

I - 47

溶融亜鉛めっき中に生じる鋼構造物の熱応力について

日本電炉（株） 正 員 ○今野 貴史
 岩手大学工学部 正 員 岩崎 正二 出戸 秀明 宮本 裕
 岩手大学工学部 学生員 青田 宗之

1. まえがき

メンテナンスフリーで長期耐久性や長期防錆効果が期待できる溶融亜鉛めっき鋼構造物が、建築、土木、鉄道、電力、通信等に幅広く使用されている。土木関係の代表例としては全溶融亜鉛めっき橋梁がある。また、電力、通信関係の代表例として送電、無線鉄塔があり、現在送電鉄塔はすべて溶融亜鉛めっきを施して使用されている。

鋼構造物に溶融亜鉛めっきを施す場合、450℃前後の溶融亜鉛中へ浸漬されるため、急激な温度変化が与えられ、先に浸漬される部分と後から浸漬される部分との間に温度差が生じ、部材内に非定常熱応力が発生する。菊池等¹⁾は鋼管の溶融亜鉛めっき時に発生する熱変形や熱応力の変化を有限要素法を用いて解析し実験結果とよく一致することを示すとともに、鋼管を傾けて浸漬する場合の浸漬速度が熱変形や熱応力に大きな影響を与えることを明らかにした。また、一般の橋梁部材には鋼の溶接継手が多く存在するが、溶融亜鉛めっき時に溶接継手部は、応力集中部のため大きな引張熱応力が発生し、溶接残留応力の影響をも合わせてめっき割れの現象を引き起こす場合がある。溶融亜鉛めっきが溶接部に与える影響については、菊池等²⁾が基礎的な研究を発表している。

本論文の目的は、今後予定している溶接継手を有する鋼部材のめっき割れ再現試験の基礎的データを得るために、この試験供試体を約 450℃の溶融亜鉛に浸漬した場合を想定し、有限要素法を用いて部材内に発生する熱応力分布を明らかにすることである。

なお、菊池等¹⁾²⁾の研究では、材料は SM50A および STK55 鋼を使用しているが、著者等は、通常橋梁部材や鉄塔材として使用されている SS400 鋼材を考えている。

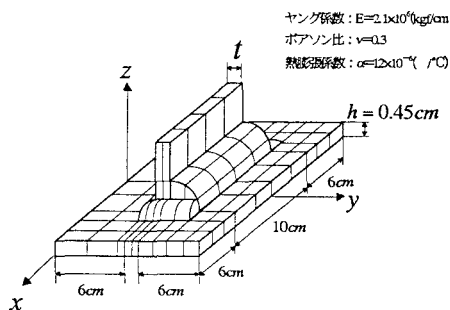


図-1 解析モデル図

2. 解析方法

図-1に示すような、溶接部を有する鋼試験片が約 450℃の溶融亜鉛めっき中に浸漬される場合の熱応力解析を行なう。数値解析は 3 次元の変位型有限要素法を用いて行なった。解析に用いた 3 次元有限要素は、図-2に示すような 20 節点アイソパラメトリック要素を使用した。アイソパラメトリック要素を用いると任意形状の要素で計算できるので、図-1中の溶接部のように直線的でない境界を有する場合でも、四面体要素を用いる場合に比べて少ない要素数で精度のよい解を得ることができる。温度分布は、図-3に示すように与えた。すなわち、母材の温度を T_0 、子材上端の温度を T_u とし、長手方向（x 方向）には温度を一定と仮定した。 T_0 を 450℃とし、 $T_u = 0℃, 100℃, 450℃$ の 3 ケースを採用した。鋼材は小型のため、瞬時に溶融亜鉛めっき槽に浸漬されるが、温度

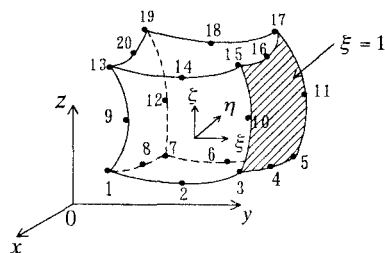


図-2 20 節点アイソパラメトリック要素

表-1 解析モデルの全要素数と総節点数

	溶接なし		均等溶接		不均等溶接	
t/h	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	5.0
全要素数	16	24	30	42	72	96
総節点数	160	215	267	344	556	710

