

港湾技研資料

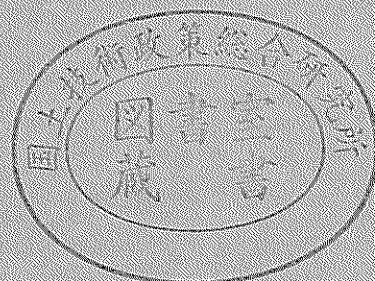
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 560 Sept. 1986

港湾鋼構造物におけるコンクリート被覆工直下の腐食について

横 井 聡 之
阿 部 正 美

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. コンクリート隣接部における鋼材の腐食	3
3. 腐食調査	5
3.1 概 要	5
3.2 調査構造物および調査方法	5
3.3 調査結果	5
3.4 収集資料の検討	7
3.5 実構造物における腐食の傾向	10
4. 水槽実験	12
4.1 概要	12
4.2 実験方法	12
4.3 実験結果	13
4.4 実験結果の考察	21
5. 考 察	22
6. 結 論	24
7. あとがき	24
参考文献	24
付 図	25
写 真	28

Corrosion at the Part of Steel Structure Just Below Concrete Lining in Marine Environments

Toshiyuki YOKOI*

Masami ABE**

Synopsis

Many of the steel structures in marine environments have concrete linings which cover steel members of the tidal zone to protect the members from corrosion. However, little has been known on the rate of corrosion just below the lining and the conditions to cause those corrosions. It is important to have clear knowledge on these subjects. The authors carried out field investigations of port structures and outdoor experiments using a sea water pool.

The following results were obtained:

- (1) Among 70 structures investigated, 12 structures exhibited extensive corrosions at the steel part just below the concrete lining or coping. Except one case, the structures exhibiting extensive corrosions were exposed to rivers or located close to river mouths.
- (2) Rate of the above mentioned extensive corrosions ranged from 0.2 to 0.5 mm/y, mostly from 0.2 to 0.3 mm/y.
- (3) The experiments using the sea water pool showed that the macro-cell was scarcely produced at the boundary between the steel part covered by the concrete lining and the part just below the lining.

*Director, Structures Division

**Member of Materials Laboratory, Structures Division

港湾鋼構造物におけるコンクリート 被覆工直下の腐食について

横井 聡之*
阿部 正美**

要 旨

港湾鋼構造物におけるコンクリート被覆工直下の腐食については、その実態はほとんど把握されていなかった。このため、実構造物の腐食調査および海水を使用した水槽実験を行った。

おもな結果は次のとおりである。

- (1) 70例の腐食調査結果のうち12例がコンクリート被覆工直下の腐食が著しかった。そのうち1例を除いて他は河川に面しているか河川が流れこんでくるところにある構造物であった。
- (2) コンクリート被覆工直下の腐食が著しい事例における被覆工直下の腐食速度は0.2～0.5 mm/yに分布し、このうち0.2～0.3 mm/yが多かった。
- (3) 水槽実験においては、モルタル被覆工直下と被覆工内部との間にマクロセルはほとんど生じなかった。

1. まえがき

鋼管杭棧橋や鋼矢板岸壁などのような港湾鋼構造物において、最も問題となる鋼材腐食の形態は、平均干潮面直下からL.W.L.付近が集中的に腐食する、いわゆる集中腐食である。集中腐食が生じた場合、その腐食速度は海中部の一般的な腐食速度の数倍から極端な場合は10倍程度に達することもある。腐食による被害の事例はほとんどがこの集中腐食によるものである。集中腐食が最も問題であることはすでに広く認識され、設計および管理において留意されるようになった。

しかし、無防食の鋼構造物にとっては集中腐食のみが問題なのではなくて、その他の腐食形態にも注意しなければならない。

その一つにコンクリート（またはモルタル）の上部工または被覆工の下端直下（以下、コンクリート被覆工直下という）における鋼管杭等の鋼材の腐食が指摘されている^{1), 2)}。この腐食形態は建築物の基礎コンクリートに引き込まれている埋設管に多く見られる。しかし、港湾構造物においては実態はまだよく把握されていない。このような腐食が港湾構造物においても生じるならば、既設構造物の管理において留意しなければならないとともに、防食設計において次のことが問題となる。すなわ

ち、集中腐食を避けるために、集中腐食が発生するおそれがあるL.W.L.付近より上部をコンクリートまたはモルタルでライニングしても、ライニング部の直下部が腐食するならば、集中腐食は防げても別の形態の腐食をひきおこすことになり、そのようなライニングのみで防食することは適切な防食法ではないことになる。したがって、コンクリート被覆工直下の鋼材の腐食は重要な問題である。以上の背景から、この腐食形態についての実態の把握と腐食発生の有無の確認のため、実構造物に対する腐食調査と水槽実験を行った。

2. コンクリート隣接部における鋼材の腐食

コンクリート被覆工直下の鋼材の腐食と同様の現象は、建築物のコンクリート基礎に引き込まれている埋設管の腐食にみられ（図-1参照）、被害の例も少なくないこともあり、地中埋設管の腐食の一形態として知られている³⁾。

この腐食の原理については、コンクリート中はpHが12程度のアルカリ性であり、その中に埋め込まれた鋼材の電位は-200 mV程度であるのに対し、土壌中の部分の鋼材の電位はこれより300 mV程度卑であるため、その電位差によりコンクリート中の鋼材がカソード、土壌側の鋼材がアノードとなるマクロセルが形成され、ア

* 構造部長

** 構造部 材料施工研究室

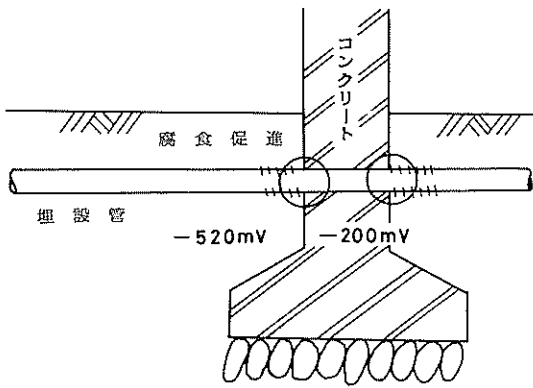


図-1 コンクリート隣接部の埋設管の腐食¹⁰⁾

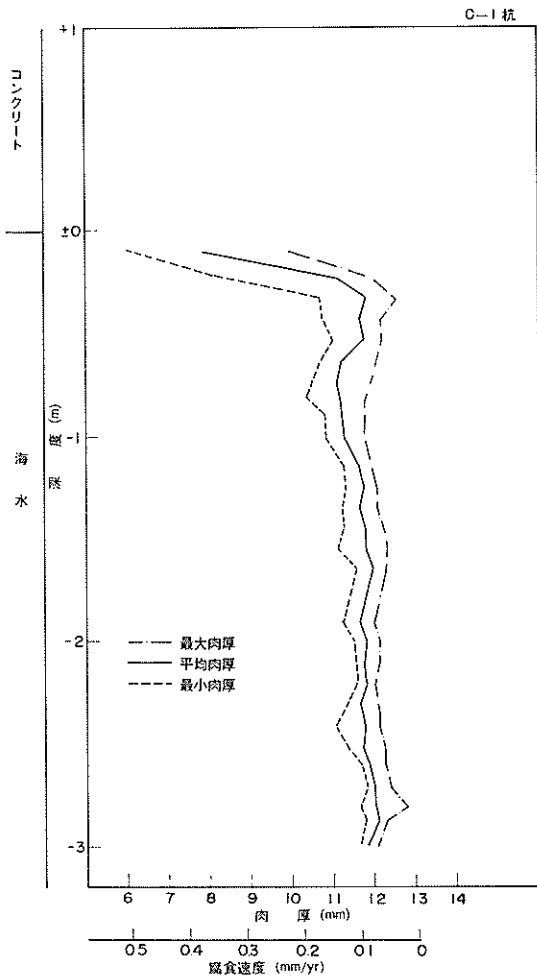


図-2 鋼管杭の腐食傾向 (東京港品川埠頭棧橋)¹⁰⁾

ノード部すなわちコンクリートに隣接する土壤中の鋼材が腐食するとされている。

コンクリート建築物に引き込まれている埋設管の腐食の事例はいくつか報告されている^{4)~7)}。腐食速度は最も著しい場合 2 mm/y に達することもある。そして早いもので 2 年、多くの場合は 10 年前後で孔食 (径が数~10 数 mm)、貫通にいたるといわれている⁸⁾。また、地中埋設管の腐食のうち最も激しい腐食を起こすものは、迷走電流の作用によるもので、その次がコンクリート建築物等に引き込まれている埋設管の腐食といわれている⁹⁾。

港湾構造物や海洋構造物では、この腐食の事例として報告されているものはほとんどない。図-2 はこの腐食の事例とみることができるといえるもので、±0 m までコンクリート被覆された棧橋鋼管杭 (図-3) の肉厚測定結果である¹⁰⁾。

港湾構造物においては、コンクリートまたはモルタルで被覆している範囲が比較的高くて干満帯部分の鋼材が露出している場合には、腐食調査結果では集中腐食や乾湿の繰り返しの影響の方が卓越している。したがって、コンクリート被覆工直下の腐食が問題となるのは、主として被覆工下端が L. W. L. 付近か、それより深い場合と考えられる。従来コンクリート被覆工の下端の深度は施工上の問題もあり比較的高く、L.W.L. 付近まで被覆されている構造物は少ない。このこともコンクリート被覆工直下の腐食事例の報告が少ない理由のひとつかもしれない。ともかく実態はほとんど把握されていなかった。

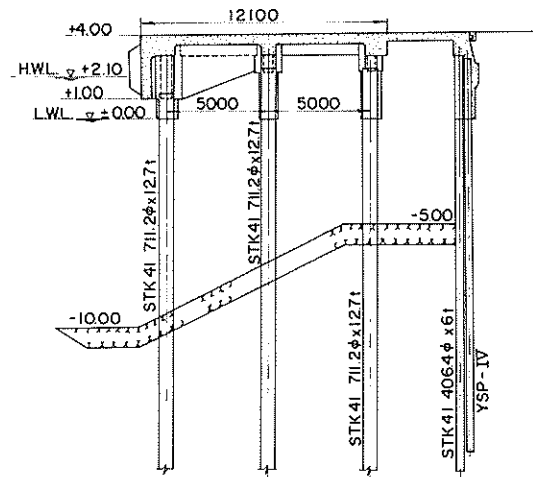


図-3 東京港品川埠頭棧橋断面図¹⁰⁾

3. 腐食調査

3.1 概要

前述のように、港湾構造物におけるコンクリート被覆工直下における鋼材の腐食の実態は、この問題が強く指摘されていないに加えて、コンクリート被覆工の下端深度の深いものがあまりなかったこともあり、ほとんど把握されていないかった。

このため、コンクリート被覆工下端の深度が低い構造物5例について腐食調査を行った。本節では3.2および3.3にその調査について述べる。また、5例の調査では全体的な状況を把握するには不十分であるから、これに該当するような構造物の腐食調査の資料を収集して検討した。それを3.4に述べる。3.5でこれらの腐食調査の結果をまとめる。

3.2 調査構造物および調査方法

(1) 調査構造物

調査対象構造物は表-1に示す5構造物であり、それぞれの構造断面図を巻末の付図-1～付図-5に示す。5例とも鋼管杭棧橋で、鋼管杭は腐食しろで設計されている。コンクリート被覆工下端の深度は±0 mおよび-0.5 mである。海側の杭を調査対象とし、金沢港6本、今治港1本、その他は2本の杭を調査した。金沢港の多い理由は後に述べる。

(2) 肉厚測定

鋼管杭の肉厚は、超音波深傷式厚み計で測定した。測定箇所は鉛直方向にはコンクリート被覆工下端より1 mの間は20 cm ピッチ、それ以降は1～2 mとし、水平断面内は海側、陸側および両側面の円周を四等分する4点である。

(3) 写真撮影

コンクリート被覆工直下付近の鋼管杭表面の付着物および腐食の状態を観察記録するため、付着物の除去前後に水中カメラで鋼管杭表面を写真撮影した。

(4) 水質試験

干潮時および満潮時に、水面より0.5 m下の深度と

海低面より0.5 m上の深度において採水し水質試験を行った。分析項目はpH、塩素イオン濃度、比抵抗、溶存酸素濃度、COD、アンモニウムイオン濃度で、分析の方法は腐食防食協会8・1分科会の汚染海域用標準水質分析法によった。

3.3 調査結果

(1) 肉厚測定結果

各構造物の調査した杭ごとの肉厚減量および腐食速度の分布を図-4から図-16に示す。ここに、肉厚減量お

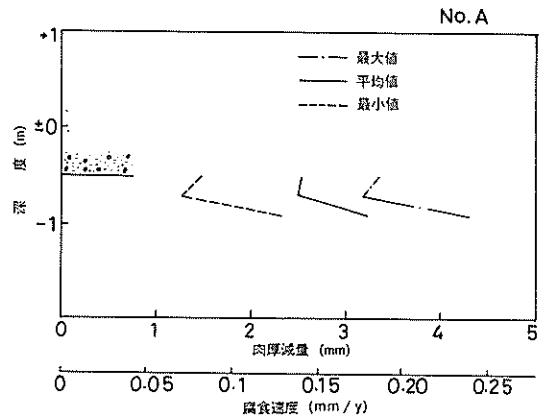


図-4 金沢港における腐食傾向(1)

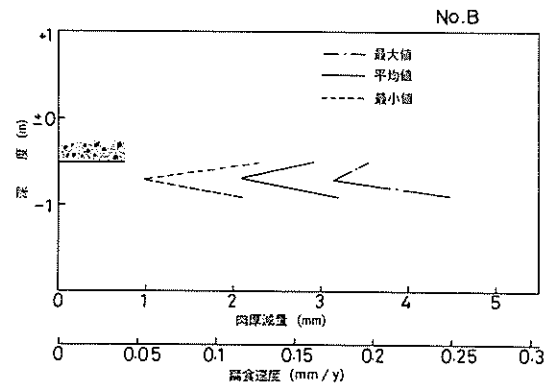


図-5 金沢港における腐食傾向(2)

表-1 腐食調査構造物

港名	施設名	構造形式	鋼材形状	水深 (m)	コンクリート下端 (m)	建設年
金沢港	木材埠頭-2 m 場 物揚	直杭棧橋	φ 508.1 / 9.5	-2.0	-0.5	S. 43
川崎港	千鳥町 A 号 物揚	直杭棧橋	φ 600.1 / 14.0	-4.5	-0.5	S. 52
今治港	蔵敷地区-9 m 壁 岸	直杭棧橋	φ 711.2 / 16.0	9.0	±0.0	S. 51
高知港	弘化台 2 号棧橋	直杭棧橋	φ 609.6 / 9.5	-4.0	±0.0	S. 43
細島港	白浜地区-6 m 壁 岸	直杭棧橋	φ 711.2 / 9.5	-6.0	±0.0	S. 46

よび腐食速度は次式より求めた。

$$\text{肉厚減量 (mm)} = \text{カタログ肉厚} - \text{肉厚測定値}$$

$$\text{腐食速度 (mm/y)} = \frac{\text{肉厚減量}}{\text{構造物建設後経過年数}}$$

金沢港の調査杭 6 本 (図-4 ~ 図-9) は連続して隣

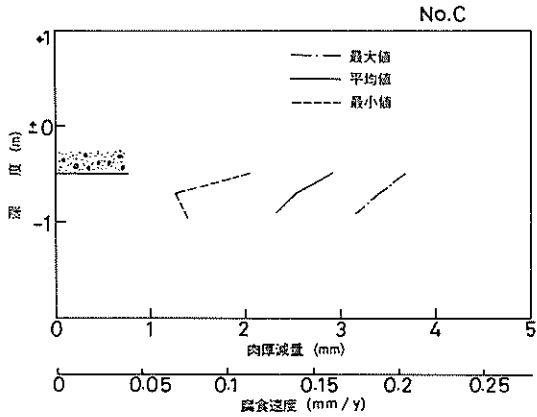


図-6 金沢港における腐食傾向(3)

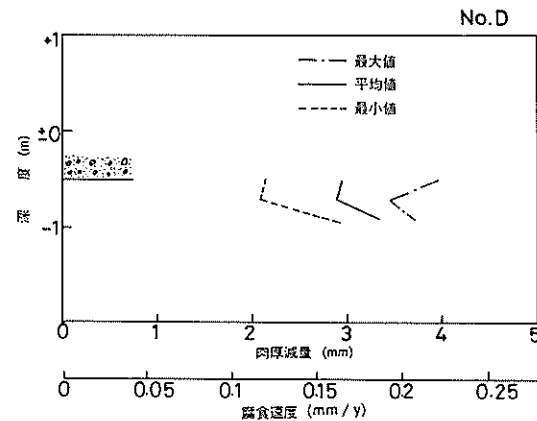


図-7 金沢港における腐食傾向(4)

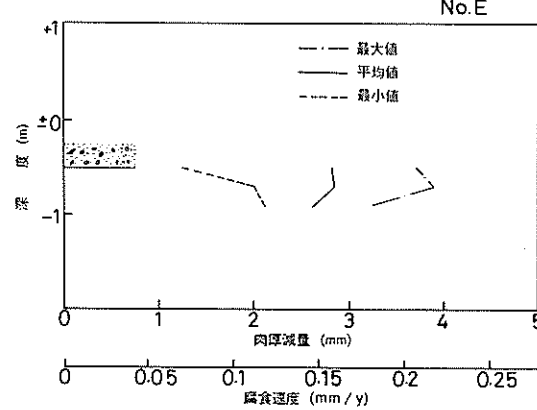


図-8 金沢港における腐食傾向(5)

接しているが、腐食速度は他の港におけるよりも全体的に大きく、平均的には 0.15 mm/y 程度となっている。また水平断面内および鉛直方向ともばらつきが大きい。図-9 においては被覆工下端における腐食速度が平均約 0.2 mm/y で被覆工直下において腐食量が大きい。図-6 では被覆工直下の腐食が下部より大きい傾向はあるが、平均の腐食速度は 0.15 mm/y 程度である。図-4 および

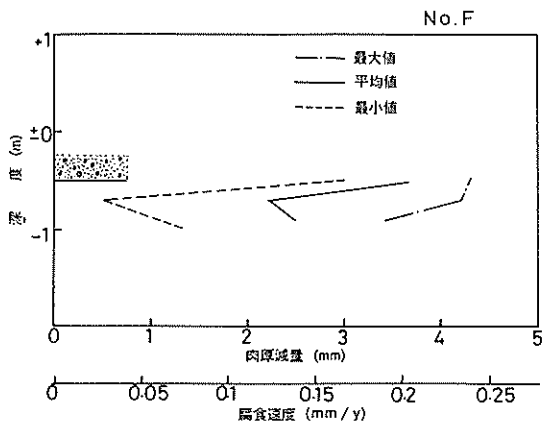


図-9 金沢港における腐食傾向(6)

