

溶接・接合にともなう材料・力学挙動を考慮した継手性能評価



特集
接合科学研究所
産学連携シンポジウム

大阪大学接合科学研究所 溶接機構学分野 准教授 三上 欣希氏
大阪大学接合科学研究所 溶接機構学分野 教授 伊藤 和博氏

1. はじめに

溶接・接合は、材料組織の変化や、変形および残留応力の発生をとめない、継手や構造物の性能にも影響を及ぼす。そのため、継手性能評価の高度化・詳細化を図るうえで、材料・力学挙動を考慮することは重要な課題である。継手性能に及ぼす諸因子の影響の評価においては、さまざまな因子を仮想的な範囲も含めて体系的に変化させて検討することのできる数値シミュレーションの果たす役割は大きいと考える。本報告では、溶接・接合部を対象とした数値シミュレーションの事例を紹介する。

2. 事例1：爆発圧接部の温度場シミュレーション

爆発圧接は、爆発を利用して被接合材どうしを衝突させて接合を達成する手法であり、従来の接合法では接合が困難な材料の組合せであっても適用できる場合があり、異材接合法として有効である。これまでに、水中衝撃波を用いた第5族金属と銅との異材接合を実施し、接合界面に形成する微細組織を観察・解析している [1]。例えば、WをCuへ接合した場合の接合界面には、図1に示すような、W側およびCu側のそれぞれから成長したと思われる柱状組織が、Wの近傍で会合しているような中間層が観察された。このような柱状組織の形成には、冷却過程の温度勾配や冷却速度が関係していると考えられ、界面近傍の温度場を把握することは、中間層をはじめとする界面近傍の微視組織の形成過程の理解に有効である。ところが、界面近傍の温度場の測定は困難であり、熱伝導解析により数値シミュレーションすることを試みた [2]。

W/Cuの爆発圧接部の数値解析モデルを図2に示す。接合界面近傍の組織観察結果に基づいて作成したものである。W、Cu、および、WとCuからなる中間層の3領域を定義した。WおよびCuの物性値(比熱、密度、熱伝導率の温度依存性)は、公開されたデータベースより取得し、WとCuからなる中間

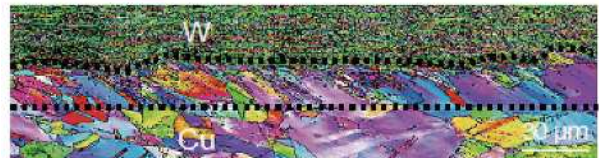


図1 WとCuの爆発圧接界面組織。

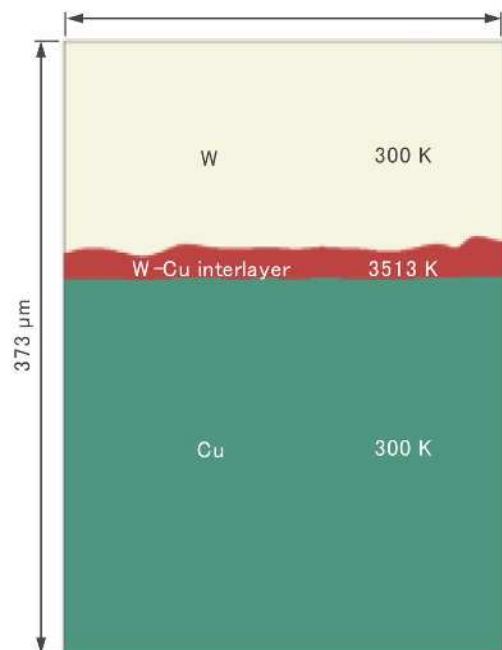


図2 爆発圧接界面の温度場シミュレーションモデル。

層の物性値は、組成の分析結果に基づいて、線形の混合則が成り立つと仮定して推定した。

溶融後の冷却過程をシミュレーションするため、中間層の領域に溶融温度を想定した3513 K、WおよびCuの領域に室温を想定した300 Kを設定して初期条件とした。

初期状態 ($t = 0 \mu\text{s}$) 以降の複数の時刻における温度場のシミュレーション結果を図3に示す。図3では、Cuの融点以上の領域を灰色で示した。中間層は二相分離して凝固することが平衡状態図から予想されるため、中間層の凝固温度をCuの融点1357 Kと仮定すると、図3において灰色から赤色に変化し

