

溶融亜鉛めっきを施した十字溶接継手の疲労亀裂発生・進展性状の検討

サクラダ 正会員 ○堀川 秀信，法政大学 正会員 森 猛，サクラダ 正会員 南 邦明
日本橋梁建設協会 正会員 小笠原 照夫，日本溶融亜鉛鍍金協会 横江 昇

1. はじめに 鋼橋の延命化の課題は腐食と疲労である。腐食の対策として溶融亜鉛めっきは有効とされているものの、めっき施工が溶接継手の疲労強度にどのように影響するかは不明であった。著者らは、これまで面外ガセット溶接継手を対象とし、溶融亜鉛めっきを施した部材が疲労強度に及ぼす影響について検討してきた^{1) 2) 3)}。その結果、溶融亜鉛めっきを施した継手の疲労強度は短寿命域では溶接のままとほとんど差がないものの、長寿命域では高くなる傾向が認められた。疲労強度が向上する原因としては、めっき施工による残留応力の低減が考えられた。しかし、残留応力が低減されたにも関わらず、めっき条件によっては疲労強度が低下する場合もあった。疲労強度が低下した原因としては、めっき金属と鋼材の境界部に生じる粗い柱状組織からなる合金層組織からの早い段階での疲労亀裂発生が考えられた。しかし、疲労亀裂の正確な発生位置、進展性状を正確に把握するに至っていない。ここでは、溶融亜鉛めっきを施した十字溶接継手から薄く切り出した試験体の表面を観察し、疲労亀裂の発生・進展性状を詳細に調べた結果を報告する。

2. 試験体 使用鋼材は、SM490YB と SM400 である。これらの鋼材は、表 1 に示すように、Si と Mn の含有量が比較的低く抑えられており、めっき焼け（合金層の生成）やめっき割れが起きにくい材料である。これらの鋼板を用いて、写真 1 に示す十字溶接継手試験体を製作した。試験体の左側 2 箇所の溶接止端はグラインダーで研削している。これらの試験体ブロックに溶融亜鉛めっきを施した後、写真 2 に示すように 5mm 程度の厚さに切断した。さらに、その切断面（表面）を鏡面に仕上げた後、ナイタール（硝酸+エチルアルコール）でエッチングした。ここで用いた試験体の一覧とめっき条件を表 2 と表 3 に示す。

3. 疲労試験 疲労試験は、電気油圧サーボ式材料試験機を用いて、軸引張荷重下で行なった。繰返し荷重は、下限荷重を 10kN とし、応力範囲が 150MPa となるように設定した。繰返し速度は 15Hz とした。試験体数は各形式試験体で 2 体とし、合計 10 体の疲労試験を行なった。疲労試験中、繰返し回数 5 万回ごとに試験体を試験機から取り外し、溶接止端部をデジタルマイクロスコープ（150～500 倍）で観察した。