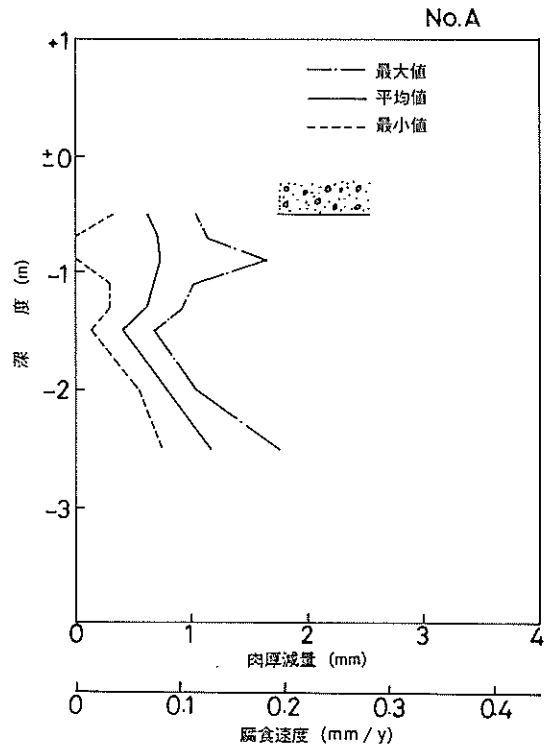


図-10 川崎港における腐食傾向(1)

図-5では海底面近くの腐食量が大きくなっている。なお、金沢港においては、肉厚のばらつきが大きいためおよび被覆工直下の腐食量の大きいものがあったため6本の杭を測定した。

金沢港以外の4港については、コンクリート被覆工直下の腐食が著しい傾向はみられず、海水中ではそれぞれほぼ一定の腐食速度を示している。

(2) 鋼管杭表面の状態

コンクリート被覆工直下付近の鋼管杭表面の状態を知るため、付着物を除去して写真撮影を行った。その結果川崎港および細島港においては深さ2~3mm程度の孔食がみられた。(巻末の写真-1~写真-2参照)孔食部は超音波厚み計では測定できないため、肉厚測定は行っていない。細島港においては被覆工直下のみでなく-4mまで肉厚測定点周辺の付着物を除去して写真撮影した。孔食は下部にも一部あったが、被覆工下端(±0m)付近から-0.8m付近までの間に多かった。他の3港については1mm程度の凹凸がみられた。

(3) 水質試験結果

各港で行った水質試験結果を表-2に示す。いずれの港でも表層と底層、および干潮と満潮とあまり差はなかった。金沢港では塩素イオン濃度が極端に小さく、比抵

抗が大きい、これは調査構造物が河川に面しているためである。その他の港湾においては川崎港のアンモニウムイオンが高いことを除いて通常の海水の値であった。

3.4 収集資料の検討

上記の腐食調査においては、5例の構造物のうち1例の構造物においてコンクリート被覆工直下の腐食が大きい杭および若干その傾向がみられる杭があった。しかしわずか5例の調査結果からはコンクリート被覆工直下の腐食事例の多少を判断できないので、当研究所および他機関で実施した既調査結果も収集した。被覆工下端の深度が平均干潮面付近より高い場合には集中腐食や乾湿の繰り返しによる腐食の進行の方が卓越すると考えられるので、被覆工下端が低い場合を対象とし、本州から北海道にかけての日本海側については被覆工下端深度が±0m以下、その他の地域は+0.5m以下について調べた。もちろん電防は行っていない構造物である。27港65施設の調査結果を収集した。構造物の存在位置は図-17に示すように偏在しており潮差の少ない本州、北海道の日

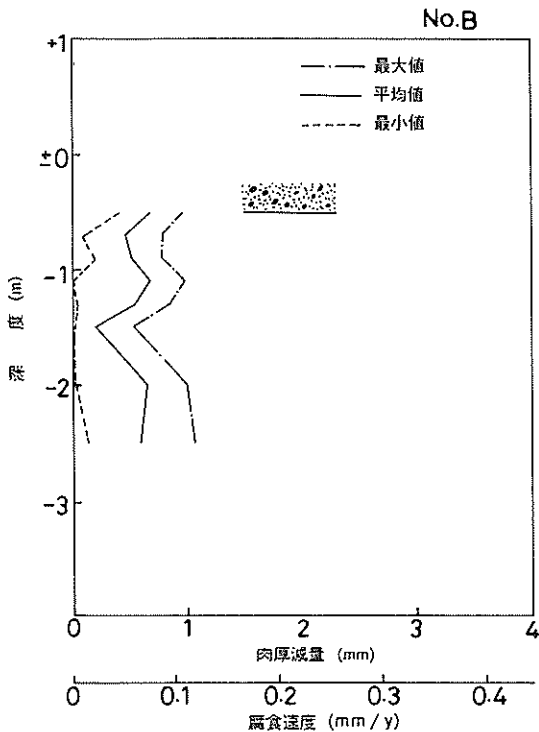


図-11 川崎港における腐食傾向(2)

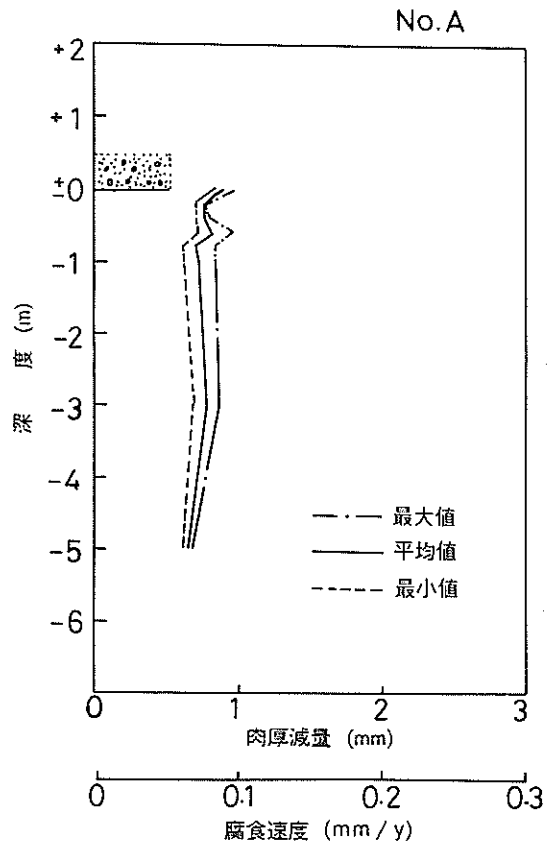


図-12 今治港における腐食傾向

表-2 水質試験結果

港名	干満	pH	塩素イオン (ppm)	比抵抗 (Ω -cm)	溶存酸素 (ppm)	COD (ppm)	アンモニウムイオン (ppm)
金沢港	干潮	7.0~7.1	51~37	3720~3110	9.1~8.5	5.0~6.4	0.11~0.05
	満潮	7.2~7.2	54~66	3860~4850	9.3~9.4	7.6~5.2	0.1~0.05
川崎港	干潮	7.8~7.7	18,000~18,200	22.8~22.9	6.7~6.2	2.1~1.1	0.51~0.45
	満潮	7.8~7.8	18,500~18,400	22.7~22.9	6.7~6.9	0.9~1.4	0.33~1.1
今治港	干潮	8.1~8.1	19,000~18,900	22.3~22.1	8.1~7.8	1.1~1.6	0.01>
	満潮	8.1~8.1	19,200~19,200	22.2~22.2	8.0~8.2	0.6~1.8	0.01>
高知港	干潮	7.8~8.1	14,700~18,100	27.5~23.0	6.6~6.9	1.3~1.3	0.27~0.07
	満潮	8.0~8.1	16,800~18;500	24.5~22.5	7.1~7.1	1.8~4.4	0.12~0.05
細島港	干潮	8.2~8.2	20,100~20,100	21.4~21.4	7.1~7.0	0.7~0.9	0.02~0.02
	満潮	8.2~8.2	20,200~20,000	21.4~21.4	7.0~7.0	0.5~0.6	0.02~0.02

表層~底層

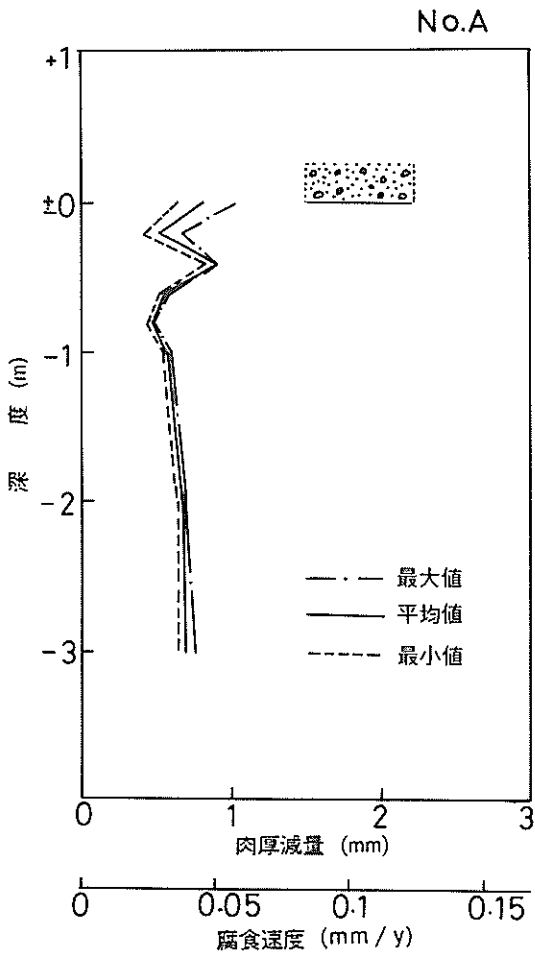


図-13 高知港における腐食傾向(1)

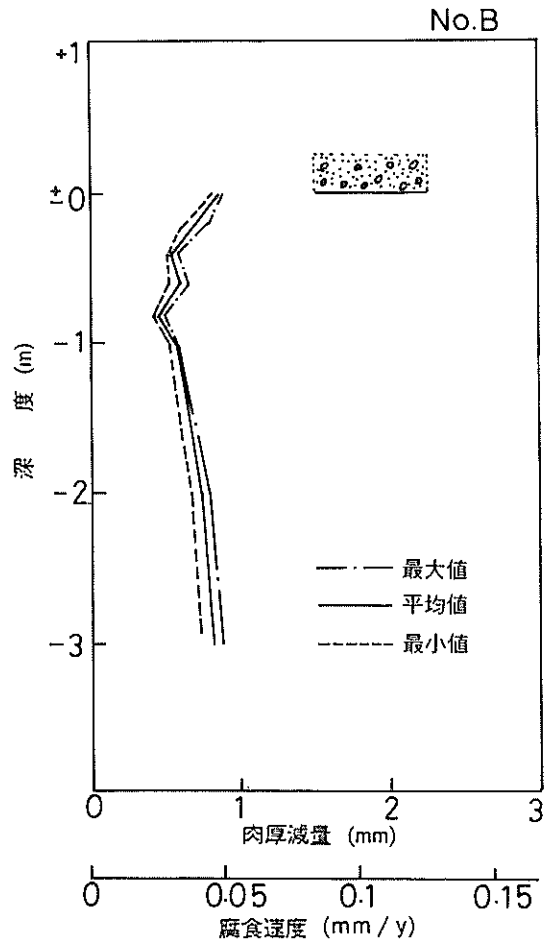


図-14 高知港における腐食傾向(2)

本海側に13港39例ある。逆に太平洋岸は比較的少ない。潮差による施工の難易からこのような傾向がでたと考えられる。なお、図-2の調査結果もこの中に入っている。

ここで収集した腐食調査結果はコンクリート被覆工直下の腐食を対象として行っていないので、被覆工直下の測定点が疎であるが、調査結果をみると、図-2の例のほかにもコンクリート被覆工直下の腐食が著しいものが10例あった。その中でも5例が特に著しかった。その代表的な例を図-18および図-19に示す。残りの5例はこれらほどではないが図-20および図-21に例を示すようにコンクリート被覆工直下の腐食速度が0.2 mm/y程度で水深が深くなるにつれて小さくなる傾向の

ものであった。なお、被覆工直下付近はそれより下方と比べて腐食量のばらつきが大きく、観察記録によると孔食が多い傾向があった。

上記の被覆工直下の腐食が著しい11例については被覆工直下の腐食速度は0.2～0.5 mm/yの範囲にあり、このうち8例が0.2～0.3 mm/y程度であった。

また、11例のうち図-2に示す1例を除いて他はすべて河川に面しているか河川水の流入しているところにある構造物である。調査資料のある河口港および河川水の流入している港湾は6港で27施設であるから、それらのうち半数近くが被覆工直下の腐食速度が大きい傾向にあることになる。

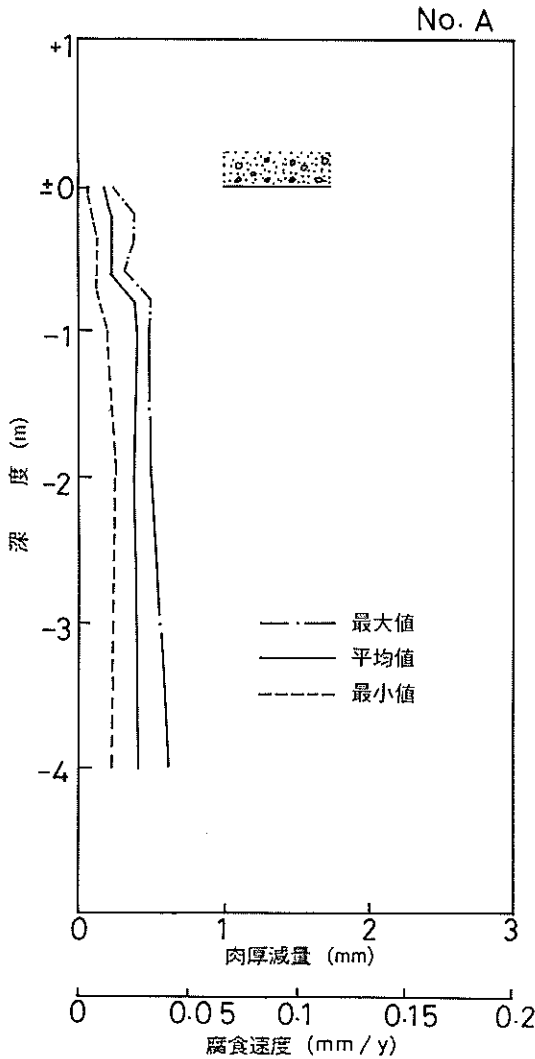


図-15 細島港における腐食傾向(1)

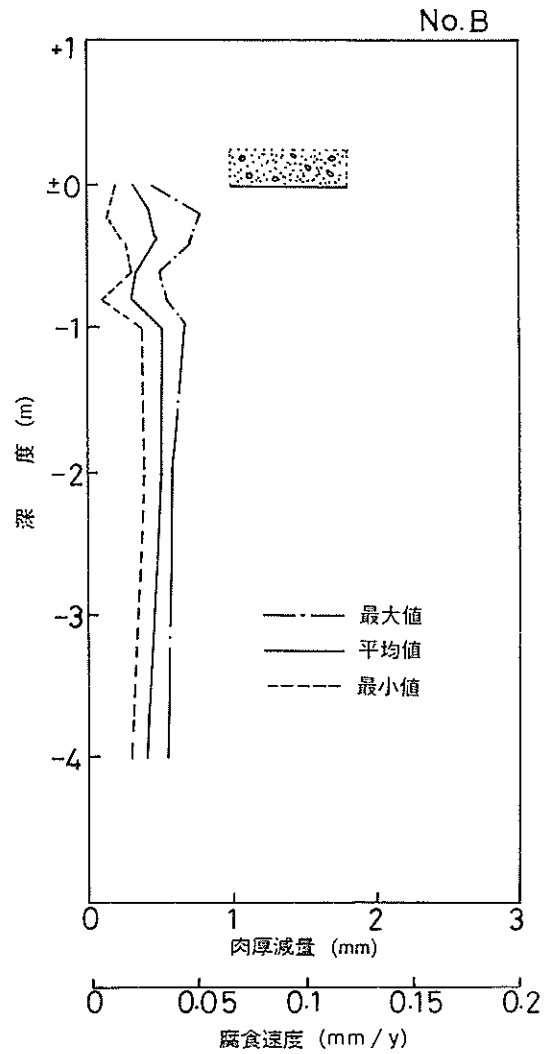


図-16 細島港における腐食傾向(2)

図-2の例を除く10例はすべて矢板であった。ただしこれらの港湾の調査資料はすべて矢板のものであり、したがって矢板の方が鋼管杭に比べてコンクリート被覆に直下が腐食しやすいことにはならない。

矢板の腐食傾向としては、集中腐食ではほとんどの場合海側に凸の矢板の方が腐食するが、ここでは図-18～図-21にみられるように両矢板ともほぼ同じように腐食していた。

3.5 実構造物における腐食の傾向

前述のように、腐食調査および既調査資料から、コンクリート被覆工直下の腐食の著しい事例のあることがわかった。腐食の著しいものは、腐食調査5例中の1例、既調査資料65例中の11例で、合わせて70例中12例であった。

この12例のうち1例(図-2)を除いて他はすべて

河川に面しているか河川水の流入しているところにある構造物であった。そして同様の立地条件にある調査構造物が該当した。これより、河川水が存在する場合にはコンクリート被覆工直下の腐食が著しくなる可能性が高いといえる。ただし、腐食調査からは、腐食の機構が2で述べたようなコンクリート被覆工内外にまたがるマクロセルによるものかどうかはわからない。

次に、被覆工直下の腐食が著しい場合、その腐食速度は0.2～0.5 mm/yの範囲で、なかでも0.2～0.3 mm/yが多かった。集中腐食の場合より若干小さいようであるがまだデータ数が不足している。

