

溶融亜鉛めっき上塗装・ふっ素樹脂塗料の大気ばく露試験

調 査 報 告 書

試験体No.	1	～	12	3年経過
試験体No.	13	～	16	1年経過

平成22年8月27日

資料作成 社団法人日本溶融亜鉛鍍金協会
技術・技能検定委員会 亜鉛めっき上塗装グループ

目 次

1 . はじめに	-----	1	頁
2 . 試験目的	-----	2	頁
3 . 試験方法	-----	2	頁
3.1 溶融亜鉛めっき上塗装の仕様	-----	2	頁
3.2 試験要領	-----	2	頁
3.2.1 試験体	-----	2	頁
3.2.2 溶融亜鉛めっき条件	-----	2	頁
3.2.3 前処理	-----	2	頁
3.2.4 塗装系	-----	3	頁
3.2.5 試験体明細	-----	4	頁
3.2.6 ばく露試験条件	-----	4	頁
3.2.7 試験方法	-----	5	頁
4 . 試験結果	-----	5	頁
4.1 ばく露試験結果	-----	5	頁
4.1.1 外観試験	-----	5	頁
4.1.2 アドヒージョンテスト結果	-----	6	頁
5 . まとめ	-----	7	頁

溶融亜鉛めっき上塗装・ふっ素樹脂塗料の大気ばく露試験

(社)日本溶融亜鉛鍍金協会
亜鉛めっき上塗装グループ
(独)土木研究所
(社)日本塗料工業会

1. はじめに

溶融亜鉛めっきは、鋼材の防食防錆機能を強化して「鋼構造物」の質的向上をもたらし、広く普及していることによって社会資本の充実・省資源・地球環境の保全などに寄与している。

溶融亜鉛めっきは、大気中、水中およびコンクリート中などにおいて、優れた耐食性をもっている。亜鉛は鉄よりも反応性の強い卑な金属であるが、めっき皮膜上に形成される酸化皮膜が緻密であり、しかも亜鉛に対し強固に密着して保護皮膜を形成するため、下地の亜鉛は腐食されにくく、特に大気中の場合めっき皮膜が傷を受けても、電気化学的な働きで鉄地を保護するためである。

大気中における亜鉛めっきの耐食性は使用環境によって相当変わる。たとえば気温、湿度、雨量などの気象要素のほかに、大気の飛来海塩粒子、亜硫酸ガス、窒素酸化物、降下塵埃などによって変わる。

一方、鋼構造物に高い耐久性を付与するためや都市部での美観、環境調和、標識や安全表示およびアメニティを求めるために、溶融亜鉛めっきの上に塗装されることが増えている。亜鉛めっきと塗装のそれぞれ有する特性を組合せる事により、以下の利用目的を達成出来る。

- ① 厳しい腐食環境での耐久性の保持
- ② 補修困難な亜鉛めっき構造物等の耐久性付与
- ③ 周囲環境との調和・美観・注意喚起の安全対策(航空障害物の識別)等

亜鉛めっき上に適切な塗装を施した場合の耐久性は、両特性が相乗効果を発揮するので、寿命は更に延びることが期待される。鋼材の腐食劣化までの寿命は、亜鉛めっきと塗装の寿命を加えた値よりかなり大きく、その和の約1.5倍～2倍とされている。

塩害による腐食が厳しいといわれる沖縄県西側海岸で、平成19年1月から大気ばく露試験を開始した。比較のため、日本の平均的気候であるつくば市でも、平成19年6月から大気ばく露試験を開始した。その結果を報告する。

本調査は、溶融亜鉛めっき上に環境調和や長期耐食性保持を目的に施された塗装の耐久性評価を目的として、溶融亜鉛めっき特性評価委員会・塗装部会を平成19年2月に発足し、本部会を母体として調査活動を実施している。なお、本調査は、土木研究所と日本塗料工業会と協同で実施し、日本橋梁建設協会・防食部会の協力を得ている。

2. 試験目的

鋼道路橋塗装・防食便覧(H17.12発刊)に掲載されている溶融亜鉛めっき上の塗装仕様(ZC-1)について、塩害地帯における長期耐久性を実証する。

3. 試験方法

3. 1 溶融亜鉛めっき上塗装の仕様

新設溶融亜鉛めっき面用外面塗装仕様を表-1に示す。

表-1 新設溶融亜鉛めっき面用外面塗装仕様(ZC-1)

