九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

疲労亀裂伝播試験法における亀裂開閉口および伝播挙動の評価手法に関する研究

村上，幸治

https://hdl.handle.net/2324/4784722

出版情報：Kyushu University, 2021, 博士（工学）, 論文博士
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

（様式２）

氏　　名　：　村上　幸治

論 文 名　：　疲労亀裂伝播試験法における亀裂開閉口および伝播挙動の評価手法に関する研究

区　　分　：　乙

論　文　内　容　の　要　旨

Paris により疲労亀裂伝播速度 da/dN と応力拡大係数 K の両対数関係を用いた疲労亀裂伝播則が提案されて以降，疲労亀裂に特有の亀裂開閉口挙動を考慮した有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} を用いた Elber 則や，亀裂先端近傍で生じる両振り塑性挙動を考慮した RPG 荷重基準の有効応力拡大係数範囲 ΔK_{RPG} をパラメータとする疲労亀裂伝播則が提案されている．

大型溶接構造物においては疲労亀裂の発生を完全に撲滅することは建造コストの観点から非効率であることに加え，疲労亀裂が発生した直後では構造物の機能喪失や甚大な事故には至らない場合が大半であるため，発生した疲労亀裂の伝播・成長挙動を設計段階から考慮することは疲労亀裂を起点とする不安定破壊の評価も可能とすることから，構造物の安全性評価のためには極めて有効である．一方，このために必要となる種々の破壊力学パラメータの評価は有限要素解析など比較的労力を有する作業が必要であることもあり，航空機などごく一部の分野を除き，現状で疲労亀裂伝播挙動を設計段階で考慮する構造物は極めて少ない．加えて，時々刻々の破壊力学パラメータの変化履歴を数値解析等で追えても，疲労亀裂停留の指標となる応力拡大係数範囲の下限界値である ΔK_{th} や，疲労亀裂伝播則を規定する材料定数を取得するための実験も，これらの分野に関する十分な経験を有する技術者が実施しなければバラツキが大きい結果となってしまうという問題点も残されている．

そこで本研究では，疲労亀裂伝播挙動の評価に必要となる種々のパラメータの測定について，簡便かつ属人性を極力排除する手法の構築に向けた種々の開発及び検証を実施した．

第 1 章では，疲労亀裂の観察を伴う研究の位置づけ，疲労亀裂伝播の実験方法の現状と課題，本研究の目的と意義についてまとめた．

第 2 章では，疲労亀裂の停留に関する指標となる応力拡大係数範囲下限界値 ΔK_{th} 値の決定方法の簡便化を検証した．疲労亀裂の伝播挙動を評価する試験方法の規格は ASTM E647 がディファクトスタンダードとして広く知られており，ΔK_{th} 値の決定法も同規格中に示された K 値漸減試験による方法があるが，長い試験時間を要するため，より簡便な方法が望まれている．本章では，ASTM E647 に規定されている K 値漸減試験方法の問題点を考察するとともに，既報文献に示された複数の実験及び疲労亀裂伝播シミュレーションによる検討の結果，ASTM E647 の手法と比較して簡略な ΔK_{th} 値の決定方法及び試験時間を短縮する実験条件について提案した．

第 3 章から第 5 章では，変動荷重履歴条件下における疲労亀裂伝播挙動評価に適した Elber 則や RPG 荷重基準の疲労亀裂伝播則を規定する材料定数の決定方法について問題点の整理と，本研究で新たに開発した疲労亀裂伝播試験システムおよびデータ処理自動化システムについて説明している．疲労亀裂伝播則を規定する材料定数を決定するためには，予め疲労亀裂伝播試験により亀裂開口荷

重 P_{op} や RPG 荷重 P_{RPG} を測定する必要があるが，これらの測定には疲労亀裂伝播現象の力学的知見や実験の経験値など，測定者の経験レベルが結果を左右する傾向がある．第 3 章では，P_{op} や P_{RPG} の測定に適する除荷弾性コンプライアンス法を用いたこれら荷重値の測定方法について紹介するとともに，現状の手法における問題点を抽出した．第 4 章では，高精度なコンプライアンス自動計測装置を組み込んだ疲労亀裂伝播試験システムの運用状況と設計思想を引き継いだ上で，独自の回路製作や時定数調整などを行うこと無く，ほぼ既製部品のみを用いて試験システムを構築した．第 5 章では，除荷弾性コンプライアンス法により得られたヒステリシスループから疲労亀裂開閉口の指標となる P_{op} や P_{RPG} を決定するための手法である反転法において，従来はデータの手動処理が必要であったものを自動的に適用するアルゴリズムを開発するとともに，これを実装したデータ処理システムを開発し，P_{op} や P_{RPG} を自動的に決定できることを確認した．同アルゴリズムを適用すれば，ヒステリシスループに含まれるデータノイズの影響を軽減できるという利点も確認した．

疲労亀裂の発生から部材破断までの全寿命に渡る成長挙動の評価には，亀裂発生の初期段階における伝播挙動の把握も重要な課題である．そこで第 6 章では，切欠底から発生・成長する疲労亀裂の微小亀裂段階（亀裂発生から数結晶粒径程度の大きさ）における成長挙動観察に適した試験片形状を提案し，これを用いた初期段階の亀裂成長観察結果事例を示した．

前述の疲労亀裂伝播挙動の測定には，接触式ひずみゲージの利用が必要不可欠である．ひずみゲージはひずみの測定に関して豊富な実績を有するものの，ゲージ本体の面積や長さ範囲における平均的な値を測定するものであることに加え，亀裂先端近傍のような高ひずみ振幅域では測定途中で剥がれ落ちて測定が継続できないという問題がある．一方，近年は画像撮影などによる非接触式の測定法が急激に発展している．そこで第 7 章では，非接触かつ面的にひずみ場計測が可能なデジタル画像相関法を用いて，疲労亀裂成長の駆動源と考えられる亀裂先端近傍に形成される両振り塑性域の寸法や両振り塑性仕事の計測方法について検討し，同手法の有用性を確認した．

第 8 章では，本研究で得られた結果の要約，本研究の成果を活用した関連研究分野における将来課題についてまとめた．