

## き裂成長履歴推定に基づく大型溶接構造物の疲労寿命推定の高精度化

Improvement of the Fatigue Life Estimation for Large Welded Built-up Structures Based on the Estimation of Fatigue Crack Growth Histories

後藤 浩二 (GOTOH KOJI)

九州大学・大学院工学研究院・准教授



### 研究の概要

本研究は、疲労き裂成長履歴を定量的に推定し、これを指標とする寿命予測手法の確立が目標である。実働構造物へ同手法適用の観点から重要な問題と認識される「位相差を有する多軸載荷問題」と「表面・埋没き裂の成長履歴推定」を課題として実施し、これに付随する疲労き裂成長シミュレーションの高精度化に関する諸検討も併せて実施している。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：疲労、材料・構造力学、維持・管理、鋼構造

### 1. 研究開始当初の背景

船舶・海洋構造物、橋梁、鉄道車両、高層ビル、海上空港等、多くの大型溶接構造物が社会インフラとして活用されているが、これら構造物では現在も多くの疲労損傷が報告されている。疲労損傷事故発生の原因は、設計・製造者の不注意だけではなく、現在主に適用されている疲労強度評価手法（S-N 曲線の利用）が十分ではない事にも理由があると考えられるため、疲労き裂成長曲線を定量的に予測し、これを指標とする寿命予測の確立と普及が必要と考える。

### 2. 研究の目的

本研究では、き裂成長曲線の定量的予測に基づく疲労寿命評価手法を実働構造物に適用する観点から重要な問題である (I) 位相差を有する多軸載荷条件下における疲労き裂成長予測問題と (II) 表面・埋没き裂（平面状の欠陥）の定量的成長予測に対する提案手法の適用性を検証することを目的としている。また、提案手法の精度向上に資する一連の問題解決 ((III) 材料の加工硬化影響の考慮等) も併せて実施する。

### 3. 研究の方法

試験室レベルの疲労試験に加えて、実働構造物に近い大型試験体を用いた疲労試験を実施し、表面き裂の成長履歴や多軸応力下での疲労き裂成長履歴の測定を行う。疲労き裂の定量的な成長予測には、疲労き裂に特有の

「き裂開閉口挙動」を定量的に考慮した解析が必要であるため、現有手法を、より実用的なものに改良する。数値解析結果と実験結果を比較し、比較結果を解析理論にフィードバックすることで、き裂成長履歴推定精度の向上を図る。

### 4. これまでの成果

(I) 「位相差を有する多軸載荷条件下における疲労き裂成長予測問題」

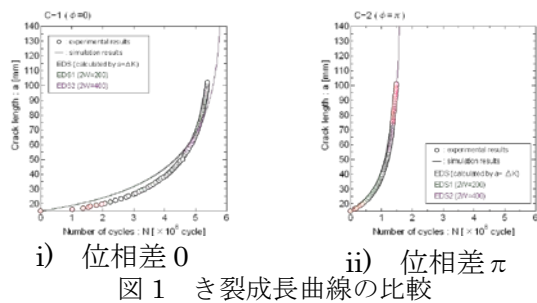
載荷荷重の位相差を定量的に制御できる疲労試験環境を整備し、位相差 0、位相差  $\pi$ 、位相差  $\pi/2$ 、の 3 条件で疲労き裂伝播試験を実施した (写真 1)。



写真 1：疲労試験の様子

本研究では、き裂の成長と載荷荷重の位相差を考慮し、各載荷条件下における応力拡大係数範囲  $\Delta K$  の変化をき裂長さの関数として与え、 $\Delta K$  の変化履歴を再現できる等価分布応力範囲を計算し、研究代表者らがこれまでに開発した疲労き裂開閉口挙動を考慮したき裂成長シミュレーションに入力し、き裂成長曲線を推定した。この結果と測定したき裂

