

## 10

## 鉄鋼部会

鋼構造物への溶接は1920(大正9)年代頃から盛んに用いられるようになったが、1930(昭和5)年代にヨーロッパで溶接橋が脆性破壊した事故や、第二次大戦中にアメリカで建造された溶接船の事故などが契機となり、その原因究明が進められた結果、溶接構造物に使用される鋼材の品質改善が促進された。

日本では、戦時中とだえていた諸外国の溶接技術情報の吸収によって、溶接用鋼材の改善、進歩を図ってきた鉄鋼各社の努力の結晶として、1958(昭和33)年頃から溶接用高張力鋼板が次々と開発された。これらの鋼板は、圧力容器、橋梁などに使用され始めたことから、利用者、製造者にも

便利な規格化を図る機運が高まってきた。

溶接協会では、1958(昭和33)年度後半、防衛庁から艦船用HT60鋼の研究と防衛庁規格作成の受託研究を進めることになり、1959(昭和34)年8月に木原博委員長のもとに「HT委員会」が正式に発足した。同委員会においては、関係鉄鋼メーカーが研究に協力し作成した原案をもとに、1960(昭和35)年12月、WES 135-1960「溶接構造用高降伏点鋼板規格」が制定され、これが後のWES 3001「溶接構造用高張力鋼板規格」として改正され、今日まで使われている。当部会はそのような研究委員会が発展し、1964(昭和39)年4月1日に正式に発足したものである。

## 10.1 設置経緯

1959(昭和34)年8月に、木原博委員長のもとにHT委員会が正式に発足したが、さらに各種高張力鋼板の開発に伴い、それらの共通課題として溶接構造物のぜい性破壊防止を取り上げ、その判定基準作成のために、1960(昭和35)年5月、木原博委員長、金沢武副委員長の指導のもと、「鉄鋼研究委員会」が発足した。

この成果は、WES 136-1961「低温構造用鋼板判定基準」として制定され、その後WES 3003に改正され、現在も使われている。1962(昭和37)年には、第二次鉄鋼研究委員会として引き継がれ「低温構造用鋼板の開発及びその材質判定基準確立に関する研究」が進められた。

また、1962(昭和37)年には、安藤良夫委員長のもとに超高張力鋼研究委員会(UH委員会)が発足し、当協会内における溶接用鋼材の研究は、わが国のこの分野における中核を成すに至った。

以上のように、1959(昭和34)年度に発足したHT委員会から、第一次及び第二次鉄鋼研究委員会、超高張力鋼研究委員会に至るこれら一連の研究、規格化活動は、木原、金沢、安藤、稲垣などの指導のもとに鉄鋼メーカーを中心に進められてきた。そして、1963(昭和38)年、部会設置の機運が熟したとして設置準備を行い、協会理事会での承認を得て、1964(昭和39)年4月1日に鉄鋼部会が正式に発足した。

## 10.2 部会の組織と運営

### 10.2.1 目的

部会の目的は、鉄鋼部会規則第2条に「この部会は(社)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増進及び鉄鋼の溶接に関する技術の向上並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共に、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ことを目的としている。鉄鋼メーカーは利用目的に適合した優れた鋼材を製造し、需要者各位に供給する責務があるが、鉄鋼部会は、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、鉄鋼技術の発達に伴う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。

### 10.2.2 組織・運営

部会規則第5条に「部会員は、部会の事業に係る団体会員をもって構成する」と定めており、鉄鋼部会は、現在、鉄鋼メーカー6社の団体会員で構成されている。

発足当時、母体となった鉄鋼メーカーは、八幡製鉄、富士製鉄、川崎製鉄、日本鋼管、三菱製鋼、日本製鋼所の6社であった。その後、間もなく、住

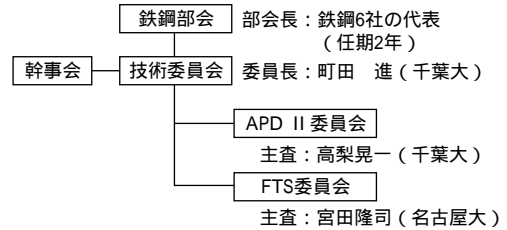


図 10.1 鉄鋼部会の組織（平成10年現在）

友金属工業、神戸製鋼所が加入し、1970(昭和45)年に八幡、富士両社の合併、三菱製鋼の製品種目変更による脱退により、1998(平成10)年現在は新日本製鉄、川崎製鉄、日本鋼管、日本製鋼所、住友金属工業、神戸製鋼所の6社が母体となっている。現在の部会組織を図10.1に示す。

部会の総体的企画、運営は技術委員会、幹事会で協議し推進している。鉄鋼部会総会は少なくとも年1回開催され、部会長は2年ごとの任期で、部会員会社6社の中から選任されている。表10.1に歴代の技術委員長を示す。

表 10.1 歴代技術委員長

年度	技術委員長
1964～1975 (昭和39～50)	木原 博(東大)
1976～1989 (昭和51～平成1)	金沢 武(東大 長崎総科大 千葉工大)
1990～現在 (平成2～現在)	町田 進(東大 千葉大)

## 10.3 鉄鋼製造技術の発展

### 10.3.1 鉄鋼製造技術の進歩

主要国の粗鋼生産推移を図10.2(次ページ)に示す<sup>1)</sup>。同図からわかるように、わが国の戦後の鉄鋼業の歴史は、2つに分けることができる。第一は、1973(昭和48)年の石油危機までの時期である。

この時期は、主に欧米からの技術導入をもとに、大型の臨海一貫製鉄所が次々と建設され、それに

よって急速な量的拡大を遂げた時期である。厚板製造技術面では、本格的な厚板4段ミルが米国から導入され、造船向けを中心とする厚板需要の増大に応えつつ、調質高張力鋼、低温用鋼、ボイラ用鋼などの高級厚鋼板の製造体制を築き、欧米とほぼ同等品質の製品を製造することができるようになった時期である。

