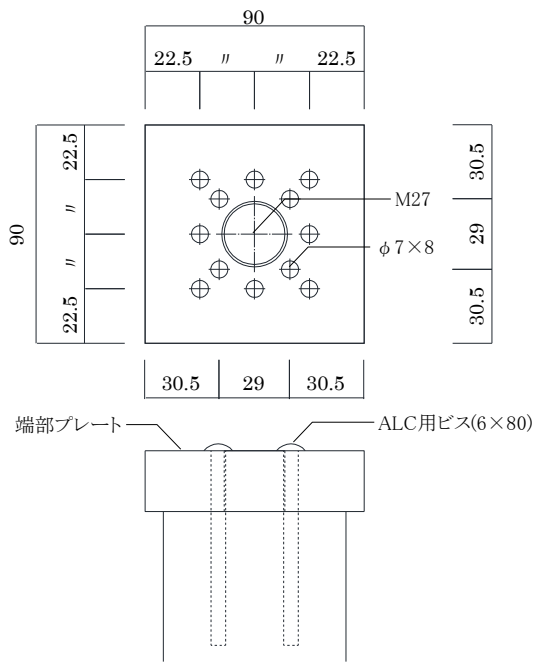


(d) JB-B-A50 シリーズ

図 2.43 付着試験の試験体



(a) JB-T-A50 シリーズ (ビス 9 本打ち)



(b) JB-T-A37 シリーズ (ビス 4 本打ち)

図 2.44 引張試験体の端部加工

## 2.7.2 試験方法

試験方法を図 2.45 に、試験状況を図 2.46 に示す。

引張試験では、図 2.45(a)および(b)に示すような鉛直方向の荷重と、図 2.45(c)に示すような水平方向の荷重の 2 種類を行った。ブロック小口面への ALC 粉末付着量が“少ない”または“多い”試験体では、引張強度が低いことが想定されたため、鉛直方向の引張試験では荷重前に加力治具の自重による引張力が試験体に作用することや、アムスラーでは荷重速度が速すぎる可能性を考慮し、水平方向の荷重を実施した。鉛直方向の荷重では試験体端部に固定した端部プレートに加力治具およびロードセルを接合し、アムスラーを用いて引張力を作用させた。水平方向の荷重では試験体を鉄骨治具上のローラーの上に乗せ、端部プレートの片側はロードセルを介して鉄骨治具に固定し、反対側はターンバックルを介して鉄骨治具に固定した。加力は、ターンバックルを手でゆっくりと絞めつけることで試験体に引張力を作用させた。

曲げ試験は支持スパン 450mm とした 3 等分点 2 点荷重で行い、荷重にはアムスラーを用いた。撥水剤有の試験体を除いた JB-B-A50 シリーズおよび JB-B-A50N シリーズでは図 2.45(c)に示すようにパンタグラフおよび加力治具をアムスラー側に取付けた試験装置とし、撥水剤有の JB-B-A50 シリーズおよび JB-B-A37 シリーズでは図 2.45(d)に示すようにパンタグラフを取り除いて加力治具を試験体の上に置いた試験装置とした。

測定項目は引張試験、曲げ試験ともに荷重のみとし、荷重はロードセル（共和電業製、LU-500KE）を用いて測定した。曲げ試験で加力治具を試験体の上に置いた試験装置では荷重治具分の重量を、引張試験では試験体下部と加力治具の重量をロードセルの値に加えた値を荷重とした。



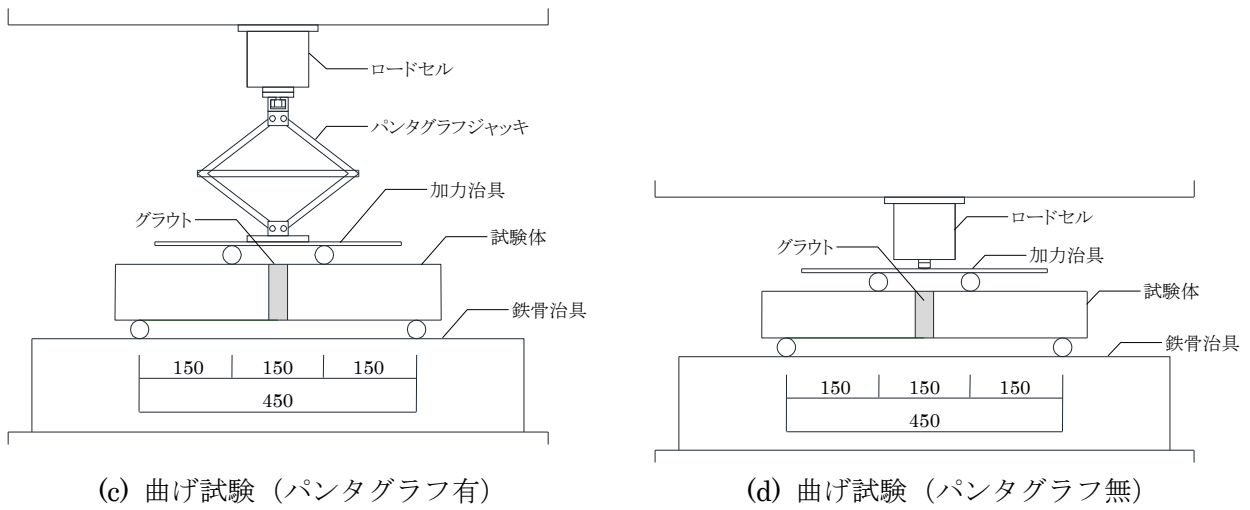
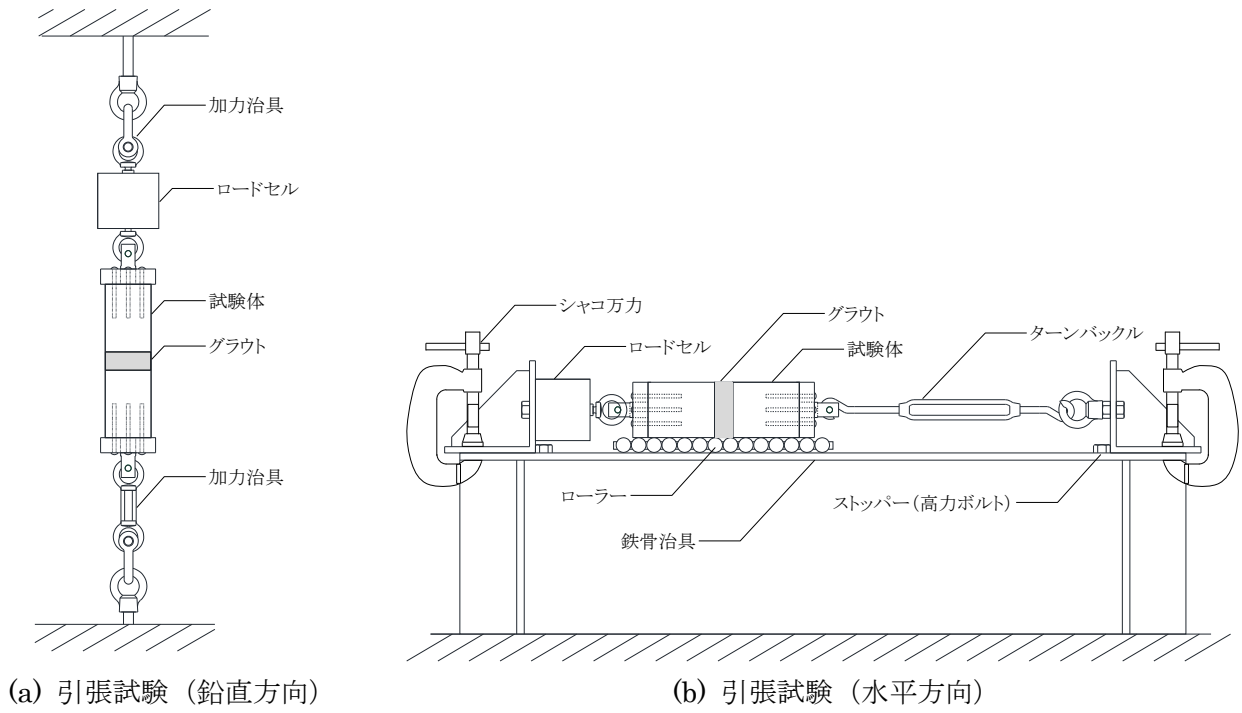


図 2.45 付着試験の試験方法



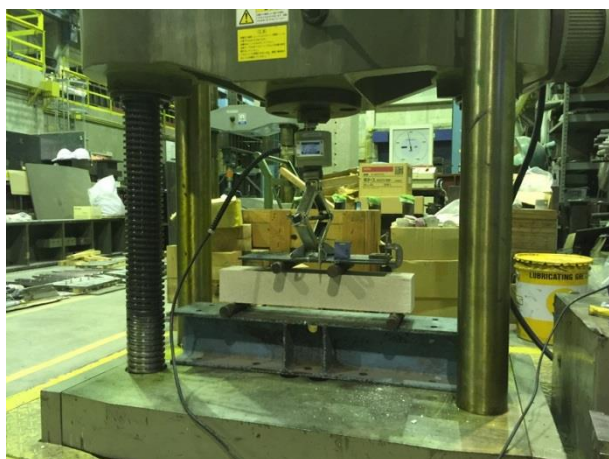
(a) 引張試験 (JB-T-A50 シリーズ)



(b) 引張試験 (JB-T-A37 シリーズ・□75×530)



(c) 引張試験 (水平方向)



(d) 曲げ試験 (パンタグラフ有)



(e) 曲げ試験 (パンタグラフ無)

図 2.46 付着試験の試験状況

## 2.7.3 試験結果と考察

### 2.7.3.1 破壊性状

破壊状況一覧を表 2.32 に、引張試験体の破壊状況を図 2.47 に、曲げ試験体の破壊状況を図 2.48 に、引張試験の結果一覧を表 2.33 に、曲げ試験の結果一覧を表 2.34 に示す。引張応力度は荷重を試験体断面積で除して求め、曲げ応力度は(2.12)式より求めた。断面積と断面係数は、破壊した面の ALC 部分の向かい合う辺の平均値より求めた。

引張試験の破壊性状は、①付着面の ALC 側で破壊したもの、②ALC とグラウトの界面で剥離したもの、①と②が混在したもの、③試験準備中に界面で破壊したもの、④ALC と端部プレートを接合するビスの影響により ALC が破壊したものが得られた。ALC の粉量が多くなるにつれて②と③の破壊性状が増える傾向が有ることが確認された。また、鉛直方向と水平方向の試験方法の違いによる破壊性状と付着強度への影響は見られなかったため、以降は試験方法の区別をせずに検討を行った。

曲げ試験の破壊性状は、①付着面の ALC 側で破壊したもの、②ALC とグラウトの界面で剥離したもの、③試験準備中に界面で破壊したもの、⑤加力区間内で ALC が曲げ破壊したもの、⑥加力区間外で ALC が曲げ破壊したものが得られた。引張試験と同様、ALC の粉量が多くなるにつれて②と③の破壊性状が増える傾向が有ることが確認された。

$$\sigma_b = M/Z \quad (2.12a)$$

$$M = PL/6 \quad (2.12b)$$

ここに

$\sigma_b$  : 曲げ応力度

$M$  : 加力区間に作用する曲げモーメント

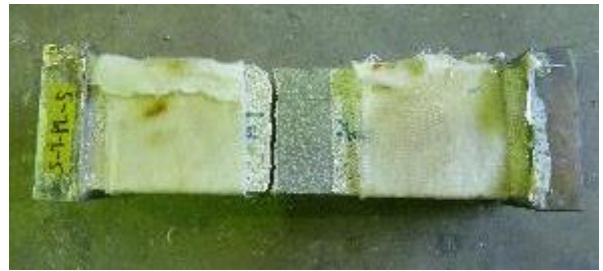
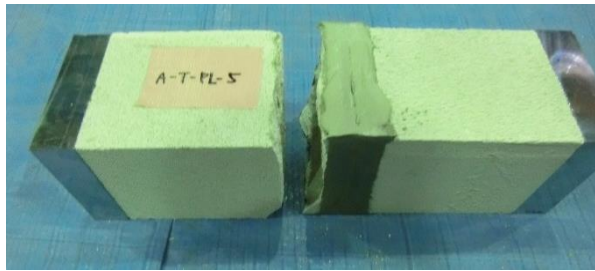
$P$  : 荷重

$L$  : 支持スパン(=450mm)

$Z$  : 断面係数

表 2.32 破壊性状一覧

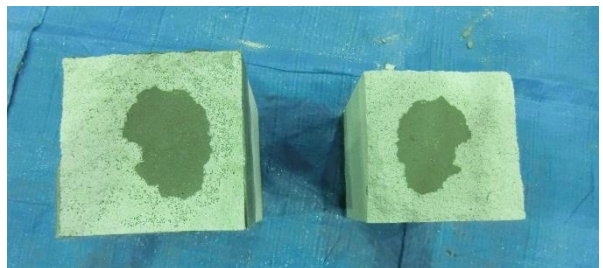
番号	破壊性状
①	付着面のALC側で破壊したもの
②	ALCとグラウトの界面で剥離したもの
③	試験準備中に界面で破壊したもの
④	ALCと端部プレートを接合するビスの影響によりALCが破壊したもの
⑤	加力区間内でALCが曲げ破壊したもの
⑥	加力区間外でALCが曲げ破壊したもの



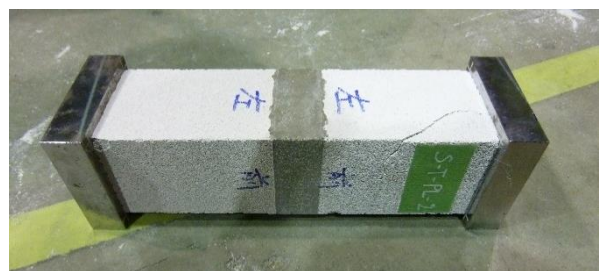
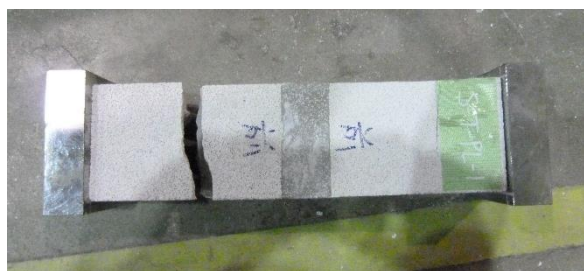
<JB-T-A50-PL-5>

<JB-T-A37-PL-5>

(a) 破壊性状①



(b) 破壊性状①+② (JB-T-A50-PM-4)

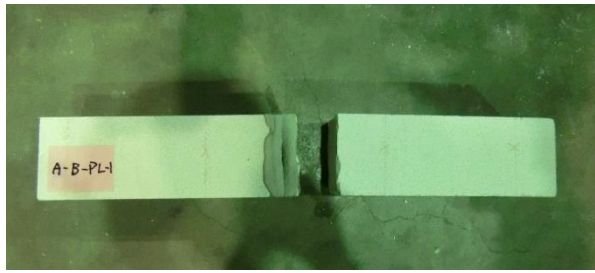


<JB-T-A37-PL-1>

<JB-T-A37-PL-2>

(c) 破壊性状④

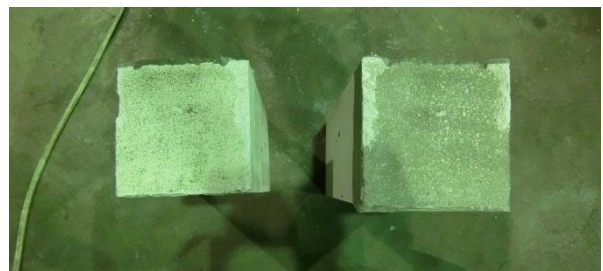
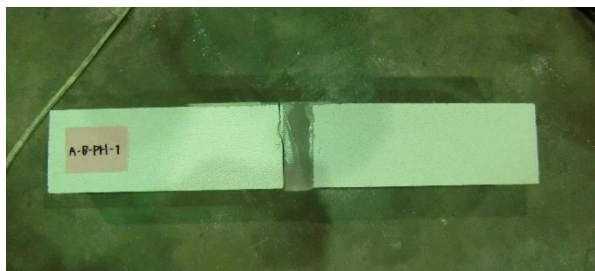
図 2.47 引張試験体の破壊状況



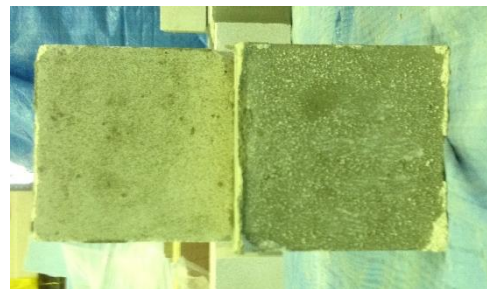
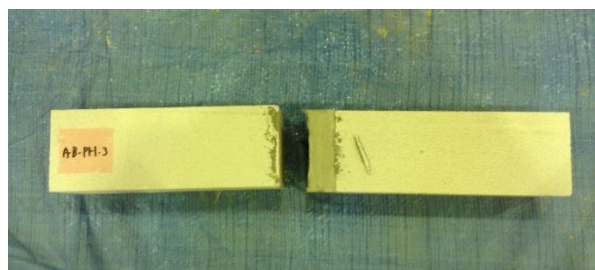
(a) 破壊性状① (JB-B-A50-PL-1)



(b) 破壊性状①+② (JB-B-A50-WR-1)

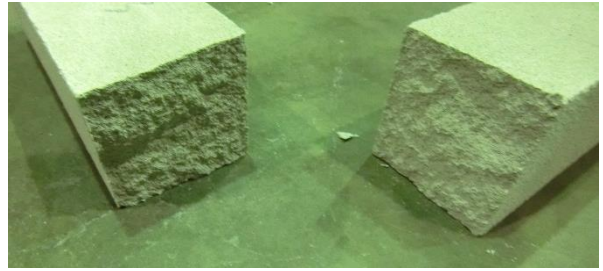


(c) 破壊性状② (JB-B-A50-PH-1)

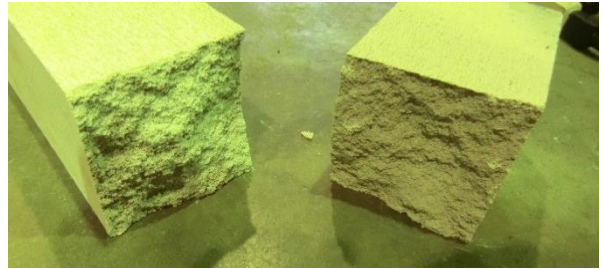


(d) 破壊性状③ (JB-B-A50-PH-3)

図 2.48-1 曲げ試験体の破壊状況



(e) 破壊性状⑤ (JB-B-A50-N-3)



(f) 破壊性状⑥ (JB-B-A50-N-1)

図 2.48-2 曲げ試験体の破壊状況

表 2.33 引張試験の結果一覧

試験体名	試験状況	最大荷重 (N)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破壊性状		
					番号	詳細	
JB-T-A50-PL-1	鉛直荷重	1571	8129	0.19	①+②	付着面のALC側で破壊 一辺はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PL-2		1274	8143	0.16	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PL-3		1490	8062	0.18	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PL-4	水平荷重	1426	8145	0.18	①	付着面のALC側で破壊	
JB-T-A50-PL-5		1614	8064	0.20	①	付着面のALC側で破壊	
JB-T-A50-PM-1	鉛直荷重	1190	8107	0.15	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PM-2		1629	8262	0.20	①+②	付着面のALC側で破壊 一辺はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PM-3		982	8120	0.12	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PM-4	水平荷重	1357	8059	0.17	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PM-5		1699	8026	0.21	①	付着面のALC側で破壊	
JB-T-A50-PH-1	水平荷重	—	—	—	③	準備中に界面で破壊	
JB-T-A50-PH-2		—	—	—	③	準備中に界面で破壊	
JB-T-A50-PH-3		—	—	—	③	準備中に界面で破壊	
JB-T-A50-PH-4		—	—	—	③	準備中に界面で破壊	
JB-T-A50-PH-5		(225)	—	—	②	ALCとグラウトの界面で剥離(加力が急激 となったため適切なデータが得られなかつた)	
JB-T-A50-PLwr-1	鉛直荷重	1557	8340	0.19	①	付着面のALC側で破壊	
JB-T-A50-PLwr-2		1278	8365	0.15	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PLwr-3		1070	8188	0.13	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PLwr-4		1553	8165	0.19	①+②	付着面ほぼ全域はALC側で破壊 角部がALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A50-PLwr-5		1330	8240	0.16	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離	
JB-T-A37-PL-1	鉛直荷重	(1520)	—	—	④	ALCの破壊 (ALCがビスの先端付近で引張破壊)	
JB-T-A37-PL-2		エポキシ 無	(1215)	—	—	④	ALCの破壊 (ビスに沿ってALCが割裂)
JB-T-A37-PL-3		—	—	—	—	—	欠番
JB-T-A37-PL-4		エポキシ 有	1063	5630	0.19	①	付着面のALC側で破壊
JB-T-A37-PL-5			941	5558	0.17	①	付着面のALC側で破壊
JB-T-A37-PL-6			1115	—	—	①	付着面のALC側で破壊
JB-T-A37-PL-7		エポキシ 無	1400	5600	0.25	①	付着面ほぼ全域はALC側で破壊 角部がALCとグラウトの界面で剥離
JB-T-A37-PL-8			1226	5576	0.22	①	付着面のALC側で破壊
JB-T-A37-PL-9			—	—	—	④	ALCの破壊 (ビスの引抜破壊)
JB-T-A37-PL-10			1175	5627	0.21	①	付着面のALC側で破壊
JB-T-A37-PL-11			1820	5638	0.32	①	付着面のALC側で破壊
JB-T-A37-PL-12			1576	5608	0.28	①	付着面のALC側で破壊
JB-T-A37-PL-13			(1243)	5631	—	④	ALCの破壊 (ALCが引張破壊)

表 2.34 曲げ試験の結果一覧

試験体名	試験状況	最大荷重 (N)	断面係数 (mm <sup>3</sup> )	付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破壊性状	
					番号	詳細
JB-B-A50-N-1	パンタグラフ 有	843	122508	(0.52)	⑥	ALCの曲げ破壊 (加力区間外)
JB-B-A50-N-2		1308	122583	0.80	⑤	ALCの曲げ破壊 (加力区間内)
JB-B-A50-N-3		1190	120155	0.74	⑤	ALCの曲げ破壊 (加力区間内)
JB-B-A50-N-4		1239	121802	0.76	⑤	ALCの曲げ破壊 (加力区間内)
JB-B-A50-N-5		1240	122174	0.76	⑤	ALCの曲げ破壊 (加力区間内)
JB-B-A50-PL-1	パンタグラフ 有	515	121934	0.32	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A50-PL-2		505	119551	0.32	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A50-PL-3		106	127256	(0.06)	②	ALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PL-4		538	123536	0.33	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A50-PL-5		440	125146	0.26	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A50-PM-1	パンタグラフ 有	462	122298	0.28	①	付着面のALC側で破壊 中央部でALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PM-2		—	—	—	③	準備中に界面で破壊
JB-B-A50-PM-3		503	123690	0.31	①+②	ALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PM-4		140	123809	0.08	①+②	引張側で付着面のALC側で破壊 圧縮側でALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PM-5		276	121500	0.17	①+②	引張側で付着面のALC側で破壊 中央部でALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PH-1	パンタグラフ 有	129	123702	0.08	②	ALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PH-2		184	122514	0.11	②	ALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PH-3		—	—	—	③	準備中に界面で破壊
JB-B-A50-PH-4		—	—	—	③	準備中に界面で破壊
JB-B-A50-PH-5		—	—	—	③	準備中に界面で破壊
JB-B-A50-PLwr-1	パンタグラフ 無	579	119508	0.36	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PLwr-2		723	127984	0.42	①+②	付着面のALC側で破壊 部分的にALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PLwr-3		900	124597	0.54	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A50-PLwr-4		847	123699	0.51	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A50-PLwr-5		510	121923	0.31	①+②	付着面外縁部はALC側で破壊 中央部はALCとグラウトの界面で剥離
JB-B-A37-PL-1	パンタグラフ 無	382	72274	0.40	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A37-PL-2		374	71252	0.39	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A37-PL-3		399	69329	0.43	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A37-PL-4		463	72497	0.48	①	付着面のALC側で破壊
JB-B-A37-PL-5		338	69006	0.37	①	付着面のALC側で破壊



### 2.7.3.2 付着強度と各パラメータの影響

付着強度の統計値を表 2.35 に示す。前述した破壊性状③、④および⑥では、適切な試験データが得られなかったため、統計値から除外した。JB-T-A50-PH-5 の値は加力方法が適切でなかったために、JB-B-A50-PL-3 は試験体の作製方法が適切でなかった可能性があるために統計値から除外した。表 2.35 には 2.2.4 項で示した ALC の引張試験結果から得られた引張強度を併記した。また、ALC の引張強度を基準とした時の付着強度の比率と、粉量が“PL”の値を基準としたときの付着強度の比率も併記した。

#### (1) ALC50 と ALC37 の比較

小口処理“PL”の引張試験より得られた付着強度は、ALC50 で  $0.18\text{N/mm}^2$ 、ALC37 で  $0.23\text{N/mm}^2$  が得られた。ALC の引張強度は ALC50 の方が ALC37 よりも高い値が得られているが、付着強度は ALC37 の方が 1.3 倍程度 ( $=0.23/0.18$ ) 高い値となった。ALC とグラウトは、図 2.49 に示すように ALC の小口面の気泡にグラウトのセメントペーストが入り込むことで付着強度が確保されていると考えられるが、ALC37 は ALC50 よりも比重が小さいため気泡が大きくて数も多いため、ALC37 の方が ALC50 よりもセメントペーストが気泡に入り込みやすいと考えられる。そのため、ALC37 の方が ALC50 よりも付着強度が高くなったものと考えられる。

#### (2) 曲げ試験と引張試験の比較

小口処理“PL”における曲げ試験と引張試験の付着強度を比較すると、ALC50 では引張試験で  $0.18\text{N/mm}^2$ 、曲げ試験で  $0.31\text{N/mm}^2$ 、ALC37 では引張試験で  $0.23\text{N/mm}^2$ 、曲げ試験で  $0.41\text{N/mm}^2$  となり、曲げ試験の方が高くなる傾向が見られた。ALC50 のみの試験結果についても引張試験で  $0.69\text{N/mm}^2$ 、曲げ試験で  $0.77\text{N/mm}^2$  と同様の傾向を示しており、コンクリート系材料の試験方法の違いによる引張強度の関係と同様の傾向を示した。また、ALC とグラウトのヤング係数は 10 倍程度異なるため、ひずみ分布を直線と仮定していることによる影響も考えられる。

第 3 章で行う実験結果の耐力評価に用いる計算式では安全側の値として引張試験結果の平均値を採用し、ALC50 で  $0.18\text{N/mm}^2$  を、ALC37 で  $0.23\text{N/mm}^2$  を用いることとする。

#### (3) 粉量の違いの比較

引張試験と曲げ試験について粉量の違いによる付着強度への影響をみると、粉量が多くなるにつれて付着強度が低下する傾向が確認された。これは、図 2.50 に示すように小口面の ALC の気泡に ALC 粉末が入り込むことでグラウトとの付着が妨げられたため、付着強度が低下したものと考えられる。引張試験では小口処理“PH”の試験結果が得られなかったため、曲げ試験の“PL”を基準にした値をみると、

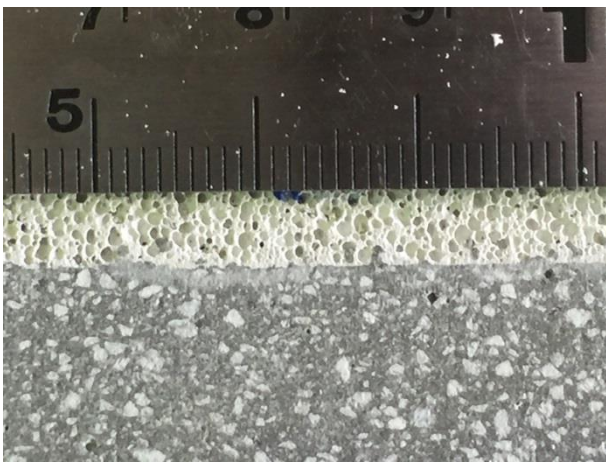
“PM”では7割程度に、“PH”では3割程度に付着強度が低下することが確認された。

#### (4) 撥水材の有無の比較

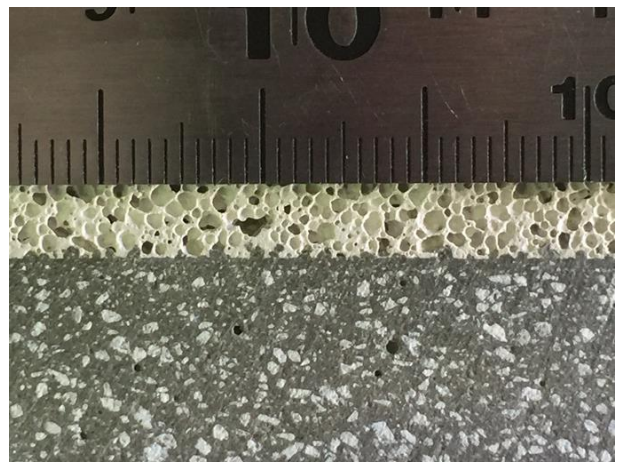
小口処理“PL”について撥水剤の有無を比較すると、引張試験で0.90、曲げ試験で1.41の値が得られ、撥水剤の影響による明確な傾向は見られなかった。

表 2.35 ALC とグラウトの付着強度の統計値

試験方法 シリーズ名	引張試験							曲げ試験					
	ALC50					ALC37		ALC50					ALC37
	ALC	PL	PM	PH	PLwr	ALC	PL	ALC	PL	PM	PH	PLwr	PL
試験体数	6	5	5	—	5	6	7	4	4	4	2	5	5
平均値(N/mm <sup>2</sup> )	0.69	0.18	0.17	—	0.16	0.61	0.23	0.77	0.31	0.21	0.10	0.43	0.41
標準偏差(N/mm <sup>2</sup> )	0.07	0.02	0.04	—	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.10	0.02	0.10	0.04
変動係数(%)	10.7	9.4	21.8	—	15.0	2.6	23.0	3.1	9.4	48.7	25.6	22.4	10.4
最大値(N/mm <sup>2</sup> )	0.77	0.20	0.21	—	0.19	0.63	0.32	0.80	0.33	0.31	0.11	0.54	0.48
最小値(N/mm <sup>2</sup> )	0.57	0.16	0.12	—	0.13	0.60	0.17	0.74	0.26	0.08	0.08	0.31	0.37
ALCを基準	1.00	0.26	0.24	—	0.24	1.00	0.38	1.00	0.40	0.28	0.12	0.56	—
PLを基準	—	1.00	0.93	—	0.90	—	—	—	1.00	0.69	0.31	1.41	—



(a) ALC50



(b) ALC37

図 2.49 ALC とグラウトの境界面



(a) 小口処理 “PL” (ALC50)



(b) 小口処理 “PH” (ALC50)

図 2.50 小口処理の違いによる小口面の気泡の様子

## 2.8 まとめ

本章では、ALCブロックを用いた組積造で用いるALC、グラウトおよび鉄筋の材料特性と、組積体を用いたプリズム圧縮試験とプリズムせん断、ALCとグラウトの界面の引張試験および曲げ試験を行い、それぞれの材料特性を確認した。得られた知見を以下に示す。

### (1) ALCの圧縮試験および引張試験

2.2節では、比重の異なる3種類のALCとしてALC50、ALC37、ALC42の圧縮試験と引張試験を行い、応力度とひずみ度を測定した。また、ALC37の圧縮試験では、異なる3ロットから計32体の試験体を採用し、圧縮強度のばらつきも確認した。圧縮強度はALC50で $4.3\text{N/mm}^2$ が、ALC37で $3.3\text{N/mm}^2$ が、ALC42では $2.7\text{N/mm}^2$ が得られ、引張強度はALC50で $0.69\text{N/mm}^2$ が、ALC37で $0.61\text{N/mm}^2$ が、ALC42で $0.66\text{N/mm}^2$ が得られ、ポアソン比はすべてのALCの種類で0.2程度が得られた。応力度-ひずみ度関係は、圧縮、引張ともに最大応力度までほぼ直線を示した。ALC37は海外で一般的に使われているALC42と比較して圧縮強度およびヤング係数が高くなり、一般的なALCパネルで用いられるALC50と近い材料特性を持つことが確認された。ALC37の圧縮応力度のばらつきについて、標準偏差で $0.3\text{N/mm}^2$ が得られ、ばらつきが小さいことが確認された。

### (2) グラウトの圧縮試験および割裂試験

2.3節では、それぞれの実験で用いたNMHとSLGの2種類のグラウトの圧縮試験と割裂試験を行った。1週程度の養生期間における試験体では、NMGの圧縮強度で $42.4\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数で $17.6\text{N/mm}^2$ 、割裂強度で $2.64\text{N/mm}^2$ が得られ、SLGの圧縮強度で $14.6\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数で $10.2\text{N/mm}^2$ 、割裂強度で $1.20\text{N/mm}^2$ が得られた。

### (3) 鉄筋の引張試験

2.4節では、それぞれの実験で用いた縦筋、横筋、内部鉄筋および縦筋継手の引張試験を行った。縦筋にはM16とM22(SGD3)およびM20(SNR490B)の丸鋼を、横筋にはD10(SD295A)の異形鉄筋を、内部鉄筋には $\phi 3.2$ の鉄線(SWRM6)を用い、継手試験の高ナットの材料にはSWCH10Rを用いた。M20とD10では明瞭な降伏点の確認され、降伏点はM20では $353.9\text{N/mm}^2$ が、D10では $347.5\text{N/mm}^2$ および $362.6\text{N/mm}^2$ が得られた。M16、M22および $\phi 3.2$ では明瞭な降伏点の確認されなかったため0.2%オフセット耐力を求め、M16では $415.9\text{N/mm}^2$ 、M22では $500.5\text{N/mm}^2$ 、 $\phi 3.2$ では $670.9\text{N/mm}^2$ が得られた。継手試験では、標準的な施工寸法となる埋込み深さ30mmのほか、M16とM22では埋込み深さ15mmの試験体を用いた。M22の埋込み深さ15mmの試験体ではねじ山せん断破壊が生じ、それ以

外の試験体では縦筋ねじ部の引張破断が確認された。M20 の試験体では、ねじ部の引張破断の前に軸部の降伏が確認され、M16 と M22 よりも高い変形能力が確認された。

#### (4) プリズム圧縮試験

2.5 節では幅 250mm のブロックを 5 段積んだプリズム圧縮試験を行い、荷重、軸方向変形および各面中央部の軸方向ひずみを測定した。ブロックとグラウトの種類は ALC50 と SLG、ALC37 と NMH および ALC42 と NMH の 3 種類とした。内部鉄筋を有する ALC50 と ALC37 の試験体では最大荷重の直前に主に小口面に縦方向のひび割れが確認された後に最大荷重を迎え、最大荷重後も徐々に荷重が低下しながら変形が進行した。内部鉄筋のない ALC42 の試験体では最大荷重の 2/3 程度で壁表面の中央に縦方向のひび割れが確認された後に最大荷重を迎え、その後急激に荷重が低下した。内部鉄筋によるブロックの拘束効果により、最大荷重前の壁表面の縦方向のひび割れが防止され、最大荷重後の荷重低下が抑制されたことが確認された。また、各面に貼り付けたひずみゲージの値から、試験体表面の目地部はシーリングによりわずかな隙間が生じるため、試験体断面中央部分におけるグラウトが打設された幅 150mm の範囲で主に応力伝達がされたことが確認された。最大圧縮応力度の平均値より求めた設計基準強度は、ALC50 で 2.91N/mm<sup>2</sup>、ALC37 で 2.77N/mm<sup>2</sup>、ALC42 で 2.37N/mm<sup>2</sup> が得られ、それぞれの ALC の圧縮強度よりも小さい値が得られた。

#### (5) プリズムせん断試験

2.6 節ではプリズム圧縮試験と同様に 3 種類の ALC に対してブロック 5 段積み試験体を斜め 45 度方向に加力したプリズムせん断試験を行い、荷重、対角方向の変形および内部鉄筋のひずみ度を測定した。ALC50 と ALC37 の試験体ではせん断ひび割れ後も荷重の増加と変形の進行が進み、最大荷重後も粘り強い挙動を示したのに対し、ALC42 の試験体ではせん断ひび割れ後すぐに最大荷重を迎え、最大荷重後は急激な荷重低下が生じて試験体が二分して破壊した。内部鉄筋に貼り付けたひずみゲージではひび割れ後の引張ひずみ度の発生が確認されたことから、内部鉄筋の拘束効果によりひび割れ後も荷重が上昇し、最大荷重後の変形能力も向上したことが確認された。プリズム試験体によるせん断ひび割れ強度  $m\tau_{cr}$  と圧縮強度  $m\sigma_c$  の関係は、3 種類の ALC の平均値で  $m\tau_{cr} = 0.18\sqrt{m\sigma_c}$  が確認された。

#### (6) ALC とグラウトの界面の引張試験および曲げ試験

2.7 節では、ALC とグラウトの界面の引張強度（付着強度）を確認するために引張試験と曲げ試験を行った。ALC には ALC50 と ALC37 を用い、グラウトには NMH を用いた。ALC とグラウトの界面側の小口面には、撥水剤の有無と ALC 粉末の付着量のパラメータを設けた。ALC37 と ALC50 を比較すると、ALC37 の方が ALC50 よりも気泡が大きく数も多いため、セメントペーストとの接着性が向上して

高い付着強度を示した。引張試験と曲げ試験を比較すると引張試験の方が付着強度は小さくなる結果が得られた。また、小口面の ALC 粉末量が多いほど付着強度は小さくなる傾向を示し、撥水材の有無による付着強度の違いは見られなかった。第 3 章の耐力評価で用いる付着強度は、安全側として引張試験の結果を採用し、ALC50 で  $0.18\text{N/mm}^2$  を、ALC37 で  $0.23\text{N/mm}^2$  を用いることとした。

## 第2章 参考文献

- 2.1) 寺村敏史：ALC（軽量気泡コンクリート）（1963年～現在），セラミックス，第43巻，2月号，pp.126-129，2008.2
- 2.2) 笠井芳夫：軽量コンクリート，技術書院，pp.188-226，2002
- 2.3) 日本工業規格：軽量気泡コンクリートパネル（ALCパネル） JIS A 5416，2007
- 2.4) 日鉄住金高炉セメント：エスセイバーH，[http://www.kourocement.co.jp/sld/07document/pdf\\_ssh.pdf](http://www.kourocement.co.jp/sld/07document/pdf_ssh.pdf)，（2018/11/24参照）
- 2.5) 宇部興産：床レベラーG，[https://www.ube-ind.co.jp/ubekenzai/documents/catalog/yuka-reveler-g\\_east\\_catalog.pdf](https://www.ube-ind.co.jp/ubekenzai/documents/catalog/yuka-reveler-g_east_catalog.pdf)，（2018/11/24参照）
- 2.6) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書 規準編，モルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験用円柱供試体の作り方（JSCE-F 506-2010），pp.257-258，2013.12
- 2.7) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書 規準編，充填モルタルの流動性試験方法（案）（JSCE-F 541-2013），p.296 2013.12
- 2.8) 財団法人 建築保全センター：建築改修工事監理指針 平成19年版（下巻），pp.228-229，2008.4
- 2.9) 日鉄住金高炉セメント株式会社：[http://www.kourocement.co.jp/sld/07document/pdf\\_ssh.pdf](http://www.kourocement.co.jp/sld/07document/pdf_ssh.pdf)，（参照 2017.12.4）
- 2.10) 宇部興産株式会社：[https://www.ube.com/contents/jp/cement/catalog/yuka-leveller-g\\_east.pdf](https://www.ube.com/contents/jp/cement/catalog/yuka-leveller-g_east.pdf)，（参照 2017.12.4）
- 2.11) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010.3
- 2.12) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型設計指針・同解説，1999.8
- 2.13) 國本拓也、田嶋和樹、白井伸明：グラウト材の力学的性能と破壊エネルギーの実験的評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.673-678，2008
- 2.14) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事，JASS 15 M-103 セルフレベリング材の品質管理，pp.311-313，2007.6
- 2.15) 日本工業規格：みがき棒鋼用一般鋼材 JIS G 3108，2004
- 2.16) 日本工業規格：建築構造用圧延棒鋼 JIS G 3138，2005
- 2.17) 日本工業規格：鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3112，2010
- 2.18) 日本工業規格：鉄線 JIS G 3532，2011
- 2.19) 日本工業規格：軟鋼線材 JIS G 3505，2004
- 2.20) 日本工業規格：金属材料引張試験片 JIS Z 2241，2011
- 2.21) 日本工業規格：冷間圧造用炭素鋼，JIS G 3507-2，2005
- 2.22) 国土交通省国土技術政策総合研究所 他：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書，全国官報販売協同組合，pp.170-177，2015.6
- 2.23) 国土交通省国土技術政策総合研究所 他：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書，全国官報販売協同組合，pp.584-590，2015.6
- 2.24) 日本建築学会 構造委員会 壁式構造運営委員会：各種メーソニー構造設計ノート 2009，2009.3
- 2.25) 重信克行，松村晃，五十嵐泉：組積造に関する日米共同大型耐震実験研究(63)，日本建築学会大会学

術講演梗概集 C, pp.1231-1232, 1988.10

- 2.26) W. F. Chen : Extensibility of Concrete and Theorem of Limit Analysis, Proc. ASCE, Eng. Mech. Division, June 1970



## 第3章

無開口組積壁の面内せん断実験と耐力および剛性の評価



### 3.1 はじめに

本章では、無開口組積壁の面内せん断性状を把握するために行った無開口組積壁の面内せん断実験と、その耐力および剛性評価について述べる。

初めに、3.2 節では試験体、測定計画、載荷方法などの実験計画について述べる。

次に、3.3 節では破壊性状、荷重－変形関係などの実験結果をサイクルごとに詳細に述べる。また、各パラメータの比較や変形成分の比率の確認、中立軸位置の確認などを考察する。

最後に、3.4 節では型枠 CB 造などの既往のメーソンリー構造の計算式を参考に、終局までの耐力評価とせん断ひび割れまでの剛性評価を行い、その精度を確認する。耐力の評価では、第 2 章で行ったプリズム試験の試験結果と内部鉄筋などの本構法の特徴を考慮して計算を行う。

## 3.2 実験計画

### 3.2.1 試験体

実験計画を表 3.1 に、グラウト、鉄筋、コンクリートおよびセルフレベリング材の材料特性を表 3.2 と表 3.3 に、試験体図を図 3.1 に示す。表 3.1 中の加力梁重量および試験体重量の算定方法を表 3.4 および表 3.5 に示す。

試験体は高さ 3m、壁厚 0.25m の実大スケールとし、ブロック材料と壁幅を主なパラメータとする計 6 体とした。ブロック材料には ALC50、ALC37 および ALC42 を使用した。壁幅は、ALC50 を用いた試験体（以下 A50 シリーズ）では 1.0m、1.5m、4.5m の 3 種類、ALC37 を用いた試験体（以下、A37 シリーズ）では 1.5m と 4.5m の 2 種類、ALC42 を用いた試験体（以下、A42 シリーズ）では 1.5m の 1 種類とした。

試験体は RC 造による基礎梁（以下、RC 基礎梁）の上に作製し、RC 基礎梁は基礎底部に埋め込まれた高ナットと反力床に固定した鉄骨治具を高力ボルトにより接合した。試験体頂部には加力梁を配置し、A50 シリーズでは鉄骨梁（以下、鉄骨加力梁）を、A37 シリーズと A42 シリーズでは RC 梁（以下、RC 加力梁）を用いた。

ブロック形状の種類は、試験体の両端部では端部用のブロックを、その他の箇所では標準ブロックを用いた。試験体は、ブロックにシーリングを塗布して積み上げた後、縦筋および横筋を配筋して、数段ごとにグラウトを打設して作製した。試験体の縦穴は、実際の建物では配線等によりグラウトが充填されないことを考慮するため、A50 シリーズでは約 1/3 の縦穴に対して、A37 シリーズと A50 シリーズでは縦筋以外の縦穴に対して、ブロック上下にテープを貼り付けて縦穴にグラウトが充填されないようにした。グラウトが充填されない縦穴は、図 3.1 中に点線で示した。

グラウトには NMH または SLG を用いた。グラウト打設後の養生期間は、4～8 日とした。表 3.2 中には、2.3 節で示したグラウトの試験体番号とともに各試験体のグラウトの圧縮強度を示した。

縦筋には、A50 シリーズでは M16 と M22 (SDG3、両端切削ネジ) の丸鋼を、A37 シリーズと A42 シリーズでは M20 (SNR490B、両端転造ネジ) の丸鋼を用いた。横筋には、D10 (SD295A) の異形鉄筋を用いた。縦筋は 750mm ピッチ以下に配筋し、継手には高ナットを用い、定着には  $\phi 90\text{mm}$  の座金を用いた。横筋は A50 シリーズでは 750mm ピッチ以下に、A37 シリーズと A42 シリーズでは 600mm ピッチ以下に配筋し、継手は継手長さ 500mm の重ね継手、定着は両端部の縦筋への  $180^\circ$  フックとした。表 3.2 中には、2.4 節で得られた各試験体の鉄筋の材料特性を示した。

RC 基礎梁は A50 シリーズでは幅 310mm × 高さ 500mm、A37 シリーズと A42 シリーズでは幅 310mm × 高さ 445mm とした。基礎梁の上部にはセルフレベリング材を 20mm 打設して基礎天端の不陸を調整した。セルフレベリング材は、A50 シリーズでは SLG を、A37 シリーズと A42 シリーズではプレミックスタイプの無収縮グラウト材（日鉄住金高炉セメント製、商品名：エッセイバー-250、以下 NM250）を用いた。表 3.3 中には、RC 基礎梁に用いたコンクリートとセルフレベリング材の材料特性を示した。

鉄骨加力梁は、2 本の C-250 × 75 × 75 × 6 の曲げ材の間に縦筋が通るように上下フランジに鋼板を溶接して一体化させた部材とした。試験体頂部に鉄骨加力梁を設置した後、鉄骨加力梁に縦筋を貫通させてナットで締め付け、加力梁下部と試験体頂部の隙間にセルフレベリング材 SLG を充填して一体化させた。

RC 加力梁の断面は幅 450mm×高さ 450mm とし、コンクリートは RC 基礎梁と同様とした。RC 加力梁と組積壁の接合部分には縦筋が配置されていない縦穴にも縦筋と同じ M20 の補強鉄筋を配置し、加力梁と組積壁の接合を補強した。RC 加力梁の重量は、壁幅 1.5m で 13.8kN、壁幅 4.5m で 28.1kN となり、本構法による総 2 階の住宅における 1 階壁の固定荷重と積載荷重の和の 10.0kN/m と比較するとやや重量が小さいものの、総 2 階住宅の 1 階壁をおおよそ再現した実験条件となった。固定荷重と積載荷重の計算内容は、第 5 章で詳細を述べる。

試験体名は、以下のように定めた。

## InW－A50－w15

(1)       (2)       (3)

- (1) 実験名 [無開口組積壁の面内せん断実験：InW]
- (2) ブロック材料 [ALC50：A50、ALC37：A37、ALC42：A42]
- (3) 壁幅 [1.0m：w10、1.5m：w15、4.5m：w45]

表 3.1 無開口組積壁の面内せん断実験の実験計画

試験体名	ブロック材料	グラウト	鉄筋		高さ (m)	壁厚 (m)	壁幅 (m)	アスペクト比 [高さ/壁幅]	重量(kN)		養生期間 (日)
			縦筋	横筋					加力梁	試験体	
InW-A50-w10	ALC50	SLG	M16・M22 (SGD3)	D10 (SD295A)	3.0	0.25	1.0	3.0	1.8	5.4	4~5
InW-A50-w15							1.5	2.0	1.8	8.2	6~7
InW-A50-w45							4.5	0.7	3.4	24.3	5~6
InW-A37-w15	ALC37	NMH	M20 (SNR490B)	D10 (SD295A)	3.0	0.25	1.5	2.0	13.8	6.8	6~7
InW-A37-w45							4.5	0.7	28.1	20.3	5~7
InW-A42-w15	ALC42						1.5	2.0	13.8	6.4	6~8

表 3.2 グラウトおよび鉄筋の材料特性

試験体名	グラウト			縦筋*1			横筋		
	グラウトの試験体番号	試験体数	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
InW-A50-w10	35~48	14	13.0	415.9	471.8	185.5	347.5	463.0	173.1
InW-A50-w15	14~34	21	14.7						
InW-A50-w45	1~13	13	14.3						
InW-A37-w15	23~27	5	37.0	353.9	559.5	207.7	362.6	507.6	201.9
InW-A37-w45	1~6	6	35.4						
InW-A42-w15	7~22	16	34.8						

\*1: A50シリーズは、上段にM16、下段にM22の値を示す。

表 3.3 コンクリートおよびセルフレベリング材の材料特性

材料	試験体名	NO	養生期間 (日)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (kN)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		備考
						平均値		
コンクリート	InW-A50-w10	1	27	7804	259.5	33.3	34.1	-
		2			288.2	37.7		
		3			245.7	31.5		
	InW-A50-w15	1	21	7834	229.0	29.2	30.3	-
		2			237.7	30.4		
		3			245.0	31.3		
	InW-A50-w45	1	14	7828	202.2	25.8	27.5	-
		2			224.5	28.7		
		3			220.7	28.1		
	InW-A37-w45	1	6	7854	172.2	21.9	31.4	RC加力梁のプレストレス導入時に試験
		2			281.5	35.8		
		3			285.0	36.3		
		4	11		342.2	43.6	42.2	試験体加力日に試験
		5			331.5	42.2		
		6			321.5	40.9		
InW-A37-w15	1	9	289.5	36.9	36.9	RC加力梁のプレストレス導入時に試験		
	2		290.7	37.0				
	3		288.2	36.7				
InW-A42-w15	4	15	326.5	41.6	40.3	InW-A42-w15加力日に試験。その8日後にInW-A37-w15を加力。		
	5		319.7	40.7				
	6		302.5	38.5				
NM250	InW-A37-w45	1	11	1963	39.0	19.9	19.4	-
		2			37.3	19.0		
	InW-A42-w15	1	15		26.4	13.4	15.7	-
		2			29.1	14.8		
		3			37.0	18.8		

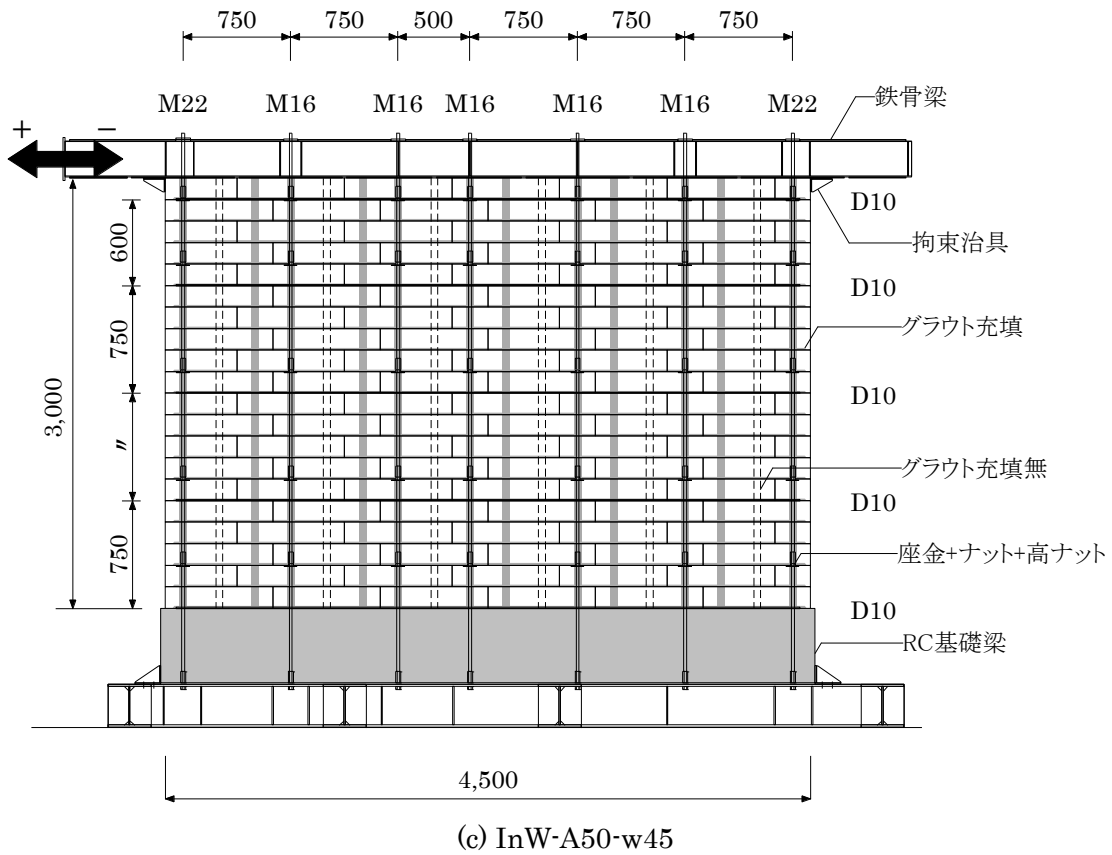
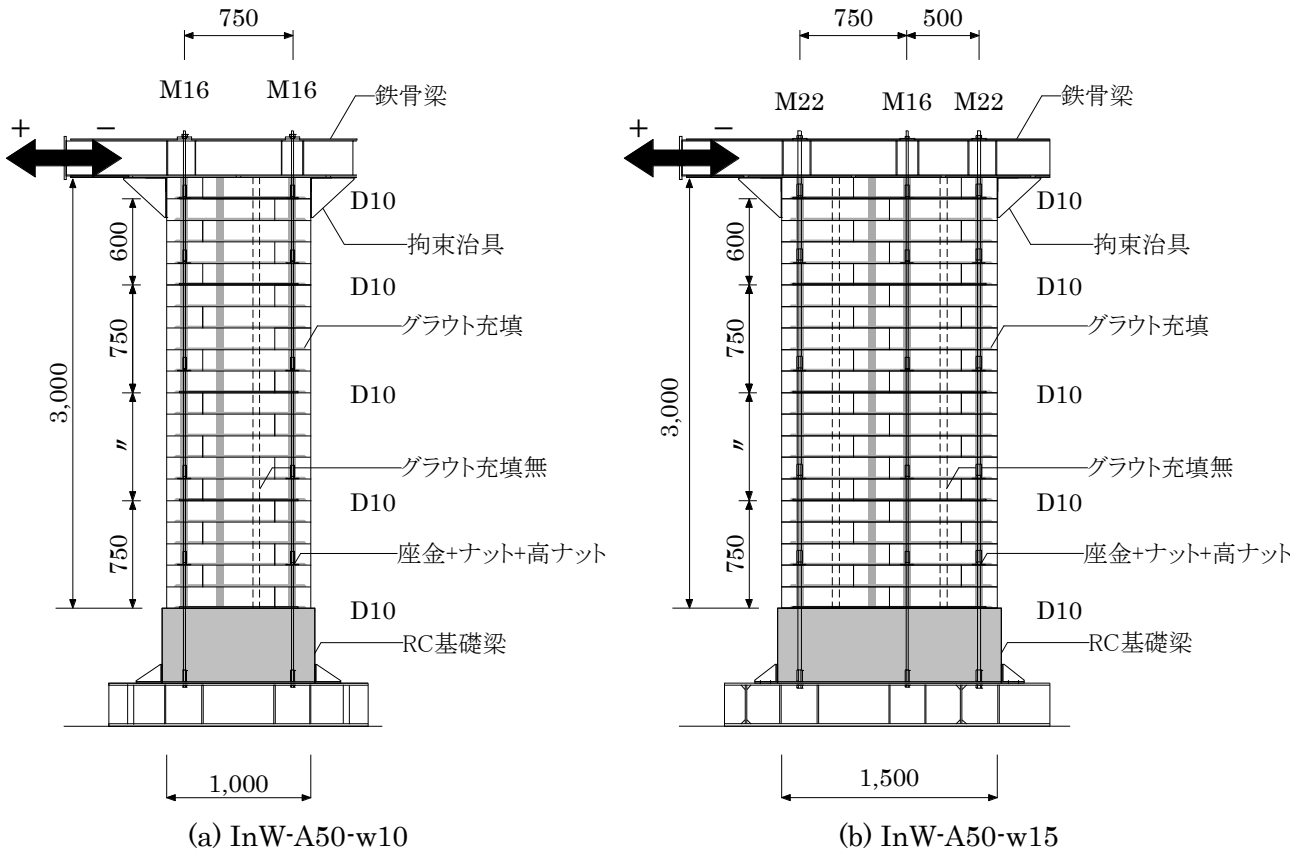
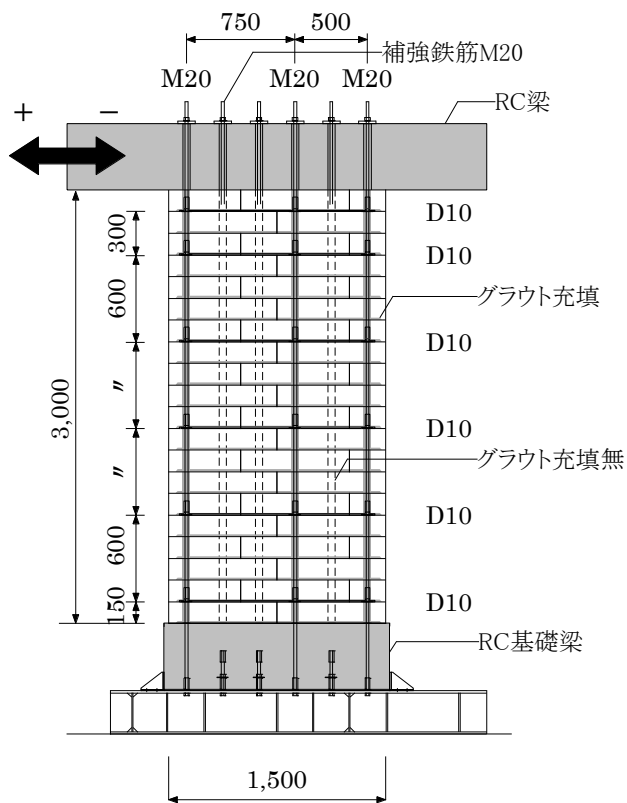
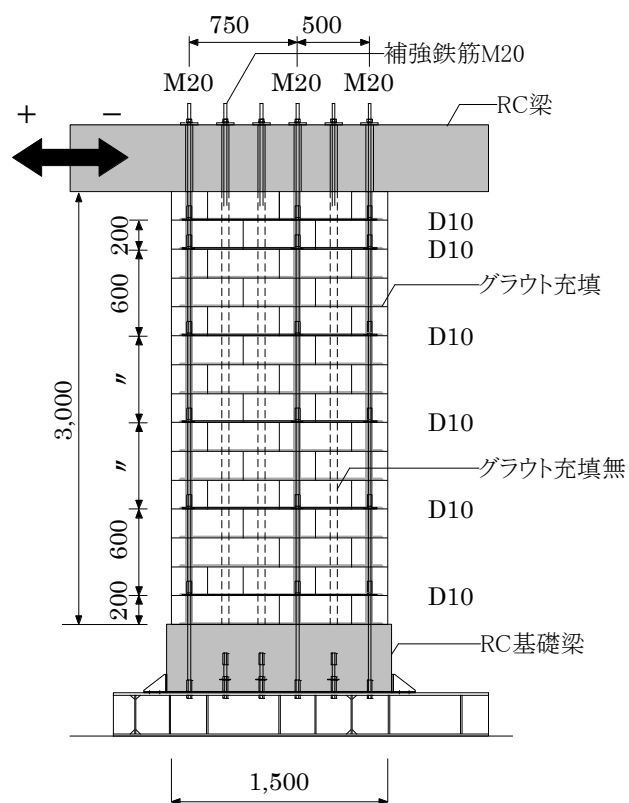


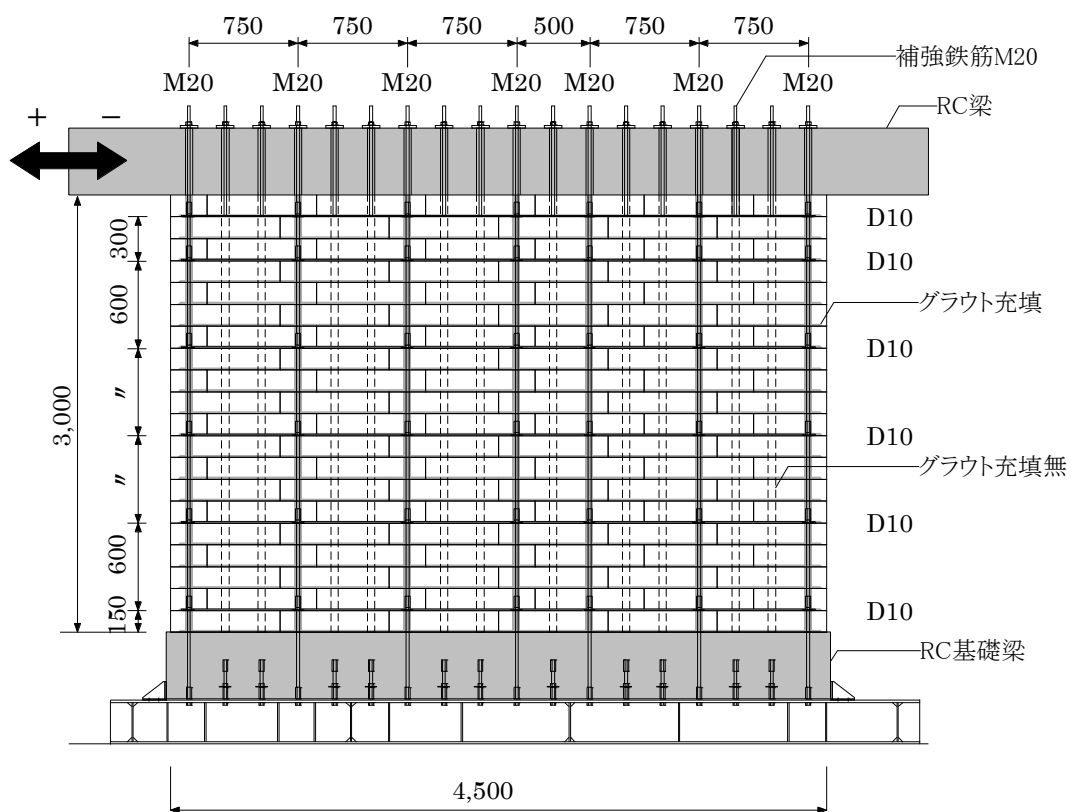
図 3.1-1 無開口壁面内せん断試験 試験体図



(d) InW-A37-w15



(e) InW-A42-w15



(f) InW-A37-w45

図 3.1-2 無開口壁面内せん断試験 試験体図



表 3.4 加力梁重量の算定

加力梁重量(InW-A50-w10、InW-A50-w15)		
	体積	重量
鉄骨梁	0.0151 m <sup>3</sup>	1.16 kN
上下鋼板	0.0063 m <sup>3</sup>	0.48 kN
小口鋼板	0.0011 m <sup>3</sup>	0.08 kN
スチフナ	0.0012 m <sup>3</sup>	0.09 kN
	計	1.81 kN

加力梁重量(InW-A50-w45)		
	体積	重量
鉄骨梁	0.0283 m <sup>3</sup>	2.16 kN
上下鋼板	0.0130 m <sup>3</sup>	0.99 kN
小口鋼板	0.0011 m <sup>3</sup>	0.08 kN
スチフナ	0.0024 m <sup>3</sup>	0.18 kN
	計	3.42 kN

加力梁重量(InW-A37-w15、InW-A42-w15)		
	体積	重量
RC梁	0.5873 m <sup>3</sup>	13.81 kN
	計	13.81 kN

加力梁重量(InW-A37-w45)		
	体積	重量
RC梁	1.1948 m <sup>3</sup>	28.10 kN
	計	28.10 kN

表 3.5-1 試験体重量の算定

試験体重量(InW-A50-w10)					
幅	1.00 m	高さ	3.00 m	奥行	0.25 m
	比重	750幅ブロック1個あたり体積	試験体全体体積	試験体全体重量	
ブロック	0.5	0.0253 m <sup>3</sup>	0.6737 m <sup>3</sup>	3.30 kN	
内部鉄筋	7.8	4.5E-05 m <sup>3</sup>	0.0012 m <sup>3</sup>	0.09 kN	
含水率	5 %			0.17 kN	
グラウト	2.3	0.0029 m <sup>3</sup>	0.0763 m <sup>3</sup>	1.72 kN	
縦筋	7.8		0.0018 m <sup>3</sup>	0.14 kN	
横筋	7.8		0.0004 m <sup>3</sup>	0.03 kN	
				計	5.44 kN
				見付け面積あたり	1.81 kN/m <sup>2</sup>

試験体重量(InW-A50-w15)					
幅	1.50 m	高さ	3.00 m	奥行	0.25 m
	比重	750幅ブロック1個あたり体積	試験体全体体積	試験体全体重量	
ブロック	0.5	0.0253 m <sup>3</sup>	1.0106 m <sup>3</sup>	4.95 kN	
内部鉄筋	7.8	4.5E-05 m <sup>3</sup>	0.0018 m <sup>3</sup>	0.14 kN	
含水率	5 %			0.25 kN	
グラウト	2.3	0.0029 m <sup>3</sup>	0.1144 m <sup>3</sup>	2.58 kN	
縦筋	7.8		0.0029 m <sup>3</sup>	0.22 kN	
横筋	7.8		0.0005 m <sup>3</sup>	0.04 kN	
				計	8.18 kN
				見付け面積あたり	1.82 kN/m <sup>2</sup>

表 3.5-2 試験体重量の算定

試験体重量(InW-A50-w45)					
幅	4.50 m	高さ	3.00 m	奥行	0.25 m
	比重	750幅ブロック1個あたり体積	試験体全体体積	試験体全体重量	
ブロック	0.5	0.0253 m <sup>3</sup>	3.0318 m <sup>3</sup>	14.86 kN	
内部鉄筋	7.8	4.5E-05 m <sup>3</sup>	0.0054 m <sup>3</sup>	0.42 kN	
含水率	5 %			0.74 kN	
グラウト	2.3	0.0029 m <sup>3</sup>	0.3432 m <sup>3</sup>	7.74 kN	
縦筋	7.8		0.0053 m <sup>3</sup>	0.40 kN	
横筋	7.8		0.0016 m <sup>3</sup>	0.12 kN	
				計	24.28 kN
				見付け面積あたり	1.80 kN/m <sup>2</sup>

試験体重量(InW-A37-w15)					
幅	1.50 m	高さ	3.00 m	奥行	0.25 m
	比重	750幅ブロック1個あたり体積	試験体全体体積	試験体全体重量	
ブロック	0.37	0.0253 m <sup>3</sup>	1.0106 m <sup>3</sup>	3.66 kN	
内部鉄筋	7.8	4.5E-05 m <sup>3</sup>	0.0018 m <sup>3</sup>	0.14 kN	
含水率	5 %			0.18 kN	
グラウト	2.3	0.0029 m <sup>3</sup>	0.1144 m <sup>3</sup>	2.58 kN	
縦筋	7.8		0.0028 m <sup>3</sup>	0.22 kN	
横筋	7.8		0.0006 m <sup>3</sup>	0.05 kN	
				計	6.83 kN
				見付け面積あたり	1.52 kN/m <sup>2</sup>

試験体重量(InW-A37-w45)					
幅	4.50 m	高さ	3.00 m	奥行	0.25 m
	比重	750幅ブロック1個あたり体積	試験体全体体積	試験体全体重量	
ブロック	0.37	0.0253 m <sup>3</sup>	3.0318 m <sup>3</sup>	10.99 kN	
内部鉄筋	7.8	4.5E-05 m <sup>3</sup>	0.0054 m <sup>3</sup>	0.42 kN	
含水率	5 %			0.55 kN	
グラウト	2.3	0.0029 m <sup>3</sup>	0.3432 m <sup>3</sup>	7.74 kN	
縦筋	7.8		0.0066 m <sup>3</sup>	0.50 kN	
横筋	7.8		0.0019 m <sup>3</sup>	0.15 kN	
				計	20.35 kN
				見付け面積あたり	1.51 kN/m <sup>2</sup>

試験体重量(InW-A42-w15)					
幅	1.50 m	高さ	3.00 m	奥行	0.25 m
	比重	750幅ブロック1個あたり体積	試験体全体体積	試験体全体重量	
ブロック	0.42	0.0225 m <sup>3</sup>	0.9005 m <sup>3</sup>	3.71 kN	
内部鉄筋	0	0.0E+00 m <sup>3</sup>	0.0000 m <sup>3</sup>	0.00 kN	
含水率	5 %			0.19 kN	
グラウト	2.3	0.0025 m <sup>3</sup>	0.0995 m <sup>3</sup>	2.24 kN	
縦筋	7.8		0.0028 m <sup>3</sup>	0.22 kN	
横筋	7.8		0.0006 m <sup>3</sup>	0.05 kN	
				計	6.40 kN
				見付け面積あたり	1.42 kN/m <sup>2</sup>

### 3.2.2 実験方法

加力スケジュールを表 3.6 に、試験状況を図 3.2 に、試験方法を図 3.3 に、RC 加力梁の詳細アイソメ図を図 3.4 に、測定計画を図 3.5 から図 3.10 および表 3.7 に示す。

荷重は基礎脚部を固定した片持ち梁形式で行い、加力には油圧ジャッキを用いた。加力は、表 3.6 に示すように正負交番の繰返し荷重を行った後に正側にて単調荷重を行うスケジュールとした。A37 シリーズと A42 シリーズでは、図 3.4 に示すように RC 加力梁の軸方向に設けた CD 管に PC 鋼棒を 2 本挿入し、ジャッキとの接続治具と RC 加力梁をアンボンドタイプのプレストレスにより一体化させた。PC 鋼棒の張力により、負側荷重においても RC 加力梁がジャッキ取付け位置と反対側から押される機構とした。PC 鋼棒の鋼種は JIS G 3109<sup>3)</sup>に規定される C 種 1 号の呼び径 21mm とし、導入張力は 1 本あたり 298kN とした。試験体の面外方向への変形は鉄骨で作製したガイドにより拘束し、ガイド部分にはテフロンシートを貼り付けて加力梁との摩擦抵抗を除いた。

測定項目は、荷重、水平変位、浮上りと接合部ずれの確認、全体の曲げ変形とせん断変形の確認、部分的な曲げ変形とせん断変形の確認および鉄筋のひずみとし、図 3.5 から図 3.10 に示すように測定を行った。荷重は油圧ジャッキに接続したロードセル (A50 シリーズでは共和電業製の LUR-B-300KNSA、A37 シリーズと A42 シリーズでは東京測器研究所製の TCLP-1MNB) により測定した。水平変位は、レーザー変位計 (KEYENCE 製、LK500 または LK505) および接触型変位計 (東京測器研究所製、CDP-25) を用いて測定した。層間変形角は、荷重時はすべての試験体で試験体の頂部変位と脚部変位の差分を測定区間で除して求めた。3.3 節の実験結果の A37 シリーズと A42 シリーズの層間変形角では、試験体頂部と脚部および基礎に設置した変位計の差分を測定区間で除して求めた。浮上りと接合部ずれの確認は、接触型変位計 (東京測器研究所製、CDP-25) を用いて測定した。試験体の観察面では、試験体両端の鉛直方向に設置した接触型変位計 (東京測器研究所製、SDP-CT50) またはワイヤー変位計 (東京測器研究所製、DP-500E) にて鉛直方向の変形量 (全体曲げ) を測定し、試験体の対角方向に設置したワイヤー変位計 (東京測器研究所製、DP-500E) にて対角方向の変形量 (全体せん断) を測定した。試験体の測定面では、壁幅 1.5m 以下の試験体では鉛直方向に 3 分割して、壁幅 4.5m の試験体では鉛直方向および水平方向に 3 分割して、部分的な鉛直方向の変形量 (部分曲げ) と対角方向の変形量 (部分せん断) を測定した。部分曲げは接触型変位計 (東京測器研究所製、CDP-25) を用いて測定し、部分せん断は、A50 シリーズでは接触型変形 (東京測器研究所製、SDP-CT100 および SDP-100) を用い、A37 シリーズおよび A42 シリーズでは接触型変位計 (東京測器研究所製、CDP-25) を用いて測定した。鉄筋のひずみは、ひずみゲージ (東京測器研究所製、FLA-2-11-5LT) を用いて測定した。表 3.7 に示すひずみゲージの名称は、図 3.5 から図 3.10 に示す鉄筋の水平方向の位置、鉄筋の鉛直方向の位置、ひずみゲージの貼り付け位置の順に示した。変位計とひずみゲージの値は、引張方向 (伸びる方向) を正として測定を行った。

表 3.6 加力スケジュール

試験体名	载荷履歴(rad)
InW-A50-w10	$\pm 1/1000, \pm 1/500, \pm 1/300(2回), \pm 1/200, \pm 1/300, \pm 1/150,$ $\pm 1/100, \pm 1/300, +1/80, -1/50, 単調载荷(+)$
InW-A50-w15	$\pm 1/1000, \pm 1/500, \pm 1/300(2回), \pm 1/200, \pm 1/300, \pm 1/150,$ $+1/100, 除荷後単調载荷(+)$
InW-A50-w45	$\pm 1/1000, \pm 1/500(2回), 単調载荷(+)$
InW-A37-w15	$\pm 1/2000, \pm 1/1000, \pm 1/500(2回), \pm 1/300, \pm 1/200, \pm 1/100$ $\pm 1/50, 単調载荷(+)$
InW-A37-w45	$\pm 1/4000, \pm 1/2000, \pm 1/1500, \pm 1/1000, \pm 1/750, \pm 1/500$ $\pm 1/250, 単調载荷(+)$
InW-A42-w15	$\pm 1/2000, \pm 1/1000, \pm 1/500(2回), \pm 1/300(3回), \pm 1/200,$ $\pm 1/100, 単調载荷(+)$



< 観察面 >



< 測定面 >

(a) InW-A50-w10



< 観察面 >



< 測定面 >

(b) InW-A50-w15



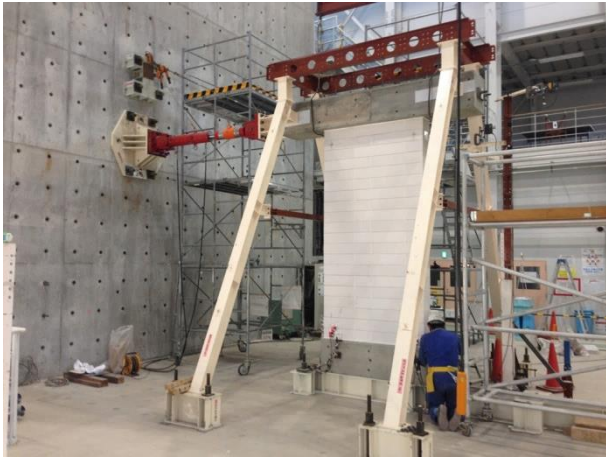
< 観察面 >



< 測定面 >

(c) InW-A50-w45

図 3.2-1 試験状況



< 観察面 >

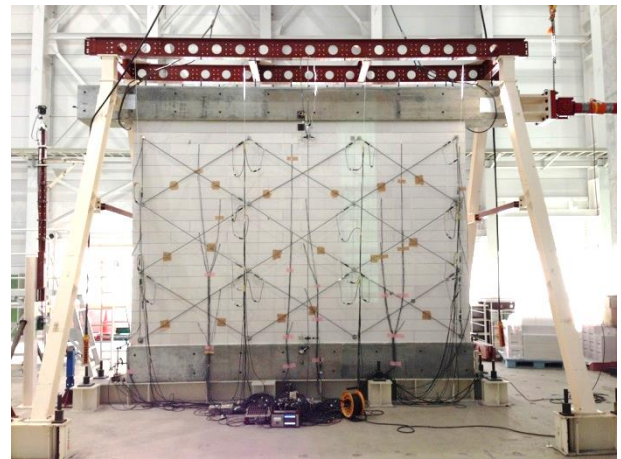


< 測定面 >

(d) InW-A37-w15



< 観察面 >



< 測定面 >

(e) InW-A37-w45



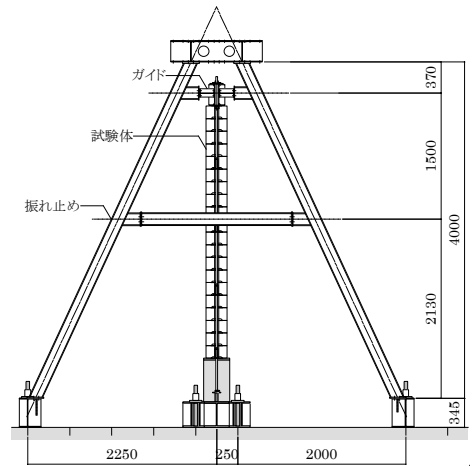
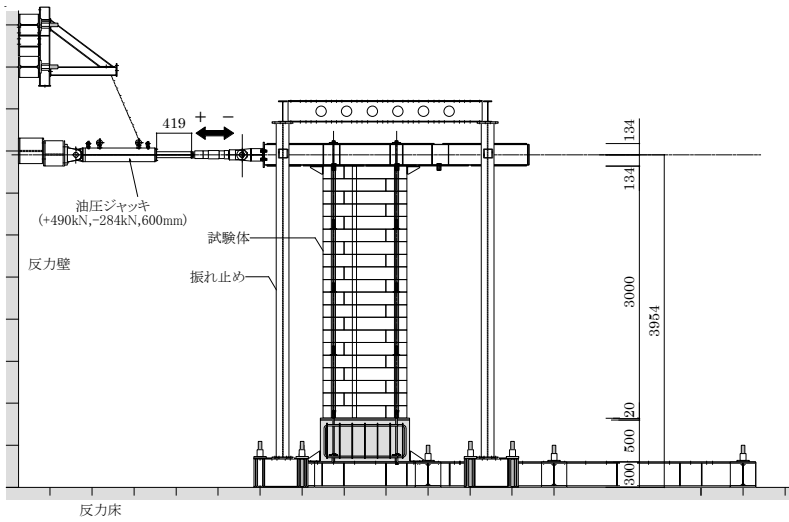
< 観察面 >



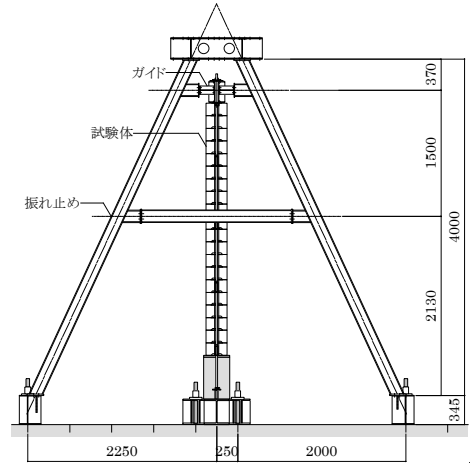
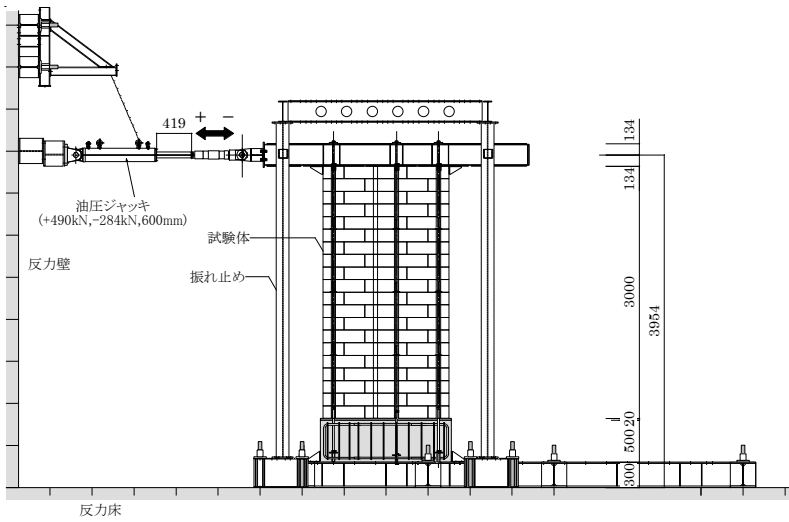
< 測定面 >

(f) InW-A42-w15

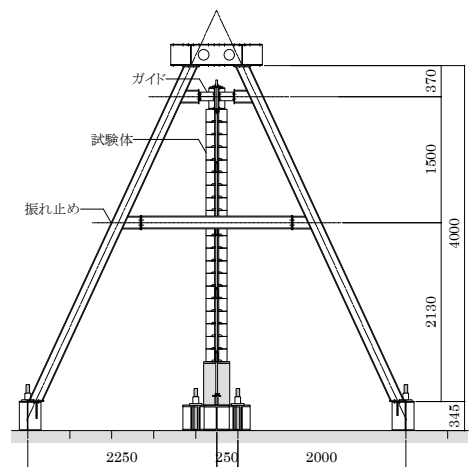
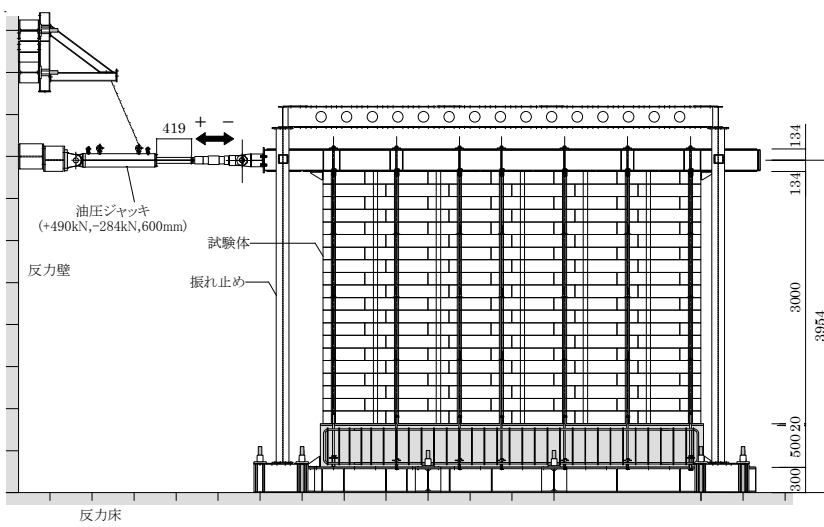
図 3.2-2 試験状況



(a) InW-A50-w10

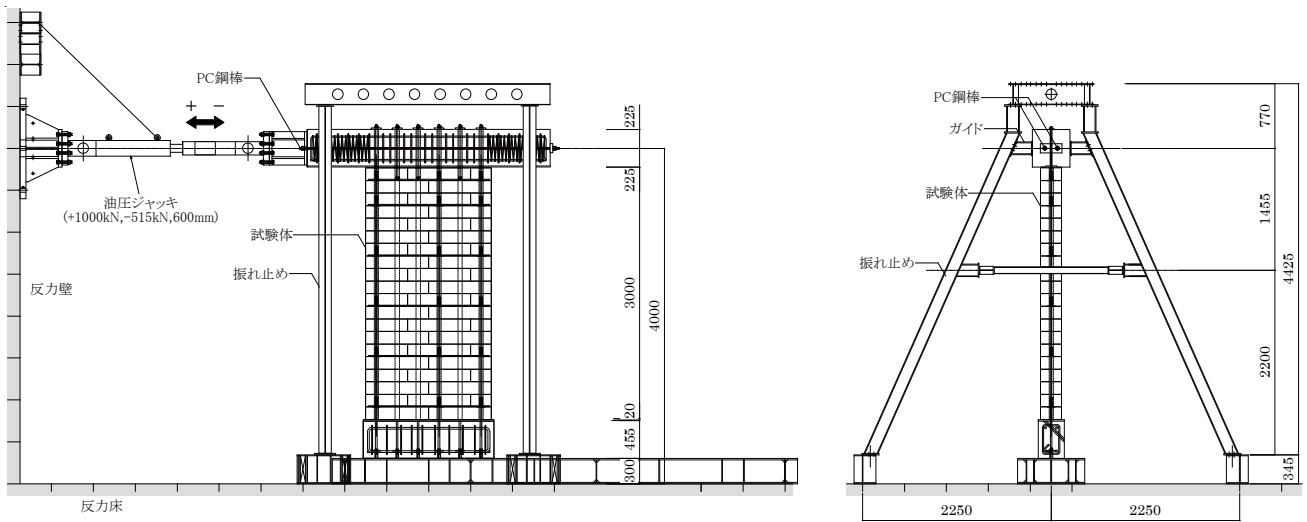


(b) InW-A50-w15

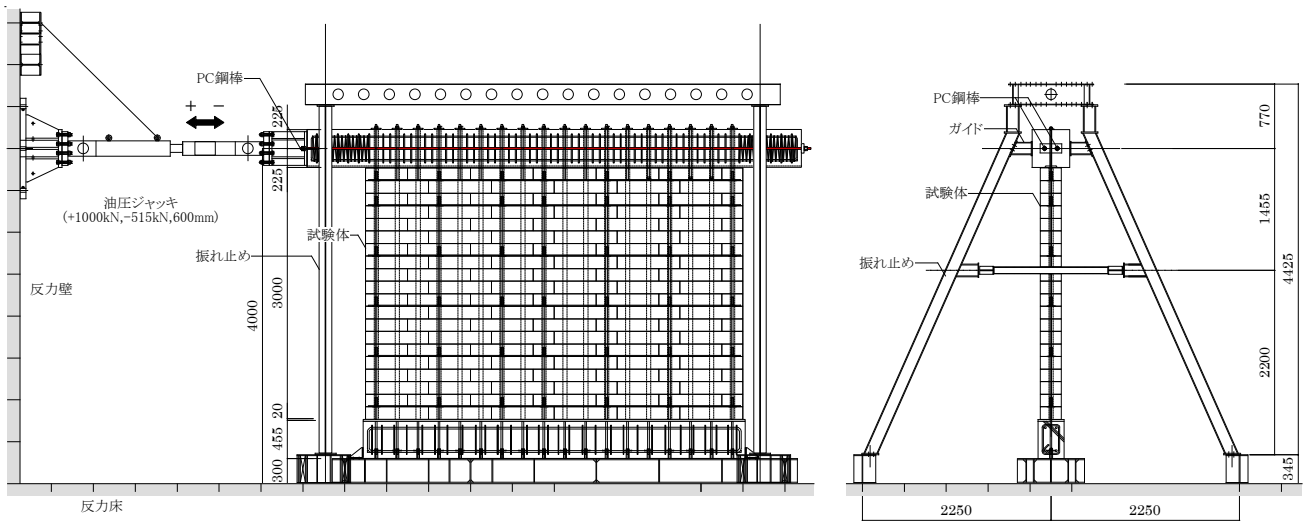


(c) InW-A50-w45

図 3.3-1 試験方法



(d) InW-A37-w15 · InW-A42-w15



(e) InW-A37-w45

図 3.3-2 試験方法

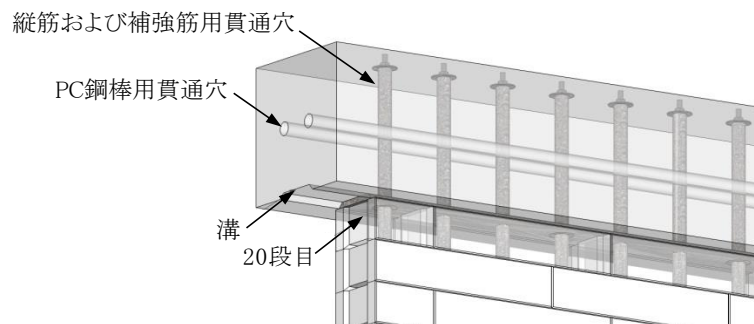
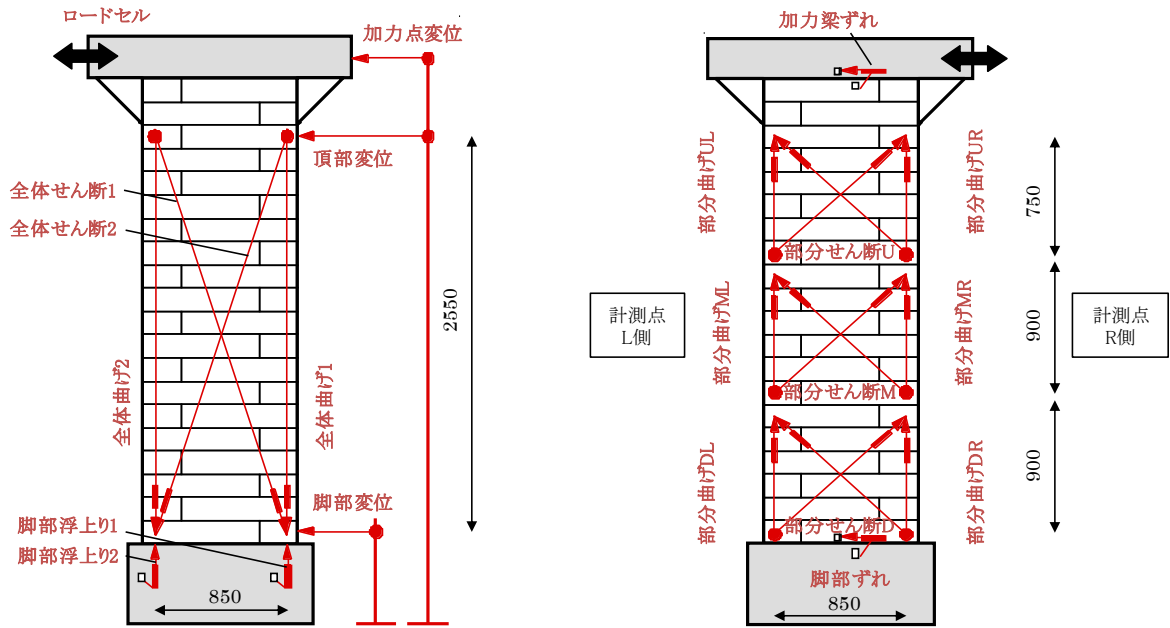


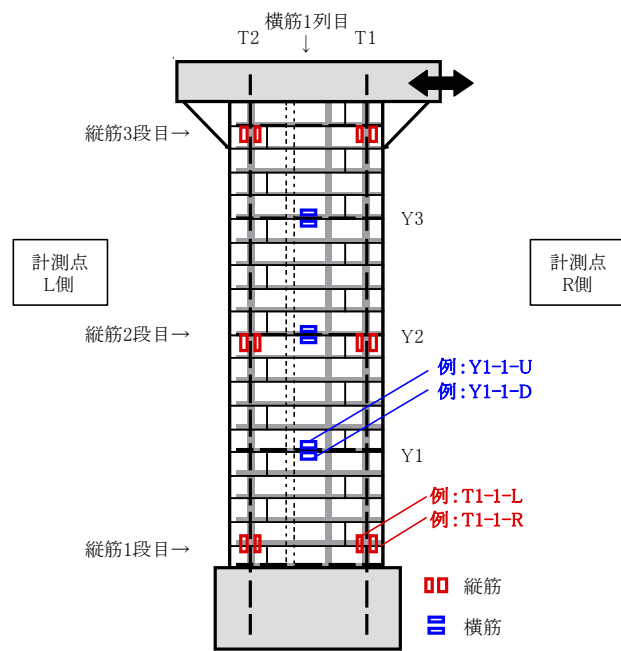
図 3.4 RC 加力梁の詳細アイソメ図





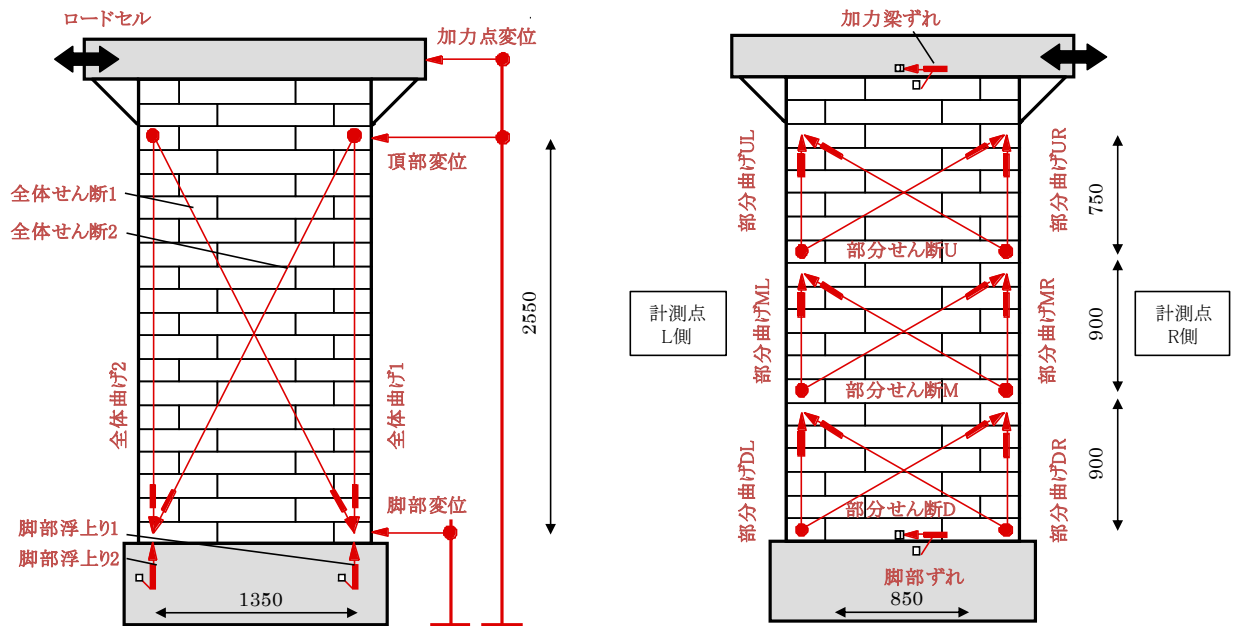
(a) 変位計設置位置（観察面）

(b) 変位計設置位置（測定面）



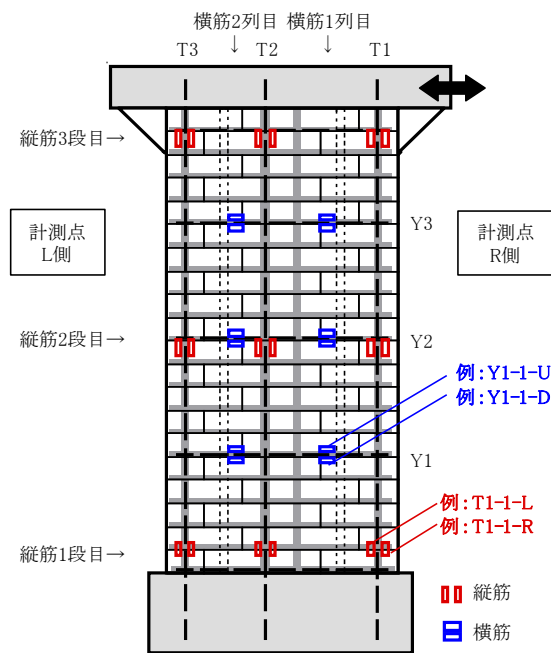
(c) ひずみゲージ貼り付け位置（測定面から）

図 3.5 測定計画（InW-A50-w10）



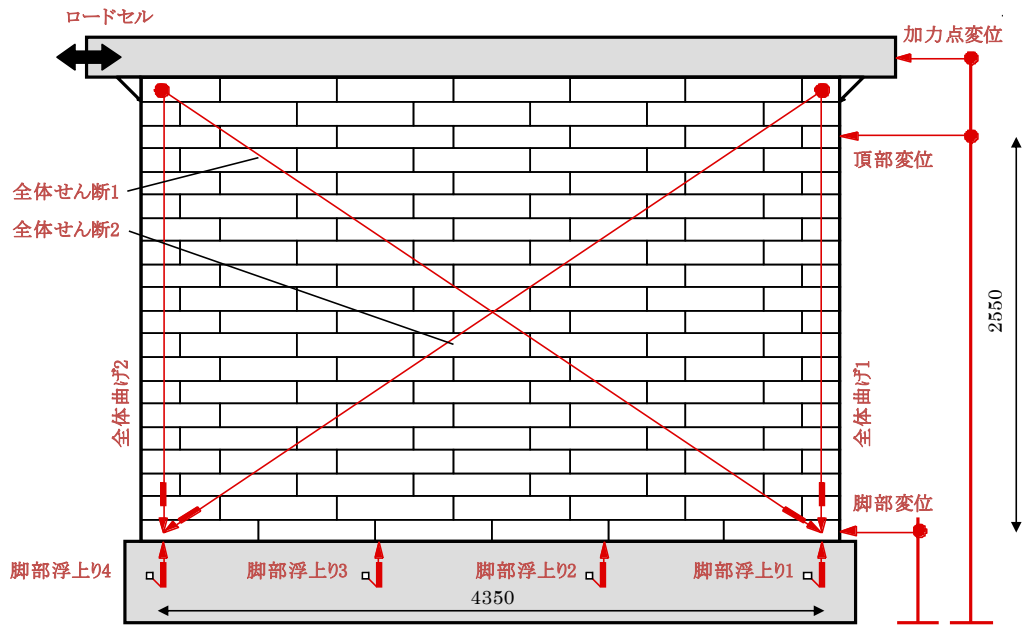
(a) 変位計設置位置 (観察面)

(b) 変位計設置位置 (測定面)

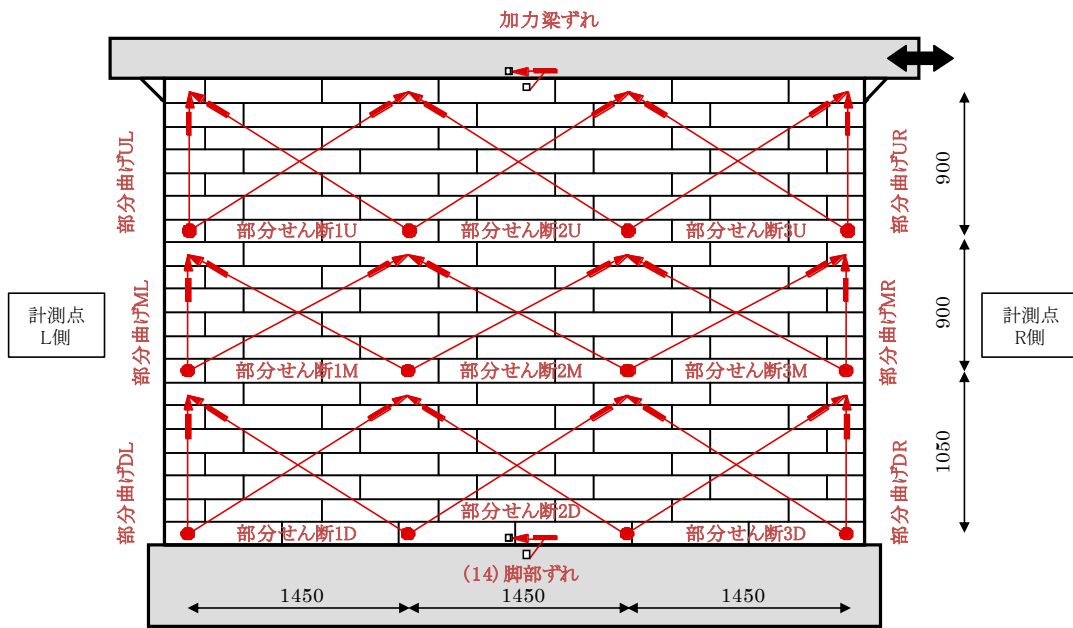


(c) ひずみゲージ貼り付け位置 (測定面から)

図 3.6 測定計画 (InW-A50-w15)

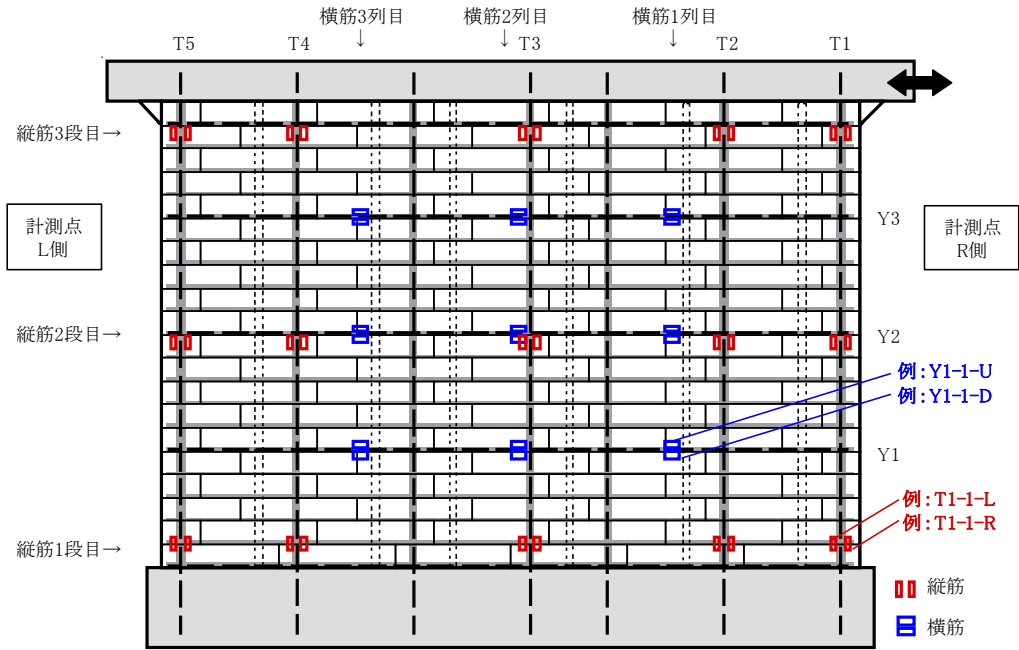


(a) 変位計設置位置 (観察面)



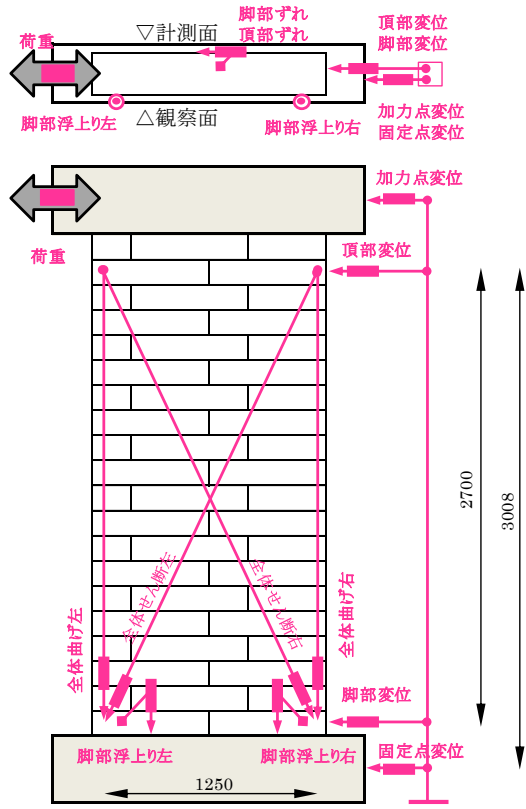
(b) 変位計設置位置 (測定面)

図 3.7-1 測定計画 (InW-A50-w45)

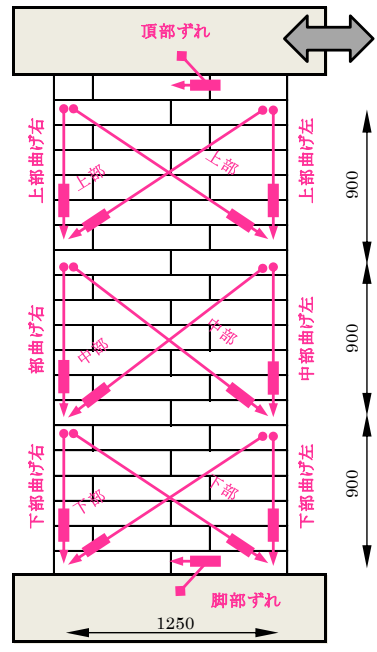


(c) ひずみゲージ貼り付け位置 (測定面から)

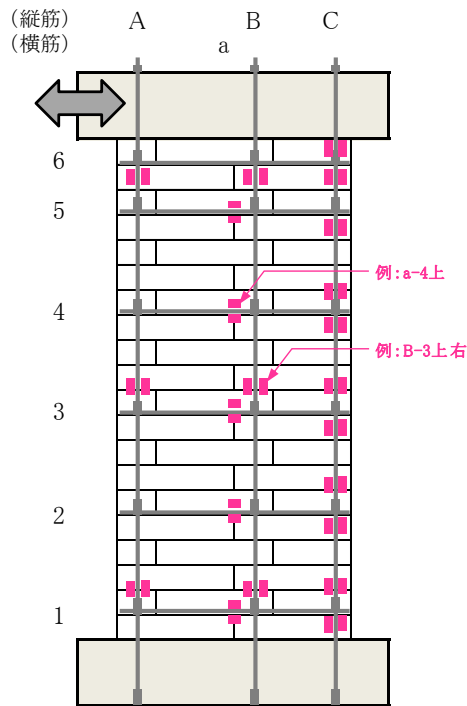
図 3.7-2 測定計画 (InW-A50-w45)



(a) 変位計設置位置 (観察面)

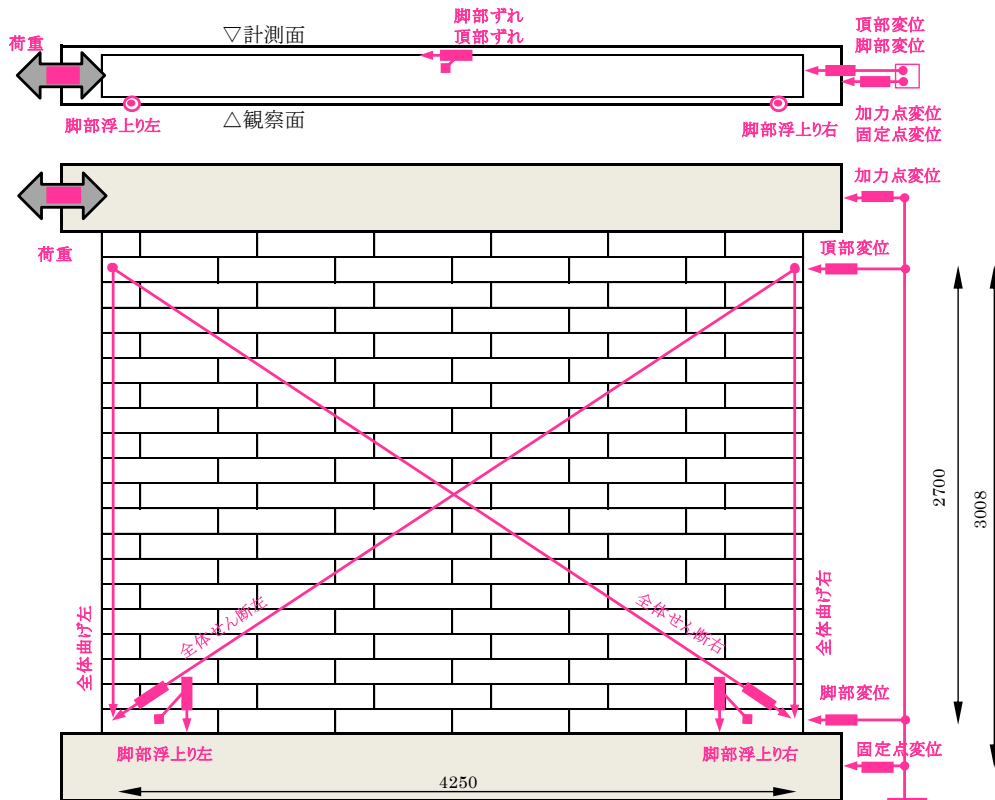


(b) 変位計設置位置 (測定面)

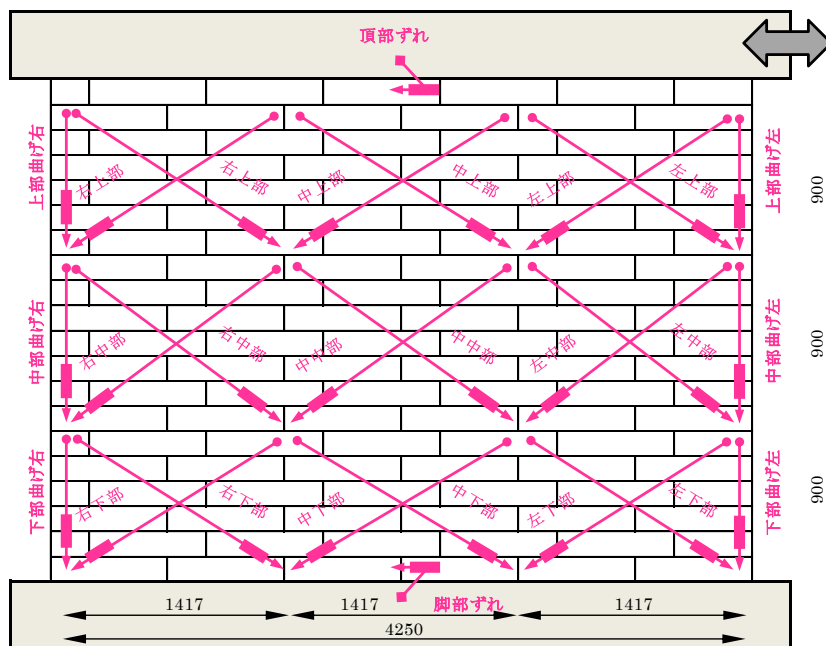


(c) ひずみゲージ貼り付け位置 (観察面)

図 3.8 測定計画 (InW-A7-w15)

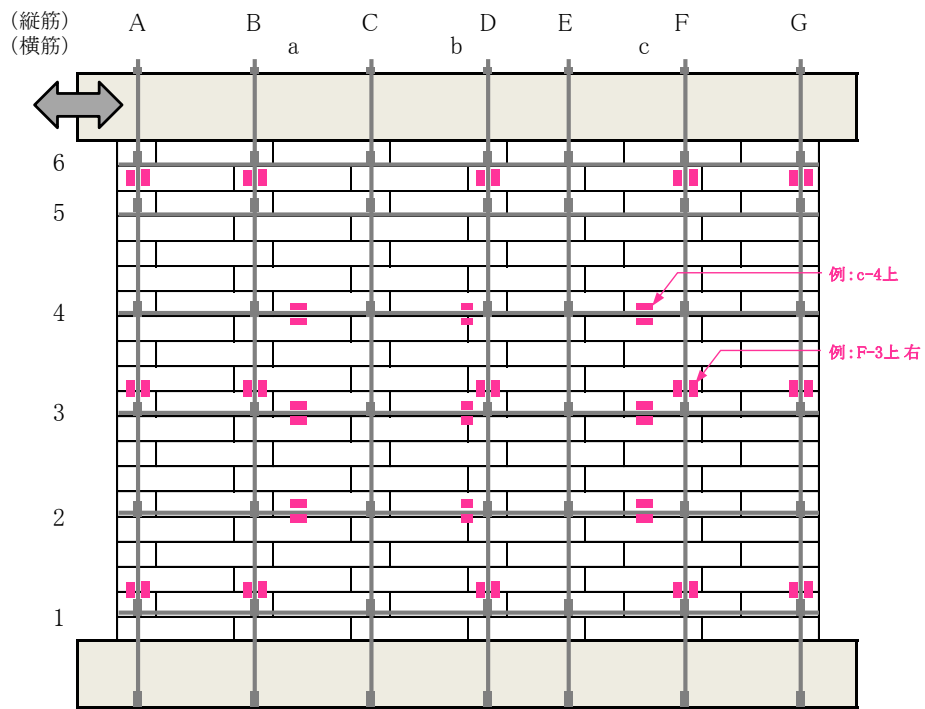


(a) 変位計設置位置 (観察面)



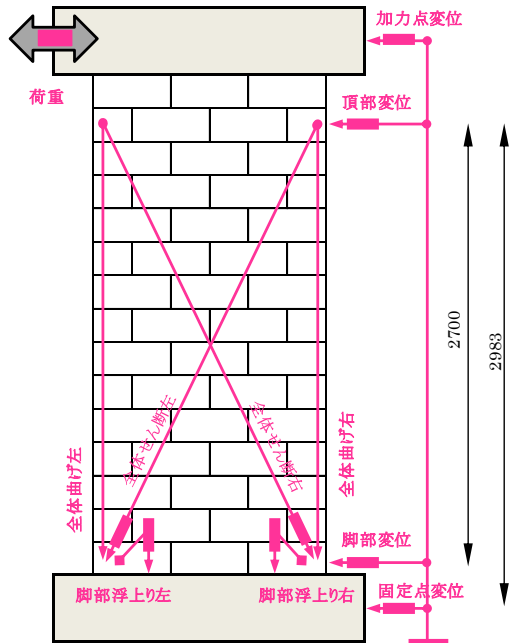
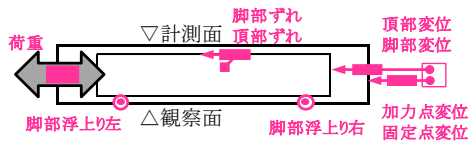
(b) 変位計設置位置 (測定面)

図 3.9-1 測定計画 (InW-A37-w45)

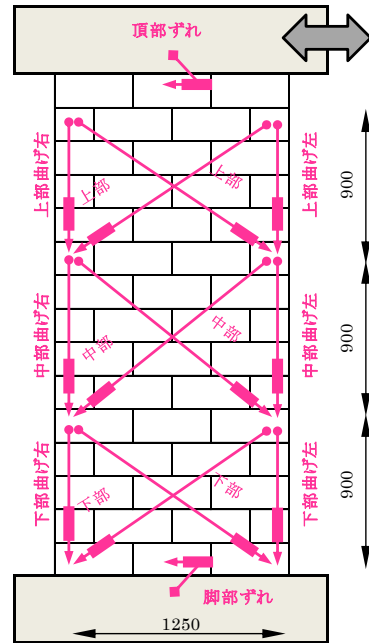


(c) ひずみゲージ貼り付け位置 (観察面)

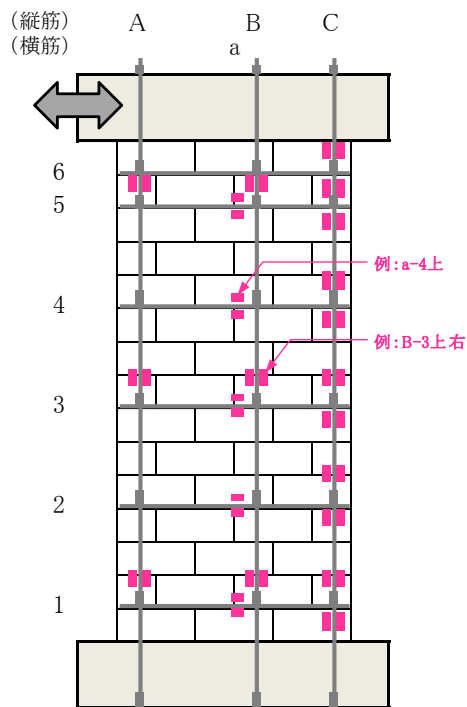
図 3.9-2 測定計画 (InW-A37-w45)



(a) 変位計設置位置 (観察面)



(b) 変位計設置位置 (測定面)



(c) ひずみゲージ貼り付け位置 (観察面)

図 3.10 測定計画 (InW-A42-w15)



表 3.7-1 測定器一覧 (ロードセル・変位計)

測定項目	A50シリーズ			測定器	A37シリーズ・A42シリーズ			測定器
	InW-A50-w10	InW-A50-w15	InW-A50-w45		InW-A37-w15	InW-A37-w45	InW-A42-w15	
荷重	荷重			ロードセル LUR-B-300KNSA (共和電業)	荷重			ロードセル TCPLP-1MNB (東京測器)
水平変位	加力点変位			レーザー変位計 LK500 or LK505 (KEYENCE)	加力点変位			レーザー変位計 LK500 or LK505 (KEYENCE)
	頂部変位				頂部変位			
浮上り	脚部変位			接触型変位計 CDP-25(東京測器)	脚部変位			接触型変位計 CDP-25(東京測器)
	脚部浮き上がり(1)				固定点変位			
	脚部浮き上がり(2)				脚部浮上り左			
	脚部浮き上がり(3)				脚部浮上り右			
	脚部浮き上がり(4)				"			
接合部 すれ	加力梁すれ			"	頂部すれ			"
	脚部すれ				脚部すれ			
全体 曲げ せん断	全体曲げ(1)			接触型変位計 SDP-CT50(東京測器)	全体曲げ左			ワイヤー変位計 DP-500E (東京測器)
	全体曲げ(2)				全体曲げ右			
	全体せん断(1)				全体せん断左			
	全体せん断(2)				全体せん断右			
	部分曲げ(U1L)				下部曲げ左			
部分 曲げ	部分曲げ(M1L)			接触型変位計 CDP-25 (東京測器)	下部曲げ右			
	部分曲げ(D1L)				中部曲げ左			
	部分曲げ(U1R)				中部曲げ右			
	部分曲げ(M1R)				上部曲げ左			
	部分曲げ(D1R)				上部曲げ右			
部分 せん断	部分せん断(U1L)左	部分せん断(U1L)右	部分せん断(U1L)左	接触型変位計 SDP-CT100 (東京測器)	下部せん断左	下部せん断右	下部せん断左	接触型変位計 CDP-25 (東京測器)
	部分せん断(U1R)左	部分せん断(U1R)右	部分せん断(U1R)左		下部せん断左	下部せん断右	下部せん断左	
	部分せん断(M1L)左	部分せん断(M1L)右	部分せん断(M1L)左		中部せん断左	中部せん断右	中部せん断左	
	部分せん断(M1R)左	部分せん断(M1R)右	部分せん断(M1R)左		中部せん断左	中部せん断右	中部せん断左	
	部分せん断(D1L)左	部分せん断(D1L)右	部分せん断(D1L)左		上部せん断左	上部せん断右	上部せん断左	
	部分せん断(D1R)左	部分せん断(D1R)右	部分せん断(D1R)左		上部せん断左	上部せん断右	上部せん断左	
	-	-	部分せん断(U2L)左		-	-	中部せん断左	
	-	-	部分せん断(U2R)左		-	-	中部せん断右	
	-	-	部分せん断(M2L)左		-	-	中部せん断左	
	-	-	部分せん断(M2R)左		-	-	中部せん断右	
	-	-	部分せん断(D2L)左		-	-	中上部せん断左	
	-	-	部分せん断(D2R)左		-	-	中上部せん断右	
	-	-	部分せん断(U3L)左		-	-	右下部せん断左	
	-	-	部分せん断(U3R)左		-	-	右下部せん断右	
	-	-	部分せん断(M3L)左		-	-	右中部せん断左	
	-	-	部分せん断(M3R)左		-	-	右中部せん断右	
	-	-	部分せん断(D3L)左		-	-	右上部せん断左	
	-	-	部分せん断(D3R)左		-	-	右上部せん断右	

表 3.7-2 測定器一覧 (ひずみゲージ)

測定項目	番号	InW-A50-w10	InW-A50-w15	InW-A50-w45	測定器	InW-A37-w15	InW-A37-w45	InW-A42-w15	測定器
鉄筋 ひずみ	40	Y1-1-U	Y1-1-U	Y1-1-U	ひずみゲージ FLA-2-11-5LT (東京測器)	A-1上左	A-1上左	A-1上左	ひずみゲージ FLA-2-11-5LT (東京測器)
	41	Y1-1-D	Y1-1-D	Y1-1-D		A-1上右	A-1上右	A-1上右	
	42	Y2-1-U	Y2-1-U	Y2-1-U		A-3上左	A-4上左	A-3上左	
	43	Y2-1-D	Y2-1-D	Y2-1-D		A-3上右	A-4上右	A-3上右	
	44	Y3-1-U	Y3-1-U	Y3-1-U		A-5・6左	A-5・6左	A-5・6左	
	45	Y3-1-D	Y3-1-D	Y3-1-D		A-5・6右	A-5・6右	A-5・6右	
	46	T1-1-1	Y1-2-U	Y1-2-U		B-1上左	B-1上右	B-1上左	
	47	T1-1-2	Y1-2-D	Y1-2-D		B-1上右	B-1上右	B-1上右	
	48	T1-2-1	Y2-2-U	Y2-2-U		B-3上左	B-4上左	B-3上左	
	49	T1-2-2	Y2-2-D	Y2-2-D		B-3上右	B-4上右	B-3上右	
	50	T1-3-1	Y3-2-U	Y3-2-U		B-5・6左	B-5・6左	B-5・6左	
	51	T1-3-2	Y3-2-D	Y3-2-D		B-5・6右	B-5・6右	B-5・6右	
	52	T2-1-1	T1-1-1	Y1-3-U		C-1下左	D-1上左	C-1下左	
	53	T2-1-2	T1-1-2	Y1-3-D		C-1下右	D-1上右	C-1下右	
	54	T2-2-1	T1-2-1	Y2-3-U		C-1上左	D-4上左	C-1上左	
	55	T2-2-2	T1-2-2	Y2-3-D		C-1上右	D-4上右	C-1上右	
	56	T2-3-1	T1-3-1	Y3-3-U		C-2下左	D-5・6左	C-2下左	
	57	T2-3-2	T1-3-2	Y3-3-D		C-2下右	D-5・6右	C-2下右	
	58	-	T2-1-1	T1-1-L		C-2上左	F-1上左	C-2上左	
	59	-	T2-1-2	T1-1-R		C-2上右	F-1上右	C-2上右	
	60	-	T2-2-1	T1-2-L		C-3下左	F-4上左	C-3下左	
	61	-	T2-2-2	T1-2-R		C-3下右	F-4上右	C-3下右	
	62	-	T2-3-1	T1-3-L		C-3上左	F-5・6左	C-3上左	
	63	-	T2-3-2	T1-3-R		C-3上右	F-5・6右	C-3上右	
	64	-	T3-1-1	T2-1-L		C-4下左	G-1上左	C-4下左	
	65	-	T3-1-2	T2-1-R		C-4下右	G-1上右	C-4下右	
	66	-	T3-2-1	T2-2-L		C-4上左	G-3下左	C-4上左	
	67	-	T3-2-2	T2-2-R		C-4上右	G-3下右	C-4上右	
	68	-	T3-3-1	T2-3-L		C-5下左	G-5下左	C-5下左	
	69	-	T3-3-2	T2-3-R		C-5下右	G-5下右	C-5下右	
	70	-	-	T3-1-L		C-5・6左	a-2下	C-5・6左	
	71	-	-	T3-1-R		C-5・6右	a-2上	C-5・6右	
	72	-	-	T3-2-L		C-6上左	a-3下	C-6上左	
	73	-	-	T3-2-R		C-6上右	a-3上	C-6上右	
	74	-	-	T3-3-L		a-1下	a-4下	a-1下	
	75	-	-	T3-3-R		a-1上	a-4上	a-1上	
	76	-	-	T4-1-L		a-2下	b-2下	a-2下	
	77	-	-	T4-1-R		a-2上	b-2上	a-2上	
	78	-	-	T4-2-L		a-3下	b-3下	a-3下	
	79	-	-	T4-2-R		a-3上	b-3上	a-3上	
	80	-	-	T4-3-L		a-4下	b-4下	a-4下	
	81	-	-	T4-3-R		a-4上	b-4上	a-4上	
	82	-	-	T5-1-L		a-5下	c-2下	a-5下	
	83	-	-	T5-1-R		a-5上	c-2上	a-5上	
	84	-	-	T5-2-L		-	c-3下	-	
	85	-	-	T5-2-R		-	c-3上	-	
	86	-	-	T5-3-L		-	c-4下	-	
	87	-	-	T5-3-R		-	c-4上	-	

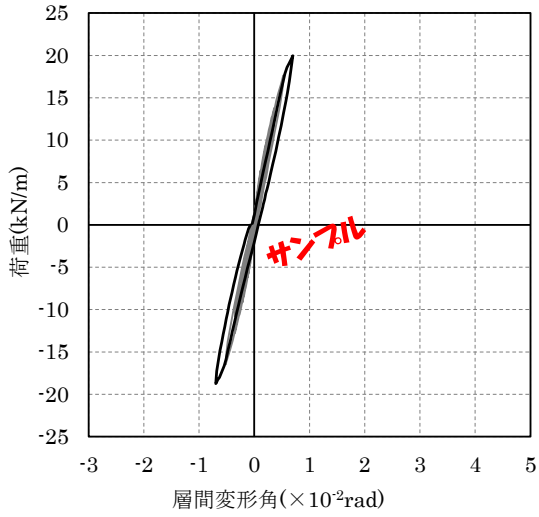
### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 荷重－変形関係と破壊経過

