

京都大学	博士（工学）	氏名	宋 昶
論文題目	鋼構造骨組の最小重量設計問題における凸緩和法に関する研究		
<p data-bbox="188 430 448 461">（論文内容の要旨）</p> <p data-bbox="172 470 1423 591">本論文は、鋼構造骨組の最小重量設計問題における種々の非凸性に由来する困難点の解決を目的として、凸緩和法と分枝限定法を組み合わせた鋼構造骨組の最適設計法を提案したものであって、以下の5章からなっている。</p> <p data-bbox="172 600 1423 972">第1章は序論であり、対象とする建築基準法上の種々の設計条件を考慮した鋼構造骨組の最小重量設計問題の分析を行い、既往研究との関係、研究目的を述べ、本論文の構成を示している。建築基準法上の1次設計に対応する許容応力度制約および2次設計に対応する層間変形制約は非凸制約であり、さらに必要保有水平耐力制約は連続微分不可能な関数である保有水平耐力が不連続関数である必要保有水平耐力以上になるという不連続制約である。このような制約条件を考慮した鋼構造骨組の最小重量設計問題は、実用的にも重要な設計問題である一方で、関数値やその感度係数に不連続性を持つ非凸計画問題であることに起因し、未だ種々の課題が残されていることについて説明されている。</p> <p data-bbox="172 981 1423 1823">第2章では、鋼構造骨組の最小重量設計問題における必要保有水平耐力制約の不連続性についての緩和問題を解くことにより、局所最適解への大域的収束性を保証できる手法を論じている。建築基準法上の必要保有水平耐力は、各部材種別やブレースの水平力分担率から定まる不連続関数である構造特性係数<math>D_s</math>を用いて規定されている。さらに保有水平耐力算定においては、設計パラメータの変化に対して弾塑性状態が不連続的に変化するため、その感度係数に不連続性が生じ、連続微分の意味では感度係数を定義できない点が生じる。構造物の保有水平耐力が必要保有水平耐力以上になるという制約条件を含む設計問題は連続微分不可能かつ不連続な制約関数を含む問題であり、連続微分可能性を前提とした最適性条件では最適解を特徴づけることができない問題に属する。このような問題に対して、離散的な0-1変数を用いて構造特性係数<math>D_s</math>を表し、部材断面を連続変数と与える混合整数計画問題として設計問題を定式化している。混合整数計画問題における0-1変数を連続変数に緩和することにより緩和問題を構成して関数の不連続性を除去している。このような緩和問題に対して、Clarke一般化微分の意味での局所最適解への大域的収束が保証される非線形最適化法を適用すれば局所最適解が得られ、様々な初期値を与える多点探索を行うことにより緩和問題の初期値依存性を減らすことができる。このようにして得られる緩和問題の目的関数値を元問題の近似的な下界として扱い、分枝限定法を併用することにより逐次的に下界の精度を高める方法を提案している。本手法を用いれば、各部材種別と弾塑性応答との関連を考慮した上で実務設計に則した鋼構造骨組の最適設計解を実用的な時間内に得られることが数値解析例により検証されている。</p> <p data-bbox="172 1832 1423 2024">第3章では第2章の方法を発展させ、より精緻化された方法である半正定値緩和の有効性を調べている。第3章でも第2章と同様に0-1変数を用いて構造特性係数<math>D_s</math>を表し、部材断面を連続変数とした設計問題を混合整数計画問題として定式化している。第2章との違いは変数値が0か1になるという離散制約に対して半正定値緩和を適用して半正定値計画問題を構成する点にある。第2章と同様に分枝限定法により下</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	宋 昶
<p>界の精度を逐次的に向上させている。この際、より良い緩和問題が構成されれば分枝操作の回数を減らすことができ、計算効率の向上が見込まれる。1層1スパンモデルの解析例においては、このような半正定値緩和の有効性が確認されている。一方、3層3スパンモデルの解析例においては、半正定値緩和問題を解いて得られる局所最適解の目的関数値が元問題の局所最適解の目的関数値よりも高くなっており、意味のある緩和解が得られなかった。不連続関数である必要保有水平耐力に対してのみ凸緩和（半正定値緩和）を行っており、その他の非凸制約条件である許容応力度制約、層間変形角制約に対して凸緩和を行っていないことにこの現象は起因すると考えられる。多点探索によりこのような現象をある程度は回避可能であるものの、設計問題に含まれるすべての非凸性を除去して完全な凸緩和問題を構築しない限り抜本的な解決にはならないと述べられている。</p> <p>第4章では、弾性解析に基づく許容応力度設計の範囲内での鋼構造骨組の最小重量設計問題を対象として、問題に含まれるすべての非凸関数に対して凸緩和を行い、緩和解すなわち問題の下界を厳密に評価する手法を提案している。具体的には（1）鋼構造骨組の最小重量設計問題について、目的関数および制約関数が変数の多項式で表される多項式計画問題として定式化を行った上で凸緩和問題を導出し、（2）領域分割に基づく分枝切除法により緩和問題の精度を逐次的に向上する方法を提案し、（3）緩和解を用いて局所最適解の精度をどの程度定量的に評価することが可能かについて、数値解析例を通じて調べている。大規模な多項式計画問題を数値的に安定かつ高速に扱うことができる線形緩和法の一つとして Reformulation-Linearization Techniques (RLT) が知られている。この RLT による凸緩和（線形緩和）と領域分割に基づく分枝切除法とを組み合わせた方法の適用を本章では提案している。ここで、どの変数をどのように領域分割するかによって方法の効率が大きく変わる。本章では、緩和問題を逐次解いて最も下界を大きくするような選択を行うという領域分割法を提案している。3層3スパンモデルの解析例では大域的最適解との目的関数値の差が 0.58%以内に保証された設計解が、7層3スパンモデルの解析例では 6.19%以内に保障された設計解が得られている。また、3層3スパンモデル、7層3スパンモデルのどちらの解析例においても、中央の柱断面を大きくした中央コア的な設計解が鋼材量の点で最も有利となることが確認されている。</p> <p>第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

