港湾技研資料

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

No. 532 Sept. 1985

港湾構造物の電気防食調査（その3）

横井聡之
阿部正美

運輸省港湾技術研究所

国土技術政策総合研究所
図書室
蔵書

目　　次

要　　旨 ……………………………… 3

1. まえがき ……………………………… 3

2. 調査構造物 ……………………………… 3

3. 陽極調査 ……………………………… 3
　3.1　調査方法 ……………………………… 3
　3.2　陽極の閉路電位測定結果 ……………………………… 7
　3.3　陽極の発生電流測定結果 ……………………………… 8
　3.4　陽極の重量測定結果 ……………………………… 10
　3.5　前回調査後の陽極消耗量に基づく検討 ……………………………… 13
　3.6　陽極の観察結果 ……………………………… 14

4. 構造物調査 ……………………………… 14
　4.1　調査方法 ……………………………… 14
　4.2　構造物の電位測定結果 ……………………………… 14
　4.3　構造物の肉厚測定結果 ……………………………… 17
　4.4　構造物の観察結果 ……………………………… 17

5. 環境調査 ……………………………… 19
　5.1　調査方法 ……………………………… 19
　5.2　水質試験結果 ……………………………… 19
　5.3　底質試験結果 ……………………………… 22

6. 結　　論 ……………………………… 22

あとがき ……………………………… 23

参考文献 ……………………………… 23

写　　真 ……………………………… 24

付　　図 ……………………………… 34

付　　表 ……………………………… 43

Performances of Steel Structure under Marine Environment, being Applied Cathodic Protection (Part 3)

Toshiyuki YOKOI *
Masami ABE **

Synopsis

In order to grasp performances of steel structure under marine environments, to which cathodic protection by galvanic anodes have been applied for long period, cathodic protection surveys of nine typical steel structures were made. The surveys intended to grasp the relation between seawater quality and protective current density, and the changes of condition of cathodic protection after the last surveys of the same structures. The following results were obtaind.

(1) Protective current densities of steady state obtained by current measurement were 27～53 mA/m², on the other hand the current densities calculated from anode weight losses from initial state were 35～65 mA/m².

(2) Protective current densities calculated from anode weight losses during protective current being steady state were nearly equal to the values obtained by current measurement.

(3) In one structure protective current density reduced by half compared with the last survey. It was considered that the current reduction was affected by the improvement of seawater quality after the last survey.

(4) Where the protective current densities were large, seawater qualities were not so good.

* Chief of Materials Laboratory, Structures Division
** Member of Materials Laboratory, Structures Division

港湾構造物の電気防食調査（その３）

横　井　聡　之*
阿　部　正　美**

要　　旨

長期間流電陽極方式による電気防食を適用している港湾鋼構造物の実態を知るために，９例の構造物について電気防食調査を行った。今回の調査では水質と防食電流密度との関係および過去に調査した構造物についてその後の推移を把握することをおもな目的とした。おもな調査結果は次のとおりである。

(1) 防食電流密度（定常値）は発生電流の測定値から求めると 27～53 mA/m^2 の範囲にあり，陽極の重量測定から求めると 35～65 mA/m^2 の範囲にあった。

(2) 防食電流が定常状態にあるとみなせる期間の陽極の消耗量から求めた防食電流密度は，発生電流の測定値から求めた値にほぼ等しかった。

(3) 前回調査時より防食電流密度が半減した事例があった。これは水質が改善された効果によると考えられる。

(4) 防食電流密度が大きいところでは水質が悪かった。

1. まえがき

港湾鋼構造物に対して用いられる電気防食の方式としては，昭和40年代より流電陽極方式が用いられ，おもに管理上の便利さから現在ではほとんどがこの方式によっている。流電陽極方式が一般的に使われるようになってから相当の期間が経過しており，その間に十分な実績を積んできた。しかしその実態についての詳細な調査はほとんどされていなかった。また電気防食の設計に関しては，防食電流密度の設計値はほとんどの構造物が同一の値を用いて設計されており，環境による相違は一部の事例を除いて考慮されていなかった。したがって電気防食の効果の実態を調査し，それに基づき設計法や管理方法を検討し必要な改良をする時期にきていると考えられる。

このため実構造物に対する電気防食調査を実施してきており，これまでの調査結果は発表している[1),2)]。既調査では全国各地より調査構造物を選定したが，今回はそれに補足して水質の影響をとらまえることと，約５年前に調査を実施した構造物[3)]に対しその後の推移を把握することをおもな目的として調査を行った。調査の内容は従来と同じく陽極調査，構造物調査および環境調査である。本文の記述は既調査の報告と対比しやすいように既報告と同様の形式をとった。

2. 調査構造物

調査構造物を表－１に示し，調査港の位置図を図－１に示す。以下の記述においては簡単のため各構造物をＡ～Ｉ港の記号で表す。Ｅ港の鋼矢板セルを矢板と杭に分けて記述する場合はＥ（矢板）およびＥ（杭）と表示する。各調査構造物の調査位置，正面図および断面図を巻末の付図－１～付図－９に示した。

Ｄ，Ｅ，Ｆ，Ｉ港は約５年前にも調査を行っており，今回その間の変化をみるため二回目の調査を行った。Ｂ港は当初防食電流密度（初期値）を 100 mA/m^2 として設計して電気防食を行ってきたが，約８年経過後に防食電位を保持するため防食電流密度を 130 mA/m^2 と設計変更して陽極を追加して取り付けている。Ｃ港は当初外部電源方式で電気防食を行っていたが，しばらくの中断後流電陽極方式に切り替えた。なおＣ港では水質を考慮して防食電流密度（初期値）を一般には 100 mA/m^2 として設計されるところを 200 mA/m^2 としている。Ｇ港は最初に取り付けた陽極の消耗後二回目の陽極を取り付けている。

3. 陽極調査

3.1 調査方法

(1) 調査対象陽極

＊ 構造部　材料施工研究室長
＊＊ 構造部　材料施工研究室

表−1 電気防食調査構造物

No.	港名 施設名	タイプ	鋼材			H.W.L.	水深	防食面積 (m^2)		Al合金陽極			塗装	経過期間	電防期間
			種類	t (mm)	l (m)	(m)	(m)	※ 海水中	※※ 海泥中	個数	初期発生電流 (A)	設計寿命 (年)		(年)	(年)
A	横浜港 大黒ふ頭岸壁 桟橋部	桟橋式	鋼管杭 φ812.8 mm	12.0	60	+2.0	−4.5 〜 −12.0	441.4	5069.4	81	1.9	10	なし	9	9
B	横浜港 本牧ふ頭A突堤 第5バース	矢板式	鋼矢板 B−74	13.5	26	+2.0	−12.0	3100	3200	164 55	3.0 2.5	20 12	なし	11.8	11.8 3.3[1)]
C	田子の浦港 鈴川岸壁	矢板式	鋼矢板 YSP−Ⅱ	10.5	9.8	+1.6	−4.0	1028.9	983.2	95	2.5	5	なし	22	4.3[2)]
D	名古屋港 空見ふ頭岸壁	矢板式	鋼矢板 YSP−ⅣA	16.1	23	+2.6	−5.5	1263.2	3013.2	104	3.2	20	なし	15.8	15.8
E	堺泉北港 堺3区 大浜第6号岸壁	鋼矢板セル式	鋼管杭 φ508mm 鋼矢板 YSP−F	10.0 9.5	21 20.5 / 21.5	+1.75	−10.0	4158.8	2726.7	259	2.0	20	±0m上錆止め	12.8	12.8
F	岡山港 −4m物揚場	矢板式	鋼矢板 FSP−Ⅲ	13.0	22	+1.85	−4.0	3009	9603	146	3.5	20	−0.5m上塗装	13.8	13.8
G	境港 外港2号岸壁 (昭和北地区)	桟橋式 (土留矢板)	鋼矢板 YSP−U15	12.2	14	+0.6	−5.0	1999.7	4661.8	100	3.0	10	なし	18	2.2[3)]
H	下関港 岬之町 −10m岸壁	桟橋式	鋼管杭 φ600mm	9.0	25	+2.86	−10.0	516.4	968.9	25	3.0	20	±0m上塗装	10.8	10.2
I	北九州港 田野浦 −10m岸壁	矢板式	組合せ矢板 FSP−V, ⅥL	24.3 27.6	22.7	+4.05	−10.0	5533.4	2202.4	206	2.8	25	なし	15.8	15.8

※ M.S.L.〜海泥面間
※※ 張石部を含む

1) 途中で追加
2) 流電陽極取付後の期間
3) 陽極再取付後の期間

表−2に示すように各構造物4または6個の陽極について調査した。B港については当初から取付けられている陽極4個と，途中から設計変更に基づいて追加して取り付けた2個について調査した。以下においてはそれらをB港（当初取り付け），B港（追加）と区分して記述する。陽極の取り付け深度が複数の場合は各深度より選定した。(調査陽極の位置は付図−1〜付図−9を参照)

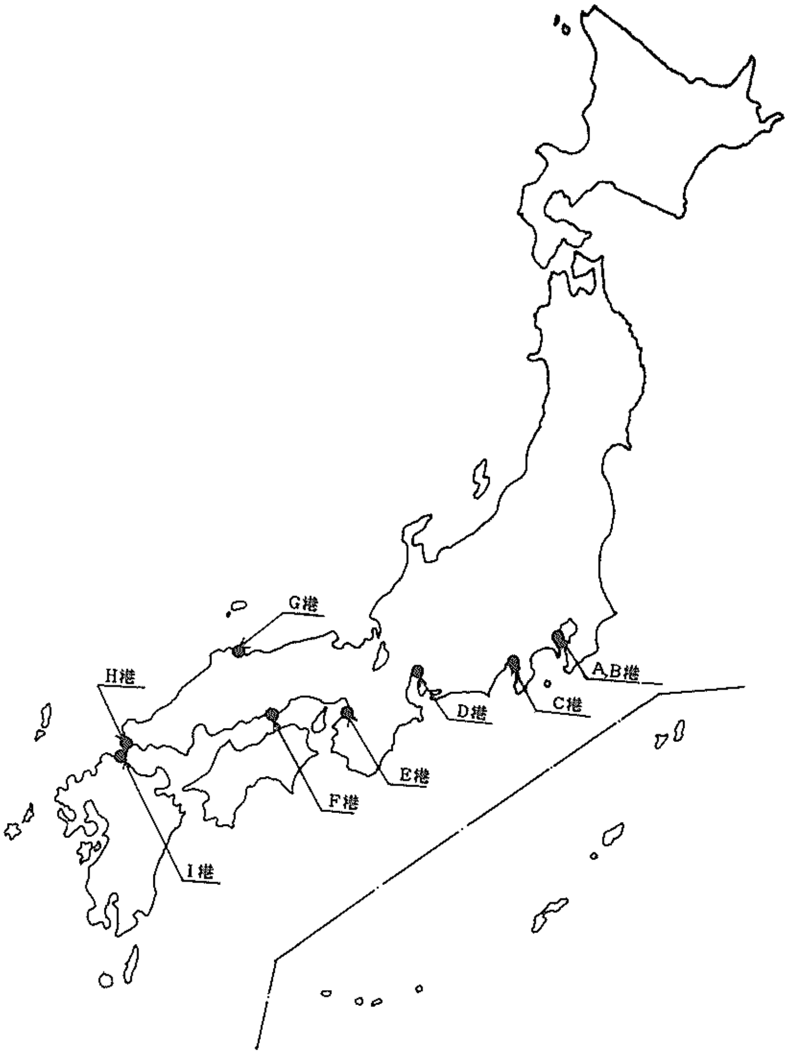
(2) 陽極の閉路電位測定

陽極の閉路電位測定の要領を図−2に示す。基準電極（海水塩化銀電極）の先端を潜水夫が陽極の表面に押しあて陸上部に設置した電位差計で計測した。陽極上の電位を測定した点は鉛直方向に上，中，下の3か所である。陽極の長さは60〜150cmであるので，測定点の間隔は約25〜70cmである。電位測定は陽極表面の付着物除去前と，重量測定終了後再取り付けした後の付着物除去後の状態の二回行った。

(3) 陽極の発生電流測定

陽極の発生電流測定の要領を図−3に示す。陽極は図に見られるように上下から出ている芯金によって構造物に取り付けられている。陽極を吊下げたロープで固定してから片方の芯金を切断して陽極と構造物の間にシャント抵抗（50mV，5A防水型）を挿入し，他方の芯金を構造物から切りはずし，電圧降下法により発生電流を測定した。なお発生電流の測定は陽極が付着物に覆われている状態で行った。

(4) 陽極の重量測定

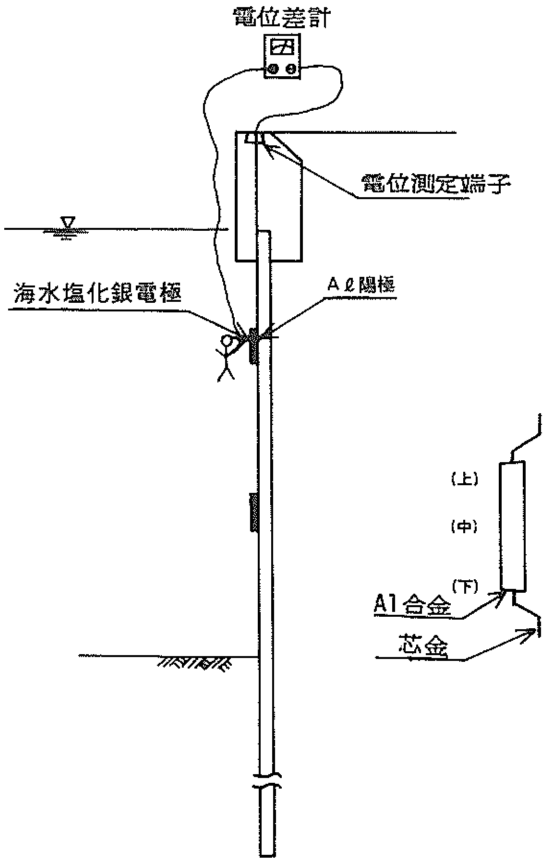


図－1　電防調査構造物の位置図

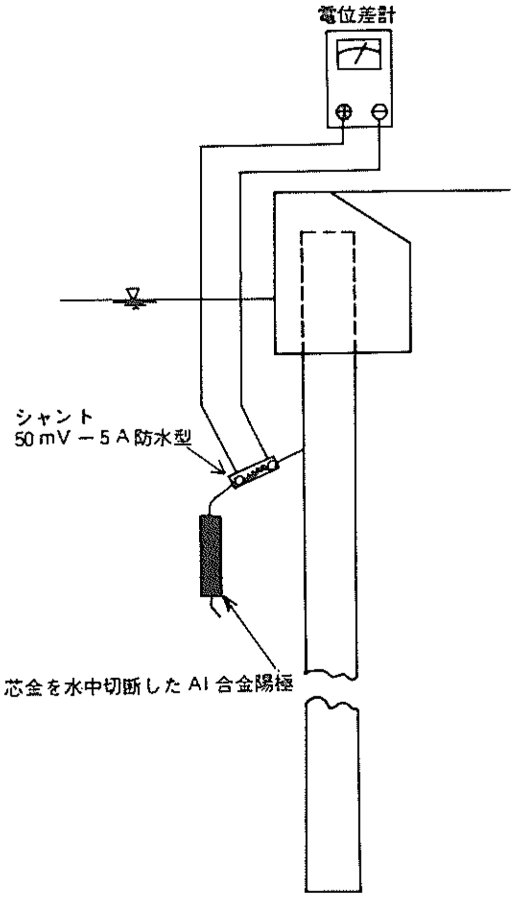
表－2　調査陽極の数量および形状寸法

港　名	取付深度数	調査地点	調査陽極数(個)	陽極重量(kg)※		形状寸法(mm)(上幅＋下幅)×高×長
				Gross	Net	
A	2	3	6	44.5	41.0	(120＋140)×140×850
B	5	4	6	122.0	111.5	(160＋200)×185×1300
				65.7	60.0	(110＋130)×125×1500
C	1	4	4	30.5	26.3	(70＋90)×90×1400
D	1	4	4	105.5	95.1	(140＋160)×160×1500
E※※	2	6	6	82.3	76.8	(170＋210)×190×800
	2	3	6	82.3	76.8	(170＋210)×190×800
F	1	4	4	109.5	103.3	(200＋260)×250×600
G	1	4	4	66.9	60.9	(110＋140)×130×1350
H	2	6	6	119.3	115.2	(190＋230)×200×1000
I	4	3	6	115.2	109.0	(230＋170)×200×1000

※　規格値Gross：Al合金重量＋芯金重量，Net：Al合金重量
※※　E港の上段は鋼矢板，下段は鋼管杭



図－2　陽極の電位測定法



図－3　陽極の発生電流測定法

構造物に取り付けてある陽極上下の芯金部分を切断して陽極を陸上に回収し，付着物を十分に除去してから陽極の残存重量を台ばかり（最小目盛0.1 kg）で測定した。

陽極の残存重量(Gross)（芯金のついた状態）より消耗量を算出し，以下次のように平均発生電流および陽極の推定寿命を計算した。

消耗量(kg)＝初期重量(Gross)－残存重量(Gross)－切断により構造物側に残った芯金重量(芯金の長さより算出)　……(1)

残存重量(Net)(kg)＝初期重量(Net)－消耗量　……(2)

(Net)はアルミニウム合金陽極のみの重量

$$平均発生電流(A) = \frac{消耗量 \times 陽極有効電気量}{陽極取り付け経過期間} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$アルミニウム合金陽極の有効電気量 = \frac{1}{3.8} \quad (A \cdot yr/kg)$$

$$推定残寿命(yr)(重量測定による) = \frac{残存重量(Net) \times 陽極有効電気量}{平均発生電流} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$推定残寿命(yr)(電流測定による) = \frac{残存重量(Net) \times 陽極有効電気量}{発生電流(測定値)} \quad \cdots\cdots(5)$$

推定総寿命(yr)＝推定残寿命＋陽極取り付け経過期間……(6)

陽極の残寿命を推定するには上記の二方法があるが，

重量測定による方法では，陽極の消耗量から算出した電気防食開始当初から現在までの平均発生電流が今後継続するとし，電流測定による方法では，測定した発生電流が今後継続するものとしている。陽極の発生電流は電防開始から時間経過とともにしだいに減少していき一定値に落ち着くといわれている。したがって重量測定による方法では平均発生電流に電防開始当初の発生電流が大きかったときの影響が含まれている。長期間経過しているとその影響は小さいが，寿命は若干短く算出されるはずである。一方電流測定による方法では，発生電流は季節，気象条件，潮位，水質等により変動することがあるため測定値が現在の平均値を示しているとは限らないという問題がある。従来の調査においても両方の方法で陽極の残寿命および防食電流密度を算出しているが結果に差が生じているものが多い。今回も両方の方法を用いた。

