

# 亜鉛めっき防食および亜鉛めっきと塗装を併用した二重防食の経年調査

## Research on Long-Term Changes in the Corrosion-Prevention Effects of Galvanization and Combination of Galvanization and Coating

青木 清\* 村上 貴紀\*\*  
Kiyosi AOKI Takanori MURAKAMI

### Summary

For the purpose of proposing an appropriate surface treatment and paint system for a hot-dipgalvanized surface, outdoor-exposure tests were conducted using a specimen that was a full-scale, painted box girder. For the purpose of comparison, the specimen represented other two conditions as well: one galvanized without coating; and the other galvanized, but having a scratched surface that had been repaired with a coating of paint. After exposure for seven years, no rust was observed on either the galvanized condition or the scratched surface. Also, no peeling nor rust on the coating surface was observed for the galvanized condition with coating, which was thus proved to have a satisfactory rust-prevention capability.

キーワード：溶融亜鉛めっき，塗装，暴露試験

### 1. まえがき

鋼の防食方法の一つとして溶融亜鉛めっきがある。鋼橋の本体工においても、溶融亜鉛めっきを適用した事例が数多くあり、溶融亜鉛めっき橋は塗装橋と比較して、初期投資コスト＋維持管理コストのトータルコストの低減が可能となる。しかし、溶融亜鉛めっきは長期的な防食効果があるが、海岸地帯など塩分飛来が多い厳しい環境下では、めっき皮膜の腐食量が大きくなり、めっき皮膜の耐用年数が減少してしまう。また、溶融亜鉛めっき面は初期には金属光沢をもつが、経時的に光沢が消失し灰色に変化してしまい、景観に配慮が必要な場合には適用しにくい。

そこで、厳しい環境下における耐久性の向上、または架橋場所の周囲との環境調和の観点から、溶融亜鉛めっき面に塗装を行う二重防食方法の検討を行い、大気暴露試験を行った。暴露試験は、実物大の箱桁試験体を用い、各種塗装仕様の耐食性および耐候性を桁の部位別に評価し、溶融亜鉛めっき面に適した塗装仕様を提案する事を目的とした。塗装仕様としては素地調整の程度、塗装系、上塗塗料の樹脂系や色相に着目し、外観、付着性、変退色および光沢保持性を経時で追跡した。また、亜鉛めっき面およびめっき面を損傷させた補修部についても追跡した。

なお、暴露試験は当社千葉工場内で平成3年から開始しており、本文は7年間の暴露試験結果をまとめたものである。(調査は暴露後、0.5年、1年、2年、3年、5年、7年に行った)

### 2. 調査項目

暴露試験において下記の項目について調査を行うものとした。

- ①溶融亜鉛めっき面への適用塗装系と長期耐久性
- ②溶融亜鉛めっき面の素地調整方法が及ぼす塗装塗膜の長期耐久性
- ③上塗塗料の樹脂系と色相による長期耐候性
- ④溶融亜鉛めっきの長期防錆効果
- ⑤溶融亜鉛めっきの補修部の長期防錆効果

### 3. 試験体形状

暴露試験に用いた実物大試験体は、平成2年に当社にて施工した、溶融亜鉛めっき橋のパイロットメンバーとした。試験体形状を図-1に示す。また、溶融亜鉛めっきのサンプリング試験を行うために代用試験片(70×150×3,2mm)を作成した。

