

溶融亜鉛めっき中のT型鋼平板の熱伝導解析における 熱伝達係数の最適化について

岩手大学大学院工学研究科 学生会員 ○関野俊洋
株式会社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 岩崎正二 出戸秀明
岩手大学工学部 平野将人

1. はじめに

溶融亜鉛めっきは鋼部材を約440～450℃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。本研究では、2枚の鋼平板を溶接したT型鋼平板の溶融亜鉛浸漬試験中の実測温度分布を再現するために、3次元熱伝導解析を実施する。その際、熱伝導解析に必要な最適な熱伝達係数を、2枚の鋼平板の浸漬方向などを考慮して求めた。その浸漬時刻ごとの温度分布に従い3次元熱応力解析を行い、T型鋼平板の溶接部近傍にどのような熱応力が生じるかを明らかにする。

2. 試験体モデル

T型溶接鋼平板の試験体を図-1に示す。図-2は図-1のA-A'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にした。

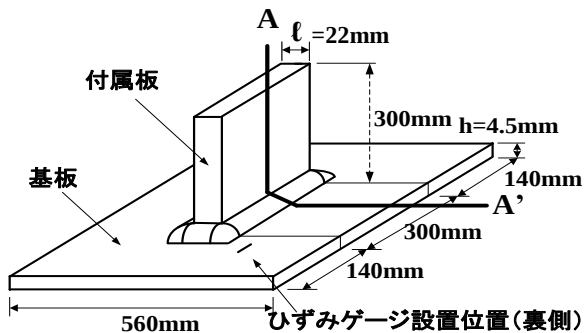


図-1 T型溶接鋼平板の試験体モデル

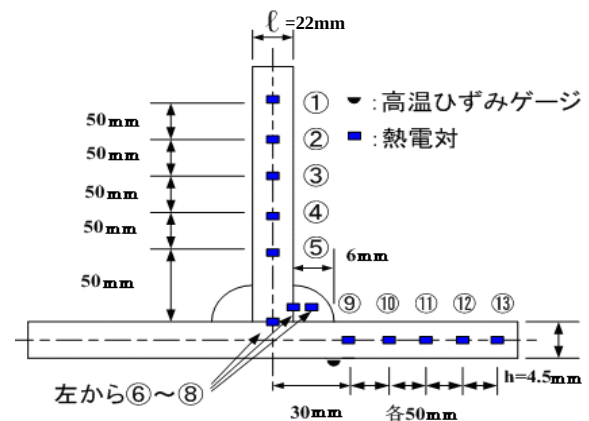


図-2 高温ひずみゲージと熱電対の設置位置

3. 解析手法

本解析の浸漬速度は、著者らが過去に実施した浸漬試験¹⁾を参考に、浸漬速度 $V=0.008(\text{m/s})$ と $V=0.042(\text{m/s})$ の2種類を採用した。熱伝達係数の最適化に必要な浸漬試験の試験体温度と熱ひずみの履歴は、試験開始から2秒間隔で120秒まで測定している。溶融亜鉛の温度は約440℃である。解析には汎用FEM解析プログラムANSYSを用いて、図-3に示すように8節点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。

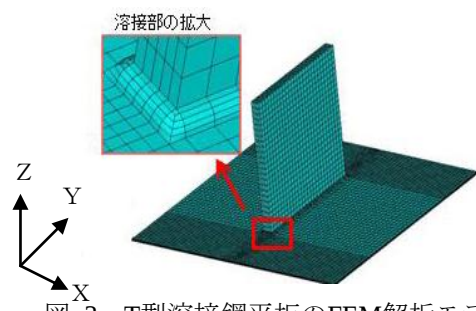


図-3 T型溶接鋼平板のFEM解析モデル

解析モデルの総要素数は17978、総節点数は24050である。計算に用いた値は、モデル初期温度30(℃)、ポアソン比0.3とした。その他の物性値として、密度、比熱、

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

熱伝導率、ヤング率、熱膨張係数については文献^{2) 3)}を参考に温度依存性を考慮し設定した。解析では溶融亜鉛浸漬深さに従い、時刻毎に境界条件を変えて3次元熱伝導解析を行い、試験体モデルの温度分布を求める。その得られた各時刻毎の温度分布を外力として3次元FEMを用いた熱応力解析を行うことにより、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($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)を基板と付属板それぞれについて250~3000の範囲で変化させ、計算温度 T' ($^\circ C$)を求めた。本研究では、(1)の目的関数OBJ($^\circ C$)を用いて、計算温度 T' ($^\circ C$)が実測温度 T ($^\circ C$)と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($^\circ C$)が最小となる熱伝達係数を最適熱伝達係数 α ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)と呼ぶ。また、基板と付属板それぞれの最適熱伝達係数を α_1 と α_2 とする。これらの最適熱伝達係数を用いて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で、T型溶接鋼平板の熱応力分布を求める。

