

# 港湾技研資料

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

No. 502 Dec. 1984

港湾構造物の電気防食調査（その2）

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. 調 査 構 造 物 .....	4
3. 陽 極 調 査 .....	5
3.1 調 査 方 法 .....	5
3.2 陽極の閉路電位測定結果 .....	6
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 .....	8
3.5 陽極の観察結果 .....	11
4. 構 造 物 調 査 .....	12
4.1 調 査 方 法 .....	12
4.2 構造物の電位測定結果 .....	12
4.3 構造物の肉厚測定結果 .....	12
4.4 構造物の観察結果 .....	12
5. 環 境 調 査 .....	12
5.1 調 査 方 法 .....	12
5.2 水質試験結果 .....	16
5.3 底質試験結果 .....	16
6. 結 論 .....	18
あ と が き .....	18
参 考 文 献 .....	18
写 真 .....	19
付 図 .....	26
付 表 .....	32

## Performances of Steel Structures under Marine Environment, being Applied Cathodic Protection (Part 2)

Toshiyuki YOKOI\*  
Masami ABE\*\*

### Synopsis

In order to grasp performances of steel structures under marine environments, to which cathodic protection by galvanic anodes have been applied for long period, some cathodic protection surveys were made. Six typical steel structures were selected for the surveys. The survey consisted of anode, structural and environmental surveys. The following results were obtained:

- (1) Protection current densities calculated from anode weight losses were 30 ~ 40 percents of the initial values in four structures and 40 ~ 50 percents in two structures.
- (2) The estimated lives of the anodes were longer than the design lives in all structures.
- (3) In one structure, the potentials in a part of steel members were more positive than the protective potential and it was supposed that this was due to falling off of the anodes from the steel members near the part. In another structure, a steel sheetpile bulkhead, the potentials were more positive in a part, relative to those in the remaining part. The part of higher potential was connected to adjacent steel sheetpile wall which had driven additionally to prevent the backfill from washing out at the end of the sheetpile bulkhead. The existence of those additional sheetpiles had not been considered in design of the cathodic protection. The consumption of the anodes in the part of higher potential was larger than that in the remaining part.

---

\* 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2）

横井 聡之\*  
阿部 正美\*\*

## 要 旨

長期間電気防食（流電陽極方式）を適用している港湾鋼構造物の実態を知るために、代表例について電気防食調査を行った。調査構造物は6例でいずれも10年以上の電気防食期間を経過している。調査は陽極調査、構造物調査および環境調査よりなる。おもな調査結果は次のとおりである。

(1) 防食電流密度（重量測定より求めた値）は初期値の30～40%が4例、40～50%が2例であった。

(2) A1合金陽極の推定寿命はいずれも設計値を上回った。

(3) 防食電位よりやや貴なところのある構造物が一例あったが、これは周辺の陽極に脱落したものがあつた影響が考えられる。また設計において防食面積に見込まなかつた鋼材が接続して存在していたため、最近傍の陽極の消耗量が大きく、その部分の電位も他の部分よりは若干貴である事例があつた。

## 1. まえがき

港湾施設に始めて電気防食が適用されたのは昭和28年尼崎港防潮堤閘門で、外部電源方式とマグネシウム陽極を用いた流電陽極方式であつた。その後は外部電源方式が採用されてきたが、昭和38年ごろより電気防食用のアルミニウム合金陽極が開発され、流電陽極方式が実用化された。外部電源方式に比べ、流電陽極方式は取り付け施工面や管理の上で簡便であること等の理由から、現在は港湾鋼構造物の電気防食はほとんど流電陽極方式によつている。

流電陽極方式が一般的に使われるようになってから15年以上経過しているので、その実態を調査し、電気防食の設計法や管理方法の見直し改良を検討すべき時期にきていふと考えられる。アルミニウム合金陽極の寿命は20年として設計されることが多いから、陽極の寿命の尽きる構造物が今後次々として出てくることになる。この点からも電気防食の効果を確認するとともに設計法の改良のもととなる実態調査が有意義である。

港湾鋼構造物の腐食対策としては、電気防食と腐食しろをとる方法がある。港湾鋼構造物の腐食について最も問題となるのは平均干潮面のほぼ直下に発生することがある集中腐食である。腐食しろによる方法では、この集中腐食に対応することは實際上困難である。一方水槽に

おける実験<sup>1)</sup>では電気防食は集中腐食に対しても十分その効果が認められている。したがつて実構造物においてもその効果は期待されるころではあるが、構造物の電位が防食電位に達しないときには十分な効果は期待できない。実構造物についての調査がのぞましい。

電気防食の設計に関していえば、通常電気防食の初期の所要防食電流密度は海水中で100mA/m<sup>2</sup>とされており、経年とともに減少し、3～4年後には初期値の約半分に落ち着くといわれている。そして実際の設計においても各構造物ともほとんど同様の設計法によつている。しかし港湾環境下においては河川水の流入、海水の汚染、陽極や被防食体への海洋生物や腐食生成物の付着等、複雑な条件の影響をうけ所要防食電流密度はどの港でも一定とは限らない。したがつて同様に設計された構造物でも、陽極の消耗度や構造物の電位には差が生じる。危険側や極端に安全側でなければ実際上問題ないが、実態を調査し状況に応じ設計法の改良をはからなければならない。

また実態調査を行えば、電気防食の管理に関する有用な資料が得られるものと期待できる。

以上のような背景から電気防食調査を実施しており、その一部はすでに発表している<sup>2)</sup>。本文において既発表分の調査分に言及するときは、前報の調査という表現をとることとした。前報および今回の調査を合わせて、全国

\* 構造部 材料施工研究室長

\*\* 構造部 材料施工研究室

各地域より調査構造物を選定し、構造形式も、鋼矢板式および鋼管矢板式岸壁、鋼杭式さん橋、鋼矢板セル式岸壁の各種にわたるようにした。調査の内容は、陽極調査、構造物調査および環境調査である。本文は前報の調査との対比がしやすいように、前報と同様の記述形式をとることとした。

## 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。以下簡単のため各構造物をA～F港の記号で表す。調査構造物は鋼矢板岸壁3例(B, D, F港)、鋼管杭さん橋2例(C, E港)、鋼矢板セル1例(A港)の3種類の構造形式で、いずれも電気防食を10年以上適用している。なおA港の鋼矢板セルを矢板と杭に分けて記述する場合はA(矢板)およびA(杭)と表示した。各調査構造物の調査位置、正面図および断面図は巻末の付図-1～付図-10に示した。

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. (m)	計画 水深 (m)	防食面積 (m <sup>2</sup> )		Al合金陽極		塗装	経過 期間 (年)	電防 期間 (年)		
			種類	t (mm)			l (m)	* 海水中	** 海泥中	個数				初期発生電流 (A)	設計 寿命 (年)
A	小樽港 中央ふ頭セル岸壁	鋼矢板 セル式	鋼管杭 φ508mm	9.5	19.5 ~28.5	+0.4	-10	576	673.8	28	2.5	20	なし	13	12.1
			鋼矢板 YSP・F	9.5	16.0 ~19.5			1368.4	929	60					
B	苫小牧港 西頭4号岸壁	矢板式	鋼矢板 Z-45	21.5 12.5	18	+1.5	-9	1928.9	1350.2	68	3.1	20	なし	17	16.1
C	小金島港 松島岸壁	栈橋式	鋼管杭 φ812.8mm	9.0	36.5	+1.8	-10	2364.2	10746.3	150	3.0	20	なし	13.4	12.8
D	北九州港 洞海岸岸壁	矢板式	鋼矢板 FSP-ML	27.6	20.5	+1.85	-10	3114.6	2513	145	2.5	20	なし	11	10.3
E	刈田港 10m岸壁	栈橋式	鋼管杭 φ700mm	9.0	23 ~27	+4.2	-10	2070	4275	108	2.8	20	なし	14.4	13.2
F	那覇港 11m岸壁	矢板式	組合せ矢板 M-L	27.6	23.1 ~25.6	+2.1	-11	1858.5	1575	74	3.0	20	なし	10.8	10

\* M.S.L.~海泥面間  
\*\* 張石部を含む。

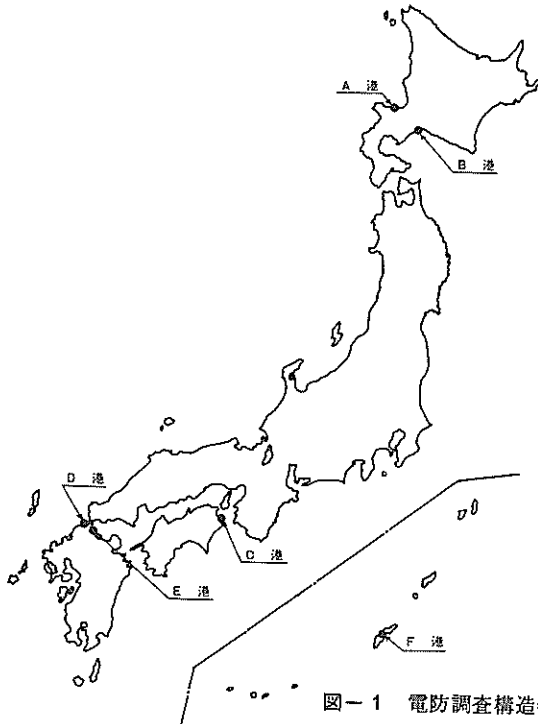


図-1 電防調査構造物の位置図

### 3. 陽極調査

#### 3.1 調査方法

##### (1) 調査対象陽極

表-2 に示すように各構造物とも 6 個の陽極について

調査した。陽極の取付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-10を参照) 陽極の構造物への取り付け方法は、B港のみは吊下げ方式であるが、(付図-4参照) 他は水中溶接方式である。

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
				Cross	Net	
** A	3	6	6	102.2	96.2	(170+210)×190×1000
	1	6	6			
B	1	6	6	96.5	94.4	(240+260)×250×250
C	2	4	6	122.0	111.5	(160+200)×185×1300
D	2	4	6	102.2	96.2	(170+210)×190×1000
E	2	6	6	101.9	98.7	(165+215)×190×1000
F	3	6	6	119.8	115.2	(190+230)×200×1000

\* 規格値 Cross: Al合金重量+芯金重量。 Net: Al合金重量。

\*\* A港の上段は鋼矢板、下段は鋼管杭

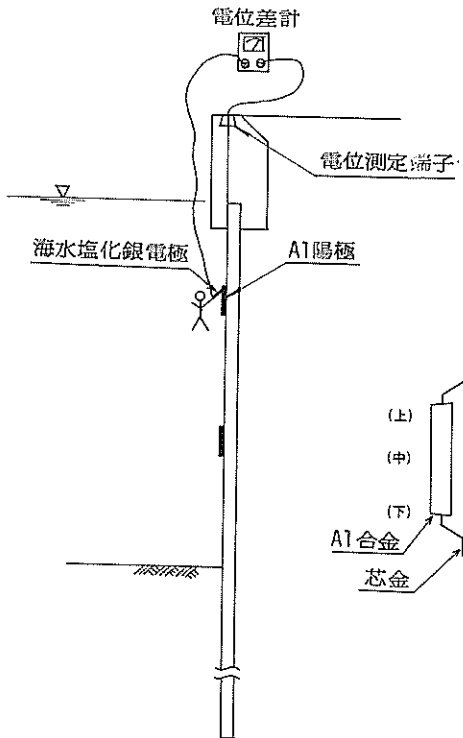


図-2 陽極の電位測定法

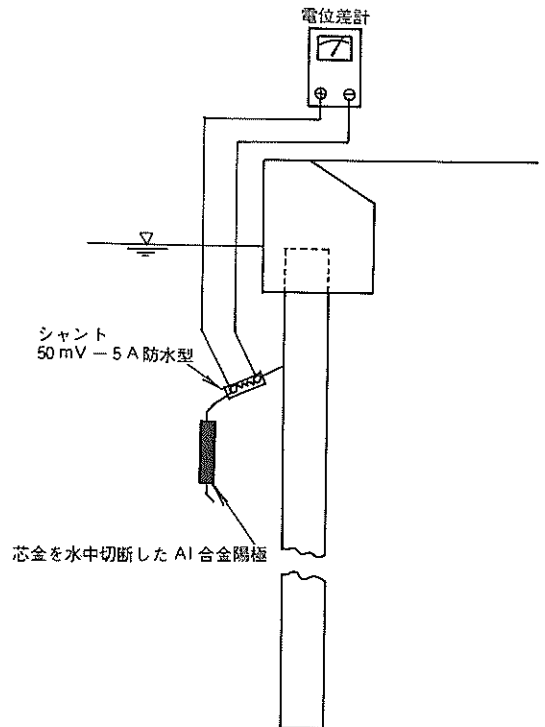


図-3 陽極の発生電流測定法

(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25cm～130cmであるから上、中、下の間隔は約10cm～65cmとなる。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付した後の付着物除去後の状態で行った。

(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-2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。片方の芯金を切断し陽極と構造物の間にシャント抵抗（50mV，5A防水型）を挿入してから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

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（海洋生物および腐食生成物）を十分に除去してから陽極の残存重量を台秤（最小目盛0.1kg）で秤量した。

陽極の残存重量（Gross）（芯金のついた状態）より以下のように平均発生電流および陽極寿命を算出した。

$$\text{消耗量(kg)} = \text{初期重量(Gross)} - \text{残存重量(Gross)}$$

$$\text{一切断により鋼構造物側に残った芯金重量} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{残存重量(Net)(kg)} = \text{初期重量(Net)} - \text{消耗量} \dots\dots\dots(2)$$

ここに(Net)はアルミニウム合金陽極のみの重量

$$\text{平均発生電流(A)} = \frac{\text{消耗量} \times \text{陽極有効電気量}}{\text{取付期間}} \dots\dots\dots(3)$$

