

港 湾 技 研 資 料

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

No. 537 Dec. 1985

被覆工と電気防食との併用効果に関する実験

阿 部 正 美
横 井 聡 之

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 実験方法	3
2.1 実験の概要	3
2.2 実験水槽および潮位の変動	4
2.3 供試体	4
2.4 測定方法	5
3. 実験結果	6
3.1 防食全電流	6
3.2 各試験片へ流入する電流	11
3.3 電位の測定結果	19
3.4 抵抗の測定結果	20
3.5 腐食量の測定結果	20
3.6 試験片の観察	21
3.7 水質試験結果	23
4. 考 察	23
4.1 防食電流の低減効果	23
4.2 潮位による防食電流の流入量の変化	26
4.3 使用した被覆材の耐久性について	26
4.4 海水の注水効果について	27
5. 結 論	27
6. あとがき	28
参考文献	28
写 真	29

Experiments on Cathodic Protection using together with Coating

Masami ABE*
Toshiyuki YOKOI**

Synopsis

Cathodic protection is applied corrosion protection of submerged zone of steel structure in marine environments.

In order to investigate efficiently application of cathodic protection, the experiments were conducted in the field water tank. Effect of coating and pouring sea water on tidal zone of steel surface, on reduction of protective current were tested.

Consequently, the following results were obtained:

- (1) It was proved that to cover the steel surface by coating on tidal zone was effective for reduction of protective currents. Protective currents which flow into tidal zone of coated test piece was about 0.1 ~ 2% of uncoated test piece.
- (2) Pouring sea water on tidal zone could not be expected sufficient reduction of protective currents and effective corrosion protection.

* Member of Materials Laboratory, Structures Division

** Chief of Materials Laboratory, Structures Division

被覆工と電気防食との併用効果に関する実験

阿部正美*
横井聡之**

要 旨

港湾鋼構造物の海中部の防食は電気防食が一般に適用されている。電気防食の効率的な適用をはかる一つの方法として、被防食体の干満帯を被覆した場合の実験を実施した。また干満帯が常時、海水をあびるときの防食電流の低減効果についても併せて実験を行った。実験の結果、以下のことがわかった。

- (1) 干満帯を被覆することにより防食電流の低減効果を期待できることが明らかとなった。被覆をした供試体の干満帯へ流入する防食電流は被覆をしない供試体の0.1～2%と極めて小さかった。
- (2) 干満帯が海水をあびる条件（常時）では防食電流の低減効果ならびに防食効果はあまり良くなかった。

1. まえがき

港湾鋼構造物で問題となる平均干潮面直下からL.W.L.付近に生じる集中腐食に対して、電気防食がその防止に有効であることを実験¹⁾（以下前回の実験という）によって確認した。前回の実験においては、防食電流は干満帯へ優先的に流入し、干満帯の防食電流密度は海中部に比べてかなり大きいことから、干満帯を被覆材で被覆すれば防食電流の低減に効果のあることが推察された。

このため、電気防食の効率的な適用をはかる一つの方法として、電気防食において被防食体の干満帯を被覆した場合の実験を実施した。また、前回の実験では、雨天のため供試体の水面上の部分も水に濡れた状態では防食電流が小さかったことから、供試体の干満帯が海水をあびるときの防食電流の低減効果についてもあわせて実験を行った。

実験は前回の実験と同様に、潮位が定期的に変動する屋外の実験水槽を用いて行った。

2. 実験方法

2.1 実験の概要

実験では外部電源法により-900 mVの定電位となるように電気防食を行った。供試体は表-1および図-1

表-1 供試体の条件

供試体No.	試験片No.	条 件	
A	1～22	被覆材なし	
B	1～9	被覆材なし	
	10～22	モルタル被覆（厚さ5cm）	
C	1～9	被覆材なし	
	10～22	ジンクリッチ塗料1回+タール・エポキシ塗料2回	
D	1～9	被覆材なし	
	10～22	ジンクリッチ塗料2回	
E	1～22	被覆材なし	上部より海水をシャワー状に注水（常時）
F	1～9	被覆材なし	
	10～22	モルタル被覆（厚さ5cm）	

に示すように試験片No.1～No.22を裸の状態とした場合（供試体A、E）とL.W.L.付近より上部の試験片No.10～No.22に被覆工を施工した場合（供試体B、C、D、F）の6種類とした。試験片No.10～No.22において施工した被覆材は塗料2種類とモルタル（供試体B、F）を使用した。塗料については無機質ジンクリッチ塗料2回塗りのものと（供試体D）、無機質ジンクリッチ塗料1回塗り+タール・エポキシ塗料2回塗り（供試体C）の2種類の供試体を作成した。また、供試体E、Fについては上部より海水をシャワー状に注水し、供試体を常時湿潤状態にして実験を行った。

* 構造部 材料施工研究室

** 構造部 材料施工研究室長

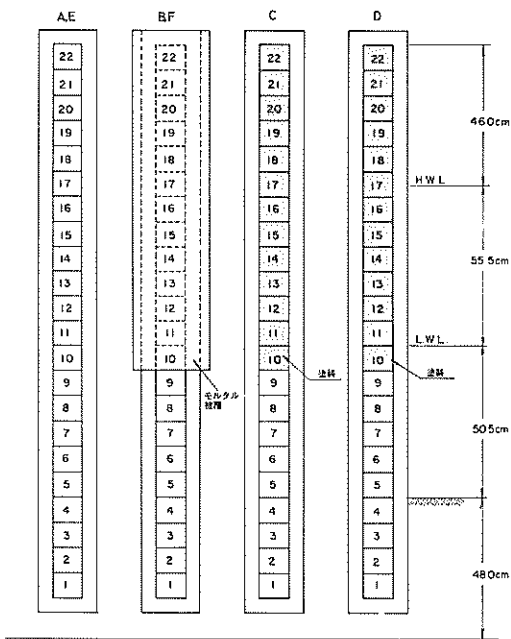


図-1 供試体の状況図

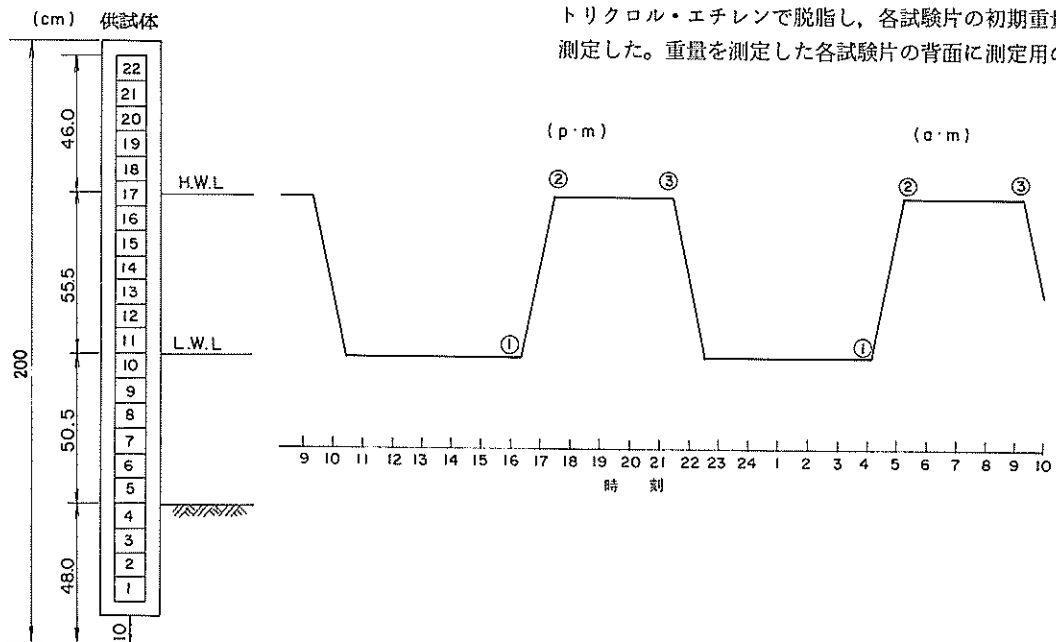


図-2 野外水槽における供試体の配置および潮位変動周期

測定項目は防食電流、電位、腐食量（重量減量より算出）、抵抗、観察、水質分析である。実験期間は394日間で、流入する電流量がほぼ一定値になったので実験を終了した。

2.2 実験水槽および潮位の変動

実験水槽はコンクリート製で、寸法は横2m、縦4m、深さ2mである。水槽は当研究所の敷地内で海岸護岸から5mの所に位置しており、水槽には付属ポンプにより自然海水を定期的に給、排水して、水槽内で潮位変動を起こさせた。水槽内の潮位変動は図-2に示すように干潮6時間、満潮4時間、給、排水はそれぞれ約1時間のサイクルである。すなわち一潮せき（汐）は12時間になるようにした。また、干潮位および満潮位は一定で、潮位の変動幅は55.5cmとした。したがって、本実験では干満帯は図-2のH.W.L.とL.W.L.の間を指す。さらに潮位の変動に加えて水中ポンプを連続運転して水面にさざ波がたつ状態となるようにして実験を行った。なお、前回の実験における潮位間とは今回の実験の干満帯と同じ意味である。

2.3 供試体

一つの供試体は22枚の試験片よりなる。試験片の寸法は横10cm、縦8cm、厚さ1mmで、材質はSS41である。試験片の表面をサンド・ペーパー#240で研磨後、トリクロル・エチレンで脱脂し、各試験片の初期重量を測定した。重量を測定した各試験片の背面に測定用のピ

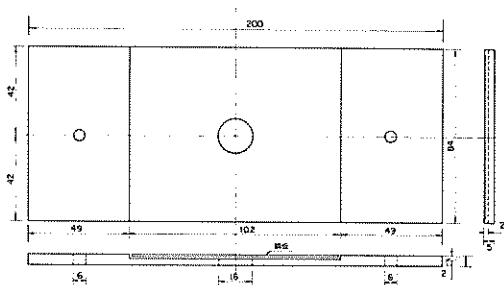


図-3 試験片埋設用フレーム（単位：mm，材質：硬質塩化ビニル板）

ニール電線を接続し、これらを図-3に示すように塩化ビニルの試験片埋設用フレームに接着し、固定した。接着、固定にはアララダイト（2液性）を使用した。試験用供試体1組に試験片22枚を接着、固定した。その状況を図-4に示す。また、図-1に示すように供試体A、Eは試験片を裸の状態で使用したが、供試体B、C、D、Fについてはそれぞれ表-1に示す条件で試験片No.10～No.22を被覆材で被覆した。供試体B、Fのモルタル被覆にはJIS-R 5201、セメント強度試験方法の供試体作成方法（基本配合：C 520 g，S 1040 g，W 338 g）に準じて作ったモルタルを用い、厚さは5 cmとした。供試体Cは無機質ジンクリッチ塗料を1回塗り後、タール・エポキシ塗料を2回塗りした。乾燥後の膜厚は160 μ程度であった。供試体Dは無機質ジンクリッチ塗料を2回塗装したもので乾燥後の膜厚は35 μ程度であった。図-1からわかるように被覆した最下端の試験片No.10は常時海水中に位置する。

2.4 測定方法

(1) 電流測定

電気防食は外部電源法により行い、陽極には鉛銀電極を使用した。ポテンショ・スタットを使用していない供試体も防食電位を-900 mVに設定した。

防食電流には供試体全体への全電流と試験片No.1～No.22の各試験片に流入する防食電流の2つがあるが、供試体全体へ流入する電流についてはポテンショ・スタットの電流出力端子において測定した。また各試験片へ流入する電流については電圧降下法（1 Ωの抵抗挿入）で測定した。測定には自動平衡型記録計を使用した。

(2) 電位測定

海水塩化銀電極を基準電極として高抵抗電位差計、またはデジタル式電位差計を用いて試験片の電位を測定した。

(3) 抵抗測定

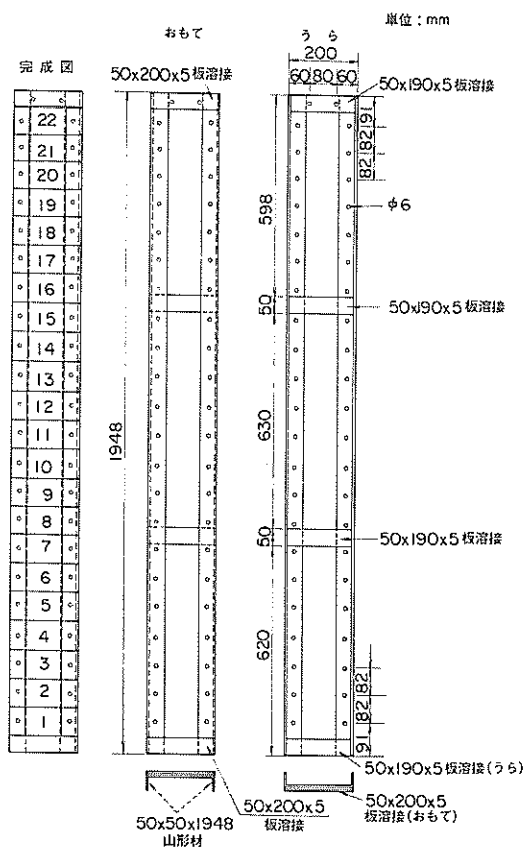


図-4 試験用供試体

水槽での実験終了後、供試体の回収時直前に各試験片を開路状態として表面積 200 cm² のステンレス板を対極として、LCR メーターにより各試験片の抵抗を測定した。

(4) 腐食量の測定

各試験片の重量減量を求め、(1)式から腐食速度を算出した。

$$\text{腐食速度} = \frac{\Delta W \times 10}{A \times d \times t} \quad (\text{mm/y}) \quad \dots \dots (1)$$

ΔW : 重量減量 (gf)

A : 表面積 (cm²) = 80 cm²

d : 鋼板の単位体積重量, 7.86 (g/cm³)

t : 腐食期間 (y)

(5) 観察

試験片回収後、各試験片の表面状況を脱錆前後に観察

(写真撮影) した。

(6) 水質分析

海水の水質分析を JIS - 102 (工場排水の分析) の方法に準拠して行った。分析項目は比重, pH, 濁度と Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, CO₂ の各イオン量である。

3. 実験結果

3.1 防食全電流

- 900mV に設定された各供試体の全電流の経日変化を図-5~図-10に示す。実線で示されている満潮(始)

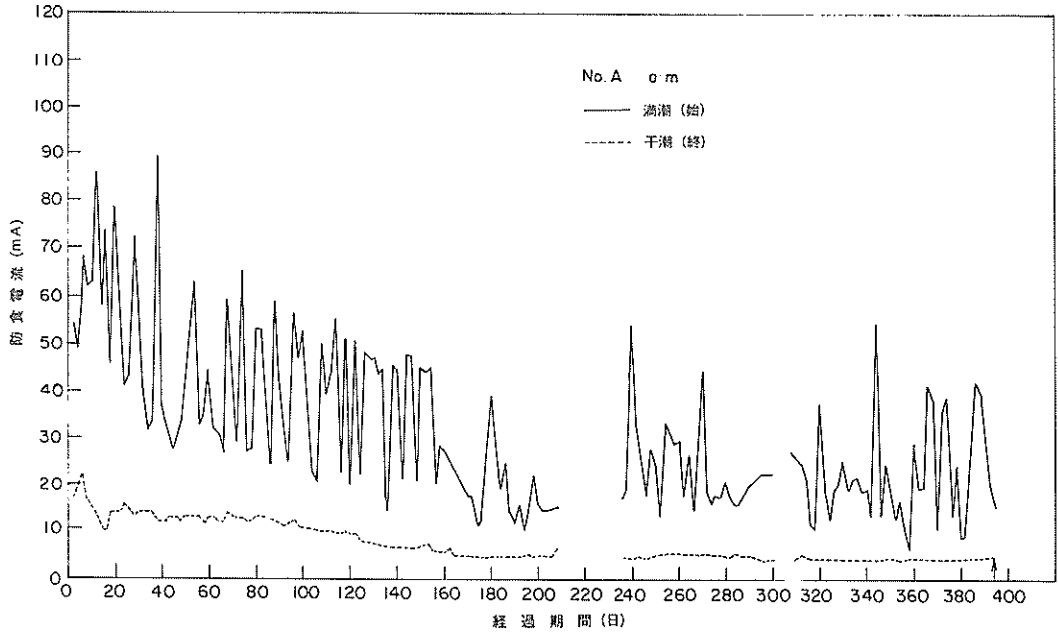


図-5 供試体Aの全電流経日変化 (a・m)

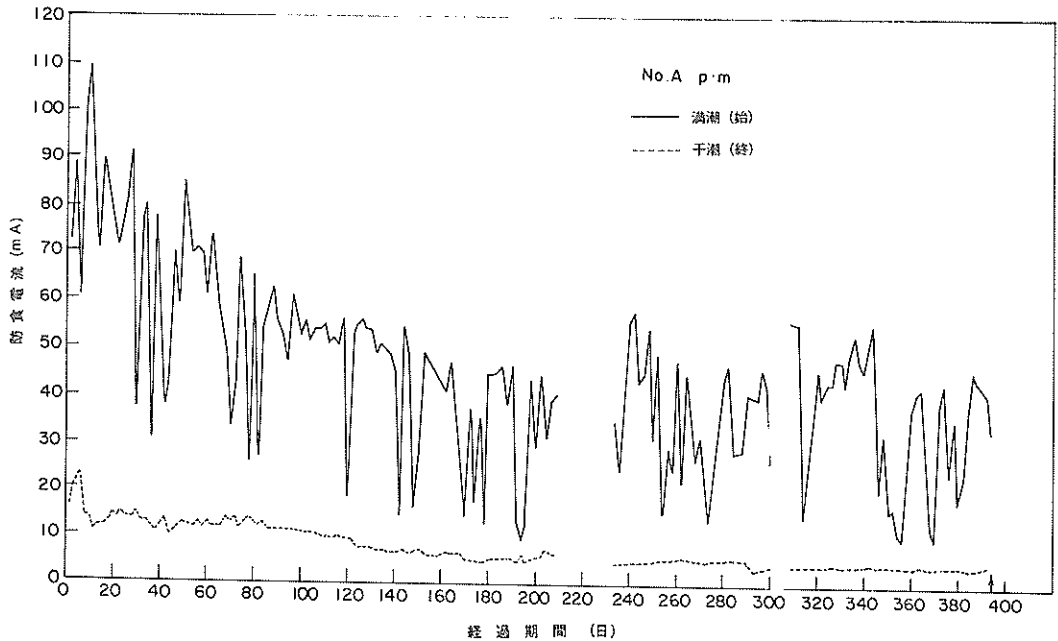


図-6 供試体Aの全電流経日変化 (p・m)