(5) 陽極の観察

陸上に回収した陽極の表面の写真撮影（カラー）を付着物の除去前後に行った。陽極は測定および観察終了後もとの取り付け位置に水中溶接して原状にもどした。

3.2 陽極の閉路電位測定結果

陽極の閉路電位の測定結果を表－3に示す。表において陽極電位の付着物除去前および除去後の「平均」は，

表－3 陽極の閉路電位測定結果

港名	陽極 No.	陽極 深度 (m)	陽極電位(mV) 付着物除去前 平均	付着物除去前 最大差	付着物除去後 平均	付着物除去後 最大差	差
A	1	±0.0	−1067	102	−1102	31	35
	2	−3.0	−1006	87	−1085	29	79
	3	±0.0	−1026	47	−1098	14	72
	4	−3.0	−975	31	−1108	9	133
	5	±0.0	−1009	27	−1113	4	104
	6	−3.0	−999	9	−1112	7	113
	平均		−1014	51	−1103	16	89
B	1	−1.0	−1019	28	−1102	6	83
	2	−6.0	−1051	88	−1130	25	79
	3	−3.0	−1033	35	−1139	5	106
	4	−6.0	−999	10	−1132	19	133
	5	−0.5	−1113	15	−1111	29	2
	6	−7.5	−1050	79	−1082	9	32
	平均		−1044	43	−1116	16	72
C	1	−0.6	−985	93	−1024	48	39
	2	−0.7	−925	52	−1098	8	173
	3	−0.7	−960	69	−998	27	38
	4	−0.7	−977	120	−993	30	16
	平均		−962	84	−1028	28	66
D	1	±0.0	−820	40	−1000	70	180
	2	±0.0	−863	10	−1022	30	159
	3	±0.0	−827	20	−1022	30	195
	4	±0.0	−857	40	−1032	45	175
	平均		−842	28	−1025	44	183
E（矢板）	1	−1.5	−1013	37	−1083	59	70
	2	−6.0	−1023	77	−1100	38	77
	3	−1.5	−958	21	−1093	45	135
	4	−6.0	−952	34	−1094	44	142
	5	−1.5	−959	35	−1095	15	136
	6	−6.0	−962	20	−1095	37	133
	平均		−978	37	−1093	40	115
E（杭）	1	−1.5	−1017	145	−1080	68	63
	2	−6.0	−957	38	−1087	69	130
	3	−1.5	−966	36	−1091	56	125
	4	−6.0	−967	16	−1091	46	124
	5	−1.5	−991	19	−1068	23	77
	6	−6.0	−1021	83	−1079	53	58
	平均		−987	56	−1083	53	96
F	1	−2.0	−990	23	−1105	17	115
	2	−2.0	−953	56	−1108	10	155
	3	−2.0	−932	38	−1098	34	166
	4	−2.0	−941	53	−1095	35	154
	平均		−954	43	−1102	24	148
G	1	−1.0	−1023	10	−1037	20	14
	2	−1.0	−1023	10	−1030	20	7
	3	−1.0	−1027	10	−1033	10	6
	4	−1.0	−1013	10	−1030	20	17
	平均		−1022	10	−1037	18	15
H	1	−1.0	−984	25	−1084	20	100
	2	−6.0	−987	19	−1075	13	88
	3	−1.0	−1004	16	−1128	9	124
	4	−6.0	−983	29	−1120	12	137
	5	−1.0	−995	21	−1126	4	131
	6	−6.0	−998	23	−1120	14	122
	平均		−992	22	−1109	12	117
I	1	−3.0	−968	50	−1009	12	41
	2	−8.0	−966	76	−1082	26	116
	3	−0.5	−953	22	−1050	28	97
	4	−5.5	−973	38	−1104	24	131
	5	−0.5	−982	39	−1093	21	111
	6	−5.5	−955	34	−1102	8	147
	平均		−966	43	−1073	20	107

各陽極の上，中，下三点で測定した電位の平均を表し，「最大差」は三点の測定値の最大差を表す。また「差」は付着物除去前後の平均値の差を表す。

(1) 付着物除去前の電位

陽極は被防食体である鋼材よりも適当に低電位であって，使用期間を通じて有効電位差が十分に維持されることが必要である。したがって使用によって電位が当初より貴になる程度ができるだけ小さい方がのぞましい。また各陽極の三点での電位の差は小さいほどよく，各陽極の平均値のばらつきも小さいことがのぞましい。

付着物除去前の電位は平均値でみて，A，B，G港が－1000mV台，C，E，F，H，I港が－900mV台であったが，D港は－800mV台であった。D，E，F，I港は2回目の調査であるが，いずれも前回よりも貴になっている。特にD港は約150mV貴になっている。なおD，E，F，I港は参考文献3）におけるD，E，F，H港である。

次に陽極表面上の位置による電位の差は，付着物の状態，水質の変動等のために生じる。そのばらつきをみると，D，F，G，H港が60mV以下，B，E(矢板)，I港が100mV以下であったが，A，C，E(杭)港には100mV以上のものがあった。それらを記すと次のとおりである。

港名	陽極No.	深度	電位(mV) 上	中	下	最大差
A	1	±0.0	－1108	－1088	－1006	102
C	4	－0.7	－928	－955	－1048	120
E(杭)	2	－1.5	－1099	－997	－954	145

(2) 付着物除去後の電位

付着物を除去後の陽極の電位は－1000mV～1140mVに回復した。従来の調査では－1100mV前後がほとんどであったのに比べ，今回はC，D，G港が若干貴であった。二回目の調査であるC，D，F，I港についてはF港が前回とほぼ同じである以外はいずれも前回より40～50mV貴になっている。陽極表面での位置による電位の差は付着物除去前よりほとんどが小さくなっている。

(3) 付着物の有無による電位差

流電陽極としては，電流を発生するときに電位が貴になる程度が小さいほどのぞましい。付着物除去後の電位を通電開始時の電位と仮定して，付着物除去前後の電位差を通電による陽極の電位上昇とみなすと，平均値でD，E(矢板)，F，H，I港が100mV以上であった。なかでもD港は180mVあり，これまでの調査の中では最大となっている。逆に最も電位差の小さいのはG港で，付着物除去前後の電位差はほとんどなかった。G港は再取り付けした陽極であり約2年しか経過していないためと考えられる。再取り付けした陽極については同様のことが過去の調査においてもみられた。(参考文献1)のB港)

3.3 陽極の発生電流測定結果

(1) 潮位による発生電流の変動

陽極の発生電流は電防開始当初より時間経過とともにしだいに減少して行き一定値に落ち着く。しかし季節，気象条件，潮位，水質変化等により変動することがある。したがって測定値が現在の平均的な発生電流ではないかもしれないという問題がある。今回は潮位による変動の程度をしるため満潮時および干潮時に測定した。その結果HおよびI港において満潮時1.0～1.3A，干潮時0.7～1.0Aと平均0.3A変動したが他港ではほとんど変動しなかった。HおよびI港は他港に比していずれも潮位差が大きく，かつ鋼材の露出上端高が高い。このため満潮時に電流が大きくなったものと考えられる。表－4には各港とも満干潮の測定値の平均値を記した。

(2) 発生電流の低減率

陽極の発生電流の低減の状況をみるために(7)式により低減率を求めた。ここに電防開始当初の発生電流は測定されていないので設計値を用いている。

$$低減率(\%)=\frac{調査時の発生電流(測定値)}{電防開始時の発生電流(設計値)}\times 100 \quad \cdots\cdots(7)$$

低減率は小さいほど電流の減少の程度が大きく，したがって陽極の消耗の程度も少なく経済的である。

低減率20%台がA，B(当初取り付け)，C，F港，30%台がE，H，I港，40%台がB(追加)，D，G港となっている。なおE港は前回調査時が65%であったので，前回調査後の5年間でかなり減少している。D，F，I港については前回調査時から1～6%変動している。

各港の低減率をそれぞれの設計値と比較すると次のようになる。

発生電流の低減率(%)

	設計値	測定値
A	50	28
B（当初取付）	50	27
B（追加）	50	45
C	50	26
D	40	42
E（矢板）	50	33
E（杭）	50	30
F	40	26
G	50	42

表－4 陽極発生電流測定結果

港名	陽極		発生電流			防食電流密度 mA/m²
	No.	深度 (m)	初期 (A)	測定 (A)	低減率 (%)	
A	1	±0.0	1.9	0.71	37	
	2	－3.0	1.9	0.44	23	
	3	±0.0	1.9	0.53	28	
	4	－3.0	1.9	0.58	31	
	5	±0.0	1.9	0.51	27	
	6	－3.0	1.9	0.47	25	
	平均		1.9	0.54	28	30
B	1	－1.0	3.0	0.71	24	
	2	－6.0	3.0	0.97	32	
	3	－1.0	3.0	0.80	27	
	4	－6.0	3.0	0.69	23	
	平均		3.0	0.79	27	
	5	－0.5	2.5	1.17	47	
	6	－7.5	2.5	1.08	43	
	平均		2.5	1.13	45	53
C	1	－0.6	2.5	0.71	28	
	2	－0.7	2.5	0.47	19	
	3	－0.7	2.5	0.68	27	
	4	－0.7	2.5	0.75	30	
	平均		2.5	0.65	26	50
D	1	±0.0	3.2	1.0	31	
	2	±0.0	3.2	1.7	53	
	3	±0.0	3.2	1.35	42	
	4	±0.0	3.2	1.35	42	
	平均		3.2	1.35	42	48
E（矢板）	1	－1.5	2.0	0.68	34	
	2	－6.0	2.0	0.65	33	
	3	－1.5	2.0	0.53	27	
	4	－6.0	2.0	0.97	49	
	5	－1.5	2.0	0.53	27	
	6	－6.0	2.0	0.53	27	
	平均		2.0	0.65	33	36
E（杭）	1	－1.5	2.0	0.68	34	
	2	－6.0	2.0	0.55	28	
	3	－1.5	2.0	0.45	23	
	4	－6.0	2.0	0.58	29	
	5	－1.5	2.0	0.53	27	
	6	－6.0	2.0	0.79	40	
	平均		2.0	0.60	30	33
F	1	－2.0	3.5	1.02	29	
	2	－2.0	3.5	0.87	25	
	3	－2.0	3.5	0.88	25	
	4	－2.0	3.5	0.91	26	
	平均		3.5	0.92	26	27
G	1	－1.0	3.0	1.17	39	
	2	－1.0	3.0	1.38	46	
	3	－1.0	3.0	1.38	46	
	4	－1.0	3.0	1.10	37	
	平均		3.0	1.26	42	43
H	1	－1.0	3.0	0.90	30	
	2	－6.0	3.0	0.85	28	
	3	－1.0	3.0	0.90	30	
	4	－6.0	3.0	0.95	32	
	5	－1.0	3.0	1.15	38	
	6	－6.0	3.0	1.10	37	
	平均		3.0	0.98	33	34
I	1	－3.0	2.8	0.90	32	
	2	－8.0	2.8	0.85	30	
	3	－0.5	2.8	0.90	32	
	4	－5.5	2.8	0.95	34	
	5	－0.5	2.8	1.15	41	
	6	－5.5	2.8	1.10	39	
	平均		2.8	0.98	35	34

H	50	33
I	40	35

D港が若干測定値が大きいほかは設計値より小さくなっている。B港は当初取り付けた陽極と追加した陽極でかなり差がある。追加陽極はまだ発生電流が低減の過程にあるのかもしれない。

(3) 防食電流密度

陽極の発生電流の測定値（平均値）より防食電流密度を算出した。今回調査時の水深は各港ともほぼ計画水深であったので防食面積は初期値（設計値）を用いた。B, C, D港は約50mA/m², G港が43mA/m², E, H, I港が約35mA/m², A, F港が約30mA/m² であった。二回目の調査である4港について前回調査時の値と比べると次のとおりである。

	防食電流密度(mA/m²)	
	前回	今回
D	45	48
E（矢板）	72	36
F	25	27
I	25	34

D，F港はほとんど変わらず，I港は若干増加した程度である。E港は大きく変化し前回調査時より半減している。これには後述するように水質が改善されたことが影響していると考えられる。

(4) 陽極寿命の推定

(5)，(6)式から算出した陽極の推定寿命を表－5に示す。設計寿命に不足しているものは，B港の当初取り付けの陽極とI港である。いずれも現在の電流量は設計値以下であるが，現在までの消耗量が大きかったためである。C港が設計寿命5年に対して推定寿命9.6年と長いのは，設計電流密度を電防開始初期200 mA/m²，低減率50％としたが実際には余裕があったためである。

二回目の調査である4港について前回調査時の値と比べると次のとおりである。

	推定総寿命(年)	
	前回	今回
D	18.9	20.5
E（矢板）	15.0	21.9
F	24.7	23.0
I	21.9	20.9

E港は前述のように防食電流密度が大幅に減少したために寿命が延びたが，他の3港はほぼ同じであった。

なお推定寿命の計算は各陽極についてそれぞれ独立して行い，表中の平均の欄はそれらの各陽極の値を平均したものである。したがって表－5の値は消耗しつくした陽極はその都度再取り付けするとした場合に相当するものである。もし消耗しつくした陽極の再取り付けをしなければ，まだ残存している陽極は負担が増しその後の消耗の速度ははやくなり，寿命も表の値より短くなるはずである。実際問題としては，陽極が消耗しおわるたびに再取り付けすることはできないから，平均の推定寿命よりも若干はやい時期が再取り付けの時期になる。

3.4 陽極の重量測定結果

陽極の重量測定結果を表－5に示す。

(1) 陽極消耗量（年間平均）

陽極の1個当たりの年間平均の消耗量は平均値でみて，C，A港が3～4 kg，E，D，G港が4～5 kg，F，B（追加），I港が5～6 kg，H港が約6 kg，B港（当初取り付け）が約8 kgとなっている。B港（当初取り付け）の約8 kgはこれまでの調査の中で最大である。陽極を追加して取り付ける以前の消耗量がかなり大きかったものと考えられる。

次に各港における陽極の取り付け深度ごとの平均消耗量を比較すると次のようになる。

	取り付け深度(m)	年間平均陽極消耗量(kg)	全深度当たりの平均値との差(kg)
A	±0.0	3.73	－0.11
	－3.0	3.94	＋0.10
B（当初取付）	－1.0	7.96	－0.08
	－6.0	8.09	＋0.05
B（追加）	－0.5	6.15	＋0.48
	－7.5	5.18	－0.49
E（矢板）	－1.5	4.14	－0.02
	－6.0	4.54	＋0.02
E（杭）	－1.5	3.58	－0.69
	－6.0	4.96	＋0.69
H	－1.0	5.77	－0.33
	－6.0	6.46	＋0.36
I	－0.5	5.88	＋0.17
	－3.0	5.75	＋0.04
	－5.5	5.51	－0.20
	－8.0	5.76	＋0.05

陽極消耗量と取り付け深度との関係をみると，大体において深い位置のものが消耗量が若干多い傾向がみられる。この傾向は前回調査においてもみられた[2)]。防食電流は干満帯付近が海中部より大きいことを考慮して，陽極を海中部の上部は下部よりもやや密に配置することによるのかもしれない。しかし各深度の陽極消耗量の全深度当たりの平均値との差は小さく，ほとんどのものが数％の差であることから，陽極の配置は適当なものと思われる。また以下の検討においても表－5の平均値を用いることとした。

(2) 発生電流の低減率

陽極の消耗量から(3)式により平均発生電流を求め，その値を(7)式の分子に代入して，陽極の重量測定による場合の発生電流の低減率を求めた。（表－5）低減率30％台がC，D，F港，40％台がG港，50％台がA，E，H，I港で，B港は60％(追加）および70％（当初取り付け）となっている。電流測定による場合の低減率と比べると，D，G港を除いていずれもかなり大きくなっており，設計値と比べても半数以上が大きい。

(3) 防食電流密度

陽極の重量測定より求めた防食電流密度を表－5に示

表－5　陽極重量測定結果 (1)

港名	陽極		陽極重量 (kg)				年間平均発生電流 (A)	発生電流低減率 (%)	防食電流密度 (mA/m²)	推定残寿命(年)		推定総寿命(年)	
	No.	深度 (m)	初期 (Net)	残量 (Net)	消耗量	年間平均消耗量				重量測定	電流測定	重量測定	電流測定
A	1	± 0.0	41.0	5.1	35.9	3.99	1.05	55		1.3	1.9	10.3	10.9
	2	－ 3.0	41.0	5.1	35.9	3.99	1.05	55		1.3	3.1	10.3	12.1
	3	± 0.0	41.0	8.6	32.4	3.60	0.95	50		2.4	4.3	11.4	13.3
	4	－ 3.0	41.0	7.4	33.6	3.73	0.98	52		2.0	3.4	11.0	12.4
	5	± 0.0	41.0	8.6	32.4	3.60	0.95	50		2.4	4.4	11.4	13.4
	6	－ 3.0	41.0	4.0	37.0	4.11	1.08	57		1.0	2.2	10.0	11.2
	平均		41.0	6.5	34.5	3.84	1.01	53	56	1.7	3.2	10.7	12.2
B	1	－ 1.0	111.5	22.6	88.9	7.53	1.98	66		3.0	8.4	14.8	20.2
	2	－ 6.0	111.5	19.9	91.6	7.76	2.04	68		2.6	5.4	14.4	17.2
	3	－ 1.0	111.5	12.5	99.0	8.39	2.21	74		1.5	4.1	13.3	15.9
	4	－ 6.0	111.5	11.5	100.0	8.41	2.23	74		1.4	4.4	13.2	16.2
	平均		111.5	16.6	94.9	8.04	2.12	71		2.1	5.6	13.9	17.4
	5	－ 0.5	60.0	39.7	20.3	6.15	1.62	65		6.5	8.9	9.8	12.2
	6	－ 7.5	60.0	42.9	17.1	5.18	1.36	54		8.3	10.5	11.6	13.8
	平均		60.0	41.3	18.7	5.67	1.49	60		7.4	9.7	10.7	13.0
C	1	－ 0.6	26.3	11.9	14.4	3.34	0.88	35		3.6	4.4	7.9	8.7
	2	－ 0.7	26.3	15.0	11.3	2.63	0.69	28		5.7	8.4	10.0	12.7
	3	－ 0.7	26.3	12.2	14.1	3.28	0.86	34		3.7	4.7	8.0	9.0
	4	－ 0.7	26.3	11.2	15.1	3.51	0.92	37		3.2	3.9	7.5	8.2
	平均		26.3	12.6	13.7	3.19	0.84	34	65	4.0	5.3	8.3	9.6
D	1	± 0.0	95.1	32.7	62.4	3.92	1.03	32		8.3	8.6	24.2	24.5
	2	± 0.0	95.1	19.6	75.5	4.75	1.25	39		4.1	3.0	20.0	18.9
	3	± 0.0	95.1	14.5	80.6	5.07	1.33	42		2.9	2.8	18.8	18.7
	4	± 0.0	95.1	20.7	74.4	4.68	1.23	38		4.4	4.0	20.3	19.9
	平均		95.1	21.9	73.2	4.61	1.21	38	43	4.9	4.6	20.8	20.5
E（矢板）	1	－ 1.5	76.8	28.5	48.3	3.77	0.99	50		7.6	11.0	20.4	23.8
	2	－ 6.0	76.8	23.9	52.9	4.13	1.09	55		5.8	9.7	18.6	22.5
	3	－ 1.5	76.8	20.3	56.5	4.41	1.16	58		4.6	10.1	17.4	22.9
	4	－ 6.0	76.8	16.5	60.3	4.71	1.24	62		3.5	4.5	16.3	17.3
	5	－ 1.5	76.8	22.7	54.1	4.23	1.11	56		5.4	11.3	18.2	24.1
	6	－ 6.0	76.8	15.5	61.3	4.79	1.26	63		3.2	7.7	16.0	20.5
	平均		76.8	21.2	55.6	4.34	1.14	57	63	5.0	9.1	17.8	21.9
E（杭）	1	－ 1.5	76.8	40.1	36.7	2.86	0.75	38		14.0	15.5	26.8	28.3
	2	－ 6.0	76.8	8.1	68.7	5.36	1.41	71		1.5	3.9	14.3	16.7
	3	－ 1.5	76.8	21.7	55.1	4.30	1.13	57		5.0	12.7	17.8	25.5
	4	－ 6.0	76.8	16.7	60.1	4.69	1.23	62		3.6	7.6	16.4	20.4
	5	－ 1.5	76.8	31.1	45.7	3.57	0.94	47		8.7	15.4	21.5	28.2
	6	－ 6.0	76.8	15.1	61.7	4.82	1.27	64		3.1	5.0	15.9	17.8
	平均		76.8	22.1	54.7	4.27	1.12	56	62	6.0	10.0	18.8	22.8