矢板においては、凸凹の両矢板がほぼ同じように腐食する傾向があったが、これもデータ数が少ないので確定的なことはいえない。

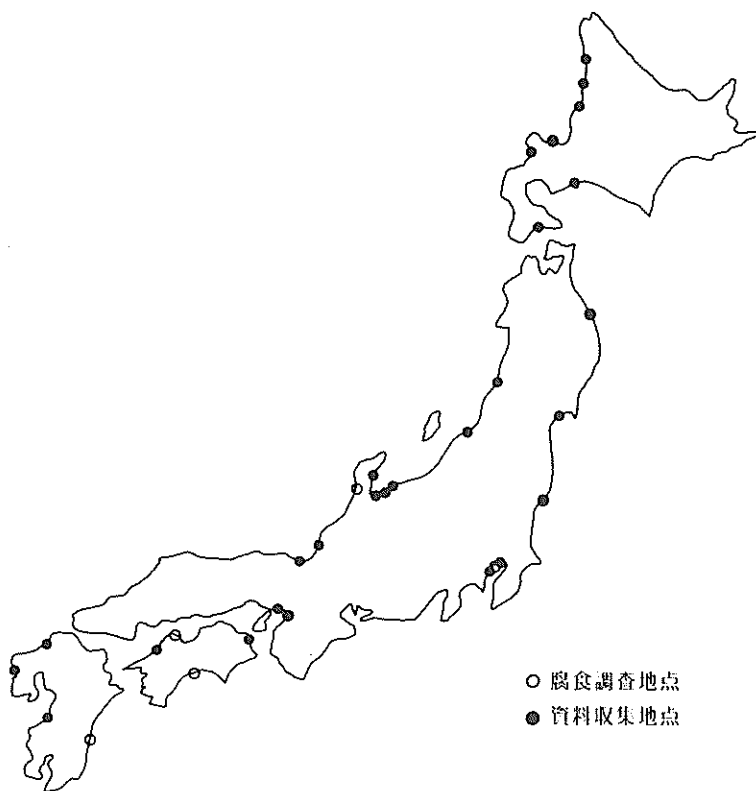


図-17 腐食調査港の位置図

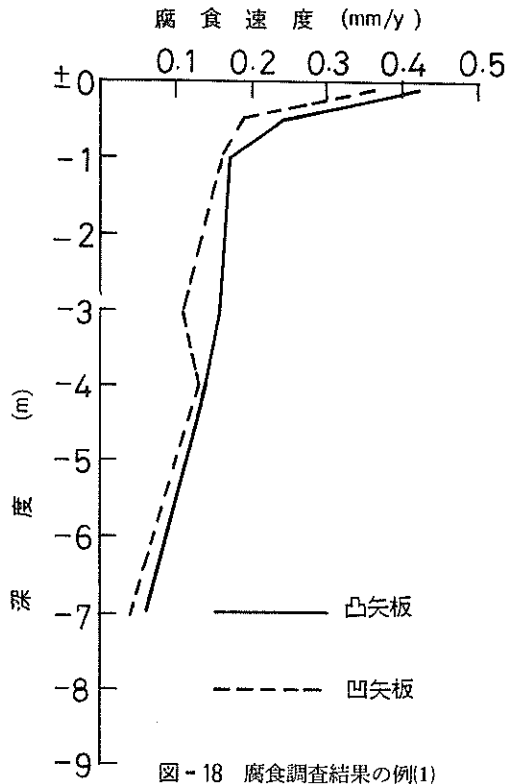


図-18 腐食調査結果の例(1)

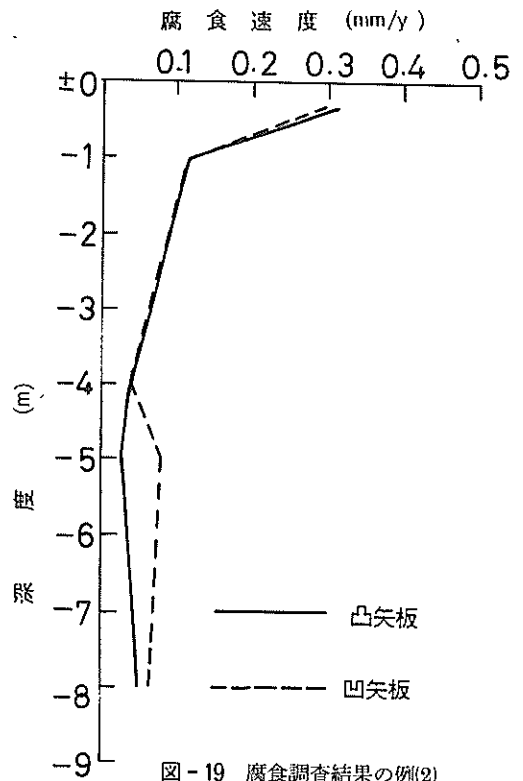


図-19 腐食調査結果の例(2)

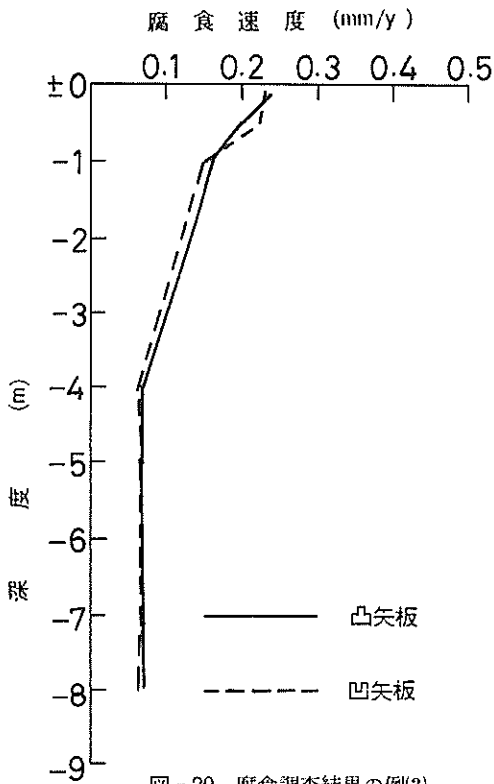


図-20 腐食調査結果の例(3)

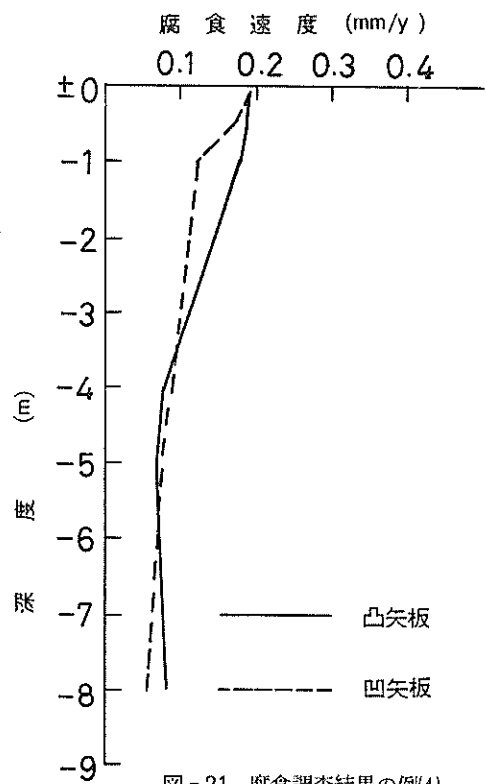


図-21 腐食調査結果の例(4)

4. 水槽実験

4.1 概要

腐食調査からは実構造物の腐食の実態は把握できるがどのような腐食電池が形成されるかはわからない。このため水槽実験を行った。自然海水を導入し潮位を変動できる実験水槽内に、モルタル被覆の範囲をかえた供試体を設置し、供試体の各部に流出入する電流量、腐食量等を測定した。実験の要領は参考文献(11)、および(12)と同じである。なお、水槽実験は約1ケ年行った。

4.2 実験方法

(1) 実験水槽および潮位変動

実験水槽は、寸法が横2 m、縦4 m、深さ2 mのもので、当研究所構内で海岸護岸から約5 mの位置にあり、屋根等の覆いはない。水槽には付風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。潮位変動の波形は図-22に示すようなもので、干潮6時間、満潮4時間、給排水にそれぞれ約1時間のサイクルである。すなわち一潮せき(汐)が12時間になるようにした。また潮位の変動幅は55.5 cmの一定であった。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ような状態にして実験を行った。

(2) 供試体

実験に使用した供試体は図-23に示すようにA～Dの4本である。供試体Aは被覆を施していない。供試体B、C、Dはそれぞれ図に示すように範囲を変えてモルタルで被覆した。1本の供試体は21個の試験片よりなる。試験片は鋼管を用いた。寸法は図-24に示すよう

タルで被覆した。1本の供試体は21個の試験片よりなる。試験片は鋼管を用いた。寸法は図-24に示すよう

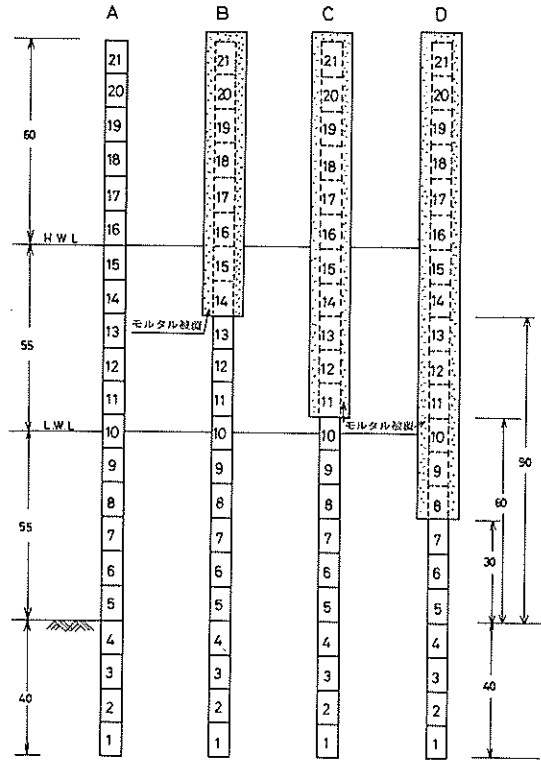


図-23 供試体の設置状況図 (単位: cm)

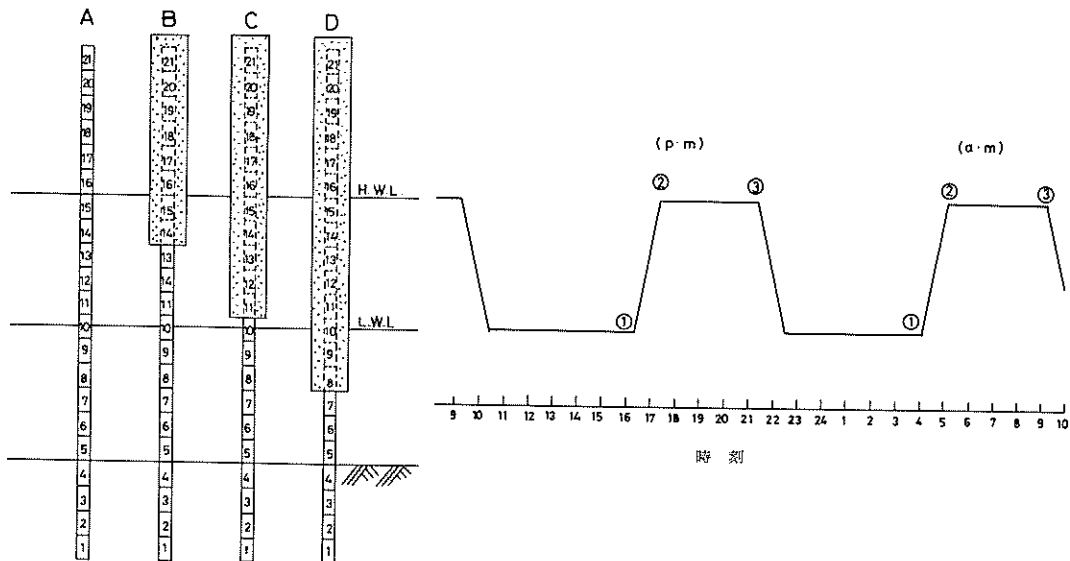


図-22 水槽実験における潮位変動周期と供試体の配置

に長さ 100 mm、外径 60.5 mm、肉厚 2 mm である。試験片の表面をサンドペーパーで研磨後、トリクロルエチレン溶液で脱脂し、各試験片の初期重量を測定した。重量測定後、各試験片の内面に測定用電線を接続し、これを図-24 に示すように試験片の内部に挿入した直径 32 mm、厚さ 3.1 mm の塩ビ製パイプの中を配線し測定端子に接続した。試験片内部はアルルダイトを充てんして、21 個の試験片を連ねて一本の杭状の供試体とした。各試験片は上下の試験片と接触していないが、測定端子において短絡した。供試体 B、C、および D については、それぞれ試験片 No. 14、No. 11 および No. 8 以上をモルタルで被覆した。すなわち、供試体 B は干満帯の中間以上、C はほぼ干満帯以上、D は海中部の上部まで被覆した。モルタルは 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 388 g）に準拠して作り、モルタルの被覆厚さは 3 cm とした。2 週間養生の後、実験水槽に設置した。

図-22 に示すように試験片 No. 1～No. 4 は海底土中、No. 5～No. 10 の下半分が海中部、No. 10 の上半分～No. 15 が干満帯、No. 16～No. 21 が大気中に位置する。

(3) 測定項目および測定方法

a) 電流測定

各試験片に流入、流出する電流量を電圧降下法（1 Ω

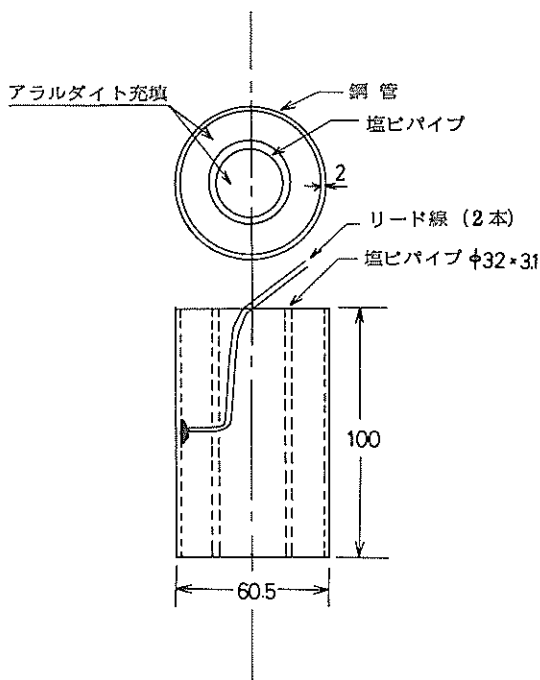


図-24 試験片の形状寸法（単位：mm）

の抵抗を挿入)により測定した。測定には自動平衡型記録計を使用した。

b) 電位測定

潮位変動にともなう各供試体ごとの供試体全体の電位をデジタル式電位差計を用いて測定した。また、実験終了後、水槽内において H.W.L. の潮位に保って、各試験片を開路状態にして開路電位を測定した。測定には高抵抗電位差計を用いた。

c) 抵抗測定

実験終了後、上記の電位測定と同じ状態で、各試験片の抵抗を、表面積 200 cm² のステンレス板を対極として L.C.R. メーターにより測定した。

d) 腐食量の測定

実験終了後、各試験片を脱錆して重量を測定し、初期重量との差として重量減量を求め、次式から腐食速度を算出した。

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

ΔW : 重量減量 (gf)

A : 表面積 (cm²)

d : 単位体積重量 (gf/cm³)

t : 腐食期間 (y)

e) 観察

供試体回収後、各試験片の表面状況を脱錆前後に観察し写真撮影した。

4.3 実験結果

(1) 流出全電流の経日変化

実験は 387 日間続けた。その間の電流量の変化の傾向をみるため、各供試体における流出全電流の経日変化を、最も電流量の大きい午後の満潮初期について図-25 に示す。電流は試験片により流出するものと流入するものがあるが、図-25 に示す流出全電流とは、午後の満潮始めにおいて電流が流出しているすべての試験片の電流量を合計した値である。

干満帯の全部または一部を被覆していない供試体 A および B は、干満帯全部が被覆されている C および D よりも電流量が大きく、日々の変動も大きい。流出全電流量が大きい理由は、後に示すように海中部上部から流出して干満帯に流入する電流量が大きいためである。また、日々の変動が大きいことは主として天候の影響であり、雨天では小さく晴天では大きい傾向がある。実験期間中を通しての傾向としては、供試体 A では減少する傾向はみられないが、B では実験後半の 270 日前後から減少している。供試体 C および D では電流量が小さく変動も少ないが、実験開始後から徐々に減少し、C は 270 日前後、

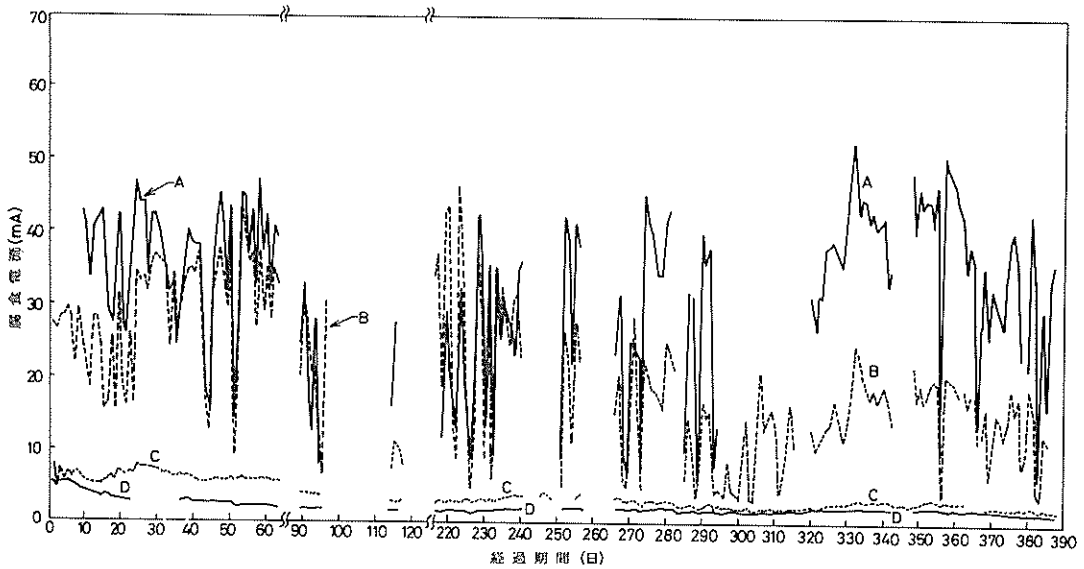


図-25 流出全電流の経日変化 (満潮始, P.M.)

