

# 港 湾 技 研 資 料

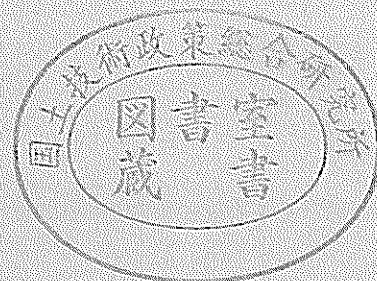
TECHNICAL NOTE OF  
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

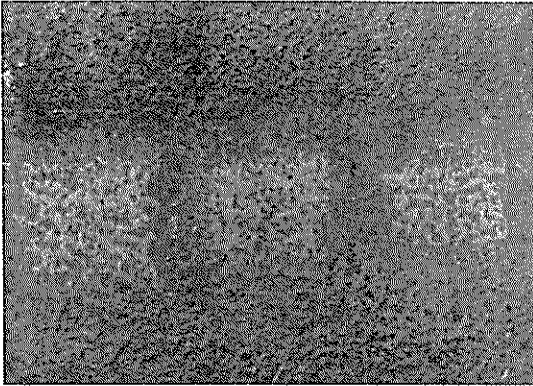
No. 49

June 1968

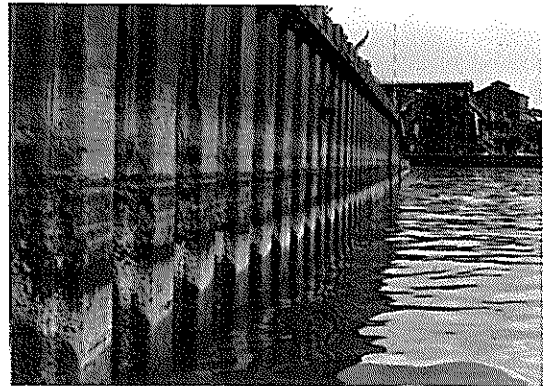
港湾鋼構造物の腐蝕調査(第1報).....善 一章  
—大阪港, 志布志港, 佐世保港, 下関港, 富山港 阿部 正美  
における腐蝕調査—

運輸省港湾技術研究所

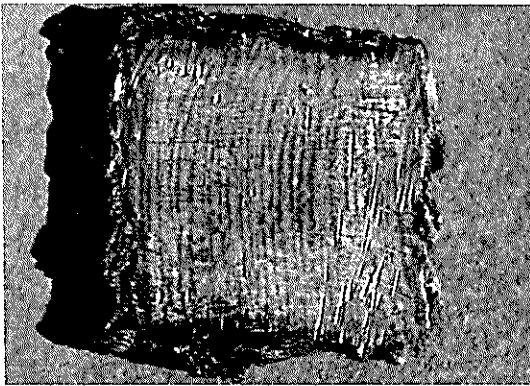




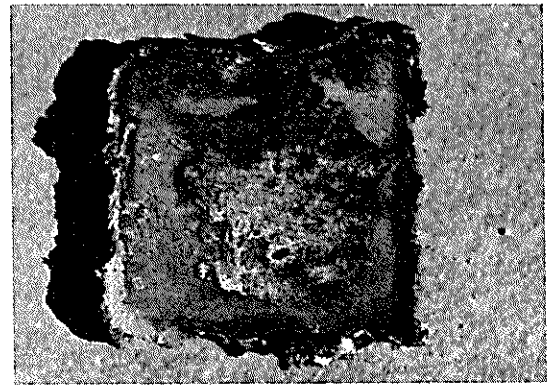
5・18 グラインダーで研摩した海面上の矢板面  
(広畑港、No.1 +2.3m)



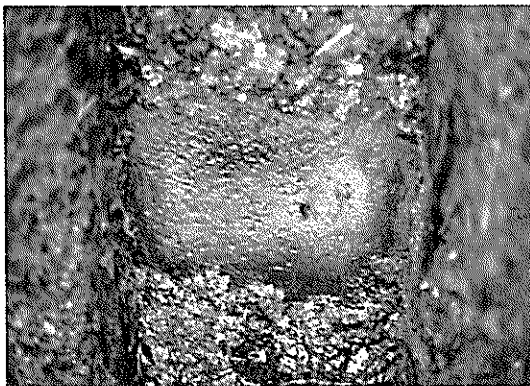
5・23 西浜護岸の海面上鋼矢板面(広畑港、No.1  
よりNo.2を望む)(28年経過)



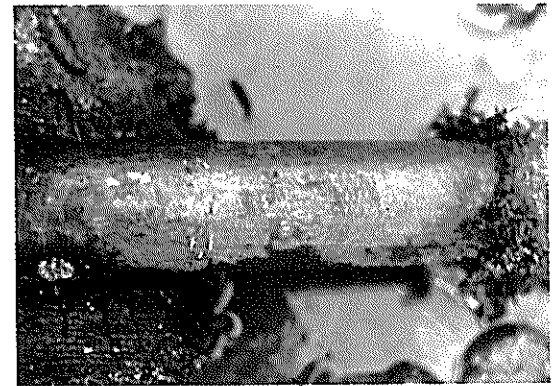
5・33 広畑港における切取り鋼矢板片  
(No.1、-1m)  
(1)海側(切取り直後)(広畑港No.1、-1m)



(4)陸側(切取り直後)(広畑港No.1、-1m)



8・10 付着物を除去した潮位間の鋼矢板面(佐世  
保港No.1)



10・19 外径測定タイ・ロット面(2)  
No.5-1 外径測定タイ・ロット面(富  
山港No.5-1)

# 港湾鋼構造物の腐食調査（第1報）

広畑港，大阪港，志布志港，佐世保港，下関港，富山港における腐食調査

## 目 次

要 旨	5
1. まえがき	5
2. 腐食調査例	5
3. 腐食調査の問題点	22
4. 調査方法	27
5. 広畑港における調査（鋼矢板）	42
6. 大阪港における調査（鋼矢板）	76
7. 志布志港における調査（鋼矢板）	106
8. 佐世保港における調査（鋼矢板）	112
9. 下関港における調査（鋼管杭）	119
10. 富山港における調査（タイ・ロッド）	124
11. あとがき	136
参考文献	136

# Corrosion Survey of Steel Structures at Harbors (1st Report)

Corrosion Surveys of Steel Structures at Hirohata, Osaka, Shibushi,  
Sasebo, Shimonoseki and Toyama Harbors

Kazuaki Zen \*  
Masami Abe \*\*

## Synopsis

To make corrosion rate of steel structure clear, we suggested the corrosion survey method including non-destructive survey, which measures steel thickness by means of an ultrasonic thickness meter provided with a monitor for underwater operation and destructive survey, which measures thickness and weight of steel pieces cut from steel structures. And, sheet-pile survey was conducted at Hirohata, Osaka, Shibushi and Sasebo Harbors, pipe-pile survey conducted at Shimonoseki Harbor, and tie-rod survey conducted at Toyama Harbor by the suggested method, and the following results were obtained:

- (1) Sheet-pile thickness measured by means of an ultrasonic thickness meter was approximately equal to that of steel pieces obtained by means of a micro-meter or to that of steel pieces calculated from their weight. However, as the number of possible locations measured by means of an ultrasonic thickness meter ranged from 50% to 90% of the total, it is to be desired to execute both non-destructive and destructive surveys.
- (2) Corrosion rate of sheet-pile in the past survey was greater than several times that in this survey.
- (3) Above H.W.L. corrosion rate of sheet-pile was 0.01 to 0.03 millimeters per year, at H.W.L. 0.10 to 0.12 millimeters per year, and between L.W.L. and mud line 0.02 to 0.05 millimeters per year.
- (4) Corrosion rate of pipe-pile between H.W.L. and mud line was 0.02 to 0.05 millimeters per year.
- (5) Corrosion rate of tie-rod covered by jute with pitch was 0 millimeter per year.

---

\* Senior Research Engineer, Structures Division

\*\* Member, Structures Division

# 港湾鋼構造物の腐食調査 (第1報)

広島港、大阪港、志布志港、佐世保港、  
下関港、富山港における腐食調査

善 一 章\*  
阿 部 正 美\*\*

## 要 旨

港湾鋼構造物の腐食量を明確にするために超音波式厚み計(水中用)による非破壊調査と鋼材片切りによる破壊調査を含む調査法を提案し、この方法で広島港、大阪港、志布志港、佐世保港の鋼矢板、下関港の鋼管杭、富山港のタイ・ロッドを調査して次の結果を得た。

- (1) 超音波式厚み計による測定値は切り取り鋼材片についての値に近似した。しかし超音波式厚み計で測定可能なところは全測定点の50~90%であるから、破壊調査と併用することが望ましい。
- (2) 従来の調査の鋼矢板腐食速度は今回の調査の鋼矢板腐食速度より数倍以上大きい。
- (3) 調査鋼矢板の腐食速度は  
H. W. L. 上……………0.01~0.03mm/yr  
H. W. L. ……………0.10~0.12mm/yr  
H. W. L. ~海底泥面……………0.02~0.05mm/yr である。
- (4) 調査鋼管杭の腐食速度は  
H. W. L. ~海底泥面……………0.02~0.05mm/yr である。
- (5) 調査タイ・ロッド(ジュート被覆)の腐食速度は0 mm/yr である。

## 1. まえがき

港湾鋼構造物の建設はさらに増加する傾向にあるため鋼構造物の腐食量を正確に把握することが切望される。

腐食調査としては試験材を対象とするものと既設鋼構造物を対象とするものがあるが、とくに既設鋼構造物は腐食期間が長いこと、各地に広く存在していることなど調査対象物としてのいろいろな利点が考えられるが何といても港湾鋼構造物そのものであるということにつきるようである。したがって鋼構造物の腐食調査は重要である。港湾鋼構造物の腐食調査はこれまでに矢板式けい船施設を対象として数多く行なわれてきているが、これらの調査はあるタイプの厚み計で鋼矢板の現有肉厚を測定しこれから腐食量を算出するいわゆる非破壊調査がほとんどである。非破壊調査では厚み計の精度が一番問題であるがこれまでは単に使用厚み計による測定結果を盲信する傾向が強かった。これは鋼矢板の切り取りによる破壊調査の実施または破壊調査に代る適当な検定方法を行なわなかったこともあるが、結局統一された調査法がなかったためである。したがって従来の厚み計を使用

してU港で調査を体験するとともに過去の調査結果を検討して港湾鋼構造物の腐食調査上の問題点を考えてみた。

次にこの検討の結果にもとづいて港湾鋼構造物の腐食調査法を提案し、この調査法の現地適用性の検討と鋼構造物の正確な腐食量の把握とを目的として各港湾建設局の協力を得て港湾鋼構造物の腐食調査を昭和42年度より実施することにした。本報は昭和42年度の調査結果である。

## 2. 腐食調査例

腐食調査には破壊調査と非破壊調査とがある。破壊調査とは引抜き鋼材(鋼矢板、鋼杭など)または切り取り鋼材片(たとえば6cm×6cm程度)について肉厚測定または重量測定を行ない、これらの値から肉厚減少量および平均腐食速度を算出する場合をいう。これに対して非破壊調査とは鋼構造物を傷つけずに水中用の厚み計で現有肉厚を測定しこの値より肉厚減少量および平均腐食速度を算出する場合をいう。破壊調査または非破壊調査のどちらを行なうかは現地の状況によるが非破壊調査の

\*構造部 主任研究官

\*\*搭造部

みでは常に厚み計の精度の問題がつきまとうので、鋼材片の切り枚数は少くとも差支えないができるだけ非破壊調査と破壊調査との併用が望まれる。しかしながら以下に述べるようにこれまでの調査はほとんど非破壊調査のみである。

## 2-1 日本における調査例

### 2-1-1 これまでの非破壊調査例

日本の港湾における鋼構造物の腐食調査は1920年頃から使用されている鋼矢板を対象としてほとんど非破壊調査が行なわれてきた。この非破壊調査での鋼矢板の肉厚測定には可逆導磁率から鋼板厚みを測定する坂田式(旧磁気不飽和型)厚み計と磁位差から鋼板厚みを測定するT-M式厚み計とが使用されている。しかしどちらも鋼矢板の平端面を測定対象面として開発されたものであるから探触子(被測定鋼板に接触する部分)面は10cm×20cm程度の平面である。したがって平端面以外の鋼矢板面、鋼管杭、H杭などには適用できない。図2-1に坂田式厚み計の探触子を、また図2-2にT-M式厚み計の探触子を示す、測定箇所は図2-3に示すように水際線に対し

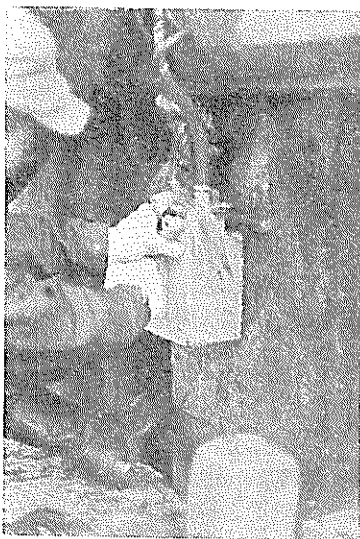


図 2-1 坂田式厚み計の探触子

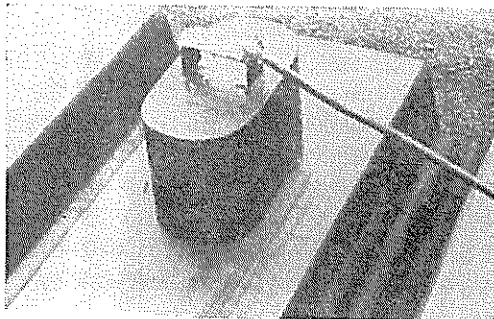


図 2-2 T-M式厚み計の探触子

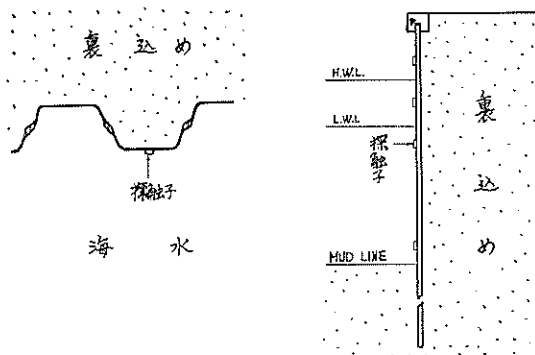


図 2-3 日本の港湾における鋼矢板厚み測定状況

て外向鋼矢板(以下凸矢板という)の飛沫帯(H.W.L.上)、潮位間(H.W.L.~L.W.L.)、L.W.L.海中(L.W.L.より1m下と泥面より1m上の2点)である。測定に際してはまず被測定鋼矢板面(15cm×25cm程度の面積)上の付着物をハンマーやスクレーパーなどで除去する。次に除去した部分に探触子を押しあて陸上に設置した厚み計本体の目盛りを読み、この値をあらかじめ作成してある肉厚算出曲線に適用して鋼矢板の肉厚を間接的に求める。このときの付着物の除去および探触子の押しあて作業は海水面付近と海水中では潜水夫が行なう。

次に厚み計で求めた鋼矢板の現有肉厚より肉厚減少量(mm)および現有肉厚を(2-1-1)式に代入して平均腐食速度を算出する。

$$\text{腐食速度(mm/yr)} = \frac{\text{初期肉厚(mm)} - \text{現有肉厚(mm)}}{\text{腐食期間(yr)}} \quad \dots\dots(2-1-1)$$

(2-1-1)式の初期肉厚は鋼矢板のタイプに対応するカタログの肉厚を使用している。これまでの調査結果例を表2-1に示す。なお図2-3に示すように海水中の測定点はL.W.L.下と海底泥面上の2カ所にほとんど限られているため表2-1に示す海水中の腐食速度はこの両深度についての平均値である。一方潮位の変化が1m以下のように小さいときはH.W.L.、H.W.L.~L.W.L.間、L.W.L.の各測定点の区別はあまり判然としない。

### 2-1-2 これまでの破壊調査例

非破壊調査にくらべて破壊調査は構造物の撤去または改造などのとき以外は普通行なわれにくいため破壊調査例は当然非破壊調査例より非常に少ない。しかしながら非破壊調査結果の検定は最終的には破壊調査結果によらなければならないので鋼構造物の腐食の実体を正確に掴むためには破壊調査結果は貴重なものである。ここでは破壊調査例として3例を述べる。

表 2・1 日本の港湾における非破壊調査結果例

単位：mm/yr

港名	H. W. L.上の腐食速度			潮位間の腐食速度			L. W. L.の腐食速度			海水中の腐食速度			腐食期間 (yr)	計測器*
	測定数	平均	最大～最小	測定数	平均	最大～最小	測定数	平均	最大～最小	測定数	平均	最大～最小		
A	18	0.29	0.52～0.14				14	0.12	0.23～0.06	9	0.06	0.10～0.04	24	S
B	10	0.16	0.23～0.09							17	0.10	0.25～0.03	21～24	S
C	24	0.17	0.31～0.08				24	0.15	0.20～0.09	23	0.22	0.35～0.12	21	S
D	16	0.26	0.44～0.17				13	0.24	0.41～0.15				22	S
E				13	0.12	0.21～0.06	14	0.13	0.20～0.05	24	0.08	0.17～0.01	27～30	S
F				22	0.09	0.14～0.04	22	0.09	0.14～0.03	43	0.06	0.12～0.00	29～30	S
G				4	0.07	0.13～0.00	4	0.05	0.12～0.00	4	0.04	0.08～0.00	10	T
H				7	0.17	0.28～0.02	7	0.21	0.24～0.12	14	0.20	0.28～0.18	5	T
I				10	0.16	0.24～0.10	10	0.15	0.18～0.10	20	0.15	0.20～0.10	5	T
J										36	0.07	0.12～0.02	29	T
K	14	0.08	0.25～0.01	2	0.26	0.27～0.24							34	T
M	33	0.16	0.32～0.03				19	0.17	0.25～0.10	40	0.16	0.22～0.05	27	S
N	24	0.24	0.39～0.13				15	0.18	0.35～0.13	22	0.19	0.31～0.10	20	S
O				49	0.26	0.51～0.10				84	0.21	0.51～0.08	18～22	S
P	75	0.12	0.24～0.01				73	0.15	0.28～0.04	146	0.08	0.22～0.03	22～24	S
Q	8	0.12	0.23～0.06				16	0.23	0.28～0.12	36	0.17	0.27～0.03	29～32	S
R	13	0.13	0.22～0.03				17	0.17	0.30～0.09	41	0.12	0.32～0.02	6～27	S
S	97	0.17	0.30～0.04				113	0.17	0.36～0.03	209	0.08	0.20～0.01	27～31	S
T				12	0.29	0.57～0.13				43	0.22	0.44～0.07	11	S

\* S：坂田式厚み計  
T：T-M式厚み計

2-1-2-1 戸畑港における調査

戸畑港の4鋼構造物について鋼矢板片の切取りによる腐食調査が八幡製鉄KKによって昭和38年に行なわれた。

(1) 調査の概要

鋼矢板片の切取りは戸畑鉱石3バース1地点、洞南岸壁2地点、中央岸壁2地点、計5地点において行なわれた。切取り地点の鋼矢板のタイプ、カタログ肉厚、水深、経過期間は表2・2の通りである。鋼矢板平端部より10cm×10cm位の大きさの鋼矢板片を切取って（海水面下

表 2・2 戸畑港における調査鋼矢板使用状況

測定位置	岸壁	竣工年	経過年数 (yr)	使用鋼矢板		水深 (m)
				タイプ	カタログ厚み (mm)	
1	戸畑鉱石第3バース	S35年	4	YSP-F	9.5	-13.0
2	洞岡南岸壁A	S9年	30	YSP-1V	15.5	-7.5
3	洞岡南岸壁B	S9年	30	YSP-1V	15.5	-7.5
4	中央岸壁A	S10年	29	Larrsen 1V	15.5	-6.0
5	中央岸壁B	S10年	29	Larrsen 1V	15.5	-6.0

は水中用切断機を使用) 酸洗後、周辺の肉盛り部分を避けて鋼矢板片の中心付近50cm<sup>2</sup>を格子状に鋼矢板片1枚につき9点測定した。9点測定値の平均値を(2-1-1)式に代入して平均腐食速度を算出する。

(2) 鋼矢板片の肉厚

マイクロ・メーターによる切取り鋼矢板片の肉厚測定値は表2・3の通りである。表2・3の値より平均腐食速度を算出すると表2・4のようになる。表2・4からわかるように切取り鋼矢板片についてマイクロ・メーターで直接測定した現有肉厚から算出した平均腐食速度は表2・1に示す厚み計から求めた平均腐食速度より1桁小さい値となっている。

2-1-2-2 大野川護岸における調査

大阪府下大野川大橋下流約500mの護岸鋼矢板は両岸とも施工後約10年経過しているが図2・4のように川水の汚染がはなはだしく、また酸性(pH3～5)の工場廃液の放流があるところにおかれている。したがって廃液などによる腐食が懸念されたので腐食調査が昭和40年8月に八幡製鉄KKにより行なわれた。ここでは鋼矢板片の切取りによる破壊調査を主に述べる。

表 2・3 戸畑港における矢板肉厚測定結果

単位：mm

岸 壁	測定位置	測 定 回 数										平均値	最大値 と最小 値との 差	標 準 偏 差
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
戸畑鉦石 第3バース	No.1	9.550	9.550	9.550	9.575	9.590	9.575	9.590	9.590	9.550	9.540	9.566	0.050	0.020
	No.2	9.530	9.510	9.510	9.495	9.500	9.630	9.550	9.500	9.505	9.500	9.523	0.145	0.041
	No.3	9.550	9.490	9.480	9.480	9.460	9.450	9.440	9.515	9.575	9.475	9.492	0.135	0.043
	No.4	9.480	9.480	9.560	9.560	9.480	9.520	9.560	9.560	9.520	9.490	9.521	0.080	0.112
洞岡南岸壁A	No.1	14.945	14.805	14.855	14.940	14.720	14.860	14.860	14.845	14.850	14.865	14.855	0.225	0.066
	No.2	15.115	15.075	15.245	15.250	15.150	15.155	15.270	15.215	15.060	15.110	15.165	0.210	0.070
	No.3	15.135	15.135	15.090	15.215	15.180	15.125	14.990	15.135	15.090	15.140	15.124	0.225	0.060
洞岡南岸壁B	No.1	15.840	15.815	15.805	15.900	15.870	15.805	15.815	15.805	15.810	15.830	15.830	0.095	0.032
	No.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	No.3	15.800	15.930	15.950	15.920	16.210	15.845	15.790	15.745	15.850	15.905	15.895	0.465	0.123
中央岸壁A	No.1	13.440	14.080	13.675	13.675	13.540	13.300	13.760	12.795	13.195	13.510	13.497	1.285	0.474
	No.2	15.610	15.680	15.820	15.840	15.940	15.610	15.710	15.620	15.750	15.850	15.743	0.330	0.116
	No.3	15.475	15.400	15.435	15.360	15.315	15.385	15.400	15.435	15.210	15.510	15.393	0.300	0.085
中央岸壁B	No.1	15.080	14.775	12.915	12.735	13.230	13.375	15.060	15.070	12.855	13.000	13.810	2.345	1.005
	No.2	15.095	15.090	15.020	14.970	15.150	14.970	15.080	15.075	15.020	15.075	15.055	0.180	0.058
	No.3	15.105	15.015	15.005	14.995	15.130	15.185	15.140	15.045	15.010	15.030	15.066	0.190	0.068

表 2・4 戸畑港における測定結果

深 度 (m)	戸畑鉦石3バース				洞岡南岸壁A				洞岡南岸壁B				中央岸壁A				中央岸壁B			
	現 肉 (mm)	有 肉 厚 (mm)	肉 厚 減 少 量 (mm)	腐 食 速 度 (mm/yr)	現 肉 (mm)	有 肉 厚 (mm)	肉 厚 減 少 量 (mm)	腐 食 速 度 (mm/yr)	現 肉 (mm)	有 肉 厚 (mm)	肉 厚 減 少 量 (mm)	腐 食 速 度 (mm/yr)	現 肉 (mm)	有 肉 厚 (mm)	肉 厚 減 少 量 (mm)	腐 食 速 度 (mm/yr)	現 肉 (mm)	有 肉 厚 (mm)	肉 厚 減 少 量 (mm)	腐 食 速 度 (mm/yr)
+1.0	9.57	0	0	0	14.87	0.63	0.021	15.83	0	0	13.80	1.70	0.59	13.81	1.69	0.058				
± 0	9.52	0	0	0	15.17	0.33	0.011	15.53	0	0	15.74	0	0	15.06	0.44	0.015				
-4.5	9.49	0.01	0.003	0.003	15.12	0.38	0.013	15.90	0	0	15.39	0.11	0.004	15.07	0.43	0.015				
-5.0	9.52	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				



図 2・4 大野川大橋下流

(1) 調査の概要

調査地点は図2・5に示すNo.1~No.11であるがこのうちNo.1, 2, 3, 4, 7, 11において破壊調査が行なわれた。調査地点における鋼矢板のタイプ、初期肉厚および経過期間は表2・5の通りである。切取りに際してはまず各測定地点の上部コンクリートを図2・6のようにこわし図2・7のように切断した。鋼矢板片は図2・8の4深度の肉厚測定ができる寸法に切取られた。切取り鋼矢板片の例を図2・9, 2・10に示す。切取り鋼矢板片についての肉厚測定は脱錆後マイクロ・メーターで図2・8に示す4深度, ①, ②, ③, ④に相当する付近を6回づつ測定した。6回の



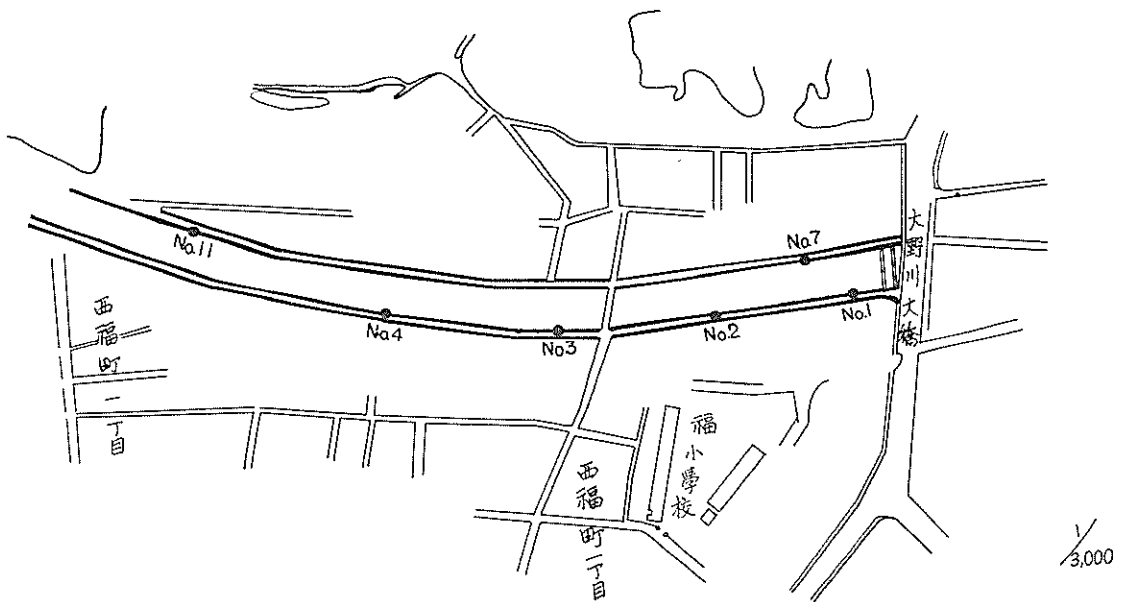


図 2・5 大野川護岸の調査地点

表 2・5 大野川護岸の調査矢板

測定地点	矢板タイプ	コンクリート中肉厚 (mm)	カタログ肉厚 (mm)	経過期間 (yr)
No. 1	Y S P III	13.36	13.0	10
No. 2	Larrsen II	13.65	10.2	10
No. 3	Larrsen	13.65	—	10
No. 4	Y S P III	13.69	13.0	10
No. 7	Y S P III	13.62	13.0	10
No. 11	Y S P II	10.95	10.5	10

としてはカタログ厚みを使用せずに上部コンクリート中の肉厚，すなわち深度①の現有肉厚を用いた。

(2) 測定結果

切取り鋼矢板片の肉厚および平均腐食速度を表 2・6 に示す。

2-1-2-3 釜石港南棧橋における調査

釜石港南棧橋（設計水深 - 9 m，延長 230m の杭式棧橋，昭和12～12年建設）の腐食調査が富士製鉄K.K・釜

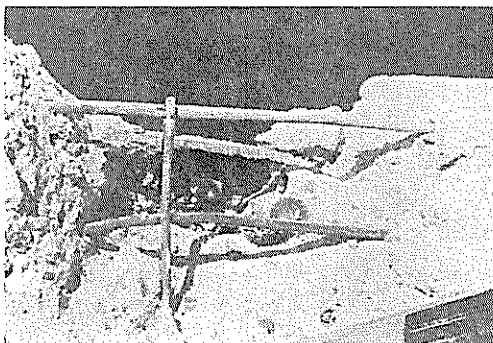


図 2・6 上部コンクリートの撤去

測定値の平均値を鋼矢板片の現有肉厚とした。次に (2-1-1) 式に深度②，③，④の現有肉厚を代入して平均腐食速度を算出した。なおこのときの (2-1-1) 式の初期肉厚



図 2・7 鋼矢板片の切斷

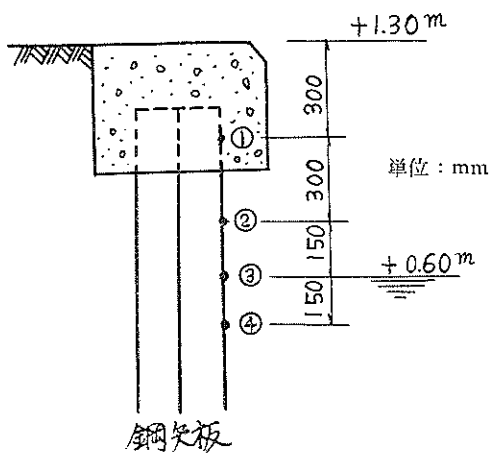


図 2・8 大野川護岸深度方向測定点

石製鉄所によって昭和40年12月～昭和41年1月にかけて行なわれた。この調査では非破壊調査とともに鋼矢板片切取りによる破壊調査が実施された。ここでは破壊調査のみについて触れることにする。

(1) 調査の概要

調査地点は図2・11に示す南棧橋の14地点のうち破壊調査を行なったのは No. 11, 12, 13, 14, 30, 31, 32, 33, 34, イ



図 2・9 切取り矢板片 (表)

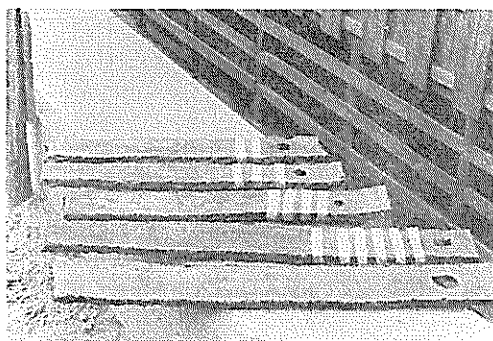


図 2・10 切取り矢板片 (裏)

表 2・6 大野川護岸腐食調査結果

測定地点	測定深度	測定肉厚 (mm)						平均値 (mm)	肉厚 <sup>1)</sup> 減少量 (mm)	腐食 <sup>1)</sup> 速度 (mm/yr)	肉厚 <sup>2)</sup> 減少量 (mm)	腐食 <sup>2)</sup> 速度 (mm/yr)
		1	2	3	4	5	6					
No. 1	①	13.37	13.37	13.28	13.38	13.44	13.33	13.36			0	0
	②	12.88	12.79	13.01	12.80	12.89	12.84	12.87	0.49	0.049	0.13	0.013
	③	13.14	13.11	12.88	12.91	12.90	12.88	12.97	0.39	0.039	0.03	0.003
	④	12.86	12.85	12.81	12.87	12.82	12.81	12.84	0.52	0.052	0.16	0.016
No. 2	①	13.61	13.69	13.69	13.64	13.57	13.72	13.65		0	0	0
	②	13.63	13.72	13.71	13.81	13.81	13.82	13.75	0	0	0	0
	③	13.65	13.68	13.64	13.70	13.82	13.74	13.70	0	0	0	0
	④	13.63	13.72	13.71	13.75	13.90	13.70	13.73	0	0	0	0
No. 3	①	13.66	13.61	13.62	13.66	13.62	13.74	13.65				
	②	13.20	13.22	13.21	13.30	13.29	13.23	13.24	0.41	0.041		
	③	13.19	13.19	13.12	13.34	13.31	13.31	13.24	0.41	0.041		
	④	13.30	13.32	13.31	13.27	13.32	13.31	13.31	0.34	0.034		
No. 4	①	13.79	13.77	13.84	13.59	13.56	13.56	13.69			0	0
	②	12.72	12.74	12.73	12.82	12.81	12.91	12.78	0.91	0.091	0.22	0.022
	③	12.82	12.77	12.84	12.87	12.86	12.84	12.83	0.86	0.086	0.17	0.017
	④	12.70	12.89	12.84	12.92	12.86	12.89	12.85	0.84	0.084	0.15	0.015

測定地点	測定深度	測定肉厚 (mm)						平均値 (mm)	肉厚 <sup>1)</sup> 減少量 (mm)	腐食 <sup>1)</sup> 速度 (mm/yr)	肉厚 <sup>2)</sup> 減少量 (mm)	腐食 <sup>2)</sup> 速度 (mm/yr)
		1	2	3	4	5	6					
No. 7	①	13.60	13.58	13.57	13.65	13.68	13.64	13.62			0	0
	②	13.57	13.43	13.54	13.64	13.61	13.64	13.57	0.05	0.005	0	0
	③	13.42	13.41	13.46	13.60	13.97	13.52	13.56	0.06	0.006	0	0
	④	12.31	12.87	12.01	13.81	13.55	13.51	13.01	0.61	0.061	0	0
No. 11	①	11.09	10.98	10.83	10.84	10.92	10.89	10.93			0	0
	②	10.81	10.82	10.78	10.82	10.86	10.83	10.82	0.11	0.011	0	0
	③	9.01	9.21	9.11	10.67	10.84	10.68	9.62	1.31	0.131	0.88	0.088
	④	10.83	10.82	10.84	10.84	10.81	10.80	10.82	0.11	0.011	0	0

- 1) 初期肉厚を上部コンクリート中(すなわち測定深度①)の矢板肉厚としたときの腐食量  
 2) 初期肉厚をカタログ肉厚としたときの腐食量

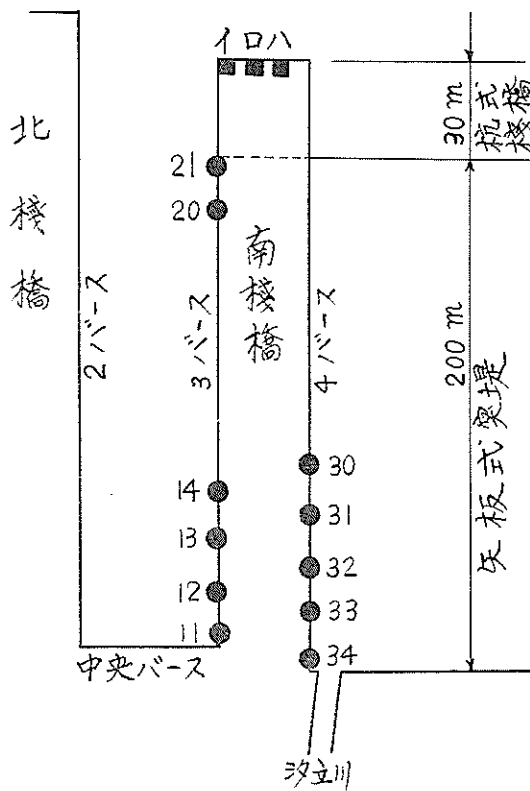


図 2-11 釜石港南棧橋の調査地点

表 2-7 釜石港調査鋼矢板

測定地点	矢板タイプ	カタログ肉厚 (mm)	経過期間 (yr)	無防食期間 (yr)	電防期間 (yr)
No. 11~No. 34	S P IV	22	28	23	5
No. 1	S P III	13	28	23	5

の10地点である。またNo.11~34の鋼矢板使用状況は図2-12の通りである。なおNo.1の地点、すなわち南棧橋の全長230mのうち先端30mは鋼矢板を箱形に打込み中詰めコンクリートを施工してある。また鋼矢板のタイプは表2-7のようにSPV型とSPⅢ型とである。

鋼矢板片の切り取りは厚み計の精度を検定する意味で以上10地点の+1mについてのみ行なった。鋼矢板片は脱錆後マイクロ・メーターで肉厚を正確に測定した。なお昭和35年から電気防食を実施しているため無防食期間は23年、電気防食期間5年となる。

肉厚測定のほか鋼矢板の材質試験と海水のpH、比抵抗測定とを併せて行なった。

(2) 調査結果

(イ) 鋼矢板片の肉厚

切り取り鋼矢板片の肉厚は表2-8の通りである。表2-8よ

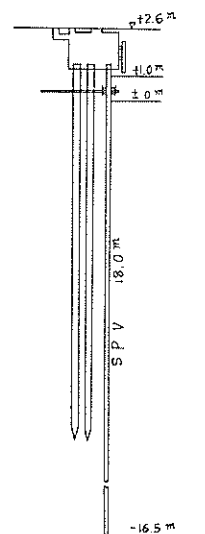


図 2-12 釜石港南棧橋断面図

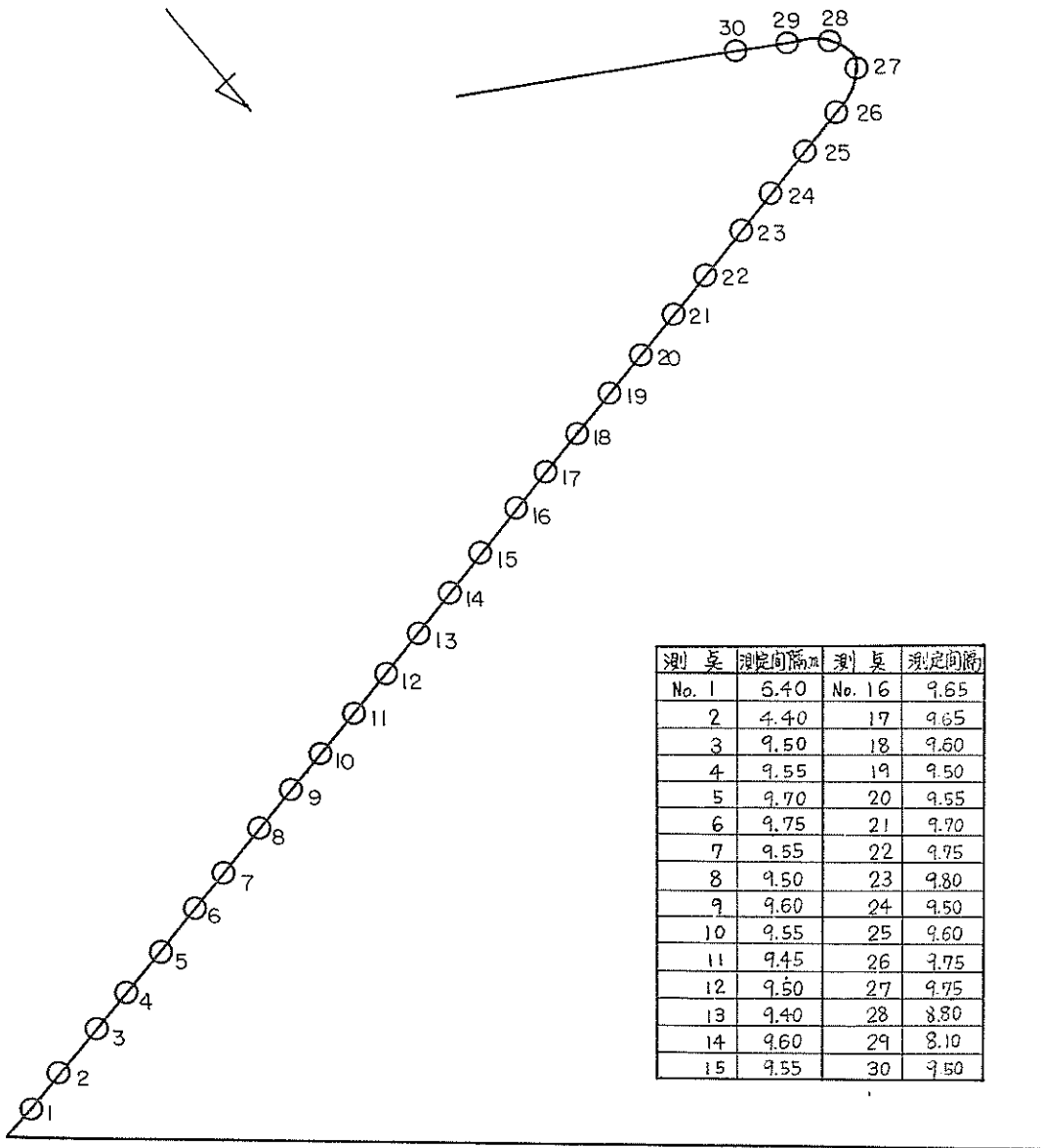


図 2-13 U港における調査矢板配置平面図

表 2・8 切り取り矢板片の肉厚測定結果および腐食量 (+1.0m)

測定地点	矢板肉厚 (mm)			肉厚減少量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)
	最大値	最小値	平均値		
No. 11	21.84	21.40	21.62	0.038	0.002
No. 12	21.81	21.60	21.70	0.030	0.001
No. 13	20.10	19.12	19.61	2.39	0.104
No. 14	21.00	20.30	20.65	1.35	0.059
No. 30	20.81	19.11	19.96	2.04	0.089
No. 31	20.40	21.30	21.75	0.25	0.011
No. 32	21.80	21.56	21.68	0.32	0.014
No. 33	21.83	21.66	21.74	0.26	0.011
No. 34	20.41	19.95	20.18	1.82	0.079
No. イ	11.10	11.03	11.06	1.94	0.084

りNo.11~No.34 と No. イ とにおける平均腐食速度を算出してみると次のようになる。ただし初期肉厚としてはカタログ肉厚を使用した電気防食適用後の腐食量を0と仮定してみた。

No.11~No.34の平均腐食速度 (+1 m)

肉厚減少量(mm)=22.00-20.99=1.01

平均腐食速度 (mm/yr) =  $\frac{1.01(\text{mm})}{23(\text{yr})} = 0.044$

No.イの平均腐食速度 (+1 m)

肉厚減少量(mm)=13.00-11.06=1.94

平均腐食速度 (mm/yr) =  $\frac{1.94(\text{mm})}{23(\text{yr})} = 0.084$

+1 mにおける鋼矢板の平均腐食速度は以上のようにかなり小さい値が算出されたが+1 mの鋼矢板に対しては電気防食の効果はあまり期待できない。したがって実際には+1 mの鋼矢板の平均腐食速度としては上記の値より低い値が考えられる。

(二) 鋼矢板片の材質

切り取り鋼矢板片の成分分析結果は表 2・9 の通りである。なお J I S 規格では鋼矢板の化学成分は P<0.04% S<0.04%, Cu>0.25% となっている。したがって切り取り鋼矢板片の材質はとくに耐食性にすぐれたものではない。

(三) 海水の ρ および pH

採取した海水について ρ および pH を測定したところ表2・10の結果が得られている。

2-1-3 U港における非破壊調査

2-1-1 で述べたように従来の腐食調査結果をそのまま参照することは問題であることが明らかなので、改めて腐食調査に関する問題点を提起する資料を得るために坂田式厚み計による非破壊調査を昭和41年10月に実施し

表 2・9 切り取り矢板片の分析結果 単位: %

試料*	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
No. 13	0.35	0.094	0.64	0.027	0.038	0.226	0.026	0.042
No. 31	0.27	0.094	0.62	0.027	0.036	0.224	0.024	0.034

\* 矢板片の切り取りを行なった地点のNo (いずれも S P V型である)

表 2・10 海水の試験結果

採水地点	採水日時	ρ(Ω-cm)	pH
4 パース基部	S 41・1・30-11°00'	44	6.25
3 パース基部	S 41・1・30-13°00'	25	6.8
3 パース先端	S 41・1・30-15°00'	25	6.9

単位: mm

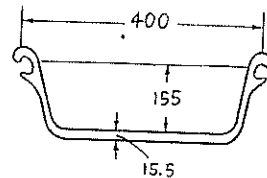


図 2・14 Y. S. P. IV型矢板断面図

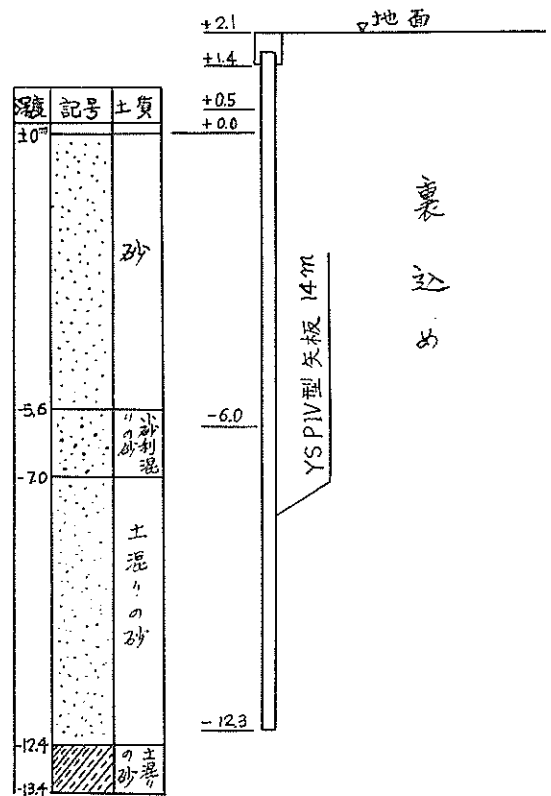
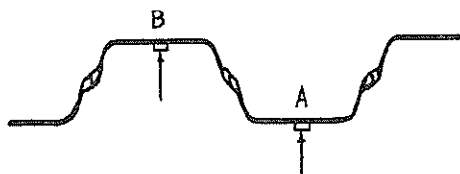


図 2・15 U港矢板埋設状況

## 裏 込 め



## 海 水

図 2-16 U港における厚み計深触子使用カ所  
(矢板断面方向)

た。

### 2-1-3-1 調査の概要

調査対象構造物はU港内における昭和10年建設の鋼矢板式けい船施設であり調査はこのけい船施設の全延長約300mにわたって行なわれた。図2-13に調査地点を示す。ここで使用されている鋼矢板はY S P IV型で断面図は図2-14の通りである。また鋼矢板の埋設状況は図2-15の通りである。

坂田式厚み計による肉厚測定は図2-16のように約10mピッチで行なうこととして測定地点をNo.1~No.30に設定した。

No.1~No.30はいずれも図2-16に示すように凸矢板(図2-16のA)であるがこのほかに補促測定としてNo.18~No.19間の凸矢板1枚とNo.29~No.30間の凸矢板1枚を測定の対象とした。さらに日本ではこれまで肉厚測定の対象とされなかった水際線に対して内向矢板(以下これを凹矢板という。図2-16のB)も測定することを計画したが後述するように都合によりNo.1の隣(No.2寄り)の凹矢板1枚のみとなった。なお調査項目は海水面上の肉眼観察と写真撮影(カラー)による観察、海水中の肉眼観察(潜水夫による)、付着物採取および現有肉厚の測定である。

### 2-1-3-2 観察結果

観察結果として図2-17~図2-26に海水面上の鋼矢板および付着物の写真を示す。

図2-17~図2-26に示す写真と肉眼観察より腐食傾向を記してみると次のようになる。

(イ) 図2-13からわかるようにNo.1~No.27はNの方向、No.28~No.30はSWの方向に面しているが、No.1~



図 2-17 N方向矢板のH. W. L. 上



図 2-18 SW方向矢板のH. W. L. 上



図 2-19 H. W. L. 上矢板面の錆生成物の除去



図 2-20 銃弾による穴 (H. W. L. 上)

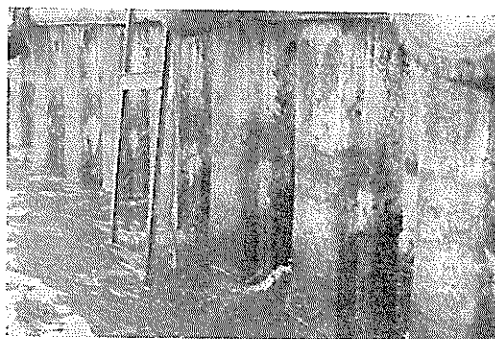


図 2-23 N方向矢板の海水面



図 2-21 SW方向矢板面



図 2-24 SW方向矢板の海水面

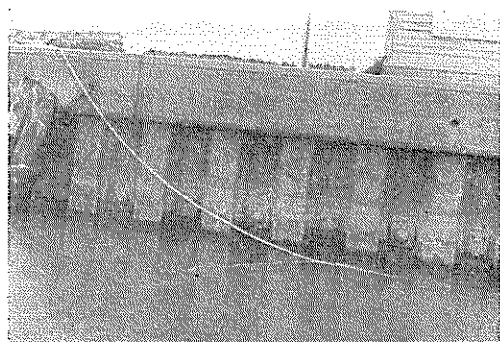


図 2-22 N方向矢板面

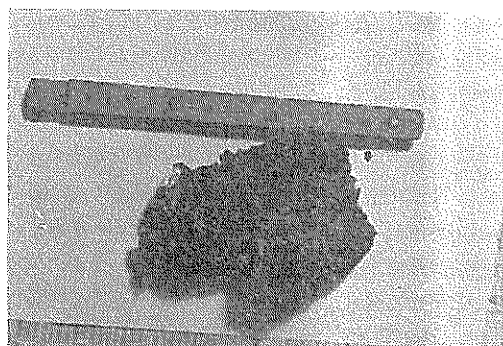


図 2-25 海水中矢板面に付着したカキ (海側)

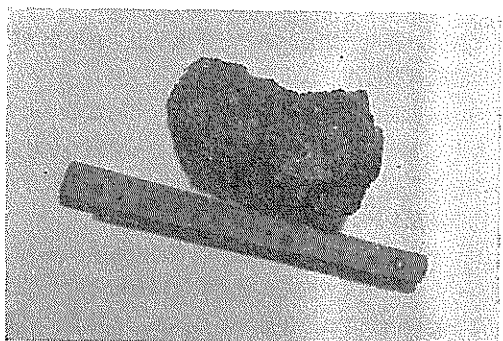


図 2-26 海水中矢板面に付着したカキ (矢板側)

No.27のH.W.L.上は暗褐色であるのに対してNo.28～No.30のH.W.L.上は赤褐色である。したがってH.W.L.上ではSW向きの鋼矢板の方がN向きの鋼矢板よりも腐食による被害が大きいことがうかがわれる。(図2・17, 2・18より)

(甲) H.W.L.上の錆生成物はいちじるしく堅牢でハンマーで叩いても容易に剝離せず、坂田式厚み計の探触子を押してあてるのに必要な15cm×22cmの面積を確保するには平均して20～30分かかった。(図2・19より)

(イ) 潮位間の2カ所にφ20mm位の穴があり干潮時には裏込め側に浸水していた海水が海側に流出しているのが見られた。ただしこのとき海水の流出だけで土砂の流出は見られず、また上部工の沈下現象もなかった。上部工もしくは船からの観察だけでは腐食による穴かと思われたが穴に接近して調べてみると2つの穴周辺の鋼矢板は裏込め側にめくれた恰好となっていた。さらに裏込め側にめくれた鋼矢板部分を指で触れてみたところまだ十分な肉厚が保たれていること、穴周辺の鋼矢板は大して腐食のためにぼろぼろでないこと、また土地の人の話によれば終戦前に艦載機による機銃掃射を受けたことがあることなどのことを考え合わせるとこれら2つの穴はどちらも機銃弾の貫通した穴と思われる。(図2・20より)

(ロ) SW方向のNo.29～No.30間の凸矢板の1枚についてH.W.L.上の肉厚測定をするために+1.2m付近をハンマーでスケールを叩き落としていたところφ5mm～10mmの穴があいた。穴の周辺を指で触ってみたところかなり肉厚が薄くなっていることから(イ)の観察のようにSW方向の海水面上の腐食の激しいことが想像される。

(ハ) No.30付近のH.W.L.付近に穴があいているところが1カ所見られた。土地の人の話ではNo.30付近は小型漁船が接岸することがあるとのことであるが、穴の周辺は赤茶けて腐食のひどいことを示している。(図2・21より)(No.30付近は図2・21よりわかるようにけい船岸の端であるので裏込め土砂の流出なども予想されるがこの点についてはとくに調べなかった。)

なお図2・21の上部コンクリート直下の2つの小さい丸穴は防舷材取付用の穴である。

(ニ) 海面上に見えているタイロッド固定用のボールトとナットには腐食による損傷はほとんど認められなかった。N方向におけるこの状況を図2・22に、SW方向における状況を図2・18に示す。

(ホ) タイダル・ゾーン付近(観察時の海水面直上)を観察したところN方向では付着物はほとんどなくてただ少量の錆が散見される程度でありほとんど腐食による損傷はない。(図2・23より)SW方向では同様に少量のノ

リとフジツボが付着しておりあまり腐食は認められなかった。(図2・24より)

(ヘ) 海水面下では凸、凹矢板の区別なく海底泥面まで図2・25, 2・26に示すようなカキが付着していた。カキの層は矢板面から5cm～10cmである。

(ニ) 潜水夫の観察によれば海水面下では付着物(カキ)を除去した鋼矢板面は暗緑色または黒色に見える平滑面をしており腐食による被害はほとんど予想されない。とくにカキが接していた鋼矢板面に凹みが認められないということは印象的であり、今後入念に調べてみる必要がある。

### 2-1-3-3 現有肉厚測定法および測定結果

(1)式より鋼矢板の平均腐食速度を算出するために坂田式厚み計を使用して現有肉厚を測定した。測定の要領はこれまでにすでに述べてあるのでここでは後述する腐食調査の問題点を検討するときに参考となる程度にとどめておく。海面上は錆生成物が固く付着しているため図2・27に示すように先端が平面状のハンマーで図2・19のように叩いて錆生成物を落とす。錆生成物を落とした15cm×25cmの面積の鋼矢板面に坂田式厚み計の探触子を図2・1のように押しあて陸上に設置した厚み計本体で厚みを算出する換算曲線に適用するための数値(すなわちA.C.目盛の数値とD.C.目盛の数値)を読み取る。H.W.L.上のスケールを落として厚み計の探触子を押して作業は台船の上から係員が行なったが海水面付近(測定時の海水面付近)と海中では潜水夫がこれを行なった。このときは図2・28のように被測定鋼矢板前面に梯子をおろしこの梯子につかまって図2・27に示すスクレーパーで海水面付近の付着物をこき落とした。一方海中では海水面付近にくらべて付着物が多量であるため海水面下1m～泥面まではスクレーパーとハンマーとを併用して付着物を除去した。最初凸矢板(図2・16のA)と凹矢板(図2・16のB)を測定の対象として付着物の除去を始めたが凹矢板に対するこの作業は凸矢板に対するそれより非常に困難であった。すなわち凹矢板に厚み計の探触子に必要な面積を確保するには凹矢板の平端部と平端でないところの付着物を除去するとともに凹矢板に接する両凸矢板の平端でないところの付着物の大部分も除去しておかねばならない。実際に凹矢板面の付着物除去をしてみると予想外に困難で平端でない鋼矢板部に付着していたカキの残骸で潜水服の手首を切った。

このため潜水服の取替えなど思わぬことに時間を費やした。また除去面積が拡がる肝心な探触子が接触する面の付着物の除去が入念にできにくく往々にしてカキなどの小さな破片が鋼矢板面に残った。



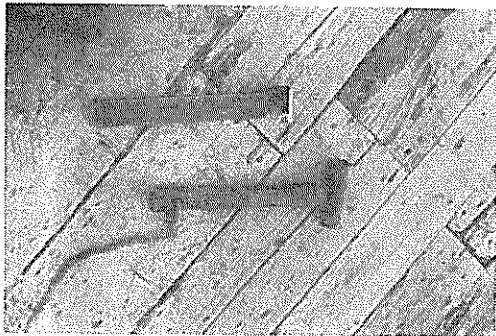


図 2-27 スケラーおよびハンマー



図 2-28 潜水夫

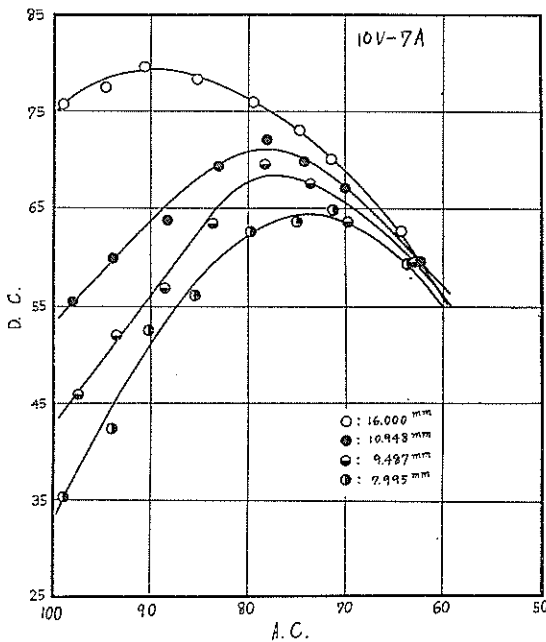


図 2-29 U港で使用した坂田式厚み計の肉厚算出曲線 (測定前)

坂田式厚み計で現有肉厚を測定するには測定前にあらかじめ肉厚既知の鋼板(被測定鋼材と同一材質)について図2-29に示すような肉厚算出曲線を画しておく。すなわち肉厚既知の鋼板(たとえば16.000mm)を地面に横たえ鋼板の上に探触子を乗せる。次に厚み計本体のスイッチをA. C. およびD. C. にしたときの目盛をそれぞれ読む。それから探触子と鋼板との間に0.5mm程度の厚さの厚紙1枚を一面に敷いてから同様にスイッチをA. C. とD. C. にしたときの目盛を読む。順次このように探触子と鋼板との間の空隙を約0.5mmずつ大きくして行ったときのA. C. とD. C. の目盛を求める。このような操作をたとえば肉厚が16.000mmのほか10.948mm, 9.487mm, 7.995mmの各鋼板について行ないA. C., D. C. の目盛りと鋼板肉厚との関係を図示すると図2-29のような肉厚算出曲線が得られる。U港の調査では測定終了後にも直ちに肉厚算出曲線を図2-30のように求め、図2-29と図2-30の平均値を図2-31のように書き図2-31にU港におけるA. C., D. C. の各測定値をこれに適用して鋼板の現有肉厚を算出することにした。

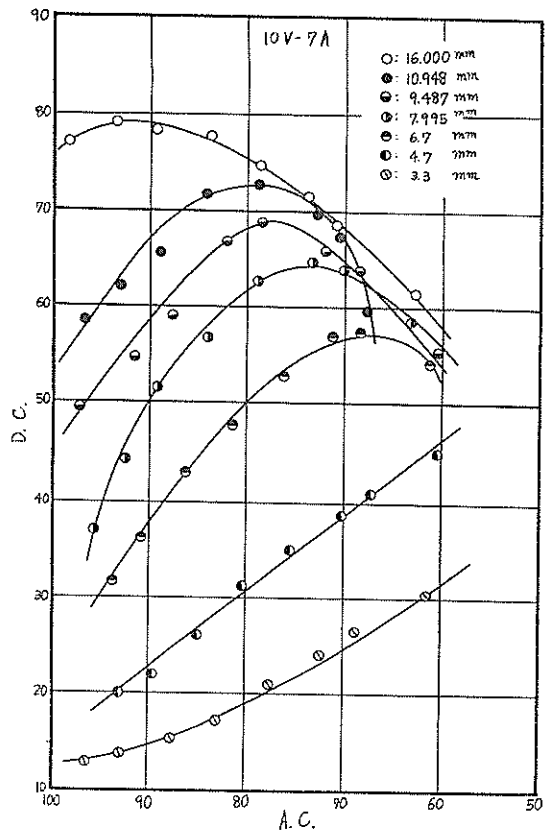


図 2-30 U港で使用した坂田式厚み計の肉厚算出曲線 (測定後)

