

I-16 溶融亜鉛浸漬試験中の鋼平板の熱拡散率と熱伝達係数の最適化

岩手大学工学部 学生会員 ○二上 輝彦
 日本電炉（株） 正員 今野 貴史
 岩手大学工学部 正員 岩崎 正二

1. はじめに

鋼構造物に急激な温度変化を加えた場合、はじめに温度が加えられた部分と後から温度が加えられた部分との間には温度差が生じ、部材内に非定常熱応力が発生するため、特に大型鋼構造物では、部材内の温度分布の落差が大きくなる傾向にあるため、残留変形が残る場合もある。大型鋼構造物に急激な温度変化を与えるものの一つに溶融亜鉛めっきがある。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る防錆処理である。溶融亜鉛めっきは長期防錆効果が期待でき、建築・土木等の幅広い分野の鋼構造物に採用されている。¹⁾

著者等は、これまでに鋼部材板厚中央部の急激な温度変化を溶融亜鉛浸漬試験により測定してきた²⁾。しかし、鋼部材表面の温度や板厚を変化させたものについては測定していない。そこで、これらを測定する溶融亜鉛浸漬試験を実施すると共に、著者等²⁾の導出した熱伝導方程式中の熱拡散率 κ と熱伝達係数 α を測定結果から求める最適化手法について検討を加えたので報告する。

2. 溶融亜鉛浸漬試験概要と結果

溶融亜鉛浸漬試験は、図-1 のような鋼平板を約 450℃の溶融亜鉛中に浸漬させ、鋼平板の温度を測定する試験である。板厚 L は、4.5 mm・9.0 mm・16.0 mm・22.0 mm・32.0 mm の 5 種類を採用し、浸漬速度を 2.4 m/min とした。温度は、板厚中央部 ($L/2$) の①～⑤と頂部表面の⑥、鋼平板表面の⑦～⑨および底部表面の⑩の合計 10 点について K 型被覆熱電対を用いて測定した。

図-2 は、板厚 $L=9.0$ mm の低速浸漬試験における温度の時刻歴応答曲線であり、縦軸が温度 (℃)、横軸は時間 (sec) である。なお、グラフを見やすくするため、測定点は 3 点のみ 50 秒までの結果を示す。図-2 より、溶融亜鉛に浸漬していくと共に鋼平板底部⑩から中央部③、頂部⑥の順で温度が上昇していくことがわかる。これらは時間経過と共に溶融亜鉛の温度 (440℃前後) へと近づいていく。

3. 一次元熱伝導方程式と境界条件

本研究では、板上各点が亜鉛の液面に到着してから板の両面からのみ加熱される条件で、式(1)の一次元非定常熱伝導方程式を用いた。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \dots (1)$$

ここで、 T は温度、 t は時間、 κ は熱拡散率(温度伝導率)、 z は板の厚さ方向の座標である。境界条件は、 $z = \pm L/2$ のとき式(2)になる。

$$\frac{\partial T}{\partial z} = H(T_0 - T) \quad \dots (2)$$

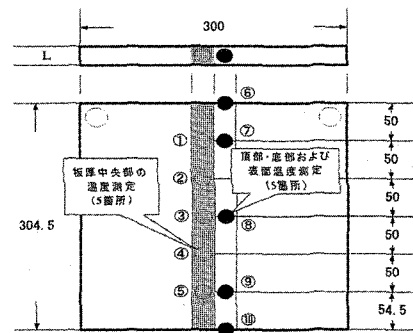


図-1 試験片モデル (単位: mm)

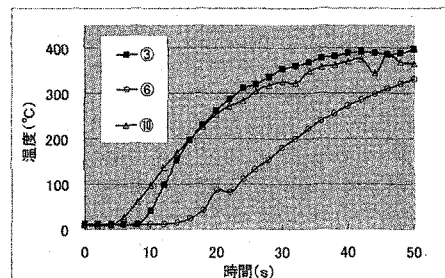


図-2 L=9.0 mmの温度時刻歴応答曲線

ただし、 H は鋼板外面と溶融亜鉛との境界における相対熱伝達率であり、 $H=\alpha/\kappa$ で表される。 T_0 は溶融亜鉛温度、 L は板厚、 α は熱伝達係数である。

