



Title	Improvement of Analysis Efficiency and Evaluation on Load-bearing Performance of Welded Structural Members
Author(s)	Cheng, Yuxuan
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/103233
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (CHENG YUXUAN)	
論文題名	Improvement of Analysis Efficiency and Evaluation on Load-bearing Performance of Welded Structural Members (溶接構造部材のシミュレーション効率の向上と耐荷性能評価の高度化に関する研究)
論文内容の要旨	
鋼構造部材の接合方法として一般に広く用いられている溶接では、局所的な入熱に伴い、変形と残留応力が不可避免的に生じる。溶接変形と残留応力は初期不整に相当するため、有限要素解析による鋼構造部材の耐荷性能評価においては、初期不整を適切に考慮することの重要性が認識されている。しかし、既往の研究では、幾何学的な初期不整（初期たわみ）と残留応力をそれぞれ独立にモデルに導入して解析を実施しており、初期不整の導入時に力の釣合いが満たされない現象が生じることが知られている。この現象を強制的に処理したうえで載荷解析を行う場合、部材の耐荷性能に及ぼす初期不整の影響が正しく考慮されないことが指摘されている。本研究では、熱弾塑性解析により溶接変形と残留応力を再現し、これを初期不整として弾塑性有限要素解析を実施する連続解析方法を提示した。計算負荷の高い熱弾塑性解析を効率化するとともに、後続の弾塑性有限変位解析との整合を図るため、シェル要素による溶接シミュレーション手法を提案した。これにより、効率的な溶接シミュレーションと高精度な耐荷性能評価を実現した。論文の構成と内容は、以下のとおりである。 第1章では、熱弾塑性解析による溶接シミュレーションと弾塑性有限変位解析による鋼構造部材の耐荷性能評価に関する既往の研究と現状の課題を整理するとともに、本研究の背景と目的を述べた。 第2章では、溶接過程と載荷過程の連続解析手法を構築するため、簡易な構造としてL形断面柱を対象とした一連の実験を実施し、実験をシミュレーションした。突合せ溶接の継手形状と積層構成を再現するため、六面体ソリッド要素を用いてモデル化する従来の手法に対し、溶接過程のシミュレーション効率の向上と後続の載荷過程での大変形挙動を適切に再現することを目的に、シェル要素を用いて溶接過程と載荷過程を連続的に解析するモデル化手法を提案した。シェル要素の板厚方向に配置された積分点に開先形状と溶接パス数を考慮した入熱を投与することで、溶接時の温度履歴、変形、残留応力を精度良く再現した。さらに、後続の載荷過程についても、実験および解析による最大圧縮強度と変形モードの再現精度が高いことを確認した。一方、溶接変形と残留応力を単に初期変形および初期応力として導入し、溶接過程のシミュレーションを行わずに載荷過程だけをシミュレーションした場合には最大圧縮強度と変形モードの再現精度は低く、溶接過程で生じる塑性ひずみや硬化履歴を継承したうえで載荷解析を行うことの重要性を提示した。なお、ソリッド要素を用いた既往の手法に対し、シェル要素を用いた手法により、溶接過程および載荷過程のシミュレーションに要する時間を約16%に短縮できることを明らかにした。 第3章では、第2章で構築した連続解析手法の妥当性と他の継手形式への適用性を検証するため、すみ肉溶接による十字断面柱を対象に一連の溶接実験および載荷実験を実施した。鋼板の表面に溶接金属が置かれるすみ肉溶接の場合にも、シェル要素の板厚内部の積分点への入熱と表面熱流束を併用する方法により、溶接時の温度履歴、変形、残留応力とともに、後続の載荷過程における最大圧縮強度と変形モードを精度良く再現できることを示した。L形断面柱の場合と同様に、ソリッド要素を用いた既往の手法に対し、シェル要素を用いた手法では十字断面柱の溶接過程および載荷過程のシミュレーションに要する時間を約15%に短縮できることを明らかにした。 第4章では、シェル要素を用いた溶接過程と載荷過程の連続解析により、溶接構造部材の基本単位となる周辺単純支持板を対象に耐荷性能評価を実施した。実構造で採用される幅厚比の範囲において、板厚に応じた溶接入熱条件による残留応力と、座屈変形モードを考慮した初期たわみ形状を初期不整として導入し一連の解析を行った結果、得られた最大圧縮強度は既往の耐荷力設計曲線と極めて高い精度で一致することを示した。 第5章では、以上の結果を総括した本研究の結論をまとめた。本研究で提案する溶接過程と載荷過程の連続解析手法は、圧縮荷重を受ける溶接構造部材の耐荷性能を効率的、高精度に評価できることを明らかにした。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (CHENG YUXUAN)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	准教授	廣畑 幹人
	副 査	教授	鎌田 敏郎
	副 査	教授	乾 徹
	副 査	教授	麻 寧緒 (接合科学研究所)