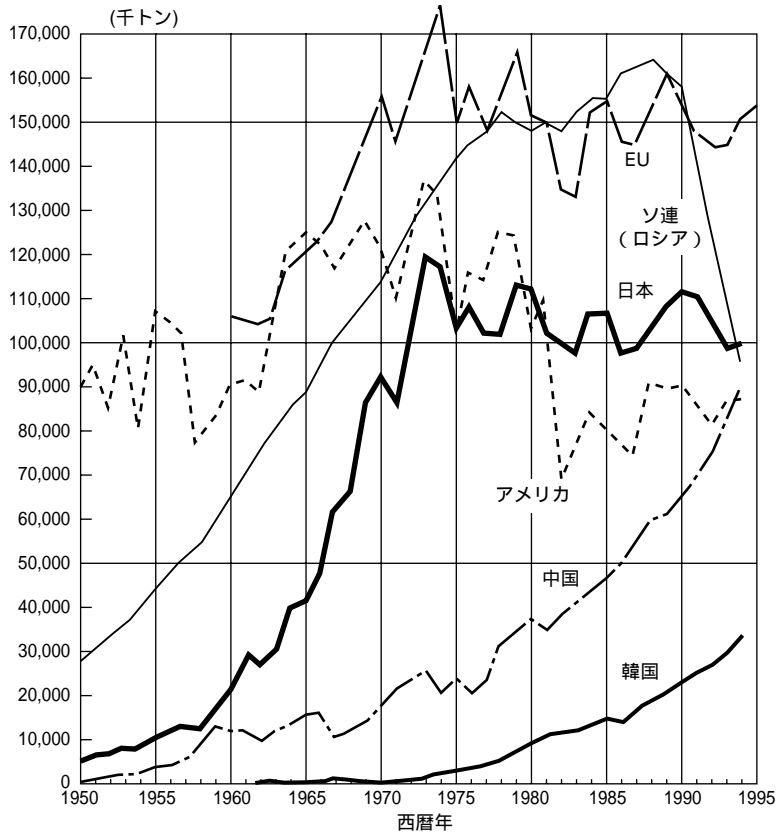


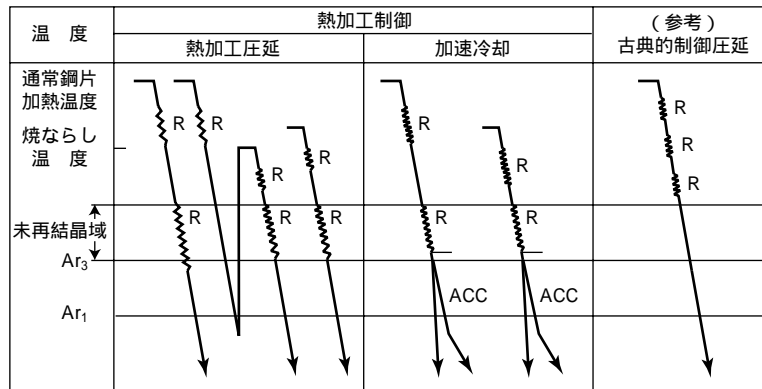
図 10.2 主要製鉄国の粗鋼生産推移 (1950 (昭和 25) ~ 1993 (平成 5) 年)

第二は、粗鋼生産が右肩上がりから、横ばい又は微減で推移してきた時期である。この時期に鉄鋼業界は、石油危機を契機とする1970 (昭和 45) 年代のエネルギー価格の高騰、1985 (昭和 60) 年のプラザ合意以降の急激な円高と、バブルの発生とその後のバブル崩壊などの外部環境の急変に見舞われた。

このような外部環境変化に対応し、生産の最適・集約を行いつつ、省エネルギー技術の開発、生産設備の省力化・自動化、圧延歩留の向上などによる生産性の向上などによる生産性の向上など。また、これらの努力と同時に、需要家の多様な品質要求に応え、世界で最も高品質の製品を開発し、品質技術面では欧米を遙かに凌

駕する地位を築くことができた。

具体的な製造技術としては、製鋼プロセスでは溶銑予備処理、取鋼精錬、連続铸造技術の改善が、また厚板圧延プロセスではTMCP技術（熱加工制御技術：Thermo-Mechanical Control Process）があげられる。TMCPは図 10.3 に示すように、水冷



備考 R：圧下 ACC：加速冷却

図 10.3 TMCP 技術（熱加工制御）の概要

表 10.2 厚板製品に関する技術開発の推移

	1950年～1960年	1960年～1970年頃	1970年頃～1980年	1980年～1998年
溶接構造用鋼	<ul style="list-style-type: none"> <li>船体用アルミキルド鋼の国産化</li> <li>焼ならし型HT50鋼の国産化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐候性鋼の国産化</li> <li>耐ラメラテア鋼の開発</li> <li>ラインパイプ用非調質高張力鋼の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>船体用大入熱溶接用鋼の開発</li> <li>海洋構造物用鋼の開発</li> <li>TMCP型船体構造用鋼の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高降伏点船体用大入熱鋼の開発</li> <li>海洋構造物用CTOD鋼の開発</li> <li>建築用低YR鋼の開発</li> <li>耐火鋼の開発</li> </ul>
高張力鋼	<ul style="list-style-type: none"> <li>調質HT60の国産化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>調質HT70～80の製造技術の確立</li> <li>調質高張力鋼の溶接性の改善</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯槽用大入熱溶接用HT60の開発</li> <li>CF級HT60の開発</li> <li>ペンストック用HT80の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>送電鉄塔用HT60の開発</li> <li>水圧鉄管用HT100の開発</li> <li>予熱低減型HT60～80の開発</li> </ul>
低温用鋼	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>低温アルミキルド鋼の国産化</li> <li>Ni系低温用鋼の国産化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高アレスト型2.5～3.5%Ni鋼の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>厚肉高靱性9%Ni鋼の開発</li> </ul>
ボイラ用鋼	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボイラ用鋼の国産化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>極厚Mn-Mo-Ni鋼の製造技術の確立</li> <li>極厚Cr-Mo鋼の製造技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高降伏点常温圧力容器用鋼の開発</li> <li>極厚鋼の品質改善（焼戻し脆化，SR割れなど）</li> <li>耐HIC鋼の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USCボイラ用鋼の開発</li> <li>高強度Cr-Mo鋼の開発</li> </ul>

