

学位論文及び審査結果の要旨

氏名 袁 奎霖 (えん けいりん)

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 工府博甲第467号

学位授与年月日 平成27年9月25日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 工学府 システム統合工学専攻

学位論文題目 Residual stress analysis and fatigue strength assessment of welded joints with ultrasonic impact treatment(UIT)
(超音波衝撃処理(UIT)を施した溶接継手の残留応力解析及び疲労強度評価に関する研究)

論文審査委員	主査	横浜国立大学	教授	川村 恭己
		横浜国立大学	教授	荒井 誠
		横浜国立大学	教授	鈴木 和夫
		横浜国立大学	教授	岡田 哲男
		横浜国立大学	教授	高橋 宏治
		横浜国立大学	名誉教授	角 洋一

論文及び審査結果の要旨

近年、船舶の大型化・軽量化に伴う高強度鋼の利用拡大により、溶接継手の疲労が重要な問題となっている。溶接継手の疲労強度向上のための手法として、超音波衝撃処理(Ultrasonic Impact Treatment: UIT)が注目されている。UIT技術は溶接止端部を超音波振動する鋼製ピンによって連続的に打撃することで、止端部曲率半径を大きくするとともに処理部に圧縮残留応力を導入し、疲労強度を向上させるものである。UITによる疲労強度改善効果を定量的に評価することが重要であるが、実験計測によって処理部周辺での内部残留応力を把握することは物理的にもコスト的にも非常に困難であるのが現状である。そこで、本研究では実験計測の代わりに数値解析によりUITによる残留応力分布を予測する手法を確立した。

まず第1章では、超音波衝撃処理(UIT)による疲労強度改善のメカニズムや疲労強度評価方法に関する研究動向と課題について述べた上で、本研究の目的が、(1)施工条件と音響軟化効果(acoustic softening)を考慮できる溶接とUIT施工の数値シミュレーション、及び(2)

破壊力学手法の適用による UIT を施した溶接継手の疲労強度改善効果の定量的評価、であることを示した。第 2 章では、過去の文献調査等に基づいて、UIT 技術の原理、超音波衝撃現象や音響軟化効果について解説した。また、過大荷重や応力比等の影響が、UIT による疲労強度向上に及ぼす影響に関する実験研究を調査した。さらに、これまでなされた UIT による残留応力に関する実験計測と数値解析手法をレビューした。第 3 章からは、本研究で提案する解析手法について述べている。まず第 3 章では、溶接解析ソフトウェア SYSWELD を用い、熱弾塑性解析によりビードオンプレートの溶接解析を行った。弾塑性構成則やアニーリング温度の影響について検討するとともに、過去の研究における試験結果と比較することで適切な溶接残留応力解析手法を構築した。続いて、第 4 章においては、非線形有限要素法解析ソフトウェア LS-DYNA を用いた超音波衝撃処理(UIT)の数値シミュレーション手法の確立を行った。まず、Statnikov の実験に基づいて数値シミュレーションに超音波衝撃現象を考慮できる単純化モデルを提案した。具体的には、ピンによる連続的な 30 回の打撃が 1 回の超音波衝撃に相当するとモデル化するとともに、音響軟化効果を考慮するために、応力-ひずみ関係に降伏応力低減率 η を導入した。そして、SYSWELD による熱弾塑性解析により得られる溶接残留応力と塑性ひずみ分布を初期応力状態として LS-DYNA に入力し、動的弾塑性解析を行うことにより超音波衝撃処理過程を模擬する手法を構築した。提案した手法を、荷重非伝達型十字溶接継手の解析に適用し、溶接線近傍での UIT 前後の残留応力分布や塑性変形を実測と比較し、本手法の有効性を確認した。また、UIT 継手に引張あるいは圧縮荷重を与え除荷した応力状態を解析し、過大荷重による圧縮残留応力の緩和についても検討している。第 5 章では、第 4 章までに得られた解析結果に基づいて、UIT を施した溶接継手の疲労強度評価を行った。具体的には、溶接止端部に微小な初期表面き裂を発生し、残留応力と止端部形状の影響を考慮した疲労き裂進展解析を行った。これにより、UIT を施した溶接継手の疲労強度を定量的に評価するとともに、実験結果との整合性を確認した。さらに、船舶への適用を考える場合重要となる過大荷重あるいは高応力比の繰り返し荷重の条件での UIT 疲労強度改善効果の持続性についても定量的な検討を行い、UIT の有効性を示した。第 6 章で、本研究の統括とその意義と今後の課題について述べている。

以上の内容から、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認め、合格と判定した。