

# 港湾技研資料

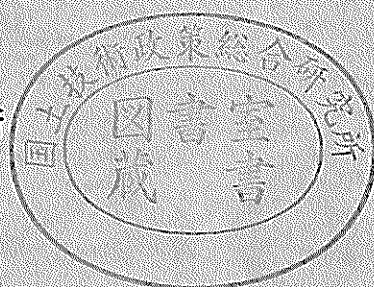
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 197 Dec. 1974

海気中および海水中における鋼材に対する塗料の防食効果

阿部正美

運輸省港湾技術研究所



# 海気中および海水中における鋼材に対する 塗料の防食効果

## 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	3
2. 試験方法 .....	3
2.1 下地処理と塗料の種類 .....	3
2.2 試験項目 .....	5
3. 試験結果 .....	8
3.1 肉眼による塗膜の観察および劣化評価 .....	8
3.2 ゴバン目試験結果 .....	8
3.3 下地材の肉厚，重量減量の測定結果 .....	8
4. 考 察 .....	12
5. 結 論 .....	16
参考文献 .....	16

Protective Effect of Paints for Steel at Atmospheric Zone  
and Submerged Zone.

Masami ABE \*

Synopsis

To make clear durability of paints in the field, both exposing and immersion tests have been carried out about the some typical coatings consisting of ten kinds of paints and three degrees of steel surface conditions.

And after 6.2 years, the following results were obtained.

From the results of exposing test, it has been approved that the durability of vinyl chloride paint was better than that of others disregarding steel surface conditions, while such three kinds of paints as one kind of chlorinated rubber paint, oil paint and organic zinc rich paint were very worse in the durability.

On the other hand, the durability of epoxy paint was superior next to that of vinyl chloride paint.

And from the results of immersion test, it has been ascertained that the durability of vinyl chloride paint was better than that of others as well as in exposing test. On the contrary, one kind of chlorinated rubber paint and oil paint were very worse independently of steel surface conditions in the durability.

---

\* Member of the Structures Division

# 海気中および海水中における鋼材に対する 塗料の防食効果

阿部正美\*

## 要 旨

野外における塗料の耐久性を明らかにするために、曝露試験と浸漬試験を10種類の塗料と3種の下地処理よりなる代表的塗装について行ない、6.2年後に次の結果を得た。

(1) 曝露試験では、塩化ビニル系塗料が下地処理に関係なく最も秀れていたが、塩化ゴム系塗料の一種、油性系塗料および有機質高濃度亜鉛系塗料が非常に悪かった。

一方、エポキシ系塗料は塩化ビニル系塗料について良好であった。

(2) 浸漬試験では、塩化ビニル系塗料が曝露試験と同様に良好であった。これに反して、塩化ゴム系塗料の一種と油性系塗料は下地処理に関係なく非常に劣った。

## 1. まえがき

港湾環境において鋼材を防食するために使用されている方法としては、現在、電気防食法、耐食性鋼材の適用、被覆材により鋼材表面を覆う方法など、適宜、その環境や施工条件などにより使い分けられ実施されているようであるが、この内、被覆材によって鋼材を防食する場合に被覆材自体の耐久性はもちろんのこと被覆材を塗装する際には鋼材表面の下地処理の状況によりその被覆材の耐久性が良くもなり、悪くもなることが前回行った試験<sup>1)</sup>により確められた。それ故、前回行った試験を参考にして現場でも通用しうる2.3の下地処理状況下における被覆材の防食効果を数種の被覆材を用いて検討した。

## 2. 試験方法

### 2.1 下地処理と塗料の種類

鋼材の表面を防食するに際しては、第一に鋼材表面の下地処理ということが問題になってくる。例えばこの下地処理の良し、悪しによってかなり塗料自体の耐久性が大きく左右される。それ故、鋼材表面を何らかの被覆材によって防食する場合には被覆材を被覆する前に鋼材表面の下地処理を行うことになる。一般的な下地処理方法としては表-1に示すように物理的方法と化学的方法の2通りに分けられる。物理的処理方法の内、サンド・ブ

ラスト法は鋼材表面に圧搾空気と共に細かい砂を吹付けて砂が鋼材表面に当る衝撃によりサビや黒皮(ミルスケール)を除去する方法である。グリット・ブラストやショット・ブラストについても同様な方法であるが砂のかわりに種々の固型研磨材を利用するものである。またフレーム・クリーナーとは酸素・アセチレンガスで鋼材表面を急激に熱して各部の熱膨張の差によりサビの離脱することを応用したものであり固く固着したサビ層を容易に落し去ることが出来、かつサンド・ブラスト法などより安価であり橋梁の塗替作業等に利用されている。ワイヤー・ブラシによる方法はゆるいスケール、雑なサビは除去出来るが密着性のスケールや堅く付着している腐食生成物等はこの方法では除去出来ない。また電動のワイヤー・ブラシを利用しても堅く付着している腐食生成物は除去出来ずむしろ鋼材表面を磨くようになり被覆材に対する良好なひっかかりが出来ない欠点となる。次に化学的な処理方法としては溶液による洗浄、主に鋼材表面の油脂分や汚物類の除去に用いられる溶媒としてはトリクロルエチレンが他の溶媒に対して引火性がなく油に対する溶解力も秀れており一般に利用されている。アルカリの洗浄では鋼材表面の油脂分をケン化して界面活性を示す成分が他の汚れを除去する方法を用いたものであり、材料としては主に第三燐酸ソーダー、ソーダー灰、荷性ソーダー等が用いられる。酸による洗浄については塩酸、硫酸、燐酸等が主に用いられるがアルカリ洗浄と

\* 構造部

表-1 鉄構の下地調整の種類

方法	処 理	下地の程度
物理的	サンド・ブラスト	A
	グリット・ブラスト	A
	フレーム・クリーナー	A'
	ワイヤー・ブラシ	C
	スクレーパー	C
化学的	酸 洗 淨	A'
	アルカリ洗淨	A'
脱 脂	溶剤洗い	—

注) 表中の下地程度は次のことを意味する。  
 A: 最も良い (A'はこれに次ぐ)  
 B: 良い。  
 C: 効果が十分でない。

同様に処理後に十分な中和と水洗を行わないと塗膜の密着性の低下や鋼材表面からの腐食生成物の発生原因となるために十分に後処理を行わなければならない。

現在では、港湾環境における現場で下地処理を行なう際に、化学的な処理はほとんど行なわず物理的処理が一般的である。この内、サンド・ブラストやその他のブラスト法が広く利用されているのが現状である。しかしながらブラスト法を用いた場合に一様の商業用ホワイト(ホワイト・メタル)まで処理出来るがコスト的にかかり高つくことが欠点であり、その上、下地処理の表面粗度(凹凸の山と谷との高さで表示)がかなり大きい場合もあり50μ程度に保つことが必要である。

(一般に50~200μ程度が塗膜の密着に対して最も良好な下地を与えるとしてされている)

以上現在使用されている鋼材表面への下地処理方法を簡単に記したが被覆材自体の耐久性を十分発揮させるには十分な下地処理と洗淨が最も大切である。しかしながら港湾構造物の施工の際にはこのような条件のもとでサビに対する十分な防食効果を期待するように、十分な下地処理を行なうことは実際にはたいへんむづかしい。

したがって、ある程度の枠を設けて、どの程度の下地処理の場合にはどの塗料ではどのくらいの防食効果があるかを把握しておく必要があると思われる。

このような理由から、この試験においては下地処理の条件を3種類作りそれらの下地処理を施した上に各種被覆材を被覆して塗膜の耐久性を検討してみた。使用した下地処理は表-2に示すように3種類ともトリクロルエ

チレン溶液で十分に脱脂を行なった。下地処理Ⅰについては発錆鋼材片を研磨紙200番を用いて研磨しホワイト・メタルが完全に露出している状態のものを用いた。これは商業用・ホワイトに適合する。下地処理Ⅱについては鋼材片全面が黒皮(ミルスケール)の付着している状態のものを使用した。また下地処理Ⅲについては発錆鋼材片を手動ワイヤー・ブラシでうきサビなどを除去してそのままの状態で行った。したがって下地処理Ⅲについては多少なりとも小さいサビが鋼材片に食い込んでおりここで用いた下地処理3種の内では最も下地処理としては悪いと思われる。使用した試験片の寸法は15cm×15cm×0.2cmのものを用い、材質としてはSS-41を用いた。次にこの試験に用いた被覆材の種類は表-3に示すように浸漬試験では7種類を、曝露試験では10種類を選んで試験に供した。この内、曝露試験に使用した試験片には4隅にφ0.5cmの穴を、また浸漬試験については上部真中に一ヶ所吊り下げ用の穴をそれぞれ作り取り付けを行なった。試験場所としては久里浜湾より約100m離れた場所で、曝露試験においては地上より約3m高い建物の屋上に図-1に示す寸法の木製曝露台を設けて試験片を取り付けて試験した。曝露台の傾斜角度は45度とし、方向は真南とした。(この方向は海岸に直面している)一方浸漬試験は縦240cm×横75cm×高さ75cmのコンクリート製水槽に自然海水を満たし試験片を全面浸漬して試験した。そしてこの試験は1966年12月から1973年2月までの6.2年間行なわれた。試験片の回収後、肉眼観察による塗膜の劣化状況評価、塗膜が未だ残存している試験片については下地と塗膜との密着性をみるためにゴバン目試験を行なった。またフレヤサビによる激しい劣化の生じていた試験片についてはどの程度の腐食が進行していたのか塗膜の表面だけでは判断出来ないためにそれらの試験片については脱脂を行ない下地面の腐食状況を調べた。

表-2 試験片の下地処理条件

下地処理 No	下地処理の条件	脱脂の有無
I	発錆鋼板を研磨処理	トリクロル・エチレン脱脂
II	全面黒皮付のまま	〃
III	発錆鋼板をワイヤーブラシ処理	〃

表-3 被覆材の塗装条件

No.	塗料系統名	色	塗装回数 (回)	塗膜厚 ( $\mu$ )	塗装方法	塗料性状	塗り重ね時間	※ 試験の有無	
								作業性	曝露 浸漬
A	塩化ビニル系	赤色	下塗り 1. 上塗り 2.	130 ? 210	刷毛塗り	1液性	12時間後	b	有 有
B	エポキシ系	黒かっ色	下塗り 1. 上塗り 2.	100 ? 260	刷毛塗り	2液性	12時間後	b	有 有
N	塩化ビニル系	赤錆色	2	160 ? 320	刷毛塗り	1液性	12時間後	b	有 有
O	塩化ゴム系 (1)	灰色	2	60 ? 200	刷毛塗り	2液性	12時間後	b	有 有
P	塩化ゴム系 (2)	灰色	2	100 ? 280	刷毛塗り	2液性	12時間後	b	有 有
Q	タール・ エポキシ系 (アルミニウム)	銀色	3	310 ? 360	刷毛塗り	2液性	12時間後	b	有 無
S	モルタル	灰色	2	800 ? 1500	吹付塗り	モルタル強度 試験標準配合	4時間後	c	有 有
T	有機質 (高濃度亜鉛系)	サックス ブルー	2	50 ? 110	刷毛塗り	1液性	4時間後	c	有 無
U	油性系 (アルミ粉末)	銀色	2	20 ? 165	刷毛塗り	1液性	12時間後	b	有 有
Y	タール・ エポキシ系	黒色	2	90 ? 170	刷毛塗り	2液性	12時間後	c	有 無

※ 作業性：a：良好，b：やや良好，c：やや悪い，d：悪い。

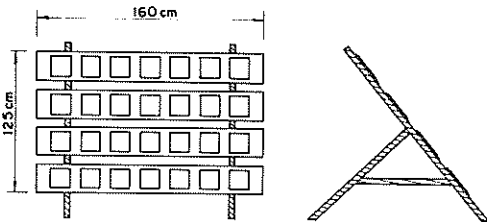


図-1 曝露試験に使用した曝露台

## 2.2 試験項目

### 2.2.1 肉眼による塗膜の観察および劣化評価

肉眼観察による塗膜の劣化評価については従来 J I S または ASTM C より基準化されたものや各試験者が独自に評価方法を決めて適宜，判定評価する場合もあり現在の所まちまちである。今回この試験を取りまとめるに当って適用した判定評価法は港研資料 (No. 35, 1967) 中の 2-2, 「塗膜の劣化項目と採点法<sup>1)</sup>」に基づいて評

価を行なった。

### 2.2.2 ゴバン目試験

試験片の回収后，塗膜の十分残存している試験片について，浸漬試験では A, B, N 塗料，曝露試験においては A, B, N, Q, Y 塗料の各塗料について塗膜と下地面との密着性を評価するために従来から行なわれているゴバン目試験を実施した。この方法は塗膜面に鋭利な刃物でゴバン目を 100 個作り (5mm×5mm のもの)，このゴバン目を作成する際に塗膜のハガレの起っていないゴバン目の数を数え表示する。その上，ゴバン目を作成したあとに，セロテープをゴバン目を作成した塗膜面上に貼り付けてただちにセロテープをはがし塗膜の残存しているゴバン目の数を数え塗膜の密着性を評価するものである。

### 2.2.3 下地材の肉厚，重量減量の測定

試験片の回収后，各試験において激しいサビの劣化やフクレの劣化が生じていた試験片については塗膜を取り除き，脱錆 (クエン酸=アンモニウム 10% 溶液中に浸漬) を行ない鋼材片の肉厚測定および重量測定を行なっ

表-4 肉眼観察による塗膜の劣化状況 (曝露試験)

塗料名 F地処理 劣化項目 および採点数 No.	(A) 塩化ビニル系(I)			(B) エポキシ系			(N) 塩化ビニル系(2)			(O) 塩化ゴム系(I)			(P) 塩化ゴム系(2)			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
ハク	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
白																
チエッキング																
クラッキング																
フクラ																
エロージョン																
サ																
各テスト・ピース毎 の採点数の和	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
採点数平均値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

○劣化の該当するものは○印をつけ、  
○フタレ劣化の内のアルファベット文字は  
採内の数字は劣化の生じている%を示す。  
フタレの配合を示す。

塗料名 F地処理 劣化項目 および採点数 No.	(Q) タームル・エポキシ系(A)			(S) モルタル被覆			(T) 有機質高濃度垂塗系			(U) 油性系(A)			(Y) タームル・エポキシ系			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
ハク	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
白																
チエッキング																
クラッキング																
フクラ																
エロージョン																
サ																
各テスト・ピース毎 の採点数の和	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
採点数平均値	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-5 肉眼観察による塗膜の劣化状況 (浸漬試験)

塗料名 下地処理 劣化項目 No. および 採点数	(A) 塩化セニル系(I)						(B) エポキシ系						(N) 塩化セニル系(2)						(O) 塩化セニル系(1)									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
ハク																												
白																												
チャッキング																												
クラッキング																												
フタレ																												
エロージョン																												
サ																												
各テスト・ピース 毎の採点数の和	-2	-2	0	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
採点数平均値	-1																											

