OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	円管 T 継手の局所応力および き裂伝播解析に基づく疲労強度評価法に関する研究
Author(s)	八木, 一桐
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72415
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　八　木　一　桐　）	
論文題名	円管T継手の局所応力およびき裂伝播解析に基づく疲労強度評価法に関する研究

論文内容の要旨

鋼管溶接構造は，強度重量比に優れ，海洋構造物や社会基盤構造物に多用される．それらの溶接構造部材の疲労強度を高精度に評価することは構造物全体の健全性および信頼性評価において重要である．実用設計における円管継手の疲労強度評価は，ホットスポット応力(HSS)に基づき実施される．円管継手の既存HSS疲労設計規則は，海底資源掘削リグ等の厚板鋼管構造(板厚32㎜以上)を対象としており，陸上構造物や洋上風力発電用浮体で使用される中薄板円管継手(板厚16㎜未満)への適用性は十分には検証されていない．この問題の解決手段として，SN線図による疲労強度評価法からき裂伝播解析に基づく破壊力学的疲労寿命評価法への転換が考えられるが，表面曲面き裂の応力拡大係数(SIF)範囲の評価に，極めて高度な専門性と多大な計算工数が必要なため，設計実務への適用は実現していない．本研究は，設計実務に適用可能な，円管継手の簡便かつ高精度な破壊力学的疲労寿命評価法の開発を目的とする．この手法で評価される局所応力集中率は，既存疲労設計規則が規定するHSS決定法の妥当性を評価する目的にも使用できる．本論文は上記目的に沿った研究成果をまとめたもので，以下の５章で構成される．

第１章では，主要円管継手疲労設計規則を調査し，根拠となった疲労試験結果が32㎜以上の厚板構造に限定されていて，中薄板構造への適用性は新たな実験・解析により確認する必要があることを示した．続いて破壊力学的疲労寿命評価法に関する先行研究が調査され，円管継手では限定された条件での数値SIF計算例しかなく，実機の疲労試験結果と比較してき裂伝播解析の精度を検証した研究例がないことを示した．さらに，HSSの新たな解釈として，平板表面き裂のSIFを継手中き裂のSIFに等しくするための修正倍率と考えることを提案した．

第２章では，研究の基盤となるデータ入手のために実施したフルスケール円管T継手の疲労試験を実施した．３体の試験体に対し，定振幅荷重による３点曲げ試験を実施し，き裂発生寿命(Nc)，き裂貫通寿命(Np)を計測した．疲労試験では，ビーチマークを導入し，き裂発生から板厚貫通に至る疲労破面の成長を記録した．また，継手止端近傍の応力が詳細に計測し，各種疲労設計規則のHSSを計算した．この結果から平均SN線図の試験結果に対する安全余裕が評価され，調査対象の中では，DnV RP-C203法で平均線図と実験結果の一致性が最良になる一方，UK DEn（線形・二次），IIW（線形・二次）の平均線図が大幅な安全側推定を与えることが判った．

第３章では，第２章の疲労試験結果を対象に，有限要素法を用いた三次元曲面疲労き裂の伝播解析を実施した．解析では，き裂進展の度に自動再分割される超細密四面体メッシュが使用され，SIFの計算に四面体要素に適合したき裂閉口積分法(VCCM法)を用いた．き裂伝播則にはWES2805最安全側伝播則を使用した．き裂進展挙動の計算結果と実験結果を比較して両者が良好に一致したこと，すなわち本研究で採用した計算手法により，円管T継手サドル部に生じた曲面き裂のき裂伝播解析を高い精度で実施できることを示した．一方，本研究で実施した解析手法は，設計実務への適用が困難で，より簡便な実用的SIF計算手法の開発が必要であることを示した．

第４章では，円管継手中曲面き裂のSIFを，有限要素法（FEM）に比較して計算工数が格段に小さい工学的近似式'Mk factor'により精度よく評価することを試みた．Mk factorの評価で必要になるき裂発生位置における応力集中係数（SCF)と曲げ成分比率(DOB)を，第２章で吟味した各種HSS決定法で計算した．各種HSS決定法に対応したSCFおよびDOBで計算したき裂伝播曲線を，第2章の実験結果および第3章の高精度FEM解と比較し，Mk factor解が実験結果およびFEM 解と最も良く一致するのは，平均SN線図の疲労試験結果に対する安全余裕が最小になるDnV RP-C203法でHSSを計算した場合であることを示した．以上の結果より，Mk factor法に使用するSCFおよびDOBを，平均SN線図の疲労試験結果に 対する安全余裕が1に近いHSS決定法により計算することを提案した．これにより，設計実務で使用できる，高精度FEM解と同等の精度を有する実用的SIF計算手法が提案できた．また，Mk factorで計算したSIFが，高精度数値破壊力学解 析解と一致するSCFおよびDOBに近くなるHSS決定法を使用すると，選択した疲労設計規則の平均SN線図と疲労試験結果が近づく可能性が高いことを示した．

第５章では本論文の成果の総括と今後の展望と課題を示した．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　八木　一桐　）

