

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 国際会議報告

会 議：第 69 回 国際溶接会議 (IIW) 第 XIII (疲労 (Fatigue)) 委員会

開催場所：コンベンション&エグジビションセンター、メルボルン、オーストラリア連邦

会議期間：平成 28 年 7 月 10 日～7 月 15 日

海技研からの参加者：

岩田知明：構造基盤技術系 基盤技術研究グループ長

概要

IIW (国際溶接会議) は、16 の委員会を中心に、分科会・合同委員会を適宜設置し、各分野の専門家が集まって規格・指針作成作業を行っている。また、ISO/TC 44 で溶接関係規格作成団体に指定されており、溶接に関して ISO/TC 44 で必要とされる既存 ISO 規格の改定案・新規 ISO 規格案の作成も行っている。第 XIII (疲労) 委員会では、独自の設計基準を設けていない造船所などで利用されている「溶接構造疲労設計指針」・「疲労強度改善方法に関する指針」・「溶接品質と疲労強度に関する指針」等を最新の知見や技術革新を反映させ随時更新・出版している。海技研からは岩田が第 XIII (疲労) 委員会の下部組織となる JIW (日本溶接会議)・疲労強度研究委員会の会議報告作成担当として第 XIII 委員会に参加し、溶接構造物の設計・製作に影響を及ぼす規格・指針の改正点、重点的な取り組みが推奨される研究課題、溶接疲労分野における最新の知見や技術革新の動向を調査し、国内関係者へ情報提供している。

主な貢献

岩田は国内造船系委員として本委員会及び WG に参加し、疲労強度改善法、疲労設計規格、疲労データ評価法などに関して、討議への参加、情報収集、関係者間の連絡調整を行った。



委員会に出席した岩田

主な審議結果

1 溶接継手の疲労強度改善技術に関する事項

WG 2 は、HFMI (High Frequency Mechanical Impact ; 高周波機械的衝撃*)、低変態温度溶接ワイヤ†、ショットピーニングなどの溶接構造物の疲労強度改善技術を取り扱い、推奨指針の作成、並びにその裏付けデータを掲載した文書を発行している。

現在、最も注目されている HFMI では、主に圧縮残留応力付加の効果で疲労強度を向上させているが、供用中に圧縮過大荷重がかかることもありうる船舶などの構造物では、圧縮側での降伏によりその効果が薄れる事例も報告されている。そこで、異なる応力比での、全体寿命における圧縮残留応力付加の効果持続性などについて検討が行われている。

疲労強度改善技術に関する最新の指針は 2013 年 2 月発行の「IIW recommendations on methods for improving the fatigue strength of welded joints (溶接継手の疲労強度改善方法に関する指針)」である。HFMI は上記の指針に含まれていないが、「Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines (HFMI による鋼構造の疲労強度改善 : 疲労評価ガイドライン提案文書)」が参考として利用可能である。また、HFMI による鋼構造の疲労強度改善効果は、降伏応力が高いほど改善効果が向上する傾向が確認されているため、「HFMI を用いた高強度鋼溶接構造物の疲労強度改善に関するガイドライン」「A Guideline for Fatigue Strength Improvement of High Strength Steel Welded Structures Using High Frequency Mechanical Impact Treatment」が提案され討議・改訂が行われている。近年得られた知見を元に、施工手順・品質管理・疲労強度指針など HFMI に関する技術を盛り込んだ、「IIW recommendations on High Frequency Mechanical Impact (HFMI) Treatment for Improving the Fatigue Strength of Welded Joints (HFMI 処理による溶接継手疲労強度改善に関する指針)」は、現在発行に向けて準備中である。

レオーベン鋳山業大学の「すみ肉溶接の疲労強度に対する HFMI 処理の品質保証」、フラウンホーファー研究所の「臨界面法を用いた数値シミュレーションによる HFMI 処理溶接継手の疲労寿命計算」、フランスの CETIM (機械産業技術センター)・INSA (国立応用科学院)・リープヘル (建機メーカー) の「溶接構造物の疲労寿命改善と補修のための HFMI のメカニズムの解明」、フィンランド Aalto 大学の「変動荷重条件での HFMI 処理継手の許容応力」、大阪大学の「周期的な硬化・軟化の影響を考慮した弾塑性モデルによるピーニング誘起残留応力の緩和挙動予測」などについて討論が行われた。