○劣化の無い当りものには○印をつけ  
○フタレ劣化のアルファベット文字は、  
採内の数字は劣化の生じている%を示す。  
フタレの度合を示す。

塗料名 下地処理 劣化項目 No. および 採点数	(P) 塩化ゴム系(2)						(S) モルタル塗膜						(U) 油性系(A&Z)															
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
ハク																												
白																												
チャッキング																												
クラッキング																												
フタレ																												
エロージョン																												
サ																												
各テスト・ピース 毎の採点数の和	-30	-31	-41	-32	-40	-32	-31	-32	-31	-31	-26	-25	-25	-24	-25	-24	-25	-24	-25	-24	-25	-24	-25	-24	-25	-24	-25	-24
採点数平均値	-1.53																											



た。肉厚測定においては脱錆された比較的凹凸の少ない面に1cm間隔のゴバン目を細いマジック・インキで書き、ゴバン目の交点を両球型マイクロ・メーターによって2/1000mmまで測定した。重量測定については秤量1200g、感度1/100gの天秤を用いて測定した。その上、脱錆後の鋼材片の腐食状況を写真撮影した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 肉眼による塗膜の観察および劣化評価

肉眼による塗膜の劣化評価は表-4、表-5に示す通りである。表-4、表-5では劣化1項目の劣化%およびフクレの劣化についてはフクレの度合を示し、その他

各試験片の劣化7項目の採点数の和を各下地処理毎に算出してこれらの平均値を採点数平均値として表示した。その上、回収時において塗膜面の劣化状況を記録しておく意味から写真撮影を各試験片毎に行なった。その結果を写真-1から写真-17に示す。

#### 3.2 ゴバン目試験結果

ゴバン目試験の試験結果を表-6に示す。表中の各塗料No.別の上段の数値はゴバン目作成時に塗膜の残存したゴバン目の数を示し、下段の数値はセロテープ処理後のゴバン目塗膜の残存数をそれぞれ示す。またQ塗料の(上)は下地まで至らないハクリ、すなわち上塗り塗料のみがはがれて下塗り塗料は残存しているものを示す。

表-6 ゴバン目試験結果

試験名	下地処理 No. 塗料No.	下地処理 I		下地処理 II		下地処理 III	
		1	2	1	2	1	2
浸漬 試験	A	100	100	100	100	100	100
		100	100	100	100	100	100
	B	57	4	26	0	37	23
		33	2	21	0	29	17
	N	100	100	100	100	100	100
		100	100	100	100	100	100
曝露 試験	A	100	100	100	100	100	100
		100	100	100	100	100	100
	B	93	90	54	88	59	78
		53	68	37	48	38	12
	N	100	100	100	100	100	100
		100	100	100	96	100	98
	Q	95(上)	94(上)	55(上)	82(上)	100	87(上)
		91(上)	87(上)	53(上)	74(上)	100	84(上)
	Y	100	62	100	7	11	39
		100	38	64	0	0	2

#### 3.3 下地材の肉厚、重量減量の測定結果

塗膜ハクリ後の下地材の肉厚および重量測定を行なった塗料は曝露試験においてはO、P、S、T、U塗料の全試験片、浸漬試験においてはO、P、S、U塗料の全

試験片である。肉厚測定結果を表-7、表-8に示す。また重量測定結果を表-9、表-10に示す。塗膜を除去し、脱錆後の下地材の腐食状況を写真-18～写真-26に示す。

表-7 試験片の肉厚減少量 (曝露試験)

両球型マイクロ・メーターによる。

塗料No.	下地処理 No.	最大値 (mm)	最小値 (mm)	平均値 (mm)	初期肉厚 -最小値 (mm)	初期肉厚 -平均値 (mm)	標準偏差 (mm)
O	I-1	2.070	1.956	2.006	0.144	0.094	0.016
	I-2	1.994	1.920	1.960	0.080	0.040	0.015
	II-1	2.130	1.954	2.073	0.146	0.027	0.034
	II-2	2.006	1.932	1.967	0.068	0.033	0.018
	III-1	2.060	1.958	2.011	0.142	0.089	0.027
	III-2	2.010	1.926	1.970	0.074	0.030	0.026
P	I-1	1.994	1.860	1.946	0.140	0.054	0.036
	I-2	1.960	1.482	1.895	0.518	0.105	0.083
	II-1	2.078	1.834	2.022	0.266	0.078	0.058
	II-2	2.000	1.884	1.964	0.116	0.036	0.024
	III-1	1.996	1.852	1.924	0.348	0.276	0.030
	III-2	2.242	1.686	2.141	0.564	0.109	0.111
S	I-1	2.046	1.938	1.994	0.062	0.006	0.023
	I-2	2.008	1.810	1.966	0.190	0.034	0.038
	II-1	2.086	1.894	1.994	0.156	0.056	0.058
	II-2	2.270	2.170	2.235	0.130	0.065	0.018
	III-1	1.994	1.574	1.817	0.426	0.183	0.124
	III-2	2.030	1.846	1.960	0.324	0.210	0.041
T	I-1	1.996	1.954	1.975	0.046	0.025	0.010
	I-2	2.002	1.944	1.987	0.056	0.013	0.014
	II-1	2.110	2.010	2.058	0.090	0.042	0.024
	II-2	2.090	1.974	2.031	0.026	0.069	0.027
	III-1	2.036	1.928	1.991	0.072	0.009	0.024
	III-2	2.050	1.980	2.013	0.070	0.037	0.018
U	I-1	2.004	1.040	1.935	0.960	0.065	0.154
	I-2	1.998	1.818	1.949	0.182	0.051	0.042
	II-1	1.986	1.718	1.885	0.282	0.115	0.064
	II-2	2.092	1.934	2.011	0.166	0.089	0.042
	III-1	2.062	1.878	1.984	0.172	0.066	0.046
	III-2	2.078	1.922	2.005	0.088	0.005	0.028

表-8 試験片の肉厚減少量(浸漬試験)

両球型マイクロ・メーターによる。

塗料No.	下地処理	最大値 (mm)	最少値 (mm)	平均値 (mm)	初期肉厚	初期肉厚	標準偏差 (mm)
	No.				-最小値 (mm)	-平均値 (mm)	
O	I-1	2.006	0.000	1.733	2.200	0.467	0.423
	I-2	1.974	0.000	1.702	2.000	0.398	0.436
	II-1	1.954	0.000	1.735	2.000	0.265	0.324
	II-2	2.006	0.000	1.828	2.000	0.172	0.335
	III-1	2.206	0.000	1.856	2.200	0.144	0.477
	III-2	2.006	0.000	1.829	2.000	0.171	0.339
P	I-1	2.004	1.890	1.972	0.110	0.028	0.022
	I-2	2.262	2.134	2.206	0.166	0.094	0.043
	II-1	2.038	1.912	1.976	0.088	0.024	0.037
	II-2	2.014	1.950	1.986	0.050	0.014	0.015
	III-1	2.014	1.814	1.951	0.186	0.049	0.043
	III-2	2.022	1.912	1.963	0.088	0.037	0.022
S	I-1	2.004	1.702	1.887	0.298	0.123	0.064
	I-2	1.986	1.630	1.880	0.370	0.120	0.089
	II-1	2.300	2.090	2.243	0.210	0.057	0.044
	II-2	1.994	1.532	1.847	0.468	0.153	0.135
	III-1	2.332	1.902	2.177	0.298	0.023	0.109
	III-2	2.014	1.784	1.930	0.216	0.070	0.053
U	I-1	1.860	1.450	1.650	0.550	0.350	0.103
	I-2	1.810	0.000	1.428	2.000	0.572	0.321
	II-1	1.830	1.312	1.571	0.688	0.429	0.101
	II-2	1.996	1.294	1.617	0.706	0.383	0.210
	III-1	1.920	1.322	1.603	0.678	0.397	0.153
	III-2	1.840	0.000	1.278	2.000	0.722	0.319

表-9 試験片の重量減少量 (曝露試験)

塗料 No	下地処理 No	初期重量 (g)	試験後重量 (g)	重量減量 (g)
O	I-1	367.61	347.78	19.83
	I-2	353.70	340.98	12.72
	II-1	371.39	356.16	15.23
	II-2	353.70	339.39	14.31
	III-1	367.61	345.14	22.47
	III-2	353.70	341.11	12.59
P	I-1	353.70	334.77	18.93
	I-2	353.70	338.04	15.66
	II-1	369.62	354.78	14.84
	II-2	353.70	341.31	12.39
	III-1	389.07	371.65	17.42
	III-2	373.23	330.93	42.30
S	I-1	353.70	338.54	15.16
	I-2	353.70	336.02	17.68
	II-1	362.54	335.69	26.85
	II-2	406.76	382.09	24.67
	III-1	353.70	301.05	52.65
	III-2	383.76	330.27	53.49
T	I-1	353.70	337.10	16.02
	I-2	353.70	341.90	11.22
	II-1	371.39	350.88	20.51
	II-2	371.39	351.22	20.17
	III-1	353.70	344.62	8.50
	III-2	353.70	345.74	7.38
U	I-1	353.70	336.76	16.36
	I-2	353.70	328.68	24.44
	II-1	353.70	319.66	33.46
	II-2	371.39	350.94	20.45
	III-1	362.54	331.60	30.94
	III-2	355.47	340.47	15.00

表-10 試験片の重量減少量 (浸漬試験)

塗料 No	下地処理 No	初期重量 (g)	試験後重量 (g)	重量減量 (g)
O	I-1	397.91	345.82	52.09
	I-2	353.70	297.66	55.09
	II-1	353.70	300.43	52.75
	II-2	353.70	322.27	30.48
	III-1	389.07	334.36	54.71
	III-2	353.70	306.19	46.56
P	I-1	353.70	342.49	11.21
	I-2	400.59	380.61	19.98
	II-1	353.70	340.58	13.12
	II-2	353.70	345.67	8.03
	III-1	353.70	334.85	18.85
	III-2	353.70	337.68	16.02
S	I-1	353.70	326.53	27.17
	I-2	353.70	323.54	30.16
	II-1	400.59	381.31	19.28
	II-2	344.27	308.43	35.84
	III-1	389.07	367.81	21.26
	III-2	353.70	326.13	27.57
U	I-1	353.70	273.30	79.45
	I-2	353.70	255.50	97.25
	II-1	353.70	273.93	78.82
	II-2	353.70	252.96	99.79
	III-1	353.70	256.29	96.46
	III-2	353.70	207.17	145.58

#### 4. 考 察

##### (1) 肉眼観察による塗膜の劣化評価

表-4, 表-5の各下地処理毎の採点数平均値を図示すると図-2および図-3の通りである。

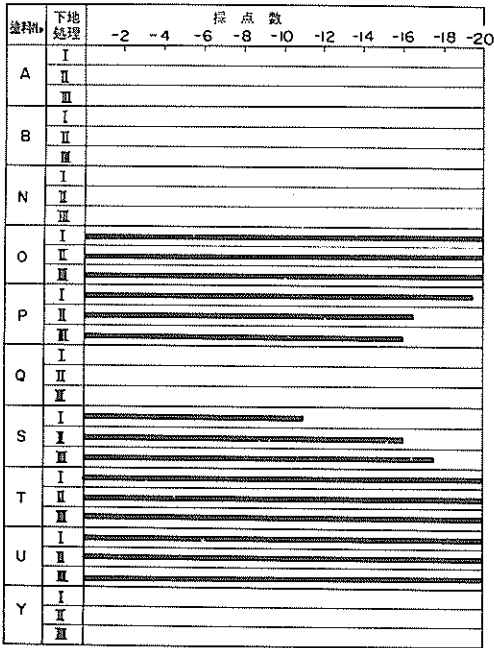


図-2 肉眼観察による塗膜の劣化評価 (曝露試験)

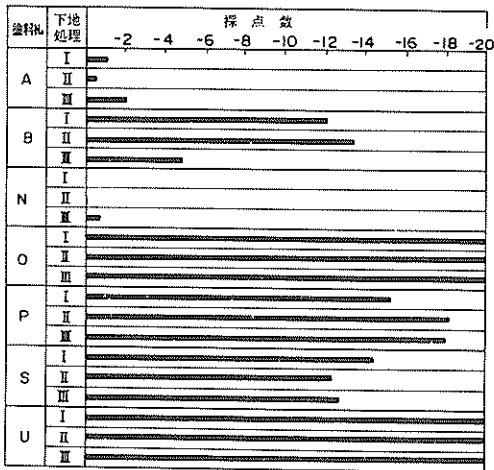


図-3 肉眼観察による塗膜の劣化評価 (浸漬試験)

図-2 (曝露試験) においては, A, B, N, Q, Y 塗料のどの下地処理にも何ら劣化は認められず塗膜も十分残存しており良い防食効果を示した。(写真-8, 9, 10, 13, 17) しかしながら, これらに対して O, P, S, T, U の各塗料については激しいフクレやサビによる劣化が生じており耐久性は悪い結果を示した。(写真-11, 12, 14, 15, 16)

一方, 図-3 (浸漬試験) においては N 塗料の下地処理 I および II は何ら劣化が認められず耐久性は最も良かった。次いで比較的防食効果の良かったものは N 塗料の下地処理 III および A 塗料の下地処理 II, I, III である。最も悪いものとしては O 塗料および U 塗料であり試験片全面がサビの厚い層に覆われていた。(写真-4, 7)

##### (2) ゴバン目試験結果

肉眼観察により評価して優劣のつけがたい塗料 (未だ十分塗膜が残存しているもの) についてゴバン目試験により下地面と塗膜との密着性を評価した。

表-6 に示すゴバン目試験結果の各塗料における下地処理毎の平均値を図示すると図-4 および図-5 の通りである。図-4 および図-5 の実線はゴバン目作成時のゴバン目塗膜の残存数を, 点線はセロテープ処理後のゴバン目塗膜の残存数をそれぞれ示す。

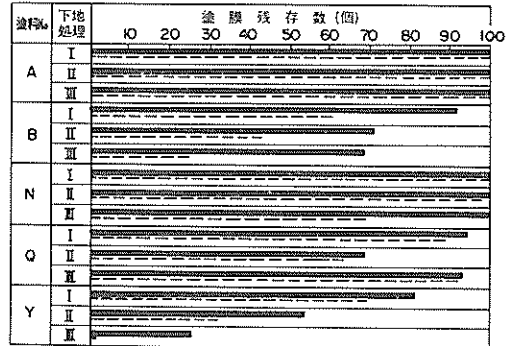


図-4 ゴバン目試験による塗膜の密着性評価 (曝露試験)

