永久保存

ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3545号

土木研究所資料

ダム施設における鋼構造物の防食に関する調査報告書（その２）

－アルミニウム合金材料の適用性に関する試験－

平成10年３月

建設省土木研究所材料施工部化学研究室
建設省東北地方建設局道路部機械課

Copyright©(1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3545号　1998年3月

ダム施設における鋼構造物の防食に関する調査報告書（その2）

－アルミニウム合金材料の適用性に関する試験－

建設省土木研究所
10.6.10
図書館

土木研究所材料施工部
化学研究室　室　長　明嵐政司
主任研究員　守屋　進
東北地方建設局道路部
機械課　課　長　池田八郎
課長補佐　阿部新治

要　旨

ダム施設の鋼構造物のメンテナンスを簡易化することが求められており，防食技術を確立することが求められている。

本報告書は，耐食材料としてアルミニウム合金材料をダム施設に適用するため必要な基本的な耐食性を明らかにすることを目的として行った室内試験及び屋外暴露試験結果をとりまとめたものである。

キーワード：ダム施設，耐食材料，アルミニウム合金材料，室内試験，屋外暴露試験

まえがき

ダム施設は、洪水調整や灌漑用水・飲料水の確保並びに発電など多目的に河川水を有効利用したり制御するための重要な施設である。

ダム施設の鋼構造物は、水を制御したり利用するための重要な設備であり、複雑な構造をした多くの部材で構成されているものが多く、機能を維持するためのメンテナンスも施設の運用上、限られた期間に行うことが求められなど制約条件も多い。

このため、ダム施設では早くからメンテナンスを軽減するため他の土木構造物よりステンレス材料などの耐食材料が比較的多く使用されている。

しかしながら、ステンレス材料は適切に使用しないとかえって周囲の鋼構造物などに悪影響を与えてしまう場合や、ステンレス材料が腐食することもあることが明らかとなってきた。すでに、ステンレス材料の利用実態を調査（土木研究所資料第２９０９号）し、ステンレス材料の淡水環境における腐食挙動（土木研究所資料第３１６５号）を明らかにし、ステンレスクラッド鋼をダム施設に適用するためのマニュアル（案）（土木研究所資料第３１５６号）を提案している。

本報告は、ステンレス材料以外の耐食材料としてアルミニウム合金材料をダム施設に適用するための、アルミニウム合金材料の淡水域・汽水域における腐食挙動を明らかにするために行った室内試験及び暴露試験の中間結果をとりまとめたものである。

目　　次

まえがき
1. 室内試験 …… 1
1.1 すき間腐食試験 …… 1
1.1.1 試験方法 …… 1
1.1.2 試験結果 …… 2
1.1.3 まとめ …… 2
1.2 塗装材促進腐食試験 …… 6
1.2.1 試験方法 …… 6
1.2.2 試験結果 …… 7
1.2.3 まとめ …… 19
1.3 異種金属接触腐食試験 …… 20
1.3.1 試験方法 …… 20
1.3.2 試験結果 …… 21
1.3.3 まとめ …… 36
1.4 分極測定 …… 37
1.4.1 試験方法 …… 37
1.4.2 試験結果 …… 37
1.4.3 まとめ …… 38
1.5 接合体の電位分布試験 …… 42
1.5.1 試験方法 …… 42
1.5.2 試験結果 …… 43
1.5.3 まとめ …… 44
1.6 定電位電解試験 …… 45
1.6.1 試験方法 …… 45
1.6.2 試験結果 …… 46
1.6.3 まとめ …… 47
2. 淡水暴露試験 …… 54
2.1 試験方法 …… 54
2.2 調査結果 …… 72
2.3 まとめ …… 99
3. 汽水暴露試験 …… 103
3.1 試験方法 …… 103

3.2 調査結果 ……122
3.3 まとめ ……160
4. 大気暴露試験 ……161
4.1 江戸川暴露試験 ……161
4.1.1 試験方法 ……161
4.1.2 調査結果 ……167
4.1.3 まとめ ……169
4.2 親不知暴露試験 ……180
4.2.1 試験方法 ……180
4.2.2 調査結果 ……194
4.2.3 まとめ ……211
4.3 ワイヤーオンボルト試験 ……213
4.3.1 試験方法 ……213
4.3.2 調査結果 ……214
4.3.3 まとめ ……220
5. 腐食文献調査 ……221
5.1 調査結果 ……221
6. まとめ ……256
7. 今後の課題 ……259

1. 室内試験

1.1 すき間腐食試験

淡水環境中におけるアルミニウム合金材料のすき間腐食特性に及ぼす塩素イオン濃度の影響を明らかにするため、ASTM　G78-89に準拠してすき間腐食試験を行った。

1.1.1 試験方法

(1)供試材

A5083P－O材(3.0×100×100mm)中央部に7.2mmφの穴

(2)試験片の調整

以下の手順で表面調整を実施した。

①溶剤脱脂(アセトン)　－　加工油の除去

②酸洗浄(30%硝酸、室温浸漬2分)　－　MgOの除去

③水洗(流水　30秒)

④アルカリエッチング(5%NaOH、60℃×1分)

⑤水洗(流水、30秒)

⑥酸中和(30%硝酸、室温浸漬2分)

⑦水洗(流水　5秒)

⑧純水洗(流水　5秒)

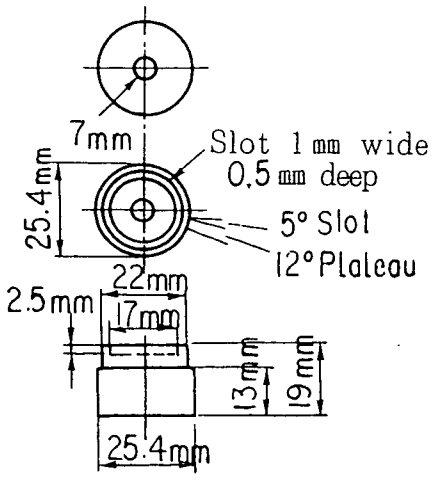
⑨乾燥(ドライヤー、温風)

⑩デシケータ保管(24時間以上)

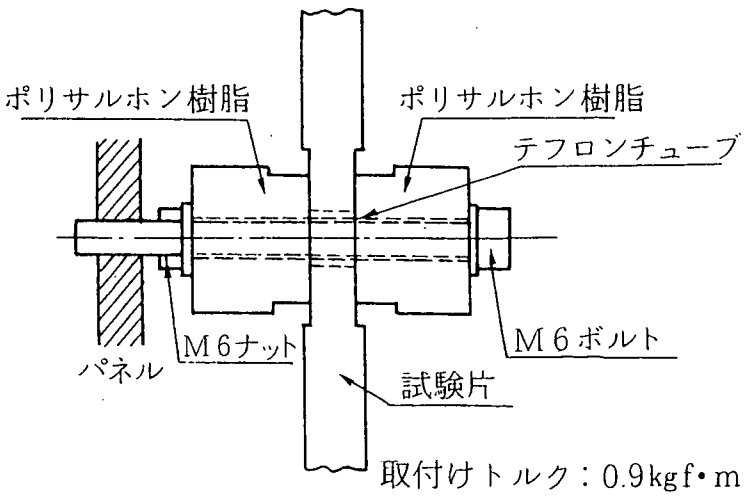
⑪重量測定(0.1mg単位まで測定)

(3)すき間形成材

すき間形成材は、ASTM G78-89に準拠する。すき間形成材は、ポリサルホン樹脂製で、その形状を図－1.1.1に示す。また、試験片の装着状況を図－1.1.2に示す。



図－1.1.1　すき間形成材



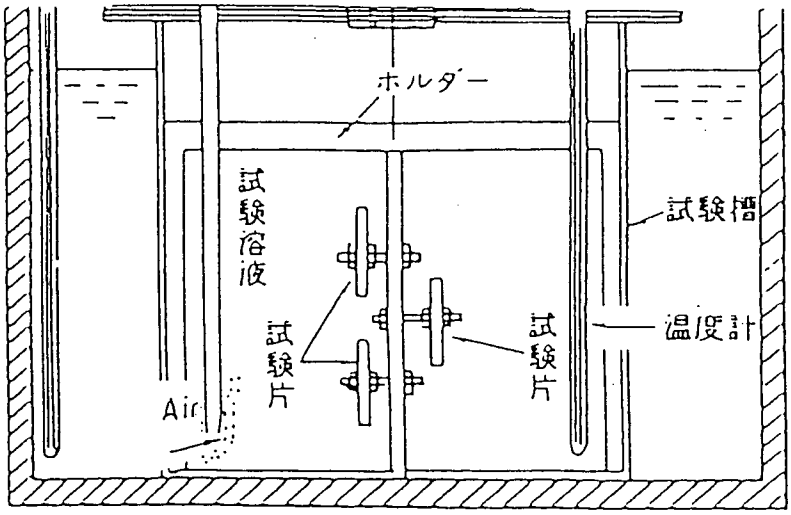
図－1.1.2　試験片装着状況

(4)すき間腐食試験条件

すき間腐食試験条件を表－1.1.1に示し、すき間腐食試験装置の概略図を図－1.1.3に示す。

表－1.1.1　すき間腐食試験条件

項　目	試験条件
溶液	塩素イオン濃度　：　20、200、2,000、20,000ppm(NaClを添加)
温度	30℃及び50℃
試験期間	1、3、6ヶ月
溶存酸素	空気飽和(バブリング)
すき間治具	材質　ポリサルホン樹脂
締め付けトルク	0.9kgf･m
溶液交換	1ヶ月ごとに更新
試験装置	図－1.1.1、図-1.1.2参照



図－1.1.3　すき間腐食試験装置の概略図

1.1.2 試験結果

試験片の重量減少、孔食深さ及びすき間部腐食深さの測定結果を表－1.1.2に示す。

試料の重量減少と腐食試験期間の関係を図－1.1.4に示す。

試料のすき間形成部位外の部位の孔食深さと試験期間の関係を図－1.1.5に示す。

すき間形成部の腐食深さを図－1.1.6に示す。

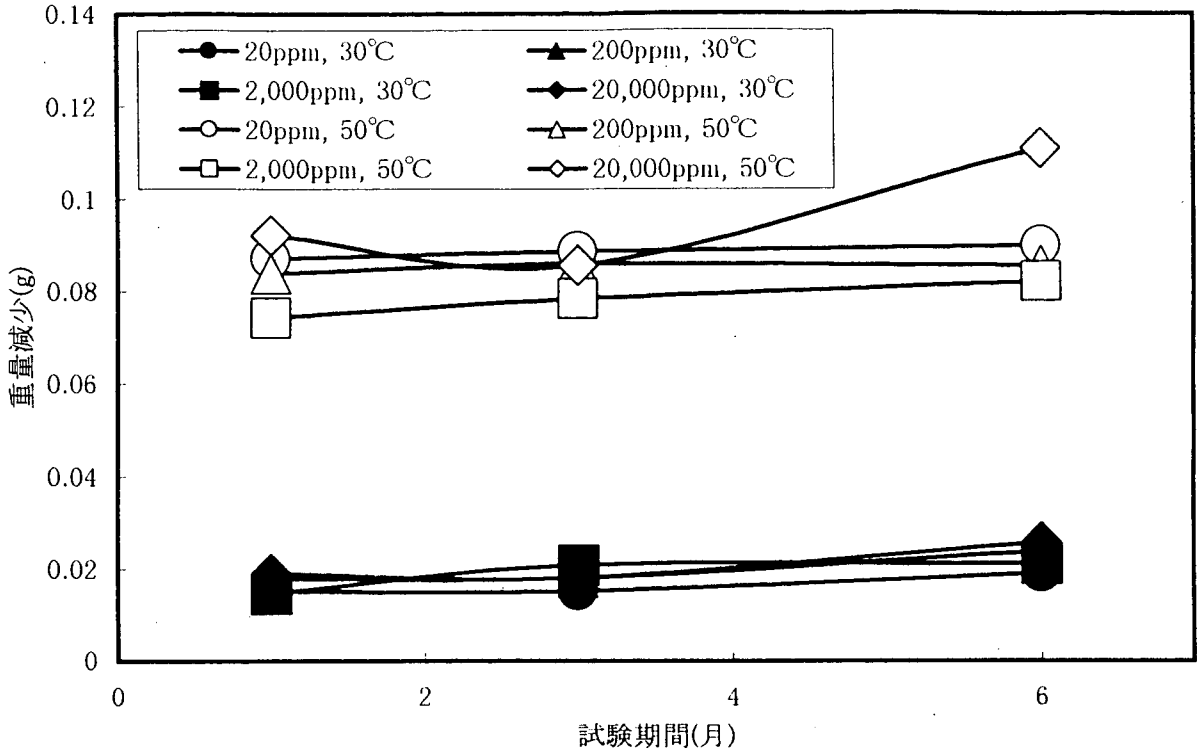
1.1.3 まとめ

各塩素イオン濃度20, 200, 2,000, 20,000ppm、温度30℃, 50℃、期間1, 3, 6ヶ月ですき間腐食試験を実施したが、すべての試験片ですき間腐食は観察されなかった。

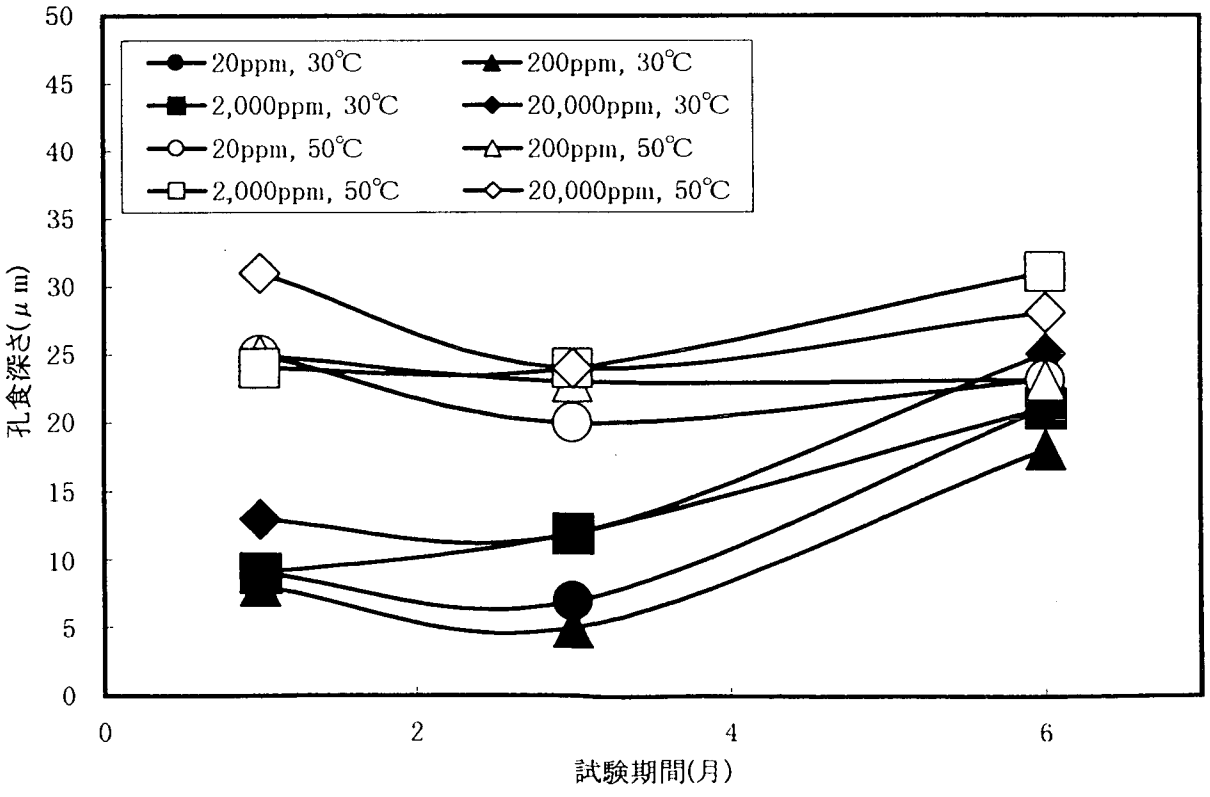
一方、実暴露試験(3.1.3参照)では，すき間腐食の発生が確認されており，すき間腐食には塩素イオン濃度以外の要因の影響が大きいと考えられる。

表－1.1.2　試験片の重量減少

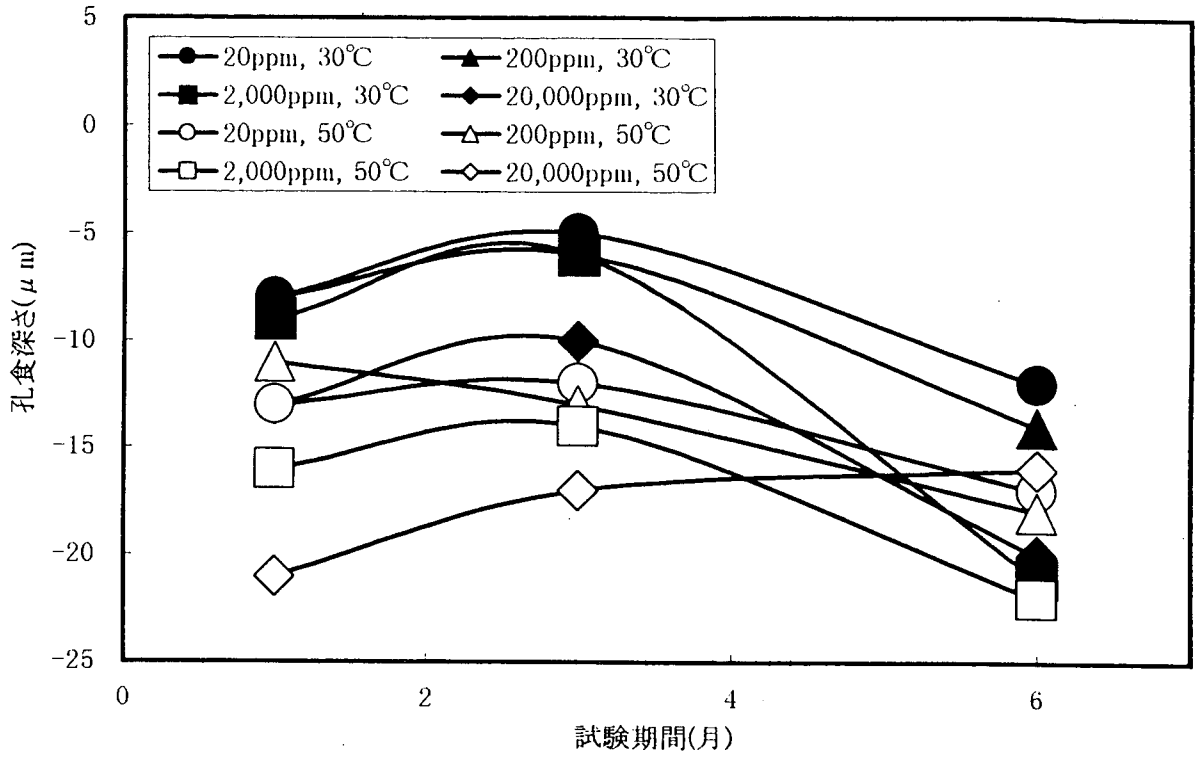
No.	試験条件			重量変化	隙間以外の孔食深さ10点測定(μm)		隙間部の孔食深さ10点測定(μm)	
	温度(℃)	塩素濃度(ppm)	期間(月)	(g)	平均孔食深さ(μm)	最大孔食深さ(μm)	平均孔食深さ(μm)	最大孔食深さ(μm)
1	30	20	1	0.0151	8	9	-6	-8
2	30	20	3	0.0153	6	7	-4	-5
3	30	20	6	0.0192	16	21	-9	-12
4	30	200	1	0.0180	6	8	-6	-8
5	30	200	3	0.0182	4	5	-6	-6
6	30	200	6	0.0239	15	18	-10	-14
7	30	2000	1	0.0147	7	9	-8	-9
8	30	2000	3	0.0210	9	12	-5	-6
9	30	2000	6	0.0213	17	21	-18	-21
10	30	20000	1	0.0191	8	13	-9	-13
11	30	20000	3	0.0182	7	12	-8	-10
12	30	20000	6	0.0259	19	25	-16	-20
13	50	20	1	0.0871	19	25	-9	-13
14	50	20	3	0.0887	17	20	-9	-12
15	50	20	6	0.0898	20	23	-13	-17
16	50	200	1	0.0839	20	25	-8	-11
17	50	200	3	0.0861	18	23	-10	-13
18	50	200	6	0.0855	19	23	-15	-18
19	50	2000	1	0.0743	19	24	-12	-16
20	50	2000	3	0.0784	20	24	-10	-14
21	50	2000	6	0.0820	26	31	-18	-22
22	50	20000	1	0.0922	27	31	-17	-21
23	50	20000	3	0.0857	20	24	-15	-17
24	50	20000	6	0.1109	25	28	-13	-16



図－1.1.4 隙間腐食試験における重量減少



図－1.1.5 隙間部以外の孔食深さ



図－1.1.6 隙間部の孔食深さ

1.2 塗装材促進腐食試験

河川・ダム施設に使用されるアルミニウム材料の耐食性に及ぼす塗装の効果を調査するため、A5083P-O材に各種の塗装を行い、それらの耐食性，塗膜密着性及び促進耐候性について試験調査を行った。

1.2.1 試験方法

(1) 供試材料

本試験では、評価面寸法が 70mm x 150mm の A5083P-O 材（板厚約 2.1mm）を供試材料として用いた。また、比較材料としては冷間圧延鋼板（SPCC）を用いた。

(2) 塗装前処理及び塗装仕様

表－1.2.1 に供試材料の代表的な塗装前処理および塗装仕様を示した。塗装仕様としては、アルミ用として一般的に用いられているもの，簡易種及び重防食系のものについても試験・調査した。

(3) 耐食性試験

塗膜に対してカッターナイフを用いて、素地金属に達する 1 辺 100mm のクロスカットを行った後、塩水噴霧試験（JIS Z 2371）を行った。試験期間は、1,000, 2,000 および 3,000 時間とし、試験後の試験片の状態を調査した。調査は、クロスカット部分からの腐食の形態及び程度（腐食幅），クロスカット部以外における塗膜のふくれ・はがれ・割れおよび腐食の発生等の観察を行った。

(4) 塗膜密着性試験

①初期（一次）密着性試験（JIS K 5400 の 6.15 参照）

塗膜面に 2mm の碁盤目 100 個を作り、碁盤目の上にセロハン粘着テープ（JIS Z 1522）を完全に密着させ、直ちにテープの一端を塗膜面に直角に保ち、瞬間的に引き離した後、完全にはがれずに残存した碁盤目の数を調べた。

表－1.2.1　供試材料の塗装前処理及び塗装仕様

No.	素材	前処理	下地処理	塗装種（膜厚μm）	特　徴
1	A5083	シンナー		エポキシ（ 80）＋ポリウレタン（ 10）	アルミ用仕様
2	〃	シンナー	ウオッシュプライマー	エポキシ（ 80）＋ポリウレタン（ 10）	
3	〃	シンナー	ノンクロメート	エポキシ（ 80）＋ポリウレタン（ 10）	
4	〃	シンナー	クロメート	エポキシ（ 80）＋ポリウレタン（ 10）	
5	〃	ブラスト		エポキシ（ 200）＋ポリウレタン（ 70）	厚膜
6	〃	シンナー	ウオッシュプライマー	エポキシ（ 200）＋ポリウレタン（ 70）	
7	〃	シンナー		エポキシ（ 80）＋ふっ素　（ 10）	ふっ素上塗り
8	〃	シンナー		エポキシ（ 200）＋ふっ素　（ 70）	
9	〃	ブラスト		エポキシ（ 200）＋ふっ素　（ 70）	
10	〃	シンナー	ウオッシュプライマー	エポキシ（ 200）＋ふっ素　（ 70）	
11	〃	ブラスト		ガラスフレークビニルエステル（ 70）	超厚膜
12	〃	ブラスト	ジンクリッチプライマー	ガラスフレークエポキシ　（ 700）	
13	〃	シンナー	ウオッシュプライマー	塩化ゴム（ 40）	簡易
14	〃	シンナー	ジンクリッチプライマー	エポキシ（ 200）＋ポリウレタン（ 40）	鉄鋼用
15	SPCC	ブラスト	ジンクリッチプライマー	エポキシ（ 200）＋ポリウレタン（ 40）	参考

②温水浸漬後の耐水密着性試験

試験片を40℃及び60℃の純水中に30日間浸漬した後、直ちに①と同様の試験を行った。

(5) 促進耐候性試験

サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機を用い、JIS K 5400 に示される方法で促進耐候性試験を行った。試験期間は、250, 500, 1,000, 2,000 および3,000時間とし、試験後の試験片の状態を調査した。調査は、肉眼でさび・ふくれ・はがれ・割れの有無および程度、色彩と光沢の変化等の観察を行った。また、色彩色差計及び光沢度計を用いて、試験片の試験前後の色彩と光沢度の変化を測定した。

1.2.2 試験結果

(1) 耐食性試験結果

塩水噴霧試験後の供試材料の外観・腐食状況を写真－1.2.1 に、また、クロスカット部分から発生した腐食幅（長さ）を測定した結果を表－1.2.2 に示した。塗装種が（エポキシ+ポリウレタン）および（エポキシ+ふっ素）において、前処理・下地処理が（シンナー+ウォッシュプライマー）の場合（No.2, 6, 10）は、他の下地処理に比べて腐食が軽微であった。一方、前処理・下地処理がシンナー（No.1, 8）、ブラスト（No.5, 9）、ノンクロメート（No.3）およびクロメート（No.4）の差異は、同一塗装種においてはそれほど大きくなく、糸さびやふくれが発生した。下地処理にウォッシュプライマーを用いずに塗装膜厚が厚い場合（No.5, 8, 9）には腐食幅が著しく大きくなり、必ずしも塗装を厚く塗る方が良いとは限らなかった。なお、クロスカット部分に発生した腐食部の断面状況を写真－1.2.2 に示したが、素地のアルミニウム材料の腐食は極めて軽微であった。従来多用されてきた塩化ゴム塗装（No.13）にはふくれは全く発生しなかったが、表面が著しく粉状に変質し、塗膜自体の耐塩水性が劣った。

アルミニウム材料と冷間圧延鋼板を比較すると、クロスカット部分からの腐食幅はアルミニウム材料の方が大きく測定される場合が多く見られたが、アルミニウム材料の場合はごく一部にふくれや糸さびが発生するのに対して、冷間圧延鋼板ではクロスカット部分の全長にわたって赤さびが盛り上がって発生しており、腐食状況は冷間圧延鋼板の方が明らかに顕著であった。

(2) 塗膜密着性試験結果

塗膜密着性試験後の供試材料の外観状況を写真－1.2.3 に、また、初期及び温水浸漬後の塗膜密着性試験で残存した碁盤目の数を測定した結果を表－1.2.1 に示した。初期密着性はいずれの塗装仕様のものも良好であった。ただし、ガラスフレーク入り超厚膜塗装の場合（No.11, 12）には塗膜が厚すぎるために碁盤目カット時に大きな応力がかかり、それによって塗膜層間はく離（上層の塗膜がはく離）が発生したため、本評価方法は適切ではないと考えられた。温水浸漬後の塗膜密着性は、下地処理としてウォッシュプライマーを用いた場合にふくれが発生しやすく、耐水密着性が劣る場合があった（No.2, 10）。なお、塩化ゴム塗装（No.13）は温水浸漬中に表面が著しく粉状に変質し、塗膜自体の耐水性が劣った。

(3) 促進耐候性試験結果

耐候性試験後の供試材料の外観状況を写真－1.2.4 に、また、光沢度保持率及び色彩・色差（ΔE）を測定した結果を表－1.2.3 に示した。耐候性は上塗り塗装の違いに依存し、ポリウレタン系塗装（No.1～4）よりもふっ素系塗装（No.7）の方が優れていた。

表－1.2.2　供試材料の塩水噴霧試験結果及び塗膜密着性試験結果

供試材料 No.	試験後の最大腐食幅（mm）			碁盤目残存数（個/100 個）		
	1000 時間後	2000 時間後	3000 時間後	初期・浸漬前	40℃浸漬後	60℃浸漬後
1	4.2	4.2	4.2	100	100	100
2	0	0	0	100	95*	40**
3	2.5	3.0	4.0	100	100	100
4	2.5	4.2	6.0	100	100	100
5	8.6	20.0	22.0	100	100	100
6	0	0	2.5	100	100	100
7	2.5	2.5	2.5	100	100	100
8	8.5	17.0	27.5	100	100	100
9	0	16.5	20.2	100	100	100
10	0	5.0	6.5	100	100**	100**
11	0	0	0	100	100***	100**,***
12	0	15.0	15.0	100	100***	100***
13	0*	0*	0*	100	100*	100*
14	6.0	6.0	6.0	100	100	100
15	2.0	2.5	3.5	100	99**	81**

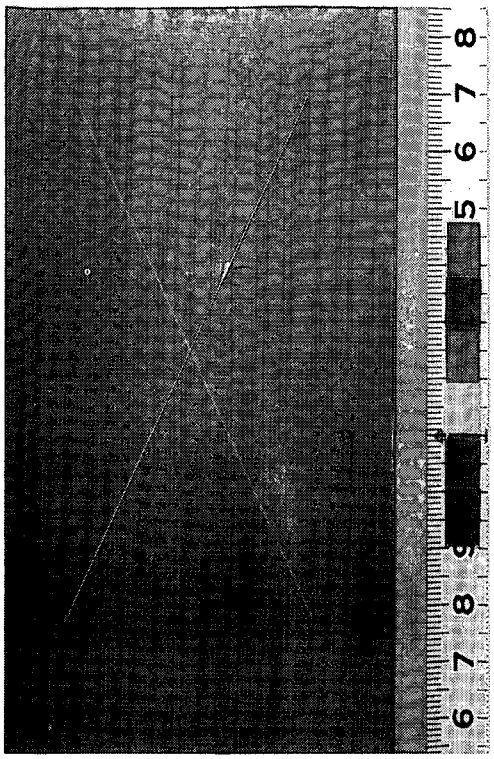
*：表面が粉状に変質した。

**：ふくれが発生した。

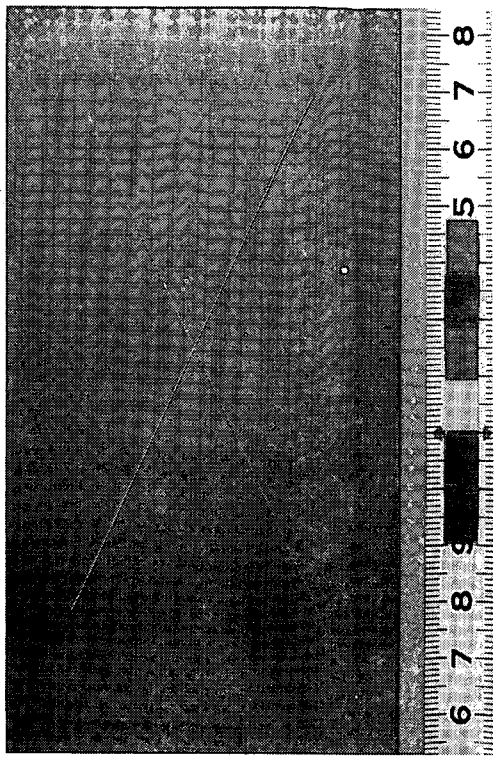
***：塗膜層間はく離あり。

表－1.2.3　供試材料の促進耐候性試験結果

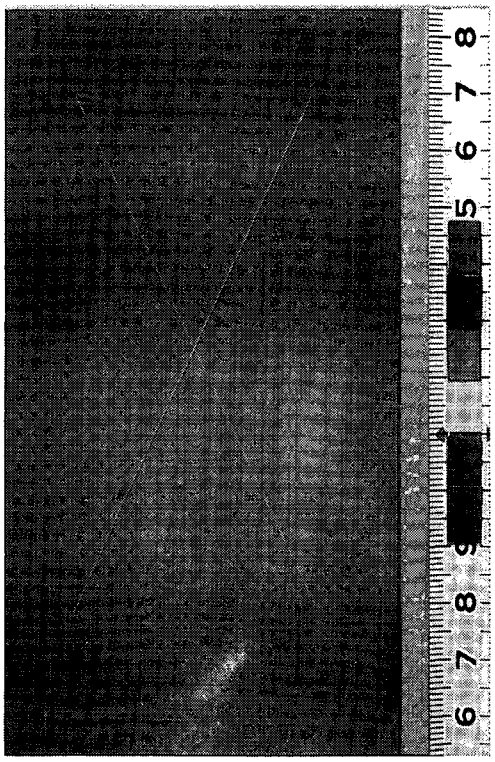
測定項目	供試材料 No.	試験期間（時間）				
		250	500	1,000	2,000	3,000
光沢度保持率（%）	1	94	90	76	53	43
	2	90	85	74	55	42
	3	96	90	76	55	56
	4	93	86	69	59	44
	7	93	84	82	81	79
	14	94	89	76	54	35
	15	95	89	75	57	38
色彩色差ΔE	1	0.6	0.8	3.1	3.8	7.8
	2	1.1	1.4	3.4	4.4	8.7
	3	1.1	1.1	3.4	3.8	7.8
	4	0.5	0.6	2.9	3.7	8.0
	7	1.3	1.4	2.8	3.7	4.8
	14	0.8	0.8	2.9	3.6	8.9
	15	0.9	0.9	2.9	3.8	9.3



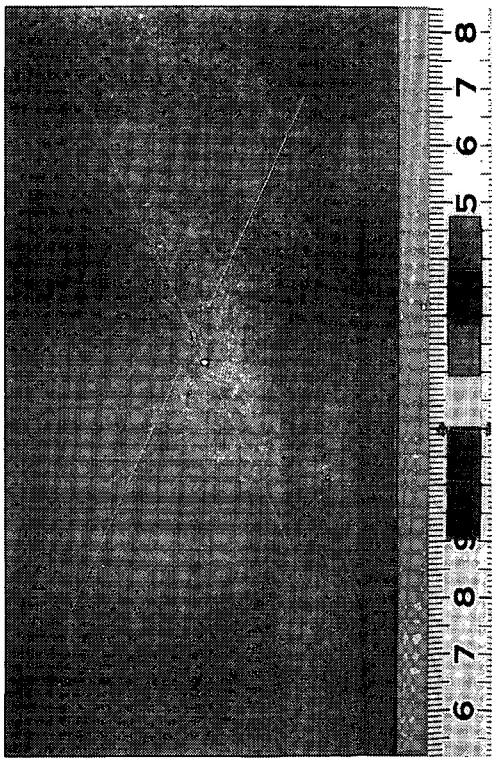
No.1（最大腐食幅：4.2 mm）



No.2（最大腐食幅：0 mm）

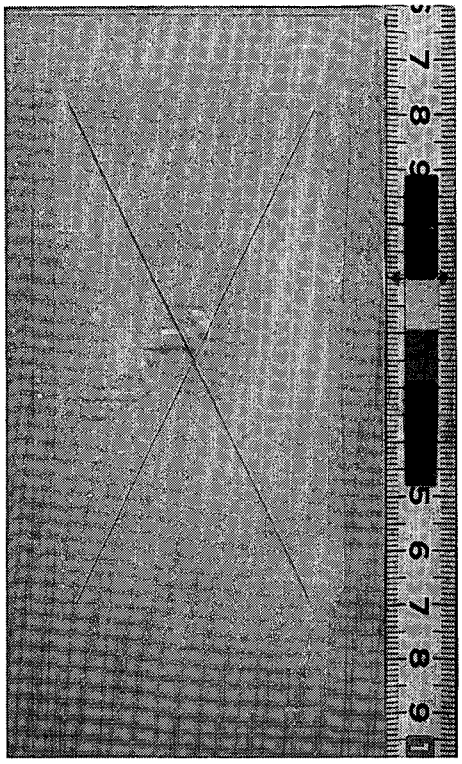


No.3（最大腐食幅：4.0 mm）

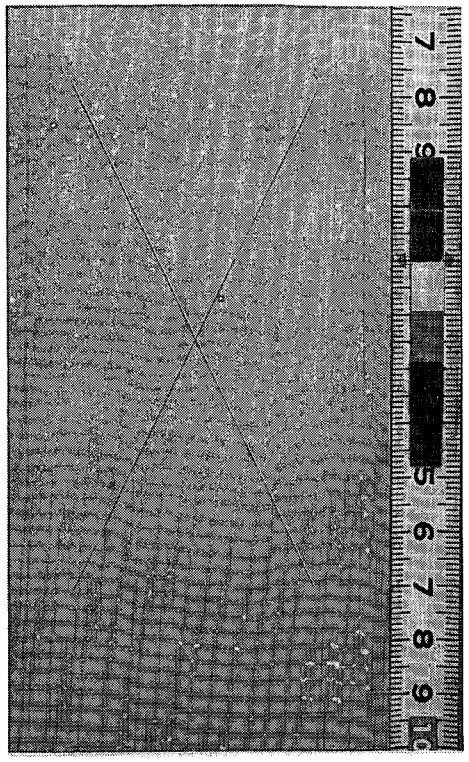


No.4（最大腐食幅：6.0 mm）

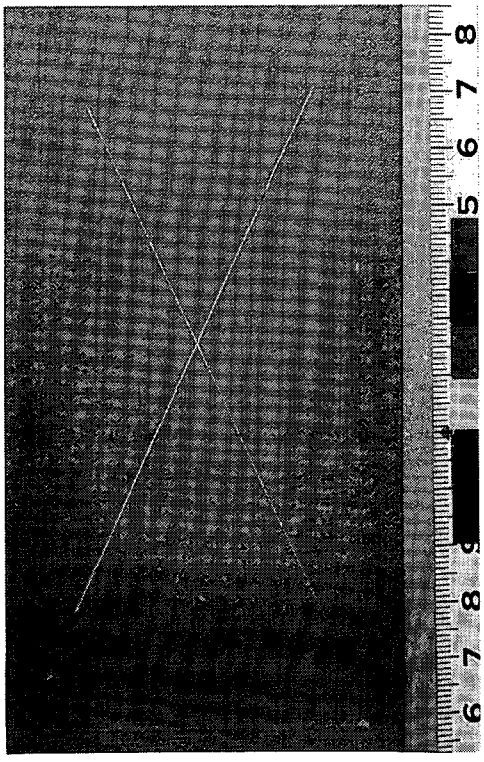
写真－1.2.1(1)　塩水噴霧試験 3,000 時間後の外観腐食状況



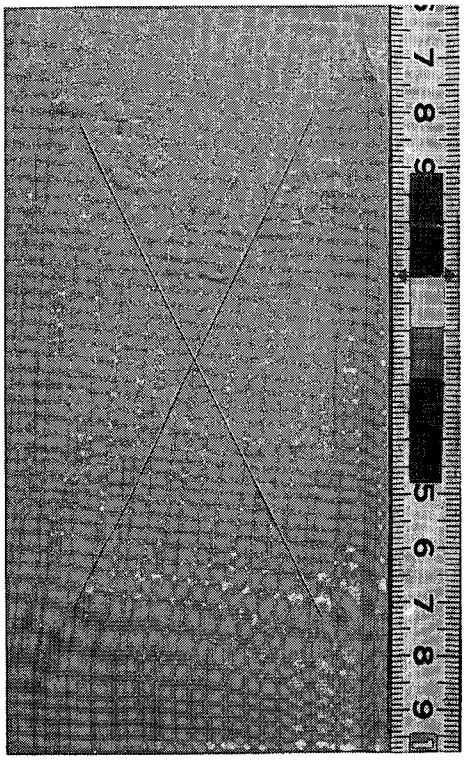
No.5（最大腐食幅：22.0 mm）



No.6（最大腐食幅：2.5 mm）

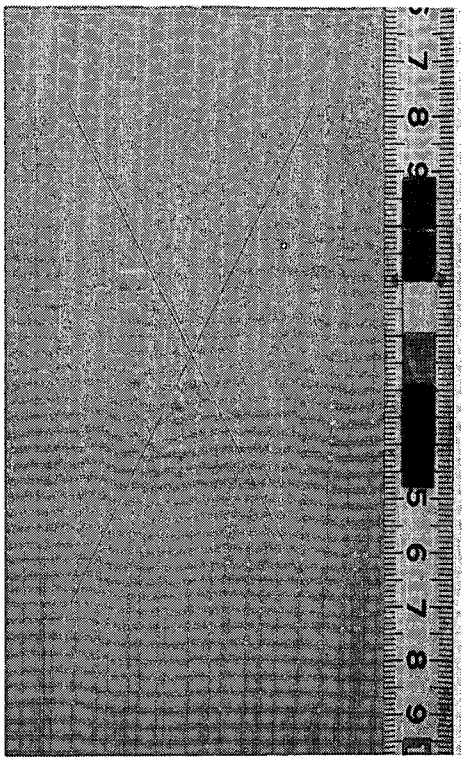


No.7（最大腐食幅：2.5 mm）

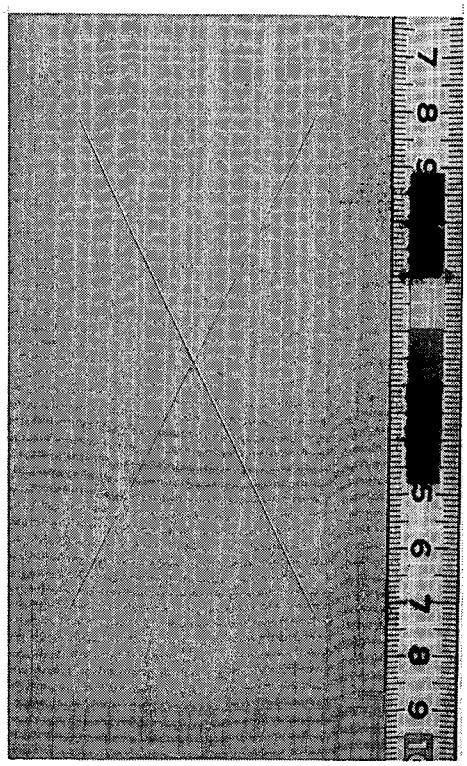


No.8（最大腐食幅：27.5 mm）

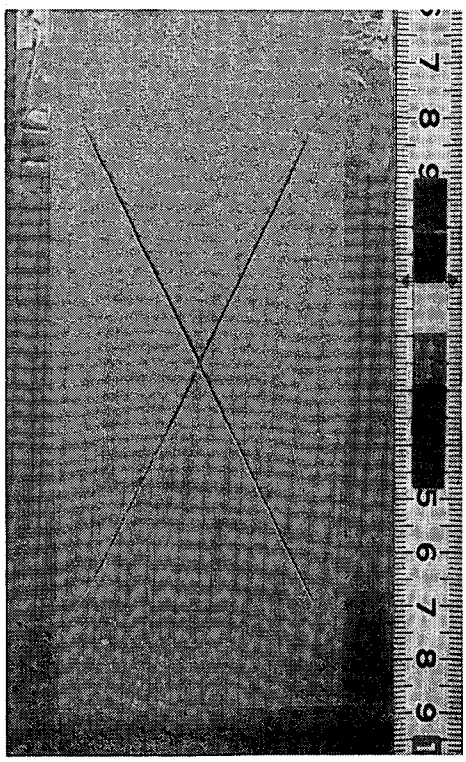
写真－1.2.1(2)　塩水噴霧試験 3,000 時間後の外観腐食状況



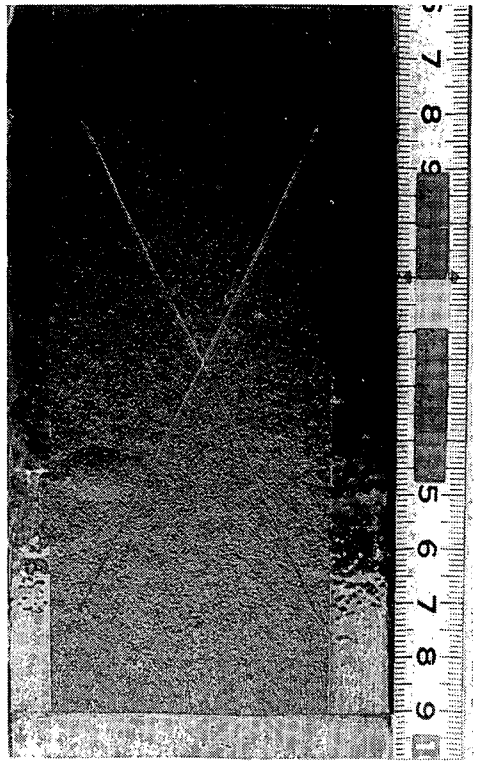
No.9（最大腐食幅：20.2 mm）



No.10（最大腐食幅：6.5 mm）

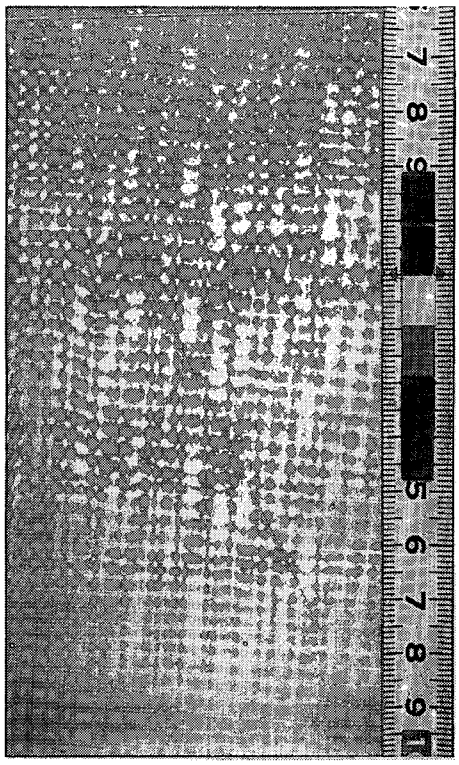


No.11（最大腐食幅：0 mm）

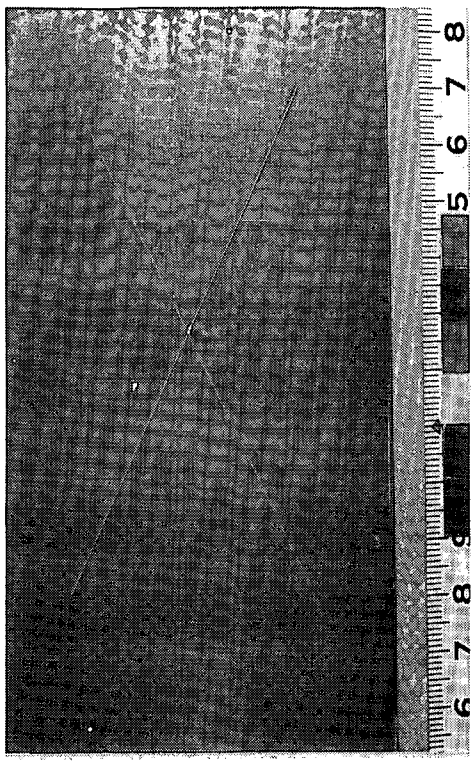


No.12（最大腐食幅：15.0 mm）

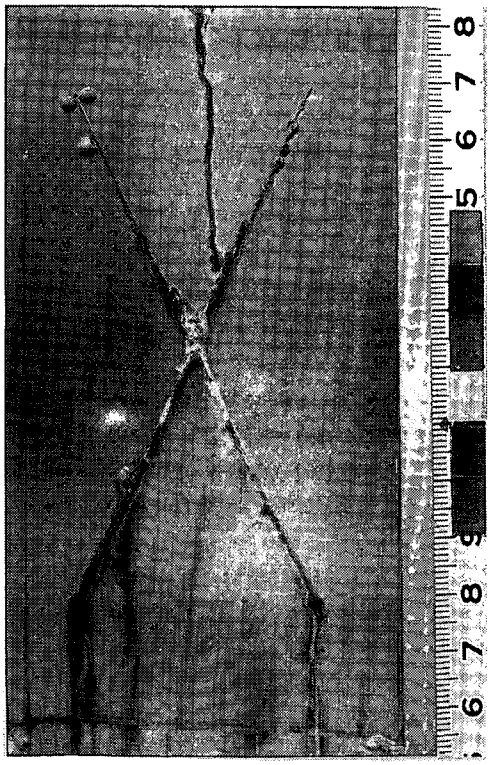
写真－1.2.1(3)　塩水噴霧試験 3,000 時間後の外観腐食状況



No.13（最大腐食幅：0 mm）

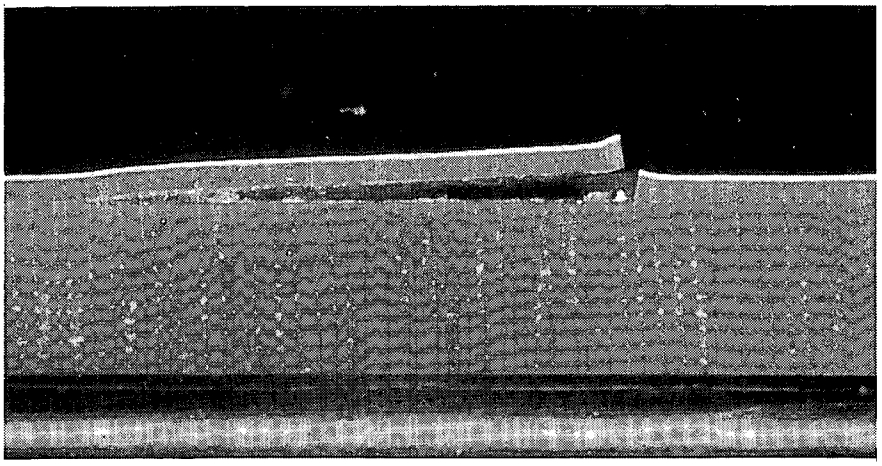


No.14（最大腐食幅：6.0 mm）

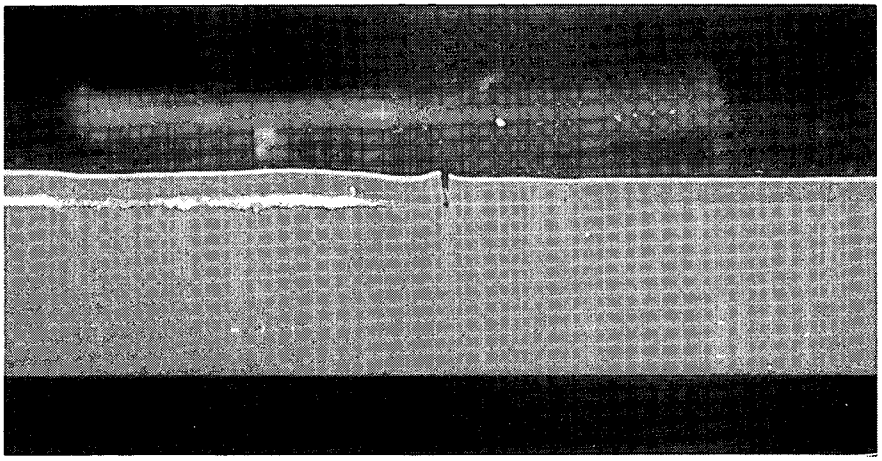


No.15（最大腐食幅：3.5 mm）

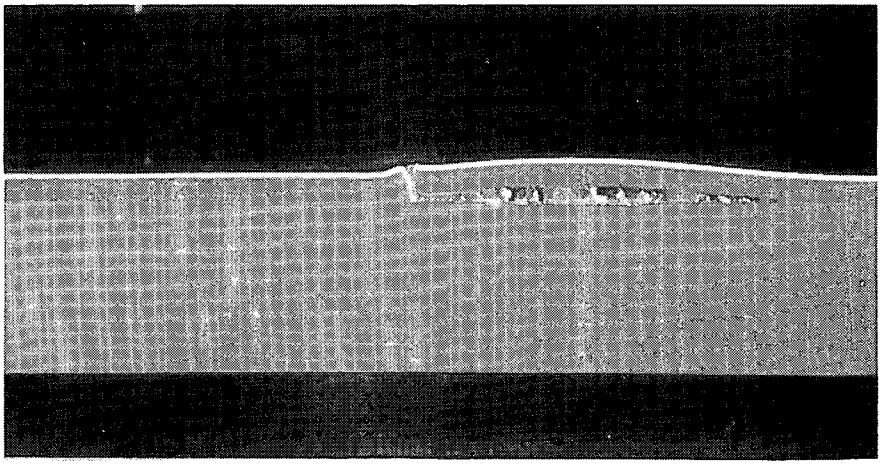
写真－1.2.1(4)　塩水噴霧試験 3,000 時間後の外観腐食状況



No.8（最大腐食幅：27.5 mm）



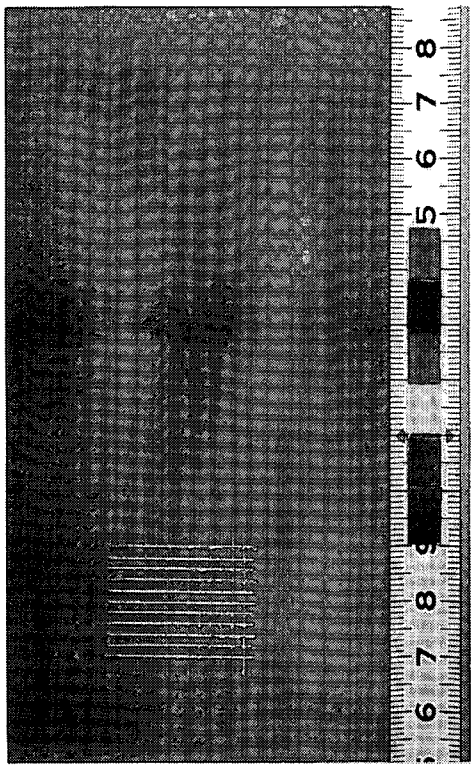
No.9（最大腐食幅：20.2 mm）



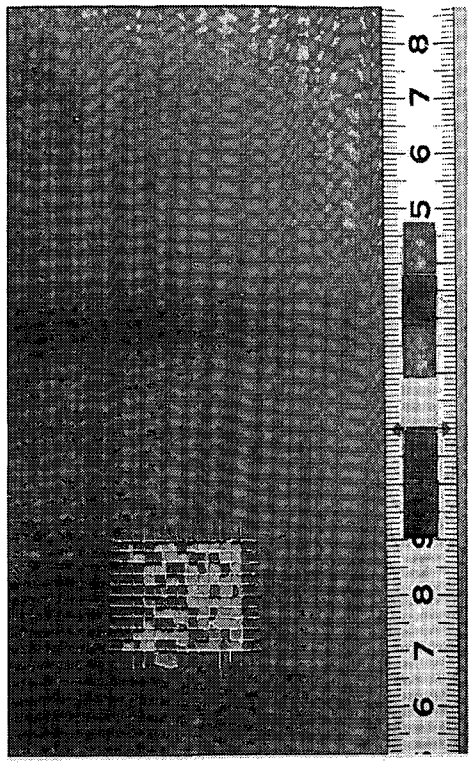
No.10（最大腐食幅：6.5 mm）

2 mm

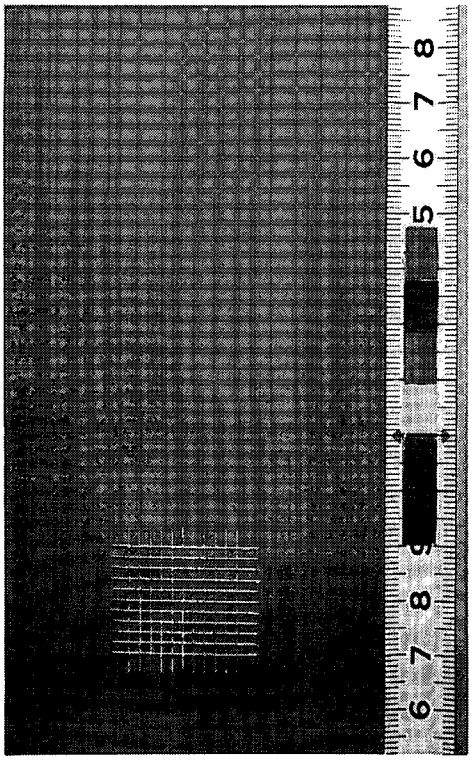
写真－1.2.2　塩水噴霧試験 3,000 時間後のクロスカット部分の腐食部断面状況



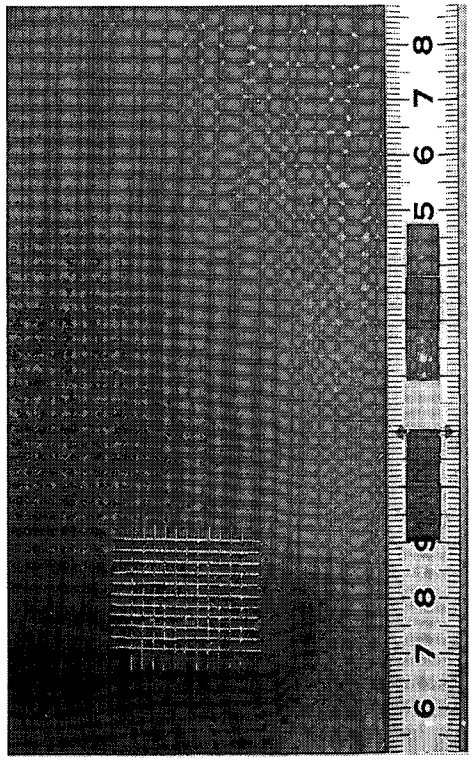
No.1（碁盤目残存数：100）



No.2（碁盤目残存数：40）

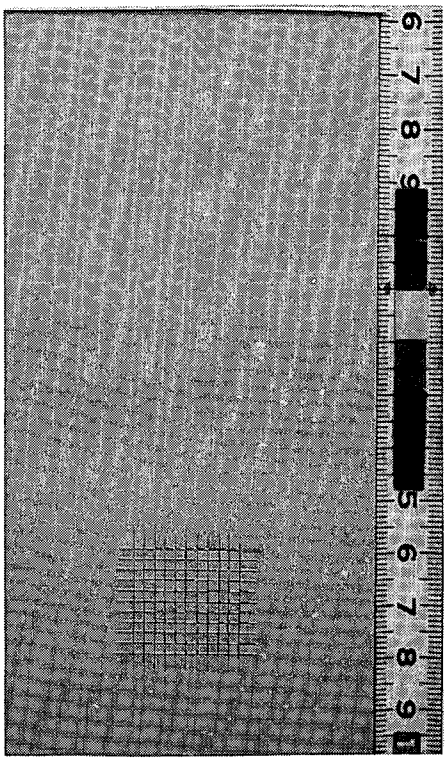


No.3（碁盤目残存数：100）

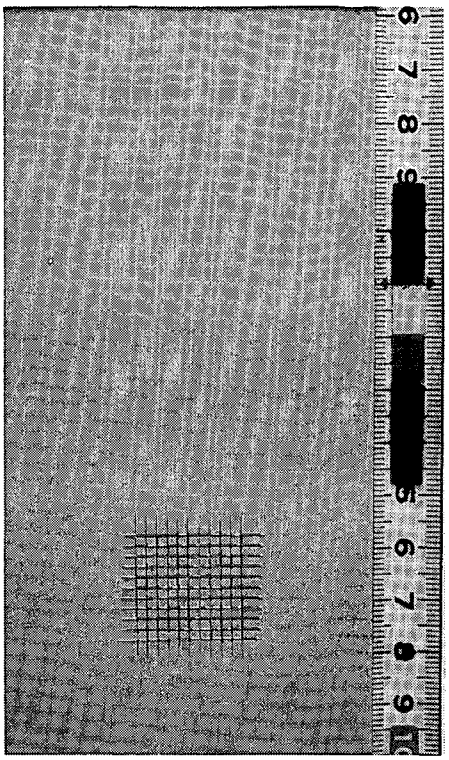


No.4（碁盤目残存数：100）

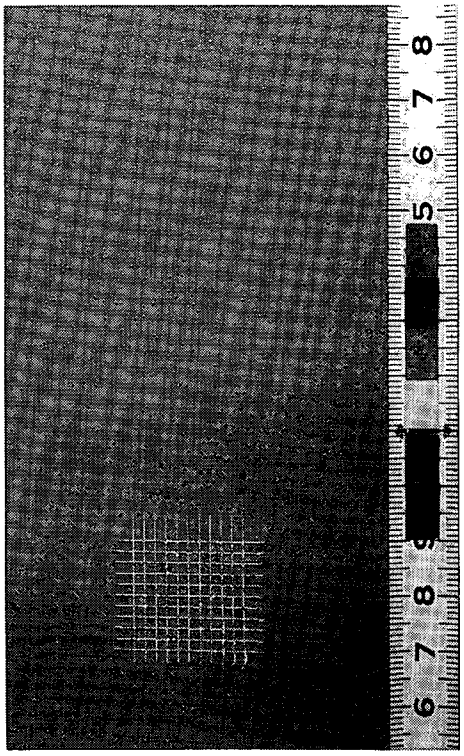
写真－1.2.3(1)　塗膜密着性試験後の外観状況（温水浸漬：60°C、30 日間）



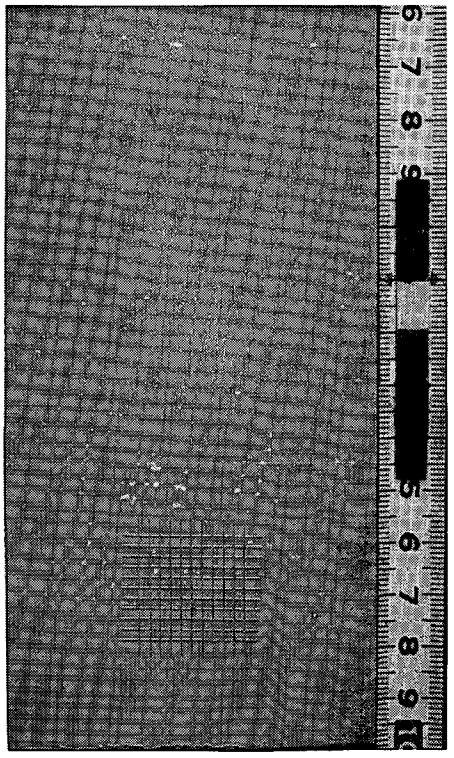
No.5（碁盤目残存数：100）



No.6（碁盤目残存数：100）

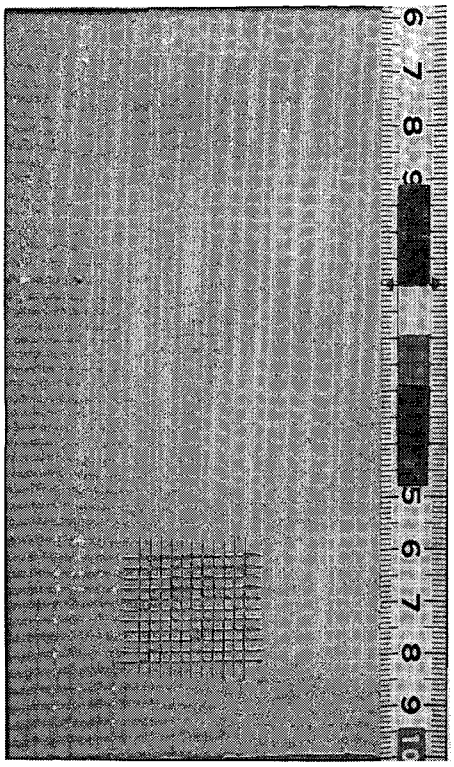


No.7（碁盤目残存数：100）

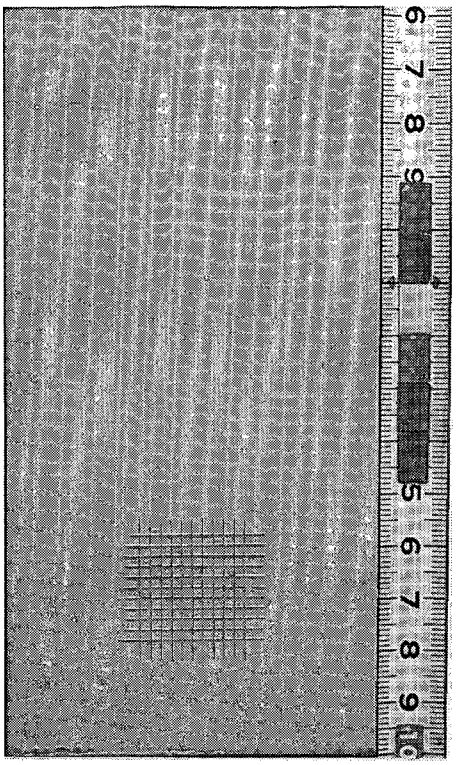


No.8（碁盤目残存数：100）

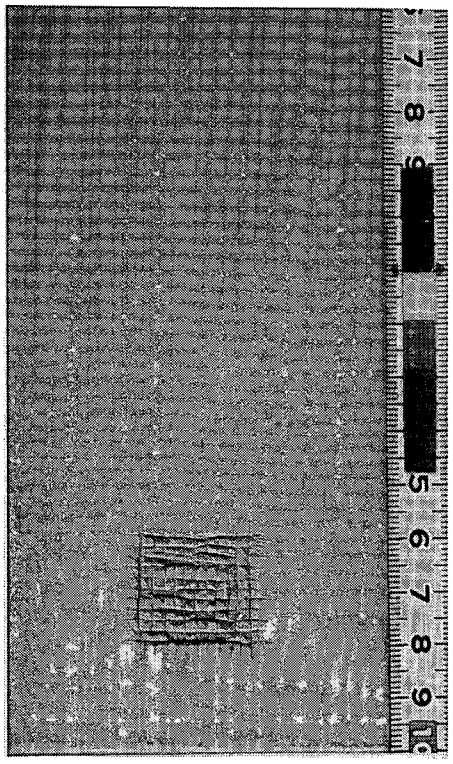
写真－1.2.3(2)　塗膜密着性試験後の外観状況（温水浸漬：60°C、30日間）



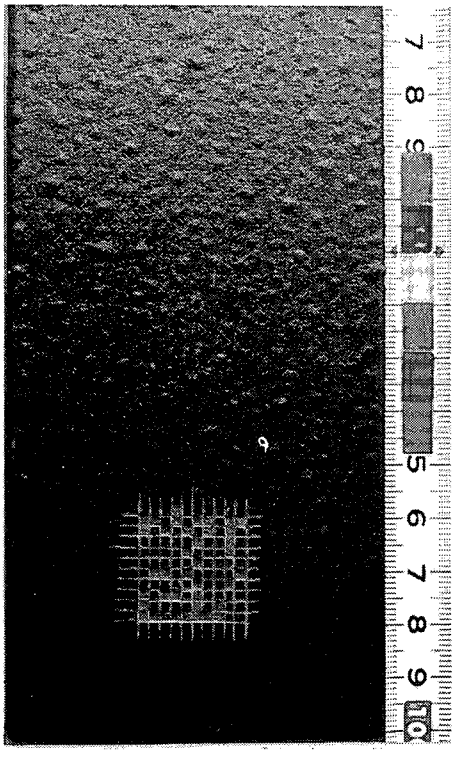
No.9（碁盤目残存数：100）



No.10（碁盤目残存数：100）

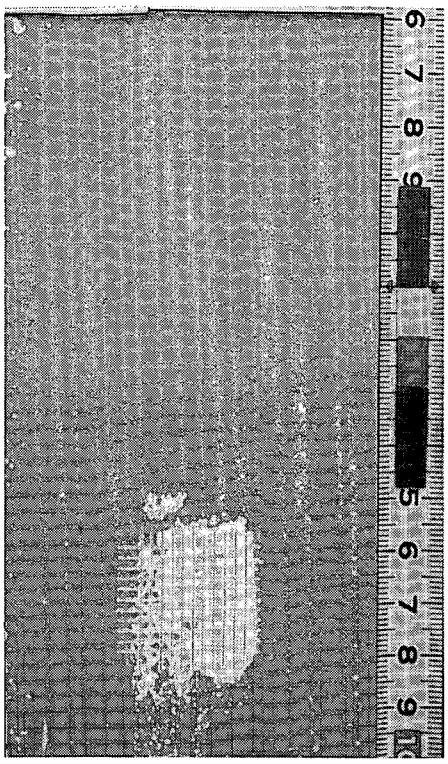


No.11（碁盤目残存数：100）

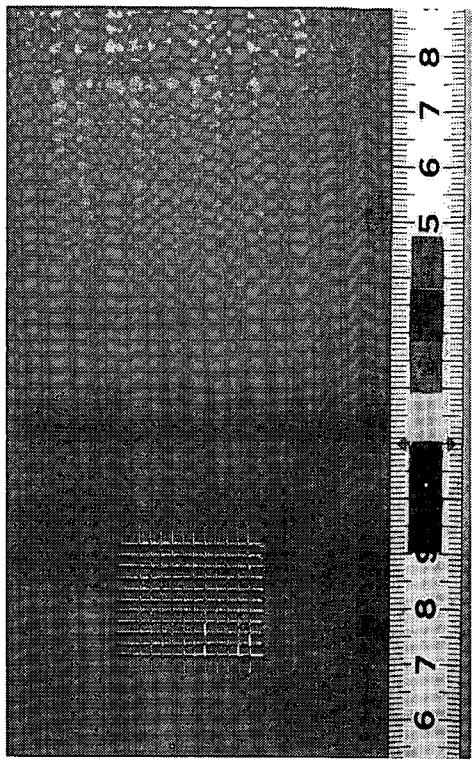


No.12（碁盤目残存数：100）

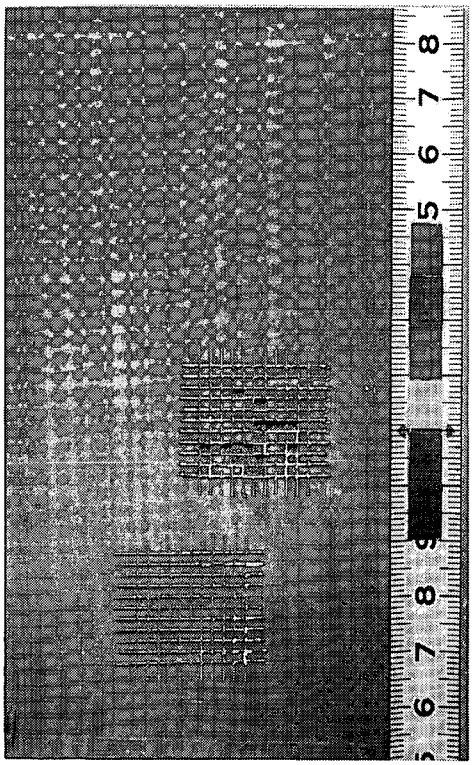
写真－1.2.3(3)　塗膜密着性試験後の外観状況（温水浸漬：60°C、30 日間）



No.13（碁盤目残存数：100）

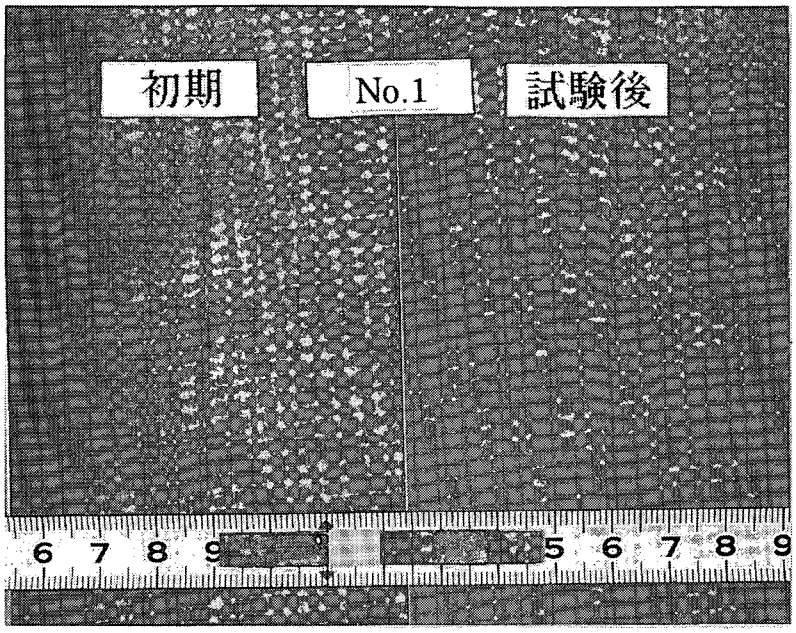


No.14（碁盤目残存数：100）

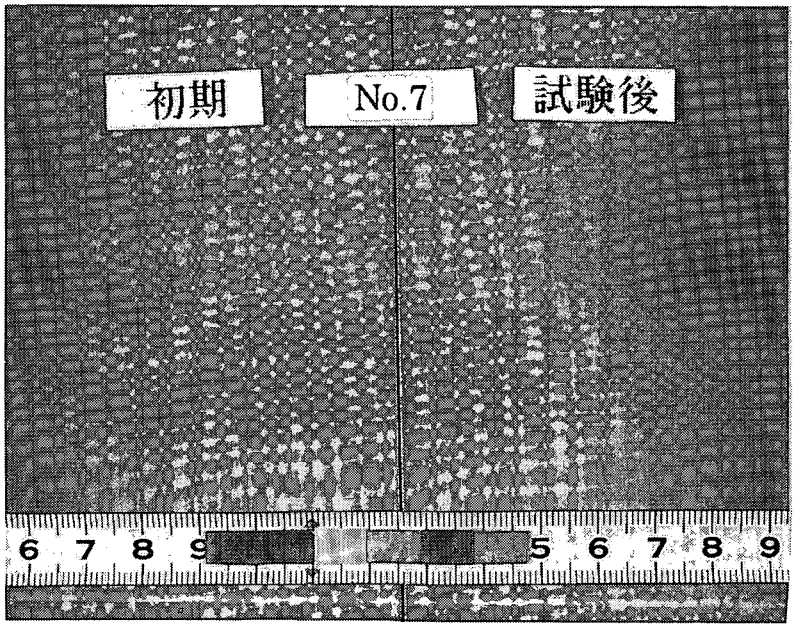


No.15（碁盤目残存数：81）

写真－1.2.3(4)　塗膜密着性試験後の外観状況（温水浸漬：60°C、30 日間）



No.1（光沢度保持率：43%、色差Δ E：7.8）



No.7（光沢度保持率：79%、色差Δ E：4.8）

写真－1.2.4　促進耐候性試験後の外観状況（初期及び3,000時間後）

1.2.3 まとめ

(1)下地処理をウォッシュプライマーとして塗装種をエポキシ系中塗り+ポリウレタン系上塗りとした場合には、塩水噴霧試験での耐食性が優れており、平常時に大気環境で使用される用途に対しては適切な塗装仕様と考えられる。

(2)特に耐候性が重視される用途には、ふっ素樹脂で上塗り塗装を施すことが適切と考えられる。

(3)冷間圧延鋼板と比較するとアルミニウム材料の腐食状況は軽微であった。

1.3 異種金属接触腐食試験

河川・ダム施設に使用されるアルミニウム材料の異種金属との接触状態での耐食性を調査するため、A5083P－O材を用い鋼材との接触腐食における塩素イオン濃度及びアノード／カソード面積比の影響について試験調査を行った。

1.3.1 試験方法

(1) 供試材料

アルミニウム材料としてA5083P－O材(板厚約2.0mm)を用いた。対極としては普通鋼板(SM400B、板厚約9.0mm)及びステンレス鋼板(SUS304、板厚約0.5mm)を用いた。また、マスキング剤としてはスチレン・ブタジエン・ゴム系樹脂を用いた。

(2) 前処理

1)アルミニウム材料

溶剤脱脂(アセトン拭き)＋酸洗浄(30%硝酸、室温×2分、浸漬)＋水洗(30秒、流水)＋アルカリエッチング(10%水酸化ナトリウム、60℃×1分、浸漬)＋水洗(30秒、流水)＋酸中和(30%硝酸、室温×2分、浸漬)＋水洗(30秒、流水)＋純水洗(5秒、流水)＋乾燥(温風)＋デシケータ保管(24時間以上)

2)鋼材

溶剤脱脂(アセトン拭き)＋酸洗浄(10%塩酸、室温×30秒、浸漬)＋水洗(30秒、流水)＋純水洗(5秒、流水)＋乾燥(温風)＋デシケータ保管(24時間以上)

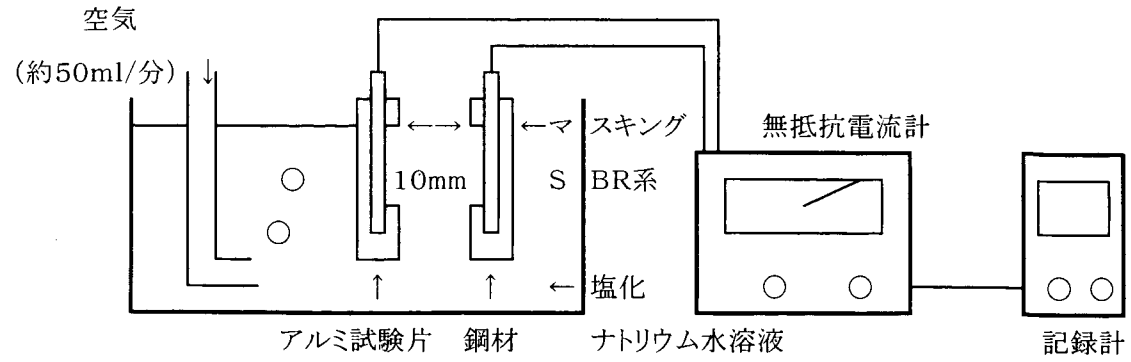
(3) 異種金属接触腐食試験

アルミニウム試験片と鋼材を導線で結び、試験液中に浸漬した。また、比較として各材料単体についても試験調査した。表－1.3.1に試験条件・調査項目および図－1.3.1に試験装置概略を示す。

表－1.3.1 試験条件および調査項目

アノード／カソード(アルミ材／鋼材)面積比		1(2.5cm²)／10(25 cm²) 10(25 cm²)／ 1(2.5cm²) 1(2.5cm²)／ 1(2.5cm²) 各供試材料単体(25 cm²)
テスト液条件	塩素イオン濃度	20, 200, 2, 000, 20, 000ppm (塩化ナトリウム水溶液)
	液温度	室温
	液量	1ﾘｯﾄﾙ
	液交換	2回／週(3、4日毎)
	溶存酸素	大気飽和(バブリング、約50ml／分)
テスト部極間距離		10mm
テスト期間		3ヶ月

腐食生成物除去	アルミ材	酸化クロム(20g)＋りん酸(35ml)＋純水＝1l 沸騰×5分、浸漬
	普通鋼	塩酸(1l)＋酸化アンチモン(20g)＋塩化第一錫(50g)、 (20～25℃)×(1～25分)、浸漬
	ステンレス鋼	硝酸(100ml)＋純水＝1l、 60℃×20分、浸漬
調査項目		・カップリング電流密度(無抵抗電流計) ・テスト部外観観察(テスト部接写) ・腐食減量(テスト前後重量差) ・孔食深さ(焦点深度法) ・孔食部断面観察(10倍顕微鏡写真)



図－1.3.1　試験装置概略図

1.3.2 試験結果

試験結果を表－1.3.2、塩素イオン濃度及びアノード／カソード面積比の影響を図－1.3.2～7並びに3ヶ月後のテスト部表面状態及び孔食部断面を写真－1.3.1～11に示した。

(1) 塩素イオン濃度の影響

1)全般

塩素イオン濃度が20～20，000ppmの範囲では全体的に見て塩素イオン濃度が高いほど、アルミニウム合金材料をアノードとするカップリング電流が増し、アルミニウム合金材料の腐食減量及び孔食深さ共に大きくなる傾向を示した。

2)対普通鋼

腐食状態は塩素イオン濃度が200ppmと2，000ppmの間で大きく変化した。塩素イオン濃度が200ppm以下の場合、アルミニウム合金材料と普通鋼の接触腐食よりも普通鋼自体の自己腐食が優先した。このため普通鋼のテスト面全体が赤錆に覆われ、その深さは数百μmに達した。塩素イオン濃度が2，000ppm以上では、普通鋼の赤錆発生は少なくなりテスト面に金属光沢が多く残ったが、接触腐食の影響は強くなりアルミニウム合金材料の腐食が激しくなった。2，000ppmの場合でも面積比がアルミニウム／普通鋼＝1／10の条件では普通鋼の赤錆発生が激しかった。

3)対ステンレス鋼

塩素イオン濃度が20～20，000ppmの範囲でステンレス鋼上に腐食の発生は無く、アルミニウムとステンレス鋼の電位差による接触腐食がアルミニウム合金材料に発生した。対普通鋼の場合と同様に塩素イオン濃度が200ppmと2，000ppmの間で腐食状態に変化が見られ、2，000ppm以上でアルミニウム合金材料は接触腐食の影響を受けた。

(2)アノード／カソード面積比の影響

1)対ステンレス鋼

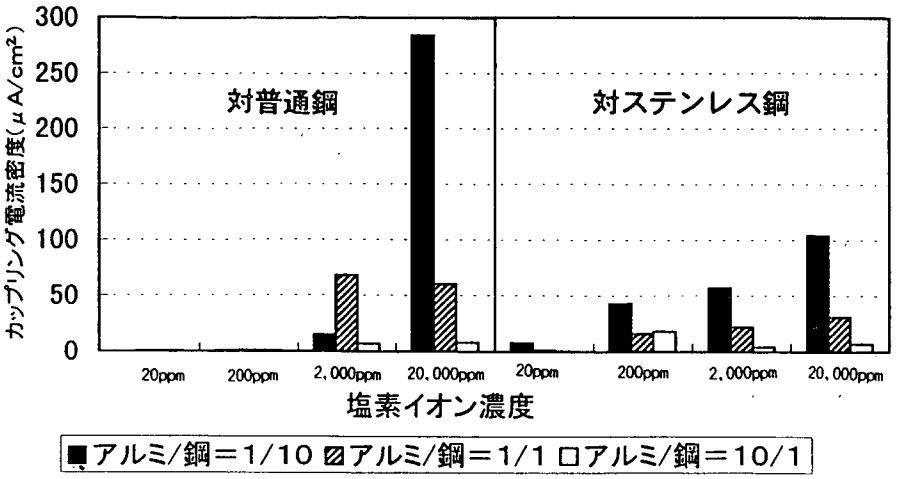
今回試験を行った塩素イオン濃度全領域で、アルミニウムの腐食減量及びカップリング電流密度はカソード面積比が大きいほど大きくなる結果を示した。しかし孔食深さについては塩素イオン濃度が2，000ppm以上では200ppm以下と異なり孔食深さの増加が認められた。

表－1.3.2　腐食減量、カップリング電流密度及び孔食深さ　測定結果

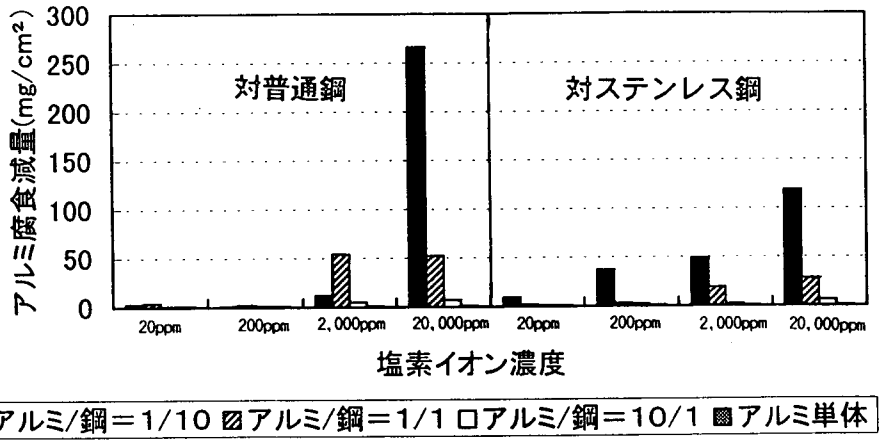
		アルミニウム材 ／ 普通鋼					アルミニウム材 ／ ステンレス鋼				
Cl^- 濃度 (ppm)	接触面積比 (Al/鋼)	腐食減量 (mg/cm^2)		カップリング電流密度＊	孔食深さ (μm) (Max./平均値(n=10))		腐食減量 (mg/cm^2)		カップリング電流密度＊	孔食深さ (μm) (Max./平均値(n=10))	
		Al材	鋼材	μA/cm^2	Al材	鋼材	Al材	鋼材	μA/cm^2	Al材	鋼材
20	1/10	3	53	－ 0.3	23/ 21	測定	9	1	7.8	166/ 114	発生
	1/ 1	4	84	0.3	122/ 68	不能	2	4	1.1	288/ 146	無し
	10/ 1	1	108	0.3	66/ 35	(全面	1	4	0.3	195/ 154	〃
200	1/10	1	70	0.4	56/ 38	腐食)	37	0	43	283/ 170	〃
	1/ 1	2	24	0.7	113/ 57	〃	3	0	16	105/ 74	〃
	10/ 1	1	23	0.6	267/ 145	〃	2	0	18	405/ 165	〃
2,000	1/10	12	72	15	557/ 474	〃	49	0	57	864/ 636	〃
	1/ 1	54	200	68	782/ 704	51/42	19	0	22	805/ 559	〃
	10/ 1	5	39	7	547/ 498	69/52	2	0	4	635/ 579	〃
20,000	1/10	266	20	284	1,608/1,394	57/51	119	0	104	831/ 728	〃
	1/ 1	52	117	60	786/ 700	65/56	28	0	31	651/ 585	〃
	10/ 1	7	110	8	385/ 368	75/65	6	0	7	391/ 368	〃

＊カップリング電流密度：8時間毎測定、3ヶ月平均値

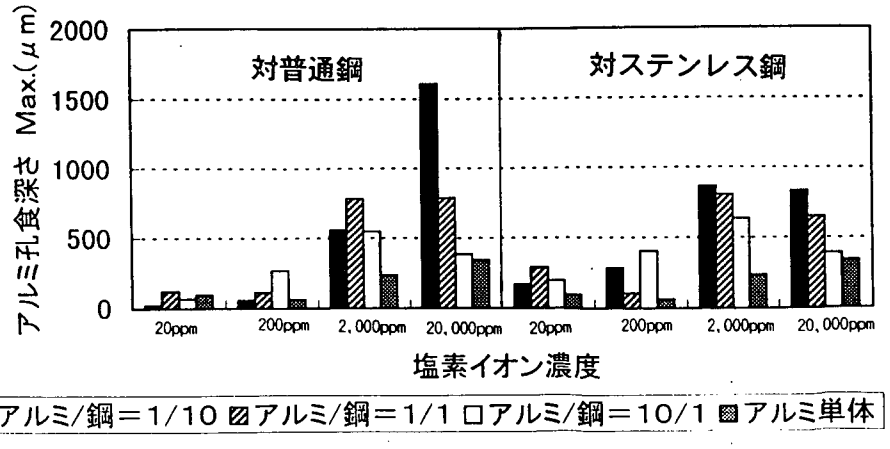
	アルミニウム材単体		普通鋼　単体		ステンレス鋼　単体	
Cl^-濃度 (ppm)	腐食減量 (mg/cm^2)	孔食深さμm Max/平均n=10	腐食減量 (mg/cm^2)	孔食深さμm Max/平均n=10	腐食減量 (mg/cm^2)	孔食深さμm Max/平均n=10
20	1	95/ 52	66	測定 不能	1	発生 無し
200	1	61/ 39	126	(全面腐食)	1	〃
2,000	1	235/112	80	〃	1	〃
20,000	1	342/189	84	〃	1	〃



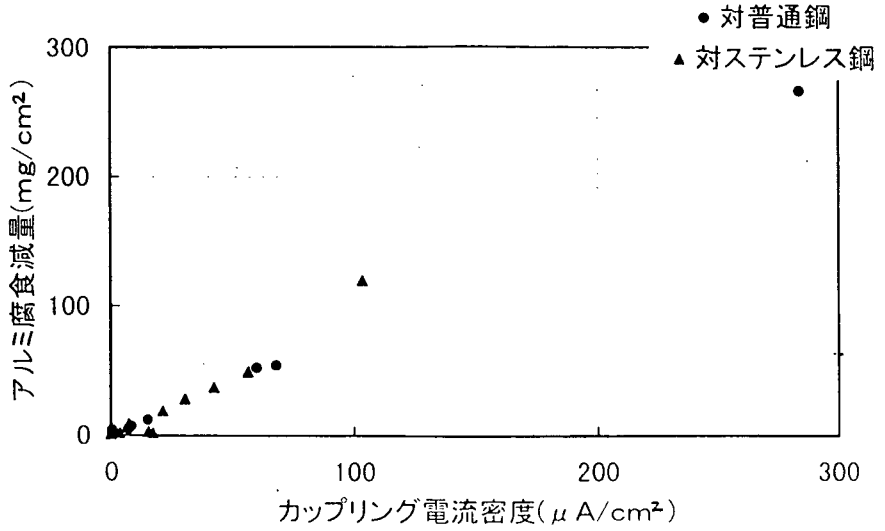
図－1.3.2 塩素イオン濃度、接触面積比と電流密度



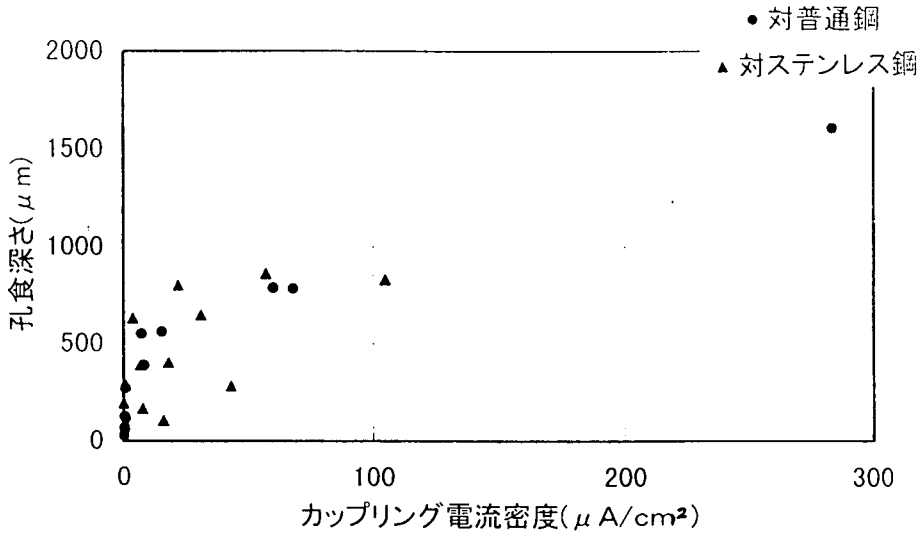
図－1.3.3 塩素イオン濃度、接触面積比と腐食減量



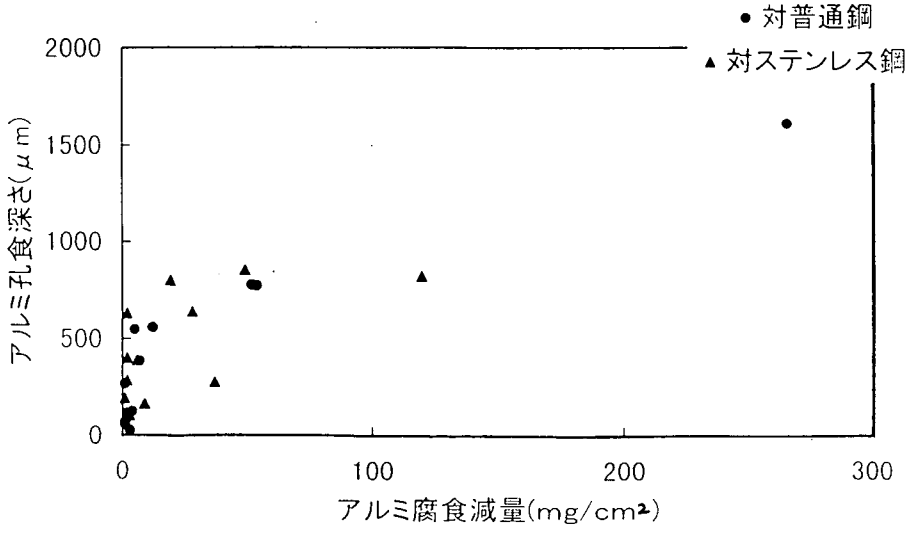
図－1.3.4 塩素イオン濃度、接触面積比と孔食深さ(Max.)



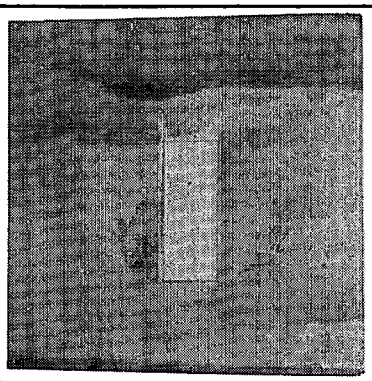
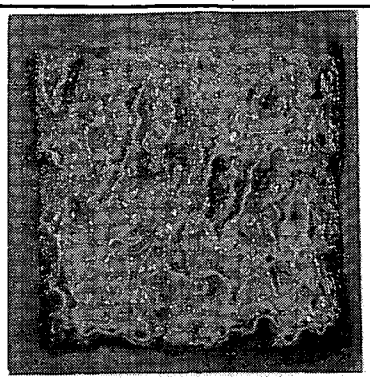
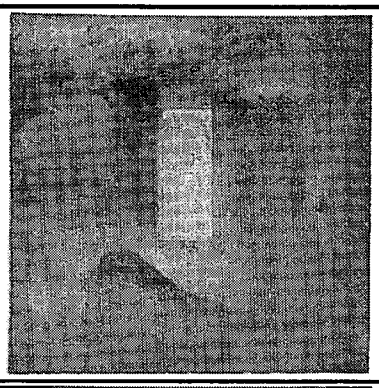
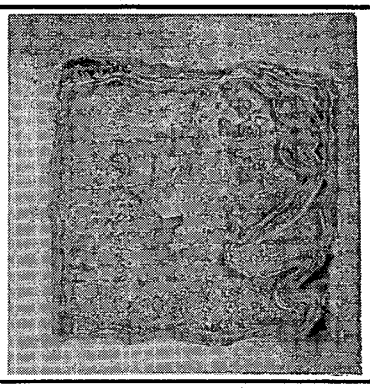
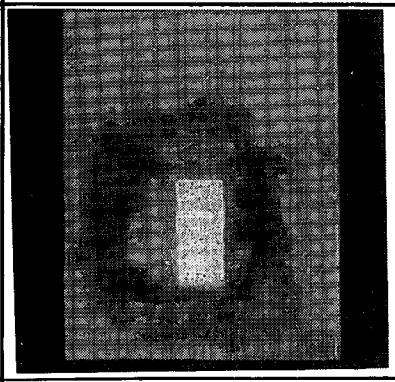
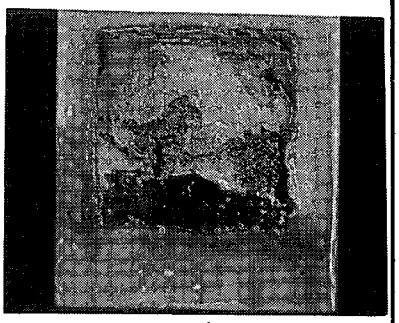
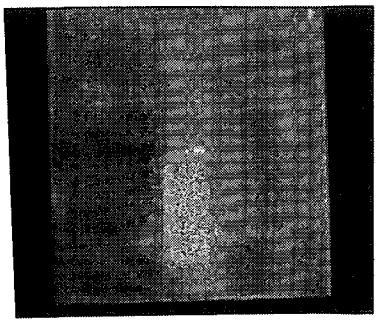
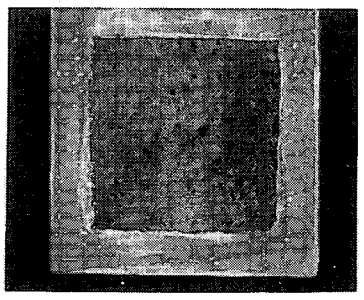
図－1.3.5 カップリング電流密度－アルミ腐食減量



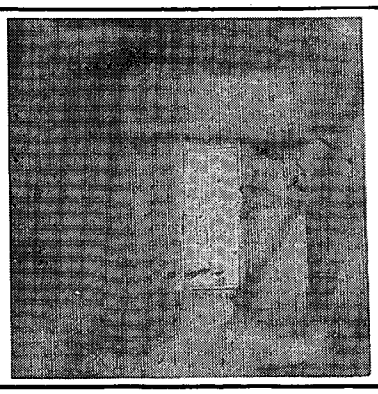
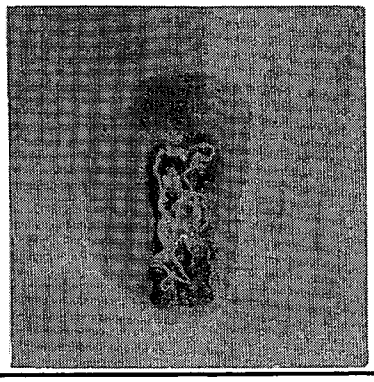
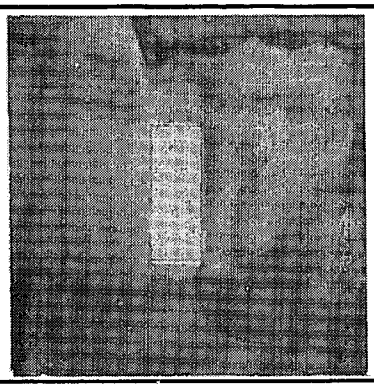
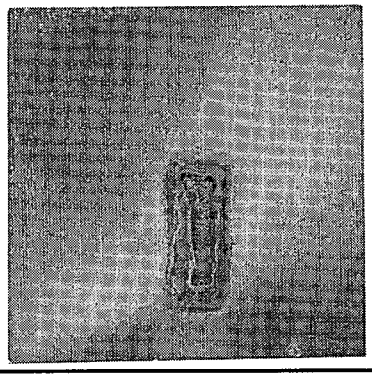
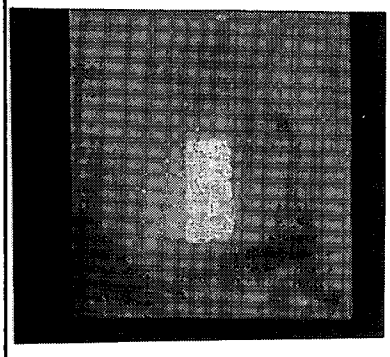
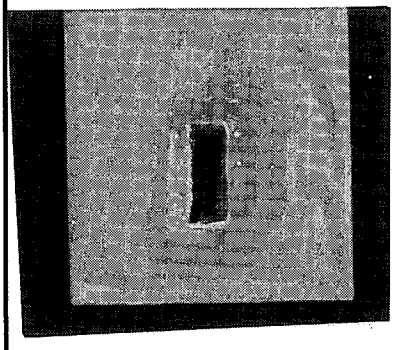
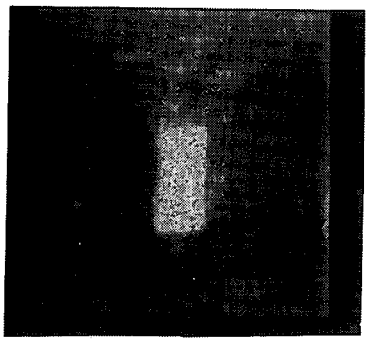
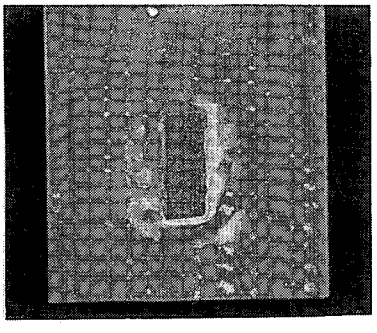
図－1.3.6 カップリング電流密度－アルミ孔食深さ(Max.)