\* 千葉工場生産技術研究所長

\*\*千葉工場生産技術研究所

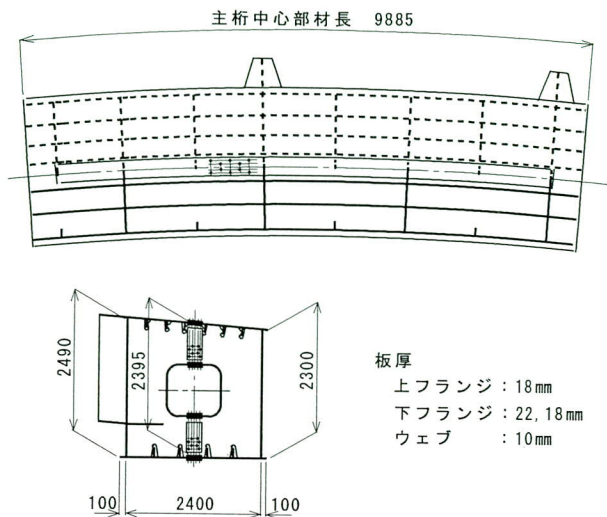


図-1 実物大箱桁試験体形状

#### 4. 塗装仕様

##### (1) 素地調整

素地調整は、亜鉛めっき面の脱脂・清掃後、下記の3種類の方法にて行った。

##### ①研掃たわし処理

異物、白錆等を研掃たわしにて除去した。

##### ②りん酸塩処理

りん酸塩液（水90%+りん酸塩10%）をはけ塗りし、30分以上放置した後、水洗、乾燥した。〔りん酸塩：トリオーナー-S-100 ミリオン科学(株)〕

##### ③ブラスト処理

表面粗さ50S程度のスィープブラスト処理を行った。

##### (2) 塗装系

塗装系は表-1に示すように、塩ゴム系、ポリウレタン系、ふっ素系の3通りとした。なお上塗り塗料の色相は、グレー（P1-1003）、赤（P33-145）、緑（P32-550）の3色とした。

##### (3) 塗装仕様

素地調整、塗装系、色相を含めた塗装仕様の割付を表-2に示す。色相グレー系では、各塗装系で素地調整方法の違いによる比較を行うために3通りの素地調整方法とした。色相赤系および緑系の素地調整方法はブラスト処理のみとし、各塗装系で色相の違いによる比較を行うもの

表-1 塗装系

塗装系	工程	塗料名	回数	標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	塗装間隔	設計膜厚 (μm)
塩ゴム系	下塗	亜鉛めっき用塩ゴム系塗料下塗	1	200 (ｽﾌﾟﾚｰ)	16時間以上	35
	中塗	塩ゴム系塗料中塗	1	210 (ｽﾌﾟﾚｰ)	16時間以上	35
	上塗	塩ゴム系塗料上塗	1	140 (ｽﾌﾟﾚｰ)	—	25
ポリウレタン系	下塗	亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料下塗	1	200 (ｽﾌﾟﾚｰ)	16時間以上 7日以内	35
	中塗	ポリウレタン樹脂塗料中塗	1	170 (ｽﾌﾟﾚｰ)	16時間以上 7日以内	30
	上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗	1	140 (ｽﾌﾟﾚｰ)	—	25
ふっ素系	下塗	亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料下塗	1	200 (ｽﾌﾟﾚｰ)	16時間以上 7日以内	35
	中塗	ふっ素樹脂塗料中塗	1	170 (ｽﾌﾟﾚｰ)	16時間以上 7日以内	30
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	1	140 (ｽﾌﾟﾚｰ)	—	25

表-2 塗装仕様

色相	グレー系			赤系	緑系
	素地調整	研掃たわし処理	りん酸塩処理	ブラスト処理	ブラスト処理
塩ゴム系	○	○	○	○	○
ポリウレタン系	○	○	○	○	○
ふっ素系	○	○	○	○	○

とした。

#### 5. 亜鉛めっき面の補修方法

亜鉛めっき補修部の防錆効果の試験を行うために、下記の要領にて亜鉛めっき面の補修を行った。補修後の状況を写真-1に示す。（写真の右側が有機ジンク補修、左側が亜鉛溶射補修）

##### ①有機ジンク塗装

ガスバーナーで局部的に亜鉛めっき面を損傷させ、グラインダーで研掃後、補修用の亜鉛めっき用有機系ジンクリッチペイント（96%亜鉛 ローバル(株)）を塗布した。なお、膜厚は目標150μm程度（スプレー

