

JWES-1S-7502

# 溶接構造用鋼板のボンド脆化に関する共同研究

— B E 委員会共同研究総合報告書 —

昭和 50 年 7 月

社団法人 日 本 溶 接 協 会  
鉄鋼部会 技術委員会 B E 委員会

## は し が き

社団法人日本溶接協会鉄鋼部会技術委員会では、先に J C 委ならび P C 小委員会により、鋼板の溶接割れ感受性を  $P_{cm}$  値として WES 135 に採り入れる作業を終了した。

次に鋼板の溶接性を考える上で未解決の重要な問題として溶接ボンド部の脆性破壊発生特性を判定するための規準確立が挙げられている。

そこで引続いて B E 委員会 (Bond Embrittlement) が組織され、この問題解決を目標に昭和 47, 48 年度にわたって溶接ボンド部の曲げ C O D 試験を中心とした共同研究が中立機関、施工機関、鉄鋼メーカー各社において分担実施された。

研究結果は同委員会内に組織された W.G 小委員会において以後検討され、本総合報告書として取りまとめられた。

なお B E 委員会ならびに W G 小委員会の構成を次に示す。

## 委 員 名 簿

		W G 小 委 員 会			
主 査	田 村 博	東京工業大学生産機械工学科			
副主査	稲 垣 道 夫	金属材料技術研究所溶接研究部			
幹 事	町 田 進	東京大学船舶工学科	主 査	町 田 進	東京大学船舶工学科
	伊 藤 慶 典	住友金属㈱中央技術研究所	委 員	伊 藤 慶 典	住友金属㈱中央技術研究所
	河 野 武 亮	石川島播磨重工㈱溶接センター		川 口 喜 昭	同 上
委 員	金 沢 武	東京大学船舶工学科		河 野 武 亮	石川島播磨重工㈱技術研究所
	小 倉 信 和	横浜国立大学材料工学研究施設		村 山 武 弘	同 上
	佐 藤 邦 彦	大阪大学溶接工学科		宮 田 隆 司	名古屋大学鉄鋼工学科
	宮 田 隆 司	名古屋大学鉄鋼工学科		西 村 誠 二	同 上
	西 村 誠 二	同 上		小 林 順 一	東京大学船舶工学科大学院
	堀 川 浩 甫	東京都立大学土木工学科		松 岡 雅 典	㈱神戸製鋼所鉄鋼事業部
	今 井 保 穂	防衛庁技術本部第1研究所		萩 原 行 人	新日本製鉄㈱製品研究所
	小 林 卓 也	船舶技術研究所溶接工作部	事務幹事	池 原 平 晋	日本溶接協会鉄鋼部会
	小 林 順 一	東京大学船舶工学科大学院			
	大 庭 浩	川崎重工㈱鉄鋼事業部			
	須 清 修 造	同 上			
	北 村 茂	船舶技術研究所船体構造部			
	松 井 繁 朋	川崎重工㈱溶接研究所			
	大 森 仁 平	住金溶接棒㈱			
	川 口 喜 昭	住友金属工業㈱中央技術研究所			
	村 山 武 弘	石川島播磨重工㈱溶接センター			
	薄 田 寛	三菱重工㈱高砂研究所			
	砂 本 大 造	同 上			
	三 浦 和 三	トーヨーカネツ㈱溶接研究室			
	内 田 昌 克	千代田化工建設㈱川崎工場			
	加 藤 進	日本ウエルディングロッド㈱研究部			
	奥 野 秀 夫	石井鉄工所㈱技術研究所			
	坪 井 潤 一 郎	川崎製鉄㈱技術研究所			
	青 木 真 一	同 技術開発部			
	五 代 友 和	神戸製鋼所溶接棒事業部			
	笠 松 裕	同 鉄鋼事業部			
	松 岡 雅 典	同 上			
	三 波 建 市	新日本製鉄㈱製品技術研究所			
	萩 原 行 人	同 上			
	佐 藤 誠	同 上 技術開発部			
	田 中 甚 吉	日本鋼管㈱技術研究所			
	滝 川 信 敬	同 鉄鋼技術部			
	太 田 幹 二	同 上			
	大 橋 明	㈱日本製鋼所鉄鋼技術部			
	進 藤 弓 弦	同 研究所			
部会幹事	小 倉 英 好	三菱製鋼㈱技術部			
	落 合 治	住友金属工業㈱東京技術部			
	石 沢 隆 夫	㈱神戸製鋼所鉄鋼生産本部			
事務幹事	池 原 平 晋	日本溶接協会鉄鋼部会			

