

## 第1章 序 論

- 1. 1 はじめに
- 1. 2 本研究の目的
- 1. 3 超高層集合住宅の構造形式
- 1. 4 本論文の構成

# 第1章 序 論

## 1.1 はじめに

わが国における超高層集合住宅は、1972年竣工の18階建て東京の椎名町アパート(写真1.1-1)を第1号として、その後、より高く、より大スパンを目指し、大きな進歩を遂げてきた。そこで一貫してみられる共通点は、鉄筋コンクリート造によるラーメン架構というキーワードである。

鉄筋コンクリート造によるラーメン架構が超高層集合住宅の架構形式として定着した理由は、以下の3点が挙げられる。

- (1) 鉄筋コンクリート造は、鉄骨造などに比較し剛性が高く、重量が大きいいため、頻度の高い季節風や台風並びに頻度の高い小地震などの外乱に対して揺れが少なく、住宅としての高い居住性能の確保が容易であること。
- (2) ラーメン構造は靱性の確保が容易である。すなわち、大地震時に建築物の崩壊から人命の保護を図るという観点から、地震時に粘り強く変形し、エネルギーを吸収する架構の形成が容易であること。
- (3) 鉄筋コンクリート造の建設コストは、鉄骨造や鉄骨鉄筋コンクリート造と比較し安価であること。

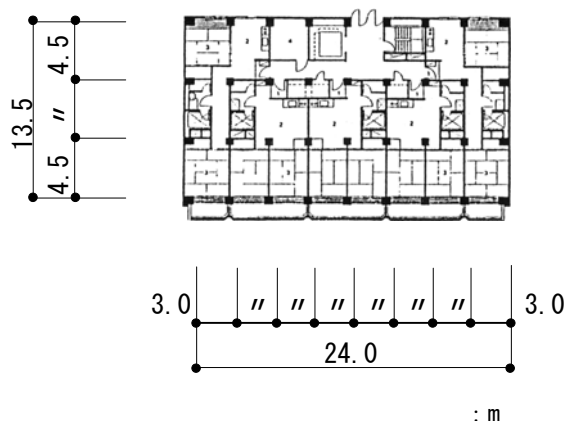


写真 1.1-1 鹿島「椎名町アパート」<sup>1)</sup>

しかし、このラーメン架構は、標準的な柱スパンが5~6mで、X、Y方向に大梁が恰も碁盤の目のように連結される。一方、建築計画上は、住戸内に柱や大梁・小梁が一切無く、さらに超高層集合住宅の大きな魅力の一つである眺望を確保するためには、建物の外周部にも梁型や柱の無い構造形式が理想である。現実には、この従来のラーメン架構では、住戸内の建築計画は柱や大梁・小梁の制約を受け、平面的に広々とした大空間や、天井高の高い居室空間の確保が困難である。また、立面的にも多くの制約があり、画一的な建築空間を余儀なくされるのが常である。

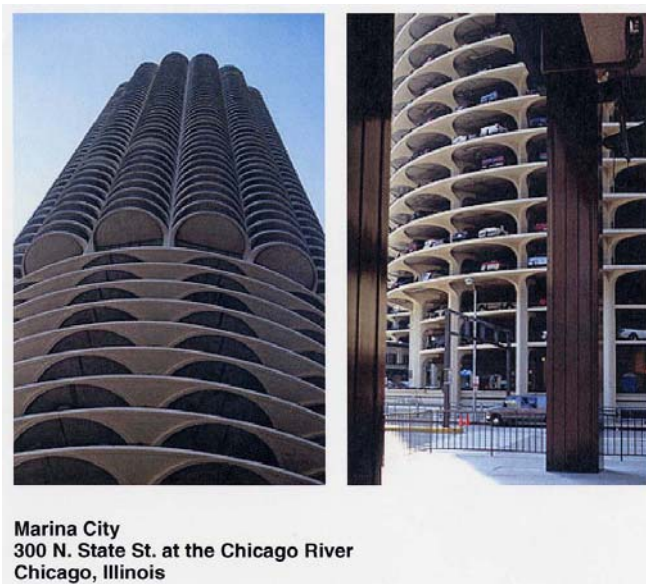
翻って、非地震地帯であるアメリカ東部を代表とする鉄筋コンクリート造超高層マンションの架構形式は当時どうであったかと言えば、鉄筋コンクリート造18階建ての椎名町アパート竣工約10年前の1964年にはシカゴでマリナシティがすでに完成していた。この建物は地上60階建てで、1階から19階までが駐車場、20階から60階までは450戸の住宅になっている。

写真1.1-2は施工中の状況である。直径10.5mのセンターコアが先行し、周囲のフラットスラブが後から追いかけて施工されている。

写真1.1-3は完成後のマリナシティである。



写真 1.1-2 施工中のマリナシティ<sup>2)</sup>



Marina City  
300 N. State St. at the Chicago River  
Chicago, Illinois

写真 1.1-3 完成後のマリナシティ<sup>2)</sup>

写真 1.1-4 はニューヨーク郊外の「センターコアとフラットスラブ」より成る典型的なアメリカ東部の高層マンションの建設風景である。筆者が丁度 1978 年から 2 年間アメリカの構造設計事務所で研修中に撮影したものである。

