

## 9

## 鉄鋼部会

## 9.1 部会の組織と運営

## 9.1.1 目的

部会の目的は、当部会規則2条に「この部会は一般社団法人日本溶接協会の事業活動の一環として、会員の共通利益の維持および鉄鋼の溶接に関する技術の向上ならびに普及を図るために、必要と認められる諸種の事業活動を行うとともに、会員相互の親睦を図り、業界の健全な発展に貢献することを目的とする」と規定している。

すなわち、鋼構造物の溶接部の安全性などに関連して、鉄鋼技術や評価技術の向上を図る活動を行う。

鉄鋼メーカーは利用目的に適合した優れた鋼材を開発、製造し、需要家各位に供給する責務があるが、当部会は、鋼を溶接の面から取り上げ、安全性と溶接施工性の観点より、鉄鋼技術の発展に基づく適切な鋼材を適切に使用した鋼構造物を側面から普及促進させるという役目を担っている。

## 9.1.2 組織、運営

部会規則第5条に「部会員は、部会の事業に関係する団体会員をもって構成する」と定めており、当部会は、現在、鉄鋼メーカー3社で構成されている。

1964年の発足当時、メンバーとなった鉄鋼メーカーは、八幡製鐵、富士製鉄、川崎製鐵、日本鋼管、三菱製鋼および日本製鋼所の6社であった。

その後、まもなく住友金属工業および神戸製鋼所が加入し、合併、脱退を経て、2018年現在では、新日鐵住金、JFEスチールおよび神戸製鋼所の3社がメンバーとなっている。現在の部会組織を図9.1に示す。

部会の総合的企画、運営は本部会・幹事会、技術委員会で協議して推進している。部会長は2年ごとの任期で、部会員3社の中から選任される。表9.1に歴代の技術委員長を示す。



図 9.1 鉄鋼部会の組織 (2018年現在)

表 9.1 歴代技術委員長

| 年度        | 技術委員長                |
|-----------|----------------------|
| 1964～1975 | 木原 博 (東大)            |
| 1976～1989 | 金沢 武 (東大→長崎総科大→千葉工大) |
| 1990～2001 | 町田 進 (東大→千葉大)        |
| 2002～2011 | 宮田 隆司 (名大)           |
| 2012～現在   | 栗飯原周二 (東大)           |

## 9.2 この10年の技術活動

### 9.2.1 FTE委員会 (Fracture Toughness Evaluation)

(主査：萩原行人 2004年～2015年)

鉄鋼材料の破壊じん性に関する最近の研究、海外規格の情報収集と意見交換、ISO、ASTM、BS規格案への意見集約およびWES 2805改正後のフォローを目的に1994年に立ち上げたFTS委員

会 (Fracture Toughness Study) を、2009年に FTE 委員会 (Fracture Toughness Evaluation) と名称を変更した。

FTE 委員会の下にあった3つのWGのうち、WG-RとWG-Iはそのまま継続し、WG-T (亀裂先端開口変位 (CTOD) 算定法に関する調査研究WG) はWG-Cに名称を変更して継続するとともに、さらにWG-Aを新設して、4つのWGで活動を行うこととなった。

## 9.2.2 FTE 委員会WG-R (～2015年) およびLDF II 委員会 (2016年改称) (WG-R リーダー：萩原行人～2010年、 南二三吉2011年～2015年、 LDF II 委員会主査：南二三吉2016年～ 2017年)

### (1) 研究テーマ

WES 規格の見直し、改正 [WG-R (R: Revise)]

- (a) WES 2805: 2007「溶接継手のぜい性破壊発生および疲労亀裂進展に対する欠陥の評価方法」のソフトウェア化、英文化 (～2010)
- (b) WES 2808: 2003「動的繰返し大変形を受ける溶接構造物のぜい性破壊性能評価方法」の改正 (2011～2017)

### (2) 研究目的

- (a) WES 2805のソフトウェア化、英文化および改正
- (b) WES 2808の適用対象、適用範囲の拡大と、評価精度の向上

### (3) 研究内容と成果

- (a) WES 2805: 2007の和文および英文の見直し、改正を行い、2011年10月にWES 2805: 2011が発行された。また、WES 2805の評価計算を手軽に利用できる計算ツールを作成し、日本溶接協会のWEB上で活用できるようにした。
- (b) 2011年度からWES 2808改正の活動を開始

