

# 海水シャワー試験（7年）報告書

平成 20 年 2 月 12 日

日本溶融アルミニウムめっき協会  
技術部会

## 目 次

1. 緒言	1 p
2. 試験方法	
2.1 暴露試験場	1
2.2 暴露試験条件	2
2.3 試験材	2
2.4 試験材の取り付け方	2
2.5 試験材の調査	3
3. 試験結果	
3.1 外観調査	3～8
3.2 顕微鏡調査	9～12
3.3 腐食量及び腐食速度	13, 14
3.4 試験材の腐食について	15, 16
4. まとめ	17, 18
5. 添付資料	
5.1 試験データ	19～22
5.2 外観及び顕微鏡写真	23～28
5.3 評価	29

## 1. 緒言

溶融アルミニウムめっき材は耐食性に優れているため多方面に使用されている。その主な用途は工場施設、特に耐食性、耐熱性などの苛酷な環境で使用されることが多い。また近年は大気も一時の目に見える汚染から、酸性雨問題に見られる様な目に見えない汚染が進行しており、耐候用途にも使用される場合が多くなってきた。しかし、溶融亜鉛めっき材ほど世間に認知されていないのが現状である。

溶融アルミニウムめっき各社では耐食性、耐熱性などの苛酷な環境で使用される比較的短期的なデータは持っているが、個々の特殊な条件であり一般的なデータは少なく、使用条件の判断は経験的に推測するしかなかった。現在溶融アルミニウムめっき協会では千葉県飯岡市と北九州市若松区で大気暴露試験を行っているが長期間を要する。塩水噴霧などの促進試験も自然腐食の結果とは対応せず信頼性の欠けるものである。そこで、海洋環境下における溶融アルミニウムめっき材の防食効果や耐久性を明らかにするため、暴露試験を実施した。試験開始から約7年(6.9年)が経過したので報告する。

## 2. 試験方法

### 2.1 暴露試験場

場 所 : 神奈川県久里浜

設置日 : 平成13年1月24日

試験期間 : 約6.9年



写真1. 海水シャワー暴露試験の状況

## 2.2 暴露試験条件

図1に示すように1日2回の海水シャワーが9時及び21時から3.5時間定期的に試験材に散布される。試験材表面は海水で濡れるとともに酸素の供給が十分に行われる海洋の飛沫帯を想定した環境であり、大気中の一般的な暴露環境よりも激しい苛酷な条件である。

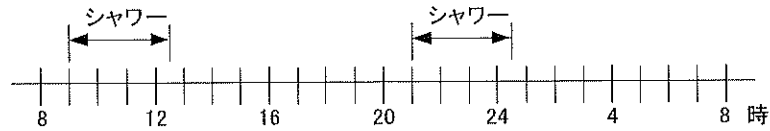


図1. 1日の海水シャワー環境のサイクル

## 2.3 試験材

試験材は表1に示す2種類の鉄鋼材料と3種類の表面処理材とした。試験期間は7年とし、定期的(6ヶ月,1,1.8,6.9年)に各試験材3枚を取り出し所定の調査を行った。ただし6.9年は炭素鋼材料を除いて、他の試験材2枚を取り出し所定の調査を行った。残り1枚は試験延長とした。

表1 暴露試験材の種類

試験材	材質または表面処理条件	試験材サイズmm
炭素鋼材料(標準材)	SS400	85×180×3.2t
溶融アルミニウムめっき材	溶融アルミニウムめっき2種 めっき厚さ70μm以上	85×180×3.2t
溶融亜鉛めっき材	溶融亜鉛めっき2種 付着量550g/m <sup>2</sup> 以上	85×180×3.2t
合金めっき材	5%Al-Zn	85×180×3.2t
特殊鋼材料	SUS304	85×180×2.0t

## 2.4 試験材の取り付け

試験材は最も苛酷な条件とするために写真1に示す架台へ水平に取り付けた。試験材(図2)は他材の影響は受けないう、ベークライト製ワッシャーとステンレスのボルト・ナットおよびワッシャーを用いて架台へ取り付けした。取り付け方法は図3に示すように、試験材の端1ヶ所がA, Bで挟まれ、B, Cで架台を挟み固定した。

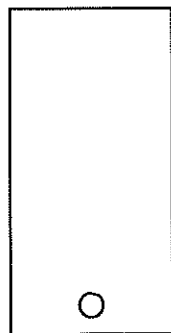


図2. 試験材

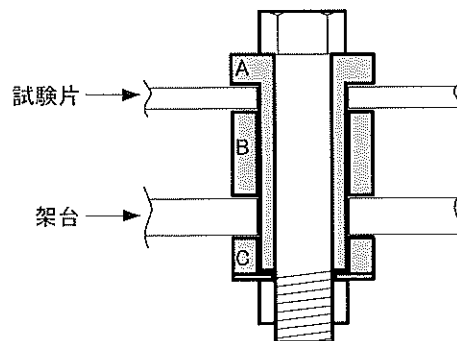


図3. 試験材の架台への取り付け方法

## 2.5 試験材の調査

試験材は定期的に取り外して、外観調査、顕微鏡調査、腐食減量及び腐食速度の経時変化を調査した。

## 3. 試験結果

### 3.1 外観調査

4～8 項に夫々の試験材の外観写真を示す。6.9 年（2522 日）経過。

#### ①. 炭素鋼

試験開始直後より発生した鉄のさびが厚い瘡蓋状になり全面を覆っている。試験材表面の腐食生成物を除去すると鋼の金属部分は無く、完全に鉄スケールと成っていた。

#### ②. 熔融アルミニウムめっき

表側は黒っぽい藻で覆い尽くされている。その付着物を除去すると、合金層の露出と見られる小さい黒い部分が全面に渡り存在する。

裏側は表側程ではないが緑～黒色の藻が付着し、アルミの白さびも認められる。その付着物を除去すると、合金層の露出と見られる黒い部分が存在する。特に中央付近は広範囲に認められる。

合金層露出面積は 1.8 年時と比べ、表裏とも大きな変化なし。

#### ③. 熔融亜鉛めっき

鉄のさびが厚い瘡蓋状になり全面を覆っている。試験材表面の腐食生成物を除去すると、めっき層は全く無く、鋼素地の腐食が甚だしい。一目で分かる程の減肉で表面はアパタ状を呈している。表裏とも同様である。

#### ④. 合金めっき (5%Al-Zn 合金めっき)

表側は黒っぽい藻で覆い尽くされている。その付着物を除去すると黒～黒灰色を呈している。また一部めっきが剥がれたような灰色の部分が多数認められる。

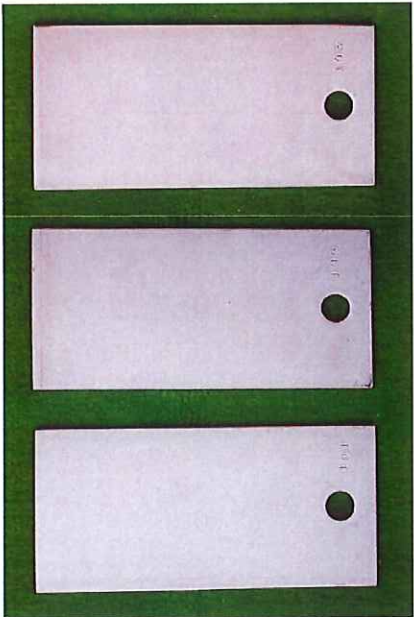
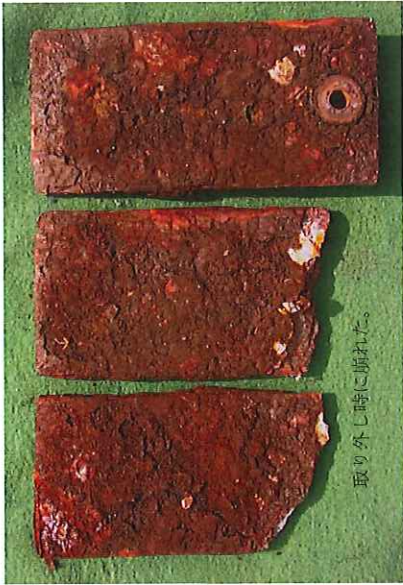
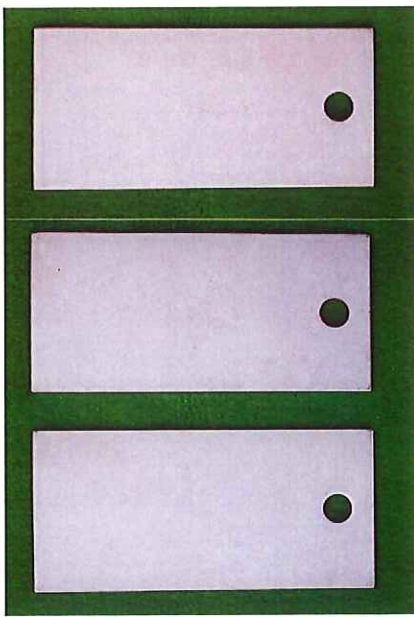
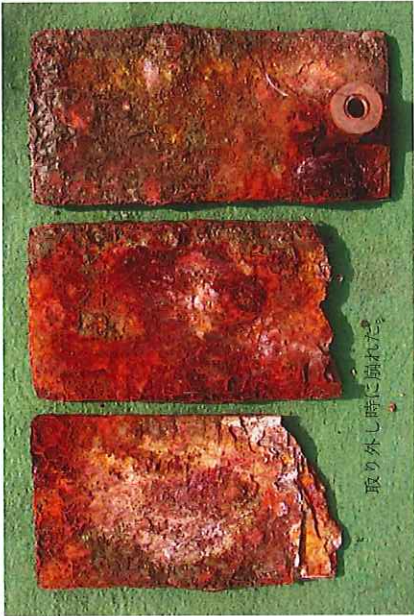
裏側は表側程ではないが緑～黒色の藻が付着している。その付着物を除去すると、黒～灰色を呈している。また一部めっきが剥がれたような灰色の部分が多数認められる。

