

I - 29

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 神山 佳久

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。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。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⁾。しかしながら、めっき中の急激な温度変化が鋼部材のめっき割れや変形の原因になることも一般に言われている。

著者等は、このめっき割れの原因を追究するためにこれまで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、これまでの浸漬試験では鋼部材板厚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ことにより、板厚が温度変化に及ぼす影響を明らかにすると共に、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 及び 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温度分布に及ぼす影響も検討した。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 箇所であるが、グラフを見やすくするために代表的な 5 点について示してある。また、測定は 180 秒間行ったが、変化を見やすくするために 50 秒までのグラフとした。図-2 より、鋼平板を溶融亜鉛に浸漬していくと鋼平板底部⑩から⑤、③、①、頂部⑥の順に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順次溶融亜鉛の温度（440℃前後）へと近づいていく。図は省略するが、板厚 L が厚くなると、板厚内部①～⑤の温度より頂部⑥の方が温度上昇が大きくなる傾向が見受けられた。この理由として板厚内部では板厚が厚くなることで内部への熱の伝わりが遅くなるのに対して、頂部表面は溶融亜鉛に直接接するため温度上昇率が大きくなったためと考えられる。

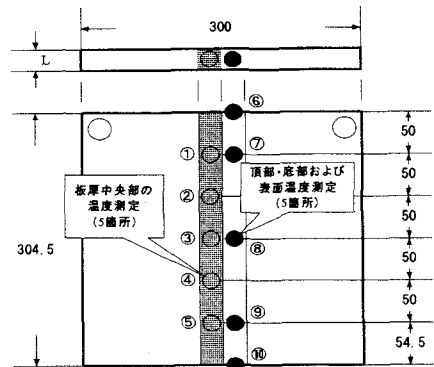


図-1 試験片モデル

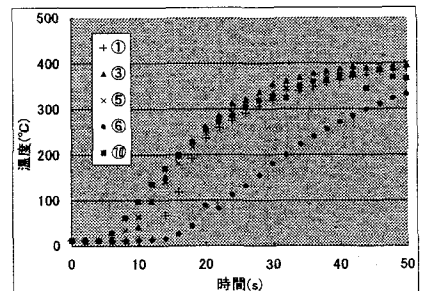


図-2 $L=9.0$ mmの温度時刻歴応答曲線（低速）

3. 最適化手法による計算値と実測値の比較検討

板厚方向の一次元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（温度伝導率） κ ($0.042 \text{ m}^2/\text{s}$) と既往の文献³⁾ 相対熱伝達率 h ($50 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$) の値を用いて解いたところ、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熱伝導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て。そこで、一般的な鋼材の κ ($0.042 \text{ m}^2/\text{s}$) を使い、 h を変化させて計算値を求め、試験結果と比較した。図-3 に示すように、 h を変化させても計算値はほとんど変化しないことが確認できた。 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、常温では一定値の 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考え、計算結果が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。その結果、 κ は時間に若干依存していることがわかり、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近似できる値を最適化手法を用いて求めた。なお、 h は $50 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ ³⁾ を用いた。図-4 は、低速浸漬試験における鋼板の板厚中央点と板表面の熱拡散率 κ と板厚との関係をグラフ化した一例である。板厚 16 mm までは板厚中央点と板表面の κ にあまり差が見られないが、22 mm 以上では板厚表面の方が板厚中央点より大きくなることがわかった。また、全体的な傾向として測定点が上側（頂部側）になるほど κ の値がやや小さくなる傾向が見られた。図-5 は、最適化手法によって求められた κ の値を用いた計算値と実測値を比較した温度の時刻歴応答曲線を示している。温度上昇が安定してきている部分における計算値は、ほぼ実測値を近似しているが、熔融亜鉛への浸漬直後には多少の差が出るようである。

4. あとがき

今後の課題として、鋼板底部から頂部に向かっての高さ方向の平均温度分布の再現とその検討を行いたい。また、本文中では触れなかったが今回の試験で明らかになった熔融亜鉛の温度低下の影響についても検討を加えていきたい。本研究により温度分布が再現できれば詳細な熱応力分布が分かり、めっき割れや変形が部材のどの点で生じるかが明らかとなる。また、本論文を発展させ、めっき割れや変形のメカニズムを明らかにすることは、熔融亜鉛めっきの実用性をさらに高められると考えられる。

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) (株) バコーポレーション、(株) 巴技研：解説・熔融亜鉛めっき大型鋼構造物のめっき割れ現象とその防止法、2001

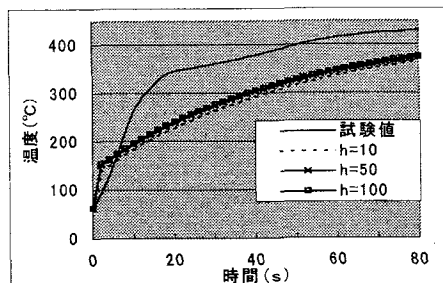


図-3 相対熱伝達率 h を変化させた場合の温度時刻歴応答曲線

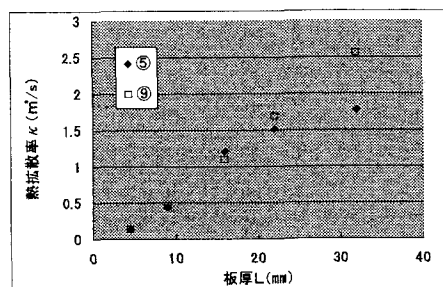


図-4 測定点⑤・⑨における熱拡散率 κ (低速浸漬試験)

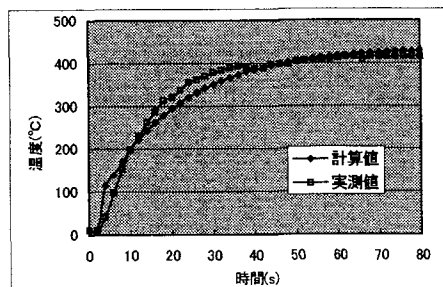


図-5 測定位置③の温度の時刻歴応答曲線 (板厚 $L=9.0 \text{ mm}$)