

I-96

溶融亜鉛めっき桁の熱応力解析

大阪府立工業高等専門学校 正会員 ○日笠隆司
大阪大学名誉教授 正会員 前田幸雄

1. まえがき 溶融亜鉛めっきにより防錆処理された鋼桁は最近10年間で急増し、現在までの実績は約70,000tonになる。しかし、めっき処理時に発生する熱応力による桁の変形・溶接部の割れの問題などのため、まだ一般的に普及しているとは言えない。これらの問題の対策上、めっき処理時の熱応力を明らかにする必要がある。本文は2次元非定常熱伝導問題として有限要素法により平面応力¹⁾を計算し、既往の一次元非定常熱伝導解析²⁾と比較し、考察を加えたものである。

2. 入力データおよび仮定 計算の対象とした鋼桁を図-1に示す。桁高1600mm、ウェブ厚10mm、上下フランジ幅400mmとし、フランジ厚Lは10, 20, 30mmの3種とする。桁のフランジを水平にし、鋼桁(初期温度40℃)を3種の速度 $V=25, 15, 7.5$ cm/secで溶融亜鉛中(440℃)に浸漬する。要素は桁高を28分割、桁長の半分を31、フランジ幅の半分を9分割し、図-1に示す矩形要素をさらに半分に分割した3角形要素とする。

熱伝達係数は亜鉛流体や相変化の影響を受けると推定³⁾され、まだ妥当な入力データがないので、鋼表面温度に対し一定の3種の熱伝達係数 $\alpha_s=0.04, 0.075, 0.15$ cal/cm²sec℃とし、修正熱伝達係数¹⁾を時間の関数として用いる。

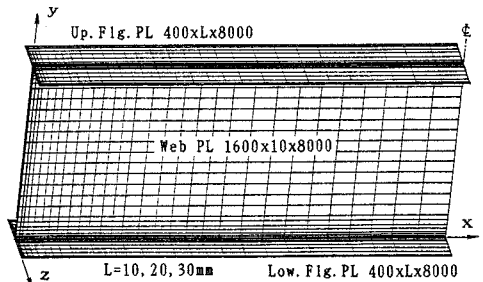


図-1 要素分割(三角形要素)

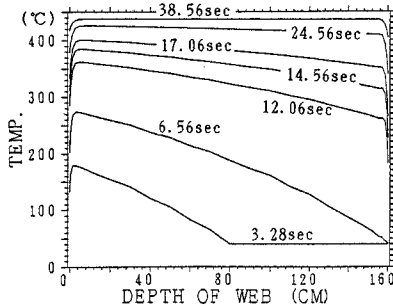


図-2 中央断面ウェブ温度(解④)

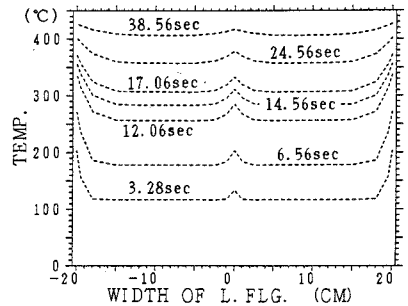


図-3 中央断面下フランジ温度(解④)

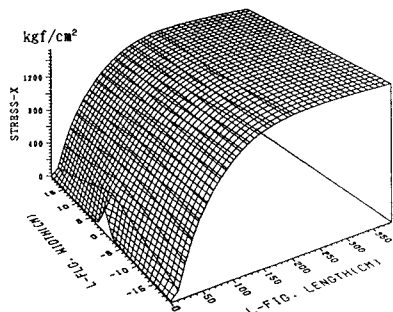


図-4 下フランジ応力 σ_x (解②, $t=12.06$ sec)

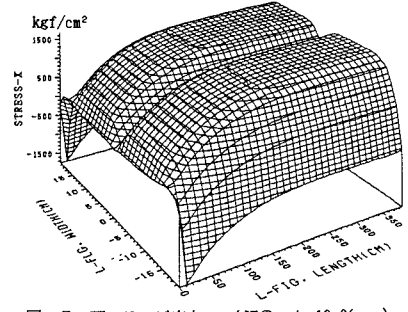


図-5 下フランジ応力 σ_x (解④, $t=12.06$ sec)