4. 解析結果と考察

浸漬速度 $V=0.008(m/s)$ の場合の熱伝導解析において、目的関数OBJと基板および付属板それぞれの熱伝達係数の関係を図-3に示す。図-3より目的関数OBJが最小値となる $\alpha_1=550$ と $\alpha_2=1250$ が得られる。それらの最適熱伝達係数 α_1 、 α_2 を用いた計算温度と実測温度を比較したグラフを図-4に示す。図-4より、計算温度と実測温度の差はほとんどなく、2枚の鋼平板の浸漬方向を考慮した熱伝達係数を用いることで、実測に近い温度履歴曲線を再現することができた。

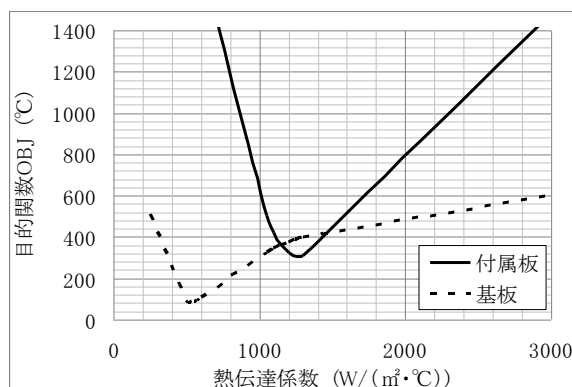


図-3 熱伝達係数による目的関数 OBJ の変化
(浸漬速度 $V=0.008(m/s)$)

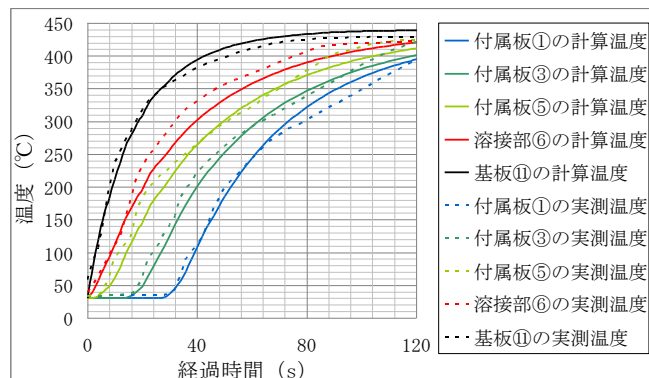


図-4 計算温度と実測温度の履歴曲線
(浸漬速度 $V=0.008(m/s)$)

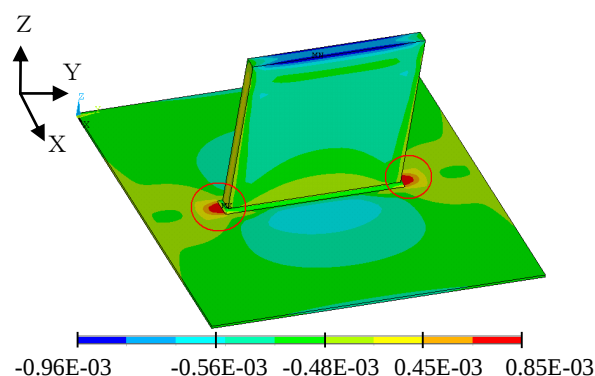


図-5 浸漬完了時の Y 方向の弾性ひずみの分布
(浸漬速度 $V=0.008(m/s)$)

図-5は、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-5より、基板と付属板のまわし溶接部(図中の赤丸位置)で大きな引張りひずみが生じることが分かった。

5. まとめ

本解析手法は、現時点ではまだ改善の余地があるが、溶接部を有する鋼構造物の溶融亜鉛浸漬時の大まかな温度分布や応力挙動を把握する解析手法としては、有効であると思われる。今後の課題としては、鋼材の残留応力の影響を考慮することで、より実測値に近似した温度分布や熱応力分布を再現できると考えられる。

<参考文献>

- 1) 今野貴史, 岩崎正二, 出戸秀明, 宮本裕: 溶融亜鉛浸漬中に発生する鋼平板の熱ひずみと温度変化, 土木学会編 構造工学論文集vol.52A, pp853-864, 2006
- 2) 財団法人国土開発技術研究センター: 建築物の総合防火設計法第4巻, pp118, 1989
- 3) 財団法人日本金属学会: 金属データブック, 改訂4版, pp131, 2004