氏名	宋昶
----	----

(論文審査の結果の要旨)

建築の構造設計分野において、数理的手法に基づく設計理論構築のために最適設計に関する研究が数多くなされている。ここで、建築の構造設計分野における最適化問題の多くは非凸計画問題に属し、鋼構造骨組の最小重量設計問題もそのような問題の一つである。非凸計画問題では局所最適解が大域的最適解である保証はなく、大域的最適解から大きく劣った局所最適解が多数存在する可能性がある。このような課題に対して、本論文では非凸関数に対して凸緩和を行い、緩和解を用いて局所最適解の精度を目的関数の上下限値の差から評価することを主題として扱っている。本論文で得られた主な成果は次の通りである。

1. 必要保有水平耐力を考慮した鋼構造骨組の最小重量設計問題において、不連続関数である構造特性係数 $D_s$ を用いて規定される建築基準法上の必要保有水平耐力について、緩和問題を構成して解くことにより、その不連続性を解消し、局所最適解への大域的収束性が保証される手法を提案した。いくつかの数値例を用いて実用的な時間内で解が得られることを示している。

2. 必要保有水平耐力を考慮した鋼構造骨組の最小重量設計問題において、線形緩和より精緻化された方法である半正定値緩和の有効性を調べている。結果、設計問題に含まれるすべての非凸性を取り除いて、完全な凸緩和問題を構築しない限り本質的な解決にはならないことを指摘している。

3. 弾性解析に基づく許容応力度設計の範囲内での鋼構造骨組の最小重量設計問題を対象として、すべての非凸関数に対して凸緩和を行い、緩和解を用いて局所最適解の精度を下界から定量的に評価する手法を提案し、数値解析例によりその有効性を検討している。

以上要するに、本論文は、鋼構造骨組の最小重量設計問題における種々の非凸性由来する困難点の解決を目的として、凸緩和法と分枝限定法を組み合わせた鋼構造骨組の最適設計法を提案したもので、学術上、実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23年12月20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。