

(様式 11)

平成 29 年 8 月 18 日

学 位 論 文 審 査 要 旨 (課程博士)

東京農工大学大学院工学府長 殿

審査委員 主査 桑原 利彦
副査 小笠原俊夫
副査 笹原 弘之
副査 花崎 逸雄
副査 山中 晃徳



学位申請者	機械システム工学専攻 平成 23 年度入学 学籍番号 11833701
	氏 名 白神 聡
申請学位	博 士 (工学)
論文題目	薄鋼板の加工硬化特性評価手法の開発と材料モデリング Development of experimental evaluation methods of work-hardening behavior and material modeling for steel sheets
論文審査要旨 (2000 字程度) 自動車業界をはじめとして金属材料の板材成形への要求は年々厳しくなっており、開発期間短縮およびコスト削減のために、板材成形シミュレーションを用いた成形不良予測技術が積極的に活用されている。精度の高い予測結果を得るためには、材料の弾塑性変形挙動を正確に表現できる塑性構成式が不可欠である。しかし、一様伸びひずみを超えるひずみ域 (以下、大ひずみ域) における相当応力-相当塑性ひずみ関係 (以下、相当 SS 曲線)、変形経路が変化する場合に観測されるひずみ誘起異方性、および引張と圧縮の塑性流動応力が異なる Strength Differential 効果 (以下、SD 効果) といった特殊な条件下で観測される加工硬化特性は、測定自体が難しい、限定的な条件での実験に留まっている、系統的な研究が少ないといった問題から、一般化や汎用性の高いモデルの構築には至っていない。この課題を解決するためには、高精度な評価法を用いて、種々の条件下における測定を実施し、さらなる知見を積み上げなければならないと考えられる。 そこで本研究では、極低炭素鋼板 (以下、IF 鋼板) およびフェライト-マルテンサイト系 2 相組織鋼板 (以下、DP 鋼板) を対象として、従来の方法では正確に測定することが困難であった加工硬化特性の評価法を確立し、それらにより得られた結果に基づいた塑性構成式の高精度化指針の確立、ならびに同定した材料特性が塑性力学解析におよぼす影響を調査することを目的とする。 第 1 章「緒言」では、本研究の実施に至った社会的背景および関連する従来研究について述べ、本研究の目的および意義を明らかにしている。	

第 2 章「単純せん断試験機を用いた薄鋼板の加工硬化特性評価法の開発」では、単純せん断試験を用いた大ひずみ域における相当 SS 曲線を取得する方法の基礎を確立した。単純せん断試験より得られた応力-ひずみ曲線から相当 SS 曲線を算出する方法として、塑性仕事共役と等方硬化を仮定し、応力とひずみの変換係数を逆数として取り扱う κ 手法を適用した。単純せん断と単軸引張りの等塑性仕事点における応力比およびひずみ比の比較から、IF 鋼板では相当塑性ひずみ $\bar{\epsilon}^p > 0.1$ 、DP 鋼板では降伏から一様伸びまで、 κ 手法の適用が可能であることを示した。また、単純せん断試験の有限要素法解析を実施し、 $0 \leq \bar{\epsilon}^p \leq 0.4$ のひずみ域においては、変形領域幅方向に生じる引張応力を考慮しないことによる相当 SS 曲線の測定誤差が 1% 以下であることを示した。以上より、本評価法の妥当性および適用範囲を明らかにした。

第 3 章「薄鋼板の加工硬化指数ひずみ依存性の定式」では、現象論に基づく塑性構成式における加工硬化式の高精度化手法を提案した。単純せん断試験より得られた相当 SS 曲線を用いて、既存の加工硬化式の近似精度を評価し、大ひずみ域における近似精度を向上するためには、瞬間加工硬化指数 n' 値のひずみ依存性を正確に表現することが重要であることを示した。そして、 n' 値のひずみ依存性を考慮した新たな加工硬化式を提案し、種々の鋼板の相当 SS 曲線を高精度に近似できることを立証した。

第 4 章「引張/圧縮を含む 2 段階変形経路試験における薄鋼板の加工硬化特性」、および第 5 章「二軸応力状態を含む 2 段階変形経路試験における薄鋼板の加工硬化特性」では、ひずみ誘起異方性および SD 効果の一般化に資する知見を拡大するために、IF 鋼板、DP 鋼板および変形履歴を除去した鋼板を用いて、単軸引張りと単軸圧縮を組み合わせた変形経路および、二軸引張りと単軸引張/圧縮を組み合わせた変形経路の 2 段階変形経路試験を行った。これら材料におけるひずみ誘起異方性は、SD 効果を除外することで、変形形態（応力比）、変形様式（引張/圧縮）、および予ひずみ量によらずひずみ経路変化パラメータ β で統一的に整理できることを示した。さらに、SD 効果は変形経路とは無関係に生じることを明らかにした。

第 6 章「曲げ変形履歴を受けた鋼管の内圧軸圧縮変形特性と材料モデリング」では、塑性力学解析におけるひずみ誘起異方性および SD 効果の取り扱いに関する基本的な知見を得るために、曲げ変形履歴を有する鋼管と変形履歴を除去した鋼管を用いて、円周方向応力が降伏応力の 90% となる内圧下における軸圧縮変形挙動を測定し、その有限要素法解析を実施した。変形履歴の影響のみを評価するために、材料には Mises の降伏関数に従う等方性材料を適用し、曲げ変形履歴は板厚方向に線形なひずみ分布となる製作方法を用いた。その結果、曲げ変形履歴の有無によって座屈発生までの変形挙動が大きく異なることを示した。そして、これらの有限要素解析を行い、板厚各層の円周方向引張りの加工硬化特性を正確に表現することで、鋼管の内圧軸圧縮変形挙動を精度よく予測できることを示した。一方、加工硬化特性が大きく異なる軸方向圧縮変形を設定した場合、予測精度が大幅に低下することを示し、ひずみ誘起異方性と SD 効果を考慮することの重要性を明らかにした。

第 7 章では、鋼板の様々な変形状態における加工硬化挙動について総括し、本研究で得られた知見および残された課題を示した。

以上まとめると、本論文では、薄鋼板を対象として、一様伸びひずみを超えるひずみ域における加工硬化特性、ひずみ誘起異方性、Strength differential 効果を高精度に測定し、鋼板の塑性変形解析の高精度化に有用な材料モデル開発指針を提示した内容である。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。