

I - A 169

溶融亜鉛めっき処理による鋼桁の残留応力度について

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
 大阪大学工学研究科 フェロー 西村宜男

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、市街地等に適する。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、めっき処理後に過大な残留変形²⁾・残留応力度³⁾が発生することがある。この残留応力度については実験データ⁴⁾も少なく、また、数値解析²⁾も殆どされていない。このため、本文は、めっき処理後の残留応力度を数値解析により考察したものである。

2. 数値解析及び結果

めっき処理時の鋼桁の過渡的な温度解析は、流体（溶融亜鉛及び冷却水）の影響を受ける複雑な3次元非定常熱伝導の問題となる。筆者等は実測温度の逆解析により、流速や相変換等の影響の含まれた工学的な熱伝達係数⁵⁾を実験的に明らかにしている。本文はこの熱伝達係数を用い、めっき処理後の残留応力度を有限要素法（温度解析・熱弾塑性解析⁶⁾）により解析する。そのモデル化及び仮定は次のとおりである。

- 1) 残留応力度は桁端の影響の及ばない位置のものとし、ウェブ等の幾何学的非線形の影響は無視する。
- 2) 鋼桁の単位長さを切り出し計算する。その鋼桁は等速で流体に漬け込まれ、桁長方向の熱流束は0とし、鋼桁表面に関する温度差と熱伝達係数の積により、その面に直角方向の熱流束が発生するものとする。
- 3) 単位長さの桁の両

切断面は平面であるとして、3次元熱弾塑性解析⁶⁾を行う。

表-1に初期温度条件及び温度に関する定数等の入力データ、表-2に桁の断面寸法を示す。

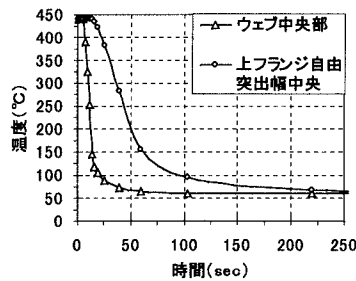


図-1 板厚中央の温度（水）

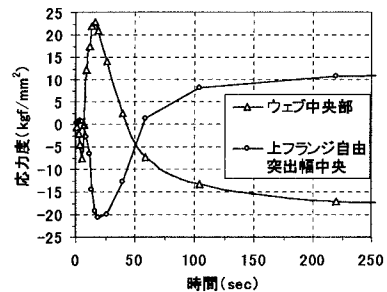


図-2 板厚中央の長さ方向応力度（水）

図-1～2は $A_f/2A_t$
 $=0.5$ 、 $t_f/t_w=3.5$ 、漬

表-1 温度に関する入力データ（T：温度）

温度	室温 40℃	溶融亜鉛温度 440℃	水温 60℃
熱伝達係数	(大気中)	9.56×10^{-6} (cal/mm·sec·℃)	
熱伝達係数	(溶融亜鉛及び水中)	文献5)	
熱伝導率		$1.77(1.0-8.5 \times 10^{-4} \cdot T) \times 10^{-2}$ (cal/mm·sec·℃)	
熱容量		$8.1(1.0+1.1 \times 10^{-5} \cdot T) \times 10^{-4}$ (cal/mm³·℃)	
弾性係数		$2.11(1.0-2.77 \times 10^{-4} \cdot T) \times 10^4$ (kgf/mm²)	
熱膨張係数		$1.11(1.0+5.21 \times 10^{-4} \cdot T) \times 10^{-6}$	

表-2 桁断面寸法

フランジ幅 b (mm)	フランジ厚 t_f (mm)	断面積比 $A_w/2A_f$	板厚比 t_f/t_w
1470	15	0.499	1.5
880	25	0.500	2.5
630	35	0.499	3.5
490	15	1.497	1.5
290	25	1.517	2.5
210	35	1.497	3.5
290	15	2.529	1.5
180	25	2.444	2.5
130	35	2.418	3.5

キーワード：めっき橋、熱弾塑性解析、残留応力度

〒572-0017 大阪府寝屋川市北大利町26-12 TEL 0720-20-8588 FAX 0720-21-0134

込速度 $V=20\text{cm/s}$ のときの板厚中央のウェブ及びフランジについて、温度・桁方向応力度の時間経過を示す。
 なお、時間は下フランジ下面が流体に接するときを時間 $t=0$ とする。桁断面全体が流体に漬け込まれてから約10s前後で温度差が約 300°C となる。その時、ウェブとフランジは相互に桁長方向を拘束しあっているため降伏点に達し、定常状態になっても大きな残留応力が発生している。