ここにAl合金陽極の有効電気量 =  $\frac{1}{3.8}$  (A・y/kg)

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

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

陽極の残寿命を推定するには上記の2方法があるが、重量測定による方法では、陽極の消耗量より算出した電防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、測定した現在の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

防開始から経年とともにしだいに減少していき3～4年後には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。しかし長期間経過しているとその影響は小さくなる。一方、電流測定による方法では、発生電流は潮位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。両者の相違は発生電流値の相違であるから、陽極の残寿命だけでなく防食電流密度も異なってくる。前報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、事例によっては算出の方法により結果に差が生じた。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。陽極は観察終了後もとの取付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

陽極の閉路電位測定結果を表-3に示す。

(1) 付着物除去前の電位

流電陽極材料としては、被防食金属体よりも十分に低電位な金属であること、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。

付着物除去前の電位は、C，D，F港ではすべて-1000mV台であった。A，E港では-900mV～-1000mV台を示したがA港（杭）ではばらつきの範囲が大きかった。B港の電位は-900mV台であり他の港に比べると若干貴であった。

電位の陽極表面の位置（上，中，下，図-2参照）により1個の陽極内でも付着物の状態、水質の変動等のため差が生じる。差が少ないほどのぞましいのはいうまでもない。その差を比較すると表-3の最大差の欄に示すように、C，E，F港は差が小さく40mV以下、B，D港は100mV以下、A港には100mV以上のものがあった。A港の100mV以上の差があるものを記すと次のようになる。

		電位(mV)			
陽極No.	深度	上	中	下	最大差
1(杭)	-3.0	-1030	-970	-930	100
2(杭)	-3.0	-1120	-980	-1120	140
5(杭)	-3.0	-980	-1010	-1100	120
3(矢板)	-1.5	-1090	-960	-930	160

表-3 陽極の閉路電位測定結果

港名	陽極		陽極電位 (mV)				差	港名	陽極		陽極電位 (mV)				差
	No.	深度 (m)	付着物除去前		付着物除去後				No.	深度 (m)	付着物除去前		付着物除去後		
			平均	最大差	平均	最大差					平均	最大差	平均	最大差	
A (杭)	1	-3.0	-977	100	-1103	10	126	D	1	-1.0	-1053	10	-1157	20	104
	2	-3.0	-1107	140	-1127	70	20		2	-6.0	-1013	40	-1153	10	140
	3	-3.0	-997	10	-1107	10	110		3	-1.0	-1073	90	-1153	10	80
	4	-3.0	-960	40	-1107	10	147		4	-6.0	-1017	30	-1150	20	133
	5	-3.0	-1030	120	-1117	20	87		5	-1.0	-1113	70	-1143	20	30
	6	-3.0	-980	20	-1110	20	130		6	-6.0	-1020	40	-1160	40	140
	平均		-1009	72	-1112	23	103		平均		-1048	47	-1153	20	105
A (矢板)	1	-1.5	-967	70	-1113	10	146	E	1	-1.0	-1008	17	-1177	14	169
	2	-4.5	-987	30	-1107	10	120		2	-5.0	-988	36	-1161	8	173
	3	-1.5	-993	160	-1103	10	110		3	-1.0	-995	6	-1155	5	160
	4	-7.0	-1063	80	-1097	40	34		4	-5.0	-1007	19	-1170	20	163
	5	-1.5	-987	70	-1107	30	120		5	-1.0	-998	5	-1132	11	134
	6	-4.5	-1067	60	-1100	20	33		6	-5.0	-1005	27	-1125	1	120
	平均		-1011	78	-1105	20	94		平均		-1000	18	-1153	10	153
B	1	-2.0	-959	74	-1107	5	148	F	1	-1.0	-1019	10	-1125	4	106
	2	-2.0	-958	6	-1087	62	129		2	-4.5	-1018	1	-1120	5	102
	3	-2.0	-979	25	-1103	29	124		3	-8.0	-1016	4	-1117	12	101
	4	-2.0	-990	79	-1114	25	124		4	-1.0	-1016	14	-1124	7	108
	5	-2.0	-959	42	-1113	12	154		5	-4.5	-1022	23	-1115	14	93
	6	-2.0	-997	59	-1108	4	111		6	-8.0	-1017	5	-1116	16	99
	平均		-977	48	-1105	23	128		平均		-1018	10	-1119	10	101
C	1	-1.0	-1017	10	-1137	10	120								
	2	-1.0	-1037	10	-1147	10	110								
	3	-4.0	-1033	10	-1127	20	94								
	4	-1.0	-1007	10	-1153	10	146								
	5	-1.0	-1030	0	-1133	10	103								
	6	-4.0	-1033	10	-1147	10	114								
	平均		-1026	8	-1141	12	115								



(2) 付着物除去後の電位

付着物を除去した後の陽極の電位(平均)は-1100 mV台に回復した。(表-3参照) この値はA1合金陽極の開路電位に近似する。陽極表面上の位置(上, 中, 下)による電位の差も付着物除去前に比べ小さくなり, 平均では各港とも約20mV以下となった。

(3) 付着物の有無による電位差

流電陽極としては電流が発生する際に陽極電位が貴と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みなして, 通電による陽極の電位上昇を, 付着物除去前後の電位差として算出すると, その平均値は次のとおりであった。

電位(mV)

港名	付着物除去後	付着物除去前	差
A(杭)	-1112	-1009	103
A(矢板)	-1105	-1011	94
B	-1105	-977	128
C	-1141	-1026	115
D	-1153	-1048	105
E	-1153	-1000	153
F	-1119	-1018	101

前報では差が100mVを越えるものは少なかったが, 今回はほとんどすべてが100mVを越えている。

3.3 陽極の発生電流測定結果

陽極の発生電流測定結果を表-4に示す。

(1) 発生電流の低減率

陽極の発生電流は電防開始当初より経年とともにしだいに減少して行き, 3~4年後には一定値に落ち着くといわれる。その低減の状況を見るために(6)式により発生電流の低減率を算出した。

$$\text{低減率} = \frac{\text{発生電流(調査時の値)}}{\text{発生電流(初期値(設計値))}} \times 100(\%) \dots\dots\dots(6)$$

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も少なく経済的である。なお調査構造物は表-1に示すようにいずれも10年以上経過しているので一定値まで低減しているとみなせられる。

調査港のうち, 低減率(平均値)が30%台はA, C港であり, 20%台はB, D港, 10%台はE, F港であった。これらの値を設計値と比較すると次のとおりである。

発生電流の低減率(%)

	設計値	測定値
A(杭)	50	37
A(矢板)	50	36
B	40	26
C	50	32
D	50	26
E	45	16
F	50	14

いずれも設計値を十分下回っているが特にF港は大きく下回っている。

(2) 防食電流密度

陽極の発生電流(平均値)より防食電流密度を算出した。防食電流密度も安定した値になっているとみることができる。表-4では, 防食電流密度を(1), (2)の2通り算出した。いずれも調査構造物全体を対象として算出した値であるが, (1)の場合の防食面積は初期の値(設計値), (2)の場合は今回測定した水深による防食面積の値を用いている。防食面積の変化が大きい場合にはそれらを考慮して防食電流密度を計算しなければならないが, 一般には(1)の値が使用される。(1)の防食電流密度をみると, E, F港では約15mA/m<sup>2</sup>, B, D港で約25mA/m<sup>2</sup>, A, C港では約35mA/m<sup>2</sup>と各港間でかなりのばらつきはあるが, いずれも40mA/m<sup>2</sup>以下であった。防食電流密度については前報の調査より全体的に小さい傾向であった。

(3) 陽極寿命の推定

(5)式から算出した陽極の推定寿命を表-5に示す。電流値から推定した陽極寿命はすべて設計寿命(今回の調査対象施設ではすべて20年)を上回った。特にF港では35年も推定寿命を上回り, C, E港でも10年以上上回った。なお前報の調査では推定寿命が設計寿命にやや不足したものが8例中3例あった。

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1個当たりの年間平均の消耗量は, 陽極6個の平均でB, C, E, F港で4kg前後, A港で4.5kg程度, D港で約5kgであった。D港ではNo.1およびNo.2の陽極の消耗量が大きい。No.1およびNo.2ともバース最端部にとりつけられているが, 矢板はバース端部ではケーソンに沿って4枚巻き込んで打設されている。設計では防食面積に見込まなかった矢板を防食するためNo.1およびNo.2の陽極の消耗量が大きくなったものと思われる。したがってD港についてはNo.1, No.2を除いて平均値を求めたが参考のため( )内に全部の平均を記した。各

表-4 陽極發生電流測定結果

港名	陽極		發生電流			防食電流密度		港名	陽極		發生電流			防食電流密度	
	No.	深度 (m)	初期 (A)	測定 (A)	低減率 (%)	mA/m <sup>2</sup>			No.	深度 (m)	初期 (A)	測定 (A)	低減率 (%)	mA/m <sup>2</sup>	
						(1)	(2)							(1)	(2)
A (杭)	1	-3.0	2.5	0.85	34			D	1	-1.0	2.5	0.52	21		
	2	-3.0	2.5	0.95	38				2	-6.0	2.5	0.60	24		
	3	-3.0	2.5	1.12	45				3	-1.0	2.5	0.65	26		
	4	-3.0	2.5	0.83	33				4	-6.0	2.5	0.74	30		
	5	-3.0	2.5	0.80	32				5	-1.0	2.5	0.60	24		
	6	-3.0	2.5	0.96	38				6	-6.0	2.5	0.78	31		
	平均		2.5	0.92	37		36 38		平均		2.5	0.65	26		26 29
A (矢板)	1	-1.5	2.5	0.76	30			E	1	-1.0	2.8	0.50	18		
	2	-4.5	2.5	1.07	43				2	-5.0	2.8	0.40	14		
	3	-1.5	2.5	0.83	33				3	-1.0	2.8	0.36	13		
	4	-7.0	2.5	0.82	33				4	-5.0	2.8	0.54	19		
	5	-1.5	2.5	1.01	40				5	-1.0	2.8	0.36	13		
	6	-4.5	2.5	0.99	40				6	-5.0	2.8	0.48	17		
	平均		2.5	0.91	36		36 38		平均		2.8	0.44	16		16 18
B	1	-2.0	3.1	0.80	26			F	1	-1.0	3.0	0.37	12		
	2	-2.0	3.1	0.85	27				2	-4.5	3.0	0.39	13		
	3	-2.0	3.1	0.84	27				3	-8.0	3.0	0.50	17		
	4	-2.0	3.1	0.80	26				4	-1.0	3.0	0.39	13		
	5	-2.0	3.1	0.76	25				5	-4.5	3.0	0.37	12		
	6	-2.0	3.1	0.80	26				6	-8.0	3.0	0.48	16		
	平均		3.1	0.81	26		25 29		平均		3.0	0.42	14		14 14
C	1	-1.0	3.0	0.60	20										
	2	-1.0	3.0	1.10	37										
	3	-4.0	3.0	0.66	22										
	4	-1.0	3.0	1.04	35										
	5	-1.0	3.0	1.10	37										
	6	-4.0	3.0	1.30	43										
	平均		3.0	0.97	32		32 38								

