

材料の加工硬化及び繰り返し塑性特性を考慮した疲労亀裂伝播解析手法に関する研究

山下, 紘平

<https://doi.org/10.15017/1654825>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名： 山 下 紘 平
論 文 名： 材料の加工硬化及び繰り返し塑性特性を考慮した疲労亀裂伝播解析
手法に関する研究
区 分： 甲

論 文 内 容 の 要 旨

船舶・海洋構造物等の大型溶接鋼構造物に対する疲労寿命評価では、構造物に作用する荷重の頻度分布と一定振幅荷重条件で実施される疲労試験から求められる材料及び溶接継手の S-N 線図を用いた線形累積被害則が用いられる。一方、疲労亀裂成長挙動は載荷履歴の影響を受けることが広く知られているため、前述の評価手法では疲労亀裂の成長履歴を推定できない。また、疲労破壊するか否かだけの判定に適用する場合でも、過去の損傷実績を考慮した適切な安全率の設定が不可避である。疲労亀裂成長履歴の評価に適用するために Paris 則に代表される破壊力学的手法も複数の提案があるが、実用上重要な変動荷重履歴条件下や表面亀裂に対する亀裂成長推定の精度には未だ課題が残されている。

本論文では、現状の疲労亀裂成長挙動評価手法の更なる改善を目的に、1) 材料の加工硬化現象を考慮できる疲労亀裂成長に関する数値シミュレーション手法の構築、2) 表面亀裂問題に対する亀裂結合力モデルの構築、3) 応力拡大係数の評価を不要とする疲労亀裂成長に関する数値シミュレーション手法の構築、という3つの研究課題について検討を行った。

本論文は、8章から構成されている。

第1章は緒論であり、研究背景、疲労寿命評価の歴史と現状、疲労亀裂伝播挙動に関する研究の現状について説明している。

第2章では、亀裂結合力モデルに基づく亀裂開閉口モデル並びに RPG 荷重基準の疲労亀裂伝播則を採用した疲労亀裂伝播シミュレーション手法の概要について説明している。なお、本章で紹介した数値シミュレーションでは材料を弾完全塑性体として取り扱っているが、鋼材等では塑性変形の進行に伴って加工硬化現象が生じるため、実現象との相違を複数の係数の導入により近似的に表現している。そこで、なお第3章から第5章において、これら物理的意味が不明確な係数を使用せずに材料の加工硬化現象を考慮でき、かつ実用的な計算負荷で数値シミュレーションが可能となる手法を提案する。また、本章で紹介した手法は板厚貫通亀裂に対するものであるため、第6章において、この手法を表面亀裂問題に拡張する。

第3章では、原田らによる単調載荷条件下における材料の加工硬化挙動を考慮した亀裂結合力モデルを繰返し載荷条件下に拡張する手法を提案し、弾塑性有限要素解析と提案手法により得られる亀裂開口変位 (COD) と亀裂先端に形成される塑性域長さの比較より提案手法の妥当性の検証を示している。

第4章では、上述の材料の加工硬化特性を考慮した亀裂結合力モデルを用いて第2章のシミュレーションを改良する際に適用する、繰返し載荷条件下における応力～ひずみ関係を実験的に取得した結果を示している。

第5章では、第2章で紹介した疲労亀裂伝播に関する数値シミュレーション手法に第3章で提案した手法を導入することで、繰返し荷重条件下での材料の加工硬化影響を考慮した疲労亀裂開閉口

モデル及び、このモデルを実装させた疲労亀裂伝播シミュレーション手法を構築した。そして、同手法の妥当性について、過去に実施された疲労亀裂伝播試験結果と比較することで検証している。さらに本提案手法を用いて、複数の加工硬化特性を有する材料を想定し、材料の加工硬化特性の相違が疲労亀裂伝播挙動に及ぼす影響に関する数値検討結果を示している。

第6章では、表面亀裂を代表する平面状亀裂問題に対する亀裂結合力モデルについて検討している。一般に溶接構造物から発生する疲労亀裂の多くは溶接止端部から発生する表面亀裂がその成長に伴い板厚貫通亀裂に遷移するが、構造全体の疲労寿命に対して表面亀裂の形態を示す期間は板厚貫通亀裂期間に対して相対的に長いことが知られている。また、溶接部に初期欠陥が含まれる場合は埋没亀裂状態であり、これも平面状の形態でありかつ全寿命に占める期間も長い。そのため、平面状の形態を有する亀裂の伝播履歴を推定することは非常に重要である。そこで、半だ円形状を有する表面亀裂を例に採り、従来の板厚貫通亀裂に対して構築された亀裂結合力モデルを表面亀裂問題に対して拡張し、同手法により計算される亀裂前縁に形成される塑性域形状と COD について弾塑性有限要素解析結果との比較により、提案手法の妥当性を示した。

第7章では、有効応力拡大係数範囲を計算することなく通常の弾塑性解析により疲労亀裂伝播挙動を評価することを目的に、疲労亀裂先端近傍で生じる繰り返し塑性挙動に基づいた、疲労亀裂伝播則について検討した。これに際して、汎用非線形 FE 解析コードを活用して疲労開口並びに亀裂伝播挙動の解析手法を構築し、利用している。その結果、亀裂先端近傍で消費される繰り返し塑性ヒステリシスエネルギーに基づく、疲労亀裂伝播挙動の評価が可能であることを確認した。

第8章は結論であり、本研究の総括並びに今後の課題について言及している。