Dは90日前後からほぼ一定している。

(2) 各試験片へ流入, 流出する電流量

各供試体ごとのおのおのの試験片へ流入, 流出する電流量を図-26～図-29に示す。図において干潮(終), 満潮(始), 満潮(終)は図-22の①, ②, ③を示す。また電流の-は流出, +は流入を表す。なお, 図-26～図-29には図-25に対応して午後の値を示した。

供試体A(図-26)では実験経過期間による電流量および流入, 流出の状況の変化はほとんどない。満潮時には干満帯下部, 海中部, 海底土中の試験片から流出し, 干満帯中, 上部へ流入している。電流量は満潮(始)で大きく, 海中部からの流出量は $20 \sim 25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (= $200 \sim 250 \text{ mA}/\text{m}^2$)程度, 腐食速度に換算して $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}/\text{y}$ である。そして干満帯中, 上部へ流入する電流量は $40 \sim 100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ とかなり大きくなっている。満潮(終)には $1/2 \sim 1/3$ 程度に減少している。このように満潮時には干満帯下部以下をアノードとし, 干満帯中, 上部をカソードとするマクロセルが形成されている。干潮時には電流量は少なくなり, 海中部から流出して海底土中に流入している。

供試体B(図-27)では, 実験後半では電流量は初期より若干減少している。電流の流入, 流出のパターンは供試体Aと類似しているが, 海中部で流出し, 干満帯は下部も含めほぼ全域に流入している。試験片No. 14以上のモルタル被覆部にも流入しているが, その電流量は非常に小さい。また, 供試体Aと比べて電流量は小さ

く, 経過期間91日以降では海中部からの流出量は満潮(始)で $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度とAの約 $1/2$ になっている。なお, 満潮(終)の海底土中は実験当初は流出したが後半では流入している。

供試体C(図-28)では, 実験期間の経過にしたがって電流量は徐々に減少している。潮位による変動は, ほとんどない。電流の流出は海中部で生じ, モルタル被覆中(試験片No. 11以上)および海底土中に流入している。電流量は小さく, 経過期間91日以降では海中部からの流出量は $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 前後と供試体Bの $1/2$ 以下となっている。モルタル被覆中への流入量は微小で, むしろ海底土中の方へ多く流入している。

供試体D(図-29)は, 供試体Cと類似しているが, 流出している試験片はモルタル被覆直下のNo. 7から海底土中のNo. 3までとなっている。海中部のモルタル被覆部では流入, 流出ともほとんどなく, 流入している試験片は干満帯以上のモルタル被覆中と海底土中の下部となっている。干満帯以上も細かくみると干満帯下部よりも上部の方が多く流入している。

以上のように, 干満帯が露出している供試体AおよびBでは, 干満帯と海中部とでマクロセルが形成され, かなりのマクロ腐食電流が流れるが, 干満帯をモルタル被覆した供試体CおよびDでは, モルタル被覆中への流入電流はごくわずかでマクロ腐食は活発ではない。

(3) 電位

各供試体の潮位変動にもなる電位変化の例を図-

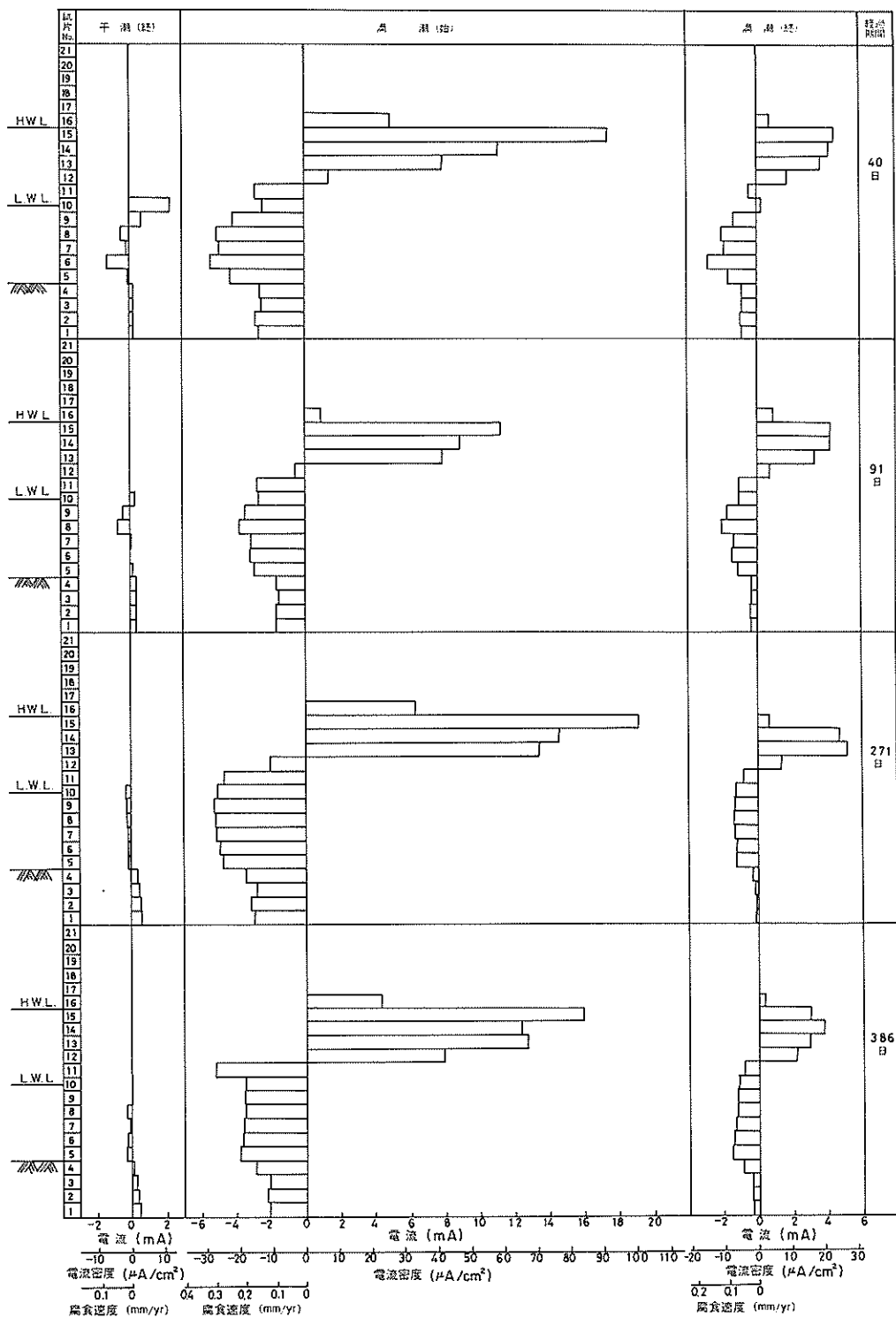


図 - 26 各試験片へ流入出する電流量 (供試体 A)

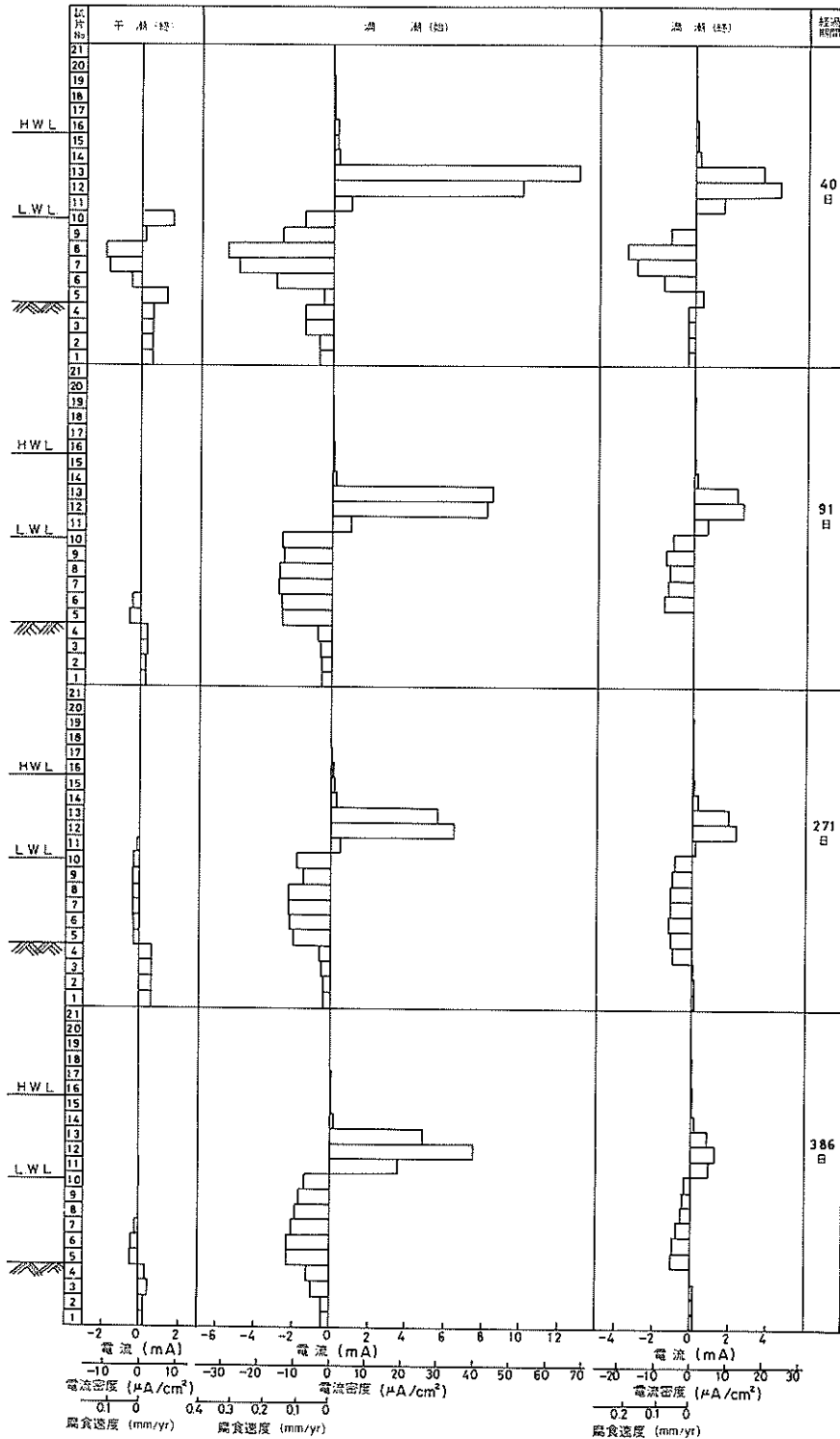


図-27 各試験片へ流入出する電流量 (供試体B)

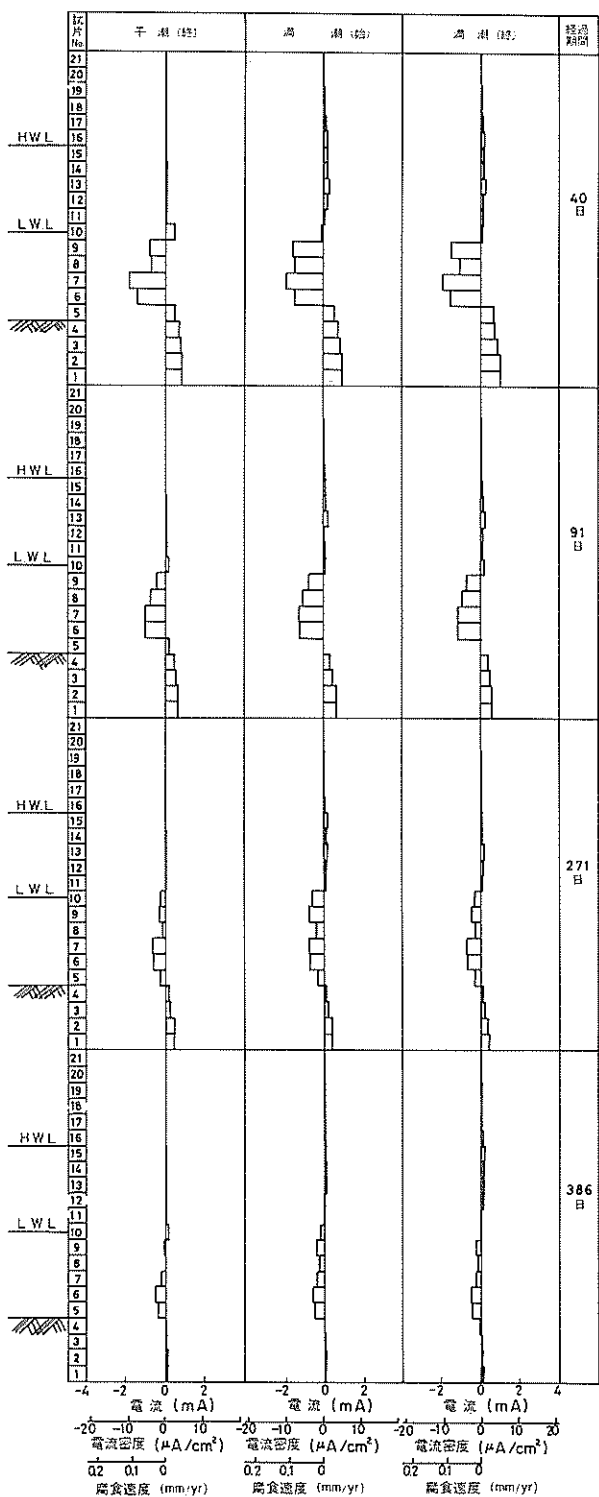


図-28 各試験片へ流入出する電流量 (供試体C)

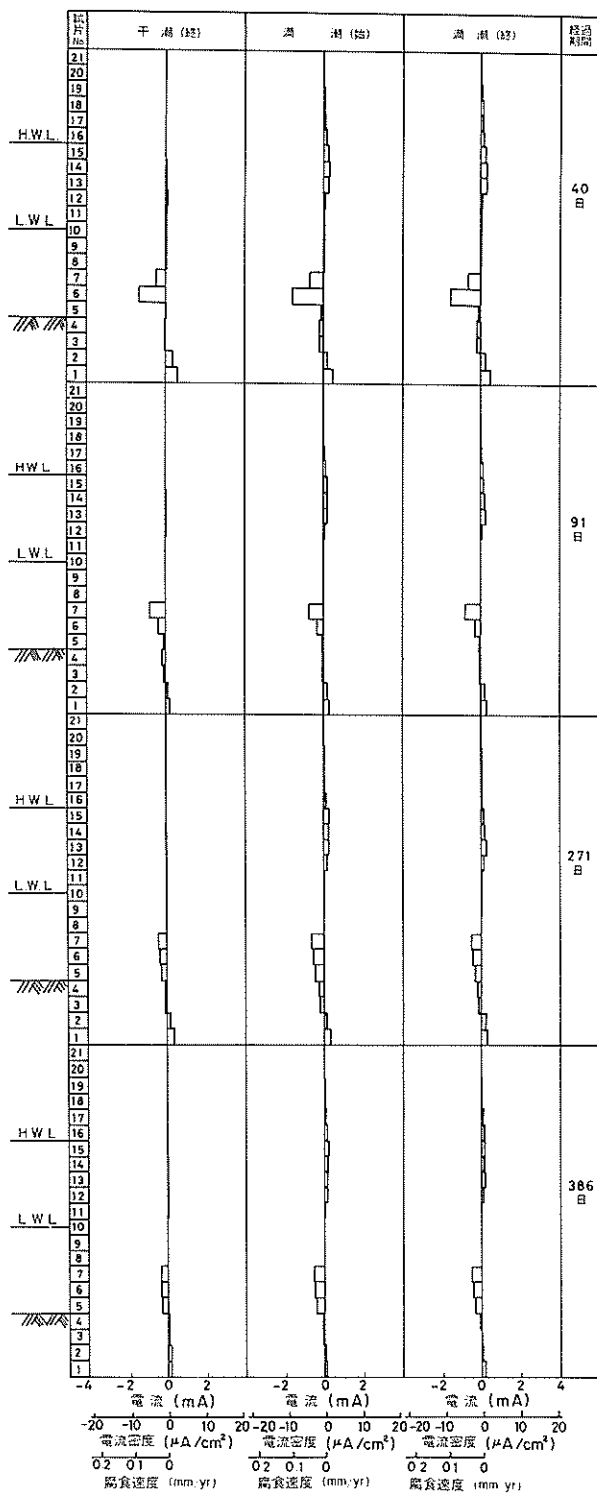


図-29 各試験片へ流入出する電流量 (供試体D)

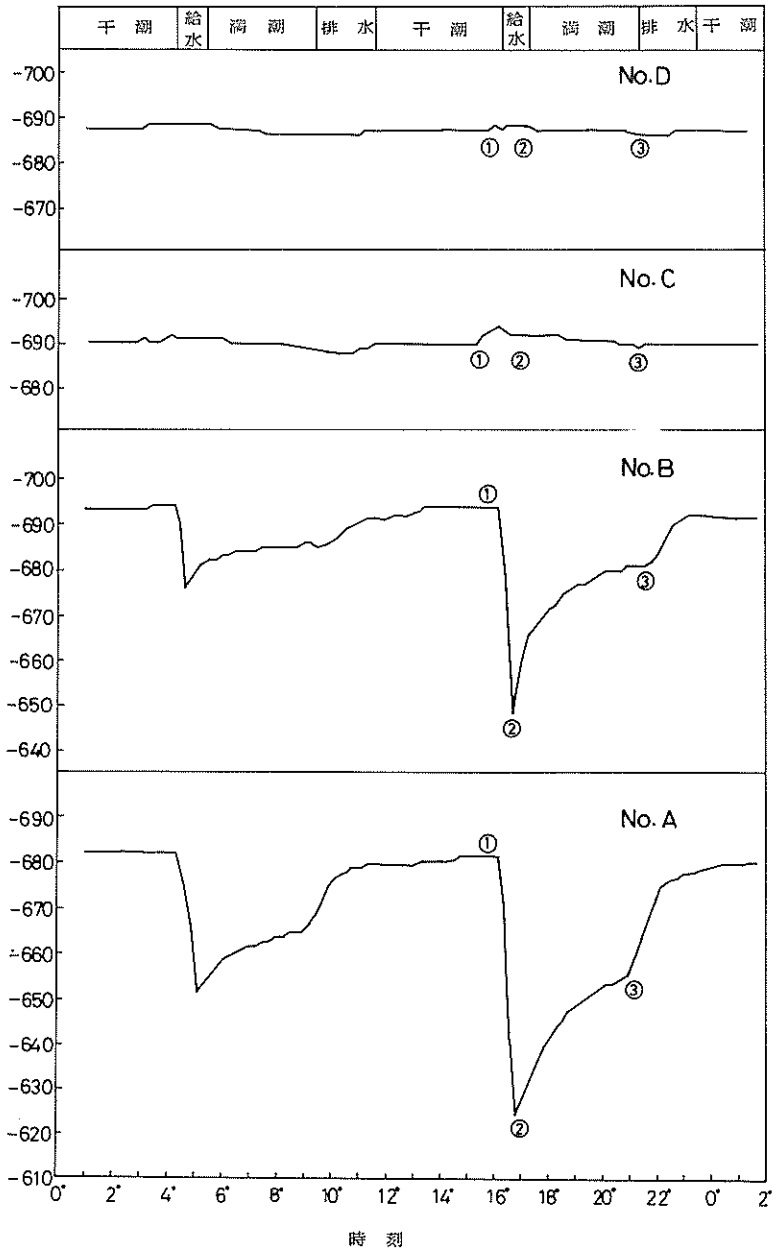


図-30 各供試体の電位変化

30に示す。図において電位の値は人工海水塩化銀電極を基準としている。供試体AおよびBにおいては、干潮(終)から満潮(終)にかけて電位の変動が激しく、供試体Aでは①と②の電位差は56 mV、Bでは45 mVであった。供試体CおよびDにおいては①～②で若干変動がみられた程度である。このように干満帯が被覆されているか否かにより供試体全体の電位の変動の状況が異なってくる。