表－5　陽極重量測定結果(2)

港名	陽極		陽極重量 (kg)				年間平均発生電流 (A)	発生電流低減率 (%)	防食電流密度 (mA/m²)	推定残寿命(年)		推定総寿命(年)	
	No.	深度 (m)	初期 (Net)	残量 (Net)	消耗量	年間平均消耗量				重量測定	電流測定	重量測定	電流測定
F	1	－2.0	103.3	31.1	72.2	5.23	1.38	39		5.9	8.0	19.7	21.8
	2	－2.0	103.3	33.3	70.0	5.07	1.33	35		6.6	10.1	20.4	23.9
	3	－2.0	103.3	31.2	72.1	5.22	1.37	39		6.0	9.3	19.8	23.1
	4	－2.0	103.3	32.3	71.0	5.14	1.35	36		6.3	9.3	20.1	23.1
	平均		103.3	32.0	71.3	5.17	1.36	37	40	6.2	9.2	20.0	23.0
G	1	－1.0	60.9	48.6	12.3	5.59	1.47	49		8.7	10.9	10.9	13.1
	2	－1.0	60.9	50.7	10.2	4.64	1.22	41		10.9	9.7	13.1	11.9
	3	－1.0	60.9	50.1	10.8	4.91	1.29	43		10.2	9.6	12.4	11.8
	4	－1.0	60.9	50.6	10.3	4.68	1.23	41		10.8	12.1	13.0	14.3
	平均		60.9	50.0	10.9	4.95	1.30	43	44	10.2	10.6	12.4	12.8
H	1	－1.0	115.2	55.4	59.8	5.86	1.54	51		9.5	16.2	19.7	26.4
	2	－6.0	115.2	52.6	62.6	6.14	1.62	54		8.6	16.3	18.8	26.5
	3	－1.0	115.2	55.9	59.3	5.81	1.53	51		9.6	16.3	19.8	26.5
	4	－6.0	115.2	45.3	69.9	6.85	1.80	60		6.6	12.5	16.8	22.7
	5	－1.0	115.2	57.6	57.6	5.64	1.48	49		10.2	13.2	20.4	23.4
	6	－6.0	115.2	51.0	64.2	6.29	1.66	55		8.1	12.2	18.3	22.4
	平均		115.2	53.0	62.2	6.10	1.61	54	57	8.7	14.5	18.9	24.7
I	1	－3.0	109.0	18.1	90.9	5.75	1.51	54		3.1	5.3	18.9	21.1
	2	－8.0	109.0	18.0	91.0	5.76	1.52	54		3.1	5.6	18.9	21.4
	3	－0.5	109.0	14.6	94.4	5.97	1.57	56		2.4	4.3	18.2	20.1
	4	－5.5	109.0	21.4	87.6	5.54	1.46	52		3.9	5.9	19.7	21.7
	5	－0.5	109.0	17.7	91.3	5.78	1.52	54		3.1	4.1	18.9	19.9
	6	－5.5	109.0	22.4	86.6	5.48	1.44	51		4.1	5.4	19.9	21.2
	平均		109.0	18.7	90.3	5.71	1.50	54	52	3.3	5.1	19.1	20.9

す。なおB港は途中で陽極を追加しているのでこの方法では算出できない。F，D，G港が40～44 mA/m²，I，A，H港が52～57 mA/m²，E，C港が62～65 mA/m²となっている。発生電流の測定値から求めた値と比べると次のようになり，D，G港を除いてかなり大きい。

防食電流密度 (mA/m²)

	発生電流	重量測定
A	30	56
B	53	―
C	50	65
D	48	43
E（矢板）	36	63
E（杭）	33	62
F	27	40
G	43	44
H	34	57
I	34	52

またD，E，F，I港について前回調査時の値と比較すると次のようになりいずれも減少している。

防食電流密度 (mA/m²)

	前回	今回
D	49	43
E（矢板）	76	63
F	43	40
I	62	52

重量測定から求めた防食電流密度には電防開始初期の防食電流が大きかった影響が入るから，今回の調査の方がその影響は少なくなり防食電流密度の値が小さくなっ

たものと思われる。

(4) 陽極の推定寿命

(4), (6)式より重量測定にもとづく陽極寿命の推定を行うと表－5のとおりとなる。設計寿命に不足するものは，B，E，H，I港である。また電流測定にもとづく推定寿命よりはD港を除いて短く，最も差があるものでH港の約6年である。

次にD，E，F，I港について前回調査における推定値と比較すると次のようになり2,～3年寿命が長くなっている。

	推定総寿命（年）	
	前回	今回
D	18.2	20.8
E（矢板）	14.6	17.8
F	18.1	20.0
I	16.0	19.1

3.5 前回調査後の陽極消耗量に基づく検討

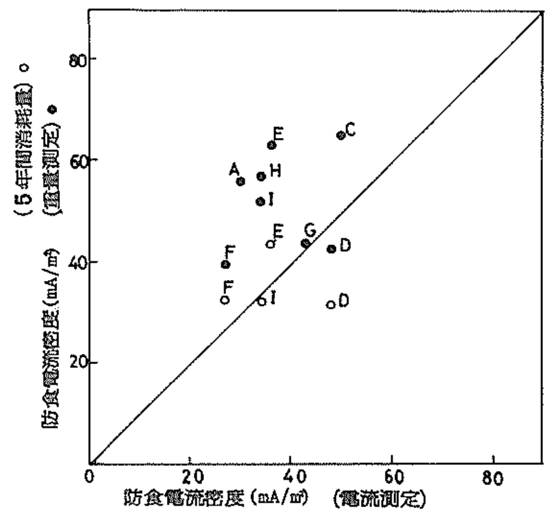
すでに述べたように防食電流密度は，発生電流の測定値から求めた値と重量測定から求めた値でかなり差があることが多い。その結果陽極寿命の推定値にも両者の方法で差が生じる。

重量測定から求めた防食電流密度には，電気防食開始初期の防食電流が大きかったときの影響が含まれているため現在の防食電流密度よりは大き目の値になっているはずである。設計上は安全側の値にはなるが場合によっては不正確でかつ不経済になるおそれもある。一方，発生電流の測定による方法では，発生電流は季節，気象条件，潮位，水質等により変動することがあり測定値が現在の平均的な値ではないかもしれないという問題がある。

D，E，F，I港については，約5年間隔で前後二回調査を行った。この5年間は防食電流がすでに定常値に低減した期間とみなせるので，この間の陽極の消耗量から防食電流密度を求めた。その結果は表－6に示す。なおF港については同一陽極について測定していないので平均値を用いた。各方法により求めた防食電流密度の関係を図－4に示す。図にみられるように電流測定から求めた値と5年間の陽極消耗量から求めた値はD港はややずれているがその他はほぼ等しい。またG港も電流測定による値と重量測定による値がほぼ等しいが，G港は再取り付けした陽極であって防食電流が定常値の期間について測定したものである。なおD港はすでに述べたように陽極の電位が前回調査より貴であり，また後で述べるが構造物の電位も貴である。このことは今回電流測定から求めた防食電流密度が重量測定および5年間消耗量か

表－6 陽極重量(前回調査後消耗量)測定結果

港名	陽極 No.	陽極 深度(m)	前回調査後消耗量 (kg)	年間平均消耗量 (kg)	年間平均発生電流 (A)	発生電流低減率 (%)	防食電流密度 (mA/m²)	推定残寿命 (年)	推定総寿命 (年)
D	1	±0.0	12.9	2.43	0.64	20		13.5	29.4
	2	±0.0	19.9	3.75	0.99	31		5.2	21.1
	3	±0.0	19.7	3.72	0.98	31		3.9	19.8
	4	±0.0	19.3	3.64	0.96	30		5.7	21.6
	平均		18.0	3.40	0.89	28	32	7.1	23.0
E	1	－1.5	14.7	2.88	0.76	38		9.9	22.7
	2	－6.0	14.3	2.80	0.74	37		8.5	21.3
	3	－1.5	15.8	3.10	0.82	41		6.5	19.3
	4	－6.0	16.8	3.29	0.87	44		5.0	17.8
	5	－1.5	13.3	2.61	0.69	35		8.7	21.5
	6	－6.0	16.0	3.14	0.83	42		4.9	17.7
	平均		15.2	2.98	0.79	40	44	7.3	20.1
F	平均		21.7	4.25	1.12	32	33	7.5	21.3
I	1	－3.0	18.4	3.61	0.95	34		5.0	20.8
	2	－8.0	11.2	2.20	0.58	21		8.2	24.0
	3	－0.5	24.3	4.76	1.25	45		3.1	18.9
	4	－5.5	20.1	3.94	1.04	37		5.4	21.2
	平均		18.5	3.63	0.96	34	33	5.4	21.2



図－4　各算出法による防食電流密度の関係

ら求めた値よりも大きいことと関係があるかもしれない。すなわち推測ではあるが最近何か好ましくない状況が生じていることも考えられる。ともかくD港には何か特別な事情があるとみなせば今回調査の範囲では電流測定から求めた防食電流密度は定常値を示しているといえる。

次に約5年間の陽極の消耗量について実測値（平均）と前回調査時の電流測定および陽極の重量測定より推定した値を比較すると次のようになる。

陽極消耗量（kg）

	電流測定より推定	重量測定より推定	実測値
D	25.4	27.6	18.0
E（矢板）	25.2	26.5	15.2
F	17.1	29.1	21.7
I	16.5	34.7	18.5

E港は5年間に水質の変化があったので除くと，電流測定による推定ではD港は実測値に対して約40％の差があったが，I，F港は10～20％程度と比較的差はなかった。一方重量測定による推定ではいずれもかなり差があった。

5年間消耗量より求めた年間平均発生電流を(4)式に代入して陽極の推定寿命を求めると表－6のようになる。推定寿命を求める三方法の中では5年間消耗量による方法が最も正確であるとして，これとの差をとると次のようになる。

推定寿命の差（年）

	重量測定		電流測定	
	前回	今回	前回	今回
D	－4.8	－2.2	－4.1	－2.5
E（矢板）	－5.5	－2.3	－5.1	＋1.8
F	－3.2	－1.3	＋3.4	＋1.7
I	－5.2	－2.1	＋0.7	－0.3

I港の電流測定による推定値は5年間消耗量による推定値とほぼ等しいが，I港以外は重量測定，電流測定の両方法による推定値とも，前回3～5年，今回2年前後の差がある。なお重量測定による推定値はすべて短い。電防経過期間が長くなるほど推定の精度が上るのは当然であるが，電防経過期間は前回で8～11年，今回で13～15年である。

3.6　陽極の観察結果

回収した陽極の写真を写真－1～写真－10に示す。陽極の表面は海洋生物と腐食生成物に覆われていた。付着物を除去した後の陽極の表面は比較的平滑なものや凹凸のあるものなど多様であるが，全体的にみて平均して消耗しており片寄って消耗しているものはなかった。

4.　構造物調査

4.1　調査方法

(1)　構造物の電位測定

陽極調査地点および施設法線延長上を約50m間隔の地点で水深1mごとに構造物の電位を測定した。なおG港は桟橋の土留矢板であるので作業性より，H港は取り付け部であるので延長が短いことから施設法線全長にわたる測定は行っていない。測定の方法は図－3と同様の要領である。基準電極を潜水夫が構造物表面に押しあてる方法と基準電極を所定水深まで吊下げる方法があるが，両者の測定値に大差ない場合は後者の方法によった。

(2)　肉厚測定

肉厚測定は調査陽極地点の陽極の近くと，陽極と陽極の中間点の2地点で行った。測定深度は－1.0mより上は0.2～0.5m間隔，－1.0mより下は1～2m間隔とした。各深度における横断面内の肉厚測定点は，U型矢板は凹凸一組の矢板のウェブ部分に6点，組み合わせ矢板と直線矢板は一枚の矢板に3点，鋼管は海側および陸側の2点である。なおB港はボックス矢板であるため肉厚が一定でないので除外した。測定には超音波探傷式厚み計を用いて同一個所を3回ずつ測定しその平均値を求めた。

(3)　観　察

肉厚測定個所の構造物表面について，水中写真撮影（カラー）を付着物除去の前後に行った。

4.2　構造物の電位測定結果

構造物の電位測定結果を表－7に示す。表には干潮時および満潮時における陽極調査地点および構造物全体の

電位を示した。干潮時と満潮時の電位差はあまりなかった。また陽極調査地点と構造物全体の差もなかった。図－5に干潮時の陽極調査地点の電位の深度方向の分布を示す。表－7および図－5にみられるようにD港のみわずかではあるが防食電位（－780 mV：海水塩化銀電極基準）に満たないところがあった。D港は前回調査時には－900～－950 mVであったから今回かなり貴になっている。

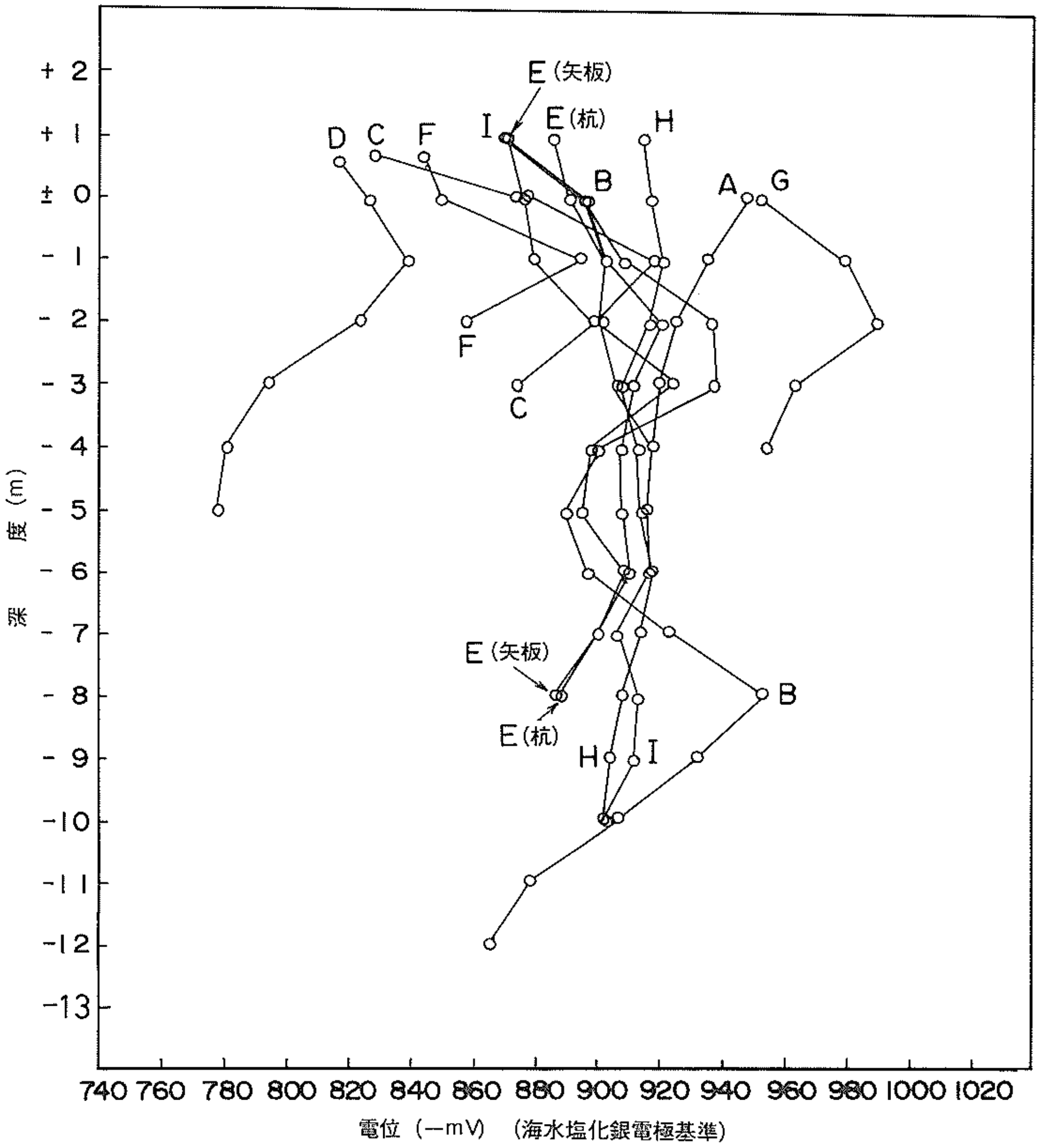
表－7　調査構造物の電位測定結果

単位：mV（海水塩化銀電極基準）

港名	深度 (m)	干潮時 (1)	干潮時 (2)	満潮時 (1)	満潮時 (2)
A	＋1.5				－842～－887
	＋0.5		－864～－960		－850～－896
	±0.0	－924～－992	－863～－943	－911～－925	－851～－899
	－1.0	－933～－938	－862～－930	－925～－958	－852～－902
	－2.0	－920～－929	－860～－920	－911～－929	－852～－902
	－3.0	－911～－925	－857～－919	－914～－935	－848～－902
	－4.0	－909～－932	－870～－916	－907～－936	－849～－901
	－5.0		－899～－915		－879～－901
	－6.0		914		900
	－7.0		913		899
	－8.0		911		897
B	＋1.4			－867～－889	
	＋1.0			－857～－893	－861～－932
	±0.0	－875～－910	－878～－940	－859～－924	－864～－940
	－1.0	－877～－966	－880～－967	－854～－1028	－871～－954
	－2.0	－891～－1018	－881～－962	－864～－1012	－877～－964
	－3.0	－897～－1009	－879～－935	－888～－971	－874～－940
	－4.0	－885～－921	－877～－928	－875～－918	－826～－932
	－5.0	－880～－897	－876～－928	－872～－896	－844～－933
	－6.0	－887～－911	－878～－939	－884～－931	－874～－940
	－7.0	－903～－937	－886～－1022	－907～－1015	－877～－946
	－8.0	－912～－1035	－903～－1020	－899～－1006	－878～－970
	－9.0	－901～－1034	－892～－962	－884～－946	－872～－938
	－10.0	－885～－902	－882～－942	－870～－921	－863～－940
	－11.0	－871～－886	－867～－930	－863～－888	－856～－931
	－12.0	－858～－870	－858～－930	－859～－871	－852～－931
C	＋1.0		－842～－876	－768～－809	－831～－853
	±0.0	－858～－892	－861～－877	－855～－872	－860～－900
	－1.0	－893～－952	－894～－918	－896～－942	－898～－946
	－2.0	－891～－915	－898～－962	－888～－914	－905～－945
	－3.0	－865～－881	－875～－888	－867～－877	－876～－883
	－4.0		－864～－880		－861～－874
D	＋1.0			－800～－860	－795～－865
	＋0.6	－780～－850	－795～－865		
	±0.0	－785～－860	－810～－890	－800～－860	－815～－890
	－1.0	－795～－875	－800～－895	－790～－865	－800～－895
	－2.0	－780～－865	－775～－850	－785～－865	－780～－860
	－3.0	－760～－830	－755～－830	－785～－840	－760～－830
	－4.0	－745～－820	－740～－815	－780～－835	－745～－820
	－5.0	－740～－815	－740～－810	－780～－820	－740～－810

