

JWES-IS-9001

溶接部CTOD試験法の検討

——FTW委員会共同研究総合報告書——

平成2年2月

社団法人 日 本 溶 接 協 会

鉄鋼部会 技術委員会 FTW委員会

本報告書は（社）日本溶接協会鉄鋼部会に昭和60年度より設置され平成元年度までの5年間にわたり活動したFTW委員会「溶接部CTOD試験法の検討」の活動成果の総合報告である。この間、同部会参加のミルメーカーはもとより多くのファブリーケーターの絶大な御協力を得て一応の区切りをつけることが出来た。この間開催した会議の回数は幹事会を含め25回にのぼり、試験鋼板の提供、溶接施工、試験片製作、実験、データの解析、技術検討その他にわたり、関連企業からは委員を通じて多大の御協力を賜った。また中立機関の委員には実験、解析、技術的討議に関し惜しみない御協力をいただいた。

ここに本委員会活動に関わった各位に深甚な感謝を捧げるものである。

平成2年2月

（社）日本溶接協会鉄鋼部会
FTW委員会
主査 町 田 進

目次

委員会名簿
はじめに
研究目的

第 I 編 実験及び考察

1. 実験
 1. 1 実験 I
 1. 1. 1 実験内容及び分担
 1. 1. 2 供試材と溶接条件
 1. 1. 3 CTOD 試験
 1. 2 実験 II
 1. 2. 1 実験内容及び分担
 1. 2. 2 供試材と溶接条件
 1. 2. 3 CTOD 試験
2. 試験手法に関する検討
 2. 1 予亀裂導入法の検討
 2. 2 サブサイズ試験の検討
 2. 3 減厚 CTOD 試験の検討
 2. 4 K 開先と X 開先の比較
3. LBZ 寸法と CTOD
 3. 1 HAZ の LBZ
 3. 2 LBZ 寸法と CTOD 値
4. シミュレーション解析
 4. 1 解析モデル
 4. 2 解析結果
 4. 2. 1 LBZ と CTOD
 4. 2. 2 API 基準の検討
 4. 2. 3 LBZ 寸法と低 CTOD 出現確率
 4. 2. 4 溶接部 CTOD の板厚効果

第Ⅱ編 溶接部CTOD試験法のあり方

まえがき

1. 破壊靱性試験の目的
 2. 溶接
 3. 試験片形状
 3. 1 試験片の種類
 3. 2 試験片寸法・亀裂寸法
 4. 試験片の Notching 手法
 5. 亀裂前縁に占める組織の決定とその影響
 5. 1 亀裂前縁の組織の決定
 5. 2 多層溶接部の組織分類と局部的脆化部 (LBZ)
 6. 溶接HAZ靱性試験の Validity 判定
 6. 1 溶接HAZ部のへき開破壊発生と組織
 6. 2 亀裂前縁に占める注目する組織の寸法決定法
 6. 3 亀裂前縁に沿う靱性劣化部 (LBZ) 寸法の影響
 6. 4 限界値評価におけるポップインの意義
 7. 溶接部に存在する強度不均質の影響
 8. 破壊靱性値のばらつきと試験片本数
- あとがき

おわりに

- 付録Ⅰ 溶接部CTOD試験要領
付録Ⅱ 試験結果一覧表 (実験Ⅰ)
付録Ⅲ 試験結果一覧表 (実験Ⅱ)
付録Ⅳ LBZの測定結果 (実験Ⅱ)