が試験片に行きわたるためには時間差があると考えたからである。溶接部は、図-1に示すように長手方向はすみ肉溶接、子材厚み方向は廻り込み溶接を想定する。また、溶接脚長は6mmとする。溶接方法の違いを調べるために、図-3に示すように、すみ肉溶接ビードを両側1パスの場合と片側1パス、反対側20パスの場合に分け、溶接のない場合も含めてa)~b)の3ケースに分けて計算した。また、板厚比 t/h は、1.0, 5.0 の2ケースを考えた。それぞれのケースでの全要素数、総節点数を表-1に示す。鋼試験片の半分のみをモデル化するため、境界条件として片側境界面 ($x=0$) の x 方向変位を拘束した。

3. 解析結果と考察

どの計算結果を見ても溶接部内を除いて母材の下面近傍に大きな引張応力が働くので、以下の比較はこの面で行なった。図-4の結果は、 $T_u=0^\circ\text{C}$ 、板厚比 5.0 の不均等な溶接方法の場合であり、 $y=5.5\text{cm}$, 7.2cm , 10.4cm の面の σ_y の変化を表している。図より $x=3\text{cm}$ の辺りまでは、 $y=5.5\text{cm}$ の面 (1パス溶接付近) の応力が大きく、 $x=5\sim 6\text{cm}$ (廻り込み溶接) でどの面の応力も急激に上昇しているが、それ以降では発生する応力は小さくなっている。

図-5は、板厚比 5.0、不均等な溶接方法で温度分布を3通り変化させた場合の $x=5.8\text{cm}$ の面で σ_x の変化を比較した図である。 $T_b=450^\circ\text{C}$ 、 $T_u=0^\circ\text{C}$ の発生応力が最も大きく、 $T_b=T_u=450^\circ\text{C}$ の発生応力が最も小さかった。このことより、モデル内の温度勾配が大きいほど発生する応力が大きくなることが分かった。図-6は、図-3に示す3ケースの溶接方法を比較した図である。比較する面は図-5と同様である。最も大きな応力を示したのが均等な溶接の場合であり、溶接なしの場合ではほとんど応力は発生しなかった。

4. あとがき

本報告では、溶融亜鉛めっき時に鋼試験片に発生する熱応力分布を有限要素法を用いて明らかにした。今後は、解析から得られた結果を確認するために、解析に用いたと同様な条件の鋼試験片を製作し、カプセル型高温ゲージを用いて溶融亜鉛めっき時における動的熱ひずみの測定を行なう予定である。

参考文献

- 1) 菊池昌利, 家沢徹: 溶融亜鉛めっき時における鋼管の変形挙動, 日本材料学会, 「材料」, 第30巻, 第333号, 1981
- 2) 菊池昌利, 家沢徹: 溶融亜鉛による鋼の液体金属ぜい化割れの応力集中部に対する影響, 日本材料学会, 「材料」, 第31巻, 第342号, 1982

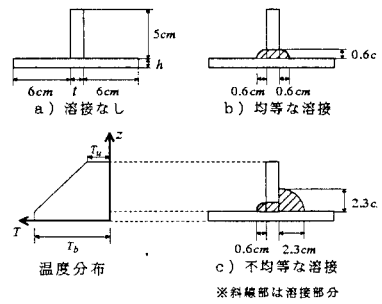


図-3 溶接方法と温度分布

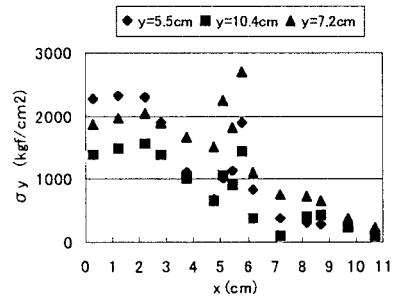


図-4 不均等な溶接方法の場合

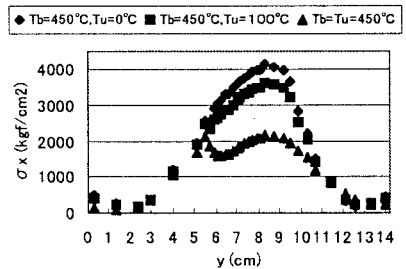


図-5 温度分布による応力の変化

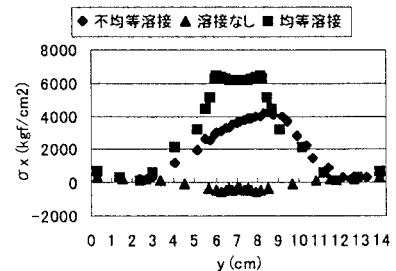


図-6 溶接方法による応力の変化
($T_b=450^\circ\text{C}$, $T_u=0^\circ\text{C}$)