論文審査の結果の要旨

鋼構造部材の接合方法として一般に広く用いられている溶接では、局所的な入熱に伴い、変形と残留応力が不可避免的に生じる。溶接変形と残留応力は初期不整に相当するため、有限要素解析による鋼構造部材の耐荷性能評価においては、初期不整を適切に考慮することの重要性が認識されている。しかし、既往の研究では、幾何学的な初期不整（初期たわみ）と残留応力をそれぞれ個別にモデルに導入して解析を実施しており、初期不整の導入時に力の釣合いが満たされない現象が生じることが知られている。この不整合を数値的に補正した状態で載荷解析を実施した場合、初期不整が部材の耐荷性能に及ぼす影響を適切に評価できない可能性がある。本研究では、熱弾塑性解析により溶接変形と残留応力を再現し、これを初期不整として弾塑性有限変位解析を実施する連続解析方法を提示している。計算負荷の高い熱弾塑性解析を効率化するとともに、熱弾塑性解析と弾塑性有限変位解析で同じ要素を用いることで初期不整を適切に導入するため、シェル要素による溶接シミュレーション手法を提案している。これにより、効率的な溶接シミュレーションと高精度な耐荷性能評価を実現するための検討を実施している。論文の構成と内容は、以下のとおりである。

第 1 章では、熱弾塑性解析による溶接シミュレーションと弾塑性有限変位解析による鋼構造部材の耐荷性能評価に関する既往の研究と現状の課題を整理するとともに、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、溶接過程と載荷過程の連続解析手法を構築するため、簡易な構造として L 形断面柱を対象とした溶接実験および載荷実験を実施し、これらの両実験を再現するシミュレーションを行っている。突合せ溶接の継手形状と積層構成を再現するために六面体ソリッド要素を用いてモデル化する従来の手法に対し、溶接過程の計算負荷を軽減することと載荷過程での大変形挙動を適切に再現することを目的に、シェル要素を用いて溶接過程と載荷過程を連続的に解析するモデル化手法を提案している。シェル要素の板厚方向に配置された積分点に開先形状と溶接パス数を考慮した入熱を投与することで、溶接時の温度履歴、変形、残留応力を精度良く再現している。さらに、載荷過程についても、実験および解析による圧縮強度と変形モードの再現精度が高いことを確認している。一方、溶接変形と残留応力を単に初期変形および初期応力として導入し、溶接過程のシミュレーションを行わずに載荷過程だけをシミュレーションした場合には圧縮強度と変形モードの再現精度は低く、溶接過程で生じる塑性ひずみや硬化履歴を継承したうえで載荷解析を行うことの重要性を提示している。なお、ソリッド要素を用いた既往の手法に対し、シェル要素を用いた手法により、溶接過程および載荷過程のシミュレーションに要する時間を約 16%に短縮できることを明らかにしている。

第 3 章では、第 2 章で構築した連続解析手法の妥当性と他の継手形式への適用性を検証するため、すみ肉溶接による十字断面柱を対象に一連の溶接実験および載荷実験とそのシミュレーションを実施している。鋼板の表面に溶接金属が置かれるすみ肉溶接の場合にも、シェル要素の板厚内部の積分点への入熱と表面熱流束を併用する方法により、溶接時の温度履歴、変形、残留応力とともに、載荷過程における圧縮強度と変形モードを精度良く再現できることを示し

ている。L 形断面柱の場合と同様に、シェル要素を用いた手法では、十字断面柱の溶接過程および載荷過程のシミュレーションに要する時間を従来のソリッド要素を用いた手法に対し約 15%に短縮できることを明らかにしている。

第 4 章では、シェル要素を用いた溶接過程と載荷過程の連続解析により、溶接構造部材の基本単位となる周辺単純支持板を対象に耐荷性能評価を実施している。実構造で採用される幅厚比の範囲において、板厚に応じた溶接入熱条件による残留応力と、座屈変形モードを考慮した初期たわみ形状を初期不整として導入し一連の解析を行った結果、得られる圧縮強度は既往の耐荷力設計曲線と極めて高い精度で一致することを示している。

第 5 章では、以上の結果を総括した本研究の結論をまとめている。溶接過程と載荷過程の両方を踏まえた連続解析手法により、圧縮荷重を受ける溶接構造部材の耐荷性能を効率的、高精度に評価できることを明らかにしている。

以上のように、本論文は鋼構造物の耐荷性能評価に影響を及ぼす重要な因子である初期不整の解析的な取り扱いについて革新的な手法を提示しており、鋼構造物の設計の効率化、高精度化に資する有用な知見を与えるものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。