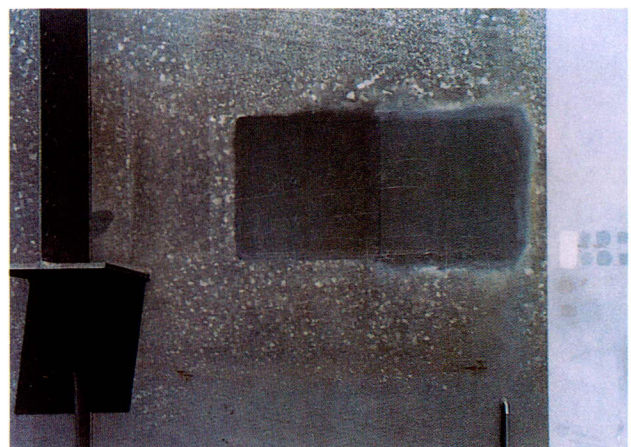


写真-1 亜鉛めっき面の補修箇所

による3回塗り)とした。

②亜鉛溶射

局部的にプラストにて亜鉛めっき皮膜を完全に除去し、亜鉛溶射を行った。なお膜厚は目標200 $\mu$ m程度とした。

6. 試験体の塗り区分

各種塗装仕様、補修部の塗り区分を図-2に示す。なお塗装については桁外面を鉢巻状に行った。

7. 暴露試験場所

暴露試験場所は千葉工場内とした。暴露状況を写真-2

に示す。また、溶融亜鉛めっきした代用試験片は実物大試験体と同じ場所に暴露した(海側、水平面からの傾斜30°)。

8. 試験項目および方法

2. 調査項目に示した内容について経時変化を調査するために、表-3に示した項目について試験を行った。

9. 調査結果

(1) 外観

各塗装仕様、亜鉛めっき面および補修面のさび、ふくれ、はがれの経時変化を箱桁の各部位別に追跡した結果

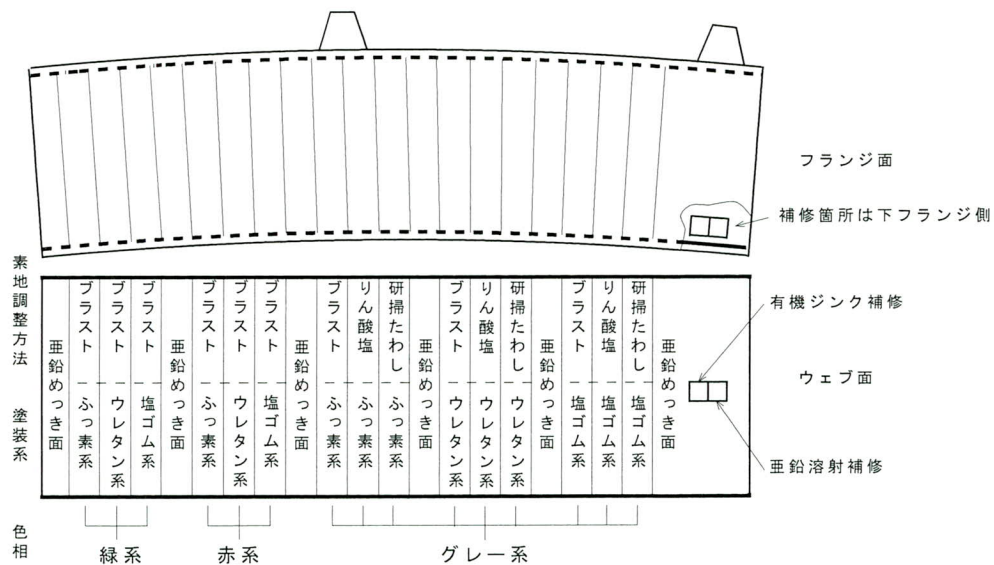


図-2 塗り区分図

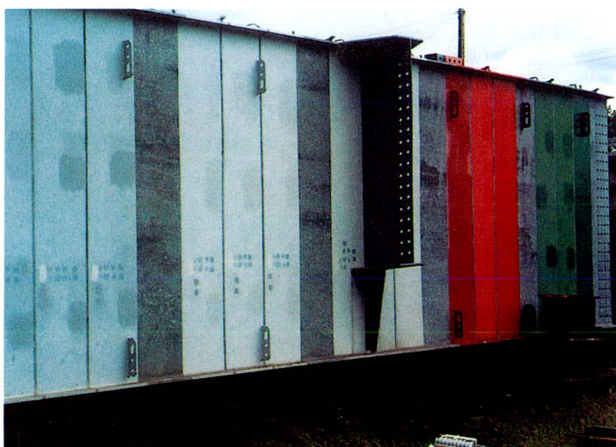


写真-2 実物大試験体暴露状況

表-3 試験項目および方法

箇所	試験項目	試験方法
塗装面	外観観察	錆(赤錆及び白錆)と塗膜のふくれを目視にて観察
	付着性試験	1) 碁盤目テープ試験(5mm, 2×2) 2) アドヒージョンテスト
	光沢保持率	60° 鏡面光沢度を測定し、初期値からの変化を光沢保持率として算出
	変退色	色差計を用いて白色標準板との色差を測定し、初期値との色差 $\Delta E^*$ を算出
めっき面	外観観察	錆(赤錆及び白錆)を目視にて観察
	膜厚測定	めっき皮膜の膜厚測定
	腐食減量	代用試験片を用い、初期値との重量差から腐食減量を算出
	腐食生成物	1) 元素分析: 代用試験片を用い、蛍光X線分析を行う 2) 断面分析: 代用試験片を用い、走査型電子顕微鏡にて分析を行う

