

JWES-IS-7504

脆性破壊発生特性に基づく鋼体の材質
判定規準の確立に関する共同研究

— T M 委員会共同研究綜合報告書 —

昭和 50 年 11 月

社団法人 日 本 溶 接 協 会
鉄鋼部会 技術委員会 T M 委員会

は し が き

昭和44年4月，(社)日本溶接協会 鉄鋼部会技術委員会に TM委員会が設置されて以来 CODに関する調査研究，脆性破壊発生および伝播特性におよぼす板厚効果に関する研究，WES 136の適用板厚範囲の拡大および板厚効果係数の改正案作成などを中立機関，鉄鋼メーカー，施工機関の共同作業で行ってきた。そして，WES 136に関する作業結果は改正(昭和48年7月)という形で公表された。

一方，CODについての調査研究ならびにそれに基づく共同実験の結果は，COD説にもとづく材質評価のWES 136への導入という問題につながるものであり，この種の基準が実際に使われる状況を考え合わせると，導入の基本思想や具体的方法といった点に関しての論議が煮つまるのにかなりの時間を要した。このような経過のため，CODに関連した共同実験の成果の公表も据置かれた結果になったのであるが，COD基準によるWES 136の一部改正の原案がまとめられた機会にこれら共同実験の成果と共にそれを公表することとなり，当委員会に組織された二つの小委員会の作業によって本総合報告書としてまとめられたのである。

TM委員会ならびに小委員会の構成は別記の通りであり，ここに関係諸機関，委員各位の御協力に心から御礼を申し上げる。

昭和50年11月

TM委員会主査

金 沢 武

委 員 名 簿

	氏 名	所 属
主 査	○ 金 沢 武	東京大学 船舶工学科
副 主 査	○ 町 田 進	東京大学 船舶工学科
幹 事	○ 越 賀 房 夫	日本鋼管(株)技術研究所
"	○ 矢 貫 徹	東京芝浦電気(株)重電技術研究所
委 員	安 藤 良 夫	東京大学 原子力工学科
"	青 木 真 一	川崎製鉄(株)技術開発部
"	秋 山 俊 弥	日本鋼管(株)技術研究所
"	有 井 満	東京芝浦電気(株)重電技術研究所
"	飯 田 国 広	東京大学 船舶工学科
"	池 田 一 夫	(株)神戸製鋼所構造研究所
"	石 沢 隆 夫	(株)神戸製鋼所鉄鋼生産本部
"	稲 垣 道 夫	金属材料技術研究所溶接研究部
"	○ 岩 永 寛	住友金属工業(株)中央技術研究所
"	太 田 幹 二	日本鋼管(株)鉄鋼技術部
"	大 塚 昭 夫	名古屋大学 鉄鋼工学科
"	○ 大 橋 明	(株)日本製鋼所 鉄鋼技術部
"	大 庭 浩	川崎重工業(株) 鉄構事業部
"	小 倉 信 和	横浜国立大学付属材料基礎工学研究施設
"	落 合 治 裕	住友金属工業(株)東京技術部
"	笠 松 裕 茂	(株)神戸製鋼所鉄鋼生産本部
"	北 村 茂 一	船舶技術研究所船体構造部
"	工 藤 純 一	川崎製鉄(株)技術研究所
"	○ 国 谷 治 郎	(株)日立製作所日立研究所
"	○ 栗 田 義 之	日本鋼管(株)技術研究所
"	黒 沢 正 蔵	東京大学 原子力工学科
"	○ 小 林 順 一	東京大学 船舶工学科
"	○ 酒 井 啓 一	石川島播磨重工業(株)技術研究所
"	佐々木 良 一	(株)日立製作所日立研究所
"	佐 藤 誠	新日本製鉄(株)技術開発部
"	進 藤 弓 弦	(株)日本製鋼所室蘭製作所研究所
"	須 清 修 造	川崎重工業(株)鉄構事業部
"	砂 本 大 造	三菱重工業(株)高砂研究所
"	谷 口 至 良	新日本製鉄(株)製品技術研究所
"	○ 豊 貞 雅 宏	日立造船(株)技術研究所
"	○ 中 野 善 文	川崎製鉄(株)技術研究所
"	永 井 明	日立造船(株)技術研究所
"	○ 西 村 誠 二	名古屋大学鉄鋼工学科
"	○ 萩 原 行 人	新日本製鉄(株)製品技術研究所
"	藤 井 英 輔	船舶技術研究所溶接工作部
"	船 越 督 己	川崎製鉄(株)技術研究所
"	正 岡 功	(株)日立製作所日立研究所
"	○ 松 岡 雅 典	(株)神戸製鋼所鉄鋼生産本部
"	○ 松 村 裕 之	川崎重工業(株)技術研究所
"	三 村 宏	新日本製鉄(株)製品技術研究所
"	宮 田 隆 司	名古屋大学 鉄鋼工学科
"	矢 田 敏 夫	石川島播磨重工業(株)溶接センター
事務幹事	池 原 平 晋	(社) 日本溶接協会