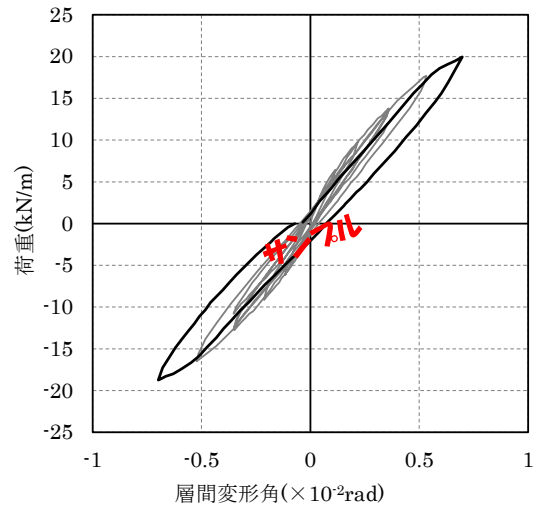
##### 3.3.1.1 実験結果の記載内容

本項では、試験体ごと、加力サイクルごとに荷重－層間変形角関係、ひび割れ観察結果およびひずみゲージ値を参照しながら実験経過を述べる。はじめに、次ページ以降に述べる実験結果の記載内容について説明する。

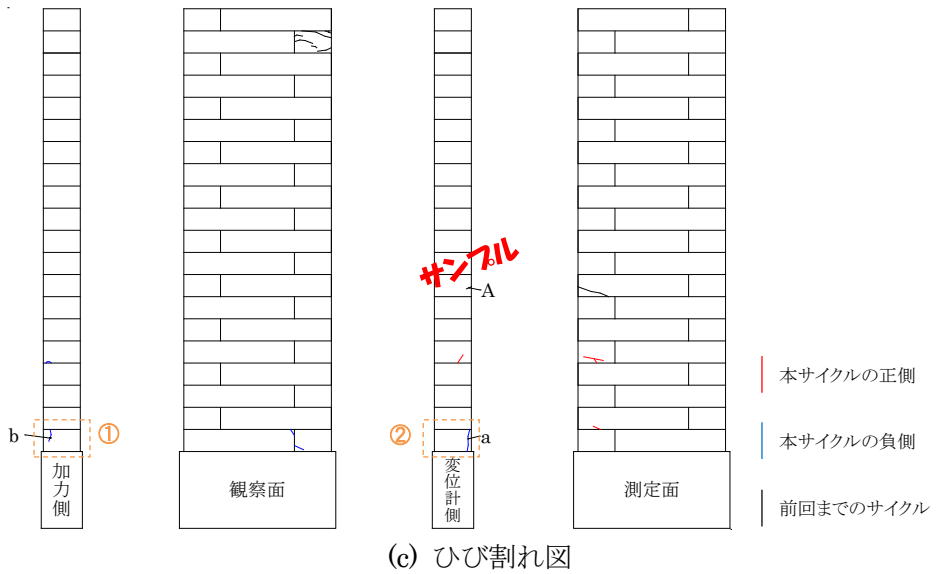
実験結果の例を図 3.11 に示す。(a)には荷重－変形関係の全体図を、(b)には当該サイクルの荷重－変形関係の拡大図を示す。(a)、(b)の縦軸の荷重はロードセルの値を壁幅で除した値とし、当該サイクルの結果を黒色の太線で、前サイクルまでの結果をグレーの細線で示す。(c)にはひび割れ図を、(d)、(e)には試験体の写真を示す。ひび割れ図には前サイクルまでのひび割れを黒線で、当該サイクルの正側加力時に確認されたひび割れを赤線で、負側加力時に確認されたひび割れを青線で示す。ひび割れ図に示すオレンジ色の①、②...の記号は、試験体の写真①、②...と対応する。(f)には正側の各サイクルにおける最大変形角時の鉄筋のひずみゲージ値を示す。縦筋のひずみ値を赤色で、横筋のひずみ値を青色のグラフで示し、グラフの軸は $\times 10^3\mu$ とする。グラフのレイアウトは、グラフの右側に示すひずみゲージ貼り付け位置と対応している。ひずみゲージの貼り付け枚数が多い InW-A37-w15 と InW-A42-w15 については、レイアウトの詳細を(g)、(h)の①～⑩に示す。鉄筋の降伏が確認された箇所では赤字で“降伏”と、ひずみゲージが鉄筋から剥がれる等の理由でデータが得られなかった箇所には赤色で“×”と表記する。鉄筋の降伏点の算出方法は、A37 シリーズと A42 シリーズの縦筋および各シリーズの横筋では 2 枚のひずみゲージの平均値が 2.3 節の材料試験より得られた降伏点におけるひずみ値に達した点とした。A50 シリーズの縦筋には切削ネジ加工した丸鋼を用いているため、軸部に貼り付けた 2 枚のひずみゲージ値の平均値から求めた縦筋の軸力をネジ部の有効断面積で除した値が縦筋の降伏点を越えた点を縦筋の降伏とした。(a)から(f)の試験結果の図は、各サイクルで適宜省略および追加して記載した。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) ひび割れ図

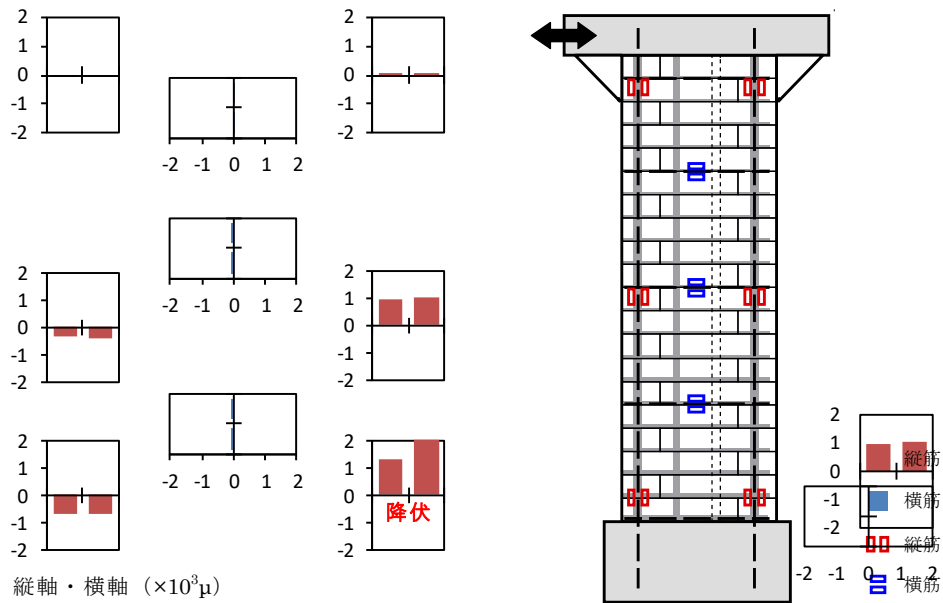


(d) 写真①(-1/150rad)

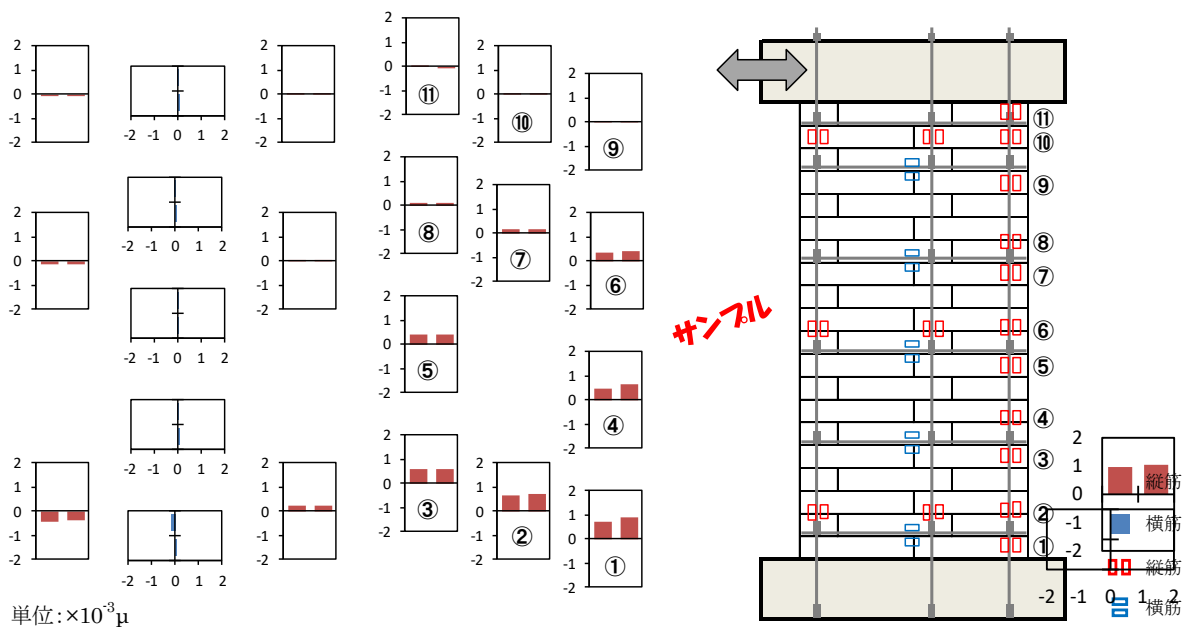


(e) 写真②(-1/150rad)

図 3.11-1 試験結果（例）

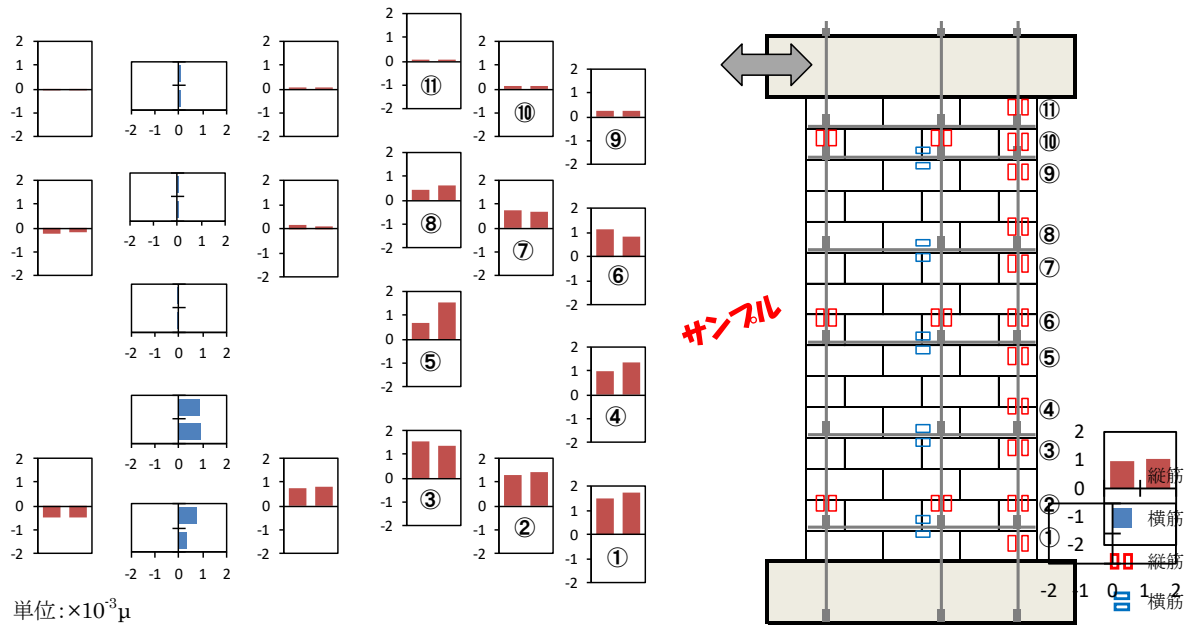


(f) ひずみゲージ (正側)



(g) InW-A37-w15 のひずみゲージのレイアウト詳細

図 3.11-2 試験結果 (例)



(h) InW-A42-w15 のひずみゲージのレイアウト詳細

図 3.11-3 試験結果 (例)

### 3.3.1.2 InW-A50-w10

#### (1) $\pm 1/1000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.12 に示す。(c)に示すひび割れ図には、試験体セッティング時に発生した初期ひび割れを黒線で示した。

正側サイクルでは、加力時に音は聞こえず、ひび割れ等も確認されなかった。負側サイクルでは、下段からシーリングが剥がれるような音が確認されたが、ひび割れ等は確認されなかった。

荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひずみゲージの値も最大で  $282\mu$  と小さいため、損傷は小さいと考えられる。

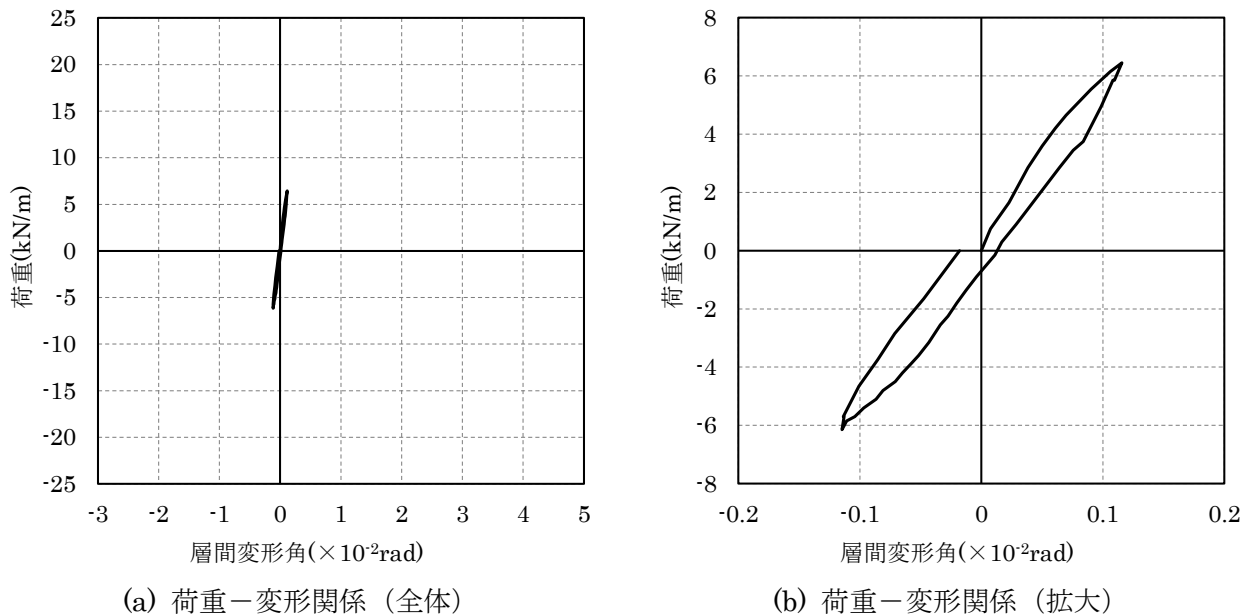
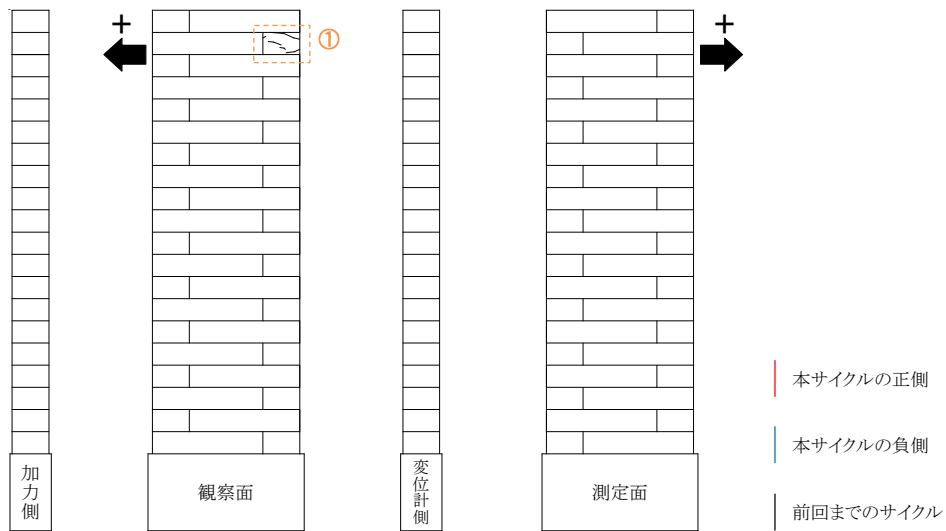


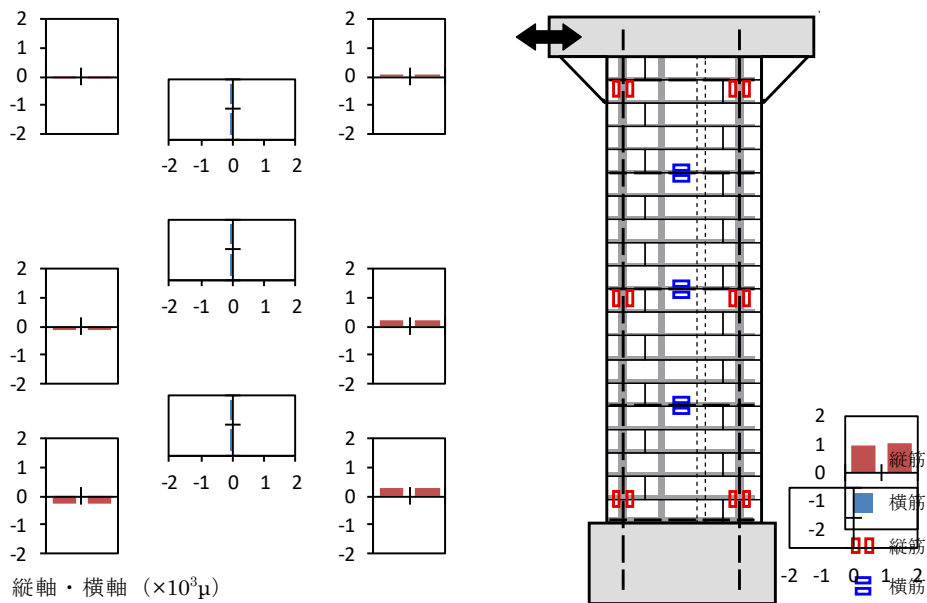
図 3.12-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル)



(c) ひび割れ図



(d) 写真①(加力前)



(e) ひずみゲージ (正側)

図 3.12-2 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル)



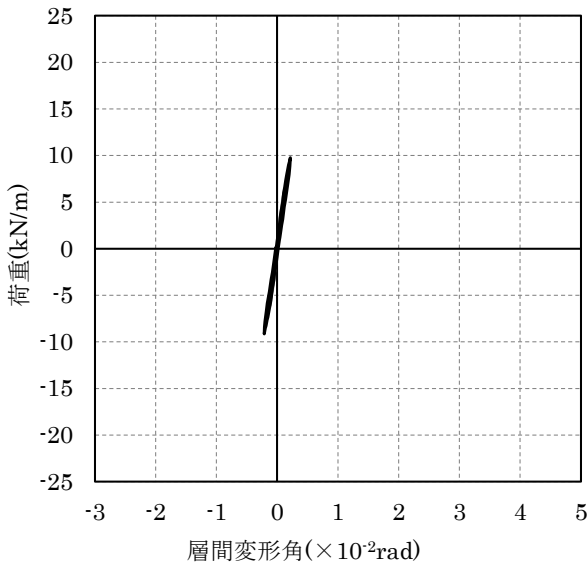
(2)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.13 に示す。

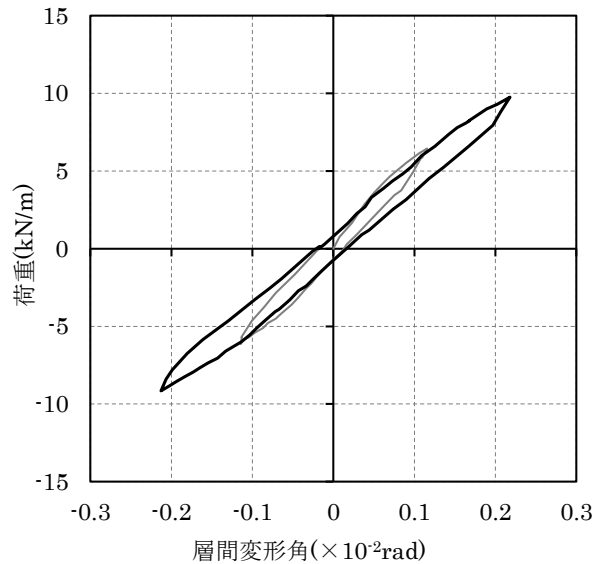
正側サイクルでは、 $1/700\text{rad}$  付近で音が発生した。ひび割れ図をみると、初期ひび割れ周辺に新たにひび割れが発生したが、これは初期ひび割れの影響によるものと考えられるため、初ひび割れとはみなさなかつた。負側のサイクルでは、 $-1/750\text{rad}$  付近で音が発生したが、ひび割れは確認されなかつた。

荷重－変形関係は、わずかに剛性が下がるもののほとんど直線を示しており、ひずみゲージの最大値も  $585\mu$  と降伏には至っていないため、損傷は小さいと考えられる。

(d)に示す正側加力時のひずみゲージ値の分布をみると、試験体図右側の引張鉄筋側で正の値（引張側）が、圧縮鉄筋側で負の値（圧縮側）が得られた。また、ひずみゲージの値は試験体上部ではほぼゼロを示し、試験体下部に行くにつれて値が大きくなっているため、片持ち梁形式での加力が出来ていると考えられる。

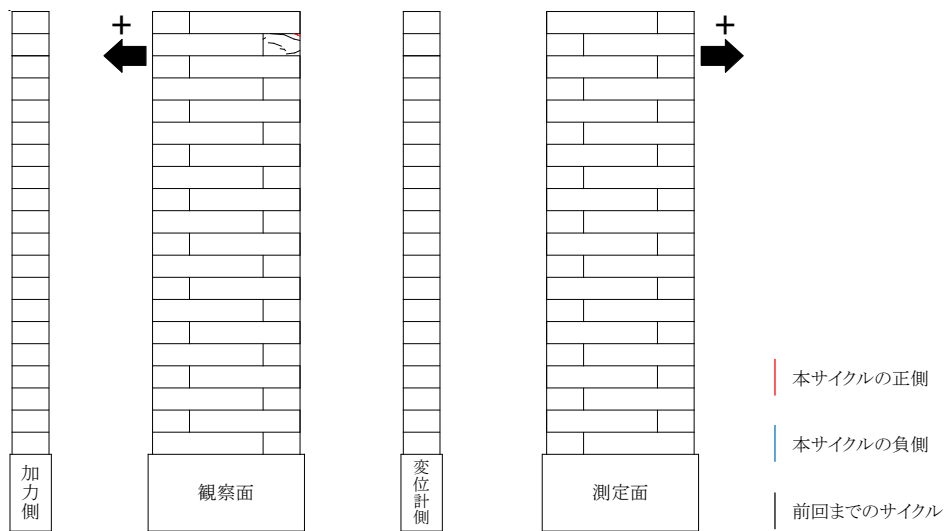


(a) 荷重－変形関係（全体）

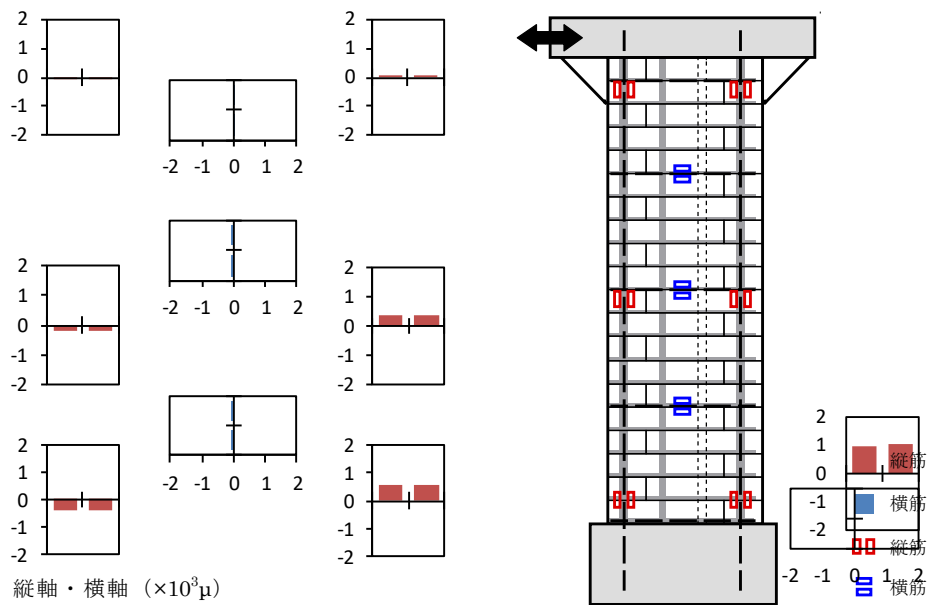


(b) 荷重－変形関係（拡大）

図 3.13-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル)



(c) ひび割れ図



(d) ひずみゲージ (正側)

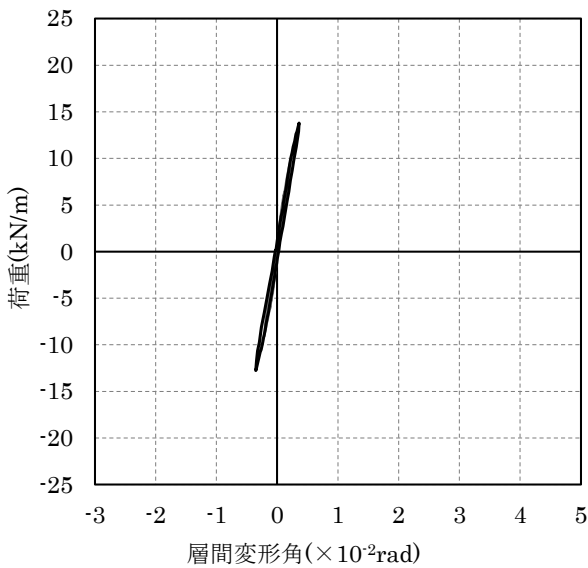
図 3.13-2 試験結果 (InW-A50-w10・±1/500rad サイクル)

(3) ±1/300rad サイクル①

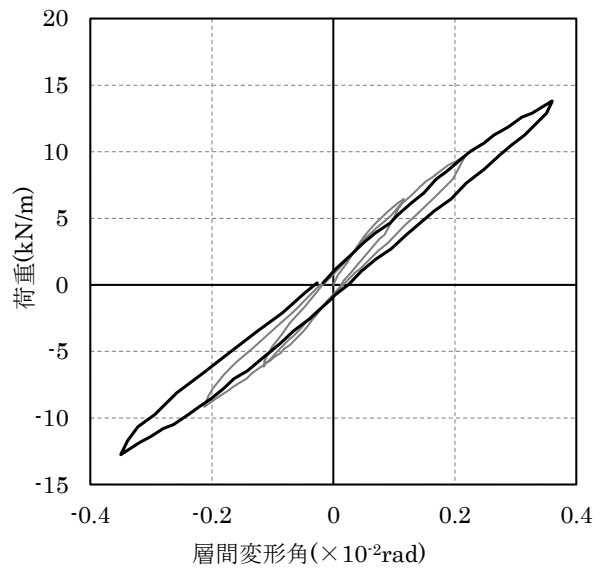
試験結果を図 3.14 示す。

正側サイクルでは、1/500rad 付近で試験体上部から音が聞こえたが、ひび割れ等は確認されなかった。負側のサイクルでは音は発生せず、ひび割れ等も確認されなかった。

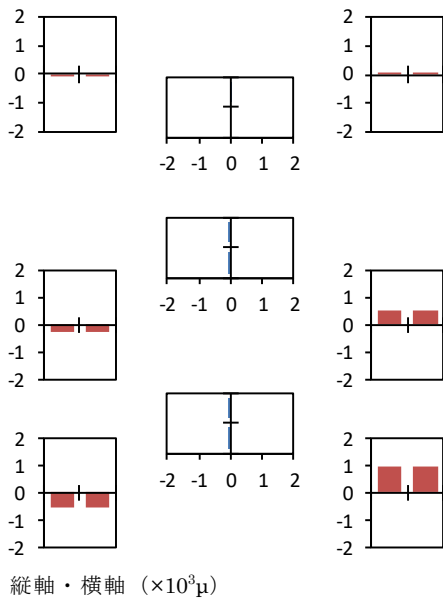
荷重－変形関係をみると、ほぼ直線を示しており、ひずみゲージの最大値も 929 $\mu$  と降伏には至っていないため、損傷は小さいと考えられる。



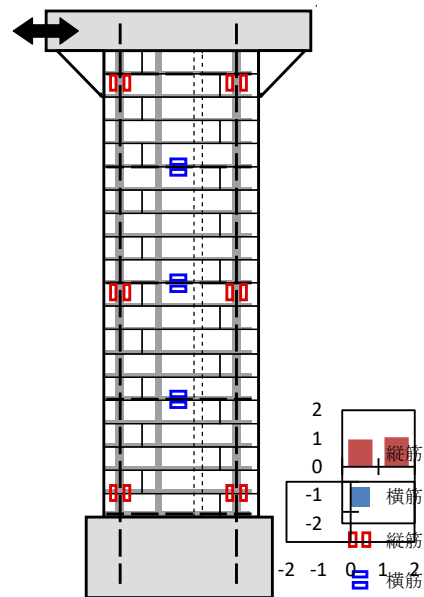
(a) 荷重－変形関係 (全体)



(b) 荷重－変形関係 (拡大)



縦軸・横軸 ( $\times 10^3 \mu$ )



(c) ひずみゲージ (正側)

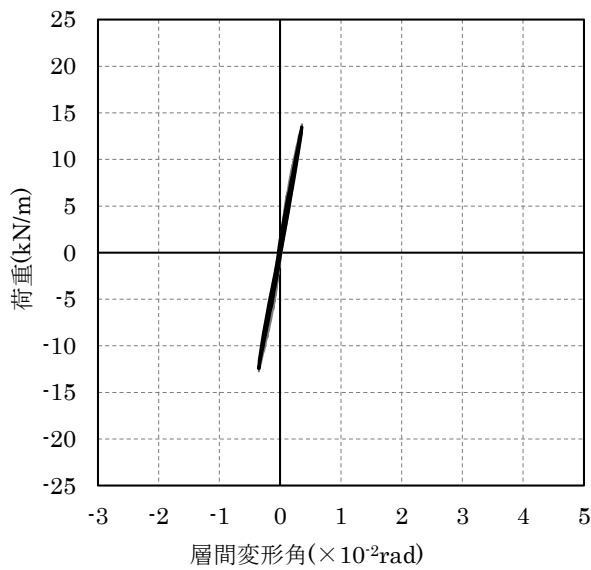
図 3.14-1 試験結果 (InW-A50-w10・±1/300rad サイクル①)

(4)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル②

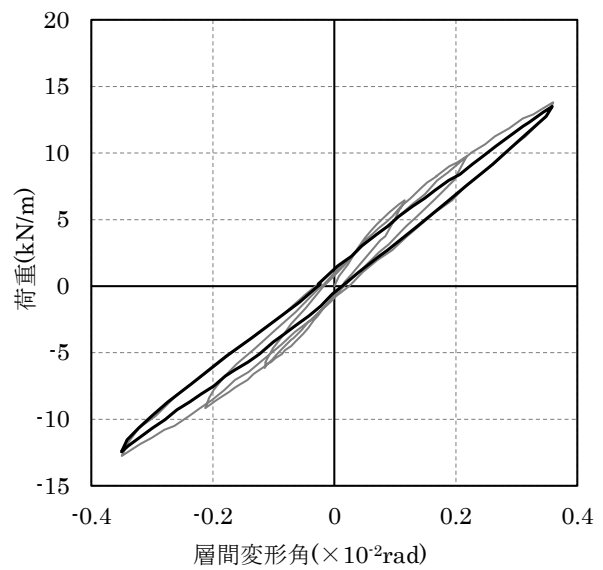
試験結果を図 3.15 に示す。ひずみゲージの値は省略する。

正側加力後、8 段目に水平方向のひび割れが発生し、除荷後はそのひび割れが閉じたことが確認された(写真①除荷時)。このひび割れを本試験体の初ひび割れと判断した。負側のサイクルでは音は発生せず、ひび割れ等も確認されなかった。

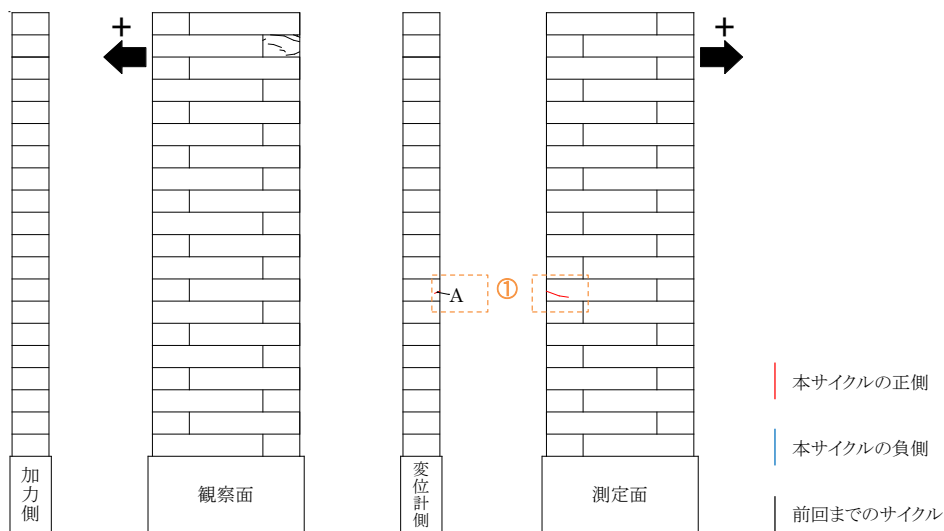
荷重-変形関係をみると、ひび割れが発生したもののほぼ直線を示しており、損傷は小さいと考えられる。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)

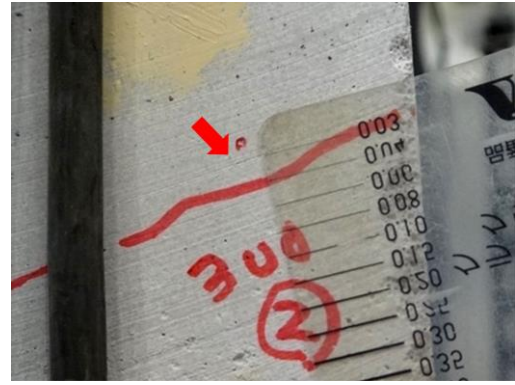


(c) ひび割れ図

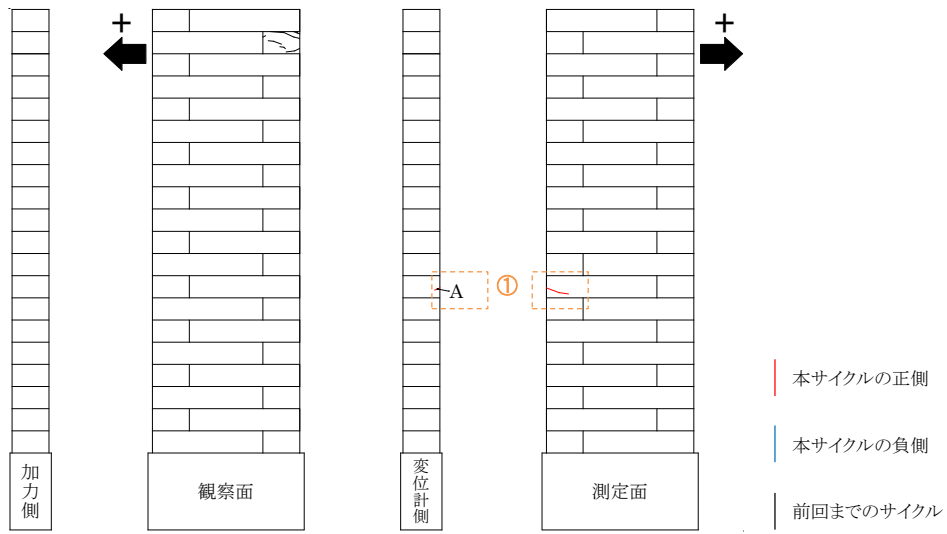
図 3.15-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル②)



(d) 写真① (+1/300rad)



(e) 写真① (+1/300rad 除荷時)



(c) ひび割れ図

図 3.15-2 試験結果 (InW-A50-w10・±1/300rad サイクル②)

(5)  $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.16 に示す。

正側サイクルでは、 $1/220\text{rad}$ 、 $1/200\text{rad}$  で試験体中段から音が聞こえた。ひび割れは、2 回目の  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクルで発生した初ひび割れが進展したが、新しいひび割れは確認されなかった。負側サイクルでは音は聞こえず、ひび割れも確認されなかったが、加力側の 4 段目と 5 段目の間の目地が目視で分かる程度に広がっていることが確認された (写真①)。除荷後、目地の広がりとは閉じることが確認された。

荷重-変形関係をみると、ほぼ直線を示しており、ひずみゲージの最大値も  $1380\mu$  と降伏には至っていないため、損傷は小さいと考えられる。

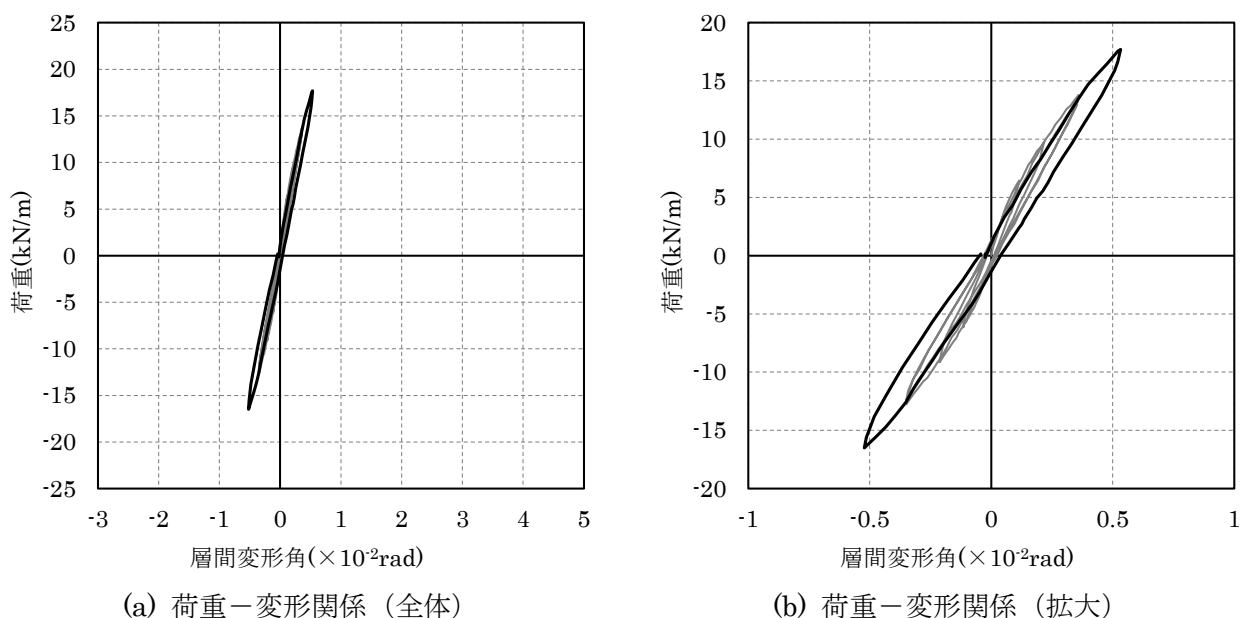
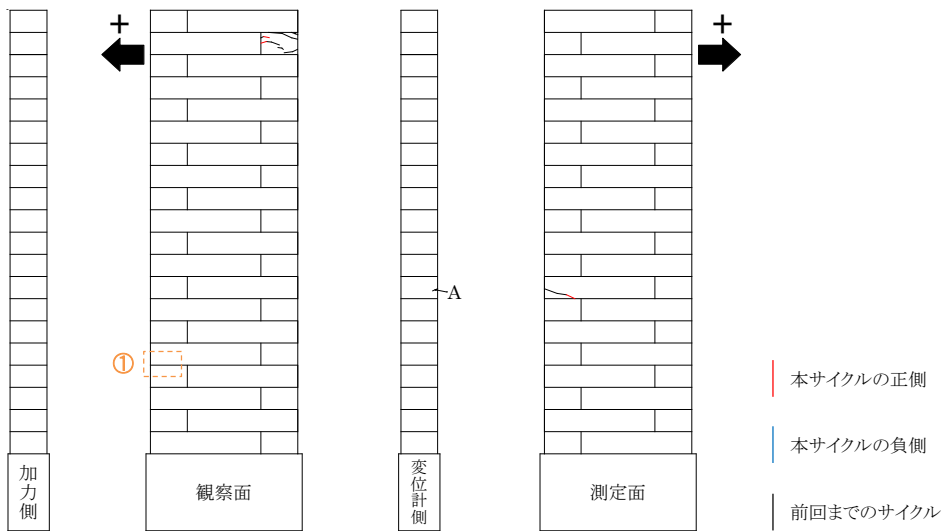
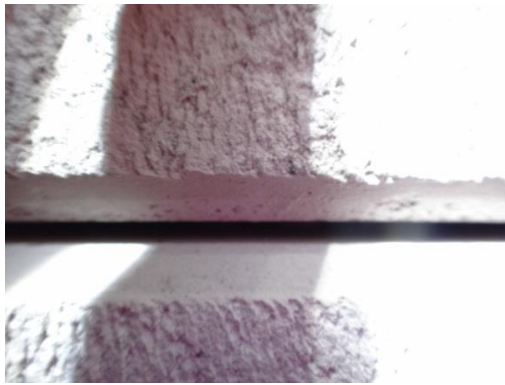


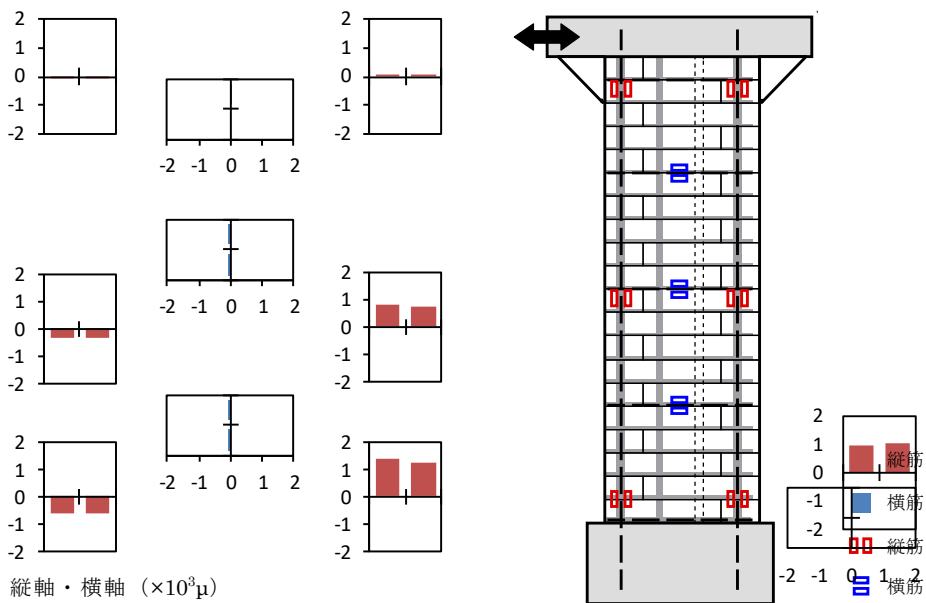
図 3.16-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル)



(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/200rad)



(e) ひずみゲージ (正側)

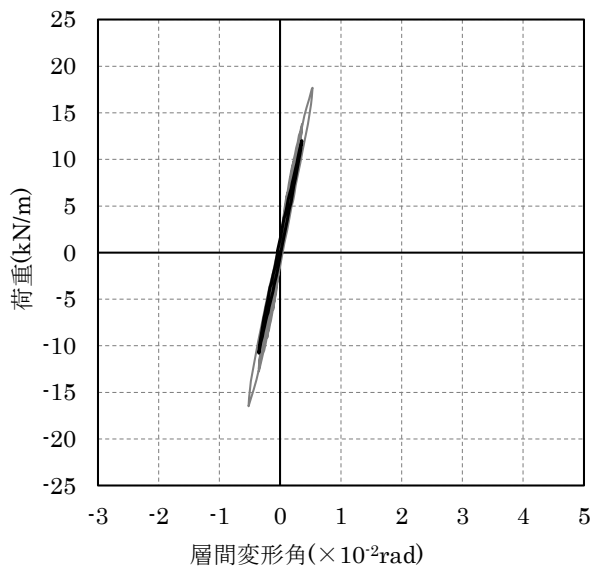
図 3.16-2 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/200$ rad サイクル)

(6)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル③

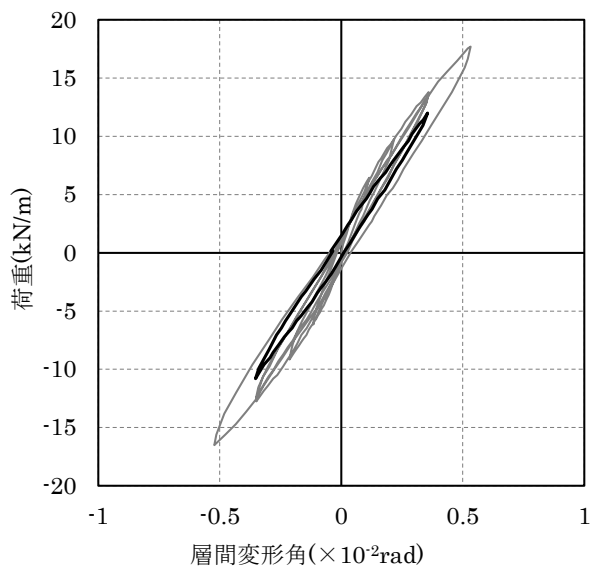
試験結果を図 3.17 に示す。

正側、負側サイクル共に音は聞こえず、新たなひび割れも確認されなかった。

荷重－変形関係は、2回目の $\pm 1/300\text{rad}$  サイクルと比較するとわずかに剛性が低下している程度にとどまることが確認された。



(a) 荷重－変形関係 (全体)



(b) 荷重－変形関係 (拡大)

図 3.17-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル③)



(7)  $\pm 1/150\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.18 に示す。

正側サイクルでは、音は確認されなかったが、測定面と変位計側側面に新たなひび割れが発生した。除荷後、ひび割れは完全に閉じず、残留ひび割れが確認された。負側サイクルでは両側面の最下段に縦方向のひび割れが確認された。変位計側側面の縦方向のひび割れ(写真②)は、目地の隙間が小さくなっていたことから圧縮力により発生したものと考えられる。加力側側面のひび割れは、正側加力後では確認されなかったが、正側加力時の圧縮力により発生したものと考えられる。

荷重-変形関係をみると、 $\pm 1/200\text{rad}$  を超えたあたりからやや剛性が低下した。変位計側の引張側縦筋のひずみゲージ値は  $2052\mu$  と降伏には至っていないものの高い値が確認されたため、剛性が低下したものと考えられる。

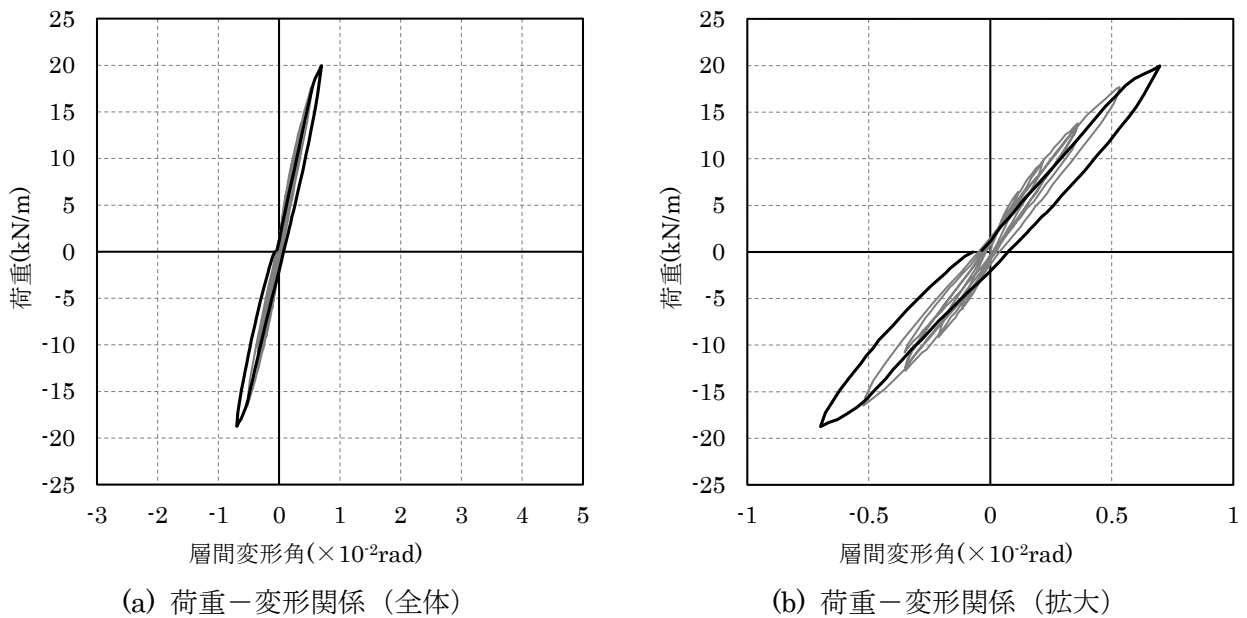
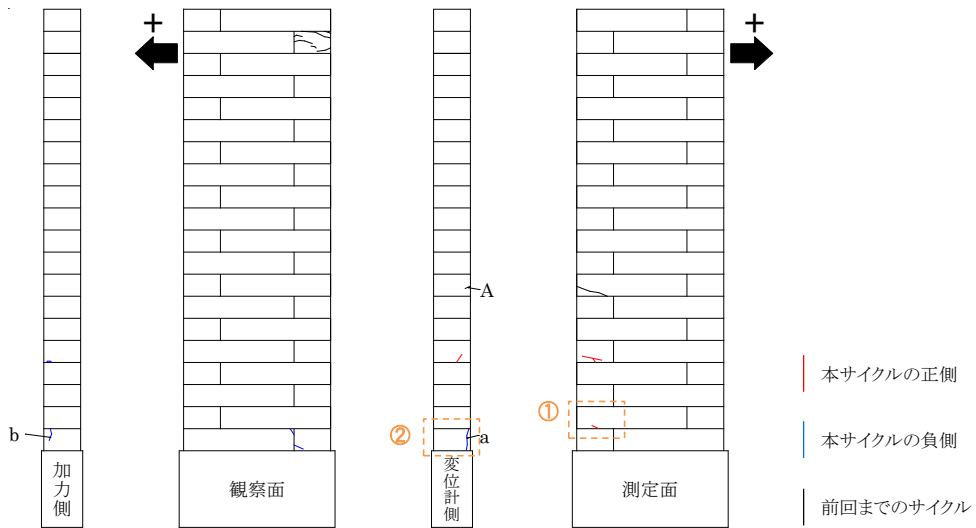


図 3.18-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/150\text{rad}$  サイクル)



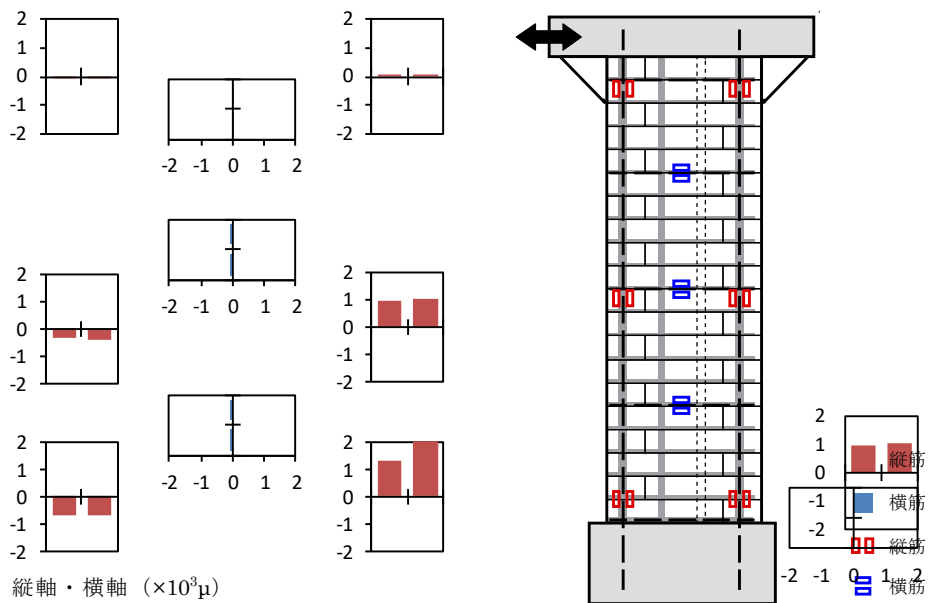
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/150rad)



(e) 写真② (-1/150rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

図 3.18-2 試験結果 (InW-A50-w10・±1/150rad サイクル)

(8)  $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.19 に示す。

正側サイクルでは、 $+1/125\text{rad}$  程度で中段および下段から音が聞こえた。ひび割れは、写真①に示すように斜め方向のひび割れが確認された。また、圧縮側となる加力側側面の下部では縦方向のひび割れが進展していることが確認された。除荷後、水平方向のひび割れは閉じるものの、側面の縦方向のひび割れでは残留ひび割れが確認された。負側のサイクルでは $-1/110\text{rad}$  程度で試験体中央部から音が聞こえた。ひび割れは正側同様に、水平方向、斜め方向のひび割れが確認され、変形側側面では縦方向のひび割れが進展した。

荷重-変形関係をみると  $1/150\text{rad}$  を超えたあたりから剛性が大きく低下し、下段部分の引張側鉄筋が降伏したことが確認されたことから、試験体が曲げ降伏したと判断した。

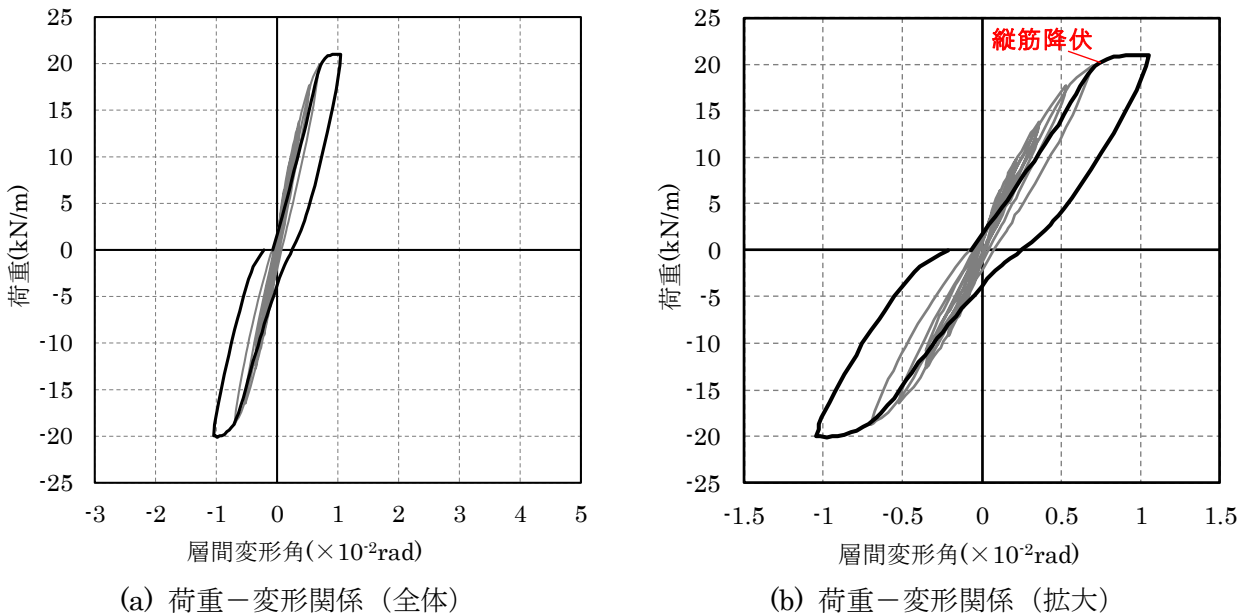
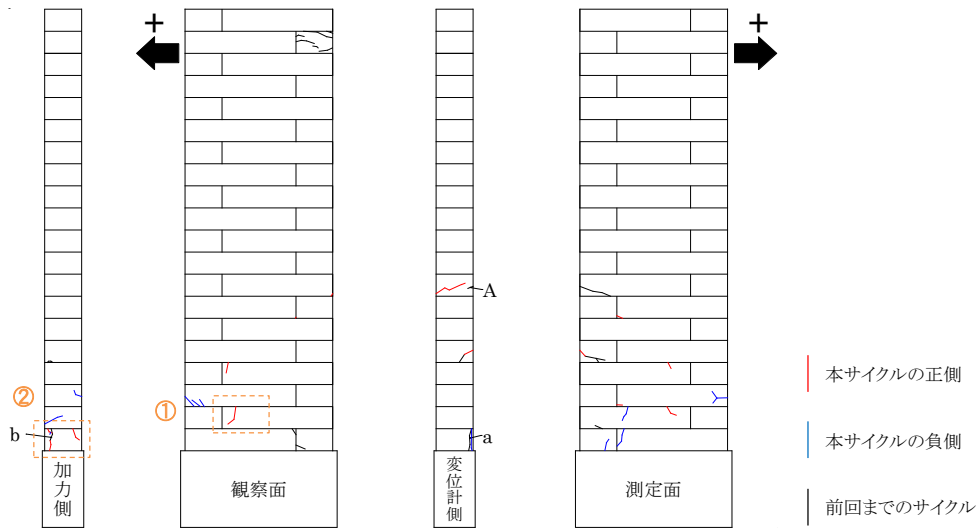


図 3.19-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル)



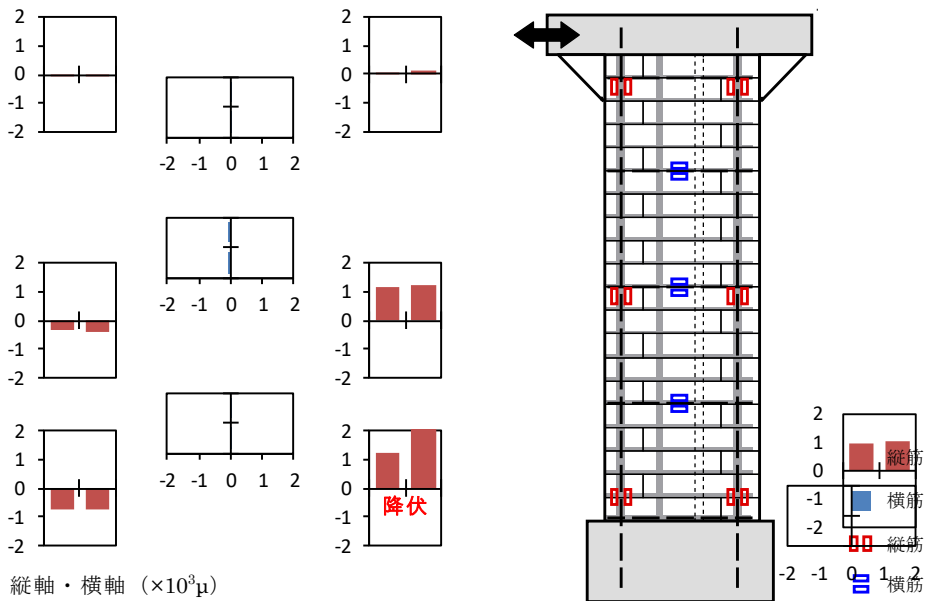
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/100rad)



(e) 写真② (+1/100rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

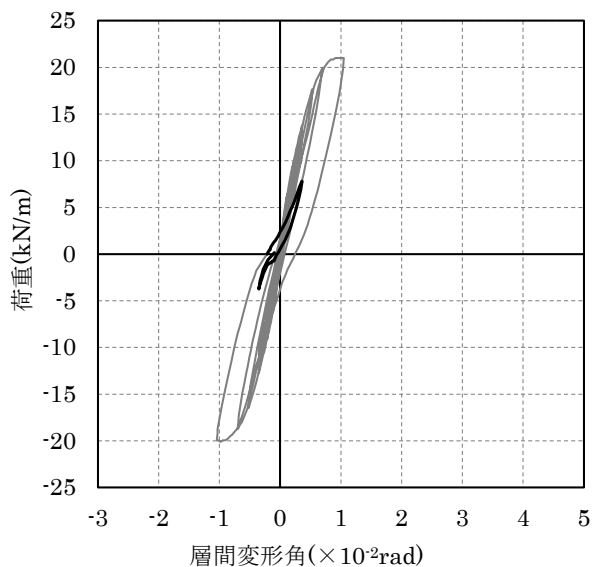
図 3.19-2 試験結果 (InW-A50-w10・±1/100rad サイクル)

(9)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル④

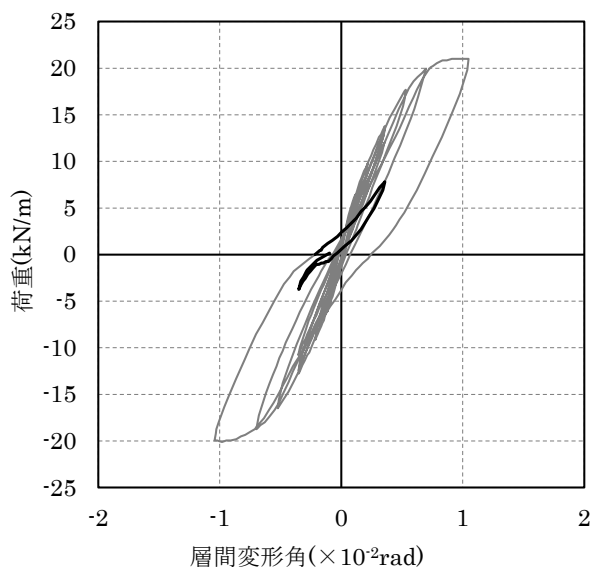
試験結果を図 3.20 に示す。

正側サイクル、負側サイクルともに、ひび割れが進展したことが確認された。

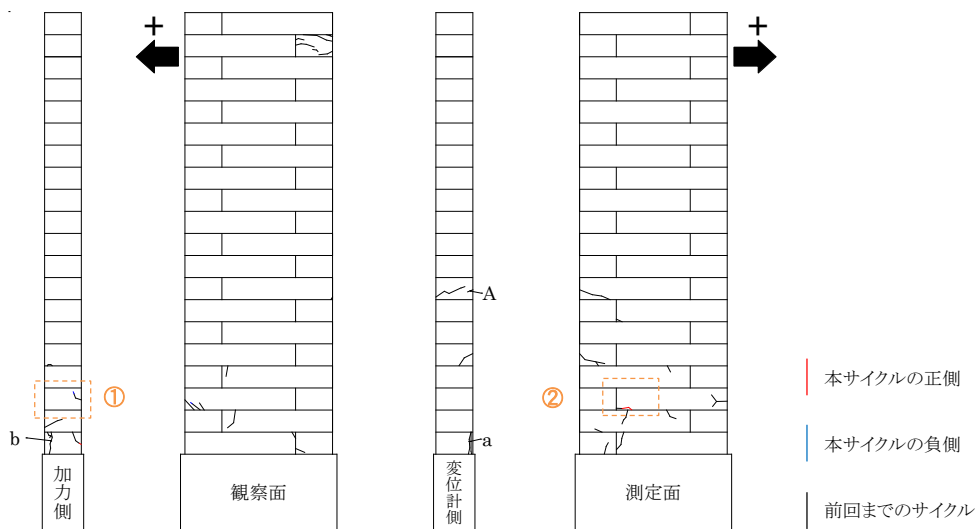
荷重－変形関係をみると、剛性が $\pm 1/300\text{rad}$  サイクルの 3 回目と比較して大きく低下していることが確認された。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

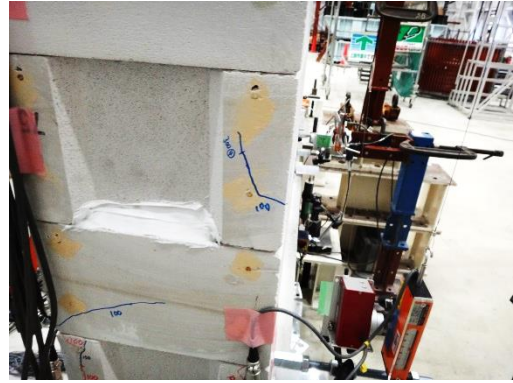


(c) ひび割れ図

図 3.20-1 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル④)



(d) 写真① (+1/300rad)



(e) 写真② (-1/300rad)

図 3.20-2 試験結果 (InW-A50-w10・ $\pm 1/300$ rad サイクル④)

(10) +1/80rad および -1/50rad サイクル

試験結果を図 3.21 に示す。

正側サイクルでは、前サイクルの最大点を志向しながら変形が進行したが+1/80rad 手前で荷重が低下した。+1/80rad 時の観察では、写真①のように圧縮側の加力側側面下部に縦方向のひび割れが多数発生するとともに、写真②のように階段状に1~4段目の目地部分が広がっていることが確認された。

負側のサイクルでは、正側サイクルと同様に-1/80rad 付近で荷重が低下し始めたが、正側加力と比較して荷重の低下が穏やかだったためそのまま加力を続け、-1/50rad まで変形を進行させた。-1/50rad 時には、写真③のように1~3段目の引張側の目地の開きが顕著に観察された。除荷後も変形は0まで戻らずに残留変形が生じ、写真④のように引張側の目地部が開いた状態が確認された。

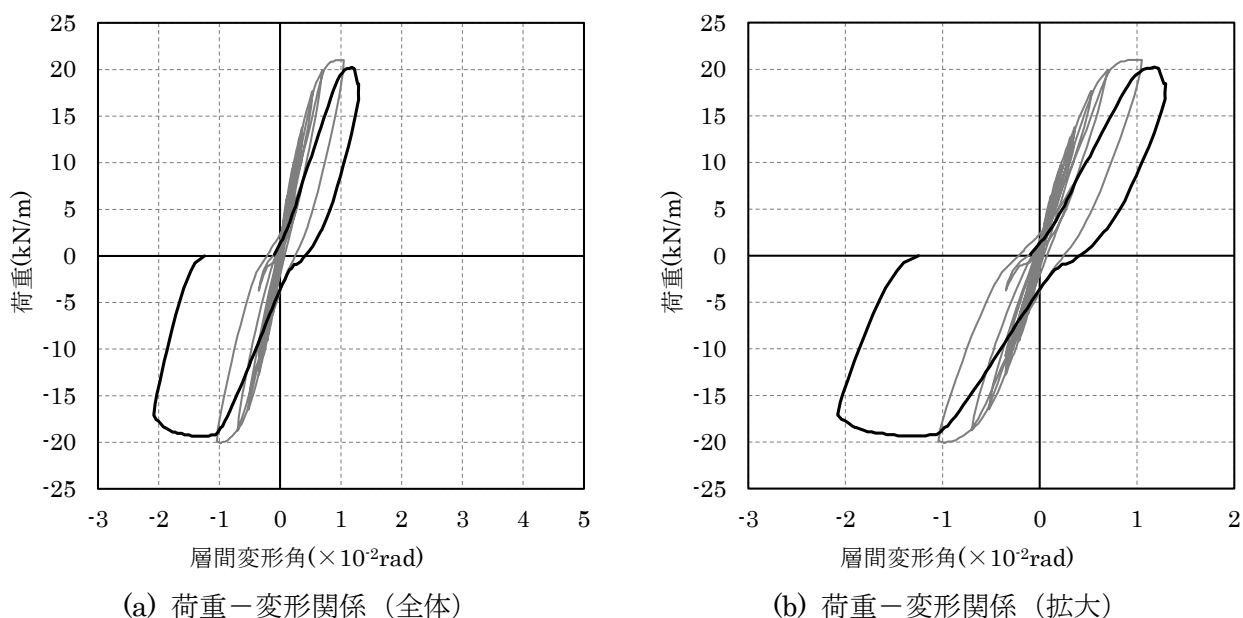
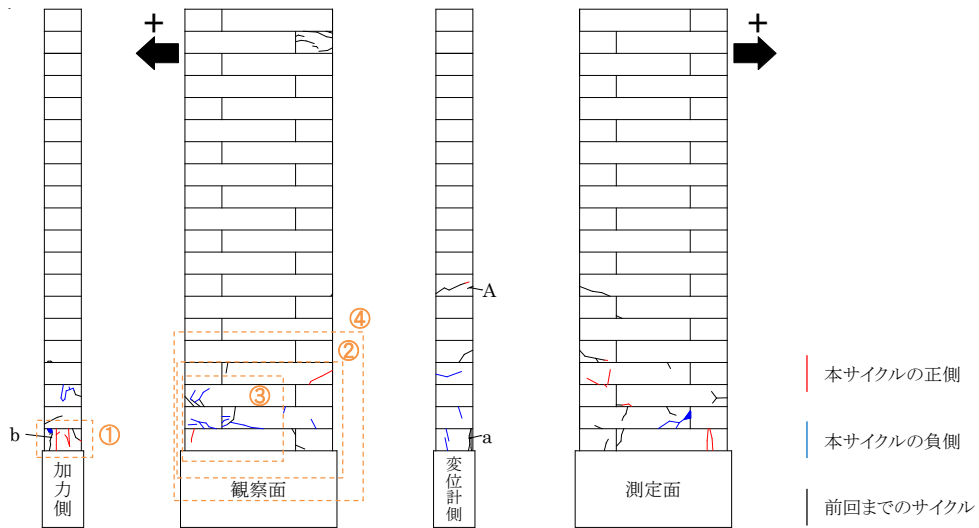


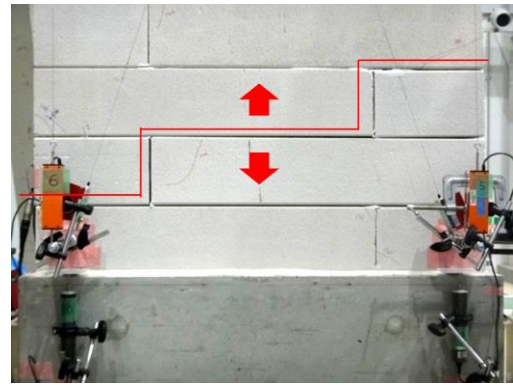
図 3.21-1 試験結果 (InW-A50-w10・+1/80rad および -1/50rad サイクル)



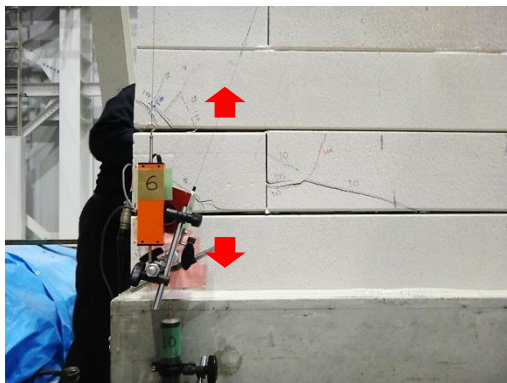
(c) ひび割れ図



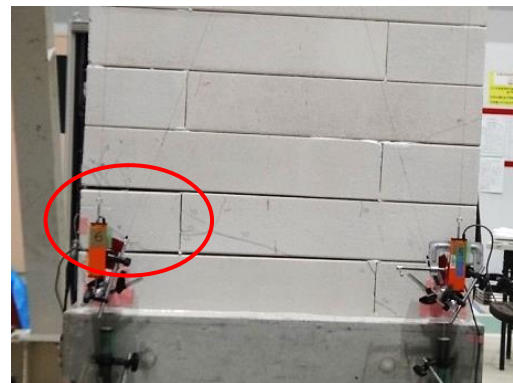
(d) 写真① (+1/80rad)



(e) 写真② (+1/80rad)



(f) 写真③ (-1/50rad)



(g) 写真④ (-1/50rad 除荷後)

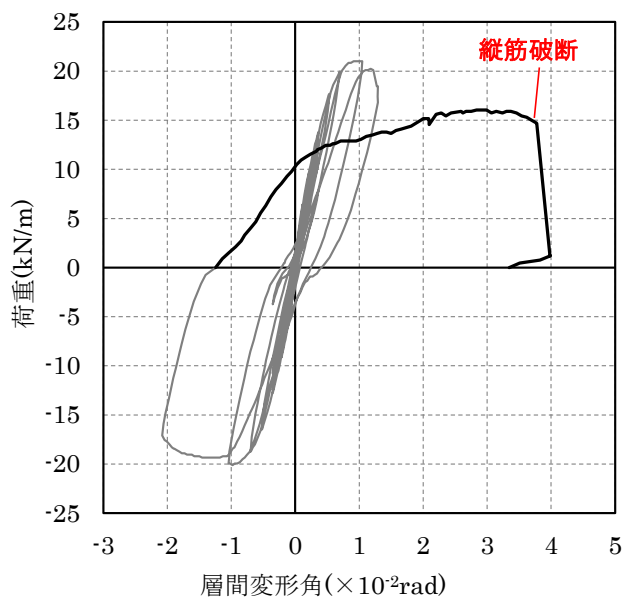
図 3.21-2 試験結果 (InW-A50-w10・+1/80rad および-1/50rad サイクル)



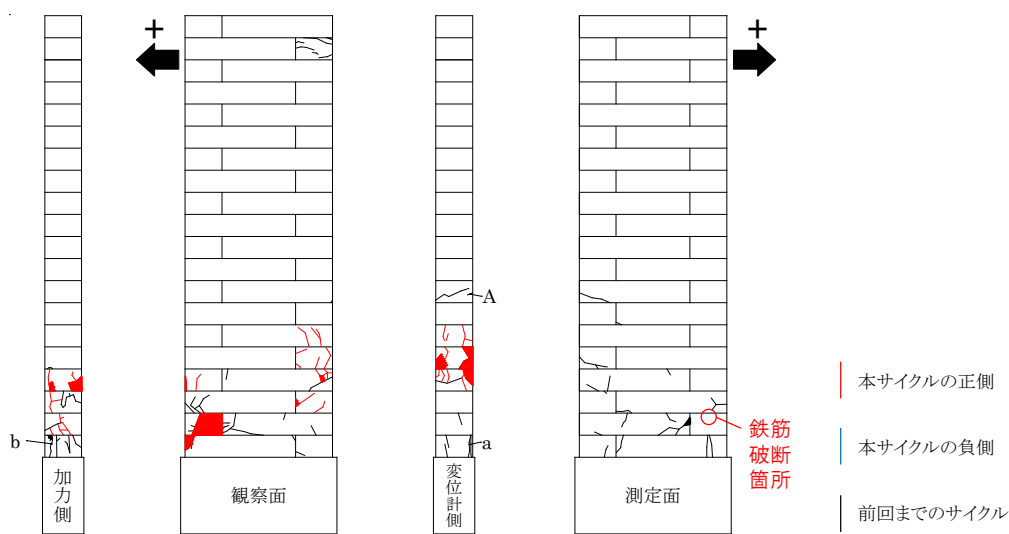
### (11) 最大変形角

試験結果を図 3.22 に示す。

正側単調加力では、12kN/m 程度までは最大点を志向しながら変形が進行したが、その後大きく剛性が低下して変形が進行した。(c)の写真に示すように 1/100rad 付近から引張側下段部分の目地の開きと圧縮側の圧壊が顕著になり始め、1/26rad で引張側鉄筋がネジ部にて破断して荷重が大きく低下したため、終局状態として加力を終了した。引張側鉄筋が破断したこと、圧縮側でブロックの圧壊が確認されたこと、せん断ひび割れの発生がほかの試験体と比較して少ないことから、破壊性状は曲げ破壊と判断した。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) ひび割れ図

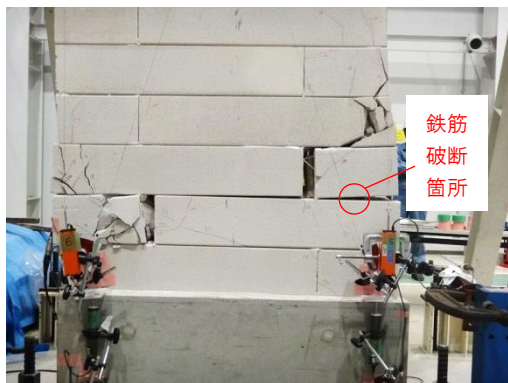
図 3.22-1 試験結果 (InW-A50-w10・最大変形角)



(c) 全景 (1/100rad)



(d) 全景 (最大変形時)



(e) 縦筋破断箇所



(f) 写真① (鉄筋破断の様子)

図 3.22-2 試験結果 (InW-A50-w10・最大変形角)

### 3.3.1.3 InW-A50-w15

#### (1) $\pm 1/1000$ rad サイクル

試験結果を図 3.23 に示す。本試験体では、加力前の初期ひび割れは確認されなかった。

正側サイクル、負側サイクル共に、加力中に音は聞こえたがひび割れ等は確認されず、荷重－変形関係もほぼ直線を示しているため、損傷は小さいと考えられる。

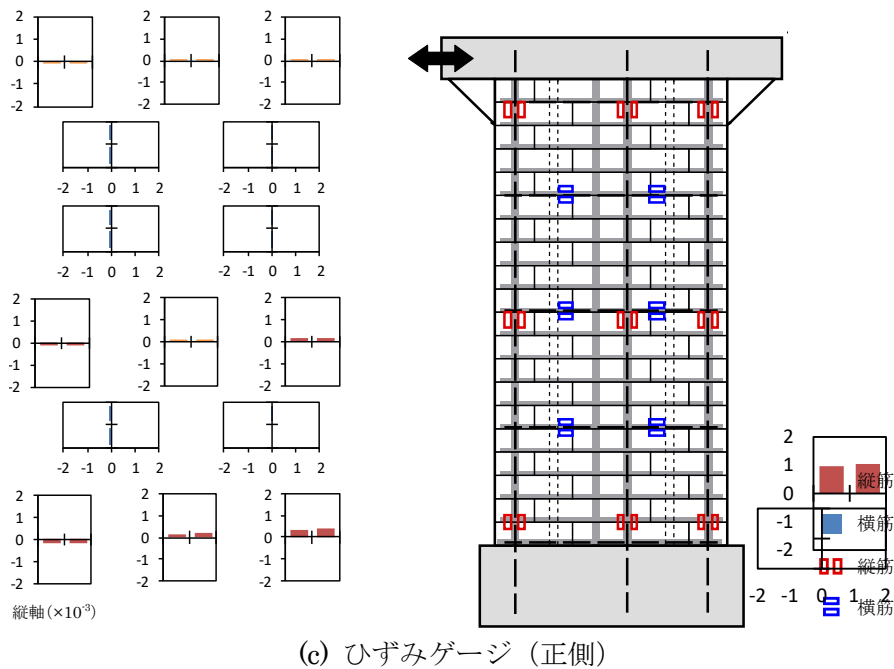
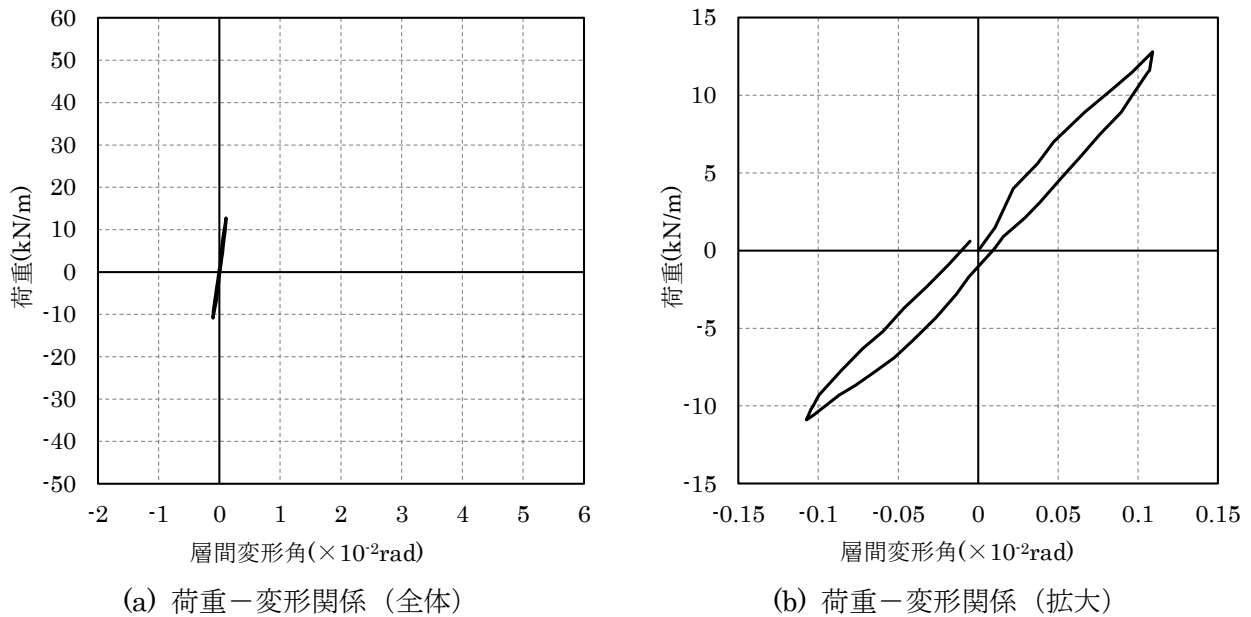
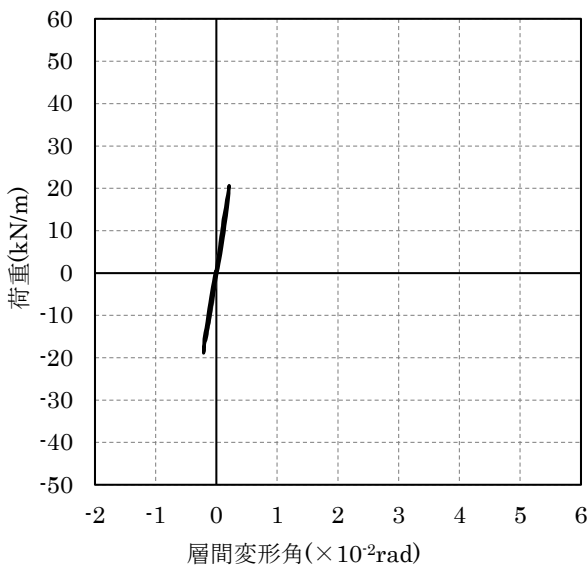


図 3.23 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/1000$ rad サイクル)

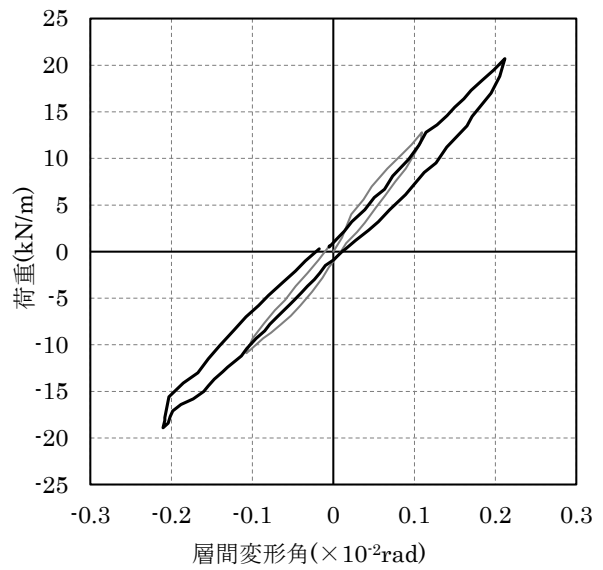
(2)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.24 に示す。

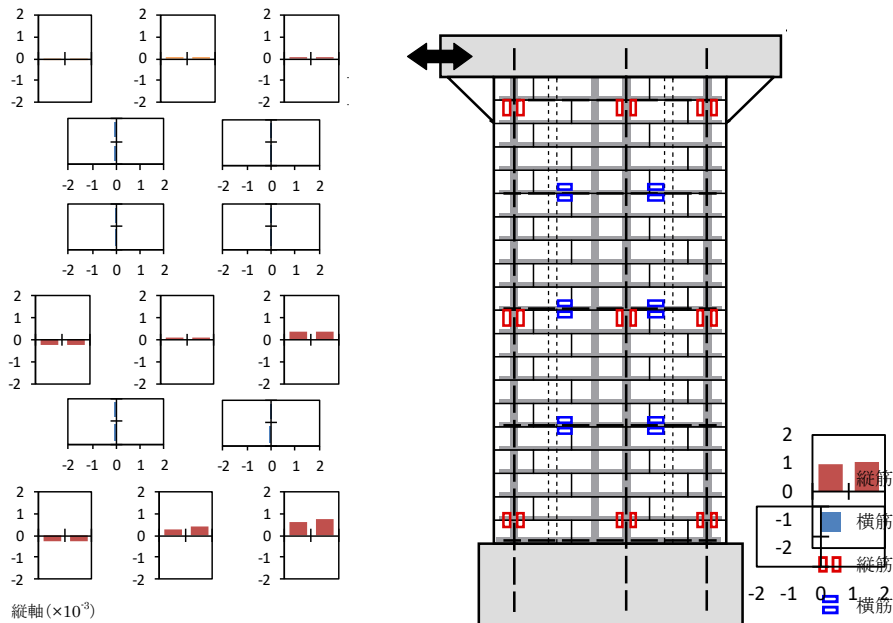
正側サイクル、負側サイクル共に加力中に音は聞こえたが、ひび割れ等は確認されなかった。荷重-変形関係もほぼ直線を示しており、ひずみゲージの最大値も  $765\mu$  と降伏には至っていないため、損傷は小さいと考えられる。ひずみゲージ値は InW-A50-w10 と同様の傾向に片持ち形式の加力状態とみなされるひずみ分布が確認された。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)



(c) ひずみゲージ (正側)

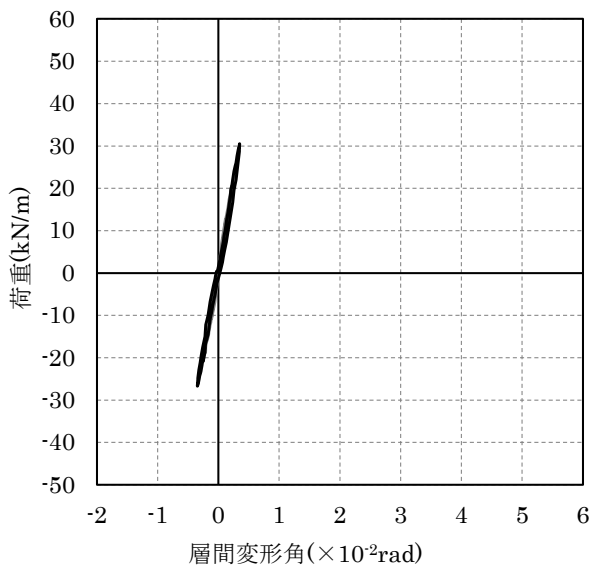
図 3.24 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/500\text{rad}$ )

(3) ±1/300rad サイクル①

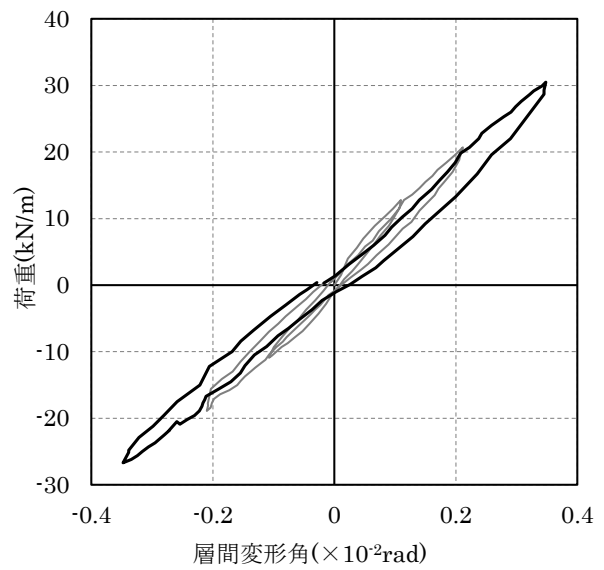
試験結果を図 3.25 に示す。

正側サイクルでは、加力中に音は聞こえたが、ひび割れ等は確認されなかった。負側サイクルでは、 $-1/500\text{rad}$  を超えた程度で水平方向にひび割れが入っていることが目視で確認された。

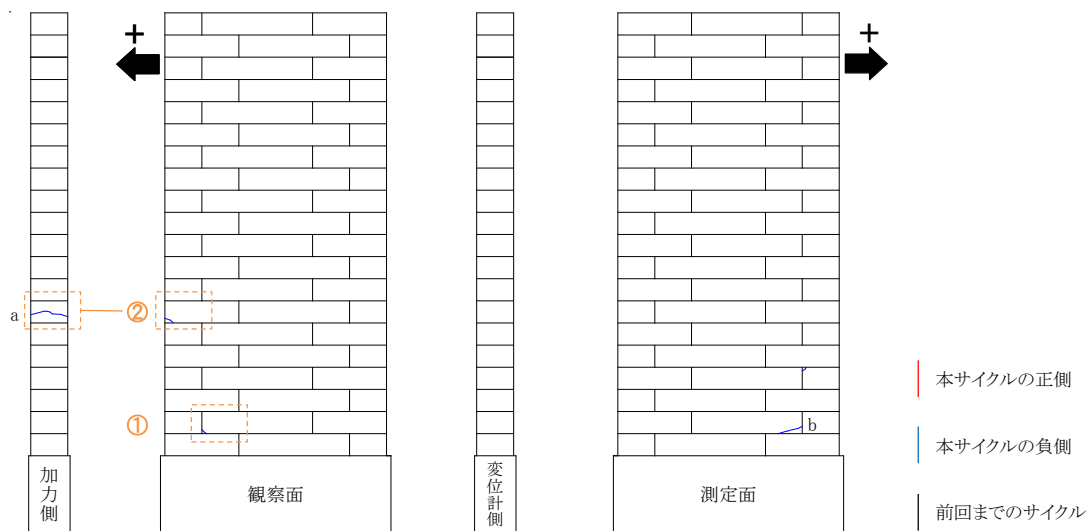
荷重-変形関係はほぼ直線を示しており、ひずみゲージの最大値も  $1245\mu$  とまだ降伏には至っていないため、損傷は小さいと考えられる。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)



(c) ひび割れ図

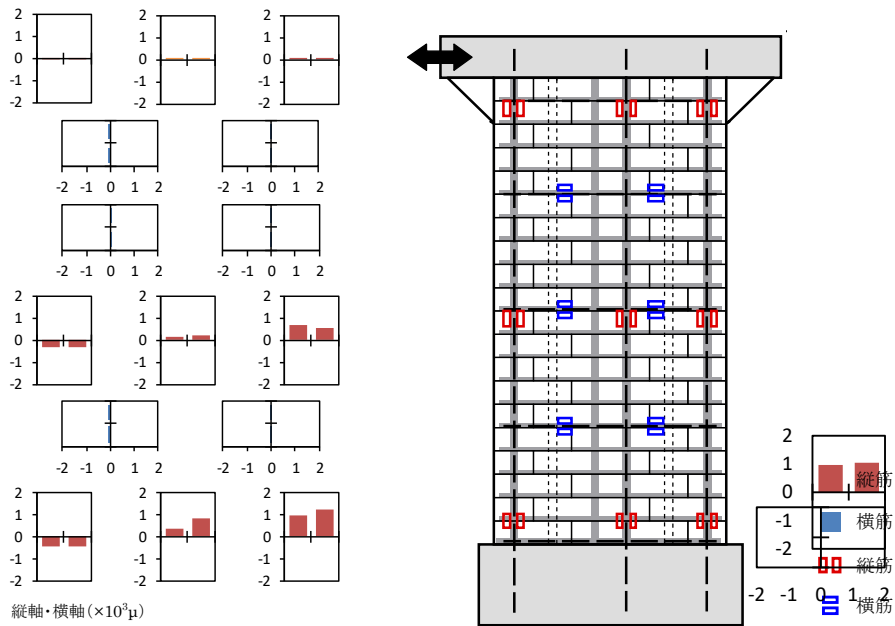
図 3.25-1 試験結果 (InW-A50-w15・±1/300rad サイクル①)



(d) 写真① (-1/300rad)



(e) 写真② (-1/300rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

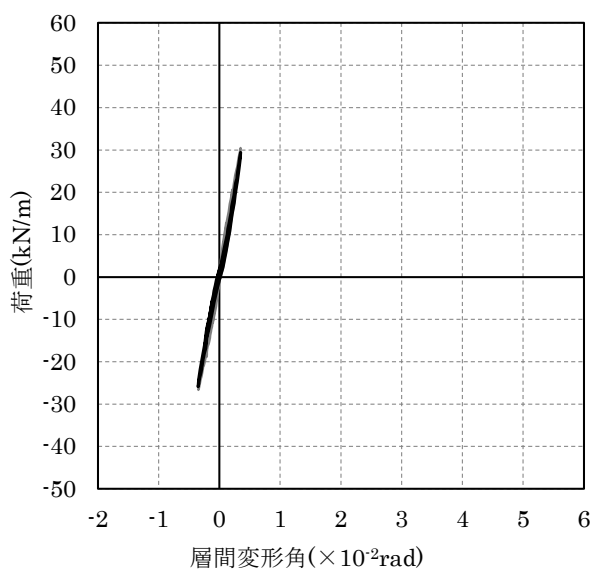
図 3.25-2 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/300$ rad サイクル①)

(4)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル②

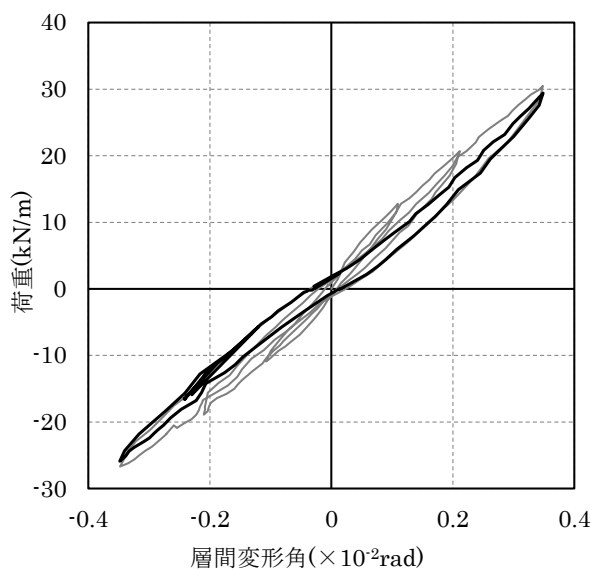
試験結果を図 3.26 に示す。ひずみゲージ値の記載は省略した。

正側サイクルでは、試験体右下に写真①のように斜め方向のひび割れが発生した。除荷後は、ひび割れが閉じることが確認された。負側のサイクルでは、音などは聞こえず、ひび割れも発生しなかった。

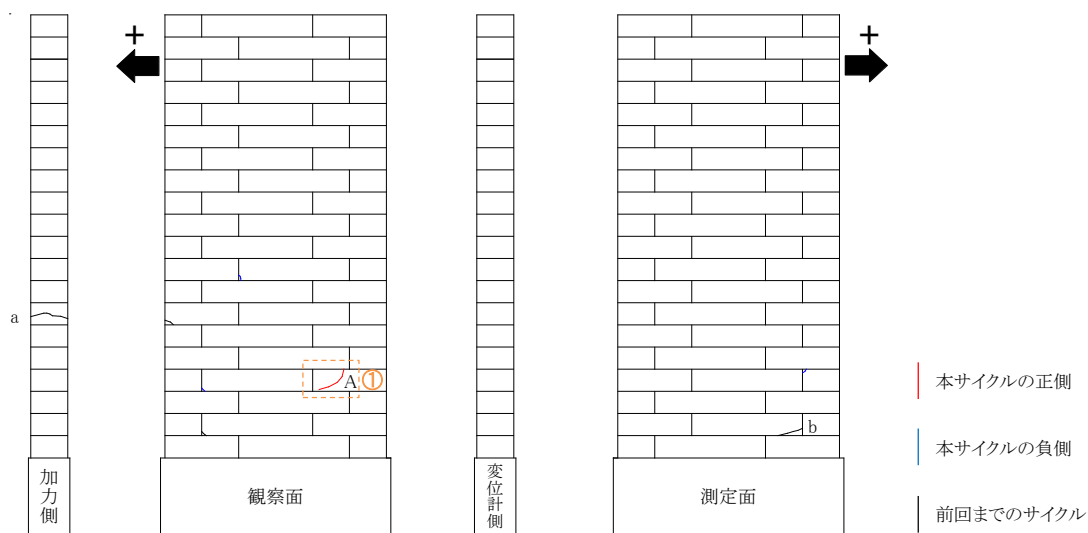
荷重-変形関係は、前サイクルと比較してやや剛性が落ちるものの直線を保っており、損傷は小さいと考えられる。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)



(c) ひび割れ図

図 3.26-1 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル②)



(d) 写真① (+1/100rad)

図 3.26-2 試験結果 (InW-A50-w15・±1/300rad サイクル②)

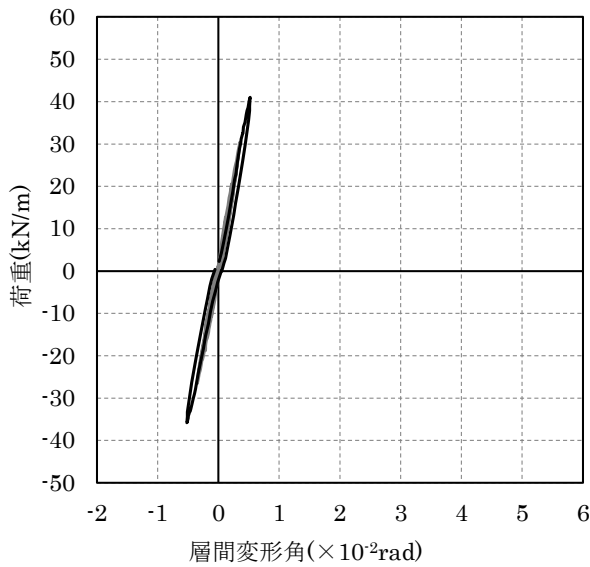


(5)  $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル

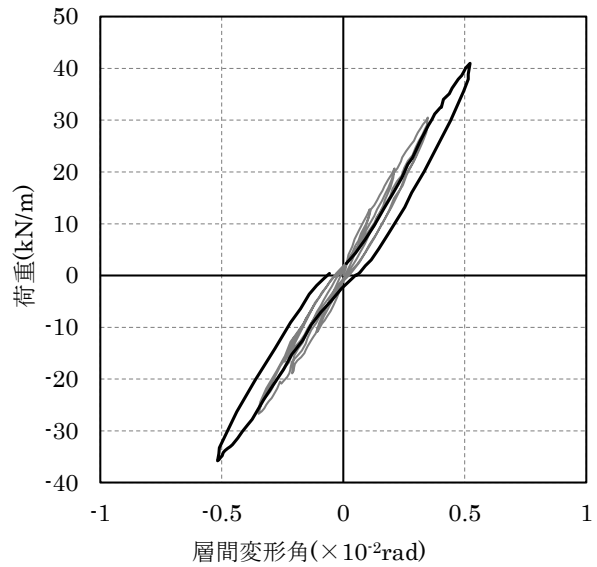
試験結果を図 3.27 に示す。

正側サイクル、負側サイクルともに、水平方向と斜め方向のひび割れが試験体中央から下部にかけて確認された。

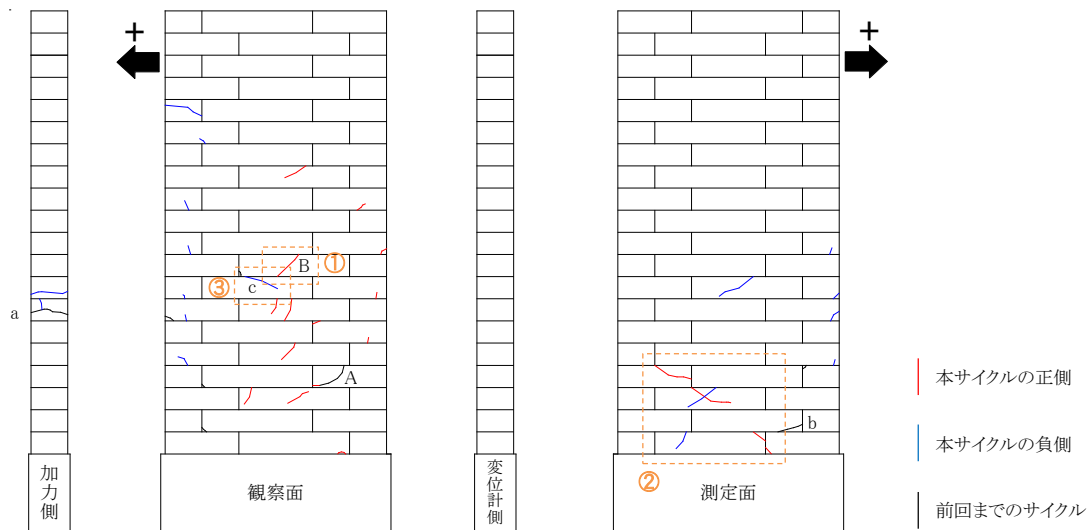
ひずみゲージの最大値は  $1637\mu$  と降伏には至っていないが、荷重－変形関係はやや膨らみを持った履歴が確認された。せん断ひび割れも試験体全体に広がってきたことから、損傷が生じ始めたものと考えられる。



(a) 荷重－変形関係 (全体)

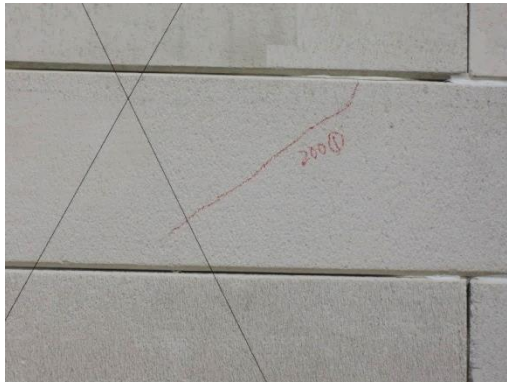


(b) 荷重－変形関係 (拡大)

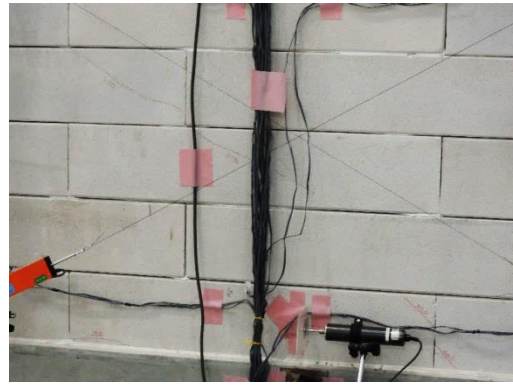


(c) ひび割れ図

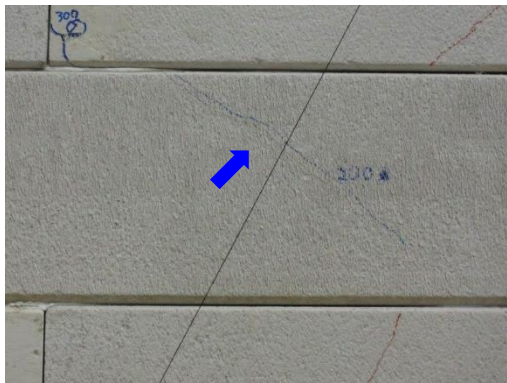
図 3.27-1 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル)



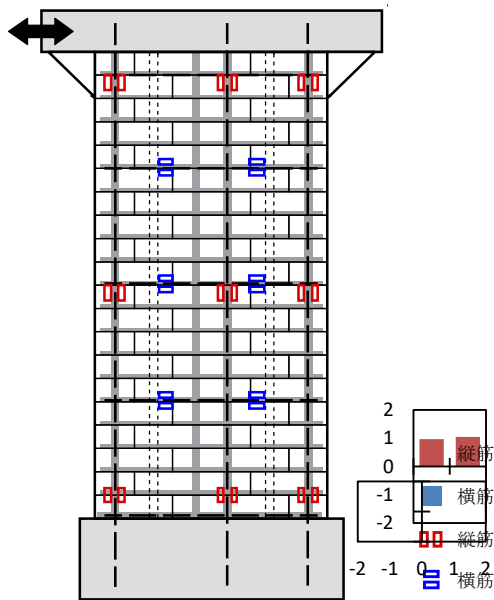
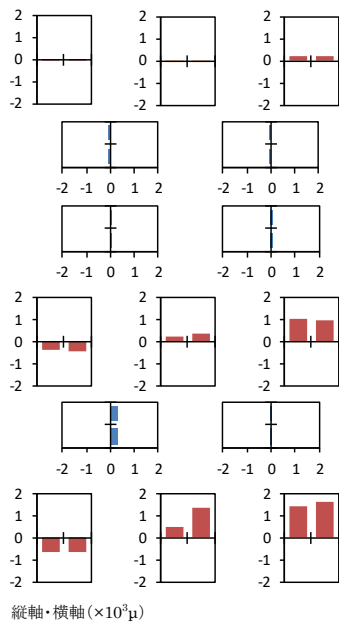
(d) 写真① (+1/200rad)



(e) 写真② (+1/100rad)



(f) 写真③ (-1/200rad)



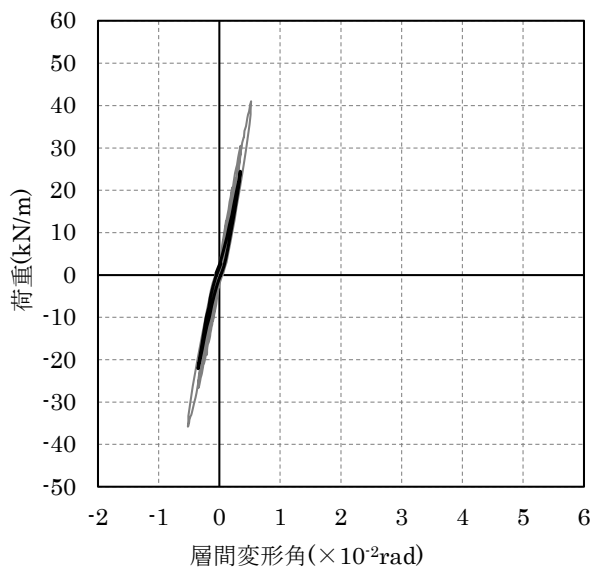
(g) ひずみゲージ (正側)

図 3.27-2 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/200$ rad サイクル)

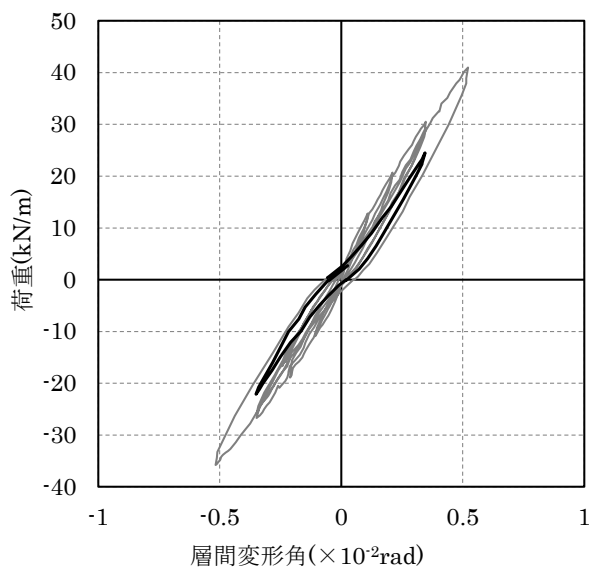
(6)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル③

試験結果を図 3.28 に示す。ひずみゲージ値は省略した。

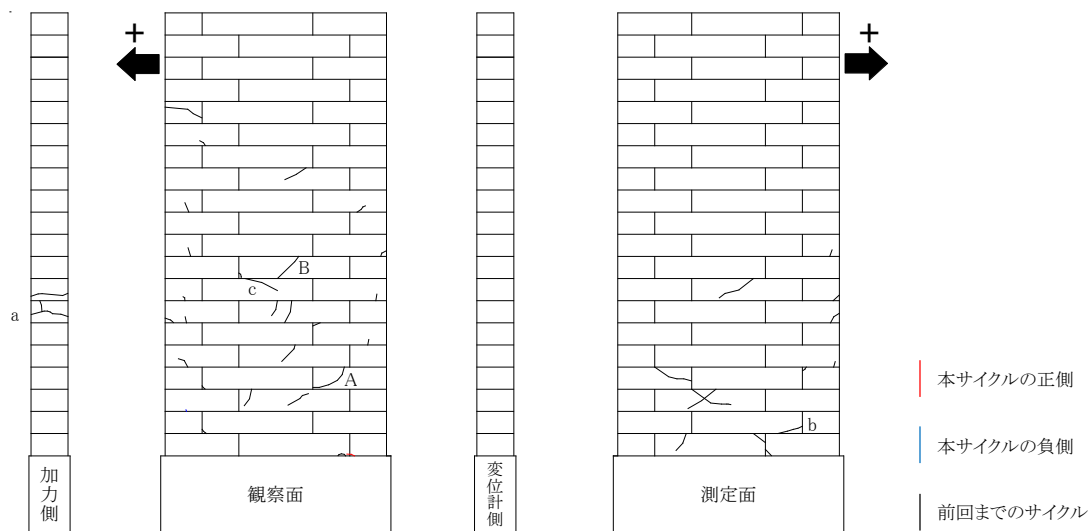
正側サイクル、負側サイクルともにわずかにひび割れの発生や伸展や確認された。荷重－変形関係をみると、2 回目の $\pm 1/300\text{rad}$  サイクルと比較してやや剛性が低下していることが確認された。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) ひび割れ図

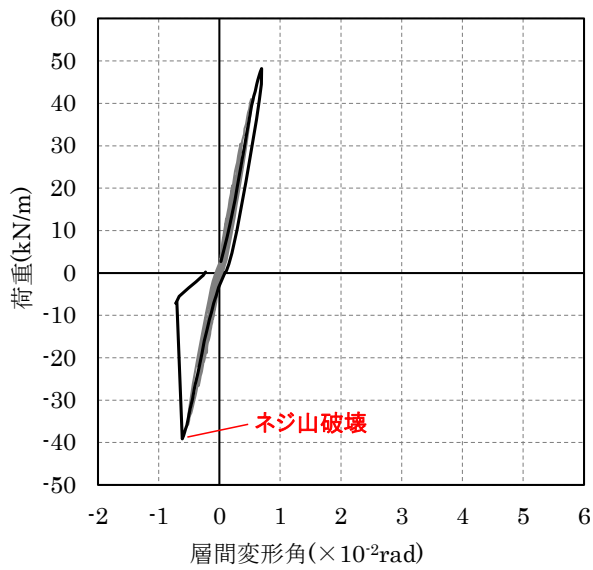
図 3.28 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル③)

## (7) $\pm 1/150\text{rad}$ サイクル

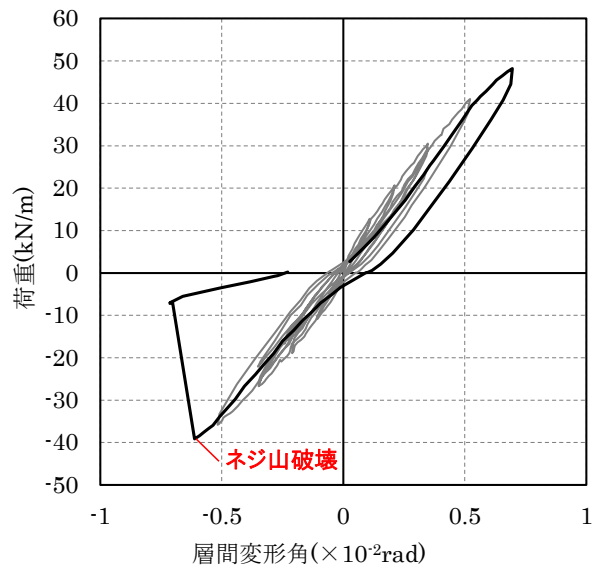
試験結果を図 3.29 に示す。

正側サイクルでは $+1/200\text{rad}$ 、 $1/170\text{rad}$  程度で音が確認された。ひび割れは、写真①に示すように圧縮側となる加力側側面の縦方向のひび割れや、写真②に示すように主に斜め方向のひび割れが多数確認された。除荷後、ひび割れ幅はゼロに戻らず、剛性は  $1/200\text{rad}$  を超えたあたりからやや低下し始め、ひずみゲージの最大値も  $1856\mu$  と降伏点に近い値となった。

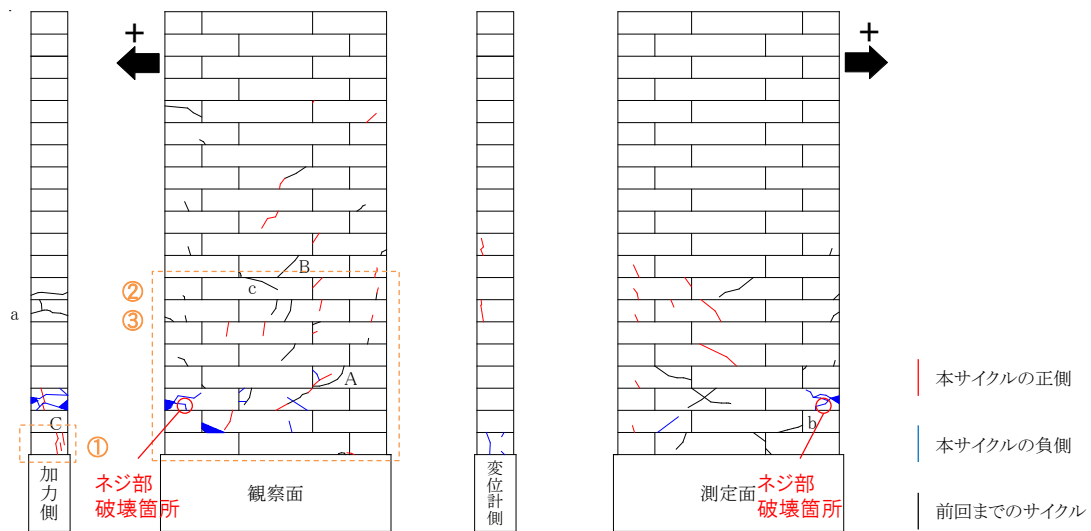
負側のサイクルでは、 $-1/200\text{rad}$  を超えたあたりから試験体全体で音が確認された後、 $-1/170\text{rad}$  付近で鉄筋が破壊するような大きな音が確認され、荷重が急激に低下して変形が進行し、写真③のようにひび割れが発生した。試験後に解体して確認したところ、引張側鉄筋の接合部で写真④のように端部から  $15\text{mm}$  程度の範囲のネジ山がせん断破壊していることが確認された。第 2 章で行った M22 の縦筋を高ナットに  $15\text{mm}$  接合させたときの引張試験 (M22C15-400-T-InW シリーズ) では、本試験体と同様にねじ山せん断破壊が確認されたため、本試験体では施工不良によるねじ山不足によりねじ山せん断破壊が生じたものと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）

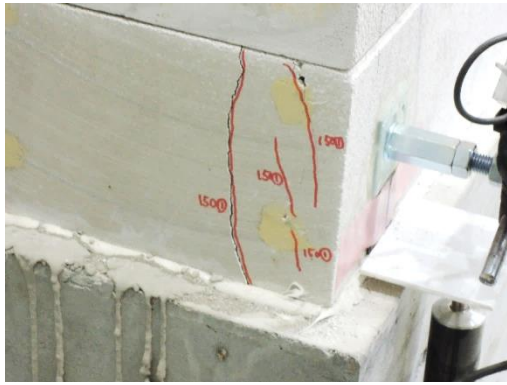


(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) ひび割れ図

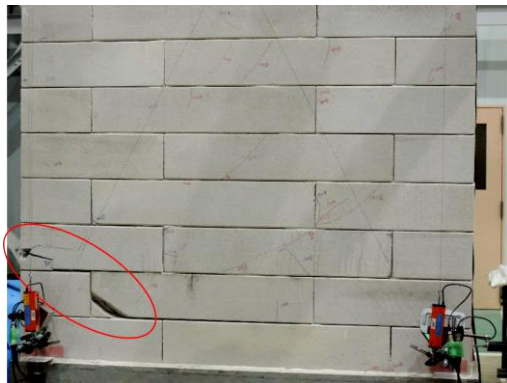
図 3.29-1 試験結果 (InW-A50-w15・±1/150rad サイクル)



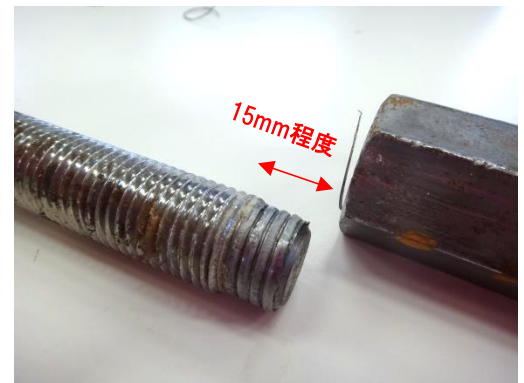
(d) 写真① (+1/150rad)



(e) 写真② (+1/150rad)



(f) 写真③ (-1/150rad)



(g) 写真④ (ネジ山破壊部)

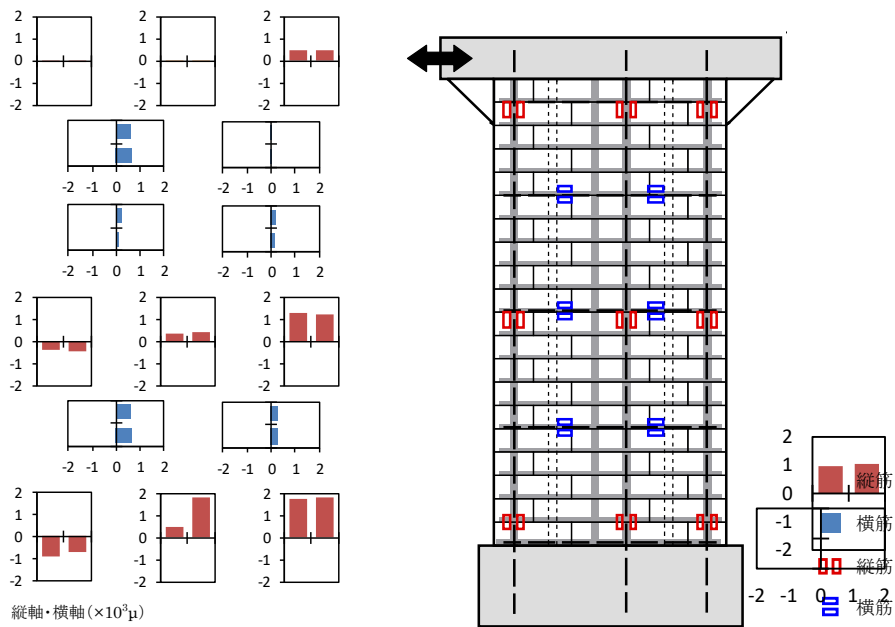


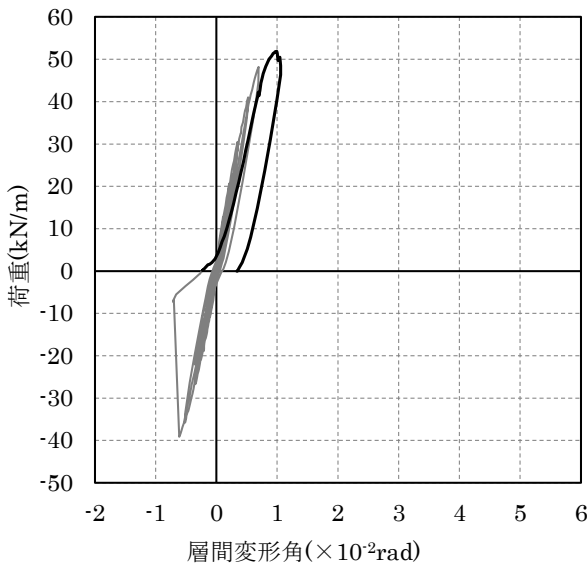
図 3.29-2 試験結果 (InW-A50-w15・ $\pm 1/150$ rad サイクル)

(8) +1/100rad サイクル

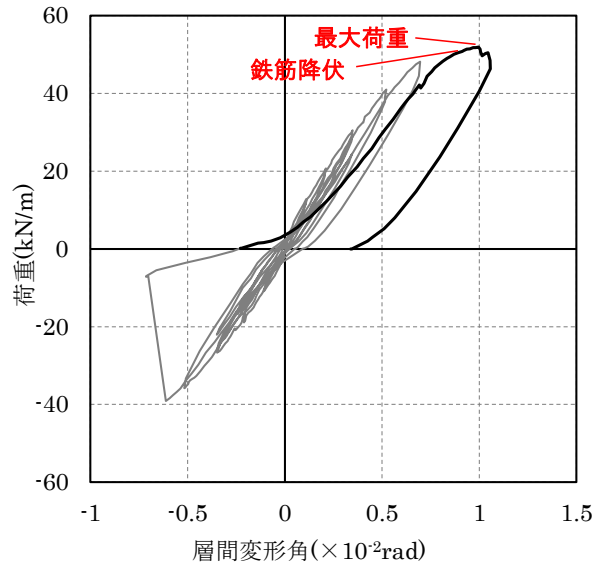
試験結果を図 3.30 に示す。

負側のサイクルで縦筋が破壊したため、1/100rad のサイクルは正側のみ行った。+1/200rad、+1/170rad 付近でひび割れ音が発生し、試験体中央から下段部分に新たなひび割れが発生して除荷後もひび割れは閉じなかった。ひずみゲージ値をみると、引張側鉄筋の最下段で鉄筋の降伏が確認された。

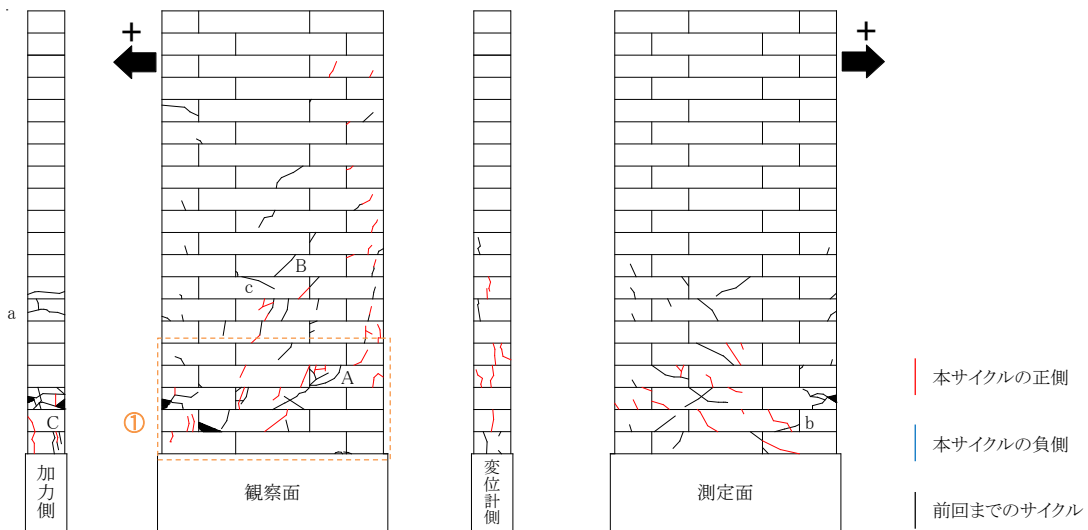
荷重-変形関係をみると+1/150rad を超えたあたりから剛性が低下し始め、1/110rad で引張側鉄筋が降伏し、直後の+1/100rad で最大荷重を記録した。除荷後は変形が戻らず、残留変形が生じた。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)