し、2016年度に名称をLDF II 委員会 (Large Deformation Fracture II: 大変形下における溶接構造物の破壊性能評価手法の開発) に改称の上、活動を継続した。活動成果として、WES 2808: 2003の適用拡大と精度向上を図った改正版を作成し、2017年7月にWES 2808: 2017が発行された。WES 2808: 2017の主要改正点は以下の通りである。

- ・旧版での評価対象鋼材の強度範囲は引張強さ590MPa級以下であったが、780MPa級の材料まで適用できるようにした。具体的には予ひずみ・動的負荷による強度変化と破壊じん性変化の予測、シャルピー試験による破壊じん性値の簡易評価、および破壊じん性値の塑性拘束補正の適用範囲を780MPa級まで拡大した。
- ・ぜい性破壊起点として、部材中央部 (スカラーップ底) の表面亀裂だけでなく、部材端部 (溶接始端) の亀裂 (表面、板厚貫通) も想定し、各種亀裂タイプと寸法に応じて、塑性拘束補正係数 $\beta$ を提示した。
- ・ひずみ集中係数をWES 2805と整合させた。
- ・強度変化・破壊じん性変化の予測、シャルピー簡易評価、塑性拘束補正係数 $\beta$ の適用が溶接部についてもできるようにした。

## 9.2.3 FTE 委員会WG-C (～2015年) およびCTE 委員会 (2016年改称) (WG-C リーダー：田川哲哉2009年～ 2014年、川畑友弥2015年、CTE 委員会主査：川畑友弥2016年～)

### (1) 研究テーマ

亀裂開口変位 (CTOD) 算定法に関する調査研究・規格化 [WG-C (C: CTOD), CTE 委員会: CTOD Toughness Evaluation]

### (2) 研究目的

- (a) 母材のCTOD試験規格であるWES 1108:

表 9.2 FTE 委員会 WG

| WG     | 時期        | WG リーダー<br>(委員会主査) | 活動内容                                                                                  |
|--------|-----------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| WG-R*1 | 2009～2010 | 萩原 行人              | ・ WES 2805 のソフト作成監修                                                                   |
|        | 2011～2017 | 南 二三吉              | ・ 大変形下における溶接構造物の破壊性能評価手法の開発                                                           |
| WG-C*2 | 2009～2014 | 田川 哲哉              | ・ き裂開口変位 (CTOD) 算定法に関する調査研究・規格化 (CTOD Toughness Evaluation)                           |
|        | 2015～     | 川畑 友弥              |                                                                                       |
| WG-I   | 2009～2014 | 栗飯原 周二             | ・ ISO 国際規格対応 WG                                                                       |
| WG-A*3 | 2009～2016 | 栗飯原 周二             | ・ 造船用鋼板のアレストじん性評価 (Arrest Toughness of Ship Steels)<br>・ 国際標準化に向けた極厚鋼板アレスト安全性に関する研究開発 |
|        | 2017～     | 川畑 友弥              |                                                                                       |

\* 1) 2016年よりLDF II 委員会に改称

\* 2) 2016年よりCTE 委員会に改称

\* 3) 2016年よりATS 委員会に改称

1995改正に関する検討（～2014）

- (b) 溶接継手のCTOD試験規格であるWES 1109:1995の改正および国際的認知(2015～)

### (3) 研究内容と成果

- (a) 各国じん性試験方法の動向に関する情報収集およびWES 1108（亀裂先端開口変位（CTOD）試験方法）の改正へ向けて2009年度から活動を行った。その成果として、材料の降伏比依存性を考慮した標準 $a_0/W$ 条件における独自のCTOD算定式を構築し、2016年1月に改正版WES 1108:2016が制定された。WES 1108:2016の主要改正点は以下の通りである。