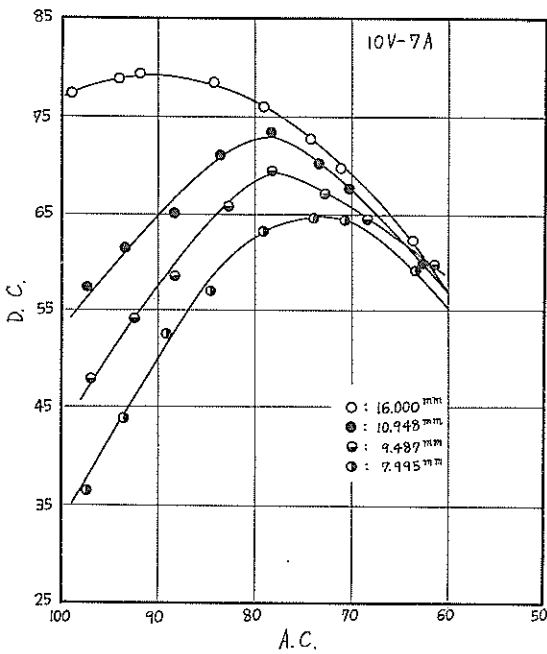


図 2-31 U 港で使用した坂田式厚み計の肉厚算出曲線 (平均値)

カキなどの付着物の除去が不十分なきは探触子と鋼矢板面との間には空隙が生じ、空隙が大きくなるにつれて図2-31のA.C.の値が次第に小さくなる。図2-31からわかるようにA.C.の値が80~70より小さくなると肉厚算出はむつかしくなる。またD.C.目盛を求めると厚み計本体のD.C.スイッチを入れると探触子に磁力が生じて探触子が被測定鋼矢板面に圧着する。しかし探触子の被測定鋼矢板面に接する面は非常に薄い鱗青銅板で張られているため探触子が鋼矢板面に圧着するときもし鋼矢板面に付着物が残存していると鱗青銅板が傷つけられる恐れがある。U港では凸矢板でもこのように鱗青銅板が凹み、さらに凹矢板面ではφ1~2mmの穴が2つほどあいたことがある。したがって凹矢板の現有肉厚は2地点のみで中止した。先述のように凹矢板面の付着物除去は凸矢板面の場合より一層面倒であるが、凸矢板の場

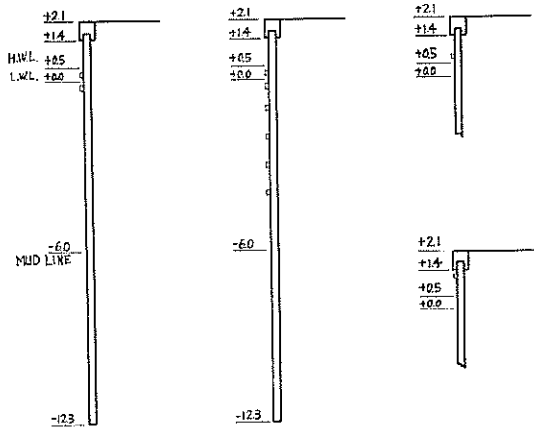


図 2-32 U 港における厚み計探触子使用状況断面図

合でも1測定点あたりの付着物除去に要する時間は約20分かかった。

U港における深度方向の測定点は図2-32に示すように現地の都合により海面上および海面付近を主とし、2, 3の地点でのみ海面下を1mピッチにとってみた。

A.C.とD.C.の読みは表2-11の通りである。ただし、表2-11に示す値は3回測定したときの平均値である。また同一測定地点で水深0mの値が2つ並んでいるが0mで探触子の位置を探触子の大きさだけ上下方向にずらしたときの測定値で上下の順に並べてある。上下のA.C., D.C.の値にはかなりの開きがあるが主として付着物除去の程度による差ではないかと考える。

表2-11の値を図2-31に適用して鋼矢板の現有肉厚を算出してみると表2-12のようになる。ただし水深0mの値が2つある測定地点は上側の値を使用した。表2-12の現有肉厚が<8.0となっているのは探触子と鋼矢板の空隙が大きすぎて肉厚算出曲線より鋼矢板肉厚が求められなかったところである。なお表2-11に示す肉厚減量は初期肉厚(Y.S.P. IV型に対応するカタログ厚み)から現有肉厚を差し引いた値であり、また平均腐食速度は(2-1-1)式に現有肉厚を代入してから算出した。

表 2-11 坂田式厚み計によるA. C., D. C. の測定値

測定地点	水深 (m)	測定値		測定 地点	水深 (m)	測定値		測定 地点	水深 (m)	測定値	
		A. C.	D. C.			A. C.	D. C.			A. C.	D. C.
1	0	94.6	71.0	11	0	62.4	49.3	21	0	85.0	57.3
1	-1	66.1	54.9	12	0	87.5	71.3	22	0	88.0	69.2
1	-2	80.0	70.0	12	0	73.4	57.3	22	0	85.9	57.4
1	-3	74.1	61.5	13	0	79.0	67.4	23	0	88.7	67.7
1*	0	83.3	74.7	13	0	69.5	58.0	23	0	85.8	57.3
1**	-1	51.3	45.7	14	0	71.1	62.5	24	0	91.3	70.7
1**	-2	84.1	71.1	14	0	63.0	51.6	24	0	80.9	60.8
1**	-3	70.0	63.6	15	0	83.9	69.1	25	0	40.8	36.0
2	0	86.0	64.7	15	0	64.0	52.0	25	0	81.1	59.9
2*	0	57.3	54.0	16	0	84.3	67.3	26	0	84.6	68.4
3	0	91.3	70.3	16	0	77.9	61.0	26	0	80.8	60.8
4	0	90.3	71.2	17	0	87.5	68.5	27	0	80.9	63.5
4	0	67.7	54.6	17	0	77.5	62.0	27	0	79.9	48.1
5	0	90.9	69.9	18	0	87.7	68.3	28	0	79.4	62.2
5	0	68.9	55.1	18	0	83.7	55.0	28	0	81.8	65.8
6	0	89.7	70.5	18	-1	89.0	69.7	29	H.W. L.上	59.5	46.3
6	0	73.1	57.3	18	-2	91.0	70.0	29	0	83.7	64.8
7	0	89.5	68.3	18	-3	91.4	70.6	29	0	79.9	64.8
7	0	73.2	58.3	18	-4	91.7	69.9	29	-1	87.7	65.0
8	0	83.7	69.4	18	-5	94.0	70.2	29	-2	91.3	65.0
8	0	71.3	56.2	18~19	H.W. L.上	76.9	64.6	29	-3	91.3	64.7
9	0	86.4	67.3	19	0	87.9	70.4	29~30	H.W. L.上	78.3	44.2
9	0	68.8	53.4	19	0	84.4	63.1	29~30	H.W. L.上	76.8	35.5
10	0	89.2	69.8	20	0	91.9	72.0	30	H.W. L.上	82.1	40.1
10	0	72.9	56.5	20	0	83.9	55.9	30	0	70.1	54.5
11	0	84.9	68.6	21	0	79.9	64.5	30	0	71.0	15.3

\* 凹矢板

表 2-12 U港における厚み計（磁気不飽和型, 10V-7A）による測定結果

初期肉厚（カタログ肉厚） 15.5mm

経過期間 31年

測定点 No.	位置 (m)	現有厚み (mm)	肉厚減量 (mm)	平均腐食 速 (mm/yr)	測定点 No.	位置 (m)	現有厚み (mm)	肉厚減量 (mm)	平均腐食 速 (mm/yr)
1	0*	13.8	1.7	0.06	18	-2	12.9	2.6	0.08
1	-2	10.2	5.4	0.17	18	-3	13.2	2.3	0.07
1**	0	13.8	1.7	0.06	18	-4	13.0	2.5	0.08
1	-2	11.6	3.9	0.13	18	-5	13.5	2.0	0.07
2	0	10.3	5.2	0.17	18~19間***	+0.8	8.2	7.3	0.24
3	0	13.1	2.4	0.08	19	0	12.1	3.4	0.11
4	0	13.2	2.3	0.07	20	0	13.8	1.7	0.05
5	0	12.9	2.6	0.08	21	0	8.6	6.9	0.22
6	0	12.9	2.6	0.08	22	0	11.9	3.6	0.12
7	0	12.0	3.5	0.11	23	0	11.6	3.9	0.13
8	0	10.3	5.2	0.17	24	0	13.2	2.3	0.07
9	0	10.7	4.8	0.15	25	0	< 8.0	> 7.5	> 0.24
10	0	12.0	3.5	0.12	26	0	10.6	4.9	0.16
11	0	10.8	4.7	0.15	27	0	< 8.5	> 7.0	> 0.23
12	0	12.1	3.4	0.11	28	0	< 8.0	> 7.5	> 0.24
13	0	9.2	6.3	0.20	29	0	9.5	6.0	0.19
14	0	< 8.0	> 7.5	> 0.24	29	-1	10.5	5.0	0.16
15	0	10.6	4.9	0.16	29	-2	11.3	4.2	0.14
16	0	10.3	5.2	0.17	29	-3	11.3	4.2	0.14
17	0	11.5	4.0	0.13	29~30間***	+0.8	< 8.0	> 7.5	> 0.24
18	0	11.5	4.0	0.13	29~30間***	+1.2	< 8.0	> 7.5	> 0.24
18	-1	12.5	3.0	0.10	30	+1.2	< 8.0	> 7.5	> 0.24

\* 1966年10月5日10時~17時の海面

\*\* No.1（海岸線に対して外側矢板A）のNo.2寄り側の内側矢板B

\*\*\* No.18~No.19間またはNo.29~No.30間の1枚の外側矢板A

## 2-2 外国における調査例

外国の港湾における既設鋼構造物の腐食調査は鋼矢板岸壁について非破壊調査が行なわれた例があり、またH杭棧橋撤去のとき破壊調査をした例もある。このような調査例としてはすでに一部紹介してあるのでここでは超音波式厚み計を用いた非破壊調査例と超音波式厚み計による非破壊調査と鋼材片の切取りによる破壊調査との併用例を挙げるにとどめる。

### 2-2-1 デンマークの港湾における調査<sup>23)</sup>

1959年港湾腐食委員会が Danish Academy of Technical Science によって結成され、1961年～1962年（昭和36年～昭和37年）にかけてデンマークにおける20港の矢板式けい船岸の鋼矢板腐食調査が行なわれた。腐食委員会が測定した鋼矢板の腐食速度は(2-1-1)式より算出されており、このときの現有肉厚は水中使用可能な超音波式厚み計によって求められた。これに対して初期肉厚はカタログ肉厚を使用したのではないかと見られるがこの点については明らかにされていない。この調査で使用した水中用の超音波式厚み計は報告によれば同委員会が本調査のために開発したもので鋼矢板面に  $0.1\text{in}=2.54\text{mm}$  の凹みがあっても  $\pm 0.02\text{in}=\pm 0.508\text{mm}$  の精度で鋼矢板肉厚が測定できるといわれる。超音波式厚み計による鋼矢板の現有肉厚測定点の取り方は図2・33の通りである。すなわち図2・33に示す黒丸の点は超音波式厚み計の探触子を潜水夫が押しあてたところである。

図2・33を図2・3とくらべてみるとこの調査は従来の日本の港湾における非破壊調査よりも水平方向と水深方向ともに小刻みに測定しており、さらにいちじるしく異なる点は凹矢板についても測定していることである。このように凹凸矢板について小刻みに測定ができたのは超音波式厚み計の探触子が日本の港湾で適用されてきた厚み計の探触子よりもずっと小型であるためである。しかし本報告では超音波式厚み計の探触子の大きさその他くわしいことは何も述べられていないので詳細は不明である。

この調査によるデンマークの港湾における鋼矢板の腐食の代表的傾向は図2・34の通りであると示されている。

このほかもっとも腐食の激しかったところは漁港であったこと、最大の孔食はほとんどいつも M.W.L. より1～2ft 下のところに見られたこと（ただしほとんどのデンマークの港湾の潮位差は僅かである）、硫酸塩還元による泥中腐食がいくつかの場合に見られたことなどを同委員会は報告している。

### 2-2-2 ニューヨーク港における調査<sup>4)</sup>

約40年経過したニューヨーク港における矢板式けい船

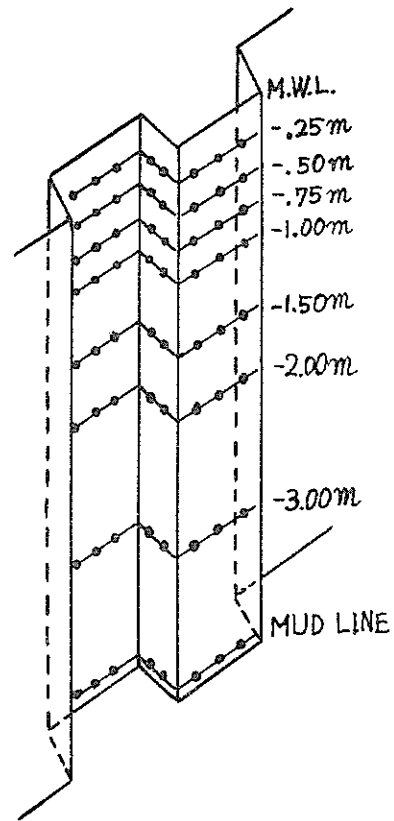


図 2-33 デンマークの港湾における矢板現有厚み測定点

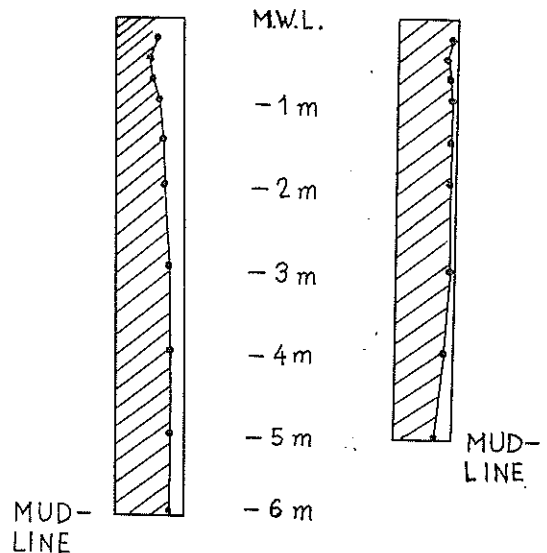


図 2-34 デンマーク港における鋼矢板腐食傾向

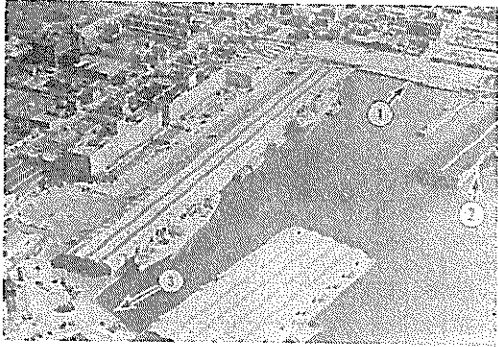


図 2-35 ニューヨーク港における腐食調査地点

施設の鋼矢板腐食調査がニューヨーク港務局の手で最近行なわれた。調査した施設は図2-35に示す ①Clinton Wharf, ②Pier No.38, ③India Wharf などである。鋼矢板の現有肉厚測定は超音波式厚み計を用いて次の要領で測定者(厚み計本体で肉厚を測定する者), 潜水夫(付着物の除去, 厚み計探触子の押しあてなどの水中作業)および潜水夫用補助員のチームで行なわれた。まず被測定鋼矢板面の付着物はスクレーパーで掻き落とし奇麗になった鋼矢板面へ探触子を押しあてて。このとき探触子の押しあてが適正であるかどうかは信号で潜水夫へ陸上の測定者から指示された。このような現有肉厚測定は経験を積んだ測定チームでは1日およそ50点の測定をしたが、これは1地点の測定点が深度方向3~4としたときの12~17地点分の測定に相当する。このようにして求めた現有肉厚を(2-1-1)式に代入して腐食速度を算出した。このときの初期肉厚としてはカタログ肉厚が使用されているが、後述するように(カタログ肉厚)-(現有肉厚)=肉厚減少量がマイナス符号となるところがあるため特別の理由もなしにカタログ肉厚を大き目にしてから腐食速度の算出をしたケースもある。なおこの調査では超音波式厚み計による鋼矢板の現有肉厚測定の他に矢板式けい船岸の鋼矢板または栈橋基礎のH杭から鋼材片を切取る破壊調査が行なわれた。

(1) Clinton 埠頭の調査

Clinton 埠頭(図2-35の①)は1927年(昭和2年)建設された延長220ft(=66m)の矢板式けい船岸で建設当初より無防食のままでありニューヨーク港ではもっとも古い鋼構造物である。この付近の海水の動きは比較的穏やかであるが下水渠より汚水が流入して潑んだ状態である。ここで使用されている鋼矢板は図2-36に示す形状のものである。肉厚測定に先立って観察したところ M. L. W. (Mean Low Water Level) 上には錆生成物が付着しておりまたかなり広範囲にわたって凹凸が見られた。全延長のうち穴があいていたのは M. L. W. に2カ

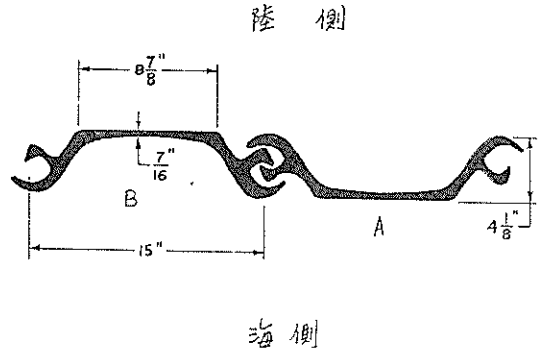


図 2-36 ニューヨーク港における被調査矢板断面図

所(30ft=9m 間隔)であった。

超音波式厚み計で現有肉厚を測定するに先立って鋼材片を62コ切取って肉厚をマイクロメーターで測定したところ次のような値が得られた。

初期肉厚=7/16" in=11.113mm

現有肉厚=0.34 in=8.636mm

肉厚減少量=0.0975in=2.477mm

平均腐食速度=2.4765(mm)/40(yr)=0.062mm/yr

なお、現有肉厚(平均値)の標準偏差 $\sigma$ は0.069in=1.7526mmである。ただし上の計算は海面上と海水中から切取った鋼矢板片の平均現有肉厚を用いて行なったものであるから算出した平均腐食速度も当然海面上と海水中を含めた平均的な腐食速度である。したがって海面上から切取った鋼矢板片の腐食速度は上記の平均値より大きく、また海水中から切取った鋼矢板片の腐食速度は上記の平均値より小さい。次に超音波式厚み計による鋼矢板の現有肉厚測定は厚み計の探触子を凸矢板(図2-16のA)と凹矢板(図2-16のB)に適用し測定深度は M. L. W. 下-1ft~-10ft までは1ft 毎に、-10ft 以下泥面までは5ft 間隔とした。ここでの全測定点は1,000点であると述べているので試みに延長方向の測定ピッチを算出してみると次のようになる。すなわち(水深方向のピッチ)15×(凹凸)2×(測定地点)x=1,000点となるからx=33地点となる。したがって全延長は66mであるから延長方向の測定ピッチは2mということになりかなり小刻みの調査である。ただし、測定の繰り返しや、図2-33のように測定点を設定したときはその分だけピッチが延びることになる。超音波式厚み計による肉厚測定値は図2-37の通りである。図2-37は凹凸矢板面についての平均値として示されており、M. L. W. ~ 泥面までの平均値は0.347in=8.8138mm、標準偏差0.073in=1.8542mmで縦の点線で記入されている。超音波式厚み計

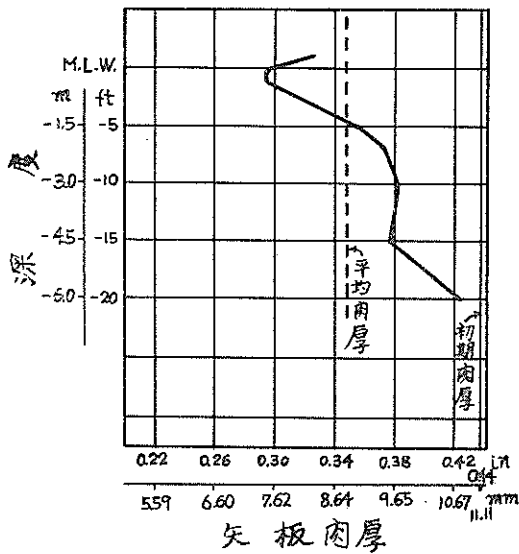


図 2-37 Clinton 埠頭における矢板現有肉厚と深度との関係

で求めた M. L. W. ~ 泥面までの平均肉厚 0.347in は M. L. W. ~ 泥面までの切り取り鋼材片の平均肉厚 0.34in に非常に似ている。厚み計による肉厚測定での一つの関心事は現有肉厚が初期肉厚 ( $7/16'' = 11.125\text{mm}$ ) より大きい値のあったことである。この点については調査者達は潜水夫の探触子押しあてが鋼矢板平端面の中心、すなわち図 2-36 に示すようにもっとも薄い肉厚のところをはずれたこと、または矢板圧延による肉厚誤差などを予想しているがはっきりした根拠はない。次に図 2-37 の測定値をそれぞれ凹凸矢板の測定値に分けて図示すると図 2-38 の通りである。図 2-38 に示す実線は凸矢板、点線は凹矢板を意味する。下の横軸は初期肉厚として所定の肉厚  $7/16''$  を用いて算出した肉厚減少量 (in または mm) と腐食速度 (mm/yr) が目盛ってある。一方上の横軸は初期肉厚を調査者達が独断で  $8/16''$  として算出した肉厚減少量 (in) が目盛ってある。図 2-38 によれば凸矢板 (図 2-38 の矢板 A) の腐食量の方が凹矢板 (図 2-38 の矢板 B) の腐食量より小さくなっている。すなわち凸矢板の全深度の平均腐食速度は  $0.087\text{mm/yr}$  であるのに対して凹矢板の全深度の平均腐食速度は  $0.027\text{mm/yr}$  である。この理由として調査者達は多分過去に New York Dock Railroad が岸壁に近接して通っていたために迷走電流が凸矢板面より海水中に流出したのではないかとこのことをあげている。したがってもし迷走電流の影響がなければ凹矢板の腐食速度のように非常に小さいことが予想される。

(2) その他の施設についての調査

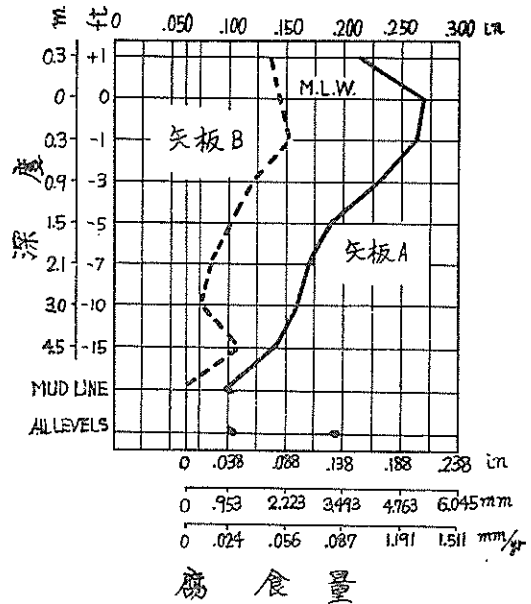


図 2-38 Clinton 埠頭 (N. Y. 港) における矢板腐食量 (腐食期間 40 年)

Pier 38 (延長  $840\text{ft} = 252\text{m}$ , 図 2-35 の ②), India 埠頭 (延長  $180\text{ft} = 54\text{m}$ , 図 2-35 の ③), Sedgewick Avenue の隔壁 (延長  $80\text{ft} = 24\text{m}$ ), LaGuardia Airport の Sea Wall (延長  $1,605\text{ft} = 482\text{m}$ ) の鋼矢板についても腐食調査をして (1) Clinton 埠頭における調査結果に類似した傾向のあることを確かめている。

最後に著者達は次のように述べている。

- (イ) 超音波式厚み計は信頼度が高い。
- (ロ) 本調査結果は現在の設計に利用されている。
- (ハ) 将来定期調査を実施するがさらに pH, 塩分, 温度, 溶存酸素などについての情報を集める。

この調査では初期肉厚にカタログ肉厚を用いたときの腐食量が小さい (中には現有肉厚が初期肉厚より大きいところもある) ので、これを不審として初期肉厚を少し大きくして ( $7/16''$  を  $8/16''$  として) 腐食量を算出している。

このことより初期肉厚のとり方のむつかしさが目につく。

### 3. 腐食調査の問題点

これまでの調査例の検討および U 港における非破壊調査の体験から港湾における既設鋼構造物の腐食調査の問題点を以下のように考えてみた。

#### 3-1 破壊調査結果と非破壊調査結果との相違

表 2-3 などに示す破壊調査結果 (切り取り鋼矢板片肉厚

のマイクロ・メーターによる直接測定値)と表2・1に示す非破壊調査結果(坂田式厚み計などによる鋼矢板肉厚の間接測定値)間には大きな相異が見られる。すなわち直接測定値の方が間接測定値より1桁程度小さい。しかしこれまでは破壊調査例が極めて少ないために直接測定値は例外として取扱われているが、直接測定値と間接測定値との相違を明らかにすることは腐食調査の一つの大きな問題点である。

### 3-2 調査に対する基本的態度

3-1のように直接測定値を無視する風潮はむしろ港湾における鋼材腐食に対する現在の考え方に大きく起因していると思われる。いま港湾鋼構造物の鋼材をみてみるとこれら鋼材は海水、飽和泥層、不飽和泥層などの異種環境を貫通した状態におかれる長尺鋼材である。したがってこれら長尺鋼材には環境差による腐食(これをマクロ腐食という)が発生するので長尺鋼材の腐食を考えるにはマクロ腐食の観点から眺める必要がある。しかしながらこれまでは異種環境を貫通する長尺鋼材の腐食も単一環境中に埋設した鋼材小片の腐食(これをミクロ腐食という)で処理する考えが支配的である。たとえば不飽和泥層と飽和泥層を長尺鋼材が貫通した状態で埋設したときこの長尺鋼材の不飽和泥層中部分の腐食量は不飽和泥層中に埋設した鋼材小片の腐食量に等しいと考え、また長尺鋼材の飽和泥層中部分の腐食量は単独に飽和泥層中に埋設した鋼材小片の腐食量に等しいとしている。しかしながら長尺鋼材の飽和泥層中部分の腐食量は単独に飽和泥層中に埋設した鋼材小片の腐食量に等しくなく、また長尺鋼材の飽和泥層中部分の腐食量は単独に飽和泥層中に埋設した鋼材小片の腐食量に等しくないことが確かめられている。このため港湾における鋼材腐食の実体を正確に把握するにはマクロ腐食とミクロ腐食との関係を明らかにすることが目下の急務であるためこのような室内実験結果を港湾建設局の協力を得て現地で検討している。一方腐食調査も当然単にミクロ腐食のみの立場から行なわれているため港湾鋼構造物の腐食調査としての視野が狭く調査項目、収集資料も十分でない。また直接測定値が小さい場合は単に例外として片付けることもミクロ腐食の立場に固執するためと考えられる。したがってこれから腐食調査を実施するにあたっては巾広くマクロ腐食とミクロ腐食の観点から行なうことが望まれる。

### 3-3 調査基準

腐食調査に対する基本的態度が固まらなかったことや測定計測器の発達が不十分であったことなどのいろいろな理由はあるが、これまでは調査基準がなかったので、調査結果の比較、検討をむづかしくしている。した

がって一刻も早く調査基準の作成が望まれるが、幸いにも港湾用の調査基準が港湾局、港湾建設局、港湾技術研究所の協力で作成されているのでこれに期待したい。

### 3-4 厚み計の精度

これまでの非破壊調査では鋼矢板の現有肉厚測定には坂田式厚み計、T-M式厚み計、超音波式厚み計のいずれかが使用されている。また破壊調査では切取り鋼矢板片の肉厚測定にマイクロ・メーターが使用されている。

(このほかに重量測定も行なわれた例がある。)これまでの調査例では非破壊調査の方が多いが非破壊調査のみでは鋼材片の切取りによる検定がないため使用厚み計の精度を明確にしておくことが測定結果を検討する上においてもっとも重要である。したがって以上のように坂田式厚み計、超音波式厚み計、マイクロ・メーターの精度を比較してみた。なお肉厚測定用鋼板には現地鋼矢板から切取ってきて20cm×50cmに成形した鋼矢板片4枚(矢板I, II, III, IV)を使用した。

#### 3-4-1 坂田式厚み計

坂田式厚み計で鋼矢板片I, IIIの肉厚を測定した。鋼矢板片Iの両面はほとんど平滑であるが鋼矢板片IIIの方は片面(裏込め側)に1mm以内の浅い凹みが散見された。坂田式厚み計による鋼矢板片の肉厚測定に先立って改めて肉厚既知の鋼板(材質は鋼矢板と同じもの)について肉厚算出曲線を描く。先述したU港の調査のときは現地で使用した厚み計用電源としてのバッテリーの都合で10V-7Aで測定したため10V-7Aでの肉厚算出曲線を使用した。このように現地の都合でV-Aの条件がいろいろ異なることがあるが不思議なことにこれまでの調査結果では厚み計を操作したときのV-Aの数値が肉厚測定値に併記されていない。したがって坂田式厚み計の精度を問題にする当り肉厚算出曲線をV-Aの値をいろいろ変えて作っておき鋼矢板片I, IIIの肉厚をいろいろなV-Aの条件で求めてみることにした。V-Aの値としては比較的よく使用されそうな付近として試みに7.4V-7A, 8V-8A, 9V-7A, 10V-7A, 8V-8Aの5通りとした。図3・1~図3・5に各5通りの条件での肉厚算出曲線を示す。次に5通りの電源条件で鋼矢板片I, IIIの肉厚を測定した。測定はまず探触子を床上に横たえた鋼矢板片の面上に乗せてから厚み計本体のA. C.とD. C.の目盛りを交互にそれぞれ3回づつ読む。次に探触子を一度持ち上げて鋼矢板面から離し再び前と同じ位置に乗せて同様にA. C.とD. C.の値を交互に3回づつ読む。以上計6回づつのA. C.とD. C.の値を肉厚算出曲線に適用して6コの鋼矢板肉厚を算出する。以上の操作を鋼矢板片IとIIIについて5通りのV-Aの条件で

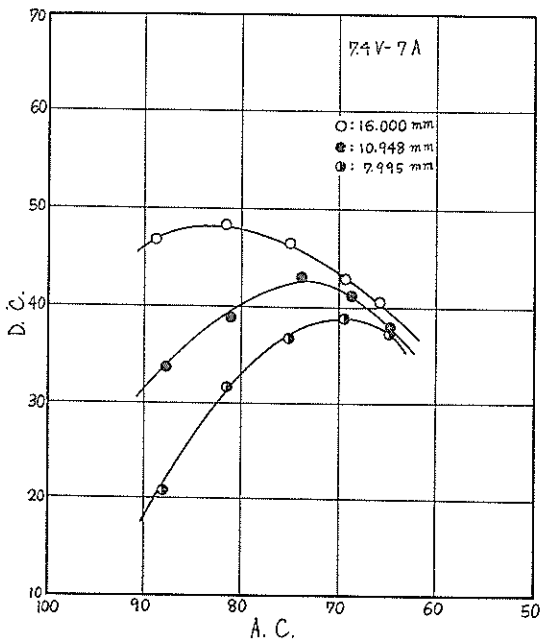


図 3-1 坂田式厚み計の肉厚算出曲線  
(7.4V-7A)

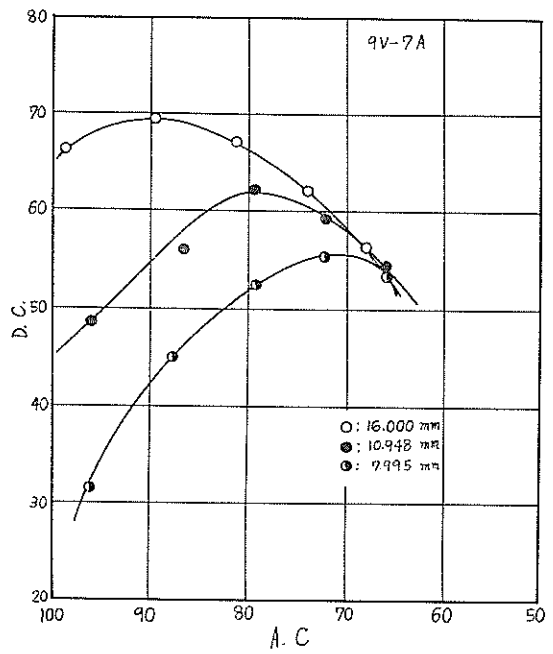


図 3-3 坂田式厚み計の肉厚算出曲線  
(9V-7A)

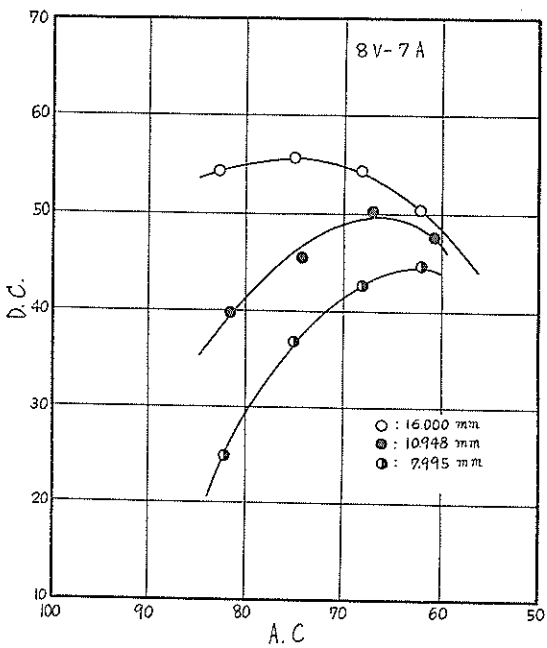


図 3-2 坂田式厚み計の肉厚算出曲線  
(8V-7A)

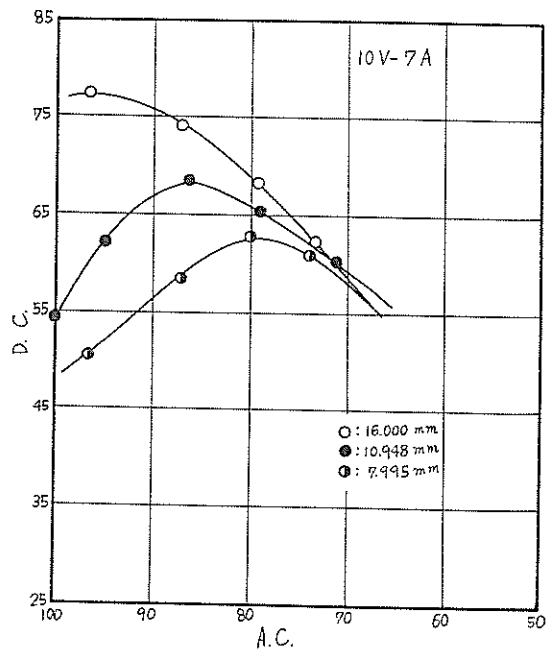


図 3-4 坂田式厚み計の肉厚算出曲線  
(10V-7A)



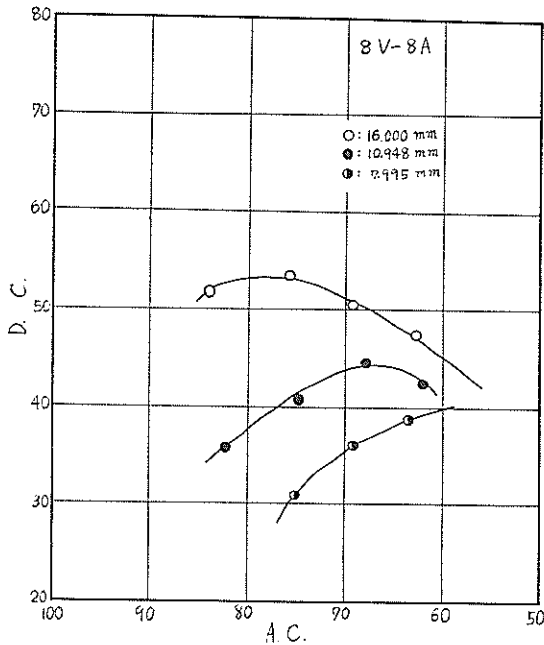


図 3-5 坂田式厚み計の肉厚算出曲線 (8V-8A)

行なった。しかし鋼矢板片 I については 10V-7A のときの A.C. と D.C. の目盛りは表 3-1 のようになる。表 3-1 からわかるように A.C. の目盛りはいずれも 100 以上となって図 3-4 の肉厚算出曲線は使用できない。このため鋼矢板片 I の 10V-7A では探触子と鋼矢板面との間に紙を挿入して 0.5mm 位の空隙と 1mm 位の空隙を作って同様の測定を行なった。また参考として鋼矢板片 III についても探触子と鋼矢板面との間に空隙を作ってから測定した。以上のようにして求めた鋼矢板片 I と III の肉厚

表 3-1 矢板 I (10V-7A) についての A.C., D.C. 目盛りの読み

	A. C.	D. C.
1	>100	64
2	>100	64
3	>100	63.8
4	>100	64.0
5	>100	64.2
6	>100	64.0

表 3-2 厚み計 (磁気不飽和型) による鋼矢板片肉厚測定値

単位 : mm

		肉 厚 お よ び 変 動						
		7.4V-7A	8V-7A	9V-7A	10V-7A <sup>イ)</sup>	10V-7A <sup>ロ)</sup>	10V-7A <sup>ハ)</sup>	8V-8A
矢 板 片 I	1	13.14	12.90	13.15	—	11.12	10.33	11.94
	2	13.20	12.90	13.10	—	11.29	9.96	12.01
	3	13.10	12.85	12.96	—	10.80	9.87	11.96
	4	13.02	12.80	12.99	—	10.85	10.00	12.05
	5	13.02	12.90	12.74	—	10.79	9.75	11.87
	6	13.14	12.80	12.57	—	10.69	10.00	12.11
	平均 値	13.10	12.86	12.92	—	10.92	9.98	11.99
	標準 偏差	0.07	0.04	0.20	—	0.21	0.18	0.08
	不偏 分散	0.005	0.002	0.048	—	0.054	0.037	0.007
矢 板 片 III	1	9.16	8.87	9.25	9.75	(<8.00)	(<8.00)	9.29
	2	9.24	8.75	9.25	9.68	8.00	(<8.00)	9.29
	3	9.24	8.67	9.23	9.68	8.02	(<8.00)	9.29
	4	9.16	8.98	9.03	9.44	8.10	(<8.00)	9.29
	5	9.16	8.98	9.08	9.61	8.15	(<8.00)	9.21
	6	9.16	8.94	9.18	9.72	8.10	(<8.00)	9.21
	平均 値	9.19	8.86	9.17	9.65	8.08	(<8.00)	9.26
	標準 偏差	0.04	0.12	0.09	0.10	0.05	—	0.04
	不偏 分散	0.002	0.017	0.009	0.013	0.002	—	0.002

イ) 探触子を直接矢板片上に乗せたとき

ロ) 探触子と矢板片間に 0.5mm 位の空隙を作ったとき

ハ) 探触子と矢板片間に 1mm 位の空隙を作ったとき

ならびに標準偏差、不偏分散を算出してみると表3・2の通りである。なお表3・2からわかるように鋼矢板片Ⅲの10V—7Aで空隙約1mmのときの肉厚は(<8.00)となっている。このときのA. C.とD. C.の目盛りは表3・3のようになっており図3・4に適用してみると肉厚既知のもっとも薄い7.995mm以下となる。このため(<8.00)と記入してある。一方F分布表から $F(\phi_1, \phi_2, \alpha) = F(5, 5, 2.5\%) = 7.15$ であることから表3・2の不偏分散よりV—Aの操作条件を変えることによって厚み計の精度が異なることが明らかである。さらに表3・2に示す測定値についてV—Aの操作条件を要因とする一元配置法で分散分析をしてみると表3・4のようになる。すなわち $F(\phi_A, \phi_E; 0.005) = 2.53$ であるから操作条件(A<sub>1</sub>—A<sub>6</sub>)間には5%の有意水準で差がある。したがって操作条件A<sub>1</sub>—A<sub>6</sub>間にはかたよがりがあることがわかる。この結果肉厚測定値には必ず厚み計を操作した電源のV—Aを併記することが重要であるがこれまでの調査結果では単に肉厚測定値のみ記入されておりV—Aは全く明らかにされていない。

またU港と同じ操作条件の10V—7で探触子と鋼矢板面との空隙れ0mm, 0.5mm, 1mmと変化させてみたところ空隙が大きくなるについて肉厚算出値は次第に小さくなっ

表 3-3 矢板片Ⅲ (10V—7A) についての  
A. C., D. C. 目盛りの読み

	A. C.	D. C.
1	81.0	61.0
2	81.4	61.0
3	81.4	60.8
4	81.6	61.0
5	81.4	60.8
6	81.6	61.0

表 3-4 分散分析表

矢板	要 因	変 動	自由 度	不偏分散	F <sub>0</sub>
I	級間 (操作条件間)	S <sub>A</sub> 48.05	5	V <sub>A</sub> 9.61	$\frac{V_A}{V_E} = 1158$
	級内 (1操作条件内の誤差)	S <sub>E</sub> 0.25	30	V <sub>E</sub> 0.0083	
	全 変 動	S 48.30	35		
Ⅲ	級間 (操作条件間)	S <sub>A</sub> 8.66	5	V <sub>A</sub> 1.73	$\frac{V_A}{V_E} = 258$
	級内 (1操作条件内の誤差)	S <sub>E</sub> 0.20	30	V <sub>E</sub> 0.0067	
	全 変 動	S 8.86	35		

て行く傾向のあることが表3・2よりわかる。このため現地では探触子と鋼矢板面との間の空隙がある状態すなわち附着物の除去が不十分の状態では測定するときは実際より低目の肉厚を得ることになる。

### 3-4-2 超音波式厚み計

超音波式厚み計は上記のように1, 2使用されているがいずれも精度はよいと報告されている。日本では水中用の超音波式厚み計はこれまで製作されなかったが最近帝國通信KK・電子研究所によって図3・6に示すような超音波式厚み計 (水中用) が試作された。この超音波式

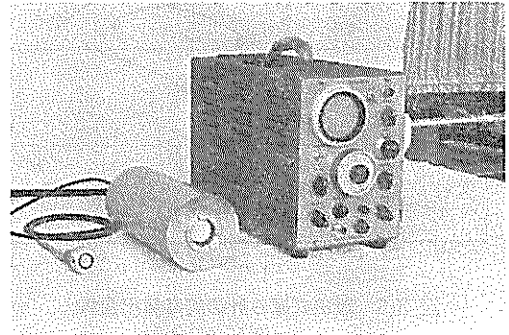


図 3-6 超音波式厚み計

厚み計を使用して鋼矢板片 I, II, III, IVの肉厚を測定してみた。超音波式厚み計の原理はすでに述べたが、さらに詳細は4章を参照されたい。超音波式厚み計の一つの特長は探触子 (図3・6の左端) が小さい点である。すなわち探触子の外径は50mm (超音波を発信する水晶振動子の大きさはφ20mmでその周囲に被測定鋼材面に吸引するための磁石が取付けてある) であるために取扱い易い。

ここでは坂田式厚み計探触子のあたる鋼矢板面を碁盤目状に適宜分けて測定点を9~24点設け、各測定点の肉厚を1回づつ測定した。また超音波式厚み計 (水中用) は図3・6に見られるように水中使用のためのモニター (図3・6の中央) を本体 (図3・6の右) と探触子との間に挿入するが、ここでの鋼矢板片の肉厚測定も現地の使用条件と同じにするためモニターを使用した。表3・5に超音波式厚み計 (水中用) による鋼矢板片の肉厚測定値およびそれにもなる誤差を示す。表3・5によれば超音波式厚み計 (水中用) で求めた平均値には各測定点の凹凸により±3~±5%位の誤差があるようである。また当然のことながら鋼材肉厚による有意差は測定値間には見られない。

### 3-4-3 マイクロ・メーター

一般に市販されているマイクロ・メーターは小型で鋼材の縁から20mmまたは50mmのところまでしか測定できな

表 3・5 超音波厚み計（水中用）による  
矢板片肉厚測定値

測定点	肉厚測定値 (mm) および変動			
	矢板片Ⅰ	矢板片Ⅱ	矢板片Ⅲ	矢板片Ⅳ
1	12.96	13.03	10.28	10.30
2	13.22	13.22	10.50	10.80
3	13.20	13.00	10.63	10.30
4	13.18	13.04	10.51	10.42
5	13.02	13.20	10.14	10.64
6	12.88	12.86	10.35	10.53
7	13.24	13.00	10.30	10.20
8	13.25	13.22	10.63	10.56
9	13.18	12.76	10.70	10.55
10	13.00		10.48	
11	12.80		10.40	
12	13.10		10.46	
13	13.28		10.20	
14	13.26		10.40	
15	13.10		10.55	
16	12.90		10.52	
17	13.08		10.34	
18	13.20		10.24	
19	13.24		10.05	
20	12.98		10.54	
21			10.51	
22			10.40	
23			10.24	
24			10.40	
平均	13.10	13.04	10.41	10.48
標準偏差	0.14	0.15	0.16	0.18
不偏分散	0.021	0.024	0.026	0.036

いのでいま測定しようとする鋼矢板片（20cm×50cm）には使用できない。このため図 3・7 に示すように大型型鋼の肉厚測定用として特別に製作した大型マイクロ・メーターを使用した。大型マイクロ・メーターは市販の小型マイクロ・メーターの端子を大型フレームに取付けた恰好のもので精度は小型マイクロ・メーターと同じく 1/1000mm まで測定できる。ただしこの大型マイクロ・メーターの端子のうち片方（かなしきの方）の先端は多少外側に丸味をおびているが他方（主軸の方）の先端は平面である。大型マイクロ・メーターによる鋼矢板片の測定点は坂田式厚み計探触子のあたる鋼矢板面に基盤目状に 9 点とし、各測定点の肉厚を 1 回づつ測定した。マイクロ・メーターによる測定値および誤差を表 3・6 に示す。表 3・6 によれば平均値にともなう誤差は各測定点の

図 3・7 大型型鋼用マイクロ・メーター

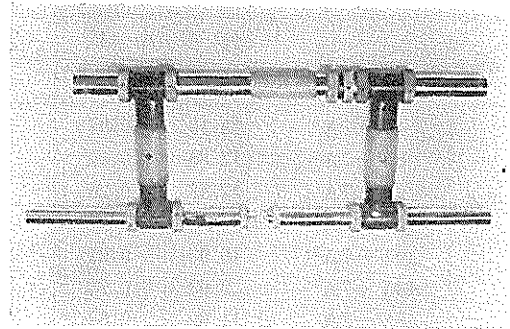


表 3・6 マイクロ・メーターによる矢板片  
肉厚測定値および変動 単位：mm

測定点	肉厚測定値および変動			
	矢板片Ⅰ	矢板片Ⅱ	矢板片Ⅲ	矢板片Ⅳ
1	12.922	13.104	10.250	10.474
2	13.294	13.276	10.554	10.824
3	13.126	12.895	10.278	10.116
4	12.982	13.154	10.166	10.394
5	13.354	13.272	10.694	10.588
6	13.268	12.890	10.204	10.292
7	13.050	13.146	9.898	10.394
8	13.340	13.296	10.446	10.272
9	13.122	12.954	10.382	10.150
平均	13.162	13.110	10.319	10.389
標準偏差	0.150	0.153	0.230	0.208
不偏分散	0.025	0.026	0.048	0.049

凹凸のために ±3%～±7% である。一方 F 分布表によれば  $F(\phi_1, \phi_2; \alpha) = F(8, 8; 0.05) = 3.44$  であるからマイクロ・メーターによる肉厚測定値には鋼矢板片の厚みによる有意差は見られない。

#### 3-4-4 肉厚測定値の比較

表 3・2, 3・5, 3・6 から三種類の厚み計による鋼矢板片の肉厚測定結果を比較してみると表 3・7 のようになる。表 3・7 から次のことがいえよう。

すなわち坂田式厚み計による鋼矢板片の肉厚は厚み計の電源条件、V—A の値によってかなり異なる。鋼矢板片Ⅰでは 7.4V—7A のときの測定値が他の電源条件のときの測定値よりもマイクロ・メーターによる測定値にもっとも近いが、鋼矢板片Ⅲではいずれの電源条件のときの測定値もマイクロ・メーターによる測定値よりも小さい。極端な場合（10V—7A）は肉厚が算出不能となるが算出できても 20～30% またはそれ以上坂田式厚み計に

表 3-7 矢板片肉厚測定結果一覧表

単位：mm

測定計器		矢板片 I		矢板片 II		矢板片 III		矢板片 IV	
		m	$\sigma$	m	$\sigma$	m	$\sigma$	m	$\sigma$
坂田式 厚み計	7.4V-7A	13.10	0.07			9.19	0.04		
	8V-7A	12.86	0.04			8.86	0.12		
	9V-7A	12.92	0.20			9.17	0.09		
	10V-7A <sup>1)</sup>	算出不能	—			9.65	0.10		
	10V-7A <sup>2)</sup>	10.92	0.21			8.08	0.05		
	10V-7A <sup>3)</sup>	9.98	0.18			<8.00	—		
	8V-8A	11.99	0.08			9.26	0.04		
超音波式厚み計		13.10	0.14	13.04	0.15	10.41	0.16	10.48	0.18
マイクロ・メーター		13.162	0.150	13.110	0.153	10.319	0.230	10.389	0.208

10V-7A<sup>1)</sup>：接触子を直接矢板片上に乗せたとき  
 10V-7A<sup>2)</sup>：接触子と矢板片の空隙を 0.5mm としたとき  
 10V-7A<sup>3)</sup>：接触子と矢板片の空隙を 1.0mm としたとき

よる測定値間には差があることになる。また坂田式厚み計による測定値に見られるもう一つの特長は同じ電源条件(10V-7A)であっても探触子と被測定鋼矢板面との間の空隙が大きくなるにつれて肉厚測定値は小さくなる傾向のあることである。したがって坂田式厚み計による測定値から算出した腐食量は実際の値より大き目に出ることが予想される。

これに対して超音波式厚み計による鋼矢板肉厚の平均値はマイクロ・メーターによる平均値に非常に近似しており、また平均値にもなる誤差、すなわち各測定点における測定値のばらつきもほぼ等しい。

以上室内検討結果からでは非破壊調査用厚み計としては坂田式厚み計よりも超音波式厚み計の方が適していると思われるが、これも室内における比較的平滑な鋼矢板面に対する結果であるからさらに厚み計の精度の検討を現地においても実施することが必要である。

### 3-5 非破壊調査結果の検定

3-4の検討から非破壊調査用厚み計としては精度のよい厚み計を選定、使用することが必要であるが、何分にも海水中のことであるから単に精度のよいと思われる厚み計による測定のみにとどまらず鋼材片切りによる破壊調査など厚み計測定値を検定できる適当な方法を検討、併用することが望まれる。また厚み計としては鋼矢板に限らず鋼管杭やH杭など港湾で使用される鋼材の肉厚測定に使用できることも必要である。

### 3-6 初期肉厚の確認

折角精度よく現有肉厚を測定しても初期肉厚が曖昧であれば肉厚減少量または(2-1-1)式より算出する腐食速

度が信頼性の乏しいものになる。一般には設計、施工の当時の記録から鋼材のタイプを知り、タイプに対応するカタログの肉厚を初期肉厚としている。しかし往々にして過去の記録に間違いがあることがある。たとえば設計図面では鋼矢板タイプがランゼンIV型となっているのに施設集覧などの表ではラルゼンV型となっていたり、また設計図ではYSP IV型と記されているが調査の結果YSP V型であった例がある。さらにニューヨーク港の調査例のように超音波式厚み計による鋼矢板肉厚測定値が図面に示されている初期肉厚の7/16"に大差ないために別に理由なしに初期肉厚を8/16"としてみた例もある。したがって入念に過去の資料を調査することはもちろん必要であるが、さらに鋼構造物の上部コンクリートを破壊してコンクリート中鋼材の肉厚を測定して初期肉厚を確かめる(たとえば2-1-2-2大野川護岸の調査のように)などできるだけ初期肉厚を正確に知るために努力することが必要である。しかしながら構造物の上部コンクリートを破壊できる例はむしろ少ないと思われるので被測定鋼材が鋼矢板の場合は次の方法の検討を実施することが望まれる。

- (イ) 鋼矢板の形(たとえばU型とかZ型とか)を潜水夫に確認させる。
- (ロ) 鋼矢板のタイプを知るのに役立つところは寸法、たとえばU型鋼矢板では図3-8に示すHの寸法を潜水夫に測らせる。
- (ハ) H/2がほぼU型鋼矢板のhに相当するため準備している矢板諸元を示す図と照合して鋼矢板タイプおよびカタログ肉厚を知る。

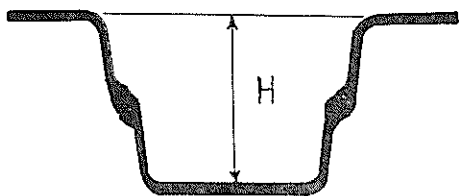


図 3・8 矢板寸法の測定

表 2・5 より上部コンクリート中鋼矢板肉厚とカタログ肉厚とを比較してみると Y S P 矢板では 0.36~0.69mm 前者の方が大きい。これは鋼矢板肉厚の許容誤差なのかそれとも鋼矢板打込み時の打撃によるふくれなのかはつきりしない。一方表 10・5 によれば上部コンクリート中鋼矢板の肉厚はカタログ肉厚と大差ない。

### 3-7 測定点

日本におけるこれまでの非破壊調査では図 2・3 に示すように凸矢板の平端面について H. W. L. 上、潮位間、L. W. L. 直下と海底面直上の 4 深度における肉厚が測定されている。測定する凸矢板の間隔は調査場所で異なりまちまちである。一方図 2・33 に示すようにデンマークの港湾における調査では凹凸矢板について水深方向と水平方向にかなり小刻みに測定されている。ここではっきりしないことは図 2・33 では鋼矢板の平端面でないところの肉厚が測定されているがこの初期肉厚が明らかであるかどうかということである。また凹凸矢板についての測定間隔も報告されていない。一方ニューヨーク港の調査では先述したようにかなり小刻みに水平、水深両方向に測定点がとられているようにも考えられる。今後行なう非破壊調査では図 2・16 の A, B 面について深度方向に 1 案として海水面下では少くとも 1~2 m ピッチ、海水面上は 0.3~0.5 m ピッチで測定することが望まれる。また海底泥層中鋼材については非破壊調査の実施はむづかしいができるだけ（たとえば A 面だけでも）泥を 0.3~0.5 m ほど取除いて測定点の一つ設けるように努めることが望ましい。

なお凹凸矢板の測定ピッチは現地の状況によっていろいろ変るため一概に決められないがこれも小刻みにとるにこしたことはない。このほかあらかじめ設定した測定点以外のところに異常なカ所を調査中に認めるときは併せて測定する。またもしニューヨーク港の鋼矢板（図 2・36 参照）のように図 2・16 の A 面に相当するところが多少彎曲しているときは厚み計探触子を水平方向に少しづつ移動して A 面の中心（もっとも肉厚の薄いカ所）にあてることが必要である。

なお鋼管杭や日杭についても鋼矢板のときと同じよう

に水平および水深方向にできるだけ小刻みに測定点を設けることが望ましい。しかし現地条件などのために測定点をあらかじめ設定することは問題であるが各港湾鋼構造物についての測定点のとり方の一つの目安が必要である。

このことは非破壊調査のみならず破壊調査についてもいえることである。

### 3-8 付着物の除去

付着物は場所および深度によってかなりその種類や量などが異なるので付着物の除去には当然調査場所によって難易がある。カキ（図 2・25, 2・26 参照）などのように鋼材面に層状に積み重なるものはハンマーで叩けばその大半は落ちるがさらにスクレーラーで入念にこきぐことが必要である。しかしフジツボのように鋼材面に固着しているものは落ちにくいのでカンカン・ハンマーを現場では使用する例が多いが、カンカン・ハンマーでは鋼材面を傷け易い。鋼材面の付着物の除去が十分にできても鋼材面にハンマーの傷跡をつけては厚み計による肉厚測定に誤差を生じることになる。また付着物の除去を早くすることは調査を能率的に行なう一因である。したがって付着物の除去法についても豊富な経験から作られた一つの目安のようなものがほしい。一方付着物除去の点からみれば探触子の面積が小さい方が望ましいので掘田式厚み計よりも超音波式厚み計の方がこの点からみても実用的である。

### 3-9 調査対称構造物の設計条件の明確化

長期間経過した港湾鋼構造物について行なった破壊調査結果は実に貴重なものであるが構造物の設計条件（すなわち構造物のおかれた腐食条件）が明記されていないために腐食資料として十分でなく極端な場合は単なる参考例にすぎない。これは 3-2 のところで述べた調査に対する基本的態度によるものと考えられる。しかしこれから実施する調査では調査結果の中に必ず図 2・15 のような構造物の断面図を明記するとともに H. W. L., M. W. L., L. W. L. および調査時の海水面を記すことが望まれる。

### 3-10 鋼材片の切取り

破壊調査の実施は望ましいことであるが現地の都合によって普通には非破壊調査が主として行なわれる。しかし非破壊調査はあくまでも厚み計による間接測定であるから間接測定値の検定のためにも、また初期肉厚を確かめるためにも鋼材片の切取りによる破壊調査を一部（極端な場合鋼材片の切取り枚数は 1 枚でもよい）同時に行なうことが望まれる。このように非破壊調査結果の検定用として行なわれる鋼材片の切取りも切取りの方法および寸法を検討する必要がある。すなわち切取りは現在一

般に溶接機と高圧酸素ガスの併用による方法が行なわれているがこれではちょうど陸上におけるガス接断と同じく鋼材片の周辺は1cmほど肉盛りのためにむだになる。また鋼材片は四角でなくてもよく大きさもあまり大きくなくてもよい。したがってコア採取機のようなもので小さな鋼材片の採取が望まれる。

### 3-11 腐食環境の調査

肉厚測定結果を比較、検討する上で参考となる腐食環境調査をできるだけ肉厚測定と併行して実施することが必要である。たとえばニューヨーク港では今後定期的に肉厚測定を行なうとともにpH、塩分、温度、溶存酸素などに関する調査をして行くとのことであるが、このほかに海水の外観、比重、イオウイオン、硫酸イオンなどの試験や付着物の種類、付着範囲、付着量の記録および試料採取、海水の動き、気象条件（風向、温度など）などの調査も必要である。

### 3-12 防食法適用の有無

鋼構造物に防食法が適用されているかまたは適用されたことがあるかを調べ、もし適用の経歴があるときは防食期間（防食法が途中から適用された場合、もしくは最初防食法が適用されたが途中から明らかに無防食に等しくなった場合には防食期間と無防食期間）、防食法の内容を明記することが必要である。

### 3-13 基準肉厚鋼板の携行

非破壊調査の場合測定の前後に厚み計の精度を確かめるために基準肉厚鋼板（肉厚既知の鋼板で厚み計の感度調査のために作られた鋼板）を現地に携行して行くことが望まれる。ただし基準肉厚鋼板の材質は被測定鋼材と同一であることが必要である。