港名	深度(m)	干潮時 (1)	干潮時 (2)	満潮時 (1)	満潮時 (2)
E(杭)	+1.3			−830 ～ −872	−835 ～ −911
	+1.0	−869 ～ −872	−834 ～ −913	−	
	±0.0	−875 ～ −877	−840 ～ −918	−815 ～ −879	−837 ～ −921
	−1.0	−877 ～ −882	−845 ～ −933	−857 ～ −884	−849 ～ −936
	−2.0	−886 ～ −915	−849 ～ −957	−883 ～ −905	−887 ～ −958
	−3.0	−889 ～ −955	−853 ～ −954	−889 ～ −961	−856 ～ −960
	−4.0	−886 ～ −910	−861 ～ −997	−887 ～ −911	−860 ～ −973
	−5.0	−882 ～ −914	−894 ～ −946	−882 ～ −908	−881 ～ −983
	−6.0	−885 ～ −955	−868 ～ −914	−880 ～ −935	−854 ～ −923
	−7.0	−872 ～ −929	−838 ～ −895	−883 ～ −936	−845 ～ −893
	−8.0	−870 ～ −899	−821 ～ −875	−871 ～ −897	−827 ～ −878
F	+0.7	−841 ～ −847	−808 ～ −863	−837 ～ −854	−821 ～ −874
	±0.0	−842 ～ −856	−810 ～ −852	−839 ～ −887	−814 ～ −858
	−1.0	−841 ～ −1006	−815 ～ −881	−837 ～ −898	−818 ～ −890
	−2.0	−840 ～ −882	−836 ～ −914	−843 ～ −866	−823 ～ −894
	−3.0		−837 ～ −874		−836 ～ −870
	−4.0		859		853
G	±0.0	−940 ～ −960		−960 ～ −980	
	−1.0	−950 ～ −1020		−970 ～ −1020	
	−2.0	−950 ～ −1020		−970 ～ −1040	
	−3.0	−940 ～ −990		−960 ～ −980	
	−4.0	−940 ～ −970		−950 ～ −980	
H	+1.5			−849 ～ −888	
	+1.0	−903 ～ −920		−855 ～ −892	
	±0.0	−909 ～ −925		−861 ～ −895	
	−1.0	−904 ～ −948		−867 ～ −944	
	−2.0	−908 ～ −922		−871 ～ −914	
	−3.0	−908 ～ −916		−876 ～ −921	
	−4.0	−908 ～ −916		−881 ～ −900	
	−5.0	−907 ～ −916		−883 ～ −927	
	−6.0	−906 ～ −949		−882 ～ −932	
	−7.0	−905 ～ −936		−881 ～ −905	
	−8.0	−904 ～ −916		−881 ～ −896	
	−9.0	−903 ～ −906		−880 ～ −896	
	−10.0	−900 ～ −904		−856 ～ −893	
I	+1.0	−850 ～ −884	−820 ～ −900	−858 ～ −881	−850 ～ −895
	±0.0	−870 ～ −894	−830 ～ −910	−842 ～ −888	−820 ～ −905
	−1.0	−878 ～ −935	−840 ～ −900	−871 ～ −935	−830 ～ −890
	−2.0	−890 ～ −910	−840 ～ −910	−876 ～ −923	−830 ～ −900
	−3.0	−901 ～ −917	−830 ～ −910	−892 ～ −903	−830 ～ −910
	−4.0	−900 ～ −960	−820 ～ −910	−896 ～ −956	−825 ～ −905
	−5.0	−901 ～ −960	−830 ～ −930	−897 ～ −917	−830 ～ −910
	−6.0	−897 ～ −951	−820 ～ −920	−893 ～ −950	−820 ～ −915
	−7.0	−901 ～ −912	−815 ～ −915	−901 ～ −918	−810 ～ −910
	−8.0	−897 ～ −952	−810 ～ −910	−898 ～ −935	−800 ～ −905
	−9.0	−895 ～ −957	−810 ～ −910	−895 ～ −937	−805 ～ −915
	−10.0	−896 ～ −908	−810 ～ −910	−893 ～ −903	−800 ～ −910
	−11.0		−870 ～ −910		−875 ～ −905

(1)陽極調査地点の電位　(2)構造物全体の電位



図－5　調査構造物の電位（干潮時(1)）

4.3　構造物の肉厚測定結果

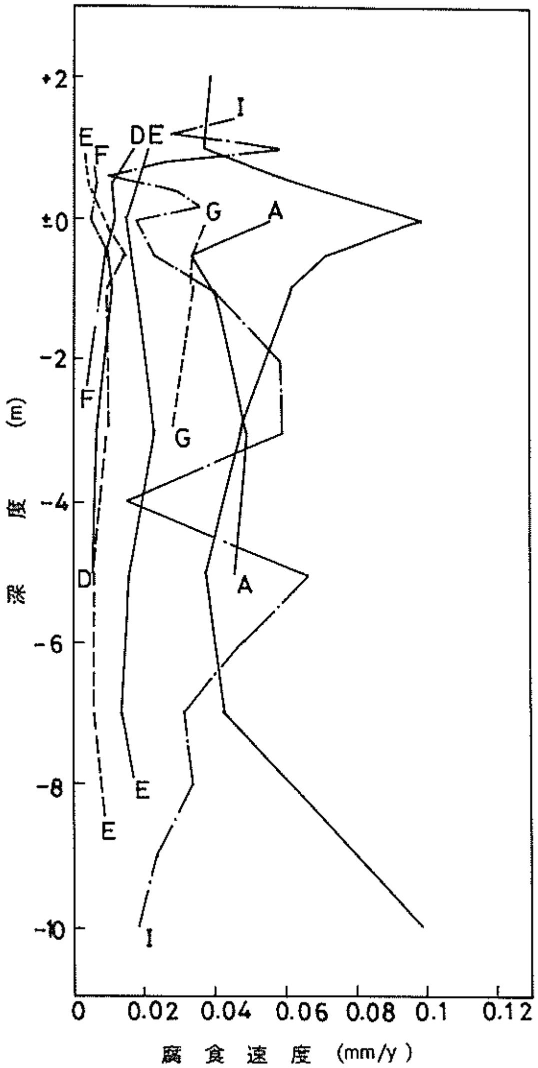
肉厚測定値から構造物の腐食速度を算出すると表－8のようになる。ここに鋼材の初期肉厚はカタログ厚を用いた。また腐食期間は施設建造後の経過年数とした。したがって腐食量には初期肉厚の誤差のほかに電防開始前の建設途中の腐食量が含まれている。電防開始前の腐食量は腐食速度の算出値を大きくする要素である。また肉厚測定値は電防の対象としていない鋼材背面の腐食量も含んでいる。したがって表－8の値は純粋に電気防食適用時の腐食速度ではない。図－6に平均腐食速度の鉛直方向の分布を示す。なおC港は流電陽極方式による電防の適用期間が短いので除外した。H港の腐食速度が大きいが，H港の調査陽極は施設完成後8か月ほど遅れて取り付けたのでその影響があると思われる。平均腐食速度が0.02mm/yr以下の施設と約0.03mm/yr以上の施設に分けられるが，それぞれのグループに共通の要素は不明である。

4.4　構造物の観察結果

調査構造物の表面の写真を写真－1～写真－10に示す。

表−8 調査構造物の腐食速度

港名	深度 (m)	腐食速度(mm/yr) 最大	平均	最小
A	±0.0	0.064	0.057	0.044
	−0.5	0.039	0.034	0.029
	−1.0	0.047	0.040	0.033
	−3.0	0.051	0.049	0.046
	−4.8	0.056	0.046	0.034
C	+1.0	0.060	0.029	0.007
	+0.5	0.052	0.032	0.006
	±0.0	0.208	0.096	0.050
	−0.5	0.197	0.065	0.026
	−1.0	0.070	0.037	0.013
	−3.0	0.066	0.044	0.016
	−4.0	0.048	0.030	0.003
D	+1.0	0.042	0.017	0
	+0.5	0.032	0.011	0
	±0.0	0.046	0.012	0
	−0.5	0.036	0.010	0
	−1.0	0.041	0.011	0
	−3.0	0.027	0.007	0
	−5.0	0.018	0.006	0
E(矢板)	+1.0	0.033	0.021	0.008
	+0.5	0.030	0.018	0.005
	±0.0	0.030	0.016	0.004
	−0.5	0.028	0.017	0.009
	−1.0	0.041	0.018	0.003
	−3.0	0.042	0.023	0.002
	−5.0	0.027	0.016	0.006
	−7.0	0.025	0.014	0.002
	−7.9	0.031	0.017	0.002
E(杭)	+1.0	0.009	0.003	0
	+0.5	0.021	0.005	0
	±0.0	0.013	0.009	0.005
	−0.5	0.020	0.015	0.009
	−1.0	0.021	0.010	0
	−3.0	0.016	0.010	0.004
	−5.0	0.013	0.006	0
	−7.0	0.011	0.006	0
	−8.5	0.019	0.009	0
F	+0.7	0.030	0.006	0
	+0.5	0.027	0.007	0
	±0.0	0.030	0.006	0
	−0.5	0.032	0.010	0
	−1.0	0.032	0.009	0
	−2.4	0.023	0.004	0
G	±0.0	0.053	0.039	0.023
	−0.5	0.084	0.034	0.010
	−1.0	0.048	0.034	0.026
	−3.0	0.040	0.029	0.016
H	+2.0	0.058	0.040	0.030
	+1.0	0.069	0.038	0.020
	+0.5	0.080	0.064	0.046
	±0.0	0.112	0.100	0.077
	−0.5	0.102	0.072	0.048
	−1.0	0.092	0.062	0.025
	−3.0	0.072	0.048	0.040
	−5.0	0.056	0.038	0.020
	−7.0	0.075	0.043	0.027
	−9.0	0.048	0.038	0.026
	−10.0	0.133	0.099	0.043
I	+1.4	0.082	0.046	0
	+1.2	0.073	0.028	0
	+1.0	0.086	0.058	0
	+0.8	0.065	0.025	0
	+0.6	0.073	0.010	0
	+0.4	0.076	0.030	0
	+0.2	0.078	0.036	0.010
	±0.0	0.036	0.019	0.009
	−0.5	0.073	0.023	0
	−1.0	0.099	0.040	0.006
	−2.0	0.097	0.059	0
	−3.0	0.097	0.060	0.025
	−4.0	0.031	0.015	0
	−5.0	0.105	0.066	0.013
	−6.0	0.097	0.048	0
	−7.0	0.091	0.032	0
	−8.0	0.082	0.034	0
	−9.0	0.082	0.024	0
	−10.0	0.061	0.019	0



図－6　平均腐食速度の分布

各構造物とも鋼材面は海洋生物等により覆われており，付着物を除去した後の鋼材面は平滑で発錆は見られない。

5. 環境調査

5.1 調査方法

(1) 水質試験

各港の調査地点において，上，中，下の3深度から干潮時および満潮時に採水した。ここに上層は海面より約0.5m下り，下層は海底面より約0.5m上り，中層はその中間である。試水の分析項目は次のとおりである。

①水温，②pH，③酸化還元電位，④比抵抗，⑤塩素イオン，⑥溶存酸素，⑦COD，⑧アンモニウムイオン，⑨硫黄イオン，⑩懸濁物質

分析方法は腐食防食協会8・1分科会の水質分析の方法によった。①～⑥の項目は現地で試験を行い，⑦～⑩の項目については試水を持ちかえり室内で試験した。

(2) 底質試験

調査地点の海面表層より底質を採取した。採取した試料の分析項目は次のとおりである。

①温度，②pH，③COD，④硫酸塩環元菌菌体数，⑤硫化物

分析は腐食防食協会8・1分科会の底質分析の方法によった。①，②の項目については現地で試験し，③～⑤の項目については試料を持ちかえり室内で試験した。

5.2 水質試験結果

各層の水質試験結果を付表－1～付表－3に示す。また試験項目の①～⑧の結果を図－7に示す。

(1) 水　温

調査は1月～3月初旬にかけて行われたので水温は5～13°Cの範囲であった。G港が満潮時に水深方向に3°C変化していた以外は，各港とも水深方向および満干潮時の差はほとんどなかった。

(2) pH

B，H，I港が約8であったが，その他はそれより若干小さく，とくにC港は上層で7以下であった。清浄海水のpHを7.5～8.5とみなせば，A，C，E，F港がそれを下回った。

(3) 酸化還元電位

酸化還元電位は350～550mVで，このうちC，D，H，I港が500～550mVと高かった。

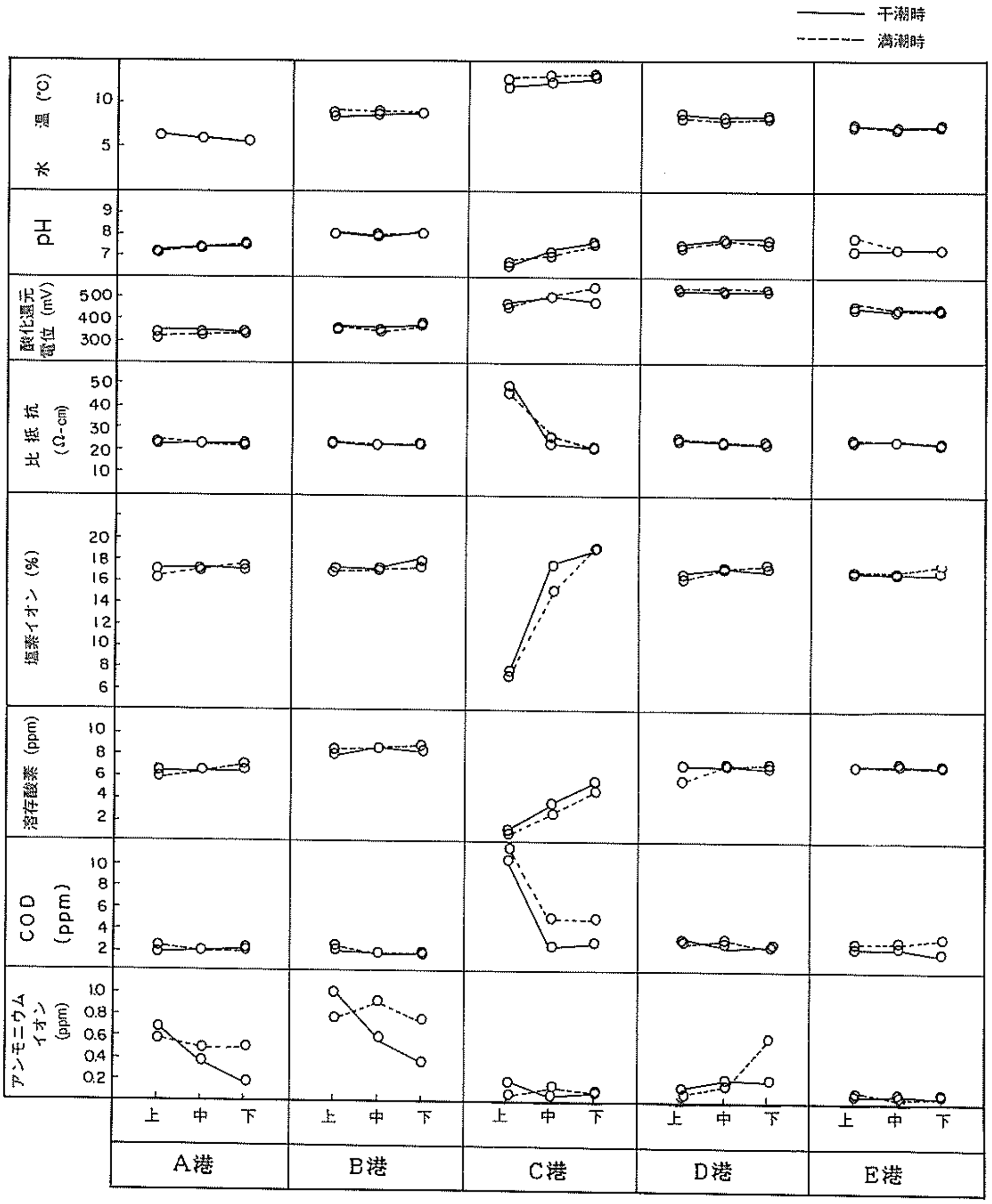
微生物の作用と酸化還元電位の関係を付図－10に示す。酸化還元電位が高いほど酸化性をもち，低いほど還元性をもつ。酸化性の環境のもとでは鉄バクテリアのような好気性菌が活動し，還元性の環境のもとでは硫酸塩還元菌のような嫌気性菌が活動する。これらの微生物は腐食を促進させる。それぞれの活動に適した範囲が図示されている。調査港の酸化還元電位は好気性菌の活動範囲であるがその活性は高くない。