# 目 次

1.	緒 言 .....	1
2.	供試鋼と溶接条件 .....	4
2.1	試験材の種類およびコード記号 .....	4
2.2	供試母材 .....	5
2.3	溶接条件 .....	6
3.	試 験 内 容 .....	7
3.1	試験項目 .....	7
3.1.1	母材に関する試験 .....	7
3.1.2	溶接部に関する試験 .....	7
3.2	供試材別実施試験項目および試験担当 .....	9
4.	試験結果と考察 .....	10
4.1	引張特性およびボンド近傍の硬さとの関係 .....	10
4.1.1	引張特性 .....	10
4.1.2	ボンド近傍の硬さと引張特性との関係 .....	12
4.2	シャルピ試験 .....	14
4.2.1	破面遷移温度とエネルギー遷移温度 .....	14
4.2.2	vTs と溶接条件 .....	16
4.2.3	溶接継手ボンド部の vTs の推定方法への試み .....	19
4.3	COD試験 .....	22
4.3.1	$\delta_c$ 値の温度依存性 .....	23
4.3.2	溶接条件と $\delta_c$ .....	27
5.	ボンド部靱性の評価方法と材質判定 .....	30
5.1	靱性評価のための破壊力学的諸概念について .....	30
5.2	ボンド部材質評価のための要求靱性レベルの設定について .....	31
5.3	限界COD値に基づくボンド部靱性評価 .....	33
5.3.1	$I_{TK}$ 温度による評価 .....	33
5.3.2	$I_{T\delta}$ 温度による評価 .....	34
5.3.3	$I_{T\rho}$ 温度による評価 .....	34
5.3.4	$T_y$ 温度による評価 .....	34
5.3.5	$II_{T\delta}$ 温度による評価 .....	35
5.3.6	$II_{T\rho}$ 温度による評価 .....	35
5.3.7	$T_i$ 温度による評価 .....	37
5.3.8	各種評価温度一覧 .....	37
5.4	各種評価方法とVシャルピ試験との相関ならびにVシャルピ試験による材質判定 .....	39
5.4.1	$I_{TK}$ 温度と vTs .....	39
5.4.2	$I_{T\delta}$ 温度と vTs .....	43
5.4.3	$I_{T\rho}$ 温度と vTs .....	45
5.4.4	$T_y$ 温度と vTs .....	45
5.4.5	$II_{T\delta}$ 温度と vTs .....	48
5.4.6	$II_{T\rho}$ 温度と vTs .....	50
5.4.7	$T_i$ 温度と vTs .....	52
6.	結 語 .....	54

参 考 文 献	.....	5 4
附 錄 1.	.....	5 5
附 錄 2.	.....	5 8

# 1. 緒 言

## 1.1 本委員会の目的

近年の溶接構造物の大型化にともなって、使用される鋼材とその溶接法には著しい進歩がみられ、高張力鋼や大入熱溶接法の採用が広く行われるようになった。しかし一方では、いわゆるボンド脆化という現象が、構造物の脆性破壊に対する安全性を配慮する上で重要な課題とされてきている。一般に構造物の溶接継手は、脆性破壊の発生が特に憂慮されるが、ボンド部は溶接継手において最も材質が劣化する部分である。従って、現状の各種溶接継手が脆性破壊の発生に対してどの程度の安全性をもっているかを明らかにすると同時に、材料や溶接法の合理的選択、あるいは施工および欠陥管理などの指針となるべき、溶接継手ボンド部の材質判定基準の確立が強く望まれている。

