

論文題名

き裂のモニタリングとシミュレーションを用いた 疲労寿命評価に関する基礎的研究

長崎大学大学院生産科学研究科

楠葉 貞治

船舶、橋梁、車両、航空機、発電プラント、産業機械、建築物などの構造物は、生活基盤や社会基盤の構築に大きく寄与している。これら構造物の破壊事故は、疲労損傷に起因したものが大半であることはよく知られており、溶接継手などの応力集中部から疲労き裂が発生、伝播することによって、最終的には延性破壊や脆性破壊を起こすという破壊過程をたどることがほとんどである。破壊事故が起これば、人的被害や経済的損失など、社会に与える影響は多大であることから、疲労損傷事故の防止が重要な課題となっている。

多くの疲労研究の成果に基づいた設計基準によって建造された構造物においても、疲労破壊事故が後を絶たないのが現状である。この要因としては、構造物に作用する複雑な荷重変動下や、多様な溶接継手部の力学的環境下における疲労寿命を、S-N 曲線を基礎とする従来の疲労設計法では、十分に推定できていないことが考えられる。このような状況のなか、構造物の安全は、定期的な検査や保守によって確保されている。しかし、従来の目視検査による疲労き裂の発見は非常に困難とされている。したがって、構造物の疲労損傷事故を防止するためには、疲労き裂を発生初期の微小な段階で検知できるモニタリング技術、また、疲労き裂の発生、伝播を定量的に推定できるシミュレーション技術が不可欠であると考えられる。

本研究では、構造物の安全性の向上および合理的、かつ経済的な疲労設計、保守・点検の支援を目的に、モニタリングによる「①疲労き裂発生の早期検知」、「②疲労き裂伝播の逐次監視」、および「③余寿命の簡易推定」、また、シミュレーションによる「④疲労寿命の定量的推定」、「⑤止端部処理などによる疲労寿命の向上検討」、さらに、モニタリングとシミュレーションを組み合わせることで、「⑥危険箇所選定による効果的なモニタリング」、「⑦き裂検知後の余寿命の定量的推定」から構成する疲労寿命評価法を提案し、疲労き裂検知モニタリング法の検討と、疲労き裂発生・伝播シミュレーションの妥当性の検証により、上記の①～⑦の事項の実現性を確認し、提案する疲労寿命評価法の有用性を実証することを研究目的とする。

本論文は、全7章から構成する。

第1章では、研究の社会的背景、疲労設計法の現状、および疲労き裂検知モニタリングやシミュレーションに関する既往研究について述べ、本研究の目的を明らかにし、本論文の構成を示した。

第2章では、角回し溶接止端部に生じる疲労き裂について、溶接止端近傍と遠方との2カ所に貼付したひずみゲージの値の比から、ひずみ集中低下率 R_{sc} を逐次計測し、この R_{sc} の変化から疲労き裂の発生と伝播をモニタリング可能であることを示した。また、検知結果からき裂長さ、脆性破壊の可能性、余寿命、および残存強度を推定する方法を提案した。

第3章では、第2章のモニタリングシステムを用いた疲労き裂の発生、伝播の計測・評価法を検討し、これを1条ビード溶接試験片の疲労試験に用いて、き裂発生、および任意のき裂深さ時点でのS-N曲線、ならびにき裂伝播曲線を推定した。また、計測結果から、疲労き裂の発生、伝播に及ぼす応力集中や変動荷重の影響について明らかにした。

第4章では、疲労き裂発生・伝播シミュレーションコードFLARPの概要を紹介し、CT試験片を用いた一定振幅荷重、スパイク状およびブロック状の変動荷重、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る ΔK_{th} 試験におけるき裂伝播の計測結果と、FLARPによる推定結果を比較し、FLARPで採用されている応力拡大係数範囲 ΔK_{Rp} 規準のき裂伝播則、および解析法の妥当性を示した。

第5章では、溶接止端部などの応力集中箇所における、無き裂状態からの疲労き裂の発生、伝播のFLARPによる解析法を紹介し、第3章の試験結果とFLARPで推定されたき裂発生寿命、およびき裂伝播曲線との比較から解析法の妥当性を示した。また、極微小き裂の形状を計測して、き裂形状に対する応力拡大係数の補正法を検討し、これにより寿命の推定精度を向上できることを示した。さらに、モニタリングでき裂を検知した後の余寿命推定法を検討し、構造物に作用する荷重履歴が不明であっても、等価一定振幅荷重を仮定することにより、余寿命を妥当に推定できることを示した。

第6章では、シミュレーションによるパラメータ解析により、溶接止端部の止端底応力、応力勾配、曲げ比、および溶接残留応力が疲労寿命に及ぼす影響を明らかにした。また、溶接止端部の形状処理や溶接後熱処理による溶接残留応力の低減など、疲労寿命の向上対策の効果を、シミュレーションによって検討できる可能性を示した。

第7章では、本研究を総括して結論を述べるとともに、今後の展望を示した。