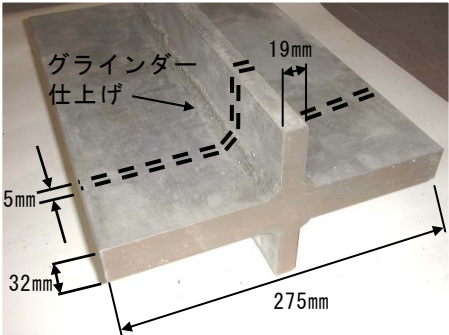


写真 1 十字溶接継手試験体ブロック

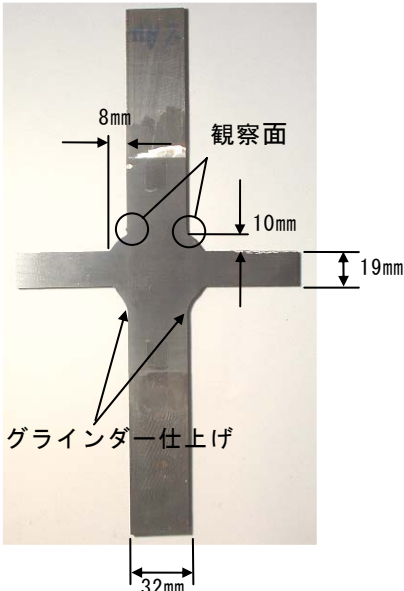


写真 2 十字溶接継手試験体

表 1 使用鋼材成分

鋼材	板厚	化学成分(%)				
		C	Si	Mn	P	S
SM490YB	32mm	0.15	0.5	1.51	0.017	0.002
	19mm	0.16	0.22	1.42	0.021	0.006
SM400	32mm	0.16	0.18	0.64	0.021	0.004
	19mm	0.19	0.1	0.55	0.023	0.008

表 2 試験体の一覧

鋼材	試験体名	試験体説明
SM490YB	490YB-AW	溶接のままの試験体
	490YB-AM	標準的な条件でめっきを施した試験体
SM400	400-AW	溶接のままの試験体
	400-AM	標準的な条件でめっきを施した試験体
	400-AU	400-AM試験体よりもめっきを薄くした試験体

表 3 めっき条件

試験体名	めっき槽		冷却槽	
	温度(℃)	時間(s)	温度(℃)	時間(s)
490YB-AM	443	483	56	205
400-AM		266		190
400-AU				

4. 疲労亀裂の発生、進展性状 代表的な疲労亀裂の発生・進展状況の例（400-AM 試験体）を写真3に示す。写真(a)に示すように、めっき層は純亜鉛層と、亜鉛と鉄で形成される合金層からなっている。また、合金層には緻密で細かい割れ状のラインを含む δ_1 層と比較的脆い性質を有する柱状組織の ζ 層からなっている。载荷後5万回目に、溶接止端部付近の ζ 層から疲労亀裂が発生し、鋼材側とめっき表面側へと進展している。また、鋼材側に進展した疲労亀裂は、 ζ 層の途中で二手に分かれ、 δ_1 層の鉄地接面まで進展している。さらに、この2つの疲労亀裂の先端を観察すると、鋼材に少し進展しているようにも見える。10万回目には、上側の疲労亀裂が鋼材に約0.03mm入るとそれ以上進展せず、下側の亀裂が鋼材へ深く進展している。20万回目には、この亀裂が大きく進展し、疲労亀裂の開口幅が広がっている。他のめっきを施した試験体においても、同様の傾向が認められたものが多かった。

