

溶融亜鉛めっき時の鋼 I 桁の熱変形について

岩手大学工学部 学生員 ○土屋和弘
 (株)デンロコーポレーション 正員 今野貴史
 岩手大学工学部 正員 岩崎正二 出戸秀明 宮本裕

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。しかし部材の急激な温度変化によって熱変形やめっき割れが生じる場合がある。本研究では、鋼平板の溶融亜鉛浸漬時を FEM 解析を用いて、時刻ごとに境界条件を変えて温度分布を求め、その温度分布をそのまま外力として連成解析することによって熱応力分布を求める。また本研究では、本手法を応用して鋼平板だけでなく鋼 I 桁の溶融亜鉛浸漬時の温度及び熱応力分布、さらには熱変形挙動を明らかにすることを目的としている。

2. 溶融亜鉛浸漬試験

熱応力を求めるためには、鋼材が溶融亜鉛に浸漬する時の温度分布の状態を把握する必要がある。そのため図-1 に示す単純な鋼平板を用いて異なる板厚 B における溶融亜鉛浸漬中の温度履歴を測定した。材質は SS400 である。図-1 に示すように 1-①~5-⑤の 25ヶ所に熱電対を設置し、データロガーにより温度を計測した。

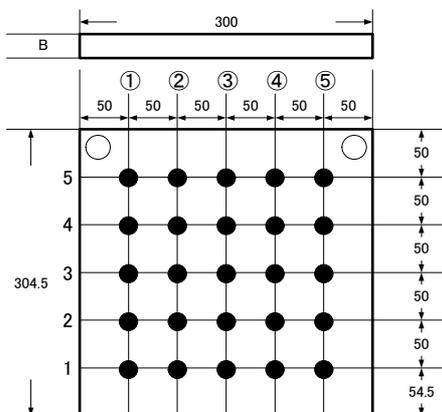


図-1 鋼平板試験体と熱電対設置位置 (単位:mm)

3. 溶融亜鉛浸漬試験結果と考察

図-2 は板厚 9mm の試験体において、浸漬速度 0.008 (m/sec)、測定位置 3-①~3-⑤、の温度分布履

歴を示してあり、縦軸は温度(℃)、横軸は測定位置を表す。測定は 180 秒間行ったが、グラフを見やすくするために測定時間を 7 点に絞って描いている。図-2 より、3-①、3-⑤は端部からの入熱があるため温度が高くなっているのが分かる。

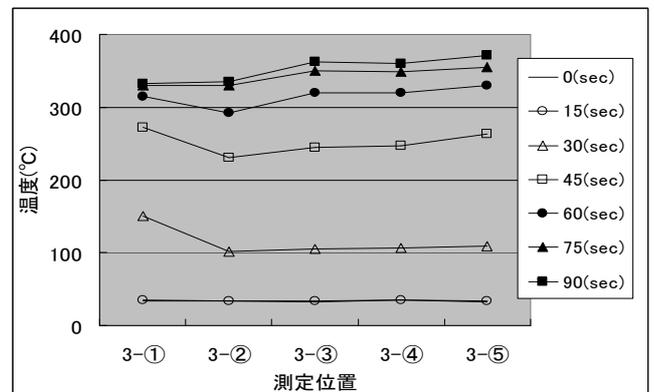


図-2 板厚 9mm の水平方向の温度分布履歴 (浸漬速度 0.008 (m/sec))

4. FEM 解析を用いた熱伝導解析

図-3 は板厚 9mm、浸漬速度 0.008 (m/sec) の鋼平板試験体モデルを有限要素法を用いて熱伝導解析を行い、浸漬から 26 秒後の鋼平板の温度分布を示したものである。図-3 より、下端側から温度が伝わる様子が分かる。また、図-2 の実測値と同様に左右両端部の解析結果でも温度が上昇しているのが分かる。

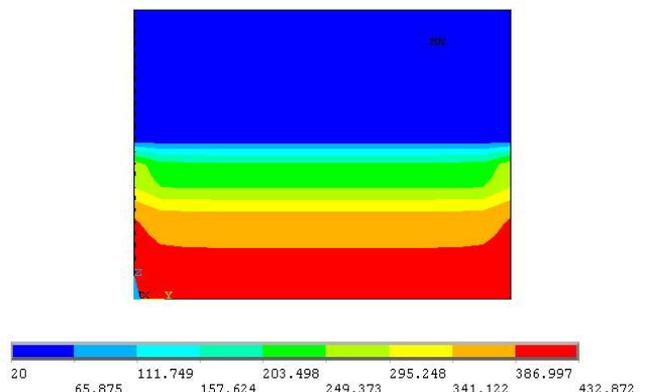


図-3 板厚 9mm の温度分布 (浸漬速度 0.008 (m/sec)、浸漬時間 26 秒後)

5. 鋼平板に生じる熱応力分布

板厚方向に一定温度で、鉛直方向のみ温度分布 \bar{T} を持つ鋼平板の場合、水平方向の熱応力は、梁の一次元熱応力式(1)により与えられる。

$$\sigma_x = -\beta E \bar{T}(t') + \frac{1}{S} \int_0^A \beta E \bar{T}(t') B(y) dy + \frac{y}{I_z} \int_0^A \beta E \bar{T}(t') B(y) y dy \dots (1)$$