#### ⑤. 特殊鋼材 (SUS304)

表裏とも全面に黄褐色の鉄さびと黒色および緑色の付着物がある。それらを除去すると、全面に細かい腐食跡が認められる。1.8 年時と比べると、その数や腐食深さが増している。

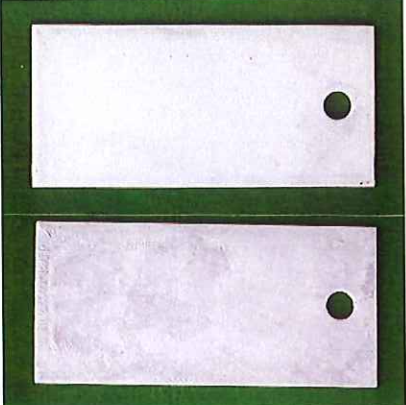
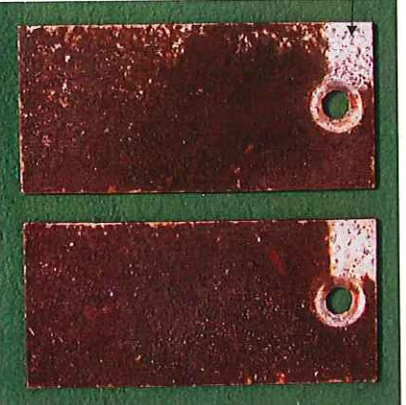

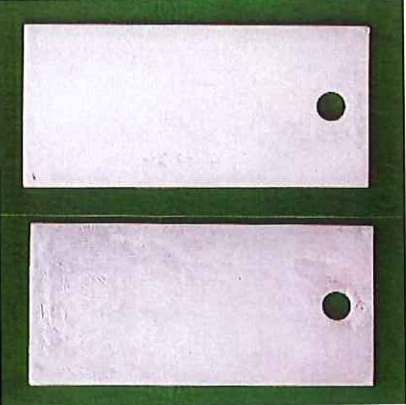
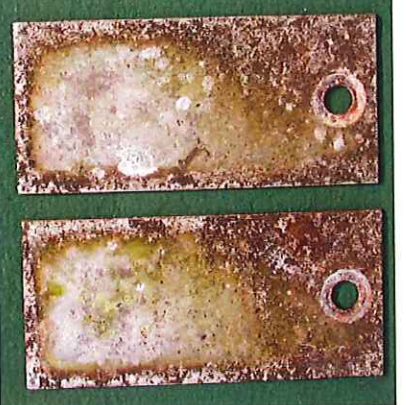

炭素鋼材料 (SS 400)

試験日数 : 2522 日

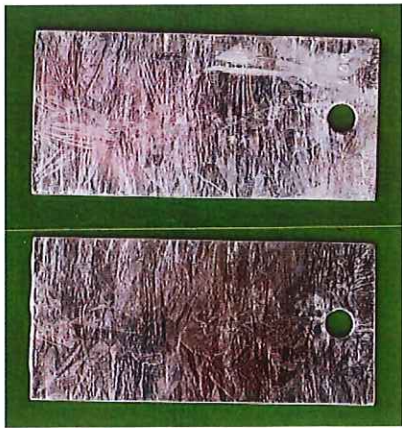

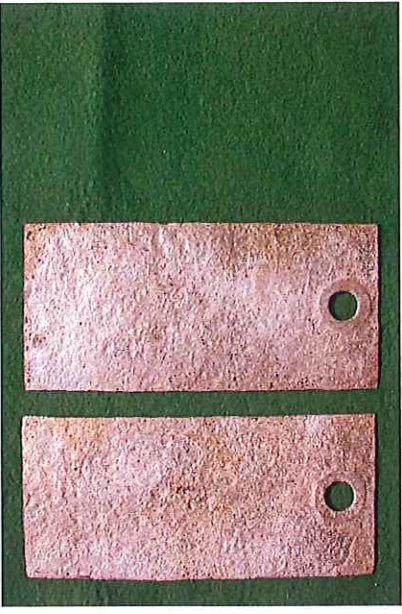
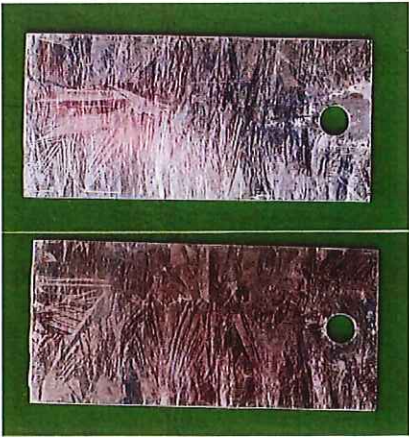


試験前	試験後 (取外し乾燥)	試験後 (付着物除去)
 <p>No.101      No.102      No.103</p>	 <p>No.101      No.102      No.103</p> <p>取り外し時に崩れた。</p>	<p>No.101      No.102      No.103</p> <p>完全に鉄スケールとなり鋼部分なし</p>
 <p>No.101      No.102      No.103</p>	 <p>No.101      No.102      No.103</p> <p>取り外し時に崩れた。</p>	<p>No.101      No.102      No.103</p> <p>完全に鉄スケールとなり鋼部分なし</p>

注: 上段 試験材設置状態表面, 下段 試験材設置状態裏面

溶融アルミニウムめっき材 試験日数：2522日

試験前	試験後 (取外し乾燥)	試験後 (付着物除去)
 <p>No.127      No.129</p>	 <p>No.127      No.129</p> <p>No.確認のため付着物を除去した。</p>	 <p>No.127      No.129</p>
 <p>No.127      No.129</p>	 <p>No.127      No.129</p>	 <p>No.127      No.129</p>

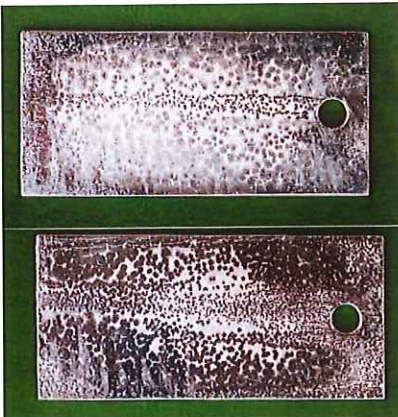
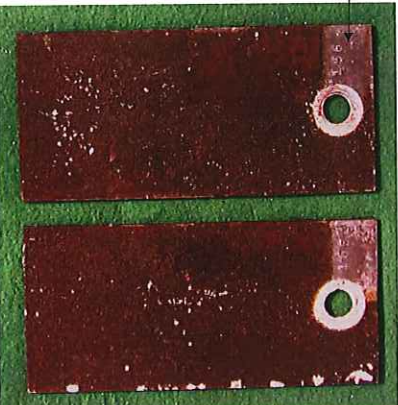

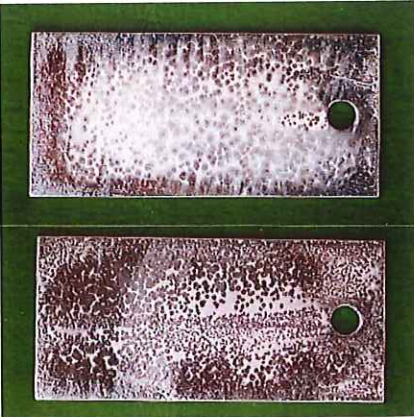
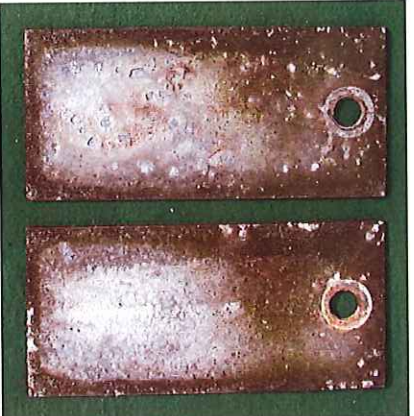

注. 上段 試験材設置状態表面, 下段 試験材設置状態裏面

試験前	試験後 (取外し乾燥)	試験後 (付着物除去)
 <p>No.142                      No.144</p>	 <p>No.142                      No.144</p>	 <p>No.142                      No.144</p>
 <p>No.142                      No.144</p>	 <p>No.142                      No.144</p>	 <p>No.142                      No.144</p>

