

最適化手法を用いた溶融亜鉛浸漬試験中の鋼平板の温度分布再現

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の間に温度差が生じ、部材内に非定常熱応力が発生する。特に大型鋼構造物では、部材内に発生する温度分布の落差が大きくなる傾向にあるため、それに伴い発生する熱応力も大きくなり、残留変形が残る場合もある。このような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。溶融亜鉛めっきはメンテナンスフリー・長期防錆効果が期待でき、電力・通信分野をはじめ、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、これまでも鋼部材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、これまでは鋼部材中央部の温度を測定しており、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 を測定結果から求める最適化手法を用いて、溶融亜鉛に浸漬する鋼部材の温度分布を再現したので報告する。

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(以下、低速)、0.5 m/min(以下、微速)の 2 ケースとして浸漬速度の影響も比較した。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、測定点は 10 箇所、測定時間は 180 秒間だが、グラフを見やすくするために測定点は代表的 5 点、測定時間 50 秒までとしている。図-2 より、試験片が溶融亜鉛に浸漬すると共に鋼平板底部⑩から⑤、③、①、頂部⑥の順で温度が上昇していくことがわかる。これらの曲線は時間の経過と共に溶融亜鉛の温度(440℃前後)へと近づいていく。図を割愛するが、板厚 L が厚くなると、頂部⑥が板厚内部①～⑤の温度より温度上昇が大きくなる傾向が見受けられた。これは板厚中央部では内部への熱の伝わりが遅くなるが、頂部表面は溶融亜鉛に直接接することで熱の伝わりが早くなるためと考えられる。

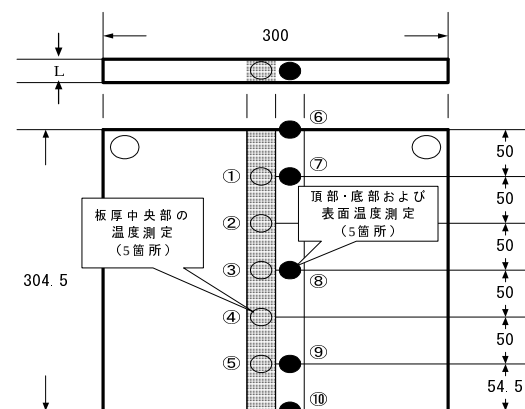
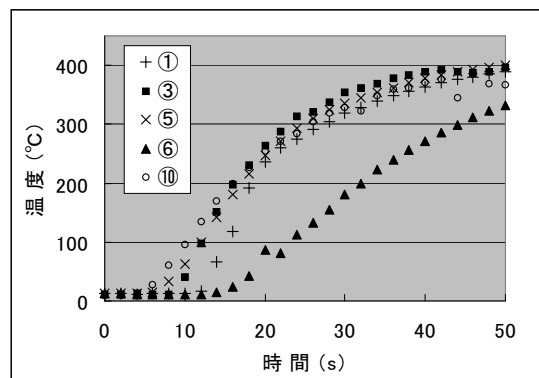


図-1 試験片モデル (単位: mm)

図-2 $L=9.0$ mmの温度時刻歴応答曲線（低速）

キーワード 溶融亜鉛めっき 熱拡散率 相対熱伝達率 温度分布

連絡先 岩手県花巻市北湯口 18-26-17 東北ガルバセンター TEL: 0198-27-5501 FAX: 0198-27-5502

3. 最適化手法による熱拡散率 κ の算定

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 と相対熱伝達率 h で解いたところ、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、材料の温度が時間と共に変動する場合の解析に現れる物性値であり、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。それに比べ h は熔融亜鉛流体、潜熱等の影響を受けるので、材料特性値ではないことがわかっている。そこで、一般的な鋼材の κ ($0.042 \text{ m}^2/\text{s}$) を用い、 h を変化させて計算値を求め、試験結果と比較した。3つの例を図-3に示したが、 h を変化させても計算値はほとんど変化しない。 h が 50 と $100 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ では計算値に差がなく、 h をさらに大きくしても影響度が少ないことがわかった。