* 高周波機械的衝撃：超音波圧電素子（電気信号と力を返還する素子）、超音波磁歪素子（磁気信号と力を返還する素子）、圧縮空気のいずれかにより、円柱状圧子を高周波で振動させて被加工材に対して打ち込み、衝撃を受けた材料は塑性（加えた力を除いても変形が残ること）変形を起こし、局所幾何形状を滑らかにして応力集中（形状不連続部に大きな応力が発生すること）を緩和させるとともに、圧縮残留応力（加えた力や温度を除いても残る応力）が負荷されることにより引張の溶接残留応力を緩和させる。従来のハンマーピーニングに対して作業性に優れるとともに、被加工範囲が小さいので、より滑らかな形状に仕上げ易い。

† 低変態温度溶接ワイヤ：従来の溶接材料は組織変態点が 500°C 以上で、溶接後の冷却過程において収縮するため引張残留応力が発生し、無負荷でも引張られている状態になっている。この引張残留応力を低減させるため、変態点を 200°C 以下の低温とし、溶接後の冷却過程において膨張し圧縮残留応力を発生させることにより外部の引張力の緩和を可能とした Ni-Cr ステンレス系材料を用いた溶接ワイヤのことである。

2 溶接構造の疲労設計規格に関する事項

JWG-XIII/XV では、現行の IIW 推奨疲労等級を破壊力学計算に基づく新たな等級へ置き換えるため、溶接継手評価への破壊力学の適用の基準化が行われている。これにより、構造詳細のサイズ変更による影響評価や現行含まれていない新しい形状の評価が可能となる。

破壊力学に関する章が更新された「Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components (溶接構造疲労設計指針)」は第二版 (2016 年版) として出版された。

サノヤス造船・大阪大学・広島大学の「T 型管溶接継手 (管のブランチ) に対する SN 基準と FCP (疲労亀裂伝播) 基準による疲労評価手法の比較研究」、名古屋大学の「低サイクル疲労領域における溶接継手の疲労亀裂成長予測」、コネクレーンズ社とフィンランドのラッペーンランタ工科大学の「熱切断面が存在する鋼板の新しい疲労評価法」、Liebherr-France SAS・スウェーデンのルレオ工科大学・ティッセングループの「レーザ/MAG ハイブリッド溶接部材を用いた局所応力解法の検証」、MIJAC (マリタイムイノベーションジャパン) の「平均応力の状態変化を考慮した船体構造の疲労評価」などについて討論が行われた。

3 欠陥や溶接品質の疲労への影響に関する事項

WG4 では、第 5 委員会 (非破壊検査及び溶接製品の品質保証) 及び品質保証特別委員会 (SC Qual) と連携して、溶接部周辺の溶接不完全部がどのように疲労挙動に影響を及ぼすかについて明確化したガイドラインを作成している。

溶接品質に関する ISO 5817*や AWS-D1.1 における欠陥の品質は疲労寿命を考慮していないため、IIW の疲労強度に関する推奨指針と整合しておらず、設計者が品質レベルと幾何形状をバランスさせて強度レベルを決定する際に問題 (過剰品質、強度不足) が生じている。そこで、溶接品質と疲労強度の相関の適正化を行った「IIW guidelines on weld quality in relationship to fatigue strength (溶接品質と疲労強度相関に関する IIW ガイドライン)」を、ISO 5817 の TR (Technical Report : 技術報告書) として ISO に送付していたが、TS (Technical Specification : 技術仕様書) への修正がリクエストされたため、「ISO DTS 20273 The relationship between weld quality and fatigue strength (to complement ISO 5817)」案が作成された。

