

T型溶接鋼平板の溶融亜鉛めっき中の3次元熱伝導-熱応力連成解析

岩手大学大学院工学研究科 学生会員 関野俊洋
 (株) デンロコーポレーション 正会員 西尾吉史
 岩手大学工学部 正会員 出戸秀明
 岩手大学工学部 正会員 岩崎正二
 岩手大学工学部 青柳竜二

1. はじめに

溶融亜鉛めっきは鋼部材を約 440~450°Cの溶融亜鉛中へ浸漬させて鉄-亜鉛の合金層を形成させ、鉄を錆から守る処理のことである。しかし溶融亜鉛めっき中の鋼部材は急激な温度変化によって部材溶接部などでめっき割れが生じる場合がある。

本研究の目的は、2枚の鋼平板を溶接したT型鋼平板を溶融亜鉛中に浸漬する間を3次元FEMモデルを作成して熱伝導-熱応力連成解析により、T型鋼平板の溶接部近傍にどのような熱応力が生ずるかを明らかにすることである。熱伝導解析に必要な熱伝達係数を決めるにあたっては、溶融亜鉛浸漬試験の試験結果と解析結果が近似するように最小二乗法を用いて求めた。

2. 試験体モデル

T型溶接鋼平板の試験体を図-1に示した。図-2は図-1のB-B'間の断面図で高温ひずみゲージと熱電対設置位置を示している。

鋼材の材質はSS400鋼材を使用し、下部の鋼板を基板(板厚:h)、これに垂直に溶接されている鋼板を付属板(板厚:l)と呼ぶこととする。基板と付属板の板厚比(l/h)が大きいほど溶接部の「めっき割れ」が生じやすいという事例に基づき、板厚比5.0のモデルを再現し解析を行うこととした。

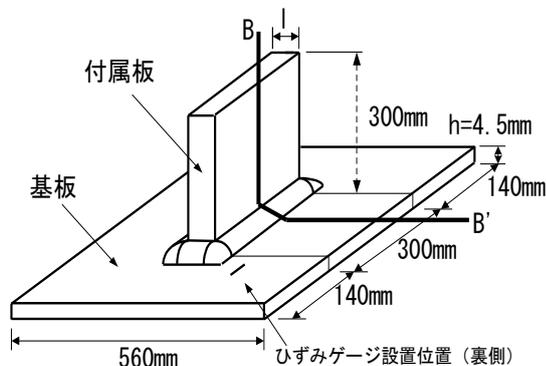


図-1 T型溶接鋼平板の試験体モデル

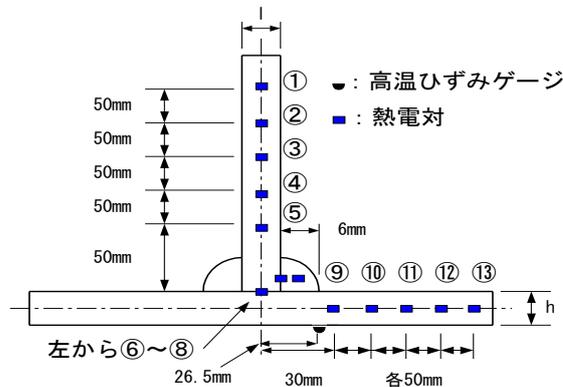


図-2 高温ひずみゲージと熱電対設置位置

3. 試験方法と解析手法

本試験の浸漬速度は、速度を変えられるクレーンを使用することにより、2種類の浸漬速度 $V=0.008(\text{m/s})$ と $V=0.042(\text{m/s})$ で連続的に溶融亜鉛槽に浸漬させた。温度と熱ひずみは、試験開始から2秒間隔で120秒まで測定する。溶融亜鉛の温度は約 440°Cである。解析には汎用解析プログラムを用いて、図-3に示すSOLID要素を用いて解析モデルを作成し浸漬シミュレーションを行った。

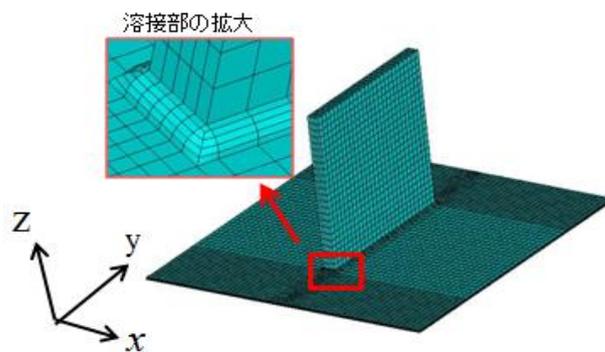


図-3 T型溶接鋼平板のFEM解析モデル

解析モデルの要素数は17978、節点数は24050、計算に用いた値は、密度 $7850(\text{kg/m}^3)$ 、ポアソン比0.3、比熱 $473(\text{J/kg} \cdot \text{C})$ 、熱伝導率 $51.5(\text{W/m} \cdot \text{C})$ 、ヤング率 $0.21 \times 10^{12}(\text{N/m}^2)$ 、熱膨張係数 $1.16 \times 10^{-6}(1/\text{C})$ である。

キーワード：溶融亜鉛めっき T型溶接鋼平板 3次元FEM 最適化手法 熱伝達係数

連絡先 〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5 岩手大学工学部 社会環境工学科 TEL 019-621-6436

解析手法は3次元 FEM を用いて溶融亜鉛浸漬深さに従い、時刻ごとに境界条件を変えて熱伝導解析を行い、鋼板の温度分布を求めた。その得られた時刻歴温度分布を外力として熱応力解析を行うことによって、熱応力分布を求めた。