写真 1.1-5 はカナダのエドモントンの「センターコア+フラットスラブ」架構の冬季における躯体の建設風景である。



写真 1.1-4 典型的なアメリカ東部の  
高層マンション

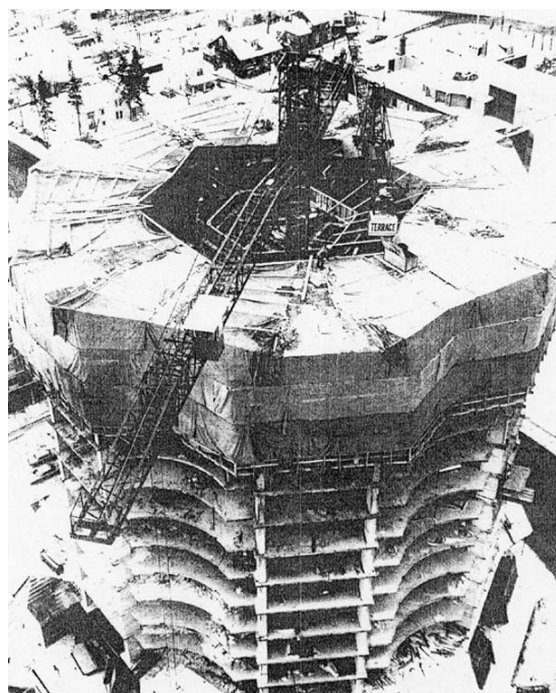


写真 1.1-5 エドモントンプロジェクト<sup>3)</sup>  
高層マンション

このようにアメリカで見られるような広々とした開放感のあるマンション空間の実情を目の当たりにした筆者は、地震大国日本であっても、ジャングルジムの様に柱・梁が縦横に林立した貧弱で息苦しい空間から解放されるために、なんとか「コア壁+フラットスラブ」形式の耐震架構が実現できないかという夢を長年持ちつづけることとなる。

この時、実現の大きな障壁となったのは、高強度コンクリートの実用化と、コア壁に生じる曲げ変形の処理であった。

表 1.1-1 は海外、特にアメリカにおける高強度コンクリートの適用状況を表したものである。椎名町アパートでは  $F_c30N/mm^2(F_c300kg/cm^2)$  と日本の当時としては最も高強度のコンクリートが用いられていたのに対し、アメリカでは

Fc60N/mm<sup>2</sup>級の高強度コンクリートがすでに普及していた。また、日本で初めて Fc60N/mm<sup>2</sup>(Fc600kfg/cm<sup>2</sup>)の高強度コンクリートが適用された名古屋のザ・シーン城北(45階建て、高さ160m)が着工されたのは1992年であり、アメリカには実に30年以上も遅れて実用化となったものの、念願の Fc60N/mm<sup>2</sup>級の高強度コンクリートの実用化に成功した。現在では、Fc150N/mm<sup>2</sup>はおろか、Fc200N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートまでも実用可能となり、高強度コンクリートの実用化という第一の障壁は完全に克服することができた。

表 1.1-1 海外における高強度コンクリートを利用した建築物の適用例

建築物の名称	建築場所	施工年 または 竣工年	階数	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )
Midcontinental Plaza	シカゴ	1972	50	62
Frontier Towers	シカゴ	1973	55	62
Royal Bank Plaza	トロント	1975	43	61
Water Tower Place	シカゴ	1975	79	62
River Plaza	シカゴ	1976	56	62
Richmond-Adelaide Center	トロント	1978	33	61
Chicago Mercantile Exchange	シカゴ	1982	40	62
Columbia Center	シアトル	1983	76	65
Interfirst Plaza	ダラス	1983	72	69
Century Square	シアトル	1986	30	69
Two Union Square	シアトル	1989	58	96
225 West Wacker Drive	シカゴ	1989	46	96
Pacific First Center	シアトル	1989	46	96
311 South Wacker Building	シカゴ	1990	65	82
Bourke Place	メルボルン	1990	55	60
530 Collins Street	メルボルン	1990	39	65
Melbourne Central	メルボルン	1991	55	60

2つ目の障壁であるコア壁の地震時曲げ変形の処理については、1990年代に入り、実用化の段階を迎えた制震装置の油圧ダンパ(HiDAM：図 1.1-1)の活用により解決した。

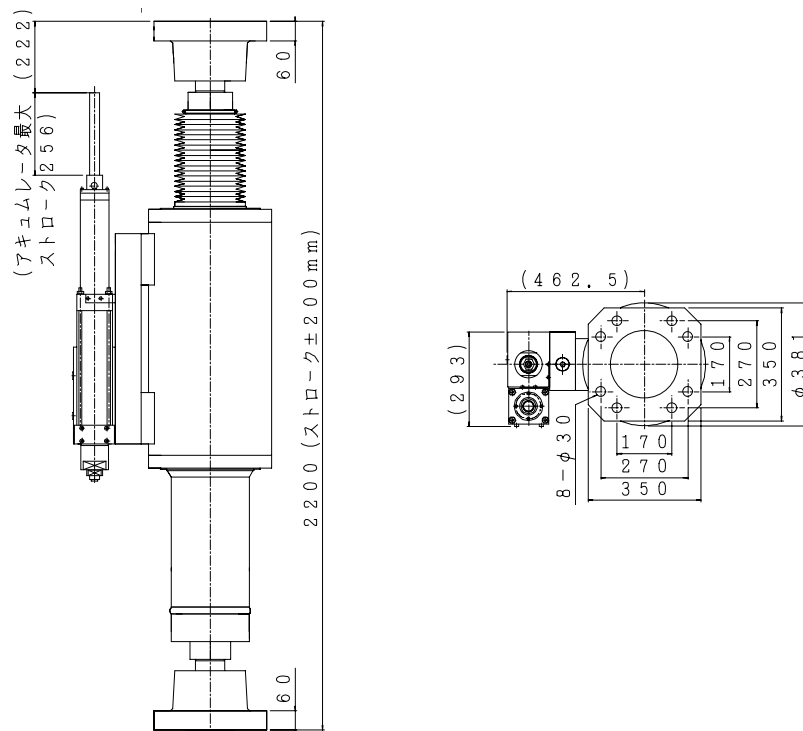


図 1.1-1 制震装置 (HiDAM)