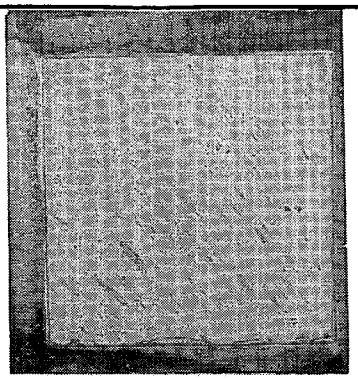
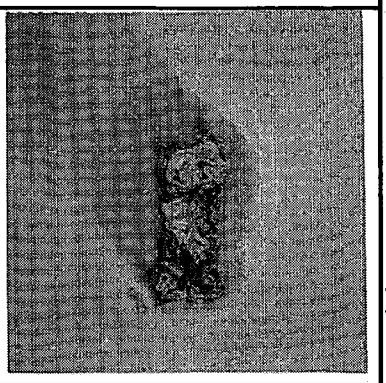
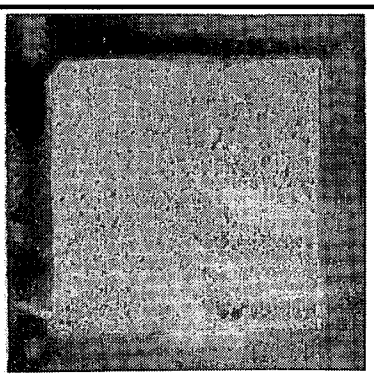
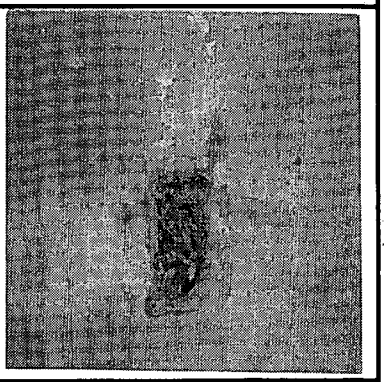
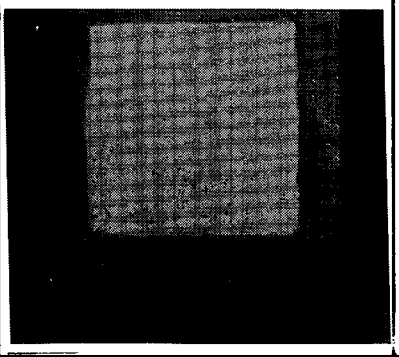
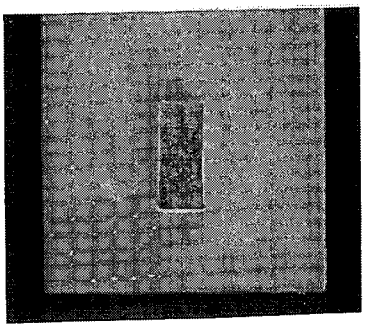
図－1.3.7 アルミ腐食減量－アルミ孔食深さ

塩素イオン濃度	アルミニウム材 (2．5cm²)	普通鋼 (25cm²)
20 ppm		
200 ppm		
2,000 ppm		
20,000 ppm		

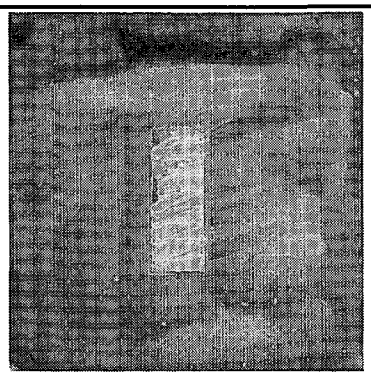
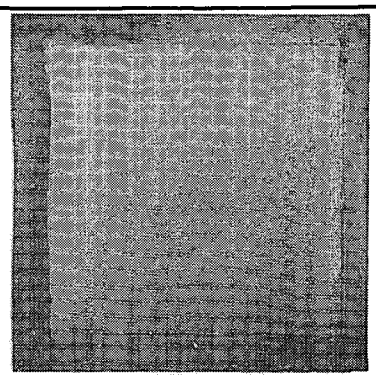
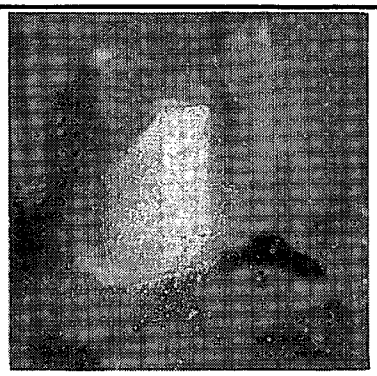
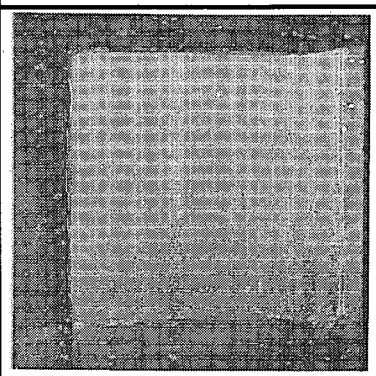
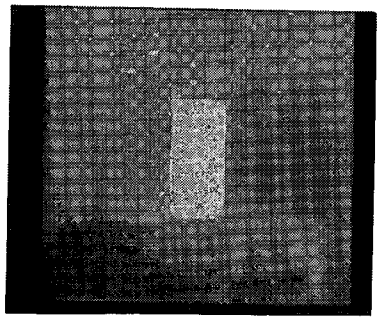
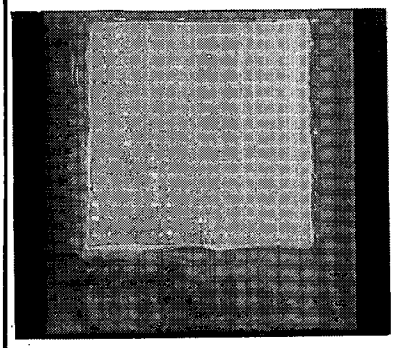
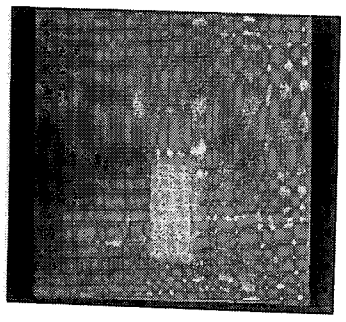
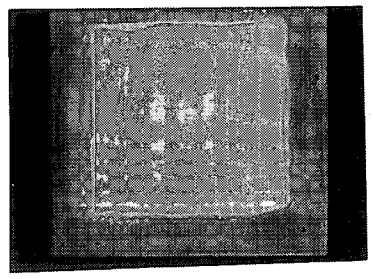
写真－1.3.1　3ヶ月後テスト部表面状態 アルミ材／普通鋼＝ 1／10

塩素イオン濃度	アルミニウム材 (2．5cm²)	普通鋼 (2．5cm²)
20 ppm		
200 ppm		
2,000 ppm		
20,000 ppm		

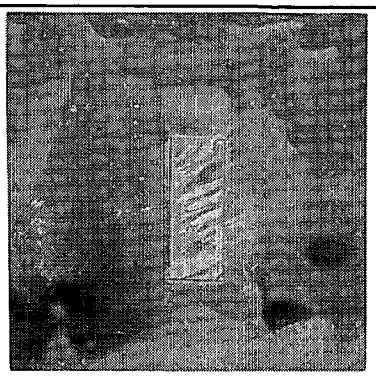
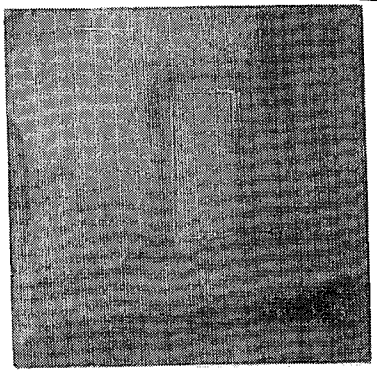
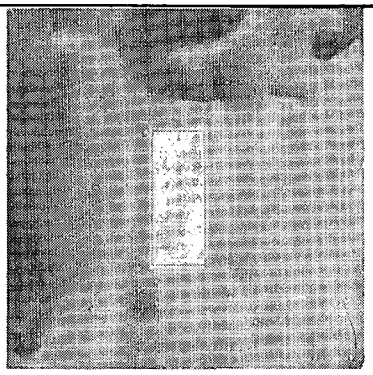
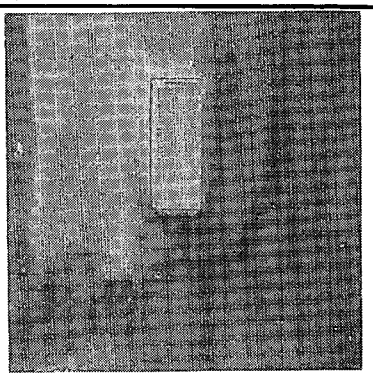
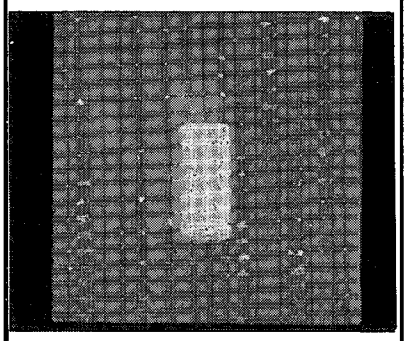
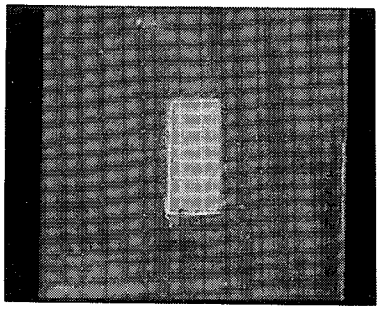
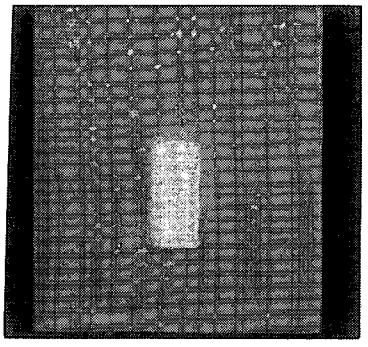
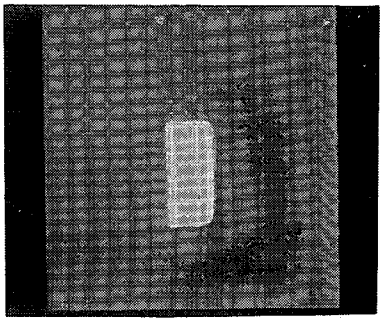
写真－1．3．2　3ヶ月後テスト部表面状態 アルミ材／普通鋼＝ 1／ 1

塩素イオン濃度	アルミニウム材 (25cm²)	普通鋼 (2．5cm²)
20 ppm		
200 ppm		
2,000 ppm		
20,000 ppm		

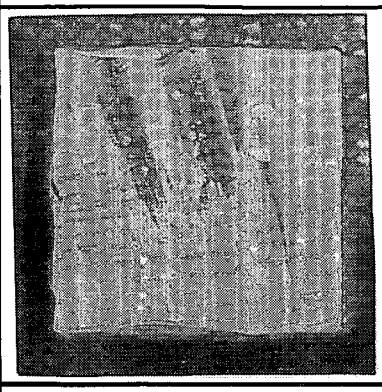
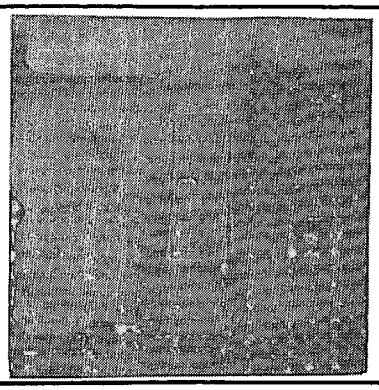
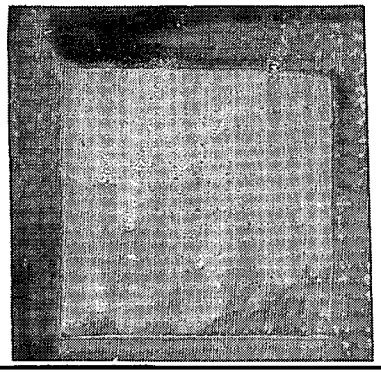
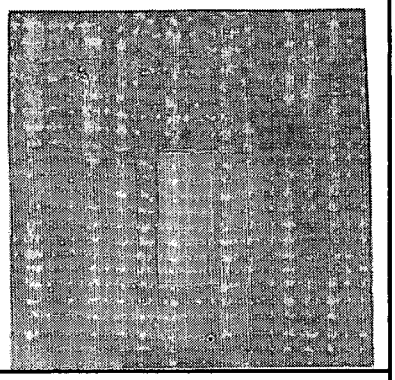
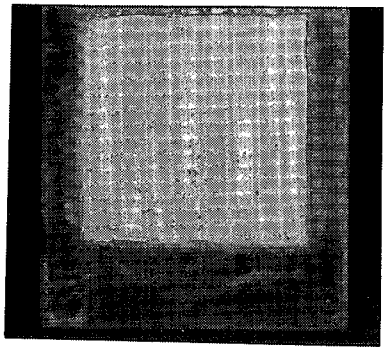
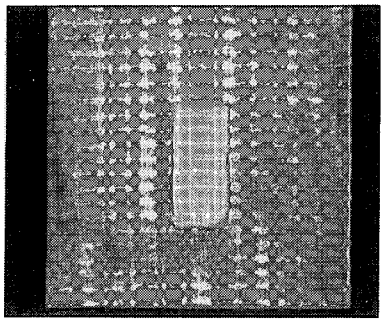
写真－1.3.3　3ヶ月後テスト部表面状態 アルミ材／普通鋼＝10／ 1

塩素イオン濃度	アルミニウム材 (2．5cm²)	ステンレス鋼 (25cm²)
20 ppm		
200 ppm		
2,000 ppm		
20,000 ppm		

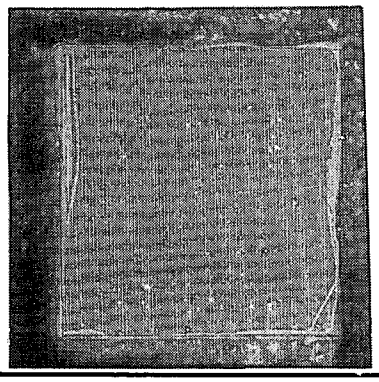
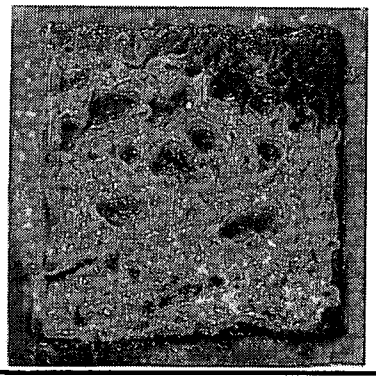
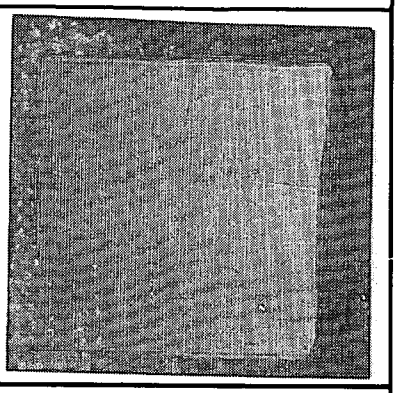
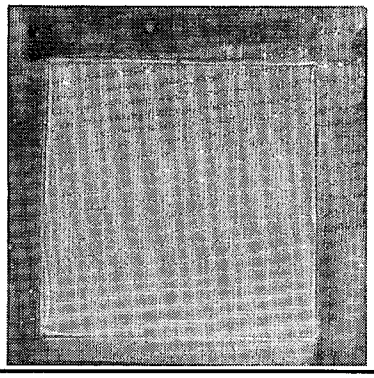
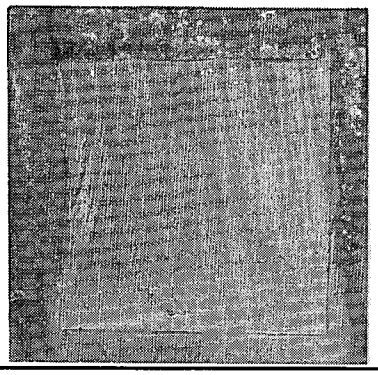
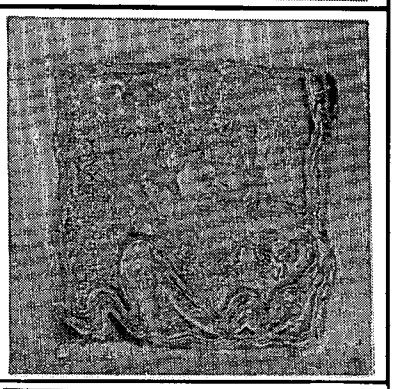
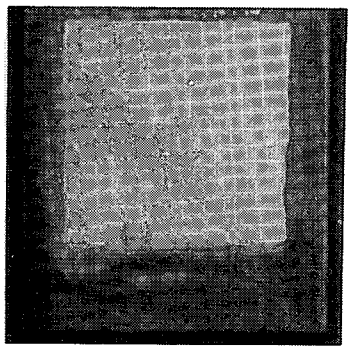
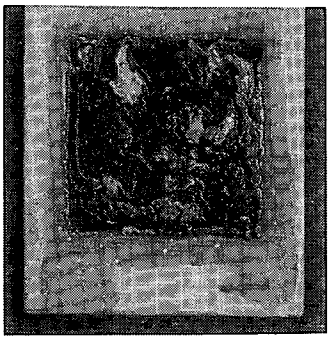
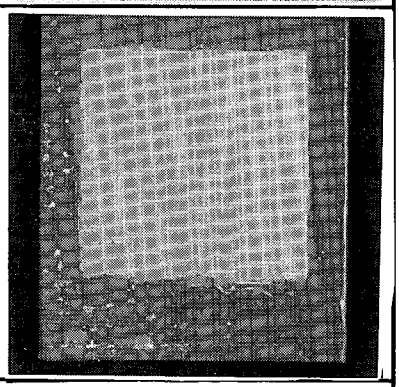
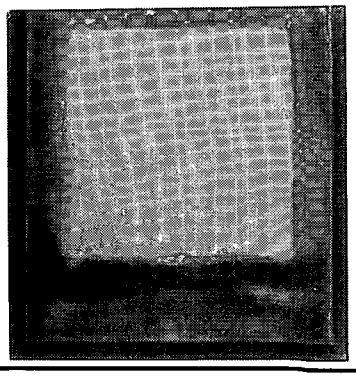
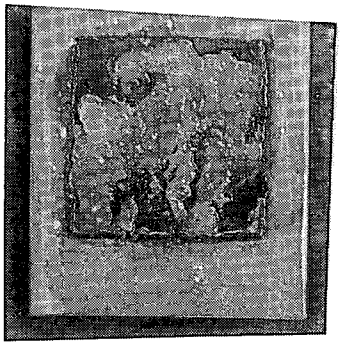
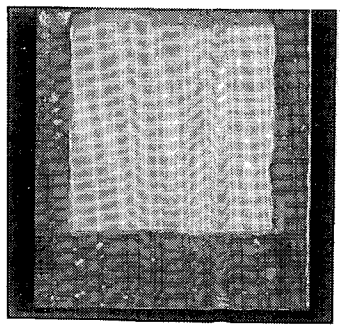
写真－1.3.4　3ヶ月後テスト部表面状態 アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／10

塩素イオン濃度	アルミニウム材 (2．5cm²)	ステンレス鋼 (2．5cm²)
20 ppm		
200 ppm		
2,000 ppm		
20,000 ppm		

写真－1．3．5　3ヶ月後テスト部表面状態 アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／ 1

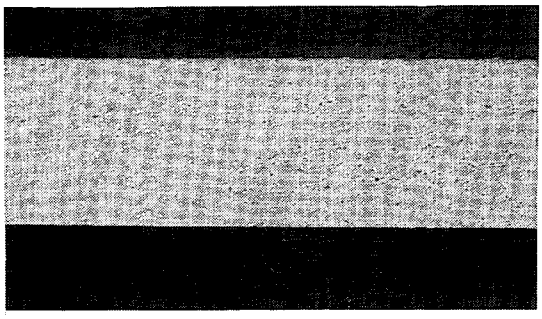
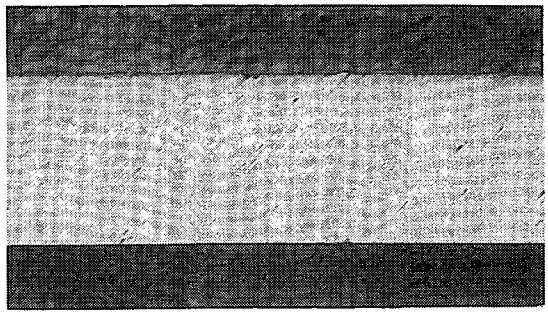
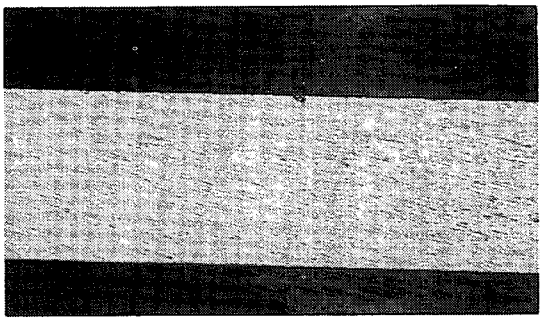
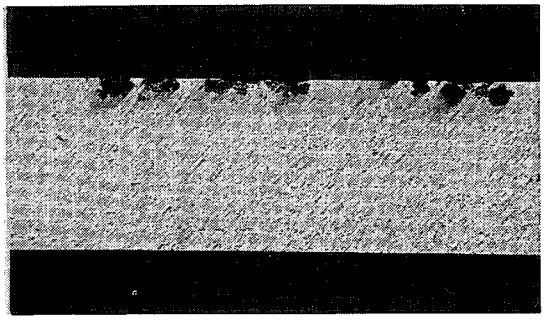
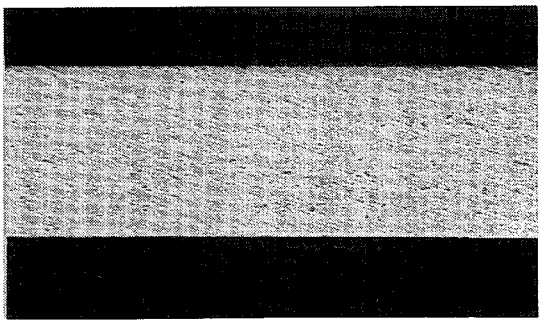
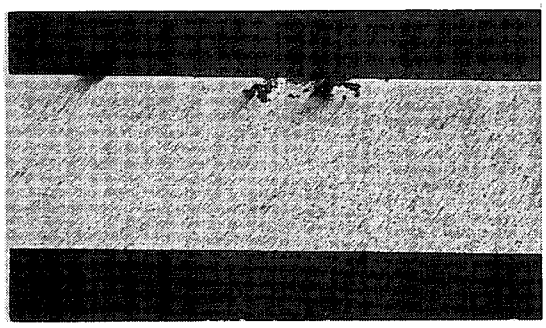
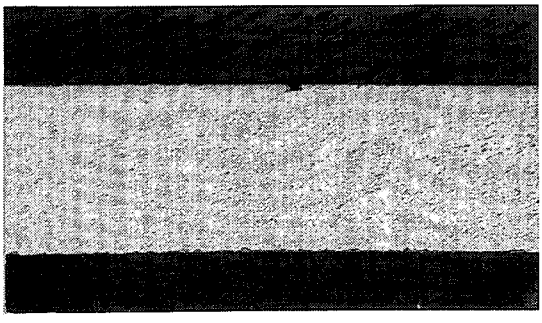
塩素イオン濃度	アルミニウム材 (25cm²)	ステンレス鋼 (2．5cm²)
20 ppm		
200 ppm		
2,000 ppm		
20,000 ppm		

写真－1.3.6　3ヶ月後テスト部表面状態 アルミ材／ステンレス鋼＝10／ 1

塩素イオン濃度	アルミニウム材 (25cm²)	普通鋼 (25cm²)	ステンレス鋼 (25cm²)
20 ppm			
200 ppm			
2,000 ppm			
20,000 ppm			

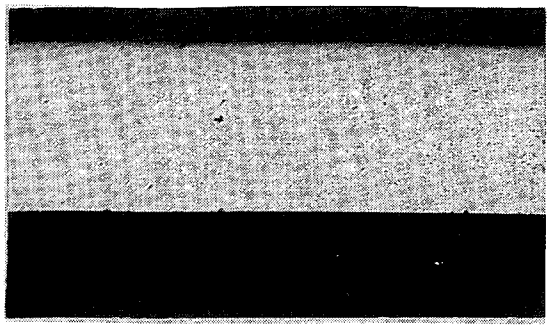
写真－1.3.7　3ヶ月後テスト部表面状態 各金属単体

×10

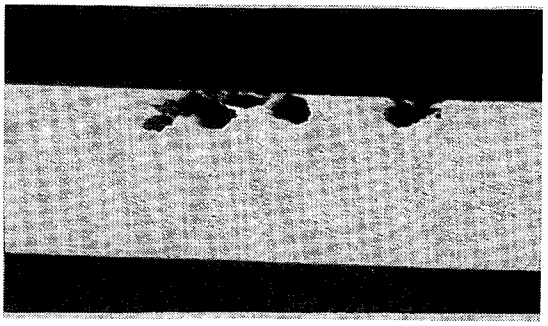
	
アルミ材／普通鋼＝ 1／10	アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／10
	
アルミ材／普通鋼＝ 1／ 1	アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／ 1
	
アルミ材／普通鋼＝10／ 1	アルミ材／ステンレス鋼＝10／ 1
	
アルミ材単体	

写真－1.3.8　孔食部断面（塩素イオン濃度：20ppm）

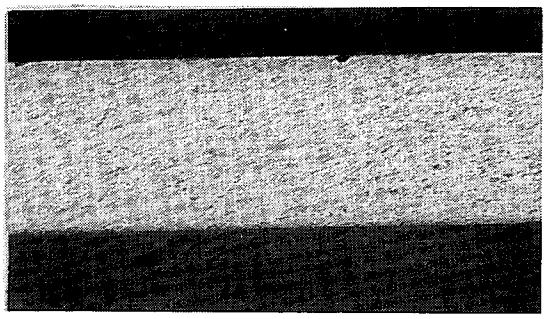
×10



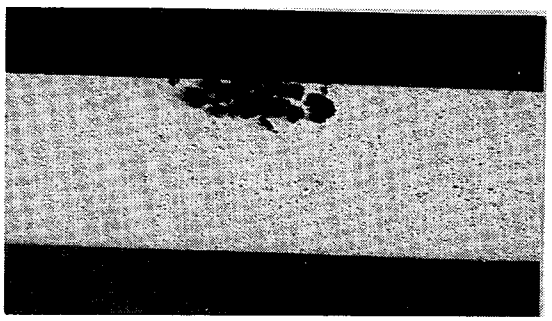
アルミ材／普通鋼＝ 1／10



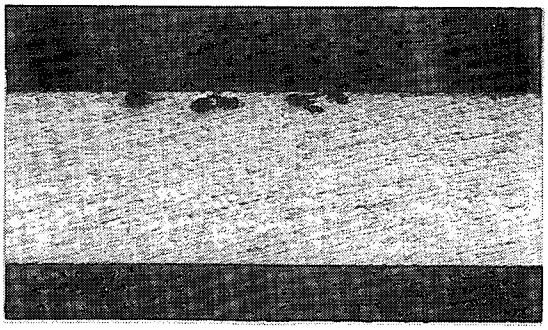
アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／10



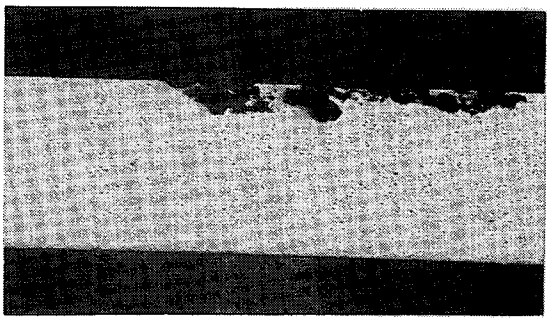
アルミ材／普通鋼＝ 1／ 1



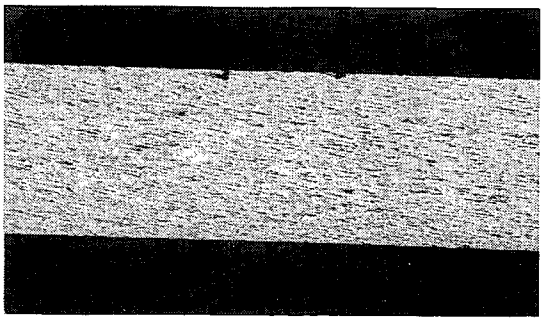
アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／ 1



アルミ材／普通鋼＝10／ 1



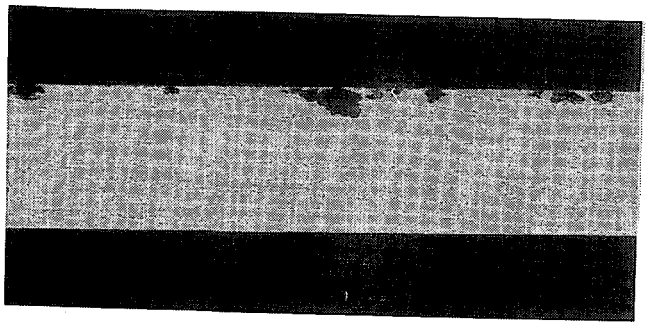
アルミ材／ステンレス鋼＝10／ 1



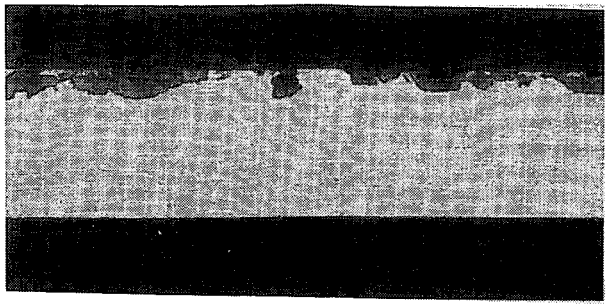
アルミ材単体

写真－1.3.9　孔食部断面（塩素イオン濃度：200ppm）

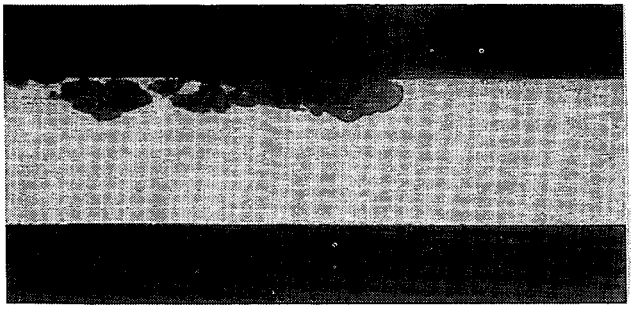
×10



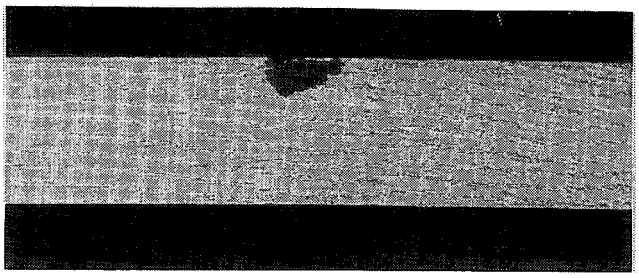
アルミ材／普通鋼＝ 1／10



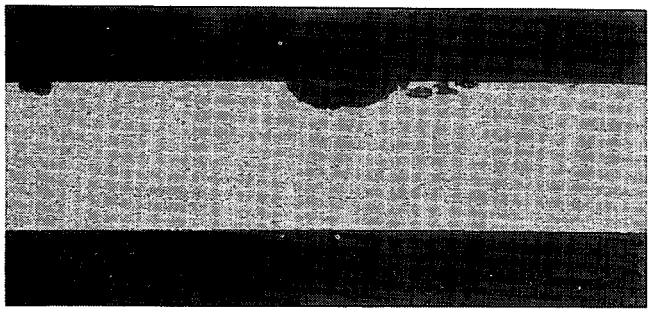
アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／10



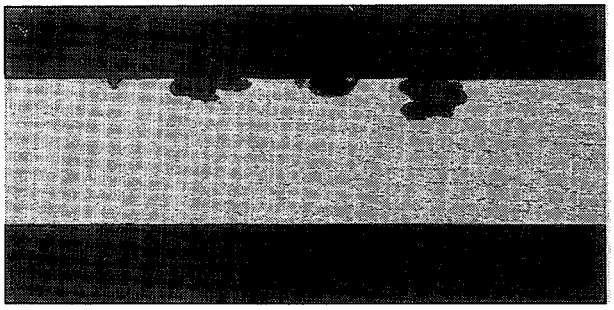
アルミ材／普通鋼＝ 1／ 1



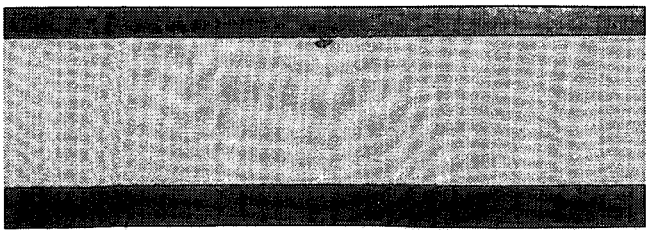
アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／ 1



アルミ材／普通鋼＝10／ 1



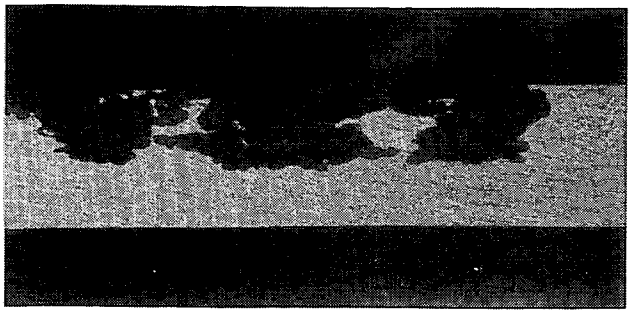
アルミ材／ステンレス鋼＝10／ 1



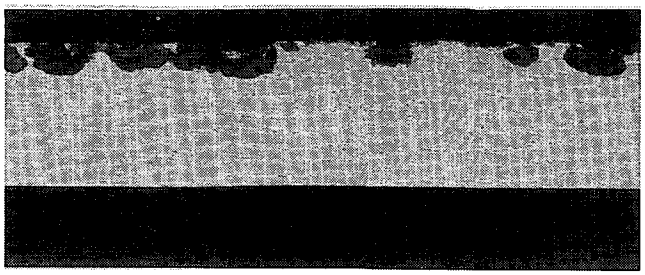
アルミ材単体

写真－1.3.10　孔食部断面（塩素イオン濃度：2，000ppm）

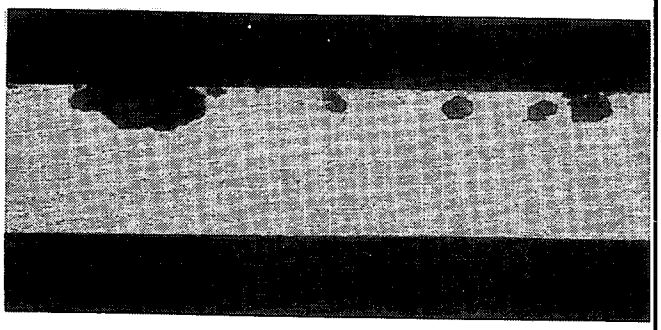
×10



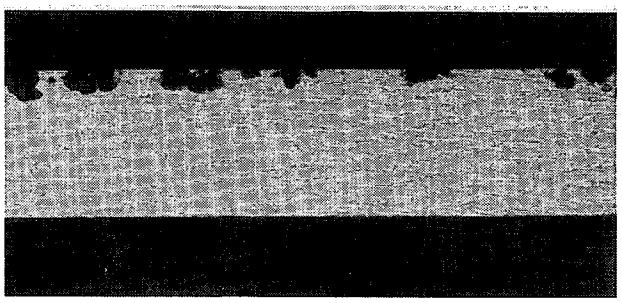
アルミ材／普通鋼＝ 1／10



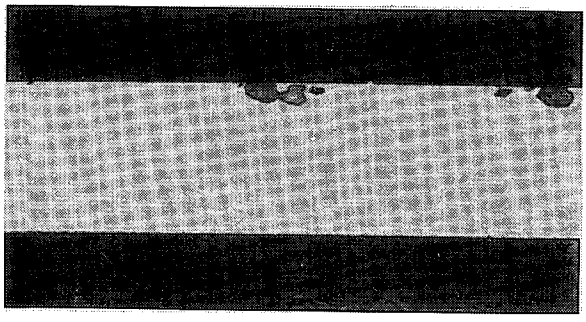
アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／10



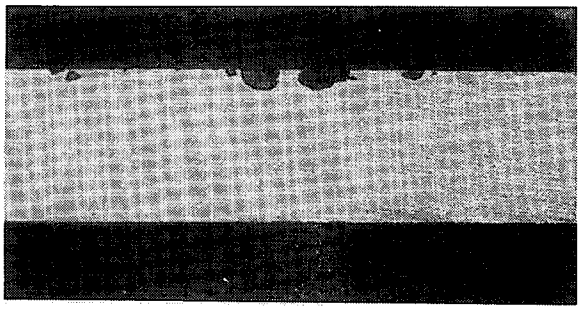
アルミ材／普通鋼＝ 1／ 1



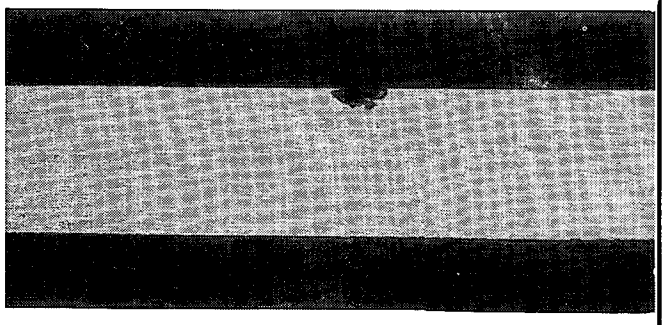
アルミ材／ステンレス鋼＝ 1／ 1



アルミ材／普通鋼＝10／ 1



アルミ材／ステンレス鋼＝10／ 1



アルミ材単体

写真－1.3.11　孔食部断面（塩素イオン濃度：20，000ppm）

2）対普通鋼

塩素イオン濃度が20,000ppmの時のみカソード面積比の増加に対応して孔食深さも大きくなった。

3）アルミニウム単体

塩素イオン濃度が200ppm以下の場合はアルミニウム単体と対普通鋼で腐食の程度の差はわずかだった。

（3）カップリング電流密度、アルミニウム腐食減量およびアルミニウム孔食深さの関係

1）カップリング電流密度及びアルミニウム腐食減量

カップリング電流密度とアルミニウム腐食減量は、ほぼ比例関係にあった。そして前述した様に塩素イオン濃度が高いほど両者とも大きくなった。

2）アルミニウム孔食深さとカップリング電流密度およびアルミニウム腐食減量

アルミニウム孔食深さはカップリング電流密度やアルミニウム腐食減量が大きいほど深くなる傾向は示したが電流密度と腐食減量の間の様なはっきりとした比例関係にはなかった。電流密度が数μA/㎠以下と小さい場合は腐食減量も数mg/㎠と小さいが孔食深さは数百μmに達する場合があった。

1.3.3 まとめ

（1）普通鋼との接触では、塩素イオン濃度200ppm以下ではアルミニウム合金材料は接触腐食の影響はあまり受けない。2,000ppm以上になると接触腐食に対する配慮が必要となる。

（2）ステンレス鋼との接触では、20ppm程度の低塩素イオン濃度でも接触腐食の影響を受ける。ステンレス鋼は低塩素イオン濃度環境でも普通鋼に比較してカソードとしての作用を強く及ぼす。

（3）カソードとなる普通鋼又はステンレス鋼の接触面積比が大きいほどカップリング電流は増す傾向にあり、腐食減量は増加する。一方、孔食の発生は腐食量の増加により増す傾向にあると思われるが、その深さは必ずしもカップリング電流の大きさとは対応しない。

1.4 分極測定

河川・ダム施設にアルミニウム材料を使用する際に必要な耐食性の基礎データを得るためアルミニウム合金，ステンレス鋼および普通鋼について、異なる塩素イオン濃度における分極曲線を測定した。

1.4.1 試験方法

(1)供試素材

A5083P-O，A5052P-H32，SUS304，普通鋼(SM400B)

(2)測定面積

測定面積1cm^{2}を残し、シールテープにてマスキング

(3)前処理

(a)アルミニウム合金

①溶剤脱脂　：　アセトン

②酸洗浄　：　30%HNO_3、室温×2分　浸漬

③水洗　：　流水、30秒

④ｱﾙｶﾘｴｯﾁﾝｸﾞ　：　10%NaOH、60℃×1分　浸漬

⑤水洗　：　流水、30秒

⑥酸中和　：　30%HNO_3、室温×2分　浸漬

⑦水洗　：　流水、30秒

⑧純水洗　：　流水、5秒

⑨乾燥　：　温風

⑩保管　：　デシケータ内　24時間以上

(b)普通鋼及びステンレス鋼

①溶剤脱脂　：　アセトン

②酸洗浄　：　10%HCl、室温×30秒　浸漬

③水洗　：　流水、30秒

④純水洗　：　流水、5秒

⑤乾燥　：　温風

⑥保管　：　デシケータ内　24時間以上

(4)分極測定

・測定液　：　NaCl(塩素イオン濃度　20，200，2,000，20,000ppm)、25℃

・脱気　：　アノード分極時　N_2バブリング，カソード分極時　空気バブリング

・電位掃引　：　自然電極電位安定後、自然電極電位より速度20mV/minで掃引

・対極　：　Pt

・参照電極　：　SCE(飽和甘こうカロメル電極)

1.4.2 試験結果

各供試材のカソード分極、アノード分極曲線を図－1.4.1～図－1.4.4に示す。

図より読みとった孔食電位と塩素イオン濃度の関係を図－1.4.5に示す。

また、0.9V(vs SCE)における酸素還元密度密度と塩素イオン濃度の関係を図－1.4.6に示す。

塩素イオン濃度の増加にともない、A5083P-OとA5052P-H32の孔食電位は卑な方向にシフトするが、同じ塩素イオン濃度における孔食電位はほぼ同じである。孔食電位が塩素イオン濃度の増加にともない卑な方向にシフトする傾向は、SUS304も同様である。しかし、普通鋼のアノード分極では電位走査開始直後から急激な電流の増加が見られ、その電位は塩素イオン濃度によらずほぼ一定であった。

次に、カソード分極による酸素還元電流では、A5083P-OとA5052P-H32の電流値が相対的に低く、SUS304および普通鋼では明瞭な拡散律速領域が見られ高い酸素還元触媒能を示した。

1.4.3 まとめ

塩素イオン濃度20, 200, 2,000, 20,000ppmの水溶液中でA5052P-H32, A5083P-O, SUS304および普通鋼の分極曲線を測定した。

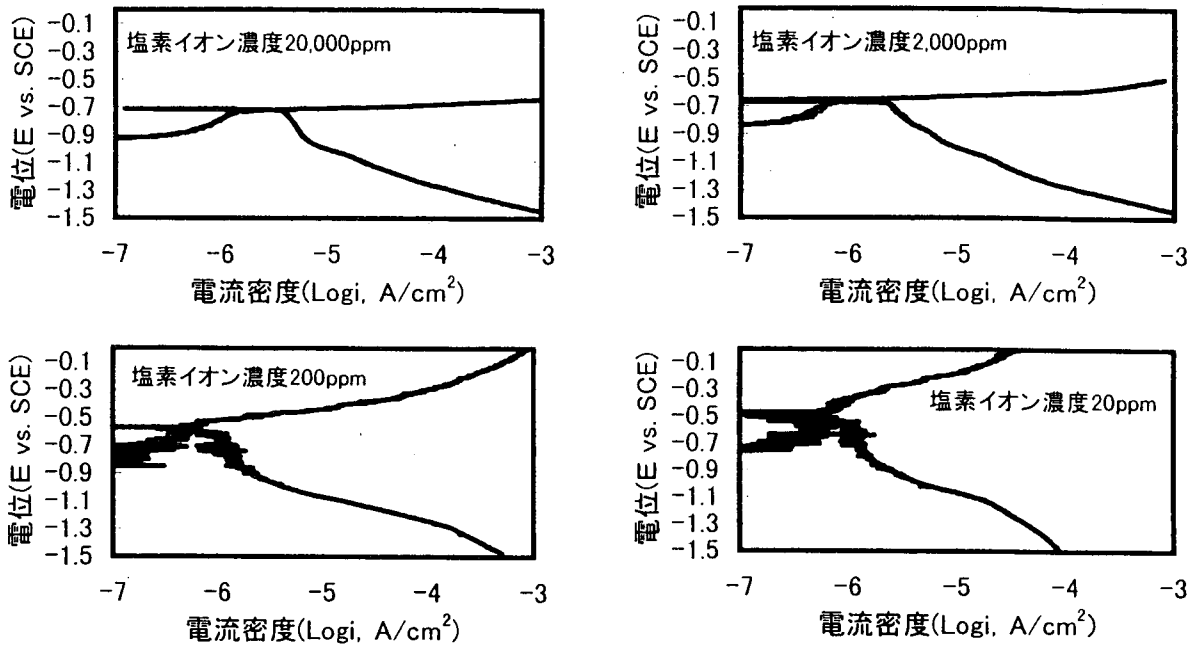
A5052P-H32, A5083P-OおよびSUS304の孔食電位は、塩素イオン濃度の増加にともない卑な方向にシフトするが、普通鋼のアノード分極では電位走査開始直後から急激な電流の増加が見られ、その電位は塩素イオン濃度によらずほぼ一定であった。

孔食電位(アノード電流の急激な増加が始まる電位)は、同じ塩素イオン濃度でほぼ次の序列がある

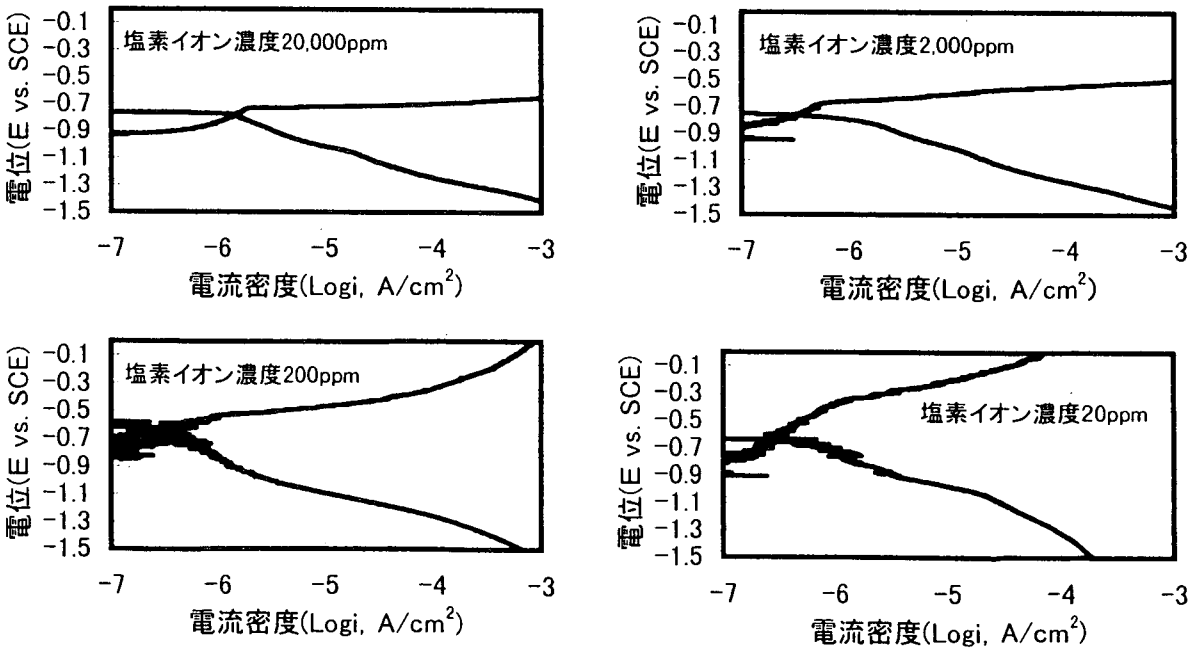
電位より貴　SUS304＞A5052P-H32=A5083P-O＞普通鋼　電位より卑

また、カソード分極による酸素還元電流では、A5083P-OとA5052P-H32の電流値が相対的に低く、SUS304および普通鋼では明瞭な拡散律速領域が見られ高い酸素還元触媒能を示した。カソード分極による酸素還元電流は、同じ塩素イオン濃度でほぼ次の序列がある。

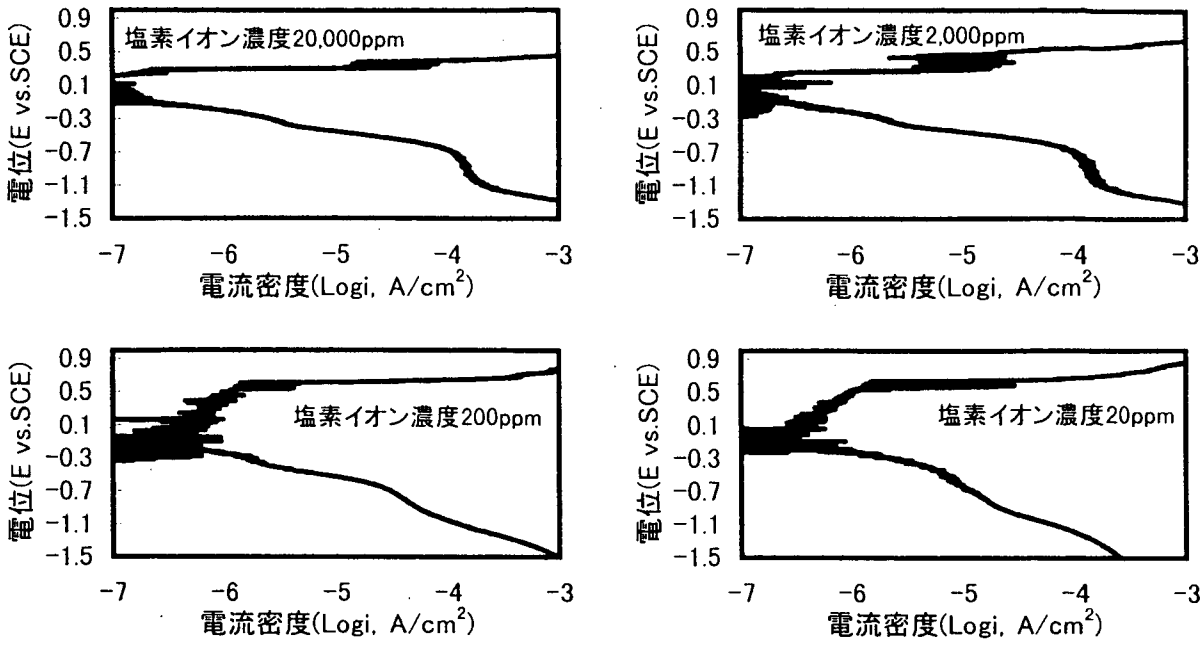
電流値大きい　普通鋼＞SUS304＞A5052P-H32=A5083P-O　電流値低い



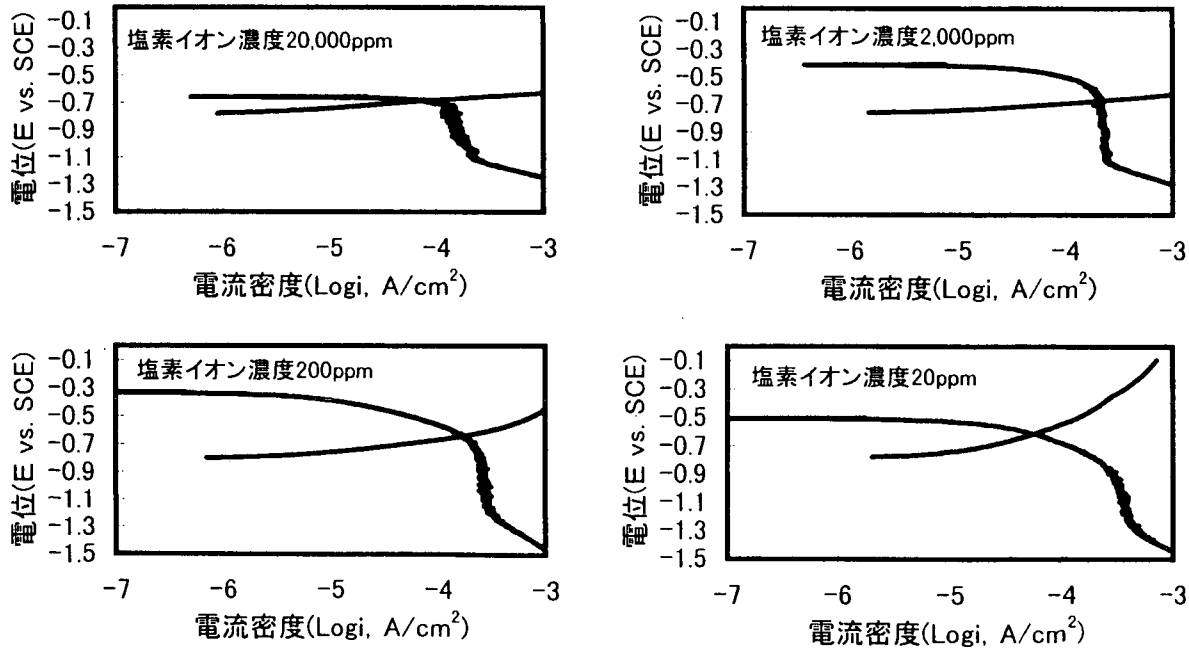
図－1.4.1 Al5052の分極曲線



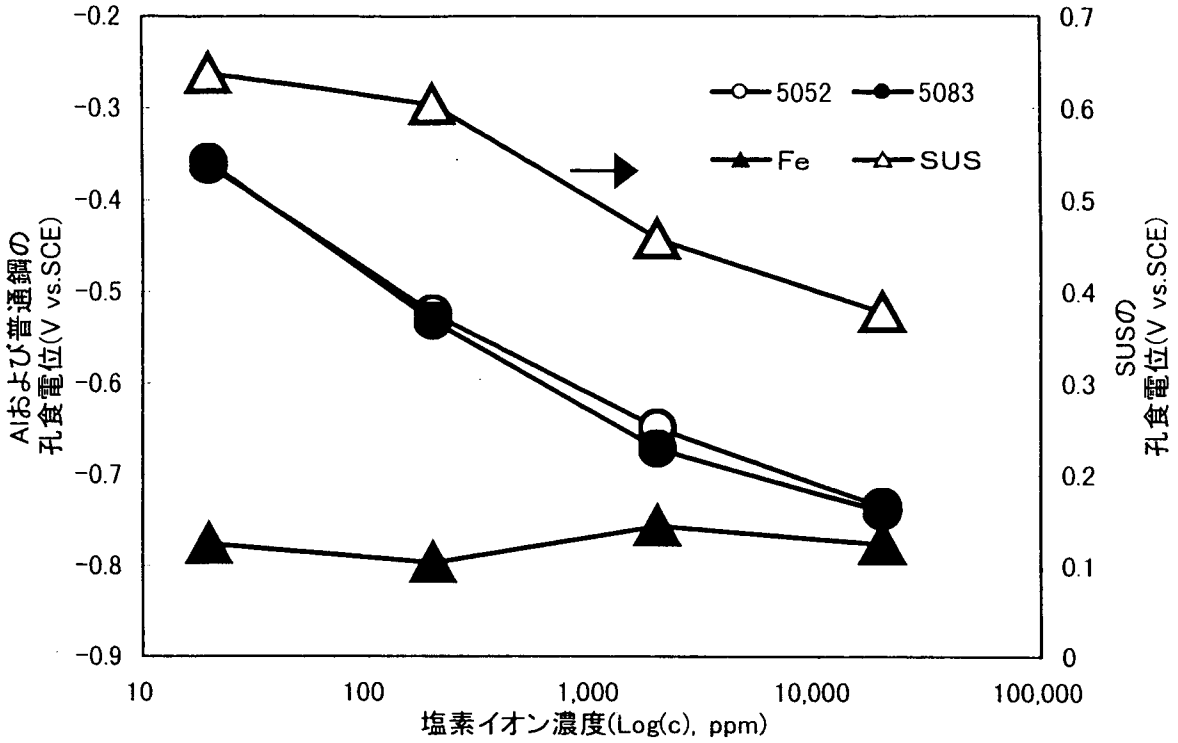
図－1.4.2 Al5083の分極曲線



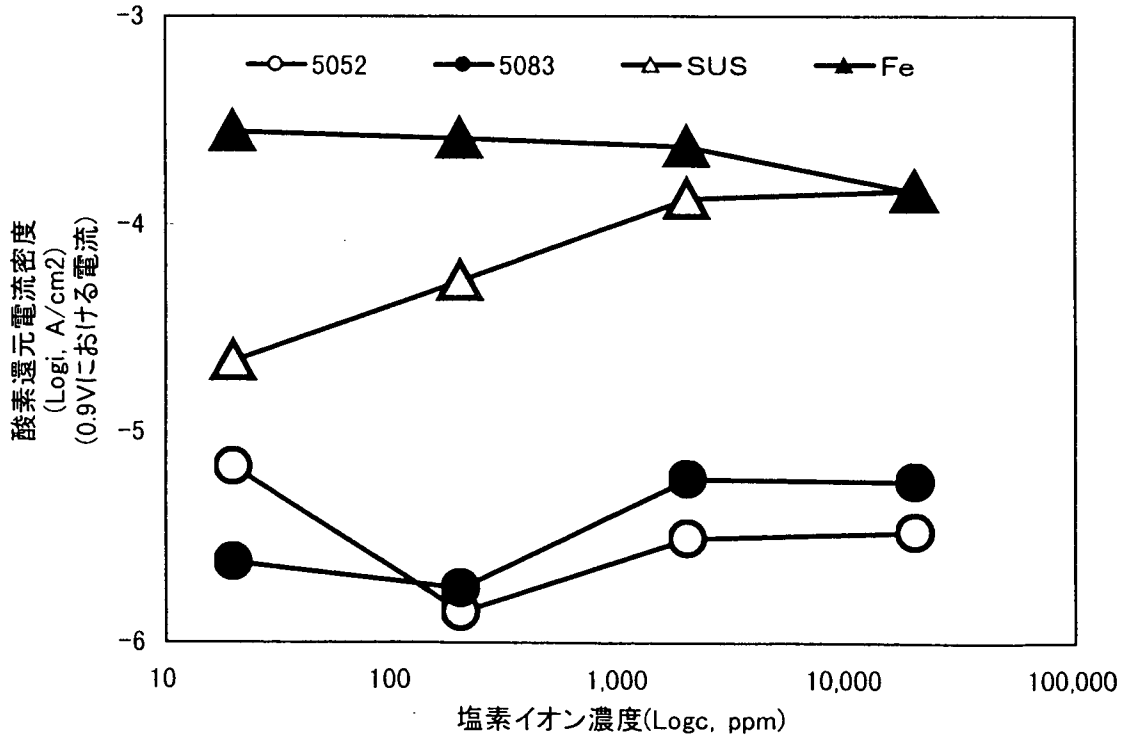
図－1.4.3 SUSの分極曲線



図－1.4.4 Feの分極曲線



図－1.4.5 アルミ, SUS及び鋼の塩素イオン濃度と孔食電位の関係



図－1.4.6 酸素還元電流密度と塩素イオン濃度の関係

1.5 接合体の電位分布試験

塩水中における異種金属接合試験片の混成電位分布を測定し、アルミニウム材料と異種金属材の接触腐食について考察することを目的に試験を行った。

1.5.1 試験方法

(1) 供試材

a)アルミニウム合金(5083－O)

b)普通鋼(SM400B)

c)ステンレス鋼(SUS304)

表－1.5.1 試験材の接合面積比

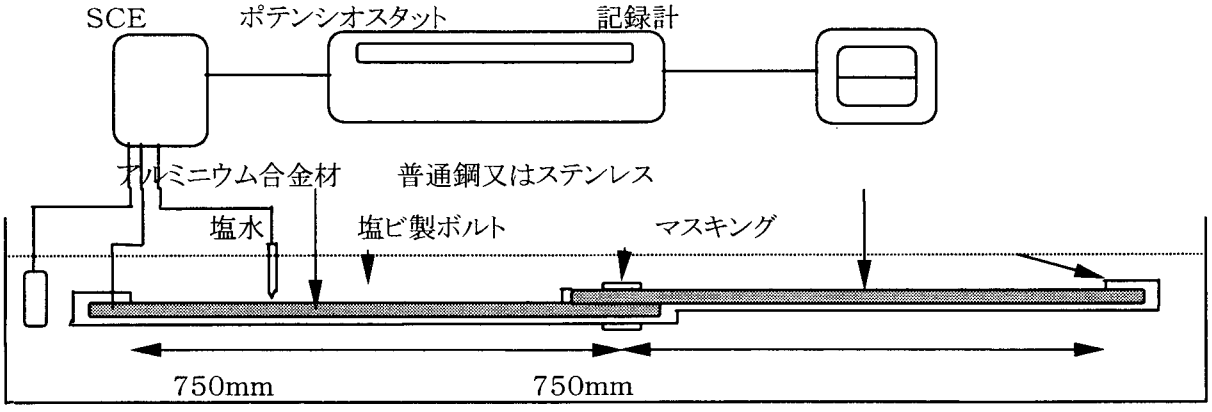
No	面積比
1	Al／普通鋼＝1／1
2	Al／ステンレス鋼＝1／1

（2） 塩水濃度

Cl^-として 20,200,2,000,20,000ppm

(3)接合面積比

接合面積比を表－1.5.1 に示す。30mm 幅の試験材を図－1.5.1 のように接合し、測定面以外をスチレンゴム系のマスキング剤でマスキング処理した。接合部は重ね合わせ接合し、4mm φ の塩ビ製ボルトナットで締め付けた。更に、測定面以外の隙間等をマスキングした。



図－1.5.1 混成電位分布の測定装置

(4)前処理

マスキング処理の前処理として表－1.5.2 に示す処理を施した。アルミニウム材料はアルカリ洗浄と中和処理、普通鋼およびステンレス鋼は塩酸洗浄を行った。

(5)測定条件

[参照電極]SCE(飽和カロメル電極)

[側定点]接合部から30mm 毎に電位測定

[温度]20℃

[通気]無し

[放置時間]30 分間浸漬状態で放置した後、電位測定した。

表－1.5.2 試験材の前処理方法

試験材	アルミニウム材料		普通鋼およびステンレス鋼	
手順	処 理	条 件	処 理	条 件
①	溶剤脱脂	ｱｾﾄﾝ拭き	溶剤脱脂	ｱｾﾄﾝ拭き
②	酸洗浄	30%硝酸,室温×20 分浸漬	酸洗浄	30%塩酸,室温×30 秒浸漬
③	水洗	流水,30 秒	水洗	流水,30 秒
④	ｱﾙｶﾘｴｯﾁﾝｸﾞ	10%水酸化ﾅﾄﾘｳﾑ,60℃×1 分浸漬	純水水洗	流水,5 秒
⑤	水洗	流水,30 秒	乾燥	温風
⑥	酸中和	30%硝酸,室温×2 分浸漬		
⑦	水洗	流水,3 秒		
⑧	純水水洗	流水,30 秒		
⑨	乾燥	温風		

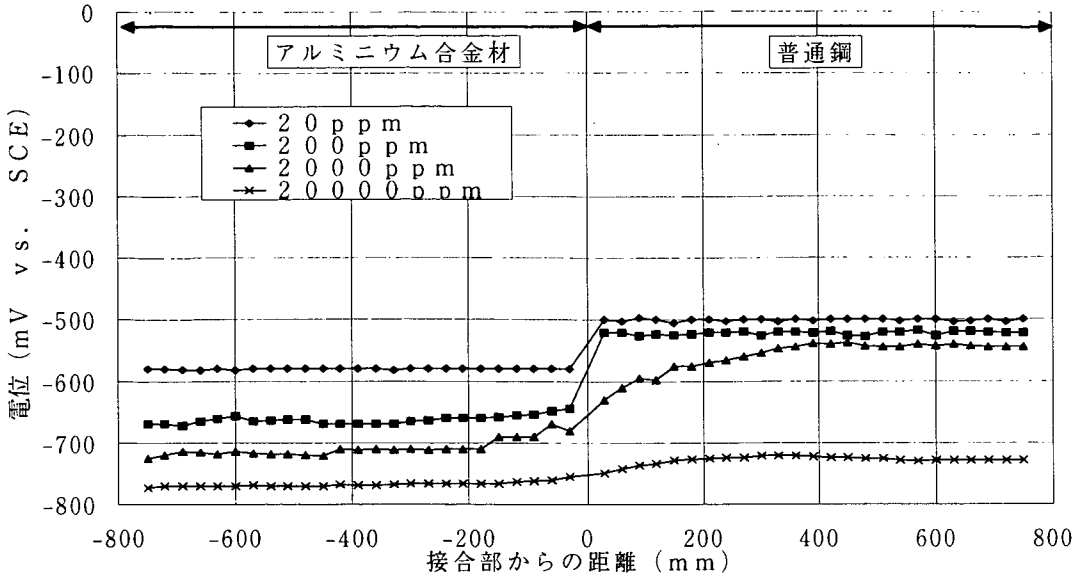
1.5.2 試験結果

(1)アルミニウム材料／普通鋼の接合

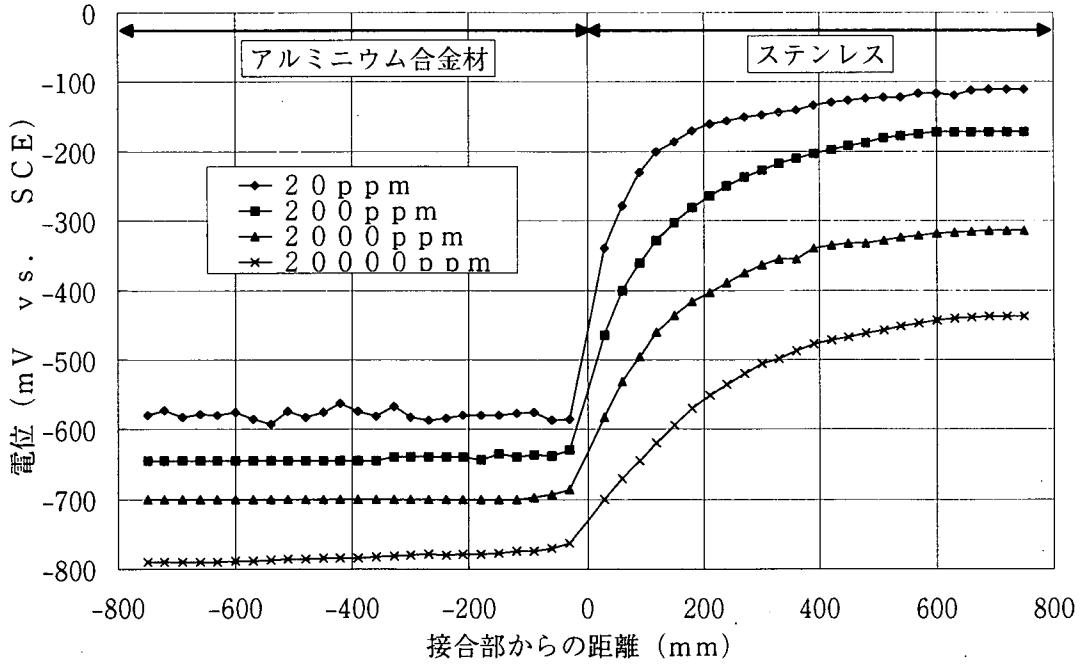
測定結果を図－1.5.2 に示す。塩水濃度 20ppm および 200ppm では、接合による表面の電位変化は確認されなかった。この様な低塩素イオン濃度では、溶液の液抵抗が高いこと及びアルミ材と普通鋼の間の電位差が比較的小さいことにより、接触電流が僅かしか生じないためと考えられる。塩素イオン濃度 2,000ppm では、750mm の試験材全体に渡り電位変化が認められた。より高い塩素イオン濃度ほど液抵抗が低いために接合による電位変化はより広い範囲に及び、普通鋼はアルミ材により防食されている。

(2)アルミニウム材料/ステンレス鋼の接合

測定結果を図－1.5.3に示す。塩素イオン濃度 20ppm でも、ステンレス鋼では 600mm 程度までアルミ材との距離に応じた電位変化が認められる。更に、塩素イオン濃度が増すと、この電位変化が 750mm 全体に及んだ。ステンレス鋼とアルミニウム材料との電位差は大きく、かつ、前者のカソード分極電流は比較的大きいために、距離による降下の影響が大きく、アルミニウム材料及び普通鋼に比較し電位変化が大きく測定されるものと考えられる。一方、いずれの組合せでもアルミ材の孔食電位は小さかった。これはアルミニウム材料がより貴な材料と組み合わされてアノード側に分極され、孔食電位に達したことによると思われる。アルミニウム材料では孔食電位よりも貴な電位ではほとんど分極しないためである。



図－1.5.2 アルミニウム合金材と普通鋼の混成電位と塩素イオン濃度の関係



図－1.5.3 アルミニウム合金材とステンレスの混成電位と塩素イオン濃度の関係

1.5.3 まとめ

アルミニウム材料を普通鋼及びステンレス鋼と接合した場合、塩素イオン濃度が 20ppm～200ppm 程度の範囲では、接合による電位変化は少ない。2,000ppm 以上では、電位変化が生じる。塩素イオン濃度 2,000ppm での電位影響部位の長さは 400mm 程度であるが、20,000ppm の場合の影響部の長さは 750mm 以上であった。

1.6 定電位電解試験

河川・ダム施設にアルミニウム材料を使用する場合、耐食性向上のためには陰極防食が有効である。各種塩素イオン濃度の水溶液中でアルミニウム材料を定電位電解試験し、試験前後の重量変化を求めることにより、アルミニウム材料の淡水中から海水中における陰極防食の適正電位範囲を調査した。

1.6.1 試験方法

(1)供試材

1)材質　：A5083P-O

2)寸法　：$75^{W}\times100^{L}\times6^{t}$mm

3)素材前処理

①溶剤脱脂　：アセトン払拭

②酸洗浄　：30%硝酸，室温×2分　浸漬

③水洗　：流水，30秒

④ｱﾙｶﾘｴｯﾁﾝｸﾞ：10%水酸化ナトリウム，60℃×1分　浸漬

⑤水洗　：流水，30秒

⑥酸中和　：30%硝酸，室温×30秒　浸漬

⑦水洗　：流水，30秒

⑧純水洗　：流水，5秒

⑨乾燥　：圧力空気吹き付け

⑩保管　：デシケータ内，24時間以上

4)マスキング

①試験面積　：50×50mm

②塗装　：低粘性脱オキシム硬化型一液常温硬化シリコンシーラント（信越シリコーンKE45S）

5)秤量(Wl)　：精度1mgで秤量

(2)試験条件

1)溶液

①種類　：塩化ナトリウム水溶液（塩素イオン濃度＝20，200，2,000，20,000ppm）

②液量　：3リットル

③温度　：室温

④通気　：なし

⑤交換　：各溶液とも1ヶ月毎に更新

2)試験

①数　：各電位条件毎　n＝1

②期間　：90日

3)電解槽

①装置　　：写真－1.6.1参照

②極間距離　：30mm

③対極　　：チタン板

④参照電極　：飽和カロメル電極

4)電解電位　　：a)不通電，b)-800，c)-900，d)-1,000，e)-1,200，f)-1,400 (mV vs SCE)

(3)評価項目，手順

1)電解中測定項目

①自然電極電位：最低2回／週

②電解電流値　：最低2回／週

③外観　　：1ヶ月毎（溶液交換時）にカラー写真撮影

2)腐食生成物除去

①スポンジ洗浄：流水中で、スポンジで素地を損傷しない程度に軽く払拭し、付着物を除去する。

②酸洗浄　　：85%リン酸35ml／l＋無水クロム酸20g／lの水溶液中で約10分間煮沸する。

③すすぎ　　：流水で、リン酸・クロム酸溶液が消失するまですすぐ。

④乾燥　　：圧力空気吹き付け

⑤保管　　：デシケータ内、24時間以上

3)重量減少　　：試験前重量と、試験終了後に腐食生成物を除去した試験片の重量をそれぞれ1mgの単位まで測定し両者の差を求める。

4)孔食深さ測定　：試験終了後に腐食生成物を除去した試験片につき、代表的な孔食の深さを顕微鏡焦点深度法で10μmの単位まで測定する。

5)試験後の外観　：腐食生成物を除去し、試験片の外観をカラー写真撮影する。

1.6.2 試験結果

(1)自然電極電位の経時変化

自然電極電位の経時変化を図－1.6.1に示した。塩素イオン濃度が20ppmと200ppmの場合、自然電極電位は、-600～-1,000mVの間で大きく変動した。 特に、液交換前後の変動が大きかった。塩素イオン濃度が2,000ppmの場合、自然電極電位は-650～-700mVの間で推移し、変動は小さかった。塩素イオン濃度が20,000ppmの場合、自然電極電位は-750～-850mVの間で推移し、変動は小さかった。

(2)電解電流

電解電流の経時変化を図－1.6.2～5に、平均電解電流を図－1.6.6に示した。電解電位が-1,000mVより大きい場合電解電流はほとんど流れず、電解電位が-1,200mVの時に約1μA／cm²のアノード電流が流れた。電解電位が-1,400mVの時、2μA／cm²以上のアノード電流が流れた。以上の傾向はいずれの塩素イオン濃度においてもみられた。電解電位が-1,400mVの時のアノード電流は、塩素イオン濃度が小さいほど大きかった。

3)腐食状況

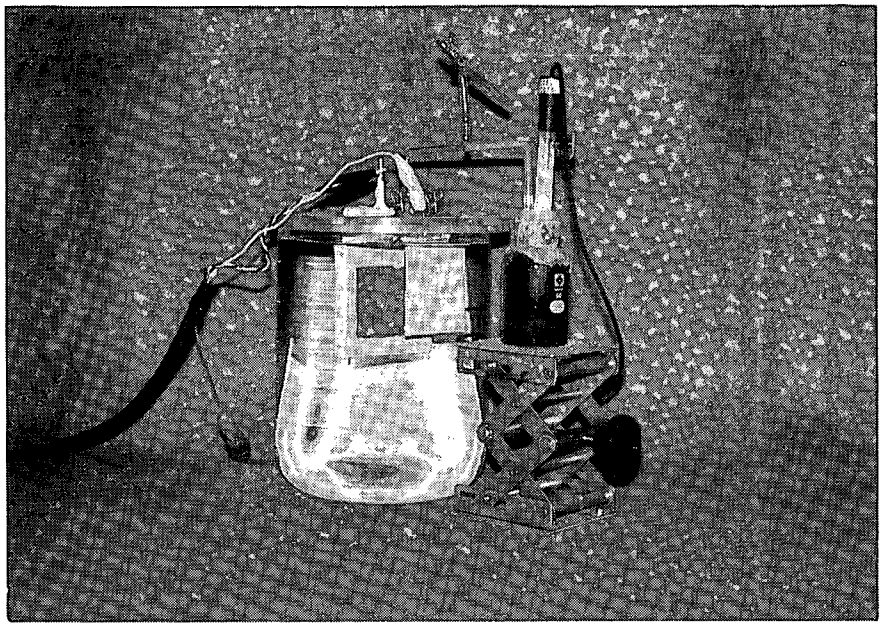
腐食生成物を除去する前の試験片の外観状況を写真－1.6.2に示した。表面観察において、黄色化等の変色は見られず、白い腐食生成物の付着がみられた。

腐食試験後の重量減少量を図－1.6.7に示した。重量減少は、電解電圧が-1400mVの時0.150～0.200gと顕著で、その他の電解電圧においては0.050g前後と小さかった。但し、塩素イオン濃度が20,000ppmの場合、-1,200mV以下の電解電圧の重量減少が他の塩素イオン濃度のそれより大き目であった。

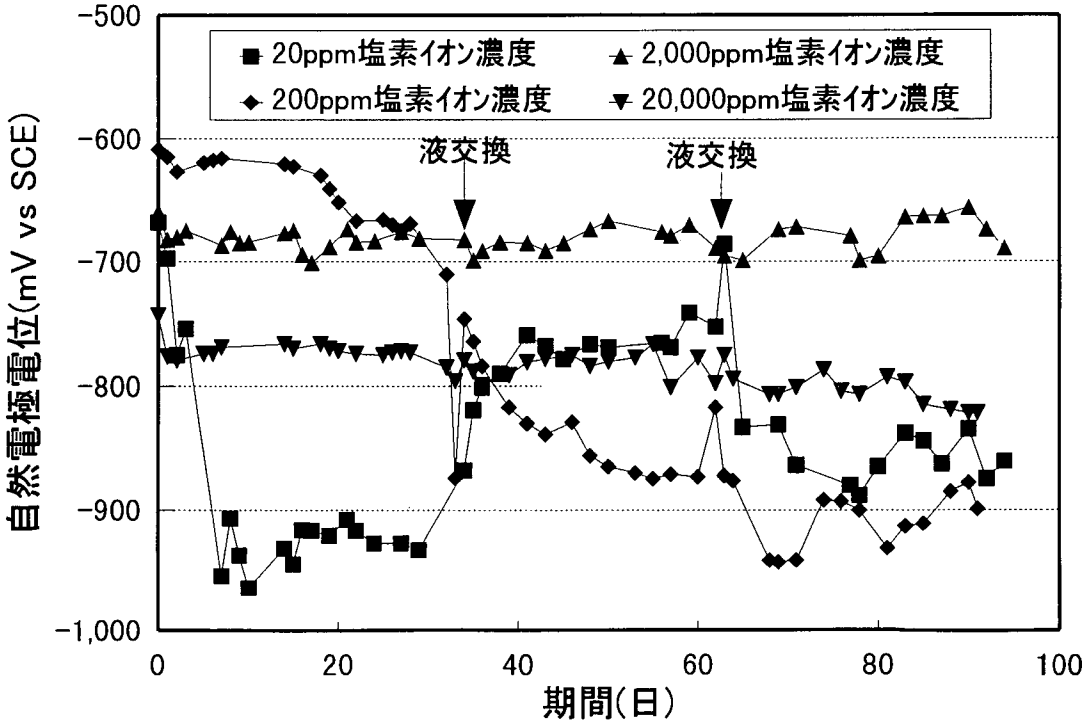
腐食試験後の最大腐食深さを図－1.6.8に示した。最大腐食深さは、電解電圧が不通電と-800mVの時に、塩素ｲｵﾝ濃度の大きい溶液中(2,000, 20,000ppm)で数百μm以上と大きくなる傾向が見られた。-1,000mV以下の電解電圧の最大腐食深さは、塩素イオン濃度によらず同程度の値で、電解電圧が小さくなるほど大きくなる傾向がみられた。

1.6.3 まとめ

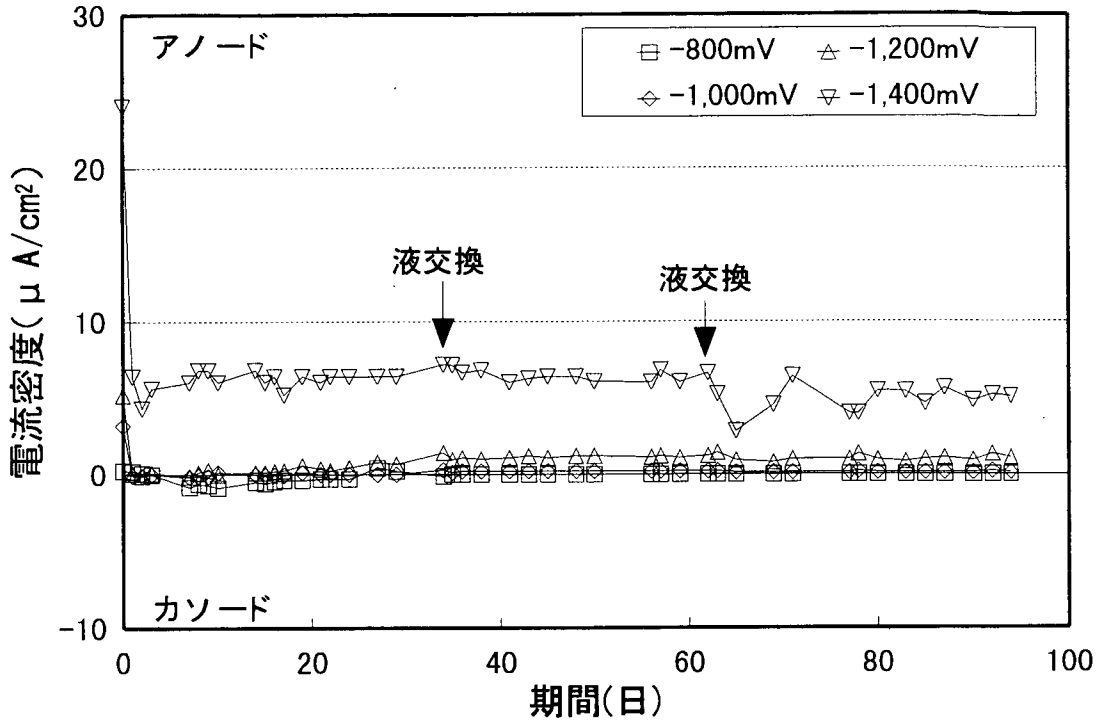
本試験の溶液中での有効な電気防食の範囲は、重量減少と最大腐食深さの両方を抑制するとの観点から、-1,000±100mVと推定された。なお、実際の適用に際しては、さらに検討が必要と考えられる。



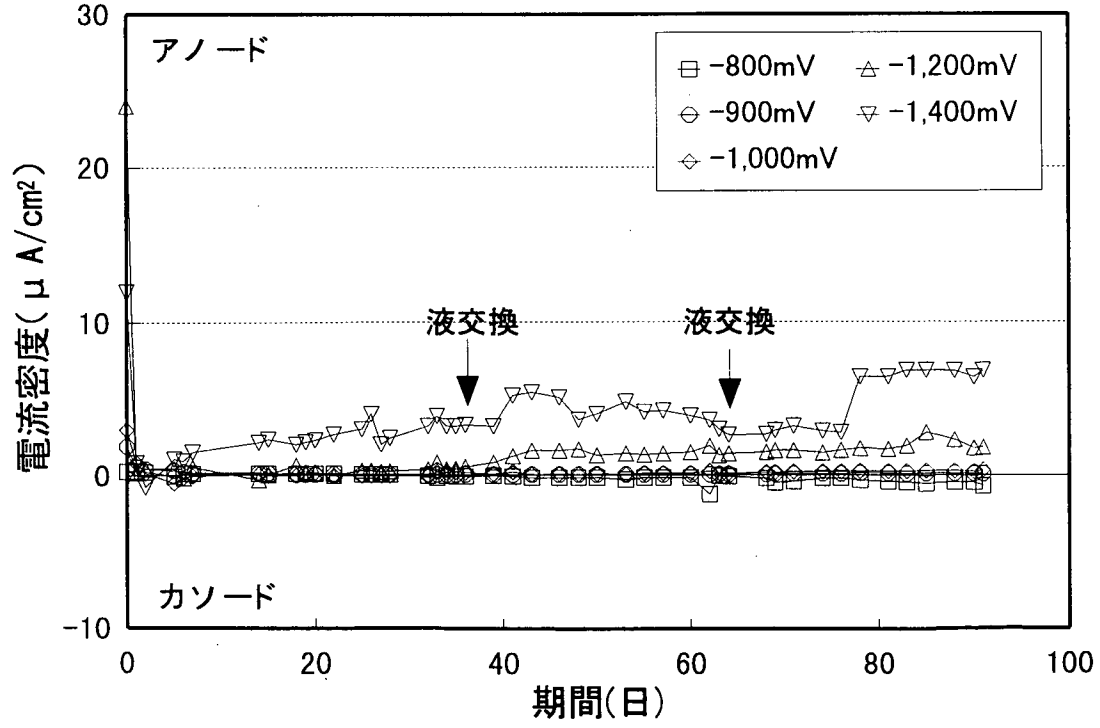
写真－1.6.1　試験装置



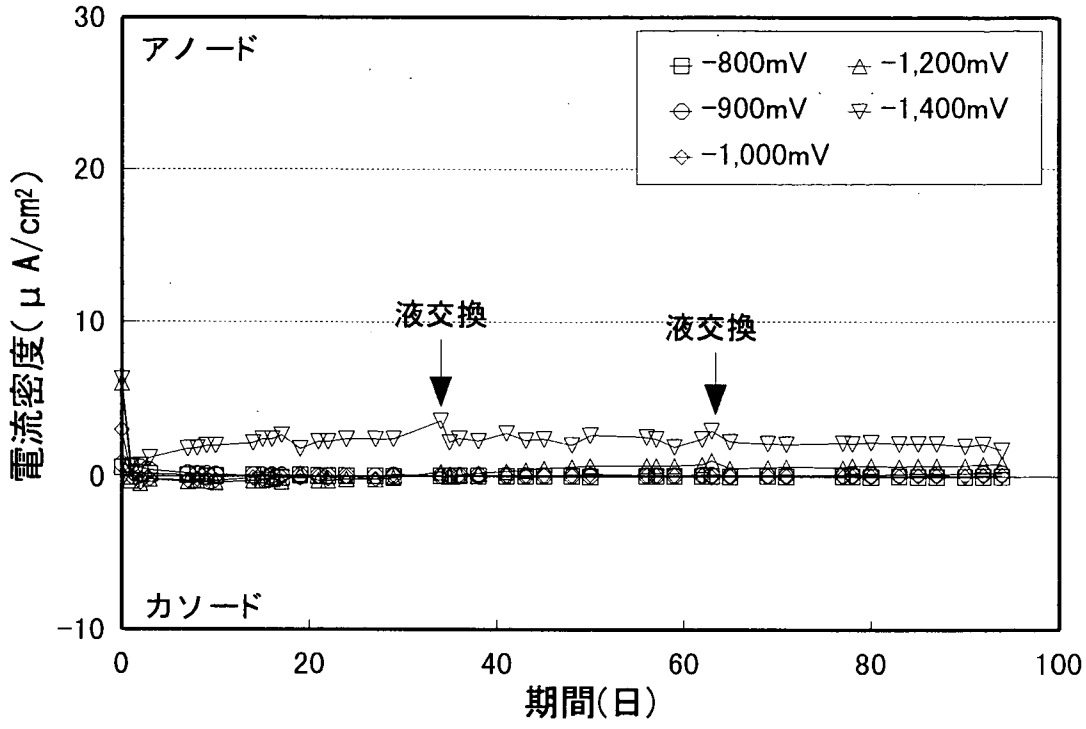
図－1.6.1　自然電極電位の経時変化



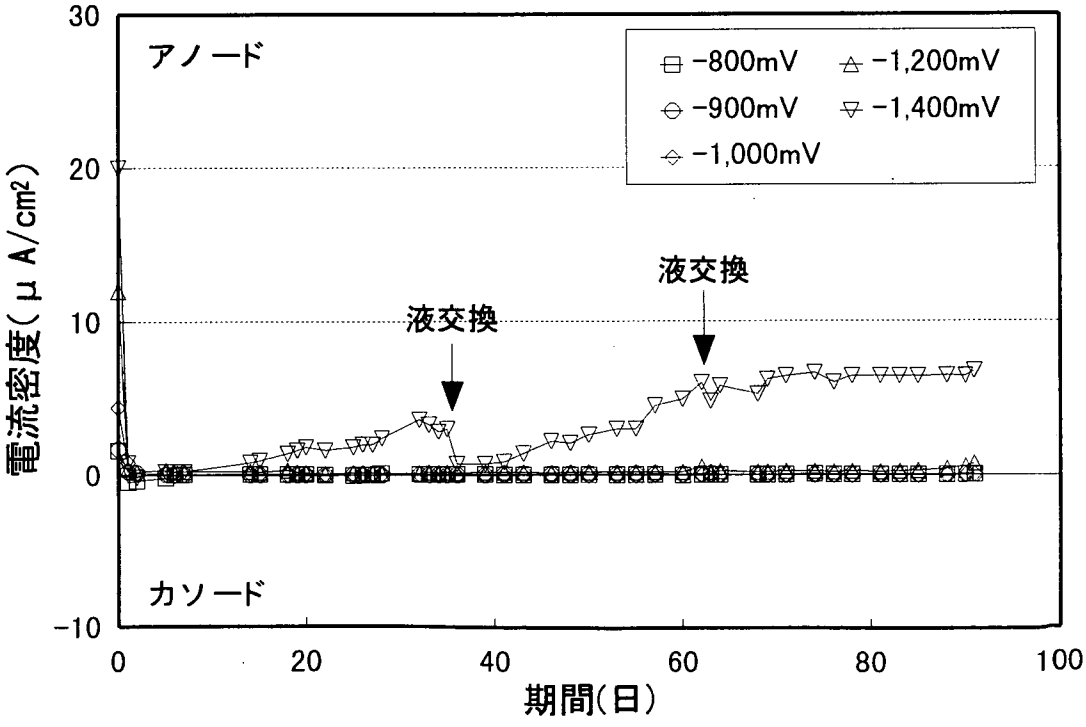
図－1.6.2　電解電流の経時変化(20ppm塩素イオン濃度)



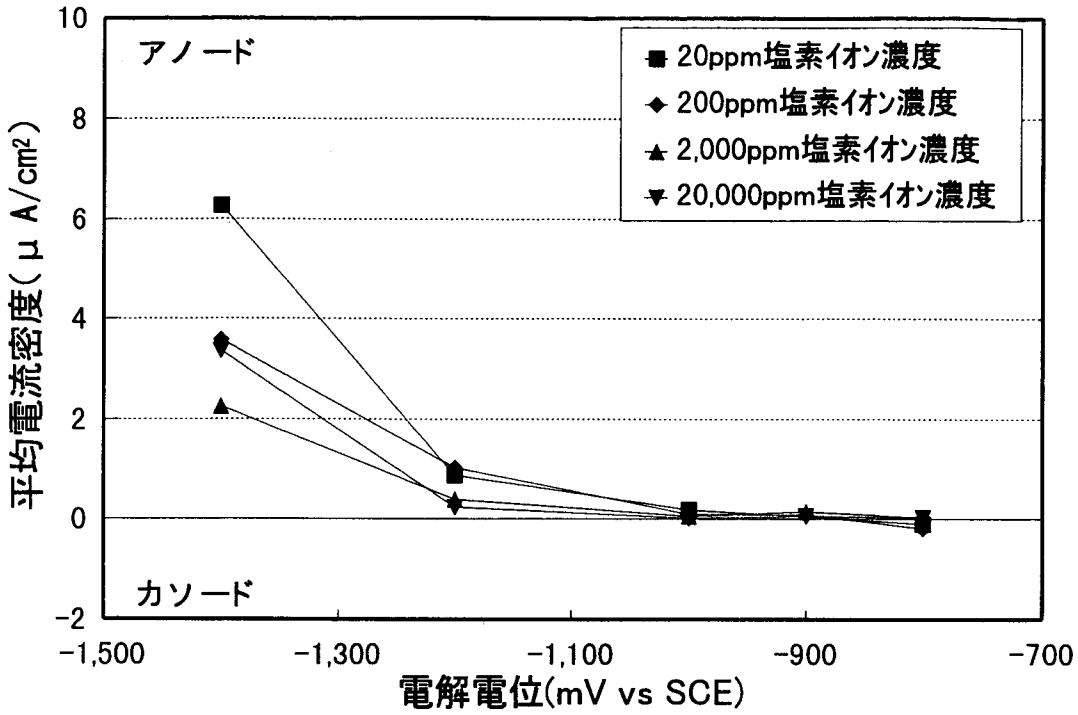
図－1.6.3　電解電流の経時変化(200ppm塩素イオン濃度)



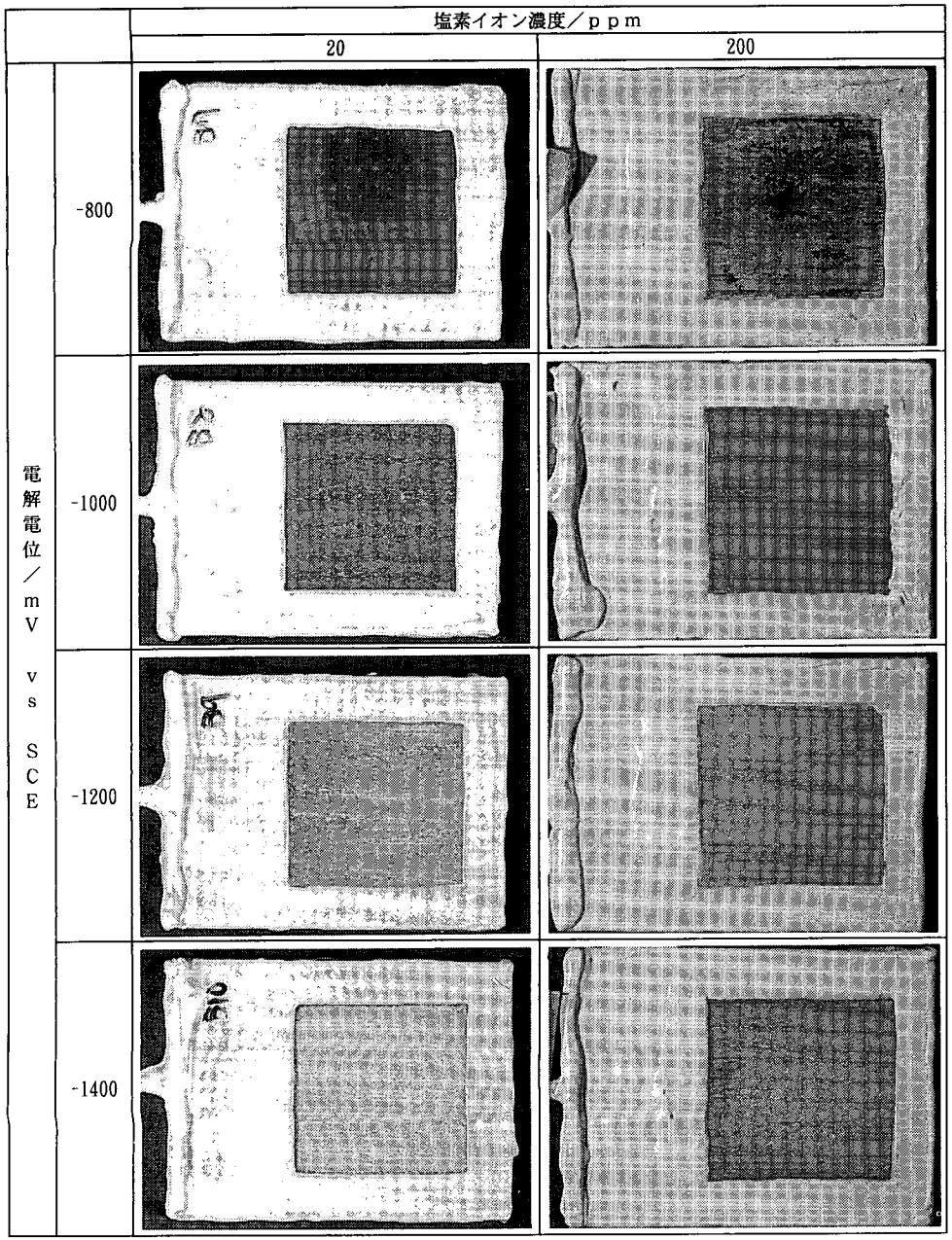
図－1.6.4　電解電流の経時変化(2,000ppm塩素イオン濃度)



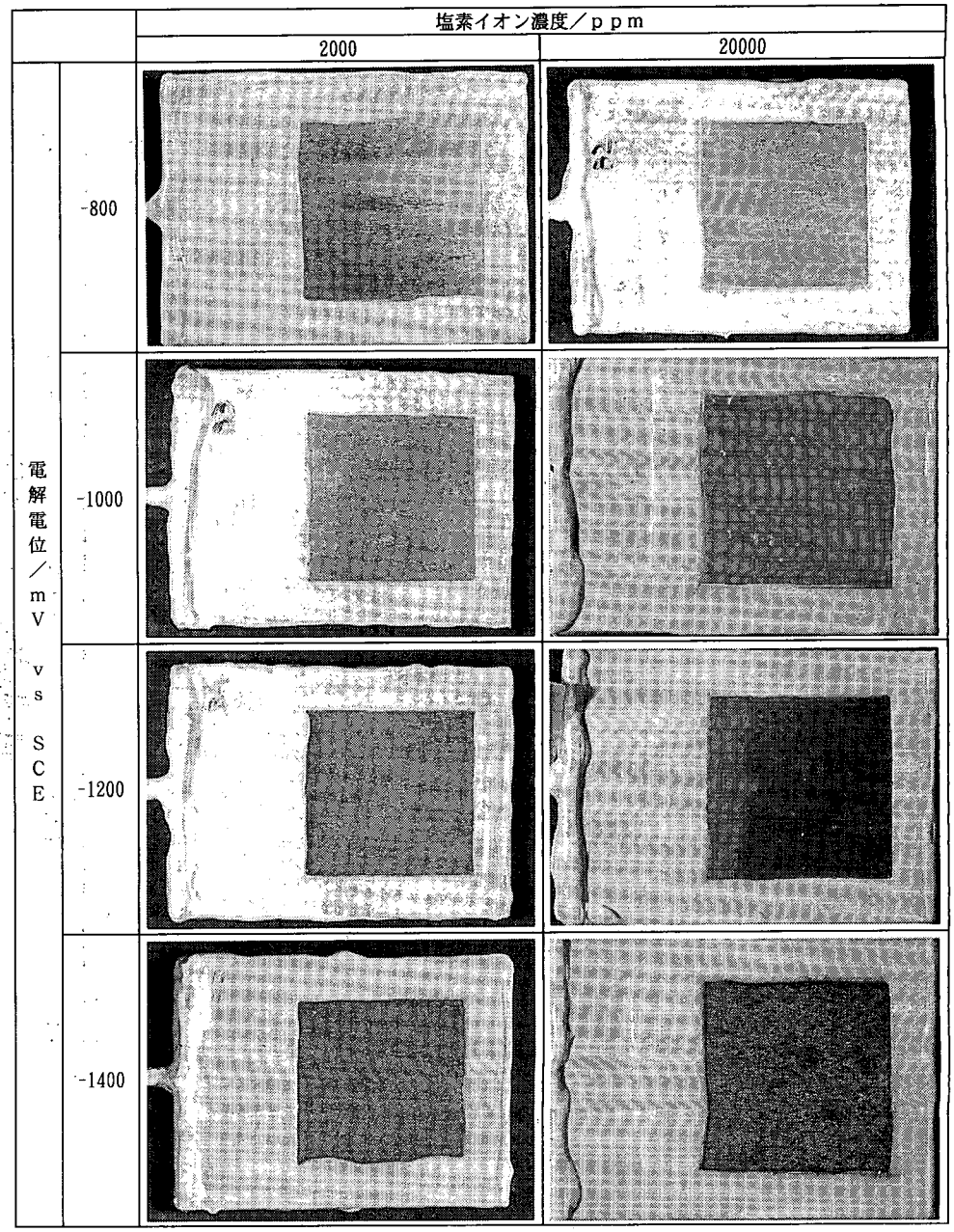
図－1.6.5　電解電流の経時変化(20,000ppm塩素イオン濃度)


10
8
6
4
2
0
-2
アノード
カソード
20ppm塩素イオン濃度
200ppm塩素イオン濃度
2,000ppm塩素イオン濃度
20,000ppm塩素イオン濃度
平均電流密度(μA/cm²)
-1,500
-1,300
-1,100
-900
-700
電解電位(mV vs SCE)

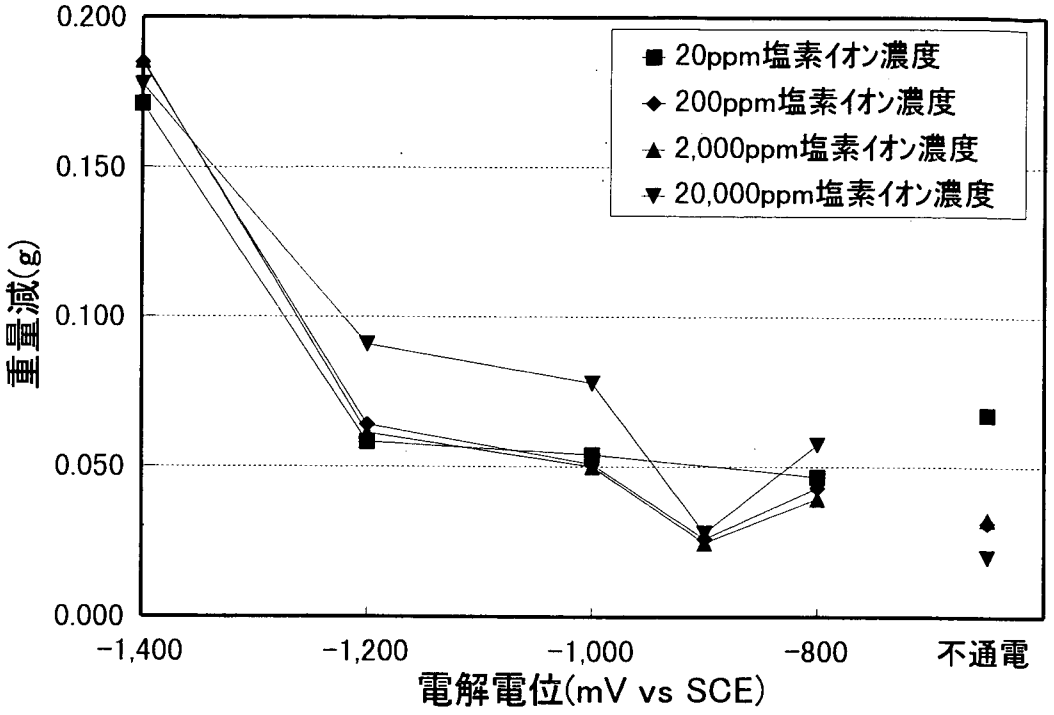
図－1.6.6　平均電解電流



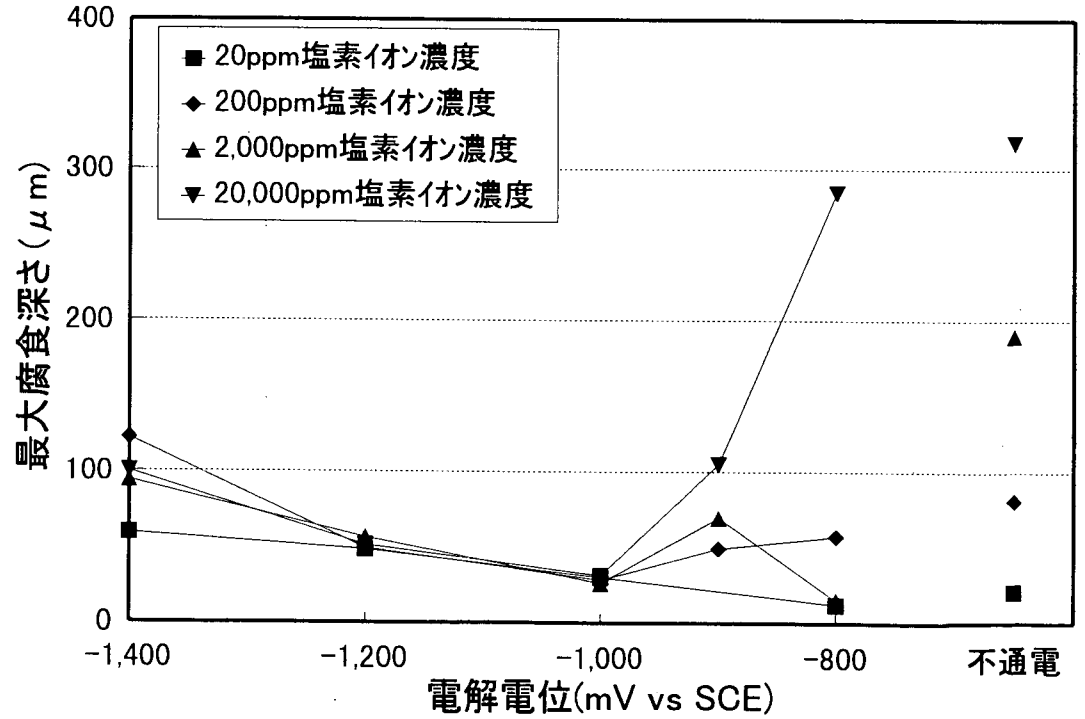
写真－1.6.2'1) 外観状況，90 日，（腐食生成物除去前）　20mm



写真－1.6.2(2) 外観状況，90 日，（腐食生成物除去前）　20mm



図－1.6.7　重量減少(90日，腐食生成物除去後)



図－1.6.8　最大腐食深さ(90日，腐食生成物除去後)

2. 淡水暴露試験

河川・ダム施設へのアルミニウム材料の適用に関する検討の一環として、表－2.1に示す基礎計画に基づいて七ヶ宿ダム湖において各種アルミニウム合金の水中暴露腐食試験を行っている。

平成8年度には、平成7年度に開始した1年目の試験片を回収・調査するとともに、塗装の効果（追加塗装種）および異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果に関する追加試験を開始した。なお、平成5年および平成6年に設置した試験片が平成7年に流失したため、計画の見直しを行い、平成7年に再度設置した試験片の暴露試験を現在行っている。

本報告は、おもに平成8年度に回収した1年間暴露した試験片の腐食状況調査である。

表－2.1　七ヶ宿湖水中暴露試験の基礎計画

（——は流失に伴う中止、　　は今回報告）

暴露試験における注目点	実施年度				
		暴露試験片回収			
	暴露開始	1年目	3年目	5年目	10年目
1．素材の腐食速度 2．溶接部の影響 3．塗装の効果 4．隙間の影響	H５ H７ (11/6)	H６ H８ (10/25)	~~H８~~ H１０	~~H１０~~ H１２	~~H１５~~ H１７
5．異種金属接合の影響	H６ H７ (11/6)	~~H７~~ H８ (10/25)	~~H９~~ H１０	~~H１１~~ H１２	－－ H１７
6．塗装の効果（追加塗装種）	H８ (10/25)	H９ (11/6)	H１１	H１３	H１８
7．異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果	H８ (10/25)	H９ (11/6)	H１１	H１３	H１８

2.1 試験方法

(1)平成7年に開始した試験

1)試験片の基本仕様

①アルミ合金の種類

適用用途から、強度と耐食性を考慮し、A5083P-O、A5052P-H32およびA5083S-H112の3種ｱﾙﾐ合金を選した。それらの組成成分などを表－2.2に示す。

表－2.2　供試アルミ合金の組成成分

合金記号*	厚さ (mm)	主要成分** (wt%)							備考	
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	調質・形状*	想定適用部位
A5083P-O	10	<0.4	<0.4	--	0.7	4.5	--	0.15	焼鈍し軟質板	厚肉主要構造部材
A5052P-H32	5	<0.3	<0.4	--	--	2.5	--	0.25	1/4加工硬化板	薄肉補助板材
A5083S-H112	10	<0.4	<0.4	--	0.7	4.5	--	0.15	押出形材	特定形状補助部材

*)JIS H0001参照,　**)JIS H4000、H4100参照

②試験片の種類

表－2.1に示した、暴露試験における各注目点に関し、試験片の形態および評価方法について以下のように基本的に定めた。それらに基づき、表－2.3の各試験片を選定した。

(A)素材の腐食速度　：　無処理平板の腐食重量減少および孔食深さによる。

(B)溶接部の影響　：　溶接接合した試験片を用い、溶加材、熱影響部と非接合部の外観、孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。

(C)塗装の効果　：　塗装した試験片を用い、同種の無塗装試験片との外観、孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。

塗装種には最も一般的なエポキシ樹脂塗料中塗り＋ポリウレタン樹脂塗料上塗りを採用した。

（なお、室内試験で是非が不明確であったウォッシュプライマー下地塗装の有無および異なる仕様で既に開始された江戸川河口水中暴露試験の塗装仕様も考慮に加えた。）

(D)隙間の影響　：　ASTM　G78-89に準拠し、無処理平板に所定のすき間形成材を装着し、その部分でのすき間腐食性を評価する。

(平成5年開始時は溶接接合試験片を使用したが、表面の平坦性を確保するため、平成7年再開時は単体試験片を使用した。また、平成5年開始時には塗装材についても適用したが、1年浸漬後回収品の調査結果とすき間腐食の発生機構を考慮し、無意味と考えられたので、平成7年再開時は削除した。）

(E)異種金属接合の影響：　実際に有り得る異種金属接合を想定し、同種の単体試験片との外観、孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。

接合異種金属として普通鋼材(SM400B)およびステンレス鋼材(SUS304)を選定した。

基礎的な知見を得るために、アルミニウム材料と異種金属の接合比率として、1：1および10：1を選定し、また、実際に生じる異種金属接合を想定し、無処理平板および塗装平板にステンレス鋼製ボルトを装着した試験片も供試した。

③試験片の寸法

試験片形状の概略を図－2.1に示した。なお、A5083P-O材およびA5052P-H32材については所定の厚さの圧延板材より所定の寸法に切り出して試験片とした。また、A5083S-H112については、幅200mm^{w} のC字押出形材から所定の寸法に切り出して試験片とした。

④溶接仕様

耐食性に及ぼす溶接の影響を調査するために、一部の供試材に溶接を施した。その際、10mm^{t} 試験片(A5083P-OおよびA5083S-H112)の場合には図－2.2のような開先形状に加工し、5mm^{t} 試験片(A5052P-H32)の場合に開先をとらず、突き合わせた材料をTIG(Tungsten Innert Gas)溶接法によって溶接した。

⑤塗装仕様

耐食性に及ぼす塗装の効果を調査するために、一部の供試材に塗装を施した。その際の塗装仕様は、将来の有機溶剤規制、景観性および汎用性に重点を置き、常温乾燥型エポキシ樹脂塗料中塗り＋常温乾燥型ポリウレタン樹脂塗料上塗りと定めた。なお、室内試験で是非が不明確であったウォッシュプライマー下地塗装の有無および異なる仕様で既に開始された江戸川河口水中暴露試験の塗装仕様も考慮に加え、表－2.3脚注のように選定した。

⑥すき間形成材

すき間腐食を考慮するために、一部の供試材にすき間形成材を装着した。その場合のすき間形成材には、先にステンレス鋼材の暴露試験に使用されたものと同一の、ASTM　G78に準じたポリサルフォン樹脂製のマルチクレビスアセンブリを使用した。すき間形成材の仕様を図－2.3に示した。すき間形成材は供試材の両側にステンレス鋼製ボルトで装着し、トルク0.9kg・mで締め付けた。

2)試験片の諸特性および取り付け状態

①平成7年開始暴露試験片

平成7年に暴露を開始した各アルミニウム合金の成分分析結果を表－2.4に示す。

平成7年に暴露を開始した普通鋼およびステンレス鋼の成分分析結果を表－2.5に示す。

②試験片の塗装膜厚

平成7年に暴露を開始した塗装の膜厚測定結果を表－2.6に示した。当初の計画に対し、前七ヶ宿仕様(記号：SH、SP)の膜厚が厚く仕上がっていた。

③試験片の試験前の重量

平成7年に暴露を開始した腐食重量減少量測定用単板試験片の暴露開始前重量測定結果を表－2.7に示す。

④暴露試験取り付け枠および試験片取り付け状態

試験片取付枠および取付枠への試験片固定方法を図－2.4、2.5にそれぞれ示す。

3)回収試験片の調査方法

回収試験片の調査工程および方法概略を表－2.8に示す。

表－2.3　七ヶ宿ダムにおける暴露腐食試験片仕様概略（平成7年開始分）

試験片							試験片記号				
区分	合金	溶接	塗装	寸法（幅x長さ:mm）	附属品等	形状（図1）	保存	1年	3年	5年	10年
素材腐食	5083P-0	－	－	100×100	なし	ア	SA0	SA1	SA3	SA5	SA10
	5052P-H32						SB0	SB1	SB3	SB5	SB10
	5083S-H112						SC0	SC1	SC3	SC5	SC10
溶接の影響	5083P-0	○	－	100×100	なし	イ	SM0	SM1	SM3	SM5	SM10
	5052P-H32		－				SN0	SN1	SN3	SN5	SN10
	5083S-H112		－				SO0	SO1	SO3	SO5	SO10
塗装の効果	5083P-0	○	①	100×100	なし	イ	SP0	SP1	SP3	SP5	SP10
			②				SQ0	SQ1	SQ3	SQ5	SQ10
			③				SR0	SR1	SR3	SR5	SR10
すき間腐食	5083P-0	－	－	100×100	すきま形成材	ウ	SD0	SD1	SD3	SD5	SD10
	5052P-H32		－				SE0	SE1	SE3	SE5	SE10
	5083S-H112		－				SF0	SF1	SF3	SF5	SF10
異種金属接触腐食	5083P-0	－	－	100×100	ｽﾃﾝﾚｽ鋼ﾎﾞﾙﾄ	エ	SG0	SG1	SG3	SG5	SG10
			①				SH0	SH1	SH3	SH5	SH10
			－	Al=100×300 Fe=100×300	SM400B	Fe:Al 1:1 Al= オ Fe= オ	SI0	SI1	SI3	SI5	SI10
				Al=100×300 Fe=100× 30		Fe:Al 1:10 Al= オ Fe= カ	SJ0	SJ1	SJ3	SJ5	SJ10
				Al =100×300 SUS=100×300	SUS304	SUS:Al 1:1 Al= オ SUS=オ	SK0	SK1	SK3	SK5	SK10
				Al =100×300 SUS=100× 30		SUS:Al 1:10 Al= オ SUS=カ	SL0	SL1	SL3	SL5	SL10

塗装仕様

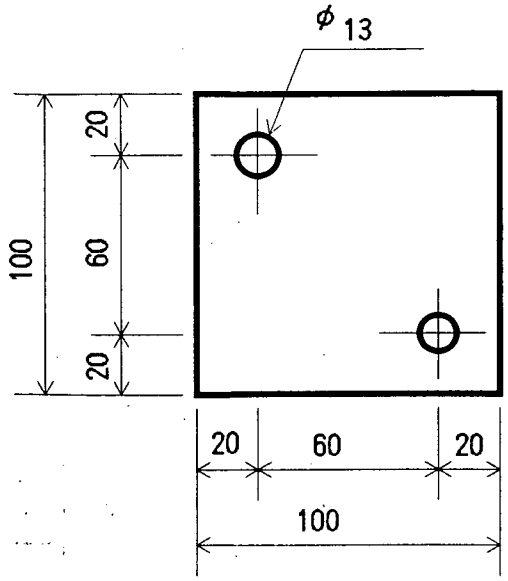
記号	区分	素地調整	ｳｫｯｼｭﾌﾟﾗｲﾏｰ下地	エポキシ中塗り	ウレタン上塗り
①	前七ヶ宿仕様	：シンナー拭き →	１０μm →	８０μm →	１０μm
②	江戸川仕様	：シンナー拭き →	なし →	１２０μm →	６０μm
③	プライマー削除	：シンナー拭き →	なし →	８０μm →	１０μm

表－2.4　平成7年暴露開始アルミ合金の成分分析結果（カントメーター法による参考値：wt%）

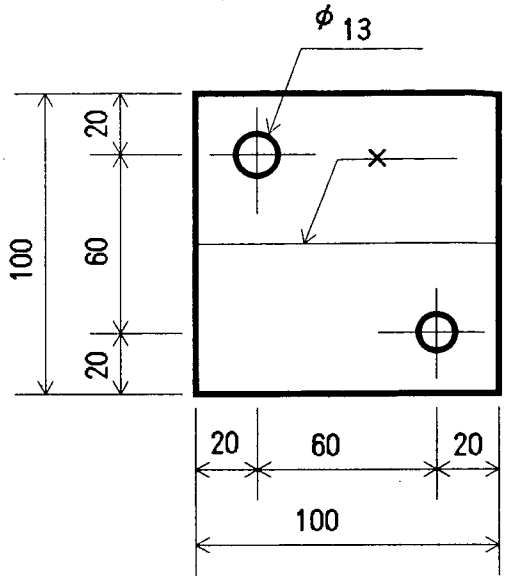
合金記号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A5083P-0	0.12	0.24	0.05	0.6	4.6	0.11	0.02	0.02	残部
A5052P-H32	0.07	0.26	0.02	0.00	2.61	0.18	0.00	--	残部
A5083S-H112	0.09	0.15	0.04	0.6	4.6	0.12	0.01	0.02	残部

表－2.5　H７年暴露開始普通鋼の成分分析結果（添付成績票より転載：wt%）

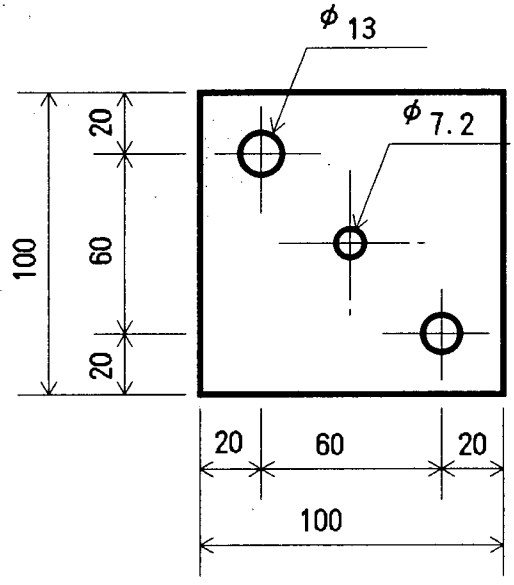
合金記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	N
SM400	0.18	0.30	1.22	0.01	Tr.	--	--	--	--	--	--
SUS304	0.05	0.45	1.10	0.03	Tr.	8.40	18.3	0.14	0.24	Tr.	0.05