以上のように、溶融亜鉛めっきを施すと、疲労亀裂は溶接止端部付近の合金層 ζ 層を起点として発生するものと推定される。

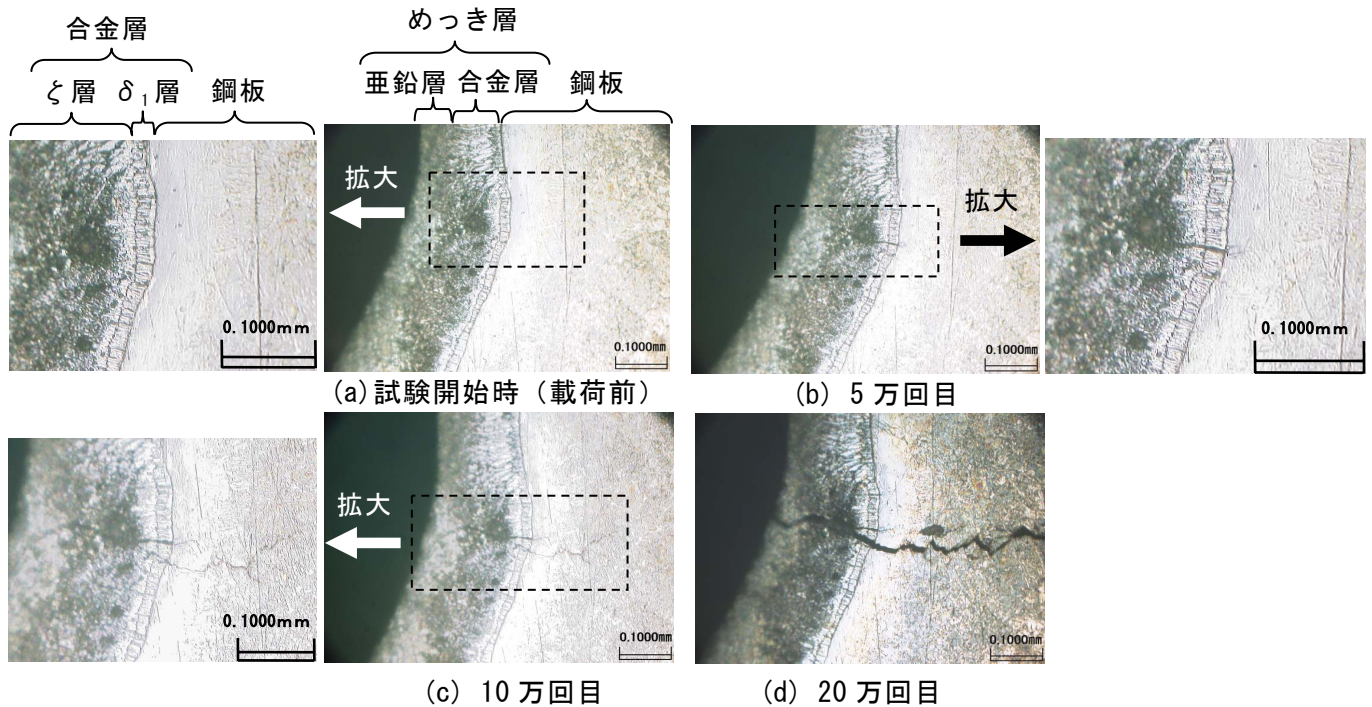


写真3 400-AM 試験体

5. 疲労試験結果 各試験体の疲労寿命（破断寿命）を図1に示す。溶接のままの試験体に比べて、溶融亜鉛めっきを施した試験体の多くは疲労寿命が短くなっている。これまで著者らが行なった実験では、使用鋼材をSM490YB、SM400としてめっきを施した試験体の疲労強度は、高応力範囲（150MPa）では、溶接のままとはほぼ同程度という結果を示しており、今回の結果とは異なる。疲労試験を高応力範囲で行い、残留応力の値が小さければ、残留応力が疲労強度に及ぼす影響は小さい。今回の疲労試験で、めっきを施した試験体の疲労強度が溶接のままの試験体よりも低下した原因は、溶接のままの試験体においても引張残留応力が厚さ5mm程度に切断したことにより大幅に低減され、めっきによる残留応力低減の疲労強度に対する効果が生じなかったことにあると考えられる。

参考文献

- 1) 南，森：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回年次学術講演会，1999.9
- 2) 南，森：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），土木学会第56回年次学術講演 2000.9
- 3) 堀川，森，南，小笠原，横江：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3），土木学会第57回年次学術講演会，2002.9

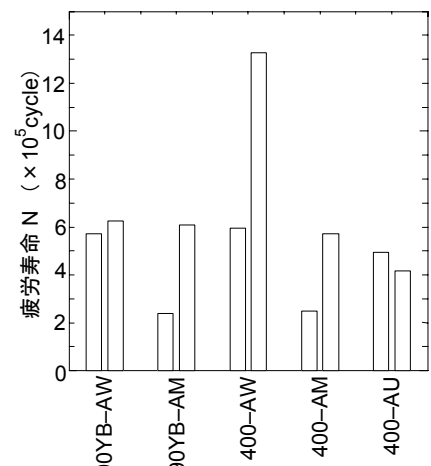


図1 疲労試験結果