### 3-14 潜水夫の観察結果の記録

港湾における腐食調査では水中作業が多いため潜水夫の果す役割は大きい。たとえば現在のところ海水中鋼材面を非破壊の状態を観察したり、付着物を除去したり、または探触子を鋼材面にあてるのは全て潜水夫であるから潜水夫の観察結果や体験などを参考資料として記録しておくことが必要である。しかし専従の潜水夫の確保はむづかしいので潜水夫の主観がこれらの記録に強く押し出されるため記録に先立って浮上の都度不審な点は何回も潜水夫に尋ねることが必要である。なお海水の汚染がひどいときまたは曇天、建物による遮光その他の理由で日光が海水中にとどきにくいときは潜水夫が水密性の懐中電燈を持つことは水中作業のために便利である。

### 3-15 水中テレビまたは水中カメラの使用

先に述べたように水中観察を潜水夫のみに依存することは観察結果がかなり片寄る危険性がある。一方破壊調

査を併用するとこの弊害は大部防げるが破壊調査の実施は事実上かなり制限される。したがって水中テレビが使用できれば調査経験者が陸上から観察できるとともに水中作業（付着物の除去や探触子の押しあてなどの作業）に関する適切な指示も与えられるためより正確な調査が可能となろう。また水中カメラを使用することも腐食の実状を知る手段として有効である。

### 3-16 調査対象構造物関係資料の収集

たとえばU港の調査では海水面上に穴があいているのが2地点で見られたが観察結果と戦争中に銃撃を受けたことがあるという土地の人の話との両方から穴の原因が説明できた。このように構造物に関係ある話を土地の人達から聞くことは参考となる。ただし単に話を聞くことのみで終わらずに必ず自分の目で関係場所を確かめておくことが大切である。その他これまでの水質試験結果、土質試験結果、気象観測結果など腐食調査資料として必要と思われるものはできるだけ入手する。

### 3-17 準備の点検

現地測定はチーム作業であるから測定者、潜水夫、全補助員の意志の流通をよくするとともに調査に使用する計測器、用具を入念に点検しておくことが必要である。

なお点検するものをあらかじめ書き出しておくことが便利であるので1例を示してみると次の通りである。

- (イ) 厚み計一式（本体、探触子、モニターおよびその他付属品）
- (ロ) 厚み計用電源（超音波式厚み計の電源はA. C. 100VであるからA. C. 100Vのとれるところはとくに電源は不要であるが、もしA. C. 100Vがとれないところは携帯用発電機を用意する。またA. C. 電源があってもA. C. 220Vのように電圧が異なるときは電圧調整器が必要である。）
- (ハ) 基準肉厚鋼板（被測定鋼材と同じ材質の鋼板）
- (ニ) 潜水夫一式（潜水夫、補助員、舟）（2組用意して1組は付着物除去、1組は探触子の押しあてを分担した方が調査を能率化できる）
- (ホ) スクレーパーおよびハンマー（予備を含めて2本づつ）
- (ヘ) カメラおよびフィルム（カラー・フィルム5～10本）
- (ト) 記録用紙および筆記用具
- (チ) 梯子1コ（潜水夫が所定の水深にとどまるためのもので鋼製、木製、ロープ製のいずれでもよいが測定深度までとどくことが必要である。）
- (リ) ビニール袋（採取した付着物または切取り鋼材片を入れるためのもので測定点に応じて枚数を決め

る。)

- (x) 採水器および採水瓶（採水瓶はなるべくポリエチレン製などのようにわれないもので密栓できるものがよい。個数は採水点に応じて決める。)
- (y) マジック・インク（ビニール袋に採取した地点、場所、年月日などを記入するためのもの)
- (z) レッド（測定点の深度、構造物の水深などを確かめるためのもの)
- (aa) 自動車1台（測定地点移動用として計測器などを積むためライトバンやジープなどがよい)
- (ab) 雨具（レインコートおよびゴム長）
- (ac) 防寒具（アノラック）
- (ad) ロープ（ハンマーなどを潜水夫に陸上から渡したりまた時としては探触子を水中に吊したりするために使用するものでもあまり太いロープでなくてよい。たとえばφ10mm位のものであるが長さは現地水深よりやや長目がよい。)
- (ae) 手袋
- (af) 水質試験用器具（比重計、シリンダーなど）
- (ag) その他

### 3-18 調査の能率化

調査を能率的に行なうには能率を増大するように手順を考慮することが必要である。実施するのに比較的時間がかかるのは次の事項である。

- (i) 海面上の付着物除去
- (ii) 海面上の研磨
- (iii) 海面下の付着物除去
- (iv) 測定点の移動
- (v) 計測器の保守（とくに探触子は比較的傷つき易いので必ず予備を用意すること）
- (vi) 潜水服の損傷（カキを除去するとき潜水服の手首が切れたため調査を2時間ほど中断したことがあった。)
- (vii) スクレーパー、ハンマーなどの補充（水中作業のため比較的失くし易い。予備のものを現場に持参しておくことが必要である。)

### 3-19 結果の保管

折角入念な調査をしても調査結果をきちんと保管しないと意味がないので調査終了後できるだけ早く印刷物としておくことが必要である。

調査に経験を積んでもさらに改善すべき点が次々に出てくるものと思われる。このため単なる計画の消化に終

らずに常に調査法を改善して行く意欲を持って調査にのぞむことが大切である。

## 4. 調査の方法

港湾鋼構造物の腐食の実体を正確に把握するために改めて腐食調査を開始することにしたが調査の実施に先立って調査方法を3章の検討結果にもとづいて以下のように定めてみた。しかしここに述べる方法はもとより一案であって各調査地点の複雑な条件をすべて満足することはできないが、本法はあくまでも調査法の骨子でさらに詳細な点は5章～9章の各港における調査のところで述べる本法の適用性ならびに本法に対する意見を併せて参照して頂きたい。

### 4-1 調査の内容

一般に腐食調査というときは単に鋼構造物の腐食量（肉厚減少量および腐食速度）算出を目的とする調査を主として指す。さらにこのほかに観察や腐食環境調査などがある。ここでは構造物についての調査方法と腐食環境についての調査方法をを含む。

腐食調査には破壊調査と非破壊調査とがある。破壊調査は鋼構造物からの引抜き鋼材（鋼矢板、杭など）または切り取り鋼材片について直接に肉厚測定または重量測定を行なって腐食量を算出することを主とする調査をいう。

これに対して非破壊調査とは厚み計（水中用）を使用して鋼構造物の肉厚測定を非破壊のまま間接的に行って腐食量を算出することを主とする調査をいう。したがって非破壊調査の間接測定値に対しては精度を確認するために破壊調査の直接測定などによる何らかの検定を行なうことが望まれる。この結果非破壊調査の実施に先立ってまずどのカ所にどの破壊調査が併用できるかを定めることが必要である。

### 4-2 鋼矢板肉厚の測定点

鋼矢板は1920年頃から日本の港湾で使用されており恰好の腐食調査対象構造物であるため坂田式などの厚み計による非破壊調査が従来から行なわれている。しかしこれまでの調査で用いられた厚み計は鋼矢板の平端面（図2-16のA）を対象として作られたため探触子<sup>注）</sup>（被測定鋼矢板面に押しあてる部分）の面積が10cm×20cmというように大きい。したがってこれまでの非破壊調査では図2-3のように凸矢板の平端面のみに限られている。探触子面の寸法が10cm×20cm位であれば凹鋼矢板（図2-

注） これまでは探触子という用語を使用してきたが日本非破壊協会などの専門部会では探触子という用語を使用しているためこれからは探触子に統一する。

16のB)にも適用できそうに思われるが、そのためにはカキなどの付着物の除去が凹鋼矢板面のみならず左右鋼矢板の平端面でないところについても行なわなければならない。3章で述べたようにこのような付着物除去のために1測定点あたり1時間以上かかり、おまけに潜水服の手首付近がカキのために切れたのでさらに時間がかかった。その上凹鋼矢板面15cm×25cm位の入念な付着物除去は事実上不可能であったから厚み計探触子面と鋼矢板面との空隙が大きくて肉厚算出曲線がうまく使えなかった。これに対して超音波式厚み計の探触子はφ50mm(φ20mmが超音波発信用水晶振動子、その周囲15mmが水晶振動子を被測定鋼矢板面に吸引させる永久磁石である)であるから付着物の除去もせいぜいφ50~60mm程度の面積で済む。したがって本調査法では鋼矢板の断面方向の肉厚測定点は図4・1のように凹凸鋼矢板について設けることにした。ただしU型鋼矢板などでは①, ⑤, ⑥⑩の肉厚は均一でないので探触子の位置によって肉厚が異なる上、カタログ肉厚としてもとくに定められていない。このため①, ⑤, ⑥, ⑩の肉厚は参考として測定するものである。これに対して②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨の肉厚測

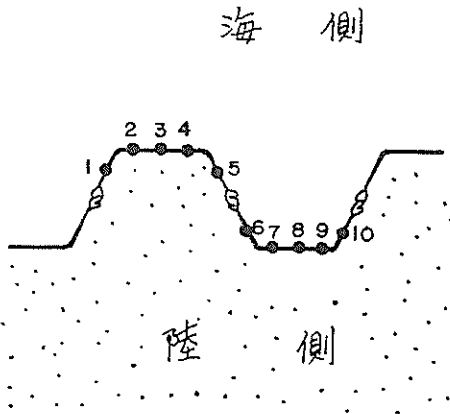


図 4・1 鋼矢板肉厚の測定点 (断面方向)

定は所定の深度における腐食量を知るために重要である。とくに迷走電流の影響が予想されるとき凹鋼矢板面の肉厚測定は一そう重要となる。

一方凹凸鋼矢板の肉厚測定をけい船施設延長および水深方向にどのくらいのピッチで行なうかは一律には決められない。

これは調査の目的(ある特定カ所の改造または同一水域に新設鋼構造物の腐食しろを知るなど)、現地条件(船の接舷や嵩上げ工事などのために測定範囲が制限される)、調査費、調査期間、天候その他のことから決まるものである。しかしながら調査を実施するとき何か一つ

の目安が必要となるのでここでは延長方向は20mピッチ、水深方向は水面下に1m、水面上は0.3~0.5mピッチとした。しかし詳細は3章~9章の各港における調査のところで述べることにする。

#### 4-3 鋼矢板のタイプおよび初期肉厚

折角精度よく現有肉厚を測定しても初期肉厚があいまいであれば腐食量の算出が不正確となるので初期肉厚をできるだけ精度よく求める必要がある。しかしほとんどの既設鋼構造物の初期肉厚は施工時点に測定されていないので初期肉厚としては一般に鋼矢板のタイプに対応する初期肉厚をカタログより求めることが行なわれている。

このとき鋼矢板のタイプを過去の記録(設計、施工図その他)のみを参考として求めることは十分とはいえないので併せて鋼矢板タイプの判定資料となる寸法を測定することが望ましい(図3・8参照)。形状寸法の測定はできれば海水面上の鋼矢板面について行なうが潮位その他の都合で海水面上の測定がむづかしいときは海水中鋼矢板面について行なう。鋼矢板の形状、Hまたはhの寸法および過去の資料を鋼矢板諸元表に対照させて鋼矢板タイプを確認しさらに鋼矢板の初期肉厚を知る。しかし鋼矢板の形状(たとえばU型かどうか)、Hの寸法を求めても鋼矢板タイプの決め手とはならない場合もある。1例としては Larrsen 31 と Larrsen XII がある。どちらもW=450mmでHは前者が150mm、後者が155mmと似ており爪の形が異なる程度であるが、肉厚は前者が9.5mm、後者が12mmで大部違う。したがってもし改造などのために鋼構造物の上部コンクリートを破壊できるときはコンクリートを破壊してコンクリート中の鋼矢板肉厚を測定して、これを初期肉厚とする。このときの鋼矢板肉厚の測定は図4・8, 4・9に示すように両球型マイクロメーターで測定する。上部コンクリートの破壊が不可能なときは矢板片の切り取りが望まれる。矢板片の入手ができればこれについての重量および肉厚測定値は初期肉厚推定の有力な資料となる。このような初期肉厚を確認するための測定は腐食調査地点の鋼矢板については必ず実施することが必要である。

#### 4-4 付着物の除去および鋼材面の研磨

##### 4-4-1 海面上

海面上はカキなどが付着しない代りに波しぶきや風雨に曝されるためにH.W.L.のように錆生成物が厚く固着しているところがある。したがって鋼材の海面上に対してはまず先端が平らなハンマーで錆生成物を叩き落とす。H.W.L.付近で錆生成物を除去した鋼材面は平滑な場合は極めて少なく大低の場合は大なり小なり凹



凸がある。凹みの深さは1～2mm程度であっても凹みが多く散在すると超音波式厚み計の共振波形がブラウン管面に鮮明に出にくい。ため、グラインダーを使用して凸部を凹部面までにけずって鋼材面を平坦な面とすることが必要である。グラインダーはポータブルなものを使用する。

#### 4-4-2 海水面下

海水面下ではカキやイガイなどの付着物が場所によってはある。とくにカキのように固い付着物に対しては鋼材面を傷つけないようにハンマーで叩いて大部分を除去する。このときカキによって潜水服の手首などを切らないように注意することが必要である。大きな付着物が大体落ちたら次に図4・2に示すようなスケラーでさらに小さな付着物を十分こさぎ落とす。スケラーでこさぎときは必ずスケラーを上下方向に動かすことが必要でスケラーを鋼材面に立てて鋼材面を傷つけることは絶対に避けねばならない。またカンカン・ハンマーのように先に鋭利な刃のついたもので付着物を除去するとき鋼材面に傷痕をつけるので使用はできるだけ避けもし止むを得ず使用するときは傷痕をつけないように注意しなければならない。付着物の除去が不十分であれば探触子の鋼材面への接触が不十分となって精度よく肉厚測定をすることがむづかしくなる。このように付着物の除去は非破壊調査の精度に大きく影響する重要な項目の一つであるので入念に行なうことが必要である。

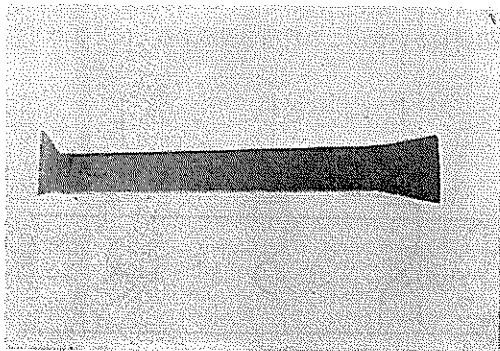


図 4・2 スケラー

#### 4-5 付着物の採取

付着物は海水面下鋼材腐食量に関する参考資料として利用するためこれの代表的試料を採取し、観察する。

付着物の採取および海水面下における観察は潜水夫が行なうので次の要領を潜水夫によく納得させる。

(1) 採取に先立って測定地点において一度潜水して海水面から海底泥面間の測定鋼矢板（凹凸矢板）面上を観察する。浮上後付着物の種類、付着深度、厚さ

ならびに鋼矢板の変形具合を陸上の担当者に報告し担当者は報告結果を直ちに調査用紙に記入する。

(2) 同一種類と思われる付着物の代表的試料（5cm～10cm角）を1コ採取するが便宜上肉厚測定深度毎に除去した付着物から1コ採取してもよい。

#### 4-6 観 察

観察には肉眼観察とカラー写真（以下単に写真というときはカラー写真を指す）による観察がある。肉眼観察と写真撮影とは別々に行なう性質のものではなく肉眼観察したところをさらに写真撮影して肉眼観察結果に客観性を持たせるとともに肉眼観察状態を永く記録する。肉眼観察結果は観察後直ちにその都度調査用紙に記入する。肉眼による観察は海水面上は係員が行なうが海水面下は潜水夫が行なう。一方鋼構造物の写真撮影は海水面上に限られるがこのほか海水水中の採取試料（付着物および切り鋼材片）について行なう。

##### 4-6-1 海水面上

肉厚測定を行なう鋼矢板面および周囲の鋼矢板面を肉眼観察と写真撮影をするが、とくに肉厚測定カ所については脱錆の前後にこれを行なう。このときできるだけ鋼矢板面に近づいて接写することが必要である。なお鋼矢板面の接写のほかには測定位置、構造物の外観、上部工、接触状態、防舷材など構造物に関するものも併せて撮影する。また採取した付着物や錆生成物があれば海水面下と同じ要領で写真撮影する。

##### 4-6-2 海水面下

海水面下のものに対しては採取した付着物または切取った鋼材片について肉眼観察ならびに写真撮影する。このほか潜水夫により海水面下の状況を肉眼観察する。しかし潜水夫は調査港毎に異なることが普通であるため肉眼観察結果は客観性が乏しいことが予想される。このため潜水夫による肉眼観察結果を記録するに際してはその都度いろいろ具体的に質問しておくことが観察結果を生かすため是非必要である。

##### (1) 採取した付着物の観察

採取した付着物を潜水夫より受取ったら直ちにその表裏を写真撮影する。海水面上に運び上げてから長時間経過すると付着物は変色してしまう。とくに日光に照射されると変色は比較的短時間でおこる。たとえば採取したとき黒色であったものが空中に1時間以上放置されると次第に褐色になったりする。付着物の写真を撮影するときできるだけカメラを近づけてから撮ることが望ましい。このとき同時に採取位置、日時などを記しておくこと後日の整理のとき紛らわしくなくて済む。

##### (2) 切り鋼材片の観察

切り鋼材片の観察でもっとも重要なことは切り直後の鋼材片の表裏を肉眼観察および写真撮影することである。鋼材片を海水に濡れたまま空中に放置すると比較的短時間で発錆する。このため切り直後は発錆が見られない綺麗な鋼材面であってもしばらくすると発錆してあたかも最初から発錆していたというような誤った観察をする危険性が大いにある。切り直後の撮影は現地でするためとくに接写装置を使用できないケースが多い。したがってカメラを鋼材片にできるだけ近づけて撮影することが望ましい。なお切り鋼材片と一緒に切り位置、表裏および上下を標示する記号を撮っておくと後日の整理に便利である。次に肉厚および重量測定のために鋼材片が実験室に到着したら脱錆前後の比較のために鋼材片表裏を接写しておく。さらに脱錆後鋼材片の表裏および所定の寸法に成形後を接写する。したがって切り鋼材片の写真撮影は次の4通りである。

- (イ) 切り直後の表裏
- (ロ) 実験室到着時の表裏
- (ハ) 脱錆後の表裏
- (ニ) 成形後の表裏および断面

#### 4-7 使用厚み計

厚み計には鋼材の片面から肉厚を測定するタイプと両面から肉厚を測定するタイプの2つがある。たとえば超音波式厚み計などは前者に、マイクロ・メーターやノギスなどは後者に属する。鋼材の肉厚を鋼材の片面から測定する厚み計は鋼構造物の非破壊調査に使用できる。これまでの非破壊調査では主として坂田式厚み計が使用されてきたが3章の検討結果のようにこれの測定精度が低い。これに対して超音波式厚み計（水中用）による肉厚測定値はマイクロ・メーターによる肉厚測定値に非常に近似している。しかし、3章の検討は実験室（久里浜）で切り鋼材板について行なわれたものであるから超音波式厚み計の現地適用性を改めて検討してみる必要がある。また運よく坂田式厚み計による肉厚測定が行なわれた地点で超音波式厚み計による肉厚測定が実施できれば両厚み計の現地比較が望めることになる。このときできるかぎり鋼材片の切りによる破壊調査を実施することが厚み計の精度を検定する上で必要であるので、昭和42年度から始める腐食調査では現地の状況の許すかぎり鋼材片の切りによる破壊調査と超音波式厚み計による非破壊調査を実施することにした。したがって使用厚み計は非破壊調査用の超音波式厚み計（水中用）と切り鋼材片の肉厚測定用としてのマイクロ・メーターである。

##### 4-7-1 超音波式厚み計（水中用）

超音波式厚み計（水中用）は図3・6に示すように本体と探触子と防水モニターよりなっており、防水モニターを本体と探触子間に挿入することによって水中使用が可能となるところが特色である。デンマークの港またはニューヨーク港などではすでに水中用の超音波式厚み計が文献によればそれぞれ開発されて実用されているが、日本ではこれまでは陸上用の超音波式厚み計しかなかった。最近日本においても帝国通信工業K・K・電子研究所において水中用の超音波式厚み計が開発された。以下これの原理、構成、タイプ、精度、探触子について述べる。

##### 原理

物体に音波を輻射させると音波は直進し端に達してから反射して元の波と干渉し合って減衰してしまう。ところが物体の厚さと音波の物体中の波長が適当な関係になると物体中の一定の位置に振動している波の節と腹をもった振動をおこす。このような波を定在波といいその物体は定在波共振状態にあるという。

いま物体の厚さを  $T(\text{mm})$ 、音波の波長を  $\lambda$ 、物体中の音速を  $V(\text{m/sec})$  とすると次の関係がある。

$$\lambda = \frac{2T}{n} \dots\dots\dots (4-7-1)$$

$$\lambda = \frac{V}{f} \dots\dots\dots (4-7-2)$$

$$\therefore f = n \cdot \frac{V}{2T} \quad (n=1, 2, 3, \dots) \dots\dots (4-7-3)$$

上式を満足する場合に定在波振動を生ずる。 $n=1$  のときは最小の定在波振動でこれを基本振動と呼びその他を倍振動という。この状態を図示すると図4・3のように

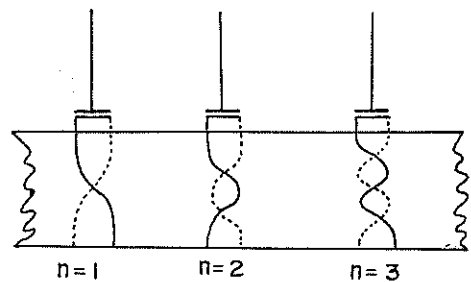


図 4・3 定在波振動

なる。(4-7-3)式の  $V$ 、すなわち固体中を伝播する音波は材料によって異なるもので(4-7-4)式のようにヤング率  $(E)$  と密度  $(\rho)$  とによって決まる。しかし超音波式厚

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots\dots\dots (4-7-4)$$

み計では振動の高い音波を使用するので音波は(4-7-4)式と少し異なって(4-7-5)式で示される。

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-b}{1-b-2b^2}} \dots\dots (4-7-5)$$

$b$ : ポアソン比

超音波式厚み計では本体は超音波を共振させるとともにまた定在波の振動数をとらえるような構成が必要である。発生装置は図4・4の通りである。超音波を発生させ

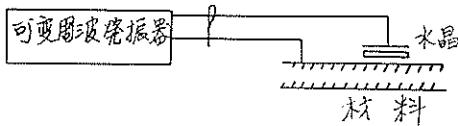


図 4・4 超音波発生装置

るには通常 Xcut 水晶振動子を使用する。水晶振動子を取めたケースを探触子(probe)と呼ぶ。厚み計はいろいろ

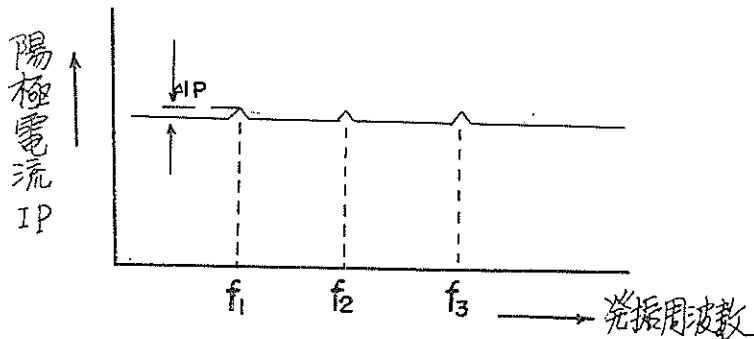


図 4・5 陽極電流変化の測定

しかし(4-7-6)式の  $n$  は実際には不明であるからブラウン管上には二つ以上の定在波を出してその差を求めれば(4-7-7)式のように  $f_1$  がわかる。観測されたブラウン管上の定在波の基本振動数を知るために別に目盛波を

$$T = \frac{V}{2f_1} = \frac{V}{2(f_n - f_{n-1})} \dots (4-7-7)$$

ブラウン管上に出しておく。目盛波の振動数はあらかじめ計算されるから目盛波と定在波を合致させれば  $f_1$  がわかり  $T$  が求められる。超音波式厚み計(水中用)の本体には(4-7-7)式の  $T$  が目盛ダイヤルに付けてあるから目盛波と定在波が合致したところを読めば測定カ所の厚みが直読できる。

構成

超音波式厚み計の構成は図4・6、4・7の通りである。

タイプ

本器のタイプは超音波式厚み計(水中用)UDM-7といい、帝國通信工業KK・電子研究所製である。

精度

超音波式厚み計(水中用)は防水モニターを使用するため厚み計としての精度は防水モニターを付けたときの

ろな厚みを測ることが必要であるから共振される音波の振動数は常に自動的にある決まった範囲動いていることが必要である。したがって本体共振器は水晶片に 2.5MC ~ 5MC というように常に変化している共振を与える。

水晶からはこの周波数の音波が伝播して行き材料に定在波が生ずると振動子に電気振動エネルギーを供給している周波数変調発信器の陽極電流が増加する。この変化、すなわち図4・5に示す  $\Delta IP$  を取出して増巾ブラウン管で観測する。鋼材の厚み  $T$  は(4-7-3)式を書きかえて(4-7-6)式となる。

$$T = \frac{nV}{2fn} \dots\dots (4-7-6)$$

条件におけるものである。したがって測定に際しては必ず防水モニターを付けた状態とすることが大切で、もし防水モニターを使用しないで測定するとブラウン管上に

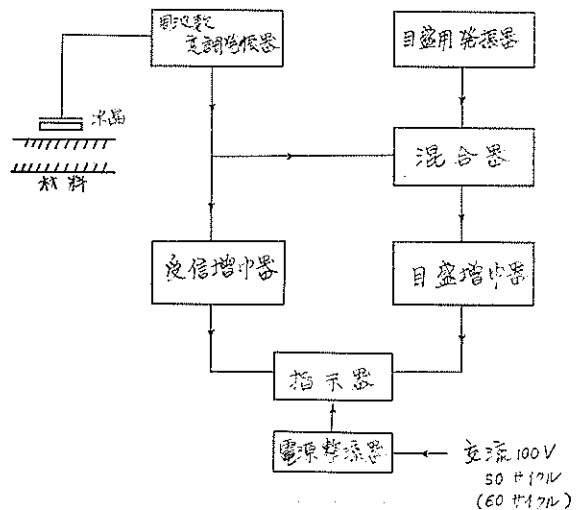


図 4・6 超音波式厚み計の構成 (1)

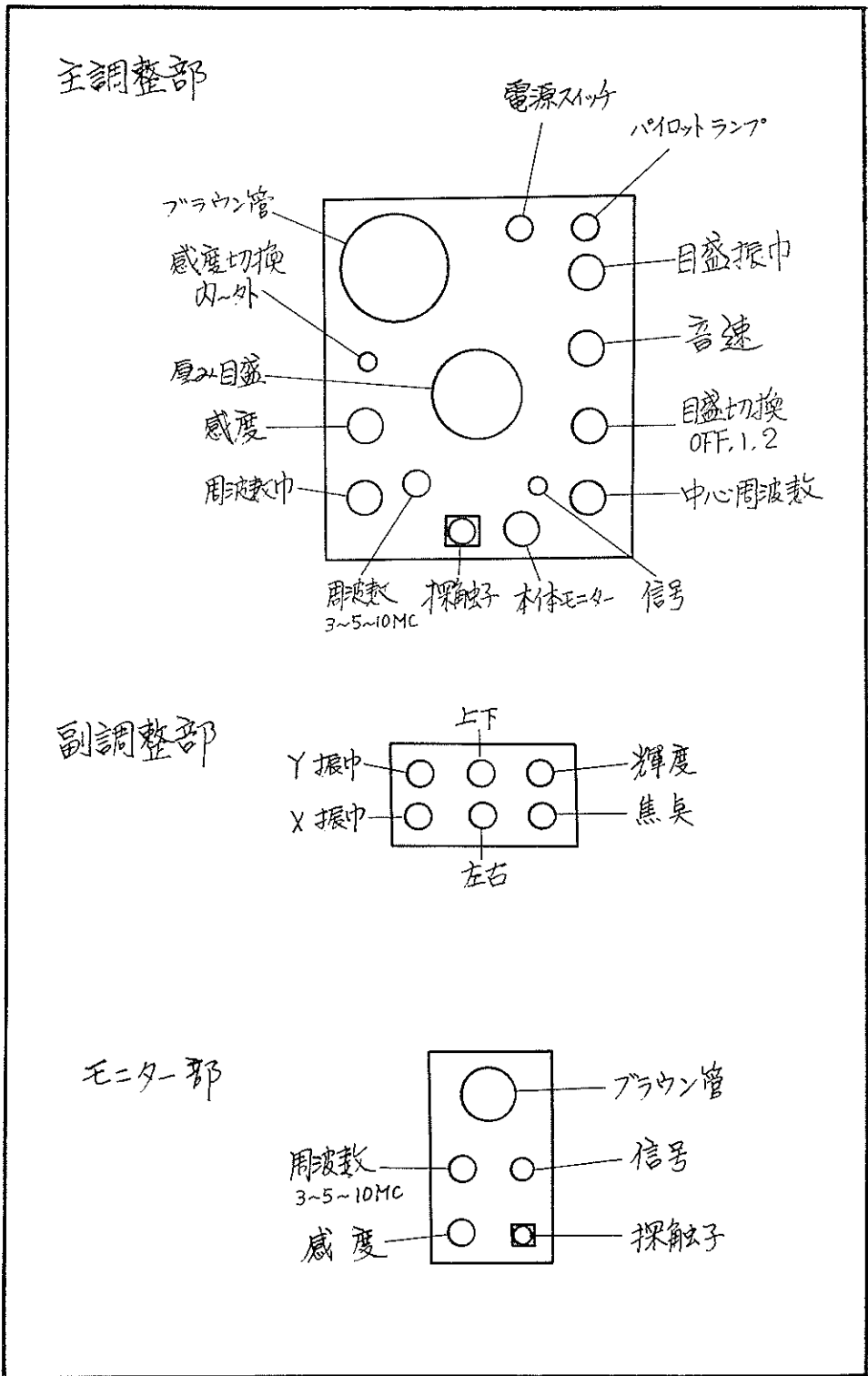


図 4-7 超音波式厚み計の構成 (2)

現われる共振波形の数が防水モニターを使用したときよりも少なく精度が多少劣る。防水モニターを使用した状態での精度は表 3・7 の通りである。

#### 4-7-2 マイクロ・メーター

鋼材片の端から25mm以内のところの肉厚を測定するには図 4・8 に示す市販の両球型マイクロ・メーターを使用する。また鋼材片の端から25~50mmの範囲の肉厚を測定するには図 4・9 に示す両球型マイクロ・メーター（市販品）による。さらに鋼材片の端から50mm以上のところの肉厚を測定するには図 3・7 に示す大型マイクロ・メーターによる。

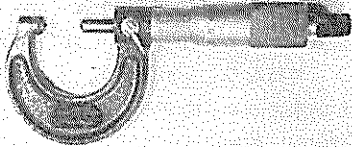


図 4・8 両球型マイクロ・メーター (1)

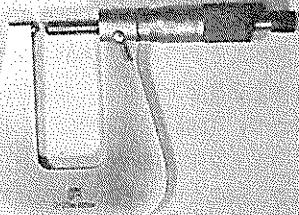


図 4・9 両球型マイクロ・メーター (2)

### 4-8 超音波式厚み計（水中用）による肉厚測定

#### 4-8-1 測定準備

測定に先立って次のことを点検，準備する。

##### (1) 電源

電源コード（2 芯，10m）の一端を電源（A. C. 100V）に差し込み他の一端を本体測面後部にある 2 芯接栓に接続する。電源スイッチを ON にして数秒でブラウン管上に横軸が現われることを確認する。ただしこの場合高周波ケーブルを接続，すなわち探触子を接続してから電源スイッチを ON にする。鮮明な定常波をブラウン管上に得るためにできるだけ A. C. 100V 電源を使用する。

もし測定地点付近に A. C. 100V 電源のないときは止むを得ず携帯用発電機（A. C. 100V）を使用するが電圧変動が数Vあるので鮮明な共振波形が測定時に現われ難い。したがってこのときはスタビライザーを使用することが望ましい。

##### (2) 感度

研磨鋼材面ではツマミの位置を 1 以下としても共振波形は得られるが鋼材の表面状態や材質によって超音波の透過度が悪いときはツマミを右に廻して感度を上げる。

この場合感度を上げすぎて共振波の高さを飽和させる必要はなく，目盛を合わせられる程度に共振波が出れば十分である。

##### (3) 周波数の切換え

被測定物の材質および肉厚により適当な周波数を使用する。平板のときの切換え例は表 4・1 の通りである。実測の場合は水晶の接触面の良否または裏面の条件により測定する板厚が限定される場合がある。材質や肉厚により共振波が一番強く出る水晶を使用することが大切である。

表 4.1 周波数切換え例（平板の場合）

	水 晶		
	3 MC	5 MC	10MC
鋼	50~150mm	2 ~ 50mm	2 mm以下
鉄 鋳	20~ 70mm	4 ~ 20mm	

##### (4) 肉厚目盛の切換え

肉厚の直読目盛は 4 mm~ 9 mm と 8.5 mm~16 mm の 2 バンド切換えになっている。予め大体の肉厚推定によって 1 または 2 にしておく。

##### (5) 周波数巾

共振波を出して周波数巾ツマミを廻すと共振波の間隔が変るが周波数変調の帯域が多い方が精度は良い。普通 5 MC のとき 10 mm 厚の鋼板では 4~5 本以上出ることが望ましい。（3 MC のときは 4~5 本出ることが望ましい。）

超音波式厚み計（水中用）は防水モニターを使用するため防水モニターを含めて調整してある。このため水中測定のときは必ずモニターを使用するので問題ないがモニターをはずして超音波式厚み計（水中用）を陸上で使用するときは周波数巾が少し減少することがあるので注意する必要がある。またツマミ位置 10 で周波数帯域がもっとも広くなり共振波の数が多く現われる。10 mm 以上厚くなるにしたがって共振波の本数がふえるが 40 mm~50 mm 以上の場合にはツマミを廻して測定し易い本数にする。

### (6) 中心周波数

被測定材料によって共振波がブラウン管に強くでる位置が異なる。たとえば10mm厚の鋼板では左側（高い周波数側）から右側へ次第に弱くなるが鋳物では右側（低い周波数側）が強くでるときがある。このようなときはツマミを廻して右側によくでている共振波を中央部にもってくる。要するに左右に適宜ずらしてもっとも見易い位置に移すようにする。

### (7) 音速ダイヤル

超音波式厚み計のもっとも重要な部分である。このダイヤルの誤差が直接鋼材肉厚の誤差になるから十分注意することが必要である。普通鋼の音速は5,880m/secであるのでくにダイヤルの位置に印をしてある。したがって普通鋼の肉厚を測定するときは印のところのままでよい。しかし鋼矢板など材質が異なるものの肉厚を測定するときはそれぞれの被測定材質の肉厚既知のテスト・

ピースで逆に音速ダイヤルを調整する。これまでの測定例によれば鋼矢板の音速は5,820m/sec程度である。なお音速図を図4・10に示す。図4・10では縦に音速を、横にダイヤル目盛を示す。

### (8) 目盛振巾

共振波に目盛波（マーカー）を合わせて肉厚を求めるのであるがマーカーの振巾調整をあまり大きくすると精度が低下するので目盛振巾は確認できる範囲内に小さくした方がよい。

### (9) 信号ボタン

信号ボタンは本体と防水モニターの両方にある。どちらか一方のボタンを押して本体ブラウン管とモニター・ブラウン管の映像が消えることを確かめる。防水モニターは探触子とともに潜水夫が持つので映像の点滅によって測定者と潜水夫間の意思の伝達ができる。しかし一般には潜水夫と測定者との意思の交換は船上に備えてある伝声機によって行なうことが多いが、本体ブラウン管と周し画像が防水モニターのブラウン管上にうつるので探触子を被測定面に適切にあてていることに役立て得る。

### (10) 探触子のタイプ

鋼矢板のように被測定面が50mm×50mm以上平らな場合は円形型の探触子を使用するが、鋼管杭のように被測定面が曲面の場合は矩形型の探触子を縦方向に使用する。

探触子は円形型、矩形型どちらもマグネット・タイプがよい。マグネット・タイプは測定中探触子が永久磁石によって被測定面に吸着されるため潜水夫は測定中探触子から手を離すことができ、人為的な探触子のぶれがなくなるので測定精度を上げることおよび測定を能率化することに役立つ。探触子の標準形状、寸法は矢板、H杭、板などのような平面に対しては図4・11に示す円形型のもの、鋼管、鋼棒などのように曲面に対しては図4・12に示す矩形型のもので使用される。

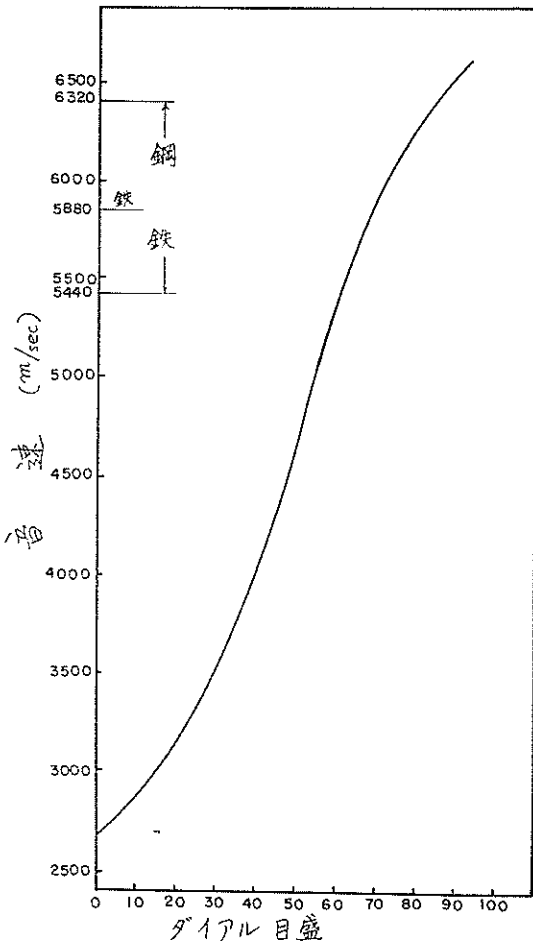


図 4・10 超音波式厚み計音速図

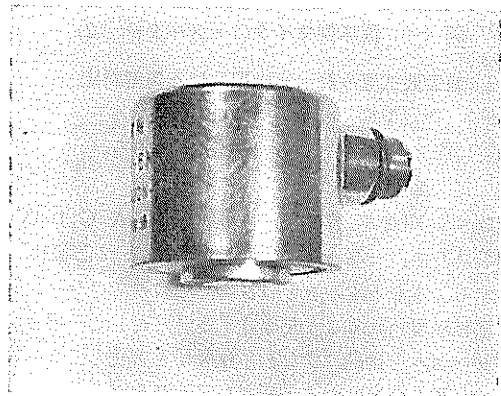


図 4・11 探 触 子 (円型)

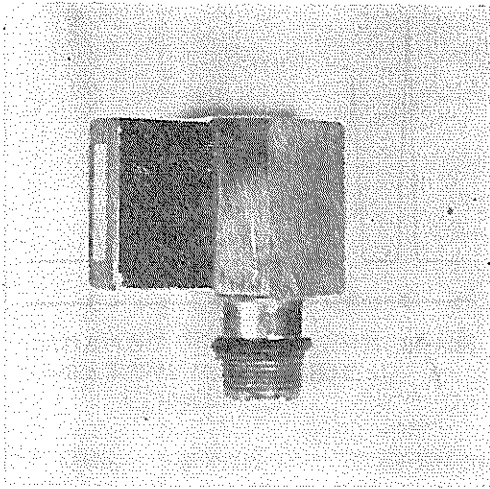


図 4-12 探 触 子 (矩形)

(10) 副調整

輝度、焦点などの調整は一度セットすると普通は調整する必要はない。もし調整するときは専門技術者にしてもらう。

4-8-2 測定方法

測定は次の順序で行なう。

(1) 共振波を出す

(イ) 本体のスイッチをONにすると図4-13に示すようなマーカー（目盛波）のみがブラウン管上にあらわれる。本体のスイッチをONにしたままで以下の操作を行なう。

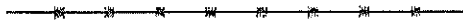


図 4-13 目 盛 波

(ロ) 潜水夫に連絡して探触子を被測定面にあてる。このとき磁石面より数mmほどスプリングででている水晶振動子のみが被測定面に接触するが、探触子を被測定面に押しつけると水晶振動子が磁石面まで引込み磁石によって探触子が被測定面に吸着する。

(ハ) 探触子を被測定面に押しあてると図4-14のような共振波がブラウン管上に現われる。

(ニ) しかし探触子を押しあてても図4-14のような共振

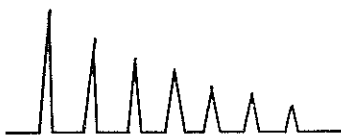


図 4-14 共 振 波 形

波が鮮明に出ない場合がある。このときはまず感度を上げて周波数巾および中心周波数をそれぞれ調整する。

(ホ)のように感度を上げると共振波のほかにノイズ波がでる。このとき共振波はマーカーと合わせるができるのでこのノイズ波と区別できるが、この共振波を確認することがもっとも大切である。

(ヘ)によっても共振波が鮮明に得られないときは探触子が接している被測定面の付着物の除去が不十分であったり、または被測定面にカンカン・ハンマーの痕や腐食による凹凸のある場合などである。このときは磁石で吸着されている探触子を潜水夫が被測定面からはずして再び被測定面に軽く押しあて（このときは探触子面よりスプリングででている水晶振動子のみが被測定面に接触する）上下、左右に数mm~10mm位ずらして鮮明な共振波形がでたら直ちに探触子を押しあてその位置に吸着させる。

(2) 目盛波（マーカー）を合わせる

共振波を確認してから目盛ダイヤルを廻してマーカーを共振波に合わせる。ダイヤルを左右に廻すとマーカーの間隔が変る。共振波の間隔に丁度合ったときのダイヤルの読みが鋼材の肉厚である。図4-15にマーカーと共振波との波形図4-16にマーカーと共振波とを重ねたときの波形を示す。

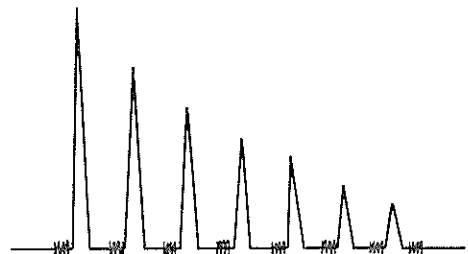


図 4-15 マーカーと共振波との波形

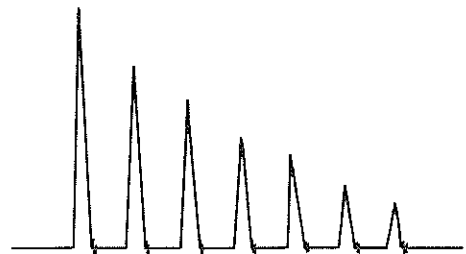


図 4-16 マーカーと共振波と重ねたときの波形

(3) 厚目盛の読み方

(イ) 肉厚が4mm~16mmのとき

1バンド、2バンドに切換えてそのまま直読できる。共振波と目盛を1:1で合わせたとき目盛の読みは

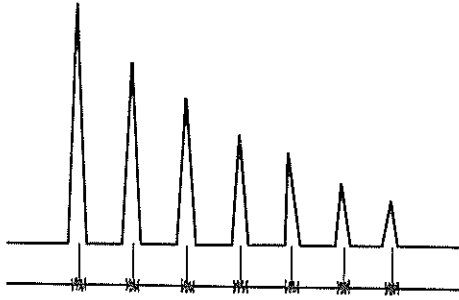


図 4-17 共振波と目盛が1:1で合わされたとき(目盛の読みは肉厚を示す)  
(測定肉厚 4mm~16mm)

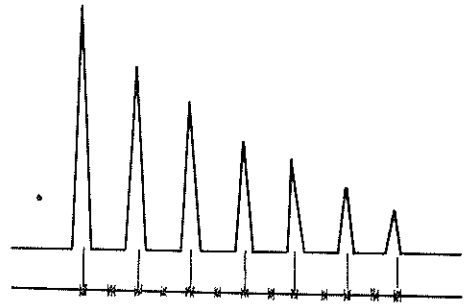


図 4-19 共振波と目盛が1:2で合わされたとき(目盛の読みは1/2が肉厚となる)  
(測定肉厚 4mm以下)

鋼材の肉厚となる。図4-17に共振波と目盛を 1:1 で合わせたときの波形を示す。

(イ) 肉厚が 4mm 以下のとき

目盛切換えを 2 バンドにして共振波とマーカーが 1:1 ではどうしても合わないときは被測定鋼材の肉厚は 4mm 以下だと推定される。肉厚が 4mm 以下のときは図4-18のようにマーカーに対して共振波が 1本おきになるように合わせる。このときのダイヤルの読みが実際の肉厚である。すなわちマーカーが 1個ずつ共振波と共振波の間で遊んでおり図4-19のように遊んでいるマーカーが 2個になればダイヤルの読みが実際の肉厚となる。

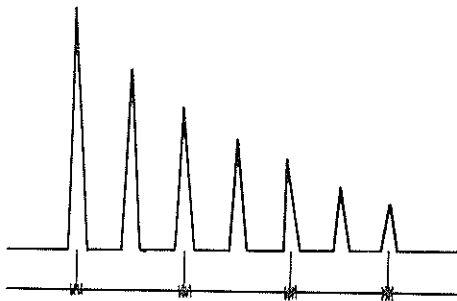


図 4-18 共振波と目盛が 2:1 で合わされたとき(目盛の読みは 2倍が肉厚となる)  
(測定肉厚 4mm 以下)

(ロ) 肉厚が 16mm 以上のとき

肉厚が 16mm 以上のときも図4-18のように共振波に対してマーカーを 1本おきに入れるように合わせる。このとき目盛の読みが実際の肉厚となる。もしマーカーを図4-19のように共振波の 2本おきに入れると実際の肉厚は目盛の 3倍というようになる。しかし精度の点からはこのような倍読みよりも 1:1 で直読した方が望ましい。

(4) 鋳物の肉厚測定

鋳物の肉厚測定は一般に素材粒子が荒いため超音波の

透過度が低下するので高い周波数帯では共振波が得られない場合がある。このときは周波数を 3MC に切換えて探触子を 3MC ( $\phi=25\text{mm}$ ) にして使用する。

#### 4-9 鋼材片の切り取り、成形、脱錆および切り取り場所の補修

##### 4-9-1 鋼材片の切り取り

鋼構造物の海水面下の部分より鋼材片を切り取るには直流電弧溶接機を使用する。また直流電弧溶接機の使用状況は図4-20の通りである。図4-20からわかるように水中切り取りを行なうときは陸上切り取りのときと溶接棒が異なる。すなわち陸上の溶接棒は丸鋼棒であるのに対して水中では鋼管で、この中を酸素ガスが通っている。したがって陸上では丸鋼棒が切り取り鋼材カ所に接するとスパークして切れるが水中では単にスパークしても海水のために冷却されてそのままでは切断できない。このため高圧酸素ガスをスパークカ所に吹き付けて切る

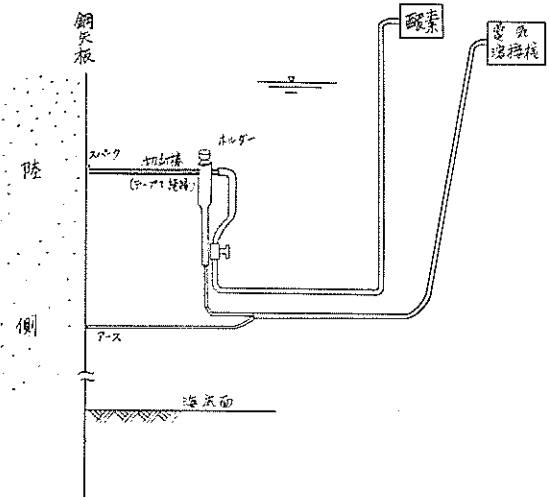


図 4-20 水中切断要領



ことになる。

いま  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  の寸法の鋼材片を海水面下で切取るとすると次の順序で行なう。

(イ) 切取りカ所に付着物があれば付着物を除去する。

(ロ) アースを付ける。

(ハ)  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  の型版(木製)を切取りカ所にあてる。

(ニ) 図4・20の要領で型版の周囲を入念に切取る。 $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ 、厚さ $15\text{ mm} \sim 20\text{ mm}$ の鋼材片1枚あたりの切取り所要時間は20分～30分である。

(ホ) 切取った鋼材片を潜水夫より受取るとき鋼材片の表裏および上下の区別を明らかにする。

(ヘ) 切取り鋼材片は変色しないように直ちに観察する。

一方海水面上で切取りを行なうときは普通陸上作業の要領で切断する。このときの型版の使用がむづかしいので切取り寸法を白墨などでマークするとよい。上記(ホ)、(ヘ)の要領は海水面上に対しても同じである。

#### 4-9-2 脱錆

現地より切取り鋼材片が実験室に到着したら鋼材片の表裏を写真撮影する。撮影が終了した鋼材片は以下の要領で脱錆する。

(イ) 先が平らなハンマーで地肌を傷つけないように軽く叩いて付着物と錆生成物を落とす。このための所要時間は鋼材片1コ当り大体10分である。

(ロ) 次にビーカー中のクエン酸アンモニウム溶液に浸漬して約20分間煮沸する。

(ハ) 煮沸後取出して水洗すると鋼材面は黒色である。これに水道水を流下しながら図4・21に示すワイヤ・ブラシ(手動)でこすると鋼材の地肌が現われてくる。

(ニ) ワイヤ・ブラシでこすっても鋼材の地肌が現われなときは再び(ロ)、(ハ)の処理を行なう。

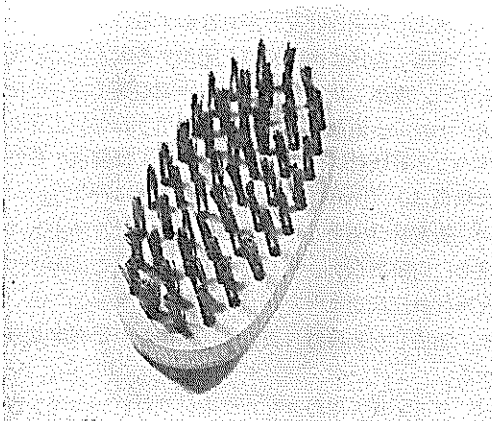


図 4・21 ワイヤ・ブラシ(手動)

(ホ) 完全に脱錆ができれば清浄なウエスで水を拭きとる。

(ヘ) 脱錆した鋼材片の表裏の写真を撮る。このとき鋼材片の切取り位置を示す記号ならびに表裏(海側と陸側)の区別をはっきりさせることが望ましい。

#### 4-9-3 成形

脱錆した鋼材片を次の要領で成形する。

(イ) 現地で切断するとき生じた鋼材片周辺の肉盛りカ所をカッターで切落とす。このときできるだけ肉盛りカ所以外の部分を残すことが望ましい。たとえば  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  で切取った鋼材片は  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  位に成形する。

(ロ) 成形は図4・22に示すカッターで行なう。肉厚 $20\text{ mm}$ の鋼板を $10\text{ cm}$ 切断するのに約20分かかる。

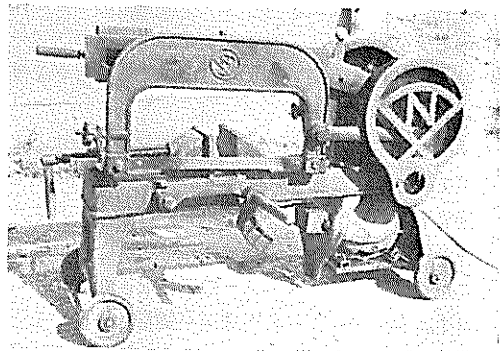


図 4・22 カッター

(ハ) カッターで切断するときカッターの歯があたるところが熱をもつことを避けるために注油することは差支えない。

(ニ) 注油したときは成形後鋼材片は一度清浄なウエスで拭いてからさらに油を除くためにトリクロール・エチレン溶液中に浸漬する。脱油した鋼材片は清浄なウエスで拭く。

(ホ) 成形のために切落とした鋼材片周囲のチップは材質分析用試料とする。

#### 4-9-4 補修

鋼材片の切取りカ所をそのままにしておくと構造物にとって都合の良いことが考えられるので切取りカ所は切取り後直ちに次の順序で補修する。

(イ) 切取りに際しては予め切取り寸法より  $2\text{ cm} \sim 3\text{ cm}$  位大きい鋼材片を用意しておく。

たとえば  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ 、 $t = 20\text{ mm}$ の鋼材片を切取るときは  $8\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ 、 $t = 20\text{ mm}$ の鋼材片を用意する。

(ロ) 切取り後用意している補修用鋼板で切取り穴をふさぎ直ちに溶接する。

(ハ) 溶接部分は直営潜水夫により異常のないことを確

認する。

(=) 補修用鋼材片の材質は補修せんとする鋼構造物の鋼材と同種のものであることが必要である。明らかに鋼構造物の鋼材の材質と異なる材質の補修板の使用は避ける。

#### 4-10 鋼材片の肉厚測定および重量測定

4-9の処理が終わった鋼材片について以下の順序で肉厚測定および重量測定を行なう。

##### 4-10-1 肉厚測定

(1) マイクロ・メーターによる測定

(イ) 鋼材片の片面（鋼矢板片の場合は陸側の面、その他の場合は両面のうち比較的凹凸の少ない方の面）に1cm間隔のゴバン目を細いマジック・インク（黒）で画く。

(ロ) ゴバン目の各交点を両球型マイクロ・メーターで1/1000mmまで測定する。このときとくにマイクロ・メーターの軸が鋼材片と直交するように注意することが必要である。

(ハ) マイクロ・メーターの両球面が鋼材面に接するときは必ず主軸頭部のツマミ（図4.8の右端）を右に廻しながら接するようになる。さらに鋼材面に接してからツマミを静かに右に廻すとツマミは空廻りする。3回空廻りさせてからマイクロ・メーターの目盛を読む。

(ニ) マイクロ・メーターの両球面が鋼材片に接するときツマミを強く右に廻すと必要以上の力で鋼材面を強く挟むことになり誤差の一因となるから注意すること。

(ホ) マイクロ・メーターを使用するとき図4.8の彎曲部は直接素手で持たない方がよい。

(ヘ) 各格子点について1回宛測定したら全平均値を算出するとともに最大値および最小値を記す。

(ト) 全平均値を(4-12-1)式に代入して腐食速度を算出する。

(2) 超音波式厚み計（水中用）による測定

現地における超音波式厚み計による測定値と比較するために切り取り鋼材片についても超音波式厚み計で測定する。

(イ) マイクロ・メーターによる測定のためにゴバン目を画いた面に探触子をあてる。このとき図4.23のように探触子の水晶振動子（φ20mm）の大きさだけずらして1回ずつ肉厚を測定する。

(ロ) 9カ所で測定した肉厚の平均値を算出する。

(ハ) 超音波式厚み計（水中用）を使用するときは防水モニターを使用する。

##### 4-10-2 重量測定

重量測定は重量が200～500gの場合は秤量500g、感量1/10gの直立式天秤で行なう。重量が500g以上の場

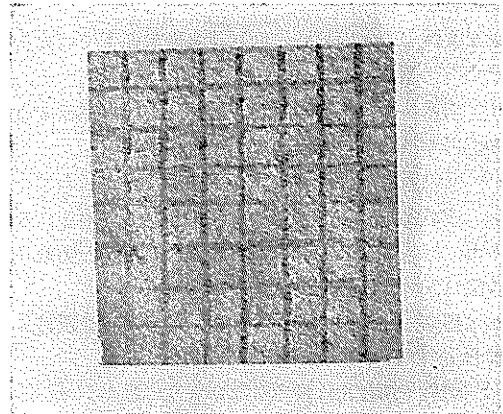


図 4-23 切り取り矢板片の肉厚測定カ所

合は秤量2kg、感量1/10gの鉱山天秤で行なう。また200g以下の場合は秤量200g、感量1/1000gの直立式天秤で重量測定する。

##### 4-11 タイ・ロッドの観察および外径測定

タイ・ロッドは鋼矢板陸側に埋設されるものであるから一般には矢板式けい船施設の改造または撤去などのため上部コンクリートをこわしてタイ・ロッドを掘出したときのみ調査できる。したがって30年以上のようにかなり腐食期間が長いケースが多い。

タイ・ロッドの観察および外径測定は測定カ所のタイ・ロッド部分のみを掘出すかまたは切出すかして行なう。しかしタイ・ロッドは普通L.W.L.付近もしくは潮位間に存在するため調査時刻によってはタイ・ロッドを露出させるには掘った穴の中の排水をポンプで行なうことが必要である。タイ・ロッドの観察および外径測定は次のように行なう。

##### 4-11-1 観察

(イ) 掘出し前の状況を写真撮影する。

(ロ) 掘出し作業の状況を写真撮影する。

(ハ) 掘出し直後に肉眼観察を記録するとともに写真撮影をする。掘出し後空気に触れる時間が長くなると次第にタイ・ロッド表面（裸のままで使用されているときは勿論のこと被覆材が使用されていても）は変色するため肉眼観察および写真撮影は掘出し後直ちに行なう。

(ニ) 被覆材が使用してあるときは被覆材を除去してから直ちに肉眼観察および写真撮影をする。このときの観察カ所は外径測定カ所と同じである。

(ホ) 除去した被覆材の表裏も肉眼観察および写真撮影をする。

(ト) タイ・ロッドのみならず取付部材についても観察する。

(h) 切り取り鋼材片(タイ・ロッドおよび取付部材など)は港研に送付して肉眼観察, 写真撮影および材質試験を行なう。ただし切り取りはガス切断で行なうが浸水のため露出したタイ・ロッドが浸漬するときは4.9の水中切断の要領で行なう。

(イ)(h)の肉眼観察および写真撮影は脱錆, 成形の前後に行なう。

#### 4-11-2 外径測定

(i) 外径測定するタイ・ロッドの本数は現地の都合の許すかぎり多くする。

(ロ) 外径測定点は上部コンクリートより1mピッチにとる。もし1mピッチの測定カ所がターン・バックルにかかったときはその傍を測定する。

(ハ) 測定カ所のタイ・ロッド部分は長さ20cm位空中に露出させる。このとき外径測定のためにはタイ・ロッドの円周方向200cm位の範囲内の土砂は除去する。

(ニ) タイ・ロッドに被覆材が使用されているときは長さ20cmの部分の被覆材を取除く。被覆材の除去は鋼材面を傷つけたりまたは加熱したりしないで入念に行なうことが必要である。

(ホ) 裸タイ・ロッドについて図4.24のように5cm間隔で3点測定する。

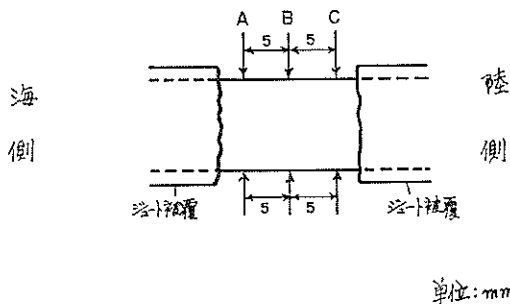


図 4-24 タイ・ロッドの外径測定点(延長方向)