を表-4に示す。

塗装面では、ふっ素系、ポリウレタン系、塩化ゴム系のいずれの塗装系においても暴露7年では自然剥離や赤錆の発生はなかった。ただし、ふっ素、ポリウレタン系のブラスト処理では、さびやふくれがなく良好であるのに対して、リン酸塩処理や研掃たわし処理では5年経過後ウェブに微細なふくれが局所的に発生した。一方、塩化ゴム系はいずれの素地調整でも下フランジに白錆が発生した。これは、ふっ素、ポリウレタン系の塗装系は共に下塗り塗料にエポキシ樹脂塗料を用いているのに対し、塩化ゴム系は下塗り塗料に塩化ゴム樹脂塗料を使用しており、下塗り塗料の違いがふくれ発生や下面での白錆発生に影響していると推定される。

亜鉛めっき面および補修面では、暴露6ヶ月から白錆の発生や黒変が生じているが赤錆は発生しておらず、良好な防錆性を維持している。

表-4 外観観察結果

分類	箱桁部位	下地処理	塗装系	0.5年	1年	2年	3年	5年	7年
				海側ウェブ	ふっ素系	◎	◎	◎	◎
塗装面	海側ウェブ	ブラスト処理	ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	○
			塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	○
			リン酸塩処理	◎	◎	◎	◎	◎	○
		研掃たわし処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	○
			ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	○
			塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	○
	陸側ウェブ	ブラスト処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎
			ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎
			塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		リン酸塩処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎
			ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎
			塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	◎
研掃たわし処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
上フランジ	ブラスト処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
	リン酸塩処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
研掃たわし処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
下フランジ	ブラスト処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	▲	▲	
	リン酸塩処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	▲	▲	
研掃たわし処理	ふっ素系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	ポリウレタン系	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	塩化ゴム系	◎	◎	◎	◎	▲	▲		
補修面	海側ウェブ	動力工具	有機ジシク	○	○	○	○	○	○
	陸側ウェブ	ブラスト処理	亜鉛溶射	○	○	○	○	○	○
めっき面	海側ウェブ			○	○	○	○	○	○
	陸側ウェブ			○	○	○	○	○	○
	上フランジ			○	○	○	○	○	○
	下フランジ			○	○	○	○	○	○

【判断基準】

- ◎：さび、ふくれ発生なし
- ：白さび発生
- ▲：ふくれ発生
- ×：赤さび発生

(2) 付着性

暴露7年後のアドヒージョンテストの結果を表-5に示すが、いずれの塗装仕様においても引張付着力は2.0MPa以上であり、良好な付着性を維持している。また、アドヒージョンテストでの剥離箇所は、研掃たわし処理やリン酸塩処理は素地と下塗り塗料の間で剥離する場所が多かったのに対し、ブラスト処理では接着剤が剥離している。

表-5 アドヒージョンテスト結果(暴露7年後)

素地調製	塗装系	海側ウェブ		陸側ウェブ		上フランジ		下フランジ	
		付着力	剥離箇所(%)	付着力	剥離箇所(%)	付着力	剥離箇所(%)	付着力	剥離箇所(%)
ブラスト処理	ふっ素系	70<	—	70<	—	70<	—	45	接/上:40 下層内:60
	ポリウレタン系	70	接/上:100	60	接/上:95 下層内:5	70<	—	70<	—
	塩化ゴム系	60	端/接:100	65	接/上:100	60	接/上:100	30	端/接:10 接/上:90
りん酸塩処理	ふっ素系	70<	—	45	接/上:15 下層内:85	35	素/下:90 下層内:10	30	素/下:100
	ポリウレタン系	50	接/上:50 下層内:50	70<	—	55	素/下:90 下層内:10	20	素/下:90 接/上:10
	塩化ゴム系	40	素/下:90 端/接:10	55	接/上:100	50	素/下:60 接/上:40	20	素/下:50 接/上:50
研掃たわし処理	ふっ素系	70<	—	60	接/上:60 素/下:40	30	素/下:100	20	素/下:20 下層内:80
	ポリウレタン系	60	素/下:80 端/接:20	60	接/上:60 下層内:40	25	素/下:100	20	下層内100
	塩化ゴム系	35	接/上:60 素/下:40	50	接/上:20 下層内:80	20	素/下:90 端/接:10	25	接/上:90 素/下:10

- ・付着力(単位: kg/cm<sup>2</sup>)の数値で70<は測定器の許容範囲オーバーを示す。
- ・剥離箇所の表示について
- : 剥離せず
- 端/接: ドーリー端子と接着剤の層間
- 接/上: 接着剤と上塗の層間
- 素/下: 素地と下塗の層間
- 下層内: 下塗の層間

