

## 博士論文要旨

### 論文題名：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

立命館大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

ユ ハン

YU Han

近年、革新的力学特性を有する構造用材料である「調和組織制御材料」が開発された。一般の材料では、強度と延性は二律背反であることが知られているが、調和組織制御材料は、微細結晶粒領域(シェル)と粗大結晶粒領域(コア)がネットワークを構成することにより、強度と延性が両立する。本研究では、マルチスケール FEM の応用により、調和組織制御材料をはじめとするヘテロ組織材料の変形挙動の解析を行った。従来、実験結果と対応させたマルチスケール FEM の応用研究はあまり行われていなかった。本研究では、有限要素法ソフトの一つである Abaqus を用いて、周期的境界条件の具体的な設定方法も含めて検討した。

マルチスケール FEM 解析の結果、調和組織制御材料では応力はシェルに、一方、ひずみはコアに一様に分布することが明らかとなった。このことは、ネットワーク構造により材料中の応力とひずみの局所的な集中を回避していることを示唆している。それに対して、他のヘテロ組織材料では局所的な応力とひずみの集中が認められた。さらに、調和組織制御材料では、ネットワーク領域の厚さも強度と延性に影響を及ぼすことが明らかになった。これらの解析結果と実験結果が良い対応をしていることが確認された。さらに、マルチスケール FEM 解析によって、調和組織制御材料の力学特性に及ぼす微細粒領域の体積割合、ならびに結晶粒径の影響等について検討を行った。また、組織観察実験による画像相関法とマルチスケール FEM 解析を対比し、両者を比較した結果、実験結果と解析が良く対応していることが確認された。

# **Abstract of Doctoral Thesis**

## **Title: Study on Deformation Behavior of Heterogeneous Structure Materials via Multi-Scale FEM Analysis**

Doctoral Program in Advanced Mechanical Engineering and Robotics  
Graduate School of Science and Engineering  
Ritsumeikan University

ユハン

YU Han

Recently, a unique bimodal microstructure design, called “harmonic structure”, to achieve an improved set of strength and ductility which is consisted of coarse-grained (CG) areas (or “cores”) enclosed in a three-dimensional continuously connected network of ultra-fine grained (UFG) structure (or “shell”). In this research, a deformation behavior comparative research for harmonic structure and other bi-model heterogeneous structure models such as random structure, inverse harmonic structure and 3D fabric structure based on multi-scale finite element analysis application has been raised. The method of building periodic boundary condition in ABAQUS has been discussed in detail in this thesis, because there is extremely lack of literature about periodic boundary condition in soft field but almost in maths field.

From the FEM results, it can be demonstrates that owing to the uniform thickness of high strength UFG network, the harmonic structure materials avoids the stress and strain localization, while the other bi-model structure models show some stress and strain localization regions.

In this research, effects of UFG volume fraction and CG/UFG material characteristics in harmonic structure material have also been discussed. For the effect of UFG volume fraction transition, In the middle of the volume fraction as the UFG volume fraction and CG volume fraction are nearly equal to each other, the preponderance of harmonic structure is extremely obvious. In the edge of the volume fraction as the UFG volume fraction is just 20%, harmonic structure model still shows better mechanical performance than random structure.

In this research, the digital image correlation (DIC) technology has also been applied as the experimental strain distribution results to compare with the strain distribution results of FEM. It can be demonstrates that the FEM results matched with the experimental results well. It proved the reasonableness of the FEM model.