図-4 (曝露試験) において, A 塗料の下地処理 I, II, III および N 塗料の下地処理 I には塗膜のハガレは一つもなく十分良い下地面との密着性を有していた。次いで N 塗料の下地処理 II が良く, 下地処理 III になると多少密着性は劣る。B 塗料および Y 塗料については塗膜自体の活性がすでに失われているのかゴバン目を作成する時点において塗膜のハガレるものも多く見られ下地面との密着性がすこぶ悪かった。特に Y 塗料の下地処理 III

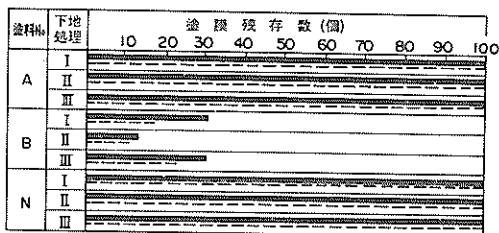


図-5 ゴバン目試験による塗膜の密着性評価(浸漬試験)

についてはセロテープ処理後にゴバン目塗膜の残存数が1%程度であった。その上、Q塗料においては下地面と下塗り塗料との密着性は良好であったが下塗り塗料と上

塗り塗料との密着性の悪いことが目立った。(表-6) Q塗料およびY塗料のゴバン目塗膜ハクリ状況を写真-27, 写真-28に示す。

また図-5(浸漬試験)においては、A塗料およびN塗料のどの試験片にも塗膜の活性が未だ残っており、ゴバン目塗膜のハクリもなく下地面との密着性は良好であった。しかしながら、これに対してB塗料においては塗膜の残存数が30%程度以下であり曝露試験と同様に密着性は極めて悪い結果を示した。

(イ) 下地材の肉厚、重量測定結果

表-7および表-8の各下地処理毎の平均肉厚減少量を図示すると図-6の通りになる。また表-9, 表-10の各下地処理毎の平均重量減少量を図示すると図-7のようになる。

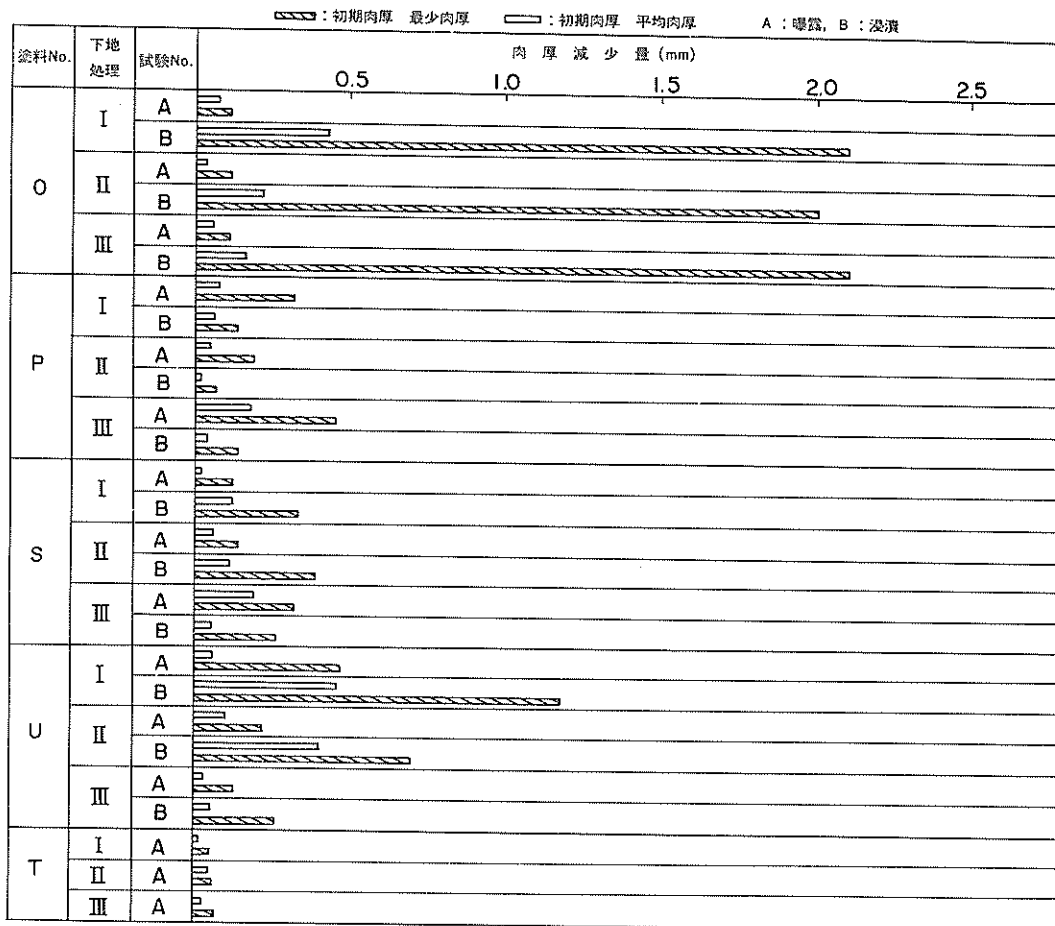


図-6 試験片の肉厚減少量

浸漬試験（図-7）において重量減少量ではU塗料が圧倒的に大きく、次いでO塗料、S塗料、P塗料の順である。U塗料の肉厚減少量（図-6）をみると平均の肉厚減少量においてはU塗料の方がO塗料に比べて大きい、（初期肉厚-最小肉厚）=最大肉厚減少量に関してはO塗料が圧倒的に大きいことが目立つ。この理由としては写真-18にも見られるように下地材表面には特に局部腐食により凹凸の激しい腐食が生じており、穴のあいている箇所も散見される。この種の塩化ゴム系塗料は電気絶縁性が高く（約 $10^8\Omega$ ）前回は行った試験<sup>1)</sup>にも現われた現象であるが水中フクレの劣化が生じ易く

塗膜自体に絶縁抵抗の高いものについては一般にアルカリ性フクレを生じるがフクレは時間の経過とともにフクレの中の液がアルカリ性から中性へ、中性から酸性に移項して次第に酸性フクレが形成される。そして酸性の影響で付近の塗膜はもろくなりフクレは早い時期に破壊して図-8に示す如く $Fe^{++}$ の溶出によりサビの劣化が起り始める<sup>2)</sup>。塗膜全体に対してこの部分がアノードとなるために局部的な腐食が促進される結果となる。すなわちこの塗料を用いて下地処理がこの程度の場合には、試験期間内に塗膜の耐久性がなくなり腐食が進行して穴のあくこともありうることを示している。しかしながら大気

A：曝露、B：浸漬

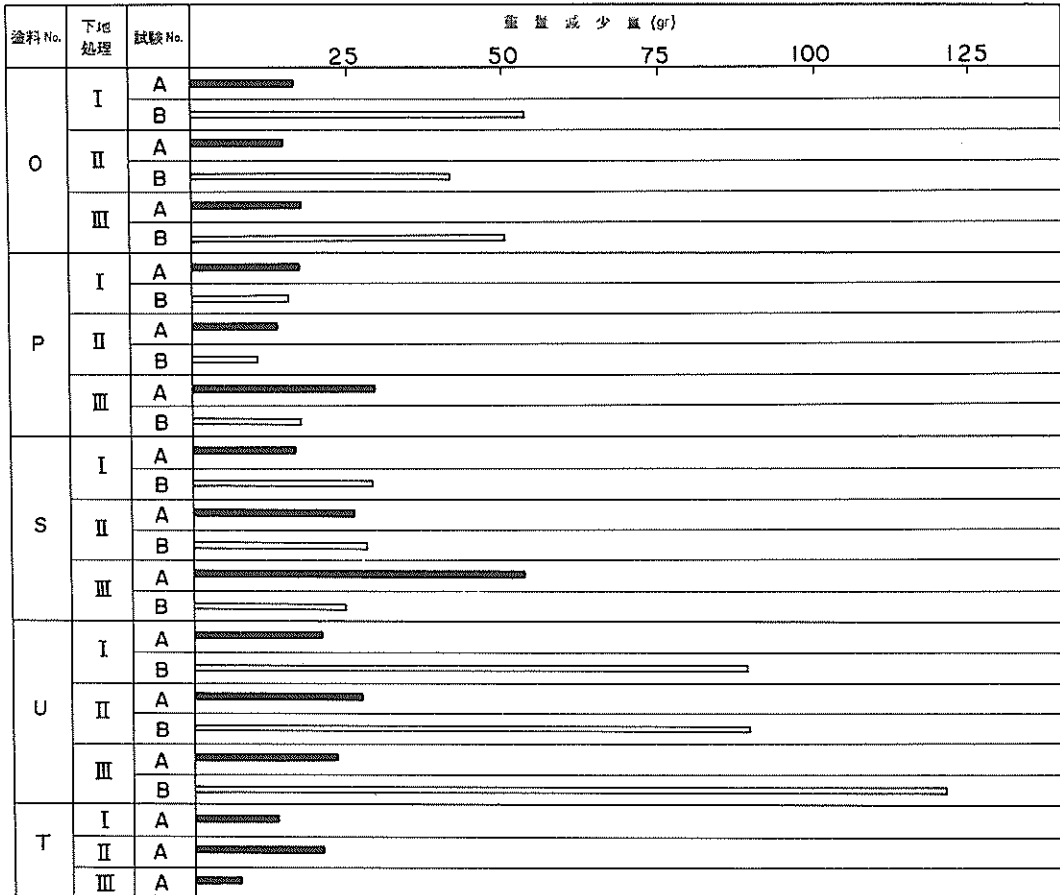


図-7 試験片の重量減少量

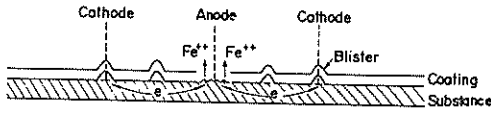


図-8 フクレの劣化状況

中環境（曝露試験より）においては局所的な腐食はなく浸漬試験に比べ写真-22にも見られるように激しい凹凸は見られない。また、U塗料については一般に樹脂系塗料に比べて耐水性が極めて悪いためO塗料のように局所的な腐食は生じないが全面にわたる腐食が生じ易い。（写真-21）

曝露試験についてはS塗料（モルタル被覆）の地下処理Ⅲの重量減量の大きいことが目立つ。この原因として

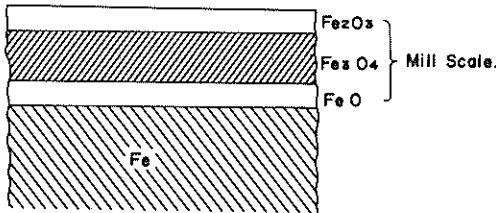


図-9 黒皮（Millscale）の断面

は地下処理Ⅲではワイヤー・ブラシ処理を行い、脱脂を行ったものであるが多少のサビが存在している地下処理であるためにモルタル自体にクラッキングなどの劣化が起り、この劣化を通して下地面に存在しているサビが成長してモルタル被覆を持ち上げ、腐食が進行していったものと予想される。またT塗料（有機質高濃度亜鉛系）の地下処理Ⅱは地下処理ⅠやⅢに比べ重量減量がやや大きい理由は、地下処理ⅠやⅢについては下地面がホワイト・メタルの露出している部分が大半を占めており、塗料中の高濃度亜鉛が直接に下地面（ホワイト・メタル部）と接触して下地をサビから保護する結果となるために、防食効果は地下処理Ⅱよりも良かったと思われる。これに対して、地下処理Ⅱは全面黒皮で覆われているためにホワイト・メタルの露出がなく直接に亜鉛がFe自体に接触することはない。黒皮（ミル・スケール）からFeに至るまでの断面は図-9に示すような形態である<sup>3)</sup>。その厚さは普通20~80μと言われていた。そのため、電気伝導性は他の地下処理よりも当然悪くなり、その結果、地下処理ⅠやⅢよりも重量減量が大きかったと思われる。

(二) 塗装系の評価

試験結果より、曝露試験ならびに浸漬試験における各塗料の塗装系を評価してみると表-11、表-12のようになる。

表-11 曝露試験における塗装系の評価

肉眼観察	ゴバン目試験	塗 装 系	備 考
劣化なし	ハクリなし	A-I, A-II, A-III, N-I	
劣化なし	ハクリあり	N-II > Q-III > Q-I > N-III > Q-II > Y-I > B-I > B-II > B-III > Y-II > Y-III	>はゴバン目試験においてハクリ数の少ない順に示す。
フクレ、サビ		P-II > S-I > P-I > S-II > P-III > S-III	>は重量減量の少ない順に示す。
全面サビ		T-III > T-I > O-II > O-I > O-III > T-II > U-I > U-III > U-II	>は重量減量の少ない順に示す。

表-11（曝露試験）より、A塗料の地下処理Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、N塗料の地下処理Ⅰの塗装系が最も耐久性が良いことになる。一方、T塗料、O塗料、U塗料のどの地下処理にも試験片全面にサビの劣化が生じており、耐久性は

極めて悪い。表-12（浸漬試験）より、N塗料の地下処理Ⅰ、Ⅱの塗装系が最も良く、次いでN塗料の地下処理ⅢおよびA塗料の地下処理Ⅱの順である。O塗料、U塗料は曝露試験と同様に最も耐久性が劣る。



表-12 浸漬試験における塗装系の評価

肉眼観察	ゴバン目試験	塗 装 系	備 考
劣化なし	ハクリなし	N-I, N-II	
フクレ(φ)のみ		N-III > A-I > A-III A-II	>は肉眼観察により採点数の少ない順に示す。
フクレ(F~M), ごく軽いサビ	ハクリあり	B-III > B-I > B-II	>はゴバン目試験においてハクリ数の少ない順に示す。
フクレ, サビ, クラッキング, ハクリ		P-II > P-I > P-III > S-III > S-II > S-I	>は重量減量の小さい順に示す。
全面サビ		O-II > O-III > O-I > U-I > U-II > U-III	>は重量減量の小さい順に示す。

## 5. 結 論

本試験においては塗料の耐久性を明らかにするために、10種類の塗料と3種の下地処理を用いて、曝露試験と浸漬試験を野外で行なった。

試験結果より次のことが言えよう。

(1) 曝露試験では、塩化ゴム系塗料が下地処理に関係なく耐久性は最も良かった。しかし、塩化ゴム系塗料の一種、油性系塗料および有機質高濃度亜鉛系塗料はどの下地処理も耐久性は極めて悪かった。