(ヘ) 外径測定にはノギスを使用して1/100mmまで読取る。

ノギスの使用に際しては予め正確に測定できることを確かめておく。

(ト) 外径測定は図4.24に示す3点についてそれぞれ図4.25のように3方向(60度間隔)から測定する。

(チ) 3点, 3方向の測定値の全平均値を算出して測定カ所におけるタイ・ロッドの現有外径とする。

(リ) 現有外径を(4-12-1)式に代入して腐食量を算出する。

(ル) ターン・バックルについては参考として肉厚を測定する。

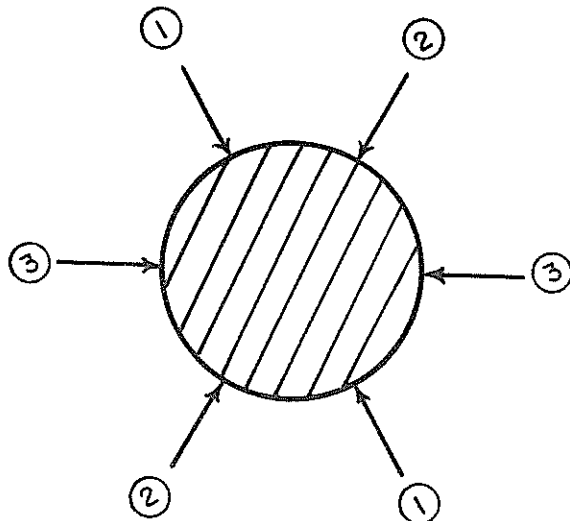


図 4-25 タイ・ロッドの外径測定方向

(ク) 切り取ったタイ・ロッドは4-9-2と同じカッターで長さ20mm位に成形する。

(ケ) 成形したタイ・ロッド片は4-9-3と同じ要領で脱錆後, 上と同じ要領で外径を測定する。

(コ) 外径測定後重量を測定する。

#### 4-12 腐食速度の算出

##### 4-12-1 現有肉厚から腐食速度を算出する場合

$$\text{腐食速度 (mm/yr)} = \frac{\text{初期肉厚}^*(\text{mm}) - \text{現有肉厚}^*(\text{mm})}{\text{腐食期間 (yr)}} \dots\dots(4-12-1)$$

\* タイ・ロッドの場合は肉厚の代りに外径を使用する。

##### 4-12-2 重量から腐食速度を算出する場合

$$\text{腐食速度 (mm/yr)} = \frac{10 \times x}{7.86 \times a \times t} \dots\dots(4-12-2)$$

x: 重量減量(g)

a: 鋼材片の表面積(cm<sup>2</sup>)

t: 腐食期間(yr)

#### 4-13 水質試験

採水について水質試験を行なう。

採水は採水地点において図4.26に示す北原式採水器を用いて海面下1mのところと海底泥面上1mのところの採水を行なう。

鋼材腐食の点からみた水質試験項目としては水温, 外観, 比重, 導電率, pH, 塩素イオン, 溶存酸素が一般海水について考えられるが, 海水が工場廃水などで汚染されているときはこのほかにイオウイオン, 硫酸イオンが必要となる。ただし硫酸イオンの定量はイオウイオンの定量が不正確になり勝ちであるため参考として行なうも



図 4.26 北原式採水器

のである。しかし上記項目はほとんど採水後直ちに試験する性質のものであるが、今回の調査では鋼構造物の腐食量算出に重点を置くため水質試験は外観、pH、塩素イオンに限定した。なお外観は現地で、pH および塩素イオンの測定は1 lのポリエチレン製瓶（密栓付）に入れて持帰った検水について行なった。

(1) 外観<sup>注2)</sup>

外観は採水直後の水の状態を観察し清濁および色など物異な性状を記録する。外観は水の汚染の有無および含有物質の推測にも役立つ。採水直後の検水を無色ガラス円筒または比色管にとり、その状態を観察し記録する。

観察事項は次の通り。

- (i) 検水の清濁、色とその濃淡。
- (ii) 浮上物、懸濁物、沈澱物の色。
- (iii) 懸濁物、沈澱物の状態（たとえば砂質、泥質、鉄分、有機物、プランクトンなど）。
- (iv) その他、においやあわだちなど特異な事項。

この試験は主観的な判断による観察で検水の外観を表現すればよい。たとえば“わずかにかっ色の濁り（鉄分）”。

(2) pH<sup>注1)</sup>

準備

製造業者の指示に従って、使用前にあらかじめ pH 計<sup>注2)</sup>の電源を入れておく。検出部は、純水でくり返し3回以上洗い、きれいな口紙または脱脂綿などでぬぐっておく。ただし、とくによごれている場合には、必要に応じて 0.1mol/l 塩酸、クロム酸混液、セッケン水またはその他の洗浄剤などで短時間洗い、さらに流水でじゅうぶんに洗う。長く乾燥状態にあったガラス電極は、あらかじめ水中に浸し、平衡に達したのち使用することが必要である。

pH 計の調整

測定中、使用するすべての標準液の温度を被検液の温度に±1 deg 以内で一致させる必要がある。<sup>注3)</sup>

まず、温度補償用ダイヤルのあるものは、そのダイヤル目盛を標準液の温度に合わせたのち、検出部を中性リン酸塩標準液中に浸し、pH 計の指示が表 4.2 に示した値に一致するように非対称電位調整ダイヤルを調整する。つぎに、検出部をくり返し3回以上洗い、被検液の pH に従ってつぎの操作を行なう。

表 4.2 標準液の各温度における PH

温度 ℃	標準液				
	シュウ酸	フタル酸	中性リン酸塩	ホウ酸塩	炭酸塩 <sup>(1)</sup>
0	1.67	4.01	6.98	9.46	10.32
5	1.67	4.01	6.95	9.39	(10.25)
10	1.67	4.00	6.92	9.33	10.18
15	1.67	4.00	6.90	9.27	(10.12)
20	1.68	4.00	6.88	9.22	(10.07)
25	1.68	4.01	6.86	9.18	10.02
30	1.69	4.01	6.85	9.14	(9.97)
35	1.69	4.02	6.84	9.10	(9.93)
38	—	—	—	—	9.91
40	1.70	4.03	6.84	9.07	—
45	1.70	4.04	6.83	9.04	—
50	1.71	4.06	6.83	9.01	—
55	1.72	4.08	6.84	8.99	—
60	1.73	4.10	6.84	8.96	—
70	1.74	4.12	6.85	8.93	—
80	1.77	4.16	6.86	8.89	—
90	1.80	4.20	6.88	8.85	—
95	1.81	4.23	6.89	8.83	—

(1)かっこ内の値は2次補間値を示す。

注1) pH は水中の水素イオン濃度であって水素イオン濃度（モル濃度）の逆数の常用対数で表わされる。

$pH = \log 1/(H^+) = -\log(H^+)$  ここに水素イオンの活量。

測定は JIS Z8802 1967確認 pH測定法7.2による。

注2) 標準液の pH を測定したとき再現性が±0.05以内の形式Ⅱ(普通測定用)の pH 計を使用する。

注3) 被検液と標準液の温度差を ±1 deg 以内で一致させることができない場合にはなるべく被検液に近い任意の温度の標準液で調整することができる。

(1) 被検液の pH が 7 以下の場合には、検出部をフタル酸塩標準液中に浸し、pH の指示値が ±0.05 以内で表 4.2 の値と一致するかどうかを調べる。もし一致しない場合には、感度調整ダイヤルまたは標準液の温度にかかわらず、温度補償用ダイヤルを動かして一致するように調整する。ダイヤルを動かした場合には、必ず再び中性リン酸塩標準液に検出部を浸して、指示値が表 4.2 の値と再現性の限度以内で一致するかどうかを確かめ、もし一致しない場合には、以上の操作をくり返す必要がある。

(2) 被検液の pH 値が 7 以上の場合には、検出部をホウ酸塩標準液中に浸し、そののちの操作は(1)と同様に行なう。

(3) 被検液が pH 2 以下または 38℃ 以下で pH 以下の場合には、前者に対してはシュウ酸塩標準液、後者に対しては炭酸塩標準液を用いて(1)と同様な操作による調整を行なう。アルカリ性溶液の測定に際しては、とくに温度は少くとも ±0.1deg 程度の精度を必要とする。

pH 11 以上の測定に対しては、炭酸塩を含まない 0.1 mol/l 水酸化ナトリウム溶液および飽和(25℃における)水酸化カルシウム溶液を標準として使用することができる。

#### 測定

pH 計の調整が終われば直ちに被検液の pH 測定を行なう。測定中、液温は ±1 deg 以上の変動があってはならない。被検液の量は、測定値が変化しない程度にじゅうぶんにとる必要がある。pH 測定は、検出部の洗浄を始めてとして標準液の場合と全く同様に行ない、引き続き測定された 3 回の結果が、±0.05 以内の範囲で一致するまで行なったうえ、それらの値を平均する。ただし、被検液の緩衝性が乏しく、わずかの不純物での変化が著しい場合は、この程度の再現性は得られない。pH 11 以上の測定に対しては、通常のガラス電極ではアルカリ誤差を生じ、その測定値が低くでるおそれがある。とくに、アルカリ金属イオン濃度の高い場合には、誤差が大

きくなる。したがってアルカリ誤差の少ない電極を使用し、かつ必要な補正をすることが望ましい。

被検液と異なる温度の標準液で調整した場合には、温度補償ダイヤル目盛を被検液の温度に合わせるか、または自動温度補償用感温部を被検液中に浸し測定することができる。

この場合の測定値は、測定時の温度における pH を示すものであり pH が 2 以下で ±0.09、pH が 2 をこえ 11 未満で ±0.07、pH が 11 以上で ±0.1 の値より劣る。

#### (3) 塩素イオン

塩素イオンの定量は硝酸銀法<sup>注1)</sup>で行なう。

検水<sup>注2)</sup>50ml をとり、デキストリン溶液(2W/V%)<sup>注3)</sup>5~10ml<sup>注4)</sup>、フルオレセインナトリウム溶液(0.2W/V%)<sup>注5)</sup>1~2 滴<sup>注5)</sup>を加え、静かにかき混ぜながら 0.1410N 硝酸銀溶液<sup>注6)</sup>で滴定し、黄緑色のケイ光が消失してわずかに赤みを呈する点を終点とする。ここに要した 0.1410N 硝酸銀溶液の ml 数(a)から、次式によって塩素イオンの%を算出する。

$$C = a \times F \times \frac{1}{I} \quad (4-13-1)$$

ここに C: 塩素イオン (Cl<sup>-</sup>) (%)

F: 0.1410N 硝酸銀溶液のファクター

I: 検水 (ml)

なお同一試水について 0.02・以上<sup>注6)</sup>の開きがあった場合は試験をやり直す。

#### 4-14 材質試験

鋼材の材質試験は切り取り鋼材片について次の方法で行なった。なお分析成分は C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Cu の 8 成分である。

##### (1) C

JIS G1211 の中和滴定法による。

要旨: 試料を酸素気流中において強熱し炭素を完全に酸化して炭酸ガスとし、これを酸素とともにあらかじめ一定量の水酸化ナトリウム標準液を入れてある炭酸ガス吸収装置に導いて、炭酸ガスを吸収

注1) JIK K0101—1966の25・3参照

注2) 検水が酸性またはアルカリ性のときは、炭酸水素ナトリウム溶液(10.1W/V%)または硫酸(1+1000)で中和する。

注3) デキストリン2gを水100mlに溶かし、水銀1滴を加えておく。

注4) 塩素イオンの含量の程度によって、デキストリンおよびフルオレセインナトリウム溶液の添加量を加減し終点の委色を見やすくする。

注5) 硝酸銀 (AgNO<sub>3</sub>) 19.16gを水に溶かしたメスフラスコ1lに入れ、水で量を1lとする(約0.1410N)、塩素イオン標準原液20mlをとり、これにデキストリン溶液(2W/V)5mlとフルオレセインナトリウム溶液(0.2W/V%)1滴とを加え静かにかき混ぜながら硝酸銀溶液で滴定し、黄緑色のケイ光が消失してわずかに赤みを呈する点を終点とする。ここに要した硝酸銀溶液のml数(x)から次式によって0.1410N 硝酸銀溶液のファクター(F)を算出する。

$$F = \frac{20 \times 2}{x}$$

なお塩素イオン標準原液は JIS K8005 (容量分析法標準試薬)の塩化ナトリウム (NaCl) をあらかじめ 500~650° c で 40~50 分間加熱し、硫酸デシケーター中に放冷したのち、塩化ナトリウム 100% に対し 3.296g を正しくはかり、水に溶かしメスフラスコ 1 l に入れ水で全量を 1 l とする。この溶液 1 ml は、塩素イオン 2 ml を含む。

注6) 海洋観測指針参照。

させたのち、硫酸標準液で滴定して炭素を定量する。

(2) Si, Mn, Ni, Cr, Cu

5成分は JIS G1203—1963 の鉄および鋼の光電測光式発光分析法による。

(3) P

JIS G1214の2.3に規定された吸光光度法による。

要旨：試料を硝酸で分解し過塩素酸を加えて白煙処理を行ない硝酸を完全に除去するとともにリンを酸化する。亜硫酸水素ナトリウムを加えて鉄を還元したのち発色試薬を加えて発色したのちモリブデン青の吸光光度を測定しリンを定量する。

(4) S

JIS G1215の2.3に規定された燃焼容量法による。

要旨：試料を酸素ガス気流中で高温に熱し全硫黄を酸化して亜硫酸ガスとし、これを過酸化水素水に吸収させて硫酸とし水酸化ナトリウム標準液で滴定して硫黄を定量する。

#### 4-15 電位の測定

鋼構造物の電位測定は図4.27のように基準電極を真空管電位差計の⊕端子につなぎ構造物の一部を⊖端子につないで回路をつくり、その起電力を測る。なお基準電極としては甘汞電極や海水塩化銀電極などが使用されるが、測定するとき基準電極を所定深度の鋼材面に接近させることが必要である。

#### 4-16 使用機器

3-17に示す機器のうちから必要なものを適宜使用する。

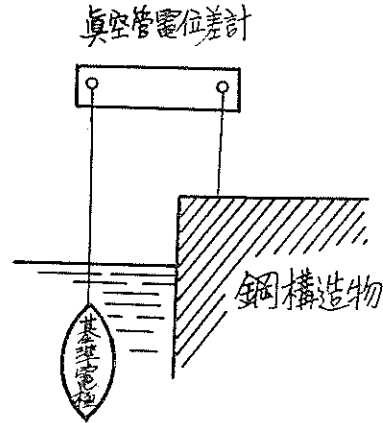


図 4.27 鋼構造物の電位測定

#### 4-17 資料の収集

3-16であげた資料をできるだけ集める。

### 5. 広畑港における調査（鋼矢板）

#### 5-1 調査対象構造物

広畑港において調査した鋼構造物は表5.1の通りである。

#### 5-2 調査年月日

調査は昭和42年7月26日～7日31日に行なわれた。なお調査の日程は次の通りである。

7月26日 ①調査についての打合せ

調査関係機関は次の通りである。

運輸省第三港湾設建局・神戸調査設計事務所

表 5.1 広畑港における調査鋼構造物

施設名	測定地点 No.	水深 (m)	矢板タイプ	初期肉 <sup>1)</sup> 厚(mm)	延長 (m)	施工 <sup>2)</sup> 年	経過期間(yr)	電防のタイプ	電防開始年月	無防食期間 (yr)	電防期間 (yr)
西浜護岸	1.2	-4.0	YSPⅢ	13.0	200	S.14	28	なし		28	0
西浜岸壁	3	-7.5	YSPⅣ	15.5	175	S.14	28	流電 <sup>3)</sup>	S.42・3	28	0 <sup>5)</sup>
汐入岸壁(1)	4	-7.5	YSPⅣ	15.5	112.5	S.14	28	流電	S.42・3	28	0 <sup>5)</sup>
汐入岸壁(2)	5	-7.5	YSPⅣ	15.5	287.5	S.14	28	外部 <sup>4)</sup>	S.39・2	25	3
汐入岸壁(3)	6	-9.0	YSPⅤ	22.0	360	S.14	28	外部	S.36・3	22	6
鶴田岸壁	7.8	-9.0	YSPⅤ	22.0	423.5	S.14	28	外部	S.36・3	22	6
鴨田岸壁(1)	9	-7.5	YSPⅤ	22.0	512	S.14	28	外部	S.36・12	22	6
鴨田岸壁(2)	10	-7.5	YSPⅤ	22.0	250	S.14	28	外部	S.37・11	23	5
夢前岸壁(1)	11	-7.5	YSPⅣ	15.5	240	S.14	28	外部	S.35・3	21	7
夢前岸壁(2)	12	-4.5	YSPⅢ	13.0	156	S.14	28	外部	S.35・3	21	7

1) 図2.1の②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨のところのカタログ肉厚

2) S.13年～S.14年にかけて夢前岸壁の方から順次施工された。

3) 流電陽極法

4) 外部電線法

5) 電防期間は4カ月(S.42・3～S.42・7)であるが0とみなした。

兵庫県姫路港管理事務所  
 富士製鉄KK・広畑製鉄所・工務部  
 運輸省港湾技術研究所

- ②現場視察
- ③使用機器の点検
- 7月27日 ①肉厚測定
  - No.1(±0, -1, -2, -3, -3.5m),
  - No.2(±0, -1.0, -2.0m)
- 7月28日 ①肉厚測定
  - No.3(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0
  - 4.0, -4.5m), No.4(+1.0, ±0, -
  - 1.0, -2.0, -3.0, -4.0, -5.0m),
  - No.5(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0
  - 4.0, -5.0, -6.0, -6.6m), No.6
  - (+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0, -
  - 4.0, -5.0, -6.0, -7.0, -8.0m)
- ②鋼矢板片の切り取り
  - No.1(+2.3, +1.8, +1.0, ±0, -1.0
  - 1.0\*, -2.0, -3.0m)
  - \* 凹矢板
- ③ 切り取りカ所の補修
- ④付着物の採取
- 7月29日 ①肉厚測定
  - No.7(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0
  - 4.0, -5.0, -6.0, -7.0, -7.3m)
  - No.8(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0
  - 4.0, -5.0, -6.0, -7.0, -8.0m)
  - No.12(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -

3.0, -4.0m)

- ②採水
- ③付着物の採取

- 7月30日 ①肉厚測定
  - No.1(+2.3, +1.8, +1.0m)
  - No.2(+2.3, +1.8, +1.0m)
  - No.9(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0
  - 4.0, -5.0, -6.0, -7.0m)
  - No.10(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0
  - 4.0, -5.0, -6.0, -7.0m)
  - No.11(+1.0, ±0, -1.0, -2.0, -3.0
  - 4.0, -5.0, -6.0, -7.0m)
  - No.12(+2.3, +1.8m)

- ② 付着物の採取

- 7月31日 ①機器および採取物(鋼矢板片, 付着物, 採水)の梱包および発送
- なお肉眼観察および写真撮影は肉厚測定と平行して行なった。

5-3 使用機器

使用機器は4-16による。

5-4 調査カ所

5-4-1 肉厚測定カ所

超音波式厚み計(水中用)による肉厚測定カ所は現地打合せの結果全延長約3,000mに対して図5.1に示すようにNo.1~No.12の12測定地点を設定した。これは表5.1に示す調査対象鋼構造物に1~2地点含まれるように設定されている。次に測定地点No.1~No.12の水深方向の測定点は図5.2のように海水面下は1mピッチ、

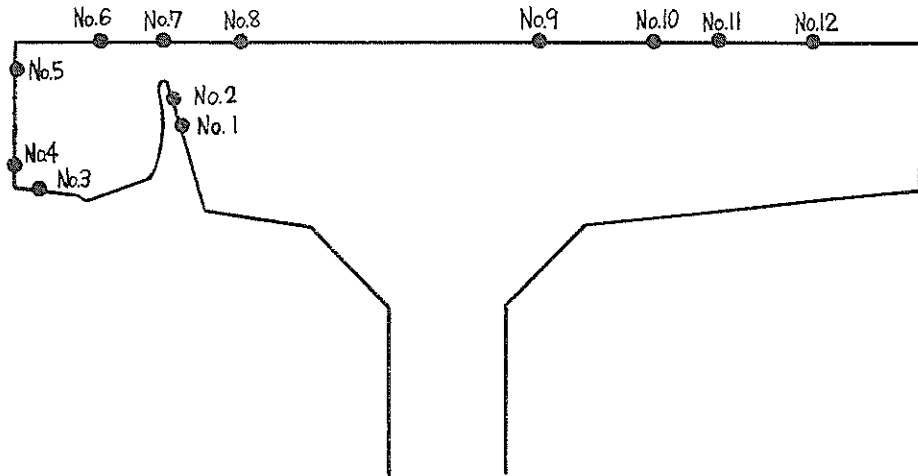


図 5.1 広畑港における測定地点

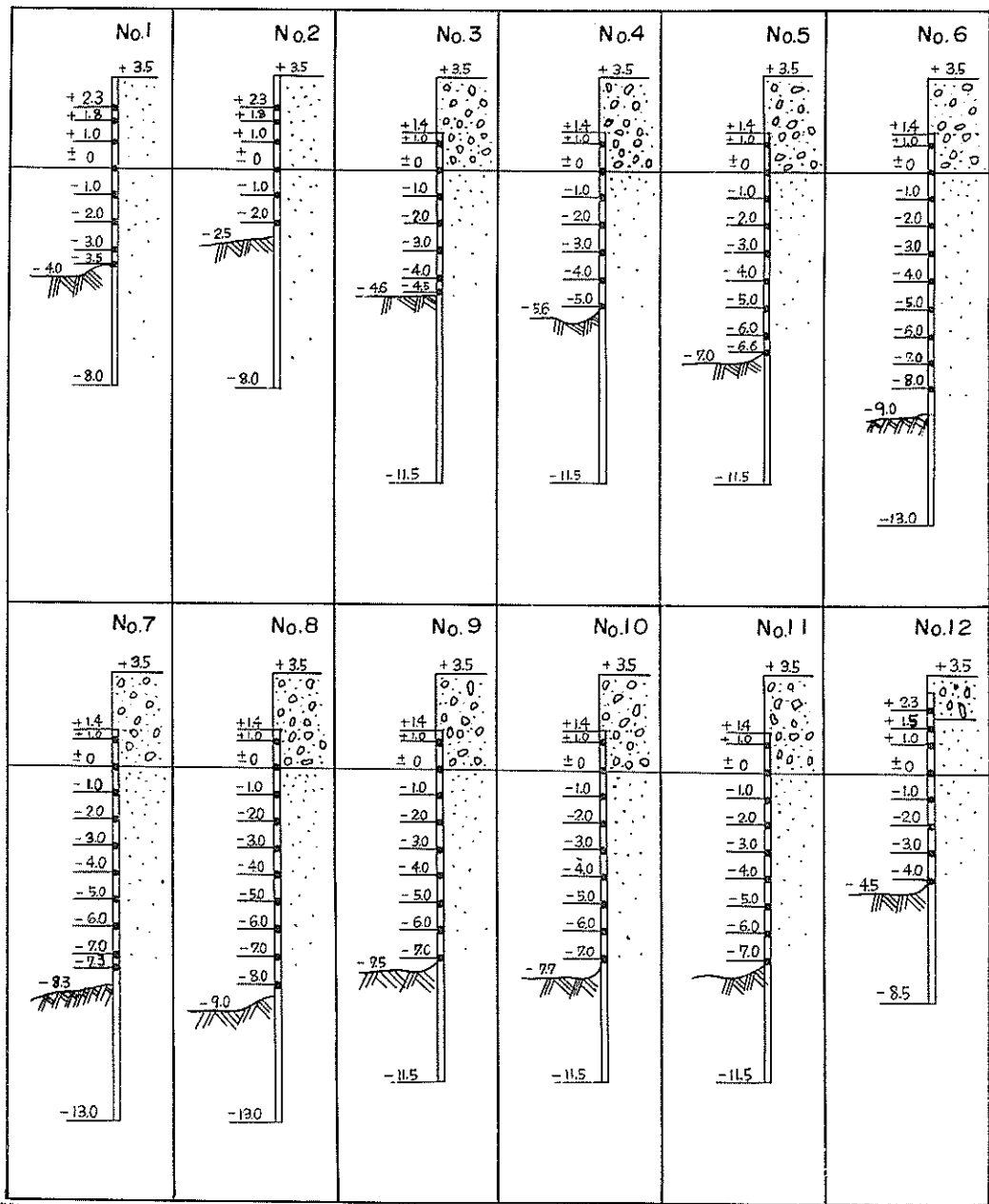


図 5.2 広畑港における肉厚測定深度

海水面上は 0.5~1m とした。また各深度毎の測定点は 4-2 に準拠して図 4.1 のように水平方向に 10 点とった。ただし被測定鋼矢板はいずれも U 型であるので測定点①, ⑤, ⑥, ⑩の 4 点の肉厚は厚み計探触子の位置によって異なるので参考とする。

5-4-2 付着物採取地点

付着物の採取は表 5.2 の地点で行なった。

5-4-3 鋼矢板片の切り取りカ所および枚数

鋼矢板片の切り取りは西浜護岸(表 5.1 および図 5.1 参照)の No.1 の③および⑩についてのみ行なった。切り取りカ所は表 5.3 の通りである。

5-4-4 採水地点



表 5.2 付着物採取カ所

深 度 (m)	採 取 地 点	
	No. 1	No. 5
+2		
+1		○
± 0		○
-1		○
-2	○	○
-3	○	○
-4	○	○
-5		○
-6		○
-7		○

表 5.3 鋼矢板片の切取り枚数

深度(m)	③	⑧
+2.3	1	0
+1.8	1	0
+1.0	1	0
± 0	1	0
-1.0	1	1
-2.0	1	0
-3.0	1	0

表 5.4 採 水 地 点

水 深 (m)	採 水 地 点		
	No. 1	No. 4~No. 5	No. 8
-1	○	○	○
-3	○		
-5		○	
-8			○

採水は表 5.4 に示す地点で行なった。

5-4-5 電位測定地点

鋼矢板の電位測定は No.1 の地点で± 0 m, -1 m, -2 m, 泥面上の各深度で行なった。

5-5 調査方法

調査方法は次の通りである。

5-5-1 鋼矢板の現有肉厚測定

鋼矢板の現有肉厚測定は4-4, 4-8によったが現地における測定状況は次の通りである。

被測定鋼矢板の前面に図 5.3 に示す鋼製梯子を立てる。この鋼製梯子は直径が約30cmの鋼管に1 mピッチで図 5.4 に示すような取手がつけてありこの取手を利用し

て潜水夫は所定の深度に身体を保つ。鋼製梯子の移動および設置は図 5.5 に示す杭打ち船で行なう。4-4の要領で被測定鋼矢板面の処理をしている間に図 5.6, 5.7 に示すように測定準備をしておく。次に図 5.4 に示すように探触子と防水モニターを潜水夫が手に持って所定の深度に達したら4-8の要領で鋼矢板の現有肉厚を測定する。図 5.8 に海水面付近における探触子の押しあて作業状況を図 5.9, 5.10 に厚み計本体による測定状況を示す。

測定した現有肉厚を用いて(4-12-1)式から腐食速度を算出した。

5-5-2 付着物の採取

付着物の採取は4-5の要領で行なった。図 5.11 に付着物採取状況の例を示す。

5-5-3 鋼矢板の切取り, 成形, 脱錆および切取りカ所の補修は4-9の要領で行なった。図 5-12 に海水面上の補修状況を, 図 5.13 に海水面上の補修カ所を示す。また切取り鋼矢板片の肉厚および重量測定は4-10の要領で行なった。

5-5-4 観察

観察は4-6の要領によった。

5-5-5 採水および水質試験

採水および水質試験は4-13によった。図 5.14, 5.15 に採水状況を示す。



図 5.3 鋼 製 梯 子



図 5.4 鋼 製 梯 子



図 5.5 杭 打 ち 船



図 5.9 陸上からの測定



図 5.6 測 定 準 備 (1)

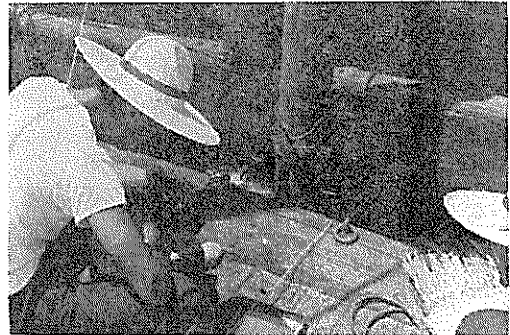


図 5.10 船 上 からの測定



図 5.7 測 定 準 備 (2)

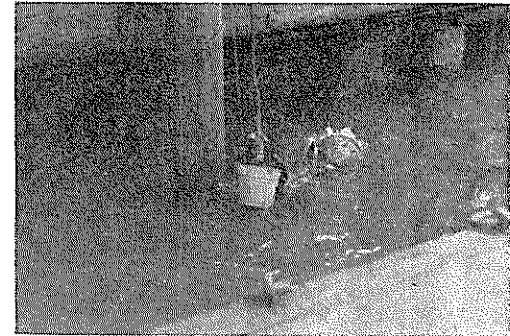


図 5.11 付着物採取状況

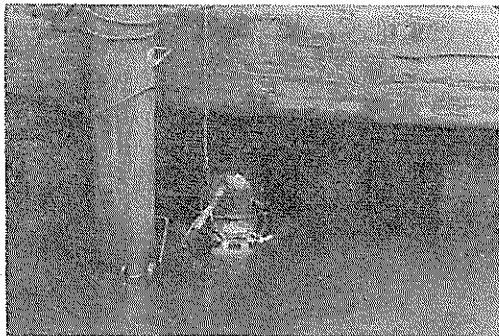


図 5.8 海水面付近における探触子押しあて状況

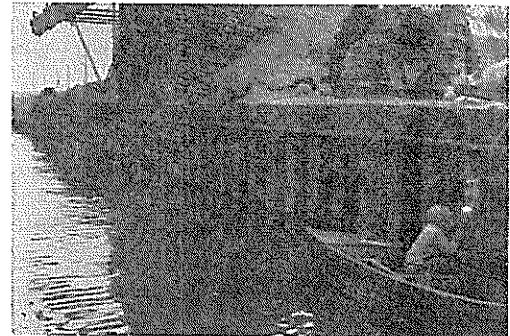


図 5.12 海水面上の補修作業



図 5.13 補修カ所

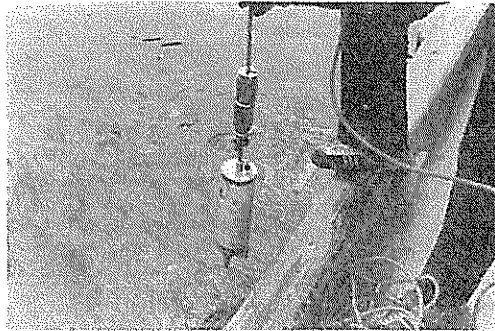


図 5.14 採水状況 (1)



図 5.15 採水状況 (2)

#### 5-5-6 材質試験

材質試験は切取り鋼材片について4-14の要領で行なった。

#### 5-5-7 鋼矢板の電位測定

鋼矢板の電位測定は4-15によった。

#### 5-6 調査結果

##### 5-6-1 現地における鋼矢板肉厚測定結果

超音波式厚み計（水中用）を用いて鋼矢板の現有肉厚を現地で測定した結果は表5.5、表5.6の通りである。

なお表5.5の欄で線が引いてあるのは鋼矢板面の凹凸のために超音波式厚み計による肉厚測定が不能なカ所であり、また空白のところは都合により測定しなかったところである。どの程度の凹凸が鋼矢板面にあると超音波式厚み計の適用ができなかったかの例を示してみると次のようになる。図5.16は No.1 の地点の+1.8mのところをハンマーで叩いて錆生成物を落としてからペーパーで研磨した鋼矢板面である。また図5.17は同じカ所の鋼矢板面に探触子を吸着させたところである。図5.16に示す表面状態では測定できなかったのをさらにグラインダーで研磨すると左右（表5.5・②、④）は測定できたが中央（表5.5の③）のところはまだ測定できなかった。

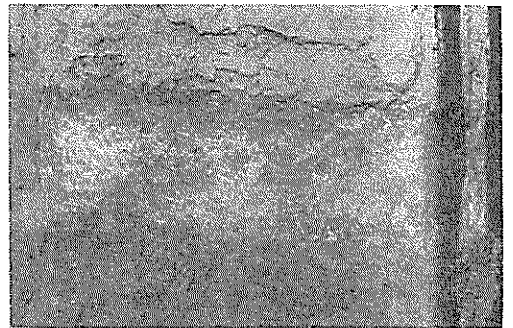


図 5.16 No.1, +1.8m の矢板面  
(ハンマーで叩いた後ペーパーで研磨)

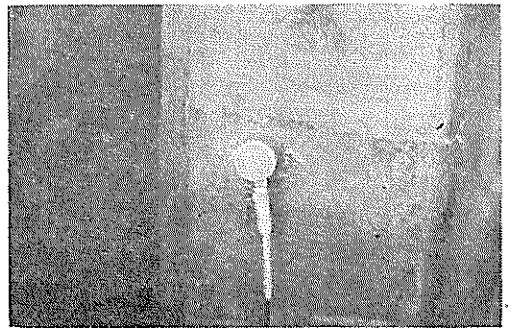


図 5.17 探触子の吸着状況 (No.1, +1.8m)

表 5.5 広畑港における鋼矢板肉厚測定結果(1)

越音波式厚み計による  
単位: mm

測定位置	深度(m)	凸矢板			凹矢板			凸矢板		凹矢板	
		②	③	④	⑦	⑧	⑨	①	⑤	⑥	⑩
No. 1	+2.3	11.14	—	11.46	—	11.21	—				
	+1.8	11.38	—	11.04		11.12	11.16				
	+1.0	11.24	11.82	11.90	11.68	11.64	12.10				
	±0	11.36	11.10	11.08	11.91	12.60	12.10	7.90	7.34	6.34	—
	-1.0	11.78	12.48	12.38	12.22	13.25	12.24	6.90	8.00	7.69	6.34
	-2.0	12.96	11.90	12.22	12.21	11.88	12.15	7.64	7.32	8.10	7.84
	-3.0	12.28	12.38	12.54	12.70	12.18	12.71	7.70	7.10	7.78	7.08
-4.0	12.98	12.85	13.04	12.44	12.82	—	6.08	6.30	—	—	
No. 2	+2.3	11.34	11.70	11.05	11.76	11.18	11.72				
	+1.8	—	—	11.96	—	—	—				
	+1.0	11.70	11.80	11.80	11.54	11.26	11.98				
	±0	—	—	11.08	11.84	—	—	7.64	8.00	8.42	
	-1.0	—	12.46	—	11.84	13.00	—	8.18	7.94	7.62	7.22
-2.0		12.64	12.54	13.18	13.12	11.90	7.94	8.20	7.34	8.20	
No. 3	+1.0	14.84	14.48	14.35	14.68	14.62	14.65				
	±0	14.54	14.58	14.52	14.50	14.54	14.55				
	-1.0	14.46	14.58	14.48	14.52	14.55	14.44				
	-2.0	14.48	14.42	14.60	14.60	—	14.26				
	-3.0	14.58	14.35	14.50	—	—	14.80				
	-4.0	14.52	14.58	14.50	14.74	14.50	14.50				
-4.5	14.38	14.58	14.48								
No. 4	+1.0	—	14.70	—	—	—	—				
	±0	—	13.50	—	15.04	—	—				
	-1.0	14.40	14.44	—	—	14.41	—				
	-2.0	14.44	14.40	—	14.48	14.30	14.58				
	-3.0	—	14.30	—	14.30	14.38	14.70				
	-4.0	14.31	14.30	14.20	15.04	15.00	13.58				
-5.0		15.90	—								
No. 5	+1.0	14.36	14.26	14.16	14.38	14.32	14.38				
	±0	14.42	—	14.42	14.62	—	14.70				
	-1.0	14.28	14.42	14.80	14.62	14.60	—				
	-2.0	14.55	14.64	—	14.28	—	14.46				
	-3.0	14.18	14.21	14.18	14.44	14.30	14.32				
	-4.0	14.72	14.64	14.32	14.40	14.68	14.50				
	-5.0	14.20	14.40	14.78	14.70	14.82	14.64				
	-6.0	14.54	14.44	14.42	14.18	14.38	14.62				
-7.0	14.44	14.46	14.30	14.32	14.60	14.80					

表 5.5 広畑港における鋼矢板肉厚測定結果(2)

超音波式厚み計による  
単位：mm

測定位置	深度(m)	凸矢板			凹矢板			凸矢板		凹矢板	
		②	③	④	⑦	⑧	⑨	①	⑤	⑥	⑩
No. 6	+1.0	21.48	21.64	21.88	—	21.00	21.44				
	±0	20.00	20.40	19.12	20.68	20.84	21.08				
	-1.0	20.72	20.76	—	20.84	20.40	20.28				
	-2.0	—	21.72	20.20	20.60	20.40	19.72				
	-3.0	20.88	20.80	20.92	21.98	21.48	20.92				
	-4.0	—	22.40	21.08	20.86	20.86	20.76				
	-5.0	20.78	20.44	—	21.40	22.12	21.08				
	-6.0	—	21.16	21.48	20.68	21.30	20.94				
	-7.0	—	21.64	—	21.36						
-8.0	21.48	21.60	21.68								
No. 7	+1	20.48	20.56	20.64	20.56	21.12	20.64				
	±0	21.32	21.80	20.84	21.12	21.72	22.24				
	-1	20.64	20.48	20.60	21.28	21.12	21.28				
	-2	—	20.48	20.52	20.48	20.48	21.64				
	-3	20.40	—	21.92	20.56	20.44	20.92				
	-4	20.60	20.82	22.16	20.60	21.80	22.08				
	-5	20.52	20.48	20.40	20.40	20.20	21.28				
	-6	20.72	20.64	20.68	20.72	20.44	21.08				
	-7	21.60	21.80	22.04	22.48	21.36	22.44				
-7.3	—	21.00	20.52								
No. 8	+1.0	21.64	20.88	21.84	20.60	—	21.48				
	±0	20.52	19.96	—	20.80	21.10	21.44				
	-1.0	20.30	20.36	20.72	20.40	21.92	20.76				
	-2.0	21.08	22.00	28.88	20.92	22.28	21.90				
	-3.0	20.72	21.68	21.92	20.98	—	21.96				
	-4.0	21.48	21.80	22.04	22.08	21.28	21.40				
	-5.0	21.68	21.92	21.52	21.24	20.92	20.84				
	-6.0	21.08	21.12	21.04	20.88	21.90	21.96				
	-7.0	20.40	20.28	20.76	21.88	22.00	21.89				
-8.0	22.08	21.92	21.84								
No. 9	+1.0	13.30	13.14	13.30	13.20	13.42	13.34				
	±0	13.08	13.66	13.32	13.25	13.34	14.18				
	-1.0	—	13.45	13.50	13.68	14.62	14.56				
	-2.0	14.24	13.94	13.30	14.28	14.36	14.80				
	-3.0	14.10	14.10	14.38	14.30	14.24	14.28				
	-4.0	14.26	14.34	14.36	—	14.32	14.50				
	-5.0	14.26	14.24	14.54	14.50	14.54	14.42				
	-6.0	14.48	14.48	14.22	14.26	14.38	14.90				
-7.0	—	14.32	15.60								

表 5.5 広畑港における鋼矢板肉厚測定結果(3)

超音波式厚み計による  
単位: mm

測定位置	深度(m)	凸矢板			凹矢板			凸矢板		凹矢板	
		②	③	④	⑦	⑧	⑨	①	⑤	⑥	⑩
No. 10	+1.0	13.36	13.18	14.22	14.64	—	14.52				
	±0	—	13.82	12.90	14.28	14.30	—				
	-1.0	14.30	14.00	13.42	14.42	13.98	13.60				
	-2.0	13.71	13.81	14.40	13.50	14.42	14.38				
	-3.0	14.40	14.48	14.34	14.32	14.42	14.28				
	-4.0	14.62	14.68	14.40	14.40	14.56	15.00				
	-5.0	14.70	14.44	14.32	15.12	15.08	15.01				
	-6.0	14.60	14.64	14.68	15.20	15.02	15.10				
-7.0	15.02	14.88	15.10								
No. 11	+1.0	14.68	14.48	14.70	14.62	14.38	14.20				
	±0	14.40	15.30	14.92	14.64	14.34	14.62				
	-1.0	14.62	14.90	14.68	13.92	13.40	14.28				
	-2.0	14.40	14.60	14.58	14.50	14.52	14.36				
	-3.0	14.58	15.02	14.70	14.60	—	14.96				
	-4.0	14.92	14.82	14.92	14.64	14.90	15.20				
	-5.0	14.94	15.06	15.20	14.80	15.16	14.80				
	-6.0	15.10	15.30	15.00	15.16	15.20	15.30				
-7.0	15.20	15.20	15.34								
No. 12	+2.3	11.98	12.14	11.82							
	+1.5	11.64	11.68	11.94							
	+1.0	11.08	12.74	11.59	—	11.00	12.60				
	±0	—	11.90	12.76	10.32	11.02	11.82				
	-1.0	12.54	12.74	13.34	12.20	12.86	12.90				
	-2.0	12.18	13.00	12.04	13.42	13.64	12.32				
	-3.0	13.22	12.90	13.02	13.04	—	12.20				
	-4.0	13.00	13.30	12.72							

表 5.6 広畑港における鋼矢板腐食量(1)

測定地点	深度(m)	初期肉厚(mm)	現有肉厚(mm)						肉厚減少量(mm)						腐食速度(mm/yr)		
			凸矢板		凹矢板		凸凹矢板		凸矢板		凹矢板		凸凹矢板		凸矢板	凹矢板	凸凹矢板
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差			
No. 1	+2.3	13.0	11.30	11.21	11.27	0.17	1.70	1.79	1.73	0.17	0.061	0.064	0.062				
	+1.8	13.0	11.21	11.14	11.18	0.15	1.79	1.86	1.82	0.18	0.064	0.066	0.065				
	+1.0	13.0	11.65	11.81	11.73	0.29	1.35	1.19	1.27	0.29	0.048	0.043	0.045				
	±0	13.0	11.18	12.20	11.69	0.61	1.82	0.80	1.31	0.61	0.065	0.029	0.047				
	-1.0	13.0	12.21	12.57	12.39	0.46	0.79	0.43	0.61	0.40	0.028	0.015	0.022				
	-2.0	13.0	12.36	12.08	12.22	0.39	0.64	0.92	0.78	0.39	0.023	0.033	0.028				
	-3.0	13.0	12.40	12.53	12.47	0.22	0.60	0.47	0.53	0.22	0.021	0.017	0.019				
	-3.5	13.0	12.96	12.63	12.83	0.23	0.04	0.37	0.17	0.23	0.001	0.013	0.006				

測定地点	深度(m)	初期肉厚(mm)	現有肉厚(mm)				肉厚減少量(mm)				腐食速度(mm/yr)							
			凸矢板		凹矢板		凸凹矢板		凸矢板		凹矢板		凸凹矢板		凸矢板	凹矢板	凸矢板	凹矢板
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差				
No. 2	+2.3	13.0	11.36	11.55	11.46	0.31	1.64	1.45	1.54	0.31	0.059	0.052	0.055					
	+1.8	13.0	11.96	—	—	0	1.04	—	—	0	0.037	—						
	+1.0	13.0	11.77	11.59	11.68	0.25	1.23	1.41	1.32	0.25	0.044	0.050	0.047					
	±0	13.0	11.08	11.84	11.46	0.54	1.92	1.16	1.54	0.54	0.067	0.041	0.055					
	-1.0	13.0	12.46	12.42	12.43	0.89	0.54	0.58	0.57	0.55	0.019	0.021	0.020					
	-2.0	13.0	11.59	12.73	12.68	0.52	1.41	0.27	0.32	0.45	0.050	0.010	0.011					
No. 3	+1.0	15.5	14.56	14.65	14.61	0.17	0.94	0.85	0.89	0.17	0.034	0.030	0.032					
	±0	15.5	14.55	14.53	14.54	0.03	0.95	0.97	0.96	0.03	0.034	0.035	0.034					
	-1.0	15.5	14.51	14.50	14.51	0.05	0.99	1.00	0.99	0.05	0.035	0.036	0.035					
	-2.0	15.5	14.50	14.43	14.47	0.14	1.00	1.07	1.03	0.12	0.036	0.038	0.037					
	-3.0	15.5	14.48	14.80	14.56	0.19	1.02	0.70	0.94	0.19	0.036	0.025	0.034					
	-4.0	15.5	14.50	14.58	14.54	0.10	1.00	0.92	0.96	0.09	0.036	0.033	0.034					
	-4.5	15.5	14.48	—	—	0.10	1.02	—	—	0.10	0.036	—	—					
No. 4	+1.0	15.5	14.70	—	—	0	0.80	—	—	0	0.029	—	—					
	±0	15.5	13.50	15.04	14.27	0.33	2.00	0.46	1.23	1.09	0.071	0.016	0.044					
	-1.0	15.5	14.42	14.41	14.42	0.02	1.08	1.09	1.08	0.02	0.039	0.039	0.039					
	-2.0	15.5	14.42	14.45	14.44	0.10	1.08	1.05	1.06	0.10	0.039	0.038	0.038					
	-3.0	15.5	14.30	14.46	14.42	0.19	1.20	1.04	1.08	0.19	0.043	0.037	0.039					
	-4.0	15.5	14.27	14.54	14.41	0.55	1.23	0.96	1.09	0.55	0.044	0.034	0.039					
	-5.0	15.5	15.90	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—					

表 5.6 広畑港における鋼矢板腐食量(2)

測定地点	深度(m)	初期肉厚(mm)	現有肉厚(mm)				肉厚減少量(m)				腐食速度(mm/yr) *				平均腐食速度(mm/yr) **			
			凸矢板		凹矢板		凸凹矢板		凸矢板		凹矢板		凸凹矢板		凸矢板	凹矢板	凸矢板	凹矢板
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差				
No. 5	+1.0	15.5	14.26	14.36	14.31	0.27	1.24	1.14	1.19	0.09	0.050	0.046	0.048	0.044	0.041	0.043		
	±0	15.5	14.42	14.66	14.54	0.14	1.08	0.84	0.96	0.14	0.043	0.034	0.038	0.039	0.030	0.034		
	-1.0	15.5	14.50	14.61	14.54	0.20	1.00	0.89	0.96	0.20	0.040	0.036	0.038	0.036	0.032	0.034		
	-2.0	15.5	14.60	14.37	14.49	0.15	0.90	1.13	1.01	0.15	0.036	0.045	0.040	0.032	0.040	0.036		
	-3.0	15.5	14.19	14.35	14.27	0.10	1.31	1.15	1.23	0.10	0.052	0.046	0.049	0.047	0.041	0.044		
	-4.0	15.5	14.56	14.53	14.55	0.16	0.94	0.97	0.95	0.16	0.038	0.039	0.038	0.034	0.035	0.034		
	-5.0	15.5	14.46	14.72	14.59	0.21	1.04	0.78	0.91	0.24	0.042	0.031	0.036	0.037	0.028	0.033		
	-6.0	15.5	14.47	14.39	14.43	0.15	1.03	1.11	1.07	0.15	0.041	0.044	0.043	0.037	0.040	0.038		
-6.6	15.5	14.40	14.57	14.49	0.19	1.10	0.93	1.01	0.19	0.044	0.037	0.040	0.039	0.033	0.036			
No. 6	+1.0	22.0	21.67	21.22	21.49	0.32	0.33	0.78	0.51	0.32	0.015	0.035	0.023	0.012	0.028	0.018		
	±0	22.0	19.84	20.87	20.36	0.71	2.16	1.13	1.64	0.71	0.098	0.051	0.075	0.077	0.040	0.059		
	-1.0	22.0	20.74	20.51	20.60	0.24	1.26	1.49	1.40	0.24	0.057	0.068	0.064	0.045	0.053	0.050		
	-2.0	22.0	20.96	20.24	20.53	0.74	1.04	1.76	1.47	0.74	0.047	0.080	0.067	0.037	0.063	0.053		
	-3.0	22.0	20.87	21.46	21.17	0.47	1.13	0.54	0.83	0.47	0.051	0.025	0.038	0.040	0.019	0.030		
	-4.0	22.0	21.16	20.83	21.19	0.69	0.84	1.17	0.81	0.52	0.038	0.053	0.037	0.030	0.042	0.029		
	-5.0	22.0	20.41	21.53	21.16	0.64	1.59	0.47	0.84	0.60	0.072	0.021	0.038	0.057	0.017	0.030		
	-6.0	22.0	21.32	20.97	21.11	0.31	0.68	1.03	0.89	0.31	0.031	0.047	0.040	0.024	0.037	0.032		
-7.0	22.0	21.64	21.36	21.50	0.20	0.36	0.64	0.50	0.20	0.016	0.029	0.023	0.013	0.023	0.018			
-8.0	22.0	21.59	—	—	0.10	0.41	—	—	0.10	0.019	—	—	0.015	—	—			

測定地点	深度 (m)	初期肉厚 (mm)	現有肉厚(mm)					肉厚減少量(mm)					腐食速度(mm/yr) *				平均腐食速度 (mm/yr) **			
			凸矢板		凹矢板		標準偏差	凸矢板		凹矢板		標準偏差	凸矢板		凹矢板		凸矢板		凹矢板	
			平均值	標準偏差	平均值	標準偏差		平均值	標準偏差	平均值	標準偏差		平均值	標準偏差	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差
No. 7	+1	22.0	20.56	20.77	20.67	0.23	1.44	1.23	1.33	0.23	0.065	0.056	0.060	0.051	0.044	0.048				
	±0	22.0	21.32	21.69	21.51	0.51	0.68	0.31	0.49	0.45	0.031	0.014	0.022	0.024	0.011	0.018				
	-1	22.0	20.57	21.23	20.90	0.37	1.43	0.77	1.10	0.37	0.065	0.035	0.050	0.051	0.028	0.039				
	-2	22.0	20.50	20.87	20.70	0.52	1.50	1.13	1.30	0.51	0.068	0.051	0.059	0.054	0.040	0.046				
	-3	22.0	21.16	20.64	20.85	0.63	0.84	1.36	1.15	0.63	0.038	0.062	0.052	0.030	0.049	0.041				
	-4	22.0	21.19	21.49	21.34	0.75	0.81	0.51	0.66	0.70	0.037	0.023	0.030	0.029	0.018	0.024				
	-5	22.0	20.47	20.63	20.55	0.22	1.53	1.37	1.45	0.22	0.077	0.062	0.066	0.055	0.049	0.052				
	-6	22.0	20.68	20.75	20.77	0.21	1.32	1.25	1.28	0.21	0.060	0.057	0.058	0.047	0.045	0.046				
	-7.3	22.0	21.81	22.09	21.95	0.46	0.19	0	0.05	0.27	0.009	0	0.002	0.007	0	0.002				
		22.0	20.76			0.34	1.24			0.34	0.056			0.044						
No. 8	+1.0	22.0	21.45	21.04	21.29	0.53	0.55	0.96	0.71	0.53	0.025	0.044	0.032	0.020	0.034	0.025				
	±0	22.0	20.24	21.11	20.76	0.57	1.76	0.89	1.24	0.57	0.080	0.040	0.056	0.063	0.032	0.044				
	-1.0	22.0	20.46	21.03	20.75	0.61	1.54	0.97	1.25	0.61	0.070	0.044	0.057	0.055	0.035	0.045				
	-2.0	22.0	21.32	21.70	21.51	0.63	0.68	0.30	0.49	0.56	0.031	0.014	0.022	0.024	0.011	0.018				
	-3.0	22.0	21.44	21.47	21.45	0.58	0.56	0.53	0.55	0.57	0.025	0.024	0.025	0.020	0.019	0.020				
	-4.0	22.0	21.77	21.59	21.68	0.34	0.23	0.41	0.32	0.31	0.010	0.019	0.015	0.008	0.015	0.011				
	-5.0	22.0	21.71	21.00	21.36	0.43	0.29	1.00	0.64	0.43	0.013	0.045	0.029	0.010	0.036	0.023				
	-6.0	22.0	21.08	21.58	21.33	0.49	0.92	0.42	0.67	0.47	0.042	0.019	0.030	0.033	0.015	0.029				
	-7.0	22.0	20.48	21.89	21.19	0.70	1.52	0.11	0.81	0.73	0.069	0.005	0.037	0.054	0.004	0.029				
-8.0	22.0	21.95			0.12	0.05			0.10	0.002			0.002							
No. 9	+1.0	15.5	13.25	13.32	13.29	0.10	2.25	2.18	2.21	0.10	0.102	0.099	0.100	0.080	0.078	0.079				
	±0	15.5	13.35	13.59	13.47	0.27	2.15	1.91	2.03	0.40	0.098	0.087	0.092	0.077	0.068	0.073				
	-1.0	15.5	13.48	14.29	13.96	0.48	2.02	1.21	1.54	0.97	0.092	0.055	0.070	0.082	0.043	0.063				
	-2.0	15.5	13.83	14.48	14.16	0.50	1.67	1.02	1.34	0.50	0.076	0.046	0.061	0.060	0.036	0.048				
	-3.0	15.5	14.19	14.27	14.23	0.11	1.31	1.23	1.27	0.11	0.060	0.056	0.058	0.047	0.044	0.045				
	-4.0	15.5	14.32	14.41	14.36	0.09	1.18	1.09	1.14	0.10	0.054	0.050	0.052	0.042	0.039	0.041				
	-5.0	15.5	14.35	14.49	14.42	0.14	1.15	1.01	1.08	0.14	0.052	0.046	0.049	0.041	0.036	0.039				
	-6.0	15.5	14.39	14.51	14.45	0.24	1.11	0.99	1.05	0.24	0.050	0.045	0.048	0.040	0.035	0.038				
	-7.0	15.5	14.46			0.20	1.04			0.20	0.047			0.037						
No. 10	+1.0	15.5	13.59	14.58	13.98	0.47	1.91	0.92	1.52	0.67	0.083	0.040	0.066	0.068	0.033	0.054				
	±0	15.5	13.36	14.26	13.82	0.66	2.14	1.24	1.68	0.66	0.093	0.054	0.073	0.076	0.044	0.060				
	-1.0	15.5	13.91	14.00	13.96	0.39	1.59	1.50	1.54	0.39	0.069	0.065	0.067	0.057	0.054	0.055				
	-2.0	15.5	13.97	14.10	14.04	0.37	1.53	1.40	1.46	0.41	0.067	0.061	0.063	0.055	0.050	0.052				
	-3.0	15.5	14.41	14.34	14.38	0.07	1.09	1.16	1.12	0.07	0.047	0.050	0.049	0.039	0.041	0.040				
	-4.0	15.5	14.57	14.65	14.61	0.22	0.93	0.85	0.89	0.22	0.040	0.037	0.039	0.033	0.030	0.032				
	-5.0	15.5	14.49	15.07	14.78	0.34	1.01	0.43	0.72	0.34	0.044	0.019	0.031	0.036	0.015	0.026				
	-6.0	15.5	14.64	15.11	14.88	0.26	0.86	0.39	0.62	0.26	0.037	0.017	0.027	0.031	0.014	0.022				
	-7.0	15.5	15.00			0.11	0.50			0.11	0.022			0.018						



測定地点	深度 (m)	初期肉厚 (mm)	現有肉厚(mm)					肉厚減少量(mm)					腐食速度(mm/yr) *				平均腐食速度 (mm/yr) **			
			凸矢板		凸凹矢板			凹矢板		凸凹矢板			凸矢板		凹矢板		凸矢板		凹矢板	
			平均値	平均値	平均値	標準偏差	標準差	平均値	平均値	平均値	標準偏差	標準差	平均値	平均値	凸矢	凹板	平均値	平均値	凸矢	凹板
No.11	+1.0	15.5	14.62	14.40	14.51	0.20	0.88	1.10	0.99	0.20	0.042	0.052	0.047	0.031	0.039	0.035	0.029	0.029	0.029	
	±0	15.5	14.87	14.53	14.70	0.36	0.63	0.97	0.80	0.36	0.030	0.046	0.038	0.023	0.035	0.029	0.029	0.029	0.029	
	-1.0	15.5	14.73	13.87	14.30	0.56	0.77	1.63	1.20	0.56	0.037	0.078	0.057	0.028	0.058	0.043	0.043	0.043	0.043	
	-2.0	15.5	14.53	14.46	14.50	0.10	0.97	1.04	1.00	0.10	0.046	0.050	0.048	0.035	0.037	0.036	0.036	0.036	0.036	
	-3.0	15.5	14.77	14.78	14.77	0.21	0.73	0.72	0.73	0.21	0.035	0.034	0.035	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	
	-4.0	15.5	14.89	14.91	14.90	0.18	0.61	0.59	0.60	0.18	0.029	0.028	0.029	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
	-5.0	15.5	15.07	14.92	15.00	0.17	0.43	0.58	0.50	0.17	0.020	0.028	0.024	0.015	0.021	0.018	0.018	0.018	0.018	
	-6.0	15.5	15.13	14.22	14.68	0.56	0.37	1.28	0.82	0.34	0.018	0.061	0.039	0.013	0.046	0.029	0.029	0.029	0.029	
	-7.0	15.5	15.25				0.08	0.25			0.08	0.012								
No.12	+2.3	13	11.98			0.16	1.02			0.16	0.049			0.036						
	+1.5	13	11.75			0.16	1.25			0.16	0.060			0.045						
	+1.0	13	11.80	11.80	11.80	0.83	1.20	1.20	1.20	0.83	0.057	0.057	0.057	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	
	±0	13	12.33	11.05	11.56	0.93	0.67	1.95	1.44	0.92	0.032	0.093	0.069	0.024	0.070	0.051	0.051	0.051	0.051	
	-1.0	13	12.87	12.65	12.76	0.38	0.13	0.35	0.24	0.29	0.006	0.017	0.011	0.005	0.013	0.009	0.009	0.009	0.009	
	-2.0	13	12.41	13.13	12.77	0.68	0.59	0	0.23	0.46	0.028	0	0.011	0.021	0	0.008	0.008	0.008	0.008	
	-3.0	13	13.05	12.62	12.88	0.20	0	0.38	0.12	0.32	0	0.018	0.006	0.002	0	0	0	0	0	
	-4.0	13	13.01			0.29	0			0.16	0			0						

\* 無防食期間で割ったときの腐食速度

\*\* 経過期間 (28yr) で割ったときの腐食速度

次に図5.18は No.1 の地点の +2.3m の鋼矢板面をグラインダーで研磨した状況である。この程度の研磨では良好な共振波がでにくいのでさらにグラインダーで研磨した。その結果左右 (図4.1の②, ④) は測定できたが中央 (図4.1の③) は測定できなかった。一方海水面付近で付着物を除去した鋼矢板面の例を図5.19に示す。図5.19に示すような平滑鋼矢板面では図5.20に示すような鮮明な共振波形が得られた。これに対して測定不能と判定されたときの不鮮明な共振波形の例を図5.21に示す。

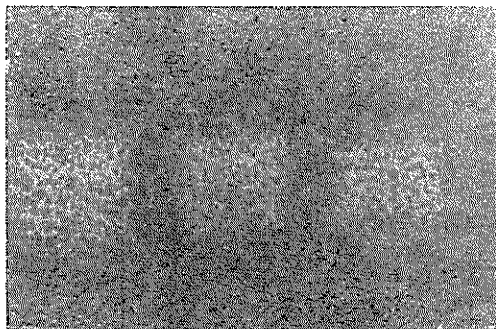


図 5.18 グラインダーで研磨した海面上上の矢板面 (広畑港, No.1, +2.3m) カラー写真参照



図5.19 付着物を除去した海水面付近の矢板面 (No.2)



図 5.20 鮮明な共振波形の例

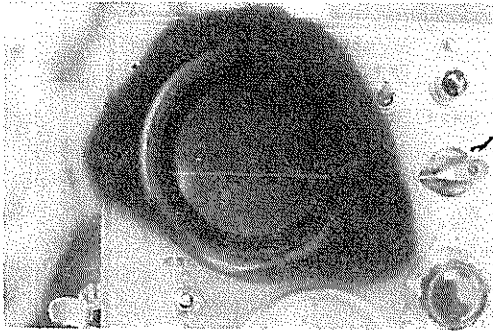


図 5.21 不鮮明な共振波形の例

5-6-2 切り取り鋼矢板片についての測定結果

(イ) マイクロ・メーターによる鋼矢板片の肉厚測定結果を表 5.7 に示す。

なお切り取り鋼矢板片についての観察は 5-6-3 観察結果を参照されたい。

(ロ) 超音波式厚み計(水中用)による鋼矢板片の肉厚測定結果は表 5.8 の通りである。ただし探触子を陸側鋼矢板面に適用した。

(ハ) 重量測定結果ならびにこれより算出した肉厚減少量および腐食速度を表 5.9 に示す。

5-6-3 観察

ここでは調査した鋼矢板構造物の外観、切り取り鋼矢板片および採取した附着物についての観察結果を含む。

表 5.7 広畑港における切り取り鋼矢板片の肉厚測定結果

(マイクロメーターによる)