工程	塗料名	塗装回数	塗装方法	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔 (20℃)
前処理	スィープブラスト処理(ISO Sa1), (あるいはりん酸塩処理)					4時間以内 (7日以内)
第1層	亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料 下塗	1	スプレー (はけ, ローラー)	200 (160)	40	1～10日
第2層	ふっ素樹脂塗料用 中塗	1	スプレー (はけ, ローラー)	170 (140)	30	
第3層	ふっ素樹脂塗料 上塗	1	スプレー (はけ, ローラー)	140 (120)	25	1～10日

3. 2 試験要領

3. 2. 1 試験体

H形鋼 200mm(幅) × 200mm(長さ) × 200mm(高さ) × 12mm(厚さ)

3. 2. 2 溶融亜鉛めっき条件

溶融亜鉛めっき条件を表-2に示す。

表-2 溶融亜鉛めっき条件

No.	種 類
1～6, 13, 16	溶融亜鉛めっき (JIS H 8641)
7～10, 14	亜鉛-5%アルミニウム-1%マグネシウム合金めっき
11,12	亜鉛-5%アルミニウム合金めっき

注 1) 溶融亜鉛めっきの付着量は、600g/m²以上とする。

注 2) めっきの後は白さび防止処理(樹脂クリアーやクロメート)や補修はしない。

3. 2. 3 前処理

スィープブラスト処理とりん酸塩処理の2種類とする。

スィープブラスト処理の仕上がり品質の確認は、日本橋梁建設協会の「スィープブラスト処理見本写真」(H12.3)と比較して行う。

3. 2. 4 塗 装 系

塗装系を表－3に示す。

表－3 塗装系

塗装工程	ポリウレタン樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	
No.	1,4	2,5,7,8,11,12,16	3,6,9,10
下塗	亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料 下塗 40 μ m		
中塗	ポリウレタン樹脂塗料用 中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料用 中塗 30 μ m	弱溶剤形 ふっ素樹脂 塗料用中塗 30 μ m
上塗	ポリウレタン樹脂塗料 上塗 25 μ m	ふっ素樹脂塗料 上塗 25 μ m	弱溶剤形 ふっ素樹脂 塗料上塗 25 μ m

塗装方法は、はけ塗り。平成18年12月6日～13日に塗装実施。なおNo.16のみ平成20年12月に実施。

比較のため溶融亜鉛めっき上塗装以外の塗装系として、一般外面の塗装仕様(C－5塗装系)を表－4に示す。

表－4 一般外面の塗装仕様 C－5塗装系

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μ m)	塗装間隔
No.	15			
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 ¹ / ₂		4時間以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160	(15)
橋梁製作工場	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 ¹ / ₂		6ヶ月以内
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600	75
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25
				1～10日

塗装方法は、はけ塗り。No.15を平成20年12月に塗装実施。

3. 2. 5 試験体明細

試験体明細を表－5に示す。

表－5 試験体明細(試験場所1カ所あたり)

区分	No.	溶融亜鉛めっき			前処理		塗装系			
		一般	合金めっき		スーパ ブラスト	りん酸 塩処理	めっき用 エポキシ	ポリウレタン	ふっ素	弱溶剤 ふっ素
			5%Al 1%Mg	5%Al						
基本	1	○			○		○	○		
	2・ZC-1	○			○		○		○	
	3	○			○		○			○
	4	○				○	○	○		
	5・ZC-1	○				○	○		○	
	6	○				○	○			○
	7		○		○		○		○	
	8		○			○	○		○	
	9		○		○		○			○
	10		○			○	○			○
	11			○	○		○		○	
	12			○		○	○		○	
追加	13	○								
	14		○							
	15・C5系				ブラスト				○	
	16・ZC-1	○			○		○		○	

注 2) 試験体No. : 沖縄の場合 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16と試験片裏面に刻印
つくばの場合 T1,T2,...のように頭にTをつける