* ○印は報告書まとめ委員

目 次

は し が き	1
委員会名簿	2
1. 緒 言	5
2. 供 試 鋼	9
3. 試 験 内 容	10
3・1 試験項目	10
3・1・1 基礎試験	10
3・1・2 切欠付引張試験	10
3・1・3 切欠付曲げ試験	10
3・1・4 衝撃曲げ試験	11
3・1・5 円周切欠丸棒引張試験	11
3・2 供試材別実施試験項目及試験担当	12
4. 試験結果と考察	13
4・1 引張特性	13
4・2 シャルビ試験	14
4・2・1 試験結果	14
4・2・2 考 察	17
4・3 切欠付引張試験	20
4・3・1 解析方法及測定要領	20
4・3・2 Side Notch vs. Center Notch	23
4・3・3 切欠比の影響	25
4・3・4 大型, 小型の関係	26
4・3・5 板厚効果	28
4・3・6 Notch Acuity 影響	31
4・4 切欠付曲げ試験	32
4・4・1 解析方法及測定要領	32
4・4・2 荷重様式影響	35
4・4・3 切欠比の影響	36
4・4・4 形状効果	38
4・4・5 Notch Acuity 影響	42
4・5 衝撃曲げ試験	46
4・5・1 解析方法及測定要領	46
4・5・2 実験結果	46
4・6 円周切欠丸棒引張試験	47
4・6・1 解析方法及測定要領	47
4・6・2 半径影響	47
4・7 総合考察	51
4・7・1 切欠付引張試験と切欠付曲げ試験	51
4・7・2 静的試験と動的試験	53
4・7・3 拘束影響	55
4・7・4 Fibrous Crack 発生問題	57

4・7・5 板厚効果	6 0
4・7・6 Notch Acuity 問題	6 0.
5. 靱性の評価方法と材質判定	6 1
5・1 靱性評価のための破壊力学的諸概念について	6 1
5・2 材質評価のための要求靱性レベルの設定について	6 2
5・3 限界COD値に基づく靱性評価	6 3
5・3・1 力学的設定条件による破壊発生温度	6 3
5・3・2 破壊様式遷移点を用いる評価	6 4
5・4 各種評価方法とV Charpy との相関 及 V Charpy 試験による評価	6 4
5・4・1 力学的設定条件	6 4
5・4・2 破壊様式遷移	6 6
6. W E S 1 5 6 改正の要点	7 0
7. 結 語	7 1
参 考 文 献	7 2
附 録	7 3

1. 緒 言

1.1 本委員会の目的とその経緯

鋼材の脆性破壊に対する特性は、便宜上、発生特性と伝播特性とに分けて取り扱われていることは周知のとおりである。したがって材質の評価もそのどちらに対して行うかによって自ら異なるのであるが、どちらで評価すべきかは材料の使用条件（構造物の種類、対象構造要素の部位、強度上占める位置、設計段階で要求する安全性や信頼性の度合いなど）によって個々に判断すべき問題である。

一方、現行の（社）日本溶接協会 WES 1 3 6 “低温構造用鋼板材質判定基準”は伝播特性試験に線型破壊力学を適用することにより近似理論を基に作成されており、ここ十数年間それなりの使用実績をあげている。そこでは材質の評価はもっぱら伝播特性に関してなされている。実際の現象を考えれば、発生特性に基づく評価も非常に重要であることは言うまでもないことであるが、上記の現状は、発生特性に関しては中低強度鋼の場合、線型破壊力学の適用が困難なこと、影響因子が多様で複雑なことなどのために評価が容易ではないという事情によっていた。