型と非水冷型に大別できるが、現在では双方合わせると厚板製品の約4割を超えるまでになっている<sup>2)</sup>。

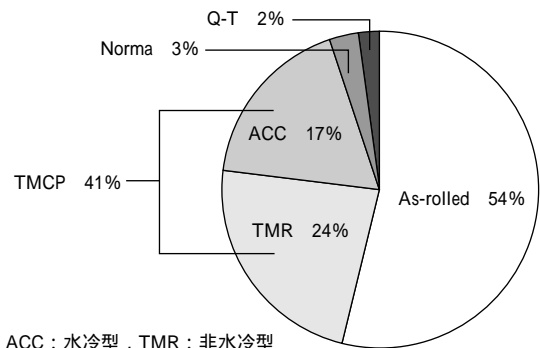
### 10.3.2 厚板製品の技術開発の推移

厚板製品の技術開発の推移を、表 10.2 に示す。

1960（昭和35）年頃までは、造船業の復興に対応した技術開発が厚板分野の主な流れであった。当時の製造法別厚板生産比率を、図 10.4 に示す。

その後、鋼構造物の大型化とそれに伴う高張力鋼化の進展、省力化に対応した自動溶接化と大入熱溶接化などの動き、鋼構造物の使用限界の拡大とそれに伴う多様な性能の要求（例えば、低温靱性、耐食性、低YR化、耐火性能など）が起こってきた。

これらの動きに対応して、鉄鋼各社は、新製品の開発を行ってきたが、必要に応じて、学協会の中に各種の専門的な委員会を設け、学識経験者、



ACC：水冷型，TMR：非水冷型

図 10.4 製造法別厚板生産比率

鋼材需要家、鉄鋼会社が参加し共同して研究開発を行ってきた。なかでも、溶接協会内に設けられた各種の委員会の活動の成果は特に顕著であり、高品質の厚板製品の開発と利用加工技術の開発に先駆的な役割を果たしてきた。

## 10.4 活動状況

### 10.4.1 設置委員会と研究テーマ

表 10.3（次ページ）に、これまでに設置された研究委員会と研究テーマを示す。鉄鋼部会では、特

に鋼材の破壊靱性と溶接割れに関する研究を、鋼材の評価・実用化の重要課題として取り上げている。

表 10.3 鉄鋼部会研究委員会の歩み

委員会	研究テーマ	主査	研究期間
9N	9%Ni鋼の溶接，加工に関する研究	渡辺正紀	1964(昭和39)～1967(昭和42)年
HT	高張力鋼の広幅溶接継手の静的，動的強度に関する研究	小倉信和	1964(昭和39)～1968(昭和43)年
LT	9%Ni鋼板の脆性破壊特性に関する研究	池田一夫	1964(昭和39)～1969(昭和44)年
EW	各種高張力鋼及び低温用鋼の脆性破壊発生に関する研究	池田一夫	1964(昭和39)～1969(昭和44)年
UH	a)150～200kgf/mm <sup>2</sup> 級超高張力鋼の溶接性及びに破壊靱性に関する研究 b)国産超高張力鋼及び溶接部の基準設定に関する研究	安藤良夫	1965(昭和40)年 1966(昭和41)～1973(昭和48)年
JF	国産鋼材及びその溶接継手の歪制御低サイクル疲労に関する研究	飯田国広	1967(昭和42)～1973(昭和48)年
SST	溶接構造用高張力鋼板規格，WES-135-1964の改正	小倉信和	1969(昭和44)～1970(昭和45)年
TM	低温構造用鋼板判定基準，WES 136-1970の改正 a)板厚効果に関する研究 b)脆性破壊発生特性に基づく鋼材の材質判定基準確立に関する研究	金沢 武	1969(昭和44)～1975(昭和50)年
JC	高張力鋼板の溶接割れ感受性指数 (Pc) に関する調査研究	田村 博	1969(昭和44)～1970(昭和45)年
SS	日本溶接協会鋼種認定要領及び認定方法の改正	小倉信和	1970(昭和45)年
JE	高張力鋼の溶接継手部の切欠靱性の評価法の検討	大庭 浩	1970(昭和45)～1973(昭和48)年
SJ	軟質溶接継手の強度に関する研究	佐藤邦彦	1970(昭和45)～1975(昭和50)年
N2-3	WES 136規格中の2.5～3.5Ni鋼に対応する試験温度基準の再検討	金沢 武	1970(昭和45)～1975(昭和50)年
Pc	Pc値の規格，解説の作成	田村 博	1971(昭和46)～1972(昭和47)年
TH	溶接熱影響部のテーパ硬さ試験方法のJIS原案の作成	稲垣道夫	1971(昭和46)年
BE	溶接構造用鋼板のポンド脆化に関する研究	田村 博	1972(昭和47)～1975(昭和50)年
IF	溶接構造用鋼板選択のための溶接性及びに脆性破壊に関する評価試験	稲垣道夫	1972(昭和47)年
CSW	溶接低温割れ評価のためのインプラント試験法の検討に関する研究	稲垣道夫	1973(昭和48)～1975(昭和50)年
WSD	脆性破壊から見た溶接部の欠陥評価	町田 進	1975(昭和50)～1976(昭和51)年
Jl	J積分破壊基準並びに等価欠陥方法に関する研究	金沢 武	1976(昭和51)～1977(昭和52)年
HSE	溶接等の各種熱加工により生じる熱，歪に伴う材質変化と継手性能	佐藤邦彦	1976(昭和51)～1978(昭和53)年
IL	溶接構造用鋼選択のための溶接性に関する評価試験 a)ラメラテア関係，b)インプラント関係	稲垣道夫	1977(昭和52)年
PMS	中・常温圧力容器用高強度鋼板及び鋳鋼品等の規格化	稲垣道夫	1976(昭和51)～1978(昭和53)年
WSDR	欠陥評価法の信頼性工学による検討	板垣 浩	1977(昭和52)～1981(昭和56)年
FTC	破壊靱性基準に関する研究	金沢 武	1978(昭和53)～1980(昭和55)年
MWC	厚板多層溶接部の割れに関する調査研究	田村 博	1979(昭和54)～1983(昭和58)年
WR	WES 3001-1970 (溶接構造用高張力鋼板規格) 改正及びWES 3003G (脆性破壊発生特性に基づく低温構造用鋼板G種判定基準) (案)の検討 WR1: WES 3001の改正 WR2: WES 3003 G (案)の検討	金沢 武 稲垣道夫 町田 進	1980(昭和55)～1982(昭和57)年
FTR	COD要求値の意義の検討	町田 進	1981(昭和56)～1984(昭和59)年
RTW	溶接部靱性要求の検討	金沢 武	1983(昭和58)～1986(昭和61)年
FTW	溶接部COD試験方法の検討	町田 進	1985(昭和60)～1989(平成1)年
RCT	再熱割れ試験方法の検討	稲垣道夫	1986(昭和61)～1989(平成1)年
ECM	高強度Cr-Mo鋼の技術基準の調査及び設計データベースの作成	稲垣道夫	1990(平成2)～1991(平成3)年
WR3	WES 2805-1980 (溶接継手の脆性破壊発生に対する欠陥の評価方法) の見直し，改正	町田 進	1990(平成2)～1993(平成5)年
APD	繰返し大変形を受ける鋼構造物溶接接合部の強度と破壊靱性	高梨晃一	1992(平成4)～1997(平成9)年
FTS	破壊靱性に関する研究	宮田隆司	1994(平成6)年～
APD II	建築鉄骨溶接接合部の強度と破壊靱性に対する工学的評価手法の検討	高梨晃一	1997(平成9)年～