表-5 陽極重量測定結果

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/m <sup>2</sup> )	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 (杭)	1	-3.0	96.2	46.9	49.3	4.1	1.07	43	46	11.5	14.5	23.6	26.6
	2	-3.0	96.2	38.2	58.0	4.8	1.26	50		8.0	10.6	20.1	22.7
	3	-3.0	96.2	39.7	56.5	4.7	1.23	49		8.5	9.3	20.6	21.4
	4	-3.0	96.2	47.7	48.5	4.0	1.05	42		11.9	15.1	24.0	27.2
	5	-3.0	96.2	38.7	57.5	4.8	1.25	50		8.1	12.7	20.2	24.8
	6	-3.0	96.2	41.8	54.4	4.5	1.18	47		9.3	11.4	21.4	23.5
	平均		96.2	42.17	54.03	4.5	1.18	47		9.6	12.3	21.7	24.4
A (矢板)	1	-1.5	96.2	48.1	48.1	4.0	1.05	42	48	12.1	16.6	24.2	28.7
	2	-4.5	96.2	26.9	69.3	5.7	1.51	60		4.7	6.6	16.8	18.7
	3	-1.5	96.2	48.3	47.9	4.0	1.04	42		12.2	15.3	24.3	27.4
	4	-7.0	96.2	38.8	57.4	4.7	1.25	50		8.2	12.4	20.3	24.5
	5	-1.5	96.2	45.0	51.2	4.2	1.11	44		10.6	11.7	22.7	23.8
	6	-4.5	96.2	35.0	61.2	5.1	1.33	53		6.9	9.3	19.0	21.4
	平均		96.2	40.35	55.85	4.6	1.21	48		9.1	12.0	21.2	24.1
B	1	-2.0	94.4	31.7	62.7	3.9	1.02	33	32	8.1	10.4	24.2	26.5
	2	-2.0	94.4	33.8	60.6	3.8	0.99	32		8.9	10.5	24.8	26.6
	3	-2.0	94.4	30.2	64.2	4.0	1.05	34		7.6	9.5	23.6	25.5
	4	-2.0	94.4	30.3	64.1	4.0	1.05	34		7.6	10.0	23.6	26.1
	5	-2.0	94.4	30.8	63.6	4.0	1.04	34		7.7	10.7	23.6	26.8
	6	-2.0	94.4	37.1	57.3	3.6	0.94	30		10.3	12.2	26.2	28.3
	平均		94.4	32.3	62.1	3.9	1.02	33		8.4	10.5	24.3	26.6
C	1	-1.0	111.5	72.2	39.3	3.1	0.81	27	34	23.4	31.6	36.2	44.3
	2	-1.0	111.5	67.5	44.0	3.4	0.90	30		19.6	16.1	32.3	28.9
	3	-4.0	111.5	60.7	50.8	3.9	1.04	35		15.2	24.1	28.0	36.9
	4	-1.0	111.5	57.5	54.0	4.2	1.11	37		13.6	14.5	26.3	27.3
	5	-1.0	111.5	57.5	54.0	4.2	1.11	37		13.6	13.7	26.3	26.5
	6	-4.0	111.5	56.3	55.2	4.3	1.13	38		13.0	11.4	25.8	24.1
	平均		111.5	61.95	49.55	3.9	1.02	34		16.4	18.6	29.1	31.3
D	1	-1.0	96.2	30.5	65.7	6.4	1.69	68	47 (54)	4.8	15.4	15.0	25.7
	2	-6.0	96.2	28.5	67.7	6.6	1.74	70		4.3	12.5	14.6	22.7
	3	-1.0	96.2	45.6	50.6	4.9	1.30	52		9.2	18.4	19.5	28.7
	4	-6.0	96.2	54.7	41.5	4.0	1.07	43		13.5	19.4	23.8	29.7
	5	-1.0	96.2	52.9	43.3	4.2	1.11	44		12.5	23.1	22.8	33.4
	6	-6.0	96.2	49.2	47.0	4.6	1.21	48		10.7	16.6	21.0	26.8
	平均		96.2	43.6 (43.6)	52.6 (52.6)	5.1 (5.1)	1.35 (1.35)	54 (54)		11.5 (9.2)	17.6 (17.6)	21.8 (19.4)	27.8 (27.8)
E	1	-1.0	98.7	47.4	51.3	3.9	1.02	36	41	12.2	24.9	25.3	38.1
	2	-5.0	98.7	37.8	60.9	4.6	1.21	43		8.2	24.9	21.5	38.1
	3	-1.0	98.7	44.6	54.1	4.1	1.08	39		10.9	32.6	24.1	45.8
	4	-5.0	98.7	40.2	58.5	4.4	1.17	42		9.1	19.6	22.4	32.8
	5	-1.0	98.7	45.7	53.0	4.0	1.06	38		11.4	33.4	24.7	46.6
	6	-5.0	98.7	43.9	54.8	4.1	1.09	39		10.7	24.1	24.1	37.3
	平均		98.7	43.3	55.4	4.2	1.10	39		10.4	25.9	23.7	39.1
F	1	-1.0	115.2	73.6	41.6	4.2	1.09	36	39	17.5	52.3	27.5	62.3
	2	-4.5	115.2	72.1	43.1	4.3	1.13	38		16.8	48.7	26.8	58.7
	3	-8.0	115.2	66.8	48.4	4.8	1.27	42		13.9	35.2	23.9	45.2
	4	-1.0	115.2	73.4	41.8	4.2	1.10	37		17.5	49.5	27.5	59.5
	5	-4.5	115.2	79.2	36.0	3.6	0.95	32		22.0	56.3	32.0	66.3
	6	-8.0	115.2	65.8	49.4	4.9	1.30	43		13.4	36.1	23.4	46.1
	平均		115.2	71.8	43.4	4.3	1.14	38		16.9	45.0	26.9	55.0

Dの平均はNo. 3~No. 6の平均( ( )内は全陽極の平均)

港における深度ごとの平均消耗量を比較してみると、次のとおりである。

港名	深度 (m)	陽極消耗量(kg) (年間平均)	全深度当たりの平均値との差 (kg)
A (杭)	-3	4.46	-0.01
A (矢板)	-1.5	4.06	-0.56
	-4.5	5.39	+0.77
	-7	4.74	+0.27
B	-2	3.86	0
C	-1	3.74	-0.13
	-4	4.14	+0.27
D	-1	4.56	+0.13
	-6	4.30	-0.13
E	-1	4.00	-0.20
	-5	4.40	+0.20
F	-1	4.17	-0.17
	-4.5	3.96	-0.38
	-8	4.89	+0.55

陽極消耗量と取付深度の関係をみると、深い位置のものが消耗量が若干多い傾向がみられるがあまり明確ではない。また各深度の陽極消耗量の全深度当たりの平均値との差はほとんどのものが平均値に対して10%以下の差である。そこで以下においては表-5の平均値を用いて検討した。

#### (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(6)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-5参照) 40%台はA、D港であり、他は30%台であった。重量測定より求めた発生電流の低減率を設計値と比較すると次のようになり、いずれも設計値よりは小さい。C、F港以外は10%以下の差であり、設計値との差はあまりない。

#### 発生電流の低減率(%)

	設計値	測定値
A (杭)	50	47
A (矢板)	50	48
B	40	33
C	50	34
D	50	47
E	45	39
F	50	38

なお前報の調査では、設計値を40%としたところが多かったこともあるが、重量測定より算出した低減率が設計値より大きいところのほうが多かった。重量測定より

求めた発生電流の低減率は、電流測定による発生電流の低減率(表-4参照)よりはいずれも大きかった。C港はほとんど同じであるが、A、B港は10%前後大きく、他は20%以上大きかった。

#### (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に示す。この場合の防食電流密度の算出に用いた防食面積は初期の値である。B、C港では約33mA/m<sup>2</sup>、E、F港で約40mA/m<sup>2</sup>、A、D港で約47mA/m<sup>2</sup>であった。防食電流密度も、重量測定より求めた値は電流測定より求めた値よりも大きい。各港間の相対的な大きさの関係はD港を除いてほぼ同じであった。なお前報調査と比較すると、前報では20~70mA/m<sup>2</sup>と範囲が広がったが、今回は30~50mA/m<sup>2</sup>と幅がせまくなっている。

#### (4) 陽極の推定寿命

(4)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。重量測定による陽極の推定寿命(平均)はすべて設計寿命を上回った。設計寿命を上回る年数は10年以内である。なおここでは表-5の平均値について述べたのであって、例えばD港のNo.1およびNo.2の陽極のように消耗の早いものは、寿命がすぎた後隣接の陽極がある程度は補うかもしれないが、少なくとも平均の寿命よりもはやい時期に新規の陽極をつける必要がある。このように平均の陽極寿命が次回の陽極を取り付ける時期を示しているとは限らないことに注意しなければならない。

重量測定にもとづく陽極の推定寿命は、電流測定にもとづく値よりもいずれも小さい。

防食電流密度および陽極の推定寿命は、いずれも陽極の発生電流から求めた値と、重量測定から求めた値で差がある。これは発生電流測定値が重量測定より求めた平均発生電流値よりも小さいことによる。いずれの方法によるのが適当であるかは一概に決められないが、発生電流は測定時の潮位などにより変動するが、測定値は一時点の値であること、この場合E、F港のような例では電流測定値を用いると現在までの陽極の消耗量の説明がつけにくいこと、防食電流密度、陽極の推定寿命ともに重量測定より求めた値のほうが安全側であり、各港間のばらつきも少ないことなどより、重量測定より求めた値を使う方が実際的と思われる。しかし今後の検討課題である。

#### 3.5 陽極の観察結果

回収した陽極を撮影した写真を写真-1~写真-7に示す。回収した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ったが、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。河川水等の流入により海水の比抵抗が増大したような場合、陽極と被防食体との間の最も抵抗の小さいすなわち距離が短い所からの陽極の消耗が卓越することがある。この場合陽極の脱落のおそれが生じる。(写真-8, 付図-11参照) したがって均等に陽極が消耗していることはのぞましいことである。

## 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構造物延長上を24~50m間隔に水深1mごとに構造物の電位を測定した。測定の方法は図-2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上部工より吊り下げる方法があるが、両者の測定値が大差ない場合に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±0mより上部については20cmピッチとし、-0.5mの点、および-1mから海底面間は1mピッチとした。各深度における横断面内の肉厚測定点は、セルの直線矢板については付図-1に示すように鋼矢板1板につき3か所、鋼管杭については付図-2に示すように海側および陸側の2か所、Z型、U型および組み合わせ矢板についてはそれぞれ付図-3, 付図-6および付図-9に示すように2枚1組として6か所を測定した。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) 水深測定

調査地点の水深をレッドを用いて測定した。

#### (4) 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-6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。図-4に干潮時の陽極調査地点の電位の深度方向の変化を示す。図-4にみられるようにB港を除いた各港の電位は各深度とも防食電位(-780mV, 海水塩化銀電極基準)に達していた。B港においては-5m以深で防食電位に若干不足している。これには脱落した陽極のあったことが影響していると思われる。なおB港の陽

極の取り付けは吊下げ方式である。D港のバース端部の陽極の消耗量が大きかったが、その部分の電位は防食電位は十分満たしているが、他の部分よりは30~40mV貴であった。

### 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-7のとおりである。なお腐食量には電気防食開始以前の腐食量が含まれることから、ここで算出した腐食速度にはその影響が含まれ電防期間中のみの腐食速度よりは大きい値となっている。

平均腐食速度でみると、A, B, E港は0.03mm/y以下、C港は0.01~0.05mm/y, D, F港では0.05mm/yをこえるところがあった。D, F港では最大腐食速度が±0m付近で0.15mm/yをこえていた。深度方向の変化はD, F港を除いてあまりなかった。なお前報においては、構造物の電位が防食電位に不足している例では腐食速度が大きかったが、今回のB港では防食電位に不足するところはあったが、腐食速度にはその影響は現れていない。

### 4.4 構造物の観察結果

調査構造物の観察結果を写真-1~写真-7に示す。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せい(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深度から干潮時と満潮時に採水した。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の項目について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

調査地点の海泥表層より採泥した。採泥した試料の分析項目は次のとおりである。

①温度, ②pH, ③COD, ④硫酸塩還元菌菌体数,

⑤硫化物

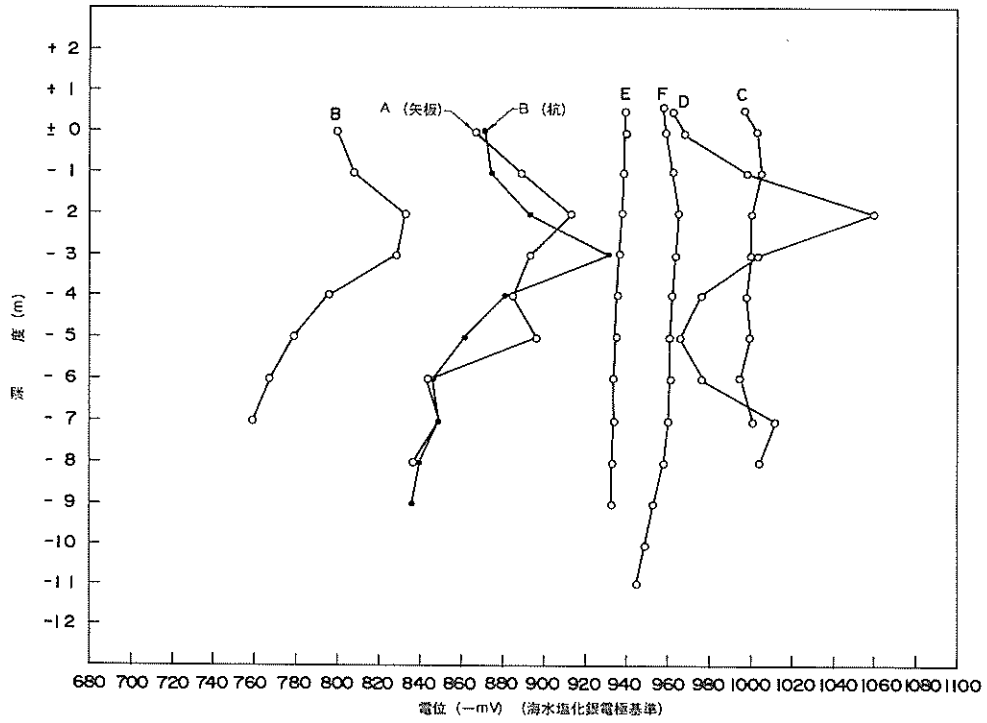
分析は腐食防食協会8・1分科会の底質分析の方法によった。①~②の項目については現地で試験し、③~⑤

