



会議：第 73 回 国際溶接会議 (IIW) 第 XIII (疲労 (Fatigue)) 委員会

開催場所：オンライン

会議期間：令和 2 年 7 月 23 日～7 月 24 日 (7 月 20 日～7 月 25 日の期間で委員会毎に開催)

海技研からの参加者：

岩田知明：産業システム系 物理システム研究グループ長

#### 概要

IIW (国際溶接会議) は、18 の委員会を中心に、ワーキンググループ・合同委員会を適宜設置し、各分野の専門家が集まって推奨/勧告 (Recommendation) ・指針 (Guidelines) 作成作業を行っている。また、ISO/TC 44 において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「溶接構造の疲労設計の推奨」・「溶接継手の疲労強度改善方法に関する推奨」・「溶接品質と疲労強度相関に関する指針」・「高周波機械的衝撃処理の推奨」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) 13 委員会・溶接学会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推奨・指針・規格の改正・新規提案の動向、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第 XIII 委員会 (今年は WG・合同委員会の併催は中止) に参加し、疲労強度改善法、疲労設計法、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。

#### オンライン開催による変更点

当初、第 73 回国際溶接会議 (IIW) は、シンガポール溶接研究協会主催で、2020 年 7 月 19 日から 24 日までシンガポール共和国で開催される予定であったが、新型コロナウイルスの影響による入国制限の状況から中止となり、オンライン開催に変更となった。これに伴い、2023 年の第 76 回 IIW が、シンガポール共和国で開催されることとなった。

Delegation による投票ルール、SharePoint によるドキュメントへのアクセス権、Welding in the World への推薦方法などは、例年と同形式。なお、フランス溶接学会内に設置されていた IIW 本部事務局は、2020 年 1 月にイタリア溶接協会内に移管されており、SharePoint の URL は変更されている。

今年の第 XIII 委員会のドキュメント件数並びに時間枠は例年の 3 割程度の規模となり、例年とは異なり WG の分野毎にセッションが構成されていないため、本報告では各ドキュメントの内容から推定して分類した。



## 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きた。一昨年、主に疲労荷重の観点から長期間供与中の溶接構造物の寿命延長計画の開発を行ってきた旧 WG 5 を統合して、新たな WG 2 となり、溶接構造物の疲労強度改善・寿命延長・改造工学に関連する技術を取り扱うこととなった。旧 WG 5 で行われてきた溶接構造物補修事例データベースの維持・拡張は、新たな WG 2 で継続する。新たな WG 2 には、サブワーキンググループ WG 2-1 (HFMI)、WG 2-2 (TIG 再溶融仕上げ)、WG 2-3 (ショットピーニング・ブラスト) が設置されている。

疲労強度改善技術に関する最新の推奨は、2013 年発行の「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推奨) : ISBN 9781782420644」並びに 2016 年発行の「IIW Recommendations on High Frequency Mechanical Impact (HFMI) Treatment for Improving the Fatigue Strength of Welded Joints (溶接継手の疲労強度改善用 HFMI 処理の推奨) : ISBN 978-981-10-2503-7」である。前者には HFMI が含まれていないため、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 に関する技術が盛り込まれた後者が発行された。また、「Retrofitting Engineering for Fatigue Damaged Steel Structures (疲労損傷した鋼構造物の改造技術)」の発行作業は、レビュー検討会にて校正作業が行われている。

岐阜大学、GRID (ポルトガルのコンサルティングエンジニア会社)、デンマークのオーフス大学、スイス連邦工科大学の「溶接まま及び HFMI 処理をした面外ガセット溶接継手の疲労強度に及ぼす幾何学的寸法効果の影響」、モントリオール工科大学とカナダのウォータールー大学の「構造鋼溶接部の疲労挙動に及ぼす HFMI 処理影響の 2 次元破壊力学解析」、フラウンホーファー研究機構の材料メカニズム研究所 IWM の「多層補修溶接の有限要素法シミュレーション及び鋼溶接部残留応力場の実験調査」、フラウンホーファー研究機構の材料メカニズム研究所 IWM の「管溶接継手の疲労改善に効果的なツールであるディープローリング加工」、東京都市大学、首都高速道路技術センター、施工技術総合研究所の「超音波試験による塗装されたフランジガセット溶接継手のき裂検出」、ハンブルグ工科大学の「溶接止端グラインダ処理による疲労強度改善 : データレビュー」、フィンランドのラッペーンラント大学とハンブルグ工科大学の「グラインダ処理されたすみ肉鋼溶接継手の 4R 法 (材料強度特性(応力-歪曲線)、溶接により誘起され溶接後処理によ

---

\* 高周波機械的衝撃 : 超音波圧電素子 (電気信号と力を変換する素子)、超音波磁歪素子 (磁気信号と力を変換する素子)、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変形を起こし、局所幾何形状を滑らかにして応力集中を緩和させるとともに、圧縮残留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、無負荷でも引っ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。



り修正された局所残留応力 $\sigma_{res}$ 、応力比  $R$ 、溶接止端品質  $r_{true}$  を用いた評価手法) を用いた疲労強度評価」について討論が行われた。

## 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。しかしながら、疲労問題への破壊力学の適用は最先端の技術であり、現行の IIW 推奨で規定される溶接継手への標準化手法が明確でなく、包括的な文書が必要である。