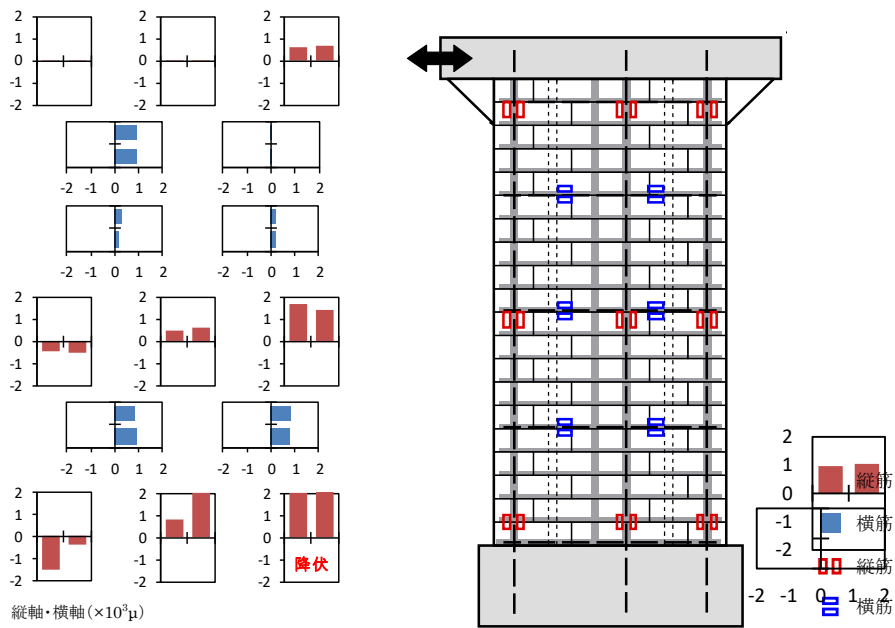


(c) ひび割れ図

図 3.30-1 試験結果 (InW-A50-w15・+1/100rad サイクル)



(d) 写真① (+1/100rad)



(e) ひずみゲージ (正側)

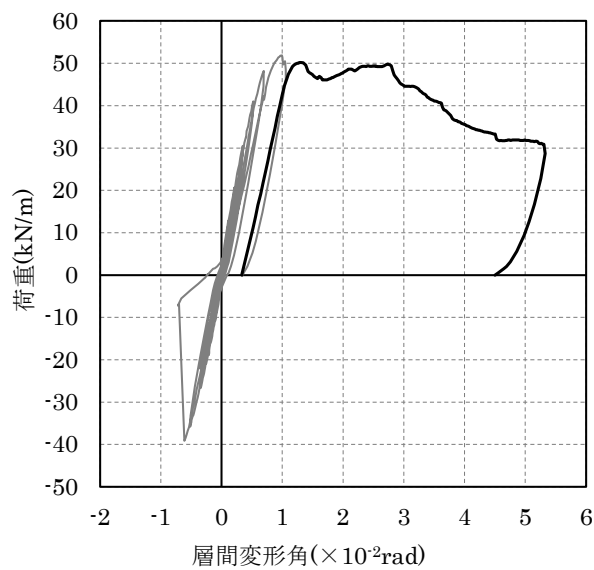
図 3.30-2 試験結果 (InW-A50-w15・+1/100rad サイクル)



(9) 最大変形角

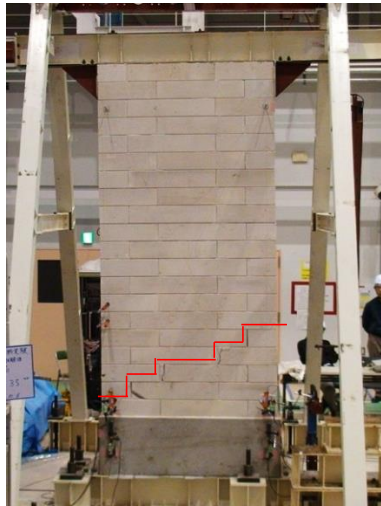
試験結果を図 3.31 に示す。

+1/100rad から除荷後、正側にて単調載荷を行った。加力後は剛性を保ったまま荷重が上昇するが、1/80rad 程度から剛性が低下し、最大荷重をほぼ保ちながら変形が進行した。1/80rad を超えたあたりから写真①に示すように試験体下部の目地部でずれが生じ始め、1/40rad 程度からは目地部のずれが拡大しながら徐々に荷重が低下し、最大荷重の 70%程度まで荷重が低下した 1/19rad で加力を終了した。破壊性状は、曲げ降伏直後に最大荷重を迎え、その後の荷重上昇が小さく試験体下部にて斜め方向に目地部のずれが生じたため、曲げ降伏後のせん断破壊と判断した。



(a) 荷重－変形関係（全体）

図 3.31-1 試験結果 (InW-A50-w15・最大変形角)



(b) 写真① (+1/72rad)



(c) 写真② (+1/40rad)



(d) 写真③ (+1/25rad)



(e) 写真④ (最大変形角+1/19rad)

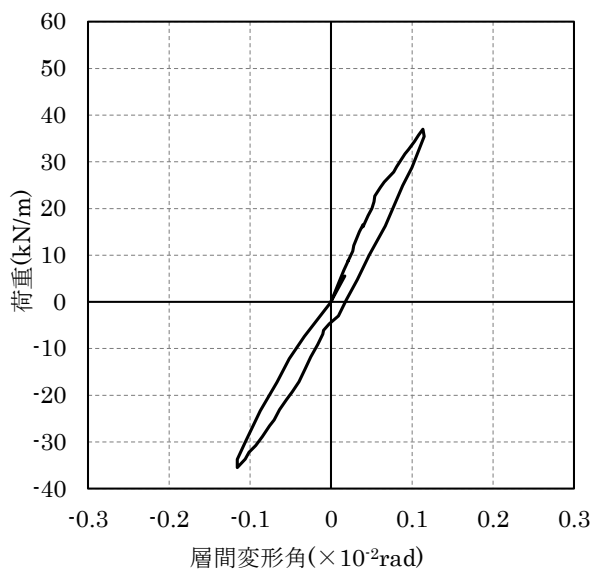
図 3.31-2 試験結果 (InW-A50-w15・最大変形角)

### 3.3.1.4 InW-A50-w45

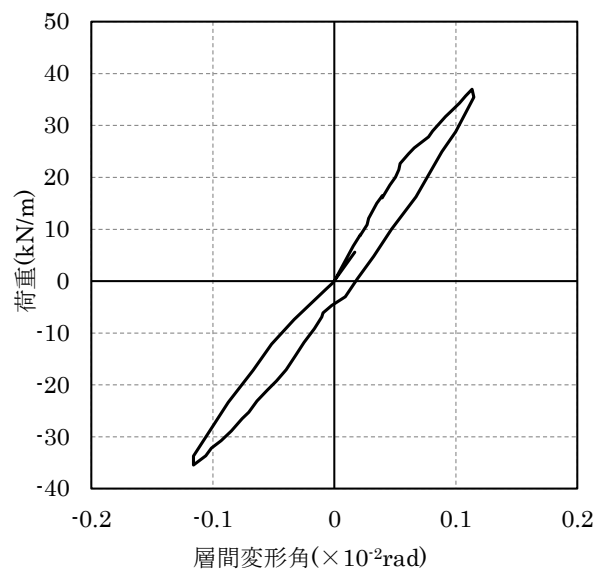
#### (1) $\pm 1/1000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.32 に示す。

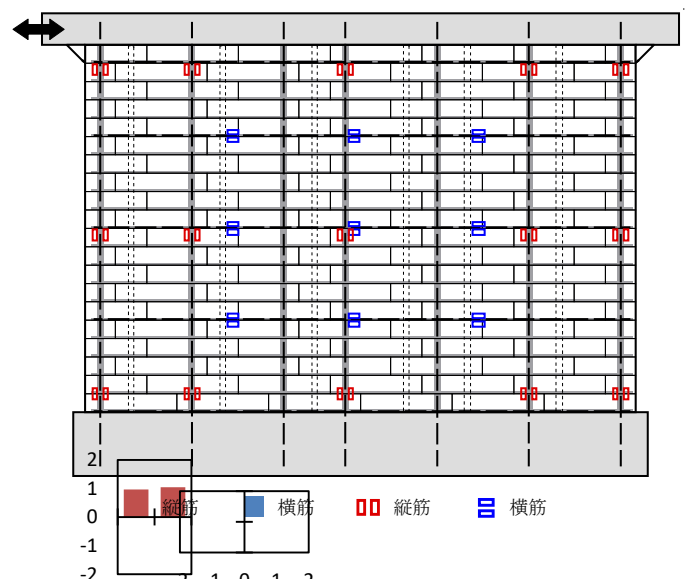
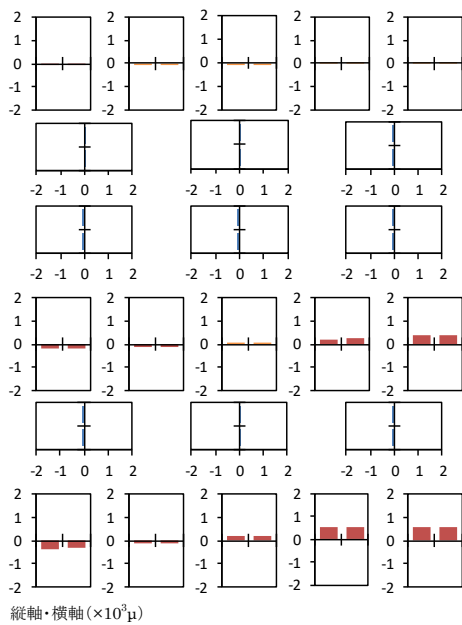
正側サイクル、負側サイクル共に加力中に音は聞こえたが、ひび割れ等は確認されなかった。荷重－変形関係もほぼ直線を示しており、ひずみゲージの最大値も  $593\mu$  のため、損傷は小さいと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

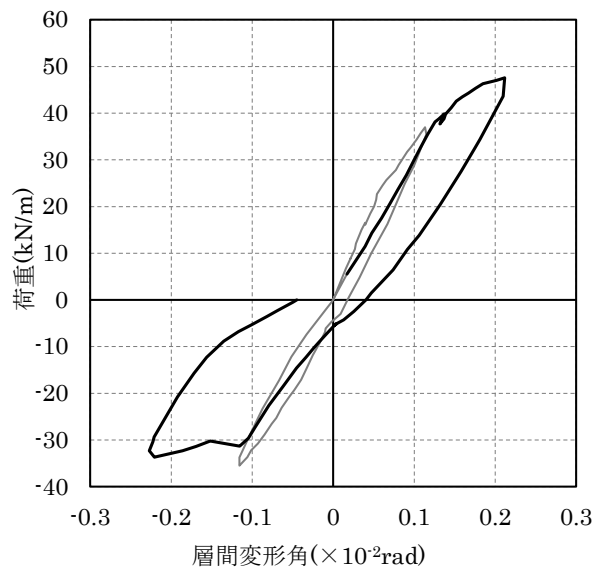


(c) ひずみゲージ（正側）

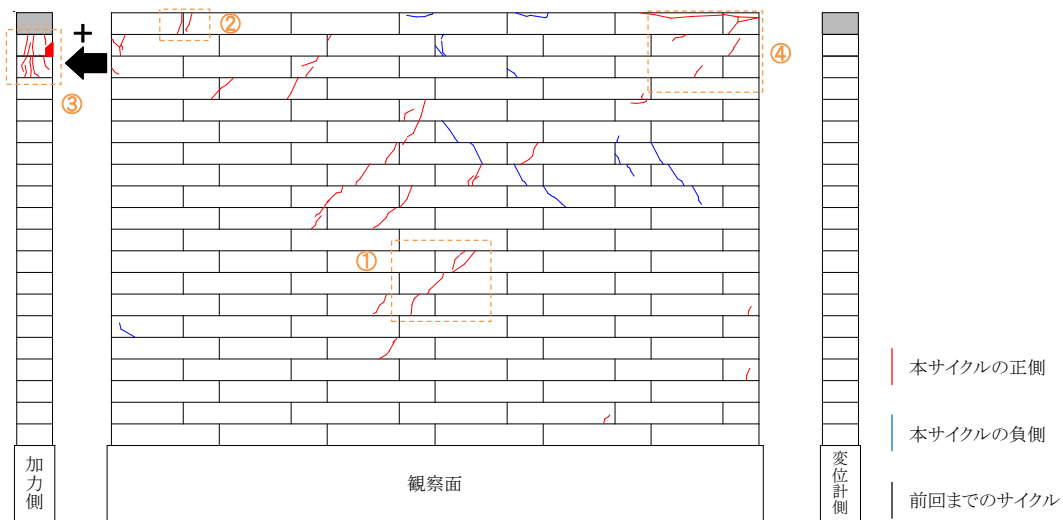
図 3.32-1 試験結果 (InW-A50-w45・ $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル)

(2) ±1/500rad サイクル①

試験結果を図 3.33 に示す。正側サイクル、負側サイクル共に加力側脚部と壁上段から音が聞こえた。ひび割れは、観察面では試験体中央部に斜め方向のひび割れ（写真①）が、頂部では加力梁と試験体のずれ（写真②）と共に加力側側面に縦方向のひび割れ（写真③）が、変位計側側面では試験体頂部の加力用の拘束治具によりブロックが圧壊する様子（写真④）が確認された。荷重－変形関係をみると正側サイクルの+1/1000radを超えたあたりから剛性が低下し、負側サイクルの-1/1000rad程度から荷重が上昇しなかった。試験体頂部と鉄骨加力梁との接合が十分でなかったため側面の加力用の拘束治具による支圧力で水平力が主に伝達され、ブロックの圧壊により荷重が上昇しなくなったものと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) ひび割れ図

図 3.33-1 試験結果 (InW-A50-w45・±1/500rad サイクル①)



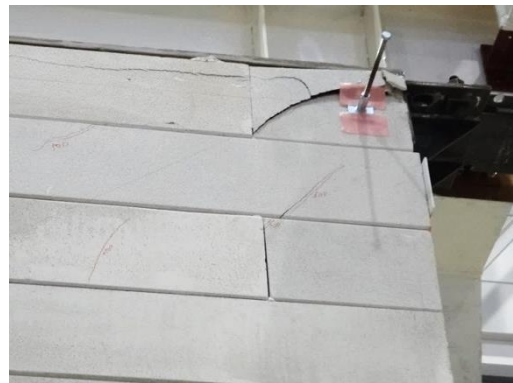
(c) 写真① (+1/500rad①・斜めひび割れ)



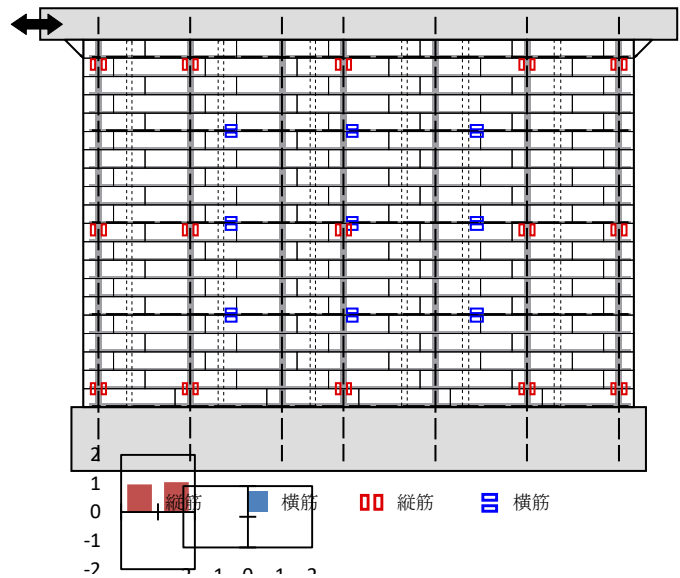
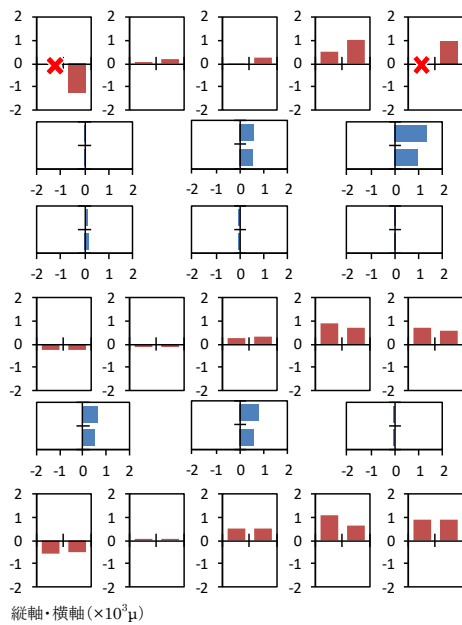
(d) 写真② (+1/500rad①・頂部ずれ)



(e) 写真③ (+1/500rad①・加力側)



(f) 写真④ (+1/500rad①・測定側)



(g) ひずみゲージ (正側)

図 3.33-2 試験結果 (InW-A50-w45・ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル①)

### (3) $\pm 1/500\text{rad}$ サイクル②および最終サイクル

試験結果を図 3.34 に示す。

$\pm 1/500\text{rad}$  の 2 回目のサイクルでは、主に最上段の加力用の拘束治具まわりの損傷が大きくなった。その後の加力では、損傷がさらに拡大し、上から 1 段目と 2 段目の目地におけるずれが顕著となったため、加力を終了させた。破壊性状は、試験体頂部の鉄骨加力梁の接合不足による壁頂部のすべり破壊と判断した。

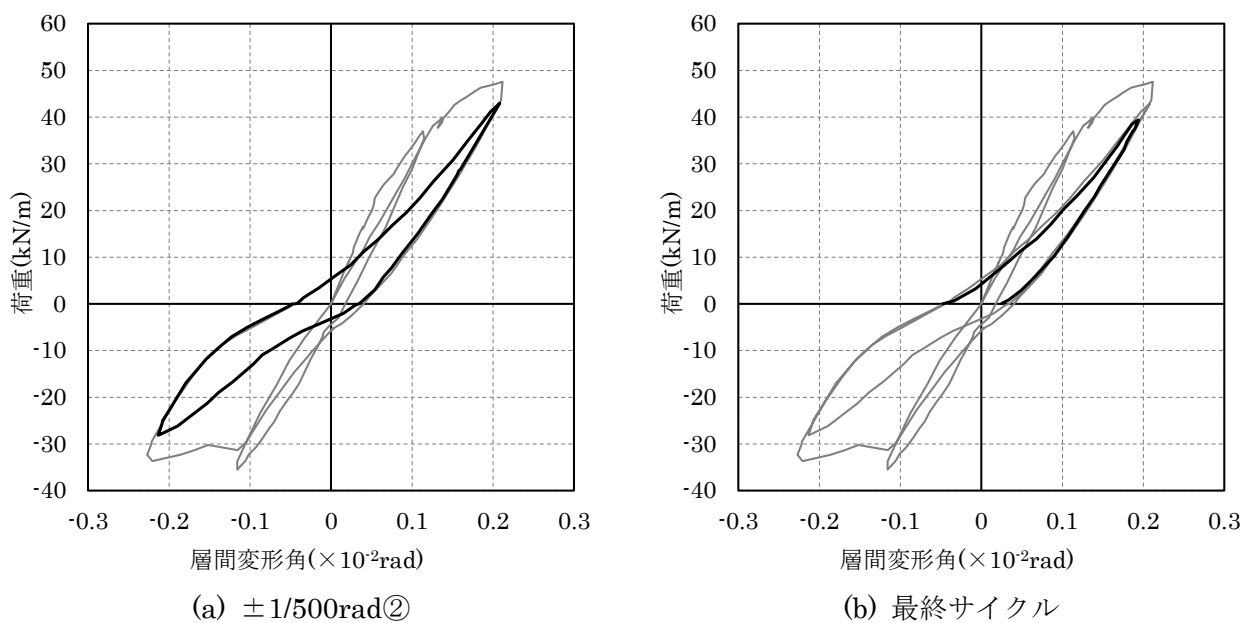
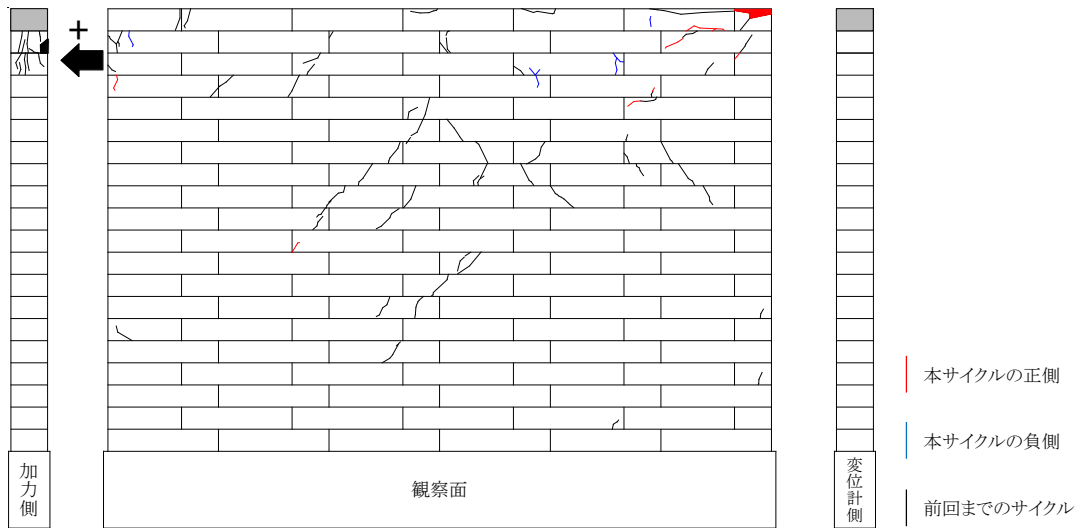
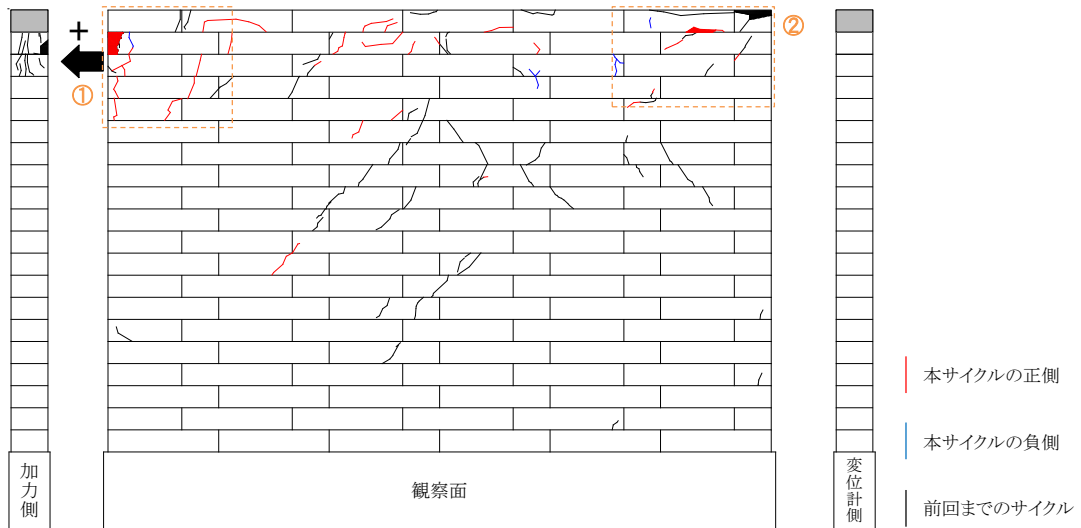


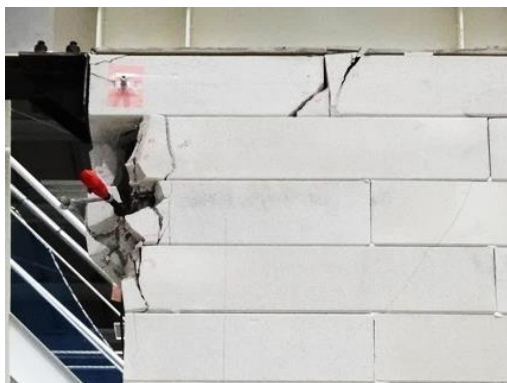
図 3.34-1 試験結果 (InW-A50-w45・ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル②および最終サイクル)



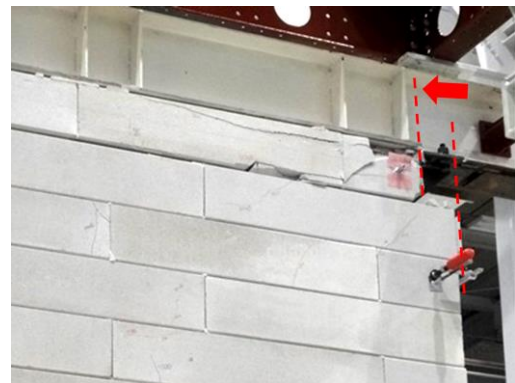
(c) ひび割れ図 (±1/500rad②)



(d) ひび割れ図 (最終サイクル)



(e) 写真① (最終サイクル)



(f) 写真② (最終サイクル)

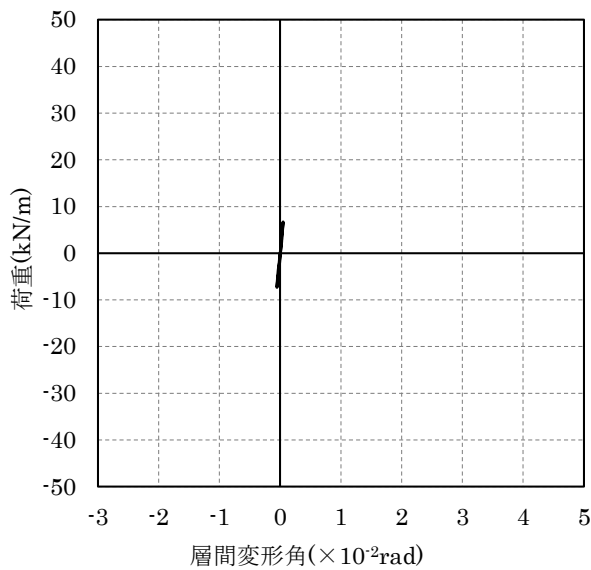
図 3.34-2 試験結果 (InW-A50-w45・±1/500rad サイクル②および最終サイクル)

### 3.3.1.5 InW-A37-w15

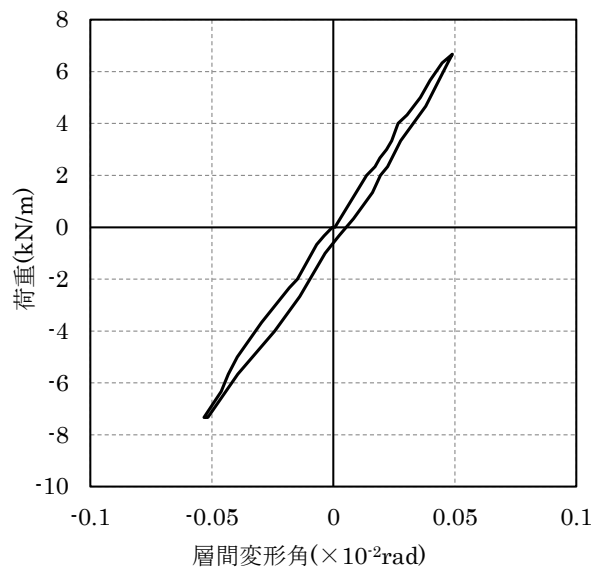
#### (1) $\pm 1/2000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.35 に示す。

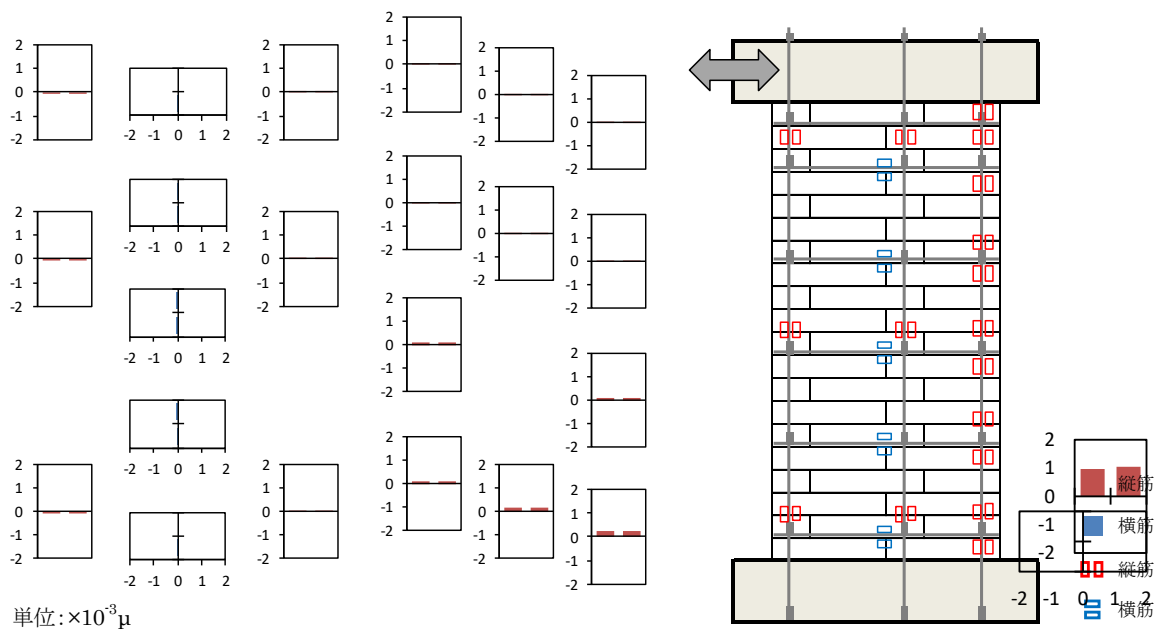
正負サイクル共にひび割れ等の変化は見られず、縦筋のひずみゲージの最大値も  $250\mu$  と小さく、荷重－変形関係も直線であることから、損傷は生じなかったと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) ひずみゲージ（正側）

図 3.35 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)



## (2) $\pm 1/1000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.36 に示す。

正側サイクルでは、ひび割れ音は確認されなかったが、試験体 1 段目の観察面の引張側端部に水平方向のひび割れが確認された。除荷後、ひび割れは閉じて見えなくなった。負側のサイクルでは $-1/1400\text{rad}$ 、 $-1/1200\text{rad}$  でひび割れ音が確認され、引張側端部に正側同様の水平方向のひび割れが確認された。

荷重－変形関係はほぼ直線を示し、縦筋のひずみゲージの最大値も  $469\mu$  と小さいため、損傷の程度は低いと考えられる。

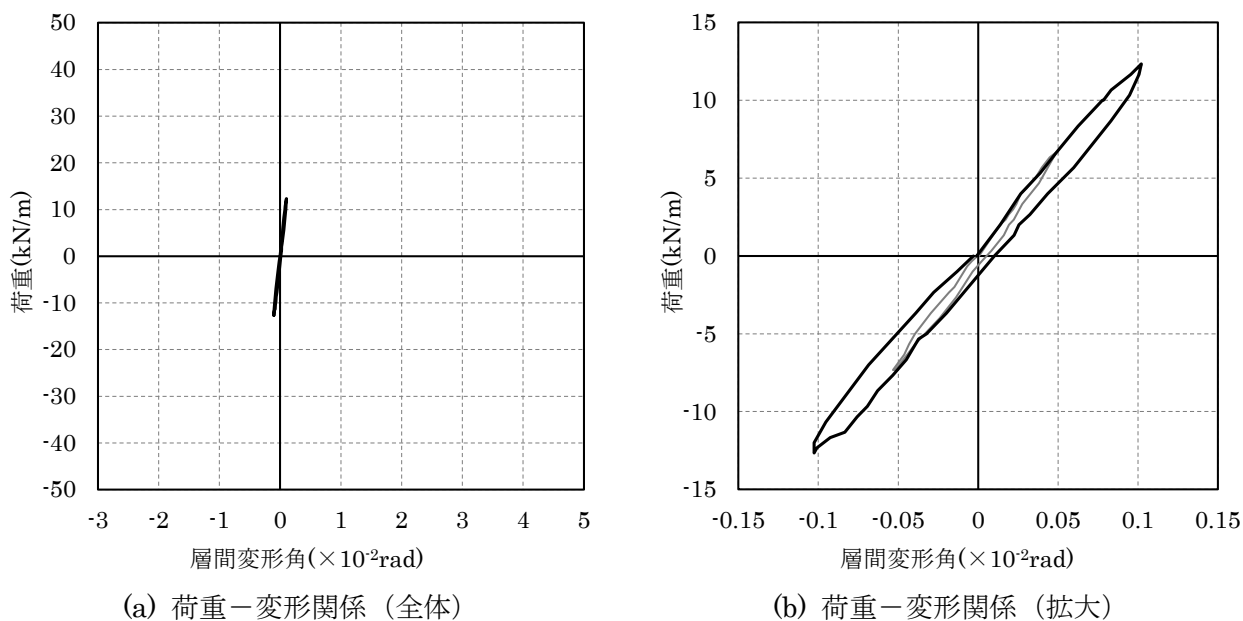
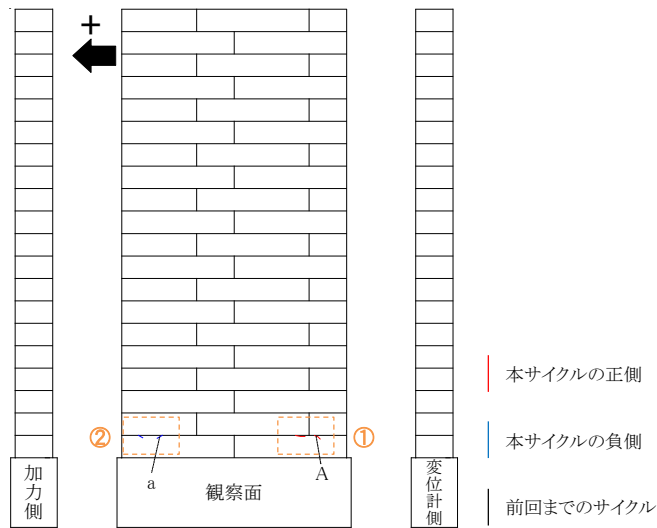


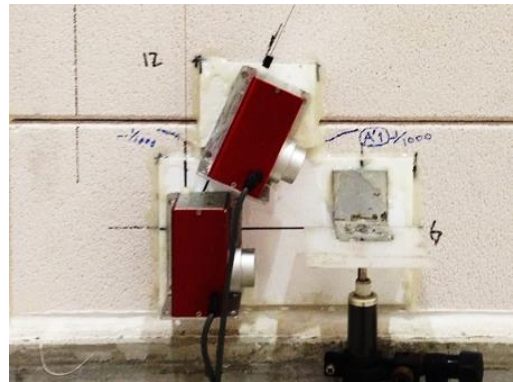
図 3.36-1 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル)



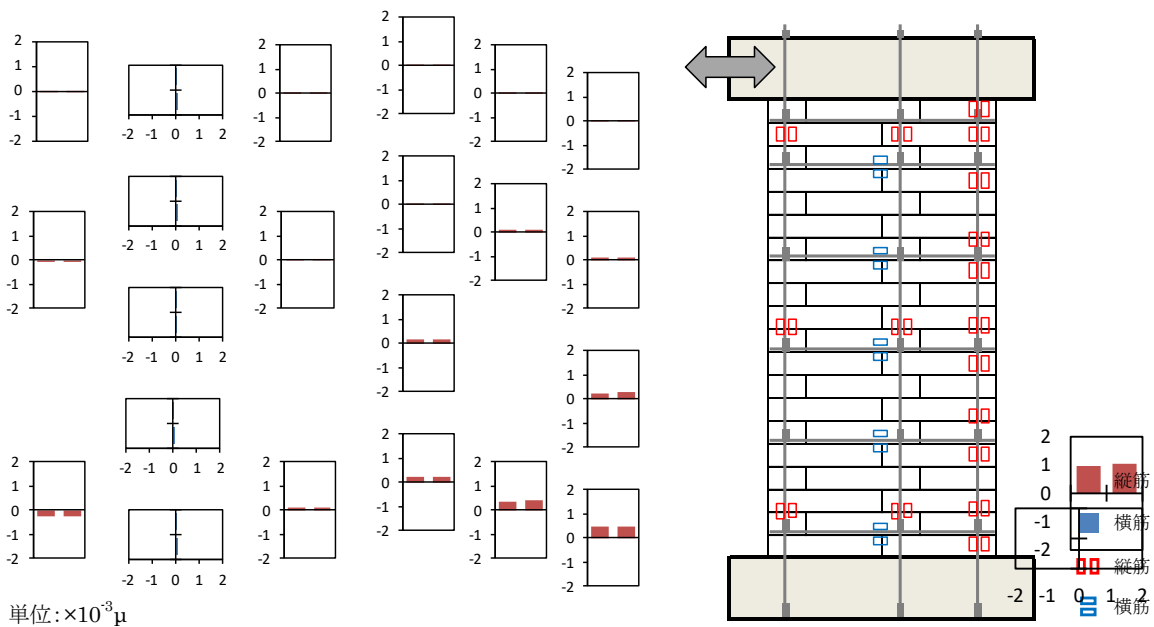
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/1000rad)



(e) 写真② (-1/1000rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

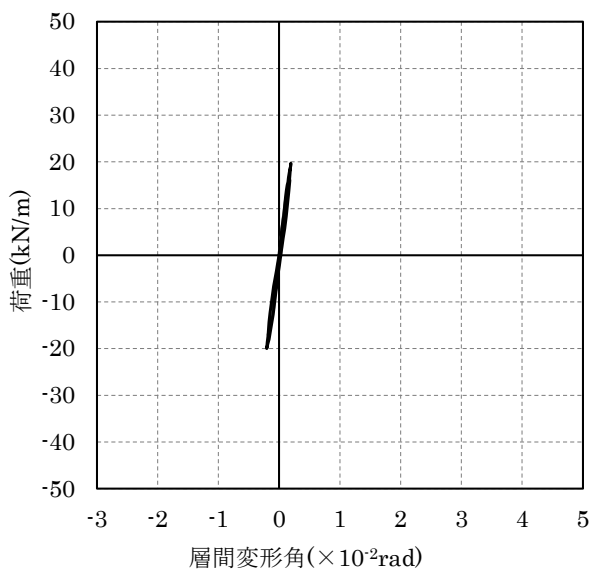
図 3.36-2 試験結果 (InW-A37-w15・±1/1000rad サイクル)

(3)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル①

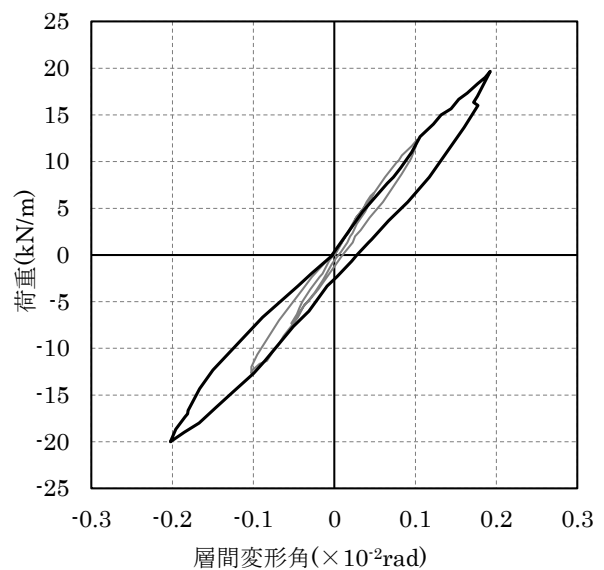
試験結果を図 3.37 に示す。

正側サイクルでは、 $+1/689\text{rad}$ 、 $+1/667\text{rad}$  で音が確認され、 $+1/500\text{rad}$  ではやや大きな音が確認された。ひび割れは、 $+1/1000\text{rad}$  サイクルで確認したひび割れが進展したほか、6 段目の変位計側側面に水平方向のひび割れが確認された。負側のサイクルでは、 $-1/617\text{rad}$  で音が確認され、試験体観察面の 2 段目と 6 段目に水平方向のひび割れが確認された。除荷後、ひび割れが正負共に閉じたことが確認された。

荷重－変形関係は、履歴にやや膨らみが見られたもののおおよそ線形を示しており、縦筋のひずみゲージの最大値も  $868\mu$  と降伏には至っていないため、損傷の程度は小さいと考えられる。

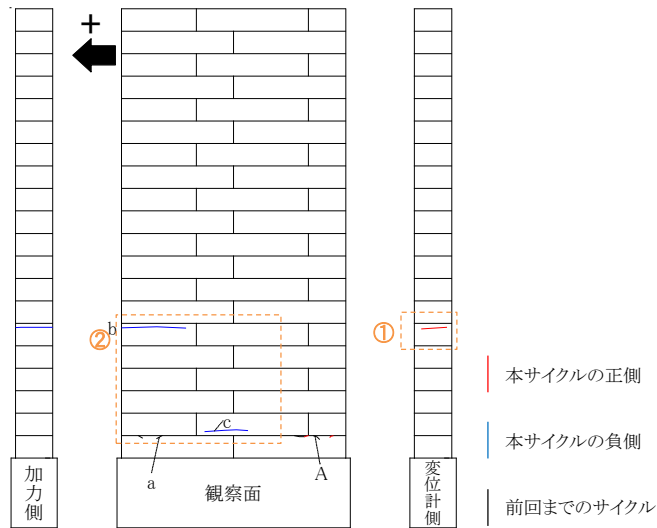


(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

図 3.37-1 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル①)



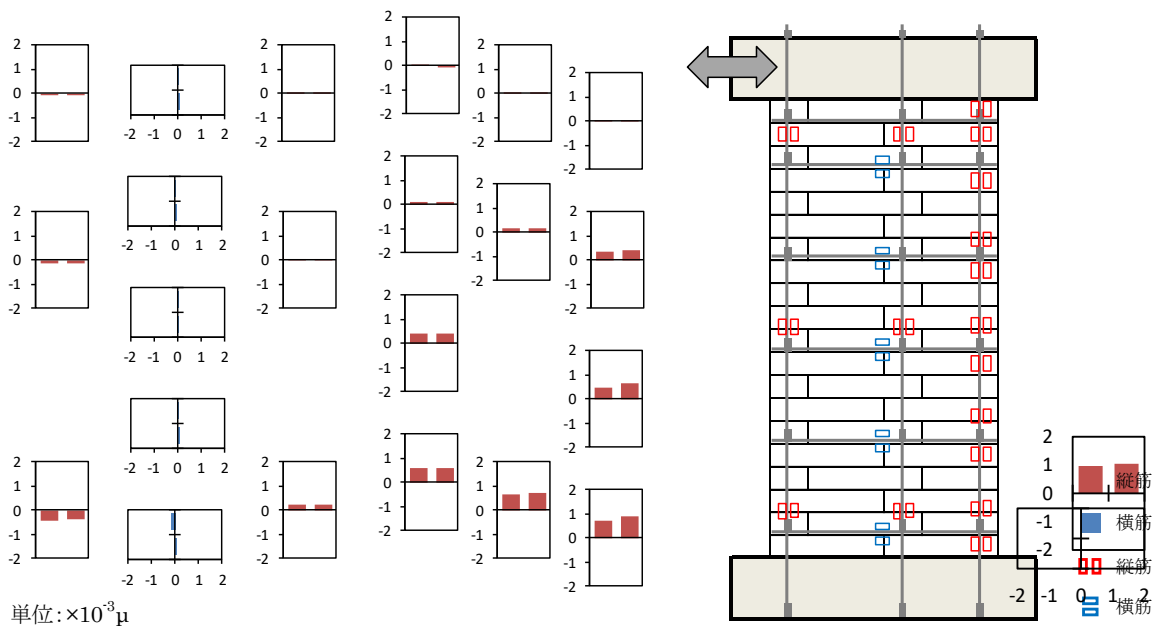
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/500rad)



(e) 写真② (-1/500rad)



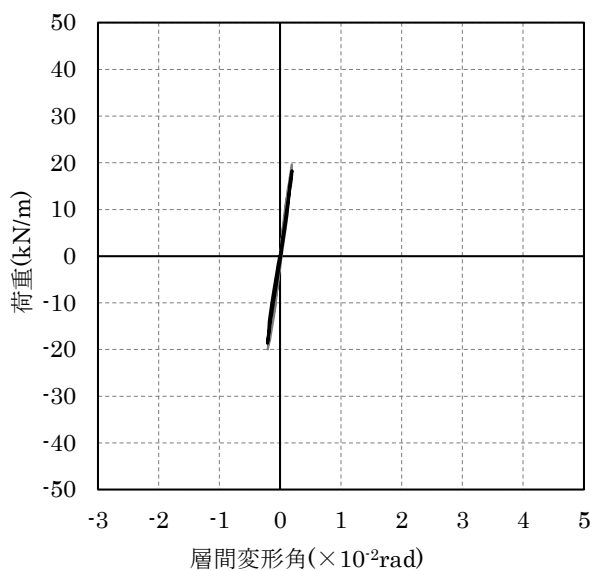
(f) ひずみゲージ (正側)

図 3.37-2 試験結果 (InW-A37-w15・±1/500rad サイクル①)

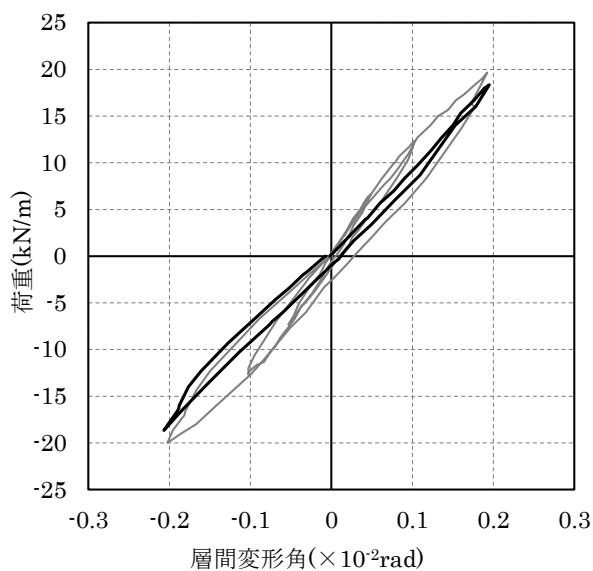
(4)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル②

試験結果を図 3.38 に示す。ひずみゲージの値は省略した。

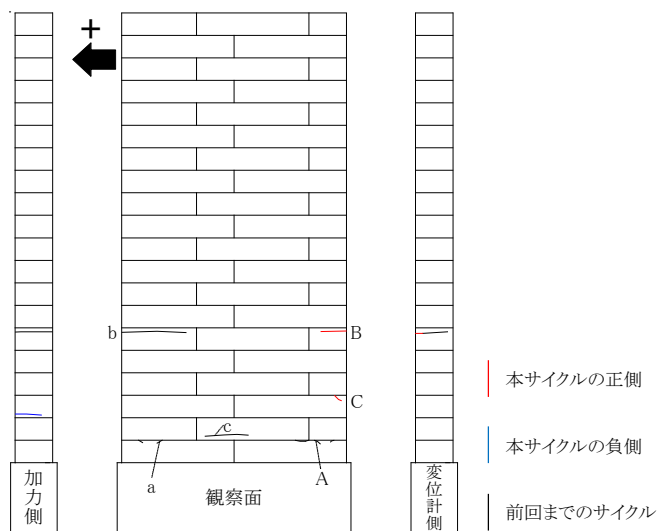
正負共に水平方向のひび割れの発生および伸展が確認された。荷重－変形関係はやや剛性が低下するに留まった。



(a) 荷重－変形関係 (全体)



(b) 荷重－変形関係 (拡大)



(c) ひび割れ図

図 3.38 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル②)

(5)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.39 に示す。

正側のサイクルでは、 $+1/375\text{rad}$  から断続的に音が確認され、水平方向のひび割れの発生や既存のひび割れの進展のほか、3 段目と 9 段目には写真①に示すような斜め方向のひび割れが発生した。負側のサイクルでは $-1/410\text{rad}$ 、 $-1/313\text{rad}$  で音が確認され、正側と同様に写真②に示すように水平方向のひび割れと斜め方向のひび割れが確認された。除荷後はひび割れ幅がゼロにならず、残留ひび割れが確認された。

荷重－変形関係はやや膨らみのある履歴が確認され、残留ひずみは小さいがひび割れが試験体全体に広がってきたため、損傷が生じ始めたと考えられる。ひずみゲージの最大値は縦筋で  $1448\mu$ 、横筋で  $169\mu$  が確認された。ひずみゲージ値は下部から上部に向かって線形的に変化し、縦筋の接合部の上下でも大きな違いは確認されなかった。

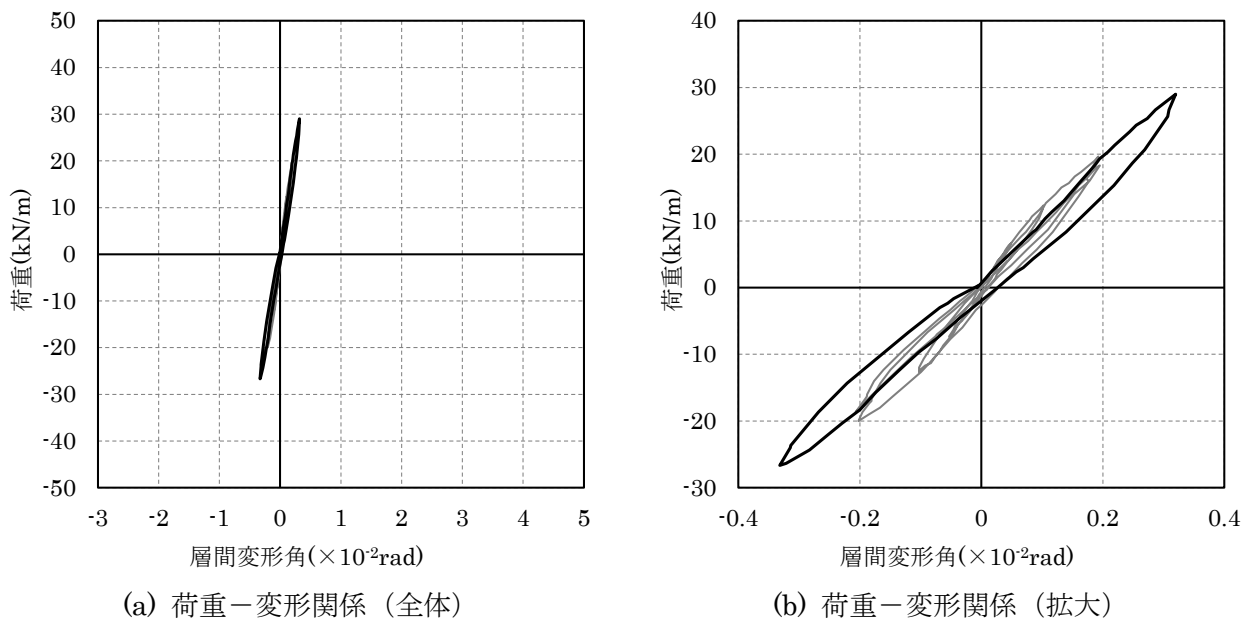
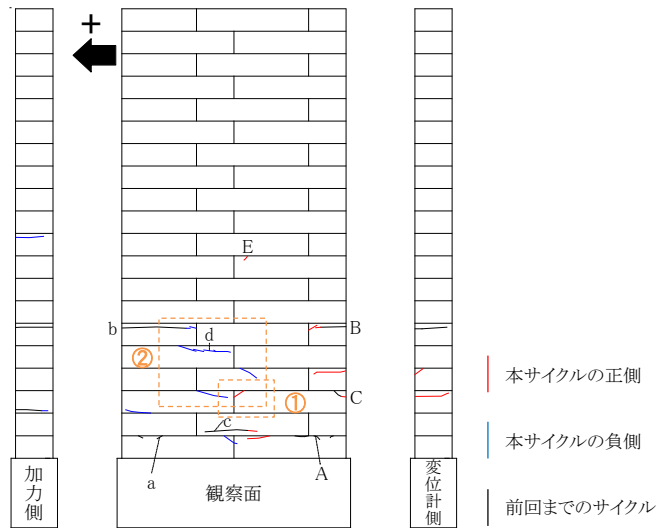


図 3.39-1 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル)



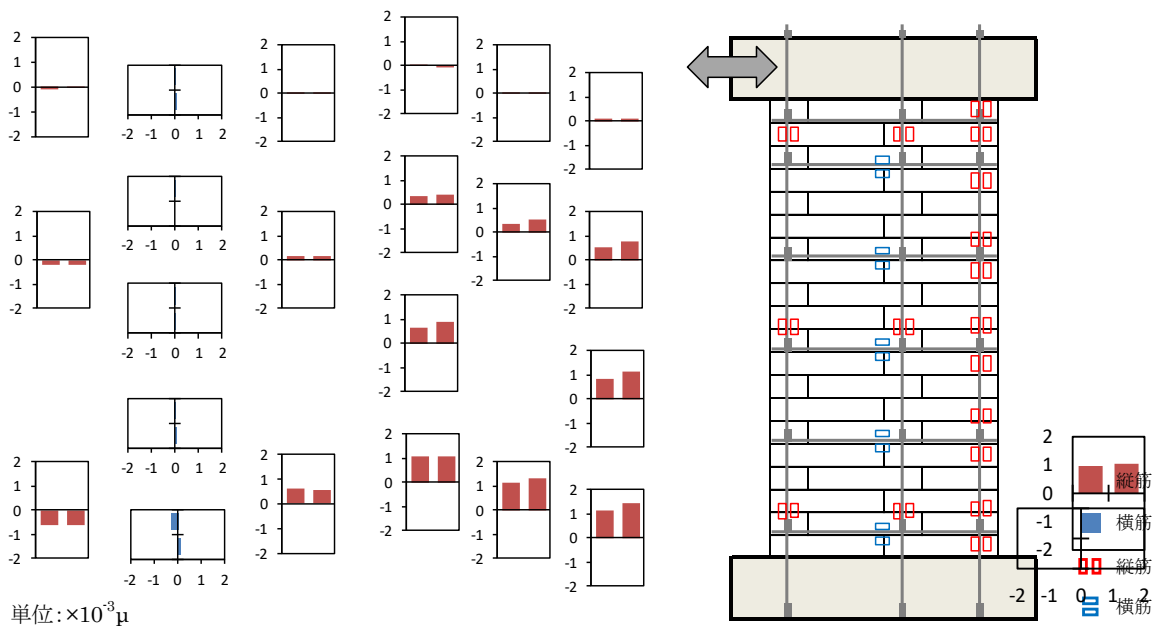
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (-1/300rad)



(e) 写真② (-1/300rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

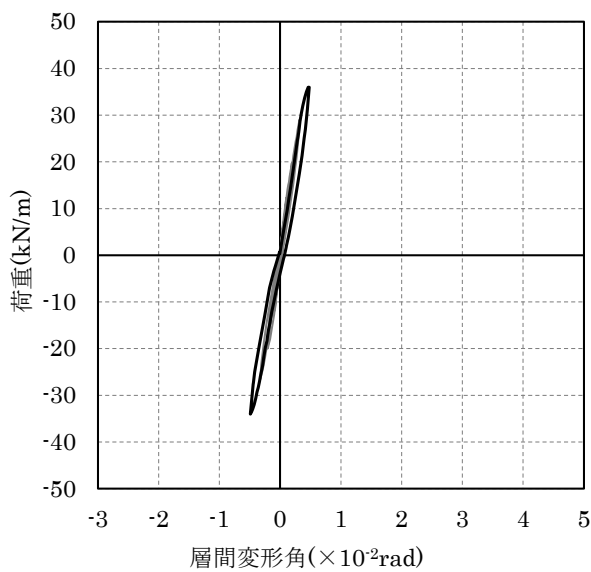
図 3.39-2 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/300$ rad サイクル)

(6)  $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル

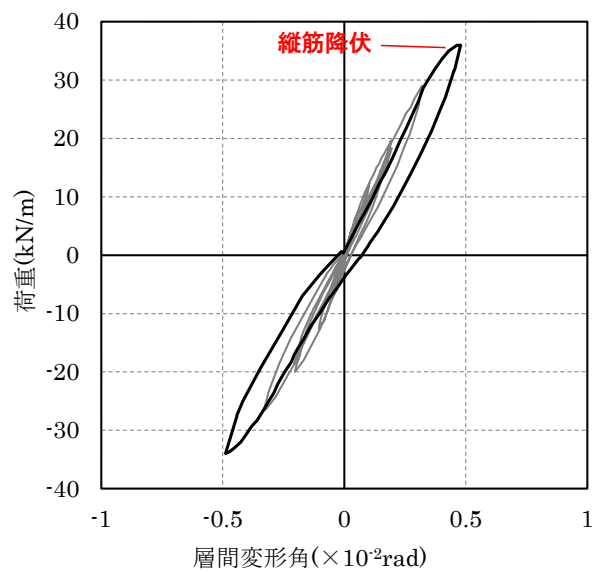
試験結果を図 3.40 に示す。

正側サイクルでは、 $+1/266\text{rad}$ 、 $+1/224\text{rad}$ 、 $+1/215\text{rad}$  で音が確認され、写真①に示すように試験体上部の 10 段目以上にも水平方向のひび割れが発生した。負側のサイクルでは、 $-1/355\text{rad}$ 、 $-1/291\text{rad}$ 、 $-1/243\text{rad}$ 、 $-1/224\text{rad}$ 、 $-1/210\text{rad}$  で音が確認され、正側加力と同様に試験体上部にも水平方向のひび割れが発生し、試験体下部のひび割れ幅も写真②のように拡大した。

荷重－変形関係、ひずみゲージ値をみると、 $+1/232\text{rad}$  で試験体下部の引張側縦筋が降伏し、剛性が低下した。除荷後は残留変形も確認された。



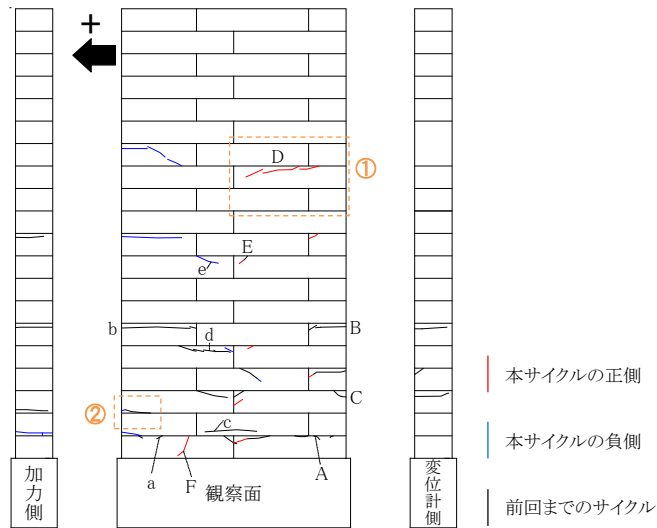
(a) 荷重－変形関係 (全体)



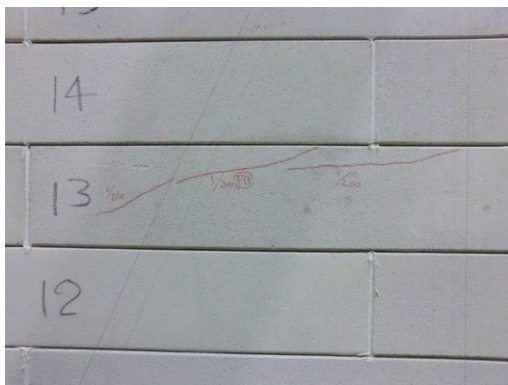
(b) 荷重－変形関係 (拡大)

図 3.40-1 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル)





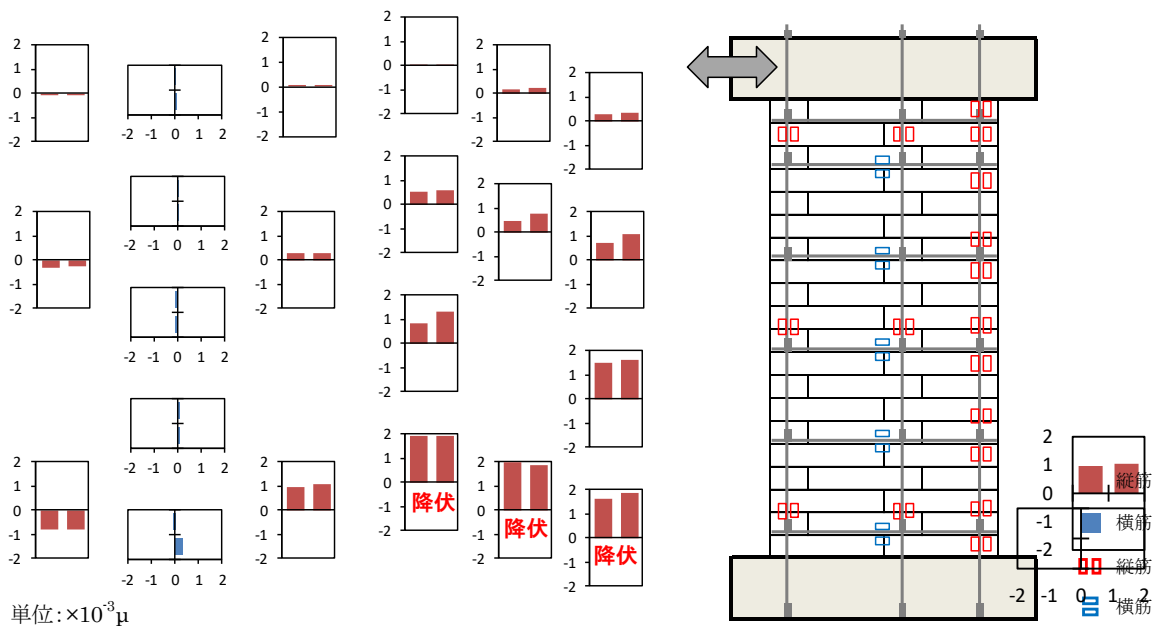
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (-1/300rad)



(e) 写真② (-1/300rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

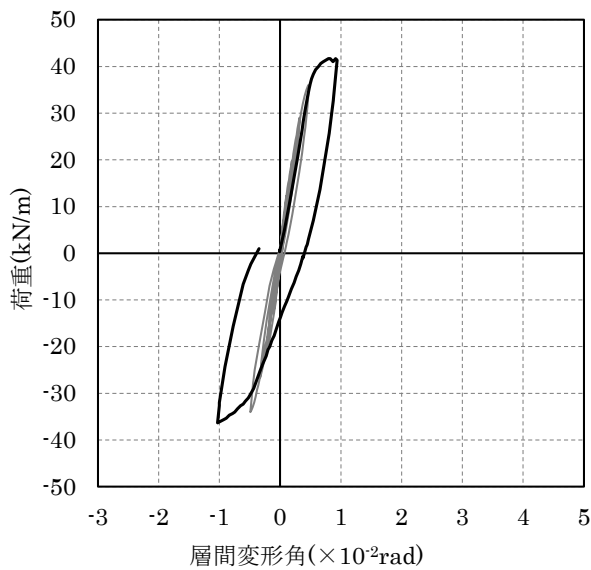
図 3.40-2 試験結果 (InW-A37-w15・±1/200rad サイクル)

(7)  $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル

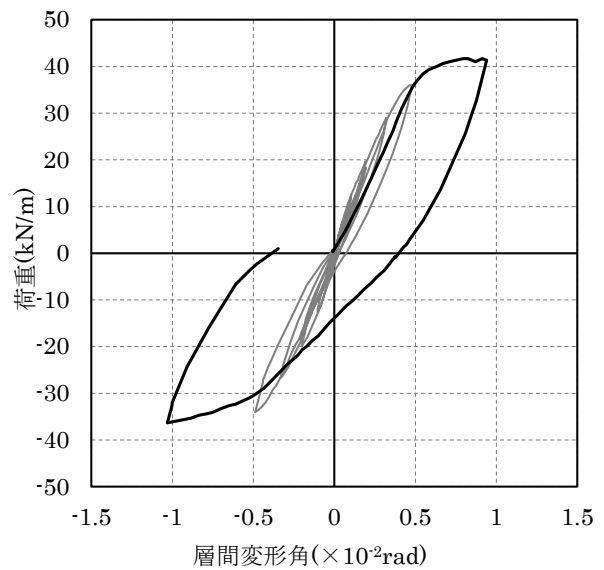
試験結果を図 3.41 に示す。

正負サイクル共に加力中は断続的に音が確認され、写真①、②のように試験体下部を中心に水平方向および斜め方向のひび割れが多数確認された。正側サイクル時には写真③のように圧縮側となる加力側側面でブロックの圧壊が確認され、引張側の縦筋が降伏している箇所では写真④のような目地の開きが確認された。

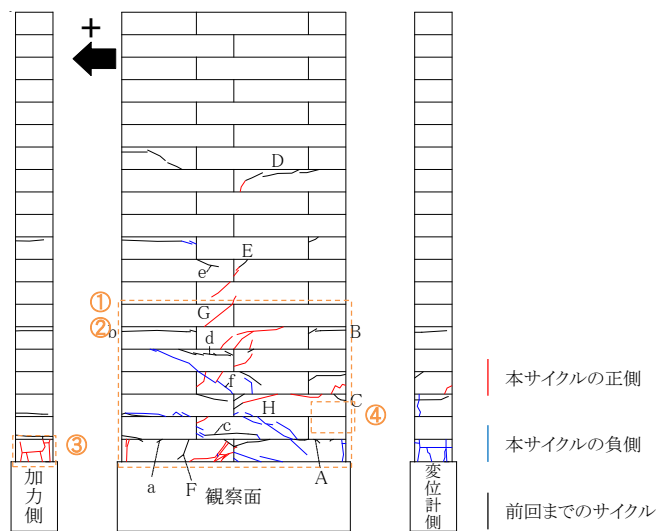
荷重-変形関係をみると剛性が大きく低下して紡錘型の履歴を示した。ひずみゲージ値を見ると縦筋の降伏範囲が広がり、中央の縦筋下部も降伏したことが確認された。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)

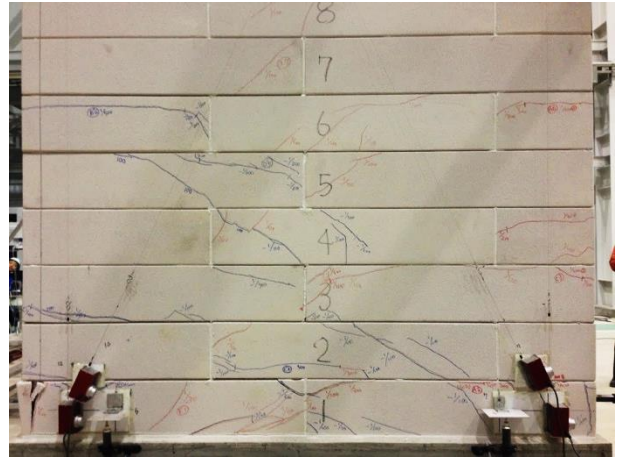


(c) ひび割れ図

図 3.41-1 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル)



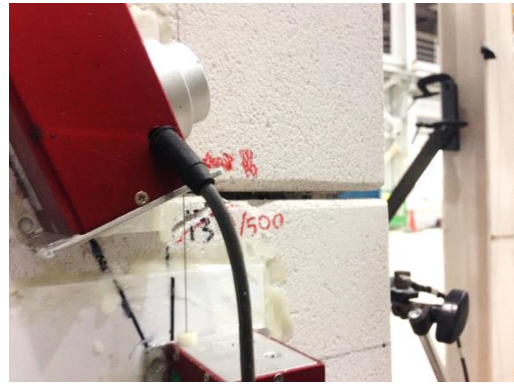
(d) 写真① (+1/100rad)



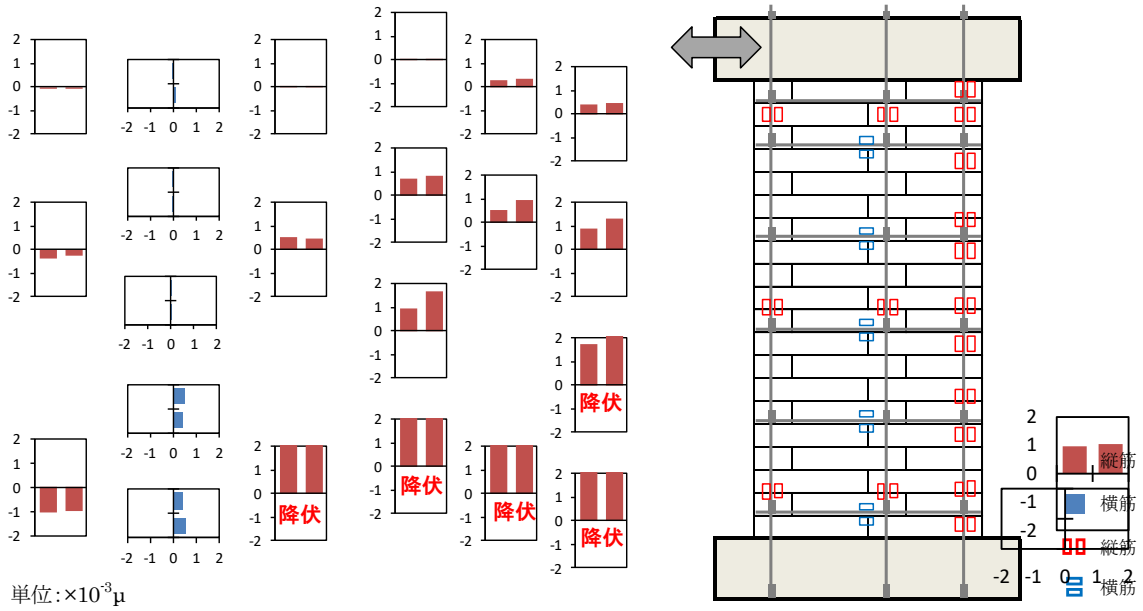
(e) 写真② (-1/100rad)



(f) 写真③ (+1/100rad)



(g) 写真④ (+1/100rad)



(h) ひずみゲージ (正側)

図 3.41-2 試験結果 (InW-A37-w15・±1/100rad サイクル)

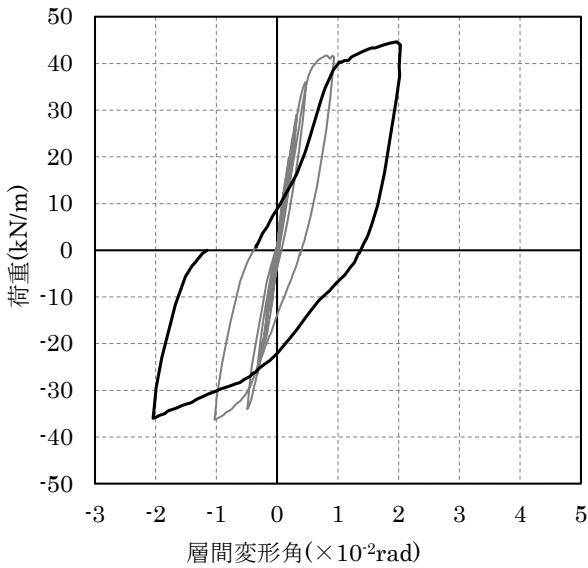
(8)  $\pm 1/50\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.42 に示す。本サイクル以降、ひび割れ図の記録は省略した。

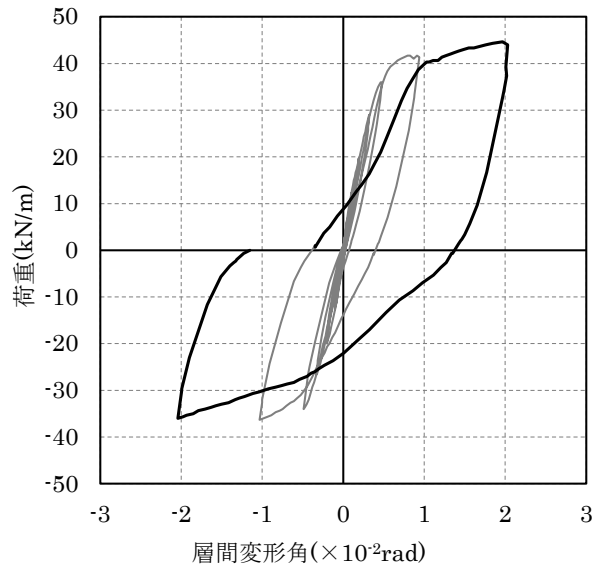
正負共に、圧縮側ではブロックの圧壊が、引張側では目地およびひび割れ幅の拡大が確認された。

荷重-変形関係をみると、正側では降伏後の2次剛性を保ちながら徐々に荷重が増加し、 $1/50\text{rad}$  で最大荷重  $44.7\text{kN/m}$  を記録した。負側では正側で見られたように荷重は上昇しなかったが、これは中央部の縦筋が変位計側に寄っていることや、正側サイクルによる損傷の影響によるものと考えられる。

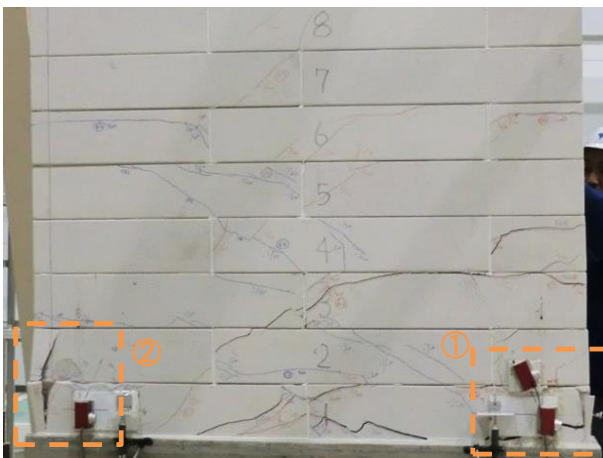
縦筋のひずみゲージ値は、前回のサイクル同様に引張側鉄筋下部の降伏が確認された。また、斜め方向のひび割れが多く確認された試験体下部の横筋のひずみゲージ値も  $1000\mu$  程度の値を示し、横筋にも力が伝達され始めたことが確認された。



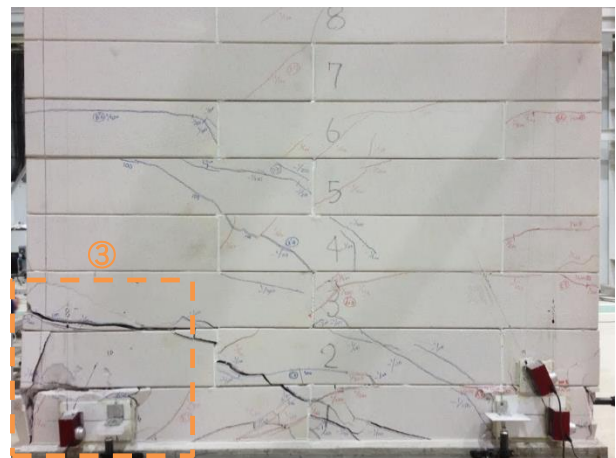
(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)

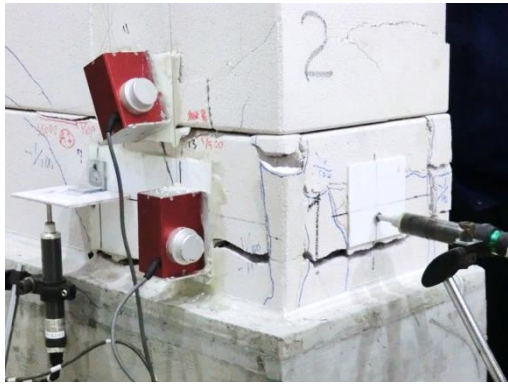


(c) 正側下部全景 ( $+1/50\text{rad}$ )

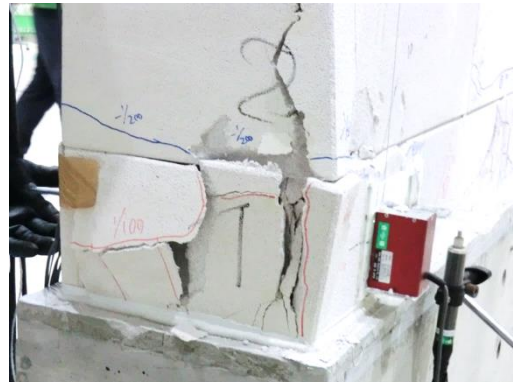


(d) 負側下部全景 ( $-1/50\text{rad}$ )

図 3.42-1 試験結果 (InW-A37-w15・ $\pm 1/50\text{rad}$  サイクル)



(e) 写真① (+1/50rad)



(f) 写真② (+1/50rad)



(g) 写真③ (-1/50rad)

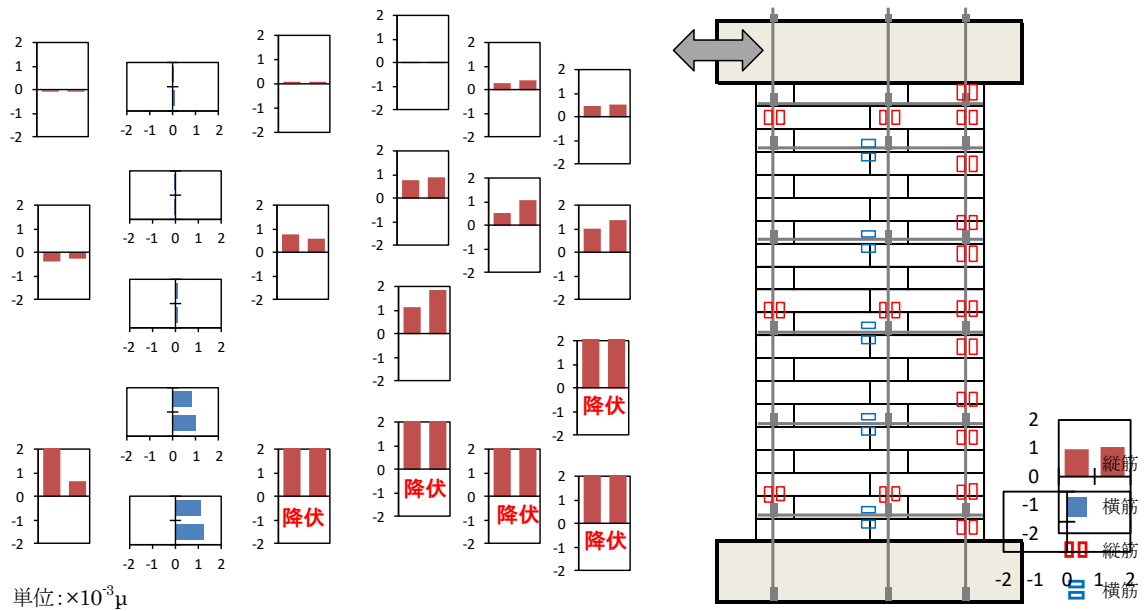
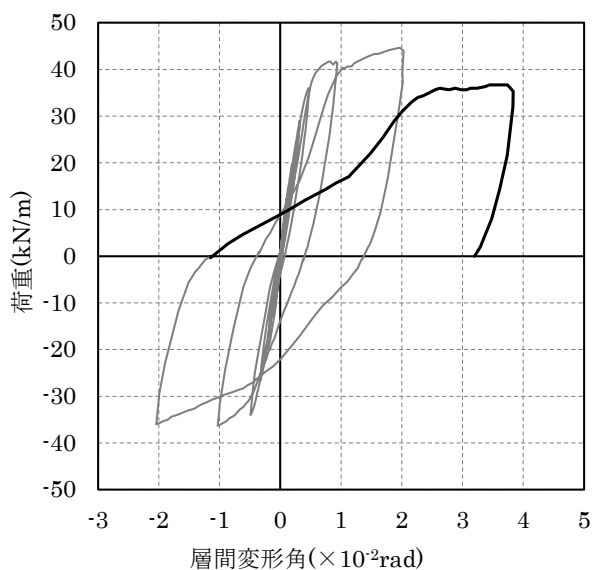


図 3.42-2 試験結果 (InW-A37-w15 ·  $\pm 1/50$ rad サイクル)

### (9) 最大変形角

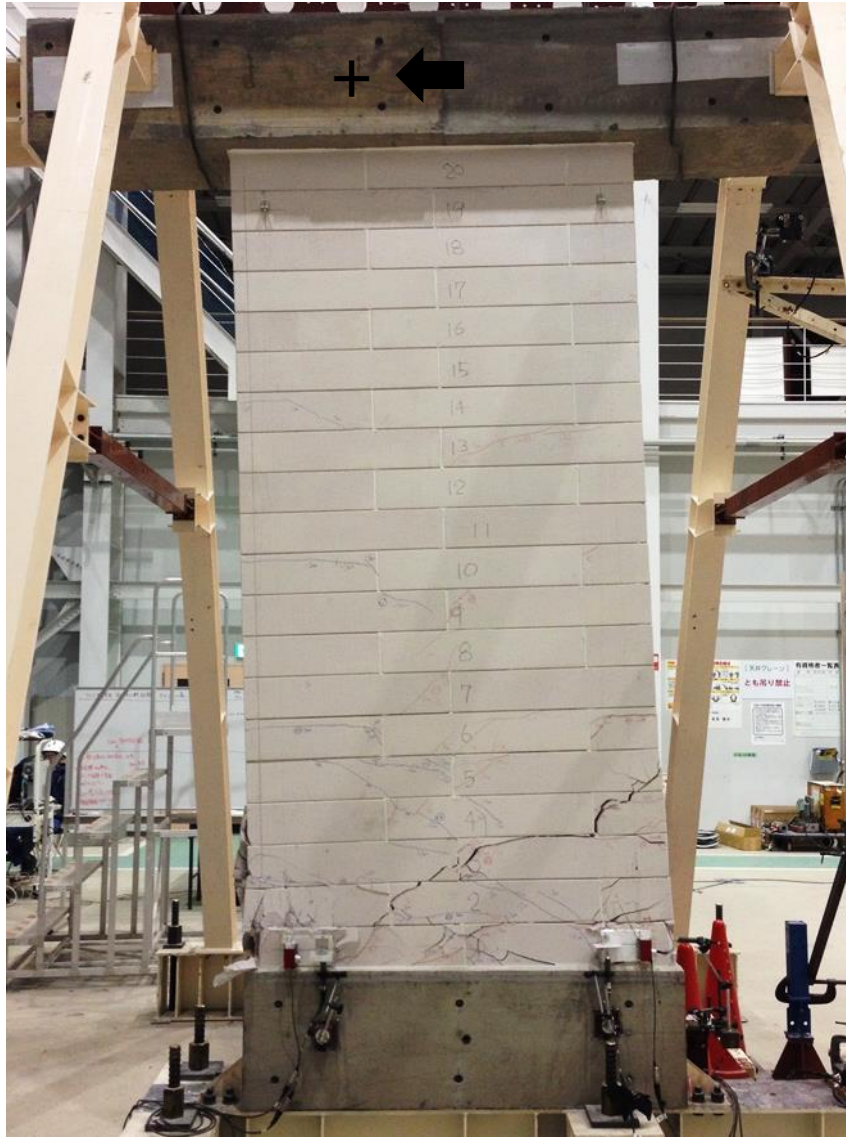
試験結果を図 3.43 に示す。

荷重－変形関係をみると、最大荷重の 8 割程度の荷重を保ちながら変形が進行し、 $1/26\text{rad}$  でジャッキのストロークの限界に達したため載荷を終了した。試験体の写真をみると、試験体下部に破壊が集中し、圧縮側ではブロックの圧壊が、引張側では目地とひび割れ幅の開きが拡大した。目地部のずれは InW-A50-w15 と比較しても顕著ではなく、横筋も降伏点には達していなかった。破壊性状は、鉄筋降伏後の荷重の上昇や最大荷重後にも荷重が安定して計測されたことから、曲げ破壊と判断した。

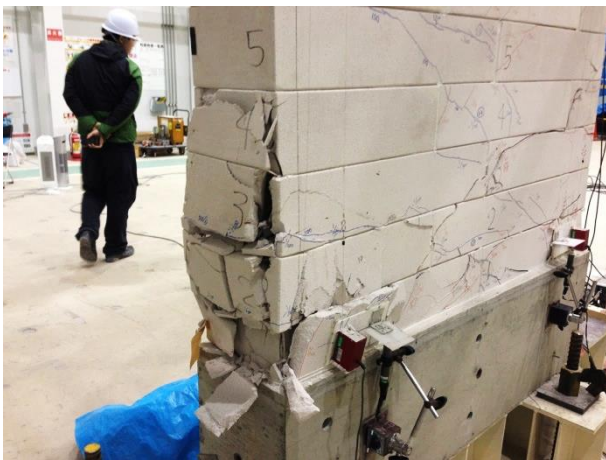


(a) 荷重－変形関係（全体）

図 3.43-1 試験結果 (InW-A37-w15・最大変形角)



(b) 全景 (最大変形角)



(c) 圧縮側拡大 (最大変形角)



(d) 引張側拡大 (最大変形角)

図 3.43-2 試験結果 (InW-A37-w15・最大変形角)

### 3.3.1.6 InW-A37-w45

#### (1) $\pm 1/4000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.44 に示す。

試験体作製時に発生したと思われる初期ひび割れが、ひび割れ図の黒線のように確認された。

正負サイクル共にひび割れ等の変化は見られず、荷重－変形関係も直線であることから、損傷は生じなかったと考えられる。

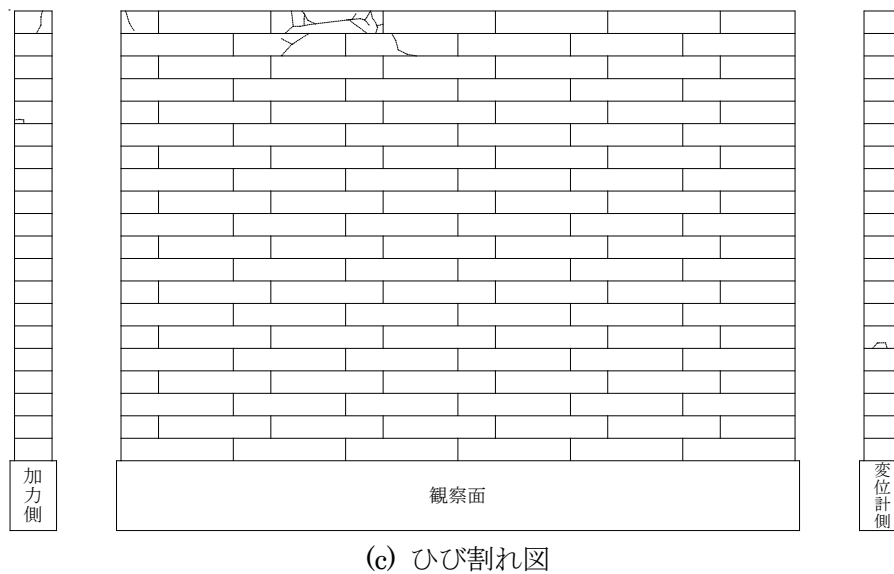
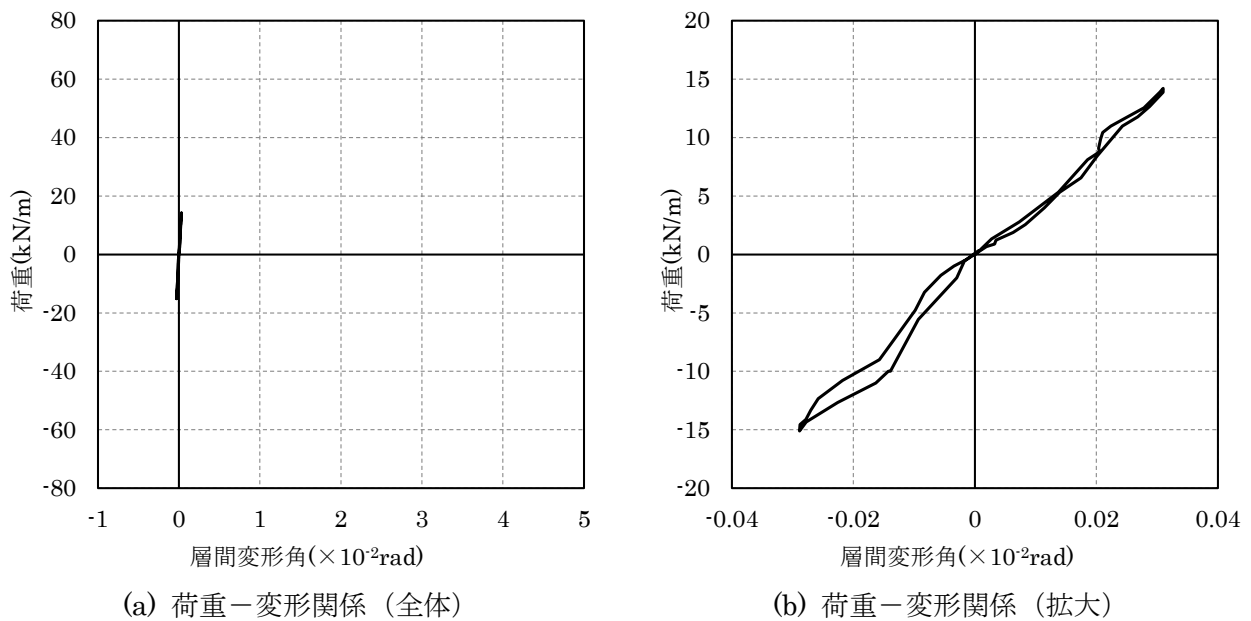


図 3.44 試験結果 (InW-A37-w45・ $\pm 1/4000\text{rad}$  サイクル)

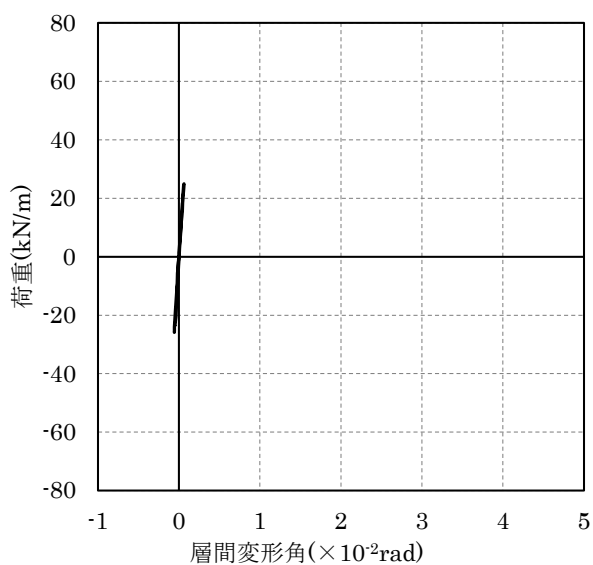


## (2) $\pm 1/2000\text{rad}$ サイクル

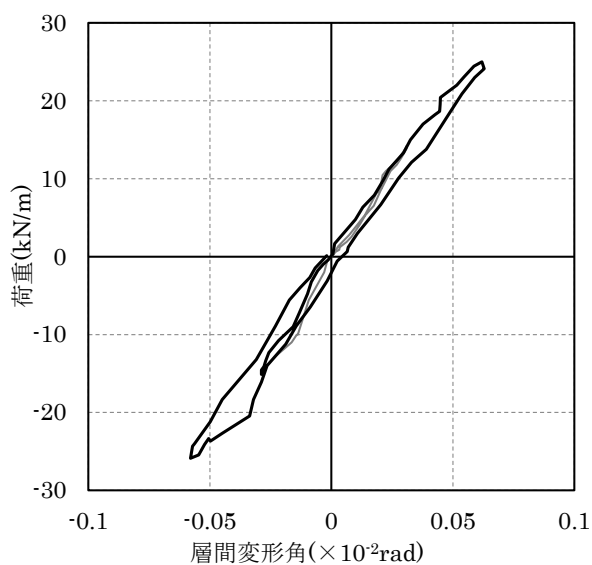
試験結果を図 3.45 に示す。

正側サイクルでは、 $+1/2000\text{rad}$  付近で引張側にてグラウトが割れるような音が確認されたが、ひび割れ等は発生しなかった。負側のサイクルでは、 $-1/4000\text{rad}$ 、 $-1/3460\text{rad}$ 、 $-1/2500\text{rad}$  で引張側にてグラウトが割れるような音が確認され、試験体下部の引張側に水平方向のひび割れが確認された。ひび割れは除荷後に閉じ、残留ひび割れは生じないことが確認された。

荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひずみゲージの最大値も  $356\mu$  と小さいため、損傷は小さいと考えられる。

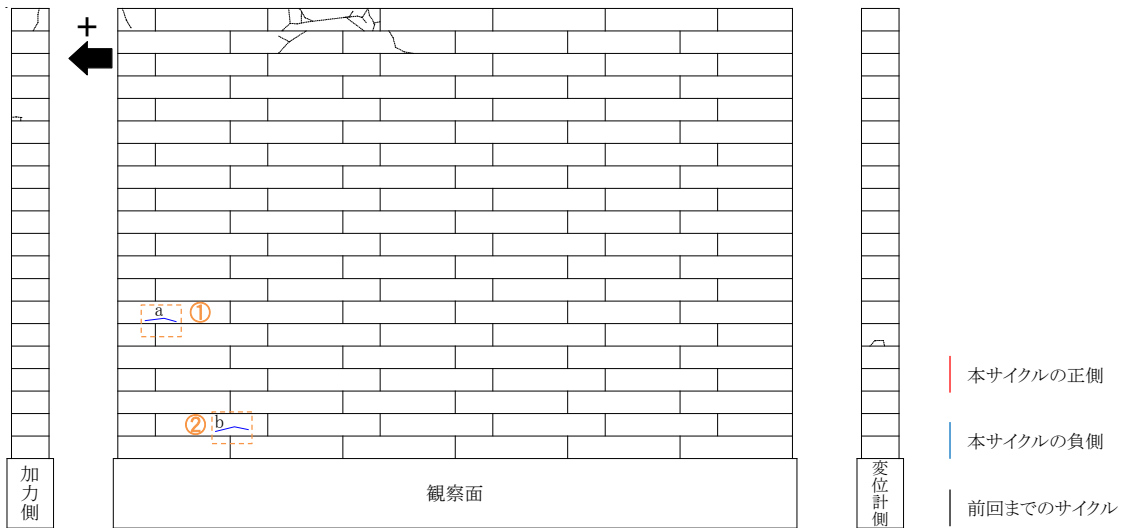


(a) 荷重－変形関係 (全体)

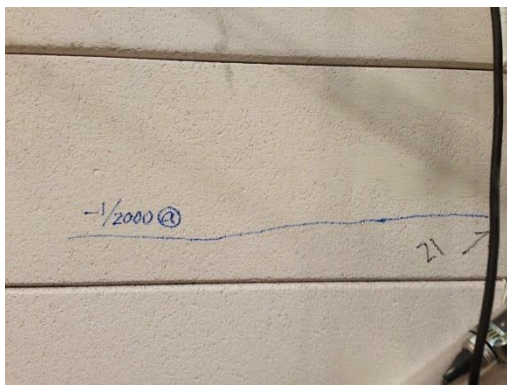


(b) 荷重－変形関係 (拡大)

図 3.45-1 試験結果 (InW-A37-w45・ $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)



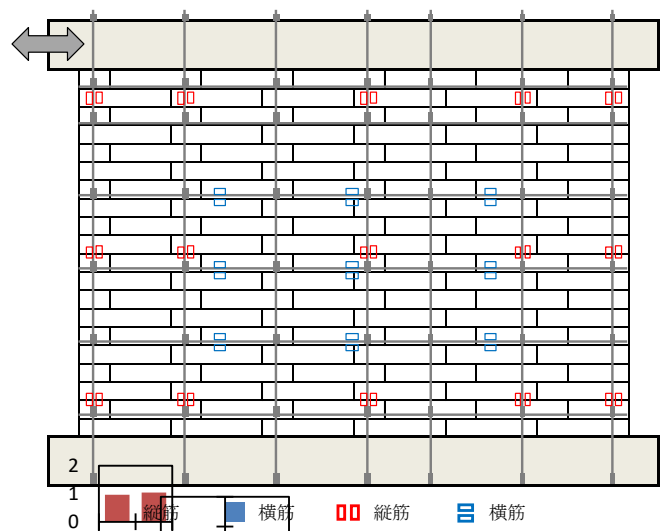
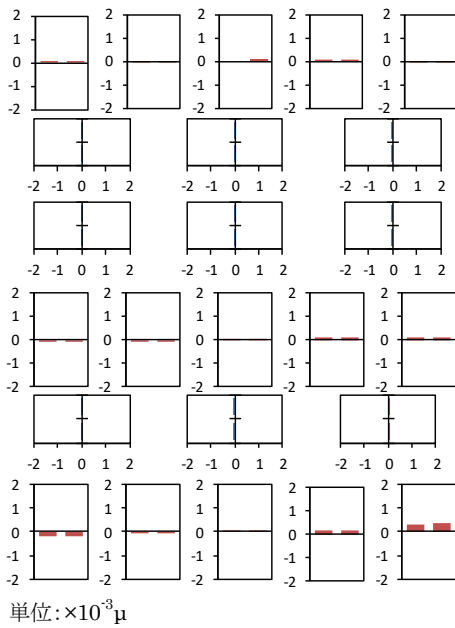
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (-1/2000rad)



(e) 写真② (-1/2000rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

図 3.45-2 試験結果 (InW-A37-w45・±1/2000rad サイクル)

### (3) $\pm 1/1500\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.46 に示す。

正側サイクルでは $+1/1800\text{rad}$  付近で、負側のサイクルでは $-1/1700\text{rad}$  で音が聞こえ、正負ともに試験体下部の引張側には写真①、②に示すような水平方向のひび割れが確認された。除荷後、ひび割れは閉じたことが確認された。

荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひずみゲージの最大値も  $587\mu$  と小さいため、損傷は小さいと考えられる。

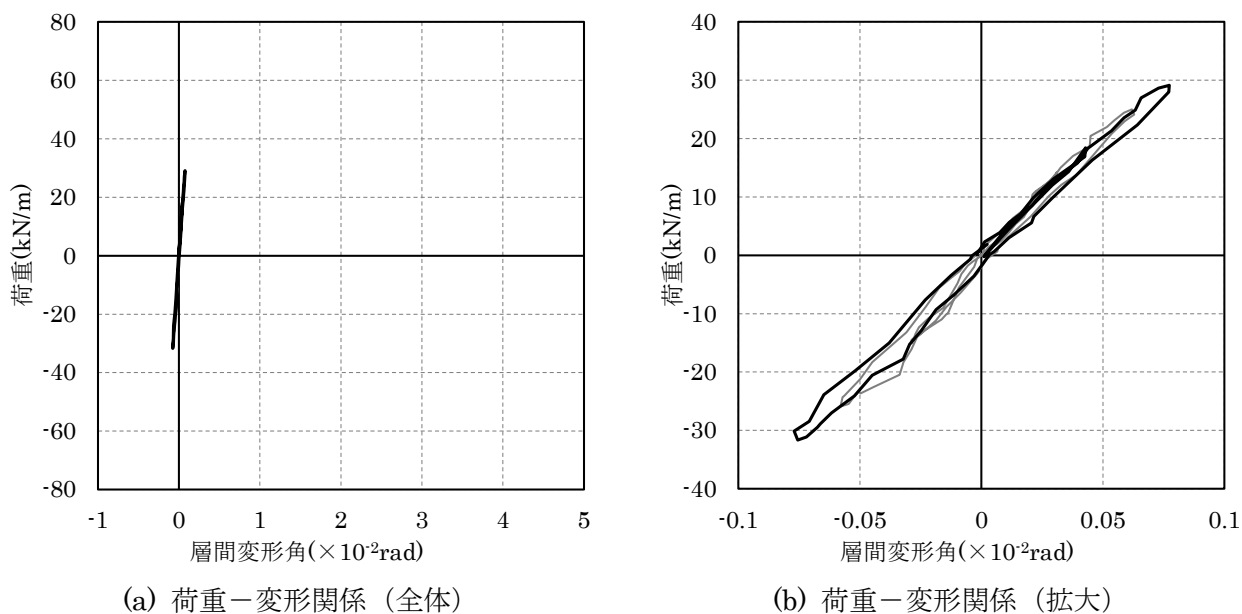
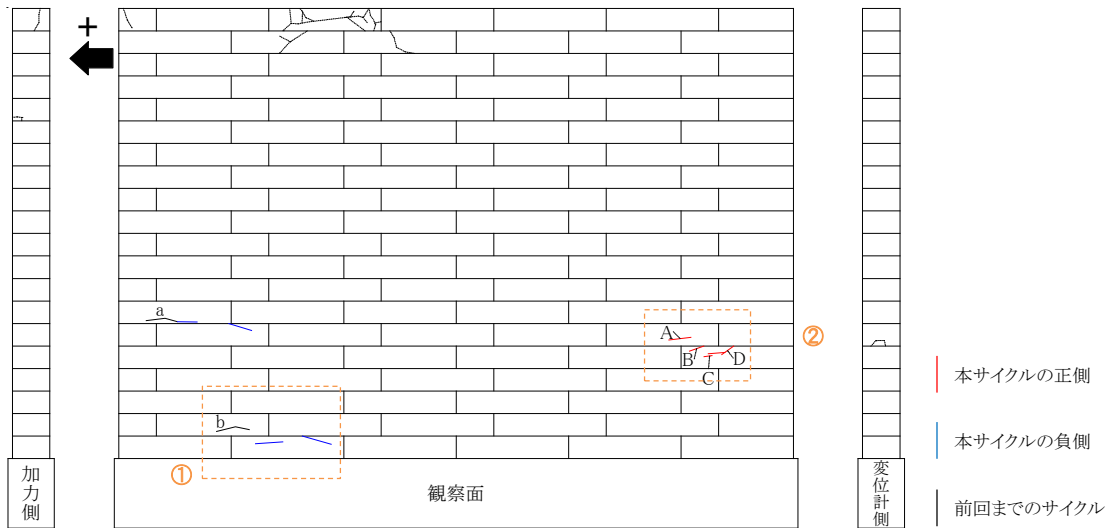
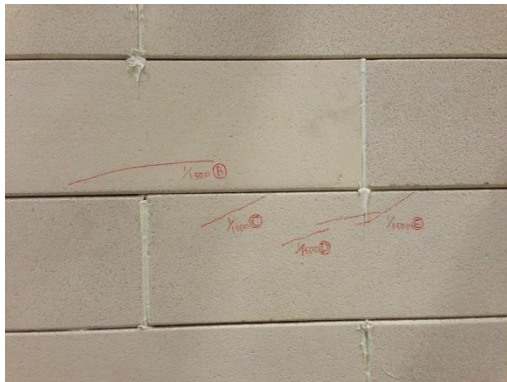


図 3.46-1 試験結果 (InW-A37-w45・ $\pm 1/1500\text{rad}$  サイクル)



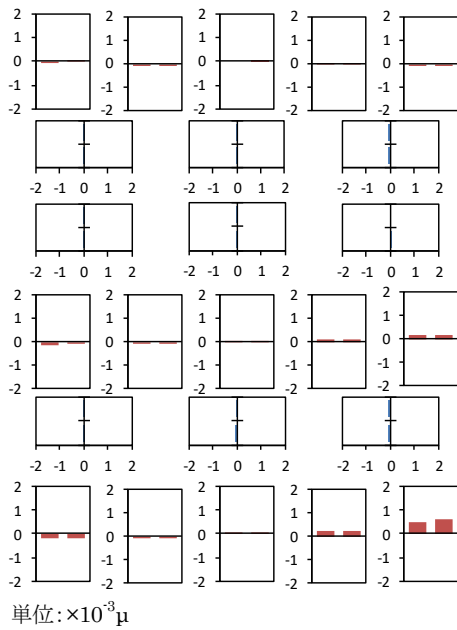
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/1500rad)



(e) 写真② (-1/1500rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

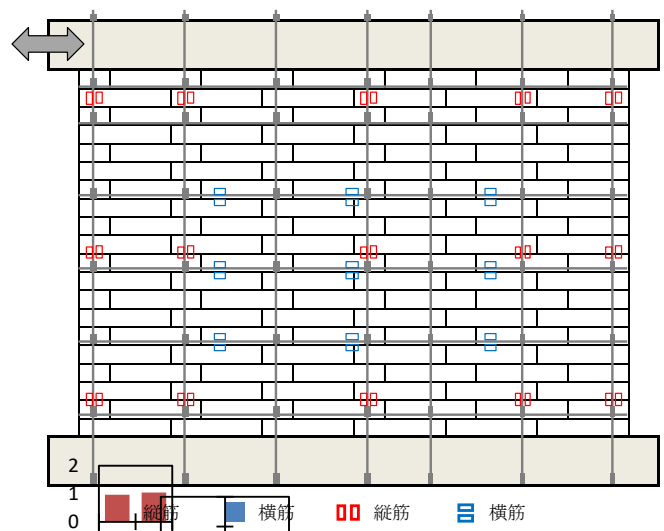


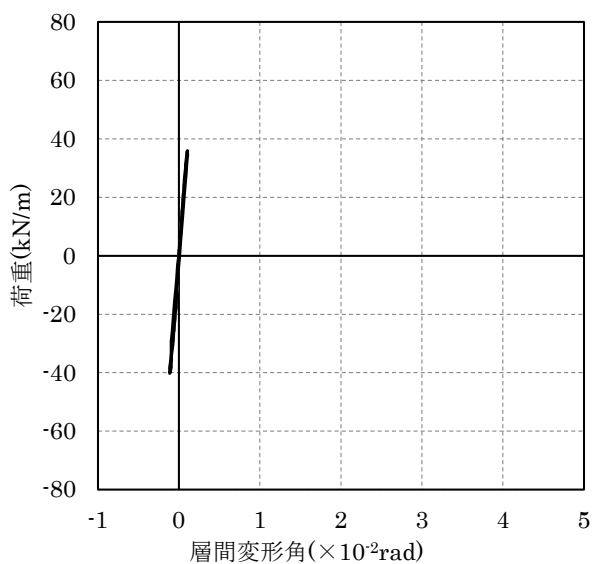
図 3.46-2 試験結果 (InW-A37-w45・±1/1500rad サイクル)

#### (4) ±1/1000rad サイクル

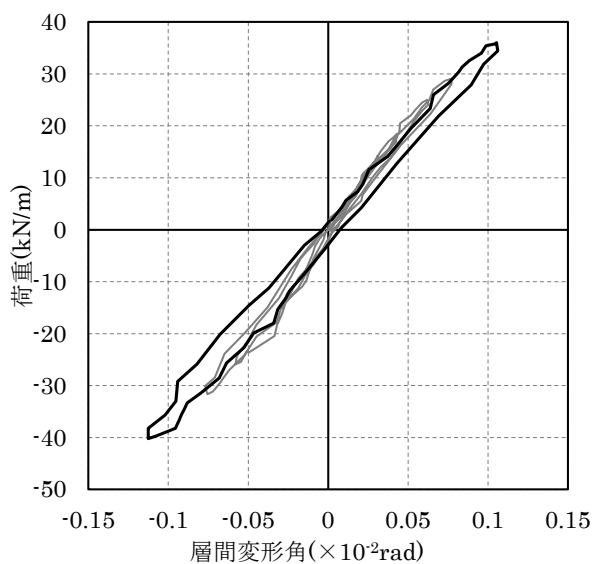
試験結果を図 3.47 に示す。

正側のサイクルでは、+1/1500rad で試験体中央の上段にてグラウトが割れるような音が、+1/1200rad で試験体中段にてピシッという ALC が割れるような音が数回聞こえ、+1/1100rad でグラウトが割れるような音が確認された。負側のサイクルでは、-1/3500rad、-1/2400rad、-1/1200rad、-1/1185rad、-1/1004rad と断続的に音が確認された。ひび割れ図をみると、正負共に、水平方向のひび割れの発生や進展が確認され、負側では写真②の様に試験体中央部に斜め方向のひび割れも確認された。除荷後はひび割れが閉じず、残留ひび割れが確認された。

荷重－変形関係は、やや剛性が低下するもののほとんど直線を示しており、縦筋のひずみゲージの最大値も 831 $\mu$  と降伏には至っていないため、損傷の程度は低いと考えられる。

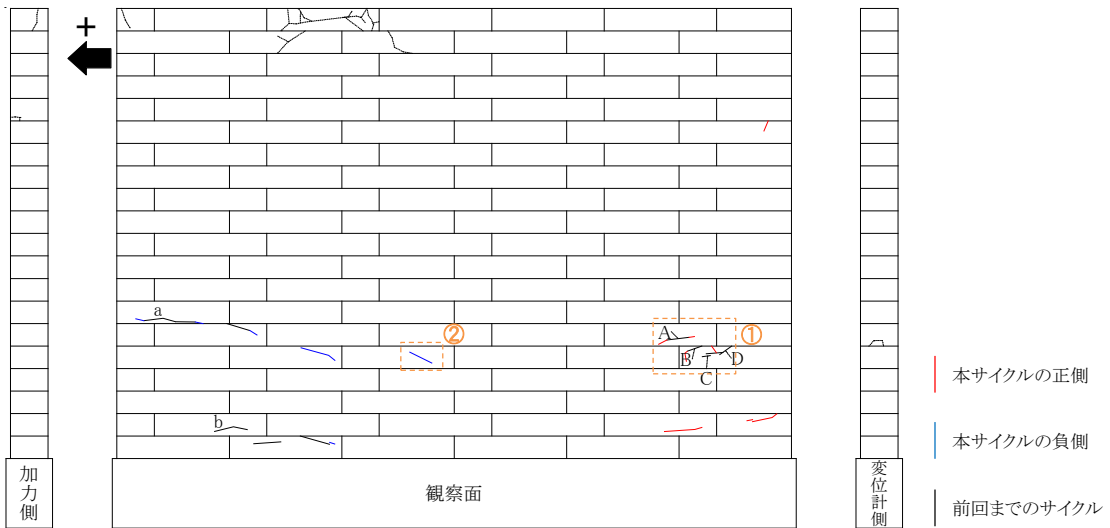


(a) 荷重－変形関係 (全体)

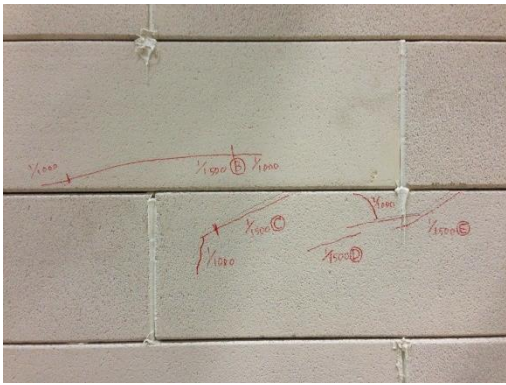


(b) 荷重－変形関係 (拡大)

図 3.47-1 試験結果 (InW-A37-w45・±1/1000rad サイクル)



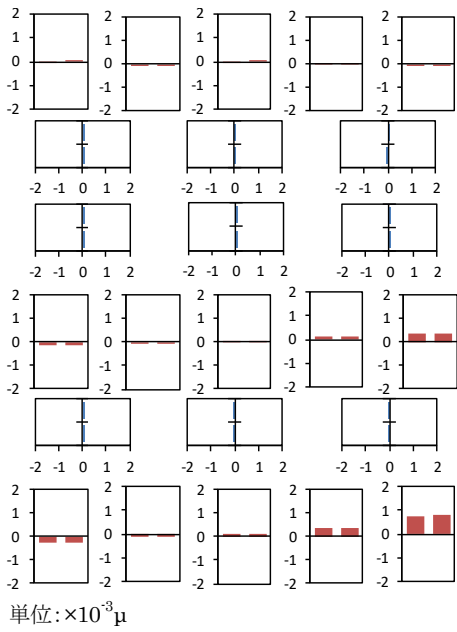
(c) ひび割れ図



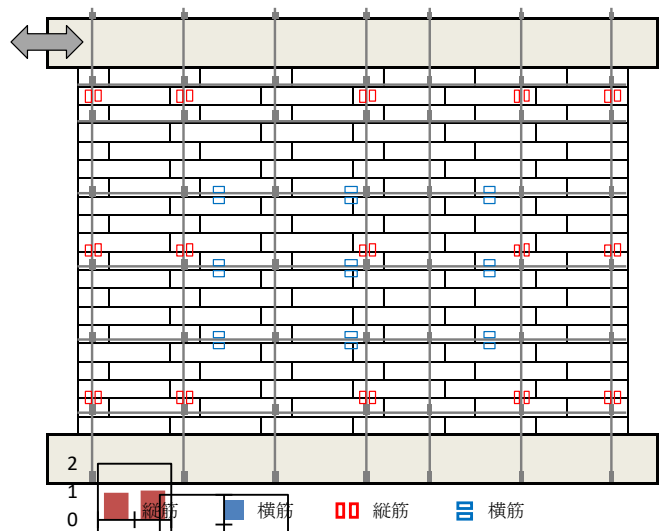
(d) 写真① (rad)



(e) 写真② (rad)



単位:  $\times 10^{-3} \mu$



(f) ひずみゲージ (正側)

図 3.47-2 試験結果 (InW-A37-w45 ·  $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル)

(5)  $\pm 1/750\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.48 に示す。

正側、負側のサイクル共に加力開始から断続的に音が確認され、試験体下部中央までひび割れが進展した。正側サイクルでは、水平方向のひび割れの他に斜め方向のひび割れも確認された。

荷重－変形関係をみるとわずかな剛性低下が確認され、ひび割れも試験体全体に広がってきたことから、やや損傷が生じ始めたものと考えられる。縦筋のひずみゲージの最大値は  $1094\mu$  と降伏には至っていないことが確認された。

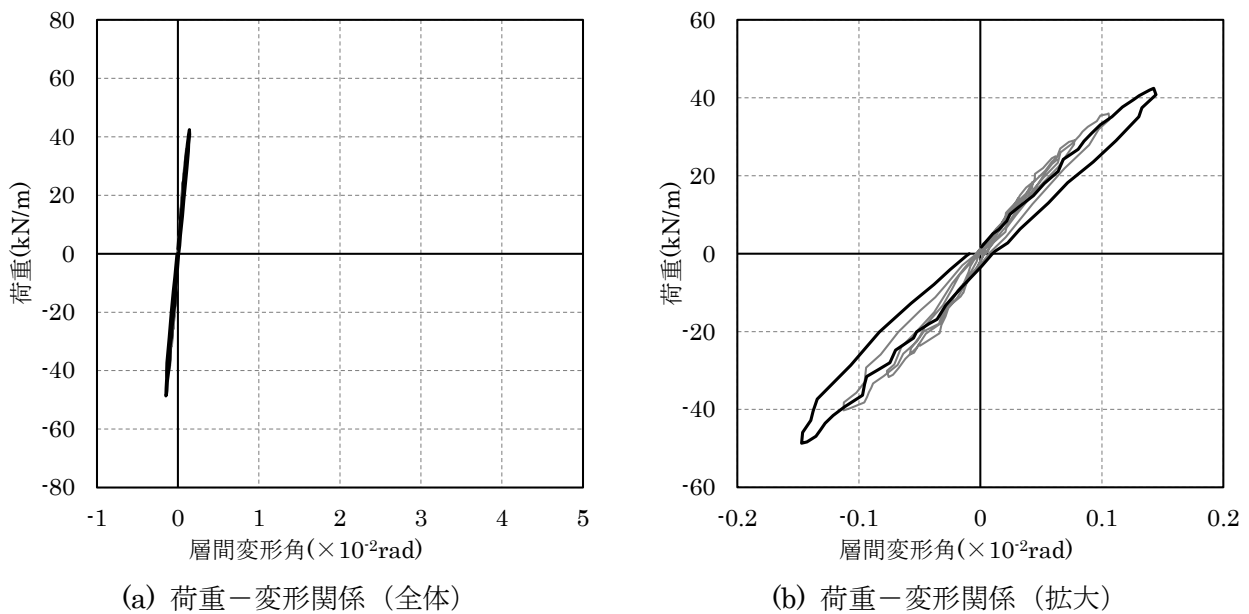
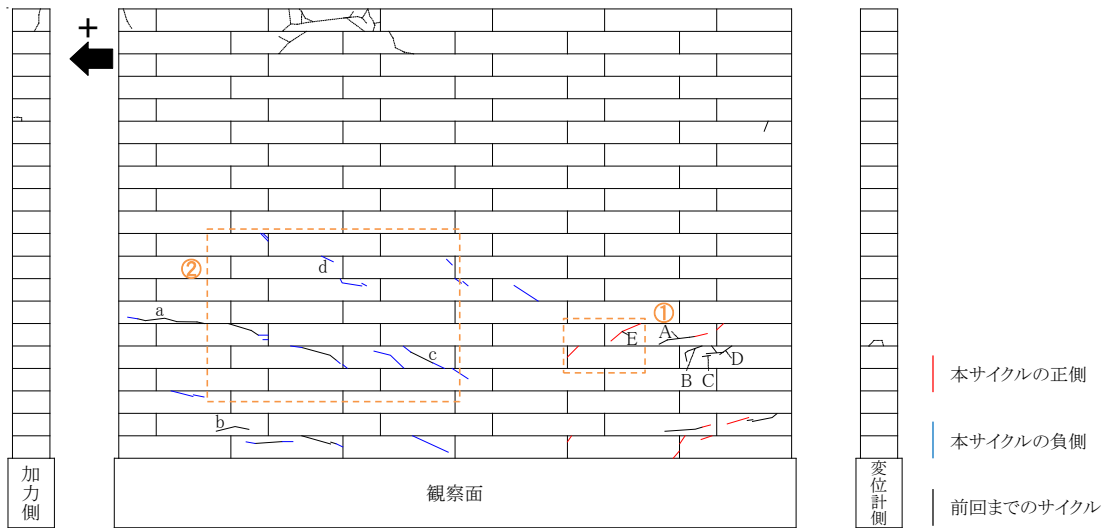


図 3.48-1 試験結果 (InW-A37-w45・ $\pm 1/750\text{rad}$  サイクル)



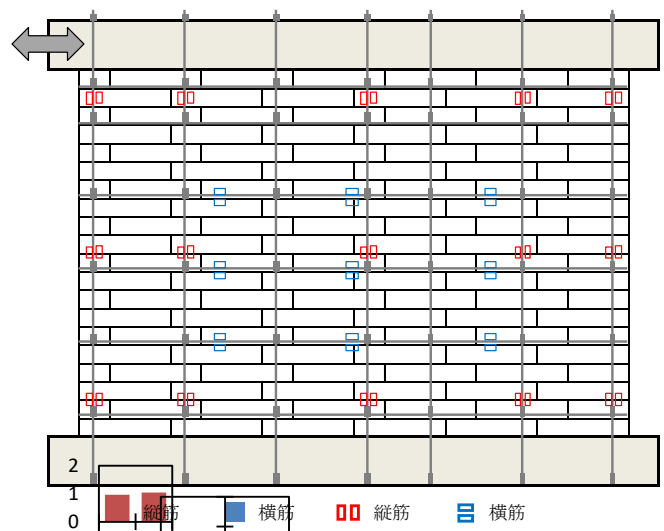
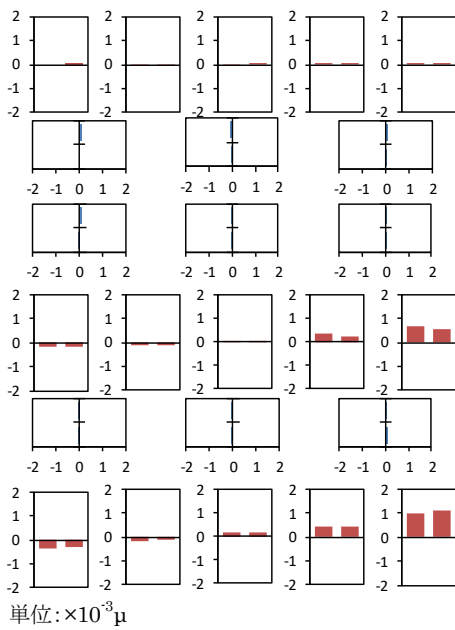
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/750rad)



(e) 写真② (-1/750rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

図 3.48-2 試験結果 (InW-A37-w45・±1/750rad サイクル)

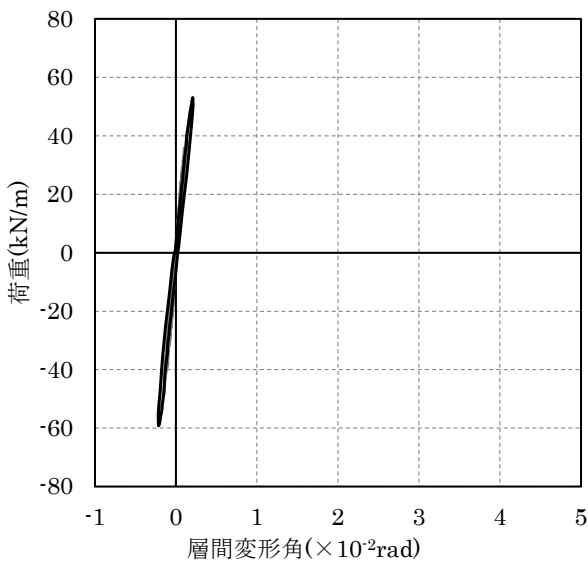


(6)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル

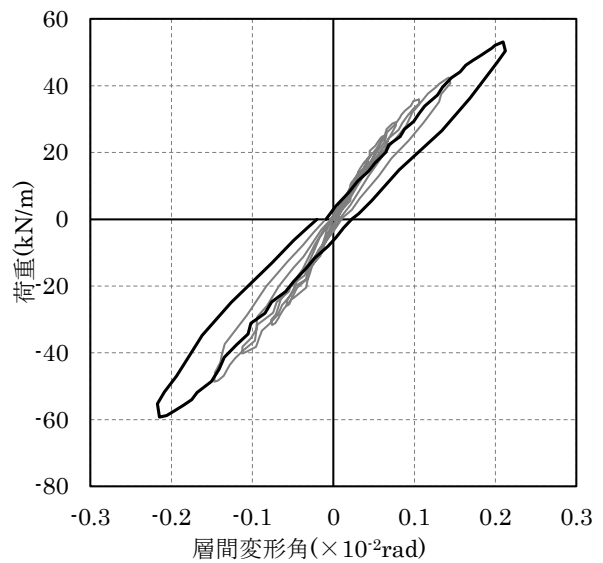
試験結果を図 3.49 に示す。

正側、負側のサイクル共に加力開始から断続的に音が確認され、試験体中段および中央部分までひび割れが発生した。試験体中央部のひび割れは斜め方向のひび割れが多く確認された。

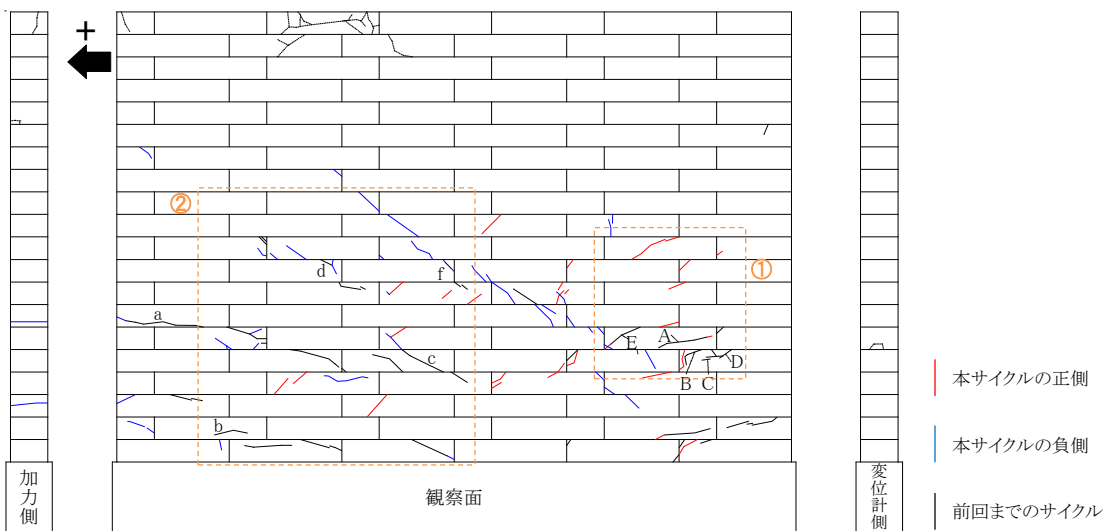
荷重-変形関係をみると、剛性が低下して履歴にやや膨らみが生じていることが確認された。縦筋のひずみゲージの最大値は  $1591\mu$  と降伏には至っていないものの、高い値が確認された。また、正側で斜め方向のひび割れが多く確認された試験体下部の変位計側の横筋では、ひずみゲージの値が  $421\mu$  となり、壁に作用するせん断力を横筋が負担していることが確認された。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)