注 3) n数は1とする

注 4) No.15, No.16は試験面3面にクロスカット線を入れる

3. 2. 6 ばく露試験条件

大気ばく露試験は、2つの環境で試験する。

(1) 厳しい腐食環境

海岸地帯 土木研究所 沖縄県国頭郡大宜味村津波

試験期間 基本 H19. 1～H24. 1 5カ年

追加 H21. 1～H26. 1 5カ年

試験片数 基本 12体

追加 4体

(2) 一般環境

田園地帯 土木研究所 茨城県つくば市南原

試験期間 基本 H19. 6～H24. 6 5カ年

追加 H21. 6～H26. 6 5カ年

試験片数 基本 12体

追加 4体

3. 2. 7 試験方法

(1) 外観試験

目視により、塗膜の割れ、剥がれ、ふくれ、白さびの発生について評価。

(2) アドヒージョンテスト(引張り付着試験)

テスターで端子を引き剥がし、その時の強度(引張力、Mpa)を測定。

なお、ばく露試験開始時には、ブランク(基本12枚、追加2枚)をテストする。

4. 試験結果

4. 1 ばく露試験結果

4. 1. 1 外観試験

外観試験結果を表-6に示す。

表-6 外観試験結果

H22.7.7 現在

場所	区分	No.	めっき	前処理	塗装系	初期	1年	2年	3年	4年	5年
沖縄	基本	1	Zn	スーパ [®] プラスト	ウレタン	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		2・ZC-1			ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		3			弱溶剤	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		4		りん酸	ウレタン	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		5・ZC-1			ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		6			弱溶剤	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		7	Zn+ 5%Al +1%Mg	スーパ [®]	ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		8		りん酸		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		9		スーパ [®]	弱溶剤	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		10		りん酸		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		11	Zn+ 5%Al	スーパ [®]	ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		12		りん酸		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
	追加	13	Zn	—	—	異常なし	白さび				
		14	1%Mg	—	—	異常なし	斑点白さび				
		15・C5系	鋼面	プラスト	ふっ素	異常なし	異常なし				
		16・ZC-1	Zn	スーパ [®]	ふっ素	異常なし	異常なし				
場所	区分	No.	めっき	前処理	塗装系	初期	1年	2年	3年	4年	5年
つくば	基本	T1	Zn	スーパ [®] プラスト	ウレタン	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T2・ZC-1			ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T3			弱溶剤	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T4		りん酸	ウレタン	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T5・ZC-1			ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T6			弱溶剤	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T7	Zn+ 5%Al +1%Mg	スーパ [®]	ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T8		りん酸		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T9		スーパ [®]	弱溶剤	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T10		りん酸		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T11	Zn+ 5%Al	スーパ [®]	ふっ素	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
		T12		りん酸		異常なし	異常なし	異常なし	異常なし		
	追加	T13	Zn	—	—	異常なし	異常なし				
		T14	1%Mg	—	—	異常なし	異常なし				
		T15・C5系	鋼面	プラスト	ふっ素	異常なし	異常なし				
		T16・ZC-1	Zn	スーパ [®]	ふっ素	異常なし	異常なし				

