

Title	構造用鋼の延性損傷モデルの提案とそれに基づく延性 き裂進展抵抗に及ぼす鋼材機械的特性の影響のシミュ レーション
Author(s)	深堀, 拓也
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48693">https://hdl.handle.net/11094/48693</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていない ため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利 用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka- u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文につい て</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	ふか 深 堀 たく 拓 や 也
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 0 3 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学 位 論 文 名	構造用鋼の延性損傷モデルの提案とそれに基づく延性き裂進展抵抗に及ぼす鋼材機械的特性の影響のシミュレーション
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 南 二三吉 (副査) 教 授 豊田 政男 教 授 西本 和俊 教 授 小溝 裕一

## 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、近年の清浄な高強度鋼の延性き裂発生・進展メカニズムに基づいた損傷モデルを提案し、鋼材の機械的特性から実構造部材の延性き裂発生・進展抵抗 ( $R$ -curve) を予測可能なシミュレーション手法の構築を行った。

第 1 章は緒論で、現在提案されているき裂部材の  $R$ -curve 予測手法の適用限界と課題を抽出し、本研究で目的とする延性き裂進展シミュレーション手法を構築するための着目点を明確にした。

第 2 章では、「強度特性 (降伏応力や加工硬化能)」が等しい二種の鋼材の三点曲げ試験で得られた  $R$ -curve を比較し、延性き裂の発生限界  $CTOD \delta_i$  は両鋼材で等しいが進展抵抗は異なることが分かった。さらに、疲労予き裂先端からの延性き裂発生はせん断すべり型であり、その後の進展プロセスとは異なることを明らかにした。これらの結果から、発生抵抗と進展抵抗とは、異なる鋼材特性に支配されている可能性があることが示唆された。

第 3 章では、第 2 章の結果を踏まえて、 $R$ -curve がどのような機械的特性によって支配されているか検討し、延性き裂発生は切欠き曲げ試験で得られる「切欠き延性 (切欠き底からの延性き裂発生限界局所歪)」に、延性き裂進展は円周切欠き付丸棒引張試験で得られる「延性の応力多軸度依存性 (限界相当塑性歪の応力多軸度依存性)」に支配される傾向にあることを明らかにした。

第 4 章では、まず、対象鋼材の延性損傷プロセスについて、延性破断がマイクロボイドの発生に支配されていることを明らかにした。この延性損傷をモデル化し、「延性の応力多軸度依存性」と関係づけた数理損傷モデルを提案した。鋼材の「切欠き延性」を延性き裂発生限界歪に設定し、かつ提案した数理損傷モデルを用いれば、鋼材の機械的特性から疲労予き裂材の  $R$ -curve を予測可能であることを示した。

第 5 章では、同じ延性損傷プロセス (せん断すべり型の延性き裂発生、かつマイクロボイド発生支配型の延性損傷プロセス) を呈する鋼材であれば微視組織および「強度特性」が異なるものにも提案シミュレーション手法が適用できることを、780 MPa 級鋼を用いて検討して示した。また、実験室レベルの機械的特性から実構造部材のような塑性拘束度が低いき裂部材の  $R$ -curve を予測できることを、浅い疲労予き裂を有した三点曲げ試験片を用いて検証した。さらに、疲労予き裂材の  $R$ -curve の向上にどのように機械的特性 (「切欠き延性」、「延性の応力多軸度依存性」) が寄与するか検討し、一例として「切欠き延性」の影響についてシミュレーション結果を示した。

第 6 章は結論で、本論文で得られた結果をまとめ、全体を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

最近の製鋼プロセスで製造される構造用鋼は従来の構造用鋼に比べて一般に靱性が優れており、構造要素の破壊性能評価において、延性き裂の発生・進展をいかに取り扱うかに関心が高まっている。従来、ボイド（空孔）の発生・成長に注目した評価手法が報告されているが、近年の高強度鋼は清浄度が高く、介在物起点の初期ボイドの存在を前提とした従来手法はそのままでは適用し難い。本研究は、このような近年の高強度鋼の延性破壊プロセスの詳細観察に基づき、延性損傷の力学モデルを提案すると共に、それを用いてき裂部材の延性き裂進展抵抗をシミュレーションできる手法を構築することを目的としている。本論文での主たる着眼点と結論をまとめると以下のようである。

- (1) 清浄度の高い近年の高強度鋼の延性破壊は、せん断すべり型のき裂発生、破断寸前の負荷レベルでのマイクロボイドの発生による延性破断という過程から成り、従来の MnS などの不純物を含む構造用鋼におけるボイドの発生・成長・合体による破壊様相とは異なった破壊プロセスをとる。
- (2) 延性き裂の発生はせん断すべり型、一方、最終破断はその直前の負荷レベルからのマイクロボイドの発生支配型であることから、延性き裂の発生と進展とは、異なる破壊メカニズムを考える必要がある。
- (3) 強度特性（降伏応力、引張強さ、加工硬化能）は、延性き裂進展の駆動力に影響するが、き裂進展抵抗はそれだけでは決まらない。延性き裂発生限界には相当塑性歪、き裂進展抵抗には破断延性の応力多軸度依存性の果たす役割が大きい。
- (4) 上記の結果をふまえ、「相当塑性歪支配型の延性き裂発生条件（注目領域の相当塑性歪がある限界値に達すると延性き裂が発生）」、および、「破断直前でのマイクロボイド発生による損傷加速型のき裂進展条件（損傷の受け方には延性の多軸度依存性が影響）」の二つのメカニズムを組み入れた延性損傷モデルを開発し、それを用いた延性き裂進展抵抗の FEM シミュレーション手法を構築している。
- (5) 本手法を疲労き裂材へ適用し、簡易な切欠き材料試験で得られるき裂発生限界歪（本論文ではこれを切欠き延性と呼んでいる）と延性の多軸度依存性から、疲労き裂材の延性き裂進展抵抗が本モデルによってシミュレーションできることを示し、これによって本手法の妥当性を検証すると共に、き裂進展抵抗に及ぼす部材の塑性拘束の影響も予測できることを示している。

以上のように、本論文は、近年の高強度鋼の延性損傷メカニズムを解明し、その数理モデル化によって、簡易な小型材料試験で得られる「切欠き延性」と「延性の多軸度依存性」から、任意形状のき裂部材の延性き裂進展抵抗を予測できるシミュレーション手法を開発している。ここで開発された方法は、近年の高強度鋼に対する延性き裂進展解析手法の構築のみならず、き裂進展抵抗向上のための鋼材開発指針の検討へと繋げることが期待でき、材料強度評価工学、破壊制御設計学、さらには、構造・材料設計工学などの発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。