以下に、筆者が考案した従来にはない全く新しい概念の構造架構の研究について述べる。

## 1.2 本研究の目的

「曲げ変形制御型制震構造」は図 1.2-1 に示すように、平面のほぼ中央にコア壁（スーパーウォール）を配置し、このスーパーウォールに地震力や風圧力による水平力を全て負担させる「曲げ変形制御型制震構造」<sup>4)</sup>である。水平力を負担するスーパーウォールには曲げおよびせん断変形が生じるが、超高層であるため変形量の中で支配的なこの曲げ変形を制御することが重要となる。スーパーウォールの最上部には剛強な頂部梁（スーパービーム）を片持梁形式で剛接しており、スーパーウォールの曲げ変形はスーパービームの先端では上下変形に変換・拡幅される。この上下動をスーパービーム先端と平面外周に設けた柱（コネクティング柱）最上部との間に縦型に設置したダンパに作用させることにより、建物全体に減衰を付加し、揺れを制御する制震構造である。この架構では、各階はスーパーウォールとフラットスラブと、これを支えるための建物外周部分に設けたコネクティング柱と軸力柱によってのみ構成され、柱やスーパーウォールに取り付く大梁はない。したがって居住空間に柱や梁がないため、自由度の高い空間が確保できることになる。

本論文では、まず、この新しい「曲げ変形制御型制震構造」の基本特性を明らかにする。次に、制震装置の特性、スーパーウォールやスーパービームの弾性剛性の変化、床スラブの面外曲げ剛性が架構全体に及ぼす影響を明らかにし、これらの主要耐震要素が塑性化した場合の影響を明らかにする。そして、実建物へ適用する過程において、それぞれの建物ごとに存在した設計上の課題とそれに対する解決方法について示す。

以上により、これまでに類を見ない「曲げ変形制御型制震構造」が建築計画上、大変合理的で、十分な耐震安全性を有した実用性の高い架構形式であることを明らかにする。

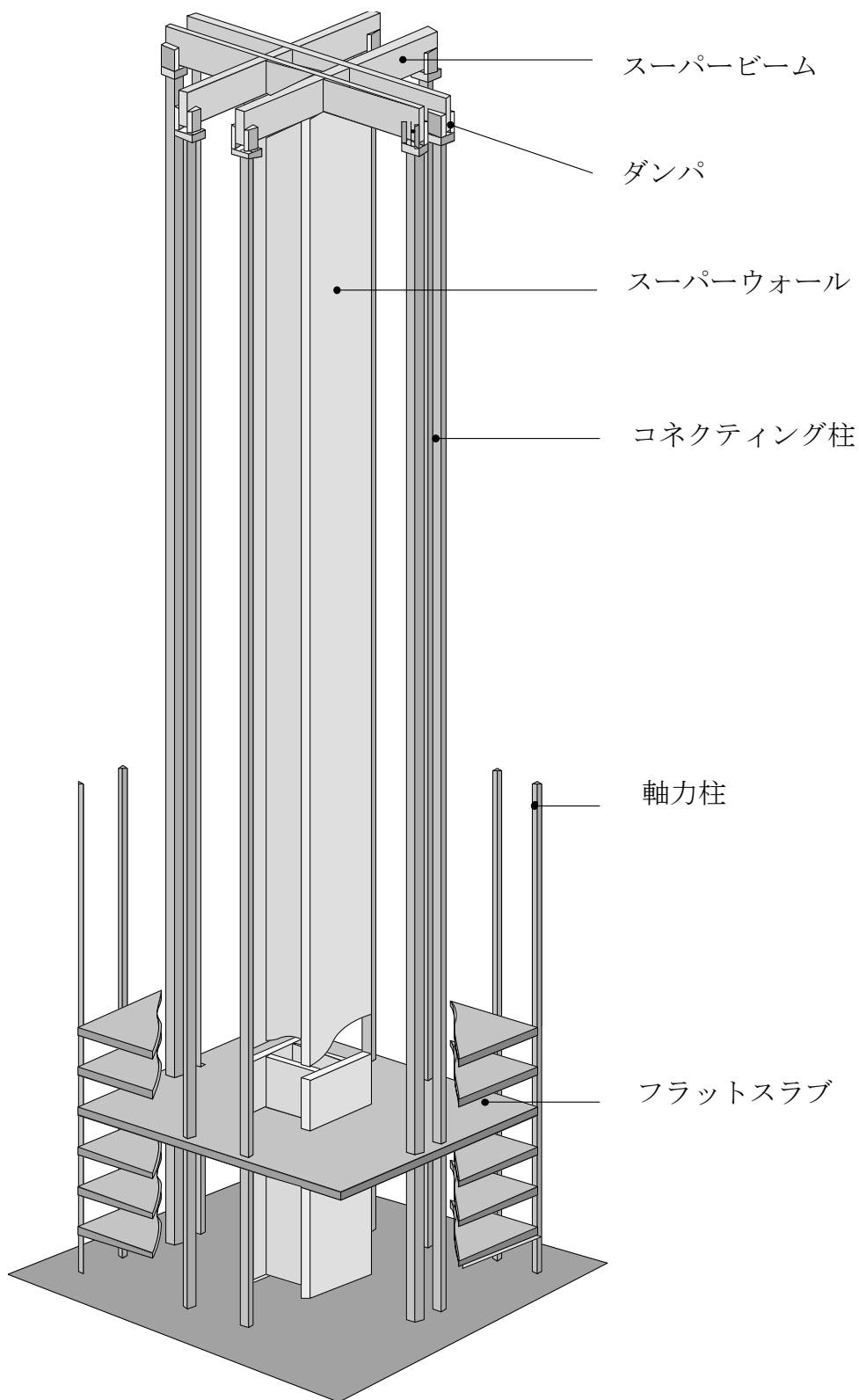


図 1.2-1 構造架構概念図



### 1.3 超高層集合住宅の構造形式

我が国の超高層集合住宅の歴史は、図 1.3-1 に示すような 1972 年竣工の鉄筋コンクリート造（以下、RC造）の 18 階建て（設計は 20 階建て）の鹿島「椎名町アパート」<sup>5)</sup>に始まる。架構形式は、柱・梁からなる純ラーメン構造で、その柱スパンは 3.0m×4.5m、コンクリートの設計基準強度( $F_c$ )は 30N/mm<sup>2</sup>であった。