### 10.4.2 主な委員会活動

#### (1) UH委員会(主査:安藤良夫)

##### 研究テーマ

国産超高張力鋼及び溶接部基準設定に関する研究

##### 研究期間

1965～1973(昭和40～48)年

##### 研究目的

超高張力鋼は海外において、ロケットなど高度の性能を要求される分野で使用され、研究されているが、150～200kgf/mm<sup>2</sup>級の国産各種超高張力鋼とその溶接部強度、溶接性に関して基礎研究を行い、基準設定に関する資料を得る。

##### 研究内容

鋼材10種、ワイヤ(TIG)ティグ9種を試作し、それらについて共同研究を行った。靱性試験、溶接性試験、その他種々の試験を実施。当初靱性に対する基準設定を目標の一つとしていたが、種々制約のため大型破壊試験が十分実施できず、基準の提案は一部の試験結果に総合的判断を加えて行わざるを得なかった。

##### 研究成果

種々の試験を通じて、貴重な特性を得ることができた。共同研究実施の間に、東京大学宇宙研究所のロケット打ち上げが次々と行われ、国産人工衛星の打ち上げへと発展してきた。本研究の成果は、それらの成功の陰で、大きな役割を果たした。

#### (2) TM委員会(主査:金沢 武)

##### 研究テーマ

脆性破壊発生特性に基づく鋼材の材質判定基準の確立に関する研究

##### 研究期間

1969～1975(昭和44～50)年

##### 研究目的

溶接構造物の脆性破壊に対しては、伝播停止特性に基づいたWES 136「低温構造用鋼板判定基準」が制定され、JIS、その他規格の制定にも反映され貢献してきたが、CTOD概念その他新しい破壊力学手法を導入し、発生特性に基づいた判定基準案を作成する。

##### 研究内容

1973(昭和48)年度は軟鋼からHT80に至る鋼材により、CTODの諸特性を調査し、同時にVシャルピー試験を中心とする基礎試験との関連を

探った。さらに、1974(昭和49)年度はCOD値に及ぼす板厚効果、特に50mm以上のデータが乏しく、板厚補正項の形、大きさについて実験、検討を行った。

また、延性安定き裂発生時のCTOD( $\delta_1$ )及び $\delta_1 = \delta_0$ となる温度( $T_1$ )とVシャルピー試験との関連などについて、実験と解析を行った。1975(昭和50)年度は総合的検討を進め、報告書をまとめる作業班とWES 136G種改定案作成作業班を組織し、活動を進めた。

##### 研究成果

活動の結果は「脆性破壊発生特性に基づく、鋼材の材質判定基準の確立に関する共同研究」としてまとめ、第2回高張力鋼板に関する研究発表会において公表した。

#### (3) JC委員会及びPc委員会(主査:田村 博)

##### 研究テーマ

高張力鋼板の溶接割れ感受性組成に関する調査研究、Pc値の規格、解説の作成

##### 研究期間

JC委員会:1969～1970(昭和44～45)年

Pc委員会:1971～1972(昭和46～47)年

##### 研究目的

溶接時の低温割れ感受性の評価は、溶接熱影響部の最高硬さでなされてきたが、伊藤、別所はy開先拘束試験片を用いた溶接割れ試験により、新しい溶接割れ感受性指数(PcまたはPw)を提案したので、その妥当性評価と規格化を検討する。

##### 研究内容

提案された溶接割れ感受性指数に基づく鋼の溶接割れ感受性の評価や、施工条件の検討が広く国内外で実施され、評価を得つつあった。1969～1970(昭和44～45)年にJC委員会、1971～1972(昭和46～47)年にPc委員会を組織し、広範な試験を実施し、この感受性指数Pc値が鋼の溶接割れ感受性をよく表すことを明らかにした。

##### 研究成果

成果は総合報告書「高張力鋼の溶接割れ感受性指数に関する調査研究」にまとめるとともに、「溶接構造用高張力鋼板規格(WES 135)」に、Pc式の化学組成項を溶接割れ感受性組成(P<sub>CM</sub>)と定義し、それぞれのグレードにP<sub>CM</sub>の上限値を規定した。それによってWES-135A-1972においては、溶接性を炭素当量(Ceq)又は溶接割れ感受性組成