4. 熱拡散率 κ と熱伝達係数 α の最適化

熱伝導方程式の計算結果と試験結果を比較検討するため、この方程式を一般的な鋼材の熱拡散率 κ と熱伝達係数 α で解いたが、計算結果は試験結果と合わなかった。 κ は基本的に材料定数であり、物質内部を温度変化が伝わっていく速さを表す定数と考えられる。また α は単位温度差(鋼板-溶融亜鉛流体)あたりの熱伝達による熱流速を規定する係数で、流れ場に依存する。そこで一般的な鋼材の κ ($0.042 \text{ m}^2/\text{s}$)と α ($0.75 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ sec}^\circ\text{C}$)³⁾を用いた計算値をはじめ、 κ と α を相互に変化させ、試験値と比較した。図-3に3つの例を示したが、 $\kappa=1.0 \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $\alpha=0.65 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ sec}^\circ\text{C}$ の場合に、試験値により近似した。

そこで著者等は、本来は材料パラメータである κ と、流れ場に依存する α が材料の急激な温度変化によって変化するのではないかと仮定し、試験における温度の時刻歴応答曲線に一致するように κ と α の値の最適化を試みた。図-4、5は式(3)の目的関数OBJを用いて最小二乗法により求めた結果である。

$$OBJ = \sqrt{\sum (T - T')^2} \quad \dots (3)$$

なお、 T は試験値、 T' は計算値である。実際は κ を $0.1 \sim 10 \text{ m}^2/\text{s}$ まで変化させOBJを算出したが、傾向が類似するため、数例を示した。図-4に示す $L=9.0\text{mm}$ の場合では $\kappa=1.0 \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $\alpha=0.6 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ sec}^\circ\text{C}$ 付近でOBJが最小となり、それ以降 κ が大きくなると($\kappa=5.0 \text{ m}^2/\text{s}$)全体的にOBJが増加していく。それに対して、図-5に示す $L=22.0\text{mm}$ の場合では κ が大きくなると比例してOBJの最小値も減少していく。このとき、 $\kappa=10$ と $100 \text{ m}^2/\text{s}$ の場合のOBJを比較したところほとんど差が見られなかった。よって、板厚が厚くなれば κ の値がある一定の値を境に、それ以降OBJに対して影響しなくなり、 α が $0.2 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \text{ sec}^\circ\text{C}$ 付近のときOBJが最小値をとる。

5. おわりに

最適化手法により求めた κ の値は、板厚が薄い場合にはOBJで明確な境界が得られたが、板厚が厚い場合は κ に比例してOBJの最小値も減少するため、境界の検討が必要である。今後は、他の板厚での比較、浸漬速度を変化させた場合の解析など様々な条件を考慮した上での κ と α の最適値の算出を試みたい。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会編：建築用溶融亜鉛めっき構造物の手引、1998
- 2) 今野貴史等：鋼平板の溶融亜鉛浸漬試験中に発生する熱ひずみと温度変化、鋼構造年次工學論文報告集、第10巻、pp.217-224、2002
- 3) 日笠隆司、中川和紀等：溶融亜鉛めっき桁の熱応力解析、土木学会関西支部年次学術講演会、1-19、1990

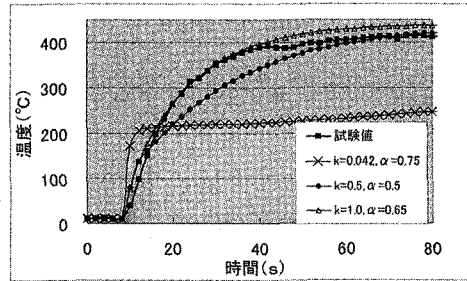


図-3 κ と α を変動させた $L=9.0\text{mm}$ の測定点③における時刻歴応答曲線

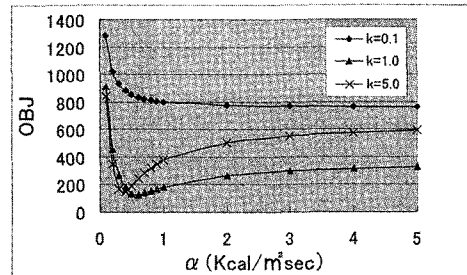


図-4 $L=9.0\text{mm}$ の測定点③における κ と α の変化に対応するOBJ

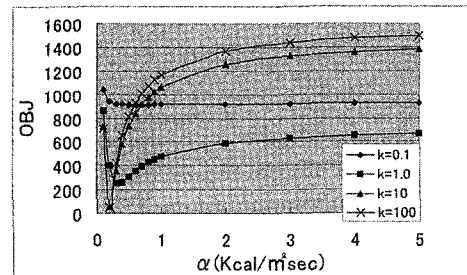


図-5 $L=22.0\text{mm}$ の測定点③における κ と α の変化に対応するOBJ