本委員会は以上の状況にかんがみ、脆性破壊発生特性からみた溶接継手ボンド部の材質判定法を、COD試験を中心とする系統的な共同研究によって検討することを目的とした。現用の各種構造用鋼板にできるだけ多くの溶接法を適用し、そのボンド部の靱性を系統的に調査した。脆性破壊発生特性を求めするために採用した曲げCOD試験は、力学的意義を持つ特性を求めための比較的小型な試験法として、最近有望視されているものの一つである。しかしながら、実用上の観点からは、シャルビ衝撃特性による材質判定が望まれるので、本委員会は、曲げCOD試験によつて得られる脆性破壊発生特性とシャルビ衝撃特性の相関を検討することを主要な目的とした。

## 1.2 本委員会の経過

本委員会の第1年次（47年度）は、HT80およびHT60に関する共同実験を実施した。その細目を表1.2.1に示す。

第2年次（48年度）は、HT50および軟鋼に関する共同実験を実施した。その細目を表1.2.2に示す。

第3年次（49年度）は、第1年次および第2年次の共同実験データを整理し、材質判定法を検討した。この作業は、ワーキンググループが主に担当した。

委員会およびワーキンググループの開催状況を、表1.2.3に示す。

## 1.3 本報告書について

本委員会の共同研究を通じて、膨大なデータが集積された。データの書式は本報告書の附録2に示すとおりであるが、本報告書にすべてのデータを記載することは不可能であったので、材質判定法を検討するために必要なデータに限定した。原データは日本溶接協会に保管してあるので、適宜役に立てていただきたい。

表 1.2.1 第1年次（47年度）共同研究

鋼種	溶接法	担 当 者
HT80	手アーク	三菱重工業，神戸製鋼所，川崎製鉄，住友金属工業，石川島播磨重工業
	サブマージ	日本製鋼所，東京大学，神戸製鋼所，川崎製鉄，住友金属工業
	M I G	神戸製鋼所，住友金属工業
HT60	手アーク	日本鋼管，新日本製鉄
	サブマージ	日本鋼管，神戸製鋼所，新日本製鉄
	エレガス	トーヨーカネツ，日本鋼管
	C O <sub>2</sub>	川崎重工業，（東京大学）

（ ）内はCOD試験担当者

表 1.2.2 第2年次（48年度）共同研究

鋼種	溶接法	担 当 者
HT50	手アーク	日本鋼管，新日本製鉄
	サブマージ	名古屋大学，川崎製鉄，住友金属工業，新日本製鉄
	エレガス	日本鋼管，トーヨーカネツ（東京大学）
	C O <sub>2</sub>	名古屋大学
軟 鋼	C E S	川崎製鉄，住友金属工業，石川島播磨重工業，（東京工業大学）
	手アーク	新日本製鉄
	S A W	住友金属工業
	エレガス	神戸製鋼所，住友金属工業
C E S	石川島播磨重工業，（東京大学）	