しかしながら約10年程前からA.A.Wellsにより着目されたクラックの塑性開口変位（COD）がその後の研究により次第に大規模降伏下の破壊特性量として役立つことが判明し、中低強度鋼の脆性破壊発生特性に基づいて材質評価の定量的取扱いやその材質判定基準への導入という問題に曙光をみるに至った。

上記のような背景のもとにTM委員会はCOD説ならびにその工学的適用度の実験的調査、データ蒐集の意義を認識し、関係研究機関、製鋼会社、施工会社の共同実験と討議により、破壊基準値としてのCODの各種の様相を究明し、さらに進んでそれらの結果、および国内外の情報をも参照しながらこれらを材質評価に導入することを検討し、WES 1 3 6 一部改正試案を作成することを目的とした。

1.2 本委員会の経過

委員会、小委員会、報告書作成Working Group および WES 1 3 6 規格改正案作成 Working Group の開催状況を表1.2.1に一括して示す。

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・シートの記載例は本報告書の附録2に示すとおりであるが、本報告書にすべてのデータを載せることは紙面の都合上、不可能であったので、解析及び材質判定法を検討するに必要なデータに限定した。

データ・シートのすべては（社）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 委員会開催状況

回数	日	時	主 な 議 題
1	44.	5. 28	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会設立趣旨と今後の運営方針 ○ 破壊条件としてのCOD説について — 展望 — 第1報 ○ クリップゲージによるCODの測定 ○ COD関係文献2件紹介
2	44.	8. 5	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会活動方針等の討議 ○ ダブルノッチ引張試験によるCODの直接計測 ○ COD関係文献3件紹介
3	44.	10. 13	<ul style="list-style-type: none"> ○ 破壊条件としてのCOD説について — 展望 — 第2報 ○ 予荷重が脆性破壊事故防止に果たす役割のDugdale 模型による機構の考察 ○ きれつの開口変位の計測 ○ COD関係文献3件紹介
4	44.	12. 17	<ul style="list-style-type: none"> ○ Slow Bend TestによるCOD測定について ○ 亀裂先端の開口変位の計測 — 静電容量による方法 — ○ 有限要素法によるCODの解析側 ○ Tensile Yield Zone Size Criterion にもとづく予荷重効果の諸公式
5	45.	2. 18	<ul style="list-style-type: none"> ○ 脆性破壊発生のクライテリオンを求めて ○ きれつの変形挙動と脆性破壊 ○ 曲げ応力場における塑性域長さや亀裂開口量の計算
6	45.	4. 22	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会昭和45年度計画 ○ CODにおよぼす板厚の効果 ○ CODに関する2, 3の実験 ○ 八幡東研データに対するρ^+概念の適用
7	45.	6. 24	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会の今後の運営について ○ 超厚板(板厚効果)に関する研究方案 ○ 疲労蓄積材の脆性破壊発生特性 ○ 切欠底幅及び切欠深さのCOD値に及ぼす影響について ○ 任意応力分布下の脆性破壊発生 ○ A, Eの計測法と2~3の実験例について ○ CODに関する2, 3の実験 ○ 予荷重及び溶接残留応力により亀裂先端に残留応力が存在する場合の脆性破壊発生特性 ○ 曲げ応力場における亀裂開口量
8	45.	9. 16	<ul style="list-style-type: none"> ○ 板厚効果に関する共同研究実施方案 ○ 脆性破壊伝播停止特性に対する板厚の影響 ○ WOL試験について ○ 板厚効果に関するR.W. Nicholsのデータについて
9	46.	1. 27	<ul style="list-style-type: none"> ○ 板厚効果に関する共同研究中間報告 ○ 脆性破壊関係文献3件紹介
10	46.	3. 31	<ul style="list-style-type: none"> ○ Welcon 2H Super (板厚50mm)のESSOの試験結果 ○ 板厚効果に関する共同研究中間報告: 2件 ○ " 実施方案: 1件
11	46.	5. 24	<ul style="list-style-type: none"> ○ 昭和45年度分担試験(板厚効果に関する)報告: 6件 ○ 脆性破壊伝播停止特性に関する板厚効果 ○ 3000トンテストリグの概要について