表-6 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		満 潮 時		港名	深度 (m)	干 潮 時		満 潮 時	
		(1)	(2)	(1)	(2)			(1)	(2)	(1)	(2)
A (杭)	±0.0	-860~-880	-800~-870	-840~-870	-810~-870	D	+0.5	-940~-980	-940~-1000	-950~-990	-940~-1000
	-1.0	-870~-890	-790~-910	-820~-870	-810~-900		±0.0	-950~-980	-940~-1000	-960~-990	-940~-990
	-2.0	-870~-910	-790~-960	-870~-910	-810~-950		-1.0	-980~-1020	-950~-1010	-990~-1020	-950~-1010
	-3.0	-880~-970	-790~-880	-890~-990	-810~-890		-2.0	-1010~-1100	-970~-1020	-1020~-1100	-960~-1030
	-4.0	-850~-940	-790~-870	-840~-880	-800~-870		-3.0	-990~-1030	-970~-1010	-990~-1030	-960~-1000
	-5.0	-840~-870	-790~-870	-830~-860	-800~-860		-4.0	-970~-990	-960~-990	-970~-990	-950~-990
	-6.0	-830~-870	-790~-850	-820~-860	-800~-850		-5.0	-950~-970	-960~-990	-970~-990	-950~-990
	-7.0	-830~-870	-810~-910	-820~-870	-810~-850		-6.0	-950~-980	-970~-980	-980~-1000	-950~-990
	-8.0	-810~-860	-810~-860	-820~-840	-810~-840		-7.0	-970~-1100	-980~-1000	-1000~-1100	-960~-1000
	-9.0	-820~-850	-810~-840	-820~-840	-810~-840		-8.0	-980~-1070	-	-990~-1020	-960~-990
A (矢板)	±0.0	-850~-880	-800~-870	-840~-880	-810~-870	E	+3.5	-	-	-919~-922	-922~-950
	-1.0	-860~-930	-790~-910	-830~-940	-810~-900		+3.0	-	-	-919~-922	-922~-951
	-2.0	-860~-990	-790~-960	-850~-1000	-810~-950		+2.0	-	-	-922~-927	-923~-956
	-3.0	-870~-950	-790~-880	-860~-940	-810~-890		+1.0	-938~-944 <sup>イ)</sup>	-954~-968 <sup>イ)</sup>	-924~-931	-924~-959
	-4.0	-830~-950	-790~-870	-820~-950	-800~-870		±0.0	-938~-940	-939~-967	-925~-934	-927~-961
	-5.0	-850~-990	-790~-870	-840~-970	-800~-860		-1.0	-937~-943	-938~-967	-926~-935	-928~-963
	-6.0	-830~-860	-790~-850	-820~-870	-800~-850		-2.0	-936~-941	-938~-967	-928~-935	-929~-965
	-7.0	-820~-930	-810~-910	-820~-930	-810~-850		-3.0	-935~-940	-937~-965	-928~-934	-930~-965
	-8.0	-820~-880	-810~-860	-810~-900	-810~-840		-4.0	-934~-938	-937~-964	-929~-932	-930~-966
	-9.0	-	-810~-840	-	-810~-840		-5.0	-934~-936	-936~-963	-929~-932	-931~-966
B	±0.0	-781~-809	-681~-830	-	-	F	+1.0	-951~-968	-954~-991 <sup>ロ)</sup>	-955~-967	-949~-988
	-1.0	-788~-822	-687~-832	-	-		±0.0	-952~-970	-958~-992	-959~-972	-958~-994
	-2.0	-819~-858	-676~-849	-	-		-1.0	-953~-977	-966~-995	-961~-978	-976~-1000
	-3.0	-813~-846	-676~-840	-	-		-2.0	-955~-981	-955~-997	-962~-981	-962~-1003
	-4.0	-780~-809	-675~-820	-	-		-3.0	-955~-976	-948~-995	-963~-979	-957~-1000
	-5.0	-765~-790	-669~-808	-	-		-4.0	-955~-974	-941~-998	-963~-977	-949~-1001
	-6.0	-755~-776	-660~-789	-	-		-5.0	-955~-975	-959~-999	-962~-980	-962~-1003
	-7.0	-747~-767	-656~-750	-	-		-6.0	-954~-978	-950~-994	-961~-982	-960~-999
	-8.0	-	-653~-670	-	-		-7.0	-953~-972	-965~-990	-960~-975	-977~-995
	-9.0	-	-652~-670	-	-		-8.0	-951~-973	-963~-989	-958~-978	-975~-991
C	+0.5	-980~-1010	-950~-1000	-980~-1000	-950~-1000	F	-9.0	-948~-961	-961~-982	-955~-970	-969~-985
	±0.0	-990~-1010	-950~-1000	-990~-1010	-960~-1000		-10.0	-945~-956	-959~-975	-952~-963	-964~-980
	-1.0	-1000~-1010	-950~-1000	-990~-1010	-960~-1000		-11.0	-942~-952	-953~-971	-948~-958	-960~-975
	-2.0	-990~-1010	-950~-1000	-990~-1010	-970~-1000		-12.0	-	-966	-	-969
	-3.0	-980~-1010	-960~-1000	-990~-1010	-970~-990						
	-4.0	-980~-1010	-960~-1010	-980~-1010	-970~-990						
	-5.0	-990~-1010	-950~-1010	-980~-1010	-970~-990						
	-6.0	-980~-1010	-950~-1010	-980~-1000	-970~-990						
	-7.0	-1010	-960~-1000	-1010	-960~-990						
	-8.0	-	-950~-990	-	-960~-980						
	-9.0	-	-950~-990	-	-960~-980						
	-10.0	-	-950~-990	-	-960~-980						

(1) 陽極調査地点の電位 (2) 構造物全体の電位 イ) +0.5m深度 ロ) +0.6m深度



図一4 調査構造物の電位(干潮時(1))

表-7 調査構造物の腐食速度

港名	深度 (m)	腐食速度 (mm/yr)			港名	深度 (m)	腐食速度 (mm/yr)			
		最大	平均	最小			最大	平均	最小	
A (杭)	±0.0	0.085	0.018	0	D	-2.0	0.111	0.045	0	
	-0.5	0.024	0.008	0		-3.0	0.102	0.037	0	
	-1.0	0.027	0.012	0		-4.0	0.077	0.035	0	
	-2.0	0.023	0.012	0		-5.0	0.087	0.032	0	
	-3.0	0.031	0.008	0		-6.0	0.115	0.044	0	
	-4.0	0.020	0.008	0		-7.0	0.127	0.054	0	
	-5.0	0.018	0.005	0		-8.0	0.116	0.033	0	
	-6.0	0.014	0.007	0		E	+2.2	0.028	0.018	0.010
	-7.0	0.012	0.005	0			+2.0	0.034	0.019	0
	-8.0	0.025	0.007	0			+1.8	0.040	0.022	0.011
-9.0	0.010	0.002	0	+1.6	0.033		0.020	0.009		
A (矢板)	±0.0	0.045	0.025	0.007	+1.4		0.038	0.026	0.017	
	-0.5	0.049	0.027	0	+1.2		0.026	0.017	0.006	
	-1.0	0.036	0.018	0	+1.0		0.034	0.022	0.008	
	-2.0	0.047	0.028	0.007	+0.8		0.032	0.022	0.015	
	-3.0	0.035	0.019	0	+0.6		0.024	0.019	0.012	
	-4.0	0.056	0.025	0	+0.4		0.044	0.027	0.012	
	-5.0	0.042	0.021	0	+0.2	0.040	0.021	0.004		
	-6.0	0.041	0.024	0.005	±0.0	0.049	0.031	0.014		
	-7.0	0.038	0.020	0	-0.5	0.034	0.024	0.007		
	-8.0	0.035	0.021	0	-1.0	0.029	0.022	0.013		
B	±0.0	0.039	0.019	0	-2.0	0.040	0.031	0.024		
	-0.5	0.032	0.011	0	-3.0	0.037	0.027	0.019		
	-1.0	0.052	0.016	0	-4.0	0.034	0.026	0.017		
	-2.0	0.047	0.018	0	-5.0	0.043	0.028	0.015		
	-3.0	0.036	0.015	0	-6.0	0.046	0.029	0.022		
	-4.0	0.042	0.015	0	-7.0	0.043	0.028	0.019		
	-5.0	0.064	0.018	0	F	+0.8	0.148	0.082	0	
	-6.0	0.031	0.011	0		+0.6	0.157	0.087	0	
-7.0	0.024	0.008	0	+0.4		0.157	0.077	0		
C	+0.4	0.058	0.051	0.041		+0.2	0.157	0.087	0	
	+0.2	0.066	0.054	0.046		±0.0	0.176	0.094	0	
	±0.0	0.057	0.050	0.043		-0.5	0.157	0.081	0	
	-0.5	0.060	0.037	0.010		-1.0	0.130	0.070	0	
	-1.0	0.056	0.046	0.038		-2.0	0.111	0.052	0	
	-2.0	0.044	0.025	0.010		-3.0	0.120	0.039	0	
	-3.0	0.046	0.024	0.009		-4.0	0.093	0.038	0	
	-4.0	0.042	0.030	0.012	-5.0	0.083	0.032	0		
-5.0	0.046	0.010	0.032	-6.0	0.074	0.030	0			
-6.0	0.047	0.028	0.014	-7.0	0.093	0.044	0			
D	+0.4	0.163	0.078	0	-8.0	0.102	0.050	0		
	+0.2	0.155	0.135	0	-9.0	0.093	0.051	0		
	±0.0	0.131	0.067	0	-10.0	0.065	0.033	0		
	-0.5	0.106	0.053	0	-11.0	0.102	0.047	0		
	-1.0	0.123	0.052	0	-11.2	0.093	0.042	0		



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

表層水, 中間水, 海底水の水質試験結果を付表-1~付表-3に示す。また試験項目の①~⑨の結果を図示すると図-5のようになる。

### (1) 水温

本調査における試験水は12月~1月に採水され, 調査地も北海道から沖縄にわたっていたため全調査地点の水温は3.6~22.5℃とかなりの幅があった。各港とも水深方向の変化および満潮時と干潮時の差はほとんどなかった。

### (2) pH

pHは各港とも8.0~8.4の範囲にあり, 水深方向および満干潮の変化はほとんどなかった。清浄海水のpH値が7.5~8.5程度であるからいずれも清浄海水の範囲に入っていた。

### (3) 酸化還元電位

微生物の作用と酸化還元電位の関係を付図-12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に示されている。調査港の酸化還元電位は+330mV~+450mVの範囲にあったが, その中ではB, E港が低かった。付図-12を参照すると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A, B, E港で25~30Ω-cmで, 他は約20Ω-cmであった。比抵抗は水温が10℃上昇すると4~5Ω-cm小さくなるからこの補正を行うとB, E港の比抵抗がやや大きくなるが, いずれも清浄海水の比抵抗の範囲である。

### (5) 塩素イオン

塩素イオンは17%~20%の範囲にあり, その中ではC, E港が低かったが極端に少ないところはなかった。

### (6) 溶存酸素

溶存酸素についてはA~E港では7ppm以上であったが, F港では7ppmより若干小さく他港と比べると少し低かった。しかし清浄海水の範囲に入っている。

### (7) COD

CODは6.7ppm以下であったが, そのうちではF港が1.7~3.5ppmと低かった。またE港では満干潮時の差が3~4ppmあった。

### (8) アンモニウムイオン

D港が1ppm程度あったがその他はC港の海底水(干潮)を除いて0.1ppm以下であった。

### (9) 硫黄イオン

調査港の海水中の硫黄イオンは0.1ppm以下であった。

### (10) 懸濁物質

A, B, F港の中間水および海底水で10ppm以上となったが, その他は10ppm以下であった。

### (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, 酸化還元電位, 塩素イオン, 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6港では, 酸化還元電位がB, E港でやや低い, 比抵抗がB, E港でやや高い, 塩素イオンがC, E港でやや小さい, アンモニウムイオンがD港でやや大きいといった傾向はあったが, いずれも顕著なものでなく淡水や汚染水の流入はみられなかった。したがって水質と防食電流密度等との関係はよくとらえられなかった。

## 5.3 底質試験結果

底質試験結果を表-8に示す。海泥の温度も水温と同様調査港によって異なり3.6~22.2℃の範囲にあり, 各港での値はそれぞれ水温とほぼ同じであった。pHは7.3~8.0で海水のpHよりやや小さかった。CODはA, F港で $4.5 \times 10^3 \sim 7.9 \times 10^3$ ppm, B, D, E港で $2.1 \times 10^4 \sim 2.8 \times 10^4$ ppm, C港で $4.3 \times 10^4$ ppmであった。硫酸塩還元菌は各港で検出された。菌体数(菌数/ml)はA, C, D港で $2.5 \times 10^1$ , B, F港で $9 \times 10^2$ , E港で $9 \times$

表-8 底質試験結果

項目	A 港	B 港	C 港	D 港	E 港	F 港
温度(°C)	3.6	8.0	12.0	15.0	12.0	22.0
pH	7.9	8.0	7.3	7.4	7.3	7.5
COD(ppm)	4500	21400	4300	23800	28400	7900
硫酸塩還元菌菌体数 (菌数/ml)	$2.5 \times 10^1$	$9 \times 10^2$	$2.5 \times 10^1$	$2.5 \times 10^1$	$9 \times 10^4$	$9 \times 10^2$
硫化物(ppm)	710	4200	280	360	7800	4800

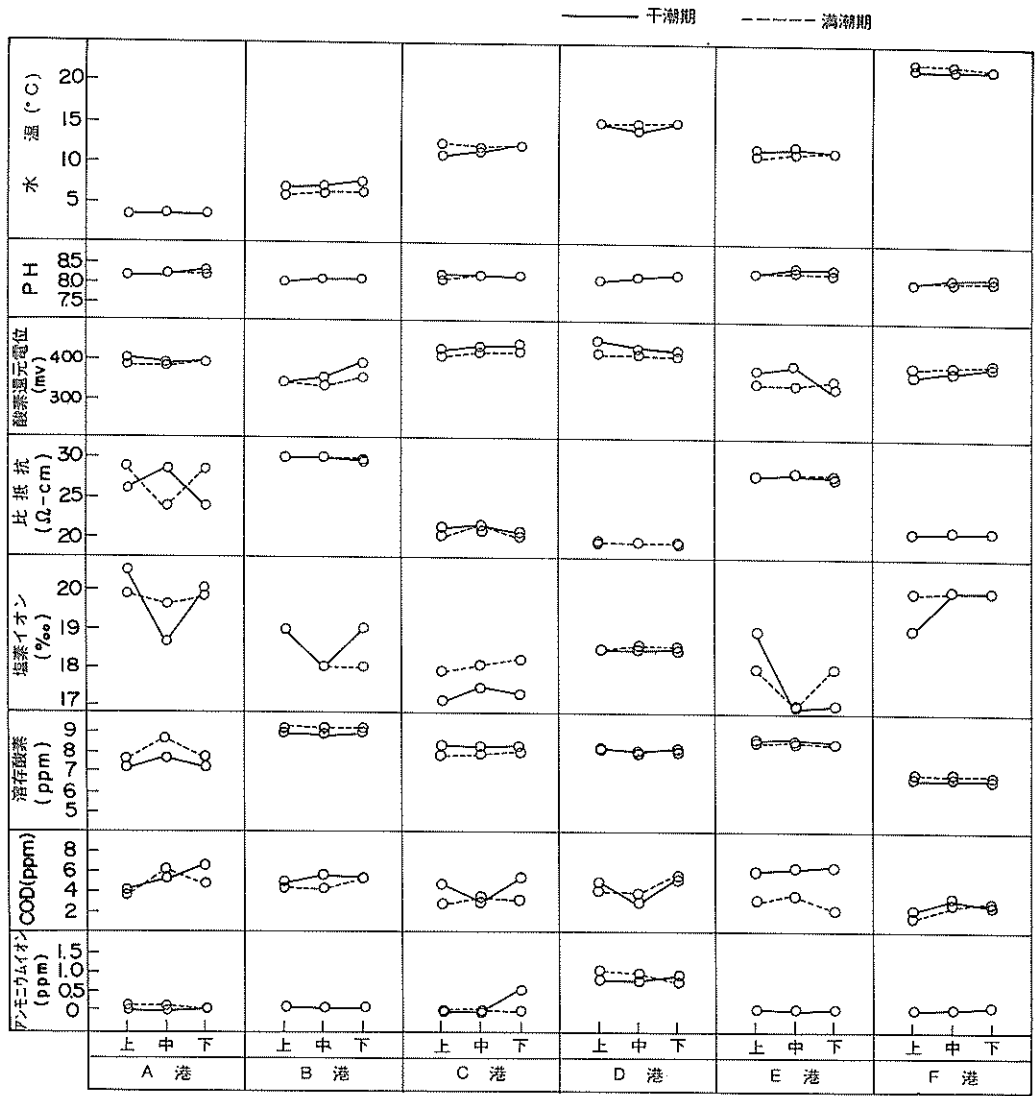


図-5 水質試験結果

10<sup>4</sup>であった。硫化物量はA, C, D港で280~710 ppm, B, F港で4,200~4,800 ppm, E港で7,800 ppmであった。

