

## 論文題名

疲労き裂先端の弾塑性挙動を考慮したき裂伝播評価法に関する基礎的研究

長崎大学大学院生産科学研究科

熊 纓

機械や構造物の破壊事故では、疲労に起因したものが大半を占めていることはよく知られている。疲労破壊に関する研究は、各国で古くから多くの研究者によって行われており、貴重な成果も数多く報告されている。ところが、これらの成果に基づいた設計基準によって建造された構造物の疲労破壊事故例が後を絶たないのが現状である。

疲労破壊による事故が無くならない要因として、まず、点検時においてき裂発見が困難であるということが挙げられる。実際にはき裂が存在していても発見されず、無損傷と判断され、そのまま使用されることとなり、重大な破壊が発生する可能性がある。また、検査時にき裂の存在が確認されても、き裂長さが正確に把握することができないため、正確な余寿命の推定が困難である。二つ目の要因として、自然界において構造物に作用する荷重が一定ではないことが挙げられる。構造物に作用する応力の大きさおよび周期が時々刻々と複雑に変動しているため、疲労き裂は、加速、減速、または停留を繰り返しながら進展する。したがって、従来の疲労き裂伝播則では、一定振幅荷重の場合には点検時のき裂長さから余寿命を予測できるものの、荷重振幅が変動する場合にはその予測精度は十分ではない。三つ目の要因として、実構造物に作用する荷重は、複雑に変動しているにも関わらず、S-N 線図を用いた疲労設計法の曖昧さが挙げられる。近年の損傷許容設計法では有限寿命域での安全性を評価することが必要となっており、そのためには、破壊力学に基づいて疲労き裂伝播過程を詳細に評価することが重要となる。

以上のように、鋼構造物を設計する上で、疲労損傷問題は無視できない検討事項であるため、鋼構造物の高い安全性と信頼性を確保するために、疲労設計・余寿命予測に有効である疲労き裂伝播特性を詳細に明らかにすることが重要な課題となる。

本論文は 6 章からなっている。

第 1 章では、緒論として、研究の社会的背景、疲労き裂伝播評価に関わる既往の研究について述べ、本研究の目的を明らかにし、本論文の構成を示す。

第 2 章では、疲労き裂先端の微小な弾塑性挙動を検知するために、疲労き裂伝播中に荷重および疲労き裂先端近傍のひずみを高速で同時に計測して、ヒステリシスループを算出できるように開発したシステムを紹介し、併せて本論文で扱う試験法および計測法について詳述した。

第 3 章では、まず、1 サイクル中における微小コンプライアンス変化を弾塑性挙動に基づくき裂開閉口発生荷重の変化と結びつけて考察し、き裂先端付近で測定したヒステリシスループの物理的意味を論じた上で、き裂閉口終了荷重  $P_{CF}$  を提案した。また、一定振幅荷重、最小荷重を一定にして応力比を変化させたスパイク状およびブロック状の繰返し荷重を載荷する疲労き裂伝播試験、および最大荷重を一定に保ちながら最小荷重を上昇させた  $\Delta K_{th}$  試験の計測結果に基づいて、き裂先端に生じるヒステリシスループ形態の変化を詳細に考察し、疲労き裂伝播中における荷重履歴とともに、き裂閉口形態がどのように変化するか、また疲労き裂伝播速度にどのような影響を与えるかを定性的に把握した。さらに、ヒステリシスループ tail の変化より closure-free および closure-affected という二つの閉口形態を推察し、き裂閉口がき裂先端の実応力振幅に与える影響を検討した。

第 4 章では、第 3 章の成果をもとにして、き裂先端のヒステリシスループを荷重で微分することによってループ上の変曲点荷重を求め、それらの変曲点荷重においてヒステリシスループ上のいくつかの載荷域を物理的に考察した。さらに、ヒステリシスループの載荷過程における引張り塑性域発生点と除荷過程における圧縮塑性域発生点の変化に注目し、疲労き裂伝播中の加速・遅延・減速および停留現象との関連を詳しく調査することにより、き裂先端にある圧縮塑性域発生点の変化が疲労き裂伝播に与える影響を明らかにした。

第 5 章では、まず、第 4 章の考察結果により、過去の研究結果と本研究の取扱い方法の整合性に関して検討した。次に、丸棒を用いて、予圧縮塑性変形を与えた静的引張り試験を行った。その結果、予圧縮塑性変形を与えることにより、その後の引張り塑性変形能を減少させ、破断に至り易くなることを明らかにした。さらに、新たな疲労き裂伝播駆動力パラメータ  $\Delta K_{drive}$  を提案し、従来のパラメータと併せて、今回の試験結果によって整理する疲労き裂伝播データを考察した。その結果、 $\Delta K_{drive}$  を用いることにより、従来のものよりも疲労き裂伝播を精度良く評価できる可能性があることを示した。

第 6 章では、第 3 章から第 5 章で得られた結果を総括して今後の展望を述べた。