(c) ひび割れ図

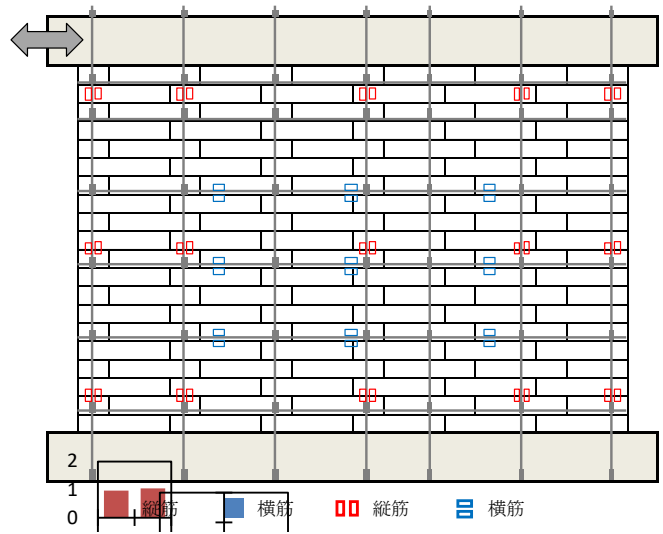
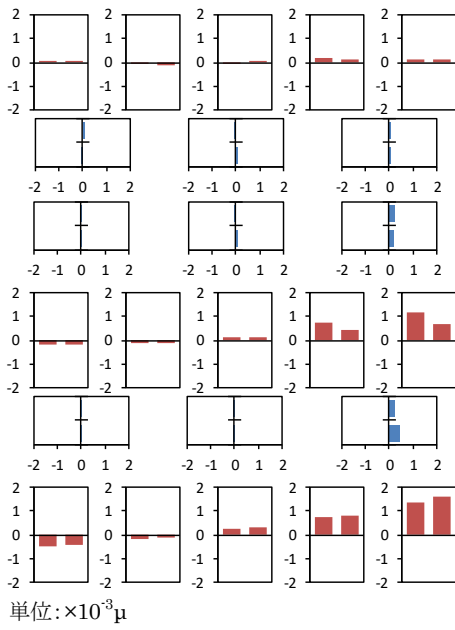
図 3.49-1 試験結果 (InW-A37-w45・ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル)



(d) 写真① (+1/500rad)



(e) 写真② (-1/500rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

図 3.49-2 試験結果 (InW-A37-w45・±1/500rad サイクル)

(7)  $\pm 1/250\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.50 に示す。

正側のサイクルでは  $1/500\text{rad}$  程度から断続的に音が鳴り続け、 $+1/406\text{rad}$  で引張側縦筋の脚部が降伏して剛性が低下した。その後、 $+1/275\text{rad}$  程度で大きな音が生じて、 $+1/264\text{rad}$  で最大荷重を記録した。試験体には引張側の上部から圧縮側の下部にかけて斜め方向のひび割れが多数発生し、加力側側面（圧縮側）の 1 段目では写真①のように縦方向のひび割れが確認された。

負側のサイクルでも断続的な音が確認され、 $-1/460\text{rad}$  で大きな音が確認され、 $-1/417\text{rad}$  で引張側縦筋の脚部が降伏して剛性が低下した。その後  $-1/380\text{rad}$  で大きな音が確認され、 $-1/250\text{rad}$  付近で図(f)に青地で“降伏(負側)”記載した箇所まで横筋が降伏し、 $-1/204\text{rad}$  で負側の最大荷重を記録した。ひび割れは、正側のサイクルと同様に試験体の引張側上部から圧縮側下部にかけて斜め方向に発生し、測定側側面（圧縮側）では写真②のようにブロックが圧壊する様子が確認された。

ひずみゲージの値を見ると、引張側鉄筋の降伏が確認された他、試験体中央部から右側にかけての横筋のひずみゲージの最大値が  $1403\mu$  となり、壁のせん断力が横筋を通じて伝達していることが確認された。

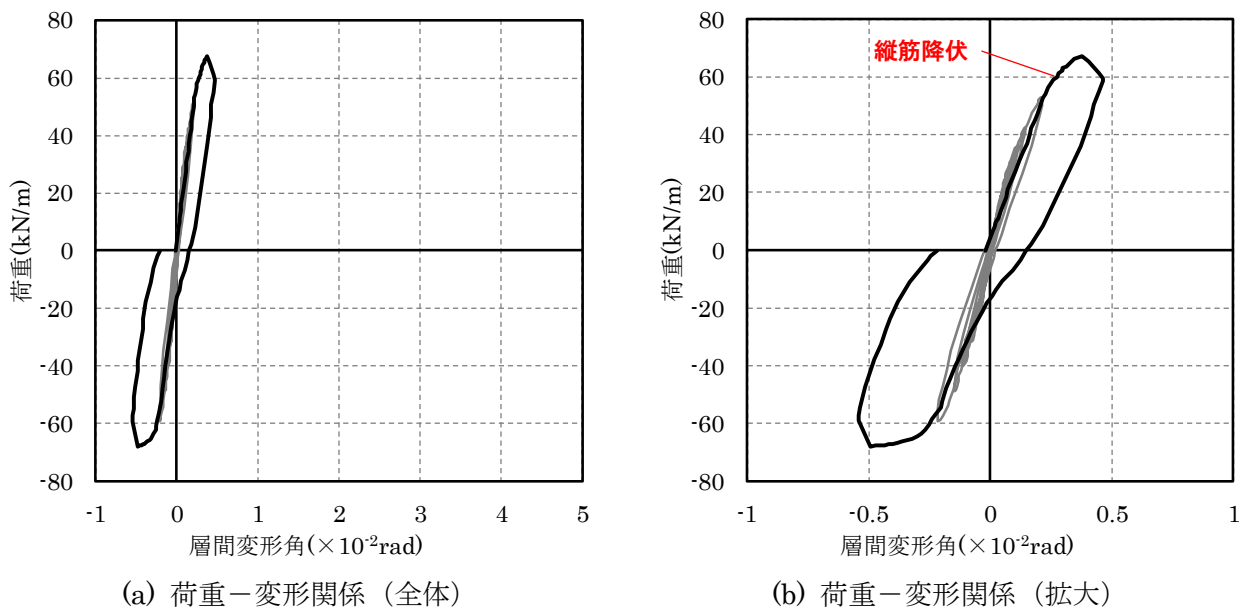
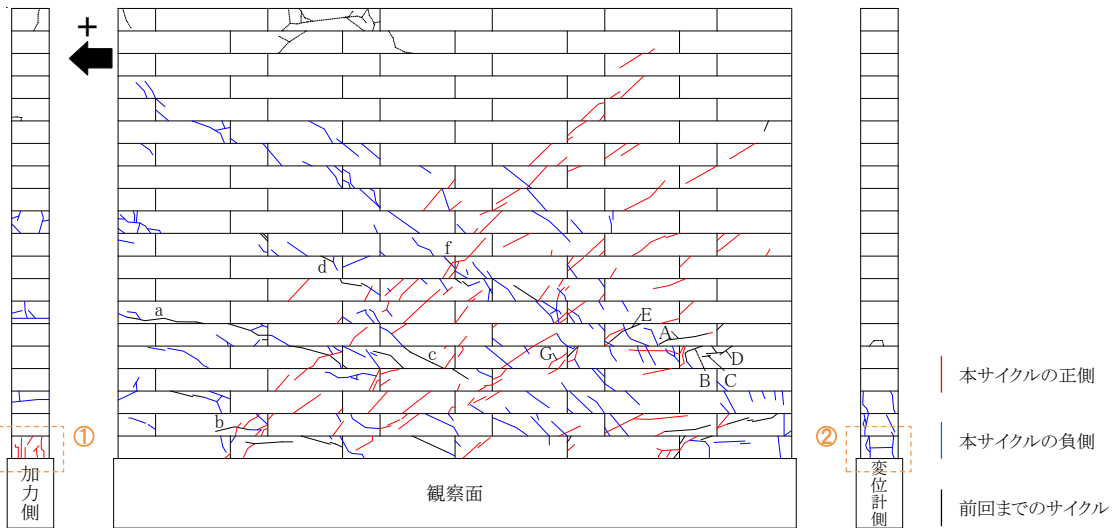


図 3.50-1 試験結果 (InW-A37-w45・ $\pm 1/250\text{rad}$  サイクル)



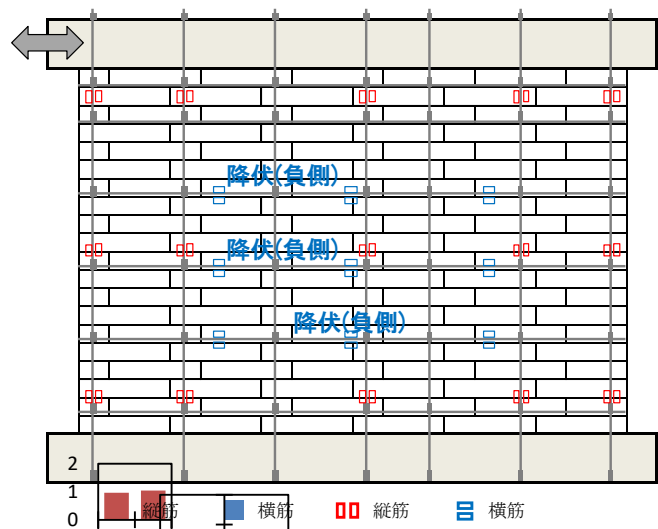
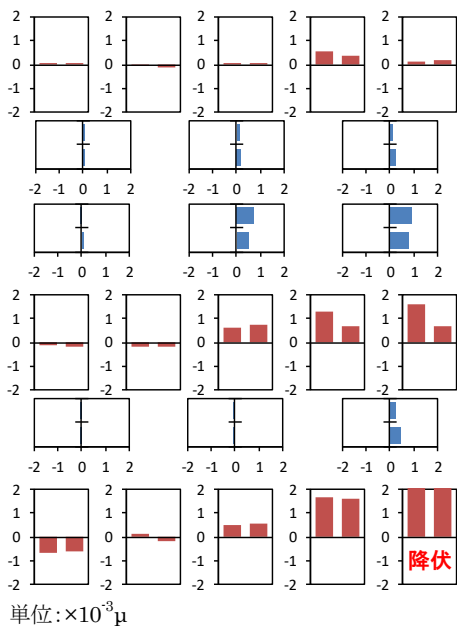
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/250rad)



(e) 写真② (-1/250rad)



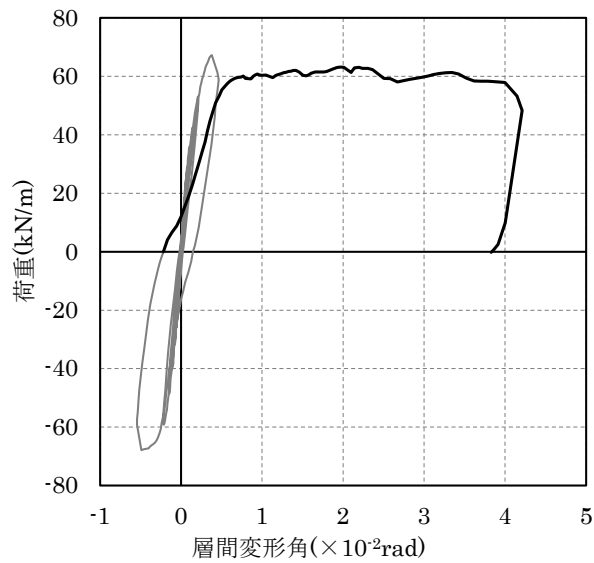
(f) ひずみゲージ (正側)

図 3.50-2 試験結果 (InW-A37-w45・±1/250rad サイクル)

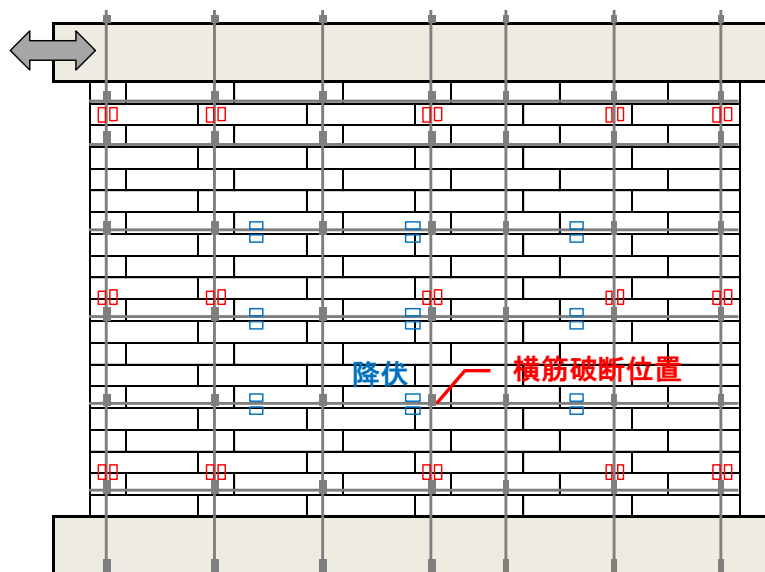
(8) 最大変形角

試験結果を図 3.51 に示す。

正側単調載荷では、+1/230rad 付近で試験体中央下部の横筋の降伏が確認された。+1/150rad 付近で +60kN/m 程度で荷重が一定となり、写真②のように試験体下部の目地のすべりを伴いながら変形が進行した。その後、+1/24rad で試験体中央下部の横筋が写真④のように引張破断したため加力を終了した。破壊性状は、縦筋降伏後に最大荷重を迎え、その後試験体下部でせん断ひび割れの進展により変形が進行し、横筋破断により終局を迎えたため、曲げ降伏後のせん断破壊と判断した。



(a) 荷重－変形関係（全体）

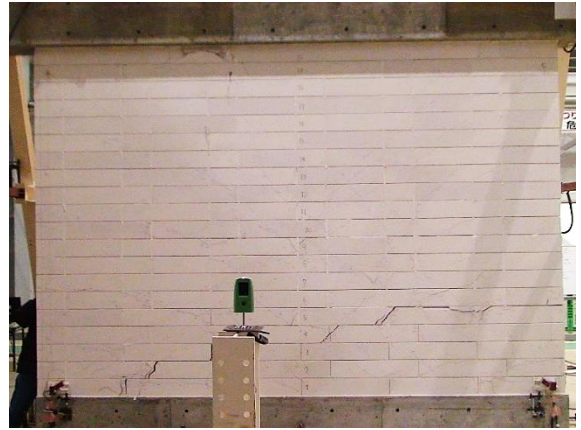


(b) 横筋破断位置

図 3.51-1 試験結果 (InW-A37-w45・最大変形角)



(c) 写真① (荷重ゼロ)



(d) 写真② (+1/80rad)



(e) 写真③ (最大変形角)



(f) 写真④ (破断した横筋)

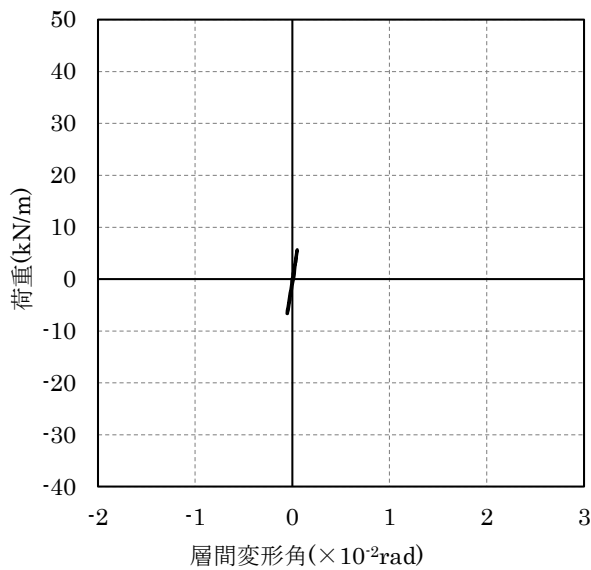
図 3.51-2 試験結果 (InW-A37-w45・最大変形角)

### 3.3.1.7 InW-A42-w15

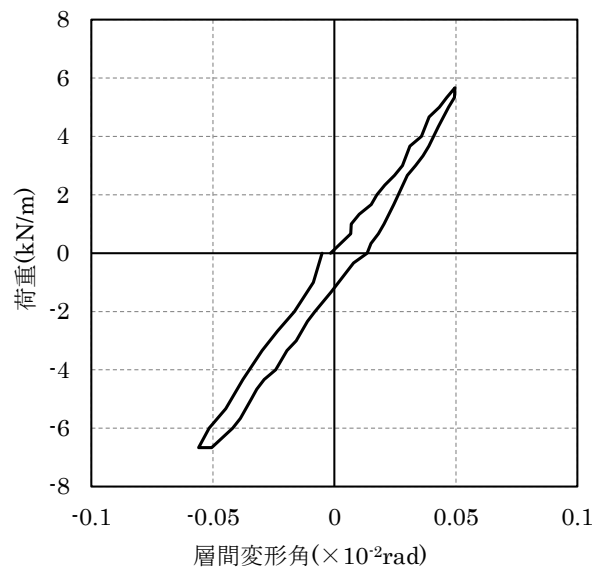
#### (1) $\pm 1/2000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.52 に示す。

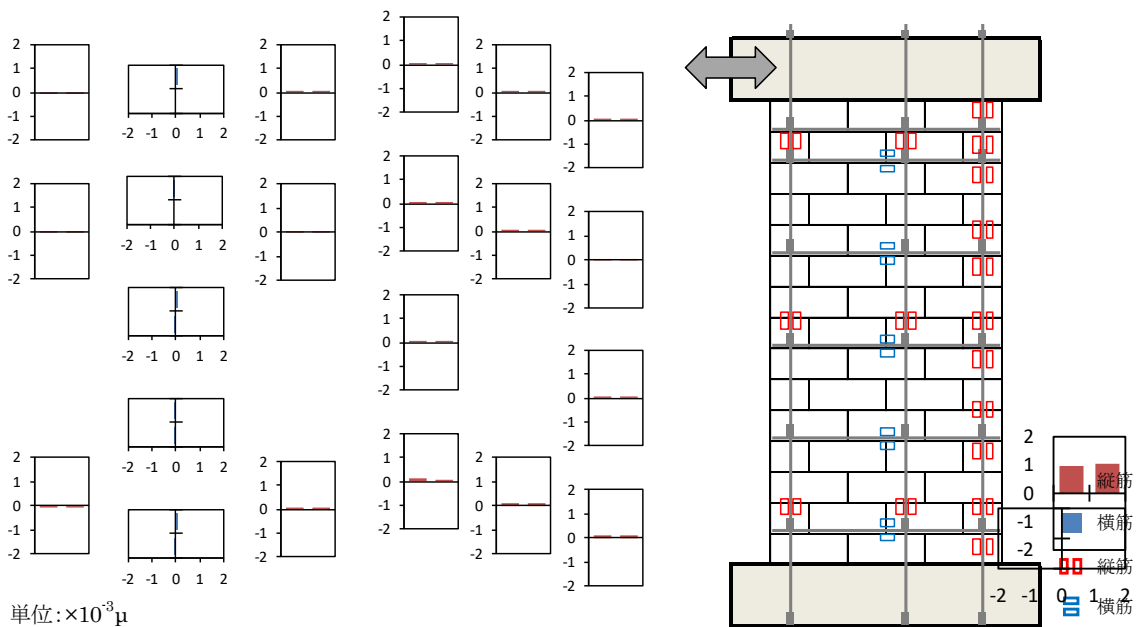
正負サイクル共にひび割れ等の変化は見られず、荷重－変形関係も直線であることから、損傷は生じなかったと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) ひずみゲージ（正側）

図 3.52 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)

## (2) $\pm 1/1000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 3.53 に示す。

正負サイクル共にひび割れ音は確認されなかったが、正負ともに圧縮側下部から試験体中央部の範囲に各ブロックの中央部分に写真①、②のような鉛直方向のひび割れが複数本確認され、プリズム圧縮試験と同様の傾向が確認された。

荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひずみゲージの値も  $237\mu$  と小さいため損傷の程度は小さいと考えられる。

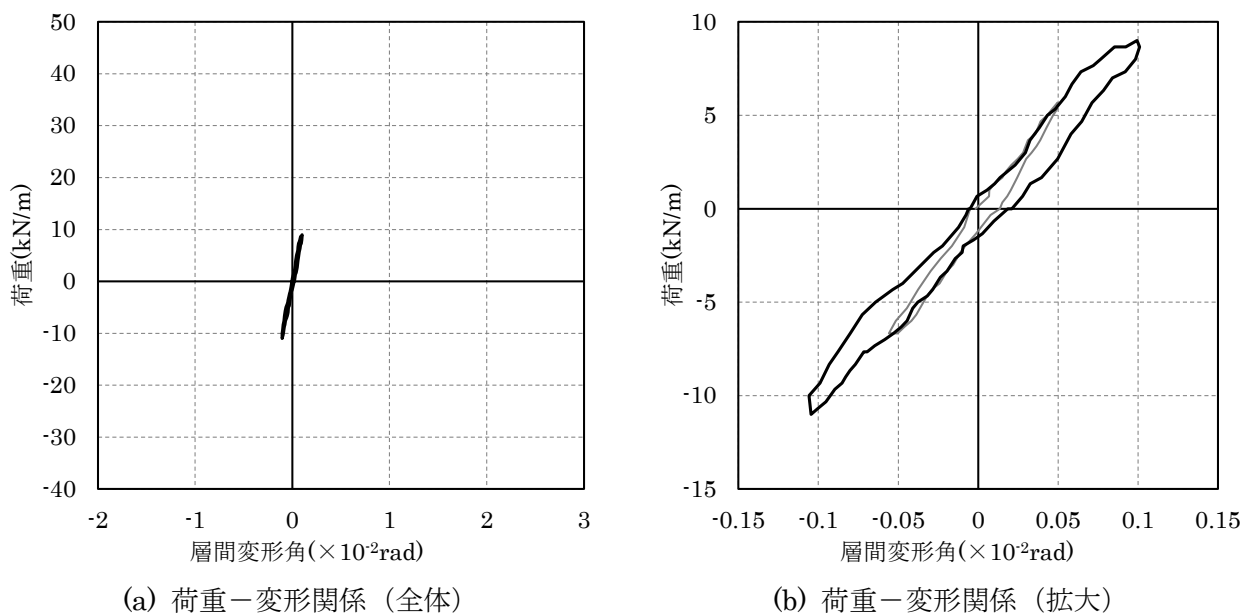
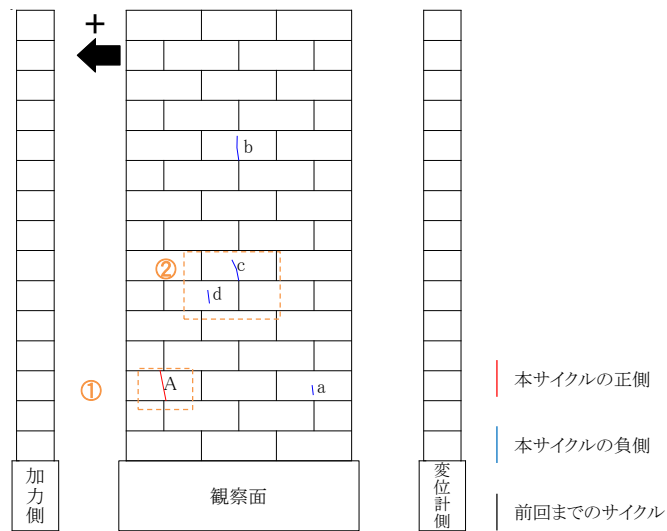
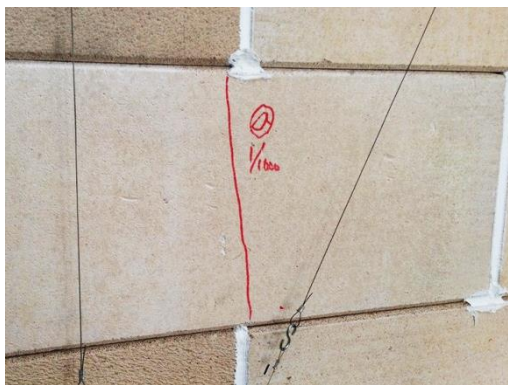


図 3.53-1 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル)

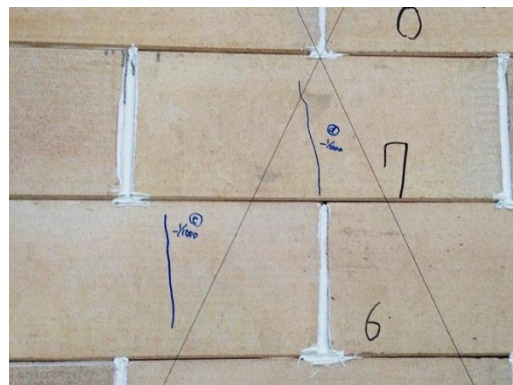




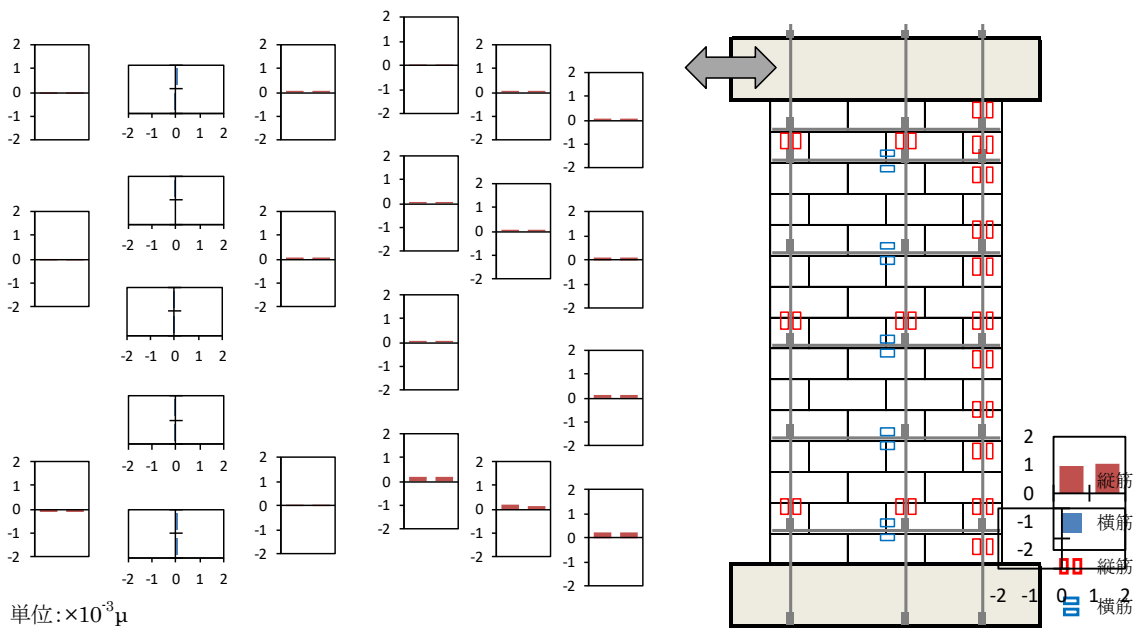
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/1000rad)



(e) 写真② (-1/1000rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

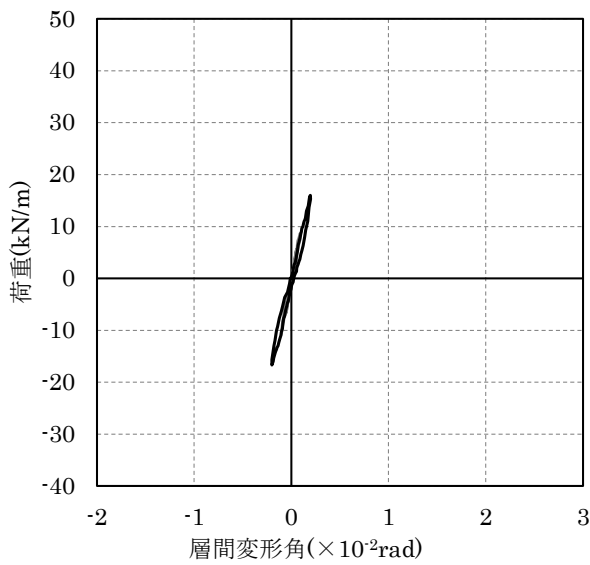
図 3.53-2 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/1000$ rad サイクル)

(3)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル①

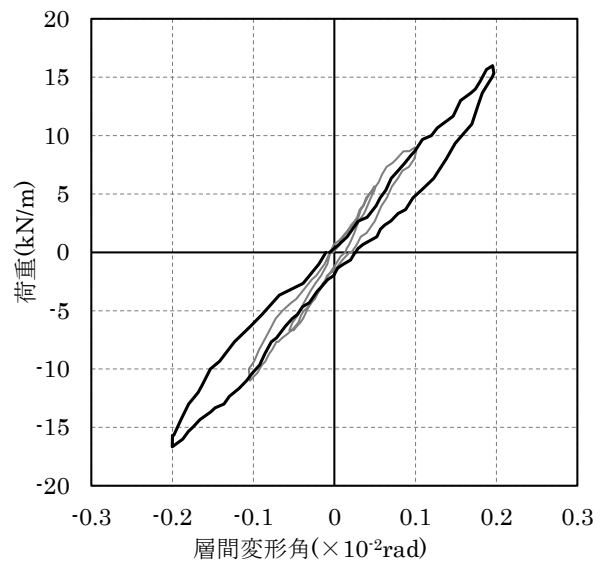
試験結果を図 3.54 に示す。

正側サイクルでは音は聞こえず、鉛直方向のひび割れが試験体中央部に新たに発生した。負側のサイクルでは音を確認され、鉛直方向のひび割れに加えて試験体加力側（引張側）下部に写真②に示す水平方向のひび割れが発生した。除荷後、水平方向のひび割れは閉じたが、鉛直方向のひび割れは残留ひび割れが確認された。

荷重－変形関係は、やや剛性が低下したもののほぼ直線を示した。縦筋のひずみゲージの値は  $636\mu$  が確認されたが降伏には至っていないため、損傷の程度は小さいと考えられる。

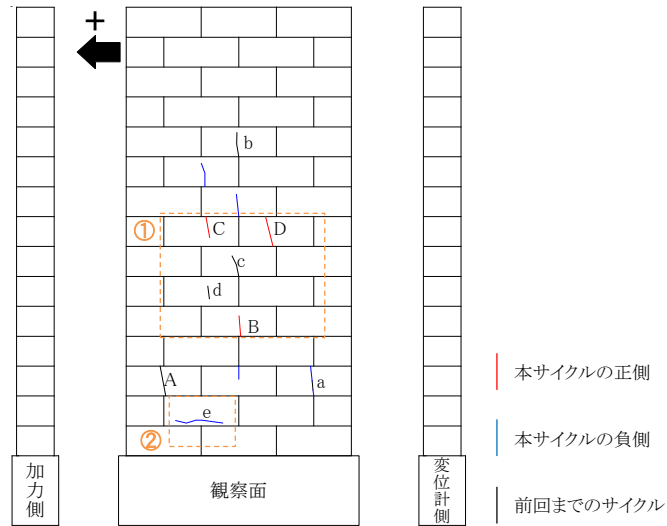


(a) 荷重－変形関係（全体）

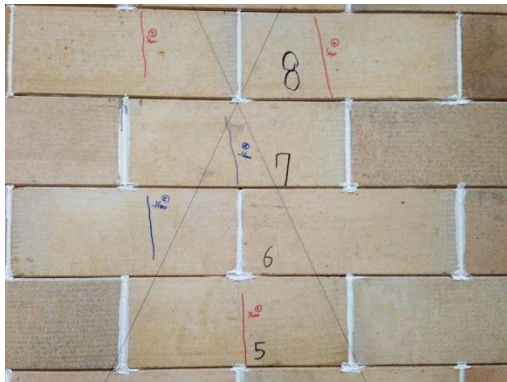


(b) 荷重－変形関係（拡大）

図 3.54-1 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル①)



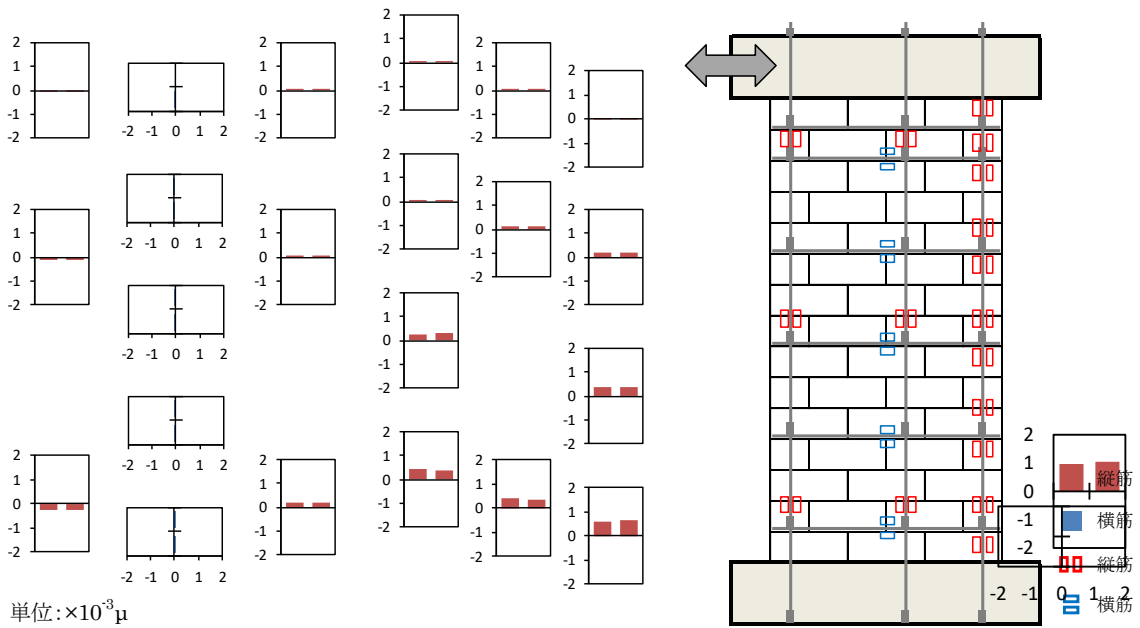
(c) ひび割れ図



(d) 写真① (-1/1000rad)



(e) 写真② (-1/1000rad)



(f) ひずみゲージ (正側)

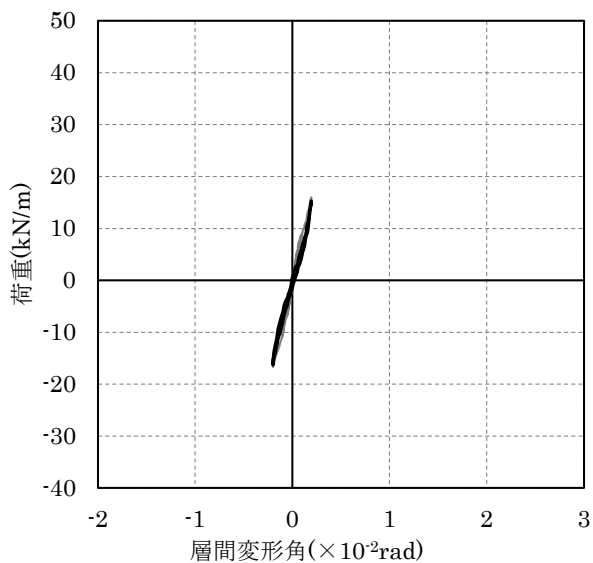
図 3.54-2 試験結果 (InW-A42-w15・±1/500rad サイクル①)

(4) ±1/500rad サイクル②

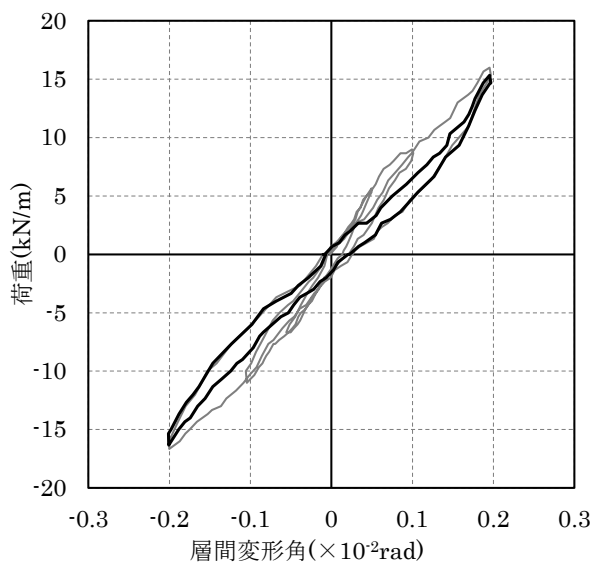
試験結果を図 3.55 に示す。ひずみゲージ値は省略した。

正側のサイクルでは新たに水平方向のひび割れが確認され、負側のサイクルでは鉛直方向のひび割れがさらに発生した。

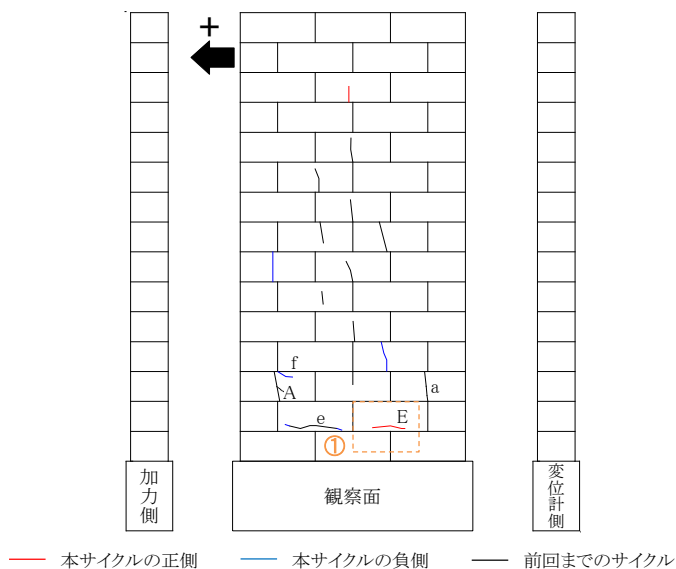
荷重－変形関係は前サイクルと比較してやや剛性が低下するものの、ほぼ直線を示した。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) ひび割れ図



(d) 写真① (1/500rad)

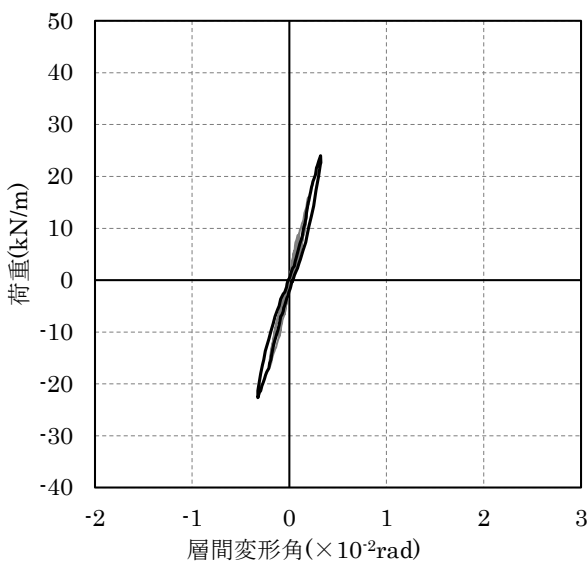
図 3.55-1 試験結果 (InW-A42-w15・±1/500rad サイクル②)

(5)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル①

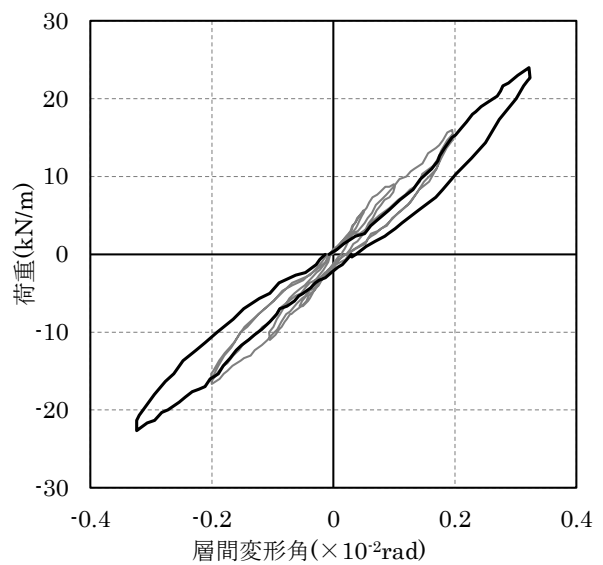
試験結果を図 3.56 に示す。

正側のサイクルでは、 $+1/340\text{rad}$ 、 $+1/320\text{rad}$ 、 $+1/310\text{rad}$  で音が確認され、負側のサイクルでは $-1/450\text{rad}$ 、 $-1/440\text{rad}$ 、 $-1/350\text{rad}$ 、 $-1/310\text{rad}$  で音が確認された。正側のサイクル、負側のサイクル共に、試験体中央の引張側新たに水平方向のひび割れが写真①、③のように確認され、試験体中央部に斜め方向のひび割れが写真②、④のように確認された。

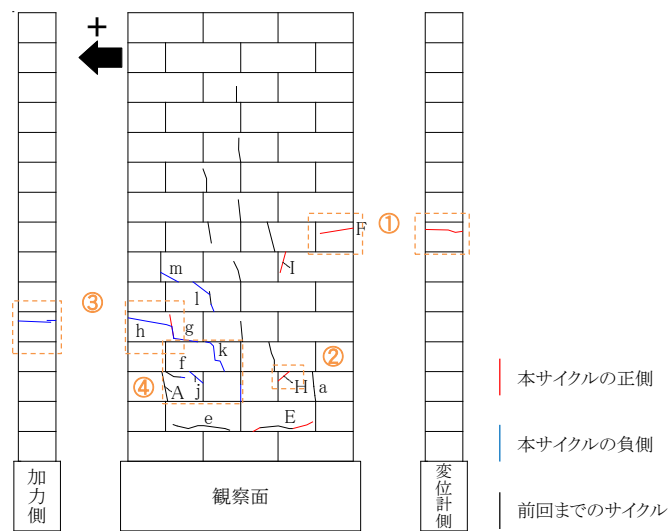
荷重－変形関係はやや膨らみを持った履歴となったがおよそ直線を示しており、縦筋のひずみゲージの最大値も  $1125\mu$  と降伏には至っていないことが確認された。



(a) 荷重－変形関係（全体）

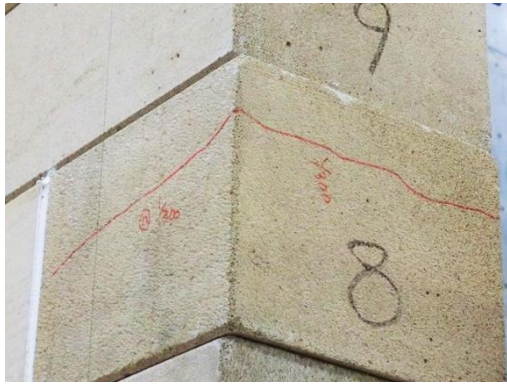


(b) 荷重－変形関係（拡大）

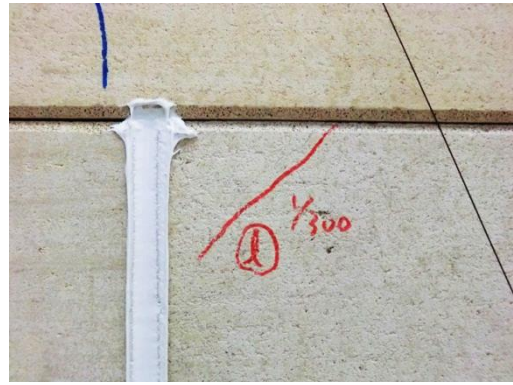


(c) ひび割れ図

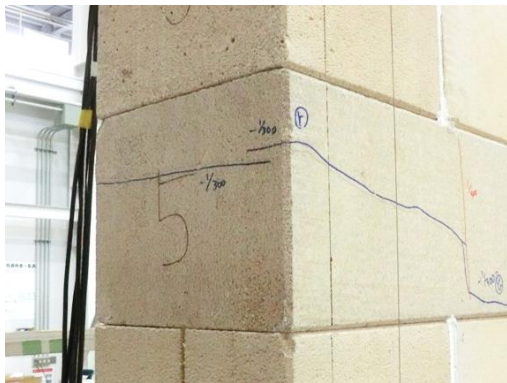
図 3.56-1 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル①)



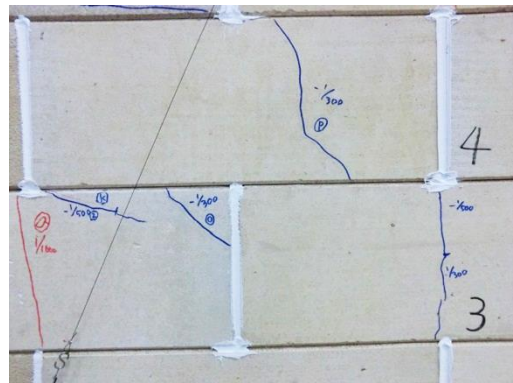
(d) 写真① (+1/300rad)



(e) 写真② (+1/300rad)



(f) 写真③ (-1/300rad)



(g) 写真④ (-1/300rad)

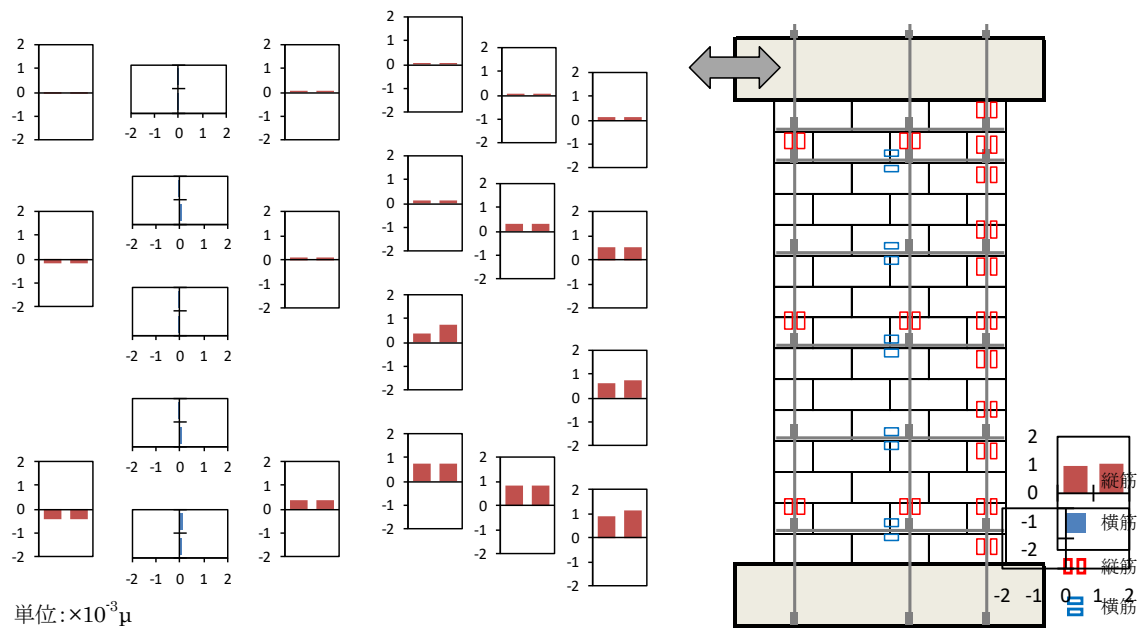
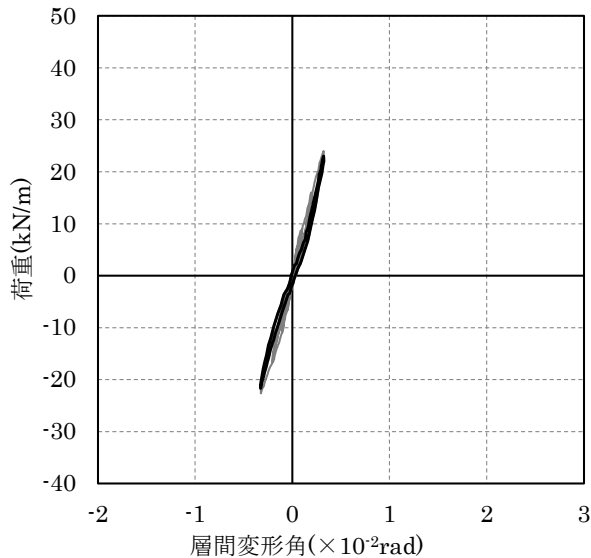


図 3.56-2 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/300$ rad サイクル①)

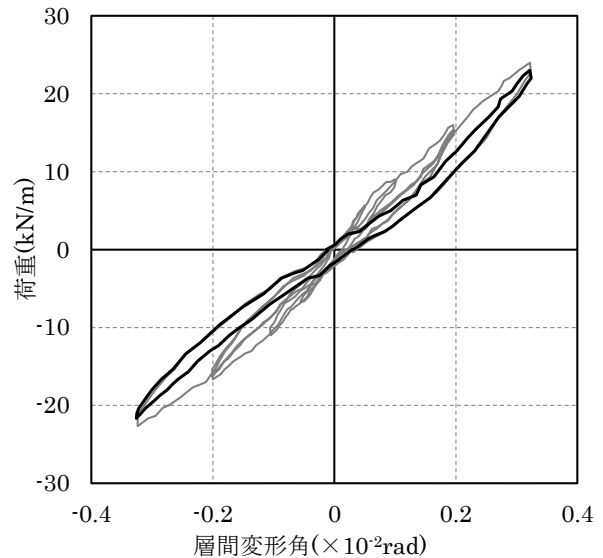
(6)  $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル②

試験結果を図 3.57 に示す。

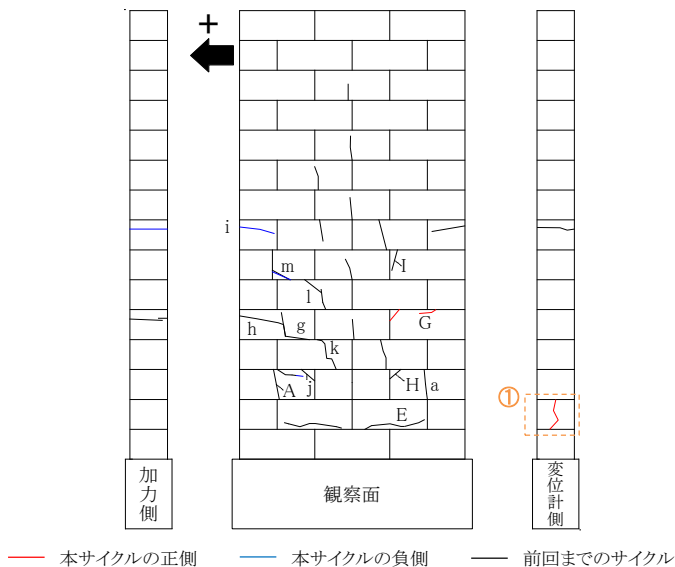
正負共に音は確認されなかったが、ひび割れがやや進展したことが確認された。荷重－変形関係をみると、前サイクルと比較して剛性がやや低下するものの線形的な履歴となったため、損傷の程度は小さいと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/300rad②)

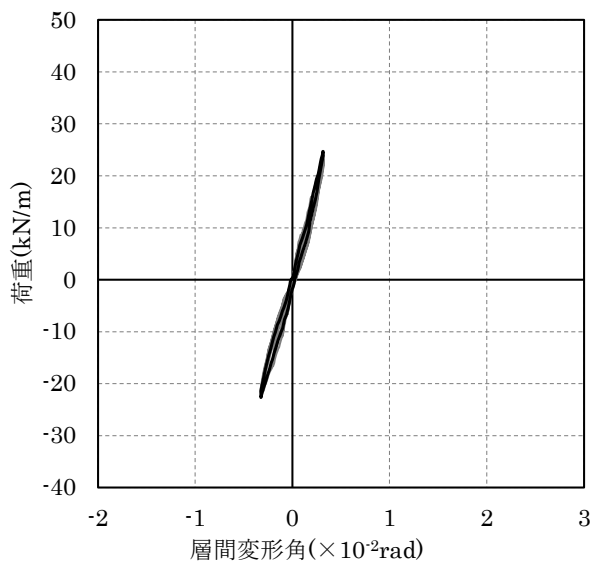
図 3.57-1 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/300\text{rad}$  サイクル②)

(7) ±1/300rad サイクル③

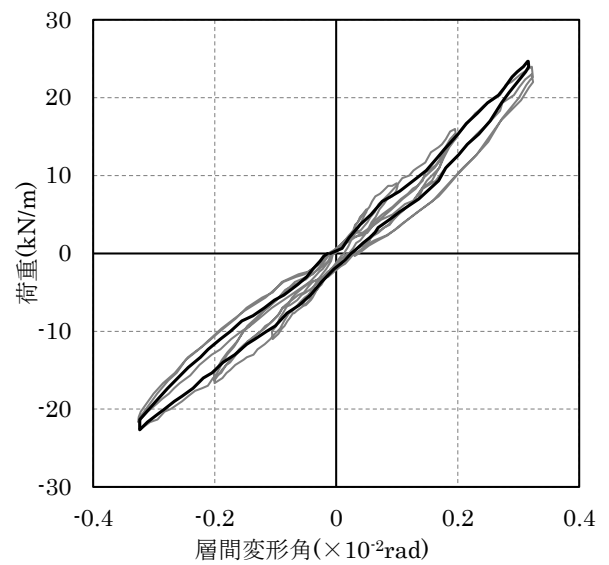
試験結果を図 3.58 に示す。

本サイクルの前に RC 基礎梁下部と反力床に固定した鉄骨治具の接合ボルトが緩んでいることが確認され、ボルトの締め付けを行った。その影響の程度を確認するために再度±1/300rad の载荷を行った。

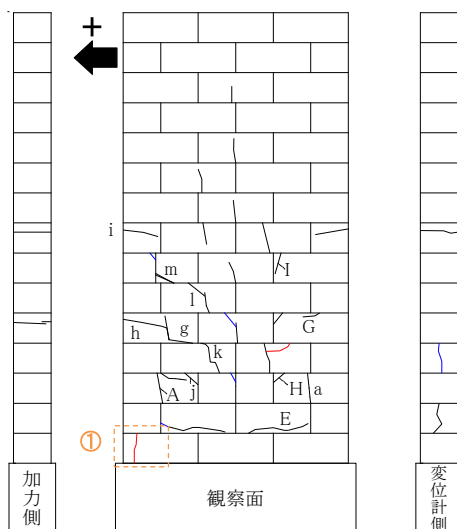
正負ともにややひび割れが進展したことが確認された。正側、負側ともに圧縮側端部に縦方向のひび割れが確認された。荷重-変形関係を見ると、前サイクルよりも剛性がやや上昇しており、ボルトの締め付けによって RC 基礎梁と鉄骨治具の接合部の回転が拘束されたためと考えられる。±1/300rad までは剛性がやや小さく得られていることに留意し、以降の検討を進めることとする。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)



— 本サイクルの正側    — 本サイクルの負側    — 前回までのサイクル

(c) ひび割れ図



(d) 写真① (+1/300rad③)

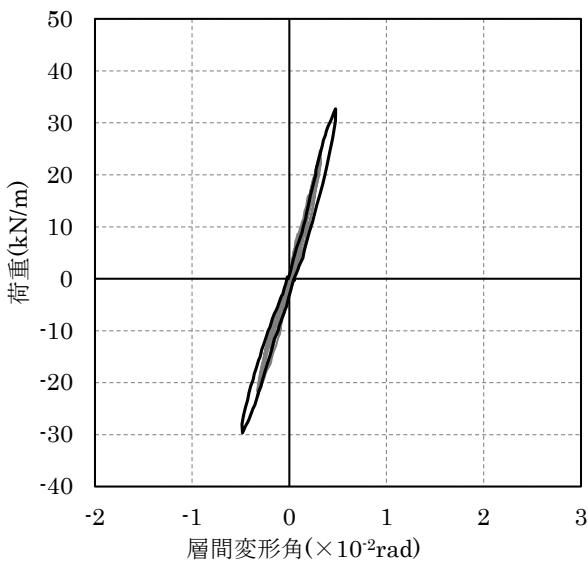
図 3.58-1 試験結果 (InW-A42-w15・±1/300rad サイクル③)



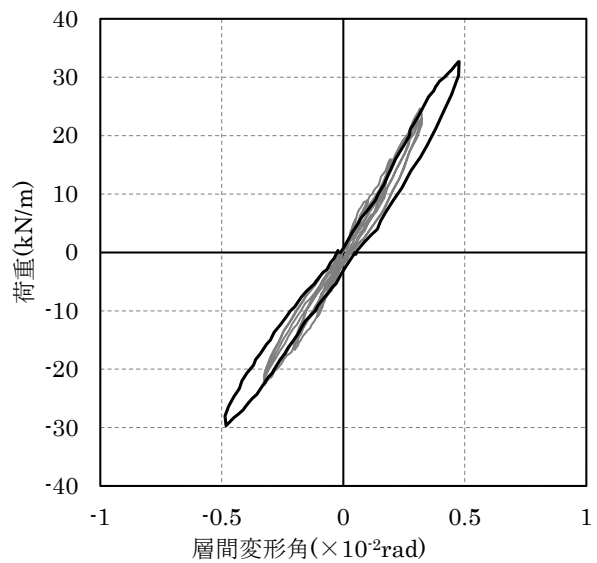
(8)  $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.59 に示す。正側のサイクルでは、 $+1/612\text{rad}$ 、 $+1/450\text{rad}$ 、 $+1/380\text{rad}$ 、 $+1/246\text{rad}$ 、 $+1/200\text{rad}$  で音が確認され、試験体中段から下段にかけて写真①に示すような斜め方向のひび割れが多数確認された。除荷後も写真②のようにひび割れは閉じず、残留ひび割れが生じた。負側のサイクルでは  $-1/250\text{rad}$ 、 $-1/240\text{rad}$ 、 $-1/205\text{rad}$  で音が確認され、正側同様に斜め方向のひび割れが確認された。

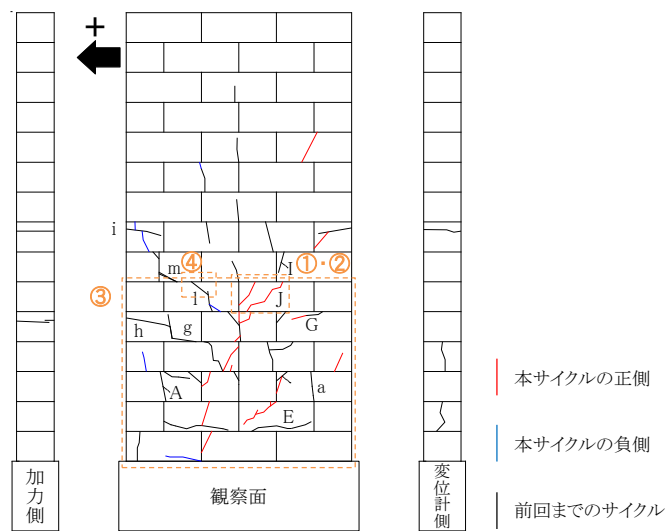
荷重-変形関係では、 $+1/300\text{rad}$  程度からやや剛性が低下した。縦筋のひずみゲージの最大値は  $1704\mu$  と降伏には至らなかったが、ひび割れが壁面全体に広がったことから損傷が生じ始めたと考えられる。横筋のひずみゲージの最大値は  $926\mu$  を示し、横筋によりせん断力が伝達されたことが確認された。



(a) 荷重-変形関係 (全体)

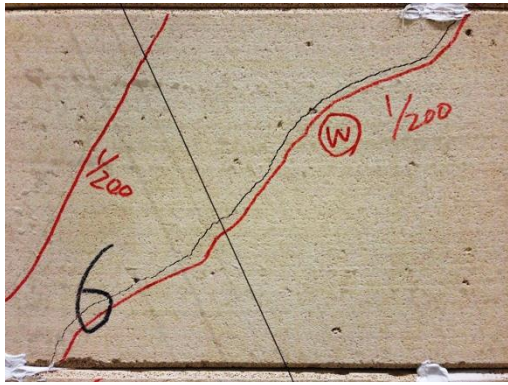


(b) 荷重-変形関係 (拡大)

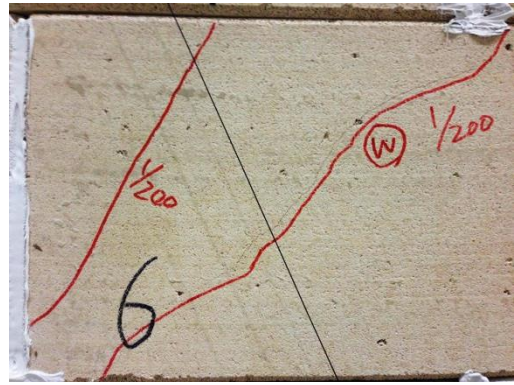


(c) ひび割れ図

図 3.59-1 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/200\text{rad}$  サイクル)



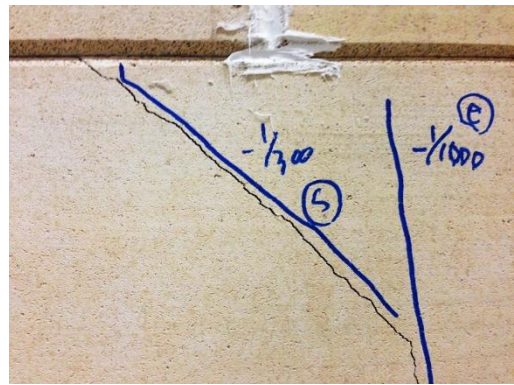
(d) 写真① (+1/200rad)



(e) 写真② (+1/200rad)



(f) 写真③ (-1/200rad)



(g) 写真④ (-1/200rad)

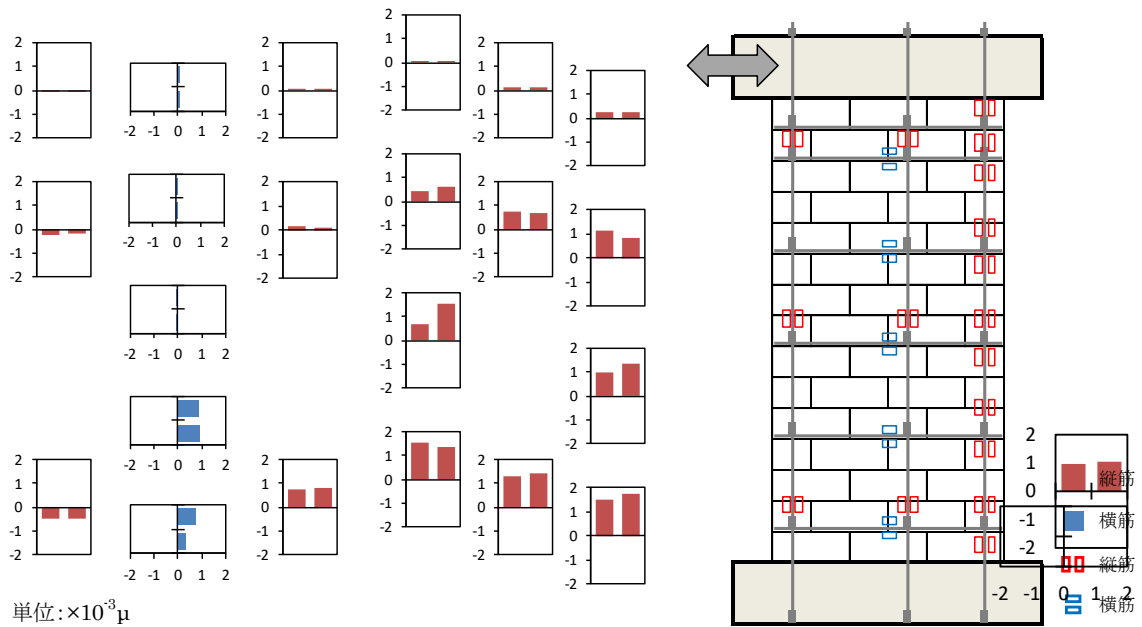


図 3.59-2 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/200$ rad サイクル)

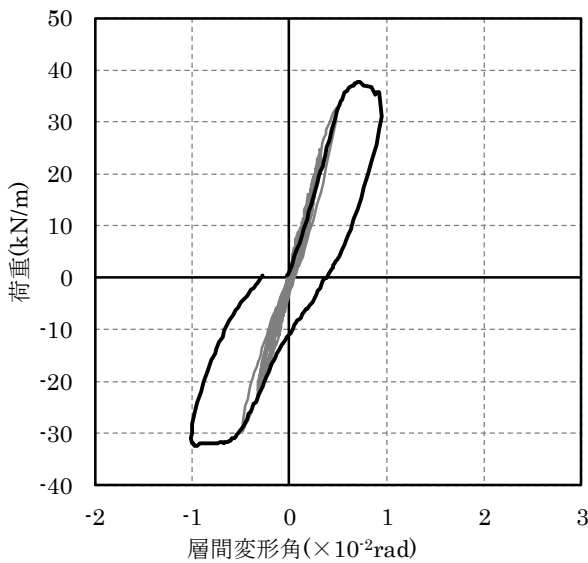
(9)  $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 3.60 に示す。

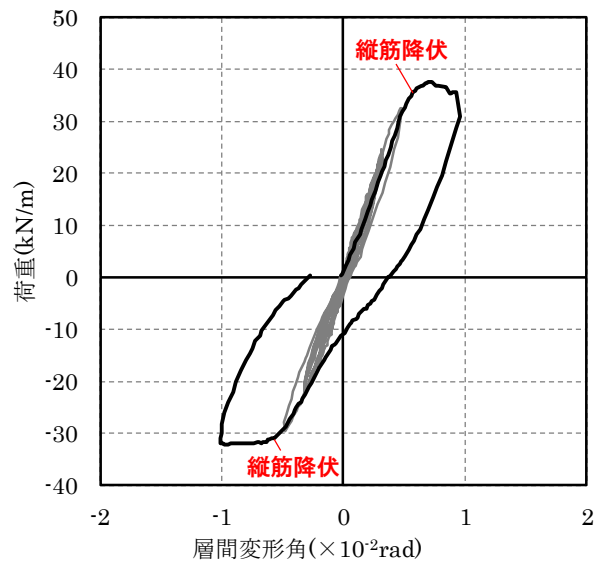
正側のサイクルでは、 $+1/173\text{rad}$ 、 $+1/165\text{rad}$  で音が生じ、 $+1/162\text{rad}$  で大きな音が確認された。その後、 $+1/145\text{rad}$  から断続的に音が確認され、 $+1/105\text{rad}$  で大きな音が確認された。試験体には中段から上段にかけて斜め方向のひび割れが多数発生し、加力側（圧縮側）下段では縦方向のひび割れが多数発生し、圧壊が確認された。また、変位計側（引張側）の RC 基礎梁上に打設したレベラーが RC 基礎梁から剥離する様子も確認された。

負側のサイクルでは $-1/700\text{rad}$ 、 $-1/425\text{rad}$ 、 $-1/263\text{rad}$  で音が、 $-1/183\text{rad}$  ではブロックが割れるような音が確認され、 $-1/157\text{rad}$ 、 $-1/151\text{rad}$  でさらに音が確認された。試験体には正側サイクルと同様に斜め方向のひび割れと縦方向のひび割れが多数確認された。

荷重－変形関係を見ると、 $+1/194\text{rad}$  で変位計側（引張側）下段の縦筋が降伏して剛性が低下し、 $+1/143\text{rad}$  で最大荷重 $+37.7\text{kN/m}$  を記録した。最大荷重後は荷重が徐々に低下していった。負側のサイクルでは $-1/180\text{rad}$  では変位計側（引張側）の縦筋が降伏し、 $-1/105\text{rad}$  で負側の最大荷重を記録した。ひずみゲージ値を見ると、縦筋の降伏の他、上段から下段にかけて横筋に引張ひずみが発生し、試験体中段の横筋では  $1573\mu$  を記録した。

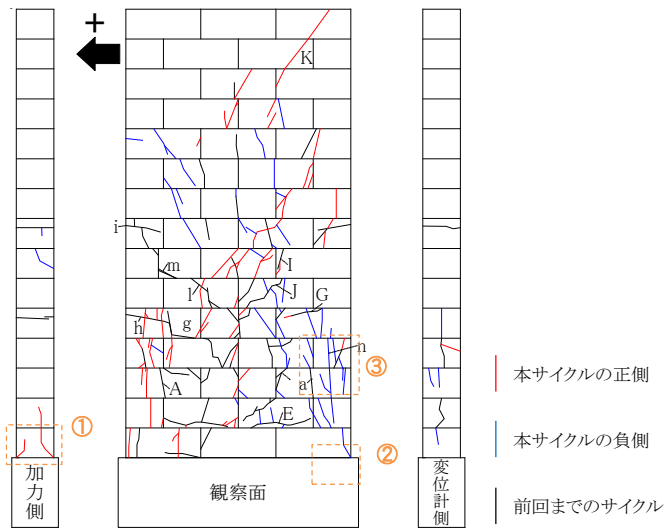


(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

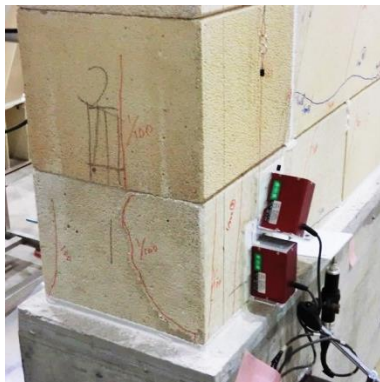
図 3.60-1 試験結果 (InW-A42-w15・ $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル)



(c) ひび割れ図



(d) 試験体中段～下段(-1/100rad)



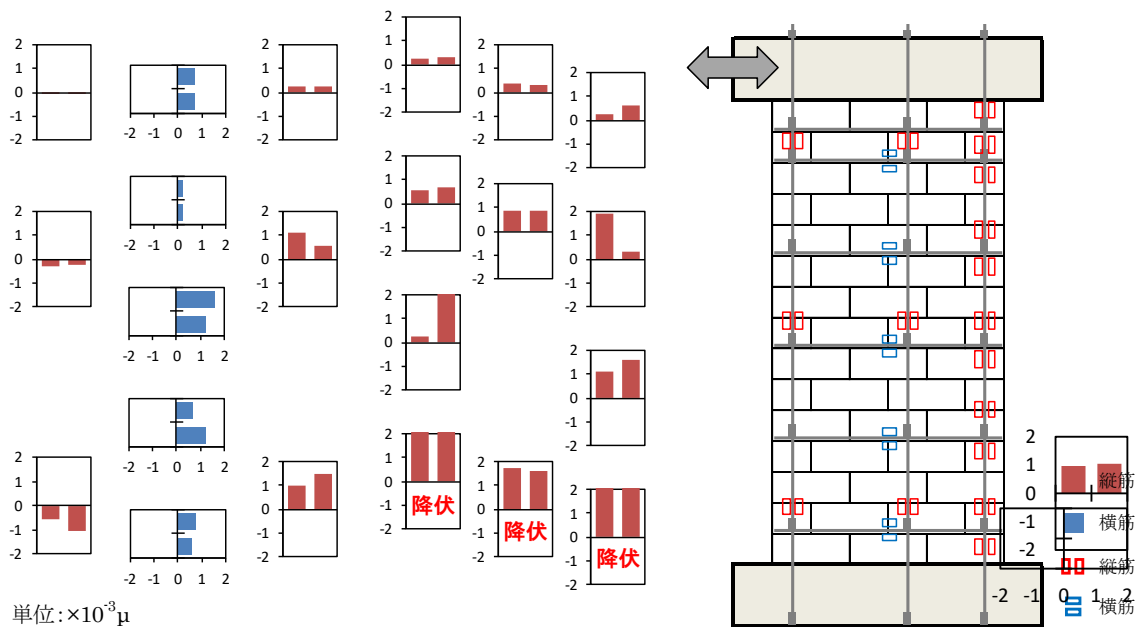
(e) 写真① (+1/100rad)



(f) 写真① (+1/100rad)



(g) 写真① (-1/100rad)



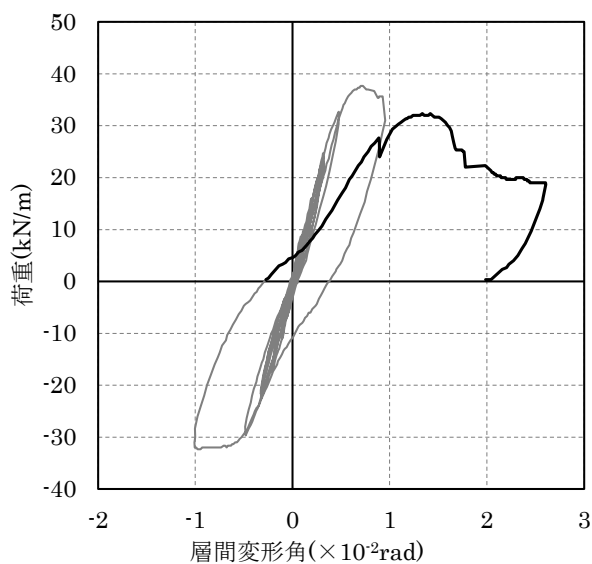
(h) ひずみゲージ (正側)

図 3.60-2 試験結果 (InW-A42-w15・±1/100rad サイクル)

## (10) 最大変形角

試験結果を図 3.61 に示す。

単調載荷では、+1/100rad で観察を行った後、さらに加力を続けた。+1/75rad を超えたあたりから徐々に荷重が下し始めた。+1/54rad では、(b)の写真に示すように試験体下段の加力側（圧縮側）の縦方向のひび割れ、試験体中央の斜め方向のひび割れ、試験体上段の変位計側（引張側）の縦方向のひび割れが拡大および進展していった。その後も荷重が低下しながら変形が進行し、最大荷重の 1/2 程度まで荷重が低下したため加力を終了した。最大変形角時は、+1/54rad 時と同様に、試験体の圧縮側下段から引張側上段にかけてのひび割れが進展、拡大していった。破壊性状は、鉄筋降伏後からの変形能力が乏しく、最大変形角時には斜め方向のひび割れが顕著だったため、曲げ降伏後のせん断破壊と判断した。



(a) 荷重－変形関係（全体）

図 3.61-1 試験結果 (InW-A42-w15・最大変形角)



(b) 試験体全景 (+1/54rad)



(c) 試験体全景 (最大変形角 +1/38rad)

図 3.61-2 試験結果 (InW-A42-w15・最大変形角)

### 3.3.2 試験体のすべりおよび浮上りの確認

一般的な鉄筋コンクリートの柱や耐力壁のせん断実験では、耐力壁の縦筋が基礎梁から引き抜ける影響が無視できないと言われている。ALCは鉄筋コンクリートと比較して強度およびヤング係数が1/10程度のため、縦筋の基礎からの抜け出しによる影響は小さいと考えられるが、その程度は明らかでない。本項では、基礎部分に設置した変位計の値を用いてその影響の程度を確認する。

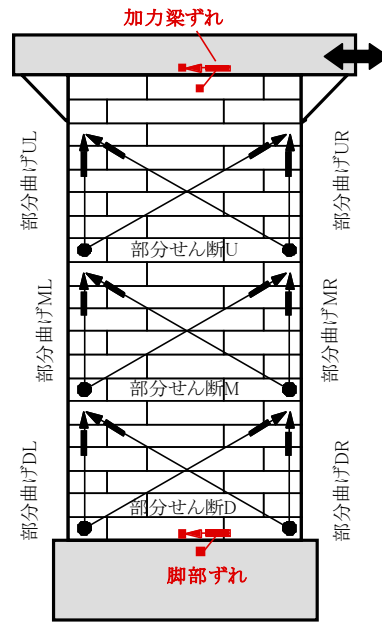
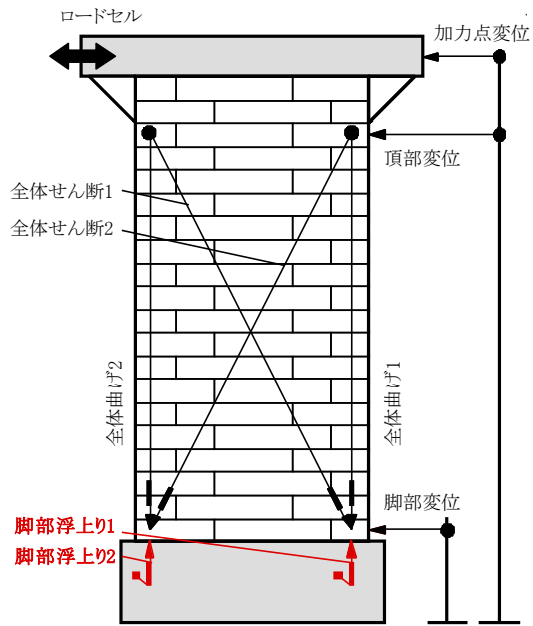
測定計画の代表図を図 3.62 に、荷重と浮上り、加力梁ずれおよび脚部ずれの関係を図 3.63 に、A37 シリーズと A42 シリーズにおける試験体頂部と基礎から求めた層間変形角と試験体頂部と試験体脚部から求めた層間変形角を比較した荷重-変形関係を図 3.64 に示す。図 3.62 には、図 3.63 に示すすべりと浮き上がりの測定箇所および図 3.64 に示す基礎と試験体脚部の測定箇所を赤色で示した。図 3.63 には、縦筋降伏時の荷重を青線で示した。基礎における水平変位（固定点変位）は A37 シリーズと A42 シリーズのみで測定したため、図 3.64 には A37 シリーズと A42 シリーズの結果を示した。図 3.64 の左側は全体の荷重-変形関係を、右側は $\pm 1/500\text{rad}$  までの荷重-変形関係を示した。

荷重と浮上りの関係をみると、縦筋が降伏するまでの試験体脚部の破壊が小さい範囲では浮上りの影響も小さいことが分かる。降伏後は、圧縮側の測定点で試験体脚部の圧壊により負の値を示し、InW-A37-w15 では引張側の測定点で鉄筋の伸びにより正の値を示した。

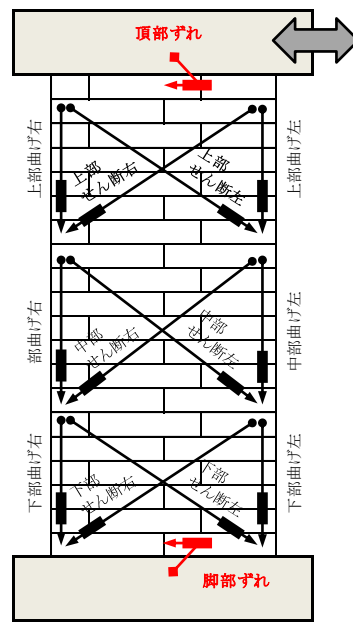
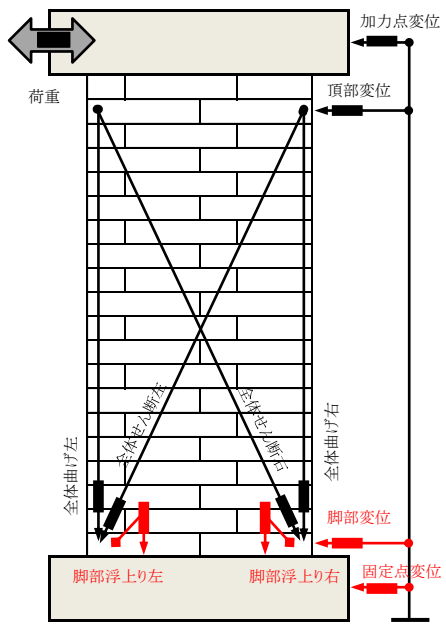
図 3.64 の層間変形角の比較を見ると、層間変形角が小さい $\pm 1/500\text{rad}$  程度までであればほとんど差がないことが分かる。また、変形が大きくなるに従い、基礎からの層間変形角の値が試験体脚部からの層間変形角の値よりも小さくなる傾向を示した。これは、変形が大きくなるに従ってせん断破壊が顕著になったため、測定間隔が大きい基礎からの層間変形角の方が試験体脚部からの層間変形角よりも値が小さく算出されたためと考えられる。

加力梁のずれに関しては、加力梁頂部で破壊した InW-A50-w45 を除いて小さいことが分かる。InW-A50-w15 ではネジ山破壊後に加力梁のずれが生じたが、その後の加力ではずれが進行していない。脚部のずれに関しては、縦筋が降伏するまでの試験体脚部の破壊が小さい範囲では値が小さく、降伏後はブロック表面の破壊などの影響で変形が生じたと考えられる。

以上より、縦筋が降伏する前の $\pm 1/500\text{rad}$  程度までであれば、鉄筋コンクリートの柱や耐力壁のような縦筋の抜け出しによる影響は小さいと考えられるため、本章の A37 シリーズおよび A42 シリーズでは、試験体頂部と基礎から求めた層間変形角を用いて考察を行う。



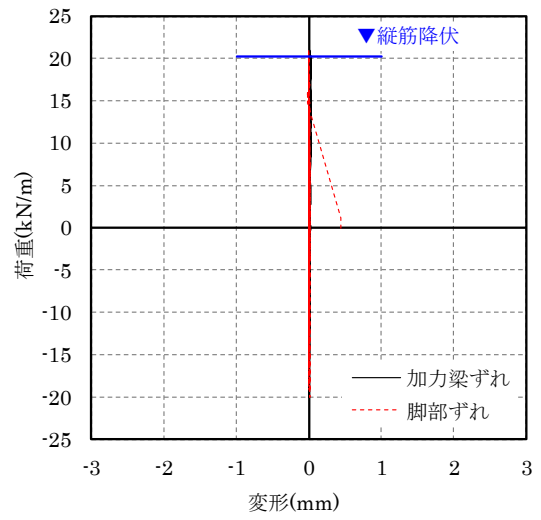
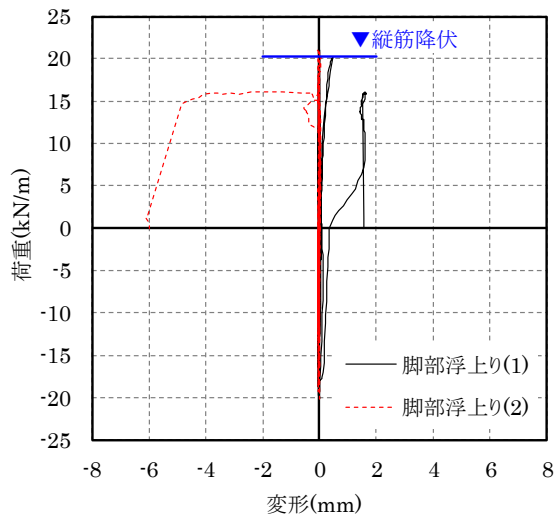
(a) InW-A50-w15



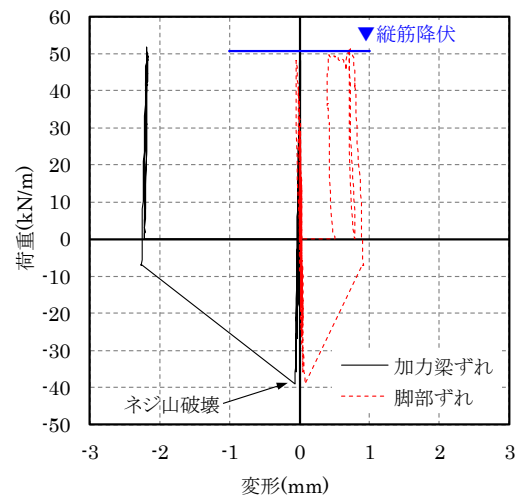
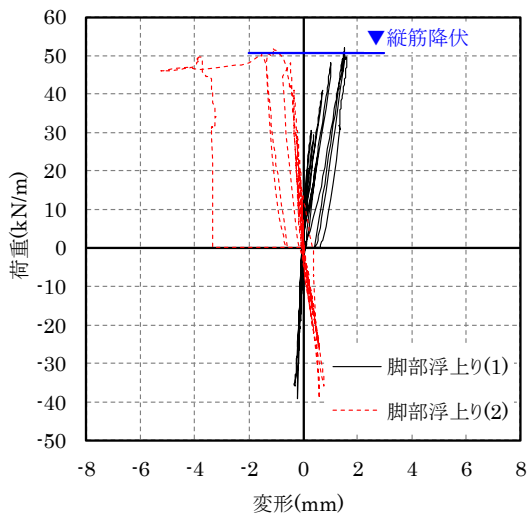
(b) InW-A37-w15

図 3.62 測定計画の代表図

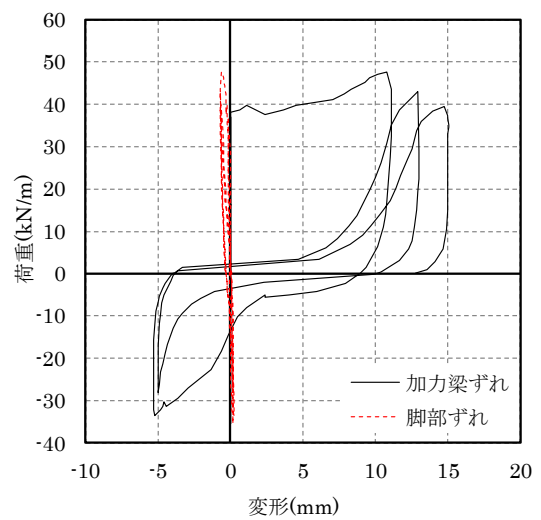
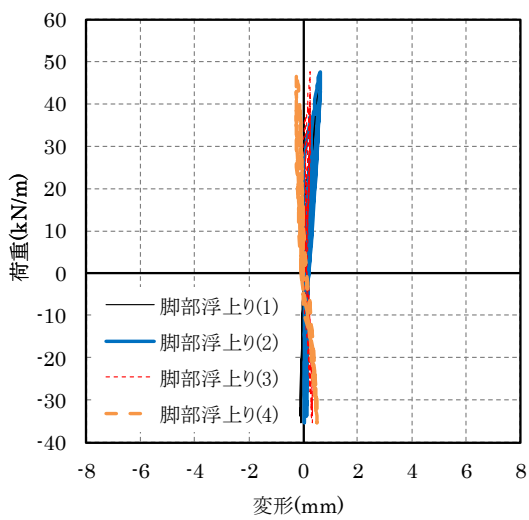




(a) InW-A50-w10

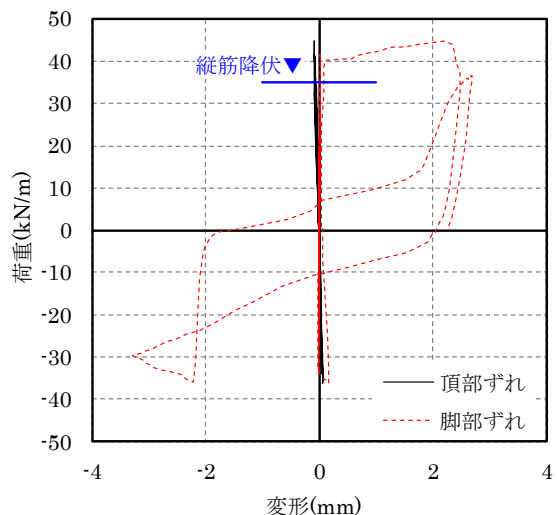
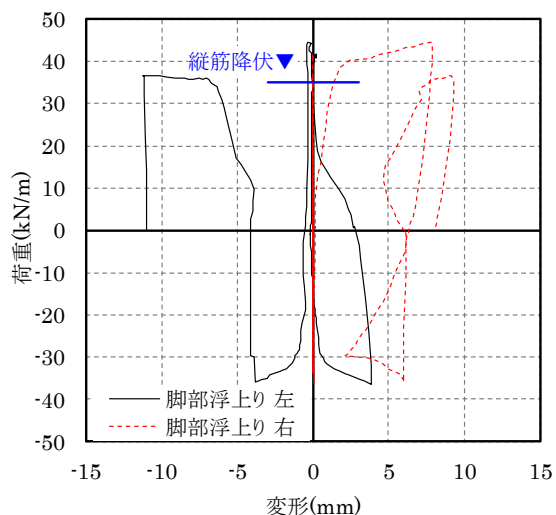


(b) InW-A50-w15

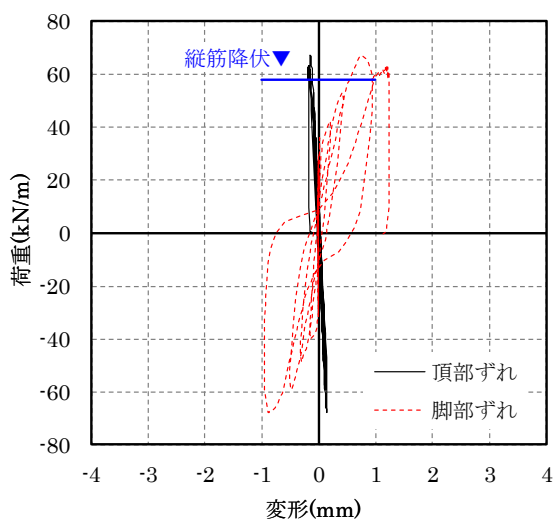
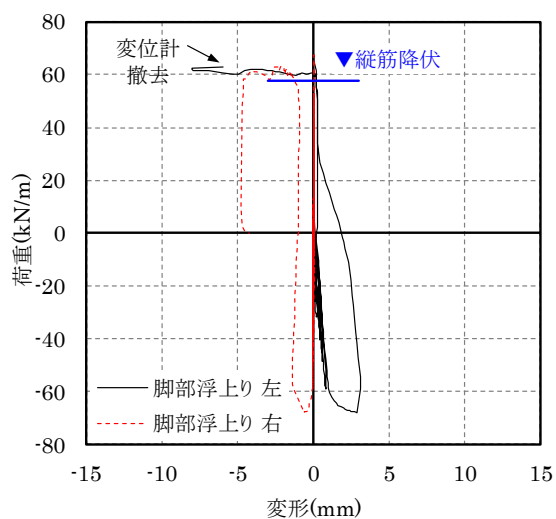


(c) InW-A50-w45

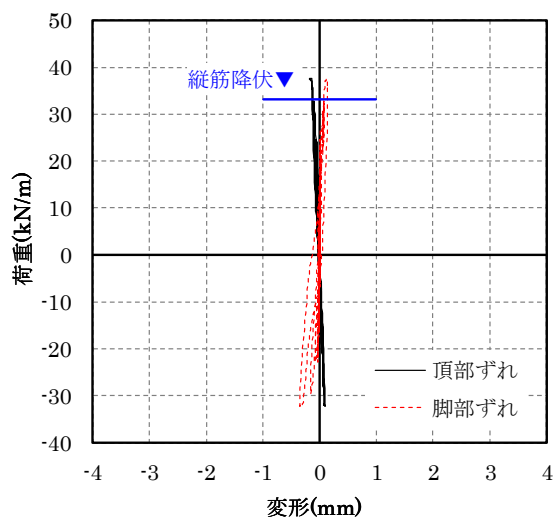
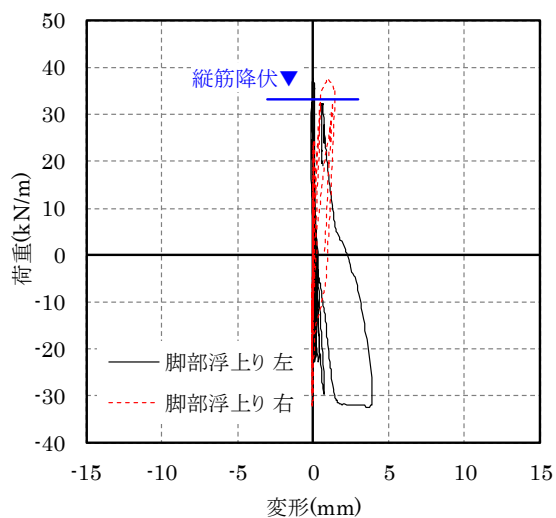
図 3.63-1 荷重と浮上りの関係および荷重とずれの関係



(d) InW-A37-w15

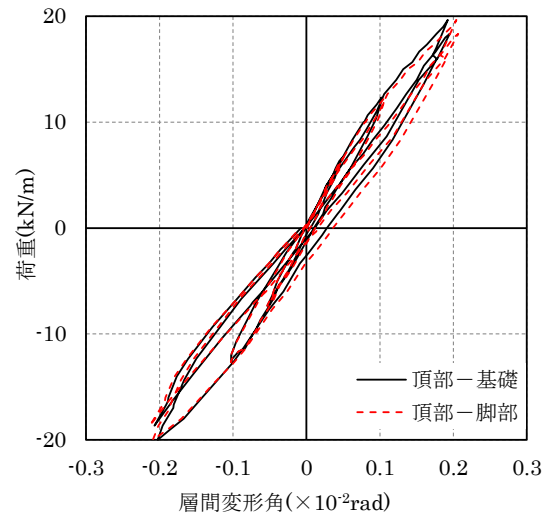
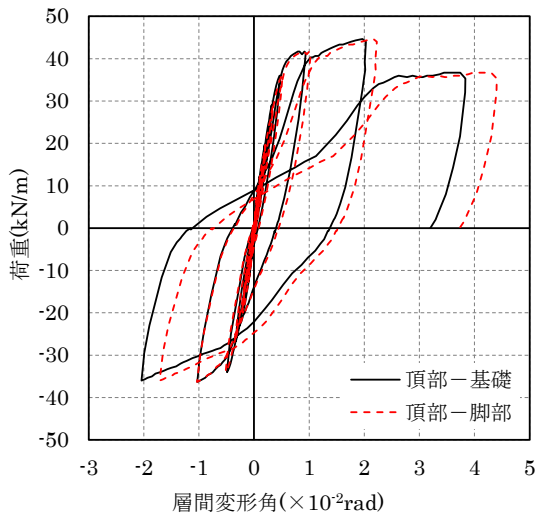


(e) InW-A37-w45

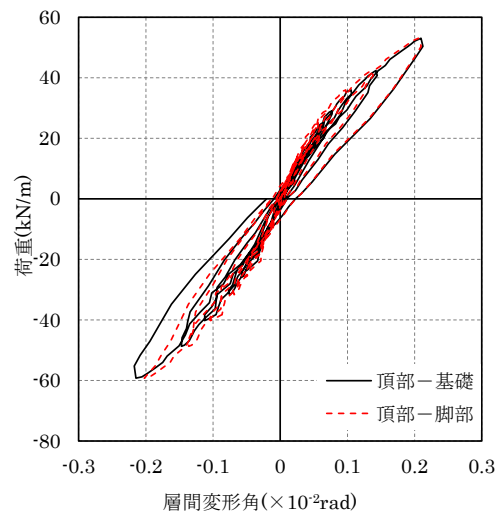
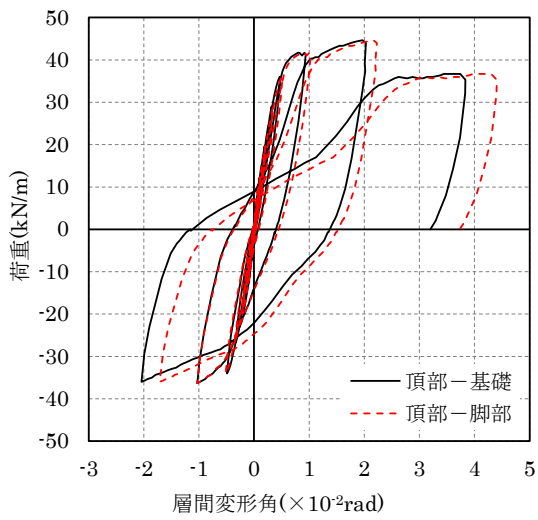


(f) InW-A42-w15

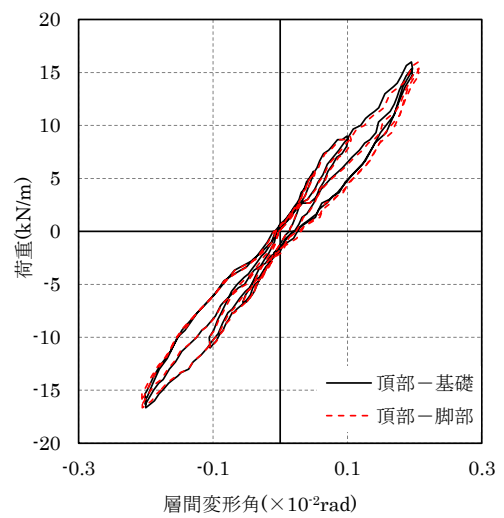
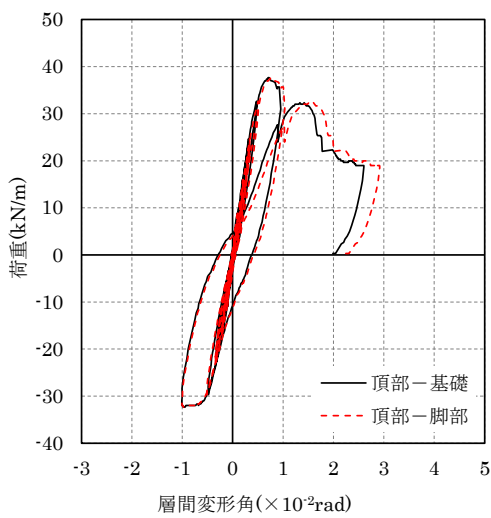
図 3.63-2 荷重と浮上りおよびずれの関係



(a) InW-A37-w15



(b) InW-A37-w45



(c) InW-A42-w15

図 3.64 荷重-変形関係の比較

### 3.3.3 破壊性状と荷重－変形関係のまとめ

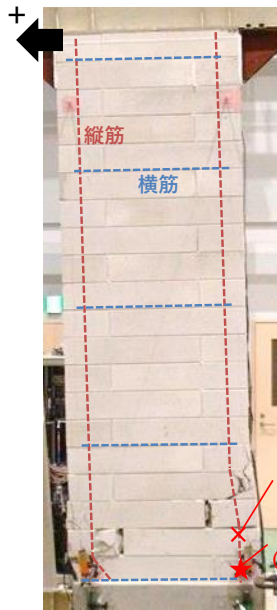
本項では各試験体の破壊性状と荷重－変形関係を比較しながら、ブロック材料や壁幅が面内せん断性状に与える影響について確認する。各試験体の最終破壊状況と鉄筋位置の関係を図 3.65 に、各試験体の荷重－層間変形角関係を図 3.66 に、実験結果一覧を表 3.8 に、包絡線を拡大して初期剛性を確認したものを図 3.67 に、各試験体の包絡線を図 3.68 に示す。包絡線は載荷サイクルと観察に伴う除荷の影響を除いたものとし、図 3.65 および図 3.68 では InW-A50-w45 の記載を省略した。試験体のブロック表面に発生したひび割れは、水平方向のひび割れを曲げひび割れと、斜め方向のひび割れをせん断ひび割れと判断した。各試験体のひび割れ状況の詳細は後述の 3.3.5 項に示す。

図 3.66 の各試験体の荷重－変形関係および表 3.8 をみると、InW-A50-w45 を除くすべての試験体で曲げひび割れ、せん断ひび割れ、曲げ降伏が確認された後、最大荷重を迎えた。最終破壊状況を示した図 3.65 をみると、曲げ降伏後のせん断破壊と判断した InW-A50-w15 と InW-A37-w45 と比較して曲げ破壊と判断した InW-A50-w10 と InW-A37-w15 では試験体下部の ALC ブロックが破壊する範囲が小さく、圧縮縁側に集中していることがわかる。

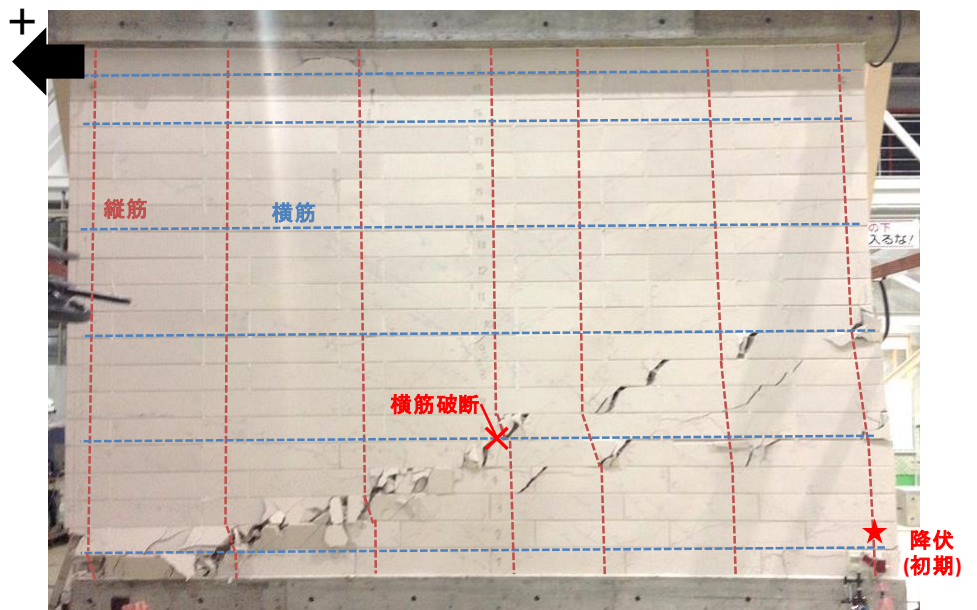
包絡線の拡大図を示した図 3.67 をみると、曲げひび割れ発生前に初期剛性が低下する挙動が確認された。試験体表面には明瞭なひび割れが確認されなかったが、引張側の水平目地部において ALC とグラウトの付着が引張力により剥離したものと考えられる。以降、荷重－層間変形角関係で初期剛性が低下した点を初期剛性低下点と定義する。

各試験体の包絡線を比較した図 3.68 をみると、単位長さあたりの初期剛性は壁幅が長いほど高くなり、壁幅 1.5m の試験体と壁幅 4.5m の試験体でのブロック種類の違いによる初期剛性への影響は小さかった。壁幅 1.5m の試験体における最大荷重後の挙動について、InW-A37-w15 では縦筋降伏後に荷重が増加して+1/51rad で最大荷重を迎えたが、InW-A50-w15 では縦筋降伏後すぐに+1/110rad で最大荷重を迎えた。これは図 3.65 に示すように、InW-A50-w15 の下から 5 段目までに横筋が入っておらず、縦筋降伏直後にせん断破壊が進行したためと考えられる。最大荷重後は、InW-A37-w15、InW-A50-w15 ともに最大荷重の 8 割程度の荷重を保ちながら変形が進行し、急激な荷重低下がみられなかった。一方内部鉄筋のない InW-A42-w15 では、最大荷重後すぐに荷重が低下して変形能力も低く、図 3.65 のようにせん断ひび割れも試験体全体に広がっていることがわかる。これはプリズムせん断試験と同様に内部鉄筋による拘束効果がなかったことによるものであり、内部鉄筋により耐力と変形能力が向上し、耐力壁としての性能が高まるものと考えられる。

本構法で使用する ALC37 のブロックを用いた A37 シリーズに関しては、InW-A37-w15、InW-A37-w45 ともに最大荷重後も加力梁の重量を保持しながら水平力にも抵抗しており、曲げ降伏後のせん断破壊が生じた InW-A37-w45 に関しても急激な荷重低下が生じなかった。そのため、大地震時に耐力壁の損傷が生じたとしても建物として倒壊する危険性は小さく、安全性は確保できるものと考えられる。



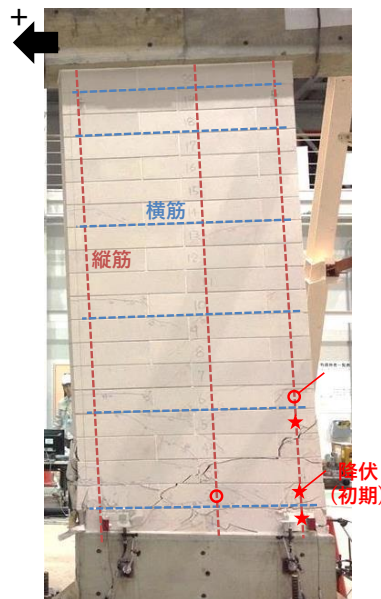
(a) InW-A50-w10  
(曲げ破壊)



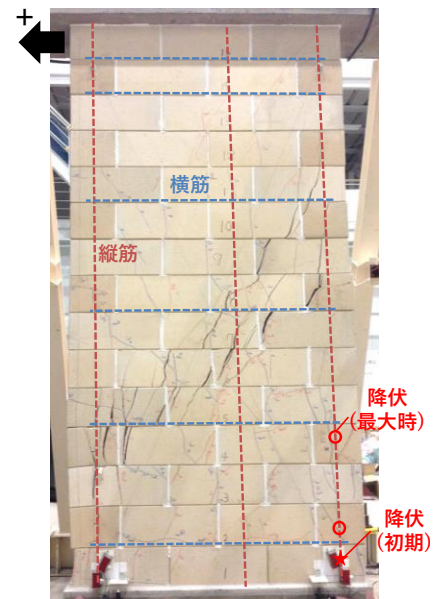
(b) InW-A37-w45  
(曲げ降伏後のせん断破壊)



(c) InW-A50-w15  
(曲げ降伏後のせん断破壊)

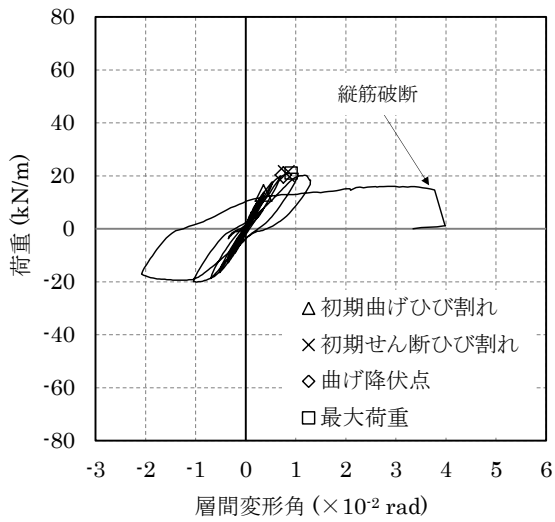


(d) InW-A37-w15  
(曲げ破壊)

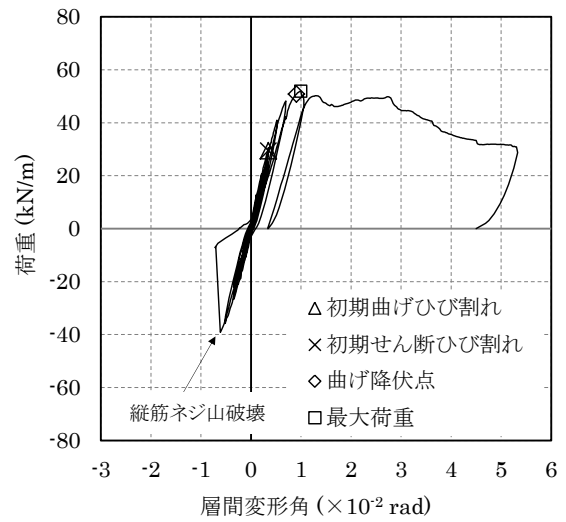


(e) InW-A42-w15  
(曲げ降伏後のせん断破壊)

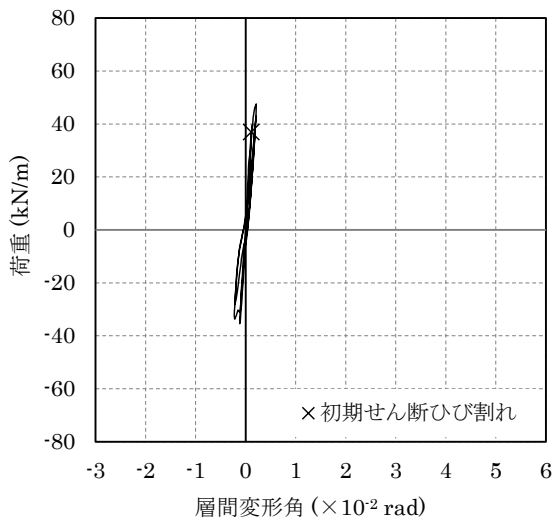
図 3.65 各試験体の最終破壊状況と鉄筋位置の関係



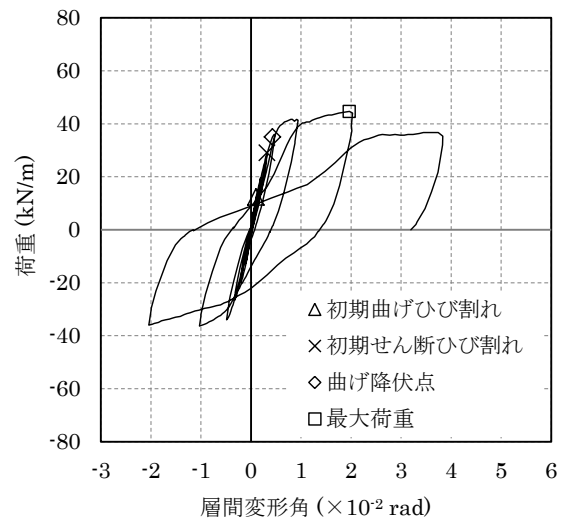
(a) InW-A50-w10



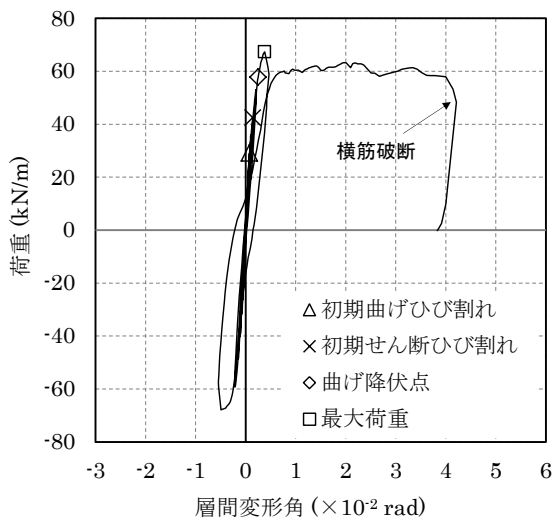
(b) InW-A50-w15



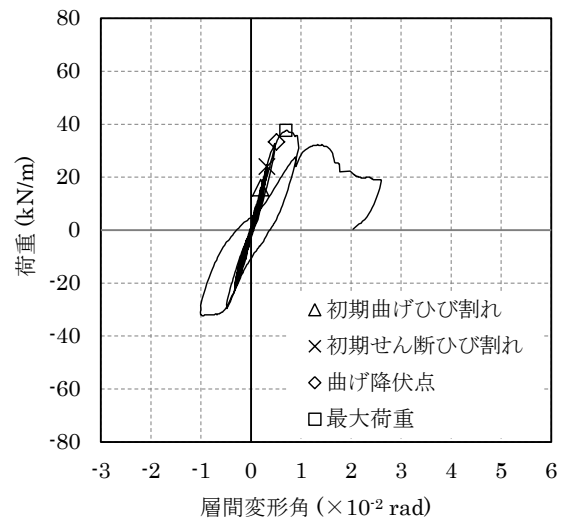
(c) InW-A50-w45



(d) InW-A37-w15



(e) InW-A37-w45



(f) InW-A42-w15

図 3.66 各試験体の荷重-層間変形角関係

表 3.8 試験結果一覧

ブロック材料	A50			A37		A42	
壁幅	w10	w15	w45	w15	w45	w15	
荷重 (kN/m)	$P_1$	5.6	12.8	24.5	10.7	22.0	8.7
	$P_{bc}$	13.5	29.4	—	12.3	29.1	16.0
	$P_{sc}$	20.9	29.4	37.0	29.0	42.4	24.0
	$P_y$	20.3	50.8	—	35.0	57.8	33.3
	$P_{max}$	21.0	51.9	—	44.7	67.3	37.7
層間変形角 (rad)	$\theta_1$	1/1106	1/916	1/1641	1/1202	1/1939	1/1172
	$\theta_{bc}$	1/279	1/287	—	1/979	1/1294	1/512
	$\theta_{sc}$	1/120	1/287	1/882	1/313	1/701	1/311
	$\theta_y$	1/133	1/110	—	1/232	1/402	1/195
	$\theta_{max}$	1/110	1/100	—	1/51	1/264	1/143
	$\theta_u$	1/26	1/19	—	1/26	1/24	1/38
剛性 (kN/rad/m)	$K_1$	6140	11720	—	12824	49874	9770
	$K_{bc}$	3766	8438	—	12076	37663	8192
	$K_y$	2685	5573	—	8129	23219	6496
破壊性状	曲げ破壊	曲げ降伏後 せん断破壊	壁頂部の すべり破壊	曲げ破壊	曲げ降伏後の せん断破壊		

$P_1, \theta_1, K_1$ : 初期剛性低下点

$P_{sc}, \theta_{sc}$ : 初期せん断ひび割れ時

$P_{max}, \theta_{max}$ : 最大荷重時

$P_{bc}, \theta_{bc}, K_{bc}$ : 初期曲げひび割れ時

$P_y, \theta_y, K_y$ : 曲げ降伏荷重時

$\theta_u$ : 最大層間変形角時

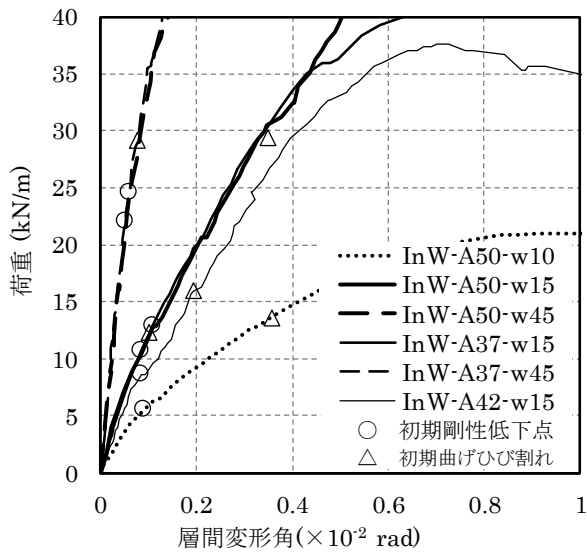


図 3.67 初期剛性低下点

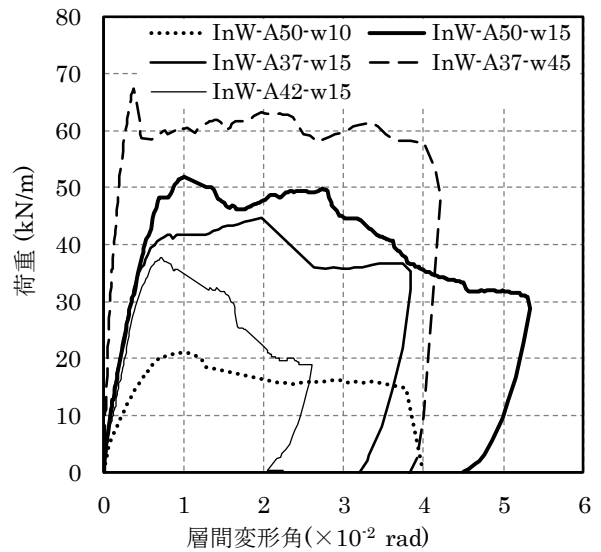


図 3.68 包絡線

### 3.3.4 曲げおよびせん断による変形成分と層間変形角の関係

本項では、試験体に設置した鉛直方向と対角方向の変位計から水平方向の曲げ変形量とせん断変形量を求め、各変形成分の比率を確認する。変位計には、観察面に設置した鉛直方向の変位計（全体曲げ）と対角方向の変位計（全体せん断）および測定面に設置した鉛直方向の変位計（部分曲げ）と対角方向の変位計（部分せん断）の値を用い、InW-A50-w45 は検討を除外した。変位計による測定値と曲げおよびせん断による水平変位量の関係を図 3.69 に示す。変位計の値 $\delta$ は、共通して伸びる側を正、縮む側を負とした。

#### (1) 曲げによる水平方向の変形量の算出方法

図 3.69(a)に示すように、鉛直方向の変位計より求めた曲げによる変形角は次式による。

$$\theta_a = (b_1\delta_a - b_2\delta_a)/w_a \quad (3.1)$$

$$\theta_i = (b_1\delta_i - b_2\delta_i)/w_i \quad (3.2)$$

ここに

$\theta_a, \theta_i$  : 全体曲げ( $a$ )または部分曲げの測定区間( $i$ )の変位計より求めた変形角

$b_1\delta_a, b_1\delta_i$  : 全体曲げ( $a$ )または部分曲げの測定区間( $i$ )の鉛直方向に設置した変位計の値（引張側）

$b_2\delta_a, b_2\delta_i$  : 全体曲げ( $a$ )または部分曲げの測定区間( $i$ )の鉛直方向に設置した変位計の値（圧縮側）

$w_a, w_i$  : 全体曲げ( $a$ )または部分曲げの測定区間( $i$ )の幅

図 3.69(c)に示すように、曲げによる水平方向の変形量の関係は次式による。

$${}_b x_a = \theta_a(H - y_a) \quad (3.3)$$

$${}_b x_p = \sum {}_b x_i = \sum \theta_i(H - y_i) \quad (3.4)$$

ここに、

${}_b x_a$  : 全体曲げの変位計より求めた水平方向の曲げ変形量

${}_b x_p$  : 部分曲げの変位計より求めた水平方向の曲げ変形量

${}_b x_i$  : 部分曲げの測定区間( $i$ )の変位計より求めた水平方向の曲げ変形量

$H$  : 試験体高さ

$y_a, y_i$  : 全体曲げ( $a$ )または部分曲げの測定区間( $i$ )の測定区間の中心から試験体底部までの距離



(2) せん断による水平方向の変形量の算出方法

図 3.69(b)に示すように、部分せん断における対角方向の変位計の値とせん断変形の関係は次式による。

$$(w_i + {}_s x_i)^2 + (h_i + {}_s h_i)^2 = (L_i + {}_{s1} \delta_i)^2 \quad (3.5)$$

$$(w_i - {}_s x_i)^2 + (h_i - {}_s h_i)^2 = (L_i + {}_{s2} \delta_i)^2 \quad (3.6)$$

ここに、

${}_s x_i$  : 部分せん断の測定区間( $i$ )のせん断変形による水平方向の変形量

${}_s h_i$  : 部分せん断の測定区間( $i$ )のせん断変形による鉛直方向の変形量

$h_i$  : 部分せん断の測定区間( $i$ )の高さ

$L_i$  : 部分せん断の測定区間( $i$ )の対角方向の長さ

${}_{s1} \delta_i, {}_{s2} \delta_i$  : 部分せん断の測定区間( $i$ )の対角方向の変形量

(3.5)式から(3.6)式を引いて、 ${}_s x_i$ について整理すると次式を得る。

$${}_s x_i = ({}_{s1} \delta_i - {}_{s2} \delta_i)(2L_i + {}_{s1} \delta_i + {}_{s2} \delta_i)/4w_i \quad (3.7)$$

InW-A37-w45 については、水平方向に分割したそれぞれの測定区間でせん断変形による水平方向の変形量を求め、水平方向の3か所の平均値をその測定区間における ${}_s x_i$ とした。

全体せん断の水平方向の変位量は(3.8)式に示すように(3.7)式と同様に求め、部分せん断の水平方向の変位量は(3.7)式で得られる高さ方向の各測定区間の和として(3.9)式で求めた。

$${}_s x_a = ({}_{s1} \delta_a - {}_{s2} \delta_a)(2L_a + {}_{s1} \delta_a + {}_{s2} \delta_a)/4w_a \quad (3.8)$$

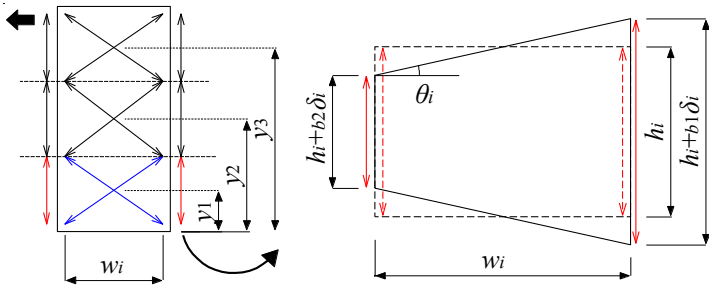
$${}_s x_p = \sum {}_s x_i = \sum ({}_{s1} \delta_i - {}_{s2} \delta_i)(2L_i + {}_{s1} \delta_i + {}_{s2} \delta_i)/4w_i \quad (3.9)$$

ここに

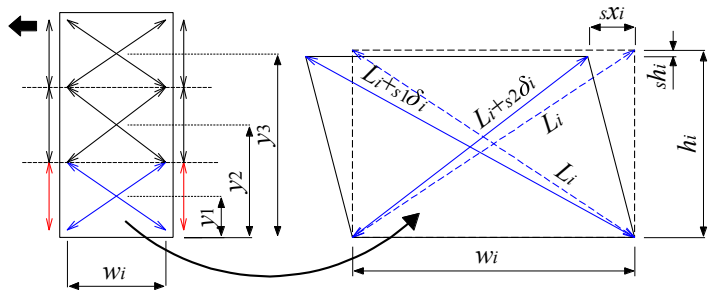
${}_s x_a, {}_s x_p$  : 全体せん断および部分せん断の変位計より求めたせん断変形量

${}_{s1} \delta_a, {}_{s2} \delta_a$  : 全体せん断の対角方向の変形量

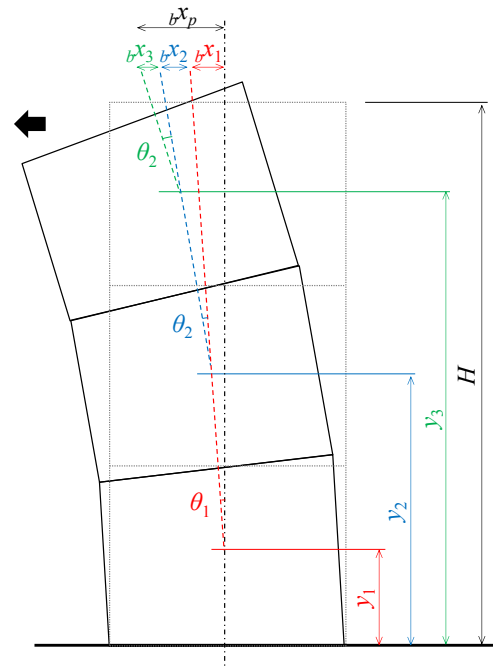
$L_a$  : 全体せん断の対角方向の長さ



(a) 曲げ変形時の変形状態



(b) せん断変形時の変形状態



(c) 変形角と曲げ変形量の関係

図 3.69 変位計による測定値と曲げおよびせん断による水平変位量の関係

### (3) 曲げ変形の比率と層間変形角の関係

曲げ変形量を曲げ変形量とせん断変形量の和で除した値（以下、曲げ変形の比率）と層間変形角の関係を図 3.70 に、各荷重サイクルにおける曲げおよびせん断変形量を表 3.9 に示す。破壊の進行と共に変位計取付け位置が不安定になったため、測定結果は最大荷重付近までの結果を用いた。図 3.70 の(a)は部分曲げと部分せん断による結果を、図 3.70 の(b)は全体曲げと全体せん断による結果を示す。表 3.9 の“測定位置”の欄における“部分”は部分曲げと部分せん断の値を、“全体”は全体曲げと全体せん断の値を表す。また、“ $b_x$ ”は曲げ変形量を、“ $s_x$ ”はせん断変形量を表し、網掛け部分は曲げ変形の比率を表す。

図 3.70 および表 3.9 をみると、“部分”と“全体”では InW-A42-w15 を除いておおそ傾向が一致した。測定値や曲げ変形の比率はやや異なる値を示したのは、測定方法や測定器の精度が異なるためと考えられる。以降は、値が安定した“部分”による結果を参照して考察する。

層間変形角が  $1/300\text{rad}$  程度まではアスペクト比（壁高さ  $H$  / 壁幅  $W$ ）が 2 以上となる壁幅 1.5m 以下の試験体では曲げ変形の割合が 8~9 割程度となり、アスペクト比が 0.7 の InW-A37-w45 では曲げ変形の割合が 5 割程度となった。メーソソリー構造におけるアスペクト比とせん断変形の全体変形に占める割合の関係は、片持ち梁形式ではアスペクト比が 1.5 以上では曲げ変形が支配的で、1.5 以下ではせん断変形が卓越すると言われており<sup>3.2)</sup>、本構法でもおおむね一致する結果となった。InW-A50-w15 と InW-A42-w15 では、変形が進むとせん断変形の割合が高くなり、曲げ降伏後にせん断破壊した破壊性状とも一致した。