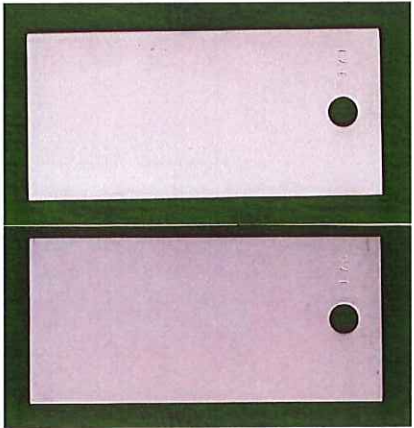
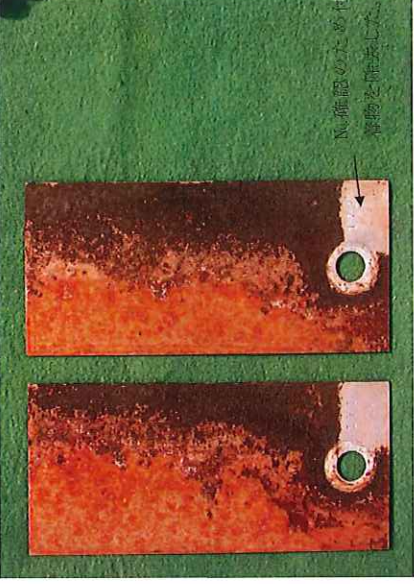
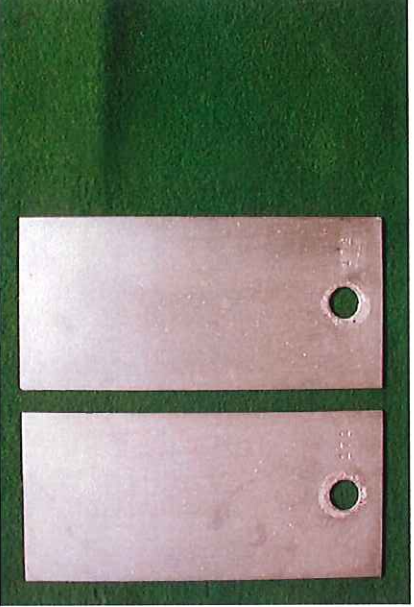
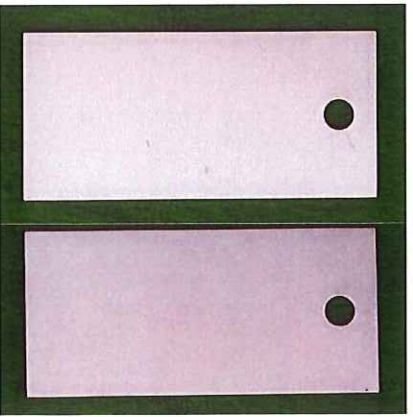
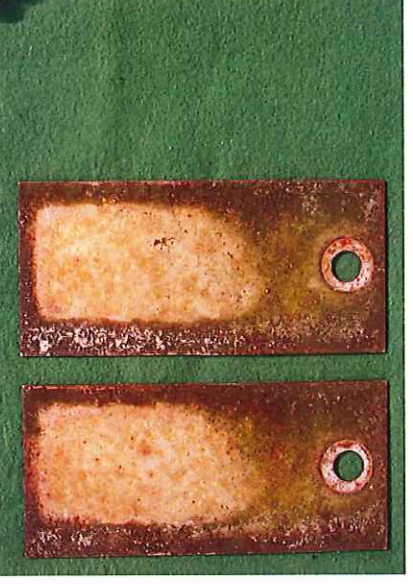
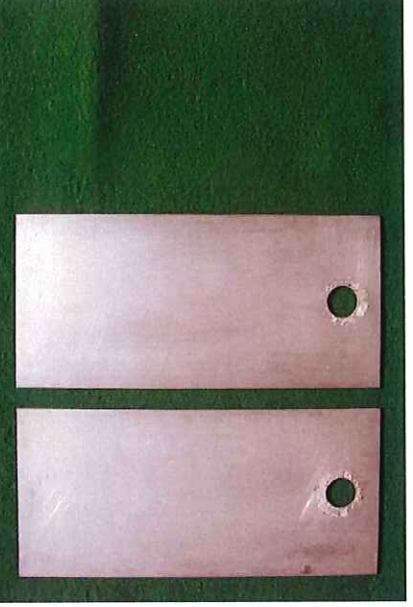
注. 上段 試験材設置状態表面, 下段 試験材設置状態



合金めっき材 (5%Al-Zn) 試験日数 : 2522 日

試験前	試験後 (取外し乾燥)	試験後 (付着物除去)
 <p>No.155</p> <p>No.156</p>	 <p>No.155</p> <p>No.156</p> <p>No.確認のため付着物を除去した。</p>	 <p>No.155</p> <p>No.156</p>
 <p>No.155</p> <p>No.156</p>	 <p>No.155</p> <p>No.156</p>	 <p>No.155</p> <p>No.156</p>

注. 上段 試験材設置状態裏面, 下段 試験材設置状態裏面

試験前	試験後 (取外し乾燥)	試験後 (付着物除去)
 <p>No.170      No.171</p>	 <p>No.170      No.171</p>	 <p>No.170      No.171</p>
 <p>No.170      No.171</p>	 <p>No.170      No.171</p>	 <p>No.170      No.171</p>

注. 上段 試験材設置状態表面, 下段 試験材設置状態裏面

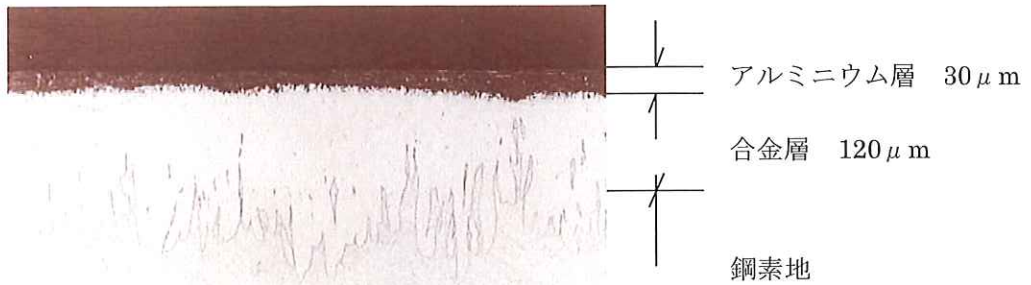
### 3.2 顕微鏡調査

2枚の試験材の内1枚を破壊調査に供した。夫々の試験材の平均的な腐食箇所、異常のある箇所について顕微鏡を用いて腐食の度合いを調べた。以下に示す通りである。

夫々のめっき材の試験前の断面組織を以下に示す。熔融アルミニウムめっき及び\*熔融亜鉛めっきは3%ナイトールエッチング、他はノーエッチングとした。

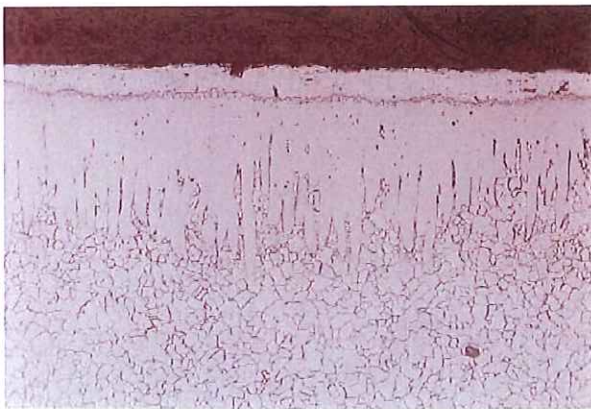
\*熔融亜鉛めっきは通常ナイトールでエッチングしないが、本件の場合明らかにめっきが無くなっている状態であり、鋼素地観察のためナイトールエッチングした。