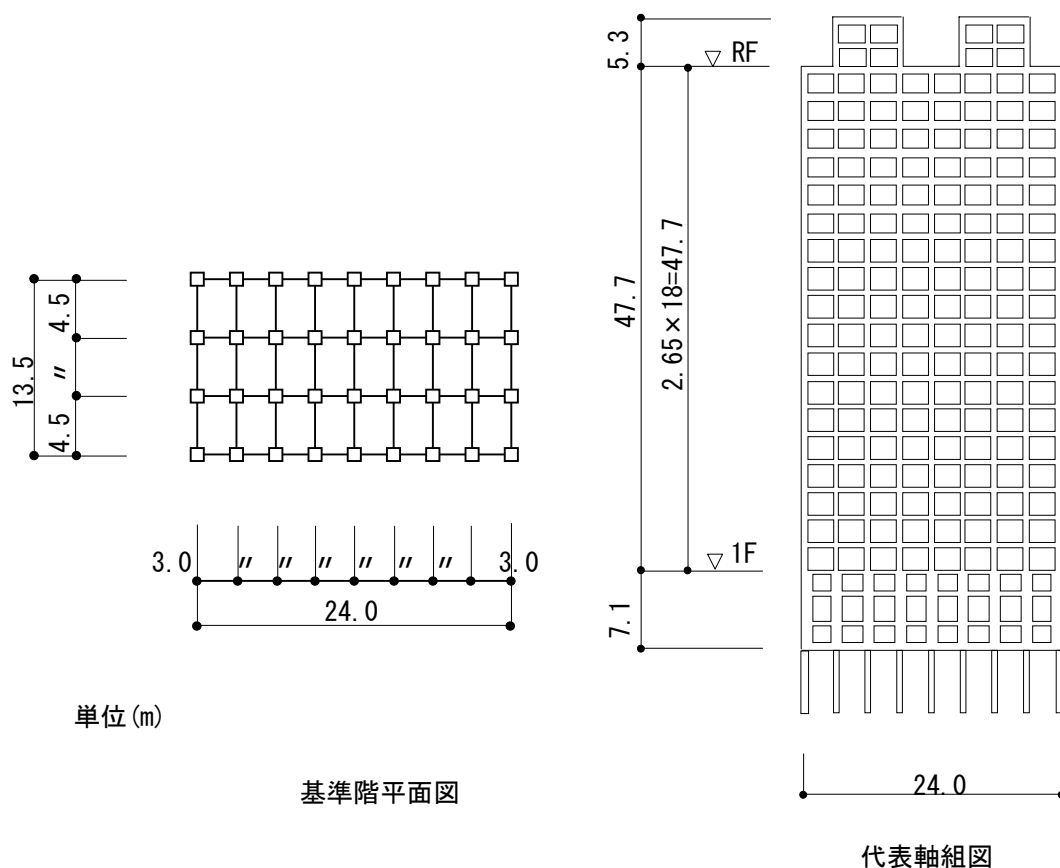


図 1.3-1 既往の構造計画 (1) 椎名町アパート

その後、より高層化を目指した開発が進み、1984 年には「パークシティー新川崎 (30F, 純ラーメン構造, 柱スパン 4.8m~5.3m,  $F_c42$ )」<sup>6),7)</sup>、1993 年には図 1.3-2 に示す「ザ・シーン城北 (45F, 純ラーメン構造, 柱スパン 5.5m×5.2m,  $F_c60$ )」<sup>8)</sup>、さらに、2000 年には「汐留H街区 56F, 純ラーメン構造, 柱ス

パン 5.5m×5.2m, Fc100)」<sup>9)</sup>と発展していく。

これらは、鉄筋コンクリート造でより高層化を目指した開発であり、解析技術の向上や主要材料である鉄筋、コンクリートの高強度化により架構の成立が可能となったと考えられる。