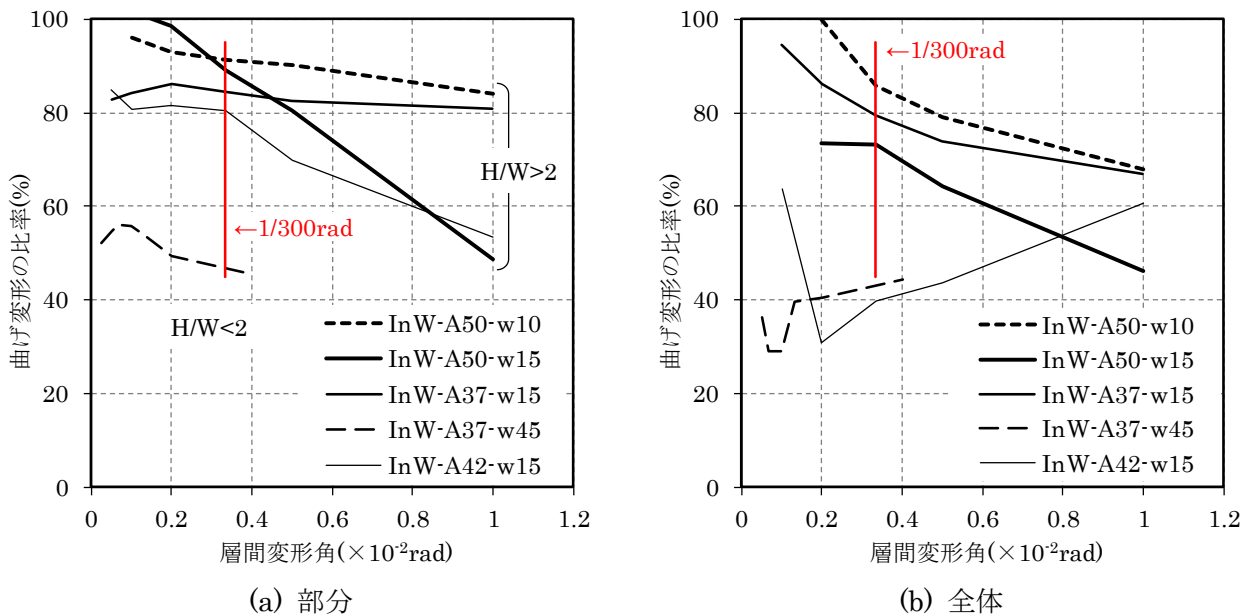


図 3.70 曲げ変形比率と層間変形角の関係

表 3.9 各荷重サイクルにおける曲げ変形量とせん断変形量

荷重 サイクル	InW-A50-w10			InW-A50-w15			InW-A37-w15			InW-A37-w45			InW-A42-w15		
	$b^X$ (mm)	$s^X$ (mm)	$\frac{s^X}{b^X+s^X}$ (%)	$b^X$ (mm)	$s^X$ (mm)	$\frac{s^X}{b^X+s^X}$ (%)	$b^X$ (mm)	$s^X$ (mm)	$\frac{s^X}{b^X+s^X}$ (%)	$b^X$ (mm)	$s^X$ (mm)	$\frac{s^X}{b^X+s^X}$ (%)	$b^X$ (mm)	$s^X$ (mm)	$\frac{s^X}{b^X+s^X}$ (%)
1/4000	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	52.2	-	-	-	-	-	-
	部分 (全体)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2000	-	-	-	0.8	0.2	82.8	0.5	0.4	54.6	0.5	0.1	85.0	0.5	0.1	85.0
	部分 (全体)	-	-	-	-	-	(0.2)	(0.3)	(36.3)	(0.2)	-	-	-	-	-
1/1500	-	-	-	-	-	-	0.6	0.5	56.2	0.6	-	-	-	-	-
	部分 (全体)	-	-	-	-	-	(0.3)	(0.7)	(29.0)	(0.3)	-	-	-	-	-
1/1000	1.4	0.1	96.0	1.4	0.0	101.7	1.6	0.3	84.3	1.0	0.8	55.8	1.0	0.2	80.7
	部分 (全体)	-	-	-	-	-	(1.0)	(0.1)	(94.4)	(0.4)	(1.0)	(29.1)	(0.3)	(0.2)	(63.8)
1/750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	1.1	53.7	-	-	-
	部分 (全体)	-	-	-	-	-	-	-	-	(0.9)	(1.4)	(39.5)	-	-	-
1/500	3.2	0.2	92.9	3.1	0.0	98.4	3.4	0.5	86.2	1.9	1.9	49.3	2.5	0.6	81.5
	部分 (全体)	(3.4)	(0.0)	(100)	(2.5)	(0.9)	(73.5)	(2.2)	(86.1)	(1.5)	(2.2)	(40.3)	(0.7)	(1.5)	(30.9)
1/300	5.9	0.6	91.4	4.8	0.6	89.0	6.1	1.1	84.4	3.8	4.5	45.5	4.5	1.1	80.3
	部分 (全体)	(6.1)	(1.0)	(85.6)	(4.4)	(1.6)	(73.3)	(4.2)	(79.5)	(3.4)	(4.3)	(44.3)	(1.8)	(2.7)	(39.7)
1/200	8.9	1.0	90.2	6.5	1.6	80.4	9.1	1.9	82.7	-	-	-	5.7	2.5	69.9
	部分 (全体)	(9.0)	(2.4)	(79.1)	(6.3)	(3.5)	(6.7)	(2.4)	(73.9)	-	-	-	(3.6)	(4.6)	(43.6)
1/100	16.0	3.0	84.2	7.1	7.6	48.5	20.2	4.8	80.8	-	-	-	10.0	8.7	53.3
	部分 (全体)	(17.0)	(8.0)	(68.0)	(7.9)	(9.1)	(13.5)	(6.7)	(67.0)	-	-	-	(11.2)	(7.3)	(60.7)

### 3.3.5 ひび割れ状況およびひび割れ幅と層間変形角の関係

本項では、各試験体について加力サイクルごとにひび割れ状況とひび割れ幅の詳細を述べる。正側加力により発生したひび割れ図を図 3.71 に、ひび割れ幅一覧を表 3.10 に示す。図 3.71 と表 3.10 では InW-A50-w45 は除外し、図 3.71 では試験体作製時に発生した初期ひび割れは除外した。表 3.10 の A、a などの記号は、3.3.1 項のひび割れ図の記号と対応し、大文字は正側を、小文字は負側を表す。各試験体に発生した水平方向のひび割れを曲げひび割れと、圧縮側脚部と引張側頂部の対角方向に発生したひび割れをせん断ひび割れと、圧縮側脚部の鉛直方向のひび割れを圧縮ひび割れと判断した。InW-A42-w15 で加力初期に発生した各ブロック中央の鉛直方向のひび割れは、“ブロック中央鉛直ひび割れ”と表記した。実験では各試験体のそれぞれの加力方向、ひび割れ種類について、ひび割れ幅が最大と思われるひび割れの測定を行った。各サイクルにおける最大変形角時におけるひび割れ幅を“最大”、除荷後のひび割れ幅を“除荷”とし、除荷後にひび割れ幅が 0.03mm 以上のものを残留ひび割れと判断した。各加力サイクルおよび各ひび割れ種類におけるひび割れ幅および残留ひび割れ幅の最大値を色塗りで表現し、赤系の色が正側を青系の色が負側を表す。

#### (1) ブロックの種類による比較

壁幅 1.5m の試験体について、内部鉄筋のない A42 シリーズでは 1/1000rad でブロック中央に鉛直ひび割れが発生し、1/100rad で壁面全体にせん断ひび割れが発生して圧縮側脚部から試験体中央まで圧縮ひび割れが広がったのに対し、内部鉄筋を有する A50 シリーズと A37 シリーズではブロック中央の鉛直ひび割れは確認されず、せん断ひび割れや圧縮ひび割れはブロック下部の部分的な発生にとどまった。これは、プリズム試験と同様に内部鉄筋によりひび割れの伸展が拘束されたことによるものと考えられる。

#### (2) 壁幅の違いによる比較

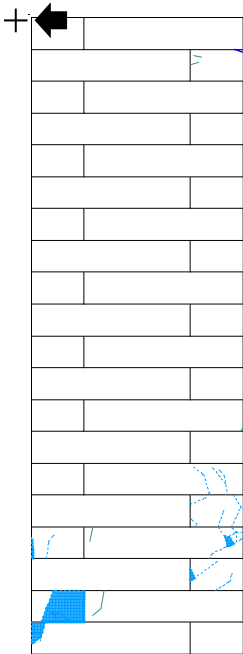
A37 シリーズについて、壁幅 1.5m の InW-A37-w15 では 1/1000rad で曲げひび割れが、1/300rad でせん断ひび割れが発生したのに対し、壁幅 4.5m の InW-A37-w45 では 1/2000rad で曲げひび割れが、1/750rad でせん断ひび割れが発生した。壁幅によってひび割れが発生する層間変形角が異なるのは、3.3.3 項と 3.3.4 項で示したように、壁幅が長い方が単位長さあたりの初期剛性が高くなったことや全体の変形に占めるせん断変形の割合が高くなったことが要因と考えられる。

#### (3) 残留ひび割れについて

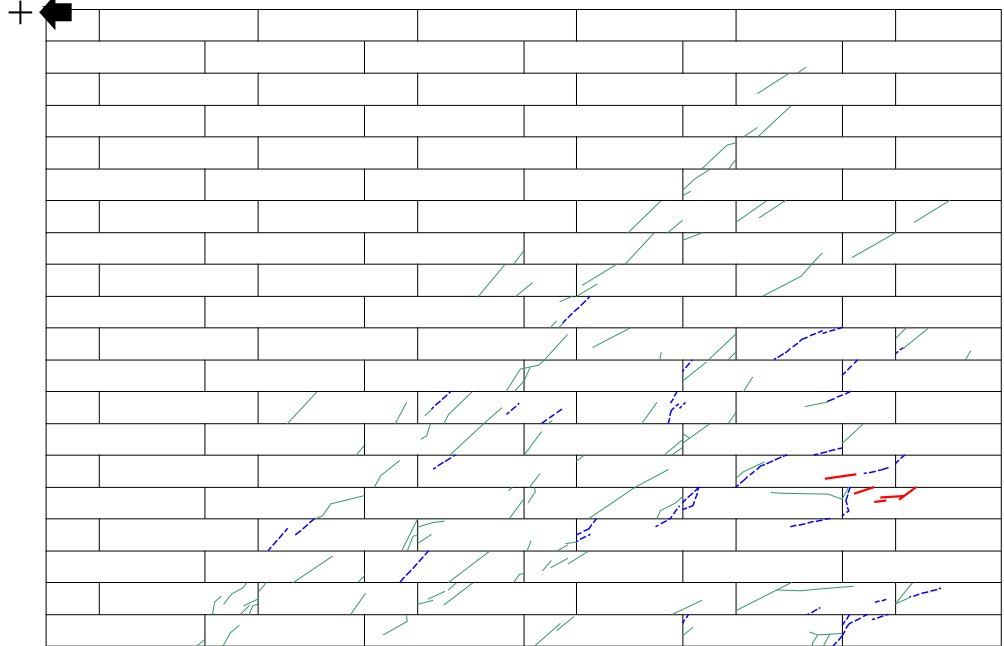
最も小さい層間変形角で残留ひび割れが確認された InW-A37-w45 における残留ひび割れをみると、1/1500rad までは残留ひび割れは発生しておらず、1/1000rad 以降に存在が確認された。また、図 3.71

の赤線で示したように  $1/1500\text{rad}$  で発生した曲げひび割れは軽微なひび割れであり、3.3.3 項で示した初期剛性低下点も  $1/2267\text{rad}$  であることから、 $1/1500\text{rad}$  程度までであれば損傷は非常に小さく、ほぼ弾性範囲と見なせると考えられる。

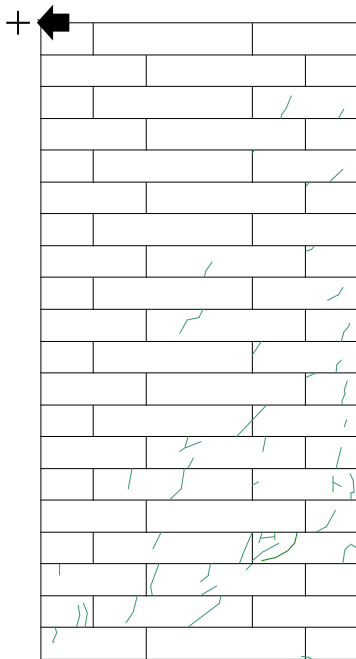
— : 1/1500rad まで      - - - : 1/500rad まで  
— : 1/100rad まで      - - - : 1/100rad 以降



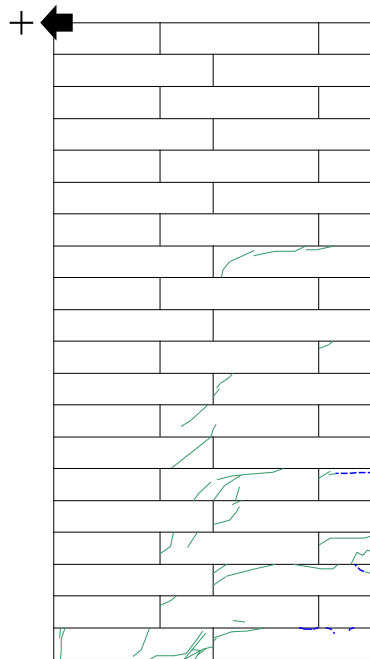
(a) InW-A50-w10



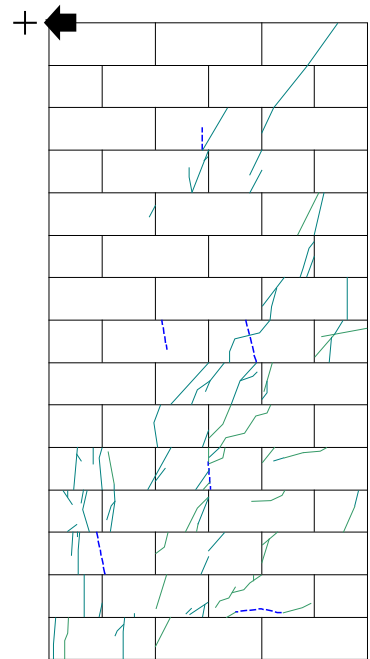
(b) InW-A37-w45



(c) InW-A50-w15



(d) InW-A37-w15



(e) InW-A42-w15

図 3.71 正側加力により発生したひび割れ図

表 3.10-1 各荷重サイクルの最大ひび割れ幅および残留ひび割れ幅一覧

(a) InW-A50-w10

加力方向	ひび割れ種類	記号	加力状況	ひび割れ幅(mm)						
				±1/300②	±1/200	±1/300③	±1/150	±1/100	±1/300④	+1/80 -1/50
正側	曲げ ひび割れ	A	最大	0.10	0.30	0.15	0.60	0.85	0.20	0.80
			除荷	0	0.04	0.03	0.06	0.10	0.10	0.10
	圧縮 ひび割れ	a	最大	—	—	—	0.03	0.10	0.03	0.60
			除荷	—	—	—	0	0.03	0	0.25
		b	最大	—	—	—	0.03	0.80	0.75	剥離
			除荷	—	—	—	0	0.70	0.50	

(b) InW-A50-w15

加力方向	ひび割れ種類	記号	加力状況	ひび割れ幅(mm)						
				±1/300①	±1/300②	±1/200	±1/300③	±1/150	±1/150 (+1/100 途中)	±1/100
正側	せん断 ひび割れ	A	最大	—	0.15	0.30	0.20	0.40	0.35	0.40
			残留	—	0	0	0	0.06	計測無	0.15
		B	最大	—	—	0.10	0.10	0.15	0.10	0.20
			残留	—	—	0	0	0	計測無	0.10
	圧縮 ひび割れ	C	最大	—	—	—	—	未計測	1.20	2.30
			残留	—	—	—	—	0.40	計測無	1.60
負側	曲げ ひび割れ	a	最大	0.20	0.15	0.50	0.25	0.15	計測無	
			残留	0	0	0.03	0.03	0.15		
	せん断 ひび割れ	b	最大	0.25	0.30	0.85	0.60	4.00		
			残留	0	0	0.03	0.20	1.10		
	c	最大	—	—	0.10	0.03	0			
		残留	—	—	0	0	0			



表 3.10-2 各荷重サイクルの最大ひび割れ幅および残留ひび割れ幅一覧

(c) InW-A37-w15

加力方向	ひび割れ種類	記号	加力状況	ひび割れ幅(mm)							
				±1/1000	±1/500①	±1/500②	±1/300	±1/200	±1/100	±1/50	
正側	曲げひび割れ	A	最大	0.08	0.20	0.20	0.35	0.60	剥離*1	剥離	
			残留	0	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.04			
		B	最大	—	—	0.08	0.30	0.40	0.65	1.40	
			残留	—	—	0	0.03未満	0.08	0.08	0.45	
		C	最大	—	—	0.03	0.10	0.20	1.50	2.10	
			残留	—	—	0	0	0.15	1.50	2.10	
		D	最大	—	—	—	—	0.08	0.15	省略	
			残留	—	—	—	—	0	0.03		
	せん断ひび割れ	E	最大	—	—	—	0.04	0.08	0.15	Hを代表値として省略	
			残留	—	—	—	0	0	0.08		
		F	最大	—	—	—	—	0.08	0.20		
			残留	—	—	—	—	0	0.08		
G		最大	—	—	—	—	—	0.08			
		残留	—	—	—	—	—	0.00			
H		最大	—	—	—	—	—	—	2.20		
		残留	—	—	—	—	—	—	1.5		
負側	曲げひび割れ	a	最大	0.06	0.20	0.25	0.40	0.75	0.75	計測不可*1	
			残留	0	0	0	0	0.08	0.35		
		b	最大	—	0.08	0.10	0.30	0.35	0.50		0.55
			残留	—	0	0	0.06	0.01	0.15		0.15
		c	最大	—	0.04	0.06	0.03	0	0.10		bを代表値として省略
			残留	—	0	0	0	0	0.03		
	d	最大	—	—	—	0.08	0.20	0.20			
		残留	—	—	—	0	0.03	0.10			
	せん断ひび割れ	e	最大	—	—	—	—	0.08	0.15		
			残留	—	—	—	—	0	0		
f		最大	—	—	—	—	—	0.40	0.95		
		残留	—	—	—	—	—	0.20	0.30		

\*1: +1/100rad以降はブロック角部の欠けとなり剥離

\*2: +1/50rad以降は計測器の裏側にひび割れが進展して計測不可

表 3.10-3 ひび割れ幅一覧

(d) InW-A37-w45

加力方向	ひび割れ種類	記号	加力状況	ひび割れ幅(mm)					
				±1/2000	±1/1500	±1/1000	±1/750	±1/500	+1/250
正側	曲げひび割れ	—	最大	—	0.06	0.25	0.25	0.15	目視で最大の幅のみ計測
			残留	—	0.03未満	0.03	0	0	
		A	最大	—	0.03	0.06	0.06	0.04	
			残留	—	0	0	0	0	
		B	最大	—	0.04	0.15	0.35	0.35	
			残留	—	0	0	0	0	
		C	最大	—	0.03	0	0	未計測	
			残留	—	0.00	0	0		
		D	最大	—	0.08	0.25	0.06	0.60	
			残留	—	0	0.04	0.03	0.04	
	せん断ひび割れ	—	最大	—	—	—	0.35	0.15	
			残留	—	—	—	未計測	0.00	
		E	最大	—	—	—	0.06	未計測	
			残留	—	—	—	0	0.06	
F	最大	—	—	—	—	未計測			
	残留	—	—	—	—	0.04			
G	最大	—	—	—	—	—	1.10		
	残留	—	—	—	—	—	0.75		
負側	曲げひび割れ	—	最大	0.04	0.10	0.30	0.30	未計測	
			残留	未計測	0	0	0		
		a	最大	0.04	0.15	0.35	0.40	0.70	
			残留	0	0	0.03	0	0.08	
		b	最大	0.04	0.06	0.06	0.04	未計測	
			残留	0	0	0	0		
	せん断ひび割れ	c	最大	—	—	—	0.10	0.15	
			残留	—	—	—	0	未計測	
		d	最大	—	—	—	未計測	0.30	
			残留	—	—	—	0.04	0.15	
		e	最大	—	—	—	—	未計測	
			残留	—	—	—	—	0.15	
f	最大	—	—	—	—	未計測	未計測		
	残留	—	—	—	—	未計測	0.80		

表 3.10-4 ひび割れ幅一覧

(e) InW-A42-w15

加力方向	ひび割れ種類	記号	加力状況	ひび割れ幅(mm)																
				±1/1000	±1/500①	±1/500②	±1/300①	±1/300②	±1/300③	±1/200	±1/100									
正側	ブロック 中央鉛直 ひび割れ	A	最大	0.03未満	0.03未満	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.45									
			残留	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0.4								
		B	最大	—	0.03未満	Aを代表値として省略														
			残留	—	〃															
		C	最大	—	0.03未満															
			残留	—	〃															
		D	最大	—	0.03未満															
			残留	—	〃															
	曲げ ひび割れ	E	最大	—	—									0.08	0.15	0.15	0.15	未計測		
			残留	—	—									0	0	0	0	未計測		
		F	最大	—	—	—	0.1	Eを代表値として省略												
			残留	—	—	—	0													
		G	最大	—	—	—	—	0.15	0.15	未計測										
			残留	—	—	—	—	0	0											
	せん断 ひび割れ	H	最大	—	—	—	0.06	2,3サイクル目のため 省略		Iを代表値として省略										
			残留	—	—	—	0													
		I	最大	—	—	—	0.08			0.55	3.5									
			残留	—	—	—	0			0.15	2.2									
J	最大	—	—	—	—	—	—	0.55	省略											
	残留	—	—	—	—	—	—	0.1												
圧縮 ひび割れ	K	最大	—	—	—	—	—	—	—	0.45										
		残留	—	—	—	—	—	—	—	0.35										
負側	ブロック 中央鉛直 ひび割れ	a	最大	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.03未満	1.7									
			残留	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.7								
		b	最大	0.03未満	0.03未満	aを代表値として未計測														
			残留	〃	〃															
		c	最大	0.03未満	0.03未満															
			残留	〃	〃															
		d	最大	0.03未満	0.03未満															
			残留	〃	〃															
	曲げ ひび割れ	e	最大	—	0.15									未計測	未計測	hを代表値として未計測				
			残留	—	0															
		f	最大	—	—	0.08	0.2													
			残留	—	—	0.03未満	0.03未満													
		g	最大	—	—	—	0.2													
			残留	—	—	—	0.03未満													
		h	最大	—	—	—	0.25	0.30	0.30	0.45	未計測									
			残留	—	—	—	0	0	0	0										
		i	最大	—	—	—	—	0.20	未計測	未計測	未計測									
			残留	—	—	—	—	0		0.40										
	せん断 ひび割れ	j	最大	—	—	—	0.1	2,3サイクル目 のため省略		Iを代表値として 省略										
			残留	—	—	—	0.03未満													
k		最大	—	—	—	0.08														
		残留	—	—	—	0.03未満														
l		最大	—	—	—	0.08	0.60			2.10										
		残留	—	—	—	未計測	0.15			1.30										
m	最大	—	—	—	0.08	0.55	省略													
	残留	—	—	—	未計測	0.25														
圧縮 ひび割れ	n	最大	—	—	—	—	—	—	—	2.20										
		残留	—	—	—	—	—	—	—	2.20										

### 3.3.6 中立軸位置と層間変形角の関係

#### (1) 算出方法

本項では、各試験体の試験体脚部における中立軸位置と層間変形角の関係を確認する。初めに、中立軸位置の算出方法を述べる。以下の手順で軸力の影響を補正した縦筋のひずみ度を直線補間し、ひずみ度がゼロとなる点を中立軸位置とした。

- 1) 前述の図 3.5 から図 3.10 に示す各測定位置の 1 対のひずみゲージの平均値を求める。
- 2) 1)で求めた値から(3.10)式で算出した圧縮ひずみ度 $\varepsilon_c$ を引いた値を補正後のひずみ度とする。

$$\varepsilon_c = N/A_e mE \quad (3.10)$$

$$A_e = mA + m'n_s A \quad (3.11)$$

ここに、

$\varepsilon_c$  : 試験体の自重および加力梁の自重による圧縮ひずみ度

$N$  : 試験体の自重および加力梁の自重

$A_e$  : 等価断面積

$mE$  : 組積体のヤング係数

$mA$  : 試験体の断面積

$m'n$  : ヤング係数比 (= 鉄筋のヤング係数 $sE$ /組積体のヤング係数 $mE$ )

$sA$  : 鉄筋の断面積の合計値

(2) 結果と考察

軸力による圧縮ひずみ度の補正値を表 3.11 に、各試験体のそれぞれのサイクルにおけるひずみゲージ値と中立軸位置の一覧を表 3.12 に、ひずみゲージ値と圧縮縁端部からの距離の関係を図 3.72 に示す。表 3.12 の記号は、前述の図 3.5 から図 3.10 における測定位置のひずみゲージの記号と対応する。InW-A37-w45 の+1/100rad および+1/50rad のサイクルは、縦筋が降伏点を大きく超えたため中立軸位置の算出と図 3.72 への表記を省略した。

図 3.72 をみると、縦筋降伏前までは断面のひずみ分布はおおよそ直線的に変化していることが確認された。また、荷重サイクルの進行と共にひずみゲージの値が正負共に大きくなり、中立軸位置が圧縮縁側に移動していることが分かる。以上より、本構法による組積壁は、鉄筋コンクリートと同様に平面保持と中立軸を仮定し、断面の力のつり合いにより各曲げモーメントを算出することが出来ると考えられる。

表 3.11 軸力による圧縮ひずみ度の補正値

試験体名	重量 (kN)	試験体 断面積 (m <sup>2</sup> )	鉄筋 断面積 (mm <sup>2</sup> )	ヤング 係数比 (-)	等価 断面積 (m <sup>2</sup> )	圧縮 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 ひずみ度 (μ)
InW-A50-w10	7.3	0.25	402	116	0.30	0.024	15.3
InW-A50-w15	10.0	0.38	961	124	0.49	0.020	12.6
InW-A50-w45	27.7	1.13	1766	116	1.33	0.021	13.0
InW-A37-w15	20.6	0.38	780	158	0.50	0.041	31.5
InW-A37-w45	48.4	1.13	1821	158	1.41	0.034	26.1
InW-A42-w15	20.2	0.38	780	148	0.49	0.041	29.3

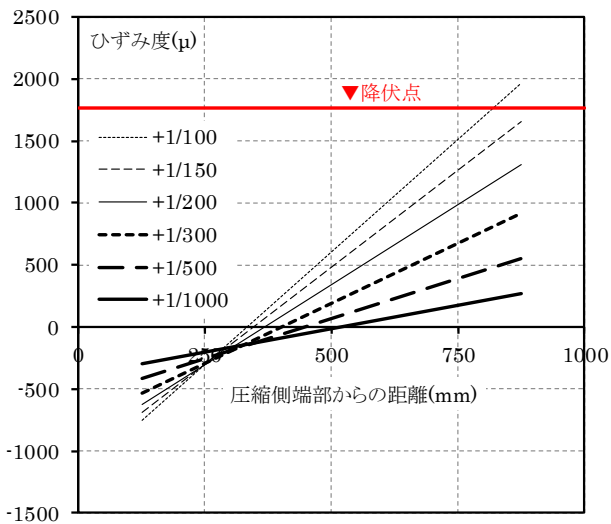
表 3.12 各サイクルにおけるひずみゲージ値と中立軸位置

(a) A50 シリーズ

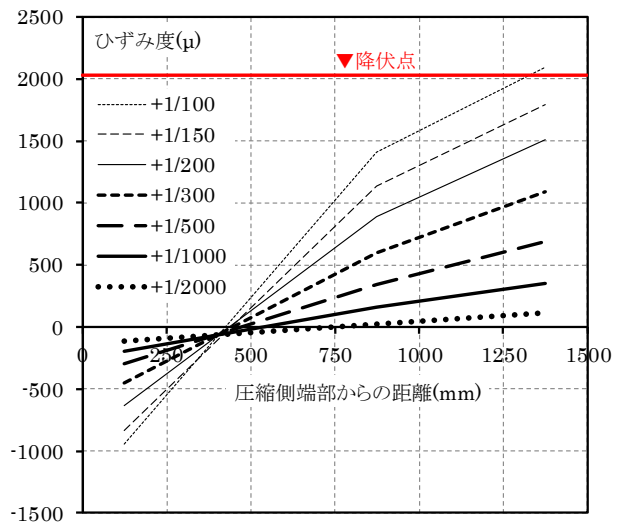
試験体名	荷重サイクル (rad)	補正後のひずみ度( $\mu$ )					試験体の圧縮側端部から 中立軸位置までの距離(mm)
		T1-1	T2-1	T3-1	T4-1	T5-1	
InW-A50-w10	+1/1000	-296	265	—	—	—	520
	+1/500	-419	550	—	—	—	449
	+1/300	-537	918	—	—	—	402
	+1/200	-629	1305	—	—	—	369
	+1/150	-691	1658	—	—	—	346
	+1/100	-751	1970	—	—	—	332
InW-A50-w15	+1/2000	-114	21	114	—	—	758
	+1/1000	-194	157	353	—	—	540
	+1/500	-295	341	689	—	—	472
	+1/300	-450	601	1094	—	—	446
	+1/200	-638	890	1507	—	—	438
	+1/150	-838	1137	1796	—	—	443
InW-A50-w45	+1/100	-946	1411	2094	—	—	426
	+1/2000	-191	-112	-6	82	157	2200
	+1/1000	-366	-154	161	510	574	1485
	+1/500	-576	31	487	872	851	791

(b) A37 シリーズ・A42 シリーズ

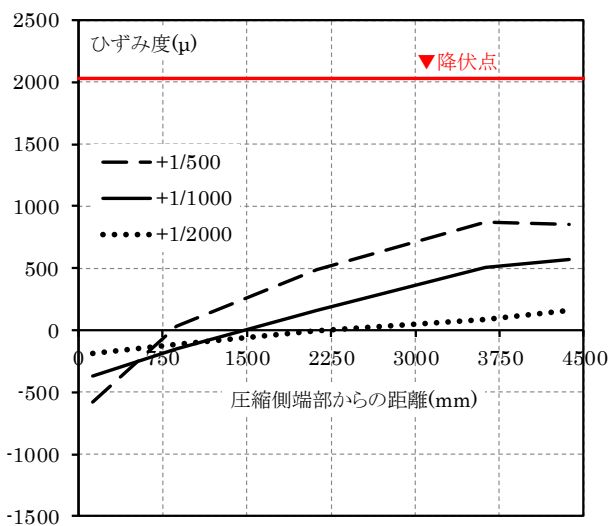
試験体名	荷重サイクル (rad)	補正後のひずみ度( $\mu$ )						試験体の圧縮側端部から 中立軸位置までの距離(mm)
		A-1	B-1	C-1	D-1	F-1	G-1	
InW-A37-w15	+1/2000	-148	20	145	—	—	—	784
	+1/1000	-264	82	326	—	—	—	698
	+1/500	-436	215	652	—	—	—	627
	+1/300	-667	543	1158	—	—	—	539
	+1/200	-848	967	1875	—	—	—	475
	+1/100	-1042	9589	9222	—	—	—	—
	+1/50	1955	11596	14171	—	—	—	—
InW-A37-w45	+1/4000	-129	-76	—	-18	30	108	2833
	+1/2000	-212	-115	—	2	112	314	2350
	+1/1500	-239	-135	—	23	181	516	2157
	+1/1000	-304	-160	—	65	313	750	1943
	+1/750	-362	-175	—	146	434	1009	1692
	+1/500	-474	-185	—	251	752	1433	1511
	+1/250	-691	-42	—	503	1596	10855	992
InW-A42-w15	+1/2000	-113	-10	52	—	—	—	945
	+1/1000	-172	24	127	—	—	—	782
	+1/500	-298	144	348	—	—	—	631
	+1/300	-441	360	791	—	—	—	537
	+1/200	-526	756	1336	—	—	—	433
	+1/100	-859	1195	1639	—	—	—	439



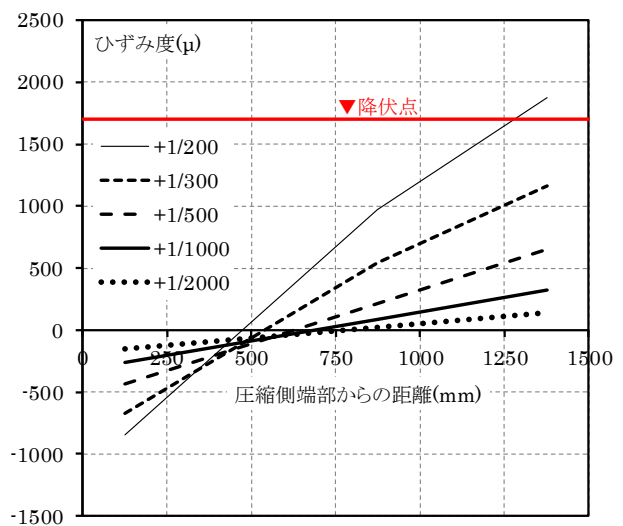
(a) InW-A50-w10



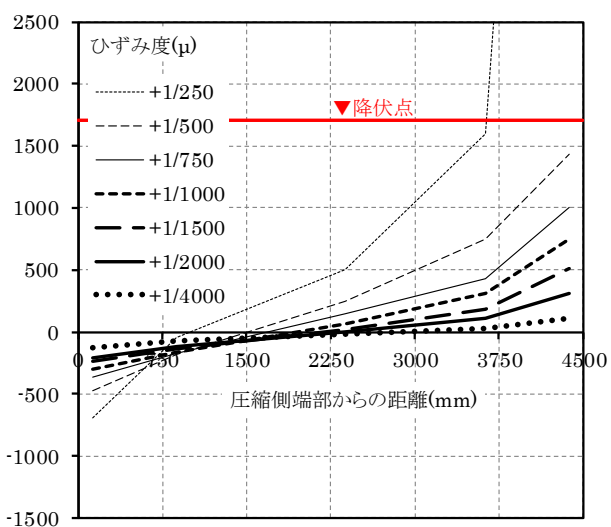
(b) InW-A50-w15



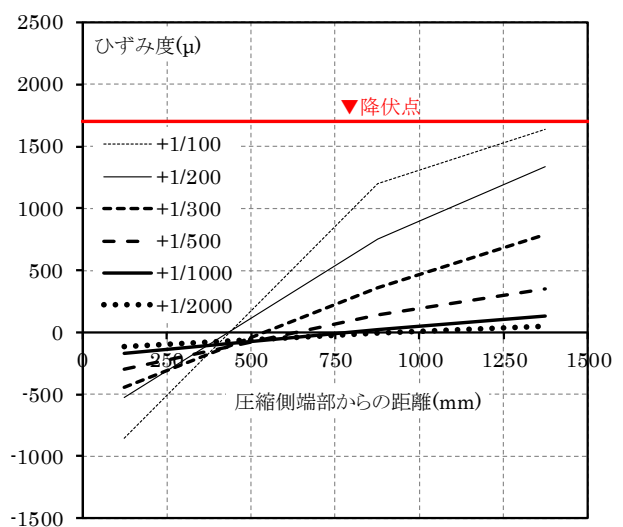
(c) InW-A50-w45



(d) InW-A37-w15



(e) InW-A37-w45



(f) InW-A42-w15

図 3.72 ひずみゲージ値と圧縮縁端部からの距離の関係

### 3.4 メーソンリー構造の計算式を用いた耐力と剛性の評価

日本建築学会による各種メーソンリー構造設計ノート 2009 や建築研究振興協会による鉄筋コンクリート組積造 (RM 造) 構造設計指針・同解説では、メーソンリー構造部材に関する計算式がいくつか提案されている<sup>3.2),3.3)</sup>。しかし、これらの式は補強ブロック造や型枠ブロック造を対象としており、材料特性が大きく異なる ALC ブロックによる補強組積造に適用できるかは明らかでない。また、松村による ALC パネル部材を対象とした計算式<sup>3.4), 3.5)</sup>や Tanner らによる無筋の ALC ブロック組積造の計算式<sup>3.6)</sup>も提案されているが、本構法への適用可能性については明らかでない。

曲げモーメントの計算については、メーソンリー構造部材、ALC パネル部材ともに、平面保持を仮定した RC 造の曲げモーメントの計算方法を踏襲している。本構法の組積壁は、前節までの実験結果より耐力壁として一体的な挙動が確認されているため、同様の考え方が適用できると考えられる。

せん断耐力の計算については、実験結果や弾性論をもとにそれぞれの構法に最適化された式が提案されているが、材料特性や構法上の特性による違いがあると考えられる。

そこで本節では、曲げモーメントについては既往の RC 造の曲げモーメントの計算方法をもとに計算を行い、せん断耐力については提案されているさまざまな式との比較を行い、本構法の特徴を考慮した計算式の提案を行う。本構法では主にルート 1 の構造計算方法をとるため、構造設計上は弾性範囲における耐力と剛性の評価ができればよいが、終局耐力までの余裕度や破壊モードを把握するためにも耐力評価に関しては終局まで、変形についてはせん断ひび割れ発生までの検討を行う。



### 3.4.1 計算における仮定と材料特性

本節で行う検討における計算上の仮定と材料特性について述べる。曲げ解析時の断面モデルを図 3.73 に、計算に用いた材料特性を表 3.13 に示す。材料特性には、第 2 章で実施した材料試験およびプリズム試験の結果を用いた。計算には以下の仮定を設けた。

- 1) ALC とグラウトからなる組積体は、プリズム試験より得られた強度、剛性を持つ単一材料とみなした。鉄筋と組積体は重複するものとし、グラウトを充填していない縦穴部にも組積体が存在するものとした。
- 2) 組積壁は基礎側を固定端、頂部を自由端とした片持ちモデルとした。加力梁の重量および危険断面位置である壁底部に作用する試験体の自重を考慮した。
- 3) 組積壁の壁両端 50mm の目地間にはシーリングにより 0.5mm 程度の隙間がある。これにより曲げ変形した際には壁端部が圧縮縁とならないため、曲げモーメントの計算時には組積壁の壁幅は実長よりも両端で 50mm 短いものとした（以下、モデル壁幅）。
- 4) 曲げモーメントの計算時には平面保持を仮定し、組積体は曲げひび割れ発生まで引張応力を負担して、それ以降は全断面で負担しないものとした。組積体の圧縮応力度－ひずみ度関係は、曲げ降伏以降使用しないため、表 3.13 の強度と剛性を持つ直線とした。
- 5) 縦筋の断面積は、切削ネジの M16 と M22 ではネジ部の有効断面積とし、転造ネジの M20 では軸部の断面積とした。

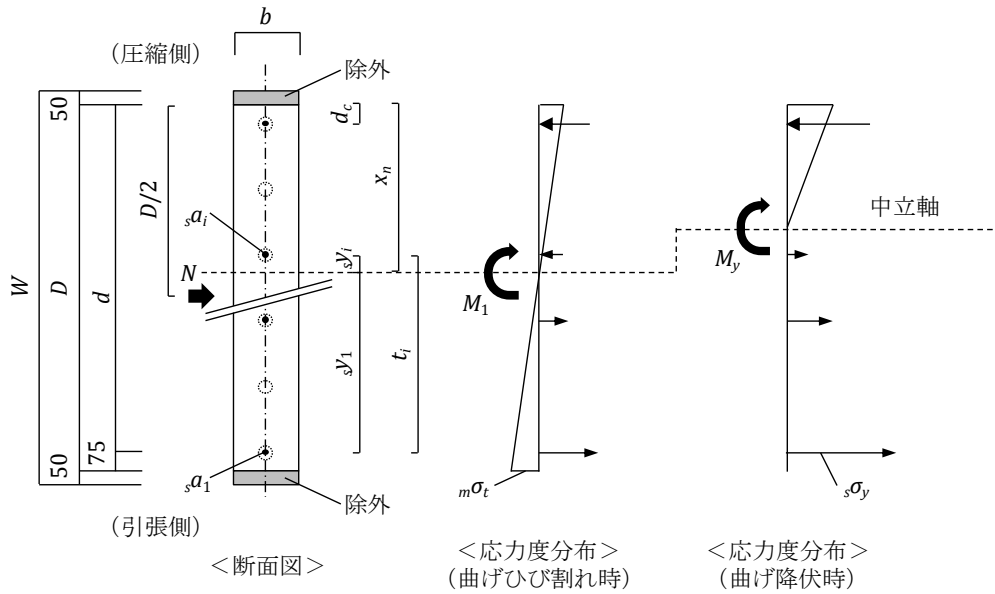


図 3.73 曲げ解析時の断面モデル

表 3.13 計算に用いた材料特性

項目	部位	詳細	ALC50	ALC37	ALC42
強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ALC	引張強度	0.69	0.61	0.66
	組積体	圧縮強度	2.91	2.77	2.37
		目地部の 付着強度	0.18	0.23	
		ひび割れ時の 引張強度	0.35	0.16	0.09
		ひび割れ時の せん断強度	0.53	0.25	0.14
	縦筋	降伏点	501(M22) 416(M16)	354	
	横筋	降伏点	348	363	
剛性 (kN/mm <sup>2</sup> )	組積体	ヤング係数	1.60	1.31	1.41
		せん断弾性係数	0.63	0.43	0.40
	縦筋	ヤング係数	198(M22) 185(M16)	208	
	横筋	ヤング係数	173	202	

### 3.4.2 耐力および変形の計算式

#### 3.4.2.1 曲げひび割れ耐力

曲げひび割れ耐力は曲げひび割れモーメントより(3.12)式から(3.14)式より求めた。ひび割れ曲げモーメントは、目地部における ALC とグラウトの界面の引張破壊による曲げモーメント $M_1$ および $M_1'$ と ALC の引張破壊による曲げモーメント $M_{bc}$ の 2 種類について確認した。目地部の引張破壊による曲げモーメントは、断面の力のつり合いから求めた中立軸位置を用いた(3.15)式による曲げモーメント $M_1$ (精解式)と、中立軸位置を断面中心と仮定した(3.16)式による曲げモーメント $M_1'$ (略算式)の 2 つから求めた。中立軸位置を求める(3.21)式の誘導方法は、APPENDIX A に示す。

$${}_{cal}Q_1 = M_1/H' \quad (3.12)$$

$${}_{cal}Q_1' = M_1'/H' \quad (3.13)$$

$${}_{cal}Q_{bc} = M_{bc}/H' \quad (3.14)$$

$$M_1 = m\sigma_t Z_e \quad (3.15)$$

$$M_1' = m\sigma_t Z_e' \quad (3.16)$$

$$M_{bc} = a\sigma_t Z_e \quad (3.17)$$

$$Z_e = I_e/(D - {}_{bc}x_n) \quad (3.18)$$

$$Z_e' = I_e/(D/2) \quad (3.19)$$

$$I_e = bD^3/12 + \sum_m n_s a_i s y_i^2 \quad (3.20)$$

$${}_{bc}x_n = \frac{bD^2 m\sigma_t + 2m n_m \sigma_t (d \sum_s a_i - \sum_s a_i t_i) + 2DN}{2bD m\sigma_t + 2m n_m \sigma_t \sum_s a_i + 2N} \quad (3.21)$$

ここに、

${}_{cal}Q_1$  : 目地部の引張破壊による曲げひび割れ耐力の精解値

${}_{cal}Q_1'$  : 目地部の引張破壊による曲げひび割れ耐力の略算値

${}_{cal}Q_{bc}$  : ALC の引張破壊による曲げひび割れ耐力の精解値

$H'$  : 試験体基礎天端からジャッキ芯までの高さ

$M_1$  : 目地部の引張破壊によるひび割れ曲げモーメントの精解値

$M_1'$  : 目地部の引張破壊によるひび割れ曲げモーメントの略算値

$M_{bc}$  : ALC の引張破壊によるひび割れ曲げモーメントの精解値

$m\sigma_t$  : 組積体目地部の付着強度

$a\sigma_t$  : ALC の引張強度

$Z_e$  : 鉄筋と組積体による等価断面係数の精解値

- $Z_e'$  : 鉄筋と組積体による等価断面係数の略算値  
 $I_e$  : 鉄筋と組積体による等価断面 2 次モーメント  
 $bcx_n$  : 曲げひび割れ時の圧縮縁から中立軸までの距離  
 $b$  : 組積壁の壁厚  
 $D$  : 組積壁のモデル壁幅 (壁幅  $W - 100(\text{mm})$ )  
 $d$  : 組積壁の有効モデル壁幅で圧縮縁から引張側端部の縦筋中心までの距離 ( $D - 75(\text{mm})$ )  
 $mn$  : ヤング係数比  
 (= 鉄筋のヤング係数  $sE$  / 組積体のヤング係数  $mE$ )  
 $s a_i$  : 引張側端部の縦筋から  $i$  番目の縦筋の断面積  
 $t_i$  : 引張側端部の縦筋中心から  $i$  番目の縦筋中心までの距離  
 $N$  : 試験体底部に作用する軸力 (加力梁荷重 + 自重)  
 $s y_i$  : 中立軸位置から  $i$  番目の縦筋中心までの距離

### 3.4.2.2 降伏曲げ耐力および終局曲げ耐力

降伏曲げ耐力 ${}_{cal}Q_y$ は、メーソンリー耐力壁の許容曲げモーメントの算定式(3.2)、(3.3)を参考に引張側の鉄筋降伏時の曲げモーメントを(3.23)式で、圧縮縁の組積体圧壊時の曲げモーメントを(3.25)式より求めた。(3.23)式と(3.25)式の誘導方法は APPENDIX A に示す。すべての試験体において中立軸は断面内に存在することを確認しており、文献(3.2)、(3.3)の式とは式の意味は同じである。

終局曲げ耐力 ${}_{cal}Q_{bu}$ は、耐力壁の略算式(3.2)による終局曲げモーメント $M_{bu}$ から(3.28)式より求めた。

$${}_{cal}Q_y = \min(M_y, M_c) / H' \quad (3.22)$$

$$M_y = \left( \frac{b_y x_n^3}{3 m n s y_1} + \frac{\Sigma s y_i^2 a_i}{s y_1} \right) s \sigma_y + N \left( \frac{D}{2} - y x_n \right) \quad (3.23)$$

$$y x_n = \frac{m n}{b} \left\{ \sqrt{\left( \Sigma s a_i + \frac{N}{s \sigma_y} \right)^2 - \frac{2b}{m n} \left( \Sigma s a_i t_i - d \Sigma s a_i + \frac{N(t_1 - d)}{s \sigma_y} \right)} - \left( \Sigma s a_i + \frac{N}{s \sigma_y} \right) \right\} \quad (3.24)$$

$$M_c = \left( \frac{b_c x_n^2}{3} + \frac{m n \Sigma s y_i^2 a_i}{c x_n} \right) m \sigma_c + N \left( \frac{D}{2} - c x_n \right) \quad (3.25)$$

$$c x_n = \frac{m n}{b} \left\{ \sqrt{\left( \Sigma s a_i + \frac{N}{m n m \sigma_c} \right)^2 - \frac{2b}{m n} \left( \Sigma s a_i t_i - d \Sigma s a_i \right)} - \left( \Sigma s a_i + \frac{N}{m n m \sigma_c} \right) \right\} \quad (3.26)$$

$${}_{cal}Q_{bu} = M_{bu} / H' \quad (3.27)$$

$$M_{bu} = s a_1 s \sigma_y l' + \Sigma 0.5 s a_i' s \sigma_y l' + 0.5 N l' \quad (3.28)$$

ここに、

${}_{cal}Q_y$ :降伏曲げ耐力

$M_y$ :降伏曲げモーメント

$s \sigma_y$ :縦筋の降伏点

$y x_n$ :曲げ降伏時の圧縮縁から中立軸までの距離

${}_{cal}Q_{bu}$ :終局曲げ耐力

$M_{bu}$ :終局曲げモーメント

$s a_1$ :引張側端部の鉄筋の断面積

$s a_i'$ :壁両端を除いた中間部の縦筋の断面積

$l'$ :組積壁のモデル壁幅の0.9倍(0.9D)

### 3.4.2.3 せん断ひび割れ耐力

せん断ひび割れ耐力については、補強ブロック造や型枠ブロック造などのメーソソリー構造の耐力壁の計算式<sup>3.2)</sup>、松村らによるALC耐力壁の計算式<sup>3.4)</sup>およびTannerらによる無筋ALCブロック組積壁の計算式<sup>3.6)</sup>が提案されている。また、弾性論よる方法や第2章で実施したプリズムせん断試験より得られたせん断ひび割れ強度から算出する方法も考えられる。これらのうち、松村が提案するメーソソリー構造の計算式は、せん断耐力が材料の圧縮強度の関数で表現されており、ブロック造の構法的な特徴も取り入れやすいため、本構法にも適用できる可能性がある。そこで、ALCと圧縮強度が最も近い松村による補強ブロック造の式を参考に、第2章で行ったプリズム試験の結果を元に修正を加えた式についても合わせて示す。これらの式を比較して、実験結果との対応を確認する。

#### (1) 松村による型枠ブロック造および補強ブロック造のせん断ひび割れ耐力式<sup>3.2), 3.7)</sup>

松村による型枠ブロック造および補強ブロック造のせん断ひび割れ耐力式（以下、松村式（型枠）および松村式（補強））を、以下に示す。

$$calQ_{sc1,2} = \left( k_c \frac{1}{H'/d + 2} \sqrt{m\sigma_c + 0.3\alpha \frac{N}{bD}} \right) bj \quad (3.29)$$

ここに、

$calQ_{sc1}$ ：松村式（補強）によるせん断ひび割れ耐力

$calQ_{sc2}$ ：松村式（型枠）によるせん断ひび割れ耐力

$k_c$ ：組積体の性質による係数（型枠ブロック造で1.0、補強ブロック造で0.5）

$\alpha$ ：軸力影響係数（型枠ブロック造で1.0、補強ブロック造で0.6）

$j$ ：応力中心距離（ $7/8d$ ）

松村式（補強）を参考に、第2章で行ったプリズム試験の結果を元に以下の修正を加えた式（以下、修正松村式（補強））を以下に示す。組積体の性質による係数 $k_c$ について、補強ブロック造の値0.5に0.72を乗じた0.36とした。これは、補強ブロック造のせん断ひび割れ強度 $\tau_m$ と組積体圧縮強度 $\sigma_m$ には $\tau_m = 2\sqrt{0.1\sigma_m}/2.5 \cong 0.25\sqrt{\sigma_m}$ の関係があるが、本構法では2.6節に示すように $\tau_m = 0.18\sqrt{\sigma_m}$ の関係が得られたため、 $0.18/0.25 = 0.72$ を乗ずることとした。

$$calQ_{sc1}' = \left( k_c' \frac{1}{H'/d + 2} \sqrt{m\sigma_c + 0.3\alpha \frac{N}{bD}} \right) bj \quad (3.30)$$

$calQ_{sc1}'$ ：修正松村式（補強）によるせん断ひび割れ耐力

$k_c'$ : 組積体の性質による係数 (=0.36)

(2) 松村による ALC 耐力壁のせん断ひび割れ耐力式<sup>3.4)</sup>

松村による ALC 耐力壁のせん断ひび割れ耐力式 (以下、松村式 (ALC)) を以下に示す。引張鉄筋比で考慮する引張鉄筋は、引張側端部の鉄筋のみとした。

$${}_{cal}Q_{sc3} = \left( k_p \frac{3.2}{H'/d + 2} + 0.13\gamma\delta \sqrt{p_w \cdot w\sigma_y} \right) \sqrt{m\sigma_c b j} \quad (3.31)$$

ここに、

${}_{cal}Q_{sc3}$ : 松村式 (ALC) によるせん断ひび割れ耐力

$k_p$ : 耐力壁の曲げ補強筋比に関する数値で下記による

$$k_p = 1.16p_t^{0.3} \quad (p_t \text{は}\%)$$

$p_t$ : 引張鉄筋比(%)で、 $p_t = 100 \cdot s a_1 / b d$

$s a_1$ : 引張側端部の鉄筋の断面積

$j$ : 応力中心距離 (7/8d)

$\gamma$ : あばら筋形による補正係数 ( $\gamma = 0.4$ )

$\delta$ : 加算法による補正係数 ( $\delta = 0.6$ )

$p_w$ : 水平補強筋比で、 $p_w = s a_w / b s$

$s a_w$ : 水平補強筋の断面積

$s$ : 水平補強筋の間隔

$w\sigma_y$ : 水平補強筋の降伏点

(3) Tanner らによる ALC 耐力壁のせん断ひび割れ耐力式<sup>3.6)</sup>

Tanner らは、次の(4)で示す弾性論より求められるせん断ひび割れ耐力式を元に、ALC の圧縮強度と引張強度の関係と、実験結果との比較から得られた係数を考慮した(3.33)式 (以下、Tanner 式 (ALC)) を提案している<sup>3.6)</sup>。なお、(3.33)式はヤード・ポンド法による単位系のため、(3.32)式のように SI 単位に変換する。

$${}_{cal}Q_{sc4} = 4.4822/1000 \times V_{AAC} \quad (3.32)$$

$$V_{AAC} = 0.9l_w t \sqrt{f_{AAC}} \sqrt{1 + \frac{P}{2.4\sqrt{f_{AAC}}l_w t}} \quad (3.33)$$

ここに、

$calQ_{sc4}$  : Tanner 式 (ALC) によるせん断ひび割れ耐力(kN)

$V_{AAC}$  : Tanner 式 (ALC) によるせん断ひび割れ耐力(lb)

$P$  : 組積壁に作用する軸力(lb)

$l_w$  : 組積壁の壁幅(inch)

$t$  : 組積壁の壁厚(inch)

$f_{AAC}$  : 組積体の圧縮強度(psi)

#### (4) 弾性論によるせん断ひび割れ耐力式

弾性論に基づき、主引張応力度が材料の引張強度に達したときのせん断応力度から算出したせん断耐力式を(3.34)式に示す。材料の引張強度には、2.2 節の ALC の引張試験で得られた ALC の引張強度と 2.6 節のプリズムせん断試験で得られた引張強度を用いた (以下、(3.34)式を弾性論式 (ALC)、(3.35)式を弾性論式 (プリズム) と呼ぶ)。

$$calQ_{sc5} = \frac{2}{3}bW \sqrt{a\sigma_t^2 + a\sigma_t \frac{N}{bW}} \quad (3.34)$$

$$calQ_{sc6} = \frac{2}{3}bW \sqrt{m\sigma_{st}^2 + a\sigma_t \frac{N}{bW}} \quad (3.35)$$

ここに、

$calQ_{sc5}$  : 弾性論式によるせん断ひび割れ耐力 (ALC)

$calQ_{sc6}$  : 弾性論式によるせん断ひび割れ耐力 (プリズム)

$m\sigma_{st}$  : プリズムせん断試験より得られたせん断ひび割れ時の引張強度

$W$  : 組積体の壁幅

#### (5) プリズムせん断試験結果より求めたせん断ひび割れ耐力式

第 2 章で行ったプリズムせん断試験より求めたせん断ひび割れ強度を用いて、(3.36)式よりせん断ひび割れ耐力を求めた (以下、(3.36)式をプリズム強度式と呼ぶ)。

$$calQ_{sc7} = bj_m\tau \quad (3.36)$$



ここに、

$calQ_{sc7}$  : プリズム強度式によるせん断ひび割れ耐力

$m\tau$  : プリズムせん断式より得られたせん断ひび割れ時のせん断応力度

### 3.4.2.4 終局せん断耐力

終局せん断耐力についても、メーソンリー構造の耐力壁の計算式<sup>3.2)</sup>や ALC 耐力壁の計算式<sup>3.4)</sup>が提案されている。これらの式について、本章で用いられる記号に修正したものを以下に示す。また、せん断ひび割れ耐力と同様に、松村による補強ブロック造の式を参考に、第 2 章で行ったプリズム試験の結果を元に修正を加えた式についても合わせて示す。

#### (1) 松村による型枠ブロック造および補強ブロック造の終局せん断耐力式<sup>3.2), 3.7)</sup>

松村による型枠ブロック造および補強ブロック造の終局せん断耐力式（以下、終局松村式（型枠）および終局松村式（補強））を、以下に示す。ここでは引張鉄筋比で考慮する引張鉄筋は、引張側端部の鉄筋のみとした。

$$\begin{aligned}
 {}_{cal}Q_{su1,2} = \varphi \left\{ k_u \cdot 1.16 p_t^{0.3} \left( \frac{0.76}{H'/d + 0.7} + 0.012 \right) \sqrt{m \sigma_c} + 0.18 \gamma \sqrt{p_w w \sigma_{ym} \sigma_c} \right. \\
 \left. + 0.2 \frac{N}{bD} \right\} b j
 \end{aligned} \tag{3.37}$$

ここに、

${}_{cal}Q_{su1}$ ：終局松村式（型枠）による終局せん断耐力

${}_{cal}Q_{su2}$ ：終局松村式（補強）による終局せん断耐力

$\varphi$ ：せん断強度低減係数で 1.0

$k_u$ ：組積体の性質による係数（型枠ブロック造で 1.0、補強ブロック造で 0.64）

$\gamma$ ：水平補強筋（横筋）の影響係数（型枠ブロック造で 1.0、補強ブロック造で 0.6）

終局松村式（補強）を参考に、第 2 章で行ったプリズム試験の結果を元に以下の修正を加えた式（以下、修正終局松村式（補強））を以下に示す。

- 1) 組積体の性質による係数 $k_u$ について、補強ブロック造の値 0.64 に修正松村式（補強）と同様の 0.72 を乗じて 0.46 を用いた。
- 2) 補強ブロック造では引張鉄筋が壁両端に集中配置されることを想定しているため、 ${}_{cal}Q_{su1}$ と ${}_{cal}Q_{su2}$ では引張側端部の鉄筋のみ考慮した。本構法では 750mm 間隔に縦筋が配筋されるため、引張鉄筋比 $p_t$ には壁端部から壁中央部までの引張鉄筋も考慮した。
- 3) 実験結果よりブロックの内部鉄筋はせん断ひび割れ発生の抑制とせん断ひび割れ後の荷重

上昇に寄与しているため、せん断補強筋比 $p_w$ にはブロックの内部鉄筋も考慮した。

$$calQ_{su1}' = \varphi \left\{ k_u' \cdot 1.16 p_t'^{0.3} \left( \frac{0.76}{H'/d + 0.7} + 0.012 \right) \sqrt{m\sigma_c} + 0.18\gamma \sqrt{p_w' \cdot w\sigma_y m\sigma_c} + 0.2 \frac{N}{bD} \right\} bj \quad (3.38)$$

$calQ_{su1}'$  : 修正終局松村式 (補強) によるせん断ひび割れ耐力

$k_u'$  : 組積体の性質による係数 (=0.46)

$p_t'$  : 壁中央部の引張鉄筋を考慮した引張鉄筋比(%)で、 $p_t = 100 \cdot s a_1 k_p / bd$

$k_p = 0.5W/750$  ただし  $k_p < 1$  のとき  $k_p = 1$

$p_w$  : ブロックの内部鉄筋を考慮した水平補強筋比で、 $p_w = (s a_w + i a_w \cdot s / 150) / bs$

$i a_w$  : 1つのブロックに含まれる内部鉄筋の断面積の合計

$s$  : 水平補強筋の間隔(mm)

(2) RC造耐力壁に対する荒川 min 式を準用した型枠ブロック造の終局せん断耐力式<sup>3.2), 3.8)</sup>

型枠ブロック造については、RC造耐力壁に対する荒川 min 式を準用する(3.39)式が提案されている。

$$calQ_{su3} = \left\{ 0.053 p_t^{0.23} \frac{m\sigma_c + 18}{H'/d + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w w\sigma_y} + 0.1 \frac{N}{bD} \right\} bj \quad (3.39)$$

ここに、

$calQ_{su3}$  : 荒川 min 式による終局せん断耐力

(3) 松村による ALC 耐力壁の終局せん断耐力式<sup>3.4)</sup>

松村による ALC 耐力壁の終局せん断耐力式 (以下、終局松村式 (ALC)) を以下に示す。

$$calQ_{sc4} = \left\{ k_p \left( \frac{2.42}{H'/d + 0.7} + 0.04 \right) + 0.18\gamma\delta \sqrt{p_w \cdot w\sigma_y} \right\} \sqrt{m\sigma_c} bj \quad (3.40)$$

ここに、

$calQ_{su4}$  : 終局松村式 (ALC) による終局せん断耐力

### 3.4.2.5 変形の計算

曲げひび割れ時の曲げ変形 $\delta_1$ および $\delta_{bc}$ は弾性論に従って(3.41)式および(3.42)式で求めた。曲げ降伏時の変形 $\delta_y$ は次の仮定を設けて(3.43)式より算出した。

- 1) 全断面で組積体は引張応力を負担しない。
- 2) 組積壁の曲率分布が曲げモーメント分布に比例する。

せん断変形 $\delta_s$ は、弾性論に従って(3.44)式で求めた。ここではせん断ひび割れ後の剛性低下については考慮せず、すべての計算について弾性とした。計算値による層間変形角 ${}_{cal}\theta$ はそれぞれの耐力時における曲げ変形とせん断変形を加算し、 $H'$ で除して求めた。

$$\delta_1 = {}_{cal}Q_1 H'^3 / 3 {}_mEI_e \quad (3.41)$$

$$\delta_{bc} = {}_{cal}Q_{bc} H'^3 / 3 {}_mEI_e \quad (3.42)$$

$$\delta_y = \varphi_y H'^2 / 3 \quad (3.43)$$

$$\delta_s = 1.2 {}_{cal}QH' / {}_mGbD \quad (3.44)$$

ここに、

${}_{cal}P$  : 層間変形角算出時のそれぞれの耐力の計算値

$\varphi_y$  : 壁脚部の曲率 ( $\varphi_y = {}_s\sigma_y / {}_sE (d - {}_yx_n)$ )

${}_mG$  : 組積体のせん断弾性係数

### 3.4.3 計算結果と実験結果の比較

#### 3.4.3.1 曲げひび割れ耐力の比較

曲げひび割れ耐力の実験結果と計算結果の比較を表 3.14 に示す。表中の括弧内は計算値を実験値で除した値を表す。目地部の付着強度には安全側として引張試験の結果を用いているため、目地部のひび割れ耐力は計算値が実験値を安全側に評価する結果となった。また、略算式の方が精解式よりもより安全側の評価となった。ALC ブロックのひび割れ耐力は、おおよそ一致した試験体も見られたが、A37 シリーズの試験体では実験結果との差が大きくなった。これは、ALC ブロックにひび割れが発生する前に目地部のひび割れが発生しており、計算モデルとの差が生じたことなどによるものと考えられる。

表 3.14 曲げひび割れ耐力の実験結果と計算結果の比較

試験体名	曲げひび割れ耐力(kN)				
	目地部			ALC	
	実験 $Q_1$	精解 $_{cal}Q_1$	略算 $_{cal}Q_1'$	実験 $Q_{bc}$	計算 $_{cal}Q_{bc}$
InW-A50-w10	5.6 —	3.0 (0.54)	2.6 (0.47)	13.5 —	11.6 (0.86)
InW-A50-w15	12.8 —	5.4 (0.42)	4.7 (0.37)	29.4 —	20.7 (0.70)
InW-A50-w45	24.5 —	14.4 (0.59)	12.8 (0.52)	— —	55.1 —
InW-A37-w15	10.7 —	7.4 (0.70)	6.1 (0.57)	12.3 —	19.7 (1.60)
InW-A37-w45	22.0 —	19.6 (0.89)	16.8 (0.76)	29.1 —	51.9 (1.78)
InW-A42-w15	8.7 —	7.2 (0.84)	6.0 (0.69)	16.0 —	20.8 (1.30)

### 3.4.3.2 降伏曲げ耐力の比較

降伏曲げ耐力の実験結果と計算結果の比較を表 3.15 に示す。表中の括弧内は計算値を実験値で除した値を表す。降伏曲げ耐力の計算値は、すべての試験体で引張鉄筋の降伏が圧縮縁の破壊よりも先行し、計算値が実験値をやや安全側に評価するものの InW-A50-w45 を除いた全ての試験体で±20%以内の精度で評価することができた。

表 3.15 降伏曲げ耐力の実験結果と計算結果の比較

試験体名	降伏曲げ耐力(kN)		
	実験	計算	
	$Q_y$	引張	圧縮
InW-A50-w10	20.3 —	16.3 (0.81)	29.6 —
InW-A50-w15	50.8 —	44.8 (0.88)	60.0 —
InW-A50-w45	— —	70.4 —	128.7 —
InW-A37-w15	35.0 —	29.9 (0.85)	57.3 —
InW-A37-w45	57.8 —	55.9 (1.0)	134.3 —
InW-A42-w15	33.3 —	29.9 (0.90)	47.1 —

### 3.4.3.3 せん断ひび割れ耐力の比較

せん断ひび割れ耐力の実験結果と計算結果の比較を表 3.16 および図 3.74 に示す。表中の括弧内および図中の縦軸は、計算値を実験値で除した値を表す。それぞれの式から得られた計算結果と実験結果を比較すると、ALC ブロック組積体の特性を反映させた修正松村式（補強）が実験値との対応が最もよい対応を示した。既存の計算式では、松村式（補強）または Tanner(ALC)式が比較的良い対応を示したが、松村式（ALC、型枠）や弾性論式（ALC、プリズム）は実験値との乖離が大きい結果となった。

表 3.16 せん断ひび割れ耐力の実験結果と計算結果の比較

試験体名	せん断ひび割れ耐力(kN)								
	実験 $Q_{sc}$	松村式 (補強) $cal Q_{sc1}$	修正松村式 (補強) $cal Q_{sc1'}$	松村式 (型枠) $cal Q_{sc2}$	松村式 (ALC) $cal Q_{sc3}$	Tanner (ALC) $cal Q_{sc4}$	弾性論式 (ALC) $cal Q_{sc5}$	弾性論式 (プリズム) $cal Q_{sc6}$	プリズム 強度式 $cal Q_{sc7}$
InW-A50-w10	20.9 —	27.5 (1.3)	20.1 (1.0)	54.7 (2.6)	94.4 (4.5)	34.6 (1.7)	117.4 (5.6)	60.7 (2.9)	109.3 (5.2)
InW-A50-w15	29.4 —	38.7 (1.3)	28.1 (1.0)	77.1 (2.6)	140.4 (4.8)	34.4 (1.2)	117.2 (4.0)	60.5 (2.1)	117.0 (4.0)
InW-A50-w45	37.0 —	66.7 (1.8)	48.3 (1.3)	133.2 (3.6)	171.1 (4.6)	34.2 (0.9)	117.0 (3.2)	60.4 (1.6)	127.3 (3.4)
InW-A37-w15	29.0 —	38.2 (1.3)	28.0 (1.0)	75.7 (2.6)	129.7 (4.5)	36.2 (1.2)	106.1 (3.7)	30.9 (1.1)	55.2 (1.9)
InW-A37-w45	42.4 —	65.3 (1.5)	47.5 (1.1)	130.2 (3.1)	159.2 (3.8)	35.1 (0.8)	105.2 (2.5)	30.0 (0.7)	60.1 (1.4)
InW-A42-w15	24.0 —	35.4 (1.5)	26.0 (1.1)	70.2 (2.9)	119.9 (5.0)	33.8 (1.4)	114.4 (4.8)	19.0 (0.8)	30.9 (1.3)

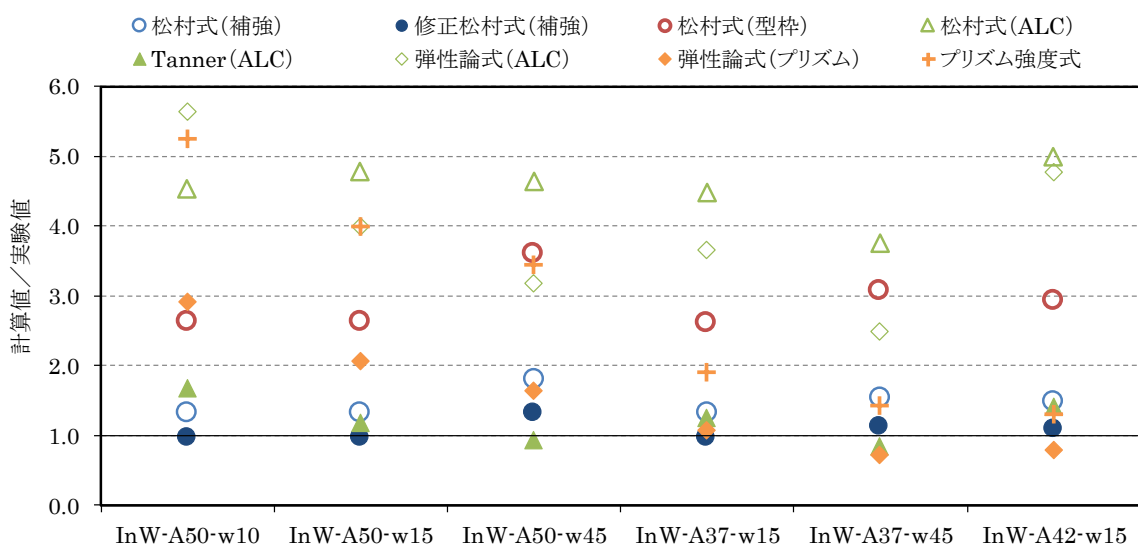


図 3.74 せん断ひび割れ耐力の実験結果と計算結果の比較

### 3.4.3.4 終局耐力の比較

終局耐力の実験結果と計算結果の比較を表 3.17 および図 3.75 に示す。実験で終局耐力が得られなかった InW-A50-45 は検討を除外する。表中の括弧内および図中の縦軸は計算値を実験値で除した値を表し、表 3.17 の赤塗は曲げ破壊を、青塗はせん断破壊した試験体を表す。終局松村式（補強）と修正終局松村式（補強）では破壊性状が一致し、修正式の方が平均値を表す結果となった。しかし、実験で得られた終局せん断耐力は曲げ降伏後のせん断耐力のため、今後はせん断破壊した試験体に対するせん断耐力との比較が必要と考えられる。

表 3.17 終局耐力の実験結果と計算結果の比較

試験体名	終局降力(kN)						
	実験 $Q_{max}$	曲げ 計算 $cal Q_{bu}$	せん断				
			終局松村式 (補強) $cal Q_{su1}$	修正終局 松村式(補強) $cal Q_{su1}'$	終局松村式 (型枠) $cal Q_{su2}$	荒川 min式 $cal Q_{su3}$	終局松村式 (ALC) $cal Q_{su4}$
InW-A50-w10 (曲げ破壊)	21.0	17.8 (0.8)	28.7	36.4	50.4	62.8	108.6
InW-A50-w15 (曲げ降伏後せん断破壊)	51.9	50.8	40.1 (0.8)	46.5 (0.9)	70.4 (1.4)	72.2 (1.4)	169.0 (3.3)
InW-A50-w45 (壁頂部のすべり破壊)	—	92.4	57.9	76.0	101.4	107.9	263.0
InW-A37-w15 (曲げ破壊)	44.7	38.7 (0.9)	40.4	46.7	70.4	83.6	157.2
InW-A37-w45 (曲げ降伏後せん断破壊)	67.3	96.8	56.9 (0.8)	73.8 (1.1)	99.3 (1.5)	121.1 (1.8)	244.8 (3.6)
InW-A42-w15 (曲げ降伏後せん断破壊)	37.7	38.6	37.5 (1.0)	34.3 (0.9)	65.3 (1.7)	83.3 (2.2)	144.3 (3.8)

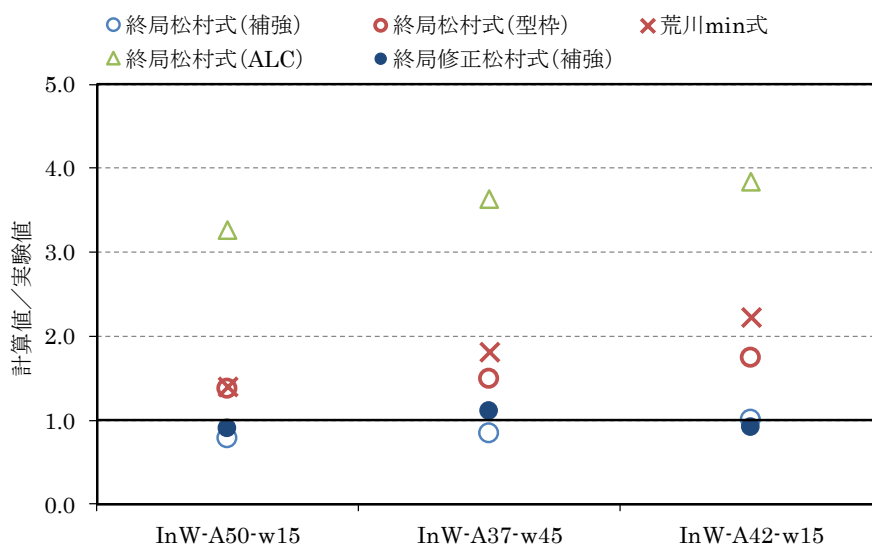


図 3.75 終局せん断耐力の実験結果と計算結果の比較



### 3.4.3.5 各試験体の耐力と荷重－変形関係の比較まとめ

#### (1) 耐力比較のまとめ

これまでの考察を踏まえて実験結果および計算結果の各耐力と荷重－変形関係をまとめたものを表 3.18 と図 3.76 に示す。図 3.76 では InW-A50-w45 を除外した。表 3.18 中の計算値は、ここまでの考察を踏まえて、曲げひび割れ耐力には目地部の引張破壊より求めた精解式を、せん断ひび割れ耐力には修正松村式（補強）の値を、終局せん断耐力には修正終局松村式（補強）の値を用いた。

図 3.76 をみると、曲げひび割れ耐力については計算結果が実験結果の下限値を、それ以外の耐力については計算結果が実験結果の±20%以内の精度で平均値を評価できることが確認された。

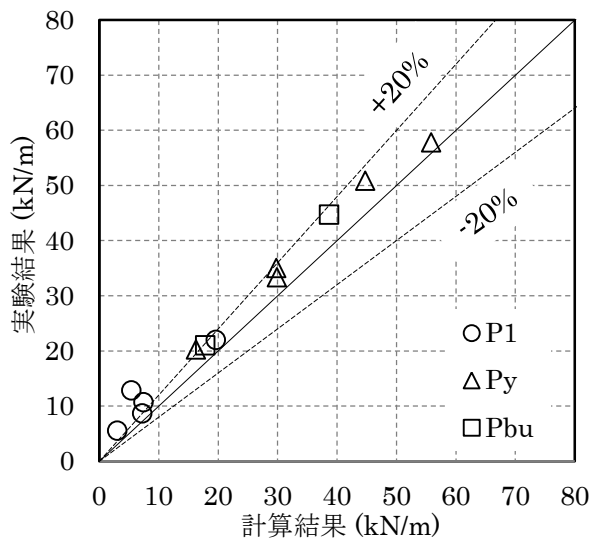
#### (2) 荷重－変形関係

荷重－変形関係の実験結果と計算結果の比較を図 3.77 に、前述の 3.3.4 項で求めた曲げ変形の比率について実験結果と計算結果を比較したものを図 3.78 に示す。計算結果は表 3.18 と同様の値を用いた。図 3.78 では InW-A50-w45 を除外しており、曲げ変形の比率は実験結果をグレー線で、計算結果を黒線で示した。

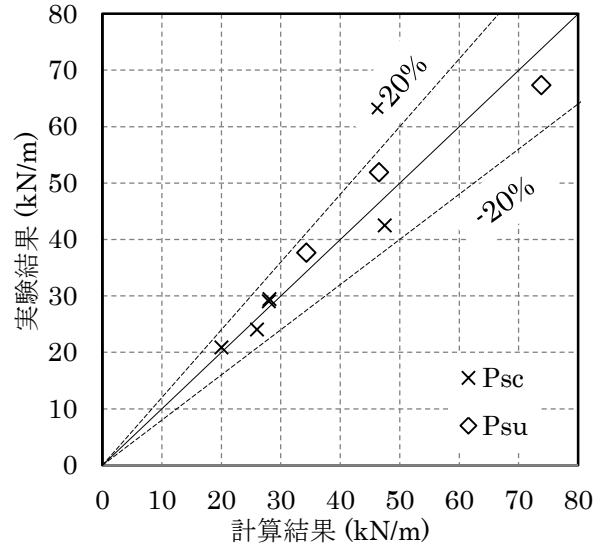
図 3.77 および図 3.78 をみると、InW-A42-w15 を除いた試験体については 1/2000rad から 1/1000rad 程度の変形の小さい範囲では荷重－変形関係と曲げ変形の比率は実験結果と計算結果がおおむね一致することが確認された。InW-A42-w15 では±1/300rad まで RC 基礎梁と鉄骨冶具との接合が十分でなく剛性が低かった可能性があるため、加力初期の剛性についても計算値の剛性が実験結果の剛性よりも高くなる傾向がみられた。1/1000rad 以降については 3.4.2 項で述べたようにせん断ひび割れ後の剛性低下の影響を考慮しなかったため変形が進むにつれて見られたせん断ひび割れによる剛性低下には対応しておらず、計算値の剛性が実験結果の剛性より高くなる傾向がみられた。せん断ひび割れによる剛性低下も考慮に入れた大変形領域の評価については、今後の課題としたい。

表 3.18 実験結果と計算結果の耐力比較のまとめ

試験体名	結果	耐力(kN/m)				層間変形角(rad)		破壊性状	
		曲げ ひび割れ $P_1$	せん断 ひび割れ $P_{sc}$	曲げ降伏 $P_y$	終局		曲げ ひび割れ $\theta_1$		曲げ降伏 $\theta_y$
					$P_{bu}$	$P_{su}$			
InW-A50-w10	実験	5.6	20.9	20.3	21.0		1/1106	1/133	曲げ破壊
	計算	3.0	20.1	16.3	17.8	36.4	1/3058	1/235	
InW-A50-w15	実験	12.8	29.4	50.8	51.9		1/916	1/110	曲げ降伏後の せん断破壊
	計算	5.4	28.1	44.8	50.8	46.5	1/4268	1/291	
InW-A50-w45	実験	24.5	37.0	—	—		1/1641	—	曲げ降伏後の せん断破壊
	計算	14.4	48.3	70.4	92.4	76.0	1/5820	1/714	
InW-A37-w15	実験	10.7	29.0	35.0	44.7		1/1202	1/232	曲げ破壊
	計算	7.4	28.0	29.9	38.7	46.7	1/2418	1/379	
InW-A37-w45	実験	22.0	42.4	57.8	67.3		1/2267	1/402	曲げ降伏後の せん断破壊
	計算	19.6	47.5	55.9	96.8	73.8	1/3103	1/780	
InW-A42-w15	実験	8.7	24.0	33.3	37.7		1/1127	1/195	曲げ降伏後の せん断破壊
	計算	7.2	26.0	29.9	38.6	34.3	1/2526	1/379	

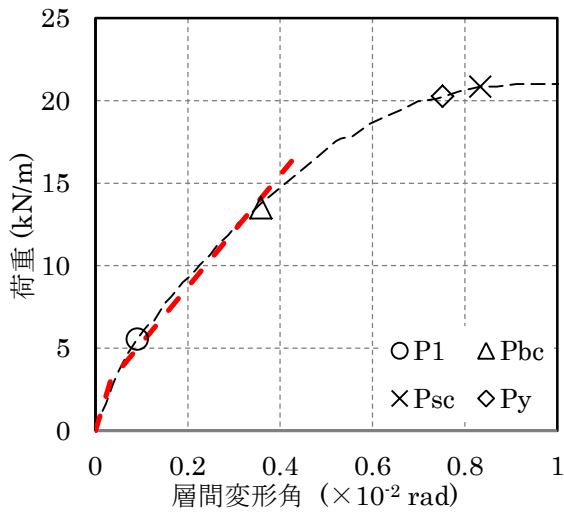


(a) 曲げ耐力

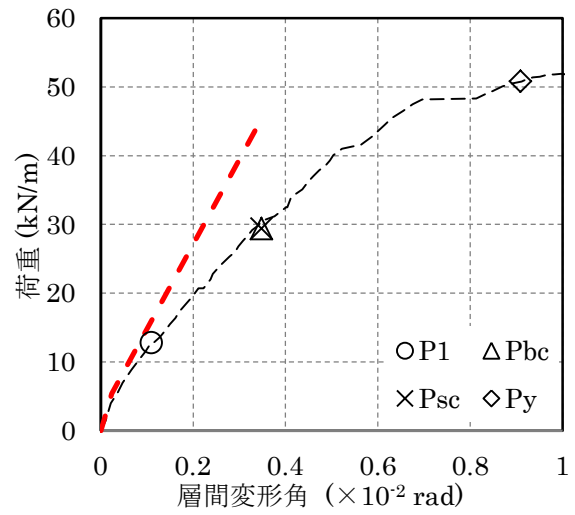


(b) せん断耐力

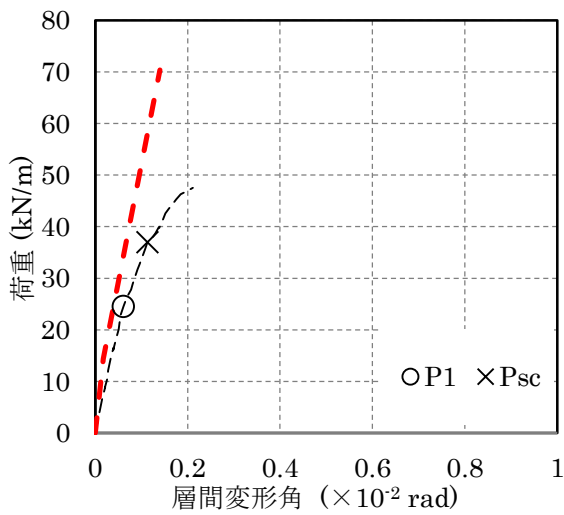
図 3.76 曲げおよびせん断耐力の実験結果と計算結果の比較



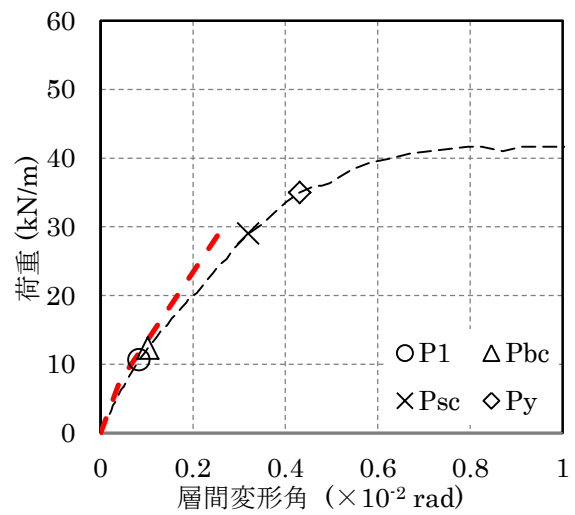
(a) InW-A50-w10



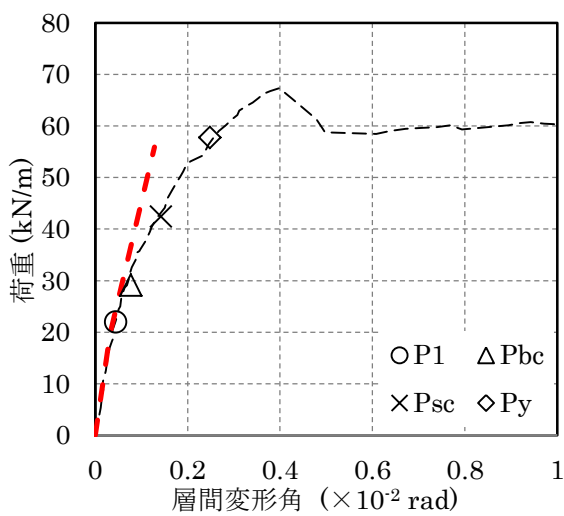
(b) InW-A50-w15



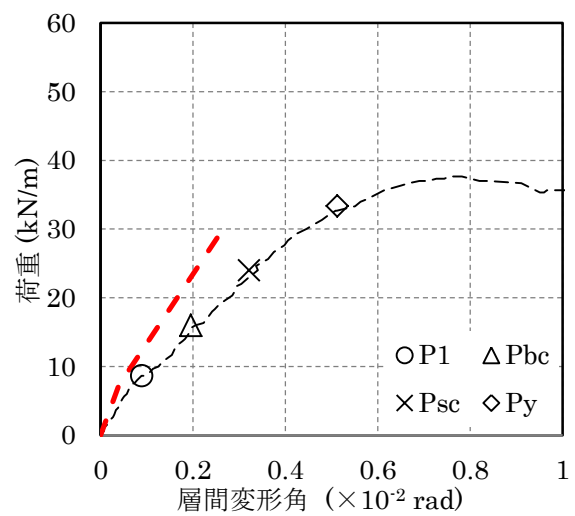
(c) InW-A50-w45



(d) InW-A37-w15



(e) InW-A37-w45



(f) InW-A42-w15

図 3.77 荷重－変形関係の実験結果と計算結果の比較

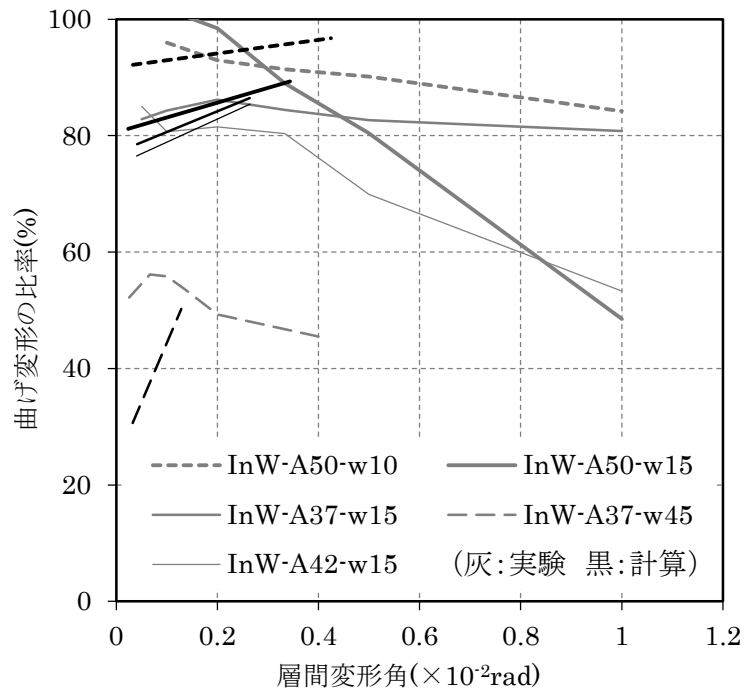


図 3.78 曲げ比率の実験結果と計算結果の比較

### 3.4.3.6 中立軸位置の比較

ここでは、実験結果と計算結果の中立軸位置の比較を行う。目地部の引張破壊時および曲げ降伏時において、実験と計算で求めた中立軸位置の比較を表 3.19 に示す。実験による中立軸位置は、前述の 3.3.6 項で求めた中立軸位置のうち、初期剛性低下および曲げ降伏する直前のサイクルの値を示した。InW-A50-w45 については曲げ降伏をしなかったため、曲げ降伏時の値を表 3.19 から除外した。表 3.19 中には計算値を実験値で除した値も併記した。

実験値と計算値の比較をみると、InW-A50-w15 の目地の引張破壊時と InW-A50-w10 の曲げ降伏時を除く値について、計算値が実験値を±20%以内の精度で評価できていることが確認された。このことから、本構法においても平面保持を仮定して中立軸位置を算出する鉄筋コンクリートと同様の算出方法が妥当であると考えられる。

表 3.19 実験と計算で求めた中立軸位置の比較

試験体	目地の引張破壊時			曲げ降伏時		
	計算 (mm)	実験 (mm)	計算 / 実験	計算 (mm)	実験 (mm)	計算 / 実験
InW-A50-w10	510	520	0.98	256	346	0.74
InW-A50-w15	783	540	1.45	464	443	1.05
InW-A50-w45	2436	2200	1.11	1223	—	—
InW-A37-w15	820	784	1.05	524	475	1.10
InW-A37-w45	2493	2833	0.88	1481	1511	0.98
InW-A42-w15	820	945	0.87	514	433	1.19

### 3.5 まとめ

本章では、無開口組積壁の面内せん断実験を行い、面内せん断性状を確認した。また、既往のメーソリー構造の計算式を参考に、ALC ブロック組積造の特性を考慮して耐力および変形の計算を行った。得られた知見を以下に示す。

#### (1) 無開口組積壁の面内せん断実験

内部鉄筋を有する ALC50、ALC37 と内部鉄筋を有しない ALC42 の 3 種類のブロックを用いて、無開口壁の面内せん断実験を行った。試験体は高さ 3m の実大スケールとし、壁幅は ALC50 を用いた試験体では 1.0m、1.5m、4.5m の 3 種類、ALC37 を用いた試験体では 1.5m と 4.5m の 2 種類、ALC42 を用いた試験体では 1.5m の 1 種類とした。試験体は基礎固定の片持ち形式で行い、頂部の加力梁に接合した油圧ジャッキにより正負交番繰り返し载荷を行った。

ALC50 の幅 4.5m を除いたすべての試験体で曲げひび割れ、せん断ひび割れ、引張鉄筋の降伏が確認され、ALC50 の幅 1.0m と ALC37 の幅 1.5m の試験体では曲げ破壊が、それ以外の試験体では曲げ降伏後のせん断破壊が確認された。ALC50 の幅 4.5m では頂部の加力梁の固定不足により、試験体頂部が滑り破壊した。

単位長さあたりの初期剛性は壁幅が長いほど高くなり、ブロック種類の違いによる影響は小さかった。幅 1.5m の試験体について、内部鉄筋を有する ALC50 および ALC37 を用いた試験体は、内部鉄筋を有しない ALC42 を用いた試験体と比較して最大荷重後も荷重を維持しながら変形が進行し、変形能力も高く、せん断ひび割れも試験体下部に留まった。プリズムせん断試験と同様に、ALC50 および ALC37 を用いた試験体では内部鉄筋の拘束効果により耐力と変形能力が向上し、耐力壁としての性能が高まったものと考えられる。また、ALC37 を用いた試験体では RC 加力梁の重量を保持しながら最大荷重後も急激な荷重低下がなく水平力に抵抗したことから、建物としての安全性は十分に確保できるものと考えられる。

残留ひび割れについて、すべての試験体で  $1/1500\text{rad}$  までは残留ひび割れは発生しておらず、 $1/1500\text{rad}$  で発生した曲げひび割れも非常に軽微なことから、 $1/1500\text{rad}$  程度までであればほぼ弾性範囲であると考えられる。

全体の変形に占める曲げ変形の比率について、層間変形角が  $1/300\text{rad}$  程度までの曲げ変形の比率は幅 1.5m 以下の試験体では 8~9 割程度、幅 4.5m の試験体では 5 割程度となり、壁幅が長くなるほど曲げ変形の比率が小さくなることが確認された。また、曲げ降伏後のせん断破壊を示した幅 1.5m の試験体では、変形の進行とともに曲げ変形の比率が低下したことが確認された。

#### (2) メーソリー構造の計算式を用いた耐力と剛性の評価

AIJ による既往のメーソリー構造の計算式を参考に、第 2 章の試験で得られた材料特性を用いて終

局耐力までの耐力の計算とせん断ひび割れ発生までの変形の計算を行った。曲げ耐力の計算では平面保持を仮定し、鉄筋コンクリート構造と同様のモデルにより計算を行った。せん断耐力の計算では、補強コンクリートブロック造で提案されているせん断ひび割れ耐力と終局せん断耐力の計算式をもとに、組積体の材料特性や内部鉄筋の効果などを考慮して修正した式を用いて計算を行った。曲げ変形については弾性論に従って計算し、曲げ降伏時の変形は曲率分布が曲げモーメント分布に比例すると仮定して求めた。せん断変形は、せん断ひび割れ後の剛性低下は考慮せずに弾性論に従って求めた。

計算結果と実験結果を比較すると破壊モードは計算結果と一致し、初期剛性低下点は下限値で、それ以外の耐力は±20%の精度で評価できることを確認した。変形は、せん断ひび割れ後の剛性低下には対応していないが、初期剛性と曲げひび割れ後の剛性低下をおおむね評価することができた。

### 第3章 参考文献

- 3.1) 日本工業規格: PC 鋼棒 JIS G 3109, 2008
- 3.2) 日本建築学会 構造委員会 壁式構造運営委員会: 各種メーソソリー構造設計ノート 2009, 2009.3
- 3.3) 建築研究振興協会: 鉄筋コンクリート組積造 (RM 造) 構造設計指針・同解説, 2004.12
- 3.4) 松村晃: オートクレーブ養生軽量気泡コンクリート (ALC) 部材の基本的曲げ強度性状, 日本建築学会論文報告集, pp.42-52, 1984.2
- 3.5) 松村晃: オートクレーブ養生軽量気泡コンクリート (ALC) 部材のせん断強度性状, 日本建築学会論文報告集, No. 343, pp.13-23, 1984.9
- 3.6) Tanner J.E. et al.: Seismic Testing of Autoclaved Aerated Concrete Shearwalls: A Comprehensive Review, ACI Structures Journal, 102(1), pp.374-382, Jan.-Feb. 2005
- 3.7) A. Matsumura: Shear Strength of Reinforced Masonry Walls, Proc. Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Aug. 1988
- 3.8) 日本建築学会: 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算規準・同解説, 2015.12



## 第4章

有開口組積壁の面内せん断実験と設計クライテリアの提案



## 4.1 はじめに

本章では、有開口組積壁の面内せん断性状を把握するために行った有開口組積壁の面内せん断実験と、これまでの実験結果を踏まえて設定した設計クライテリアについて述べる。

初めに、4.2 節では開口形状をパラメータとした有開口組積壁の試験体、測定計画、載荷方法などの実験計画について述べる。

次に、4.3 節では破壊性状、荷重－変形関係などの実験結果をサイクルごとに詳細に述べる。また、開口形状の違いによる初期剛性、破壊性状および変形成分などへの影響を確認する。

最後に、4.4 節では第 2 章で確認した組積体の基準強度より求めた短期許容せん断耐力と、本章および第 3 章で行った無開口組積壁の実験結果を比較し、本構法への許容せん断応力度の適用可能性について確認する。さらに、実験で得られた損傷の程度や最大耐力までの余裕度を考量し、短期許容応力度を超えない範囲において本構法で目標とする 1 次設計時の設計クライテリアを設定する。

## 4.2 実験計画

### 4.2.1 試験体

実験計画を表 4.1 に、使用材料一覧を表 4.2 に、グラウトおよび鉄筋の材料特性を表 4.3 に、コンクリートおよびセルフレベリング材の材料特性を表 4.4 に、加力梁重量の算定結果を表 4.5 に、試験体形状を図 4.1 に示す。実験に使用したグラウトと鉄筋の材料特性は、第 2 章で示した試験結果の平均値を示した。

試験体は高さ 3m、幅 4.5m、壁厚 0.25m の実大スケールとし、開口形状をパラメータとして計 3 体の実験を行った。ブロックには ALC37 を、グラウトには NMH を、縦筋には M20(SNR490B)の丸鋼を、横筋には D10(SD295A)の異形鉄筋を用いた。開口形状は住宅で一般的に使用される窓を想定し、幅 2.0m × 高さ 1.2m の引き違いタイプの腰窓、幅 2.0m × 高さ 2.1m の掃き出し窓、幅 0.5m × 高さ 1.2m の縦長の腰窓の 3 種類とした。等価開口周比 $r_0$ <sup>4.1)</sup>は(4.1)式より求め、0.30~0.56 が得られた。

試験体は幅 310mm × 高さ 465mm の RC 基礎梁の上に作製し、組積壁の開口を除いた部分は第 3 章と同様の工法で作製した。基礎梁の上部にはセルフレベリング材（日鉄住金高炉セメント製、商品名：エスレベル NK）を 20mm 打設して基礎天端の不陸の調整を行った。試験体の鉄筋が挿入された箇所以外の縦穴にはブロック上下にテープを貼り付け、グラウトが充填されないようにした。開口部両端の縦穴には必ず縦筋を配筋し、開口部上部は図 4.1(d)に示すように縦筋を座金とボルトで定着した。まぐさ最上段および最下段には図 4.1 の A 部および B 部のように横筋を 2 本配筋（ダブル配筋）し、端部は開口両側の縦筋に 180 度フックで定着した。

試験体頂部には幅 450mm × 高さ 450mm の RC 加力梁を設置した。RC 加力梁の軸方向には第 3 章とは異なり D29(SD390)の異形鉄筋を 4 本配筋し、端部に加工した M27 のネジ部に加力治具を取り付けて油圧ジャッキと接合した。InWO-A37-w45-20012 ではまぐさ部分の変形を拘束しないように RC 梁同士を鋼管□-175 × 175 × 6 でピン接合した。鋼管にはひずみゲージを貼り付け、鋼管に作用する軸力を確認した。加力梁の重量は表 4.5 に示すように算出し、第 3 章の試験と同様に総 2 階住宅の 1 階壁をおおよそ再現した実験条件となった。

試験体の養生期間は 5~7 日とし、材料試験のグラウトの養生期間は試験体と同様とした。

$$r_0 = \sqrt{w_0 \cdot h_0 / W \cdot H} \quad (4.1)$$

ここに、

$r_0$  : 等価開口周比

$w_0$  : 開口部の水平断面への投影長さの和

$h_0$  : 開口部の鉛直断面への投影長さの和

$W$  : 試験体の壁幅

$H$  : 試験体の高さ

試験体名は、以下のように定めた。

## InWO-A37-w45-20012

(1)      (2)      (3)      (4)

- (1) 実験名 [有開口組積壁の面内せん断実験 : InWO]
- (2) ブロック材料 [ALC37 : A37]
- (3) 壁幅 [4.5m : w45]
- (4) 開口部寸法 [幅 200cm×高さ 1.2m : 20012、幅 200cm×高さ 2.1m : 20021、幅 60cm×高さ 1.2m×2ヶ : 2\_06012]

表 4.1 有開口組積壁の面内せん断実験の実験計画

試験体名	高さ (m)	壁幅 (m)	壁厚 (m)	開口部 (mm)	$r_0$ (-)	加力梁重量 (kN)	グラウト 養生期間(日)
InWO-A37-w45-20012	3.0	4.5	0.25	2000×1200	0.42	20.2	5~7
InWO-A37-w45-20021				2000×2100	0.56	28.7	5~7
InWO-A37-w45-2_05012				2-500×1200	0.30		6~7

表 4.2 使用材料一覧

ブロック 材料	グラウト 材料	鉄筋	
		縦筋	横筋
ALC37	NMH	SNR490B M20	SD295A D10

表 4.3 グラウトおよび鉄筋の材料特性

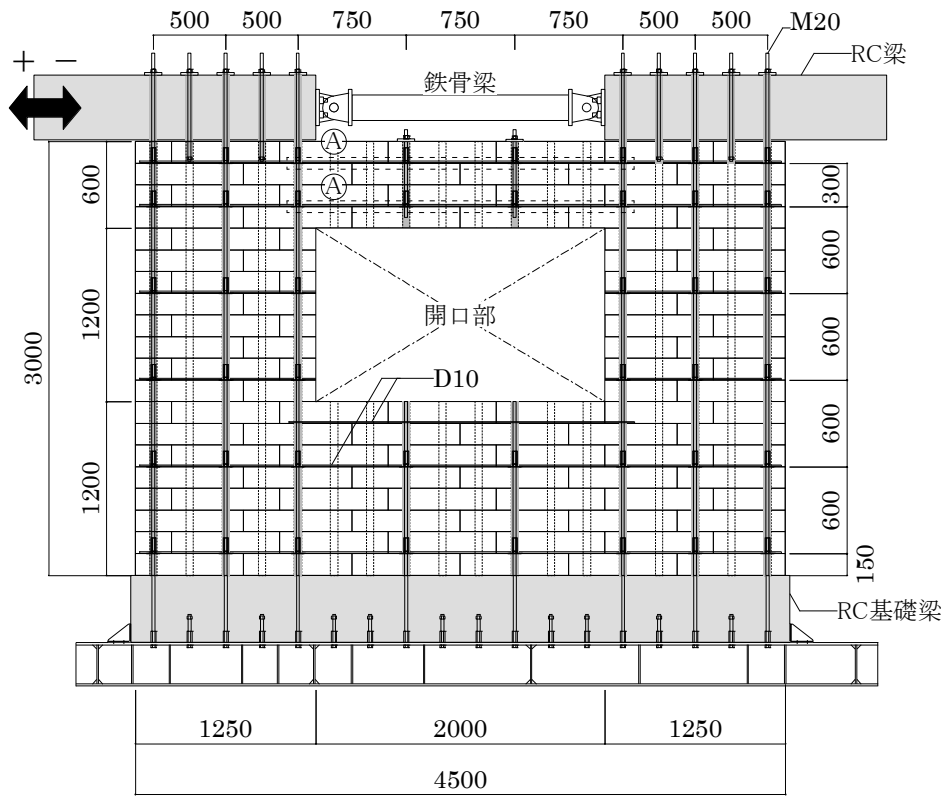
試験体名	グラウト		上段:縦筋/下段:横筋			
	グラウトの 試験体番号	試験体数	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
InWO-A37-w45-20012	1~3	3	71.5	353.9	565.4	210.0
InWO-A37-w45-20021	4~6	3	62.1			
InWO-A37-w45-2_05012	7~9	3	66.8			

表 4.4 コンクリートおよびセルフレベリング材の材料特性

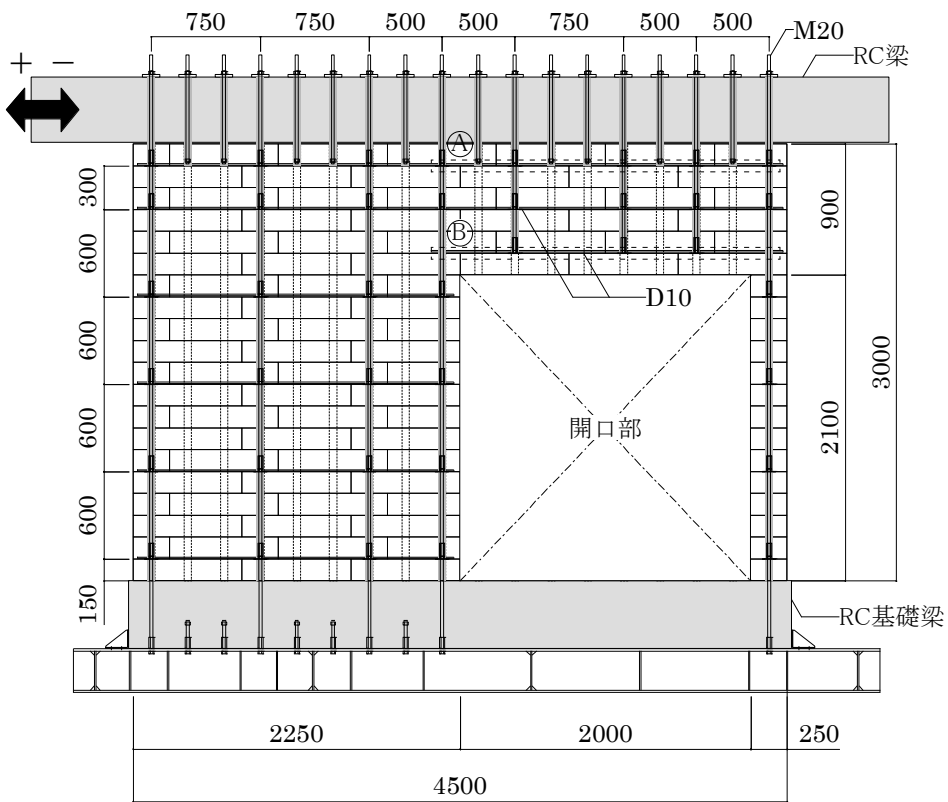
材料	試験体名	NO	養生期間 (日)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (kN)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
						平均値	
コンクリート	InWO-A37-w45-20012	1	12	7854	311.2	39.6	38.6
		2			294.5	37.5	
	InWO-A37-w45-20021	1	12		280.0	35.7	35.8
		2			282.7	36.0	
	InWO-A37-w45-2_05012	1	26		287.2	36.6	36.6
		2			288.2	36.7	
セルフ レベリング材	InWO-A37-w45-20012	1	12	1963	106.4	54.2	53.1
		2			102.0	51.9	
	InWO-A37-w45-20021	1	12		127.3	64.8	61.8
		2			115.4	58.8	
	InWO-A37-w45-2_05012	1	26		123.9	63.1	68.4
		2			144.6	73.6	

表 4.5 加力梁重量の算定結果

InWO-A37-w45-20012			InWO-A37-w45-20021・InWO-A37-w45-2_05012		
	体積	重量		体積	重量
RC梁	0.79 m <sup>3</sup>	18.96 kN	RC梁	1.19 m <sup>3</sup>	28.69 kN
鋼管梁	0.017 m <sup>3</sup>	1.29 kN			
	計	20.25 kN		計	28.69 kN

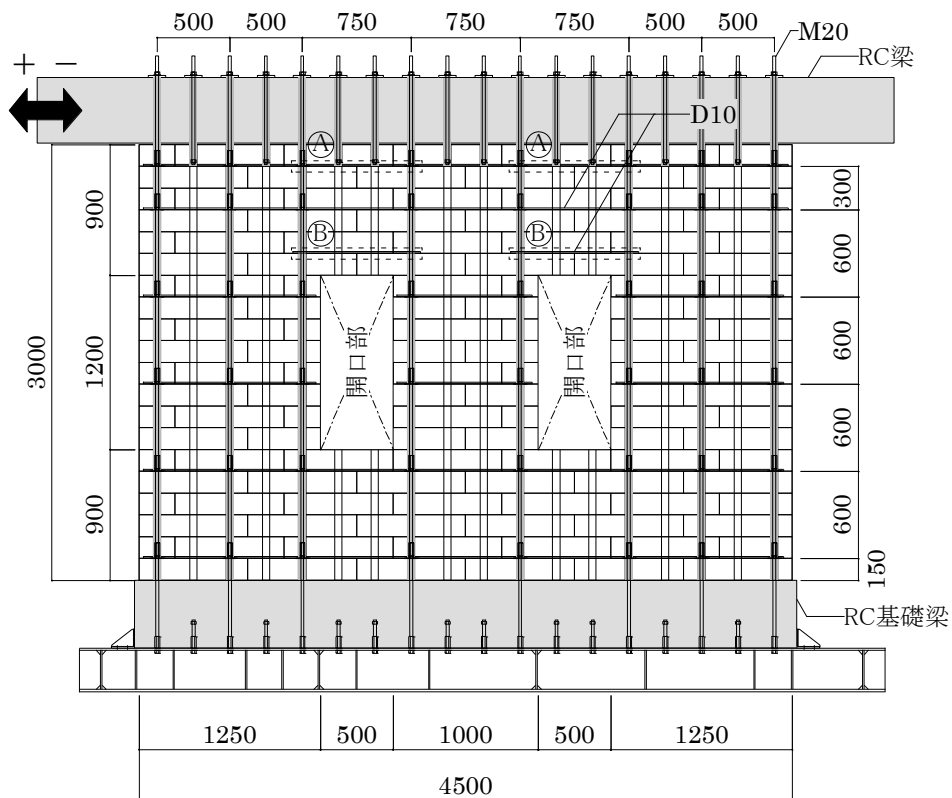


(a) InWO-A37-w45-20012

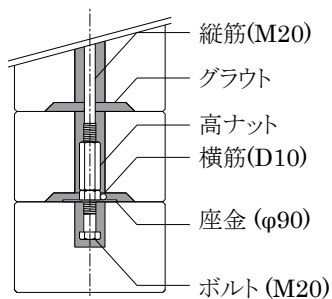


(b) InWO-A37-w45-20021

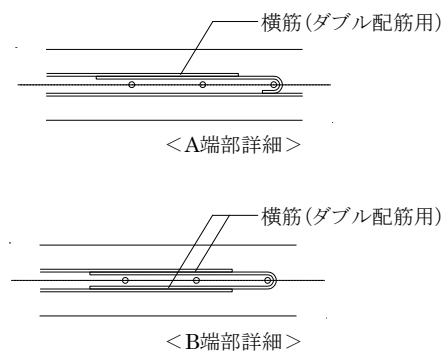
図 4.1-1 有開口壁面内せん断実験の試験体図



(c) InWO-A37-w45-2\_06012



(d) 開口上部の納まり詳細



(e) ダブル配筋部 端部詳細

図 4.1-2 有開口壁面内せん断実験の試験体図



## 4.2.2 実験方法

実験方法を図 4.2 に、加力スケジュールを表 4.6 に、試験状況を図 4.3 に、測定計画を図 4.4 から図 4.6 と表 4.7 に示す。

実験は無開口壁面内せん断実験と同様に基礎固定の片持ち梁形式で行われ、加力には油圧ジャッキを用いた。加力は、表 4.6 に示すように正負交番の繰返し载荷を行った後に正側にて単調载荷を行うスケジュールとした。試験体の面外方向への変形は鉄骨で作製したガイドにより拘束し、ガイド部分にはテフロンシートを貼り付けて加力梁との摩擦抵抗を除いた。

測定項目は、荷重、水平変位、浮上りおよび接合部ずれの確認、試験体全体の曲げ変形とせん断変形（以下、全体曲げ、全体せん断）の確認、部分的な曲げ変形とせん断変形（以下、部分曲げ、部分せん断）の確認、縦筋と横筋のひずみおよび InWO-A37-w45-20012 の RC 加力梁を接合する鋼管の軸方向ひずみとした。荷重は油圧ジャッキに接続したロードセル（東京測器研究所製、TCLP-1MNB）により測定した。水平変位は、レーザー変位計（KEYENCE 製、LK500）および接触型変位計（東京測器研究所製、CDP-50）を用いて測定した。層間変形角は試験体頂部と脚部に設置した変位計の差分を測定区間で除して求めた。浮上りと接合部ずれの確認は、接触型変位計（東京測器研究所製、CDP-25 または CDP-50）を用いて測定した。試験体の観察面側では、試験体両端の鉛直方向および対角方向に設置したワイヤー変位計（DP-500E、東京測器研究所製）にて鉛直方向の変形量（全体曲げ）および対角方向の変形量（全体せん断）を測定した。試験体の測定面では、鉛直方向および水平方向に開口端部を基準に分割した部分的な鉛直方向の変形量（部分曲げ）と対角方向の変形量（部分せん断）を測定した。部分曲げおよび部分せん断は、接触型変位計（東京測器研究所製の CDP-25、CDP-50 または共和電業製の DTH-A-30）を用いて測定した。縦筋および横筋には、ひずみゲージ（東京測器研究所製、縦筋：FLA-2-11-5LT、横筋：FLK-2-11-5LT）を貼り付けた。図 4.4 から図 4.6 の(c)ひずみゲージ貼り付け位置について、A, B, C... は縦筋の壁幅方向の位置を、a, b, c... は横筋の壁幅方向の位置を、1, 2, 3... は高さ方向の位置を表し、表 4.7 に示すひずみゲージの測定箇所を示す記号と対応する。赤色は縦筋のひずみゲージ位置を、青色は横筋のひずみゲージ位置を表し、“補”はダブル配筋部分の 2 本目の鉄筋に貼り付けたひずみゲージを表す。変位計とひずみゲージの値は、引張方向（伸びる方向）を正として測定を行った。

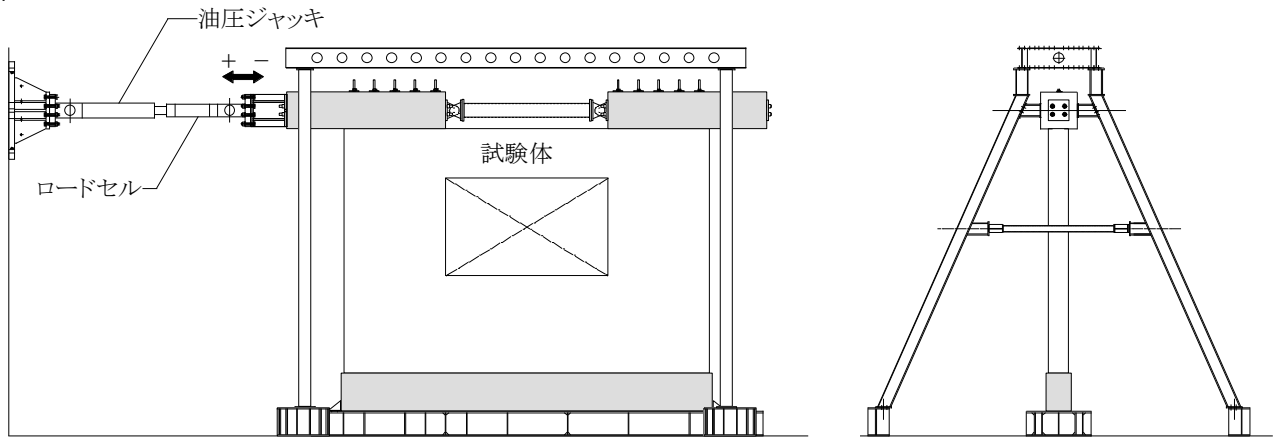


図 4.2 実験方法

表 4.6 加力スケジュール

試験体名	载荷履歴 (rad)		
InWO-A37-w45-20012	$\pm 1/10000, \pm 1/4000$	$\pm 1/80$	単調载荷(+)
InWO-A37-w45-20021	$\pm 1/2000, \pm 1/1500, \pm 1/1000$	$-1/100$	
InWO-A37-w45-2_05012	$\pm 1/500, \pm 1/250$	$\pm 1/100$	



< 観察面 >



< 測定面 >

(a) InWO-A37-w45-20012



< 観察面 >



< 測定面 >

(b) InWO-A37-w45-20021



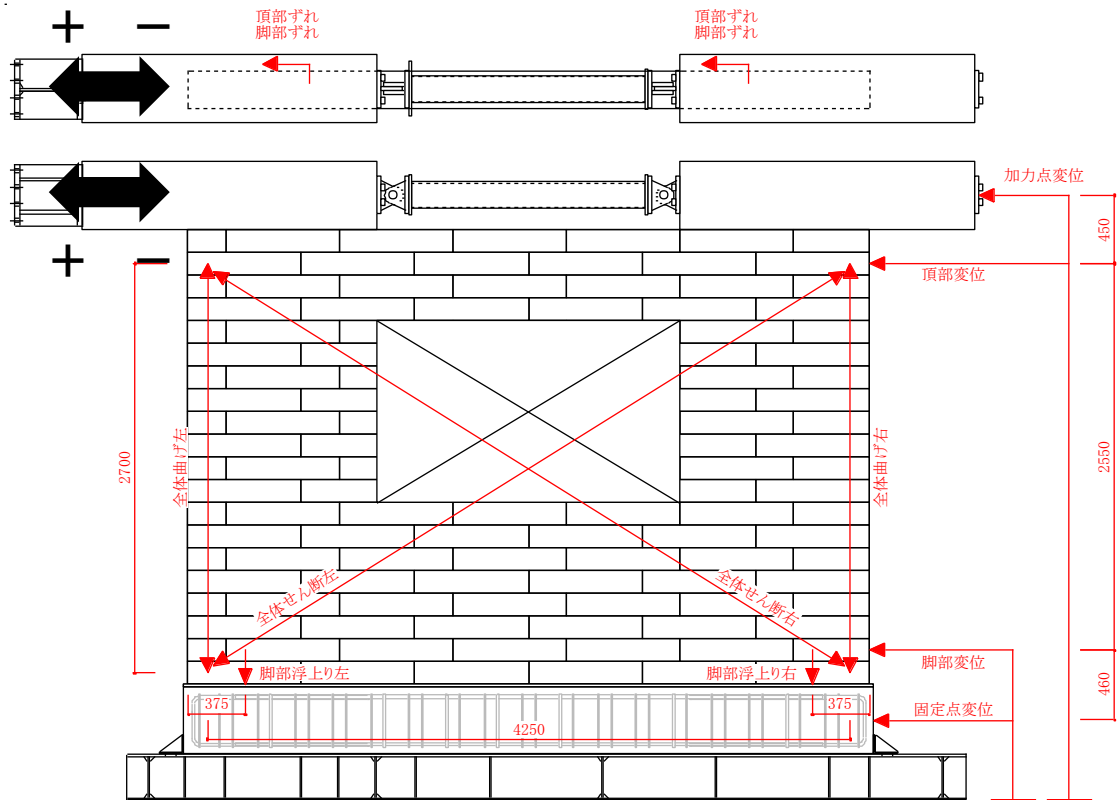
< 観察面 >



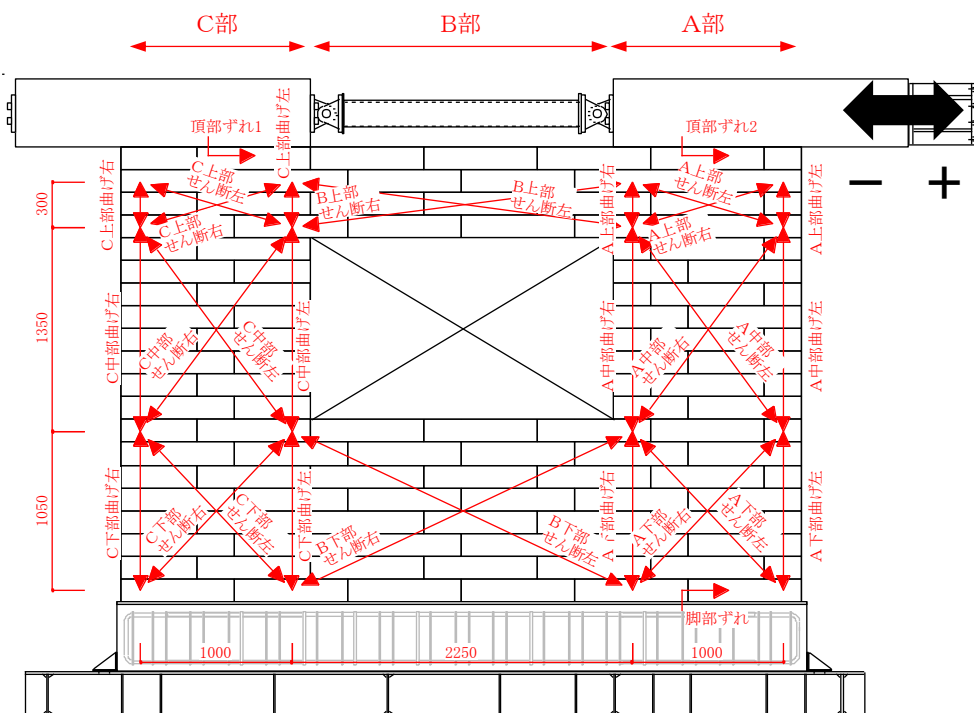
< 測定面 >

(c) InWO-A37-w45-2\_06012

図 4.3 試験状況

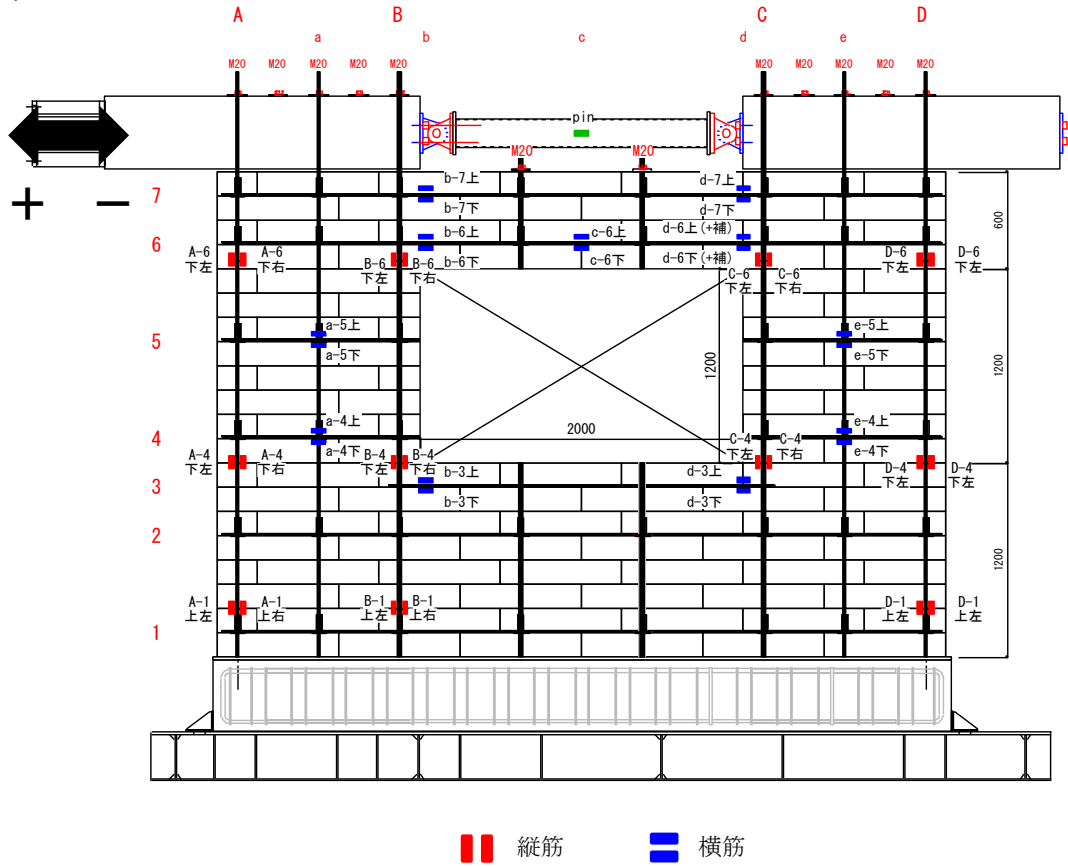


(a) 変位計設置位置 (観察面)



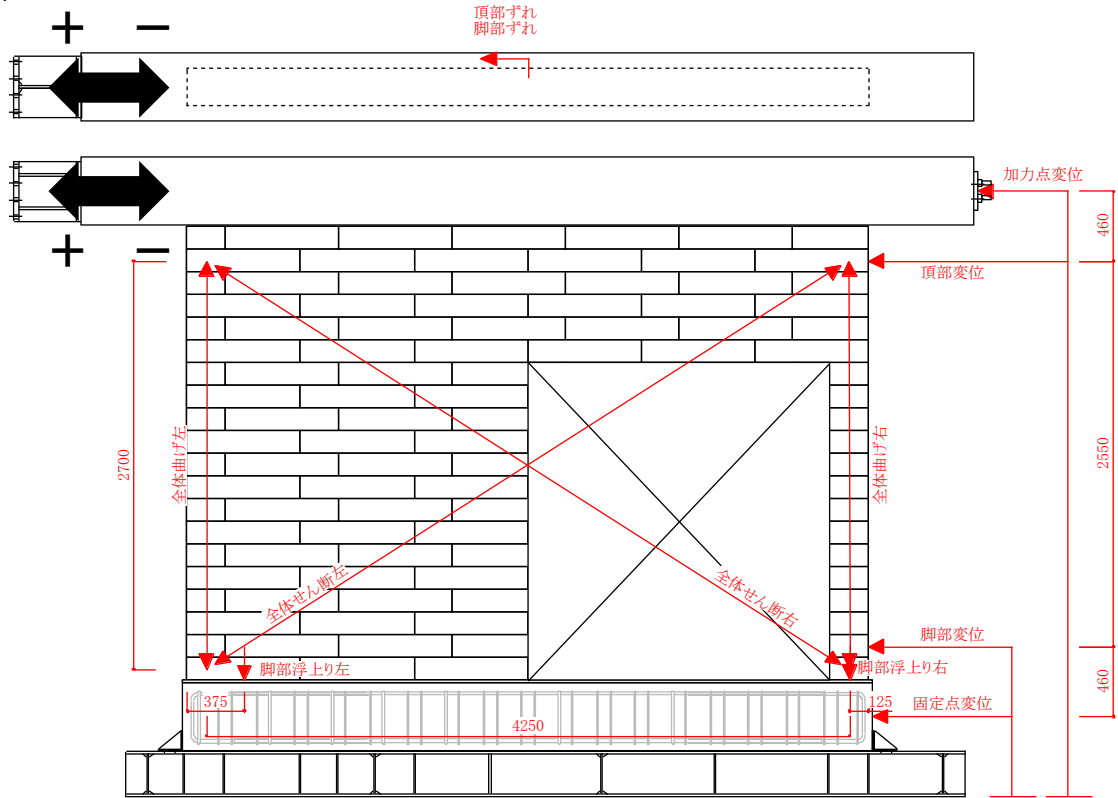
(b) 変位計設置位置 (測定面)

図 4.4-1 測定計画 (InWO-A37-w45-20012)

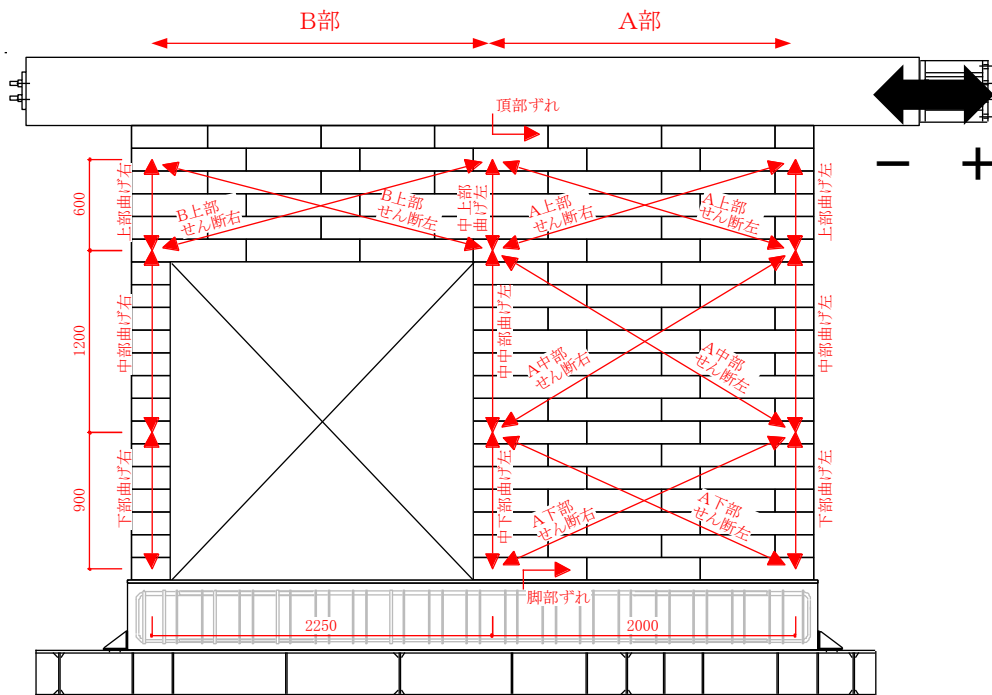


(c) ひずみゲージ貼り付け位置

図 4.4-2 測定計画 (InWO-A37-w45-20012)