溶接構造に関する最新の推奨は、2016 年発行の「Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components (溶接構造の疲労設計の推奨) 第二版 (2016 年版) : ISBN 978-3-319-23756-5」である。本推奨は各種疲労関連規則の付属規則として使用されるのみならず、学術分野の参考文献として広く引用されている。次の改訂作業が行われており、板厚効果 (JWG-286-20, JWG-287r1-20)、統計評価 (JWG-288r1-20)、有効切欠応力 (JWG-289r2-20)、ISO 5817 (JWG-291-20)、破壊力学 (JWG-292-20) などに関する項目の改定案が作成されている。

今回の第 XIII 委員会では、WG 1~WG 6 の活動報告は行われなかったが、JWG-XIII/XV の活動報告のみ 7 月 20 日に開催された第 XV 委員会 (設計 (Design)) 内で行われた。溶接欠陥、疲労寿命、検査間隔、供与温度、脆性破壊のそれぞれの相互作用について討議が行われた。

ドイツのジェイド応用科学大学とニュージーランドの重工エンジニアリング研究協会の「オーストラレーシア内で使用される鋼の脆性破壊回避規定」、フィンランド Aalto 大学の「溶接誘起歪を伴う平板間の角度不正に起因する応力割増係数」について討論が行われた。

### 【今後の取り組み】

- 溶接欠陥の疲労に及ぼす影響に関するレビュー
- サイズ効果に関するレビュー
- 破壊力学を適用した推奨の開発
- 溶接構造の疲労設計の推奨の改訂

## 3 欠陥や溶接品質の疲労への影響に関する事項

WG 4 では、第 5 委員会 (非破壊検査及び溶接製品の品質保証) 及び第 18 委員会 (溶接及び関連プロセスの品質管理、旧 SC Qual : 品質保証特別委員会) と連携して、溶接部周辺の溶接不完全部が疲労挙動に及ぼす影響について評価を行っている。

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いなかった。そこで、2016 年に「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指針) : ISBN 978-3-319-19197-3」が発行され、ISO/TS 20273:2017 Guidelines on weld quality in relationship to fatigue strengthとしても 2017 年 8 月に発行している。ISO/TS 20273:2017 の改訂が必要かどうかについて、検討を行うこととなった。

---

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

† AWS D1.1 “Structural Welding -- Steel”



第 XIII 委員会では、まずは Additive Manufacturing（付加製造：3D プリント）により製造された部材の疲労を対象とした研究開発動向に関する調査を行い、今後必要に応じて新たな WG を設置する。

オーストリアのレオーベン鉱山業大学の「Additive Manufacturing（付加製造：3D プリント）による 17-4 PH（析出硬化型：Precipitation Hardening）ステンレス鋼の疲労強度に及ぼす表層の影響」について討論が行われた。

#### 4 応力解析に関する事項

WG 3 では、ホットスポット応力解法（幾何形状に起因する構造的応力集中のみを考慮して評価する方法）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）による局部的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-A（設計）委員会と連携）を行っている。

溶接ビードの局部的切欠による応力集中の影響は除いた構造的応力解法の最新の設計者向けガイドは、2018 年発行の「Structural Hot-Spot Stress Approach to Fatigue Analysis of Welded Components - Designer's guide（構造的応力(ホットスポット応力)解法による溶接部材の疲労解析－設計者向けガイド）：ISBN 978-981-10-5567-6」である。溶接ビードの局部的切欠による応力集中の影響も考慮する切欠応力解法に関する最新の推奨は、2012 年発行の「IIW Recommendations for the Fatigue Assessment of Welded Structures by Notch Stress Analysis（切欠応力解法による溶接構造物の疲労評価の推奨）：ISBN 9780857098559」である。

フィンランド Aalto 大学の「任意形状の 3 次元き裂が相互作用する場合の応力拡大係数の効率的な数値評価手法」、ミュンヘン応用科学大学の「数値計算とメタモデル構築に基づく溶接 T 継手の切欠係数の決定」、イタリアのパドヴァ大学とドイツのダルムシュタット工科大学の「ピーク応力法を用いたステンレス薄肉管継手の溶接端部の多軸疲労評価」、大阪大学の「数値影響関数法を用いた T 型突合せ溶接継手の表面き裂の疲労寿命と応力拡大係数に及ぼす残留応力の影響に関する研究」について討論が行われた。

#### 5 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

WG 1 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。

溶接構造の疲労試験の最新の推奨は、ISO/TR（技術報告書）14345:2012「Fatigue -- Fatigue testing of welded components – Guidance」である。疲労試験データの統計解析に関するベストプラクティス指針「Best Practice Guideline for Statistical Analysis of Fatigue Results」原案（XIII-2807-19）の校正作業は継続中。

ジェノバ大学とイタリア溶接協会の「高強度鋼と急冷鍛鋼との構造用継手の性能特性」について討論が行われた。

#### 6 残留応力の疲労への影響に関する事項

WG 6 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。溶接構造物の目的適合性評価、残留応力をより適切に考慮した疲労設計推奨の開発が行われている。

残留応力を決定するためのベストプラクティス（最も効率の良い手法）ガイド「Best Practice Document on Residual Stress Determination in Welded Components」の作成作業は継続中。

今回は WG 6 に関するドキュメントは無かった。

## 7 次回会議予定

次回第 74 回国際溶接会議(IIW)は、正規の形態で、2021 年 6 月 20 日から 25 日までイタリア共和国のジェノバで開催される予定。主催はイタリア溶接協会。

また、第 XIII 委員会の 2021 年の中間会合は未定で、開催方法（正規の形態・オンライン）について引き続き検討を行うこととなった。

この文書に対するご質問は  
海上技術安全研究所 産業システム系  
物理システム研究グループ長 岩田知明  
[iwata@m.mpat.go.jp](mailto:iwata@m.mpat.go.jp)  
まで