

第Ⅱ部 研究委員会活動史

溶接構造研究委員会

南 二三吉\*

1. はじめに

溶接構造研究委員会は、溶接学会に設けられた最初の研究委員会(昭和34年に発足)、溶接による構造製作に関わる材料・施工・設計の3分野を結びつけ、そこで生じる力学的諸問題の解明と分析を通して、構造の安全性を考えた「モノづくり」に役立つ基礎情報を与えることを活動の目的としている。

委員会の活動は、昭和30年代後半から大型溶接構造物の施工が活発化するのと相まって活性化し、昭和44年に溶接施工に伴う熱的・応力の現象を重点的に取り扱う研究分科会(略称WD分科会)が設置された。このWD分科会の活動が現在の委員会活動の原型となっている。

溶接構造研究委員会の守備範囲は、力の流れを考える構造設計関連分野、溶接性や溶接に伴う力学的変化を扱う施工分野、構造の強度や破壊性能を診断する信頼性評価分野に大別され、各時代の構造/製品・溶接技術・使用材料に応じた研究課題が取り上げられてきた。委員会は年に4~5回開催されているが、溶接力学研究は造船分野でも古くから行われてきたことから、昭和46年度から平成5年度までは日本造船学会溶接研究委員会第2分科会(昭和61年度からは材料・溶接研究委員会溶接加工分科会に名称変更、現在は構造・材料研究委員会)との合同で委員会が企画された(昭和45、46年は鋼構造協会溶接割れ研究班とも合同開催)、日本造船学会との関係は現在も続いており、年に1度、構造・材料研究委員会との合同委員会を行っている。これらの通常委員会に加え、佐藤委員長の時代は日本造船学会溶接研究委員会との共催でシンポジウムを数回開催し、また、平成3年度からは隔年に、学協会を横断して溶接構造製作に関わるup-to-dateな話題を議論する「溶接構造シンポジウム」を開催している。さらに、溶接学会全国大会などにおいて、これまでに5回のフォーラムを企画した。

委員は、中立機関からの委員と企業からの委員がほぼ半々を占め(最近では中立委員の方が多い)、産業界からは鉄鋼、重工・造船、橋梁・ペンストック、建築、電力・ガス、電気などの分野から参加をいただいている。平成12年度時点での委員数は、中立委員が48名、企業委員が27名、合計75名である。

2. 委員会活動内容

溶接力学研究は、鋼構造物の溶接施工において、溶接という熱加工プロセスがもたらす力学的変化にいかに対応するかが出発点となり、拘束応力と低温割れ、溶接変形・残留応力、継手の静的強度、脆性破壊・靱性評価、などの研究テーマに順次取り組んでいった。図1に、本委員会でこれまでに発表・討議された話題の推移を、対象とした構造、溶接法などとともに年代順にまとめる。委員会の開催頻度は毎年4~5回、1回あたりの発表件数は概ね5~6件でとくに大きな変動がないため、各話題の頻度を割合で表示している。また、表1には、各年代における主な研究課題を分野別にまとめた。研究課題の変遷は次のようである。

(1) 本委員会の活動

WD分科会設立~1970年:

継手の拘束度と低温割れ、溶接変形・残留応力、継手の静的強度評価がこの時期の3大テーマで、とくに低温割れに関する話題が多い。継手の拘束度・冷却時間と低温割れの関係、各種割れ試験片(スリット型、H型、TRC、RRCなど)の拘束度、鋼材の割れ感受性指数、割れ防止予熱温度などが活発に議論されている。溶接変形・残留応力については、横収縮・横曲がり変形、拘束

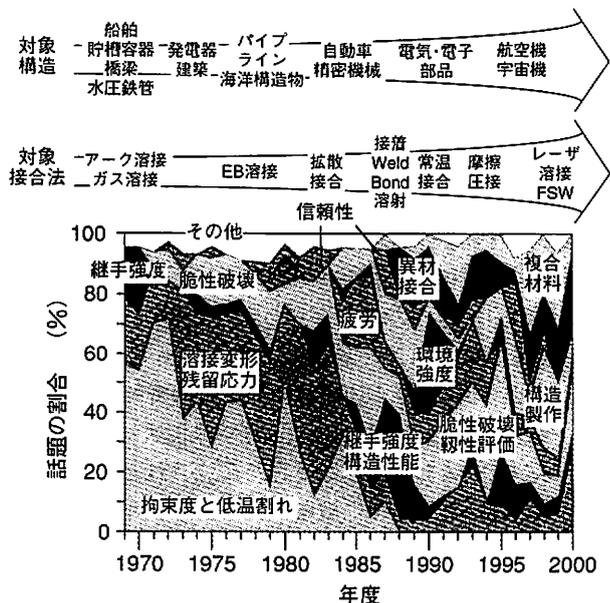


図1 溶接構造研究委員会で討議された話題の推移

\*大阪大学(溶接構造研究委員会委員長)