(PCM) いずれで評価してもよいとした。

(4) SJ委員会(主査:佐藤邦彦)

研究テーマ

軟質溶接継手の強度に関する共同研究

研究期間

1970～1975(昭和45～50)年

研究目的

溶接割れ感受性の高い高張力鋼板の溶接において、母材より強度の低い溶接材料を使用すれば、割れ防止上有効となる場合が確認されており、高張力鋼板の使用範囲の拡大が予想されることから、軟質溶接継手の力学的挙動と強度を明らかにし、使用性能上の見地から軟質溶接継手の実用の可能性を検討する。

研究内容

軟質溶接継手の強度に関する文献調査、軟質溶接継手の各種継手性能に関する実験的検討、軟質溶接継手における溶接割れ・残留応力の調査研究、そして軟質溶接継手の実用性に関する検討を実施した。

研究成果

研究結果は「軟質溶接継手の力学的挙動と強度に関する研究」にまとめた。

(5) HSE委員会(主査:佐藤邦彦)

研究テーマ

溶接などの各種熱加工により生ずる熱ひずみ履歴に伴う材質変化と継手性能

研究期間

1976～1978(昭和51～53)年

研究目的

構造用鋼材とその溶接部を対象として、溶接、ガス切断、炎加工などの熱ひずみ履歴による鋼材の材質変化を、熱加工条件との関連において定量的に把握するとともに、構造物の性能確保の見地に立つときの熱ひずみ履歴による材質変化の問題点を明確にする。

研究内容

調査研究は以下の項目について、共同試験、自主研究を実施した。

熱ひずみ履歴に伴う鋼の材質変化に関する従来の研究成果の調査

溶接など熱加工に伴う熱応力・ひずみ履歴予ひずみを受けた鋼材の材質変化とひずみ

時効

各種鋼材の熱ひずみ脆化感受性とその評価

方法

溶接による熱ひずみ脆化とその評価方法

溶接以外の熱加工による材質変化

熱加工に伴う材質劣化が継手性能に及ぼす

影響

研究成果

種々の研究成果が得られ、それらを「溶接などの各種熱加工により生ずる熱ひずみ履歴に伴う材質変化と継手性能」として総合報告書をまとめ、公表した。

(6) PMS委員会(主査:稲垣道夫)

研究テーマ

中・常温圧力容器用高強度鋼板及び鍛鋼品等の規格化

研究期間

1976～1978(昭和51～53)年

研究目的

わが国の圧力容器関係法規は、ASME Sec. , Div. 1を基本にしており、許容応力が低く、降伏点ベースの設計を採用しているヨーロッパ系の法規、規格に比べて競争力の点から不利になっている。日本工業標準調査会内の圧力容器専門委員会では、新しい設計手順を導入した圧力容器特定構造規格の審議が行われており、高温強度の高い鋼種が検討されてきた。そこで、将来のJIS化の布石とするため、総合的にWESとして制定する。

研究内容

PMS鋼の鋼材開発は、鉄鋼メーカー、圧力容器メーカー、鏡板メーカー、エンジニアリング会社がそれぞれ6グループを作り、それぞれPMS25, 30, 35鋼板並びに鍛鋼品についての製造研究を行い、日本鑄鍛鋼協会、日本鏡板工業界の参加のもとに下記の事柄を行った。

関連欧米規格調査

JIS特定規格の設計思想とのすりあわせ

溶接性評価法の提案

鋼種認定要領の考え方のまとめ

鋼種認定試験方法の作成と他WES認定試験方法とのすりあわせ

WES様式の統一などのWES化作業

研究成果

鋼板、鍛鋼、鏡板規格、WES 3005, WES 3006, WES 3007を制定し、かつ鋼種及び鏡板認定要領、

試験方法をも制定した。また前2規格を英文化した。

(7) IL委員会(主査:稲垣道夫)

研究テーマ

溶接構造用鋼選択のための溶接性に関する評価試験

研究期間

1976～1979(昭和51～54)年

研究目的

インプラント溶接割れ試験法を実用的試験法として確立する。

ラメラテアの発生要因の明確化と、定量化し鋼板の選択基準を明らかにする。

研究成果

インプラント溶接割れ試験法:試験法を確立し、WESの立案を行った。成果は1976(昭和51)年、1980(昭和55)年のIIWに報告した。

ラメラテア関係:IIWからの要請に基づき、研究成果を継続的に報告した。研究成果をもとに「耐ラメラテア鋼材の特性」及び「厚さ方向の引張試験方法」の案をWR-1委員会に提出した。

(8) WSDR委員会(主査:板垣 浩)

研究テーマ

欠陥評価法の信頼性工学による検討

研究期間

1977～1981(昭和52～56)年

研究目的

WSD委員会により起案された「脆性破壊発生に対する溶接欠陥の許容判定基準」WES 2805-1976の作業過程に含まれる不確定要因を、信頼性工学によって判定の意義をどのように評価すべきかを検討するとともに、既存データの統計的変動も調査する。

研究成果

WES 2805の解説に、信頼性解析の応用についての補足を加えた。

(9) FTC委員会(主査:金沢 武)

研究テーマ

破壊靱性基準に関する研究

研究期間

1978～1980(昭和53～55)年

研究目的

WES 3003「低温構造用鋼板判定基準」は適応実績を積み重ねてきたが、脆性破壊発生特性に基づく評価という視点を欠いていたため、板厚効果、切欠先鋭度の影響、破壊靱性値の統計的分布について調査を行う。

研究成果

板厚効果については、100mm厚まで $\sqrt{t}$ の形で表せ、係数も6と判明し、WES 3003G種改訂の原案とした。切欠先鋭度に関する調査結果及びWSDR委員会で議論された破壊靱性値の統計的分布に関する調査結果を、同時に報告書としてまとめた。

(10) MWC委員会(主査:田村 博)