次に、各環境におかれている試験片の電位の状況を見るために、実験終了後に各試験片を開路にした状態での電位変化測定を行った。その結果を図-31から図-34に示す。

供試体A(図-31)では、海中部および海底上中にある試験片(No. 1～No. 10)はいずれも約-650 mV(人工海水塩化銀電極基準)で変化しなかった。干満帯の試験片のうちNo. 12～No. 15は开路にした直後に若干貴になり、その後は一定であった。

供試体B(図-32)では、海中部および海底上中の電位は供試体Aと同様に-650 mV程度であったが、干満帯で被覆されていない試験片No. 12およびNo. 13では、徐々に電位が貴になり約18時間で-560～-600 mVの一定値となった。No. 14およびNo. 15はモルタルで被覆された試験片であるが、No. 14では-480 mVまで、No. 15では-170 mVまで分極した。なお試験片No. 14ではモルタル被覆を破壊してみるとわずかで

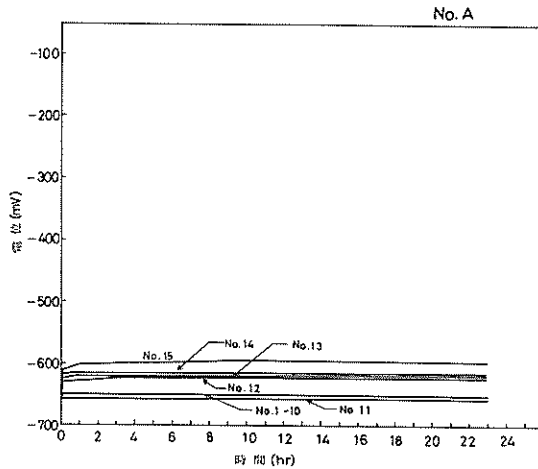


図-31 开路電位変化(供試体A)

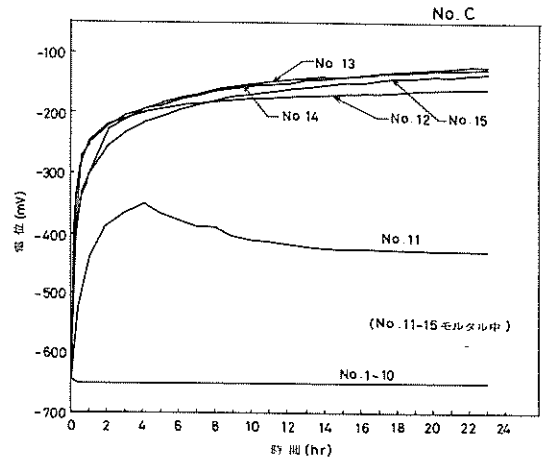


図-33 开路電位変化(供試体C)

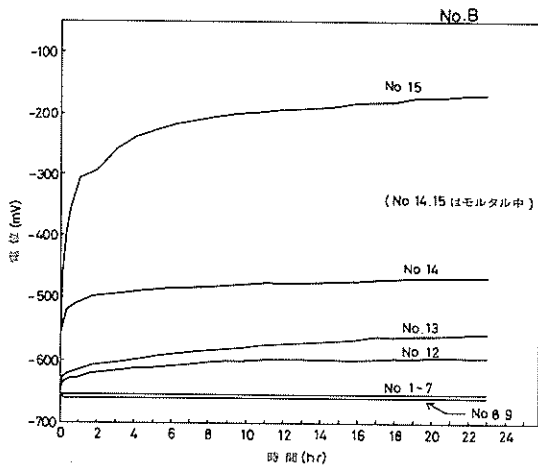


図-32 开路電位変化(供試体B)

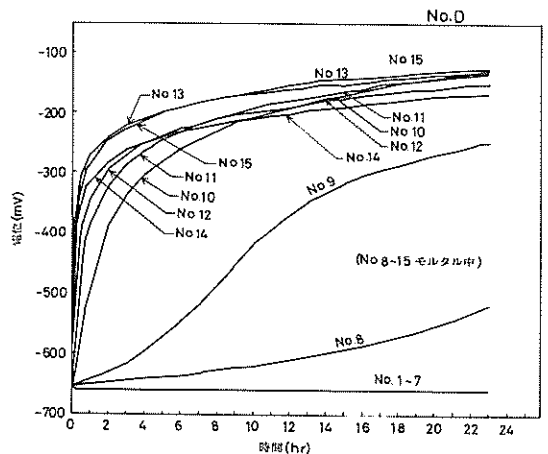


図-34 开路電位変化(供試体D)

表-3 回収時の抵抗測定値 (Ω)

環境	試験片 No.	供試体 No.			
		A	B	C	D
干満帯	15	10.3	126.5	97.6	98.7
	14	8.6	94.8	90.6	94.0
	13	8.3	13.4	99.5	100.0
	12	6.5	8.4	97.6	87.9
	11	5.6	6.2	80.7	82.9
海水中	10	5.5	6.0	5.8	86.0
	9	5.4	5.3	5.6	91.4
	8	5.4	5.2	5.5	95.7
	7	5.3	5.2	5.4	5.4
	6	5.3	5.2	5.3	5.3
海泥中	5	5.4	5.3	5.4	5.5
	4	5.6	5.8	5.8	5.8
	3	6.0	6.0	6.0	5.9
	2	6.0	6.0	6.1	6.4
	1	6.3	6.4	6.2	6.9

* 点線より上部はモルタル被覆

はあるがさびの発生が認められた。

供試体C (図-33) では、海中部および海底土中は供試体A、Bと同じであり、モルタル被覆中のNo.12～No.15は供試体BのNo.15と同様に-150mV前後まで分極した。モルタル被覆中の最下端のNo.11では-350mVまで変化した後、-430mVまでもどったが、

この試験片には供試体BのNo.14と同様に下端部にさびがみられた。

供試体D (図-34) では、海中部、海底土中のNo.1～No.7およびモルタル被覆中のNo.10～No.15はいずれも供試体A～Cと同様の傾向を示した。モルタル被覆中のNo.8およびNo.9は徐々に変化し、23時間後でもまだ変化がおわっていない。No.8の下端部にはさびがみられた。

以上のように、海中部および海底土中の試験片では約-650mV、モルタル被覆中の試験片では下端部を除いて-150mV前後に分極した。

(4) 抵抗

各環境におかれている試験片の抵抗値を知るため、実験終了後に各試験片の抵抗測定を行った。測定結果を表-3に示す。

海中部の被覆されていない試験片の抵抗はいずれの供試体でもほぼ同じで平均5.4Ωであった。海底土中では深くなるほど大きくなっているが、海中部よりわずかに大きい程度で海中部とほとんど変わらない。これは海底土中といっても実際の海底地盤と対比すれば、その極く表層に相当するためであろう。干満帯では上部にいくほど抵抗値が大きくなっている。これはさび層の厚さの影響と思われる。モルタル被覆されている試験片の抵抗は90～100Ωのものが多く、海中部の20倍近くになっている。

(5) 腐食速度

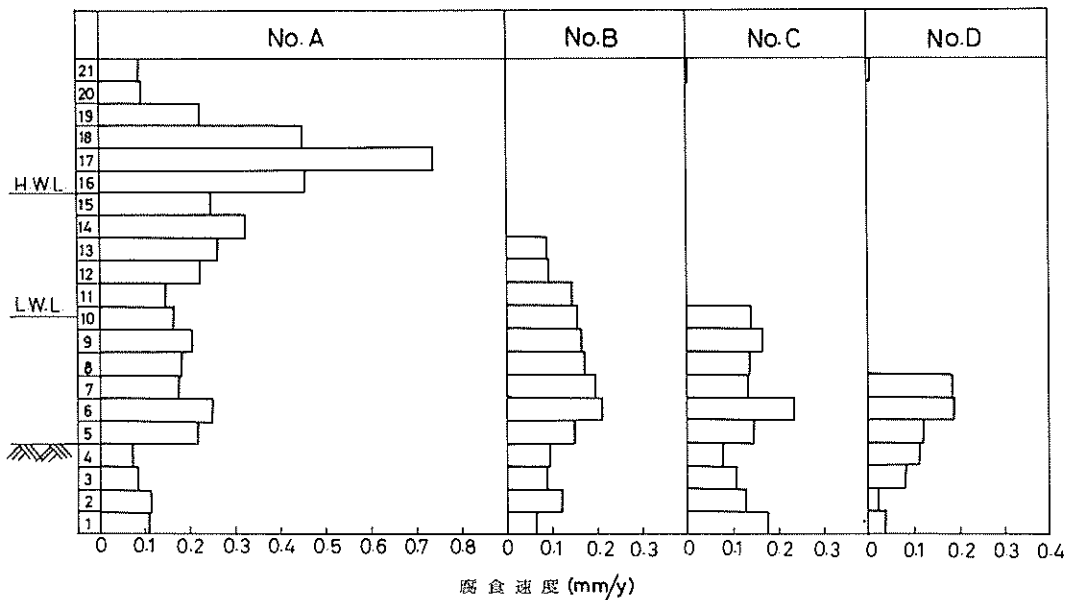


図-35 各試験片の腐食速度

供試体を回収後、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-35に示す。

供試体Aの海中部の腐食速度は0.2 mm/y程度であり、干満帯ではそれよりやや大きい。またH.W.L.上の試験片No. 16～No. 18では0.45～0.75 mm/yと著しく大きくなっている。海底土中では0.07～0.1 mm/yとなっている。

供試体B, C, Dの海中部の腐食速度は試験片により差はあるが大体において0.2 mm/yに近く、供試体Aより若干小さい程度である。

供試体CおよびDでは図-28および図-29にみられるように海中部から流出する電流量が供試体Aと比べて著しく小さいにもかかわらず、図-35では海中部の腐食速度はすべての供試体で大差がない。これについては次節で考察する。

次にモルタル被覆直下の試験片について比較すると、供試体BのNo. 13(干満帯)では腐食速度は0.09 mm/y、供試体CのNo. 10(L.W.L.)では0.14 mm/y、供試体DのNo. 7(海中部)で0.18 mm/yとなっており、供試体により差がある。

また図-31でみたように供試体Aでは干満帯の中、上部をカソードとするマクロセルが形成されていながら、干満帯の腐食速度が海中部よりむしろ大きくなっている。これらについても次節で考察する。

(6) 試験片の観察

回収時における各供試体の水槽内および脱錆前後の表面状態を巻末の写真-3～写真-12に示す。

脱錆前の試験片の表面、状態は各供試体を通じておおよそ次のようであった。(写真-3～写真-12参照)海底土中の試験片には砂が付着し黒褐色をおびていた。海水中ではところどころに赤橙色のさびが盛り上っていた。供試体AおよびBのL.W.L.直上部ではさびと珪藻類が混り合って付着し、干満帯の中、上部ではさびと石灰質の混り合ったものが付着していた。供試体AのH.W.L.直上部では茶褐色の厚いさびが発生し、さらに上部ではさび層は薄くなっていた。供試体B, C, Dのモルタル被覆中にあった試験片については、モルタルをはく離してみると、いずれの供試体でも被覆中の最下端の試験片の下部にさびの発生がわずかに認められ、また供試体C, Dにおいてモルタルにクラックが入っていた部分の試験片にさびが発生していたが、その他の試験片にはさびは認められなかった。

脱錆後については、モルタルで被覆されていない試験片には腐食による凹凸がみられた。図-39に示す腐食速度が大きい試験片は他と比べて凹凸が激しい傾向があ

った。ただし供試体AのH.W.L.より上の特に腐食速度の大きい試験片については、表面の凹凸はむしろ少なく全体的に細くなっているように感じられた。モルタル被覆中の試験片は一部さびが認められる箇所を除いて、表面は平滑であった。

4.4 実験結果の考察

図-35の各供試体の腐食速度をみると、海中部では供試体Aが他の3供試体と比べて若干大きくはあるが、その差はわずかであり、4供試体の海中部の腐食速度には大差がない。

一方、図-26～図-29に示す流出入の電流量を比較すると、海中部の供試体から流出する腐食電流を腐食速度に換算した値は、干潮時には各供試体とも小さく大差はない。しかし、満潮時には供試体により大きく異なっている。とくに供試体CとDは実験後半では0.03 mm/y程度以下と非常に小さい。

この図-35と図-26～図-29との相違は次の理由による。すなわち電流測定では他試験片との間に形成される腐食電池により流れる電流量を測定しているのであって、同一試験片内で形成される腐食電池により流れる腐食電流は測定不可能である。したがって両者の差は同一試験片内の腐食電池による腐食である。他試験片との間に形成される腐食電池による腐食をマクロ腐食、同一試験片内に形成される腐食電池による腐食をミクロ腐食とよぶならば、全腐食量に対するマクロ腐食の割合は供試体Aが最も大きく、次いでBであり、CおよびDはマクロ腐食はわずかでほとんどがミクロ腐食によるものである。

供試体AおよびBにおいては、干満帯と海中部との電位差によりマクロセルが形成されやすい。一方、供試体CおよびDでは、モルタルの抵抗が海水の抵抗より表-3に示すように20倍程度も大きいため、モルタル被覆内外の電位差でマクロセルが形成されるよりも、電位差はそれより小さくても抵抗の小さい海中部でのミクロセルの方が形成されやすいものと考えられる。海中部の上部は酸素量も比較的多く、また場所により酸素量のむらがあると考えられ(実験ではさざ波を生じさせた)、腐食反応が生じやすいと考えられる。実構造物の腐食調査においても海面近くでは、それ以深の海中部よりも若干大きいことが多い。

被覆工直下の試験片の腐食速度が供試体により異なることについては、供試体Bの試験片No. 13は図-27にみられるようにマクロセルのカソード部であり、供試体CのNo. 11は図-28でわかるように実験経過期間と潮位によりアノードとなったりカソードとなったりしてお

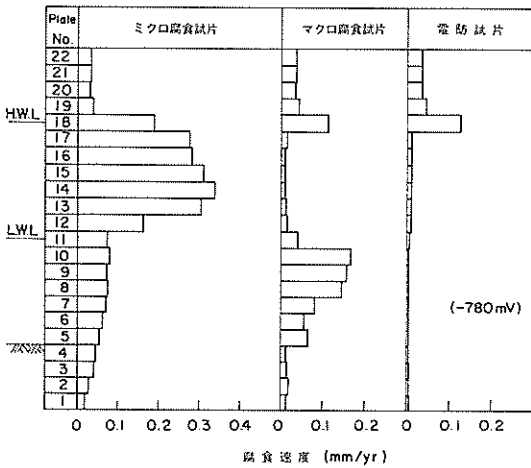


図-36 水槽実験における腐食速度の比較¹³⁾

り、供試体DのNo. 7は常にアノードである(図-29)ためと考えられる。

図-31に示すように、供試体Aではマクロセルが形成されているから、そのカソードとなる干満帯の試験片No. 13～No. 15では腐食量は少ないはずである。以前に行われた同様の実験¹³⁾では本実験の供試体Aに対応する図-36のマクロ腐食試験片は干満帯の腐食速度が海中部よりかなり小さくなっている。供試体Aの干満帯の腐食速度が大きいことは、前述と同じく同一試験片内の腐食電池によるものと考えざるを得ないが、以前の実験との相違が問題である。これについては次のことが考えられる。すなわち以前の実験では試験片は鋼板であり、鋼板は塩ビ製のパネルにはりつけてあって一面のみが露出しており、しかも露出面は水槽内で陸側に面していた。それに対し今回の実験では供試体は、円柱状で全周が露出しているので海風の影響も強くうけ飛沫帯と同様の腐食の進行が著しかったことが考えられる。試験片No. 1-3～No. 18の脱錆後の表面は、海側に面した方が、陸側よりも凹凹がやや目立ち若干腐食量に差があるようであった。しかし、供試体Bの試験片No. 13の腐食速度は供試体Aと比べて小さいこともあり、これのみが原因であると断定することはできない。

5. 考察

前述のように実構造物の腐食調査結果からは、コンクリート被覆工直下の腐食は河川水が存在するところでは約半数近くに見られた。一方、海水中ではほとんど見られず、水槽実験においてもモルタル被覆内外のマクロセルはほとんど生じなかった。これよりコンクリート被覆

表-4 コンクリートの比抵抗¹⁵⁾

配合 セメント：砂：砂利	吸水率 (%)	比抵抗 (Ω -cm)
1 : 3 : 6	4.9	8,000
1 : 2 : 4	6.2	5,100
1 : 3 : 0	13.9	4,720
1 : 2 : 0	16.1	3,790

工直下の腐食は、環境すなわち海水中か河川水中か土壌中かによってその傾向が異なると考えられる。

本節では、コンクリート被覆工直下の腐食が河川水のあるところでみられ、海水中ではほとんどみられなかったこと、建築物基礎のコンクリート近傍における腐食との相違、および防食法について考える。

(1) コンクリート被覆工直下の腐食傾向の環境による相違について

腐食調査では河川水の存在するところでのコンクリート被覆工直下の腐食が、コンクリート内外にまたがるマクロセルによるものかどうかはわからないが、河川水ではマクロセルが生じやすく、海水では生じにくいことがあるとすれば、定性的には次の理由が考えられる。

河川水の比抵抗は数100 Ω -cmから10,000 Ω -cm程度といわれている。腐食調査における金沢港では表-2に示すように3,000～5,000 Ω -cmであった。コンクリートの比抵抗は表-4¹⁴⁾に測定例を示すが、湿潤状態になるほど小さくなる。また水セメント比が大きいほど小さくなる。水セメント比70～40%で水で飽和された場合5,000～7,000 Ω -cmという測定例もある¹⁵⁾。以上は淡水により湿潤した場合であるが、海水の場合は比抵抗は低下し、海水で飽和した場合700～1,000 Ω -cm程度といわれている。塩素量の影響については、海水程度の塩素量では淡水に比べて飽和状態で20%程度に低下した例もある¹⁶⁾。一方、海水の比抵抗は20～30 Ω -cmであり、これらよりもはるかに小さい値である。