表1 溶接構造研究委員会における主要研究課題の推移

	WD分科会 設立(1969)	1975	1980	1985	1990	1995	2000
拘束度と 低温割れ	片面自動溶接終端割れ 拘束度、割れ防止予熱温度 割れ感受性指数PCM, P <sub>c</sub> , P <sub>w</sub>	多層溶接ミカ割れ H <sub>v,max</sub> ⇔ C <sub>eq</sub> , ΔT <sub>800/500</sub>	インプラント試験登場 変位制御インプラント試験 割れ試験の相関 FEM解析の導入	割れ感受性パラメータP <sub>HA</sub> , CEN 割れ試験の相関 割れ試験の標準化			
溶接変形 残留応力	横収縮・横曲り変形 拘束度の影響 パラメータQ/h <sup>2</sup> , Q/h FEM解析の導入	角変形 相変態 線状加熱 固有歪理論 残留応力測定法	回転変形 線状加熱 固有歪理論 3次元σ <sub>r</sub> 測定法	厚肉狭間先溶接の変形 円筒・球殻の変形, σ <sub>r</sub> 簡易評価式 固有歪理論による3次元σ <sub>r</sub> 推定	溶接変形シミュレーション		ヒートテック材のσ <sub>r</sub> 高度工作精度管理
継手強度 構造性能	軟質継手		余盛応力集中 不均質材のクランプ	低YR鋼と構造性能			建築鉄骨継手ディテール
脆性破壊 靱性評価	破壊力学		欠陥評価 定荷重試験 9%Ni鋼き裂伝播	不均質材の破壊力学 Pop-in 確率論 LBZ問題	局部的不均質 強度ミスマッチ ローガプロシ 塑性拘束 予歪劣化 動的破壊問題		Transferability 動的破壊問題
疲労		熱歪脆化	溶接部破壊靱性評価	変動荷重 き裂開閉口 残留応力場のき裂伝播	発生・伝播統一評価 き裂形成機構		
環境強度				応力腐食割れ 腐食疲労 耐食性評価			
構造製作				荷重作用下の補修 本四連絡橋 大型ハンストック	施工自動化 システム 明石大橋	施工・組立シミュレーション 大地震被害 高強度鋼利用技術 車両軽量化 微小重力下の施工	
信頼性		非破壊試験の信頼性		フープ理論		予寿命評価・劣化診断	
異材接合				金属/セラミックス 熱応力 界面強度	皮膜・薄膜 傾斜機能材 接合継手 強度評価試験 剝離強度	電子デバイス 異材継手利用 界面信頼性	
複合材料					FRP FRM スマート材料 信頼性評価シミュレーション	ナノコンポジット フィンセラミックス	

度と変形の関係などが取り上げられている。継手の静的強度評価では、軟化部を含む継手（軟質溶接継手）の強度特性がこの時期に話題になった。軟化部の相対厚さが小さければ継手強度に特に問題のないことが明らかにされ、80キロ級高強度鋼の溶接施工における割れ防止予熱温度の低下につながった。

1971～1975年：

低温割れ問題が引き続き活発に議論され、有限要素法（FEM）の導入による拘束度・熱変形と低温割れの解析がなされている。また、フランスで提案された外的拘束割れ試験（インプラント試験）が紹介され、TRC、RRC試験との相関性が議論された。開先形状・ルート間隔と拘束度の関係、実構造物における拘束度なども研究されている。

溶接変形・残留応力については、変形量や残留応力分布の支配因子の理論的考察がなされ、入熱量Qや部材厚さhによらず、パラメータQ/h<sup>2</sup>、Q/hによって変形量や残留応力分布が一義的に評価できることが示された。また、熱弾塑性FEMによる数値解析の検討が始まり、多層溶接継手の残留応力分布や線状加熱による角変形問題、応力除去焼鈍問題などが研究された。

一方、溶接継手の脆性破壊特性の研究がこの年代から登場した。き裂先端開口変位CTODやJ積分による弾塑性破壊靱性評価、溶接欠陥と破断延性などが検討された。また、線状加熱や溶接熱歪による材質劣化が目ま

れ、AWN試験片（溶接前に切欠き加工）とBWN（溶接後に切欠き加工）試験片を用いた脆化メカニズムの考察がなされた。

1976～1980年：

低温割れ研究の成熟期にあたり、1) 局部応力、2) 拡散性水素量、3) 鋼材の割れ感受性指数の3要因からみた低温割れの防止法が研究された。特に、割れ限界応力は最高硬さH<sub>v,max</sub>に関係し、H<sub>v,max</sub>は鋼材の炭素等量C<sub>eq</sub>と800～500℃の冷却時間Δt<sub>800/500</sub>で決まることが明らかにされた。また、割れ試験法の標準化の検討、変位制御型インプラント試験によるRRC試験との対応性の考察、特異応力場パラメータの適用による割れ限界の統一的评价などがなされた。ラメラテア問題もこの時期に検討されている。

残留応力問題では、各種残留応力測定法が検討され、歪ゲージを用いた解放法、小切片による3次元残留応力測定法、X線による非破壊計測法が提案された。また、固有歪理論が登場し、それによる熱応力解析や残留応力測定への適用がなされた。溶接変形では、T形すみ肉、薄板、円筒・球殻などの溶接変形・残留応力特性、回転変形と溶接条件の関係が検討された。

破壊力学分野では、overall strainによる破壊性能評価、J積分による延性破壊評価、CTOD設計曲線の適用性の検討などがある。また、構造信頼性評価に関する研究が行われ、非破壊試験の信頼性を考えた欠陥許容限界