全て、異常なし。

4 . 1 . 2 アドヒージョンテスト

アドヒージョンテスト結果を表-7に示す。

H22.7.7 現在

表-7 アドヒージョンテスト結果

単位:Mpa

場所	区分	No.	めっき	前処理	塗装系	初期(ブランク)		1年			3年			
								海側	上面	陸側	海側	上面	陸側	
沖縄	基本	1	Zn	スーパ プラス	ウレタン	3.2	4.2	3.6	4.1	3.8	4.5	3.5	5.1	次は 5年
		2・ZC-1			ふっ素	3.8	3.2	4.9	5.0	4.8	4.2	3.7	3.9	
		3			弱溶剤	2.4	2.2	4.0	3.8	4.0	6.6	4.1	4.4	
		4		りん酸	ウレタン	3.8	4.2	7.0	6.5	7.0	4.6	3.3	3.5	
		5・ZC-1			ふっ素	2.8	3.2	6.5	4.8	4.5	6.0	3.2	3.5	
		6			弱溶剤	3.2	4.2	5.1	5.2	7<	4.4	4.5	7.0	
		7	Zn+ 5%Al +1%Mg	スーパ	ふっ素	3.8	3.4	5.6	4.9	5.2	4.0	4.8	3.8	
		8		りん酸	ふっ素	3.8	4.2	4.2	3.8	4.7	3.4	4.9	7.0	
		9		スーパ	弱溶剤	2.6	3.2	4.8	5.0	4.3	3.9	7.0	6.2	
		10		りん酸	弱溶剤	2.6	2.8	7<	7<	7<	4.0	3.6	5.8	
		11		スーパ	ふっ素	3.2	3.0	6.9	6.5	7<	5.8	4.8	7<	
		12		りん酸	ふっ素	4.6	5.0	5.4	5.1	5.1	3.2	4.6	6.8	
	追加	13	Zn	—	—	—	—	—	—	—				次は 3年
		14	1%Mg	—	—	—	—	—	—	—				
		15・C5系	鋼面	プラス	ふっ素	2.5	3.8	2.3	3.6	3.9				
		16・ZC-1	Zn	スーパ	ふっ素	4.8	3.8	4.3	5.3	6.2				
場所	区分	No.	めっき	前処理	塗装系	初期(ブランク)		1年			3年			
								南側	上面	北側	南側	上面	北側	
つくば	基本	T1	Zn	スーパ プラス	ウレタン	3.2	4.2	5.8	7<	7<	6.0	6.2	4.8	次は 5年
		T2・ZC-1			ふっ素	3.8	3.2	5.9	7<	7<	7<	5.2	6.9	
		T3			弱溶剤	2.4	2.2	4.1	4.8	5.8	7<	7.0	4.6	
		T4		りん酸	ウレタン	3.8	4.2	6.0	6.0	6.2	7.0	6.2	5.2	
		T5・ZC-1			ふっ素	2.8	3.2	6.5	5.6	6.2	5.4	6.3	4.2	
		T6			弱溶剤	3.2	4.2	6.9	5.9	7<	5.2	6.7	5.2	
		T7	Zn+ 5%Al +1%Mg	スーパ	ふっ素	3.8	3.4	6.1	3.3	7.0	3.9	5.9	7.0	
		T8		りん酸	ふっ素	3.8	4.2	4.3	7.0	7.0	5.2	6.0	7.0	
		T9		スーパ	弱溶剤	2.6	3.2	7<	3.5	6.9	7.0	4.9	4.9	
		T10		りん酸	弱溶剤	2.6	2.8	6.3	6.7	7<	7.0	5.0	5.8	
		T11		スーパ	ふっ素	3.2	3.0	5.6	6.0	4.6	5.2	6.1	4.0	
		T12		りん酸	ふっ素	4.6	5.0	6.2	7<	7<	7.0	6.5	5.5	
	追加	T13	Zn	—	—	—	—	—	—	—				次は 3年
		T14	1%Mg	—	—	—	—	—	—	—				
		T15・C5系	鋼面	プラス	ふっ素	2.5	3.8	7.0	4.0	7.0				
		T16・ZC-1	Zn	スーパ	ふっ素	4.8	3.8	6.3	3.1	6.8				

初期(24点平均で3.4Mpa)よりも1年後の方が、全体的に付着強度は上昇している。これは、経時による硬化乾燥の進行によるものと考えられる。

1年後と3年後の付着強度の推移を試験体12体の平均値(沖縄、つくばとも36点平均)で見ると、沖縄では1年後が5.3Mpa、3年後が4.7Mpa。つくばでは1年後が6.1Mpa、3年後が5.8Mpaと何れも低下している。(表中7<の数値は7.0として算出)ただし、その低下量は0.6Mpa～0.3Mpa程度と僅かであり、また3年後で最も低い沖縄の試験体(No.4)でも3点平均値で3.8Mpaと十分な付着強度を示している。

また、破断形態は塗膜内部または接着剤からの破断が殆どであり、亜鉛めっき素地(りん酸処理面含)と下塗との界面剥離は無かった。この事からも亜鉛めっき素地に対する付着性の低下は無いと言える。

なお、めっき、前処理、塗装系の違いによる有意差は現時点では認められない。

5. ま と め

ばく露3年後で、沖縄とつくばについて共に全般的な異常はない。アドヒージョンの経時的な変化については今後も追跡調査を継続し傾向を把握するとともに、長期耐久性を検証していく。