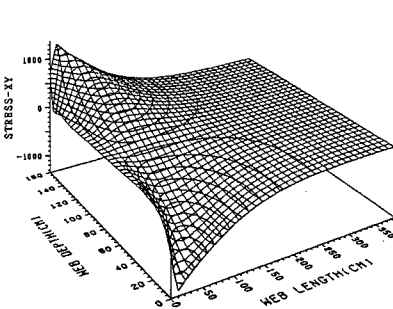


図-6 ウェブ応力 σ_{xy} (解④, $t=14.56$ sec)

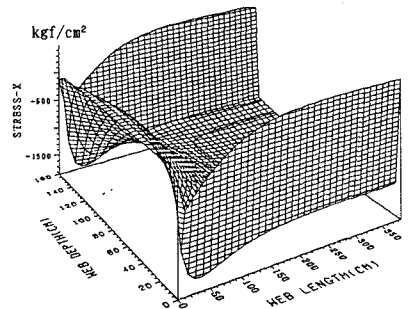


図-7 ウェブ応力 σ_x (解④, $t=14.56$ sec)

応力計算は平面弾性応力とし、弾性係数 E 、線膨張係数 ψ 、降伏点応力 σ_y は次式を用いる。

$$E = (1.006 - 2.79 \cdot 10^{-4} \cdot T) \cdot 2.1 \cdot 10^{10}, \quad \sigma_y = (1.0 - 7.3 \cdot 10^{-4} \cdot T) \cdot 2400, \quad \psi = (1.11 + 5.78 \cdot 10^{-4} \cdot T) \cdot 10^{-5}$$

T : 平均温度、 E, σ_y : kgf/cm^2 。なお、応力は2個のペヤーの3角形要素の平均値を用い、これを1個の矩形要素の応力として表す。

表-1 下フランジの最大熱応力

単位		$\alpha_s=0.075$		解① V=25		解① L=2.0		解① L=2.0	
応力 kgf/cm ²		L=2.0 V=25		$\alpha_s=0.075$		$\alpha_s=0.075$		V=25	
V:cm/sec		解①	解②	L=1.0	L=3.0	V=7.5	V=15	$\alpha_s=0.04$	$\alpha_s=0.15$
σ_x	最大値	1658	1536	256	2061	1816	1710	1566	1810
	時間	12.56	12.56	1.3	15.64	21.78	13.93	21.06	8.06
	x座標	362.5	340.0	0.5	362.5	340.0	340.0	362.5	362.5
	z座標	13.5	0.5	18.75	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
	最小値	-1925	-127	-1989	-2301	-2306	-1932	-1535	-2363
	時間	7.06	1.15	2.92	10.14	5.47	7.11	12.56	4.26
	x座標	10.0	387.5	362.5	10.0	362.5	10.0	10.0	10.0
	z座標	19.75	0.5	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75
σ_z	最大値	402	1109	236	441	329	393	318	493
	時間	8.06	11.06	2.27	9.14	11.48	9.29	18.56	5.9
	x座標	3.75	0.5	1.75	3.75	3.75	3.75	6.5	3.75
	z座標	1.75	0.5	18.75	1.75	1.75	1.75	3.75	1.75
	最小値	-1554	-48	-1314	-1906	-1591	-1560	-1282	-1852
	時間	8.06	10.06	3.73	11.14	7.65	7.93	13.56	4.43
	x座標	0.5	28.75	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	z座標	10.0	0.5	0.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
τ_{xz}	最大値	364	412	34	407	354	367	330	411
	時間	11.06	11.06	6.48	13.64	13.64	11.43	19.06	6.4
	x座標	3.75	1.75	55.0	3.75	3.75	3.75	3.75	1.75
	z座標	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	最小値	-429	-30	-286	-510	-428	-429	-340	-514
	時間	7.56	1.31	4.86	9.64	7.65	7.65	11.06	4.92
	x座標	1.75	45.0	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
	z座標	18.75	0.5	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75