	(職)	氏　名
論文審査担当者		
主 査	教授	大沢直樹
副 査	教授	藤久保昌彦
副 査	教授	麻寧緒
副 査	准教授	田中智行

論文審査の結果の要旨

鋼管溶接構造は，強度重量比に優れ，海洋構造物や社会基盤構造物に多用される．それらの溶接構造部材の疲労強度を高精度に評価することは構造物全体の健全性および信頼性評価において重要である．実用設計における円管継手の疲労強度評価は，ホットスポット応力(HSS)に基づき実施される．円管継手の既存 HSS 疲労設計規則は，海底資源掘削リグ等の厚板鋼管構造(板厚 32 mm以上)を対象としており，陸上構造物や洋上風力発電用浮体で使用される中薄板円管継手(板厚 16mm 未満)への適用性は十分には検証されていない．この問題の解決手段として，SN 線図による疲労強度評価法からき裂伝播解析に基づく破壊力学的疲労寿命評価法への転換が考えられるが，表面曲面き裂の応力拡大係数(SIF)範囲の評価に，極めて高度な専門性と多大な計算工数が必要なため，設計実務への適用は実現していない．本研究は，設計実務に適用可能な，円管継手の簡便かつ高精度な破壊力学的疲労寿命評価法の開発を目的とする．この手法で評価される局所応力集中率は，既存疲労設計規則が規定する HSS 決定法の妥当性を評価する目的にも使用できる．本論文は上記目的に沿った研究成果をまとめたもので，以下の５章で構成されている．

第１章では，主要円管継手疲労設計規則を調査し，根拠となった疲労試験結果が 32 mm以上の厚板構造に限定されていて，中薄板構造への適用性は新たな実験・解析により確認する必要があることを示している．続いて破壊力学的疲労寿命評価法に関する先行研究が調査され，円管継手では限定された条件での数値 SIF 計算例しかなく，実機の疲労試験結果と比較してき裂伝播解析の精度を検証した研究例がないことを示している．さらに，HSS の新たな解釈として，平板表面き裂の SIF を継手中き裂の SIF に等しくするための修正倍率と考えることを提案している．

第２章では，研究の基盤となるデータ入手のために実施したフルスケール円管 T 継手の疲労試験を実施している．３体の試験体に対し，定振幅荷重による３点曲げ試験を実施し，き裂発生寿命(Nc)，き裂貫通寿命(Np)を計測している．疲労試験では，ビーチマークを導入し，き裂発生から板厚貫通に至る疲労破面の成長を記録している．また，継手止端近傍の応力が詳細に計測し，各種疲労設計規則の HSS を計算している．この結果から平均 SN 線図の試験結果に対する安全余裕が評価され，調査対象の中では，DnV RP-C203 法で平均線図と実験結果の一致性が最良になる一方，UK DEn（線形・二次），IIW（線形・二次）の平均線図が大幅な安全側推定を与えることを示している．

第３章では，第２章の疲労試験結果を対象に，有限要素法を用いた三次元曲面疲労き裂の伝播解析を実施している．解析では，き裂進展の度に自動再分割される超細密四面体メッシュが使用され，SIF の計算に四面体要素に適合したき裂閉口積分法(VCCM 法)を用いている．き裂伝播則には WES2805 最安全側伝播則を使用している．き裂進展挙動の計算結果と実験結果を比較して両者が良好に一致したこと，すなわち本研究で採用した計算手法により，円管 T 継手サドル部に生じた曲面き裂のき裂伝播解析を高い精度で実施できることを示している．一方，本研究で実施した解析手法は，設計実務への適用が困難で，より簡便な実用的 SIF 計算手法の開発が必要であることを示している．

第４章では，円管継手中曲面き裂の SIF を，有限要素法（FEM）に比較して計算工数が格段に小さい工学的近似式'

Mk factor' により精度よく評価することを試みている．Mk factor の評価で必要になるき裂発生位置における応力集中係数(SCF)と曲げ成分比率(DOB)を，第２章で吟味した各種 HSS 決定法で計算している．各種 HSS 決定法に対応した SCF および DOB で計算したき裂伝播曲線を，第２章の実験結果および第３章の高精度 FEM 解と比較し，Mk factor 解が実験結果および FEM 解と最も良く一致するのは，平均 SN 線図の疲労試験結果に対する安全余裕が最小になる DnV RP-C203 法で HSS を計算した場合であることを示している．以上の結果より，Mk factor 法に使用する SCF および DOB を，平均 SN 線図の疲労試験結果に対する安全余裕が 1 に近い HSS 決定法により計算することを提案している．これにより，設計実務で使用できる，高精度 FEM 解と同等の精度を有する実用的 SIF 計算手法が提案している．また，Mk factor で計算した SIF が，高精度数値破壊力学解析解と一致する SCF および DOB に近くなる HSS 決定法を使用すると，選択した疲労設計規則の平均 SN 線図と疲労試験結果が近づく可能性が高いことを示している．

第５章では本論文の成果の総括と今後の展望と課題を示している．

以上のように、本論文では設計実務に適用可能な，円管継手の簡便かつ高精度な破壊力学的疲労寿命評価法が開発され，その有効性が実験的に検証されている．これにより溶接構造物の疲労強度評価の精度が向上し，船舶海洋構造物の構造健全性評価技術の高度化に大きく貢献することが期待できる．

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．