底質試験結果からみるとE港が他港と比べるとCOD, 硫酸塩還元菌, 硫化物が大きかった。しかしE港は防食電流密度は小さく, 構造物の電位や腐食量も問題なく底質との関係はつけられなかった。

## 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) 陽極の重量測定より求めた発生電流の低減率は, 30~40%が4例(B, C, E, F港), 40~50%が2例(A, D港)であり, いずれも設計値(40~50%)より低かった。また防食電流密度(安定値)は30~50 mA/m<sup>2</sup>であった。なお発生電流の測定値より求めた低減率および防食電流密度は上記の値より小さかった。

(2) 陽極の推定寿命(重量測定より求めた値)はいずれも設計値(6例とも20年)を上回り(平均約4年), 最も長いものは約10年であった。(電流測定より求めた値はさらに長い。)

(3) 設計において防食面積に見込んでなかったバース端部の矢板巻込部の最近傍に取り付けられている陽極の消耗量が大きい事例があった。またその部分の構造物の電位は防食電位よりは卑であったが, 他の部分よりは若干貴であった。

(4) 1例のみ防食電位より貴の部分がある構造物があった。これには脱落した陽極のあったことの影響が考えられる。なお腐食速度は大きくなっていなかった。

(5) 調査港の水質試験結果はいずれもかなり良好で, 各港間にも大差がなかったため, 水質と防食電流密度との関係については明確なものは見出せなかった。

## あ と が き

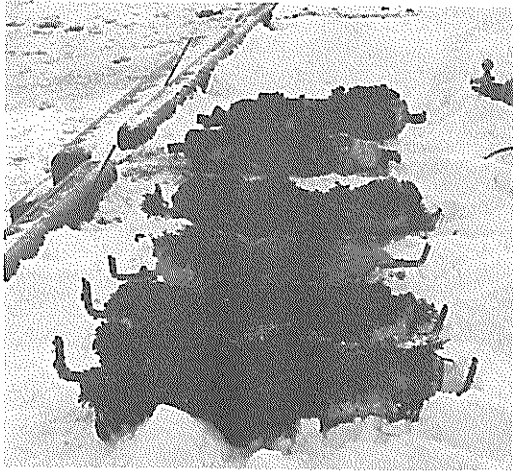
今回の電気防食調査は10年以上電気防食を適用している6構造物を対象に行ったが, 前報の調査と合わせて一応全国各地域での調査を行ったことになる。今回の調査では水質がかなり良好であったため, 防食電流密度, 陽極寿命ともに設計値を満足しており, 現在一般に用いられている設計値が, この程度の水質に対しては安全側であることがわかった。しかし陽極が適正に取り付けられていないと構造物の電位や陽極の消耗量に問題が生じるから, 設計, 施工および管理において注意しなければならないことが示された。

今後は主に環境条件の相違をもとに調査地点を選定し, 環境条件に対応した設計ができるようにするための資料を得る必要があると考えている。また陽極の重量測定の結果を用いるか, 電流測定値を用いるかにより防食電流密度, 陽極の推定寿命にかなり差が生じる場合があるが, 過去に調査した構造物を再調査して, その後の推移を確認することなどにより適した方法を判定する必要もある。

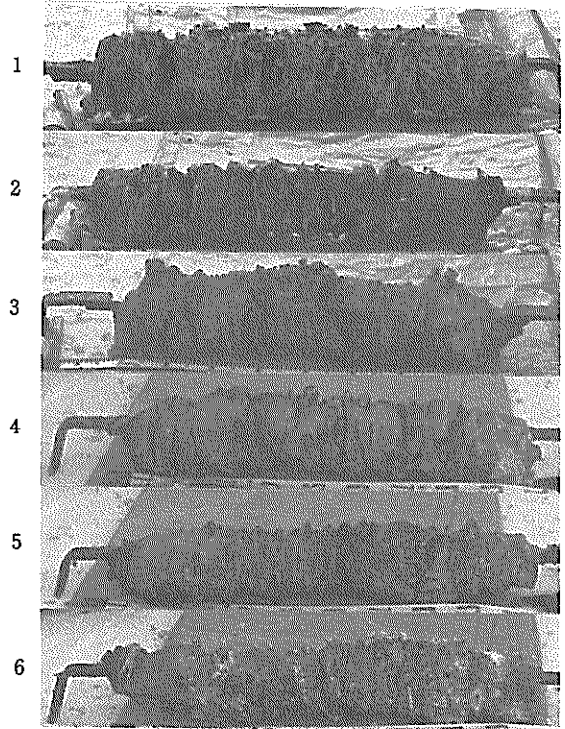
最後に本調査に御協力頂いた関係機関の方々に厚く御礼申し上げます。(1984年9月29日受付)

## 参 考 文 献

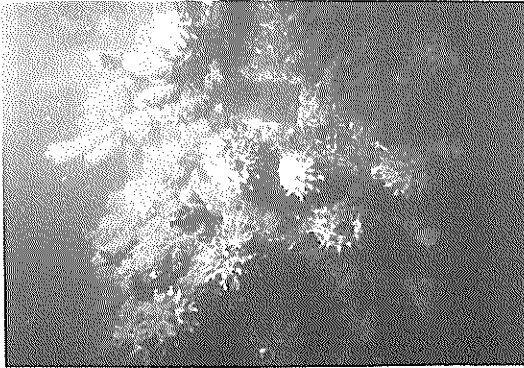
- 1) 善一章, 阿部正美: 集中腐食に対する電気防食の適用性, 港湾技術研究所報告, Vol. 22, No.2, (1983)
- 2) 善一章, 横井聡之, 阿部正美: 港湾構造物の電気防食調査(その1), 港湾技研資料, No.475, (1984)