謝 辞 本調査を実施するうえでご協力いただいております内閣府沖縄総合事務局
北部国道事務所の関係各位に謝意を表します。

以 上

アドヒージョンテスト(引っ張り付着試験)結果

付着力単位:Mpa

TP No.	溶融亜鉛めっき種	下地処理	塗装系		上面	海側面	陸側面
1	Zn	スィープブラスト	ポリウレタン	付着力	4.5	3.5	5.1
				破断面	下70/接30	下60/接40	下35/接65
2			強溶剤ふっ素	付着力	4.2	3.7	3.9
				破断面	下70/接30	下75/接25	下45/接55
3		弱溶剤ふっ素		付着力	6.6	4.1	4.4
				破断面	下50/接50	下80/接20	下45/中5/接50
4	リン酸処理		ポリウレタン	付着力	4.6	3.3	3.5
				破断面	下90/接10	下90/接10	下90/接10
5			強溶剤ふっ素	付着力	6.0	3.2	3.5
				破断面	下50/接50	下80/接20	下55/接45
6	弱溶剤ふっ素			付着力	4.4	4.5	7.0
				破断面	下45/接55	下60/中3/接37	下25/中10/接65
7	Zn+1%Mg	スィープブラスト	強溶剤ふっ素	付着力	4.0	4.8	3.8
				破断面	下95/接5	下90/接10	下95/接5
8		リン酸処理		付着力	3.4	4.9	7.0
				破断面	下97/接3	下80/接20	下95/接5
9		スィープブラスト	弱溶剤ふっ素	付着力	3.9	7.0	6.2
				破断面	下55/中5/接40	下35/接70	下40/中5/接55
10	リン酸処理			付着力	4.0	3.6	5.8
				破断面	下70/中5/接25	下65/接35	下40/中10/接50
11	Zn+1%Al	スィープブラスト	強溶剤ふっ素	付着力	5.8	4.8	7.0<
				破断面	下90/接10	下90/接10	下85/接15
12	リン酸処理			付着力	3.2	4.6	6.8
				破断面	下95/接5	下85/接15	下95/接5
13	Zn	-	-	付着力	-	-	-
				破断面	-	-	-
14	Zn+5%Al+1%Mg	-	-	付着力	-	-	-
				破断面	-	-	-
15	鋼材(SS400)	ブラスト	C-5	付着力	2.3	3.6	3.9
				破断面	ジンク100	ジンク95/接5	ジンク99/下1
16	Zn	スィープブラスト	強溶剤ふっ素	付着力	4.3	5.3	6.2
				破断面	下85/接15	下65/接35	下95/接5

凡例 接:アドヒージョン用接着剤 上:上塗塗膜 中:中塗塗膜 下:下塗塗膜

塗膜横の数値は剥離面の割合(合計100%)