評価、強度・荷重の統計的変動を考慮した構造強度解析などがなされた。

#### 1981～1985年：

この時期は各種構造要素の溶接変形・残留応力解析が盛んになされ、円柱・円筒、球殻構造、圧力容器ノズル部などを対象とした解析から、溶接変形・残留応力の簡易評価式が考案された。また、固有歪理論を駆使して、薄板試片のみを用いて溶接部の3次元残留応力分布を精度良く測定する手法が提案された。施工関連では、厚肉狭開先溶接部の変形問題などが取り上げられている。

破壊力学分野では、溶接部の材質不均一に注目した研究が展開された。低靱性部を含む溶接部の破壊靱性評価、pop-in破壊の安全性評価、曲げ限界CTODと引張限界CTODの対応、強度不均質材のシャルピー吸収エネルギーの意義、き裂まわりの応力・歪特性と強度的不均質などが取り上げられている。これらの検討を基に、1985年の溶接学会秋季全国大会において、本委員会が第1回フォーラム「溶接部の靱性要求と靱性試験法」を主催した。また、9%Ni鋼の脆性き裂伝播停止特性や、定荷重試験によるき裂成長評価がこの時期に話題になった。

継手強度評価においても強度的不均質と関連した研究がなされている。60キログラム級鋼軟質継手の強度評価、不均質を考えた溶接部のクリープ性能評価などがある。実施工関連では、応力作用下の橋梁の補修溶接、本四連絡橋の溶接施工が話題に上がっている。

低温割れ問題では、割れ感受性の指標パラメータに関する報告が多くなされ、従来 $C_{eq}$ や $P_{CM}$ に比べて広範囲のC量( $C < 0.3\%$ )に適用可能なパラメータCENや、水素拡散や継手拘束度も考慮した評価パラメータが提案された。また、各種割れ試験法の相関や、多層溶接の割れ試験法、小型試験片による水素濃度測定法などが検討されている。

また、この時期から、疲労強度問題も積極的に取り上げられ始めた。残留応力の再配分を考慮した疲労き裂伝播解析、変動荷重下での累積疲労損傷、疲労強度に及ぼすスパイク荷重の影響などが報告されている。

#### 1986～1990年：

鋼多層溶接部の破壊靱性、低降伏比鋼と構造性能、異材接合体の熱応力・界面強度などがこの時期の重点テーマとなっている。

極地向けの高強度鋼として溶接性に優れたTMCP鋼が開発され、海洋構造物などへの適用が本格化し始めた時、多層溶接熱影響部での局部的靱性劣化部(LBZ)の存在がにわかに問題となった。破壊分野ではこのLBZ問題が主体に扱われ、破壊発生時の支配組織、破壊限界CTODとLBZ寸法・試験片板厚の関係、き裂導入位置の影響、LBZフリー技術などが研究された。また、大入熱溶接時のTMCP鋼のHAZ軟化が話題となり、継手性能への影響が議論された。

構造設計関係では、建築分野での耐震性要求から新たに開発された低降伏比鋼が注目を集め、降伏比と構造性能の関係が盛んに議論された。また、ペンストック用のHT100鋼が開発され、その施工性が検討された。

疲労関連では、変動荷重下でのき裂発生と伝播、残留応力場でのき裂伝播、き裂開閉口を考えた伝播特性評価などが討議されている。また、溶接部の腐食疲労、応力腐食割れ、水素浸食など、環境強度評価に関する報告も多くなされた。

一方、材料の高機能化のニーズから、セラミックス/金属接合のような異材としての機能を積極的に活用する動きが盛んになり、接合界面近傍の熱応力・残留応力特性、端部の応力特異性、界面強度とその評価法などが研究された。このような異材接合技術の活発化を背景として、1990年溶接学会春季全国大会において、本委員会がフォーラム「異材接合界面強度評価へのアプローチ」を主催した。

この時期から、産業界の技術革新による研究分野の広がりが目立つようになり、それに対応したテーマ開拓を目的として、平成元年に本委員会内に3つの分科会(異材接合界面の力学分科会、複合材料接合部強度分科会、環境強度設計分科会)が設置された。分科会の活動概要は後で紹介する。

#### 1991～1995年：

強度・靱性の不均質に着目した溶接部破壊研究、界面の力学、溶接力学のシステム化などがこの時期の中心テーマである。

強度的不均質と破壊特性、低靱性部を含む材の破壊靱性評価など、本委員会が行ってきた強度・靱性の不均質を扱う破壊研究が世界でも盛んになり、「ミスマッチ」をキーワードとする一つの研究分野が誕生した。このような状況に照らし、世界に先駆けて1992年にワークショップ「Strength Mismatching and Its Control」を開催し、また、2年後の1994年には不安定破壊に及ぼす強度的不均質や試験片形状・寸法による塑性拘束の影響を考えるワークショップ「Constraint Effects on the Structural Performance of Weldments」を開催した。これらの研究成果が、IIW第X委員会WG提案の鋼多層溶接部破壊靱性試験ガイドライン「Definitive Statement on CTOD Testing of the Heat Affected Zones of Steel Weldments, IIW Doc. X-1241a-93 (1993)」や、日本溶接協会規格「WES 1109-1995: 溶接熱影響部CTOD試験方法に関する指針(1995)」に反映された。また、ワイルド応力を破壊駆動力とするローカルアプローチが導入され、破壊試験のtransferabilityの研究が始まった。疲労分野では、き裂発生と伝播に有効に寄与する負荷指標が議論され、発生・伝播の統一的评价が試みられた。

