

氏名	萩下 敬雄
----	-------

(論文内容の要旨)

本論文は全5章から構成されている。

第1章は、序論であり、構造設計実務における構造最適化手法の利用の現状について述べている。また、トラスやブレース付き骨組などの離散構造物の位相最適化問題を節点と部材の接続関係を最適化する問題として定義し、グラントストラクチャ法(GS法)を適用する際の問題点を論じ、研究の位置付けを行っている。

第2章では、既存のGS法のように部材の消去のみを行うのではなく、部材や節点の追加も考慮する成長GS法を提案している。成長GS法は力学に基づく4つの成長戦略をもとに効率的に必要な部材を追加・消去することで位相を最適化する。成長戦略1及び2においては部材や節点を追加したときに想定されるひずみが大きい部材を追加する。成長戦略3及び4では、位相変化の影響を表す活性度を評価指標とし、部材追加後の活性度が大きくなる部材を追加し、部材消去後の活性度が小さい部材を消去する。そして、これらの成長戦略に基づく成長GS法を属性グラフのデータ構造を用いて実装している。成長GS法を数値例題に適用し、単一荷重条件での位相最適化では、GS法より軽量なトラスが得られることを示している。

第3章では、成長GS法によって軽量なトラスが得られなかった複数荷重条件での応力制約を考慮したトラスの位相最適化問題と骨組のブレース配置最適化問題を対象としている。前者の問題にGS法を適用した際の問題点を簡単な構造モデルをもとに数式を用いて示している。また、後者の問題では、断面積が小さくなると応力制限値も小さくなるため、GS法によって最適解が得られないことを明らかにしている。これらの問題点の解決策として、位相最適化問題を、位相を最適化する上位問題と部材断面積を最適化する下位問題の2段階に分割し、上位問題を解くために発見的手法、下位問題を解くために非線形計画法を用いる統合法を提案している。上位問題を解くために、データマイニングの一手法であるアプリアリアルゴリズムを用いたトポロジーマイニング法という新しい発見的手法を提案している。トポロジーマイニング法は探索の過程で得られた軽量なトラスが共有する部材集合(優良部材集合)をアプリアリアルゴリズムにより抽出し、その部材集合を保存するように候補解を生成する。なお、トポロジーマイニング法では、優良部材集合を追跡することでパラメータを容易に調整することができる。数値例題では、統合法を用いることによって、応力制約下での位相最適化の代表的な手法である ϵ 緩和法では得られない最軽量トラスが得られることを示している。また、ブレースの配置最適化問題に対しても統合法により最軽量となるブレース配置が得られることを示している。なお、最軽量トラス及びブレース付き骨組が得られるまでに非線形計画問題を解いた回数をもとに計算量を評価し、すべての数値例題で、上位問題でトポロジーマイニング法を用いた方がタブーサーチ法を用いた場合より計算量が少ないことを示している。さらに、ブレースの配置を最適化する問題では、最適配置の特性を分析し、ブレース配置を設計する場合は同一断面積のブレースを少数配置することが効率的であることを明らかにしている。

第4章では、成長GS法及び統合法でも解くことが困難であるブレース付き半剛接合骨組のブレース種別・断面積及び柱梁半剛接合種別を最適化する問題を組合せ最適化問題として定式化し、発見的手法により解いている。また、実地的な設計を考慮し、弾塑性解析で得られる応答量に関する制約を考慮している。弾塑性解析は一回の解析に多くの計算時間を要するため、試行錯誤によってパラメータや乱数シードを決定する必要がないスキュッタサーチ法という発見的手法を用いて最適化を行っている。ただし、ブレースの種別・断面積を最適化する問題では、断面候補リストは複雑になり、スキュッタサーチ法を単純に適用することはできない。そこで、この問題点を解決するためにデータマイニングの一手法である階層型クラスタリングを用いてスキュッタサーチ法を改良している。数値例題では、二つのレベルの静的地震荷重に対して層間変形角と崩壊荷重に関する制約の下で重量最小化を目的として、半剛接合種別を最適化する問題、ブレース種別・断面積を最適化する問題及び両者を同時に最適化する問題を組合せ最適化問題として定式化し、改良したスキュッタサーチ法を用いて解いている。そして、最適化によって得られた最小重量構造の特徴を弾塑性解析結果をもとに力学的な視点から考察している。半剛接合種別の最適化の結果得られた重量最小構造では層間変形角の制約が活性となり、そのために柱には塑性ヒンジが生成していないことを示し、弾性片持ち梁とみなされる柱が塑性化した梁で支持されているという視点から半剛接合種別が最適化されていることを明らかにしている。また、ブレースの種別・断面積の最適化の結果得られた重量最小構造では崩壊荷重に関する制約が活性となり、局所的な崩壊が生じていることを示し、柱降伏型の崩壊機構の生成を阻止するようにブレースが配置されていることを明らかにしている。また、ブレース種別・断面積及び半剛接合種別を同時に最適化して得られた重量最小構造では、崩壊荷重に関する制約が活性となり、柱降伏型の崩壊機構を阻止するブレース配置が得られたことを示している。さらに、この同時最適化問題における最適な半剛接合種別はブレースが配置されるパネルの水平剛性に依存することを明らかにしている。

第5章では、本論文で得られた成果を要約し、最後に本研究の将来展望を述べている。

氏名	萩下 敬雄
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、建築構造において利用されることが多いトラスやブレース付き骨組などの離散構造物を対象とし、応力制約の下での重量最小化を目的として位相（部材配置）を最適化する問題に関して、代表的な手法であるグラッドストラクチャ法(GS法)を改良した新しい手法を提案することを目的としている。本論文の内容は以下のように要約される。

1. GS法における解の初期構造への依存性を解消するために、力学的な指標に基づいて部材や節点を効率的に追加あるいは消去することで位相を最適化する成長GS法を提案している。数値例題より、成長GS法によってGS法より軽量なトラスが得られることを実証している。

2. 軽量なトラスあるいはブレース付き骨組を得ることが難しい複数荷重条件での位相最適化問題に関して、発見的手法と非線形計画法を組合せた統合法を提案している。位相最適化のための発見的手法としてトポロジーマイニング法という最適化手法を提案している。数値例題より、統合法を用いることで、最小重量を与えるトラス及びブレース付き骨組を得ることができることを実証している。また、トポロジーマイニング法は既存の発見的手法であるタブーサーチ法より最適解を得るまでの計算量が少ないことを示している。

3. ブレース付き半剛接合骨組の柱梁接合種別及びブレース種別・断面積を設計対象とする問題を組合せ最適化問題として定式化し、この問題を解くために発見的手法の一つであるスキュッタサーチ法を改良した手法を提案している。実際的な設計を考慮し、弾塑性解析に基づく層間変形角と崩壊荷重に関する制約を考慮している。また、最適化の結果として得られた重量最小構造の特徴を力学的な視点から分析している。

以上、本論文は、最適化手法、データマイニング手法、応用力学、構造工学等の多分野の技術を統合して新しい最適化アルゴリズムを開発し、構造設計のための新しい手法を提案している。したがって、構造工学及び設計実務の合理化に大いに寄与するものと考えられる。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20年7月22日、論文内容とそれに関連した口頭諮問を行った結果合格と認めた。