(4) 比抵抗

比抵抗はC港の上層を除いて各港ともほぼ20～25Ω－cmの範囲にあった。清浄海水では25Ω－cm程度より小さい。C港の上層は他の水質試験項目でも異常値がみられ汚染水の流入が推定される。

(5) 水素イオン

C港の上層は塩素イオンについても約7‰と極端に低かった。H，I港を除いて18‰以下で全体的にやや低く，C港以外ではG港の干潮時が約15‰，E港が約16.5‰で



図－7 水 質 試 験 結 果 (1)

あった。

(6) 溶存酸素

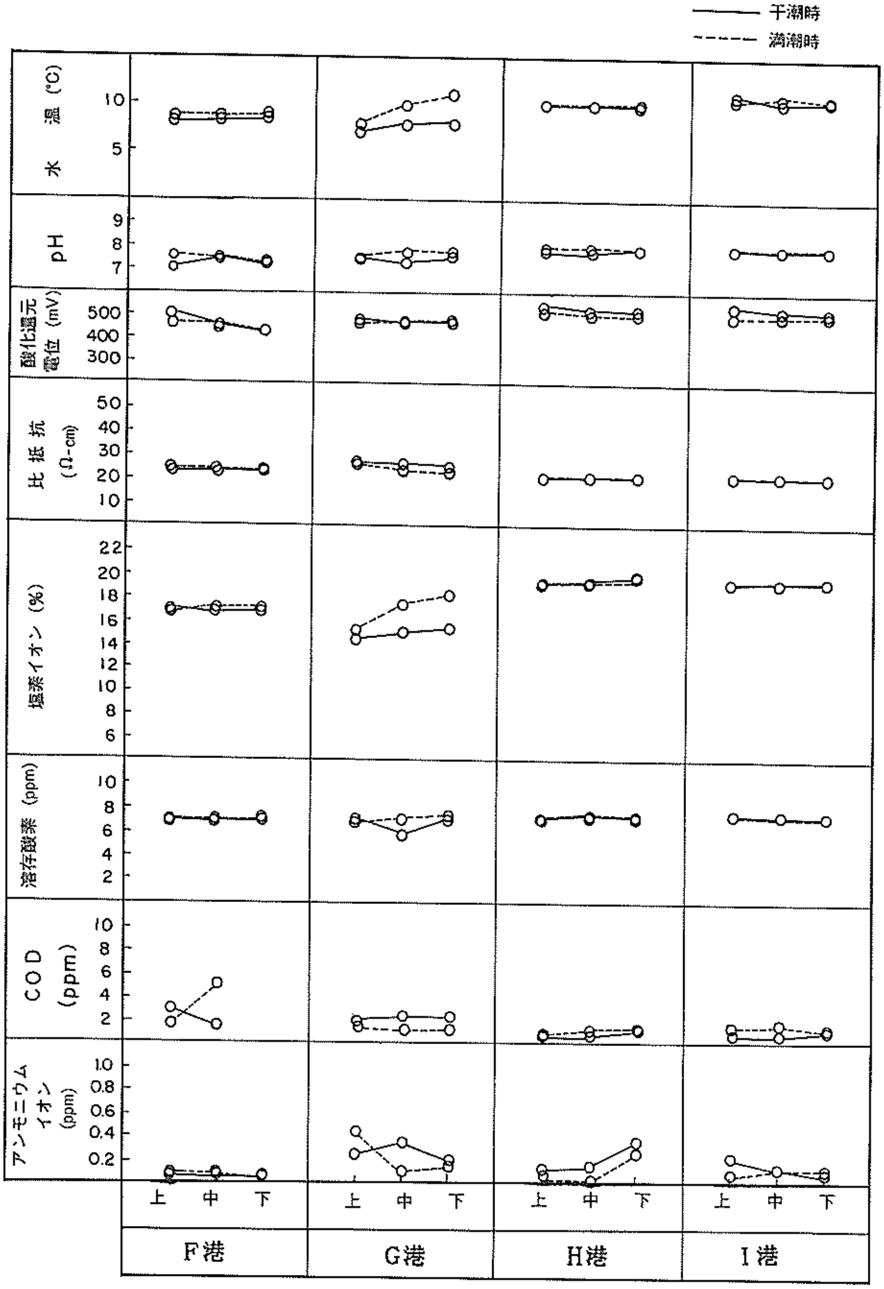
溶存酸素についてもC港の上層は低かった。C港以外は6～9 ppmの範囲にあり清浄海水の値の範囲に入っていた。

(7) COD

C港の上層はCODも10 ppm以上であった。それ以外は5 ppm以下で清浄海水の値の範囲内であった。

(8) アンモニウムイオン

各港ともアンモニウムイオンが0.1 ppm以上あり，中



図－7 水質試験結果 (2)

でもA，B，D，G，H港が大きかった。

(9) 硫黄イオン

C港で干潮時に1ppm程度検出され，G港の満潮時とB港で0.2～0.4ppm検出されたが他は0.1ppm以下であった。

(10) 懸濁物質

F，C港の中下層で100ppm程度の懸濁物質があった。他にB，E港で最大10～20ppmあったが，それ以外はわずかであった。

(11) 水質の評価

汚染水が流入すると水質試験の各項目は次のように変化する傾向がある。すなわちpH，塩素イオン，酸化還元電位，溶存酸素は減少し，比抵抗，COD，アンモニウムイオン，硫黄イオンは増加する。

今回調査した9港では，C港の上層水の水質が特に悪い。G港の上層水の塩素イオンも低かった。A，B，D，G港のアンモニウムイオンが大きかった。防食電流密度の大きいB，C，D，G港では水質試験結果も汚染傾向を示している。ただA港はアンモニウムイオンが多いわりには防食電流密度は小さい。

二回目の調査を行った4港の中ではE港の水質が前回より改善されている。アンモニウムイオンが前回0.4～0.65 ppmが今回0.03～0.1 ppm，比抵抗が前回27～28.5 Ω－cm（水温19～22°C）が今回24 Ω－cm(水温7.5°C）となっている。電流測定による防食電流密度が前回より半減していることは水質の改善の効果と考えられる。またD港については構造物の電位，陽極の電位が5年前よりも悪化しており，発生電流も若干増加し，電流測定から求めた防食電流密度が陽極の重量測定より求めたものよりも大きくなっているが，水質については大差はない。

5.3 底質試験結果

底質試験結果を表－9に示す。底質の温度は海水の温度より0.5～2°C高く，pHは1～5程度低かった。CODはA，B，C，G港が他港よりも大きかった。硫酸塩還元菌はC，D，E，F港で検出され，菌体数（菌数/mℓ）はC港で1.4×10^3，他の3港は1.4×10^2であった。硫化物はB，C，G港が他よりも多かった。防食電流密度が大きいB，C，G港の底質は他港と比べると悪い傾向にある。しかし従来の調査結果も合せてみると底質試験結果より直ちに防食電流密度の傾向をいうことはできない。

6. 結　論

上記の電気防食調査の結果をまとめると次のようになる。

(1) 防食電流密度（定常値）は発生電流の測定値から求めると27～53 mA/m²の範囲にあり，陽極の重量測定から求めると35～65 mA/m²の範囲にあった。

(2) 防食電流が定常状態にあるとみなせる期間の陽極の消耗量から求めた防食電流密度は，発生電流の測定値から求めた値にほぼ等しかった。

(3) 陽極の推定寿命（電流測定より求めた値）は，二例が設計寿命より短かった。いずれも現在の防食電流密度は設計値（定常値）を満足しているが，今までの陽極の消耗量が大きかった。すなわち電気防食開始初期の防食電流密度が大きいか。定常値になるまでの期間が長かったためである。

(4) 構造物の電位が防食電位（－780 mV，海水塩化銀電極基準）にわずかではあるが不足する個所がある構造物があった。この構造物については陽極の電位も通常の場合より若干貴であった。また電流測定から求めた防食電流密度が陽極の重量測定より求めた値よりも大きかった。約5年前の調査においては二つの方法で求めた防食

表－9　底　質　試　験　結　果

項目＼港名	A港	B港	C港	D港	E港	F港	G港	H港	I港
温度（°C）	7.5	9.5	13.6	10.0	9.2	10.3	12.5	10.5	11.0
pH	7.2	7.4	7.2	7.6	7.4	7.2	7.2	7.5	7.4
COD (ppm)	12.5×10^4	5.0×10^4	7.8×10^4	2.3×10^4	2.6×10^4	1.4×10^4	5.1×10^4	0.2×10^4	0.6×10^4
硫酸塩還元菌 菌体数（菌数/mℓ）	0	0	1.4×1000	1.4×100	1.4×100	1.4×100	0	0	0
硫化物(ppm)	240	580	970	180	260	40	810	20	250

電流密度の値が近かった以外はこのような傾向はみられなかった。この原因としては環境の変化が考えられるが水質，底質については大きな変化はなく，この調査の範囲では不明である。

(5) E港においては5年前の調査時より防食電流密度（電流測定による値）がほぼ半減した。水質が前回調査時より改善されているのでその効果と考えられる。

(6) 防食電流密度が大きいところでは水質試験結果が悪かった。すなわち比抵抗，塩素イオン，アンモニウムイオン，溶存酸素，CODのいずれかの試験値が汚染傾向を示していた。

あとがき

今回の調査により電気防食の実態のデータがさらに蓄積された。特に水質と防食電流密度に関するデータが得られた。また約5年前に調査を行った構造物に対する二回目の調査から，その間の発生電流，陽極消耗量，水質等の変化についてのデータが得られた。

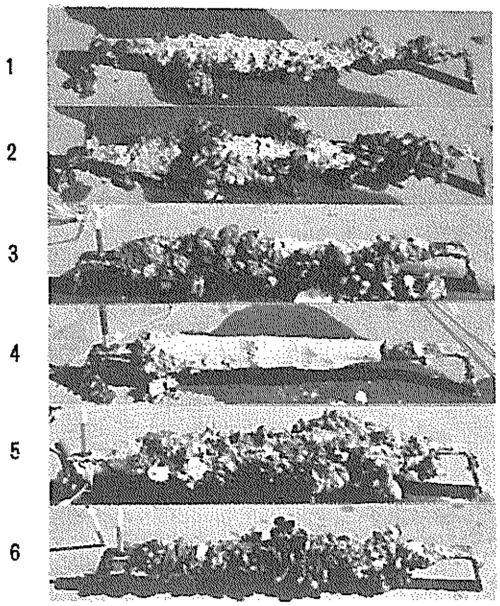
今後は従来行った調査結果も合せて，調査結果を解析し環境条件の相違を考慮した電気防食の設計法を検討する。

最後に本調査に御協力頂いた関係機関の方々に厚く御礼申し上げます。

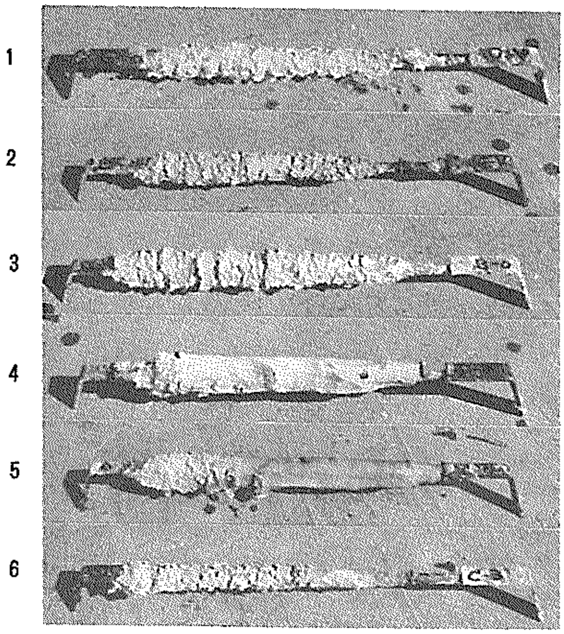
（1985年6月29日受付）

参考文献

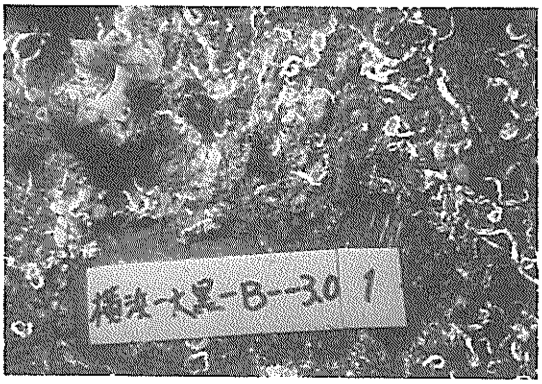
1）善一章，横井聡之，阿部正美：港湾構造物の電気防食調査（その1），港湾技研資料，No. 475，1984年3月
2）横井聡之，阿部正美：港湾構造物の電気防食調査（その2），港湾技研資料，No. 502，1984年12月
3）善一章，阿部正美：港湾構造物の所要防食電流に関する調査，港湾技研資料，No. 365，1980年12月