鋼表面温度にたいする熱伝達係数 α_s : $\text{cal/cm}^2\text{sec}^\circ\text{C}$ フランジ厚 L : cm

表-2 鋼桁矩形要素のMISESの相当応力 σ_E (降伏点応力 σ_y で無次元化)

要素総数		$\alpha_g=0.075$		解① V=25		解① L=2.0		解① L=2.0	
		L=2.0	V=25	$\alpha_g=0.075$		$\alpha_g=0.075$		V=25	
1426		解①	解②	L=1.0	L=3.0	V=7.5	V=15	$\alpha_g=0.04$	$\alpha_g=0.15$
σ_g の 値	最大値	2.5	3.7	0.99	7.06	2.83	2.58	2.03	3.23
	時間	17.56	12.56	3.12	20.06	16.56	7.56	26.06	7.06
	x座標	15.0	10.0	362.5	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	y座標	157.8	1.0	0.0	157.8	157.8	2.25	157.8	2.25
	z座標	0.0	0.0	19.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
個 数	降伏要素数	131	212	0	748	226	122	109	198
	時間	16.06	16.56		17.56	10.06	14.06	24.06	10.56
降伏要素の累計		143	227	0	756	547	160	111	367

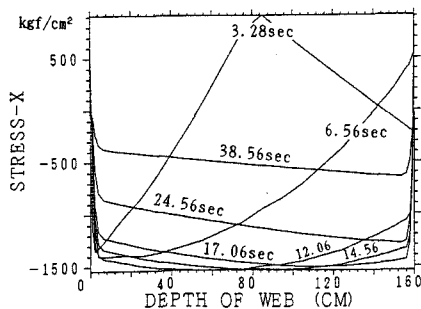
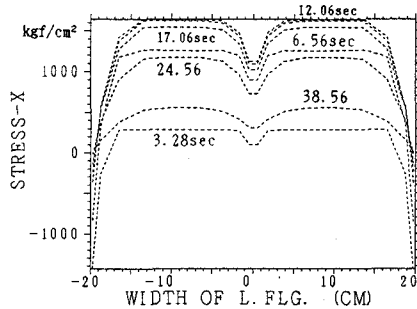
3. 計算結果 解①¹⁾は2次元、解②²⁾は1次元非定常熱伝導により計算したものである。図-2~9は浸漬速度 $V=25\text{cm/sec}$ 、フランジ厚 $L=2.0\text{cm}$ 、 $\alpha_s=0.075\text{cal/cm}^2\text{sec}^\circ\text{C}$ のときの解①、解②による結果である。時間 t は下フランジ下端が溶融亜鉛に接触した瞬間を0秒として表わす。表-1は下フランジの最大熱応力の値とその時間・位置を各ケースについて示したものである。表-2はMISESの相当応力をその要素の降伏点応力 σ_y により無次元化し σ_E で表わし、 $\sigma_E > 1.0$ を降伏要素として示したものである。

4. 結び 1) 応力分布の形状を解①・解②について比較すると、上下フランジでは異なるがウェブでは同様な傾向である。2) 最大応力について解①・解②($V=25, L=2, \alpha_s=0.075$)を比較すると、桁の中央部分のウェブ圧縮応力 σ_x 、フランジ引張応力 σ_y は共に 100kgf/cm^2 程度の差であり、板厚差のある部分・端面の部分の近くでは差は大きい。3) フランジとウェブの板厚差が応力に与える影響は大きい。

謝辞: 大阪大学溶接工学研究所上田幸雄教授、村川英一助教授に貴重な助言を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日笠、中川、田中: 土木学会関西支部年講、1990。
- 2) 金沢、山下、家沢、征矢: 巴組鐵工所技報、No. 1、1988。
- 3) 日笠、小林、三浦: 土木学会関西支部年講、1990。

図-8 中央断面ウェブ応力 σ_x (解①)図-9 中央断面下フランジ応力 σ_x (解①)