表-6に基盤目テープ試験の経時変化を示すが、ふっ素系、ポリウレタン系のブラスト処理においては、桁の全ての部位において良好な付着性を示しており、塩化ゴム系がふっ素系やポリウレタン系に比べて多少劣るものの良好な付着性を示している。また、りん酸塩処理や研掃たわし処理は、いずれの塗装系でもブラスト処理と比べて劣っており、塩化ゴム系はブラスト処理の場合と同様、ふっ素系やポリウレタン系に比べて多少劣っている。これは、ふっ素系やポリウレタン系は共に下塗り塗料にエポキシ樹脂塗料を使用しているのに対し、塩化ゴム系は下塗り塗料に塩化ゴム塗料を使用しており、下塗り塗料の違いが付着性に影響したと考えられる。なお、部位別で顕著な差異は現れていないが、濡れ時間の長い上下フランジがウェブに比べて劣る傾向が見られる。

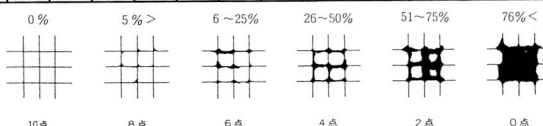
表-6 基盤目試験結果

素地調製	塗装系	海側ウェブ							陸側ウェブ						
		0年	0.5年	1年	2年	3年	5年	7年	0年	0.5年	1年	2年	3年	5年	7年
プラスト処理	ふっ素系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ポリウレタン系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	塩ゴム系	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○	▲	○	○
りん酸塩処理	ふっ素系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ポリウレタン系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	塩ゴム系	○	▲	▲	▲	▲	×	○	○	▲	▲	▲	▲	×	▲
研掃たわし処理	ふっ素系	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○	▲	○
	ポリウレタン系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	塩ゴム系	○	○	▲	▲	▲	×	×	○	○	○	○	▲	▲	×

素地調製	塗装系	上フランジ							下フランジ						
		0年	0.5年	1年	2年	3年	5年	7年	0年	0.5年	1年	2年	3年	5年	7年
プラスト処理	ふっ素系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ポリウレタン系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	塩ゴム系	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	▲	○	○
りん酸塩処理	ふっ素系	○	○	○	○	▲	▲	○	○	○	○	○	○	▲	○
	ポリウレタン系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	塩ゴム系	○	▲	▲	▲	▲	×	○	○	○	○	○	○	○	×
研掃たわし処理	ふっ素系	○	○	○	▲	▲	×	○	○	○	○	○	○	○	×
	ポリウレタン系	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	塩ゴム系	○	○	○	▲	▲	×	○	○	○	○	○	○	○	×

【判定基準】

- : 10~8点
- ▲ : 6~4点
- ×



### (3) 光沢保持性

目視調査の結果、ふっ素系はほとんどチョーキングが進行していなかったのに対し、ポリウレタン系や塩化ゴム系はチョーキングが著しかった。写真3~11に暴露7年後の塗装面の写真を示すが(海側ウェブ)、試験体と同時期に塗装した標準板と比較するとチョーキングの程度が明確である。また写真の右側が光沢保持性や変退色の測定のために水洗処理を行った箇所であるが、ポリウレタン系や塩化ゴム系はチョーキングにより水洗箇所がはっきりとしているが、ふっ素系は水洗箇所がほとんどわからない。(塗装面全体は写真-2の暴露状況写真参照)

図-3に光沢保持率の経時変化を示す(水洗後に測定した結果で、素地調整はプラスト処理)。ふっ素系はポリウレタン系や塩化ゴム系に比べて光沢保持率の低下が少なく、特に赤や緑の中彩色においてその傾向は著しかった。光沢保持性は上塗り塗料に使用される樹脂の影響が大きい事がわかる。部位別では、上フランジがウェブや下フランジと比べて光沢保持率の低下が大きく、劣化環境として厳しいと考えられる。

### (4) 変退色

図-4に色差の経時変化を示す(水洗後に測定した結果で、素地調整はプラスト処理)。

ウェブではふっ素系とポリウレタン系は大きな差がなく、この両者に比べて塩化ゴム系が多少劣っていた。上下フランジでは樹脂系の差は認められなかった。色相による変退色の違いは、赤系はグレー系や緑系に比べて変退色が大きかった。光沢保持性に対する上塗り塗料に使用される樹脂系の影響は大きかったが、変退色についてはその影響は顕著に認められなかった。これは、色相によって変退色が大きく異なることから、上塗り塗料に使用される着色顔料の影響が大きかったと考えられる。

