

材料性能と構造性能のインタラクティブ評価法



研究室紹介

大畑 充*

Interactive evaluation of material and structural performance

Key Words : Interactive evaluation, material design, structural design, fracture performance, simulation

1. はじめに

建築鉄骨, 船舶や自動車, 橋梁やパイプラインなどのインフラ構造物など, 構造製品を製作するにあたり, 適切な材料選択, 加工・施工法の選定, 部材・構造設計が行われる。このような構造製品の安全性や健全性は, 選択した材料の特性だけでなく, それを加工や接合してできる部材の特性が要求性能を満たすことで保証されるものである。すなわち, 安全かつ高性能な製品を創りだすには, 材料 - 部材 - 構造の各情報を適切に “transfer” する必要があり, 「材料創成技術」と材料を加工しつつ「溶接・接合技術」, さらにそれを構造化するための「設計技術」を有機的に結び付ける性能評価技術が必要不可欠となる。南二三吉教授が率いる我々の構造化評価学領域(大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 構造化デザイン講座: 詳細はホームページ <http://www.mapse.eng.osaka-u.ac.jp/w4/index.html> をご覧ください)では, 材料の性能と構造の性能を相互に結びつけ, 材料を活かす構造化や逆に新たな構造化のための材料設計, すなわち材料と構造のインタラクティブな次世代設計法を実現するための性能評価手法の構築を目指し, 以下に掲げるようなテーマに対して研究活動を行っている。ここでは, 一部の研究トピックスを紹介する。

延性 / 脆性 / 疲労破壊メカニズム解明と構造化

能向上のための材料開発指針構築への展開

破壊特性の Transferability 評価手法の開発

- “材料特性” から “構造性能” へ -

材料特性と接合部特性および構造性能を結ぶマルチ階層相互評価システム構築への展開

新しい溶接・接合プロセスの適用拡大に向けた接合部の破壊挙動の解明と性能評価法の提案

2. 研究トピックス

2.1 材料性能を構造設計に活かす合理的な破壊性能評価法の提案と国際標準化(ISO化)への展開研究

脆性破壊が問題となる鋼構造物全般において, CTOD 試験などの破壊靱性試験結果から破壊力学的手法に基づいて構造要素の安全性評価や維持管理あるいは構造・継手設計が行われている。しかし, き裂先端近傍の塑性拘束が非常に強い標準破壊靱性試験片で得られる CTOD 破壊靱性値は, それよりも拘束の弱い構造要素の限界 CTOD に比べて一般に小さく, そのため標準破壊靱性試験で得られる結果を直接構造性能評価に用いると, 過度に安全側の評価を与えることが認識されている。我々は, 破壊をもたらす材料の微視的要因に着目して破壊条件を見出そうとする “ローカルアプローチ” を駆使し, フランスの Beremin グループが創出したワイブル応力という新しい破壊駆動力を発展させることで, 塑性拘束の差がもたらす標準破壊靱性試験片と構造要素の限界 CTOD 値の差を補正する「等価 CTOD 概念」を提案するに至った(図 1)。これにより, 標準破壊靱性試験の結果が合理的に構造性能評価や構造設計, さらに材料靱性要求に活かされることを期待している。本研究成果を発展させ, 我が国における国際標準の獲得を目標とする基準認証研究開発事業の推進を受けて, 現在, 南二三吉教授を主査



* Mitsuru OHATA

1970年10月生
大阪大学大学院工学研究科生産加工工学専攻博士後期課程修了(1997年)
現在、大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 准教授 博士(工学)
溶接強度力学 破壊力学 損傷力学
TEL : 06-6879-7545
FAX : 06-6879-7545
E-mail : ohata@mapse.eng.osaka-u.ac.jp

として鉄鋼材料の破壊靱性評価手順の国際標準化 (ISO化)に取り組んでいる。我が国が世界に先駆けて開発してきた高強度鋼の適正な適用拡大や、鋼構造物製作における設計自由度の増加、製作コストダウンと省エネルギー化、さらには、鋼構造化産業の国際競争力強化へつながるものと期待している。