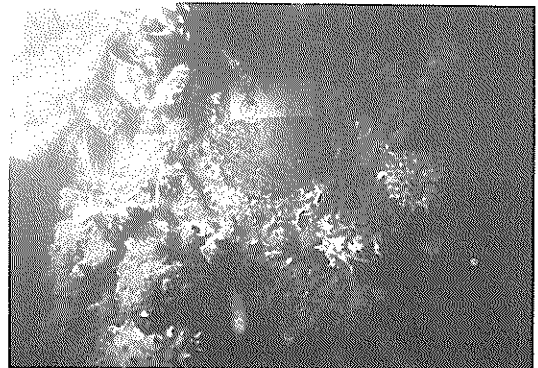
陽極（回収時）



陽極（付着物除去後）

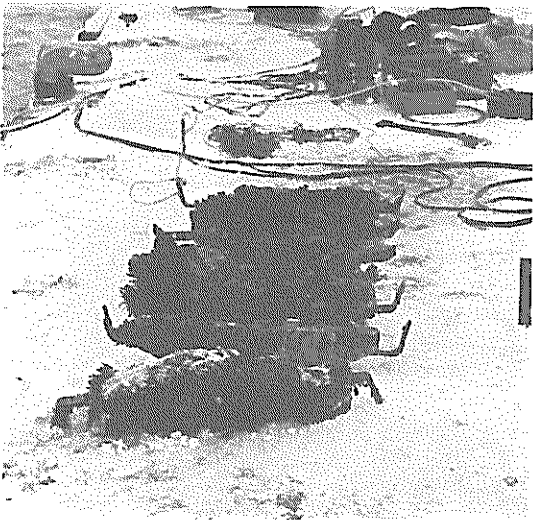


鋼管杭-6.0m

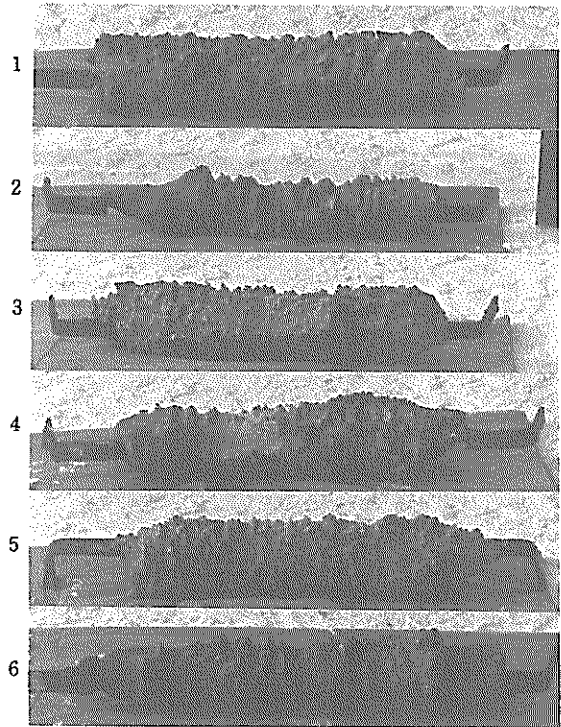


鋼管杭-6.0m（付着物除去後）

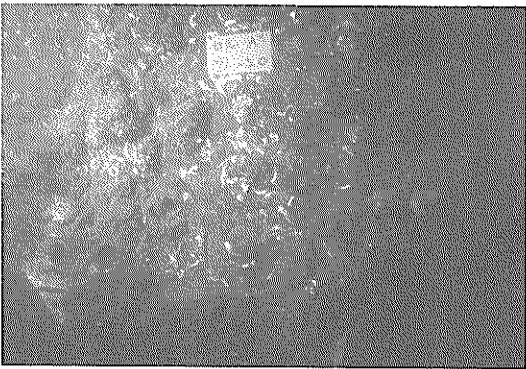
写真-1 A港における陽極および鋼管杭面



陽極（回収時）



陽極（付着物除去後）

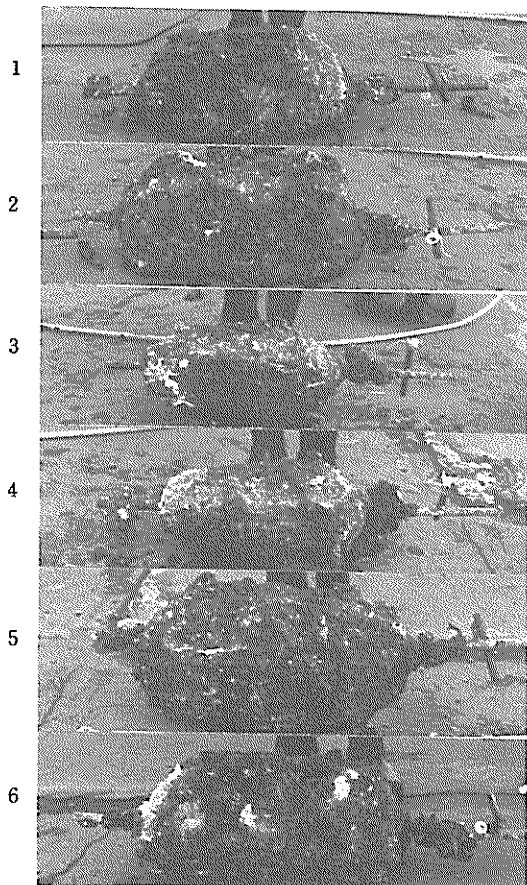


鋼矢板-5.0m

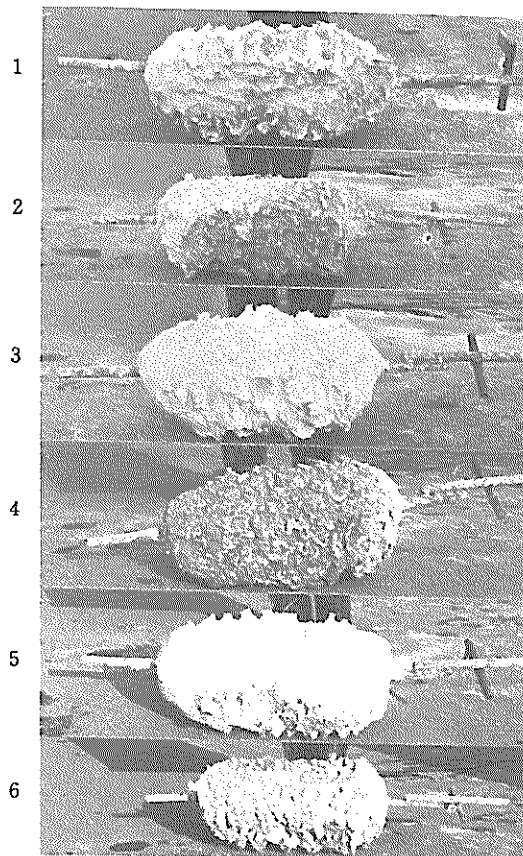


鋼矢板-5.0m（付着物除去後）

写真-2 A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）



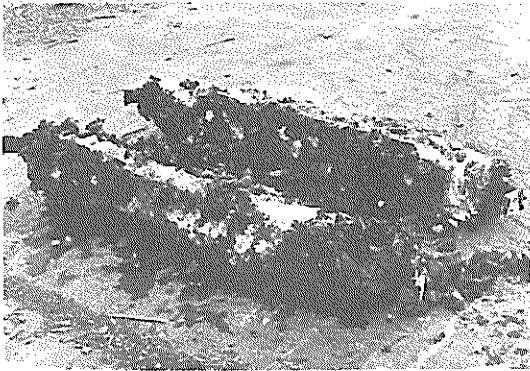
鋼矢板-6.0m



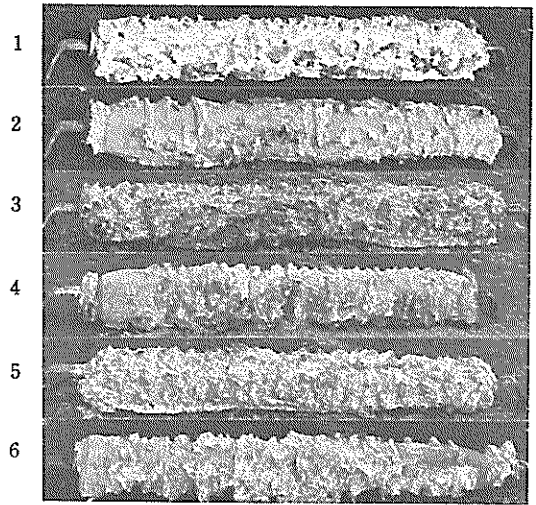
鋼矢板-6.0m（付着物除去後）

写真-3 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）

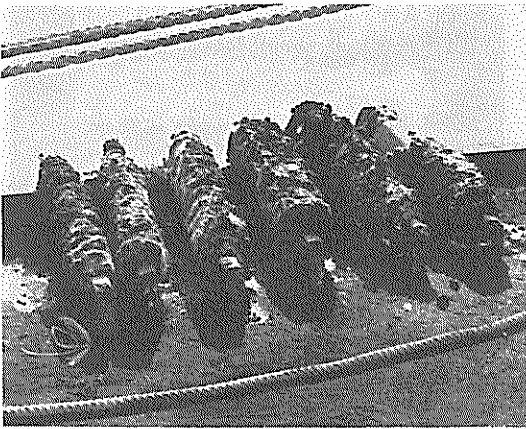


鋼管杭-2.0m

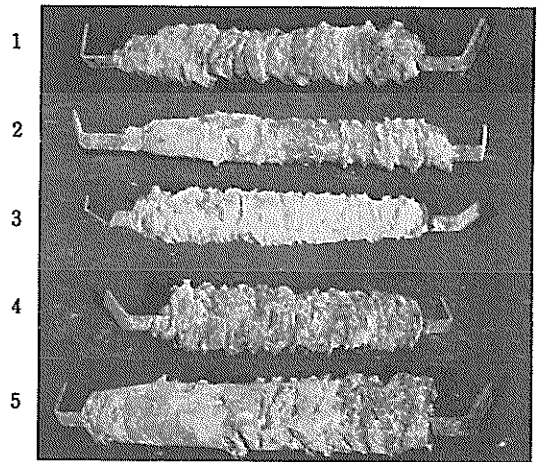


鋼管杭-2.0m（付着物除去後）

写真-4 C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）



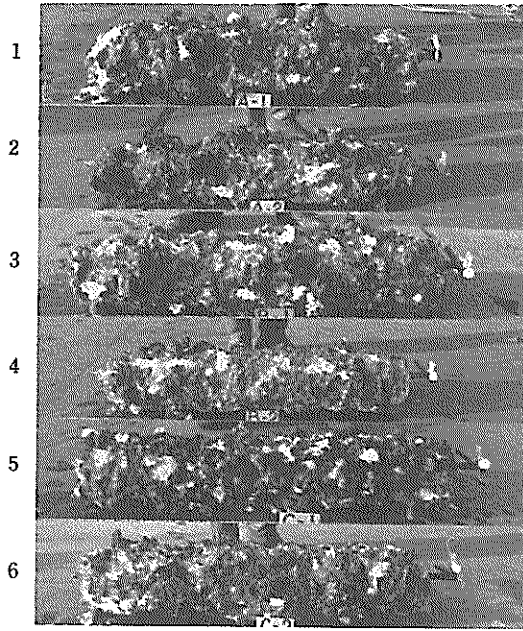
鋼矢板-2.0m



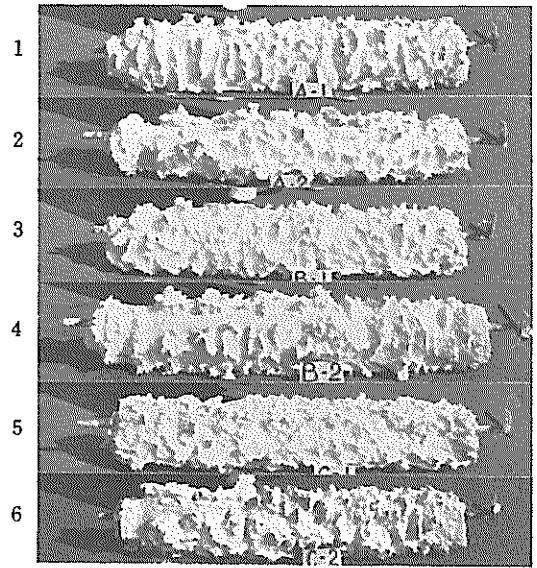
鋼矢板-2.0m（付着物除去後）

写真-5 D港における陽極および鋼矢板面

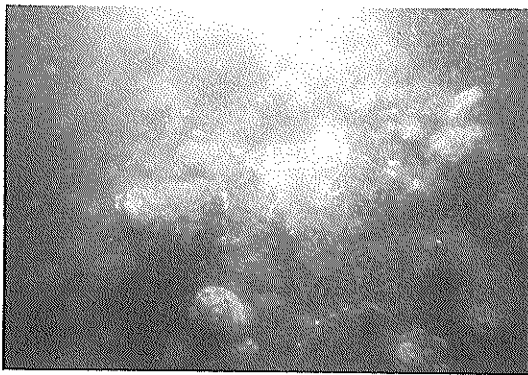




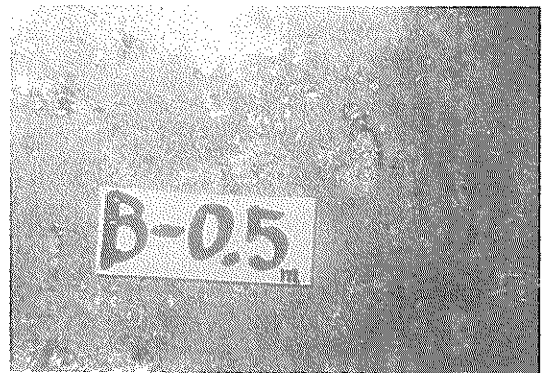
陽極（回収時）



陽極（付着物除去後）

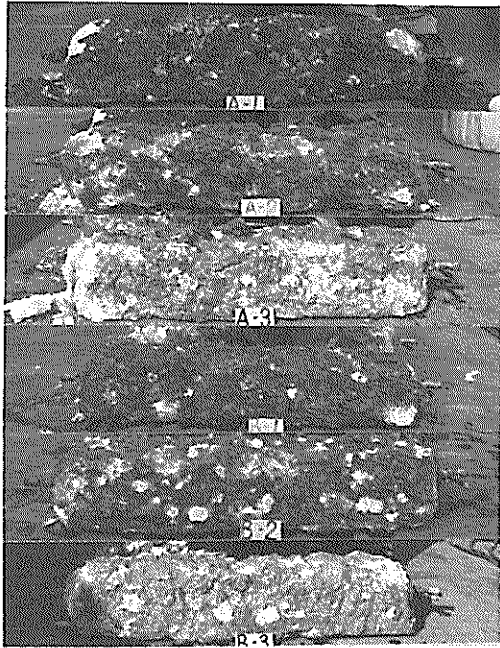


鋼管杭-0.5m

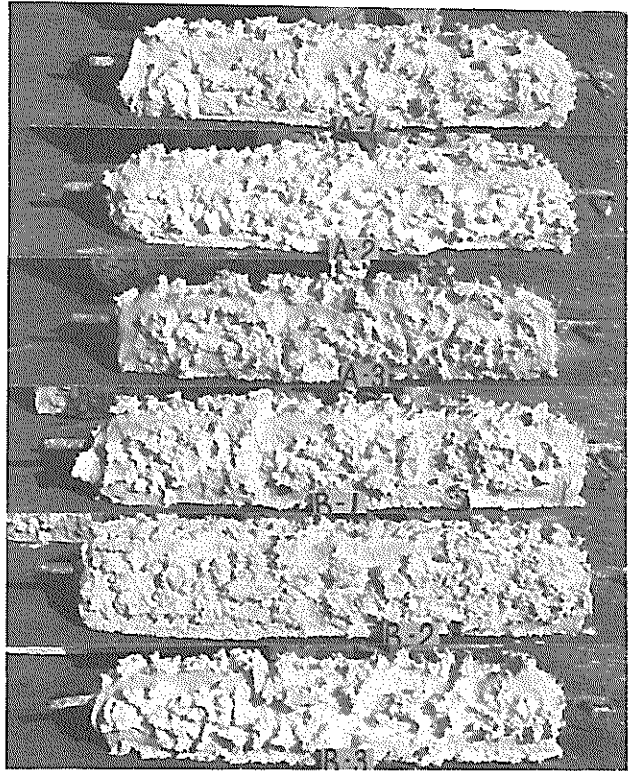


鋼管杭-0.5m（付着物除去後）

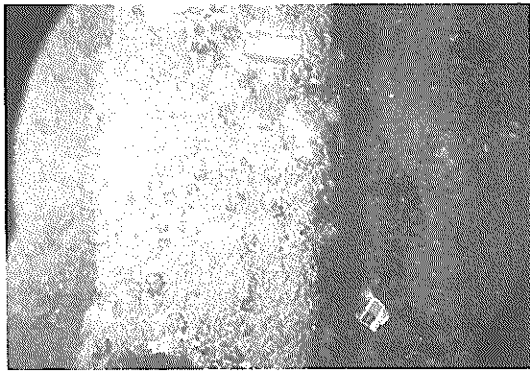
写真-6 E港における陽極および鋼管杭面



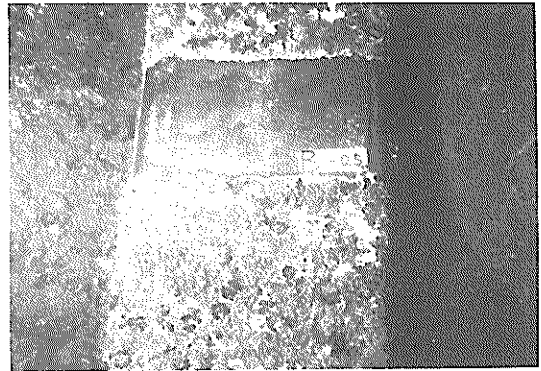
陽極（回収時）



陽極（付着物除去後）

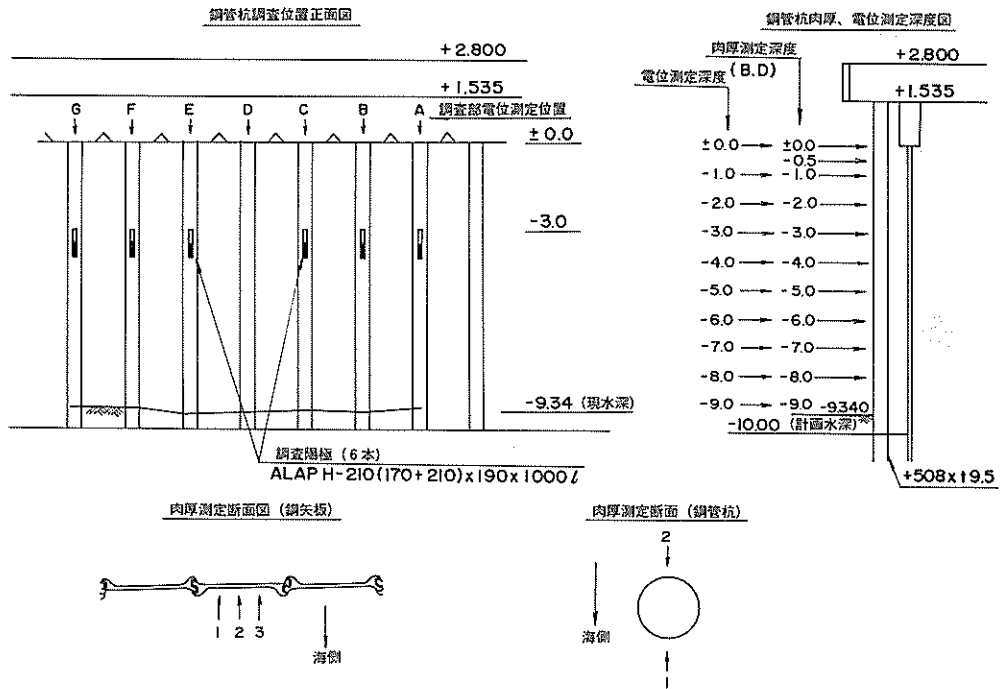


鋼矢板-0.5m

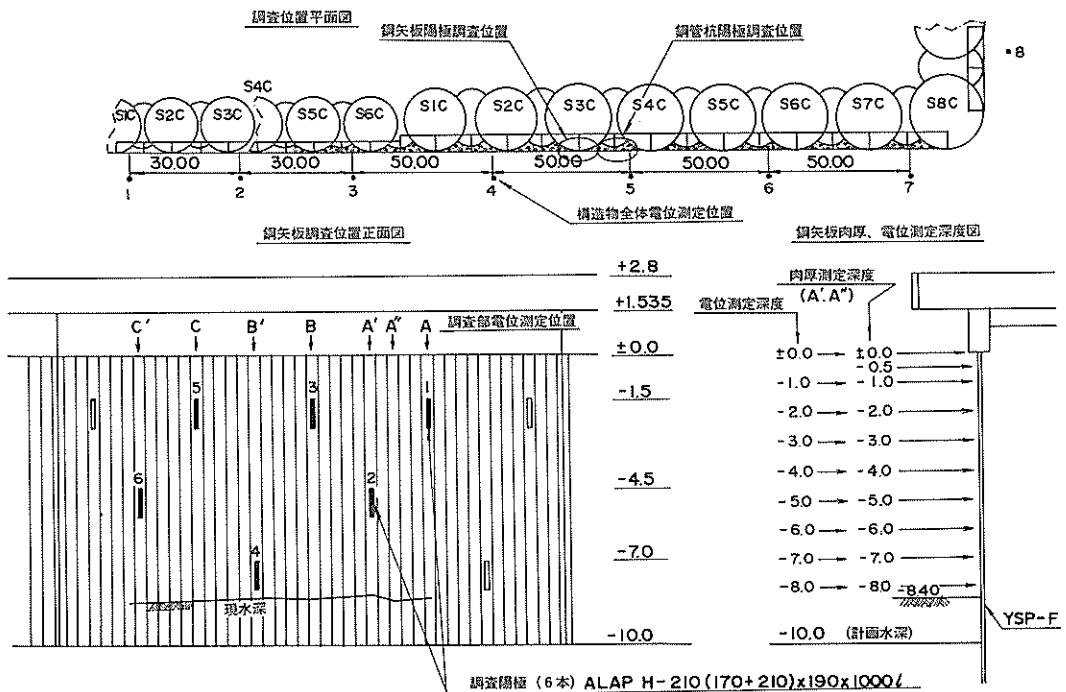


鋼矢板-0.5m（付着物除去後）

写真-7 F港における陽極および鋼矢板面

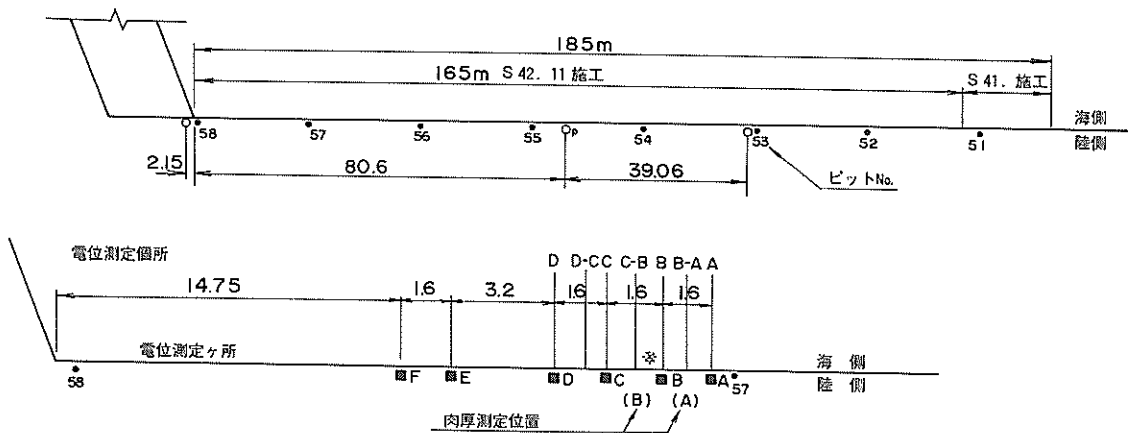


付図-1 A港における鋼管杭の正面図および断面図



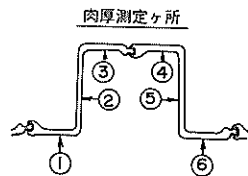
付図-2 A港における調査位置図および鋼矢板の正面図、断面図

調査位置図



調査陽極ヶ所 A ~ F 6個

海水採水位置 ※



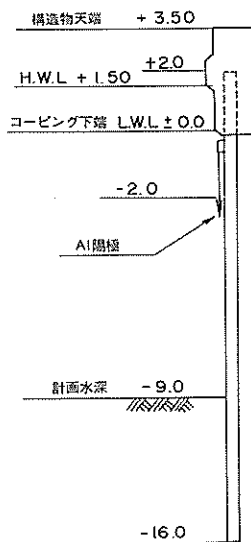
○ 電位測定装置

陽極取付深度

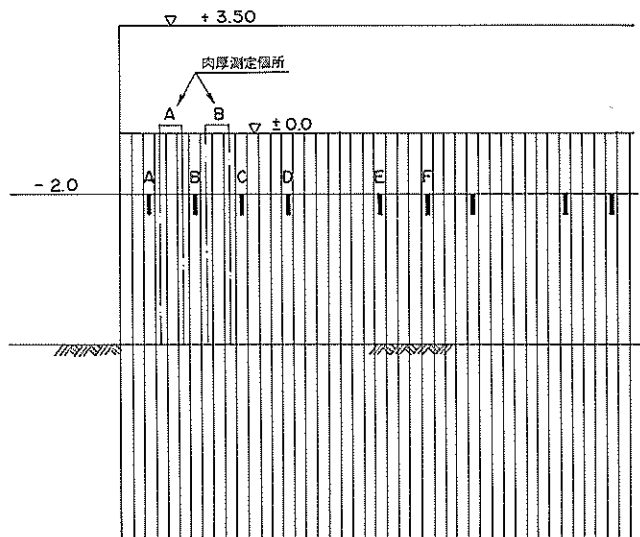