は図-2に示す②のとき、点線で示されている干潮(終)は①のときのそれぞれの値を示す。なお、208日後と300日後に中断しているのは給、排水を行うポンプの故

障と不通電のためである。

図-5～図-6における供試体Aでは経日とともに流入する電流量は減少し、ある一定値に近づくようである。

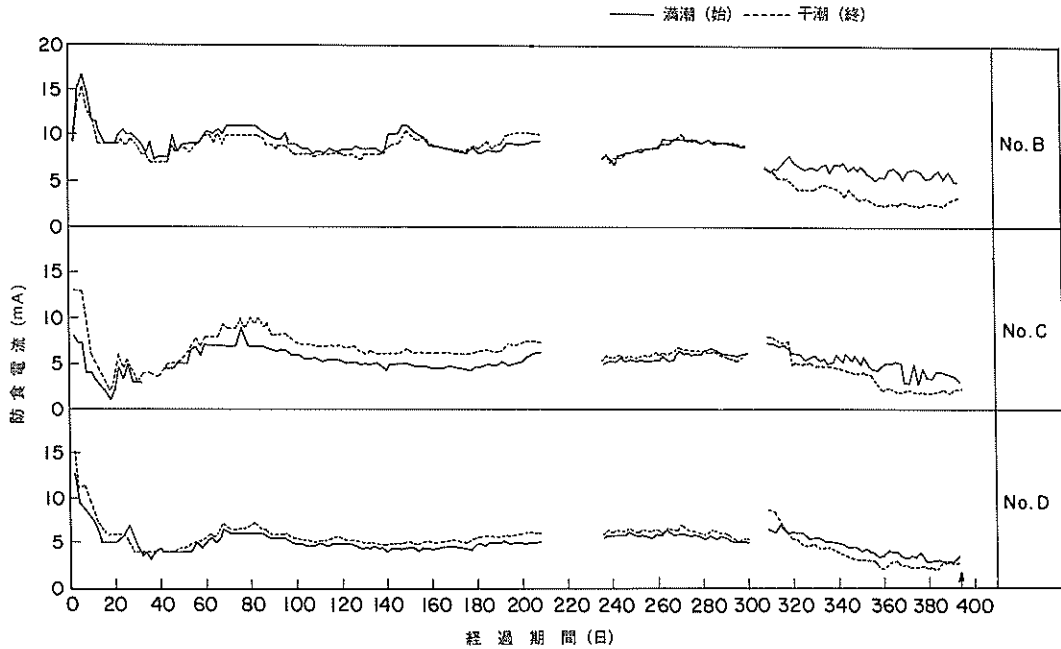


図-7 供試体B～Dの全電流経日変化 (a・m)

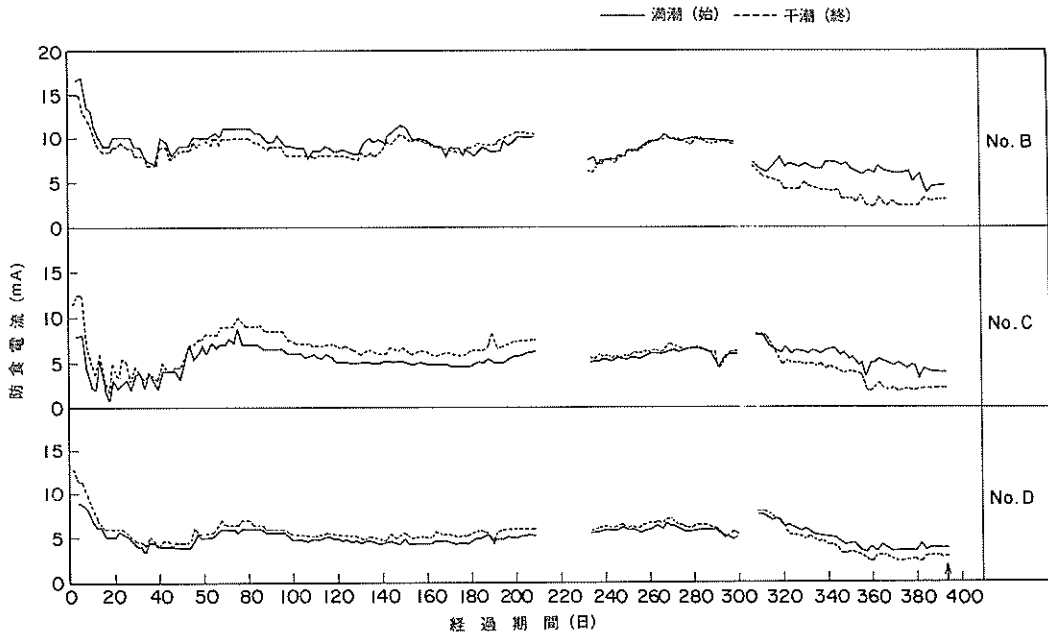


図-8 供試体B～Dの全電流経日変化 (p・m)

また、午前(a・m)、午後(p・m)(図-5,6)とを比較した場合に満潮(始)の値では午後のほうが全体的に大きい値を示した。これは図-2に示すように、干潮

時間が10時ごろ~16時ごろと昼間の時間帯のため干満帯に位置する試験片が十分乾燥するためと考えられる。干潮(終)では午前、午後とも大差なかった。図のなか

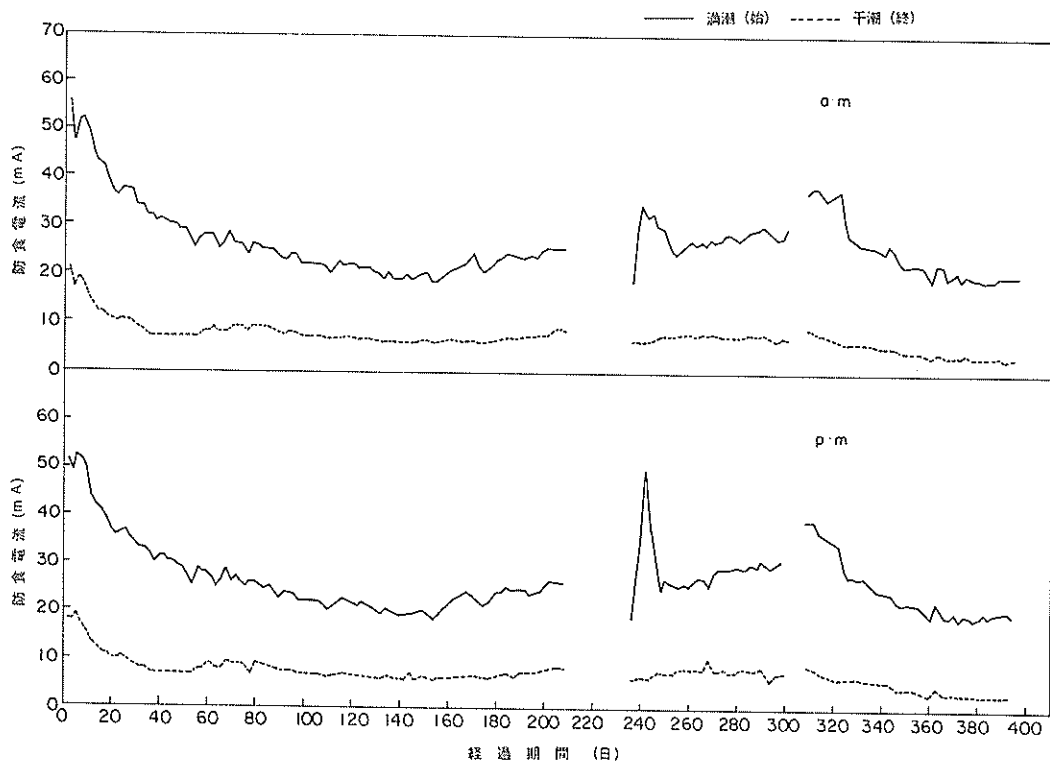


図-9 供試体Eの全電流経日変化

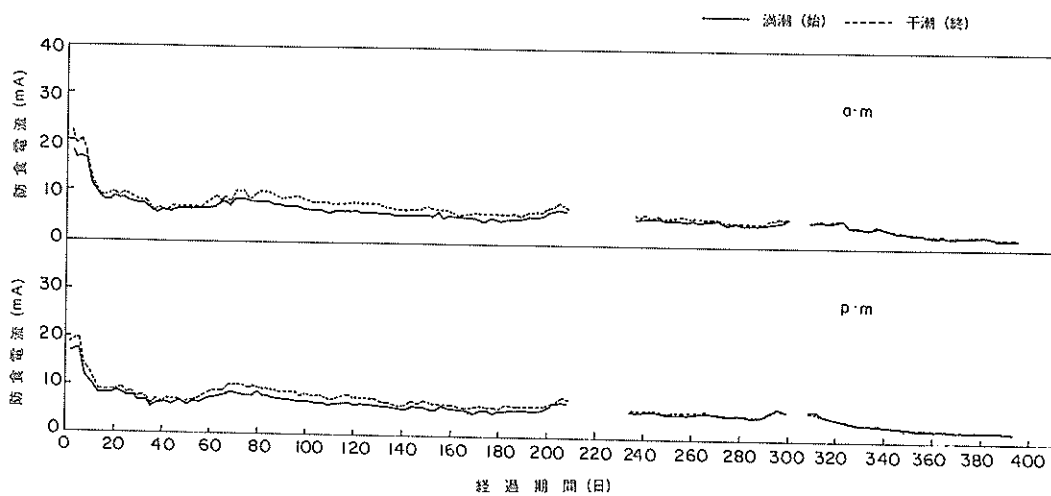


図-10 供試体Fの全電流経日変化

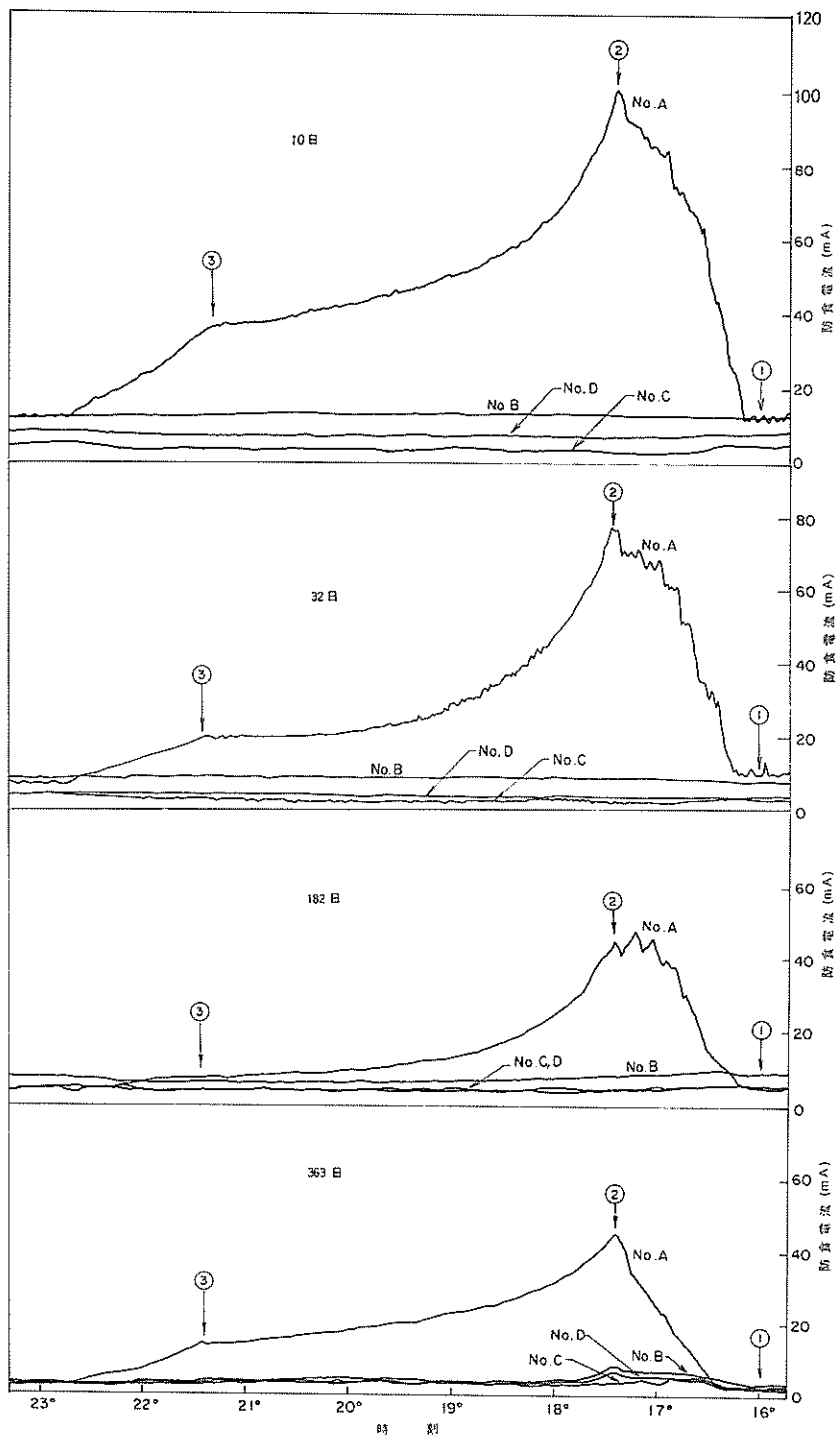


図-11 潮位変動による全電流変化(供試体A~D)

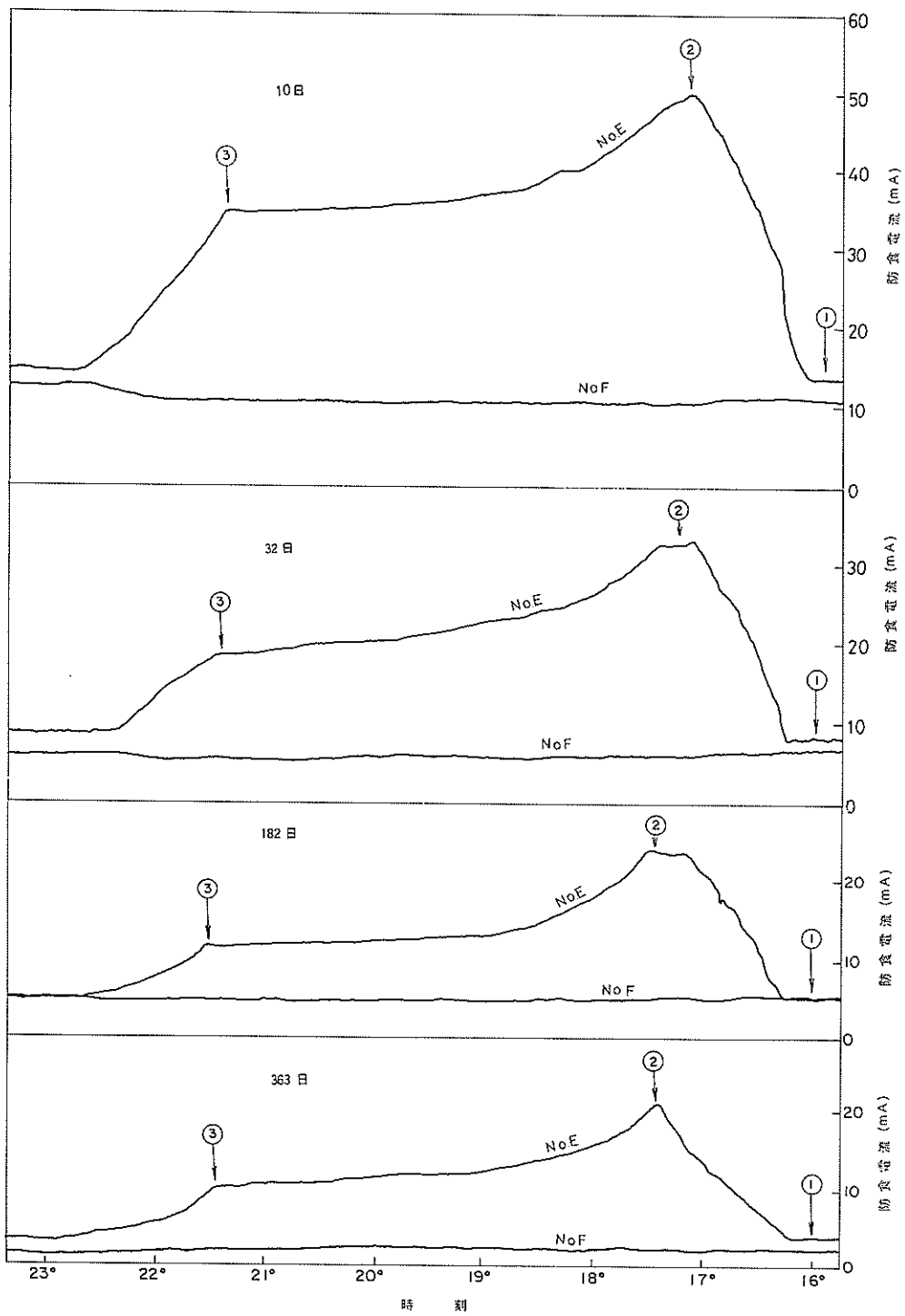


図-12 潮位変動による全電流変化 (供試体E, F)

で満潮（始）の値が極端に下がっているのは天候が雨のときである。雨により干潮時にも干満帯の試験片が濡れているために潮位が上がり海水が浸し（漬）したときでも、乾燥した試験片よりも電位が卑なために天候が晴のときほど大きい電流を必要としない。この結果、雨天のときの満潮（始）の防食電流は午前、午後で変わらなかった。