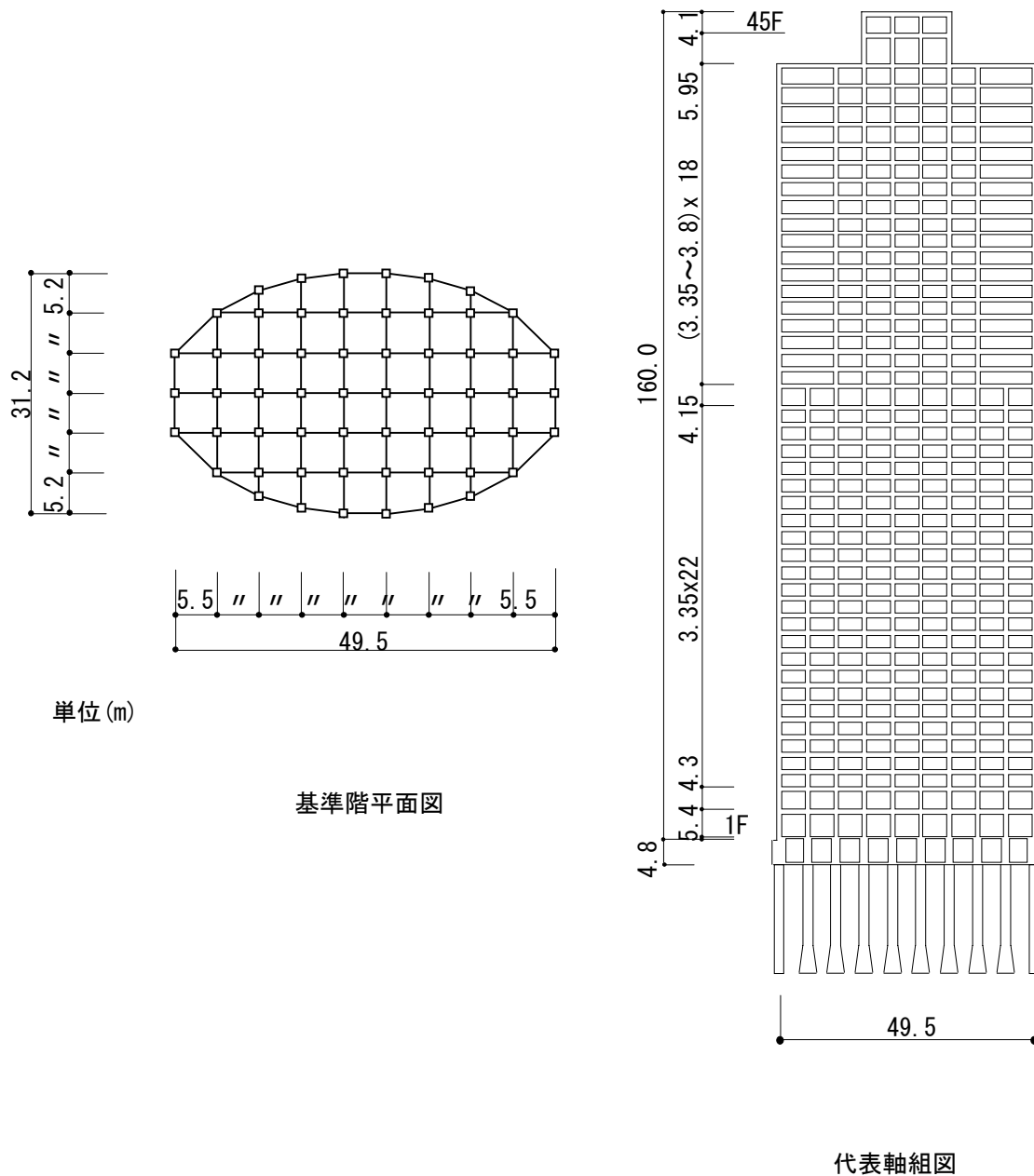


図 1.3-2 既往の構造計画 (2) ザ・シーン城北

1990年代になると、より高層化を目指した開発に加え、建築計画上におけるより高品質な居住空間の確保、すなわち居住空間に柱や梁の影響をより少なくするような架構形式の工夫が見られるようになる。

居室内から柱を取り除き、外周や内部に柱をある程度細かく列柱状に配置して梁で結合してチューブ架構として解決を図ったものが見られる。図 1.3-3 に示す「ディアマークスキャピタルタワー (35F, ダブルチューブ架構, 代表柱スパン 3.2m)」<sup>10)</sup>や「ブランファーレ (36F, ダブルチューブ架構, 代表柱スパン 3.5~4.0m)」<sup>11)</sup>である。これらはコア部内周のチューブ架構と外周のチューブ架構によって耐震・耐風性能を確保する構造形式であるため、居住空間に柱・梁の少ない架構形式である。