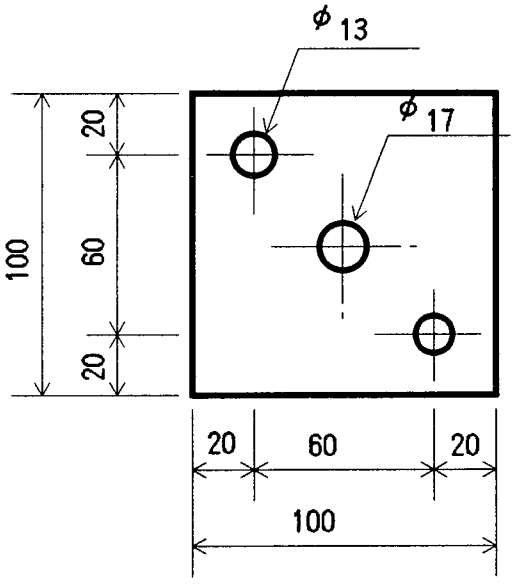
ア：重量測定用単体試験片



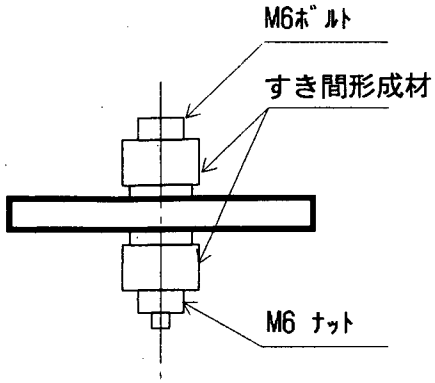
イ：溶接および塗装用試験片

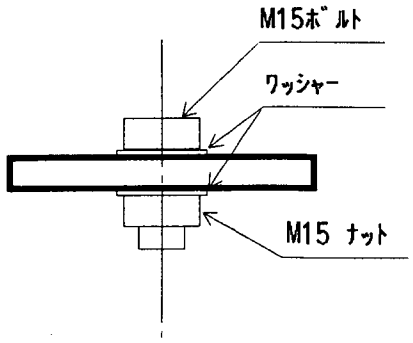


ウ：すき間腐食用試験片

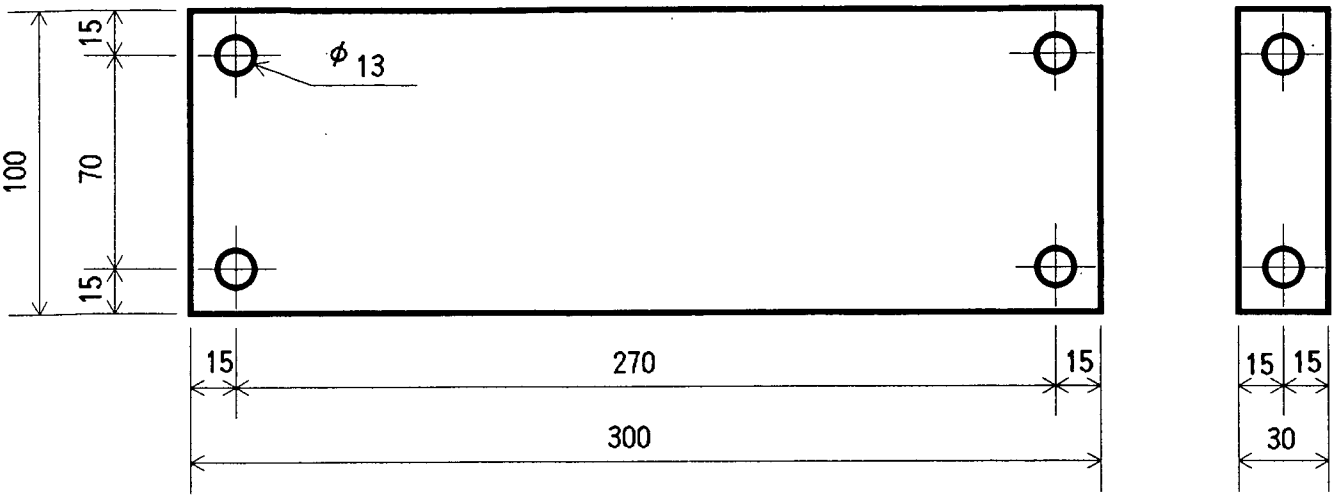


エ：ステンレス鋼ボルト接合用試験片



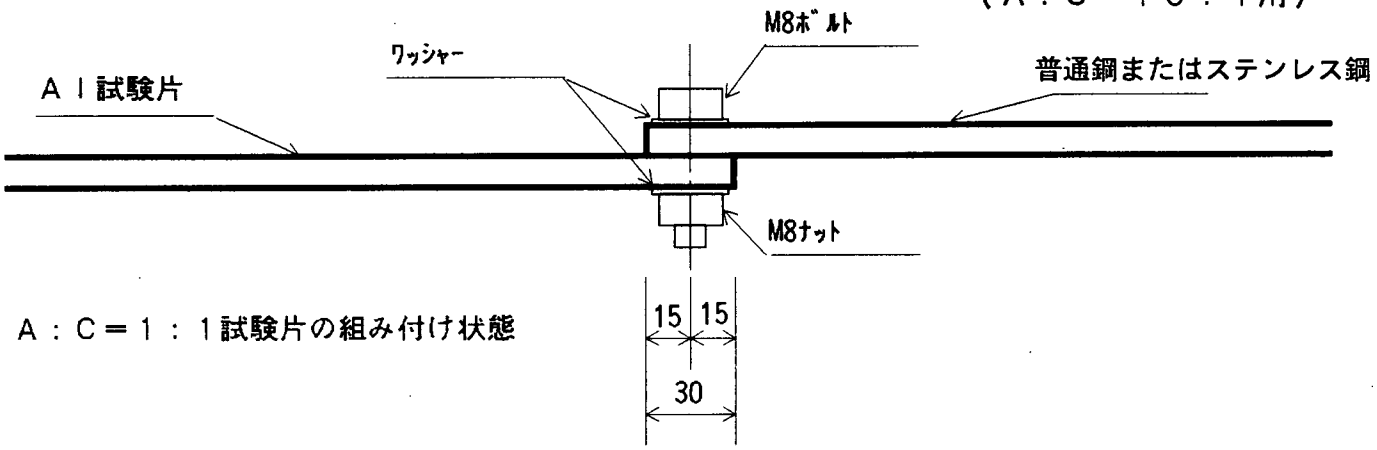


図－2.1(1)　試験片形状概略

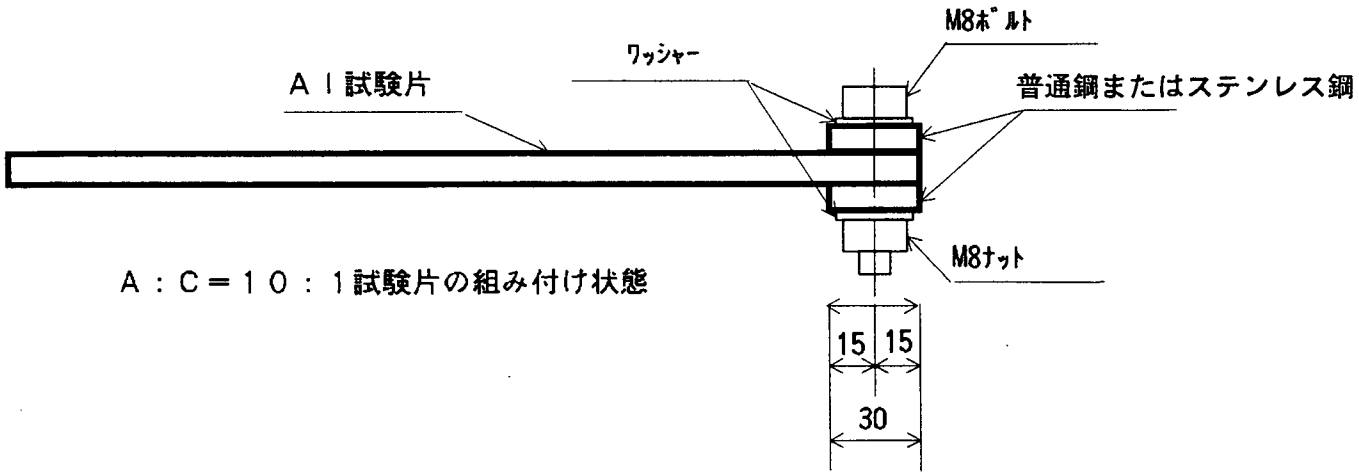


オ：異種金属接触用試験片
および接合普通鋼，ステンレス鋼（A：C＝1：1用）

カ：異種金属接合試験片用
接合普通鋼，ステンレス鋼
（A：C＝10：1用）

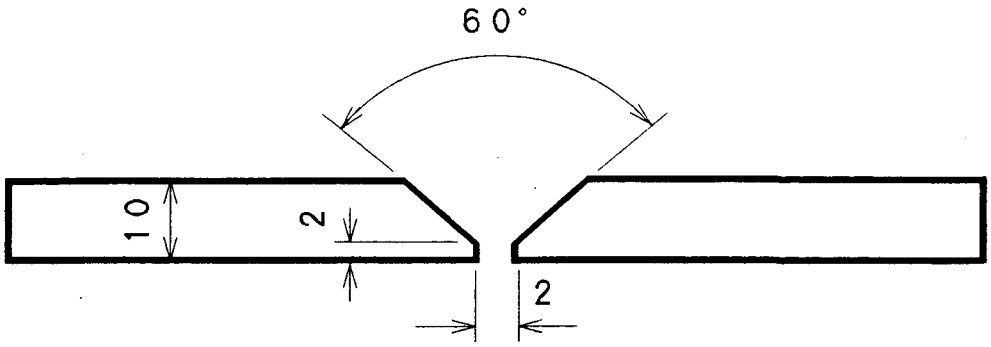


A：C＝1：1試験片の組み付け状態

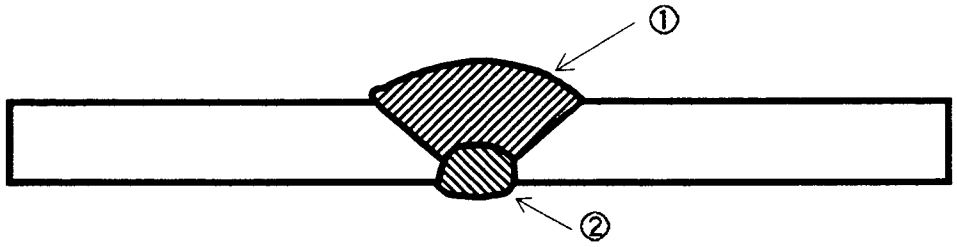


A：C＝10：1試験片の組み付け状態

図－2.1(2)　試験片形状概略

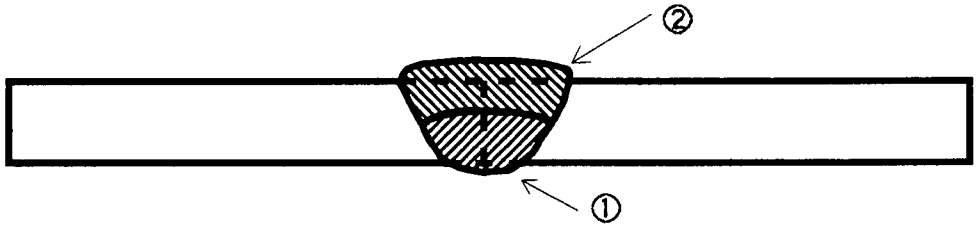


a）A5083P−O，A5083S−H112　10mmt 試験片の開先形状



b）A5083P−O，A5083S−H112　10mm^{t} 試験片のビード形状模式

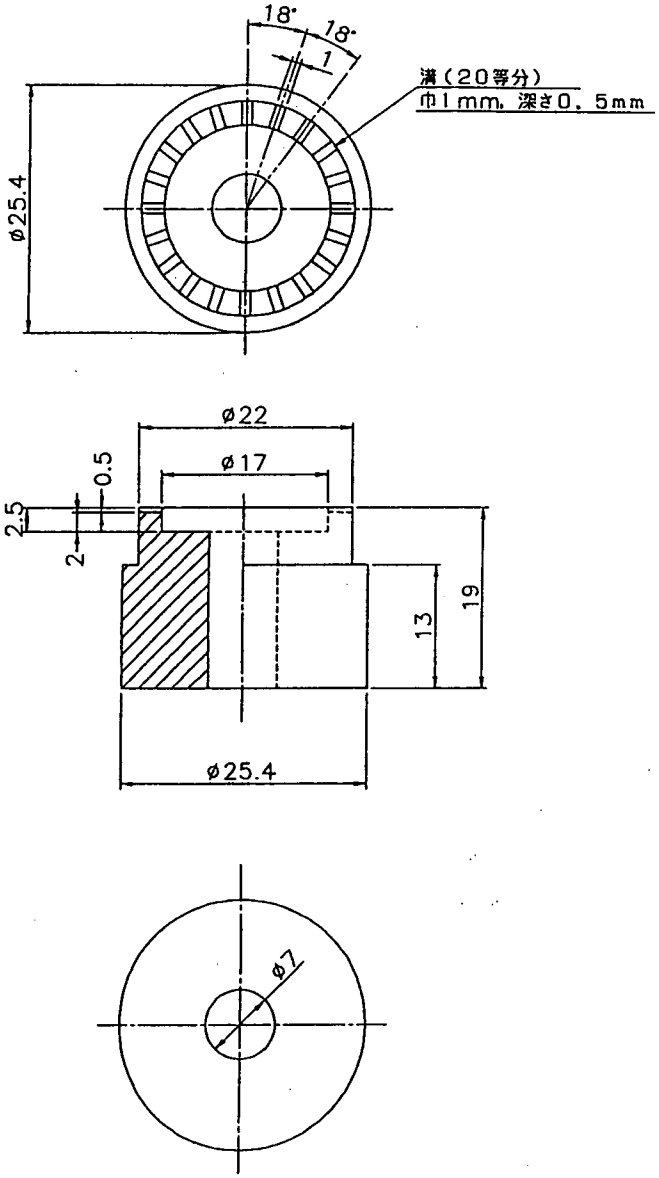
ﾊﾟｽ	方式	溶接棒 材質	径(mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	姿勢
①	TIG	A5183-BY	3.2	290	28	100	下向
②	TIG	A5183-BY	3.2	200	24	100	下向



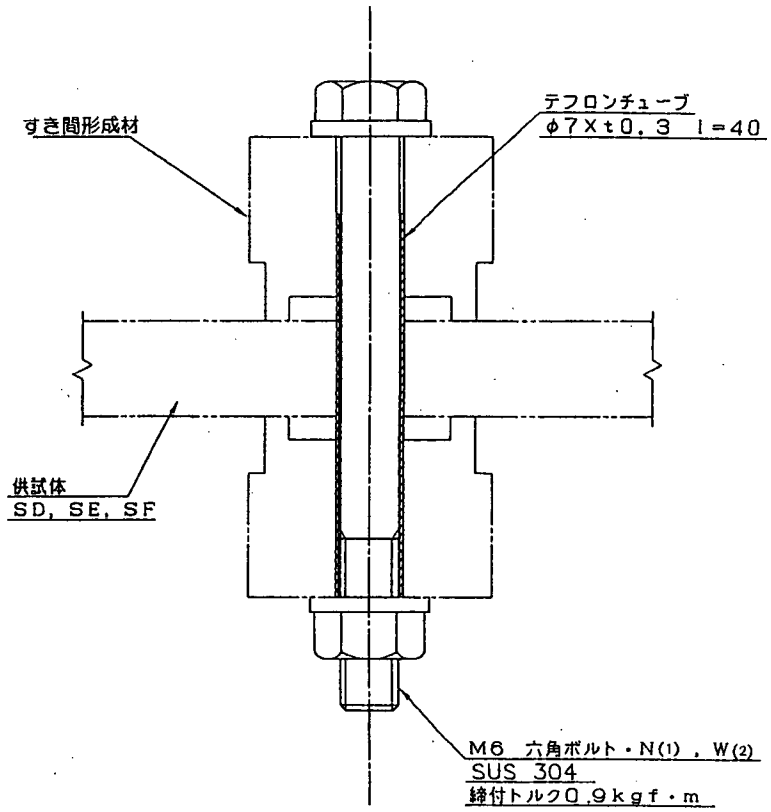
c）A5052P−H32　5mm^{t} 試験片のビード形状模式

ﾊﾟｽ	方式	溶接棒 材質	径(mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	姿勢
①	TIG	A5356-BY	3.2	260	26	100	下向
②	TIG	A5356-BY	3.2	240	24	100	下向

図−2.2　各試験片の溶接仕様



すき間形成材取付詳細



注記

1．材質　ポリサルホン
2．製作数　24ケ
3．付属品　（1）六角ボルト・ナット M6X60 12組
平ワッシャ 2ケ付 （SUS304）
（2）テフロンチューブ φ7Xt0．3 L=40mm 12本
4．すき間形成材および付属品は日軽金手配

図－2.3 すき間形成材

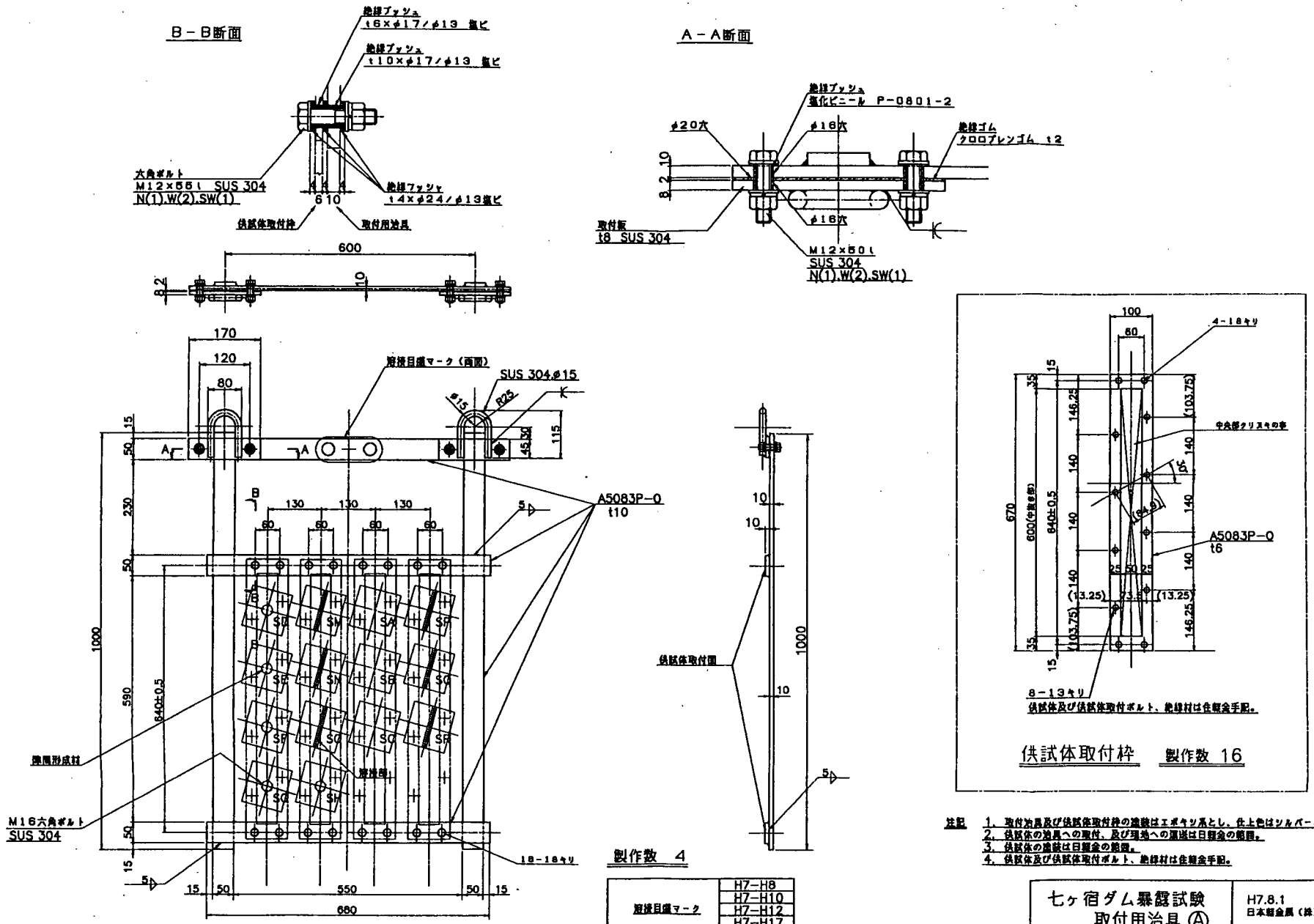
七ケ宿ダム暴露試験用 すき間形成材（ASTM G78－89準拠）	H7．8．1 日本軽金属（株） 三上

表－2.6　平成7年暴露開始塗装アルミ合金の塗膜厚さ測定結果（渦電流式膜厚計による。）

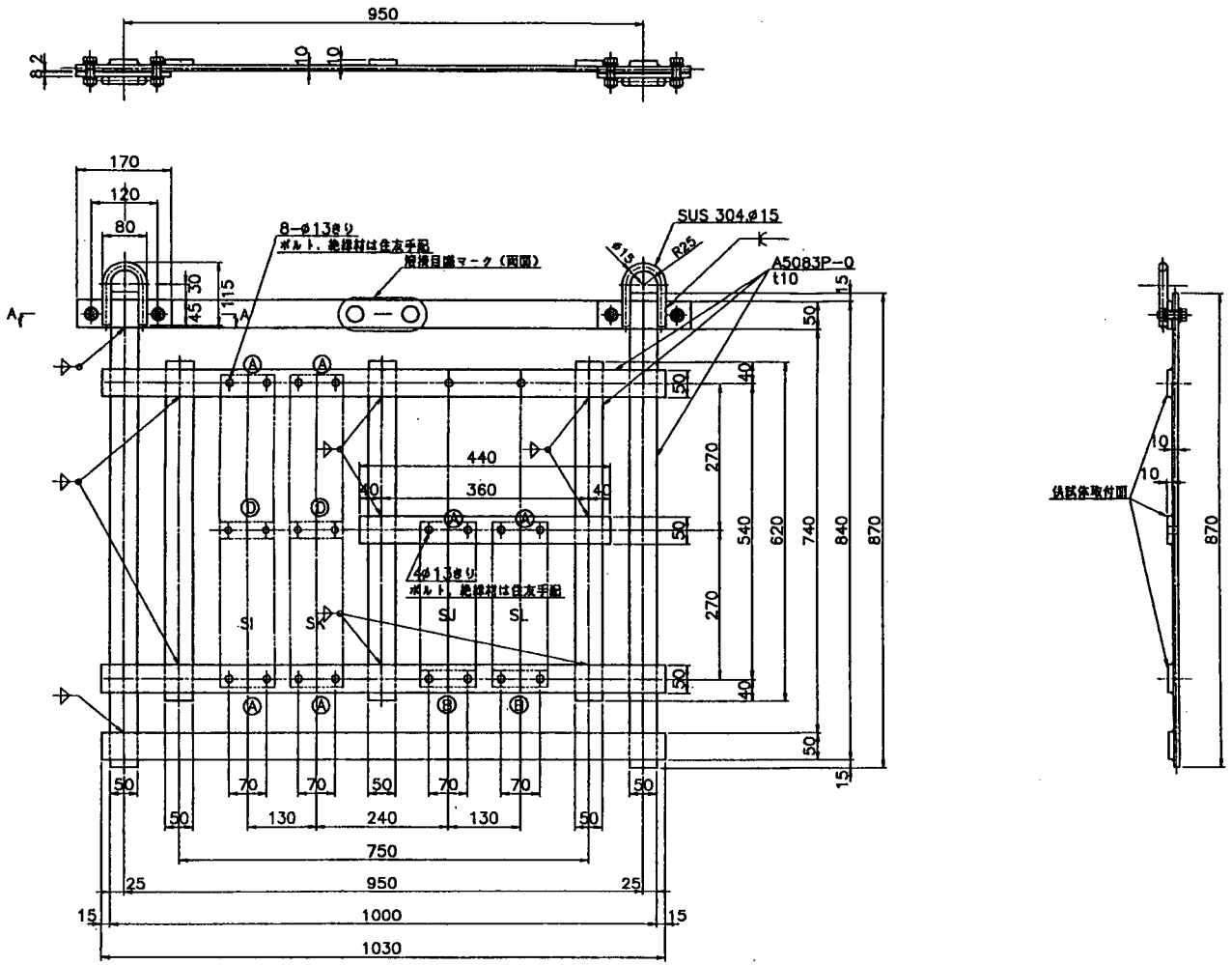
供試材			塗膜厚さ（μm）									
			表（刻印）面					裏面				
合金記号、用途	記号	期間	左	右	上	下	平均	左	右	上	下	平均
A５０８３P－O	SH0	保存	231	241	226	243	235.25	235	224	218	202	219.75
	SH1	1年	226	217	231	223	224.25	266	221	225	212	231.0
ステンレス鋼製	SH3	3年	232	234	257	262	246.25	246	225	227	245	235.75
ボルト接合用	SH5	5年	236	205	244	243	232.0	218	257	235	236	236.5
前七ヶ宿仕様	SH10	10年	211	220	229	200	215.0	226	213	222	239	225.0
	SP0	保存	183	200	200	176	189.75	188	173	230	208	199.75
A５０８３P－O	SP1	1年	179	208	198	202	196.75	237	193	194	225	212.25
	SP3	3年	208	169	185	194	189.0	215	231	253	230	232.25
単体	SP5	5年	175	166	179	169	172.25	200	171	192	216	194.75
前七ヶ宿仕様	SP10	10年	175	218	213	181	196.75	198	193	245	223	214.75
	SQ0	保存	240	177	193	213	205.75	231	205	191	211	209.5
A５０８３P－O	SQ1	1年	205	229	207	223	216.0	235	299	239	221	248.5
	SQ3	3年	244	263	229	227	240.75	223	203	247	208	220.25
単体	SQ5	5年	216	295	253	275	259.75	239	250	297	262	262.0
江戸川仕様	SQ10	10年	247	238	246	209	235.0	229	245	202	240	229.0
	SR0	保存	116	108	128	115	116.75	143	200	142	203	172.0
A５０８３P－O	SR1	1年	191	180	196	153	180.0	116	126	112	141	123.75
	SR3	3年	100	105	96	110	102.75	129	120	131	96	119.0
単体	SR5	5年	123	106	112	115	114.0	115	122	114	120	117.75
プライマー削除	SR10	10年	114	113	93	138	114.5	143	97	110	122	118.0
測定位置（上下左右）は刻印を右下（裏面では左下背面）に位置させた場合												

表－2.7　腐食重量減少測定用単板試料の重量測定結果

供試材			暴露前重量(g)		使用した天秤の校正	
合金	記号	期間	実測:a	補正後:b	標準分銅(g)	測定値(g)
A５０８３P－O	SA0	保存	264.470	264.370	0.000	0.000
	SA1	1年	264.487	264.387	50.000	50.020
	SA3	3年	264.508	264.408	100.000	100.035
	SA5	5年	264.368	264.269	150.000	150.054
	SA10	10年	264.237	264.138	200.000	200.075
A５０５２P－H３２	SB0	保存	129.590	129.542	250.000	250.096
	SB1	1年	129.404	129.356	300.000	300.113
	SB3	3年	129.056	129.008		
	SB5	5年	129.618	129.570		
	SB10	10年	128.331	128.283		
A５０８３S－H１１２	SC0	保存	254.964	254.868		
	SC1	1年	259.376	259.278		
	SC3	3年	257.758	257.661		
	SC5	5年	258.466	258.369		
	SC10	10年	260.138	260.040		



図－2.4　平成７年に開始した単体、すき間腐食試験片取付枠および試験片設置位置



図－2.5　平成７年に開始した無塗装異種金属接合腐食試験片取付枠および試験片設置位置

製作数　4

腐食目盛マーク	H7−H8
	H7−H10
	H7−H12
	H7−H17

注記
1. 取付治具の塗装はエポキシ系とし，仕上色はシルバーとする。
2. 供試体の治具への取付，及び現地への運送は日軽金の範囲。
3. 供試体の塗装は日軽金の範囲。
4. Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓは試験片取付のタイプを示す。（別図）
5. 供試体及び供試体取付ボルト，絶縁材は住軽金手配。

七ヶ宿ダム暴露試験 取付用治具 Ⓑ	H7.8.1 日本軽金属（株）三上

表－2.8(1)　回収試験片の調査工程および方法

項　　目	内　　容
1．引き上げ	・ダム管理事務所所有のボートに乗り、所定の試験片取り付け枠を引き上げ、岸辺に移動する。異種金属接触腐食試験片取り付け枠は岸辺の浅い所に沈め、電位測定の準備を行う。その他の試験片取り付け枠は岸辺近くの土手に放置し乾燥する。 ・試験片暴露位置の付近から水質分析用の湖水をポリ容器に採取する。
2．現地電位測定	・岸辺に沈めた異種金属接触腐食試験片の異種金属端部に電圧計の＋側をつなぎ－側を飽和カロメル電極に接続する。所定の位置に電極を動かして、電圧を測定し記録する。測定終了後、岸辺近くの土手に放置し乾燥する。
3．現地写真撮影	・岸辺に放置したまま、全体および各試験片の外観を写真撮影する。
4．梱包・発送	・現地において試験片取り付け枠ごと梱包し、調査を行う場所に発送する。
5．開梱・外観写真撮影	・梱包を開き、表側と裏側の全体および各試験片の外観を写真撮影する。
6．水質分析	・回収した水質分析用の湖水を、ＪＩＳ　K-０１、０２に準拠した方法で水質を析する。
7．水洗・乾燥	・水道水流水中でスポンジを用いて、表面に付着した藻などの水生生物や泥および腐食生成物を洗い流し、その後清浄な室内で放置・乾燥させる。
8．水洗後の試験片の外観写真撮影(表側)	・水洗後の各試験片の表側の外観を写真撮影する。
9．試験片の取り外し	・工具を用いて試験片取り付け枠から試験片を取り外す。
１０．水洗後の試験片の外観写真撮影(裏側)	・水洗後の各試験片の裏側の外観をカラーで撮影する。
１１．すき間形成材、異種金属の取り外し	・工具を用いてすき間腐食試験片からすき間形成材を、また、異種金属接触腐食試験片から異種金属を取り外す。
１２．塗膜はく離	・塗装試験片について、塗膜除去剤(*)を使用して塗膜をはく離する。(*)三採化工㈱製ネオリバー(主成分ジクロルメタン)に室温で１５分浸漬後、樹脂製のブラシやスポンジを用いて塗膜を除去) ・塗膜はく離後の試験片は水洗し、清浄な室内で放置・乾燥する。
１３．外観写真撮影	すき間形成材取り外し後のすき間腐食試験片および塗膜はく離後の塗装試験片の外観を写真撮影する。

表－2.8(2)　回収試験片の調査工程および方法

項　　目	内　　容
１４．腐食生成物除去	・30g/l無水クロム酸＋50mlリン酸混液中に試験片を浸漬し煮沸する。処理時間は腐食生成物の除去状態により適宜（最大３０分まで）延長する。 ・腐食生成物除去後の試験片は、多量の水道水流水中でクロム酸の痕跡が消失するまですすぎ、その後清浄な室内で放置・乾燥する。
１５．重量測定	・重量減少量測定用試験片（単体腐食試験片）について、重量を測定する。 ・その際、試験開始前に実施したように標準分銅で天秤を校正し、実測値を補正する。なお、保管試験片（０年試験品）の重量も同時に測定した。
１６．腐食深さ測定	a）　腐食生成物除去後の試験片について、端面を除く全暴露面を対象として、実体顕微鏡や拡大鏡を用いて孔食が発生していそうな場所に印を付け、顕微鏡を用いた焦点深度法により腐食深さを測定する。 b）　溶接腐食試験片については、下記各部位に区分し腐食深さを測定する。 イ）溶接ビード ロ）溶接ビード近傍 ハ）一般部 c）　すき間腐食試験片については、下記各部位に区分し腐食深さを測定する。 イ）すき間形成材装着部 ロ）一般部 d）　異種金属腐食試験片については、下記の各部位に区分し腐食深さを測定する。また、各腐食について、異種金属がボルトの試験片についてはボルト穴中心からの距離を、異種金属が板の試験片については接合境界からの距離を測定する。境界部とは境界線から５ｍｍ離れた位置までの部分とした。 イ）異種金属接触面 ロ）異種金属境界部 ハ）一般部
１７．腐食部断面拡大写真撮影	・各試験片の代表的腐食部を切断・樹脂埋め・研磨を行い、腐食部の拡大写真撮影する。 ・その際、写真の倍率は適宜選定する。

(2) 平成８年に開始した試験

平成８年は、塗装の効果（追加塗装種）及び異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果に関する追加試験を開始した。

1)試験片の基本仕様

①アルミニウム合金の種類

アルミニウム合金はA5083P-0を選定した（表—2.2を参照）。

②試験片の種類

平成８年に開始した暴露試験片の仕様概略を表－2.9に示した。異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果を調査するため、犠牲陽極材料としては純亜鉛及び純マグネシウムを選定した。また、塗装仕様としては、室内試験の耐食性の結果を考慮して下地処理はウォッシュプライマー、塗装種は（エポキシ+ポリウレタン）及び耐候性を重視した（エポキシ+ふっ素）を選定した。

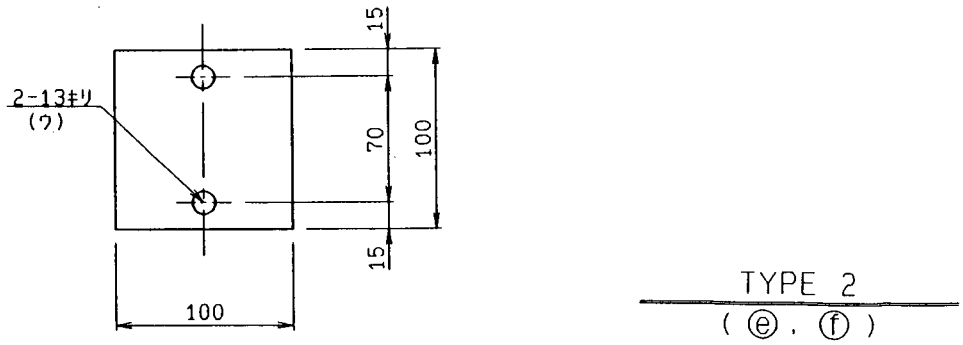
③試験片の寸法

塗装試験片及び異種金属接合試験片の形状仕様を図—2.6に示す。

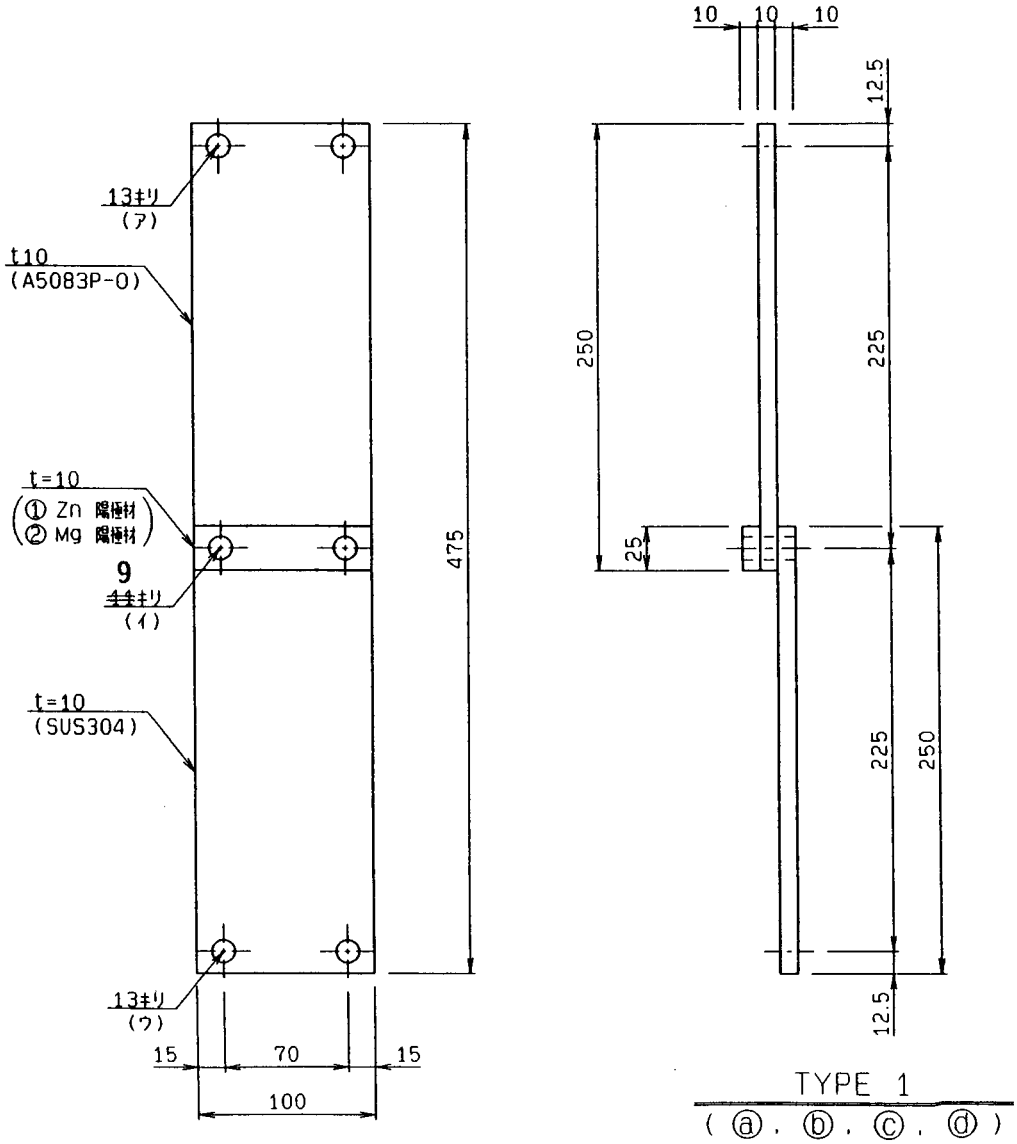
表—2.9　七ヶ宿湖における水中暴露試験片の仕様（平成８年開始分）

試験片仕様						試験片記号			
区分	合金	塗装	寸法,形状 (mm)	異種金属との面積比	犠牲陽極材料	暴露期間 1年	3年	5年	10年
塗装の効果（追加塗装種）	5083P-0	No.A	100x100 TYPE 2	Al単体	無し	8SE1	8SE3	8SE5	8SE10
		No.B			無し	8SF1	8SF3	8SF5	8SF10
異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果	5083P-0	無し	100x250 TYPE 1	SUS304 A:C=1:1	Zn 100 x 25	8SA1	8SA3	8SA5	8SA10
		No.A			Zn 100 x 25	8SB1	8SB3	8SB5	8SB10
		無し			Mg 100 x 25	8SC1	8SC3	8SC5	8SC10
		No.A			Mg 100 x 25	8SD1	8SD3	8SD5	8SD10

塗装仕様	素地調整	プライマー膜厚μm	下塗装膜厚μm	上塗装膜厚μm
No.A	シンナー	ウォッシュプライマ 10	エポキシ 80	ポリウレタン 30
No.B	シンナー	ウォッシュプライマ 10	エポキシ 80	ふっ素 30



（1）塗装試験片



（2）異種金属接合試験片

図—2.6　平成8年に開始した塗装試験片及び異種金属接合試験片の形状概略

2)試験片の諸特性および取り付け状態

①試験片の化学成分

各試験片の化学成分は、A5083P-Oは表—2.4を、また、ステンレス鋼SUS304は表—2.5を参照。

②試験片の塗装膜厚

各塗装試験片の塗装膜厚の測定結果を表—2.10に示した。塗装膜厚はほぼ目標に近い値を示した。

③試験片の試験前の重量

各試験片の試験前の重量測定結果を表—2.11に示した。

④試験片の取り付け状態

塗装試験片及び異種金属接合試験片の取り付け状態を図—2.7に示した。

3)回収試験片の調査方法

平成８年に開始した試験片についても、平成７年に開始したものと同様に行う（表—2.8を参照）。

表—2.10　七ヶ宿湖における暴露試験片の塗装膜厚測定結果（Ｈ８年度開始分）

試験片記号	塗装膜厚（μm）									
	表面					裏面				
	左上	右上	左下	右下	平均値	左上	右上	左下	右下	平均値
8SB1	161	158	158	148	156.3	148	153	152	145	149.5
8SB3	164	161	156	153	158.5	134	145	150	158	146.8
8SB5	154	140	152	141	146.8	149	143	153	153	149.5
8SB10	150	155	161	158	156.0	152	157	159	145	153.3
8SD1	161	169	159	160	162.2	161	165	162	159	161.8
8SD3	168	163	165	160	164.0	166	169	168	167	167.5
8SD5	158	168	166	167	164.8	162	167	167	166	165.5
8SD10	165	165	166	165	165.3	162	167	169	165	165.8
8SE1	153	152	145	144	148.5	157	160	142	149	152.0
8SE3	151	140	153	132	144.0	155	153	155	146	152.3
8SE5	153	152	158	147	152.5	162	165	151	153	157.8
8SE10	165	161	150	145	155.3	166	168	155	162	162.8
8SF1	167	161	152	149	157.3	154	157	141	144	149.0
8SF3	162	160	163	151	159.0	149	156	149	163	154.3
8SF5	166	163	159	154	160.5	160	156	161	160	159.3
8SF10	170	159	157	152	159.5	168	170	151	150	159.8

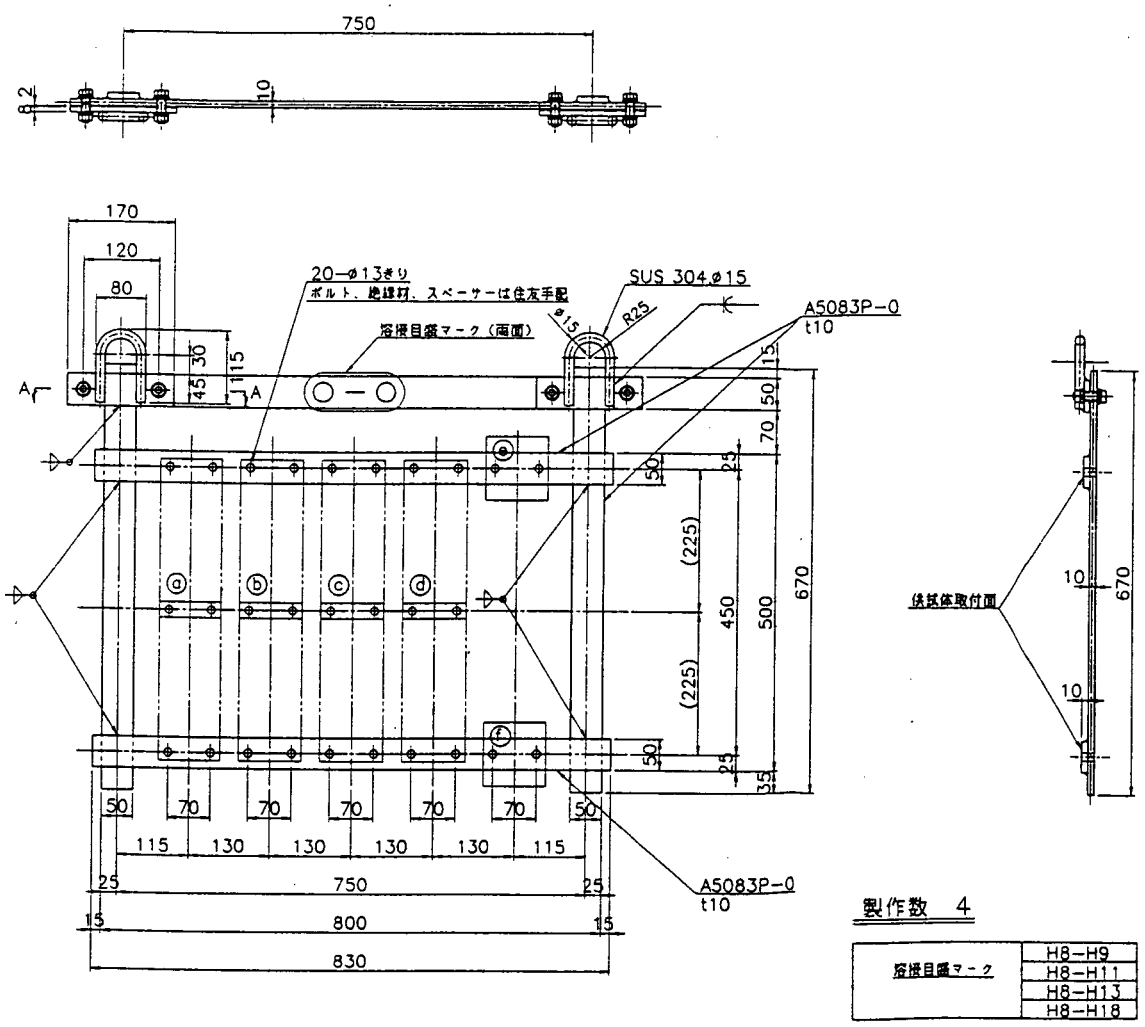
表—2.11　七ヶ宿湖における水中暴露試験片の試験開始前の重量測定結果（平成８年開始分）

試験片				試験開始前の重量（g）	
材料	塗装	記号	期間(年)	実測値	補正値
A5083P-O	No.A	8SE1	1	264.071	264.001
		8SE3	3	264.791	264.721
		8SE5	5	264.924	264.854
		8SE10	10	264.988	264.918
	No.B	8SF1	1	264.487	264.417
		8SF3	3	264.107	264.037
		8SF5	5	265.414	265.343
		8SF10	10	264.942	264.872
	無し	8SA1	1	664.5	664.3
		8SA3	3	666.0	665.8
		8SA5	5	665.9	665.7
		8SA10	10	664.3	664.1
	No.A	8SB1	1	665.6	665.4
		8SB3	3	665.9	665.7
		8SB5	5	663.1	662.9
		8SB10	10	665.2	665.0
	無し	8SC1	1	665.9	665.7
		8SC3	3	663.2	663.0
		8SC5	5	664.9	664.7
		8SC10	10	665.5	665.3
	No.A	8SD1	1	666.3	666.1
		8SD3	3	665.6	665.4
		8SD5	5	665.7	665.5
		8SD10	10	665.7	665.5
犠牲陽極	（Zn）	8SA1	1	178.843	178.795
		8SA3	3	179.041	178.993
		8SA5	5	177.032	176.985
		8SA10	10	181.916	181.868
	（Zn）	8SB1	1	178.943	178.895
		8SB3	3	182.105	182.057
		8SB5	5	179.049	179.001
		8SB10	10	178.118	178.071
	（Mg）	8SC1	1	50.172	50.159
		8SC3	3	50.140	50.127
		8SC5	5	49.662	49.649
		8SC10	10	49.811	49.798
	（Mg）	8SD1	1	49.975	49.962
		8SD3	3	50.103	50.090
		8SD5	5	49.826	49.813
		8SD10	10	50.097	50.084

使用天秤の校正：補正値 = -0.000091 + 0.999734 x 実測値

塗装仕様：No.A：シンナー + ウォッシュ(10μm) + エポキシ(80μm) + ポリウレタン(30μm)

No.B：シンナー + ウォッシュ(10μm) + エポキシ(80μm) + ふっ素(30μm)



図－2.7　平成８年に開始した塗装試験片及び異種金属接合試験変の取り付け状況

2.2 調査結果

(1) 平成7年開始・平成8年回収試験片の調査結果

1)水質分析結果

平成8年に試験片を回収した際に採取した湖水の分析結果を、平成6年および平成7年に採取した湖水の解析結果とあわせて表－2.12に示した。採取季節が同様なためか、両者の値はほぼ同様であった。

表－2.12中の電導率は、ほぼ名古屋市の水道水とほぼ同等[1)]で、ｐＨも中性で、塩素イオン濃度も水道水より低く耐食的な環境と想像された。

2）混成電位分布測定

平成8年に試験片を回収した際に、湖水中における異種金属接合試験片の混成電位分布を測定した。その結果を表－2.13および図－2.8に示す。図－2.8には平成7年に浸漬した際に測定した混成電位分布も合わせて示す。

3) 回収試験片の外観腐食状況

①付着物除去前の外観腐食状況

現地で、回収直後の試験片取り付け枠全体および各試験片の外観(表面のみ)を写真－2.1, 写真－2.2(1)～(6)に示す。また、乾燥後に撮影した外観(裏面も含む)を写真－2.3(1), (2), 写真2.4(1)～(7)に示す。

それらによれば、試験片取り付け枠全体および各試験片は全面緑色がかった茶色の藻に覆われていた。ただし、異種金属のうち鉄だけは全面に赤褐色のさびに覆われており藻の付着は少なかった。一部の異種金属接触腐食試験片に孔食発生とみられる白色の生成物の付着が認められた。この藻は濡れていれば手で拭うと簡単に落ちるようであった。

なお、鉄：アルミニウム＝１：１およびステンレス：アルミニウム＝１：１の異種金属接触試験片における異種金属境界付近のアルミニウム表面に、藻の付着が少ないように見えるのは、引き上げ時に船体の一部に当たったため、その時に剥がれた可能性も考えられた。

②付着物除去後の試験片外観写真撮影

水洗後の各試験片の外観および付属品取り外し後の外観、塗膜剥離後の外観を写真－2.5(1)～(13)に示す。

(A)単体腐食試験片　：表面がやや褐色に変色しているものの顕著な腐食は観察されなかった。拡大鏡で観察すると数カ所に浅い孔食が観察された。

(B)溶接部腐食試験片：単体腐食試験片とほぼ同様に表面がやや褐色に変色していた。A5083P-0の溶接ビードの端部に軽微な腐食が観察されたが、その他の試験片には顕著な腐食は観察されず、健全であった。

(C)塗装腐食試験片　：A5083-0に塗装が施されていなかった。取り付け時に取り違えがあったものとみられた。その他の試験片には塗膜のはがれやふくれなどは観察されず、健全であった。塗膜はく離後の試験片にも変色等の変化は全く観察されず、塗装前の状態をそのまま保持していた。

(D)すき間腐食試験片：すき間形成材との接触部は変色も生じておらず、腐食も観察されず、健全であっ

た。一般部は単体腐食試験片とほぼ同様であった。

(E)異種金属接触腐食：

i)無塗装ボルト接合試験片：ステンレスボルトと共に取り付けたステンレスワッシャの周囲に沿って孔食が発生しており、周囲の一般部にも多くの孔食が観察された。一般部に発生した孔食は表側に多く、裏側では少なかった。なお、枠に取り付けるためのボルトおよびワッシャの周囲にも孔食が発生していたがこの調査の対象から除外した。

ii)塗装ボルト接合試験片　：ステンレスボルトおよびステンレスワッシャの周囲には、なんら変化が見られなかった。一般部の塗膜にふくれのような盛り上がりが観察された。塗膜はく離後の試験片には変色等の変化は全く観察されず、塗装前の状態をそのまま保持していた。塗膜ふくれ部も健全であり、塗膜内部におけるふくれと考えられた。

iii)鉄：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝１：１　：鉄は全面さびで覆われ、赤茶けていた。アルミニウムは単体腐食試験片と同程度の変色が観察された。顕著な孔食は拡大鏡観察においても認められなかった。

iv)ｽﾃﾝﾚｽ：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝１：１　：ステンレスはほとんど変化がみられず、試験前の状態を保持していた。アルミニウムの表側はステンレス接触部の近傍には腐食が少なく、離れるほど孔食が発生していた。アルミニウムの裏側は全面に多くの孔食が発生しており、ステンレス接触部に近い方がやや密度が高いようであった。

v)鉄：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝１：１０　：鉄は全面さびで覆われ、赤茶けていた。アルミニウムは鉄に近い部分で孔食が数ヶ所発生しており、離れた位置では観察されなかった。

vi)ｽﾃﾝﾚｽ：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝１：１０：ステンレスはほとんど変化がみられず、試験前の状態を保持していた。アルミニウムは十数点の孔食が観察され、ステンレスに近いほど大きく、発生密度も高くなっていた。

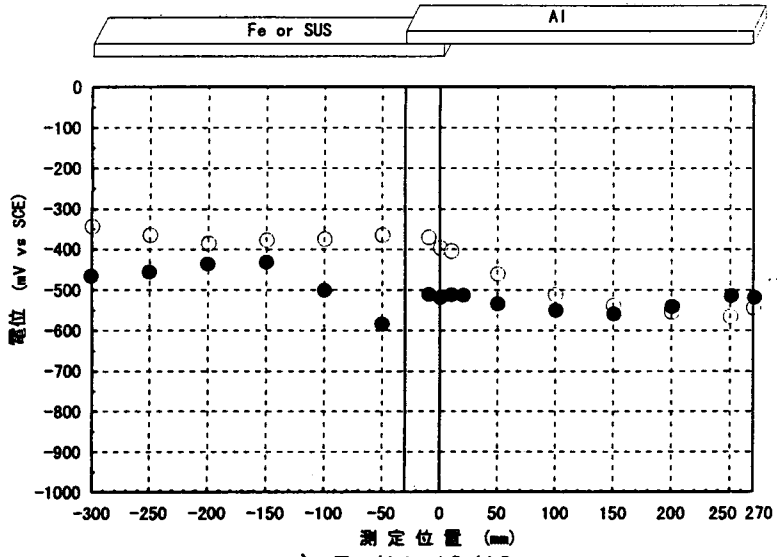
表－2.12　七ヶ宿湖水の分析結果(JIS K-01、02による)

項　目		分　析　結　果		
	採取日	H6.11.08	H7.11.06	H8.10.25
pH		7.0	7.1	7.0
電導率	(μS/cm)	66	62	74
全硬度($CaCO_3$:mg/l)		22	--	--
Cl	(mg/l)	3	2	3
SO_4^{2-}	(mg/l)	8	7	8
Na	(mg/l)	3.8	4.2	2.7
K	(mg/l)	0.6	0.6	0.1
Ca	(mg/l)	6.7	7.0	6.5
Mg	(mg/l)	1.3	1.4	1.3
Fe	(mg/l)	0.1	<0.1	<0.1
Cu	(mg/l)	<0.03	<0.05	<0.05
SiO_2	(mg/l)	14	13	13
蒸発残留物	(mg/l)	63	72	62

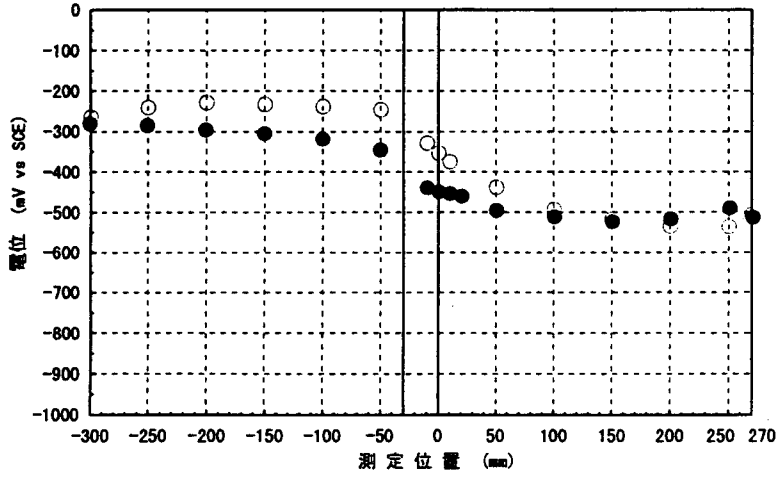
【参考文献】
1)（社）軽金属協会：「アルミニウムおよびアルミニウム合金の水道水に対する耐食性」(1971)

表－2.13混成電位分布測定結果(平成8年10月25日測定)

測定位置		混成電位(mV vs SCE)			
部位	境界からの距離(mm)	Fe / Al 10 / 10	SUS / Al 10 / 10	Fe / Al 1 / 10	SUS / Al 1 / 10
	-300	-465	-280		
	-250	-455	-284		
	-200	-435	-295		
SM400B	-150	-431	-305		
	-100	-500	-318		
or	-50	-583	-345		
	-30			-445	-340
SUS304	-15			-423	-301
	-10	-510	-439		
	0	-518	-449	-475	-356
	10	-511	-454	-349	-411
	20	-512	-460	-296	-416
	50	-534	-495		
A5083P	70			-492	-423
-0	100	-550	-511		
	120			-448	-430
	150	-558	-523		
	170			-458	-434
	200	-541	-517		
	220			-461	-427
	250	-514	-490		
	270	-518	-513	-468	-458



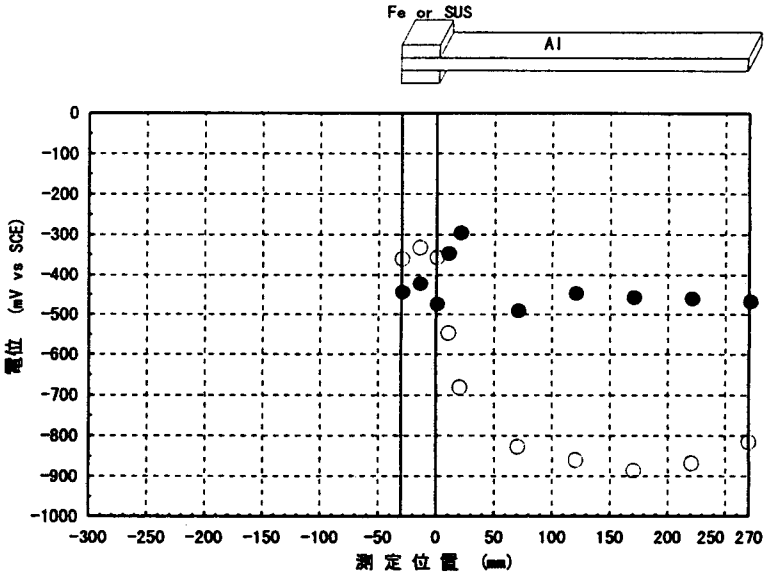
a) Fe/Al=10/10



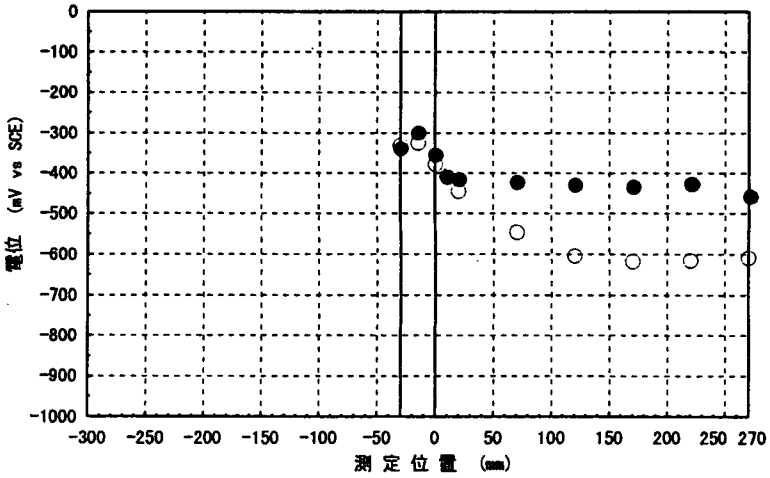
b) SUS/Al=10/10

図－2.8(1) 1年試験片回収時の異種金属接合試験片についての混成電位分布測定結果

○平成7年11月6日測定　●平成8年10月25日測定



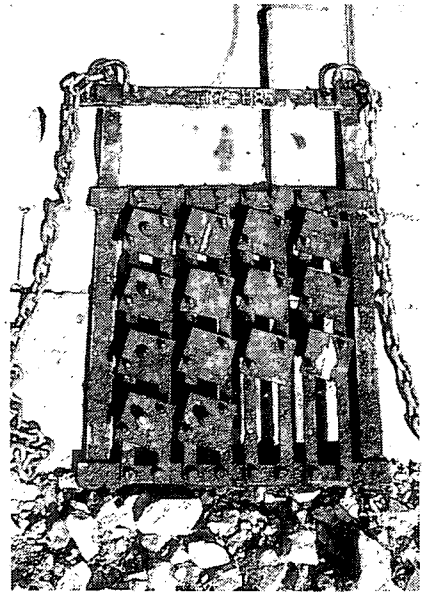
C) Fe/Al=1/10



d) SUS/Al=1/10

図－2.8(2) 1年試験片回収時の異種金属接合試験片についての混成電位分布測定結果

○平成7年11月6日測定　●平成8年10月25日測定

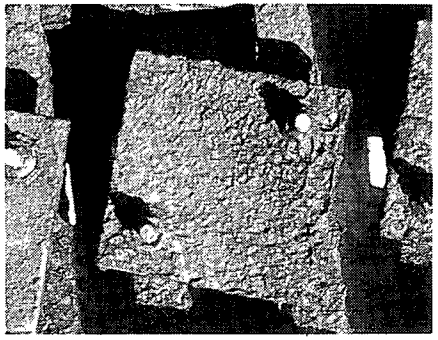


a．単体、溶接、塗装、すき間腐食試験片
異種金属接触腐食試験片の一部

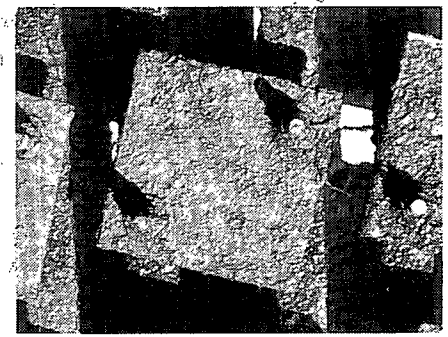


b．異種金属接触腐食試験片

写真－2.1　1年回収品の回収直後の状態(平成8年回収)



a．A5083P－O［SA1］

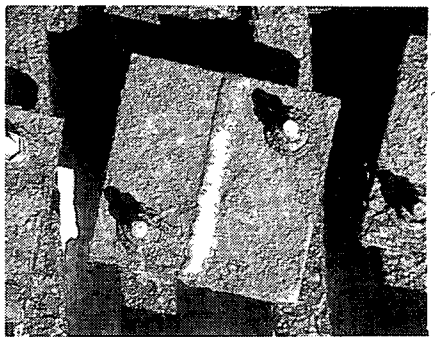


b．A5052P－H32［SB1］

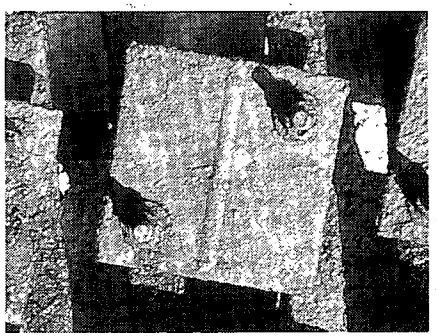


c．A5083S－H112［SC1］

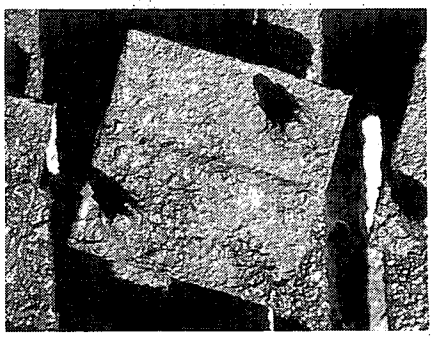
写真－2.2(1)　単体腐食試験片の回収直後の状態



a．A5083P－O［SM1］

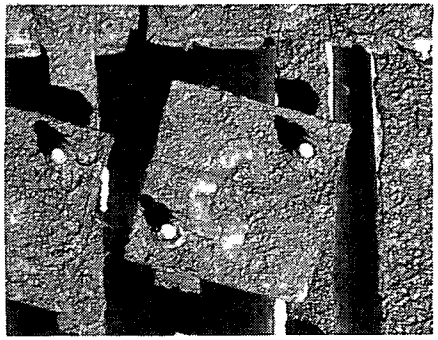


b．A5052P－H32［SN1］

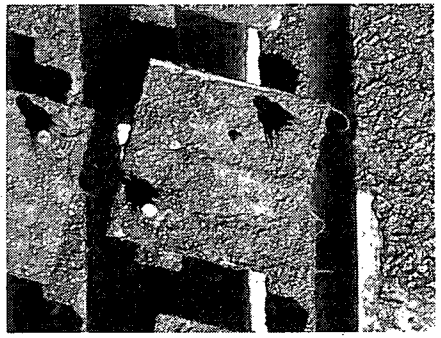


c．A5083S－H112［SO1］

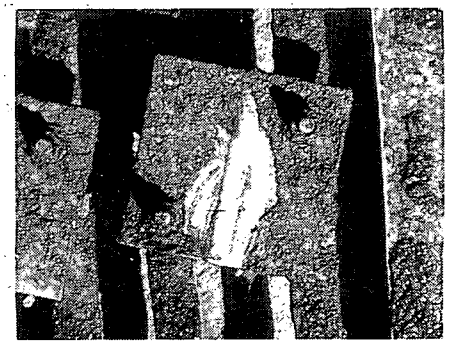
写真－2.2(2)　無塗装溶接腐食試験片の回収直後の状態



a．A5083P－O［SP1］

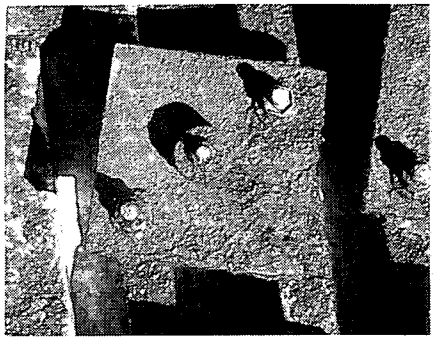


b．A5083P－O［SQ1］

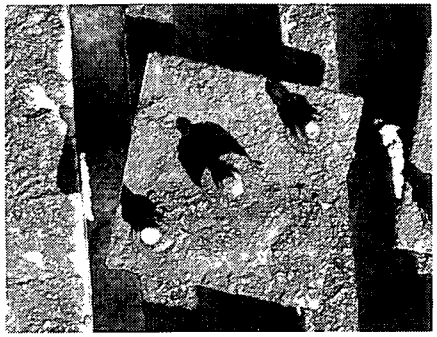


c．A5083P－O［SR1］

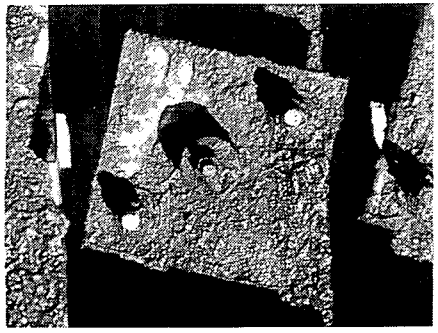
写真－2.2(3)　塗装溶接腐食試験片の回収直後の状態



a．A５０８３P－O［SD１］

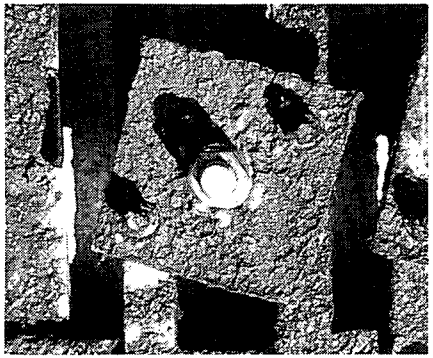


b．A５０５２P－H３２［SE１］

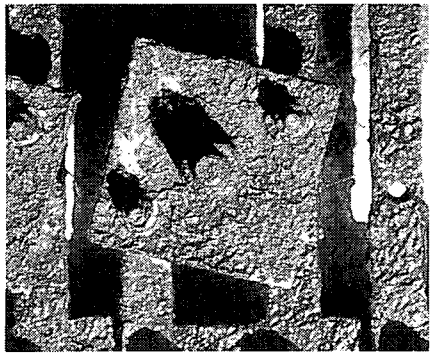


c．A５０８３S－H１１２［SF１］

写真－2.2(4)　すき間腐食試験片の回収直後の状態

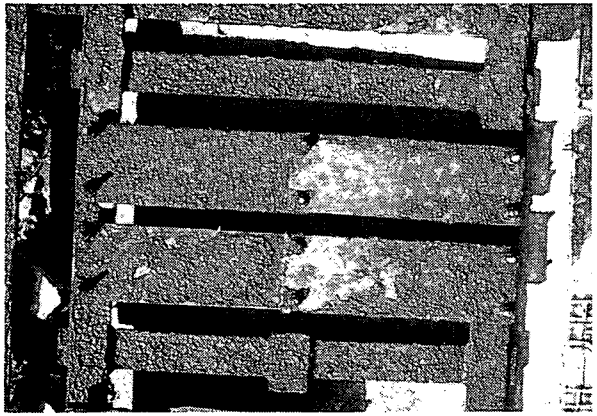


a．A５０８３P－O［SG１］
（無塗装、ステンレスボルト締結）

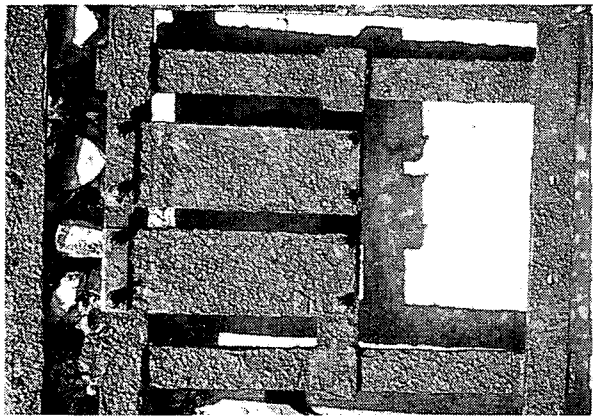


b．A５０８３P－O［SH１］
（塗装、ステンレスボルト締結）

写真－2.2(5)　異種金属接触腐食試験片の回収直後の状態
［ステンレスボルト接触］

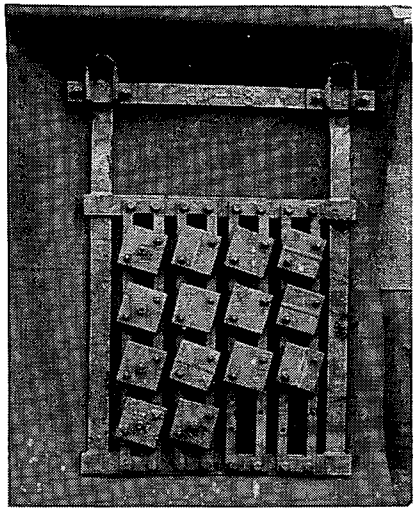


a．Fe：Al＝１：１［SI１］上段
b．SUS：Al＝１：１［SK１］下段

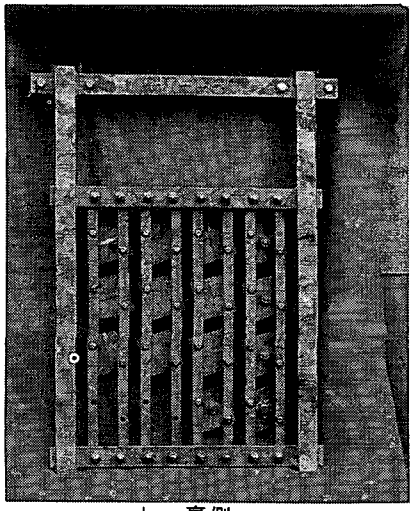


a．Fe：Al＝１：１０［SJ１］上段
b．SUS：Al＝１：１０［SL１］下段

写真－2.2(6)　異種金属接触腐食試験片の回収直後の状態［鉄またはステンレス接触］

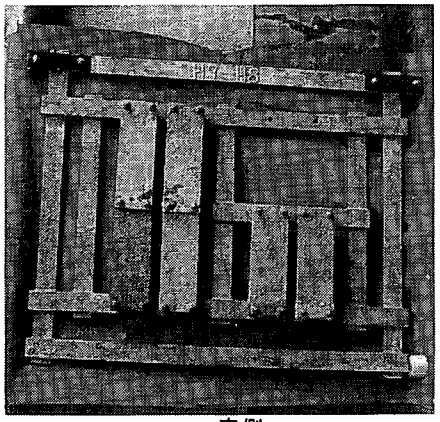


a．表側

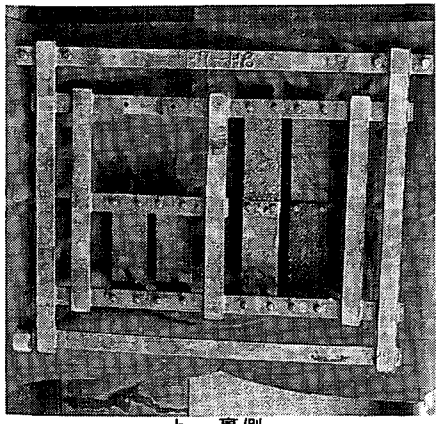


b．裏側

写真 2.3(1)　1年回収品の乾燥後の状態(平成8年回収)
［単体・溶接・塗装すき間腐食試験片と
異種金属接触腐食試験片の一部］

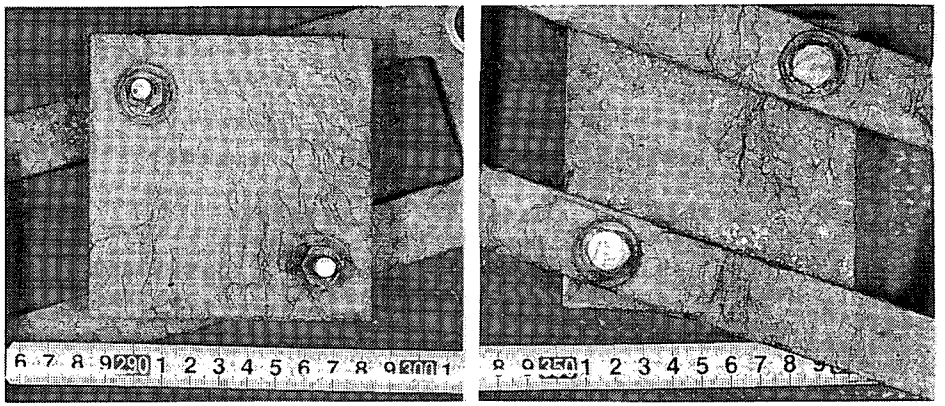


a．表側

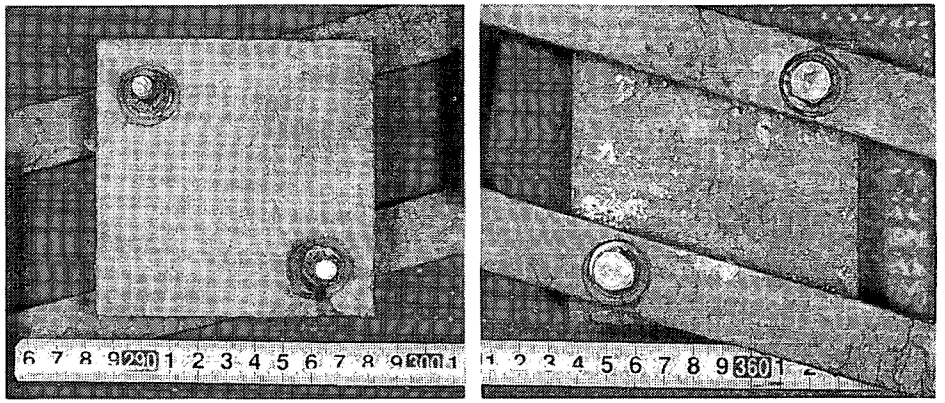


b．裏側

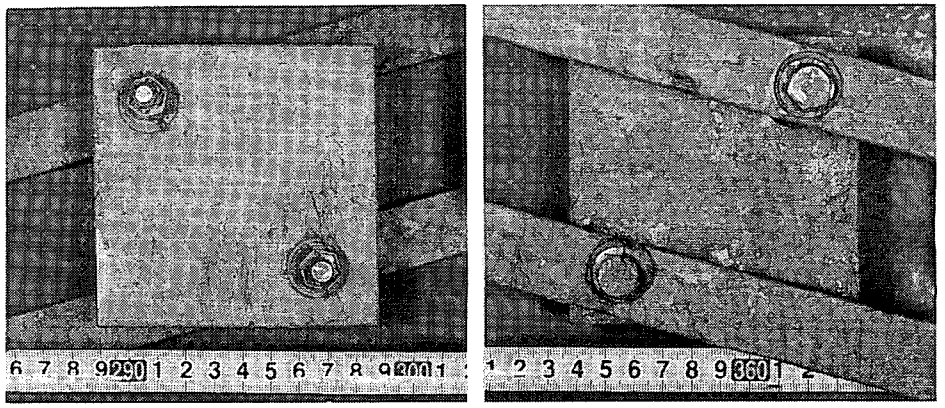
写真 2.3(2)　1年回収品の乾燥後の状態(平成8年回収)
［異種金属接触腐食試験片］



a．A5083P－O［SA1］

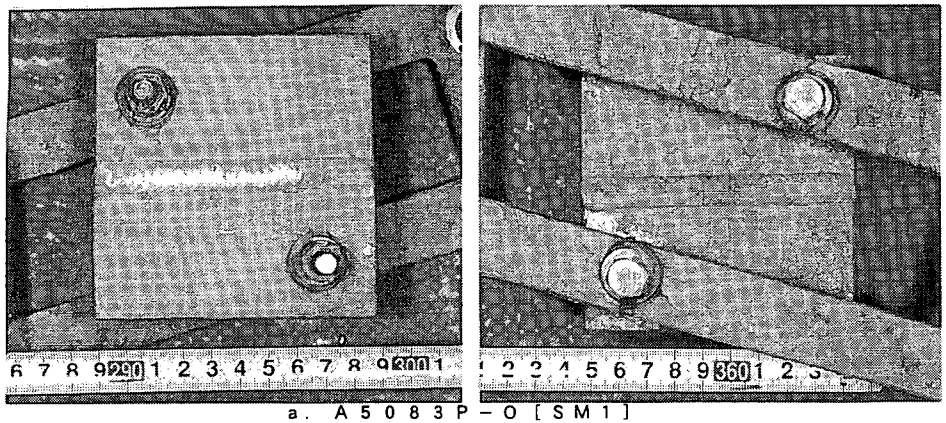


b．A5052P－H32［SB1］

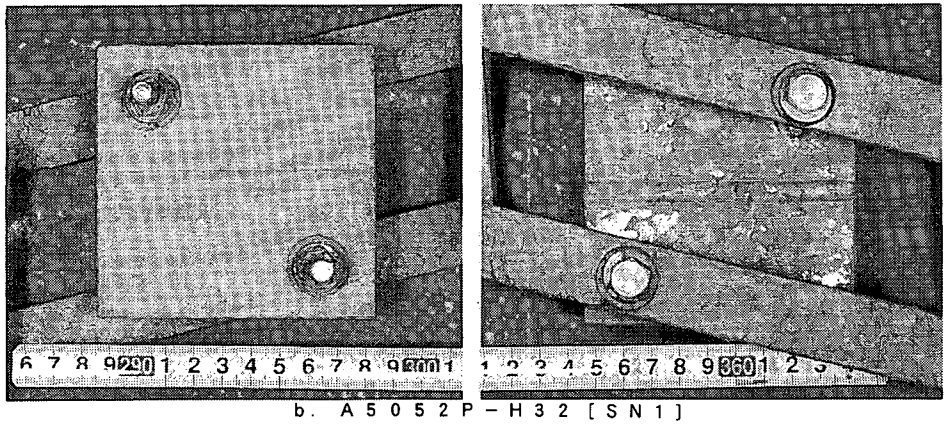


c．A5083S－H112［SC1］

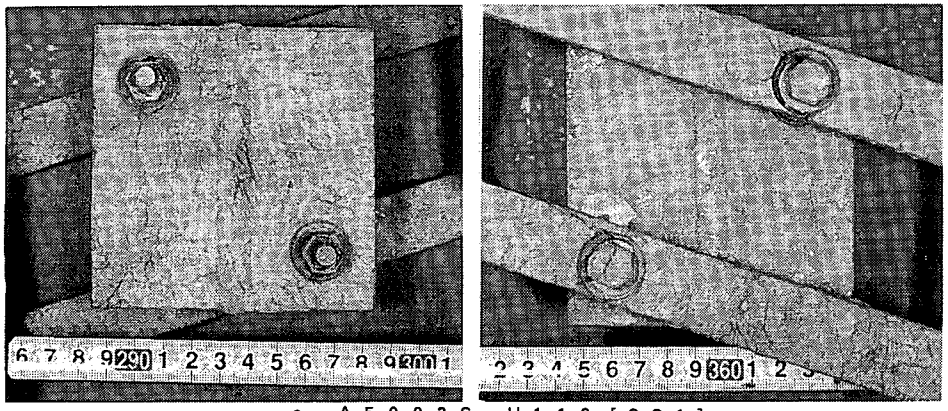
写真－2.4(1)　単体腐食試験片の乾燥後の状態(左：表側、右：裏側)



a. A5083P－O［SM1］

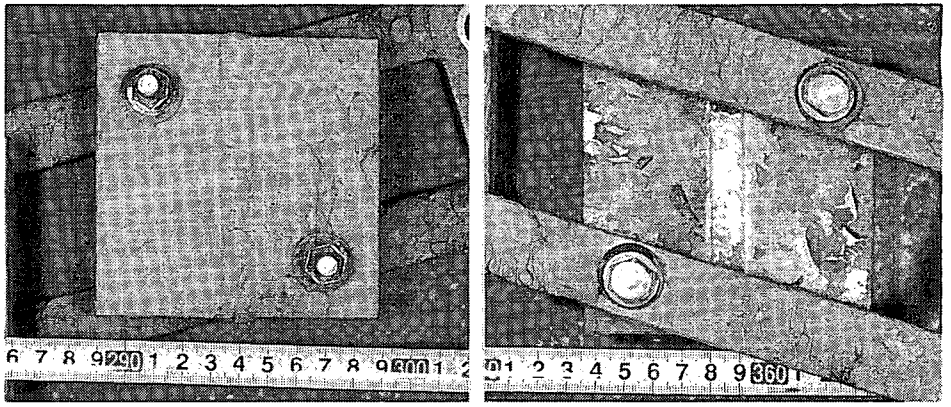


b. A5052P－H32［SN1］

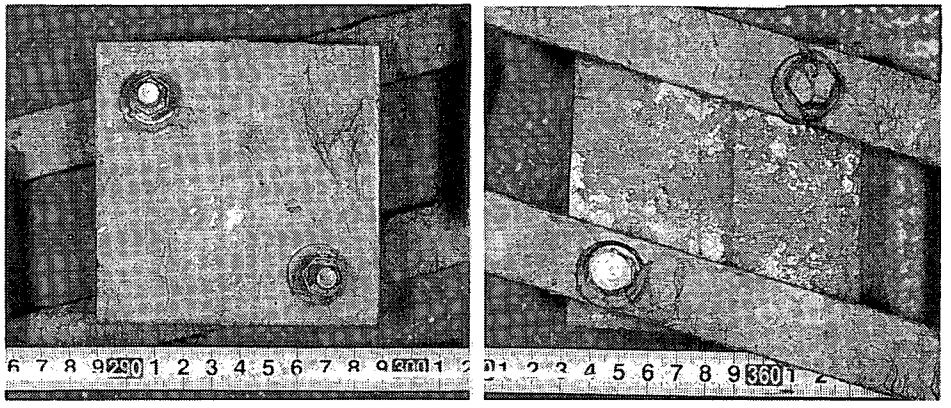


c. A5083S－H112［SO1］

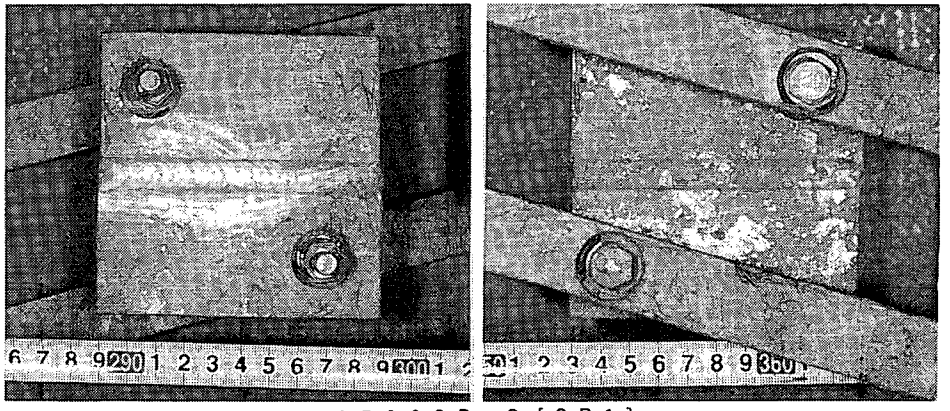
写真－2.4(2)　無塗装溶接腐食試験片の乾燥後の状態(左：表側、右：裏側)



a. A5083P－O［SP1］

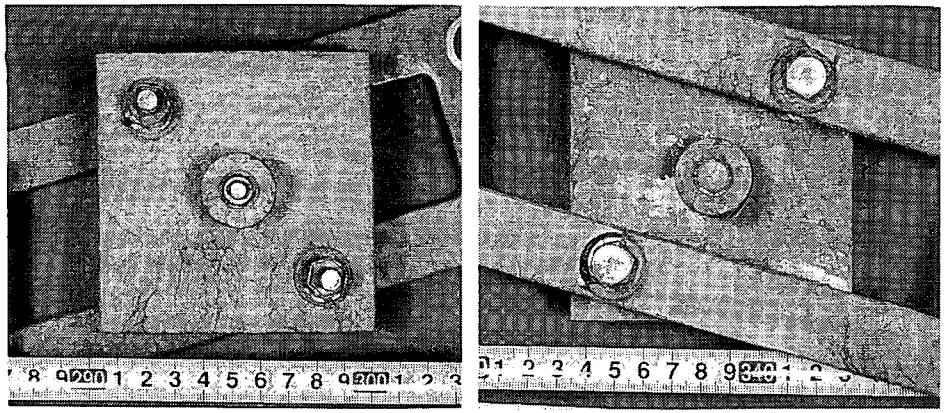


b. A5083P－O［SQ1］

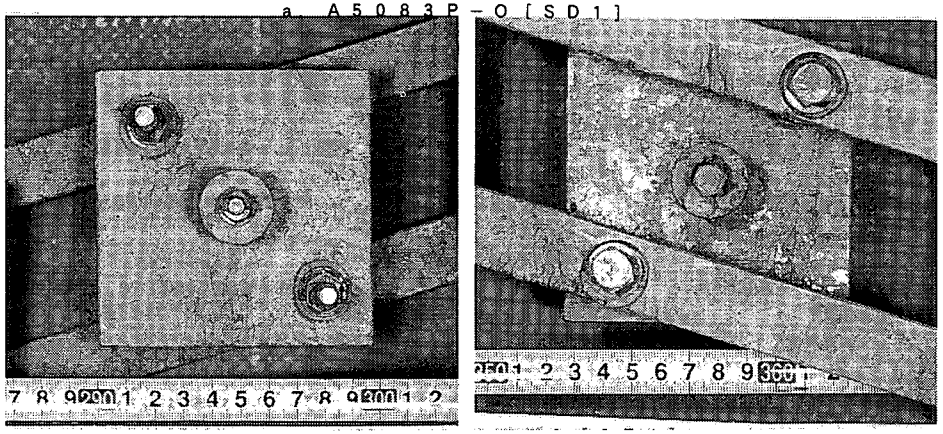


c. A5083P－O［SR1］

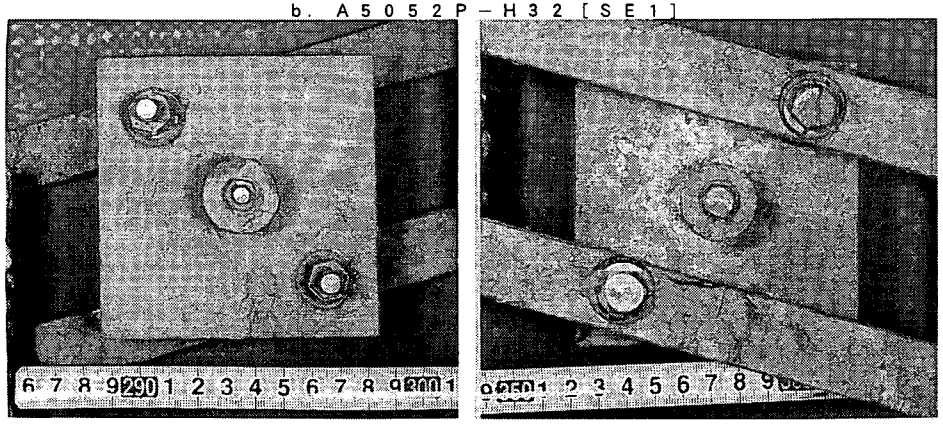
写真－2.4(3)　塗装溶接腐食試験片の乾燥後の状態(左：表側、右：裏側)



a．A５０８３P－O［SD１］

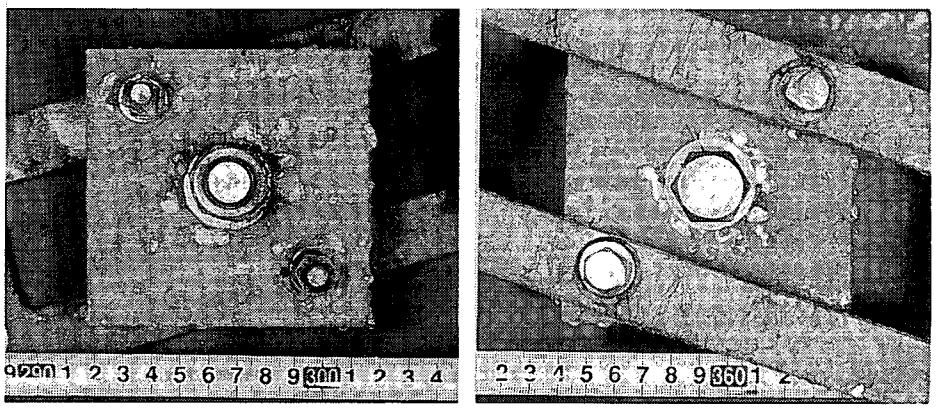


b．A５０５２P－H３２［SE１］

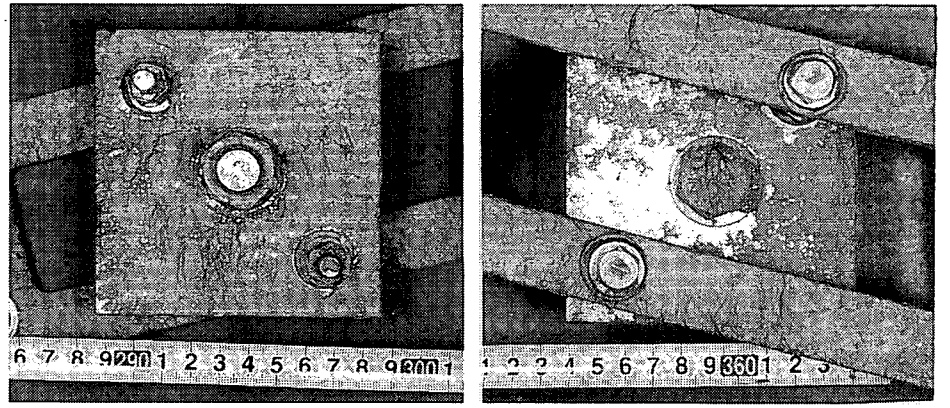


c．A５０８３S－H１１２［SF１］

写真－2.4(4)　すき間腐食試験片の乾燥後の状態(左：表側、右：裏側)

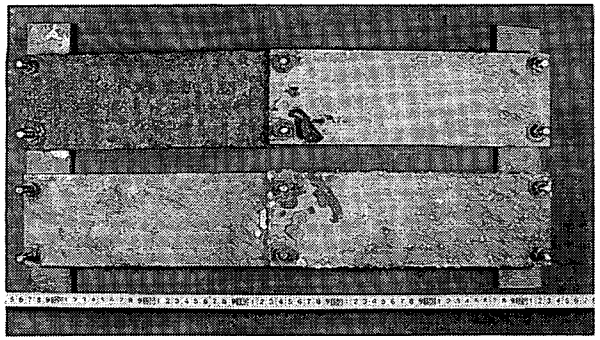


a．A５０８３P－O［SG１］
（無塗装、ステンレスボルト締結）

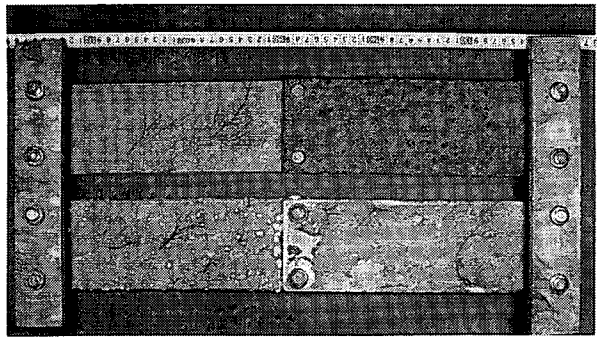


b．A５０８３P－O［SH１］
（塗装、ステンレスボルト締結）

写真－2.4(5)　異種金属接触腐食試験片の乾燥後の状態(左：表側、右：裏側)
［ステンレスボルト接触］



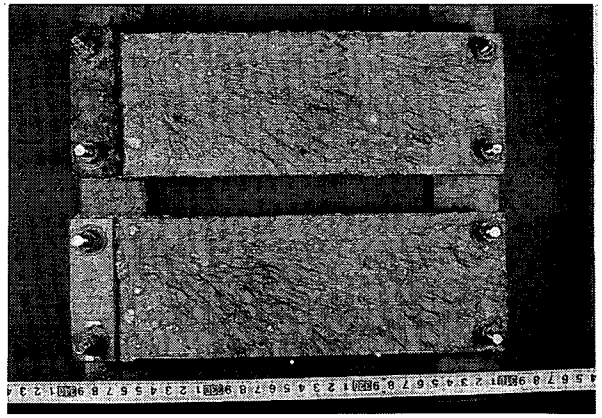
a．表側



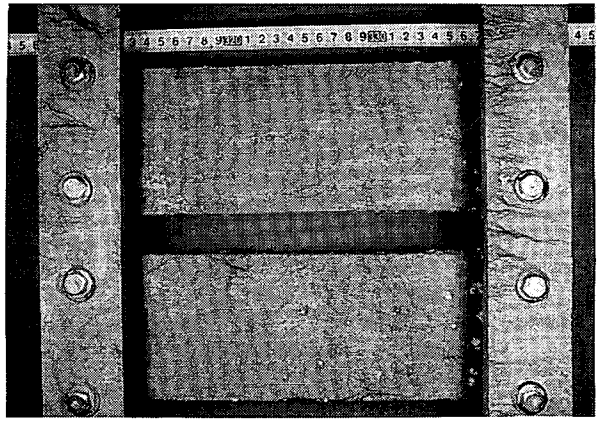
b．裏側

a．　Ｆｅ　：Ａｌ＝１：１［ＳＩ１］上段
b．　ＳＵＳ：Ａｌ＝１：１［ＳＫ１］下段

写真－2.4(6)　異種金属接触腐食試験片の乾燥後の状態(左：表側、右：裏側)
［鉄またはステンレス接触］



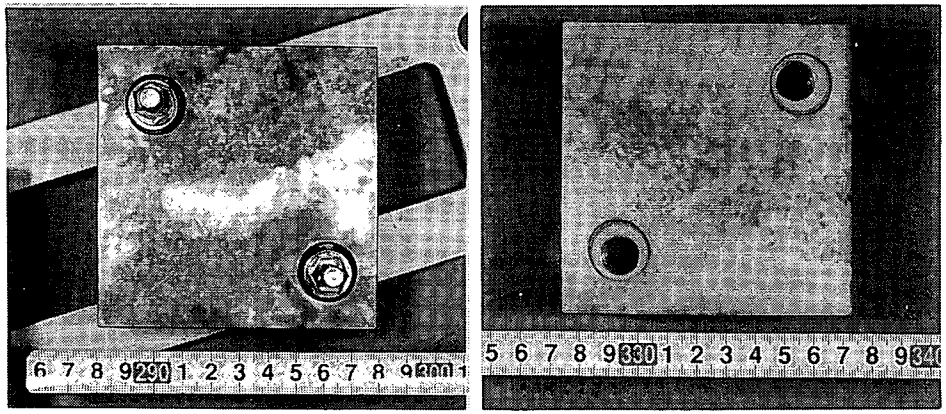
a．表側



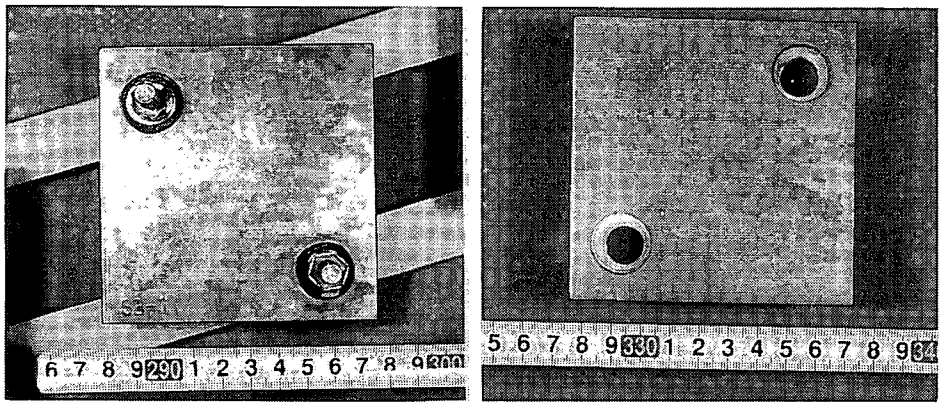
b．裏側

a．　Ｆｅ　：Ａｌ＝１：１０［ＳＪ１］上段
b．　ＳＵＳ：Ａｌ＝１：１０［ＳＬ１］下段

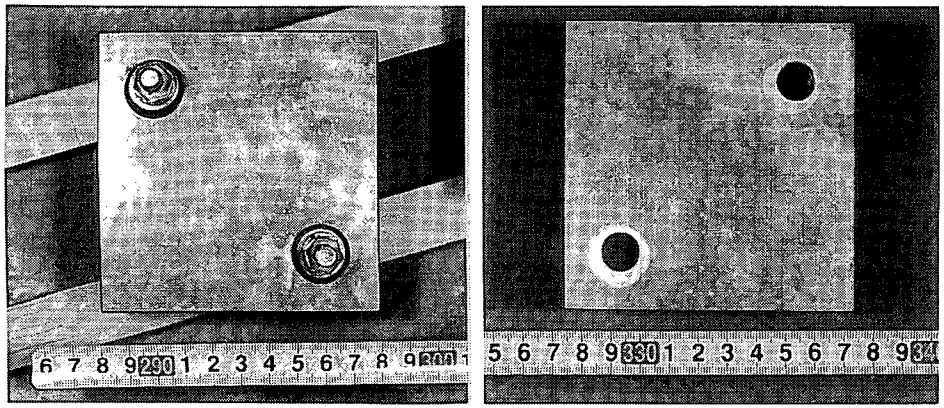
写真－2.4(7)　異種金属接触腐食試験片の乾燥後の状態(左：表側、右：裏側)
［鉄またはステンレス接触］



a. A5083P－O［SA1］

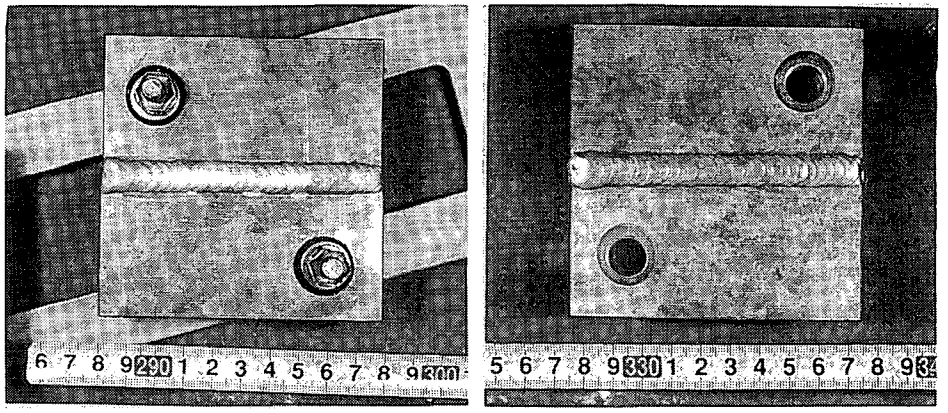


b. A5052P－H32［SB1］

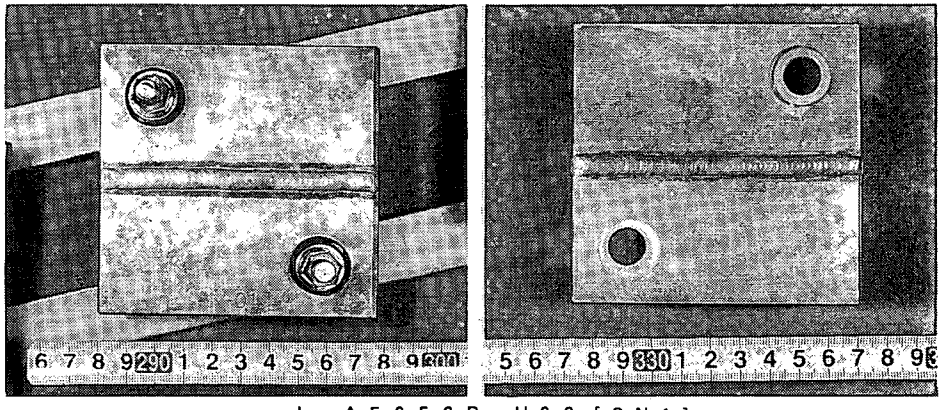


c. A5083S－H112［SC1］

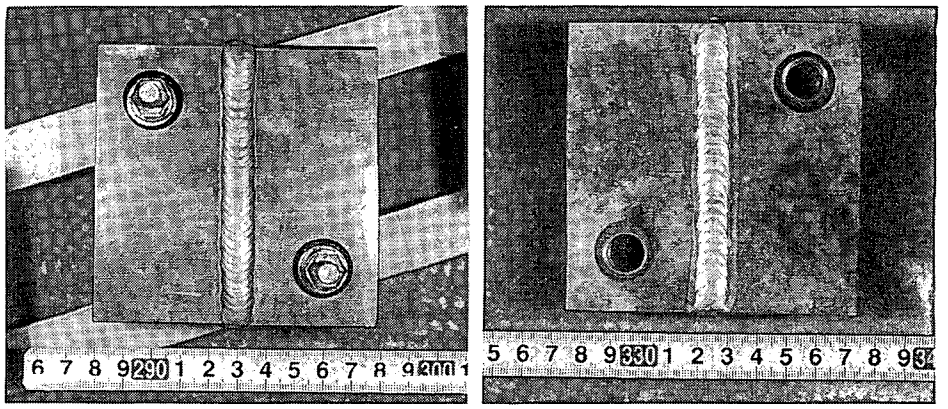
写真－2.5(1)　単体腐食試験片の水洗後の状態(左：表側、右：裏側)



a. A5083P－O［SM1］

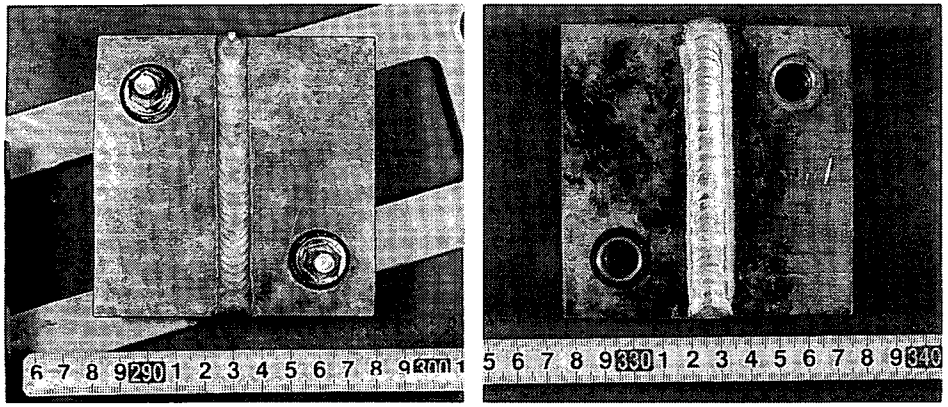


b. A5052P－H32［SN1］

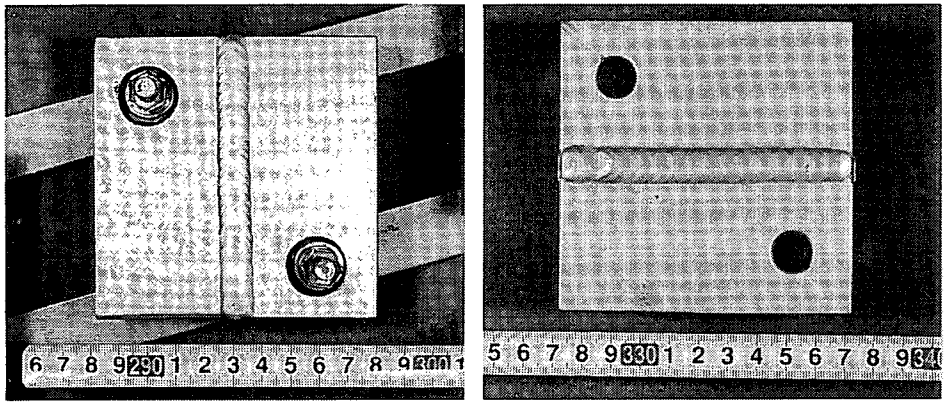


c. A5083S－H112［SO1］

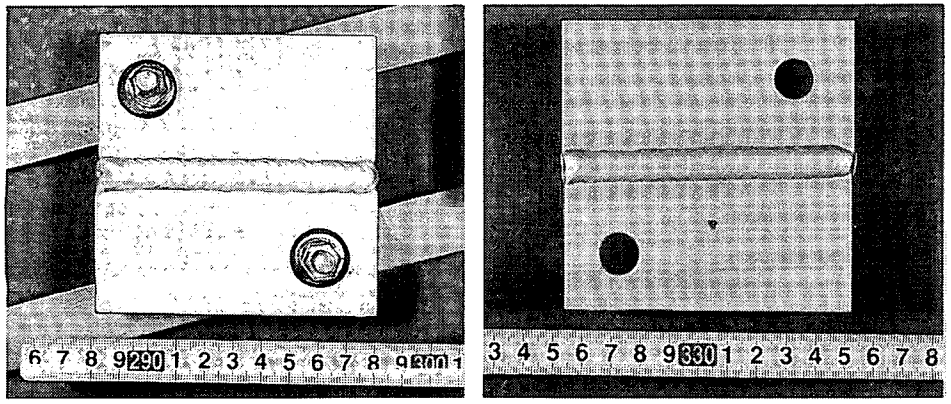
写真－2.5(2)　無塗装腐食試験片の水洗後の状態(左：表側、右：裏側)



a. A5083P－O［SP1］

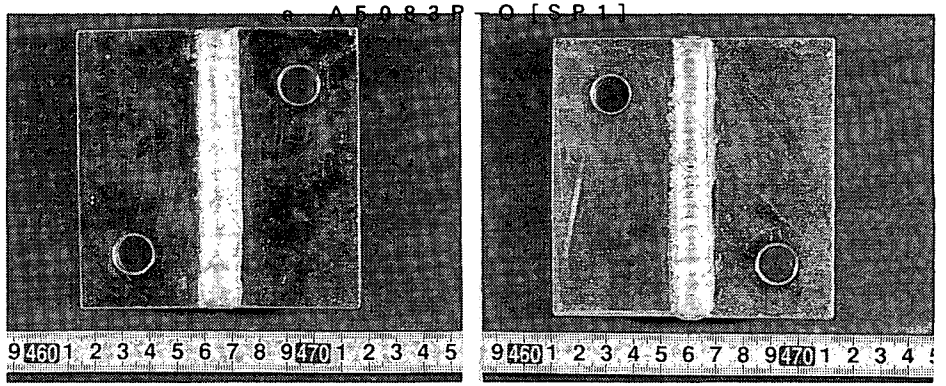


b. A5083P－O［SQ1］

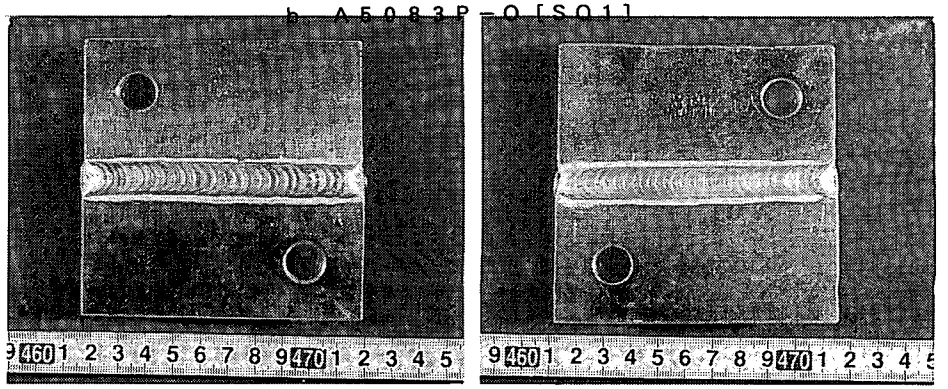


c. A5083P－O［SR1］

写真－2.5(3)　塗装溶接腐食試験片の水洗後の状態(左：表側、右：裏側)

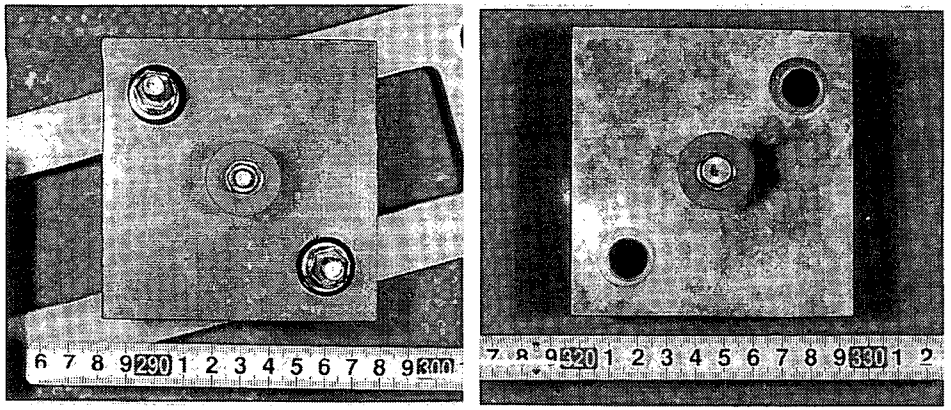


b. A5083P－O［SQ1］

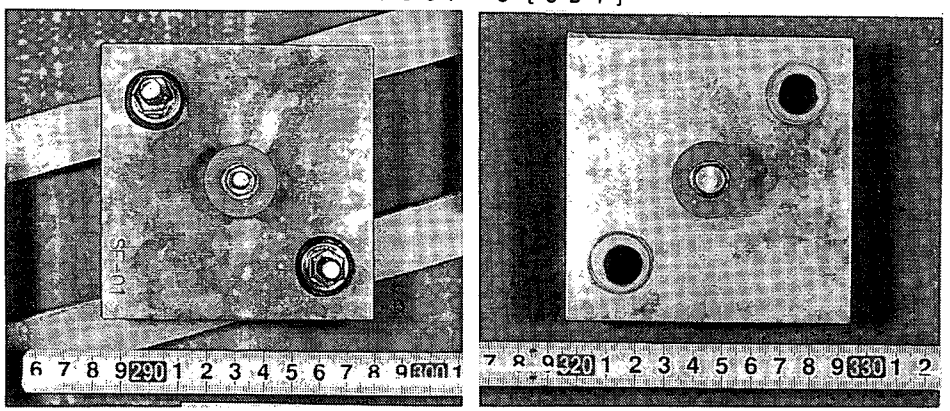


c. A5083P－O［SR1］

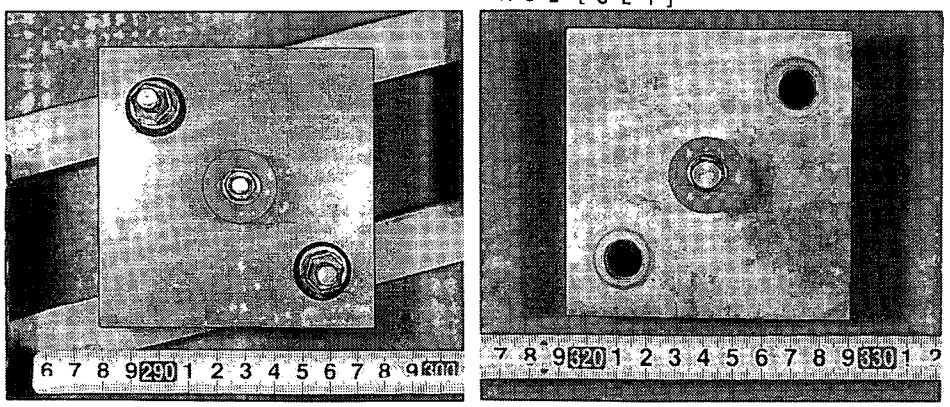
写真－2.5(4)　塗装溶接腐食試験片の塗装はく離後の状態(左：表側、右：裏側)



a. A 5 0 8 3 P － O [S D 1]

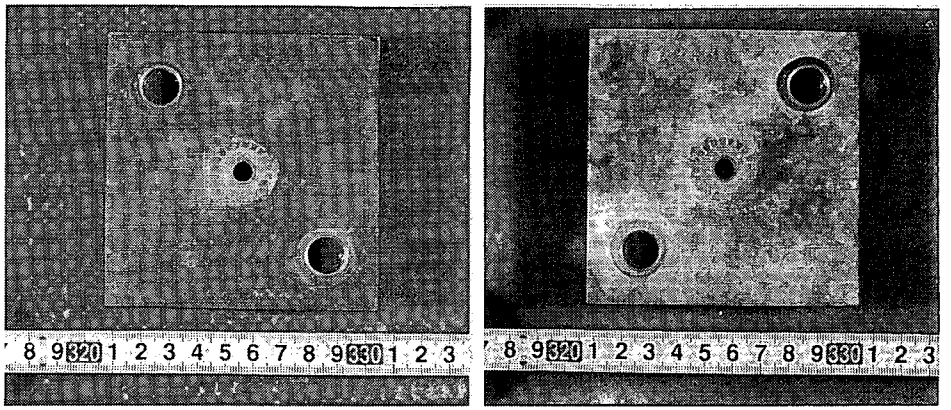


b. A 5 0 5 2 P － H 3 2 [S E 1]

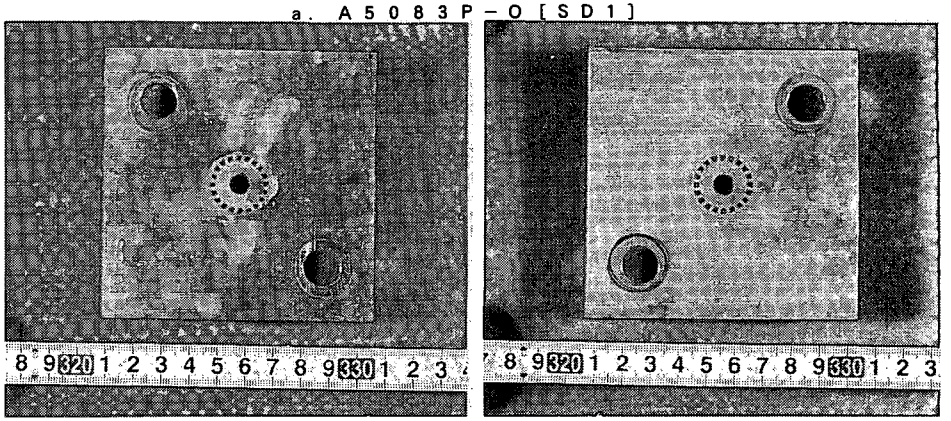


c. A 5 0 8 3 S － H 1 1 2 [S F 1]

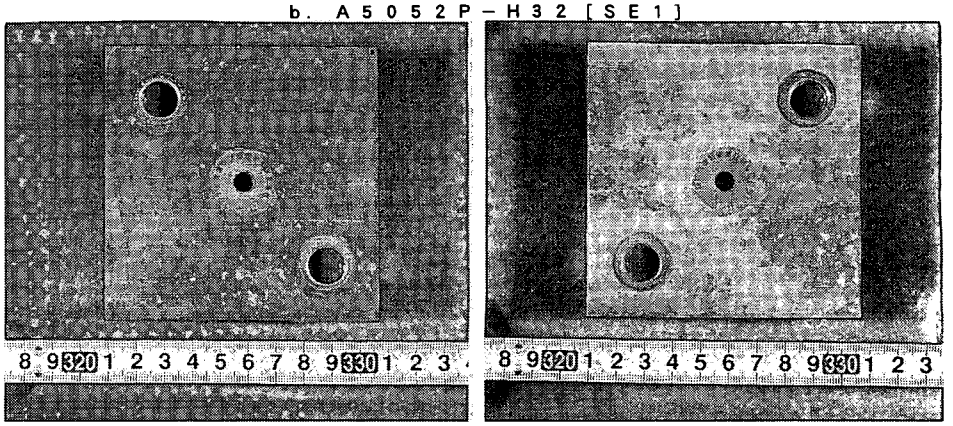
写真－2.5(5) すき間腐食試験片の水洗後の状態(左：表側、右：裏側)



a. A 5 0 8 3 P － O [S D 1]