被覆工の施してある供試体B, C, D, F（図-7, 8, 10）においては満潮（始）、干潮（終）とも午前、午後による差は認められなかった。供試体Bでは満潮（始）のほうが干潮（終）より1~2mA程度大きかったが、供試体C, D, Fにおいては280日~300日程度までは満潮（始）より干潮（終）のほうが防食電流の値はやや大きかった。この理由については後で考察する。図-9の供試体Eでは供試体Aのように天候による電流の流入変化は見られなかった。また、午前と午後では大差ない。図-11, 12は10日, 32日, 182日, 363日における潮位変動に伴う全電流の流入変化を示したものである。図-11は供試体A~Dについて整理した図であり、図-12は供試体E, Fについて整理した図である。図-11においては実験開始後10日の干潮（終）（16°頃, ①）では各供試体へ流入する電流量はAで12mA程度, Bで11mA程度, Cで6mA程度, Dで9mA程度であった。満潮（始）（17°30'頃, ②）ではAの電流量は急激に増大し、100mA程度になったが、B~Dでは干潮時と大差ないかやや小さめであった。満潮（終）（21°30'頃, ③）においてはAは40mA程度に減少し、B~Dでは7mA~11mA程度であった。また、BがC, Dより大きい値を示したのはモルタル中に海水が浸透して水面より上の試験片へもわずかに電流が流入しているためと考えられる。32日の干潮（終）の電流量はAで10mA程度, Bでは8mA程度, C, Dで4mA程度であった。満潮（始）ではAで76mA程度, Bでは干潮（終）と大差なく8mA程度, Cでは約2mA, Dでは約4mAであり、Aは10日と同様に極端に電流量は大きくなった。他の供試体では潮位変動による電流の流入量の変化に大きい差はなかった。満潮（終）では、Aは19mA程度に減少した。182日においてはAの満潮（始）は10日の約46%に減少した。Bの値は干潮（終）で9mA程度, 満潮（始）では6mA程度であり、32日と大差ない。C, Dでは10日, 32日で多少差が見られたが、182日では差がなくなり干潮（終）とともに4.7mA程度, 満潮（始）で3.8mA程度であった。363日における満潮（始）のAは182日と大差ない。B, C, Dでは干潮（終）より増加し始め、満潮（始）では干潮（終）よりCでは2.2mA程度, Dでは

3.3mA程度増加した。また、Bでも2.7mA程度増加した。

図-12におけるE, Fの場合は10日の干潮（終）でEは14mA程度, Fでは11mA程度とEのほうがやや大きい。満潮（始）では、Eは48mA程度, Fでは10mA程度であり、満潮（終）ではEは34mA程度に減少し、Fは10mA程度と潮位変動にあまり左右されなかった。32日の干潮（終）ではEは8.2mA程度, Fで6.9mA程度であるが満潮（始）ではEは33mA程度, Fで6.5mA程度であった。182日においては干潮時でE, Fとも5mA程度と差がなく、満潮（始）でEは24mA程度, Fは干潮時とあまり変わらなかった。363日ではFの電流量が2mA程度に減少した。Fの場合、干満帯（試験片No. 10以上）にモルタル被覆をし、上部より海水をシャワー状に注水していた結果、いずれの期間においても干潮時、満潮時に電流量があまり大きく変化しない傾向が認められた。また、EはAより電流量はかなり小さく、FもBより若干小さい。

3.2 各試験片へ流入する電流

次に、各供試体ごとのおのおのの試験片へ流入する電流量の変化を図-13~図-18に示す。図は図-11, 図-12に対応して午後の値を示した。図-13および図-17は他と横軸の縮尺が異なる。

供試体Aの各試験片へ流入する電流量は図-13に示すとおりである。10日においては干潮（終）で海泥中は平均18mA/m², 海水中では（No.5~No.10）162mA/m²（No.5）~370mA/m²（No.10）であり、試験片No.11にも電流の流入が見られ電流量は660mA/m²程度と大きかった。満潮（始）では干満帯へ流入する電流が大きくNo.11の277mA/m²~No.17の2700mA/m²であった。満潮（終）では干満帯へ流入する電流量は約630mA/m²以下に減少した。32日では干潮（終）で海泥中（No.1~No.4）へ流入する電流量は平均で25mA/m²であり、海水中（No.5~No.10）ではNo.5で85mA/m², No.10で318mA/m²と水面に近くなるに従い10日と同様に電流量は多くなった。満潮（始）では海水中への電流の流入は全体的に若干減り、干満帯（No.11~No.17下半分）への流入が始まり、電流量はNo.11で275mA/m²~No.17で2400mA/m²と極めて大きい電流が各試験片へ流入した。182日では干潮（終）で32日のように水面に近くなるほど、電流が増加する傾向は認められず海泥中~海水中（No.1~No.10）で平均58mA/m²であった。満潮（始）に干満帯へ流入する電流量はNo.11で125mA/m²であり、大きい所でNo.14の875mA/m²である。なお、No.16, No.17が

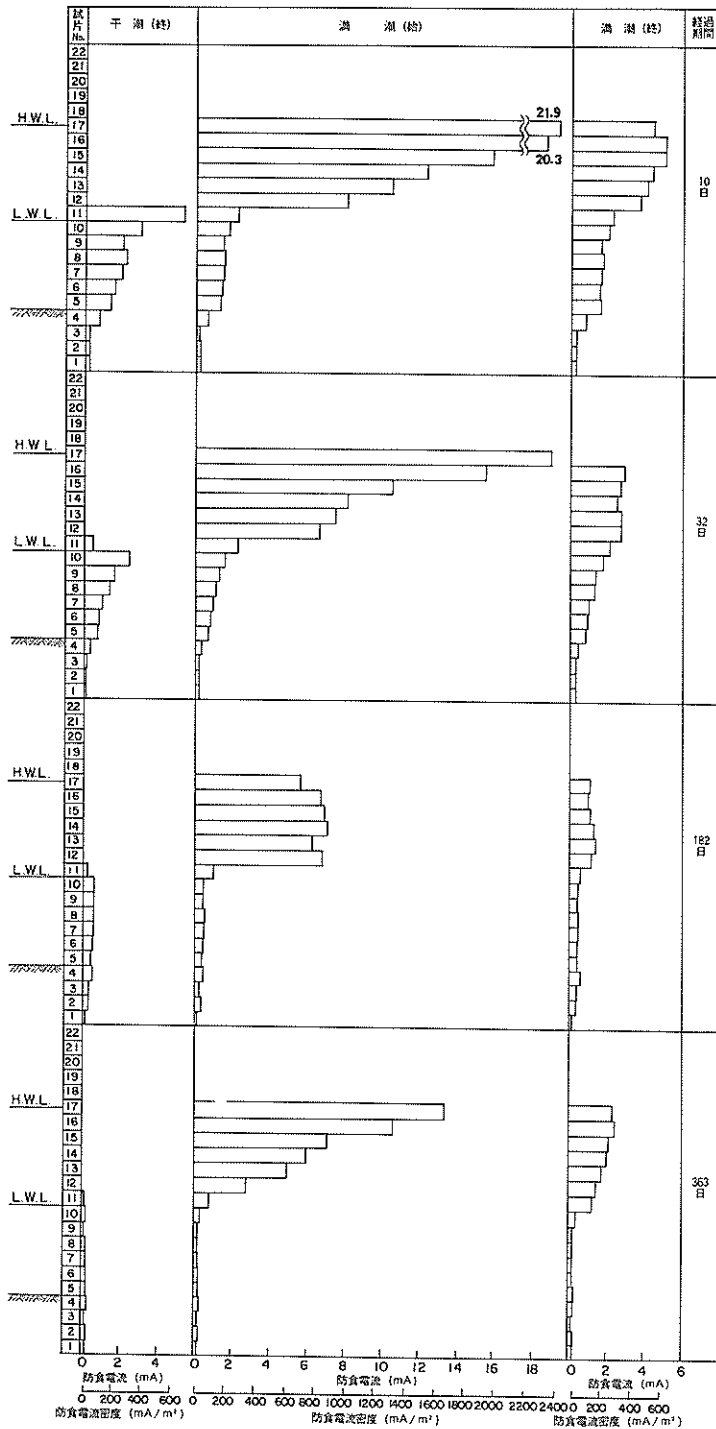


図-13 各試験片へ流入する電流量 (供試体A)

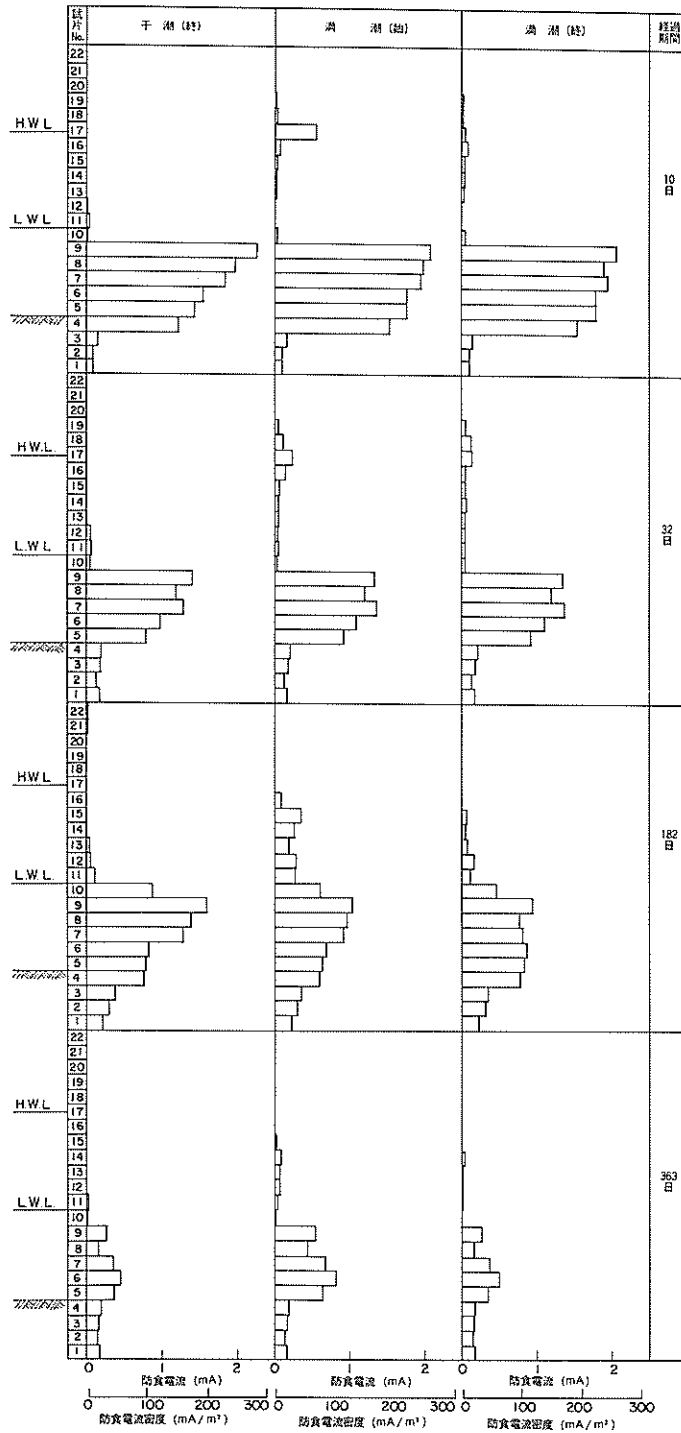


図-14 各試験片へ流入する電流量 (供試体B)

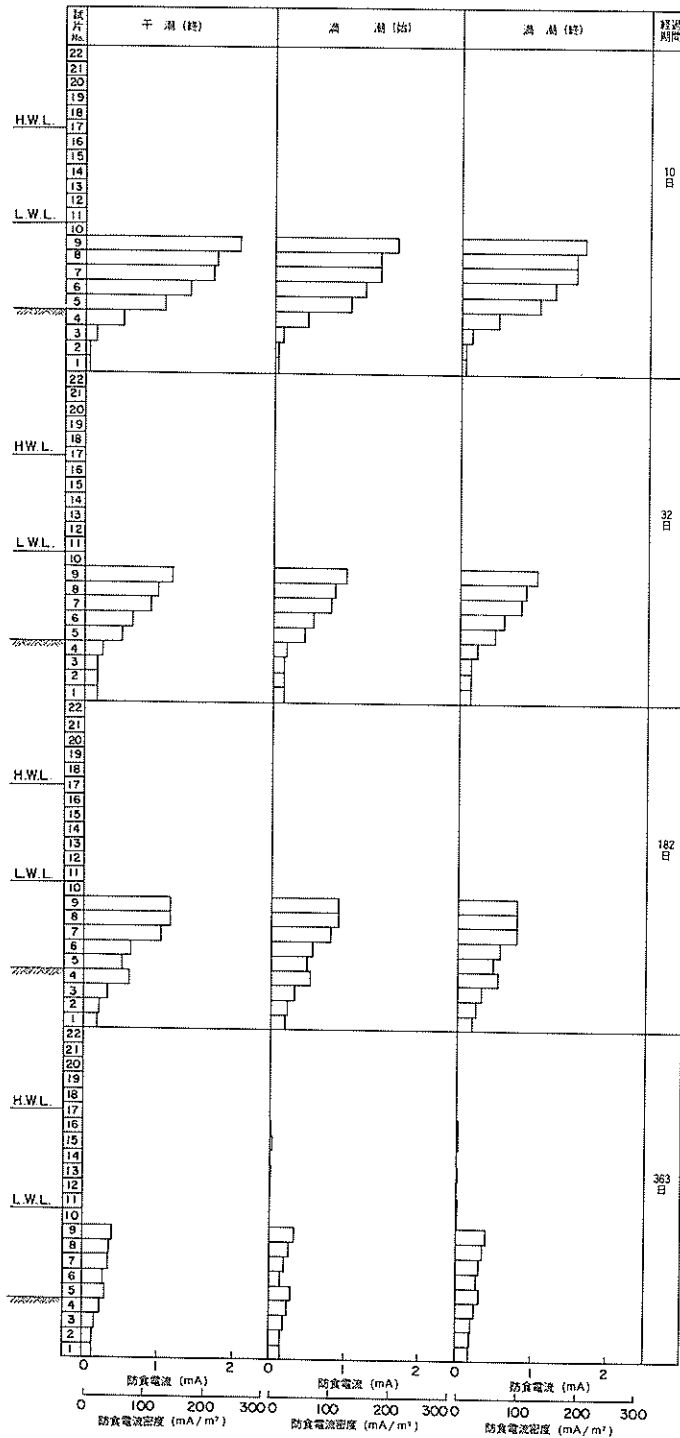


図-15 各試験片へ流入する電流量 (供試体C)

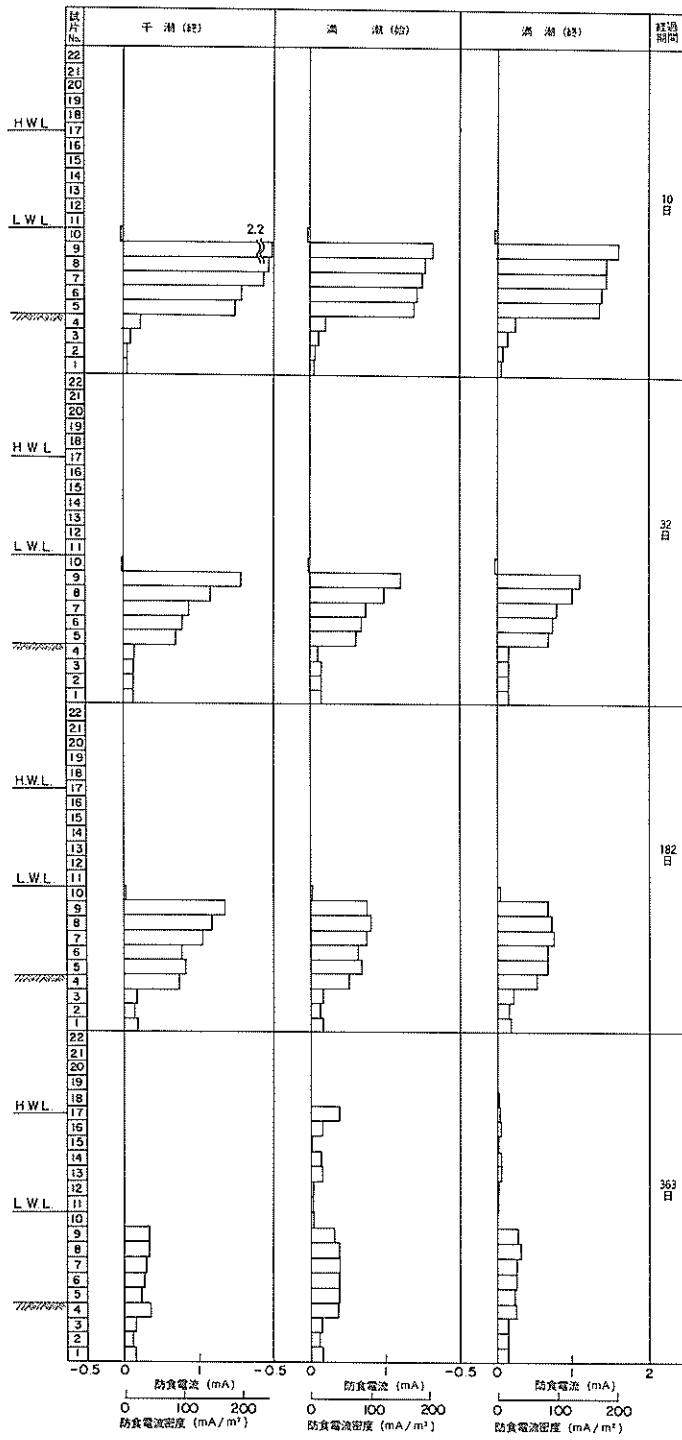


図-16 各試験片へ流入する電流量 (供試体D)

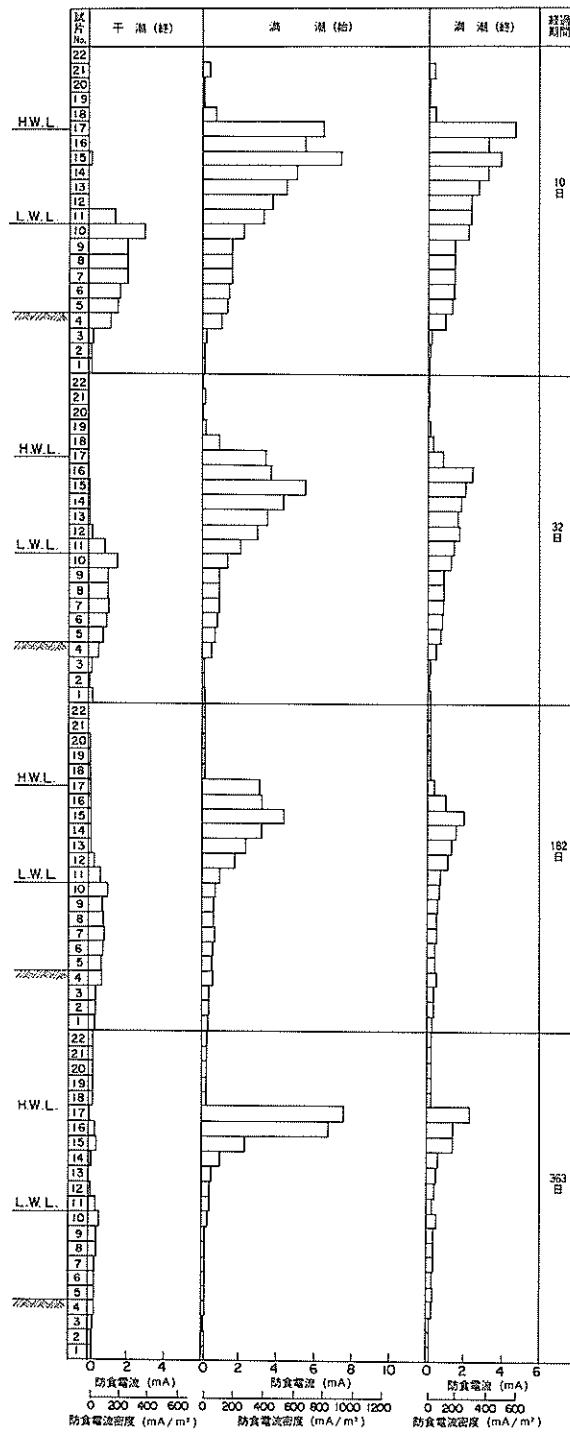


図-17 各試験片へ流入する電流量 (供試体E)

