マルチスケールメカニクス[†]

青 柳 吉 輝*

Multiscale Mechanics

by

Yoshiteru AOYAGI*

異なるスケールの情報を同時に考える「マルチスケール」という概念は材料分野のみならず理工学分野における様々な難題の突破口として活用されています。

近年、構造材料の大部分に炭素繊維強化プラスチックを用いたボーイング787が就航するなど、従来の性能を凌駕する新材料の開発によって、あらゆる構造物の設計の可能性が広がってきています。また、我々の日常生活に必要な不可欠な鉄、銅、アルミニウムといった金属材料および樹脂、繊維、ゴムといった高分子材料は、過酷な状況下での使用や構造物の軽量化を目的として日々進化を続けています。構造材料としてのみならず、汎用性の高い最先端材料の成型性や信頼性を高めるために、その力学特性を材料の微視的挙動から理解し、変形挙動をよりの確に表現可能な数理モデルの構築に期待が寄せられています。一方で、航空機や自動車などの設計に使用されるCAE技術はここ10年で驚くべき進歩を遂げ、CAE技術なしには航空機や自動車を開発することができないといっても過言ではありません。しかしながら、近年開発された最先端材料は複雑かつ異方的な組織を有していることがあり、既存の材料には見られない特異な力学特性を示すことがあります。構造物材料の変形挙動は経験的現象論に基づく連続体塑性論などを用いて解析されることが多いですが、特異な力学特性を有する最先端材料に従来の連続体理論をそのまま適用することはできません。汎用性の高い最先端材料としての成形性や信頼性を高めるためには、その力学特性を材料の微視的観点から理解するマルチスケールメカニクスという概念が必要不可欠であると著者は考えております。著者はこれまでに、結晶構造に関する原子スケールと、中間的な集合的結晶スケール、構造物を巨視的に捉える連続体スケールといった異なるスケールの現象を同時に表現するモデル、すなわちマルチスケールモデルを構築し、材料の複雑な振る舞いを計算シミュレーションによって解析してきました。さらに、実験によって得られたデータと計算的研究とを融合させることによって、新しい知見を生み出すことを目的に次のような研究を行っています。

粒界・粒内転位源に基づくUFG金属の力学特性予測シミュレーション

金属材料の結晶粒径を小さくしていくと機械的力学特

性が向上することが経験的に知られています。しかしながら、結晶粒径が $1\mu\text{m}$ 以下という「UFG(Ultrafine-grained)金属」の場合、これまでの常識が通用しないような力学特性を示しますが、その微視的メカニズムについては十分に解明されていないのが現状です。当研究室では、転位源としての粒界の役割を考慮したマルチスケール結晶塑性モデルを構築しました。本モデルを用いたFEM解析によってUFGMの特異な力学特性(FCC金属の降伏点降下現象、焼鈍硬化、加工軟化)を表現することができます。また、実験で測定した金属微細組織の情報に基づき、巨視的な降伏関数の予測にも成功しています。

結晶性・非晶性ポリマの微視的変形機構に基づく高分子塑性論の構築

結晶性高分子材料は、分子鎖が規則正しく配列されている結晶質およびランダムコイル構造を有する非晶質部分を有します。特に、結晶質部分は結晶相と非晶相のラメラ構造が織りなす球晶構造という複雑な組織を有します。このような材料に関する研究に対して工業的な要請は強いものの、各相の特性について全く未知な部分が多いのが現状です。当研究室では、球晶の変形挙動に関する実験観察に基づき、結晶質部分と非晶質部分の混在する結晶性高分子塑性モデルを構築しています。成型条件の違いによる結晶化度の変化を実験的に確認し、結晶化度に依存した弾性率・降伏応力の変化など、高分子の微細組織の情報に基づいた力学特性予測を行っています(図1)。

現在著者が所属している東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻は2016年4月にファインメカニクス専攻へと名称を変更します。新たな研究・学術分野の創成を目指すべく、著者もマルチラテラルに日々精進し成長していきたいと思っております。

図1 高分子材料の階層構造

[†] 原稿受理 平成28年1月12日 Received Jan. 12, 2016 ©2016 The Society of Materials Science, Japan

* 正 会 員 東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉, Dept. of Nanomech., Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai, 980-8579