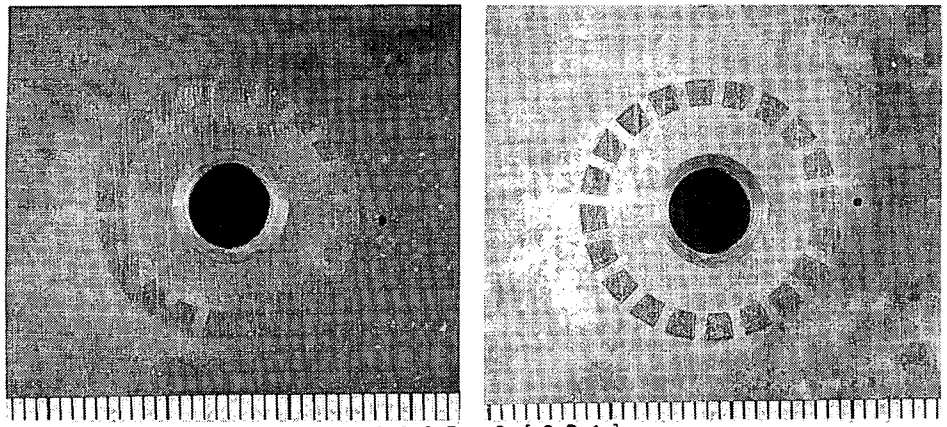
b. A 5 0 5 2 P － H 3 2 [S E 1]



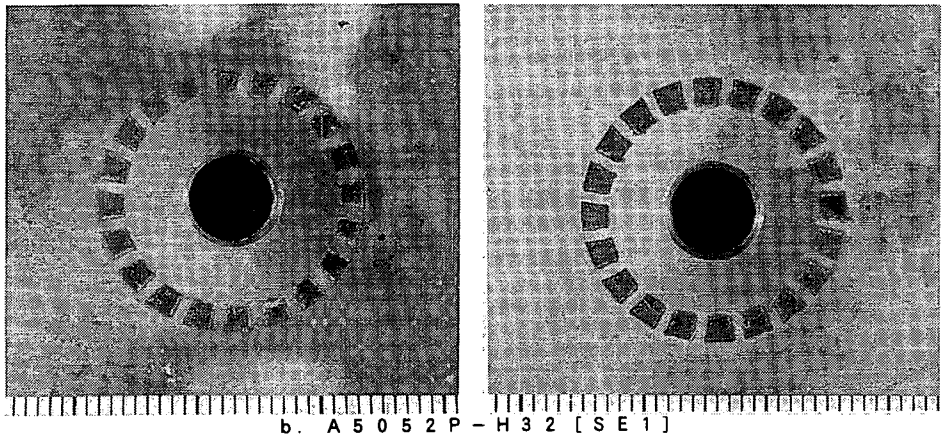
c. A 5 0 8 3 S － H 1 1 2 [S F 1]

写真－2.5(6) すき間腐食試験片の付属物取り外し後の状態(左：表側、右：裏側)

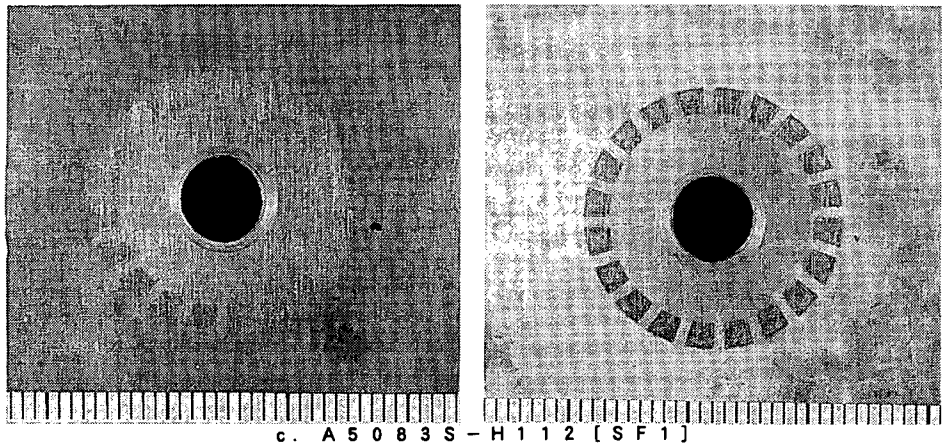
(すき間形成材下の藻類付着のまま)



a．A５０８３P－O［SD１］



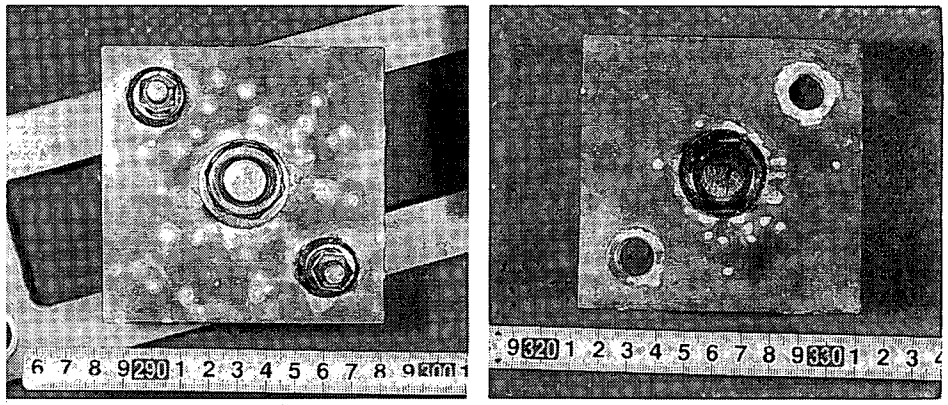
b．A５０５２P－H３２［SE１］



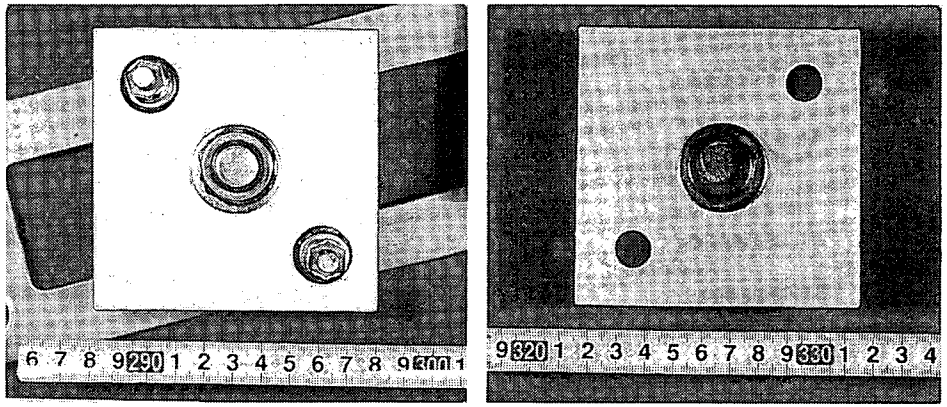
c．A５０８３S－H１１２［SF１］

写真－2.5(7)　すき間部の拡大写真(左：表側、右：裏側)

(すき間形成材下の藻類水洗後、黒い点は試験片の方向を示すマーク)



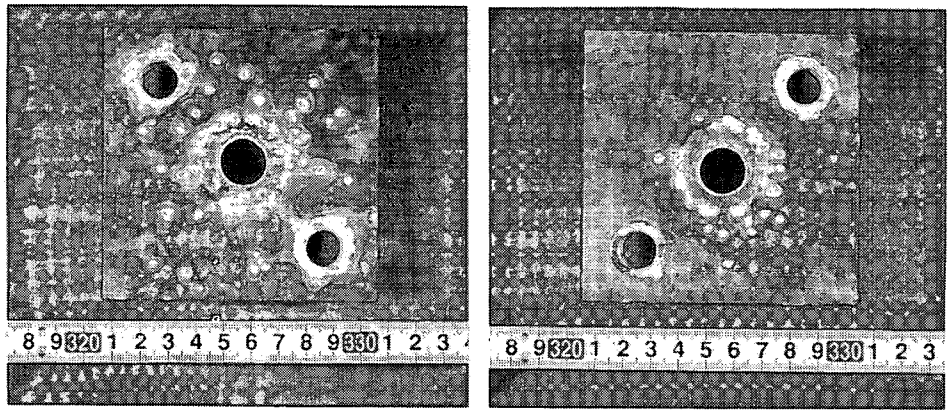
a．A５０８３P－O［SG１］
（無塗装、ステンレスボルト締結）



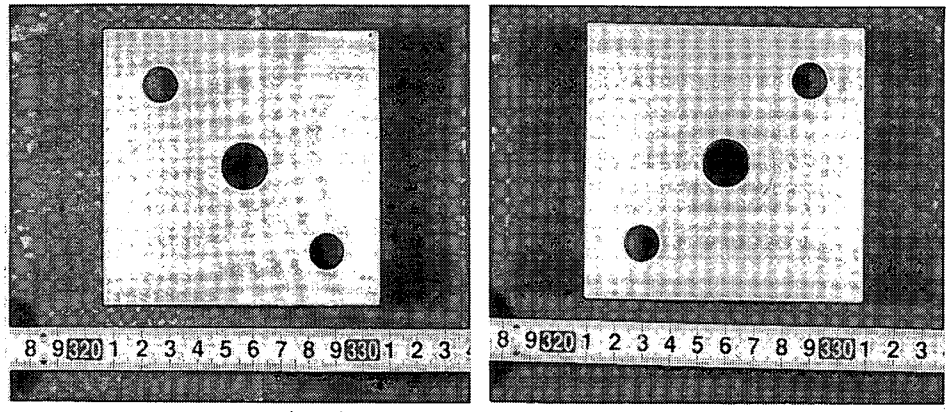
b．A５０８３P－O［SH１］
（塗装、ステンレスボルト締結）

写真－2.5(8)　異種金属接触腐食試験片の水洗後の状態(左：表側、右：裏側)

［ステンレスボルト接触］

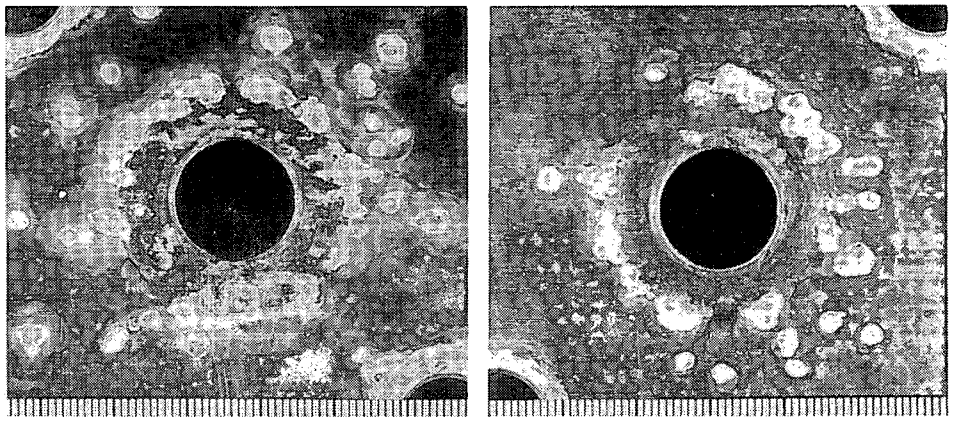


a．A５０８３P－O［SG１］
（無塗装、ステンレスボルト締結）



b．A５０８３P－O［SH１］
（塗装、ステンレスボルト締結）

写真－2.5(9)　異種金属接触腐食試験片の付属物取り外し後の状態(左：表側、右：裏側)
［ステンレスボルト接触］

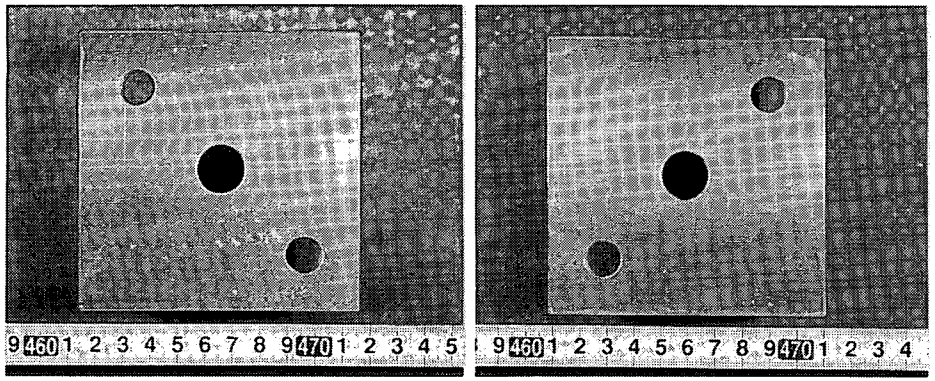


a．A５０８３P－O［SG１］
（無塗装、ステンレスボルト締結）



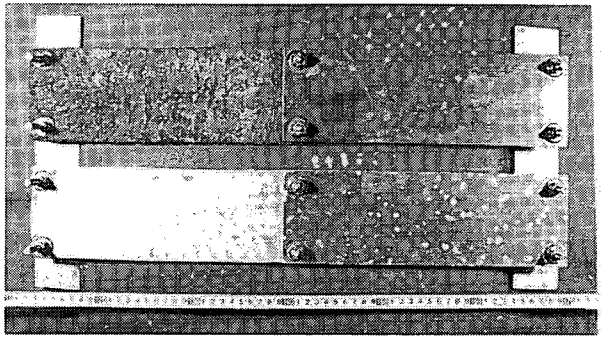
b．A５０８３P－O［SH１］
（塗装、ステンレスボルト締結）

写真－2.5(10)　異種金属接触部の拡大写真(左：表側、右：裏側)
［ステンレスボルト接触］

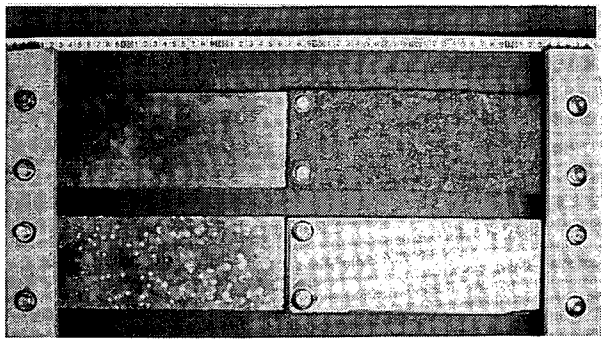


b．Ａ５０８３Ｐ－Ｏ［ＳＨ１］
（塗装、ステンレスボルト締結）

写真－2.5(11)　塗装異種金属接触腐食試験片の塗膜はく離後の状態(左：表側、右：裏側)
［ステンレスボルト接触］



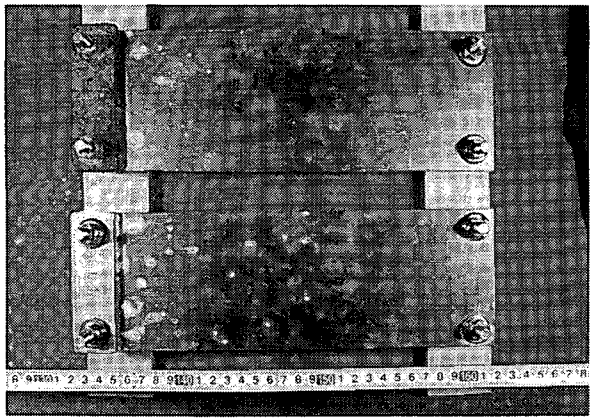
a．表側



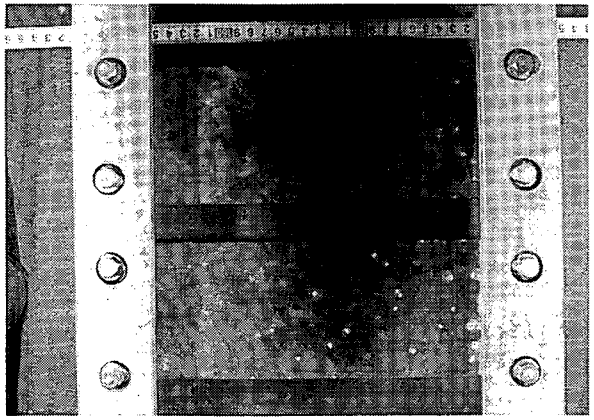
b．裏側

a．Ｆｅ：Ａｌ＝１：１［ＳＩ１］上段
b．ＳＵＳ：Ａｌ＝１：１［ＳＫ１］下段

写真－2.5(12)　異種金属接触腐食試験片の水洗後の状態
［鉄またはステンレス接触］



a．表側



b．裏側

a．　Ｆｅ　：Ａｌ＝１：１０［ＳＪ１］上段
b．　ＳＵＳ：Ａｌ＝１：１０［ＳＬ１］下段

写真－2.5(13)　異種金属接触腐食試験片の水洗後の状態
［鉄またはステンレス接触］

4) 回収試験片の重量減少測定結果

腐食重量減少量測定用の単体腐食試験片の重量を測定し、式(2.1)により、腐食重量減少量を算出した。また、式(2.2)により、概略の腐食板厚減少量を算出した。それらの結果を表－2.14に示した。

腐食重量減少量はA5083P-0、A5052P-H32、A5083S-H112とも同程度で、0.3～0.4mg/cm^{2}であった。

腐食重量減少量＝(試験前重量－試験後重量)／試験片の全面積･･･(2.1)

腐食板厚減少量＝(試験前重量－試験後重量)／(試験片の投影面積×ｱﾙﾐﾆｳﾑ合金の概略密度*)･･･(2.2)

(*)アルミ合金の概略密度=2.7g/cm^2

表－2.14　腐食重量減少量測定用単板試験片の重量測定結果

供試材		期間	試験前重量(g)（Ｈ７年測定）		試験後重量(g)（Ｈ８年測定）		腐食重量減少量	腐食板厚減少量
			実測値(g)	補正値(g)	実測値(g)	補正値(g)	(mg/cm^2)	(μm)
A5083P-0	SA-0	0年	264.470	264.370	264.426	264.373	---	---
	SA-1	1年	264.487	264.387	264.353	264.300	0.435	1.6
	SA-3	3年	264.508	264.408				
	SA-5	5年	264.368	264.269				
	SA-10	10年	264.237	264.138				
A5052P-H32	SB-0	0年	129.590	129.542	129.570	129.544	---	---
	SB-1	1年	129.404	129.356	129.303	129.277	0.395	1.5
	SB-3	3年	129.056	129.008				
	SB-5	5年	129.618	129.570				
	SB-10	10年	128.331	128.283				
A5083P-H112	SC-0	0年	254.964	254.868	254.924	254.873	---	---
	SC-1	1年	259.376	259.278	259.251	259.199	0.395	1.5
	SC-3	3年	257.758	257.661				
	SC-5	5年	258.466	258.369				
	SC-10	10年	260.138	260.040				

参考1 ： 使用天秤の校正

回帰式 0年　補正値= 0.000749 + 0.999621×実測値

1年　補正値= -0.000100 + 0.999799×実測値

参考2 ： アルミ合金の概略密度 2.7 g/cm^3

5) 回収試験片の孔食深さ測定結果

回収した1年間暴露試験片のうち、目視で孔食が観察された各試験片について、孔食深さを顕微鏡を用いた焦点深度法により測定した。その結果を表－2.15に示した。

異種金属接合試験片における孔食分布状況を調査した結果を図－2.9(1)～(4)に示した。

(A)単体腐食試験片　：A5083P-O、A5052P-H32、A5083S-H112とも0.01～0.02mm程度の腐食深さであった。

(B)溶接部腐食試験片：A5083P-Oの溶接ビード端部の腐食深さは約0.08mmであった。A5083P-Oのビード部および一般部とA5052P-H32、A5083S-H112試験片は健全であった。

(C)塗装腐食試験片　：部位を問わず、いずれの試験片も健全であった。

(D)隙間腐食試験片　：いずれの試験片も隙間部に腐食は観察されず、一般部においても健全であった。

(E)異種金属接触腐食：

i)無塗装ボルト接合試験片：ステンレスワッシャとの境界部において約０．９ｍｍの腐食深さであり、距離が離れるにつれてなだらかに減少していた。異種金属の影響は約50mmであった。

ii)塗装ボルト接合試験片　：いずれの部位も健全であった。

iii)鉄：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝1：1　：顕著な腐食は観察されなかった。

iv)ｽﾃﾝﾚｽ：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝1：1　：0.4mm前後の深さの腐食がほぼ全体に渡り、ステンレスからの距離と相関なく発生していた。最大深さの腐食はＳＵＳから最も離れた位置に発生しており、約０．９mmであった。表側のＳＵＳ近傍に腐食が発生していない理由は不明であった。

v)鉄：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝1：10　：鉄との境界部において約0.8mmの腐食深さであり、距離が離れるにつれてなだらかに減少していた。接触面には顕著な腐食は観察されなかった。異種金属の影響は約70mmであった。

vi)ｽﾃﾝﾚｽ：ｱﾙﾐﾆｳﾑ＝1：10　：ステンレスとの接触近傍では約0.8mmの腐食が多く、30mm以上離れた位置では約0.4mmの腐食深さであった。130mm離れた位置でやや深くなっていたが160mm以上離れた位置ではほとんど腐食していなかった。従って異種金属の影響は約130mmと考えられた。

6)腐食部断面拡大

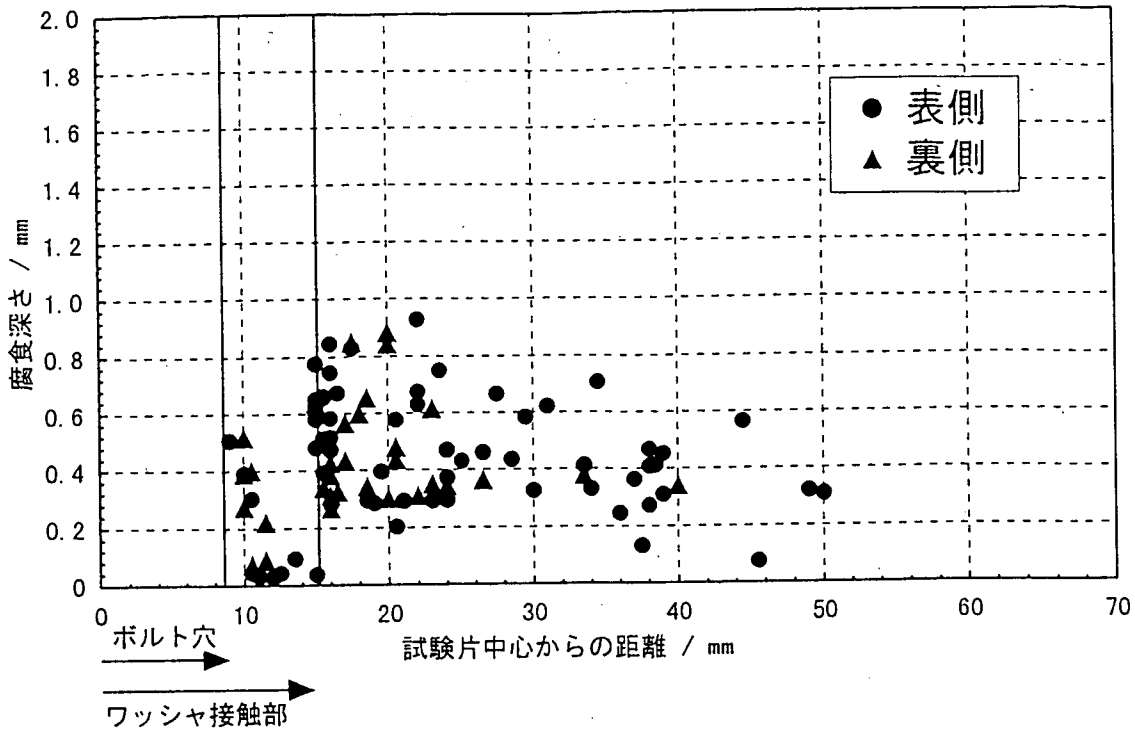
孔食深さ測定結果に基づいて、代表的な腐食部につき断面の拡大観察を行った。その結果を写真2.6(1)～(13)に示した。単板腐食試験片の腐食はいずれも外観観察等の調査結果と同じく、軽微であった。A5083P-Oの溶接ビード端部の腐食は、ビード部のみで腐食の進行が止まっており、母材には進行していなかった。A5083P-Oの異種金属接触腐食試験片における孔食は、深さよりも径が広く、やや横に広がるような形態であった。粒界腐食や亀裂は観察されなかった。

表－2.15(1)　腐食深さ測定結果

区分	試験片 合金	溶接	塗装	附属	記号	測定位置	腐食深さ[深い順]（μm）▒▒:断面観察実施 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
素材腐食	5083P-0	－	－	なし	SA1	一般部	▒18	12	12	07						
	5052P-H32				SB1	一般部	▒14	13	12	12	11	10	09	07		
	5083S-H112				SC1	一般部	▒23	22	19	11						
溶接の影響	5083P-0	○	－	なし	SM1	ビード	健全									
						ビード近傍	▒82	80	80							
						一般部	健全									
	5052P-H32				SN1	ビード	健全									
						ビード近傍	健全									
						一般部	健全									
	5083S-H112				SO1	ビード	健全									
						ビード近傍	健全									
						一般部	健全									
塗装の効果	5083P-0	○	○	なし	SP1	ビード	健全									
						ビード近傍	健全									
						一般部	健全									
			○		SQ1	ビード	健全									
						ビード近傍	健全									
						一般部	健全									
			○		SR1	ビード	健全									
						ビード近傍	健全									
						一般部	健全									
すき間腐食	5083P-0	－	－	すき間形成材	SD1	すき間部	健全									
						一般部	健全									
	5052P-H32				SE1	すき間部	健全									
						一般部	健全									
	5083S-H112				SF1	すき間部	健全									
						一般部	健全									

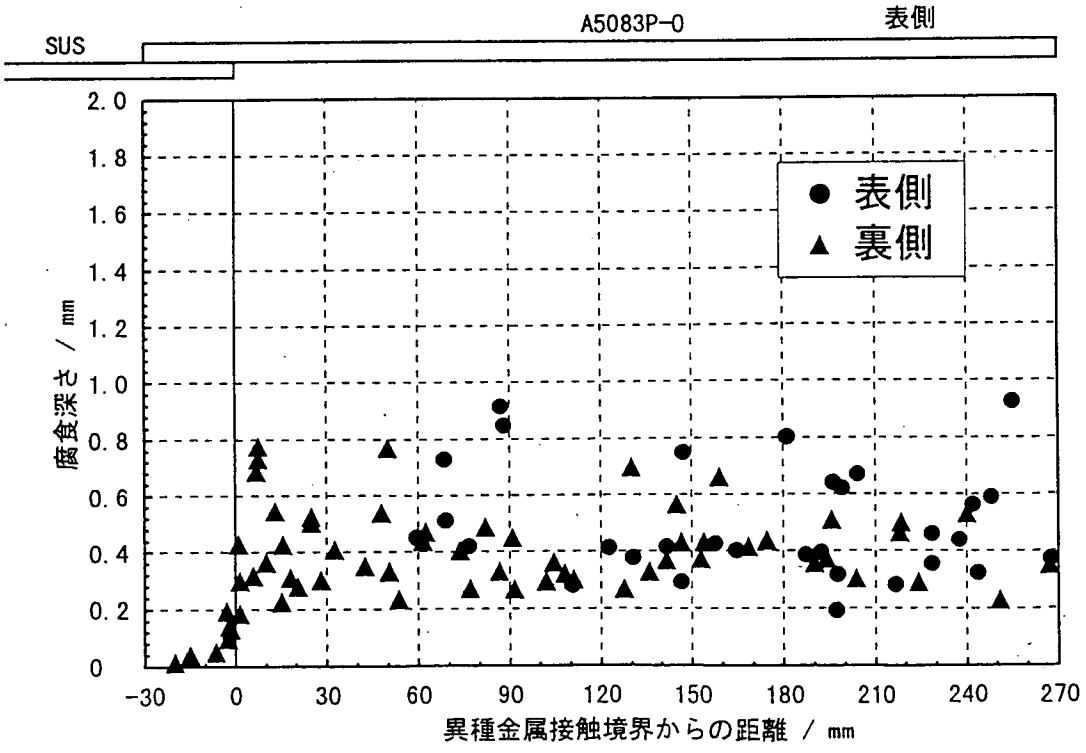
表－2.15(2)　腐食深さ測定結果

区分	試験片						測定位置	腐食深さ[深い順]（μm）▒▒:断面観察実施									
	合金	溶接	塗装	異種金属	面積比	記号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
異種金属接触腐食	5083P-0	—	—	ｽﾃﾝﾚｽ鋼ﾎﾞﾙﾄ		SG1	接触部	509	402	392	303	274	94	89	74	43	43
							境界部	852	846	832	778	746	673	663	658	656	652
							一般部	930	884	845	750	707	676	667	631	621	615
			○			SH1	接触部	健全									
							境界部	健全									
							一般部	健全									
	5083P-0	—	—	SM400B板	Fe:Al 1:1	SI1	接触部	健全									
							境界部	健全									
							一般部	健全									
					Fe:Al 1:10	SJ1	接触部	健全									
							境界部	654	508								
							一般部	786	712	575	549	542	478	424	400	391	364
				SUS304板	SUS:Al 1:1	SK1	接触部	193	144	132	98	51	40	16			
							境界部	429	300	186							
							一般部	928	916	850	803	776	770	749	731	729	698
					SUS:Al 1:10	SL1	接触部	672	490	374	350	317	278	220	213	202	180
							境界部	936	775	704	589	561	431	399	393	387	373
							一般部	877	848	833	789	767	763	670	668	626	612



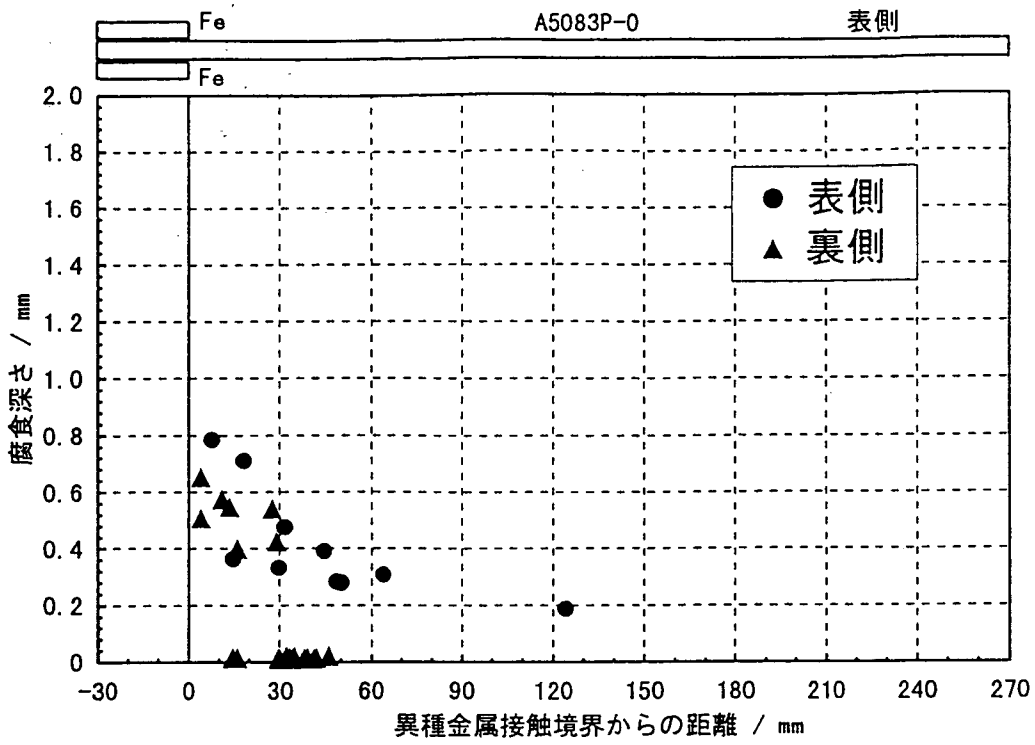
図－2.9(1)　異種金属接触腐食試験片における孔食発生分布状況

［A5083P-0　ステンレスボルト接触　SG1］



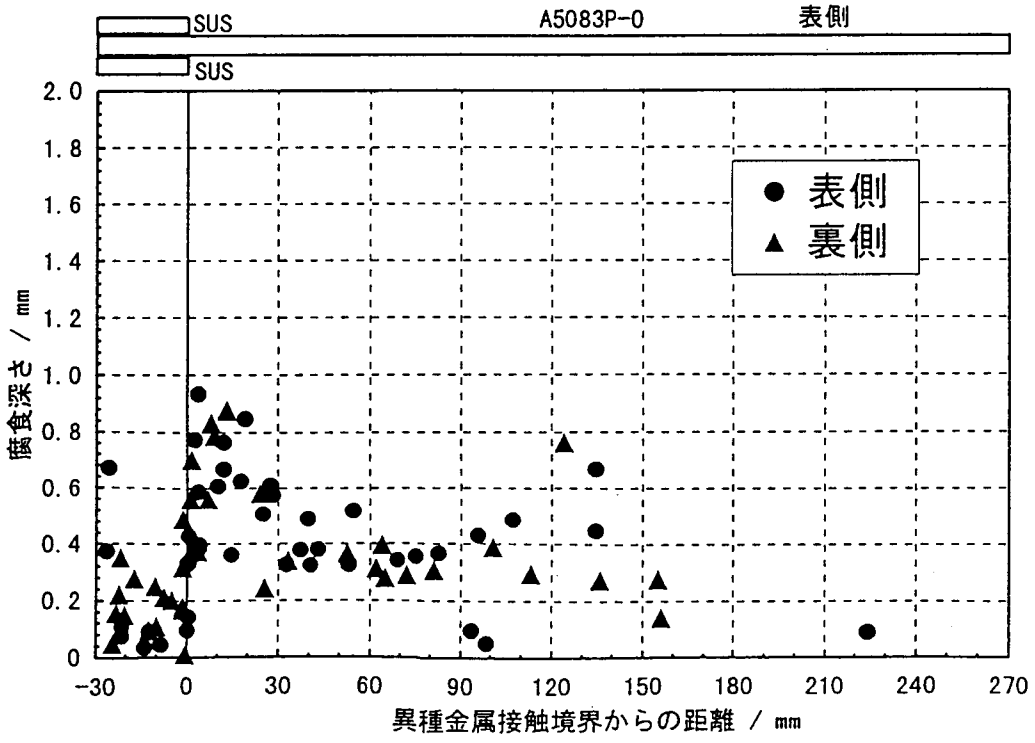
図－2.9(2)　異種金属接触腐食試験片における孔食発生分布状況

［A5083P-0　ステンレス：アルミニウム＝1：1　SK1］



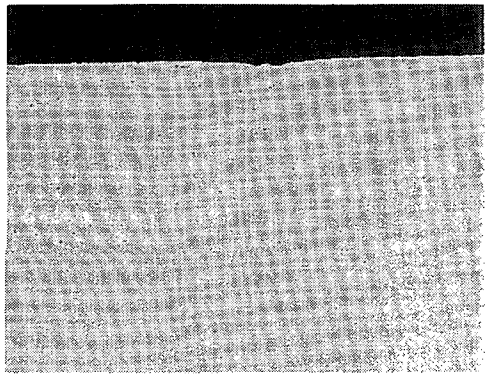
図－2.9(3)　異種金属接触腐食試験片における孔食発生分布状況

［A5083P-0　鉄：アルミニウム＝1：10　SJ1］

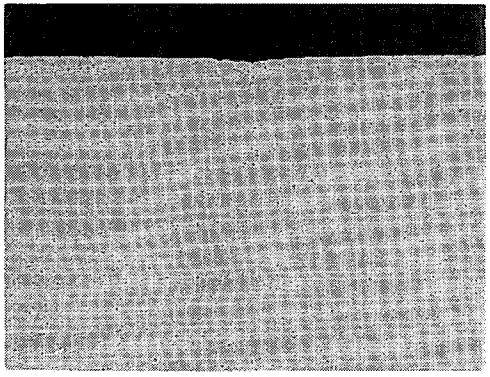


図－2.9(4)　異種金属接触腐食試験片における孔食発生分布状況

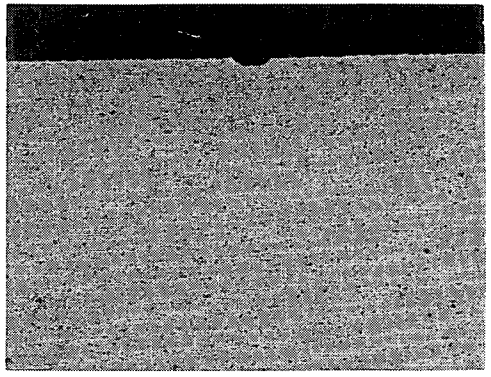
［A5083P-0　ステンレス：アルミニウム＝1：10　SL1］



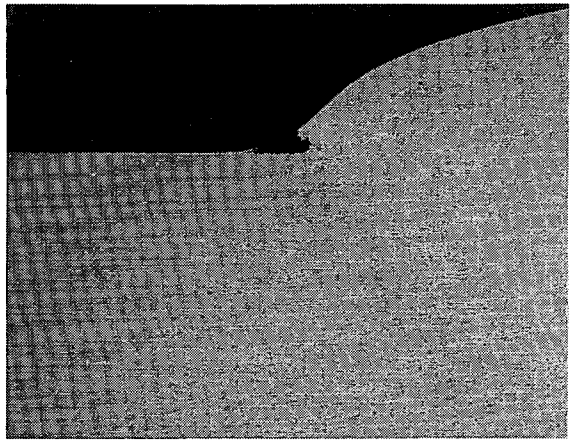
写真－2.6(1)　単体腐食試験片の腐食部断面拡大写真[A5083P-O]



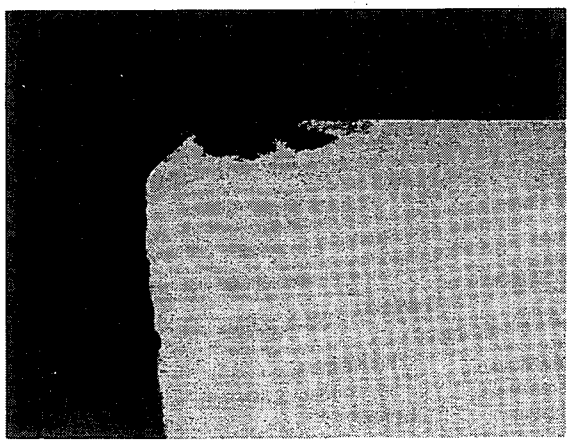
写真－2.6(2)　単体腐食試験片の腐食部断面拡大写真[A5052P-H32]



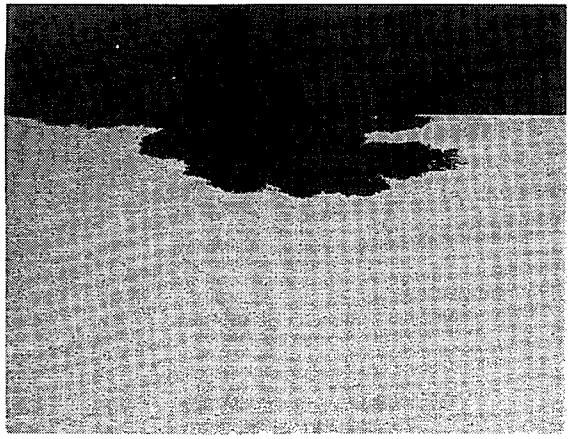
写真－2.6(3)　単体腐食試験片の腐食部断面拡大写真[A5083S-H112]



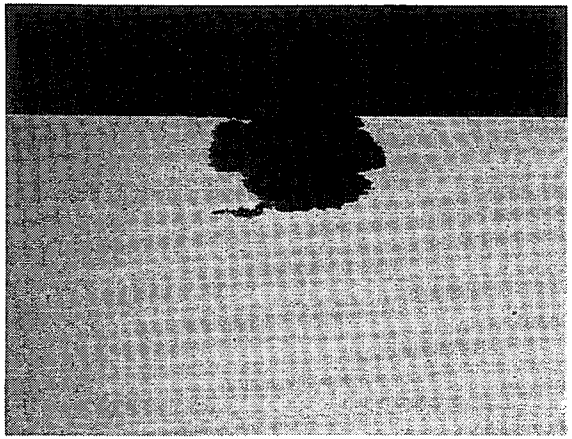
写真－2.6(4)　溶接腐食試験片の腐食部断面拡大写真[A5083P-O　溶接ビード端部]



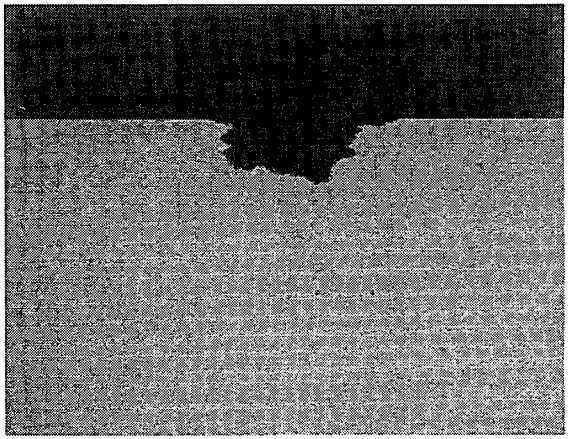
写真－2.6(5)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
〔A5083P-O　ステンレスボルト接触　接触部〕



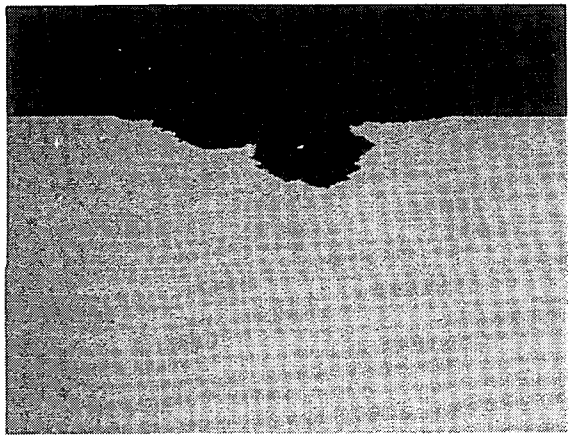
写真－2.6(6)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
〔A5083P-O　ステンレスボルト接触　境界部〕



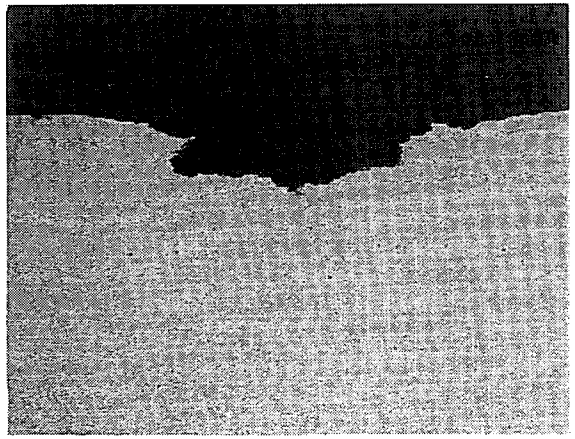
写真－2.6(7)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
〔A5083P-O　ステンレスボルト接触　一般部〕



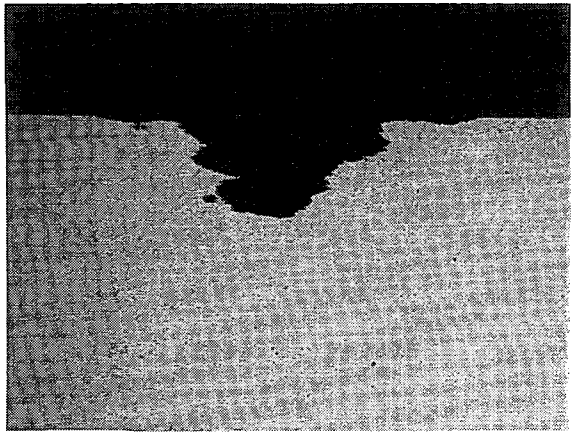
写真－2.6(8)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
〔A5083P-O　鉄：アルミニウム＝1：10　境界部〕



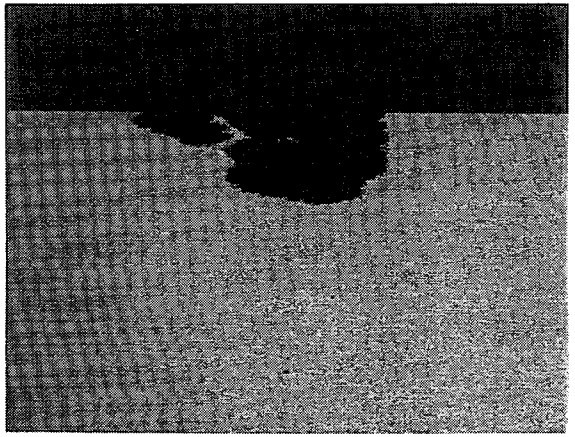
写真－2.6(9)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
［A5083P-O　鉄：アルミニウム＝1：10　一般部］



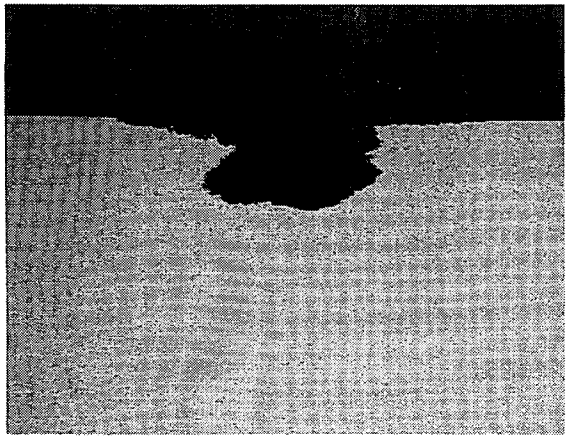
写真－2.6(10)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
［A5083P-O　ステンレス：アルミニウム＝1：1　一般部(＊)］
(＊)境界に近い



写真－2.6(11)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
［A5083P-O　ステンレス：アルミニウム＝1：1　一般部］



写真－2.6(12)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
［A5083P-O　ステンレス：アルミニウム＝1：10　境界部］



写真－2.6(13)　異種金属接触腐食試験片の腐食部断面拡大写真
〔A5083P-O　ステンレス：アルミニウム＝1：10　一般部〕

(2) 平成８年開始時の調査結果

1)水質分析結果

平成８年開始時に採取した湖水の分析結果は平成６年及び７年の結果とあわせて表―2.12に示した。

2)混成電位分布測定結果

平成８年開始時に湖水溶液中における異種金属接合試験片の混成電位分布を測定した。その結果を表―2.16及び図―2.10に示した。犠牲陽極材料とアルミニウム材料との電位差は充分に確保されており、湖水中においても陰極防食の効果により異種金属接触腐食が軽減されるものと考えられた。

3)分極測定結果

平成８年開始時に採取した湖水溶液中において、各種アルミニウム合金試験片の分極測定を行った。その結果を図―2.11に示した。アルミニウム合金試験片の孔食電位は -140～-294 mV vs SCEとなったが、これらの値は季節変動などの環境変化によっても大きく左右されるものと考えられた。

2.3 まとめ

七ヶ宿ダム湖においてアルミニウム材料の水中暴露試験を行い、平成８年度には平成７年度に暴露試験を開始した１年目の試験片を回収・調査した結果、腐食状況としては以下の知見が得られた。

(1) 素材単体：表面がやや変色しているものの、顕著な腐食は観察されなかった。

(2) 溶接部材：素材単体と同様に、顕著な腐食は観察されず健全であった。

(3) 塗装部材：塗膜のはがれや膨れ等は観察されず、健全であった。

(4) すき間形成部材：接触部は変色も生じておらず、腐食も観察されず健全であった。

(5) 異種金属接触材：無塗装材は異種金属接触により孔食が発生したが、塗装材は健全であった。

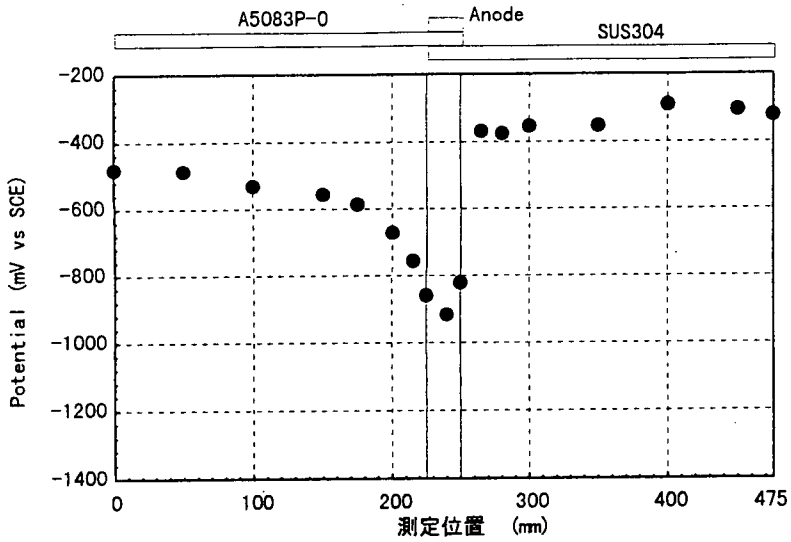
表—2.16　七ヶ宿湖水中暴露試験開始時における異種金属接合試験片の混成電位分布測定結果

(H8.10.25測定)

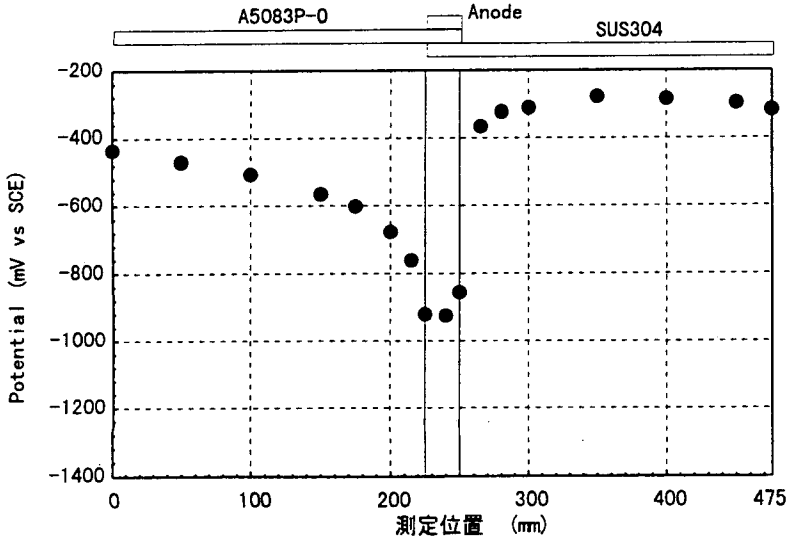
測定位置		混成電位　(mV vs SCE)			
部位	Al端からの距離(mm)	陽極材 Mg		陽極材 Zn	
		塗装無し	塗装有りNo.A	塗装無し	塗装有りNo.A
		No.8SC	No.8SD	No.8SA	No.8SB
5083P-O	0	- 542	- 525	- 479	- 434
	50	- 596	- 565	- 485	- 469
	100	- 650	- 630	- 530	- 505
	150	- 743	- 742	- 555	- 565
	175	- 808	- 830	- 585	- 600
	200	- 944	- 1001	- 669	- 676
	215	- 1060	- 1138	- 755	- 460
陽極材料	225	- 1310	- 1348	- 857	- 920
	240	- 1275	- 1375	- 915	- 924
	250	- 1254	- 1359	- 820	- 855
SUS304	265	- 494	- 380	- 368	- 365
	280	- 405	- 363	- 375	- 323
	300	- 415	- 330	- 353	- 310
	350	- 380	- 312	- 352	- 278
	400	- 313	- 278	- 290	- 285
	450	- 313	- 298	- 305	- 297
	475	- 332	- 348	- 321	- 317

塗装仕様：No.A：シンナー + ウォッシュ(10μm) + エポキシ(80μm) + ポリウレタン(30μm)

No.B：シンナー + ウォッシュ(10μm) + エポキシ(80μm) + ふっ素(30μm)

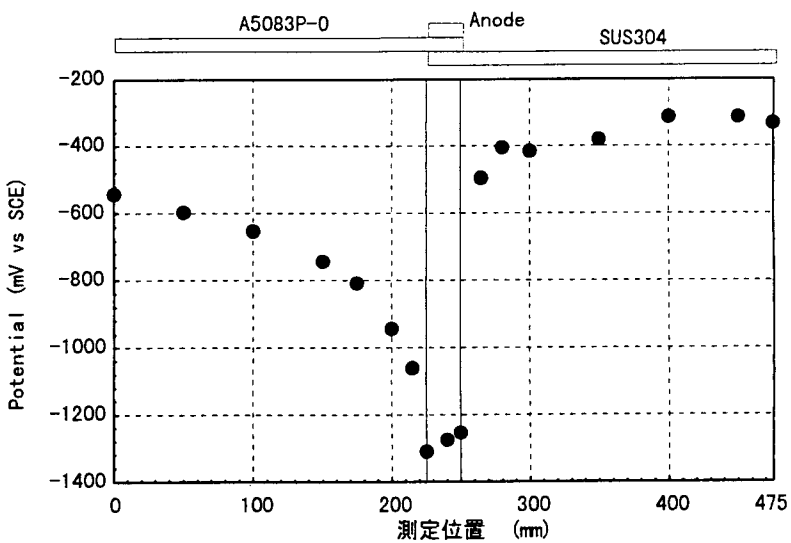


No. 8SA（A5083P-0：塗装無し、異種金属：SUS304、陽極：Zn）

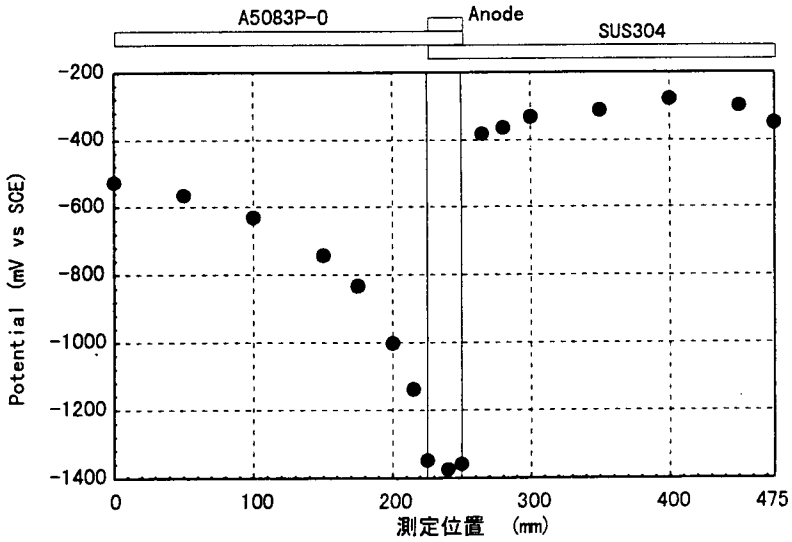


No. 8SB（A5083P-0：塗装 No. A、異種金属：SUS304、陽極：Zn）

図－2.10(1)　ダム湖水中における異種金属接合試験片の混成電位分布測定結果

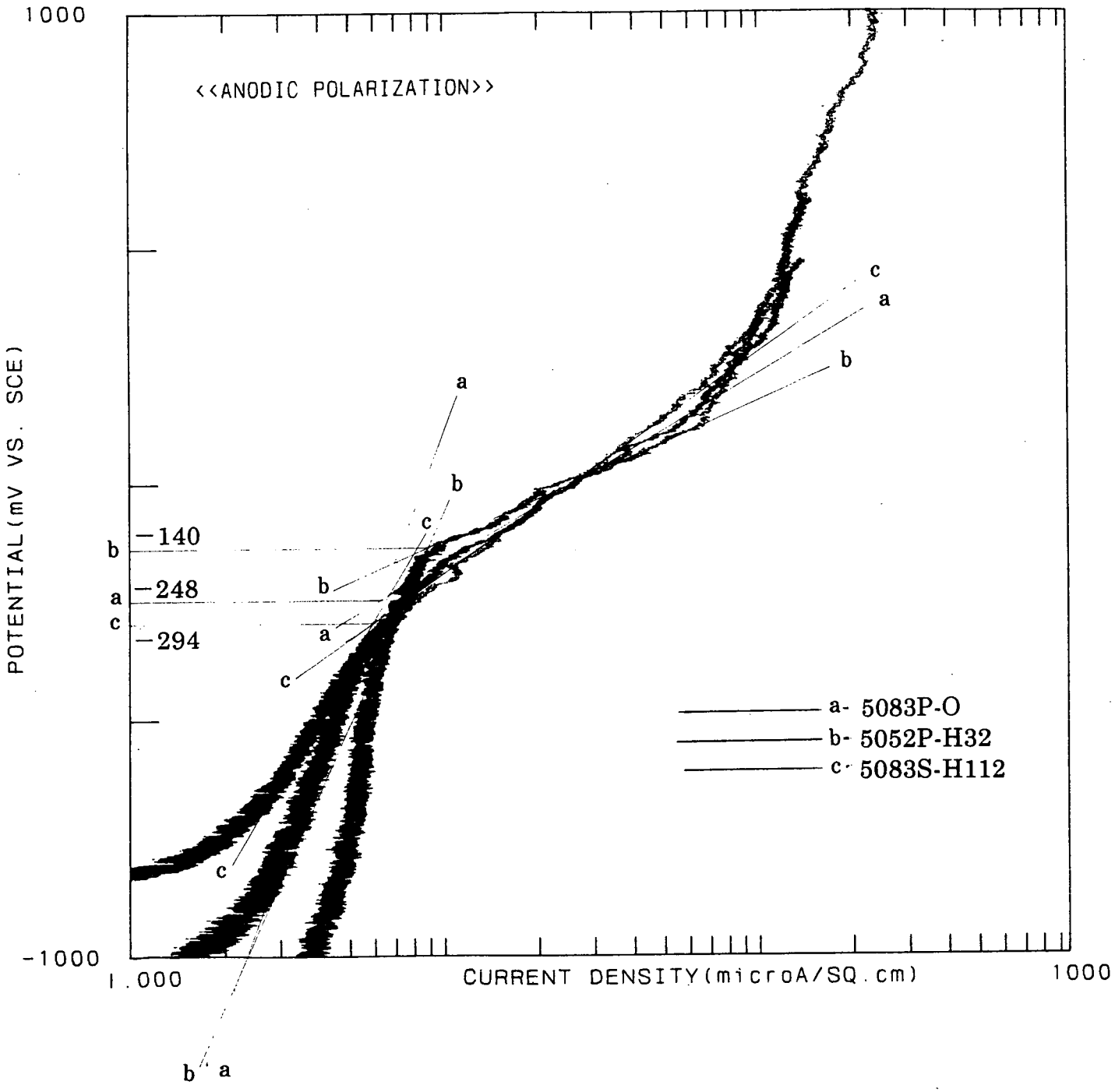


No. 8SC（A5083P-0：塗装無し、異種金属：SUS304、陽極：Mg）



No. 8SD（A5083P-0：塗装 No. A、異種金属：SUS304、陽極：Mg）

図－2.10(2)　ダム湖水中における異種金属接合試験片の混成電位分布測定結果



図－2.11　各種アルミニウム合金試験片のダム湖水採取溶液中における分極測定結果

測定条件：室温、七ヶ宿ダム湖水、Ar 通気、電位掃引速度 10mV/min

孔食電位（mV vs SCE）：5083P-O:－248、5052P-H32:－140、5083S-H112:－294

3. 汽水暴露試験

河川・ダム施設へのアルミ材料の適応に関する検討の一環として，表－3.1に示す基礎計画に基づき江戸川（下流域）において各種アルミ合金の暴露腐食試験を実施している。

平成８年度には、塗装の効果（追加塗装種）及び異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果に関する追加試験を行った。

本報告は、そのうち平成６年に開始した暴露試験のうちから平成９年に回収した浸漬３年暴露試験片と、平成８年度に開始した１年暴露試験片の調査結果である。

表－3.1　暴露試験の基礎計画

暴露試験における注目点	暴露地	暴露開始	実施年度			
			１年目	３年目	５年目	10年目
１．素材の腐食速度	下流域	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１６
２．溶接部の影響	下流域	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１６
３．塗装の効果	下流域	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１６
	大気	Ｈ７	Ｈ８	Ｈ１０	Ｈ１２	Ｈ１７
４．すき間の影響	下流域	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１６
５．異種金属接合の影響	下流域	Ｈ６	Ｈ７	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１６
６．塗装の効果	下流	Ｈ８	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１３	Ｈ１８
（追加塗装種）	大気	Ｈ８	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１３	Ｈ１８
７．異種金属接合の影響に及	下流域	Ｈ８	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１３	Ｈ１８
ぼす陰極防食の効果	大気	Ｈ８	Ｈ９	Ｈ１１	Ｈ１３	Ｈ１８

3.1 試験方法

(1)浸積暴露３年（平成６年度開始）

①供試材料

1)アルミ合金種類

適応用途から、強度と耐食性を考慮しＡ５０８３－Ｏ，Ａ５０５２－Ｈ３２，Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２の３種アルミ合金を選定した。それらの成分組成等を表－3.2に示す。

表－3.2　供試アルミニウム合金の成分組織

合金番号*)	厚さ	主要成分**)						
	(mm)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
A5083P-0	8	＜0．4	＜0．4	———	0．7	4．5	———	0．15
A5052P-H32	4	＜0．3	＜0．4	———	———	2．5	———	0．25
A5083S-H112	1	＜0．4	＜0．4	———	———	4．5	———	0．15

合金番号	調質・形状*)	想定適応部位
A5083P-0	焼純し軟質板	厚肉主要構造部材
A5052P-H32	1／4加工硬化板	薄肉補助板材
A5083S-H112	押出型材	特定形状補助部材

＊）JIS H0001 参照　　＊＊）JIS H4000 H4100 参照

2)供試材種類及び評価方法

表－3.1に示した暴露試験における各注目点に関し、試験片の形態および評価方法について以下の様に基本的に定めた。それらに基づいて表－3.3の試験片を選択した。

1．素材の腐食速度　　：無処理平板の腐食重量減少および孔食深さによる。

2．溶接部の影響　　：溶接接合した試験片を用い、溶接部，溶接熱影響部と非接合部の外観，孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。

3．塗装の効果　　：塗装した試験片を用い、同種無塗装板との外観，孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。

4．すき間の影響　　：所定のすき間形成材を装着し、その部分でのすき間腐食性を評価する。

5．異種金属接合の影響：河川・ダム施設で実際に有るうる異種金属接合を想定し、接触異種金属として普通鋼材（ＳＭ４００Ｂ）およびステンレス鋼材（ＳＵＳ３０４）を選定した。アルミニウム材料としては，表3．1．2の合金の中から最も多用されると推定されるＡ５０８３Ｐ－０を選定した。詳細を以下に示す。

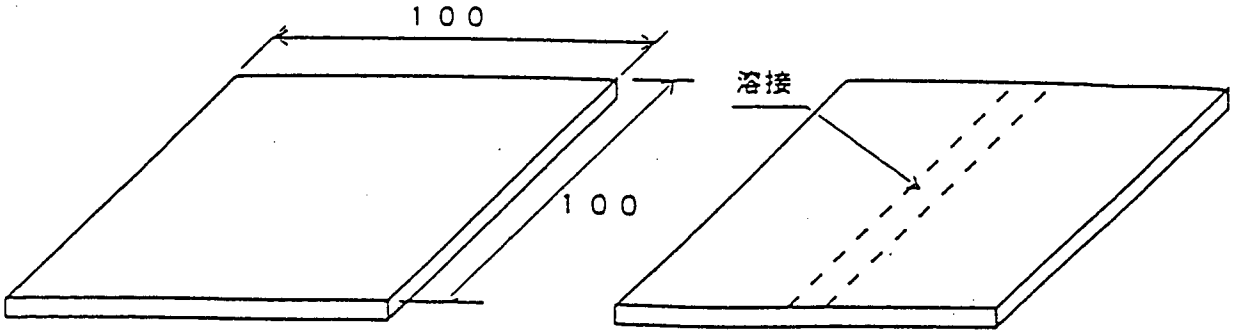
接合比率；基礎的な知見を得るために，アルミニウム材料と異種金属の接合比率は，１：１（Fe,SUS:Al)および１：１０（Fe,SUS:Al)を選定した。

また，実際に生じる異種金属接合を想定し，ステンレス鋼製ボルトを装着した。今回，参考として，塗装板にステンレス鋼製ボルトを装着し，塗装の効果を比較した。

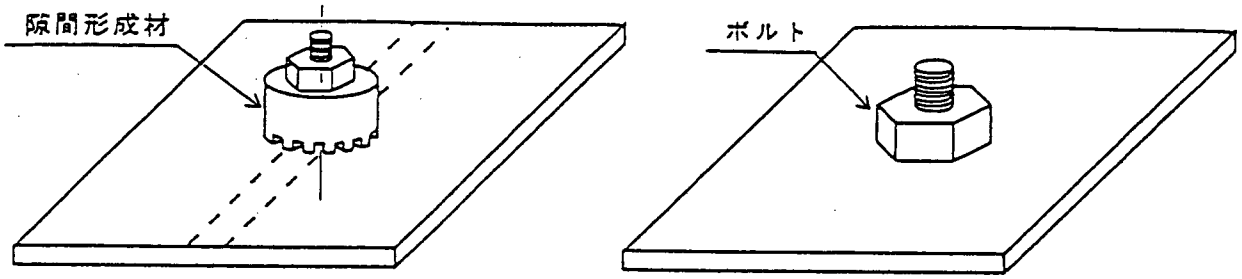
無処理平板に対し，外観，孔食深さおよび孔食密度を比較し，異種金属接合の影響を評価する。

3)試験片寸法

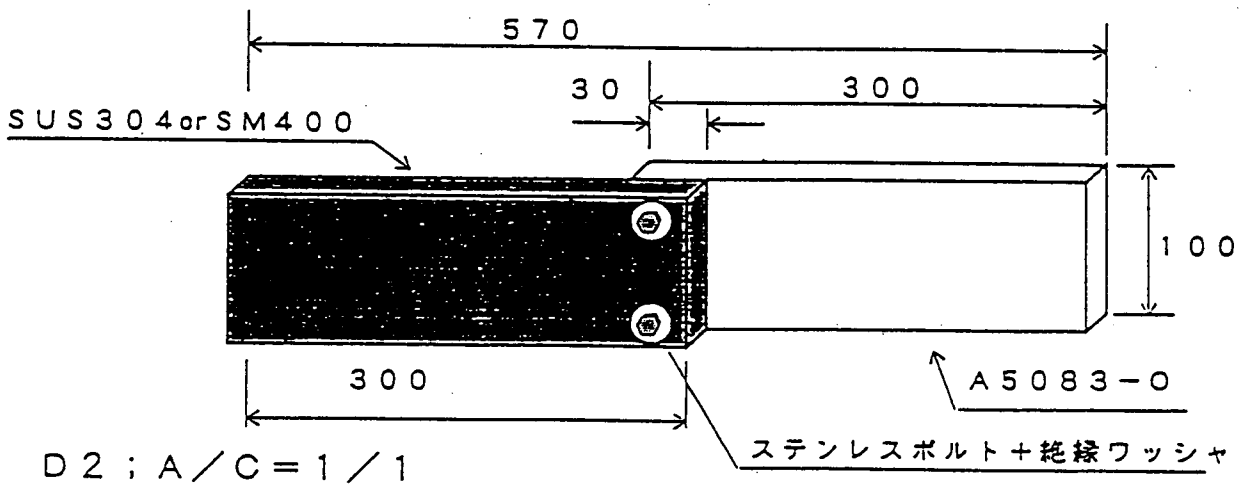
試験片形状の概略を図－3.1に示す。なお，Ａ５０８３Ｐ－Ｏ材およびＡ５０５２Ｐ－Ｈ３２材については所定の厚さの圧延材より所定の寸法に切り出して試験片とした。また，Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２に



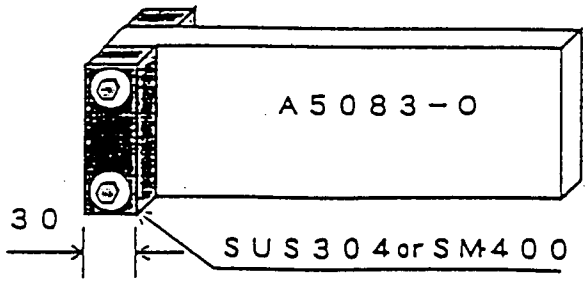
A１；単体試験片（重量測定用）　A２；溶接試験片



B；隙間治具付き試験片　C；ボルト付き試験片



D２；A／C＝１／１



D３；A／C＝１０／１

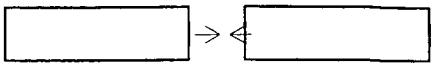
図－3.1　試験片形状概略

ついては，巾１００ｍｍのＣ字押出型材から所定の寸法に切り出して試験片とした。

4)溶接仕様

耐食性に及ぼす溶接の影響を調査するために，一部の供試材に溶接を施した。

その場合には，右図の様に板材を突き合わせ，ＭＩＧ（Metal Inert Gas Arc）溶接法によって突き合わせ溶接し，隙間形成材の取り付け部分は両面とも余盛り部を切除した。溶加材として５１８３合金を用いた。成分を表－3.4に示す。



図－3.2　溶接仕様概略

表－3.4　溶加材成分

Ｓｉ	Ｆｅ	Ｃｕ	Ｍｎ	Ｍｇ	Ｃｒ
-	-	-	0.50-0.1	4.3-5.2	0.05-0.25

(wt%)

5)塗装仕様

耐食性に及ぼす塗装の効果を調査するために，一部の供試材に塗装を施した。

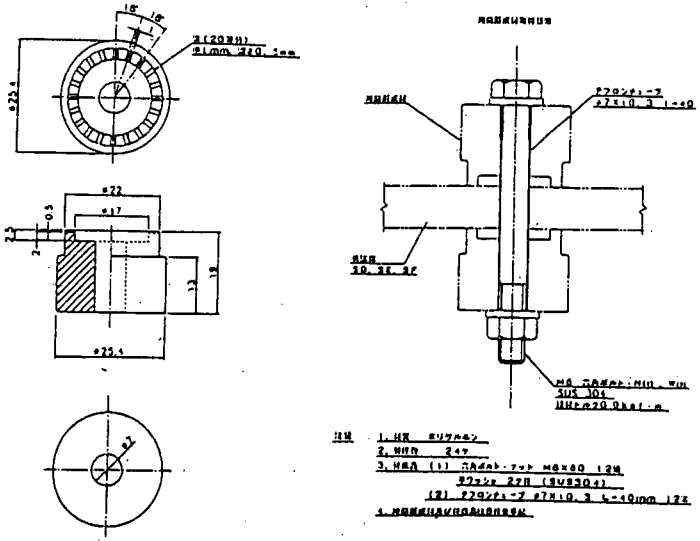
その際の塗装仕様とは，将来の有機溶剤規制と景観性に重点を置き，表－3.5の様に選定した。

表－3.5　平成６年開始試料の塗装仕様

塗膜部位	塗料種類	膜厚（μｍ）
下地処理	溶剤脱脂	
下塗り１	常温乾固型エポキシ樹脂	６０μｍ
下塗り２	常温乾固型エポキシ樹脂	６０μｍ
上塗り１	常温乾固型エポキシ樹脂	
上塗り２	常温乾固型ポリウレタン樹脂	６０μｍ

6)すき間形成材

すき間腐食を考慮するために，一部の供試材にすき間形成材を装着した。その場合のすき間形成材には，先にステンレス鋼材の暴露試験に使用されたものと同一の，ＡＳＴＭ　Ｇ７８に準じたポリサルフォン樹脂性のマルチクレビスアセンブリを使用した。すき間形成材は締めつけトルク０．９ｋｇｆ・ｍで装着された。すき間形成材の仕様を図－3.3に示す。



図－3.3　隙間形成材

表－3.3　江戸川河口における暴露腐食試験片使用概略）

区分	合金	試験片				回収年			
		溶接	塗装	寸法	付属品等	1年	3年	5年	10年
素材腐食	A5083P-0					11	13	15	110
	A5052P-H32	—	—	100*100	無し	21	23	25	210
	A5083S-H112					31	33	35	310
すき間腐食	A5083P-0				すき間	41	43	45	410
(ASTMG78-89)	A5052P-H32	○	—	100*100	形成材	51	53	55	510
＋	A5083S-H112				付着	61	63	655	610
溶接部の腐食	A5083P-0					71	73	75	710
	A5083S-H112	○	—	100*100	無し	81	83	85	810
	A5083P-0					91	93	95	910
	A5052P-H32					101	105	107	1010
	A5083S-H112	○	○	100*100	無し	111	115	117	1110
	A5083P-0					121	125	127	1210
	A5052P-H32				すき間	131	135	137	1310
	A5083S-H112	○	○	100*100	形成材	141	145	147	1410
	A5083P-0				付着	151	155	157	1510
異種金属接合	A5083P-0	○	—	100*100	ｽﾃﾝﾚｽ	161	163	165	1610
		○	○		ﾎﾞﾙﾄ	171	175	177	1710
	A5083P-0	—	—	100*300	SM400B A/C=1	191	195	197	1910
		—	—	100*300	SUS304 A/C=10	201	205	207	2010
		—	—	100*300	SUS304 A/C=1	222	225	227	2210
		—	—	100*300	SM400B A/C=10	221	225	227	2210

②試験片・架台および試験片とりつけ状態

1)アルミ合金成分分析

平成6年に暴露を開始した各アルミ合金の成分分析結果を表−3.6に示す。

表−3.6　平成6年暴露開始アルミ合金成分分析結果（カントメーター法による参考値：ｗｔ％）

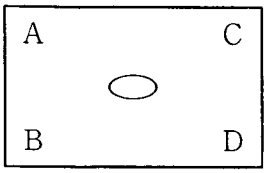
合金番号	Ｓｉ	Ｆｅ	Ｃｕ	Ｍｎ	Ｍｇ	Ｃ	Ｎｉ	Ｚｎ	Ｔｉ	Ａｌ
Ａ５０８３Ｐ− ０	0.08	0.21	0.03	0.63	4.47	0.08	—	—	0.01	残部
Ａ５０５２Ｐ−Ｈ３２	0.12	0.25	0.02	0.07	2.56	0.19	—	—	0.01	残部
Ａ５０８３Ｓ−Ｈ１１２	0.09	0.16	0.04	0.70	4.41	0.09	—	—	0.01	残部

2)塗装膜厚測定結果

平成6年に暴露を開始した各アルミ試験片の塗装膜厚測定結果を表－3.7に示す。

表－3.7　平成6年暴露開始アルミ試験片の塗装膜厚測定結果1（渦電流式膜厚計による）

供試材			塗膜厚さ（μm）					測定位置
合金番号	記号	期間	1	2	3	4	5	
A5083P-0	101	1年	313	301	291	313	305	
	105	3年	333	335	350	343	340	
	107	5年	313	318	320	312	316	
	1010	10年	275	270	268	263	269	
A5052P-H32	111	1年	263	261	262	265	263	
	115	3年	321	313	322	323	310	
	117	5年	275	277	278	277	277	
	1110	10年	266	267	265	262	265	
A5083S-H112	121	1年	288	273	290	292	286	
	125	3年	322	326	337	335	330	
	127	5年	282	285	292	287	287	
	1210	10年	282	284	285	300	288	
A5083P-0	131	1年	298	295	322	300	304	
	135	3年	308	311	315	320	314	
	137	5年	296	312	303	285	299	
	1310	10年	267	273	267	266	268	
A5052P-H32	141	1年	289	278	274	291	283	
	145	3年	290	283	274	277	281	
	147	5年	267	282	283	270	276	
	1410	10年	283	285	281	278	282	
A5083S-H112	151	1年	304	313	300	285	301	
	155	3年	310	320	302	309	310	
	157	5年	313	295	298	310	304	
	1510	10年	317	308	311	308	311	
A5083P-0	171	1年	392	286	295	290	291	
	175	3年	383	288	286	286	286	
	177	5年	305	284	292	288	292	
	1710	10年	280	292	283	280	284	



3)腐食重量減少用試料の元重量測定

平成６年に暴露を開始した各アルミ試験片の腐食重量減少用単板試料で，浸漬３年に対応する試験片の暴露前重量を表－3.8に示す。

表－3.8　平成６年暴露開始腐食重量減少用　浸漬１年単板試料重量測定結果

供試材			暴露前重量（ｇ）：ａ
合金番号	記号	期間	
A5083P-O	13	３年	２０６．２１３
A5052P-H32	23	３年	１０４．０４１
A5083S-H112	33	３年	２４９．０８５

4)普通鋼およびステンレス鋼材の成分分析

平成６年に暴露を開始した普通鋼およびステンレス鋼材の成分分析結果を表－3.9に示す。

表－3.9　普通鋼およびステンレス鋼材の成分分析結果

	Ｃ	Ｓｉ	Ｍｎ	Ｐ	Ｓ	Ｎｉ	Ｃｒ
ＳＵＳ３０４	0.05	0.54	1.20	0.028	0.005	8.34	18.13
ＳＭ４００Ｂ	0.11	0.21	1.04	0.016	0.03	—	—

（添付成績表より転載：ｗｔ％）

（２）暴露試験架台および供試材とりつけ状態

試験片取り付け枠および試験片とりつけ位置を図－3.4に示す。

③暴露地および開始期日

暴露地は建設省江戸川河口出張所構内の江戸川下流域で，その譲岸と平行に試験片取り付け架台を設置した。試験片枠を架台に滑りこませ，河川中に暴露する方式をとった。

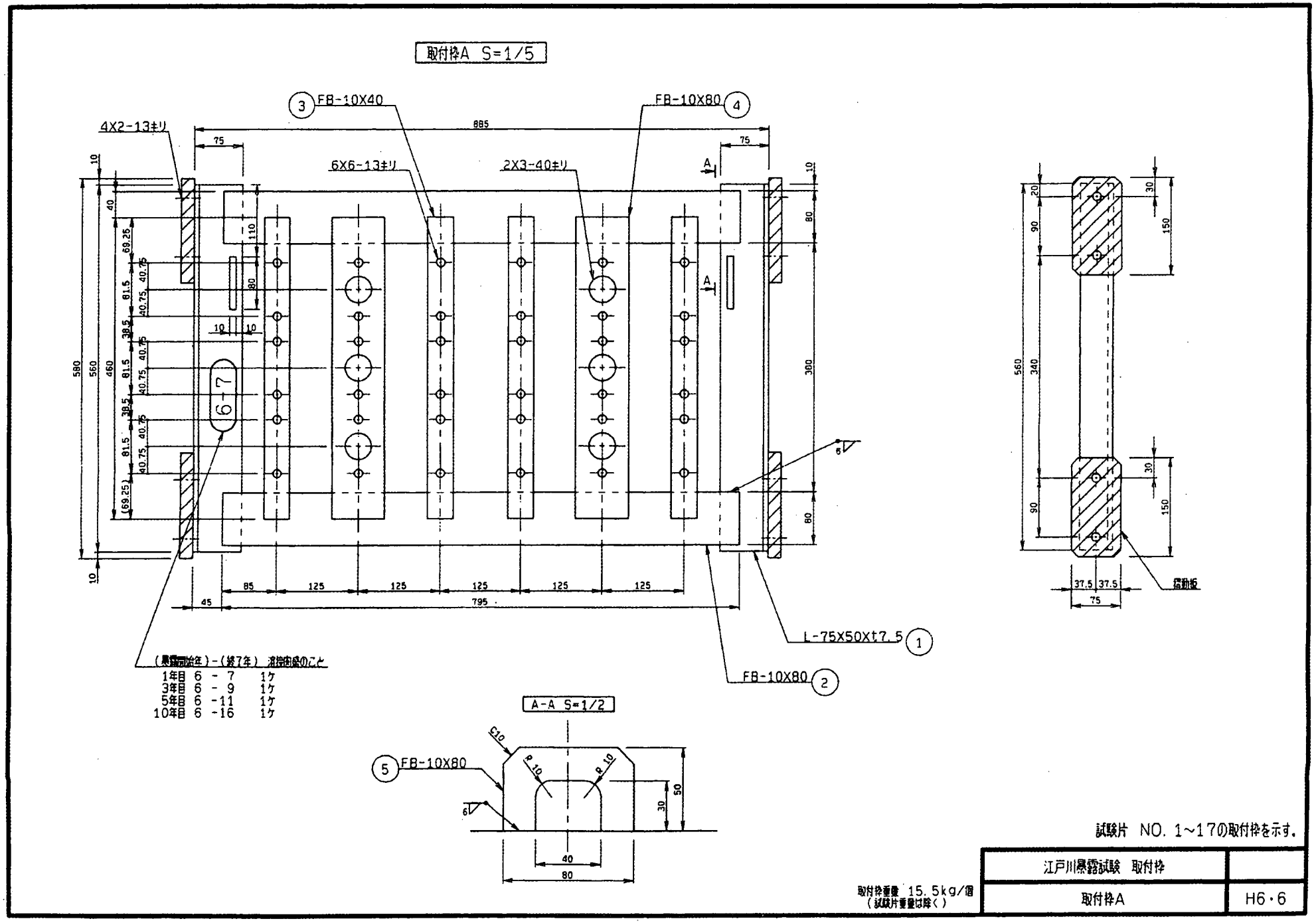
④暴露期間

暴露期間は，平成６年に開始した基本試験で最長１０年と定めた。

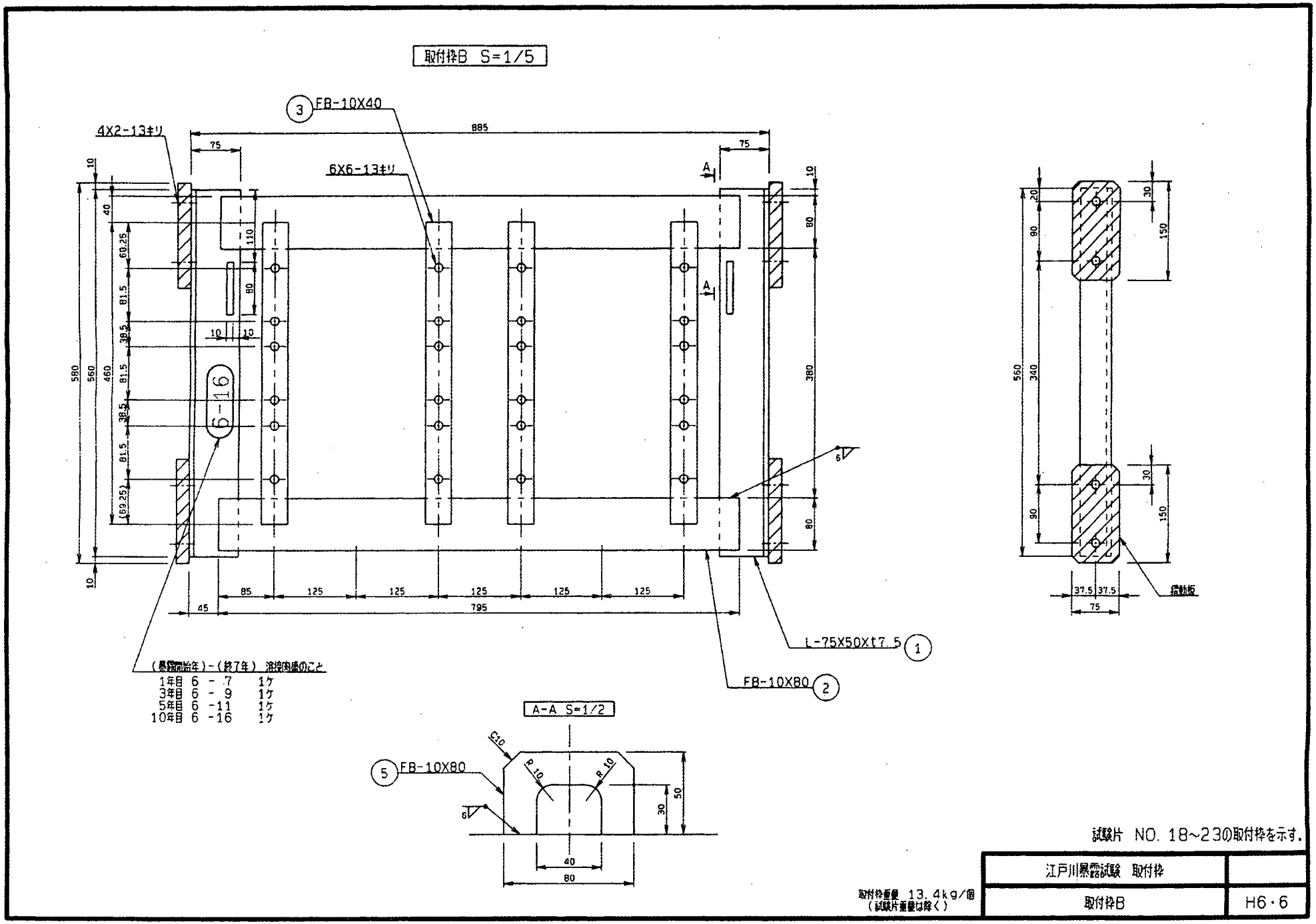
なお，平成６年度開始分の暴露は，９月８日に開始し，３年間暴露試験片の回収は平成９年９月１１日に実施した。よって今後の回収予定日は表－3.10に示す様になる。

表－3.10　暴露試験の開始および回収予定日

暴露試験における注目点	暴露開始	実施年度			
		１年目	３年目	５年目	10 年目
１．素材の腐食速度	H6.08.09	H7.08.09	H9.09.11	(H11.09.11)	(H16.09.11)
２．溶接部の影響					
３．塗装の効果					
４．隙間の影響					
５．異種金属接合の影響	H6.08.09	H7.08.09	H9.09.11	(H11.09.11)	(H16.09.11)



図－3.4(1) 試験片取り付け枠、取り付け位置



試験片 NO. 18~23の取付枠を示す.

江戸川暴露試験 取付枠	
取付枠B	H6・6

取付枠重量 13.4kg/個
(試験片重量は除く)

図－3.4(2) 試験片取り付け枠、取り付け位置

⑤回収試験片の調査方法

回収試験片の調査工程および方法概略を表－3.11に示した。

表－3.11　回収試験片の調査工程および方法概略

項目	内容概略
1．引き上げ	・河川から試験片が装着された所定の試験片取り付け枠を引き上げ，岸辺に放置・乾燥する。
2．現地写真撮影	・現地で，全体および各試験片の外観をカラーで撮影する。
3．試験片取り外し	・工具を用いて試験片取り付け枠から試験片を取り外す。
4．付着物除去	・水道水流水中で樹脂性のタワシを用いて，表面に付着したフジツボ等生物の死骸や泥および藻等の付着物を洗浄し，その後清浄な室内に放置して乾燥する。
5．付着物除去後の試験片外観撮影	・付着物除去後の各試験片の外観をカラーで撮影する。
6．a）付着物除去	・工具を用いて試験片からすき間形成材等付着物を取り外す。
b）塗膜はく離	・塗膜除去剤*）を使用して，塗装試験片の塗膜を剥離する。 （＊三彩加工㈱製ネオリバー（主成分ｼﾞｸﾛﾙﾒﾀﾝ）に室温で１５分浸漬後，樹脂製のブラシ→スポンジを用いて塗膜を除去） ・塗膜はく離後の試験片は，水洗し　清浄な室内に放置・乾燥する。
7．腐食生成物除去	・濃硝酸（比重1.36g/cm^3,60%）に供試材を浸漬する。浸漬時間は腐食生成物の付着状況により適宜延長する。（最大３時間程度） ・腐食生成物除去後の試験片は，多量の水道水流水中で硝酸の痕跡が消失するまですすぎ，その後清浄な室内に放置・乾燥する。
8．腐食生成物除去後の試験片外観写真撮影	・腐食生成物除去後の各試験片の外観をカラーで撮影する。
9．重量減少測定	・重量減少測定低試料（無処理，無付着物，１００ｍｍ角）につき試験片を秤量する。
10．孔食深さ測定	・重量測定用試験片については，端面を除く全暴露面を対象として，実体顕微鏡を用いて孔食部分を選定し，顕微鏡焦点深度法等を用い最も深そうに見えるものから10個の孔食深さを測定した。 ・溶接試験片については下記各部位に区分し，各部分について最も深く見えるものより数個（最大１０個）の孔食深さを前記した方法で測定する。 イ）溶接ビード　ロ）溶接ビード近傍　ハ）すき間形成材装着部 ニ）一般部
11．腐食部断面拡大写真撮影	・各供試材の代表的腐食部について，腐食部の拡大を白黒で撮影する。 ・その際，倍率は適宜選定する。

(2)浸漬暴露１年（平成８年開始）

①供試材料

1)アルミ合金種類

適応用途から、強度と耐食性を考慮しＡ５０８３－Ｏのアルミ合金を選定した。成分組成を表－3.12に示す。

表－3.12　供試アルミ合金の成分組成

合金記号*	厚さ (mm)	主要成分**							備考	
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	調質・形状	想定適応部位
A5083P-O	10	<0.4	<0.4	―	0.7	4.5	―	0.15	焼き焼し軟質板	厚肉主要構造部材

＊：JIS H0001 参照　　**:JIS H4000,H4100参照

②試験片の種類

表－3.1に示した、暴露試験における各注目点に関し、試験片の形態および評価方法について以下のように基本的に定めた。それらに基づき、表－3.13の各試験片を選定した。

１．塗装の効果（追加塗装種）：塗装した試験片を用い、外観および孔食深さ、孔食密度を調査する。塗装種には、エポキシ樹脂塗料中塗り＋ウレタン樹脂塗料上塗りおよびエポキシ樹脂塗料中塗り＋ふっ素樹脂塗料上塗りを採用した。

２．異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果：河川・ダム施設で実際に生じる異種金属接合を想定し、異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果を評価する。同種の陽極材料を用いた場合の、異種金属接合裸材試験片および異種金属接合塗装試験片との外観、および孔食深さ，孔食密度を相対比較する。また，異種の陽極材料を用いて，犠牲陽極の効果を相対比較する。接合異種金属としてステンレス鋼材（ＳＵＳ３０４）を選定した。アルミ材と異種金属との接合比率は，１：１を選定した。アルミ合金およびステンレス鋼材と陽極材料との接合比率は、１０：１を選定した。

③供試材形状および作製方法。

試験片形状の概略を図－3.5に示す。Ａ５０８３－Ｏ材およびステンレス鋼材，Ｚｎ，Ｍｇ材を用い，所定の厚さの圧延板材より所定の寸法に切り出して試験片とした。

④塗装仕様

耐食性に及ぼす塗装の効果を調査するために塗装を施した。その際の塗装仕様は将来の有機溶剤規制，景観性および汎用性に重点を置き、常温乾固型エポキシ樹脂塗料中塗り＋常温乾固型ウレタン樹脂塗料上塗りおよび常温乾固型エポキシ樹脂塗料中塗り＋常温乾固型ふっ素樹脂塗料上塗りとした。

なお、下地処理としてウオッシュプライマーを施した。

⑤犠牲陽極材

陰極防食の効果を検討するために、異種金属接合試験片に犠牲陽極を接合した。陽極材料としてはＺｎおよびＭｇ合金を選定した。犠牲陽極材の取り付け状況を図－3.5に示した。

表－3.13 江戸川下流域における水中曝露試験片使用概略（平成８年度分）

試験片区分	合金	塗装	寸法 (w*L:mm)	異種金属との面積比	陽極材料	試験片形状	試験片Ｎｏ 1年	3年	5年	10年
塗装の効果（追加塗装種）	5083P-0	NoA	100*100	Ａｌ単体	無し	TYPE.2	8EE	8EE	8EE	8EE
		NoB			無し		8EF	8EF	8EF	8EF
異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果	5083P-0	無し	100*250	ＳＵＳ	Ｚｎ	TYPE.1	8EA	8EA	8EA	8EA
		NoA		３０４	Ｚｎ		8EB	8EB	8EB	8EB
				Ａ／Ｃ＝１	Ｍｇ		8EC	8EC	8EC	8EC
					Ｍｇ		8ED	8ED	8ED	8ED

塗装仕様	素地調整	ﾌﾟﾗｲﾏｰ	下塗塗装	上塗塗装
ＮｏＡ	ｼﾝﾅｰ	ｳｵｯｼｭ 10μm	ｴﾎﾟｷｼ 80μm	ｳﾚﾀﾝ 30μm
ＮｏＢ	ｼﾝﾅｰ	ｳｵｯｼｭ 10μm	ｴﾎﾟｷｼ 80μm	ふっ素 30μm

⑥試験片，架台および試験片取り付け状態

1)アルミ合金成分分析

Ｈ８年に暴露を開始した各アルミ合金の成分分析結果を表－3.14に示す。

表－3.14　Ｈ８年開始アルミ合金の成分分析結果（カントメーターによる参考値：ｗｔ％）

合金記号	Si	Fe	u	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Ａ５０８３Ｐ－Ｏ	0.12	0.24	05	0.6	4.6	0.11	0.02	0.02	残部

2)ステンレス鋼材の成分分析結果

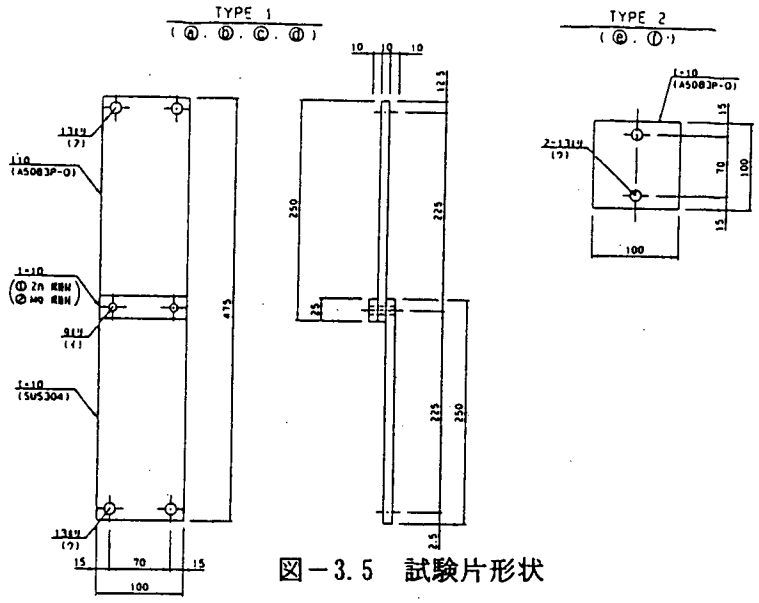
Ｈ８年に暴露を開始したステンレス鋼材の成分分析結果を表－3.15に示す。

表－3.15　Ｈ８年開始ステンレス鋼材の成分分析結果（添付成績表より転載：ｗｔ％）

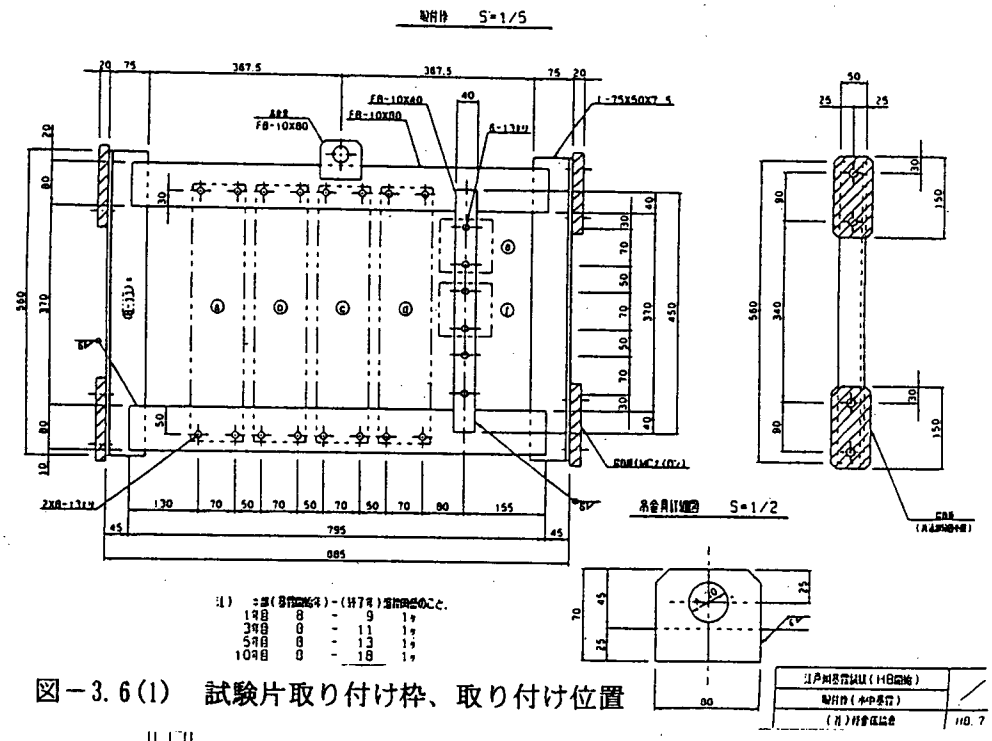
合金記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
ＳＵＳ３０４	0.05	0.58	0.97	0.033	0.008	8.28	18.25

3)塗装膜厚測定

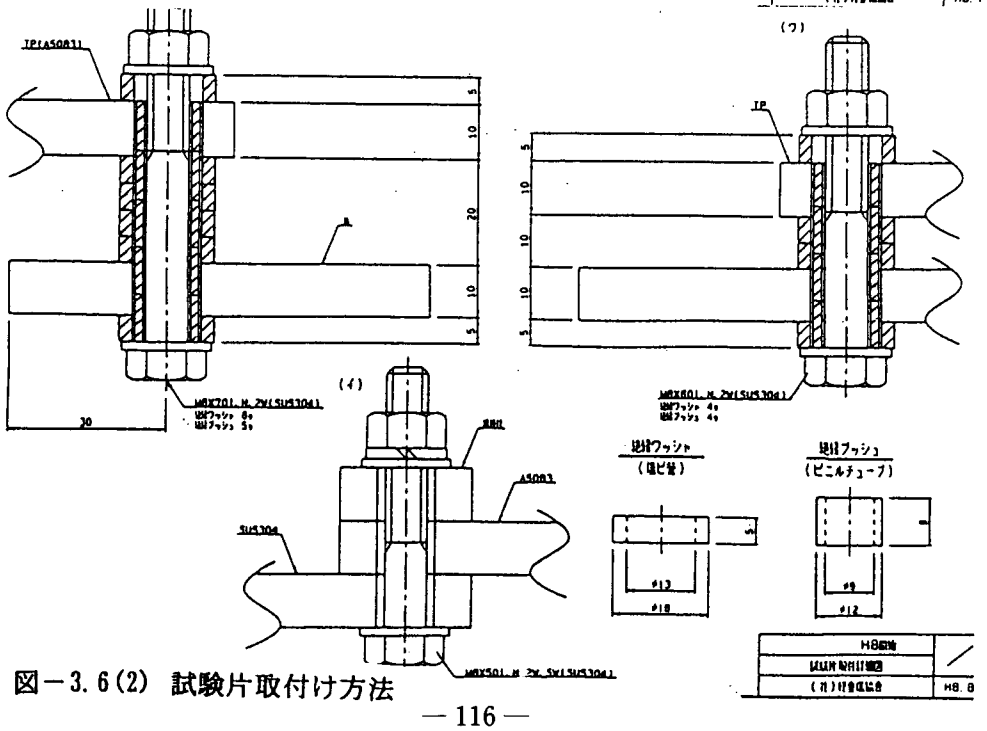
Ｈ８年に暴露を開始した塗装の膜厚測定結果を表－3.16に示す。



図－3.5　試験片形状



図－3.6(1)　試験片取り付け枠、取り付け位置



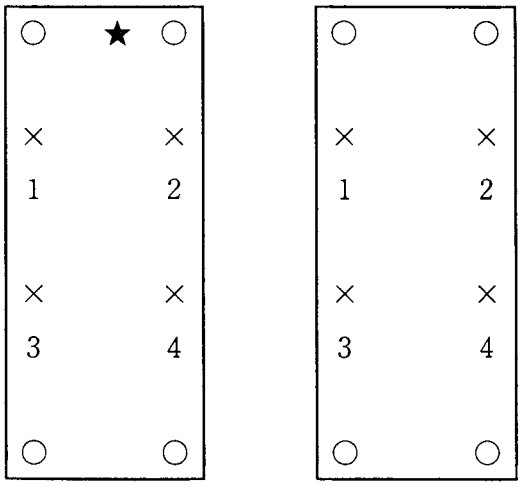
図－3.6(2)　試験片取付け方法

表－3.16 Ｈ８年開始塗装アルミ合金の塗膜厚さ測定結果（渦電流式膜厚計による）

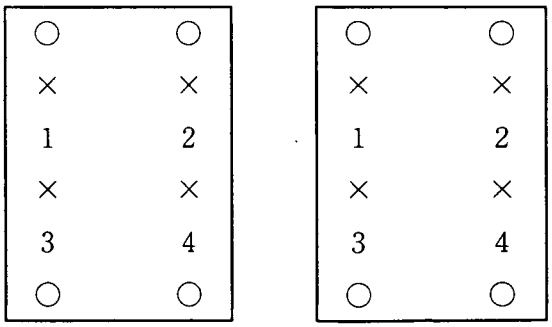
供試材			塗膜厚さ（μm）									
			表（刻印）面					裏面				
合金記号・用途	記号	期間	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均
A5083P-0	8EB-1	1年	122	136	129	127	129	142	150	139	150	145
	8EB-3	3年	127	131	130	122	128	141	150	146	151	147
	8EB-5	5年	125	139	122	132	130	132	149	146	150	144
	8EB-10	10年	131	120	139	120	128	132	148	131	149	140
TYPE.1	8ED-1	1年	124	119	129	129	126	144	150	131	142	142
	8ED-3	3年	128	124	123	119	124	141	151	143	149	146
	8ED-5	5年	126	134	118	126	126	133	152	144	146	144
	8ED-10	10年	126	121	130	119	124	136	130	143	146	139
A5083P-0	8EE-1	1年	132	134	133	130	132	150	132	150	136	142
	8EE-3	3年	134	123	130	126	128	148	142	152	137	145
	8EE-5	5年	134	140	136	139	137	150	147	153	144	149
	8EE-10	10年	137	134	130	140	135	149	140	149	139	144
TYPE.2	8EF-1	1年	131	135	129	128	131	145	153	148	151	149
	8EF-3	3年	134	136	137	126	133	141	150	150	150	148
	8EF-5	5年	140	140	140	131	138	147	154	149	151	150
	8EF-10	10年	127	135	139	131	133	144	153	147	153	149

膜厚測定位置図

TYPE. 1



TYPE. 2



★ 試験片Ｎｏ刻印位置
× 膜厚測定位置
○ ボルト穴位置

4)腐食重量減少測定用試料の元重量測定

平成８年に暴露を開始した腐食重量減少測定用単板試料の、暴露開始前重量測定結果を表－3.17に示す。

表－3.17　重量測定用試料の元重量測定結果

供試材	暴　露　前　重　量　（g）			
材質形状	A5083-0;100x250	SUS304 ;100x250	Anode ;100x25	A5083-0;100x100
8EA-1	666.4	1935.5	178.675	
8EA-3	666.5	1934.8	178.384	
8EA-5	665.7	1930.9	177.255	
8EA-10	664.6	1934.3	177.002	
8EB-1	666.5	1929.0	178.820	
8EB-3	666.4	1939.5	179.227	
8EB-5	665.7	1931.3	177.404	
8EB-10	665.8	1937.1	177.333	
8EC-1	665.9	1931.3	49.953	
8EC-3	666.2	1932.6	49.950	
8EC-5	665.8	1937.3	49.825	
8EC-10	667.0	1936.4	49.766	
8ED-1	666.2	1933.2	49.939	
8ED-3	665.0	1938.4	50.182	
8ED-5	665.2	1934.4	50.015	
8ED-10	665.4	1951.3	50.108	
8EE-1				265.148
8EE-3				264.874
8EE-5				264.837
8EE-10				264.622
8EF-1				264.813
8EF-3				264.678
8EF-5				265.414
8EF-10				264.344

5)暴露試験枠および供試材取り付け状態

試験片取り付け枠および枠への試験片固定方法を図－3.6に示した。

⑦暴露地および開始期日

1)暴露地および暴露方法

暴露地は建設省江戸川河口出張所、行徳橋近郊の江戸川下流域で、その護岸と平行に試験片取り付け架台を設置した。試験片枠を架台に滑り込ませ、河川中に暴露する方法をとった。

2)暴露期間

暴露期間は、平成８年に開始した基本試験で最長１０年と定めた。

なお、平成８年度開始分の暴露は１０月０４日に開始し、平成９年回収の１年暴露試験片は９月１１日に回収した。今後の回収調査予定日を表－3.18に示す。

表－3.18　暴露試験の開始および回収予定日

暴露試験における注目点	暴露開始	実施年度			
		1年目	3年目	5年目	10年目
1．素材の腐食速度	H6.09.08	H7.09.08	H9.09.11	H11.09.11	H16.09.11
2．溶接部の影響	↑	↑	↑	↑	↑
3．塗装の効果	↑	↑	↑	↑	↑
4．隙間の影響	↑	↑	↑	↑	↑
5．異種金属接合の影響	↑	↑	↑	↑	↑
6．塗装の効果（追加塗装種）	H8.10.04	H9.09.11	H11.09.11	H13.09.11	H18.09.11
7．異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果	↑	↑	↑	↑	↑

（4）回収試験片の調査方法

回収試験片の調査工程および方法概略を表－3.18に示した。

表－3.18 回収試験片の調査工程および方法概略

項目	内容概略
1．引き上げ	・河川から試験片が装着された所定の試験片取り付け枠を引き上げ、岸辺に放置、乾燥する。
2．現地写真撮影	・現地で、全体および各試験片の外観を写真撮影する。
3．試験片取り外し	・工具を用いて試験片取り付け枠から試験片を取り外す。
4．付着物除去	・水道水流水中で樹脂性のタワシを用いて、表面に付着したフジツボ等生物の死骸や泥および藻等の付着物を洗浄し、その後清浄な室内に放置して乾燥する。
5．付着物除去後の試験片外観撮影	・付着物除去後の各試験片の外観を写真撮影する。
6．a）付着物除去	・工具を用いて試験片からすき間形成材を取り外す。
b）塗膜剥離	・塗膜除去剤＊）を使用して、塗装試験片の塗膜をはく離する。 （＊三彩加工㈱製ネオリバー（主成分ｼﾞｸﾛﾙﾒﾀﾝ）に室温で１５分浸漬後、樹脂製のブラシ、スポンジを用いて塗膜を除去） ・塗膜はく離後の試験片は、水洗し、清浄な室内に放置、乾燥する。
7．腐食生成物除去	・濃硝酸（比重1.36g/cm3,60℃）に供試材を浸漬する。浸漬時間は腐食生成物の付着状況により適宜選択する。（最大３時間程度） ・腐食生成物除去後の試験片は、多量の水道水流水中で硝酸の痕跡が消失するまですすぎ、その後清浄な室内に放置、乾燥する。
8．腐食生成物除去後の試験片外観写真撮影	・腐食生成物除去後の各試験片の外観を写真撮影する。
9．重量減少測定	・腐食重量測定用試料（無処理、無付着物、１００mm角）につき試験片を秤量する。
10．孔食深さ測定	・端面をのぞく全暴露面を対象として、実体顕微鏡を用いて孔食部分を選定し、顕微鏡焦点深度法等を用い最も深そうに見えるものから１０個の孔食深さを測定する。
11．腐食部断面拡大写真撮影	・各供試材の代表的腐食部について、腐食部を拡大写真撮影する。 ・その際、倍率は適宜選択する。

3.2 調査結果

(1)平成６年開始浸漬暴露３年試験片

①現地写真撮影

回収し乾燥させた後の試験片取り付け枠全体および各試験片の外観を写真撮影した。その結果を写真－3.1～3.2に示す。

それらによれば、試験片取り付け枠全体および各試験片にフジツボ等生物の付着が認められた。また、普通鋼との接触試験片（面積比１：１）に水酸化アルミニウムと推定される腐食生成物が観察された。

②付着物除去後試験片外観写真撮影

付着物除去後の各試験片の外観を写真撮影した。その結果を写真－3.3に示す。

Ａ５０８３Ｐ－Ｏ，Ａ５０５２Ｐ－Ｈ３２，Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２重量測定用無塗装試験片では、全面に褐色の変色が観察され，孔食の発生を伺わせる白斑が観察された。

溶接部の耐食性はＡ５０８３Ｐ－Ｏ材では一般部と差が無かったが、Ａ５０５２Ｐ－Ｈ３２，Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２材は、溶接部に腐食が集中する傾向があった。

塗装処理材はステンレスボルト接合試験片に塗膜の剥離が観察される他は、合金および部位を問わず健全であった。

また、フジツボ等生物が付着した試験片下部での腐食は観察されなかった。

異種金属接合試験片では、ステンレスとの接合試験片に孔食の発生と推定される白斑が多く観察された。

ステンレスとの接合試験片では、ステンレスのアルミニウムに対する面積が小さくなるほど、孔食の発生と推定される白斑が少なくなるが、普通鋼との接合の場合では、普通鋼のアルミに対する面積が大きくなる程少なくなった。ステンレスボルトとの接合試験片では、ステンレスボルトとの接触腐食の影響により、同材質の試験片（Ａ５０８３Ｐ－Ｏ）より、孔食発生を伺わせる白斑が多量に観察された。

③腐食生成物除去後試験片外観写真撮影

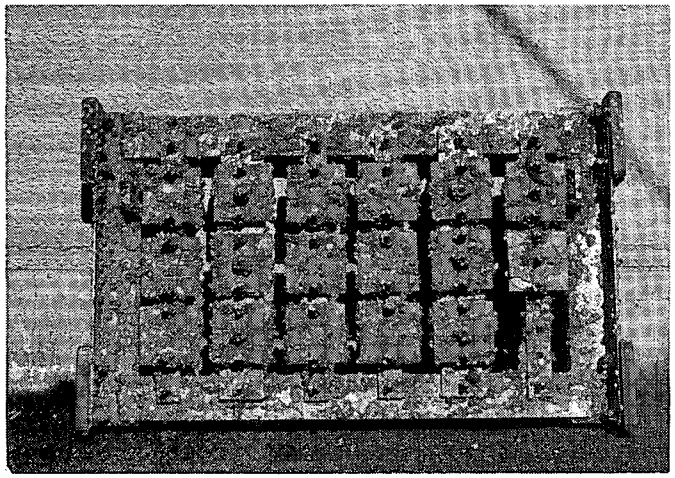
腐食生成物除去後の各試験片の外観を写真撮影した。その結果を写真－3.4～3.5に示す。

すき間形成材装着部では、Ａ５０８３－Ｏ材，Ａ５０５２－Ｈ３２，Ａ５０５２－Ｈ３２，Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２材全てにすき間腐食が観察された。