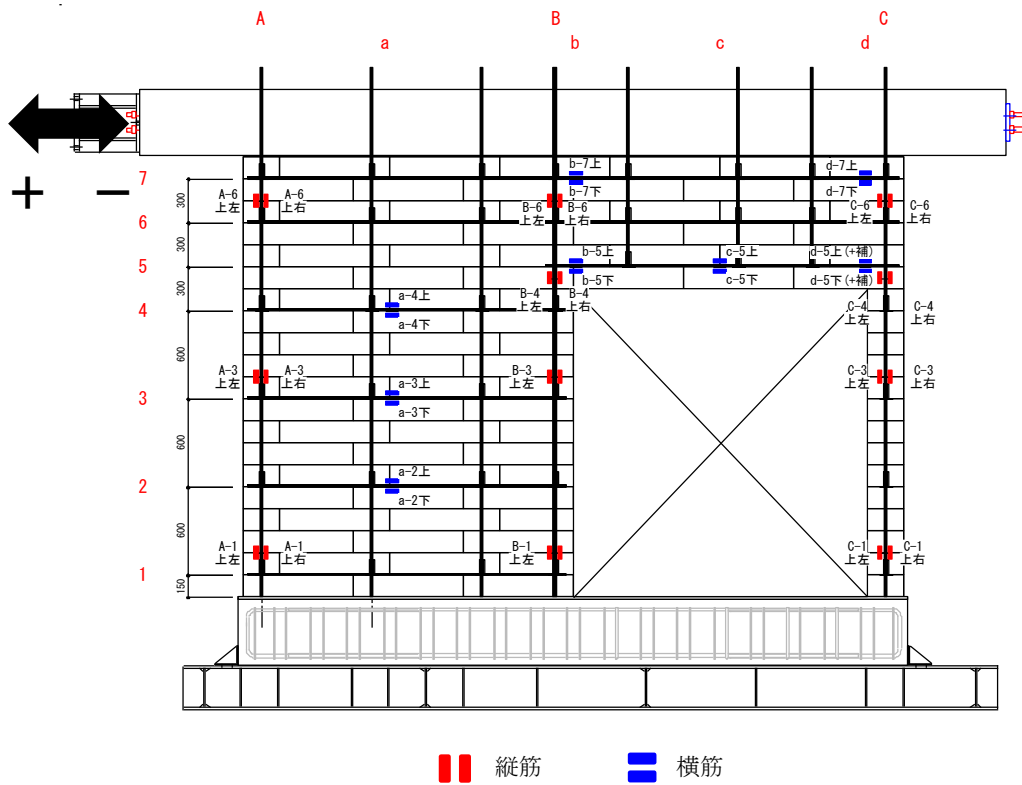


(a) 変位計設置位置 (観察面)



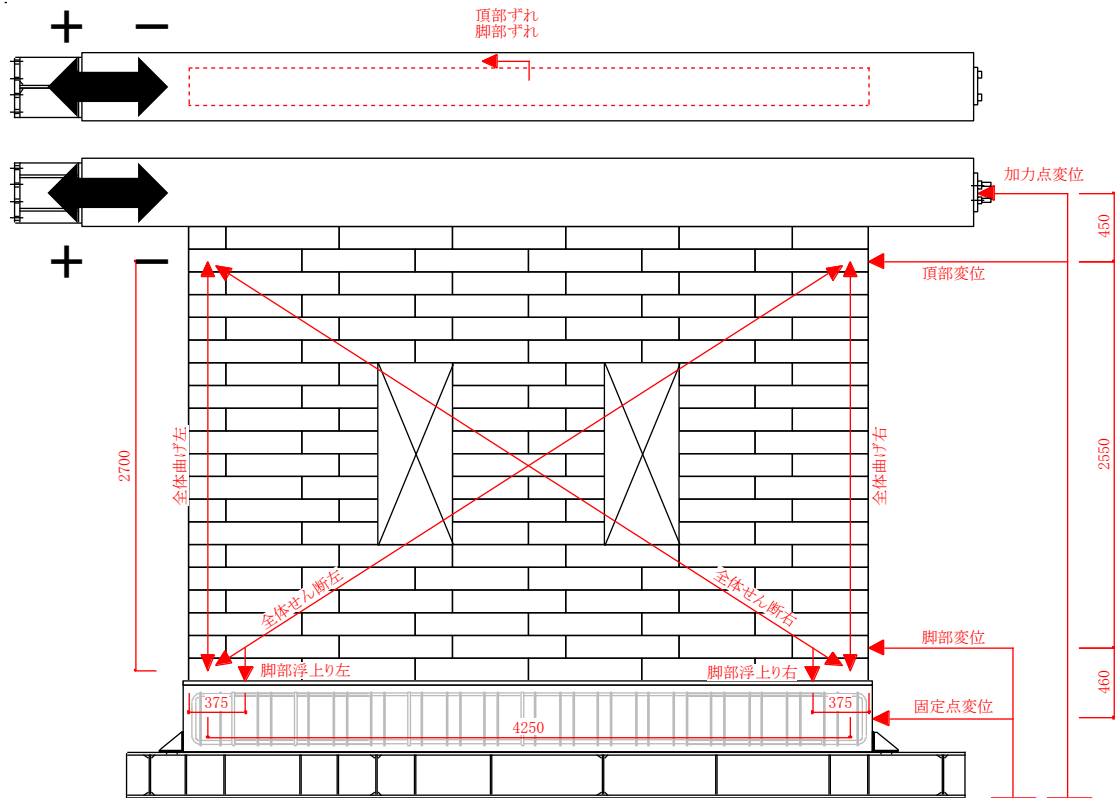
(b) 変位計設置位置 (測定面)

図 4.5-1 測定計画 (InWO-A37-w45-20021)

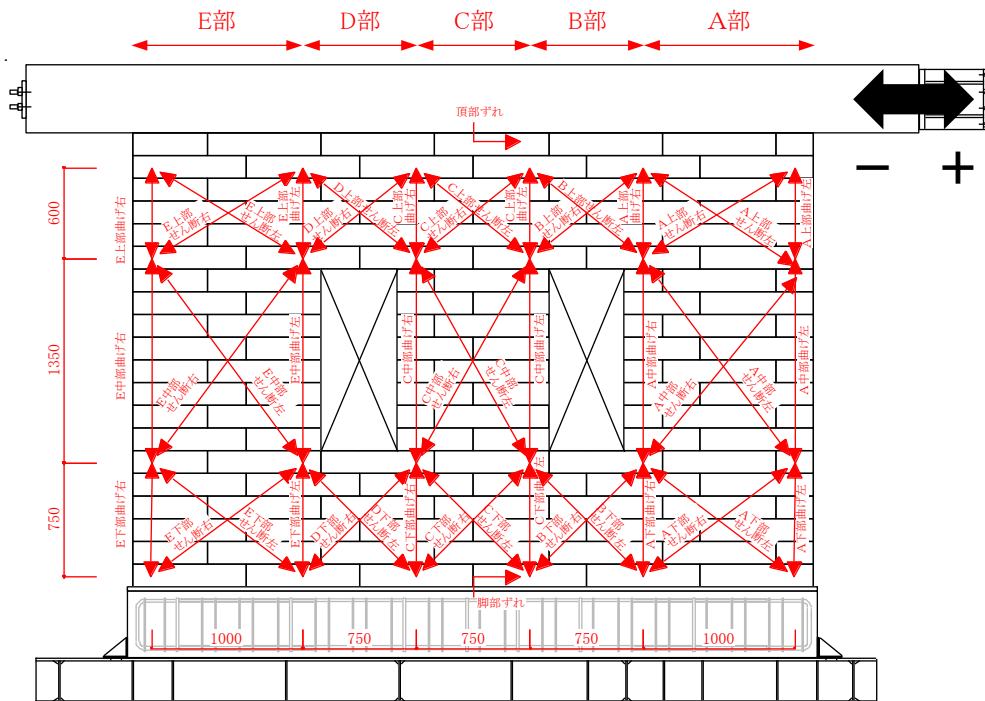


(c) ひずみゲージ貼り付け位置

図 4.5-2 測定計画 (InWO-A37-w45-20021)



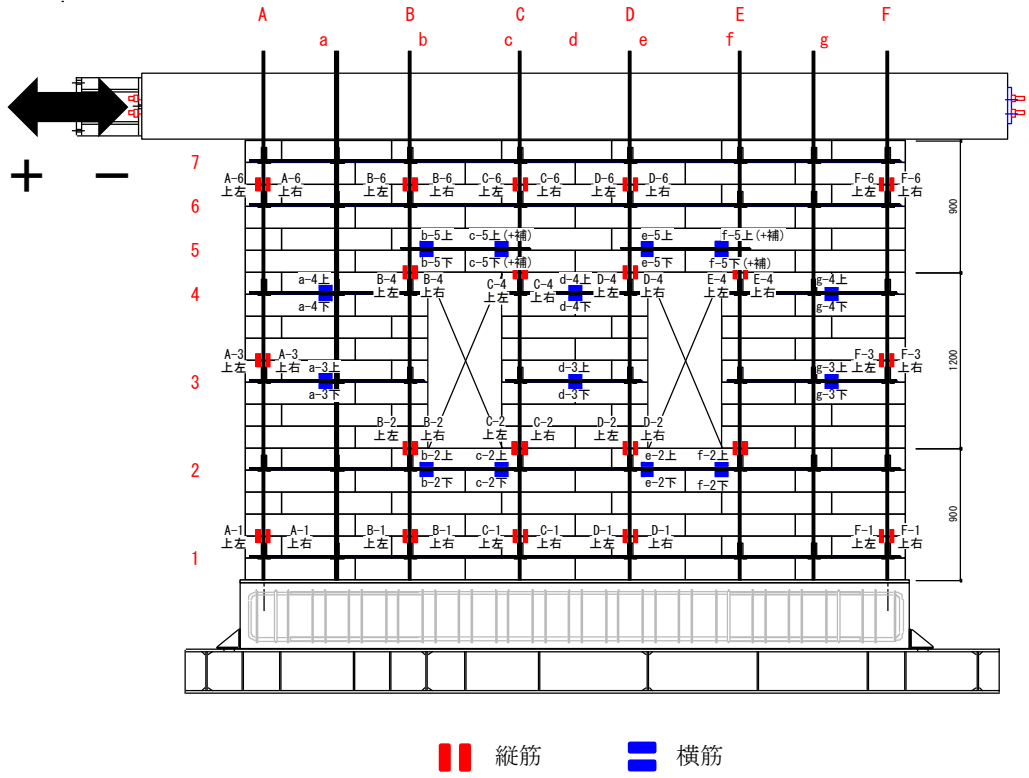
(a) 変位計設置位置 (観察面)



(b) 変位計設置位置 (測定面)

図 4.6-1 測定計画 (InWO-A37-w45-2\_06012)





(c) ひずみゲージ貼り付け位置

図 4.6-2 測定計画 (InWO-A37-w45-2\_06012)

表 4.7-1 測定器一覧

番号	InWO-A37-w45-20012	InWO-A37-w45-20021	InWO-A37-w45-2_05012	測定項目	測定器
No.1	荷重			荷重	ロードセル TCLP-1MNB (東京測器)
No.2	加力点 変位			変位	LK-500 (KEYENCE)
No.3	頂部 変位				CDP-50 (東京測器)
No.4	脚部 変位				
No.5	固定点 変位				
No.6	脚部浮上がり 左				
No.7	脚部浮上がり 右				
No.8	脚部 ずれ				
No.9	頂部 ずれ1				CDP-25 (東京測器)
No.10	頂部 ずれ2	-	-		DP-500E (東京測器)
No.11	全体 曲げ 左				
No.12	全体 曲げ 右				
No.13	全体 せん断 左				
No.14	全体 せん断 右				特記なし: CDP-25 (東京測器) ・ *1: CDP-50 (東京測器) ・ *2: DTH-A-30 (共和電業)
No.15	A下部 曲げ 左	A下部 曲げ 左	A下部 曲げ 左		
No.16	A下部 曲げ 右	A下部 曲げ 右	A下部 曲げ 右		
No.17	A中部 曲げ 左	A中部 曲げ 左	A中部 曲げ 左(*2)		
No.18	A中部 曲げ 右	A中部 曲げ 右	A中部 曲げ 右(*2)		
No.19	A上部 曲げ 左	A上部 曲げ 左	A上部 曲げ 左		
No.20	A上部 曲げ 右	A上部 曲げ 右	A上部 曲げ 右		
No.21	C下部 曲げ 左	B下部 曲げ 右	C下部 曲げ 左		
No.22	C下部 曲げ 右	B中部 曲げ 右	C下部 曲げ 右		
No.23	C中部 曲げ 左	B上部 曲げ 右	C中部 曲げ 左		
No.24	C中部 曲げ 右	A下部 せん断 右	C中部 曲げ 右		
No.25	C上部 曲げ 左	A下部 せん断 左	C上部 曲げ 左		
No.26	C上部 曲げ 右	A中部 せん断 左	C上部 曲げ 右		
No.27	A下部 せん断 左	A中部 せん断 右	E下部 曲げ 左		
No.28	A下部 せん断 右	A上部 せん断 左	E下部 曲げ 右		
No.29	A中部 せん断 左	A上部 せん断 右	E中部 曲げ 左		
No.30	A中部 せん断 右	C上部 せん断 左	E中部 曲げ 右		
No.31	A上部 せん断 左	C上部 せん断 右	E上部 曲げ 左		
No.32	A上部 せん断 右	-	E上部 曲げ 右		
No.33	B下部 せん断 左	-	A下部 せん断 左		
No.34	B下部 せん断 右	-	A下部 せん断 右		
No.35	B上部 せん断 左	-	A中部 せん断 左		
No.36	B上部 せん断 右	-	A中部 せん断 右		
No.37	C下部 せん断 左	-	A上部 せん断 左		
No.38	C下部 せん断 右	-	A上部 せん断 右		
No.39	C中部 せん断 左	-	B下部 せん断 左		
No.40	C中部 せん断 右	-	B下部 せん断 右		
No.41	C上部 せん断 左	-	B上部 せん断 左		
No.42	C上部 せん断 右	-	B上部 せん断 右		
No.43	土台浮き上がり 左	-	C下部 せん断 左(*1)		
No.44	土台浮き上がり 右	-	C下部 せん断 右(*1)		
No.45	土台ずれ	-	C中部 せん断 左		
No.46	-	-	C中部 せん断 右		
No.47	-	-	C上部 せん断 左		
No.48	-	-	C上部 せん断 右		
No.49	-	-	D下部 せん断 左		
No.50	-	-	D下部 せん断 右		
No.51	-	-	D上部 せん断 左		
No.52	-	-	D上部 せん断 右		
No.53	-	-	E下部 せん断 左		
No.54	-	-	E下部 せん断 右		
No.55	-	-	E中部 せん断 左(*2)		
No.56	-	-	E中部 せん断 右(*2)		
No.57	-	-	E上部 せん断 左		
No.58	-	-	E上部 せん断 右		

表 4.7-2 測定器一覧

番号	InWO-A37-w45-20012	InWO-A37-w45-20021	InWO-A37-w45-2_05012	測定項目	測定器
No.59	A-1 上左	A-1 上左	A-1 上左	ひずみ	縦筋 FLA-2-11-5LT ・ 横筋 FLK-2-11-5LT (東京測器)
No.60	A-1 上右	A-1 上右	A-1 上右		
No.61	A-4 上左	A-3 上左	A-3 上左		
No.62	A-4 上右	A-3 上右	A-3 上右		
No.63	A-6 上左	A-6 上左	A-6 上左		
No.64	A-6 上右	A-6 上右	A-6 上右		
No.65	B-1 上左	B-1 上左	B-1 上左		
No.66	B-1 上右	B-1 上右	B-1 上右		
No.67	B-4 上左	B-3 上左	B-2 上左		
No.68	B-4 上右	B-3 上右	B-2 上右		
No.69	B-6 上左	B-4 上左	B-4 上左		
No.70	B-6 上右	B-4 上右	B-4 上右		
No.71	C-4 上左	B-6 上左	B-6 上左		
No.72	C-4 上右	B-6 上右	B-6 上右		
No.73	C-6 上左	C-1 上左	C-1 上左		
No.74	C-6 上右	C-1 上右	C-1 上右		
No.75	D-1 上左	C-3 上左	C-2 上左		
No.76	D-1 上右	C-3 上右	C-2 上右		
No.77	D-4 上左	C-4 上左	C-4 上左		
No.78	D-4 上右	C-4 上右	C-4 上右		
No.79	D-6 上左	C-6 上左	C-6 上左		
No.80	D-6 上右	C-6 上右	C-6 上右		
No.81	a-4 下	a-2 下	D-1 上左		
No.82	a-4 上	a-2 上	D-1 上右		
No.83	a-5 下	a-3 下	D-2 上左		
No.84	a-5 上	a-3 上	D-2 上右		
No.85	b-3 下	a-4 下	D-4 上左		
No.86	b-3 上	a-4 上	D-4 上右		
No.87	b-6 下	b-5 下	D-6 上左		
No.88	b-6 上	b-5 上	D-6 上右		
No.89	b-7 下	b-7 下	E-2 上左		
No.90	b-7 上	b-7 上	E-2 上右		
No.91	c-6 下	c-5 下	E-4 上左		
No.92	c-6 上	c-5 上	E-4 上右		
No.93	d-3 下	d-5 下	F-1 上左		
No.94	d-3 上	d-5 上	F-1 上右		
No.95	d-6 下	d-5 下(補)	F-3 上左		
No.96	d-6 上	d-5 上(補)	F-3 上右		
No.97	d-6 下(補)	d-7 下	F-6 上左		
No.98	d-6 上(補)	d-7 上	F-6 上右		
No.99	d-7 下	-	a-3 下		
No.100	d-7 上	-	a-3 上		
No.101	e-4 下	-	a-4 下		
No.102	e-4 上	-	a-4 上		
No.103	e-5 下	-	b-2 下		
No.104	e-5 上	-	b-2 上		
No.105	pin1	-	b-5 下		
No.106	pin2	-	b-5 上		
No.107	-	-	c-2 下		
No.108	-	-	c-2 上		
No.109	-	-	c-5 下		
No.110	-	-	c-5 上		
No.111	-	-	c-5 下(補)		
No.112	-	-	c-5 上(補)		

表 4.7-3 測定器一覧

番号	InWO-A37-w45-20012	InWO-A37-w45-20021	InWO-A37-w45-2_05012	測定項目	測定器
No.113	-	-	d-3 下	ひずみ	縦筋 FLA-2-11-5LT ・ 横筋 FLK-2-11-5LT (東京測器)
No.114	-	-	d-3 上		
No.115	-	-	d-4 下		
No.116	-	-	d-4 上		
No.117	-	-	e-2 下		
No.118	-	-	e-2 上		
No.119	-	-	e-5 下		
No.120	-	-	e-5 上		
No.121	-	-	f-2 下		
No.122	-	-	f-2 上		
No.123	-	-	f-5 下		
No.124	-	-	f-5 上		
No.125	-	-	f-5 下(補)		
No.126	-	-	f-5 上(補)		
No.127	-	-	g-3 下		
No.128	-	-	g-3 上		
No.129	-	-	g-4 下		
No.130	-	-	g-4 上		

## 4.3 実験結果

### 4.3.1 荷重－変形関係と破壊経過

#### 4.3.1.1 実験結果の記載内容

本項では、試験体ごと、加力サイクルごとに荷重－層間変形角関係、ひび割れ観察結果およびひずみゲージ値を参照しながら実験経過を述べる。はじめに、次ページ以降に述べる実験結果の記載内容について説明する。

実験結果の例を図 4.7 に示す。(a)には荷重－変形関係の全体図を、(b)には当該サイクルにおける荷重－変形関係の拡大図を示す。(a)、(b)の縦軸の荷重はジャッキに取り付けたロードセルの値を壁幅で除した値とし、当該サイクルの結果は黒色の太線で、前サイクルまでの結果はグレーの細線で示す。(c)、(d)には試験体の写真を、(e)にはひび割れ図を示す。ひび割れ図には前サイクルまでのひび割れを黒線で、当該サイクルの正側加力時に確認されたひび割れを赤線で、負側加力時に確認されたひび割れを青線で示す。ひび割れ図に示すオレンジ色の①、②...の記号は、試験体の写真①、②...と対応する。(f)には正側の最大変形角時における鉄筋のひずみゲージ値を示す。縦筋の左右のひずみ値をオレンジ色で、横筋の上下のひずみ値を青色のグラフで示し、グラフの軸は $\times 10^3 \mu$ とする。鉄筋の降伏が確認された箇所では赤字で“降伏”と表記する。鉄筋の降伏点は、2枚のひずみゲージ値の平均値が、2.3節の材料試験より得られた降伏点におけるひずみ値に達した点とした。(a)から(f)の試験結果の図は、各サイクルで適宜省略および追加して記載した。

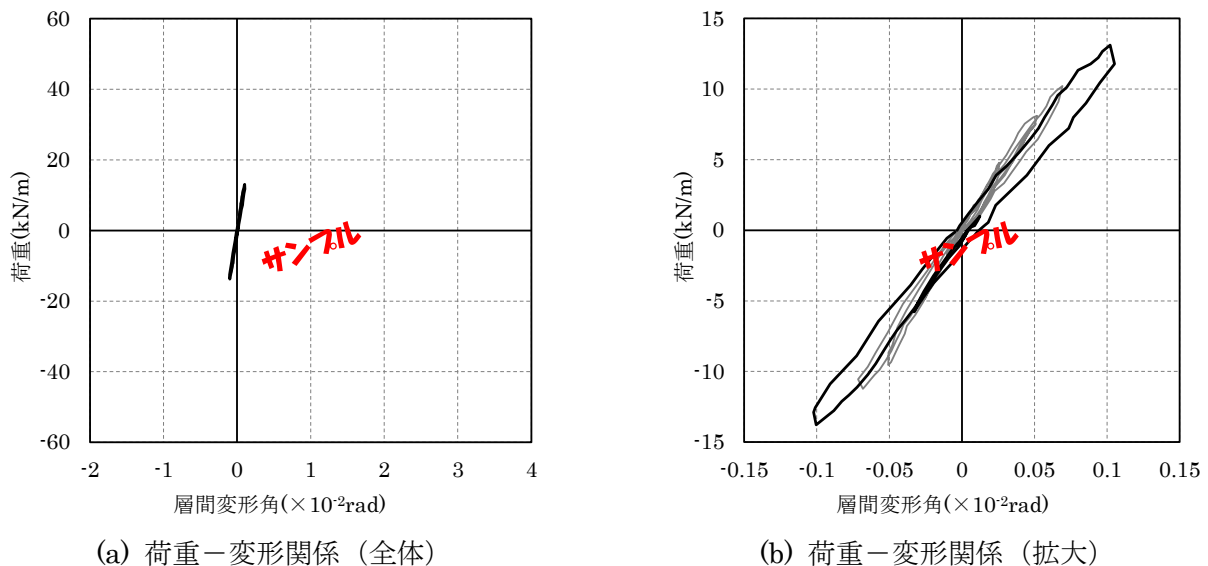
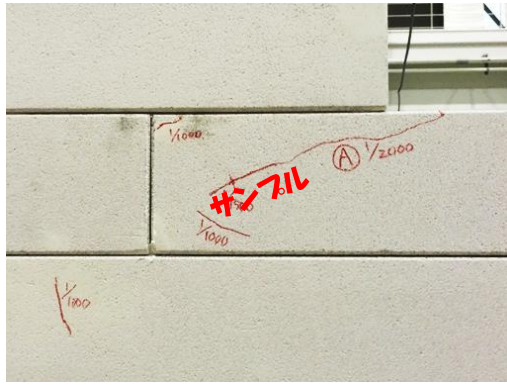


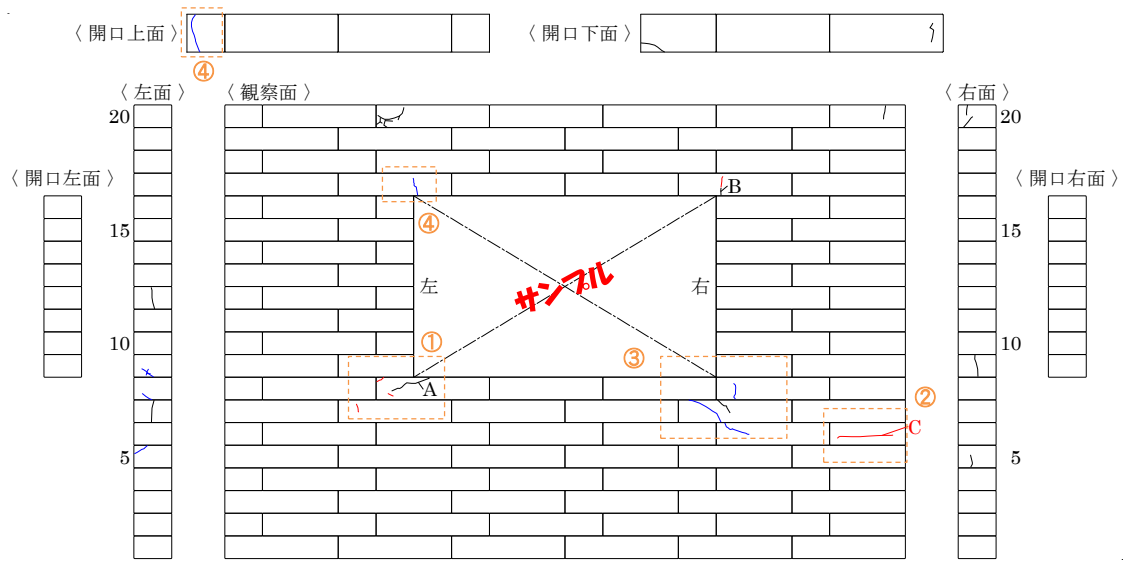
図 4.7-1 試験結果（例）



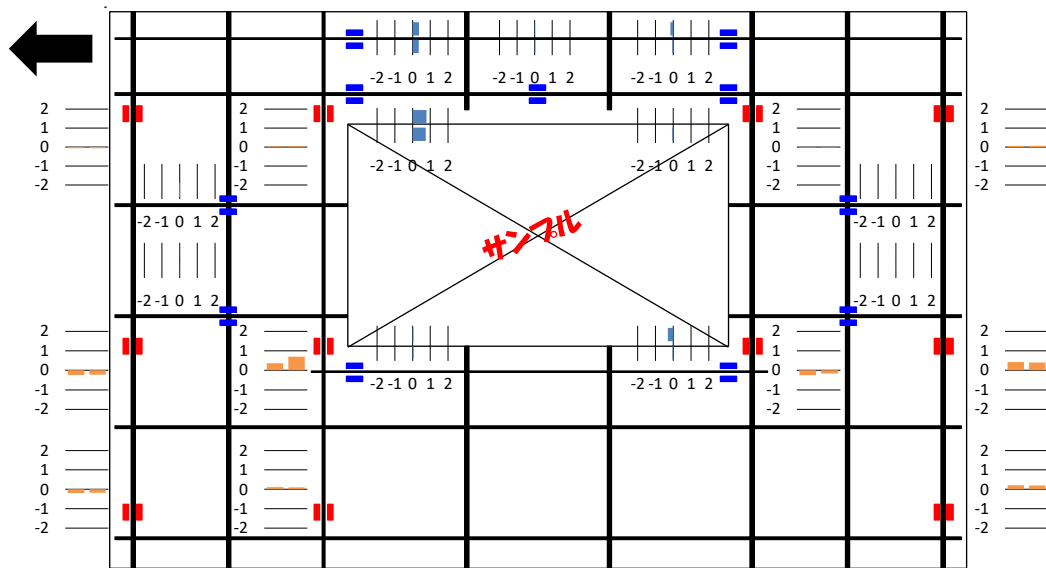
(c)写真①(+1/1000rad)



(d)写真②(+1/1000rad)



(e) ひび割れ図



(f) ひずみゲージ (正側)

図 4.7-2 試験結果 (例)

### 4.3.1.2 InWO-A37-w45-20012

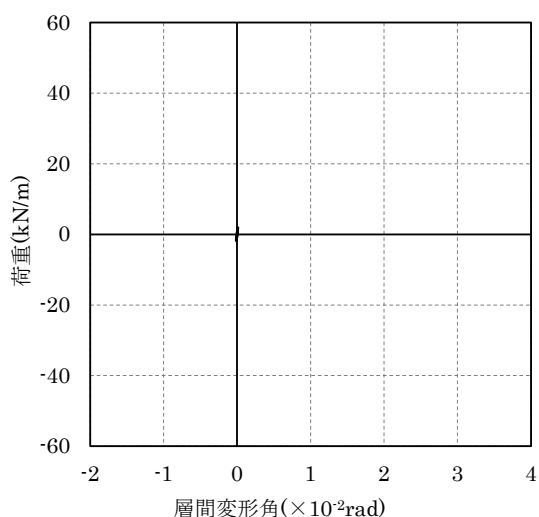
#### (1) $\pm 1/10000\text{rad}$ および $\pm 1/4000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 4.8 に示す。(a)、(b)には $\pm 1/10000\text{rad}$  の荷重－変形関係を、(c)、(d)には $\pm 1/4000\text{rad}$  の荷重－変形関係を示す。(f)に示すひび割れ図には、試験体セッティング時に発生した初期ひび割れを黒線で示した。 $1/4000\text{rad}$  サイクルまではひずみゲージ値の図を省略した。

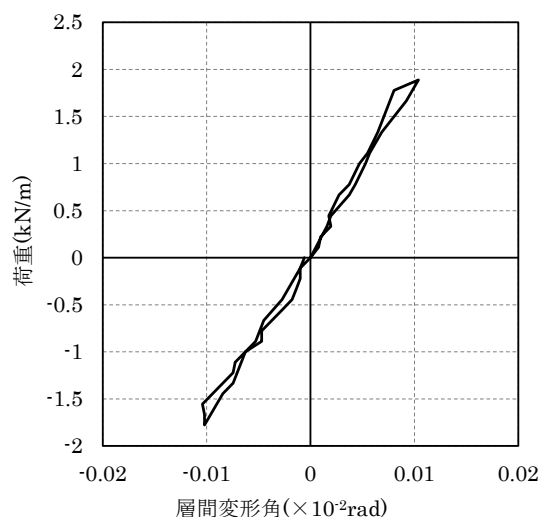
+ $1/10000\text{rad}$  サイクルでは、加力時に音は聞こえず、ひび割れ等も確認されなかった。 $-1/10000\text{rad}$  サイクルでは、治具のすべりまたはグラウトが割れるような音がしたが、ひび割れ等は確認されなかった。

+ $1/4000\text{rad}$  サイクルではパシッという音が聞こえ、試験体右上の①部にひび割れが確認されたが、加力治具による局所的な力によるものと考えられるため、初ひび割れとはみなさなかった。 $-1/4000\text{rad}$  サイクルでは、加力時に音等の変化は見られなかった。

荷重－変形関係は、 $\pm 1/4000\text{rad}$  まではほぼ直線を示しており、ひずみゲージ値の最大値も  $131\mu$  と小さいことから、損傷は非常に軽微と考えられる。

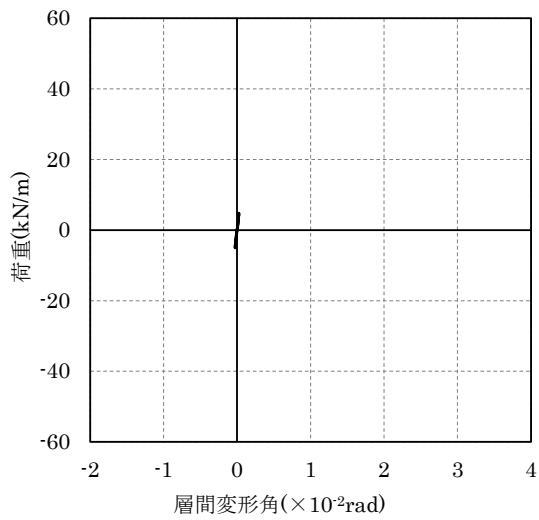


(a) 荷重－変形関係 ( $\pm 1/10000\text{rad}$  全体)

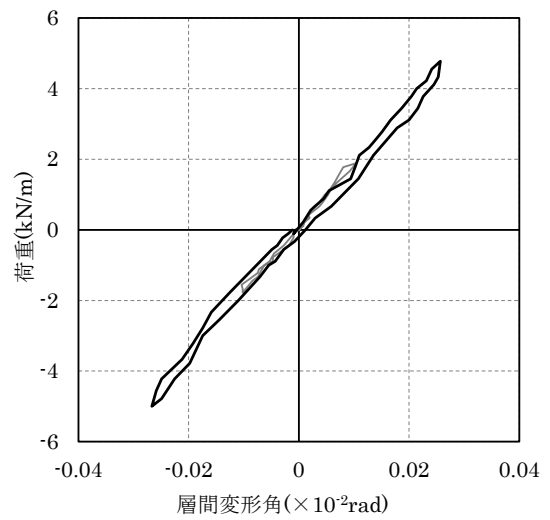


(b) 荷重－変形関係 ( $\pm 1/10000\text{rad}$  拡大)

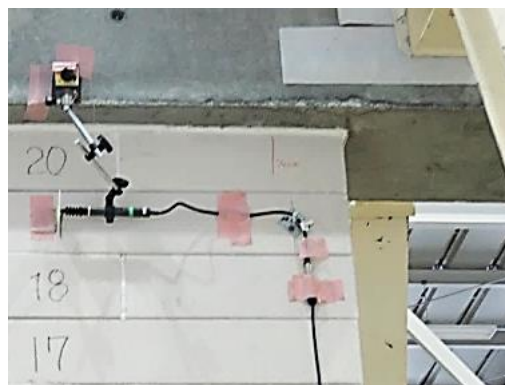
図 4.8-1 試験結果 ( $\pm 1/10000\text{rad}$  および  $\pm 1/4000\text{rad}$  サイクル)



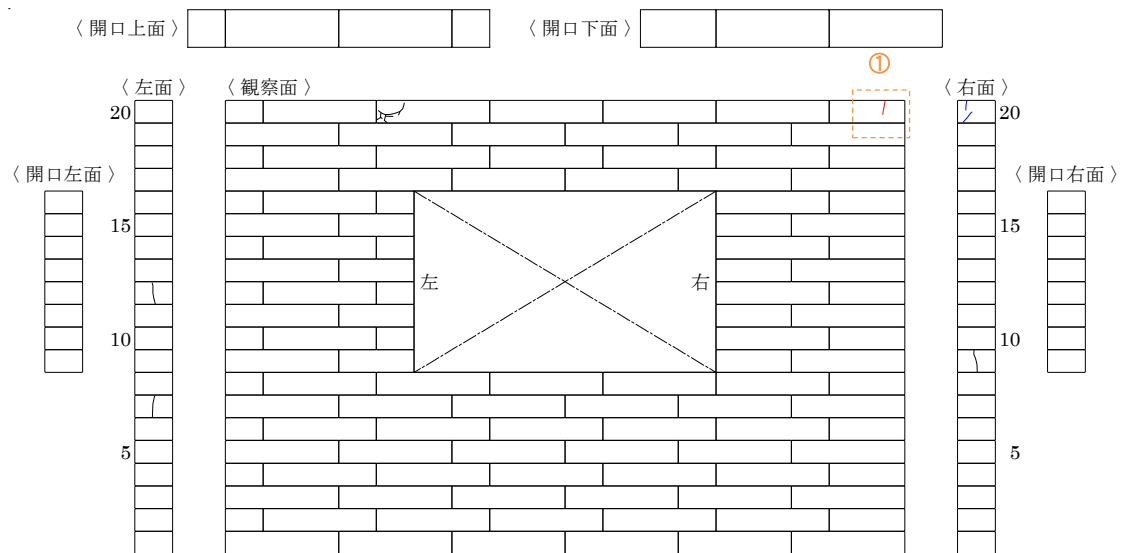
(c) 荷重－変形関係 (±1/4000rad 全体)



(d) 荷重－変形関係 (±1/4000rad 拡大)



(e) 写真①(+1/4000rad)



(f) ひび割れ図 (±1/4000rad)

図 4.8-2 試験結果 (±1/10000rad および±1/4000rad サイクル)



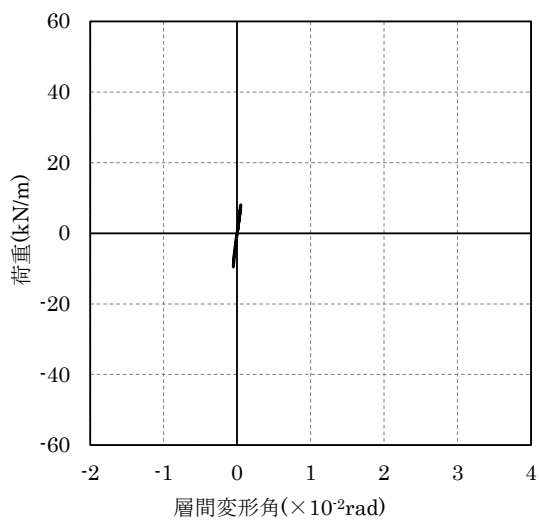
(2)  $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.9 に示す。

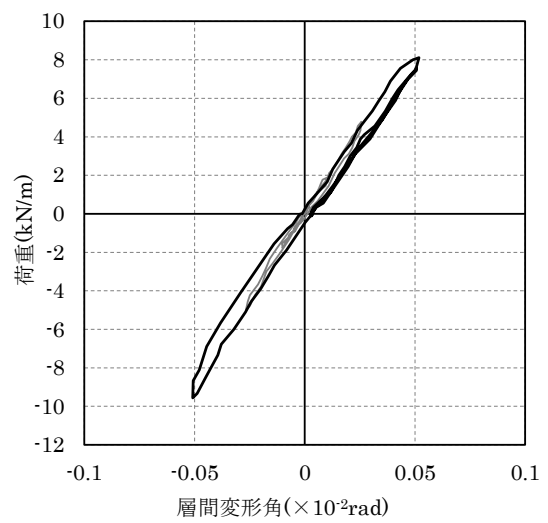
正側サイクルでは、 $+6.1\text{kN/m}$ 、 $+7.6\text{kN/m}$ 、 $+8.1\text{kN/m}$  で音が確認され、開口左下隅角部（写真①）および右側小口面（写真②）にひび割れが確認された。除荷後、変位計（NO.12 全体曲げ右）の調整を行ったため、再度 $+1/2000\text{rad}$ まで加力したが、剛性に大きな差は見られなかった。

負側のサイクルでは、加力時に音は聞こえず、ひび割れも確認されなかった。

荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひび割れの程度も小さく、ひずみゲージ値の最大値も  $447\mu$  のため、損傷の程度は非常に軽微であると考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

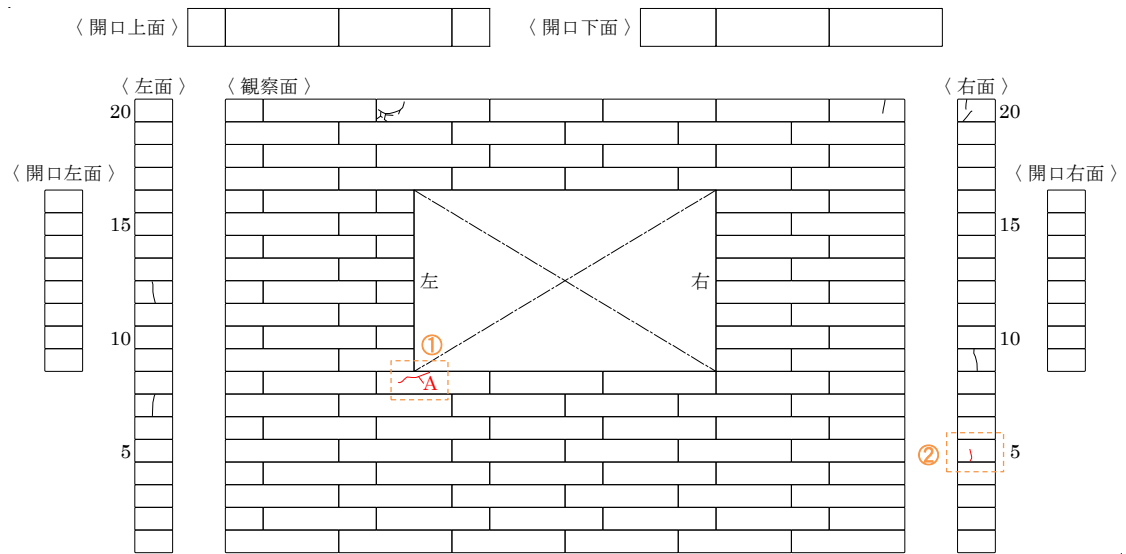
図 4.9-1 試験結果 ( $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)



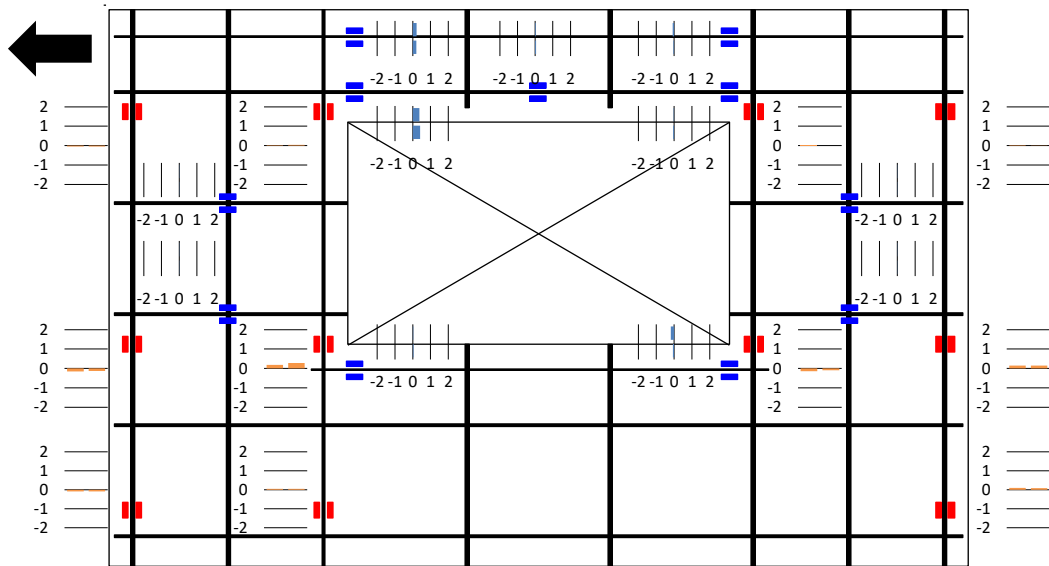
(c) 写真①(+1/2000rad)



(d) 写真②(+1/2000rad)



(e) ひび割れ図



(f) ひずみゲージ (正側)

図 4.9-2 試験結果 ( $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)

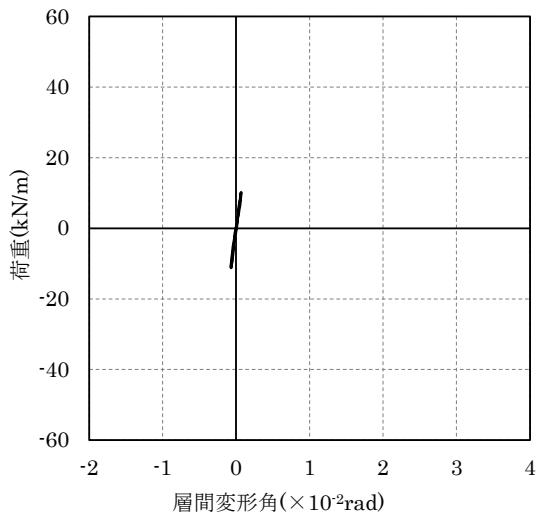
(3)  $\pm 1/1500$ rad サイクル

試験結果を図 4.10 に示す。

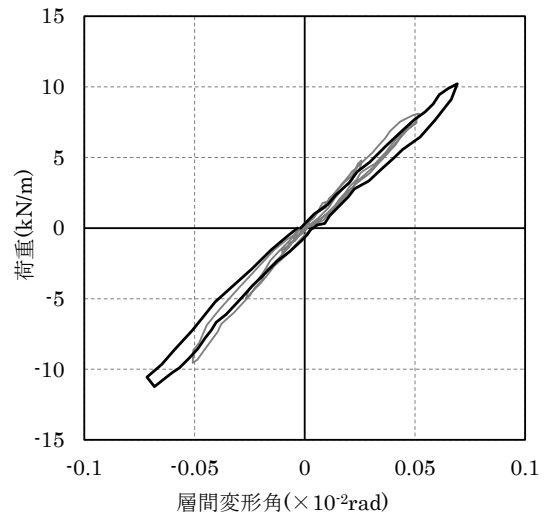
正側サイクルでは、加力中に ALC が割るような乾いた音が確認され、開口左下隅角部（写真①）のひび割れが進展し、開口右上隅角部（写真②）に新たなひび割れが確認された。除荷後、ひび割れは閉じたことが確認された。

負側のサイクルでは、 $-1/1500$ rad 直前に正側と同様に乾いた音が確認され、開口右下隅角部（写真③・④）でひび割れが確認された。除荷後、ひび割れは閉じたことが確認された。

荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひび割れの程度も小さく、ひずみゲージ値の最大値も  $582 \mu$  のため、損傷の程度は非常に軽微と考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) 写真①(+1/1500rad)

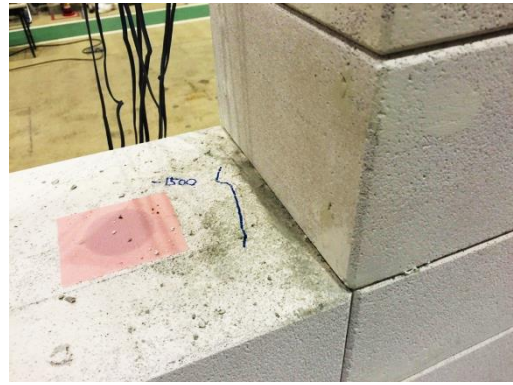


(d) 写真②(+1/1500rad)

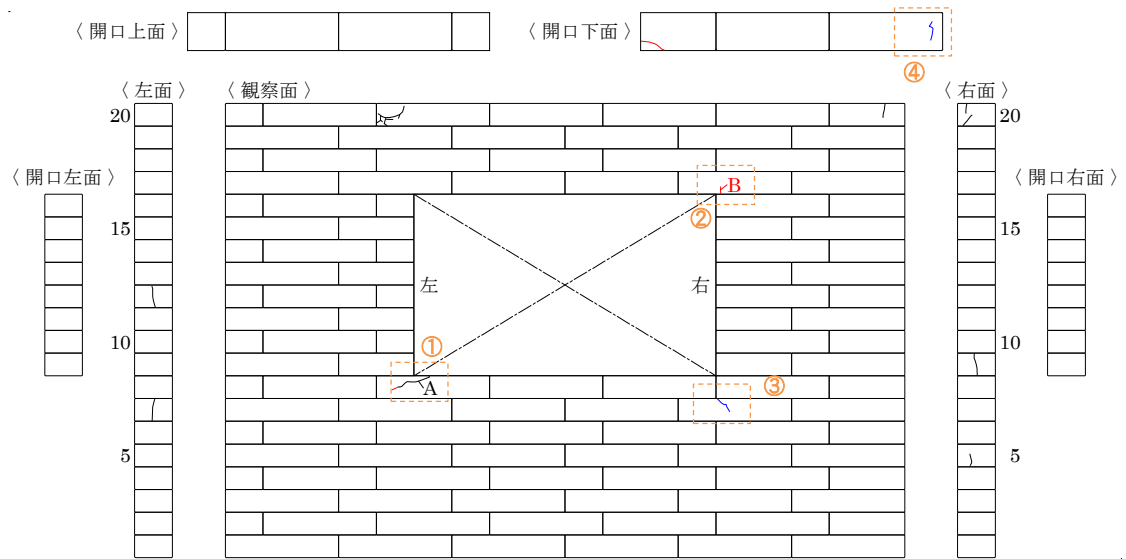
図 4.10-1 試験結果（ $\pm 1/1500$ rad サイクル）



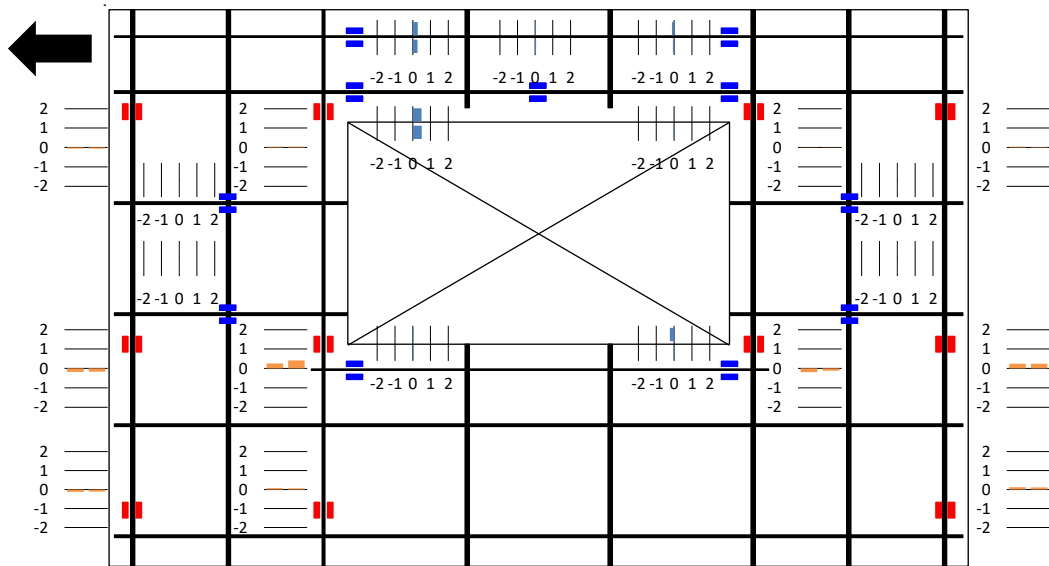
(e) 写真③(-1/1500rad)



(f) 写真④(-1/1500rad)



(g) ひび割れ図



(h) ひずみゲージ (正側)

図 4.10-2 試験結果 (±1/1500rad サイクル)

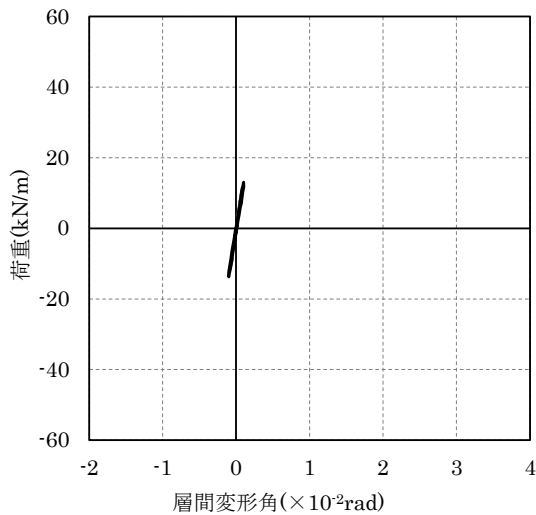
(4)  $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.11 に示す。

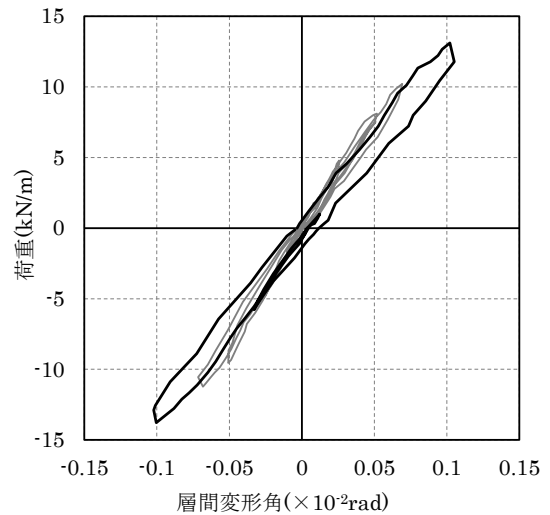
正側のサイクルでは、 $+1/1500\text{rad}$  を超えた $+10.8\text{kN/m}$  程度からグラウトや ALC が割れるような音が確認され、開口左下隅角部（写真①）のひび割れが進展し、試験体右側下部（写真②）に水平方向の新たなひび割れが確認された。

負側のサイクルでは、 $-1/1500\text{rad}$  を超えた $-12.8\text{kN/m}$  程度からグラウトや ALC が割れるような音が確認され、開口右下隅角部（写真③）のひび割れが進展し、試験体左側上部（写真④）に新たなひび割れが確認された。

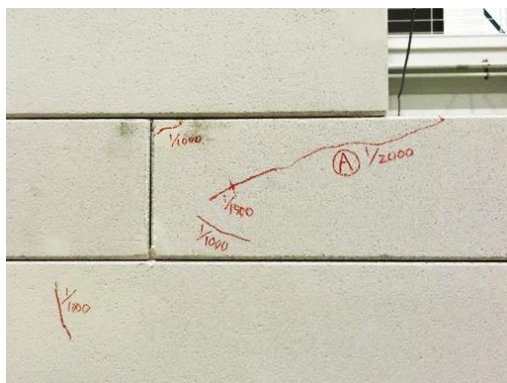
荷重－変形関係をみると、グラウトが割れるような音が確認された $\pm 11\text{kN/m}$  程度から剛性がわずかに低下したことから、 $\pm 1/1500\text{rad}$  を超えたあたりで開口隅角部のひび割れが進展したものと考えられる。ひずみゲージ値の最大値は  $782\mu$  を示しており、軽微な損傷が生じ始めたものと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) 写真①(+1/1000rad)

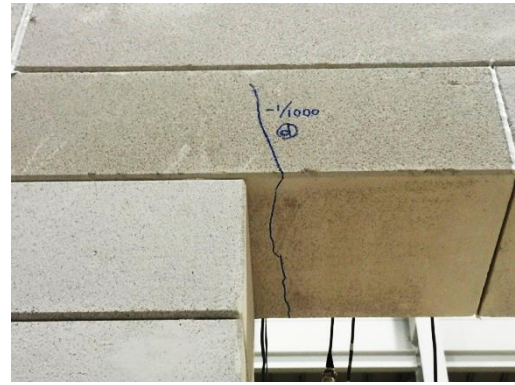


(d) 写真②(+1/1000rad)

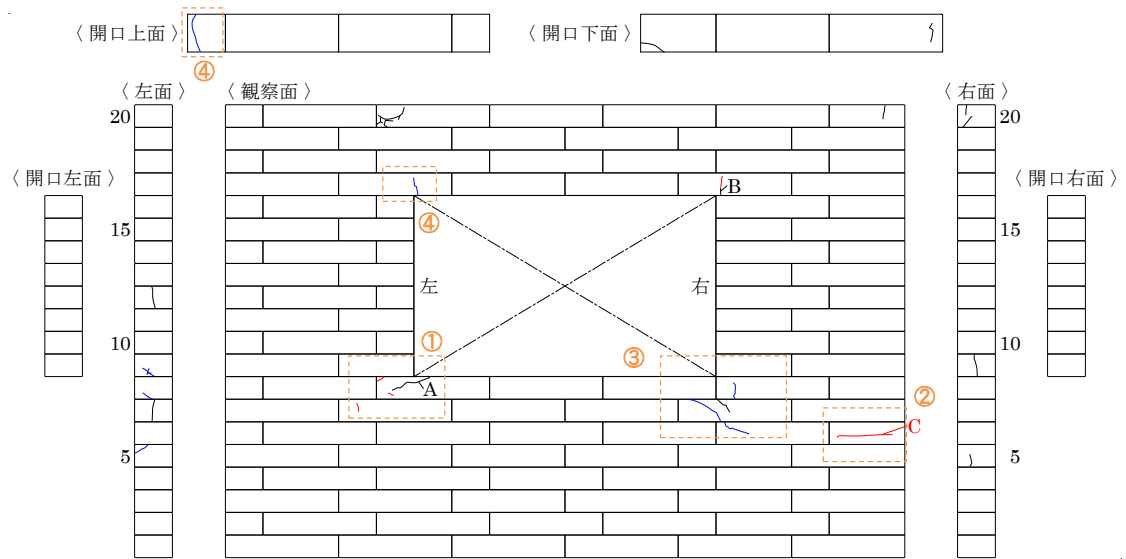
図 4.11-1 試験結果（ $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル）



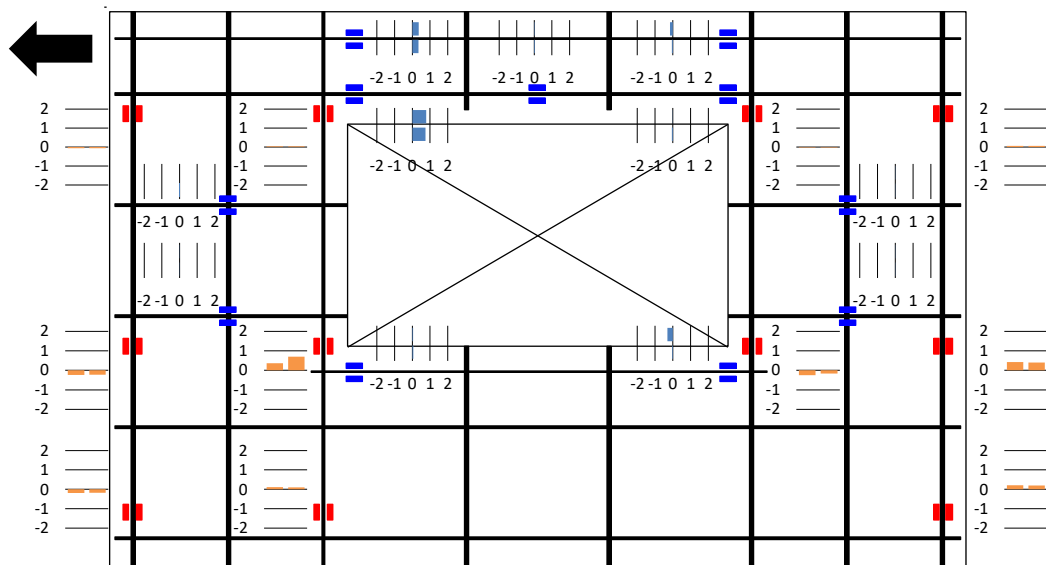
(e) 写真③(-1/1000rad)



(f) 写真④(-1/1000rad)



(g) ひび割れ図



(h) ひずみゲージ (正側)

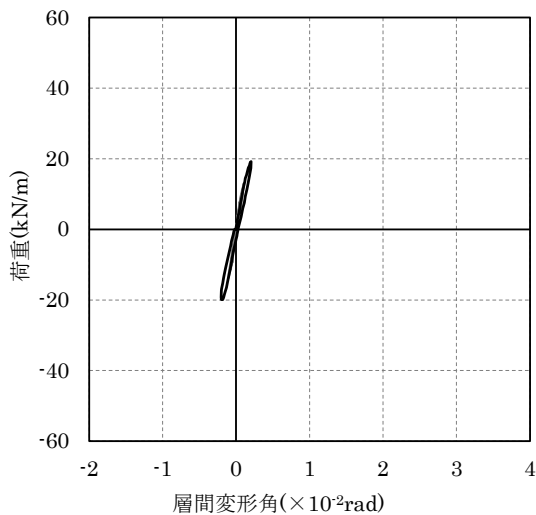
図 4.11-2 試験結果 (±1/1000rad サイクル)

(5)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル

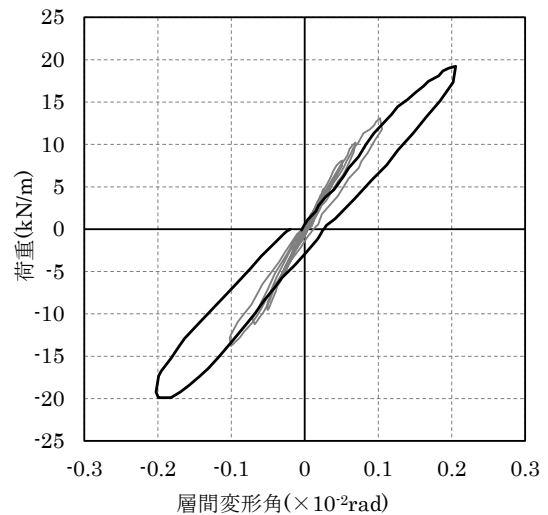
試験結果を図 4.12 に示す。正側のサイクルでは、 $+1/1000\text{rad}$  を超えた $+13.1\text{kN/m}$  から $+18.3\text{kN/m}$  程度までグラウトや ALC が割れるような音を確認され、開口左下隅角部（写真①）、試験体右側下部の水平方向のひび割れが進展し、開口右上隅角部（写真②）には新たなひび割れが確認された。

負側のサイクルでは $-1.0\text{kN/m}$  程度から $-19.1\text{kN/m}$  程度までグラウトや ALC が割れるような音を確認され、開口右下隅角部（写真③）のひび割れが進展し、試験体左側下部の水平方向には水平方向のひび割れが、まぐさ部には斜め方向のひび割れ（写真④）が新たに確認された。

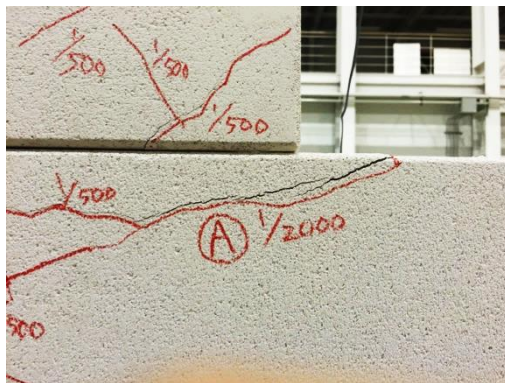
荷重－変形関係を見ると、前サイクルの最大点を志向しながら変形が進行し、その後はひび割れの伸展と共に剛性がやや低下した。ひずみゲージ値を見ると、正側加力では開口左右の壁の右側が引張側に、左側が圧縮側となり、左右の壁がそれぞれ曲げ変形する様子が確認された。まぐさ部左側の横筋では上下ともに引張ひずみを確認され、まぐさ部分の引張鉄筋により開口右側の壁にせん断力が伝達されていると考えられる。ひずみゲージ値の最大値は  $1376\mu$  となり、降伏には至らなかったが高い値を示した。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

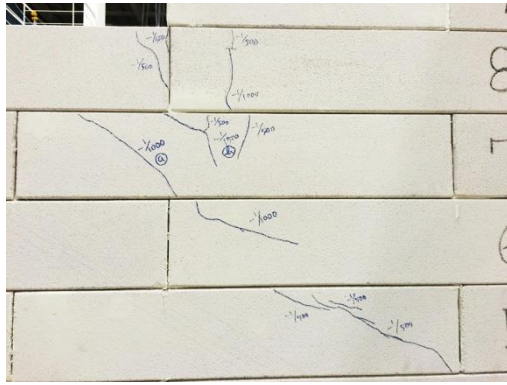


(c) 写真①( $+1/500\text{rad}$ )

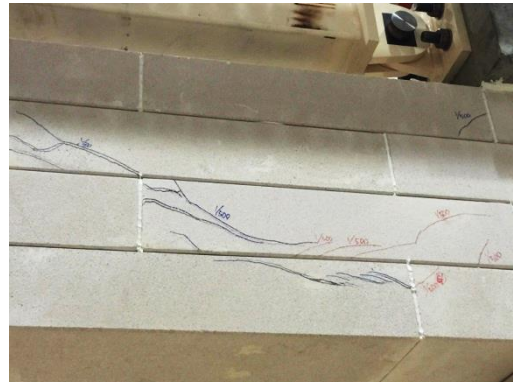


(d) 写真②( $+1/500\text{rad}$ )

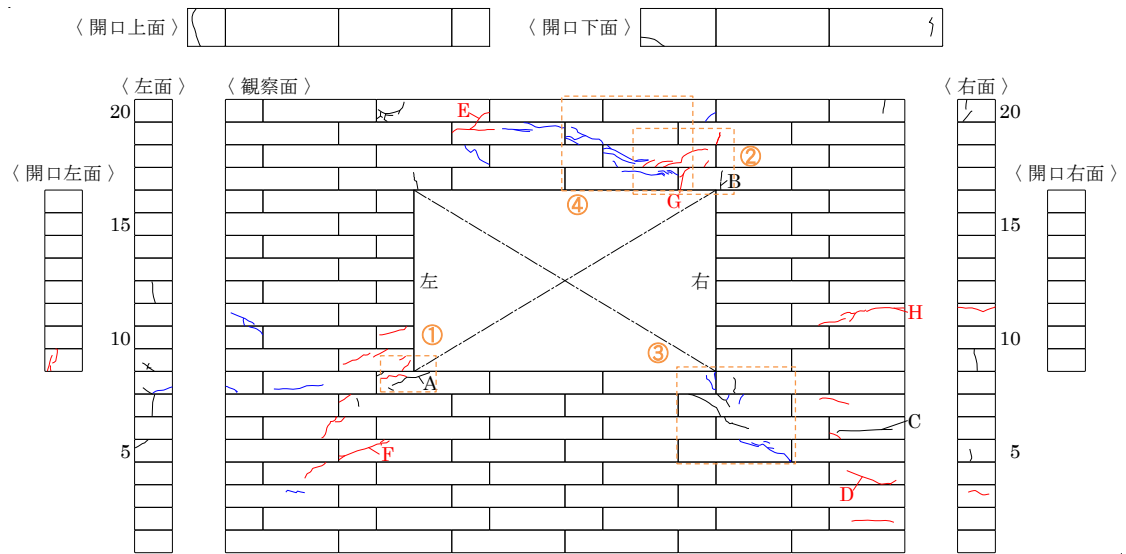
図 4.12-1 試験結果 ( $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル)



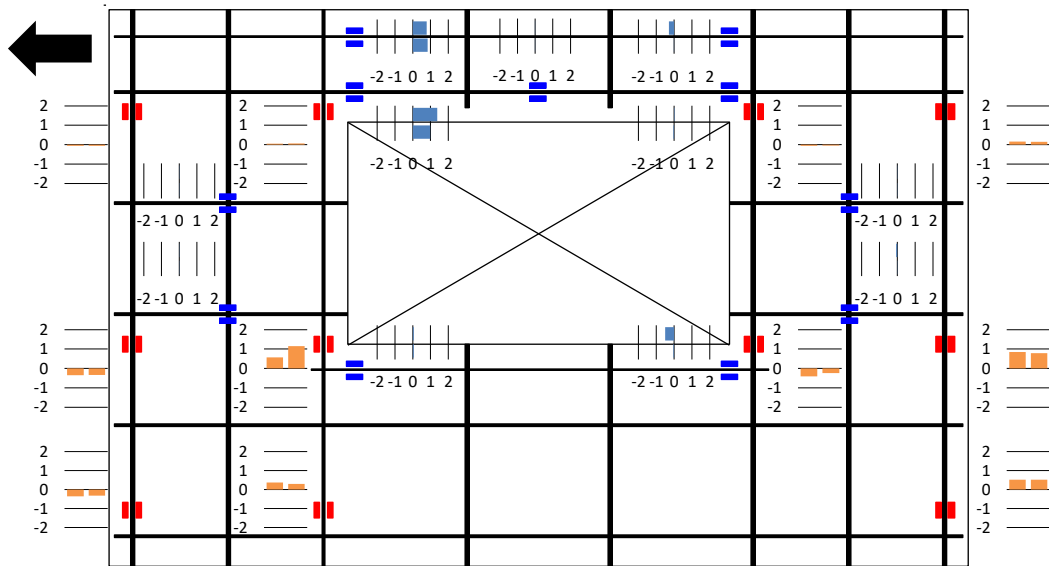
(e) 写真③(-1/500rad)



(f) 写真④(-1/500rad)



(g) ひび割れ図



(h) ひずみゲージ (正側)

図 4.12-2 試験結果 ( $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル)



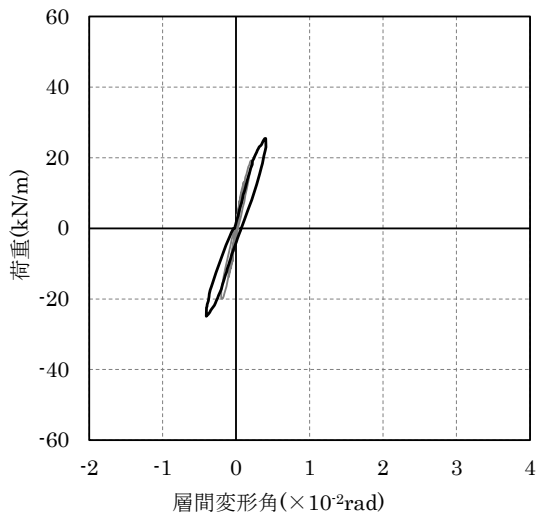
(6)  $\pm 1/250\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.13 に示す。

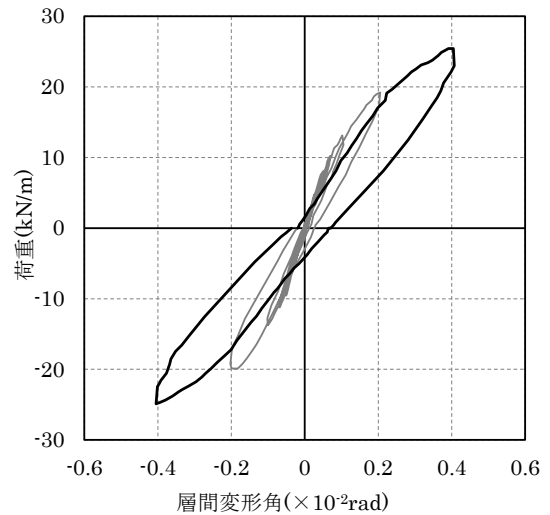
正側サイクルでは $+1/500\text{rad}$ を超えた $+18.9\text{kN/m}$ 程度から断続的に音が確認され、既存のひび割れの伸展のほか、開口左下(写真①)、開口右脇およびまぐさ部(写真②)には斜め方向のひび割れが新たに確認された。

負側のサイクルでは、原点を超えたあたりから断続的に音が確認され、正側加力と左右対称的にひび割れの伸展および発生が確認された。(写真③、④)

荷重-変形関係を見ると、前サイクルの最大点を志向しながら変形が進行し、その後はひび割れの伸展と共に剛性がやや低下していった。ひずみゲージ値を見ると、前サイクルと同様の傾向を示し、ひずみゲージ値の最大値は開口左脇の引張鉄筋(B-4)の右側で $2036\mu$ 、開口右脇の引張側鉄筋(D-4)で $2006\mu$ と、降伏直前までひずみが進行していることが確認された。



(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)

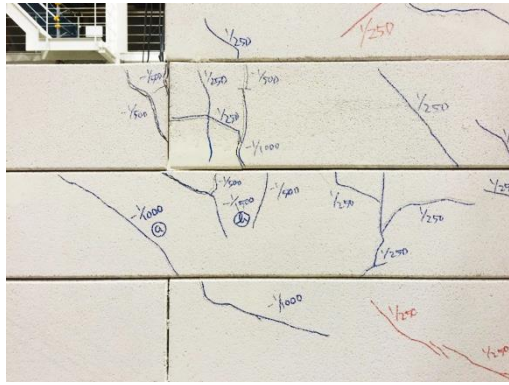


(c) 写真①(+1/250rad)

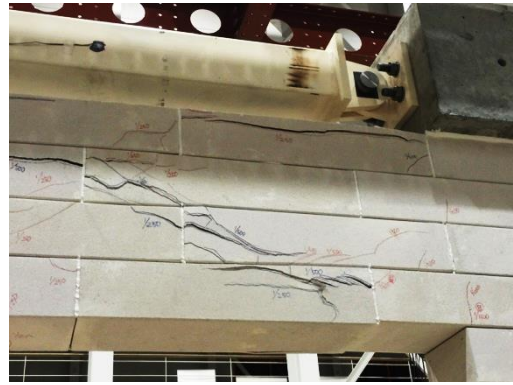


(d) 写真②(+1/250rad)

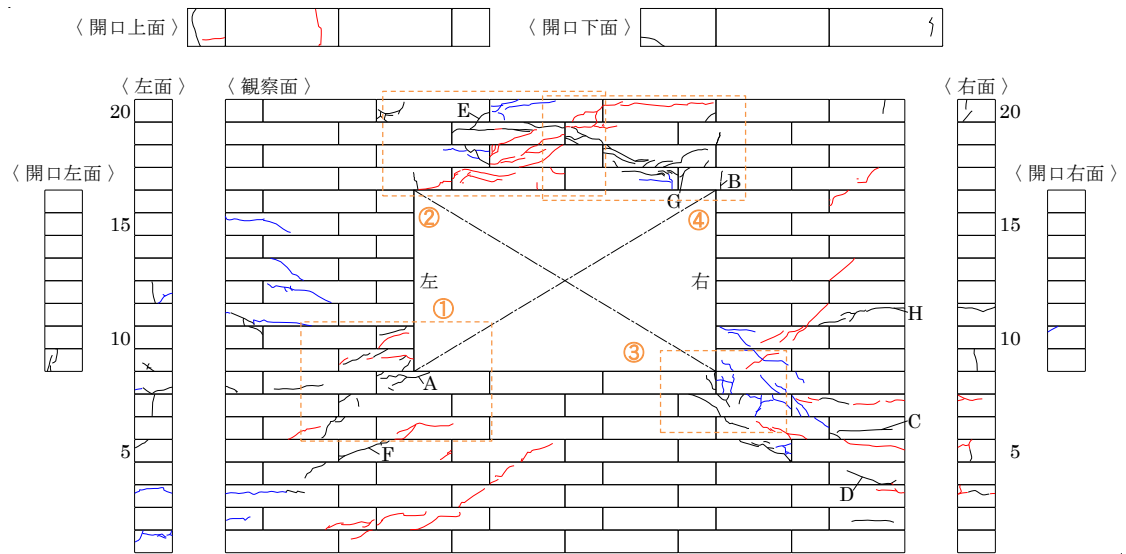
図 4.13-1 試験結果 ( $\pm 1/250\text{rad}$  サイクル)



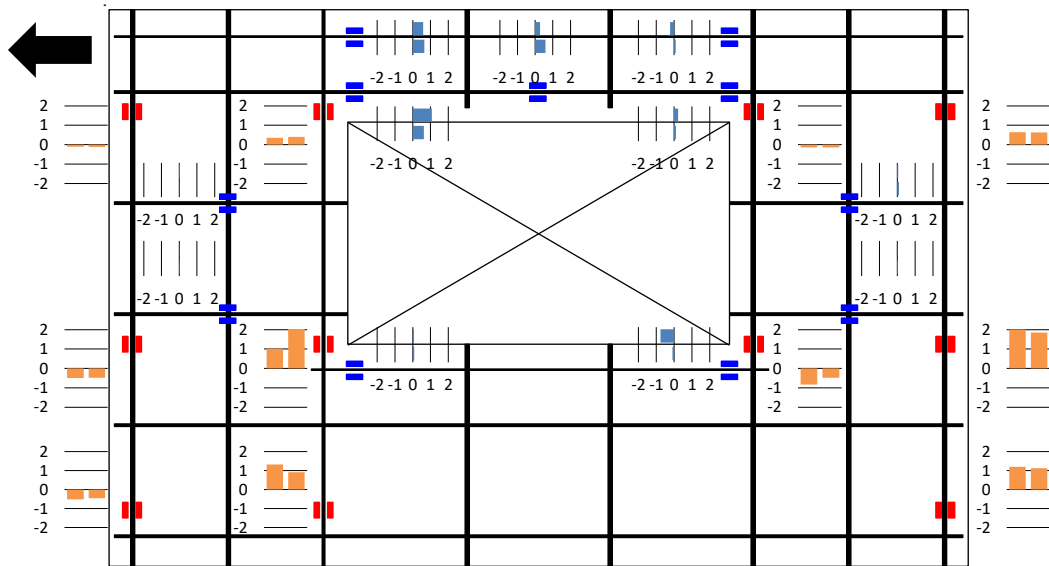
(e) 写真③(-1/250rad)



(f) 写真④(-1/250rad)



(g) ひび割れ図



(h) ひずみゲージ (正側)

図 4.13-2 試験結果 ( $\pm 1/250\text{rad}$  サイクル)

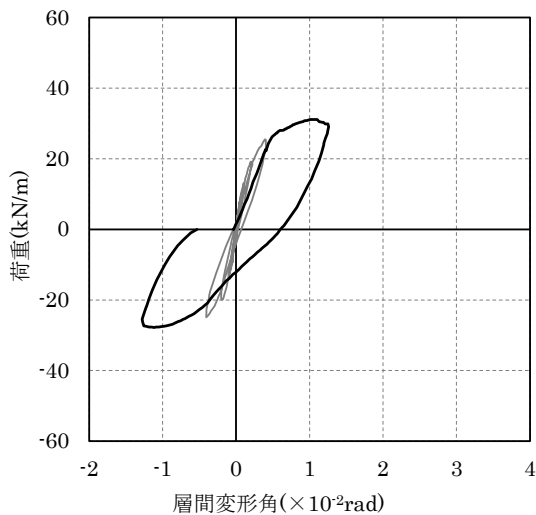
(7)  $\pm 1/80\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.14 に示す。本サイクル以降、ひび割れ図の記録は省略した。

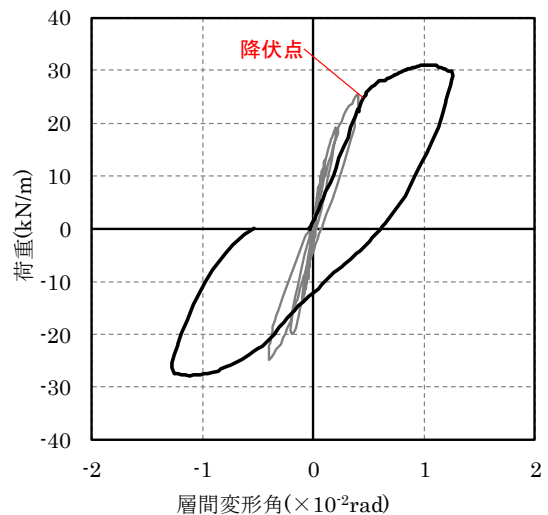
正側のサイクルでは $+1/250\text{rad}$  を超えた $+22.2\text{kN/m}$  程度から音が鳴り続け、 $+1/229\text{rad}$  に達した $+24.1\text{kN/m}$  で開口右脇の引張側縦筋(D-4)が降伏して剛性が大きく低下した。その後、 $+1/150\text{rad}$  に達した $28.4\text{kN/m}$  で開口左下の引張側鉄筋(B-1)が、 $+1/137\text{rad}$  に達した $+29.1\text{kN/m}$  で引張側鉄筋(B-4)が降伏し、 $+31.1\text{kN/m}$  に達した $+1/99\text{rad}$  で最大荷重が確認されて $+1/80\text{rad}$  を迎えた。ひび割れは開口左下隅部、開口右脇およびまぐさ部のひび割れが進展、拡大したことが確認された。

負側のサイクルでは $-1/174\text{rad}$  に達した $-23.9\text{kN/m}$  で開口右脇の引張側鉄筋(C-4)が、 $-1/116\text{rad}$  に達した $-26.9\text{kN/m}$  で開口左脇の引張側鉄筋(A-4)が降伏して剛性が低下した後、 $-1/80\text{rad}$  に達した。

荷重-変形関係を見ると、最大点を志向しながら変形が進行し、紡錘型の履歴となることが確認された。ひずみゲージ値の分布をみると、開口両脇の引張側鉄筋が降伏しているほか、横筋はまぐさ部全幅で引張ひずみが確認され、開口右脇でも引張ひずみが確認された。



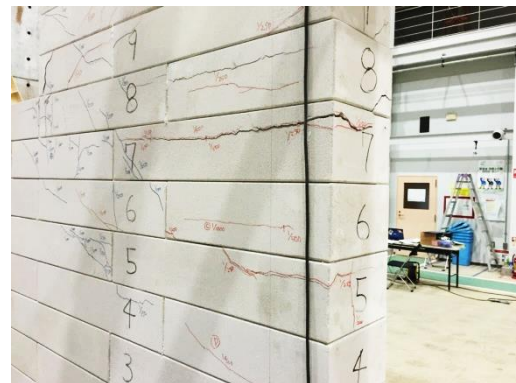
(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)



(c) 開口左下隅(+1/80rad)



(d) 試験体右下(+1/80rad)

図 4.14-1 試験結果 ( $\pm 1/80\text{rad}$  サイクル)



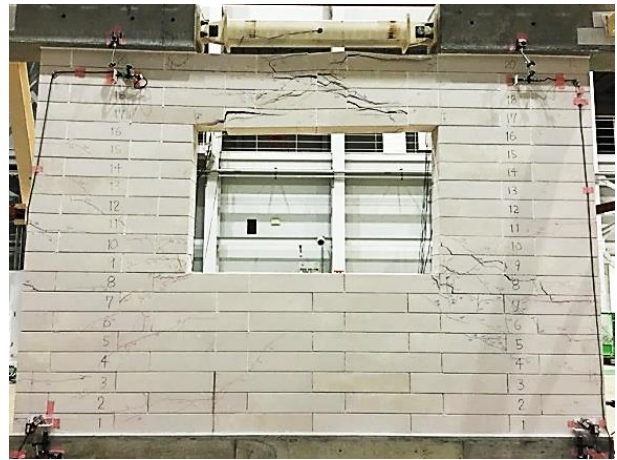
(e) まぐさ(+1/80rad)



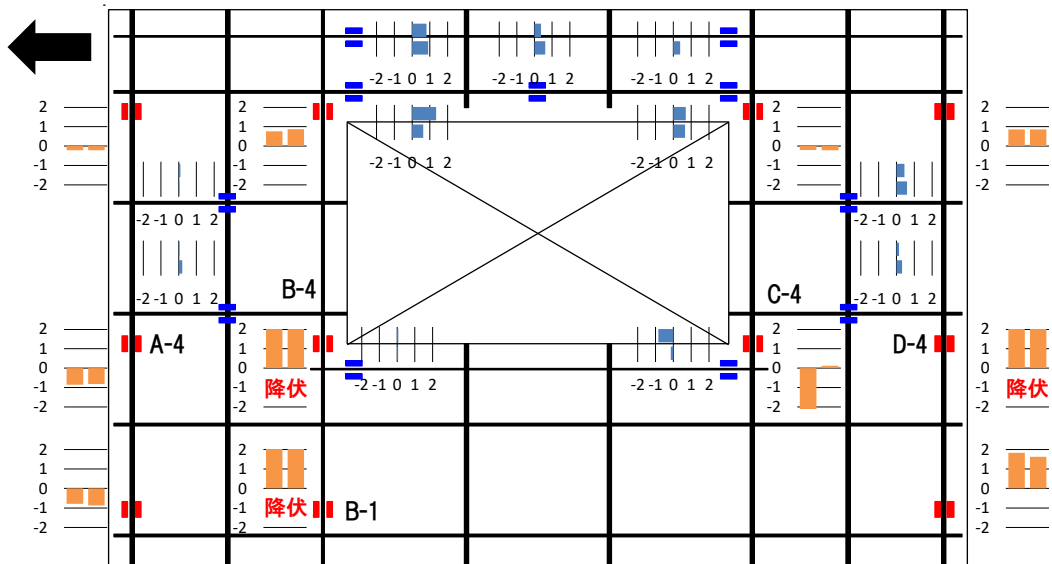
(f) 開口左脇(-1/80rad)



(g) 全体(+1/80rad)



(h) 全体(-1/80rad)



(i) ひずみゲージ (正側)

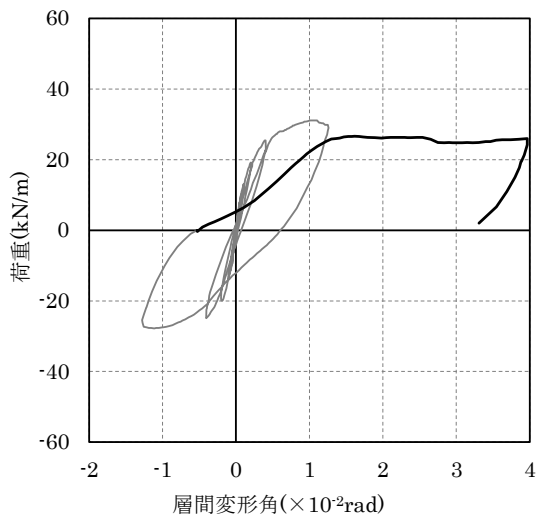
図 4.14-2 試験結果 (±1/80rad サイクル)

(8) 最大変形角

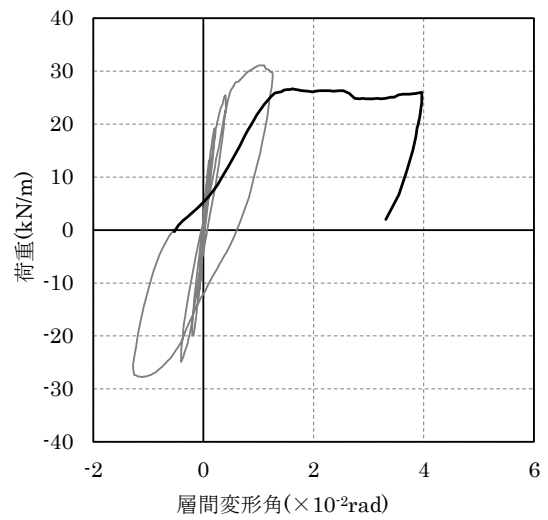
試験結果を図 4.15 に示す。ひずみゲージの値は、層間変形角が+1/50rad 時の値を示す。

荷重－変形関係は最大点を志向しながら変形が進行し、+1/80rad 以降は最大荷重の 80%となる +26kN/m 程度の荷重を保ちながら変形が進行し、ジャッキのストロークの限界となる+1/25rad で加力を終了した。ひび割れは、開口左下隅角部、開口右脇、まぐさ部における斜め方向のひび割れが進展し、破壊に至った。

破壊性状は、縦筋の曲げ降伏により剛性が大きく低下した後最大荷重を迎え、最大荷重後は斜め方向のひび割れが目立ったことから、曲げ降伏後のせん断破壊と判断した。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) 全体 (+1/50rad)

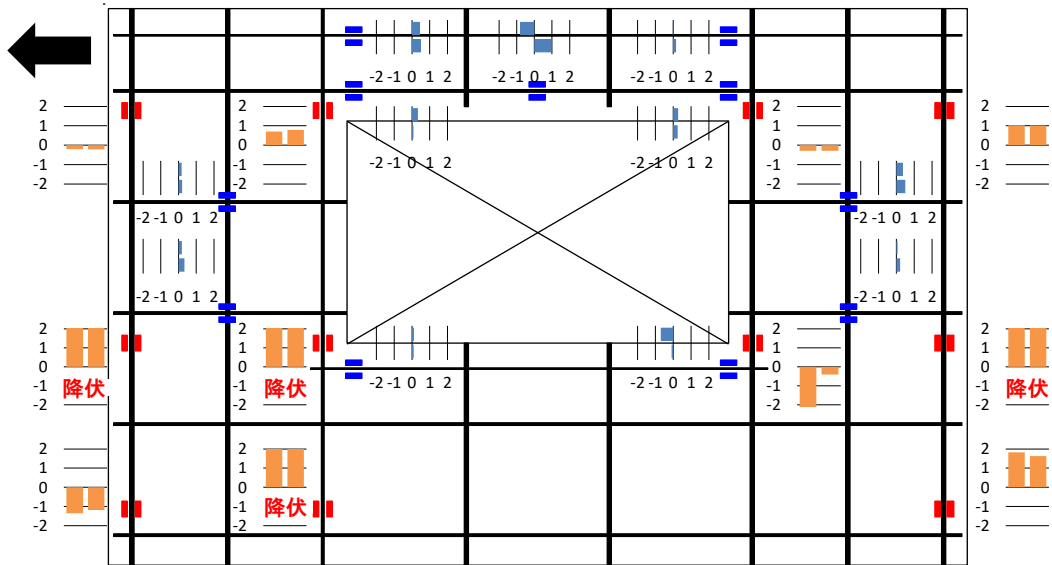


(d) 全体 (+1/30rad)

図 4.15-1 試験結果（最大変形角）



(e) 全体 (最大変形角)



(f) ひずみゲージ (+1/50rad)

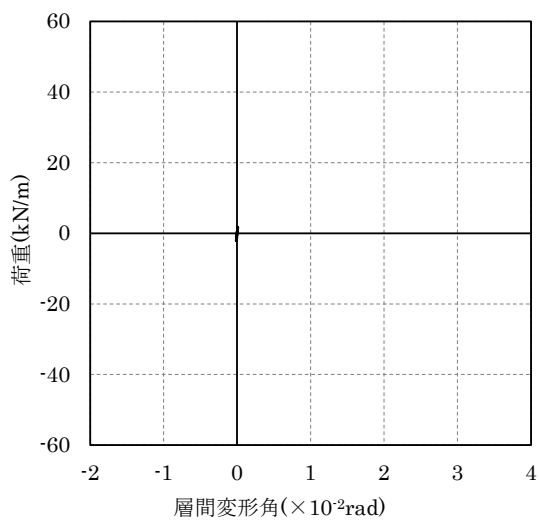
図 4.15-2 試験結果 (最大変形角)

### 4.3.1.3 InWO-A37-w45-20021

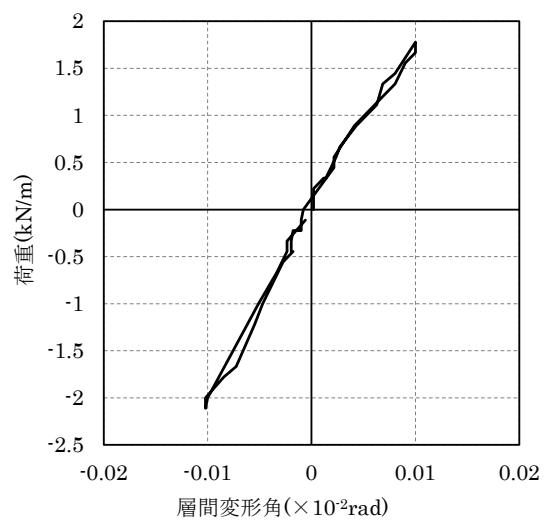
#### (1) $\pm 1/10000\text{rad}$ および $\pm 1/4000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 4.16 に示す。(a)、(b)には $\pm 1/10000\text{rad}$ の荷重-変形関係を、(c)、(d)には $\pm 1/4000\text{rad}$ の荷重-変形関係を示す。 $\pm 1/4000\text{rad}$ サイクルまではひび割れ図とひずみゲージ値の図を省略した。

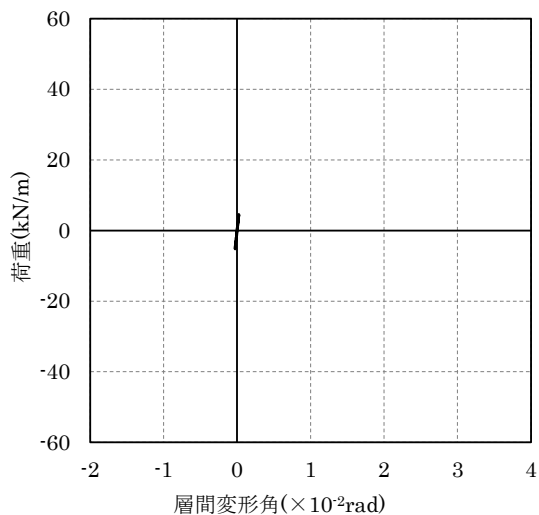
$\pm 1/10000\text{rad}$  サイクルおよび $\pm 1/4000\text{rad}$  サイクルでは、加力時に音は聞こえず、ひび割れ等も確認されなかった。荷重-変形関係は、 $\pm 1/4000\text{rad}$  まではほぼ直線を示しており、弾性範囲内であると考えられる。



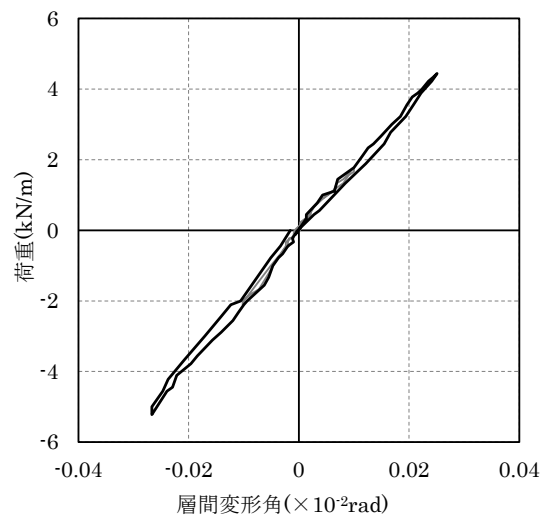
(a) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/10000$  全体)



(b) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/10000$  拡大)



(c) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/4000$  全体)



(d) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/4000$  拡大)

図 4.16 試験結果 ( $\pm 1/10000\text{rad}$  および  $\pm 1/4000\text{rad}$  サイクル)

(2)  $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.17 に示す。(d)に示すひび割れ図には、試験体セッティング時に発生した初期ひび割れを黒線で示した。

正側のサイクルでは、加力時に音等は確認されなかったが、加力後に開口右下部（写真①）に水平方向のひび割れが確認された。除荷後、ひび割れはほぼ閉じたことが確認された。

負側のサイクルでは、 $-1/2297\text{rad}$  となる $-7.8\text{kN/m}$  でミシミシという音を確認されたが、ひび割れは確認されなかった。

荷重-変形関係はほぼ直線を示しており、ひび割れの程度も小さく、ひずみゲージ値の最大値も  $177\mu$  と小さいため、損傷の程度は非常に軽微であると考えられる。

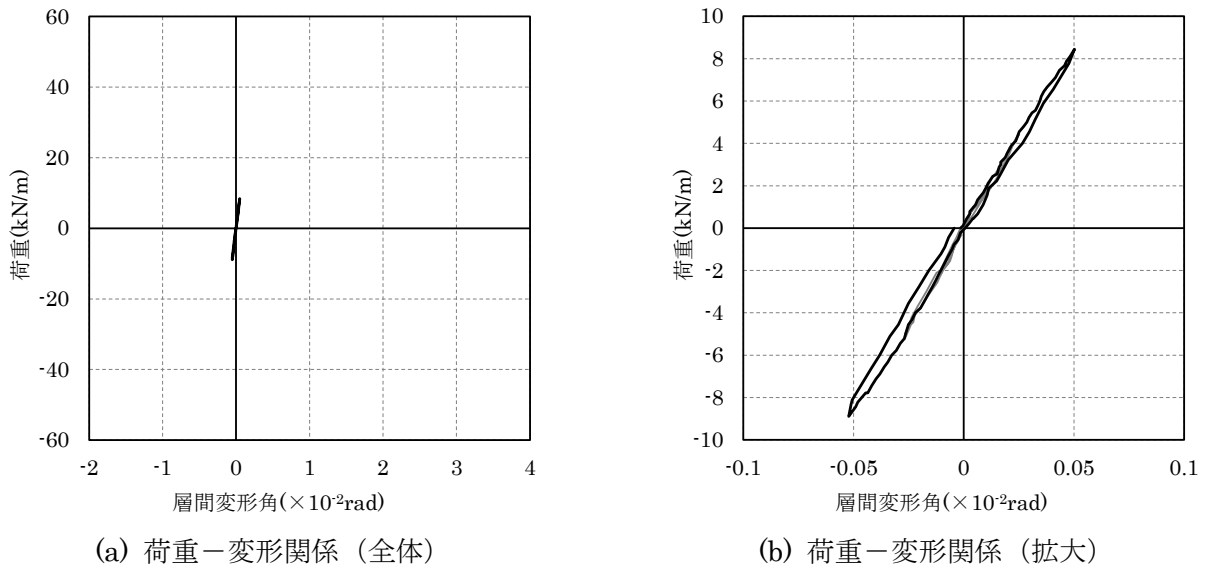
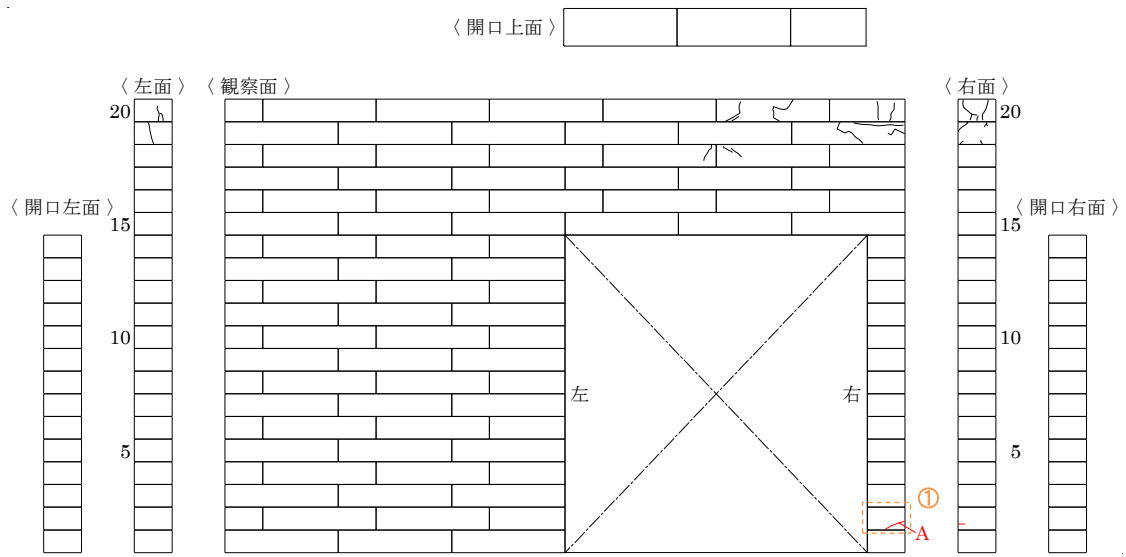


図 4.17-1 試験結果 ( $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)

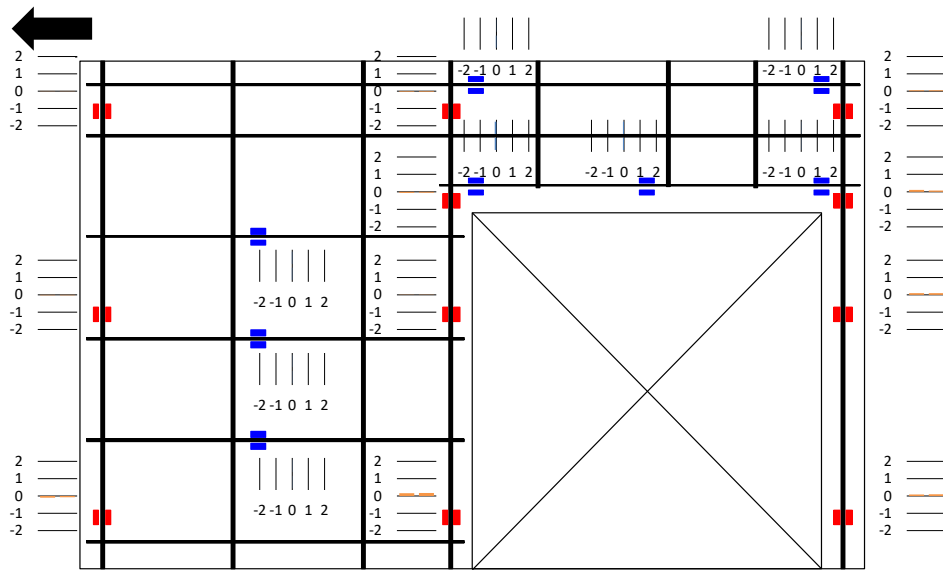




(c) 写真①(+1/2000rad)



(d) ひび割れ図



(e) ひずみゲージ (正側)

図 4.17-2 試験結果 ( $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)

### (3) $\pm 1/1500\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 4.18 に示す。

正側のサイクルでは、 $+1/1635\text{rad}$  となる  $+10.2\text{kN/m}$  程度で ALC が割れるような音が右側から聞こえ、開口右下部（写真①）のひび割れの伸展が確認された。除荷後、ひび割れはほぼ閉じたことが確認された。

負側のサイクルでは、加力時に音は確認されなかったが、開口左上隅角部（写真②）にひび割れが確認された。除荷後、ひび割れは閉じたことが確認された。

荷重-変形関係を見るとほぼ直線を示しており、ひび割れの程度も小さく、ひずみゲージの最大値も  $236\mu$  のため、損傷の程度は非常に軽微と考えられる

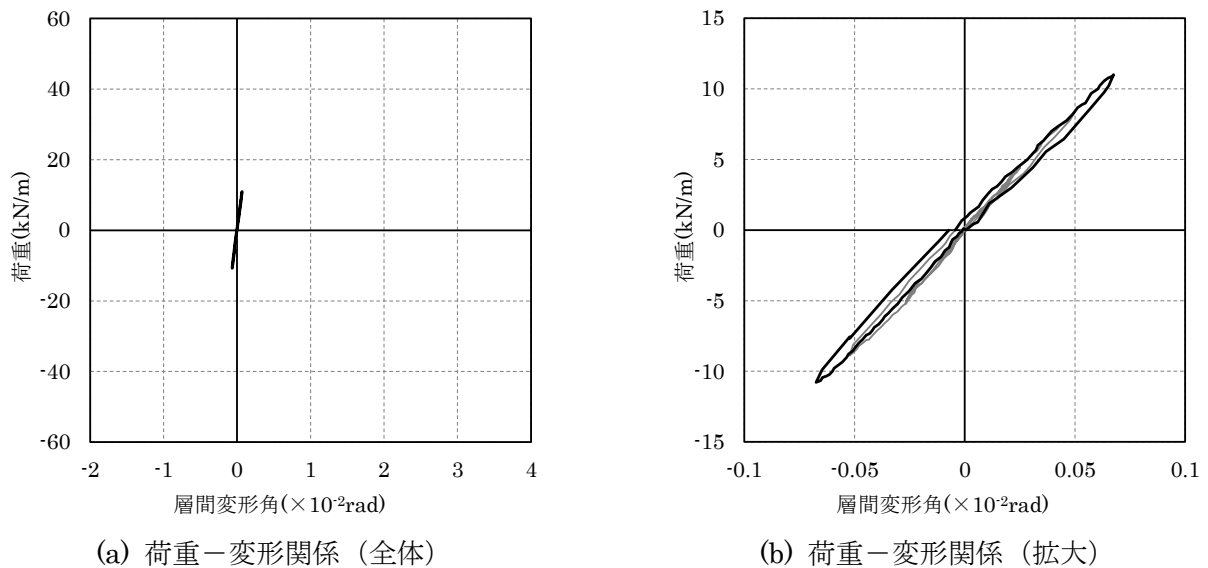


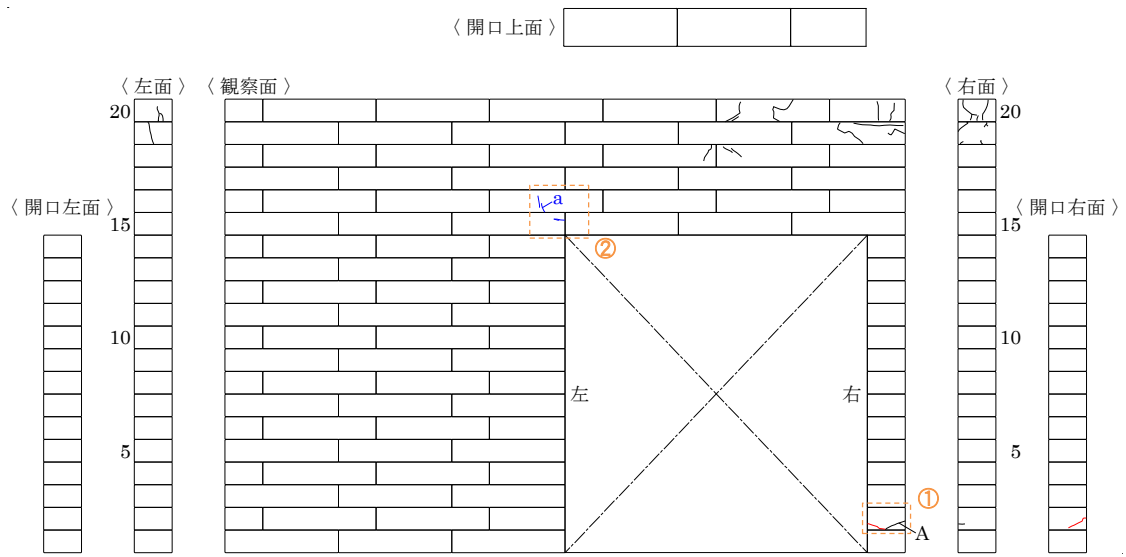
図 4.18-1 試験結果 ( $\pm 1/1500\text{rad}$  サイクル)



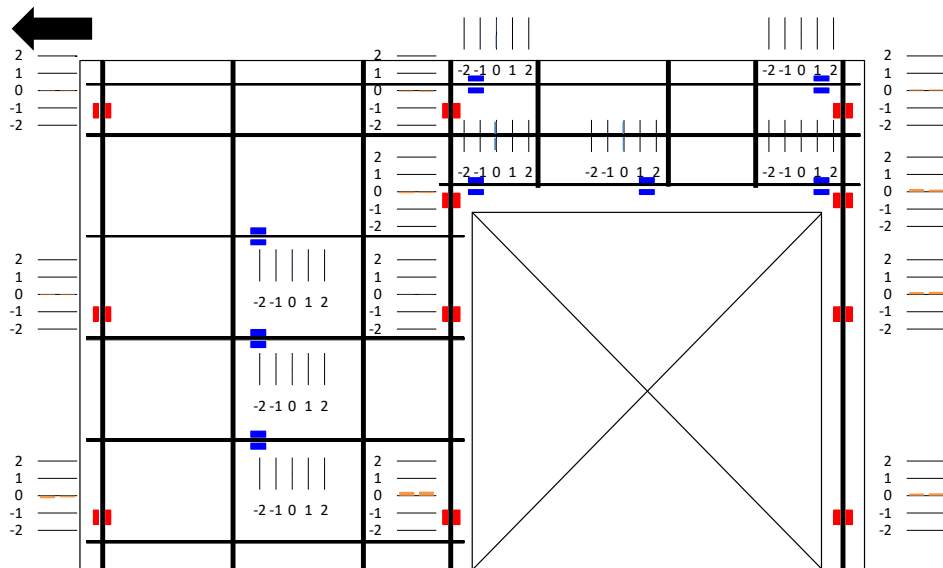
(c) 写真①(+1/1500rad)



(d) 写真②(-1/1500rad)



(e) ひび割れ図



(f) ひずみゲージ (正側)

図 4.18-2 試験結果 (±1/1500rad サイクル)

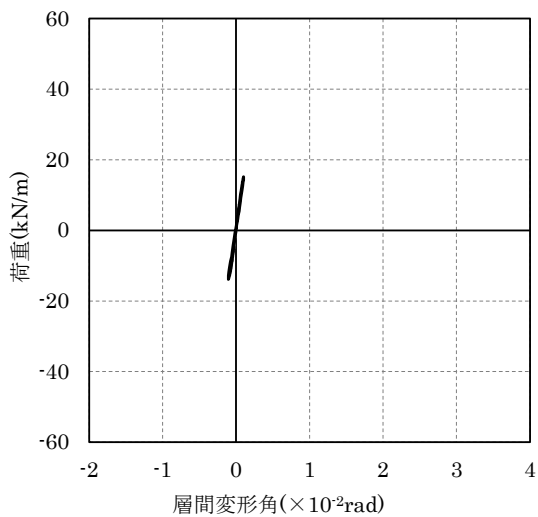
(4)  $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.19 に示す。

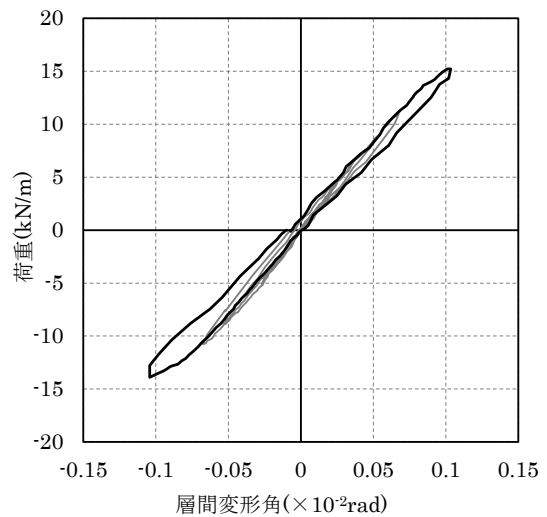
正側のサイクルでは、 $+1/1118\text{rad}$  となる $+14.0\text{kN/m}$  程度から音が確認され始めたが、新たなひび割れは確認されず、開口右下部のひび割れ幅の拡大が確認された。除荷後、ひび割れはほぼ閉じたことが確認された。

負側のサイクルでは、 $-1/1217\text{rad}$  となる $-12.3\text{kN/m}$  程度で ALC が割れるような乾いた音が確認され、 $-1/1109\text{rad}$  となる $-12.9\text{kN/m}$  程度からミシという音が断続的に確認された。ひび割れは、試験体左側下部（写真①）に水平方向の新たなひび割れが、開口左上隅角部に確認され、斜め方向および水平方向の新たなひび割れが確認された。

荷重－変形関係をみると、音が確認された $+14.0\text{kN/m}$ 、 $-12.3\text{kN/m}$  程度からわずかに剛性が低下したことから、 $\pm 1/1200\text{rad}$  程度からひび割れの伸展、発生が生じたものと考えられる。ひずみゲージ値の最大値は、 $380\mu$  程度と小さい値を示した。ひずみゲージ値の分布をみると、正側サイクルでは開口左側壁の引張側下部と開口右側の縦筋に引張ひずみが、開口左側壁の圧縮側下部に圧縮ひずみが確認された。

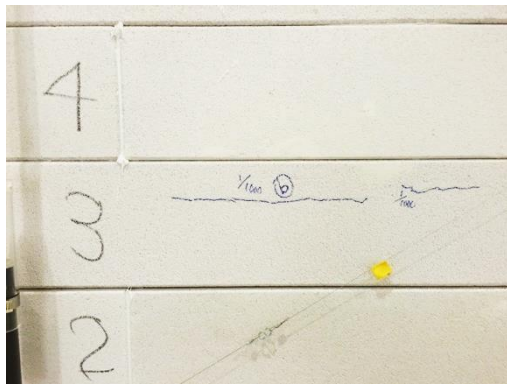


(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

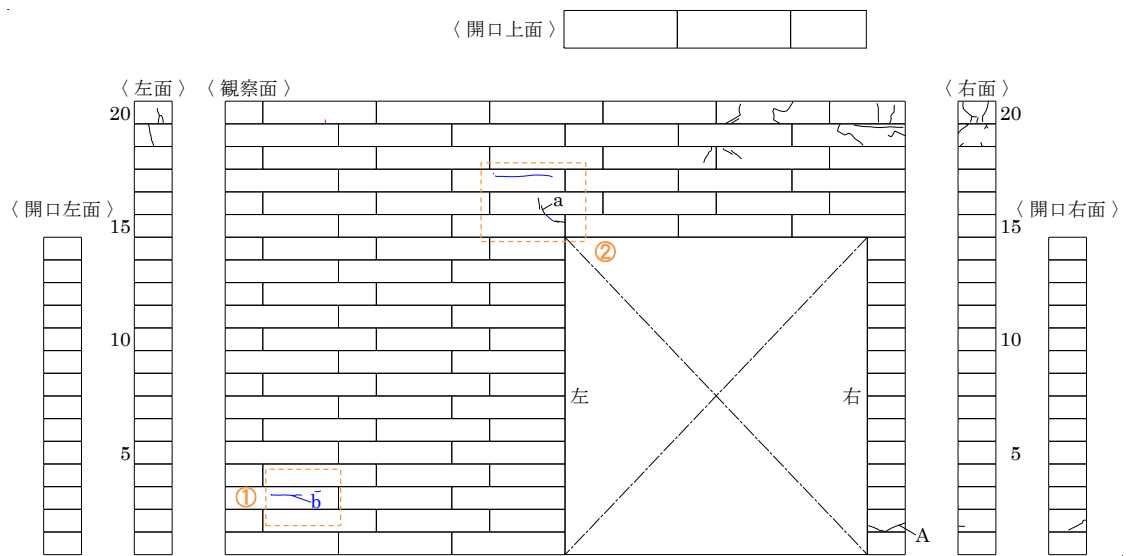
図 4.19-1 試験結果（ $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル）



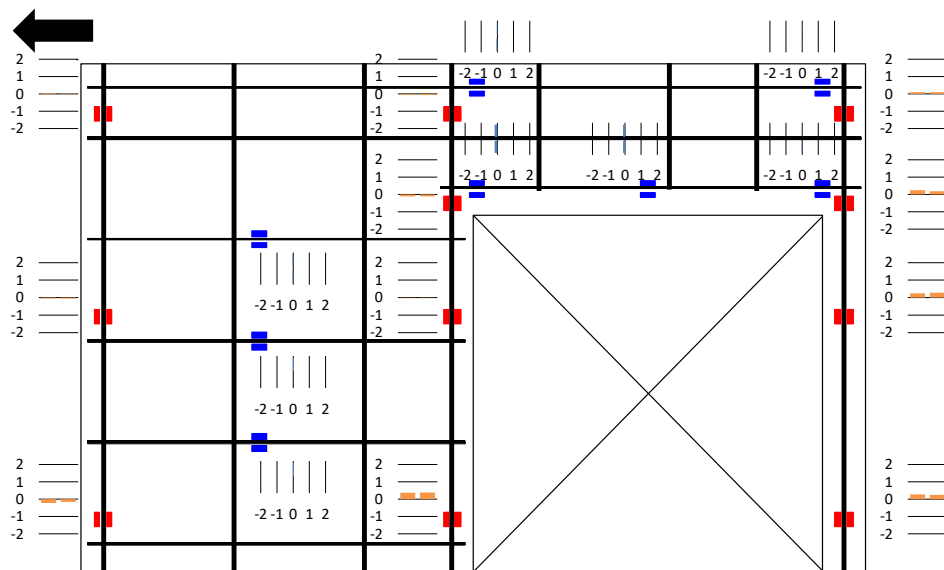
(c) 写真①(+1/1000rad)



(d) 写真②(-1/1000rad)



(e) ひび割れ図



(f) ひずみゲージ (正側)

図 4.19-2 試験結果 (±1/1000rad サイクル)

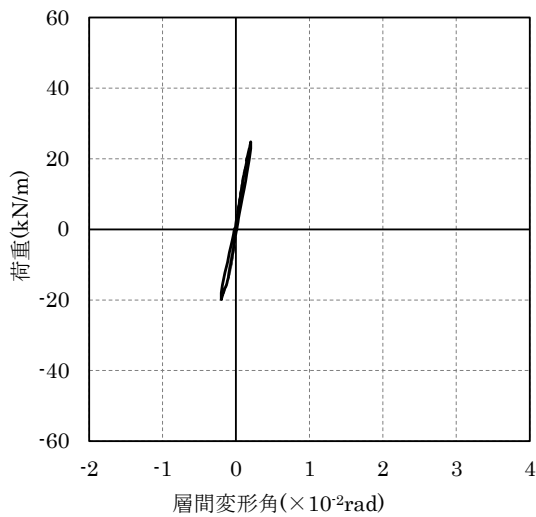
(5)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.20 に示す。

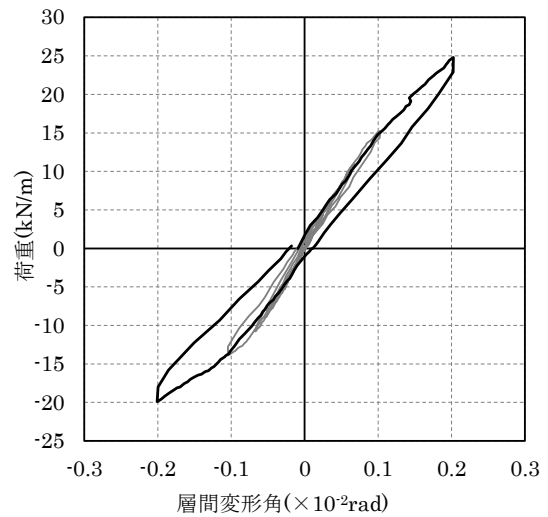
正側のサイクルでは、 $+1/1000\text{rad}$  を超えた $+15.2\text{kN/m}$  程度から ALC が割るような音が断続的に確認され、 $+1/557\text{rad}$  となる $+22.8\text{kN/m}$  程度からグラウトが割れるような音が確認された。試験体左側下部（写真①）には、水平方向および斜め方向の新たなひび割れが、開口右上隅角部および開口右脇（写真②）にも水平方向の新たなひび割れが確認された。除荷後も  $0.04\text{mm}$  の残留ひび割れが確認された。

負側のサイクルでは、 $-1/1000\text{rad}$  を超えた $-14.1\text{kN/m}$  程度から ALC やグラウトが割れるような音が断続的に確認された。試験体左側下部（写真③）には、正側サイクルと対称的に水平方向および斜め方向のひび割れが新たに確認され、開口左上隅角部（写真④）のひび割れの拡大と進展が確認された。

荷重－変形関係をみると、ひび割れ音とともにわずかに剛性が低下し、ややふくらみを持った履歴が確認された。ひずみゲージの最大値は  $707\mu$  が確認され、降伏には至っていないものの、損傷状態が進展していることが確認された。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）



(c) 写真①(+1/500rad)

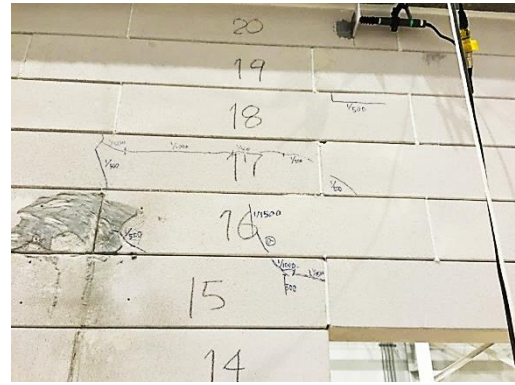


(d) 写真②(+1/500rad)

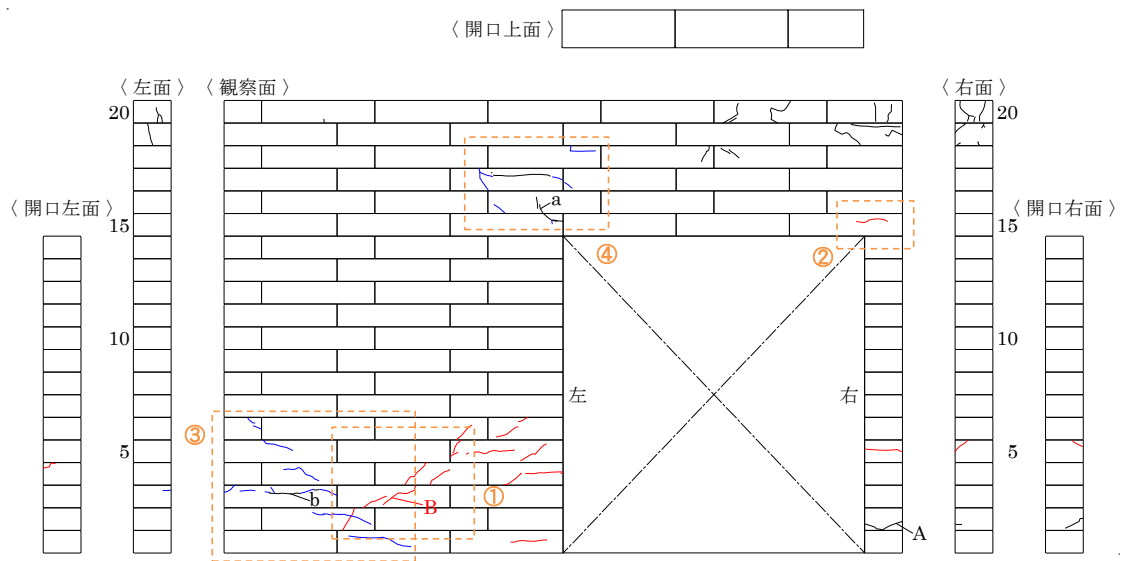
図 4.20-1 試験結果（ $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル）



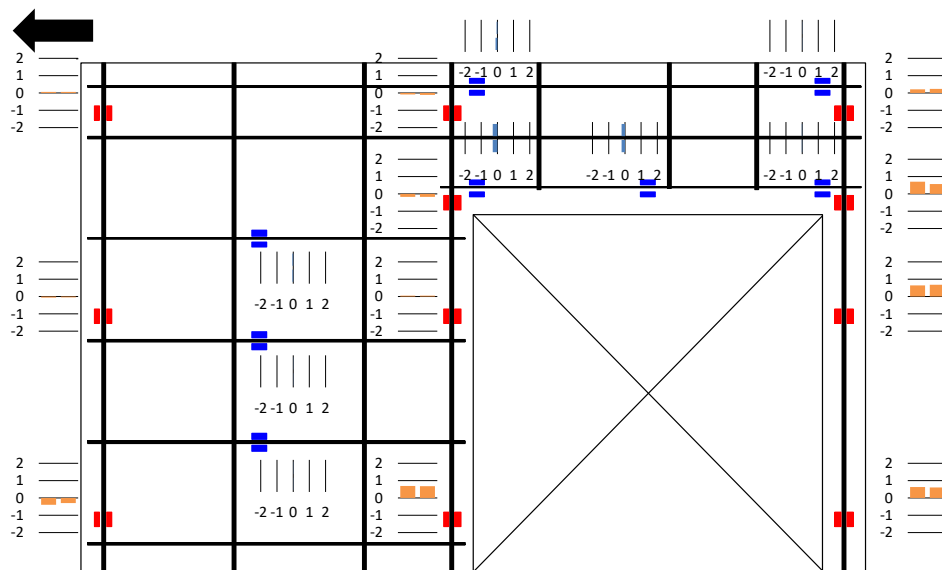
(e) 写真③(-1/500rad)



(f) 写真④(-1/500rad)



(g) ひび割れ図



(h) ひずみゲージ (正側)

図 4.20-2 試験結果 (±1/500rad サイクル)

(6) +1/250rad および-1/100rad サイクル

試験結果を図 4.21 に示す。

正側のサイクルでは、+1/438rad となる+26.9kN/m 程度から ALC やグラウトが割るような音が断続的に確認され、+1/325rad となる+33.1kN/m で大きな音を確認された直後、+1/325rad にて正側の最大荷重+33.2kN/m が確認された。その後、緩やかに荷重が低下しながら変形が進行し、+1/242rad に達した。ひび割れは、試験体左側脚部における斜め方向のひび割れの進行が目立ち、左側小口面では圧壊による縦方向のひび割れが確認された(写真①)。その他、開口部右側の既存のひび割れの拡大、伸展も確認された。

負側のサイクルでは、-1/870rad となる-14.3kN/m 程度から ALC やグラウトが割るような音が断続的に確認され、-1/312rad となる-24.2kN/m で大きな音を確認された。その後、音を立てて剛性が大きく低下しながら変形が進行し、-1/132rad にて負側の最大荷重-30kN/m が確認された。ひび割れは、試験体左側下部から上部にかけての斜め方向のひび割れが目立ち(写真②、③)、開口右下では圧壊による縦方向のひび割れも確認された。

荷重-変形関係では、紡錘型の履歴が確認された。ひずみゲージ値の分布をみると、+1/250rad 時点では縦筋のひずみゲージ値の最大値は 1251 $\mu$  と降伏には至らなかった。負側のひずみゲージ値は、負側の最大荷重到達時には縦筋は降伏しておらず、最大荷重経過後の-1/106rad で試験体左側の引張側の縦筋下部(A-1)が降伏していることが確認された。また、斜め方向のひび割れが多く確認された開口左側壁の下部では、横筋に引張ひずみが発生していることが確認された。