研究テーマ

厚板多層溶接部割れの調査研究

研究期間

1979～1983(昭和54～58)年

研究目的

各種鋼材の多層溶接割れ試験により、止端割れ、ルート割れなどの発生状況を調べ、適切なパス間温度を総合的に求めることによって、割れ防止と鋼材成分する考え方を確立する。

研究成果

多層溶接割れの標準試験法としてレ型開先多層溶接割れ試験方法(案)を提案し、1983(昭和58)年にはWESを立案し、1985(昭和60)年にWES 1105「レ型開先多層溶接割れ試験方法」として制定された。

(11) WR委員会(委員長:金沢 武)

研究テーマ

WES 3001-1970「溶接構造用高張力鋼板規格」の改正及びWES 3003G「ぜい性破壊発生特性に基づく低温構造用鋼板G種判定基準」(案)の検討

研究期間

1980～1982(昭和55～57)年

(a) WR第1小委員会(主査:稲垣道夫)

研究テーマ

WES 3001-1970「溶接構造用高張力鋼板規格」の改正

研究目的

溶接低温割れ感受性判定の手段として、炭素当量(Ceq)と溶接割れ感受性組成( $P_{CM}$ )を総合し、高張力鋼板の開発の進展と用途の広範囲化に



対応して見直しを行う。また、クラックフリー鋼の開発実用化の進展を考慮し、その特性についての規格作成を行う。

#### 研究成果

IL委員会の成果を踏まえて、WES 3008「耐ラメラティア鋼材の特性」及びWES 1106「鋼材の厚さ方向の引張試験方法」を制定した。また1982(昭和57)年には、WES 3001「溶接構造用高張力鋼板規格」を改正し、WES 3009「溶接割れ感受性の低い高張力鋼板」を制定した。

(b) WR 第2小委員会(主査：町田 進)

#### 研究テーマ

WES 3003G「ぜい性破壊発生特性に基づく低温構造用鋼板G種判定基準」(案)の検討

#### 研究目的

FTC委員会の成果を踏まえて、先に作成されたWES 3003G「脆性破壊発生特性に基づく低温構造用鋼板G種判定基準」(案)を再検討する。

#### 研究成果

1982(昭和57)年度にWES 3003G「ぜい性破壊発生特性に基づく低温構造用鋼板G種判定基準」(案)を作成し、1983(昭和58)年に改正した。

(12) FTR 委員会(主査：町田 進)

#### 研究テーマ

CTOD 要求値の意義の研究

#### 研究期間

1981～1983(昭和56～59)年

#### 研究目的

ひずみ集中部のCTOD 評価及び溶接部CTOD 試験方法の検討を行う。

#### 研究成果

従来データの調査研究、表面き裂の等価欠陥寸法の検討、ひずみ集中部の評価方法の検討及び溶接部CTOD 試験方法の検討などからなる最終報告書を取りまとめた。

(13) RTW 委員会(主査：金沢 武)

#### 研究テーマ

溶接部靱性要求の検討

#### 研究期間

1983～1986(昭和58～61)年

#### 研究目的

種々の脆性破壊要因が内在する溶接部に対し、使用環境に即した合理的な靱性要求指針の設定に向けて、基礎思想及び基礎データを確立する。

#### 研究成果

溶接部の破壊靱性値 $[Jc(T)]$ とシャルピー値 $[vE(T + T)]$ 間に良好な相関を見出し、中間報告としてまとめた。1985(昭和60)年には「シャルピー試験による安全性評価手法 - RTWアプローチ」を確立し、IIWに発表した。

(14) FTW 委員会(主査：町田 進)

#### 研究テーマ

溶接部CTOD 試験方法の検討に関する研究

#### 研究期間

1985～1990(昭和60～平成2)年

#### 研究目的

CTOD 試験は材料の破壊靱性 $(Jc)$ を求める試験として広く用いられており、 $Jc$ が材料選定の仕様まで取り入れられている例が増えてきている。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、当時溶接部CTOD 試験については、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たのが実情であった。

溶接部CTOD 試験の場合には、母材CTOD 試験に比べて、疲労予亀裂の導入法、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、本来均質材のもつバラツキに加えて、それに由来する $Jc$ のバラツキ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て共同研究を行い、溶接部CTOD 試験及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た。

こうした状況の中でFTW 委員会は、溶接部CTODの意義及びその試験法のあり方を考える上での基礎試料を得るべく、実験的研究として簡易試験法の可能性、溶接CTODのバラツキ(低CTOD値の出現)のメカニズムについて検討するとともに、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を目的とした。

#### 研究内容

板厚50mmと100mmの海洋構造物用HT50鋼を供試鋼として、

予亀裂導入法の検討

簡易CTOD 試験法の検討

CTOD 試験結果 (バラツキ) の評価を実験的に行った。

特に 1 項の検討結果から, LBZ (Local Brittle Zone) の CTOD に及ぼす影響について, より系統的な実験を行い, LBZ の種類, 大きさと  $c$  の関係について実験及び考察を行った。

また, これらの実験検討結果及び IIW 第 X 委員会 WG 「Fracture Mechanics Testing on Weldments」の報告, その他関連技術論文や資料をもとに, 試験法のあり方, 推奨事項, コメント, 参考資料などを取りまとめた。

#### 研究成果

溶接部 CTOD 試験のあり方や, 試験結果を解釈する上での種々の貴重な知見が得られた。

破壊靱性試験で得られる靱性のもつ意味は, その方法によっても異なり, 試験の目的を明確にして試験を行うべきである。また, 試験結果のもつ意味を十分理解し, その結果を適切に使うことによって, 破壊靱性試験が活かされる などの破壊靱性試験で得られる限界値の意義についての共通の認識を得ることができた。

#### (15) RCT 委員会 (主査: 稲垣道夫)

##### 研究テーマ

再熱割れ試験方法の検討

##### 研究期間

1986 ~ 1990 (昭和 61 ~ 平成 2) 年

##### 研究目的

エネルギー製造プラントの圧力容器における再熱割れについて, 実機プラントでの割れを評価する再熱割れ試験方法を確立する。

##### 研究内容

従来まで提案されている再熱割れ試験方法は, 鋼材の再熱割れ感受性の相対比較や, 再熱割れの発生要因解析を目的としたものであるため, それらにより, 実機において再熱割れが発生するか否かを判断する事は困難である。そこで本委員会では, 実機で再熱割れ発生の危険性の最も高いノズル部での溶接残留応力, 塑性ひずみ及び PWHT による応力緩和とクリープ歪の解析を行った。