したがって、海水中では海水に比し抵抗の大きいコンクリート中の鋼材は必ずしも優先的なカソードとはならず、電位差はコンクリート中と比べて小さくても抵抗の小さい海水中で腐食電池が形成されやすい。一方、河川水中では、河川水の抵抗とコンクリートの抵抗がほぼ等しいことがあり得るので、そのような場合電位差の大きいコンクリート内外でマクロセルが形成されやすい。

また、比抵抗が大きいと腐食電流の流出はカソード域との界面付近のアノード域に集中する傾向がある¹⁷⁾ことから、比抵抗の大きい河川水中ではコンクリート被覆工直下の腐食が著しくなることも考えられる。

しかし、これらは定性的に考え得ることを述べただけ

表-5 土壌の比抵抗¹⁷⁾

土質	比抵抗 (Ω -cm)
コロイド状に分散した粘土 細粒の粘土または砂	300~1,000
中位の大きさの砂	1,000~10,000
小石	10,000~40,000
	40,000~70,000

であって、河川水の影響は別途証明をまたなければならぬ。

次に、海水中の港湾構造物においてはコンクリート被覆工内外のマクロセルが生じにくいことと、2.で述べたように建築物基礎のコンクリート近傍ではマクロセルが問題とされていることの相違について考える。この相違の理由としては次のことが考えられる。

まず、海水の抵抗に比してコンクリートの抵抗がきわめて大きいのに比べ、土壌の抵抗は表-5¹⁸⁾にその例を示すように条件によりかなりの幅はあるもののコンクリートとほぼ同じ値になることもあることがあげられる。このため前述の河川水の場合と同様に、土壌中の埋設管ではマクロセルが生じやすいと考えられる。また建築物基礎のコンクリートは水で飽和されていることは少なく、酸素の供給が十分に行われカソード反応が生じやすいのに対し、港湾構造物においてはコンクリート被覆工は海中部はもちろん干満帯下部でもほとんど海水に飽和されているため酸素の拡散が制限されて、コンクリート中でのカソード反応が生じにくいことが考えられる。水槽実験において図-28にみられるように海水中のモルタル被覆中の試験片に流入する電流量よりは干満帯上部へ流入する電流量が大きくなっていることはこのためとも考えられる。

(2) 防食法

前述のように本稿における調査および実験の範囲内では、海水中においては、コンクリート中との電位差によるコンクリート近傍での鋼材の腐食は、建築物の基礎コンクリート近傍の埋設管におけるほどには生じないと考えられる。

しかし、河川水の影響を受けるところでは、腐食の機構は確認されてはいないが、コンクリート被覆工直下での腐食が著しい場合が多かった。また、海水中においても一例ではあるが同様の事例があった。

したがって、設計においてはコンクリート被覆工直下の腐食に対する配慮が必要である。ここではコンクリートまたはモルタルの上部工や被覆工より下方の防食法について考える。

まず、電気防食については、実績もありその有効性は

認められており、さらに干満帯が被覆されていると防食電流の節減ははかれるので^{19),20)}、電気防食を組み合わせる方法は有効な防食法である。

コンクリート被覆工より下方に他の塗覆装工法を用いる方法もある。この場合、塗覆装材が損傷をうけたりして鋼材が露出すると、マクロセルが生じるならば、その部分がアノードとなり集中的に腐食することが考えられる。したがって、コンクリート被覆工より下方を塗覆装するだけでなく、コンクリート被覆中の鋼材がカソードとならないよう絶縁性を高めるため、被覆工中の鋼材あるいはコンクリート表面をある範囲コーティングするのがよいと思われる。マクロセルの形成を防ぐ方法として図-37のような方法も提案されている²¹⁾。

腐食しるよによる方法は、設計で用いた腐食速度以下で腐食が進行するとは限らないので一般的にも推奨する方法ではない。さらに、この場合は前述のように河川水の存在するところではコンクリート被覆工直下の腐食が著しい可能性が高いから避けるべきである。また、海水中

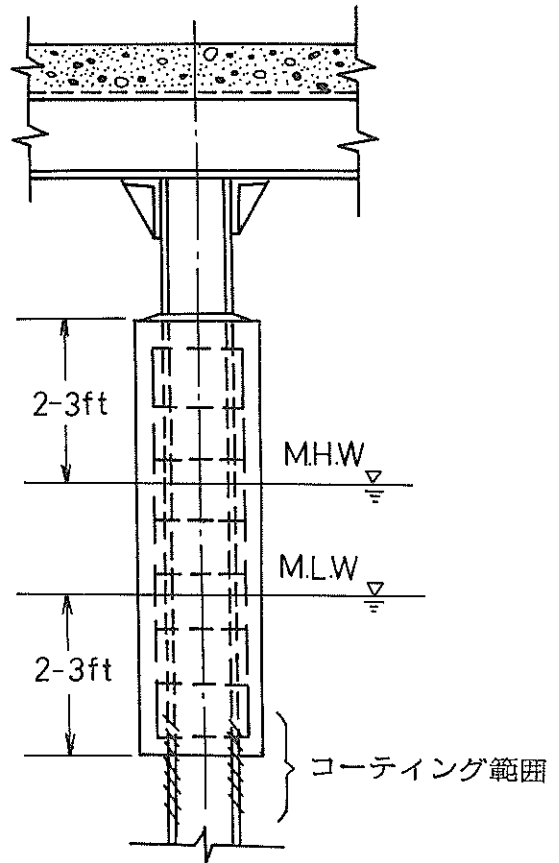


図-37 コンクリート被覆工の例²¹⁾

でもその可能性はあるので避けるのが望ましい。もし腐食しうで設計するならば、腐食速度の設計値は十分検討して設定し、またメンテナンスにおいて観察や肉厚測定により腐食状態を確認することが必要である。

6. 結論

以上の腐食調査および水槽実験の結果をまとめると次のとおりである。

(1) 5 構造物に対して行った腐食調査では、コンクリート被覆工直下の腐食が著しいものが 1 例あった。

また、収集した腐食調査結果では、65 例中 11 例が被覆工直下の腐食が著しかった。なお、11 例中の 5 例は被覆工直下の腐食速度は他の例と比べて比較的小さく、かつ水深が深くなるにつれて徐々に減少する傾向を示し腐食傾向はあまり顕著ではなかった。

(2) 上記のコンクリート被覆工直下の腐食が著しい 12 例における被覆工直下の腐食速度は 0.2 ~ 0.5 mm/y の範囲にあり、そのなかでは 0.2 ~ 0.3 mm/y が多かった。

(3) 上記の被覆工直下の腐食が著しい構造物のうち 1 例を除く 11 例が河川に面しているか河川水の流入しているところにある構造物であった。同様の立地条件にある構造物の腐食調査結果は 27 例あったのでその半数近くを占めた。

(4) 腐食調査結果では、矢板の場合コンクリート被覆工直下の腐食は、集中腐食の場合の傾向と異なり凹凸両矢板ともほぼ同じように進行していた。

(5) 水槽実験においては、モルタル被覆内外でマクロセルはほとんど生じなかった。

(6) 腐食調査の結果からは、河川水の存在するところでは、腐食の機構は確認されていないが、コンクリート被覆工直下が腐食する可能性は高く、防食設計および既設構造物の管理において十分注意する必要がある。また、海水中の場合は腐食調査および水槽実験から、河川水と比較すると腐食の可能性は低いと考えられる。しかし、この問題を対象に調査した事例が少ないこと、腐食した事例はあること、海水中上部ではマイクロ腐食が活発になる可能性があることなどから注意を怠ってはならないと考える。

7. あとがき

港湾鋼構造物におけるコンクリート被覆工直下の鋼材の腐食については、ある程度明らかにすることができた。この問題について、防食設計および既設構造物の管理において注意が払われるとともに、データの取得と情報の

提供が促されることを期待している。

今後の課題として、河川水中ではコンクリート被覆工直下の腐食が生じやすいことについて腐食の機構を確認する必要がある。

最後に腐食調査に御協力いただいた関係機関の方々に御礼申し上げます。

(1986 年 6 月 30 日受付)

参考文献

- 1) 善 一章：港湾施設の腐食と防食，防食技術，vol. 34, No. 3, 1985 年，pp. 186~187
- 2) Dismuke, T.D. et al: Handbook of Corrosion Protection for Steel Pile Structures in Marine Environments, American Iron and Steel Institute, 1981, pp. 53~54
- 3) 例えば，電気学会電食防止研究委員会編：新版電食・土壌腐食ハンドブック，電気学会，1977 年，p. 38
- 4) 岡本勝群：埋設管の腐食と電気防食法，配管と装置，1970 年 2 月号，p. 35
- 5) 松島 巖：配管の土壌腐食，防食技術，vol. 25, No. 9, 1976 年，p. 566
- 6) 松島 巖，布村恵治：建物周辺の埋設配管のマクロセル形成状況の調査，防食技術，vol. 29, No. 10, 1980 年，pp. 517~520
- 7) 田代智夫：，山野 敏，朝倉祝治：学校等における埋設配管の腐食事例，第 31 回腐食防食討論会予稿集，1984 年，pp. 57~60
- 8) 今川博之：プラント材料の腐食劣化と診断技術，材料，第 33 巻，第 374 号，1979 年，p. 50
- 9) 高圧ガス保安協会：LP ガス設備の腐食・損傷防止基準解説書，1982 年，p. 3
- 10) 善 一章，阿部正美：港湾鋼構造物の腐食調査（昭和 53 ~ 56 年調査），港湾技研資料，No. 413, 1982 年，pp. 5~8
- 11) 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，第 22 巻，第 2 号，1983 年
- 12) 阿部正美，横井聡之：被覆工と電気防食との併用効果に関する実験，港湾技研資料，No. 537, 1985 年
- 13) 文献 11, p. 393
- 14) 文献 3, p. 53
- 15) GjØrv, O.E., Vennesland, Ø., El-Busaidy, A.H. S.: Electrical Resistivity of Concrete in the Oceans, OTC Paper No. 2803, 9th Annual Offshore Technology Conference, 1977, p. 587
- 16) 文献 15, p. 588
- 17) 善 一章：海洋環境における鋼構造物の腐食の実態と集中腐食対策に関する研究，港湾技術研究所報告，

第 15 卷, 第 3 号, 1976 年, p. 197

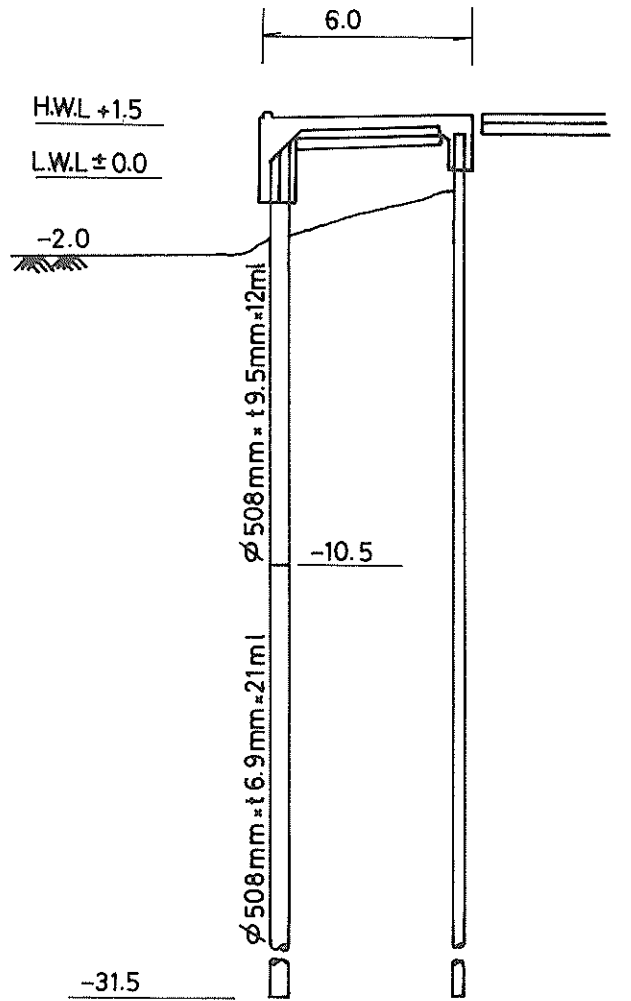
18) 日本学術振興会編: 金属防蝕技術便覧, 日刊工業新聞社, 1972 年, p. 223