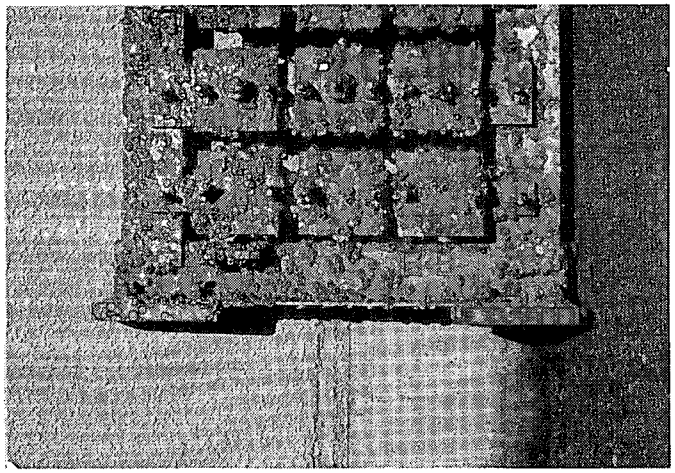
④塗膜はく離後外観観察

塗膜はく離後の外観をカラーで撮影した。その結果を写真－3.6に示した。

塗膜はく離が認められたステンレスボルト接合試験片に腐食が認められた。

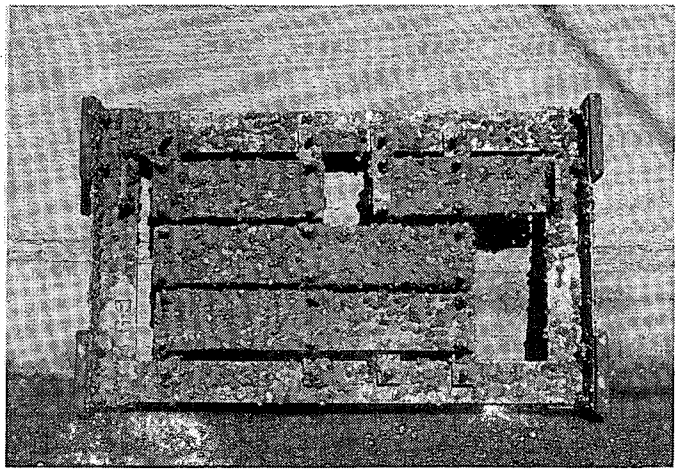


（a）全景

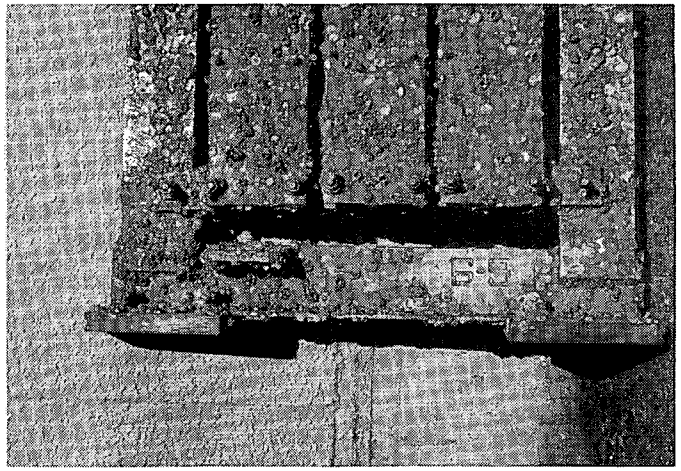


（b）試験期間標識

写真－3.1(1)　回収試験片及び取付け枠外観

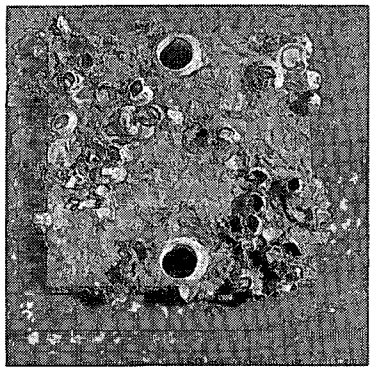


（a）全景

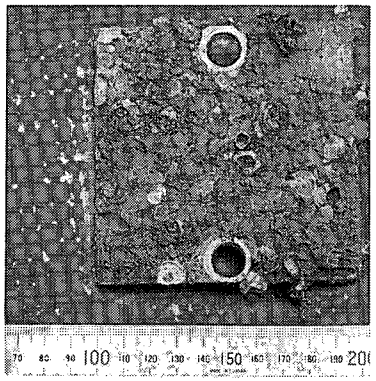


（b）試験期間標識

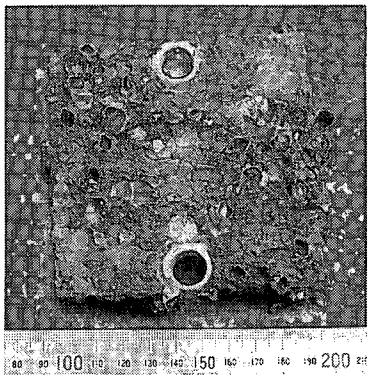
写真－3.1(2)　回収試験片及び取付け枠外観



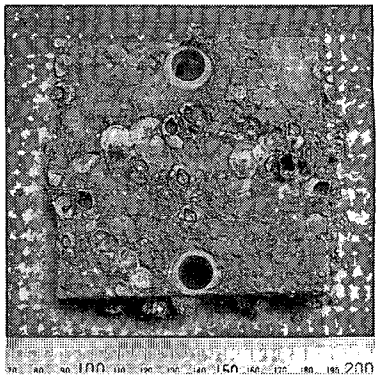
A5083P-O　無塗装



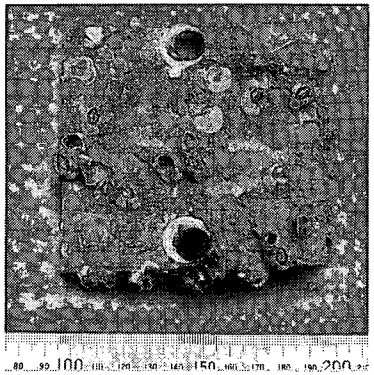
A5083P-O　無塗装　溶接　すき間



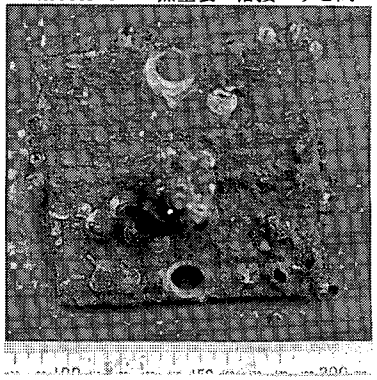
A5083P-O　無塗装　溶接



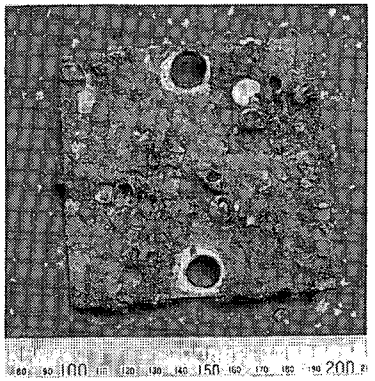
A5083P-O　塗装　溶接



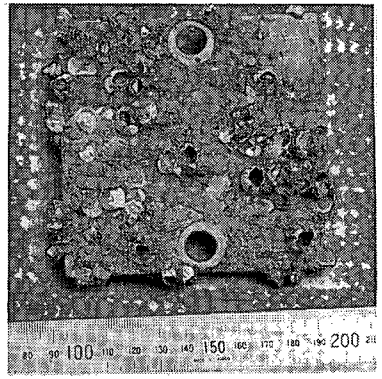
A5052P-H32　無塗装



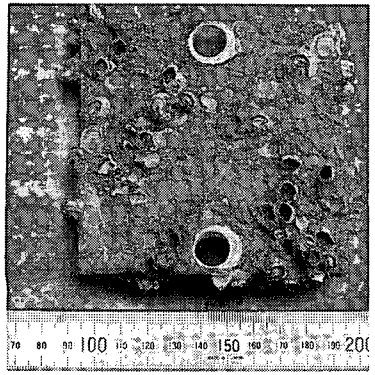
A5052P-H32　無塗装　溶接　すき間



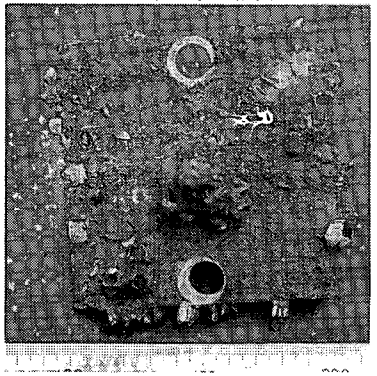
A5052P-H32　無塗装　溶接



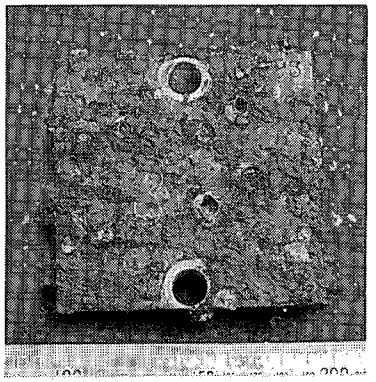
A5052P-H32　塗装　溶接



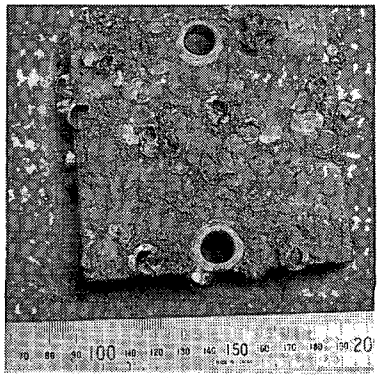
A5083S-H112 無塗装



A5083S-H112　無塗装　溶接　すき間



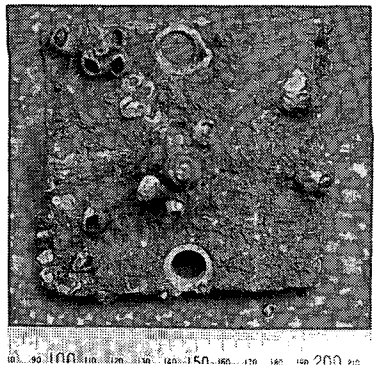
A5083S-H112 無塗装　溶接



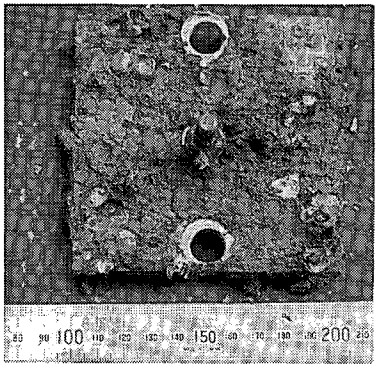
A5083S-H112　塗装　溶接

写真－3.2(1)　試験片乾燥後外観

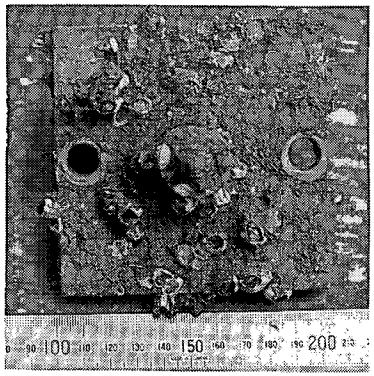
写真－3.2(2)　試験片乾燥後外観



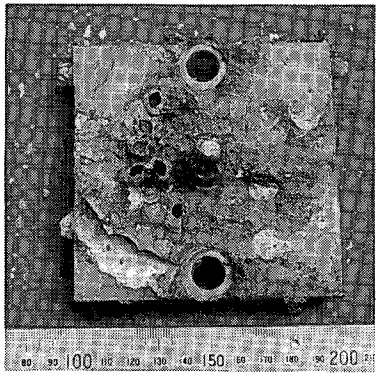
A5083P-O　塗装　溶接　すき間



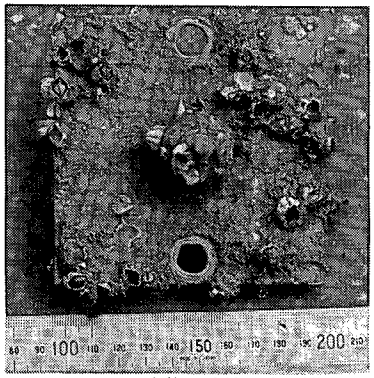
A5083P-O　無塗装　ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ



A5052P-H32　塗装　溶接　すき間

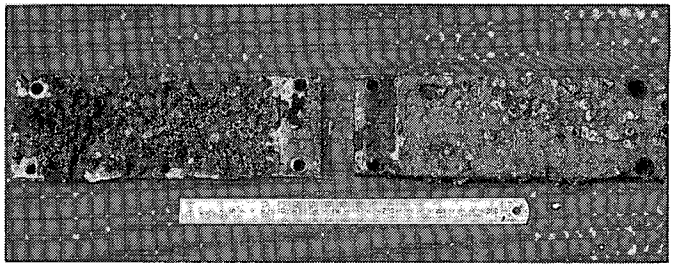


A5083P-O　塗装　ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ

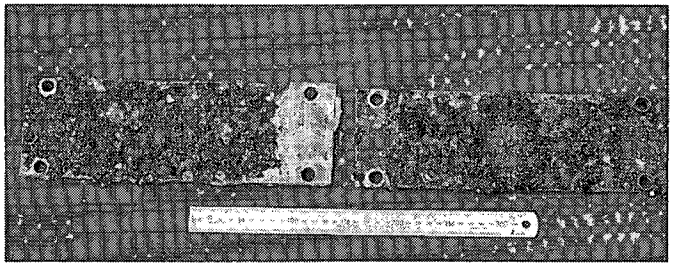


A5083S-H112 塗装　溶接　すき間

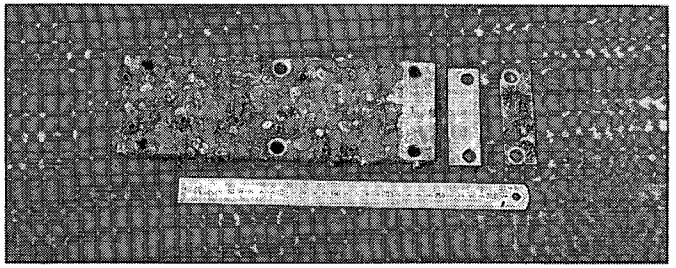
写真－3.2(3)試験片乾燥後外観



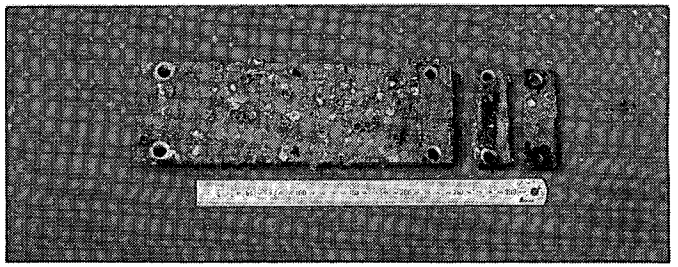
A5083P-O SM400B A/C=1



A5083P-O SUS304 A/C=1

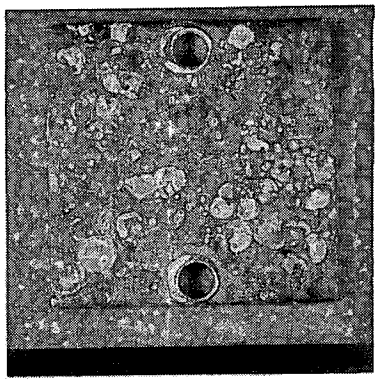


A5083P-O SUS304 A/C=10

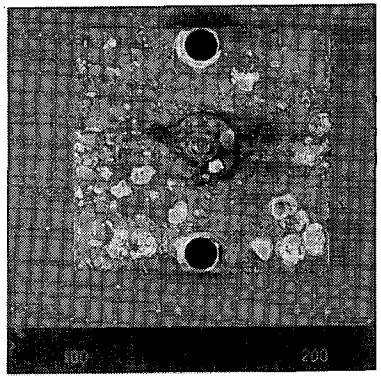


A5083P-O SM400B A/C=10

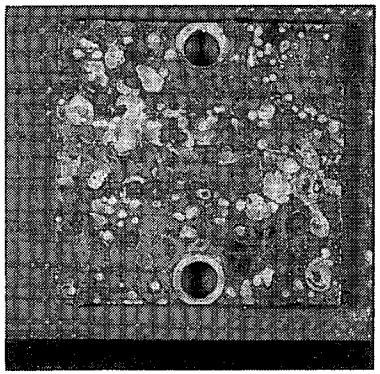
写真－3.2(4)　試験片乾燥後外観



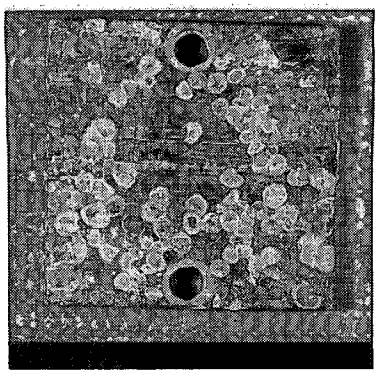
A5083P-O　無塗装



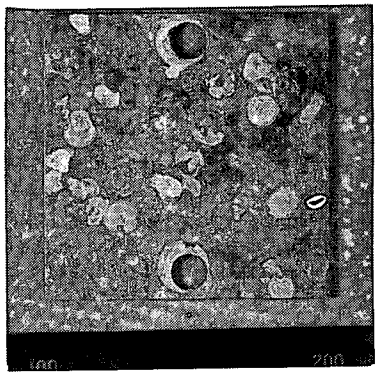
A5083P-O　無塗装　溶接　すき間



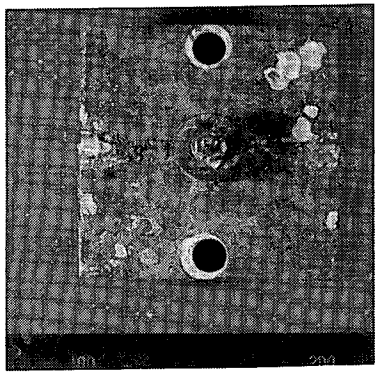
A5083P-O　無塗装　溶接



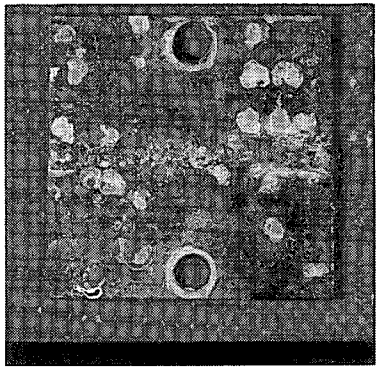
A5083P-O　塗装　溶接



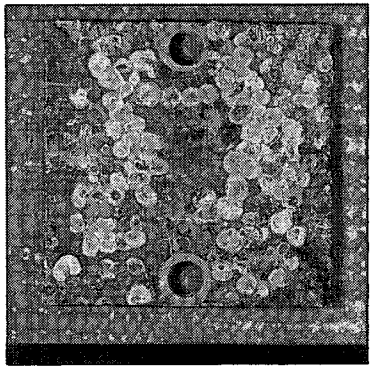
A5052P-H32　無塗装



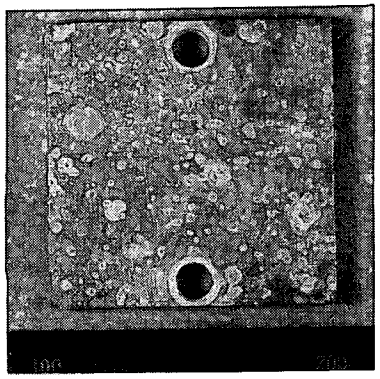
A5052P-H32　無塗装　溶接　すき間



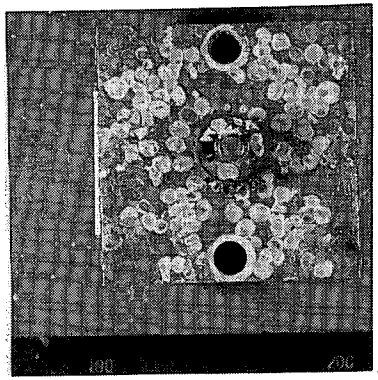
A5052P-H32　無塗装　溶接



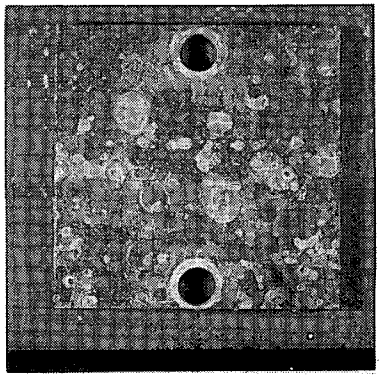
A5052P-H32　塗装　溶接



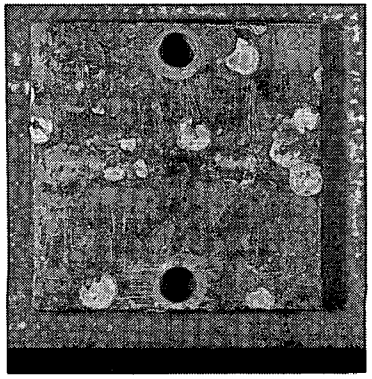
A5083S-H112 無塗装



A5083S-H112　無塗装　溶接　すき間



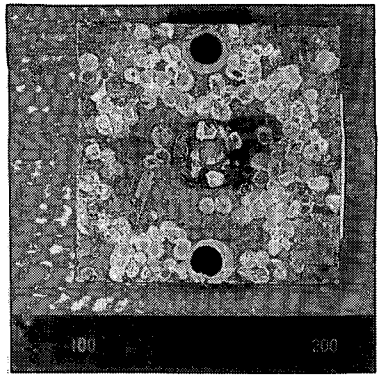
A5083S-H112 無塗装　溶接



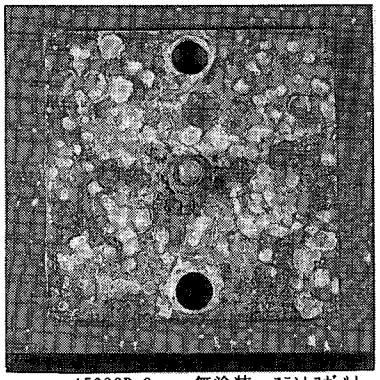
A5083S-H112　塗装　溶接

写真－3.3(1)　付着物除去後外観

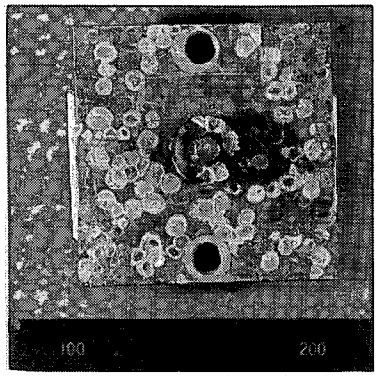
写真－3.3(2)　付着物除去後外観



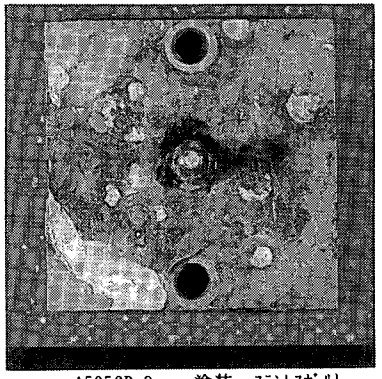
A5083P-O　塗装　溶接　すき間



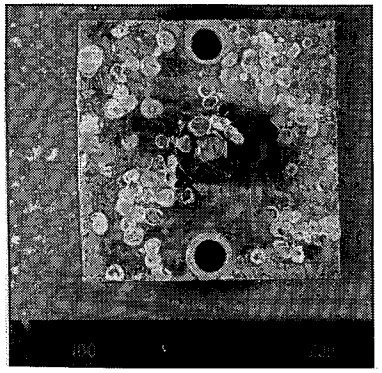
A5083P-O　無塗装　ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ



A5052P-H32　塗装　溶接　すき間

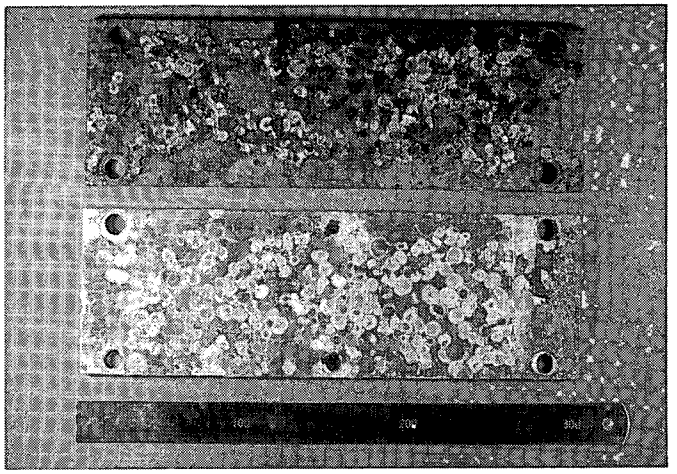


A5052P-O　塗装　ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ

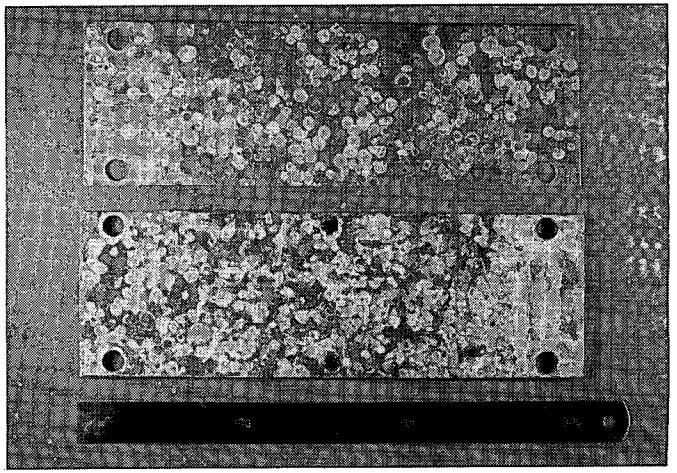


A5083S-H112 塗装　溶接　すき間

写真－3.3(3)　付着物除去後外観

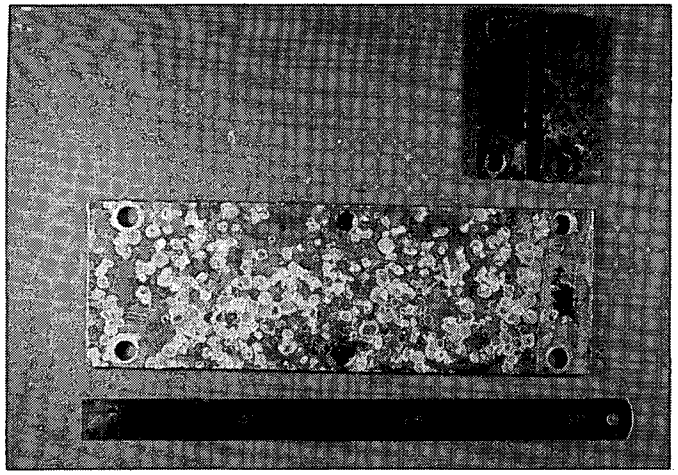


A5083P-O SM400B A/C=10

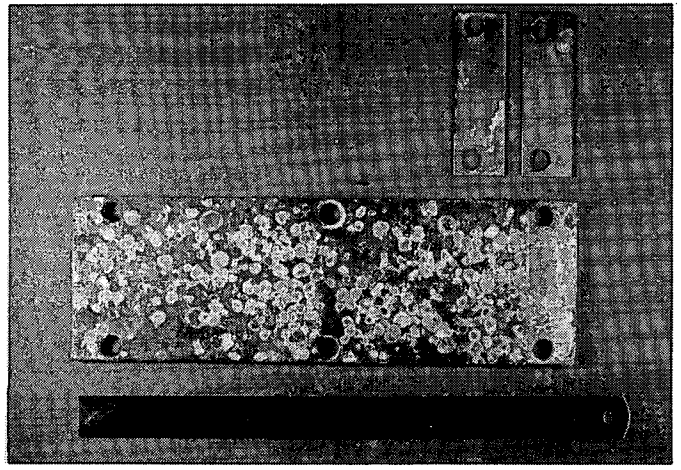


A5083P-O SUS304 A/C=10

写真－3.3(4)　付着物除去後外観

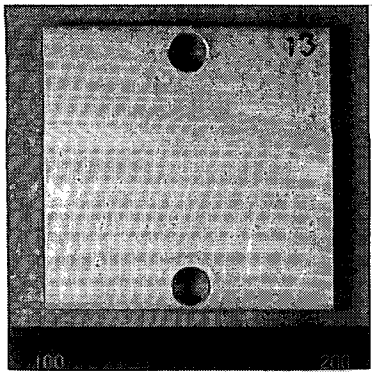


A5083P-O SM400B A/C=1

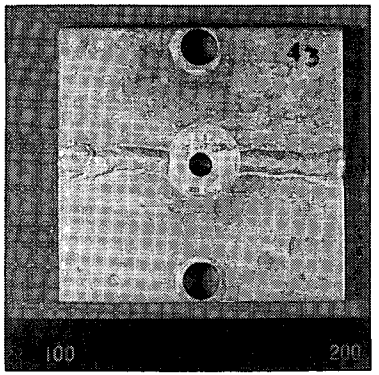


A5083P-O SUS304 A/C=1

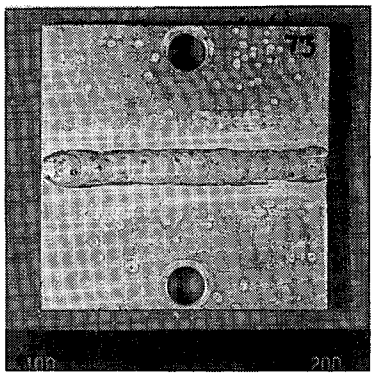
写真－3.3(5)　付着物除去後外観



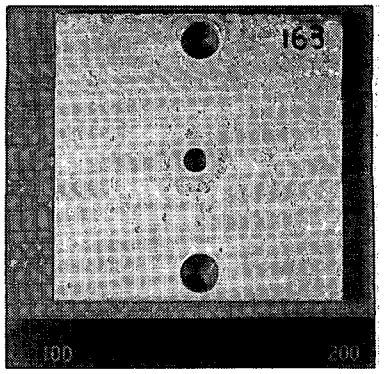
A5083P-O　無塗装



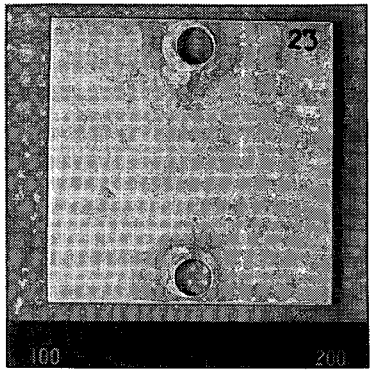
A5083P-O　無塗装　溶接　すき間



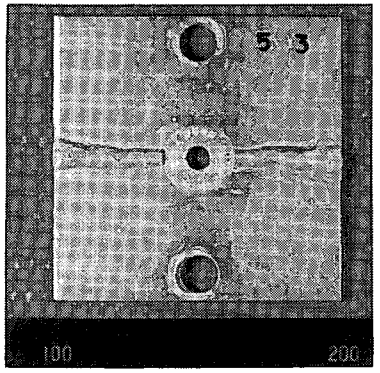
A5083P-O　無塗装　溶接



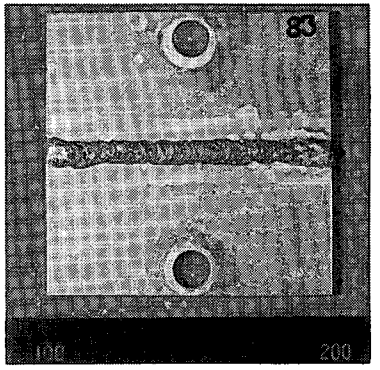
A5083P-O　無塗装　ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ



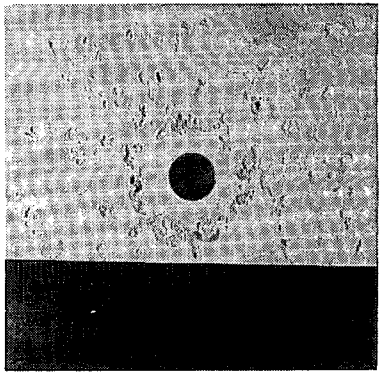
A5052P-H32　無塗装



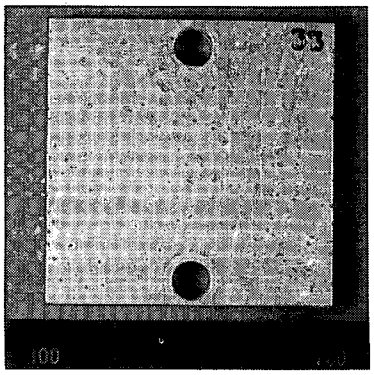
A5052P-H32　無塗装　溶接　すき間



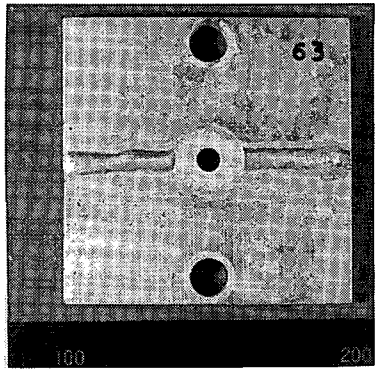
A5052P-H32　無塗装　溶接



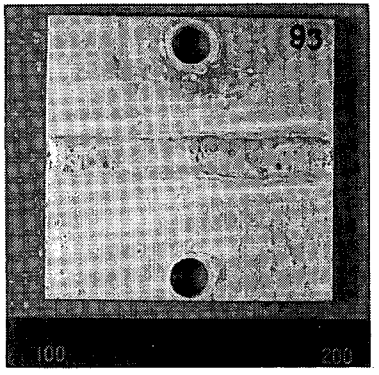
ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ接合部の拡大



A5083S-H112 無塗装



A5083S-H112 無塗装　溶接　すき間

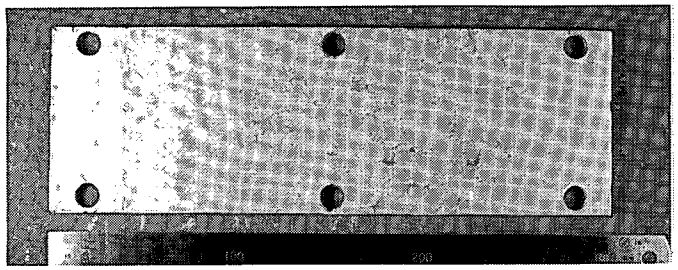


A5083S-H112 無塗装　溶接

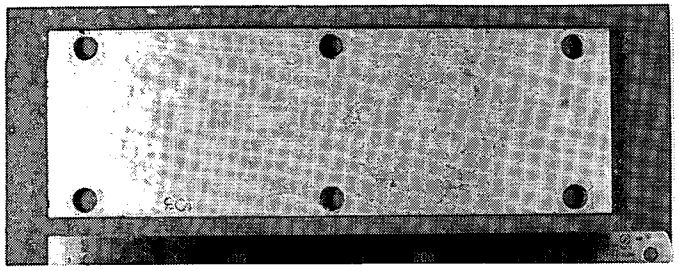
写真－3.4(1)腐食生成物除去後外観

写真－3.4(2)腐食生成物除去後外観

表

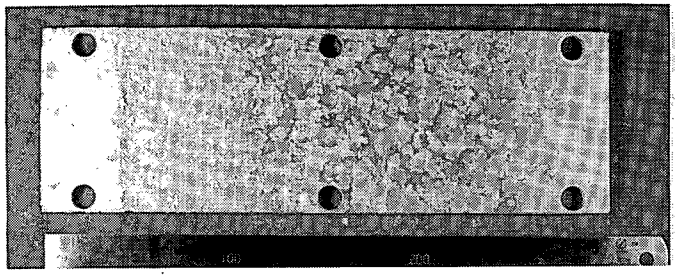


裏

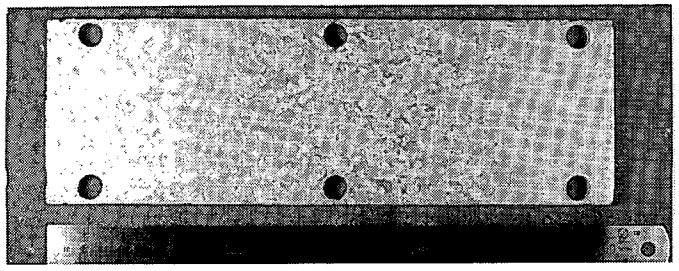


A5083P-O SM400B A/C=10

表



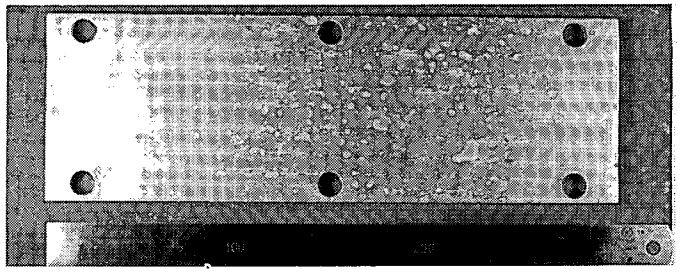
裏



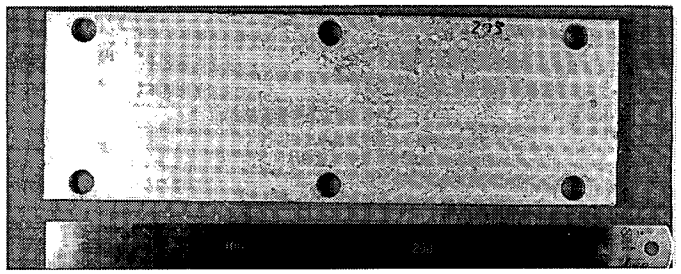
A5083P-O SUS304 A/C=10

写真－3.4(3)腐食生成物除去後外観

表

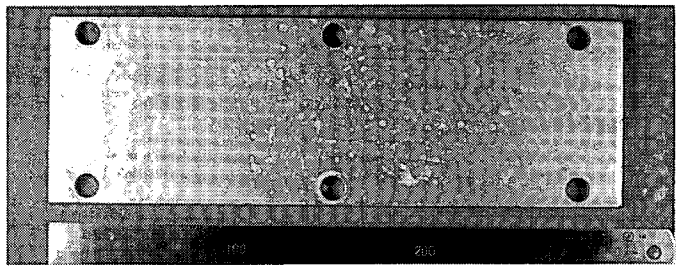


裏

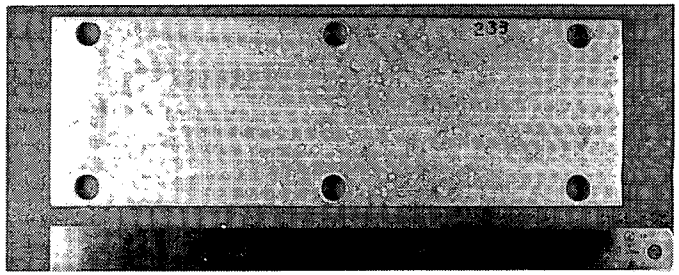


A5083P-O SM400B A/C=1

表

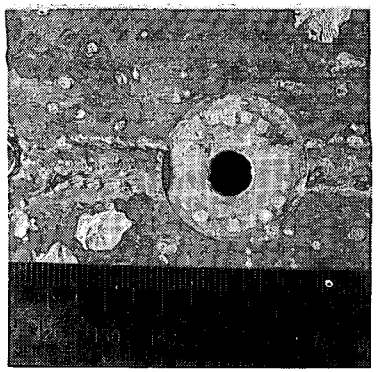


裏

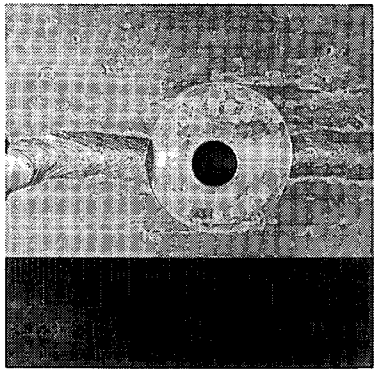


A5083P-O SUS304 A/C=1

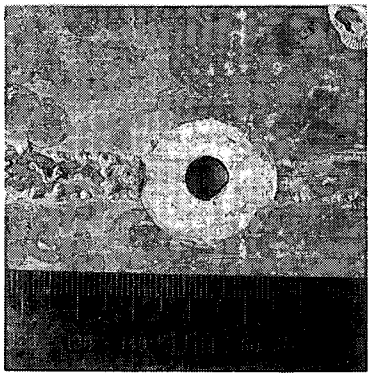
写真－3.4(4)腐食生成物除去後外観



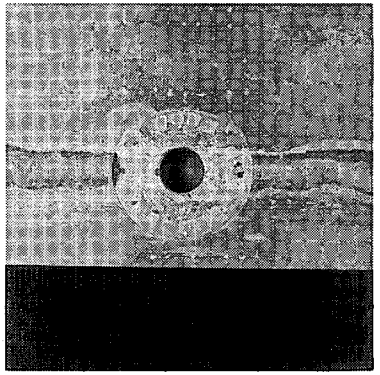
A5083P-O　付着物除去後



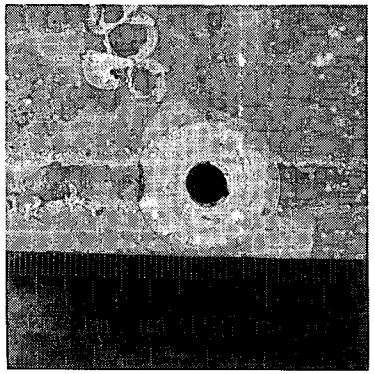
A5083P-O　腐食生成物除去後



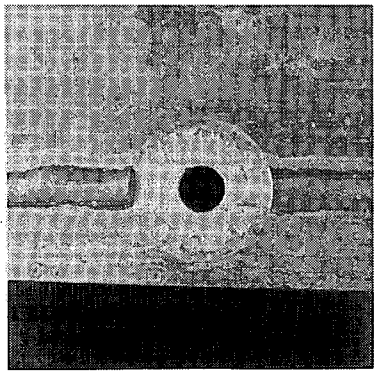
A5052P-H32　付着物除去後



A5052P-H32　腐食生成物除去後

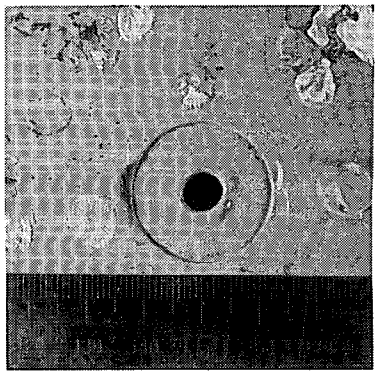


A5083S-H112 付着物除去後

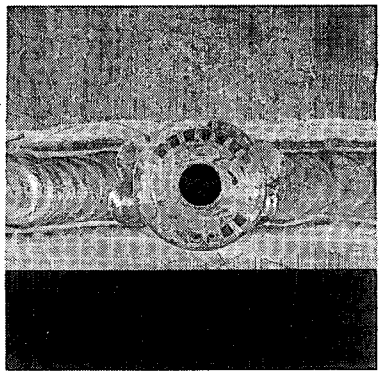


A5083S-H112　腐食生成物除去後

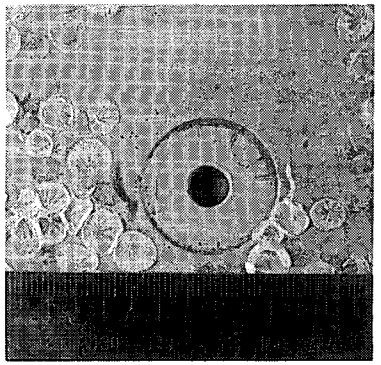
写真－3.5(1)すき間部分の拡大（無塗装　溶接　すき間）



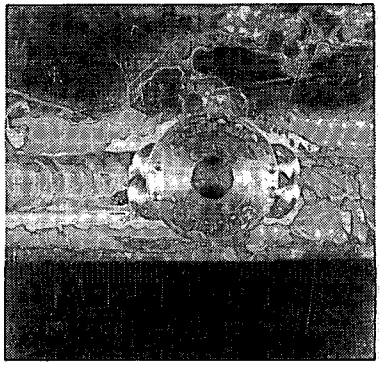
A5083P-O　付着物除去後



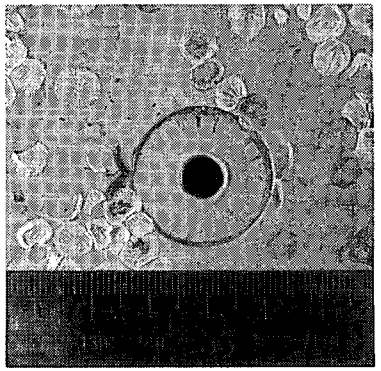
A5083P-O　塗膜剥離後



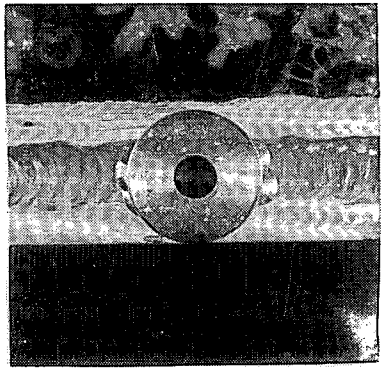
A5052P-H32　付着物除去後



A5052P-H32　塗膜剥離後



A5083S-H112 付着物除去後

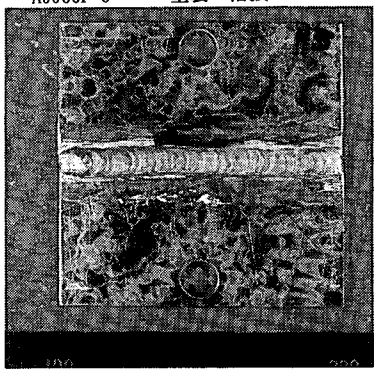


A5083S-H112　塗膜剥離後

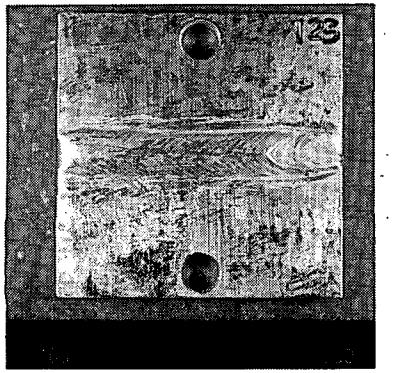
写真－3.5(2)すき間部分の拡大（塗装　溶接　すき間）



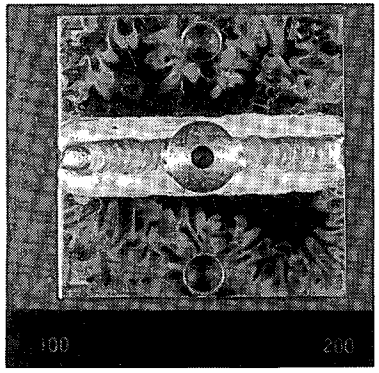
A5083P-O　　塗装　溶接



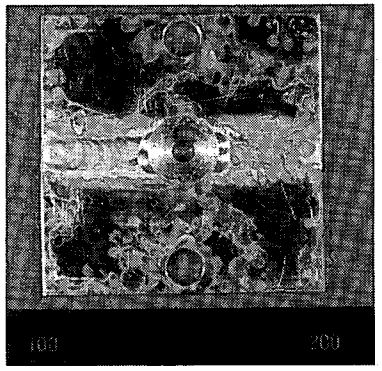
A5052P-H32　　塗装　溶接



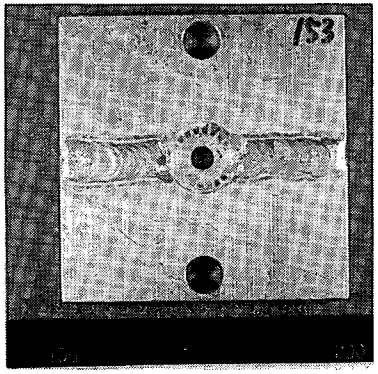
A5083S-H112　塗装　溶接



A5083P-O　塗装　溶接　すき間

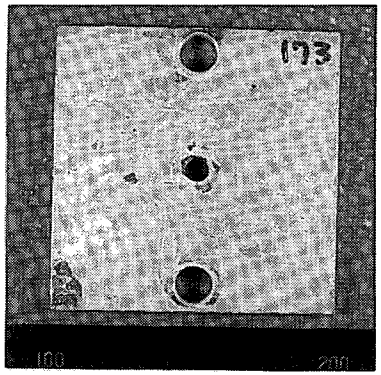


A5052P-H32 塗装　溶接　すき間

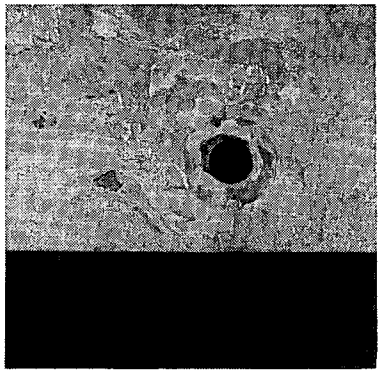


A5083S-H112 塗装　溶接　すき間

写真－3.6(1)　塗膜はく離後後外観



A5083P-O 塗装　ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ



ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ接合部の拡大

写真－3.6(2)塗膜はく離後外観

⑤腐食重量減少測定用試料の重量測定

腐食重量減少測定用単板試料の，重量を測定し、1）式により腐食重量減少を算出した。また、2）式により、概略の腐食板厚減少を算定した。それらの結果を表－3.19に示す。

腐食重量減少＝（暴露腐食試験後の試験片重量－同一試験片の暴露前重量）
／試験片の投影面積　　・・・　1）

腐食板厚減少＝腐食重量減少／アルミ合金の概略密度　　・・・　2）

表－3.19　腐食重量減少測定用単板試料の重量測定結果

供試材			暴露前重量	暴露後重量	腐食重量減少	腐食板厚減少
合金番号	記号	期間	a(g)	b(g)	(g/cm^2)	(μm)
A5083P-O	13	3年	206.313	204.604	8.55	3.2
A5052P-H32	23	3年	104.041	103.663	1.89	0.7
A5083S-H112	33	3年	249.085	248.173	4.56	1.7

備考；試料の投影面積＝200cm^{2}概略密度＝2.7g/cm^3

⑥孔食深さ測定

回収した3年間暴露試験片のうち、目視で孔食が観察された各試験片につき、孔食深さを測定した。その結果を表－3.20に示す。なお、比較として平成7年に回収した浸漬1年暴露試験片の調査結果を表－3.21に示す。

Ａ５０８３－Ｏ，Ａ５０５２－Ｈ３２，Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２無塗装材の一般部では、0.4～1.3mm程度の孔食深さが測定された。これは、平成7年回収浸漬暴露1年試験片の孔食深さ0.5～1.2mmと比較し、あまり腐食が進行していないことがうかがわれる。すき間部においてはＡ５０８３Ｐ－Ｏ，Ａ５０５２－Ｈ３２，Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２とも0.03～0.2mm程度のすき間腐食が観察され、浸漬暴露1年試験片ではＡ５０８３Ｐ－Ｏ材のみすき間腐食が発生しなかったことから、すき間部の腐食が進行したことがわかる。

Ａ５０８３－Ｏ材と異種金属との接合試験片では、0.5～1.5mmの孔食深さが観察された。同材質、無塗装材の孔食深さ（0.5mm）と比較し、異種金属との接合の影響が観察された。また浸漬暴露1年試験片の孔食深さが0.7～1.1mmであることから、腐食の進行が確認された。

異種金属接合試験片における孔食分布状況を調査した結果を図－3.6に示す。

カソード面積が増大する事により、異種金属接触部近傍で深い孔食が認められた。

写真－3.7に孔食断面写真を示す。腐食断面の観察からでは、粒界腐食や亀裂は観察されなかった。

⑦電位測定結果

表－3.22に自然電位測定結果を、表－3.23、図－3.7に異種金属接合試験片の混成電位測定結果を、図－3.8に分極測定結果を示す。

異種金属との接触近傍の電位は異種金属の影響により貴になっていた。

⑧河川水分析結果

表－3.24に回収した河川水の分析結果を示す。分析結果からやや純度の低い河川水レベルと推定される。

表－3.24　江戸川河川水の分析結果

項目	分析結果	項目	分析結果
ｐＨ	7.10	Ｍｇ　（ｍｇ／ｌ）	7.20
導電率（μＳ／ｃｍ）	230.00	Ｆｅ　（ｍｇ／ｌ）	0.20
全硬度（$CaCO_3$ ；ｍｇ／ｌ）	30.17	Ｃｕ　（ｍｇ／ｌ）	0.03
Cl^-　（ｍｇ／ｌ）	27.00	SiO_2　（ｍｇ／ｌ）	24.00
SO_4^{2-}　（ｍｇ／ｌ）	44.00	蒸発残分　（ｍｇ／ｌ）	0.24
Ｎａ　（ｍｇ／ｌ）	3.50		
Ｋ　（ｍｇ／ｌ）	4.40		
Ｃａ　（ｍｇ／ｌ）	4.96		

表－3.20(1)　江戸川下流域に３年間浸漬暴露した試験片の孔食深さ測定結果

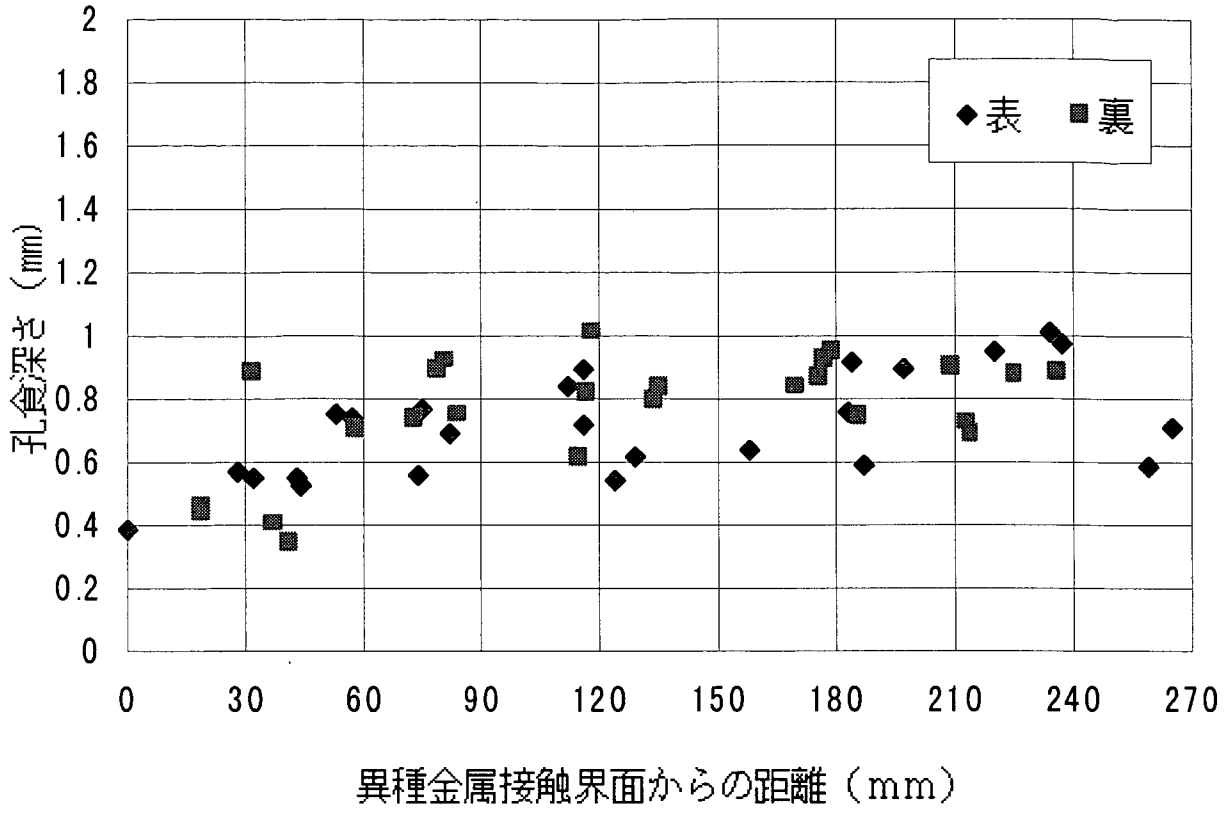
区分	試験片合金	溶接	塗装	付属品	No	測定位置	孔食深さ（μm）
素材	A5083P-O	－	－	無し	13	一般部	509 506 495 494 494 473 443 407 397 383
	A5052P-H32				23	一般部	417 405 285 269 221 210 190 160 157 110
	A5083S-H112				33	一般部	1324 926 786 731 725 721 674 603 603 587
すき間腐食＋溶接部の腐食	A5083P-O	○	－	すき間形成材	43	一般部	742 697 617 606 583 550 546 539 497 491
						溶接部	590 579 574 540 479 476 453 358 331 328
						熱影響	515 348 325 301 296 285 276 276 265 239
						ｽｷ間部	148 53
		○	○		133	全体	健全
	A5052P-H32	○	－	すき間形成材	53	一般部	無し
						溶接部	943 877 753 737 733 682 678 677 659 579
						熱影響	無し
						ｽｷ間部	212 68 61 40 36
		○	○		143	全体	健全
	A5083S-H112	○	－	すき間形成材	63	一般部	1235 1097 829 809 793 770 733 697 672 671
						溶接部	719 220 126 94
						熱影響	913 897 831 542 479 382 355 332 287 283
						ｽｷ間部	85 75 53 37 30
		○	○		153	全体	健全

表－3.20(2)　江戸川下流域に3年間浸漬暴露した試験片の孔食深さ測定結果

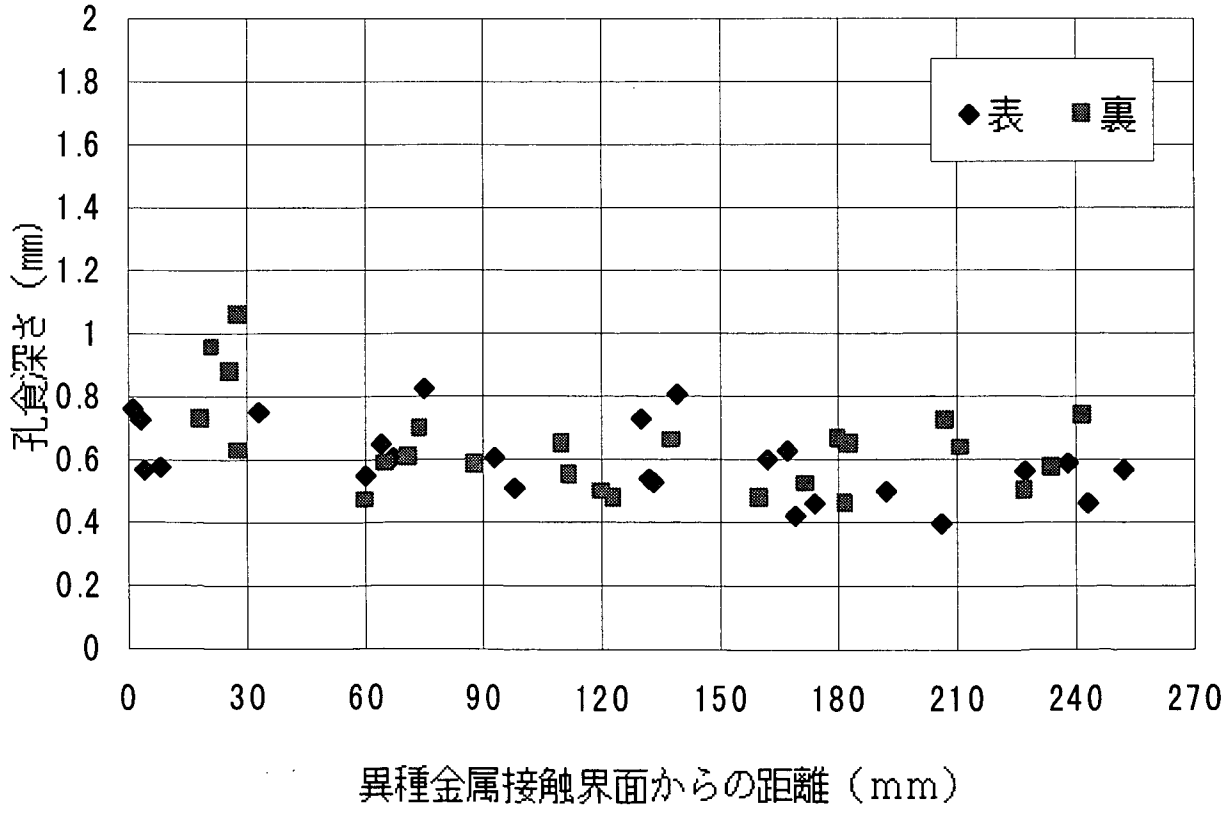
区分	試験片合金	溶接	塗装	付属品	No	測定位置	孔食深さ（μm）
溶接部の腐食	5083P-0	○	-	無し	73	一般部	887 830 809 711 706 693 679 660 642 641
						熱影響	753 649 604 573 549 548 543 535 517 495
						溶接部	994 883 782 779 773 617 586 551 540 507
		○	○		103	一般部	健全
	5052P-H32	○	-	無し	83	一般部	766 585 557 534 304 299 258 224 199 139
						熱影響	1369 739 655 613 561 558 557 525 491 487
						溶接部	1044 863 829 783 700 684 649 634 634 617
		○	○		113	全体	健全
	5083S-H112	○	－	無し	93	一般部	1194 957 888 782 779 773 617 586 551 540 507
						熱影響	1001 971 888 761 730 694 647 577 524 515
						溶接部	1254 1239 951 916 868 849 844 794 744 714
		○	○		123	全体	健全
異種金属接合	5083P-0	－	－	ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ	163	一般部	1261 880 724 652 636 599 554 524 503
						接合部	924 862 832 794 789 727 712 654 646 600
		－	○		173	一般部	453 412 386 333 309 283 227
						接合部	433 427 393
	5083P-0	－	－	SM400B A/C=1	193	全体	1151 1069 917 902 892 876 644 612 574 565
				SM400B A/C=10	203	全体	1013 1011 974 952 949 925 923 917 904 896
				SUS304 A/C=1	223	全体	1572 1475 1304 1297 1101 1072 1062 1031 995 939
				SUS304 A/C=10	233	全体	1058 956 876 825 806 762 751 739 728 728

表－3.21　江戸川下流域に１年間浸漬した試験片の孔食深さ測定

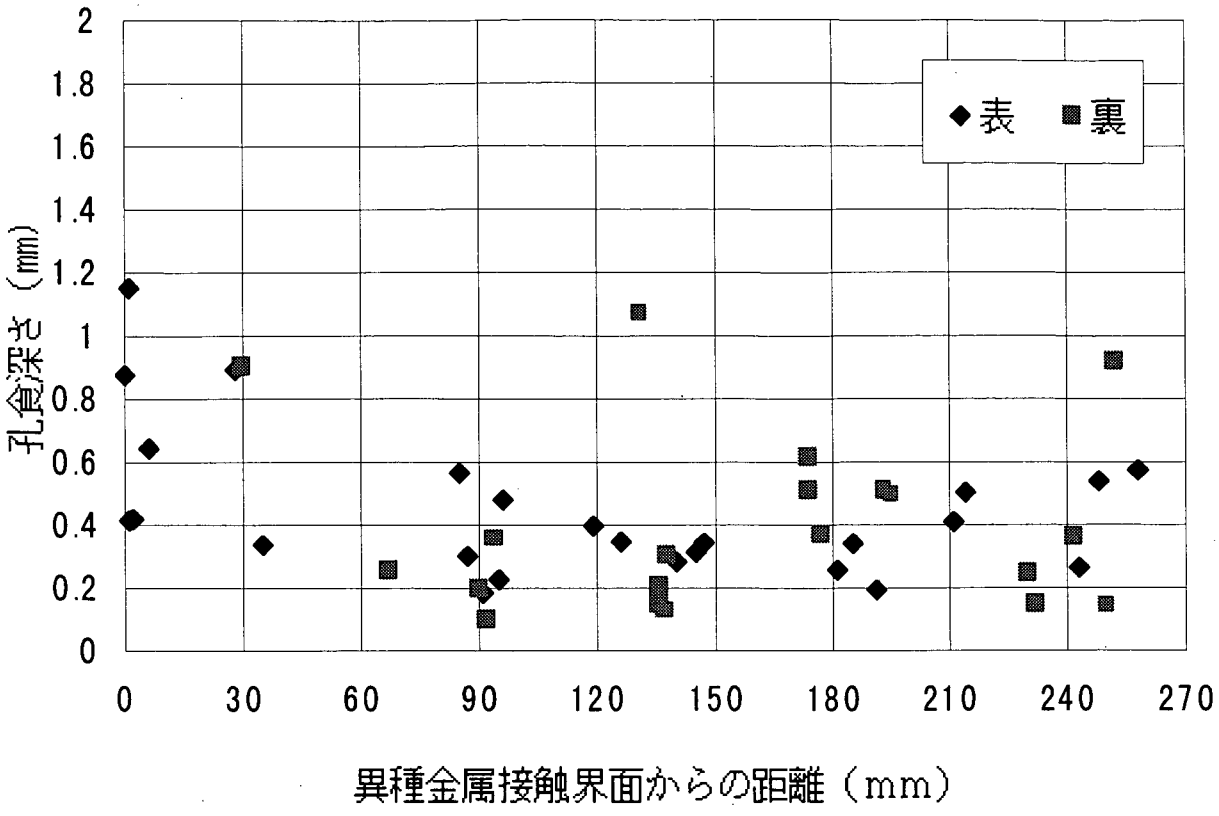
区分	試験片 合金	溶接	塗装	付属品	No	測定位置	孔食深さ（μm） 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
素材腐食	5083P-O	－	－	なし	11	一般部	468 466 464 436 430 413 401 400 365 351
	5052P-H32				21	一般部	37
	5083S-H112				31	一般部	1200 1118 933 923 909 907 902 898 897
すき間腐食＋溶接部の腐食	5083P-O	○	－	すき間形成材付着	41	一般部	620 619 587 548 525 523 522 509 495 470
						すき間部	317 279
		○	○		131	全体	健全
	5052P-H32	○	－	すき間形成材付着	51	一般部	310 65 65 61 60 57 56 54 53 52
						すき間部	健全
		○	○		141	全体	健全
	5083S-H112	○	－	すき間形成材付着	61	一般部	463 447 389 339 301 300 280 259 256 255
						すき間部	健全
		○	○		151	全体	健全
溶接部の腐食	5083P-O	○	－	なし	71	一般部	955 751 711 667 620 602 547 542 530 514
						溶接部	931 892 800 575 412 393 335 266
		○	○		101	全体	健全
	5052P-H32	○	－	なし	81	一般部	1215 1096 999 951 855 678 666 514 325 269
						溶接部	450 66
		○	○		111	全体	健全
	5083S-H112	○	－	なし	91	一般部	1317 999 794 730 709 580 527
						溶接部	1372 1016 959 915 811 773 733 732 618 595
		○	○		121	全体	健全
異種金属接合	5083P-O	－	－	ステンレスボルト	161	一般部	852 797 707 667 640 619 611 585 581 551
						接合部	821 813 748 730 670 666 664
			○		171	全体	健全
	5083P-O	－	－	SM 400B A/C=1	191	全体	834 586 569 546 450 426 421 410 408 391
				SM 400B A/C=10	201	全体	743 739 736 730 729 725 713 703 683 670
				SUS 304 A/C=1	221	全体	1051 1039 1022 1007 987 987 977 931 931
				SUS 304 A/C=10	231	全体	1079 1014 924 871 834 826 795 788 779 768



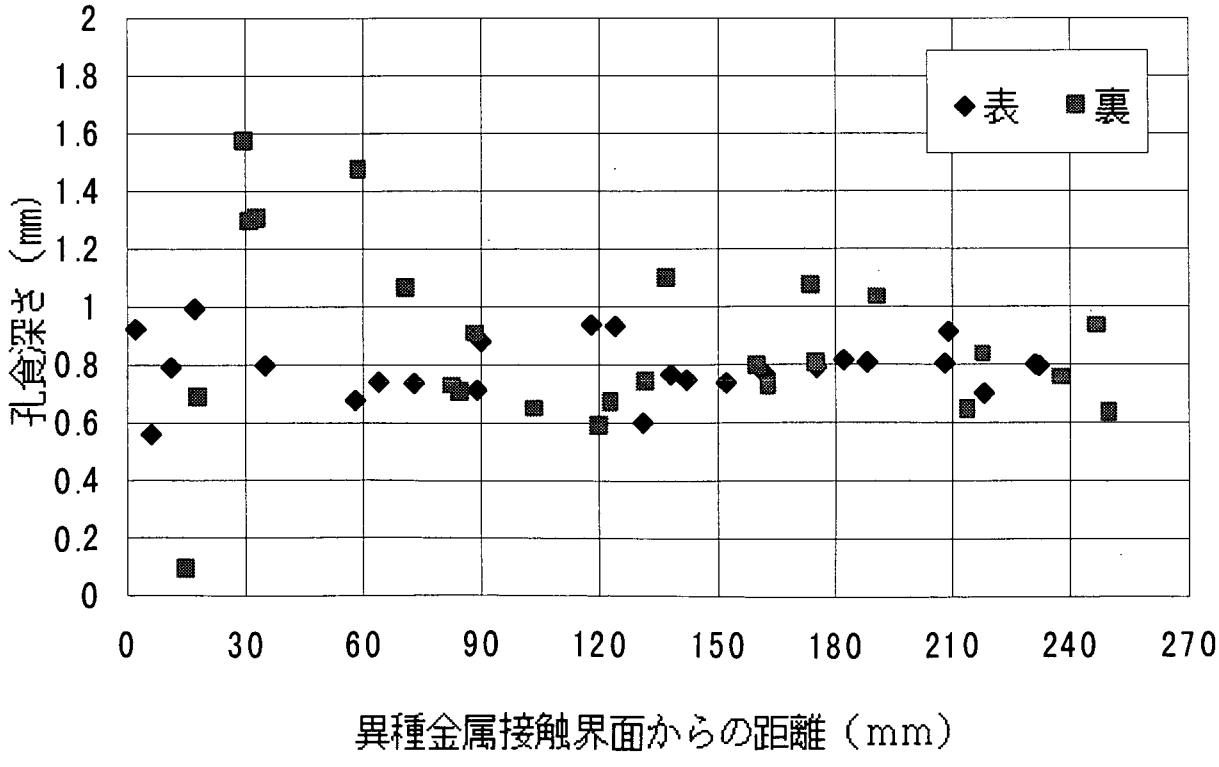
図－3.6(1)　異種金属接触腐食試験における孔食発生分布状況（A5083P-O SM400B:Al=1:10）



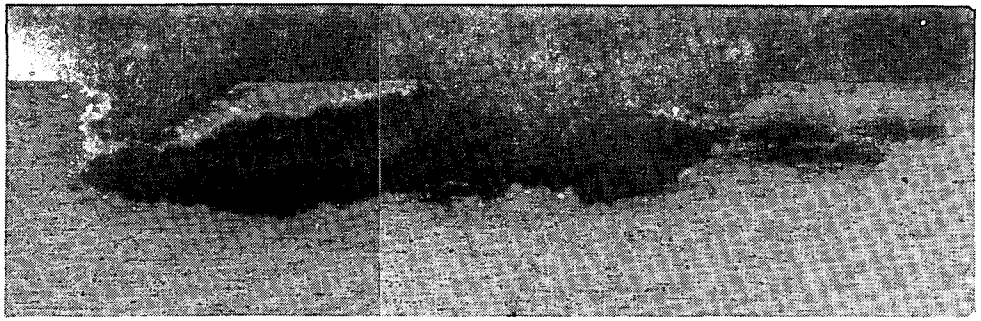
図－3.6(2)　異種金属接触腐食試験における孔食発生分布状況（A5083P-O SUS304:Al=1:10）



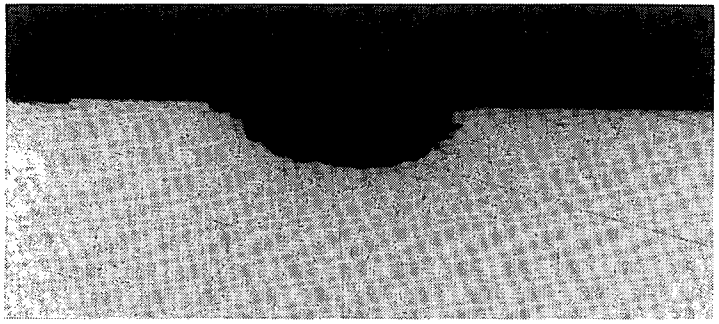
図－3.6(3)　異種金属接触腐食試験における孔食発生分布状況（A5083P-O SM400B:Al=1:1）



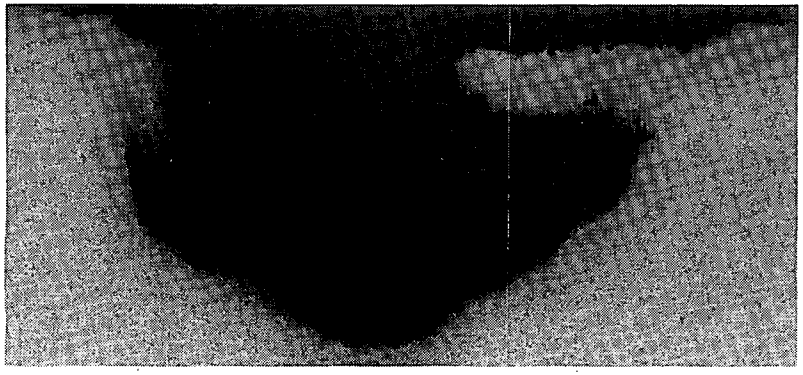
図－3.6(4)　異種金属接触腐食試験における孔食発生分布状況（A5083P-O SUS304:Al=1:1）



A5083P-O　無塗装



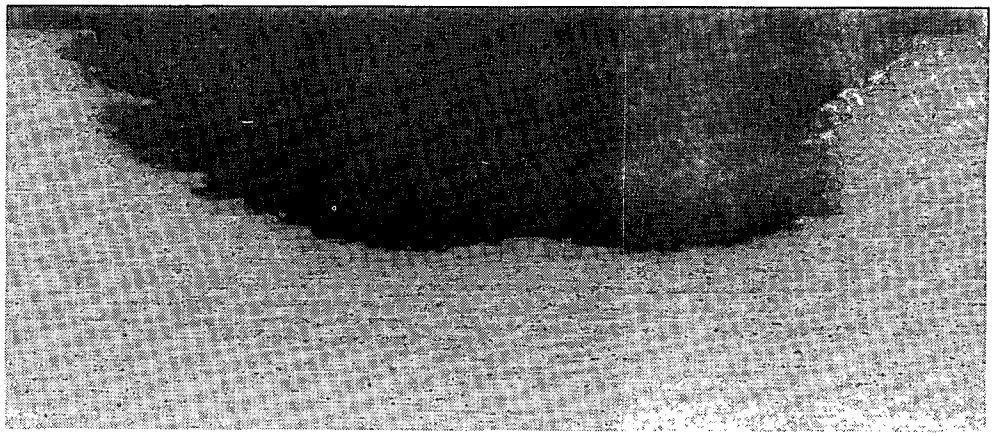
A5052P-H32　無塗装



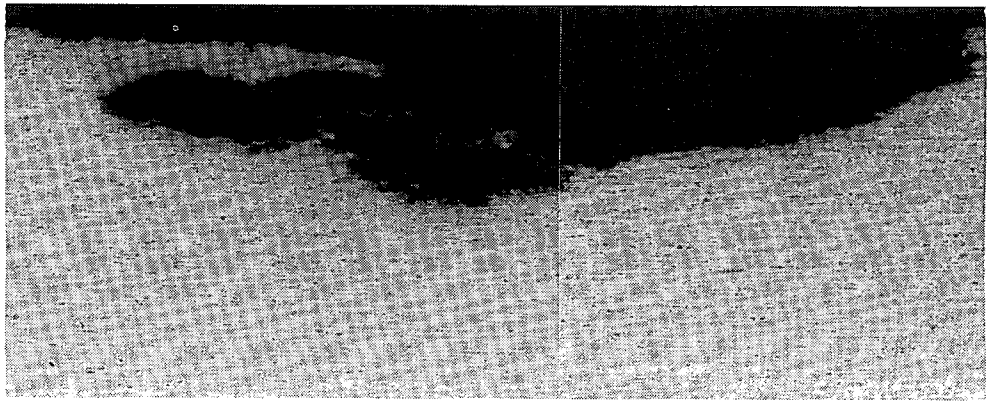
A5083S-H112 無塗装

200μm

写真－3.7(1)腐食部断面観察



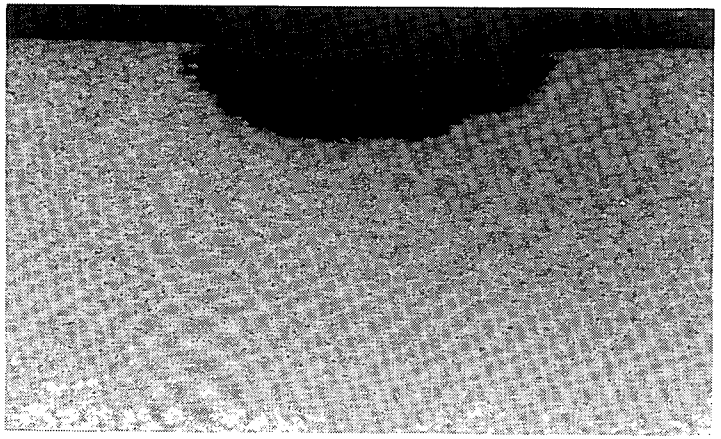
A5083P-O SM400B A/C=10



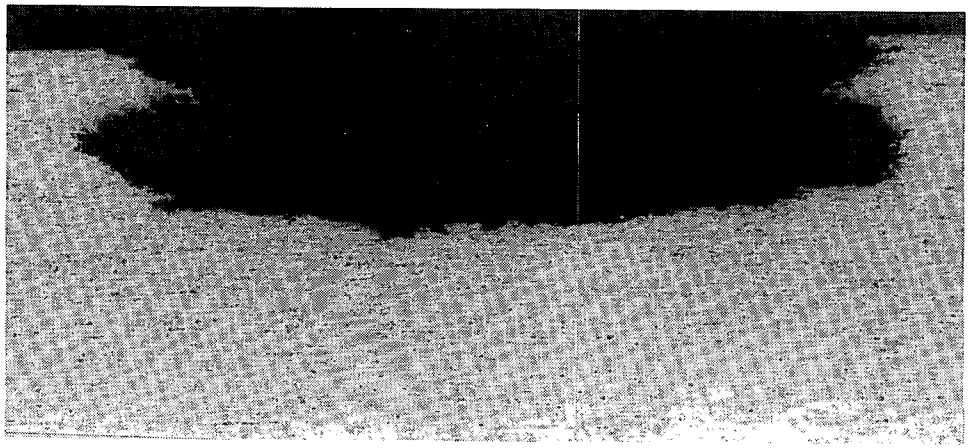
200μm

A5083P-O SUS304 A/C=10

写真－3.7(2)　腐食部断面観察



A5083P-O SM400B A/C=1



A5083P-O SUS304 A/C=1

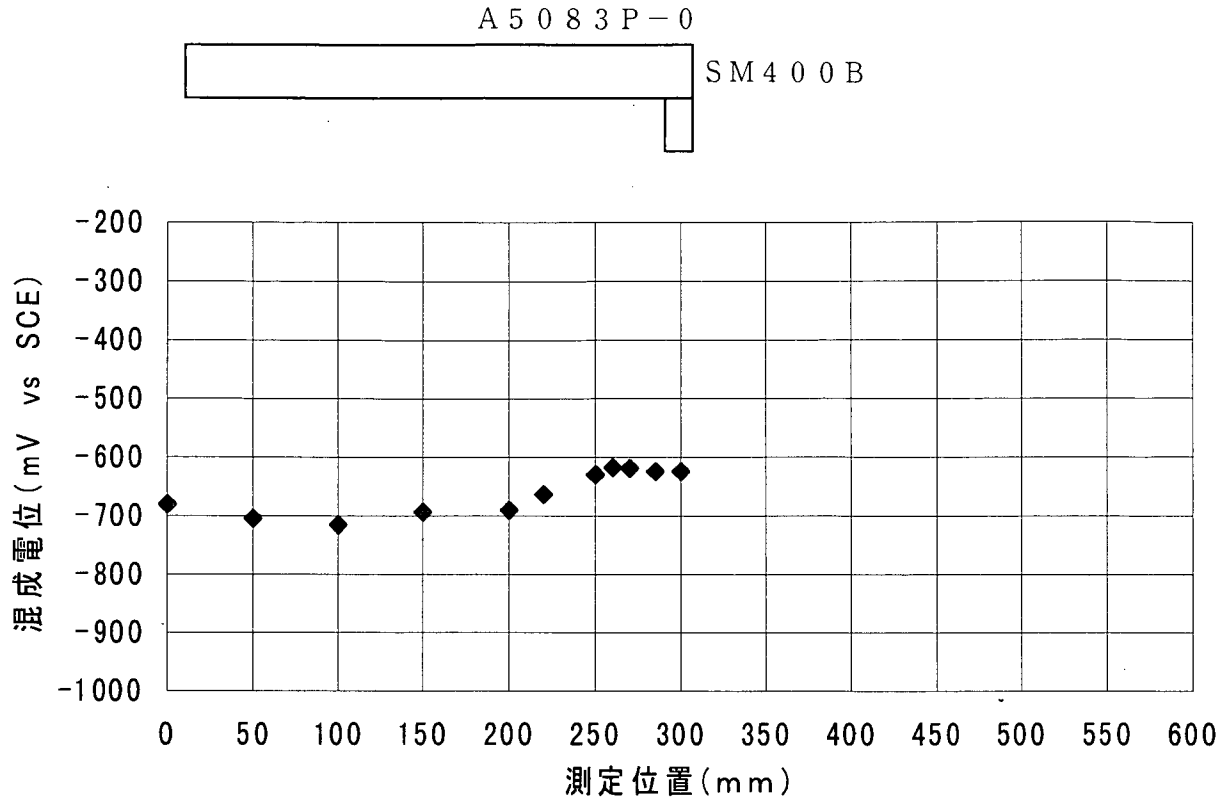
写真－3.7(3)　腐食部断面観察

表－3.22　素材及び異種金属接触腐食試験片の自然電位測定結果

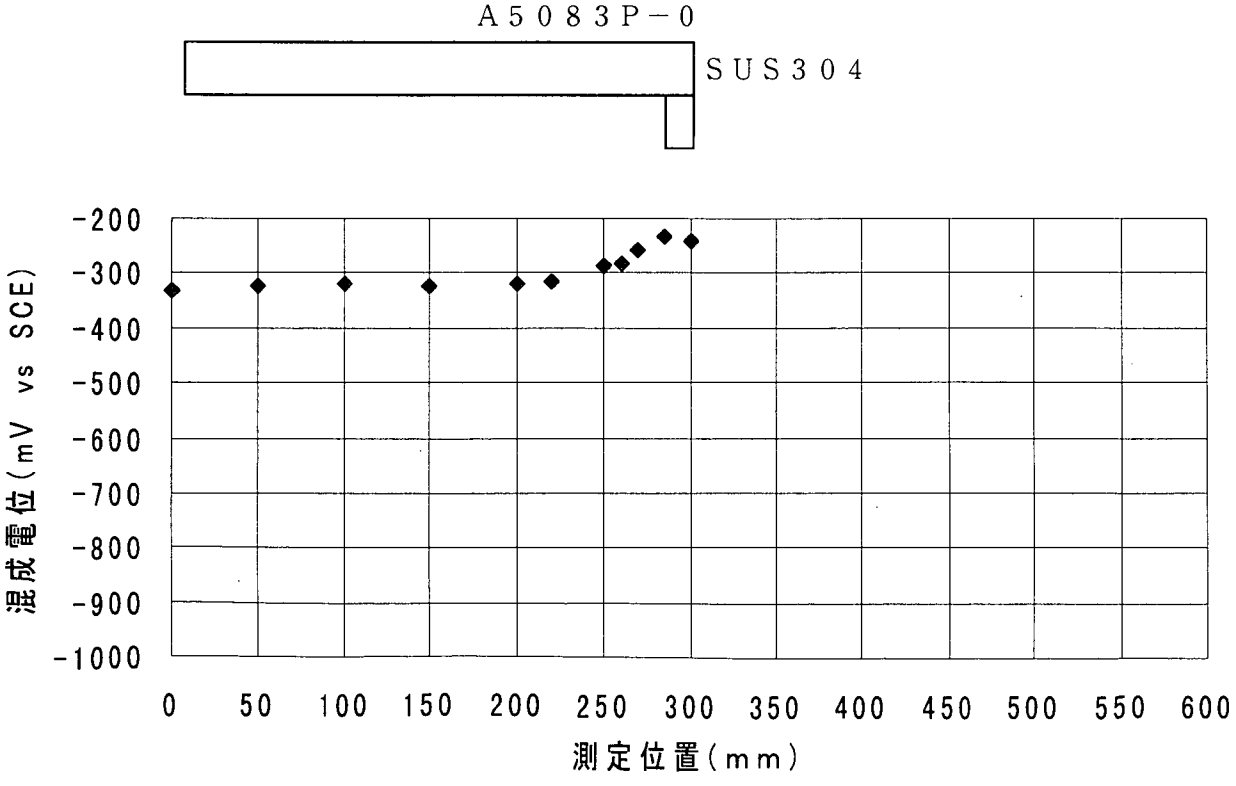
区分	試験片		自然電位（mV vs SCE）
	合金	塗装	
素材単体	A5083P-O	無し	-520
	A5052P-H32	無し	-455
	A5083S-H112	無し	-435
異種金属接触（ｽﾃﾝﾚｽﾎﾞﾙﾄ）	A5083P-O	無し	-535(ﾎﾞﾙﾄ近傍) -560(一般部
		有り	-390(ﾎﾞﾙﾄ近傍) -410(一般部

表－3.23　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定結果

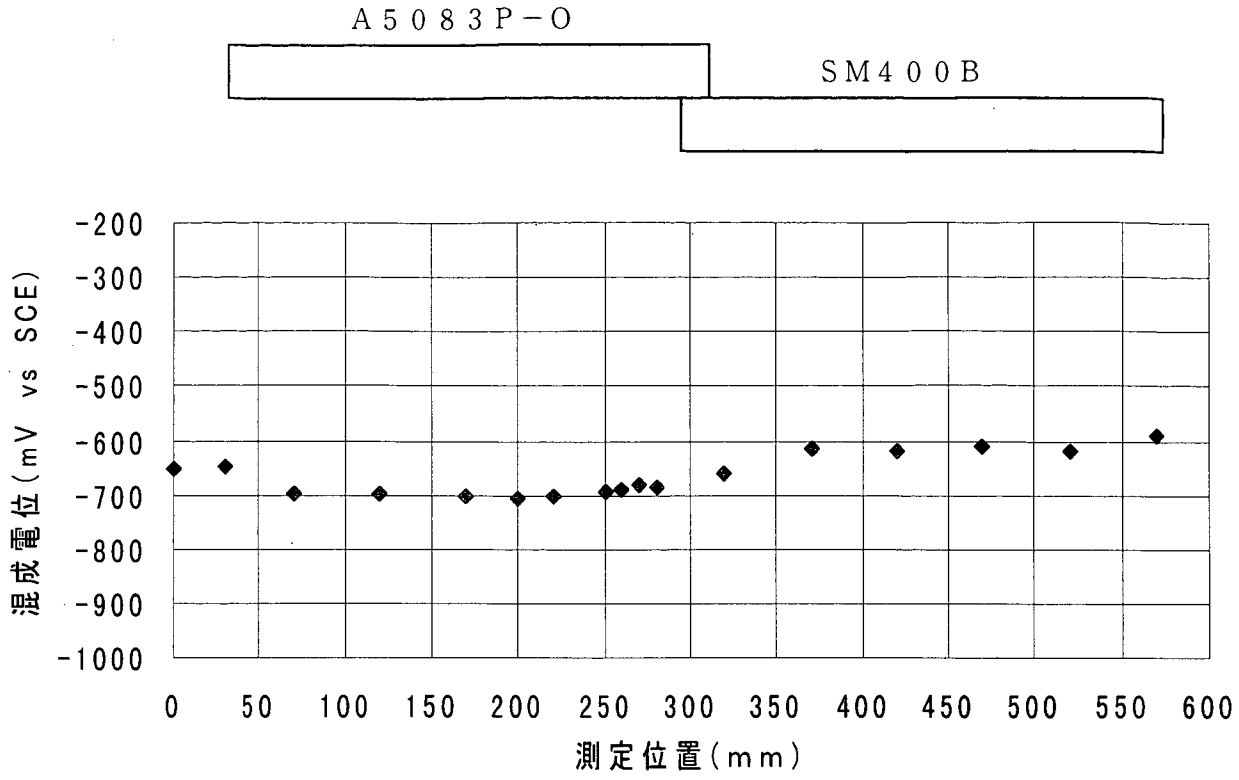
部位	測定位置 接触境界からの距離(mm)	混成電位（mV vs SCE）			
		Fe/Al 10/10	SUS/Al 10/10	Fe/Al 1/10	SUS/Al 1/10
SM400 or SUS304	300	-590	-422		
	250	-620	-417		
	200	-610	-414		
	150	-618	-431		
	100	-614	-437		
	50	-660	-502		
	30			-624	-243
	15			-624	-232
	10	-683	-630		
	0	-680	-641	-618	-256
A5183P－O	10	-689	-647	-617	-283
	20	-694	-655	-629	-285
	50	-700	-578	-663	-313
	70	-705	-603	-690	-320
	100		-610		
	120			-693	-322
	150	-696	-606		
	170			-715	-320
	200	-696	-616		
	220			-704	-324
	250	-649	-603		
	270	-652	-582	-680	-330



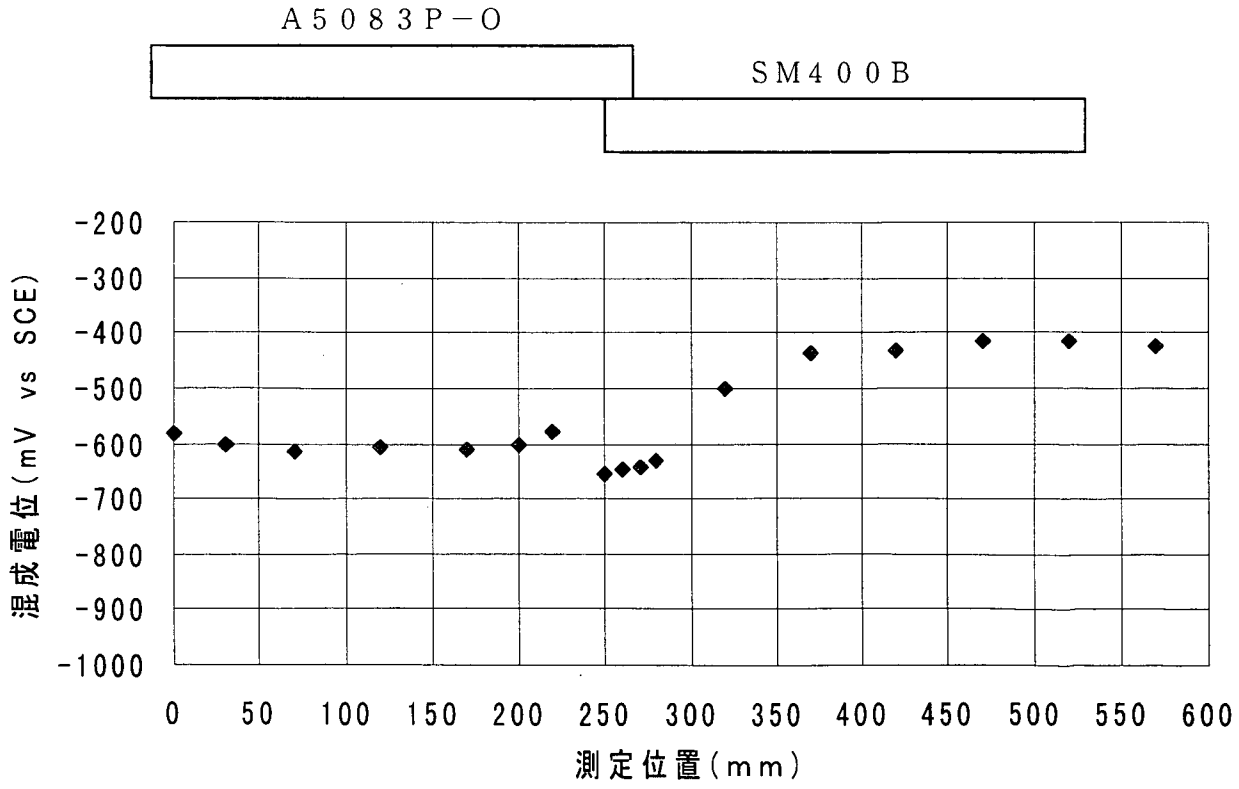
図－3.7(1)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（SM400B/Al=1:10）



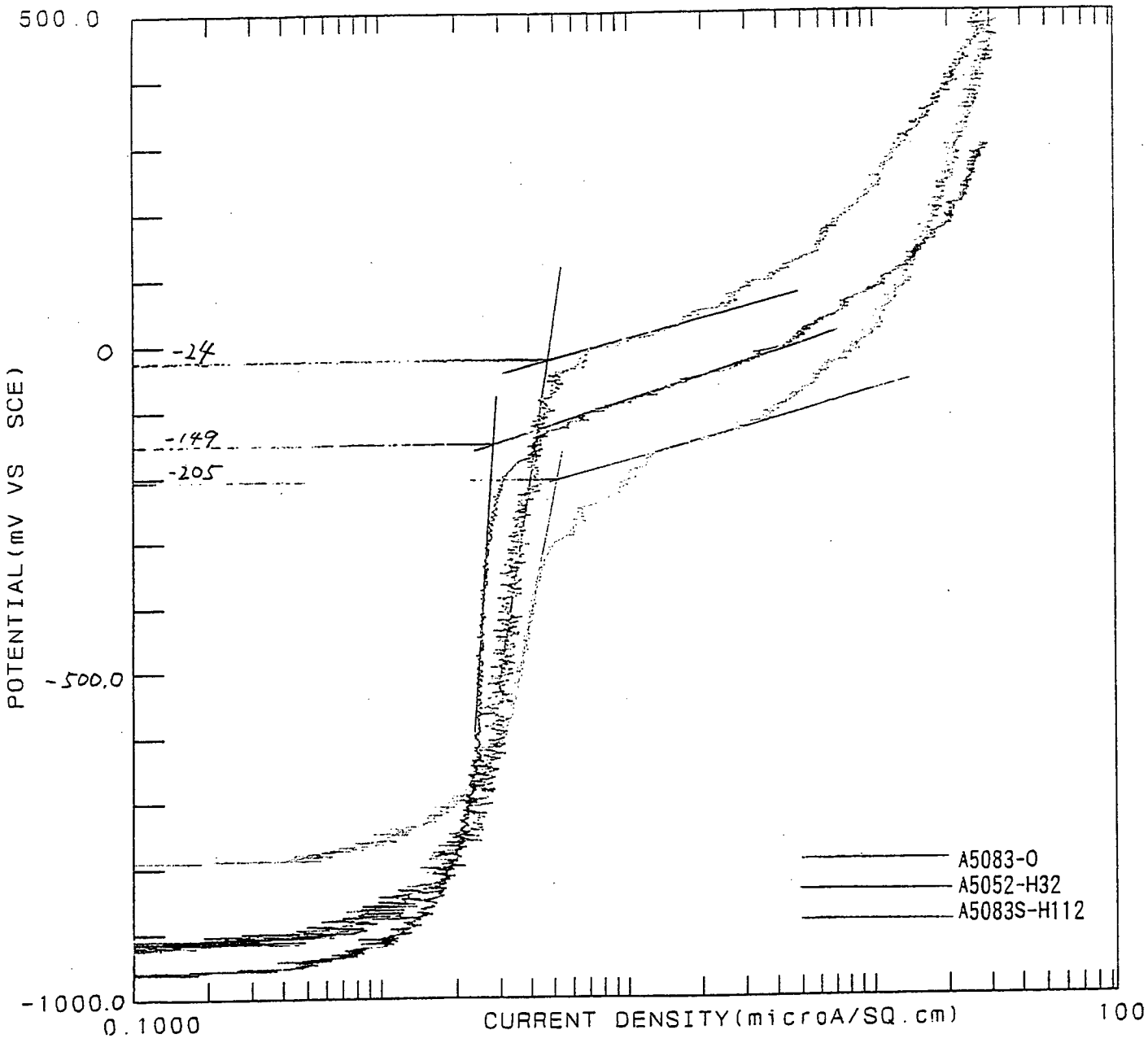
図－3.7(2)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（SUS304/Al=1:10）



図－3.7(3)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（SM400B/Al=1:1）



図－3.7(4)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（SUS304/Al=1:1）


500.0
0
-500.0
-1000.0
0.1000
100
POTENTIAL(mV VS SCE)
CURRENT DENSITY(microA/SQ.cm)
-24
-149
-205
A5083-O
A5052-H32
A5083S-H112

図－3.8 分極測定結果

(2)浸積暴露１年（平成８年開始）

①現地写真撮影

回収後、乾燥させた試験片取り付け枠全体及び試験片のの外観を写真撮影した。その結果を写真－3.8に示す。

試験片取り付け枠全体及び各試験片は、フジツボ等微生物の付着が認められた。犠牲陽極材である、Ｚｎに白色腐食生成物が観察された。

②付着物除去後外観

付着物除去後の各試験片の外観を写真撮影した。その結果を写真－3.9に示す。

追加塗装種および異種金属接合，犠牲陽極付き，塗装試験片において塗膜の膨れおよびはく離が観察された。

犠牲陽極を接合したＡ５０８３Ｐ－Ｏ材では、腐食発生をうかがわせる白色の生成物は顕著に観察されなかった。

犠牲陽極近傍での過防食による塗膜の膨れは観察されなかった。

Ｚｎ犠牲陽極に白色腐食生成物が確認され、Ｍｇ陽極は腐食溶解が激しいことが確認された。

③腐食生成物除去後試験片

腐食生成物後の各試験片の外観を写真撮影した。その結果を写真－3.10に示す。

犠牲陽極を接合した無塗装試験片に腐食が確認されるが、その程度はＺｎ陽極よりもＭｇ陽極の方軽微であった。

犠牲陽極近傍での過防食によるアルミニウムの溶解は確認されなかった。

④塗膜はく離後外観観察

塗膜はく離後の各試験片の外観を写真撮影した。その結果を写真－3.11に示す。

塗膜に膨れおよびはく離が観察された試験片（８ＥＥ１，８ＥＦ１）に腐食の発生が確認された。

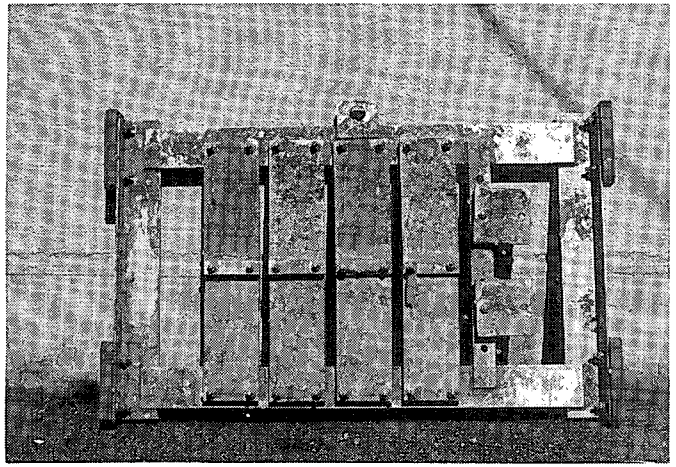
犠牲陽極を接合した塗装試験片には、腐食の発生は確認されず、健全であった。

⑤腐食重量測定用試料の重量測定

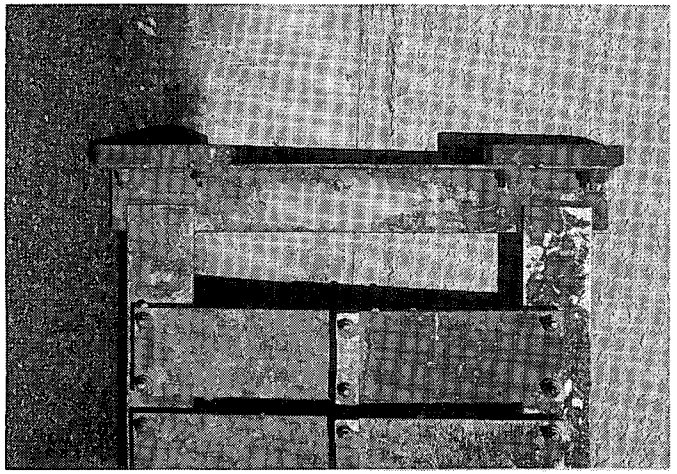
腐食重量量測定用試料の、重量を測定し、１）式により腐食重量減少を測定した。また、２）式により、概略の腐食板厚減少を測定した。それらの結果を表－3.25に示した。

$$\text{腐食重量減少} = \frac{(\text{暴露腐食試験後の試験片重量} - \text{同一試験片の暴露前重量})}{\text{試験片の投影面積}} \quad \cdots 1)$$

$$\text{腐食板厚減少} = \text{腐食重量減少} / \text{アルミ合金の概略密度} \quad \cdots\cdots 2)$$

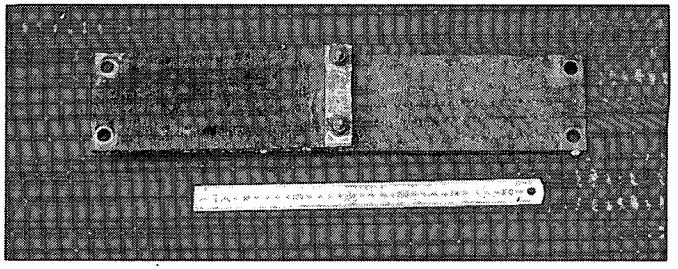


取付け枠

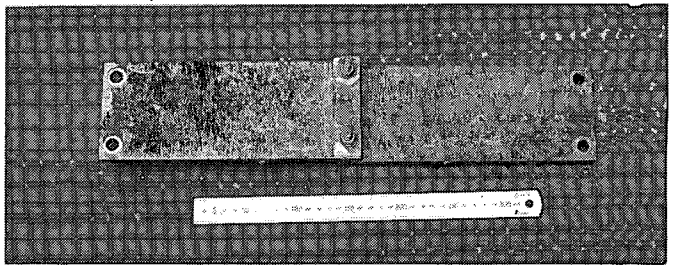


試験期間標識

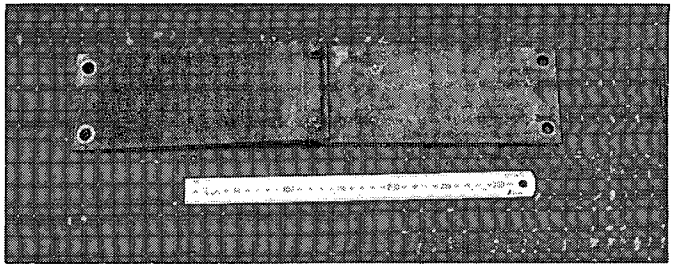
写真－3.8(1)　回収試験片及び取付け枠外観



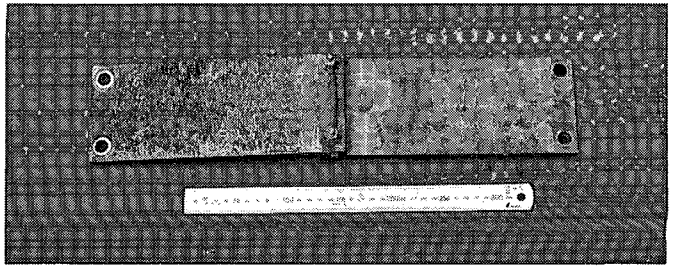
A5083P-O 無塗装　SUS304 A/C=1 Zn陽極



A5083P-O 塗装　SUS304 A/C=1 Zn陽極

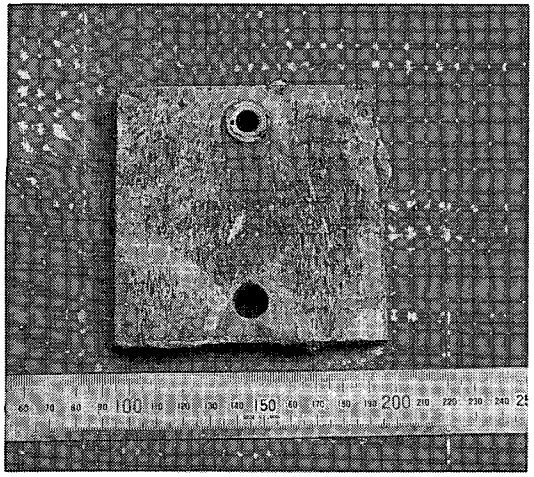


A5083P-O 無塗装　SUS304 A/C=1 Mg陽極

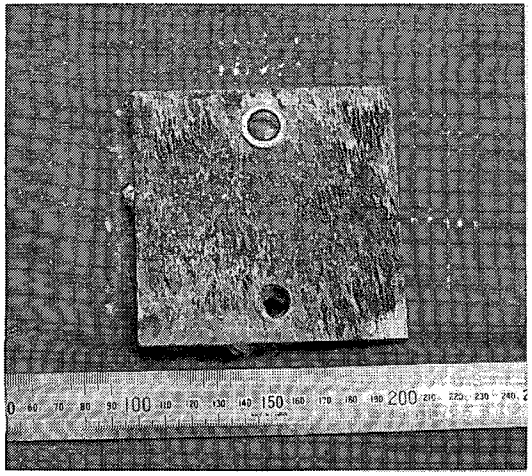


A5083P-O 塗装　SUS304 A/C=1 Mg陽極

写真－3.8(2)　回収試験片及び取付け枠外観

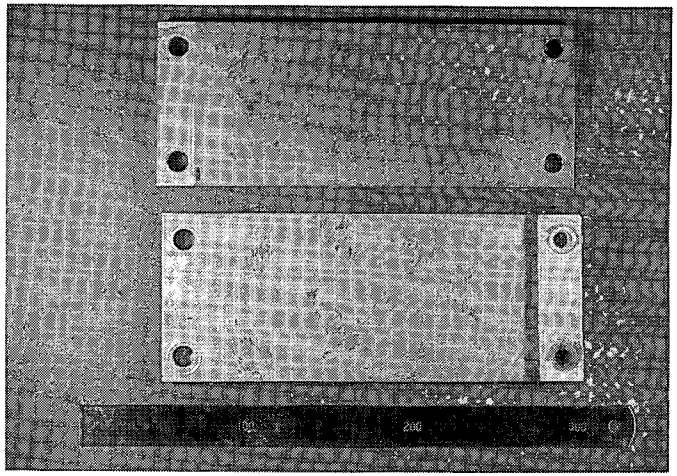


A5083P-O 塗装　　８ＥＥ（ｴﾎﾟｷｼ、ｳﾚﾀﾝ）

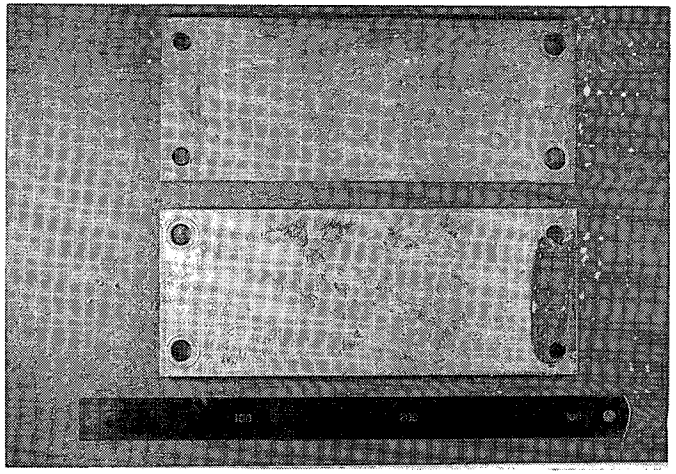


A5083P-O 塗装　８ＥＦ（ｴﾎﾟｷｼ、ふっ素）

写真－3.8(3)　回収試験片及び取付け枠外観

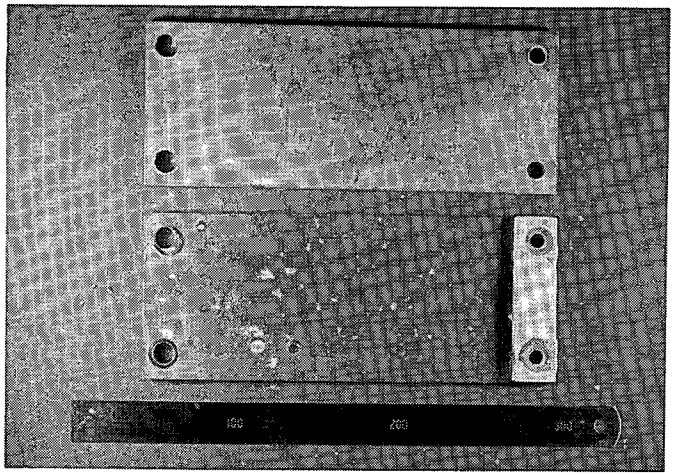


A5083P-O 無塗装　SUS304 A/C=1 Zn陽極

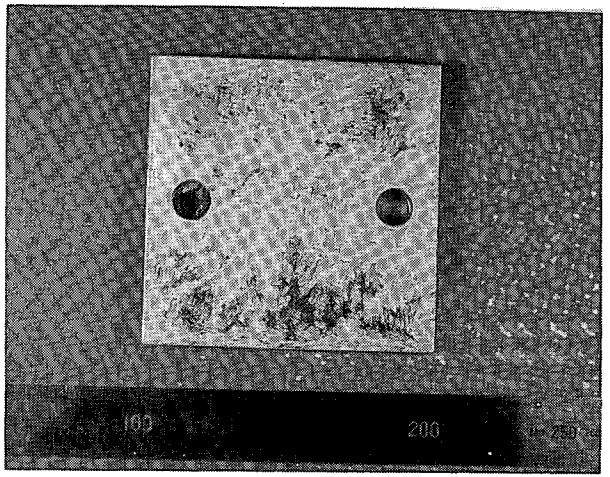


A5083P-O 無塗装　　SUS304 A/C=1 Mg陽極

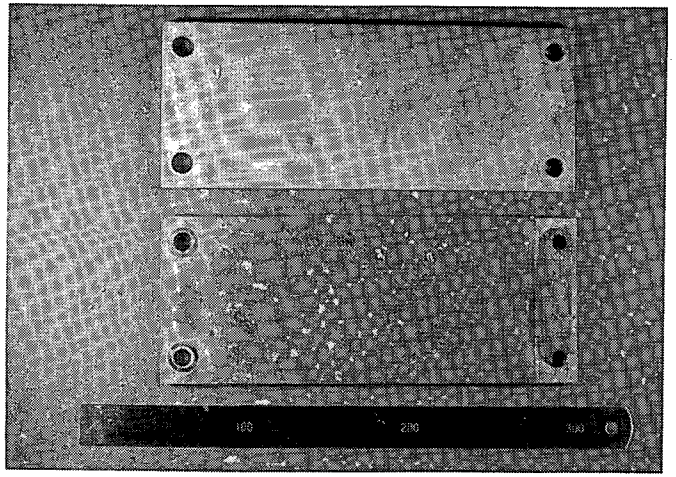
写真－3.9(1)　付着物除去後外観



A5083P-O 塗装　SUS304 A/C=1 Zn陽極

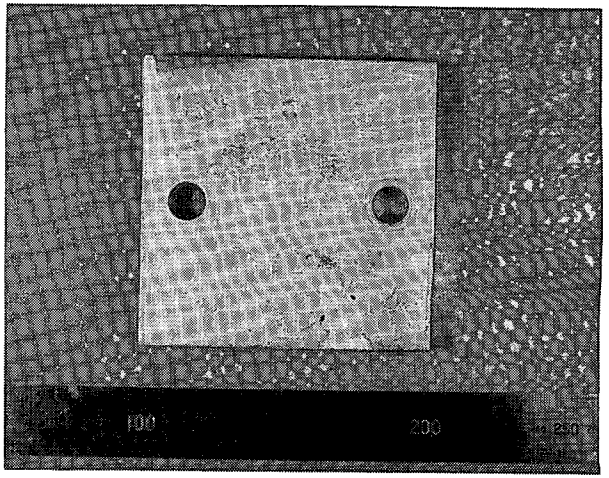


A5083P-O 塗装　８ＥＥ（ｴﾎﾟｷｼ、ｳﾚﾀﾝ）



A5083P-O 塗装　SUS304 A/C=1 Mg陽極

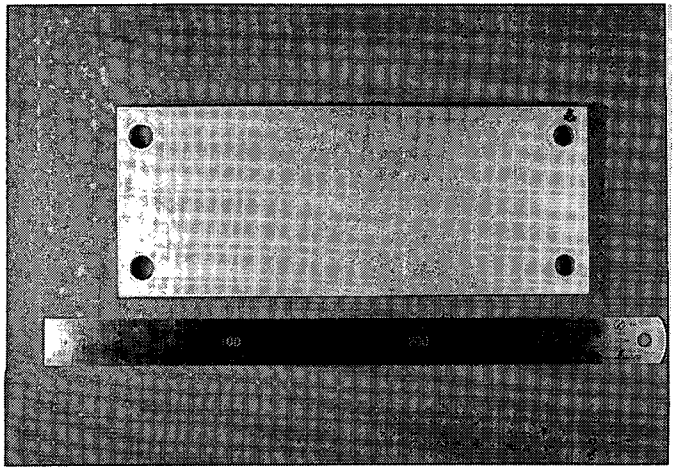
写真－3.9(2)　付着物除去後外観



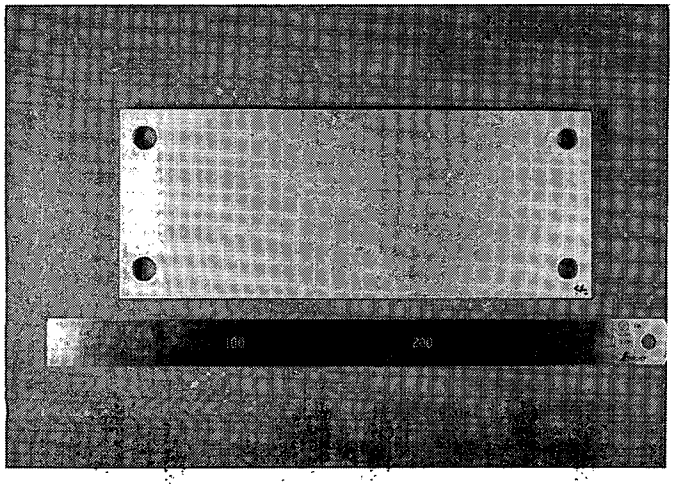
A5083P-O 塗装　８ＥＦ（ｴﾎﾟｷｼ、ふっ素）

写真－3.9(3)　付着物除去後外観

表

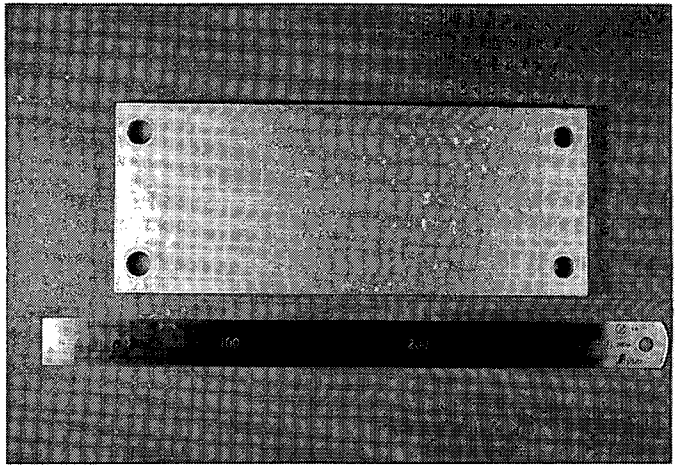


裏

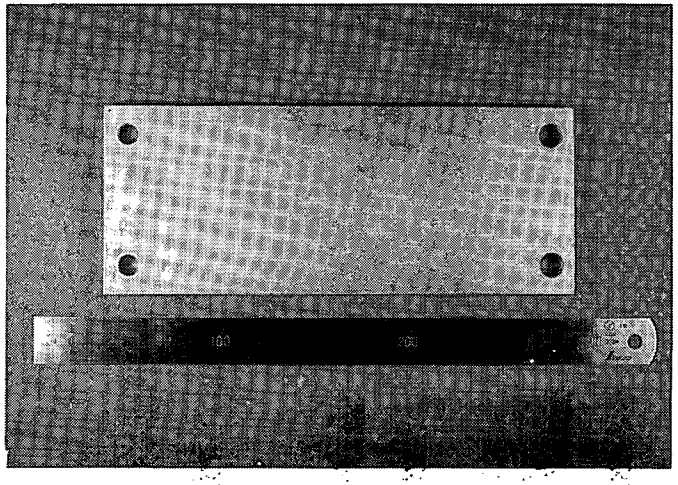


写真－3.10(1)　腐食生成物除去後外観（A5083P-O 無塗装　SUS304 A/C=1 Zn陽極）

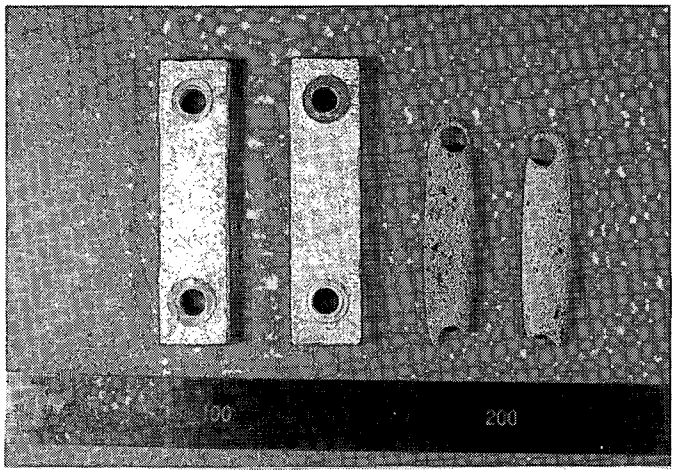
表



裏



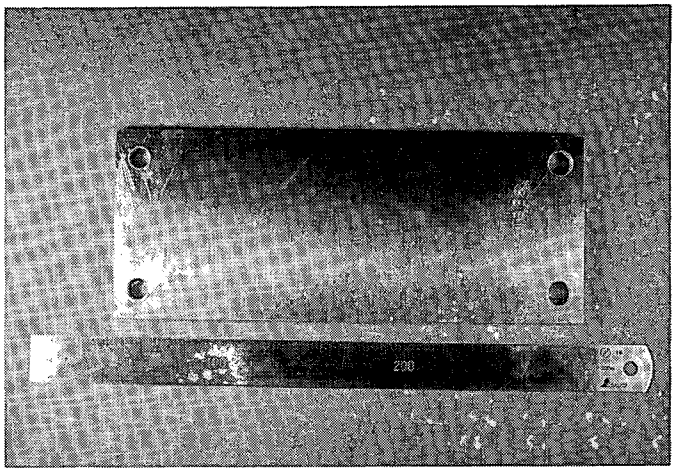
写真－3.10(2)　腐食生成物除去後外観（A5083P-O 無塗装　SUS304 A/C=1 Mg陽極）