界面の力学関係では、異材継手や皮膜・薄膜の界面強

度、密着強度の評価試験法、接着継手の強度、傾斜機能材の熱応力特性などが研究された。また、繊維強化複合材をはじめとする複合化材料の力学特性と利用技術への関心が高まり、日本材料学会複合材料部門委員会との合同委員会が企画されるようになった。

残留応力については、固有歪理論による溶接部の3次元残留応力分布の測定とその簡易化に関する研究が展開された。また、溶接変形のシミュレーション技術が発展し、船舶・建築・橋梁などの分野での溶接施工の自動化・システム化の動きと相まって、実用化への期待が高まった。ニューラルネットやエキスパートシステムの利用も研究され始めた。

構造製作では、明石大橋の建設と、それ用に開発された予熱低減型80キロ級高強度鋼が話題になった。また、構造物・機器の経年変化診断や余寿命評価の研究が重要性を増す一方で、この頃から、技術・技能の伝承問題がクローズアップされるようになった。

この時期には地球環境問題といった新たな課題も登場し、このような製造業を取り巻く周辺条件の変化の中で、社会ニーズに対応した今後の構造化技術のあり方について考える目的で、1991年から関連の学協会にも参加を呼びかけて「溶接構造シンポジウム」の開催を始めた。

1996～2000年：

不均質力学・界面力学を駆使した高機能化・多機能化、メゾ・ナノメカニクスを導入した材料接合科学、計算機活用による設計・施工支援システム、モノづくりのバーチャルシミュレーション、生産技術への付加価値概念の導入など、21世紀に向けた溶接力学研究の発展方向の様々な可能性が検討された。

特に、ブレイクスルーの期待される次世代の構造化技術に関し、1996年春と2000年秋の溶接学会全国大会において、それぞれ、フォーラム「溶接構造物への高強度鋼適用拡大を巡る諸問題とその解決に向けて」と、フォーラム「新世紀を拓く高度工作精度管理技術」を開催し、高強度鋼の特性を活かす構造化のための材料・力学研究の方向、ならびに、熟練技能者数の減少傾向下における工作精度管理技術のあり方について、参加者も交えた活発な意見交換を行った。

トピックとしては、兵庫県南部地震での被害事例を教訓とした脆性破壊研究があり、大地震時の繰返し大変形と動的負荷の影響を考えた破壊評価、柱・梁接合部の継手ディテールと構造変形能の関係などが緊急課題として取り上げられた。

## (2) 分科会活動

1980年代後半から目立ち始めた技術革新による要求機能の多様化・高度化は、溶接構造研究委員会の守備すべき範囲の拡大をもたらし、今後の重点テーマの開拓と、委員相互の情報交換をさらに密とすることを目的として、1989年(平成元年)に本委員会内に3つの分科会

(異材接合界面の力学分科会、複合材料接合部強度分科会、環境強度設計分科会)が設置された。各分科会の活動内容は以下のようである。

### <異材接合界面の力学分科会>

主査：豊田政男(1989～1991)、南二三吉(1992～1997)

溶接・接合部は、本来、異材の接合部であるが、異材の接合・ハイブリッド化などで積極的に異材接合体としての機能を利用する動きが見られ、多くの成功例が引き出されている。このような異材接合体の有効利用に当たっては、接合界面の強度評価法など、いくつかの検討すべき課題が残されており、以下の項目に的を絞った共同作業が実施された。

#### (1) 異材接合界面の力学

異材接合界面の応力・歪解析法と応力特異性

#### (2) 異材接合体の熱応力

異材接合界面に生じる熱応力の解法と、残留応力支配因子、熱応力緩和手法の原理とまとめ

#### (3) 異材接合界面強度評価

異材接合界面強度試験法のまとめと、各手法による評価結果の意義の考察

#### (4) 界面強度力学

接合界面強度に及ぼす諸因子の影響と界面強度評価手法

これらの調査活動をベースとし、本分科会が中心となって、1990年溶接学会春季全国大会でフォーラム「異材接合界面強度評価へのアプローチ」を開催した。本分科会からの出版物として、レビュー「異材接合界面の力学(Part 1)－接合界面の力学的取扱い及び界面強度評価と制御－」(1991年)がある。

### <複合材料接合部強度分科会>

主査：豊貞雅宏(1989～1991)、座古勝(1992～1995)

軽量かつ高強度で腐食されにくい材料を用いて構造物を製作することは、従来からの大きなニーズであるが、FRPに代表される複合材料の登場によって、複合材料利用技術への関心が高まってきた。複合材料の特長は、高比強度・高比剛性と、強化繊維の組合せや繊維配向の仕方によって強度特性を自由に設計できること(Tailored Materials)にあるが、一体成形できる大きさには限度があり、いかに接合するかが大きな課題となっている。本分科会では、複合材料の力学的特性評価技術、及び、複合材料接合部の強度評価試験法について調査を行い、問題点と今後の検討課題を明らかにするとともに、材料複合化技術の利用による構造化研究の展開を探る共同作業を実施した。

本分科会が中心となった企画として、1994年溶接学会春季全国大会でのオーガナイズドセッション「複合材料は溶接できるか－複合材料を生かす接合設計－」がある。また、レビュー集として、「FRP接合継手の現状と問題点」(1991年)、「異材接合界面の力学(Part 2)－接合界面の解析手法及び複合材料寿命解析例－」(1995年)を発刊した。