F T W 委員会名簿

主査	町田 進	東京大学 工学部 船舶海洋工学科
	萩原 行人	新日本製鐵(株) 第2技術研究所 厚板条鋼研究センター
幹事	栗原 正好	日本鋼管(株) 鉄鋼研究所 鋼材研究室
	小野塚 正一	石川島播磨重工業(株) 技術研究所 構造強度部
委員	吉成 仁志	東京大学 工学部 船舶海洋工学科
	安部 研吾	(株)神戸製鋼所 加古川製鐵所 鋼板開発部
	有持 和茂	住友金属工業(株) 鉄鋼技術研究所 熱延材料研究室
	安藤 柱	横浜国立大学 工学部 物質工学科
	石川 博	日本鋼管(株) 商品技術センター 鋼材技術部
	糸賀 興右	川崎重工業(株) 技術研究所 溶接・加工研究室
	岩館 忠雄	(株)日本製鋼所 室蘭製作所 技術研究所
	大谷 幸三郎	新日本製鐵(株) 厚板技術部
	小倉 信和	横浜国立大学 工学部 物質工学科
	梶 晴男	(株)神戸製鋼所 厚板技術部
	梶本 勝也	三菱重工業(株) 広島研究所 材料・強度研究室
	金田 重裕	東京大学 工学部 船舶海洋工学科
	木内 晃	(株)神戸製鋼所 機械研究所
	久保 高宏	川崎製鐵(株) 鉄鋼研究所 鋼材研究部
	酒井 啓一	石川島播磨重工業(株) 技術研究所 構造強度部
	酒井 讓	横浜国立大学 工学部 物質工学科
	作井 新	日本鋼管(株) 鉄鋼研究所 鋼材研究室
	鈴木 康弘	東京大学 工学部 船舶海洋工学科
	高嶋 修嗣	(株)神戸製鋼所 加古川製鐵所 鋼板開発部
	豊貞 雅宏	九州大学 工学部 造船学科
	豊田 政男	大阪大学 工学部 生産加工工学科
	中野 英樹	(株)神戸製鋼所 厚板技術部
	成本 朝雄	川崎製鐵(株) 鉄鋼研究所 厚板特殊鋼研究室
	西山 昇	川崎製鐵(株) 鋼材技術部
	藤井 英輔	船舶技術研究所 材料加工部
	別所 清	住友金属工業(株) 鋼板技術部
	道場 康二	川崎重工業(株) 技術研究所 溶接・加工研究室
	南 二三吉	大阪大学 工学部 生産加工工学科
	宮田 隆司	名古屋大学 工学部 材料機能工学科
	村井 亮介	三菱重工業(株) 広島研究所 材料・強度研究室
	矢島 浩	三菱重工業(株) 長崎研究所
	池原 平晋	(社)日本溶接協会
事務局	郡司 正明	(社)日本溶接協会
	浦辺 浪夫	日本鋼管(株)
元幹事	青木 真一	川崎製鐵(株)
	青木 満	(株)神戸製鋼所
元委員	下田 達也	日本鋼管(株)
	野原 和宏	日立造船(株)
	平部 謙二	日本鋼管(株)
	福原 幸雄	(株)神戸製鋼所
	渡辺 之	日本鋼管(株)

研究目的

前述したように研究内容の目的は大きく3つに分けられる。すなわち実験Ⅰ、実験Ⅱ、溶接部CTOD試験法のあり方とリコメンデーションの作成である。

実験Ⅰ

ここでは板厚50mm及び100mmの海洋構造物用50キロ級高張力鋼板（BS4340-50E相当）を用いて下記の4項目について実験的研究を行った。

（1）予き裂導入法の検討

溶接残留応力の影響により溶接部CTOD試験では直接疲労き裂加工を行うと、き裂形状が不均一になり、試験結果に影響を及ぼすことが考えられる。そのため、通常1%程度のプラテン（Pre-Compression）が行われるが、板厚が大きくなると、プラテンに要する荷重は膨大なものになる。そこで①プラテン法、②圧縮予荷重法、③高R比（ S_{min}/S_{max} ）法などでき裂形状の均一性と δ_c への影響度の検討を行い、最適方法を求める。

（2）簡易CTOD試験法の検討

標準のCTOD試験は原厚で行われるが、板厚が大きくなると上記（1）の問題なども含めて試験は容易でない。また、B×B試験の妥当性ならびにより小型のCTOD試験が確立できれば材料や溶接施工法の改良、開発にとっても便利である。そこで母材に対して検討されている板厚効果を溶接部にも適用し、その妥当性を明らかにすると共に簡便な小型CTOD試験法の検討を行う。

（3）CTOD試験結果の評価

溶接部は複雑な熱・ひずみサイクルを受けるため靱性は不均一に分布している。 δ_c はき裂先端に占める局部脆化域（ミリメートルのオーダーの領域）に支配されるが、靱性不均一のために結果のばらつきは大きい。そのため溶接部のどの位置をサンプリングしているかが問題になるし、信頼性のある結果を得るには何本の試験が必要であるかは議論のあるところである。