#### 熔融アルミニウムめっき



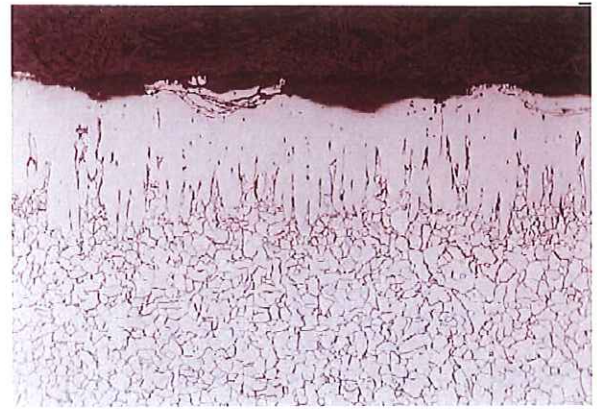
試験前

×100



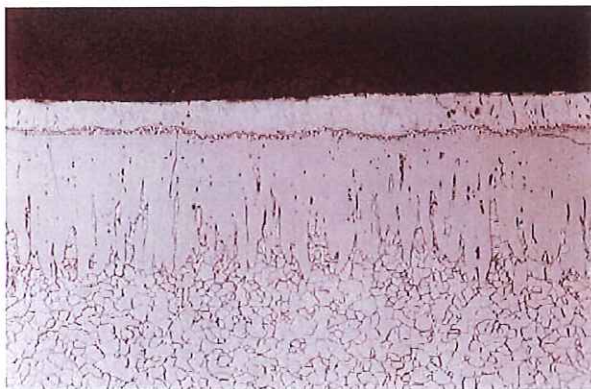
表側・良好部

×100



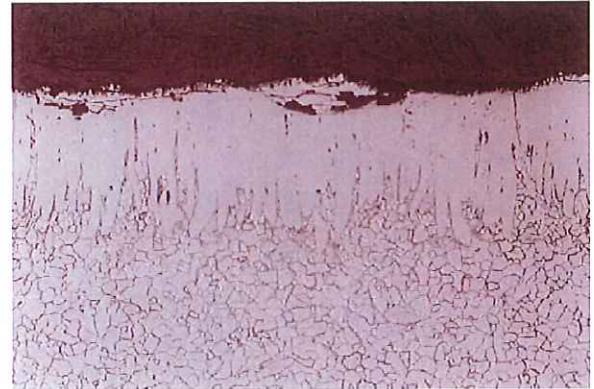
表側・黒変部

×100



裏側・良好部

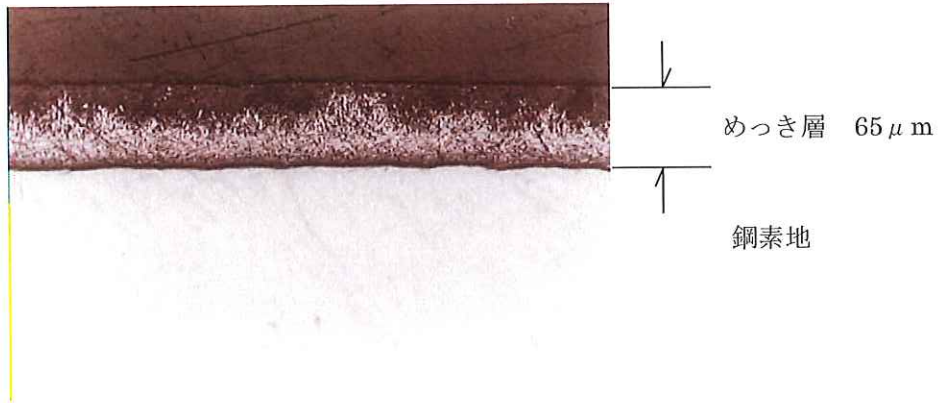
×100



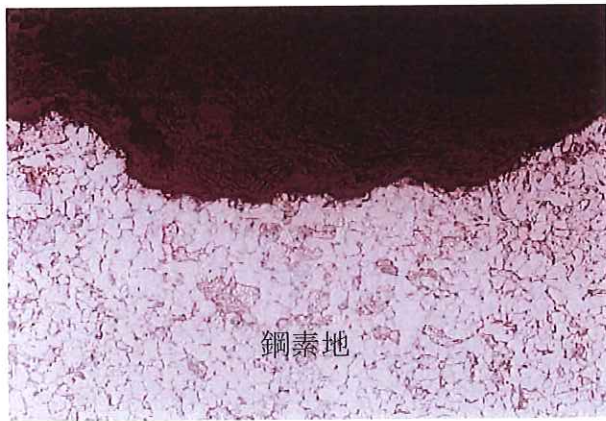
裏側・黒変部

×100

溶融亜鉛めっき



試験前 ×200

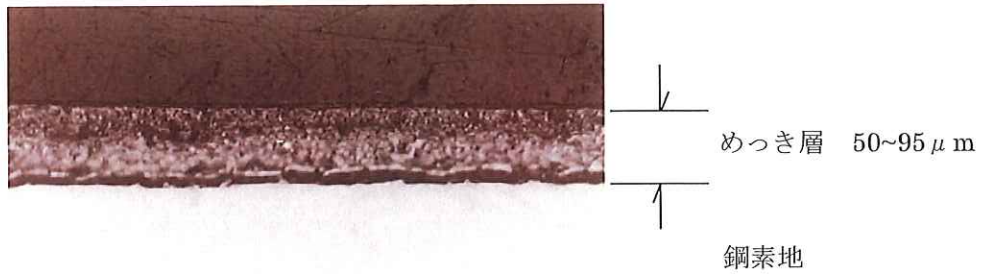


表側 ×100



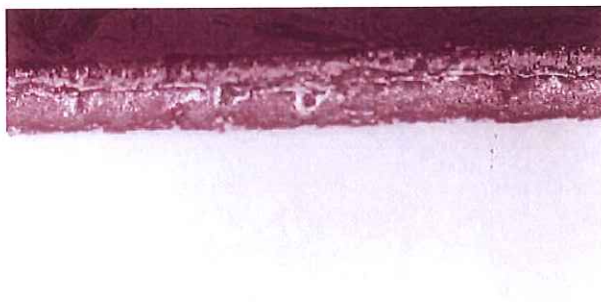
裏側 ×100

合金めっき (5%Al-Zn)



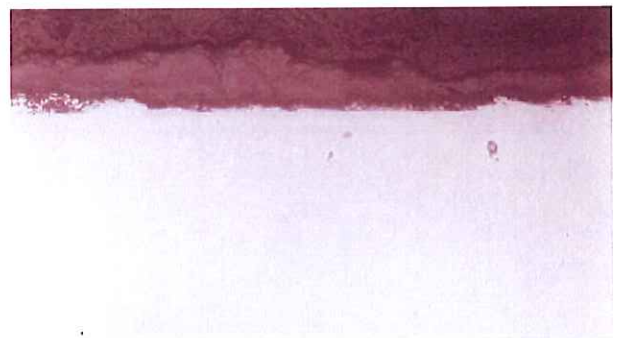
×200

試験前



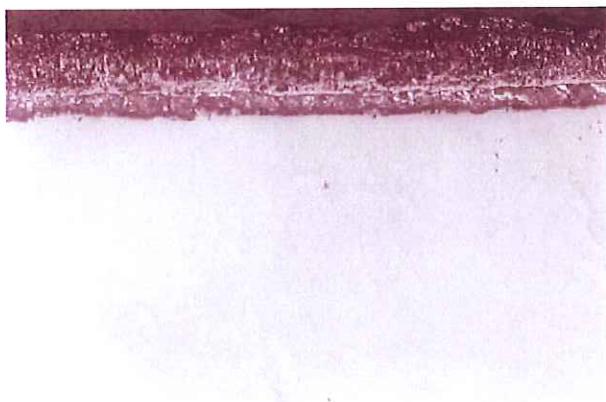
×200

表側・めっき残存部



×200

表側・剥離部



×200

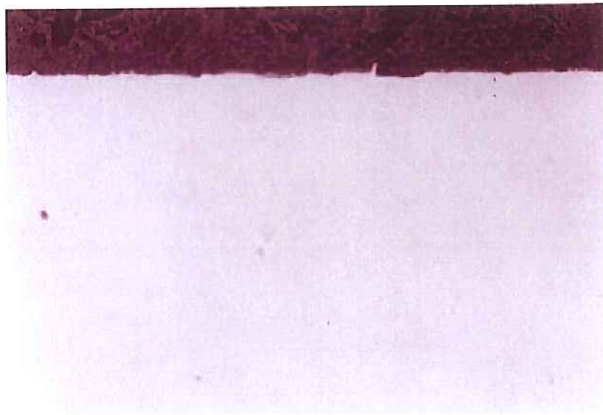
裏側・めっき残存部



×200

裏側・剥離部

特殊鋼材 (SUS304)



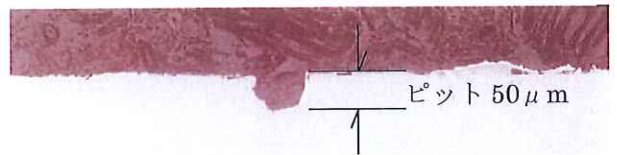
×100

表側・良好部



×100

裏側



×100

裏側・ピット部

### 3.3 腐食量及び腐食速度

19~22 p に秤量データの詳細を示す。

なお 6.9 年の炭素鋼は完全に鉄スケールとなっており、何時の時点でこのようになったか明確でない。また亜鉛めっきは鋼素地の腐食が著しく、めっき層以外の腐食量もかなり含まれる。したがって、これら 2 者の腐食量及び腐食速度の測定は行わなかった。

表 2.及び図 4.は各試験材の腐食量をまとめたものである。6.9 年間で腐食量の多い順に炭素鋼、亜鉛めっき、合金めっき、アルミめっき、SUS304 である。特にアルミめっき、SUS304 は他の 3 者に比べて腐食量が少ないのが分かる。これらの腐食の特徴は炭素鋼及び亜鉛めっきは、ほぼ直線的に腐食量が増加している。合金めっき及びアルミめっきは経時と共に放物線を描くように増加量が鈍くなっている。SUS304 は増加量が上昇傾向ではあるが腐食量は僅かである。