ここで、 $t' = t - y/V$ 、 β は線膨張係数、 E は縦弾性係数、 $B(y)$ は y 方向の板厚変化、 S は断面積、 I_z は z 軸回り断面2次モーメント、 A は鋼平板下端から上端までの距離である。この式を用いて求めた熱応力分布を図-4に示した。図-4は測定位置③-1~③-5、板厚9mm、浸漬速度0.008(m/sec)の熱応力分布である。図-4を見ると溶融亜鉛に浸漬すると下端部分に圧縮応力が働き、上端部分には引張応力が働いているのが分かる。

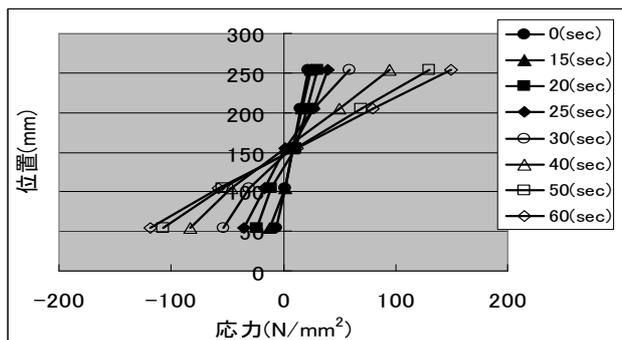


図-4 板厚9mmの鉛直方向の熱応力分布
(浸漬速度0.008(m/sec))

6. FEM解析を用いた熱応力解析

式(1)は無有限長梁で成り立つ式のため、まず試験体モデルを幅300mmから900mmに変えてFEM解析を用いて熱応力解析を行った。図-5は板厚9mm、桁高304.5mm、桁長900mm、浸漬速度0.008(m/sec)による浸漬から26秒後の鋼桁の熱応力分布である。

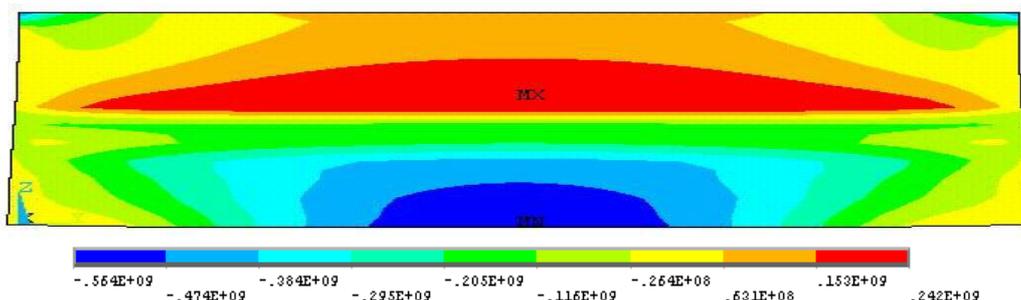


図-5 板厚9mm、桁高304.5mm、桁長900mmの鋼桁の熱応力分布(N/m²)
(浸漬速度0.008(m/sec)、浸漬時間26秒後)

図-5より端部から充分離れた位置を見ると、下端側の温められている方は圧縮応力が働き上端側には引張応力が働いている。つまり図-4の梁理論で求めた応力に近い分布が得られた。従ってFEM解析を用いて実際の試験体モデルの熱応力分布を求めることができると考えられる。図-6は実際の試験体モデルの浸漬速度0.008(m/sec)の解析結果の一例で、浸漬から26秒後の熱応力分布である。図-6より、下端側から引張応力、圧縮応力、引張応力、圧縮応力と複雑な応力状態になっているのが分かる。このような熱応力分布が生じるのは三辺からの入熱による影響を大きく受けているためと考えられる。

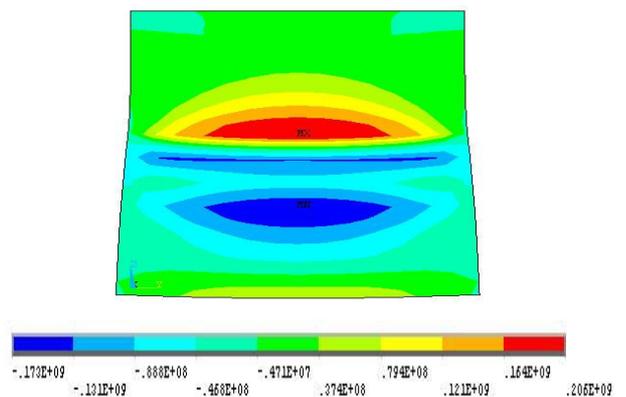


図-6 板厚9mm、桁高304.5mm、桁長300mmの鋼板の熱応力分布(N/m²)
(浸漬速度0.008(m/sec)、浸漬時間26秒後)

7. あとがき

今回の研究では、鋼平板の熱伝導及び熱応力解析を有限要素法の連成解析を用いて行うことができた。したがって、鋼I桁も同じ手法を用いて熱伝導及び熱応力解析を行い、熱変形挙動を求めることができた。概要には鋼I桁の結果について載せることができなかったが、鋼I桁の熱変形については当日発表予定である。