



Title	継手形状・破壊起点によらない溶接疲労平均応力影響 評価法に関する研究
Author(s)	吉原, 幸秀
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/91955
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認した ため、全文に代えてその内容の要約を公開していま す。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文につい てをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 吉 原 幸 秀 ）

論文題名	継手形状・破壊起点によらない溶接疲労平均応力影響評価法に関する研究
------	-----------------------------------

論文内容の要旨

箱型鋼構造物の小さな閉じた断面では、溶接ルートを持つ部分溶け込み溶接が選択され、そのルート先端が疲労破壊起点になることがある。溶接疲労強度は外力と溶接残留応力（Welding Residual Stress, WRS）の双方に依存する。その影響評価は、外力応力とWRSの和として定義する、き裂発生部応力サイクルの平均応力影響として扱うのが適切である。箱型鋼構造物の疲労設計および品質保証においては、止端破壊、ルート破壊の双方について、WRSを考慮した平均応力影響を解明する必要がある。この課題に関する既往研究は、止端破壊については多数あり実用的評価手法が確立されている。しかし、ルート破壊に関する既往研究はほとんどない。その原因は、ルートWRSの測定・数値予測が困難で、ルート部「き裂発生部応力」の定義が不明だったことにある。そこで、本研究では、ルート内WRSを直接測定できる溶接試験片を考案して荷重条件・WRSとルート疲労強度の関係を精査するとともに、既往の平均応力影響評価式により、ルート破壊疲労強度を精度良く推定できるルート部き裂発生部応力サイクルの定義を見出すことを目的とする。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6章で構成される。

第1章では、溶接ルート部WRSの測定、数値予測、および止端・ルート部のWRSを考慮した平均応力影響に関する既往研究をレビューしてそれらの問題点を示すとともに、ルート破壊の平均応力影響評価方法が未確立であることを示し、継手形状・破壊起点によらない平均応力影響評価法の開発意義と本研究の位置付けを述べた。

第2章では、ルートWRSを直接測定可能な、裏当て金付き栓溶接継手（PW）試験片を考案した。PW試験片のルート内WRSは、裏当て金の一部を切断して、溶接まま（As-Welded, AW）、および溶接後熱処理（Stress Relief, SR）済試験片について、X線回折（XRD）法で直接測定した。PW試験片では、溶接中にルート部で有限量のクリープ変形が生じていたが、この場合でもルート内WRSを精度よく推定できる、クリープを考慮した溶接熱弾塑性解析の計算仕様を示した。

第3章では、ルート破壊するPW試験片と止端破壊する面外ガセット継手（out-of-plane Gusset Weld, GW）試験片およびT継手（T-Joint, TJ）試験片のAW試験片とSR試験片を作製し、曲げ疲労試験を実施してWRSが疲労強度に及ぼす影響を調べた。各試験片のルート・止端WRSはXRD法で測定した。ルート・止端WRSの測定結果と公称応力ベース疲労試験結果を分析して、外力とWRSの双方を考慮した実質応力比を用いると、ルート破壊、止端破壊の双方で、既往の（止端用）公称応力ベース平均応力影響評価法により、SRによる疲労強度向上効果を精度良く推定できることを示した。

第4章では、2・3章で得られたPW・GW・TJ試験片のルート・止端WRS測定値または解析値と疲労試験結果を用いて、既往の（止端用）ホットスポット応力（Hot Spot Stress, HSS）ベース平均応力影響評価法である修正MIL-HDBK-5D法の、ルート破壊への適用性を調べた。PW試験片のき裂発生部応力は、ルート内構造的応力集中を考慮した“ルート部局所応力（Root Local Stress, RLS）”で評価した。その結果、RLSまたはHSSから計算した修正MIL-HDBK-5D法等価応力を使用すると、3種試験片のすべての疲労試験結果を単一S-N線図で近似できることがわかった。この結果から、ルート部き裂発生部応力を構造応力集中から評価できる場合は、継手形状、破壊起点によらない平均応力影響の統一的评价が可能であることが示された。

第5章では、RLSの定義が困難な一般のルート破壊に適用可能なき裂発生部応力として、溶接・繰返し負荷弾塑性FE解析で評価する“弾塑性局所応力サイクル（Elastic-Plastic Local Stress Cycle, EPLSC）”を提案し、PW・GW試験片の疲労試験結果を用いてその有効性を検証した。また、EPLSC法の精度を確保できる計算仕様を明らかにした。これにより、一般のルート破壊に応用可能な、継手形状、破壊起点によらない平均応力影響の統一的评价の可能性が示された。

第6章では、本論文を総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (吉 原 幸 秀)			
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	堤 成一郎