観察 破断面は殆どが塗膜内部の凝集破断。下塗、中塗、上塗の塗膜間の界面剥離は僅少。

亜鉛めっき面(りん酸面含)と下塗塗膜との界面剥離は無し。

補足資料 つくば アドヒージョンテストの破断面
 No.1～12 3年後
 No.13～16 1年後

測定日 H22.6.4

アドヒージョンテスト(引っ張り付着試験)結果

付着力単位:Mpa

TP No.	溶融亜鉛めっき種	下地処理	塗装系		上面	北側面	南側面
T1	Zn	スィープブラスト	ポリウレタン	付着力	6.2	4.8	6.0
				破断面	下95／接5	下100	下100
T2			強溶剤ふっ素	付着力	5.2	6.9	7.0<
				破断面	下98／接2	下100	下100
T3			弱溶剤ふっ素	付着力	7.0	4.6	7.0<
				破断面	下45／中25／接30	下50／中20／接30	下80／中20
T4	Zn	リン酸処理	ポリウレタン	付着力	6.2	5.2	7.0
				破断面	下100	下100	下100
T5			強溶剤ふっ素	付着力	6.3	4.2	5.4
				破断面	下95／接5	下99／接1	下100
T6			弱溶剤ふっ素	付着力	6.7	5.2	5.2
				破断面	下40／中55／接5	下55／中10／接35	下70／中10／接20
T7	Zn+1%Mg	スィープブラスト	強溶剤ふっ素	付着力	5.9	7.0	3.9
				破断面	下100	下100	下100
T8		リン酸処理	強溶剤ふっ素	付着力	6.0	7.0	5.2
				破断面	下100	下100	下100
T9		スィープブラスト	弱溶剤ふっ素	付着力	4.9	4.9	7.0
				破断面	下50／中5／接45	下50／中35／接15	下35／中45／接20
T10	Zn+1%Al	リン酸処理	弱溶剤ふっ素	付着力	5.0	5.8	7.0
				破断面	下45／中25／接30	下45／中30／接25	下35／中10／接55
T11		スィープブラスト	強溶剤ふっ素	付着力	6.1	4.0	5.2
				破断面	下100	下100	下100
T12		リン酸処理	強溶剤ふっ素	付着力	6.5	5.5	7.0
				破断面	下100	下100	下100
T13	Zn	-	-	付着力	-	-	-
				破断面	-	-	-
T14	Zn+5%Al+1%Mg	-	-	付着力	-	-	-
				破断面	-	-	-
T15	鋼材(SS400)	ブラスト	C-5	付着力	7.0	4.0	7.0
				破断面	ジンク100	ジンク98／下1／中1	ジンク100
T16	Zn	スィープブラスト	強溶剤ふっ素	付着力	6.3	3.1	6.8
				破断面	下100	下100	下100