### (5) めっき皮膜の耐久性

実物大試験体のめっき面の膜厚を経時的に測定しているが、測定位置のずれによる測定値のばらつきが生じ、現時点においてめっき面の耐久性の評価としては難しい。

代用試験片による腐食量の測定結果では、暴露7年後での腐食減量が約5g/m<sup>2</sup>で、腐食はほとんど進行していない。

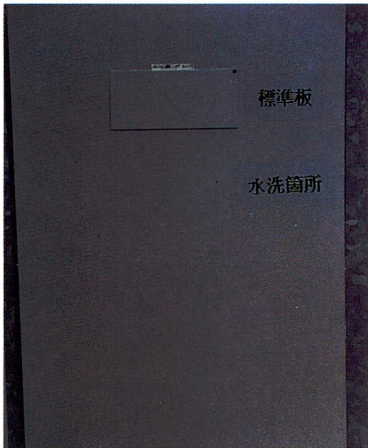


写真-3 ふっ素系 (グレー)



写真-4 ポリウレタン系 (グレー)

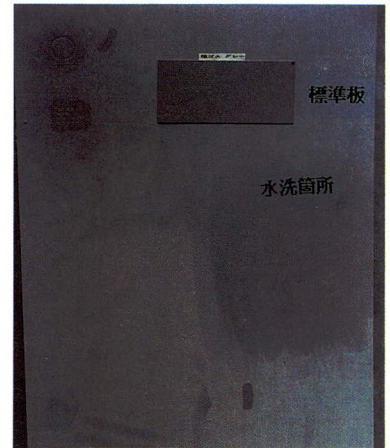


写真-5 塩ゴム系 (グレー)

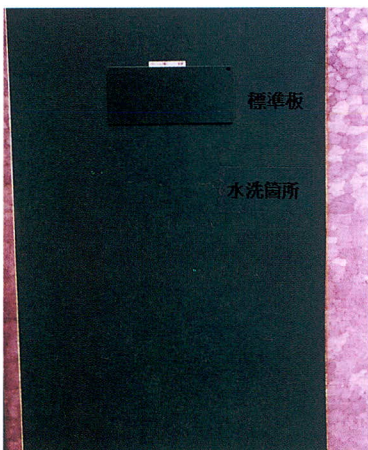


写真-6 ふっ素系 (緑)

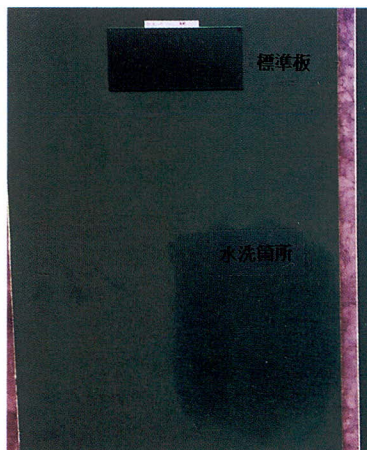


写真-7 ポリウレタン系 (緑)

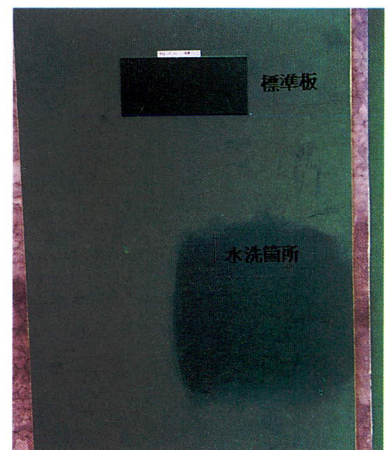


写真-8 塩ゴム系 (緑)



写真-9 ふっ素系 (赤)



写真-10 ポリウレタン系 (赤)



写真-11 塩ゴム系 (赤)

