

複数周波数を含む重畳応力条件下における疲労亀裂 伝播挙動評価の高精度化に関する研究

高木, 芳史

<https://doi.org/10.15017/4060144>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名： 高 木 芳 史
論 文 名： 複数周波数を含む重畳応力条件下における疲労亀裂伝播挙動評価の
高精度化に関する研究
区 分： 甲

論 文 内 容 の 要 旨

稼働中のディーゼル機関ピストンクランク，車両台車枠，タービン，送風機の翼，船用推進軸等の多くの構造物において，複数周波数成分を有する重畳応力が作用することが確認されている．船舶や海洋構造物では，静水中の縦曲げ応力に加えて，波浪変動に起因する応力，さらに whipping や springing 等に起因する高周波数の弾性振動などが重畳した応力履歴が作用していることが広く知られている．また whipping や springing は時間の経過とともに減衰するため，複数周波数成分を有する重畳応力状態が全載荷履歴中の一部区間においてのみ生じている．この事例のように，構造物や輸送機器には複数周波数成分を含む変動応力履歴が間欠的に出現していることが一般的であるため，これらの作用応力履歴下における疲労強度評価の精度向上は，構造物や輸送機器の安全性の担保のために重要な課題である．

重畳応力状態を含む変動応力履歴条件下における疲労強度評価法は，S-N 曲線，応力頻度計数結果及び線形累積被害則を組み合わせて実施されることが一般的である．この手法は簡便であるため多くの疲労設計指針で用いられているが，過度に安全側の評価となる場合や逆に危険側の評価を与える場合もある．そのため，損傷実績を考慮した安全率を疲労被害度に対して設定することが必要不可欠である．また，上述の S-N 曲線に基づく方法では，疲労亀裂成長履歴の推定が困難であるため発生した疲労損傷がどの段階の不安定破壊で構造物の機能喪失に直結する脆性破壊に至るかを推定できないという問題点もある．

一方，先行研究では，重畳応力履歴下における疲労亀裂先端の塑性挙動に着目し，亀裂先端に形成される両振塑性域内で消費される繰返し塑性仕事を両振り塑性域寸法で除した値を閾値とし，疲労亀裂伝播に寄与する有効応力履歴を抽出する有効応力履歴選択アルゴリズムを考案し，RPG 基準による疲労亀裂伝播則を用いて疲労亀裂伝播シミュレーションを実施した．そして，重畳応力条件下における疲労亀裂伝播試験結果と解析結果を比較し，提案手法の妥当性を検証した．また，種々の平均応力条件を設定した重畳応力履歴下における疲労亀裂伝播試験を実施し，数値シミュレーション結果との比較を通して同手法の平均応力影響を検証した．それらの検証結果から，先行研究において提案した，不規則な応力履歴の中から疲労亀裂伝播に有効な応力成分を抽出する有効応力履歴選択アルゴリズムと，それを導入した RPG 基準の疲労亀裂成長シミュレーションは種々の低周波応力振幅，高周波応力振幅，及び平均応力条件下での一定振幅重畳応力履歴下において比較的良好な疲労亀裂伝播挙動推定を実施可能なことを確認した．しかしながら，先行研究における提案手法は，重畳応力条件下が間欠的に生じる場合を含む変動荷重履歴条件下における亀裂成長履歴については，その推定精度に関する検証は報告されていない．

本論文は重畳応力状態が間欠的に出現する応力履歴下における疲労亀裂伝播履歴を精度良く推定することを目的に，先行研究により提案された「有効応力選択アルゴリズム」と Toyosada らによる RPG 基準による疲労亀裂伝播則および疲労亀裂伝播シミュレーション手法の適用可能性を検証した．これに際して，応力履歴次第で初期欠陥部が接触・閉口する現象が生じる場

合へ対処する必要性を確認し、疲労亀裂伝播シミュレーション手法の改良を実施した。本論文は、6章から構成されている。

第1章は緒論であり、研究背景及び研究目的について説明した。

第2章では、本研究で用いる疲労亀裂伝播シミュレーションの基礎理論である Toyosada らによる疲労亀裂伝播シミュレーションの概要を説明した。

第3章では、初期き裂面の閉口現象を考慮した RPG 基準の疲労亀裂伝播シミュレーションの概要と定式化について示した後、FE 解析による亀裂開口変位と初期欠陥面の閉口現象を考慮した亀裂開閉口モデルによる亀裂開口変位を比較することにより、初期欠陥面の閉口現象を考慮した亀裂開閉口モデルの妥当性について検証する。

第4章では、初期き裂面の閉口現象を考慮した亀裂開閉口モデルと重畳応力履歴条件下において疲労亀裂成長に有効な応力履歴だけを抽出するアルゴリズムを疲労亀裂伝播シミュレーションに実装させ、これを用いて一定応力履歴及び重畳応力条件が連続する応力履歴条件下における疲労亀裂伝播履歴を実施した。この結果を疲労亀裂伝播試験結果と比較することで、提案手法の妥当性を検証した。

第5章では、重畳応力状態が間欠的に出現する応力履歴条件下において疲労亀裂伝播試験を実施し、その結果得られた疲労亀裂成長履歴を、前章でその有効性を検証した疲労亀裂伝播シミュレーションによる推定結果と比較し、間欠的な重畳応力履歴下でも提案手法の妥当性を検証した。

第6章は結論であり、本研究の総括と将来課題を述べた。