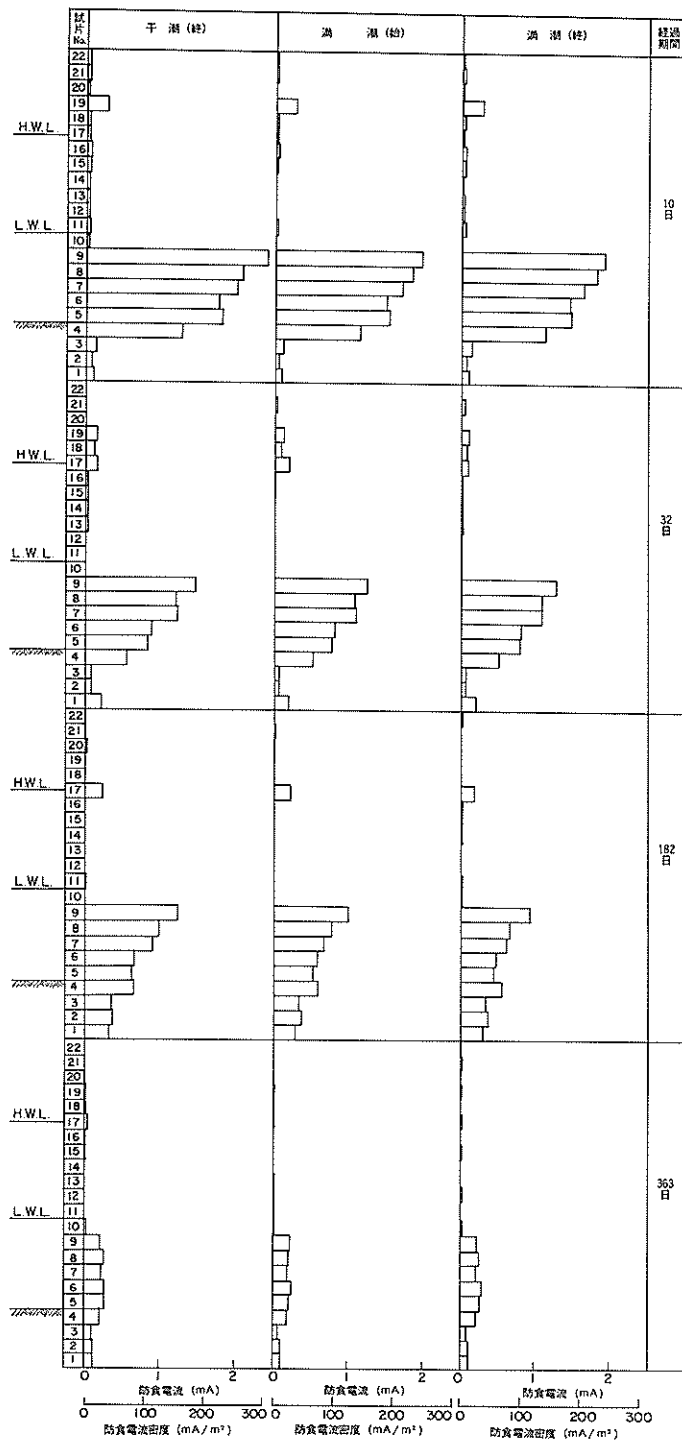


図-18 各試験片へ流入する電流量 (供試体F)

32日のように大きくなっていないが、これはこの当時ポンプの調子が順調でなく No. 16, No. 17 が海水中に浸する時間が短かったと思われる。この現象は供試体 E でも見られる。363日では海泥中～海水中にある試験片へ流入する電流量は干潮（終）～満潮（終）でいずれも 38 mA/m^2 以下と減少した。満潮（始）における干満帯へ流入する電流量は No. 11 で 100 mA/m^2 , No. 17 で 1600 mA/m^2 であった。

供試体 B についての各試験片へ流入する電流量は図-14に示す。図-14における10日の流入状況は干潮（終）の海泥中（No. 1～No. 4）で試験片 No. 4（ 153 mA/m^2 ）の大きい所が目立つが、試験片の上部が海水中に露出していたようである。No. 1～No. 3では平均 15 mA/m^2 であった。海水中においては 181 mA/m^2 （No. 5）～ 284 mA/m^2 （No. 9）の範囲であり、水面に近くなるにつれ電流量は増加した。満潮（始）では干満帯（モルタル被覆）に流入が見られ、大きい所では試験片 No. 17 の 37.5 mA/m^2 であった。32日の海泥中（No. 1～No. 4）では潮位の変動に関係なく 23 mA/m^2 以下であった。海水中の No. 5～No. 9 においても潮位変動にあまり関係なく干潮（終）で No. 5 の 96 mA/m^2 ～No. 9 の 173 mA/m^2 の範囲であった。No. 10 から上の試験片はモルタルに被覆されているが吸湿性があるために干潮時においても No. 10～No. 12 の試験片に電流が流入した。流入量は 3.7 mA/m^2 ～ 5 mA/m^2 の範囲であった。満潮（始）における干満帯へ流入する電流量は特に No. 16, No. 17 で大きく、 18.8 mA/m^2 （No. 16）、 31.2 mA/m^2 （No. 17）で、その他は 13 mA/m^2 以下である。182日では海泥中で32日よりやや増加した。海水中は満潮時でやや減少した。満潮（始）における干満帯への流入量は32日に比べ増加したがその原因はわからない。363日においては海泥中では32日と大差なく、海水中では減少した。潮位間でも10日～182日に比べ小さくなった。

供試体 C における各試験片へ流入する電流量は図-15に示す。図-15の10日における流入状況は海泥中（No. 1～No. 4）で No. 4 がやや大きい値を示し、潮位に関係なく 60 mA/m^2 程度の流入であった。干潮（終）の海水中においては供試体 A, B と同様に水面に近くなるに従い電流量は大きく No. 5 で 134 mA/m^2 ～No. 9 で 256 mA/m^2 の範囲であった。満潮時の干満帯への流入はこの時期では塗膜がまだ完全なために認められない。32日では No. 1～No. 3（海泥中）で 18 mA/m^2 程度の流入で、10日と同じく海水中では水面に近い試験片ほど流入量が大きく、干潮（終）のほうが満潮（始）より流入量は若干多かった。干満帯への電流の流入は塗膜の劣化が

生じておらずこの時期でも認められない。182日では No. 4 の流入量が32日に比べて大きくなっている以外、大差なかった。363日の状況では海水中への流入は10日～182日に比べ減少し 16 mA/m^2 ～ 49 mA/m^2 であった。干満帯においては満潮（始）で No. 12, 13, 15, 16 に電流の流入が見られた。特に No. 15 では 3.7 mA/m^2 の流入が認められ、No. 12, 13, 16 では 1.2 mA/m^2 の流入であった。

供試体 D における流入状況は図-16に示すとおりである。10日においては海泥中では平均 13 mA/m^2 程度と小さく、海水中では干潮（終）で 188 mA/m^2 （No. 5）～ 276 mA/m^2 （No. 9）の範囲であった。また試験片 No. 10 に電流の流出（ 5 mA/m^2 程度）が認められた。これは塗料に含有されている亜鉛の影響と考えられる。満潮時（海水中）では干潮時に比べ電流の流入が若干減少する傾向が見られ、 170 mA/m^2 （No. 5）～ 205 mA/m^2 （No. 9）の流入であった。32日では海泥中（No. 1～No. 4）へ流入する電流量は 18.8 mA/m^2 以下と小さく、海水中の試験片 No. 5～No. 7 では 75 mA/m^2 ～ 109 mA/m^2 程度で潮位変動による差はあまり認められなかったが、試験片 No. 8 や No. 9 においては潮位変動により流入する電流量が若干異なり、干潮（終）で No. 9 の値は 196 mA/m^2 , No. 8 で 147.5 mA/m^2 であるが満潮（始）では No. 9 で 150 mA/m^2 , No. 8 で 122.5 mA/m^2 とやや低下した。182日では No. 4 への流入が多くなっているのを除けば全体に32日に比べ減少している。363日では干満帯の塗膜の劣化が目立ち、電流の流入が認められる。満潮（始）で最も多い所は No. 17 の 47.5 mA/m^2 であった。塗膜の劣化（ここでは錆の発生）が生じている試験片にはいずれも電流の流入が認められた。

供試体 E における各試験片へ流入する電流量の状況は図-17のとおりである。上部よりシャワー状に常時海水を注水しているため干潮時においても干満帯への電流の流入が見られる。10日における状況は海泥中（No. 1～No. 3）では平均 15 mA/m^2 程度、干潮（終）の海水中では 201 mA/m^2 （No. 5）～ 375 mA/m^2 （No. 10）と海水中への流入量としてはかなり大きい値を示した。また干潮状態でも干満帯への流入が見られ試験片 No. 15 に 25 mA/m^2 の流入が見られた。満潮（始）では海水中へ流入する電流量は干潮（終）時に比べ減少し、 173 mA/m^2 （No. 5）～ 289 mA/m^2 （No. 10）の範囲であった。また干満帯への流入は 413 mA/m^2 （No. 11）～ 938 mA/m^2 （No. 15）の範囲であった。H.W.L. 上への流入は 10 mA/m^2 ～ 56 mA/m^2 である。32日では海泥中（No. 1～No. 3）では潮位に関係なく平均で 8 mA/m^2

と電流の流入量は小さかった。海水中においても潮位変動にあまり関係なく流入量は $84 \text{ mA/m}^2 \sim 194 \text{ mA/m}^2$ 程度であった。干満帯（満潮、始）では最も大きい所で No. 15 の 694 mA/m^2 であり、供試体 A の 1312 mA/m^2 (No. 15) に比べ約半分程度と小さかった。また、H.W.L. 上へも電流は流入し、電流量は $6.3 \text{ mA/m}^2 \sim 110 \text{ mA/m}^2$ 程度であった。182 日では海泥中の流入量がやや多くなった以外 32 日と大差ないか、多少減少した。363 日では海水中の流入量がさらに減少し $11 \text{ mA/m}^2 \sim 69 \text{ mA/m}^2$ の範囲であった。干満帯（満潮、始）においては No. 11 ~ No. 14 は 32 日、182 日に比べ流入量は減少したが、No. 16, No. 17 は逆に増加した。その上、H.W.L. 上の試験片への流入量も若干増加した（ 30 mA/m^2 程度）。

供試体 F の各試験片へ流入する電流量を図-18 に示す。10 日における流入状況は海泥中 (No. 1 ~ No. 3) では平均で 10 mA/m^2 であり、海水中に流入する電流量は $220 \text{ mA/m}^2 \sim 304 \text{ mA/m}^2$ (干潮、終)、 $188 \text{ mA/m}^2 \sim 248 \text{ mA/m}^2$ (満潮、始)、 $181 \text{ mA/m}^2 \sim 240 \text{ mA/m}^2$ (満潮、終) で干潮時に流入が大きい。干満帯への流入は $1 \text{ mA/m}^2 \sim 6 \text{ mA/m}^2$ の範囲で特に潮位変動にはあまり関係なかった。H.W.L. 上での流入は試験片 No. 19 で大きいのが目立ち 37 mA/m^2 程度であった。32 日では海水中の上部 (No. 7 ~ No. 9) で干潮（終）のほうが満潮時に比べやや電流が大きい。また、H.W.L. 付近 (No. 17 ~ No. 19) での流入が目立ち流入量は $8.7 \text{ mA/m}^2 \sim 26 \text{ mA/m}^2$ であった。182 日では干満帯の No. 17 に流入する電流量が目立ち、潮位変動による流入量は 23.7 mA/m^2 (満潮、終) ~ 30 mA/m^2 (満潮、始) であった。363 日になると海泥中、海水中ともに減少し $8 \text{ mA/m}^2 \sim 34 \text{ mA/m}^2$ の範囲であり、干満帯へ流入する量も $1.3 \text{ mA/m}^2 \sim 2.5 \text{ mA/m}^2$ の範囲に減少した。

3.3 電位の測定結果

通常、電気防食をせず、裸の状態では海水中や海泥中におかれている鋼材表面の電位は $-600 \text{ mV} \sim -700 \text{ mV}$ 程度の電位を示す。電気防食を行って、十分良い防食が行われ、長期間経過している鋼材表面には海水中の Ca^{2+} が CO_3^{2-} と反応して CaCO_3 を、また Mg^{2+} が OH^- と反応して $\text{Mg}(\text{OH})_2$ をそれぞれ析出する。この現象はエレクトロ・コーティング（石灰質被膜の生成）と言われ鋼材表面にアルカリの薄い被膜を生成する。エレクトロ・コーティングの生成状況は防食電位、電流の大小や防食期間、海水の動き、水温等により影響され一定でない。鋼材表面に十分なエレクトロ・コーティングの被膜が形成されている場合には電気防食の通電を切っても容易に鋼材表面の電位は $-600 \text{ mV} \sim -700 \text{ mV}$ 程度に分

極しない傾向がある。それ故、試験片の表面状況を判断する目的のために各供試体を回収する直前に各供試体ごとに試験片を開路状態にして代表的な試験片の開路電位を測定した。測定結果は図-19 ~ 図-24 に示す。

図-19 の供試体 A は No. 1 を除いた他の試験片では開路後 15 ~ 16 時間程度まで -780 mV より卑な値を示し試験片表面に石灰質の被覆等が薄く形成されていたようである。図-20 の供試体 B では海水中の試験片 No. 6, No. 9 で 2 ~ 3 時間後に -780 mV より貴な値を示したことより供試体 A の海水中試験片ほど石灰質の生成はなかったようである。しかし海泥中の No. 1, 海水中（モルタル被覆）の No. 10 および干満帯の試験片 (No. 11, 13, 16) は 19 時間後でも -780 mV より卑な値を示し試験片は高アルカリに覆われていたと思われる。図-21 の供試体 C では No. 1, No. 11 の試験片で 19 時間後でも -780 mV より卑な値を示していたが、その他の試験片

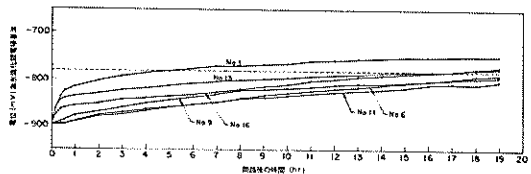


図-19 開路電位変化 (供試体 A)

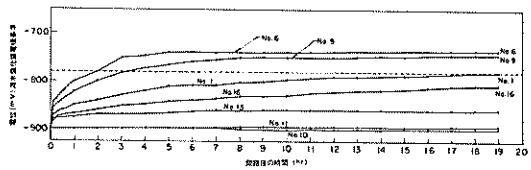


図-20 開路電位変化 (供試体 B)

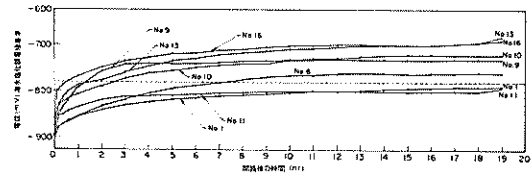


図-21 開路電位変化 (供試体 C)

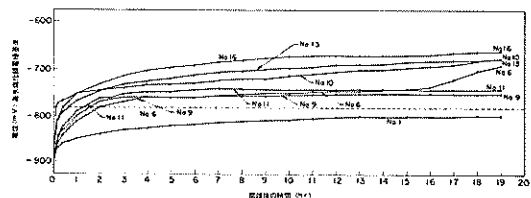


図-22 開路電位変化 (供試体 D)

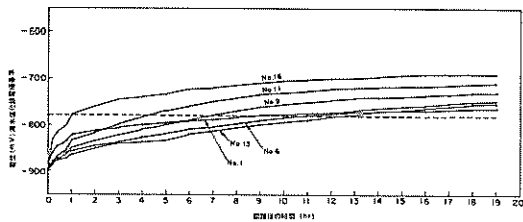


図-23 開路電位変化(供試体E)

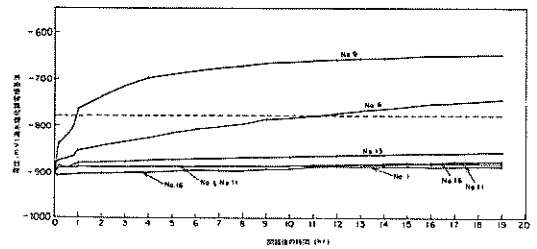


図-24 開路電位変化(供試体F)

ではNo.6で7時間後、No.9、13、16で2～3時間後に-780 mVより貴な値を示した。図-22の供試体DではNo.1を除いた他の試験片で開路後2時間以内で-780 mVより貴な値を示し、他の供試体より分極する時間が早かった。図-23の供試体Eではいずれの試験片も12時間以前で-780 mVより貴な値を示し供試体Aより分極する時間が早かった。図-24の供試体Fにおいては海泥中およびモルタル被覆されていた試験片は19時間後でも-860 mV～-890 mVの電位を保持していた。モルタル被覆されていた試験片は供試体B、Fとも-780 mVより卑であった。

3.4 抵抗の測定結果

塗膜の劣化状況ならびにモルタルの被覆状況をみるために供試体回収時に試験片の抵抗測定を行った。測定結果を表-2に示す。

海泥中においては供試体A、E、Fが若干大きめであ

ったが8.1Ω～13.8Ωの範囲でそれほど大きい差はなかった。海水中では海泥中と同じく供試体A、E、Fが全体的に大きめであった。No.10より上の試験片では供試体C(塗装)が最も抵抗が大きくNo.10～No.17の間で2500Ω～7200Ω程度であり、試験片No.10の塗膜が最も良かった。また、供試体D(塗装)では供試体Aの裸の試験片よりわずかに大きい抵抗値であり塗膜の劣化の大きいことがうかがえる。モルタル被覆(供試体B、F)では約38Ω～250Ωの範囲であった。