## <環境強度設計分科会>

主査：村田雅人（1989～1991）

材料強度及びその接合部の強度は、特定の使用環境下では著しく劣化することがあり、このような劣化現象に起因する構造物の事故が多数報告されている。にもかかわらず、環境強度劣化の機構と強度評価手法は必ずしも確立されているとは言えず、この分野における研究調査の重要性が指摘されている。本分科会では、特に、超高温問題、原子力問題、特殊プラント問題、極低温問題を取り上げ、極限環境下における材料強度評価について現状における問題点を整理し、構造安全性確保のための環境強度設計概念の確立に向けた情報交換を行った。分科会での共同作業を足がかりとして、1992年に環境強度設計講習会「溶接・接合部における環境劣化損傷に対する考え方と予寿命評価」を開催し、環境強度設計の基本と実機への適用方法に関する情報公開を行った。

### 3. 人事、予算の推移

溶接構造研究委員会は、設立当時は、鉄鋼、重工・造船、橋梁・ペンストックといった重厚長大産業が中心であったが、対象とする研究領域が広がるにつれて、建築、電力・ガス、機械、電気・エレクトロニクスなどの分野からも参加をいただくようになった。メンバー会社の数は、社会情勢によって幾分増減しているが、ここ10年間は30社前後といった状況である。当初は中立機関の委員と企業委員とがほぼ半々であったが、最近では中立委員の方が多くなる傾向にある。

表2に溶接構造研究委員会の歴代の委員長、副委員長、幹事長(昭和61年度までは幹事1名体制)を掲げる。昭和44年に設立されたWD分科会は、実質的には委員会活動の主要部分を担い、昭和55年度からは本委員会に統合されて組織が一本化した。昭和46～平成5年度は、日本造船学会溶接研究委員会第2分科会(昭和61年度より材料・溶接研究委員会 溶接加工分科会)との合同で委員会が開催され、佐藤委員長が第2分科会主査をされるとともに、第2分科会側では、上田幸雄先生、富田康光先生らが本委員会の運営に尽力された。また、平成元年～9年度は、前述の3分科会が設置され、戦略的活動が展開された。

図2は、ここ20年間の委員会予算の推移を表している。1990年度からの予算の伸びは、委員会参加費の改正(会社会員の年間参加費を2.5万円から4万円に改正)や、メンバー会社数の増加などによる。また、最近の予算が一見減少しているように見えるが、これは学会での前年度繰越金の取り扱いの変更によるもので、それを計上すると破線のようになる。

### 4. フォーラム、シンポジウムなどの活動

委員会自体の活動はすでに述べた通りであるが、委員会の枠を越えて広く意見交換を行い、活動の活性化と新たなテーマ開拓、創造的研究への展開などを図ることをねらいとして、フォーラム、シンポジウム、ワークショップなどを企画してきた。これらの活動を簡単に紹介する。

#### フォーラム

溶接学会では、全国大会での主要行事として1985年の秋季大会からフォーラムを開催しているが、溶接構造研究委員会がその第1回を担当し、以来、合計4回の全国大会フォーラムを実施した。また、1992年には、構造化研究の新しい可能性を探るべく、関連学会との合同フォーラムを開催した。

<1985年秋季大会フォーラム：溶接部の靱性要求と靱性試験法>

座長：佐藤邦彦，豊田政男（大阪大学）

鋼構造の使用条件が厳しくなるにつれ、従来のシャル

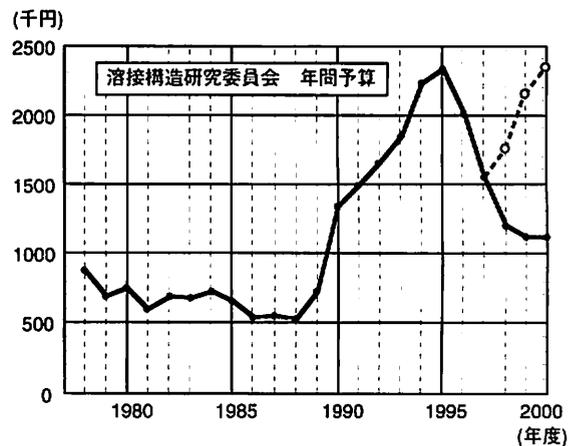


図2 溶接構造研究委員会の年間予算の推移

表2 溶接構造研究委員会の委員長、副委員長、幹事長の推移

年度	昭和34~39	昭和39	昭和40~43	昭和44~48	昭和49~54	昭和55~61	昭和62~3	平成4・5	平成6・7	平成8・9	平成10・11	平成12・13
委員長	友永和夫		渡辺正紀	奥村敏恵 佐藤邦彦 (WD分科会主査)		佐藤邦彦	向井啓彦	豊田政男		座古勝		南二三吉
副委員長	奥村敏恵		-	-		-	-	瀬尾健二	瀬尾健二 座古勝	寺崎俊夫 南二三吉	南二三吉	村川英一 有持和茂
幹事 幹事長	松井繁朋			豊田政男			(複数) 村田雅人	(複数) 南二三吉	(複数) 高野直樹			