そこで著者等は、本来は材料パラメータである κ 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間変化曲線に一致するように κ を逆算して求めた。この結果、 κ は時間に対して定数と仮定して解析するのが一般的であるが、時間に若干依存しており、温度の時刻歴応答曲線に対する影響度が h より κ に依存している傾向が強いことがわかった。そのため、時間変化する κ の中から今回の試験結果を最適近似できる値を求めた。図-4は、低速浸漬試験における鋼板の内側と外側の κ をグラフ化した一例である。全体的な傾向として、測定点が上にあるほど値が小さくなっており、板厚 16mm までは内側と外側の κ にあまり差がないが、22 mm 以上ではその差が大きくなることがわかった。

4. 実測温度分布との比較検討

図-5は、板厚 9mm の測定点⑤～①における温度分布の実測値(実線)と最適化手法で求めた熱拡散率 κ の結果を用いた計算値(破線)を比較したものである。鋼平板の浸漬直後から 30 秒程度までは計算値と実測値に差が見られるが、30 秒以降の計算値は時間の経過と共に実測値に近似した温度分布を示すようである。

今後は、本試験で熱拡散率 κ が様々に変化したことから 2 次元的な解析を進めると共に、浸漬後 30 秒間に計算値と実測値に差が生じる要因として考えられる熔融亜鉛の温度低下の影響について検討を加えていきたい。

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、岩崎正二等：鋼平板の熔融亜鉛浸潤試験中に発生する熱ひずみと温度変化、鋼構造年次工学論文報告集、第 10 巻、pp. 217-224、2002

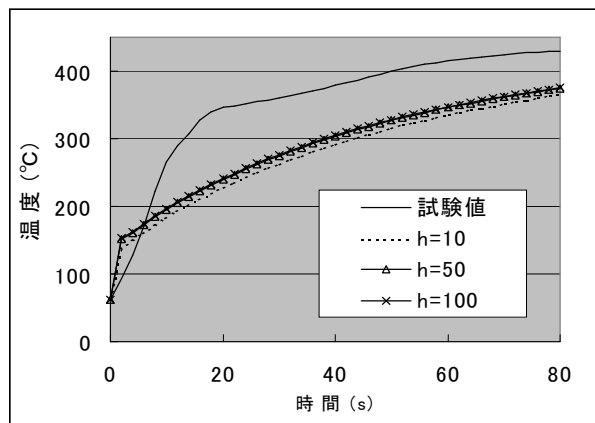


図-3 相対熱伝達率 h を変化させた場合の時刻歴応答曲線

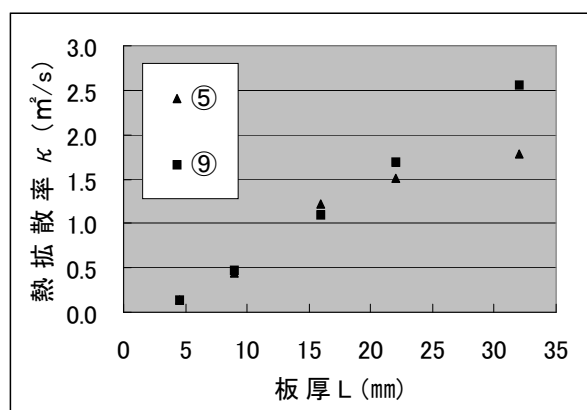


図-4 測定点⑤・⑨における熱拡散率 κ
(低速浸漬試験・ $h=50 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$)

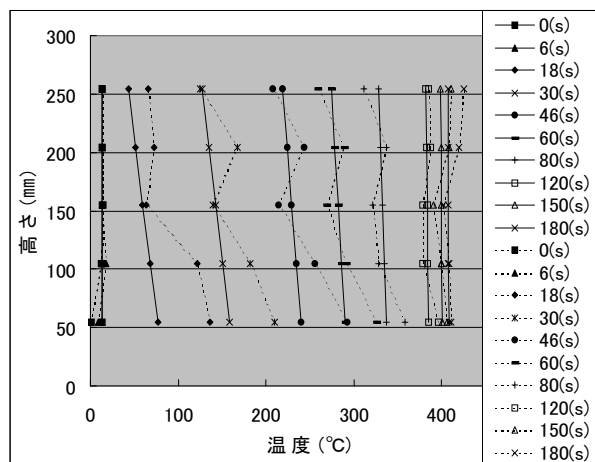


図-5 板厚 9.0mm (板厚中央部) の温度分布
の実測値(実線)と計算値(破線) (板厚 $L=9.0 \text{ mm}$)