そのため、構造物及び部材の重要度に応じて必要な試験片本数や結果の評価の基準を明らかにすべく検討を進める必要がある。

実験Ⅱ

実験Ⅰの結果、とくに項目（3）の検討結果から、LBZがCTODに及ぼす影響についてより系統的实验の必要性が認識され、板厚50mmの同一規格材を用い、K開先、X開先についてパス数、溶接条件を揃え、予き裂導入、いわゆる二相域加熱粗粒熱影響部（ICCG HAZ）を中心に粗粒域にき裂先端が当たるように予き裂を注意深く導入し、これをAPI RP2Zの方式に準じてsectioningし、組織の同定を行ったのち、LBZの種類、大きさと δ_c の関係について考察する。

溶接部CTOD試験法の検討

実験Ⅰ、Ⅱ及びIIW第X委、WG”Fracture Mechanics Testing on Weldments”の報告、その他関連技術論文や資料を基に試験法のあり方、推奨事項、コメント、参考資料等を取りまとめる。

はじめに

CTOD試験は材料の破壊靱性 (δ_c) を求める試験として広く用いられており、 δ_c が材料選定の仕様にまでとりいれられる例が増えてきている。母材に対するCTOD試験はBS 5762-79で規格化されており、通常この規定にしたがって試験が行われる。不安定破壊発生に対する材料選定あるいは欠陥評価にあたっては、特に溶接部が問題になる。

しかし、溶接部CTOD試験については現在のところ規格化されている例はなく、国際的に認められ慣用されている基準もなく、個々のケース毎に対処しているのが現状である。

溶接部CTOD試験の場合には、母材CTOD試験に比べて、疲労予き裂の導入法、ポップインの評価、あるいは溶接部のもつ靱性の巨視的不均質性という特殊性を考慮する必要があり、本来均質材のもつばらつきに加えて、それに由来する δ_c のばらつきが著しく大きいなどの問題がある。このような問題点に関し共同研究を行い、溶接部CTOD試験およびその評価について統一的な見解をまとめ、標準試験法として確立していくことが緊急の課題になっている。

一方国際溶接学会 (IIW) 第X委員会ではこの問題の重要性を認め昭和60年同委員会内にWorking Group on Fracture Mechanics Testing on Weldmentsが設けられ阪大・佐藤邦彦教授 (当時) を主査に調査研究を開始し、昭和62年に溶接部CTOD試験法に関するガイドラインが東京大会において提案された。平成元年ヘルシンキ大会において現主査阪大・豊田政男教授より試験法及び試験結果の意義について報告された。

FTW委員会はそうした状況の中で昭和60年4月に日本溶接協会鉄鋼部会に設置され、海洋構造物用HT50鋼を共通供試鋼に用いた共同研究活動を始めた。

共同実験は大きく二つに分けることが出来る。一つは昭和61年～62年度にわたる実験Iであり、BS-4360 50E相当鋼の板厚50mm 1種、同100mm 2種についてSAWによるK及びX開先溶接継手を用いて (1) 予き裂導入法の検討、(2) 簡易試験法 (小型試験) の検討、(3) バラツキの検討、などを行った。この結果 (1) 及び (2) についてはある程度の結論が得られ溶接部CTOD試験法についてのコメントをまとめられる成果が得られた。(3) については主としていわゆるLBZとバラツキの問題であり、ASME OMAE Conference などでも注目を集めたテーマとなった。実験Iでは、材料、溶接条件、予き裂導入位置などにおいて必ずしも明瞭に結論を得ることが容易であるような本格的実験とはなっていないため、昭和62年～平成元年度にかけては実験IIとして特にLBZと溶接部CTODの関係を定量的に把握することに視点を絞った実験を行い、LBZと δ_c の関係について詳細に検討した。

FTW委員会のもう一つの目的は上記のような実験的研究によって溶接部CTOD試験のあり方について何らかの知見を得ると同時に、各種関連情報の収集とその検討を通じ、溶接部CTOD試験法についての注意事項や推奨事項をまとめることにある。

前記共同実験については本報告の第I編に、後者については第II編にとりまとめている。