■ - 2.0m

付図-3 B港における調査位置図

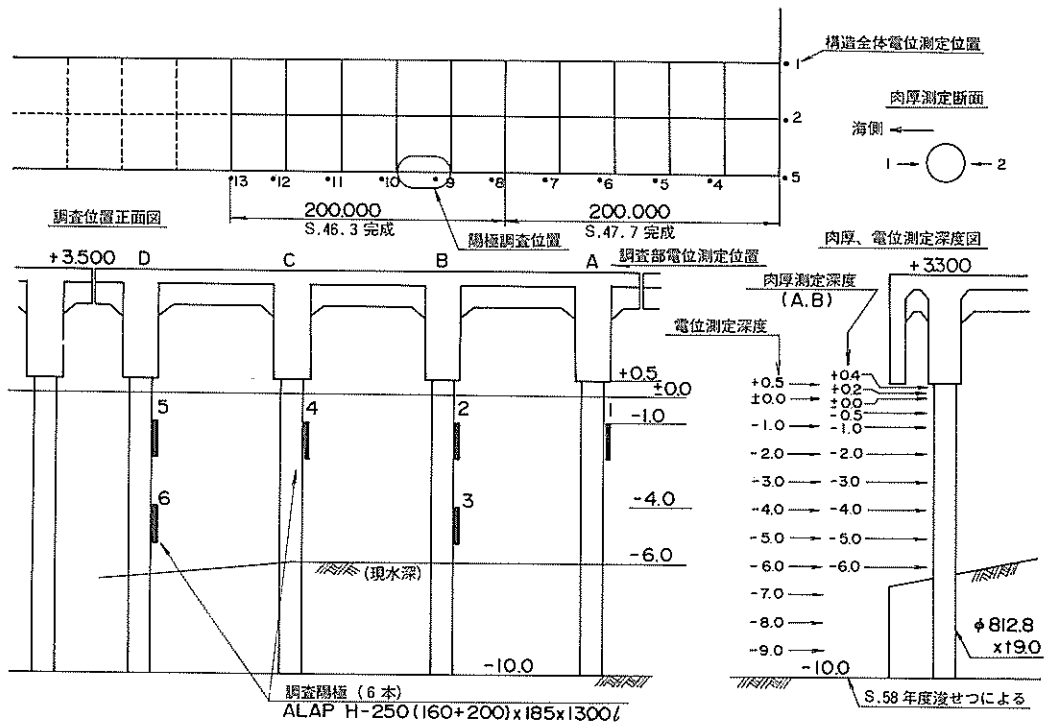
標準断面図



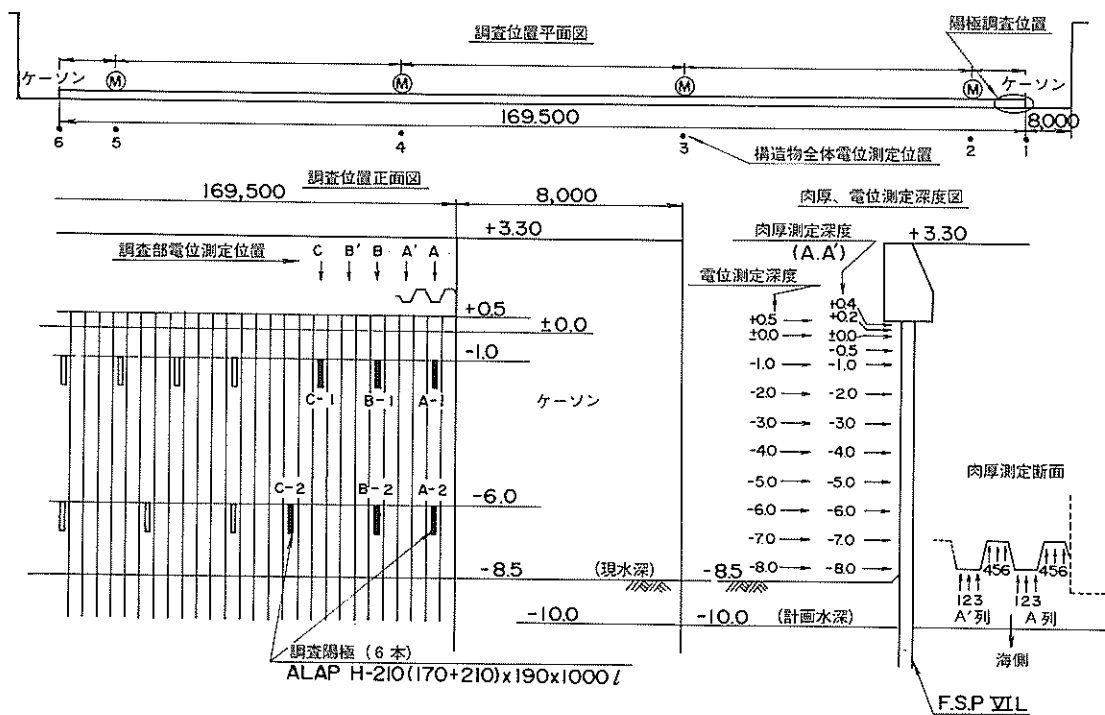
調査箇所正面図



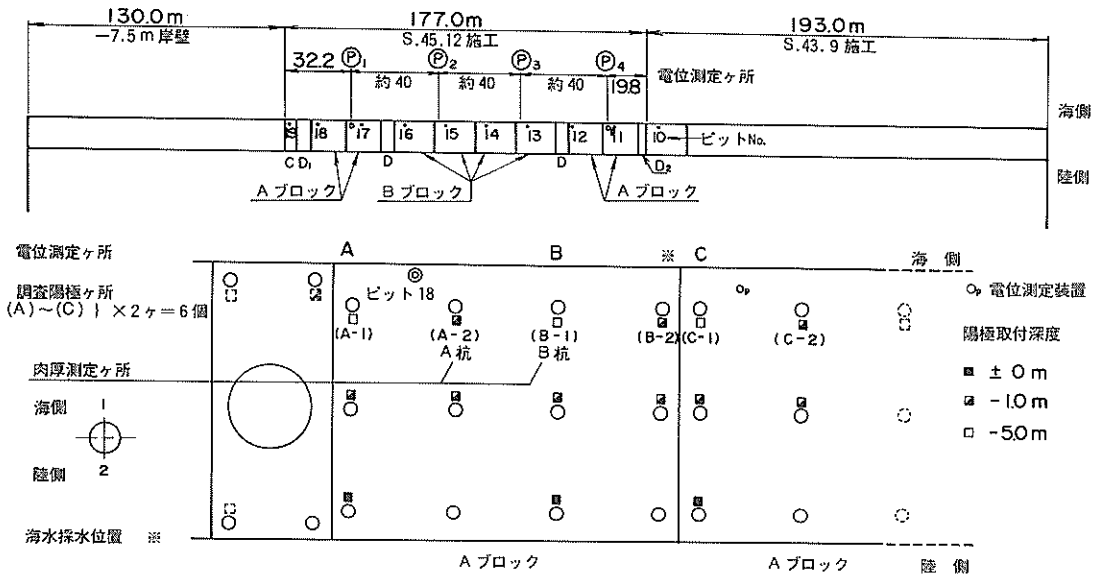
付図-4 B港における正面図および断面図



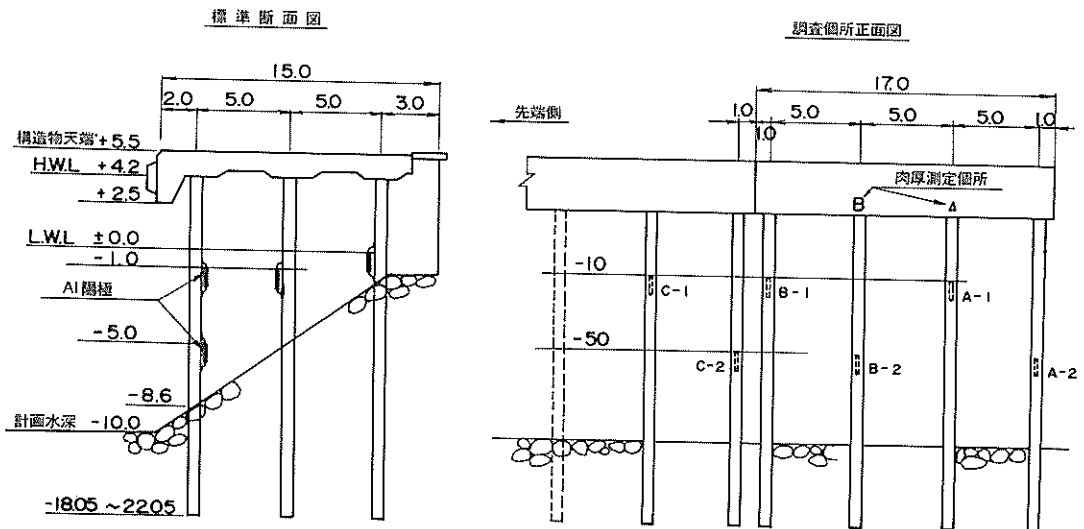
付図-5 C港における調査位置図, 正面図および断面図



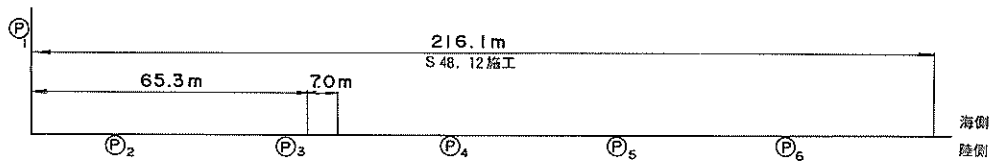
付図-6 D港における調査位置図, 正面図および断面図



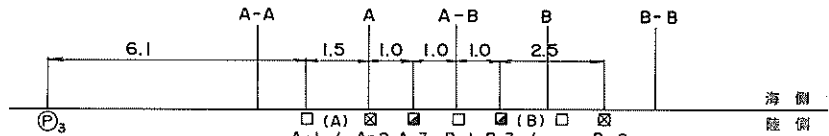
付図-7 B港における調査位置図



付図-8 B港における正面図および断面図



電位測定箇所



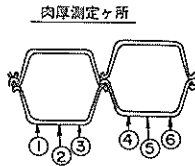
陽極調査ヶ所 (A)~(C) × 2ヶ = 6個

肉厚測定位置

⊙ 電位測定装置

海水採水位置 ※

陽極取付深度

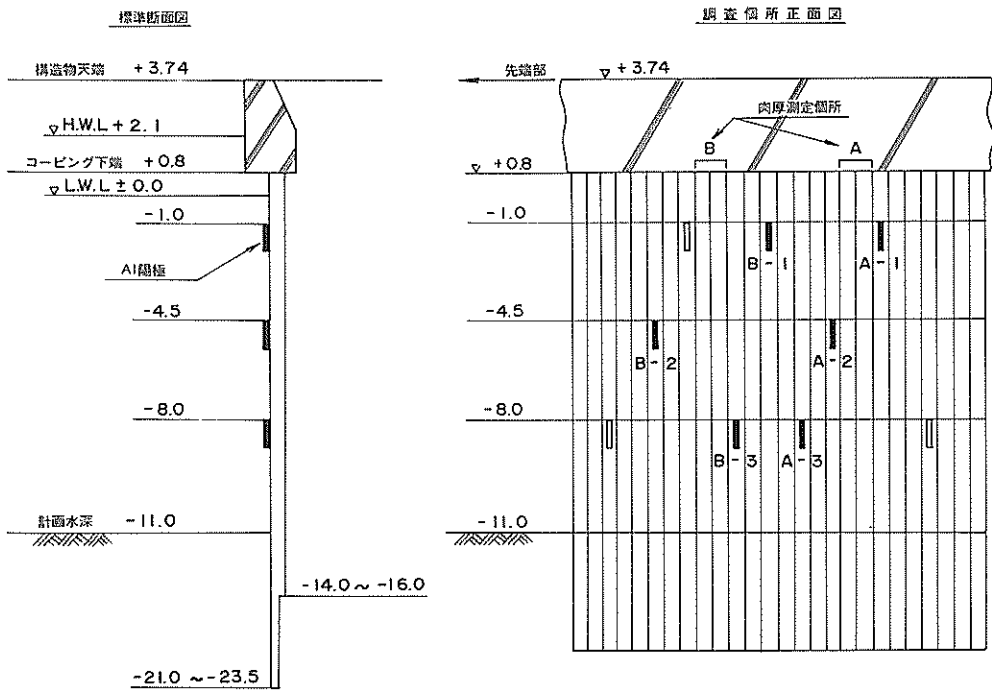


□ - 10 m

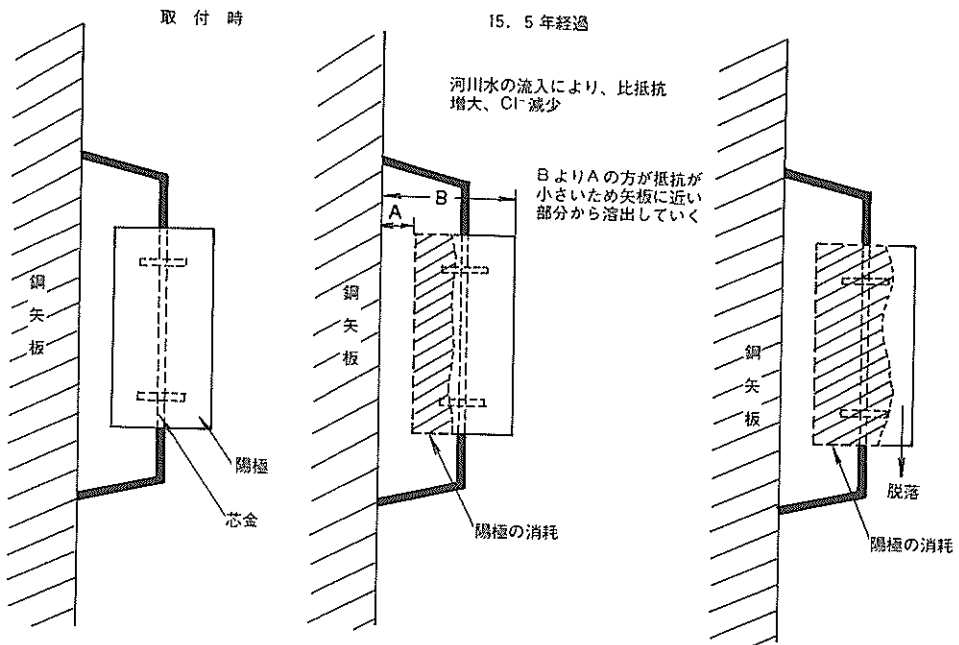
⊗ - 45 m

⊠ - 80 m

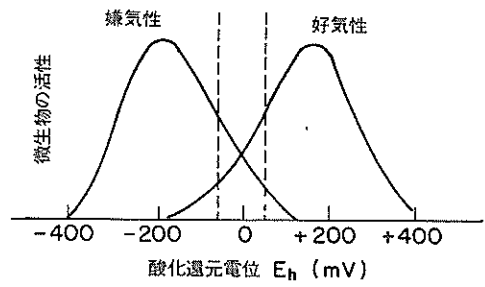
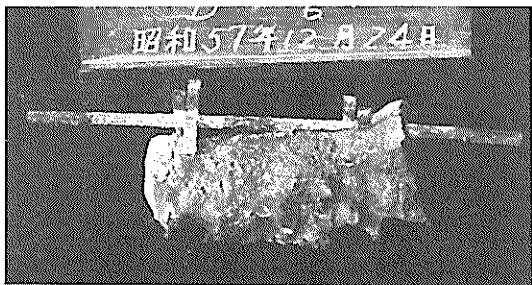
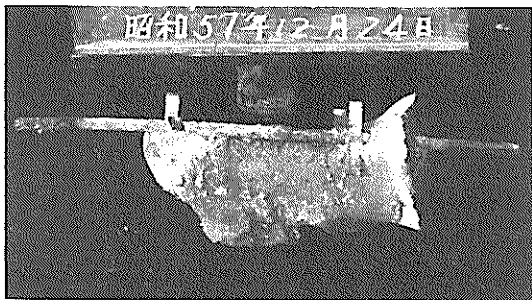
付図-9 F 港における調査位置図



付図-10 F 港における正面図および断面図



付図-11 陽極の消耗状況例



付図-12 微生物の作用と酸化還元電位

写真-8 陽極の消耗状況例



付表-1 水質試験結果(表層水)

項目	干潮	A 港	B 港	C 港	D 港	E 港	F 港
水 温 (°C)	干潮	3.6	7.0	11.0	15.0	12.0	22.0
	満潮	3.6	6.0	12.5	15.0	11.0	22.5
pH	干潮	8.2	8.0	8.2	8.1	8.3	8.1
	満潮	8.2	8.0	8.1	8.1	8.3	8.1
酸化還元電位 (mV)	干潮	+404	+347	+429	+451	+375	+368
	満潮	+389	+347	+413	+414	+345	+388
比 抵 抗 ( $\Omega$ -cm)	干潮	26.1	30.0	21.1	19.5	28.0	21.0
	満潮	28.8	30.0	20.3	19.6	28.0	21.0
塩素イオン(ppm)	干潮	20500	19000	17100	18500	19000	19000
	満潮	19900	19000	17900	18500	18000	20000
溶 存 酸 素 (ppm)	干潮	7.1	9.1	8.4	8.3	8.7	6.8
	満潮	7.6	9.4	7.8	8.4	8.6	6.9
C O D (ppm)	干潮	4.1	5.1	4.8	5.1	6.2	2.2
	満潮	3.8	4.4	2.8	4.2	3.1	1.7
アンモニウムイオン(ppm)	干潮	0.05	0.1 以下	0.06	0.78	0.1 以下	0.1 以下
	満潮	0.09	0.1 以下	0.01 以下	1.01	0.1 以下	0.1 以下
硫黄イオン(ppm)	干潮	0	0.1 以下	0	0	0.1 以下	0.1 以下
	満潮	0	0.1 以下	0	0	0.1 以下	0.1 以下
懸濁物質(ppm)	干潮	4	5	1 以下	9	3	7
	満潮	5	8	4	1 以下	4	2

付表-2 水質試験結果(中間水)