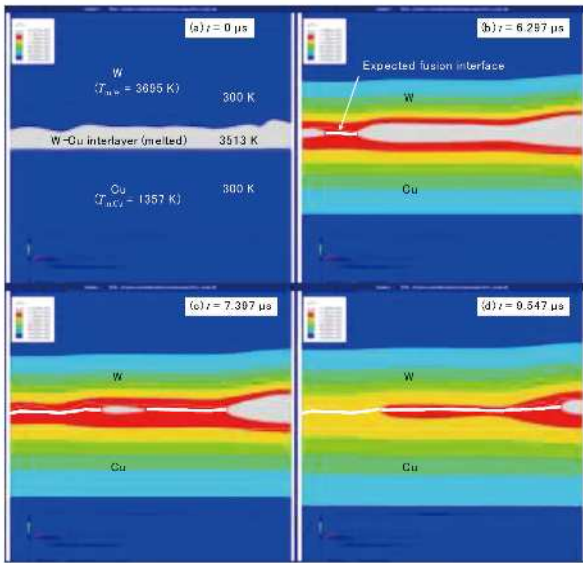


図3 爆発圧接界面の温度場シミュレーション結果。

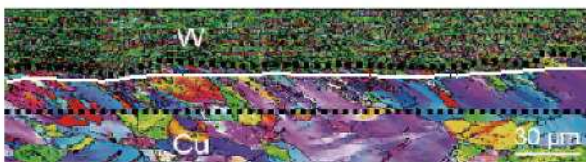


図4 温度場シミュレーションで推定した最終凝固位置と界面組織の比較。

た部分が凝固した領域に対応する。そこで、灰色から赤色に変化した位置を時系列に重ね合わせることで、最終凝固位置を推定することができ、図中に太い白線で示している。

このようにして推定した最終凝固位置を図1に示した爆発圧接界面組織と重ね合わせると、図W側およびCu側のそれぞれから成長した柱状組織の会合部とほぼ一致する。柱状組織の成長は温度場に強く影響されることから、本手法で推定した温度場がよい推定を与えていると期待できる。比較的簡易なシミュレーションではあるが、接合部の温度場を把握し、微視組織の形成過程の議論に活用することができると考えている。

3. 事例2：厚板多層溶接部の破壊靱性試験シミュレーション

大型鋼構造物の溶接部には脆性破壊防止のため、破壊靱性の要求値が定められており、これを満足する必要がある。破壊靱性試験手法にはすでに各種の規格が存在するが、その一方で、鋼材の高強度化や

厚板化といったトレンドもあり、継続的な試験規格の改善が求められている。現在、試験規格の改善提案に関する活動に参画しており、その中で、溶接、残留応力緩和処理、試験片加工、破壊靱性試験といった過程を一貫して数値シミュレーションする手法の構築に取り組んでいる [3]。

対象は、板厚 50 mm、板長 500 mm、板幅 250 mm の EH40 銅板の FCAW 溶接による全 61 パスの突合せ多層溶接継手である。まず、図5に示すような多層溶接による残留応力分布の数値シミュレーションを行い、測定結果と比較した。図6には図5中の線B上の残留応力分布を示しており、測定結果と数値シミュレーション結果はよい一致を示し、多層溶接部の残留応力分布を再現できている。このよう