3.5 腐食量の測定結果

供試体回収後、各試験片の重量減量を求め、腐食速度を算出した。その結果を図-25に示す。ただし、試験片の表面が均等に腐食するのでなく周辺上の腐食量が多いこと、および実験ではポンプの故障や不通電期間があったから以下の腐食速度は連続した広い面積の鋼材に電

表-2 回収時の抵抗測定値(Ω), LCRメーターによる

環境	供試体 試験 片No.	A	B	C	D	E	F
	干滴帯	17	27.9	113.4	333.3	29.4	6.1
16		18.6	117.3	3460	48.2	6.1	229.1
15		28.1	120.1	3670	65.4	8.6	191.0
14		37.7	119.3	3030	49.4	8.9	184.7
13		48.6	116.5	4640	44.3	9.7	247.6
12		42.6	117.4	5150	50.7	10.6	185.7
海水中	11	10.8	122.9	2530	34.9	10.9	117.0
	10	12.5	137.0	7190	38.5	11.3	38.2
	9	13.4	7.4	6.5	7.0	12.2	15.0
	8	12.4	7.3	6.7	6.8	11.4	12.2
	7	12.0	7.6	6.5	6.7	11.0	13.2
海泥中	6	11.5	7.3	6.6	6.7	11.2	10.3
	5	11.7	7.6	7.1	7.3	12.3	12.2
	4	11.1	9.5	8.1	9.3	11.1	11.1
	3	11.2	8.6	9.1	10.0	11.0	11.3
海泥中	2	12.5	11.4	9.1	10.6	11.5	10.7
	1	12.6	13.8	9.8	10.8	11.5	10.3

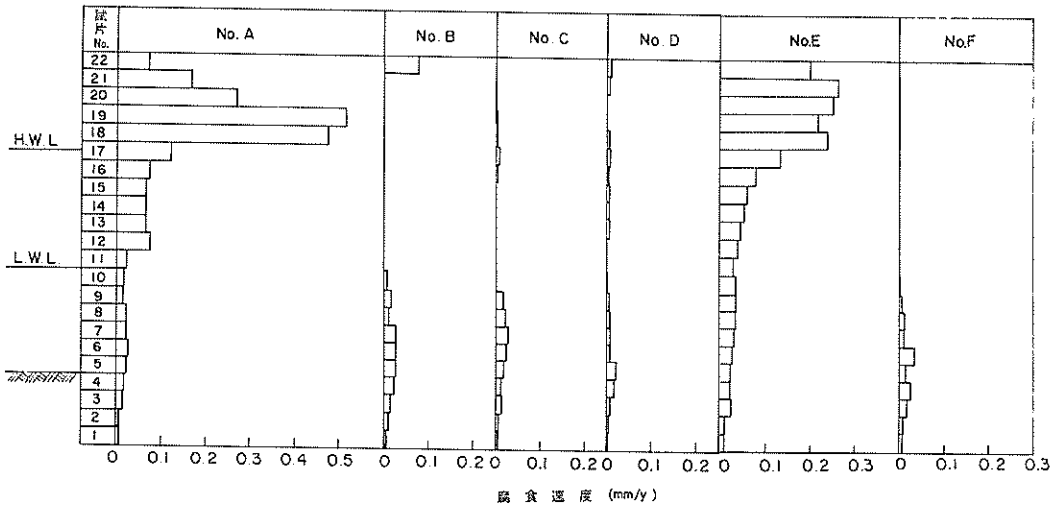


図-25 各供試体における試験片の腐食速度

気防食を適用した場合よりも大きい値となっているとみなければならない。

供試体Aの腐食速度は試験片No.22～No.20 (H.W.L.上)で0.07 mm/y～0.27 mm/y, No.19～No.18 (H.W.L.直上)で腐食は最も大きく0.47 mm/y～0.51 mm/yであり, No.17 (H.W.L.)で0.125 mm/y, 干満帯のNo.16～No.11では0.029 mm/y～0.075 mm/yであった。海水中では0.018 mm/y～0.026 mm/yの範囲で, 海泥中では0.005 mm/y～0.018 mm/yと小さかった。供試体Aに対してNo.10より上部に被覆材を被覆した供試体B, C, D, Fでは供試体BのNo.22に0.075 mm/yと大きい値が見られたが, これは上部からのモルタルのはく離が生じたためである。BのNo.22を除いたNo.10より上部の試験片では最大で0.009 mm/y (CのNo.17), 平均で0.001 mm/yと小さかった。海水中では最大で0.028 mm/y (CのNo.7)であり, 平均で0.019 mm/yであった。海水中の腐食速度をAと比べると, B, Cはほとんど同じであるが, Dは小さかった。Dの海水が小さい理由はわからない。海泥中では海泥面近くの試験片の腐食量が大きくNo.4の試験片で0.012 mm/y～0.023 mm/y, No.3～No.1で0.002 mm/y～0.018 mm/yであった。また供試体EではNo.22～No.20 (H.W.L.上)で0.2 mm/y～0.269 mm/yであり, No.19～No.18 (H.W.L.直上)でも0.219 mm/y～0.243 mm/yとNo.22～No.20と大差ない。No.17 (H.W.L.)では0.137 mm/yであり, 干満帯のNo.16～No.11では0.028 mm/y～0.080 mm/yであった。海水中では0.024 mm/y～0.034 mm/yの範囲で海泥

中では0.06 mm/y～0.021 mm/yであった。AとEを比較した場合, H.W.L.直上 (No.18, 19)においてEはAの1/2程度に腐食速度は小さくなっていたが, その他では干満帯でEのほうが若干小さかった。

3.6 試験片の観察

図-1に示すように試験片No.1～No.4は海泥中, No.5～No.10は海水中, No.11～No.17の下半分までは干満帯, No.17の上半分～No.22は海気中にそれぞれ暴露された。

回収時の各試験片の脱錆前後における表面状況を写真-1～写真-11に示す。また供試体C, Dにおける試験片のうちNo.10～No.22における塗膜の劣化状況を図-26～図-27に示す。

写真-1の供試体A (脱錆前)の試験片を見ると, 海泥中は黒褐色の砂のかたまりが硬く付着していた。海水中では試験片No.7, No.8に錆が散見された。No.10では試験片の裏面に接続していたリード線が断線したのか赤とう(橙)色の錆が認められた。他の海水中の試験片は白い石灰質と錆の混り合った表面を呈していた。干満帯では白い石灰質と錆の混合した状態であった。H.W.L.直上にあるNo.17の上半分では白い石灰質と黒褐色の錆が生じており, No.18では黒褐色の厚い錆に覆われていた。No.19, No.20では茶褐色の錆, No.21～No.22になるとやや黒褐色の錆で試験片は覆われていた。脱錆後の状況を写真-2で見ると, No.22～No.19では腐食による凹凸が激しい。No.11～No.17では凹凸は見られるがNo.22～No.19に比べ小さい。No.10～No.5の海水中では干満帯よりさらに凹凸は小さくなり, 海泥中で

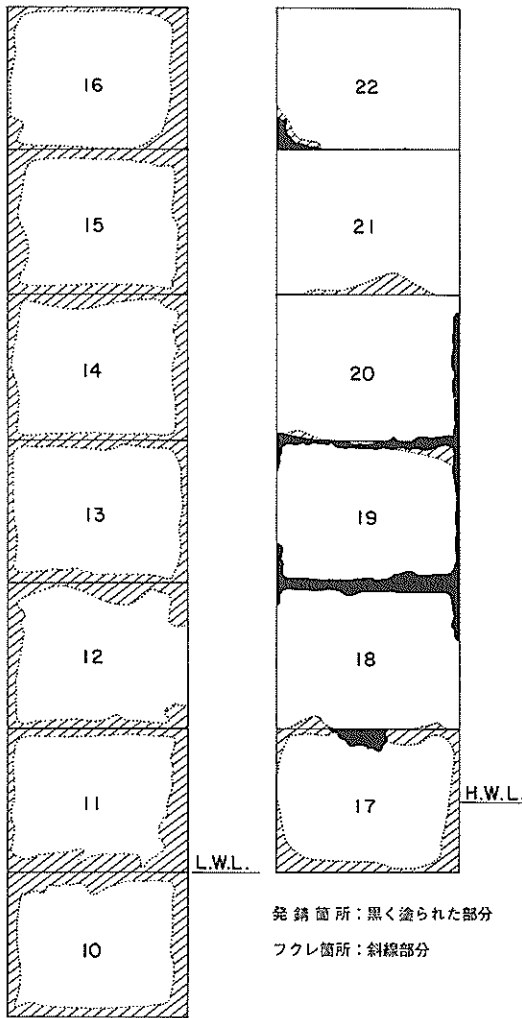


図-26 塗膜の劣化状況（供試体C）

は平滑な面を示していた。

写真-3における供試体Bの脱錆前の状況は、海泥中においては供試体Aと同じように黒い砂が固着していた。海水中では錆と泥の混り合った層がNo.5～No.9に見られた。モルタル中ではNo.10～No.14でわずかに黒っぽい錆が見られたがNo.15～No.21では錆は認められなかった。No.22の上部ではモルタルと試験片の密着性が良くなかったのかモルタルのはく離が見られ、錆の発生が認められた。脱錆後（写真-4）の状況はNo.22の上半分に腐食による凹凸が見られるがNo.21～No.10の間では平滑な表面をしていた。海水中では小さい凹凸が見られ、海泥中では海水中より平滑であった。

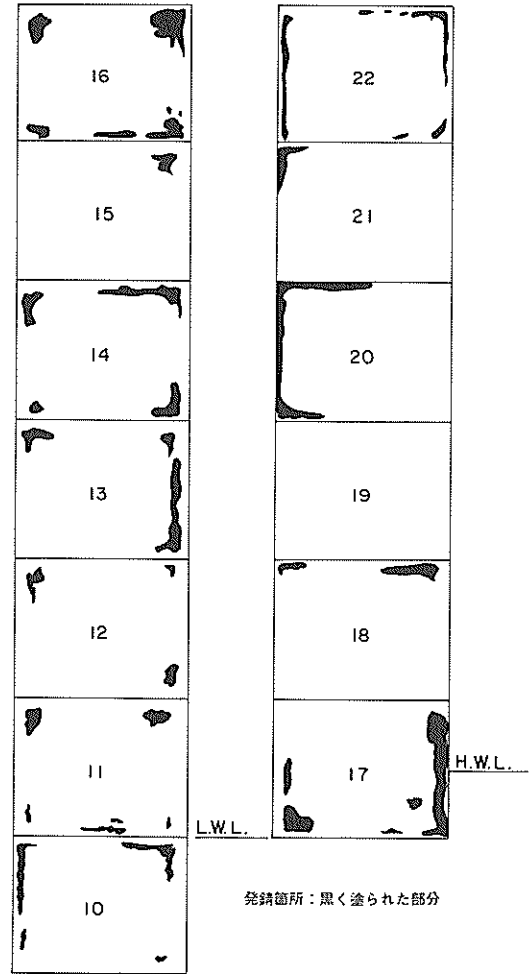


図-27 塗膜の劣化状況（供試体D）

写真-5における供試体Cの脱錆前の状況は海泥中においては供試体A、Bと大差なく、海水中では薄い錆層で覆われていた。干満帯ではいずれの試験片にも塗膜にふくれの劣化が見られた。H.W.L.上においてはNo.17、No.18の上部、No.19の上、下部、No.20の側部、No.22の角部に塗膜の劣化による錆の発生が認められた（図-26）。写真-6における脱錆後の表面状況はH.W.L.上で錆の発生していた箇所では腐食による凹凸が見られた。海水中、海泥中においては供試体Bと大差なかった。

供試体Dにおける脱錆前（写真-7）の状況は海泥中、海水中では供試体Bと同じような状況であった。No.10～No.17（干満帯）においてはいずれの試験片にも錆の発

表-3 海水の水質分析結果

採水 月日	水深 (m)	比重 (20°C)	pH (20°C)	濁度	化学成分 mg/l						
					Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻
2月21日	-0.5	1.026	7.69	1以下	9960	362	380	1219	18021	2522	114
	-2.0	1.026	7.78	1以下	10155	367	378	1231	18307	2537	107
5月25日	-0.5	1.020	8.38	1以下	8925	335	330	1093	16400	2247	115
	-2.0	1.020	8.16	1以下	9000	338	330	1103	16451	2292	105
6月5日	-0.5	1.022	7.69	1以下	9900	370	337	1225	18012	2499	131
	-2.0	1.022	7.68	1以下	10050	385	338	1244	18147	2542	123

生が見られ、錆の発生はコーナー部分が多かった。錆の発生した所は錆とともに石灰質の付着が目立った。No.18~No.22のH. W. L. 上でもNo.19を除いた試験片に錆の発生が見られた(図-27)。脱錆後(写真-8)の状況は供試体Cと同様にH. W. L. 上で錆の発生していた部分は腐食による凹凸が見られた。干満帯においても錆の発生した所には腐食の跡が認められたが、塗膜が損傷していない所は平滑で腐食は見られなかった。海水中、海泥中では他の供試体と大差なかった。

写真-9における供試体Eの試験片の表面状況はH. W. L. 上No.22~No.20で黒褐色の厚い錆の層が見られ、No.19では茶褐色の錆、No.18~No.11では錆と石灰質の混り合った厚い錆層で覆われていた。海水中においては石灰質被膜と黒っぽい付着物で覆われていた。海泥中では他の供試体と同様な状況であった。写真-10における脱錆後の試験片の状況はH. W. L. 上のNo.18~No.22で凹凸が激しい。干満帯から下においては供試体Aと大差ない状況であった。

供試体Fにおける脱錆前の状況(写真-9)は海水中

では石灰質被膜に大部分が覆われていた。モルタル被覆した干満帯から上部では供試体Bのようなモルタルのはく離は認められなかった。脱錆後の状況(写真-11)ではNo.10より上については試験片表面は平滑でほとんど腐食は見られなかった。海水中ではNo.6で若干腐食による凹凸が目立った。

3.7 水質試験結果

海水の水質試験結果を表-3に示す。表-3を見るといずれの分析結果もほぼ清浄海水に等しかった。

4. 考察

4.1 防食電流の低減効果

本実験においてどの程度の低減効果があったかを見るために表-4に各供試体の全電流を防食電流密度で示した。また、表-6~表-8は各環境ごとに防食電流密度を整理したものである。

表-4より供試体Aの防食電流密度を100として、満潮(始)、満潮(終)における他の供試体の防食電流密度の比率を示すと表-5のようになる。表-5より各供試

表-4 潮位変動による防食電流密度 (mA/m²) (No.1~22)

供試体 No.	期間 潮位	10日			32日			363日		
		干潮 (終)	満潮 (始)	満潮 (終)	干潮 (終)	満潮 (始)	満潮 (終)	干潮 (終)	満潮 (始)	満潮 (終)
		A	162.3	762.7	301.0	160.1	578.4	171.7	22.4	360.8
B	134.4	90.1	80.2	94.0	59.4	57.8	34.6	39.5	22.4	
C	96.1	56.3	58.6	61.7	29.2	31.2	32.8	15.2	19.8	
D	118.8	59.5	58.7	74.4	33.3	34.2	32.2	29.8	19.3	
E	174.9	360.2	257.3	102.4	238.1	135.2	47.1	151.9	71.3	
F	145.1	77.3	74.7	92.9	46.8	45.5	23.8	11.9	12.9	

表-5 各供試体の防食電流密度の比率(%)

供試体No.	潮位 期間	満潮(始)			満潮(終)		
		10日	32日	363日	10日	32日	363日
A		100	100	100	100	100	100
B		11.8	10.3	10.9	26.6	33.7	21.1
C		7.4	5.0	4.2	19.5	18.2	18.7
D		7.8	5.8	8.3	19.5	19.9	18.2
E		47.2	41.2	42.1	85.5	78.7	67.2
F		10.1	8.1	3.3	24.8	26.5	12.2

体の満潮(始)の低減量は10日で供試体B, F(モルタル被覆)で10~12%程度, C, D(塗装)で7%程度, E(裸)で47%程度であり, 32日ではB, Fで8~10%程度, C, Dで約5%, Eで41%程度であった。363日となるとBは11%程度で実験初期に比べ低減量はあまり変化していない。Cでは4%程度とやや低減量が増加した。Dにおいては32日に比べ2~3%低減量は減少した。この原因は塗膜の劣化によるものと考えられる。Fにおいては10

日の1/3程度に低減量は増大した。またEでは32日と大差なかった。満潮(終)では10日でEを除いた他の供試体の低減量は約20~27%で, 32日では18~34%程度であり, いずれも塗装したものよりモルタル被覆の供試体のほうが低減量は小さい。363日では約12%~21%の範囲で満潮(始)と同様Fの供試体が最も低減量が大きかった。

次に, 各環境ごとの防食電流密度は表-6~表-8に示すとおりである。まず表-6の海泥中環境において平均値で示すと干潮(終)~満潮(終)で, 10日では36 mA/m², 32日で22 mA/m², 363日で28 mA/m²とこの環境では経日による変化はあまりなかった。表-7の海水中環境でも平均値で示すと10日で209 mA/m², 32日で125 mA/m², 363日では37 mA/m²といずれの供試体も10日, 32日に比べ363日で防食電流密度は低減した。通常, 海水中環境では100 mA/m²を設計値(初期値)としてとっているが10日, 32日では大きく, 363日ではいずれも100 mA/m²以下であった。表-8は干満帯へ流入する防食電流密度である。供試体Aでは10日の満潮(始)で約1700 mA/m², 満潮(終)で約

表-6 潮位変動による各環境ごとの防食電流密度(mA/m²) 海泥中(No.1~4)

供試体No.	潮位 期間	干潮(終)			満潮(始)			満潮(終)		
		10日	32日	363日	10日	32日	363日	10日	32日	363日
A		34.1	18.8	23.4	28.1	22.8	24.4	39.4	26.6	23.8
B		49.7	37.5	26.6	58.8	42.2	51.6	58.8	41.9	33.4
C		23.1	11.6	53.1	20.9	10.0	32.2	23.1	11.6	46.3
D		13.1	8.8	29.1	12.2	7.5	39.4	14.7	8.4	29.1
E		49.1	19.7	19.7	43.1	19.1	10.3	43.1	19.4	18.1
F		47.5	27.8	15.0	44.1	26.7	13.8	43.4	26.6	15.0

表-7 潮位変動による各環境ごとの防食電流密度(mA/m²) 海水中(No.5~9,10)