図-3～4は $A_w/2A_f=2.4$ 、 $t_f/t_w=3.5$ 、漬込速度 $V=20\text{cm/s}$ のとき、板厚方向平均応力度のフランジ幅方向の分布状態を示す。図-3は亜鉛に漬け込み後、定常状態（ $t=264.75\text{s}$ ）になってから水に漬け込んだものである。図-4は水のみするときである。亜鉛漬込時の残留応力度はなくなり、水のみによる残留応力度が発生していることが分かる。

図-5～7は水のみするとき、フランジ平均残留応力度に与える漬込速度、面積比 $A_w/2A_f$ 及び板厚比 t_f/t_w の影響を示す。漬込速度 $V=10\sim30\text{cm/s}$ の残留応力度に与える影響は小さいが、面積比及び板厚比の影響は比較的大きいことを示している。但し、板厚比2.5以上ではその影響は少なく、また、板厚比が小のときは面積比の影響は大きめとなる。

3. 結び

3次元の熱弾塑性解析（41キロ鋼I断面桁を対象）により、めっき残留応力度について以下のことを明らかにした。

- 1) 溶融亜鉛より、水中冷却の影響を大きく受ける。
- 2) 漬込速度 $V=10\sim30\text{cm/s}$ の影響は小さく、面積比及び板厚比の影響は比較的大きいが、板厚比2.5以上では平均残留応力度の増加は小である。
- 3) 実験結果では上下フランジとも、上面に圧縮、下面に引張の板厚方向の強い曲げの影響が生じている。これは冷却水の沸騰現象によるものと判断出来るが、フランジ上下面で相当異なる熱伝達係数を用いる必要があること示唆している。

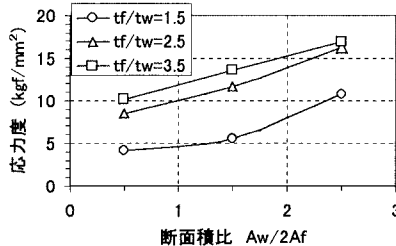


図-6 フランジ平均残留応力度（水）

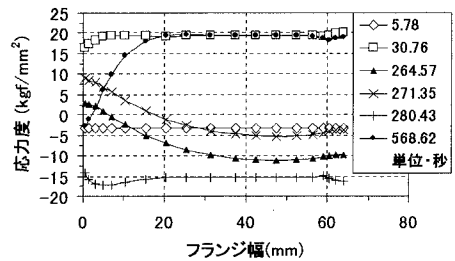


図-3 板厚方向平均応力度（亜鉛と水）

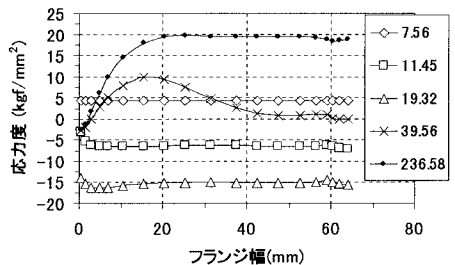


図-4 板厚方向平均応力度（水）

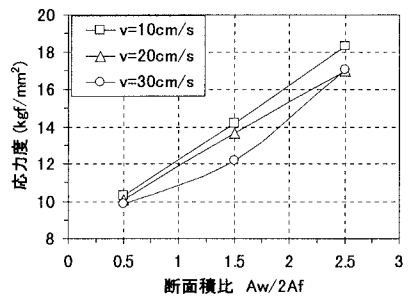


図-5 フランジ平均残留応力度（水）

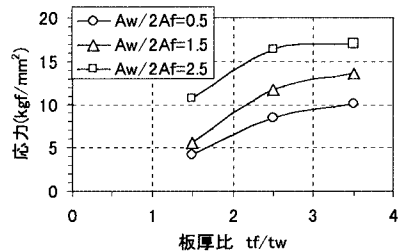


図-7 フランジ平均残留応力度（水）

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.
- 4) 伊藤, 千歳: 全溶融亜鉛めっき桁の残留応力, 駒井技報Vol. 6, pp41～47, 1987.
- 5) 日笠, 村川: 土木学会第52回年次学術講演会, pp688～689, 1997.
- 6) N.X. MA, Y. Ueda, H. Murakawa and M. G. Yuan : Mathematical modelling of Weld Phenomena 3, pp590～605. The University Press, Cambridge, 1997.