(2) 浸漬試験では、塩化ビニル系塗料が曝露試験と同様に耐久性は秀れていたが、塩化ゴム系塗料の一種、油性系塗料はどの下地処理も耐久性は極めて悪い。

(3) 曝露試験において、塩化ビニル系塗料について耐久性の良かったエポキシ系塗料は、大気中環境であれば6年間程度の塗膜の維持は期待出来る。

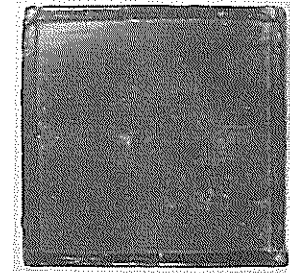
以上、野外において塗料の耐久性試験を行なったが、浸漬試験においては実際に海岸などへ試験片を浸漬して試験を実施したものでないために、塗膜表面に付着する付着物の影響を調べることは出来なかった。それ故、塗膜の耐久性にとって付着物の影響が大きいと思われるので、実際に海水中環境などへ施工するに当っては、実際の調査例<sup>4)</sup>などをも参考にすることが望ましいと思われる。また、塗膜に対する耐久性の点において問題とすべき点が、未だ数多く残されているが、実際に塗料を用いて鋼材の防食を行なうに当り、何らかの意味で本報が多少なりとも参考にれば幸である。

最後に、本報をまとめるに当り、有益なる御指導を賜わった善主任研究官に深く感謝の意を表します。

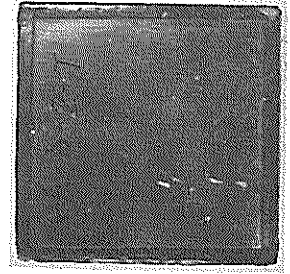
(1974年9月30日受付)

## 参考文献

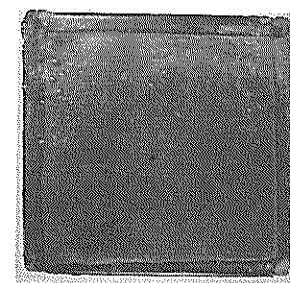
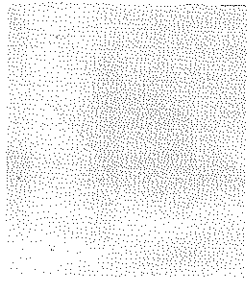
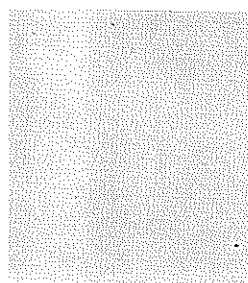
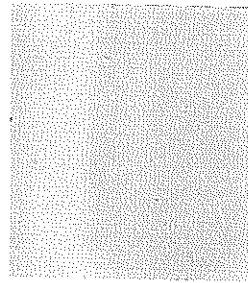
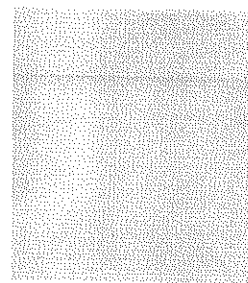
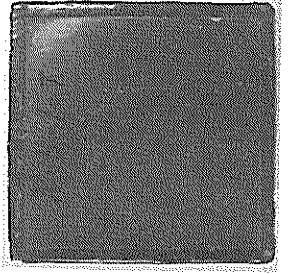
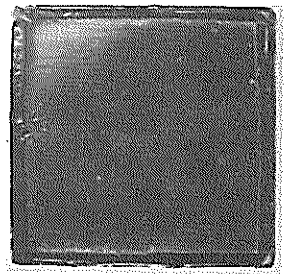
- 1) 阿部：技研資料，No.35，1～94（1967）
- 2) 佐藤靖：防食技術，vol.10，No.4，13～16（1961）
- 3) 産業図書，塗装便覧，837～838（1957）
- 4) 善，阿部：技研資料，No.72，1～60（1970）



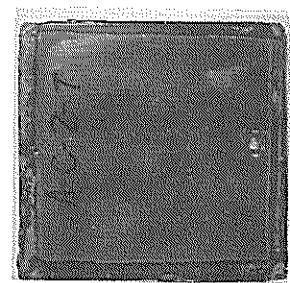
A-I-2



A-I-1



A-III-2



A-III-1

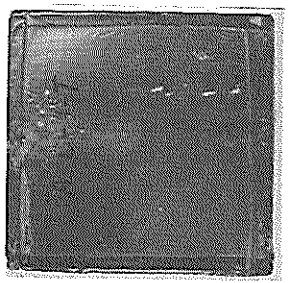
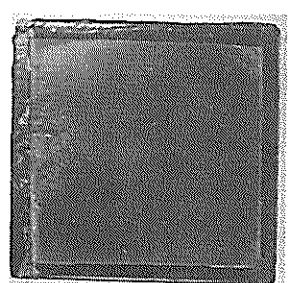
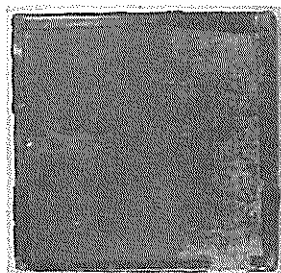
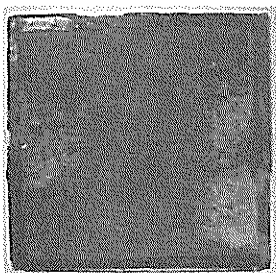


