

亀裂結合力モデルに基づく重畳応力条件下における 疲労亀裂伝播挙動に関する研究

松田, 和貴

<https://doi.org/10.15017/1500704>

出版情報：九州大学, 2014, 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 : 松 田 和 貴

論 文 名 : 亀裂結合力モデルに基づく重畳応力条件下における疲労亀裂伝播挙動に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、コンテナ船の大型・高速化に伴い、必要な縦強度を確保するために、極厚板・高強度材料の導入が図られているものの、導入実績の少なさから特に疲労強度評価のためのバックグラウンドデータは必ずしも十分とは言い難い。海洋を航行する船舶には静水中縦曲げ応力に加えて波浪による変動縦曲げ応力、さらにホイッピングやスプリング等に起因する高周波数の弾性振動などが重畳した複雑な応力履歴が作用する。コンテナ船の実船計測結果から、ホイッピングが重畳した場合の応力履歴の線形累積被害則における疲労被害度は、波浪変動外力のみの場合に比べると、Miner 則ベースで約 3.9 倍に増加するという研究結果も報告されている。また、橋梁、自動車、電車、航空機などの多くの構造物や輸送機器に通常作用する応力履歴は、上述のような複数周波数成分を有する重畳応力履歴であるため、これら構造物や輸送機器の疲労強度を定量的に評価するには、重畳応力履歴作用下における疲労亀裂の成長挙動を適切に評価する必要がある。

重畳応力条件のように複雑な応力履歴下における従来の疲労寿命評価手法としては、レインフロ一法による応力波形計測と一定振幅応力履歴下において求めた S-N 線図を用いた線形累積被害則が挙げられる。この手法を適用すると簡便に疲労寿命評価を行えるため、安全率も考慮することで多くの疲労設計指針で用いられているが、この手法では疲労亀裂の成長履歴を推定できないことや、S-N 線図から得られる疲労寿命と実構造物の疲労寿命との対応が明確でないなどの問題点が指摘されている。一方、破壊力学的に疲労亀裂伝播挙動を推定する手法の変動応力履歴下における適用例は数千 ～ 数万サイクル毎の一定振幅の繰返し程度に留まっており、重畳応力履歴のように繰返し応力 1 サイクル毎に応力振幅や平均応力が変化する応力履歴に対する確立された推定手法は存在しておらず、重畳応力履歴下における定量的な疲労寿命評価手法の確立が必要とされているのが現状である。

本論文は、重畳応力履歴下における疲労亀裂伝播挙動に関して破壊力学的な考察に基づき検討した結果を取りまとめたものであり、7 章から構成されている。

第 1 章では緒論であり、最初に研究背景を紹介している。引き続き、疲労亀裂伝播挙動評価の歴史について言及している。とりわけ単一周波数成分の変動応力履歴条件下において疲労亀裂伝播挙動を定量的に評価でき、本研究でも利用した RPG 応力基準の疲労亀裂伝播則について紹介している。引き続き、重畳応力履歴を含む実働応力条件下において疲労強度を評価する際の波数計測手法に関する歴史を紹介し、最後に本研究の具体的な目的について述べている。

第 2 章では、亀裂結合力モデルに基づく疲労亀裂伝播に関する数値シミュレーション手法の概要を説明している。本研究で採用した疲労亀裂伝播則のパラメータ ΔK_{RPG} の算出には、疲労亀裂先端近傍に生じる引張/圧縮の塑性挙動を適切に評価して RPG 応力を同定する必要があるが、その際に有限要素法 (FEM) 等を用いて疲労亀裂先端近傍の応力場を評価すると多大な計算時間を要する上

に、FEM による RPG 応力の評価手法が確立されていないため実用的でない。そこで本研究では、Newman により提案され、豊貞らにより改良された、亀裂結合モデルの仮想亀裂面に弾完全塑性体の棒要素を配置することで、塑性域内における除荷及び再負荷時の弾性変形を考慮できる、疲労亀裂開閉挙動の数値シミュレーション手法を元に、重畳応力履歴下における疲労亀裂成長の数値シミュレーションを構築している。

第3章では、複数周波数成分が重畳した不規則な応力履歴条件下において、疲労亀裂伝播に寄与する応力履歴を抽出する有効応力履歴選択アルゴリズムの必要性について述べ、アルゴリズムの具体的な仕組みを提案している。引き続き、提案アルゴリズムを実装させた疲労亀裂伝播解析結果と実測結果との比較を通して、提案手法の妥当性を検証している。また、有効応力履歴抽出の指標として定義したパラメータが有する物理的意味を考察している。

第4章では、複数の一定平均応力条件および周期的に平均応力が変化する载荷条件を設定した重畳応力履歴下における疲労亀裂伝播履歴を実測し、これらの結果と前章で提案した有効応力履歴選択アルゴリズムを実装した疲労亀裂伝播解析結果の比較を実施することで、提案手法の妥当性を検討している。また、重畳応力履歴下における平均応力が疲労亀裂成長に与える影響についても検証している。

第5章では、重畳応力履歴を等価な疲労被害度を与える一定振幅の等価疲労応力履歴に変換し、広く用いられている Paris 則と、本論文で用いている ΔK_{RPG} をパラメータとした亀裂伝播則の二種類の亀裂伝播推定式を用いて、簡便に疲労寿命評価を行う手法について、第4章で述べた疲労亀裂伝播試験の結果との比較を通して検証している。

第6章では、重畳応力履歴における低周波振幅、高周波振幅、平均応力を種々変化させた重畳応力条件を設定し、有効応力履歴選択アルゴリズムを導入した疲労亀裂成長シミュレーションを用いて疲労亀裂伝播解析を行うことで、重畳応力履歴中の各因子が疲労亀裂伝播挙動に及ぼす影響について考察し、重畳応力履歴を一定振幅応力履歴と置き換えて疲労寿命評価を行うことのできる範囲・条件について検討を行っている。

第7章では、本論文の結論と今後の課題について述べている。