- ・亀裂開口変位 $\delta$ の算定式に降伏比と板厚による補正係数を導入（本文）
- ・P-Vg曲線タイプを3タイプに簡略化（本文）
- ・ポップインを生じた場合の亀裂長さの計測と判定方法を改正（本文）
- ・試験温度での降伏比の推定のため、降伏応力と引張強さの温度依存性についての式を追加（本文）
- ・試験中の負荷速度を変位速度に換算する参考値の表を追加（解説）
- ・新算定式および回転因子 $r_p$ についてのFEM解析による妥当性検証の解説を追加（解説）
- ・弾性項換算係数 $m$ 、塑性項補正係数 $f_p$ についての解説を追加（解説）

- (b) 溶接継手のCTOD試験について、試験方法に関する課題のレビューおよび技術的根拠と実証に基づく新たな実用的指針提案に向けた討議を2015年度より開始した。この成果は、2016年9月のISO-TC 164-SC 4F会議の決議により、継手CTOD試験規格であるISO 15653に、逆曲げ法の復活（AnnexC）や広範囲の $a_0/W$ をカバーするCTOD算定式（AnnexE）として全面的に採用されることとなった（2018年1月発行）。

さらに、WES 1109（溶接熱影響部CTOD試験方法に関する指針）の改正に向けた研究を継続している。

## 9.2.4 FTE委員会WG-I（WG-Iリーダー：栗飯原周二2009～2014年）

### (1) 研究テーマ

ISO国際規格対応WG〔WG-I（I：ISO）〕

### (2) 研究目的

鉄鋼材料の破壊じん性に関して、ISO/TC 164/SC 4Fで審議されるISO国際規格についての情報

収集と諸検討。

### (3) 研究活動

2012年からISO 12135/ISO 15653：2010におけるWG-C提案の新CTOD算定式のISO化へ向けた活動を開始した。

2013年より、ぜい性亀裂アレスト試験法規格（WES 2815）のISO化を提案し、2014年にNew Work Itemとして承認された。

これら活動は2015年度以降、WG-AおよびWG-Cに活動の場を移すこととなり、WG-Iは2014年度をもって、その使命を終えることとなった。

## 9.2.5 FTE委員会WG-A（～2015年）およびATS委員会（2016年改称）（WG-Aリーダー：栗飯原周二2009～2015年、ATS委員会主査：栗飯原周二2016年、川畑友弥2017年～）

### (1) 研究テーマ

- (a) 国際標準化に向けた極厚鋼板アレスト安全性に関する研究開発〔WG-A（A：Arrest）〕  
(b) 造船用鋼板のアレストじん性評価（ATS委員会：Arrest Toughness of Ship Steels）

### (2) 研究目的

本WG-AおよびATS委員会は、2010年度より（一財）日本海事協会と日本溶接協会との間で共同研究を実施し、研究目的（研究時期）ごとに、(a) ATE委員会～(e) ATE5委員会を設けた。

- (a) ATE委員会：ぜい性亀裂伝播停止（アレスト）特性評価試験方法（通称：標準ESSO試験方法）規格の作成（2010/11～2013/3）  
(b) ATE2委員会：アレスト試験を代替する簡易試験方法の提案（2012/3～2014/9）  
(c) ATE3委員会：超大型コンテナ船用極厚鋼板の必要アレストじん性（Kca）値の明確化（2014/12～2016/9）  
(d) ATE4委員会：温度平坦型ぜい性亀裂アレスト試験（通称：CAT試験）によるアレストじん性評価（2014/12～2017/9）  
(e) ATE5委員会：大型コンテナ船の許容応力上昇に伴う極厚鋼板の必要Kca値の明確化、アレスト亀裂再発生の検討（2018/7～2020/12）

### (3) 研究内容と成果

本研究活動成果は、シンポジウムでの公表、WESやISOの規格化活動、IACS（国際船級協会連合）会議での発表等により、国際的に認知され、船体などの鋼構造物の安全性向上のための国際標