陽極（回収時）



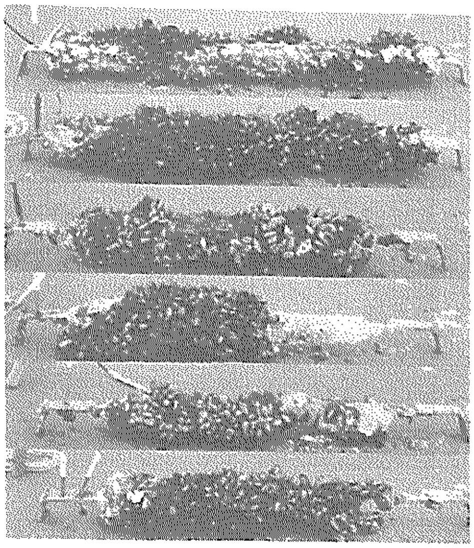
陽極（付着物除去後）



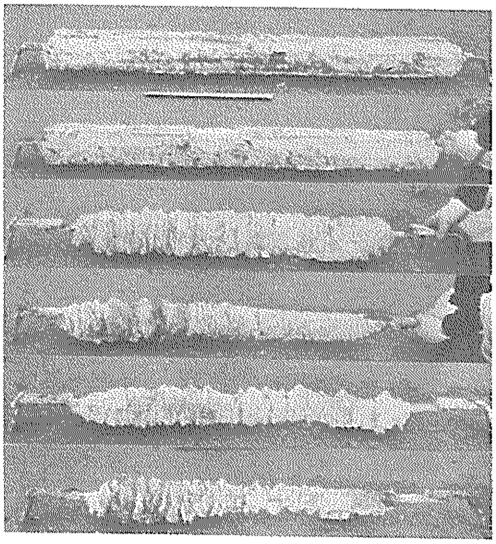
鋼管杭 －3.0ｍ

鋼管杭 －3.0ｍ（付着物除去後）

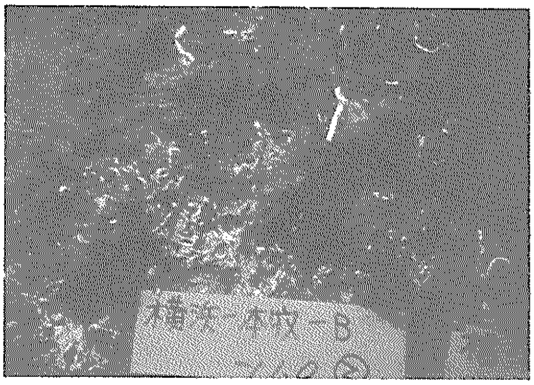
写真－1　A港における陽極および鋼管杭面



陽極（回収時）



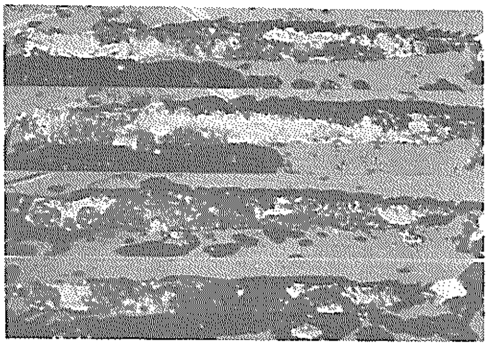
陽極（付着物除去後）



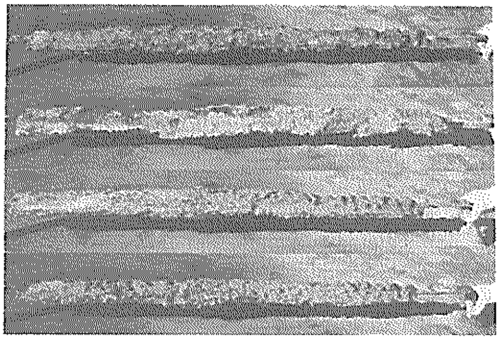
鋼矢板 －11.0ｍ

鋼矢板 －11.0ｍ（付着物除去後）

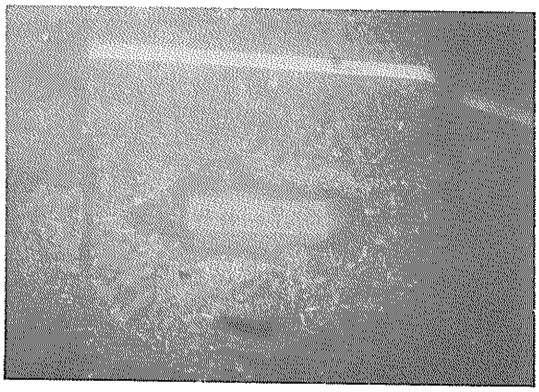
写真－２　Ｂ港における陽極および鋼矢板面



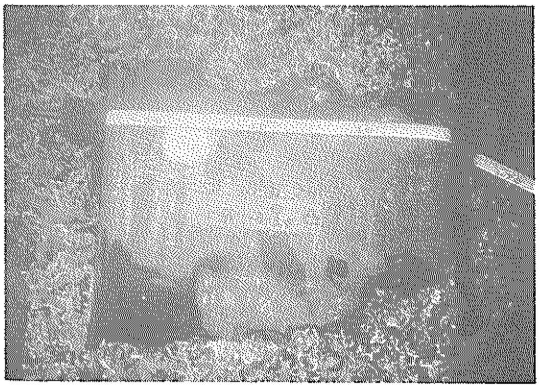
陽極（回収時）



陽極（付着物除去後）

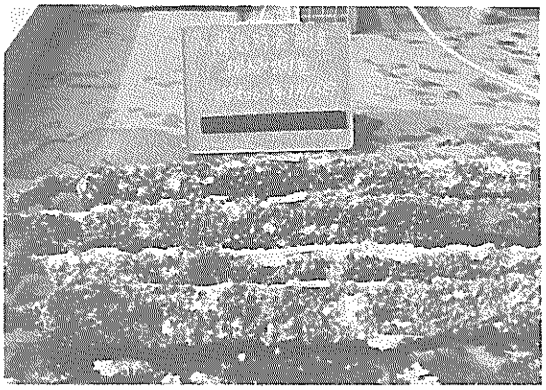


鋼矢板 －3.0ｍ



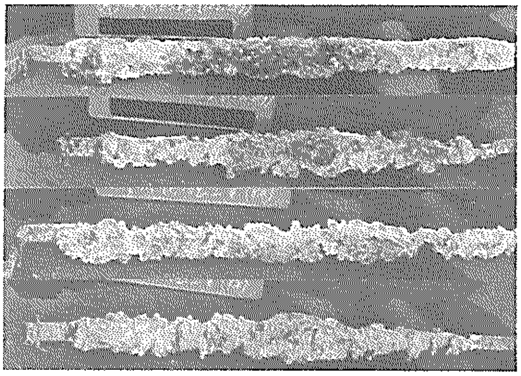
鋼矢板 －3.0ｍ（付着物除去後）

写真－3　Ｃ港における陽極および鋼矢板面



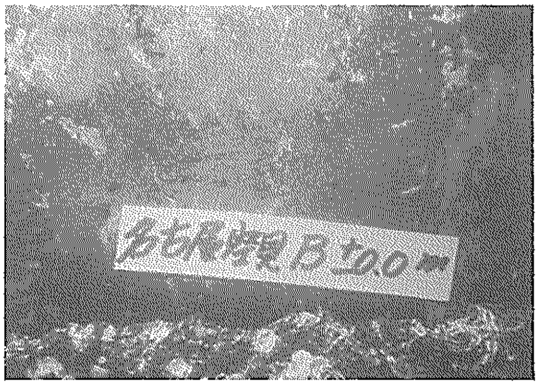
陽極（回収時）

1
2
3
4



陽極（付着物除去後）

鋼矢板 ±0.0m



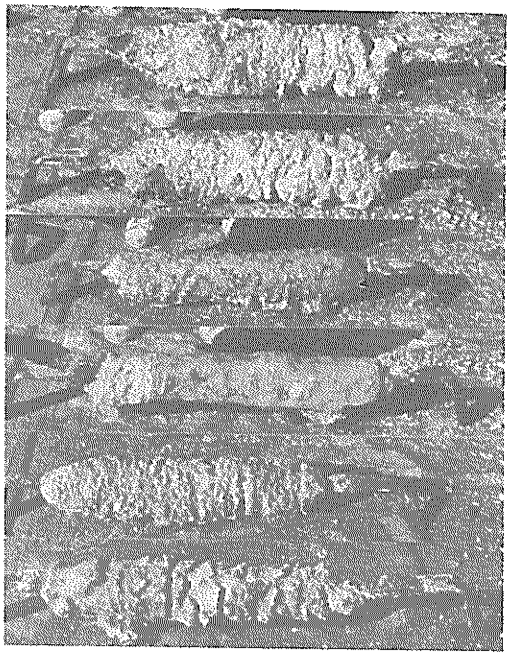
鋼矢板 ±0.0m（付着物除去後）

写真－4　D港における陽極および鋼矢板面

1
2
3
4
5
6

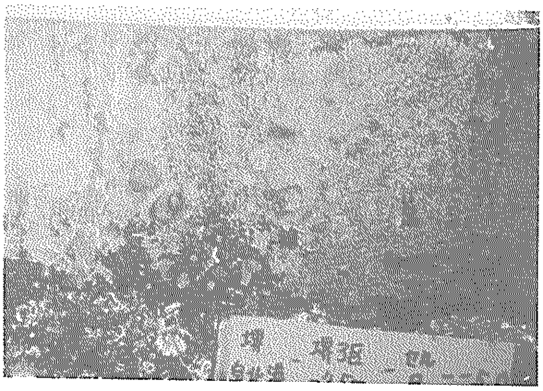
陽極（回収時）

1
2
3
4
5
6



陽極（付着物除去後）

鋼矢板 −5.0 m



鋼矢板 −5.0 m（付着物除去後）

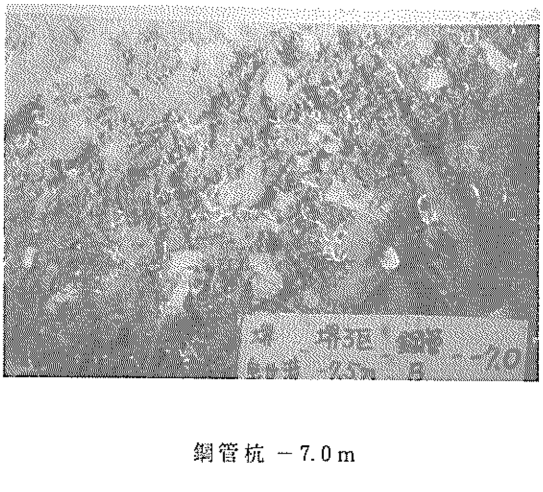
写真−5　E港における陽極および鋼矢板面

2
1
4
3
6
5

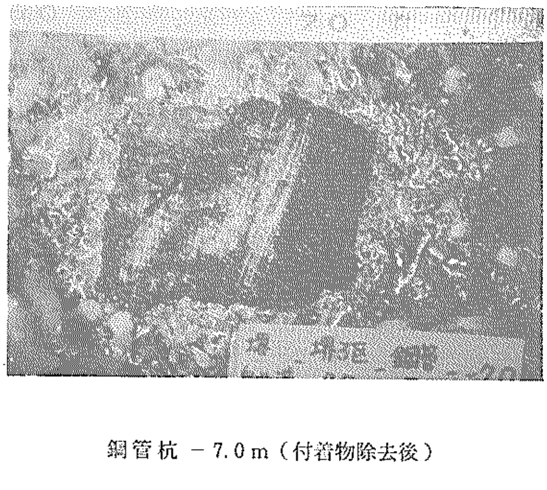
陽極（回収時）

2
1
4
3
6
5

陽極（付着物除去後）

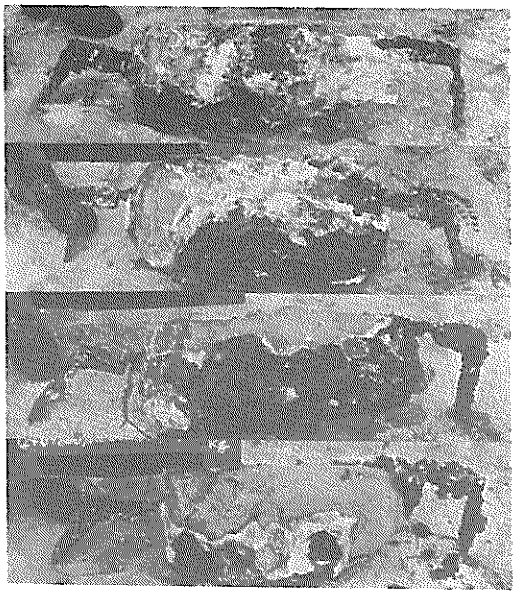


鋼管杭 −7.0 m



鋼管杭 −7.0 m（付着物除去後）

写真−6　E港における陽極および鋼管杭面

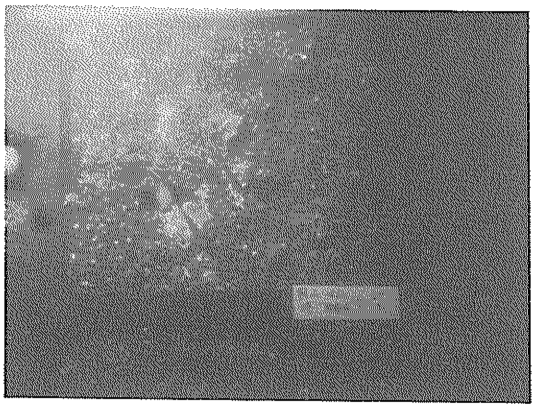


1
2
3
4

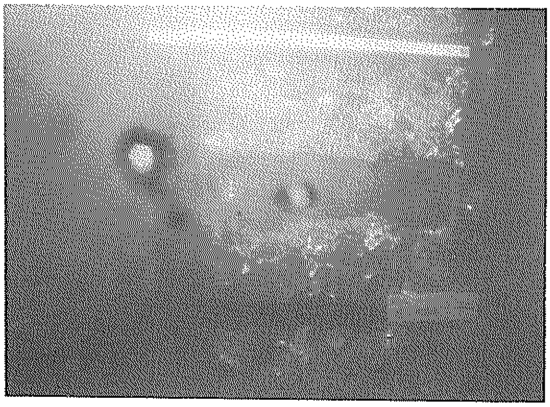
陽極（回収時）

1
2
3
4

陽極（付着物除去後）



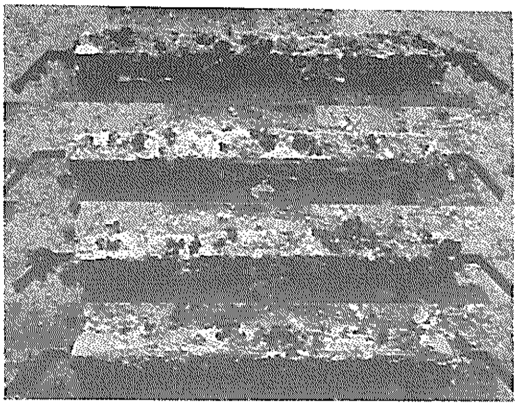
鋼矢板 ± 0.0 m



鋼矢板 − 2.4 m（付着物除去後）

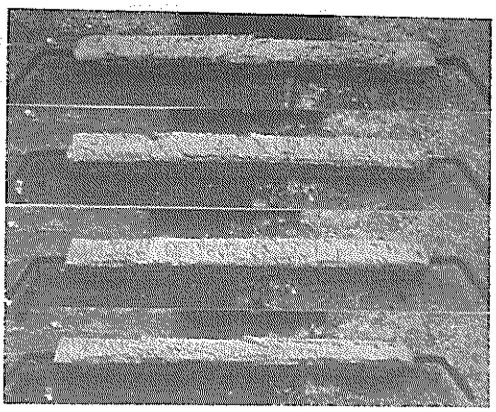
写真－7　F港における陽極および鋼矢板面

1
2
3
4

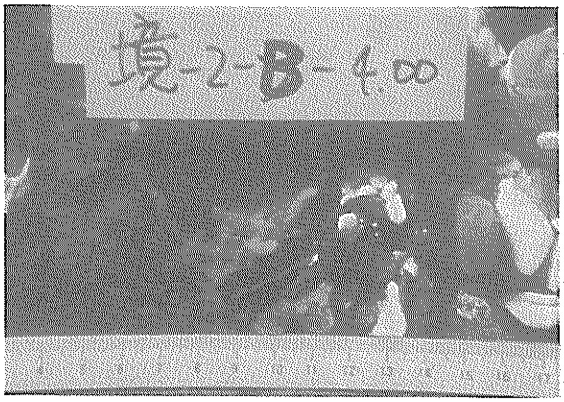


陽極（回収時）

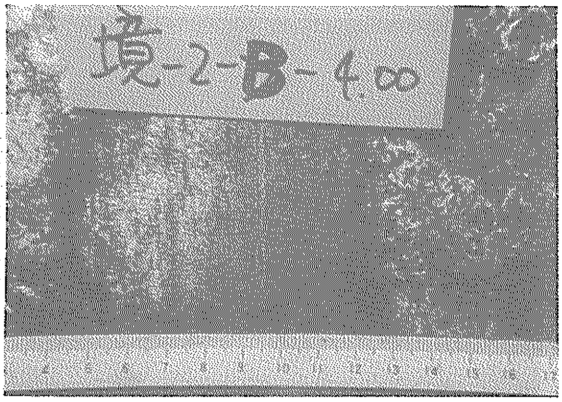
1
2
3
4



陽極（付着物除去後）

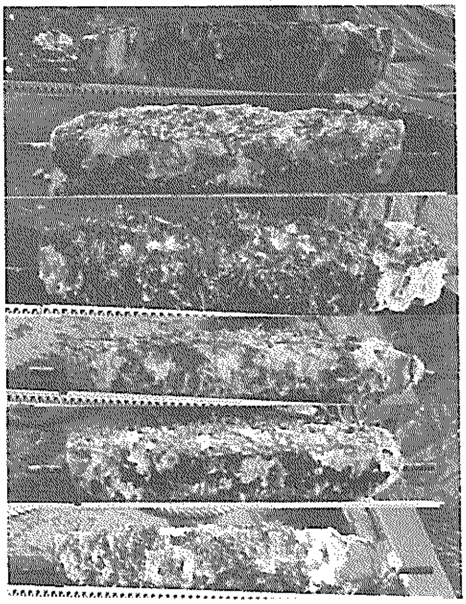


鋼矢板 －4.0ｍ

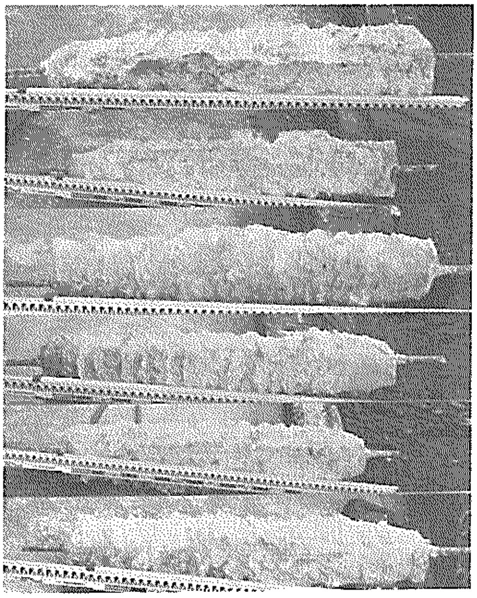


鋼矢板 －4.0ｍ（付着物除去後）

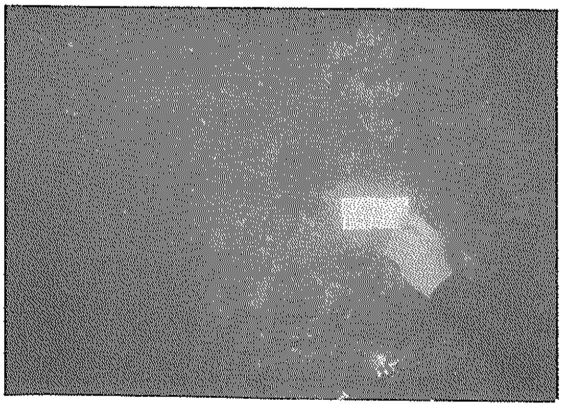
写真－８　Ｇ港における陽極および鋼矢板面



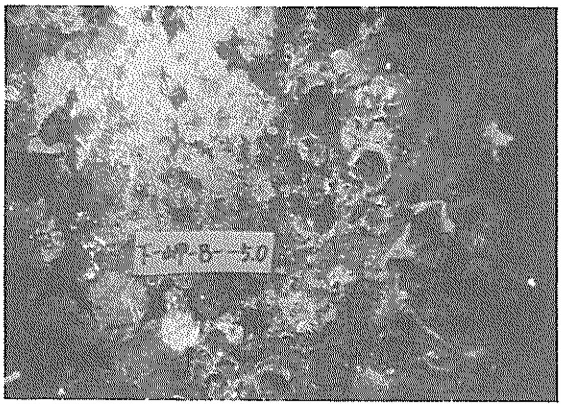
陽極（回収時）



陽極（付着物除去後）

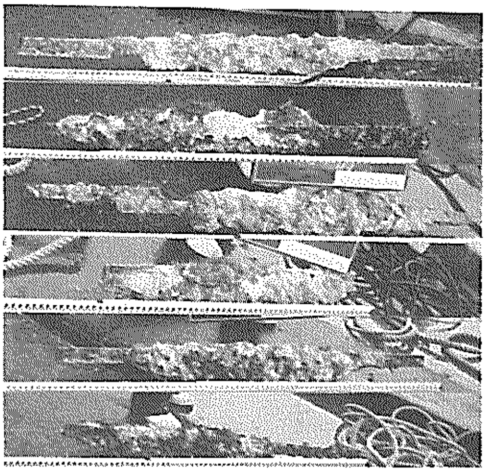


鋼管杭 －5.0ｍ

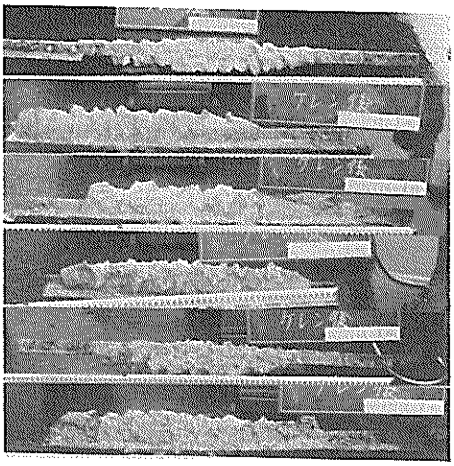


鋼管杭 －5.0ｍ（付着物除去後）

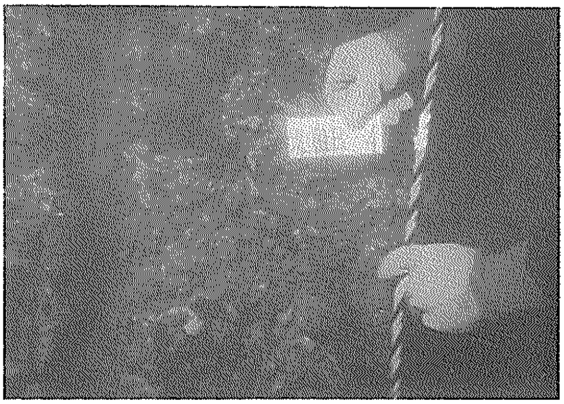
写真－9　H港における陽極および鋼管杭面



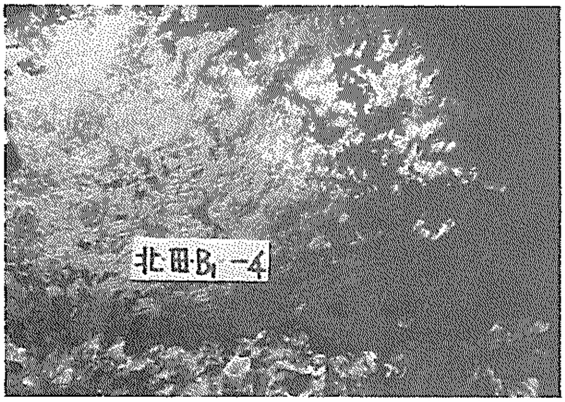
陽極（回収時）



陽極（付着物除去後）

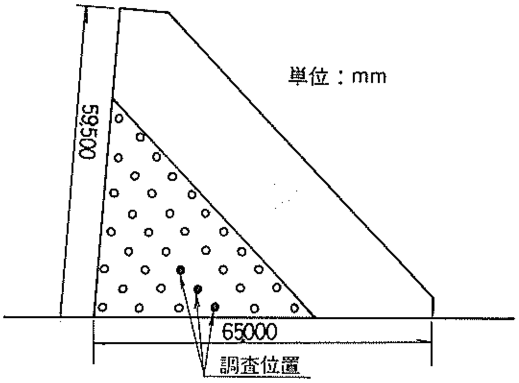


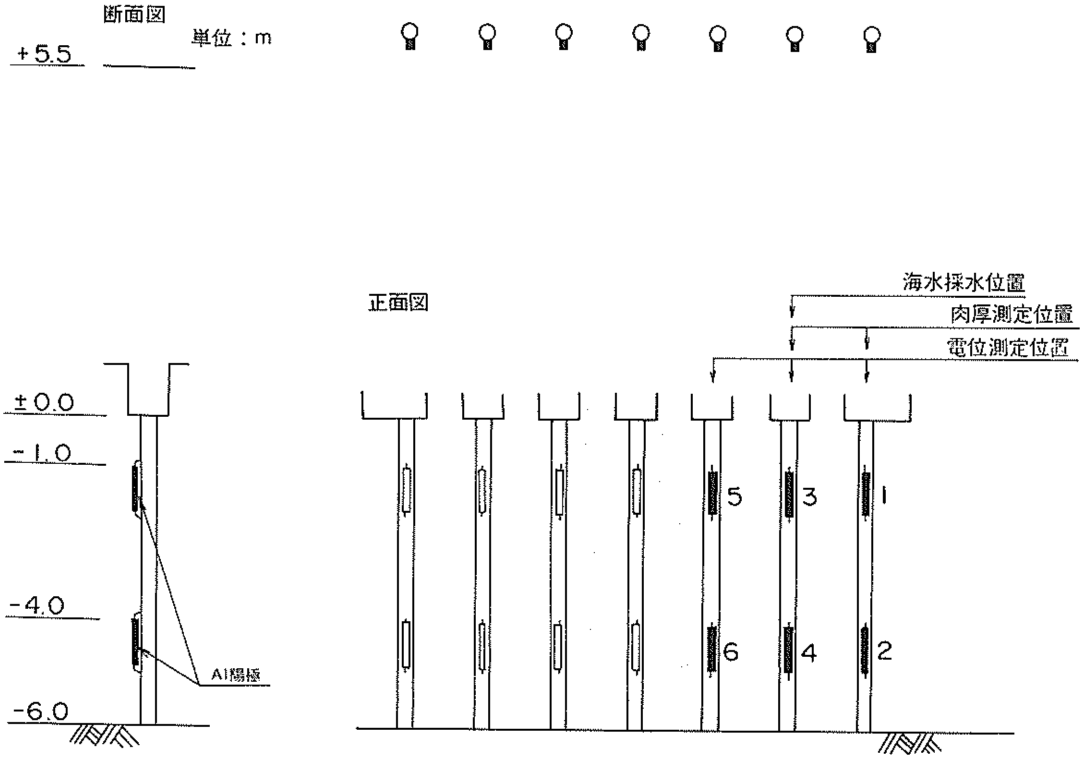