切断面の表面粗さは疲労評価に重大な影響を及ぼすが、現在の IIW ガイドラインでは考慮されておらず設計者の溶接品質選択の際の問題となっている。板厚毎の許容表面粗さ RZ (十点平均粗さ) の範囲が示されている ISO 9013†を利用して疲労規則を発展させる今後のプロジェクトについて検討が行われた。

フィンランド Aalto 大学の Prof. Heikki REMES 氏が新たに WG4 議長を担当することとなった。

【今後の取り組み】

- 実構造物では、一つの角回し溶接継手の二つの溶接止端にかかる実荷重が等しくなることはめったになく、従って、要求される品質も止端毎に異なってよい。よって、実荷重を考慮し

* ISO 5817:2014 “Welding -- Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) -- Quality levels for imperfections”

† ISO 9013:2002 “Thermal cutting -- Classification of thermal cuts -- Geometrical product specification and quality tolerances”

て溶接部の形状と品質の許容限界を個別に設定することにより“溶接まま”品質レベルの疲労強度の更なる向上を図る。

- 疲労を反映させた溶接等級品質体系の開発
- 疲労等級を 80 から 125 に向上させるための溶接まま高品質溶接
- これまであまり活用されてこなかった溶接止端半径の影響に関する研究
- ISO 5817 への対応として、ISO TC44/SC10/WG1 と連携
- ISO 9013 を活用した切断面の品質レベルと疲労の結合（第 1 委員会（溶断及びサーフェシング（肉盛溶接や溶射など））と連携）。

4 応力解析に関する事項

WG 3 では、ホットスポット応力法（幾何形状に起因する構造的応力集中を用いて評価する方法）及び有効切欠応力法（き裂の影響を同等の影響を与える楔形形状に換算して評価する方法）による局所応力解析の情報交換、溶接継手の静的強度評価のための応力解析法指導書の作成（第 15（設計）委員会と連携）を行っている。

改訂作業が完了した「Designer's guide for Structural hot-spot stress approach to fatigue analysis of welded components（構造的応力集中解法による溶接部材の疲労解析のための設計者向けガイド）」の第二版（2016 年版）案、解析ソルバーの精度検証をするための局所応力解法のラウンドロビントテスト*、ISSC（International Ship and Offshore Structures Congress）の「疲労破壊」委員会で行われている薄板構造のホットスポット応力法によるラウンドロビントテストについて検討が行われた。

ハルビン工科大学とミシガン大学の「アルミニウム合金荷重伝達型付加物継手の破壊形態への移行に関する理論的・実験的研究」、大阪大学と広島大学の「溶接残留応力場の表面亀裂の応力拡大係数の数値評価」などについて討論が行われた。

【今後の取り組み】

- 「疲労強度改善技術を施工した継手に対して（弾塑性）切欠応力法を適用する際の手引書」の作成
- 切欠応力強度係数（N-SIF）解放の適用（切欠応力の効果を数字で重みをつけ定量的に評価する）
- 平均応力法（ノッチ底から一定距離の間の平均応力）や臨界距離法（ノッチ底から一定距離の 1 点の応力）の適用
- 局部形状別の縦すみ肉止端部疲労の評価

5 修繕・改造・構造モニタリングによる溶接構造物の寿命延長に関する事項

WG 5 では、これまで溶接構造物補修事例データベースの維持・拡張を継続していた。

フラウンホーファー研究所の Dr. -Ing. Majid FARAJIAN 氏が新たに WG 5 議長を担当することとなった。

* ラウンドロビントテスト：方法や装置の信頼性の検証のため複数の試験機関で同一の測定を行う共同作業。国際標準試験法の策定や標準試料の選定の際に行われる。

6 溶接構造物の疲労試験法及び疲労データ評価法に関する事項

WG1 では、統計解析手法を正しく適用する手助けとするため、統計解析のためのベストプラクティス（最も効率の良い手法）推奨事項と関連した作業計画表（データシート及びスプレッドシート）の整備を行っている。