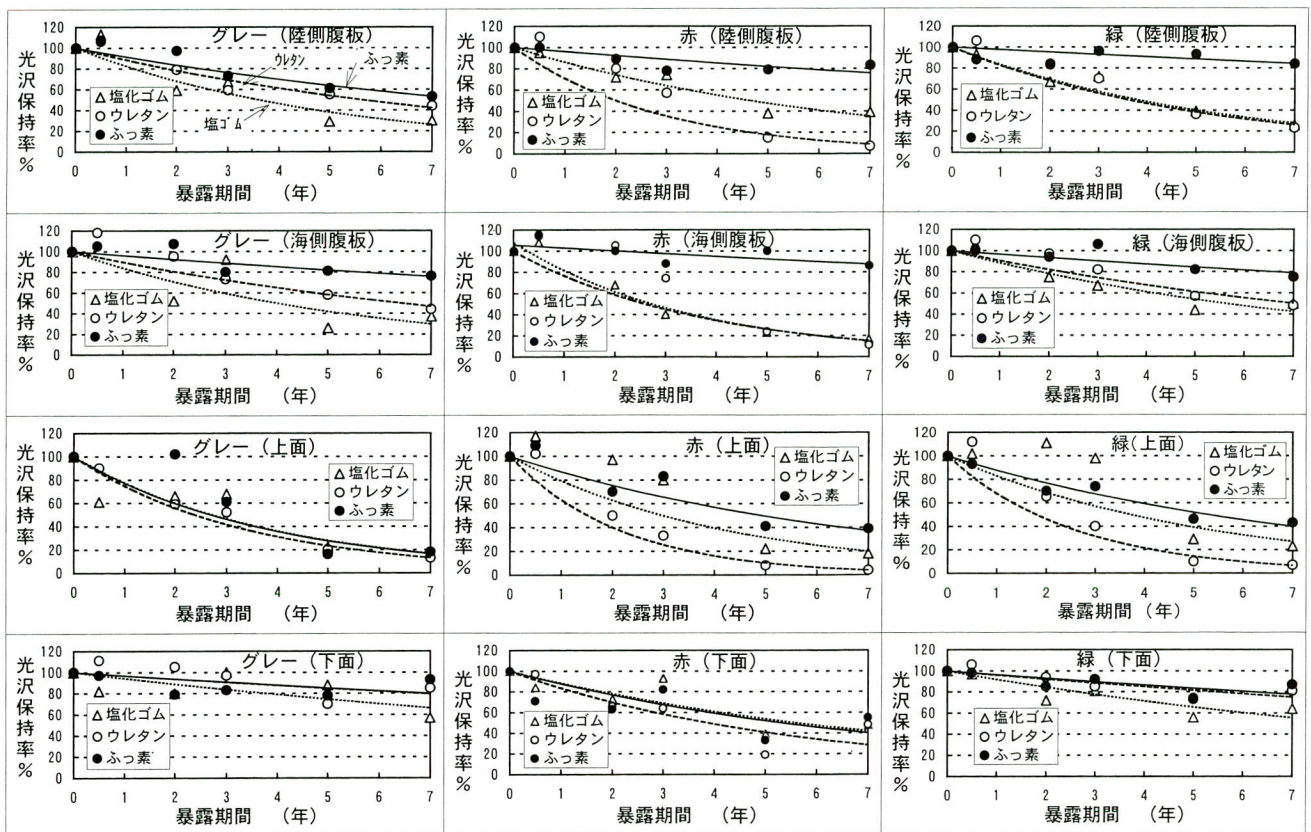


図-3 光沢保持率の経時変化

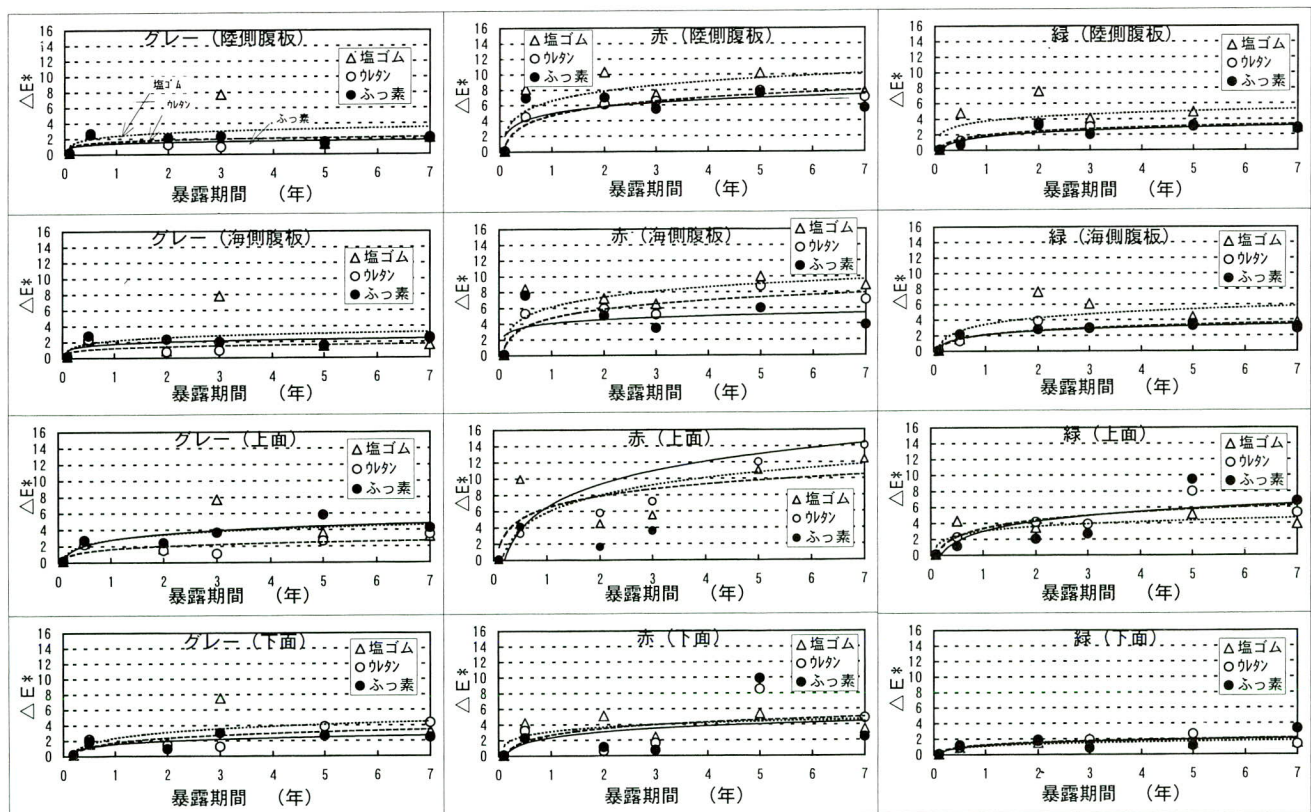


図-4 色差の経時変化

## 10. まとめ

実物大の箱桁を用いて、溶融亜鉛めっき面に適した塗装仕様の検討を行った。暴露7年経過後の結果を以下に要約する。

- ①暴露7年ではいずれの供試塗装仕様においても自然剥離は生じておらず良好であるが、ブラスト処理は、研掃処理やリン酸塩処理と比べると付着性が優れており、より長期の耐久が期待できる。
- ②塗装系は、塩化ゴム系が塗膜の機能上問題はないものの微細なふくれや白錆が生じているのに対し、ふっ素系やポリウレタン系では良好であることから、下塗り塗料には亜鉛めっき面用エポキシ樹脂塗料を用いる事が望ましい。
- ③耐候性については、ふっ素樹脂塗料がポリウレタン樹脂塗料や塩化ゴム塗料よりも光沢保持性に優れており、より長期の耐候性が期待できると思われる。

④亜鉛めっき面および損傷補修面はともに良好な防錆性を維持しており、亜鉛溶射および亜鉛めっき用の有機ジンクリッチペイントは補修材料として有効である。

## 11. あとがき

溶融亜鉛めっきおよび溶融亜鉛めっきと塗装を併用した二重防食の大気暴露試験を行い、暴露7年の結果を報告した。今後も引き続き追跡調査を行っていく予定である。なお本試験は、日本ペイント(株)、関西ペイント(株)、大日本塗料(株)の共同で行っているものであり、試験の計画および追跡調査の際には各関係者には多大なる御協力を頂きました。誌上をもって御礼申し上げますとともに、今後とも御協力お願いする次第です。