供試体No.	潮位 期間	干潮(終)			満潮(始)			満潮(終)		
		10日	32日	363日	10日	32日	363日	10日	32日	363日
A		247.7	170.6	21.7	180.8	131.5	23.8	205.4	141.7	21.9
B		228.8	139.3	41.0	239.0	146.3	82.8	213.0	147.3	45.5
C		173.8	101.8	41.5	169.0	88.5	30.5	175.0	93.8	41.3
D		228.0	127.8	34.8	186.8	104.8	45.3	182.0	106.8	35.0
E		258.8	129.0	43.3	207.7	112.9	18.1	199.8	112.5	42.1
F		251.8	139.5	29.5	214.8	125.8	27.3	206.8	125.0	30.0

* 供試体A, Eについては試験片No.5~No.10を, 供試体B, C, D, Fについては試験片No.5~No.9について整理した。

550 mA/m²、一潮せきあたりの平均で約 390 mA/m²であったが、363日には減少して満潮(始)で約 880 mA/m²、満潮(終)で約 230 mA/m²、一潮せきあたりの平均で約 190 mA/m²となっている。また、供試体AとEを比較した場合にEの値はAの1/2程度に半減して

いる。しかし、図-28は晴天と雨天の場合の全電流をAとEについて比較した図であるが、天候が雨の場合に電流の流入量は両者とも大差ない。その上、図-25の干満帯の腐食速度もAとEはほぼ同じであり、Eでは海水の注水により流入する電流量の低減効果は見られたが干満帯の防食効果はあまり期待できない傾向を示した。干満帯を被覆している供試体B, C, D, Fの防食電流はA, Eよりはるかに小さい。モルタルを被覆している供試体BおよびFでは10日の満潮(始)でそれぞれ8.2 mA/m²、3.8 mA/m²であり、363日で4.6 mA/m²、0.7 mA/m²と供試体Fのシャワー状に海水を注水している環境のほうが流入する防食電流密度は小さかった。Fのようにモルタルの表面を常に海水の膜で覆っておくことは供試体Bのように乾燥、湿潤をくり返す条件よりも防食上望ましいと考えられる。供試体C, Dにおける塗料を塗装した供試体では塗膜厚の薄いDに防食電流はより多く

表-8 潮位変動による各環境ごとの防食電流密度 (mA/m²) 干満帯 (No. 11~17)

供試体 No.	潮位 期間	満潮 (始)			満潮 (終)		
		10日	32日	363日	10日	32日	363日
A		1751.7	1332.7	878.8	550.2	288.5	234.6
B		8.2	11.8	4.6	3.0	7.1	1.4
C		0	0	1.2	0	0	1.0
D		0	0	16.4	0	0	4.0
E		696.2	488.5	362.5	442.3	227.3	131.0
F		3.8	4.8	0.7	3.8	2.7	0.5

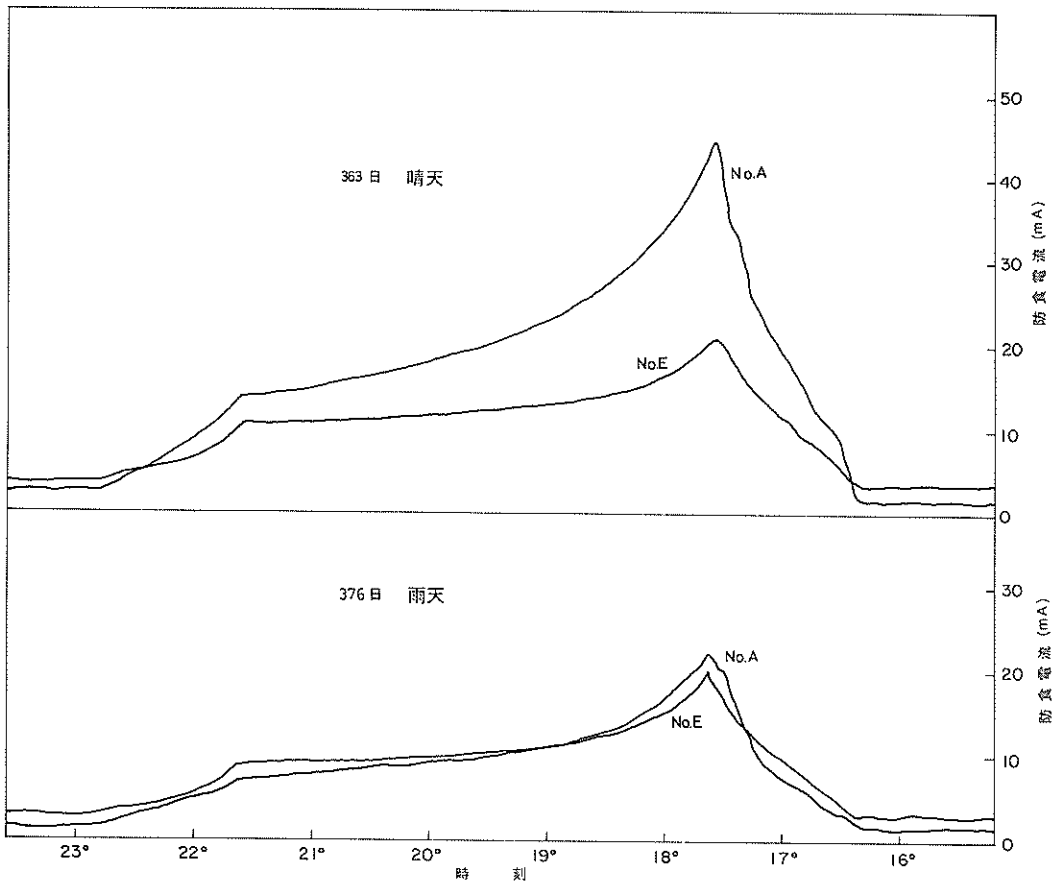


図-28 天候による全電流の流入変化 (供試体A, E)

流入し、363日にはBよりも大きくなっている。

4.2 潮位による防食電流の流入量の変化

図-7、図-8の供試体C、Dおよび図-10の供試体Fの全電流の経日変化を見ると280日程度まで満潮(始)よりむしろ干潮(終)のほうが若干電流量の大きい傾向を示した。また、図-29は供試体Cの海泥中～海水中における潮位変動による各試験片へ流入する電流の状況を示した図であるが、No.8、No.9の試験片は満潮時に比べ干潮時に防食電流が大きくなっている。この理由としては次のことが考えられる。干潮時には被覆をしていない試験片No.8やNo.9は水面付近に位置するため、これらの試験片は水面の波の動きやそれに伴い溶存酸素量の増大の影響をうけると考えられる。静止海水に比べ流動海水のほうが鋼材を防食するにはより多くの電流を必要とし、また溶存酸素の増大も防食電流を増加させるので干潮時には試験片No.8やNo.9への電流の流入は増加する。これに対して、満潮時には試験片No.8やNo.9は海水の中中部付近に位置することとなるので波の動きや溶存酸素量は干潮時に比べてこの位置では小さくなる。その上、満潮時における水面付近の試験片(No.16や17)は被覆材に覆われているために直接鋼材表面は波の影響等を受けないので干潮時より満潮時のほうが全電流は小さくなる。また、300日程度以降になると満潮のほうが大きくなる傾向が見られたが、このことは試験片No.8やNo.9の表面に石灰質被膜が形成され干潮時の電流が小さ

くなるからである。一方、干満帯にある試験片の塗膜の劣化に伴い満潮時に劣化した箇所への電流の流入が生じるためと考えられる。また、供試体Bについては逆に32日でも満潮時においてやや大きい傾向を示したが、この理由としては、塗料と異なりモルタル被覆自体、吸湿性があるため潮位の上昇とともに電流は干満帯の試験片へ流入したためと思われる。

以上のことは、この実験では干満帯が一定であるから干満帯が変動する実際の場合に適用するとき、干満帯をどの高さに対応させればよいかの問題や被覆材の種類にも問題があると思うが、被覆工を干満帯よりさらに下まで下げて施工することにより防食電流の低減効果がさらに期待できることを推察させる。

4.3 使用した被覆材の耐久性について

(1) ジンクリッチ塗料+タール・エポキシ塗料(供試体Cに使用)

試験片No.10～No.16(干満帯)にはコーナー部にふくれの劣化が見られた(図-26)。ふくれは下地からのふくれではなくいずれも下塗りに使用したジンクリッチ塗料とタール・エポキシ塗料との間で生じた。H. W. L. 直上になるNo.17の上半分より上部においてはふくれの劣化とともに錆の発生が認められ、特にNo.18～No.20で大きかった。塗膜の劣化の大きい所は裸の試験片でも腐食量は大きかった(図-25、供試体A)。

通常、塗料により鋼材を被覆した場合に、ふくれの劣

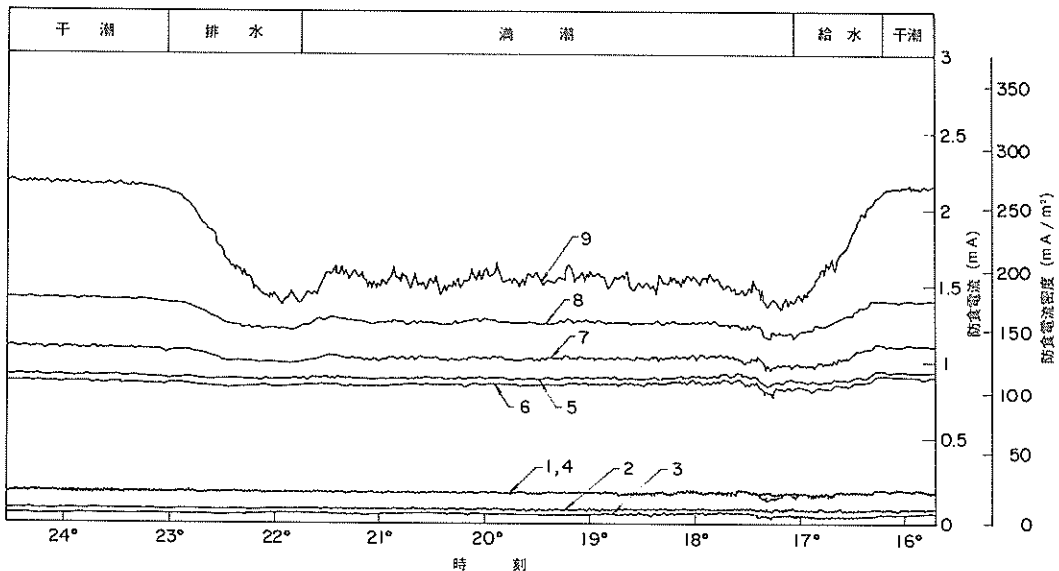


図-29 潮位変動による電流の流入変化(供試体C)

化が生じると早期にふくれの部分より錆が発生し始めるが、電気防食を行っている場合にはふくれの劣化が生じても、その部分からの錆の発生は容易に起こらなかった。このことは次の理由による。ふくれの部分に海水の浸透が起こるが、電気防食を行っている場合には、防食される試験片はカソード支配されるわけであるから、ふくれ等の劣化が生じた部分へ透過した海水中の溶存酸素の存在でカソード反応の生成物として水酸イオンが生成される。水酸イオンの存在で劣化の生じている部分はアルカリで覆われる。干潮状態になると干満帯に位置する試験片は空气中に暴露されて水分と酸素の影響で酸化作用を促されるが、満潮時に高アルカリになった水分がふくれの中に存在するため容易に酸化作用を示さない。そのために干満帯にある試験片 (No. 10 ~ No. 16) にふくれの劣化が生じて錆の発生は試験期間内では見られず、電気防食は塗膜の劣化から生じる錆の抑制効果を示した。しかしながら、塗装と電気防食を併用する場合には塗膜のカソード型劣化が問題となることがあるので、耐アルカリ性の良い塗料で被覆することが電気防食と併用するためには必要な条件となる。

(2) ジンクリッチ塗料 2 回塗り (供試体 D に使用)

塗装した試験片 (No. 10 ~ No. 22) のうち No. 19 を除いた他の試験片に錆の発生が見られた (図 - 27)。干満帯において錆の発生が見られる所では錆とともに満潮時に海水中の Ca^{++} や Mg^{++} が OH^- や CO_3^{--} と反応して石灰質の生成が見られたが防食効果を示すほどのものではなかった。

実験初期は塗料に含有されている Zn 粉末の防食効果があり、試験片 No. 10 では試験片に塗装された Zn 粉末の電位 (-1005 mV 程度、海水中 / 海水塩化銀電極) が電気防食の設定電位 (-900 mV) より卑なために試験片 No. 10 から電流を流出する傾向が見られた (図 - 16)。しかし、この傾向も数か月で終わってしまい塗料中の Zn 粉末の消耗とともに塗膜の成分はビヒクルが大半を占めるようになり、塗膜の薄い部分や Zn 粉末の残存の少ない所より劣化が起こり始めた。ここで使用した塗料の塗膜厚は 35 μ 程度と薄いために、供試体 C で使用した塗膜のように高アルカリ性を保つ水分等の存在がないため劣化の生じた部分より錆が発生した。この塗膜を評価すると被覆をしていない裸のものよりは電気防食を併用して使用するならば防食電流の低減効果等から見て実験範囲内では効果があったと思われるが、この程度の被覆を干満帯に施工するには塗膜自体の耐久性が良くないので塗膜本来の良い防食効果は期待できないと思われる。

(3) モルタル被覆 (供試体 B, F に使用)

モルタルの厚さを 5 cm として施工し、実験に供したが上部 (試験片 No. 22, 供試体 B) より試験片とモルタルの間で、はがれが生じ、はがれた部分に錆が生じた。その他の部分では劣化らしい劣化は見られず良い防食性を示したので、上部の施工方法をもう少しふうすれば十分防食性に耐えると思われる。実際に現場で使用する場合には耐久性のため厚さを厚くする必要がある。また、モルタルの上に補強カバー等を取り付けることは外部からの衝撃に対して有効であろう。

4.4 海水の注水効果について

図 - 28 に示すように 363 日の天候が晴の場合、E は A に対して満潮 (始) 時で約 $1/2$ と小さいが 376 日の天候が雨の場合には A と E の満潮 (始) における全電流は大差なかった。また、図 - 25 の腐食速度を比較した場合に海泥中、海水中では A, E とも大差ないが、干満帯では試験片 No. 12 ~ No. 15 まではやや E のほうが腐食速度は小さかった。その上、H. W. L. 直上の試験片 No. 18 ~ No. 19 においては E は A の約半分程度の腐食速度を示した。E の干満帯の試験片 No. 12 ~ No. 15, また、H. W. L. 上の No. 18, No. 19 の腐食速度が A より小さかった理由としては上部からの注水により干潮時においてもわずかながら電流の流入が認められたことと、海水の膜が常に試験片の表面に作られ酸素の浸入が A の条件に比べ少なかったためと思われる。

しかしながら、海水の膜を通して十分な防食電流が干満帯より上の試験片へ干潮時においても流入するのではないだろうかという期待のもとに実験を行ったが、干潮時にはごく微量の電流しか流入せず注水による干満帯より上の環境への防食はあまり効果がなかった。その上、電流の低減効果についても供試体 A の天候が雨の場合の低減程度しか期待することはできなかった。

5. 結論

本実験の結果から次のことが言える。

(1) 被覆材を干満帯から上部へ被覆することは防食電流の低減効果を期待できることが明らかとなった。

(2) 各環境における防食電流密度 (満潮, 始) の経日による低減量は以下のとおりである。

海泥中は $8 \text{ mA/m}^2 \sim 60 \text{ mA/m}^2$ 程度で経日による変化は見られない。

海水中では電防開始後 10 日で $169 \text{ mA/m}^2 \sim 240 \text{ mA/m}^2$, 363 日で $18 \text{ mA/m}^2 \sim 83 \text{ mA/m}^2$ であり、約 20% に低減した。

干満帯 (供試体 A) では 10 日で 1750 mA/m^2 程度、363 日で 880 mA/m^2 程度で約 50% に低減した。

(3) 各供試体の干満帯へ流入する防食電流密度(363日, 満潮, 始)は以下のとおりである。

供試体No.	mA/m ²	供試体No.	mA/m ²
A (裸)	878.8	D (塗料)	16.4
B (モルタル)	4.6	E (裸海水注水)	362.5
C (塗料)	1.2	F (モルタル海水注水)	0.7

干満帯を被覆した供試体(B, C, D, F)へ流入する防食電流密度は被覆しない供試体(A)の0.1~2%の範囲で極めて小さかった。

(4) 被覆材のない条件(供試体A, E)では干満帯(潮位一定)の腐食量は海水中より大きかった。

(5) 海水の注水による条件の場合(供試体E)防食電流は1/2程度に低減するが, 天候が雨天程度のとくと大差なく, あまり低減効果は期待できなかった。したがって, これにより防食電流の低減をはかることは実際的でなく, また, 防食効果も良くなかった。

(6) 被覆材として使用した塗料は1年程度で何らかの

劣化が生じ, 被覆工の耐久性に問題があった。

6. あとがき

本実験においては被覆工を干満帯より上部に施工することは防食電流の低減効果のあることがわかったが, 実際に現場等で適用する場合には被覆材の耐久性が問題となってくるので, 今後, 耐久性の研究が必要と思われる。

(1985年9月24日受付)

謝 辞

この実験を行うにあたり, 前構造部, 主任研究官善一章氏(現在, 中川防食K・K)には実験の計画面でご指導をいただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 善一章, 阿部正美: 集中腐食に対する電気防食の適用性, 港湾技術研究所報告, Vol. 22, No. 2, 1983, pp 379~423.

