

I-A345 溶融亜鉛めっき処理時の熱伝達係数

大阪府立工業高等専門学校 正会員 日笠隆司
大阪大学接合科学研究所 村川英一

1. まえがき

近年、塗装の塗り替え作業が困難なとき及び維持補修費軽減のため、溶融亜鉛めっきによる防錆処理¹⁾や耐候性鋼材の裸使用の鋼橋が増加している。特に、溶融亜鉛めっきは耐候性鋼材のような錆汁による環境汚染がないので、市街地に適する。しかし、一般のめっき製品と比較すると、めっき橋は部材断面及び長さ、フランジ・ウェブの板厚差が大であるため、めっき処理時(溶融亜鉛及び冷却水中)の熱応力による過大な残留変形²⁾や割れ^{3), 4)}などの問題が生ずることがあり、めっき橋普及の妨げの一因となっている。

めっき処理時の鋼桁の過渡的な温度は、流体の影響を受ける3次元非定常熱伝導解析の複雑な問題となるが、流速や相変化等の影響を含んだ工学的な熱伝達係数が分かれば、その温度計算は比較的簡単になる。本文は、鋼桁の実測温度より、1次元非定常熱伝導の逆問題として、熱伝達係数を実験的に明らかにする。

2. 計算理論

めっき処理時、フランジ・ウェブの板端面や板厚差のある近傍では平面的な熱伝導が生ずるが、通常、鋼桁の他の各箇所の温度は、板厚方向の1次元非定常熱伝導問題と仮定⁵⁾できる。このような位置における板厚中心温度の測定値から、逆問題として、流体や相変化の影響を受けた熱伝達係数を算出する。

図-1の縦軸は時間 t 、横軸は板厚方向 z の座標である。板厚 L を $2n$ 等分し($\Delta z=L/2n$)、時間増分を Δt とし、着目点の浸漬時間 t_j にお

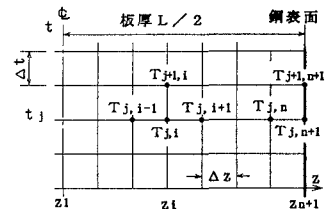


図-1 差分の座標

ける板厚の位置 z_i の温度 $T(t_j, z_i)$ を $T_{j,i}$ とする。熱伝達係数 $\alpha_{j,n+1}$ 、熱伝導率 $\lambda_{j,i}$ 、熱容量 $c\rho_{j,i}$ は温度の関数式1)であると、1次元非定常熱伝導問題を差分方程式2), 3)によって表す。

$$c\rho_{j,i} = 0.81 + 0.0009 \cdot T_{j,i} \text{ (cal/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C)}, \quad \lambda_{j,i} = 0.177 - 0.00015 \cdot T_{j,i} \text{ (cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C)} \quad (1)$$

$$T_{j+1,i} = -G_{j,i} \cdot \{T_{j,i+1}^2 - 2 \cdot T_{j,i+1} \cdot T_{j,i} + T_{j,i}^2\} + H_{j,i} \cdot \{T_{j,i+1} + T_{j,i-1} + (1/H_{j,i} - 2) \cdot T_{j,i}\} \quad (2)$$

$$T_{j+1,n+1} = 2 \cdot H_{j,i} \cdot \{T_{j,n} + B_{j,i} \cdot T_{out} + (1/[2 \cdot H_{j,i}] - B_{j,i} - 1) \cdot T_{j,n+1}\} \quad (3)$$

ここに、2)式は鋼内部の熱伝導、3)式は鋼表面($z_{n+1}=L/2$)における自由境界条件であり、 $G=0.00015 \cdot \Delta t / (\Delta z^2 \cdot c\rho_{j,i})$ 、フーリエ数 $H_{j,i} = \lambda_{j,i} \cdot \Delta t / (\Delta z^2 \cdot c\rho_{j,i})$ 、ビオ数 $B_{j,i} = \Delta z \cdot \alpha_{j,n+1} / \lambda_{j,i}$ である。

3. 実験及び結果

図-3に温度測定用の供試体(H型鋼600*200*11*17*1500)を示す。測点はウェブ及び上下フランジ自由突出幅の各々の中央等の4点とし、平面的な熱伝導の生じない位置とする。測点の詳細は図-2に示すように、K-1熱電対をスパーク溶接で板厚中央に接合し、溶融

