

溶接構造シンポジウム2006 会議録

「持続可能な発展と新たな挑戦」

主 催 溶接構造研究委員会

日 程 平成 18 年 11 月 13 日 (月) ~ 14 日 (火)

会 場 大阪大学銀杏会館

溶接構造シンポジウムが上記要領で開催された。主催委員会の南二三吉委員長の下で、シンポジウム実行委員会が村川英一実行委員長の下で組織され、早い時機から準備を行ってきた。今回のシンポジウムでは 3 件の特別講演、5 件のホット・トークと 103 件の一般講演が行われ、参加人数は合計で約 180 名に達する盛会となり、活発な議論と技術者間の交流が行われた。

特別講演題目と講師

『FITNET Procedure for Fitness for Service Analysis of Structures』

GKSS 材料研究所 接合評価分野 分野長
Dr. M. Koçak 氏

『溶接技術者から見た日本の大型構造物の歴史と技術的課題・展望 溶接設計からの視点 - 』

石川島播磨重工業 (株)
技術開発本部 技監

中西 保正 氏

『国際核融合実験炉 (ITER) 計画と工学課題』
(独) 日本原子力研究開発機構
那珂核融合研究所 所長

常松 俊秀 氏

ホットトーク題目と講師

『変態を利用した溶接変形低減の試み』
JFE スチール (株)

久保 高宏 氏

JFE スチール (株)

安田 功一 氏

大阪大学大学院工学研究科

望月 正人 氏

大阪大学接合科学研究所

金 裕哲 氏

『鉄鋼材料の破壊靱性評価手順の標準化 - 経済産業省基準認証研究開発事業 』
大阪大学大学院工学研究科

南 二三吉 氏

『アルミニウム合金の摩擦攪拌接合継手の機械的性質』

住友軽金属工業 (株)

難波 圭三 氏

『新しい概念による疲労寿命評価の概要と開発の現状』

九州大学大学院工学研究院

豊貞 雅宏 氏

『レーザ溶接を用いたステンレス製鉄道車両構体の開発と実用化 - ステンレス車両の未来を拓く美肌ボディ - 』

川崎重工業 (株)

平嶋 利行 氏

一般講演発表内容については、以下にその概要をまとめた (概要執筆者を括弧内に記す) 。この内、優秀発表論文に対して溶接学会シンポジウム論文賞 3 件と溶接構造研究委員会奨励賞 2 件が授与された。授賞論文とその選考理由を記す。

執筆者一覧 (敬称略)

伊木聡^{*1}、伊藤義康^{*2}、大畑充^{*3}、片山聖二^{*2}、亀山雅司^{*4}、北村貴典^{*5}、木村真晃^{*6}、日下正広^{*6}、久保高宏^{*1}、崎野良比呂^{*3}、高原涉^{*3}、田川哲哉^{*7}、中長啓治^{*3}、萩原直人^{*8}、樋口良太^{*3}、平田弘征^{*9}、廣瀬明夫^{*3}、藤井英俊^{*3}

執筆分担 (50 音順)

(^{*1}JFE スチール、^{*2}東芝、^{*3}大阪大学、^{*4}関西電力、^{*5}九州工業大学、^{*6}兵庫県立大学、^{*7}名古屋大学、^{*8}東京ガス、^{*9}住友金属工業)

【シンポジウム賞 (優秀論文賞) (3 件)】

(1) 「機械的性質の温度依存性を考慮した相変態応力解析方法」

寺崎俊夫、川上博己、長谷川弘毅 (九州工業大学)、福谷理明 (日本鑄鍛鋼 (株))

焼入れ製品の腐食疲労強度などの寿命向上のために、適切な焼入れ施工条件を事前に決定する手法を確立することをねらいとした先進的な研究である。焼入れの実験結果との比較考察を通じて、疲労寿命に大きく影響を及ぼす残留応力分布と変位を、相変態ひずみ、線膨張係数および降伏応力に着目して数値解析により精度良く解析するための重要点を明らかにした点は高く評価できる。複雑形状部材への適用の発展性をも有しており、極めて広く産業界に貢献することが期待されることから、シンポジウ

ム賞（優秀論文賞）を受けるにふさわしいものと判断される。

(2) 「3電極 MAG 高速水平すみ肉溶接施工法の開発」

中野利彦，長岡茂雄，森本朋和，有田大（（株）神戸製鋼所）

船舶構造において，大部分の溶接工程である水平すみ肉溶接の高速化を実現し，更なる溶接の高効率化を目指した実用的かつ技術的にも優れた研究である。開発された3電極溶接施工法は，高速溶接の実現と溶融プールの安定化，耐気孔性および良好なビード外観・形状の総合的に優れた施工法であり，今後，船舶のみならず広く溶接構造物における水平すみ肉溶接の高速化および高品質化に大いに貢献することが期待されることから，シンポジウム賞（優秀論文賞）を受けるにふさわしいものと判断される。