施設名	測定点	水深(m)	初期肉厚(mm)	肉厚測定値(mm)					肉厚減少量(mm)	腐食速度(mm/yr)
				平均値	標準偏差	最大値	最小値	最大最小値の差		
西 浜 護 岸	No. 1-㉓	+2.3	13.0	12.854	0.381	13.960	11.400	2.560	0.15	0.005
	No. 1-㉔	+1.8	13.0	10.213	0.546	11.374	8.548	2.826	2.79	0.100
	No. 1-㉕	+1.0	13.0	13.525	0.275	14.054	12.770	1.284	0	0
	No. 1-㉖	±0	13.0	12.717	0.566	13.468	11.494	1.974	0.28	0.010
	No. 1-㉗	-1.0	13.0	12.543	0.146	12.800	12.138	0.662	0.46	0.016
	No. 1-㉘	-1.0	13.0	12.801	0.386	13.180	11.396	1.784	0.20	0.007
	No. 1-㉙	-2.0	13.0	12.855	0.094	13.102	12.664	0.458	0.15	0.005
	No. 1-㉚	-3.0	13.0	12.572	0.123	12.828	12.292	0.536	0.43	0.015

表 5.8 切り取り鋼矢板片の肉厚測定結果

超音波式厚み計(水中用)で  
陸側より測定

水深(m)	現有肉厚(mm)									平均	肉厚減少量(mm)	腐食速度(mm/yr)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
+2.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+1.0	13.54	13.76	13.42	13.35	13.64	13.38	13.40	13.41	13.62	13.50	-1.50	0
±0	—	12.52	—	—	12.26	—	12.36	—	—	12.38	0.62	0.022
-1.0	12.56	12.64	12.61	12.52	12.60	12.54	12.48	12.48	12.20	12.51	0.49	0.018
-1.0*	12.42	12.84	12.42	12.93	12.92	12.99	—	—	12.90	12.77	0.23	0.008
-2.0	12.74	12.01	12.01	12.78	12.78	11.98	12.80	12.06	12.02	12.35	0.65	0.023
-3.0	12.44	12.56	12.58	12.54	12.62	12.78	12.60	12.32	12.56	12.56	0.44	0.016

\* 凹矢板

表 5.9 広畑港における切取鋼矢板片の腐食速度

重量減量より算出  
腐食期間：28年

深 度 (m)	形 状 寸 法 (cm)				表面積 (cm <sup>2</sup> )	重 量 (g)	肉 厚 (mm)	初期肉厚 ※※ (mm)	肉厚減量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)
	A	B	C	D						
+2.3	7.83	7.72	7.91	8.00	61.850	615.59	12.663	13.0	0.337	5.012
+1.8	8.04	7.95	7.72	7.83	62.161	489.54	10.020	13.0	2.980	0.106
+1.0	6.61	6.44	7.20	7.18	46.915	487.96	13.233	13.0	-0.233	0
±0.0	7.50	7.69	7.81	7.62	58.595	572.48	12.430	13.0	0.570	0.020
-1.0	7.97	8.21	7.75	7.67	62.374	605.09	12.342	13.0	0.658	0.024
-1.0※	7.64	7.59	7.20	7.30	55.209	551.57	12.711	13.0	0.289	0.010
-2.0	7.48	7.59	6.86	6.88	51.765	511.52	12.572	13.0	0.428	0.015
-3.0	7.97	8.00	7.77	7.69	61.685	600.50	12.385	13.0	0.615	0.022

※四矢板  
※※YSP-Ⅲ型

(イ) 鋼矢板構造物の外観

西浜護岸の海水面上は図5.22, 5.23, 5.24, 5.25の通りである。

観察によれば図5.23, 5.24の+1.8m～+1.0m間は黄褐色を呈しておりその中間付近は油などの付着のために

黒くなっているところがある。しかし裏込めのある海面上鋼矢板面にはとくに腐食による穴や極端に薄くなっているところは見られなかった。また鋼矢板天端も図5.22に示すようにほぼ初期肉厚に近い状況である。しかし図5.25のように裏込め土砂がなくなったところは+1.8

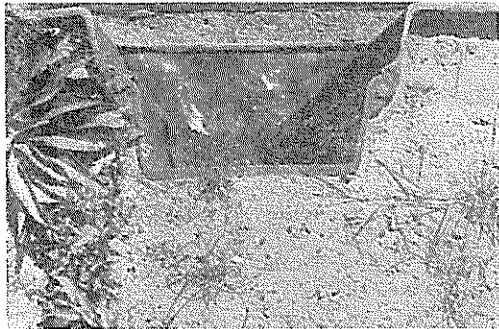


図 5.22 西浜護岸の天端 (No.1 付近)

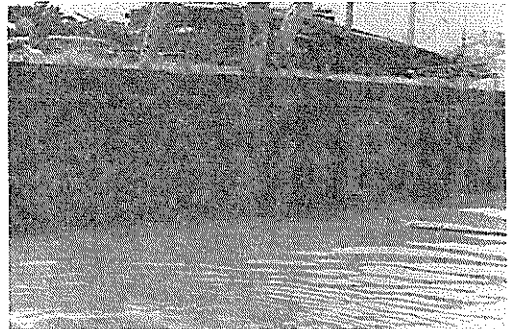


図 5.24 西浜護岸の海水面上鋼矢板面 (No.1 付近)

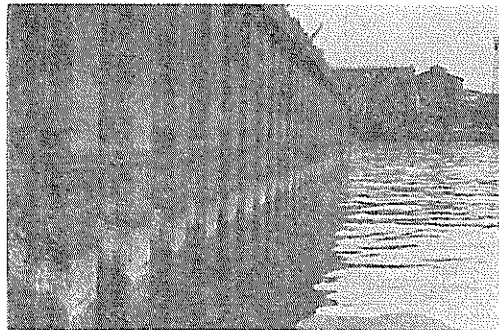


図 5.23 西浜護岸の海水面上鋼矢板面 (広畑港より No.1よりNo.2を望む) (28年経過) カラー写真参照

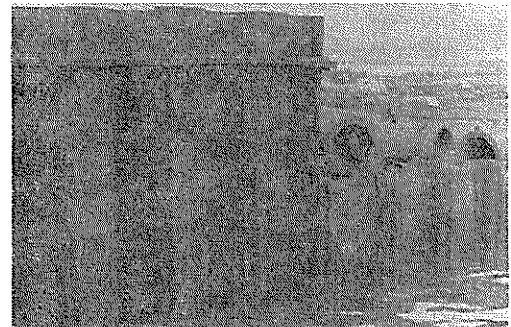


図 5.25 西浜護岸北端の海水面上鋼矢板面 (裏込めがない)

m付近に穴があいており、侵食がひどい。また西浜護岸前面の海水は黄褐色となるときがある。

一方図5.26に No.3~No.5 付近の海水面上の状況を、図5.27に No.6~No.12 付近の海水面上の状況を示す。両図のように No.3~No.12 ではいずれも上部工が潮位間まで下がっており満潮時には鋼矢板面は海水中に没する。また No.5 付近の調査時の海水は黄褐色であった。

#### (ウ) 付着物

代表例として測定地点 No.1 で採取した付着物を図5.28に示す。

#### (イ) 切り取り鋼矢板片

測定地点 No.1 における切り取り鋼矢板片の脱着前後の表裏の状況を図5.29~図5.36に示す。

ただし図5.33や図5.35などの海側矢板面上に見られる深さ1mm程度の短い傷痕は付着物除去のために使用したカンカン・ハンマーによるものである。

#### 5-6-4 水質試験結果

水質試験結果は表5.10の通りである。

#### 5-6-5 調査地点付近の土質

今回はボーリングによる土質調査を行なわなかったので腐食調査地点付近で行なわれたボーリング結果を図5.37に示す。

#### 5-6-6 電位

電位の測定結果は表5.11に示す。

#### 5-6-7 材質試験結果

材質試験結果を表5.12に示す。

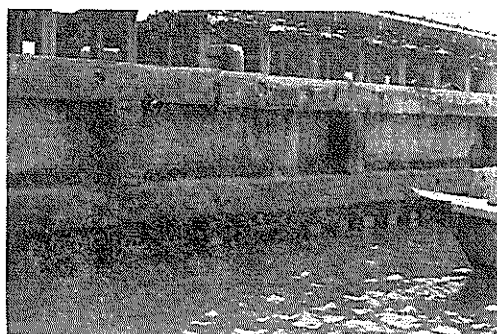


図 5.27 No. 6~No. 12 付近の海水面上の状況



-2m, 海 側



-3m, 矢 板 側

図 5.28 広畑港における付着物の例 (No. 1)

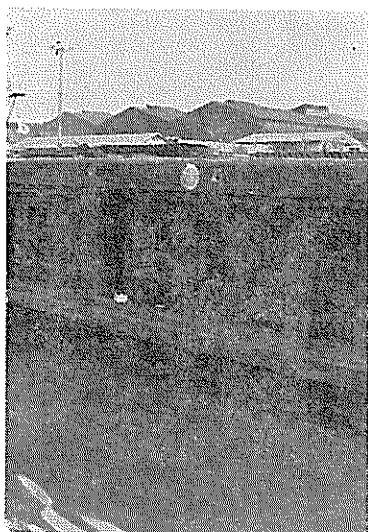
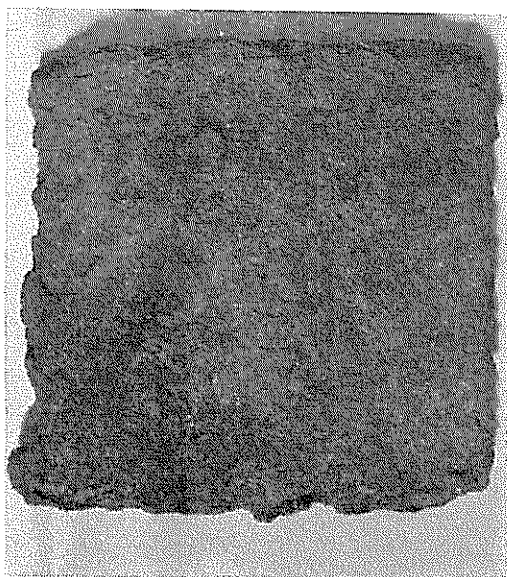
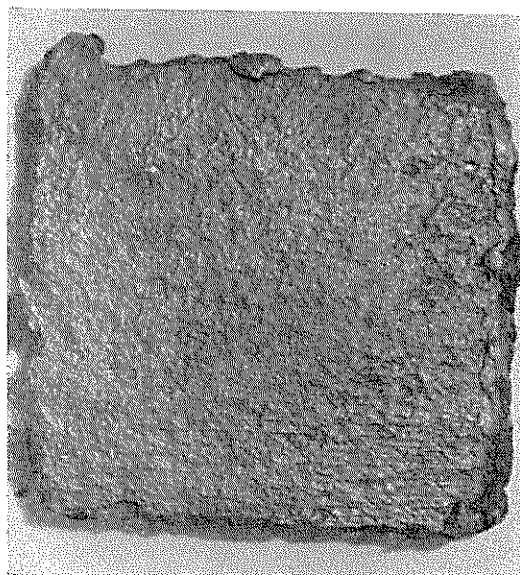


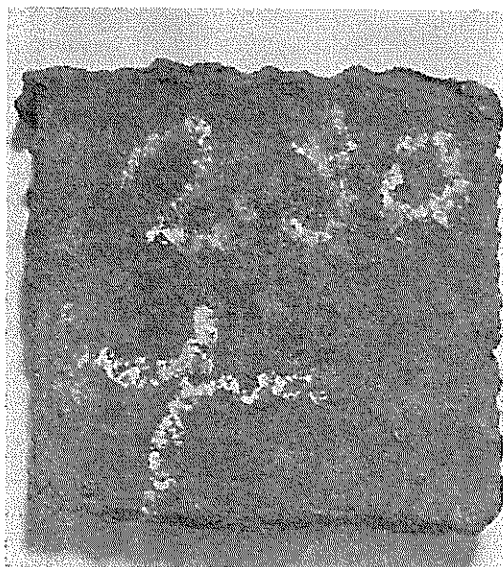
図 5.26 No. 3~No. 5 付近の海水面上の状況



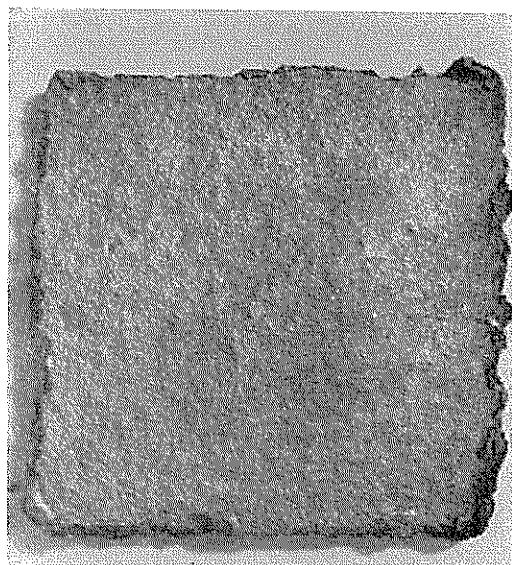
海 側 (脱錆前)



海 側 (脱錆後)

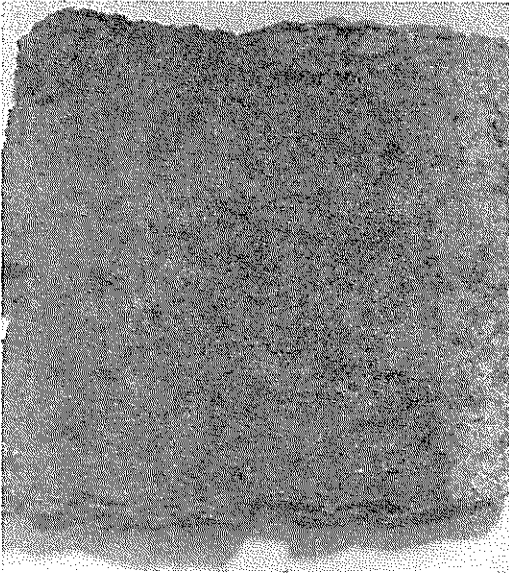


陸 側 (脱錆前)

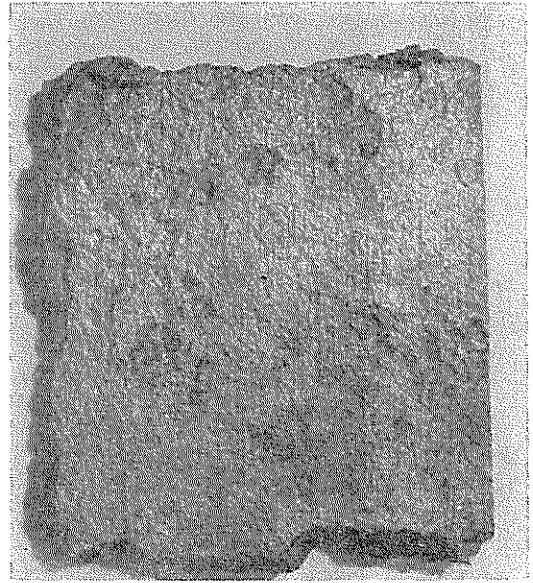


陸 側 (脱錆後)

図 5.29 広畑港における切取り鋼矢板片 (No. 1, +2.3m)



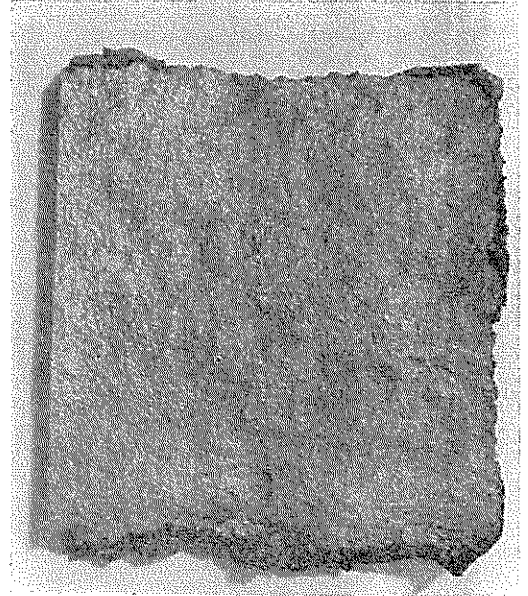
海 側 (脱錆前)



海 側 (脱錆後)

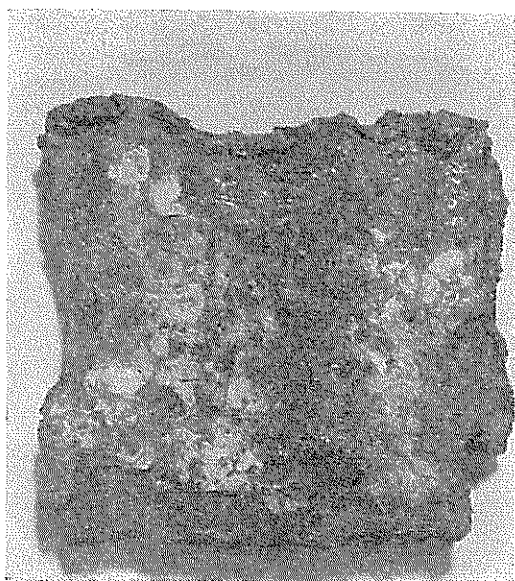


陸 側 (脱錆前)



陸 側 (脱錆後)

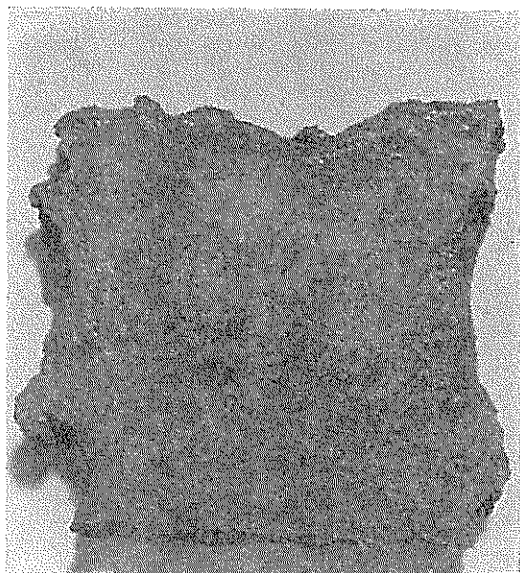
図 5.30 広畑港における切取り鋼矢板片 (No.1, +1.8m)



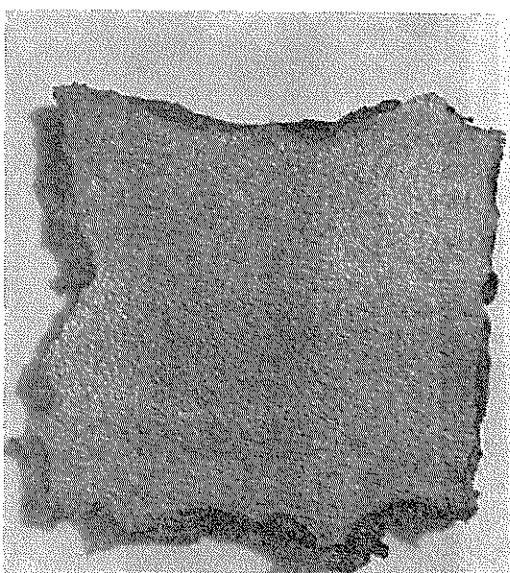
海 側 (脱錆前)



海 側 (脱錆後)

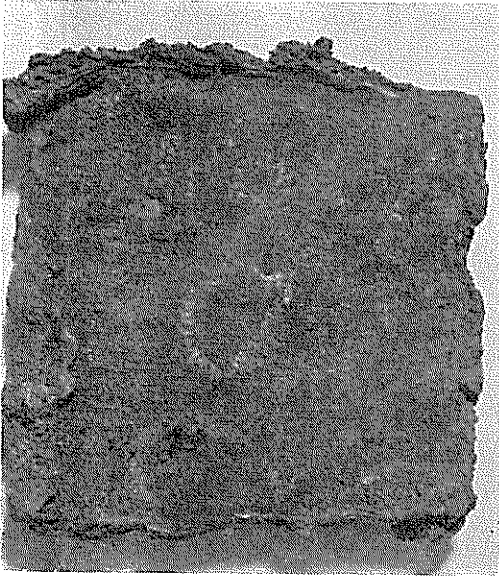


陸 側 (脱錆前)



陸 側 (脱錆後)

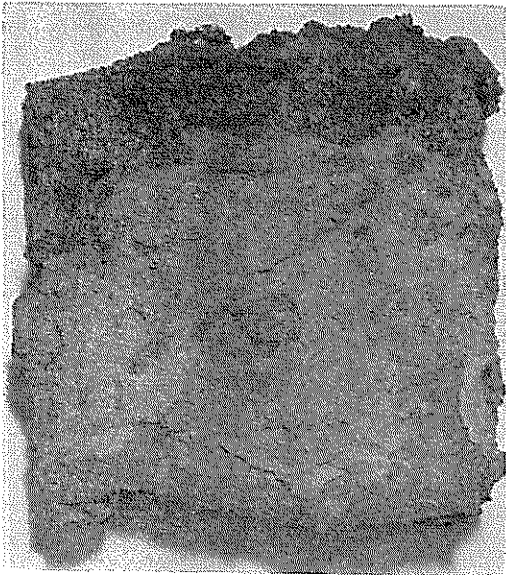
図 5.31 広畑港における切取り鋼矢板片 (No. 1, +1m)



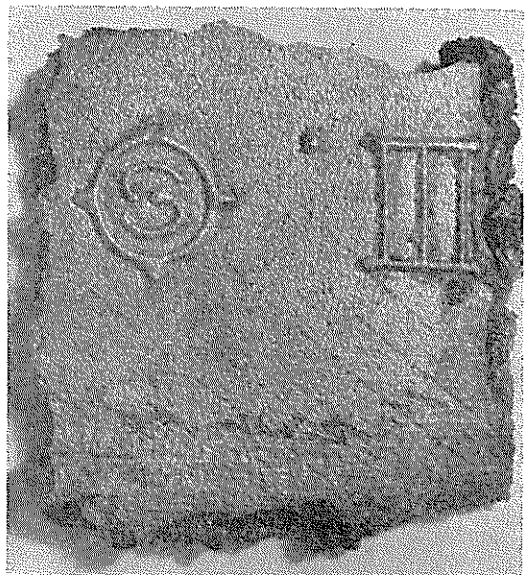
海 側 (脱錆前)



海 側 (脱錆後)



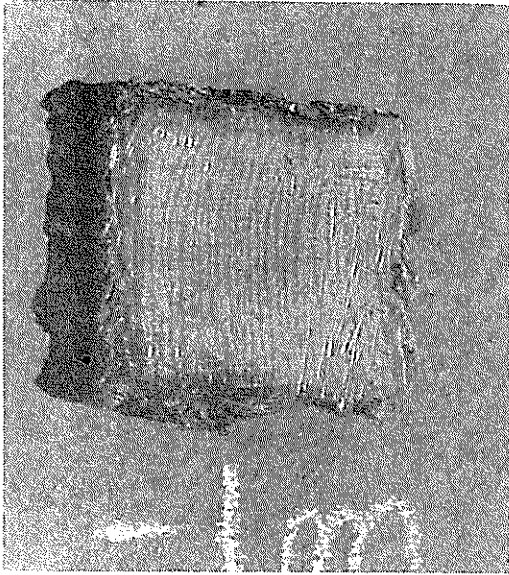
陸 側 (脱錆前)



陸 側 (脱錆後)

図 5.32 広畑港における切取り鋼矢板片 (No. 1,  $\pm 0m$ )

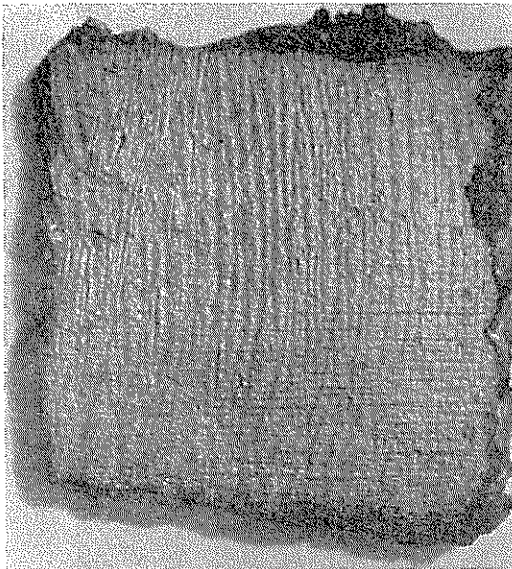




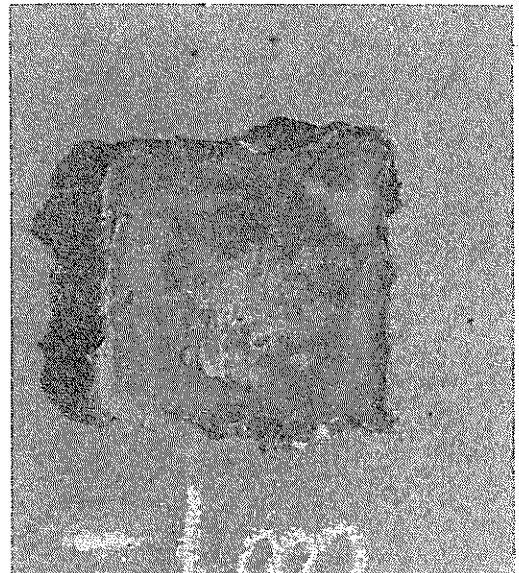
海側（切り取り直後）  
（広畑港，No.1，-1m）カラー写真参照



海側（脱錆前）

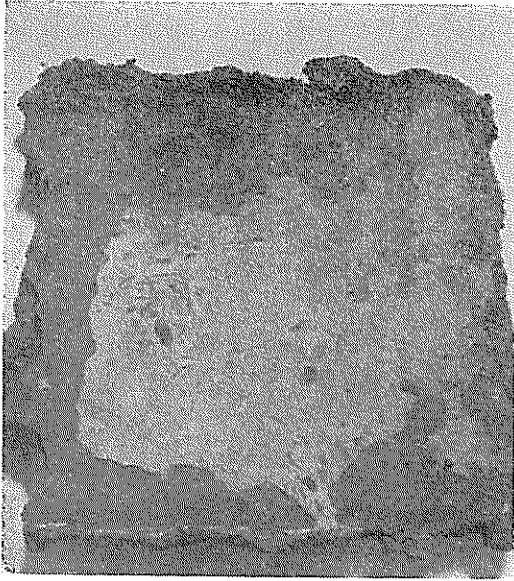


海側（脱錆後）

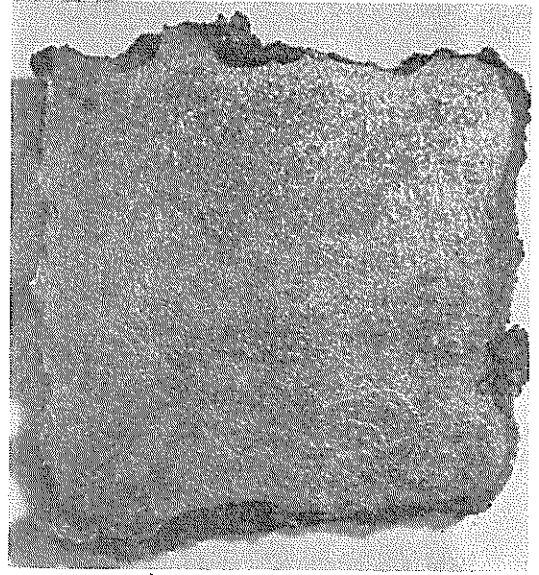


陸側（切り取り直後）  
（広畑港，No.1，-1m）カラー写真参照

図 5.33 広畑港における切り取り鋼矢板片（No.1，-1m）



陸 側 (脱錆前)

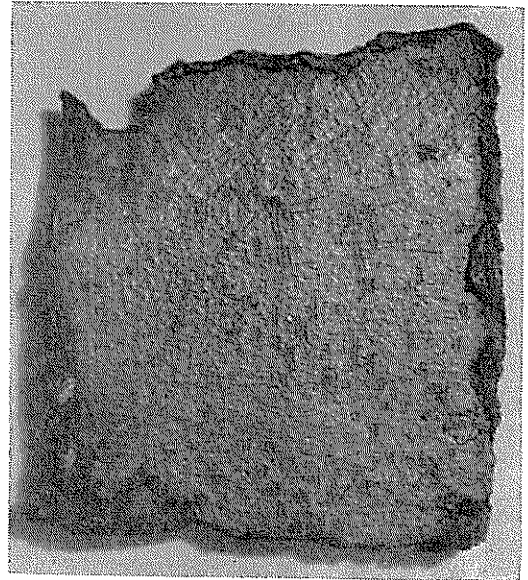


陸 側 (脱錆後)

図 5.33 広畑港における切取り鋼矢板片 (No. 1, -1m)

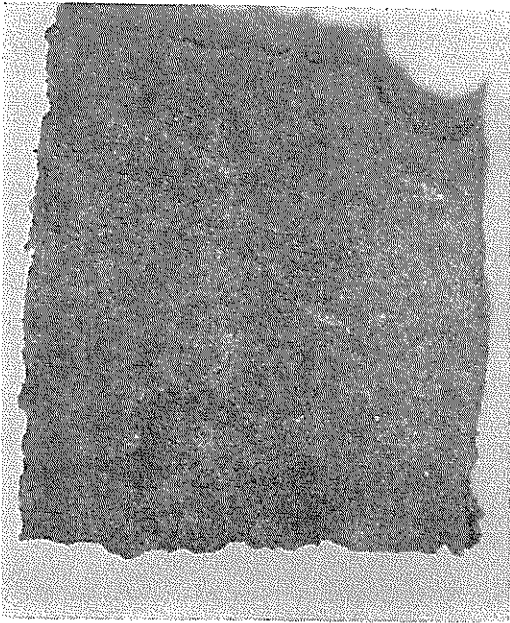


海 側 (脱錆前)

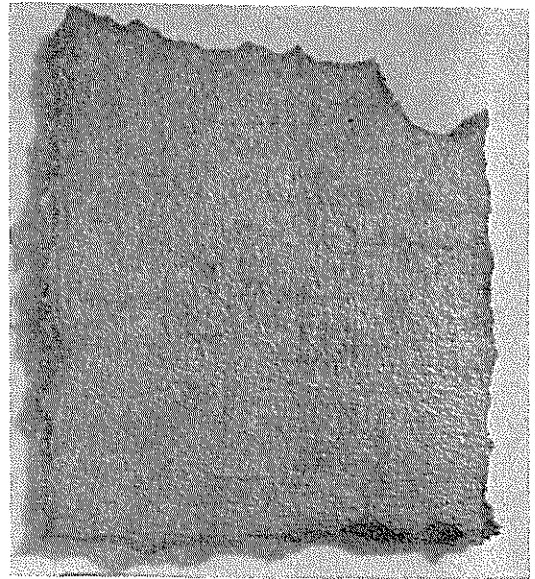


海 側 (脱錆後)

図 5.34 広畑港における切取り鋼矢板片 (No. 1, -1m, 凹矢枯)

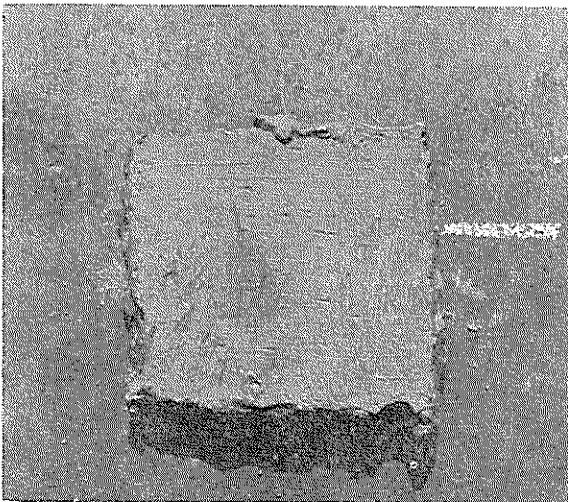


陸 側 (脱錆前)

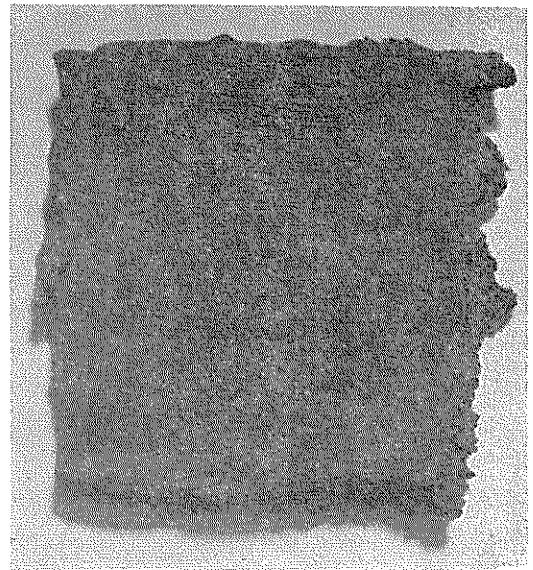


陸 側 (脱錆後)

図 5.34 広畑港における切取り鋼矢板片 (No. 1, -1m, 凹矢板)



海 側 (切取り直後)

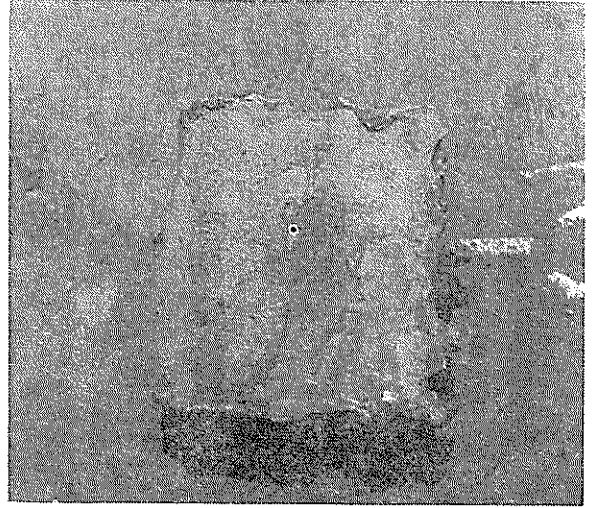


海 側 (脱錆前)

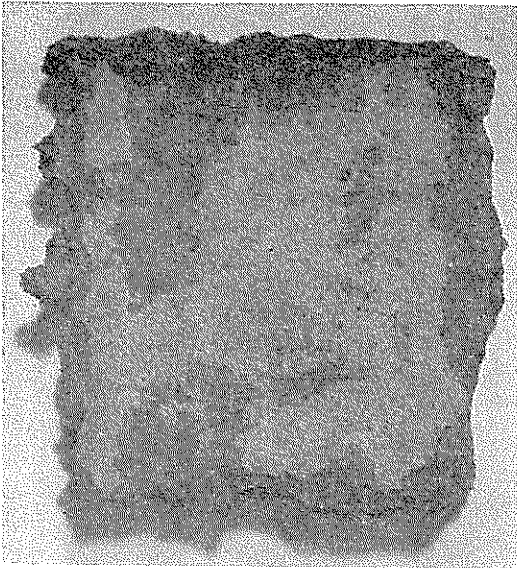
図 5.35 広畑港における切取り鋼矢板片 (No. 1, -2m)



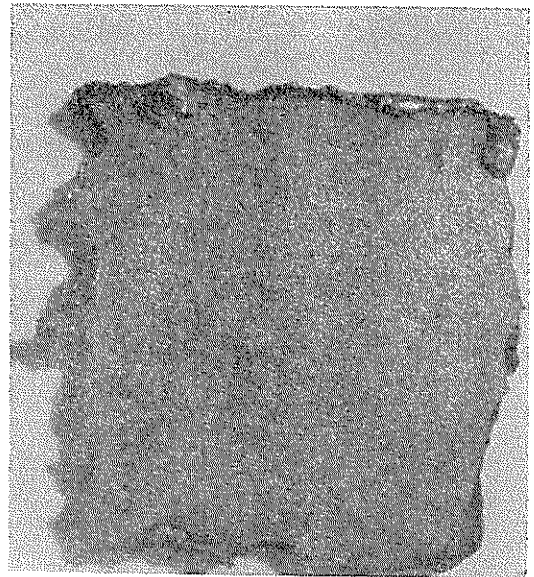
海 側 (脱錆後)



陸 側 (切り直後)

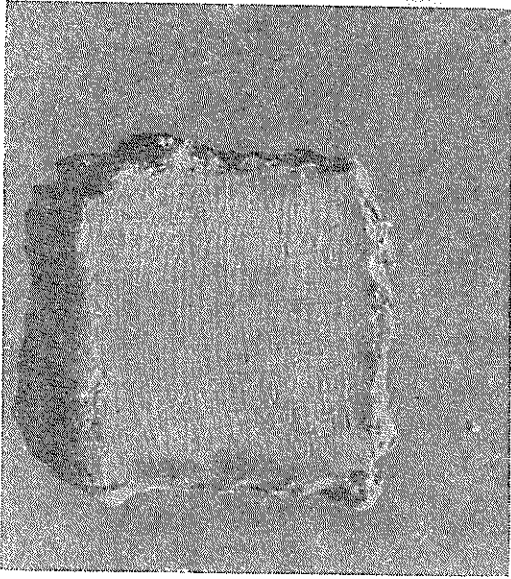


陸 側 (脱錆前)



陸 側 (脱錆後)

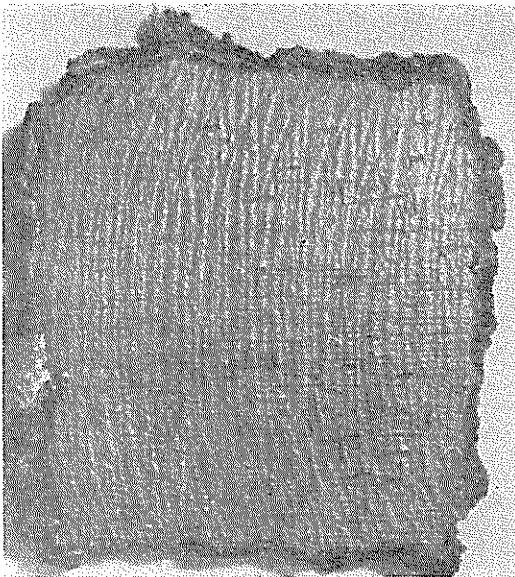
図 5.35 広畑港における切取り鋼矢板片 (No.1, -2m)



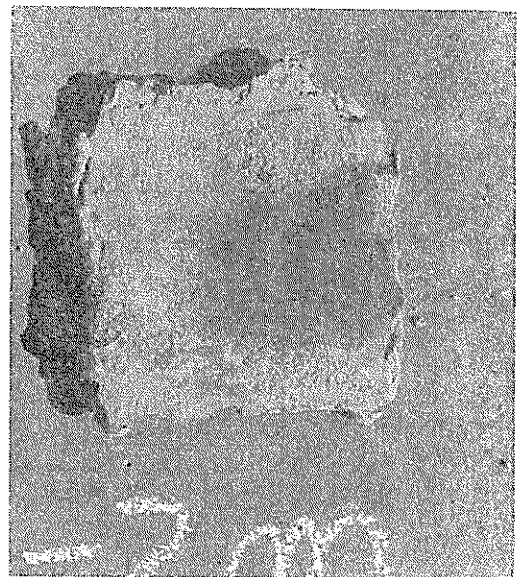
海 側 (切取り直後)



海 側 (脱錆前)

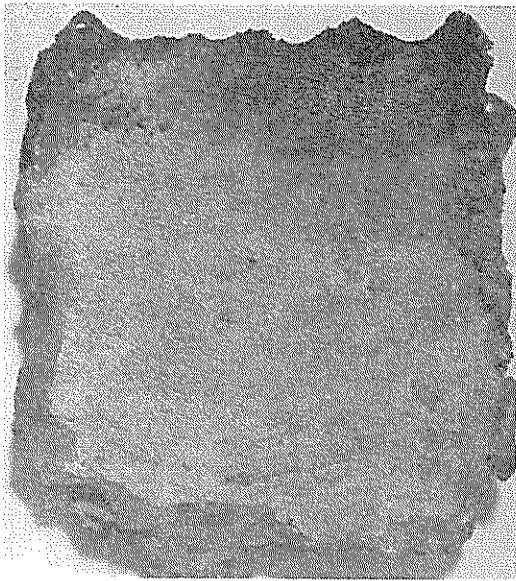


海 側 (脱錆後)

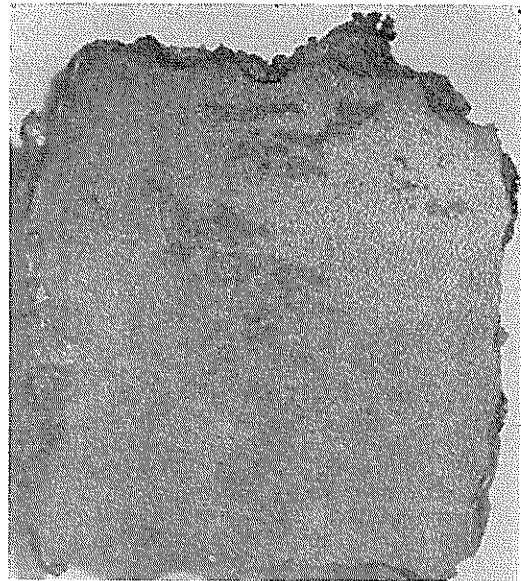


陸 側 (切取り直後)

図 5.36 広畑港における切取り鋼矢板片 (No.1, -3m)



陸側(脱銷前)



陸側(脱銷後)

図 5.36 広畑港における切り取り銅矢板片 (No.1, -3m)

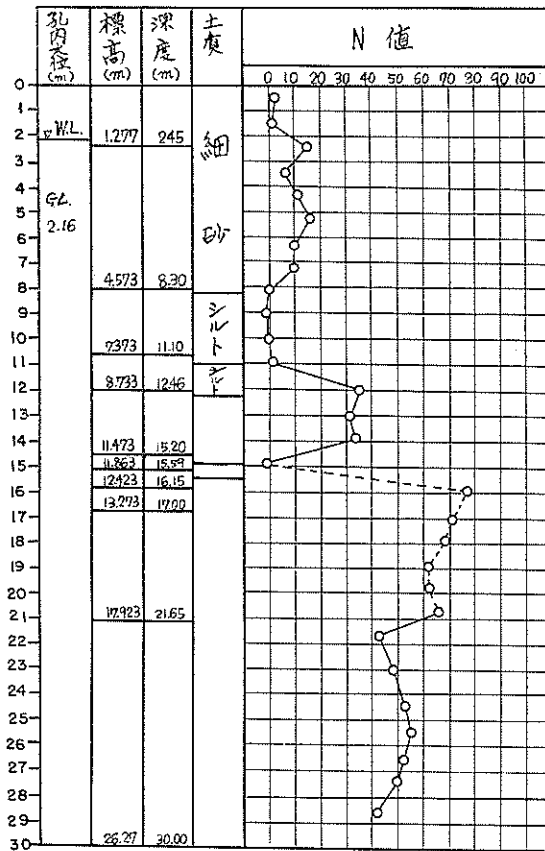


図 5.37 広畑港における土質

表5.10 広畑港における水質試験結果

	水深 (m)	外観	PH	Cl <sup>-</sup> (‰)
No. 1	-1	やや黄褐色	9.0	15.76
	-3		9.1	16.85
No. 4~5	-1	やや黄褐色	8.6	15.89
	-5		8.3	16.84
No. 8	-1	やや黄褐色	8.4	14.79
	-8		8.8	14.89

表5.11 西浜護岸電位測定結果

単位: mV

	No. 1	No. 1~ No. 2間	No. 2
水面	-690(※)	-625	-620
-1		-650	-620
-2		-650	-625
泥面上		-635	-630

※回矢板

表5.12 広畑港における切取鋼矢板片の分析結果

単位：%

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
No.1	0.30	0.10	0.69	0.047	0.060	0.05	0.05	0.24

鋼矢板のタイプはYSP III

### 5-7 考 察

以上の測定結果より次のことが考察される。

(1) 超音波式厚み計（水中用）の現地適用性

表5.5より凸矢板（②，③，④）と凹矢板（⑦，⑧，⑨）に対する超音波式厚み計（水中用）の適用率を算出してみると次のようになる。

No.1～No.12 までの凸矢板については

肉厚測定可能な点	270
肉厚測定不能な点	34
適用率	$270/304 \times 100 \div 89(\%)$

No.1～No.12 までの凹矢板については

肉厚測定可能な点	239
肉厚測定不能な点	31
適用率	$239/270 \times 100 \div 89(\%)$

以上の算出値によれば超音波式厚み計（水中用）の適用率は凸凹矢板ともに約90%であり凸凹矢板による適用性の難易は見られない。肉厚測定ができなかった点は凸矢板で34，凹矢板で31ほどある。ここでいう測定不能な点とは主として鋼矢板面上にある凸凹のために良好な共振波形が得られず肉厚の読み取りが精度よく行なえなかったところである。このような測定不能な点は海水面上においても、また海水面下においても見られる。海水面上の鋼矢板面は図5.16または5.18に示すように1mm～2mm程度の凹みがあるため良好な共振波形がでにくい。したがって海水面上ではかなり入念にグラインダーで鋼矢板面の凸部をなくすことが必要である。一方海水面下では図5.35などに見られるように比較的平滑な面をしているので良好な共振波形がやすいが付着物除去のために使用したカンカン・ハンマーの傷痕は良好な共振波形を出にくくする。

したがって海水面下で測定不能なところはこのような深さ1mm前後の傷瘍の上に探触子が押しつけられたために良好な共振波形が得られなかったものと推定される。この結果超音波式厚み計（水中用）を現地で使用するとき海水面上ではグラインダーによる鋼矢板面を研摩すること、海水中では付着物除去のためにハンマーの叩き痕をつけないことに留意することが望まれる。しかし海水面上のグラインダー研摩にはかなり時間がかかり、また

海水中ではハンマー以外の腐食などによる凹みがあるところでは測定不能となることも考えられる。このためには測定不能の際は鋼材片の切り取りなどの検定方法を講ずることが必要である。

次に測定値の精度を知るために No.1 における超音波式厚み計による現地測定値と切り取り鋼矢板片についての測定値とを比較してみると図5.38のようになる。

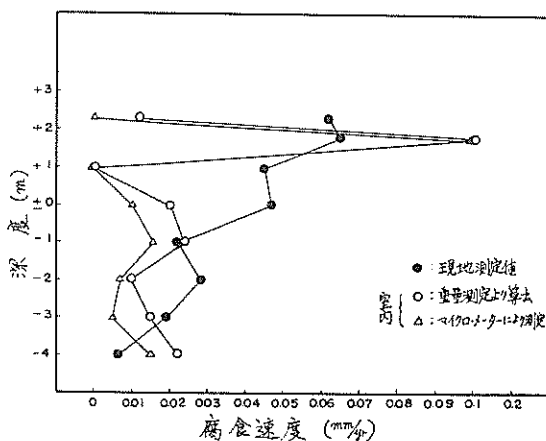


図 5.38 現地測定値（超音波式厚み計による）と室内測定値（切り取り鋼矢板片について）との比較（測定地点 No.1）

図5.38によれば-1m以下では超音波式厚み計による現地測定値は切り取り鋼矢板片についての測定値とほとんど差がないが、±0以上では0.05mm/yr位の差がある。

(2) 調査鋼矢板の腐食量

No.1～No.12 における鋼矢板の腐食量は図5.39の通りである。ただし、No.5～No.12 はそれぞれ電気防食法が3～7年適用されているがここでは電気防食法適用後の腐食量は零と仮定してNo.5～No.12の腐食量を図示した。したがって実際はこれより多少大きいことが予想される。図5.39によれば超音波式厚み計から求めた鋼矢板の腐食速度はH.W.L. (+1.8m)以下では0.05mm/yrと思われる。ただしH.W.L.とそれ以上では図5.38のような傾向が超音波式厚み計（水中用）による測定値と切り取り鋼材片についての測定値との間にあるためH.W.L.

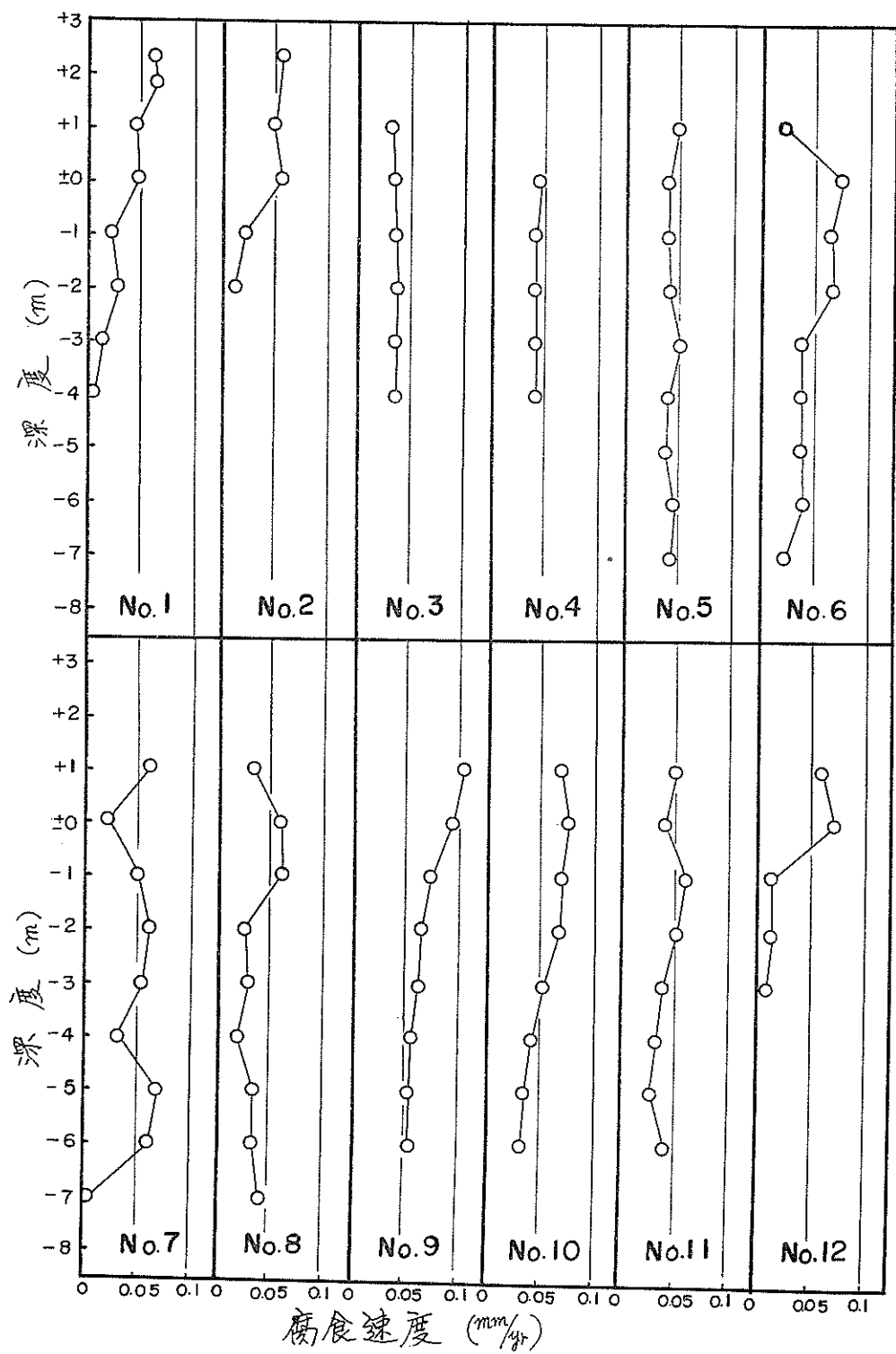


図 5.39 広畑港における鋼矢板腐食速度超音波式厚み計による



とそれ以上の腐食速度は0.1mm/yrと考えられる。ここでいう腐食速度とは鋼矢板両面からの腐食速度の和である。

したがって海側の腐食速度と陸側の腐食速度を合計したものがH. W. L. 以下では0.05mm/yr以下、H. W. L. とH. W. L. 以上では0.1mm/yrということになる。とくに切り鋼矢板片からもわかるように海水面下の腐食速度(すなわち海側、陸側からの腐食速度の和)が0.02~0.03mm/yrという事実は港湾鋼構造物の腐食を考慮して行く上で非常に重要な意味をもつと思われる。

次に広畑港における鋼矢板腐食傾向のパターンを考えてみよう。腐食量測定の基本は重量からの算出であるから図5.38の○印を結んだ線が矢板腐食の傾向を示すものと見られる。これによれば裏込めのあるところの鋼矢板の腐食速度はH. W. L. 上で0.01mm/yr, H. W. L. で0.1mm/yr, 潮位間で0mm/yr, 海水中は0.01~0.03mm/yr

表5.13 坂田式厚み計による過去の調査結果

昭和35年5月測定						
岸壁名	測定地点	水深(m)	初期肉厚(mm)	現有肉厚(mm)	肉厚減少量(mm)	腐食速度(mm)
岸壁	-9m	+1.0	22.0	16.80	5.20	0.260
		±0	22.0	16.50	5.50	0.275
		-2	22.0	16.95	5.05	0.253
		-4.5	22.0	17.80	4.20	0.210
		-9	22.0	17.50	4.50	0.225
	岸	+1.0	22.0	15.90	6.05	0.303
		±0	22.0	16.45	5.55	0.278
		-2	22.0	17.10	4.90	0.245
		-4.5	22.0	17.95	4.05	0.203
		-9	22.0	17.45	4.55	0.228
	壁	+1.0	22.0	16.60	5.40	0.270
		±0	22.0	16.80	5.20	0.260
		-2	22.0	17.20	4.80	0.240
		-4.5	22.0	17.90	4.10	0.205
		-9	22.0	17.70	4.30	0.215
岸壁	-7.5m	+1	15.5	11.05	4.45	0.223
		±0	15.5	11.00	4.50	0.235
		-2	15.5	11.50	4.00	0.200
		-3	15.5	11.60	3.90	0.195
		-7.5	15.5	11.75	3.75	0.188
	壁	+1	15.5	11.50	4.00	0.200
		±0	15.5	11.60	3.90	0.195
		-2	15.5	12.10	3.40	0.170
		-3	15.5	12.60	2.90	0.145
		-7.5	15.5	12.30	3.20	0.160

となる。

また No.1, No.2 の地点では鋼矢板①, ⑤, ⑥, ⑩の現有肉厚も測定しているがこの部分の初期肉厚がはっきりしないのと探触子のあてた位置によって肉厚が多少異なるため正確な腐食速度は算出できない。試みにYSPⅢ型鋼矢板のこの部分のもっとも薄いところ(探触子をあてた付近)の肉厚は8mmであるからこれを初期肉厚と考えてみると、現有肉厚は8mmに近いので②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨と同様にほとんど腐食していないことになる。

(3) 過去の調査結果との比較

昭和34年5月に坂田式厚み計による腐食調査が広畑港の-9m岸壁と-7.5m岸壁について請負業者によって行なわれている。-9m岸壁では3地点、-7m岸壁では2地点で測定されたが測定結果は表5.13の通りである。-9m岸壁の鋼矢板は今回の調査地点No.6, 7, 8の鋼矢板に、-7m岸壁の鋼矢板は今回のNo.9, 10, 11の鋼矢板に相当する。したがってそれぞれ相当する鋼矢板についての測定値(平均値)で過去の調査結果と今回の調査結果を比較してみると図5.40のようになる。図5.40によれば今回の超音波式厚み計で求めた腐食量は過去の坂田式厚み計で求めた腐食量の1/5位である。すなわち坂田式厚み計では超音波式厚み計よりも5倍位大きい腐食量を算出していたことになる。しかし単に厚み計による測定だけではどちらの厚み計による測定値が正しいのかははっきりしないが、切り取りと鋼材片について重量測定またはマイクロメーターによる肉厚測定より算出した腐食量との比較によって超音波式厚み計による測定値の

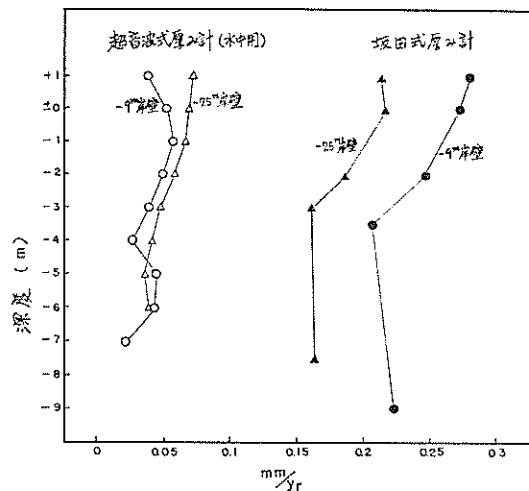


図 5.40 超音波式厚み計(水中用)による腐食速度と坂田式厚み計による腐食速度との比較

方が正しく鋼矢板の腐食量を示していることが明らかである。

(4) 電気防食期間による腐食速度の違い

表5.1に示すように今回調査したときの鋼構造物の経過期間28年のうちには電気防食法を適用した期間が0～7年の範囲に含まれている。したがって適用期間が0年(No.1, No.2, No.3), 3年(No.5), 5年(No.10), 6年(No.6, No.7, No.8, No.9), 7年(No.11, No.12)の各組毎の腐食速度の平均値を図5.41のように示す。

図5.41からは電気防食適用期間の長短による腐食速度の差異ははっきりしない。

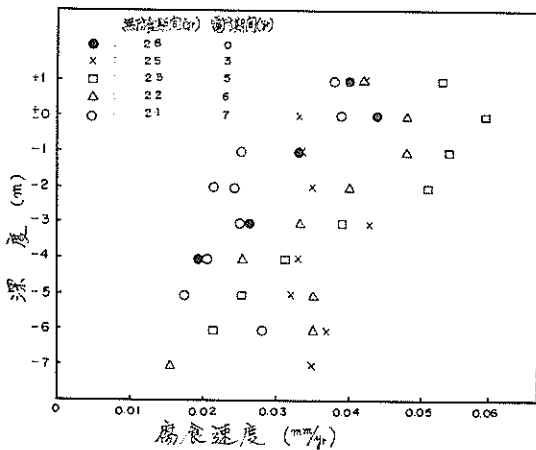


図 5.41 電気防食適用期間が同じ地点毎の腐食速度

(5) 裏込めの影響

西浜護岸一端の鋼矢板の2枚には図5.25に示すような穴があいている。穴があいているところは丁度H. W. L. (+1.8m) 付近でいわゆるスプラッシュ・ゾーンである。しかし腐食による穴があいているのはここだけで同じ西浜護岸の他の海水面上は図5.23, 5.24のように腐食のひどいところは見られない。穴があいている鋼矢板は測定地点が No.1, No.2 と同じ西浜護岸でほとんど同じ場所と考えられる。ただ異なるのは裏込めの有無である。No.1, No.2 は図5.22のように鋼矢板天端まで裏込めがあるが、穴があいている鋼矢板のところは図5.25からもうかがわれるように裏込めが欠けている。いま仮りに28年間で穴があいたとすると28年間で13mm(初期肉厚)の肉厚減少があったことになるので腐食速度は  $13\text{mm}/28\text{yr} = 0.46\text{mm/yr}$  となる。ただしこれは両面からの腐食速度であるから片面からはその半分の  $0.23\text{mm/yr}$  である。