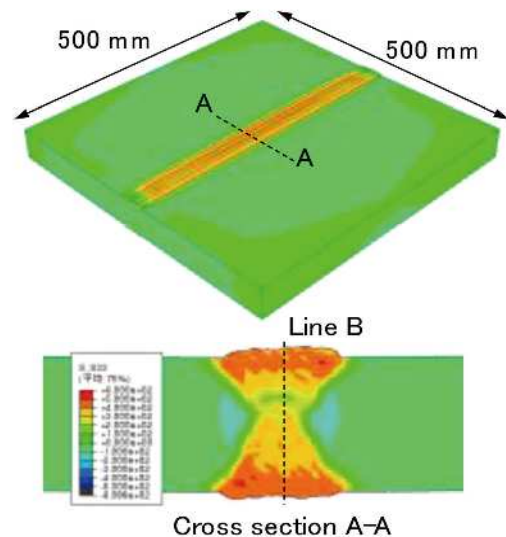


図5 多層溶接継手の残留応力シミュレーション結果 (溶接線方向残留応力 σ_x)。

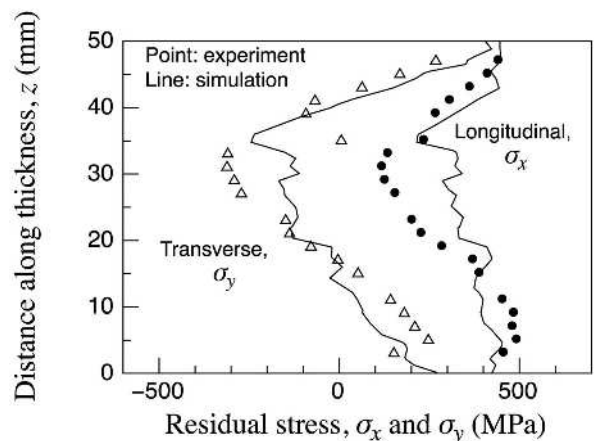


図6 溶接残留応力分布の実験およびシミュレーション結果の比較。

にして得られた多層溶接部の残留応力分布を考慮して、破壊靱性試験までを一貫して数値シミュレーションする手法を構築しており、その結果を図7に示す。これは、図5に示した多層溶接継手から、破壊靱性試験片の切出し (a)、切欠きの導入 (b)、亀裂の導入 (c)、三点曲げによる破壊靱性試験 (d)、までを数値シミュレーションしたものであり、その外観と板内部の切欠きあるいは亀裂先端近傍における応力分布を示した。この数値シミュレーションの最大の特徴は、初期状態である (a) の段階で、数値解析モデルに残留応力分布が存在することである。従来、溶接残留応力の影響は、設計段階で簡易的に考慮さ

れることが一般的であったのに対し、本手法により、多層溶接により生じる複雑な分布をも詳細に考慮することが可能になる。すでに、本手法を活用した成果として、溶接残留応力の考慮の有無によって、亀裂の開口挙動が大きく異なることが明らかになっており、このような検討を充実させることで、破壊靱性試験規格の改善に貢献できるものと考えている。

4. まとめ

以上のように、溶接・接合部を対象とした数値シミュレーションの事例を紹介した。数値シミュレーションは、予測やその精度といった面が注目されることも多いが、紹介した事例のように、実験をふまえて数値シミュレーションモデルを構築し、その後、構築したモデルを活用して現象の理解や諸因子の影響評価を行うという活用方法も極めて重要である。

参考文献

- [1] 古手川 将太, 山本 啓, Pradeep Kumar PARCHURI, 高橋 誠, 伊藤 和博: 水中衝撃波を用いた第5族金属と銅との異材接合界面評価, 溶接学会全国大会講演概要集, 100 (2017) 152-153.
- [2] 三上 欣希, Pradeep Kumar PARCHURI, 伊藤 和博, 外本 和幸: 溶接学会全国大会講演概要集, 102 (2018) 214-215.
- [3] Yoshiki Mikami, Houichi Kitano, Tomoya Kawabata: Through Process Modeling of the Fracture Toughness Test of Multipass Welds Incorporating Residual Stress Distribution, Procedia Structural Integrity, 13 (2018) 1804-1810.

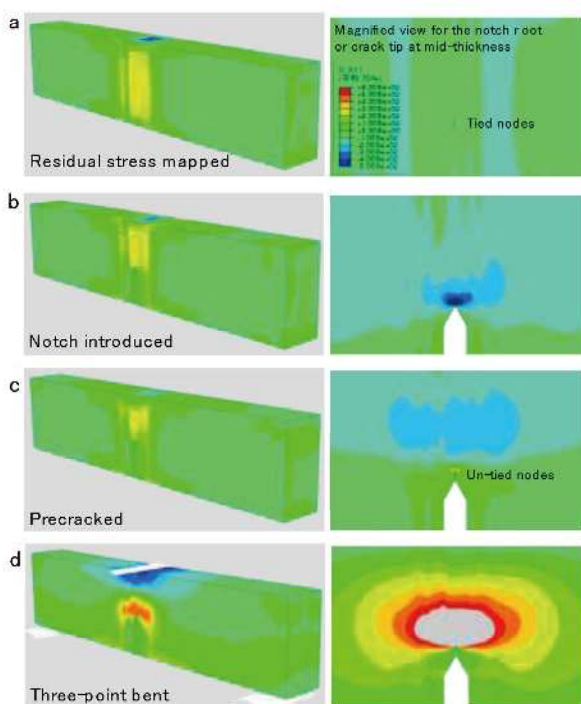


図7 多層溶接部の破壊靱性試験の一貫シミュレーション結果。