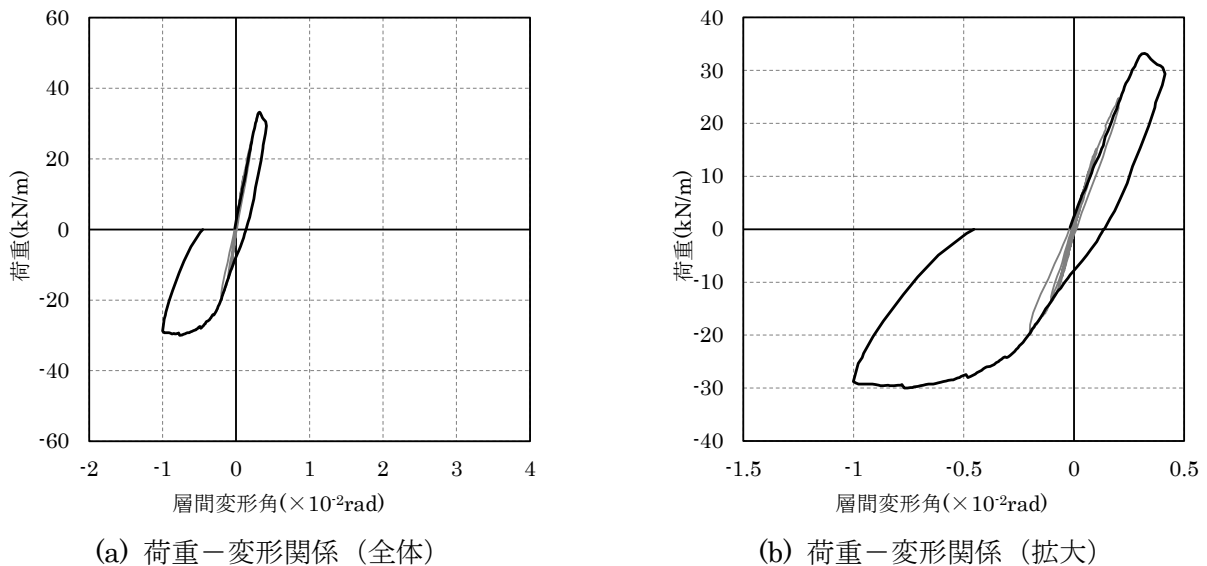


図 4.21-1 試験結果 (+1/250rad および-1/100rad サイクル)

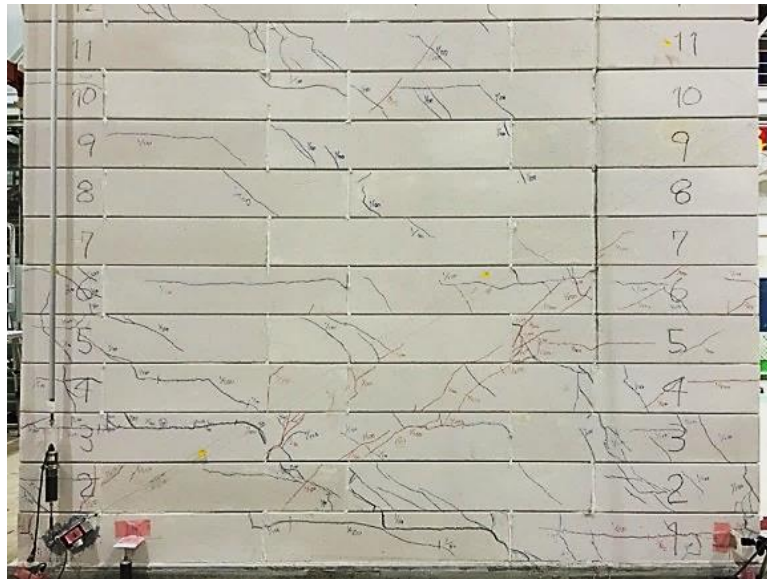




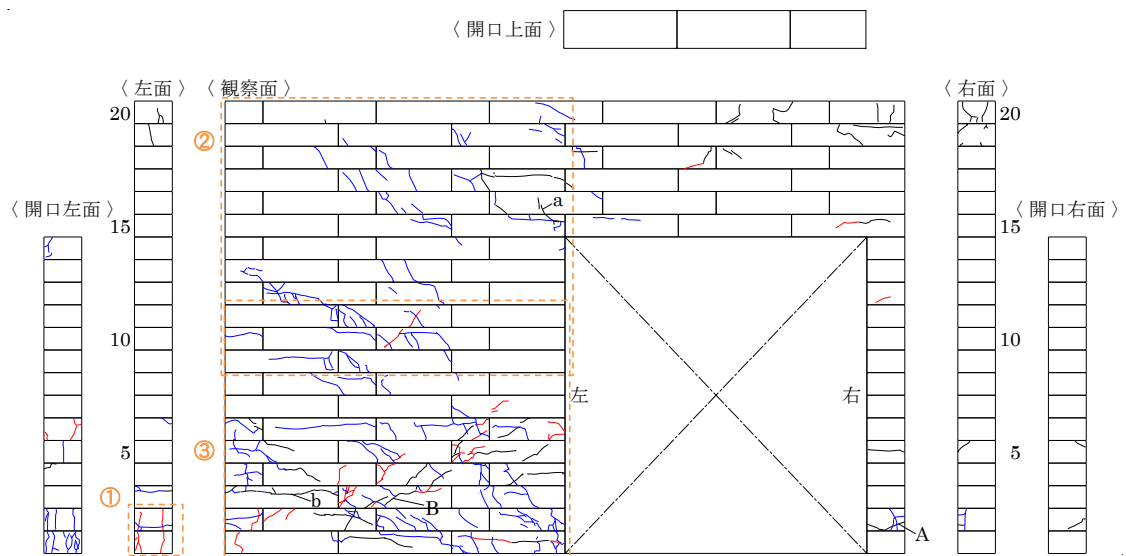
(c) 写真①(+1/250rad)



(d) 写真②(-1/100rad)

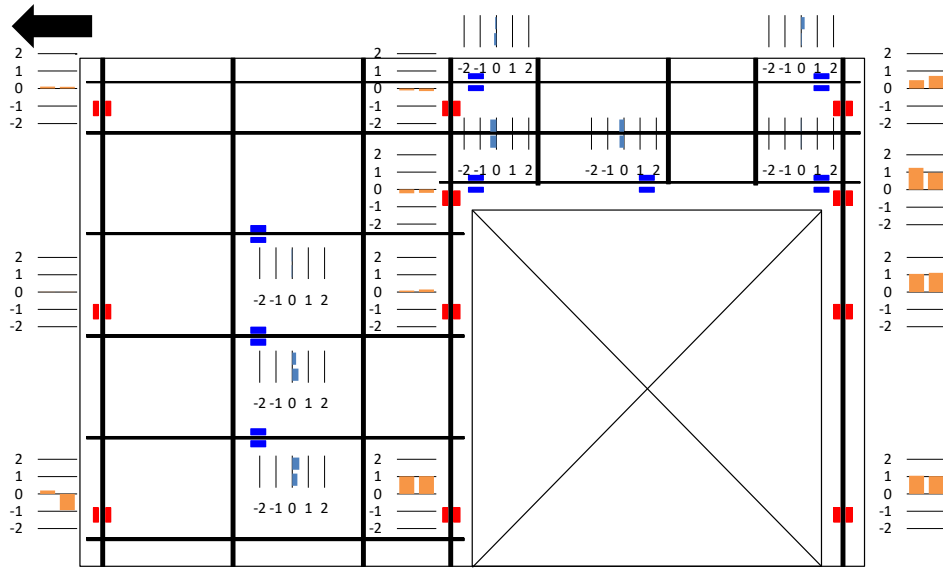


(e) 写真③(-1/100rad)

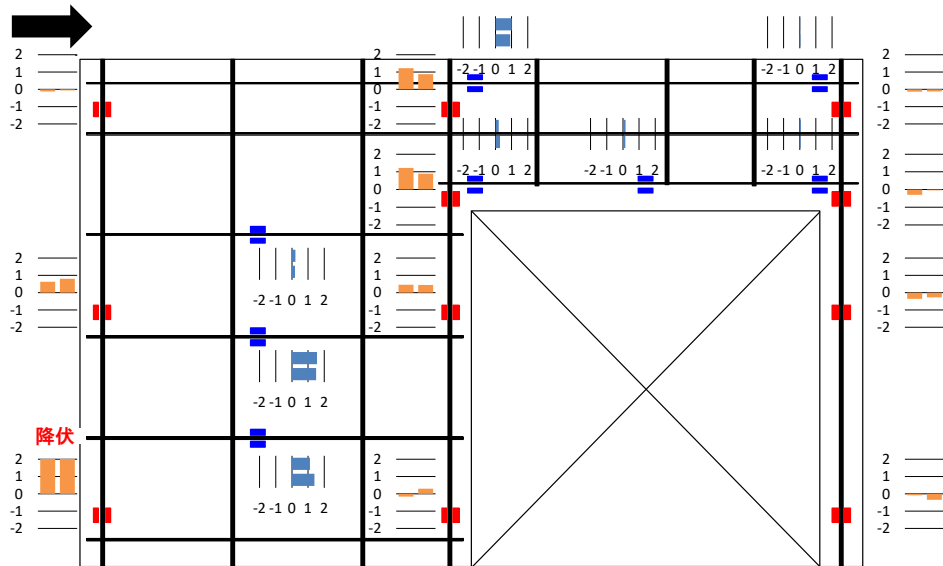


(f) ひび割れ図

図 4.21-2 試験結果 (+1/250rad および -1/100rad サイクル)



(g) ひずみゲージ (+1/250rad)



(h) ひずみゲージ (-1/100rad)

図 4.21-3 試験結果 (+1/250rad および-1/100rad サイクル)

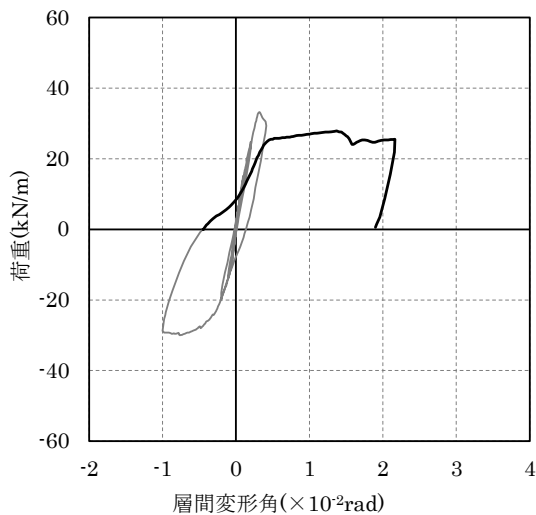
### (7) 最大変形角

試験結果を図 4.22 に示す。ひずみゲージの値は層間変形角が $+1/50\text{rad}$  時の値を示し、ひび割れ図は省略した。

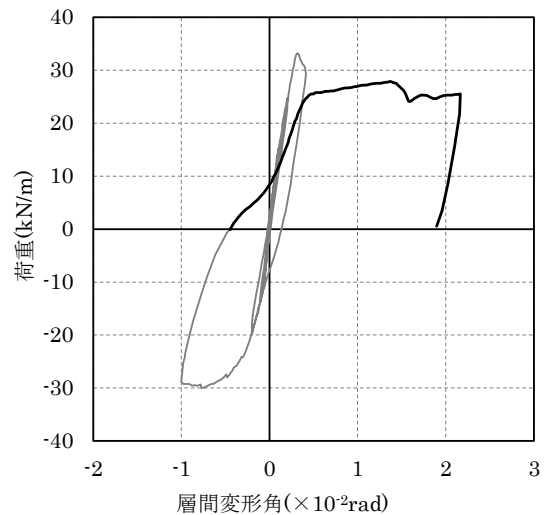
荷重－変形関係は、加力開始後にややすべりを伴いながら変形が進行した後、最大変形点を志向しながら荷重が上昇した。その後、最大荷重の 80%程度で荷重が一定のまま変形が進行し、 $+1/46\text{rad}$  にて加力を終了した。ひび割れは試験体左側の左下から右上にかけてブロックの目地部に沿ってせん断ひび割れが貫通した。左下小口部では圧壊による縦方向のひび割れも確認された。

ひずみゲージ値の分布をみると、開口右側上部の縦筋(C-4)が引張降伏していることが確認された。試験体左端下部の縦筋(A-1)では鉄筋の左側が引張、右側が圧縮により降伏していることが確認されたが、試験体が目地部で水平方向にずれたことにより、縦筋が S 字に変形したため考えられる。

縦筋降伏前に最大荷重を迎え、最大層間変形角時には斜め方向のひび割れが顕著だったため、破壊性状はせん断破壊と判断した。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

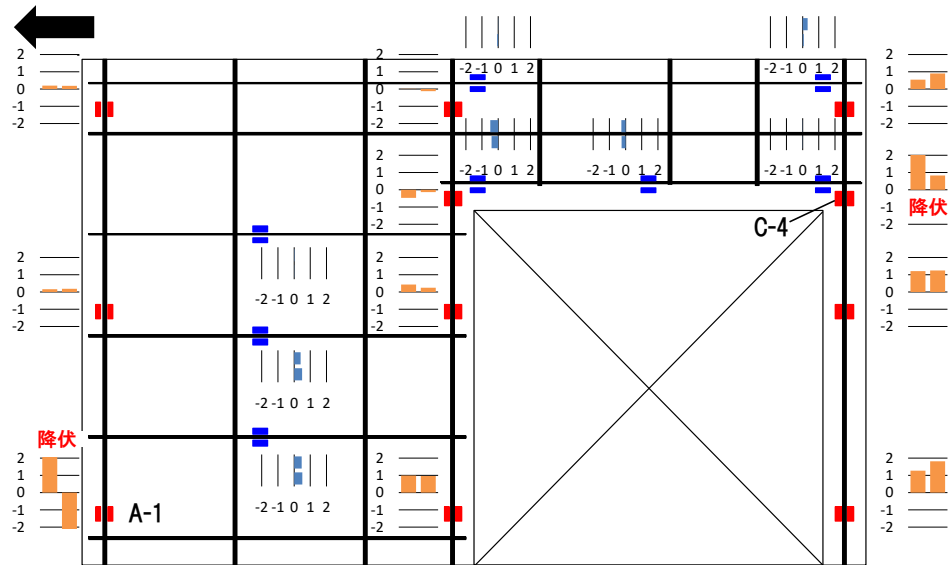


(c) 左下小口面(最大変形角)

図 4.22-1 試験結果（最大変形角）



(d) 全体(最大変形角)



(e) ひずみゲージ (+1/50rad)

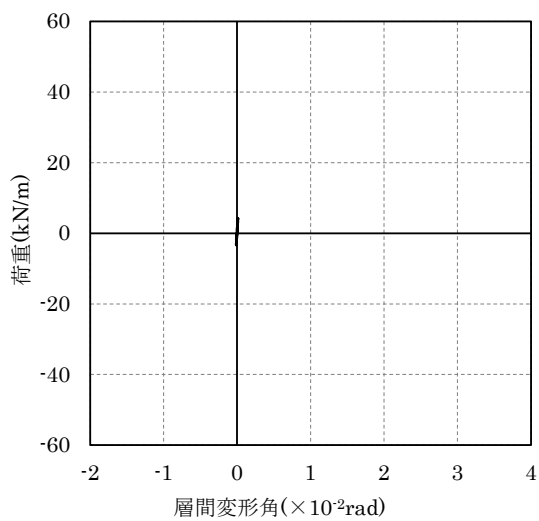
図 4.22-2 試験結果 (最大変形角)

#### 4.3.1.4 InWO-A37-w45-2\_05012

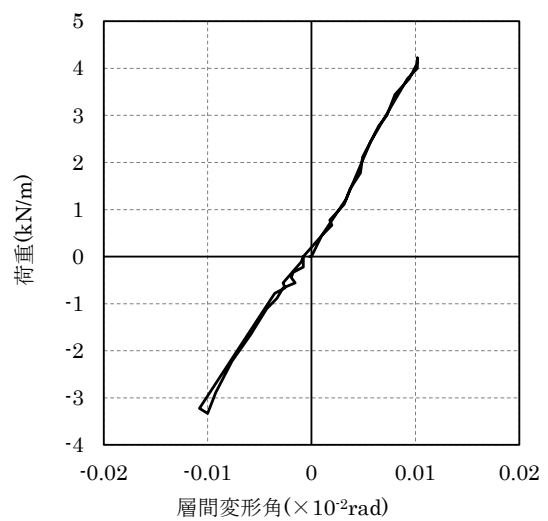
##### (1) $\pm 1/10000\text{rad}$ および $\pm 1/4000\text{rad}$ サイクル

試験結果を図 4.23 に示す。(a)、(b)には $\pm 1/10000\text{rad}$ の荷重-変形関係を、(c)、(d)には $\pm 1/4000\text{rad}$ の荷重-変形関係を示す。 $\pm 1/4000\text{rad}$ サイクルまではひび割れ図とひずみゲージ値の図を省略した。

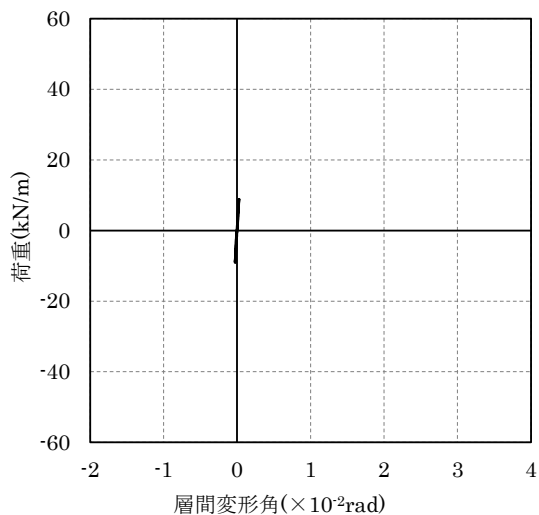
$\pm 1/10000\text{rad}$  サイクルおよび $\pm 1/4000\text{rad}$  サイクルでは、加力時に音は聞こえず、ひび割れ等も確認されなかった。荷重-変形関係は、 $\pm 1/4000\text{rad}$  まではほぼ直線を示しており、弾性範囲内であると考えられる。



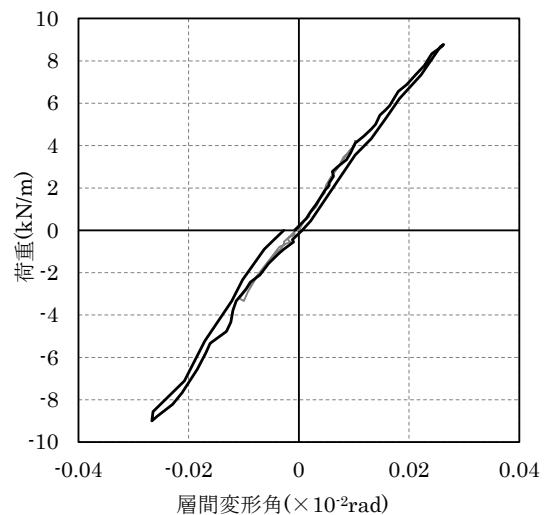
(a) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/10000$  全体)



(b) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/10000$  拡大)



(c) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/4000$  全体)



(d) 荷重-変形関係 ( $\pm 1/4000$  拡大)

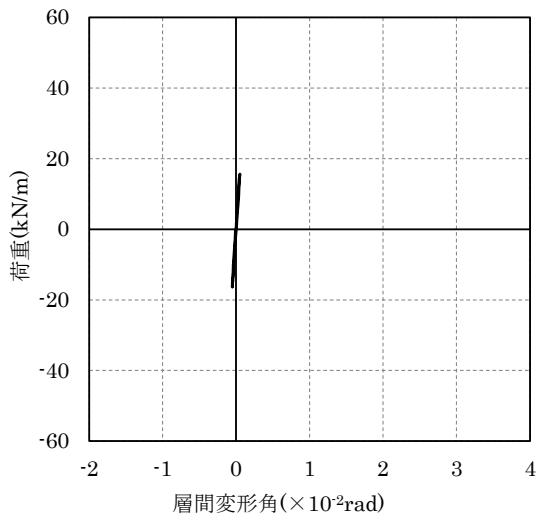
図 4.23 試験結果 ( $\pm 1/10000\text{rad}$  および  $\pm 1/4000$  サイクル)

(2)  $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル

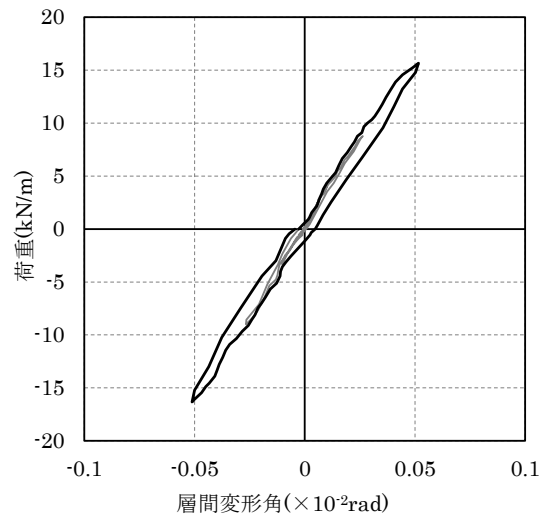
試験結果を図 4.24 に示す。本サイクルでは、ひび割れ図は省略した。

正側のサイクルでは、 $+1/2257\text{rad}$  となる  $+14.6\text{kN/m}$  程度で試験体下部から ALC が割れるようなパキという音が確認され、わずかに変形が進行したが、ひび割れは確認されなかった。負側のサイクルでは、加力時に音は聞こえず、ひび割れ等も確認されなかった。

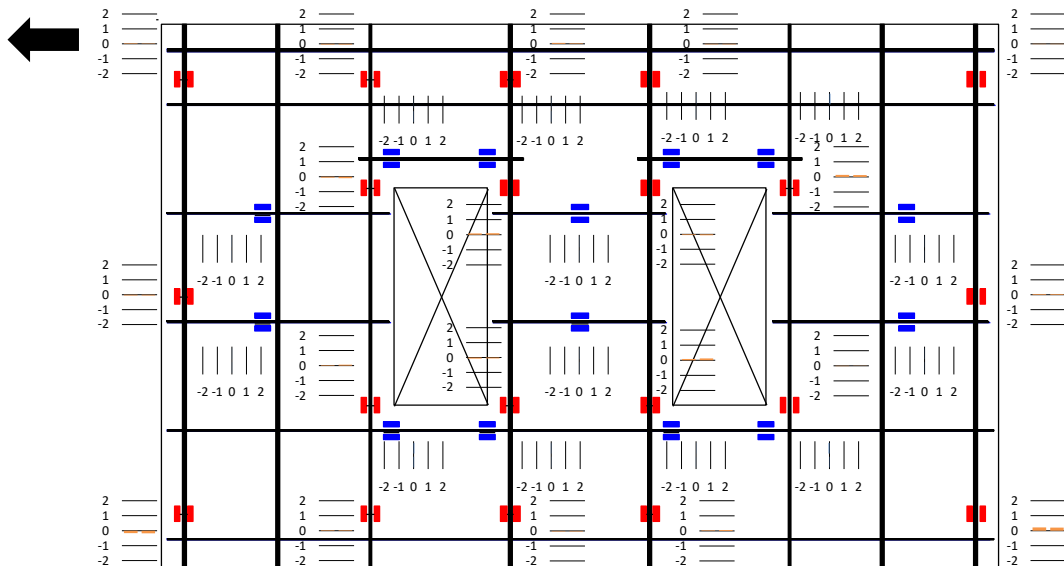
荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひび割れの発生も確認されず、ひずみゲージ値の最大値も  $378\mu$  と小さいため、損傷の程度は非常に軽微であると考えられる。



(a) 荷重－変形関係 (全体)



(b) 荷重－変形関係 (拡大)



(c) ひずみゲージ (正側)

図 4.24 試験結果 ( $\pm 1/2000\text{rad}$  サイクル)

(3)  $\pm 1/1500\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.25 に示す。(d)に示すひび割れ図には、試験体セッティング時に発生した初期ひび割れを黒線で示した。

正側サイクルでは、 $+1/1461\text{rad}$  となる $+18.4\text{kN/m}$  程度で(d)に示すひび割れ図の右側の開口（以降、左側を開口 1、右側を開口 2 と呼ぶ）の左側付近から音が確認されたが、ひび割れの発生は確認されなかった。

負側のサイクルでは、 $-1/1672\text{rad}$  となる $-17.7\text{kN/m}$  程度で開口 1 の左下側から ALC が割れるような音が、 $-1/1609\text{rad}$  となる $-18.3\text{kN/m}$  程度で開口間の下側から ALC が割れるような音が、 $-1/1527\text{rad}$  となる $-19.6\text{kN/m}$  程度で開口 1 の左下側から ALC が割れるような音が確認された。ひび割れは、音が確認された試験体の左下部（写真①）に水平方向のひび割れが確認された。除荷後はひび割れが閉じたことが確認された。

荷重－変形関係はほぼ直線を示しており、ひび割れの程度も小さく、ひずみゲージ値の最大値も  $626\mu$  のため、損傷の程度は非常に軽微と考えられる。

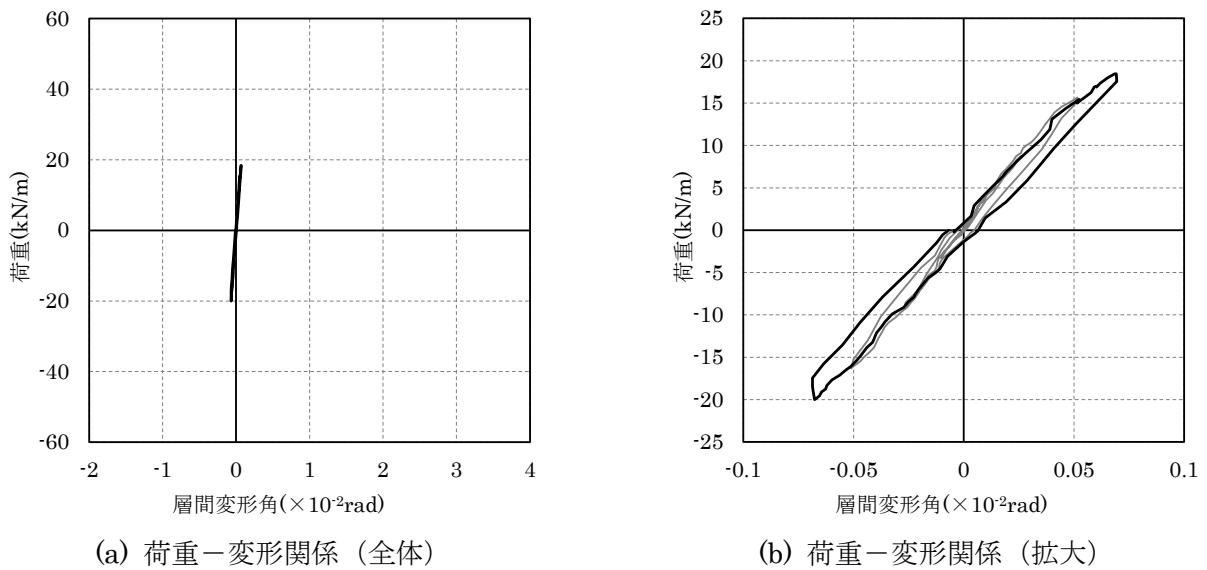
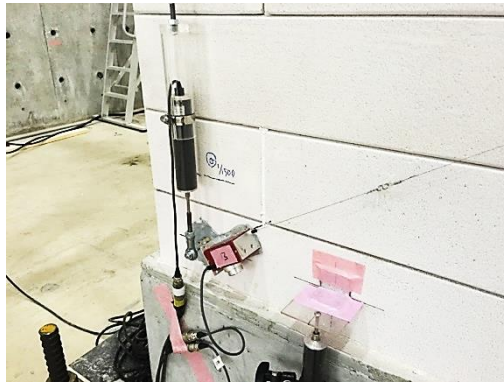
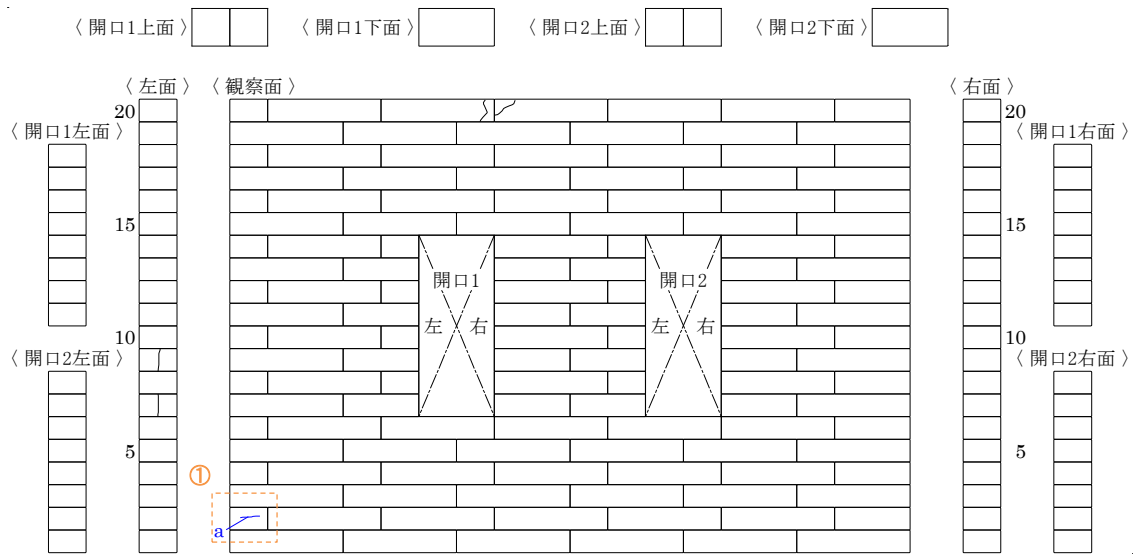


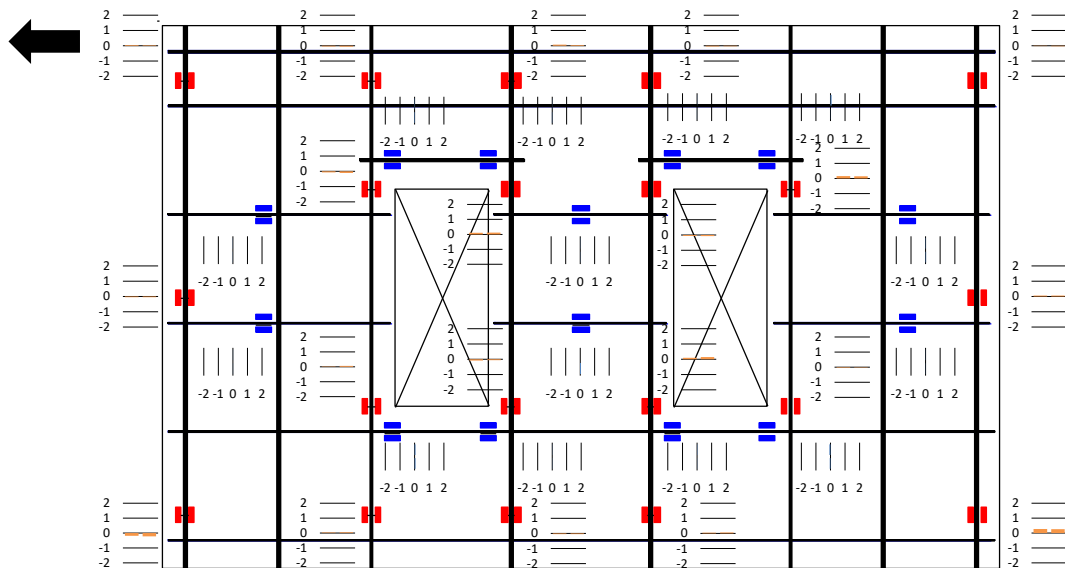
図 4.25-1 試験結果（ $\pm 1/1500\text{rad}$  サイクル）



(c) 写真①(-1/1500rad)



(d) ひび割れ図



(e) ひずみゲージ (正側)

図 4.25-2 試験結果 (±1/1500rad サイクル)



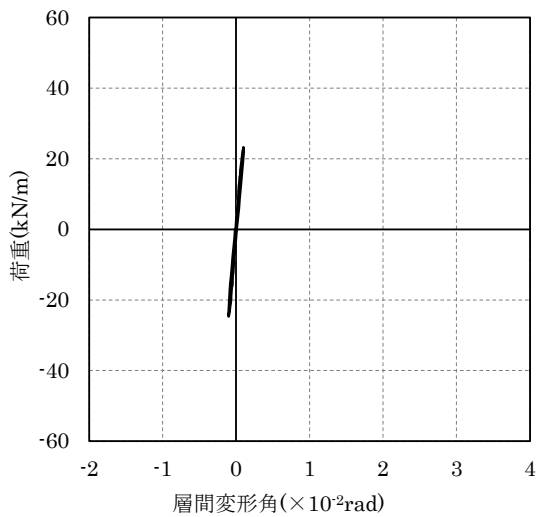
(4)  $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.26 に示す。

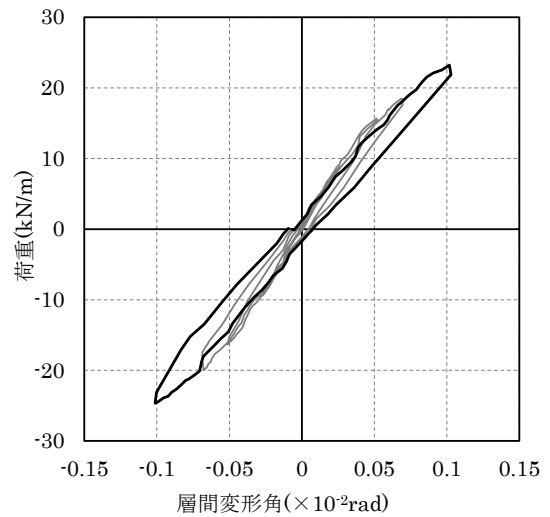
正側のサイクルでは、 $+1/1266\text{rad}$  となる  $+19.8\text{kN/m}$  で、 $+1/1159\text{rad}$  となる  $+21.6\text{kN/m}$  で、 $+1/1037\text{rad}$  となる  $+22.6\text{kN/m}$  で開口 2 の右側から ALC が割れるような乾いた音が確認された。ひび割れは、試験体の右下部（写真①）で水平方向のひび割れが、開口の右上隅角部と左下隅角部（写真②）および開口 1 の右上隅角部（写真③）で斜め方向のひび割れが確認された。除荷後、残留ひび割れは発生しなかった。

負側のサイクルでは、 $-1/1285\text{rad}$  となる  $-21.2\text{kN/m}$  程度を超えたあたりから、ALC およびグラウトが割れるような音が断続的に確認された。ひび割れは、開口 1 の左側に新たな水平方向のひび割れが、開口 1 の左上隅角部（写真④）と右下隅角部に斜め方向のひび割れが確認された。

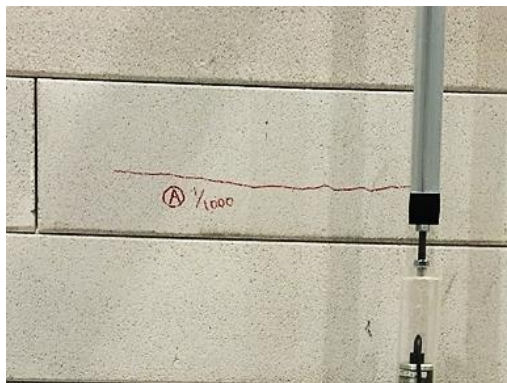
荷重－変形関係を見ると、ひび割れ音を確認され始めた  $\pm 1/1200\text{rad}$  程度となる  $\pm 20\text{kN/m}$  付近で剛性が低下し、やや膨らみを持った履歴となることが確認された。ひずみゲージ値の最大値は  $401\mu$  程度だが、軽微な損傷が生じ始めたものと考えられる。



(a) 荷重－変形関係（全体）



(b) 荷重－変形関係（拡大）

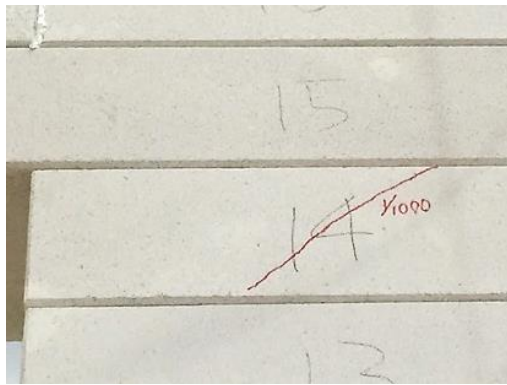


(c) 写真①( $+1/1000\text{rad}$ )



(d) 写真②( $+1/1000\text{rad}$ )

図 4.26-1 試験結果 ( $\pm 1/1000\text{rad}$  サイクル)



(e) 写真③(+1/1000rad)



(f) 写真④(-1/1000rad)

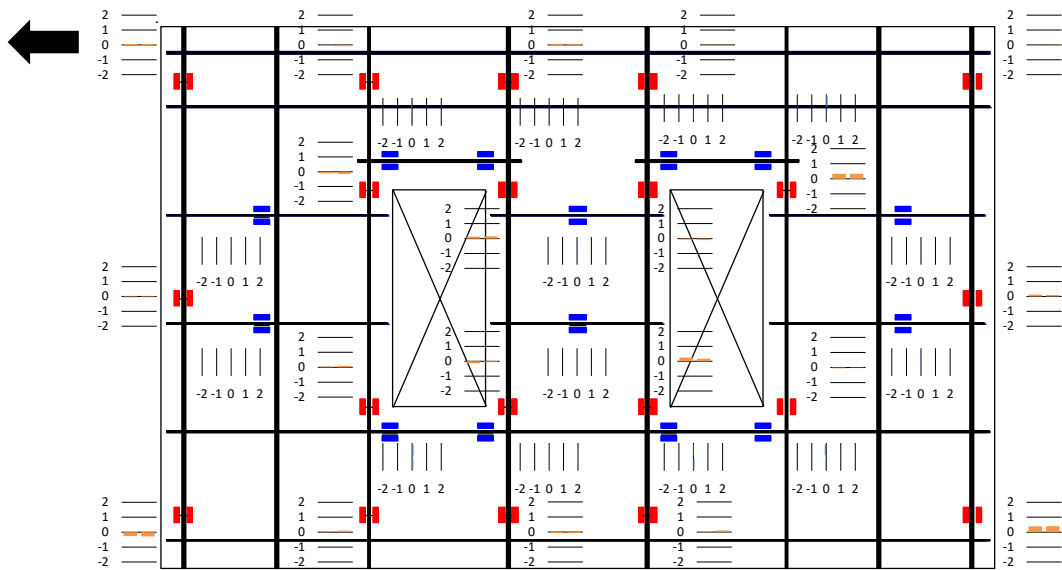
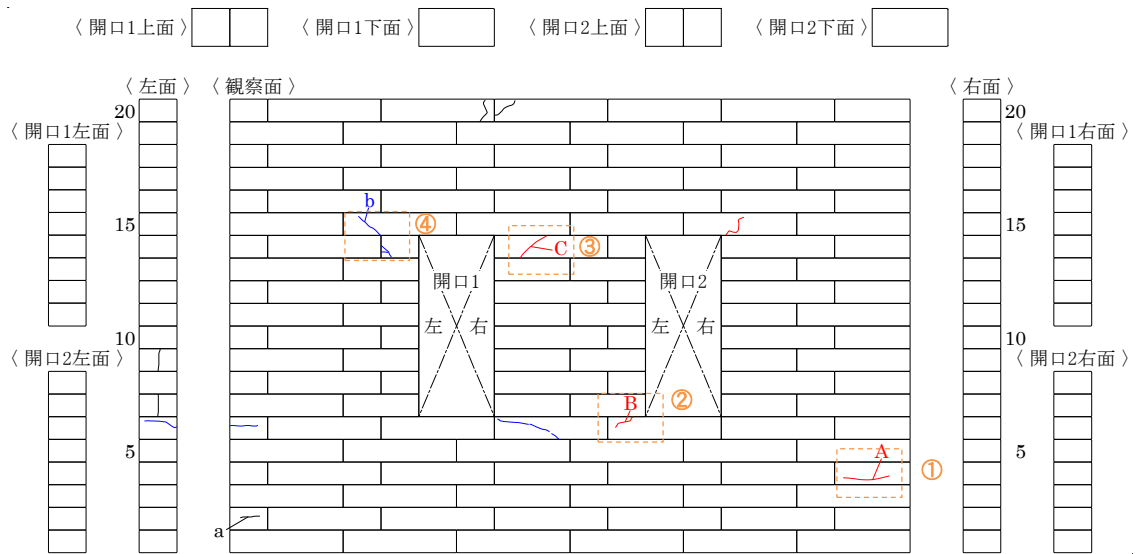


図 4.26-2 試験結果 (±1/1000rad サイクル)

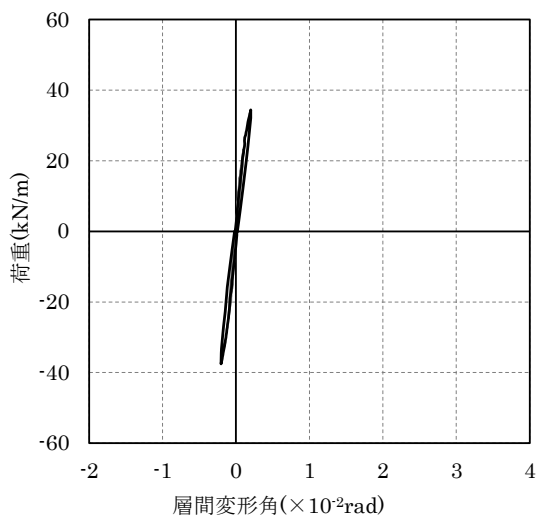
(5)  $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.27 に示す。

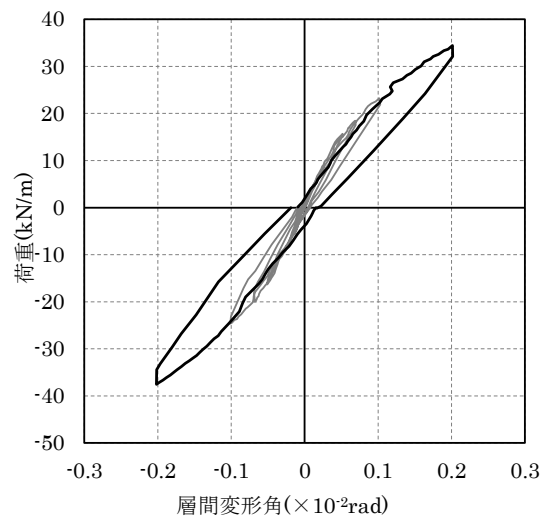
正側のサイクルでは、 $+1/946\text{rad}$  となる  $+23.1\text{kN/m}$  で ALC が割れるような音が確認された後、 $+1/717\text{rad}$  となる  $+28.1\text{kN/m}$  でグラウトが割れるような音が確認され、その後は断続的に音が確認された。ひび割れは、壁全体に斜め方向のひび割れが確認された。

負側のサイクルでは、 $-1/966\text{rad}$  となる  $-24.7\text{kN/m}$  程度で音が鳴り始め、その後は ALC やグラウトが割れるような音が断続的に確認された。ひび割れは、正側と対称的に壁全体にわたり斜め方向のひび割れが確認された。

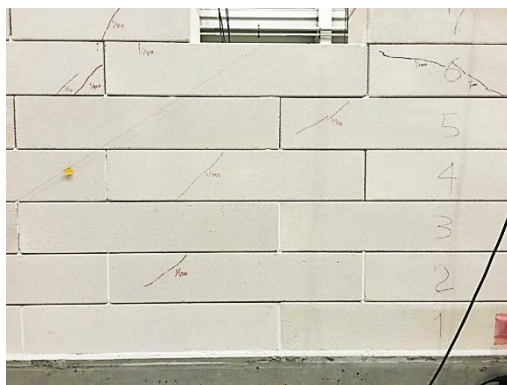
荷重-変形関係をみると、音が確認された  $\pm 1/1000\text{rad}$  となる  $\pm 24\text{kN/m}$  を超えたあたりから剛性が低下し、膨らみを持った履歴が確認された。ひずみゲージの最大値は  $825\mu$  と降伏には至っていないが、損傷の進展が確認された。ひずみゲージ値の分布をみると、正側加力では開口左右のそれぞれの壁の右側で引張ひずみ度が、左側下部で圧縮ひずみ度が発生していることが確認された。



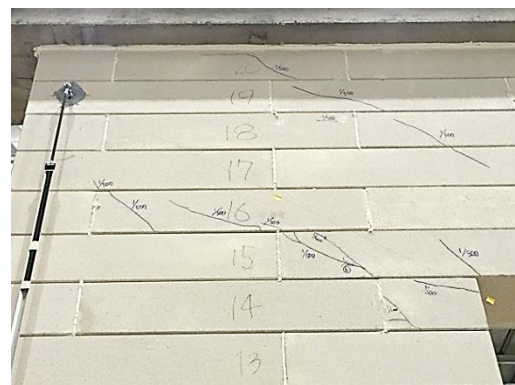
(a) 荷重-変形関係 (全体)



(b) 荷重-変形関係 (拡大)



(c) 写真①(+1/500rad)



(d) 写真②(-1/500rad)

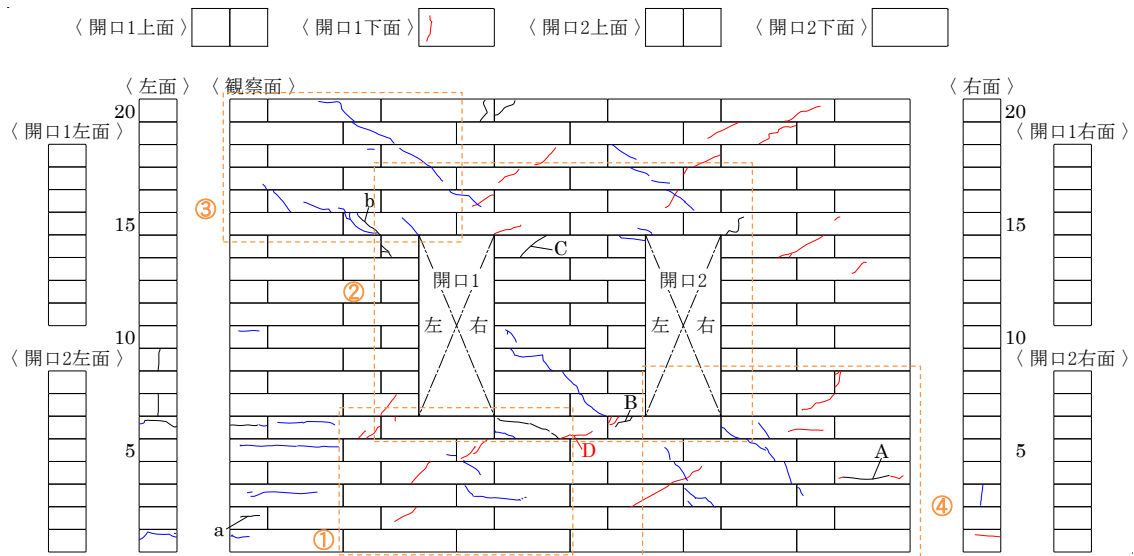
図 4.27-1 試験結果 ( $\pm 1/500\text{rad}$  サイクル)



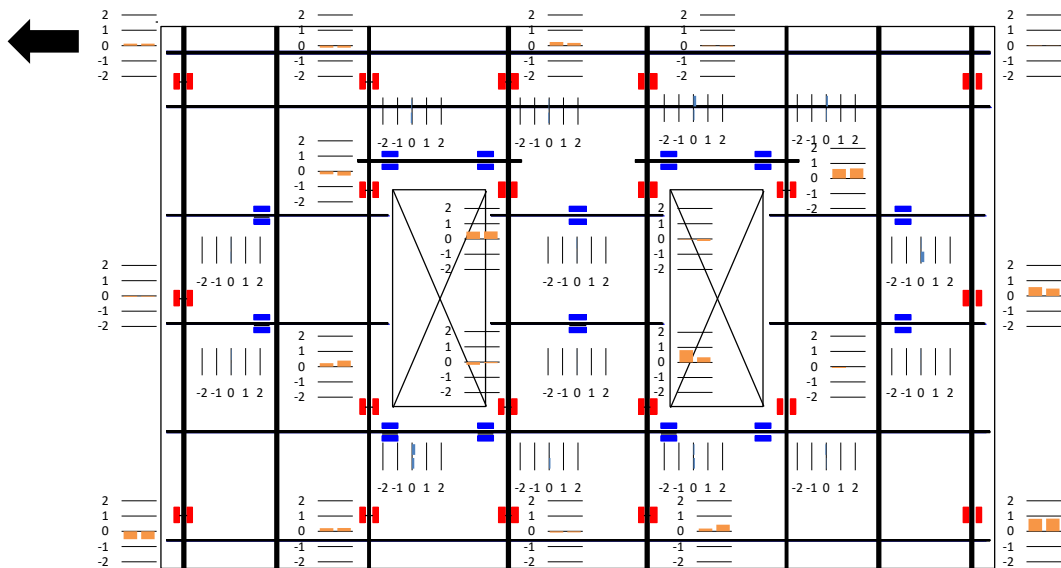
(e) 写真③(-1/500rad)



(f) 写真④(-1/500rad)



(g) ひび割れ図



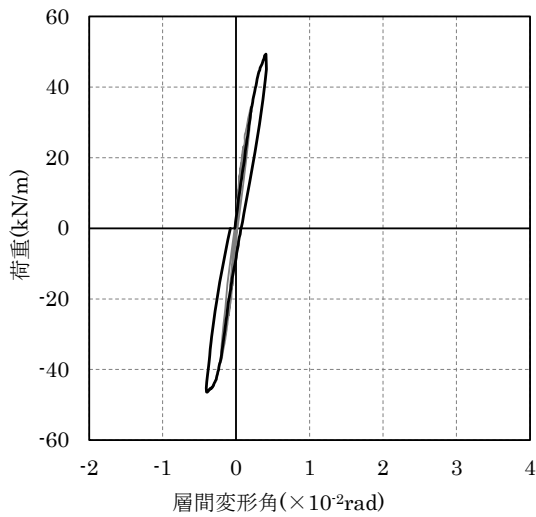
(h) ひずみゲージ (正側)

図 4.27-2 試験結果 (±1/500rad サイクル)

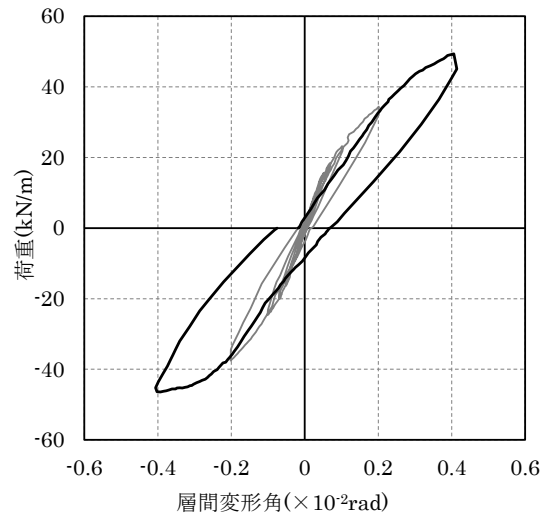
(6)  $\pm 1/250\text{rad}$  サイクル

試験結果を図 4.28 に示す。正側サイクルでは $+1/462\text{rad}$ となる $+34.8\text{kN/m}$ から ALC およびグラウトが割れるような音が確認され、その後も断続的に音が確認されながら剛性が低下した。その後、 $+1/332\text{rad}$ となる $+43.7\text{kN/m}$ でグラウトが割れるような音が確認された。ひび割れ図をみると、壁全体に斜め方向のひび割れが発生したほか、試験体左下小口部では圧縮による縦方向のひび割れが、試験体右側では新たな水平方向のひび割れが確認された。負側サイクルでは $-1/500\text{rad}$ 程度を超えたあたりから断続的にひび割れ音が確認され、正側サイクルと対称的にひび割れが発生したことが確認された。

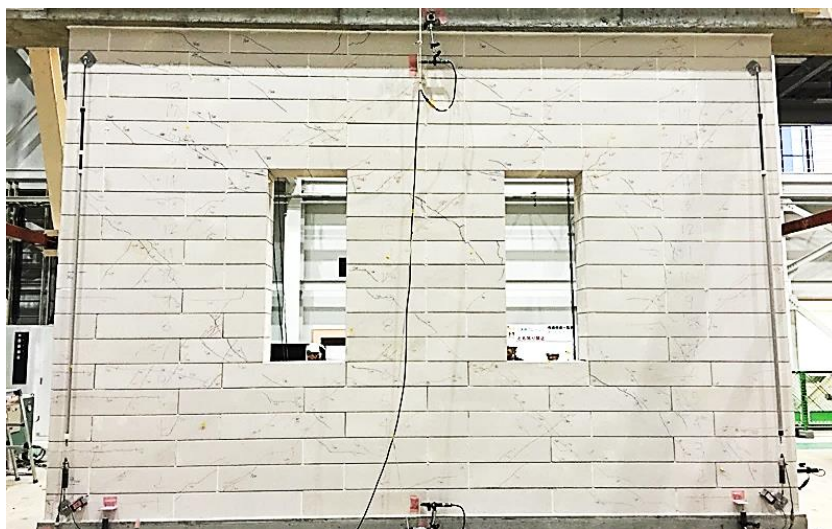
荷重－変形関係をみると、最大荷重を志向する紡錘型の履歴が確認された。ひずみゲージ値の最大値も  $1804\mu$  となり、降伏には至っていないが損傷の進展が確認された。



(a) 荷重－変形関係（全体）

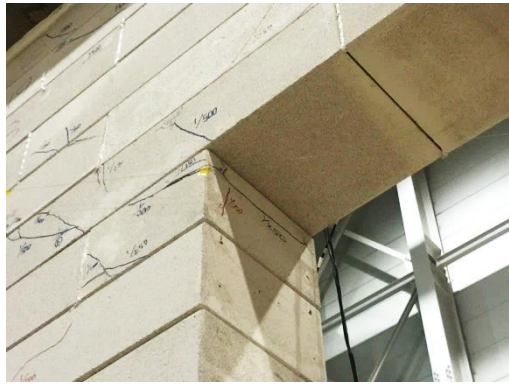


(b) 荷重－変形関係（拡大）

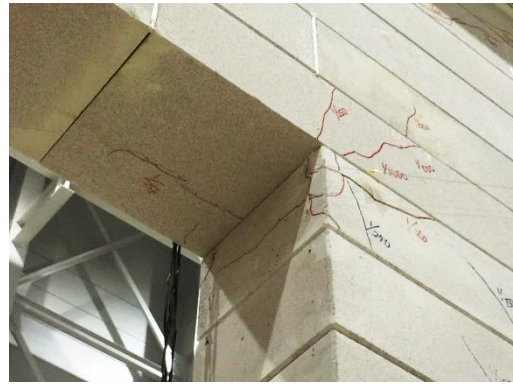


(c) 写真①(-1/250rad)

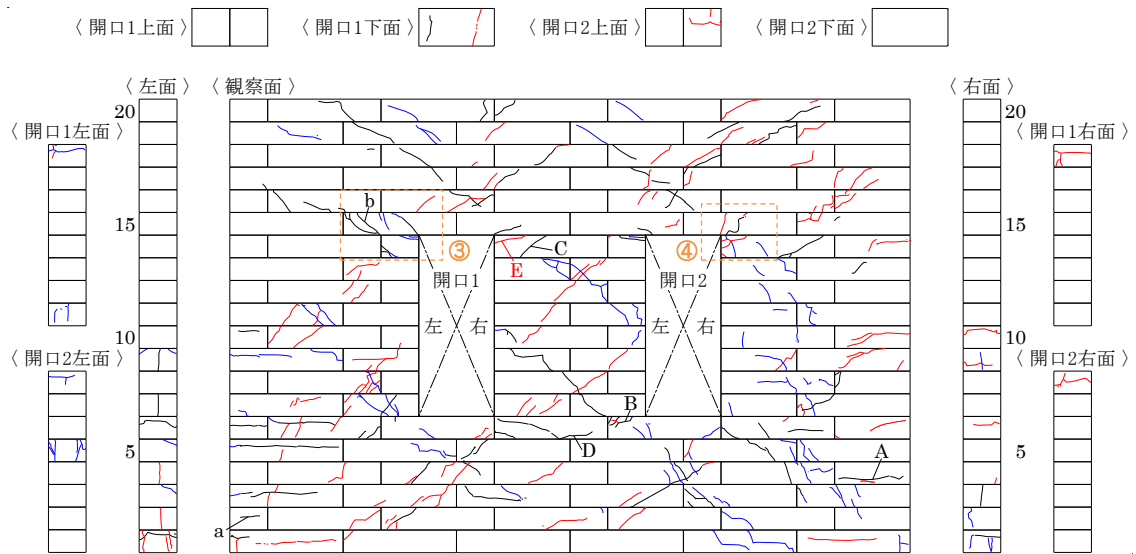
図 4.28-1 試験結果 ( $\pm 1/250\text{rad}$  サイクル)



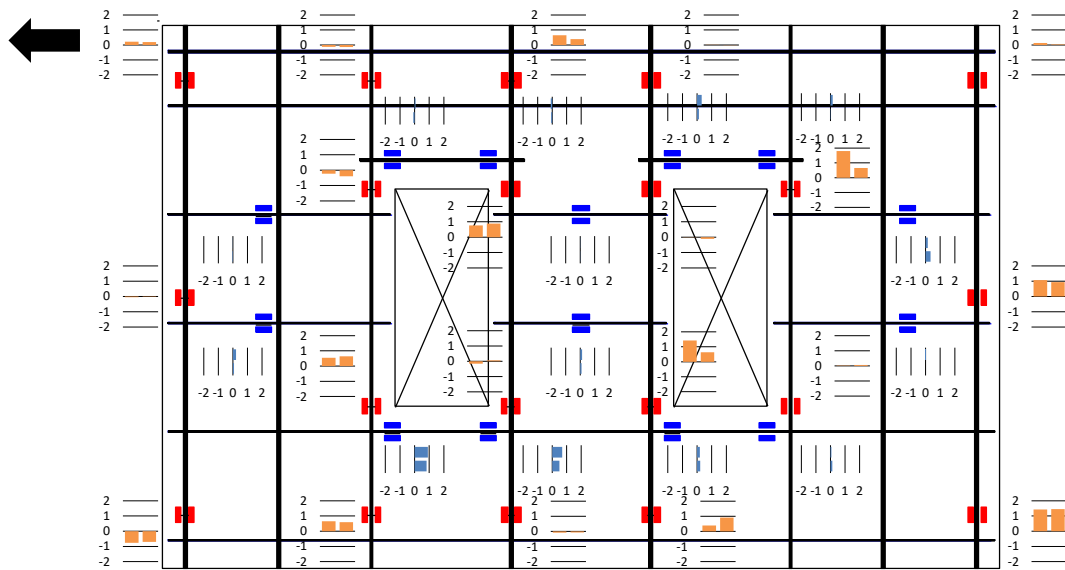
(d) 写真③(-1/250rad)



(e) 写真④(-1/250rad)



(f) ひび割れ図



(g) ひずみゲージ (正側)

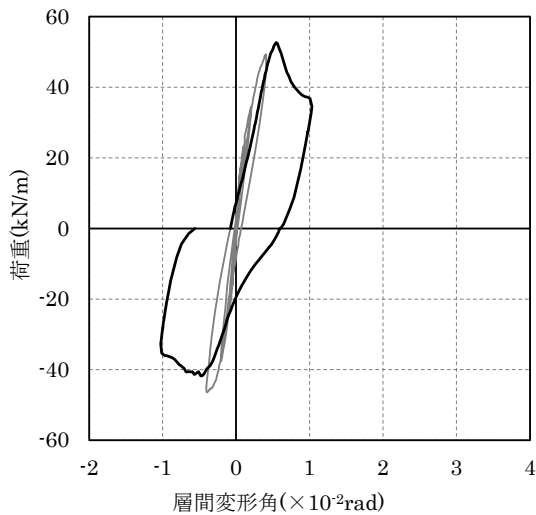
図 4.28-2 試験結果 (±1/250rad サイクル)

(7)  $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル

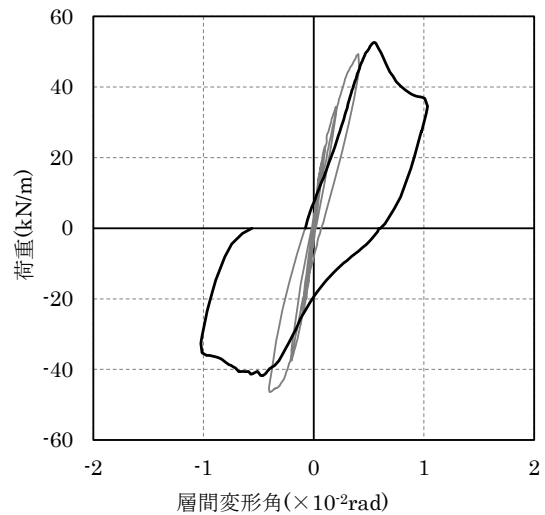
試験結果を図 4.29 に示す。本サイクル以降、ひび割れ図の記録は省略した。

正側サイクルでは、最大点を志向しながら荷重が増加し、 $+1/216\text{rad}$  となる $+49.0\text{kN/m}$  で開口 2 の右上隅角部の縦筋(E-4)の右側が降伏し、 $+1/191\text{rad}$  となる $+52.0\text{kN/m}$  で試験体右下の縦筋(F-1)が引張降伏した。その直後の $+1/182\text{rad}$  となる $+52.7\text{kN/m}$  で最大荷重を迎えた後、荷重が急激に低下しながら斜め方向のひび割れが進展して変形が進行し、 $+1/102\text{rad}$  となる $+37.1\text{kN/m}$  で試験体左中段の縦筋(A-3)が曲げ降伏して $+1/100\text{rad}$  に達した。ひび割れの様子を見ると、開口両脇の壁でブロックの目地に沿って斜め方向のひび割れが進展したことが確認された。ひずみゲージ値の分布をみると、正側加力では E-4 と A-3 で鉄筋の左側に引張ひずみが、右側に圧縮ひずみが確認され、試験体の水平方向のずれに対して縦筋が S 字に曲げ変形したことが分かる。また、試験体の斜め方向のひび割れが横筋を跨がずに発生したため横筋には引張ひずみがほとんど確認されておらず、せん断補強筋の効果が十分に得られなかったため最大荷重後の急激な荷重低下が生じたものと考えられる。

負側のサイクルでは、加力開始後にややすべりを伴いながら変形が進行し、その後は最大点を志向しながら荷重が上昇し、 $-1/217\text{rad}$  となる $-41.8\text{kN/m}$  で負側の最大荷重を迎えた。その後、徐々に荷重が低下しながら変形がすすみ、 $-1/130\text{rad}$  となる $-38.7\text{kN/m}$  で開口 1 の左下隅角部の縦筋(B-2)の右側が降伏し、 $-1/100\text{rad}$  に達した。ひび割れの様子を見ると、正側加力と同様にブロックの目地に沿って横筋を跨がずに斜め方向にひび割れが生じ、試験体の水平方向にずれが生じたことが確認された。

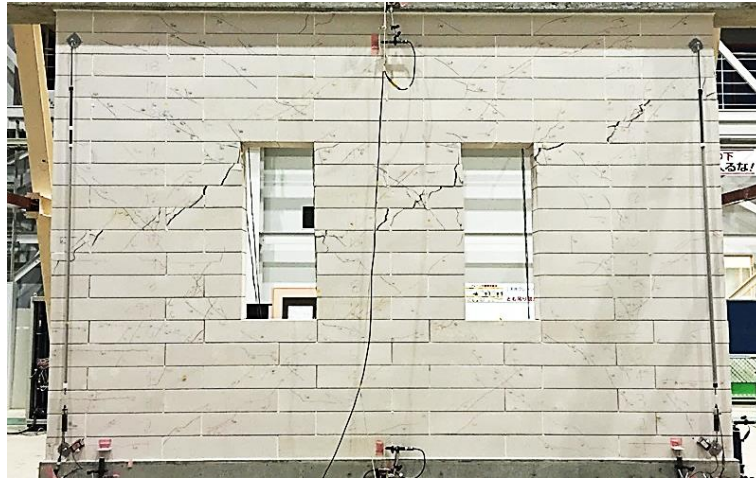


(a) 荷重－変形関係 (全体)

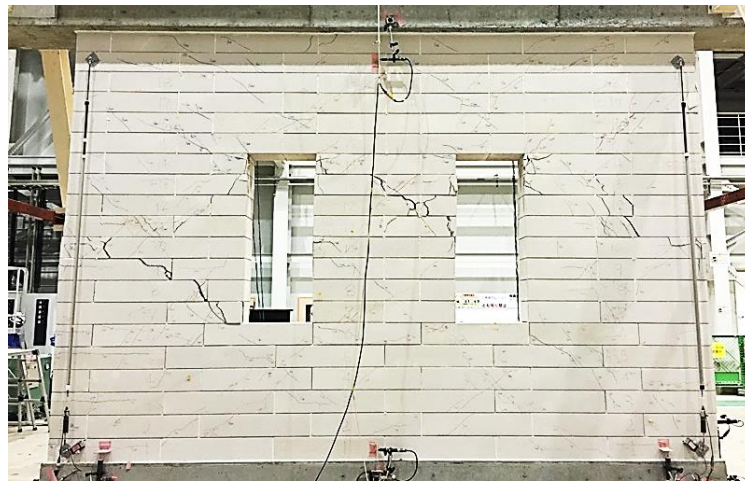


(b) 荷重－変形関係 (拡大)

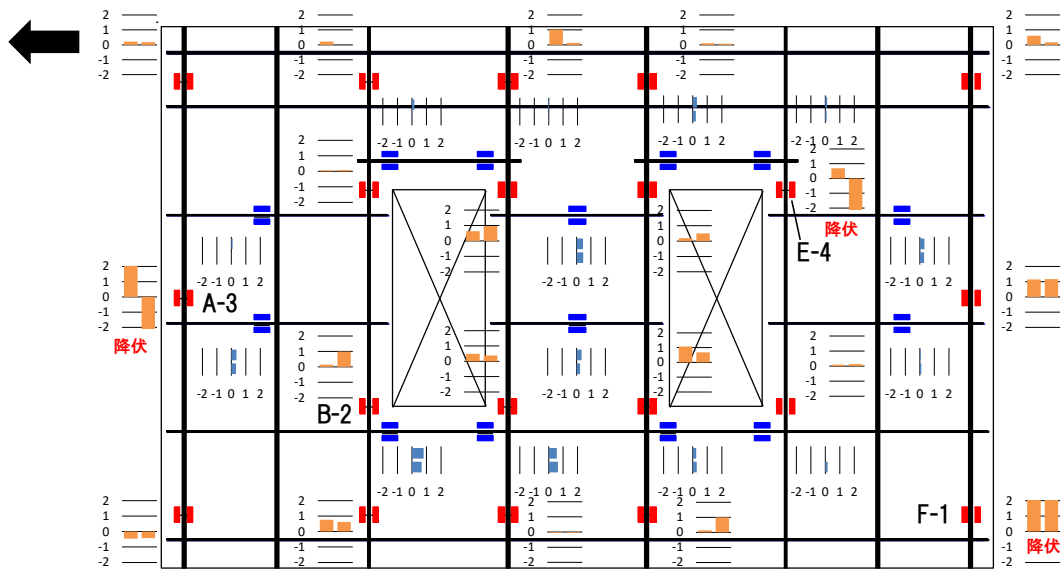
図 4.29-1 試験結果 ( $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル)



(c) 写真①(+1/100rad)



(d) 写真②(-1/100rad)



(e) ひずみゲージ (正側)

図 4.29-2 試験結果 ( $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル)

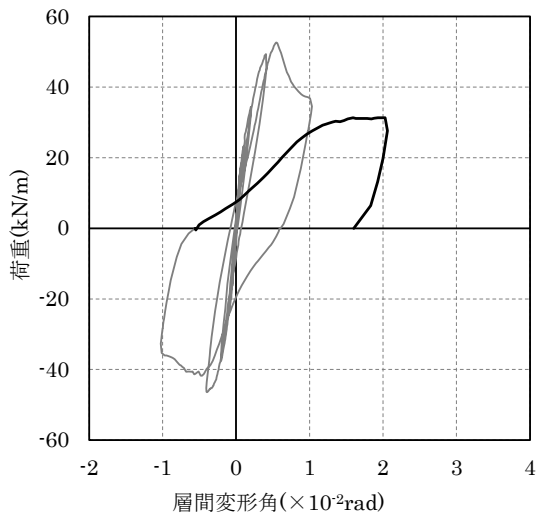


(8) 最大変形角

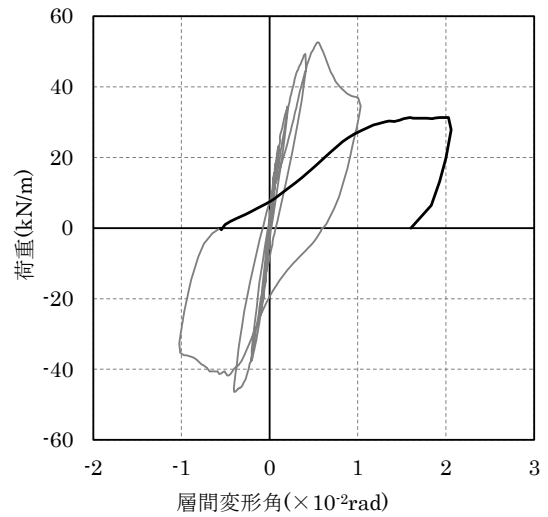
試験結果を図 4.30 に示す。

加力開始後はすべりを伴いながら変形が進行し、その後最大変形点を志向しながら荷重が上昇した。荷重は+30kN/m 程度で一定となり、+1/100rad で確認された斜め方向のひび割れが拡大しながら変形が進行し、+1/50rad に達した時点で加力を終了した。+1/50rad 時点のひずみゲージ値の分布をみると、+1/100rad 時点と同様に縦筋の引張降伏や S 字の曲げ変形状態が確認され、横筋には引張ひずみはほとんど発生していないことが確認された。

破壊性状は、縦筋の曲げ降伏後に斜め方向のひび割れの発生により急激な荷重低下と変形の進行が確認されたことから、曲げ降伏後のせん断破壊と判断した。

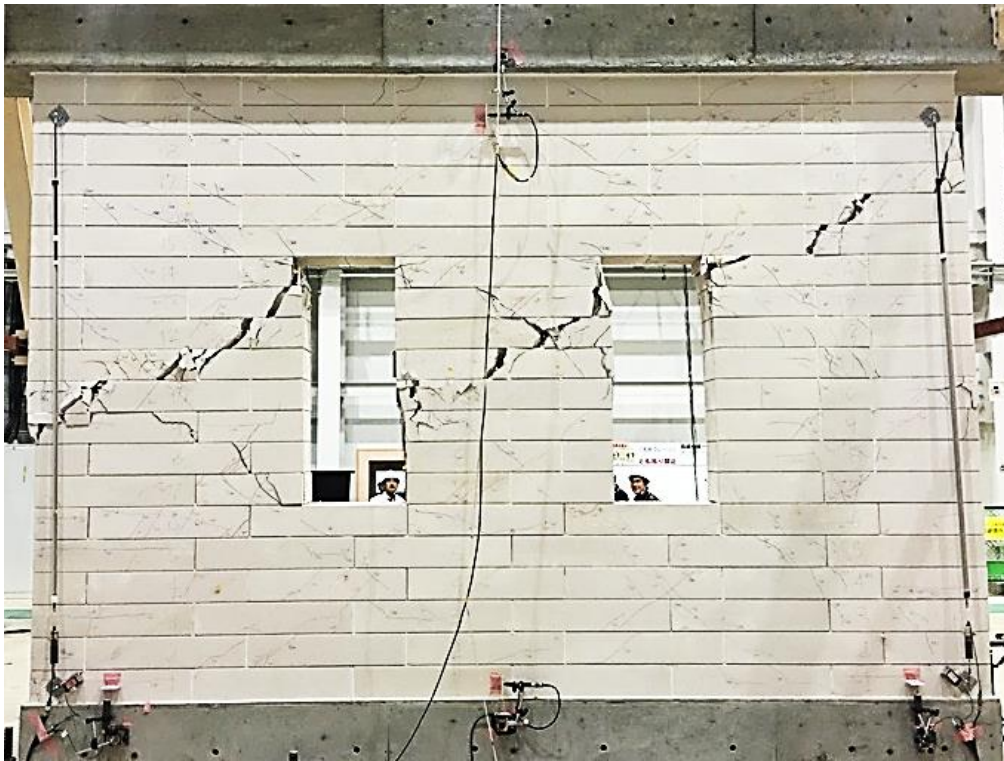


(a) 荷重－変形関係（全体）

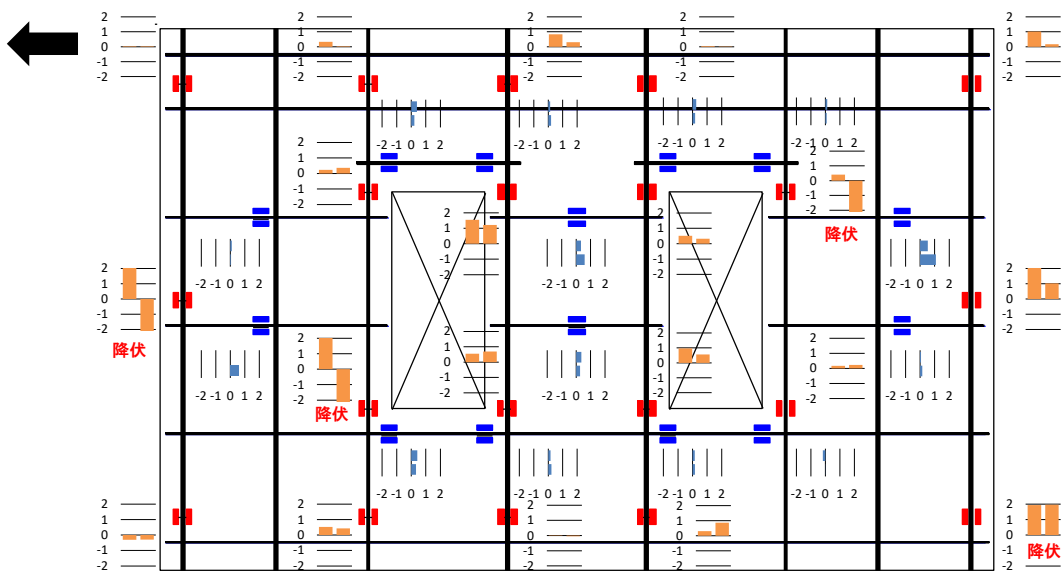


(b) 荷重－変形関係（拡大）

図 4.30-1 試験結果（最大変形角）



(c) 全体写真(最大変形角)



(d) ひずみゲージ (+1/50)

図 4.30-2 試験結果 (最大変形角)

### 4.3.2 試験体と基礎および加力梁のずれの確認

本項では、加力状況を確認するため、試験体と基礎や加力梁のずれ、基礎からの試験体の浮上りについて確認する。測定計画の代表図を図 4.31 に、荷重とずれの関係を図 4.32 の左側に、荷重と浮上りの関係を図 4.32 の右側に示す。図 4.31 には、図 4.32 に示すすべりと浮き上がりの測定箇所を赤色で示した。InWO-A37-w45-20012 では、単調載荷時にひび割れの影響で脚部浮上り左(NO.6)の変位計の取付け位置が不安定になったため、単調載荷直前の負側のサイクルまでを記載した。InWO-A37-w45-20021 ではひび割れの影響により+1/250rad で脚部浮上り左(NO.6)の変位計の取付け位置が、-1/100rad で脚部ずれ(NO.8)の変位計の取付け位置が不安定になったため、それぞれの直前のサイクルまで記載した。

脚部の浮上りについて、水平変位が 30mm 程度となる $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル時に最大で 0.25mm 程度と小さいことが分かる。また、頂部および脚部の RC 梁と試験体のずれに関しても同様に、 $\pm 1/100\text{rad}$  サイクル時に最大で 0.25mm 程度であり、試験体の変形と比較して 1/100 以下と小さいことが分かる。以上より、無開口壁と同様、RC スタブと試験体の間ではすべりや浮上りの影響が小さいことが確認された。

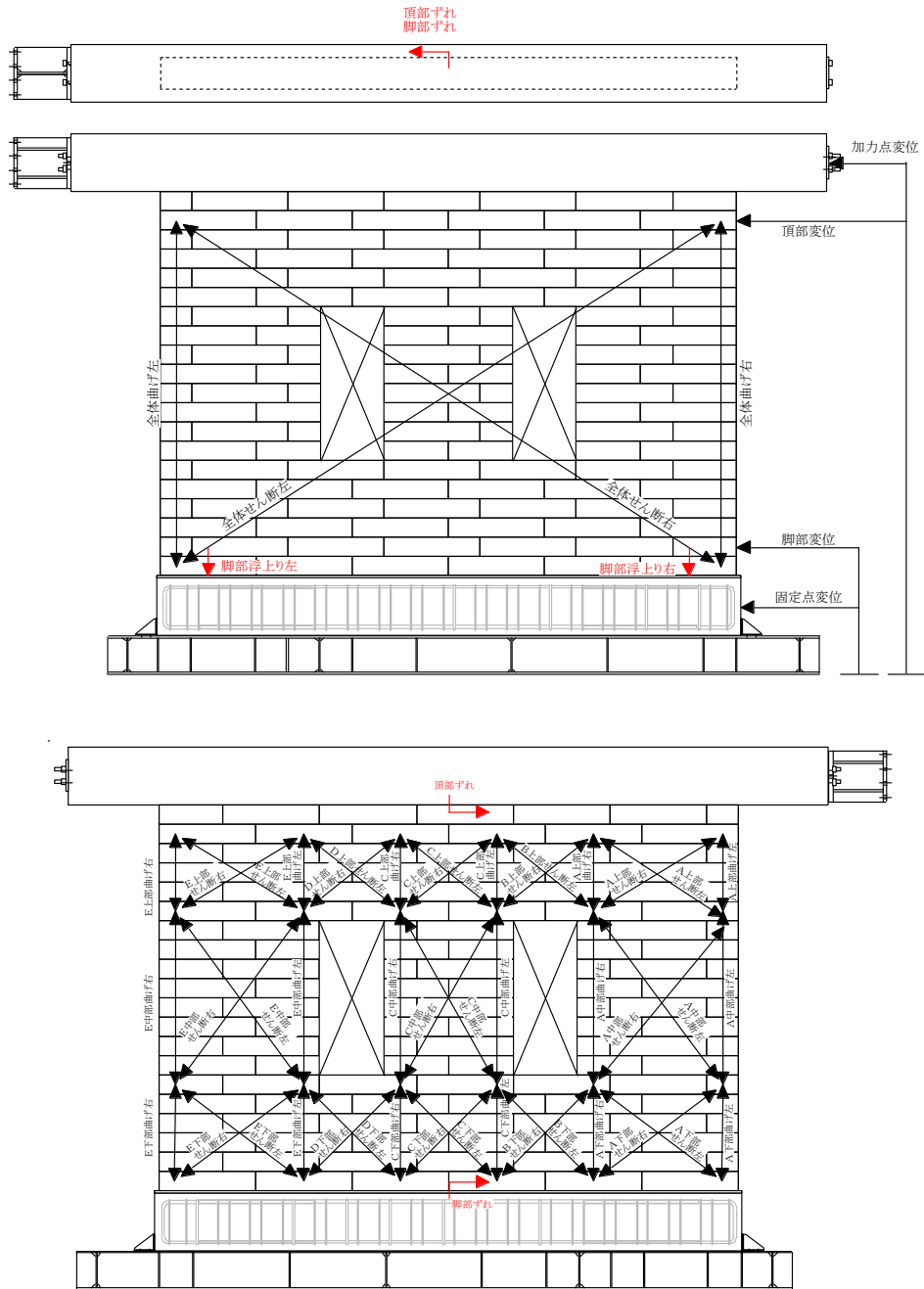
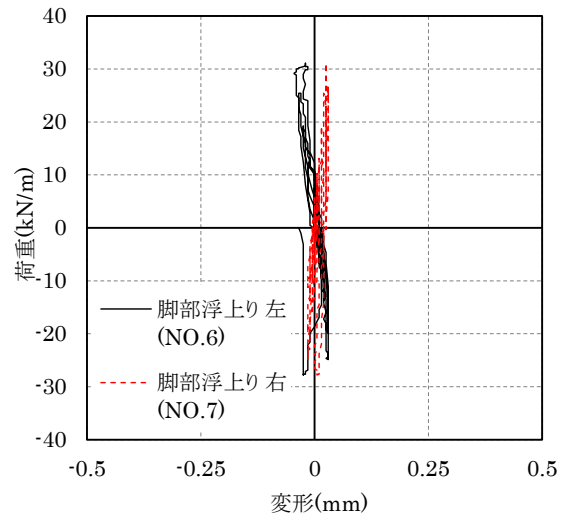
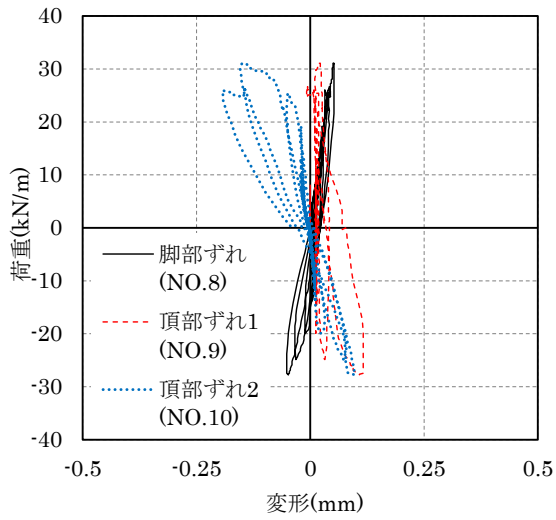
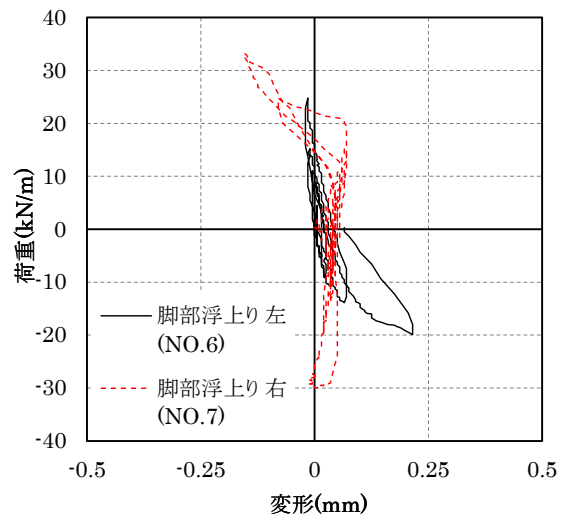
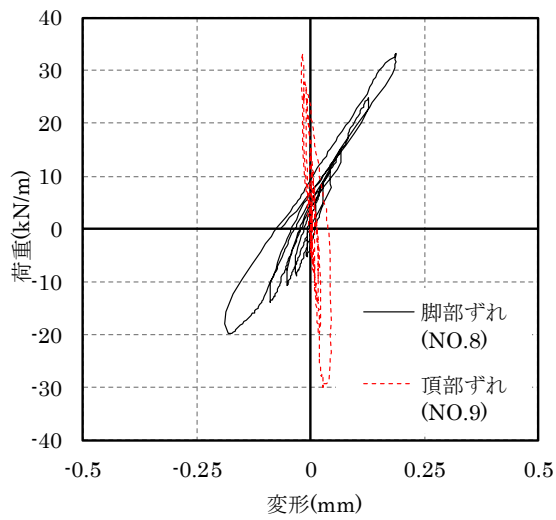


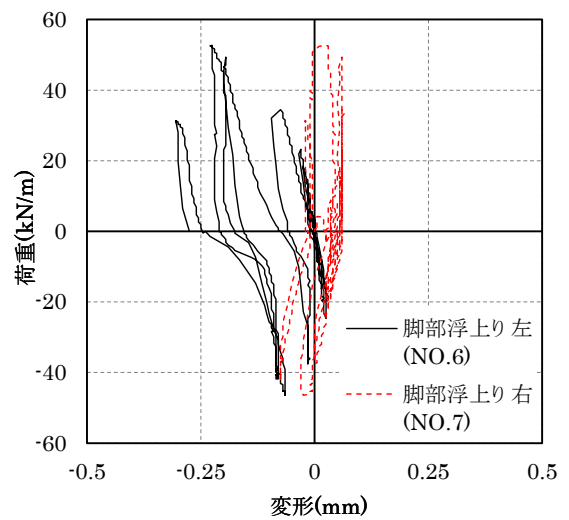
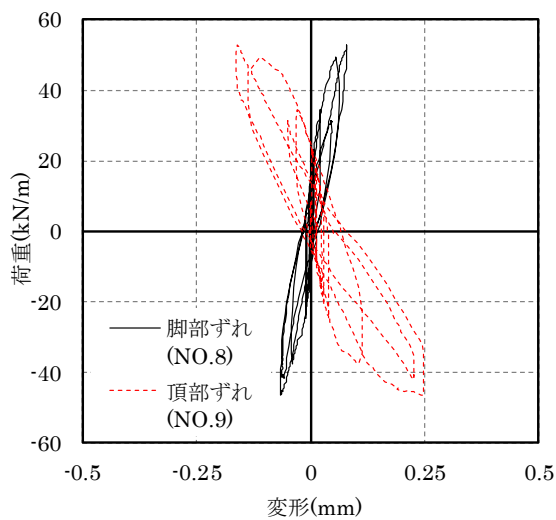
図 4.31 測定計画の代表図



(a) InWO-A37-w45-20012



(b) InWO-A37-w45-20021



(c) InWO-A37-w45-2\_06012

図 4.32 荷重と浮上りの関係および荷重とずれの関係

### 4.3.3 InWO-A37-w45-20012 における鋼管の軸力の確認

本項では、InWO-A37-w45-20012 においてそれぞれの層間変形角に対する鋼管に作用する軸力を確認する。荷重 $P$ に対する鋼管の軸力 $P_{pipe}$ の比率 ( $P_{pipe}/P$ ) と層間変形角の関係を図 4.33 に示す。鋼管の軸力は、鋼管に貼り付けた 2 枚のひずみゲージの平均値に断面積  $3963\text{mm}^2$  <sup>4.2)</sup>と鋼材のヤング係数  $205\text{kN/mm}^2$  <sup>4.3)</sup>を乗じて求めた。

鋼管の軸力は、正側では  $1/1500\text{rad}$  までは荷重の 3 割程度とその比率は小さく、その後は 50%程度の荷重を伝達していたのに対し、負側では  $1/250\text{rad}$  まではほとんど軸力を伝達していないことが確認された。ジャッキから伝達される水平力が開口右側の壁へ伝達する力の流れを考えると、図 4.34 に示すように鋼管と開口上部のまぐさ部の 2 つの経路がある。鋼管のピン接合部にはわずかな隙間があったため、まぐさ部の軸方向変形量が鋼管部に生じていた隙間に達するまでは、鋼管部には軸力が生じないものと考えられる。まぐさ部には正側加力では横筋部分に引張力が、負側加力ではブロック部分に圧縮力が作用するが、まぐさ部の引張剛性は圧縮剛性よりも小さいため、正側加力では  $1/1500\text{rad}$  程度以降に、負側では  $1/250\text{rad}$  程度以降に鋼管接合部の隙間が吸収され、鋼管部に軸力が生じたものと考えられる。

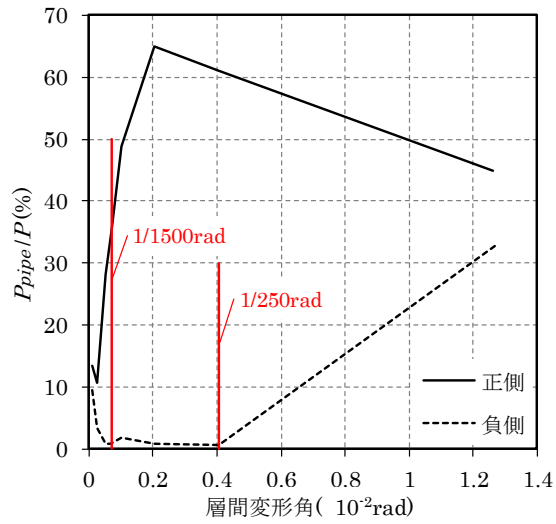


図 4.33 荷重に対する鋼管の軸力の比率と層間変形角の関係

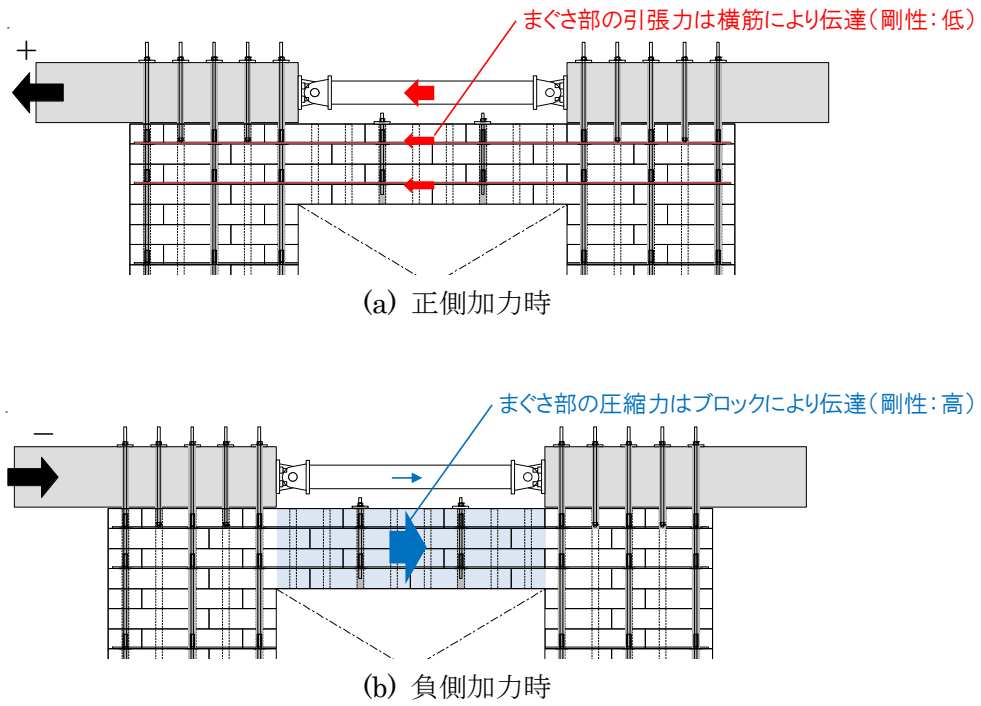


図 4.34 鋼管とまぐさ部の正負の軸力伝達状況の違い

#### 4.3.4 ひび割れ状況およびひび割れ幅と層間変形角の関係

本項では、各試験体の加力サイクルごとのひび割れ状況とひび割れ幅を詳細に述べる。正側加力により発生したひび割れ図を図 4.35 に、各荷重サイクルの最大ひび割れ幅および残留ひび割れ幅一覧を表 4.8 に示す。表 4.8 の大文字の A, B, C...は正側加力により発生したひび割れを、小文字の a, b, c...は負側加力により発生したひび割れを表し、図 4.35 および 4.3.1 項で示したひび割れ図の記号と対応する。それぞれのひび割れは水平方向に発生したひび割れを曲げひび割れと、開口隅角部を除いて斜め方向に発生したひび割れをせん断ひび割れと、圧縮側脚部の鉛直方向に発生したひび割れを圧縮ひび割れと判断した。開口隅角部に発生したひび割れは、表 4.8 では“開口隅角”と表記した。ひび割れ幅の測定は、各種類のひび割れに対して目視にてひび割れ幅が最大と確認されたひび割れについて主に記録を行った。各サイクルにおける最大変形角時におけるひび割れ幅を“最大”、除荷後のひび割れ幅を“除荷”とし、除荷後にひび割れ幅が 0.03mm 以上のものを残留ひび割れ有と判断した。

開口周比が 0.4 を超える InWO-A37-w45-20012 および InWO-A37-w45-20021 では、開口隅角部のひび割れの他、開口両脇の壁の引張側で加力初期に曲げひび割れが発生し、その後壁中央部にせん断ひび割れが発生する様子が確認された。一方、開口周比が 0.4 以下の InWO-A37-w45-2\_06012 では、試験体右下で水平方向のひび割れが確認されたが、せん断ひび割れは試験体全体で目立つ結果となった。開口周比が 0.4 を超える試験体では、開口部両側の壁がそれぞれ独立した壁として挙動する傾向が強く、開口周比が 0.4 を下回る試験体では開口部を含めた壁全体が一体となって挙動する傾向が強いものと考えられる。

表 4.8 に示した残留ひび割れ幅をみると、すべての試験体で $\pm 1/1500\text{rad}$  までは残留ひび割れが発生しておらず、ひび割れも局所的な範囲にとどまるのに対し、 $\pm 1/500\text{rad}$  では壁全体にひび割れが進行したことが確認された。このことから、 $1/1500\text{rad}$  までは損傷の程度が非常に小さいと考えられる。



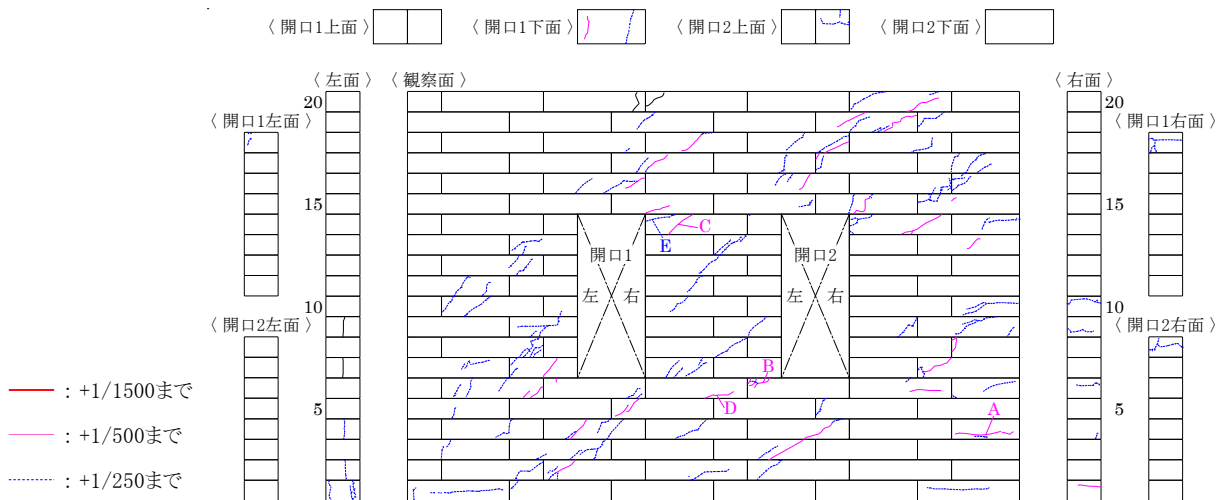
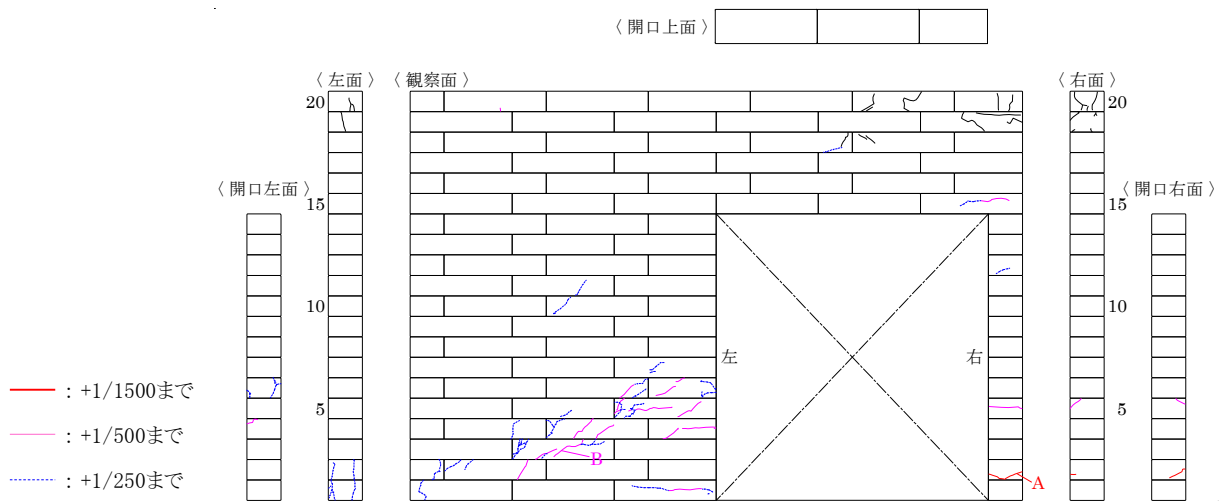
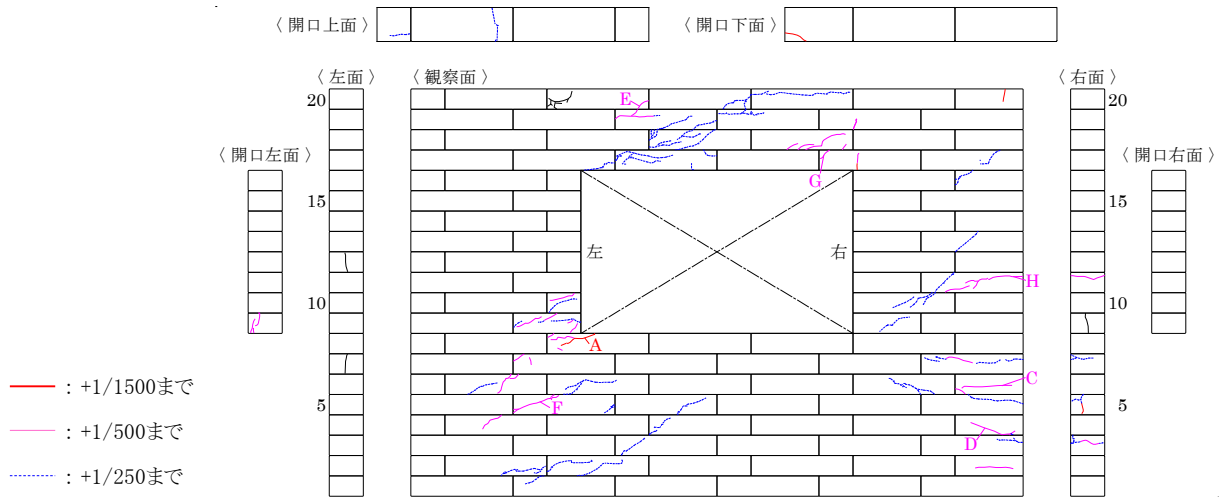


図 4.35 正側加力により発生したひび割れ図

表 4.8 各荷重サイクルの最大ひび割れ幅および残留ひび割れ幅一覧

(a) InWO-A37-w45-20012

記号	加力方向	ひび割れ種類	加力状況	ひび割れ幅(mm)					備考
				±1/2000	±1/1500	±1/1000	±1/500	±1/250	
A	正側	開口隅角	最大	0.04	0.20	0.45	0.70	2.10	-
			除荷	0	0	0.03未満	0.08	0.30	
B		開口隅角	最大	-	0.04	0.04	0	0	-
			除荷	-	0	0	0	0	
C		曲げ	最大	-	-	0.04	0.06	0	-
			除荷	-	-	0	0	0	
D		曲げ	最大	-	-	-	0.04	0.20	-
			除荷	-	-	-	0	0.04	
E	せん断 (まぐさ部)	最大	-	-	-	0.60	4.00 <sup>*1</sup>	*1: まぐさ中心部の測定結果	
		除荷	-	-	-	0.40	2.00 <sup>*1</sup>		
F	せん断 (壁部)	最大	-	-	-	0.20	0.50	-	
		除荷	-	-	-	0.03	0.06		
G	開口隅角	最大	-	-	-	0.55	0.25	-	
		除荷	-	-	-	0.10	計測無		
H	曲げ	最大	-	-	-	0.20	0.35	-	
		除荷	-	-	-	0	0.03		

(b) InWO-A37-w45-20021

記号	加力方向	ひび割れ種類	加力状況	ひび割れ幅(mm)					備考
				±1/2000	±1/1500	±1/1000	±1/500	+1/250 -1/100	
A	正側	曲げ	最大	0.03	0.04	0.15	0.35	0.35	-
			除荷	0.03以下	0.03以下	0.03以下	0.04	0.10	
a	負側	開口隅角	最大	-	0.03	0.08	0.25	計測無	-
			除荷	-	0	0	計測無	計測無	
b		曲げ	最大	-	-	0.08	0.15	計測無	-
			除荷	-	-	計測無	計測無	計測無	
B	正側	せん断	最大	-	-	-	0.15	2.50	-
			除荷	-	-	-	0	2.00	

(c) InWO-A37-w45-2\_06012

記号	加力方向	ひび割れ種類	加力状況	ひび割れ幅(mm)					備考
				±1/1500	±1/1000	±1/500	±1/250	±1/100	
a	負側	曲げ	最大	0.03以下	計測無	計測無	計測無	計測無	-
			除荷	0	-	-	-	-	
A	正側	曲げ	最大	-	0.03	0.15	0.25	計測無	-
			除荷	-	0	0.03以下	0.04	計測無	
B		開口隅角	最大	-	0.06	0.10	0.45	計測無	-
			除荷	-	0	0.04	0.20	計測無	
b	負側	せん断	最大	-	0.15	計測無	計測無	計測無	-
			除荷	-	計測無	計測無	計測無	計測無	
C	正側	せん断	最大	-	-	0.15	0.00	計測無	-
			除荷	-	-	0	計測無	計測無	
D		せん断	最大	-	-	0.15	0.10	計測無	-
			除荷	-	-	0	計測無	計測無	
E	開口隅角	最大	-	-	-	0.85	計測無	-	
		除荷	-	-	-	0.50	計測無		
左側壁 最大値(正側)			最大	-	-	-	10.0	目視で最大のひび割れ幅と判断したもののみ計測	
左側壁 最大値(正側)			除荷	-	-	-	8.5		
中央部壁 最大値(正側)			最大	-	-	-	14.0	"	
中央部壁 最大値(正側)			除荷	-	-	-	10.0		
右側壁 最大値(正側)			最大	-	-	-	14.0	"	
右側壁 最大値(正側)			除荷	-	-	-	9.5		

#### 4.3.5 破壊性状および荷重－変形関係のまとめと開口による剛性低下率の確認

本項では、各試験体の破壊性状と荷重－変形関係をまとめ、その結果を比較する。また、本章の実験結果を第3章で行った無開口壁の実験結果と比較し、開口による剛性への影響を確認する。

実験結果一覧を表4.9に、各試験体の最終破壊状況と鉄筋の関係を図4.36に、荷重－変形関係の比較を図4.37に示す。表4.9と図4.37には、第3章のInW-A37-w45の実験結果を併記した。InW-A37-w45の層間変形角は、有開口壁と条件をそろえるために試験体上部と下部の変位計の相対変位を測定区間で除した値とした。表4.9には、+1/1500rad時における有開口壁の剛性 $K_{op}$ を無開口壁の剛性 $K_0$ で除した値 $K_{op}/K_0$ （以下、剛性低下率）を示した。図4.37(d)には無開口壁と有開口壁の包絡線を示した。包絡線は加力サイクルと観察に伴う除荷の影響を除いたものとし、+1/100radまでの値を示した。

##### (1) 各試験体の破壊性状と荷重－変形関係の比較

各試験体の最終破壊状況を比較すると、3体とも開口両側の壁部分に水平方向のずれが生じて破壊したことが確認された。InWO-A37-w45-20012では開口両側の壁に加えてまぐさ部全体にも斜め方向のひび割れが生じたが、これは開口部により耐力壁がラーメンフレームのように挙動したためと考えられる。第1章で示すように本構法の2階床は壁に取り付けられた金物に木梁を接合して設置されるが、開口上部のまぐさ部に木梁を接合すると地震時にまぐさ部の損傷により2階床が落下する可能性がある。そのため、第1章で示したM12のまぐさ補強筋のように、まぐさ部の損傷を抑えるためのせん断補強筋を配筋し、まぐさ部に2階床を受ける木梁を接合しないなどの設計上の配慮が必要と考えられる。

有開口壁3体の荷重－変形関係を比較すると、全ての試験体で1/1500rad程度までであれば荷重－変形関係はほぼ直線を示し、4.3.4項に示すように損傷の程度も小さいことから弾性範囲と見なすことが出来ると考えられる。

最大荷重後の荷重－変形関係を比較すると、InWO-A37-w45-2\_06012では最大荷重後に急激な荷重低下みられた。これは図4.36(c)に示すように試験体の斜め方向のひび割れが横筋を跨がずに発生したため、せん断補強筋の効果が十分に得られなかったことによるものと考えられる。一方、せん断破壊を示したInWO-A37-w45-20021は、最大荷重後の荷重低下が小さく、加力梁の重量を保持しながら一定の水平力を保っていたことが分かる。これは、試験体の斜め方向のひび割れが横筋を跨ぐように配置されていたことから、せん断破壊後も一定の水平力に抵抗できたものと考えられる。建物全体の安全性を考えると、InWO-A37-w45-2\_06012で示した急激な荷重低下は建物の倒壊につながる恐れがあるため、第1章で示すように開口部により壁幅の短い壁が残る場合は300mm間隔で横筋を配筋して急激な荷重低下を防ぐような設計上の配慮が必要と考えられる。

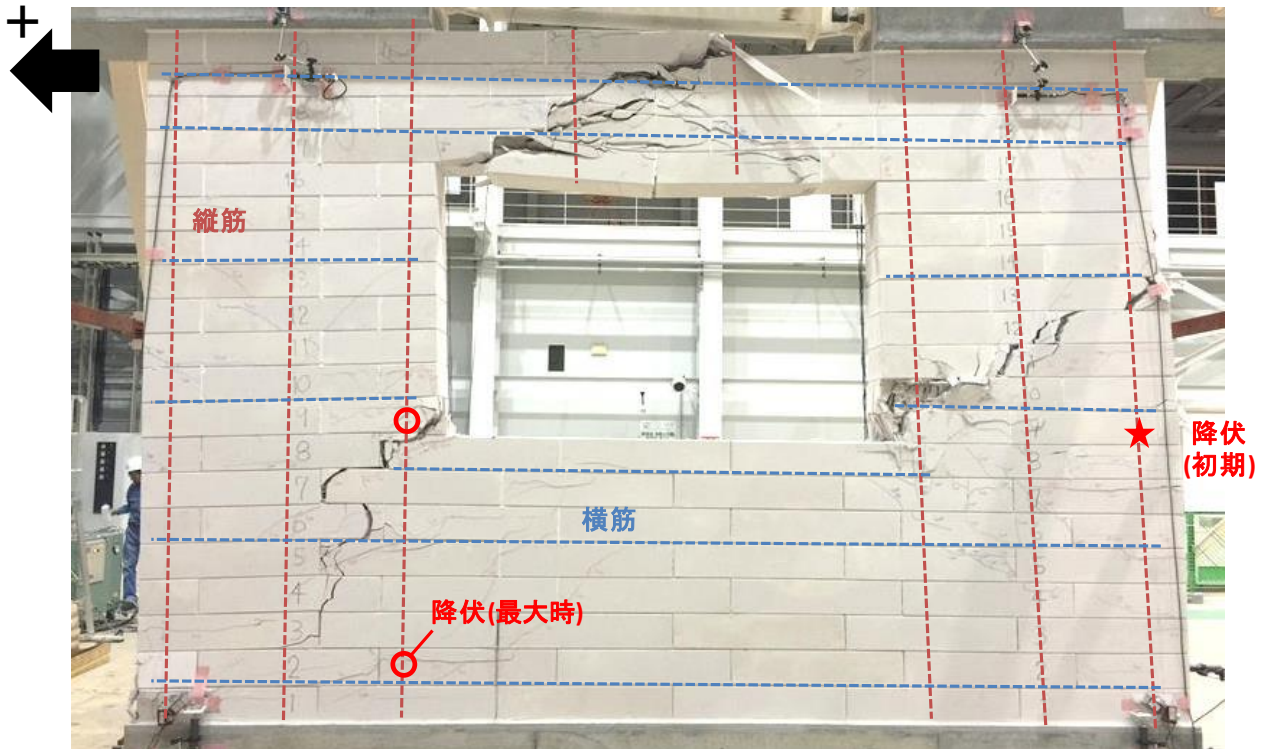
## (2) 開口による剛性低下率の確認

剛性低下率 $K_{op}/K_o$ は、InWO-A37-w45-20012 で 0.35 が、InWO-A37-w45-20021 で 0.39 が、InWO-A37-w45-2\_06012 で 0.63 が得られた。開口周比が 0.56 と最も大きい InWO-A37-w45-20021 よりも開口周比が 0.42 の InWO-A37-w45-20012 の方が剛性低下率 $K_{op}/K_o$ は小さくなり、開口部の位置や形状により剛性低下率が異なることが確認された。

表 4.9 実験結果一覧

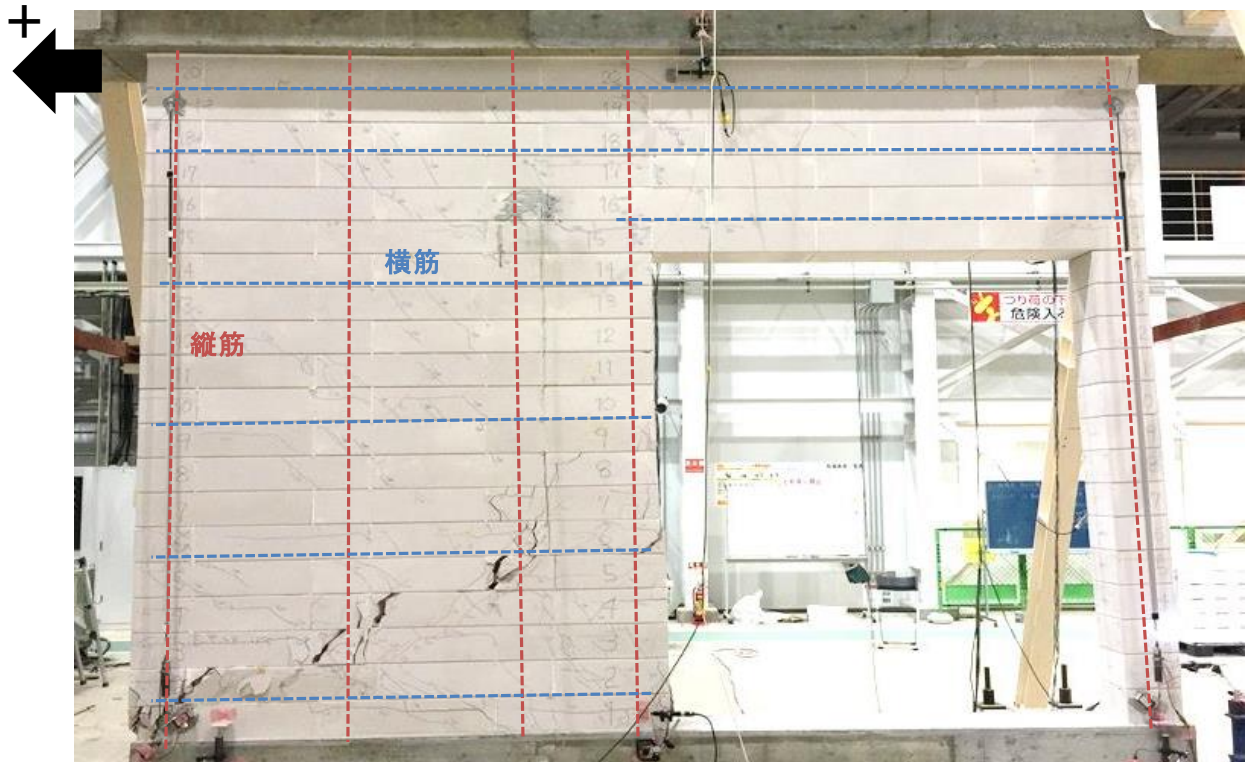
項目	記号	InWO-A37-w45-20012	InWO-A37-w45-20021	InWO-A37-w45-2_05012	InW-A37-w45
開口周比	$r_0$	0.42	0.56	0.30	—
荷重 (kN/m)	$P_{cr}$	7.6	8.4	23.2	29.1
	$P_{1500}$	10.2	11.0	18.4	29.1
	$P_y$	24.1	—	52.0	57.8
	$P_{max}$	31.1	33.2	52.7	67.3
層間変形角 (rad)	$\theta_{cr}$	1/2308	1/1992	1/983	1/1454
	$\theta_{1500}$	1/1445	1/1483	1/1445	1/1454
	$\theta_y$	1/229	—	1/192	1/390
	$\theta_{max}$	1/99	1/312	1/182	1/251
	$\theta_u$	1/25	1/46	1/49	1/21
剛性 (kN/rad/m)	$K_{cr}$	17436	16823	22820	42326
	$K_{1500}$	14769	16308	26648	42326
剛性低下率	$K_{op}/K_0$	0.35	0.39	0.63	—
破壊性状		曲げ降伏後のせん断破壊	せん断破壊	曲げ降伏後のせん断破壊	曲げ降伏後のせん断破壊

$P_{cr}, \theta_{cr}, K_{cr}$  : 初期ひび割れ時       $P_{1500}, \theta_{1500}, K_{1500}$  : 1500rad時       $P_y, \theta_y, K_y$  : 縦筋降伏時  
 $P_{max}, \theta_{max}$  : 最大荷重時       $\theta_u$  : 最大変形角時

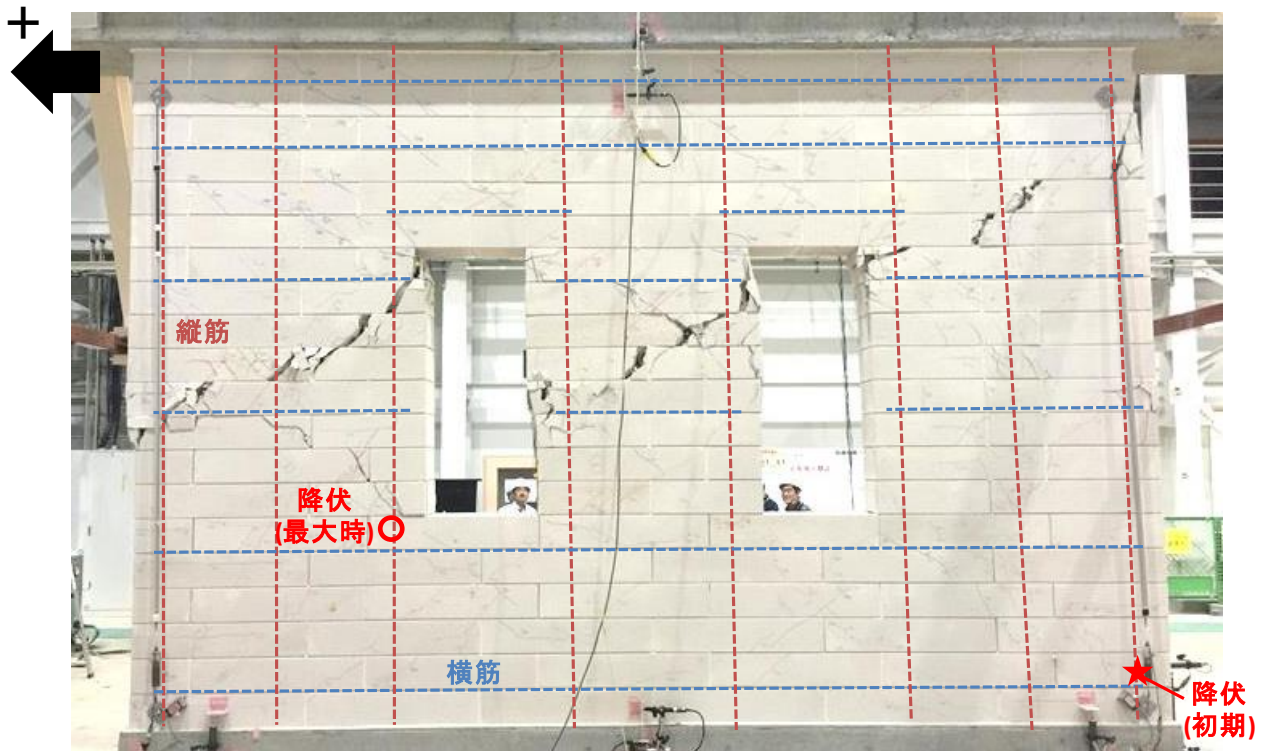


(a) InWO-A37-w45-20012

図 4.36-1 各試験体の最終破壊状況と鉄筋の関係

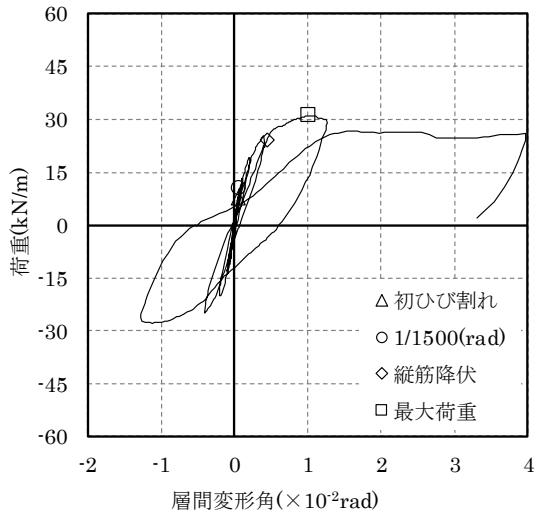


(b) InWO-A37-w45-20021

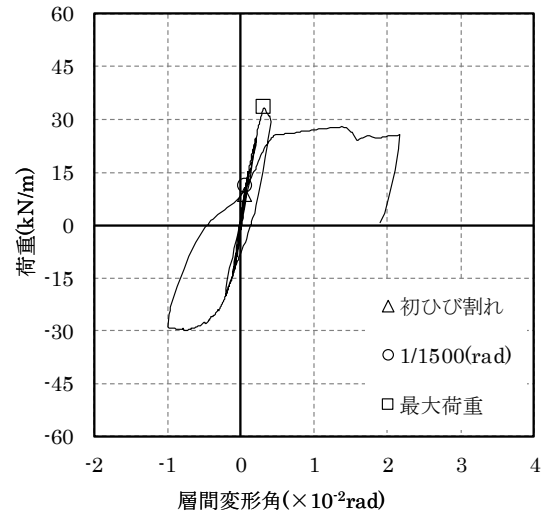


(c) InWO-A37-w45-2\_06012

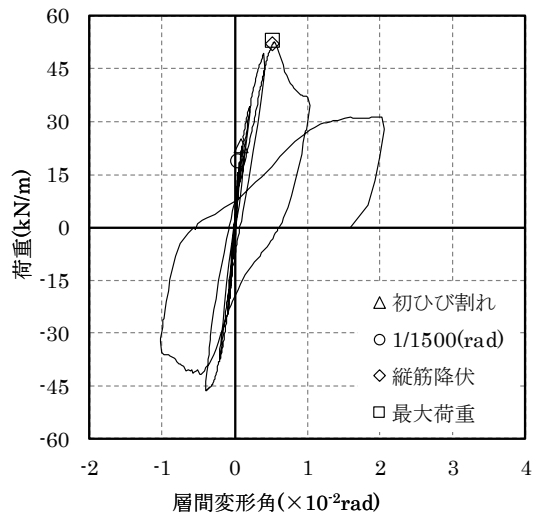
図 4.36-2 各試験体の最終破壊状況と鉄筋の関係



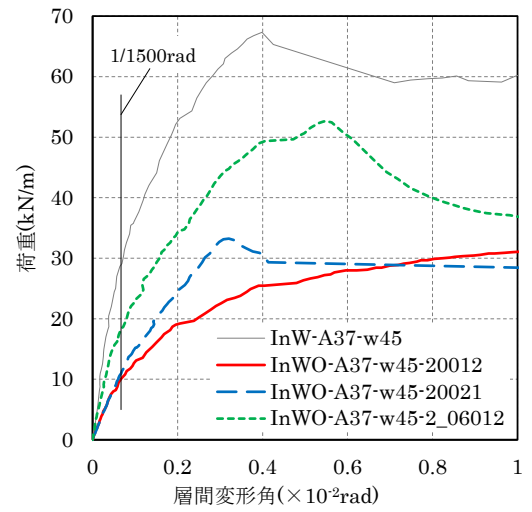
(a) InWO-A37-w45-20012



(b) InWO-A37-w45-20021



(c) InWO-A37-w45-2\_06012



(d) 包絡線(+1/100rad まで)

図 4.37 荷重—変形関係の比較

### 4.3.6 曲げおよびせん断による変形成分と層間変形角の関係

#### (1) 変位計の測定不良箇所

本項では、観察面に設置した鉛直方向の変位計（全体曲げ）と対角方向の変位計（全体せん断）および測定面に設置した鉛直方向の変位計（部分曲げ）と対角方向の変位計（部分せん断）から、それぞれの水平方向の曲げ変形量とせん断変形量を求め、各変形成分の比率を確認する。はじめに、InWO-A37-w45-20012 と InWO-A37-w45-20021 について部分せん断の測定不良が確認されたため、その状況について述べる。測定不良箇所の一覧を表 4.10 に、変位計端部の取り付け状態を図 4.38 に、InWO-A37-w45-20012 の測定不良箇所および荷重と測定値の関係を図 4.39 に、InWO-A37-w45-20021 の測定不良箇所および荷重と測定値の関係を図 4.40 に示す。

図 4.39 と図 4.40 に示す荷重と測定値の関係をみると、計測不良個所では最大荷重付近まで計測値がほぼゼロを示しており、このような測定値が図 4.39(a)と図 4.40 (a)の赤線で示す位置で確認された。変位計は、図 4.38 に示すように変位計端部に取り付けたリング状の治具を試験体に貼り付けたアンカーボルトに貫通させ、治具の両側のナットを締め付けることで固定される。測定不良箇所では試験後にナットが緩んでいたことが確認されており、層間変形角が小さい範囲では試験体の変形がアンカーボルトと治具の間の隙間で吸収されて変位計が動かなかったため、変形が大きくなる最大荷重付近まで測定値が変化しなかったものと考えられる。

表 4.10 測定不良箇所の一覧

試験体名	番号	計測箇所
InWO-A37-w45-20012	No.27	A下部 せん断 左
	No.34	B下部 せん断 右
	No.38	C下部 せん断 右
InWO-A37-w45-20021	No.29	A上部 せん断 右
	No.31	C上部 せん断 右

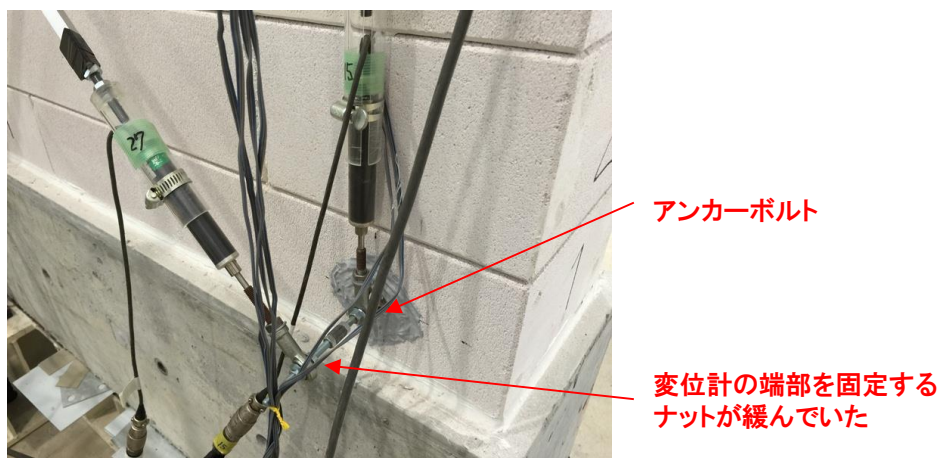
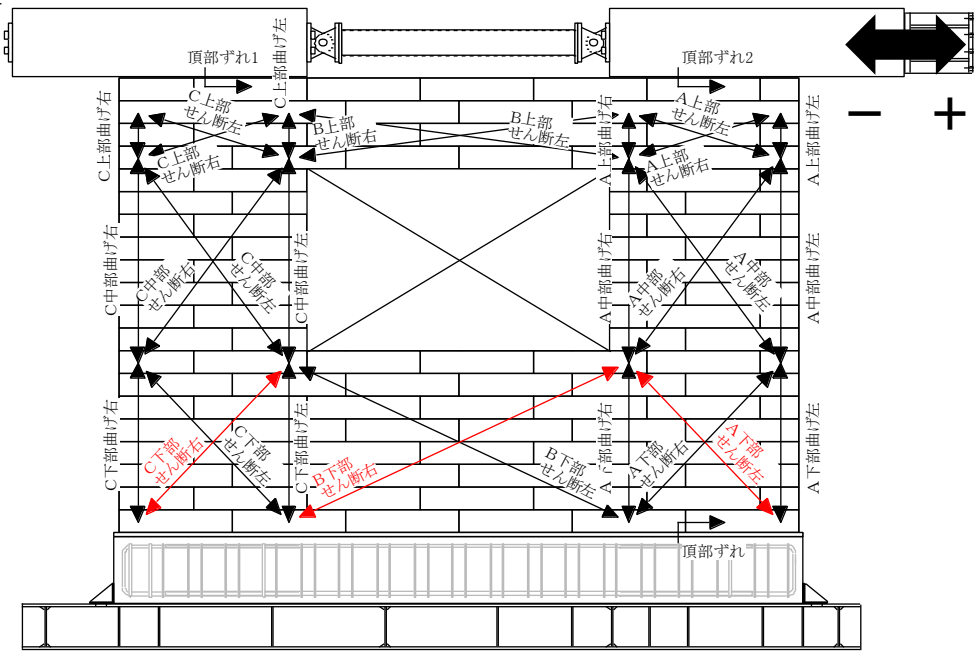
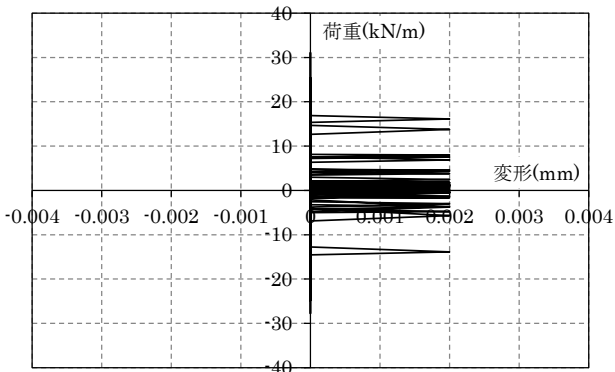