それらの結果を踏まえて, 軸対称再熱割れ試験を用いれば, 実機のノズル部に生じる溶接及び PWHT 時の応力とひずみを再現できることを明らかにした。

#### 研究成果

実機ノズル部の溶接継手においては, 開先が浅く, パス数が少ない場合が再熱割れ発生の可能性が高くなる。そのため, 実溶接施工においては, 開先深さとパス数を増加させて, 力学的条件を緩めることが重要であることを明らかにし, 実機プラントにおける再熱割れ防止に貢献した。

#### (16) ECM 委員会 (主査: 稲垣道夫)

##### 研究テーマ

高強度 Cr-Mo 鋼技術基準の作成

##### 研究期間

1990 ~ 1992 (平成 2 ~ 4) 年

##### 研究目的

高温高压容器用高強度 Cr-Mo 鋼の技術基準及び設計ベースの作成

##### 研究内容

重質油の分解精製や石炭液化などの装置に使用される高压容器は, 従来の石油精製装置より高温の 450 以上の運転条件が必要となってきた。このため, 既存の 2 1/4Cr-1Mo 鋼あるいは 3Cr-1Mo 鋼では極厚となり, 重量も大幅に増加するため, その製造が困難になり, さらに水素浸食の心配もある。すなわち, より高強度で高温高压水素環境において優れた性能を有する材料への要求が国内外で高まってきた。

このような高強度 Cr-Mo 鋼の開発には, 日本の材料メーカー, ファブリケータの寄与するところが極めて大きく, また, 国内規格, 法規に従って, これら新鋼種を用いて高压容器を製作するケースが多くなることから, これらの材料の規格化が必要になっている。

以上のような状況を考慮して, 本委員会では高強度 Cr-Mo 鋼の材料及び設計に関する技術基準と各種設計データベースを作成することにした。対象鋼種としては, ASTM 及び ASME において規格化が進められている 3 種類 (Enhanced 2 1/4Cr-1Mo 鋼, V-Modified 2 1/4Cr-1Mo 鋼, V-Modified 3Cr-1Mo 鋼) とし, 2 年間の調査研究の成果を「高強度 Cr-Mo 鋼の技術基準」としてまとめた。

この基準書は, 材料規格案としての「高温圧力容器用高強度クロムモリブデン鋼鋼板」及び「高温圧力容器用高強度クロムモリブデン鋼鍛鋼品」と, 高压容器の設計に必要な設計許容応力, 材料特性, 物性値とそれらのデータベース及び溶接施工指針

を示す付属書，さらにはユーザーに高温高圧水素環境に対する優れた材料特性について，適切な理解と知識を与えるための参考書としての環境強度データ集から構成されている。

#### 研究成果

本委員会で作成した鋼板及び鍛鋼品の材料規格案は，WES及びJISとして発行された。また，ASTM及びASMEでの材料規格化においても，本委員会の成果が反映された。

#### (17) WR-3委員会（主査：町田 進）

##### 研究テーマ

WES 2805-1980（溶接継手の脆性破壊発生に対する欠陥の評価方法）の見直し，改正。

##### 研究期間

1990～1994（平成2～6）年

##### 研究目的

WES 2805は1976（昭和51）年に制定され，その後1980（昭和55）年の改訂を経て当時までに至っている。しかし，弾塑性破壊力学，靱性評価法，信頼性工学など，その後の関連分野の発展によって改良すべき諸点が生じてきたことや，英国において進められている同種基準の改訂内容との整合性を取る必要性が生じたことなどから，WESの改訂を図る。

本委員会では規格の見直し作業と改訂案の作成を主目的とし，付随する靱性試験法などについての検討も行う。

##### 研究内容

本委員会では以下の6つのWGを設け，各主題毎に改訂原案を検討作成し，各WG主査によりまとめ後，WGにより全体調整を実施した。

WG-A：疲労亀裂伝播解析（疲労に対する欠陥の標準化，疲労亀裂進展，余寿命解析）

WG-B：CTOD力学的算定（等価亀裂概念，溶接残留応力，応力集中の取り扱い，CTODデザインカーブの設定，FADアプローチの取り扱い）

WG-C：破壊靱性と試験法（CTOD試験法，溶接部CTOD試験法ガイドライン，WES 2805に用いる破壊靱性値のあり方）

WG-D：安全率と信頼性（信頼性工学の導入，安全率，信頼度の呈示と改善方法）

WG-E：他規格との整合性他（欠陥の標準化，他規格との整合，例題の呈示）

#### WG-F：とりまとめ

##### 研究成果

WES 2805「溶接継手の脆性破壊発生及び疲労亀裂進展に対する欠陥の評価方法」の改訂案をまとめるとともに，「亀裂開口変位（CTOD）試験方法」，「溶接熱影響部CTOD試験法に関するガイドライン」を作成し，WES化へ貢献した。

#### (18) APD委員会（主査：高梨晃一）

##### 研究テーマ

繰り返し大変形を受ける鋼構造物溶接接合部の強度と破壊靱性

##### 研究期間

1992～1997年（平成4～9）年

##### 研究目的

建築鉄骨接合部において脆性破壊を防止するために，どのくらいの靱性値が必要かを算出するための破壊力学的評価手法を確立する。

##### 研究内容

地震時に建築鉄骨骨組に生じるマクロなひずみ・ひずみ速度を算出するとともに，柱梁接合部における形状的不連続部の局所ひずみを，計算と大型模型試験によって求めた。また，繰り返し及び動的荷重による構造用鋼の材質変化を明らかにした。