表 2.海水シャワー試験での腐食量

試験材	腐食量 (g/m <sup>2</sup> )			
	6 ヶ月 (181 日)	1 年 (369 日)	1.8 年 (615 日)	6.9 年 (2522 日)
炭素鋼	2279.6	3948.7	6237.8	—
アルミめっき	5.7	10.5	13.2	21.6
亜鉛めっき	105.0	210.8	*325.3	—
合金めっき (5%Al-Zn)	76.5	115.2	145.2	*227.9
特殊鋼材 (SUS304)	0.4	0.7	1.5	8.8

注.\*鋼素地露出

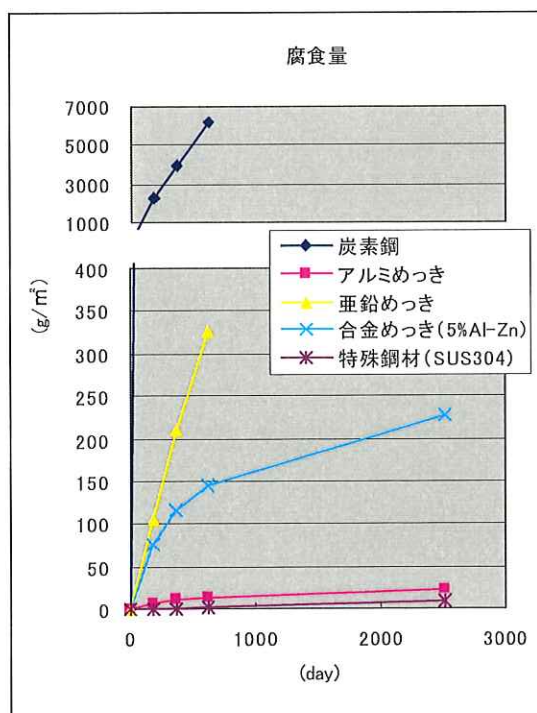


図 4. 海水シャワー試験での腐食量

表3. 及び図5は各試験材の腐食速度をまとめたものである。6ヵ月と比較して6.9年時点の腐食速度は、アルミニウムめっきが27%,合金めっきが53%,SUS304が157%となっている。

表3.海水シャワー試験での腐食速度

試験材	腐食速度 (mm/yr)			
	6ヵ月 (181日)	1年 (369日)	1.8年 (615日)	6.9年 (2522日)
炭素鋼	0.5856	0.4975	0.4716	—
アルミめっき	$4.225 \times 10^{-3}$	$3.844 \times 10^{-3}$	$2.902 \times 10^{-3}$	$1.159 \times 10^{-3}$
亜鉛めっき	$2.967 \times 10^{-2}$	$2.921 \times 10^{-2}$	* $2.704 \times 10^{-2}$	—
合金めっき (5%Al-Zn)	$2.303 \times 10^{-2}$	$1.700 \times 10^{-2}$	$1.286 \times 10^{-2}$	* $1.222 \times 10^{-2}$
特殊鋼材 (SUS304)	$1.029 \times 10^{-4}$	$0.831 \times 10^{-4}$	$1.119 \times 10^{-4}$	$1.614 \times 10^{-4}$

注.\*鋼素地露出

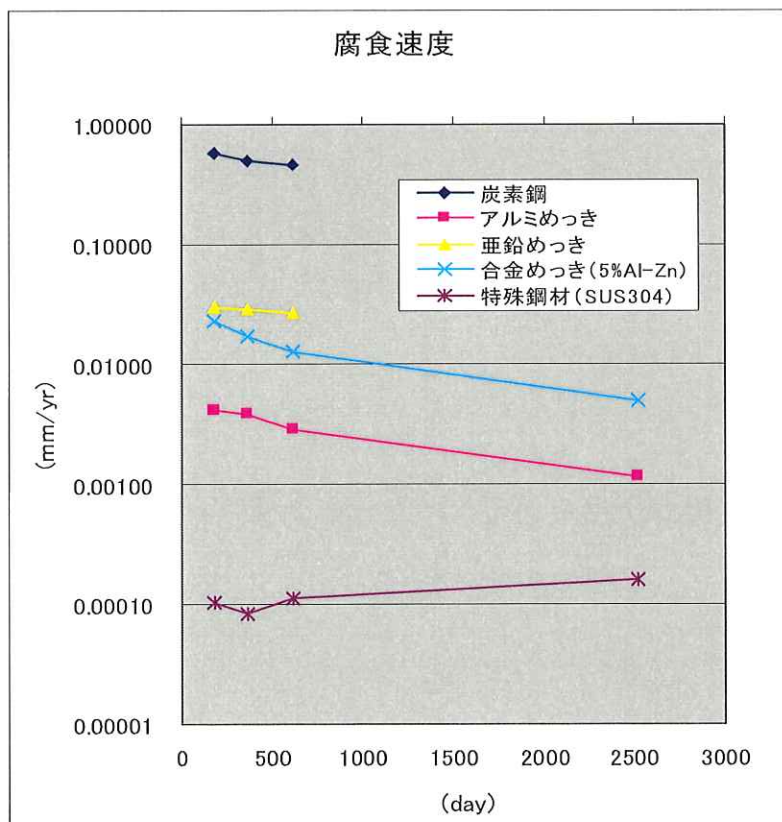


図5. 海水シャワー試験での腐食速度



### 3.4 試験材の腐食について

水に NaCl を添加すると 1~5% で腐食速度が最大を示す。海水は NaCl を約 3% 含有するので自然界でも腐食の大きい環境である。海水腐食の要因は量の多い NaCl によるが、海水に含まれる有機物や、生物などにも左右される。

#### ①. 炭素鋼

炭素鋼試験材は 1 日 2 回の海水シャワー時に試験材表面が海水膜に覆われると共に、酸素供給も十分に行われるため激しい腐食を起こす。試験材表面には試験開始時より発生した鉄スケールや海藻などの付着物が認められており、シャワーが止まっている時にも試験材表面は長期に湿潤状態が続いているものと考えられる。試験材表面の鉄スケールは酸素の拡散障壁としての作用は弱く、長期の湿潤状態により腐食が大きくなる。本試験材は表裏共厚くスケールが発達し、スケール除去後の試験材は完全に腐食され、炭素鋼は全て鉄スケールとなっていた。

完全に鉄スケールとなった時期は最短で約 3.2 年と推定できる。その計算は次の通りである。6.9 年時は完全鉄スケールとなっているため 1.8 年の腐食速度で計算する。ただし、炭素鋼の腐食速度は経時と共に若干小さくなる傾向にあるが、1.8 年以降もこの速度で進むと仮定した最短値である。

腐食速度：101.428(m.d.d) 試験材表面積： $3.147 \times 10^{-2}(\text{m}^2)$  試験前重量：373.295(g)

上記値は 22 p の炭素鋼材料の欄を参照

単位換算

$$101.428 * (\text{m.d.d}) = 10.1428 (\text{g/m}^2 \cdot \text{day})$$

$$* (\text{m.d.d}) = (\text{mg/d m}^2 / \text{day})$$

1 日当たりの試験材の腐食量は

$$10.1428 (\text{g/m}^2 \cdot \text{day}) \times 3.147 \times 10^{-2} (\text{m}^2) \doteq 0.319 (\text{g/day})$$

試験材が完全に鉄スケールとなるまでの日数は

$$373.295 (\text{g}) \div 0.319 (\text{g/day}) \doteq 1170 (\text{day})$$

試験材が完全に鉄スケールとなるまでの年数は

$$1170 (\text{day}) \div 365 (\text{day/yr}) \doteq 3.2 (\text{yr})$$

#### ②. 溶融アルミニウムめっき

溶融アルミニウムめっき材は 9 p の試験前写真に示すように、表面からアルミニウム層、合金層、鋼素地から成っている。溶融アルミニウムめっき材のめっき層は緻密で安定な酸化皮膜で覆われているため優れた耐食性を示すが、この酸化皮膜も時間の経過と共に種々の腐食要因（主として  $\text{Cl}^-$ ）により破壊され、そこが腐食の起点となり順次腐食が進行する。アルミニウム（溶融アルミニウムめっき材）の海水中での腐食量は極めて小さいが、時間の経過と共に腐食箇所は小さなピットの発生から次第に大きな腐食部になっていく。腐食箇所は面積を拡げると共に深さ方向にも進行する。深さ方向は合金層に達すると止まるが、水平方向に腐食が拡がっていき、アルミニウム層が腐食消失して合金層の露出部が一定面積以上になり、アルミニウムの犠牲防食作用が無くなると合金層の腐食が進むことになる。合金層露出部は灰黒色を呈しているが、Fe-Al 金属間化合物であるため、金属間化合物の中の鉄が酸化され、赤い錆を発生することとなる。合金層の海水中での腐食速度は小さいと言われているがデータはない。