(3) 「画像処理技術による溶接構造物の残留応力・溶接変形の逆問題解析手法」

中村春夫（東京工業大学）

溶接残留応力・変形を非破壊評価するために，逆問題解析による固有ひずみ推定に画像処理技術を応用した斬新な研究である。溶接過程の変形をデジタル画像で逐次解析し，それを画像解析することで固有ひずみを評価する実証的な手法であり，その着眼点や研究の進め方は独創性に優れる。開発手法は，溶接構造物の設計開発時および稼働中の健全性保証に大いに活かされ，工学のみならず広く産業界への波及効果が期待されることから，シンポジウム賞（優秀論文賞）を受けるにふさわしいものと判断される。

【奨励賞（2件）】

(1) 寺崎秀紀（大阪大学）

「時分割 X 線回折システムによる純チタン溶接金属凝固・固相変態の特徴」

純チタン溶接金属の凝固や相変態の詳細な性質をその場分析することに成功した点は高く評価できる。技術的に，機械的性質の優れた溶接ミクロ組織の制御指針を導く発展性のある内容であり，今後の大いなる寄与が期待されることから，奨励賞を受けるにふさわしいものと判断される。

(2) 北川良彦（大阪大学）

「HT780 鋼用多層溶接金属の水素割れ感受性におよぼす組織の影響」

高強度鋼の多層溶接金属に対し，再熱温度と水素脆化量および破面形態との定量的な関係を調査しており，極めて有益な情報を与えている。水素割れ感受性を評価する新しい技術の確立が期待され，構造物への高張力鋼の適用拡大

に向けて今後の発展性について高く評価されることから，奨励賞を受けるにふさわしいものと判断される。

【一般講演発表】

パイプラインの設計・施工

ガスパイプラインに関する計5件の発表が行われた。高強度パイプライン（X80以上）の実現に向けた技術検討として，パイプライン現地溶接部の機械的性質と金属組織に及ぼす入熱量の影響に関する検討，ラインパイプのシーム溶接 HAZ の破壊性能に関する検討，ならびにラインパイプの内圧破壊に対する J-R 曲線を用いた不安定破壊限界評価の適用が報告された。高靱性 X70 クラッド鋼板の開発，ならびにシールドトンネル工法によるガスパイプライン建設に関する最新の技術動向が報告された。

破壊・継手性能評価

継手強度に関しては，繰返し曲げを受ける防撓箱型断面梁構造の崩壊挙動を調べた結果，T 継手の脆性き裂伝播停止挙動を隅肉溶接部の未溶着寸法と関連付けて調べた結果，HAZ 軟化を有する高強度鋼の継手強度と，昭和初期の道路橋桁に用いられた鋼材の継手性能について調べた結果の報告があった。破壊性能評価に関しては，二軸引張を受けるき裂を有する構造要素と応力集中部を持つ構造要素に対するワイブル応力クライテリオンを用いた破壊評価とその有効性についての報告があった。継手性能評価に関しては，WES2805 CTOD 設計曲線による CTOD の推定精度向上を図るための手法，き裂を有する鋼製橋脚隅角部の疲労き裂進展と脆性破壊限界評価，ワイブル応力を用いて検討した溶接部の強度ミスマッチが HAZ 靱性と継手性能に及ぼす影響についての報告があった。

疲労強度

疲労強度予測手法に関して2件，疲労強度改善事例に関して3件の報告があった。寿命予測に関しては，き裂先端の損傷拡大駆動力に着目した評価手法の概念が提案された。これによると，き裂生成から進展にわたる予測が可能であり，各種問題における予測精度の現状が報告された。また，溶接止端直下の応力場特異性に着目し，継手疲労強度の止端角度依存性を検討した結果が報告された。また，疲労強度改善技術に関しては，超音波ピーニングによる継手疲労強度改善とその機構，き裂進展抵抗を向上させた耐疲労鋼を橋梁の桁および鋼床版に適用した事例が紹介された。いずれに対しても活発な討論が行われ，実構造で問題が表面化している疲労破壊に対する関心の高さがうかがわれた。

技能伝承および生産管理技術

溶接，線状加熱板曲げ加工（ぎょう鉄）に関する技術・技能伝承の具体的な方法や造船所での実際の適用事例，ぎょう鉄技能継承支援用シミュレータの開発，ぎょう鉄におけるガス炎熱量分布のGAによる同定や収縮量に及ぼす諸因子の影響に関する報告がなされた．また，梨形ビード割れの発生予測，プラズマ切断における電極割れの数値解析による検討，3電極MAG高速水平すみ肉溶接施工法の開発および視覚センサを用いた溶接技能のデジタル化に関する報告もなされた．さらに，不具合情報を元にした高品質工程の計画手法，合金設計マップに基づいたナレッジマネジメントシステムの構築に関する講演もなされた．