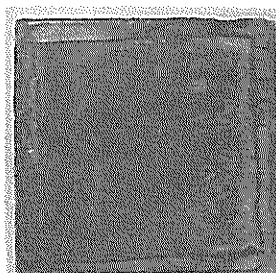
写真-1 桂化ビニル系塗料 (A), 浸漬試験



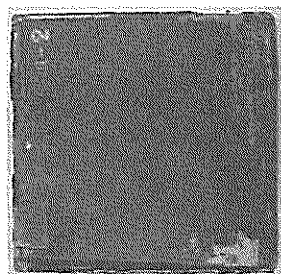
B-I-2



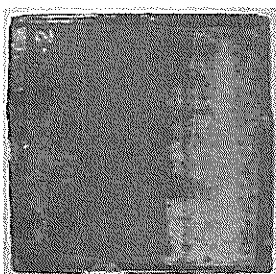
B-II-2



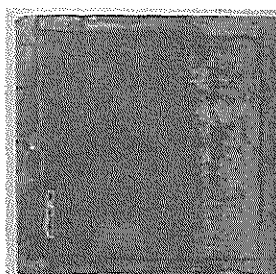
B-III-2



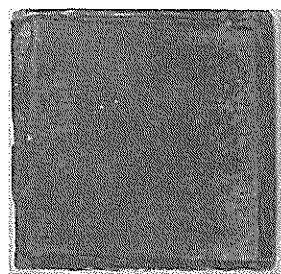
B-I-1



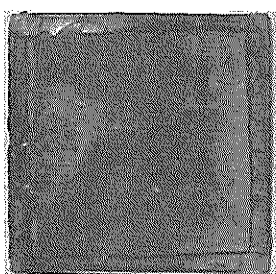
B-II-1



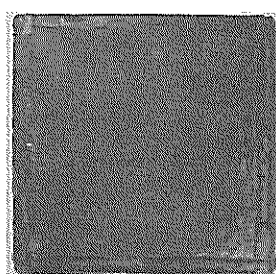
B-III-1



B-I-2

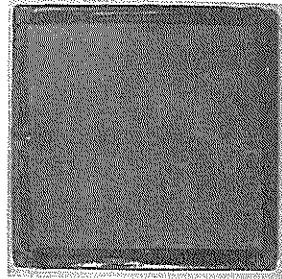


B-II-2

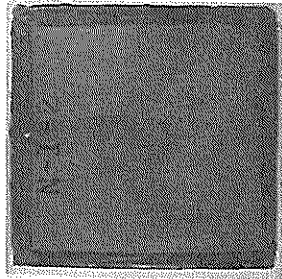


B-III-2

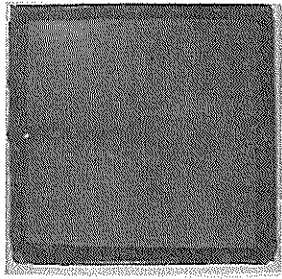
写真-2 エポキシ系塗料 (B), 浸漬試験



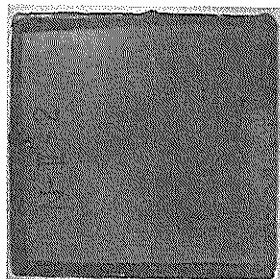
N-I-2



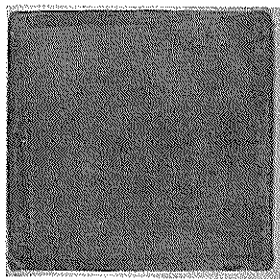
N-I-1



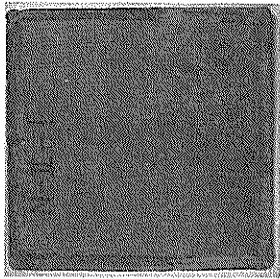
N-II-2



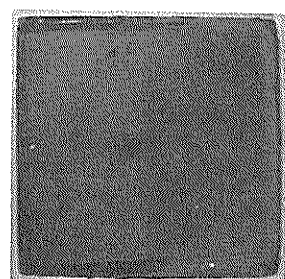
N-II-1



N-III-2



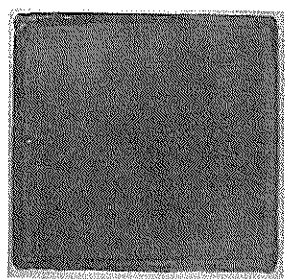
N-III-1



N-I-1



N-II-1



N-III-1

写真-3 極化ビニル系塗料 (N)，浸漬試験

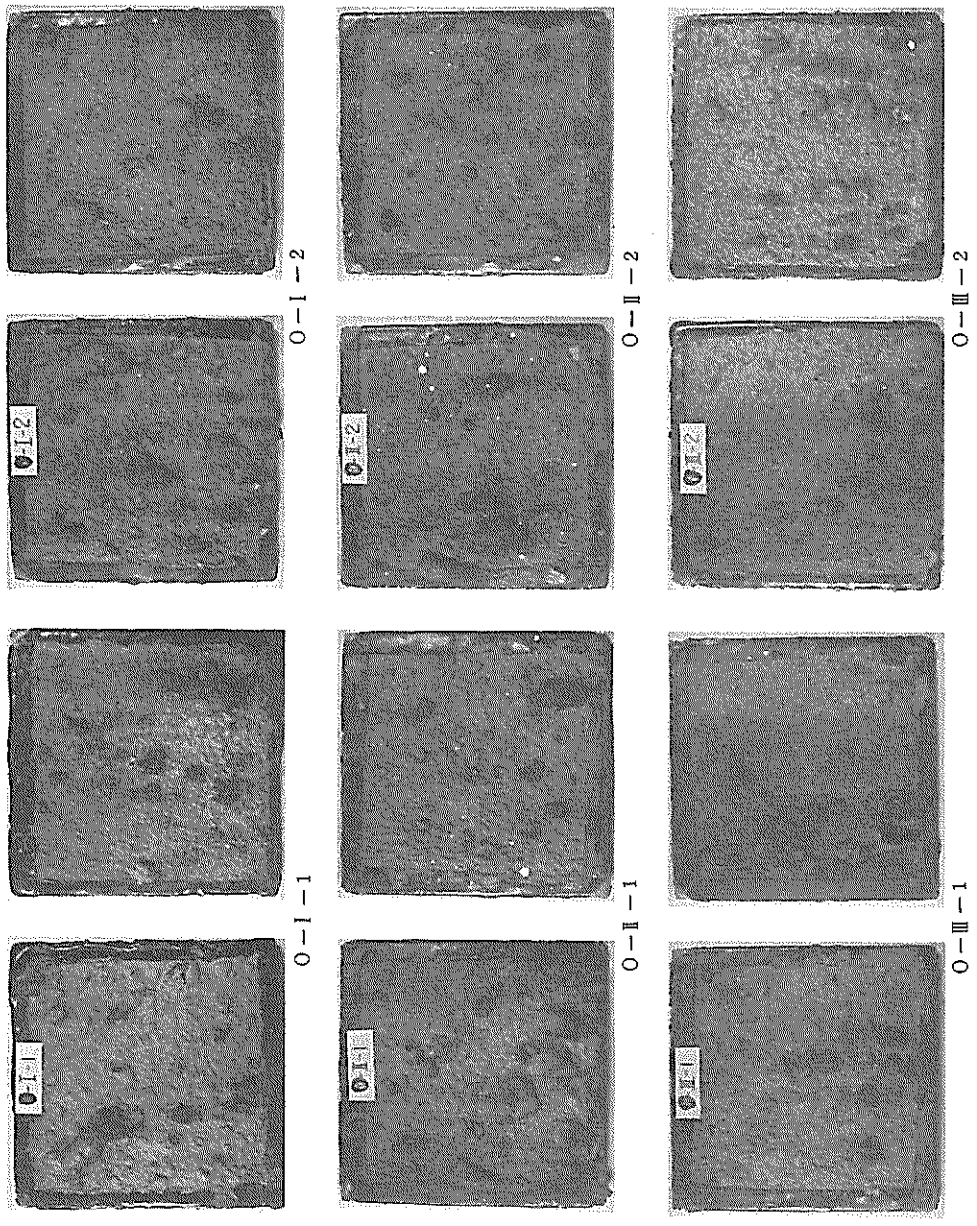


写真-4 塩化ゴム系塗料(O), 浸漬試験

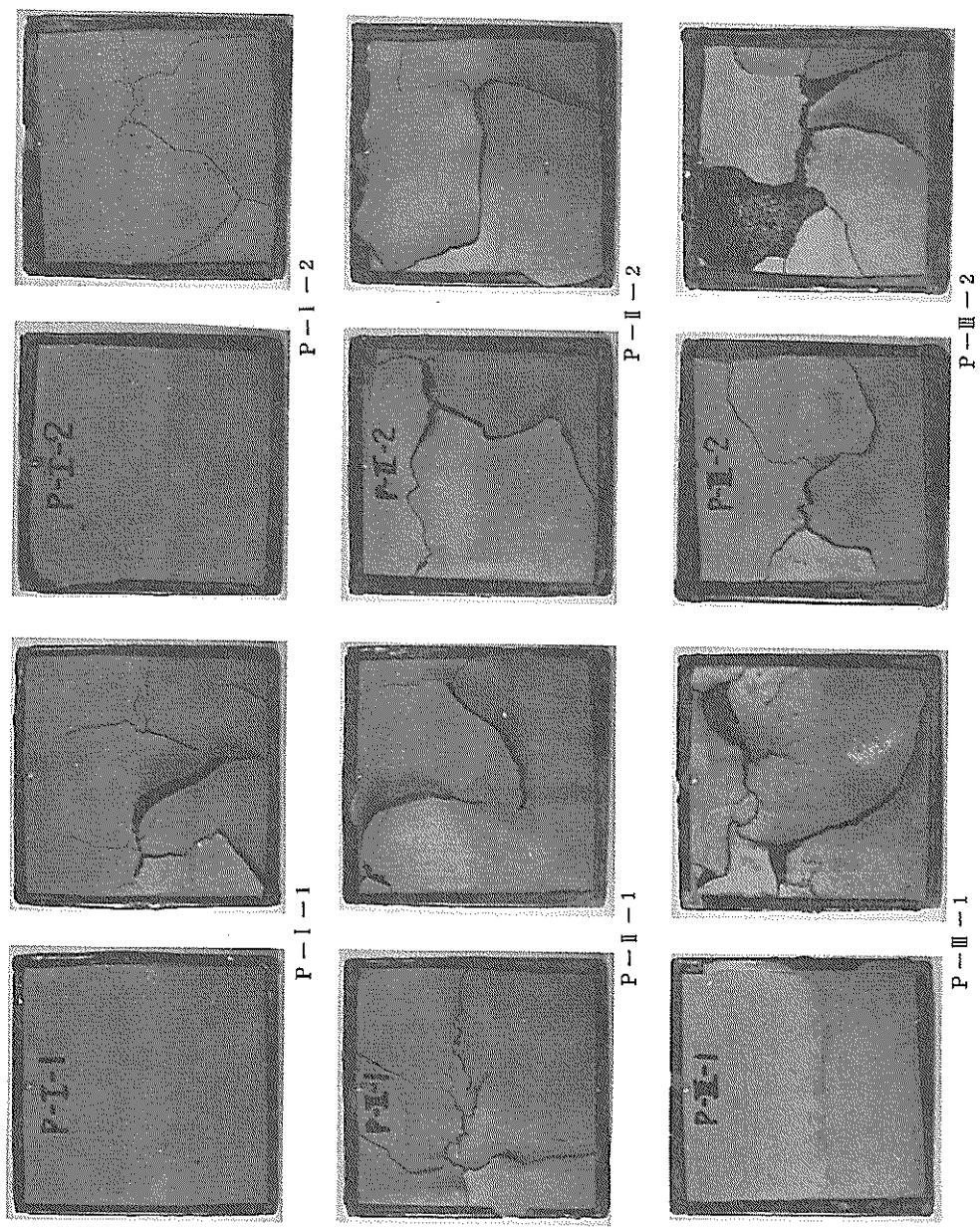
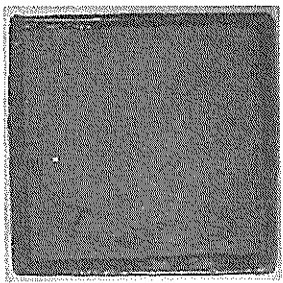
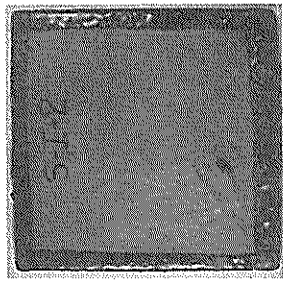


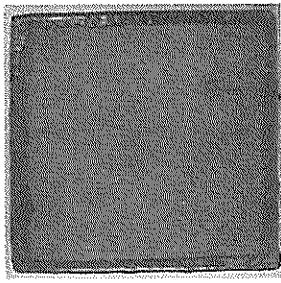
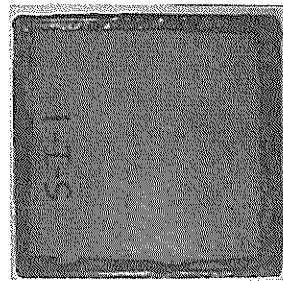
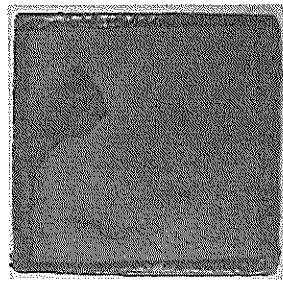
写真-5 塩化ゴム系塗料 (P), 浸漬試験



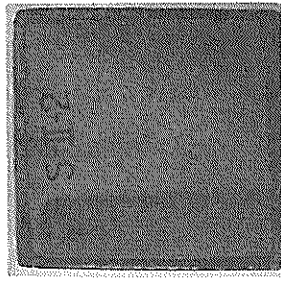
S-I-2



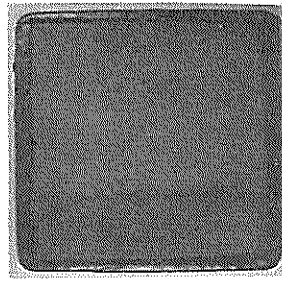
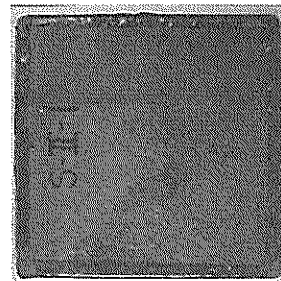
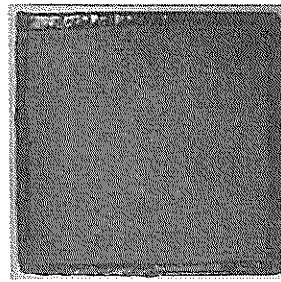
S-I-1



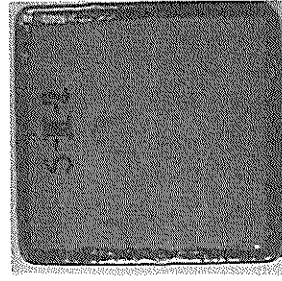
S-II-2



S-II-1



S-III-2



S-III-1

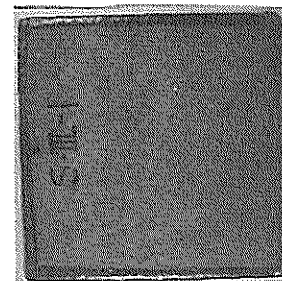
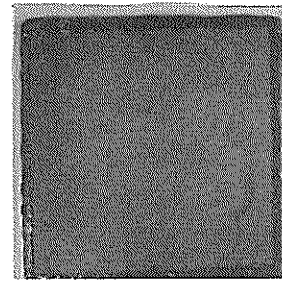
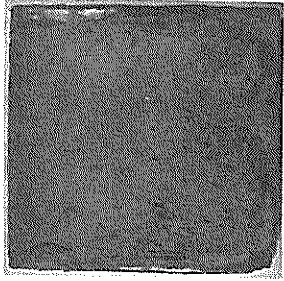
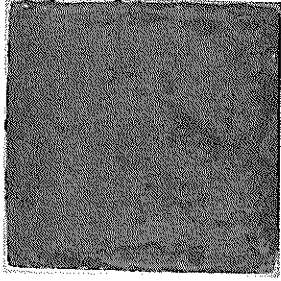