図 4.38 変位計端部の取り付け状態

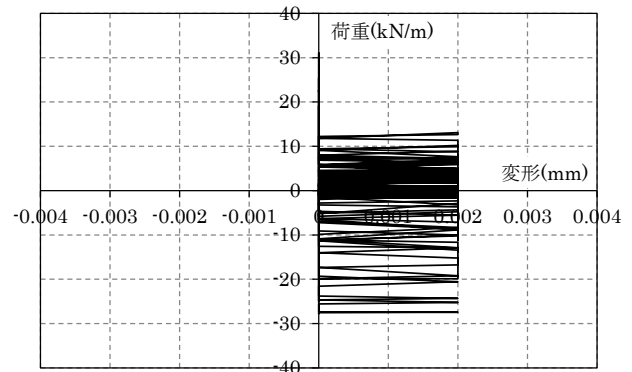




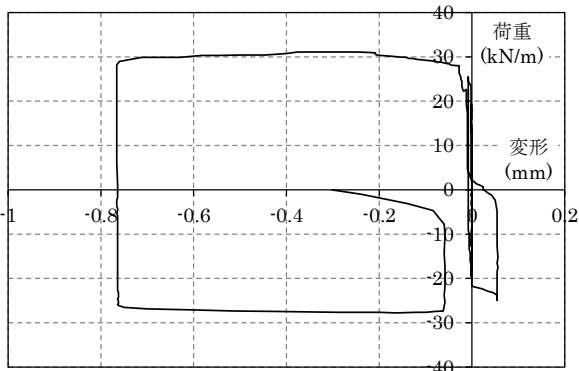
(a) 測定不良箇所



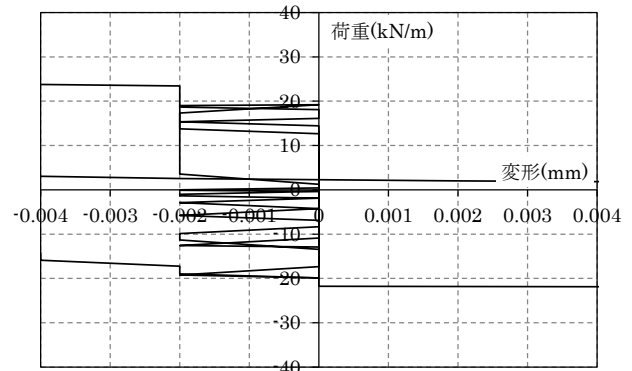
(b) A 下部 せん断 左(NO.27)



(c) B 下部 せん断 右(NO.34)

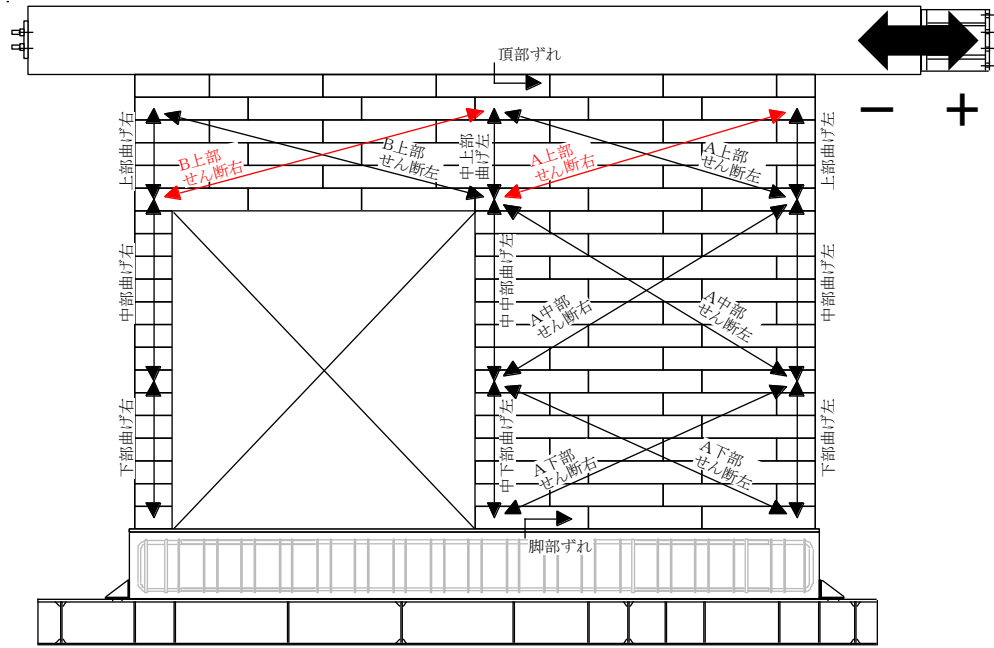


(d) C 下部 せん断 右(NO.38)

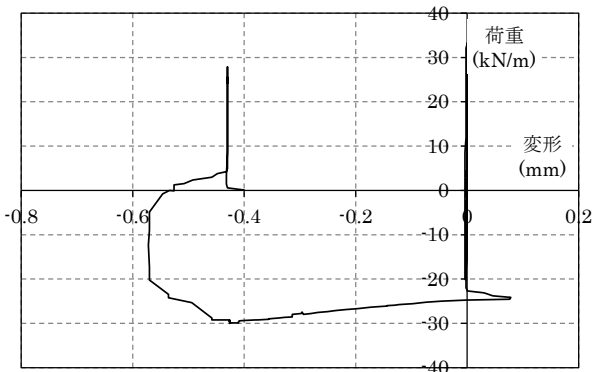


(e) C 下部 せん断 右(NO.38) 【拡大】

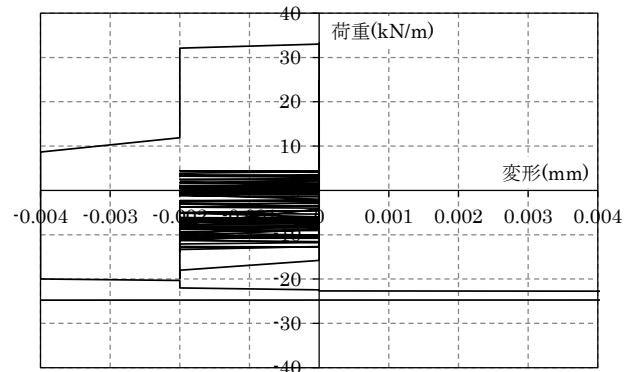
図 4.39 測定不良箇所と荷重－測定値関係 (InWO-A37-w45-20012)



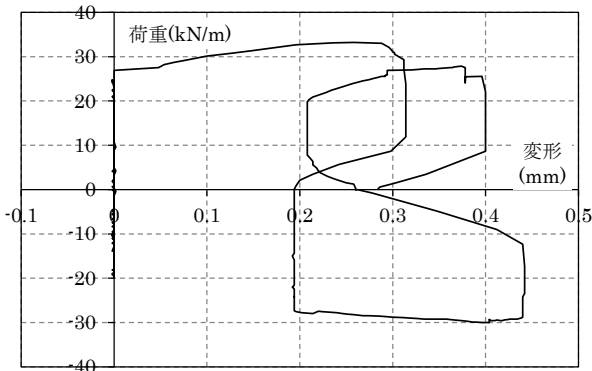
(a) 測定不良箇所



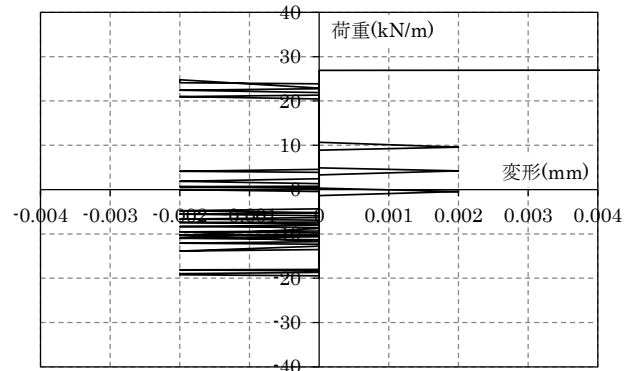
(b) A 上部 せん断 右(NO.29)



(c) A 上部 せん断 右(NO.29) 【拡大】



(d) B 上部 せん断 右(NO.31)



(e) B 上部 せん断 右(NO.31) 【拡大】

図 4.40 測定不良箇所と荷重－測定値関係 (InWO-A37-w45-20021)

(2) 算出方法

ここでは試験体に設置した変位計から水平方向の曲げ変形量とせん断変形量を算出する方法について述べる。変位計は、試験体の観察面に設置した全体曲げおよび全体せん断と、試験体の測定面に設置した部分曲げ及び部分せん断の変位計を用いた。部分曲げおよび部分せん断の算出方法を表 4.11 に、部分曲げおよび部分せん断に用いた変位計の設置個所を図 4.41 に示す。図 4.41 の青線は算出に用いた変位計を、赤線は前述した測定不良箇所を表す。

水平方向の曲げ変形量とせん断変形量は、鉛直方向と対角方向に設置した変位計の値を用いて(4.2)式から(4.7)式により算出した。変位計の値 $\delta$ は、それぞれ伸びる側を正、縮む側を負とした。全体の变形に占める曲げ変形の比率(以下、曲げ変形の比率)は、水平方向の曲げ変形量 ${}_b x$ を水平方向の曲げ変形量 ${}_b x$ と水平方向のせん断変形量 ${}_s x$ の和で除した値とした。

$${}_b x_a = \varphi_a h_a^2 / 2 \quad (4.2)$$

$${}_b x_p = \varphi_p h_p^2 / 2 \quad (4.3)$$

$$\varphi_a = (b_1 \delta - b_2 \delta) / h_a w_a \quad (4.4)$$

$$\varphi_p = (b_1 \delta - b_2 \delta) / h_p w_p \quad (4.5)$$

$${}_s x_a = (s_1 \delta - s_2 \delta) \cdot \left( 2\sqrt{w_a^2 + h_a^2} + s_1 \delta + s_2 \delta \right) / 4w_a \quad (4.6)$$

$${}_s x_p = (s_1 \delta - s_2 \delta) \cdot \left( 2\sqrt{w_i^2 + h_i^2} + s_1 \delta + s_2 \delta \right) / 4w_p \quad (4.7)$$

ここに

${}_b x_a, {}_b x_p$  : 全体曲げ(a)、部分曲げ(p)による水平方向の曲げ変形量

${}_s x_a, {}_s x_p$  : 全体せん断(a)、部分せん断(p)による水平方向のせん断変形量

$\varphi_a, \varphi_p$  : 全体曲げ(a)、部分曲げ(p)の試験体の曲率

$h_a, h_p$  : 全体曲げ(a)、部分曲げ(p)の測定区間の高さ

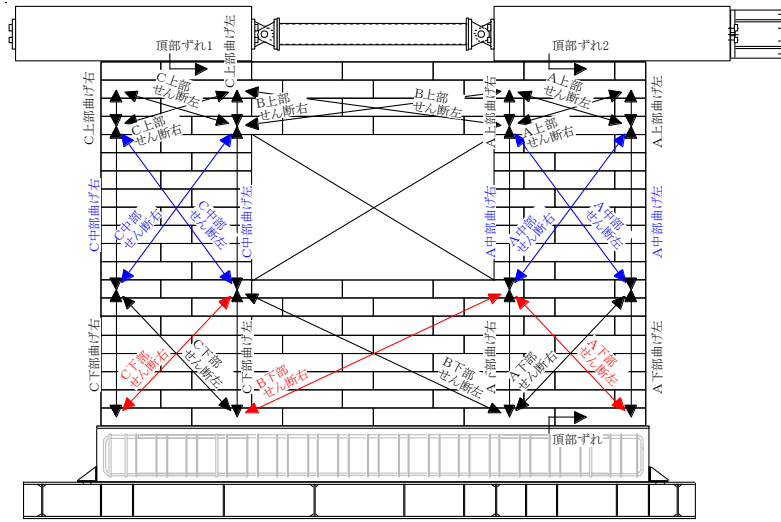
$w_a, w_p$  : 全体曲げ(a)、部分曲げ(p)の測定区間の幅

$b_1 \delta, b_2 \delta$  : 各測定区間における鉛直方向に設置した変位計の値

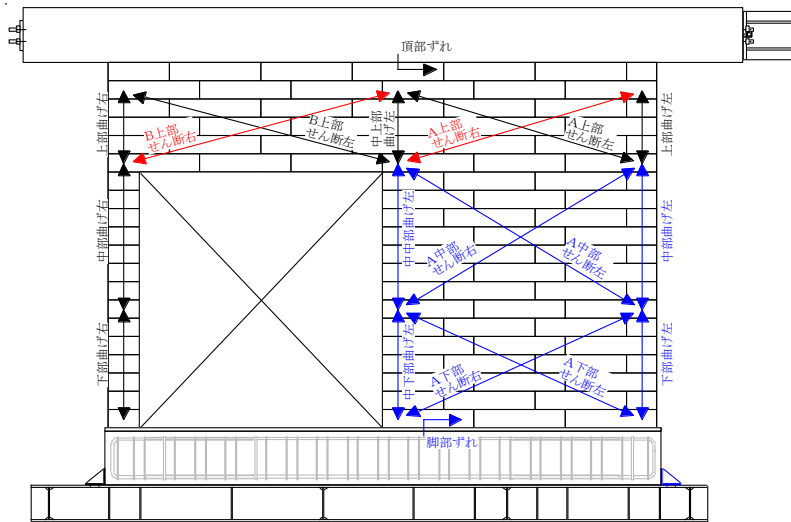
$s_1 \delta, s_2 \delta$  : 各測定区間における対角方向に設置した変位計の値

表 4.11 部分曲げおよび部分せん断の算出方法

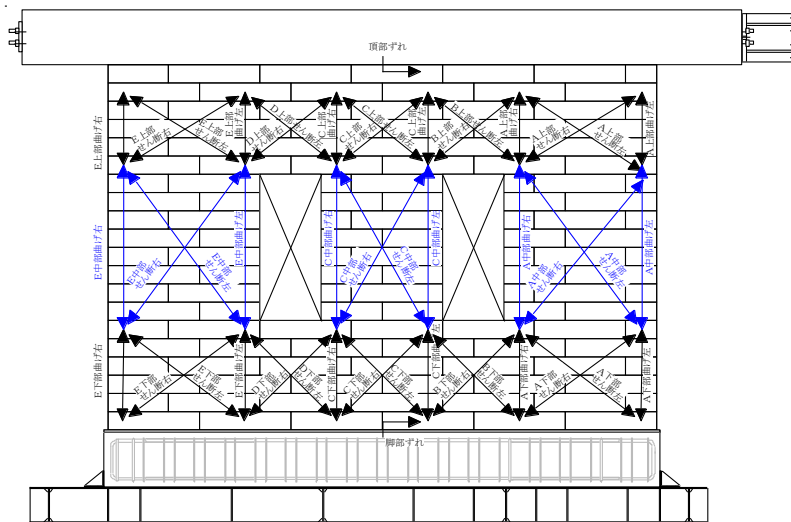
試験体名	部分曲げおよび部分せん断の算出方法
InWO-A37-w45-20012	A部中段とC部中段の平均値
InWO-A37-w45-20021	A部下段とA部中段の合計
InWO-A37-w45-2_05012	A部中段・C部中段・E部中段の平均値



(a) InWO-A37-w45-20012



(b) InWO-A37-w45-20021



(c) InWO-A37-w45-2\_06012

図 4.41 部分曲げおよび部分せん断の測定位置

### (3) 結果と考察

全体曲げと全体せん断から求めた曲げ変形の比率と層間変形角の関係を図 4.42 に、得られた各サイクルにおける曲げ変形量とせん断変形量を表 4.12 に示す。表 4.12 のゴシック体で示す部分は最大荷重後の結果を示す。

図 4.42 および表 4.12 をみると、最大荷重までは全体曲げと全体せん断より得られた曲げ変形の比率は 20~30%程度だったが、最大荷重後はせん断ひび割れが進行したためその割合が低下し、破壊性状と一致した。部分曲げと部分せん断から求めた曲げ変形の比率は局所的な変形のため参考値となるが、全体曲げと全体せん断より得られた曲げ変形の比率と同様の傾向が確認された。

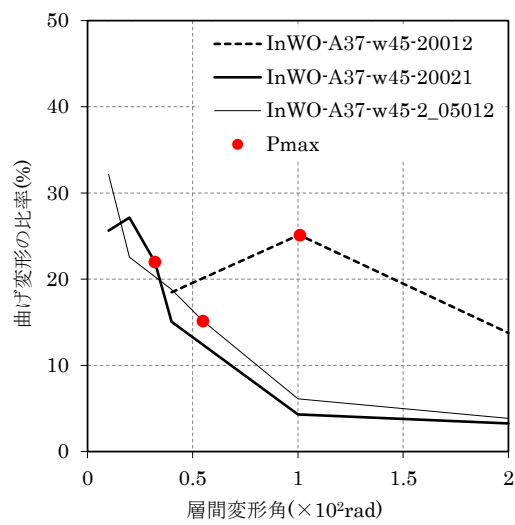


図 4.42 曲げ変形の比率と層間変形角の関係 (全体)

表 4.12 各サイクルにおける曲げ変形量とせん断変形量

(a) 全体曲げおよび全体せん断

荷重 サイクル	InWO-A37-w45-20012			InWO-A37-w45-20021			InWO-A37-w45-2_05012		
	$b^{X_a}$ (mm)	$s^{X_a}$ (mm)	$\frac{b^{X_a}}{b^{X_a} + s^{X_a}}$ (%)	$b^{X_a}$ (mm)	$s^{X_a}$ (mm)	$\frac{b^{X_a}}{b^{X_a} + s^{X_a}}$ (%)	$b^{X_a}$ (mm)	$s^{X_a}$ (mm)	$\frac{b^{X_a}}{b^{X_a} + s^{X_a}}$ (%)
1/1000	-	-	-	0.4	1.2	25.6	0.4	0.7	32.2
1/500	-	-	-	1.0	2.7	27.1	0.8	2.7	22.6
1/250	1.9	8.5	18.5	<b>1.3</b>	<b>7.3</b>	<b>15.1</b>	1.4	5.8	18.8
1/100	6.9	20.7	25.1	<b>1.0</b>	<b>23.0</b>	<b>4.3</b>	<b>1.5</b>	<b>22.5</b>	<b>6.1</b>
1/50	<b>6.9</b>	<b>43.2</b>	<b>13.8</b>	<b>1.6</b>	<b>48.2</b>	<b>3.3</b>	<b>1.9</b>	<b>47.6</b>	<b>3.9</b>

(b) 部分曲げおよび部分せん断

荷重 サイクル	InWO-A37-w45-20012			InWO-A37-w45-20021			InWO-A37-w45-2_05012		
	$b^{X_p}$ (mm)	$s^{X_p}$ (mm)	$\frac{b^{X_p}}{b^{X_p} + s^{X_p}}$ (%)	$b^{X_p}$ (mm)	$s^{X_p}$ (mm)	$\frac{b^{X_p}}{b^{X_p} + s^{X_p}}$ (%)	$b^{X_p}$ (mm)	$s^{X_p}$ (mm)	$\frac{b^{X_p}}{b^{X_p} + s^{X_p}}$ (%)
1/1000	0.4	0.4	48.5	0.2	0.4	37.3	0.1	0.6	10.3
1/500	0.8	1.0	42.5	0.5	1.0	34.8	0.2	1.6	11.4
1/250	1.5	2.2	41.5	<b>0.8</b>	<b>4.7</b>	<b>14.2</b>	0.3	3.2	8.5
1/100	4.0	6.4	38.6	-	-	-	<b>0.2</b>	<b>18.1</b>	<b>0.9</b>

#### 4.4 短期許容せん断耐力と設計クライテリアの提案

##### (1) 短期許容せん断耐力の算出方法

本節では、本構法で使用する ALC37 のブロックを用いた試験体に対して無開口組積壁と有開口組積壁の面内せん断実験を総括し、第 2 章のプリズム圧縮試験で得られた設計基準強度より求めた短期許容せん断耐力と面内せん断実験の結果を比較し、本構法への許容せん断応力度の適用の可能性を確認する。

耐力壁として有効な壁幅と全体の壁幅の例を図 4.43 に、短期許容せん断耐力 $Q_s$ の算出方法を(4.8)式に示す。短期許容せん断耐力 $Q_s$ は、第 2 章より得られた短期許容応力度 $\tau_s=0.26\text{N/mm}^2$ に壁厚 $t$ と耐力壁として有効な壁幅 $w_{wall}$ を乗じて、全体の壁幅 $W$ で除して求めた。

$$Q_s = \tau_s w_{wall} t / 1000 W \quad (4.8)$$

ここに、

$Q_s$  : 短期許容せん断耐力(kN/m)

$\tau_s$  : 短期許容せん断応力度 (=0.26N/mm<sup>2</sup>)

$w_{wall}$  : 開口部を除いた耐力壁として有効な壁幅 (無開口壁のときは壁幅と同じ) (mm)

$t$  : 壁厚 (=250mm)

$W$  : 全体の壁幅(m)

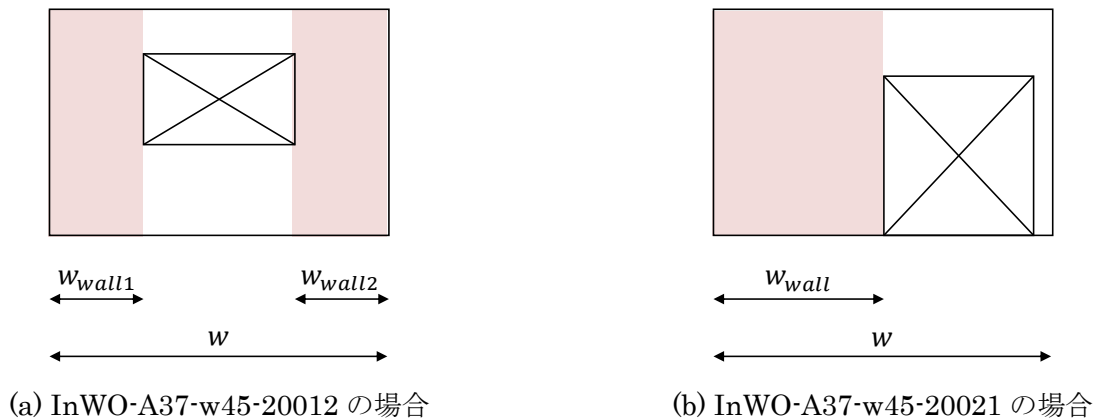


図 4.43 耐力壁として有効な壁幅と全体の壁幅

(2) 実験結果との比較と設計クライテリアの設定

短期許容せん断耐力と実験結果一覧を表 4.13 に、荷重－変形関係を図 4.44 示す。短期許容せん断耐力は壁幅 4.5m の試験体に対しては最大荷重をおおよそ示したが、壁幅 1.5m の試験体に対しては最大荷重を 1.5 倍程度 ( $65.0 \div 44.7=1.45$ ) 上回り、危険側に評価する結果となった。また、建築基準法の 1 次設計相当の地震動レベルを超える地震動に対する安全性や、本構法による実験結果が限られていることを考慮すると、水平力の検討においては耐力壁の最大荷重に対して一定の安全率を考慮する必要があると考えられる。そのため、建築基準法の 1 次設計相当の地震動レベルに対して短期許容せん断耐力よりも厳しい設計クライテリアを設定する。

表 4.13 および図 4.44 示す初ひび割れ時の層間変形角をみると、すべての試験体で 1/2000rad～1/1000rad 程度で生じており、この時の損傷の程度は小さいことがこれまでの実験結果から得られている。また、最大荷重を 1/1500rad 時の荷重で除した値は 2 以上の値を示しており、1/1500rad までの荷重－変形関係はほぼ直線を示していることが分かる。以上より、本構法の設計クライテリアは、建築基準法の 1 次設計相当の地震動レベルに対して 1/1500rad 以下に抑えることが妥当であると考えられる。

表 4.13 ALC37 のブロックを用いた試験体の短期許容せん断耐力と実験結果一覧

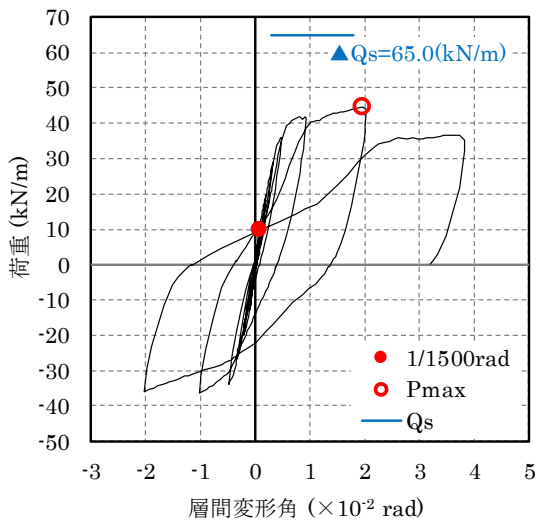
試験体名	短期許容せん断耐力 $Q_s$ (kN/m)	荷重 (kN/m)			$\frac{P_{max}}{P_{1500}}$	層間変形角 (rad)		
		$P_{1500}$	$P_{cr}$	$P_{max}$		$\theta_{1500}$	$\theta_{cr}$	$\theta_{max}$
InW-A37-w15	65.0	10.0	13.5	44.7	4.5	1/1287	1/979	1/51
InW-A37-w45	65.0	28.7	29.4	67.3	2.3	1/1372	1/1294	1/264
InWO-A37-w45-20012	36.1	10.2	7.6	31.1	3.0	1/1445	1/2308	1/99
InWO-A37-w45-20021	36.1	11.0	8.4	33.2	3.0	1/1483	1/1992	1/312
InWO-A37-w45-2_05012	50.6	18.4	23.2	52.7	2.9	1/1445	1/983	1/182

$P_{1500}, \theta_{1500}, K_{1500}$  : 1500rad時

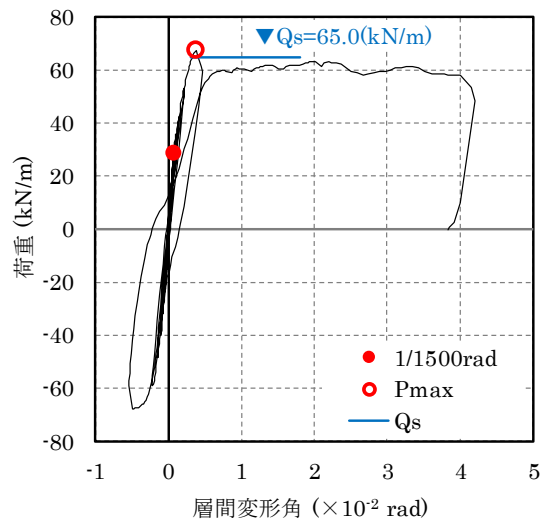
$P_{cr}, \theta_{cr}$  : 初ひび割れ時

$P_{max}, \theta_{max}$  : 最大荷重時

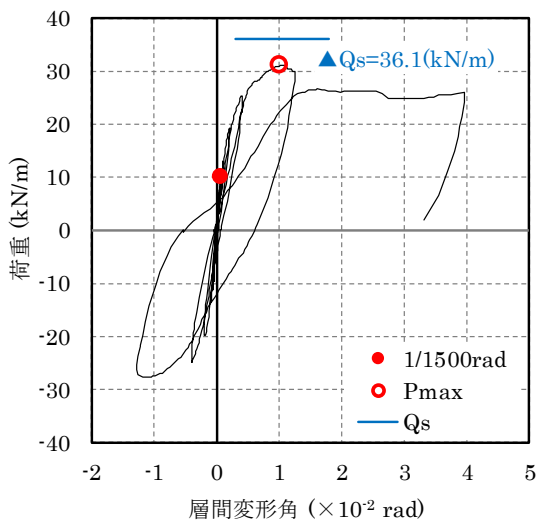




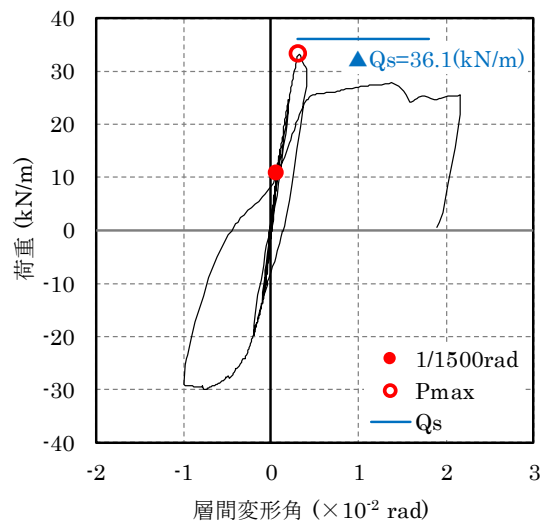
(a) InW-A37-w15



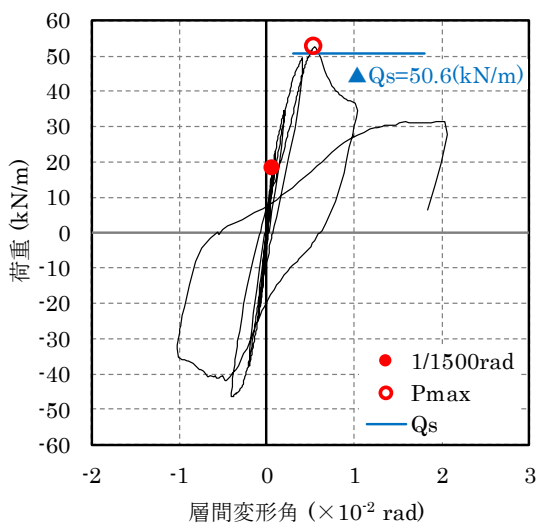
(b) InW-A37-w45



(c) InWO-A37-w45-20012



(d) InWO-A37-w45-20021



(e) InWO-A37-w45-2\_06012

図 4.44 ALC37 のブロックを用いた試験体の荷重—変形関係

## 4.5 まとめ

本章では、有開口組積壁の面内せん断性状実験を行い、有開口壁の面内せん断性状を確認した。また、これまでの無開口壁と有開口壁の実験結果と第 2 章で得られた設計基準強度より求めた短期許容せん断耐力を比較した結果から、安全側の設定となるように建築基準法の 1 次設計相当の地震動レベルに対する設計クライテリアを提案した。得られた知見を以下に示す。

### (1) 有開口組積壁の面内せん断実験

内部鉄筋を有する ALC37 のブロックを用いて、壁高さ 3m、壁幅 4.5m の有開口壁の面内せん断実験を行った。開口部は住宅で一般的に使用される腰窓から掃き出し窓を想定し、①幅 2.0m×高さ 1.2m (等価開口周比 $r_0=0.42$ )、②幅 2.0m×高さ 2.1m ( $r_0=0.56$ )、③幅 0.5m×高さ 1.2m ( $r_0=0.30$ ) の 3 種類とした。試験方法は無開口壁と同様に基礎固定の片持ち形式で行い、頂部の加力梁に接合した油圧ジャッキにより正負交番繰り返し載荷を行った。

全ての試験体で、1/1500rad までは開口隅角部にわずかな損傷が生じる程度に留まり、1/1000rad を超えたあたりから壁全体に曲げひび割れ、せん断ひび割れが進展した。試験体①の破壊性状は曲げ降伏後のせん断破壊を示し、最大変形角時にはまぐさ部の破壊が顕著だった。そのため、まぐさ部には損傷を抑えるためのせん断補強筋を配筋し、2 階床を受ける木梁を接合しないなどの設計上の配慮が必要と考えられる。試験体②は曲げ降伏前に最大荷重を迎えたため破壊性状はせん断破壊と判断したが、最大荷重後の荷重低下は小さく、加力梁の重量を保持しながら一定の水平力を保ちながら変形が進んだため、建物としての安全性は確保できているものと考えられる。一方、試験体③は、せん断ひび割れが横筋を跨がずに進展したため、降伏後すぐに最大荷重を迎え、その後急激に荷重が低下する破壊を示した。破壊性状は降伏後のせん断破壊と判断したが、急激な荷重低下は建物の倒壊につながる恐れがあるため、開口部により壁幅の短い壁が残る場合については横筋の配置間隔を短くするなどの設計上の配慮が必要と考えられる。

### (2) 短期許容せん断耐力と設計クライテリアの提案

本章の有開口壁と第 3 章の無開口壁の面内せん断実験の結果と第 2 章より得られた設計基準強度より求めた短期許容せん断耐力を比較した結果、短期許容せん断耐力が最大荷重を上回る危険側の評価となった。各試験体について 1/1500rad までであれば損傷の程度が非常に小さく、荷重-変形関係もほぼ弾性を示しており、最大荷重までの余裕度についても 2 倍以上あることから、本構法の建築基準法における 1 次設計相当の地震動レベルに対する設計クライテリアを 1/1500rad 以下とすることを提案した。

#### 第4章 参考文献

- 4.1) 日本建築学会: 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算規準・同解説, pp.163-179, 2015.12
- 4.2) 日本工業規格: 一般構造用角型鋼管 JIS G 3466, 2010
- 4.3) 日本建築学会: 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—, 2010.9

## 第5章

有限要素法を用いた組積壁の弾性解析と設計用せん断剛性の提案



## 5.1 はじめに

本構法では2階建ての住宅程度の建物規模を想定し、許容応力度計算により建物の構造計算を行うが、それぞれの耐力壁が負担するせん断力を求めるためには弾性範囲における組積壁の面内せん断剛性を評価する必要がある。このとき、壁幅や開口形状、階数などが耐力壁の剛性に与える影響を考慮する必要があるが、前章までの実験結果だけではそれぞれのパラメータが剛性に影響を把握することは難しい。そこで本章では、壁幅、開口形状および階数をパラメータとした組積壁のFEM解析により各パラメータが剛性に与える影響を確認し、本構法における組積壁の設計用せん断剛性の提案を行う。

初めに、5.2節では本章で提案する設計用せん断剛性の適用範囲を確認する。

次に、5.3節では前章までに行った無開口組積壁と有開口組積壁の実験を模擬したFEM解析を行い、実験結果と解析結果を比較して解析モデルの妥当性を確認する。

続いて5.4節から5.6節では、壁幅、開口形状および階数をパラメータとしたFEM解析を実施し、それぞれの影響を確認する。5.4節では壁幅をパラメータとした1層の無開口組積壁について、FEM解析に加えて第3章で行った計算による剛性評価を行い、1層の無開口組積壁の面内剛性の評価方法を提案する。5.5節では、一般的な住宅で想定される様々な開口形状を持つ有開口壁のFEM解析を行い、それぞれの開口部による剛性への影響を確認し、開口の大きさに応じた剛性低減係数の提案を行う。5.6節では、総2階の住宅を想定した2層壁と単層壁のFEM解析を行い、単層壁と比較したときの2層壁の剛性低減係数を提案する。

最後に、5.7節では本章で行ったそれぞれの剛性評価方法を踏まえ、総2階の住宅における組積壁の設計用せん断剛性の評価方法を提案する。

## 5.2 設計用せん断剛性の適用範囲と壁の分類

### 5.2.1 想定建物と適用範囲

本構法は第1章で述べたように2階建てまでの主に住宅を用途とした小規模な建物を想定しているが、その中でも比率が高いと考えられる単世帯の戸建て住宅に適用範囲を限定して設計用せん断剛性を提案する。建物規模と設計用せん断剛性の適用範囲を表5.1に、第1章で示した矩計図を代表図として図5.1に再掲する。

述べ面積については、一般的な単世帯の住宅に多い30~40坪程度を想定する。その場合、プランとしては総2階に近くなることが多いため、本章では総2階の建物を想定した。

階高については、居室の天井高として2.1mから2.7mを確保することができる範囲として、階高2.55mから3.0mを想定した。住宅として一般的な2間×2間(3640mm×3640mm)の8帖の居室を確保するには、一般の木造住宅よりも厚い250mmの壁厚を考慮すると耐力壁線の間隔が4m程度必要となり、その時の2階床の木梁せいは300mm程度となる。天井を石膏ボード等で仕上げた場合に天井高を2.1m以上確保するには階高が2.55m以上必要となり、天井を仕上げずに梁を表しにした時に天井高2.7mを確保するためには階高が3.0m程度必要となる。また、地震時等における面外方向の変形量を制限するためにも、1層の階高は3mを上限とした。

耐力壁の壁幅について、壁幅1.0m未満の壁は“壁幅/壁高さ”の値が0.3以下となる場合があり、壁幅1m以上の耐力壁と比較して壁の面内剛性が小さくなる。補強コンクリートブロック造などの壁式構造でも耐力壁の“壁幅/壁高さ”の値は0.3以上となることが求められていることから<sup>5.1)</sup>、壁幅1.0m未満の壁は耐力壁として有効でないと判断した。耐力壁の壁幅の上限は、住宅規模であれば5間(9100mm)程度までの耐力壁を評価できれば、十分にプランニングが可能である判断して定めた。

組積壁に設ける開口部は、一般の住宅で用いられる幅0.25m~2m程度までの腰窓や掃出し窓程度を想定した。それ以上の大きな開口部が必要な場合は、図5.2に再掲するように耐力壁を繋ぐ木梁部に開口を設ける方が構造上好ましいと考えられる。

以上より、本章では階高2.55~3mの総2階の住宅で、耐力壁の幅が1~9m、組積壁に設ける開口が幅2m程度までを適用範囲として、設計用せん断剛性の提案を行う。

表 5.1 建物規模と設計用せん断剛性の適用範囲

建物規模		設計用剛性の適応範囲
階数		2階
延べ面積		30~40坪(総2階)
階高	1階	2.55~3m
	2階	
耐力壁の壁幅		1~9m
組積壁に設ける開口形状		幅0.25~2m程度の腰窓や掃き出し窓

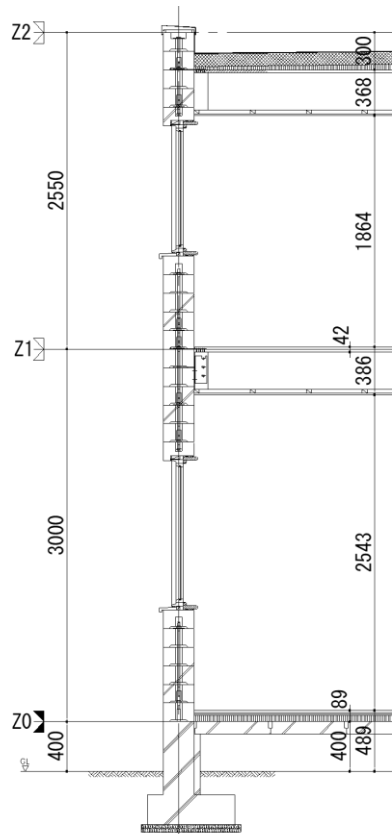


図 5.1 プラン例の矩計図 (再掲)

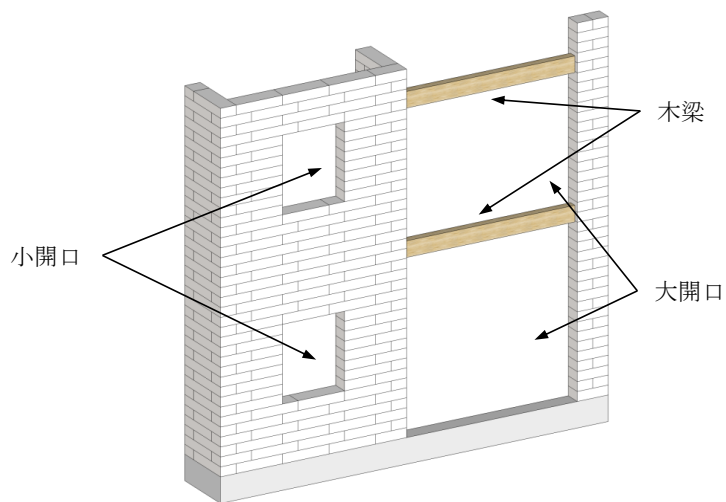


図 5.2 木梁を用いた大開口の例 (再掲)



## 5.2.2 壁の分類

ここでは、前項で述べた適用範囲における耐力壁の分類について確認する。壁の分類を図 5.3 に示す。本構法では ALC ブロックによる壁のうち、壁幅が 1m 以上のものを耐力壁と称し、水平力に対して抵抗する構造上有効な壁と位置付けた。耐力壁のうち 2 階に耐力壁がないものを単層耐力壁といい、1、2 階で連続している耐力壁を連層耐力壁という。連層耐力壁は、1 階と 2 階のそれぞれの耐力壁に区別される。さらに、それぞれの耐力壁に対して開口部を有しない無開口耐力壁と開口部を有する有開口耐力壁がある。開口部には、等価開口周比（以下、開口周比） $r_0^{5.2)}$ が 0.4 以下となる開口部と開口周比が 0.4 を超える開口部の 2 種類があるが、それぞれの場合における設計用せん断剛性の算出方法は 5.5 節で詳細を述べる。

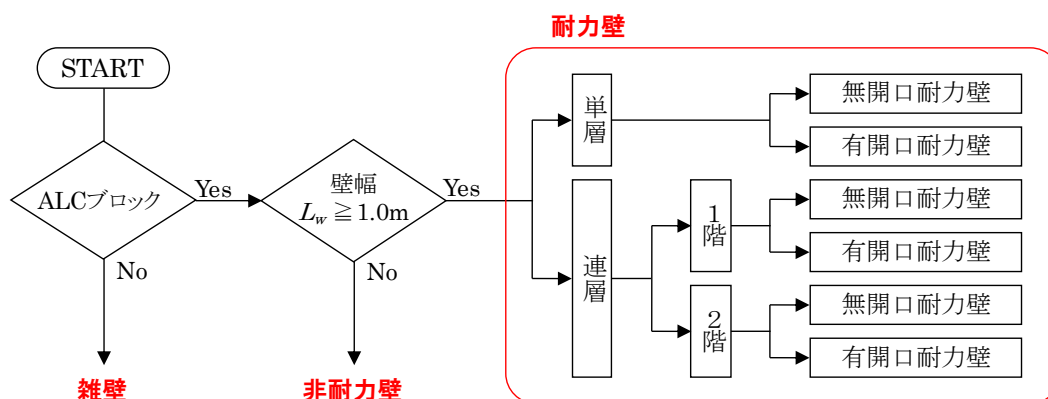


図 5.3 壁の分類

## 5.3 FEM 解析モデルの妥当性の確認

### 5.3.1 解析モデルおよび解析条件

本節では、第 4 章までに行った無開口組積壁と有開口組積壁の実験を模擬した FEM 解析を行い、実験結果と解析結果を比較して解析モデルの妥当性を確認する。解析条件を表 5.2 に、材料特性を表 5.3 に、試験体形状と解析モデル形状の違いを図 5.4 に、解析モデル形状を図 5.5 に示す。

ブロックの使用材料は ALC37 のみとし、無開口耐力壁の試験体 2 体、有開口耐力壁の試験体 3 体を解析対象とした。解析は 1 次設計時における設計クライテリアとして定めた  $1/1500\text{rad}$  までの弾性解析とし、解析ソフトには市販の有限要素法解析ソフト ANSYS ver.16 を使用した。

解析における材料モデルは ALC ブロックとグラウトを単一材料の連続体とし、縦筋および横筋はモデルに考慮しなかった。解析モデルの壁幅、壁厚については、第 2 章のプリズム圧縮試験結果を参考に、実際の壁幅、壁厚よりも壁表裏面、壁端部および開口端部から 50mm 部分を除いたグラウト充填範囲の断面積（以下、有効断面積）でモデル化した。例えば、図 5.4 に示す FEM-A37-w45-2\_05012 では、解析モデル上の壁幅（以下、モデル壁幅）は 4.4m、開口部の大きさは 0.6m となり、解析モデル上の壁厚（以下、モデル壁厚）は 150mm となる。モデルの高さは、無開口モデルでは測定区間を参考に 2750mm とし、有開口モデルでは実験と同じ 3000mm とした。メッシュ分割は、一辺が 75mm 以下の直方体となるように自動メッシュにて生成した。

組積体の材料特性は等方性材料の弾性モデルとし、モデルの詳細は APPENDIX B に示す。材料特性には、第 2 章で行ったプリズム圧縮試験とプリズムせん断試験を参考に有効断面積に対して求めたヤング係数とせん断弾性係数を丸めて表 5.3 の値を用いた。比重は、グラウトおよび鉄筋を考慮した組積壁全体の密度 ( $6.2\text{kN/m}^3$ ) から、解析モデルの壁厚を考慮して  $250/150$  を乗じて求めた。

境界条件については、モデル脚部の節点の移動および回転を拘束し、頂部の上下方向および回転方向は拘束なしとした。積載荷重は、表 5.2 中の“固定荷重”に示す実験の加力梁で使用した RC スタブ相当の荷重とした。解析モデルの層間変形角が  $1/1500\text{rad}$  となるように、無開口モデルでは 1.83mm、有開口モデルでは 2mm の強制変位をモデル頂部の正側加力方向に与えた。FEM-A37-w45-20012 以外では積載荷重および強制変位はモデル頂部の各節点に与え、FEM-A37-w45-20012 では積載荷重は開口両側の幅 1150mm の壁頂部に、強制変位は水平力の伝達が主に行われた開口左側の壁頂部の各節点に与えた。各モデルが負担する水平力は、モデル脚部の各節点の反力の和とした。層間変形角の算出は、無開口モデルではモデルの頂部と脚部の相対変位をモデル高さで除して求め、有開口モデルでは実験の水平変位の測定位置における相対変位を測定区間 2550mm で除して求めた。剛性は、求めた水平力を層間変形角で除した値とした。

解析モデル名は、以下のように定めた。

## FEM-A37-w45-20012

(1) (2) (3) (4)

- (1) 解析名 [FEM 解析 : FEM]  
 (2) ブロック材料 [ALC37 : A37]  
 (3) 壁幅 [1.5m : w15、4.5m : w45]  
 (4) 開口形状           幅 200cm×高さ 1.2m : 20012  
                           幅 200cm×高さ 2.1m : 20021  
                           幅 60cm×高さ 1.2m×2ヶ : 2\_06012

表 5.2 解析条件

解析モデル名	実験の試験体形状				解析モデル				$r_0$ (-)	固定荷重 (kN/m)
	壁幅 (m)	高さ (m)	壁厚 (m)	開口部 (m)	壁幅 (m)	高さ (m)	壁厚 (m)	開口部 (m)		
FEM-A37-w15	1.5	3.0	0.25	-	1.4	2.75	0.15	-	-	9.40
FEM-A37-w45	4.5			-	4.4			3.0	-	6.37
FEM-A37-w45-20012				2.0×1.2		2.1×1.2			0.42	8.08
FEM-A37-w45-20021				2.0×2.1		2.1×2.1			0.56	6.37
FEM-A37-w45-2_05012				2-0.5×1.2		2-0.6×1.2			0.30	6.37

表 5.3 材料特性

密度 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
10.4	2.0	0.5

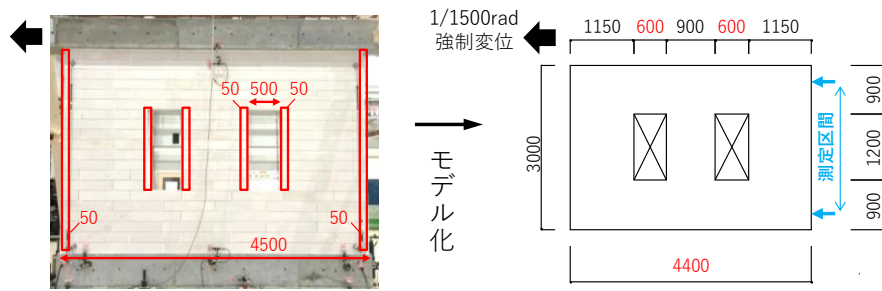
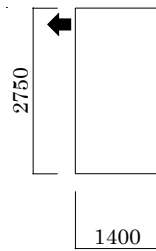
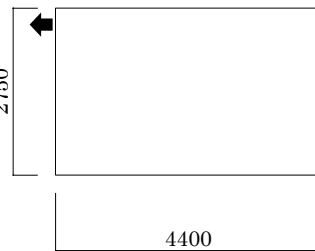


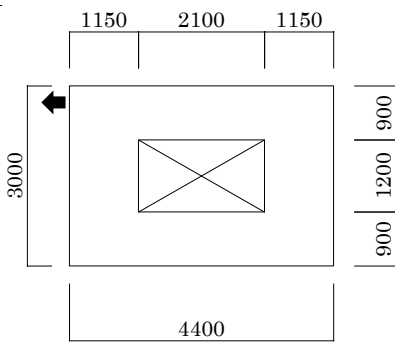
図 5.4 試験体と解析モデル形状の違い



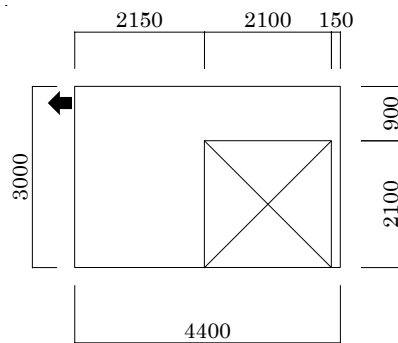
(a) FEM-A37-w15



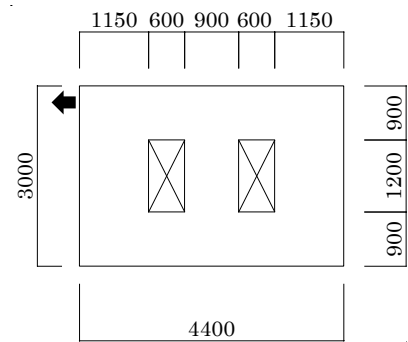
(b) FEM-A37-w45



(c) FEM-A37-w45-20012



(d) FEM\_A37-w45-20021



(e) FEM-A37-w45-2\_05012

図 5.5 解析モデル形状

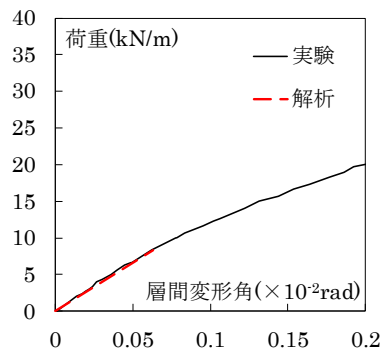
### 5.3.2 解析結果と実験結果の比較

1/1500rad 時における実験結果と解析結果の比較を表 5.4 に、実験結果と解析結果の荷重－変形関係の比較を図 5.6 に、1/1500rad 時における最小主応力のコンター図を図 5.7 に示す。図 5.7 のコンター図では変形倍率を 1 倍で示した。表 5.4 中の  $Q$  は壁の負担する水平力を、 $K$  は剛性を、 $K_{op}$  は有開口壁の剛性を、 $K_0$  は無開口壁の剛性を、 $K_{op}/K_0$  は開口部による剛性低下率を表し、添え字の “*exp*” は実験結果を、“*FEM*” は FEM 解析結果を表す。

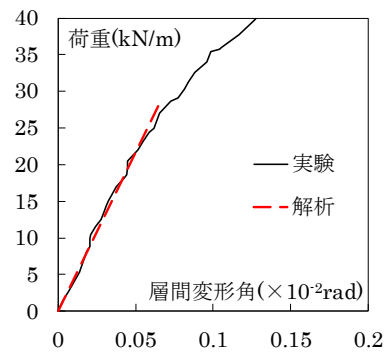
実験結果の剛性 $_{exp}K$ を解析結果の剛性 $_{FEM}K$ で除した値は、無開口壁で 1.01～1.06 となり良い対応を示し、有開口壁では 0.87～0.99 と剛性をやや低めに評価するものの良い対応を示した。また、図 5.6 に示す実験結果と解析結果の荷重－変形関係や図 5.7 に示す圧縮ストラット領域とせん断ひび割れ発生箇所がおおよそ一致したことから、弾性範囲と見なせる 1/1500rad までの層間変形角であれば、本解析モデルが妥当であると考えられる。有開口壁については、 $_{FEM}K_{op}/_{FEM}K_0$ を $_{exp}K_{op}/_{exp}K_0$ で除した値の平均値 0.92 を用いて 5.5 節の解析結果の値を補正し、実験結果と解析結果の差分を考慮した。

表 5.4 実験結果と解析結果の比較 (1/1500rad 時)

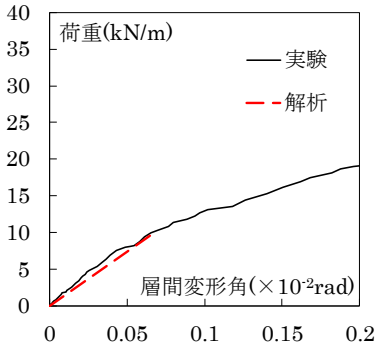
解析モデル名	実験				FEM解析				$\frac{FEM K}{exp K}$
	$exp Q$ (kN/m)	$exp \delta$ (mm)	$exp K$ (kN/rad/m)	$\frac{exp K_{op}}{exp K_0}$	$FEM Q$ (kN/m)	$FEM \delta$ (mm)	$FEM K$ (kN/rad/m)	$\frac{FEM K_o}{FEM K_0}$	
FEM-A37-w15	8.3	1.73	13028	-	9.2	1.83	13822	-	1.06
FEM-A37-w45	29.1	1.86	42326	-	28.6	1.83	42927	-	1.01
FEM-A37-w45-20012	10.2	1.77	14769	0.35	9.1	1.80	12896	0.30	0.87
FEM-A37-w45-20021	11.0	1.72	16308	0.39	12.0	1.89	16197	0.38	0.99
FEM-A37-w45-2_05012	18.4	1.77	26648	0.63	17.7	1.84	24551	0.57	0.92



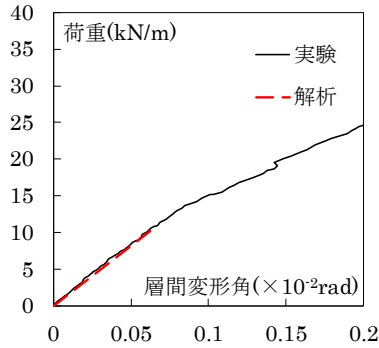
(a) FEM-A37-w15



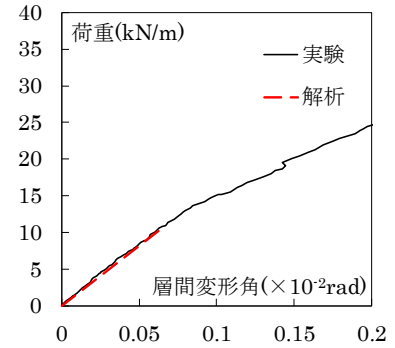
(b) FEM-A37-w45



(c) FEM-A37-w45-20012



(d) FEM-A37-w45-20021



(e) FEM-A37-w45-2\_05012

図 5.6 実験結果と解析結果の荷重-変形関係の比較

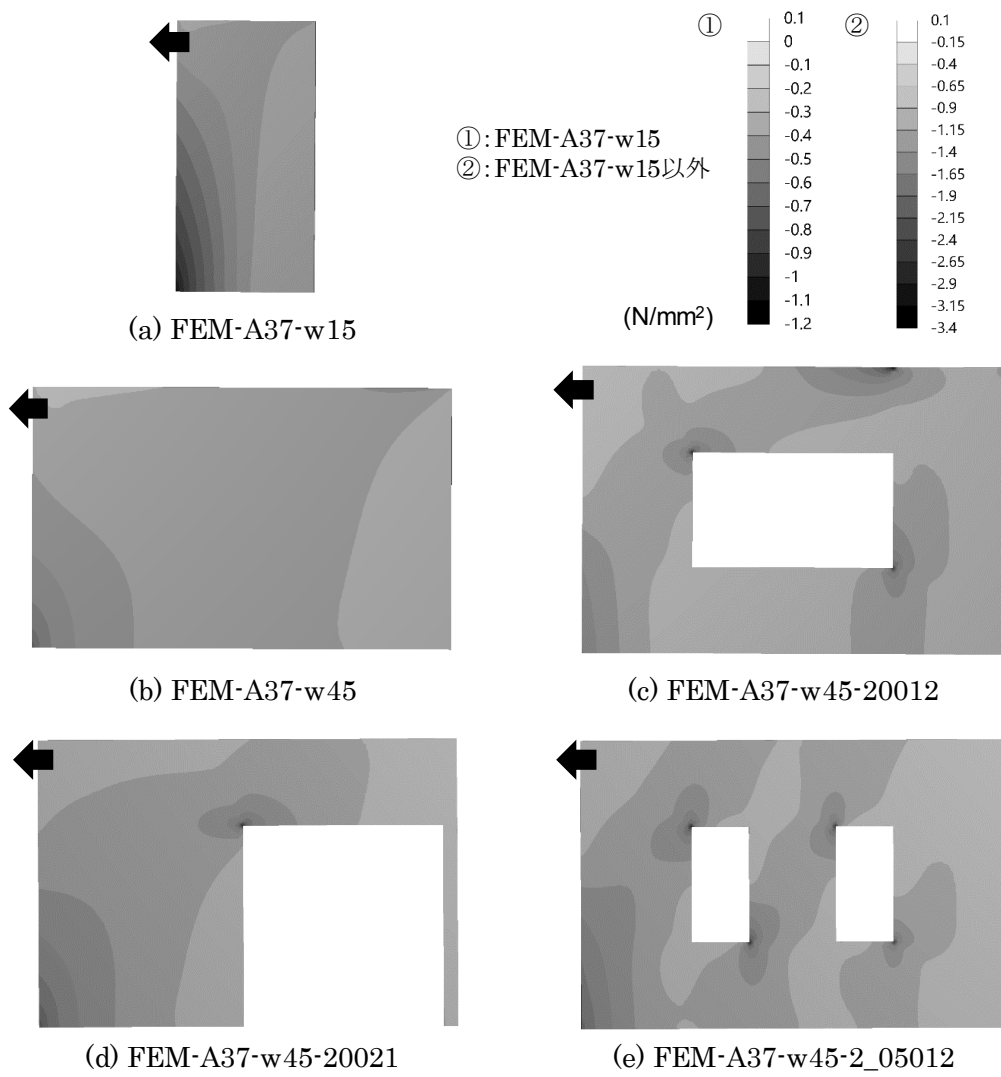


図 5.7 最小主応力コンター図 (1/1500rad 時)

## 5.4 単層無開口壁の設計用基準剛性

### 5.4.1 FEM 解析モデルおよび解析条件

本節では、壁幅をパラメータとした1層の無開口組積壁について、FEM解析と第3章で行った計算方法を用いて剛性評価を行い、1層の無開口組積壁の面内剛性（以下、設計用基準剛性）を提案する。初めに、表 5.5 に示す FEM 解析モデルについて述べる。壁幅は 1.0m から 9.0m までの 12 種類とし、モデルの高さ、壁厚および材料特性は、5.3 節と同様の値を用いた。鉛直荷重は、本構法による 2 階建ての建物の 1 階壁を想定し、表 5.6 に示す荷重表の地震用の値から(5.1)式を用いて算出した 10.4kN を丸めて 10.0kN とした。

$$W_1 = A(w_R + w_2) + H_{w2}w_{ALC} \quad (5.1)$$

ここに、

$W_1$  : 1 階壁に作用する上階の固定荷重と積載荷重の和

$A$  : 負担幅 (=4.0m)

$w_R$  : R 階の固定荷重と地震用の積載荷重の和 (=560N/m<sup>2</sup>)

$w_2$  : 2 階の固定荷重と地震用の積載荷重の和 (=1160N/m<sup>2</sup>)

$H_{w2}$  : 2 階の階高 (=2.25m)

$w_{ALC}$  : 組積壁の単位面積当たりの重量 (=1600N/m<sup>2</sup>)



表 5.5 解析条件

解析モデル名	高さ (m)	壁厚 (m)	壁幅 (m)	モデル 壁幅 (m)	鉛直荷重 (kN/m)
FEM-A37-w10-LL10	2.75	0.15	1.0	0.9	10.0
FEM-A37-w15-LL10			1.5	1.4	
FEM-A37-w20-LL10			2.0	1.9	
FEM-A37-w25-LL10			2.5	2.4	
FEM-A37-w30-LL10			3.0	2.9	
FEM-A37-w40-LL10			4.0	3.9	
FEM-A37-w45-LL10			4.5	4.4	
FEM-A37-w50-LL10			5.0	4.9	
FEM-A37-w60-LL10			6.0	5.9	
FEM-A37-w70-LL10			7.0	6.9	
FEM-A37-w80-LL10			8.0	7.9	
FEM-A37-w90-LL10			9.0	8.9	

表 5.6 荷重表

部位	種別	床用 (N/m <sup>2</sup> )	柱梁用 (N/m <sup>2</sup> )	地震用 (N/m <sup>2</sup> )
陸屋根	D.L.	560	560	560
	L.L.	0	0	0
	T.L.	560	560	560
2階床	D.L.	560	560	560
	L.L.	1800	1300	600
	T.L.	2360	1860	1160

陸屋根	シート防水 厚1.5mm	20×1.5	= 30	
	歩行ボード 厚6.0mm	5×6.0	= 30	
	フェノールフォーム 厚100	0.27×100	= 27	
	ポリスチレンフォーム 厚25	0.3×25	= 7.5	
	構造用合板 厚24	5×24	= 120	
	木梁 120×270@1m	5×0.12×0.27	= 162	
	天井下地		= 80	
	石こうボード 厚12.5	8×12.5	= 100	
	合計		= 556.5	→ 560 N/m <sup>2</sup>
	2階床	床仕上げ 厚15		= 90
構造用合板 厚24		5×24	= 120	
木梁 120×270@1m		5×0.12×0.27	= 162	
天井下地			= 80	
石こうボード厚12.5		8×12.5	= 100	
合計			= 552	→ 560 N/m <sup>2</sup>
組積壁	組積壁 厚250mm	10.4×150	= 1560	→ 1600 N/m <sup>2</sup>

#### 5.4.2 弾性論に基づく面内剛性の計算方法

本項では、弾性論に基づいた壁の面内剛性の計算方法を述べる。計算で用いた諸条件を表 5.7 に示す。材料モデル、モデル壁厚およびモデル壁幅は FEM 解析と同条件とした。壁高さは、FEM 解析と同じ 2750mm を基準に、2550mm と 3000mm の 3 種類とした。

弾性論より、端部に荷重が作用する片持ち梁における曲げ変形 $\delta_f$ およびせん断変形 $\delta_s$ と荷重の関係は、

$$\delta_f = PH_w^3 / 3_m E'I \quad (5.2)$$

$$\delta_s = 1.2PH_w / _m G'b'D \quad (5.3)$$

$$\delta = \delta_f + \delta_s = (H_w^3 / 3_m E'I + 1.2H_w / _m G'b'D)P \quad (5.4)$$

ここに、

$\delta_f$  : 組積壁の曲げ変形

$\delta_s$  : 組積壁のせん断変形

$\delta$  : 組積壁の全体変形

$P$  : 組積壁頂部に作用するせん断力

$H_w$  : 組積壁の高さ

$_m E'$  : 組積壁の壁厚 150mm に対するヤング係数

$I$  : 組積壁の断面 2 次モーメント (=  $b'D^3/12$ )

$_m G'$  : 組積壁の壁厚 150mm に対するせん断弾性係数

$b'$  : 組積壁のモデル壁厚

$D$  : 組積壁のモデル壁幅 (=  $L_w - 0.1(\text{m})$ )

$L_w$  : 組積壁の壁幅

両辺を壁高さ $H_w$ で除して、右辺を単位壁幅あたりの荷重となるように変形すると、

$$\delta_f/H_w = P/L_w \times L_w H_w^2 / 3_m E'I \quad (5.5)$$

$$\delta_s/H_w = P/L_w \times 1.2L_w / _m G'b'D \quad (5.6)$$

$$\delta/H_w = (\delta_f + \delta_s)/H_w = (H_w^2 L_w / 3_m E'I + 1.2L_w / _m G'b'D)P/L_w \quad (5.7)$$

となり、単位壁幅あたりの荷重に対する単位変形角あたりの剛性 $_{cal}K(\text{kN/rad/m})$ は、次式による。

$$_{cal}K_f = 3_m E'I / L_w H_w^2 \quad (5.8)$$

$$_{cal}K_s = _m G'b'D / 1.2L_w \quad (5.9)$$

$$_{cal}K = \frac{1}{H_w^2 L_w / 3_m E'I + 1.2L_w / _m G'b'D} = \frac{1}{1/_{cal}K_f + 1/_{cal}K_s} \quad (5.10)$$

ここに、

${}_{cal}K_f$  : 組積壁の単位壁幅あたりの荷重に対する曲げ変形による単位変形角あたりの剛性

${}_{cal}K_s$  : 組積壁の単位壁幅あたりの荷重に対するせん断変形による単位変形角あたりの剛性

${}_{cal}K$  : 組積壁の単位壁幅あたりの荷重に対する全体変形による単位変形角あたりの剛性

表 5.7 計算で用いた諸条件

項目	記号	数値	(単位)
ヤング係数	${}_m E'$	2.0	(kN/mm <sup>2</sup> )
せん断弾性係数	${}_m G'$	0.5	(kN/mm <sup>2</sup> )
モデル壁厚	$b'$	150	(mm)
壁高さ	$H_w$	2550	(mm)
		2750	
		3000	
壁幅	$L_w$	1~9	(m)
モデル壁幅	$D$	$L_w \cdot 0.1$	(m)

### 5.4.3 解析結果と設計用基準剛性

FEM 解析結果と弾性論による計算結果を表 5.8 および図 5.8 に示す。図 5.8 には、第 3 章の実験結果を併記した。表 5.8 中の  $Q$  はせん断力を、 $K$  は剛性を表し、添え字の“FEM”は FEM 解析結果を、“cal”は計算結果を、“25”、“27”、“30”はそれぞれ壁高さ 2550mm、2750mm、3000mm を表す。“ $calK_{25}/calK_{27}$ ”は壁高さ 2550mm の剛性の計算値を壁高さ 2750mm の剛性の計算値で除した値を、“ $calK_{30}/calK_{27}$ ”は壁高さ 3000mm の剛性の計算値を壁高さ 2750mm の剛性の計算値で除した値を表す。

図 5.8 をみると、解析結果と計算結果はおおよそ一致し、共に実験結果と近い傾向を示した。壁の単位壁幅あたりの剛性は、壁幅が 4.5m 程度までは上昇しているが、4.5m を超えた範囲ではその傾向が小さくなるのが分かる。これは、壁幅が長くなるほど、曲げ変形が全体の変形に占める割合が小さくなり、壁幅に影響を受けないせん断変形の割合が大きくなるためと考えられる。また、壁高さ 3000mm および 2550mm の計算結果をみると、壁高さが高い方が単位壁幅あたりの剛性が小さくなり、表 5.8 中の“ $calK_{25}/calK_{27}$ ”と“ $calK_{30}/calK_{27}$ ”の値をみると壁幅が短い方がその傾向が強くなることが確認された。これは、(5.10)式に示すように壁高さは単位壁幅あたりの曲げ剛性にのみ影響を与えており、壁幅が小さいほど曲げ変形が全体の変形に占める割合が大きいためと考えられる。以上より、本構法では壁幅および壁高さを考慮した(5.11)式により、弾性範囲における設計用基準剛性 $K_{dh}$ を求められることを提案する。

$$K_{dh} = \frac{1}{H_w^2 L_w / 3_m E'I + 1.2 L_w /_m G'b'D} \quad (1.0 \leq L_w \leq 9.0) \quad (5.11)$$

ここに、

$K_{dh}$  : 設計用基準剛性(kN/rad/m)

表 5.8 FEM 解析結果と設計用基準剛性

壁幅 (m)	$FEM Q$ (kN/m)	$FEM K$ (kN/rad/m)	$cal K_{25}$ (kN/rad/m)	$cal K_{27}$ (kN/rad/m)	$cal K_{30}$ (kN/rad/m)	$\frac{cal K_{25}}{cal K_{27}}$	$\frac{cal K_{30}}{cal K_{27}}$
1.0	4.3	6461	7370	6455	5524	1.14	0.86
1.5	9.3	13984	15613	13944	12178	1.12	0.87
2.0	14.6	21921	23923	21791	19441	1.10	0.89
2.5	19.4	29161	31156	28873	26264	1.08	0.91
3.0	23.5	35309	37029	34805	32184	1.06	0.92
4.0	29.7	44478	45284	43424	41133	1.04	0.95
4.5	31.9	47828	48124	46467	44394	1.04	0.96
5.0	33.7	50577	50367	48899	47039	1.03	0.96
6.0	36.5	54765	53602	52450	50964	1.02	0.97
7.0	38.5	57771	55751	54838	53645	1.02	0.98
8.0	40.0	60019	57240	56504	55535	1.01	0.98
9.0	41.2	61760	58309	57706	56909	1.01	0.99

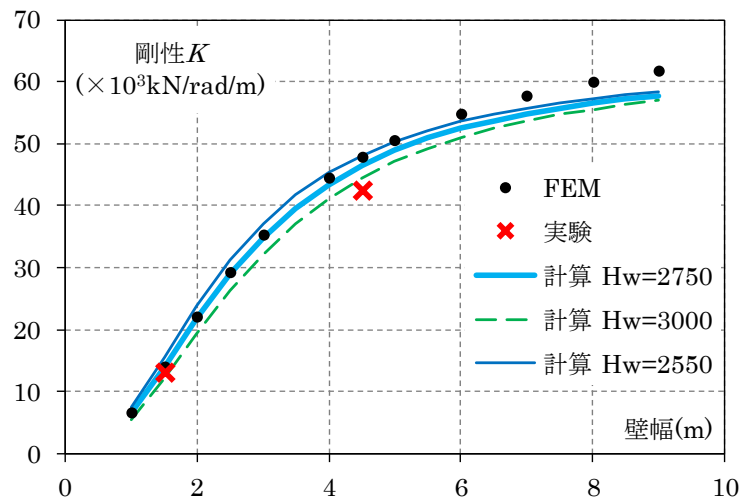


図 5.8 FEM 解析結果と計算結果

## 5.5 開口部による剛性低減係数

### 5.5.1 解析条件および解析結果

本節では、一般的な住宅で想定される様々な開口形状を持つ有開口壁の FEM 解析を行い、それぞれの開口部による剛性への影響を確認し、開口の大きさに応じた剛性低減係数の提案を行う。

FEM 解析モデルを表 5.9 および図 5.9 に示す。解析モデルは壁幅 4.4m、壁高さ 2.75m、壁厚 150mm とし、開口周比 $r_0$ が 0.20~0.55 の有開口モデルと無開口モデルの計 7 体を用いた。解析モデルの壁幅は実際の組積壁の壁幅から両端 50mm 短くなるため、開口周比は実際の組積壁の壁幅から算出した。メッシュ分割、材料特性および拘束条件は 5.3 節と同様とした。モデル頂部の各節点には実際の建物の上階の床荷重を想定した 4.0kN/m の積載荷重を鉛直下方向に与え、水平方向に 1/1500rad の層間変形角となるように 1.83mm の強制変位を与えた。

表 5.9 開口付壁の FEM 解析モデル

解析モデル名	壁形状				解析モデル				鉛直荷重 (kN/m)	$r_0$
	壁幅 (m)	高さ (m)	壁厚 (m)	開口部 (m)	壁幅 (m)	高さ (m)	壁厚 (m)	開口部 (m)		
FEM-A37-w45-LL4	4.5	2.75	0.25	-	4.4	2.75	0.15	-	4.0	-
FEM-A37-w45-04012m-LL4				0.4×1.2				0.5×1.2		0.20
FEM-A37-w45-2_04012n-LL4				0.4×1.2				0.5×1.2		0.28
FEM-A37-w45-2_04012w-LL4				(×2)				(×2)		0.28
FEM-A37-w45-11012m-LL4				1.1×1.2				1.2×1.2		0.33
FEM-A37-w45-11012r-LL4										0.33
FEM-A37-w45-19020r-LL4				1.9×1.975				2.0×1.975		0.55

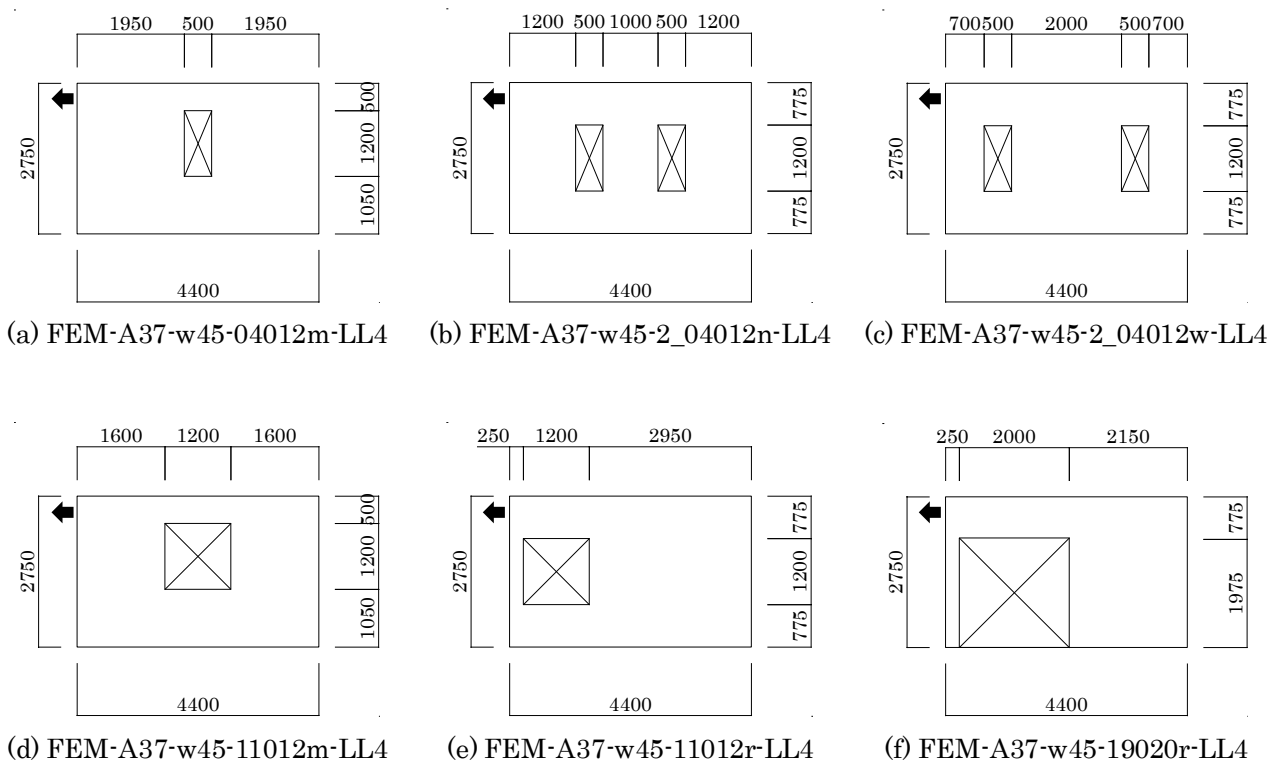


図 5.9 開口付壁の解析モデル

## 5.5.2 開口周比が 0.4 以下となる場合のせん断剛性低減係数

解析結果と実験結果および開口部による剛性低下率 $K_{op}/K_0$ のまとめを表 5.10 に、開口周比と剛性低下率の関係を図 5.10 に示す。表 5.10 および図 5.10 には、第 4 章の有開口壁の面内せん断実験の結果と 5.3 節の FEM 解析結果を併記した。また、図 5.10 には(5.12)式で求めた壁式鉄筋コンクリート造で用いられるせん断剛性低減率 $r_1^{5.2)}$ を併記した。5.3 節で確認されたように有開口壁の解析結果は実験結果よりも剛性をやや低く評価するため、5.3 節で求めた実験結果と解析結果の比率 0.92 で解析結果の剛性低下率を除して補正した。実験結果の数は限られており、開口形状の違いによるばらつきにも配慮するため、解析結果を中心に検討を行う。

解析結果による剛性低下率は $r_0=0.4$  程度までは開口周比が大きくなるにつれて線形的に小さくなるが、0.5 を超えた範囲ではその傾向から外れることがわかる。また、 $r_1$ よりも解析結果は小さくなり、開口部による剛性低下の影響が RC 造よりも高くなる傾向が見られた。そこで、開口周比が 0.4 以下となる解析結果から求めた近似直線により本構法の剛性低減係数を求めることが妥当と考えられる。求めた直線を(5.13)式に示す。本構法で想定する一般的な住宅の開口部について、開口周比が 0.4 以下の時の開口部による剛性低減係数 $r_{op}$ は(5.13)式によることを提案する。

$$r_1 = 1 - 1.25r_0 \quad (\text{ただし } r_0 \leq 0.4) \quad (5.12)$$

$$r_{op} = 1 - 1.50r_0 \quad (\text{ただし } r_0 \leq 0.4) \quad (5.13)$$



表 5.10 解解析結果と実験結果および開口部による剛性低下率のまとめ

実験/解析	試験体名/解析モデル名	$r_0$	$K_0$ (kN/rad/m)	$K_{op}$ (kN/rad/m)	$K_{op}/K_0$	$K_{op}/K_0$ (補正後)
実験	InWO-A37-w45-20012	0.42	42326	14769	0.35	—
	InWO-A37-w45-20021	0.56		16308	0.39	—
	InWO-A37-w45-2_05012	0.30		26648	0.63	—
FEM解析	FEM-A37-w45-20012	0.42	42927	12896	0.30	0.33
	FEM-A37-w45-20021	0.56		16197	0.38	0.41
	FEM-A37-w45-2_05012	0.30		24551	0.57	0.62
	FEM-A37-w45-04012m-LL4	0.20	60933	36300	0.60	0.65
	FEM-A37-w45-2_04012n-LL4	0.28		28933	0.47	0.52
	FEM-A37-w45-2_04012w-LL4	0.28		32400	0.53	0.58
	FEM-A37-w45-11012m-LL4	0.33		26167	0.43	0.47
	FEM-A37-w45-11012r-LL4	0.33		31833	0.52	0.57
	FEM-A37-w45-19020r-LL4	0.55		16467	0.27	0.29

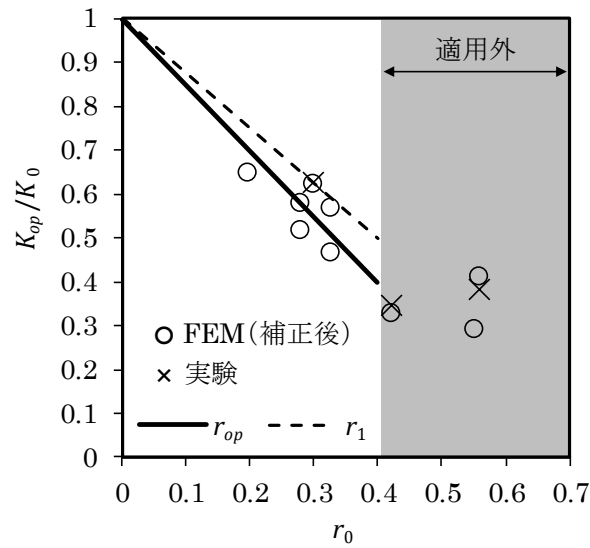


図 5.10 開口周比と剛性低下率の関係

### 5.5.3 開口周比が 0.4 を超える場合の剛性への影響

開口周比が 0.4 を超える場合、型枠コンクリートブロック造や壁式 RC 造ではラーメンフレームに置換してモデル化するのが一般的となっている (5.4, 5.5)。本構法では、第 4 章の実験結果よりまぐさ部の曲げ戻し効果が小さいと考えられるため、安全側の評価として開口両側の耐力壁はそれぞれ片持ち状態に分割されると仮定し、計算結果と実験値を比較する。

開口周比が 0.4 を超える場合の設計用剛性の算出モデルを図 5.11 に、第 4 章の有開口壁の面内せん断実験より求めた剛性 $\Sigma K_{exp}$ と各壁の設計用剛性の和 $\Sigma K_{d25}$ を表 5.11 に示す。検討対象は、第 4 章で実験を行った InWO-A37-w45-20012 と InWO-A37-w45-20021 とした。耐力壁は、図 5.11 に示すように開口部を除いた残りの壁幅のうち、5.2 節で示したように壁幅 1m 以上の耐力壁として有効な壁（以下、開口部を除いた耐力壁）とした。 $\Sigma K_{exp}$ は、開口部を除いた耐力壁の壁幅の和で荷重を除した値(kN/m)を層間変形角(rad)で除して求めた。 $\Sigma K_{d25}$ は、壁高さを実験の測定区間と同じ 2550mm とし、開口部を除いた耐力壁として前述の(5.11)式より求めたそれぞれの剛性の和とした。

表 5.11 をみると、 $\Sigma K_{exp}$ は設計用剛性の和 $\Sigma K_{d25}$ よりも 10%程度大きくなるが、計算結果とおおよそ一致する傾向が確認された。より正確な剛性評価を行うためには、多くの実験結果を元にまぐさ部の曲げ戻し効果を確認する必要があるが、実際の剛性との乖離も小さく安全側の評価のため、開口周比が 0.4 を超える耐力壁は開口幅分の壁を除いた片持ち上の独立な耐力壁とみなし、それぞれの耐力壁に対して面内剛性を求める方法が現状では妥当であると考えられる。



(a) InWO-A37-w45-20012

(b) InWO-A37-w45-20021

図 5.11 開口周比が 0.4 を超える場合の設計用剛性の算出モデル

表 5.11 有開口壁の実験結果と設計用剛性

試験体名	壁幅 (m)	開口幅 (m)	残りの壁幅 (m)	$r_0$	$\Sigma K_{exp}$ (kN/rad/m)	$\Sigma K_{d25}$ (kN/rad/m)	$\frac{K_{exp}}{\Sigma K_{dh}}$
InWO-A37-w45-20012	4.5	2.0	1.25, 1.25	0.42	26584	24515	1.08
InWO-A37-w45-20021		2.0	2.25, 0.25	0.56	32616	29879	1.09
平均値							1.09

## 5.6 連層時における剛性低減係数

### 5.6.1 解析モデルおよび解析条件

連層時においては、下階の壁では上階からの曲げモーメントの影響を、上階の壁では下階の壁の回転による影響を受けるため、単層壁と比較して剛性が低下すると考えられる。本構法の階高は2.55～3mを想定しているが、組積壁の比重は0.6程度と小さいため自重が全体の荷重に占める割合は小さく、階高の違いによる各階が負担する荷重への影響は小さいと考えられる。そこで本節では、総2階建物の代表例として、5.2節で示した建物における連層壁のFEM解析を行い、単層壁と比較したときの剛性への影響を確認する。

連層壁と単層壁のFEM解析モデルを表5.12および図5.12に示す。建物の階高は1階で3m、2階で2.55mとし、モデルの高さは単層で3m、連層で5.55mの2種類とした。モデル壁幅は1.5mと4.5mの2種類とした。メッシュ分割、材料特性および拘束条件は、5.3節と同様の値を用いた。

鉛直荷重は、前述の5.4.1項を参考に、連層モデルでは2階床に5.24kN/m、RF床に2.2kN/mとし、単層モデルではR階床に5.24kN/mとした。単層壁では壁頂部と脚部の層間変形角が1/1500radとなるように2mmの強制変位を水平方向に与えた。連層壁では、単層壁の1/1500rad時の層せん断力を、 $A_i$ 分布<sup>5.3)</sup>により各層に分配して与えた。 $A_i$ 分布は、第1章で述べたモデル建物全体に対して(5.14)式より求めた。設計用1次固有周期 $T$ は、RCと同等と仮定して求めた。

モデルが負担する水平力は各層の脚部の各節点の和とし、層間変形角は頂部と脚部の相対変位をモデルの高さで除して求めた。剛性は、求めた水平力を層間変形角で除して求めた。

$$A_i = 1 + \left( \frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1 + 3T} \quad (5.14)$$

ここに

$A_i$  : 層せん断力分布係数

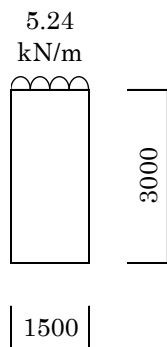
$\alpha_i$  : 最上部から*i*層までの重量の和を全重量で除した値

$T$  : 設計用1次固有周期 (= 0.02*H*)

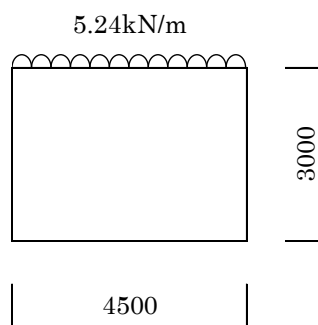
$H$  : 建物高さ

表 5.12 連層壁および単層壁の FEM 解析モデル

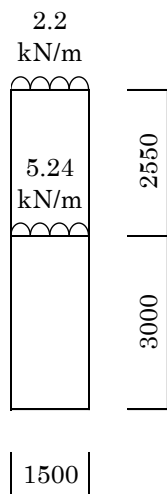
解析モデル名	モデル壁幅 (m)	高さ (m)	モデル壁厚 (m)	鉛直荷重 (kN/m)	
				2F床	RF床
FEM-A37-w15-h30	1.5	3	0.15	5.24	2.2
FEM-A37-w15-h55		5.55		—	5.24
FEM-A37-w45-h30	4.5	3		5.24	2.2
FEM-A37-w45-h55		5.55		—	5.24



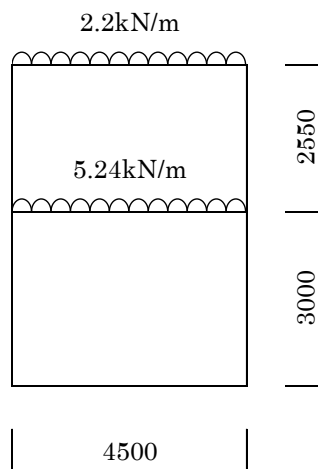
(a) FEM-A37-w15-h30



(b) FEM-A37-w45-h30



(c) FEM-A37-w15-h55



(d) FEM-A37-w45-h55

図 5.12 連層壁の FEM 解析モデル

### 5.6.2 解析結果と連層時における剛性低減係数

連層壁の解析結果を表 5.13 に示す。表 5.13 の $\delta$ は、1 層壁脚部から各層壁頂部の水平変位を表す。表 5.13 には、連層モデルから得られた単位壁幅あたりの剛性 $K_{h55}$ を単層モデルから得られた単位壁幅あたりの剛性 $K_{h30}$ で除した値“ $K_{h55}/K_{h30}$ ”を示す。“ $K_{h55}/K_{h30}$ ”は壁幅 1.5m の 1 階で 0.69 が、2 階で 0.18 が、壁幅 4.5m の 1 階で 0.86 が、2 階で 0.38 が得られ、1, 2 階ともに連層による剛性への影響が大きいことが確認された。

それぞれの階について $K_{h55}/K_{h30}$ の値を直線補間したものを(5.15)式から(5.17)式および図 5.13 に示す。本構法による総 2 階の住宅においては、連層壁における 1 階壁の剛性低減係数 $r_{s1}$ および 2 階壁の剛性低減係数 $r_{s2}$ は、(5.15)式から(5.17)式によることを提案する。

$$r_{s1} = 0.058L_w + 0.6 \quad (1.0 \leq L_w \leq 6.75) \quad (5.15)$$

$$r_{s1} = 1.0 \quad (7.0 \leq L_w \leq 9.0) \quad (5.16)$$

$$r_{s2} = 0.065L_w + 0.09 \quad (1.0 \leq L_w \leq 9.0) \quad (5.17)$$

表 5.13 連層壁の FEM 解析結果

解析モデル名	モデル壁幅 (m)	高さ (m)	Q (kN/m)		$\delta$ (mm)		K (kN/rad/m)		$K_{h55} / K_{h30}$	
			1F壁	2F壁	1F壁	2F壁	1F壁	2F壁	1F壁	2F壁
FEM-A37-w15-h30	1.5	3	8.1	—	2.0	—	12206	—	0.69	0.18
FEM-A37-w15-h55		5.55	8.1	3.6	2.9	7.0	8420	2222		
FEM-A37-w45-h30	4.5	3	30.4	—	2.0	—	45530	—	0.86	0.38
FEM-A37-w45-h55		5.55	30.4	13.5	2.3	4.3	39376	17114		

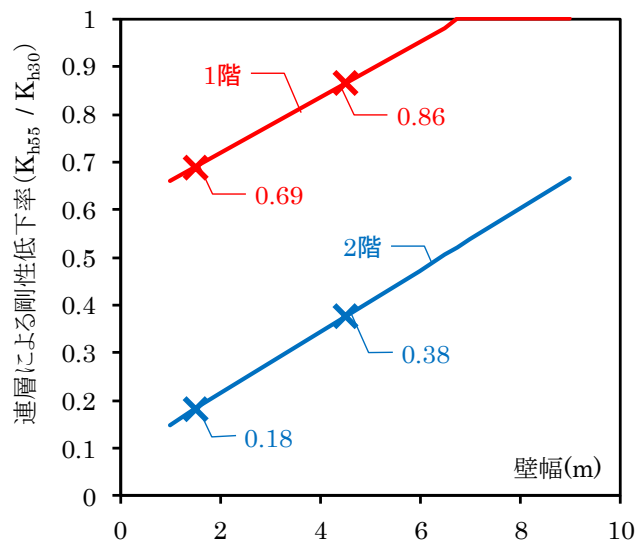


図 5.13 連層壁の設計用剛性

## 5.7 耐力壁の設計用せん断剛性の提案

本節では、前節までに提案した設計用基準剛性および剛性低減係数をまとめ、設計用せん断剛性の算出方法を提案する。本構法による耐力壁の設計用せん断剛性 $K_D$ (kN/mm)は、設計用基準剛性 $K_{dh}$ に壁幅 $L_w$ 、開口部による剛性低減係数 $r_{op}$ および連層による剛性低減係数 $r_{si}$ を乗じ、壁高さ $H_w$ で除すことで得られる。以上より、次の(5.18)式によることを提案する。

$$K_D = \frac{r_{op} \times r_{si} \times K_{dh} \times L_w}{H_w} \quad (5.18)$$

ここに、

$K_D$  : 設計用せん断剛性(kN/mm)

$r_{op}$  : 開口部による剛性低減係数で(5.13)式による ( $r_0 \leq 0.4$ )

$r_{si}$  :  $i$ 階の連層による剛性低減係数で(5.15)式から(5.17)式による (単層壁の時は $r_{si} = 1$ )

$K_{dh}$  : 設計用基準剛性(kN/rad/m)で(5.11)式による

( $r_0 > 0.4$ の開口部については開口部を除いた耐力壁の設計用基準剛性の和とする)

$L_w$  : 壁幅(m) ( $1.0 \leq L_w \leq 9.0$ )

$H_w$  : 壁高さ(mm) ( $2.55 \leq H_w \leq 3.0$ )

## 5.8 まとめ

本章では、壁長さ、開口部および階数をパラメータとした FEM 解析を行い、本構法による耐力壁の設計用せん断剛性の提案とその適用範囲を述べた。得られた知見を以下に示す。

### (1) 設計用せん断剛性の適用範囲

5.2 節では、本章で提案する設計用せん断剛性は、述べ面積が 30～40 坪程度の総 2 階の住宅で、階高は 2.55m から 3.0m、壁幅は 1m から 9m、開口部は一般の住宅で用いられる幅 0.25m～2m 程度までの腰窓や掃出し窓を想定した建物に適用することを示した。

### (2) FEM 解析モデルの妥当性の確認

5.3 節では、第 3 章および第 4 章で行った面内せん断実験を模擬した FEM 解析を行い、解析モデルの妥当性を確認した。材料特性には第 2 章で行ったプリズム試験の結果を用い、自重と固定荷重を考慮した片持ちモデルで弾性解析を行った。解析結果は有開口壁で剛性をやや低めに評価するものの実験結果とおおよそ一致したため、解析モデルは妥当性と判断した。

### (3) 単層壁の設計用剛性

5.4 節では、壁幅をパラメータとした FEM 解析と弾性論による弾性剛性の計算を行い、共に実験結果とおおよそ一致することを確認した。曲げ変形が卓越する壁幅 4.5m 以下の範囲では、壁幅 $L_w$ と壁高さ $H_w$ が単位壁幅あたりの剛性に与える影響が大きいことから、それらを考慮するために単層無開口壁の設計用基準剛性 $K_{dh}$ は弾性論による弾性剛性から求めることを提案した。

### (4) 開口部による剛性低減係数

5.5 節では、開口形状をパラメータとした FEM 解析を行い、無開口壁と比較したときの剛性低下率と等価開口周比の関係を確認した。等価開口周比が 0.4 以下の範囲では、既往の壁式 RC 造の開口部による剛性低減率では解析結果の剛性を高めに評価することから、解析結果の近似直線により本構法における開口部による剛性低減係数 $r_{op}$ を提案した。等価開口周比が 0.4 を超える場合は、有開口壁を開口幅分の壁を除いた独立した耐力壁とみなし、それぞれの面内剛性を求める方法が安全側に評価できることを確認した。

(5) 連層時における剛性低減係数

5.6 節では、壁高さをパラメータとした FEM 解析を行い、総 2 階の 2 層壁における 1 階壁と 2 階壁の剛性と単層壁の剛性を比較し、その影響を考慮した剛性低減係数 $r_{si}$ を提案した。

(6) 耐力壁の設計用せん断剛性の提案

5.7 節では、前節までに提案した設計用基準剛性および剛性低減係数をまとめ、設計用せん断剛性 $K_D$ (kN/mm)は $K_D = r_{op}r_{si}K_{dh}L_w/H_w$ で求められることを提案した。



## 第5章 参考文献

- 5.1) 日本建築学会 構造委員会 壁式構造運営委員会: 各種メーソンリー構造設計ノート 2009, pp.24-25, 2009.3
- 5.2) 日本建築学会: 壁式鉄筋コンクリート造設計・計算規準・同解説, pp.163-179, 2015.12
- 5.3) 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか監修, 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 全国官報販売協同組合, pp.296-308, 2015.6
- 5.4) 日本建築学会 構造委員会 壁式構造運営委員会: 各種メーソンリー構造設計ノート 2009, pp.5-13, 2009.3
- 5.5) 日本建築学会: 型枠コンクリートブロック造設計規準・同解説, 壁式構造関係設計規準集・同解説 (メーソンリー編), pp.55-62, 2006.3

## 第6章

### 結論



## 6.1 本研究で得られた成果

本研究では、内部鉄筋を有する ALC ブロックを用いた打ち込み工法による補強組積造の材料試験、ブリズム試験を行いそれぞれの構造特性を確認するとともに、無開口組積壁および有開口組積壁の面内せん断実験を行い、面内せん断性状を確認した。さらに、FEM 解析を行い、壁幅や開口形状などが面内せん断剛性へ与える影響を確認し、総 2 階の住宅における組積壁の面内せん断剛性の算出方法を提案した。以下に、本研究の目的と得られた成果を総括する。

第 1 章では、研究背景、本構法の概要と構造計算方法および本研究の目的について述べた。初めに研究背景では、ALC ブロックの内部に補強鉄筋（内部鉄筋）を配置し、型枠コンクリートブロック造のように縦筋と横筋で補強することで、無機材料による耐火性と耐久性、ALC による断熱性および壁式構造による高い耐震性を有する住宅構法が実現できる可能性を述べた。次に構法概要では、本構法は壁厚を 250mm、1 層の高さを 2.55～3m とした 2 階建て建物を想定し、比重 0.37 の ALC (ALC37) ブロックを積み上げた後に縦筋（両端 M20 転造ネジの丸鋼、SNR490B）と横筋（D10、SD295A）で補強し、プレミックタイプのグラウトを空洞部に充填する打ち込み工法による補強組積造であることを述べた。続いて、構造計算方法の概要では鉛直力および水平力に対する建物全体の力の流れを確認した。最後に、本研究では各材料、組積体および耐力壁の構造特性を確認して本構法への許容応力度の適用可能性を確認するとともに、30 坪から 40 坪程度の総 2 階の住宅における耐力壁の設計用せん断剛性の評価方法を確立することを目的とすることを述べた。

第 2 章では、本構法で使用する ALC、グラウト、鉄筋の材料特性と、組積体の特性を確認した。初めに、ALC、グラウト、鉄筋の材料試験を行い、それぞれの材料特性を得た。ALC の圧縮強度、ヤング係数は、コンクリートと比較して 1/10 程度の値が得られ、ロット内やロット毎のばらつきも小さいことが確認された。次に、比重および内部鉄筋の有無が異なる 3 種類の ALC を用いた組積体の圧縮試験、せん断試験および引張試験を行い、それぞれの強度特性と告示で定められる組積体の設計基準強度（ALC37 で  $2.77\text{N/mm}^2$ ）を確認した。内部鉄筋は組積体の圧縮およびせん断性状において荷重低下の抑制と変形性能の向上に寄与することを確認した。

第 3 章では、無開口組積壁の面内せん断実験により無開口壁の面内せん断性状を確認し、既往のメーソンリー構造の計算式による耐力と剛性の評価を行った。初めに、壁幅とブロック材料、内部鉄筋の有無が異なる無開口壁の面内せん断実験を行った。それぞれの試験体で曲げひび割れ、せん断ひび割れ、引張鉄筋の降伏が確認され、破壊性状は曲げ破壊と曲げ降伏後のせん断破壊が確認された。ブロックの内部鉄筋は、縦筋降伏後の耐力上昇と最大荷重後の荷重低下の抑制、変形性能の向上に寄与することが確認された。次に、AIJ による既往のメーソンリー構造の計算式を参考に、第 2 章で得られた材料特性と本構法の配筋状態や内部鉄筋の効果を考慮して終局耐力までの耐力の計算とせん断ひび割れまでの変形の計算を行った。破壊モードは計算結果と一致し、耐力は±20%の精度で評価できることを確認した。変形は、せん断ひび割れ後の剛性低下には対応していないが、初期剛性と曲げひび割れ後の剛性低下に

ついて、おおむね評価することができた。

第4章では、有開口組積壁の面内せん断実験により面内せん断性状の確認を行い、これまでの実験結果のまとめとして設計基準強度より求めた許容せん断耐力と実験結果との比較を行った。初めに、開口形状の異なる有開口壁の面内せん断実験を行い、それぞれの破壊性状や開口部の影響を確認した。全ての試験体で、 $1/1500\text{rad}$  までは開口隅角部にわずかな損傷が生じる程度に留まり、 $1/1000\text{rad}$  を超えたあたりから壁全体に曲げひび割れ、せん断ひび割れが進展した。破壊性状は、せん断破壊と曲げ降伏後のせん断破壊が確認された。開口幅  $2\text{m}$  の腰窓を想定した試験体ではまぐさ部のせん断破壊が生じたことから、実際の設計ではまぐさ部にせん断補強筋を十分に配筋するなどの設計上の配慮が必要ことが確認された。また、開口両側の壁幅が短いためにせん断破壊面が横筋を跨がずに破壊した試験体では、最大荷重後の急激な耐力低下が生じたことから、開口両側の壁幅が短い場合には横筋を増やすなどの設計上の配慮が必要ことが確認された。次に、これまでの実験結果と第2章で得られた設計基準強度より求めた短期許容せん断耐力を比較したところ、危険側の耐力評価となることが確認されたため、損傷の程度や荷重-変形関係、最大耐力までの余裕度を考量し、本構法の1次設計時の設計クライテリアを  $1/1500\text{rad}$  以下と設定した。

第5章では、壁幅、開口形状、階数をパラメータとした FEM 解析を行い、設計用せん断剛性の算定式を提案した。初めに、本論文で提案する算定式の適用範囲を、述べ面積が  $30\sim 40$  坪程度の総2階の住宅とすることを示した。また、これまでの実験を模擬した FEM 解析を行い、解析モデルの妥当性確認した。次に、壁幅をパラメータとした FEM 解析と第3章で行った弾性論に基づく面内剛性を計算し、実験結果、解析結果および計算結果が一致したことを確認した。そのため、単層無開口壁の設計用基準剛性を弾性剛性の計算式により求めることを提案した。続いて、開口形状をパラメータとした解析を行い、既往の RC 造の開口部による剛性低減率では解析結果の剛性を高めに評価することから、解析結果の近似直線により本構法における開口部による剛性低減係数を提案した。さらに、階数をパラメータとした解析を行い、総2階の2層壁における1階壁と2階壁の剛性と単層壁の剛性を比較し、連層の影響を考慮した剛性低減係数を提案した。最後に、設計用基準剛性にそれぞれの剛性低減係数を乗じた算定式により、本構法の設計用せん断剛性を求められることを提案した。

以上のように、本論文では内部鉄筋を有する ALC ブロック組積造の面内せん断性状を確認し、独自の設計クライテリアの設定と耐力壁の設計用せん断剛性の算出方法を提案した。用途や規模は限られているものの、本構法による建物の構造設計方法の一部を確立することができたと考える。

## 6.2 今後の課題と展望

本研究を進めるにあたり、いくつかの仮定を設けることや制限範囲を設ける必要があった。特に、本研究で得られた知見は建物全体の構造計算における一部であり、さらに用途や規模を限定した評価方法であった。そこで、本構法に関する今後の課題と展望について以下に述べる。

- 1) 本研究は耐力壁の面内方向のせん断力に対する構造計算方法の確立を目的とした。しかし、実際の地震時の被害状況をみると、組積壁の面外方向の破壊が多いことも事実である。そのため、組積壁の面外方向の特性を確認し、直交壁の必要範囲を定めるなどの検討が必要と考えられる。
- 2) 梁と壁の接合部においては、長期荷重時における梁の鉛直荷重の支持能力が明らかでない。特に梁端部は金物を介して局所的な力が ALC ブロックに作用するため十分な安全性の確認が必要である。また、ALC 自体のクリープ係数は小さいが、木梁を含めたクリープによる影響を確認する必要がある。
- 3) 耐力壁線上の耐力壁は、大梁、頭つなぎおよびブロックまぐさにより接合されているが、それぞれの軸方向に関する耐力や剛性などの構造特性は明らかでない。特に木梁は、両端部に金物を介して局部的に壁に接合するため、引張力を受ける際の破壊性状などを把握しておく必要がある。
- 4) 本構法では柔床を仮定して、それぞれの耐力壁線が負担する荷重をそれぞれの耐力壁線上の耐力壁が負担することとしている（以下、簡易分配法）。しかし、実際の床は構造用合板によりある程度の剛性があるため、床の面内剛性による耐力壁線間の力のやり取りに及ぼす影響を考慮し、簡易分配法の妥当性を確認する必要がある。
- 5) 床面は柔床を仮定しているが、床に作用する慣性力は組積壁まで伝達する必要がある。床と壁は床接合金物により接合されているが、慣性力を伝えるのに十分なせん断耐力と剛性を有しているかを確認する必要がある。
- 6) 本研究では、開口上部のまぐさ部による曲げ戻し効果を見逃しているが、実際にはある程度の曲げ剛性を有しているため、その効果について確認する必要がある。また、面外方向の荷重を直交壁に伝達する役割を担っているため、まぐさ部の面外方向の構造特性についても確認する必要がある。
- 7) 本研究では、平面上 L 型や T 型となる耐力壁の効果を見込まなかった。実際の建物では L 型や T 型の耐力壁となる場合が存在するため、その効果についても把握する必要がある。

- 8) 本研究では、基礎梁の剛性は耐力壁の剛性と比較して十分高いと仮定してそれぞれの耐力壁の剛性評価を行った。しかし、本構法の構造モデルは基礎からの片持ち形式のため基礎梁に作用する曲げモーメントが大きくなることから、上部構造の影響を考慮した基礎梁の設計が必要と考えられる。
- 9) 本研究における組積壁の面内せん断性状の確認は静的な範囲に留まったため、建物全体として構造特性を把握するためにも水平振動台などを用いた振動実験を行い、振動特性や実地震動に対する応答を確認する必要があると考えられる。
- 10) 本研究で提案した組積壁の設計用せん断剛性は、用途や規模を限定した内容となった。実際には住宅以外の用途や総 2 階以外の建物にも対応できるように、パラメータスタディ等を行って適用範囲を広げる検討が必要となる。
- 11) 本研究における FEM 解析の解析条件は弾性範囲に留まった。実験で確認できるパラメータは限られるため、今後は FEM 解析を用いて非線形領域まで再現できる評価手法を確立する必要があると考えられる。
- 12) 本構法による建物を実際に設計する際には、必要な壁量やプランの自由度を確認する必要がある。第 1 章で示したプラン例は、本研究や他の実験、解析内容の結果を踏まえたうえで構造計算を実施したプランであるが、プランニング時に簡易な方法で構造安全性を確認できるように必要壁量を示したり、仕様規定を設けたりするなどの工夫が必要であると考えられる。

以上のように、多くの課題が残されているが、第 1 章で述べたように本構法は多くの魅力的な価値を有するため、今後も実現に向けた研究が進むことを期待したい。

## APPENDIX A   メーソンリー構造の曲げモーメントの計算

### A.1 計算における仮定（再掲）

3.3.1 項で示した計算における仮定を以下に再掲する。また、曲げ解析時における組積壁の応力度およびひずみ度の分布と合力の作用位置を図 A.1 に示す。

- 1) ALC とグラウトからなる組積体は、プリズム試験より得られた強度、剛性を持つ単一材料とみなした。鉄筋と組積体は重複するものとし、グラウトを充填していない縦穴部にも組積体が存在するものとした。
- 2) 組積壁は基礎側を固定端、頂部を自由端とした片持ちモデルとした。加力梁の重量および危険断面位置である壁底部に作用する試験体の自重を考慮した。
- 3) 組積壁の壁両端 50mm の目地間にはシーリングにより 0.5mm 程度の隙間がある。これにより曲げ変形した際には壁端部が圧縮縁とならないため、曲げモーメントの計算時には組積壁の壁幅は実長よりも 50mm ずつ短いものとした（以下、モデル壁幅）。
- 4) 曲げモーメントの計算時には平面保持を仮定し、組積体は曲げひび割れ発生まで引張応力を負担して、それ以降は全断面で負担しないものとした。組積体の圧縮応力度－ひずみ度関係は、曲げ降伏以降使用しないため、表 A.1 の強度と剛性を持つ直線とした。
- 5) 縦筋の断面積は、切削ネジの M16 と M22 ではネジ部の有効断面積とし、転造ネジの M20 では軸部の断面積とした。



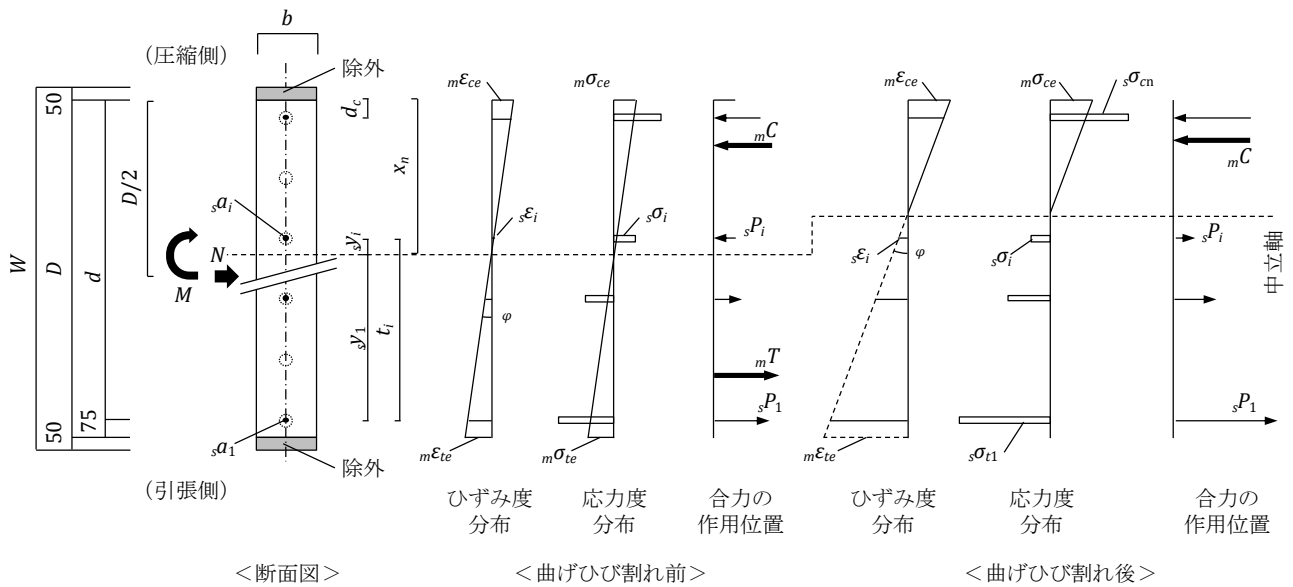


図 A.1 組積壁の応力度およびひずみ度分布と合力の作用位置

表 A.1 計算に用いた材料特性

項目	部位	詳細	ALC50	ALC37	ALC42
強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ALC	引張強度	0.69	0.61	0.66
	組積体	圧縮強度	2.91	2.77	2.37
		目地部の 付着強度	0.18	0.23	
		ひび割れ時の 引張強度	0.35	0.16	0.09
		ひび割れ時の せん断強度	0.53	0.25	0.14
	縦筋	降伏点	501(M22) 416(M16)	354	
横筋	降伏点	348	363		
剛性 (kN/mm <sup>2</sup> )	組積体	ヤング係数	1.60	1.31	1.41
		せん断弾性係数	0.63	0.43	0.40
	縦筋	ヤング係数	198(M22) 185(M16)	208	
	横筋	ヤング係数	173	202	

## A.2 曲げひび割れモーメント時における中立軸位置の算出

曲げひび割れ発生前の組積壁について、組積壁に軸力が作用している時の曲げモーメントを考える。組積壁に作用する軸方向の力のつり合いから、

$${}_mC + \sum {}_sP_i - {}_mT = N \quad (\text{A.1})$$

$${}_mC = \frac{1}{2} b x_n m \sigma_{ce} \quad (\text{A.2})$$

$${}_sP_i = {}_s a_i {}_s \sigma_i \quad (\text{A.3})$$

$${}_mT = \frac{1}{2} b (D - x_n) m \sigma_{te} \quad (\text{A.4})$$

$${}_s y_i = {}_{bc} x_n + t_i - d \quad (\text{A.5})$$

ここに、

- $N$  : 組積壁に作用する軸力
- ${}_mC$  : 圧縮側の組積体の合力
- ${}_mT$  : 引張側の組積体の合力
- ${}_sP_i$  : 鉄筋*i*に作用する力
- $x_n$  : 圧縮縁から中立軸までの距離
- ${}_s y_i$  : 中立軸から鉄筋*i*の中心までの距離
- $t_i$  : 引張側端部の鉄筋中心から鉄筋*i*の中心までの距離
- $W$  : 組積壁の壁幅
- $D$  : 組積壁のモデル壁幅 ( $W - 100(\text{mm})$ )
- $d$  : 組積壁の有効モデル壁幅 ( $D - 75(\text{mm})$ )
- $b$  : 組積壁の幅
- ${}_m \sigma_{ce}$  : 圧縮縁の圧縮応力度
- ${}_m \sigma_{te}$  : 引張縁の引張応力度
- ${}_s \sigma_i$  : 鉄筋*i*に作用する応力度
- ${}_s a_i$  : 鉄筋*i*の断面積

組積壁の引張縁の引張応力度 ${}_m \sigma_{te}$ が組積体の引張強度 ${}_m \sigma_t$ に達したときの曲げモーメントを組積壁のひび割れ曲げモーメントとし、この時の中立軸位置を ${}_{bc} x_n$ とする。曲率とひずみの関係より

$$\varphi = \frac{{}_m \varepsilon_t}{D - {}_{bc} x_n} = \frac{{}_m \varepsilon_{ce}}{{}_{bc} x_n} = \frac{{}_s \varepsilon_i}{{}_s y_i} \quad (\text{A.6})$$

ここに、

- $\varphi$  : 曲率  
 $m\varepsilon_t$  : 組積壁の引張縁が引張強度に達した時のひずみ度  
 $m\varepsilon_{ce}$  : 組積壁の圧縮縁のひずみ度  
 $s\varepsilon_i$  : 鉄筋*i*のひずみ度  
 $bcx_n$  : 曲げひび割れ時の圧縮縁から中立軸までの距離

となり、(A.2)式～(A.6)式および応力度とひずみ度の関係を(A.1)式に用いて、 $bcx_n$ について解けば、次の(A.7)式が得られる。

$$bcx_n = \frac{bD^2 m\sigma_t + 2m n m\sigma_t (d \sum s a_i - \sum s a_i t_i) + 2DN}{2bD m\sigma_t + 2m n m\sigma_t \sum s a_i + 2N} \quad (\text{A.7})$$

ここに、

$m n$  : ヤング係数比 (= 鉄筋のヤング係数  $sE$  / 組積体のヤング係数  $mE$ )

### A.3 降伏曲げモーメントの算出

#### (1) 中立軸が断面内にある場合の引張側端部の鉄筋降伏時の曲げモーメント

曲げひび割れ後の組積壁について、組積壁に軸力が作用している時の曲げモーメントを考える。組積壁に作用する軸方向の力のつり合いおよび中立軸まわりの曲げモーメントのつり合いから、

$$mC + \sum sP_i = N \quad (\text{A.8})$$

$$M = \frac{2}{3} mC x_n + \sum sP_i s y_i + N \left( \frac{D}{2} - x_n \right) \quad (\text{A.9})$$

$$mC = \frac{1}{2} b x_n m \sigma_{ce} \quad (\text{A.10})$$

$$sP_i = s a_i s \sigma_i \quad (\text{A.11})$$

引張側端部の鉄筋の引張応力度  $s\sigma_1$  が鉄筋の降伏点  $s\sigma_y$  に達したときの曲げモーメント  $M_y$  を求める。この時の中立軸位置を  $y x_n$  とし、曲率とひずみの関係より (A.12) 式が得られる。

$$\varphi = \frac{m \varepsilon_{ce}}{y x_n} = \frac{s \varepsilon_i}{s y_i} = \frac{s \varepsilon_1}{s y_1} \quad (\text{A.12})$$

ここに、

$y x_n$  : 引張側端部の鉄筋降伏時の圧縮縁から中立軸までの距離

$m \varepsilon_{ce}$  : 組積壁の圧縮縁のひずみ度

$s \varepsilon_i$  : 鉄筋  $i$  のひずみ度

$s \varepsilon_1$  : 引張側端部の鉄筋が降伏点に達したときのひずみ度

$s y_1$  : 中立軸から引張側端部の鉄筋中心までの距離

(A.10) 式から (A.12) 式および応力度とひずみ度の関係を (A.8) 式に用いて  $y x_n$  について解くと (A.13) 式が得られ、(A.12) 式および応力度とひずみ度の関係を (A.9) 式に用いて整理すると (A.14) 式が得られる。

$$y x_n = \frac{m n}{b} \left\{ \sqrt{\left( \sum s a_i + \frac{N}{s \sigma_y} \right)^2 - \frac{2b}{m n} \left( \sum s a_i t_i - d \sum s a_i + \frac{N(t_1 - d)}{s \sigma_y} \right)} - \left( \sum s a_i + \frac{N}{s \sigma_y} \right) \right\} \quad (\text{A.13})$$

$$M_y = \left( \frac{b y x_n^3}{3 m n s y_1} + \frac{\sum s y_i^2 a_i}{s y_1} \right) s \sigma_y + N \left( \frac{D}{2} - y x_n \right) \quad (\text{A.14})$$

(2) 中立軸が断面内にある場合の圧縮縁の組積体圧壊時の曲げモーメント

組積体の圧縮縁応力度 $m\sigma_c$ が圧縮強度 $m\sigma_c$ に達したときの曲げモーメント $M_c$ を求める。この時の中立軸位置を ${}_c x_n$ とし、曲率とひずみの関係より(A.12)式が得られる。

$$\varphi = \frac{m\varepsilon_c}{{}_c x_n} = \frac{s\varepsilon_i}{s y_i} \quad (\text{A.15})$$

ここに、

- ${}_c x_n$  : 圧縮縁の組積体圧壊時の圧縮縁から中立軸までの距離
- $m\varepsilon_c$  : 組積体の圧縮縁応力度が圧縮強度に達したときのひずみ度
- $s\varepsilon_i$  : 鉄筋 $i$ のひずみ度

(A.10)式、(A.11)式および(A.15)式と応力度とひずみ度の関係を(A.8)式に用いて ${}_c x_n$ について解くと(A.16)式が得られ、(A.15)式および応力度とひずみ度の関係を(A.9)式に用いて整理すると(A.17)(A.14)式が得られる。

$${}_c x_n = \frac{m n}{b} \left\{ \sqrt{\left( \sum s a_i + \frac{N}{m n m \sigma_c} \right)^2 - \frac{2b}{m n} \left( \sum s a_i t_i - d \sum s a_i \right)} - \left( \sum s a_i + \frac{N}{m n m \sigma_c} \right) \right\} \quad (\text{A.16})$$

$$M_c = \left( \frac{b}{} c x_n^2}{3} + \frac{m n \sum s y_i^2 a_i}{{}_c x_n} \right) m \sigma_c + N \left( \frac{D}{2} - {}_c x_n \right) \quad (\text{A.17})$$

## APPENDIX B FEM 解析の材料モデル

ここでは、第 4 章で用いた FEM 解析の材料モデルの詳細について述べる。FEM 解析の材料モデルには直交異方性材料モデルを用いており、各方向のヤング係数とせん断弾性係数には表 B.1 に示す値を用い、ポアソン比を 0 とした。直交異方性材料モデルの構成則の一般式は(B.1)式に示す通りであるが、各方向のヤング係数を  $E$ 、せん断弾性係数を  $G$ 、ポアソン比を 0 とすると、本論文で使用した構成則は(B.2)式のようになる。これは、応力とひずみが壁厚方向に一樣となる等方性材料の平板モデルの解析と同等となる。本解析の目的は、開口部が壁面内方向の弾性剛性に与える影響を確認することであるため、壁厚方向の応力とひずみを一樣と仮定しても解析結果に与える影響は小さいと判断した。

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{33} \\ 2\epsilon_{12} \\ 2\epsilon_{23} \\ 2\epsilon_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{12}}{E_1} & -\frac{\nu_{13}}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{21}}{E_2} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{23}}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{31}}{E_3} & -\frac{\nu_{32}}{E_3} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{31}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \end{bmatrix} \quad (\text{B.1})$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{33} \\ 2\epsilon_{12} \\ 2\epsilon_{23} \\ 2\epsilon_{31} \end{bmatrix} \quad (\text{B.2})$$

ここに

- $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{31}$  : 応力
- $\epsilon_{11}, \epsilon_{22}, \epsilon_{33}, \epsilon_{12}, \epsilon_{23}, \epsilon_{31}$  : テンソルひずみ
- $E_1, E_2, E_3$  : ヤング係数
- $G_{12}, G_{23}, G_{31}$  : せん断弾性係数
- $\nu_{12}, \nu_{23}, \nu_{31}$  : ポアソン比

表 B.1 FEM 解析における材料特性

比重 (-)	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
1.1	2.0	0.5

発表論文リスト

論文タイトル	共著者	掲載誌、年月
ALCブロックを用いた組積体の材料特性と組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究 その1~5	中田信治、中村亮太、飯田秀年、諏訪愛、大楠海加、角崎康太、飯干福馬、花井勉、楠浩一、田才晃	日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV, pp.277-286, 2015.9
ALCブロックを用いた組積体の材料特性と組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究 その6~8	宮崎遼、中村亮太、飯田秀年、諏訪愛、皆川隆之、中田信治、花井勉、杉本訓祥 田才晃	日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV, pp.179-184, 2016.8
ALCブロックを用いた組積体の材料特性と組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究 その9~11	中村亮太、横田誠、飯田秀年、皆川隆之、中田信治、花井勉、杉本訓祥、田才晃	日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV, pp.477-482, 2017.7
ALCブロックを用いた組積体の材料特性と組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究 その12~13	中村亮太、横田誠、小山遥加、飯田秀年、皆川隆之、花井勉、杉本訓祥、田才晃	日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV, pp.5-8, 2017.7
一軸振動台を用いたALC組積造の動的応答に関する基礎的研究	横田誠、田才晃、杉本訓祥、	コンクリート工学年次論文集, vol40, No.2, pp.931-936, 2018.7
Experimental Study on Masonry Walls Using AAC Blocks	K. Takashima, S. Nakata, R. Nakamura, H. Iida, T. Hanai, A. Tasai	16th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.705, 2017.1
ALCブロックを用いた無開口組積壁の面内せん断性状に関する実験的研究	高島健史、中村亮太、中田信治、花井勉、杉本訓祥、楠浩一、田才晃	日本建築学会構造系論文集 第83巻 第749号, pp1075-1085, 2018.7
ALCブロックを用いた有開口組積壁の面内せん断性状と剛性低減率に関する研究	高島健史、中村亮太、飯田秀年、皆川隆、中田信治、花井勉、杉本訓祥、田才晃	日本建築学会構造系論文集 第83巻 第752号, pp1499-1506, 2018.10



## 謝辞

本論文を執筆するにあたり、関係する多くの方々に多大なるご協力、ご指導を頂戴いたしました。ここに深く感謝の意を表します。

横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院教授 田才晃先生、同准教授 杉本訓祥先生からは、終始懇切丁寧なるご指導を頂きました。東京大学地震研究所教授 楠浩一先生からは、多くの貴重なご意見を頂きました。横浜国立大学技術専門職員 畠中雄一氏には本研究の実験を進めるにあたり、多くのご協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院教授 河端昌也先生、同教授 松本由香先生、同教授 細田暁先生からは、本論文の審査過程におきまして、多くの貴重なご意見を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

旭化成ホームズ株式会社 住宅総合技術研究所 横山伸一所長、小山雅人氏、中田信治氏ならびに当時住宅総合技術研究所 飯星力氏、伊藤康明氏には、本研究を進めるにあたり、多くの貴重なご助言、ご支援を頂きました。

株式会社えびす建築研究所 花井勉氏、中村亮太氏、飯田秀年氏、皆川隆之氏、鶴林雅代氏、小林博一氏、当時高周波熱錬 飯干福馬氏、五十嵐冬人建築設計事務所 五十嵐冬人氏、アルコット建築設計事務所 河合春樹氏、アイデア建築デザイン事務所 吉村正一郎氏、株式会社設計コア 越賀一級建築士事務所 越賀克郎氏、小松建築設計株式会社 八重幡強氏、ひゃくワークス 松下亜美氏ならびに株式会社琢建築構造設計 内藤俊一には、本研究を進めるにあたり、多大なるご協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

本研究の実験を行うにあたり、秋山工業の秋山庄二氏、創秋工業の秋山圭介氏、古村悟氏、柿本工業の柿本興一氏、サン技研の西尾有生氏、木下淳一氏、静岡住設の方々、中村愛樹彦氏、日鉄高炉セメント株式会社 堀健治氏には多大なるご協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。また、当時横浜国立大学大学院生の大蔵勇太氏、角崎康太氏、諏訪愛氏、大楠海加氏、宮崎遼氏、横浜国立大学大学院生の横田誠氏、小山遥加氏には、多くのご協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、旭化成ホームズ株式会社 住宅総合技術研究所 渡部和良氏、前川敏晴氏、島根則明氏、松井久仁雄氏、高瀬裕隆氏、林由紀子氏、伊藤康之氏、荒木徹氏、同技術本部 勝間譲二本部長、村上幸靖部長、大槻吏氏、木村大地氏、高橋力氏、当時住宅総合技術研究所 進藤哲郎氏、重信成俊氏、菅野普氏、池田知子氏、旭化成建材株式会社 小川晃博氏、白石真二氏、阿部信一氏には、多くのご支援を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

最後に、本論文の執筆にあたり、多くを支えてくれた妻 あずさ、娘 つむぎに心から感謝致します。

平成 31 年 3 月 8 日