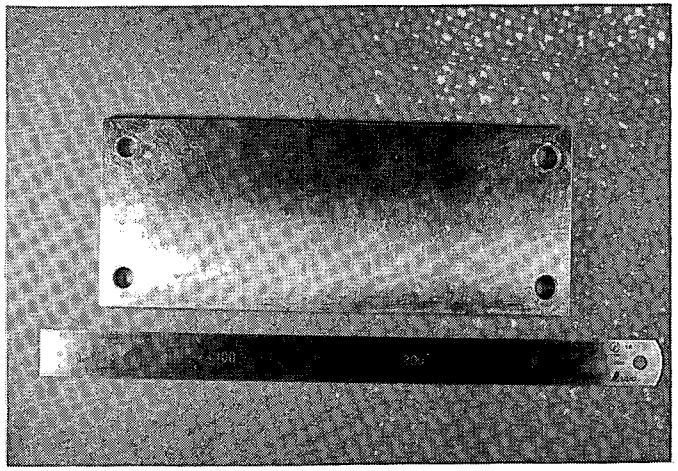
Zn陽極、無塗装　　Zn陽極、塗装　　Mg陽極、無塗装　　Mg陽極、塗装

写真－3.10(3)　腐食生成物除去後外観

表

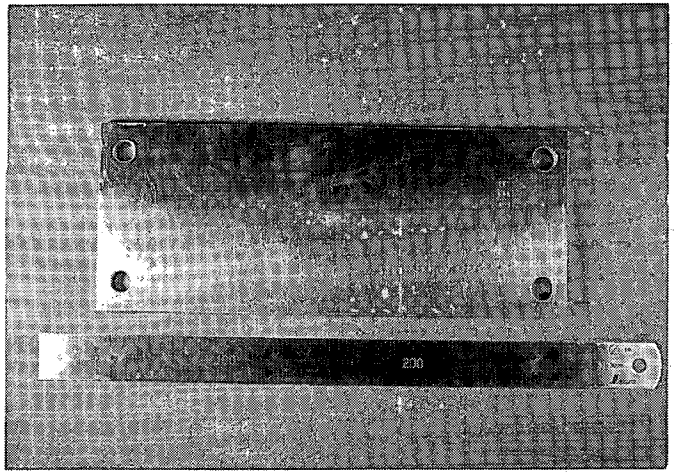


裏

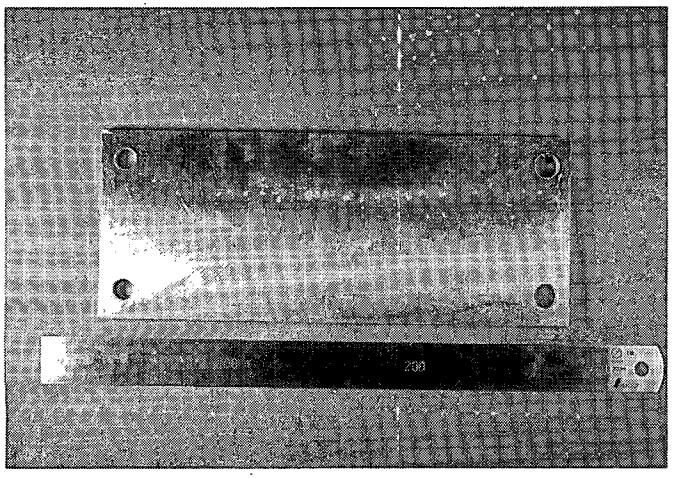


写真－3.11(1)　塗膜はく離後外観（A5083P-O SUS304 A/C=1 Zn陽極）

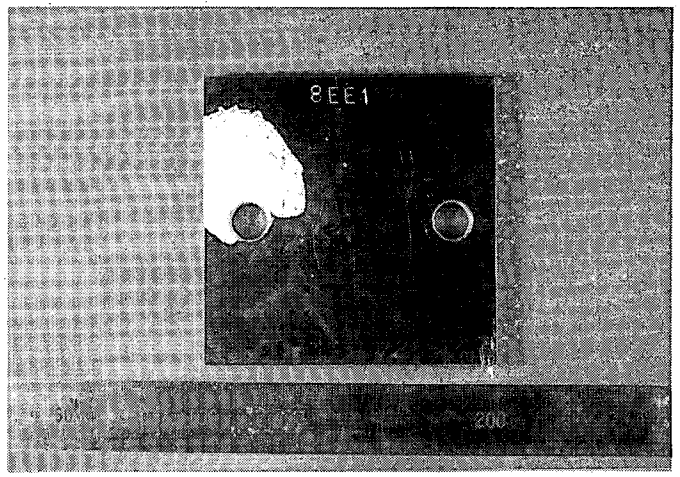
表



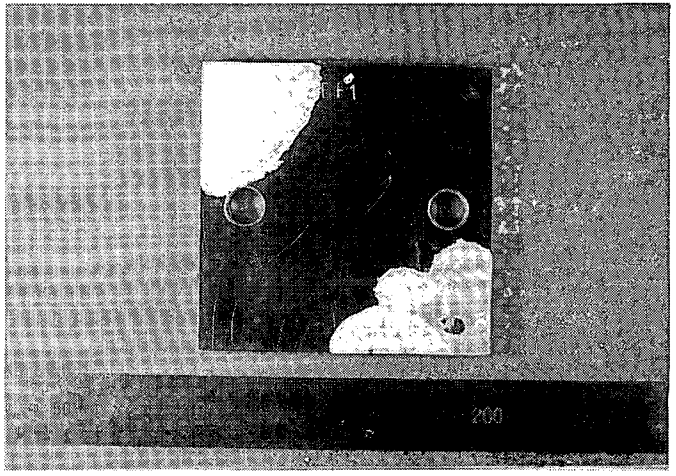
裏



写真－3.11(2)　塗膜はく離後外観（A5083P-O SUS304 A/C=1 Mg陽極）



A5083P-O 塗装　　８ＥＥ（ｴﾎﾟｷｼ、ｳﾚﾀﾝ）



A5083P-O 塗装　８ＥＦ（ｴﾎﾟｷｼ、ふっ素）

写真－3.11(3)　塗膜はく離後外観

表－3.25　腐食重量減少測定用単板試料の重量測定結果

試材 合金番号	記号	期間	暴露前重量 ：a（g）	暴露後重量 ：b（g）	腐食重量減少 ：(mg/cm²)	腐食板厚減少 ：（μm）
A5083-0	8EA-1	1年	666.4	665.7	——	——
SUS304	8EA-1	1年	1935.5	1936.0	——	——
Zn Anode	8EA-1	1年	178.685	149.195	598.8	——
A5083-0	8EB-1	1年	666.5	666.5	——	——
SUS304	8EB-1	1年	1929.0	1929.6	——	——
Zn Anode	8EB-1	1年	178.820	152.2355	531.7	——
A5083-0	8EC-1	1年	665.3	665.5	——	——
SUS304	8EC-1	1年	1931.3	1931.8	——	——
Mg Anode	8EC-1	1年	49.953	11.600	767.1	——
A5083-0	8ED-1	1年	666.2	666.2	——	——
SUS304	8ED-1	1年	1933.2	1933.5	——	——
Mg Anode	8ED-1	1年	49.939	10.987	779.0	——
A5083-0	8EE-1	1年	265.148	264.244	4.520	16.7
A5083-0	8EF-1	1年	264.813	264.778	0.175	0.65

備考；試験片の投影面積　A5083,SUS304;500cm2 ｱﾉｰﾄﾞ;50cm² A5083(8EE,8EF);200cm² 概略密度 2.7g/cm³

⑥孔食深さ測定

回収した1年暴露試験片に付いて、目視で孔食が観察された各試験片について、孔食深さを測定した。その結果を表－3.26に示す。

追加塗装種（８ＥＥ，８ＥＦ）については、はく離した塗膜下で孔食が発生し、孔食深さは0.1～2.0ｍｍ程度であった。

異種金属接合の影響に及ぼす陰極防食の効果については、Ｚｎ陽極材料、無塗装試験片では，0.6～0.9ｍｍ程度の孔食深さが観察された。Ｚｎ陽極材料、塗装試験片については孔食の発生がなく健全であった。

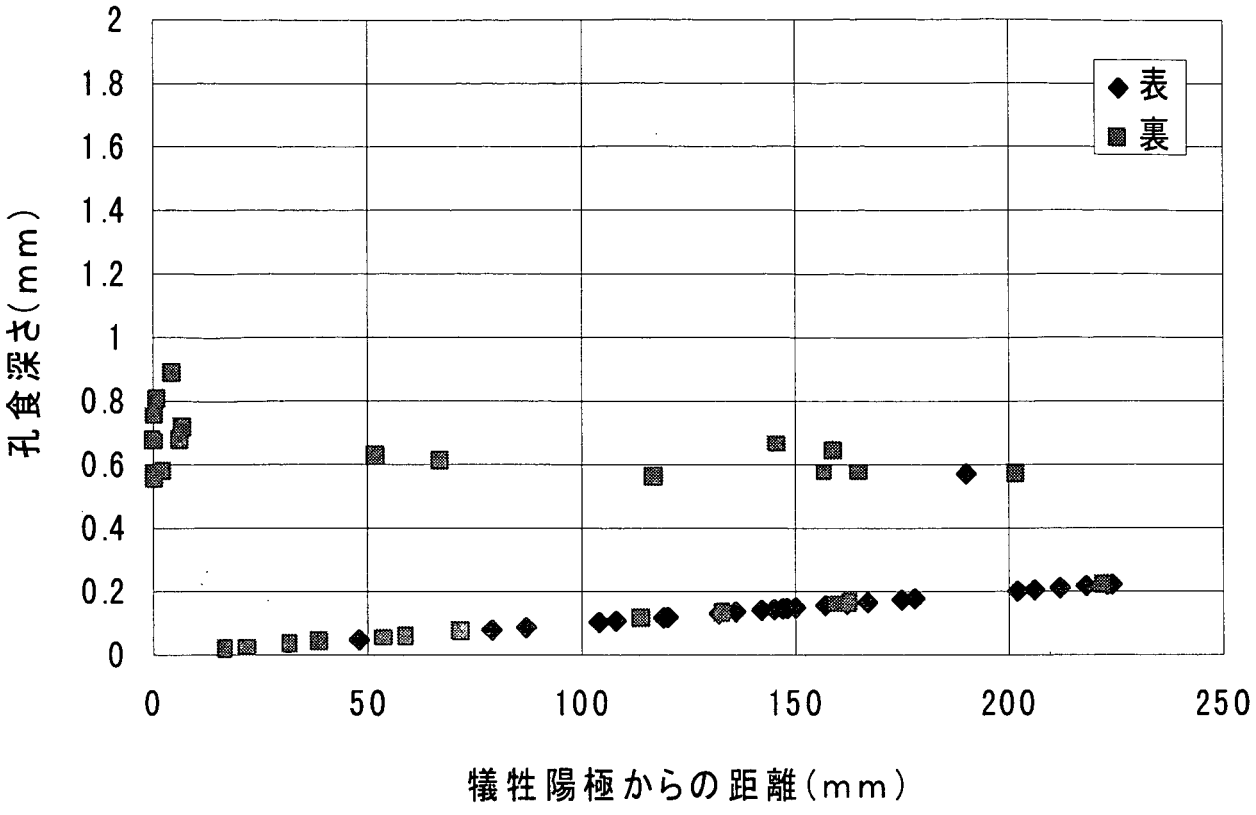
Ｍｇ陽極材料、無塗装試験片では0.2～0.8ｍｍ程度の孔食深さが確認された。Ｍｇ陽極材料、塗装試験片については孔食の発生が無く健全であった。

なお、平成６年に開始した、異種金属接合，犠牲陽極無し，無塗装試験片の最大孔食深さが1.0ｍｍ程度あった事から、犠牲防食の効果が若干認められた。

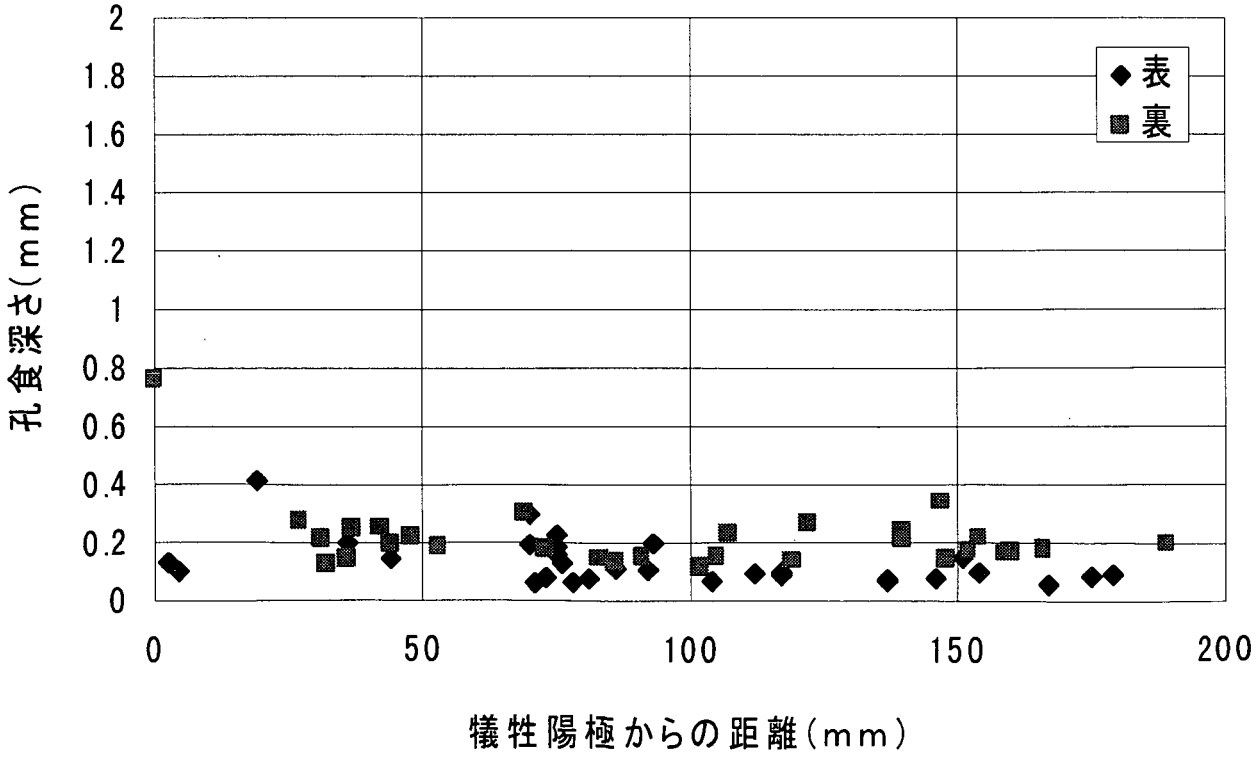
写真－3.12に孔食部断面写真を示す。腐食断面の観察からでは、粒界腐食や亀裂は観察されなかった。

表－3.26　江戸川下流域に1年間浸漬暴露した試験片の孔食深さ測定結果

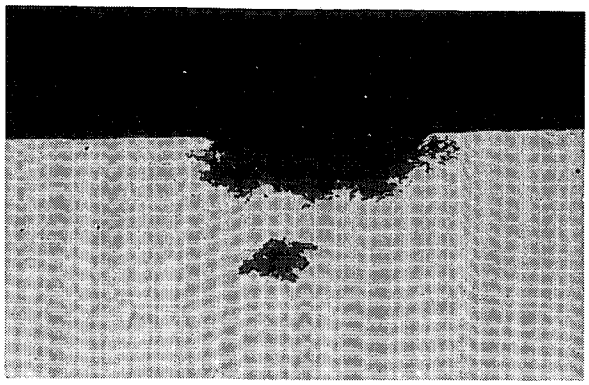
試験片区分	合金	塗装	面積比	陽極陽極	No	孔食深さ (μm) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
塗装の効;追加塗装種	A5083P-O	NoA	単体	無し	8EE1	272	266	255	228	225	223	222	209	206	197	187
		NoB		無し	8EF1	258	228	214	192	160	142	133	133	130	129	118
異種金属合の影響及ぼす陰防食の効果	A5083P-O	無し	SUS304	Ｚｎ	8EA1	890	804	754	718	675	674	671	664	644	625	610
		NoA	A/C=1	Ｚｎ	8EB1	無し										
		無し		Ｍｇ	8EC1	764	415	343	298	297	276	269	252	248	243	230
		NoA		Ｍｇ	8ED1	無し										



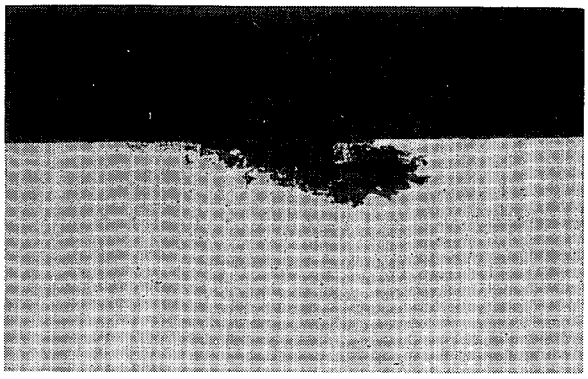
図－3.8(1)　犠牲陽極、異種金属接触試験における孔食分布（A5083P-O SUS304:Zn陽極）



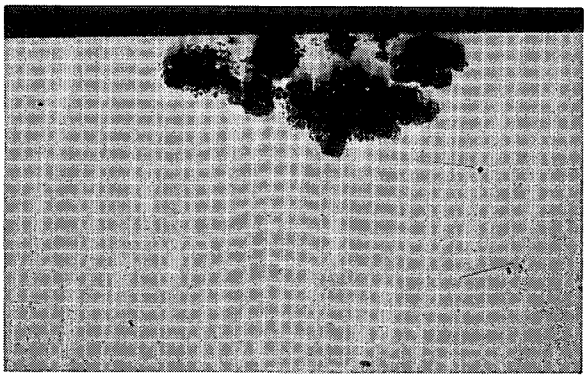
図－3.8(2)　犠牲陽極、異種金属接触試験における孔食分布（A5083P-O SUS304:Mg陽極）



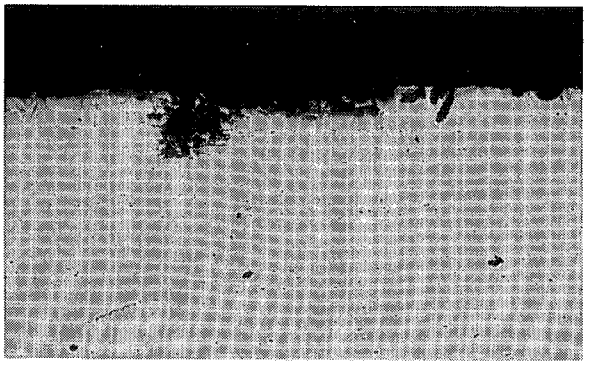
A5083P-O 無塗装　SUS304 A/C=1 Zn陽極



A5083P-O 無塗装　SUS304 A/C=1 Mg陽極



A5083P-O 塗装　(ｳﾚﾀﾝ、ｴﾎﾟｷｼ)



A5083P-O 塗装　(ｳﾚﾀﾝ、ふっ素)　200μm

写真－3.12　腐食部断面観察

⑦電位測定結果

表－3.27に追加塗装種の自然電位測定結果を、表－3.27，図－3.9に異種金属接触腐食試験片の混成電位測定結果を示す。

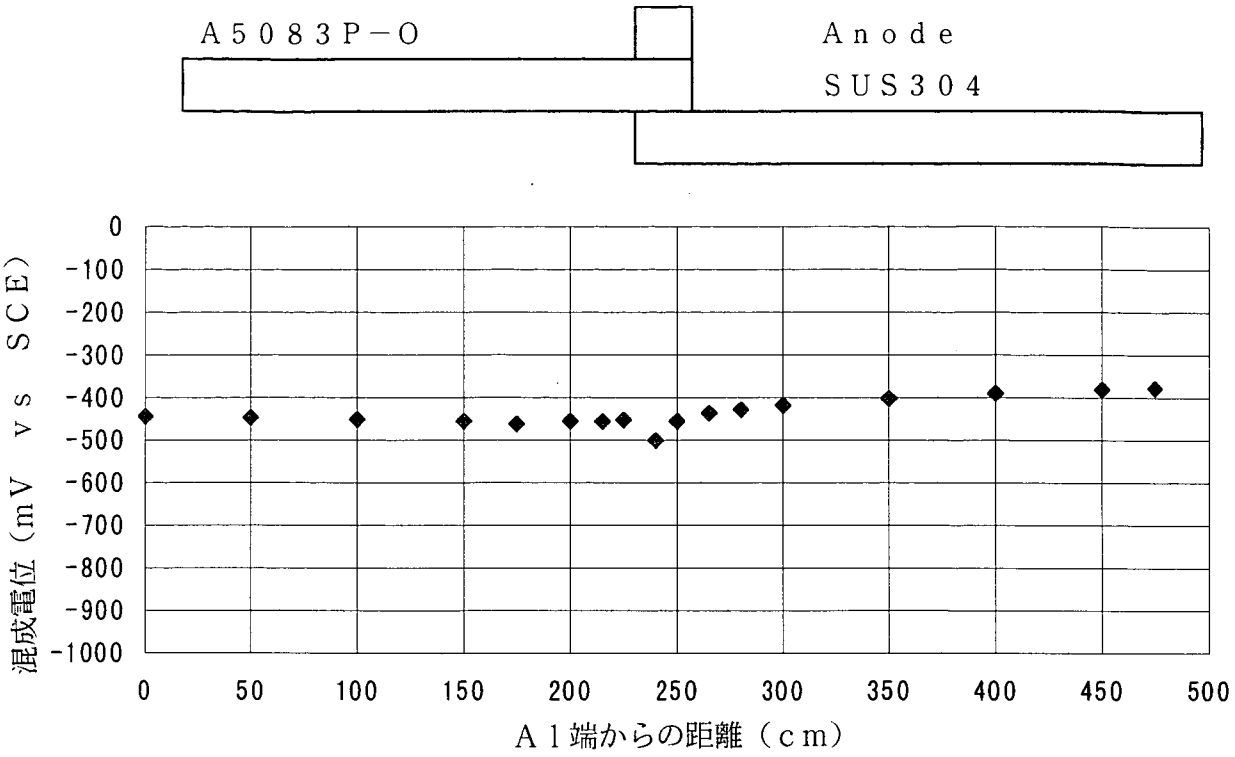
犠牲陽極近傍の電位は卑になっており、防食効果が予想された。

表－3.27　素材追加塗装試験片の自然電位測定結果

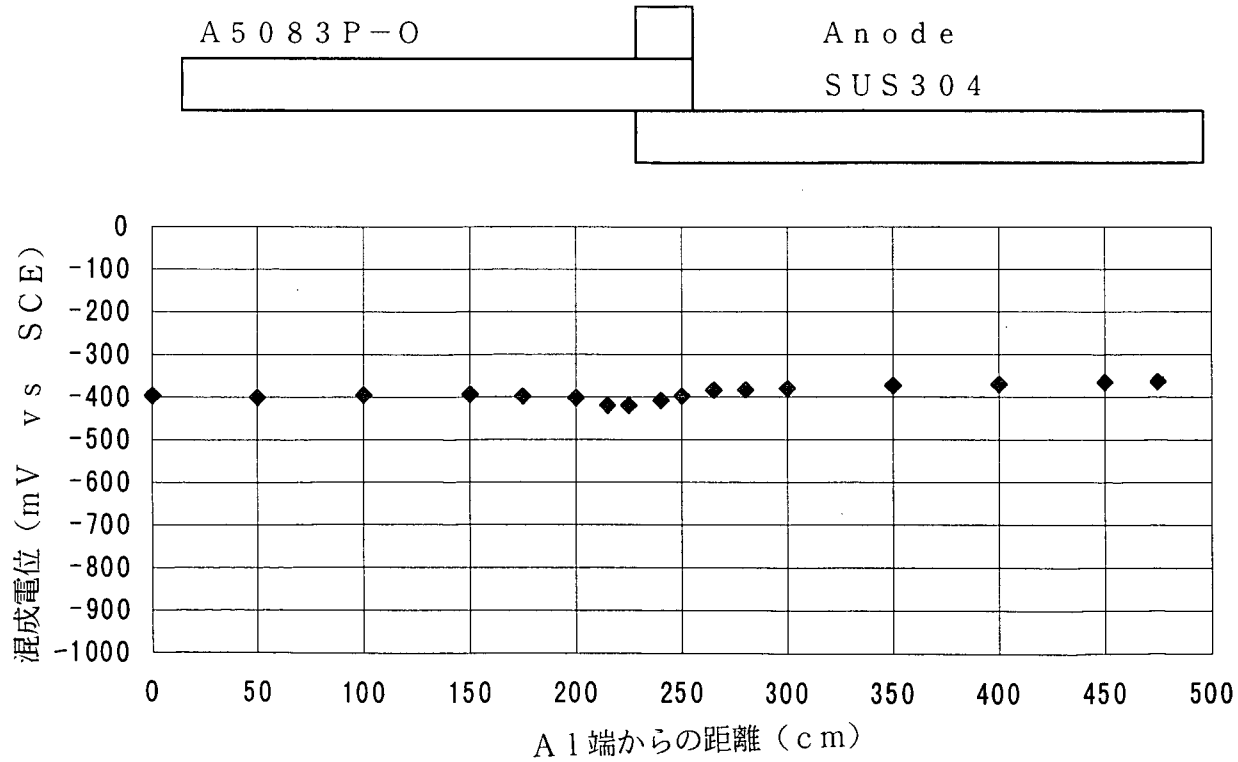
区分	試験片		自然電位（mV vs SCE）
	合金	塗装	
素材単体	A5083P-0	有り　NoA	-403
追加塗装種		有り　NoB	-445

表－3.28　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定結果

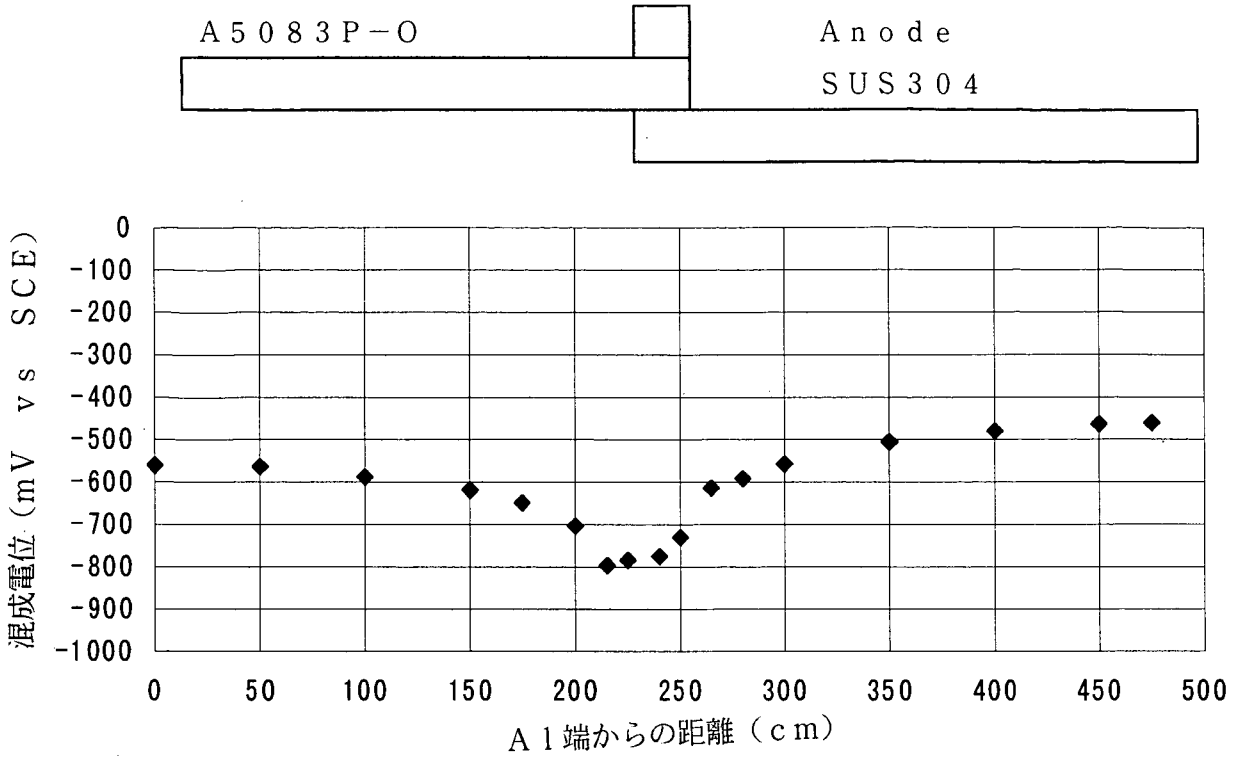
部位	測定位置 Ａ１端からの距離(mm)	混成電位（ｍＶ　ｖｓ　ＳＣＥ）			
		陽極材Ｍｇ		陽極材Ｚｎ	
		塗装無し	塗装有り	塗装無し	塗装有り
Ａ５０８３Ｐ－Ｏ	0	-560	-402	-444	-396
	50	-563	-406	-447	-400
	100	-588	-429	-451	-395
	150	-618	-450	-455	-393
	175	-648	-492	-462	-398
	200	-703	-547	-455	-402
	215	-796	-631	-456	-420
陽極材	225	-784	-650	-452	-420
	240	-775	-645	-500	-408
	250	-730	-570	-455	-398
ＳＵＳ３０４	265	-613	-431	-436	-383
	280	-591	-408	-428	-382
	300	-557	-377	-418	-380
	350	-504	-330	-402	-373
	400	-480	-309	-389	-370
	450	-463	-303	-381	-364
	475	-460	-292	-378	-363



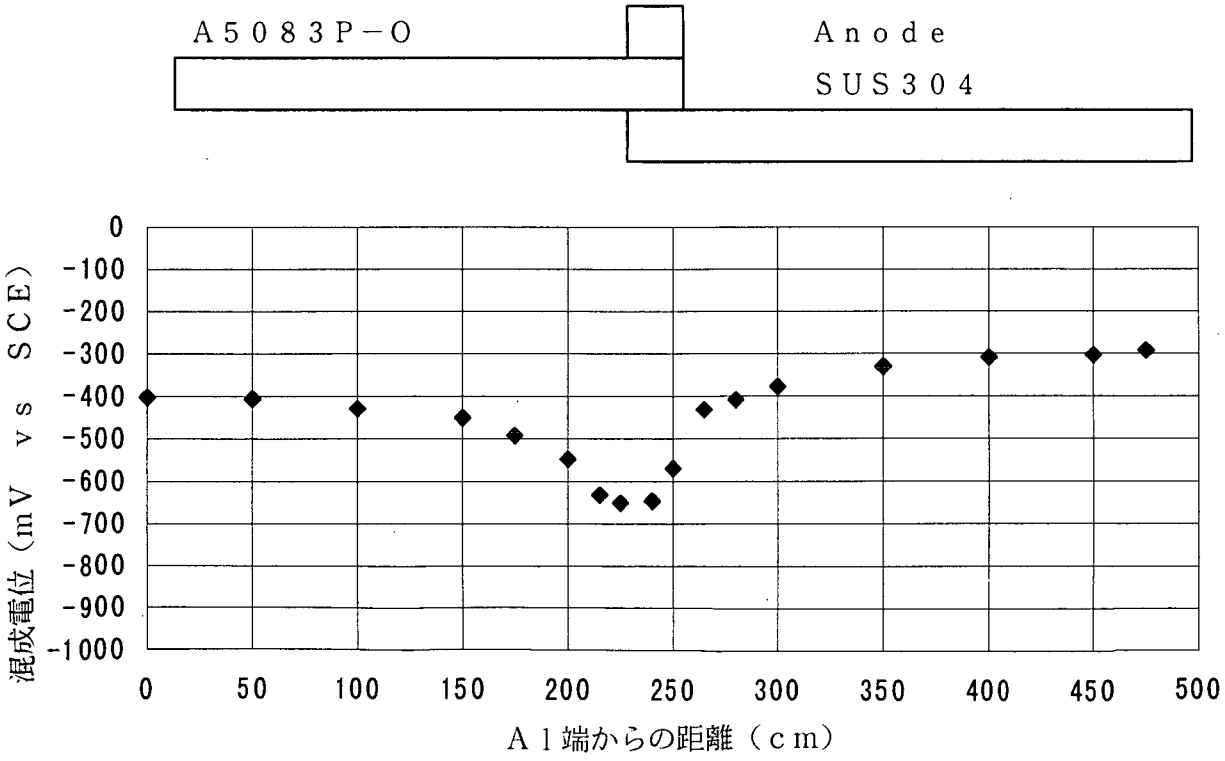
図－3.9(1)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（Zn陽極、無塗装）



図－3.9(2)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（Zn陽極、塗装）



図－3.9(3)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（Ｍｇ陽極、無塗装）



図－3.9(4)　異種金属接触腐食試験片の混成電位分布測定（Ｍｇ陽極、塗装）

3.3 まとめ

(1)平成６年度開始、暴露３年試験片

①無塗装試験片の孔食深さは、0.5mm～1.3mm程度であった。Ａ５０８３Ｐ－Ｏ、Ａ５０５２Ｐ－Ｈ３２、Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２合金試験片では、Ａ５０８３Ｓ－Ｈ１１２の孔食深さが他の試験片と比較して深い傾向があった。

②無塗装、溶接、すき間試験片において、Ａ５０８３Ｐ－Ｏ、Ａ５０５２Ｐ－Ｈ３２、Ａ５０８３ＳＳ－１１２合金試験片全てにすき間腐食が観察された。

③Ａ５０８３Ｐ－Ｏ材の孔食深さと比較して、Ａ５０８３Ｐ－Ｏ材と腐食が促進される事がわかった。異種金属としては、、ＳＭ４００ＢよりもＳＵＳ３０４と接触する場合に深い孔食が多数観察された。異種金属と接触する事によるアルミニウムの腐食促進効果は面積比で変化し、異種金属試験片との面積比が大きくなる程、腐食が促進される事がわかった。

(2)平成８年開始、暴露１年試験片

①追加塗装試験片（ｳﾚﾀﾝ、ｴﾎﾟｷｼ及びｳﾚﾀﾝ、ふっ素）に塗装皮膜の膨れ及び剥離が観察された。塗膜をはく離し素地を観察した所、素地に孔食が認められた。

②異種金属接合試験片に犠牲陽極を取り付ける事で、アルミニウム試験片（Ａ５０８３Ｐ－Ｏ）が防食されるが、孔食深さの測定で表と裏の挙動に差が見られるために、今後さらに検討が必要と考えられた。

4. 大気暴露試験

4.1 江戸川暴露試験

河川・ダム施設へのアルミニウム材料の適応に関する検討の一環として、表－4.1.1に示す基礎計画に基づき江戸川(下流域)において各種アルミニウム合金の暴露腐食試験が実施している。

平成7年度および平成8年度に暴露試験を開始し、1年間経過した大気暴露試験片を回収、調査した。

表－4.1.1　暴露試験の基礎計画

暴露試験における注目点	暴露	暴露	調査年度			
			1年目	3年目	5年目	10年目
1. 素材の腐食速度 2. 溶接部の影響 3. 塗装の効果 4. すき間の影響 5. 異種金属接合の影響	大気	H7	H8	H10	H12	H17
6. 塗装の効果(追加)	大気	H8	H9	H11	H13	H18

4.1.1 試験方法

(1)試験片の基本仕様

①アルミニウム合金の種類

適応用途から、強度と耐食性を考慮し、A5083P-O、A5052P-H32、およびA5083S-112の3種のアルミニウム合金を選定した。それらの成分組成を表－4.1.2に示す。

②供試材及び評価方法

表－4.1.1に示した暴露試験における注目点に関し、試験片の形態および評価方法について以下のように基本的に定めた。それらに基づいて表－4.1.3の試験片を選択した。

1. 素材の腐食速度　：　無処理平板(A5083P-O)の腐食重量減少および孔食深さによる。
2. 溶接部の影響　：　溶接接合した試験片を用い、溶接部、溶接熱影響部と非接合部の外観、孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。
3. 塗装の効果　：　塗装した試験片を用い同種無塗装板との外観、孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。
4. すき間の影響　：　ASTM G78に準拠したすき間形成材を装着し、その部分でのすき間腐食性を評価する。
5. 異種金属接合の影響　：　河川・ダム施設で実際に生じる異種金属接合を想定し、接触異種金属として各種表面処理を施した鋼ボルト、ステンレスボルトを選定し、比較として無処理ボルトを加えた。アルミニウム材料としては、最も多用されるA5083P-Oを選定した。無処理平板に対して、ボルトの接触部分の外観、孔食の有無を比較し、異種金属接合の影響の評価を実施する。

表－4.1.2　供試アルミニウム合金の成分組成

合金番号*)	厚さ(mm)	主　要　成　分**)						
A5083P-O	8	＜0.4	＜0.4	－	0.7	4.5	－	0.15
A5052P-H32	4	＜0.3	＜0.4	－	－	2.5	－	0.15
A5083S-H112	10	＜0.4	＜0.4	－	0.7	4.5	－	0.15

合金番号*)	備　　考	
	調質・形状*)	想定適応部位
A5083P-O	焼き鈍し軟質板	厚肉主要構造部材
A5052P-H32	1／4加工硬化板	薄肉補助板材
A5083S-H112	押出形材	特定形状補助部材

*)JIS H0001参照　　**)JIS H4000 H4100 参照

表-4.1.3　江戸川河口大気暴露1年経過回収試験片

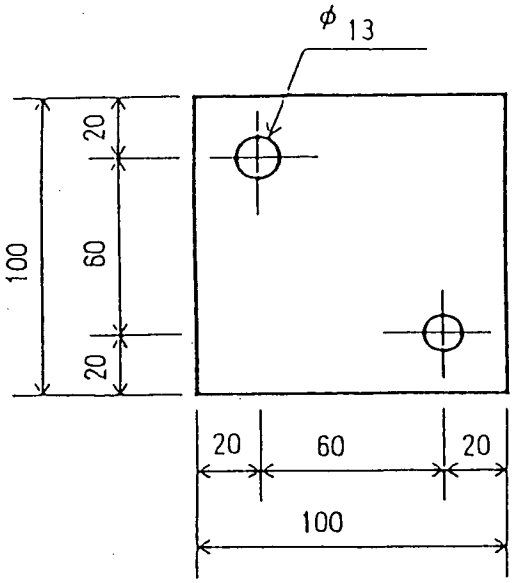
環境	試　験　片							形状	サンプル刻印番号
	区分	No	合金	溶接	塗装	寸法	付属品		
大気暴露	素材腐食	1	5083P-O	○	－	100×100	なし	A2	EA1
		2	5052P-H325						EB1
		3	083S-H112						EC1
		4	5083P-0		○				ED1
		5	5052P-H32						EE1
		6	5083S-H112						EF1
	すき間腐食	7	5083P-O	－	－		すき間形成材	B	EG1
	素材重量	8	5083P-O	－	－		なし	A1	EH1
	異種金属接触腐食	9	5083P-O	－	－	200×300	各種処理した鋼・ステンレス	E	EI1
		10			○				EJ1
	塗装の効果(追加)	11	5083P-O	－	A	100×100	なし	A3	8EG1
		12			B				8EH1

寸法：幅×長さ(mm)、形状：図1参照、すき間腐食試験：ASTM G78-89に準拠、

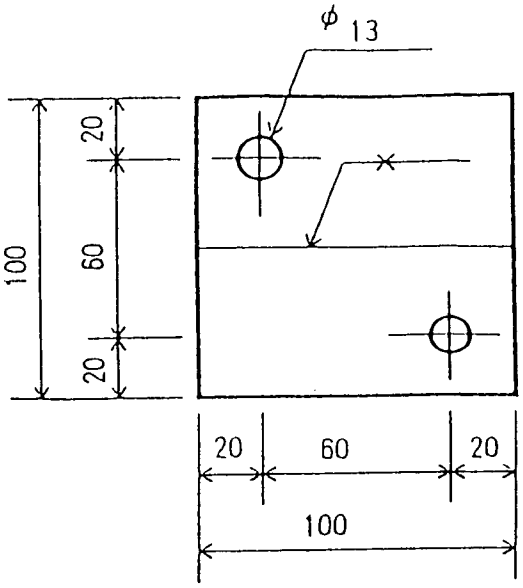
すき間形成材　ポリサルフォン樹脂-図－4.1.3参照、ボルト表面処理：図-4.1.1参照

③試験片寸法

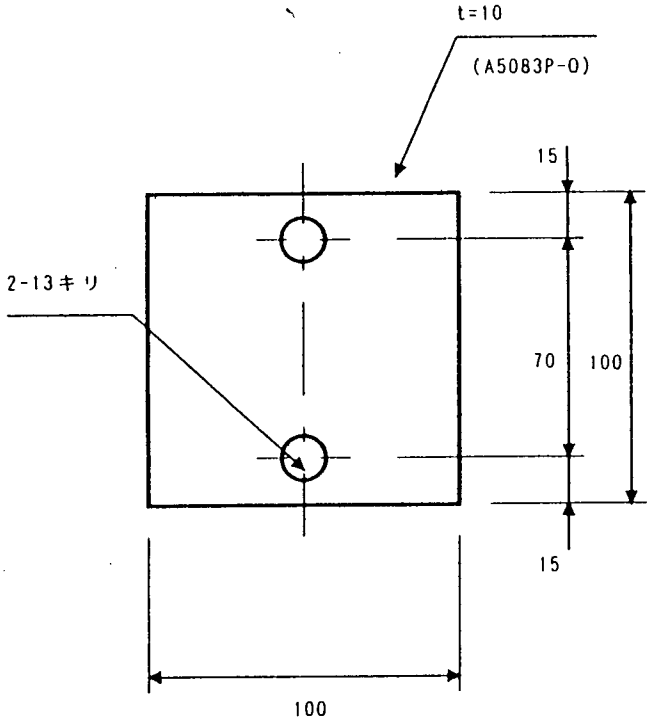
試験片形状の概略を図－4.1.1に示す。なお、A5083P-O材およびA5052P-H32材については所定の厚さの圧延材より所定の寸法に切り出して試験片とした。また、A5083S-H112については、巾100mmのC字押出形材から所定の寸法に切り出して試験片とした。



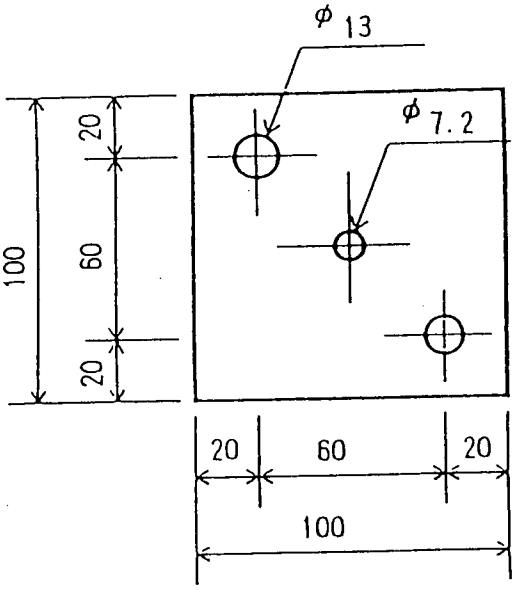
A1:重量測定用単体試験片

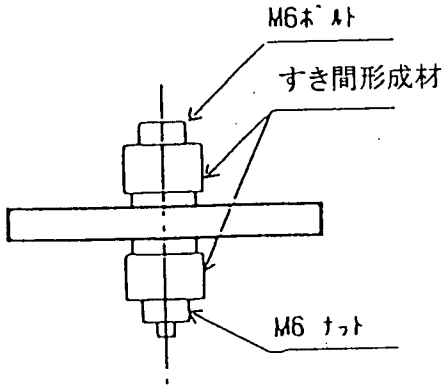


A2:溶接及び塗装用試験片



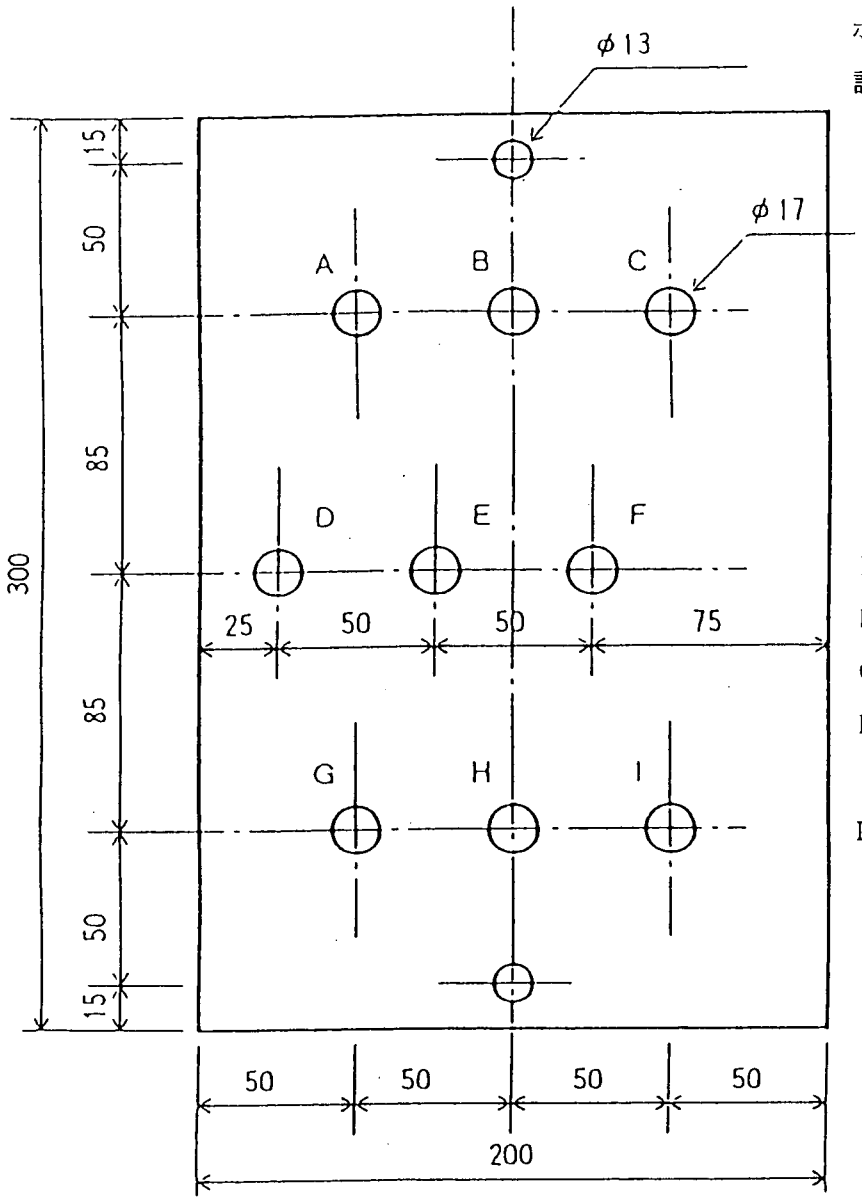
A3:追加塗装試験片





B:すき間腐食試験用試験片

図－4.1.1(1)　試験片形状概略



ボルト仕様

記号	ボルト	表面処理
A	SUS304	無処理
B	SUS304	Zn粉末入り化成処理(20g/m²) (Zn末+クロム塩+コバルト塩)
C	SUS304	Znメカニカルプレーティング +化成処理(20g/m²) (常乾Znめっき+クロメート皮膜)
D	SS400	電気Znめっき(60g/m²) (クロム酸処理)
E	SS400	溶融Znめっき(140g/m²)
F	SS400	溶融Alめっき
G	SS400	無処理
H	SS400	Zn粉末入り化成処理(20g/m²) (Zn末+クロム塩+コバルト塩)
I	SS400	Znメカニカルプレーティング +化成処理(20g/m²) (常乾Znめっき+クロメート皮膜)

E:ボルト接合試験片

図－4.1.1(2)　試験片形状概略

④溶接仕様

耐食性に及ぼす溶接の影響を調査するために、一部の供試材に溶接を施した。その際、10mmt試験片(A5083P-OおよびA5083S-H112)の場合には図－4.1.2のような開先形状に加工し、 5mmt試験片(A5052P-H32)の場合には開先をとらず、突き合わせた材料をTIG(Tungusten Innert GAS)法によって溶接 した。溶加材(線材)としてA5183W合金を用いた。溶加材の成分を表－4.1.4に示す。

表－4.1.4　溶加材の成分

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
－	－	－	0.05-0.1	4.3-5.2	0.05-0.25

⑤塗装仕様

耐食性に及ぼす塗装の効果を調査するため、一部の供試材に塗装を施した。その際の塗装の仕様には、将来の有機溶剤規制と景観性に重点を置き、既に開始されていた七ヶ宿ダム湖における水中暴露試験の塗装仕様に準じ決定し、平成7年度に暴露試験を開始した。また、平成8年度に塗装の効果をさらに調査するため、追加試験片の暴露を開始した。塗装の仕様を表－4.1.5に示す。

表－4.1.5　塗装仕様

塗装試験片	素地調整	プライマー μm	下塗装 μm	上塗り μm
平成7年度暴露 開始試験片	シンナー	ウォッシュプライマー 10	エポキシ 80	ポリウレタン 10
平成8年度暴露 開始試験片　A	シンナー	ウォッシュプライマー 10	エポキシ 80	ポリウレタン 30
平成8年度暴露 開始試験片　B	シンナー	ウォッシュプライマー 10	エポキシ 80	ふっ素 30

⑥すき間形成材

すき間腐食を考慮するために、一部の供試材にすき間形成材を装着した。その場合のすき間形成材には、先にステンレス鋼材の暴露試験に使用されたものと同一のASTM G78に準じたポリサルフォン樹脂製のマルチクレビスアセンブリを使用した。すき間形成材は締め付けトルク0.9kgf･mで装着した。

(2)回収試験片の調査方法

①試験片取り外し

工具を用いて試験片を取り付け枠から取り外した。

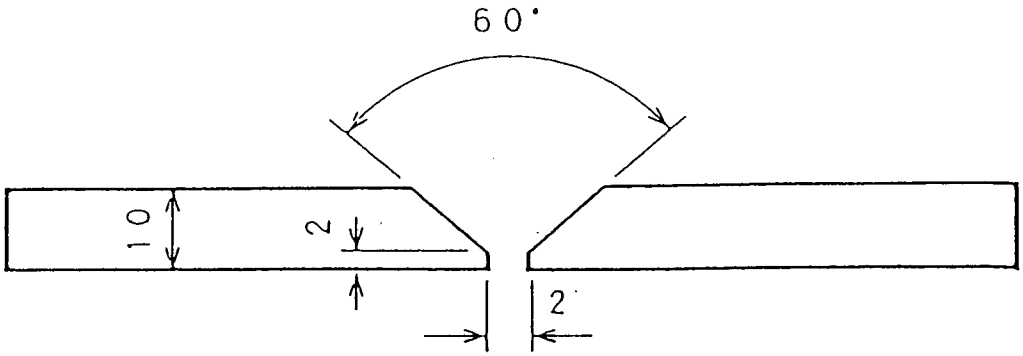
②碁盤目はく離試験

塗装試験片に対して、碁盤目はく離試験を行い塗膜密着性を評価した。碁盤目はく離試験は、JIS　K5400に準拠し、間隔は2mm目、塗膜ふくれ部および孔食発生部は避けておこなった。

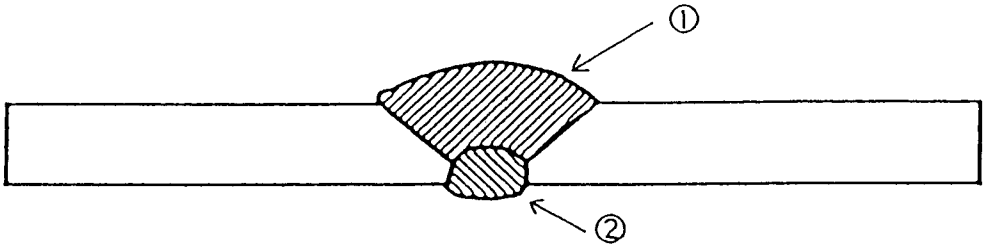
③腐食生成物、塗膜および付着物の除去

試験片及び表面処理ボルトの腐食生成物、塗膜及び付着物の除去を行う。各処理の後、十分に水洗、乾燥を行う。

・無処理試験片は、2%CrO_3+5%$H3PO_4$水溶液中で10分間煮沸して腐食生成物の除去を行った。

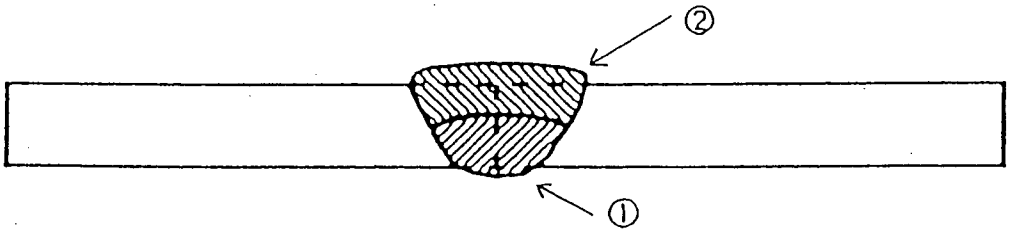


a）A5083P−O，A5083S−H112　10mmt 試験片の開先形状



b）A5083P−O，A5083S−H112　10mmt 試験片のビード形状模式

パス	方式	溶接棒 材質	径(mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	姿勢
①	TIG	A5183-BY	3.2	290	28	100	下向
②	TIG	A5183-BY	3.2	200	24	100	下向



c）A5052P−H32　5mmt 試験片のビード形状模式

パス	方式	溶接棒 材質	径(mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	姿勢
①	TIG	A5356-BY	3.2	260	26	100	下向
②	TIG	A5356-BY	3.2	240	24	100	下向

図−4.1.2　各試験片の溶接仕様

・塗装試験片は塗膜除去材により塗膜はく離した。

・表面処理ボルトはナイロンブラシで擦りながら水洗し、無処理の鋼ボルトは濃塩酸+$SnCl_2$50g/l+$SbCl_3$20g/lの溶液に室温浸漬し、ナイロンブラシで擦る。

④腐食生成物、塗膜および付着物の除去

腐食生成物、塗膜および付着物の除去後の外観写真を撮影した。

・すき間形成部、ボルト接触部に関しては拡大写真を撮影した。

⑤重量測定

試験前後での重量変化を調査するため、腐食速度測定試験片(EH1)および各種ボルトの重量を測定した。

⑥腐食部断面写真

各供試材の代表的な腐食部について、腐食部断面の写真を撮影した。

4.1.2 調査結果

(1)腐食生成物、塗膜はく離および表面洗浄後の外観写真

腐食生成物除去及び塗膜はく離後の外観写真を写真－4.1.1に示す。

無塗装の試験片では軽度な孔食が見られるが、塗装試験片では塗膜が健全であったため、腐食の発生は見られない。

すき間腐食試験用のEG1については、すき間部拡大写真を写真－4.1.2に示す。

すき間形成部と通常部の界面付近に軽度な腐食が見られるが、すき間内部までは腐食は進行していない。

また、EI1とEJ1にていては、接触部の拡大写真を写真－4.1.3, －4.1.4に示す。

EI1(5083P-O　塗装無し)については、無処理SUSと無処理鋼ボルトとの接触部では、腐食が発生しているが、その他の部位では変色があるものの孔食の発生は見られない。

EJ1(5083P-O　塗装有り)については、塗膜による完全に保護され腐食は見られない。

(2)碁盤目はく離試験

大気暴露試験における塗膜の密着性を調査するため塗装試験片(ED1、EE1、EF1、8EG1、8EH1)に対して碁盤目はく離試験を実施した。試験結果を表－4.1.6に示す。

塗装試験片の塗膜には、外観上はがれやふくれもなくい。さらに、碁盤目はく離試験でもはく離した塗膜はなく強固な密着性が保持されており、塗装により効果的に防食されている。

表－4.1.6　碁盤目はく離試験結果

試験片		碁盤目はく離個数
ED1	5083P-O	0／100
EE1	5052P-H32	0／100
EF1	5083S-H112	0／100
8EG1	5083P-O	0／100
8EH1	5083P-O	0／100

(3)色調および光沢度

平成8年度に暴露試験を追加開始した試験片(8EG1、8EH1)の色調と光沢度を測定した。その結果を表－4.1.7に示す。暴露試験により、明度および光沢度が低下している。これは、ほこりの付着等が原因と考えられる。

表-4.1.7　江戸川大気暴露試験片の色調と光沢度(暴露1年試験片)

No.	暴露前色調				暴露後色調			
	L^*	a^*	b^*	光沢度	L^*	a^*	b^*	光沢度
8EG1	87.58	-0.24	-0.93	54.8	74.10	-0.06	1.75	16.8
8EH1	88.62	-0.32	-1.09	44.7	74.51	-0.10	1.09	17.7

(4)重量測定

・腐食速度測定用試験片

腐食速度測定試験片(EH1)の重量を測定し、試験前後での重量変化より腐食速度を求めた。腐食速度は、重量変化から式(1)、(2)により算出した。その結果を表－4.1.8(1)に示す。

腐食重量減少　＝　暴露前後の重量変化／試験片面積　　・・・式(1)

腐食板厚減少　＝　腐食重量減少／アルミニウム合金の概略密度　　・・・式(2)

・ボルトの重量減少

異種金属接合の影響調査用試験片(EI1、EJ1)に取り付けたボルトの試験前後の重量変化を測定した。その結果を表－4.1.8(2)に示す。

表－4.1.8(1)　腐食速度測定用試験片の重量減少

試験片	暴露前重量 (g)	試験後重量 (g)	腐食重量減少 (mg/cm^2)	腐食板厚減少 (μm)
EH1　5083P-O	264.370	264.087	2.83	10
備考　：　試料の投影面積=100cm^2、概略密度2.7g/cm^2				

表－4.1.8(2)　ボルトの暴露試験による重量減少

供試材		重量減少(g)	
		EI1と接触	EJ1と接触
ボルト	表面処理	5083P-O塗装無し	5083P-O塗装有り
ステンレス鋼	無処理	1.069	1.070
	Zn粉末入り化成処理	1.076	1.082
	Znメカニカルプレーティング+化成処理	1.072	1.077
普通鋼	電気Znめっき	1.085	1.093
	溶融Znめっき	1.056	1.061
	溶融Alめっき	1.062	2.332
	無処理	2.288	2.332
	Zn粉末入り化成処理	1.112	1.334
	Znメカニカルプレーティング+化成処理	1.108	1.106

(5)孔食深さ

暴露試験後の孔食深さを焦点深度法により測定した。溶接試験片では通常部、熱影響部及び溶接部を測定し、すき間腐食試験片では通常部及びすき間腐食部の測定を行った。異種金属接合の影響を調査した試験片では、ボルト接触部の孔食深さを測定した。その結果を表－4.1.9に示す。

塗装試験片ではいずれの試験片にも孔食は見られず塗膜により完全に防食されていた。

EA1、EB1の通常及び熱影響部では明瞭な孔食が見られたが、溶接部では溶接に生じた凹凸と区別がつかない(但し、測定データは記載しておく)。また、EC1の腐食は表面のみの軽微なものであった。

EG1のすき間形成部での孔食深さは、通常部とほぼ同じである。

異種金属接合の影響を調査したEI1とEJ1においては、塗装を施したEJ1では塗装の効果により孔食の発生は見られなかった。

無処理のEI1では無処理SUS及び無処理鋼との接触部に孔食が見られたが、表面処理したボルトでは一部変色が見られるが、孔食の発生はなかった。

これらの結果では、Zn粉末入り化成処理、Znメカニカルプレーティング+化成処理が接触腐食防止効果が最も高いと考えられる。

(8)腐食部断面写真

腐食発生した供試材について、代表的な腐食部の断面写真を撮影した。その結果を写真－4.1.5,－4.1.6に示す。溶接部の断面は腐食でなく溶接により生じた凹凸かもしれない。

無処理のステンレスボルトに接していた部分では、20～30μm、無処理の鋼ボルトに接していた部位では40～50μmの孔食深さであった。

4.1.3 まとめ

江戸川河口の大気暴露環境下で、1年間暴露した試験片を回収し、調査した。

素材の腐食速度は、5083P-Oで、板厚減少量10μmであった。

塗装試験片では、いずれの試験片でも孔食は見られず塗膜により完全に防食されていた。

無塗装試験片では、いずれも孔食が認められたが、深さ20μm以下の軽微なものであった。また、溶接部や溶接近傍部、すき間形成部で も顕著な腐食は見られなかった。

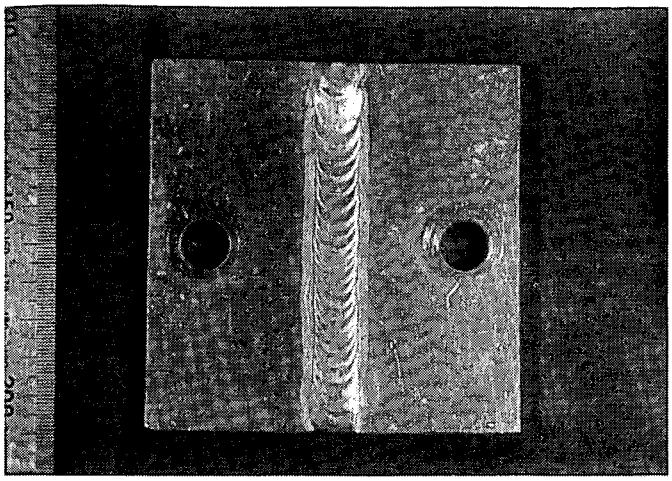
異種金属接合の影響については、塗装試験片では塗装の効果により完全に防食されており孔食の発生は見られなかった。無塗装試験片では、無処理SUS接触部で20～30μm、無処理鋼接触部で40～50μmの孔食が見られたが、表面処理ボルトでは表面の変色が認められたが、孔食の発生は見られなかった。ボルトの表面処理としては、Zn粉末入り化成処理、Znメカニカルプレーティング+化成処理が接触腐食防止に有効である。

表－4.1.9(1)　孔食深さ測定結果

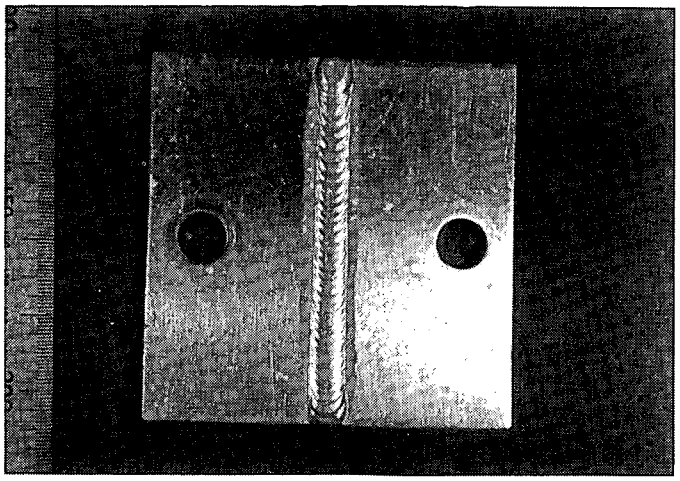
サンプ刻印番号	合金	溶接	塗装	孔食測定部位	孔食深さ(μm)
EA1	5083P-O	○		一般部	19, 10, 10, 18, 13, 12, 15, 14, 17, 11
				熱影響部	14, 13, 10, 15, 16, 14, 13, 10, 13, 15
				溶接部	8, 11, 5, 10, 9, 4, 12, 8, 6, 12
EB1	5052P-H32	○		一般部	10, 13, 11, 15, 11, 14, 10, 16, 11, 15
				熱影響部	16, 10, 11, 13, 12, 10, 15, 14, 9, 7
				溶接部	11, 9, 12, 10, 4, 8, 10、5, 11, 8
EC1	5083S-H112	○		一般部	4, 5, 6, 5, 6, 5, 5, 6, 5, 4
				熱影響部	2, 3, 5, 5, 6, 7, 4, 5, 3, 5
				溶接部	11, 8, 10, 6, 10, 5, 8, 6, 10, 9
ED1	5083P-0	○	○	一般部	健全　孔食無し
				熱影響部	健全　孔食無し
				溶接部	健全　孔食無し
EE1	5052P-H32	○	○	一般部	健全　孔食無し
				熱影響部	健全　孔食無し
				溶接部	健全　孔食無し
EF1	5083S-H112	○	○	一般部	健全　孔食無し
				熱影響部	健全　孔食無し
				溶接部	健全　孔食無し
EG1	5083P-O			一般部	15, 16, 18, 12, 10, 11, 11, 13, 14, 15
	(すき間形成)			すき間部	10, 15, 11, 15, 10, 9, 13, 11, 13, 6
EH1	5083P-O			一般部	12, 13, 15, 18, 19, 20, 22, 11, 18, 20

表－4.1.9(2)　異種金属接合の影響調査試験片のボルト接触部の孔食深さ

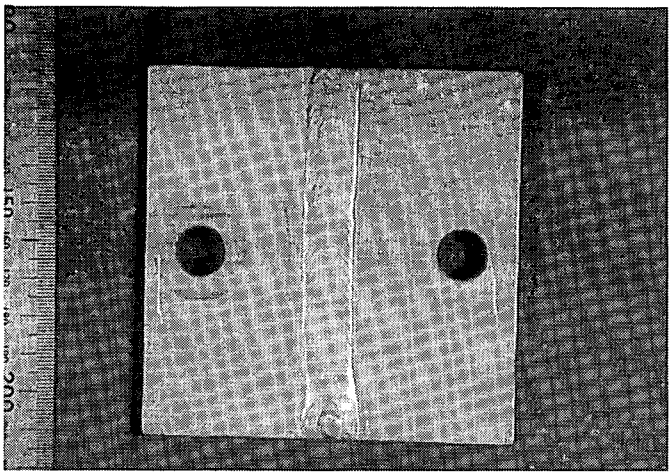
供試材		孔食深さ(μm)	
ボルト	表面処理	EI1(塗装無し)のボルト部	EJ1(塗装有り)のボルト部
ステンレス鋼	無処理	27, 30, 28, 34, 26, 20, 23, 15, 22, 24	異常なし
	Zn粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
	Znメカニカルプレーティング+化成処理	異常なし	異常なし
普通鋼	電気Znめっき	接触部は変色しているが孔食ない	異常なし
	溶融Znめっき	接触部は変色しているが孔食ない	異常なし
	溶融Alめっき	接触部は変色しているが孔食ない	異常なし
	無処理	46, 48, 45, 33, 40, 32, 18, 42, 49, 31	異常なし
	Zn粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
	Znメカニカルプレーティング+化成処理	異常なし	異常なし



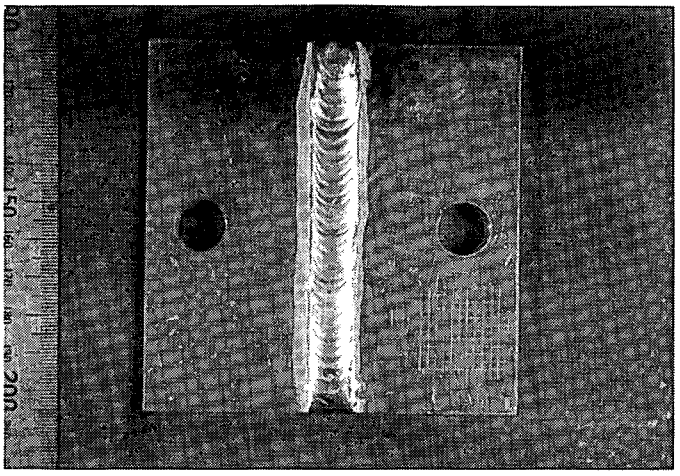
EA1(5083P-0　溶接有り、塗装無し)



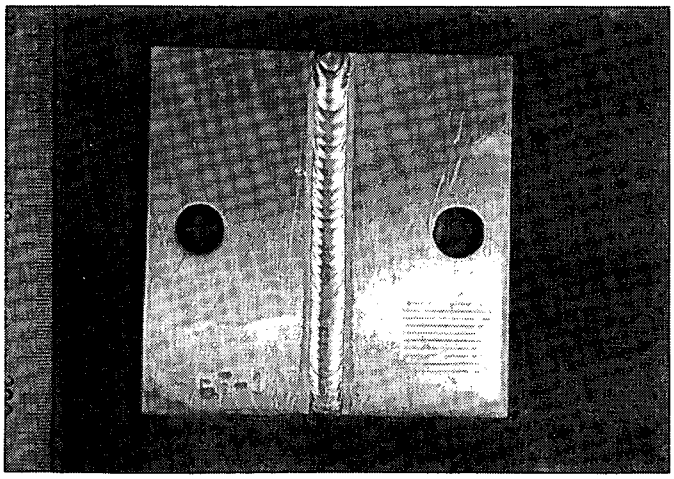
EB1(5052P-H32　溶接有り、塗装無し)



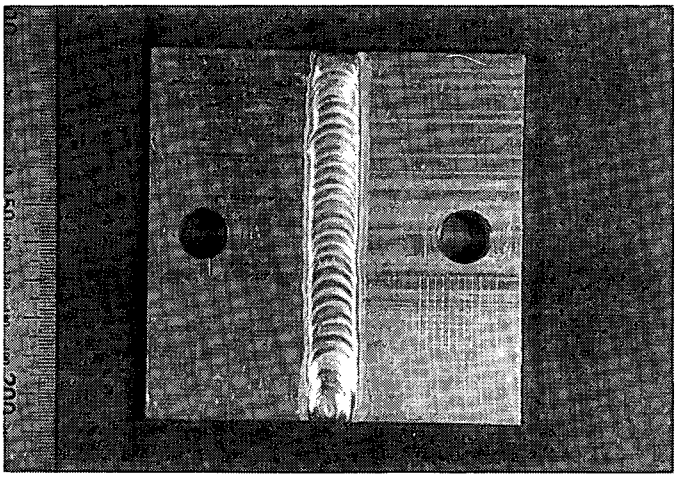
EC1(5083S-H112　溶接有り、塗装無し)



ED1(5083P-O　溶接有り、塗装有り)

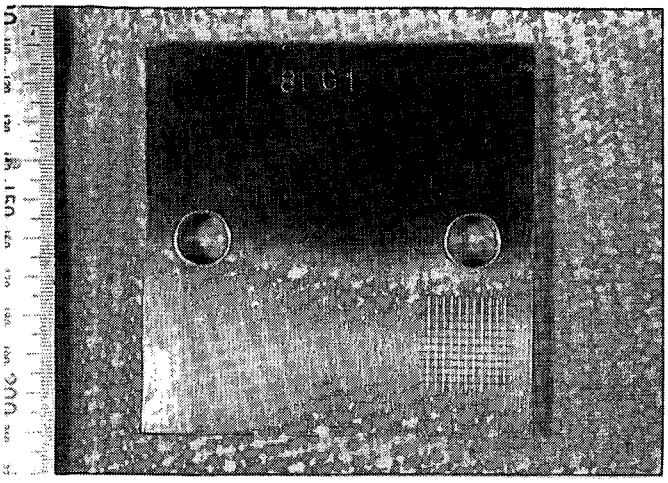


EE1(5052P-H32　溶接有り、塗装有り)

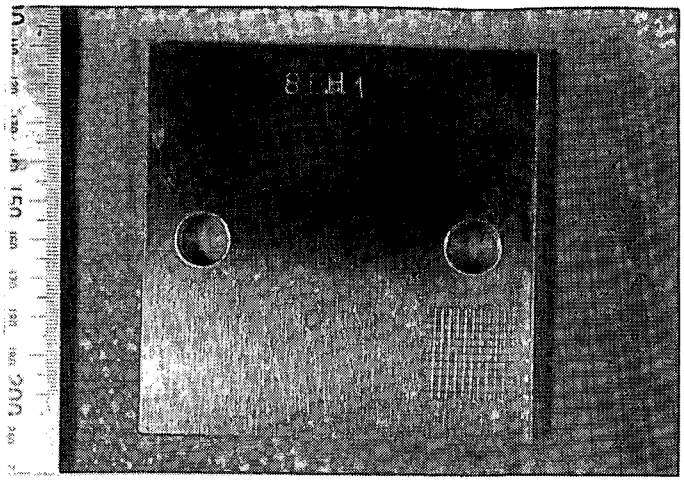


EF1(5083S-H112　溶接有り、塗装有り)

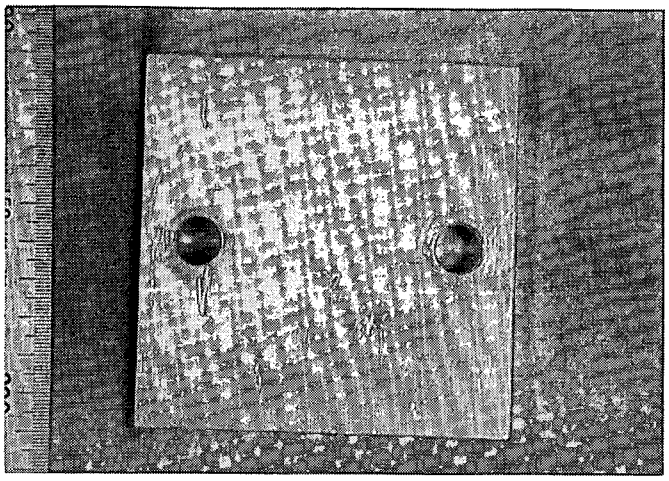
写真－4.1.1(1) 腐食生成物および塗膜除去後の外観写真



8EG1(5083P-O　塗装追加試験片)

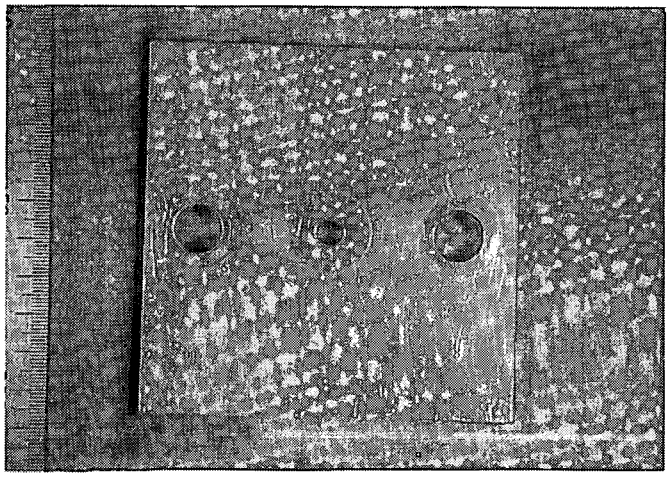


8EH1(5083P-O　塗装追加試験片)

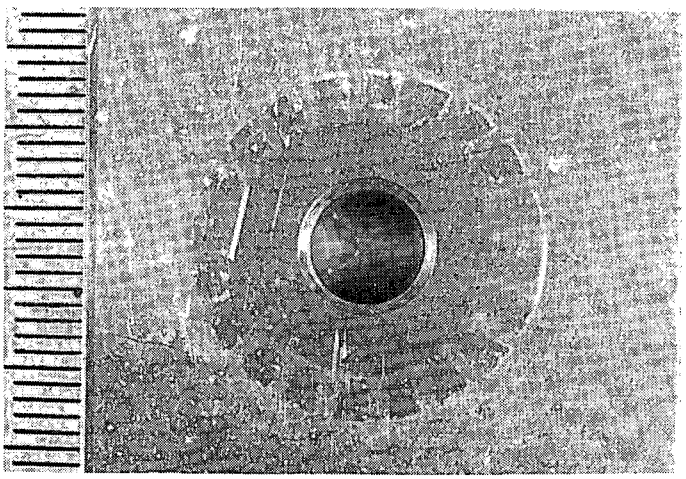


EH1(5083P-O　重量測定)

写真－4.1.1(2) 腐食生成物および塗膜除去後の外観写真試験

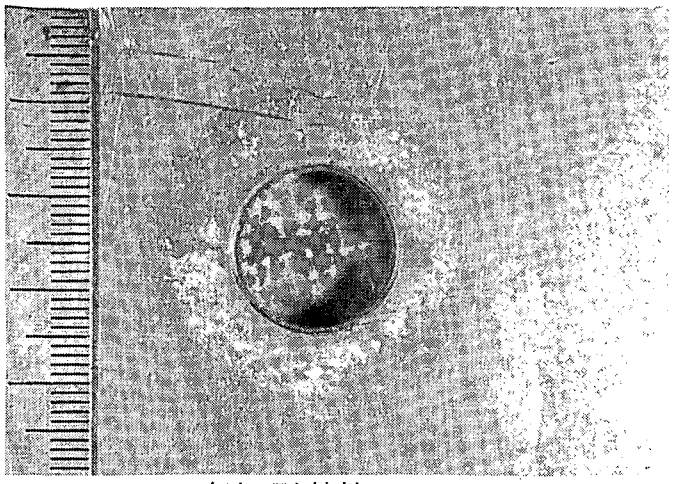


外観写真

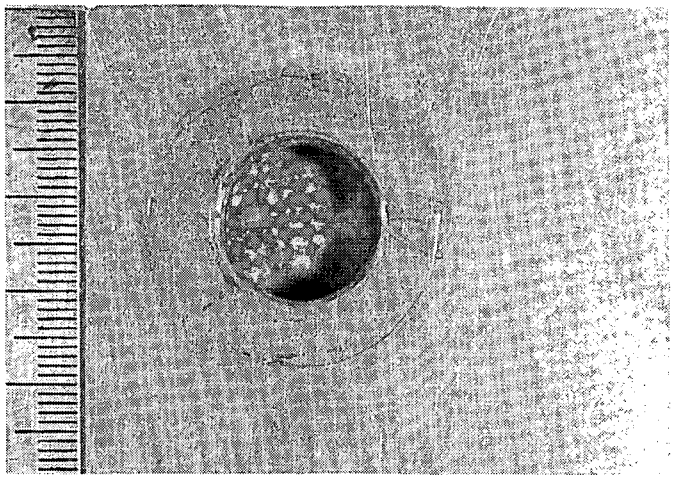


すき間部拡大写真

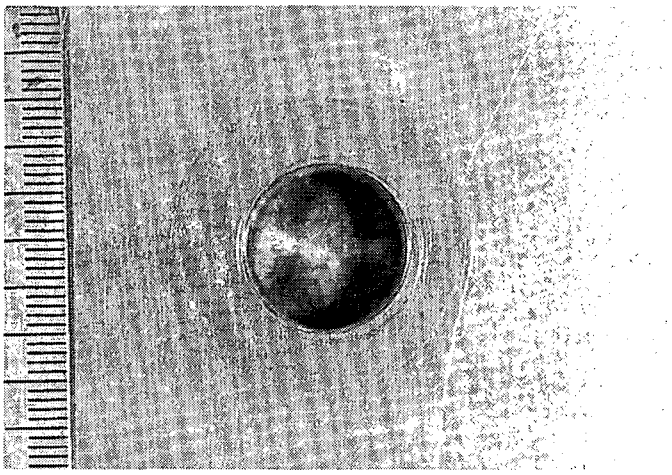
写真－4.1.2　すき間腐食試験片EG1の腐食生成物除去後の外観及びすき間部拡大写真



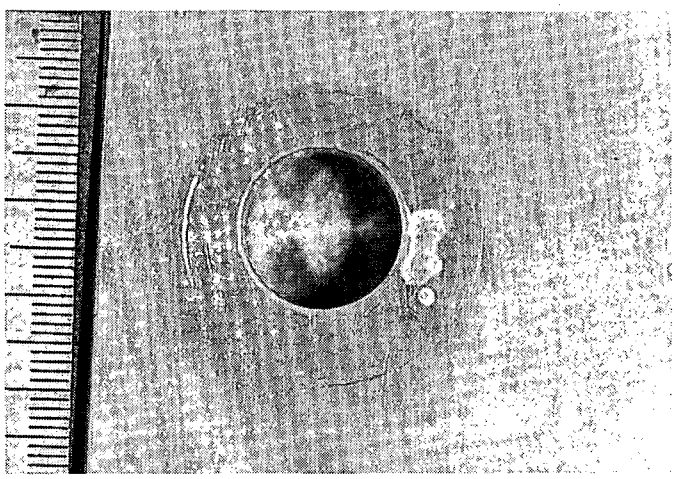
SUS304　無処理と接触



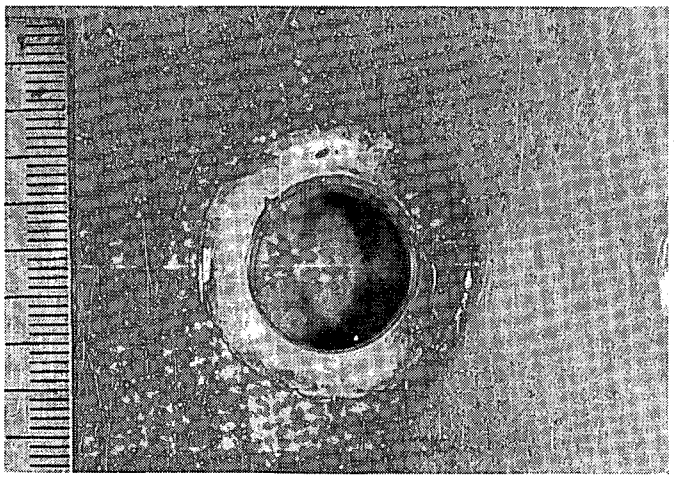
SUS304　Zn粉末入り化成処理と接触



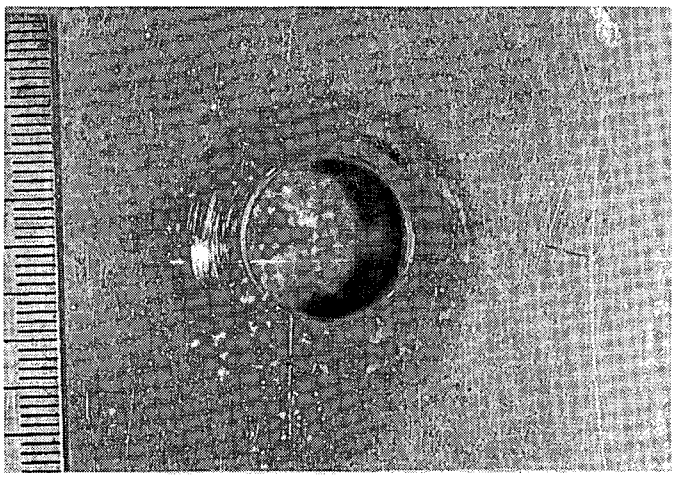
SUS304　Znメカニカルプレーティング
+化成処理と接触



SS400　電気Znめっきと接触

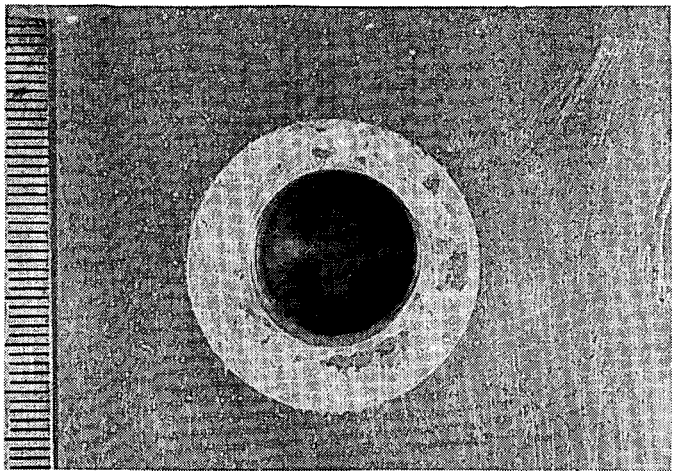


SS400　溶融Znめっきと接触

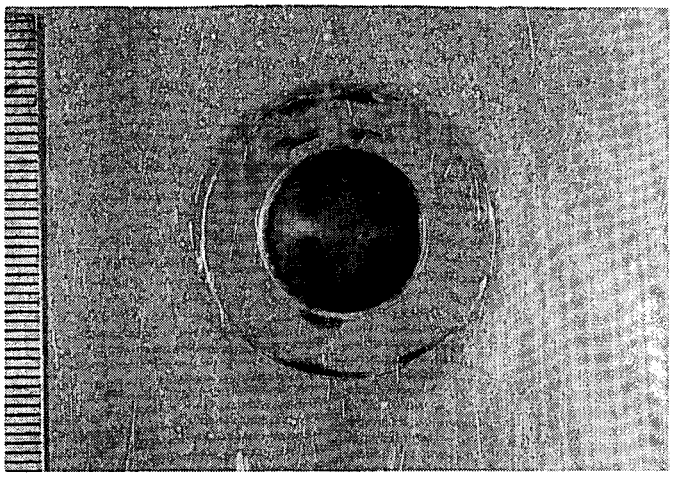


SS400　溶融Alめっきと接触

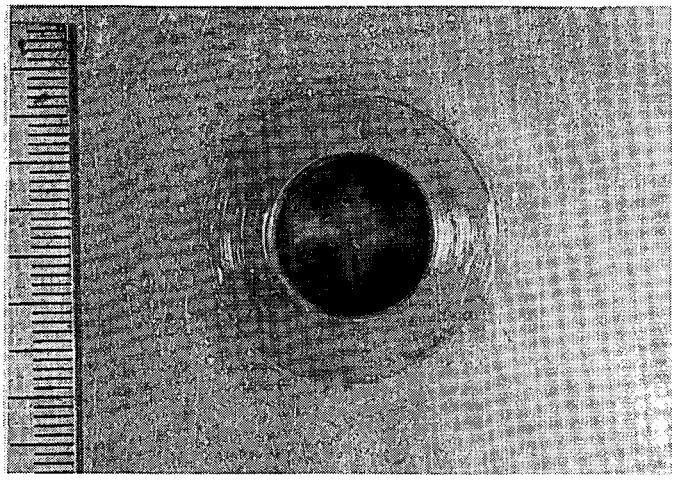
写真－4.1.3(1)　EI1(5083P-O、無処理)腐食生成物除去後のボルト接触部拡大写真



SS400　無処理と接触

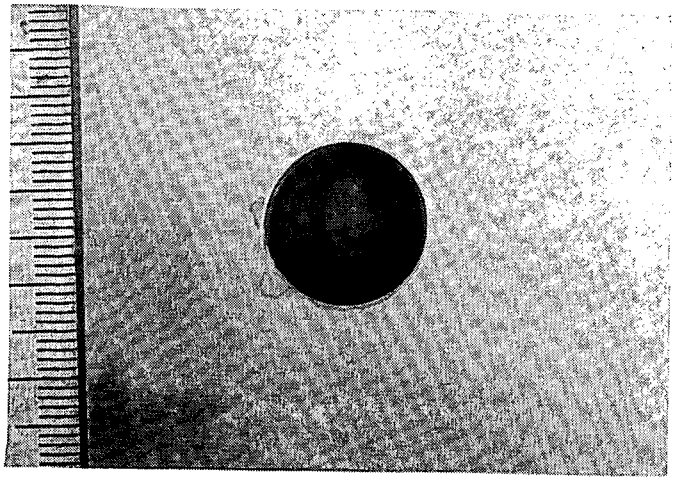


SS400　Zn粉末入り化成処理と接触

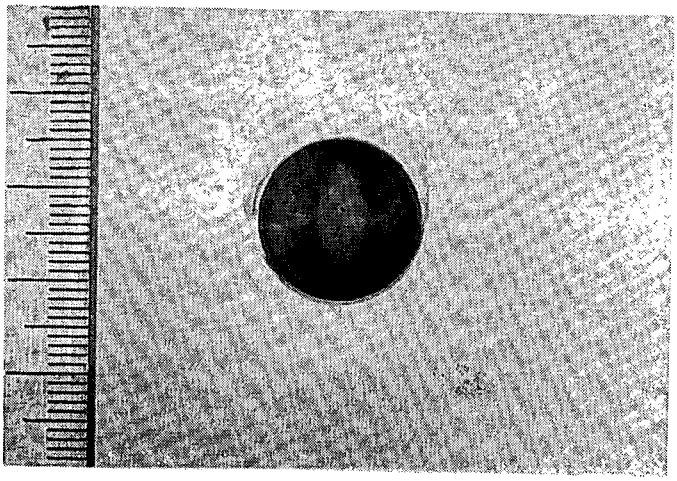


SS400　Znメカニカルプレーティング
+化成処理と接触

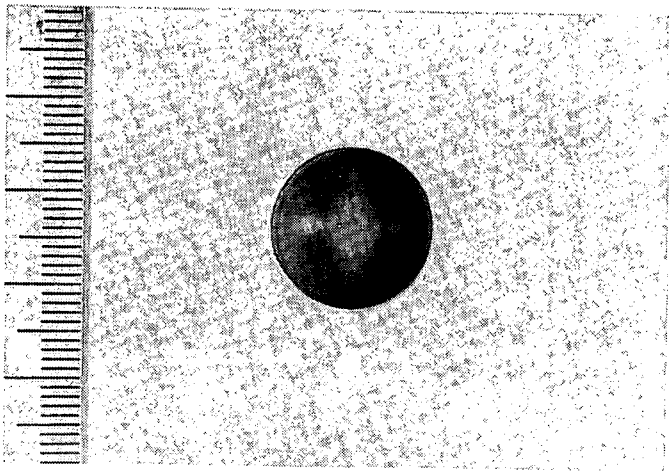
写真－4.1.3(2)　EI1(5083P-O、無処理)腐食生成物除去後のボルト接触部拡大写真



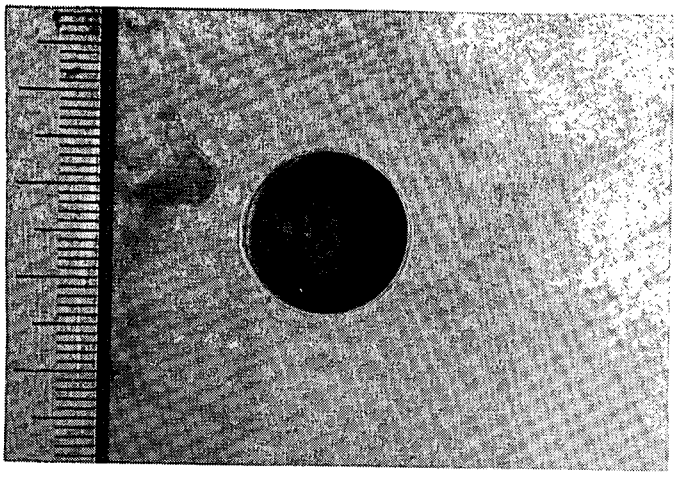
SUS304　無処理と接触



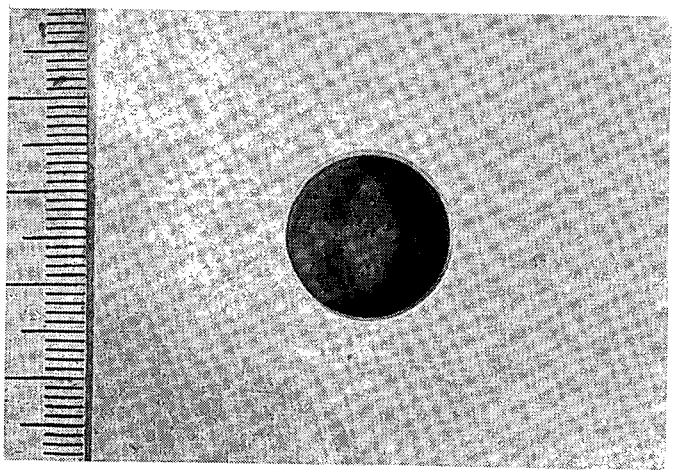
SUS304　Zn粉末入り化成処理と接触



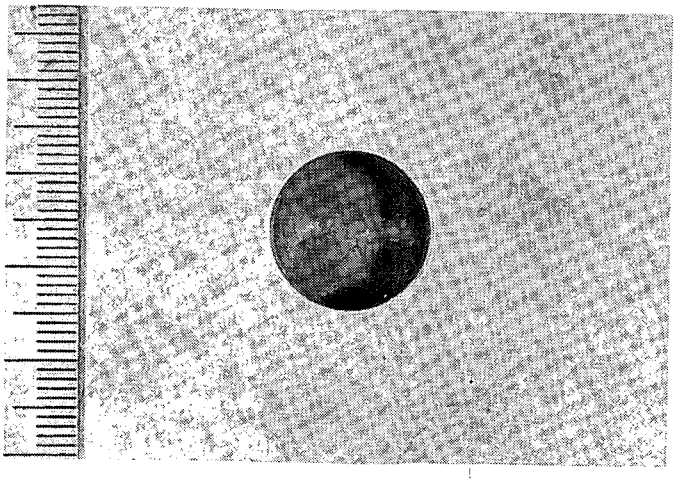
SUS304　Znメカニカルプレーティング
+化成処理と接触



SS400　電気Znめっきと接触

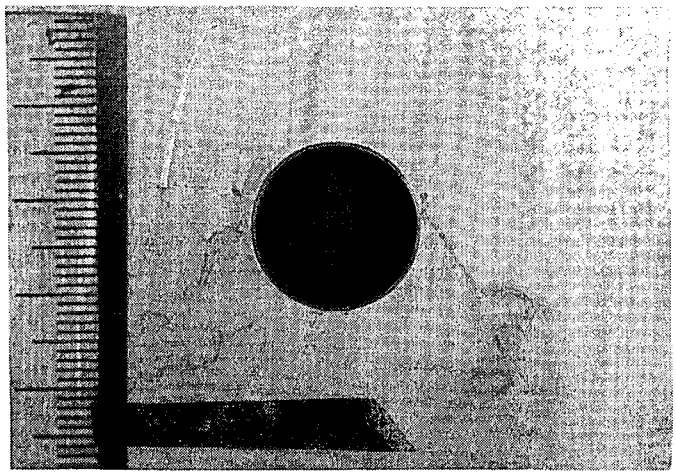


SS400　溶融Znめっきと接触

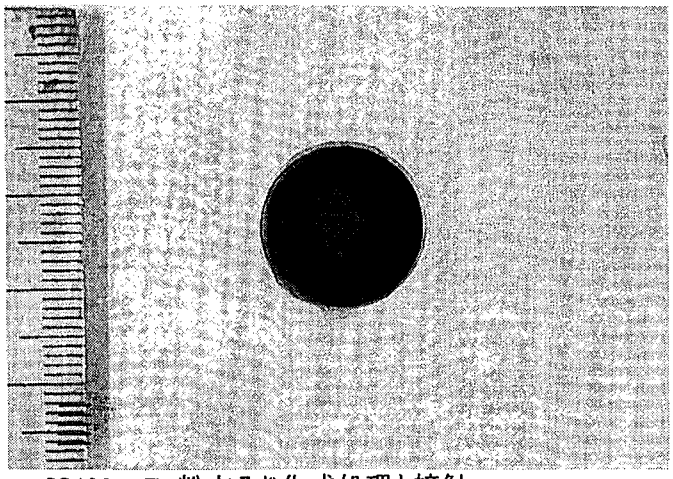


SS400　溶融Alめっきと接触

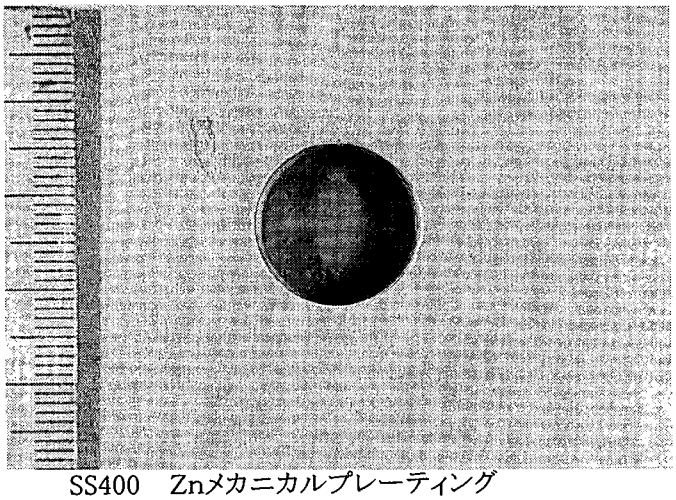
写真－4.1.4(1)　EJ1(5083P-O、塗装有り)塗膜はく離後のボルト接触部拡大写真



SS400　無処理と接触

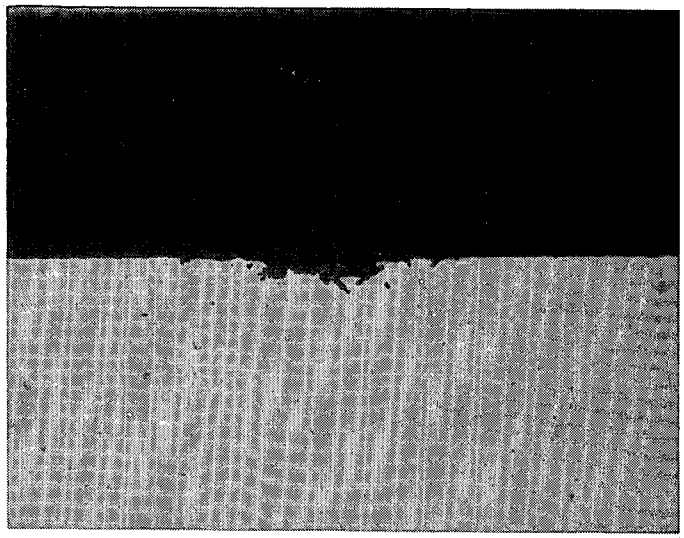


SS400　Zn粉末入り化成処理と接触

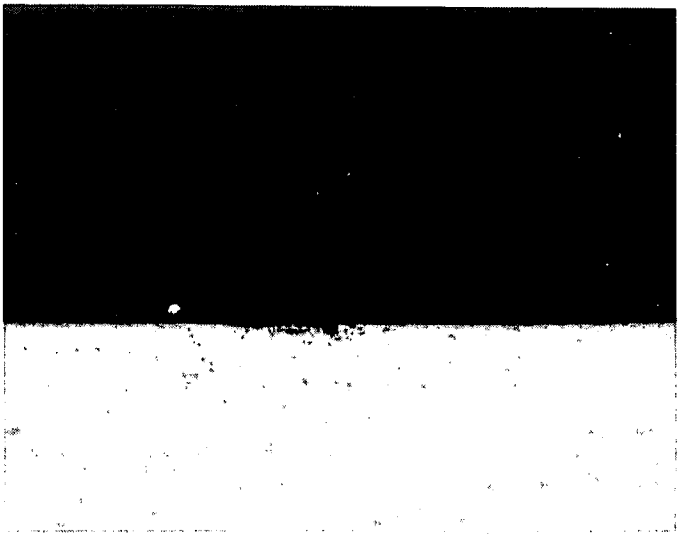


SS400　Znメカニカルプレーティング
+化成処理と接触

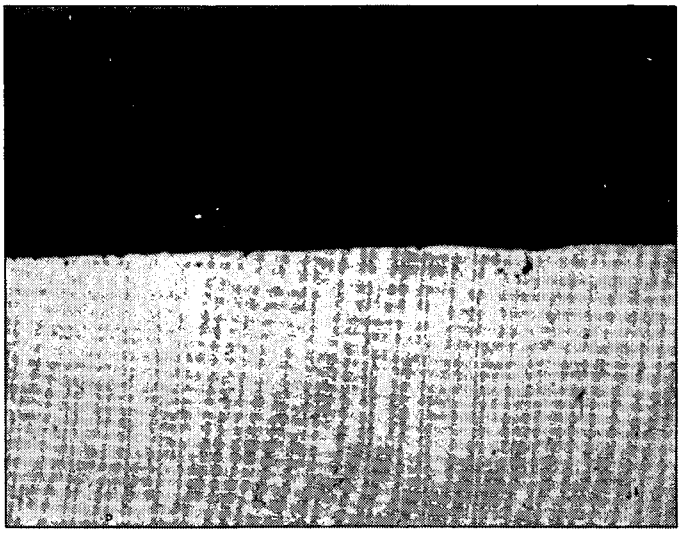
写真－4.1.4(2)　EJ1(5083P-O、塗装有り)塗膜はく離後のボルト接触部拡大写真



通常部

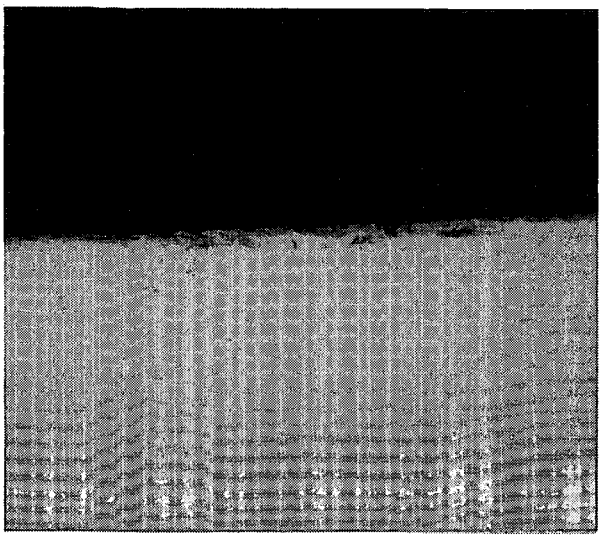


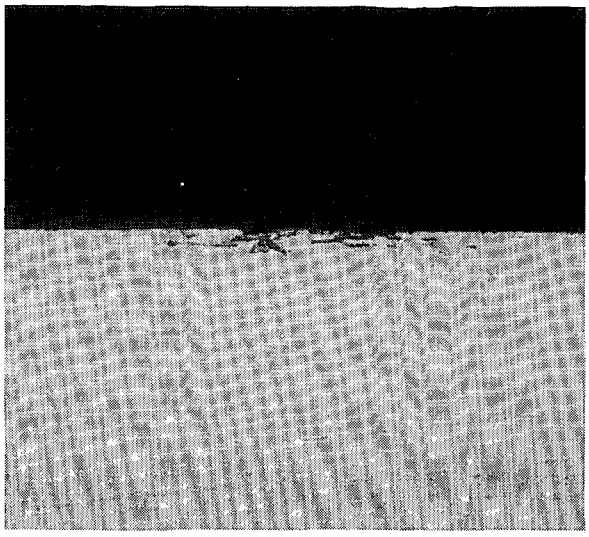
溶接熱影響部



溶接部

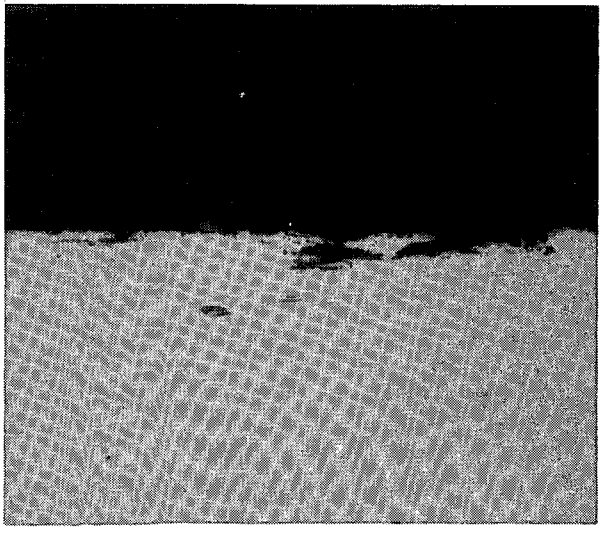
写真－4.1.5　EA1(5083P-O、塗装無し)の腐食部断面写真　　—— 50μm

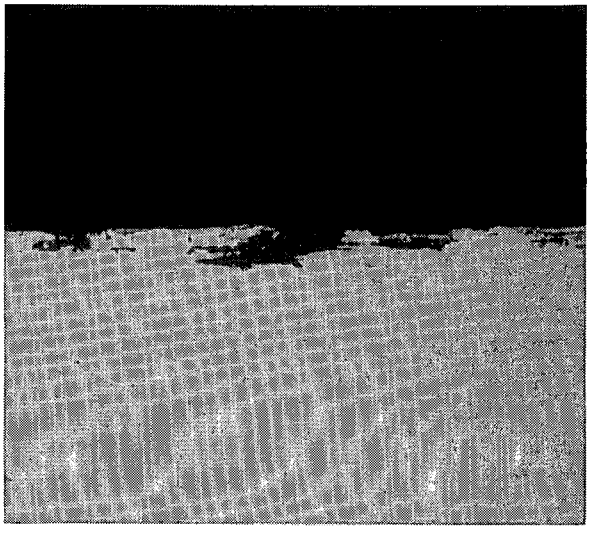




通常部　　すき間形成部

写真－4.1.5(2)　ＥＧ１(5083P-O、塗装無し)の腐食部断面写真　　50μm





ステンレス無処理ボルトとの接触部　　無処理鋼ボルトとの接触部

写真－4.1.6　ＥＩ１(5083P-O、塗装無し)のボルト接触部の腐食部断面写真　　50μm

4.2 親不知暴露試験

河川・ダム施設へのアルミニウム材料の適応に関する検討の一環として、表－4.2.1に示す基礎計画に基づき親不知海岸において各種アルミニウム合金の暴露腐食試験を実施した。