注：昭和45、46年度は日本鋼構造協会溶接割れ研究班との合同開催

昭和46年度～平成5年度は日本造船学会溶接研究委員会第2分科会(昭和61年度より材料・溶接研究委員会 溶接加工分科会)との合同開催(この時期は、佐藤先生が日本造船学会溶接研究委員会第2分科会主査を兼任(昭和46年度～昭和60年度)されるとともに、造船学会側では、上田幸雄先生、富田康光先生らが本委員会の運営に尽力されている。)

ピー靱性要求に加えてCTOD試験などの破壊力学試験による破壊靱性試験が義務づけられる傾向が強くなり、評価の合理性と、溶接部のもつ特殊性に照らして破壊靱性試験法のあり方を考えることを目的として、標記のフォーラム開催した。第1回目のフォーラムであることと、話題のタイムリー性から、会場に収容しきれないほどの参加者を得た。

#### <1990年春季大会フォーラム：異材接合界面強度評価へのアプローチ>

座長：豊田政男（大阪大学）、伊藤義康（東芝）

材料複合化や異なる材料の接合など、異材としての特性を積極的に活用して材料高機能化を図る動きが活発化し、界面をキーワードとする力学問題を考える必要性が生じた。本フォーラムは、このような背景から委員会内に設けられた「異材接合界面の力学分科会」が中心となって企画し、接合界面の強度評価法とその問題点、界面の品質管理と強度向上法などについて活発な議論が行われた。

#### <1992年合同フォーラム：溶接構造・力学研究の今後の方向と課題>

座長：上田幸雄、豊田政男（大阪大学）

各産業の研究分野の広がりや技術革新が進む中で、日本造船学会溶接研究委員会及び大阪大学溶接工学研究所（現在の接合科学研究所）との共催で、製造業における構造・力学研究の位置づけと今後の研究課題、研究分野の人材育成・教育問題、研究アプローチの手法などについて考えることを目的としたフォーラムを企画し、広く意見交換を行った。

#### <1996年春季全国大会フォーラム：溶接構造物への高強度鋼適用拡大を巡る諸問題とその解決に向けて>

座長：南二三吉（大阪大学）、有持和茂（住友金属）

海洋構造物やパイプライン、ペンストックなど鋼構造物の大型化に伴い、高強度鋼の適用拡大への期待が高まってきた。しかし、それには、溶接性や破壊靱性、疲労問題など、幾つかの対応すべき課題が残されている。そこで、現状における問題点とニーズを整理し、大型構造製作のための高強度鋼の安全な使い方、設計・施工における高強度化のメリットを生かす工夫などについて、材料・力学研究者、設計・施工技術者が一同に会して討論を行った。フォーラムは満席となり、この分野への大きな期待・関心が感じられた。

#### <2000年秋季全国大会フォーラム：新世紀を拓く高度工作精度管理技術>

座長：村川英一（大阪大学）、大澤守彦（日立造船）、井上好章（三菱重工）

重工長大産業のみならず、自動車、家電機器産業など、多くの製造業が共通に抱かえる重要な問題の一つが、工作精度の管理である。しかし、熟練技能の衰退傾向にある中で、従来の高技術水準を確保するのは必ずし

も容易でなく、新たなブレイクスルーが求められている。本フォーラムでは、最近の計算機シミュレーション技術や計測技術の目覚ましい発展をふまえ、次世代に向けた工作精度管理技術の革新的展開について語り合った。

#### 日本造船学会との共催のシンポジウム

佐藤委員長の時代に、日本造船学会溶接研究委員会第1分科会（主査：金沢、町田先生）及び第2分科会（主査：佐藤委員長）との共催で、破壊力学と溶接力学などに関するシンポジウムが隔年おきで数回開催された。内容は、高張力鋼の溶接、溶接低温割れ、溶接残留応力・変形、破壊と溶接などに関係する分野が中心で、当時のトピックスが取り扱われた。このシンポジウムは常に100名以上の参加者を集め、我が国における溶接力学・破壊力学の研究活動を指導・主導する立場にあったと言っても過言でなく、産業界からも大きな注目を集めていた。当時の鋼構造物の溶接施工の発展に本委員会の活動が大きく反映されたのがこの時期である。

#### 溶接構造シンポジウム

要求機能の多様化・高度化、生産の国際化・グローバル化、技術・技能の伝承問題、地球環境問題、ライフサイクルなど、製造業を取り巻く周辺環境が大きく変化していく中で、社会ニーズに対応した今後の構造化研究の方向について考える目的で、1991年から関連の学協会に参加を呼びかけて「溶接構造シンポジウム」を開催するようになった。シンポジウムはオーガナイズド方式で企画し、これまでに5回開催した（大阪地区開催）。図3に、各回の発表論文数と参加者数の推移をまとめる。シンポジウムでは、一般論文に加えて、各時期のup-to-dateな話題を特別講演やホットトークとして取り上げ、研究者・技術者が互いに分野を越えて交流できる場を提供した。各シンポジウムの基調テーマと特別講演は次の通りである（講演者（敬称略）の所属は当時のもの、詳細は本誌の研究委員会報告を参照）。