本試験ではアルミニウムの海水での腐食量は極めて小さく、更に時間の経過と共に腐食速度も小さくなっている。また、9pの顕微鏡写真から合金層露出部で上部が欠損している箇所が確認される。これが腐食によるものか、試料切断時の衝撃破壊によるものか明らかではないが、試料を研磨作業で追い込むと欠損箇所や程度が軽減される。したがって断定はできないが硬くて脆い合金層の特徴から試料切断時に欠損した可能性が高い。これらのことから6.9年でもアルミニウム層の腐食段階、または合金層腐食の初期段階とみられる。

めっき層の表面状態表側はシャワーのない時には乾燥状態があり、裏側は湿った状態が長い為アルミニウムの性質上、裏側の腐食が大きいものと考えられる。5pの溶融アルミニウムめっき材の外観写真の通りである。

### ③. 溶融亜鉛めっき

溶融亜鉛めっき材は10pの試験前写真に示すように、めっき層{ $\eta$ 層(亜鉛),  $\zeta$ 層(合金),  $\delta_1$ 層(合金)}と鋼素地から成っている。溶融亜鉛めっき材もめっき層は緻密で安定な酸化皮膜で覆われているため、溶融アルミニウムめっき材と同様に優れた耐食性を示し、ガードレールなど我々の身近に多く使用されている。めっき層は種々の腐食要因により腐食生成物を形成し、それが順次溶解消失する過程をとり消耗する。溶融亜鉛めっき層の消耗量はその腐食環境でほぼ一定であり、付着量で耐用寿命は推定できる。

当試験材は試験期間1.8年でめっき層は消失していないものの、鋼素地の一部腐食が確認されている。これが6.9年では表裏共、完全にめっき層は消失し鋼素地の腐食が甚だしい。6pの溶融亜鉛めっき材の外観写真と10pの顕微鏡写真の通りである。

### ④. 合金めっき (5%Al-Zn)

合金めっき材は11pの試験前写真が示すように、めっき層(4層よりなる)、鋼素地から成っている。その合金めっき材もめっき層は緻密で安定的な酸化皮膜で覆われている為、溶融アルミニウムめっき材と同様に優れた耐食性を示す。このめっき処理は最近注目されている表面処理材である。溶融亜鉛めっき材よりも数倍優れており、塩害地域においては特に優れていると言われている。めっき層はほぼ均一な4層より成り、溶融亜鉛めっき材と同様な腐食傾向をもつものと考えられるが、表層は5%のアルミニウムを含むので表面の酸化皮膜が亜鉛よりも安定である。6.9年経過の試験材表面は11pの顕微鏡写真が示すように、めっき層が残存するものの、一部でめっきが剥がれたように欠損し鋼素地が露出する箇所が多数確認できる。但し鋼素地は腐食していないことから、周辺めっき層による犠牲防食の影響と考えられる。

合金めっきの腐食の特徴は、初期腐食は溶融亜鉛めっき材と比べ差がない程の腐食速度を示すが、時間の経過と共に小さくなり、外観的にも1.8年を経過した頃からハッキリとした優位性が認められる。

### ⑤. 特殊鋼材 (SUS304)

SUS304の腐食は本試験材中最も小さい。ただし乾湿の繰り返しと海水中の $Cl^-$ の影響で安定酸化皮膜が破壊され鉄の赤錆が発生している。腐食速度は1.8年を境に増加に転じている。現時点での腐食量及び腐食速度は非常に小さいが、12pの顕微鏡写真が示すようにピット状の腐食が表裏両面に無数に確認され、やや孔食傾向であることが今後懸念される。

#### 4. まとめ

炭素鋼試験材の腐食状況よりみて、海水シャワー試験は飛沫帯の環境に近いものと判断して差支えないと考えられる。試験期間 6.9 年を経過し外観にもハッキリとした差が出ており、腐食状況も明確になった。現時点において以下のことが分かった。

##### ①. 炭素鋼

腐食され全て鉄スケールとなっていた。試験材が完全に鉄スケールとなった時期は、最短で 3.2 年と推定される。

評 価：××

腐 食 量：\*不明

腐食速度：\*不明

\*既に全て鉄スケールとなっているため、腐食量及び腐食速度は不明である。

##### ②. 溶融アルミニウムめっき

アルミニウム層に腐食が認められる程度で顕著な腐食は認められない。さらに合金層の露出面積は、1.8 年時から 4 倍近い時間が経過した割には拡がりを見せていない。腐食速度も経時と共に小さくなっている。

評 価：○

腐 食 量：21.6 (g/m<sup>2</sup>)

腐食速度：0.0012 (mm/yr)

##### ③. 溶融亜鉛めっき

既にめっき層は無く、鋼素地の腐食が甚だしい。

評 価：×

腐 食 量：\*不明

腐食速度：\*不明

\*既にめっき層が無い場合、めっき層の腐食量及び腐食速度は不明である。

##### ④. 合金めっき (5%Al-Zn)

めっき層は残存しているが、めっきが剥離したような箇所が多数あり、その部分は鋼素地が露出している。ただし鋼素地の腐食はない。腐食速度は経時と共に小さくなっている。

評 価：△

腐 食 量：227.9 (g/m<sup>2</sup>)

腐食速度：0.0049 (mm/yr)

##### ⑤. 特殊鋼材 (SUS304)

鉄の赤錆や微細な腐食跡が確認され、やや孔食傾向である。腐食速度は非常に小さいが増加傾向にある。

評 価：○

腐 食 量：8.8 (g/m<sup>2</sup>)

腐食速度：0.00016 (mm/yr)

評価： ○＝鋼素地の露出なし。SUS304 の場合は顕著な腐食が認められない。

△＝鋼素地の露出は認められるが、腐食は認められない。

×＝鋼素地の腐食が認められる。

××＝鋼素地が完全にスケール化している。

(謝辞)

海水シャワー暴露試験を実施するにあたり、(独)港湾空港技術研究所の試験場を利用させていただきました。また、御指導御協力頂きました阿部正美防食主任研究官ならびに関係各位に感謝申し上げます。

以下、海水シャワー試験材(6ヵ月,1,1.8,6.9年)の腐食試験データ、外観写真、断面顕微鏡写真及び評価を添付します。

5. 添付資料  
5.1 試験データ

海水シャワー試験材の腐食試験データ

試験日数: 181 日

材料	No.	試験材表面積 × 10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup>	試験前重量 (g)	試験後 (g)		付着物除去後 (g)		腐食量 (g/m <sup>2</sup> )		腐食速度		
				重量	増減	重量	増減	平均	(m.d.d)	平均(m.d.d)	(mm/y)	平均(mm/y)
炭素鋼材料	110	3.143	372.390	405.178	32.788	300.761	-71.629	2279.0	125.912	0.585449		
	111	3.149	373.619	407.589	33.970	301.132	-72.487	2301.9	127.177	0.591333		
	112	3.152	373.954	408.147	34.193	302.785	-71.169	2257.9	124.746	0.580028	125.945	0.585604
アルミめっき	116	3.184	387.798	388.228	0.430	387.622	-0.176	5.5	0.305	0.004128		
	117	3.180	385.317	385.657	0.340	385.132	-0.185	5.8	0.321	0.004345		
	118	3.182	388.917	389.124	0.207	388.738	-0.179	5.6	0.311	0.004201	0.313	0.004225
亜鉛めっき	131	3.161	384.981	384.895	-0.086	381.835	-3.146	99.5	5.499	0.028109		
	132	3.156	383.601	383.357	-0.244	379.996	-3.605	114.2	6.311	0.032261		
	133	3.164	386.163	385.890	-0.273	382.955	-3.208	101.4	5.602	0.028636	5.804	0.029669
合金めっき (5%Al-Zn)	146	3.175	384.667	384.100	-0.567	382.352	-2.315	72.9	4.028	0.021946		
	147	3.172	383.402	382.704	-0.698	380.969	-2.433	76.7	4.238	0.023086		
	148	3.172	385.797	385.113	-0.684	383.263	-2.534	79.9	4.414	0.024044	4.227	0.023025
特殊鋼材料 (SUS304)	161	3.081	220.805	221.031	0.226	220.793	-0.012	0.4	0.022	0.000100		
	162	3.076	220.394	220.797	0.403	220.381	-0.013	0.4	0.023	0.000109		
	163	3.080	223.999	224.704	0.705	223.987	-0.012	0.4	0.022	0.000100	0.022	0.000103