1998.10.31受付

## グラビア写真説明

### パサージュガーデン渋谷〔北-1〕ビル

渋谷駅の東口側、JR線と東急東横線に囲まれた地域に計6棟の中層ビルが同時期に建設されました。この計画は、旧国鉄用地の有効利用を計る目的で行われ、プロポーザルコンペにおいて採用されたものです。

本ビルはこの内の1つで、柱が1本もなく、4面ブレース構造でできています。この種の建物は、これまで例がなく、設計者の強い設計意欲と思い入れが込められています。ブレースは、耐火鋼を使用した長方形断面のBOX構造であり、仕口部は鋳鋼を使用しています。また、外部に露出していて、直接目に触れる事が出来る為、美観上の問題から、仕上げ溶接には細心の注意を払いました。例のない構造の為、施工中から見学者の絶えなかった工事です。

(西原)

### (仮称) 柴崎体育館停留場 (多摩都市モノレール)

本工事は平成11年度までに開通予定となっている立川南駅(立川市)～多摩センター駅(多摩市)間の停留場の1つです。当社施工の多摩都市モノレール駅舎としては3工事目ですが、直下の柴崎高架橋(上部工事は当社施工)と競合工事となっており、調整等に苦労したとのこと。

立川北駅(立川市)～上北台(東大和市)間の路線は既に開通しておりますので、利用してみてください。車両は、VVVFインバーター制御装置の導入により、消費エネルギーが少なく、乗り心地が良いそうです。

(中山)