この他、我々の研究室では、ローカルアプローチを駆使することで、高強度材料の水素割れ限界の定量評価や、シャルピー衝撃特性とCTOD破壊靱性との相関、溶接接合部における強度ミスマッチが破壊性能に及ぼす影響の定量化など、破壊力学などの従来の学問では扱えなかった課題を解決する方法論を提案している。

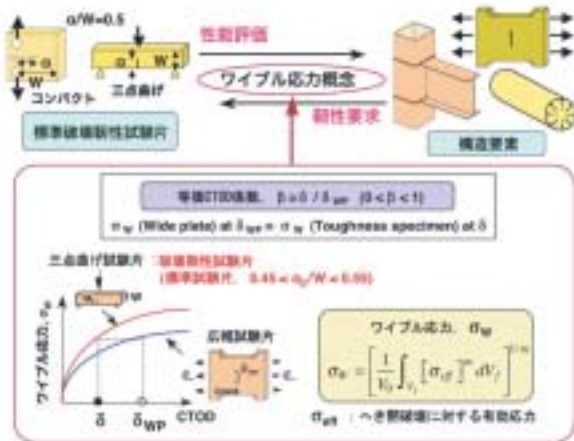


図1 靱性試験結果と構造性能を結ぶ等価CTOD概念

2.2 微視的材料特性と構造延性破壊抵抗を結ぶシミュレーション法の構築

鋼材および溶接部 (特に溶接熱影響部) 組織の複合化による微視的な力学的不均質を積極的に利用することで、構造の延性破壊抵抗を向上させるための組織制御指針を解明することに着目し、複合組織材料のミクロ損傷・破壊メカニズムの解明とそのため新たなメソスコピック損傷メカニクスを構築するための研究にも着手している。構造部材の延性抵抗と複合組織形態を直結するシミュレーション法を構築するためには、従来の材料のマクロ力学量のみを用いた破壊あるいは損傷の力学に代わり、複相材料 (硬い相と柔らかい相の複相組織) の組織形態を再現する三次元組織モデリング法の開発によるメソスコピック応力・歪解析手法の構築が不可欠となる。図2は、ポロノイ分割法を利用して開発した、対象

材料の複相組織形態を三次元で再現する手法を示している。これにより、複相組織の形態 (硬質第二相の形状、寸法、体積分率や圧延組織) を任意に変化させた三次元多結晶粒有限要素モデルを作製することができ、現在では、図に示すような大規模な板状のモデルを自動で作製することも可能としている。複相材料の延性損傷は、結晶粒レベルでの強度的な不均質に起因する応力やひずみの局在化挙動に大きく依存することから、本モデルの適用は、延性損傷限界と不均質組織形態との関係を導く有用なツールとなる。一方、我々は、延性破壊を支配するマイクロポイド発生までの材料損傷進展挙動を数理モデルとして構築し、それを三次元複相組織形態モデルに適用することで、不均質組織に起因したマイクロポイドの発生からそれらの相互作用によるポイド連結や微視き裂の形成・進展挙動のシミュレーションを試みている。図3は、硬質相 (パーライト相) の体積分率が約30% (平均粒径は約20~30μm) のフェライト-パーライト二相組織を有する鋼材を対象として、微小な引張試験片の延性破壊試験とシミュレーションの結果を示している。解析モデルは、対象材料を再現した二相組織を有する三次元プレートから実験と同じ形状・寸法の微小引張試験片をCADにより切り出して作製したものである。実験で確認された二相境界のフェライト相側 (軟質相側) からのポイドの発生 (損傷率 $D/D_{cr} = 1$ の領域が剛性0となった領域) や、その後の延性き裂を形成する挙動が本シミュレーションにより再現できている。このように、開発した三次元複相組織形態モデルと、提案した数理損傷モデルの併用は、延性損傷限界と二相組織形態の関係をシミュレーションによって定量的に捉えるための有効なツールになると考えている。

