

## 位相差を有する面内二軸繰返し応力を受ける表面亀裂の疲労亀裂成長挙動評価

森下, 瑞生

<https://hdl.handle.net/2324/4110472>

---

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名： 森 下 瑞 生  
論 文 名： 位相差を有する面内二軸繰返し応力を受ける表面亀裂の疲労亀裂  
成長挙動評価  
区 分： 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

船舶や海洋構造物に代表される大型の溶接鋼構造物には波浪変動外力、重力、慣性力等の種々の形式の外力が様々な方向から位相差を有し、複合的に作用することが一般的である。一方、多数の一般商船設計における疲労強度評価としては、基礎試験片や種々の溶接継手の分類毎に、単一方向の一定振幅荷重を作用させ取得した S-N 曲線と線形累積損傷則を基にした設計手法を用いるのが一般的であり、現状では多軸・複合的な外力の影響や荷重履歴の影響を詳細に考慮していないという問題がある。

亀裂がある程度の大きさに成長した以降では、これを起点として脆性破壊等の構造物としての機能喪失に直結する損傷が生じる可能性があるため、定期的な検査により構造物に内在する欠陥や亀裂の形状、大きさを検知し、その欠陥・亀裂の成長を予測することで、構造物の予寿命を高精度に推定し、適切な時期に修繕する必要がある、その観点から多軸・複合的な外力の影響を適切に評価することが重要である。

先行研究において、亀裂平行方向の応力は、ポアソン効果を考慮することで亀裂垂直方向の応力に換算できるとする Takahashi らの研究を基に、二軸応力を亀裂垂直方向の等価な単軸応力に変換し、これに Toyosada らにより提案された「等価分布応力法」を適用することで、十字型平板に内在する板厚貫通亀裂の疲労亀裂伝播履歴を定量的に評価した。「等価分布応力法」とは、任意の応力場に存在する疲労亀裂伝播問題を、応力拡大係数を介して無限平板に存在する板厚貫通亀裂の問題に置換える手法であり、この概念を適用することで種々の形状を有する亀裂材・溶接継手に一定応力履歴に加えて変動応力履歴が作用する場合の疲労亀裂伝播履歴を推定できる。

一方で、船舶等の大型溶接鋼構造物では、構造的応力集中部である溶接止端部から疲労亀裂が発生することが多く、一般的に止端部表面から発生した疲労亀裂は表面亀裂状態で板厚方向に板厚を貫通するまで成長するため、表面亀裂段階の亀裂成長を定量的に推定し、板厚貫通亀裂に至った段階で修繕することが現実的である。前述の二軸応力を等価な単軸応力へと変換する手法を表面亀裂に適用できれば、この亀裂に対する定量的な成長予測が可能になることが期待される。しかし、「等価分応力法」の適用に際しては、亀裂形状成長履歴は応力勾配と初期欠陥形状を考慮して入力情報の一つとして与え、成長するに要する負荷繰返し数を推定する形式をとっているため、寿命評価のためには事前に表面亀裂の形状成長挙動を把握しておく必要があるが、二軸応力作用下においてはそれが明らかにされていない。

上述の面内二軸繰返し応力場に存在する疲労亀裂成長挙動評価に関する研究の現状を鑑み、本研究では、荷重比と位相差が異なる二軸繰返し応力作用下の十字型平板と面外ガセット溶接継手を評価対象に疲労表面亀裂形状成長履歴を実測するとともに、これの推定手法について検討することを目的とする。また、実海域では複数の周波数を有する応力波形が重畳することにより生じる複雑な応力波形が実機に作用することが想定される。そのような重畳応力波形が板厚貫通亀裂を有する十字型平板の面内二軸方向から繰返し負荷される際の疲労亀裂伝播履歴を実測し、先行研究により構

築された重畳応力作用下において疲労亀裂伝播に有効に寄与する応力波形を抽出するアルゴリズムを実装した、 $\Delta K_{RPG}$  基準の疲労亀裂伝播シミュレーションを適用し、推定手法の妥当性を検証した。

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、異なる荷重比や位相差を有する種々の二軸繰返し応力を受ける十字型平板中の疲労表面亀裂の形状成長履歴について述べる。また、二軸繰返し応力作用下の疲労亀裂伝播履歴の推定手法について説明し、同手法を適用した際の試験結果に対する推定精度を検証し、手法の妥当性を検証した。

第4章では、十字型平板に角回し溶接によりスティフナを取り付けた面外ガセット溶接継手を用いて、異なる荷重比や位相差を有する種々の二軸繰返し応力を受ける際に溶接止端部から自然発生した疲労表面亀裂形状成長履歴について述べる。また第3章と同様の推定手法を適用し、面外ガセット溶接継手に対する推定手法の妥当性を検証した。

第5章では、実海域での波浪変動外力が複数方向から位相差を有しながら作用する場合を想定した、面内二軸繰返し重畳応力作用下の疲労亀裂伝播履歴を実測し、第3,4章と同様の推定手法と複雑な重畳応力波形中で亀裂伝播に有効な応力波形のみを抽出するアルゴリズムを実装した、 $\Delta K_{RPG}$  基準の疲労亀裂伝播シミュレーションを実施し、推定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。