19) 横井聡之, 阿部正美: 電気防食調査に基づく防食電

流密度の検討, 港湾技術研究所報告, 第 25 卷, 第 1 号, 1986 年, p. 101~102

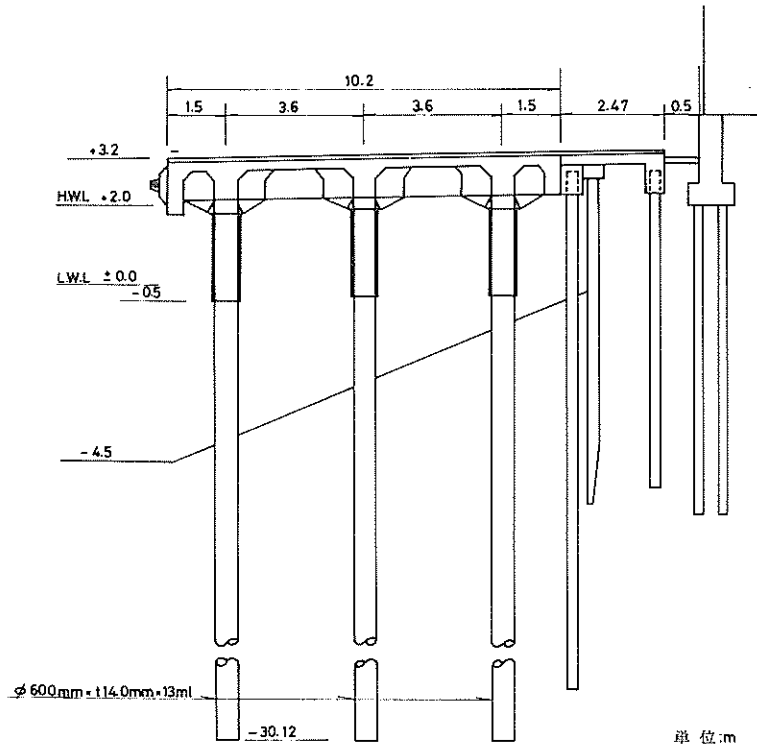
20) 文献 12

21) 文献 2, p. 54

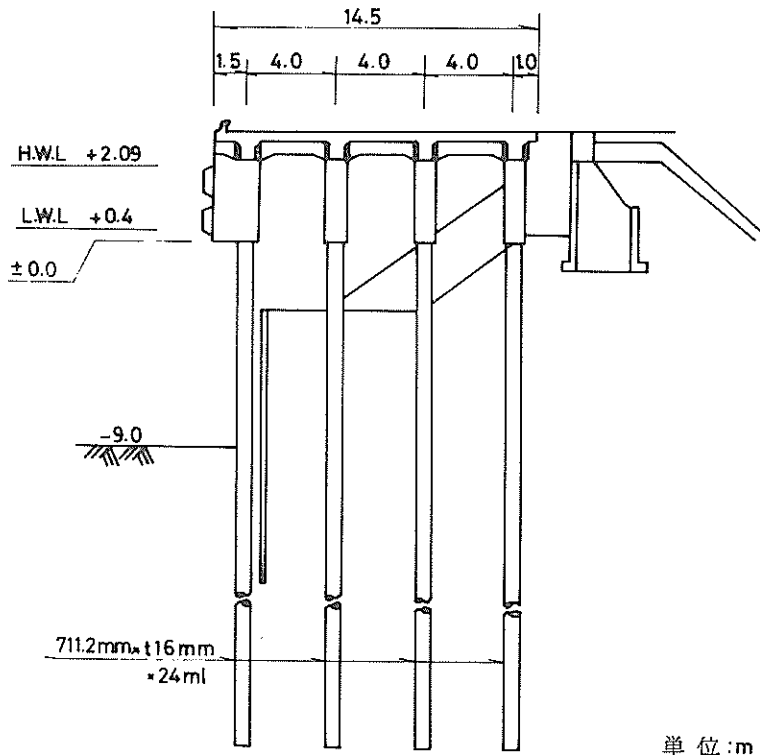


単位:m

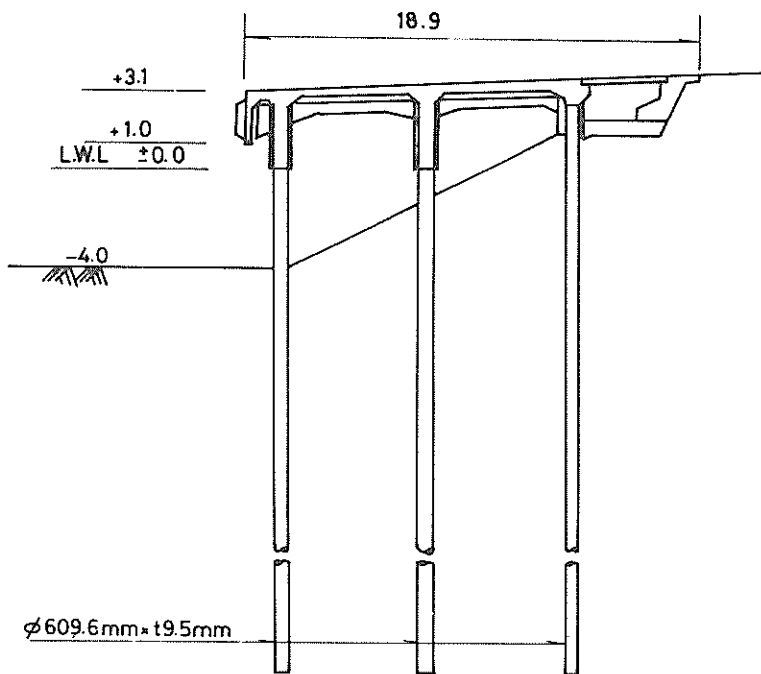
付図-1 金沢港木材埠頭-2 m物揚場断面図



付図-2 川崎港千鳥町A号物揚場断面図

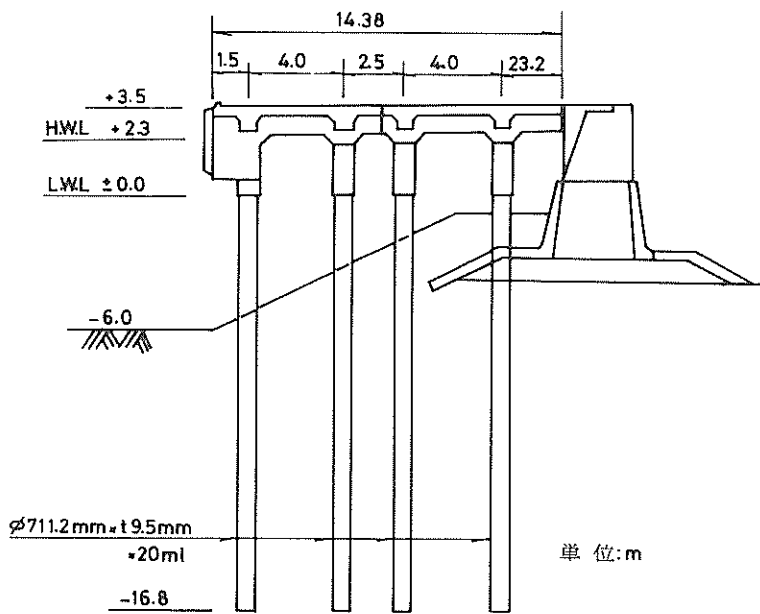


付図-3 今治港蔵敷地区-9m岸壁断面図



单位:m

付图-4 高知港弘化台2号栈桥物揚場断面图



付图-5 細島港白浜地区-6m岸壁断面图

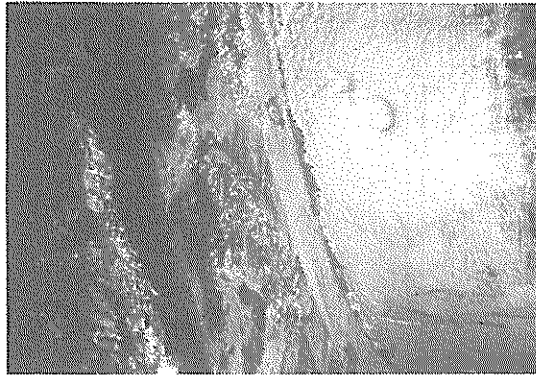


写真-1 孔食の状況（川崎港）

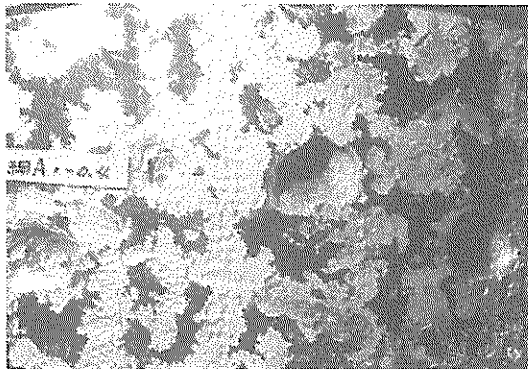
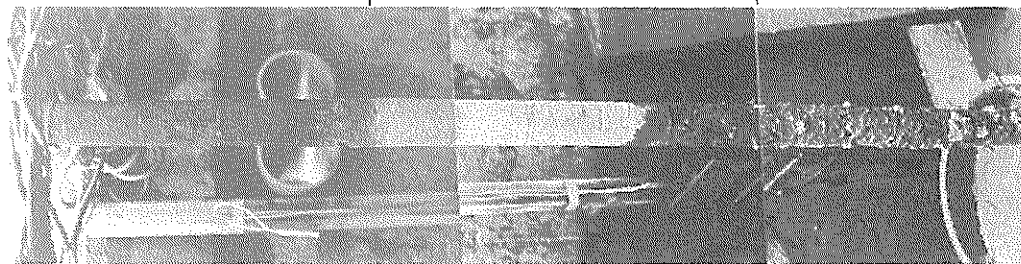
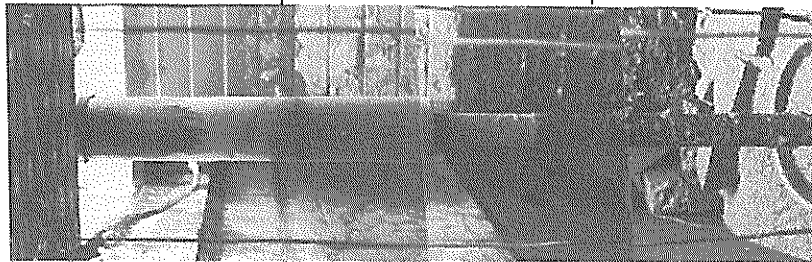


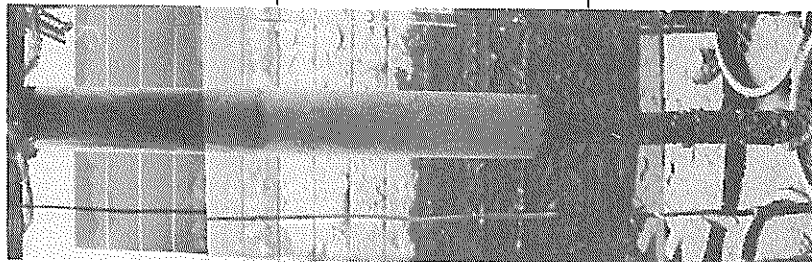
写真-2 孔食の状況（細島港）



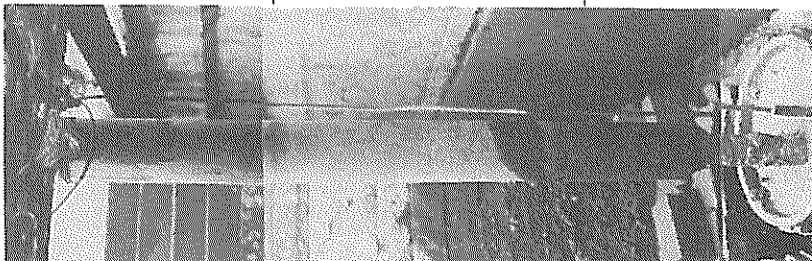
供試体A



供試体B



供試体C



供試体D

写真-3 各供試体の設置状況

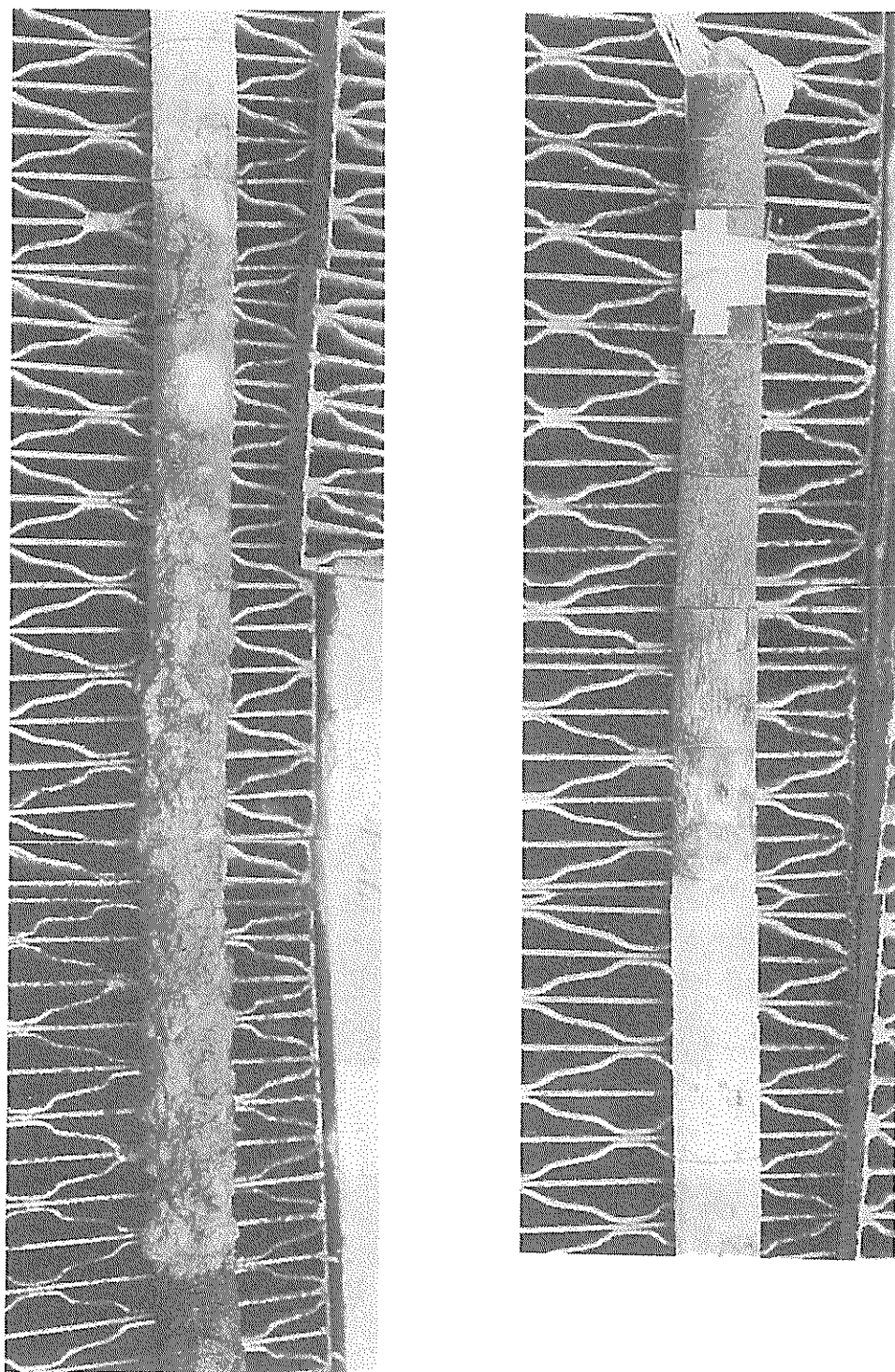


写真-4 回収時試験片の表面状況（供試体A）

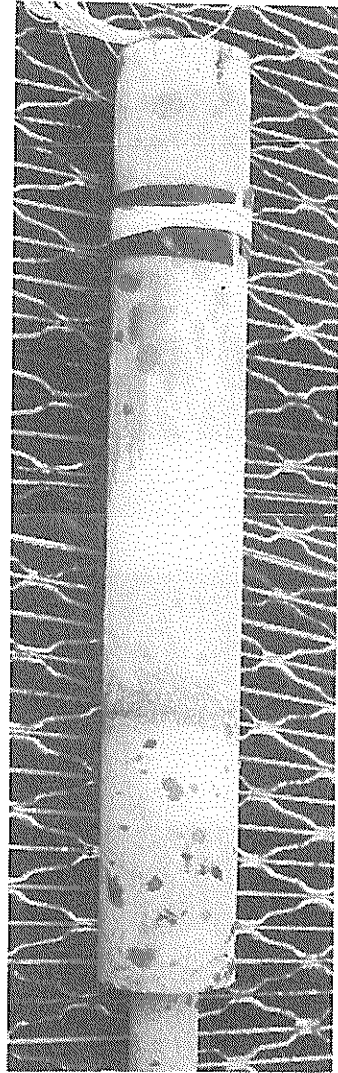
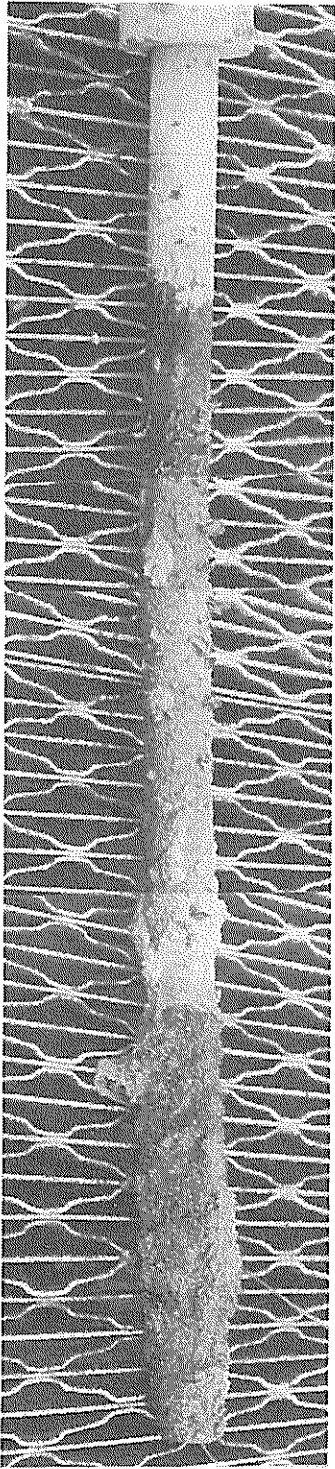


写真-5 回収時試験片の表面状況（供試体B）

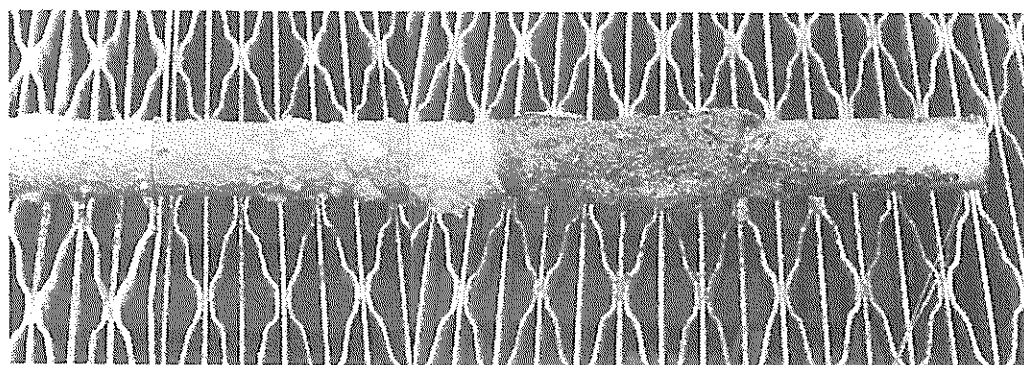
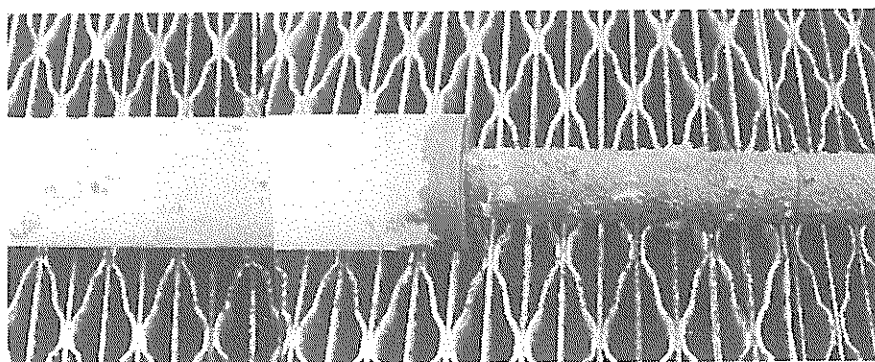
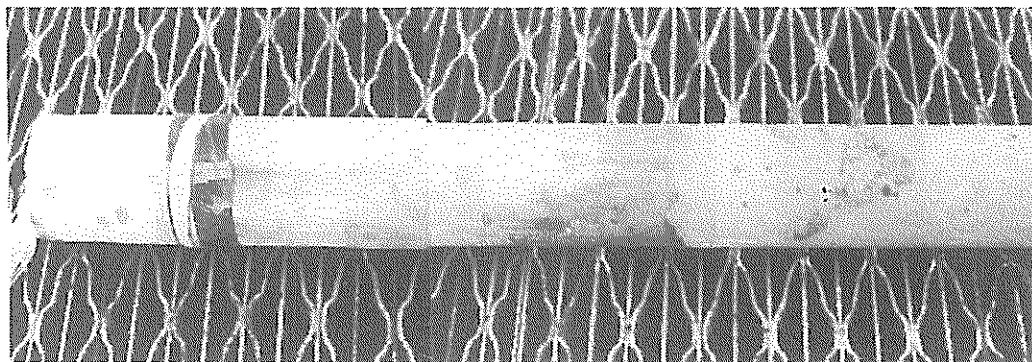


写真-6 回収時試験片の表面状況（供試体C）

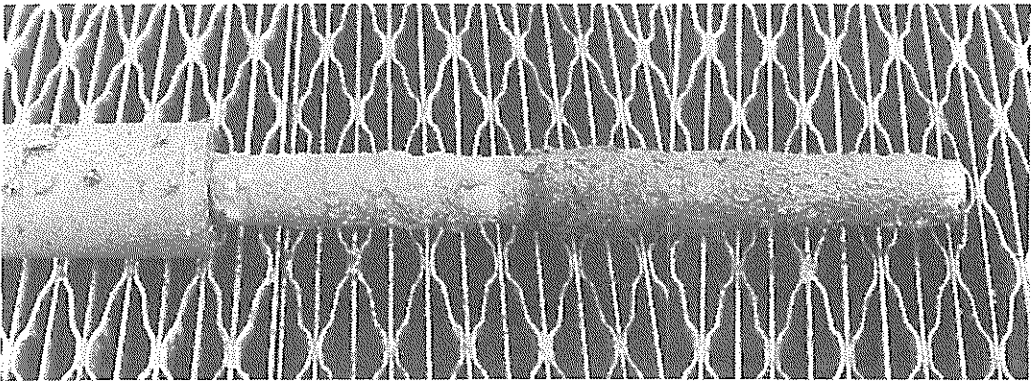
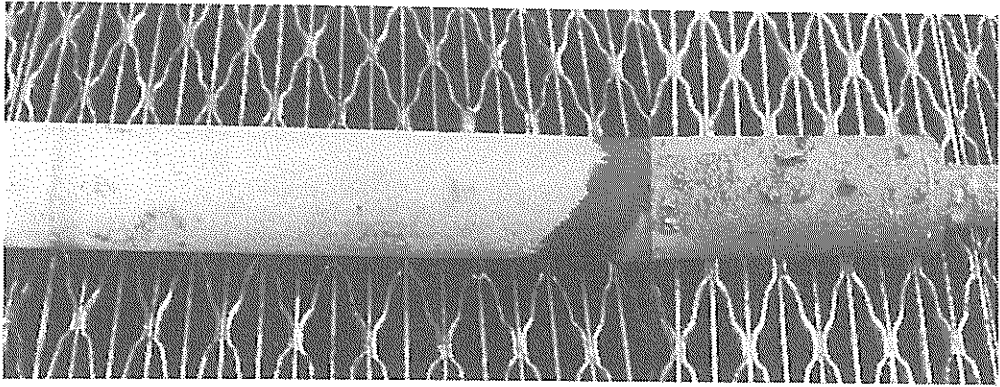
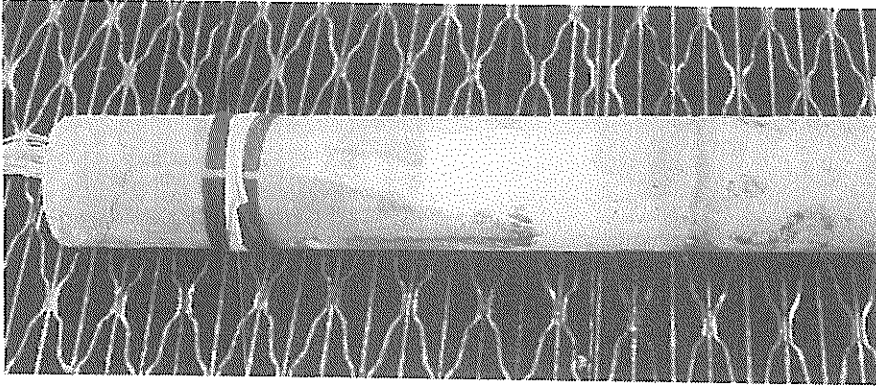
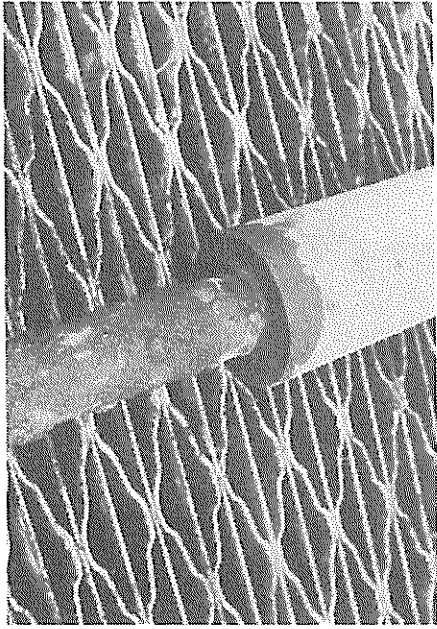
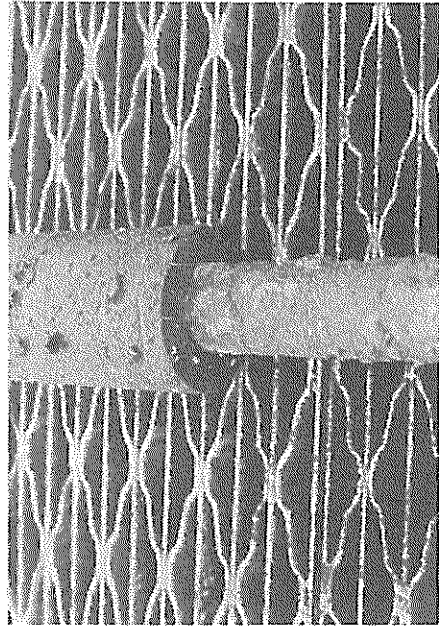