成長曲線の比較を図1に示すが、良好な推定ができていることが確認できる。



図中記号が実測、曲線が推定結果である。載荷回数の横軸は対数軸で表示されることが一般的だが、同図では通常軸での表示であることに注目して頂きたい (図2も同様)。

(II) 「表面・埋没き裂の定量的成長予測」

溶接継手内部に故意に埋没欠陥を残存させた試験を用いた疲労試験、および表面き裂を付与した試験片を用いた疲労試験を実施した。写真2に試験終了後の破面例を示す。



写真2 表面き裂試験片の破面

写真2の破面に刻まれたビーチマークを計測することで、き裂形状の成長履歴を測定した。一方、数値シミュレーションによる成長履歴の推定であるが、これに必要なき裂形状パラメータ (アスペクト比) の推定式を別途検討し、この結果を用いて成長履歴を推定した。結果を図2に示す。同図には参考のため、過去の研究事例と同じく Paris 則をき裂最深部と表面部に独立に適用した形状変化推定手法ならびに実測された形状変化履歴を用いた手法も示すが、本研究で導出した形状変化推定式を用いることで、良好な推定結果が得られることが確認された。

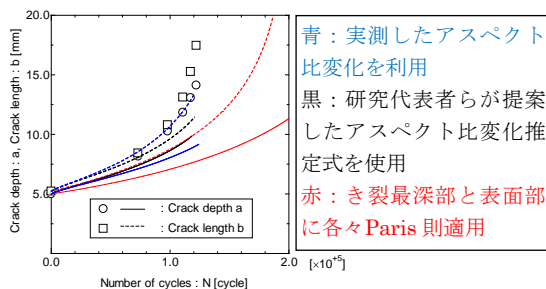


図2 き裂成長曲線の比較

(III) その他

従来の疲労き裂成長シミュレーションは

材料を弾完全塑性体と仮定したき裂結合力モデルに基づき定式化を行っていたため、材料の加工硬化が疲労き裂成長に及ぼす影響を定量的に考慮することができなかった。そこで、この影響を考慮する手法を構築し、同手法をシミュレーションに実装させ、実測値との比較を行い、特に変動荷重履歴下でのき裂成長挙動推定精度を大幅に改善した。[文献1に具体例を掲載]

5. 今後の計画

これまでの研究により、(I) 位相差を有する多軸載荷条件下における疲労き裂成長曲線推定、(II) 表面・埋没き裂の疲労き裂成長曲線推定に関する推定アルゴリズムをほぼ確立できていると判断しており、今後の研究は、より広範な載荷条件下における推定アルゴリズムの検証を実施する。具体的には、2軸荷重成分の絶対値が異なる場合の疲労試験 (位相差も付与)、面外ガセット溶接継手に位相差を有する2軸載荷を与えた疲労試験や、(平滑材では無い) 応力集中場に存在する表面き裂の疲労試験を予定している。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

1. K. Gotoh and K. Harada, Improvement of Fatigue Crack Growth Simulation Based on the Strip Yield Model Considering the Strain Hardening Effect of Materials, Proceedings of OMAE 2012, OMAE 2012-83664, 2012.
2. 原田圭輔, 後藤浩二, 材料の加工硬化特性を考慮したき裂結合力モデル, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.14, pp.39-46, 2012.
3. K. Gotoh, K. Harada and Y. Anai, Estimation of the Shape Evolution and the Growth History of an Embedded Crack by Fatigue Loading, Proceedings of OMAE 2011, OMAE 2011-49457, 2011.
4. Y. Anai, K. Murakami and K. Gotoh, Conventional Growth Estimation Formula of the Representative Surface Crack Replacing Plural Surface Cracks Generated at the Sound Stress Concentration Site, Proceedings of ATEM'11, OS14F029, 2011.
5. K. Gotoh and K. Harada, Numerical Simulation of Fatigue Crack Growth Simulation Based on Strip Yield Model Considering Work Hardening of Materials, Proceedings of OMAE 2010, OMAE 2010-20726, 2010.

ホームページ等

<http://www.nams.kyushu-u.ac.jp/common/production/> の下に開設予定。