

溶融亜鉛めっきを施した面外ガセット溶接継手の疲労強度(その2)

(株)サクラダ 正会員 南 邦明*

法政大学 正会員 森 猛**

1. はじめに

著者らは、昨年、溶融亜鉛めっきを施した部材の疲労強度に関する第1報を報告した¹⁾。前報では、溶融亜鉛めっきを行うことにより焼鈍効果で残留応力が低減され、また亜鉛の被覆により溶接止端形状が滑らかになることを報告した。それにも関わらず、疲労強度は逆に低下する結果となった。

本報告は、疲労強度が低下した原因を調べるため、一度めっきした後に酸洗いによりめっきを剥がした試験体で疲労試験を実施し、亜鉛の被覆による影響を見た。さらに、溶接熱影響部において結晶粒界脆化による微細な割れの有無を調査するため、疲労破面の観察を行った。また、亜鉛の被覆による溶接止端形状の改良効果を定量的に評価するため、FEM解析を実施したので、その結果を報告する。

2. 試験体

試験体(図1)は、SM490YA(一般鋼材)を使用し、溶接は炭酸ガス溶接で行った。次に、めっき作業は、452℃のめっき槽に8分、48℃の冷却槽に3分浸した。以上の諸条件は前報と同様である。さらに、めっき剥ぎ試験体(DE試験体)では、濃度50%の塩酸に約30分浸し、めっきを削除した。

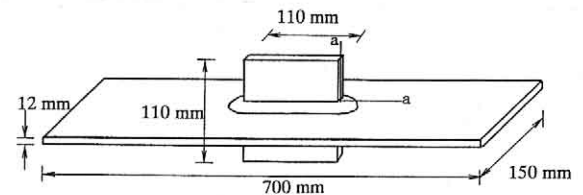


図1 試験体形状

3. 溶接止端形状の計測

(1)計測方法 廻し溶接部を、親水性ビニルシリコン印象材を用いて型取り、これを1mm程度にスライスし、20倍の投影器により拡大して、図2に示すような曲率半径 ρ と開き角 θ を計測した。計測は、溶接まま試験

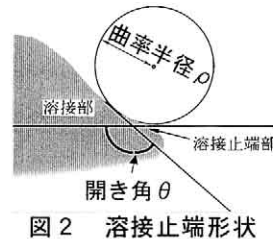


図2 溶接止端形状

表1 止端形状の計測結果

試験体名	開き角 $\theta(^{\circ})$	曲率半径 $\rho(\text{mm})$
AW	145	1.8
ZN	めっき前	140
	めっき後	145
DE	143	2.1

体(AW試験体)、めっき試験体(ZN試験体)およびDE試験体、それぞれ各6体(DEのみ3体)行った。

(2)計測結果 表1に試験体毎に平均化した計測結果を示す。この結果が示すように、各試験体で開き角に大きな違いはないが、曲率半径はZN試験体のめっき後で大きくなり、めっきを行えば形状的には溶接止端が改良されていると言える。また、AWとDE試験体を比較しても曲率半径の違いは小さく、めっき剥ぎ作業(酸洗い)に伴う、止端形状への影響はほとんどないと思われる。

4. FEM解析による溶接止端改良の定量的な評価

(1)解析方法 解析は、試験体のa-a断面における1/4モデルであり(図3)、2次元の平面ひずみ状態で行った。溶接部の形状はめっき前後の計測結果をもとに、溶接止端の曲率半径 ρ を鋼材部は1.5mm、めっき部は3.0mmとし、脚長は8mmと12mmの不等脚のものとし

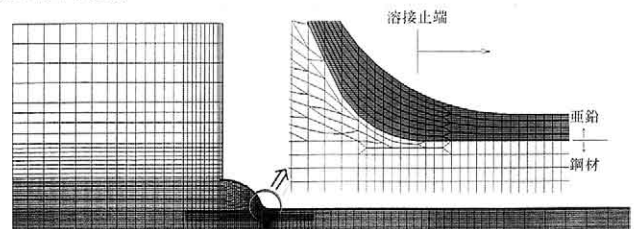


図3 解析モデル(めっき厚0.4mmの場合)

た。また、めっき厚を解析パラメーターとし、0.1mm～0.4mmと変化させた。荷重条件は、鋼材の公称応力が98 N/mm²となるように、モデルの端部に等分布荷重を載荷させた。また、材料条件は、鋼材の弾性係数を $E=2.058 \times 10^5$ N/mm²、ポアソン比 $\nu=0.3$ とし、亜鉛は、 $E=0.921 \times 10^5$ N/mm²、 $\nu=0.25$ とした。

(2)解析結果と被覆効果の考察 図4は、鋼材表面に作用する解析上の応力を公称応力で割った応力集中係数で整理した結果を示し、図5は、めっき表面に生じる解析ひずみを公称ひずみで割ったひずみ集中係数で整

キーワード：亜鉛めっき、疲労、残留応力、FEM解析

連絡先：* 〒272-0002 千葉県市川市二俣新町21 TEL 047-328-3145 FAX 047-328-3156

** 〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2 TEL 042-387-6279 FAX 042-387-6124

理した結果を示す。鋼材表面の応力集中係数およびめっき表面のひずみ集中係数、両者ともにめっき層が厚くなれば、集中係数が小さくなる傾向となった。これらの結果から、鋼材表面ではめっき厚に関わらず亜鉛の被覆により止端の改良効果があると判断できるが、めっき表面ではめっき厚が厚くならないと効果はないと考えられる。通常めっき施工条件で行えば、めっき厚は0.1mm程度となる。また、疲労亀裂の発生はひずみ集中の影響を大きく受ける。すなわち、めっき厚が0.1mmでのひずみ集中係数のピークは高く、鋼材部の応力集中係数の最も高いAs-Weldのデータより若干高い値を示した。以上のことから判断すると、亜鉛の被覆により疲労強度を向上させる効果はほとんどないと考えられる。