熱伝導解析では、単位温度差(鋼板 - 溶融亜鉛流体)当たりの熱伝達による熱流速を規定する係数である熱伝達係数(W/m²・°C)を500~3140の範囲で変化させ、計算温度 T'(°C)を求めた。

本研究では、式(1)の目的関数 OBJ(°C)を用いて、計算温度 T'(°C)を実測温度 T(°C)に近似するような温度分布を最小二乗法で求める。

$$OBJ = \sqrt{\sum (T - T')^2} \quad (1)$$

この目的関数 OBJ(°C)が最小となる熱伝達係数を最適熱伝達係数 α (W/m²・°C)と呼ぶ。最適熱伝達係数 α を求める一連の流れを以後最適化手法と呼ぶ。最適熱伝達係数 α 時の時刻歴温度分布を外力として連成解析を行うことで熱応力分布を求めた。

4. 解析結果と考察

板厚比 5.0、浸漬速度 V=0.008(m/s)の場合の熱伝導解析において、最適化手法によって求めた目的関数 OBJ と最適熱伝達係数 α の関係を図-3に示す。

図-4より目的関数 OBJ が最小値となる $\alpha=1150$ が得られる。最適伝達係数 α を用いた計算温度と実測温度を比較したグラフを図-5に示す。

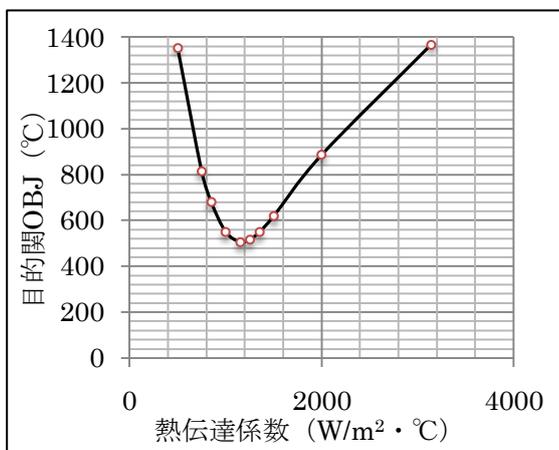


図-4 熱伝達係数による目的関数 OBJ の変化 (板厚比 1/h=5.0、浸漬速度 V=0.008(m/s))

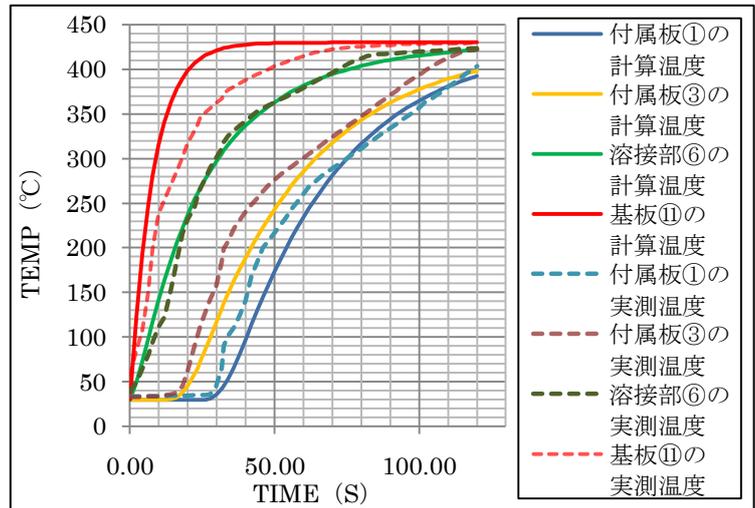


図-5 計算温度と実測温度の履歴曲線 (板厚比 1/h=5.0、浸漬速度 V=0.008(m/s))

図-5より、基板⑩は浸漬直後から70秒程度まで計算温度と実測温度では差がみられたが、溶接部⑥、付属板①、③では差はほとんどなく、ある程度実測に近い温度分布を再現することができた。

図-6は板厚比 5.0、浸漬速度 0.008(m/s)における浸漬完了時の Y 方向の弾性ひずみの分布を表したものである。図-6より、基板と付属板のまわし溶接部で大きなひずみが生じることが分かった。

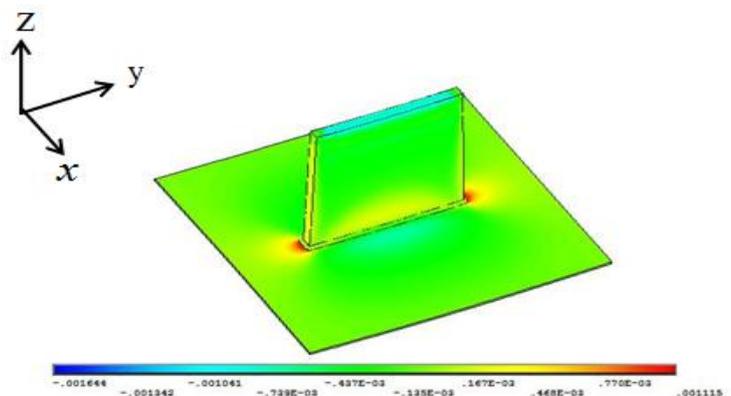


図-6 浸漬完了時の Y 方向の弾性ひずみの分布 (板厚比 1/h=5.0、浸漬速度 V=0.008(m/s))

5. まとめ

検討結果から今後の課題として、実測温度分布により近似した温度分布を再現することができれば、ひずみ・応力分布も近似できると考えられる。また、本研究では熱伝達係数の値をモデル全体で一定値として計算しているが、基板・溶接部・付属板、それぞれの熱伝達係数を最適化するなどの検討を今後加えていきたい。