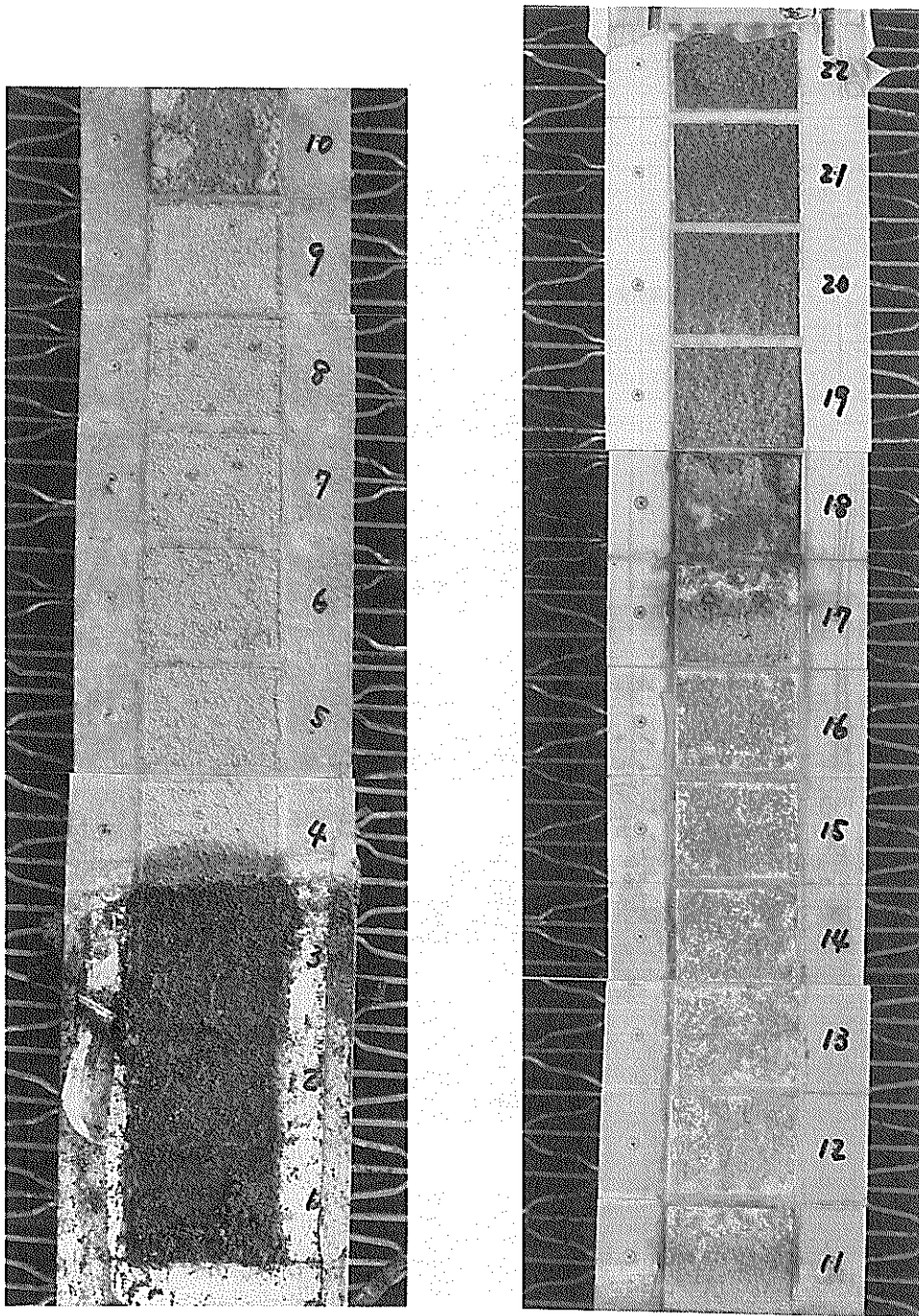


写真-1 回収時試験片の表面状況（供試体A）

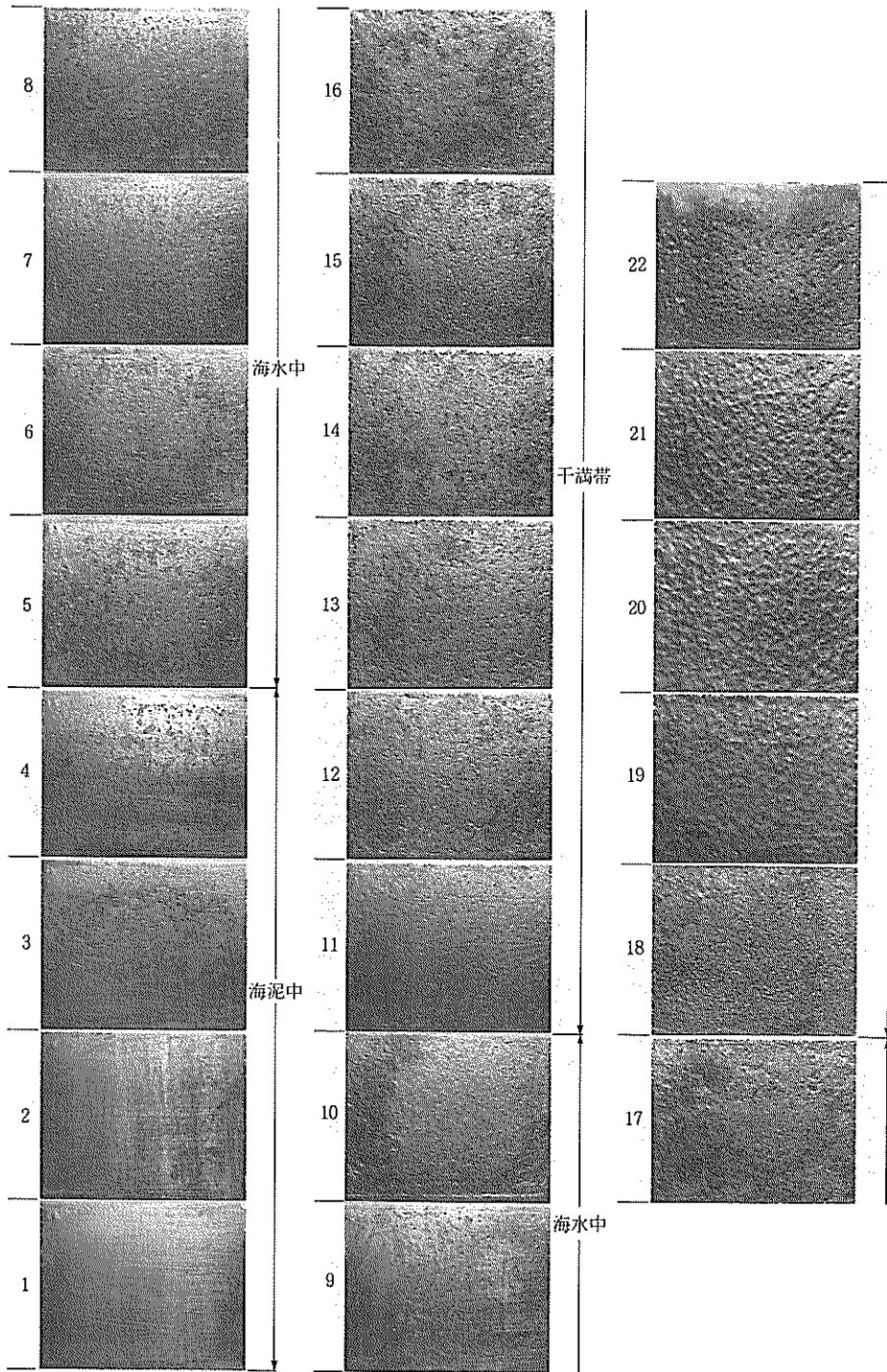
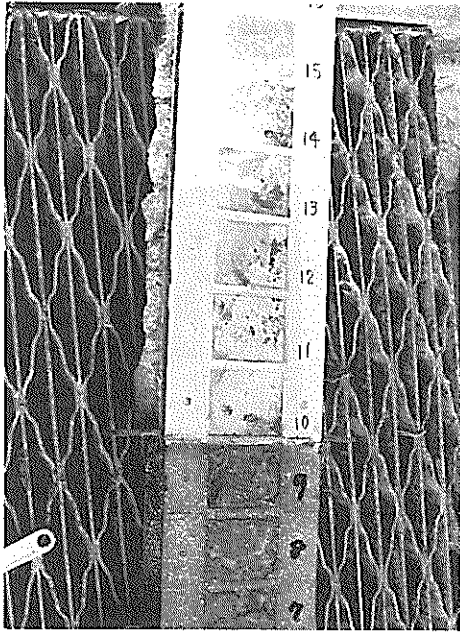
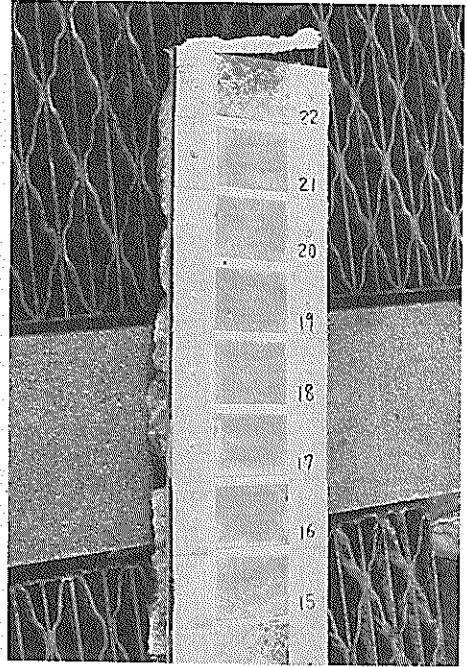


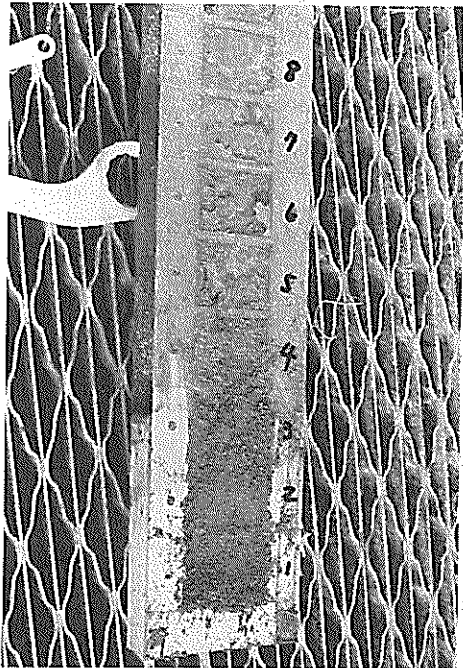
写真-2 脱錆後の表面状況（供試体A）



No. 7 ~ No. 16



No. 15 ~ No. 22



No. 1 ~ No. 9

写真-3 回収時試験片の表面状況（供試体B）

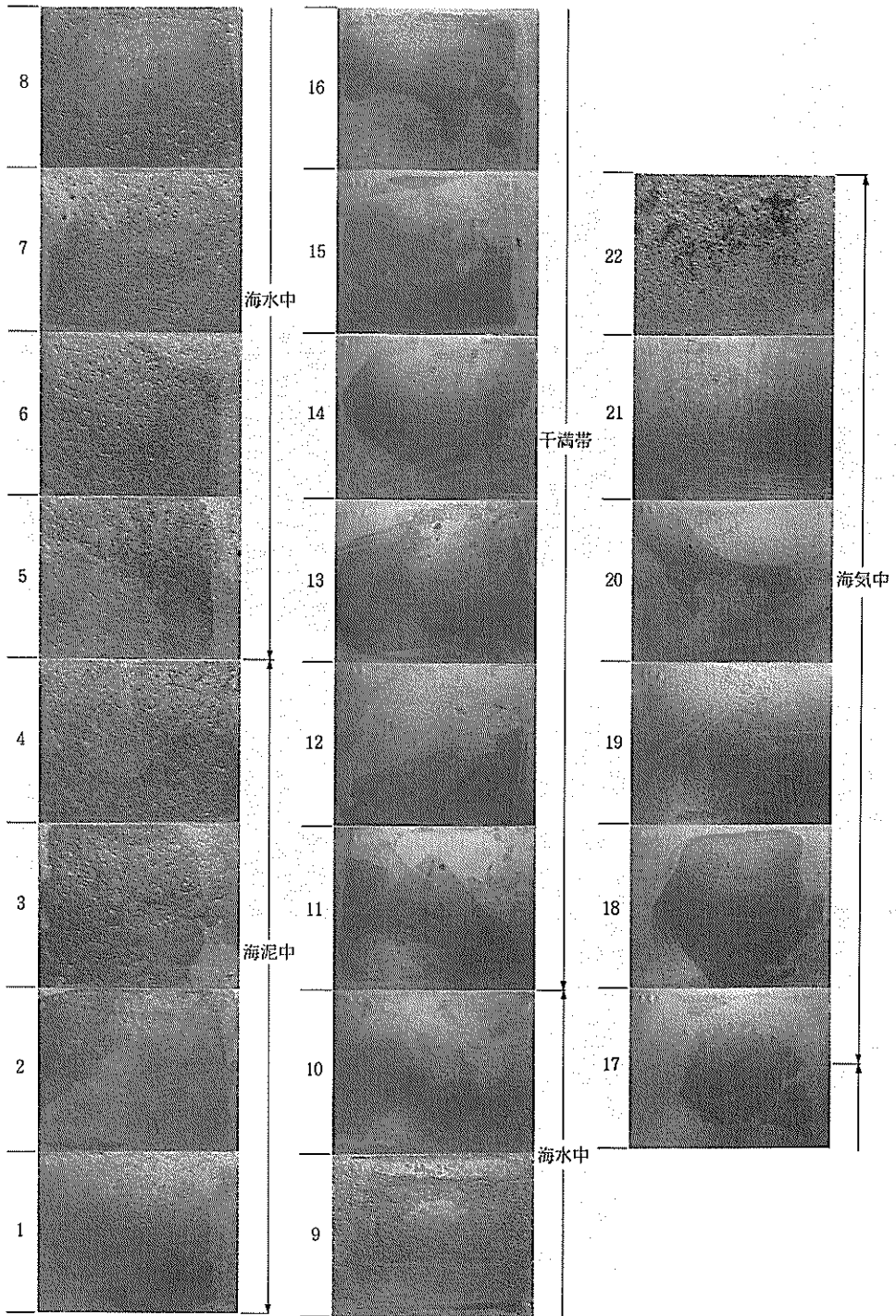
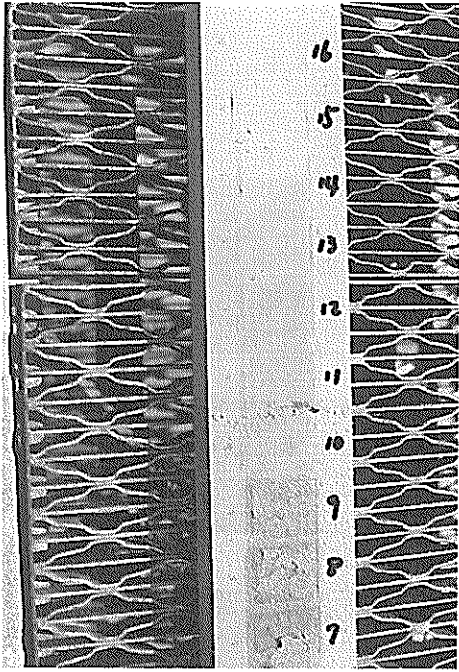
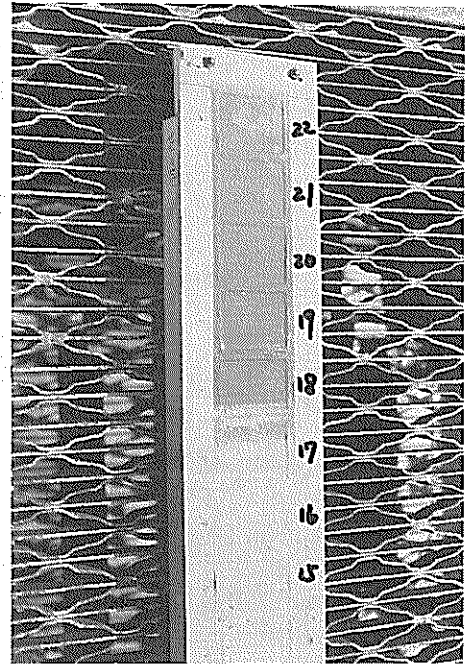