11	46. 5. 24	○ 昭和46年度研究計画
12	46. 7. 19	○ 昭和45年度分担試験(板厚効果に関する)報告:2件 ○ 昭和45年度委員会報告作成小委員会の設置 ○ 昭和46年度研究実施方案の審議
13	46. 8. 10	○ 昭和46~47年度共同研究計画の討議
14	46. 9. 3	○ 昭和46~47年度共同研究実施方案の説明 ○ " 用供試材の配分 ○ 極板厚(100t)の二重引張試験結果 ○ 二重引張試験結果に及ばず板厚の効果
15	46. 9. 30	○ 昭和46~47年度共同研究実施方案の問題点討議 ○ 材料支給予定の説明
16	47. 3. 14	○ 昭和45年度共同研究報告 ○ 昭和46~47年度共同研究実施要綱の説明 ○ 鋼構造物中に生ずる各種欠陥の破壊力学的評価について(HPI, SD委員会最終報告)
17	47. 6. 9	○ 板厚効果係数に関するアンケート回答 ○ 昭和46~47年度共同研究中間報告:5件
18	47. 9. 6	○ 曲げ試験のCODチャート ○ WES 136 改訂案 ○ 昭和46~47年度共同研究中間報告:8件
19	47. 11. 29	○ 昭和46~47年度共同研究中間報告:9件
20	48. 2. 26	○ 昭和46~47年度共同研究第1次まとめ ○ 昭 " 中間報告:10件
21	48. 5. 30	○ 昭和46~47年度共同研究第2次まとめ ○ " 中間報告:3件 ○ " とりまとめ小委員会発足
(小委員会1回)	48. 6. 13	○ 昭和46~47年度共同研究第3次まとめ ○ COD Testing DD19:1972 検討
(小委員会2回)	48. 7. 6	○ 昭和46~47年度共同研究第4次まとめ ○ COD近似式の導出 ○ I.I.W. レポート検討
(小委員会3回)	48. 7. 14	○ I.I.W. レポート検討
22	48. 7. 27	○ 昭和46~47年度共同研究第5次まとめ ○ " 分担報告:2件 ○ COD Testing ; DD19:1972 } 紹介 K _{IC} Testing ; DD 3:1971
23	48. 9. 12	○ 昭和46~47年度共同研究第6次まとめ ○ " 中間報告:1件 ○ 溶接ボンド部の材質判定法試案
24	49. 3. 25	○ 2Vシャルピ試験とDeep Notch testとの相関について ○ 静的曲げCOD試験とVシャルピ衝撃試験との相関について ○ COD試験とCharpy試験の相関(第1次まとめ)
25	49. 5. 27	○ 昭和46年度共同研究第8次とりまとめ ○ HT80(78t)の曲げCOD試験結果 ○ 表面切欠を付与した角変形付広幅引張試験と静的曲げ試験との関係について

26	49. 8. 6	<ul style="list-style-type: none"> ○ 追加実験研究方案 ○ シヤルピ試験からの脆性破壊発生特性の評価 ○ COD試験とシヤルピ試験との相関 ○ 共同研究第9次まとめ ○ HT70(50^t)の曲げCOD試験結果
(小委員会4回)	49. 9. 3	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3点曲げCOD試験結果 ○ 静的曲げCOD試験におけるSlow Crack発生について ○ ハイテン鋼にみられるStretched Zoneについて ○ δ_i 値の意味
27	50. 5. 19	<ul style="list-style-type: none"> ○ BE委員会, まとめ目次について ○ 共同研究報告: 7件 ○ HT80(80^t)の曲げCOD試験結果 ○ 共同研究第10次まとめ
S.W.G小委	50. 6. 11	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会共同研究まとめ: 目次作成
R.W.G小委	50. 6. 16	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会共同研究まとめ: 報告書執筆者決定
S.W.G小委	50. 7. 24	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会共同研究まとめ: 委員会名簿作成 委員会開催状況調査 報告書執筆要領作成
28	50. 8. 12	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会名簿再確認 ○ 昭和50年度共同研究方針案検討
R.W.G小委	50. 8. 12	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会共同研究まとめ; 各担当者の説明
29	50. 9. 2	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会共同研究まとめ
30	50. 10. 16	<ul style="list-style-type: none"> ○ 昭和50年度共同研究方案検討 ○ WES改訂原案検討
R.W.G小委	50. 10. 16	<ul style="list-style-type: none"> ○ TM委員会共同研究まとめ