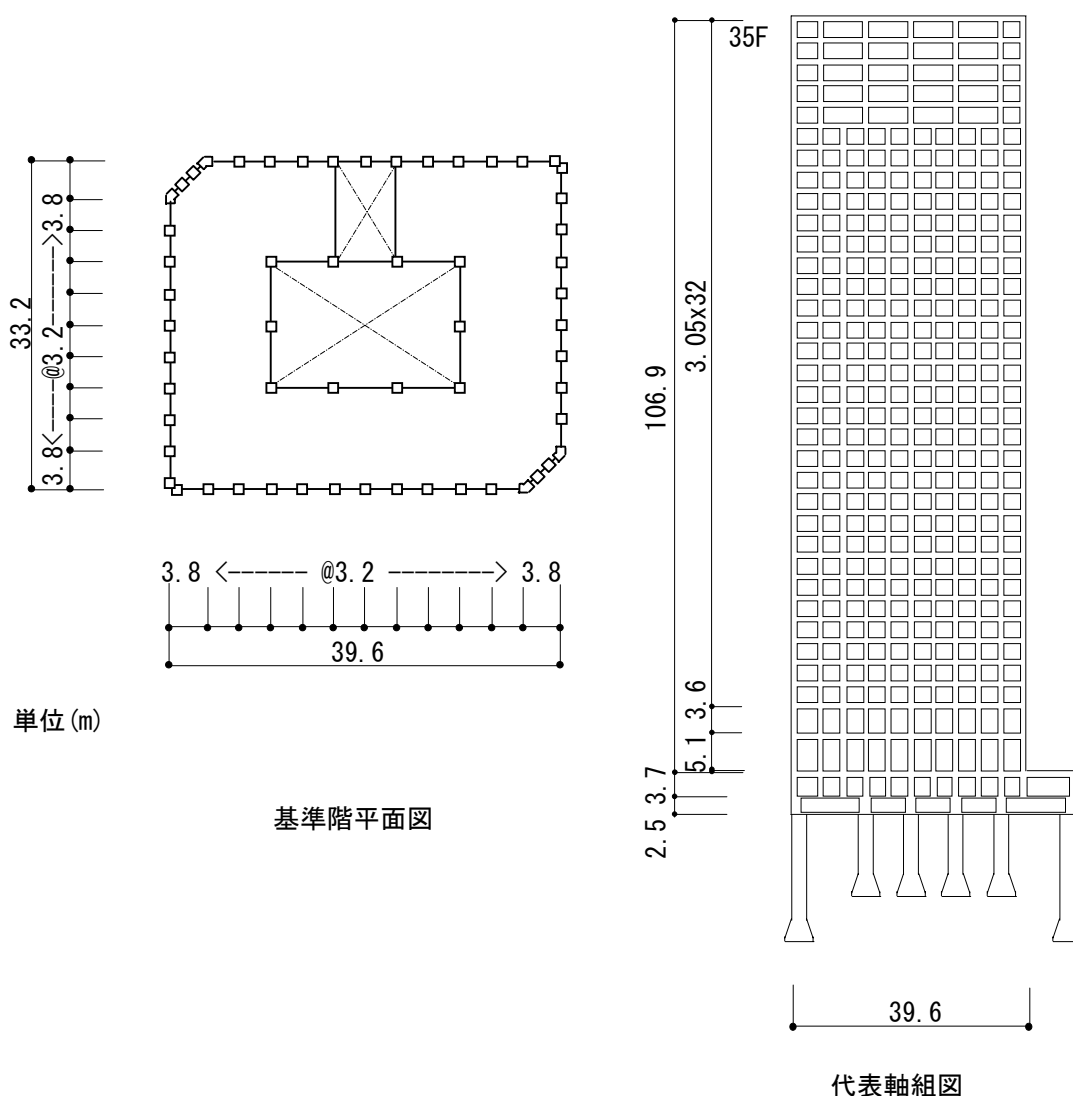


図 1.3-3 既往の構造計画 (3) ディアマークスキャピタルタワー

居住空間に柱や梁の影響をより少なくするような架構形式の工夫のもう一つは連層耐震壁とラーメンを組み合わせた耐震壁付ラーメン架構である。連層耐震壁を用いて柱梁のラーメン架構の水平力負担を減らすことにより、柱梁の断面を小さく抑える設計が可能となる。連層耐震壁の配置計画としては、住宅としての機能を確保する為、戸境壁や平面中央のコア部周囲の連層耐震壁として配置される。戸境壁を採用したのものには図 1.3-4 に示される「(仮称)西神南ガーデンタウン(Ⅲ期)(戸境壁形式, 22F)」<sup>12)</sup>があり、平面中央のコア部周囲に耐震壁を採用したのものには図 1.3-5 に示される「(仮称)南千住四丁目都民住宅建設工事(センターコア壁形式, 33F)」<sup>13)</sup>がある。

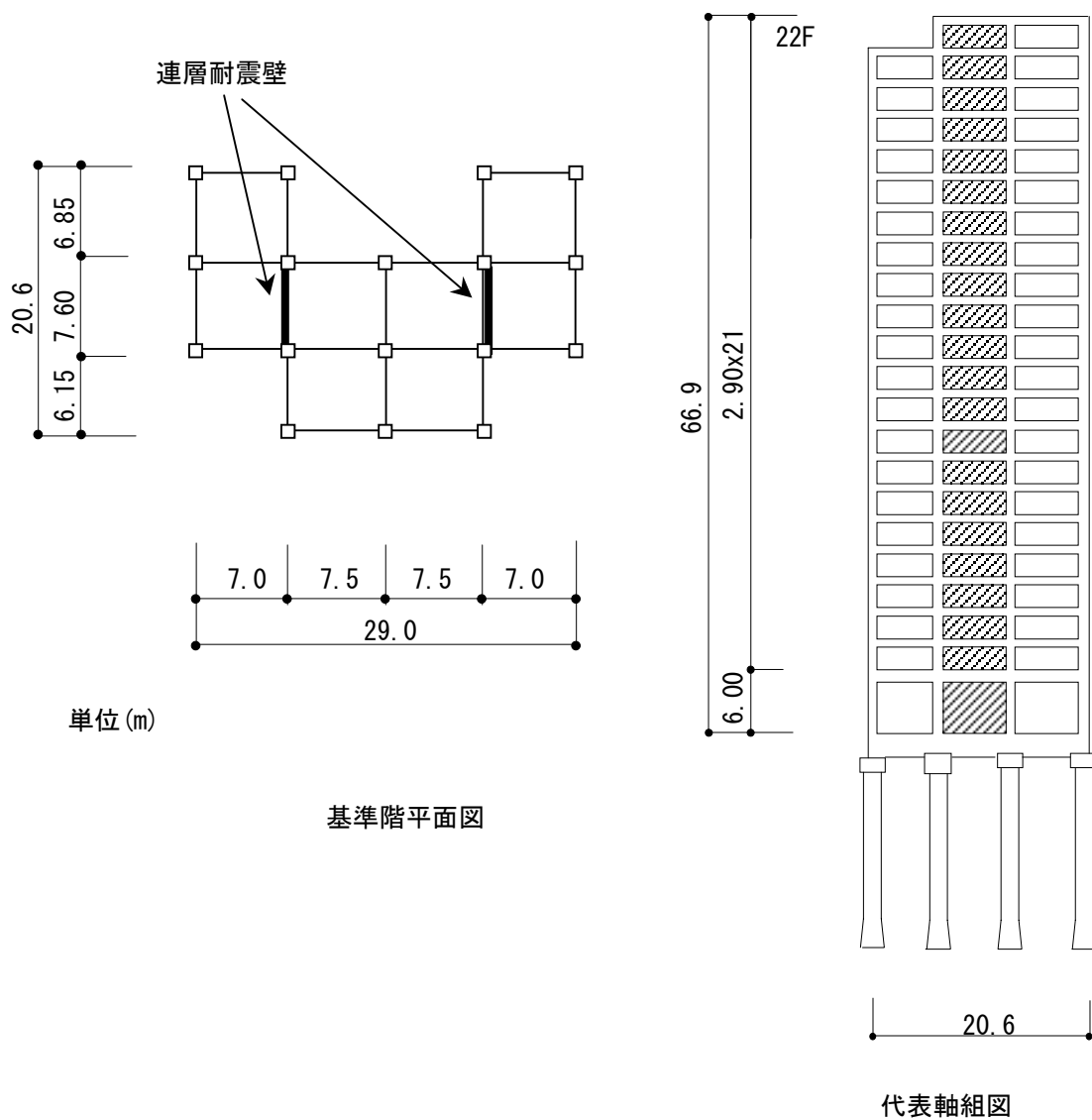


図 1.3-4 既往の構造計画 (4) (仮称)西神南ガーデンタウン(Ⅲ期)