5. 疲労試験

(1) 試験方法 疲労試験は、油圧サーボ式疲労試験機を用いて、軸引張荷重下で行った。DE試験体の繰返し荷重は、下限値を10kNとし、上限値は応力範囲が100,120,150MPaとなるような荷重を設定し4体行なった。繰返し周期は10~15Hzとした。

(2) 試験結果 図6に疲労試験結果を示す。なお、図中のAWおよびZN試験体の結果は、前報のデータを引用した。図に示すように、DE試験体では応力範囲を100MPaで行った2体の試験体では破断に至らず、他の試験体からも判るようにAWよりDE試験体の方が疲労強度が高い結果となった。これはめっき作業による焼鈍効果で残留応力が低減されたことによるものと思われる。すなわち、ZN試験体で疲労強度が低下したのは、亜鉛の被覆が影響しているものと考えられる。図中の点線は最小自乗法を用いて求めた各試験体の疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線であり、これより求めた200万回疲労強度は、AW試験体で89MPa、ZN試験体で78MPa、DE試験体で105MPaとなった。

図6に疲労試験結果を示す。なお、図中のAWおよびZN試験体の結果は、前報のデータを引用した。図に示すように、DE試験体では応力範囲を100MPaで行った2体の試験体では破断に至らず、他の試験体からも判るようにAWよりDE試験体の方が疲労強度が高い結果となった。これはめっき作業による焼鈍効果で残留応力が低減されたことによるものと思われる。すなわち、ZN試験体で疲労強度が低下したのは、亜鉛の被覆が影響しているものと考えられる。図中の点線は最小自乗法を用いて求めた各試験体の疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線であり、これより求めた200万回疲労強度は、AW試験体で89MPa、ZN試験体で78MPa、DE試験体で105MPaとなった。

6. 疲労破面の観察

本試験ではめっき用鋼材を使用しなかったため、めっき浴中において、結晶粒界脆化による微細な割れが生じていたことが考えられた。そこで、2体のZN試験体の亀裂発生部付近の亜鉛と鋼材の境界部を中心に破面の観察を行った。SEM像による破面の1例を写真1に示すが、いずれの破面も明確な粒界脆化による割れは見られず、典型的な疲労破面を呈していた。

7. まとめ

めっき作業による焼鈍効果で残留応力が低減され、亜鉛の被覆がなければ疲労強度の向上効果は認められた。また、めっき作業に伴う結晶粒界脆化による微細な割れは見つからなかった。それに関わらず、めっきを施すことにより疲労強度は低下した。これは、FEM解析の章でも述べたように、疲労亀裂発生寿命がひずみ範囲に依存するとすれば、めっき部に高いひずみ集中が生じたために早い段階でそこに亀裂が生じ、それが引き金となって溶接止端部にAs-Weldの状態よりも早期に疲労亀裂が生じたためとも考えられるが、その詳細については現在のところ不明である。

謝辞：破面の観察に際し、新日本製鐵(株)君津製鐵所の今井晴雄氏にご協力頂きましたことに感謝致します。

【参考文献】1) 南 邦明, 森 猛：溶融亜鉛めっきを施した面外ガセット溶接継手の疲労強度，土木学会第54回年次講演会概要集 I-A24, pp48 ~ 49, 1999.9

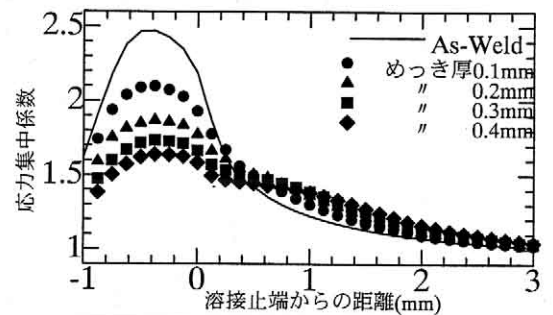


図4 鋼材表面の応力集中係数

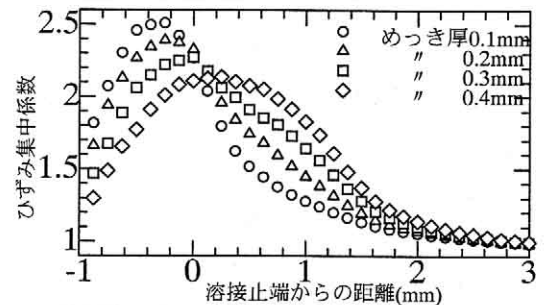


図5 めっき表面のひずみ集中係数

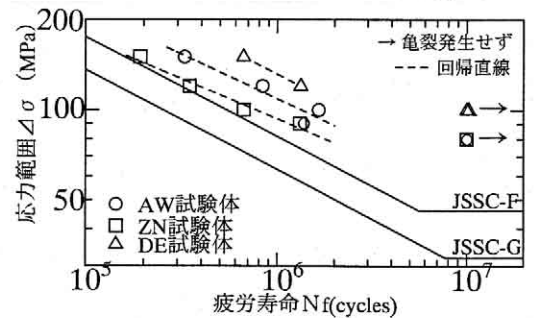


図6 疲労試験結果

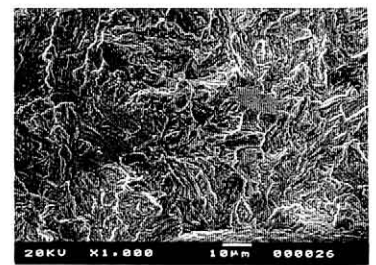


写真1 SEMによる破面観察