本報告は、平成8年に回収した1年大気暴露試験片の腐食状況に関する調査結果である。

表－4.2.1　暴露試験の基礎計画

暴露試験における注目点	暴露条件	暴露開始	実施年度			
			1年目	3年目	5年目	10年目
1．素材の腐食速度 2．溶接部の影響 3．塗装の効果 4．すき間の影響 5．異種金属接合の影響	大気	H7	H8	H10	H12	H17
6．塗装の効果（追加）		H8	H9	H11	H13	H18

4.2.1 試験方法

(1)試験片の基本仕様

1)アルミニウム合金種類

適応用途から、強度と耐食性を考慮し、A5083P－O，A5052P－H32，およびA5083S－H112の3種アルミニウム合金を選定した。それらの成分組成を表－4.2.2に示す。

表－4.2.2　供試アルミニウム合金の成分組成

合金番号*)	厚さ (mm)	主要成分**)						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
A5083P-0	8	<0.4	<0.4	-	0.7	4.5	-	0.15
A5052P-H32	4	<0.3	<0.4	-	-	2.5	-	0.25
A5083S-H112	10	<0.4	<0.4	-	0.7	4.5	-	0.15

合金番号*)	備考	
	調質・形状*)	想定適応部位
A5083P-0	焼鈍し軟質板	厚肉主要構造部材
A5052P-H32	1/4加工硬化板	薄肉補助板材
A5083S-H112	押出形材	特定形状補助部材

*）ＪＩＳH0001参照　　**）ＪＩＳH4000　H4100参照

2)供試材および評価方法

表－4.2.1に示した暴露試験における各注目点に関し、試験片の形態および評価方法について以下の様に基本的に定めた。それらに基づいて表－4.2.3（1）および（2）の試験片を選択した。

①素材の腐食速度：無処理平板（A5083P－O，A5052P－H32，A5083S－H112）の腐食重量減少および孔食深さによる。比較として、SUS304，SUS316材も加えた。

②溶接部の影響　：溶接接合した試験片を用い、溶接部，溶接熱影響部と非接合部の外観，孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。

③塗装の効果　　：塗装試験片を用い同種無塗装板との外観，孔食深さおよび孔食密度を相対比較する。

④すき間の影響　：ASTM G78に準拠したすき間形成材を装着し、その部分のすき間腐食性を評価する。

⑤異種金属接合の影響　：河川・ダム施設で実際に生じる異種金属接合を想定し、接触異種金属として各種表面処理を施した鋼ボルト，ステンレスボルトを選定した。比較として無処理ボルトを加えた。アルミニウム材料としては、最も多用されるA5083P－Oを選定した。ボルトの種類について詳細を表－4.2.4に示す。無処理平板に対し、ボルトの接触部分の外観，孔食の有無を比較し、異種金属接合の影響の評価を実施する。

表－4.2.3(1)　親不知海岸における大気暴露試験片仕様概略

試験片仕様								取付時期	回収時期（年）			
区分	記号	合金	溶接	塗装	寸法（mm）	付属品等	形状		1	3	5	10
素材腐食	OA	5083P-O	○	－	100×100	なし	A2	H7	H8	H10	H12	H17
	OB	5052P-H32						H7	H8	H10	H12	H17
	OC	5083S-H112						H7	H8	H10	H12	H17
	OD	5083P-O		○				H7	H8	H10	H12	H17
	OE	5052P-H32						H7	H8	H10	H12	H17
	OF	5083S-H112						H7	H8	H10	H12	H17
すき間腐食	OG	5083P-O	－	－	100×100	すきま形成材	B	H7	H8	H10	H12	H17
素材腐食（重量減少）	OH	5052P-H32	－	－	100×100	なし	A1	H7	H8	H10	H12	H17
異種金属接触腐食	OI	5083P-O	－	－	200×300	各種ボルト	E	H7	H8	H10	H12	H17
	OJ			○				H7	H8	H10	H12	H17

表－4.2.3(2)　親不知海岸における大気暴露試験片仕様概略

素材腐食 ＜参考＞	0K 0L	SUS304 SUS316	－	－	100× 100	なし	A1	H7 H7	H8 H8	H10 H10	H12 H12	H17 H17
塗装の効果 ＜追加＞	80A 80B	5083P-0	－	○	100× 100	なし	A1	H8	H9	H11	H13	H18
備考	①試験片厚さ　：１０ｍｍ程度 ②塗装仕様　：シンナー拭き，ウォッシュプライマー１０μｍ， エポキシ樹脂８０μｍ，ポリウレタン樹脂１０μｍ 追加試験(80A)：シンナー拭き，ウォッシュプライマー１０μｍ エポキシ樹脂８０μｍ，ポリウレタン樹脂３０μｍ 追加試験(80B)：シンナー拭き，ウォッシュプライマー１０μｍ エポキシ樹脂８０μｍ，ふっ素樹脂３０μｍ ③溶接　：共材，突き合わせ溶接 ④すき間腐食試験：ＡＳＴＭ　Ｇ１１６－９３ 締め付け力0.9Kg･m ⑤ﾎﾞﾙﾄ接合試験片：各種鋼，ＳＵＳボルト 締め付け力150Kgf･cm										

表－4.2.4　ボルトの表面処理

記号	ボルト	表面処理
A	ＳＵＳ304	無処理
B	ＳＵＳ304	Ｚｎ粉末入り化成処理（20ｇ／㎡）
C	ＳＵＳ304	Ｚｎメカニカルプレーティング（20ｇ／㎡）+化成処理
D	ＳＳ400	電気亜鉛めっき（60ｇ／㎡），クロム酸処理
E	ＳＳ400	溶融亜鉛めっき（140ｇ／㎡）
F	ＳＳ400	溶融アルミニウムめっき
G	ＳＳ400	無処理
H	ＳＳ400	Ｚｎ粉末入り化成処理（20ｇ／㎡）
I	ＳＳ400	Ｚｎメカニカルプレーティング（20ｇ／㎡）＋化成処理

3)試験片形状

試験片形状の概略を図－4.2.1(1)および(2)に示す。なおＡ5083Ｐ－Ｏ材およびＡ5052Ｐ－Ｈ32については所定の厚さの圧延材より所定の寸法に切り出して試験片とした。また。Ａ5083Ｓ－Ｈ112については、幅100ｍｍのＣ字押出形材から所定の寸法に切り出して試験片とした。

4)溶接仕様

耐食性に及ぼす溶接の影響を調査するために、一部の供試材に溶接を施した。その際10mmt試験片（A5083P－OおよびA5083S－H112）の場合には図－4.2.2のような開先形状に加工し、5mmt試験片（A5052P－H32）の場合には開先をとらず、突き合わせた材料をＴＩＧ（Tungsten Innert Gas）法によって溶接した。溶加材（線材）としてA5183合金を用いた。

表－4.2.5　溶加材成分

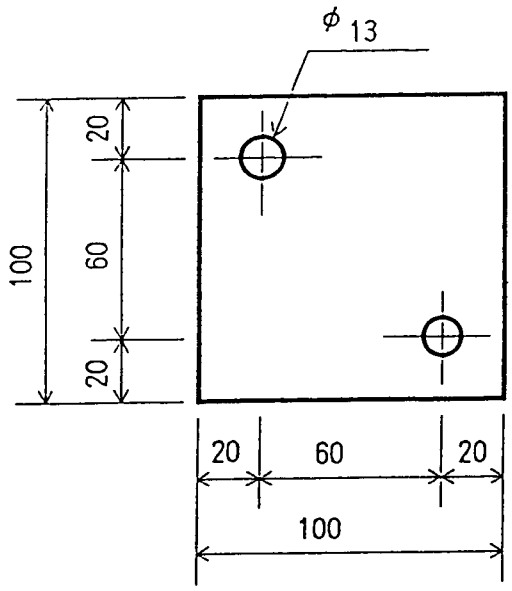
Ｓｉ	Ｆｅ	Ｃｕ	Ｍｎ	Ｍｇ	Ｃｒ
－	－	－	0.50～0.1	4.3～5.2	0.05～0.25

5)塗装仕様

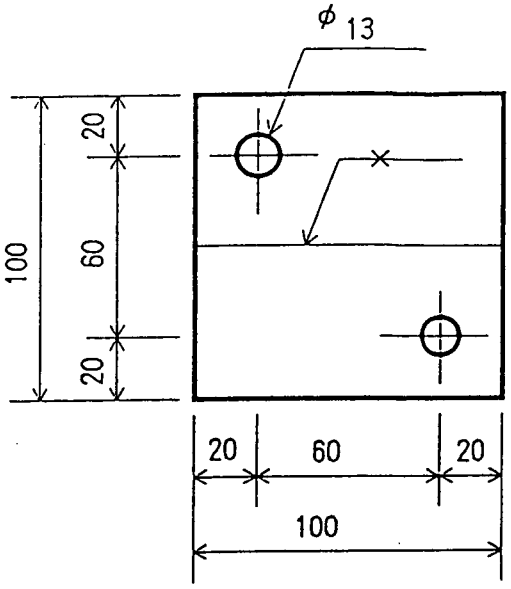
耐食性に及ぼす塗装の効果を調査するために、一部の試験片に塗装を施した。塗装仕様には、将来の有機溶剤規制と景観性に重点を置き、すでに開始している七ケ宿ダム湖における水中暴露試験における塗装仕様に準じ、表－4.2.3（2）備考の様に選定した。

6)すき間形成材

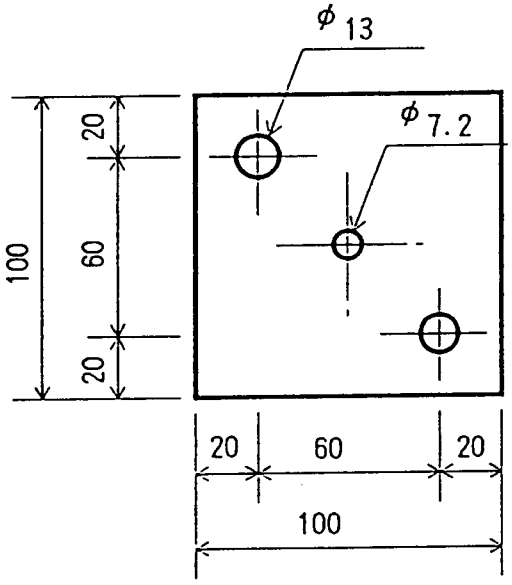
すき間腐食を考慮するために、一部の供試材にすき間形成材を装着した。その場合のすき間形成材には、ステンレス鋼材の暴露試験に使用したものと同一のＡＳＴＭ G78に準じたポリサルフォン樹脂製のマルチクレビスアセンブリを使用した。すき間形成材は締め付けトルク0.9Kgf･mで装着した。（すき間形成材の仕様は、1.1すき間腐食試験参照）



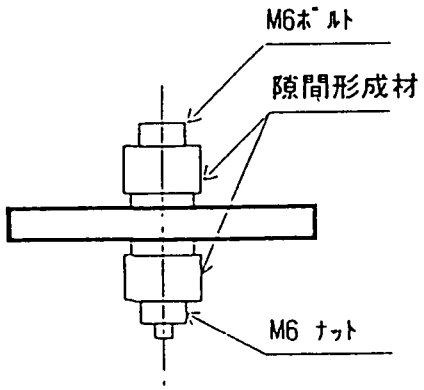
A 1 ：重量測定用単体試験片



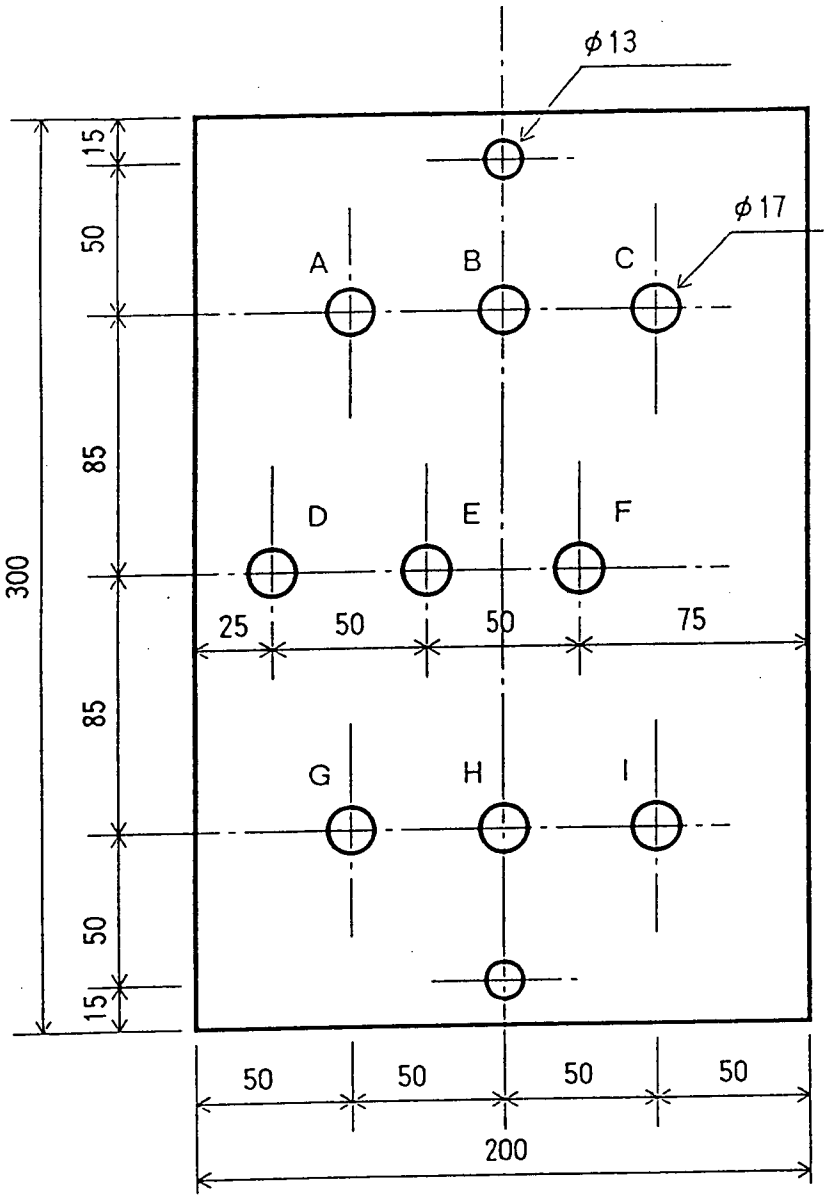
A 2 ：溶接および塗装用試験片



B ：隙間腐食用試験片



図－4.2.1(1)　試験片形状概略

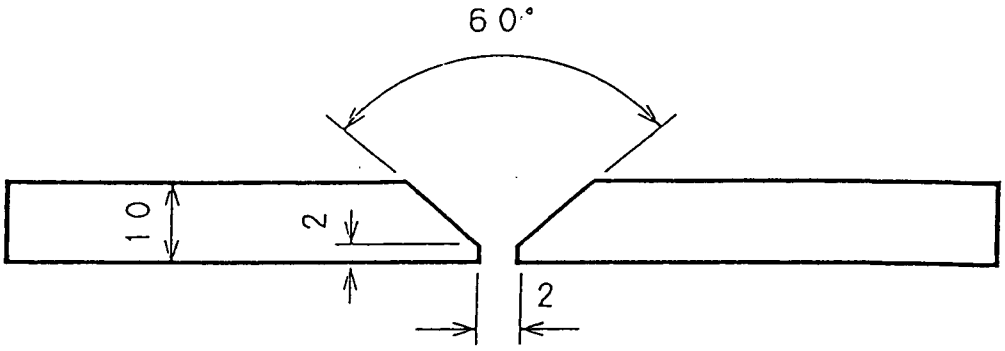


ボルト仕様

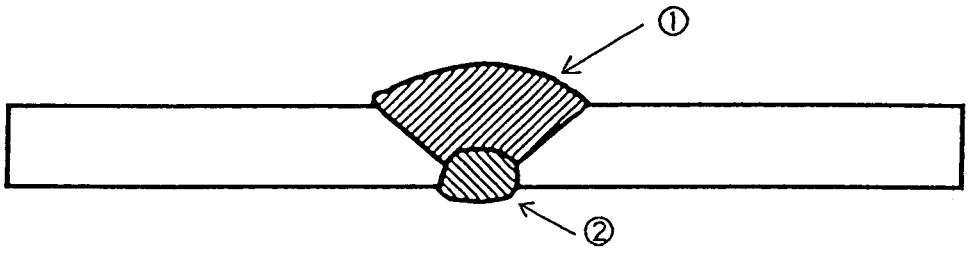
記号	ボルト材 質	表面処理方法
A	SUS304	無処理
B	SUS304	Zn粉末入り化成処理
C	SUS304	Znメカニカルプレーティング+化成処理
D	SS400	電気亜鉛めっき
E	SS400	溶融亜鉛めっき
F	SS400	溶融アルミニウムめっき
G	SS400	無処理
H	SS400	Zn粉末入り化成処理
I	SS400	Znメカニカルプレーティング+化成処理

E：ボルト接合試験片

図－4.2.1(2)　試験片形状概略

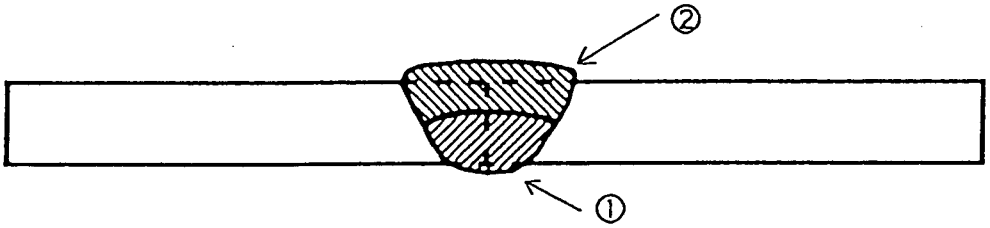


a）A5083P−O，A5083S−H112　10mmt 試験片の開先形状



b）A5083P−O，A5083S−H112　10mm^t 試験片のビード形状模式

パス	方式	溶接棒 材質	径(mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	姿勢
①	TIG	A5183-BY	3.2	290	28	100	下向
②	TIG	A5183-BY	3.2	200	24	100	下向



c）A5052P−H32　5mm^t 試験片のビード形状模式

パス	方式	溶接棒 材質	径(mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	姿勢
①	TIG	A5356-BY	3.2	260	26	100	下向
②	TIG	A5356-BY	3.2	240	24	100	下向

図−4.2.2　各試験片の溶接仕様

(2)試験片の諸特性

1)素材成分

供試した各素材の成分分析結果を表－4.2.6に示す。

表－4.2.6　暴露素材の成分分析結果　　(%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A5083P-0	0.12	0.24	0.05	0.6	4.6	0.11	0.02	0.02	RE
A5052P-H32	0.07	0.26	0.02	0.00	2.61	0.18	0.00	-	RE
A5083S-H112	0.09	0.15	0.04	0.6	4.6	0.12	0.01	0.02	RE

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
SUS304	0.064	0.49	0.80	0.028	0.009	8.04	18.28	0.11	RE
SUS316	0.055	0.68	1.00	0.024	0.005	10.19	16.88	2.13	RE

[参考] 成分規格値　　(%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
A5083	<0.40	<0.40	<0.10	0.40～1.0	4.0～4.9	0.05～0.25	<0.25	<0.15
A5052	<0.25	<0.40	<0.10	<0.10	2.2～2.8	0.15～0.35	<0.10	-

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SUS304	<0.08	<1.00	<2.00	<0.45	<0.030	8.0～10.5	18.0～20.0	—
SUS316	<0.08	<1.00	<2.00	<0.045	<0.030	10.0～14.0	16.0～18.0	2.00～3.00

2)素材重量

供試した各素材の試験前の重量測定結果を表－4.2.7(1)および(2)に示す。

表－4.2.7(1)　素材試験片の暴露前重量測定結果

記号	材質	寸法・板厚 (mm)	試験期間	実測値 (g)	補正値 (g)	記号	材質	寸法・板厚 (mm)	試験期間	実測値 (g)	補正値 (g)
0H1			1年	264.294	264.195	0L1			1	374.623	374.482
0H3	5083P-0	100×100	3	264.457	264.357	0L3	SUS316	100×100	3	373.655	373.514
0H5		10t	5	264.379	264.280	0L5		5t	5	373.865	373.724
0H10			10	264.289	264.190	0L10			10	372.233	372.093
0K1			1	367.699	367.560						
0K3	SUS304	100×100	3	368.086	367.947						
0K5		5t	5	366.670	366.532						
0K10			10	367.495	367.356						

表－4.2.7(2)　追加試験片の暴露前重量測定結果

記号	材質	寸法・板厚（mm）	試験期間	測定値（g）
80A1	5083P-O	100×100 10t	1年	273.3
80A3			3	272.8
80A5			5	273.2
80A10			10	273.1
80B1			1	273.0
80B3			3	272.8
80B5			5	272.8
80B10			10	273.5

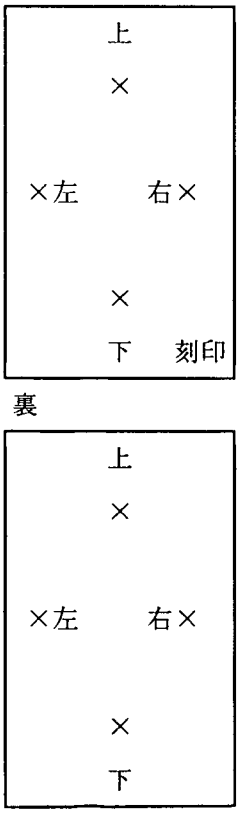
3)塗装膜厚

各塗装処理材の膜厚測定結果を表－4.2.8(1)および(2)に示す。

表－4.2.8(1)　塗装試験片の膜厚測定結果（μm）

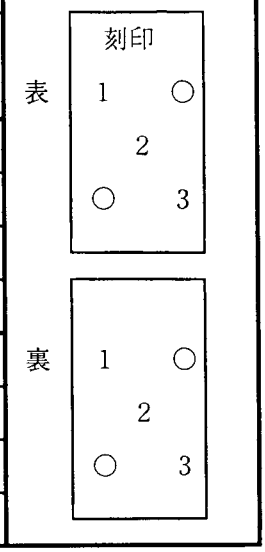
記号	表					裏				
	左	右	上	下	平均値	左	右	上	下	平均値
OD1	229	214	186	210	209.75	198	183	195	197	193.25
OD3	178	173	188	193	183.0	203	163	180	193	184.75
OD5	163	146	161	192	165.5	196	197	195	159	186.75
OD10	162	142	151	145	150.0	162	193	198	167	180.0
OE1	220	238	230	208	224.0	175	214	203	210	200.5
OE3	239	223	210	218	222.5	198	219	213	212	210.5
OE5	228	227	226	230	225.25	223	170	190	216	199.75
OE10	223	247	238	212	230.0	196	181	213	211	200.25
OF1	188	219	216	235	214.5	192	187	193	164	184.0
OF3	185	232	203	218	209.5	235	193	213	219	215.0
OF5	225	198	209	226	214.5	214	192	194	193	198.25
OF10	223	259	243	261	246.5	198	252	250	193	223.25
OJ1	159	173	138	152	155.5	164	162	129	130	146.25
OJ3	159	167	145	144	153.75	200	202	152	211	191.25
OJ5	178	195	171	165	177.25	153	133	144	143	143.25
OJ10	177	165	158	138	159.5	161	162	141	167	157.75

膜厚測定位置



表－4.2.8(2)　追加試験片の膜厚測定結果（μm）

記号	表				裏				膜厚測定位置
	1	2	3	平均値	1	2	3	平均値	
80A1	193.3	170.7	172.0	178.4	148.7	143.0	178.0	156.6	
80A3	159.0	166.3	172.0	165.8	164.7	142.3	135.7	147.6	
80A5	175.7	166.7	175.3	172.6	172.3	152.0	142.0	155.7	
80A10	211.0	170.3	169.7	183.7	165.3	166.0	176.3	169.2	
80B1	177.0	149.0	150.3	158.8	151.3	149.7	155.3	152.1	
80B3	180.0	162.0	149.0	163.7	166.7	150.0	160.7	159.1	
80B5	178.7	152.7	157.3	162.9	181.0	148.7	153.3	161.0	
80B10	176.0	171.3	154.3	167.2	188.0	162.7	153.0	167.9	

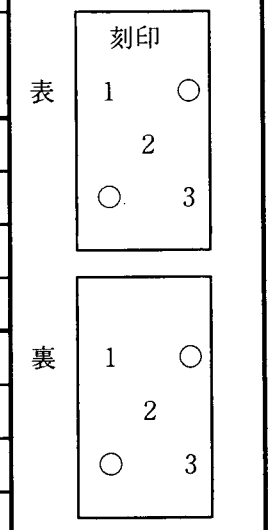


4)光沢

塗装処理材追試験片の光沢測定結果を表－4.2.9に示す。

表－4.2.9　追加試験片の光沢測定結果

記号	表				裏				光沢測定位置
	1	2	3	平均値	1	2	3	平均値	
80A1	35.3	33.1	33.1	33.8	28.4	33.2	26.0	29.2	
80A3	36.8	36.3	31.9	35.0	24.8	26.7	29.5	27.0	
80A5	38.6	37.9	38.8	38.4	26.3	24.9	29.1	26.8	
80A10	38.5	37.6	38.4	38.2	26.4	28.8	30.3	28.5	
80B1	33.9	33.6	31.3	32.9	29.0	29.0	28.7	28.9	
80B3	33.5	34.9	34.7	34.4	28.9	30.4	31.1	30.1	
80B5	32.5	32.2	34.4	33.0	29.2	30.8	31.3	30.4	
80B10	33.3	34.2	32.8	33.4	28.9	30.4	31.0	30.1	



5)測色

塗装処理材追加試験片の測色結果を表－4.2.10に示す。

表－4.2.10　追加試験片の測色結果

記号	表			裏		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
80A1	88.91	-0.13	-0.84	89.84	-0.17	-0.70
80A3	89.28	-0.12	-0.83	89.51	-0.16	-0.70
80A5	89.35	-0.10	-0.85	88.84	-0.12	-0.75
80A10	89.30	-0.07	-0.84	89.50	-0.09	-0.77
80B1	89.90	-0.08	-0.91	88.60	-0.11	-0.96
80B3	90.11	-0.07	-0.89	89.47	-0.07	-0.90
80B5	89.81	-0.06	-0.94	89.42	-0.08	-0.92
80B10	90.13	-0.05	-0.90	88.99	-0.08	-0.96

測色位置

表

刻印

1　○

2

○　3

裏

1　○

2

○　3

（注）表中数値は1,2,3の平均値

6)表面処理ボルトの重量

異種金属との接合の影響を調査するためにアルミニウム試験片に装着された各種表面処理ボルトの暴露試験前の重量測定結果を表－4.2.11に示す。

表－4.2.11　ボルト接合試験ボルトの試験前重量測定結果

記号	材質	塗装	重量（g）				記号	材質	塗装	重量（g）			
			1年	3年	5年	10年				1年	3年	5年	10年
A	SUS304	－	123.9684	124.2651	125.1176	123.9184	F	SS400	－	121.7794	122.6006	122.0624	122.4913
		○	124.3885	123.9872	123.5585	124.3843			○	121.8743	122.8534	122.8307	122.0656
B		－	123.7344	123.8314	124.5117	124.3976	G		－	126.8680	127.4617	127.8138	127.4819
		○	123.9986	124.9970	124.6345	123.8198			○	127.3805	126.8680	127.5952	128.2722
C		－	124.2945	123.6827	123.9086	124.0483	H		－	128.2944	127.8318	127.7033	127.6686
		○	124.0688	124.1212	124.4002	124.9179			○	127.4977	127.7275	128.4749	127.7610
D	SS400	－	125.1219	125.9378	125.4333	125.4283	I		－	128.3188	127.9010	128.3052	128.0382
		○	125.7414	125.3609	125.0552	125.0372			○	127.2542	127.9347	128.2226	128.2485
E		－	123.5074	122.7222	123.2546	123.0441							
		○	123.5535	123.2768	123.6632	124.3039							

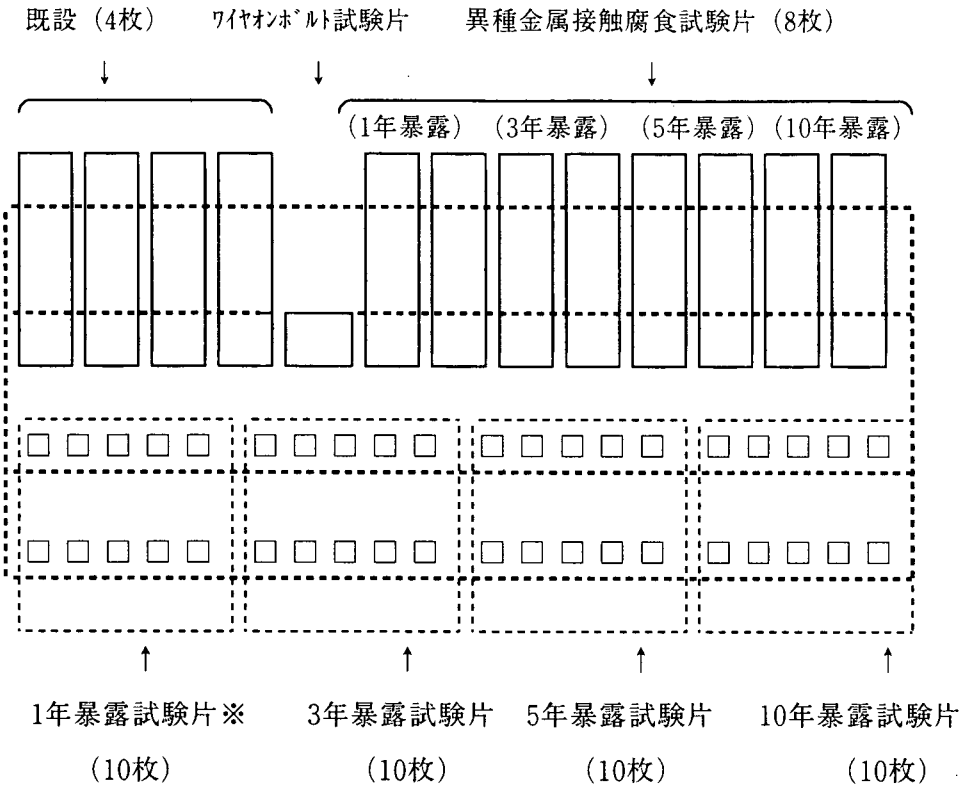
(3)暴露場所および開始期日

1)暴露場所

暴露場所は親不知海岸沿いの国道８号線防波堤の踊り場に設置された北面30度大気暴露架台を使用した。

2)暴露試験架台および供試材取付け位置

試験片取付位置を図－4.2.3に示す。（※H8取り外し後追加試験片取付）



図－4.2.3　暴露架台における試験片の設置位置

3)暴露期間

暴露期間は10年とし、回収予定を表－4.2.12に示す。

表－4.2.12　暴露試験の開始および回収予定日

暴露試験における注目点	暴露開始	実施年度			
		１年目	３年目	５年目	１０年目
１．素材の腐食速度 ２．溶接部の影響 ３．塗装の効果 ４．すき間の影響 ５．異種金属接合の影響	H7.11.2	H8.11.1	H10.11.2	H12.11.2	H17.11.2
６．塗装の効果（追加）	H8.11.1	H9.10.31	H11.11.1	H13.11.1	H18.11.1

(4)1年暴露回収試験片の評価方法

1)素材の腐食調査

ＯＨ1，ＯＫ1，ＯＬ1の試験片について、以下の手順で評価を行った。

①外観写真撮影＜表面，裏面＞後、アルミニウム（ＯＨ1）については2％CrO_3・5％H_3PO_4水溶液中で10分間煮沸して、腐食生成物を除去，水洗する。ステンレス（ＯＫ1，ＯＬ1）については100ｍｌ／ｌHNO_3水溶液に60℃で20分間浸漬して、腐食生成物を除去，水洗する。

②腐食生成物除去後の外観写真を撮影＜表面，裏面＞し、腐食重量を測定する。

③光学顕微鏡を用いた焦点深度法により孔食深さを測定する。＜表面，裏面＞

（最も深いと思われる孔食10個を選び、最大孔食深さと平均孔食深さを求める。）

④最大孔食深さ部の腐食断面の顕微鏡写真を撮影する。＜表面，裏面＞

2)溶接部の影響調査

ＯＡ1，ＯＢ1，ＯＣ1の試験片について、以下の手順で評価を行った。

①外観写真撮影＜表面，裏面＞後、2％CrO_3・5％H_3PO_4水溶液中で10分間煮沸して腐食生成物を除去、水洗する。

②腐食生成物除去後の外観写真を撮影＜表面，裏面＞する。

③溶接部，溶接熱影響部，非接合部（一般部）の孔食深さを光学顕微鏡を用いた焦点深度法により測定する。＜表面，裏面＞

（各部位で最も深いと思われる孔食10個を選び、最大孔食深さと平均孔食深さを求める。）

④各部位の最大孔食深さ部の腐食断面の顕微鏡写真を撮影する。＜表面，裏面＞

3)塗装の効果の調査

ＯＤ1，ＯＥ1，ＯＦ1の試験片について、以下の手順で評価を行った。

①外観写真撮影＜表面，裏面＞後、表面を清水で洗浄する。

②表面洗浄後の外観写真を撮影＜表面，裏面＞する。

③塗膜厚さ測定，光沢測定，色調測定を行う。＜表面，裏面＞

＊塗膜厚さは初期値があるが、光沢，色調については初期値がないので参考として測定する。

④塗膜をはく離剤で除去し、水洗する。

⑤塗膜除去後の外観写真を撮影する。＜表面，裏面＞

⑥腐食のある場合は腐食生成物を除去し、水洗後再度外観写真を撮影する。＜表面，裏面＞

⑦溶接部，溶接熱影響部，非接合部（一般部）の孔食深さを光学顕微鏡を用いた焦点深度法により測定する。＜表面，裏面＞

（各部位で最も深いと思われる孔食10個を選び、最大孔食深さと平均孔食深さを求める。）

⑧各部位の最大孔食深さ部の腐食断面の顕微鏡写真を撮影する。＜表面，裏面＞

4)すき間の影響

ＯＧ１の試験片について、以下の手順で評価を行った。

①外観写真撮影＜表面，裏面＞後すき間形成材を外す。

②すき間形成材を外した状態の外観写真を撮影する。＜表面，裏面＞

③2％CrO_3・5％H_3PO_4水溶液中で10分間煮沸して、腐食生成物を除去、水洗する。

④腐食生成物除去後の外観写真を撮影する。＜表面，裏面＞

⑤すき間部，一般部の孔食深さを光学顕微鏡による焦点深度法で測定する。

（各部位で最も深いと思われる孔食10個を選び、最大孔食深さと平均孔食深さを求める。）

⑥各部位の最大孔食深さ部の腐食断面の顕微鏡写真を撮影する。＜表面，裏面＞

5)異種金属接合の影響調査

ＯＩ1，ＯＪ1の試験片について、以下の手順で評価を行った。

①外観写真撮影＜表面，裏面＞後、各種表面処理ボルトを外す。

②各種表面処理ボルトについては、腐食生成物を除去後重量減少の測定を行う。

（無処理の鋼ボルトは、濃塩酸＋$SnCl_2$50ｇ／ｌ＋$SbCl_3$20ｇ／ｌの溶液に室温で浸漬し、ナイロンブラシで擦る。表面処理ボルトはナイロンブラシで擦りながら水洗する。）

③裸アルミニウム材については、ボルトを外した後の外観写真を撮影＜表面，裏面＞し、更に腐食生成物を除去後写真撮影を行う。＜表面，裏面＞

④塗装アルミニウム材については、ボルトを外した後の外観写真を撮影＜表面，裏面＞した後、塗膜をはく離剤で除去し外観写真を撮影する。＜表面，裏面＞

腐食の発生がある場合には、腐食生成物を除去後再度外観写真を撮影する。＜表面，裏面＞

⑤裸アルミニウム材，塗装アルミニウム材（塗膜除去後）のボルト接触部の孔食深さを測定する。＜表面，裏面＞

（最も深いと思われる孔食10個を選び、最大孔食深さと平均孔食深さを求める。）

⑥ボルト接触部の最大孔食深さ部の腐食断面の顕微鏡写真を撮影する。＜表面，裏面＞

4.2.2 調査結果

(1)素材の腐食調査

ＯＨ1，ＯＫ1，ＯＬ1の外観観察結果を表－4.2.13に、腐食生成物除去前の外観写真を写真－4.2.1に、腐食生成物除去後の外観写真を写真－4.2.2に示す。

また、腐食重量の測定結果を表－4.2.14に、孔食深さの測定結果を表－4.2.15に、腐食断面のミクロ観察結果を写真－4.2.3に示す。なお、ＯＫ１，ＯＬ1には孔食は観察されなかった。

表－4.2.13　外観観察結果

記号	材　質	表面	裏面
ＯＨ1	5052P-H32	全面に腐食し、光沢が低下	腐食の密度が低く、光沢の残っている部分がある
ＯＫ1	SUS304	斑点状に赤錆が発生	シミの発生が顕著
ＯＬ1	SUS316	赤錆の発生なし	シミ発生

表－4.2.14　重量測定結果

記号	材質	暴露前重量（ｇ）	暴露後重量（ｇ）	腐食重量減少（ｍｇ／ｃｍ²）	腐食板厚減少（μｍ）
ＯＨ1	5052P-H32	264.195	264.159	-0.36	-1.3
ＯＫ1	SUS304	367.560	367.573	+0.13	－
ＯＬ1	SUS316	374.482	374.495	+0.13	－

備考；試料の投影面積＝100ｃｍ²　概略密度＝2.7ｇ／ｃｍ³（アルミニウム）

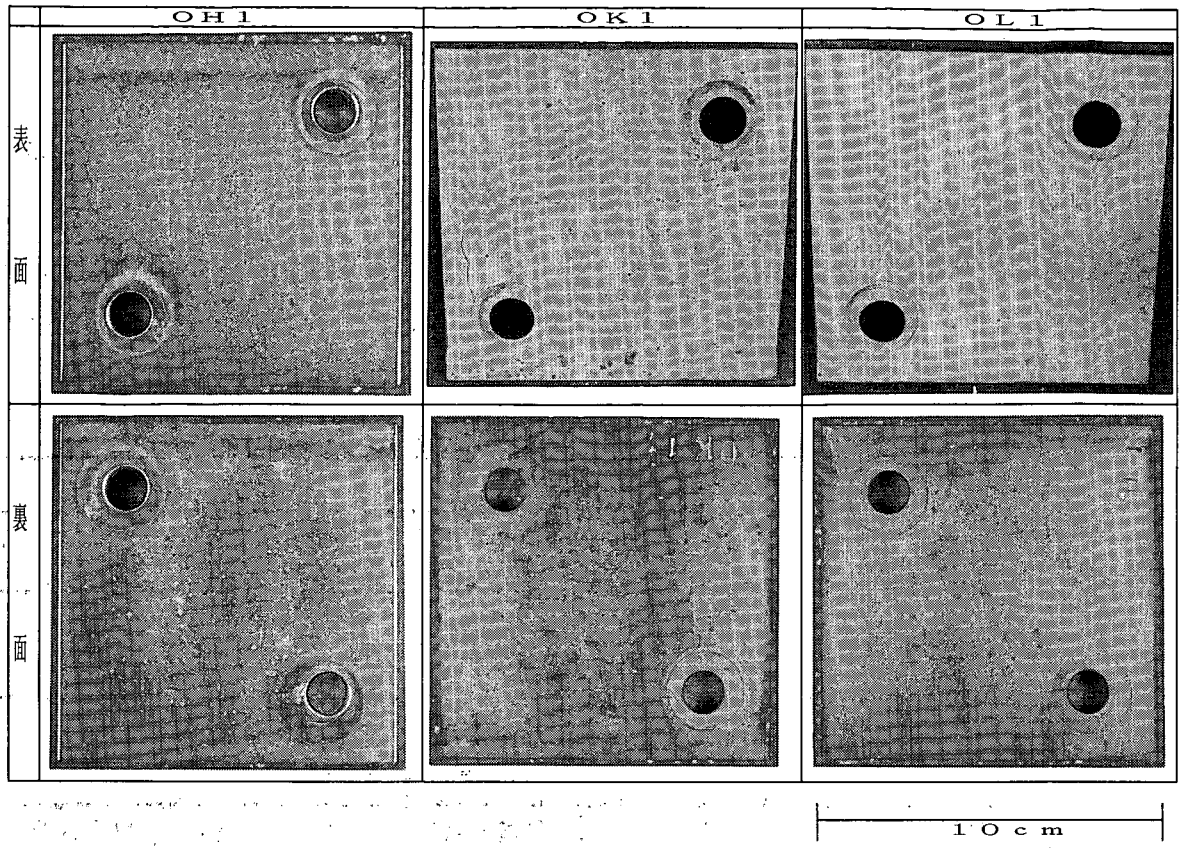
7.9ｇ／ｃｍ³（ＳＵＳ）

腐食重量減少＝（暴露後の試験片重量－暴露前の試験片重量）／試験片の投影面積

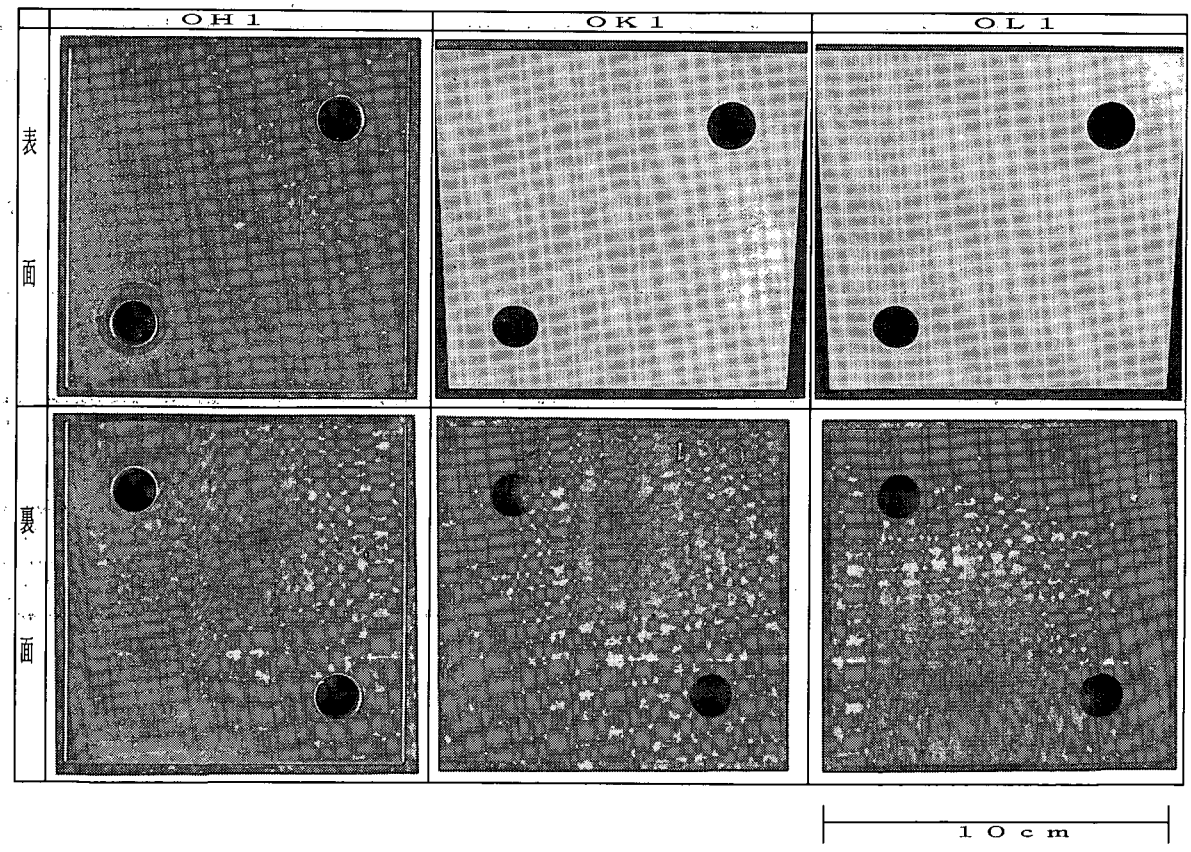
腐食板厚減少＝腐食重量減少／金属の概略密度

表－4.2.15　孔食深さ測定結果

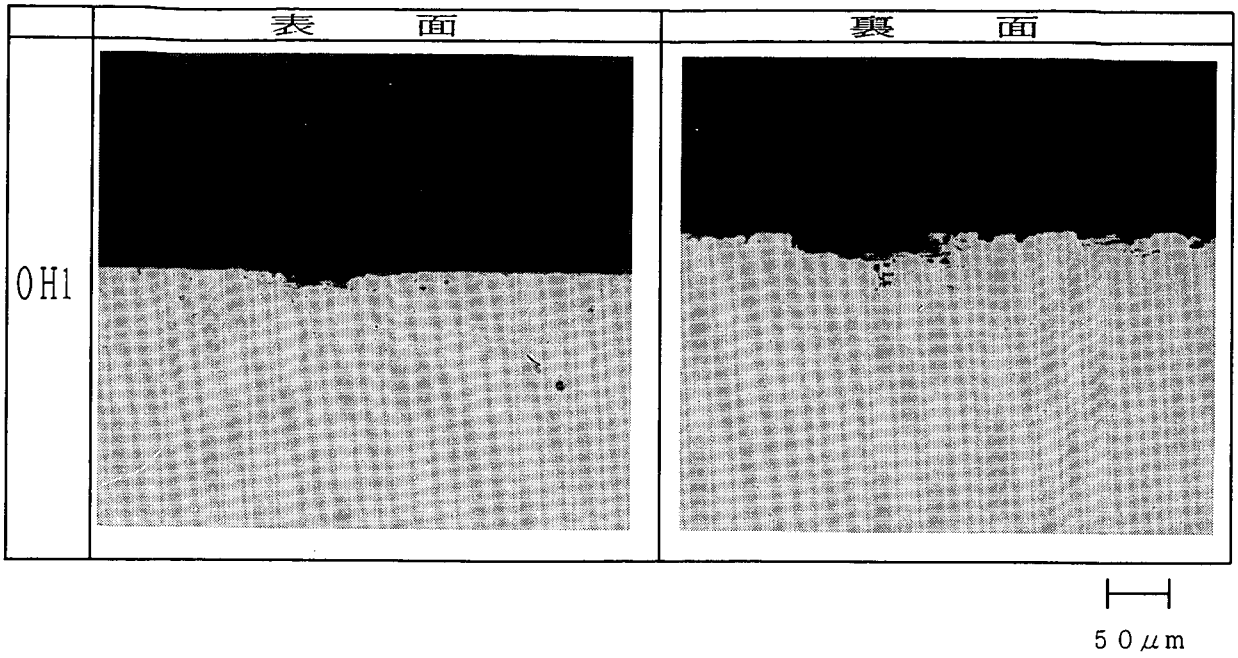
記号	材質		測定値（μｍ）										最大（μｍ）	平均（μｍ）
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ＯＨ1	5052P	表	15.8	15.7	12.3	12.1	12.5	15.5	10.5	20.2	16.8	13.9	20.2	14.53
	-H32	裏	16.4	33.6	11.9	14.5	24.3	20.0	15.8	17.0	15.5	13.8	33.6	18.28



写真－4.2.1　腐食生成物除去前の外観写真（OH1，OK1，OL1）



写真－4.2.2　腐食生成物除去後の外観写真（OH1，OK1，OL1）



写真－4.2.3　腐食断面のミクロ観察写真（ＯＨ1）

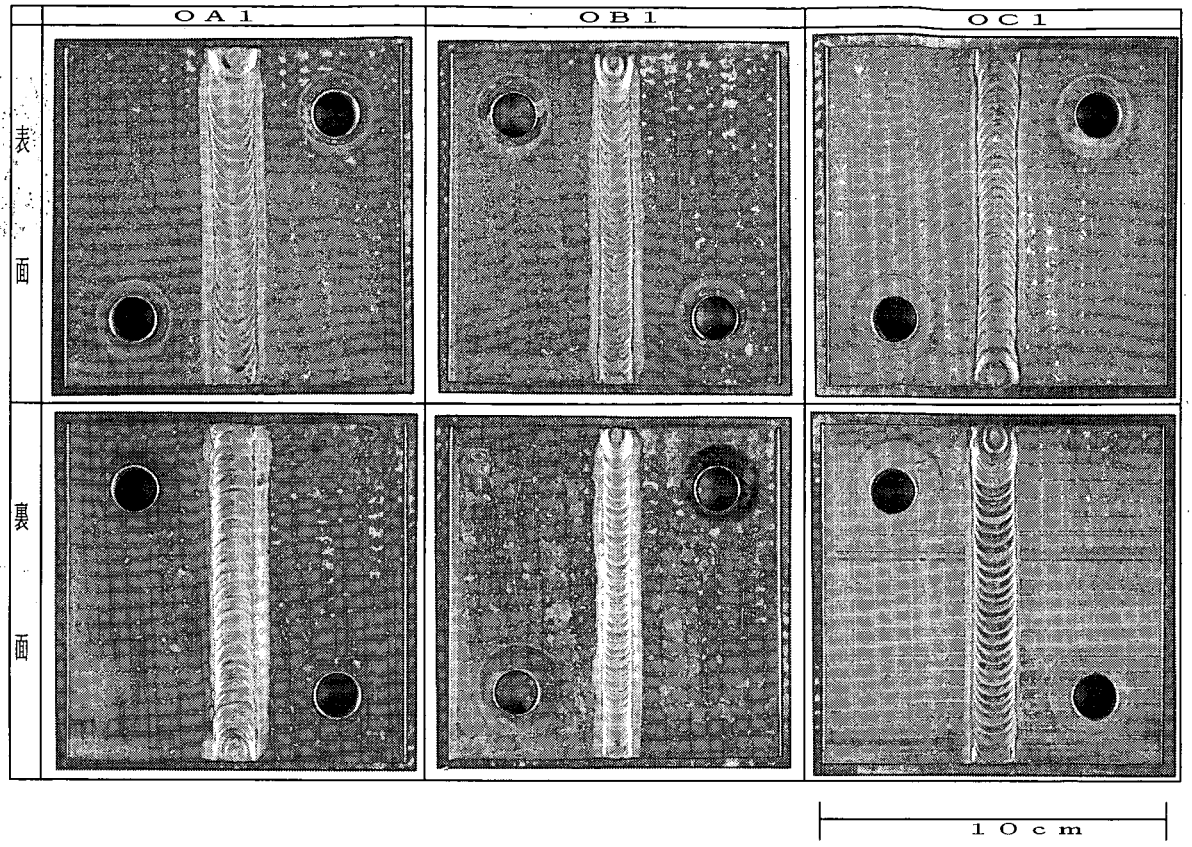
(2)溶接部の影響

ＯＡ1，ＯＢ1，ＯＣ1の外観観察結果を表－4.2.16に、腐食生成物除去前の外観写真を写真－4.2.4に、腐食生成物除去後の外観写真を写真－4.2.5に示す。

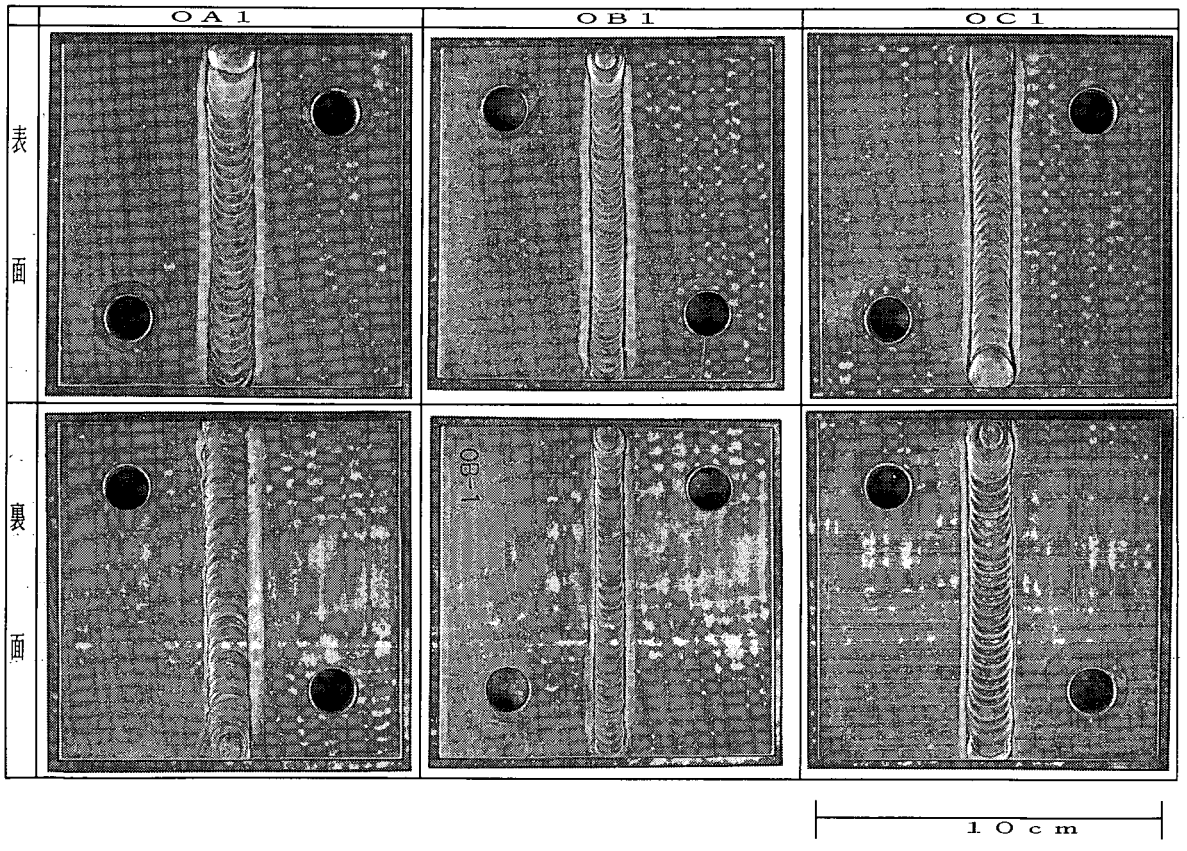
また、孔食深さの測定結果を表－4.2.17に、腐食断面のミクロ観察結果を写真－4.2.6(1),(2)に示す。

表－4.2.16　外観観察結果

記号	材質	表　面	裏　面
ＯＡ１	5083P-O	細かい腐食が全面に発生。溶接部，溶接熱影響部，非接合部での差はない。	腐食の発生は少ない。溶接部，溶接熱影響部，非接合部での差はない。
ＯＢ１	5083P-H32	細かい腐食が全面に発生。溶接部，溶接熱影響部，非接合部での差はない。	腐食の発生は少ない。溶接部，溶接熱影響部，非接合部での差はない。
ＯＣ１	5083S-H112	細かい腐食が全面に発生。溶接部，溶接熱影響部，非接合部での差はない。	腐食の発生は少ない。溶接部，溶接熱影響部，非接合部での差はない。



写真－4.2.4　腐食生成物除去前の外観写真（OA1，OB1，OC1）



写真－4.2.5　腐食生成物除去後の外観写真（OA1，OB1，OC1）

表－4.2.17　孔食深さ測定結果　　（μm）

記号		測定部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	最大	平均
OA1	(表)	溶接部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		溶接熱影響部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		非接合部	9.1	17.2	14.8	8.9	7.5	10.0	7.0	10.5	7.8	12.7	17.2	10.55
	(裏)	溶接部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		溶接熱影響部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		非接合部	8.6	6.5	15.4	14.1	8.1	17.6	15.1	22.7	12.0	11.4	22.7	13.15
OB1	(表)	溶接部	4.4	7.7	18.8	11.3	7.9	19.5	11.5	22.3	19.9	10.6	22.3	13.39
		溶接熱影響部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		非接合部	11.1	8.6	11.1	10.1	9.0	9.7	8.4	9.3	14.0	13.2	14.0	10.45
	(裏)	溶接部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		溶接熱影響部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		非接合部	10.3	10.5	18.0	9.9	19.7	14.3	9.8	14.1	16.6	13.8	19.7	13.7
OC1	(表)	溶接部	10.3	15.8	43.9	48.8	19.6	15.0	14.0	9.4	6.3	12.2	48.8	19.53
		溶接熱影響部	20.9	17.4	13.3	13.3	17.9	19.5	31.8	38.7	16.9	31.0	38.7	23.06
		非接合部	10.1	17.9	37.5	11.2	19.5	18.8	23.7	29.8	16.8	17.0	37.5	20.23
	(裏)	溶接部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		溶接熱影響部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		非接合部	56.7	19.2	107.6	47.3	46.8	62.5	117.7	77.7	77.5	40.3	117.7	65.33

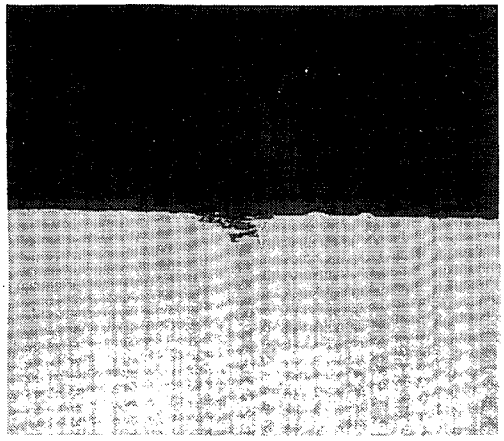
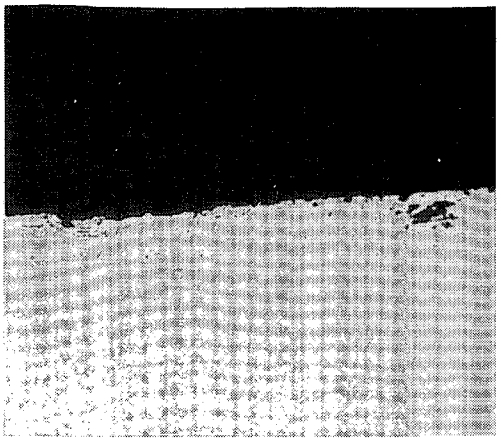
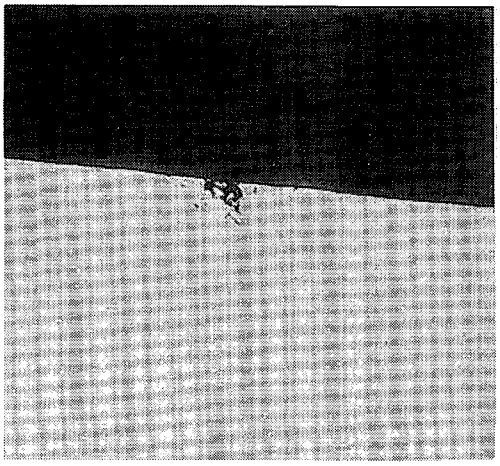
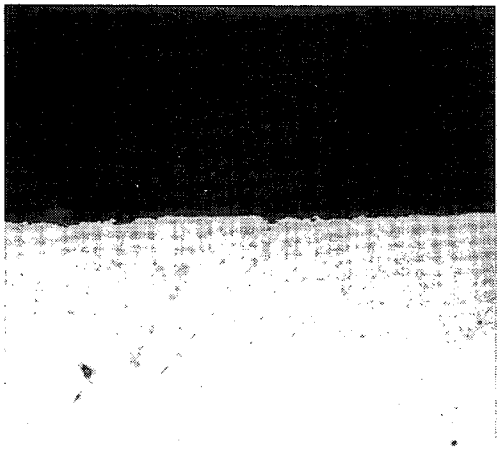
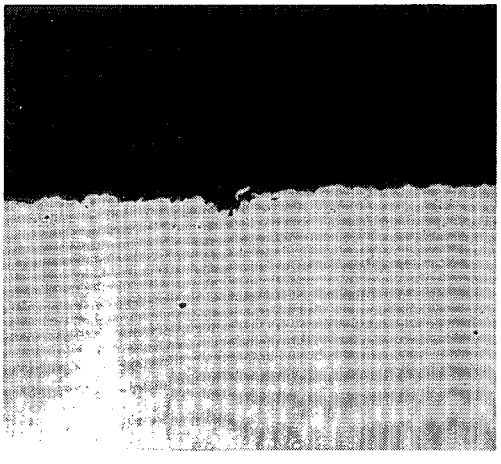
＊表中 － は孔食が観察されないことを示す。

(3)塗装の効果

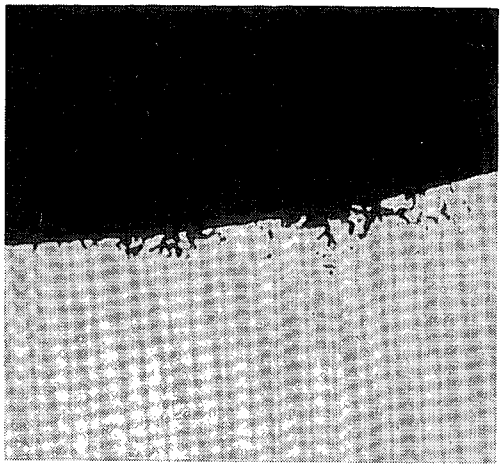
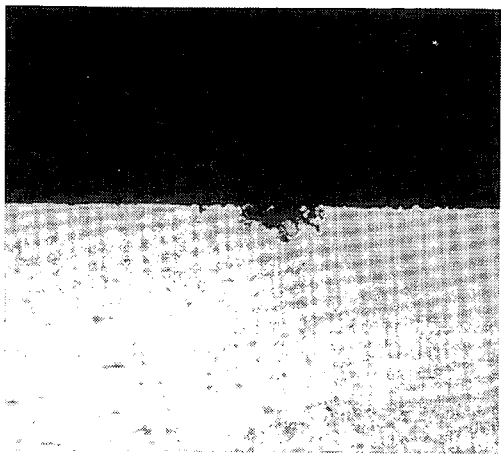
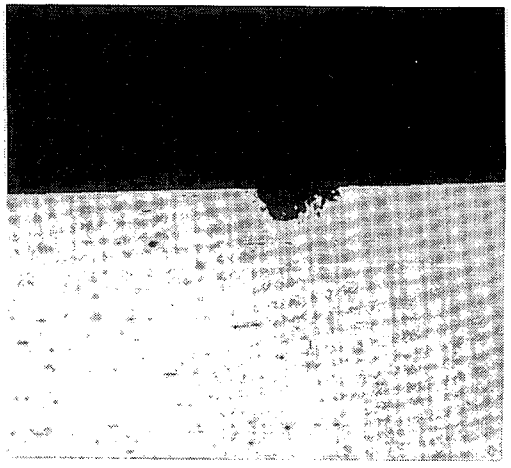
ＯＤ1，ＯＥ1，ＯＦ1の外観観察結果を表－4.2.18に、表面洗浄後の外観写真を写真－4.2.7に、塗膜はく離後の外観写真を写真－4.2.8に示す。また、塗膜厚さ測定結果を表－4.2.19に、参考として実施した光沢測定，測色及び碁盤目試験の結果を表－4.2.20～4.2.22に示す。なお、塗装試験体には孔食は発生していないため、断面ミクロ観察は行わなかった。

表－4.2.18　外観観察結果

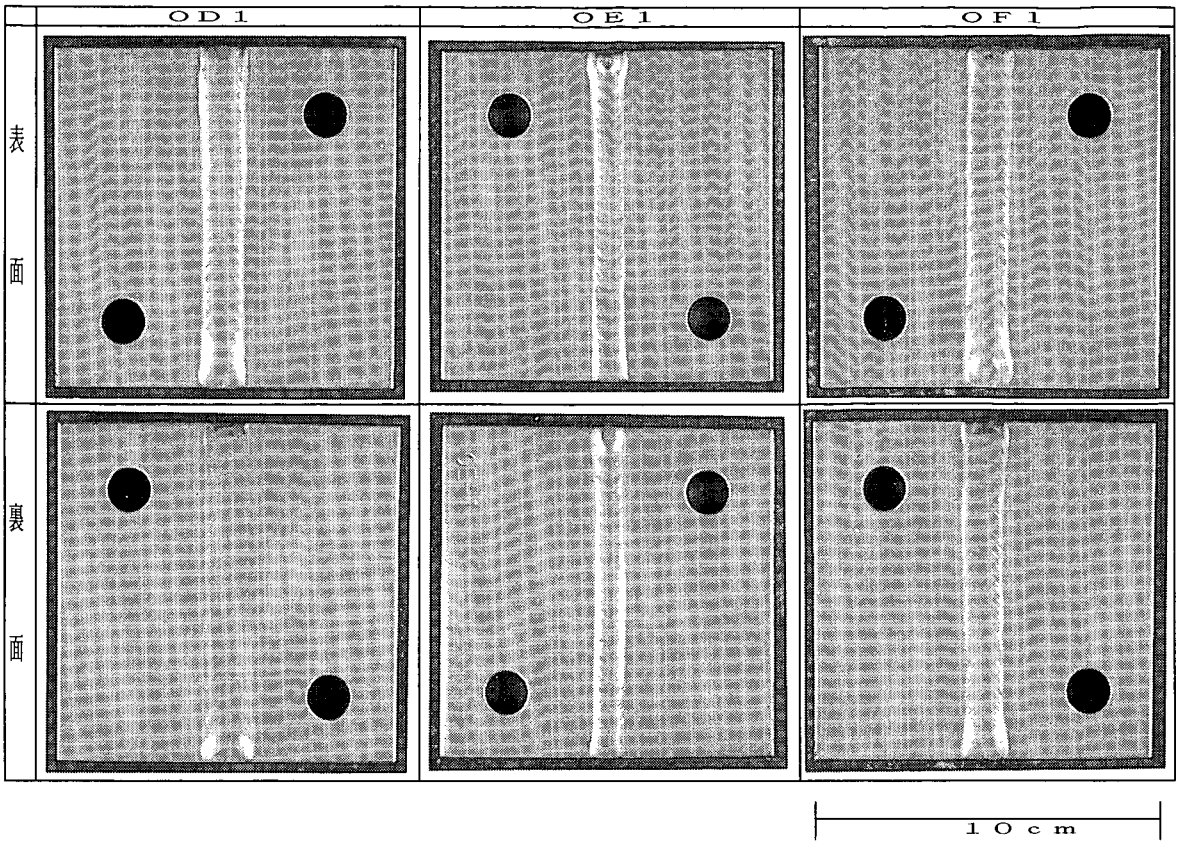
記号	材　質	表　面	裏　面
ＯＤ1	5083P-O	塗膜のふくれ、はがれなし 腐食の発生なし	塗膜のふくれ、はがれなし 腐食の発生なし
ＯＥ1	5052P-H32	塗膜のふくれ、はがれなし 腐食の発生なし	塗膜のふくれ、はがれなし 腐食の発生なし
ＯＦ1	5083S-H112	塗膜のふくれ、はがれなし 腐食の発生なし	塗膜のふくれ、はがれなし 腐食の発生なし

	表　　面	裏　　面
OA1 非接合部		
OB1 溶接部		
OB1 非接合部		

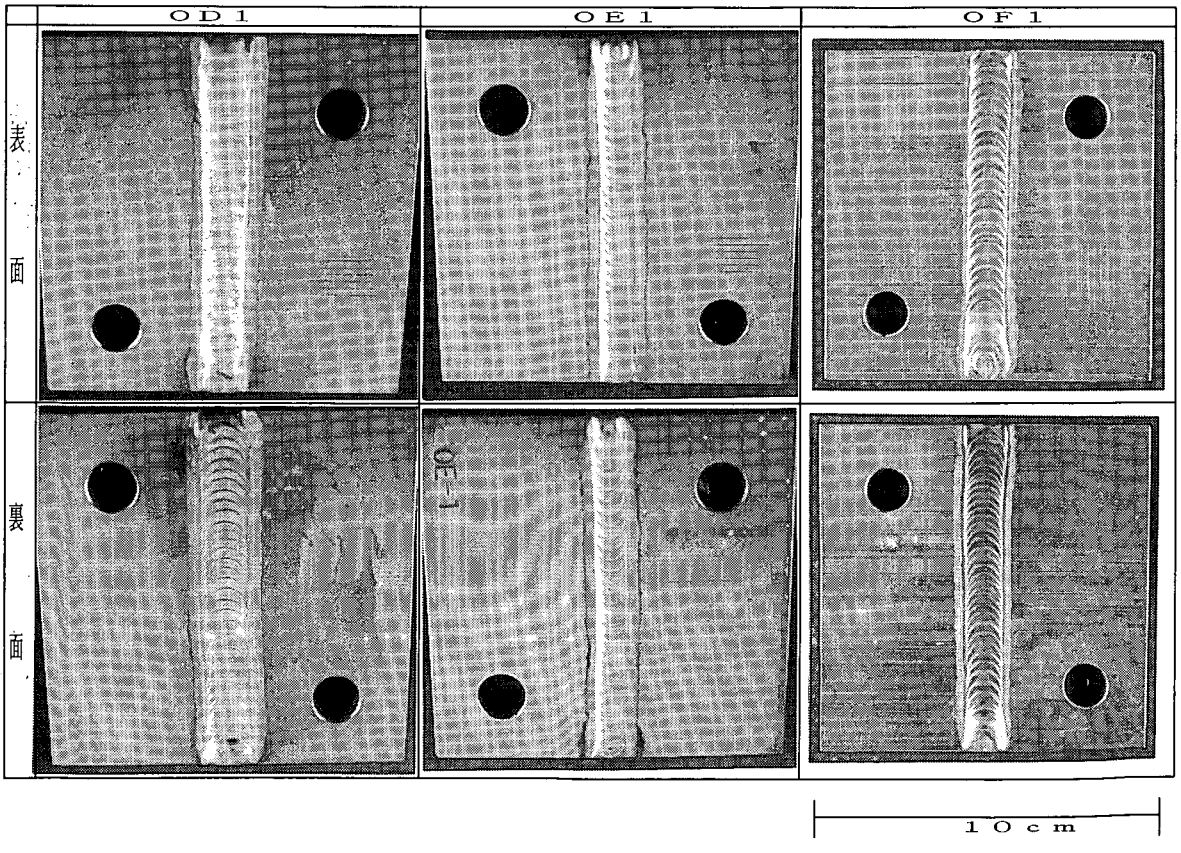
50 μm

	表　　面	裏　　面
OC1 溶接部		孔食の発生なし
OC1 溶接熱影響部		孔食の発生なし
OC1 非接合部		

50μm



写真－4.2.7　表面洗浄後の外観写真（ＯＤ1，ＯＥ1，ＯＦ1）



写真－4.2.8　塗膜はく離後の外観写真（ＯＤ1，ＯＥ1，ＯＦ1）

表－4.2.19　塗膜厚測定結果

記号	材　質	測定結果［μm］（上段：初期値、中段：試験後、下段：変化）									
		表　面					裏　面				
		左	右	上	下	平均値	左	右	上	下	平均値
ＯＤ1	5083P-0	197	195	198	183	193.25	186	210	214	229	209.75
		195	213	191	189	197.00	215	256	221	238	232.50
						+ 3.75					+22.75
ＯＥ1	5052P-H32	203	210	175	214	200.50	208	230	238	220	224.00
		196	216	193	183	197.00	253	251	259	260	255.75
						- 2.50					+31.75
ＯＦ1	5083S-H112	193	164	187	192	184.00	235	216	188	219	214.55
		226	211	219	221	219.25	236	206	196	217	213.75
						+35.25					- 0.80

表－4.2.20　光沢測定結果

記号	材　質	表　面			裏　面		
		左	右	平均値	左	右	平均値
ＯＤ1	5083P-0	57.9	48.9	53.4	57.4	35.2	46.3
ＯＥ1	5052P-H32	49.4	59.7	54.6	57.4	53.2	55.3
ＯＦ1	5083S-H112	48.7	42.5	45.6	57.6	57.0	57.3

表－4.2.21　測色結果

記号	材　質	測色結果(上　：　試験片左側　下段：試験片右側)					
		表　面			裏　面		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
ＯＤ1	5083P-0	78.90	- 0.42	- 0.88	79.51	- 0.31	- 1.18
		79.63	- 0.38	- 0.98	79.20	- 0.28	- 1.11
ＯＥ1	5052P-H32	79.66	- 0.24	- 1.05	78.71	- 0.21	- 1.17
		79.16	- 0.25	- 0.98	78.31	- 0.22	- 1.16
ＯＦ1	5083S-H112	78.70	- 0.22	- 0.88	78.42	- 0.23	- 1.25
		77.96	- 0.22	- 0.86	78.92	- 0.24	- 1.21

表－4.2.22　碁盤目試験結果

記号	材　質	表　面	裏　面
ＯＤ1	5083P-0	２５／２５	２５／２５
ＯＥ1	5083P-H32	２５／２５	２５／２５
ＯＦ1	5083S-H112	２５／２５	２５／２５

(4)すき間の影響

ＯＧ1の外観観察結果を表－4.2.23に、すき間形成材取り外し後（腐食生成物除去前）の外観写真を写真－4.2.9に、腐食生成物除去後の外観写真を写真－4.2.10に示す。 また、一般部の孔食深さの測定結果を表－4.2.24に示す。なお、すき間部には孔食は観察されなかった。

表－4.2.23　外観観察結果

記号	材質	表　面	裏　面
ＯＧ1	5083P-0	一般部は全面に腐食し、光沢が低下した。 すき間部の変化は特になし。	腐食の密度が低く、光沢の残っている部分がある。 すき間部の変化は特になし。

表－4.2.24　孔食深さ測定結果（一般部）

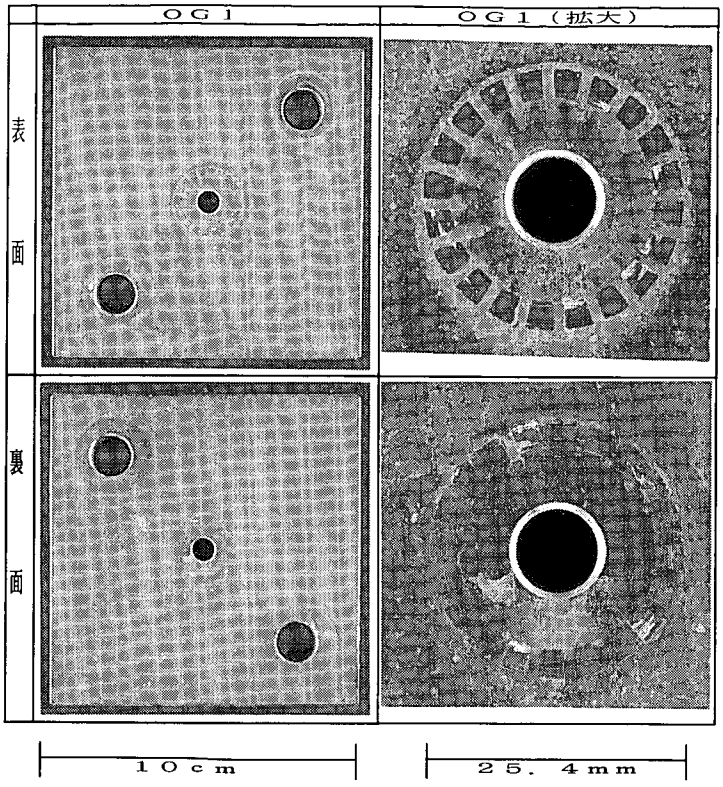
記号	材　質		測定値（μm）										最大（μm）	平均（μm）
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ＯＧ1	5083P-0	表	13	12	12	11	14	10	13	15	13	11	15	12.4
		裏	10	11	12	13	11	11	14	12	12	11	14	11.7

(5)異種金属接合の影響

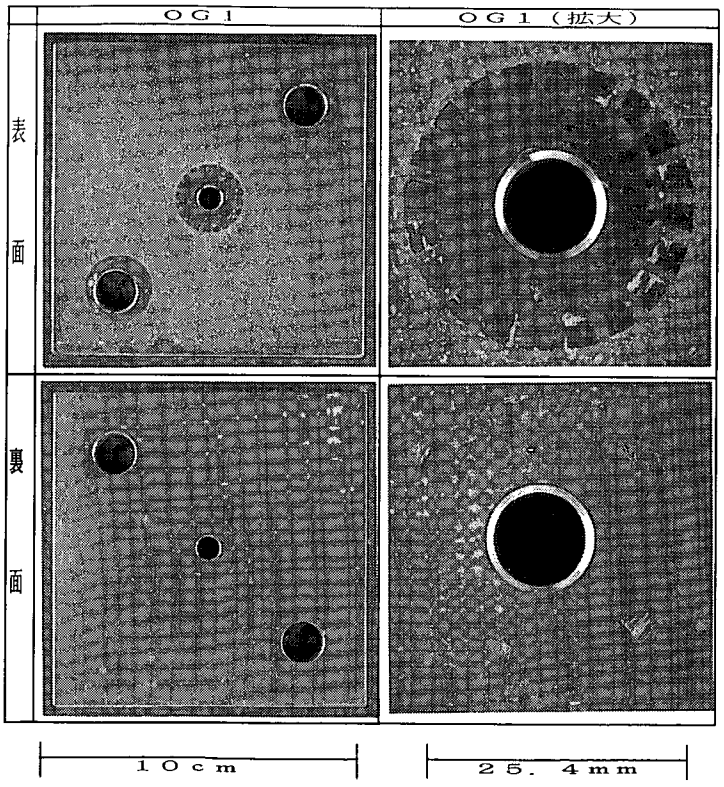
ＯＩ1，ＯＪ1の外観観察結果を表－4.2.25及び表－4.2.26に、外観写真を写真－4.2.11および4.2.12に示す。また孔食深さの測定結果を表－4.2.27，図－4.2.4，図－4.2.5に、ボルトの腐食重量変化を表－4.2.28，表－4.2.29に示す。ボルト接触部の腐食部断面のミクロ観察結果を写真－4.2.13（1）および（2）に示す。なお、ミクロ観察写真は、孔食の発生が顕著であったＳＵＳ３０４およびＳＳ４００の無処理材との接触部について示す。

表－4.2.25　ＯＩ1の外観観察結果

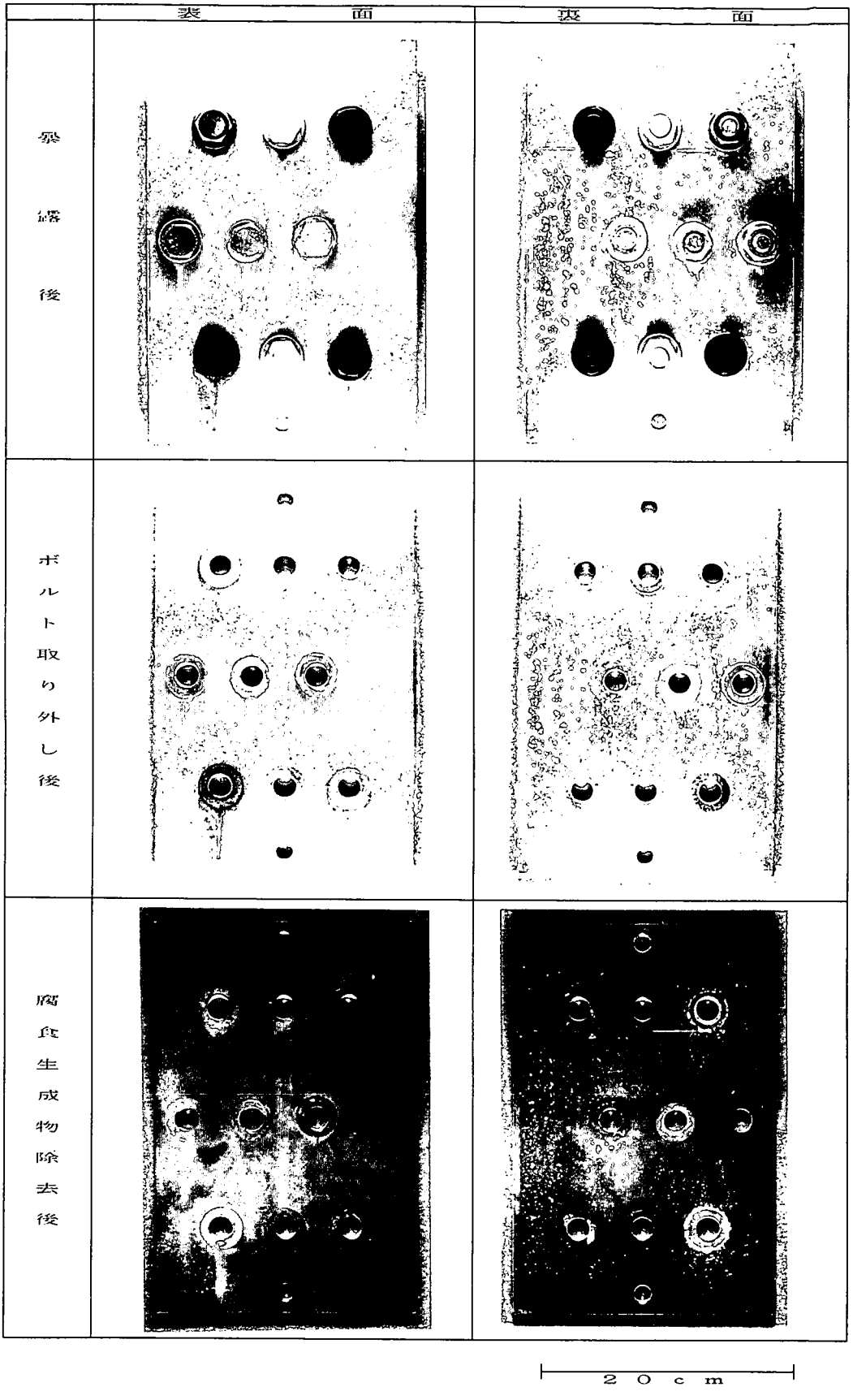
記号	材　質	表面処理方法	ボルト側	ナット側
基材	5083P-0	－	－	－
A	SUS304	無処理	異常なし	ワッシャー周辺部 やや腐食発生
B	SUS304	Zn粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
C	SUS304	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	異常なし	異常なし
D	SS400	電気亜鉛めっき	一部白錆発生	一部白錆発生
E	SS400	溶融亜鉛めっき	一部白錆発生	白錆発生大
F	SS400	溶融ｱﾙﾐﾆｳﾑめっき	一部黒化	黒錆発生大
G	SS400	無処理	全面赤錆発生	全面赤錆発生 ワッシャー周辺部腐食発生
H	SS400	Zn粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
I	SS400	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	一部白化	異常なし



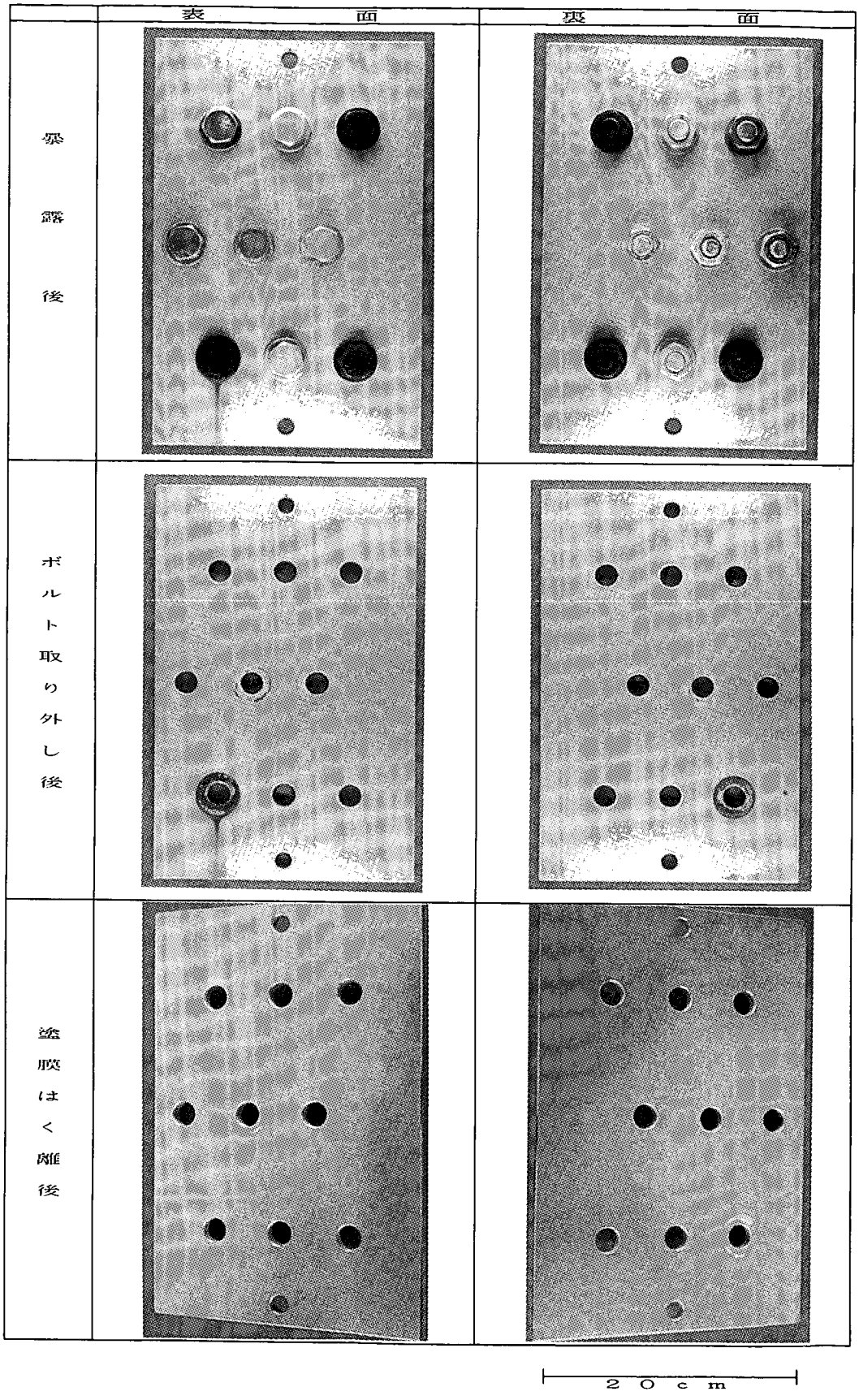
写真－4.2.9　すき間形成材取り外し後の外観写真（ＯＧ1）



写真－4.2.10　腐食生成物除去後の外観写真（ＯＧ1）



写真－4.2.11　外観写真（ＯＩ1）



写真－4.2.12　外観写真（ＯＪ1）

表－4.2.26　ＯＪ1の外観観察結果

記号	材　質	表面処理方法	ボルト側	ナット側
基材	5083P-0	塗装	－	－
A	SUS304	無処理	異常なし	異常なし
B	SUS304	Zn粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
C	SUS304	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	異常なし	異常なし
D	SS400	電気亜鉛めっき	一部白錆発生	一部白錆発生
E	SS400	溶融亜鉛めっき	部白錆発生	白錆発生大
F	SS400	溶融ｱﾙﾐﾆｳﾑめっき	一部黒化	黒錆発生大
G	SS400	無処理	全面赤錆発生	全面赤錆発生
H	SS400	Zn粉末入り化成処理	異常なし	異常なし
I	SS400	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	一部白化	異常なし

表－4.2.27　最大孔食深さおよび最大平均孔食深さ測定結果　（μm）

記号	材質	表面処理	ＯＩ1(5083P-0、生地材)			
			表（ボルト側）		裏（ナット側）	
			最大	平均	最大	平均
A	SUS304	無処理	102.0 (108.0)	65.6 (68.9)	76.0 (186.0)	58.5 (174.6)
B	SUS304	Zn粉末入り化成処理	－	－	－	－
C	SUS304	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	26.0	26.0	44.0	25.3
D	SS400	電気亜鉛ﾒｯｷ	－	－	－	－
E	SS400	溶融亜鉛ﾒｯｷ	12.0	12.0	13.0	12.0
F	SS400	溶融ｱﾙﾐﾆｳﾑﾒｯｷ	20.0	13.6	56.0	41.5
G	SS400	無処理	108.0 (259.0)	71.2 (149.0)	423.0 (353.0)	122.2 (260.1)
H	SS400	Zn粉末入り化成処理	－	－	－	－
I	SS400	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	25.0	16.9	71.0	40.2

＊表中（　）は接触周辺部、他は接触部の孔食深さを示す。

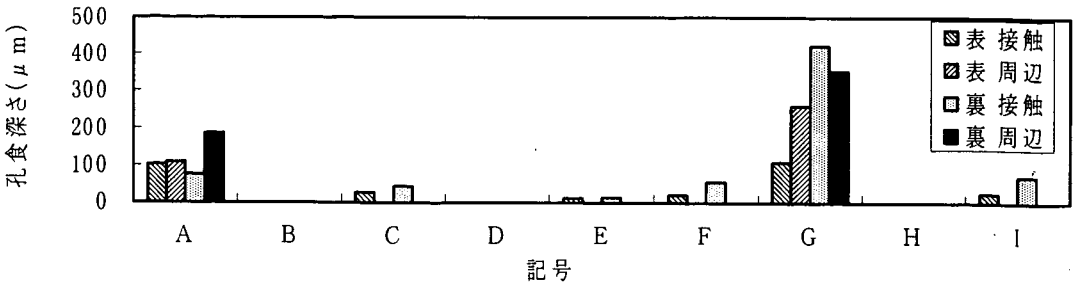


図-4.2.4 最大孔食深さ

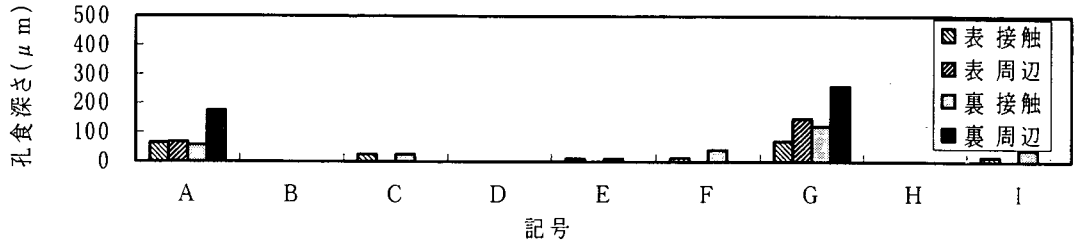
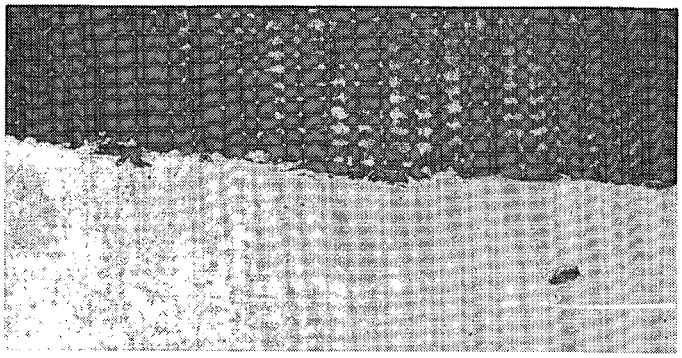
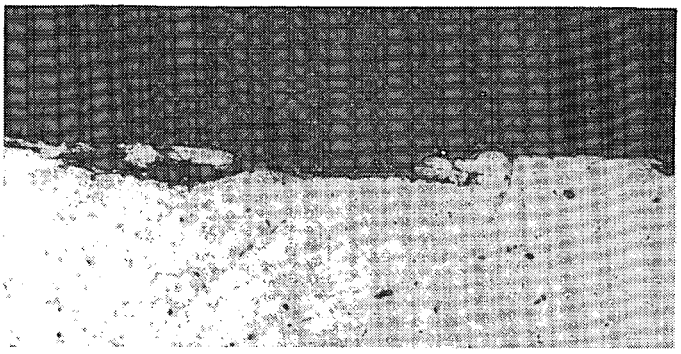
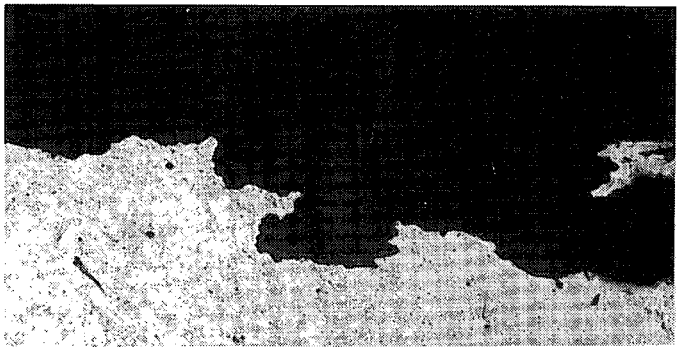
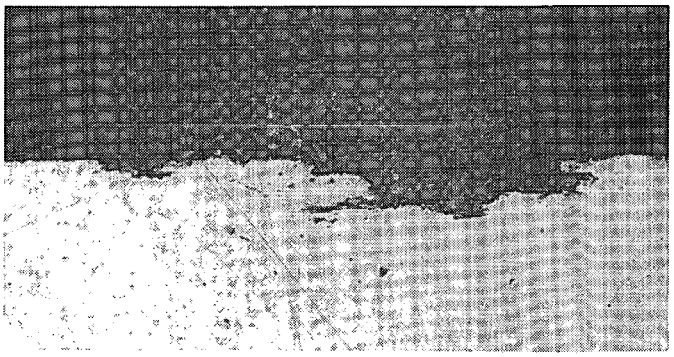


図-4.2.5 平均孔食深さ

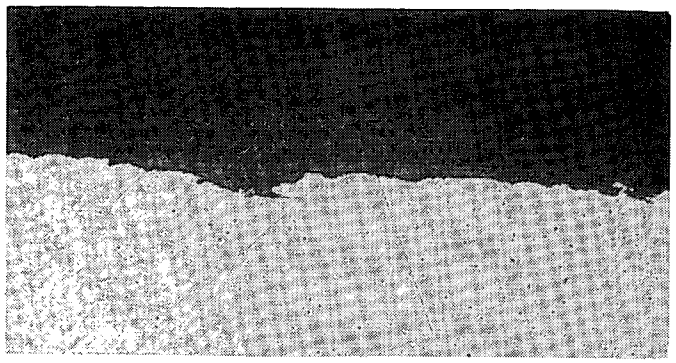
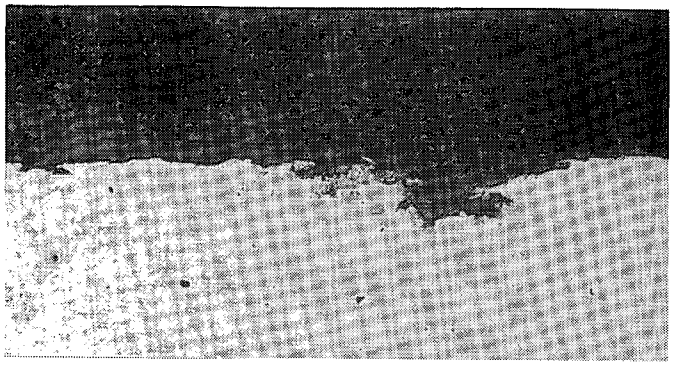
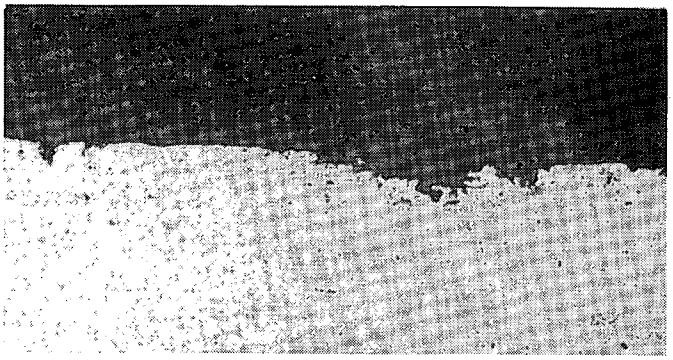
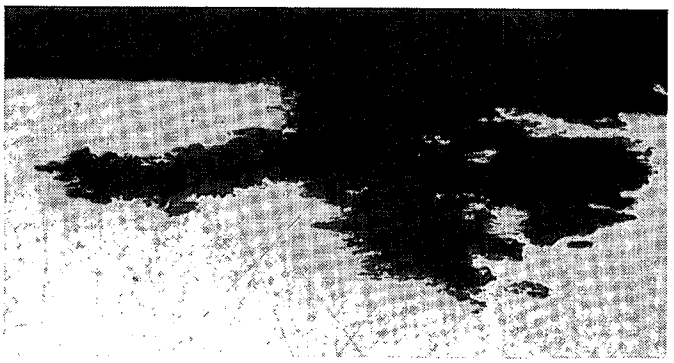
表－4.2.28 各種表面処理ボルトの腐食重量（OI1）

記号	材　質	表面処理方法	重量測定結果［g］		腐食量［g］
			試験前	試験後	
基材	5083P-O	—	-	1554.8	—
A	SUS304	無処理	123.9684	123.9698	- 0.0014
B	SUS304	Zn粉末入り化成処理	123.7344	123.7099	- 0.0245
C	SUS304	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	124.2945	124.2873	- 0.0072
D	SS400	電気亜鉛めっき	125.1219	125.1082	- 0.0137
E	SS400	溶融亜鉛めっき	123.5074	123.5796	+ 0.0722
F	SS400	溶融ｱﾙﾐﾆｳﾑめっき	121.7794	121.7699	- 0.0095
G	SS400	無処理	126.8680	125.6274	- 1.2406
H	SS400	Zn粉末入り化成処理	128.2944	128.2619	- 0.0325
I	SS400	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	128.3188	128.3067	- 0.0121

A SUS304 無処理	表面 接触部	
A SUS304 無処理	表面 周辺部	
A SUS304 無処理	裏面 接触部	
A SUS304 無処理	裏面 周辺部	

100μm

写真－4.2.13（1）腐食断面のミクロ観察写真

G SS400 無処理	表面 接触部	
G SS400 無処理	表面 周辺部	
G SS400 無処理	裏面 接触部	
G SS400 無処理	裏面 周辺部	

100μm

写真－4.2.13 (2) 腐食断面のミクロ観察写真

表－4.2.29　各種表面処理ボルトの腐食重量（ＯＪ1）

記号	材　質	表面処理方法	重量測定結果［g］		腐食量
			試験前	試験後	［g］
基材	5083P-0	塗装	－	1546.0 (塗膜剥離後)	－
A	SUS304	無処理	124.3885	124.3789	- 0.0096
B	SUS304	Zn粉末入り化成処理	123.9986	123.9783	- 0.0203
C	SUS304	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	124.0688	124.0624	- 0.0064
D	SS400	電気亜鉛めっき	125.7414	125.7292	- 0.0122
E	SS400	溶融亜鉛めっき	123.5535	123.6508	+ 0.0973
F	SS400	溶融ｱﾙﾐﾆｳﾑめっき	121.8743	121.8739	- 0.0004
G	SS400	無処理	127.3805	125.6867	- 1.6938
H	SS400	Zn粉末入り化成処理	127.4977	127.4697	- 0.0280
I	SS400	Znﾒｶﾆｶﾙﾌﾟﾚｰﾃｨﾝｸﾞ+化成処理	127.2542	127.2505	- 0.0037

4.2.3 まとめ

(1)素材の腐食について

暴露1年では、アルミニウム材（5052Ｐ－Ｈ32）にごく浅い孔食（10～20μｍ）の発生が見られる。ＳＵＳ304およびＳＵＳ316では、ＳＵＳ304の方が若干赤錆の発生が多い。ステンレス材では孔食の発生は見られない。

(2)溶接部の影響について

5083Ｐ－Ｏ，5052Ｐ－Ｈ32，5083Ｓ－Ｈ112の各材料において、溶接部，溶接熱影響部，非接合部とも顕著な腐食の発生は見られないが、非接合部にごく浅い孔食（10μｍ程度）が発生している。

材質による影響については、5083Ｓ－Ｈ112が他の材質に比較してやや孔食の深さが大きい傾向にある。

(3)塗装の効果について

暴露1年では、塗膜のふくれ，はがれ，素材の腐食等の異常は見られず塗膜の密着性も保持されている。材質間の差異はない。

(4)すき間の影響について

すき間部で腐食の発生等の異常は見られない。

(5)異種金属接合の影響について

ＳＳ400ボルト（無処理）の赤錆発生，重量減少が顕著である。他の表面処理ボルトについ

てはＳＳ400下地の電気亜鉛めっき，溶融亜鉛めっきで一部白錆の発生，溶融アルミニウムめっきで黒化が認められる。

ＳＵＳ304下地の各表面処理ボルトやＺｎ粉末入り化成処理，Ｚｎメカニカルプレーティング＋化成処理では健全な外観を呈している。

アルミニウムとの接触部については、裸材ではＳＳ400（無処理），ＳＵＳ304（無処理）ボルトとの接触部（接触周辺部）において孔食の発生が顕著である。

塗装材では孔食の発生は見られない。

4.3 ワイヤーオンボルト試験

国内各地でアルミニウム合金の耐食性及び耐汚染性等に関する大気暴露試験が進行中であり、これら暴露場大気の腐食性を比較・評価すること、海からの距離と大気腐食性を明らかにすること及びワイヤーオンボルト試験の迅速試験法としての適性を評価することを目的として、9箇所の大気暴露試験場において1年間（4期間）に渡ってワイヤーオンボルト試験を実施し、環境腐食性を調査した。

4.3.1 試験方法

(1) 供試材料

① カソード材料

一般的な鋼材種であるSM400Bをボルト材料とし、比較材としてナイロン66を用いた。寸法はASTM-G116作成条件に準拠した。試験体の概要を図－4.3.1に示す。

② アノード材料

ボルト溝に巻き付けるアルミニウム線はJIS 1070WY(0.8mm φ)であり、1供試体当たり約1mを使用した。組み合わせ試験体は以下に示すようである。

イ）アルミニウム－鋼(SM400B)供試体　　ロ）アルミニウム－プラスチック（ナイロン66）供試体

ハ）アルミニウム螺旋状オープンコイル供試体

(2) 試験場所

試験場所は表－4.3.1に示すとおりの9箇所の暴露場である。

(3) 暴露条件

塩化ビニール製台枠に固定された各供試体は、大気暴露試験架台に取り付けられた。そして1試験期間として90日間暴露した。試験は平成7年10月から開始し、平成8年10月までの4期間で評価を行なった。

(4)評価方法

評価はASTM-G116を採用せず、前述のアルキャン法により、以下に示すように海洋腐食性指数・アルミニウム大気腐食性指数及びアルミニウムオープンコイル大気腐食性指数等を求めた。[1)]

① 海洋腐食性指数（Marine Corrosivity Index：以下M.C.I.と略記）

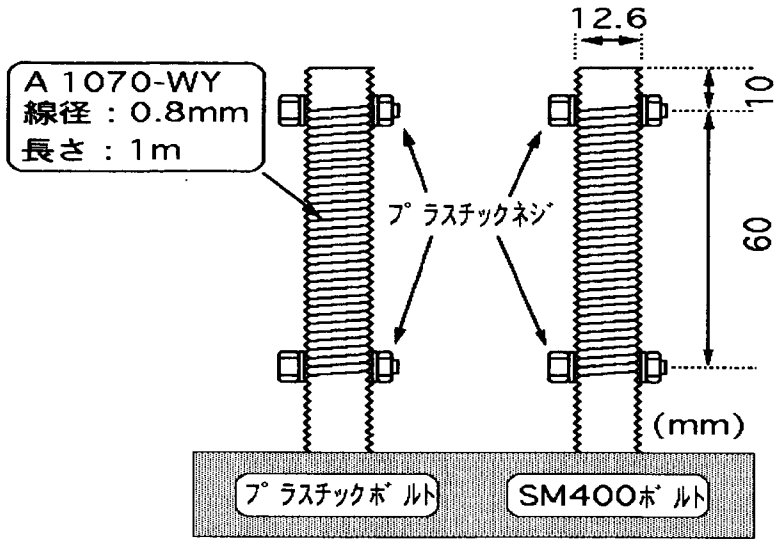
海洋腐食性指数は、アルミニウム－鋼製ボルト試験体におけるアルミニウム線の腐食減量%で表される。M.C.I.の値に基づく海洋腐食性指数のレベル区分は表－4.3.2に示すとおりである。

② アルミニウム大気腐食性指数（Aluminium Corrosivity Index：以下A.C.I.と略記）

アルミニウム大気腐食性指数は、アルミニウム－プラスチック試験体のアルミニウム線重量減少率で表される。この値はプラスチックボルトとアルミニウム線間のすき間腐食量を内包している。

③ アルミニウムコイルの大気腐食性指数

この値はまさにアルミニウム線の大気中における腐食値であり、環境別相対評価の指標となる。



図－4.3.1　ワイヤーオンボルト試験体

表－4.3.1　ワイヤーオンボルト試験場所

暴露場所	海からの距離（km）	環境区分
沖縄県大宜味村（土木研究所暴露場）	0.008	南西諸島　海浜
東京都江戸川区江戸川河口（土木研究所暴露場）	1	太平洋・北　都市沿岸
茨城県つくば市（土木研究所暴露場）	42	太平洋・北　内陸田園
東京都品川区大井南（土木研究所暴露場）	0.5	太平洋・北　都市沿岸
新潟県親不知海岸（土木研究所暴露場）	0.015～0.1	日本海・北　海浜
沖縄県宮古島（日本ウェザリングテストセンター暴露場）	1.7	南西諸島　沿岸
北海道旭川（日本ウェザリングテストセンター暴露場）	60	北海道・西　内陸
千葉県銚子（日本ウェザリングテストセンター暴露場）	4	太平洋・北　田園準沿岸
沖縄県嘉弥真島（日本軽金属暴露場）	0.015	南西諸島　海浜

表－4.3.2　M.C.I.の値に基づく海洋腐食性のレベル区分

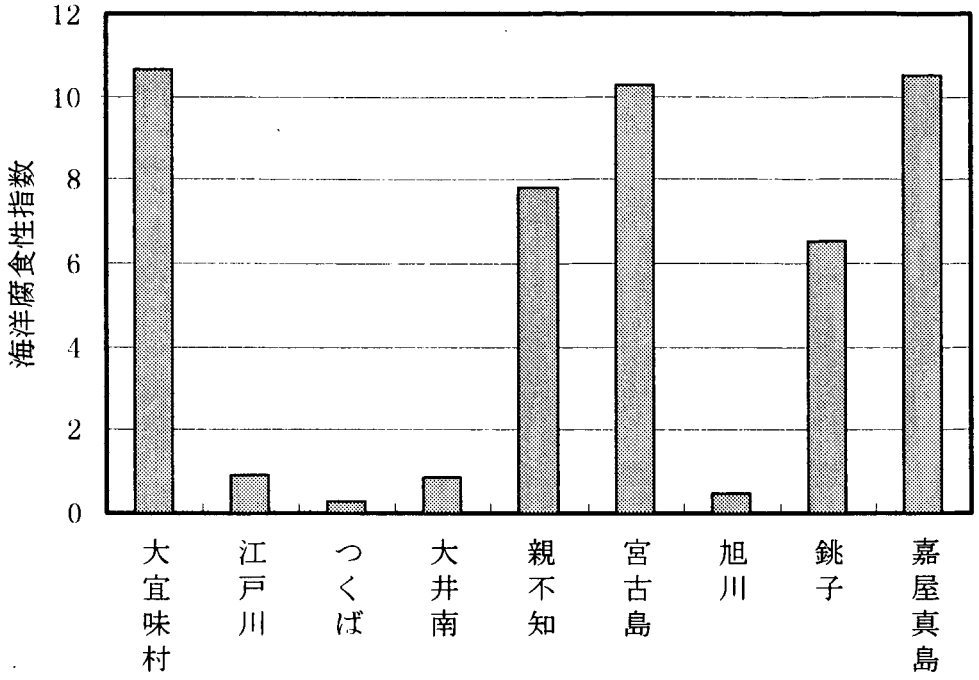
M.C.I.	区　分	該当地
0～2	無視できる(Negligible)	平均的居住地
2～5	中程度(moderate)	海　浜
5～10	やや過酷(Moderately Severe)	海浜で海に露出
10～20	過酷(Severe)	海に露出
＞20	非常に過酷(Very Severe)	海に露出し、風と砂に暴露

4.3.2 調査結果

(1) 暴露場間の海洋腐食性指数比較

各暴露場間の年間平均M.C.I.比較結果を図－4.3.2に示す。この結果からも明らかなように海洋腐食性指数の年平均値は、南西諸島３暴露場（大宜味村・宮古島及び嘉弥真島）ともほぼ同等であって、新たに通常の大気暴露試験片で試験を行っても似たような腐食傾向になるものと推定される｛評価：過酷

(Severe) ｝。南西諸島に次いで海洋腐食性指数の高い暴露場は親不知海岸であり、次いで銚子が続いている。その他の暴露場は何れも評価が｛無視できる（Negligible）｝であり、環境腐食性は小さい。



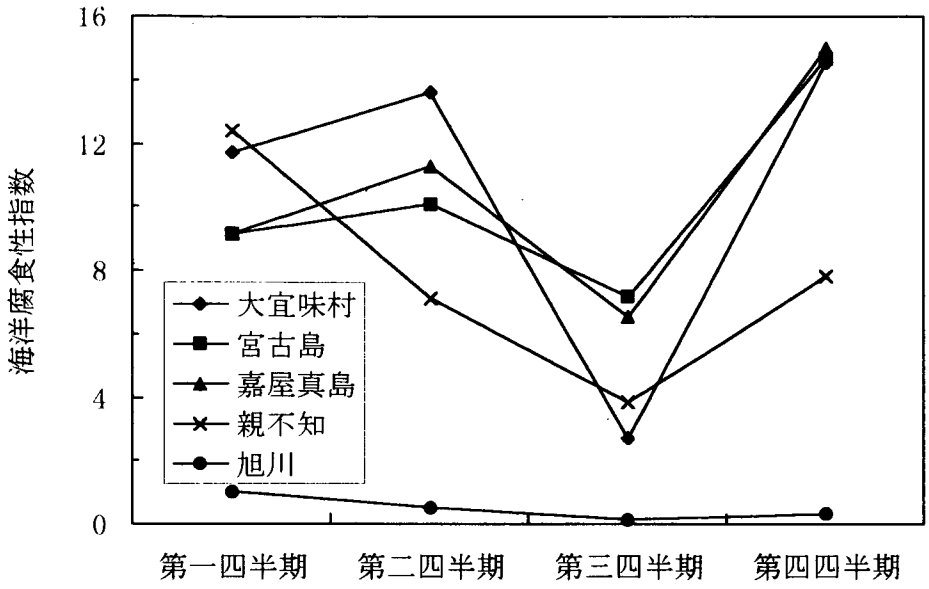
図－4.3.2　各暴露場間の年平均海洋腐食性指数比較結果

(2) 海洋腐食性指数の季節的変動について

季節的変動の大きかった南西諸島３暴露場と、親不知海岸及び旭川暴露場についての経時変化を図－4.3.3に示す。

南西諸島の３暴露場は何れも第３四半期（4月～7月）に急激な海洋腐食性指数の低下をみている。この時期沖縄地方は小雨傾向が続き（離島では雨不足のためサトウキビ畑が壊滅状態であった）、その影響を大きく受けていると考えられる。また最も大きな値を示したのは第４四半期であった。この時期には沖縄地方に複数の台風が襲来し、しかも長期間停滞したため海塩粒子の供給が多かったものと推察される。