凡例 接:アドヒージョン用接着剤 上:上塗塗膜 中:中塗塗膜 下:下塗塗膜

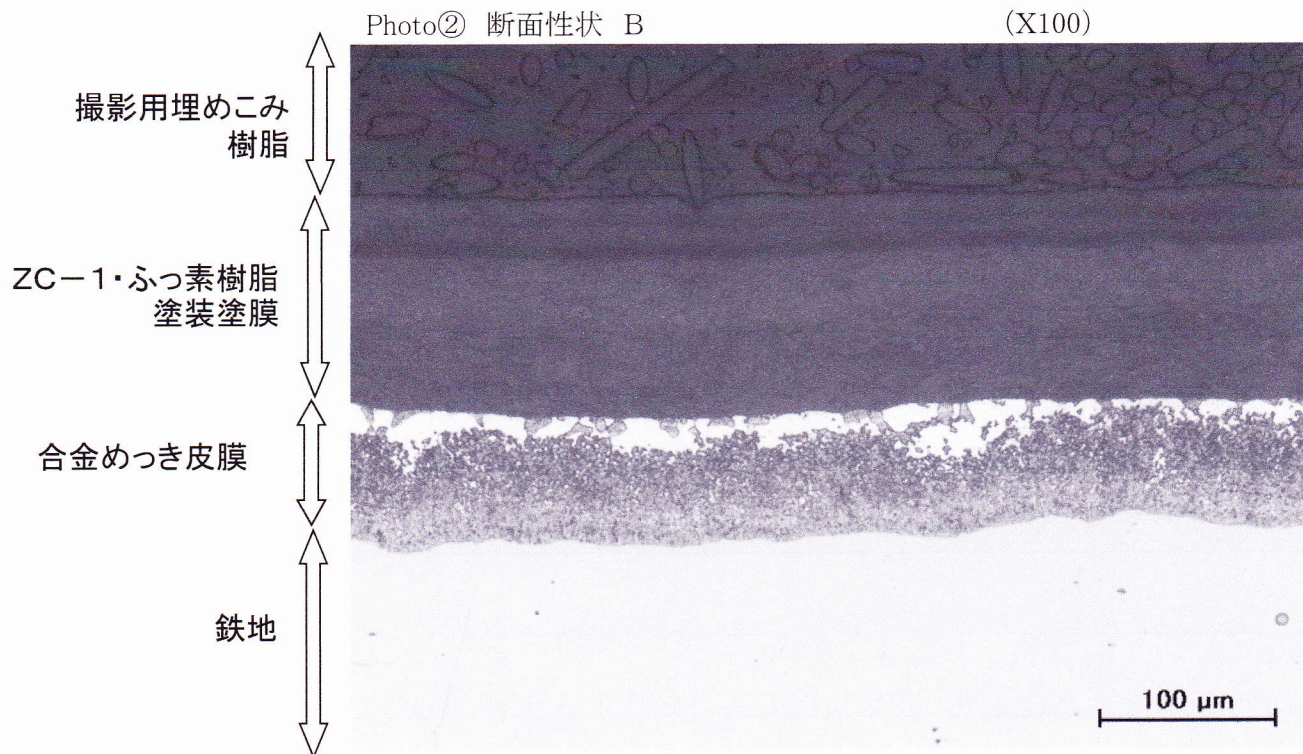
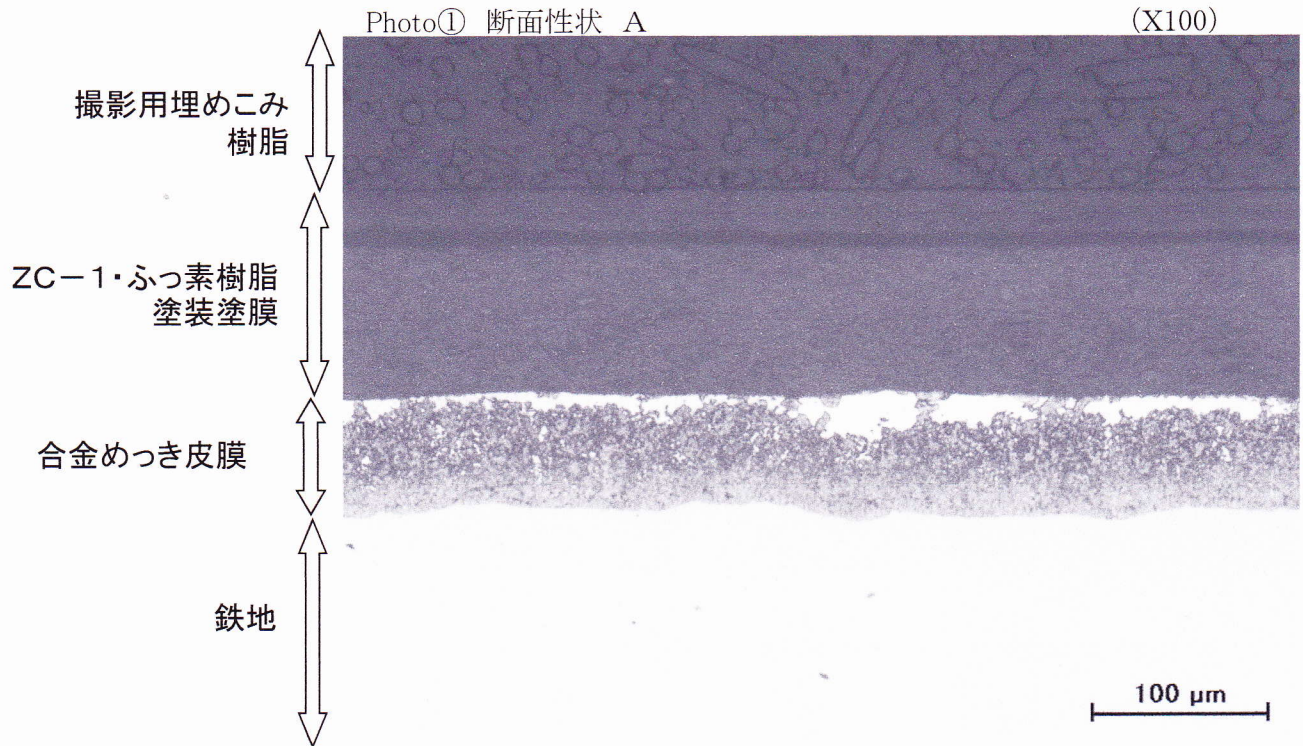
塗膜横の数値は剥離面の割合(合計100%)

観察 破断面は殆どが塗膜内部の凝集破断。下塗、中塗、上塗の塗膜間の界面剥離は僅少。
 亜鉛めっき面(りん酸面含)と下塗塗膜との界面剥離は無し。

試験体断面マイクロ写真

試験体 沖縄ばく露試験体No.10(1%Mg入合金めっき)

撮影H22.06.10
(社)日本溶融亜鉛鍍金協会
めっき上塗装グループ



めっき層観察(任意の断面2ヶ所)
写真の上辺部が、ばく露試験体の上面に相当。

マイクロ観察依頼先
測定装置 金属顕微鏡

(株)中山製鋼所
オリンパスPM3