延性損傷を微視的に捉える数理損傷モデルを結晶粒レベルの強度的不均質モデルに組み込むことで、延性損傷限界への負荷履歴の影響のシミュレーションにも展開できるものと考えられ、薄鋼板の成形限界と材料組織形態との関係など、新たな研究分野への応用も図っている。また、溶接構造部材の巨視的な延性き裂の発生・進展抵抗と組織形態とを結び付けるシミュレーションも実施している。

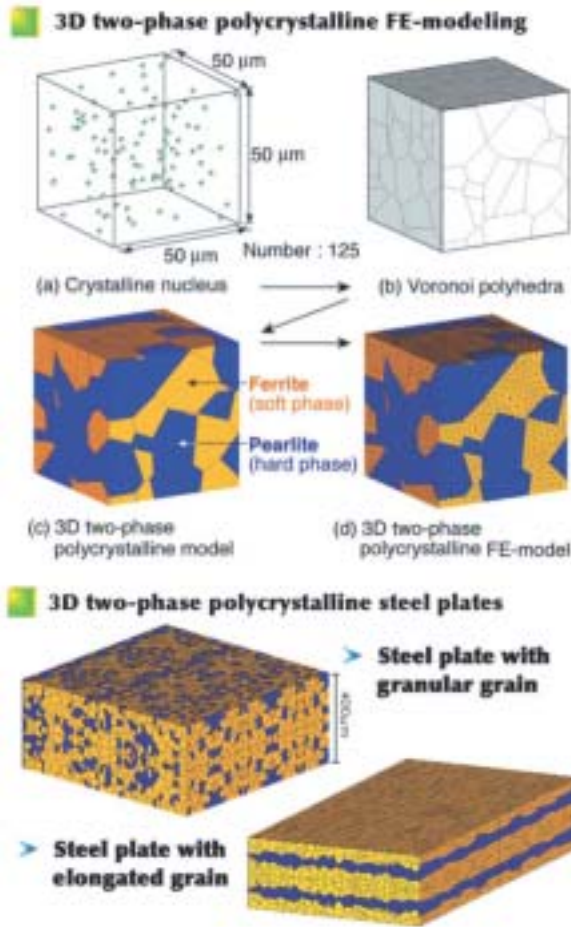


図2 自動三次元複相組織形態モデル化手法

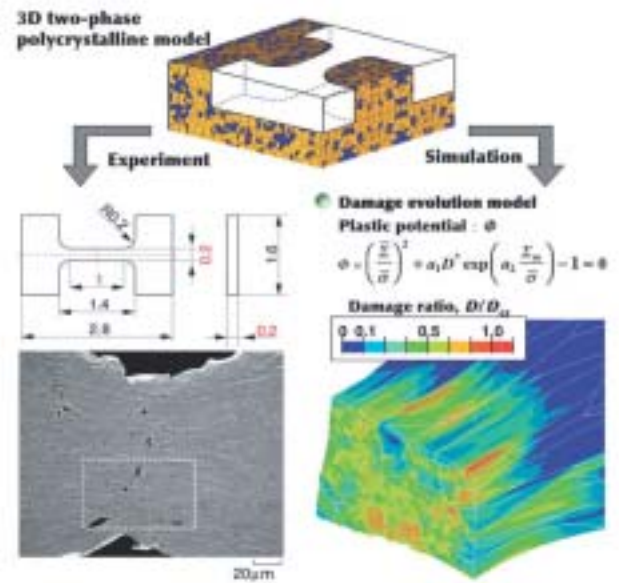


図3 延性損傷シミュレーションと観察結果

おわりに

我々は、構造物や工業製品の機能・性能向上のための材料設計、さらに材料特性からみた新たな構造設計に展開するための「材料マイクロ構造」 - 「材料・溶接部特性」 - 「構造性能」を直結する階層横断的かつインタラクティブな評価/デザインシステムを構築するための研究を進めている。そのため、延性

/脆性/疲労/環境破壊のメカニズムの解明を図ることを目的とした実験・観察に始まり、微視的な損傷・破壊の数理モデルの構築、構造部材としての性能を評価するコンピュータシミュレーション手法の開発研究などを通じて、次世代の材料、接合技術の開発、ならびに斬新な構造設計への展開を目指している。