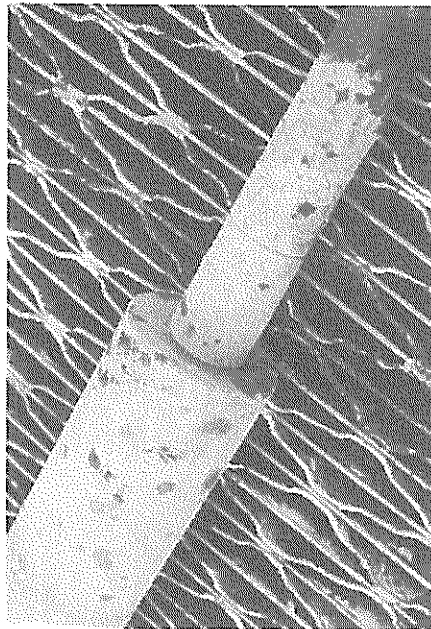
写真-7 回収時試験片の表面状況（供試体D）



供試体C



供試体D



供試体B

写真-8 各供試体モルタル下端直下腐食状況

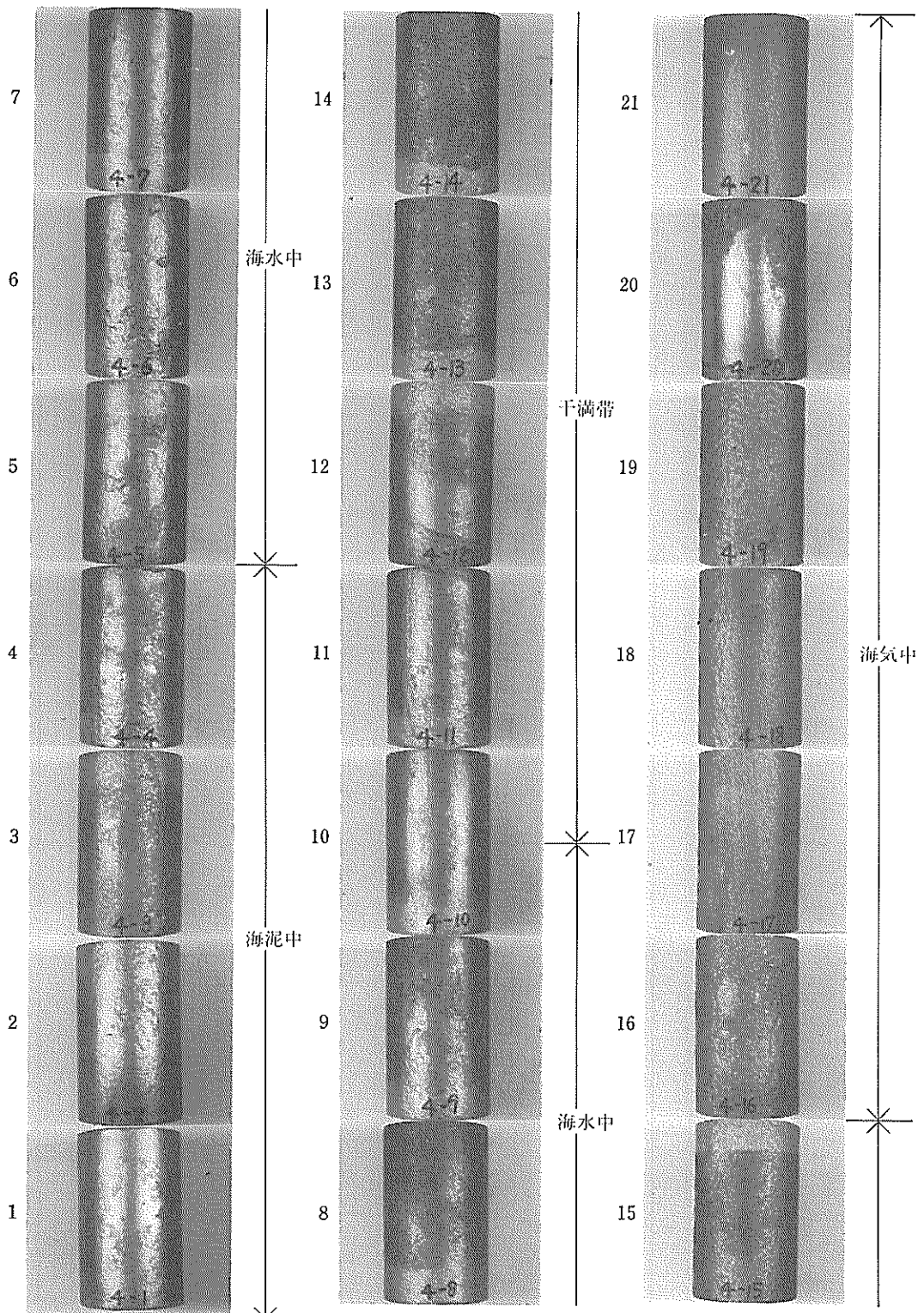


写真-9 脱錆後の表面状況 (供試体A)

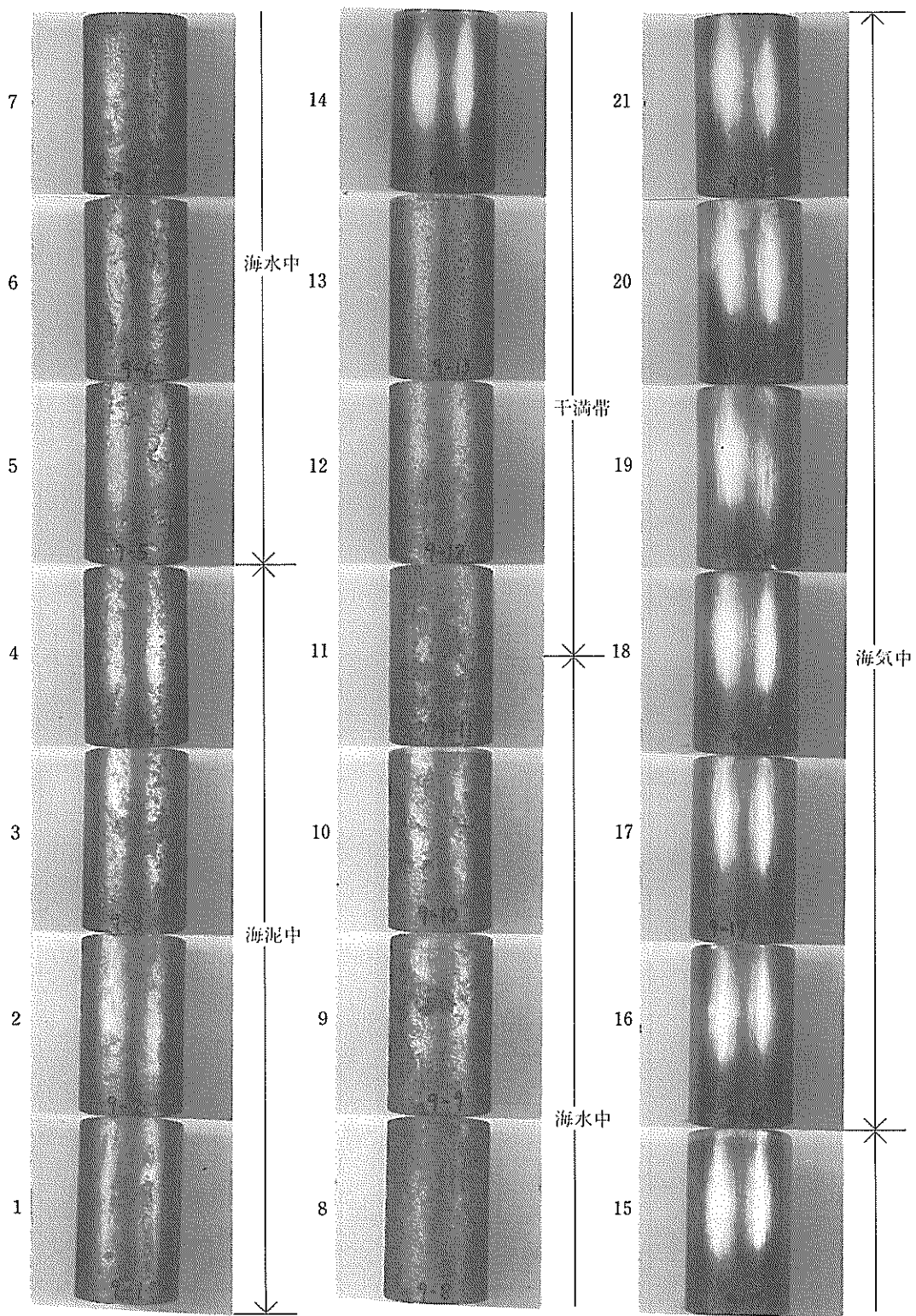


写真 - 10 脱錆後の表面状況 (供試体 B)

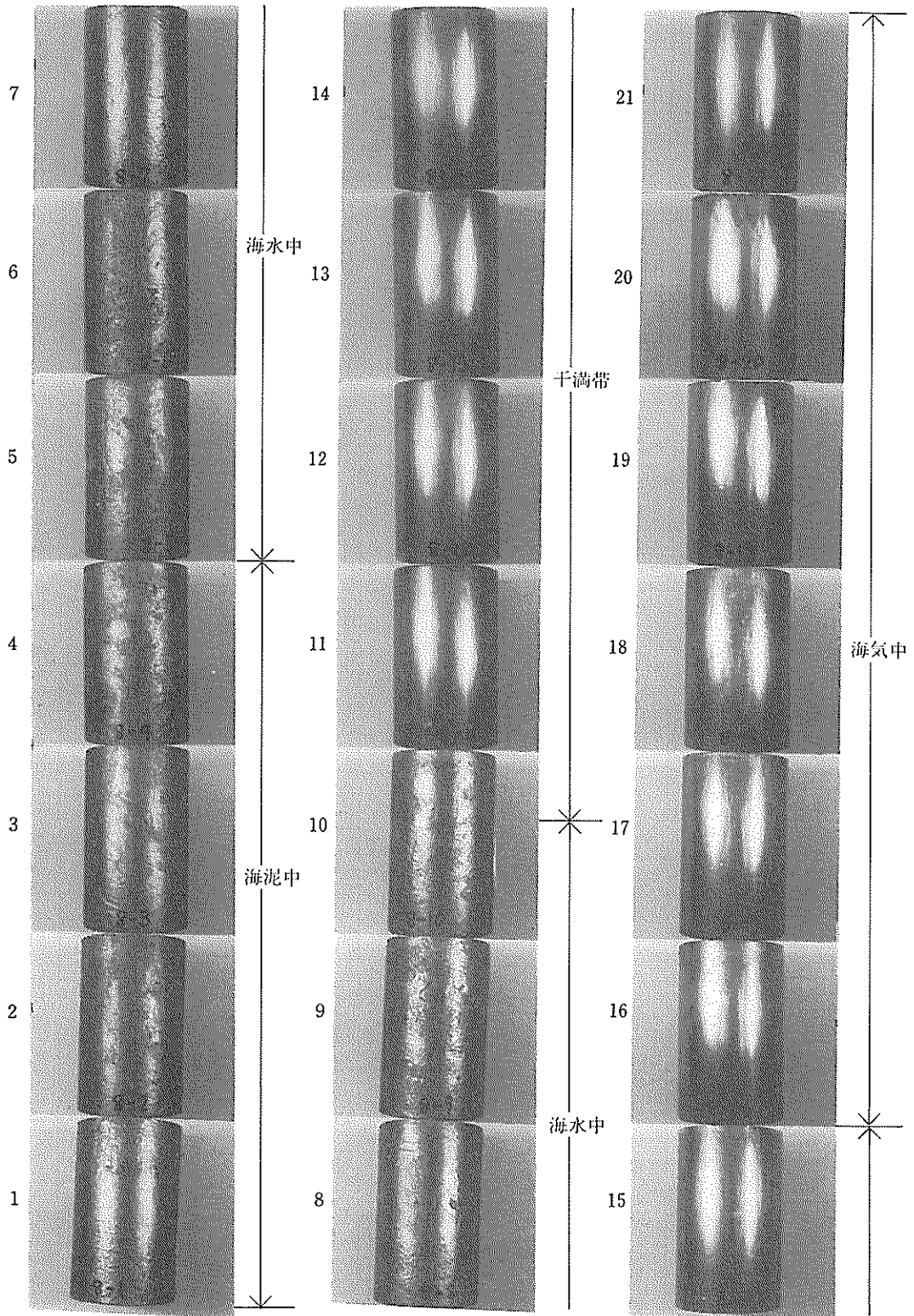


写真 - 11 脱錆後の表面状況 (供試体C)

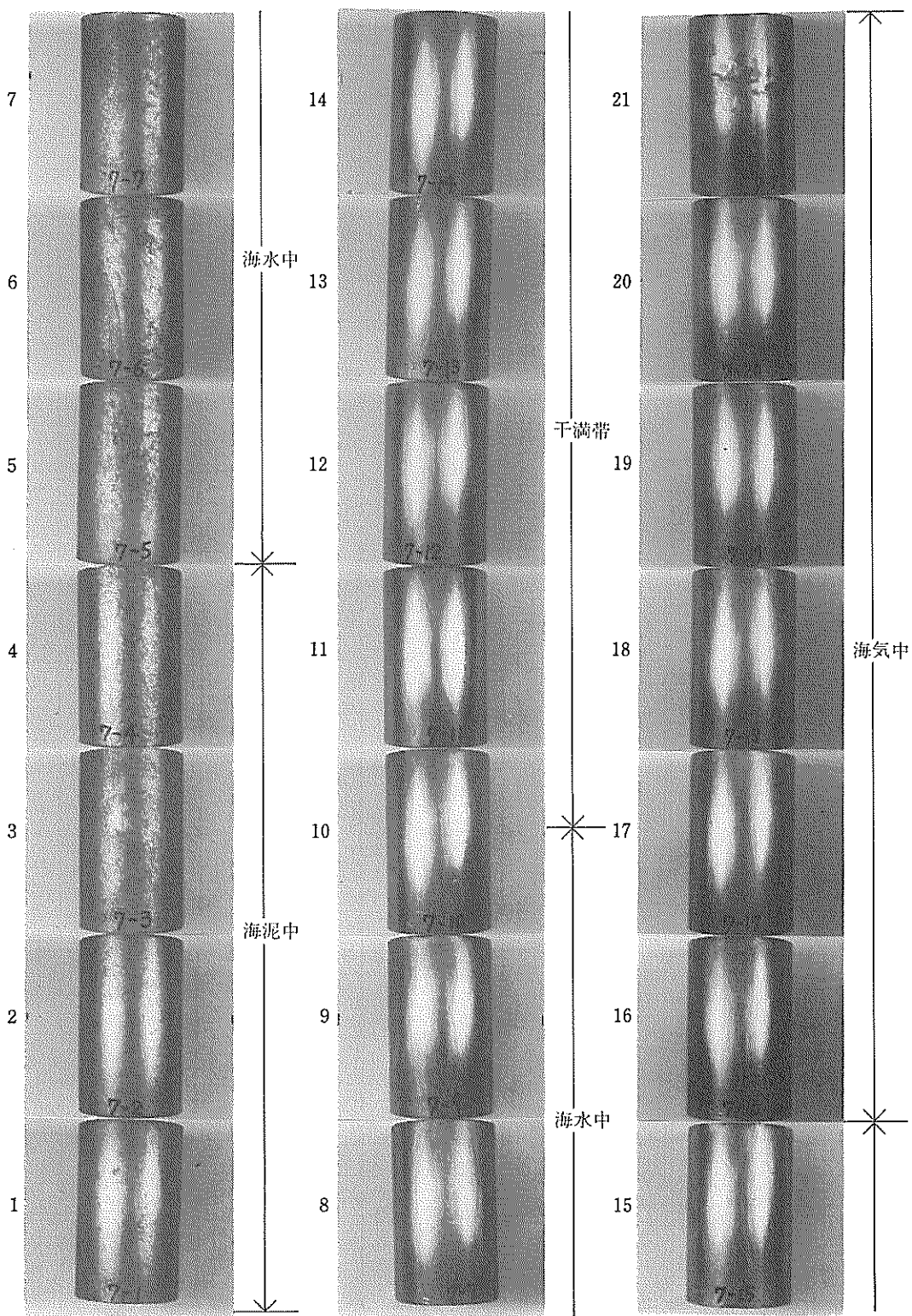


写真 - 12 脱錆後の表面状況 (供試体D)

港湾技研資料 No. 560

1986・9

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 奥村印刷株式会社

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