項目	干潮	A 港	B 港	C 港	D 港	E 港	F 港
水 温 (°C)	干潮	3.6	7.0	11.5	14.0	12.0	21.9
	満潮	3.6	6.2	12.0	15.0	11.5	22.5
pH	干潮	8.2	8.1	8.2	8.2	8.4	8.2
	満潮	8.2	8.1	8.2	8.2	8.3	8.1
酸化還元電位 (mV)	干潮	+392	+353	+437	+435	+391	+379
	満潮	+383	+333	+420	+416	+345	+393
比 抵 抗 ( $\Omega$ -cm)	干潮	28.7	30.0	20.9	19.5	28.2	21.0
	満潮	23.8	30.0	21.5	19.5	28.2	21.0
塩素イオン(ppm)	干潮	18700	18000	17500	18500	17000	20000
	満潮	19600	18000	18100	18600	17000	20000
溶 存 酸 素 (ppm)	干潮	7.7	8.9	8.3	8.1	8.7	6.7
	満潮	8.8	9.2	7.9	8.0	8.6	6.9
C O D (ppm)	干潮	5.4	5.7	2.9	2.8	6.4	3.5
	満潮	6.2	4.4	3.5	3.8	3.9	2.8
アンモニウムイオン(ppm)	干潮	0.04	0.1 以下	0.04	0.73	0.1 以下	0.1 以下
	満潮	0.12	0.1 以下	0.01 以下	0.94	0.1 以下	0.1 以下
硫黄イオン(ppm)	干潮	0	0.1 以下	0	0	0.1 以下	0.1 以下
	満潮	0	0.1 以下	0	0	0.1 以下	0.1 以下
懸濁物質(ppm)	干潮	6	11	1 以下	1 以下	3	9
	満潮	11	8	7	1 以下	5	12

付表-3 水質試験結果(海底水)

項目		A 港	B 港	C 港	D 港	E 港	F 港
水温 (°C)	干潮	3.6	7.5	12.0	15.0	11.5	21.9
	満潮	3.6	6.2	12.0	15.0	11.5	22.0
pH	干潮	8.3	8.1	8.2	8.2	8.4	8.2
	満潮	8.2	8.1	8.2	8.2	8.3	8.1
酸化還元電位 (mV)	干潮	+391	+393	+440	+425	+331	+389
	満潮	+394	+353	+423	+411	+355	+393
比抵抗 (Ω-cm)	干潮	24.0	29.5	20.7	19.5	28.0	21.0
	満潮	28.7	30.0	20.1	19.4	28.2	21.0
塩素イオン (ppm)	干潮	20000	19000	17300	18500	17000	20000
	満潮	19800	18000	18200	18600	18000	20000
溶存酸素 (ppm)	干潮	7.2	9.0	8.4	8.1	8.6	6.8
	満潮	7.7	9.2	8.0	8.2	8.5	6.9
COD (ppm)	干潮	6.7	5.4	5.5	5.5	6.6	2.7
	満潮	4.7	5.4	3.2	5.7	2.2	3.2
アンモニウムイオン (ppm)	干潮	0.09	0.1 以下	0.56	0.87	0.1 以下	0.1 以下
	満潮	0.05	0.1 以下	0.01 以下	0.75	0.1 以下	0.1 以下
硫黄イオン (ppm)	干潮	0	0.1 以下	0	0	0.1 以下	0.1 以下
	満潮	0	0.1 以下	0	0	0.1 以下	0.1 以下
懸濁物質 (ppm)	干潮	19	17	2	1 以下	5	14
	満潮	8	13	4	1 以下	5	12

港湾技研資料 No. 502

1984・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

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