#### <溶接構造シンポジウム '91>

テーマ：第1回ということで特にシンポジウムテーマは設けず、溶接力学・構造化技術関連の要素技術の話題を広く募集した。

論文セッション：異材接合体の力学、溶射皮膜強度、複合化プロセス、複合材料強度、残留応力、溶接部破壊強度、疲労強度、環境強度、性能劣化と寿命予測

特別講演：

「空中立体都市構想と新素材」……中辻輝幸（清水建設）

#### <溶接構造シンポジウム '93>

テーマ：大型構造物及び複合材料利用技術の将来展望

論文セッション：構造用鋼と溶接材料の発展、各種構造の溶接施工、溶接力学現象のシミュレーション、溶接部破壊強度、環境強度、異材接合プロセスと界面・皮膜強度、複合材料の力学的特性評価

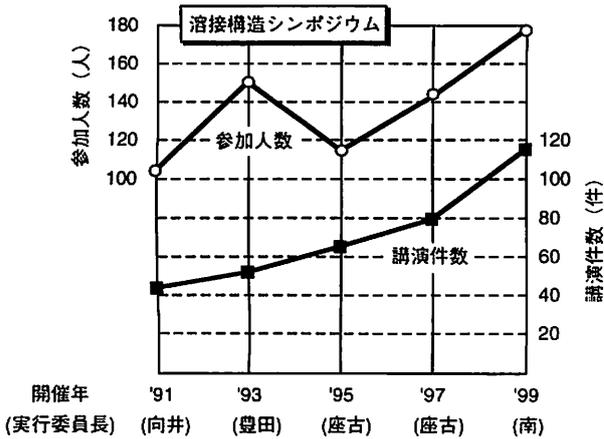


図3 溶接構造シンポジウムにおける参加人数と講演件数の推移

技術, 接着強度評価

特別講演:

「大型プロジェクトなどにみる技術的課題と構造研究のあり方」

- 大型揚水プロジェクト ..... 早川知夫 (関西電力)
- 高圧天然ガスパイプライン ..... 川西直規 (大阪ガス)
- 大型船舶 ..... 伏見彬, 渡辺栄一 (三菱重工)
- 超高層建築 ..... 山崎真司 (三菱地所)

「複合材料利用技術の変遷と将来展開における課題」

- FRM 利用技術 ..... 福永秀春 (広島大学)
- 炭素繊維利用技術 ..... 京野哲幸 (東レ)
- 航空機機体への利用展開 ..... 山口泰弘 (三菱重工)
- 航空エンジンへの利用展開 ..... 大鍋寿一 (IHI)
- 宇宙機への利用展開 ..... 村山邦彦 (三菱電機)

<溶接構造シンポジウム '95>

テーマ: 構造化・複合化プロセスとその特性評価技術への展開

論文セッション:

- セッション A 「溶接構造物・構造物の強度とその特性評価技術への展開」  
溶接部の強度と破壊, 溶接継手の疲労特性, 環境強度特性, 予歪問題
- セッション B 「溶接力学現象シミュレーションとその特性評価技術への展開」  
各種構造物の溶接施工, 非破壊診断技術, 溶接残留応力の制御, 溶接変形シミュレーション
- セッション C 「材料複合化プロセスとその特性評価技術への展開」  
複合材料の力学的特性評価, 複合化設計と信頼性, 異材接合プロセスと界面・皮膜特性評価, 接着継手特性

特別講演:

- 「産業科学技術研究開発制度の概要」 ..... 細川幹夫 (工業技術院)

「航空宇宙分野における民需転換の製品戦略」 ..... 加藤貞男 (三菱重工業)

<溶接構造シンポジウム '97>

テーマ: 新世代構造のための高強度鋼/新素材の適用と信頼性

論文セッション:

- セッション A 「溶接構造物への高強度鋼の適用拡大に向けて」  
高強度鋼及び溶接材料の開発動向, HAZ 靱性・疲労強度の向上策, 動的破壊問題, 予歪問題, 環境強度問題, 鋼構造部の溶接施工
- セッション B 「溶接残留応力・変形の予測と継手特性の非破壊評価」  
残留応力特性と制御, 溶接変形シミュレーション, 異材接合界面強度評価, 溶射皮膜の密着性評価, 継手強度の非破壊評価
- セッション C 「構造物への複合材料利用と高信頼性へのアプローチ」  
複合界面の特性と強度評価, 複合材料の力学的特性評価, 材料特性評価とシミュレーション, 構造の防災対策と信頼性評価

特別講演:

- 「新世紀構造材料の提案」... 志賀千晃 (金属材料技術研究所)
- 「B-777 の開発について」..... 江浪滋夫 (全日本空輸)

<溶接構造シンポジウム '99>

テーマ: 21 世紀のモノづくりへの要素技術の展開

論文セッション:

- 構造製作分野: 21 世紀の高強度鋼と大型構造製作, 高強度鋼の特性評価と材料科学, 21 世紀の接合技術と非破壊検査, 建築鉄骨の設計・施工
- 評価技術分野: 破壊力学試験の Transferability, 動的特性評価, 疲労強度向上策, 溶接残留応力測定と制御, 溶接変形とその予測, 極限環境強度, 異材接合界面強度評価, 接着継手の強度評価, 摩擦圧接継手の強度評価, 経年劣化と寿命診断, 応力・歪センサとモニタリング
- 新素材活用技術: 機能材料の特性評価と構造化, リサイクル問題, 衝撃破壊問題, モデリング・シミュレーション技法, 信頼性評価と設計

ホットトーク:

