

京都大学	博士（工 学）	氏名	藤井 英二
論文題目	部分強度接合を用いた自由曲面鋼構造の最適設計法		
（論文内容の要旨） 本論文は、幾何学的な規則性を持たない曲面，いわゆる自由曲面をその全体形状に用いた鋼構造（以下，自由曲面鋼構造）の最適設計法について論じたもので，5章からなっている。 第1章は序論であり，自由曲面鋼構造の設計および施工における主要な課題が鉄骨接合部や部材グルーピングにあることを指摘した上で，(1)架構と接合部を統合的に取り扱った最適設計手法，(2)適切な部材グルーピングを見出す手法，(3)簡易な鉄骨接合構法，の3つを提案することを研究の目的としている。 第2章では，架構形状・部材断面・接合部仕様を連続設計変数とし，弾性範囲内の応力や変位に関する制約条件の下で，構造材数量との比例関係を仮定した総コスト（＝部材コスト＋接合コスト）を最小化する最適設計手法を提案している。架構形状は希望形状からの指定モード方向への修正量，接合部仕様は接合強度を規定する構造材の数量を独立変数としている。部材断面については，外形寸法のみを独立変数とし，規格断面リストを基にした線形関数で板厚を与えることで，規格断面に寸法構成が近い最適解を得ることを提案している。形状・断面・接合部の全てを設計変数とすると，問題の規模が大きくなって求解に困難が生じると予想されるので，接合部剛性を剛とした上で最適化問題を階層化し，同時に扱う設計変数の数を抑えた定式化を行っている。接合部には高コストの全強接合と低コストの部分強度接合（いずれも剛接合）を想定し，部材端毎にそれらを使い分けているが，連続変数最適化問題の求解に支障が生じないように，両接合構法のコストを近似的に連続化する手法を提案している。また，性能の低い局所解に陥ることを避けるため，部材コストと接合コストの重みづけを操作しながら最適解を求める手法を提案している。提案手法の有効性は，単層ラチス架構の例題を通して明らかにしている。 第3章では，同一断面をとる部材グループの下で部材コストを最小化する断面最適化問題において，性能の高い解を効率的に得るための部材グルーピング手法を提案している。最初に扱っているのは，部材断面を設計変数とし，応力等に関する制約条件の下で部材コストを最小化する最適化問題である。まず，任意の方法で部材を幾つかのグループに分類し，グループ内の部材は同一断面をとるとして最適解を求める。次に，部材コストをさらに低減させるために，グループの一つを分割してあらためて最適化（再最適化）を行うが，ここで効果的な分割パターンを見出すために，分割前の最適			

京都大学	博士（工 学）	氏名	藤井 英二
解における応力度比を用いて、分割・再最適化によって低減されるコスト（コスト低減効果）を近似予測する方法を提案している。また、目的関数や制約関数としては採り入れないが実務上は重要な要素を反映して実用的な設計解を得るために、対話型のグルーピング修正操作を含めた断面決定支援システムを提案している。同章ではさらに、部材コストと接合コストの和を最小化する最適化問題において効果的な分割パターンを見出すために、再最適化の前後の断面寸法の変化に関する近似的な仮定に基づいてコスト低減効果を予測する手法を提案している。 第 4 章では、第 2 章で想定する低コスト部分強度接合の一例として、繊維補強セメント系複合材料（FRCC）を用いた簡易な鉄骨接合構法を提案し、その実現可能性を力学試験および FEM 解析を通して示している。まず、2 種類の鋼繊維を高強度モルタルに混入した FRCC の基本的特性を、材料曲げ試験および圧縮試験によって把握している。次に、FRCC およびスタッド鉄筋、鉄筋格子を用いた鉄骨接合構法（FRCC 接合）を提案し、その基本的曲げ特性を漸増繰り返し曲げ試験によって明らかにしている。さらに、材料試験で得た材料定数を用いた FEM 解析によって、FRCC 接合の曲げ試験をシミュレートし、解析の予測精度を確認している。その上で、FRCC 接合の軸力モーメント耐力曲線を解析によって算出し、第 2 章で想定する部分強度接合として適用し得る性能を有することを示している。最後に、実験および解析を通して得られた知見を基に、FRCC 接合の改良案を提示している。 第 5 章は結論で、本論文で得られた成果と今後の課題を要約している。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、自由曲面鋼構造の設計・施工上の課題、特に接合部に関連する課題を解決することを目的とし、(1)架構と接合部を統合的に取り扱った最適設計手法、(2)適切なグルーピングを見出した上で部材断面を決定する手法、および、(3)繊維補強セメント系複合材料(FRCC)を用いた部分強度接合構法について研究した成果をまとめたものである。本論文で得られた主な成果は次の通りである。

(1) 自由曲面鋼構造の架構形状・部材断面・接合部仕様の全てを設計変数とし、弾性範囲内の応力や変位に関する制約条件の下で、総コスト（＝部材コスト＋接合コスト）を最小化する最適設計手法を提案している。接合部は全強接合および部分強度接合（共に剛接合）とし、それらを部材端毎に使い分けている。接合コストを目的関数に含めること、および、架構形状も設計変数とすることで、いずれかを採り入れない場合に比して総コストが大幅に小さい最適解が得られることを例証している。

(2) 同一断面をとる部材グループの下で部材コストを最小化する断面最適化問題において、最も性能が高い最適解に帰着する部材グルーピングを近似的に得る手法を提案している。また、仕上げ材との取り扱い等、目的関数や制約関数では考慮しないが実務上は重要な要件を反映して総合的に優れた設計解を得るために、同手法に対話型のグルーピング修正機能を加えた断面決定支援システムを提案し、例題を通して有効性を示している。さらに、上記(1)のように接合コストを目的関数に考慮する場合においても効果的な分割パターンを見出すことができる手法を提案している。

(3) 上記(1)の部分強度接合の一例として、繊維補強セメント系複合材料を用いた接合構法（FRCC 接合）を提案し、その実現可能性を示している。具体的にはまず、FRCC材料の基本的材料特性を調べた上で、それを用いた簡易な鉄骨接合構法を提案し、実験を通して曲げ特性を明らかにしている。さらに、FEM解析で同実験を模擬して解析の予測精度を確認した上で、解析によって組合せ断面力に対するFRCC接合の耐力曲線を算出し、同接合が圧縮側を中心に鉄骨の約4割の耐力を有することを示している。

以上のように本論文は、自由曲面鋼構造の構造設計や製作・施工の実務で重要性が認識されながらも一般性の高い解決策が殆ど存在しなかった課題を解決し得る手法を提案したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年1月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。