The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ローカルアプローチによる二相鋼の延性損傷評価手法の構築
Author(s)	庄司, 博人
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/59585
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　庄司　博人　　）	
論文題名	ローカルアプローチによる二相鋼の延性損傷評価手法の構築

論文内容の要旨

本研究では二相鋼を対象とし，構造部材の延性亀裂発生・進展抵抗に及ぼす材料組織特性の影響を定量的に予測可能なローカルアプローチに基づくシミュレーション手法を構築することを目的とした検討を行った。本論文は以下の７章より構成される。

第１章では，延性損傷のメカニズムについて従来の知見をまとめ，それに基づいた延性破壊のモデリングに関する従来の研究について紹介し，材料組織特性と構造部材の延性亀裂発生・進展抵抗を関連づけるには課題が残ることを述べた。それに対して，構造部材の延性亀裂発生・進展抵抗を支配する材料の機械的特性（強度特性と「切欠き延性」と「延性の応力多軸度依存特性」）に着目した。そして，組織不均質による応力／ひずみの局在化に伴うローカルな損傷進展を再現することで，微視的ヘテロ構造特性（不均質組織形態，二相の強度バランスおよび二相の延性バランス）と鋼材機械的特性の関係を導くメゾスケールでのダメージメカニックス，さらに亀裂先端近傍のローカルな損傷進展を再現することで，その機械的特性から構造部材の延性亀裂発生・進展抵抗を予測するマクロスケールでのダメージメカニックスからなる「階層的アプローチ」を提案した。

第２章から第４章では，微視的ヘテロ構造特性から鋼材機械的特性を予測するためのメゾスケールアプローチの構築を目的とした。第２章では，延性損傷挙動と破壊限界に及ぼす微視的ヘテロ構造特性の影響を予測するためのローカルアプローチに基づいた延性損傷モデルを提案した。そのために，組織不均質に伴う応力／ひずみの局在化挙動を再現するモデルと，組織ごとの強度・延性損傷特性をもとに延性亀裂発生に至るまでの材料損傷の蓄積を再現する延性損傷数理モデルを提案した。二相組織形態を三次元で再現した解析モデルに延性損傷数理モデルを組み合わせることで，メゾスケールでのローカルな損傷を再現する延性損傷モデルを提案した。さらに，提案延性損傷モデルに基づいて，二相鋼の「延性特性」を予測するためのシミュレーション手法を提案した。

第３章では，フェライト・パーライト二相鋼を対象として，第２章で提案した損傷モデルによって，巨視的な応力／ひずみ状態に起因したモードの異なる延性亀裂（等軸ディンプル形成型亀裂およびせん断すべり型亀裂）の形成挙動・形成限界が予測できることを示した。

第４章では，提案損傷モデルに基づいて，延性亀裂発生・進展抵抗を支配する二相鋼の「延性特性」を予測するシミュレーション手法の適用性の検証を行った。フェライト・マルテンサイト二相鋼を対象とし，微視的ヘテロ構造特性から二相鋼の「延性特性」を予測できることを示した。

第５章では，提案したメゾスケールアプローチに基づいて材料組織特性から予測された二相鋼の「延性特性」を用いて，マクロスケールアプローチにより構造部材の延性亀裂発生・進展抵抗が予測可能であることを検証した。すなわち，微視的ヘテロ構造特性と二相鋼の機械的特性を，さらにその機械的特性と構造部材の延性亀裂発生・進展抵抗とを，階層的に定量的に関連づけるシミュレーション手法が構築できた。

第６章では，提案した「階層的アプローチ」に基づき，二相鋼の不均質組織形態が鋼材機械的特性，そして構造部材の延性亀裂発生・進展抵抗に及ぼす影響について，第二相がランダムおよび層状に分布したモデルを用いて検討を行った。その結果，第二相を層状に分布させることで鋼材の「延性特性」が向上し，構造部材の延性亀裂進展抵抗を向上させられることがわかった。

第７章では本論文で得られた主な結果についてまとめた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（ 庄司　博人 ）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教 授	南　二三吉
	副 査	教 授	才田　一幸
	副 査	教 授	伊藤　和博
	副 査	教 授	大畑　充
	副 査	准 教 授	川畑　友弥（東京大学大学院工学研究科システム創成学専攻）

論文審査の結果の要旨

近年、鋼の二相組織化が高強度鋼の延性・加工硬化特性等の機械的性質のみならず延性強度や疲労強度などの機能にまで好影響を及ぼすことが知られ、これを利用した新しい高機能鋼も出現するなど、二相組織化を通じた鋼材諸特性の改善効果に注目が集まっているが、そのメカニズムについては十分解明されてはいない。

本研究は、高強度鋼の重大な弱点である延性破壊特性に注目し、二相組織化による改善とそのメカニズム解明を目的として、実験観察によって新しい延性損傷モデルを考案し、そのモデルを用いた延性損傷解析を通して、二相鋼の組織特性と部材としての延性抵抗をリンクできる延性損傷シミュレーション手法を開発したものである。本論文で得られた主な結論をまとめると以下のようである。

（１）局所的な塑性ひずみと応力多軸度を評価パラメータとして用いる「延性損傷数理モデル」を、異相界面近傍の力学的状態（応力/ひずみの局在化挙動）の解明に基づいて二相組織鋼の各相に適用し、二相組織分布を再現した３次元数値解析により、二相鋼の各組織の特性（応力-ひずみ曲線と、延性の応力多軸度依存性）から、二相鋼としての延性亀裂の発生限界ひずみ、および延性亀裂の進展挙動を予測できることを示している。

（２）延性亀裂は、試験片形状に応じて、試験片内部から発生する場合と試験片表面から発生する場合があるが、上記の「延性損傷数理モデル」は、両ケースについて適用できることを検証している。試験片内部からの延性亀裂は dimple 形成によって、また、試験片表面からの延性亀裂はせん断すべり形成によって生じるが、「延性損傷数理モデル」ではこれらの延性損傷モードも予測可能であり、延性き裂発生が dimple 形成によるか、それともせん断すべり形成によるかは、試験片形状・負荷条件に依存する応力/ひずみの局在化挙動によって決まる。

（３）二相鋼の鋼材としての延性亀裂発生ひずみ（切欠き延性）と延性の応力多軸度依存性が求まれば、それらの情報から、「延性損傷数理モデル」を駆使することによって、部材としての延性亀裂の発生ひずみ、および亀裂進展抵抗を予測できる。

（４）以上より、開発した延性損傷シミュレーション手法は、二相鋼の各組織の特性、二相鋼の鋼材としての延性特性（切欠き延性と延性の応力多軸度依存性）、および部材としての延性き裂発生・進展抵抗をリンクできる手法となっている。

（５）上記の手法をフェライト・パーライト二相鋼、および、フェライト・マルテンサイト二相鋼に適用し、本手法が実用されている二相鋼に適用できることを検証している。

以上のように、本論文は二相鋼の組織特性と部材としての延性抵抗を階層的に結びつけることのできる延性損傷シミュレーション手法を開発したもので、二相組織化により高強度鋼の延性破壊特性を大幅に改善できること、またそのメカニズムは二相界面近傍の応力/ひずみ局在化の制御にあることを、この分野で初めて見出している。ここで開発された手法は、構造用鋼の優れた諸特性の実現、および従来にない新しい特性付与等の画期的な新材料設計手法にも結びつくことが期待され、鉄鋼材料利用分野の耐破壊安全設計および材料科学の発展に資するところが大である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。