組織解析

新しい組織解析手法として，放射光を利用した時分解X線回折により，溶接金属の凝固及び相変態過程を動的に解析する手法が提案され，低炭素鋼及び純チタンの溶接凝固組織解析への適用例が報告された．前者では， γ - δ 変態挙動が動的に調べられ，後者では δ - β 変態挙動が報告された．また，第2相粒子による組織微細化として，TiB によるチタン粒微細化および $MnAl_2O_4$ 介在物による鋼中アシキュラーフェライトの生成効果とそのメカニズムについて報告された．フェライト系耐熱鋼のHAZクリープ強度低下を抑制する手法として，低炭素化が有効であり，これは低炭素化によって析出物の粗大化が遅延するためであることが示された．

耐熱コーティングの評価試験方法と標準化】

環境低負荷を目的に高温化が進むガスタービンやボイラなどの高温機器において，高温耐食コーティングや遮熱コーティングに代表される耐熱コーティングは必要不可欠な技術となっている．本セッションでは，METI/NEDO-Pjとして進められてきた耐熱コーティング評価試験方法の標準化動向について報告が行われた．すなわち，世界で始めて規格化された「バーナー加熱による耐熱性評価試験方法」（JIS H7851）に始まり，現在JIS作成中の「熱サイクル・熱衝撃試験方法」，今年からJIS原案作成の始まった「皮膜の熱的・機械的特性評価」など，先駆的な標準化活動ならびに計画が，豊富な試験結果と共に紹介され，活発な議論が行われた．

材料開発および材料設計

形状記憶合金や超弾性合金として知られているNiTi合金のマルテンサイト変態前駆現象を陽電子消滅法により捉える研究が報告された．また，資源として身近なFe-Al系超弾性合金の発例が報告され，これが転

位運動と係わる新しいタイプの超弾性であることが述べられた．次に，発電プラントで長時間使用される高Crフェライト系耐熱鋼について，より短時間の実験データを用いて，より長時間のクリープ曲線を予測するモデリング手法の報告があった．さらに，生物界のナノ構造デザインにおける元素選択の問題について，これが地殻の主要構成要素でもあるSi-Oの化学結合性と密接に関連していることが述べられた．

延性・脆性破壊

延性破壊に関しては，高強度パイプライン円周溶接部の延性き裂の発生限界評価，延性き裂進展シミュレーション手法に関連して，3次元組織モデルによる鋼材微視的不均質の役割，鋼材機械的特性の検討，材料損傷モデルの提案などが報告された．延性・脆性破壊に関しては，温度や応力状態に依存したへき開破壊起点の形態変化，シャルピー吸収エネルギーのばらつきに及ぼす延性き裂生成の影響，シャルピー靱性評価へのワイルド応力概念の適用，高強度鋼における延性き裂進展とその後の脆性破壊限界条件に関する検討などが報告された．詳細な破面観察を含む破壊試験と有限要素法による応力解析とを組み合わせた詳細な破壊力学的考察や，材料の組織や機械的特性に着目した延性き裂進展モデルの提案などの新しいアプローチが多数報告され，活発な議論が行われた．

破壊強度・靱性

HAZ部の靱性に及ぼす母材化学成分の影響やひずみ時効の影響，硬度とMA介在物の影響，連続多層盛りによる溶接熱履歴の影響，低靱性鋼材のHAZ靱性に及ぼす溶接熱履歴の影響，HAZ部の引張り特性に及ぼすひずみ速度の影響といった，HAZ部を対象とした講演が多くなされた．また，ミクロ組織に注目して，HAZ部と溶接金属の靱性や水素割れ感受性の支配因子を検討した結果も報告された．このように，構造用鋼材の靱性，特にHAZ部の靱性に注目した溶接部評価や鋼材開発に関する研究がまだまだ活発であることがうかがえた．

摩擦・圧接接合

アルミニウム合金の摩擦攪拌接合継手の機械的性質に関して講演があり，A5083，A6N01，A70N1の3種類の合金に対して，複数の素材メーカーによって作られた材料を複数のFSW施工メーカーによって接合した継手の特性について報告された．内容は，接合部の形態，組織，硬さ，引張性質，疲れと広範囲に渡った．講演発表では，鋼表面へのジルコニウム板の摩擦接合，角棒継手の摩擦圧接，接合自己完了摩擦圧接法の開発について講演がなされた．いずれも

