

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	YU Han (ゆ はん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1154 号
○授与年月日	2017 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Study on Deformation Behavior of Heterogeneous Structure Materials via Multi - Scale FEM Analysis (マルチスケール FEM 解析によるヘテロ構造材料の変形挙動に関する研究)
○審査委員	(主査) 飴山 恵 (立命館大学理工学部教授) 鳥山 寿之 (立命館大学理工学部教授) 伊藤 隆基 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

構造材料の力学特性はその微視的な構造に極めて敏感であり、そのため材料の微細構造を制御することは力学特性の改善にとって非常に重要である。本論文はそのような微細組織制御について、従来、実験的に確かめられてきた調和組織材料の高強度、高延性について、有限要素法解析手法を用いて検証を行うとともに、実際の実験結果と比較し、シミュレーションの有効性について詳細に議論した。

本論文は全 8 章で構成されている。

第 1 章では緒言として研究背景と課題を述べ、第 2 章では実験手法と有限要素法解析手法について述べた。調和組織材料の実験と有限要素法解析を詳述した他、調和組織材料の組織因子 (結晶粒径、微細粒割合等) と同等な因子を持つヘテロ構造材料 3 種類について取り上げ、組織学的特徴を述べた。第 3 章では、調和組織材料の有限要素法解析で用いた周期境界条件等の各種条件、ならびにモデリング手法について詳述した。実験方法、試料作製プロセス、各種評価手法について詳細に記述した。第 4 章では、不均一混合組織材料について、調和組織材料と比較した実験結果、ならびに変形の有限要素法解析結果について述べた。第 5 章では、微細粒割合が同等な 4 種類のヘテロ構造材料の変形の有限要素法解析結果を示し、これらの間の相違について詳述した。第 6 章では、調和組織材料の力学特性に及ぼす微細粒割合について議論した。第 7 章では、実験的に得られた変形組織から画像相関法による変形挙動について議論し、有限要素法解析の結果と比較を行った。第 8

章では、課題と今後の展望について述べた。

#### <論文審査の結果の要旨>

調和組織材料は、従来、二律背反の性質であった高強度と高延性を両立することが知られている。しかし、その理由については、未だに十分に理解できていないのが現状である。そのような背景のもとで、有限要素法解析を用いて調和組織材料の高強度・高延性の両立メカニズムの解明を目的に研究論文がまとめられている。特に、実験結果とシミュレーション結果を比較検討した。論文審査では、有限要素法解析手法の妥当性、効果、そして、高強度と高延性を両立する変形機構について、詳細な議論がなされた。

学位論文で明らかにされた重要な事項として以下の点が挙げられる。

1. 実験結果に基づいてシミュレーションを行うことで、特に、材料の変形初期段階の挙動について理解することが可能であることを示した。

2. 微細結晶粒、あるいは硬質相が網目状に連結したマクロ構造を構築することで、局所的な変形が抑制され、その結果、材料が降伏後も塑性不安定を起こさず加工硬化を継続できる、ということ有限要素法解析で明らかにし、また、画像相関法によって確認した。

3. シミュレーションで明らかとなった微細粒領域への応力集中現象から、材料が降伏する際、より硬質な微細粒領域が軟質な粗大粒領域よりも先に変形する、ことを予測した。

4. 3の予測が実際に起こっていることを実験的に確認した。

これらの結果は、従来の構造材料の力学特性と大きく異なる性質を持つ調和組織材料の特性を理解する上で非常に有益な知見を与えるものであり、学術的意義がある。

論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の審査に関して、2016年10月27日(火)16時30分～17時50分イーストウイング4階機械システム系演習室において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、研究背景、有限要素法解析の詳細、変形機構などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

学位申請者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて、「博

士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。