

溶接継手を有する山形鋼の熔融亜鉛浸漬時の熱応力解析

日本電炉（株）	正 員	○今野 貴史
岩手大学工学部	正 員	岩崎 正二
岩手大学工学部	正 員	宮本 裕
岩手大学工学部	正 員	出戸 秀明

1. まえがき

鋼構造物を錆から守り、メンテナンスフリーも期待できる表面処理が熔融亜鉛めっきである。社会基盤を支える電力・通信分野の鉄塔をはじめ、立体駐車場や設備架台等の建築分野、道路標識柱や橋梁高欄材等の土木分野で幅広く採用されている¹⁾。熔融亜鉛めっきは高温の熔融亜鉛中へ鋼部材を浸漬させ、鉄-亜鉛の合金層を形成することで鉄を錆から守る表面処理である。この時、鋼部材が約 440~450°Cの熔融亜鉛中へ浸漬するため急激な温度変化が与えられ、先に熔融亜鉛に浸漬する部分と後から浸漬する部分との間に温度差が生じ、鋼部材の内部に非定常熱応力が発生し、めっき後に熱歪み（残留変形）が残る場合もある。また、溶接継手部が多く存在する場合、応力集中により大きな引張応力が発生し、溶接の残留応力の影響とも合わせて溶接部のめっき割れ現象を引き起こす一つの原因となる。

著者等は、これまでに鋼部材の急激な温度変化を熔融亜鉛浸漬試験により測定し、熱伝導方程式中の熱拡散率 κ を測定結果から求める最適化手法を提案してきた²⁾。本論文ではめっき割れが発生した実例を基に、鋼平板の溶接継手を持つ山形鋼をモデル化し、解析モデルの熔融亜鉛浸漬時における温度分布を推定すると共に、その際に同時発生する熱応力分布を変位型三次元有限要素法による熱応力解析で求めている。また、得られた熱応力分布からめっき割れが発生する要因についても考察を加えたので報告する。

2. 解析モデルと最適化手法による温度分布の推計

溶接継手を有する山形鋼をその背側を下にし、V字の形で熔融亜鉛に浸漬させたところ、写真-1のように廻し溶接部付近で割れの現象が発生した。そこで、割れが発生している付近の熱応力分布を推定するために、山形鋼の背を対称として図-1のような局部解析モデルを作成した。山形鋼の板厚 B は 35 mm、溶接されている付属板の板厚 L は 12 mm および 19 mm であり、板厚比 B/L は 2.9 および 1.8 である。割れが発生したのは付属板 12 mm の廻し溶接部である。解析モデルの有限要素は 20 節点アイソパラメトリック立体要素を用いた。総節点数は 1774、全要素数は 286 である。また、ひずみの評価は節点でのひずみは精度が良くないため、ガウスの積分点で行っている。ただし、ヤング係数 $E=2.1 \times 10^5$ (N/mm²)、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、熱膨張係数 $\beta=12 \times 10^{-6}$ (°C⁻¹) である。

熱応力分布を求めるため、本解析モデルが熔融亜鉛に浸漬していく状態の温度分布を推計する必要がある。そこで、著者等²⁾がこれまでに提案している



写真-1 廻し溶接部の割れ

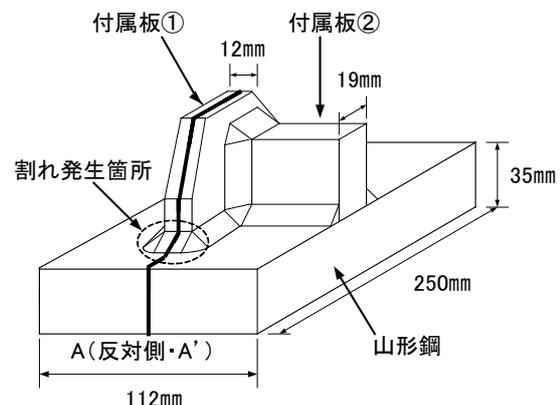


図-1 局部解析モデル

最適化手法を用い、熔融亜鉛温度を 440 (°C)、浸漬速度を 10 (m/min) と設定し、解析モデルの熱拡散率 κ および熱伝達係数 α を求め、浸漬開始を 0 秒として 60 秒までの全接点の温度分布を推計した。

図-2 は解析モデルの浸漬開始から 1 秒後、図-3 は浸漬開始 5 秒後の A-A'断面の温度分布を示している。浸漬状態は V 字形であるため、左斜め上から熔融亜鉛に浸漬していくイメージである。浸漬開始 1 秒後では解析モデル全体のうち、熔融亜鉛に接触している表面近傍のみの温度上昇が見られ、内部の温度上昇はあまり見られない。これが 5 秒後になると、表面の温度上昇と共に板厚 12 mm の温度が急激に上昇していく傾向が見受けられる。12 mm の部分は板厚が比較的薄いため温度上昇は比較的早い、溶接部および板厚 35 mm の部分は熱伝達が遅く、その温度は約 30~40°C 前後である。