H. W. L. の鋼矢板の腐食速度を求める場合これまで

は H. W. L. に単独に置いた鋼材片面からの腐食速度 ( $C_{sw}$  とする) と、単独に H. W. L. に相当する裏込め土砂中に埋設した鋼材片面からの腐食量 ( $C_s$  とする) の和、すなわち  $C_{sw} + C_s$  を算出する。

このような方法で H. W. L. の鋼矢板の腐食速度を求めるとき  $C_s$  を無視しても  $C_{sw} = 0.23\text{mm/yr}$  であるから  $0.23\text{mm/yr}$  以上の腐食速度、すなわち  $6.5\text{mm}$  以上の肉厚減少量が見込まれる。しかしながら No.1 の +1.8m における切取り鋼矢板片の重量測定より求めた肉厚減少量は  $3\text{mm}$  であるから腐食速度は  $0.106\text{mm/yr}$  となる。したがって鋼矢板構造物(裏込めがある)の腐食速度は ( $C_{sw} + C_s$ ) では説明できないことがわかる。図5.38によれば切取り鋼矢板片の腐食速度(海側と陸側からの腐食速度の和)は H. W. L. ~ 海底泥面までは  $0 \sim 0.02\text{mm/yr}$  であるが、これは裏込めの鋼矢板腐食に対する作用が大きく影響しているのではないかと予想される。

(6) 材質および水質の影響

表5.12によれば調査鋼矢板は普通の鋼矢板である。また表5.10によれば採水の pH は中性でとくに酸による侵食はないと考えられる。

(7) 鋼矢板の表面

切取り鋼矢板の脱錆後の表面には細い条痕が見られる。

このような条痕は何によるのかが明らかになれば鋼矢板構造物の腐食機構を知る一つの手掛りになると思われる。一つの試みとして施工時の鋼矢板がはっきりしないので未使用の鋼矢板を図5.29～5.36の切取り鋼矢板面と同じ条件で撮影すると図5.42のようになる。ただし図5.42に示す鋼矢板片上方はクエン酸アンモニウム10%溶液に浸漬して黒皮を除去したところである。図5.42の鋼矢板面の条痕に似た直線状の傷が凸矢板では海側(図5.30, 5.31, 5.33, 5.35, 5.36)に凹矢板では陸側(図5.34)に認められる。しかしこのことから直ちに30年後の鋼矢板面の条痕が施工時のものであるとはいえないが、図5.32の陸側(脱錆後)に見られる矢板タイプを示す刻印とともに鋼矢板構造物の腐食に対する興味ある資料の一つである。一方調査鋼矢板面の最深の凹めは  $2.8\text{mm}$  である。

(8) 鋼矢板腐食速度の誤差

鋼矢板腐食量は(4-12-1)式から算出するために初期肉厚と現有肉厚のばらつきによる誤差がある。腐食量の誤差の大きさを求めるために1例として切取り鋼矢板片について検討してみる。鋼矢板片の現有肉厚の誤差は表5.7に示すマイクロ・メーターによる肉厚の誤差を用い、初期肉厚の誤差が  $\pm 0.05\text{mm}$ ,  $\pm 0.5\text{mm}$ ,  $\pm 1\text{mm}$  としたとき、

腐食量の誤差は表5.14のようになる。

矢板の腐食量に伴う誤差は  $\pm 0.04\text{mm/yr}$  である。

表5.14によれば初期肉厚の誤差が  $\pm 1\text{mm}$  のとき調査鋼

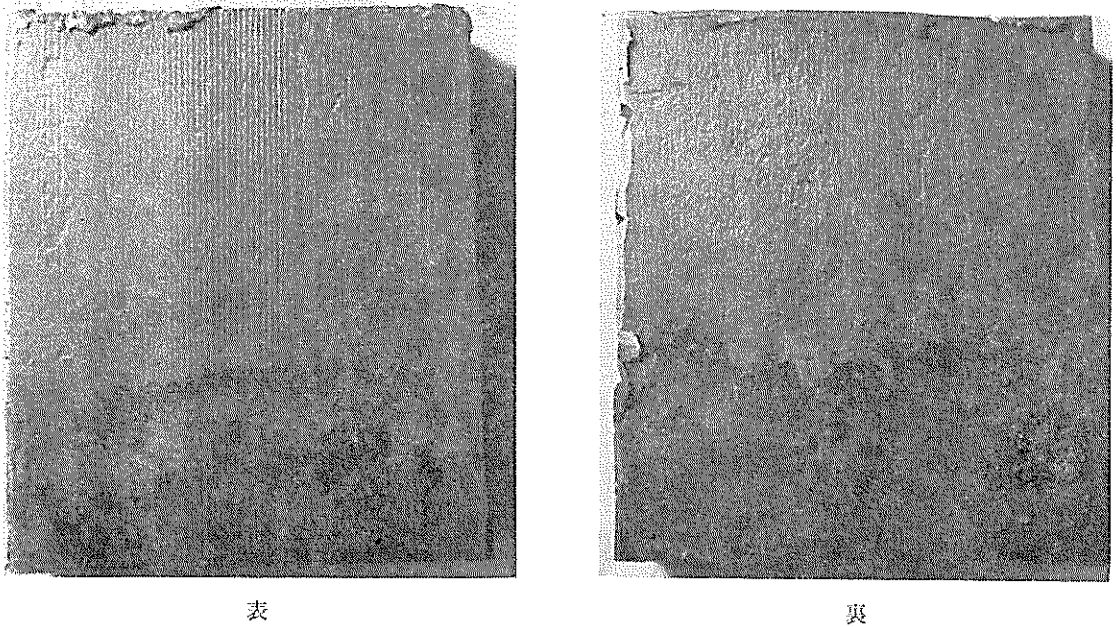


図 5.42 未使用鋼矢板表面の 1 例

表5.14 切取り鋼矢板片腐食量の誤差

施設名	測定点	水深 (m)	マイクロ・メーターで測定した肉厚平均値(mm)	肉厚減少量にともなう誤差(mm)			腐食速度にともなう誤差(mm/yr)		
				1	2	3	1	2	3
西浜護岸 (28yr)	No. 1-㊸	+2.3	12.85 $\pm$ 0.09※	$\pm$ 0.01	$\pm$ 0.51	$\pm$ 1.00	$\pm$ 0.004	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036
	No. 1-㊹	+1.8	10.21 $\pm$ 0.12	$\pm$ 0.13	$\pm$ 0.50	$\pm$ 1.01	$\pm$ 0.005	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036
	No. 1-㊺	+1.0	13.53 $\pm$ 0.07	$\pm$ 0.09	$\pm$ 0.50	$\pm$ 1.00	$\pm$ 0.003	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036
	No. 1-㊻	$\pm$ 0	12.72 $\pm$ 0.14	$\pm$ 0.15	$\pm$ 0.52	$\pm$ 1.01	$\pm$ 0.005	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036
	No. 1-㊼	-1.0	12.54 $\pm$ 0.04	$\pm$ 0.06	$\pm$ 0.50	$\pm$ 1.00	$\pm$ 0.002	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036
	No. 1-㊽	-1.0	12.80 $\pm$ 0.10	$\pm$ 0.11	$\pm$ 0.51	$\pm$ 1.01	$\pm$ 0.004	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036
	No. 1-㊾	-2.0	12.86 $\pm$ 0.02	$\pm$ 0.05	$\pm$ 0.50	$\pm$ 1.00	$\pm$ 0.002	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036
	No. 1-㊿	-3.0	12.57 $\pm$ 0.03	$\pm$ 0.06	$\pm$ 0.50	$\pm$ 1.00	$\pm$ 0.002	$\pm$ 0.018	$\pm$ 0.036

※: 95%信頼限界

1: 初期肉厚の誤差を  $\pm 0.05\text{mm}$  としたとき

2: 初期肉厚の誤差を  $\pm 0.5\text{mm}$  としたとき

3: 初期肉厚の誤差を  $\pm 1\text{mm}$  としたとき

## 6. 大阪港における調査（鋼矢板）

### 6-1 調査対象構造物

大阪港で調査した鋼構造物は図 6・1 および表 6・1 に示す 3 岸壁である。

### 6-2 調査年月日

調査は昭和42年 8 月 1 日～8 月 4 日および10月28日～10月31日に行なわれた。なお調査の日程は次の通りである。

8 月 1 日①調査についての打合せ

調査関係機関は次の通りである。

大阪市港湾局

運輸省第 3 港湾建設局・神戸調査設計事務所

運輸省港湾技術研究所

②現場視察

③使用機器の点検

8 月 2 日①肉厚測定

大阪港第 2 突堤第 5 号岸壁

No.1 (−5.6, −6.6, −7.6m)

No.2 (−5.6, −6.6, −7.6m)

No.3 (−5.6, −6.6, −7.6m)

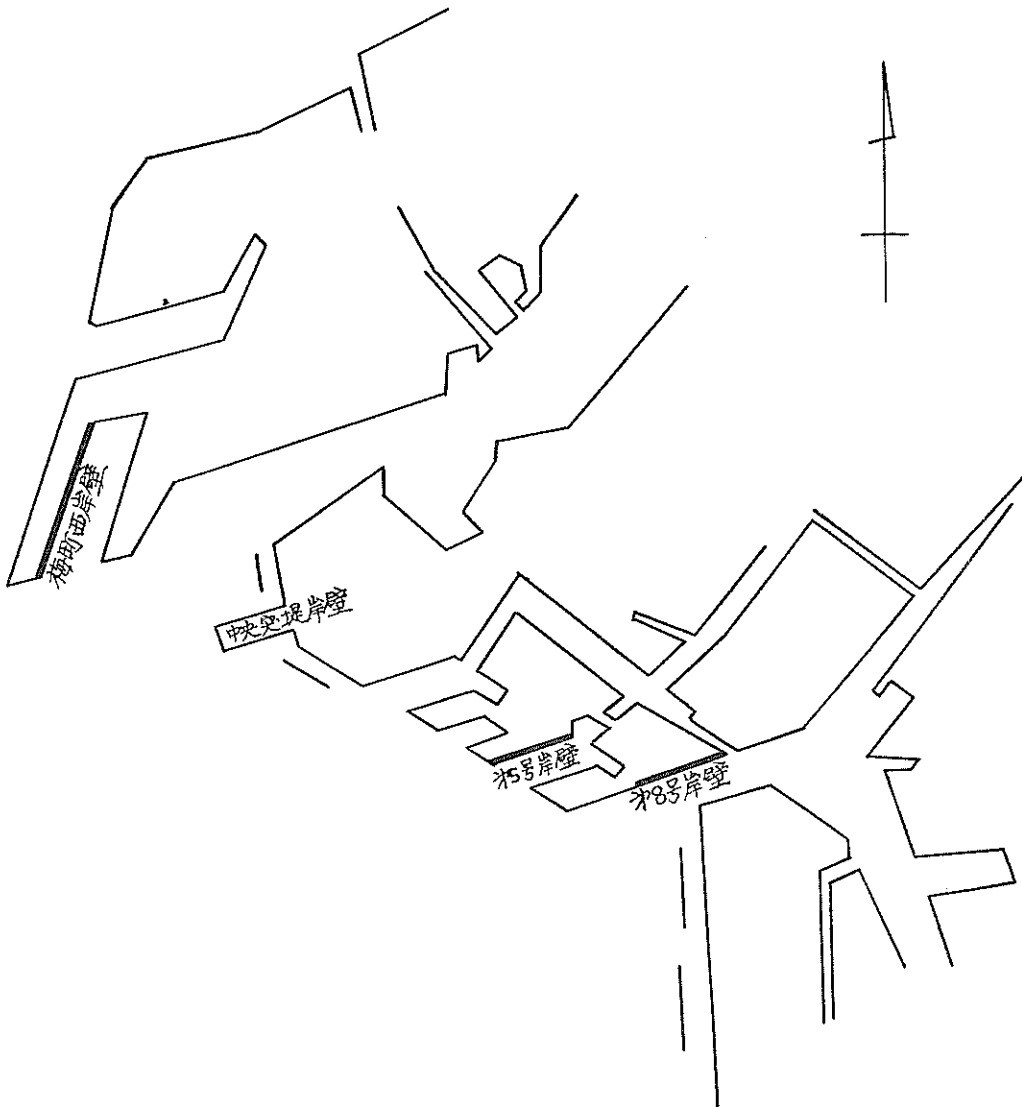


図 6・1 大阪港において腐食調査した鋼構造物の位置図

表 6.1 大阪港における調査鋼構造物

名 称	水 深 (m)	矢 板 タイプ	初期肉厚(mm)		延 長 (m)	施 工 年	経過期 間(yr)	防食法	無防食期 (yr)	測 定 年 月
			1)	2)						
第2突堤第5号岸壁	- 9	Larssen V	20.5	12	360	S. 9	33	なし	33	S. 42. 8
第3突堤第8号岸壁	- 7.5	Larssen V	20.5	12	336	S. 4	38	なし	38	S. 42. 8
梅町西岸壁		Larssen VI	22.0	14	250	S. 5	37	なし	37	S. 42. 8

1) 図2.1の②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨のカタログ肉厚  
2) 図2.1の①, ⑤, ⑥, ⑩のカタログ肉厚

②付着物の採取

③採水

8月3日①肉厚測定

大阪港第3突堤第8号岸壁

No.1 (-4.8, -5.8m)

No.2 (-4.6, -5.6, -6.6m)

No.3 (-4.6, -5.6, -6.6m)

No.4 (-4.6, -5.6, -6.6m)

No.5 (-4.6, -5.6m)

②付着物の採取

③採水

8月4日①肉厚測定

大阪港梅町西岸壁

No.1 (-6.6m)

No.2 (-6.3m)

No.3 (-6.3m)

②付着物の採取

③採水

④機器および採取物(付着物および採水)の  
梱包および発送

なお肉眼観察および写真撮影は肉厚測定と平行して行  
なった。

10月28日~10月31日

①鋼矢板片の切り取り

大阪港第2突堤第5号岸壁

No.1 (-5.6, -6.6, -7.6m)

No.2 (-5.6, -6.6, -7.6m)

大阪港第3突堤第8号岸壁

No.1 (-4.8, -5.8m)

No.5 (-4.6, -5.6m)

②切り取りカ所の補修

③切り取り鋼矢板片の発送(港湾技術研究所  
へ)

6-3 使用機器

使用機器は4-16による。

6-4 調査カ所

6-4-1 肉厚測定カ所

超音波式厚み計(水中用)による肉厚測定カ所は現地  
打合せの結果, 第5号岸壁では図6.2のようにNo.1~  
No.3の3地点, 第8号岸壁では図6.3のようにNo.1~  
No.5の5地点, 梅町西岸壁では図6.4のようにNo.1~  
No.3の3地点, 計11の測定地点を設定した。

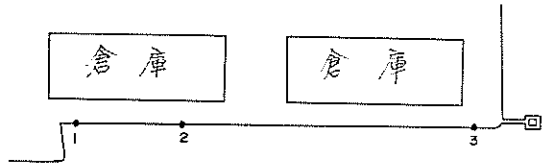


図 6.2 大阪港第2突堤第5号岸壁の測定地点

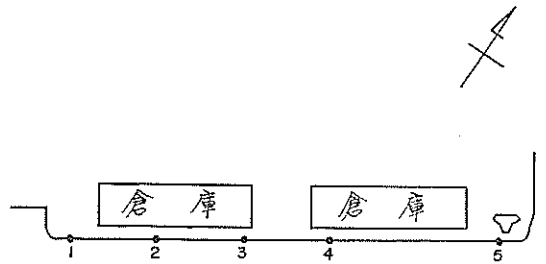


図 6.3 大阪港第3突堤第8号岸壁の測定地点

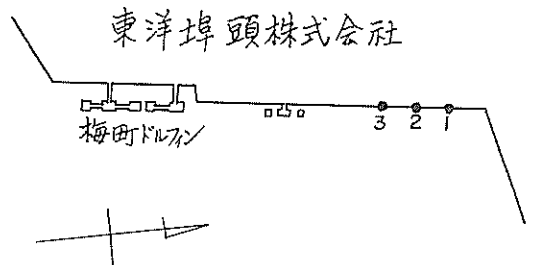


図 6.4 大阪港梅町西岸壁の測定地点

また調査岸壁の外観を図6.5~図6.7に示す。次に各測  
定地点における水深方向の測定点は図6.8の通りであ  
る。鋼矢板断面方向の測定点は図4.1のように①~⑩で  
ある。



図 6.5 大阪港第2突堤第5号岸壁



図 6.7 大阪港梅町西岸壁



図 6.6 大阪港第3突堤第8号岸壁

6-4-2 付着物採取地点

付着物の採取は表 6.2 の地点で行なった。

6-4-3 鋼矢板片の切り取りカ所および枚数

鋼矢板片の切り取りは第5号岸壁および第8号岸壁において鋼矢板の①, ③, ⑤の位置について行なった。切り取りカ所および枚数は表 6.3 の通りである。

表 6.2 大阪港における付着物採取カ所 (○印)

水深 (m)	5号岸壁			水深 (m)	8号岸壁					水深 (m)	梅町西岸壁	
	No. 1	No. 2	No. 3		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5		No. 1	No. 3
-5.6			○	-4.6	○ <sup>1)</sup>	○	○	○	○			
-6.6	○	○	○	-5.6	○ <sup>2)</sup>	○	○	○	○			
-7.6	○			-6.6		○	○	○		-6.6	○	○ <sup>3)</sup>

1) -4.8m 2) -5.8m 3) -6.3m

表 6.3 大阪港における鋼矢板片切り取りカ所および枚数

水深 (m)	5号岸壁			水深 (m)	8号岸壁		
	No. 1-③	No. 1-⑤	No. 2-④		No. 1-③	No. 1-⑤	No. 5-①
-5.6	1	1	1	-4.8	1	1	1 <sup>1)</sup>
-6.6	1	1	1	-5.8	1	1	1 <sup>2)</sup>
-7.6	1	1	1				

1) -4.6m 2) -5.6m

表 6.4 大阪港における採水地点 (○印)

水深 (m)	5号岸壁 No. 2	水深 (m)	8号岸壁 No. 1	水深 (m)	梅町 西岸壁 No. 2
-1	○	-1	○	-1	○
-8	○	-7	○	-7	○

6-4-4 採水地点

採水は表 6.4 に示す地点で行なった。

6-5 調査方法

調査方法は次の通りである。

6-5-1 鋼矢板の現有肉厚測定

鋼矢板の現有肉厚測定は4-4, 4.8によったが現地にお

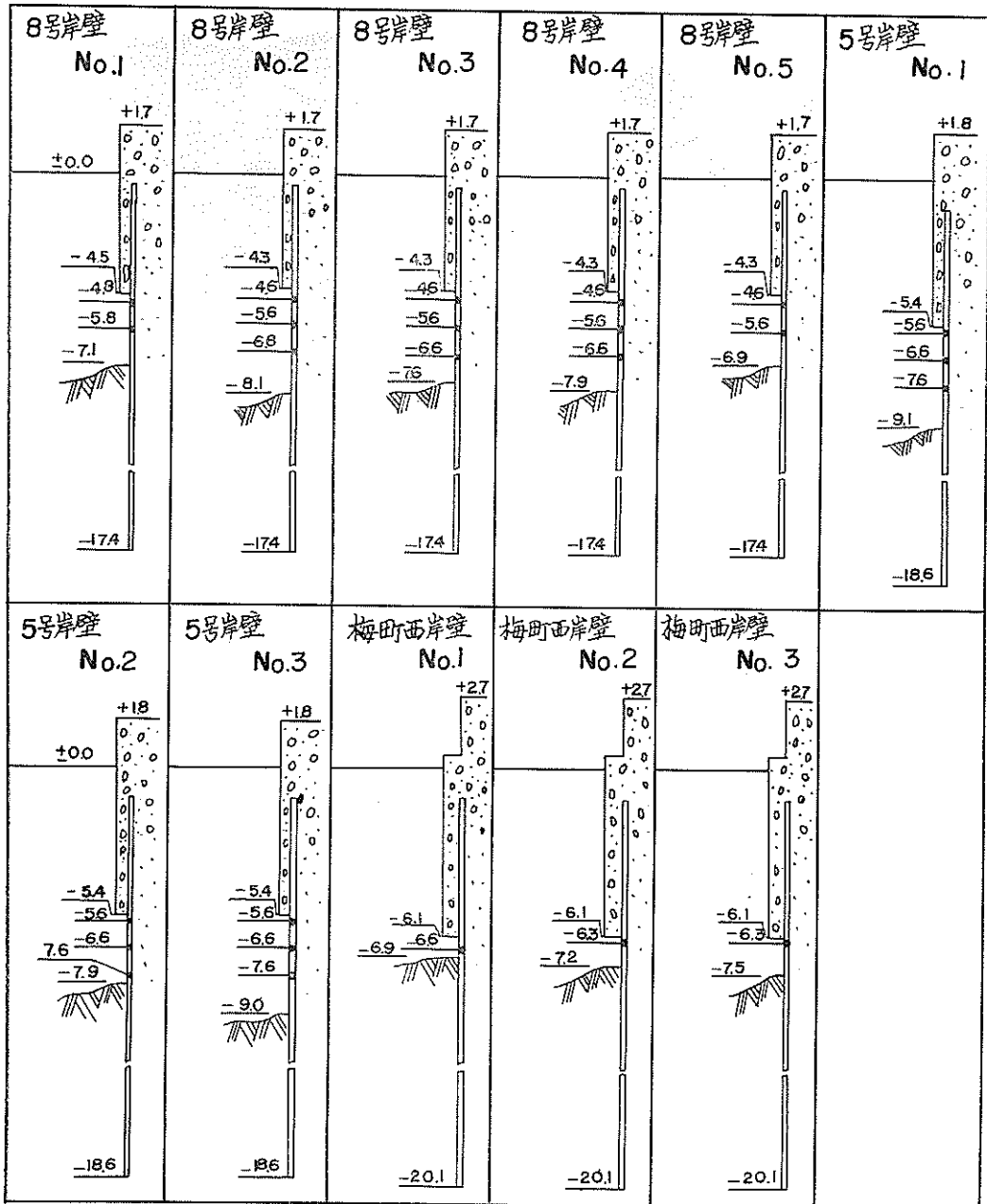


図 6.8 大阪港における肉厚測定点（深度方向）

ける測定状況は次の通りである。

付着物除去に使用した道具は図 6.9 のようにハンマー、スクレーラーおよびワイヤー・ブラシである。第 5 号岸壁 No. 1 では図 6.10 に示すような縄梯子を現地で用意してこれを所定の深度まで下げ図 6.11 に示すように緊船柱に固定した。この縄梯子に潜水夫が乗って付着物の除去および探触子の押しあて作業を行なった。しかし第 8 号

岸壁および梅町西岸壁では潜水夫を 2 組用意して 1 組は付着物の除去、他の 1 組が探触子の押しあて作業を分担したが図 6.10 のような縄梯子を使用しなかった。

探触子を被測定鋼矢板面へ吸着後の厚み計本体による測定は図 6.12 のように上部コンクリート上もしくは図 6.13 のように車上で行なった。

測定した現有肉厚を用いて (4-12-1) 式より腐食速度

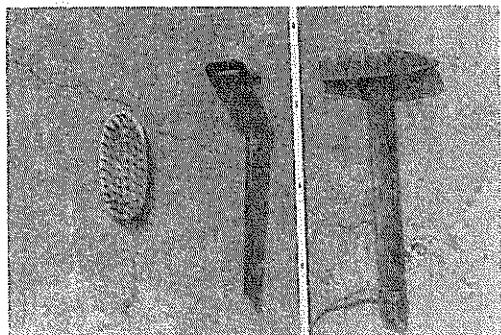


図 6.9 付着物除去用の道具



図 6.13 肉厚読み取り状況（車上）

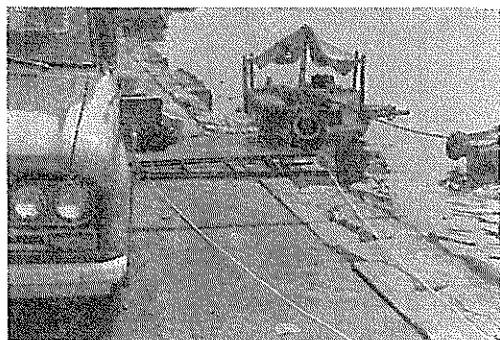


図 6.10 潜水用梯子

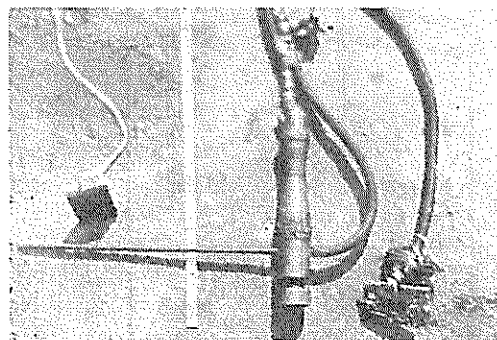


図 6.14 水中切断用工具

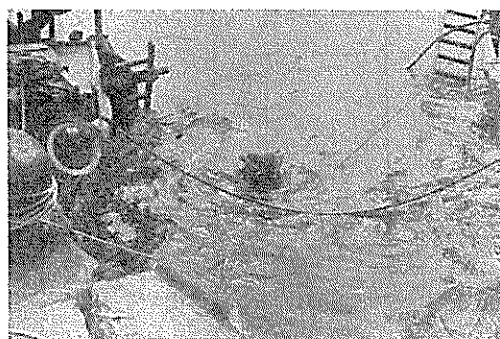


図 6.11 潜水状況

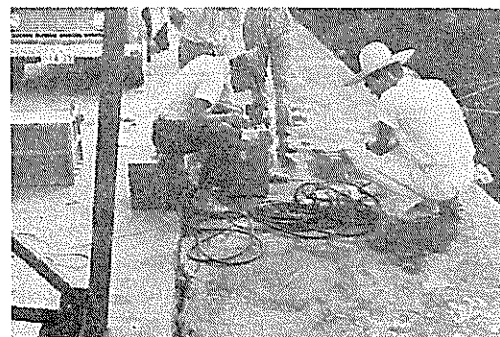


図 6.12 肉厚読み取り状況（陸上）

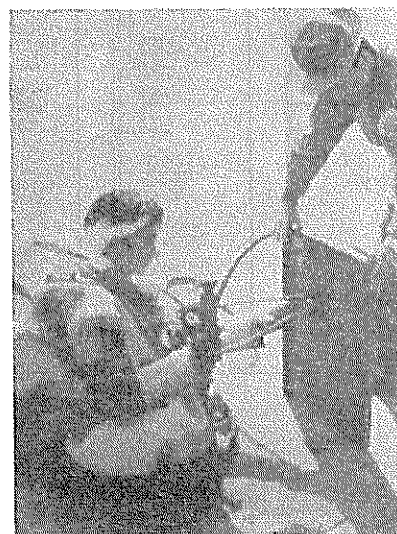


図 6.15 水中切断要領



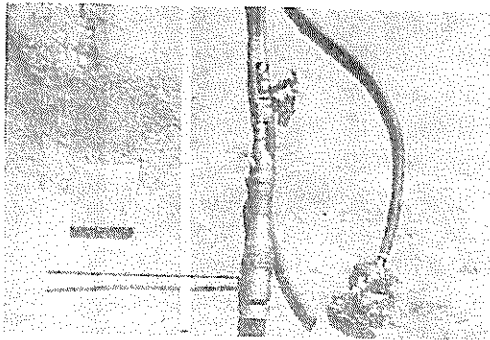


図 6.16 水中溶接工具

を算出した。

6-5-2 付着物採取

付着物採取は4-5の要領で行なった。

6-5-3 鋼矢板片の切り取り, 成形, 脱錆および切り取りカ所の補修

鋼矢板片の切り取り, 成形, 脱錆および切り取りカ所の補修は4-9の要領によった。なお図6.14に使用した水中切断用工具を, 図6.15に水中切断の要領を示す。また図6.16に水中溶接用工具を, 図6.17に水中溶接の要領を示す。このほか切り取り鋼矢板の肉厚および重量測定は4-10の要領で行なった。

表 6.5 大阪港における鋼矢板肉厚測定結果

超音波式厚み計による  
単位: mm

岸壁名	測定位置	深度 (m)	凸 矢 板			凹 矢 板			凸 矢 板		凹 矢 板		
			②	③	④	⑦	⑧	⑨	①	⑤	⑥	⑩	
5 号 岸 壁	No. 1	-5.6	—	—	—	—	—	—	11.70	10.16	12.20	—	
		-6.6	—	—	—	—	—	—	11.94	—	12.31	—	
		-7.6	18.92	20.48	19.46	19.02	19.56	18.72	12.20	11.74	—	—	
	No. 2	-5.6	—	—	—	20.50	21.20	—	—	—	—	—	
		-6.6	—	—	—	21.72	21.92	20.68	—	—	10.76	13.11	
		-7.6	21.08	21.25	21.96	—	21.00	—	12.88	—	—	11.61	
	No. 3	-5.6	—	20.90	—	—	—	20.68	—	—	—	—	
		-6.6	—	21.98	—	—	—	21.50	—	—	—	—	
		-7.6	—	—	—	—	—	20.84	—	—	—	—	
	8 号 岸 壁	No. 1	-4.8	—	—	—	18.92	—	19.48	10.14	10.46	10.62	10.56
			-5.8	—	19.48	—	19.24	19.28	19.50	11.80	11.14	11.58	11.02
		No. 2	-4.6	20.80	21.60	—	—	20.72	20.88	—	11.34	10.70	—
-5.6			—	20.24	20.62	—	20.22	19.64	10.40	—	11.02	10.42	
-6.6			—	19.72	19.28	19.84	21.52	21.88	—	—	—	—	
No. 3		-4.6	22.32	21.92	20.20	—	19.68	—	11.74	11.70	11.64	11.22	
		-5.6	20.44	—	—	21.12	—	20.08	—	11.84	10.40	11.24	
		-6.6	22.14	—	18.88	22.24	21.72	21.62	13.40	—	12.04	13.12	
No. 4		-4.6	19.12	21.36	21.32	22.68	22.60	—	11.76	11.24	10.94	—	
		-5.6	21.44	19.72	20.20	20.92	21.48	—	—	11.00	10.48	11.06	
		-6.6	21.08	20.98	20.92	—	—	—	—	—	—	—	
No. 5		-4.6	21.48	19.80	20.04	21.76	20.36	—	—	10.94	11.12	11.26	
		-5.6	20.76	21.48	21.52	21.90	20.88	20.84	11.14	13.06	11.04	—	
梅町西岸壁		No. 1	-6.6	20.48	—	—	21.04	20.08	—	13.81	13.80	13.26	13.67
		No. 2	-6.3	20.16	21.40	19.80	21.36	21.72	21.12	13.12	13.10	13.50	14.18
	No. 3	-6.3	21.20	19.52	20.40	—	—	—	14.74	—	12.48	14.60	



図 6.17 水中溶接要領

6-5-4 観察

観察は4-6の要領で行なった。

6-5-5 水質試験

水質試験は4-13の要領で行なった。

6-5-6 材質試験

材質試験は切り鋼矢板片について4-14の要領で行なった。

6-6 調査結果

6-6-1 現地における鋼矢板肉厚測定結果

超音波式厚み計（水中用）を用いて鋼矢板の現有肉厚を現地で測定した結果は表 6.5, 表 6.6, 表 6.7 の通りである。

表 6.5 の欄で線が引いてあるのは鋼矢板面の凹凸のために鮮明な共振波形がでなくて測定不能のところである。また空白のところは都合によって測定しなかったところである。

表 6.6 大阪港における鋼矢板腐食量（1）

岸壁名	測定位置	深度 (m)	初期肉厚 (mm)	現有肉厚 (mm)				肉厚減少量 (mm)			腐食速度 (mm/yr)		
				凸矢板 <sup>1)</sup> 平均値	凹矢板 <sup>2)</sup> 平均値	凸凹矢板 <sup>3)</sup>		凸矢板 <sup>1)</sup> 平均値	凹矢板 <sup>2)</sup> 平均値	凸凹矢板 <sup>3)</sup> 平均値	凸矢板 <sup>1)</sup>	凹矢板 <sup>2)</sup>	凸凹矢板 <sup>3)</sup>
						平均値	標準偏差						
5号岸壁	No. 1	-5.6	20.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		-6.6	20.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		-7.6	20.5	19.62	19.10	19.36	0.62	0.88	1.40	1.14	0.027	0.042	0.035
	No. 2	-5.6	20.5	—	20.85	—	—	—	0	—	—	0	—
		-6.6	20.5	—	21.44	—	—	—	0	—	—	0	—
		-7.6	20.5	21.43	21.00	21.32	0.44	0	0	0	0	0	0
	No. 3	-5.6	20.5	20.90	20.68	20.79	0.16	0	0	0	0	0	0
		-6.6	20.5	21.98	21.50	21.74	0.34	0	0	0	0	0	0
		-7.6	20.5	—	20.84	—	—	—	0	—	—	0	—
8号岸壁	No. 1	-4.8	20.5	—	19.20	—	—	—	1.30	—	—	0.034	—
		-5.8	20.5	19.48	19.34	19.38	0.13	1.02	1.16	1.12	0.026	0.031	0.029
	No. 2	-4.6	20.5	21.20	20.80	21.00	0.41	0	0	0	0	0	0
		-5.6	20.5	20.43	19.93	20.18	0.40	0.07	0.57	0.32	0.002	0.015	0.008
		-6.6	20.5	19.50	21.08	20.45	1.17	1.00	0	0.05	0.026	0	0.001
	No. 3	-4.6	20.5	21.48	19.68	21.03	1.29	0	0.82	0	0	0.002	0
		-5.6	20.5	20.44	21.60	21.21	0.82	0.06	0	0	0.002	0	0
		-6.6	20.5	20.51	21.86	21.32	1.40	0	0	0	0	0	0
	No. 4	-4.6	20.5	20.06	22.64	21.42	1.44	0.44	0	0	0.012	0	0
		-5.6	20.5	20.45	21.20	20.75	0.77	0.05	0	0	0.001	0	0
		-6.6	20.5	20.99	—	—	—	0	—	—	0	—	—
	No. 5	-4.6	20.5	20.44	21.06	20.69	0.88	0.06	0	0	0.002	0	0
		-5.6	20.5	21.25	21.21	21.23	0.47	0	0	0	0	0	0

岸壁名	測定位置	深度 (m)	初期肉厚 (mm)	現有肉厚 (mm)				肉厚減少量 (mm)			腐食速度 (mm/ry)		
				凸矢板 <sup>1)</sup> 平均值	凹矢板 <sup>2)</sup> 平均值	凸凹矢板 <sup>3)</sup>		凸矢板 <sup>1)</sup> 平均值	凹矢板 <sup>2)</sup> 平均值	凸凹矢板 <sup>3)</sup> 平均值	凸矢板 <sup>1)</sup>	凹矢板 <sup>2)</sup>	凸凹矢板 <sup>3)</sup>
						平均值	標準偏差						
梅町西岸壁	No. 1	-6.6	22.0	20.48	20.56	20.53	0.48	1.52	1.44	1.47	0.041	0.039	0.040
	No. 2	-6.3	22.0	20.45	21.40	20.93	0.77	1.55	0.60	1.07	0.042	0.016	0.029
	No. 3	-6.3	22.0	20.37				1.63			0.044		

1) 図 2.1 の②, ③, ④    2) 図 2.1 の⑤, ⑥, ⑦    3) 図 2.1 の②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦

表 6.7 大阪港における鋼矢板腐食量 (2)

岸壁名	測定位置	深度 (m)	初期肉厚 (mm)	現有肉厚 (mm)			肉厚減少量 (mm)			腐食速度 (mm/yr)			
				凸矢板 <sup>1)</sup> 平均值	凹矢板 <sup>2)</sup> 平均值	凸凹矢板 <sup>3)</sup> 平均值	凸矢板 <sup>1)</sup> 平均值	凹矢板 <sup>2)</sup> 平均值	凸凹矢板 <sup>3)</sup> 平均值	1)	2)	3)	
													凸矢板
5号岸壁	No. 1	-5.6	12	10.92	12.20	11.35	1.08	0	0.65	0.033	0	0.020	
		-6.6	12	11.94	12.31	12.13	0.06	0	0	0.002	0	0	
		-7.6	12	11.97	—	—	0.03	—	—	0.001	—	—	
	No. 2	-5.6	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		-6.6	12	—	11.94	—	—	0.06	—	—	0.002	—	
		-7.6	12	12.88	11.61	12.25	0	0.39	0	0	0.012	0.01	
	No. 3	-5.6	12										
		-6.6	12										
		-7.6	12										
8号岸壁	No. 1	-4.8	12	10.30	10.59	10.45	1.70	1.41	1.55	0.045	0.037	0.041	
		-5.8	12	11.47	11.30	11.39	0.53	0.70	0.61	0.014	0.018	0.016	
	No. 2	-4.6	12	11.34	10.70	11.02	0.66	1.30	0.98	0.017	0.034	0.026	
		-5.6	12	10.40	10.72	10.61	1.60	1.28	1.39	0.042	0.034	0.037	
		-6.6	12										
	No. 3	-4.6	12	11.72	11.43	11.58	0.28	0.57	0.42	0.007	0.015	0.011	
		-5.6	12	11.84	10.82	11.16	0.16	1.18	0.84	0.004	0.031	0.022	
		-6.6	12	13.40	12.58	12.85	0	0	0	0	0	0	
	No. 4	-4.6	12	11.50	10.94	11.31	0.50	1.06	0.69	0.013	0.028	0.018	
		-5.6	12	11.00	10.77	10.85	1.00	1.23	1.15	0.026	0.032	0.030	
		-6.6	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	No. 5	-4.6	12	10.94	11.19	11.11	1.06	0.81	0.89	0.028	0.021	0.023	
		-5.6	12	12.10	11.04	11.75	0	0.96	0.25	0	0.025	0.007	
	梅町西岸壁	No. 1	-6.6	14	13.81	13.47	13.64	0.19	0.53	0.36	0.005	0.014	0.010
		No. 2	-6.3	14	13.11	13.84	13.48	0.89	0.16	0.52	0.024	0.004	0.014
No. 3		-6.3	14	14.74	13.54	13.94	0	0.46	0.06	0	0.012	0.002	

1) 図 2.1 の①, ⑤    2) 図 2.1 の⑥, ⑧    3) 図 2.1 の①, ⑤, ⑥, ⑧

表 6.8 大阪における切取り鋼矢板片の肉厚測定結果

マイクロ・メーターによる

岸壁名	測定点	水深 (m)	初期肉厚 (mm)	肉 厚 測 定 値 (mm)					肉厚減少量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)
				平均値	標準偏差	最大値	最小値	最大最小 値の差		
5 号 岸 壁	No. 1—③	-5.6	20.5	18.185	0.721	19.040	16.542	2.498	2.32	0.070
		-6.6	20.5	18.257	0.786	19.686	17.008	2.678	2.24	0.068
		-7.6	20.5	19.580	0.165	19.760	18.978	0.782	0.92	0.028
	No. 1—⑧	-5.6	20.5	18.332	0.493	19.354	17.310	2.044	2.17	0.066
		-6.6	20.5	18.049	0.522	19.790	17.250	2.540	2.45	0.074
		-7.6	20.5	19.590	0.048	19.660	19.478	0.182	0.91	0.028
	No. 2—①	-5.6	12	11.633	0.662	12.424	10.650	1.774	0.37	0.01
		-6.6	12	10.781	0.850	12.120	9.920	2.920	1.22	0.04
		-7.6	12	11.918	0.668	12.412	10.204	2.208	0.08	0.003
8 号 岸 壁	No. 1—③	-4.8	20.5	20.993	0.252	21.556	20.190	1.366	0	0
		-5.8	20.5	20.721	0.398	21.770	19.990	1.780	0	0
	No. 1—⑧	-4.8	20.5	20.537	0.291	21.048	20.018	1.030	0	0
		-5.8	20.5	20.546	0.264	20.980	19.900	1.080	0	0
	No. 5—①	-4.6	12	9.868	0.369	10.398	9.114	1.284	2.13	0.06
		-5.6	12	10.261	0.238	10.698	9.820	0.878	1.74	0.05

表 6.9 大阪港における切取り鋼矢板片の肉厚測定結果

超音波式厚み計（水中用）を陸側より適用

岸壁名	測定点	水深 (m)	現 有 肉 厚 (mm)									肉 厚 減 少 量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			平均
5 号 岸 壁	No. 1—③	-5.6	—	—	—	—	17.00	—	—	16.96	—	16.98	3.52	0.107
		-6.6	—	—	—	—	—	17.68	—	—	—	17.68	2.82	0.085
		-7.6	18.96	18.96	18.84	18.90	—	—	—	—	—	18.92	1.58	0.048
	No. 1—⑧	-5.6	—	—	—	—	18.28	—	—	—	19.20	18.74	1.76	0.053
		-6.6	—	—	—	—	—	—	—	18.32	—	18.32	2.18	0.066
		-7.6	18.90	18.90	18.76	18.92	18.90	18.84	18.86	18.84	18.76	18.85	1.65	0.050
	No. 2—①	-5.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		-6.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		-7.6	10.94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0.03)
8 号 岸 壁	No. 1—③	-4.8	19.68	20.32	20.24	20.92	20.76	20.32	20.92	20.92	20.84	20.55	0	0
		-5.8	20.12	—	19.96	20.00	19.92	19.92	19.72	20.28	19.88	19.98	0.52	0.014
	No. 1—⑧	-4.8	19.00	19.20	—	19.04	—	19.10	—	—	19.16	19.10	1.40	0.037
		-5.8	—	19.28	18.92	19.28	19.20	19.24	19.20	19.16	19.16	19.18	1.32	0.035
	No. 5—①	-4.6	8.92	9.62	10.22	9.70	—	—	—	—	—	9.62	2.38	0.06
		-5.6	10.28	10.30	9.88	9.94	—	—	—	—	—	10.10	1.90	0.05

—：測定不能

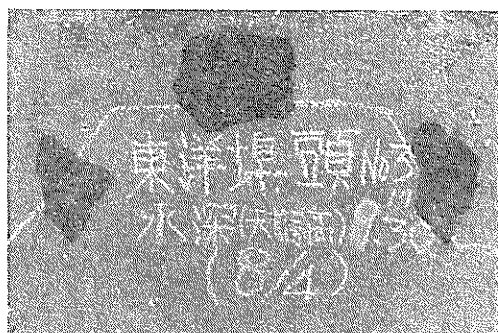
表 6.10 大阪港における切取り鋼矢板片の腐食量

重量減量より算出

岸壁名	測定点	水深 (m)	形状寸法 (mm)				表面積 (cm <sup>2</sup> )	重量 (g)	肉厚 (mm)	初期肉厚 (mm)	肉厚減量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)
			A	B	C	D						
5号岸壁	No. 1-③	-5.6	63.0	54.6	63.6	54.3	34.47	485.24	17.91	20.5	2.59	0.078
		-6.6	60.0	56.6	61.2	59.0	35.03	494.12	17.95	20.5	2.55	0.077
		-7.6	48.0	44.8	47.7	44.8	21.44	322.78	19.15	20.5	1.35	0.041
	No. 1-⑧	-5.6	61.1	55.4	60.9	54.8	33.61	467.10	17.68	20.5	2.82	0.085
		-6.6	64.6	56.6	65.0	55.4	35.96	507.80	17.97	20.5	2.53	0.077
		-7.6	61.6	53.8	62.0	57.8	34.48	520.85	19.22	20.5	1.28	0.039
	No. 2-①	-5.6	26.5	26.2	25.9	25.3	6.75	60.72	11.44	12	0.56	0.02
		-6.6	38.7	46.5	38.9	45.4	17.83	151.52	10.81	12	1.19	0.04
		-7.6	43.2	38.1	44.6	38.2	16.75	152.10	11.55	12	0.45	0.01
8号岸壁	No. 1-③	-4.8	53.4	59.5	51.3	58.5	30.92	497.20	20.46	20.5	0.04	0.001
		-5.8	61.3	55.5	60.7	55.6	33.89	569.40	21.38	20.5	0	0
	No. 1-⑧	-4.8	59.6	57.6	60.9	56.8	34.46	548.60	20.25	20.5	0.25	0.006
		-5.8	60.2	59.2	60.0	59.2	35.58	549.10	19.63	20.5	0.87	0.024
	No. 5-①	-4.6	47.0	39.3	49.3	38.4	18.71	142.16	9.67	12	2.33	0.06
		-5.6	53.0	51.9	53.9	50.3	27.31	216.26	10.07	12	1.93	0.05



5号岸壁, No. 3, -6.6m, 海測



梅町西岸壁, No. 3, -6.3m, 海測

図 6.18 大阪港における調査鋼矢板面の付着物

6-6-2 切取り鋼矢板片についての測定結果

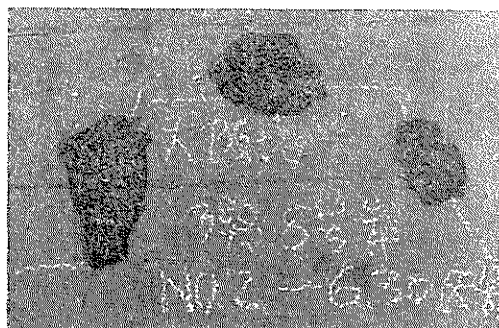
(イ) マイクロ・メーターによる鋼矢板片の肉厚測定結果を表 6.8 に示す。

(ロ) 超音波式厚み計 (水中用) による鋼矢板片の肉厚測定結果は表 6.9 の通りである。

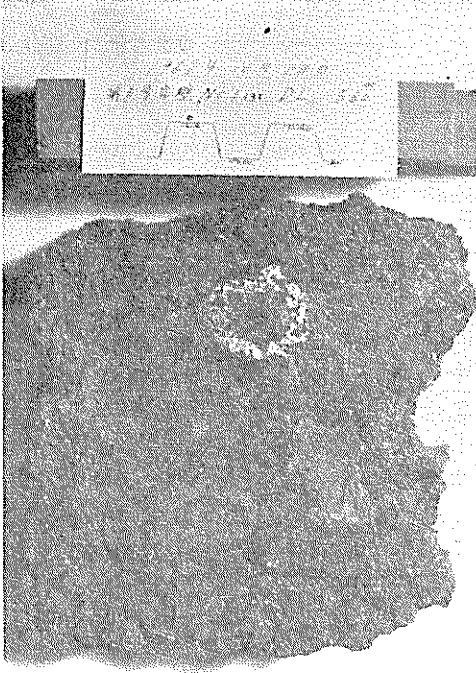
(ハ) 重量測定結果ならびにこれより算出した肉厚減少量および腐食速度を表 6.10 に示す。

6-6-3 観察

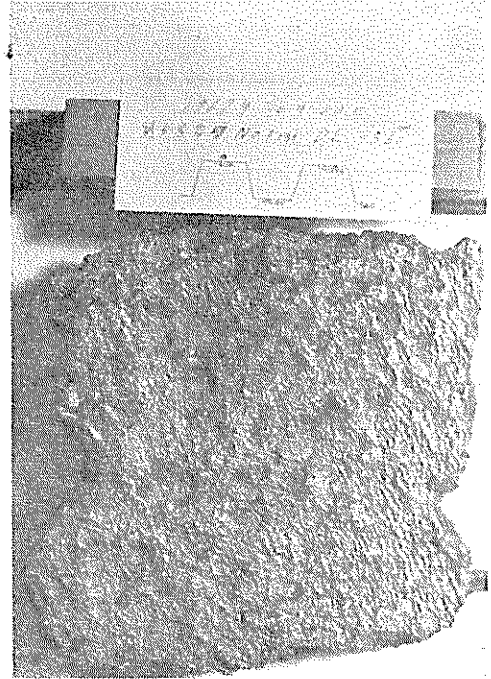
図 6.8 に見られるように各測定地点とも地盤沈下のために上部コンクリートの下端が 4 m 以下の深度まで下



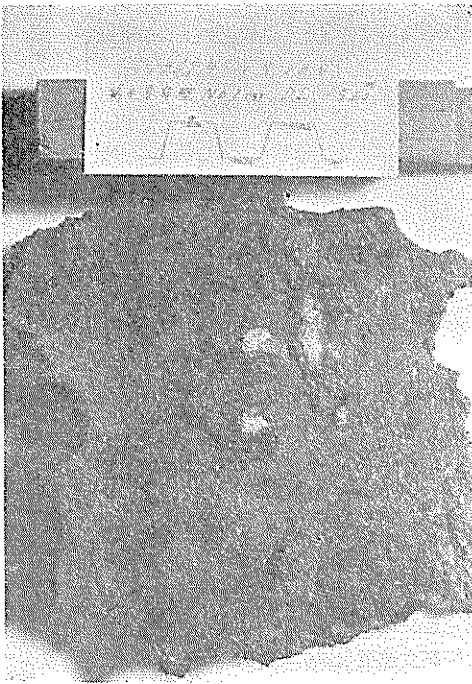
8号岸壁, No. 2, -4.6m, 海測



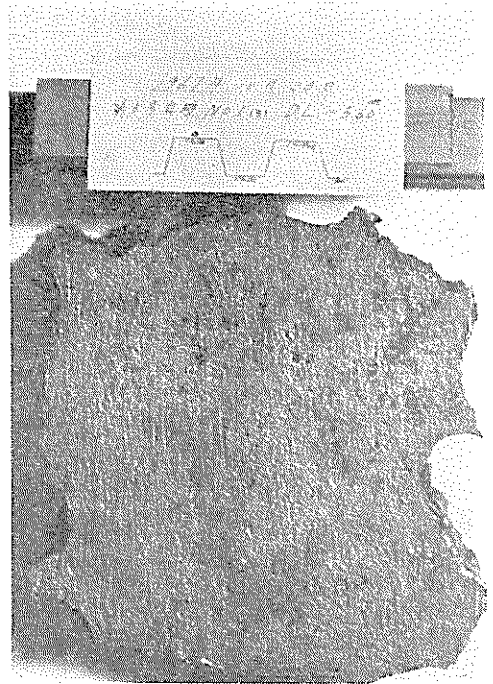
海側(脱錆前)



海側(脱錆後)

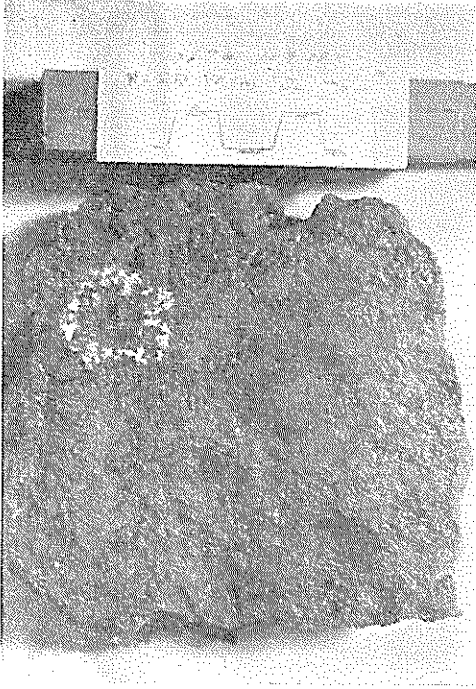


陸側(脱錆前)

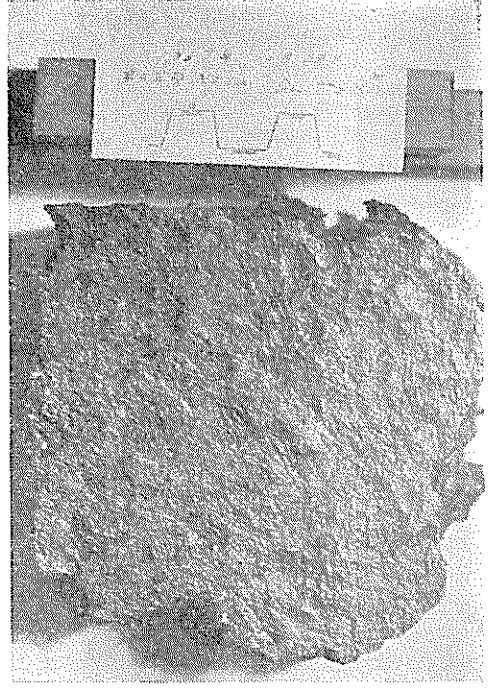


陸側(脱錆後)

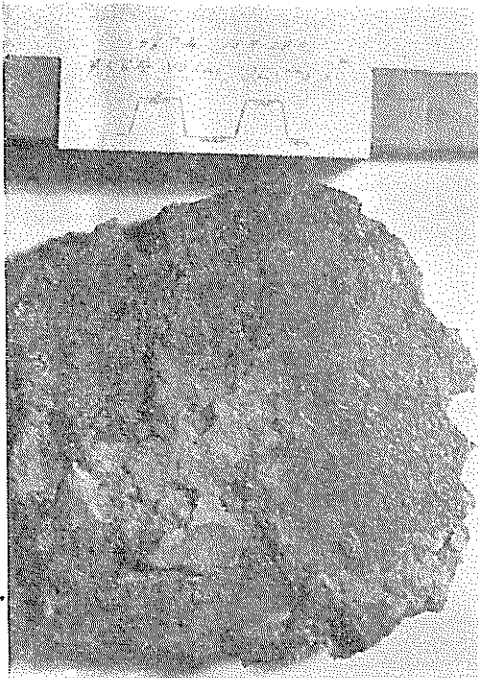
図 6.19 大阪港における切取り鋼矢板片(5号岸壁No. 1-③, -5.6m)



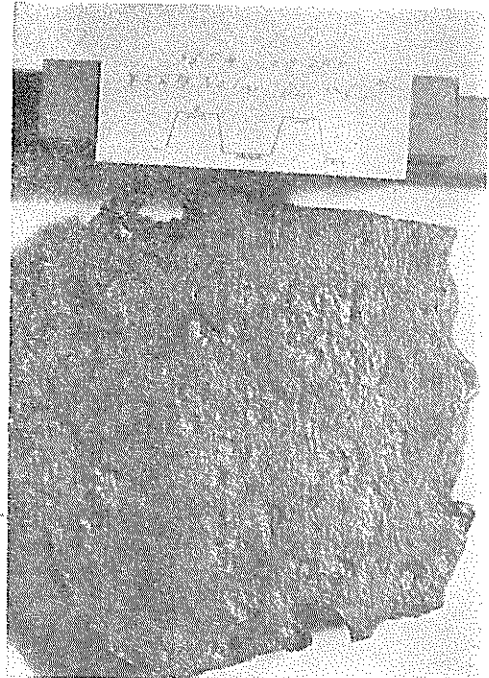
海側(脱錆前)



海側(脱錆後)

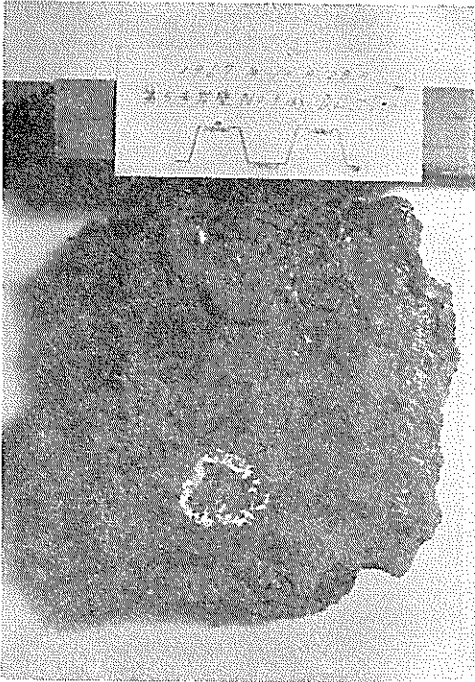


陸側(脱錆前)



陸側(脱錆後)

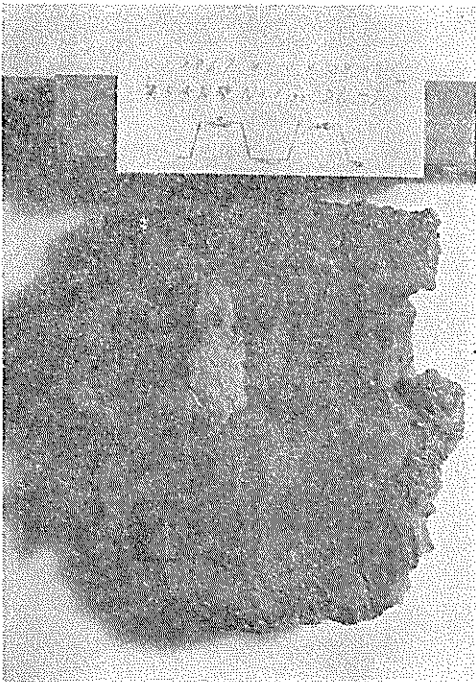
図 6.20 大阪港における切取り鋼矢板片(5号岸壁No. 1-③, -6.6m)



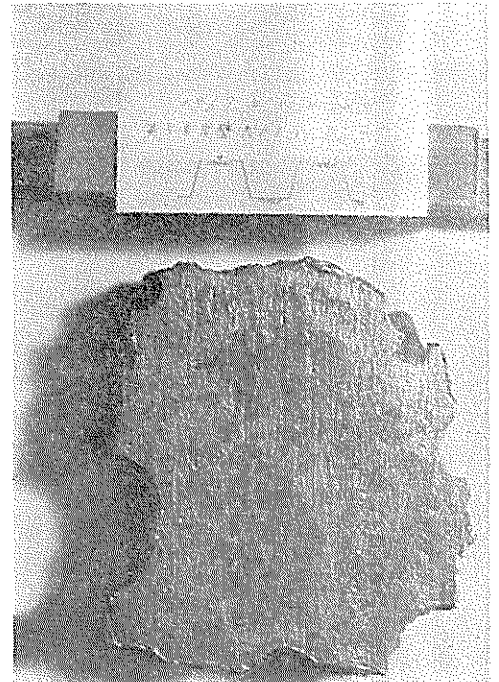
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）



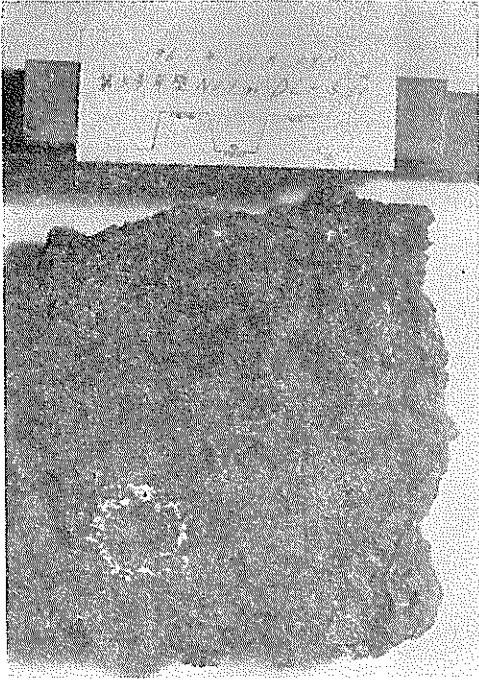
陸側（脱錆前）



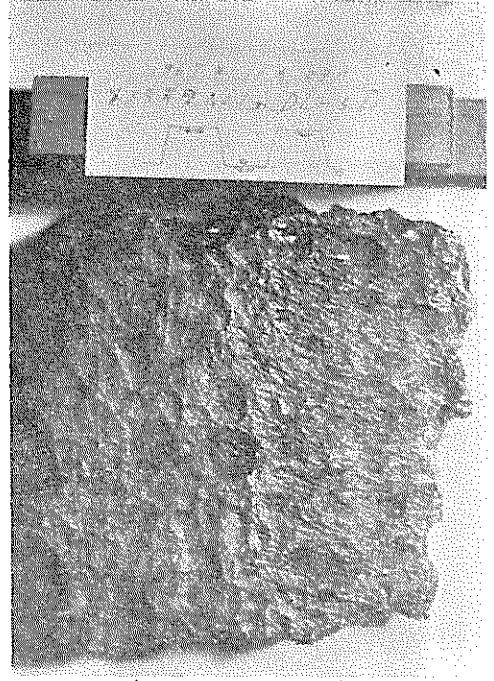
陸側（脱錆後）

図 6.21 大阪港における切取り鋼矢板片（5号岸壁No. 1-③，-7.6m）

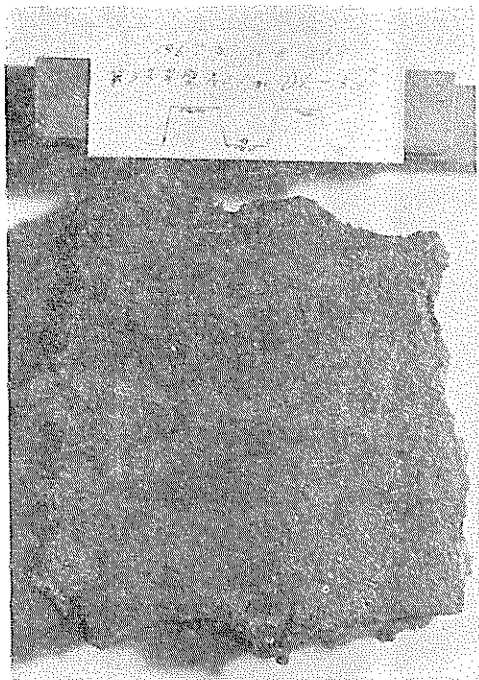




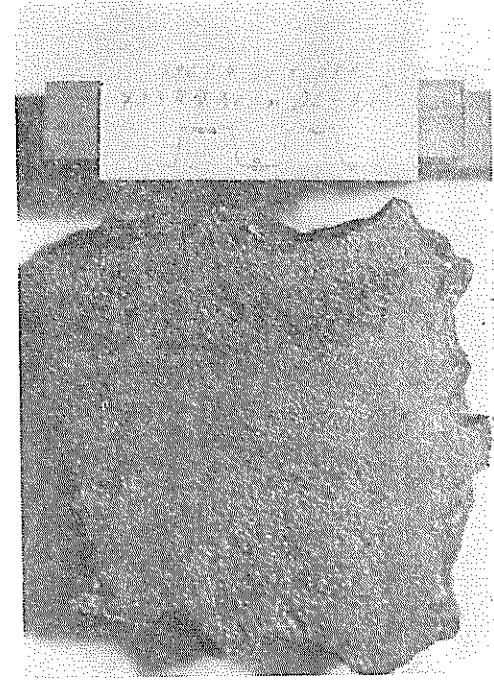
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）