- 「地下海水揚水の構想と技術的課題」 ..... 小野寺一元 (電源開発)
- 「大出力レーザの構造物への利用技術と課題」 ..... 片山典彦 (IHI)
- 「金属材料の超長寿命域での疲労現象と信頼性保全技術」 ... 酒井達雄 (立命館大学)
- 「鉄骨構造物の溶接が抱える問題—問題の所在と解決への努力—」 ... 中島正愛 (京都大学)
- 「次世代街区用鉄骨系 SI 住宅」..... 寺田利担 (川崎製鉄)

## 国際ワークショップ

破壊力学分野の世界的傾向に照らして、本委員会の研究 activity を内外に紹介するとともに、最新情報を交換することを目的として次の二つの国際ワークショップを開催した。

<Strength Mismatching and Its Control, Tokyo, July, 1992 (Chairman: 豊田政男)>

本委員会が取り組んできた不均質材の強度と破壊の問題が、コンピュータ利用技術の発達によって世界の多くの研究者の興味をひくテーマとして再び注目を集めるようになり、「ミスマッチ」をキーワードとする一つの研究分野が誕生した。このような状況に鑑み、世界に先駆けて1992年に標記の国際ワークショップを開催した。

話題：強度的ミスマッチと破壊，LBZ問題，Local CTOD，微視的不均質，2相組織鋼

<Constraint Effects on the Structural Performance of Weldments, Osaka, September, 1994 (Chairman: 豊田政男)>

切欠き材の破壊強度には塑性拘束の影響 (Constraint Effect) が大きいことが従来から知られていたが、1980年代後半に塑性拘束の定量的な評価手法が提案され、FEM解析を併用するこの分野の破壊研究が盛んになってきた。このような情勢から、1994年に試験片形状・寸法や強度的不均質による塑性拘束の影響を考えるワークショップを開催した。

話題：幾何学的形状と塑性拘束，強度的不均質と塑性拘束，延性破壊問題と塑性拘束，異材接合界面強度評価，拘束効果のモデリング，破壊問題の Transferability

## 講習会

溶接施工技術者及び設計・生産技術者の育成を目的として、本委員会が蓄積してきた溶接力学の知識と応用技術を広く一般に公開する講習会を以下のように企画した。

<溶接構造製作における溶接施工技術のポイント (溶接学会四国支部との共催)，1993年>

溶接技術を生かし安定的に高品質な構造を造るには、溶接という熱加工プロセスの基本特性を十分に理解することが重要であり、本委員会が溶接学会四国支部と合同して、溶接専門技術者及び設計・生産技術者を対象として、初心者にもわかるように、溶接がもたらす様々な影響とそれをふまえた構造製作のポイントを解説する講習会を開催した。

<初心者のための残留応力・変形解析と実験測定，1995年>

溶接・接合技術は、構造の単純化、生産性の向上、新機能の創出といった多くの利点を生み出す一方で、溶接欠陥や残留応力・変形といった特有の欠点を伴うことが

避け難い。そこで、溶接残留応力と溶接変形の発生メカニズムを解説し、残留応力測定・解析技術を一般に分かり易く伝授する講習会を開催した。なお、講習会では、本委員会で独自に開発した残留応力解析ソフトを用い(別途販売も実施)、解析・測定実習を併せて行った。

ガイドブック「最近の残留応力・変形解析に関する講習会」  
解析ソフト「溶接残留応力解析プログラム」

## 5. 溶接構造研究委員会の出版物のまとめ

- ・溶接構造シンポジウム講演論文集
  - '91 論文集(1991), '93 論文集(1993), '95 論文集(1995), '97 論文集(1997), '99 論文集(1999)
- ・Proceedings of the Workshop
  - Strength Mismatching and Its Control, Tokyo, July (1992)
  - Constraint Effects on the Structural Performance of Weldments, Osaka, September (1994)
- ・溶接構造研究委員会技術資料
  - FRP 接合継手の現状と問題点(1991)
  - 異材接合界面の力学 (Part 1) -接合界面の力学的取扱及び界面強度評価と制御- (1991)
  - 異材接合界面の力学 (Part 2) -接合界面の解析手法及び複合材料寿命解析例- (1995)
- ・講習会テキスト
  - 溶接・接合部における環境劣化損傷に対する考え方と予寿命評価 (1992)
  - 最近の残留応力・変形解析に関する講習会 (1995)
- ・解析ソフト
  - 溶接残留応力解析プログラム (1995)

## 6. 今後の活動方向

情報技術・メディアの発達によるグローバル化の進行、ボーグレス化による世界的大競争時代への突入、研究・技術開発及び専門技能における人材不足など、製造業環境の激しい変動期にある新世紀では、設計・施工・材料の知識融合・技術融合が以前にも増して強く求められるとともに、新たな視点に立った溶接力学研究・構造化技術が要求されることが予想される。例えば、

- ・構造システム化研究：高強度鋼利用技術，レーザ溶接などの高能率・高精度溶接技術，高度工作精度管理技術などを有機的に統合した構造化システム
- ・構造化シミュレーション：仮想空間での構造化と、それ駆使した構造製作の新しい可能性の探索、及び、各種因子の影響度予測
- ・リサイクルを考えた構造化：循環・廃棄を考えた構造化による地球環境保全への対応

これらへの対応の第1歩として、構造化技術のIT化への取り組みに着手したところである。