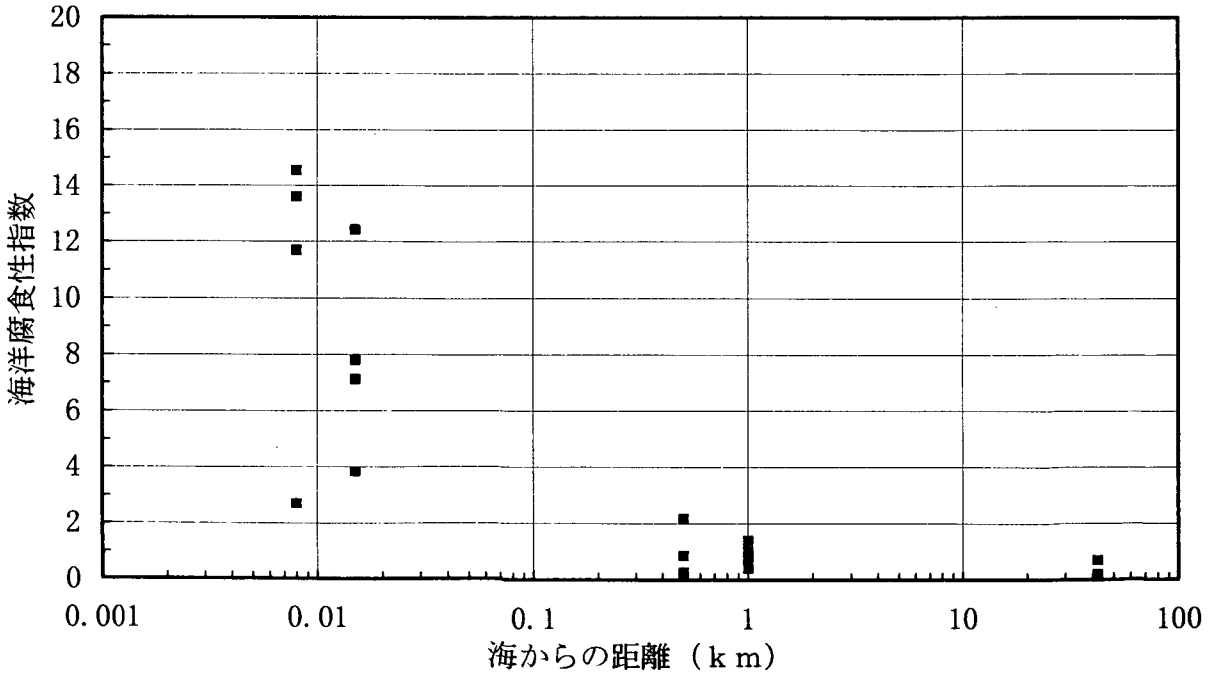
季節の影響を受けているのは、この他親不知暴露場が挙げられる。日本海側の親不知は第１四半期（11月～2月）がこの時期の全暴露場で最も大きいことが特徴である。そして夏期に向かって海洋腐食性指数は低下し、冬期に向かうと指数が上昇するといったサイクルを示している。似たような傾向を示すのは数値こそ小さいが積雪・寒冷地の旭川である。積雪による濡れ時間の長いことが、低温による腐食反応速度低下の影響を上まわっているものと推測される。夏期が高温・多湿の太平洋側及び南西諸島は、夏期に向かって指数が上昇する傾向にある。



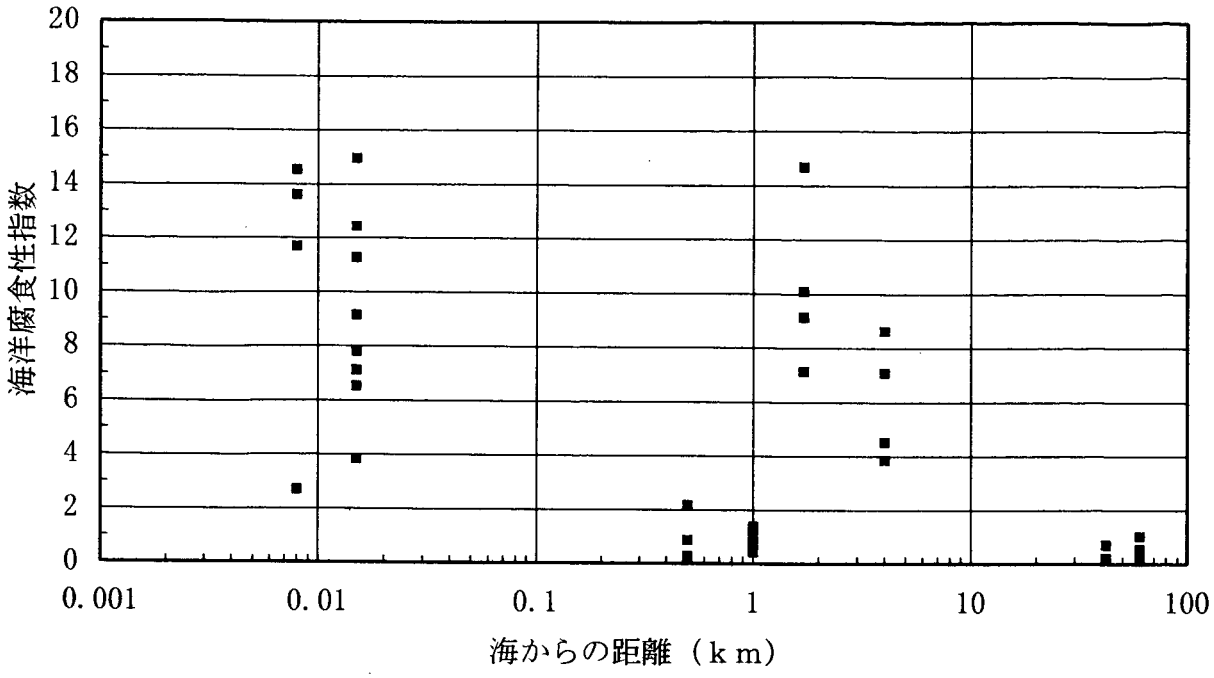
図－4.3.3　海洋腐食性指数の季節変動

(3) 海からの距離と海洋腐食性指数の関係について

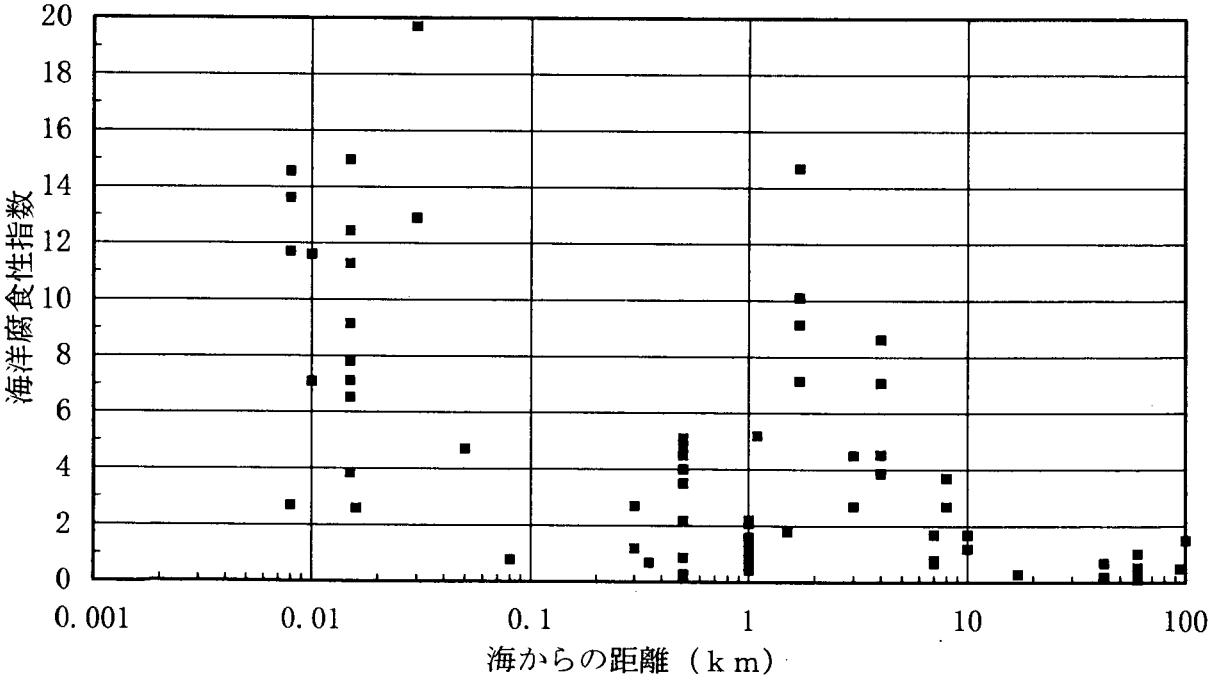
縦軸に海洋腐食性指数、横軸に海からの距離をとり、土木研究所の５箇所の暴露場データをプロットした結果を図－4.3.4に示す。また図－4.3.5には９箇所の暴露場における全海洋腐食性指数データをプロットした結果を示す。さらに過去に日本国内各地で実施されたワイヤーオンボルト試験結果と海洋腐食性指数の関係を図－4.3.6に示す。



図－4.3.4　土木研究所５箇所の暴露場における海からの距離と海洋腐食性指数の関係



図－4.3.5　全暴露試験場における海からの距離と海洋腐食性指数の関係



図－4.3.6　国内各地で実施されたワイヤーオンボルト試験における海からの距離と海洋腐食性指数の関係

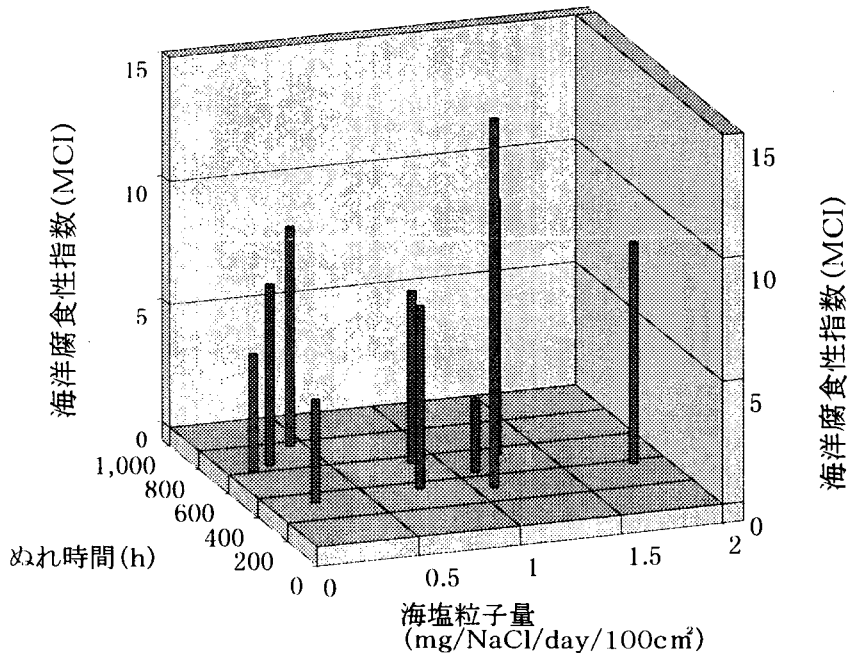
この結果、図－4.3.4を見る限り、海洋腐食性指数は概略海からの距離で説明できる。海からの距離が短い場合には海洋腐食性指数が大きく、海から離れるに従って急速に海洋腐食性指数が低下していく様子が窺える。そして腐食を無視し得る数値を示すのは（海洋腐食性指数２以下）、海からの距離が概

略500 m前後である。

しかし今試験における9箇所の暴露場の全数値をプロットすると必ずしもそのような関係は成り立たない場所があることが判る。図－4.3.5ではデータが正規分布しておらず、宮古島と銚子のデータが外れていることが明白である。また図－4.3.6の場合も多くの場所で正規分布しているとは言い難い。

これらの場所が異常値とは考えられない。そこで濡れ時間と飛来塩分量のデータが入手できた宮古島と銚子について、これらの数値と海洋腐食性指数との関係を調査した。その結果を図－4.3.7に示す。

図からも明らかなように海洋腐食性指数と濡れ時間、飛来塩分量の間にはかなり密接な関係が示されている。この結果から、海からの距離で海洋腐食性指数を論ずるよりも濡れ時間・飛来塩分量で考えたほうが適切であると思われる。この考え方を補強するため今後さらなるデータの蓄積が必要となろう。



図－4.3.7　濡れ時間・飛来塩分量と海洋腐食性指数の関係

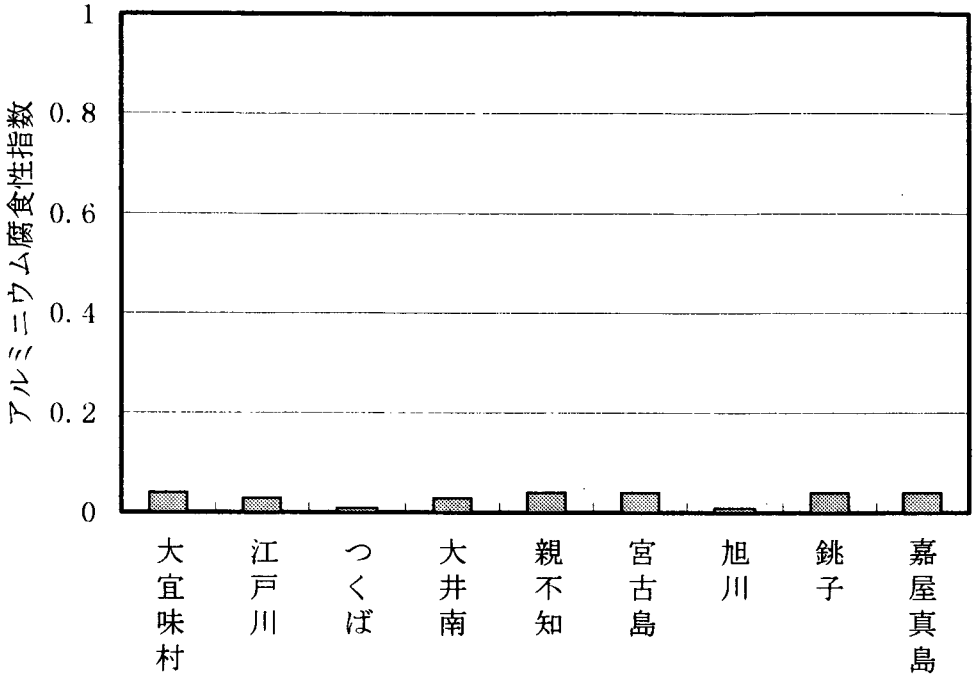
(4) アルミニウム腐食性指数について

各暴露場における年平均のアルミニウム腐食性指数（アルミニウム－プラスチック対の腐食減量）を図－4.3.8に示す。海洋腐食性指数からこの値を差し引けば環境のガルバニック効果が算出できるが、図からも明らかなようにアルミニウム線の腐食はごく軽微であって、無視し得るほどの値である。従って海洋腐食性指数イコールガルバニック効果と言っても過言ではない。また海からの距離が近い暴露場であってもアルミニウム腐食性指数はそれほど大きいとは言えず、アルミニウム自体が飛来塩分量や濡れ時間の影響をそれほど受けない材料であるとも考えられる。

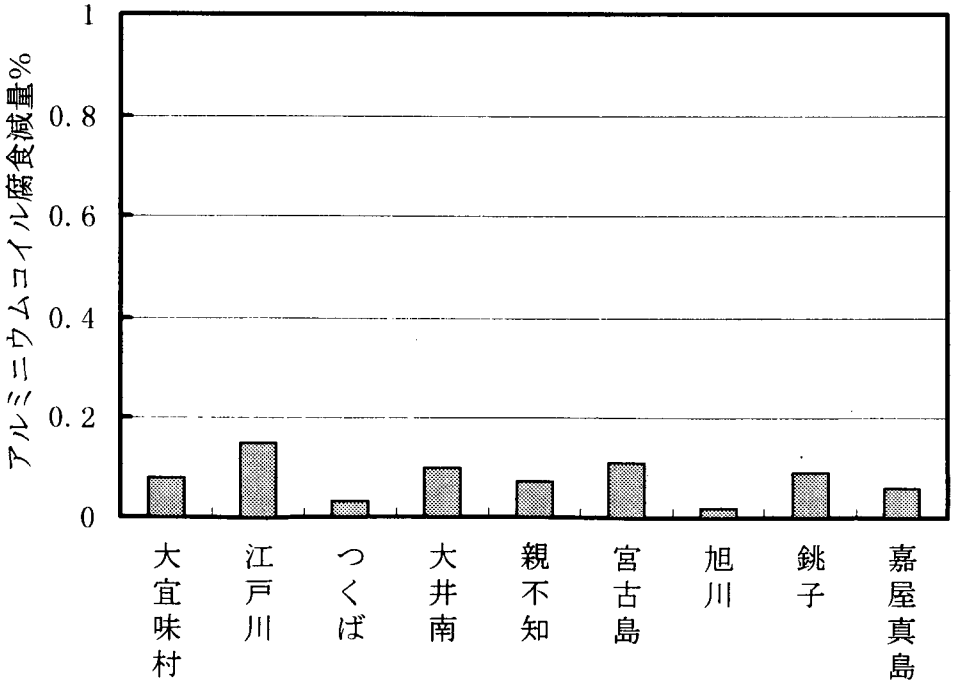
(5) アルミニウムコイルの腐食減量について

各暴露場における年平均のアルミニウムオープンコイル腐食減量（%）を図－4.3.9に示す。オープンコイルの腐食減量はアルミニウム／プラスチック対に比して明らかに数値が大きくなっている。この

結果はすき間腐食による腐食の進行よりも、環境と遮断されたことによる腐食軽減効果のほうがアルミニウム材料にとっては大きいことを示唆しているものと考えられる。オープンコイルにおいては暴露場間を比較しても、海洋腐食性指数の大きい環境イコールオープンコイルの腐食性が大きい環境とは必ずしも言えない。



図－4.3.8　各暴露場間の年平均アルミニウム腐食性指数比較結果



図－4.3.9　各暴露場間の年平均アルミニウムコイル腐食減量%比較結果

4.3.3 まとめ

国内９箇所の大気暴露試験場において通年で行われたワイヤーオンボルト試験の結果、以下のことが明らかになった。

(1) ５箇所の土木研究所大気暴露試験場の環境腐食性は、概略、海からの距離によって説明できる。即ち、海からの距離500 m以内の金属腐食性が高く、それ以上離れることによって金属腐食性は急激に低下する。

(2) 国内各地のワイヤーオンボルト試験における海洋腐食性指数と海からの距離の関係は、必ずしも整合する値を示さない場所が存在する。より正確性を増すためには濡れ時間と飛来塩分量及び海洋腐食性指数の関係で整理する必要があろう。

(3) ワイヤーオンボルト試験は季節的要因や気象的な特異点も敏感に検知し、環境腐食性を比較的短期間に定量化できる。

(4) 太平洋側・南西諸島等では夏期の腐食性が高く、降雪・寒冷地では逆に冬期が高い傾向にある。

(5) 南西諸島３箇所の暴露場の大気腐食性は、ほぼ同等である。

(6) 国内９箇所の暴露場は、概略３段階の環境（無視できる・やや過酷・過酷）に分類できる。環境に合わせた表面処理仕様の設定が、データの積み重ねによって可能と考えられる。

引用文献

1) D.P.Doyle, T.E.Wright :Atmospheric Corrosion, (ed. W.H.Ailor), Wiley, (1982) , 227-243.

5. 腐食文献調査

河川、ダム施設にアルミニウム材料を使用するために必要な基礎データとして既存文献の調査を行った。

5.1 調査結果

表－5.1に示す７項目について文献調査を行った。この結果概要を表－5.2～表－5.8に示す。河川、ダム施設に使用されるアルミニウム材料に直接関係する文献としては、手賀沼（千葉県）での５０５２，５０８３の浸漬試験（４報）及び富士川河川水中におけるアルミニウム水門の陰極防食（１報）があげられる。その他の文献は、各種の基礎調査結果として参考になると思われる。

表－5.1　文献調査項目の内訳と結果

調査項目	調査内容	文献数
１．合金組成の影響	合金組成、機械的性質、耐食性	8
２．溶接の影響	溶接方法、組織、機械的性質、耐食性	１６
３．塗装の効果	前処理、下地処理、塗装の種類、耐食性	１３
４．異種金属接合の影響	異種金属の種類、接合方法、耐食性	5
５．陰極防食の適用	防食方法、耐食性	２５
６．コンクリート埋設部	耐食性	１５
７．微生物腐食	微生物種、耐食性	４８

表－5.2(1) 合金組成の影響

1	題目	Al-Si 合金ろう材の電気化学的性質に及ぼす熱処理の影響
	著者	黒田　周　板垣武志　当摩健（三菱アルミ）
	出典	軽金属協会　Vol.89th.PAGE 267-268.1995
	要約	Al-Si 合金ろう材の局部腐食の抑制方法として，ろう付け後の熱処理の影響を調べた。Al-1%Mn 合金の両面にAl-9%Si 合金ろう材をクラッド率10% で，熱間圧延ではりあわせ鋼資料を用いた。熱処理は試料冷却後,200～400 ℃の間の各温度で行った。組織観察，陽極溶解，腐食形態調査，孔食電位測定，その経時変化調査などを行った。得られた結果について考察した。
2	題目	実用6351アルニウム押出し棒の耐食性及ぼす顕微鏡組織の影響
	著者	CIGDEN M(Turish Airforce Acid.,Yesilyurt-Istanbul,Tur)
	出典	Prakt Metallogr　Vol.32,No7,PAGE 358-371.1995.
	要約	周辺部が再結晶未完の繊維組織，中心付近が等軸再結晶粒の不均一断面組織の棒材（Ｔ５熱処理，30mmφ）から試料を採取した。HCl,H_3PO_4 などの水溶液中に時間を変えて浸漬した試料の重量変化測定，引張試験，光学顕微鏡，走査電子顕微鏡観察を行った。繊維組織の領域で，孔食，粒界腐食の進行が速い。
3	題目	Al-Mg-Mn合金硬質板の耐食性に及ぼすZn,Cu 添加の影響
	著者	田中宏樹　土田信（住友軽金属工業）
	出典	アルミニウム研究会誌　No4.PAGE 89-90,1994.
	要約	Al-Mg-Mn系合金にCu及びZnを添加し，均質化処理後，ソルトバス又は空気炉による中間熱処理，冷間圧延を行って板材とし，安定化処理して試料としたNACl1000ppm 溶液中に400 ℃×15日保持して腐食減量を測定した。Cuは0.5%までの添加で耐食性が向上していく。Znは添加量と製造工程によって耐食性が変化する。これは生成する金属間化合物の分散状態による。
4	題目	純アルミニウムの耐食性に及ぼす純度と残留応力の影響
	著者	小林信雄　米木章　大西忠一　一ノ瀬弘之　黒田周
	出典	アルミニウム研究会誌　No.9,PAGE 67-68,1992.
	要約	4N,3N,8 及び3N,2の純度のアルミニウム板を1 パス10%の圧下率で10～90%圧延を行い。焼鈍したものを供試材とした。腐食性はNaOH溶液中でのH_2発生量によって評価した。圧下率に対してH_2発生量をプロットすると２点での極大，１点の極小が現れた。これらは残留応力の測定値と良好な対応を示した。

表－5.2(2) 合金組成の影響

5	題目	Al-Si 合金の腐食のモデル化
	著者	OLTRA R,CHAPHY B(R activit des Solides,Dijion);LEFEBVRE F(Centre de Recherches de Voreppe)
	出典	Mem Etud Sci Metall Vol.87,No9,PAGE 512.1990.
	要約	Al合金の抑制する適性組織の処理法をモデル化するため，塩化物水溶液中でのAl-Si モデル合金について，ミクロ電池作用を検討した。けい素相析出の二種の合金を組み合わせて電位および電流変動と測定した。結果としてアルミニウム既知のけい素析出物周辺での局部腐食に対応した電位揺動を認めた。しかし析出物周辺のリアルタイムの腐食動力学の評価には到らなかった。
6	題目	Al-Zn-Mg系合金の表面処理と不動態化に関する界面インピーダンスの研究
	著者	井上哲雄（鈴鹿工高専）　沖猛雄（名古屋大　工）
	出典	アルミニウム研究会誌　No.6,PAGE 74-75,1990.
	要約	結晶粒度・表面粗さ・時効時間を変化させた合金の界面インピーダンス応答を測定し，表面組織と電気化学特性の関係の関係について考察した。インピーダンス測定結果は分極特性の傾向や，時効析出による母相中アルミニウム純度の変化とよい対応をしめした。
7	題目	Al-Mn-Mg-Si-Cu系合金の耐食性に及ぼすTi添加の影響
	著者	正路美房　山内重徳（住友軽金属工業）
	出典	住友軽金属技報　Vol.31,No2,PAGE 99-104.1990.
	要約	カーエアコン用コンデンサー，エバポレーターに用いる高強度化したAl-Mn合金の孔食性はCr,Zr の添加に比べ，Tiの添加により著しく改善される。Ti添加合金では腐食が板面に平行な層状に進行し，孔食性が改善されているこれは，Tiが層状に偏析して，濃度差に起因して孔食電位に差が生じて各層間でガルバニック作用が働くためである。
8	題目	Al-Cu 合金の腐食挙動と自然電位の変化
	著者	世利修美（室蘭工大）　古谷修一（古河アルミニウム工業）
	出典	アルミニウム研究会誌　No.8,PAGE 93-94,1989.
	要約	1.3%までCuを含むAl-Cu 合金の圧延板を低温焼鈍して試験片とした。これをNaCl溶液に1000時間浸漬した後の表面観察，腐食量の測定を行った。また分極測定から腐食電位をもとめた。Cu量に伴い腐食量は増大する。$AlCu_2$ が析出する領域では腐食量は急増する。今回測定された腐食電位の範囲では$AlCu_2$ は常にカソードで周囲のα層に接触腐食を生じさせた。

表－5.3(1)　溶接の影響

1	題目	水門用アルミニウム合金耐食試験報告書　手賀沼（千葉県）における（軽金属協会Ｓ）
	著者	（軽金属協）
	出典	水門用アルミニウム合金耐食試験報告書　手賀沼（千葉県）における昭和55年　1980
	要約	農業用水に対するアルミニウム合金５０５２、５０８３の耐食性を調べるため千葉県手賀沼で、２年間の浸漬による腐食試験を行った。溶接材の耐食性は無処理材に比べ劣る事は無いようである。
2	題目	アルミニウム合金製水門用材料の手賀沼（千葉県）における２ヶ年間浸漬腐食試験結果
	著者	清水義彦（金材技研腐食防食研究部）、池田洋（住軽金）
	出典	アルミニウム　No.602　p.43～49　1980
	要約	調査項目は、外観、腐食深さ、引張強さ、伸び。材質は５０８３。溶接材の場合も５０８３、５０５２共に問題無し。
3	題目	アルミニウム合金製水門用材料の耐食性の研究
	著者	清水義彦（軽金属協）
	出典	防せい管理　Vol.27　No.1　p.21～28　1983
	要約	水門用アルミニウム合金５０５２、５０８３の農業用水に対する耐食性を確認するためＳＳ４１ＳＰＡ－Ｈを比較材として千葉県手賀沼で２年間の浸漬試験を行った。
4	題目	手賀沼における水門用アルミニウム合金材料の接触腐食試験結果
	著者	伊藤秀男、清水義彦（軽金属協）
	出典	軽金属学会大会講演概要　Vol.71st　p.25～26　1986
	要約	水門用材料５０８３合金板とＳＵＳ３０４ボルト、ナットの防食法を検討した。中央に溶接部を含む、２２０×２４０×４mm試験片の３ヶ所に、ボルトを取り付け、湖沼水に浸漬した。Ｚｎワッシャは有効で、５０８３とボルトの自己腐食の抑制にも効果があった。
5	題目	溶接された航空機構造物用のアルミニウム－リチウム合金の品質向上の主な方向
	著者	FRIDLYANDER I N、BRATUKHIN A G、DAVYDOV V G (All-union Inst.Ligh Alloys)
	出典	Phys Chem Mater Treat Vol.27　No.3　p.269～299　1993
	要約	低比重２．４７g/cm^3、高弾性係数７．８MPa、高耐食性及高比強度特性を持つ、溶接用１４２０Ａｌ－Ｌｉ合金の使用でリベット構造物に比べて２４％の軽量化を達成した。高い耐応力腐食性と力学的性質の最適組み合わせは制御冷却速度を伴った焼き入れ処理で達成できた。

表－5.3(2)　溶接の影響

6	題目	クリーン溶接技術
	著者	北側彰一、中谷光良、中島宏幸、小村明夫（日立造船）
	出典	KEK Proc　No.94-3　p.393～399　1994
	要約	超高真空容器の製造に必要な、各種材料のクリーン溶接技術を開発した。アルミニウム、銅及びステンレス鋼を対象に、健全で安定な溶接部を得る最適入熱制御技術と自動溶接装置の開発、また表面酸化の無い継手溶接条件やパーティクルの溶接部近傍への残存の無いヒューム吸引式クリーン溶接技術について述べた。
7	題目	アルミニウム合金溶接部の腐食
	著者	加藤周一郎（日本アルミニウム）
	出典	材料と環境　Vol.43　No.11　p.667～668　1994
	要約	これは、熱処理材（溶接構造用材のＡｌ－Ｚｎ－Ｍｇ系のＡ７Ｎ０１－Ｔ６）の水中／海水浸漬により、粒界腐食や剥離腐食として起こる事がある。この原因は、金属化学的・電気化学的な不連続要因と環境要因との絡みである。Ａｌ－Ｍｇ－Ｓｉ系材も同様で溶接後の焼戻熱処理と厚めの塗装が防止策である。この現象が生じないとされる非熱処理材でも溶接時の過剰入熱は避けたい。
8	題目	自動車ボディパネル用アルミニウム合金板の各種特性に及ぼす酸化皮膜の影響
	著者	栗原正明、難波江元広（古河電工）
	出典	アルミニウム研究会誌　No.7　p.86～87　1994
	要約	４０～４２０ＡのAl_2O_3またはAl_2O_3＋ＭｇＯ酸化皮膜を持つ５０００系合金の加工特性を調べた。固体潤滑性を持つＭｇＯが表層にある皮膜は、絞り性に優れている。しかし、表層ＭｇＯ皮膜は、溶接時、電極表面に局所通電が起こり電極損耗が激しく、連続打点性が低下する。また、塩水噴霧雰囲気中で接着界面の腐食が進行し、接合部強度の劣化をもたらす。
9	題目	若干の５０００Ａｌ溶接物の耐食性に及ぼす溶加線材の影響
	著者	METWALLY W A、MOSALAM M（CMRDI）
	出典	Metall (Heidelb)　Vol.49　No.7/8　p.501～504　1995
10	題目	アルミニウム合金材料（６）　溶接金属の性質（２）
	著者	沖田富晴（古河電工）
	出典	軽金属溶接　Vol.33　No.8　p.389～398　1995

表－5.3(3)溶接の影響

11	題目	アルミニウム合金溶接部の腐食試験
	著者	伊藤五郎（金属材料技術研究所）
	出典	軽金属溶接　Vol.2　No.12　p.1139～1141　1964
12	題目	アルミニウム溶接部の腐食現象
	著者	萩原理樹（住軽金）
	出典	軽金属溶接　Vol.6　No.2　p.47～58　1968
13	題目	アルミニウム合金溶接部の腐食に関する研究
	著者	寺井士郎（住軽金）
	出典	住友軽金属技報　Vol.10　No.3　p.166～174　1969
14	題目	アルミニウム合金溶接材の腐食について
	著者	今泉重威（三菱アルミ）
	出典	軽金属溶接　Vol.9　No.5　p.324～330　1971
15	題目	Ａ６Ｎ０１－Ｔ５材溶接継手の促進腐食試験
	著者	高強度アルミニウム合金研究委員会
	出典	軽金属溶接　Vol.24　No.12　p.569～574　1986
16	題目	Ａ６Ｎ０１－Ｔ５材溶接継手の大気暴露試験
	著者	高強度アルミニウム合金研究委員会
	出典	軽金属溶接　Vol.25　No.1　p.26～34　1987

表－5.4(1)　塗装の効果

1	題目	アルミニウム合金材料　9　アルミニウム合金の耐食性
	著者	当摩建
	出典	軽金属溶接ＶＯＬ．３３，ＮＯ．１１　ＰＡＧＥ．５４９－５５５　1995
	要約	アルミニウム合金の腐食の特徴と種類，合金の種類と耐食性，防食法，腐食試験法について述べた。アルミニウムは局部腐食，接触腐食を生じやすく、合金では卑な相が選択腐食することを説明した。孔食，粒界腐食剥離腐食,応力腐食割れ，すきま腐食，糸状腐食及び各合金系の腐食の特徴を説明した。防食法として化成処理，塗装，陽極酸化，クラッド，亜鉛拡散処理，犠性陽極を紹介し、浸積試験，噴霧試験と試験の加速法を説明した。
2	題目	沖縄における腐食防食の実状および摩耗と疲労の研究
	著者	福島敏郎
	出典	アルミニウム研究会誌　ＮＯ．５　ＰＡＧＥ．１－９　1994
	要約	海塩粒子の多い沖縄県でふっ化ビニリデンほかの塗料のカラーアルミの５年間暴露試験を行い、カラートタンより優れ、塩ビ綱板に匹敵する耐食性を示した。５０５６合金の潤滑下摩耗では固体潤滑剤がアノード酸化皮膜よりピット発生までの時間は長いが、皮膜耐摩耗性は後者皮膜の方が良い結果となった。表面被覆アルミの疲労に関する文献も紹介した。
3	題目	アルミニウム表面処理材の大気暴露試験データの解析と建築外装材の耐候性事例
	著者	大中隆
	出典	近畿アルミニウム表面処理研究会会誌 ＮＯ．１６６　ＰＡＧＥ．２－８　1994
	要約	アルミニウム表面処理材の大気曝露試験データを統計的に解析した。表面処理の種類は陽極酸化，陽極酸化と塗装の複合皮膜，及び着色塗膜としたそれぞれの皮膜において、腐食傾向は曝露期間と皮膜厚さとに関係していた２０～３０年使用された建築外装材の調査結果により、防食設計上で配慮すべき点として通気性，異種金属との絶縁等を挙げた。
4	題目	建築用陽極酸化アルミニウム外装材の耐久性
	著者	近藤照夫
	出典	アルミニウム研究会誌　ＮＯ．６　ＰＡＧＥ．１７－２２　1985
	要約	陽極酸化処理（自然発色，電解着色，陽極酸化塗装複合皮膜を含む）を施したアルミニウム外装材の実態調査をユーザの立場から行い、その結果を重回帰分析して腐食要因を把握し、さらに表面付着物や腐食生成物の分析および皮膜断面の微鏡観察などから、腐食のメカニズムを推定してその防止対策を提案した。

表－5.4(2)　塗装の効果

5	題目	アルミニウムとその合金の腐食と防食
	著者	萩原理樹
	出典	配管技研　ＶＯＬ．２５，ＮＯ．４　ＰＡＧＥ．６９－８３　1983
	要約	純アルミニウム及びアルミニウム合金の耐食性と、アルミニウムの腐食形態（全面腐食，孔食，粒界腐食，応力腐食割れ，はく離腐食），並びに大気，水，海水による腐食現象について述べ、陰極防食法，腐食抑制剤，表面処理塗装による防食方法と、アルミニウム管材の腐食事例を紹介。
6	題目	腐食の実態
	著者	中川弘昭（軽金属学会）
	出典	アルトピア ＶＯＬ．１０，ＮＯ．１２　ＰＡＧＥ．４５－５６　1980
	要約	実際面から見たアルミニウムの腐食対策は、ただ表面処理にすべての責を負わせることなく、環境要因の分析，設計上の配慮，あるいはメンテナンスの徹底管理すべてを含み、総合的判断の上に立つことが必要であるとの観点にたって、防食法，接触腐食，湿気また試験法等各項目について論述
7	題目	建築用アルミニウム外装材の表面処理と耐食性
	著者	土屋正一，沢口雅之（日本建鉄）
	出典	L0517A　(0914-7918)　日本建鉄技術フォーラム ＶＯＬ．３　ＰＡＧＥ．８－１２　1988
	要約	「電解処理と封孔処理，電解処理と電着塗装，化成処理と塗装についての１０年間の大気暴露試験結果で、５年経過時の中間報告をした。海岸，都市山間温泉地域での地域差は現在のところ無い。塗装系は、白色化するものもあるが、フッ素樹脂、シリコーン、アクリル系はすぐれている。塗装を施さないものは、軒天井など過酷な条件下では点食の心配があり、美観上から塗装が必用である。
8	題目	アルミニウムの塗装
	著者	石井透（日軽技研）
	出典	F0772A　(KEIKA)　(0451-5994)　軽金属 ＶＯＬ．３７，ＮＯ．６　ＰＡＧＥ．４６０－４６４　1987
	要約	「Ａ１塗装材について論じ、塗膜下腐食の要因は水と酸素の塗膜透過とこれらによる塗膜の密着性低下及び素地界面でのカソード反応であるとの観点から塗料の優劣を示した。つぎに塗膜の密着性向上のための塗装前処理である脱脂と下地処理（とくに化成処理）について種類，方法，効用を述べ最後に素地固有の問題として、５０５２－Ｏ材の塗膜密着性への前処理中のＭｇ表層偏析中の影響に関する筆者らの実験結果に触れた。」

表－5.4(3)　塗装の効果

9	題目	水門用アルミニウム合金耐食試験報告書　手賀沼（千葉県）における（軽金属協会Ｓ）
	著者	（軽金属協）
	出典	N891400　水門用アルミニウム合金耐食試験報告書　手賀沼（千葉県）における　昭和５５年　ＰＡＧＥ．３８ｐ　1980
	要約	農業用水に対するアルミニウム合金５０５２，５０８３の耐食性を調べるため、千葉県手賀沼で２年間の浸せきによる腐食試験を行った。１）無処理アルミニウム合金材料と鋼材料の水上部における外観は、変色また微細な孔食発生程度であり、耐食性は良好。水中部でのアルミニウム合金材料は孔食を呈し、５０８３材には試験片取付用ステンレスボルトとの接触腐食と思われるものも認められる。水中部での５０８３材の伸びは低下したが、他にはほとんど変化がなく、腐食による機械的性質の低下はないといえる。２）溶接材の耐食性は無処理材に比べ劣ることはないようである。３）塗装処理はアルミニウム合金材料の耐食性を向上させるために効果的である［１９８０．７］
10	題目	腐食環境中のアルミニウム押出形材
	著者	RATCLIFFE J(Aluminium Extruders Assoc.)
	出典	Mater World VOL.1,NO.11 PAGE608-609,1993
	要約	アルミニウム合金の多くは押出材で利用されるため、酸化膜の保護機構をよく理解する必要がある。６０００系のＳｉ，Ｍｇ添加は、耐食性を減少させるので、海水中への長期間浸漬は避けるべきである。５０００系のＭｇ添加は、海水中の耐食性を改善するが、押出性を悪くする。２０００系は強力であるが、耐食性が悪く塗装が必要である。７０００系のＺｎ添加は耐食性が最強で、さまざまな方面に利用できる。
11	題目	機械構造物 海水中の防食
	著者	LE GUYADER H(DCN Cherbourg,Cherbourg Naval)
	出典	Mec Mater Electr NO.442 PAGE.33-39,1992
	要約	海水中での機械構造物の性能を保証するには始めから高度の腐食危険を考慮しておく必要がある。ステンレス鋼，銅合金，アルミニウム合金類，特に電位差計による腐食事例を示し、陰極防食，機能的塗装，材料選択など防食対策を示唆した。

表－5.4(4)　塗装の効果

12	題目	鋼およびアルミニウム上の有機および無機被覆の長期耐候性
	著者	ＬＵＮＤＢＥＲＧ　Ｃ　Ｖ　（ＡＴ＆Ｔ　Ｂｅｌｌ　Ｌａｂ．，ＮＪ）
	出典	ＡＳＴＭ　Ｓｐｅｃ　Ｔｅｃｈ　Ｐｕｂｌ（Ａｍ　Ｓｏｃ　Ｔｅｓｔ　Ｍａｔｅｒ） ＮＯ．１０８６　ＰＡＧＥ．１２２－１５５　１９９０
	要約	１２種の有機および無機被覆試料を北米オハイオ州Ｓｔｅｎｂｅｎｖｉｌｌｅ，ノースカロライナ州Ｋｕｒｅ Ｂｅａｃｈ，フロリダ州Ｄａｙｔｏｎａの大気及び泥中に曝露し、その耐食性を調べた。ほとんどの被覆材は、工業汚染地域で１０年間の曝露に耐えうる。火炎溶射のＺｎ－Ａｌ被覆は、海水及び泥中で１２年にわたり金属を防食した。
13	題目	複合的表面処理によるアルミニウムと鉄鋼の防食に関する研究
	著者	福島敏郎，福田豊，福田芳雄（金材技研）
	出典	科学技術庁金属材料研究所研究報告集　ＶＯＬ．６　ＰＡＧＥ．２２９-２３８，１９８５
	要約	各種の表面被覆を複合することによって、鉄鋼及びアルミニウムの海水中または地中における耐食性を格段と向上させることを目的として標記の研究を行った。塗装鋼の防食性の向上のため、電着塗装を行う方法では、鋼のアノード不の面積を減少させる考えで、鋼上の人工さびを形成させることにより防食性向上の見通しをつけた。一方アルミニウムを１３Ｍ硫酸中でアノード酸化することにより生成した皮膜に対しては、カソード電流０．０５Ａ／ｄ㎡で１５分間と１．４５Ａ／ｄ㎡ で４５分間の２段電解を行った。１段目の小電流で空げきに十分な電析核を生成させた後、２段電解を行うと均一な電析が可能となり、耐食性と耐磨耗性を増加することができた。

表－5.5(1)　異種金属接合の影響

1	題目	水門用アルミニウム合金耐食試験報告書　手賀沼（千葉県）における
	著者	軽金属協会S
	出典	(1980)38
	要約	農業用水に対するアルミニウム合金5052,5083の耐食性を調べるため，千葉県手賀沼で２年間の浸漬による腐食試験を行った。１）無処理アルミニウム合金材料と鋼材料の水上部における外観は、変色または微細な孔食発生程度であり，耐食性は良好。水中部でのアルミニウム合金材料は孔食を呈し，5083材には試験片取付用ステンレスボルトとの接触腐食と思われるものも認められる。水中部での5083材の伸びは低下したが，他にはほとんど変化は無く，腐食による機械的性質の変化はないと言える。２）溶接材の耐食性は無処理材に比べ劣ることはないようである。３）塗装処理はアルミニウム合金材の耐食性を向上させるために有効である。
2	題目	手賀沼における水門用アルミニウム合金材料の接触腐食試験結果
	著者	伊藤秀男，清水義彦（軽金属協会）
	出典	軽金属学会大会講演概要 Vol.71(1986)25-26
	要約	水門用材料5083合金板とSUS304ﾎﾞﾙﾄ,ﾅｯﾄの防食法を検討した。中央に溶接部を含む220X240X4mm試験片に３箇所ボルトを取り付け湖沼水に浸漬した。Znﾜｯｼｬｰは有効で5083とボルトの自己腐食の抑制にも効果がある反面，自己腐食の防止は出来ない
3	題目	アルミニウム合金製水門用材料の耐食性の研究
	著者	清水義彦（軽金属協会）
	出典	防錆管理,27(1983)21-28
	要約	水門用アルミニウム合金5052,5083の農業用水に対する耐食性を確認するため，SS41,SPA-Hを比較材料として千葉県手賀沼で２年間の浸漬試験を行った。ステンレス鋼との接触腐食を除き耐食性は良好で，塗装すると更に効果的であった。今後，接触腐食試験を含め，アルミニウム合金材の適応性を総合的にまとめる予定。
4	題目	手賀沼における水門用アルミニウム合金の腐食試験結果
	著者	池田洋（住友軽金属工業），清水義彦（金材技研）
	出典	アルミニウム研究会誌，No.28(1981)5-6
	要約	比較的腐食性の大きい農業用水池，千葉県手賀沼の滝下揚水機場近傍においてアルミニウム合金を２年間半浸漬し、各経時の試料の水上、水中部の最大腐食深さ及び水上、喫水、水中部の引張強さ、伸びを測定した。

表－5.5(2)　異種金属接合の影響

5	題目	アルミニウム合金製水門用材料の手賀沼における２ヶ年間浸漬腐食試験結果
	著者	清水義彦（金材技研），池田洋（住友軽金属工業）
	出典	アルミニウム，No.62(1980)43-49
	要約	調査項目では外観、腐食深さ、引張強さ、伸び。材質は5083。水上部では腐食は軽度で問題なし。水中部は5083無処理材はやや腐食激しい。深さは水上部では無視し得る程度。水中部では5083無処理材が最悪。引張強さは経時変化なし。鋼材は劣化。5083材ではステンレスボルトとの接触部に接触腐食あり。溶接材の場合も5083,5052共に問題なし。

表－5.6(1)　陰極防食の適用

1	題目	水道水中におけるアルミニウムの陰極防食
	著者	佐藤，宮下
	出典	軽金属学会第44回春期大会講演概要，p.7-8（'73）
	要約	次項参照
2	題目	陰極防食によるアルミニウムの防食について
	著者	佐藤，宮下
	出典	軽金属学会シンポジウム「アルミニウムの腐食とその防止」概要，p.54-60（'76）
	要約	次項参照
3	題目	アルミニウムの腐食とその防止
	著者	清水，山田
	出典	"アルミニウムの腐食とその防止"，軽金属，26［7］356-377（'76）
	要約	電気伝導度の低い淡水では、１個の陽極により被防食体の電位を防食電位より卑に保つことのできる範囲が狭く、かつ多くの要因の影響を受ける。陽極からの距離の対数と電位の間にはほぼ直線関係があることを見出し、この直線の位置と傾きに与える諸要因（流電陽極の対陰極面積比、水の比抵抗、溶存酸素濃度、水の流速、水温、ｐＨ、重金属イオン等）の効果、すなわち防食有効距離に及ぼす影響につき検討した結果を述べている。またその結果を利用して70℃以下の水道水で使用される1050アルミニウム製器物用の陰極防食システムを設計して、実用環境でテストを行い、ほぼ所期の性能の発揮を確認したとしている。
4	題目	アルミニウムの陰極防食と黒変について
	著者	重永，田部
	出典	"アルミニウムの陰極防食と黒変について"，住友軽金属技報，17[3/4] 109-115（'76）
	要約	食塩水および水道水における1050アルミニウムの防食電位と、被防食体の黒変現象を取り上げた報文である　食塩水における孔食電位が塩素イオン濃度の対数と直線関係があること、黒変が発生するのは孔食が防止されていて陰極腐食は顕著でない電位範囲内（腐食速度としては100mdd以下）であること、水道水に$CaCl_2$や$MgCl_2$を添加すると黒化度が増大すること等を報告している。

表－5.6(2)　陰極防食の適用

5	題目	キャビテーション・エロージョンに対するカソード防食の効果
	著者	遠藤，駒井
	出典	″キャビテーション・エロージョンに対するカソード防食の効果″，防食技術，26 [3] 133-138 ('77)
	要約	1%NaCl溶液における磁歪振動法によるキャビテーション・エロージョン試験に、炭素鋼、高速度鋼、7N01-T4合金を供試している。試験方法は対向二面型であり、試験片と振動子の間隔は0.5mmで、キャビテーション・インテンシティが較的低い条件である。試験の結果、腐食量は自然電位と-1.2V_{SCE}の間ではほぼ一定で、-1.4V_{SCE}になるとアルカリ腐食により増大することが判明し、カソード防食効果は期待出来ないと述べている。
6	題目	アルミニウム合金製船殻工業基準
	著者	軽金属溶接構造協会規格 LWS W8101-1981″ ('81)
	出典	軽金属溶接構造協会規格 LSW W8101-1981
	要約	規格本文の10章に電気防食の一般、陽極金属（亜鉛合金またはアルミニウム合金）の取付、けい留時の注意事項が記載されている。また解説に陽極金属の必要装着面積、取付け場所、取換時期、また船体電位測定についての記述がある。
7	題目	動的環境強化に関する最近の諸問題
	著者	駒井
	出典	″動的環境強度に関する最近の諸問題″，軽金属，33 [6] 347-356 ('83)
	要約	ガス環境疲労、水溶液環境疲労、繰返し応力腐食割れと動応力腐食割れについての解説であるが、水溶液腐食疲労の中にカソード防食効果についての節が含まれている。この節において、7N01-T6合金平滑材の腐食疲労寿命がカソード防食により延長されることが紹介されている。すなわち1%NaCl溶液での回転曲げ試験の寿命は自然電位から卑方向へ分極されるに従って増大し-1.3～-1.4V_{SCE}において最大になるという。

表－5.6(3)　陰極防食の適用

8	題目	富士川河川水中におけるアルミニウム水門の陰極防食
	著者	花崎，宮下，若月
	出典	軽金属学会第79回秋期大会講演概要，p.213-214（'90）
	要約	淡水環境で使用される水門に対する陰極防食の有効性を評価する目的で、アルミニウム合金製扉体とSUS304製戸当りの組合せ供試体を作製し実環境で７年間実施した試験の報告である。扉体の材質（5083，5052）と塗装（無，有）、戸当りの塗装（無，有）と亜鉛流電陽極（無，有）を組み合わせた５種類が供試され、当該河川水での電位の経時変化が測定されている結果として陰極防食と扉体・戸当りの塗装を併用した防食仕様は良好な状態であったこと、２年間無防食で孔食が発生したあとの試料に流電陽極を取り付けても効果がないこと、電位測定により孔食発生状況の推定が可能と思われること等が述べられている。
9	題目	電気防食
	著者	蜂谷，内堀，田村
	出典	防錆管理，35［12］423-434('91)
	要約	施設に適用されている電気防食のモニタリングについての解説である。電位測定方法、テストピースによる評価交流インピーダンス測定法等が説明されている。
10	題目	アルミニウム漁船の耐食性
	著者	花崎，小林
	出典	軽金属学会第87回秋期大会講演概要，p.203-204（'94）
	要約	北海道地区で3～12年使用されている漁船（亜鉛流電陽極付き）の電位を測定し、孔食電位より0.1V以上卑に分極しており、孔食発生のおそれはまずないと述べている。
11	題目	Cathodic protection for an uncoated aluminum pipeline
	著者	J.F.Whiting et al
	出典	Corrosion，17［8］9（'61）
	要約	カナダSaskatchewan州の天然ガス用無被覆アルミニウムパイプラインに施された陰極防食を紹介している。1958年8月に設置された約9kmの3003合金製パイプラインに孔食の発生が翌年7月発見された。深い孔食は土壌の比抵抗が1500Ω･cm以下の所に生じており、また交差する陰極防食付き被覆鋼管の影響をも受けていることも判明した。このため、比抵抗1500Ω･cm以下の場所において陰極防食を施すこととし、パイプの電位が-0.98～-1.03V_{SCE}になるように目標電流密度を21.5mA/m^2として20個のマグネシウム陽極を設置した。９カ月後の電位は-0.82～-1.15V_{SCE}の範囲にあり、防食対象部分の平均電流密度は11.6mA/m^2であった。１年後の検査で孔食の成長は完全に停止していることが確認された。

表－5.6(4)陰極防食の適用

12	題目	Aluminum pipeline case history data
	著者	Anon.(NACE)
	出典	Materials Protection, 2 [10] 101-104 ('63)
	要約	米国とカナダのアルミニウム製パイプラインについてのアンケート結果をまとめたNACEの技術委員会のレポートである。1948-1960の間に46カ所に設置されており、総延長は620kmに及ぶ。このうち陰極防食が施されているのは7カ所、38km（Mg陽極：5カ所，13km、Zn陽極：1カ所，20km、Al-Zn陽極：1カ所，5km）である。このほか腐食の危険性のある個所のみの部分的陰極防食の総延長は160kmに達する。
13	題目	Recommended practice for cathodic protection of aluminum pipe buried in soil orimmersed in water
	著者	Anon.(NACE)
	出典	Materials Protection, 2 [10] 106 ('63)
	要約	土中または水中に設置されるアルミニウムパイプラインの陰極防食についてNACEの技術委員会が作成した推奨方法である。電位に関しては自然電位より少なくとも0.15V卑方向に分極させること、しかし-1.13V_{SCE}より卑にしてはならないこと、特定のアルミニウム合金の特定環境での使用の場合に事前の検討が行われていれば最高電位を例えば-0.83V_{SCE}のように定めてもよいこ等が記述されている。
14	題目	On buried structures:Four phenomena affecting cathodic protection and corrosion rates
	著者	F.W.Hewes
	出典	Materials Protection, 8 [9] 67-71 ('69)
	要約	土中埋設構造物（アルミニウムに限定しない）の陰極防食と腐食速度に影響を及ぼす現象として、電気浸透、被覆材における欠陥部、交流電流の出入り被覆下の水分の４つを取り上げ、解説している。

表－5.6(5)　陰極防食の適用

15	題目	Cathodic protection of 19 aluminum a lloys exposed to sea water-Corrosion behavior
	著者	R.E.Groover et al
	出典	Materials Protection, 8 [11]25-30 ('69)
	要約	２６種類の板状試験片（同じ合金で調質の異なるものやクラッド材を含む）の１セットはそのまま、他の１セットはそれぞれにアルミニウム合金流電陽極を取り付けて天然海水（Key West,Fla.）に１年間浸漬した試験に関する報文である。陰極防食を施していない試験片に発生した孔食深さは合金種類で著しく異なるが、浸漬電位への依存性が見られる。すなわち電位の平均値が-0.94V_{SCE}より卑な試料の孔食深さ（最深５個の平均）は76μm以下であるのに対し、-0.91V_{SCE}より貴な試料の孔食深さは152～991μmとなっている。流電陽極及びクラッドによる陰極防食は孔食及び隙間腐食の抑制に有効である。なおX7002-T6と7178-T6の端部に割れが生じており、X7002-T6では流電陽極とクラッドの両者とも割れ防止に有効であるのに反し、7178-T6では両者とも防止効果がなかった。
16	題目	Corrosion and cathodic protection of 5086-H32 aluminum coupled to dissimilar metals
	著者	T.J.Lennox,Jr
	出典	Materials Performance, 13 [2] 31-36 ('74)
	要約	5086-H32板に異種金属（Cu-10%Ni、黄銅、304ステンレス鋼、軟鋼）を接触させた試験片に対する流電陽極（Al-Zn-Sn、Zn、Mg）による陰極防食の効果を調べた試験の報文である。浸漬は海水（Key Westで809日間、Ft.Amadorで540日間）、河水（Potomac河で675日間）、湖水（Gatun湖で540日間）において行っている。結果は条件により大きく異なる。海水の場合、Ft.Amadorでの540日とKey Westでの319日では異種金属接触による腐食は陰極防食により完全に抑制されているが、Key Westでの809日ではすべての異種金属との接触材に腐食が発生している。またMg陽極を用いた5086には初期から激しい腐食が生じている。河水においては軟鋼との接触腐食は陰極防食により抑制されているが、他の異種金属との接触材では試験片のマウント部の隙間腐食に対してのみ抑制効果が見られる。湖水ではすべての異種金属との接触に対して陰極防食の効果が認められない。

表－5.6(6)　陰極防食の適用

17	題目	Effect of corrosion products from aluminum anodes containing mercury or tin on the corrosion of aluminum a lloys in sea water
	著者	R.E.Groover et al
	出典	Materials Performance, 13 [8] 19-24 ('74)
	要約	流電陽極用Al-Hg-Zn合金やAl-Sn-Zn合金を5086-H34と6061-T6の陰極防食に使用した場合、これら陽極に含まれるHgやSnが被防食材の腐食に及ぼす影響を調べた試験の報文である。天然海水において連続浸漬、途中で陽極を取り除いた連続浸漬、１週間浸漬＋１週間湿潤大気中放置の交互浸漬の３条件で696日間の試験を行っている。結果は連続浸漬ではHgとSnの影響は認められず、交互浸漬ではAl-Hg-Zn陽極の場合のみ接触面に深さ0.1-0.15mm程度の深さの侵食が発生していた。途中で陽極を取り除いた場合、5086の腐食は非陰極防食材より少ないが、6061ではAl-Hg-Zn陽極に接触していた面にやや深い侵食が見られた。
18	題目	New trends in buried aluminum pipelines
	著者	T.E.Wright
	出典	Materials Performance, 15 [9] 26-28 ('76)
	要約	外国文献No.1に記載されたパイプラインのほかカナダでの実例３件を紹介している。Ontario州Kingstonのガス管では石炭灰を含む土壌の部分で外面に防食被覆を施すとともにマグネシウム陽極を接続した。１２年後に無防食部分に腐食が発生したため陽極を接続し、ラインの電位を-0.78V_{SCE}とした無被覆部分の電流密度は0.43mA/m^2に過ぎなかった。Alberta州Lac Ste. Anneでは土壌の比抵抗が1500Ω・cm以下の部分のガスラインに、腐食はなかったが亜鉛陽極を接続し、電位を0.02V移行させた。またAlberta州Lomondの被覆されたガスラインでは亜鉛陽極を接続して電位を-0.59V_{SCE}から-0.93V_{SCE}に移行させた。電流は極めて少なかった。
19	題目	The effects of exposure conditions on the corrosion of AA6061-T6 aluminum in sea water
	著者	H.M.Peterson et al
	出典	Materials Performance, 16 [4]16-19 ('77)
	要約	２年間の天然海水（Key West）における6061板試験片を用いた試験の報告であり、曝露状況（水槽内静水、平均潮位、水路内流水）、亜鉛陽極接触、隙間状態の３要因の影響を調べている。いずれの曝露状態でも隙間腐食が著しいが亜鉛陽極により大幅に抑制され、特に流水で効果が大である。非隙間部での腐食も亜鉛陽極により静水と流水では若干抑制されるが、平均潮位では効果がない。すべての場合、亜鉛は6061-T6の腐食を完全には防止しない

表－5.6(7)　陰極防食の適用

20	題目	Recommended practice; Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems, NACE Standard RP-01-69 (1983 Revision)
	出典	Materials Performance, 22 [4] 34-50 ('83)
	要約	土中または水中に設置される金属パイピングシステムの外部腐食の制御に関するNACEの推奨方法（1983年改訂）。第６節が陰極防食に関する節であり6.3.2にアルミニウム構造体の防食の記述がある。電位に関する記述は外国文献No.3と同じであるが、アルカリ性土壌での注意事項が含まれている。すなわち被防食体表面のpHが上昇するとアルカリ腐食が生じるため、pHが8.0以上の環境での孔食防止には注意深い検討と試験が必要と記されている
21	題目	The corrosion behavior of aluminum pipe
	著者	T.E.Wright
	出典	Materials Performance, 22 [12] 9-12 ('83)
	要約	外国文献No.8の著者がその後の進歩状況を記述している。土中のアルミニウムパイプラインの陰極防食はすでに確立された技術であり、被覆されたラインには亜鉛陽極、無被覆ラインにはマグネシウム陽極を用いるのが通常と述べている。亜鉛は電位をアルカリ腐食の点からの限界値である-1.13V_{SCE}より卑になることがないので安全としている。また、鉄鋼の防食電位である-0.78V_{SCE}でアルミニウムの陰極防食も出来るので好都合との記述もある。
22	題目	Aluminum pipeline gas history - An update
	著者	J.R.Scott
	出典	Materials Performance, 24 [2] 27-29 ('85)
	要約	７つのパイプラインのケースヒストリー(表題のgasはおそらくcaseの誤り)が述べられており、そのうちの５つが陰極防食の施されたものである。 これらの状況を原文のナンバーを用いて以下に記す。 No.1-天然ガス：無被覆6063，Mg陽極，土の比抵抗;5300ohm･cm，pH;8.2；31年後外面腐食なし(電位;-0.88V_{SCE})。 No.3-過酢酸と発煙硝酸：瀝青質塗装3003，Mg陽極，土の比抵抗;1800ohm･cm以上；20年後保水性物質付着部に孔食。 No.4-ジェット燃料：エポキシ塗装6063，Zn＋Mg陽極，土の比抵抗;7000ohm･cm以上；十数年経過し損傷の報告なし。 No.6-天然ガス：瀝青質塗装＋被覆(フェルト+クラフト紙)6063，Zn陽極；28年後外面腐食なし(電位;-0.97V_{SCE})。 No.7-天然ガス：ラミネートテープ被覆6061，Mg陽極；19年後に被覆は健全管外面腐食なし(電位;-0.68V_{SCE})。

表－5.6(8)　陰極防食の適用

23	題目	Cathodic protection of aluminum-coated steel in seawater
	著者	P.O.Gartland
	出典	Materials Performance, 26 [6] 29-36 ('87)
	要約	アルミニウムをフレーム溶射した炭素鋼及びAl-Mg合金をアーク溶射した炭素鋼について、天然海水中での亜鉛陽極による陰極防食の試験の報告である。期間はアルミニウム溶射材が210日、Al-Mg溶射材が160日である。両試料の電位は、陰極防食した場合は-1.0V_{SCE}付近、陰極防食しない場合は-0.9V_{SCE}付近で安定した。電位を-1.0V_{SCE}に保つのに必要な電流密度は10mA/m^2以下で、裸の鋼の陰極防食に要する電流密度（100mA/m^2）よりはるかに小さい。したがって鋼にAlもしくはAl-Mg合金による溶射被覆を施すことにより陽極の数を20%以下に減らすことが可能となり、また陰極防食により被覆の寿命も延長される（0.2mm厚の被覆の予想寿命は20～30年）。
24	題目	Cathodic protection of 6531 aluminium alloy in seawater:protection potential and surface pH effects
	著者	K.G.Watkins et al.
	出典	British Corrosion Journal, 22 [3] 157-161 ('87)
	要約	6351合金を30℃の天然海水に浸漬し、-0.85～-1.5V_{SCE}の間の電位に7日間保持した場合の腐食をしらべた報告である。防食効率は-1.0～-1.1V_{SCE}で最大（約80%）であった。-1.2V_{SCE}より卑な電位に長期間保持すると表面のpHが上昇してCaやMgの化合物が沈積する。沈積後の表面近傍のpH緩衝作用はMgのほうがCaよりも大きい。
25	題目	Cathodic protection of aluminum in seawater
	著者	R.Gundersen et al.
	出典	Corrosion, 46 [4] 279-285 ('90)
	要約	1050,5042,6351合金を9±2℃の天然海水(静止及び流動(2.5,8cm/s))に浸漬し、-0.8～-1.3V_{SCE}に２ヶ月間保持した試験の報告である。-0.8V_{SCE}以外の電位では各合金とも、流速にかかわらず、カソード電流は浸漬開始後増大し、ピークを経て緩慢に減少し定常となるという傾向を示す。カソード活性の減退は電位の貴な金属間化合物の脱落もしくは腐食生成物による被覆に基ずく。陰極防食電位領域での定常電流密度は数mA/m^2のオーダーで流速に依存しない。

表－5.7(1)　コンクリート埋設部

1	題目	海砂を使用したコンクリート中の鋼材腐食およびその防食に関する実験的研究
	著者	武若　耕司（鹿児島大学）
	出典	コンクリート工学　論文No.83.10-2,Vol21,No10,Cct.1983
	要約	コンクリート中の海砂中の塩分と，コンクリート中の鋼材の腐食正常を実験的に検討した結果の報告。コンクリート中の鋼材の腐食試験方法として，オートクレーブを用い，鋼材の塩分腐食を促進させる試験方法の提案した。この方法を用い，海砂を使用したコンクリート中の鋼材腐食に及ぼす海砂中の塩分量，かぶり，あるいはコンクリート中の品質等の影響を明確にした。防錆剤の防食効果についても検討も行った。
2	題目	モルタルブロック中におけるアルミニウム合金の腐食
	著者	高谷（兵庫県機械金属工指導所）　山川（大阪府大）　吉沢（京都大学）
	出典	腐食防食講演会概要
	要約	食塩を含んだモルタルブロック中にアルミニウム合金を埋没した場合の，アルミニウム合金の腐食挙動の調査。モルタルブロックを浸漬した水質の変化，アルミニウム合金の腐食減量と腐食生成物量，アノード分極挙動，腐食速度等の検討結果を報告している。
3	題目	塩害による構造物の金属腐食　鉄筋・鋼材・アルミニウム
	著者	岸谷
	出典	建築技術　１９８３．８．Ｎｏ３８４
	要約	鉄筋構造物中の，鉄筋の腐食を検討した。鉄筋コンクリートの主要構造部材に影響を及ぼす一要因である海塩粒子の影響を調査した。海砂中の塩分及び海塩粒子が鉄筋コンクリート・鋼材・アルミニウムに及ぼす影響と，その劣化事例について調査研究事例を報告する。
4	題目	アルミニウム建材の腐食　その解明と対策
	著者	中川　弘明
	出典	アルトピア　５，７，８，９．１９８７
	要約	アルミニウムをコンクリートに埋没した場合の腐食の程度の概説。 海岸地帯または工業地帯の雰囲気中でコンクリートのようなアルカリ性建材にアルミニウムがコンクリートに接触して使用される場合，環境要因によってどの様な腐食現象が観察されるかを報告。 アルミニウム建材をコンクリートに埋没あるいは接触させた場合の腐食についての報告。

表－5.7(2)　コンクリート埋設部

5	題目	アルミ建材の接触腐食について　モルタル・木材の場合
	著者	中川　弘明
	出典	実務表面技術　７７　１，ｐ３３１
	要約	アルミサッシがモルタルおよびコンクリートと接触する場合に生じる，腐食の例についての報告。
	題目	アルミニウムサッシのモルタル接触部及び木材接触部の異常腐食について
	著者	軽金属製品協会
	要約	モルタル・コンクリートをアルミニウムサッシが接触した場合に生じる腐食事例に関する報告。併せて，コンクリート・モルタルに対する各種アルミニウム合金の耐食性に関する文献を載せている。
7	題目	アルミニウム建材の腐食と防食
	著者	宮本　三也
	出典	古河電工時報　第７０号　昭和５５年７月
	要約	コンクリートと接触および埋め込まれたアルミニウム合金の防食法について紹介している。
8	題目	セメント硬化体に接触するアルミニウムの腐食生成物
	著者	鷹部屋　亮平　防衛大学校　土木教室
	出典	腐食と対策事例集　社団法人　腐食防食協会編　海文堂，p65
	要約	セメント硬化体の接触によるアルミニウムの腐食についての報告。 接触によって生じるアルミニウム腐食生成物の分類を行っている。
	題目	道路橋の塩害対策指針（案）・同解説について
	著者	（社）日本道路協会　昭和５９年２月　コンクリート橋塩害対策分科会
	要約	塩害を受けている地域にあるコンクリート橋の調査に関する報告。 コンクリート構造物の飛来塩分量とコンクリート構造物の腐食に関して報告している。
10	題目	モルタル中におけるアルミニウム腐食生成物の解析。
	著者	高谷（兵庫県工業試験場）　山川（大阪府大）　吉沢（京都大学）
	出典	材料　第３５巻　第３９７号　昭和６１年１０月
	要約	強アルカリ環境のモルタル中におけるアルミニウムの腐食生成物の性状を分析し，モルタル中のアルミニウムの腐食挙動と腐食生成物の生成機構を検討を報告している。

表－5.7(3)　コンクリート埋設部

11	題目	回りモルタル接触腐食促進条件に関するアルミニウム腐食生成物の特性。
	著者	鷹部屋　亮平（防衛大学校）　原田（防衛施設庁）
	出典	腐食防食討論会　昭和６０年
	要約	アルミニウム建材に対する塩分添加，４０℃，回りモルタル接触腐食試験を行い，アルミニウム試験片の腐食重量減少を測定し，塩化ナトリウムを含むセメント水和物によるアルミニウム腐食生成物生成過程図を考察した内容について報告している。
12	題目	アルミサッシとモルタルとの接触による異常腐食に関する研究
	著者	アルミ表面処理技術研究組合　技術委員会
	要約	アルミサッシとモルタルとの接触による異常腐食（通常の使用環境下において稀に，アルミサッシに貫通孔食を発生する場合）について，発生状況を把握し，発生要因を推定する為に，腐食事例の検討と海砂に関する調査を行った結果についての報告。
13	題目	海砂中の塩分が鉄筋に及ぼす影響と防錆対策（特集：海砂とコンクリート）
	著者	岸谷　孝一（東京大学）
	出典	コンクリート・ジャーナル　Vol12.No10,Oct.1974.p30.
	要約	コンクリート中の海砂中の塩分が鉄筋に及ぼす影響と防錆対策に関して，基礎的な腐食反応を理論的に裏付けし，防錆対策までを報告している。
14	題目	海砂を使用した構造物の調査（鉄筋コンクリート構造物の塩分含有量と鉄筋の錆に関する実体調査）
	著者	島田（清水建設）
	出典	コンクリート・ジャーナル　Vol12.No10,Oct.1974.p53.
	要約	コンクリート構造物について，コンクリート中の塩分量と錆の実体調査を行った例についての報告。
15	題目	アルミニウム冊子のモルタル接触部および木材接触部の異常腐食
	著者	軽金属製品協会　建材表面処理規格委員会
	出典	防錆管理　1980-3,p25
	要約	アルミニウム合金製サッシの異常腐食の発生原因と防食対策についての報告腐食発生の原因は，モルタル，コンクリートおよび木材に含まれる塩化物（食塩・塩化カルシウム）が原因であると報告。

表－5.8(1)　微生物腐食

1	題目	微生物によるアルミニウム合金の腐食に関する研究
	著者	井上真由美
	出典	軽金属 Vol.16(1966)147-156
	要約	アルミ合金製航空機燃料タンクの腐食事故につき、ケロシン系燃料中に繁殖する微生物が原因であることを実験的に証明。自衛隊芦屋航空隊(福岡県)の燃料タンク等６ヶ所から採取した試料より３２種類のﾊﾞｸﾃﾘｱと３種類の黴を分離。そのうちジェット燃料(JP-4)を栄養源とするのはﾊﾞｸﾃﾘｱ１７種と黴３種。１４０日の養腐食試験(A6061S-0)で腐食を発生させる微生物は下記 ﾊﾞｸﾃﾘｱ:Comamonus, Micrococcus caseolyticus, Vibrio faecalis 黴　　:Cladosporium resinae 腐食の形態は電気化学的腐食と著しく異なる。
2	題目	カビによるアルミニウムの腐食
	著者	井上真由美
	出典	軽金属 Vol.18(1968)483-491
	要約	航空機燃料タンクで発生した微生物腐食をラボ培養試験で再現。Bushnell-Haas培地で培養したCladosporium resinaeにより、A6061S-0,A1099,A1100,A5052等に蟻の巣状の腐食が発生。
3	題目	アルミニウム製品の微生物腐食の防止技術
	著者	井上真由美
	出典	軽金属学会第４４回春期大会講演概要,2(1973)3.
	要約	アルミ材料の微生物腐食はジェット機の燃料タンクでの事例が著名であるが他に熱交換器、電気部品、電線、通信機、包装材料、日用品などでも発生する。アルミ材料を腐食させる微生物として下記がある。 黴　:Cladosporium resinae, Aspergillus niger, Aspergillus flavus, Penicillium nigricans,Pullularia pullulans 細菌:Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis, Comamonas sp. Vibrio faecalis, Micrococcus caseolyticus, Desulfovibrio desulfuricans 人体への影響も考慮して、下記の殺菌剤が推奨される。 2-(4-thiazolyl)-benzimidazole, α-brom cinnamic aldehyde N-(Fluorodichloro methylthio)-phthalimide, N-dimethyl-N'-phenyl-N'-(fluoro-dichloromethylthio)sulfamide,

表－5.8(2)　微生物腐食

4	題目	ステンレス鋼の海水中での腐食における微生物の役割
	著者	天谷 尚,幸 英昭
	出典	第３９回腐食防食討論会 B-102
	要約	SUS316Lにﾏﾙﾁｸﾚﾋﾞｽを取付け、人工海水および自然海水中で隙間腐食試験。自然海水中では電位の上昇が観察され隙間腐食が発生。自然電位の上昇は細菌の増殖過程におけるﾊﾞｲｵﾌｨﾙﾑの影響と考察。
5	題目	海水中におけるステンレス鋼の微生物腐食メカニズム
	著者	天谷 尚,幸 英昭
	出典	日本金属学会春期大会講演概要 886(1994)330
	要約	下記に同じ
6	題目	海水中におけるステンレス鋼の微生物腐食機構
	著者	天谷 尚,幸 英昭
	出典	日本金属学会誌 Vol.58(1994)775-781
	要約	自然海水中におけるｽﾃﾝﾚｽ鋼の自然電位上昇を伴う腐食機構と微生物の役割を電気化学的に実験・検証。付着細菌の代謝反応により過酸化水素が生成し生物皮膜内に蓄積され、この過酸化水素の一部が強力な酸化剤として作用することでステンレス鋼の腐食電位が上昇し、局部腐食感受性を高めると考察。
7	題目	ステンレス鋼の耐微生物腐食性迅速試験評価試験方法の開発
	著者	天谷 尚,幸 英昭
	出典	材料と環境 Vol.44(1995)94-100
	要約	酸化酵素ｸﾞﾙｺｰｽｵｷｼﾀﾞｰｾﾞを基質であるｸﾞﾙｺｰｽとともに人工海水に添加することで自然海水中におけるｽﾃﾝﾚｽ鋼の腐食電位の貴化を再現できる。このMIC(微生物腐食)性迅速評価試験法は自然海水中での隙間腐食挙動とよく一致した。
8	題目	微生物が関与する工業用水用SUS304ｽﾃﾝﾚｽ鋼配管の孔食
	著者	笠原晃明、梶山文夫
	要約	工業用水用SUS304ｽﾃﾝﾚｽ鋼配管の溶接部および下流に30mm/yの急速な孔食が発生。この現象を微生物活性下で電気化学的に調査。鉄細菌、鉄酸化細菌が共存する中で一旦微小な孔食が生成すると、そこに鉄酸化細菌が棲息・集中し、鉄細菌と鉄酸化細菌の連携によって腐食電流が専らその場所から流出するため激しい孔食となる。

表－5.8(3)　微生物腐食

9	題目	自然海水中で貴化したステンレス鋼自然電位に及ぼす環境条件の影響
	著者	石原 靖子,元田 慎一,鈴木 揚之助,辻川 茂男
	出典	材料と環境 Vol.44(1995)355-363
	要約	静岡県清水市の自然海水に浸漬した316ｽﾃﾝﾚｽ鋼およびﾁﾀﾝの自然電位の貴化現象について実験。貴化は春～秋に生じ易く冬には起こりにくい。電位は毎日正午に卑化し夜に回復する。光が貴電位の維持に必要ではない。途中で高温,低pH,高濃度海水,卑電位電解に置かれると貴電位は維持できなくなる
10	題目	微生物に侵される金属やプラスチック
	著者	井上真由美
	出典	金属 Vol.49(1979)35-42
	要約	アルミニウム、プラスチックのかびによる腐食、変質を解説。詳細は次項参照。
11	題目	微生物腐食
	著者	井上真由美
	出典	安全工学,24,6(1985)337
	要約	アルミニウム、プラスチックのかびによる腐食、変質を解説。詳細は次項参照。
12	題目	微生物による腐食
	著者	井上真由美
	出典	金属 VoL.61(1991)48-52
	要約	アルミを主体に各種金属の微生物腐食の機構・事例を簡略に解説。アルミ材料では航空機(航空自衛隊芦屋航空隊ジェット練習機)の燃料(ＪＰ-４)タンクの凝縮水残留部に発生。Cladosporium resinaeが最も多く分離され、他に菌としてAspergillus niger,Fusarium solani、細菌としてVibrio faecalis,Pseudomonas aeruginosa等を検出。Bushnell-Haar培地でのCladosporium resinae培養で事故を再現。同種の腐食事故はYS11旅客機B-52爆撃機,KC-135輸送機でも発生。ベトナム,シンガポール,沖縄等高温多湿地域で発生が多い。航空機以外の用途では、建材、精密機械、エレクトロニクス、箔の分野で問題発生。アルミ箔を腐食させる菌は下記。○Cladosporium resinae,Fusarium oxysporum,Trichoderma viride,○Penicillium nigricans,○Chaetomium globosum,Aspergillus niger,○Aureobasidium pullulans,Alternaria alternata,○Aspergillus flavus北朝鮮の研究では上記○印とPaecilomyces variottiがアルミを腐食する。
13	題目	応用微生物の方向　産業への利用と微生物災害
	著者	井上真由美
	出典	槙書店
	要約	アルミニウムの微生物による腐食、変質を解説。詳細は前項参照。

表－5.8(4)　微生物腐食

14	題目	やさしいカビの基礎知識
	著者	井上真由美
	出典	オーム社(1996)
	要約	アルミニウム、プラスチックのかびによる腐食、変質を解説。 詳細は前々項参照。
15	題目	バクテリア腐食
	著者	佐々木英次
	出典	防食技術 Vol.27(1978)37-42
	要約	微生物の代謝とそれによる金属の腐食を解説。 航空機燃料タンクでのアルミ材料の腐食はガソリンを炭素源として繁殖した細菌がマットを形成し、酸素濃淡電池が形成されたためで、代謝で生成した有機酸によってｐＨが低下したことも助長。
16	題目	微生物腐食について
	著者	佐々木英次
	出典	防錆管理 Vol.36(1992)471-476
	要約	鉄を主体として各種金属の微生物腐食の機構・事例を簡略に解説。 アルミ材料では航空機の燃料タンクの凝縮水残留部中に発生。菌体が多いこぶが局部腐食を形成。
17	題目	微生物腐食
	著者	佐々木英次
	出典	防食技術,34(1985)427
	要約	硫酸還元ﾊﾞｸﾃﾘｱによる鉄の腐食を引用して微生物腐食の機構を簡略に解説。 アルミ材料についての記述なし。
18	題目	金属溶接部の微生物腐食
	著者	菊池靖志、松田福久
	出典	日本金属学会会報,Vol.32,No.6(1993)393.
	要約	ステンレス鋼の溶接部にしばしば発生する微生物腐食について事例紹介し、各種バクテリアの作用を簡単に解説。アルミ材料についても航空機燃料タンクでの事例を紹介

表－5.8(5)　微生物腐食

19	題目	好気性細菌の関与したステンレス鋼の微生物腐食
	著者	天谷 尚,幸 英昭
	出典	まてりあ Vol.35(1996)231-236
	要約	自然海水中でのステンレス鋼の腐食電位の貴化現象を伴う腐食と好気性従属栄養性細菌の影響について解説。付着微生物の代謝物によるｐＨ低下や光合成による溶存酸素の増大だけでは現実での大幅な電位の貴化を説明できない。微量の過酸化水素が存在しｐＨが３以下でかつ溶存酸素が低い条件で腐食電位が貴化するという報告がある。筆者らは、好気性従属栄養性細菌の呼吸反応を人工的に模擬し、酸化酵素としてｸﾞﾙｺｰｽｵｷｼﾀｰｾﾞを用い、グルコースを添加してステンレス鋼の腐食と過酸化水素濃度を測定。過酸化水素の一部から生成される活性酸素が腐食電位の貴化現象とステンレス鋼の腐食に関与することを明かにした。酸化酵素を用いる方法はこの種の腐食の簡便な再現方法である。
20	題目	RESULTING FROM MICROBIAL FUEL TANK CONTAMINATION
	著者	C.B.WARD
	出典	Materials Performance Vol.2(1963)11-16
	要約	米国空軍および民間航空ジェット機において翼内燃料タンクに深刻な腐食事故が頻発している。その事例を紹介。 以降２報を含め航空機燃料タンクアルミ材料の微生物腐食を報じた先駆的３部作の第１報
21	題目	MICROBIAL FUEL TANK CORROSION:MECHANISM AND CONTRIBUTORY FACTORS
	著者	A.V.CHURCILL
	出典	Materials Performance Vol.2(1963)19-23
	要約	燃料タンクの腐食問題とジェット燃料中の微生物や他の汚染物について記述 ４種のジェット燃料中汚染物（水，固形物，界面活性剤，微生物）の腐食への関与の可能性を考察。水－燃料系から数種のバクテリア、黴を分離。 米国空軍で開始された原因究明、対策に関する研究計画の概要を示す。 前後２報を含め航空機燃料タンクアルミ材料の微生物腐食を報じた先駆的３部作の第２報
22	題目	MICROORGANISMS FAIL TO GROW IN FURANE LINED JET FUEL STRAGE TANKS
	著者	J.M.McGREGOR
	出典	Materials Performance Vol.2(1963)25-28
	要約	米国空軍でのフィールドデーターでは、特殊なフラン樹脂がバクテリアの生育の抑制に有効である。検証できていないが、フラン樹脂はジェット燃料中のバクテリアを殺傷するようである。 以上２報を含め航空機燃料タンクアルミ材料の微生物腐食を報じた先駆的３部作の第３報

表－5.8(6)　微生物腐食

23	題目	SELECTION OF MICROBIOLOGICAL CORROSION SYSTEM FOR STUDYING EFFECTS ON STRUCTURAL ALUMINUM ALLOYS
	著者	H.G.HEDRICK, C.E.HALKIAS, J.E.HILDEBRAND
	出典	Applied Microbiology, Vol.12,No.3(1964)197.
	要約	構造用ｱﾙﾐ材料の微生物腐食ラボ試験方法として、'金属片法'と'タンク法'を比較評価。微生物を添加したイオン交換水-燃料混合物に金属片を入れた'金属片法'が簡便に多くの腐食を発生できる。
24	題目	ANAEROBIC CORROSION OF ALUMINIUM BY SULPHATE-REDUCING BACTERIA
	著者	A.K.TILLER, G.H.BOOTH
	出典	Corrosion Science Vol.8(1968)549-555
	要約	アルミニウムの腐食に及ぼす嫌気性環境下での硫酸還元ﾊﾞｸﾃﾘｱの影響をラボ培養および電気化学測定で実験。水素化活性(Hydrogenase-Active)な種類の硫酸還元ﾊﾞｸﾃﾘｱはｶｿｰﾄﾞ分極を低減させ、ｱﾙﾐﾆｳﾑの腐食速度を１００倍以上増加させる。ﾊﾞｸﾃﾘｱの生育過程での硫化鉄の析出もまた腐食生成に関与しているであろう。
25	題目	MICROBIOLOGICAL CORROSION OF ALUMINUM
	著者	H.G.HEDRICK
	出典	Materials Protection(1970)27-31
	要約	Cladosporium resinae, Pseudomonas aeruginosa, Aspergillus niger, Desulfovibrio desulfuri cansを含むイオン交換水＋ＪＰ－４ジェット燃料＝４：１の溶液に7075-T651,7079-T651,7178-T651,2024-T351を浸漬し腐食試験を実施。腐食感受性は2024-T351が最も高く、7079-T651が最も低かった微生物腐食速度は活性サイトの形成に依存すると考えられ、Ｍｇ，Ｚｎを多く含む合金で発生しやすい傾向が検証された。
26	題目	THE MICROBIAL DEGRADATION OF ALUMINIUM 1100
	著者	J.M.TENNYSON, L.R.BROWN
	出典	Int.Biodegradation Symposium Vol.3rd(1976)883-888
	要約	1100箔の微生物腐食を実験。圧力，酸素濃度は影響せず。湿度５０，９０％では発生。１０％では発生せず。培地としてはブイヨンよりＴａｎｇで発生菌類(ｶﾋﾞ)は細菌(ﾊﾞｸﾃﾘｱ)より腐食を促進。
27	題目	CONTRIBUTION BACTERIENNE A LA CORROSION ET A LA PROTECTION DES METAUX
	著者	I.GUILLAUME, J.GRIMAUDEAU, J.BRISOU
	出典	Corrosion Science Vol.17(1977)753-763
	要約	（仏語につき抄訳省略）

表－5.8(7)　微生物腐食

28	題目	MECHANISM OF MICROBIOLOGICAL CORROSION
	著者	E.R.SCHIAPPARELLI, B.R.MEYBAUM
	出典	Biologia Marina(1980)1-6
	要約	Cladosporium resinaeおよびPseudomonas aeruginosa(Bushnell-Haar培地)培養下での99.99A1,A2024の腐食について電気化学測定を交えて実験。Cladosporium resinaeは代謝の過程でくえん酸、イソくえん酸、ケトグルタル酸等を生成することが知られているが、それらは孔食電位の低下に関係し、ｐＨの低下は孔食過程の支配因子ではない。
29	題目	ISOLATION AND TESTING OF METAL CORRODING BACTERIA
	著者	G.R.WEBER
	出典	Materials Performance Vol.22(1983)24-27
	要約	微生物腐食研究で課題の一つであった菌の分離とその腐食性の調査について鉄およびアルミ材料を引例して紹介。
30	題目	MECHANISMS OF THE MICROBIAL CORROSION ALUMINUM ALLOYS
	著者	R.C.SALVAREZZA, M.F.L.MELE, H.A.VIDELA
	出典	CORROSION Vol.39(1983)26-32
	要約	燃料-水溶液系でのA2024の孔食電位に及ぼすケロシン中のイオン種およびCladosporium resinaeの　　影響を実験。塩化物存在下で、硫酸塩やリン酸塩は孔食電位を上げ孔食を抑制。それらが微生物に消費されたような環境下では孔食電位が低下し、Cladosporium resinaeの代謝物の成長もそれを助長。アルミ合金の不働態を破壊すると最近報じられている微生物代謝物のDodecanoate アニオンは孔食の生成過程に影響しない。
31	題目	CORROSION OF AA7075 ALUMINUM ALLOY IN MEDIA CONTAMINATED WITH CLADOSPORIUM RESINAE
	著者	E.S.AYLLON, B.M.ROSALES
	出典	Corrosion Vol.44(1988)638-643
	要約	航空機の燃料タンクの凝縮水残留部におけるCladosporium resinae他の関与を想定したA7075合金の微生物腐食につき、再現試験および電気化学調査。酸素を含む1/10希釈Bushnell-Haar培養液中でA7075は電気化学的孔食感受性は無い。Cladosporium resinaeの増殖はEpを2000mV低下させ、溶液のpHを6.5から3.5に減じる。Pseudomonas aeruginosaの増殖はEpを-1900mV低下させるが、溶液のpHは変化させない。過酷な環境下において、AlxCuや添加元素の不均一分布により、剥離腐食や粒界腐食を生じる。

表－5.8(8)　微生物腐食

32	題目	ACCELERATED TEST FOR DETERMINING MICROBIOLOGICAL-INFLUENCED CORROSION RESISTANCE OF ALUMINUM ALLOYS
	著者	B.M.ROSALES, E.S.AYLLON, M.C.LEIRO
	出典	「CORROSION TESTING OF ALLUMINUM ALLOYS」,ASTM STP1134(1992)50.
	要約	2024-T3,7075-T6,7005-T6等航空機用材料の微生物腐食事例・実験例を紹介 黴の繁殖を支えるﾐﾈﾗﾙ水中の栄養分および金属組織の腐食に及ぼす影響を電気化学的手法で解析。
33	題目	THE ROLE OF PSEUDOMONAS AERUGINOSA ON THE LOCALIZED CORROSION OF 304 STAINLESS STEEL
	著者	J.MORALES, P.ESPARZA, S.GONZALEZ, R.SALVAREZZA, M.P.AREVALO
	出典	Corrosion Science Vol.34(1993)1531-1540
	要約	中性0.5M NaCl水溶液中における304ｽﾃﾝﾚｽ鋼の耐食性に及ぼすPseudomonas aeruginosaの影響を分極測定によって調査。Pseudomonas aeruginosaの増殖は攻撃的な代謝物による不働態皮膜の薄化や微生物の堆積下での微小隙間の形成によって耐局部腐食性を損なう。
34	題目	MICROBIOLOGOCAL INVESTIGATIONS OF CORROSION DAMAGES IN AIRCRAFT
	著者	A.HANGENAUER, R.HILPERT, T.HACK
	出典	Werkstoffe und Korrosion Vol.45(1994)355-360
	要約	欧州の航空機メーカーが航空機の微生物腐食について共同研究。腐食部から採取した含水物(Swab)ｻﾝﾌﾟﾙを各種微生物に適した条件で培養・分離。 異なる７機の４６ｻﾝﾌﾟﾙから２０８種の微生物を分離。（細菌１５８種，酵母菌３６種,黴１４種）分離した菌の培養液中にA7075合金を２８日間浸漬し、腐食試験。腐食性は菌種で著しく異なりMicrococcus,Enterrococcus, Staphylococuus,Aerococcus,Bacillus,Aspergillus,Penicillium等が強い腐食性を示した。
35	題目	MICROBIOLOGICALLY INDUCED CORROSION OF NUCLEAR POWER PLANT MATERIALS
	著者	C.KALAIYAPPAN, J.WOLFRAM, W.J.DIRKS, G.GEESEY
	出典	International Conference on Microbially Influenced Corrosion,(1995) Paper No.32
	要約	アルミとｽﾃﾝﾚｽ鋼を用いた原子力発電所の使用済み燃料の保管タンクに微生物腐食が発生。実験によればｱﾙﾐﾆｳﾑ(A1100)はｽﾃﾝﾚｽ鋼(SS308)に比べ微生物腐食の感受性が高く、腐食電流は各々2.8および1.2μA/cm2。微生物の寄与は電位の急変と腐食電流の増大に表れ、それぞれ６および９日後に発生。ﾊﾞｲｵﾌｨﾙﾑの形成時間と対応する。

表－5.8(9)　微生物腐食

36	題目	EFFECT OF BIOFILMS ON CREVICE CORROSION OF STAINLESS STEELS IN COASTAL SEAWATER
	著者	H.-J. ZHANG, S. C. DEXTER
	出典	Corrosion, Vol. 51, No. 1 (1995) 56.
	要約	沿岸海水中で隙間形成材を装着した各種のステンレス鋼の隙間腐食の発生と進展を電気化学測定を交えて試験・調査。UNS N08367(6XN)では隙間腐食は発生せず、予め人工的に発生させても進展せず。UNS S31603(316L)およびS31725(317LM)では隙間腐食開始時間にバイオフィルムは影響せず。一方UNS N08904(904L)ではバイオフィルムが開始時間を著しく短縮。バイオフィルムはまたUNS S31603, S31725, N08904の場合カソード反応を増大させ、隙間腐食の進展速度を著しく増加させる。
37	題目	MICROBIAL CORROSION PROBLEMS ASSOCIATED WITH ENGINE OILS AND COOLANTS IN THE SHIPPING INDUSTRY
	著者	C. GENNER, E. C. HILL
	出典	Br. Corros. J., 15, 2 (1980) 95
	要約	低速海洋船舶用ディーゼルエンジンのクランクケースに発生した微生物腐食について事故品の調査に基づき要因を検討。 アルミ材料記述なし。
38	題目	THE ENNOBLEMENT OF STAINLESS ALLOYS BY MARINE BIOFILMS :THE NEUTRAL pH AND PASSIVITY ENHANCEMENT MODEL
	著者	M. EASHWAR, S. MARUTHAMUTHU, S. SATHIYANARAYAN, K. BALAKRISHNAN
	出典	Corrosion Science, Vol. 37, No. 8 (1995) 1169.
	要約	ﾄｩｰﾃｨｺﾘﾝ(Tuticorin;ｲﾝﾄﾞ南端)の海水中で微生物が関与して生成したｹｲｿｳのﾊﾞｲｵﾌｨﾙﾑはﾁﾀﾝの電位を著しく貴化させる。本報での調査と既往の文献によれば、ｐＨ値は自然状態で電位の貴化が生じる値に近いと推察される。分極データーは、不働態電流の減少と不働態域の増加と孔食電位の貴化が自然電位の貴化に関与していることを示唆している。電位の貴化は微生物が生成するｲﾝﾋﾋﾞﾀｰによって不働態が強化されたためと考察している。

表－5.8(10)　微生物腐食

39	題目	MICROBIOLOGICALLY INFLUENCED CORROSION OF INDUSTRIAL ALLOYS
	著者	D.H.POPE, D.J.DUQUETTE, A.H.JOHANNES, P.C.WAYNER
	出典	The International Corrosion Forum(1983)Paper Number247
	要約	各種工業金属の微生物腐食の機構・事例を解説。 アルミで最も研究された事例は航空機の燃料タンク中の燃料－凝縮水の２相系。嫌気，好気を問わず発生。しばしば金属表面にコロニーの形成や火山状の突起からの気泡発生が観られる。下記の菌、細菌を検出。 細菌：Pseudomonas aeruginosa,Aerobacter aerogenes,Clostridium sp., Desulfovibrio desulfuricans,Micrococcus sp.,Sphaerotilus natans 菌：Penisillium luteum,Aspregillus flavs,Spicaria sp.,Hormodendrus hordei,Cladosporium sp. 単相水溶液系での研究は少ないが、培養や海水環境で硫酸還元ﾊﾞｸﾃﾘｱの存在によって腐食速度が３～１００倍になるとの実験も有る。それらでは形態は孔食。次の機構が提唱されている。1)自然抑制剤の欠乏。2)腐食性物質の生成。3)酸素またはイオン濃度差電池の生成。4)カソード分極の低減。5)酵素,代謝による合金成分の活性識別は火山状小突起の生成、微生物コロニーやマットを伴う孔食等の観察による。抑制には殺菌剤が有効。
40	題目	MICROBIOLOGICALLY INFLUENCED CORROSION OF INDUSTRIAL ALLOYS
	著者	D.H.POPE, D.J.DUQUETT, A.H.JOHANNES, P.C.WAYNER
	出典	Materials Performance Vol.23(1984)14-18
	要約	各種工業金属の微生物腐食の機構・事例を解説。前項と同一。
41	題目	ASSESSMENT AND CONTROL OF MICROBIALLY-INDUCED CORROSION
	著者	J.F.D.SCOTT
	出典	Metals and Materials Vol.4(1988)224-229
	要約	各種金属の微生物腐食の機構・事例を簡略に解説。 アルミ材料ではCladosporium resinaeの成長・代謝による有機酸で孔食，剥離腐食，粒界腐食を生じる。例として航空機の燃料タンクの凝縮水残留部に発生。この事例は１９５０年代までは知られておらず、それまでのガソリンではなく燃料に灯油を使用するガスタービンエンジン機で米国，オーストラリアで発生。ドレン構造の改良やエチレングリコールモノエーテルや有機ホウ素化合物等の殺菌剤の使用で近年低減。

表－5.8(11)　微生物腐食

42	題目	THE IMPACT OF MICROBIALLY INDUCED CORROSION ON ENGNEERING
	著者	A.K.TILLER
	出典	Proseedings of 1st International Europian Federation of Corrosion Workshop on Microbial Corrosion(1988)3-9
	要約	各種金属の微生物腐食の機構・事例を簡略に解説。 アルミ材料ではCladosporium resinaeの成長・代謝による有機酸で航空機の燃料タンクの凝縮水残留部に発生。
43	題目	MICROBIOLOGICALLY INFLUENCED CORROSION OF METALS AND ALLOYS
	著者	B.LITTLE, P.WAGNER, F.MANSFELD
	出典	International Materials Reviews Vol.36(1991)253-272
	要約	各種金属の微生物腐食の機構・事例を解説。 アルミ材料では酸化皮膜の安定性が耐食性に寄与し、孔食電位はｽﾃﾝﾚｽ鋼と同様にＣｌイオン濃度の増加に伴って低下する。微生物腐食事例としては航空機等の燃料タンクに使用されたA7075,A2024合金について燃料-残留水界面でのCladosporium resinae(燃料で汚染された水中で繁殖するため別名ｹﾛｼﾝ黴と呼ばれている)による腐食が著名で、その機構は代謝で生成された水溶性有機酸によるｐＨ低下(３～４)と通気差電池の形成とされている。 燃料-残留水界面での腐食からは更にCandida sp.,Pseudomonas aeruginosaもしばしば分離され、それらは腐食抑制成分を消費する。燃料-残留水系の微生物腐食では細胞が死んだ後のほうが細胞の溶解の影響で腐食性が高まるとの報告もある。 ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙｳｫｰﾀｰ用の熱交換器用ﾌｨﾝが微生物で腐食した事例も報じられている 海洋性環境で使用されたA5052合金に孔食,粒界腐食,層状腐食,応力腐食を生じ、自然海水中で生成したﾊﾞｲｵﾌｨﾙﾑが亀裂生成に関与したとの報告もある。
44	題目	METALLIC CORROSION AND BIOROBES
	著者	A.K.TILLER
	出典	Proseedings of 2nd International Europian Federation of Corrosion
	要約	Workshop on Microbial Corrosion (1992)1-8微生物腐食の機構や形態を解説。アルミ材料では航空機の燃料タンクが凝縮水中に発生した微生物で腐食を生じた。例えばCladosporium resinaeの場合成長・代謝によってピンク色を呈し、コロニー表面のｐＨは３～４になる。その下には、中にゲル状の生成物が詰まった広い間口の複雑な形態の孔食を生じる。しばしば火山状の小突起と気泡が観察される。

表－5.8(12)　微生物腐食

45	題目	IMPACT OF ALLOYING ON MICROBIOLOGICALLY INFLUENCED CORROSION -A REVIEW
	著者	P.WAGNER, B.LITTLE
	出典	Materials Preformancd Vol.32(1993)65-68
	要約	各種金属における合金添加元素の耐微生物腐食性を解説。アルミ材料では、添加元素に関する言及は無く、酸化皮膜が耐食性に寄与する。燃料タンク中での燃料-残留水界面での微生物腐食が知られており、 その機構は代謝による水溶性有機酸の生成と通気差電池の形成。
46	題目	PRINCIPLES OF MICROBIAL CORROSION
	著者	J.D.A.MILLER
	出典	Br.Corros.J. Vol15(1980)92-94
	要約	微生物腐食の発生機構を解説。事例解説無。
47	題目	FUNDAMENTALS OF BACTERIA INDUCED CORROSION
	著者	R.E.TANALL
	出典	Materials Performance Vol.20(1981)32-38
	要約	化学工場における微生物腐食事例を紹介。特に給排水系に注目。 アルミ材料記述なし。
48	題目	CASE HISTORIES:BACTERIA INDUCED CORROSION
	著者	R.E.TANALL
	出典	Materials Performance Vol.20(1981)41-48
	要約	化学工場における特に給排水系に注目した微生物腐食事例を紹介。 アルミ材料記述なし。

6. まとめ

河川・ダム施設の防食技術に関する調査の一環として、アルミニウム材料の河川環境における防食性能に関して表-6.1に示す暴露試験及び室内試験を実施した。

本報告書は、これらアルミニウム材料の耐食性に関する試験調査のこれまでに得られた結果を中間報告書として取りまとめたものである。

表-6.1 アルミニウム材料の防食性能に関する試験調査の全体計画

試験項目		実施年度												
		H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18
暴露試験*	1.七ヶ宿湖水中	開始	回収	流失											
	再試験**			開始	回収		回収		回収					完了	
	追加試験				開始	回収		回収		回収					完了
	2.江戸川下流水中		開始	回収		回収		回収					完了		
	追加試験				開始	回収		回収		回収					完了
	3.江戸川河口大気			開始	回収		回収		回収					完了	
	追加試験				開始	回収		回収		回収					完了
	4.親不知海岸大気			開始	回収		回収		回収					完了	
	追加試験				開始	回収		回収		回収					完了
	5.ワイヤーオンボルト			開始	完了										
	6.水門調査河口域			完了											
	淡水域				完了										
室内試験	1.すき間腐食試験		開始	完了											
	2.塗装材促進試験		開始		完了										
	3.異種金属接触		開始	完了											
	4.分極測定		開始		完了										
	5.接合体電位分布			完了											
	6.定電位電解試験			開始	完了										
	7.腐食文献調査		開始		完了										

*：暴露試験期間は、1、3、5、10年とした。

**：H5年およびH6年に設置した試験片がH7年春期に流失したため、計画を見直し、再度設置した。

(1) 室内試験

1) すき間腐食試験

アルミニウム材料のすき間腐食挙動に及ぼす塩素イオンの影響を調査するため、塩素イオン濃度が20～20,000ppmの水溶液においてすき間形成部材の浸漬腐食試験を行った。すべての試験片において、すき間腐食は観察されなかった。

2) 塗装材促進腐食試験

アルミニウム材料の耐食性に及ぼす塗装の効果を調査するため、A5083P-O材に各種の下地処理及び塗装を行い、塩水噴霧等の促進腐食試験を行った。下地処理をウォッシュプライマーとして塗装種をエポキシ系中塗り+ポリウレタン系上塗りとした場合には、塩水噴霧試験での耐食性が優れており、平常時に大気環境で使用される用途に対しては適切な塗装仕様と考えられた。

3) 異種金属接触腐食試験

アルミニウム材料の耐食性に及ぼす異種金属接合の影響を調査するため、塩素イオン濃度が20～20,000

ppmの水溶液において、アルミニウム材料と普通鋼及びステンレス鋼の接合体の浸漬腐食試験を行った。アルミニウム材料の腐食は、塩素イオン濃度2,000ppm以上において顕著になる傾向を示した。

4) 分極測定

アルミニウム材料を使用する際に必要な耐食性の基礎データを得るため、アルミニウム合金A5083, A5052, ステンレス鋼SUS304および普通鋼SM400Bについて、塩素イオン濃度が20~20,000ppmの水溶液において分極曲線を測定した。アルミニウム材料の孔食電位は塩素イオン濃度の増加とともに卑な電位を示した。また、各材料の孔食電位は、ほぼ以下のような序列を示した。。

（電位・貴） SUS304 ＞ A5052P-H32 ≒ A5083P-O ＞ SM400B （電位・卑）

5) 接合体の電位分布試験

アルミニウム材料の異種金属接触腐食に関する基礎データを得るため、塩素イオン濃度が20～20,000ppmの水溶液において、アルミニウム材料と普通鋼及びステンレス鋼の接合体の電位分布を測定した。異種金属接合によるアルミニウム材料の電位変化は、塩素イオン濃度2,000ppm以上において大きくなる傾向を示した。異種金属による電位の影響範囲は、塩素イオン濃度2,000ppmで400mm程度を示した。

6) 定電位電解試験

淡水および海水環境中におけるアルミニウム材料の陰極防食における適正電位の範囲を推定するため、アルミニウム材料A5083について、塩素イオン濃度が20~20,000ppmの水溶液について定電位電解試験を行った。アルミニウム材料の重量減少と最大腐食深さの両方を抑制するとの観点から、有効な電気防食の範囲は、－1,000±100mVと推定された。なお、実際の適用に際しては、さらに検討が必要と考えられた。

(2) 淡水暴露試験

七ヶ宿ダム湖においてアルミニウム材料の水中暴露試験を行った。暴露試験1年目の試験片を回収・調査した結果、以下の知見が得られた。

①素材単体：表面がやや変色しているものの、顕著な腐食は観察されなかった。

②溶接部材：素材単体と同様に、顕著な腐食は観察されず健全であった。

③塗装部材：塗膜のはがれや膨れ等は観察されず、健全であった。

④すき間形成部材：接触部は変色も生じておらず、腐食も観察されず健全であった。

⑤異種金属接触材：無塗装部材では異種金属接触により最大で0.9mm程度の孔食が発生したが、塗装部材は健全であった。

(3) 汽水暴露試験

江戸川下流においてアルミニウム材料の水中暴露試験を行った。暴露試験1年目および3年目の試験片を回収・調査した結果、以下の知見が得られた。

①素材単体、溶接部材：暴露試験1年目で最大1.2mm程度、また、3年目で最大1.3mm程度の孔食が観察された。

②塗装部材：塗膜の膨れが一部に観察されたが、アルミニウム素地の腐食は軽微な状態であった。

③すき間形成部材：すき間部の腐食は一般部よりも軽微であり、最大で0.2mm程度の孔食が観察された。

④異種金属接触材：無塗装部材は異種金属接触により孔食が発生したが、塗装部材は健全であった。なお、無塗装部材の孔食深さは普通鋼よりもステンレス鋼と接触した場合の方が深く、また、異種金属の面積比が大きい方が深い孔食が観察された。

⑤陰極防食異種金属接合：陽極材料の陰極防食効果により、異種金属接触による腐食が軽減された。

(4) 大気暴露試験

1) 江戸川暴露試験

江戸川河口においてアルミニウム材料の大気暴露試験を行った。暴露試験1年目の試験片を回収・調査した結果、以下の知見が得られた。

①素材単体、溶接部材、塗装部材、すき間形成部材：いずれの試験片にも顕著な腐食は観察されず、健全な状態であった。

②異種金属接触材：無塗装部材は異種金属接触で軽微な孔食が発生したが、塗装部材は健全な状態であった。

2) 親不知暴露試験

親不知海岸においてアルミニウム材料の大気暴露試験を行った。暴露試験1年目の試験片を回収・調査した結果、以下の知見が得られた。

①素材単体、溶接部材、塗装部材、すき間形成部材：いずれの試験片にも顕著な腐食は観察されず、健全な状態であった。

②異種金属接触材：無塗装部材はステンレス鋼等のボルトとの接触周辺部においてガルバニック腐食による孔食が発生したが、塗装部材では孔食の発生は見られず健全な状態であった。

3) ワイヤーオンボルト試験

アルミニウム材料の環境による腐食性の違いを比較・評価するため、国内9ヶ所の大気暴露試験場においてアルミニウム材料のワイヤーオンボルト試験を1年間行った。アルミニウム材料に対する大気の腐食性は、概略、海からの距離によって説明された。通年での季節変動及び暴露試験場所間の大気の腐食性を比較・調査した結果、太平洋側及び南西諸島等では夏期の腐食性が高く、降雪及び寒冷地では冬期の腐食性が高い傾向を示した。なお、アルミ単独では腐食量は極めて小さく、たとえ海浜地区であっても腐食性は小さいと考えられた。

(5) 腐食文献調査

アルミニウム材料の各種腐食に関する既存の文献を調査した。河川・ダム施設に使用されるアルミニウム材料に直接関係する文献としては、手賀沼でのA5052、A5083の浸漬試験および富士川河川水中におけるアルミニウム水門の陰極防食に関するものがあった。

7. 今後の課題

今後、七ヶ宿ダム湖、江戸川河口及び親不知海岸における各暴露試験を継続して調査し、アルミニウム材料の耐久性を明らかにすることが重要である。

表–7.1 に暴露試験の全体計画を示す。暴露試験期間としては、1年、3年、5年及び10年を予定しているが、5年間を大きな区切りと位置付けて試験片の腐食状況の経時変化について調査しまとめる予定である。

表–7.1 アルミニウム材料の防食性能に関する暴露試験の全体計画

暴露試験項目	開始年度	3年目	5年目	10年
1. 七ヶ宿湖水中暴露				
A) 単体、溶接、基本塗装、すき間、異種金属接合	H7	H10	H12	H17
B) 追加塗装種、陰極防食異種金属接合	H8	H11	H13	H18
2. 江戸川下流水中暴露				
A) 単体、溶接、基本塗装、すき間、異種金属接合	H6	H9	H11	H16
B) 追加塗装種、陰極防食異種金属接合	H8	H11	H13	H18
3. 江戸川河口大気暴露				
A) 単体、溶接、基本塗装、すき間、異種金属接合	H7	H10	H12	H17
B) 追加塗装種	H8	H11	H13	H18
4. 親不知海岸大気暴露				
A) 単体、溶接、基本塗装、すき間、異種金属接合	H7	H10	H12	H17
B) 追加塗装種	H8	H11	H13	H18

あとがき

ダム施設の鋼構造物の防食にステンレス材料以外の耐食材料としてアルミニウム合金材料を適用するため、室内試験及び暴露試験によってアルミニウム合金材料の淡水域・汽水域における腐食挙動を明らかにした。

今後、暴露試験をさらに継続してアルミニウム合金材料の腐食挙動を解明して、ダム施設の維持管理を軽減するため役立つ資料として取りまとめる必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたっては、河川・ダム施設の防食技術研究会各位に多大なご協力をいただきました。ここに深甚なる謝意を表します。

また、暴露試験調査に多大なご協力いただきました建設省東北地方建設局七ヶ宿ダム管理所，同関東地方建設局江戸川工事事務所江戸川河口出張所の関係各位に感謝の意を表します。

河川・ダム施設の防食技術研究会

委員長	市川　慧	(財)国土開発技術研究センター研究第二部参与
副委員長	池田八郎	建設省東北地方建設局道路部機械課長
委　員	阿部新治	建設省東北地方建設局道路部機械課課長補佐
	阿部　武	建設省関東地方建設局道路部機械課課長補佐
	明嵐政司	建設省土木研究所材料施工部化学研究室長
	木邑　正	（社）鋼材倶楽部土木専門委員会委員長
	花崎昌幸	（社）軽金属協会土木製品開発委員会主査
	戸村寿一	(株)ナカボーテック技術顧問
	平井陽一	石川島播磨重工業(株)技術研究所材料研究部部長代理
	土居一幸	新日本製鐵(株)海洋鉄構事業部部長代理
	平賀憲一	（社）日本塗料工業会
幹　事	守屋　進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員
	西崎　到	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員

中途交代委員

副委員長	丹野光正	元建設省東北地方建設局道路部機械課長
	深堀哲男	元建設省東北地方建設局道路部機械課長
	山田仁一	前建設省東北地方建設局道路部機械課長
委　員	坂本浩行	前建設省土木研究所材料施工部化学研究室長
	奥山正之	元（社）日本塗料工業会

耐食金属材料ワーキンググループ

山下久男	新日本製鐵㈱建材開発技術部土木基礎建材技術グループマネジャー
吉田　健	同　ステンレス営業部厚板グループマネジャー
松岡和巳	同　技術開発本部鋼構造研究開発センター主任研究員
紀平　寛	同　技術開発本部鉄鋼研究所第一研究部主任研究員
松橋　亮	同　技術開発本部鉄鋼研究所第一研究部主任研究員
田中成人	日鉄防蝕㈱エンジニアリング事業部営業部次長
松田隆明	住友金属工業㈱厚板技術部次長
幸　英昭	同　総合技術研究所鋼管・鋼材研究部主任研究員
南　孝男	住友金属テクノロジー㈱受託研究事業部腐食防食チーム長
三上　聡	日本軽金属㈱景観エンジニアリング事業部設計技術担当部長
正路美房	住友軽金属工業㈱研究開発センター第六部自動車熱交材料開発主任研究員
大隅心兵	同　アーバンエンジニアリング事業部設計技術部副課長
花崎昌幸	（社）軽金属協会土木製品開発委員会主査
吉野朗宣	㈱ナカボーテック取締役
望月紀保	ナカボーテック㈱技術開発研究所研究室室長
平井陽一	石川島播磨重工業㈱技術研究所材料研究部部長代理
赤嶺健一	同　技術研究所材料研究部主任
古城一郎	同　鉄構事業部設計部課長代理
守屋　進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員

中途交代委員

梅野正紀	新日本製鐵㈱八幡製鐵所ステンレス厚板技術・管理グループリーダー
田所　裕	同　八幡技術研究部主任研究員
中村　厚	元住友金属工業㈱専門部長
白水　司	㈱ナカボーテック技術開発研究所開発室室長
池田　洋	住友軽金属工業㈱研究開発センター第六部担当次長
鎌田久美子	元石川島播磨重工業㈱技術研究所材料研究部研究員
小林徹也	前石川島播磨重工業㈱鉄構事業部設計部課長補佐
寺辻　修	同　同

アルミニウム材料小ワーキンググループ

正路美房	住友軽金属工業㈱研究開発センター第六部自動車熱交材料開発主任研究員
花崎昌幸	日本軽金属㈱グループ技術センター主任研究員
坂下満雄	三協アルミニウム㈱技術開発本部技術室技術課副主幹
山口恵太郎	三菱アルミニウム㈱技術開発センター腐食技術研究室主任
恩田時伯	古河電気工業㈱メタル総合研究所第4プロセス研究室
加藤良則	㈱神戸製鋼所アルミ・銅事業本部真岡製作所アルミ板研究部
松浦宏幸	スカイアルミニウム㈱技術研究所表面技術担当主任
三上　聡	日本軽金属㈱景観エンジニアリング事業部設計技術担当部長
大隅心兵	住友軽金属工業㈱アーバンエンジニアリング事業部設計技術部副課長
寺嶋政志	富山軽金属工業㈱開発部課長代理
小伏脇史明	立山アルミニウム工業㈱試験研究室材料研究担当副主任
西村健二郎	不二サッシ㈱技術統括部商品開発一部副部長
西沢和由	昭和アルミニウム㈱研究開発部技術研究所主任研究員
佐々木侑慥	（社）軽金属協会技術開発部次長
守屋　進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員