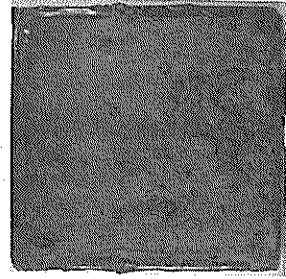
写真-6 モルタル被覆 (S), 浸漬試験



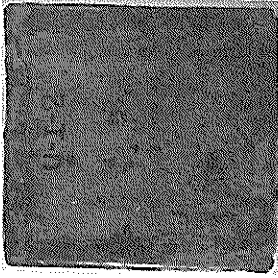
U-I-2



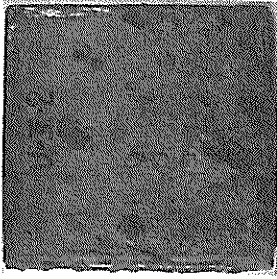
U-II-2



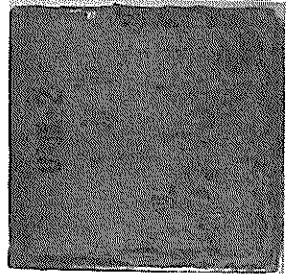
U-III-2



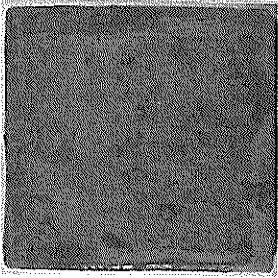
U-I-1



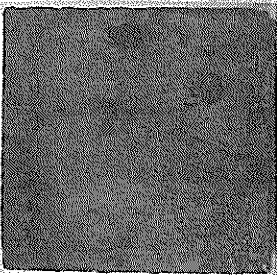
U-II-1



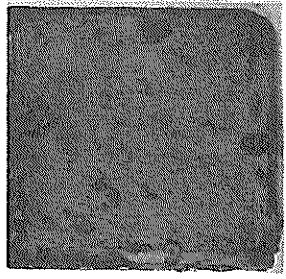
U-III-1



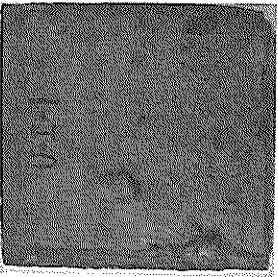
U-I-1



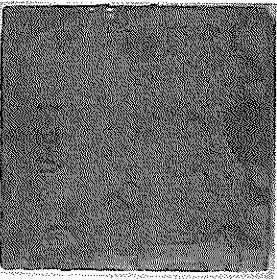
U-II-1



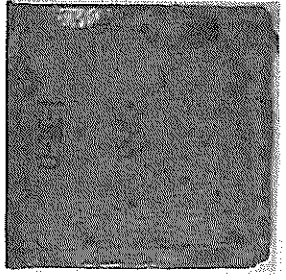
U-III-1



U-I-1



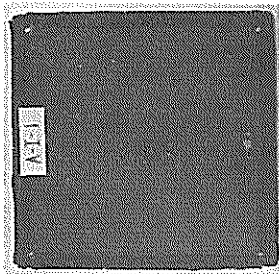
U-II-1



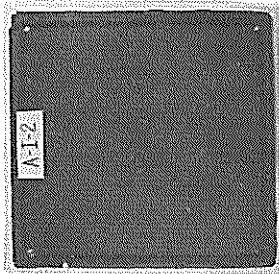
U-III-1

写真-7 油性系塗料 (U) , 浸漬試験

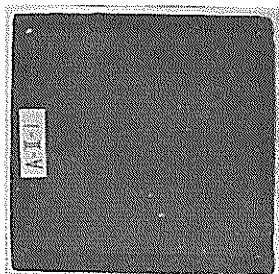




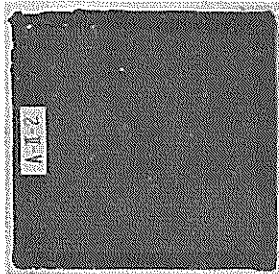
A-1-1



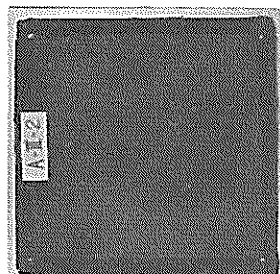
A-1-2



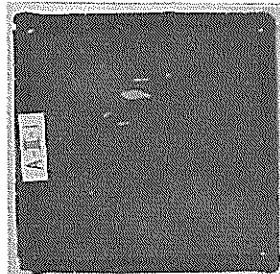
A-2-1



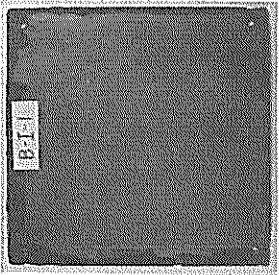
A-2-2



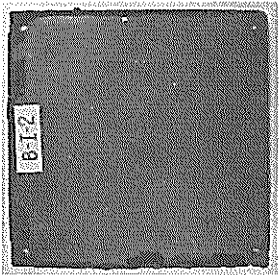
A-3-1



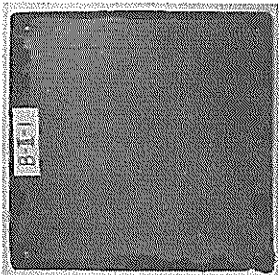
A-3-2



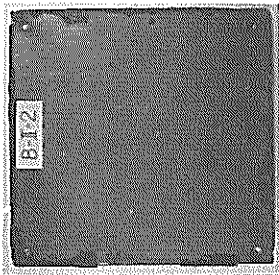
B-1-1



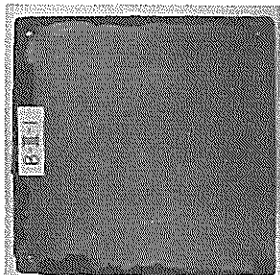
B-1-2



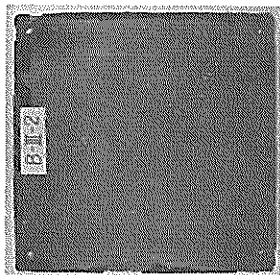
B-2-1



B-2-2



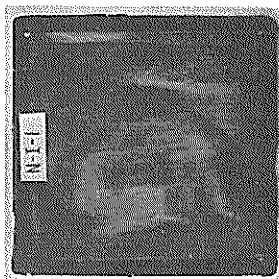
B-3-1



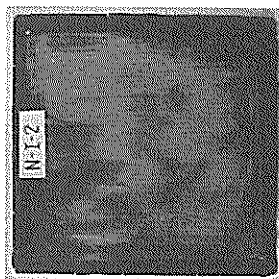
B-3-2

写真-8 塩化ビニル系塗料 (A), 曝露試験

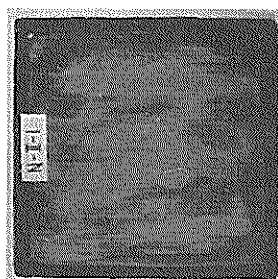
写真-9 エポキシ系塗料 (B), 曝露試験



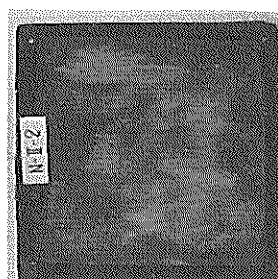
N-I-1



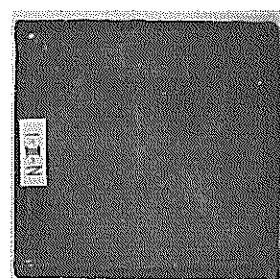
N-I-2



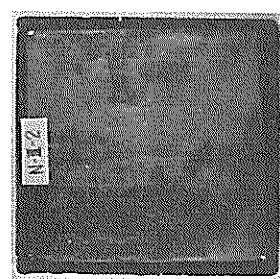
N-II-1



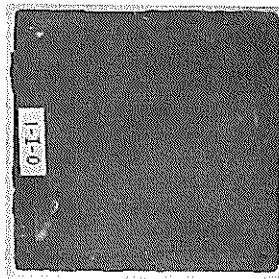
N-II-2



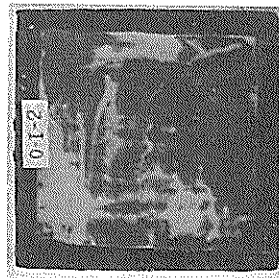
N-III-1



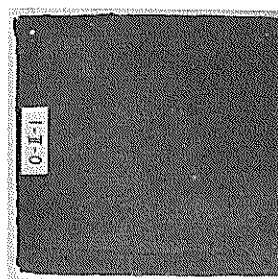
N-III-2



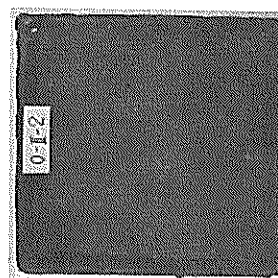
O-I-1



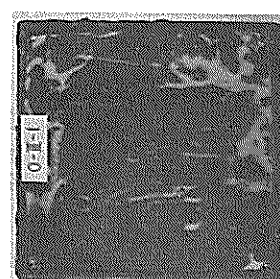
O-I-2



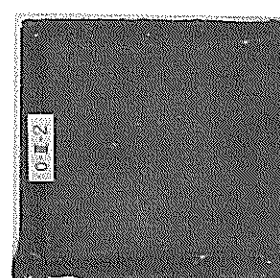
O-II-1



O-II-2



O-III-1



O-III-2

写真-10 塩化ビニル系塗料 (N), 顕微鏡試験

写真-11 塩化ゴム系塗料 (O), 顕微鏡試験

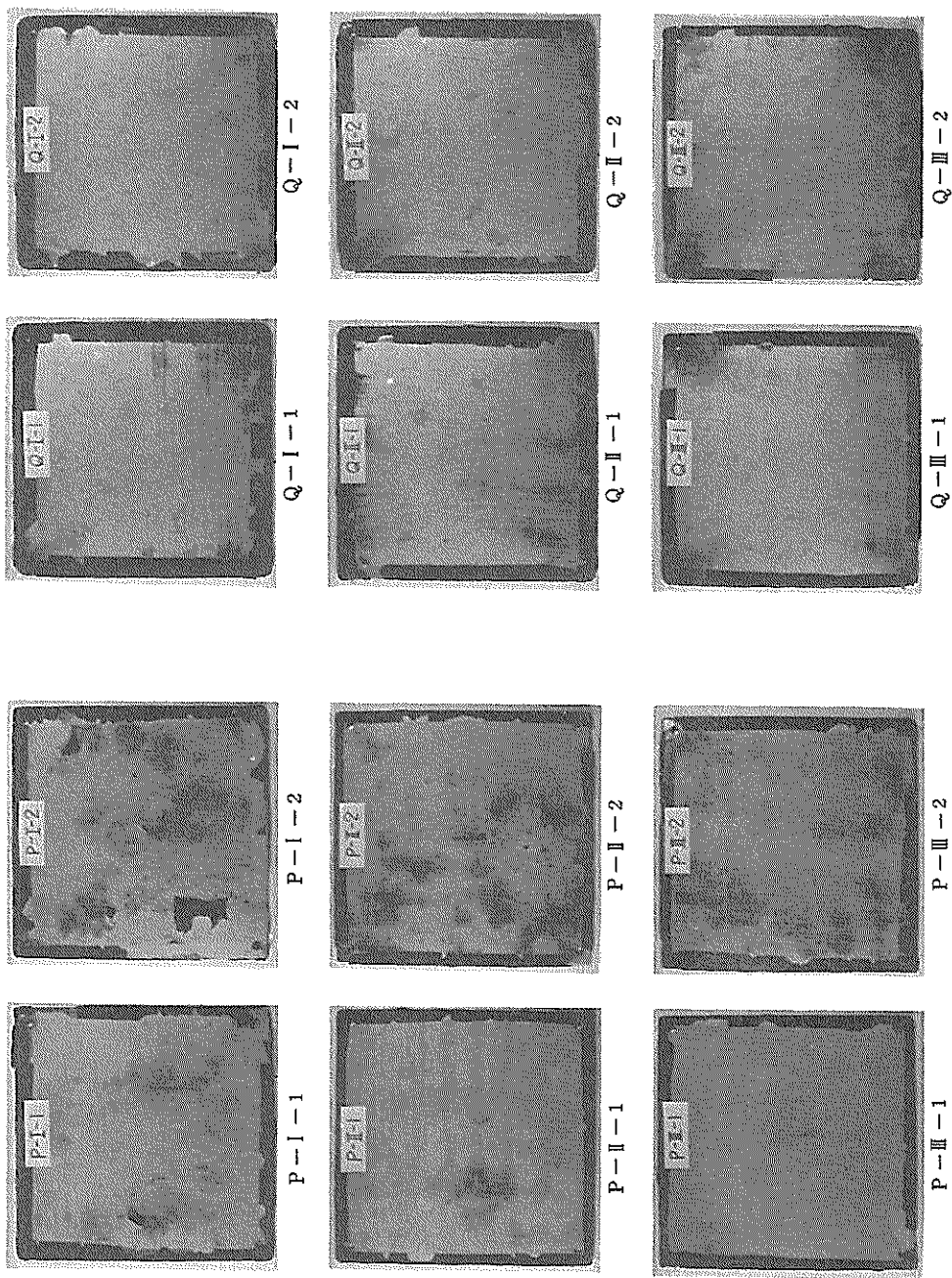


写真-12 塩化ゴム系塗料 (P), 曝露試験

写真-13 タール・エポキシ系塗料 (Q), 曝露試験

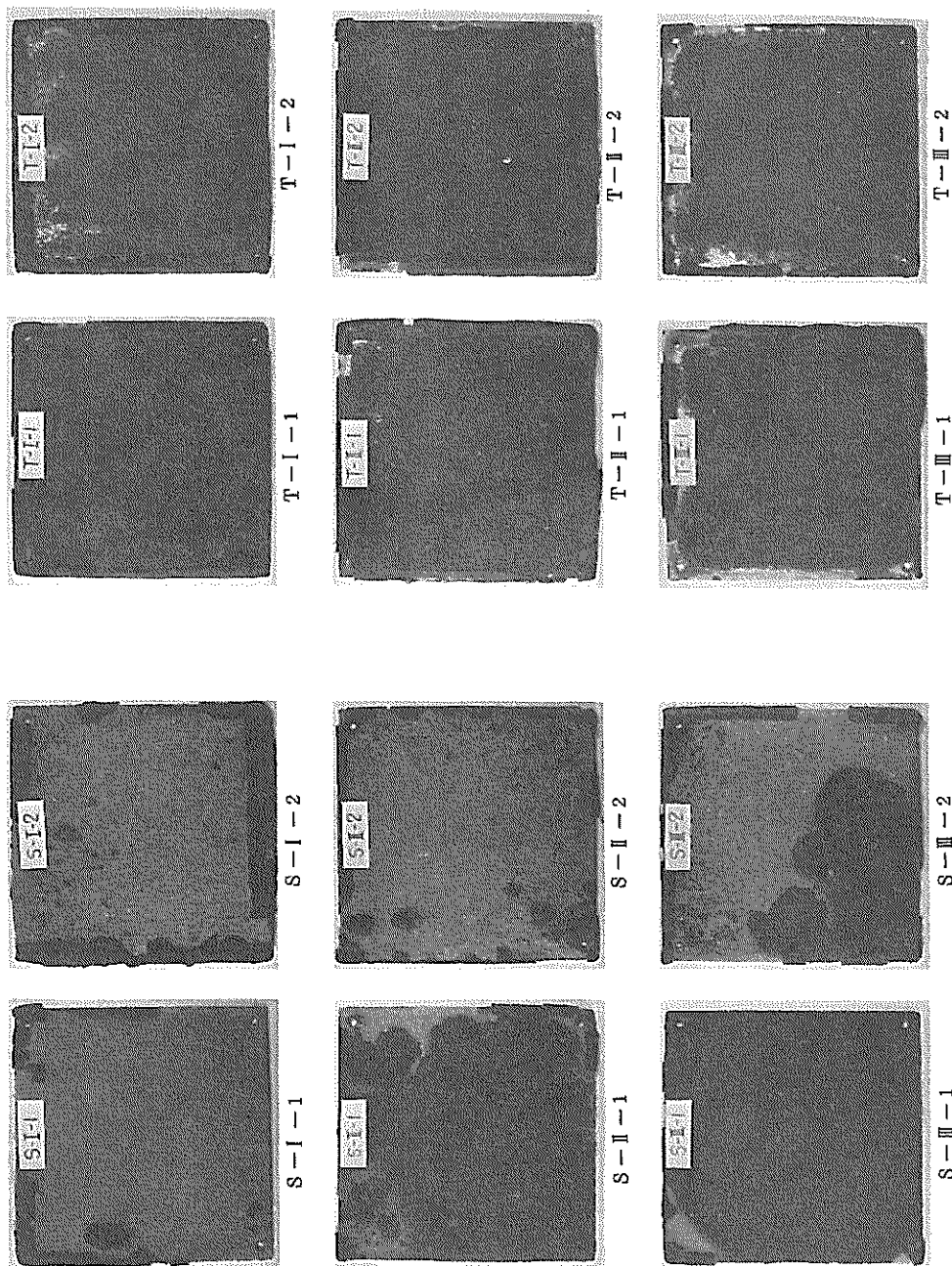
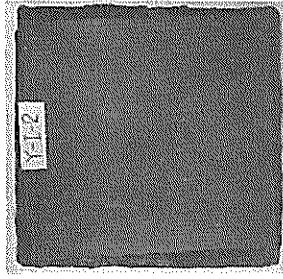
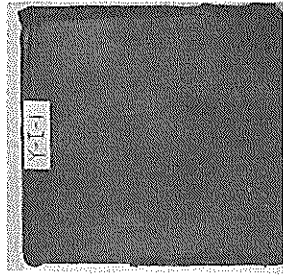