鋼矢板 －4.0ｍ



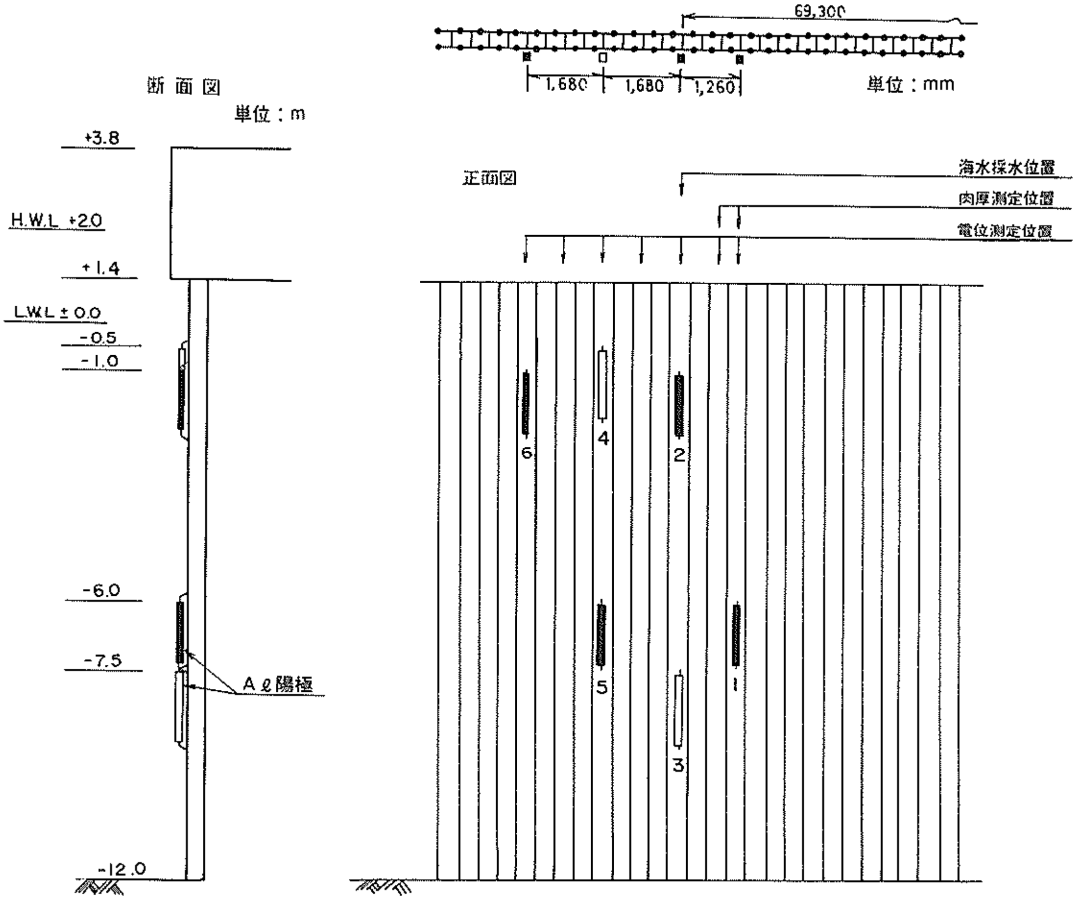
鋼矢板 －4.0ｍ（付着物除去後）

写真－10　Ｉ港における陽極および鋼矢板面

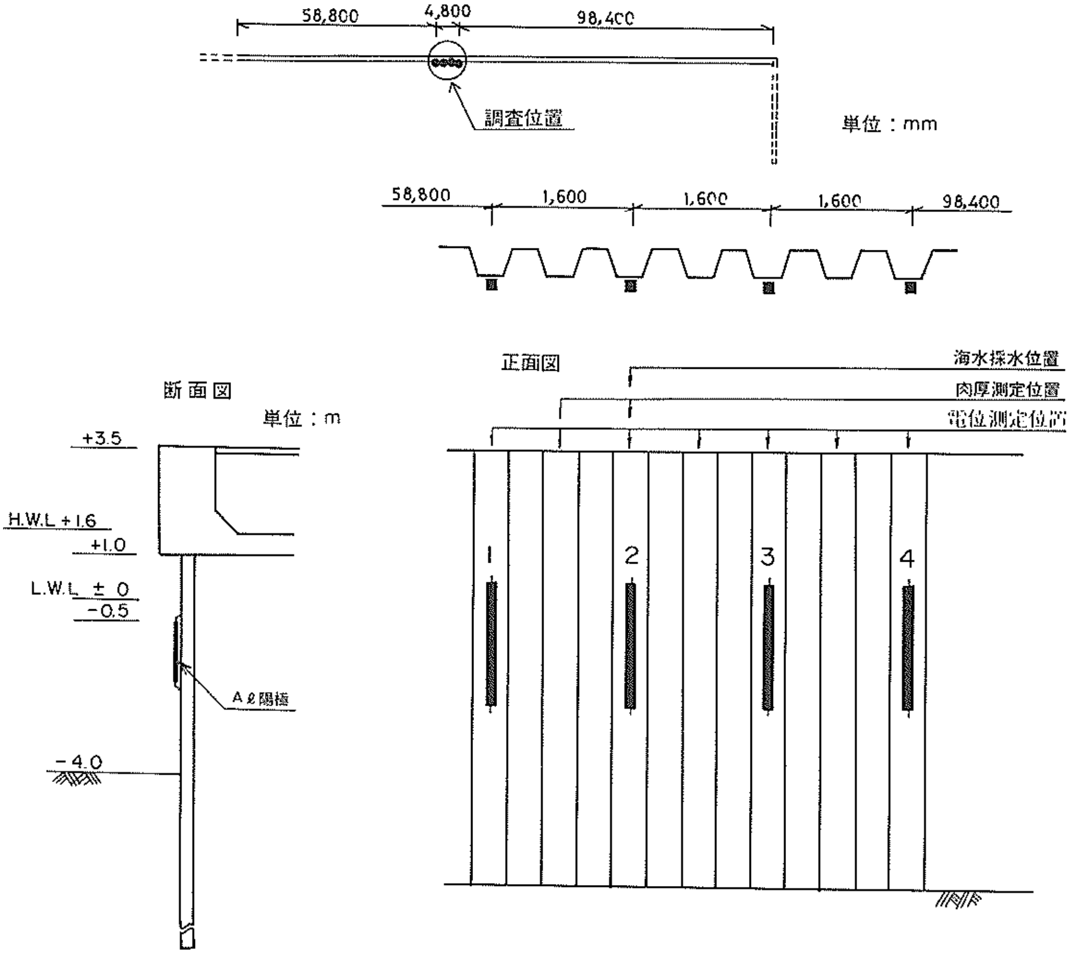




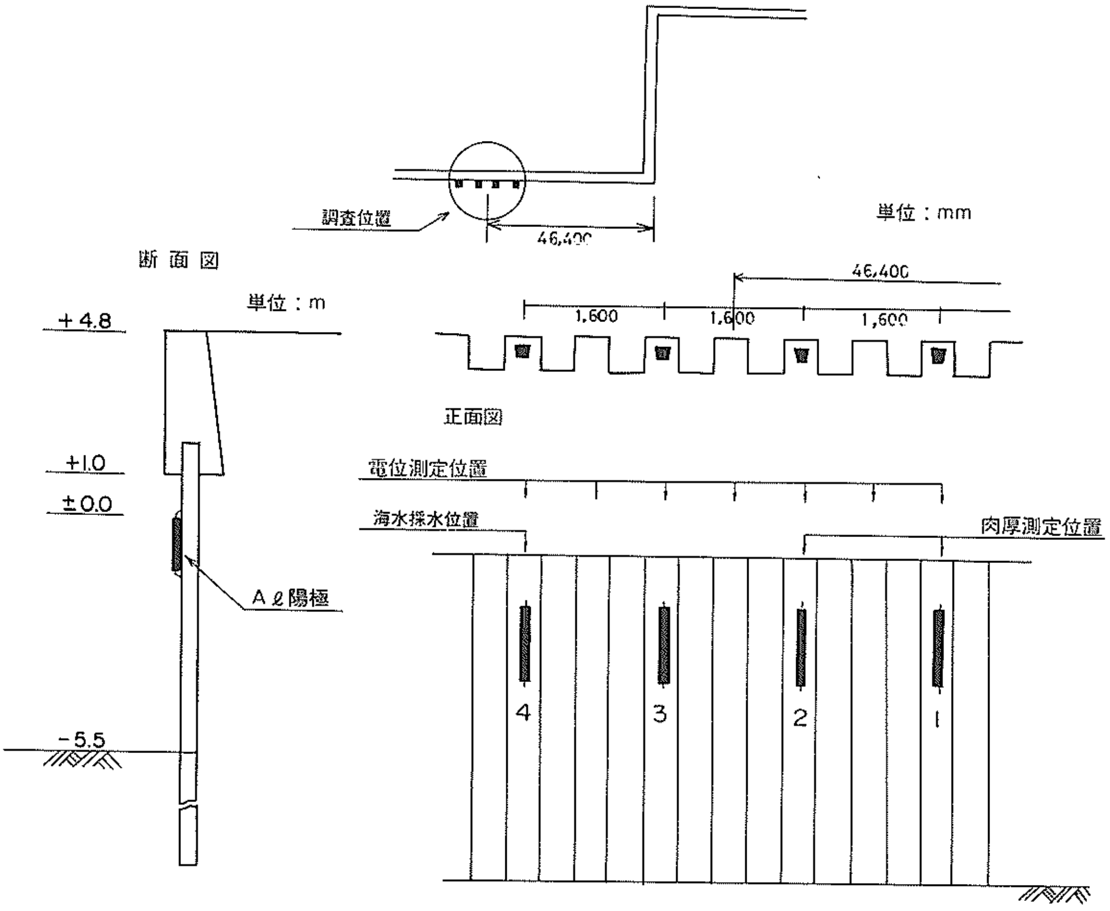
付図－1　A港における調査位置図，断面図および正面図



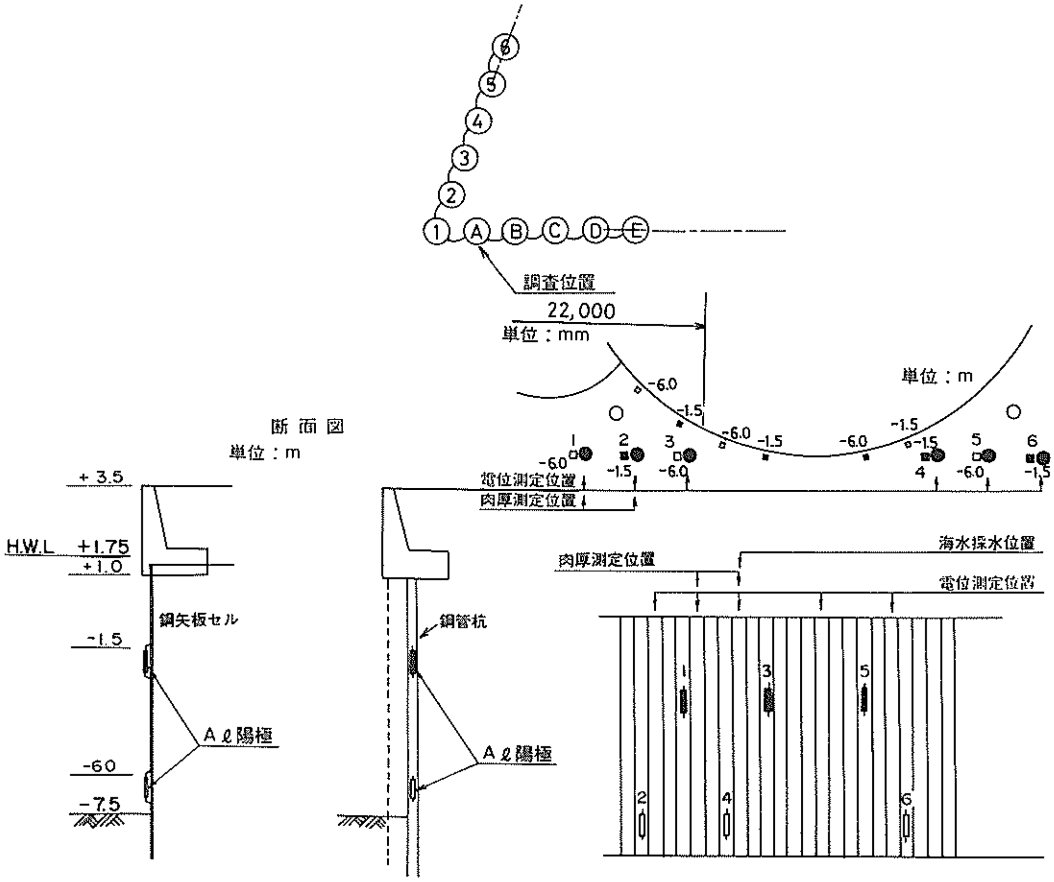
付図－2　B港における調査位置図，断面図および正面図



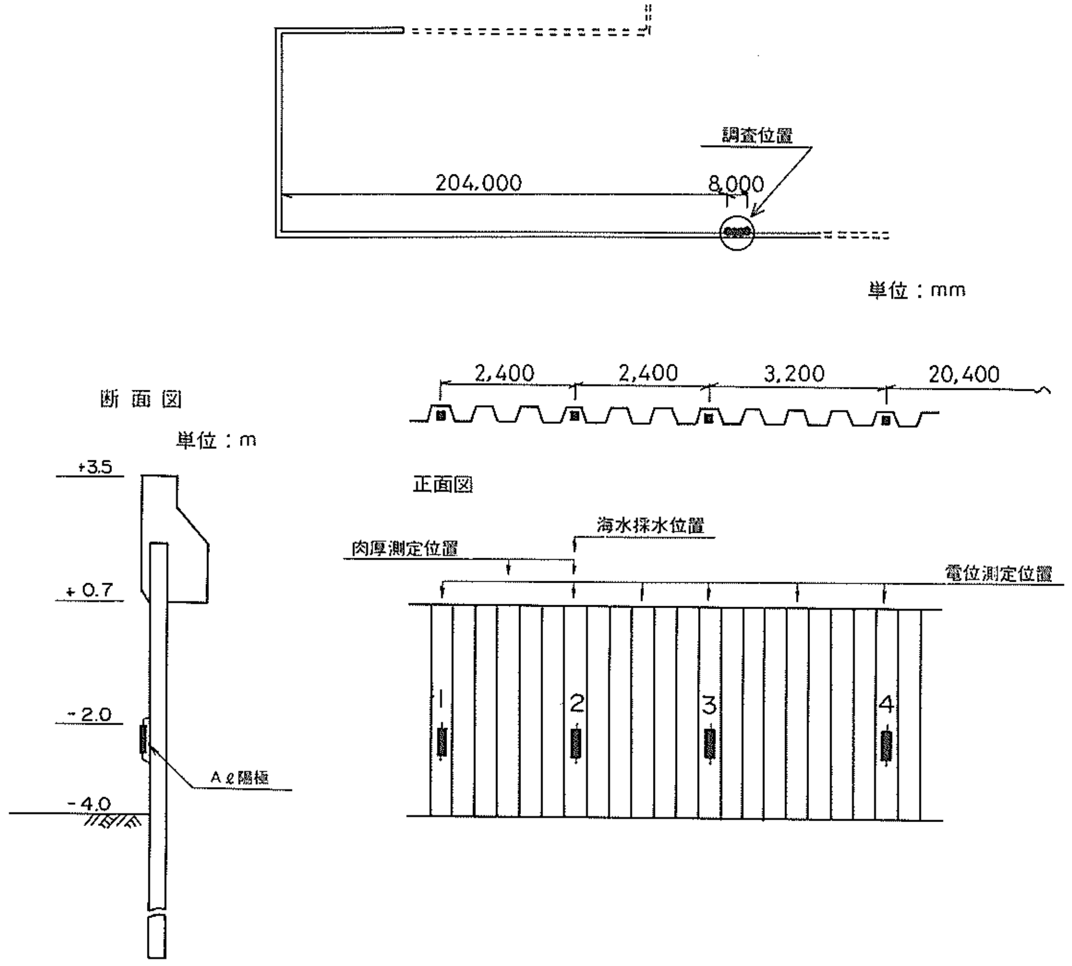
付図－3　C港における調査位置図，断面図および正面図



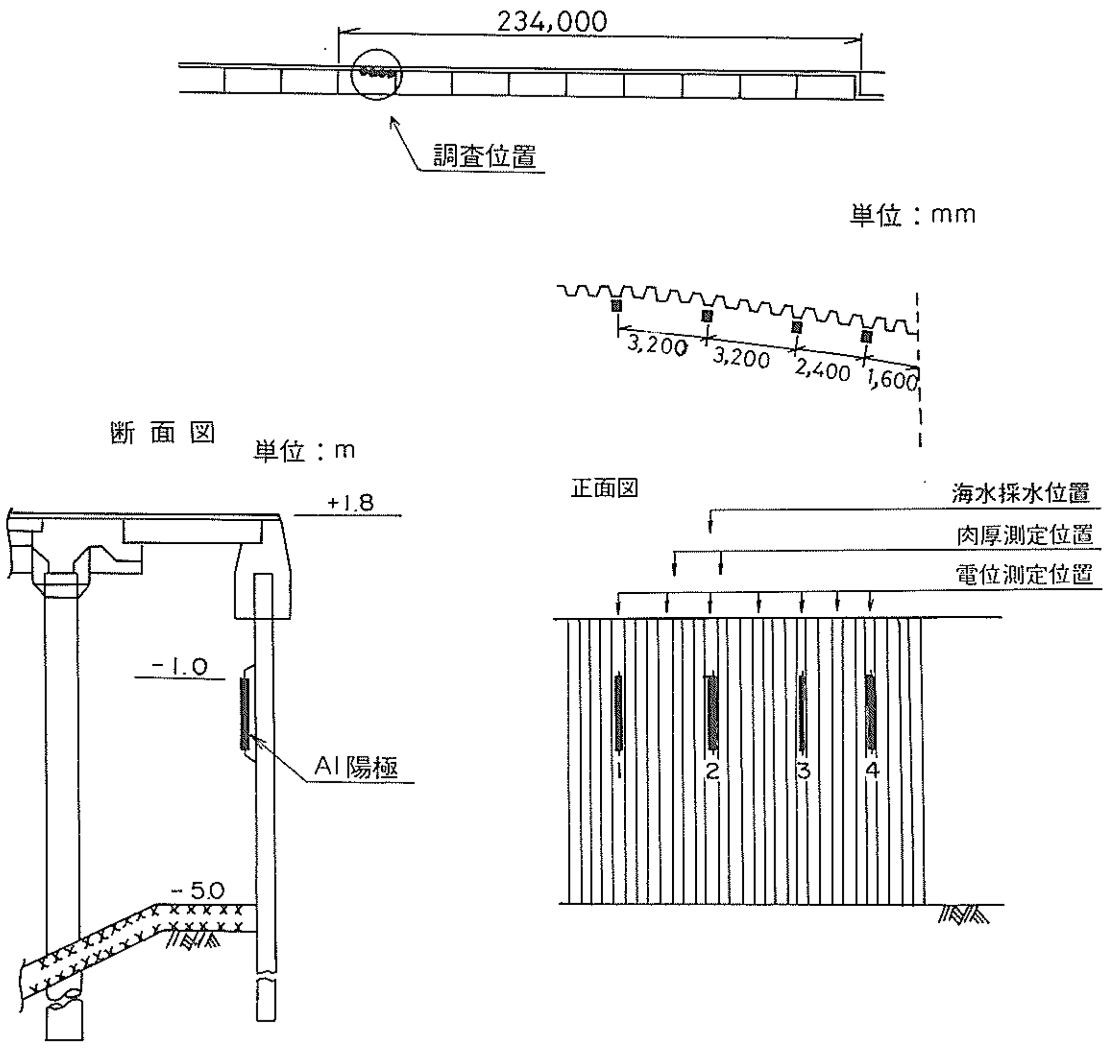
付図－4　D港における調査位置図，断面図および正面図



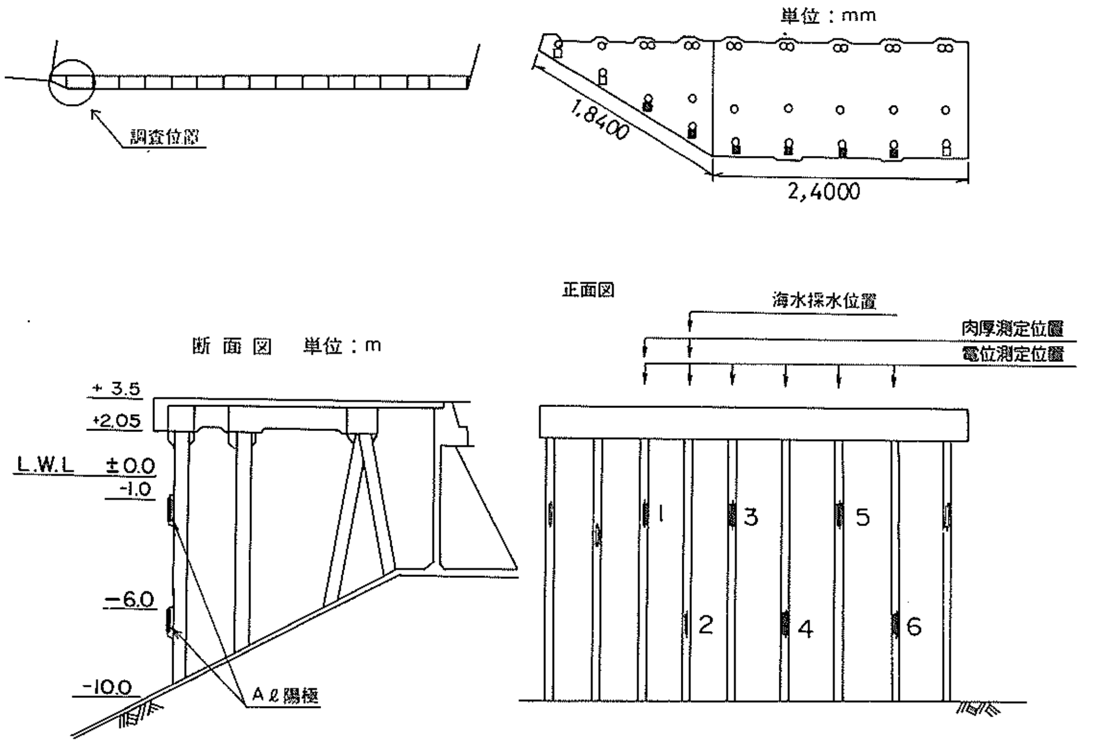
付図－5　E港における調査位置図，断面図および正面図



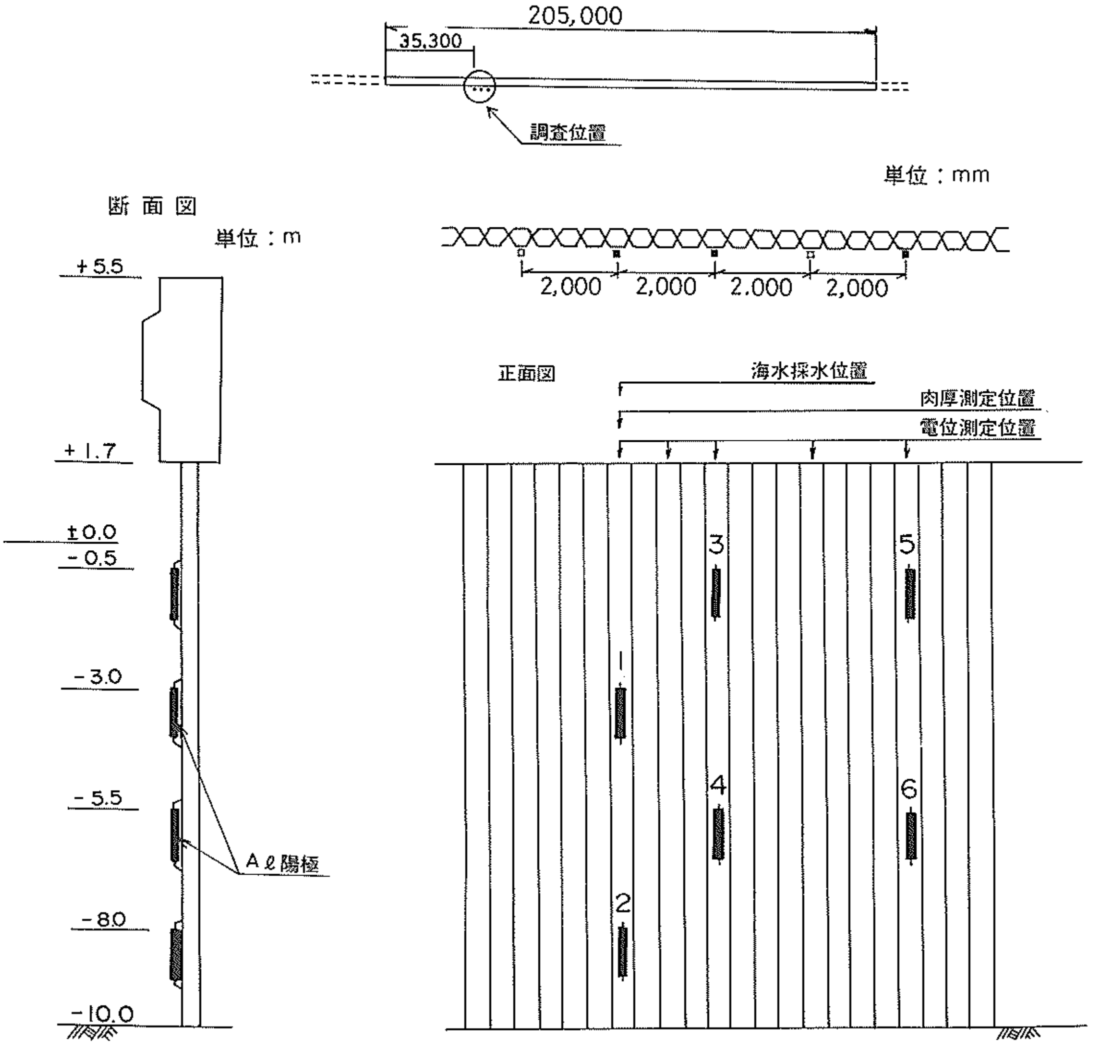
付図－6　F港における調査位置図，断面図および正面図



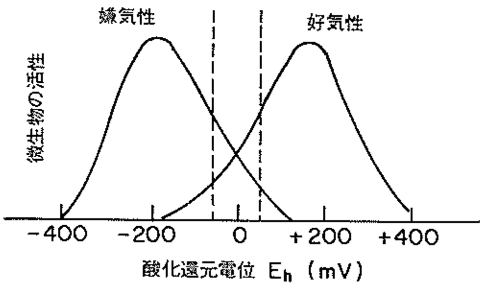
付図－7　G港における調査位置図，断面図および正面図



付図－8　H港における調査位置図，断面図および正面図



付図－9　I港における調査位置図，断面図および正面図



付図－10　酸化還元電位と微生物の作用

付表－1　水質試験結果（表層水）

項目	干満	A港	B港	C港	D港	E港	F港	G港	H港	I港
水温 (°C)	干潮	6.5	8.7	12.0	8.8	7.7	8.1	7.0	10.0	11.0
	満潮	6.5	9.2	13.0	8.3	7.6	8.7	8.0	10.0	10.5
pH	干潮	7.3	8.0	6.6	7.6	7.3	7.1	7.5	7.8	7.9
	満潮	7.2	8.0	6.7	7.4	7.9	7.6	7.5	7.9	9.9
酸化還元電位 (mV)	干潮	＋351	＋367	＋479	＋535	＋452	＋502	＋480	＋549	＋541
	満潮	＋318	＋370	＋464	＋542	＋478	＋465	＋473	＋519	＋499
比抵抗 (Ω－cm)	干潮	23.5	23.3	50.0	24.3	24.3	23.8	27.5	21.5	21.6
	満潮	23.9	23.6	47.2	25.1	24.4	24.3	26.1	21.5	21.6
塩素イオン (ppm)	干潮	17100	17200	7100	16400	16700	17000	14500	19500	19300
	満潮	16400	16900	7640	16000	16600	16800	15300	19500	19400
溶存酸素 (ppm)	干潮	6.4	8.0	1.1	7.1	7.1	6.9	6.9	7.1	7.5
	満潮	5.8	8.5	0.8	5.6	7.1	6.9	6.7	7.2	7.5
COD (ppm)	干潮	1.9	1.9	10.3	3.0	2.2	3.0	1.9	0.5以下	0.5以下
	満潮	2.4	2.4	11.5	2.5	2.9	1.8	1.4	0.6	1.5
アンモニウムイオン (ppm)	干潮	0.67	1.00	0.19	0.14	0.05	0.03	0.23	0.12	0.21
	満潮	0.59	0.78	0.06	0.05	0.10	0.04	0.44	0.01以下	0.06
硫黄イオン (ppm)	干潮	0.1以下	0.3	1.2	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下
	満潮	0.1以下	0.2	0.4	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.4	0.1以下	0.1以下
懸濁物質 (ppm)	干潮	1以下	3	7	1以下	3	1	1以下	1以下	1以下
	満潮	2	6	6	1以下	5	7	1以下	1以下	1以下

付表－2　水質試験結果（中間水）

項目	干満	A港	B港	C港	D港	E港	F港	G港	H港	I港
水温 (°C)	干潮	6.0	8.8	12.5	8.5	7.5	8.2	7.8	10.0	10.5
	満潮	6.0	9.1	13.2	8.0	7.4	8.4	9.8	10.0	11.0
pH	干潮	7.4	7.9	7.3	7.8	7.3	7.5	7.3	7.8	7.9
	満潮	7.4	8.0	7.0	7.7	7.3	7.5	7.8	7.9	7.9
酸化還元電位 (mV)	干潮	＋351	＋364	＋504	＋539	＋446	＋456	＋461	＋531	＋526