注1 腐食性生物の除去は金属防蝕技術便覧の記載方法で行った。

注2 \* 亜鉛の白錆完全除去

注3 合金めっき材の腐食性生物の除去は亜鉛に準じた。合金めっき材の腐食性生物は、まだ残留していると思われる。

注4 試験日数 181日

注5 比重 炭素鋼材・特殊鋼材 7.85, アルミめっき 2.7, 亜鉛めっき 7.14, 合金めっき 6.7

注6 腐食速度  $\frac{\text{mm/y}}{\text{m.d.d}} \times 36.5 \div \text{比重} \div 1000$

## 海水シャワー試験材の腐食試験データ

試験日数: 369 日

材料	No.	試験材表面積 × 10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup>	試験前重量 (g)	試験後 (g)		付着物除去後 (g)		腐食量 (g/m <sup>2</sup> )		腐食速度		
				重量	増減	重量	増減	平均	(m.d.d)	平均(m.d.d)	(mm/y)	平均(mm/y)
炭素鋼材料	107	3.143	373.459	430.365	56.906	252.230	#####	3857.1		104.529		0.486025
	108	3.143	372.533	438.983	66.450	250.450	#####	3884.3		105.265		0.489449
	109	3.146	372.955	437.461	64.506	243.823	#####	4104.6	3948.7	111.237	107.010	0.517216
アルミめっき	119	3.188	388.751	389.020	0.269	388.432	-0.319	10.0		0.271		0.003666
	120	3.193	389.048	389.387	0.339	388.725	-0.323	10.1		0.274		0.003706
	121	3.188	387.399	387.802	0.403	387.037	-0.362	11.4	10.5	0.308	0.284	0.004160
亜鉛めっき	134	3.166	385.942	385.381	-0.561	379.544	-6.398	202.1		5.477		0.027996
	135	3.153	384.216	383.697	-0.519	377.397	-6.819	216.3		5.861		0.029962
	137	3.178	386.423	385.483	-0.940	379.620	-6.803	214.1	210.8	5.801	5.713	0.029656
合金めっき (5%Al-Zn)	149	3.174	386.371	384.818	-1.553	382.156	-4.215	132.8		3.599		0.019606
	150	3.177	389.185	388.354	-0.831	385.921	-3.264	102.7		2.784		0.015168
	151	3.172	387.407	386.425	-0.982	383.919	-3.488	110.0	115.2	2.980	3.121	0.016234
特殊鋼材料 (SUS304)	164	3.084	224.650	224.660	0.010	224.631	-0.019	0.6		0.017		0.000078
	165	3.083	223.836	223.837	0.001	223.815	-0.021	0.7		0.018		0.000086
	166	3.084	225.002	225.007	0.005	224.981	-0.021	0.7	0.7	0.018	0.018	0.000086

注1 腐食性生物の除去は金属防蝕技術便覧の記載方法で行った。

注2 \* 亜鉛の白錆完全除去

注3 合金めっき材の腐食性生物の除去は亜鉛に準じた。合金めっき材の腐食性生物は、まだ残留していると思われる。

注4 試験日数369日

注5 比重 炭素鋼材・特殊鋼材 7.85, アルミめっき 2.7, 亜鉛めっき 7.14, 合金めっき 6.7

注6 腐食速度 m.d.d mg/dm<sup>2</sup>/day  
mm/y m.d.d × 36.5 ÷ 比重 ÷ 1000

## 海水シャワー試験材の腐食試験データ

試験日数: 615 日

材料	No.	試験材表面積 $\times 10^{-2} \text{m}^2$	試験前重量 (g)	試験後(g)		付着物除去後(g)		腐食量(g/m <sup>2</sup> )		腐食速度		
				重量	増減	重量	増減	平均	(m.d)	平均(m.d.d)	(mm/y)	平均(mm/y)
炭素鋼材料	104	3.148	372.933	488.629	115.696	176.042	#####	6254.5	101.699		0.472867	
	105	3.147	371.979	487.995	116.016	176.388	#####	6215.2	101.059		0.469894	
	106	3.147	372.328	486.815	114.487	175.835	#####	6243.8	101.526	101.428	0.472061	0.471608
アルミめっき	124	3.180	387.759	388.190	0.431	387.272	-0.487	15.3	0.249		0.003366	
	125	3.181	385.036	385.447	0.411	384.626	-0.410	12.9	0.210		0.002833	
	126	3.181	387.506	387.856	0.350	387.145	-0.361	11.3	0.185	0.214	0.002495	0.002898
亜鉛めっき	138	3.163	384.006	382.241	-1.765	372.978	-11.028	348.7	5.669		0.028981	
	139	3.163	384.800	382.700	-2.100	374.001	-10.799	341.4	5.551		0.028379	
	140	3.164	387.336	386.944	-0.392	378.288	-9.048	286.0	4.650	5.290	0.023770	0.027044
合金めっき (5%Al-Zn)	152	3.171	383.066	381.069	-1.997	377.942	-5.124	161.6	2.627		0.014314	
	153	3.173	384.342	382.720	-1.622	380.041	-4.301	135.5	2.204		0.012007	
特殊鋼材料 (SUS304)	154	3.173	386.708	385.046	-1.662	382.318	-4.390	138.4	2.250	2.360	0.012256	0.012859
	167	3.084	222.632	222.703	0.071	222.574	-0.058	1.9	0.031		0.000142	
	168	3.087	227.140	227.282	0.142	227.105	-0.035	1.1	0.018		0.000086	
	169	3.082	225.931	226.003	0.072	225.887	-0.044	1.4	0.023	0.024	0.000108	0.000112

注1 腐食性生物の除去は金属防蝕技術便覧の記載方法で行った。

注2 亜鉛めっきは銅素地腐食、鉄の赤錆完全除去

注3 合金めっき材の腐食性生物の除去は亜鉛に準じた。合金めっき材の腐食性生物は、まだ残留していると思われる。

注4 試験日数 615日

注5 比重 炭素鋼材・特殊鋼材 7.85, アルミめっき 2.7, 亜鉛めっき 7.14, 合金めっき 6.7

注6 腐食速度  $\text{m.d} \times 36.5 \div \text{比重} \div 1000$   
 $\text{mm/y}$

## 海水シャワー試験材の腐食試験データー

試験日数: 2522 日

材料	No.	試験材表面積 × 10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup>	試験前重量 (g)	試験後 (g)		付着物除去後 (g)		腐食量 (g/m <sup>2</sup> )		腐食速度		
				重量	増減	重量	増減	平均	(m.d.d)	平均(m.d.d)	(mm/y)	平均(mm/y)
炭素鋼材料	101	3.148	373.182	465.50	92.32	0.000	#####	完全にスケール化しているので、腐食量及び腐食速度は不明				
	102	3.143	372.813	446.97	74.16	0.000	#####					
	103	3.151	373.890	551.01	177.12	0.000	#####					
アルミめっき	127	3.178	384.240	386.53	2.29	383.601	-0.639	20.11	0.079726	0.001078		
	129	3.179	385.530	387.62	2.09	384.795	-0.735	23.12	0.091675	0.001239	0.001159	
亜鉛めっき	144	3.165	386.523	440.43	53.91	208.109	#####	鋼素地の腐食甚だしく、めっき層の腐食量及び腐食速度は不明				
	145	3.164	385.523	407.75	22.23	207.875	#####					
合金めっき (5%Al-Zn)	155	3.180	389.886	386.96	-2.93	383.097	-6.789	213.49	0.846513	0.004612		
	156	3.173	383.064	380.30	-2.76	375.376	-7.688	242.29	0.960723	0.005234	0.004923	
特殊鋼材料 (SUS304)	171	3.086	225.451	224.08	-1.37	225.166	-0.285	9.24	0.036619	0.000170		
	172	3.083	220.707	221.77	1.06	220.452	-0.255	8.27	0.032796	0.000152	0.000161	

注1 腐食性生物の除去は金属防蝕技術便覧の記載方法で行った。

注2 炭素鋼材料は完全に腐食し金属部分が残っていない。

亜鉛めっきはめっき層が残っておらず、鋼素地の腐食がかなり進行している。

注3 合金めっき材の腐食性生物の除去は亜鉛に準じた。合金めっき材の腐食性生物は、まだ残留していると思われる。

注4 試験日数 2522日

注5 比重 炭素鋼材・特殊鋼材 7.85, アルミめっき 2.7, 亜鉛めっき 7.14, 合金めっき 6.7

注6 腐食速度 m.d.d × 36.5 ÷ 比重 ÷ 1000  
mm/y












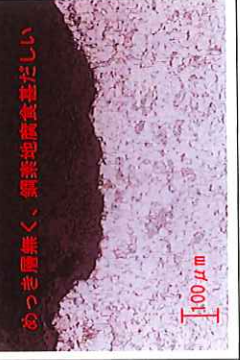
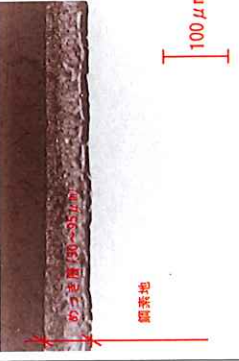




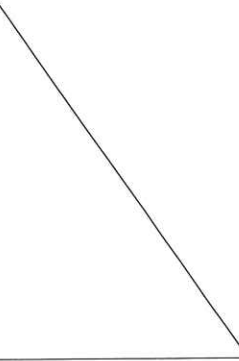
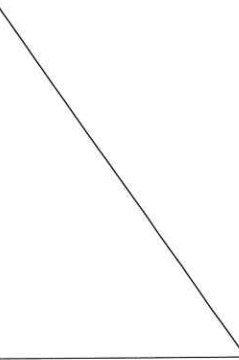
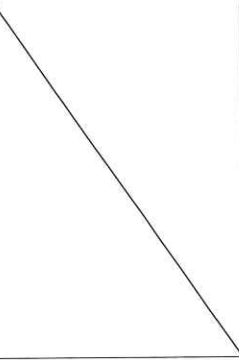
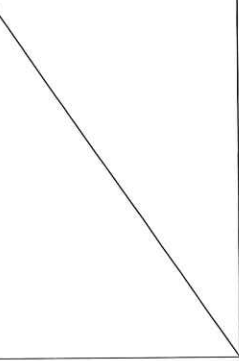

