



Title	Numerical Study on Fracture Mechanics Parameters of Fatigue Cracks in Welded Joints under Arbitrary Stress Distributions
Author(s)	Kyaw, Phy Myat
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/89634
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (PHYO MYAT KYAW)

Title

Numerical Study on Fracture Mechanics Parameters of Fatigue Cracks in Welded Joints under Arbitrary Stress Distributions (任意応力場中にある溶接継手疲労き裂の数値破壊力学パラメタ評価法に関する研究)

Abstract of Thesis

This thesis is an initial attempt to evaluate mixed-mode fracture mechanics (FM) parameters of fatigue cracks in welded joints considering arbitrary welding residual stress (RS) distributions. Fatigue strength of the welded structures under the cyclic load is mostly affected by the welding RS. In service conditions, the structures are subjected to multiaxial loading, and it is crucial to consider mixed-mode (MM) FM parameters. Despite the necessity, the MM-FM analysis of cracks in welds has been merely studied due to its difficulty. Stress intensity factors (SIFs) are the vital FM parameters to assess the fatigue lives of welded joints. The objective of this study is to propose numerical methodologies for calculating the MM-SIFs of fatigue cracks in welds under arbitrary RS distributions.

The thesis is composed of seven chapters, as follows.

Chapter 1 briefly gives a background on fatigue crack propagation of welded joints and fatigue life estimation methods. The challenges, objectives, and structure of this thesis are also addressed in this chapter.

Chapter 2 reviews the methodologies employed in this study and the theoretical background. The focus is given to the influence function method (IFM) and interaction integral method (IIM) as the proposed numerical methodologies are based on these two methods.

Chapter 3 presents the development of numerical IFM (NIFM) which is to be used for evaluating MM-SIFs of cracked bodies under multi-axial loadings. The verification of the developed NIFM is carried out by comparing the MM-SIF solutions given by the NIFM and those obtained by the well-established analytical and numerical reference solutions.

Chapter 4 demonstrates the applicability of the proposed NIFM to calculate MM-SIFs for as-welded and high-frequency mechanical impact (HFMI)-treated welded joints. Numerical welding and HFMI analyses are performed to estimate the RS distributions. Then, the MM-SIFs are evaluated for both as-welded and HFMI-treated conditions. This application example reveals the necessity of MM-SIFs evaluation as the HFMI-induced RS show multi-axial stress distributions.

Chapter 5 investigates the effect of welding RS on the fatigue life of surface-cracked T-butt welded joints. Two different constant amplitude loadings were employed to calculate the range of SIFs and fatigue life by using the Paris-Elber law. The welding RS is evaluated and included in estimating SIFs using NIFM-based calculation system and fatigue life. The fatigue life of T-butt welded joints decreases by 25-30% when the welding RS is considered.

Chapter 6 proposes the weld modification factor (μ_k) method based on the developed NIFM, to facilitate the MM-SIF calculation of welded joints under arbitrary stress distribution. The formerly established works can only be applied for calculating the SIFs under specific loading while the μ_k method is applicable for any arbitrary loading. The proposed μ_k method is validated for remote tensile loading and also considering welding RS. The adequate agreement between the solutions given by the proposed method and numerical calculations shows the reliability and accuracy of the proposed method.

Chapter 7 summarizes the thesis and identifies the major contributions of this research work. Directions for future work and possible extensions to this research are presented at the end of this chapter.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (PHYO MYAT KYAW)		
論文審査担当者	(職)	氏名
	主査 教授	大沢 直樹
	副査 教授	飯島 一博
	副査 教授	麻 寧緒
	副査 准教授	田中 智行 (広島大学先進理工学研究科)

論文審査の結果の要旨

溶接残留応力は溶接構造物の疲労強度に強く影響する。実働荷重下の疲労き裂は多軸応力場中であり、混合モード(MM)破壊力学(FM)パラメタの評価が必要になる。しかし、その解析は非常に困難なため、既往の研究例はほとんどない。応力拡大係数(SIF)は溶接継手の疲労寿命評価に最も重要なFMパラメタである。本論文は、溶接継手中の任意の多軸残留応力場中にある表面き裂のMM-SIFを評価する数値計算手法の開発を目的とする。

本論文は以下の7章から構成されている。

第1章では、溶接継手中疲労き裂のき裂伝播解析・疲労寿命推定に関する既往研究のレビューが示され、解決すべき技術課題と課題解決のための研究方針、および本論文の構成が示されている。

第2章では、本論文で採用した理論・数値解析手法が解説されている。特に、本論文で提案するMM-SIF解析手法の基礎となる影響関数法(IFM)とinteraction integral法(IIM)について重点的な解説がなされている。

第3章では、多軸応力場中にあるき裂材のMM-SIFを評価する手法として開発した数値影響関数法(NIFM)について説明されている。開発したNIFMの精度は、MM-SIFの権威ある解析解・数値解と提案手法による解析結果を比較して検証されている。

第4章では、溶接まま溶接継手止端、および高周波ピーニング(HFMI)処理後のグループ底にある表面き裂の、不均一多軸応力場中のMM-SIFをNIFM法で計算している。各条件の多軸残留応力場は、数値熱弾塑性溶接解析および動的陽解法ピーニング解析により計算している。その結果から、溶接まま・HFMI処理継手中にある表面き裂のMM-SIFの性質を明らかにし、溶接継手中疲労き裂のき裂伝播寿命評価における混合モード解析の重要性を示している。

第5章では、T溶接継手中の表面き裂を対象に、溶接残留応力が疲労寿命に与える影響を調べている。2つの定応力範囲で、定振幅繰返し応力下での疲労き裂伝播を解析するため、溶接残留応力場の溶接熱弾塑性解析と、NIFMによるMM-SIF解析が行われ、Paris-Elber則によるき裂伝播解析が実施されている。解析結果から、溶接残留応力を考慮する場合のT溶接継手中疲労き裂の伝播寿命が、残留応力がない場合より25~30%減ずることを示している。

第6章では、継手中き裂のMM-SIFを、既存の平板表面き裂の数値影響係数データベースから簡便かつ精度よく計算可能な、影響係数溶接形状修正係数(μ_k)法を開発している。そして、既往研究のSIF形状修正係数(M_k)法が、限定された単純な荷重モードでしか使用できず、不均一残留応力場が考慮できず、MM-SIFが評価できないことと比較して、任意の荷重、任意の不均一残留応力場に対するMM-SIFを瞬時に計算できる開発法の優位性を示している。

第7章では、本研究で得られた成果を結論としてまとめ、将来課題を示している。

以上のように、本論文では、不均一多軸応力場中にある溶接継手表面き裂の、混合モード破壊力学パラメタを精度良く評価できる数値解析手法が新たに開発されるとともに、平板表面き裂の数値影響係数データベースと併用することで解析工数を劇的に減少させる近似計算手法も開発されている。これらの知見・成果物は、船舶海洋構造物の長期的構造安全性を向上させるための研究を進める上で非常に有用である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。