表1.2.3 委員会開催状況

回数	開催日	開催場所	参加者数	主 な 議 題
	47. 5. 18	竜名館	1 2	○ BE委員会設立の準備, ○ BE委員会共同研究方案
1	47. 6. 6	私学会館	2 3	○ 予備試験方案検討
2	47. 8. 10	私学会館	2 2	○ CODアプローチと溶接構造物における各種欠陥の破壊力学的評価について ○ 溶接部COD試験方法(案) ○ 2Vシャルピ試験とDeepNotch Testとの相関について(第1報)
3	47. 9. 28	私学会館	2 3	○ 2Vシャルピ試験とDeepNotch Testの相関について(第2報) ○ シャルピ試験とデープノッチ試験の相関データ ○ 80 kg/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼溶接部のCOD試験方案
4	47. 11. 10	私学会館	2 3	○ HT50~HT80の $vT_s$ 値からの $[Ti]_{c=40}$ の推定結果(3種類)
5	47. 11. 30	私学会館	2 4	○ $vT_s$ から $[Ti]_{c=40}$ の推定結果 ○ 溶接ボンド部の表面切欠からの脆性破壊 ○ ボンドの切欠位置の相違が脆性破壊発生特性に及ぼす影響
6	48. 2. 6	私学会館	2 1	○ 共同試験研究の各社分担と予定 ○ 溶接継手に必要な靱性について ○ 各社の予定表
7	48. 3. 19	私学会館	1 6	○ ボンド部COD試験結果の報告 ○ 共同研究結果報告(2件) ○ ボンド脆化とCODに関する研究報告
8	48. 6. 18	鉄鋼会館	2 4	○ 共同試験中間報告(8件) ○ 48年度共同試験アンケート報告
9	48. 7. 27	私学会館	2 2	○ 80 kg/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼板K-TEN80のCOD試験結果 ○ HT80ボンド部材質判定試験案 ○ HT80大型試験結果 ○ 48年度共同研究について ○ 静的曲げ試験とDeep notch Testとの相関に対する参考資料 ○ HW70(2U-Ultra)鋼板の母材および ○ ボンド部の限界COD値
W・G (1)	48. 9. 28	私学会館	1 1	○ 共同試験のまとめについて
W・G (2)	48. 11. 26	私学会館	7	○ 溶接ボンド部の材質判定について(素案) ○ BE委員会共同研究データシート集 ○ 静的曲げ試験から求めた $[Ti]_{c=40}$ と $vT_s$ の相関について(図) ○ 47年度BE委員会共同研究データ一覧 ○ 共同研究まとめ結果
10	49. 1. 17	私学会館	2 3	○ Study of brittle fracture initiation from surface notch in welded fusion line ○ 溶接ボンド部表面切欠からの脆性破壊発生に関する一考察 ○ " " 破壊に及ぼす諸因子の影響 ○ " " 脆性破壊

回数	開催日	開催場所	参加者数	主 な 議
10	49. 1. 17	私学会館	23	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ BE委員会共同研究データ一覧</li> <li>○ 脆性破壊発生特性からみた高張力鋼溶接継手のボンド部材質評価について</li> <li>○ W・Gの報告</li> <li>○ 溶接ボンド部のデータ整理結果</li> <li>○ 共同研究データシート集 (Kc 値線)</li> <li>○ 静的曲げ試験から求めた<math>[Ti]_{c=40}</math>との関連について</li> </ul>
W・G (3)	49. 2. 12	私学会館	14	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ デイブノッチによる評価</li> <li>○ <math>\rho^+</math>による評価</li> <li>○ Burdekin 方式</li> <li>○ Ty 評価</li> </ul>
11	49. 5. 17	竜名館	19	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 48年度共同研究の報告 (6件)</li> <li>○ W・Gの報告</li> <li>○ Ty 評価とシャルピー衝撃特性</li> </ul>
W・G (4)	49. 9. 11	私学会館	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 共同研究報告</li> <li>○ COD説による溶接ボンド部靱性評価</li> <li>○ <math>[Ti]_{c=40}</math>と<math>vT_s</math>から求めた<math>[Ti]_{c=40}</math>との関係</li> <li>○ <math>\rho^+</math>アプローチによる整理</li> <li>○ 共同研究まとめについての試案</li> </ul>
W・G (5)	49. 10. 14	竜名館	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kc 値線データシート集 (48年度分)</li> <li>○ <math>\rho^+</math>アプローチによる整理 etc</li> <li>○ Ty 評価によるデータ整理 (48年度分)</li> <li>○ 溶接ボンド部シャルピー <math>vT_s</math> の推定の一方法</li> <li>○ HT80鋼ボンドシャルピー <math>vT_s</math> と Cooling time</li> </ul>
W・G (6)	49. 11. 11	竜名館	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ COD説による溶接ボンド部靱性評価</li> <li>○ <math>\rho^+</math>アプローチによる整理</li> <li>○ Ty 評価によるデータ整理</li> </ul>
W・G (7)	50. 3. 12	東大船舶会議室	7	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 総合まとめについて (まとめの担当)</li> </ul>
W・G (8)	50. 3. 25	私学会館	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 総合まとめについて案の検討</li> </ul>
W・G (9)	50. 4. 23	私学会館	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 総合まとめについて (再)</li> </ul>