

Title	延性ダメージモデルの提案と材料の機械的特性からの延性亀裂進展抵抗予測手法
Author(s)	山田, 剛久
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76552
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (山田 剛久)

論文題名

延性ダメージモデルの提案と材料の機械的特性からの延性亀裂進展抵抗予測手法

論文内容の要旨

本論文では鉄鋼材料を対象とし、亀裂部材の延性亀裂進展抵抗を簡易かつ精度良く予測する手法を構築することを目的として研究を行った。本論文は以下の7章による構成とした。

第1章では、従来の延性亀裂進展シミュレーションにおける課題を整理し、亀裂部材の延性亀裂進展抵抗の評価・予測には、亀裂先端の応力多軸度履歴に応じたボイド成長挙動が適切に反映されたダメージモデルが必要であることを述べた。また、本研究では限界ひずみの応力多軸度依存特性を材料特性として用いる積分型延性ダメージモデルを用いて、平滑丸棒引張試験から得られる材料の機械的特性のみからシミュレーションにより延性亀裂進展抵抗を予測するアプローチに着目したことを述べた。

第2章では、初期ボイドをモデル化したUnit cellによる系統的な弾塑性FEM解析により、ボイド成長挙動を解析的に調査し、ボイド成長挙動に影響を与える材料特性や応力多軸度の影響を把握した。これらの解析結果から損傷発展則を導出し、限界ひずみの応力多軸度依存特性を用いた現象論的で簡易的な延性ダメージモデルとして非線形累積損傷モデルを提案した。

第3章では、機械的特性が異なる2種類の鉄鋼材料を用いて、第2章で提案する非線形累積損傷モデルの適用性を検証した。ここでは、亀裂部材における応力多軸度の変化を想定し、円周切欠き付丸棒試験片を用いてその応力多軸度の変化を簡易的に模擬した引張試験(切欠き再加工引張試験)を実施した。切欠き再加工引張試験の損傷解析を行い、提案する非線形累積損傷モデルを用いて、当該試験の延性損傷限界を評価できることを示し、提案モデルの鉄鋼材料への適用性を確認した。

第4章では、非線形累積損傷モデルで用いる限界ひずみの応力多軸度依存特性を材料の機械的特性のみから予測する手法の提案のため、まず、材料の応力-ひずみ関係の特徴付けるパラメータを変化させた解析的スタディにより、延性亀裂の発生限界ひずみに影響を与えるパラメータを把握した。延性亀裂の発生は、ボイドの成長・合体が進行する一様伸び以降で引き起こされることに鑑み、平滑丸棒引張試験の結果から得られるひずみ硬化指数と一様伸び以降の延性特性を用いた限界ひずみの応力多軸度依存特性の簡易予測式を提案した。

第5章では、第2章で提案する非線形累積損傷モデルと第4章で提案する限界ひずみの応力多軸度依存特性の簡易予測式を用いた延性亀裂進展抵抗の予測アプローチを提案し、平滑丸棒引張試験から得られる材料の機械的特性のみを用いて延性亀裂進展シミュレーションを実施した。また、提案する予測アプローチの適用性検証として、機械切欠き材および疲労予亀裂材における延性亀裂進展抵抗を実験により取得し、シミュレーション結果と比較した。その結果、本アプローチにより、平滑丸棒引張試験から得られる材料の機械的特性の情報のみから亀裂部材の延性亀裂進展抵抗を予測可能であることが確認された。

第6章では、提案する延性亀裂進展抵抗の予測アプローチの適用性拡大のため、試験片形状が異なる亀裂部材に対するシミュレーションを実施し、塑性拘束の違いに依る延性亀裂進展抵抗への影響がシミュレート可能であることを確認した。また、文献データを利用し、機械的性質が異なる鉄鋼材料や異なる試験片形状に対して、延性亀裂進展抵抗の予測が可能であることを示し、本研究で提案するアプローチの適用性と汎用性を示した。

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。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山 田 剛 久)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	大畑 充
	副 査	教授	望月 正人
	副 査	教授	宇都宮 裕
	副 査	准教授	三上 欣希 (接合科学研究所)

論文審査の結果の要旨

貯蔵設備や橋梁などの大型構造物において、繰返し荷重による疲労破壊と過大荷重や溶接欠陥などから生じる延性・脆性破壊を防止し、安全・安心を社会に提供することの重要性は言うまでもない。さらに近年では、多発する大規模地震により鋼構造物が大変形を受ける場合の破壊限界予測の高精度化に対する要求が高まってきている。特に、近年の高靱性な鉄鋼材料に対しては、延性亀裂の発生限界や進展抵抗に関する評価・予測技術の高度化が一層重要になってきており、材料設計・選定に活かすことのできる性能予測手法の開発が期待されている。

本研究はこのような背景から、鉄鋼材料を対象とし、亀裂部材の延性亀裂進展抵抗を簡易かつ精度良く予測する手法の開発を行っている。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) 延性損傷を支配するボイドの成長挙動を、初期ボイドをモデル化したUnit cellによる系統的な弾塑性FEM解析により調査し、ボイド成長挙動に影響を与える材料特性や応力多軸度の影響を解析している。これらの解析結果から損傷発展則を導出し、限界ひずみの応力多軸度依存特性を用いた現象論的で簡易的な延性ダメージモデルとして非線形累積損傷モデルを新たに提案している。

(2) 機械的特性が異なる2種類の鉄鋼材料を用いて、提案された非線形累積損傷モデルの妥当性の基礎検証をしている。具体的には、円周切欠き付丸棒試験片を用いて負荷中に応力多軸度を急変させる試験と提案された非線形累積損傷モデルを用いた損傷解析を行い、当該試験の延性損傷限界を高精度に予測できることを実証している。

(3) 非線形累積損傷モデルを用いることで、材料の延性亀裂発生限界ひずみとその応力多軸度依存特性から、亀裂部材の延性亀裂進展抵抗を予測できる。この限界ひずみの応力多軸度依存特性を、材料の平滑丸棒引張試験で得られる機械的特性、すなわち、一様伸び、ひずみ硬化指数および延性特性（延性亀裂の発生限界ひずみ）の情報のみから取得する簡易予測式を提案している。

(4) 非線形累積損傷モデルと限界ひずみの応力多軸度依存特性の簡易予測式を組み合わせた延性亀裂進展抵抗の予測する数値解析モデルを構築し、塑性拘束度が異なる機械切欠き材および疲労予亀裂材の延性亀裂進展抵抗を材料の機械的特性の情報のみから数値シミュレーションによって精度良く予測可能であることを実証している。

(5) 提案する延性亀裂進展抵抗の予測モデルが、機械的特性が異なる材料、ならびに亀裂長さや負荷様式が異なる部材の延性亀裂進展抵抗の予測に適用できることを検証し、本アプローチの適用の汎用性を示している。

以上のように、本論文は鉄鋼材料を対象として、ボイド成長挙動を反映した簡易かつ現象論的な延性ダメージモデルとして非線形累積損傷モデルを提案し、さらに、材料の機械的特性の情報のみから簡易かつ精度良く亀裂部材の延性亀裂進展抵抗を予測する手法を開発している。本アプローチは、新規構造物や経年劣化したインフラ設備の耐破壊性能の簡易かつ高精度な予測や、構造性能向上のための材料選定・材料開発に活用でき、我が国のものづくり技術の発展に資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。