写真-14 モルタル被覆 (S), 曝露試験

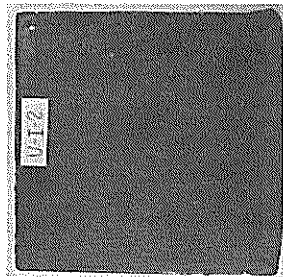
写真-15 有機質高濃度亜鉛系塗料 (T), 曝露試験



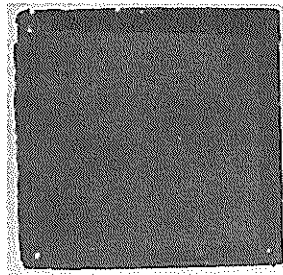
U-I-2



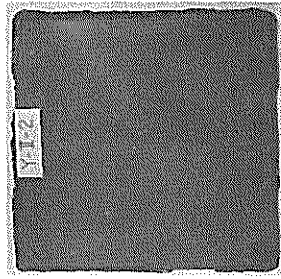
U-I-1



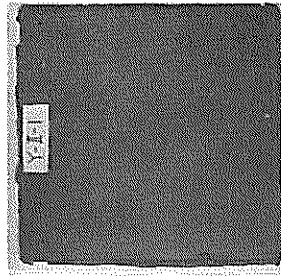
U-I-2



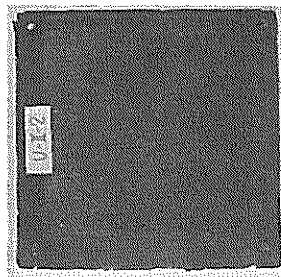
U-II-1



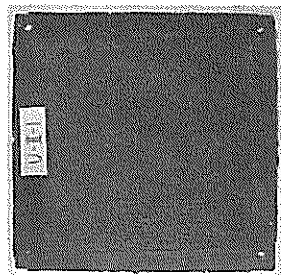
Y-I-2



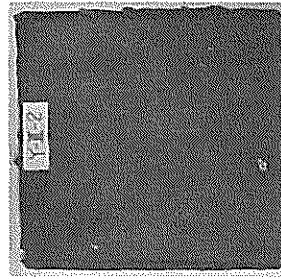
Y-I-1



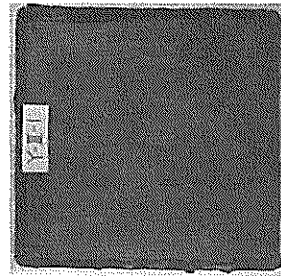
Y-I-2



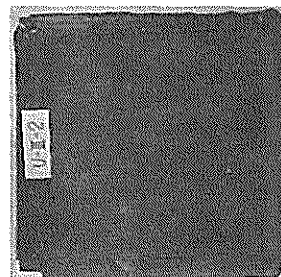
Y-II-1



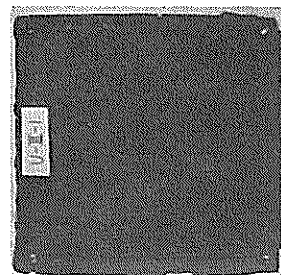
Y-III-2



Y-III-1



Y-III-2



U-III-1

写真-17 タール・エポキシ系塗料 (Y), 顕微試験

写真-16 油性系塗料 (U), 顕微試験

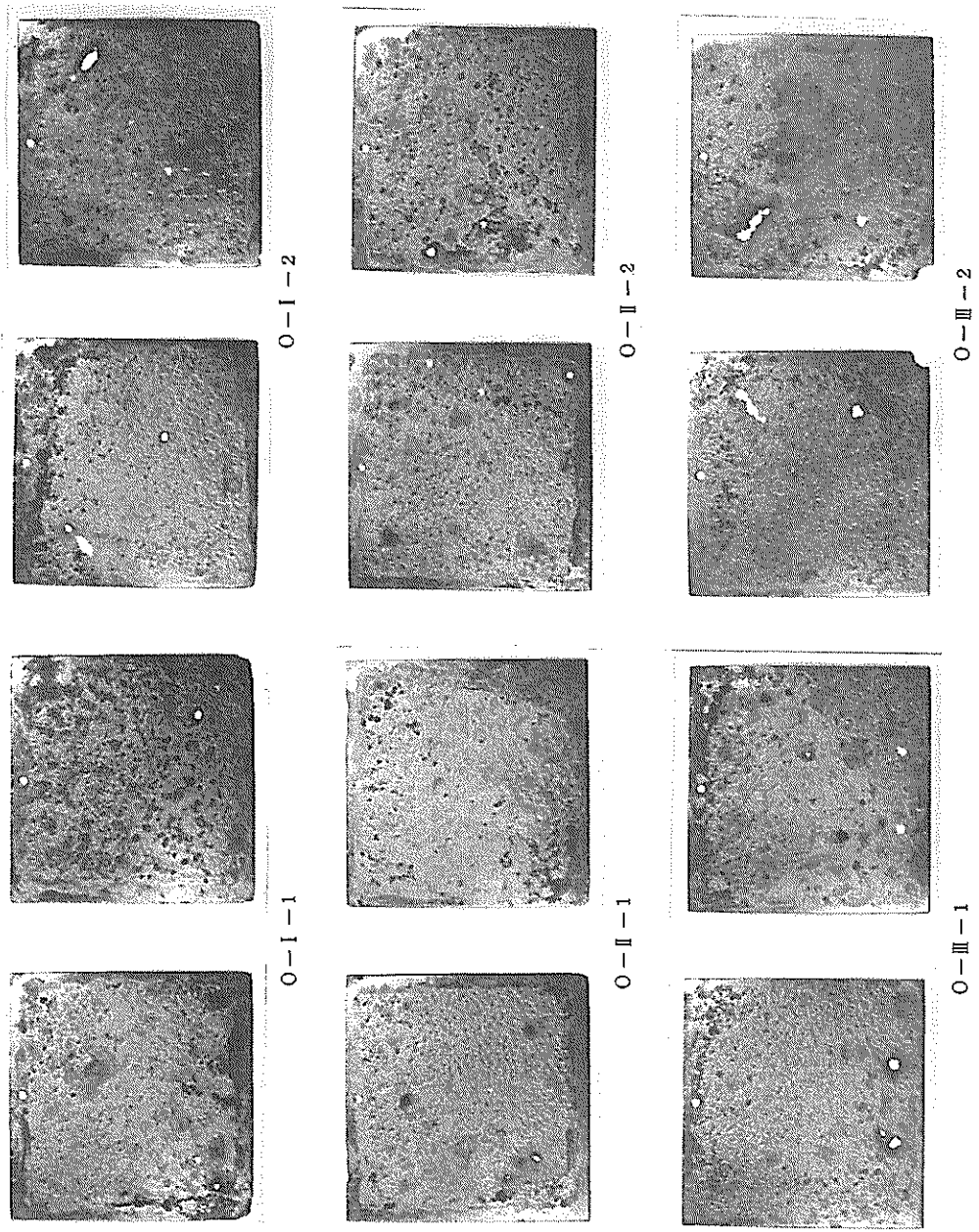
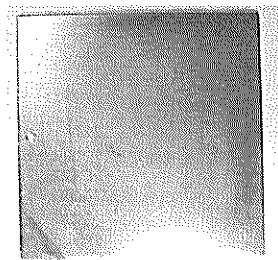
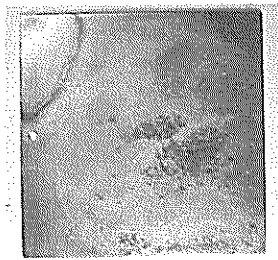


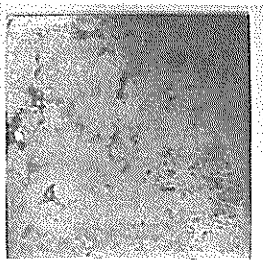
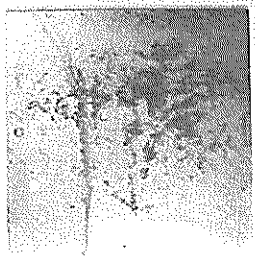
写真-18 脱錆后における下地材の表面状況，塩化カルシウム系塗料（O），（浸漬試験）



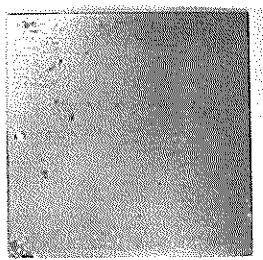
P-I-1



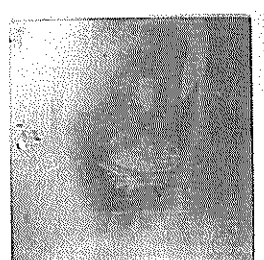
P-I-2



P-II-1



P-II-2



P-III-1



P-III-2

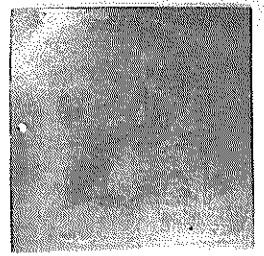
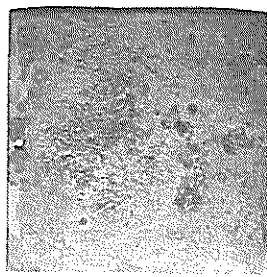
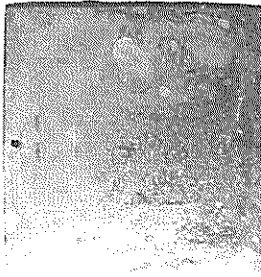


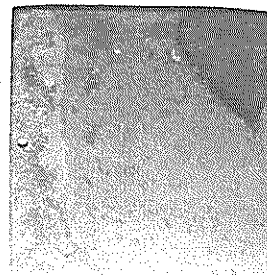
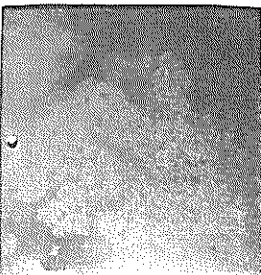
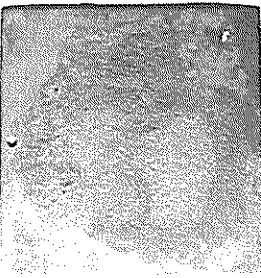
写真-19 脱錆后における下地の表面状況，塩化ゴム系塗料（P），（浸漬試験）



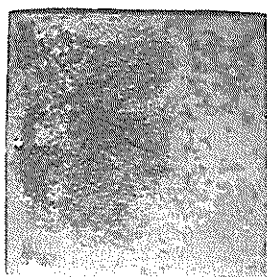
S-I-2



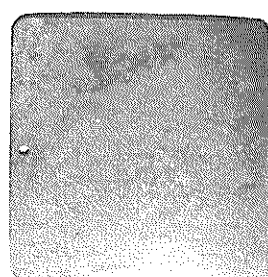
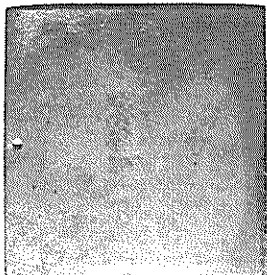
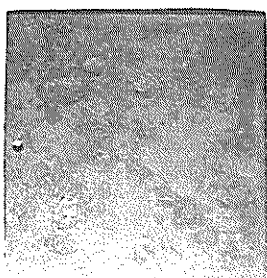
S-I-1



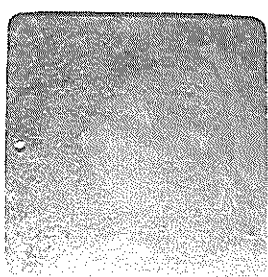
S-II-2



S-II-1



S-III-2



S-III-1

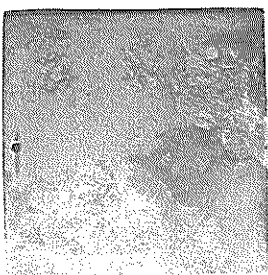
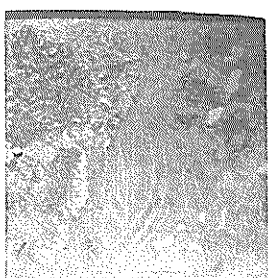
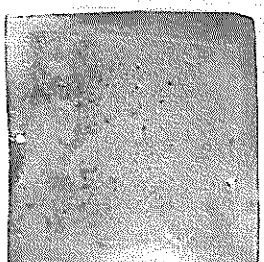
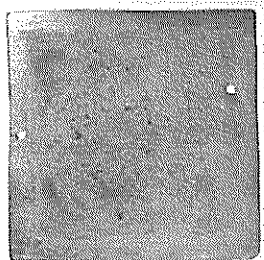


写真-20 脱鋪后における下地材の表面状況，モルタル被覆（S），（浸漬試験）

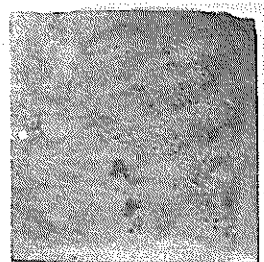




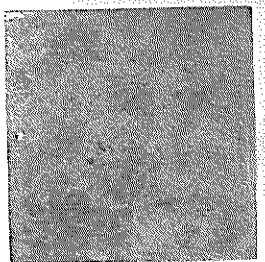
U-I-2



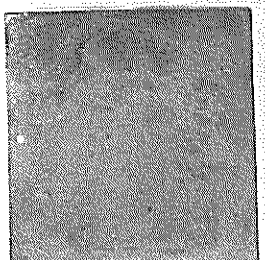
U-I-1



U-II-2



U-II-1



U-III-2



U-III-1

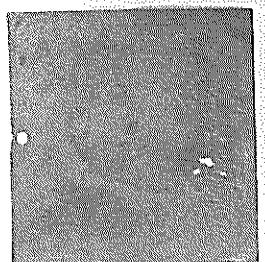
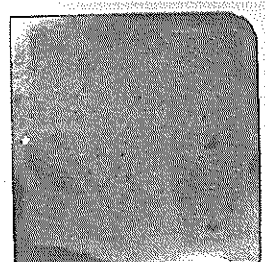
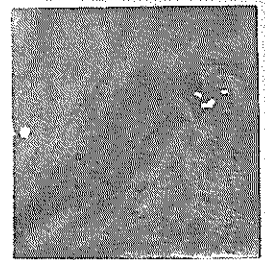


写真-21 脱錆后にかける下地材の表面状況，油性系塗料（U），（浸漬試験）



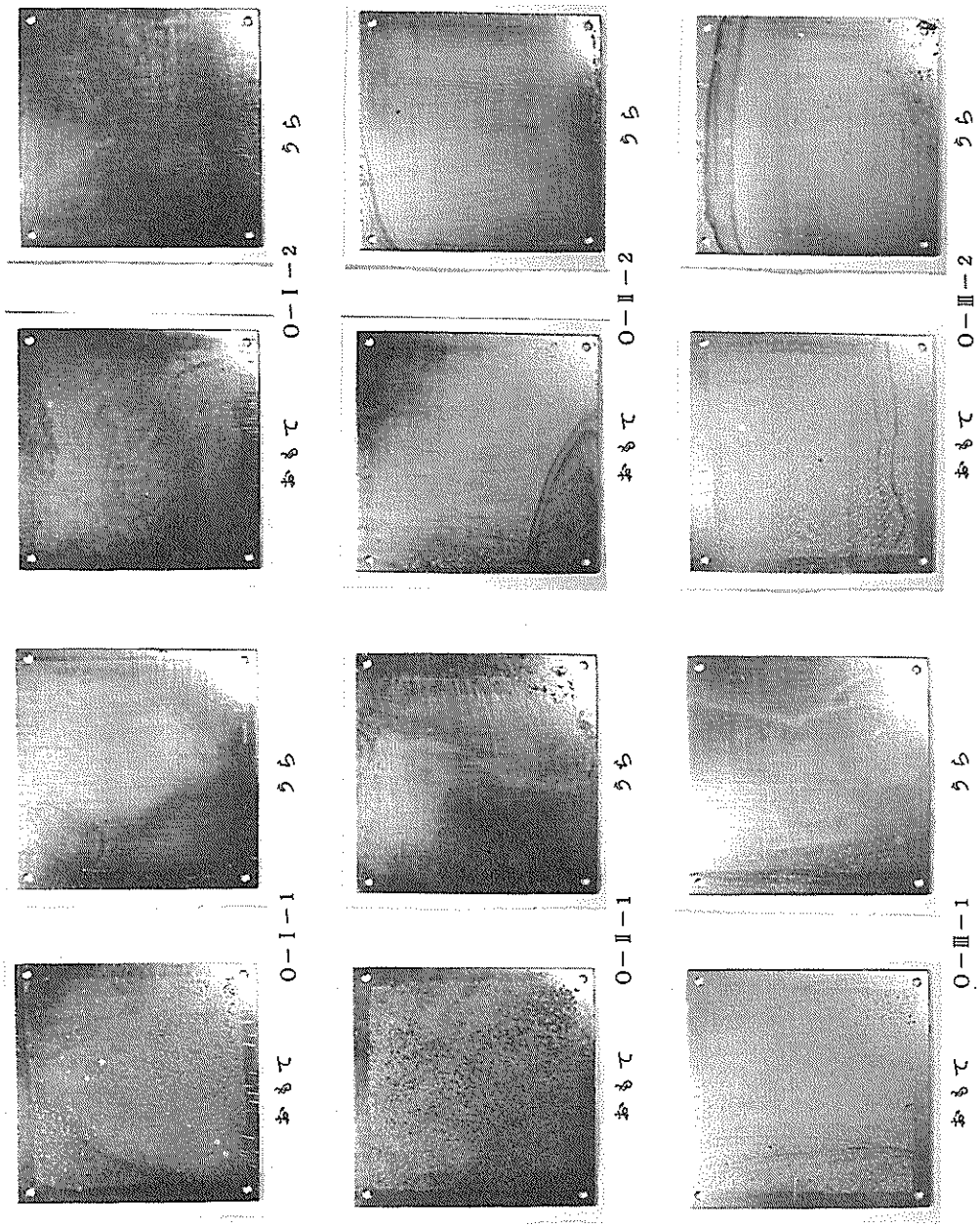
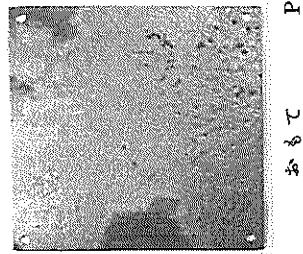


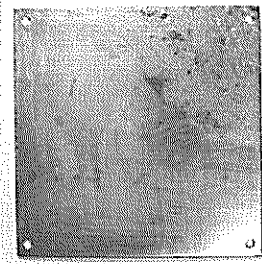
写真-22 脱錆后における下地材の表面状況，塩化ゴム系塗料（O），（曝露試験）



おもて

P-I-1

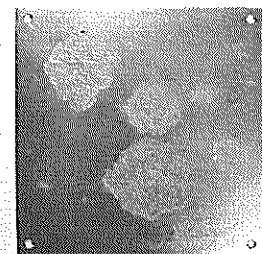
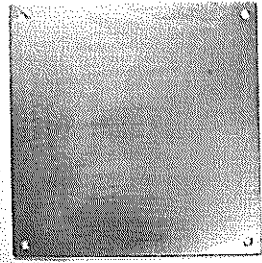
うら



おもて

P-I-2

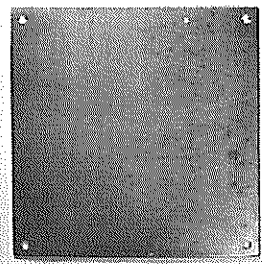
うら



おもて

P-II-1

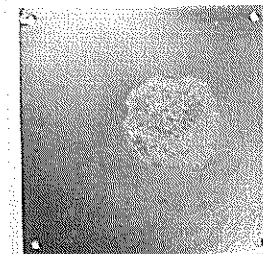
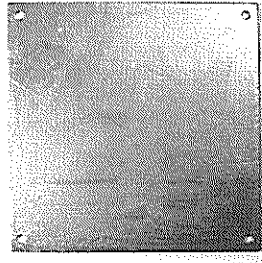
うら