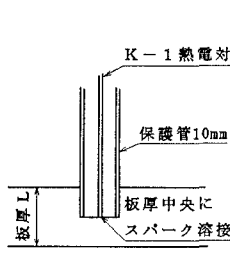


図-2 測点の詳細

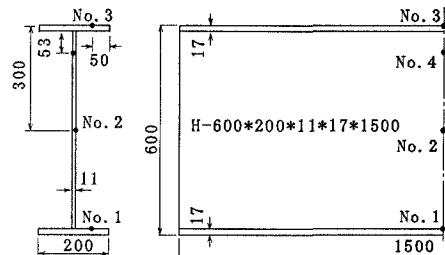


図-3 H形鋼供試体

キーワード : めっき橋, 熱伝達係数

〒572 大阪府寝屋川市北大利町26-12 TEL 0720-20-8588 FAX 0720-21-0134

〒567 大阪府茨木市美穂が丘11-1 TEL 06-879-8645 FAX 06-879-8689

亜鉛や冷却水から熱電対を保護するため鋼の保護管（外径10mm, 肉厚1mm, 長さ2～2.5m）を用いる。供試体は大型亜鉛槽（オーエム工業, 幅3600, 深さ3600, 長さ16500mm）及び水槽に漬け込む。その漬込条件は, 鋼桁初期温度36～40℃, めっき時は熔融亜鉛温度443℃, 漬込角度約5°及び漬込速度25cm/sec, 漬込時間120sec, 引上角度約5°及び速度3.3cm/secであり, 特別に空冷時間は取らない。冷却時は水温65℃, 漬込角度約5°及び漬込速度16.7cm/sec, 漬込時間120 secである。なお, 角度は桁軸の傾斜角であり, ウェブは垂直とする。

熱伝達係数計算のフローチャートは図-4に示す。実測板厚中心温度に対する熱伝達係数の算出は逆問題となるが, 実測温度と計算温度の差が最小となるよう, 繰り返し計算により熱伝達係数を求める。

測点1（下フランジ）, 測点2（ウェブ中央）, 測点3（上フランジ）における表面温度に対する熔融亜鉛及び水中の熱伝達係数の結果の一例を図-5, 6に示す, 図-7～9は実験値とその熱伝達係数を用いた計算値の板厚中心温度であり, 実験値にはある程度のばらつきが認められる。なお, 横軸の間時0は各々の着目点が流体に浸かる瞬間を基準とする。

4. 結び

実際の熔融亜鉛槽及び槽水を用いた実測温度から, 逆算により熱伝達係数を求め, めっき処理時の温度解析を可能にすると共に, 以下のことを明らかにする。

1) 熔融亜鉛・水中ともに上・下フランジ, ウェブの熱伝達係数は各々異なり, ウェブはフランジより大きめとなる。2) 熔融亜鉛中においても熱伝達係数の変動は初期に生じるが, 特に冷却水中では鋼表面の沸騰現象のため, 膜・サブクール・遷移沸騰領域が生じ, その変動は大きい。3) 同位置の実測温度のばらつきは, ウェブよりフランジ, 熔融亜鉛より水中の方が大である。

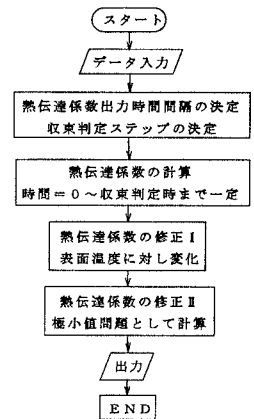


図-4 フローチャート

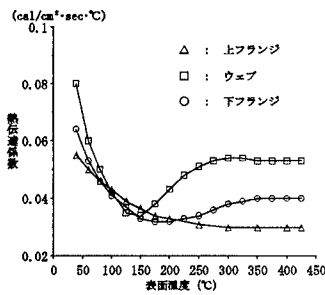


図-5 熱伝達係数（亜鉛）

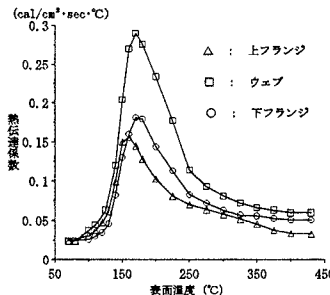


図-6 熱伝達係数（水）

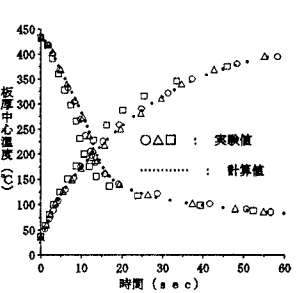


図-7 下フランジ温度

謝辞

本文をまとめるにあたり, 前田幸雄 大阪大学名誉教授に貴重なご助言をいただいた。また, 現場実験はオーエム工業(株)のご援助のもとに行った。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 西川, 阿部: 橋梁と基礎, No. 1, pp35～40, 1996. 2) 日笠, 上田, 村川: 構造工学論文集, Vol. 39A, pp63～70, 1993. 3) 亜鉛めっき小委員会: JSSC, No. 17, 1995.

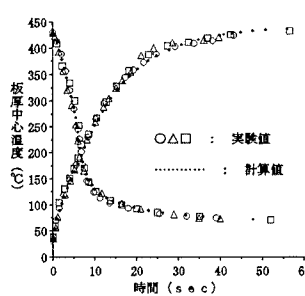


図-8 ウェブ温度

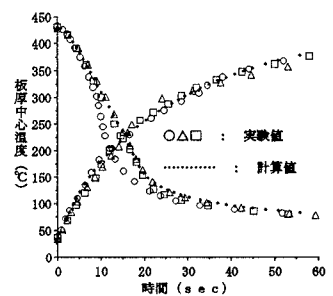


図-9 上フランジ温度

3) 阿部, 家沢, 山下他: 橋梁と基礎, No. 7, pp26～31, 1996. 5) 日笠, 前田: 土木学会第45回年講, pp222～223, 1990.