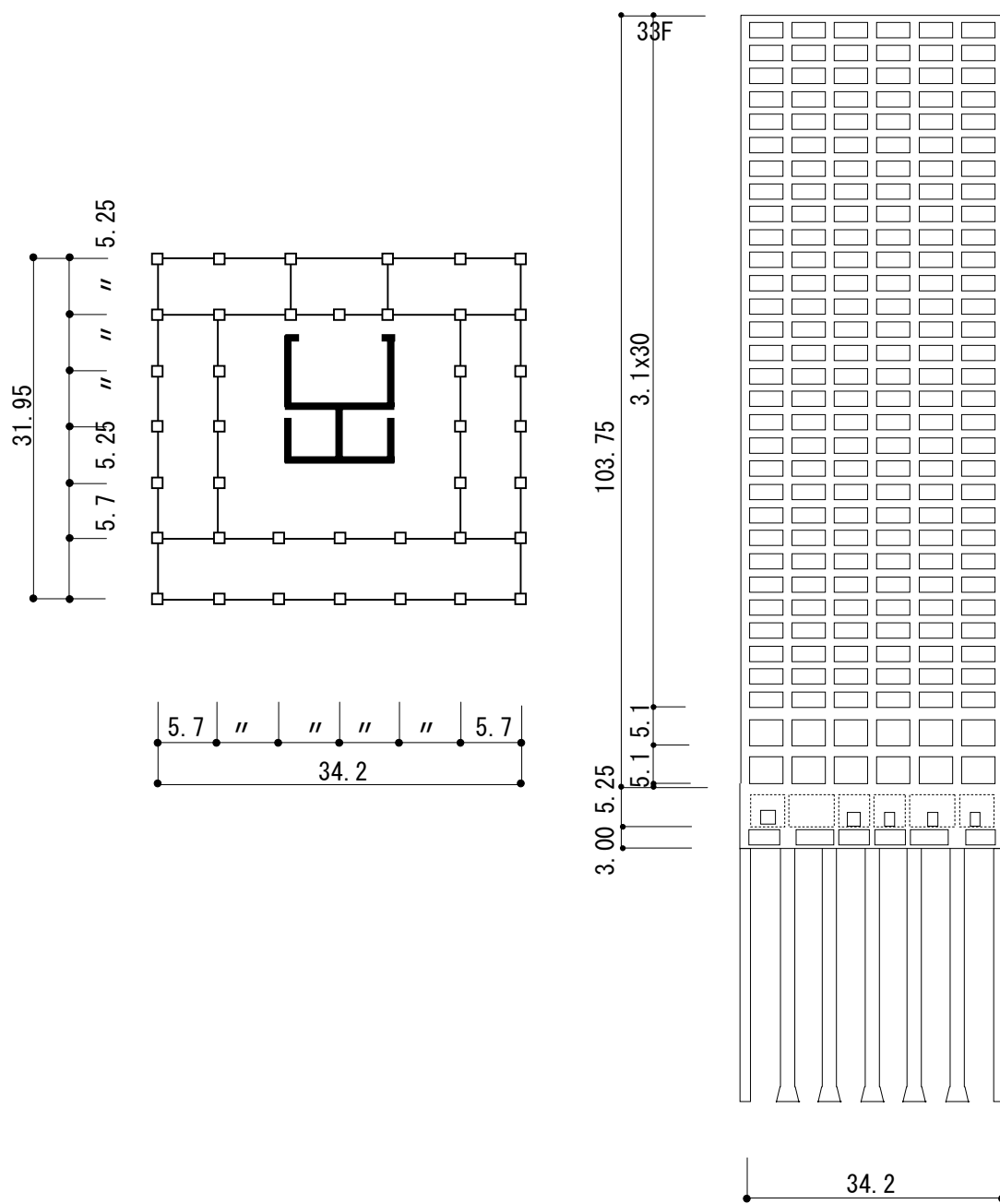


図 1.3-5 既往の構造計画 (5) (仮称)南千住四丁目都民住宅建設工事

一方において、超高層集合住宅の耐震性能をより高めるため、制震装置や免震装置といったデバイスを積極的に用いて地震エネルギーを確実に吸収させる架構形式に展開していったものも見られる。

制震を採用した例では、各階において鋼製ダンパを組み込んだ「鴨川グランドタワー(制震,33F)」<sup>14,15)</sup>に始まり、主に耐震性能を高める目的で、多数のプロジェクトに採用されている。

免震を採用した構造としては、1997年の「ロイヤルヒルズ三の丸キャピタルタワー(免震,21F)」<sup>16,17)</sup>に始まり、現在では、「京阪くずはEブロックT棟(免震,42F)」<sup>18)</sup>とより高層化している。

これらの耐震、制震、免震構造の基本骨組は地震力や風圧力に対して架構の靱性を確保するため、地上部はほとんどラーメン架構やチューブ架構である。より高層化をめざして、制震、免震構造の採用は、大地震時や暴風時にも揺れや躯体に生じる損傷を極力少なく、住宅としてより高い耐震・耐風性能を確保するために採用されてきたと考えられる。

従来の超高層集合住宅のラーメン構造は、柱スパンが5~6mで、柱に対してX、Y方向に大梁が接続する。このため、住戸プランが制約を受けたり、大梁のために下がり天井が出るなど、広い居室や高い天井高の確保が難しく、プランの自由度は高いとは言い難かった。チューブ架構・連層耐震壁付きラーメン架構では、その自由度が向上したといえる。しかしながら、各階にある梁・柱が耐震要素であるため、階・スパンという概念からの脱却は図られていない。

それらの架構に制震装置を組み込み、建物の耐震・耐風安全性を向上させる手法は多数採用されているが、それらのほとんどが、各階の層間変形に対して作用する受動型制震構造である。このような形式は、制震装置が各階に配置されるため、平面計画への自由度が阻害される一因となっている。

また、連層耐震壁付き架構にも制震装置を組み込む発展形も考案されている。一般的に連層耐震壁の形状は建築的な制約を受け、十分な曲げ剛性が確保しづらい。このため、地震時には曲げ変形を呈するようになる。この曲げ変形を制御する目的で、図 1.3-6 に示すように各階の連結梁部分に制震部材を用いて変形を制御する架構形式<sup>19)</sup>などが考えられている。