陸側（脱錆前）

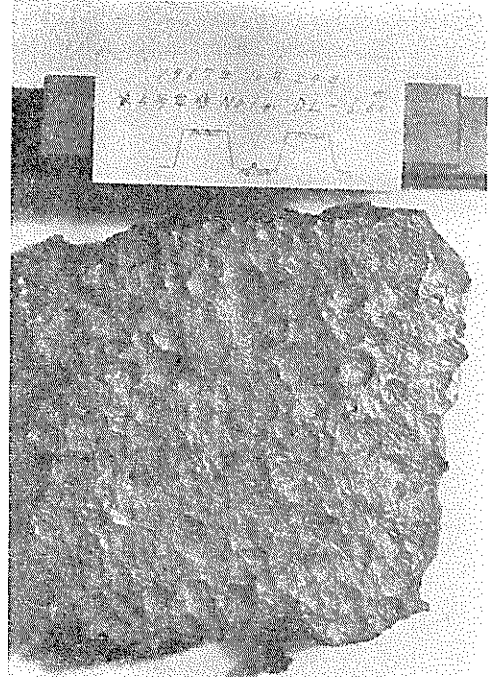


陸側（脱錆後）

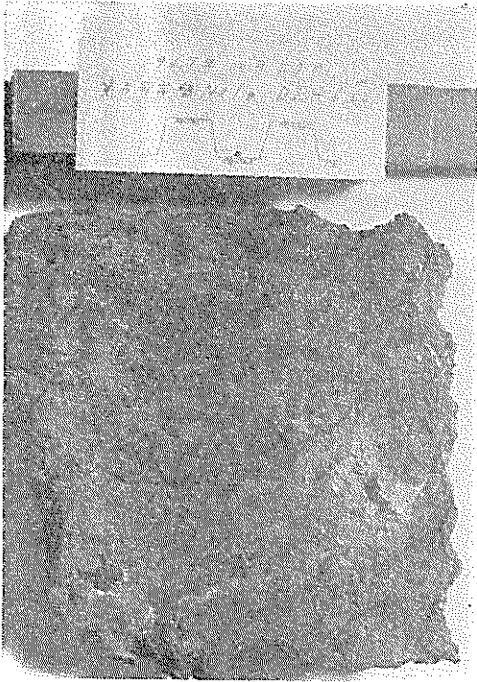
図 6.22 大阪港における切り銅板片（5号岸壁No. 1-⑧, -5.6m）



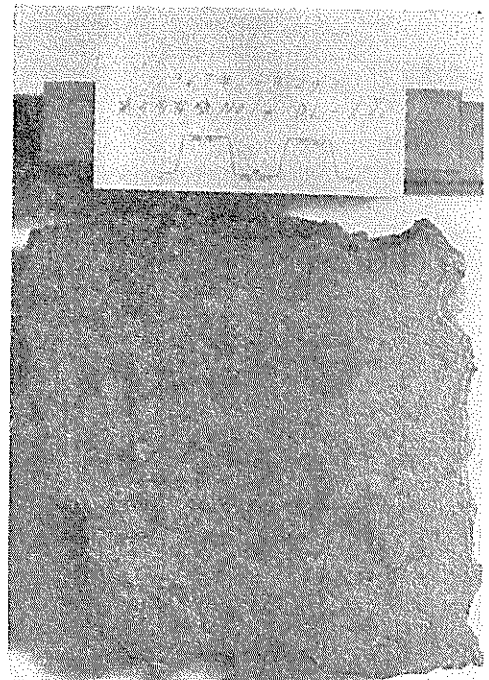
海側(脱錆前)



海側(脱錆後)

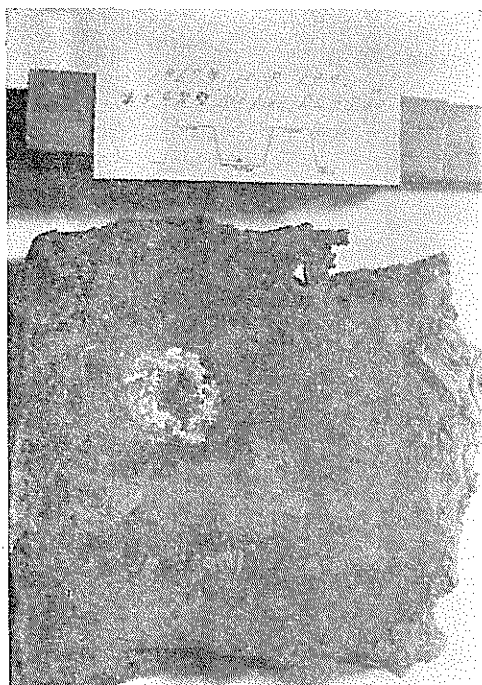


陸側(脱錆前)

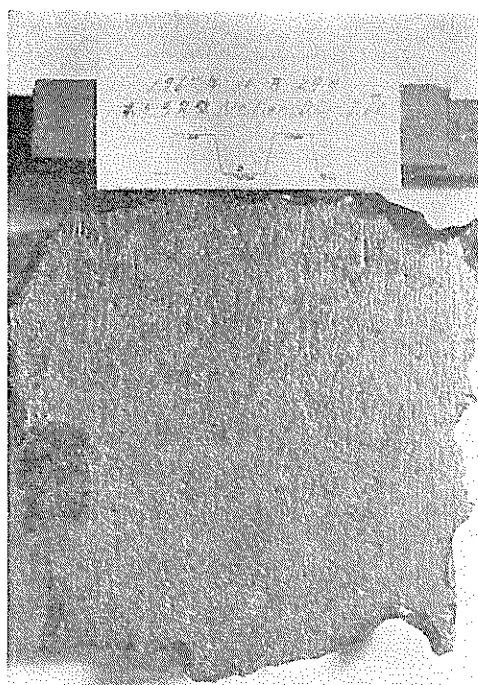


陸側(脱錆後)

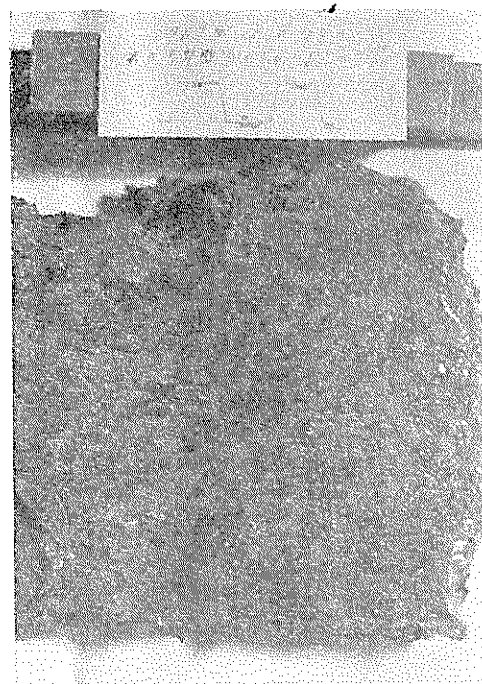
図 6.23 大阪港における切取り鋼矢板片(5号岸壁No. 1-⑧, -6.6m)



海側（脱錆前）



海側（脱錆後）

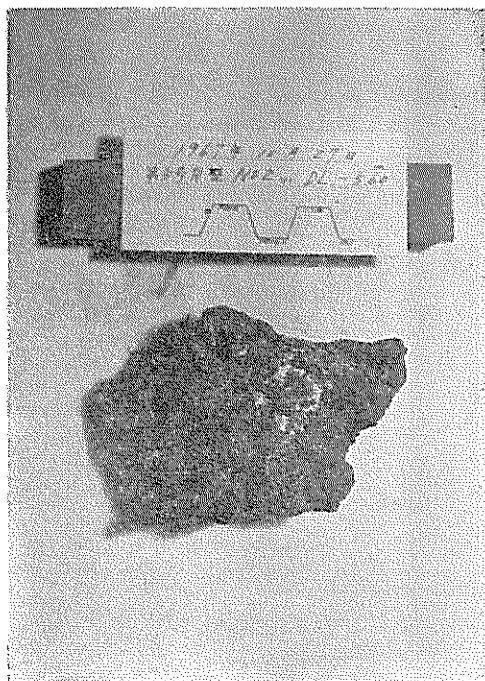


陸側（脱錆前）

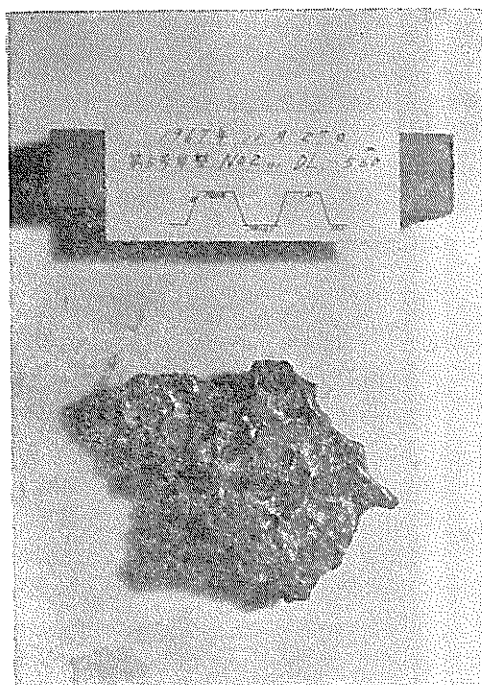


陸側（脱錆後）

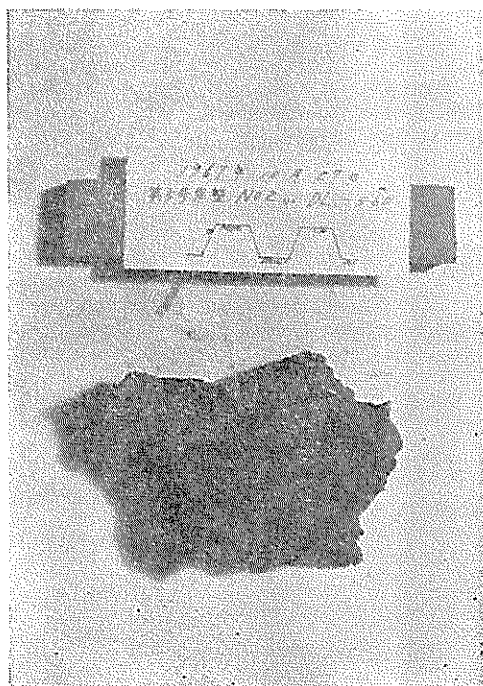
図 6.24 大阪港における切取り鋼矢板片（5号岸壁No. 1-⑧, —7, 6m）



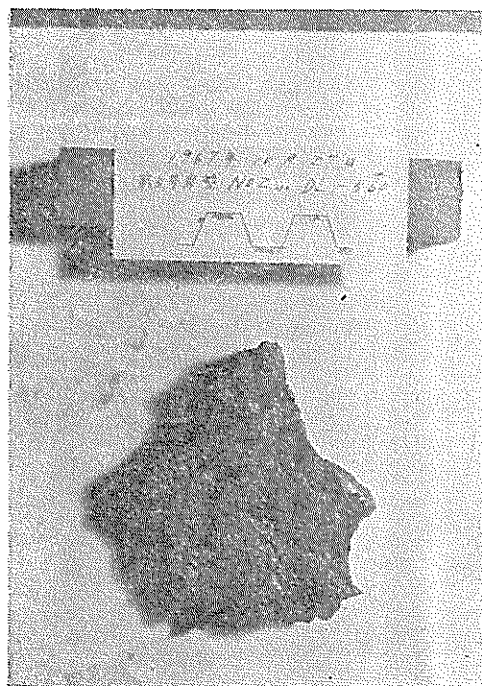
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）

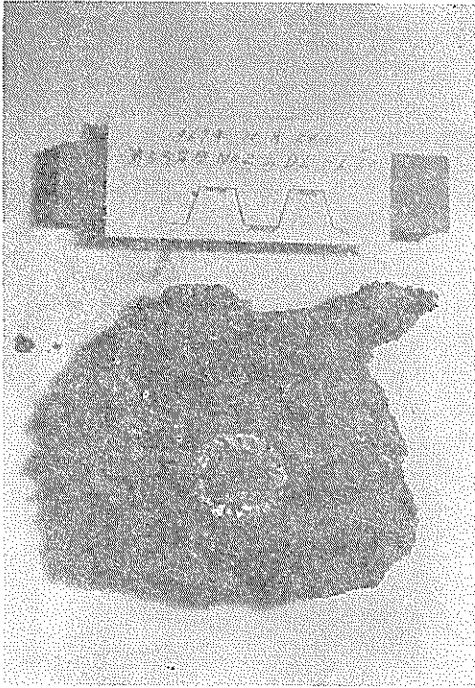


陸側（脱錆前）

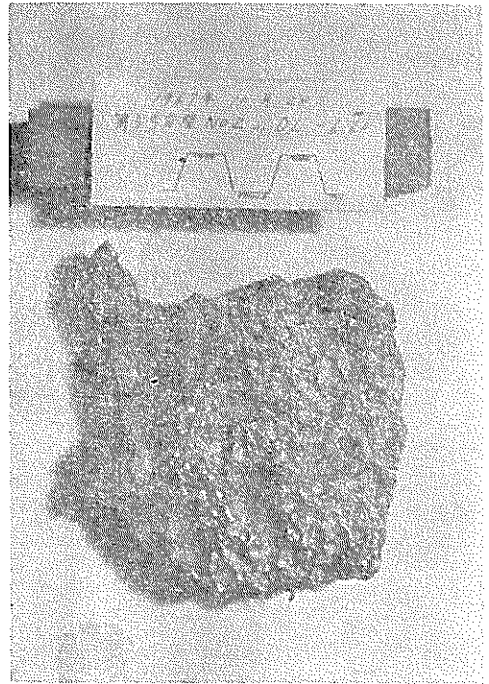


陸側（脱錆後）

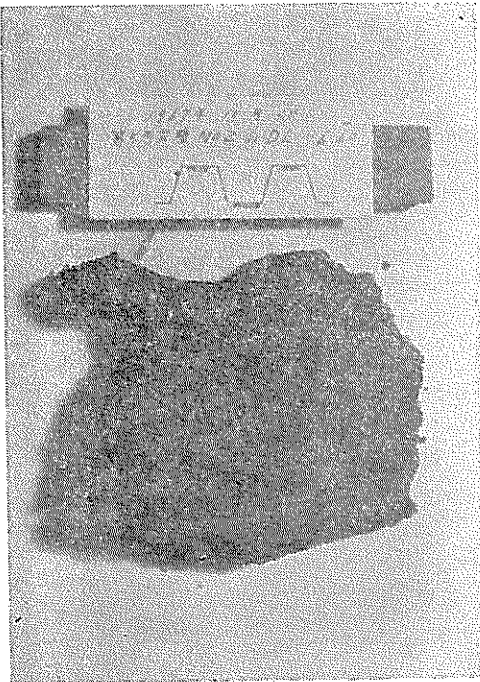
図 6.25 大阪港における切り鋼矢板片（5号岸壁No. 2-①, -5.6m）



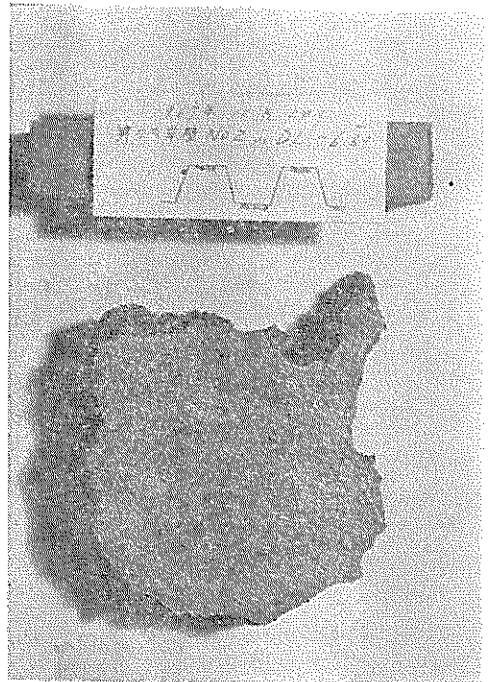
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）

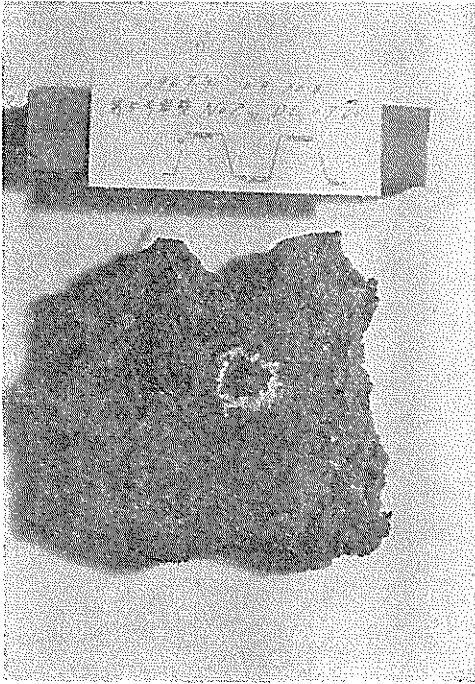


陸側（脱錆前）

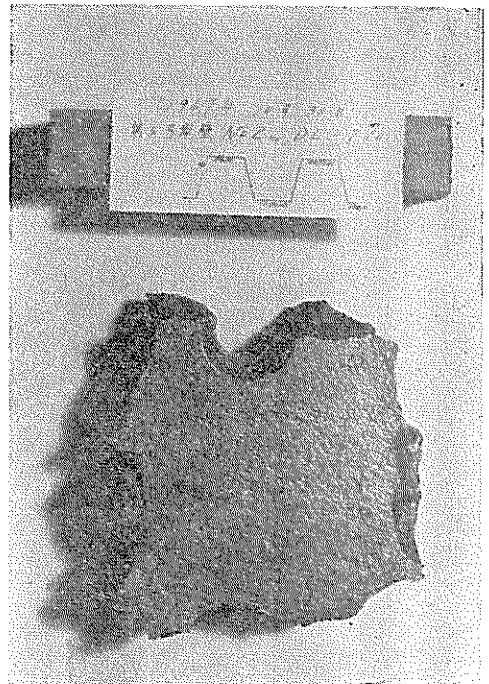


陸側（脱錆後）

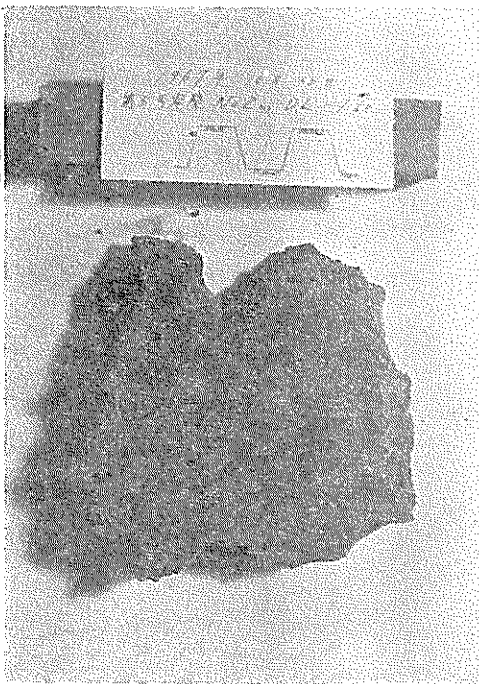
図 6.26 大阪港における切取り鋼矢板片（5号岸壁No. 2-①, -6.6m）



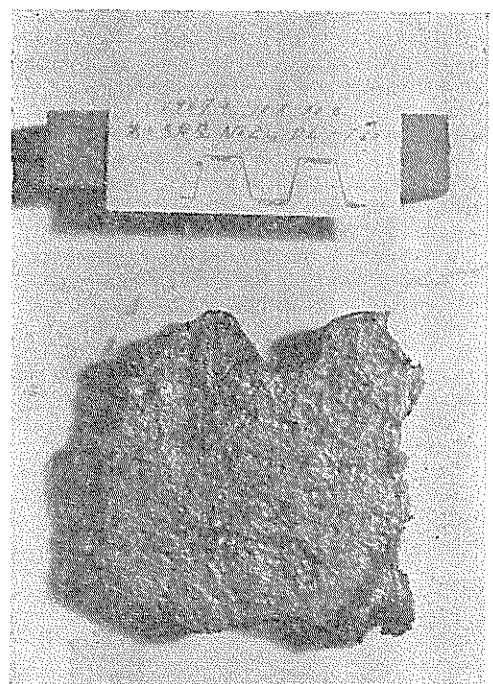
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）

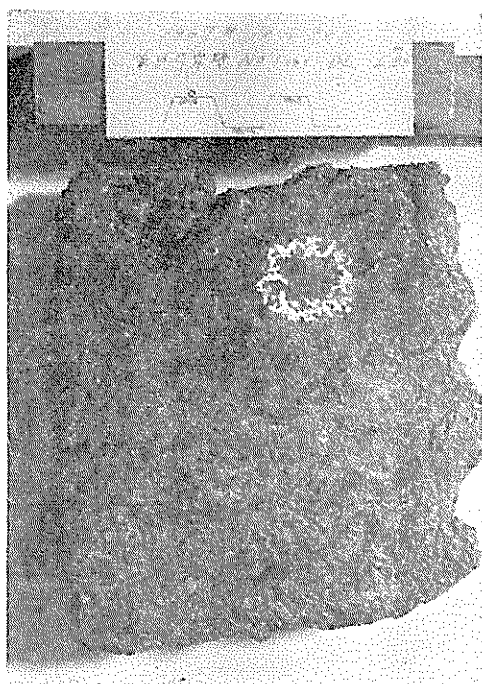


陸側（脱錆前）

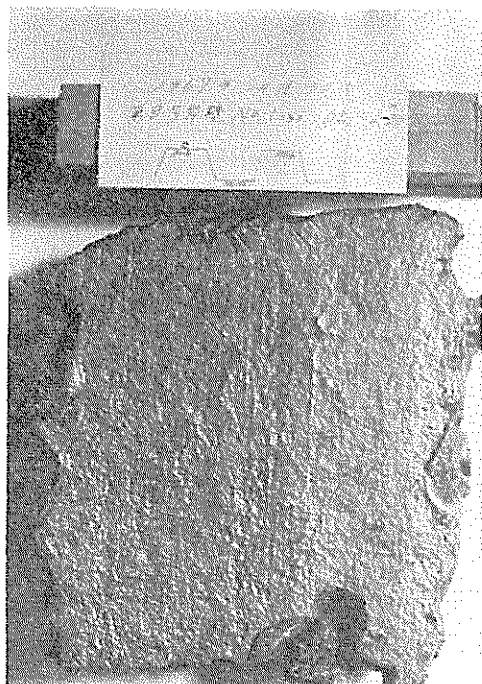


陸側（脱錆後）

図 6.27 大阪港における切取り鋼矢板片（5号岸壁No. 2-①, -7.6m）



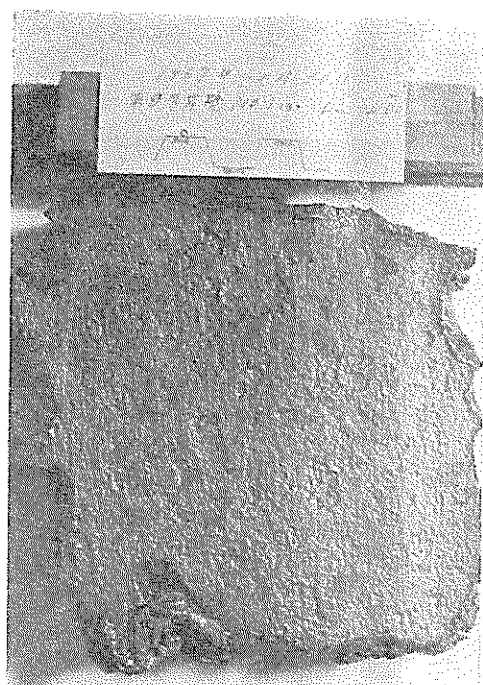
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）

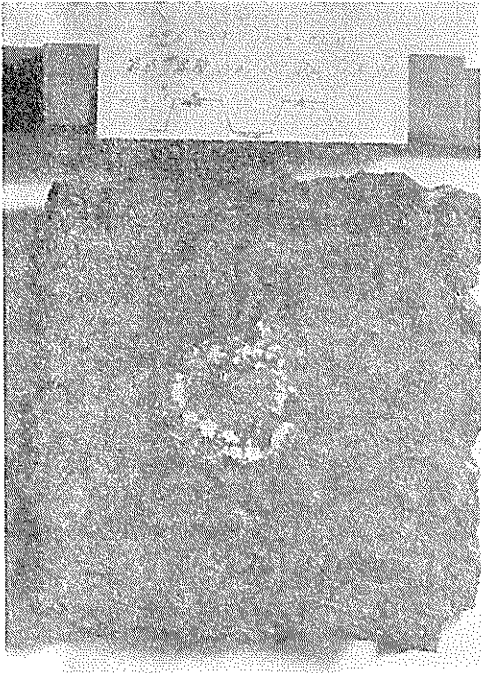


陸側（脱錆前）

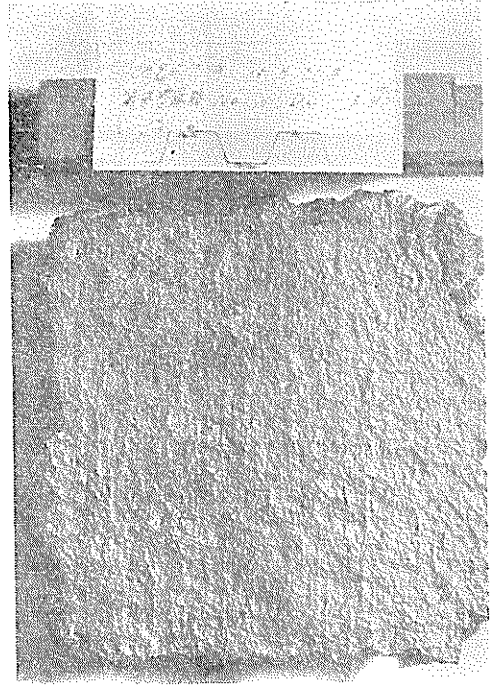


陸側（脱錆後）

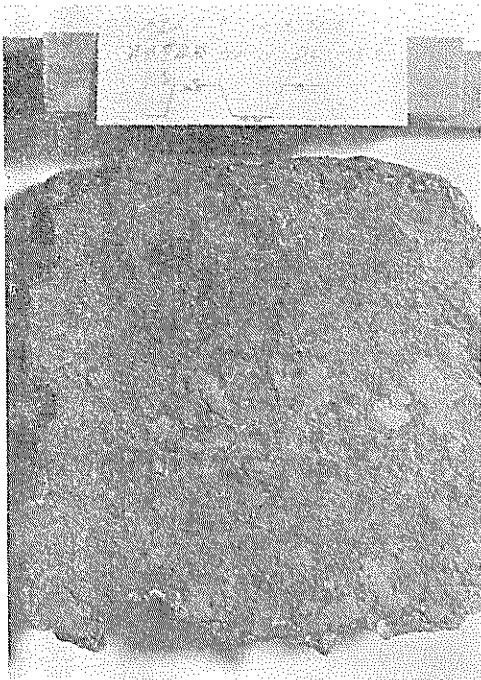
図 6.28 大阪港における切り鋼矢板片（8号岸壁No. 1-③，-4.8m）



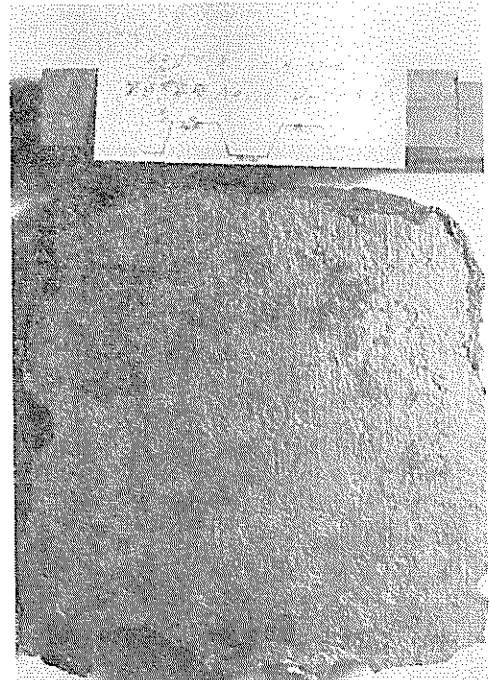
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）



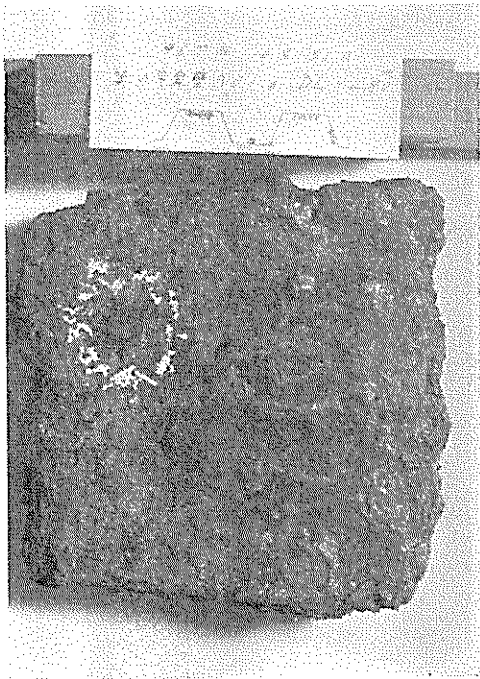
陸側（脱錆前）



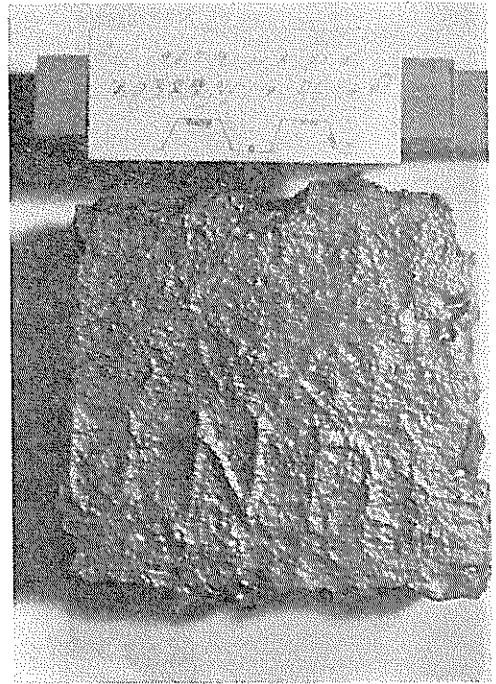
陸側（脱錆後）

図 6.29 大阪港における切取り鋼矢板片（8号岸壁No. 1-③, -5.8m）

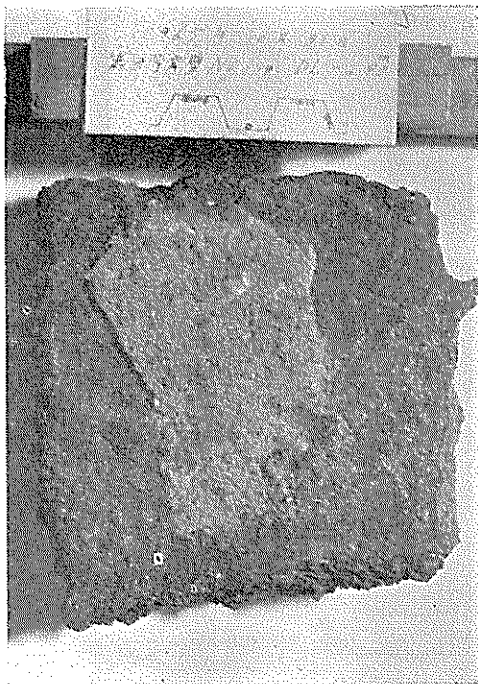




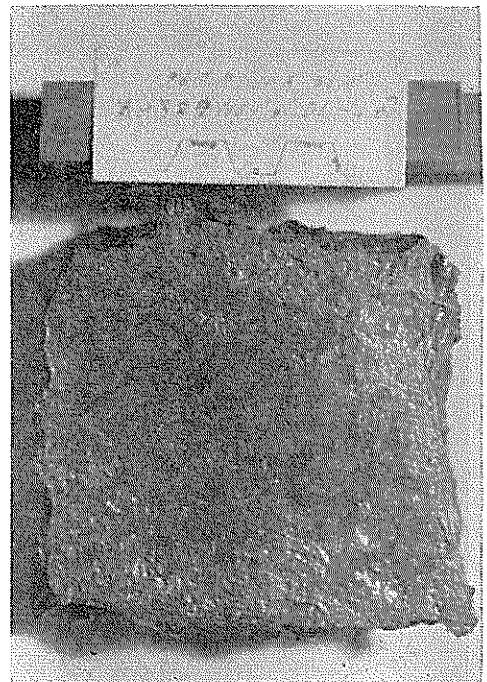
海側(脱錆前)



海側(脱錆後)

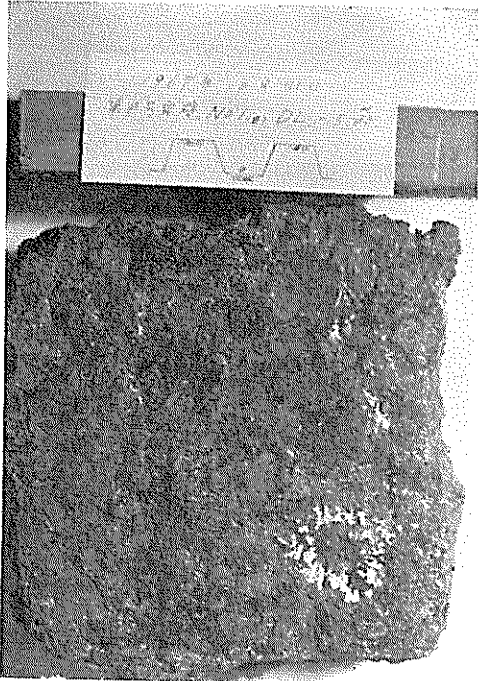


陸側(脱錆前)

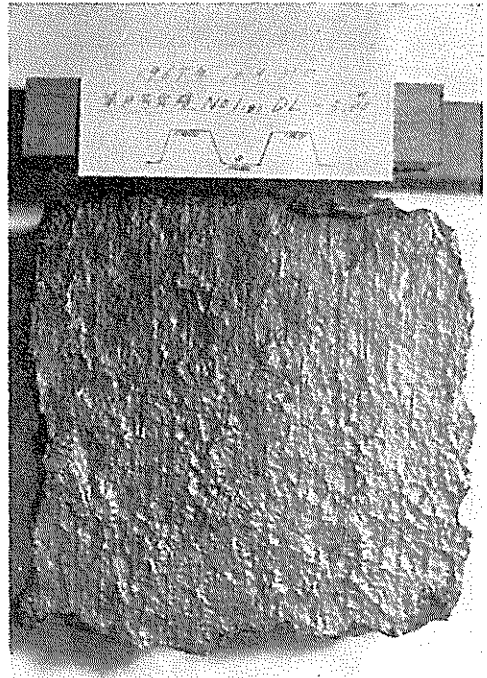


陸側(脱錆後)

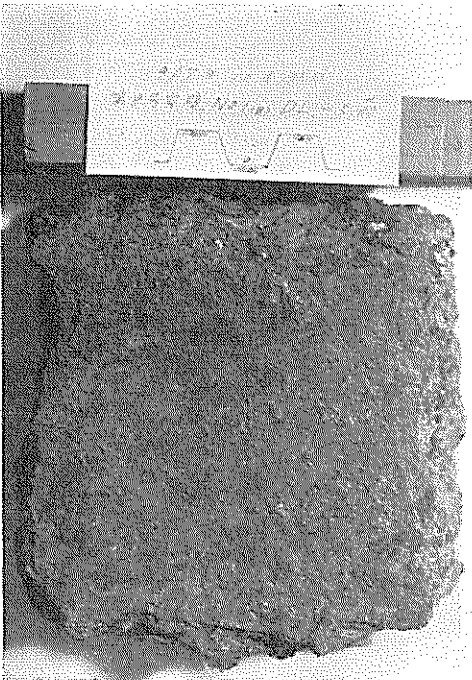
図 6.30 大阪港における切取り鋼矢板片(8号岸壁No. 1-⑧, -4.8m)



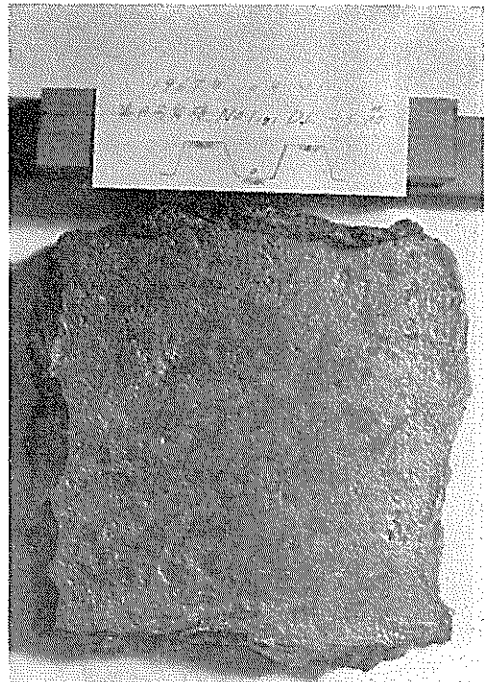
海側（脱錆前）



海側（脱錆後）

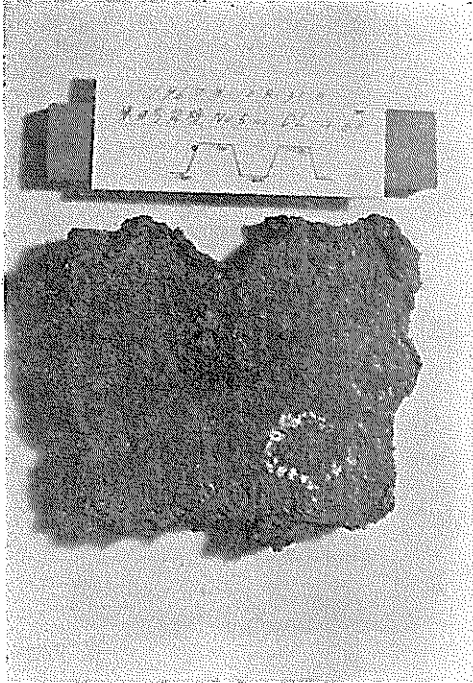


陸側（脱錆前）

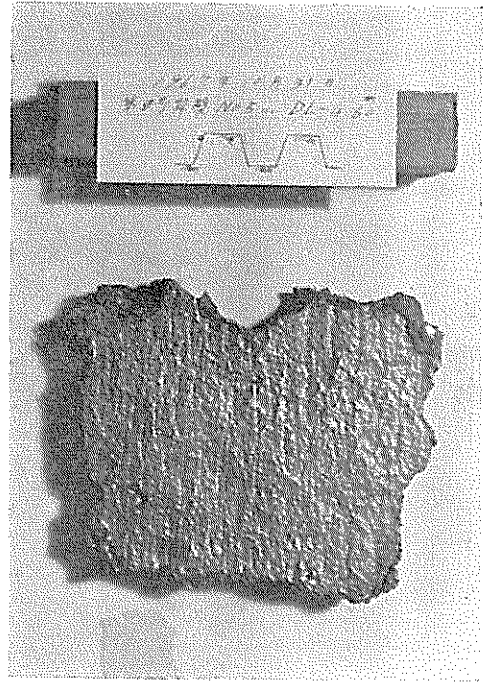


陸側（脱錆後）

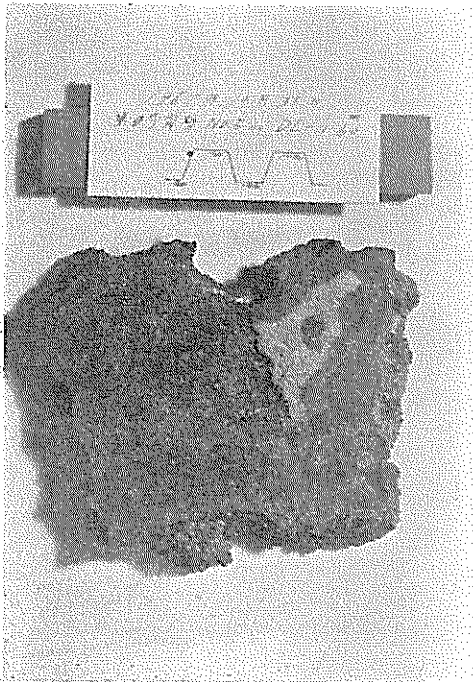
図 6.31 大阪港における切り取り綱矢板片（8号岸壁No. 1-⑧，-5.8m）



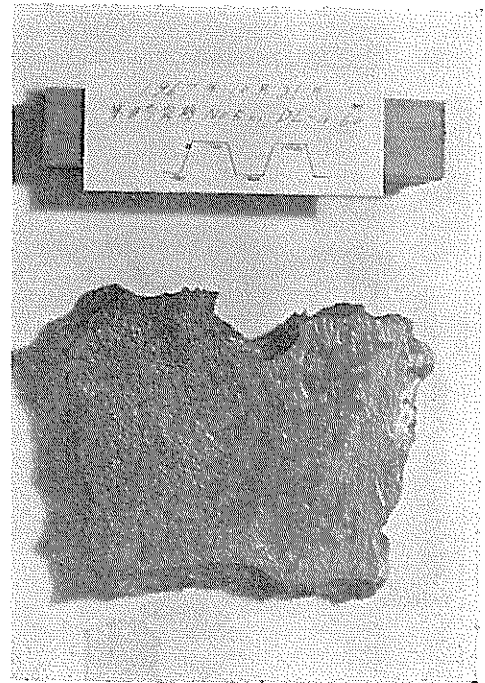
海側(脱錆前)



海側(脱錆後)



陸側(脱錆前)



陸側(脱錆後)

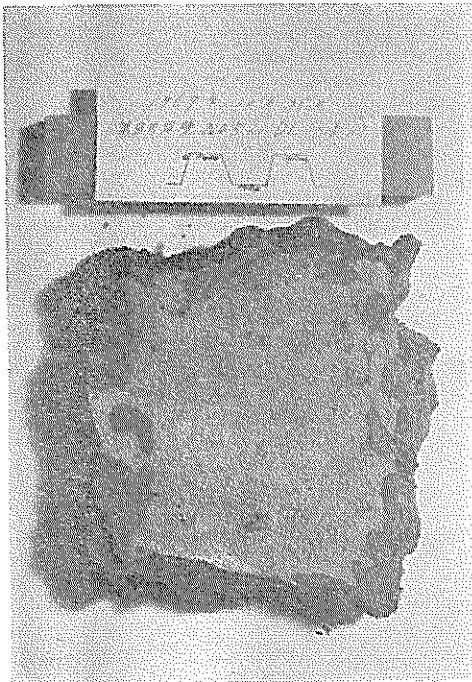
図 6.32 大阪港における切り取り鋼矢板片(8号岸壁No. 5-①, -4.6m)



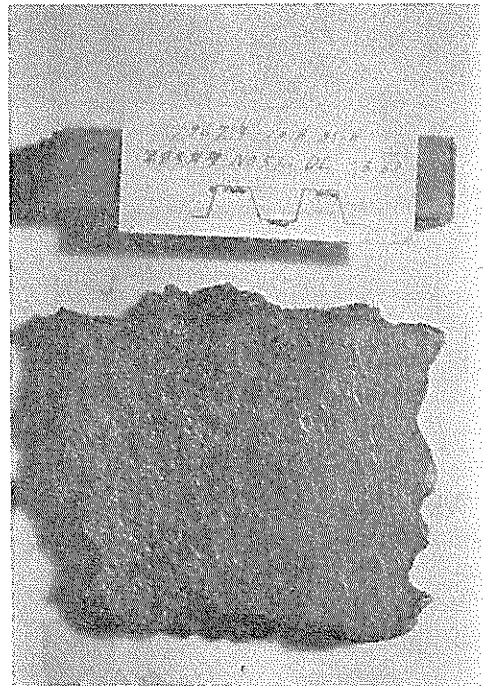
海側(脱錆前)



海側(脱錆後)



陸側(脱錆前)



陸側(脱錆後)

図 6.33 大阪港における切取り鋼矢板片(8号岸壁No. 5-①, -5.6m)

がっているのて観察は採取試料（付着物と鋼矢板片）に限られる。

(イ)付着物

3号岸壁で採取したときの付着物の状況を図6.18に示す。

(ロ)切取り鋼矢板片

第5号岸壁および第8号岸壁で切取った鋼矢板片の脱錆前後の表裏を図6.19～図6.33に示す。

6-6-4 水質試験結果

水質試験結果は表6.11の通りである。

表 6.11 大阪港における水質試験結果

採水地点	水深 (m)	外 観	pH	Cl <sup>-</sup> (%e)
5号岸壁 No. 2	-1	無 色	8.0	8.10
	-8	無 色	8.4	14.73
8号岸壁 No. 1	-1	無 色	7.3	8.55
	-7	無 色	7.2	14.54
梅町西岸壁 No. 2	-1	無 色	7.3	9.38
	-7	無 色	7.2	15.12

表 6.12 大阪港における切取り矢板片の分析結果

単位：%

試 料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
Larsen V*	0.12	0.51	1.15	0.087	0.025	0.05		0.36
Larsen V**	0.22	0.02	0.57	0.082	0.053	0.03		0.33

\* 5号岸壁で使用 \*\* 8号岸壁で使用

6-6-5 材質試験結果

材質試験結果は表6.12の通りである。

6-6-6 調査地点付近の土質

とくに腐食調査時に土質試験を行なわなかったので過去のボーリング試験結果を図6.34に示す。

6-7 考察

以上の測定結果より次のことが考察される。

(1)超音波式厚み計（水中用）の現地適用性

表6.5より超音波式厚み計を海水中鋼矢板面に適用したとき肉厚測定が可能な割合を適用率として表示してみると表6.13のようになる。表6.13によれば超音波式厚み計の適用率は5号岸壁で50%位、8号岸壁で70%位、梅町西岸壁で70%以上となっており場所によって適用率が異なる。これは切取り鋼矢板面の観察結果（図6.19～図6.33参照）からもわかるように適用率の低い場所ほど鋼矢板面の凸凹のために鮮明な共振波形がでにくかったためである。とくに5号岸壁の-5.6mと-6.6mの②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨, および-6.6mと-7.6mの⑤, ⑩の海側には図6.22などに見られるような凸凹があり、測定不能なところが多かった。一方表6.8によれば両球型マイクロ・メーターで測定した矢板片肉厚の最大値と最小値との差は測定不能なところが多かった5号岸壁の-5.6m, -6.6mの②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨および-6.6m, -7.6mの⑤, ⑩では2～2.9mmであるが、その他のところは2mm以下であり測定可能なところほど小さい。このことから1cm間隔のゴバン目の交点の肉厚を両球型マイクロ・メーターで測定したとき肉厚の最大値と最小値との差が2mmを越すような鋼矢板面に対しては超音波

式厚み計（水中用）を海側から適用することはむづかしいことがわかる。また参考として切取り鋼矢板片の陸側の面より超音波式厚み計を使用してみると表6.9のように5号岸壁の-5.6m, -6.6mの鋼材片の肉厚測定はむづかしい。陸側から厚み計を使用した場合にも海側から使用した場合と同じく2mm以上の凹みがあれば肉厚測定はできない。5号岸壁, 8号岸壁, 梅町西岸壁はいずれも1m以上地盤沈下がおこっているが、5号岸壁前面の海水は以前は非常に綺麗だったそうである。しかしながら現在の5号岸壁鋼矢板面の凸凹はかって付着した綺麗な海中の付着物に起因するのかどうかはわからない。

この他8号岸壁では-6.3mの鋼矢板肉厚が測定できたのに-7.3m, -8.3mのところでは測定できなかった例がある。この原因は鋼矢板面の凸凹なのか、または付着物を除去するときでできたハンマーなどの傷痕によるのかは不明であるが、いずれにしても超音波式厚み計（水中用）による肉厚測定が不能なときは鋼材片の切取りその他適当な検定方法を実施することが望まれる。

次に現地測定値と室内測定値を比較してみると表6.14のようになる。表6.14によれば超音波式厚み計（水中用）を現地で海側から使用したときの腐食速度は切取り鋼矢板片について室内で測定した腐食速度によく似ているが、5号岸壁の-5.6m, -6.6mの2深度のように測定不能となるところがあるので鋼矢板片の切取りなどこれに対する措置を講ずる必要がある。

(2)調査岸壁の腐食量

表6.6, 表6.7より超音波式厚み計（水中用）による現

表 6.13 大阪港における超音波式厚み計（水中用）の現地適用率

岸壁名	測定点	測定数			適用率 <sup>3)</sup> (%)
		A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	A+B	
5号岸壁	②, ③, ④	8	13	21	38
	⑦, ⑧, ⑨	12	9	21	57
	②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨	20	22	42	48
8号岸壁	①, ⑤	6	6	12	50
	⑥, ⑩	5	7	12	41
	①, ⑤, ⑥, ⑩	11	13	24	46
梅町西岸壁	②, ③, ④	27	11	38	71
	⑦, ⑧, ⑨	27	9	36	75
	②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨	54	20	74	73
5号岸壁	①, ⑤	16	10	26	62
	⑥, ⑩	19	5	24	79
	①, ⑤, ⑥, ⑩	35	15	50	70
梅町西岸壁	②, ③, ④	7	2	9	78
	⑦, ⑧, ⑨	5	4	9	56
	②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨	12	6	18	67
5号岸壁	②, ③, ④	5	1	6	83
	⑦, ⑧, ⑨	6	0	6	100
	②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨	11	1	12	92
5号岸壁	②, ③, ④	42	26	68	62
	⑦, ⑧, ⑨	44	22	66	67
	②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨	86	48	134	64
5号岸壁	①, ⑤	27	17	44	61
	⑥, ⑩	30	12	42	71
	①, ⑤, ⑥, ⑩	57	29	86	66

- 1) 肉厚測定ができた測定点数  
 2) 肉厚測定ができなかった測定点数  
 3) 適用率 = A/A+B × 100 (%)

地測定値から凸鋼矢板、凹鋼矢板および凸凹鋼矢板の②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨と①, ⑤, ⑥, ⑩の腐食速度を求めると表6.15のようになる。表6.15によれば5号岸壁、8号岸壁、梅町西岸壁とも海水中鋼矢板の腐食速度（海側の腐食速度と陸側の腐食速度の和）は0.05mm/yr以下である。一方、切取り鋼矢板片の重量から算出した腐食速度は5号岸壁の-5.6m, -6.6mのところでは0.07~0.1mm/yrである。これに対して現地測定結果は-5.6m, -6.6mでは0mm/yrであるがこれは両深度における現地測定数はわずかにNo. 3-③とNo. 3-⑧の2点に過ぎないため信頼性は低い。したがって5号岸壁の-5.6mと-6.6mにおける鋼矢板の腐食速度はむしろ鋼矢板片についての値を利用する方がよいと考える。

(3)過去の調査結果との比較

昭和42年5月に請負による腐食調査が5号岸壁と8号岸壁について実施されている。今回の調査が昭和42年8月であるのでほとんど同時に2方法による調査が行なわれたことになるので比較に都合がよい。5月実施の調査（以下過去の調査という）ではこれまでの調査と同じく坂田式厚み計による肉厚測定が凸鋼矢板の②, ③, ④に対して行なわれた。過去の調査結果を表6.16に示す。表6.16では測定深度がA, B, Cの3深度でAは-3.7m, Bは中間深度, Cは海底泥面上である。しかし図6.8より明らかなように-3.7mのところは5号岸壁でも8号岸壁でもコンクリート部分である。この調査報告書によればコンクリートの下端を-3.5mと見てそれより0.2m下をAとしている。今回の調査でも一番上の測定深度はコンクリート下端より5号岸壁で0.2m, 8号岸壁で0.3m下であるからA, B, Cはほぼ今回の調査の3深度に相当するものと考えられる。

一方測定地点は5号岸壁では過去の調査地点3, 2, 1が今回のNo. 1, 2, 3に、8号岸壁では過去の調

表 6.14 現地測定値と室内測定値（鋼矢板片の値）との比較

岸壁名	水深 (m)	凸矢板(②, ③, ④)の 腐食速度 (mm/yr)				凸矢板(⑦, ⑧, ⑨)の 腐食速度 (mm/yr)				凸矢板(①, ⑤)の 腐食速度 (mm/yr)			
		現地	室内1	室内2	室内3	現地	室内1	室内2	室内3	現地	室内1	室内2	室内3
5号	-5.6	—	0.070	0.107	0.078	—	0.066	0.053	0.085	0.03	0.01	—	0.02
	-6.6	—	0.068	0.085	0.077	—	0.074	0.066	0.077	0.002	0.04	—	0.04
	-7.6	0.027	0.028	0.048	0.041	0.042	0.028	0.050	0.039	0.001	0.003	(0.03)	0.01
8号	-4.8	—	0	0	0.001	0.034	0	0.037	0.006	0.03	0.06	0.06	0.06
	-5.8	0.026	0	0.014	0	0.031	0	0.035	0.024	0	0.05	0.05	0.05

現地：超音波式厚み計（水中用）の探触子を海側鋼矢板面に適用した現地測定値  
 室内1：マイクロ・メーターによる室内測定値  
 室内2：超音波式厚み計（水中用）の探触子を切取り矢板片の陸側に適用したときの室内測定値  
 室内3：重量より算出した室内測定値

表 6.15 大阪港調査岸壁の腐食速度

岸壁名	水深 (m)	②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨の平均腐食速度(mm/yr)				①, ⑤, ⑥, ⑩の平均腐食速度(mm/yr)			
		現地測定	室内 1	室内 2	室内 3	現地測定	室内 1	室内 2	室内 3
5号	-5.6	—	0.068	0.080	0.082	0.02	0.01	—	0.02
	-6.6	—	0.071	0.076	0.077	0.001	0.04	—	0.04
	-7.6	0.012	0.028	0.049	0.040	0.004	0.003	(0.03)	0.01
8号	-5.6	0.007	0	0.019	0.004	0.02	0.06	0.06	0.06
	-6.6	0.007	0	0.025	0.012	0.02	0.05	0.05	0.05
	-7.6	0							
梅町西	-6.3	0.036							

現地測定：現地で超音波式厚み計（水中用）を海側より適用

室内 1：矢板片をマイクロ・メーターで測定

室内 2：矢板片陸側に超音波式厚み計（水中用）を適用

室内 3：矢板片重量より算出

( ) 内の値は測定不能が多く1コのみである

—：測定不能

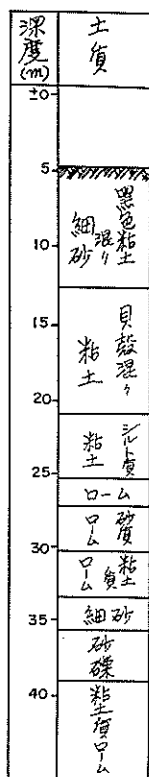


図 6.34 大阪港中央突堤の土質

査地点8, 7~6, 4, 5, 2~1が今回のNo. 1, 2, 3, 4, 5にそれぞれ対応する。また経過年数, すなわち腐食期間は過去の調査では5号岸壁は31.5年, 8号岸壁は35.5年となっている。

施工年度は5号岸壁が昭和9~13年, 8号岸壁が昭和4~9年であるが, 岸壁を建設するとき鋼矢板の打込みから上屋竣工までを施工期間に含むため鋼矢板の腐食期間としては施工当初から調査時までの無防食期間をとる方が実状に則していると考えられる。したがって腐食期間は5号岸壁では33年, 8号岸壁では38年となるが, 表6.16に示す結果が調査報告書として提出されているのでここでも表6.16の値と今回の調査結果とを比較すること

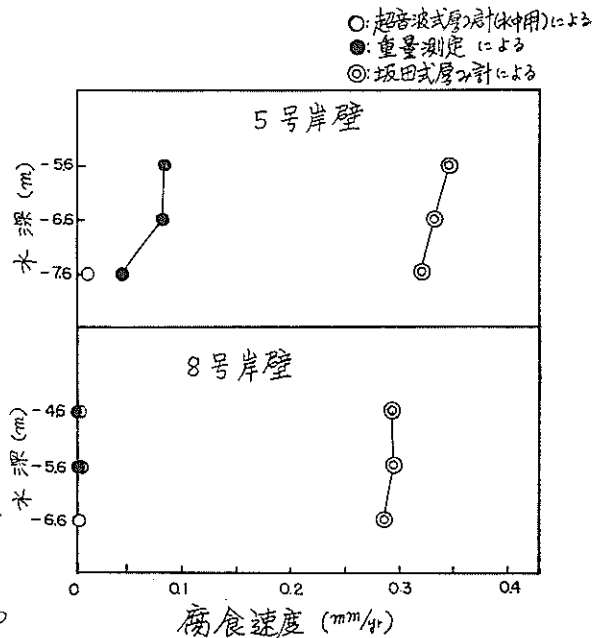


図 6.35 過去の調査結果との比較

表 6.16 大阪港における過去の調査結果

(坂田式厚み計によりS. 42年5月実施)