準化に寄与している。WG-Aは、2016年度からATS委員会へ改称し、活動を継続している。

- (a) ATE委員会：温度勾配型ぜい性亀裂アレストじん性試験法（通称：標準ESSO試験法）の正式規格は世の中に存在しなかったため、適正な試験片形状や試験条件、判定評価方法などを明確にして、その成果を2013年のシンポジウムで公表し、WES 2815：2014「ぜい性亀裂アレストじん性試験方法」として規格が発行された。この規格は、国際標準化活動により、ISO 20064として規格化の予定である。
- (b) ATE2委員会：標準ESSO試験は試験片と試験負荷が大きく出荷試験には向かないため、代替できる簡易試験方法として、プレス切欠き曲げ試験方法を考案した。この試験方法は、Kca値を推定できる小型試験であり、標準仕様書WES-TS 2816：2015として発行された。
- (c) ATE3委員会：板厚80mm超の極厚鋼板の必要Kca値を大型構造モデル試験により求めた。アッパーデッキ用板厚100mm鋼板は、板厚80mm以下の鋼板と同様、必要Kca値 $\geq 6000\text{N/mm}^{3/2}$ （ $-10^{\circ}\text{C}$ ）であるが、ハッチサイドコーミング用板厚100mm鋼板は必要Kca値 $\geq 8000\text{N/mm}^{3/2}$ （ $-10^{\circ}\text{C}$ ）であることを明らかにした。
- (d) ATE4委員会：温度平坦型ぜい性亀裂アレストじん性試験（通称：CAT試験）によるじん性評価判定と標準ESSO試験でのKca値評価との関係についての研究を、（一財）日本海事協会と日本溶接協会に、ロイド船級協会、POSCOを加えた4者共研として実施した。この研究成果は、必要Kca値との整合性を図るためのCAT試験方法としてIACS会議で発表し、世界各国の船級協会の理解が得られた。
- (e) ATE5委員会：板厚80～100mmの中間厚の必要Kca値、および許容応力上昇に伴う必要Kca値の明確化と、アレスト後の亀裂再発生に関する研究を2020年まで実施している。

## 9.2.6 FGT委員会（2009～2013年） （主査：後藤浩二2009～2013年）

### （1）研究テーマ

鉄鋼材料の疲労亀裂伝播試験法に関する研究

（Fatigue Crack Growth Testing）

### （2）研究目的

厚鋼板を対象とした疲労亀裂伝播性能評価手法の規格化

### （3）研究内容と成果

疲労亀裂伝播性能評価に用いられるASTM E647やISO 12108をベースに、厚鋼板に適用する観点からの問題点を抽出し、数値シミュレーション、実験および公知文献調査、各機関での試験実施状況整理等を行った。

これらの検討結果をもとに、規格化に関する意見集約を実施し、2014年1月にWES 1111：2014（疲労亀裂伝播試験方法）が制定された。

本委員会において検討された主な課題は下記のとおりであり、WES 1111にその成果が反映または解説として記述されている。

- ・応力比一定試験における試験条件設定と試験片形状の影響
- ・応力比が負の場合の取り扱い方法
- ・下限界応力拡大係数範囲 $\Delta K_{th}$ の同定方法
- ・亀裂開閉口挙動測定手法

## 9.2.7 研究発表会、講演会

上記の研究活動成果から適切と判断したものを取りまとめ、溶接構造用鋼材に関する研究発表会や講演会を開催してきた。

2018年度までのこの10年間で以下に示す3回の研究発表会、講演会を開催した。

### （1）研究発表会

○2011年11月8日

「溶接鋼構造物におけるぜい性亀裂伝播アレスト研究の最前線」（第16回溶接構造用鋼材に関する研究発表会）

○2018年11月28日

「破壊じん性試験規格の変遷と試験規格改正に対する鉄鋼部会の取組み－CTOD試験法WES 1108およびISO 15653の主な改正点－」（第17回溶接構造用鋼材に関する研究発表会）

### （2）講演会

○2009年5月27日

演 題：Case Studies in Computational Fracture Mechanics

講 師：Ph.D Ted Anderson（Quest Integrity Group）

## 9.3 今後の活動予定

### 9.3.1 各種WESの制定

鉄鋼部会の活動は、その年代年代に解決を必要とされた鉄鋼メーカーとユーザーとの共通課題を取り上げ、多くの成果を挙げてきた。その成果は、多くのWESとして制定・改正されるとともに、時代に応じた新技術として、産業界に提示されている。