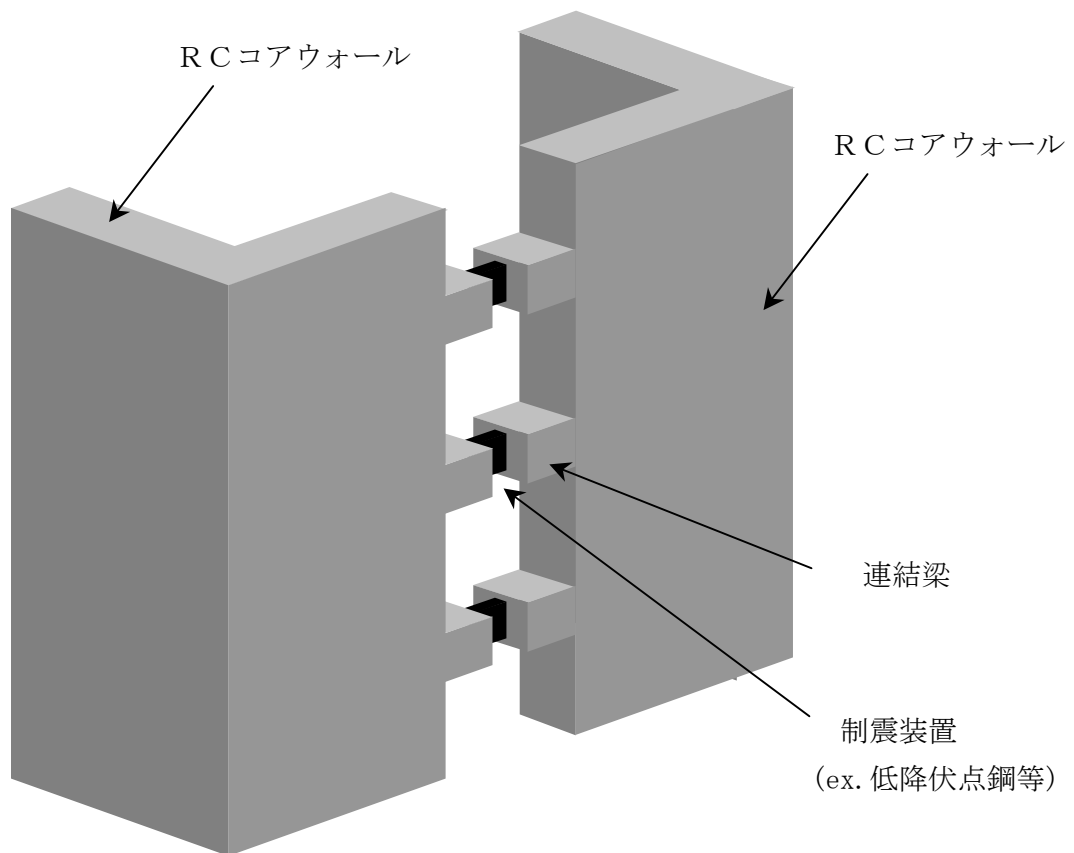


図 1.3-6 既往の構造計画 (6) コア壁に連結梁型制振ダンパを用いた例 <sup>19)</sup>

いずれにしても、制震装置を組み込む既往の例は層間に設置しており、主に各階の変形に対してエネルギー吸収を図るものが大部分である。

筆者が扱う「曲げ変形制御型制震構造」は 1.1 に示したように、制震装置を建物最上階のみに設置して、建物全体の曲げ変形に対し制震装置を効かせる「曲げ変形制御型制震構造」であり、このような事例は見られない。

また、今回、対象とする架構形式においては、各階はコア壁と床スラブそしてそれを支える柱のみで構成されるため、階の概念がなく立面計画の自由度は、従来の柱・梁で構成される構造物よりはるかに向上する。

## 1.4 本論文の構成

本論文の構成は、以下である。

「第2章 曲げ変形制御型制震構造の基本特性」において、本架構の最大の特徴である建物の曲げ変形を直接的に制御する方法やその効果、さらには制震構造としての特色について精査し、最も基本的な1質点モデルを対象として、曲げ変形制御による振動低減の基本原理や制御効果について明らかにする。まず、曲げ変形（従属自由度）にMaxwell型ダンパが設置された1質点モデルの動特性が、層間設置型と同様な単純な3要素Maxwellモデルで厳密に表現できることを示す。次に、3要素Maxwellモデルを対象に得られている知見を活かしながら、所要の制御効果を実現するために必要とされる構造性能について考察する。

「第3章 試設計建物モデルによる解析検討(試設計建物モデルの弾性解析)」において、本架構で構築される建築物をモデル建物として想定する。主要耐震要素であるスーパーウォール、スーパービーム、コネクティング柱、ダンパの4要素のみを抽出し、弾性状態における振動解析検討を行う。建築物として妥当な部材の断面形状に鑑みながら、第2章で理論的に得られる構造性能(主に付加減衰性能)が実建物での適用の可能性について考察する。

「第4章 各構造部材の非線形性特性が及ぼす影響(試設計建物モデルの非線形応答解析)」において、前章で得られた知見に対し、より実際の建物に近い状況を解析モデルに反映した解析検討を行う。建築物として必要不可欠な床部材を解析モデルに追加し、各部材の非線形性を考慮に入れた解析を実施する。主論点は、スーパーウォールの周囲にあるコンクリートスラブの曲げ剛性や強度がスーパーウォールの曲げ変形を抑え、これらを無視していた前章の解析に比べ、スーパービーム端部とコネクティング柱頂部の変形差が減少し、ダンパの付加減衰力の有効性が鈍化する問題への考察を行う。当然ながら、床の初期剛性をもとにした弾性解析検証においてはこの影響を受けてダンパによる付加減衰効果は半減するが、床スラブの地震時の非線形性を考慮に入れた解析を実施することにより、ダンパによる有効な付加減衰効果の可能性について多角的に考察する。更に、スーパーウォールの曲げ非線形性、コネクティング柱の軸非線形性、スーパービームの曲げ非線形性と、本架構の主要耐震4要素の中で本機構に影響のある非線形性が、本架構の制震効果に与える影響について考察し、実建物への適用の可能性を迫る。



「第5章 実建物への適用過程における諸課題の解決」において、前章までに明らかとなった曲げ変形制御型制震構造の構造原理および構造特性を元に、実建物に本架構形式を適用し、超高層集合住宅建築物としての成立させるために諸課題を解決した事例を示す。さらに、その実用化の過程において、曲げ変形制御型制震構造の優位性並びに実用性を示す。

「第6章 結論」は、本研究の結論である。