5.2 外観及び顕微鏡写真  
海水シャワー試験（付着物除去前の外観）表側

	試験前	6ヶ月	1年	1.8年	6.9年
炭素鋼 (SS400)					
溶融アルミめっき					
溶融亜鉛めっき					
合金めっき (5%Al-Zn)					
特殊鋼材 (SUS304)					

海水シャワー試験（付着物除去後の外観）表例

	試験前	6ヶ月	1年	1.8年	6.9年
炭素鋼 (SS400)					<p>金属部なし (完全に腐食して鉄スケールのみとなっていた。)</p> <p>1.8年時とほとんど変化なし。良好。</p>
溶融アルミめっき					<p>めっき層完全に無く、鋼素地が腐食</p>
溶融亜鉛めっき					<p>斑点状の鋼素地腐食確認</p>
合金めっき (5%Al-Zn)					<p>一部で鋼素地露出確認</p>
特殊鋼材 (SUS304)					<p>無数にピット状の細かい腐食跡確認</p> <p>良好。 細かい腐食跡があるが腐食量は小さい。</p>

海水シャワー試験（顕微鏡断面写真）表側 最も腐食が進んでいる箇所

	試験前	6ヶ月	1年	1.8年	6.9年
炭素鋼 (SS400)	 <p>Al層 めっき層 Al-Fe 合金膜 (150 μm) 錆茶地</p> <p>100 μm</p>	 <p>Al-Fe合金層剥出</p>			 <p>Al-Fe合金層剥出があるが錆茶地露出なし</p>
溶融亜鉛めっき	 <p>めっき層 (50 μm) 錆茶地</p> <p>100 μm</p>			 <p>錆茶地露出</p>	 <p>めっき層無く、錆茶地露出ましい</p> <p>100 μm</p>
合金めっき (5%Al-Zn)	 <p>めっき層 (30~35 μm) 錆茶地</p> <p>100 μm</p>				 <p>錆茶地露出</p> <p>100 μm</p>
特殊鋼材 (SUS304)					 <p>100 μm</p>

海水シャワー試験（付着物除去前の外観）裏側

	試験前	6ヶ月	1年	1.8年	6.9年
炭素鋼 (SS400)					 取り外し時に脆れた
溶融アルミめっき					
溶融亜鉛めっき				 斑点状の鋼素地腐食確認	 めっき層完全に無い
合金めっき (5%Al-Zn)					 一部で鋼素地露出確認
特殊鋼材 (SUS304)					

海水シャワー試験（付着物除去後の外觀）裏側

	試験前	6ヶ月	1年	1.8年	6.9年
炭素鋼 (SS400)					金属部なし (完全に腐食して鉄スケールのみとなっていた。)
溶融アルミめっき					1.8年時とほとんど変化なし。良好。
溶融亜鉛めっき					めっき層完全に無く、鋼素地が腐食 斑点状の鋼素地腐食確認
5%Al-Zn合金めっき					一部で鋼素地露出確認
特殊鋼材 (SUS304)					細かい腐食跡あるが腐食量は小さい。 良好。

海水シャワー試験（顕微鏡断面写真）裏側 最も腐食が進んでいる箇所

	試験前	6ヶ月	1年	1.8年	6.9年
炭素鋼 (SS400)					
溶解アルミめっき					
溶解亜鉛めっき					
合金めっき (5%Al-Zn)					
特殊鋼材 (SUS304)					

5.3 評価  
海水シャワー試験 (評価)

	6ヶ月	1年	1.8年	6.9年
炭素鋼 (S4400)	試験前 試験材サイズ(mm) : 85×180×3.2 t めつき厚さ : アルミ層 0.090(mm) Al-Fe 合金層 0.12(mm) 銀白色で錆色が強い部分と白色が強い部分と斑に存在する。	評価 : X 腐食量 : 2279.6(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.59(mm/y) 全面に多量の鉄スケールが覆い、錆の付着も認められる。それらを除去すると腐食が甚だしく、一目で分かる減肉があり、アバタ状を呈している。	評価 : X 腐食量 : 3948.7(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.50(mm/y) 6ヶ月後と比べ更に腐食は進み、付着物除去後の鋼菜地の肉厚も薄くなっている。	評価 : XX 腐食量 : *不明 腐食速度 : *不明 完全に腐食し鋼菜地部無し。鉄スケールで試験片の形を成していた。取り外し時に2枚は崩れ落ちた。*既に鋼菜地が無い為、腐食量及び腐食速度は不明。
溶解アルミめつき	試験前 試験材サイズ(mm) : 85×180×3.2 t めつき厚さ : アルミ層 0.090(mm) Al-Fe 合金層 0.12(mm) 銀白色で錆色が強い部分と白色が強い部分と斑に存在する。	評価 : O 腐食量 : 5.7(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.0042(mm/y) 黒色や茶色の錆が付着しているが、その付着物を除去すると、大部分のアルミ層は残存している。一部で Al-Fe 合金層の露出が見られたが、鋼菜地の露出は認められない。良好な状態である。	評価 : O 腐食量 : 10.5(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.0038 (mm/y) アルミニウムの白錆が認められ、Al-Fe 合金層の露出面積も少し広がった。しかし、鋼菜地の露出は認められない。良好な状態である。	評価 : O 腐食量 : 21.6(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.0012(mm/y) 黒色の錆で覆われ、白錆が認められる。Al-Fe 合金層の露出面積は 1.8 年時と殆ど変化なく、鋼菜地の露出も認められない。また、腐食速度は減少傾向である。良好な状態である。
溶解亜鉛めつき	試験前 試験材サイズ(mm) : 85×180×3.2 t めつき厚さ : 0.065(mm) やや青みがかかった銀色の金属光沢でスパングルがある	評価 : O 腐食量 : 105.0(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.090 (mm/y) 金属光沢はなくなり亜鉛の白錆により灰色になっていくが、亜鉛層は残存しており、鋼菜地の露出も認められない。良好な状態である。良好な状態である。	評価 : X 腐食量 : 210.8(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.029 (mm/y) 亜鉛の白錆と薄い黄褐色の物質が付着している。それらを除去すると灰黒色を呈しているが、鋼菜地の露出は認められない。良好な状態である。	評価 : X 腐食量 : *不明 腐食速度 : *不明 全面鉄スケールで覆われている。それを除去すると、めつき層は完全に無い。鋼菜地の腐食もかなり進み、減肉が目で見られる。*既に鋼菜地腐食が甚だしい為、めつきの腐食量及び腐食速度は不明である。
合金めつき (5%Al-Zn)	試験前 試験材サイズ(mm) : 85×180×3.2 t めつき厚さ : 0.050~0.095(mm) 白っぽい中に青みがかかった黒色の斑点がある。	評価 : O 腐食量 : 76.5(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.028(mm/y) 全体的に灰黒色~灰色に変化しているが、めつき層は残存しており、鋼菜地の露出も認められない。良好な状態である。	評価 : O 腐食量 : 115.2(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.017 (mm/y) 亜鉛の白錆と薄い黄褐色の物質が付着している。それらを除去すると灰黒色を呈し、黒色の腐食も認められる。しかし、鋼菜地の露出は認められない。良好な状態である。	評価 : Δ 腐食量 : 227.9(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.0049(mm/y) 黒色の錆で覆われ、白錆が認められる。また、めつき層が剥がれたような箇所が多数認められ、鋼菜地が露出している。ただし鋼菜地腐食は認められない。
特殊鋼材 (SUS304)	試験前 試験材サイズ(mm) : 85×180×2 t 一様に銀灰色を呈している。	評価 : O 腐食量 : 0.4(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.00010(mm/y) 黒色の錆が広く付着し、黄褐色の錆が認められる。それらを除去すると全面に細かい腐食跡が認められるもの、顕著な腐食は認められない。良好な状態である。	評価 : O 腐食量 : 0.7(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.000083(mm/y) 全面に黄褐色の錆が認められる。それらを除去すると全面に細かい腐食跡や小さな孔食跡が認められるもの、顕著な腐食は認められない。良好な状態である。	評価 : O 腐食量 : 8.8(g/m <sup>2</sup> ) 腐食速度 : 0.000016(mm/y) 黒色の錆が多く付着している。また 1.8 年時より腐食跡が多く認められ、やや孔食傾向である。腐食速度は増加傾向であるが、腐食量はまだまだ小さい。良好な状態である。

\* 評価 : O = 鋼菜地の露出は認められない。 Δ = 鋼菜地の露出は認められるが、腐食は認められない。 X = 鋼菜地の腐食が認められる。 XX = 鋼菜地が完全にスケール化している。