WG1 で対応している ISO の現状

- ISO 12106 Axial Strain Control Low Cycle Fatigue : 照会済みの DIS（国際規格案）に対して CIB（Committee Internal Balloting）が行われた。
- ISO 12107 Statistical Planning and Analysis of Data : ”DIN 50100 Fatigue test”の内容が一部盛り込まれた 12107 の新案がドイツ代表から提出される予定である。
- ISO 12108 Fatigue Crack Growth Method : NWIP（新業務項目提案）として ISO 12108 の修正が必要な箇所を検討するため、疲労亀裂成長率に関する Advisory Group 6 が設立された。
- ISO 12112 Multi-Axis-Fatigue Testing : 多軸疲労に関する TR（技術報告書）の作成が予定されている。
- ISO 12105 Fatigue Testing General Principals : TR（技術報告書）の案が CIB（Committee Internal Balloting）用に提出された。

フランスの腐食研究所、オーストリアの Voestalpine Stahl 社、アルセロール・ミッタル、ドイツの GSI SLV 社、ミュンヘン応用科学大学の「大気中と腐食環境下でのスポット溶接継手の疲労試験」などについて討論が行われた。

【今後の取り組み】

- 試験の不確実性・環境影響・品質保証などに関する検討
- 疲労設計曲線の精度向上のためのラウンドロビンテスト

7 残留応力の疲労への影響に関する事項

WG6 では、母材強度と疲労荷重の種類（高サイクル、低サイクル、高平均応力、変動荷重など）に特に関係して、溶接構造物の疲労強度に与える残留応力の影響に関する入手可能な情報や研究について、要約し批評を行っている。

面外ガセット角回し溶接継手の残留応力計測の信頼性、各種残留応力計測手法の可能性と限界について言及した溶接部材の残留応力を決定するための最適指示書、溶接残留応力を決定するためのラウンドロビンテストなどについて検討が行われた。

オーストリアのレオーベン鉱山業大学の「角変形に着目したすみ肉溶接試験片の疲労強度」、フランスの IRDL 研究所・DCNS 社（海軍艦艇造船企業）・DGA 海軍技術部門の「海軍で適用されている溶接継手の低サイクル疲労挙動に及ぼす残留応力の影響」、ブラウンシュバイク工科大学の「溶接部材の疲労設計において残留応力を定量的に考慮するための工学モデル」、ブラウンシュバイク工科大学とハンブルグ工科大学の「大型溶接継手組立体の疲労強度に及ぼす残留応力の影響」などについて討論が行われた。

【今後の取り組み】

- 溶接継手における残留応力の影響に関連する更なるデータ収集
- 残留応力の影響を考慮した疲労データの解析と評価
- 溶接部材に適用するショットピーニングプロセスの解析



- 残留応力とその影響を評価するための工学モデルの評価

8 研究動向紹介他

フランスのジュール・ベルヌ技術研究所（先進複合材料生産技術研究所）並びに STX グループを中心に実施されている「鋼製海洋構造物の軽量化と高性能化」において、高張力鋼の溶接部に超音波ニードルピーニングや TIG 溶接仕上げを適用することにより、薄板化による軽量化が図られている。機械産業技術センター（CETIM）では、「角回し継手の疲労挙動」において、二重角回し・「Moustache（髭）」状の追加ビード・低変態温度溶接ワイヤなどの疲労強度改善効果に関する検討や、「疲労強度に及ぼす溶接幾何形状の影響－ウィービング溶接とアンダーカッター」において、すみ肉溶接止端のアンダーカットに及ぼすウィービング溶接と電流条件の影響評価が行われている。

スウェーデンでは、プラズマ・アークハイブリッド溶接、溶接止端形状自動計測、溶接残留応力・変形などに関する研究が行われている。

フィンランドでは、疲労強度に及ぼす溶接品質や切断面の表面状態の影響などに関する研究が行われている。

9 次回会議予定

次回第 70 回国際溶接会議(IIW)は、2017 年 6 月 25 日から 30 日まで中華人民共和国の上海で開催される。主催は中国溶接協会。

この文書に対するご質問は
海上技術安全研究所 構造基盤技術系
基盤技術研究グループ長 岩田知明
iwata@nmri.go.jp
まで