論文審査の結果の要旨

箱型鋼構造物の小さな閉じた断面では、溶接ルートを持つ部分溶け込み溶接が選択され、そのルート先端が疲労破壊起点になることがある。溶接疲労強度は外力と溶接残留応力 (Welding Residual Stress, WRS) の双方に依存する。その影響評価は、外力応力と WRS の和として定義する、き裂発生部応力サイクルの平均応力影響として扱うのが適切である。箱型鋼構造物の疲労設計および品質保証においては、止端破壊、ルート破壊の双方について、WRS を考慮した平均応力影響を解明する必要がある。この課題に関する既往研究は、止端破壊については多数あり実用的評価手法が確立されている。しかし、ルート破壊に関する既往研究はほとんどない。その原因は、ルート WRS の測定・数値予測が困難で、ルート部「き裂発生部応力」の定義が不明だったことにある。本研究は、ルート内 WRS を直接測定できる溶接試験片を考案して荷重条件・WRS とルート疲労強度の関係を精査するとともに、既往の平均応力影響評価式により、ルート破壊疲労強度を精度良く推定できるルート部き裂発生部応力サイクルの定義を見出すことを目的としている。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 6 章で構成されている。

第 1 章では、溶接ルート部 WRS の測定、数値予測、および止端・ルート部の WRS を考慮した平均応力影響に関する既往研究をレビューしてそれらの問題点を示すとともに、ルート破壊の平均応力影響評価方法が未確立であることを示し、継手形状・破壊起点によらない平均応力影響評価法の開発意義と本研究の位置付けを述べている。

第 2 章では、ルート WRS を直接測定可能な、裏当て金付き栓溶接継手 (PW) 試験片を考案した。PW 試験片のルート内 WRS は、裏当て金の一部を切断して、溶接まま (As-Welded, AW)、および溶接後熱処理 (Stress Relief, SR) 済試験片について、X 線回折 (XRD) 法で直接測定した。PW 試験片では、溶接中にルート部で有限量のクリープ変形が生じていたが、この場合でもルート内 WRS を精度よく推定できる、クリープを考慮した溶接熱弾塑性解析の計算仕様を示している。

第 3 章では、ルート破壊する PW 試験片と止端破壊する面外ガセット継手 (out-of-plane Gusset Weld, GW) 試験片および T 継手 (T-Joint, TJ) 試験片の AW 試験片と SR 試験片を作製し、曲げ疲労試験を実施して WRS が疲労強度に及ぼす影響を調べている。各試験片のルート・止端 WRS は XRD 法で測定している。ルート・止端 WRS の測定結果と公称応力ベース疲労試験結果を分析して、外力と WRS の双方を考慮した実質応力比を用いると、ルート破壊、止端破壊の双方で、既往の (止端用) 公称応力ベース平均応力影響評価法により、SR による疲労強度向上効果を精度良く推定できることを示している。

第 4 章では、2・3 章で得られた PW・GW・TJ 試験片のルート・止端 WRS 測定値または解析値と疲労試験結果を用いて、既往の (止端用) ホットスポット応力 (Hot Spot Stress, HSS) ベース平均応力影響評価法である修正 MIL-HDBK-5D 法の、ルート破壊への適用性を調べている。PW 試験片のき裂発生部応力は、ルート内構造的応力集中を考慮した“ル

ート部局所応力 (Root Local Stress, RLS)” で評価している。その結果、RLS または HSS から計算した修正 MIL-HDBK-5D 法等価応力を使用すると、3 種試験片のすべての疲労試験結果を単一 S-N 線図で近似できることを示している。この結果から、ルート部き裂発生部応力を構造応力集中から評価できる場合は、継手形状、破壊起点によらない平均応力影響の統一的評価が可能であることを示している。

第 5 章では、RLS の定義が困難な一般のルート破壊に適用可能なき裂発生部応力として、溶接・繰返し負荷弾塑性 FE 解析で評価する“弾塑性局所応力サイクル (Elastic-Plastic Local Stress Cycle, EPLSC)”を提案し、PW・GW 試験片の疲労試験結果を用いてその有効性を検証している。また、EPLSC 法の精度を確保できる計算仕様を明らかにしている。これにより、一般のルート破壊に応用可能な、継手形状、破壊起点によらない平均応力影響の統一的評価の可能性を示している。

第 6 章では、本論文を総括している。

以上のように、本論文は、箱型構造物の溶接継手を対象に、継手形式および破壊起点によらず、残留応力を含む平均応力影響を包括的に精度よく評価する手法を構築し、ルート破壊する栓溶接試験体を含む多様な溶接継手の疲労試験でその有効性を実証している。これらは船舶海洋構造物等の溶接構造物の設計の合理化と構造安全性の向上に大きく寄与する成果である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。