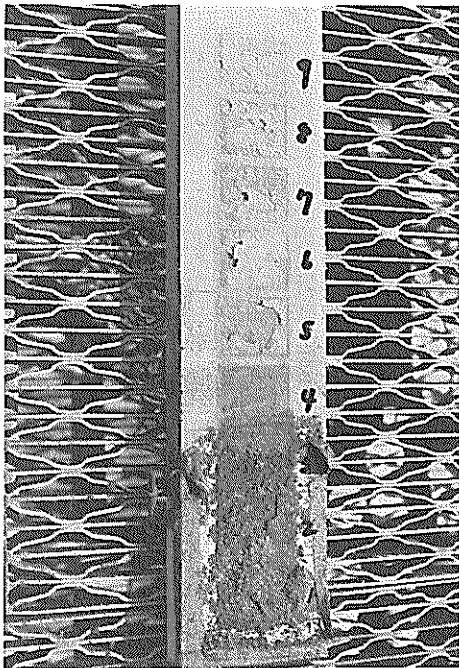
写真-4 脱錆後の表面状況（供試体B）



No. 8 ~ No. 15



No. 15 ~ No. 22



No. 1 ~ No. 8

写真-5 回収時試験片の表面状況（供試体C）

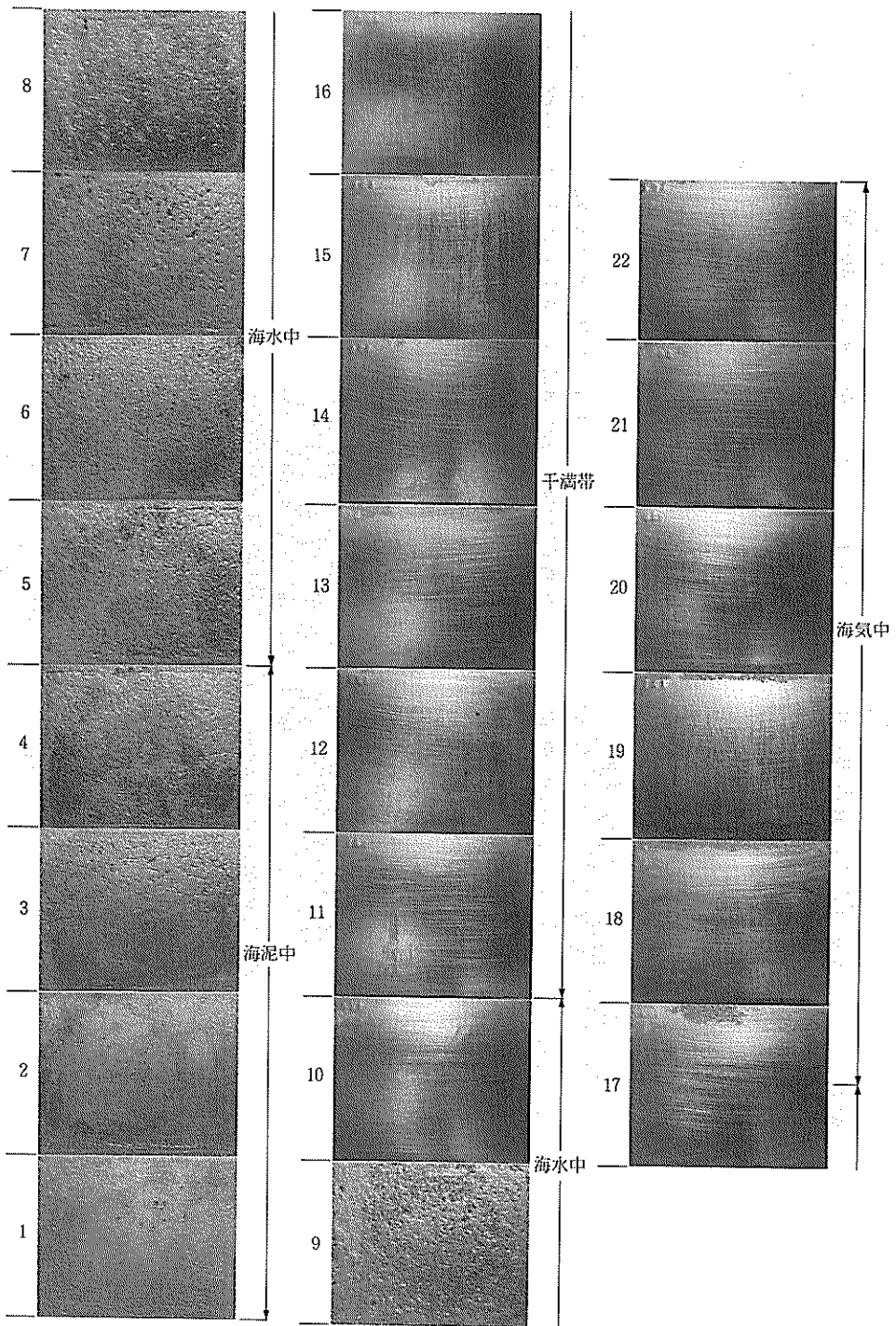
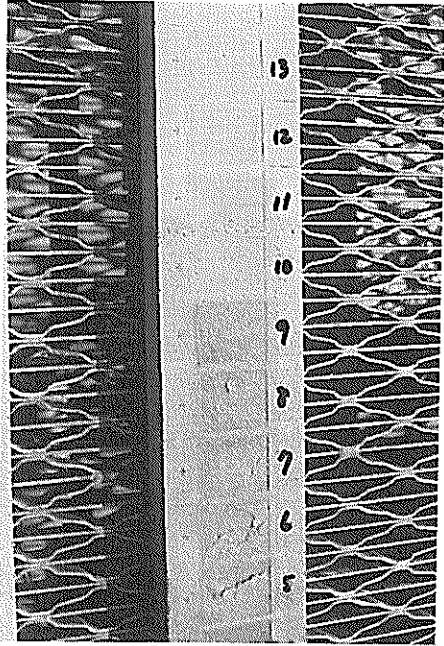
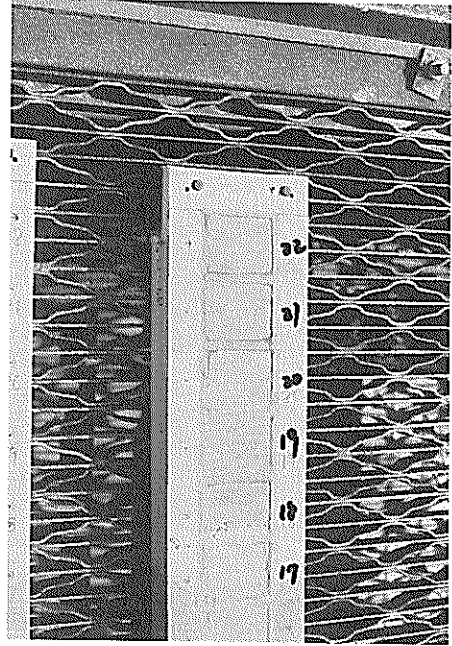


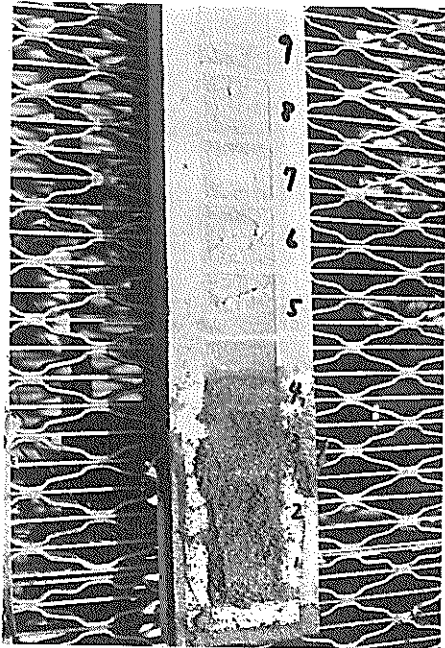
写真-6 脱錆後の表面状況（供試体C）



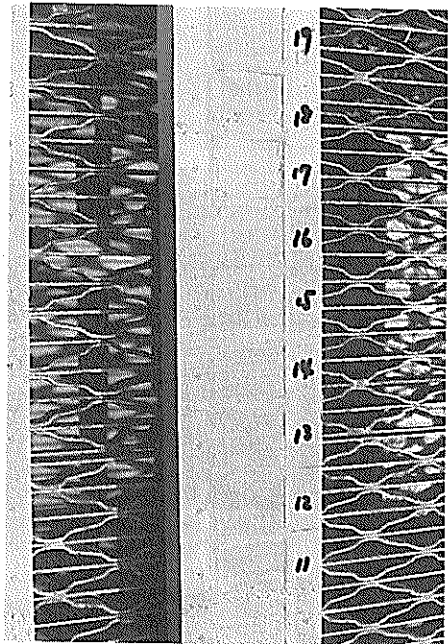
No. 5 ~ No. 13



No. 17 ~ No. 22



No. 1 ~ No. 9



No. 11 ~ No. 18

写真-7 回収時試験片の表面状況（供試体D）

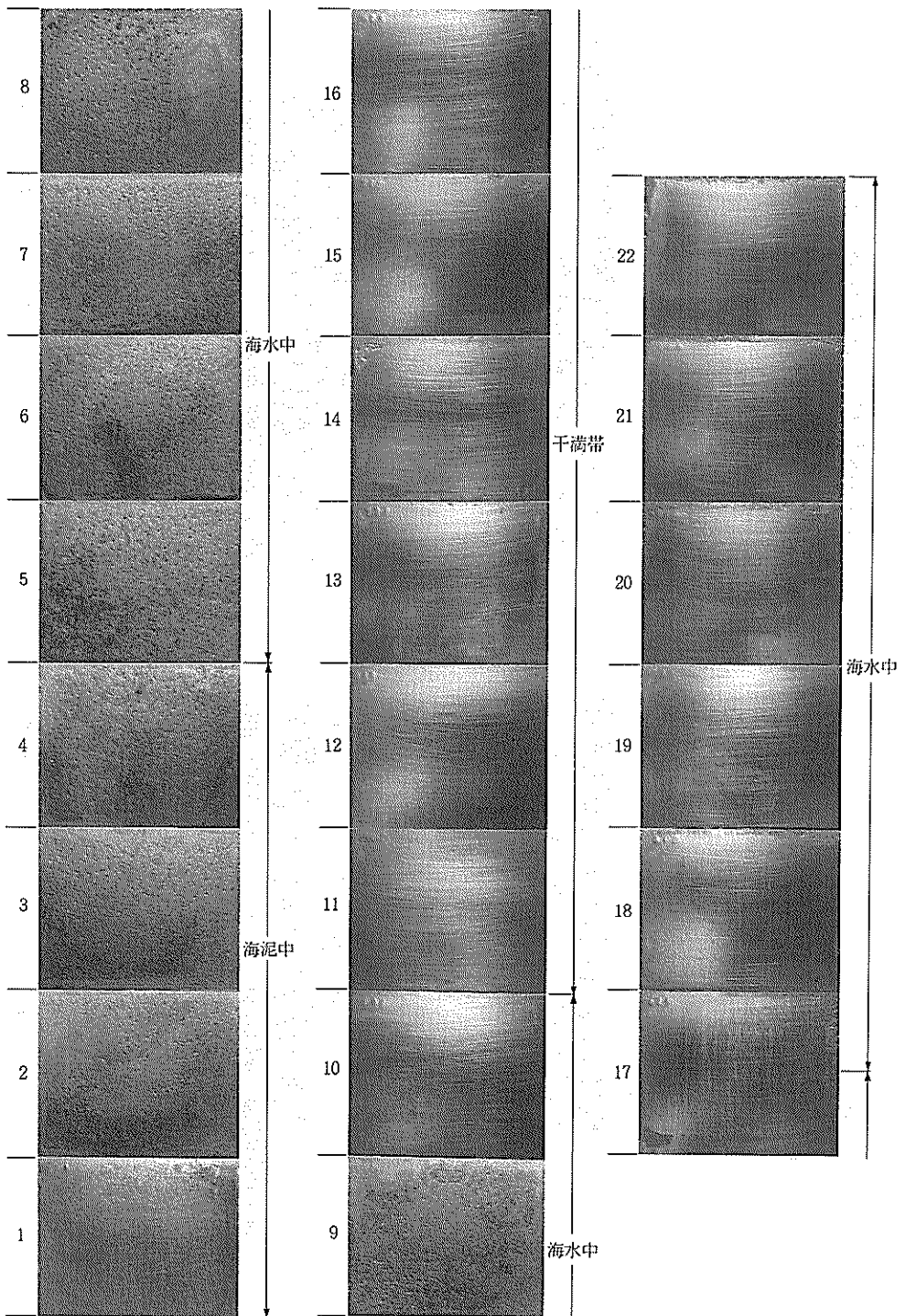
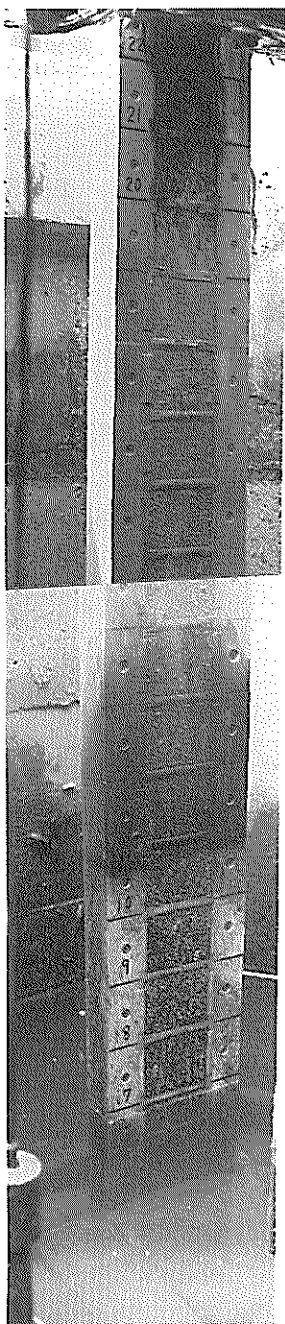


写真-8 脱錆後の表面状況（供試体D）



供試体 E



供試体 F

写真-9 回収時試験片の表面状況（供試体 E, F）

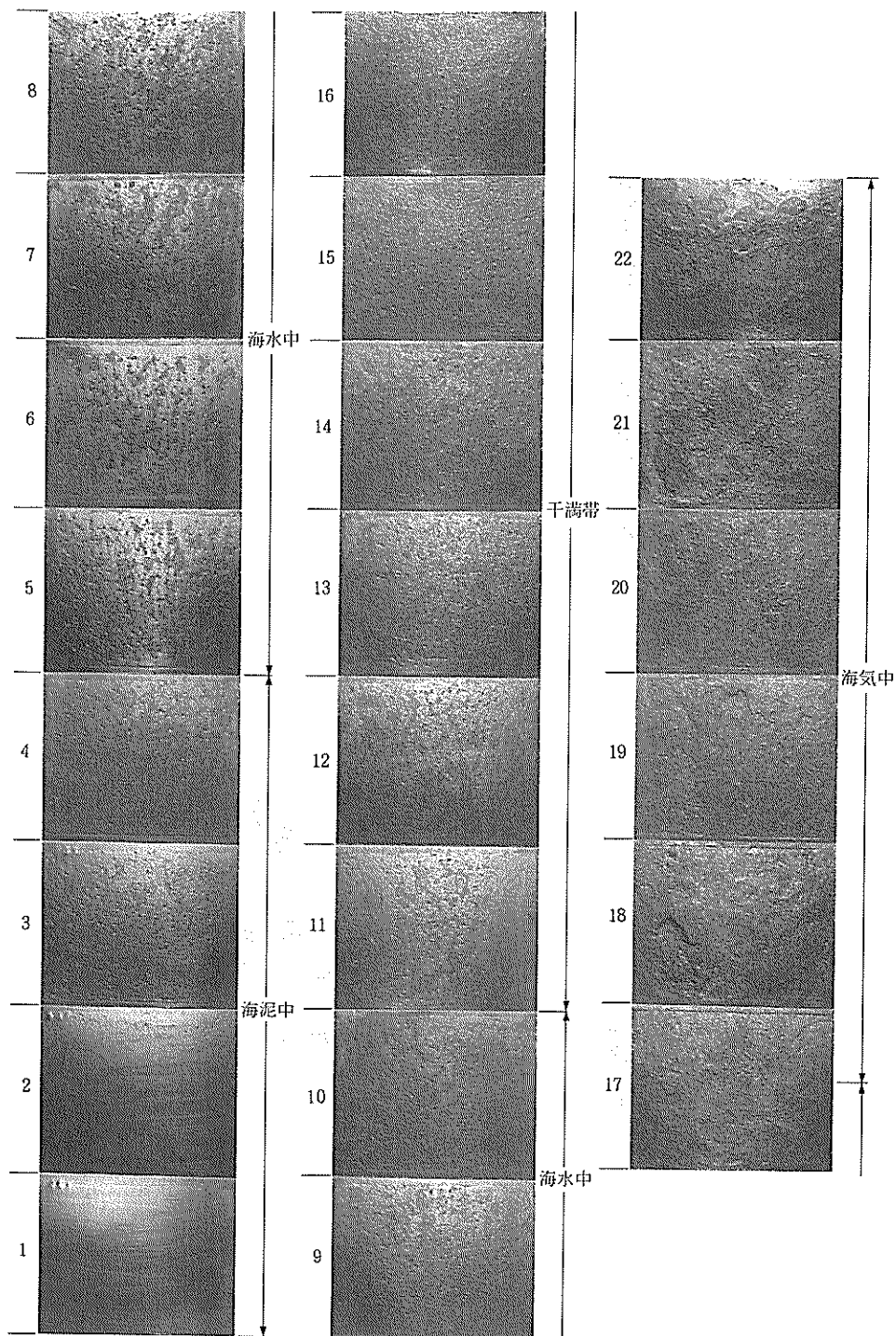


写真-10 脱錆後の表面状況 (供試体E)

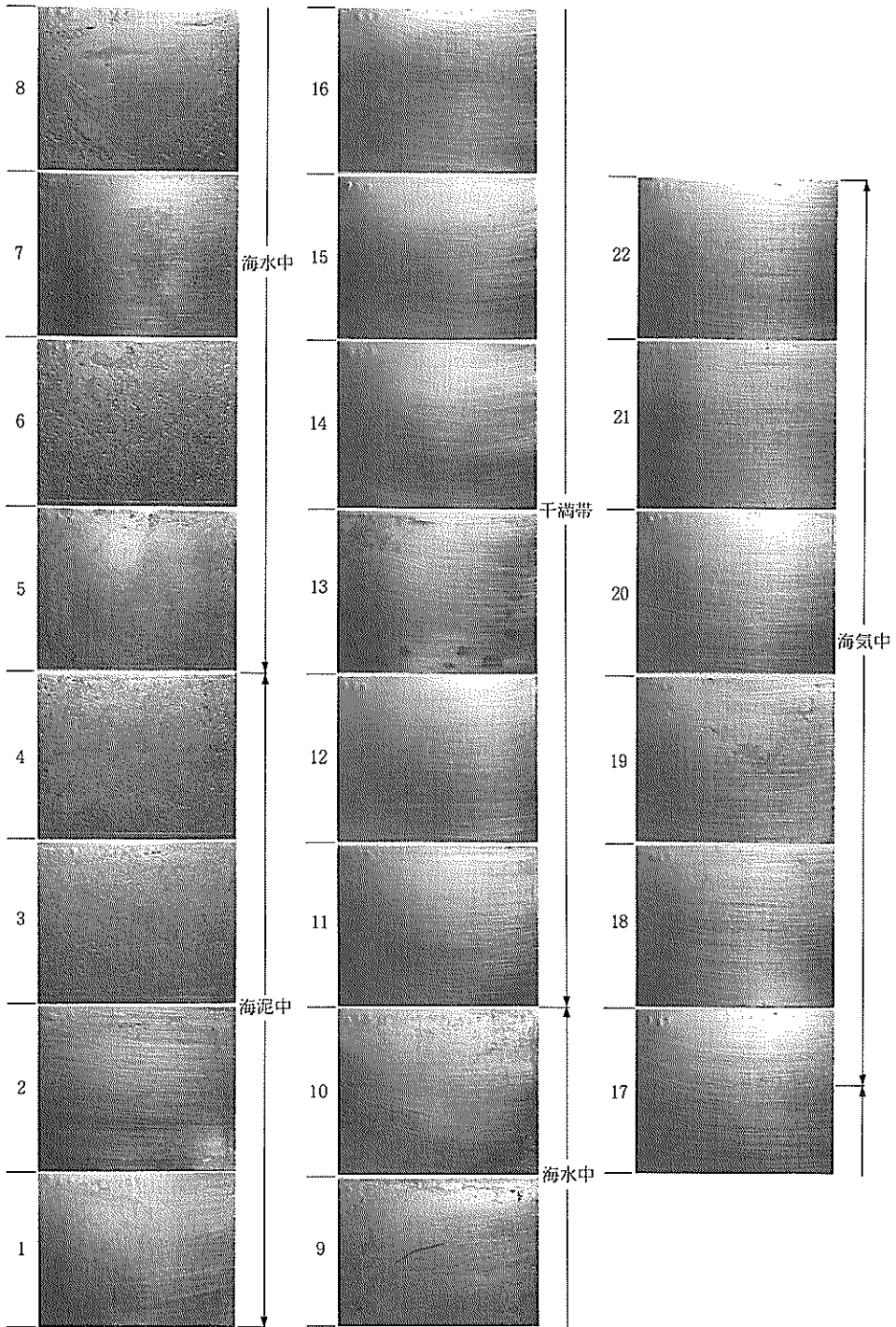


写真-11 脱錆後の表面状況（供試体F）

港 湾 技 研 資 料 No. 537

1 9 8 5 . 1 2

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.