これまでにない特性が得られており、活発な質疑応答なされた。

溶接変形・残留応力

溶接変形の予測と低減に関するいくつかの研究が報告された。有限要素法熱弾塑性解析により溶接変形を高精度予測するための解析条件がすみ肉溶接の他、突合せ溶接に対しても必須条件であることが実験結果とも合わせて確認された。又、溶接変形・残留応力を対象に、熱源を理想化した簡易熱弾塑性解析が試みられた。一方、溶接変形の低減を目的に、後方冷却法によるインプロセス制御、拘束及び逆ひずみによる方法が提案され、その効果が有限要素法により検討された。前者は実験による検証も実施された。

レーザ加工

YAGレーザ溶接を適用した意匠性の優れたステンレス鋼製車両構体の開発経緯について、押圧用ローラ付き溶接口ポットを開発し、継手部は十分な強度を有する部分溶込みが確保されていることなどが報告された。橋梁等の大型構造物溶接部の疲労き裂防止に対するレーザピーニング適用の可能性に関連して、溶接部の残留応力と硬度の測定結果や疲労試験結果が報告された。また、800 MPa 級高張力鋼のレーザ溶接継手について、き裂を有する試験片で母材に塑性ひずみが発生して継手の変形すると脆性破壊が起こらないことなどが紹介された。さらに、レーザ溶接継手の構造強度部材において、構造物設計の立場から検討し、各性能は従来のアーク溶接部と同等以上であることが報告された。

数値解析技術・応力解析

数値解析による材料の変形や応力特性の評価において、現象を適切に捉えたモデル化が必要である。本セッションでは、溶射プロセスでの残留応力評価のための構造流体連成解析手法や強磁性形状記憶合金複合材コイルバネの変形の理論解析について報告がなされた。また、焼き入れ過程での相変態を考慮した残留応力評価のための解析手法や微視組織の不均一性を考慮した応力特性評価のための FEM-MD 結合数値解析法が紹介された。他方、計算効率の向上も重要な課題となっており、大規模溶接シミュレーションの高速化手法として反復サブストラクチャー法、船体構造の継手近傍応力評価の簡便化手法としてシェル・ソリッド混合解析法について報告された。

計測技術

応力・ひずみ計測法に関しては、応力 ひずみ特性を三角錐圧子を用いた押し込み試験結果から推定する手法、デジタル画像相関法や位相シフトホログラフィ法といった光学式非接触

計測法を適用した高精度な応力・変位測定法の開発、画像処理技術やひずみゲージを用いた変位計測結果から FEM により残留応力・溶接固有ひずみを逆解析する手法についての報告がなされた。また、電場指紋照合法を用いて高精度・高領域に疲労き裂の発生・進展を監視する手法、光ファイバドップラーセンサを用いた電磁超音波共鳴法による高温配管厚さの測定法についても報告され、これらの講演に対し、活発な議論がなされた。

原子力・核融合炉の設計・施工

発電炉については、加圧水型の原子炉容器貫通溶接部の応力評価や肉盛部残留応力が事故時破壊力学評価に及ぼす影響、発電設備における 600 合金の検査、評価、補修・予防保全技術について報告がなされた。沸騰水型については、中性子照射の溶接残留応力緩和評価の報告がなされた。また、材料物性値が溶接残留応力に及ぼす影響、移動熱源に対する 2 次元と 3 次元 FEM 解析の比較結果の報告がなされた。核融合炉については、低放射化フェライト/マルテンサイト鋼の高温低サイクル疲労、加工硬化特性について報告がなされた。また、SUS316LN 溶接部の極低温における継手性能、接合性及び溶接条件の影響に対する報告がなされた。

高分子材料

高分子材料では、応力特異場パラメータにより二重重ね接着継手のはく離強度を評価する手法、ならびに光ファイバセンサを用いた接着継手のひずみ分布をモニタリングする手法と、いずれも接着継手の信頼性評価に関する報告がなされた。また、加熱と攪拌を利用して高分子材料を接合する方法が示され、その接合機構と継手特性について報告された。さらに、短期曲げクリープ試験結果などから繊維方向が異なる GFRP の長期信頼性を評価する手法が示されるなど、本セッションではいずれも多岐にわたる内容が報告された。

ステンレス鋼

低炭素ステンレス鋼配管溶接部の SCC 感受性に及ぼす力学的特性の影響に関する基礎的知見を得ることを目的に、溶接部の残留応力および硬さ分布に及ぼす各種加工の影響が報告された。二相ステンレス鋼のマイクロフラッシュ溶接に関する報告では、組織変化および衝撃特性に及ぼす溶接条件の影響が示された。また、ステンレス鋼のダム水環境での微生物腐食挙動について、溶接方法や表面処理の影響について電気化学的観点から検討した結果が報告された。