これらの結果に基づいて，WES 2805のCTODデザインカーブを用いて，実物大柱梁接合部試験体の破壊挙動及び阪神大震災における破壊事故例を解析したところ，試験結果と比較的よい一致を得るとともに，破壊事故例についてもうまく説明することができた。すなわち，地震時での建築鉄骨骨組における脆性破壊については，CTODデザインカーブを用いたアプローチ法によって，おおよそ評価できることがわかった。

##### 研究成果

1992～1996（平成4～8）年度までの研究成果を，当協会主催のセミナー（「建築鉄骨の地震被害と鋼材セミナー」，1997年6月4日開催）で一般公開した。当セミナーには建築関連業界から定員を上回る200名以上の参加者があり，APD委員会の研究成果は参加者から高い評価を受けた。

#### (19) FTS委員会（主査：宮田隆司）

##### 研究テーマ

鉄鋼材料の破壊靱性に関する最近の研究，規格の情報収集と意見交換及びWES 2805最終原案の

取りまとめに関する研究

研究期間

1994～(平成6～)年

研究目的

鉄鋼材料の破壊靱性に関する最近の研究結果、海外規格の動向についての情報収集、意見交換を通じて、国内におけるこの分野の研究センターとしての役割を果たすとともに、国際規格への意見集約、国内規格の再整理、改正に向けての準備作業を進めることを目的とする。また、破壊靱性に関連した新規課題の抽出と、若手研究者の育成といった機能をもたせる。さらに、WR3委員会で検討されたWES 2805関係の付随業務も、本委員会で継続して検討する。

研究内容

本委員会では以下の4つのWGで活動を進めている。

WG-A:破壊靱性試験法(破壊靱性試験に関する海外規格、国際規格の動向と問題点の抽出) WG-B:WES 2805英文化(改正されたWES 2805の英文版の作成)

WG-C:WES 2805ソフト開発(改正されたWES 2805の運用ソフトの開発)

WG-D:WES 2805改正案取りまとめ(各社意見の集約と最終原案取りまとめ)

1997(平成9)年2月に、WES 2805改正案は最終的に理事会で承認され、WG-Dの作業は終了した。

(20) APD 委員会(主査:高梨晃一)

研究テーマ

繰り返し大変形を受ける鋼構造物溶接接合部の強度と破壊靱性(APD委員会のPhase :工学的手法の完成)

研究期間

1997～(平成9～)年

## 10.5 今後の活動予定

### 10.5.1 各種WESの制定

鉄鋼部会の活動は、その年代年代において解決を必要とされた鉄鋼メーカー、ユーザーの共通課題を取り上げ、多くの成果を上げてきた。その成果は、多くのWESとして制定・改訂されるとともに、時代に応じた新たな技術として世の中に提示されている。

すなわち、 $P_{CM}$ 概念を取り入れた溶接用高張力鋼板規格(WES 3001)、溶接割れ感受性の低い高張力鋼板の特性規格(WES 3009)、CTOD概念を取り入れた低温構造用鋼板判定基準(WES 3003)などの規格は、鉄鋼製造技術の発展を促し、安全性の高い高張力鋼や低温用鋼の認定規格として、世の中で広く使用されている。 $P_{CM}$ 概念は、このWES 3001が発祥となり、溶接割れ防止のための成分指標として、国内外で高く評価されJISや海外規格にも取り入れられた。

また、破壊靱性にかかわる研究は、鉄鋼部会の主要な研究テーマと位置づけられている。その研究成果は、溶接構造物の安全性評価のため、脆性破壊に対する溶接欠陥の許容判定基準(WES

2805)として1976(昭和51)年に規格化された。

WES 2805は、国内では欠陥評価や溶接構造物の安全設計の基準となり、海外からも高く評価されている。同WES 2805は、1990(平成2)年より開始されたWR3委員会の見直し改正作業にもとづき、内容を一新し、新たな技術を導入した全面改訂版が1997(平成9)年に発行された。

また、この研究成果は、日本で初めてのCTOD試験法の規格(WES 1108及びWES 1109)の制定にも結びついた。現在研究活動中のFTS委員会は、この流れをくむものであり、国際的な破壊靱性規格の動向を整理しつつ、新たな破壊靱性評価手法に発展させるための検討準備を行っている。

### 10.5.2 APD委員会の活動と今後の溶接構造物

一方、建築構造物の地震時の安全性に関する研究テーマとして、APD委員会の活動を実施している。この研究は、阪神大震災での建築被害の原因解明というニーズと相まって、世の中の脚光を浴びる結果となり、現在、破壊力学的な考え方で、

建築物の安全性確保のために鋼材や溶接部に必要とされる靱性を導出する手法を検討している。

今後の溶接構造物は、設計ニーズからくる構造物の軽量化、安全性向上のための高性能鋼（高強度、高靱性、高変形能など）や、溶接施工性改善のための鋼材（TMCP 鋼など）の適用が増大するものと考えられる。さらに、安全性を確保しつつ、施工費用と維持管理費用のトータルコスト（ライフサイクルコスト）の低減が可能となるような、適切な性能を備えた鋼材を使用する最適性能指向がますます重要になると考えられる。

この長期耐用のためには、鋼材と溶接部の耐腐食特性、耐疲労特性などの耐久性向上が必要となる。また、地球環境問題に対応し、省エネルギー、クリーンエネルギーの推進に呼応した新たな材料が必要となってくるであろう。

鉄鋼材料は、こうした世の中の様々なニーズに応え、TMCP 技術の活用やマイクロ組織制御技術などにより、今後さらに品質向上の技術開発が行われるものと考えられる。その際、接合技術が重要

であることはいうまでもない。今後、構造物溶接接合部の安全性評価や長期寿命評価の必要性が増すものと考えられる。

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。これは、建設省などで推進している性能規定化にも整合するものでもある。

今後も大学及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。

#### 引用文献

- 1) 林 明夫：「ふえらむ」, Vol.2 (1997) No.5, p.245
- 2) 楠原祐司：第 159-160 回 西山技術記念講座「新しい時代を創造する高性能厚板」(日本鉄鋼協会編), (1996)p.13