おもて

P-II-2

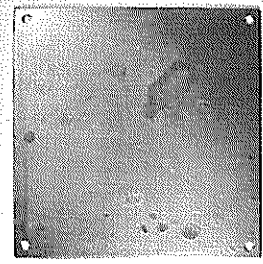
うら



おもて

P-III-1

うら



おもて

P-III-2

うら

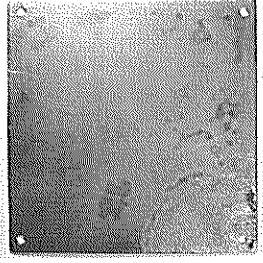
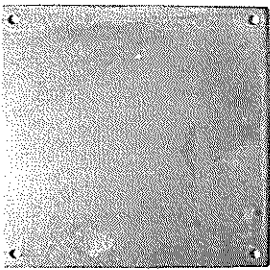


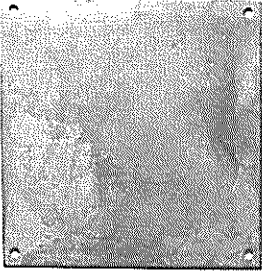
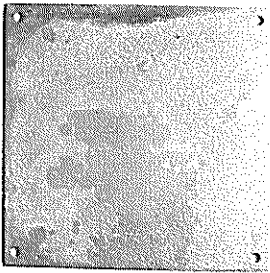
写真-23 脱錆后における下地材の表面状況，塩化ゴム系塗料（P），（顕微鏡試験）



おもて

S-I-1

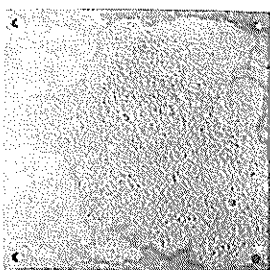
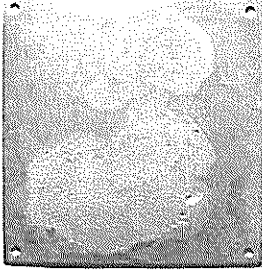
うら



おもて

S-I-2

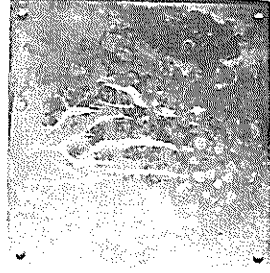
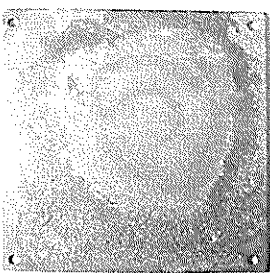
うら



おもて

S-II-1

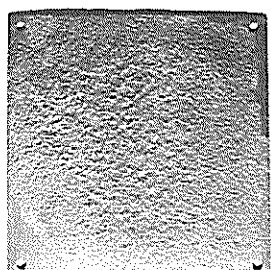
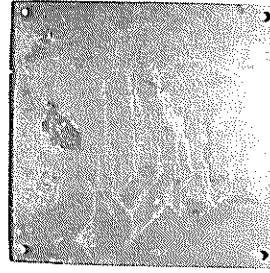
うら



おもて

S-II-2

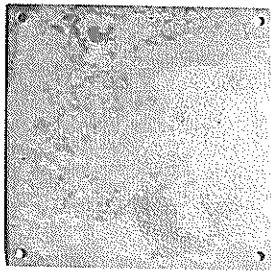
うら



おもて

S-III-1

うら



おもて

S-III-2

うら

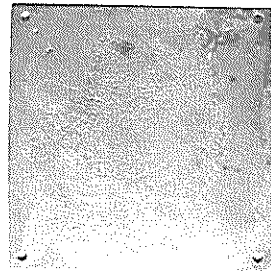


写真-24 脱錆后における下地材の表面状況、モルタル被覆 (S)、(曝露試験)

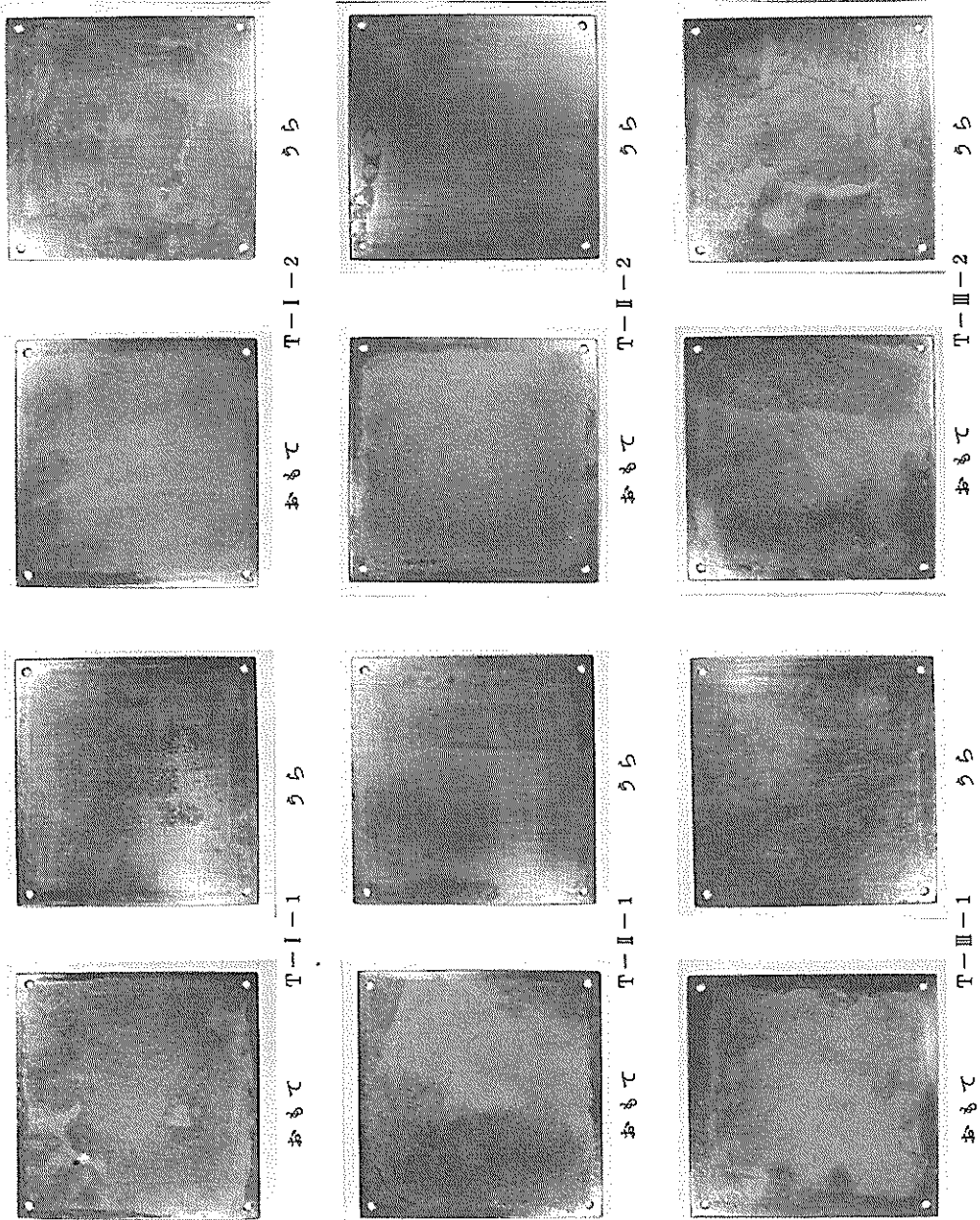
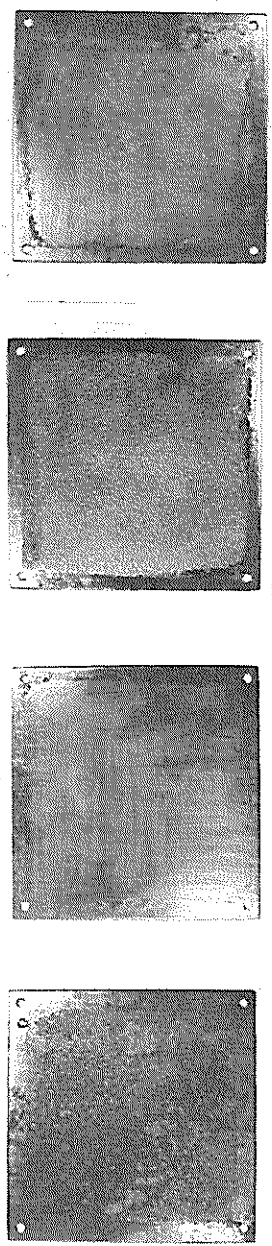
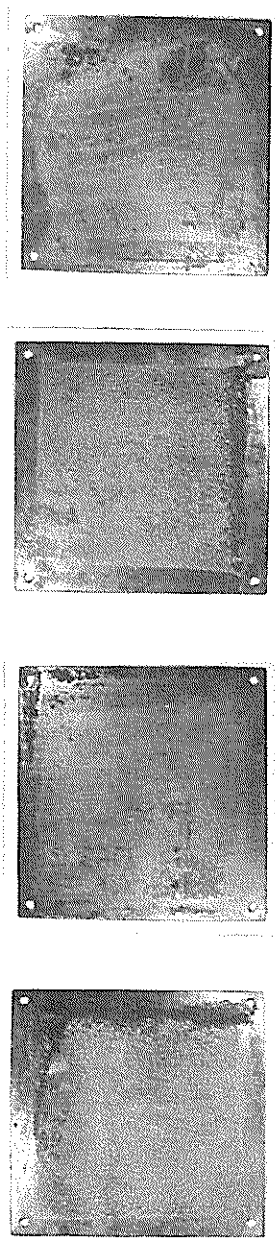


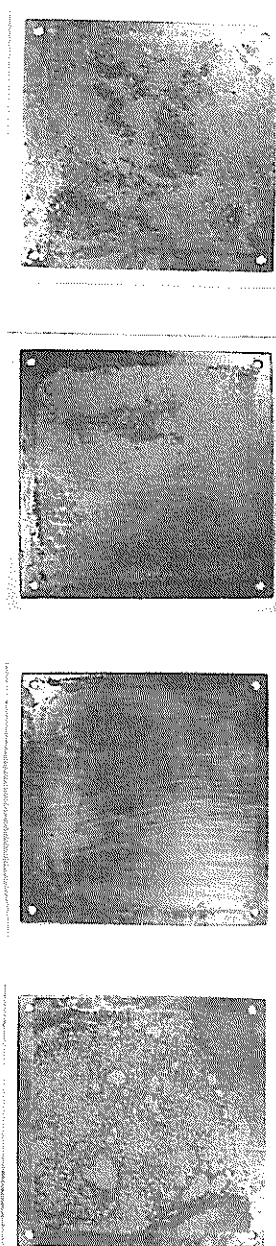
写真-25 脱錆后における下地材の表面状況，有機珪高硬度亜鉛系塗料（T），（曝露試験）



おもて U-I-1 うら U-I-2



おもて U-II-1 うら U-II-2



おもて U-III-1 うら U-III-2

写真-26 脱錆后における下地材の表面状況，油性系塗料（U），（曝露試験）

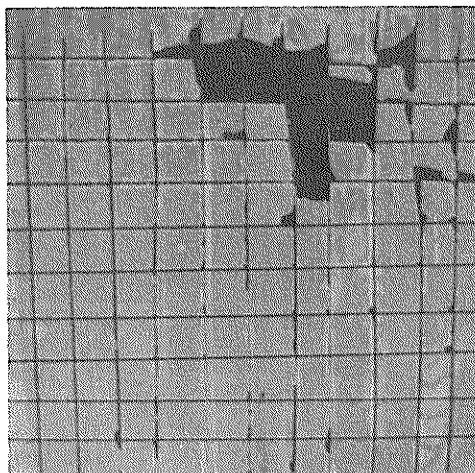
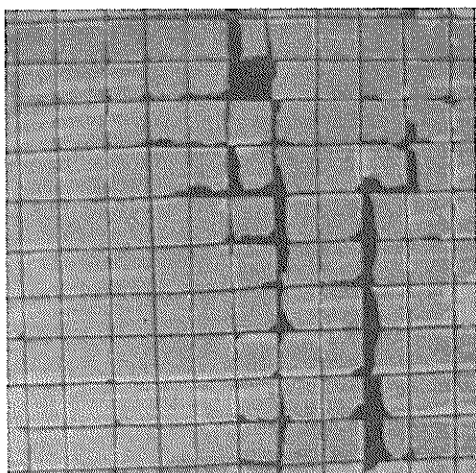


写真-27 Q塗料のゴバン目試験結果 Q-II-1, Q-II-2

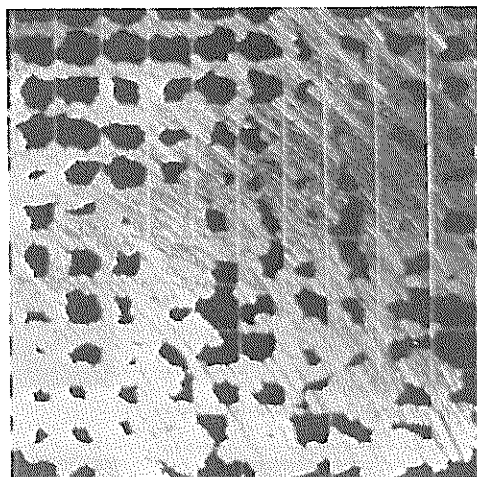
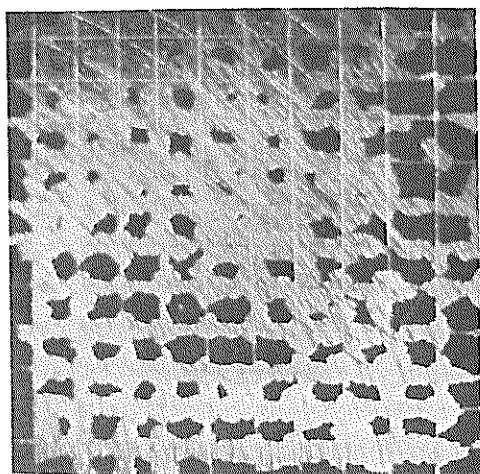


写真-28 Y塗料のゴバン目試験結果 Y-III-1, Y-III-2

港湾技研資料 No. 197

1974・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.