別紙様式第２号

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏　　名	山本　剛大
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	環情博甲第 1897 号
学位授与年月日	平成２９年３月２４日
学位授与の根拠	学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）第４条第１項及び横浜国立大学学位規則第５条
学府・専攻名	環境情報学府　環境システム学専攻
学位論文題目	厚肉構造に対応したシェル要素による数値解析
論文審査委員	主査 横浜国立大学　教授　山田貴博 横浜国立大学　准教授　松井和己 横浜国立大学　教授　森下　信 横浜国立大学　教授　中野　健 横浜国立大学　准教授　澁谷忠弘 横浜国立大学　准教授　白石　俊彦

論文及び審査結果の要旨

有限要素法において計算時間と計算精度は相反する特性であり，計算精度を優先する場合にはソリッド要素が，計算時間を重視する場合にはシェル要素が用いられる．既存のシェル要素では板厚方向の力学挙動を平面応力仮定によりモデル化することで計算時間を短縮している．このとき，面厚による板厚の変化等を評価することはできないため，厚肉構造において計算精度が低下する場合がある．このような問題に対して，本論文では，板厚方向の力学挙動を評価することが可能な新しいシェル要素を提案することで，計算時間と計算精度が両立する数値計算手法を提案している．

第１章では，最初に，有限要素法の連続体要素（ソリッド要素）と構造要素によるモデル化の特徴から構造要素の有用性を述べるとともに，本研究が対象とする厚肉構造においては，板圧の変化を考慮できない標準的なシェル要素の適用限界が存在し，工学的に現れる問題においてはモデル化として不十分であることを指摘している．これに対して，板圧変化を考慮可能な既往のシェル要素が構造要素としての特徴を失ったものとなっていることを述べ，構造要素の特徴を失うことなく板圧変化を考慮できるシェル要素を開発することを本研究の目的の一つと設定している．また，局所的な力学挙動を表現するためには，連続体要素を用いた解像度の高いモデル化が必要となることから，連続体要素とシェル要素を適切に接続する手法が有用であることを述べ，このような手法の開発をもう一つの研究目的と設定している．

第２章では，板圧変化を考慮するため，板厚の変化を評価する節点を導入し，従来のシェル要素で現れることのなかった板厚方向のつりあい方程式を考慮した定式化を提案した．具体的な有限要素近似としては信頼性の高い要素として定着している MITC4 シェル要素を基に，板厚変化を評価する節点を導入している．得られた手法を用いることで，板厚の変化が無視できない大ひずみ問題や従来のシェル要素では適切な数値解が得られない問題に対して数値計算を実施し，連続体要素の計算結果と比較することにより，提案する手法の優位性を示している．

第３章では，開発したシェル要素を板厚の変化がより顕著となる塑性変形が卓越する弾塑性問題に適用する際には体積ロッキング現象が発生することを指摘し，ロッキング現象を回避する手法について述べている．本研究では，開発したシェル要素における体積ロッキングの回避は，選択的次数低減積分の適用で可能であること数値計算例で示すとともに，計算精度の向上についても言及している．また，平面応力状態を仮定したシェル要素における弾塑性解析では，応力評価の際に平面応力を考慮するための非線形反復計算が必要であるが，提案したシェル要素ではそれが不要となり，計算効率の改善に寄与することも述べている．

第 4 章では, シェル要素とソリッド要素の接続部分において変位の連続性に Penalty 法を適用し, Penalty 法の安定化項として Nitsche 法を追加することで応力ベクトルの連続性を考慮した手法を提案している．数値計算例によって， Penalty 法による変位の連続性に対する拘束条件が Nitsche 法の適用により緩和され，接続部分が適切に接続されることが示されている．また，開発したシェル要素とソリッド要素の接合では，板厚方向に対する力学挙動の親和性から接続部分において力学挙動の連続性が保持されることも確認している．

第 5 章では，本研究で得られた知見をまとめ，結論と今後の展望を述べている．

本論文で得られた結果は，シェル要素の適用範囲を大きく広げるとともに，連続体要素との併用についても新しいアプローチを提示したものとして学術的・工学的価値のあるものと判断される．したがって，論文審査委員全員は本論文が博士（工学）の学位を授与するに十分価値あるものと認めた．

注　論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。