3. 解析モデルの熱応力分布と考察

図-4 は、割れが発生した溶接部付近の温度分布を拡大表示したものである。表面と内部では温度差が約 260°C 程度あり、発生する熱応力も大きくなると思われる。著者等²⁾ はこれまでも T 継手を有する鋼平板の廻し溶接部近傍で最大の熱応力が発生することを明らかにしている。前項で得られた温度分布を用いて、変位型三次元有限要素法により解析モデルの熱応力分布を求めた。なお、紙面の都合上グラフは割愛するが、当日会場で発表する予定である。

今回の割れは熔融亜鉛浸漬時に発生する熱応力と溶接時の残留応力の影響も含めて廻し溶接部の中で最も弱い部分に応力集中が発生し、亀裂の発生から割れに発展したものと考えられる。

4. あとがき

熔融亜鉛めっき時の溶接部の割れは、部材内の温度分布の状態や溶接条件等の様々な要因が絡んで発生するものと思われる。今後はこの実例を参考にして、溶接部割れの発生メカニズムの解明と対策について検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会編：建築用熔融亜鉛めっき構造物の手引、1998
- 2) 今野貴史, 岩崎正二, 出戸秀明, 宮本裕：熔融亜鉛浸漬中に発生する鋼平板の熱ひずみと温度変化, 構造工学論文集, vol. 52A, pp853-864, 2006

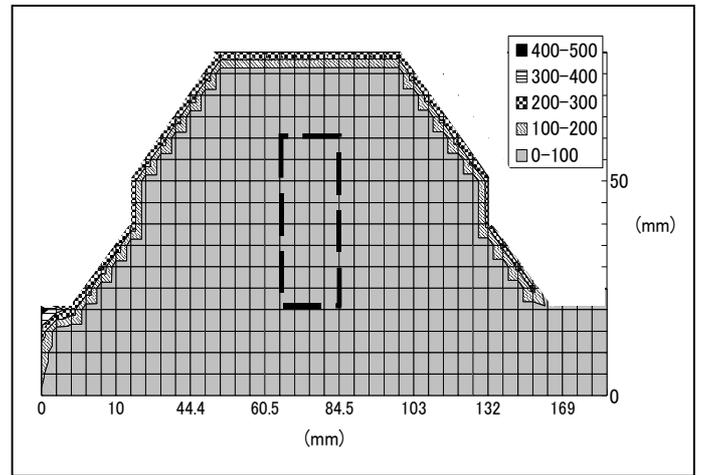


図-2 浸漬開始 1 秒後の解析モデルの温度分布
(単位：°C)

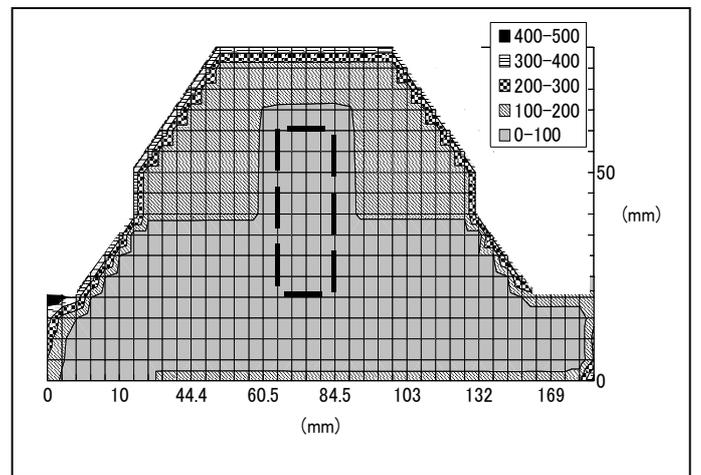


図-3 浸漬開始 5 秒後の解析モデルの温度分布
(単位：°C)

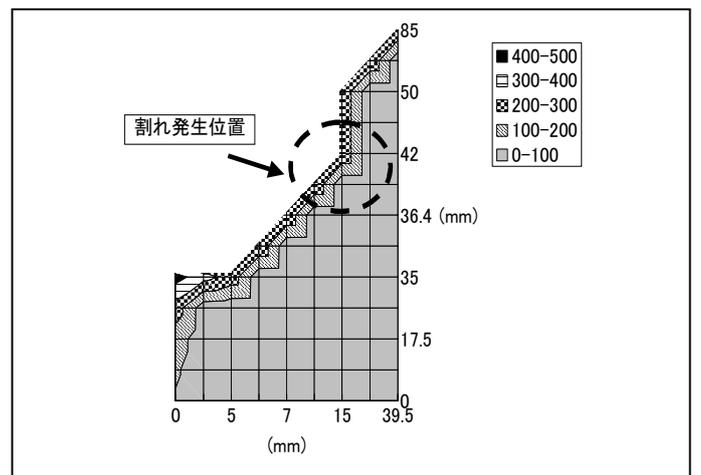


図-4 浸漬開始 1 秒後の溶接部近傍温度分布
(単位：°C)