その中で、破壊じん性にかかわる研究は、当部会の主要な研究テーマと位置付けられ、溶接鋼構造物の安全性評価のために、WES 2805「ぜい性破壊に関する溶接欠陥の許容判定基準」として1976年に規格化された。この規格は、国内での欠陥評価や溶接構造物の安全設計基準となり、海外からも高く評価されている。本規格は2001年から開始された見直し、調査および改正作業に基づいて内容を一新し、新たな技術を導入した全面改正版が2007年に発行され、2011年にはさらなる改正を行った。

また、阪神大震災を契機に、大地震時の建築鉄骨柱梁接合部のぜい性破壊防止に有益な破壊性能評価手法を確立し、WES 2808「動的繰返し大変形によるぜい性破壊評価」として2003年に制定・発行された。本規格は2017年に改正され、鋼材の適用強度クラス、構造部位の適用対象の範囲拡大と、破壊力学の発展に基づく評価精度向上を目的とし、溶接部も含めた評価手順として適用できるようにした。

1995年に日本で初めてのCTOD試験方法の規格（WES 1108「亀裂先端開口変位CTOD試験方法」およびWES 1109「溶接継手部CTOD試験方法に関する指針」）を制定した後、CTOD算定式の精度改善の研究を行い、新CTOD算定式を確立し、WES 1108を2016年に改正した。

疲労亀裂伝播性能評価に用いられるASTM E647やISO 12108をベースに、厚鋼板に適用する観点からの問題点抽出、各機関での試験実施状況の整理、規格化に関する意見集約を実施し、2014年にWES 1111（疲労亀裂伝播試験方法）を制定した。

また、ぜい性亀裂伝播停止特性評価試験方法の規格として、2014年に世界で初めてWES 2815「ぜい性亀裂アレストじん性試験方法」を制定した。2015年には、標準仕様書WES-TS 2816「プレス切欠き曲げ試験片を用いたぜい性亀裂アレストじん性簡易試験方法」を制定した。

ん性簡易試験方法」を制定した。

### 9.3.2 新委員会発足と今後の活動

2017年度でLDF II 委員会が終了したことに伴い、新たにテーマ化すべき技術課題を技術委員会および幹事会メンバーで検討している中、（一財）日本海事協会より、大型コンテナ船のハッチサイドコーミングや強力甲板等の縦強度部材に使用される板厚50mmを超える極厚鋼板の突合せ溶接継手のCTOD要求値の明確化に関し、日本溶接協会をプラットフォームとした共同研究の提案があった。

本提案に対し、（一財）日本海事協会と鉄鋼部会にて協議を重ね、大型コンテナ船を対象とした極厚鋼板（板厚50～100mm）の突合せ溶接継手に対するCTODクライテリア設定要領を世界に先駆けて確立することで、日本の海事クラスターの国際的なプレゼンスを向上させることが可能で、かつ得られた知見はWES 1109やWES 2805の改正作業に反映させることが可能である。2018年度より新たにCRB委員会（CTOD Requirement for Butt Joint）を立ち上げた。CRB委員会では、次の研究活動を行う予定である。

(1) 大型コンテナ船に使用される極厚鋼板突合せ溶接継手の必要CTOD値の明確化、K<sub>c</sub>値（DN試験）と限界CTOD値の対応性把握ならびに船体構造設計の許容応力上昇に伴う必要CTOD値への影響調査。

(2) 上記(1)で得られた知見をもとに、WES 1109（溶接熱影響部CTOD試験方法に関する指針）の改正。

(3) WES 2805（溶接継手のぜい性破壊発生および疲労亀裂進展に対する欠陥の評価方法）が適用可能なひずみ集中部の明確化や拡張への反映。

鉄鋼部会では、破壊力学や欠陥評価技術をベースに、溶接鋼構造物の設計、施工、鉄鋼材料の適正な改善バランスを得るための安全性評価手法を検討している。構造物の安全性評価技術の向上は、鋼構造物の設計ランクに応じ、低コストで耐久性のある鋼構造物の普及につながる。

今後も大学および研究機関の学識経験者からの指導、需要家各位の協力を受け、世の中のニーズに応え、産業界に貢献できる研究活動を推進していきたい。