	満潮	＋336	＋354	＋512	＋547	＋440	＋452	＋471	＋514	＋508
比抵抗 (Ω－cm)	干潮	23.3	23.3	23.1	23.7	24.2	23.7	26.7	21.6	21.6
	満潮	23.3	23.3	26.2	23.8	24.2	23.1	23.6	21.6	21.5
塩素イオン (ppm)	干潮	17300	17400	17500	17100	16600	16800	15000	19500	19600
	満潮	17100	17100	15100	17200	16400	17300	17500	19400	19500
溶存酸素 (ppm)	干潮	6.4	8.4	3.6	7.0	7.2	6.8	5.7	7.4	7.4
	満潮	6.4	8.5	2.6	7.0	7.4	7.0	7.2	7.3	7.2
COD (ppm)	干潮	2.0	1.8	2.4	2.7	2.4	1.7	2.3	0.5以下	0.5以下
	満潮	2.1	1.9	4.9	3.0	2.7	5.0	1.1	1.3	1.5
アンモニウムイオン (ppm)	干潮	0.38	0.59	0.04	0.21	0.06	0.03	0.35	0.13	0.12
	満潮	0.49	0.92	0.14	0.18	0.03	0.06	0.08	0.01以下	0.12
硫黄イオン (ppm)	干潮	0.1以下	0.1以下	1.1	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下
	満潮	0.1以下	0.2	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下
懸濁物質 (ppm)	干潮	1以下	7	1以下	1以下	4	3	1以下	1以下	1以下
	満潮	3	5	10	1以下	9	119	1以下	1以下	1以下

付表－3　水質試験結果（海底水）

項目	干満	A 港	B 港	C 港	D 港	E 港	F 港	G 港	H 港	I 港
水温 (℃)	干潮	5.5	8.9	13.0	8.5	7.6	8.3	8.0	10.0	10.5
	満潮	5.5	8.9	13.4	8.2	7.4	8.5	11.0	10.2	10.5
pH	干潮	7.5	8.0	7.7	7.8	7.3	7.2	7.6	7.9	7.9
	満潮	7.6	8.0	7.6	7.6	7.3	7.3	7.8	7.9	7.9
酸化還元電位 (mV)	干潮	+343	+376	+484	+528	+457	+434	+475	+523	+519
	満潮	+345	+389	+550	+540	+447	+433	+482	+506	+504
比抵抗 (Ω－cm)	干潮	23.6	22.6	21.4	23.5	23.9	23.3	26.0	21.6	21.5
	満潮	22.8	22.8	21.5	23.2	23.6	22.9	22.6	21.6	21.4
塩素イオン (ppm)	干潮	17200	18000	19300	17100	16600	17000	15500	19900	19500
	満潮	17800	17400	19100	17500	16900	17200	18300	19600	19500
溶存酸素 (ppm)	干潮	6.6	8.3	5.7	6.8	7.1	6.9	6.9	7.2	7.5
	満潮	7.0	8.7	4.7	7.1	6.9	6.9	7.4	7.3	7.4
COD (ppm)	干潮	2.1	1.7	2.7	2.4	1.8	—	2.1	1.1	0.7
	満潮	1.8	1.8	4.9	2.5	3.2	—	1.3	1.3	0.9
アンモニウムイオン (ppm)	干潮	0.18	0.37	0.10	0.21	0.03	0.04	0.20	0.37	0.08
	満潮	0.50	0.75	0.10	0.59	0.06	0.02	0.15	0.26	0.10
硫黄イオン (ppm)	干潮	0.1 以下	0.1 以下	0.8	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下
	満潮	0.1 以下	0.2	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.2	0.1 以下	0.1 以下
懸濁物質 (ppm)	干潮	4	12	11	7	11	2120	2	2	1 以下
	満潮	1 以下	5	92	4	21	1600	1 以下	1 以下	1 以下

港湾技研資料 No. 532

1985. 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　有限会社　光　有　社

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