5 号 岸 壁 (31.5年)						8 号 岸 壁 (35.5年)					
測定位置	深度	初期肉厚 (mm)	現有肉厚 (mm)	肉厚減少量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)	測定位置	深度	初期肉厚 (mm)	現有肉厚 (mm)	肉厚減少量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)
No. 1	A	20.5	9.4	11.1	0.352	No. 1	A	20.5	—	—	—
	B	20.5	10.0	10.5	0.333		B	20.5	—	—	—
	C	20.5	10.1	10.4	0.330		C	20.5	10.4	10.1	0.285
No. 2	A	20.5	9.6	10.9	0.346	No. 2	A	20.5	9.6	10.9	0.307
	B	20.5	9.4	11.1	0.352		B	20.5	10.6	9.9	0.279
	C	20.5	9.0	11.5	0.365		C	20.5	10.4	10.1	0.285
No. 3	A	20.5	9.7	10.8	0.343	No. 3	A	20.5	10.2	10.3	0.290
	B	20.5	10.2	10.3	0.327		B	20.5	9.4	11.1	0.313
	C	20.5	11.0	9.5	0.301		C	20.5	9.0	11.5	0.324
No. 4	A	20.5	10.9	9.4	0.299	No. 4	A	20.5	10.6	9.9	0.279
	B	20.5	11.4	9.1	0.289		B	20.5	10.0	10.5	0.296
	C	20.5	12.0	8.5	0.270		C	20.5	11.6	8.9	0.251
No. 5	A	20.5	9.0	11.5	0.365	No. 5	A	20.5	9.5	11.0	0.310
	B	20.5	9.4	11.1	0.352		B	20.5	10.0	10.5	0.296
	C	20.5	11.0	10.5	0.333		C	20.5	11.0	9.5	0.267
No. 6	A	20.5	9.0	11.5	0.365	No. 6	A	20.5	10.1	10.4	0.293
	B	20.5	10.0	10.5	0.333		B	20.5	9.6	10.9	0.307
	C	20.5	10.1	10.4	0.330		C	20.5	10.2	10.3	0.290
No. 7	A	20.5	10.2	10.3	0.327	No. 7	A	20.5	10.6	9.9	0.279
	B	20.5	10.6	9.9	0.314		B	20.5	10.2	10.3	0.290
	C	20.5	11.0	9.5	0.301		C	20.5	10.4	10.1	0.285
No. 8	A	20.5	10.2	10.3	0.327	No. 8	A	20.5	11.2	9.3	0.262
	B	20.5	10.6	9.9	0.314		B	20.5	11.5	9.0	0.254
	C	20.5	11.2	9.3	0.295		C	20.5	11.0	9.5	0.267
平	均		10.2	10.3	0.327	平	均		10.3	10.2	0.287

にする。表6.16に示す過去の腐食速度と今回の腐食速度（超音波式厚み計による現地肉厚測定値と切り鋼矢板の重量測定値より算出）とを比較すると図6.35のようになる。図6.35によれば過去の調査では実際の腐食速度の6~10倍の値を腐食速度として求めていたことになる。

(4)海水飽和とセメント硬化体の影響

図6.8に見られるように調査岸壁ではいずれも地盤沈下のために海水飽和とセメント硬化体に包まれた鋼矢板部分が4m位存在する。したがって調査3岸壁の鋼矢板は上から海水飽和とセメント硬化体、海水および海水飽和と泥層の3環境に接することになる。このように3環境を1本の長尺鋼材が貫通するとき各環境中鋼材の電位は図6.36に示すようになる。<sup>6)</sup>すなわちセメント硬化体中鋼材の

電位は飽和泥層中鋼材の電位に対して常にカソードとなる。この結果セメント硬化体中鋼材には常にマクロ腐食電流が流入することになる。流入する電流量と  $A_M$  (セメント硬化体中鋼材の表面積) と  $A_S$  (飽和泥層中鋼材の表面積) との比、すなわち  $A_M/A_S$  の関係は図6.37のようになる。<sup>6)</sup> 調査鋼矢板の  $A_M/A_S$  は0.2~0.3であるからセメント硬化体中鋼材には0.4~0.6  $\mu A/cm^2$  の電流が流入する。一般に  $Cl^-$  が存在するときのセメント硬化体中鋼材に必要なとされる電気防食電流密度は0.45  $\mu A/cm^2$  といわれるので飽和セメント硬化体中の鋼矢板は丁度電気防食されている恰好になる。この結果セメント硬化体中鋼矢板は長期間十分不働態域に保たれることになる。一方このために犠牲電流を出す飽和泥層中鋼矢板の



表6.17 切り鋼板腐食量の誤差

岸壁名	測定点	水深 (m)	マイクロ・メーターで測定した肉厚平均値	肉厚減少量にともなう誤差			腐食速度にともなう誤差		
				1	2	3	1	2	3
5号岸壁 (33yr)	No. 1-㊸	-5.6	18.19±0.28※	±0.28	±0.57	±1.04	±0.01	±0.02	±0.03
		-6.6	18.26±0.27	±0.27	±0.56	±1.04	±0.01	±0.02	±0.03
		-7.6	19.58±0.08	±0.09	±0.51	±1.00	±0	±0.02	±0.03
	No. 1-㊹	-5.6	18.33±0.19	±0.20	±0.53	±1.02	±0.01	±0.02	±0.03
		-6.6	18.05±0.20	±0.21	±0.54	±1.02	±0.01	±0.02	±0.03
		-7.6	19.59±0.02	±0.05	±0.50	±1.00	±0	±0.02	±0.03
	No. 2-㊺	-5.6	11.63±0.54	±0.53	±0.74	±1.14	±0.02	±0.02	±0.03
		-6.6	10.78±0.47	±0.46	±0.69	±1.10	±0.01	±0.02	±0.03
		-7.6	11.92±0.37	±0.36	±0.62	±1.06	±0.01	±0.02	±0.03
8号岸壁 (38yr)	No. 1-㊻	-4.8	20.99±0.10	±0.11	±0.51	±1.00	±0	±0.02	±0.03
		-5.8	20.72±0.15	±0.16	±0.51	±1.01	±0	±0.02	±0.03
	No. 1-㊼	-4.8	20.54±0.11	±0.12	±0.50	±1.01	±0	±0.02	±0.03
		-5.8	20.55±0.09	±0.10	±0.51	±1.00	±0	±0.02	±0.03
	No. 5-㊽	-4.6	9.87±0.24	±0.25	±0.55	±1.03	±0.01	±0.02	±0.03
		-5.6	10.26±0.10	±0.11	±0.51	±1.00	±0	±0.02	±0.03

※: 95%信頼限界

1: 初期肉厚の誤差を±0.05mmとしたとき

2: 初期肉厚の誤差を±0.5mmとしたとき

3: 初期肉厚の誤差を±1mmとしたとき

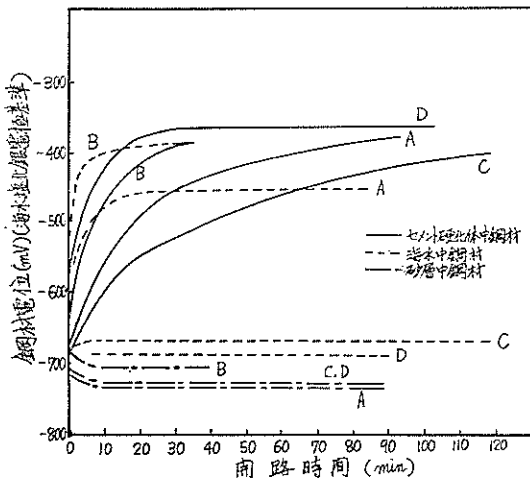


図 6.36 3層中鋼材の電位変化

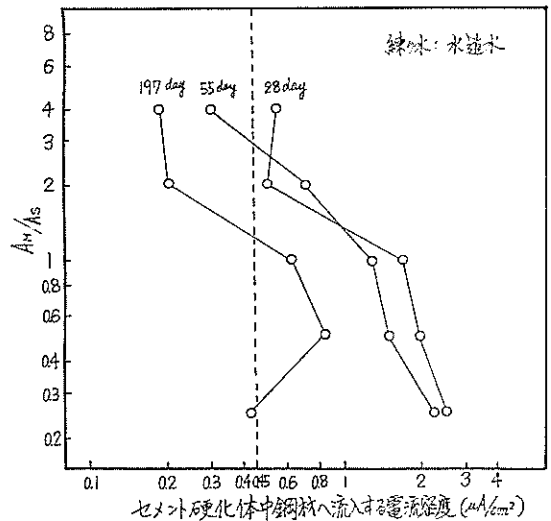


図 6.37 セメント硬化体中鋼材へ流入する電流密度とAM/ASの関係 (3層の場合)

腐食速度は次のように小さい。すなわち $0.45\mu A/cm^2$ を換算すると約 $0.005mm/yr$ となるが調査鋼矢板の  $A_M/A_S$  を 0.25とするとセメント硬化体中鋼矢板に対してアノードとしてこの飽和泥層中鋼矢板の腐食速度はさらに $0.005mm/yr \times 1/4 = 0.002mm/yr$  となり実害は考えられない。

(5)鋼矢板の表面

5号岸壁鋼矢板の海側面には図6.19や図6.23に見られるように凸が多く、最深の凹みは2.9mmである。これに対して8号岸壁鋼矢板の海側面は比較的平滑で最深の凹みは1.8mmである。また図6.30に示すように8号岸壁の海側矢板面にはUNDのような文字が読み取れる。この文字は最初どの位突起していたのかわからないが海側鋼矢板面の腐食量に関する一つの貴重な資料である。また図6.31などの海側鋼矢板面には広畑港の海側鋼矢板面に見られたような縦線がある。一方陸側鋼矢板面は5号岸壁、8号岸壁ともほとんど平滑で腐食もひどくないようである。

(6)腐食量の誤差

(4-12-1)式より算出する腐食量の誤差を切り取り鋼矢板片について求めてみる。現有肉厚の誤差として表6.8のマイクロ・メーターで測定した肉厚の誤差を用い、初期肉厚の誤差を $\pm 0.05mm$ ,  $\pm 0.5mm$ ,  $1mm$ として算出したときの腐食量の誤差は表6.17のようになる。表6.17によれば初期肉厚に $\pm 1mm$ の誤差があるときは調査鋼矢板の腐食速度には $\pm 0.03mm/yr$ の誤差が考えられる。

(7)材質および水質の影響

表6.12によれば5号岸壁と8号岸壁で使用されている鋼矢板の材質は多少異なる。5号岸壁の方が8号岸壁より凹凸が大きい傾向はこのような材質の差によるものかどうか断定できないが、港湾鋼構造物の腐食に関する興味ある一つの資料である。

また表6.11によれば腐食環境は中性でとくに酸による鋼矢板の侵食はないと思われる。

7. 志布志港における調査(鋼矢板)

7-1 調査対象構造物

志布志港において調査した鋼構造物は表7.1の通りである。

7-2 調査年月日

調査は昭和42年8月24日～8月24日に行なわれた。なお調査の日程は次の通りである。

8月24日①調査についての打合せ

調査関係機関は次の通りである。

運輸省第4港湾建設局・小倉調査設計事務所

鹿児島県土木部港湾課

鹿児島県大隅土木事務所

運輸省港湾技術研究所

②現場視察

③使用機器の点検

8月25日①肉厚測定

No. 1 ( $\pm 0m$ ,  $-1m$ ), No. 2 ( $\pm 0m$ ,  $-1m$ ), No. 3 ( $-0.4m$ )

②付着物の採取

③採水

8月26日①肉厚測定

No. 4 ( $+1.0$ ,  $\pm 0m$ ), No. 5 ( $+1.0$ ,  $\pm 0m$ ), No. 6 ( $+0.2m$ )

②付着物の採取

③採水

④機器および採取物(付着物, 採水)の梱包および発送

なお肉眼観察および写真撮影は肉厚測定と平行して行なった。

7-3 使用機器

使用機器は4-16による。

7-4 調査カ所

7-4-1 肉厚測定カ所

超音波式厚み計(水中用)による肉厚測定カ所は現地打合せの結果、図7.1のようにNo. 1～No. 6の6地点である。図7.2にNo. 1付近(斜面物揚場)を、図7.3にNo. 4より見た階段物揚場を、また図7.4にNo. 4, 5

表 7.1 志布志港における調査鋼構造物

名 称	矢 板 タイプ	初期肉厚 (mm)	延 長 (m)	施 工 年 度	経過期間 (yr)	防 食 法	無防食期 間(yr)	測 年	定 月
斜面物揚場 <sup>1)</sup>	TRI	7.5 <sup>3)</sup>	70	S.6	36	なし	36	S.42	8
物 揚 場 <sup>2)</sup>	YSP II	10.5 <sup>3)</sup>	100	S.12	30	なし	30	S.42	8

1) 測定点No. 1, No. 2, No. 3

2) 測定点No. 4, No. 5, No. 6

3) 図5・6の①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦のカタログ肉厚

4) 図5・7の②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧のカタログ肉厚

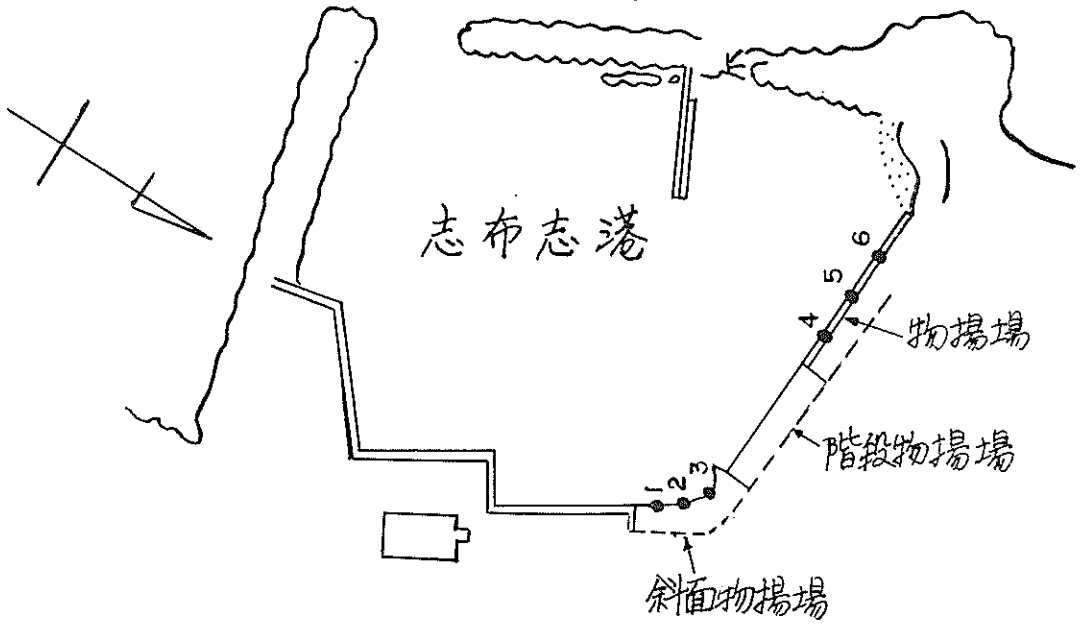


图 7.1 志布志港調査地点



图 7.2 No. 1 付近 (斜面物揚場)

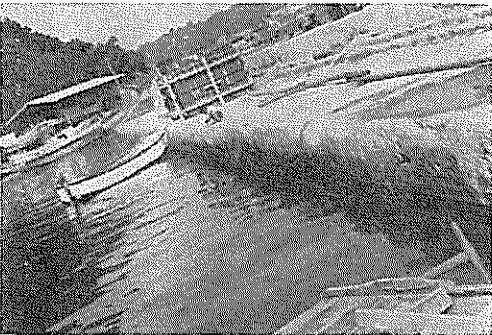


图 7.3 No. 4 より見た階段物揚場

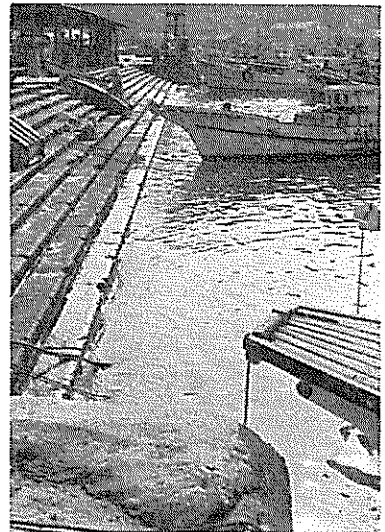


图 7.4 No. 4, No. 5, No. 6 付近

6 付近を示す。次に各測定地点における水深方向の測定点は図7.5、鋼矢板断面方向は No. 1~No. 3 は図7.6、No. 4~No. 6 は図7.7の通りである。

7-4-2 付着物採取地点

付着物の採取は表7.2に示す地点で行なった。

7-4-3 採水地点

採水は表7.3に示す地点で行なった。

表 7.2 志布志港における付着物採取カ所(○印)

水 深 (m)	斜面物揚場	階 段 物 揚 場	
	No. 1~No. 3	No. 4	No. 6
±0	○	○	○ <sup>1)</sup>

1) ±0.2m

表 7.3 志布志港における採水地点(○印)

水 深 (m)	斜面物揚場	階段物揚場
	No. 1~No. 2	No. 4~No. 5
±0	○	○

表 7.4 志布志港斜面物揚場の矢板肉厚測定結果

超音波式厚み計による  
単位：mm

測 定 地 点	深 度 (m)	現 有 肉 厚 (mm)						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
No. 1	±0	7.78	7.06	6.98		7.68	7.80	7.30
	-1.0	7.08	7.70	7.78		7.20	7.70	7.70
No. 2	±0	7.54	7.10	7.12	7.50	7.22	7.20	7.60
	-1.0	7.48	7.64	7.68	6.94	7.58	7.68	7.62
No. 3	-0.4	6.96	6.90	6.98		6.94		7.45

表 7.5 志布志港階段物揚場の矢板肉厚測定結果

超音波式厚み計による  
単位：mm

測 定 地 点	深 度 (m)	凸 矢 板			凹 矢 板			凸矢板	凹矢板
		②	③	④	⑦	⑧	⑨	⑤	①
No. 4	+1.0	11.70	11.04	10.42	10.95	10.36	10.36	—	—
	±0	10.76	10.92	10.85	—	—	—	—	—
No. 5	+1.0	10.05	10.44	10.24	10.13	10.04	10.42	—	—
	±0	—	—	—	—	10.46	—	—	—
No. 6	+0.2	10.29	10.06	10.18	10.36	10.24	10.12	—	—

7-5 調査方法

調査方法は次の通りである。

7-5-1 鋼矢板の現有肉厚測定

鋼矢板の現有肉厚測定は4-4、4-8によった。なお現地では潜水夫1組ですべての水中作業を行ない、また潜水用の補助作業は車上から操作した。

7-5-2 付着物採取

付着物採取の要領は4-5の通りである。

7-5-3 観察

観察は4.6の要領で行なった。

7-5-4 水質試験

水質試験は4-13の要領によった。

7-6 調査結果

7-6-1 現地における鋼矢板肉厚測定結果

超音波式厚み計(水中用)を用いて鋼矢板の現有肉厚を現地で測定した結果は表7.4、7.5に、現有肉厚より算出した腐食量は7.6の通りである。ただし表7.4、表7.5の欄に線が引いてあるのは鋼矢板面の凹凸のために鮮明な共振波形がでないため測定不能のところである。また表7.4、7.5で空白のところは都合によって測定しなかったところである。

7-6-2 観察

(イ)鋼矢板のタイプ

図7.2、7.4および7.5からわかるようにほとんど調査鋼矢板面が没するため海面上鋼矢板面の肉眼観察はできなかった。図7.8にNo. 1付近の上部コンクリートを破壊したカ所を示す。図7.8のように鋼矢板上部は海水中に没しているためマイクロ・メーターによる肉厚測定がむづかしかった。

スケールをあてて肉厚に相当するところを指で押しへて陸上で目盛を読んだところ約8mmであった。しかしこのときの測定位置は矢板頭部であるからは打込み時の打

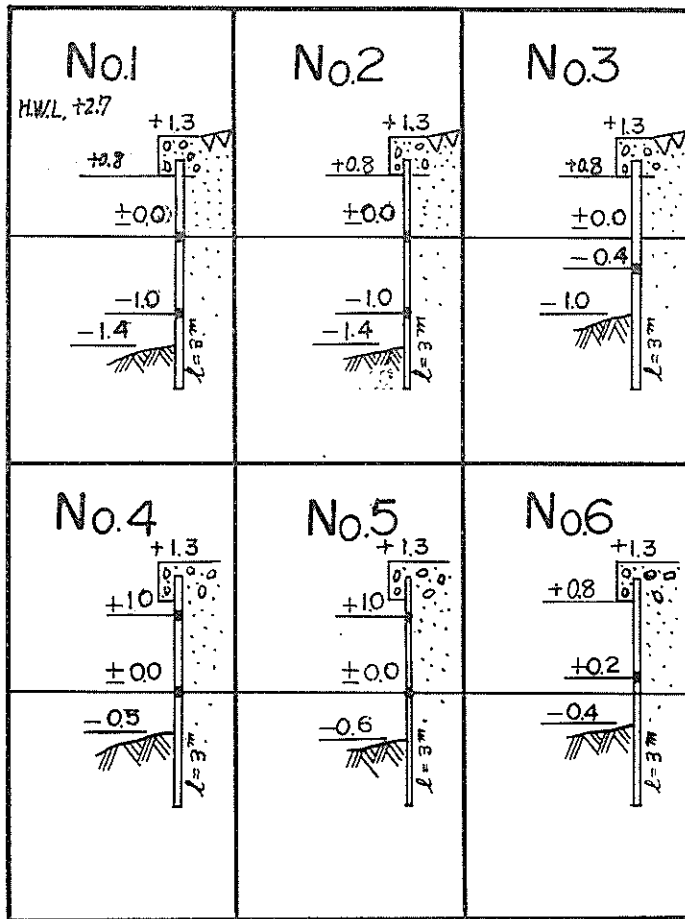


図 7.5 志布志港測定点 (深度方向)

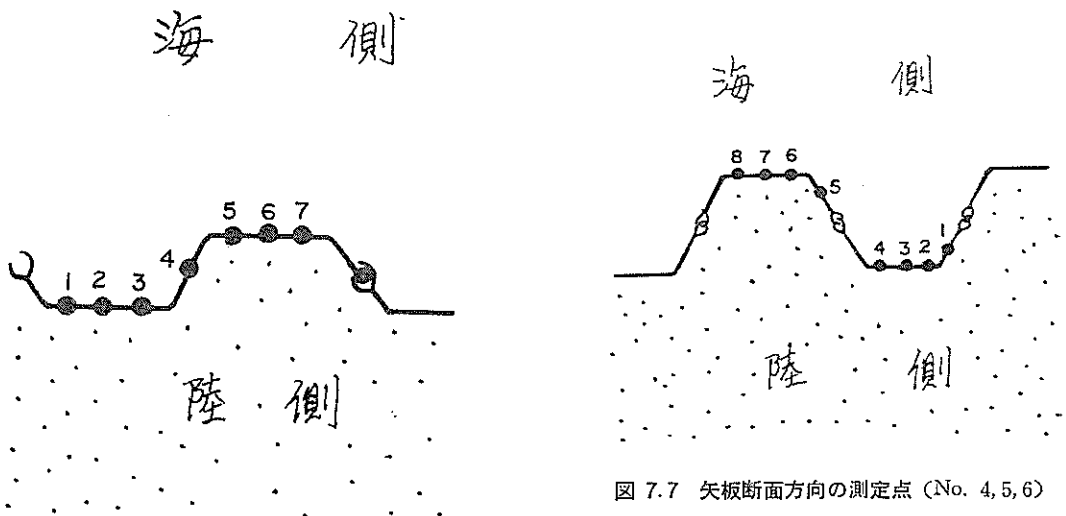


図 7.6 矢板断面方向の測定点 (No. 1, 2, 3)

図 7.7 矢板断面方向の測定点 (No. 4, 5, 6)

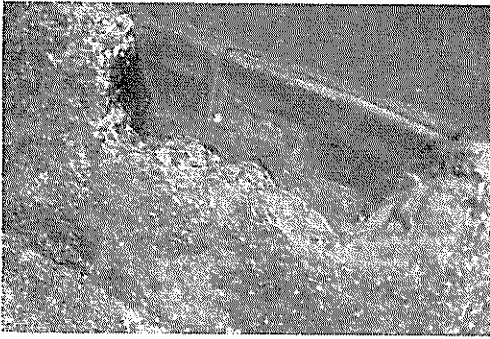
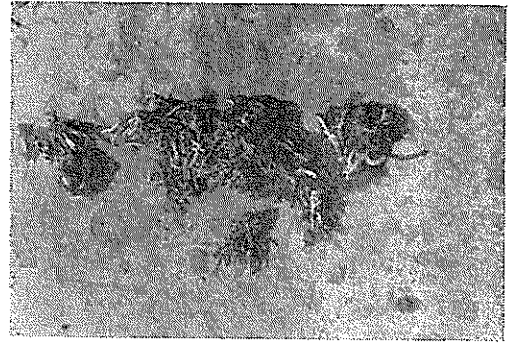


図 7.8 No. 1 付近の上部



No. 1~No. 3,  $\pm 0$  m

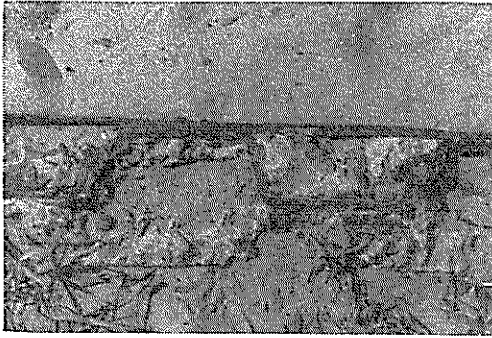
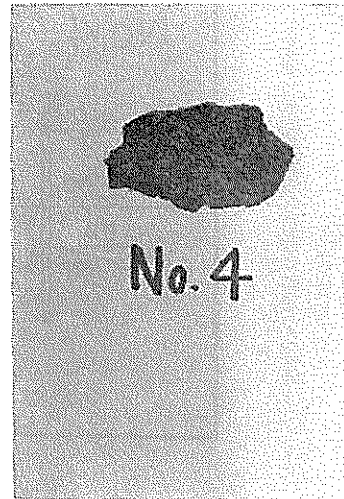


図 7.9 志布志港 No. 1~No. 3に使用された矢板タイプ (TRI)



No. 4  $\pm 0$  m



図 7.10 志布志港 No. 4~No. 6 に使用された矢板タイプ (YSP II)

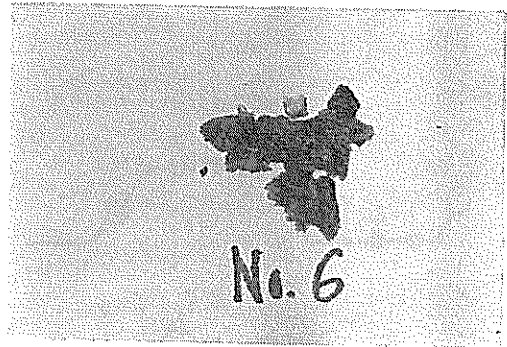


図7.11 志布志港の付着物 No. 6  $\pm 0.2$  m

表 7.6 志布志港における矢板（ウェブ）腐食量

測定地点	深度 (m)	初期肉厚 (mm)	現有肉厚 (mm)				肉厚減少量 (mm)			腐食速度 (mm/yr)		
			凸矢板 平均値	凹矢板 平均値	凸凹矢板		凸矢板 平均値	凹矢板 平均値	凸凹矢板 平均値	凸矢板	凹矢板	凸凹矢板
					平均値	標準偏差						
No. 1	±0	7.5	7.27	7.59	7.43	0.37	0.23	0	0.07	0.006	0	0.002
	-1.0	7.5	7.52	7.53	7.53	0.30	0	0	0	0	0	0
No. 2	±0	7.5	7.34	7.25	7.30	0.21	0.16	0.25	0.20	0.004	0.007	0.006
	-1.0	7.5	7.60	7.63	7.62	0.29	0	0	0	0	0	0
No. 3	-0.4	7.5	6.95	7.20	7.05	0.23	0.55	0.30	0.45	0.015	0.008	0.013
No. 4	+1.0	10.5	11.05	10.56	10.81	0.53	0	0	0	0	0	0
	±0	10.5	10.84				0			0		
No. 5	+1.0	10.5	10.24	10.20	10.22	0.18	0.26	0.30	0.28	0.009	0.010	0.009
	±0	10.5	—	10.46				0.04			0.001	
No. 6	+0.2	10.5	10.18	10.24	10.21	0.11	0.32	0.26	0.29	0.011	0.009	0.010

- 1) No. 1~No. 3は図5.6の⑤, ⑥, ⑦  
No. 4~No. 6は図5.7の⑥, ⑦, ⑧  
2) No. 1~No. 3は図5.6の①, ②, ③  
No. 4~No. 6は図5.7の②, ③, ④  
3) No. 1~No. 3は図5.6の①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦  
No. 4~No. 6は図5.7の②, ③, ④, ⑥, ⑦, ⑧

撃で多少膨らんだことも考えられるので初期肉厚は8mm弱かと推定される。一方鋼矢板のタイプは図7.9に示すようにU型ではない。なお図7.9に示す鋼矢板はNo. 1, No. 2, No. 3に接続して同時に打込まれたもので現在はNo. 4, No. 5, No. 6のある物揚場を前面に造ったために砂に埋没している。

図7.8では鋼矢板の形状はわかるが寸法が測定できないので図7.9に示す埋設鋼矢板について測定した。その結果No. 1, No. 2, No. 3の鋼矢板タイプは図7.6に示すようなTRI型であると判定された。またNo. 4, No. 5, No. 6の鋼矢板は図7.10に示すようなU型である。なお図7.10に示す鋼矢板はNo. 4~No. 6のある物揚場の一端である。No. 4~No. 6の鋼矢板のタイプは図7.10の鋼矢板およびNo. 4~No. 6の海水中について形状、寸法の測定ならびに当時の工事従事者の話からYSP II型であることが確かめられた。

(四) 付着物

採取したときの付着物の状況は図7.11の通りである。

7-6-3 水質試験結果

水質試験結果は表7.7の通りである。

7-7 考察

以上の測定結果より次のことが考察される。

(1) 超音波式厚み計（水中用）の現地適用性

表7.4, 7.5より鋼矢板面に探触子を適用したときその

表 7.7 志布志港における水質試験結果

	水深 (m)	外 観	PH	Cl <sup>-</sup> (‰)
No. 1~No. 2	±0	無色	8.1	18.41
No. 4~No. 5	±0	無色	8.1	18.48

表 7.8 志布志港における超音波式厚み計（水中用）の適用率

岸壁名	測 定 点	測 定 点			適用率 (%)
		A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	A+B	
斜面物揚場	⑤, ⑥, ⑦	15	0	15	100
	①, ②, ③	14	1	15	93
	④	2	1	3	67
	①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦	31	2	33	94
階段物揚場	⑥, ⑦, ⑧	12	3	15	80
	②, ③, ④	10	5	15	67
	②, ③, ④, ⑥, ⑦, ⑧	22	8	30	73
	⑤	0	5	5	0
	①	0	5	5	0

- 1) 肉厚測定できた測定点数  
2) 肉厚測定できなかった測定点数  
3) 適用率=A/A+B×100(%)

うちの何%が肉厚測定できたかをいま適用率(%)として示すと表7.8のようになる。表7.8によれば斜面物揚場(鋼矢板はTR I型)では94%, 階段物揚場では②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨が73%, ①, ⑤が0%となっている。このように志布志港では階段物揚場の①, ⑤の肉厚測定がうまくできなかった理由として付着物の除去が不十分だった, 鋼矢板面に2mm以上の凹凸があった, 水晶振動子の割れによる感度の低下(1本の探触子では水晶振動子に1本のひび割れが見受けられた), 測定者による誤差などいろいろ考えられるが, 切り取りによる破壊調査を実施しないとはっきりしたことはわからない。

しかし志布志港では付着物除去の作業性などを含めて超音波式厚み計(水中用)は①, ⑤よりも②, ③, ④, ⑧⑦⑨の方に適用しやすかったことは明らかである。

## (2)調査物揚場の腐食量

調査した斜面物揚場および階段物揚場の鋼矢板は図7.5に示すようにH.W.L.以下であるから, 測定深度は潮位間または海水中である。表7.6によれば両物揚場の鋼矢板の腐食量(海側からと陸側からの腐食量の和)は0~0.013mm/yrである(ただし初期肉厚はカタログ肉厚を用いた)。この結果30年以上経過してもほとんど打込み時のままの肉厚が現存していることになる。一方図7.9, 7.10を参照すると調査鋼構造物の腐食がひどいように感じられるが両図が示すのは地上部分であって海水面下の鋼矢板の腐食状況とは別であることをはっきりすることが必要である。また陸上部の腐食状況を観察するとき錆生成物は10倍近く膨脹することを念頭においておくことも必要である。

## 8. 佐世保港における調査(鋼矢板)

### 8-1 調査対象構造物

佐世保港において調査した鋼構造物は表8.1の通りである。

### 8-2 調査年月日

調査は昭和42年8月28日~8月31日に行なわれた。なお調査の日程は次の通りである。

#### 8月28日①調査についての打合せ

調査関係機関は次の通りである。

運輸省第4港湾建設局・小倉調査設計事務所

運輸省第4港湾建設局・佐世保港工事事務所

運輸省港湾技術研究所

②現場視察

③機器の点検

④肉厚測定

⑤採水

⑥付着物の採水

8月29日①肉厚測定

②採水

③付着物の採取

8月30日①肉厚測定

②採水

③付着物の採取

8月31日①肉厚測定

②機器および採取物(付着物および採水)の梱包および発送

なお肉眼観察および写真撮影は肉厚測定と平行して行なった。

### 8-3 使用機器

使用機器は4-16による。

### 8-4 調査カ所

#### 8-4-1 肉厚測定カ所

超音波式厚み計(水中用)による肉厚測定カ所は現地打合せの結果, 図8.1に示すようにNo. 1~No. 5の計5地点を設定した。断面方向は②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨について測定した。

また各測定地点における測定深度は図8.2の通りである。

#### 8-4-2 付着物採取地点

付着物の採取は表8.2の地点で行なった。

#### 8-4-3 採水地点

採水は表8.3に示す地点で行なった。

### 8-5 調査方法

調査方法は次の通りである。

#### 8-5-1 鋼矢板の現有肉厚測定

鋼矢板の現有肉厚測定は4-4, 4-8によったが現地にお

表 8.1 佐世保港における調査鋼構造物

名 称	水 深 (m)	矢 板 タイプ	初期肉厚 <sup>1)</sup> (mm)	延 長 (m)	施 工 年	経過期間 (yr)	防食法	無防食期 間 (yr)	測 定 年 月
4 m物揚場	-4	Y S P IV	15.5	200	S. 23	19	なし	19	S. 42・8

1) 図2.1の②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨のカタログ肉厚



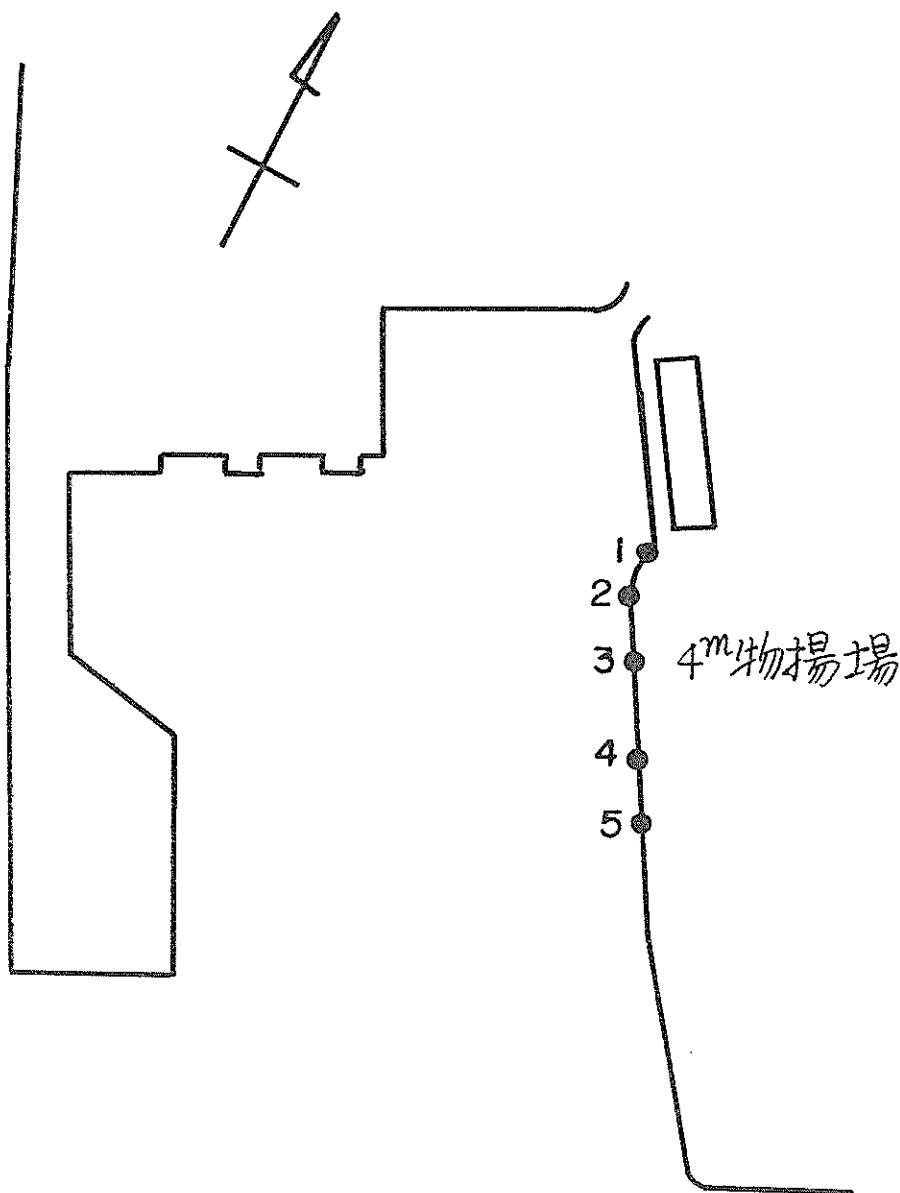


図 8.1 佐世保港 4 m物揚場の測定地点

ける測定状況は次の通りである。

図 8.3 に示す鋼製梯子を被測定鋼矢板前面に下ろし図 8.4 のように鋼製梯子を利用して潜水夫は付着物の除去ならびに厚み計探触子の鋼矢板面への吸着を行なった。また図 8.5 にレッドによる水深測定状況を示す。測定した現有肉厚を用いて (4-12-1) 式から腐食速度を算出した。

#### 8-5-2 付着物の採取

付着物採取の要領は4-5の通りである。図8.6に付着物除去用ハンマーを潜水夫に渡している様子を、図 8.7 に付着物をバケツに入れて引上げている様子を示す。

#### 8-5-3 観察

観察は 4-6 の要領で行なった。

#### 8-5-4 水質試験

水質試験は4-13の要領によった。

#### 8-6 調査結果

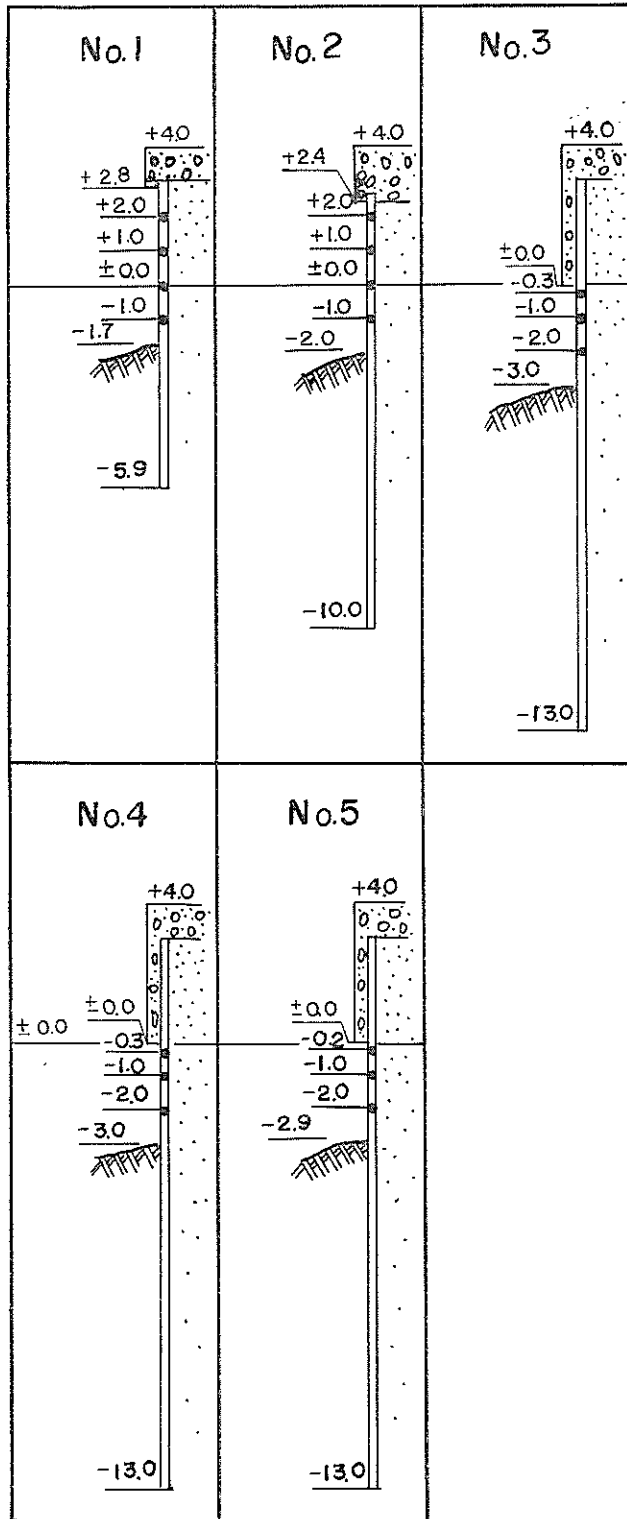


図 8.2 佐世保港 4 m物揚場測定深度

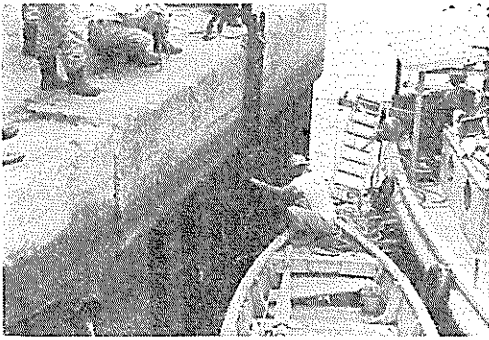


図 8.3 測定用銅製梯子



図 8.6 潜水夫へハンマーを渡す



図 8.4 海水面付近における鋼製梯子使用状況



図 8.7 バケツに入れて付着物を受取る



図 8.5 レッドによる水深測定状況



図 8.8 4m物揚場（左よりNo. 1～No.5）

表 8.2 佐世保港における付着物採取力所

水深 (m)	4 m 物揚場				
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
±0	○				
-0.3			○	○	○ <sup>1)</sup>
-1	○		○	○	○
-2			○	○	○

1) -0.2m

表 8.3 佐世保港における採水地点

水深 (m)	4 m 物揚場		
	No. 1前面	No. 3前面	No. 5前面
上 <sup>1)</sup>	○	○	○
下	○ <sup>2)</sup>	○ <sup>3)</sup>	○ <sup>4)</sup>

1) 採水時海水面下0.4~0.5m

2) 2m

3) 1.7m

4) -2.9m

表 8.4 佐世保港 4 m物揚場の矢板肉厚測定結果

測定位置	深度 (m)	凸 矢 板			凹 矢 板		
		②	③	④	⑦	⑧	⑨
No. 1	+2.0	14.30	14.32	—	—	—	—
	+1.0	15.00	15.10	14.96	14.40	15.00	14.04
	±0	14.42	13.70	14.22	—	15.20	14.96
	-1.0	14.00	14.42	14.46	14.34	15.12	14.40
No. 2	+2.0	—	—	—	—	—	—
	+1.0	—	—	—	—	—	—
	±0	13.62	15.00	—	—	—	—
	-1.0	13.90	14.38	14.04	13.52	13.82	13.98
No. 3	-0.3	15.02	14.86	14.32	14.40	14.42	15.70
	-1.0	14.30	—	14.22	—	—	—
	-2.0	14.40	14.90	14.70	—	15.60	—
No. 4	-0.3	—	13.28	14.52	—	13.84	14.24
	-1.0	—	14.44	—	14.40	—	14.28
	-2.0	14.44	14.42	14.40	—	—	13.64
No. 5	-0.2	14.00	14.34	14.52	—	14.34	—
	-1.0	—	14.22	—	—	—	—
	-2.0	—	14.58	—	14.50	—	14.34

— : 測定不能

8-6-1 現地における鋼矢板肉厚測定結果

超音式厚み計(水中用)を用いて鋼矢板の現有肉厚を現地で測定した結果は表8.4, 8.5の通りである。表8.4の欄で線が引いてあるのは鋼矢板の凹凸のために鮮

明な共振波形がでなくて測定不能のところである。また空白なところは都合によって測定しなかったところである。

8-6-2 観察

ここでは調査した鋼矢板構造物の外観および採取した付着物についての観察結果を含む。

(イ)鋼矢板構造物の外観

測定地点No. 1~No. 5 の含まれる 4 m物揚場の外観を図 8.8 に示す。また図 8.9, 図 8.10 にNo. 1 の潮位間における鋼矢板面の状況を示す。

(ロ)付着物

採取したときの付着物の例を図 8.11 に示す。

8-6-3 水質試験結果

表 8.6 に水質試験結果を示す。

8-7 考察

以上の測定結果より次のことが考察される。

(1)超音波式厚み計(水中用)の現地適用性

表 8.4 より全測定点のうち測定が精度よくできた測定数の占める割合をいま適用率(%)として表わしてみると、②, ③, ④で73%, ⑦, ⑧, ⑨で45%となりとに⑦, ⑧, ⑨への適用が悪い。これの原因は鋼矢板の切り取りを行なってみなければわからないが、いずれにせよ鮮明な共振波形が得られない程度の凹みが鋼矢板面にあるためと思われる。凹みの程度は非破壊調査と破壊調査を併行したときの結果を参照すると1mm~2mm以内と予想される。

(2)4 m物揚場鋼矢板の腐食量

4 m物揚場の鋼矢板はH. W. L. 以下(調査時の海水面は0.99m~2.45m)であるから肉厚測定深度は潮位間およびL. W. L. 以下である。表8.5より4 m物揚場の鋼矢板の腐食速度は図8.12のようになる。図8.12によれば凸矢板, 凹矢板の腐食速度はほとんど同じく凸凹矢板を平均する潮位間で0.04~0.06mm/yr, L. W. L. 下で0.05~0.06mm/yr である。なお潮位間の値は片面が潮位間, 片面が泥層(不飽和)に接する鋼矢板両面の腐食速度の和であり, またL. W. L. 下の値は片面が海水, 片面が泥層(飽和)に接する鋼矢板両面の腐食速度の和である。



図 8.9 No. 1 の潮位間の鋼矢板面

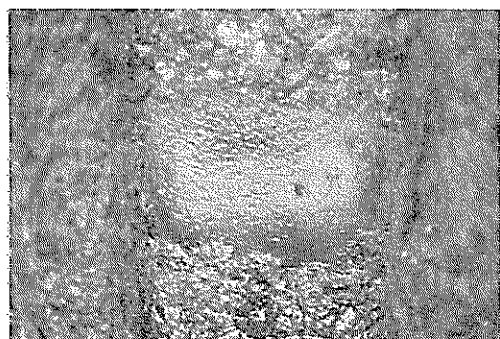
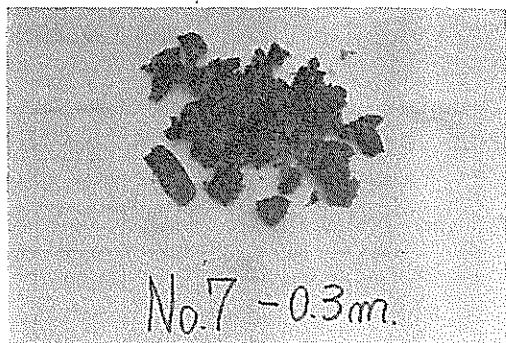


図 8.10 付着物を除去した潮位間の鋼矢板面  
(佐世保港No. 1) (カラー写真参照)

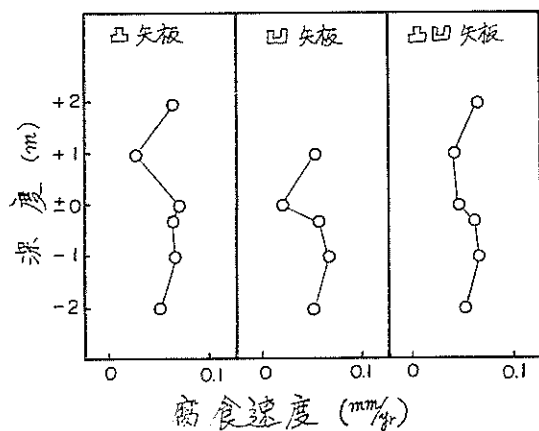
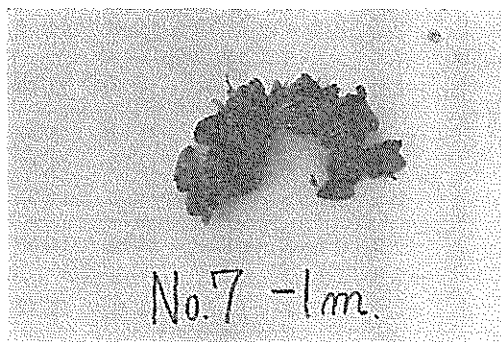


図 8.12 佐世保港 4 m 物揚場 (19年経過) の腐食速度

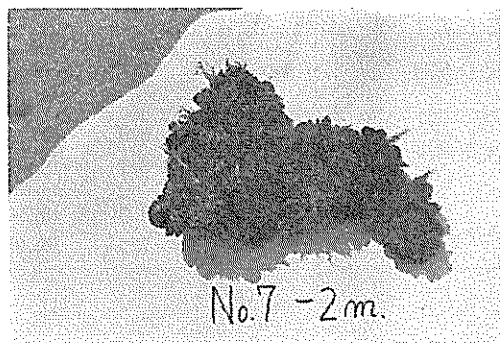


図 8.11 佐世保港 4 m 物揚場の付着物例

表 8.5 佐世保港 4 m物揚場の矢板腐食量

腐食期間：19年

測定地点	深 度 (m)	初 期 肉 厚 (mm)	現 有 肉 厚 (mm)				肉 厚 減 少 量 (mm)			腐 食 速 度 (mm/yr)			
			凸矢板 平均値	凹矢板 平均値	凸 凹 矢 板		凸矢板 平均値	凹矢板 平均値	凸凹矢板 平均値	凸矢板	凹矢板	凸凹矢板	
					平均値	標準偏差							
No. 1	+2.0	15.5	14.31	—	—	—	1.19	—	—	—	0.063	—	—
	+1.0	15.5	15.02	14.48	14.75	0.44	0.48	1.02	0.75	0.025	0.054	0.039	
	±0	15.5	14.11	15.08	14.50	0.60	1.39	0.42	1.00	0.073	0.022	0.053	
	-1.0	15.5	14.29	14.62	14.46	0.37	1.21	0.88	1.04	0.064	0.046	0.055	
No. 2	+2.0	15.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	+1.0	15.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	±0	15.5	14.31	—	—	—	1.19	—	—	0.063	—	—	—
	-1.0	15.5	14.11	13.77	13.94	0.28	1.39	1.73	1.56	0.073	0.091	0.082	
No. 3	-0.3	15.5	14.73	14.84	14.79	0.53	0.77	0.66	0.71	0.041	0.035	0.037	
	-1.0	15.5	14.26	—	—	—	1.24	—	—	0.065	—	—	
	-2.0	15.5	14.67	15.60	14.90	0.51	0.83	-0.10	0.60	0.044	0	0.032	
No. 4	-0.3	15.5	13.90	14.04	13.97	0.54	1.60	1.46	1.53	0.084	0.077	0.081	
	-1.0	15.5	14.44	14.34	14.37	0.08	1.06	1.16	1.13	0.056	0.061	0.059	
	-2.0	15.5	14.42	13.64	14.23	0.39	1.08	1.86	1.27	0.057	0.098	0.067	
No. 5	-0.2	15.5	14.29	14.34	14.30	0.22	1.21	1.16	1.20	0.064	0.061	0.063	
	-1.0	15.5	14.22	—	—	—	1.28	—	—	0.067	—	—	
	-2.0	15.5	14.58	14.42	14.47	0.12	0.92	1.08	1.03	0.048	0.057	0.054	

- 1) 図2.1の②, ③, ④  
 2) 図2.1の⑦, ⑧, ⑨  
 3) 図2.1の②, ③, ④, ⑦, ⑧, ⑨

表 8.6 佐世保港における水質試験結果

採地	水点	水 深 (m)	外 観	PH	Cl <sup>-</sup> (‰)
No. 1 前面	海水面	—	無 色	7.6	15.78
	-2	7.6		15.67	
No. 3 前面	海水面	—	無 色	8.5	15.24
	-1.7	8.7		15.58	
No. 5 前面	海水面	—	無 色	7.3	15.34
	-2.9	7.4		15.46	

9. 下関港における調査（鋼管杭）

下関港で調査した鋼構造物は表9.1、図9.1の通りである。

9-1 調査対象構造物

表 9.1 下関港における調査鋼構造物

名 称	水 深 (m)	鋼 管 寸 法			材 質	ドルフィ ンの 経	施工年月	経過期間 (yr)	防食法	無防食 期間 (yr)	測定年月
		D(mm)	t (mm)	l (m)							
第1突堤先端 ドルフィン	-9.0	500	12	20	STK41	7.5m	S.34.2	8.5	なし	8.5	S.42.8

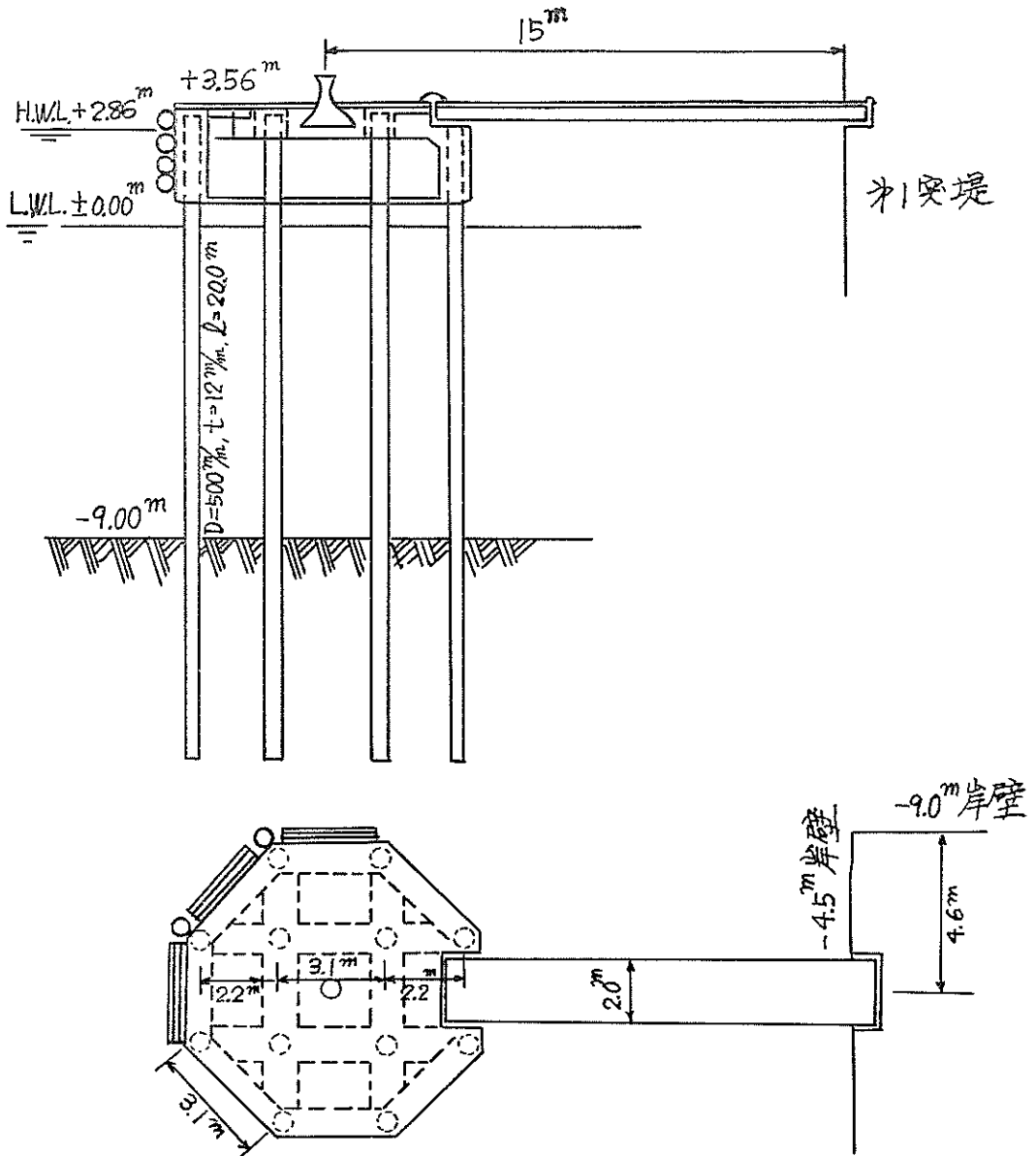


図 9.1 下関港における調査ドルフィン

## 9-2 調査年月日

調査は昭和42年8月23日に行なわれた。なお調査の日程は次の通りである。

### 8月23日 ①調査についての打合せ

調査関係機関は次の通りである。

運輸省第4港湾局建設局・小倉調査設計事務所

運輸省第4港湾建設局・下関港工事事務所  
運輸省港湾技術研究所

### ②肉厚測定

No. 1 ( $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-8\text{m}$ )

No. 2 ( $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-5$ ,  $-9\text{m}$ )

No. 3 ( $+2$ ,  $+1$ ,  $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-5$ ,  $-9\text{m}$ )

No. 4 ( $+1$ ,  $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-5$ ,  $-8\text{m}$ )

No. 5 ( $+1$ ,  $\pm 0$ ,  $-5$ ,  $-9\text{m}$ )

No. 6 ( $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-5$ ,  $-9\text{m}$ )

No. 7 ( $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-2$ ,  $-3$ ,  $-4$ ,  $-5$ ,  
 $-6$ ,  $-7$ ,  $-8$ ,  $-9\text{m}$ )

No. 8 ( $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-5$ ,  $-9\text{m}$ )

No. 9 ( $\pm 0$ ,  $-1$ ,  $-5$ ,  $-9\text{m}$ )

## 9-3 使用機器

使用機器は4-16による。

## 9-4 調査カ所

### 9-4-1 肉厚測定カ所

超音波式厚み計（水中用）による肉厚測定は現地打合せの結果、図9.2のように No. 1~No. 9 の9本の鋼管

杭を対象とした。次に各測定鋼管杭の水深方向の測定点は図9.3の通りであり各点の肉厚を2回ずつ測定した。なお鋼管杭の円周方向の測定は1方向のみである。

### 9-4-2 採水地点

採水は調査したドルフィン前面の海水中（ $-1\text{m}$ ,  $-8\text{m}$ ）で行なった。

## 9-5 調査方法

調査方法は次の通りである。

### 9-5-1 鋼管杭の現有肉厚測定

鋼管杭の現有肉厚測定は4-4, 4-8によったが、厚み計本体による測定は図9.4, 9.5のように船上で行なった。

探触子は矩形型のを最初使用したがマグネットが円形型探触子のように水晶振動子に固定されていないためマグネットは鋼材面に吸着しても探触子が多少動いた。このため円形型マグネット付の探触子に途中から切替えた。

### 9-5-2 観察

観察は4-6の要領で行なった。

### 9-5-3 水質試験

水質試験は4-13の要領によった。

## 9-6 調査結果

### 9-6-1 現地における鋼管杭肉厚測定結果

超音波式厚み計（水中用）を用いて鋼管杭の現有肉厚を現地で測定した結果は表9.2, 9.3の通りである。表9.2で空白のところは都合により測定しなかったところである。

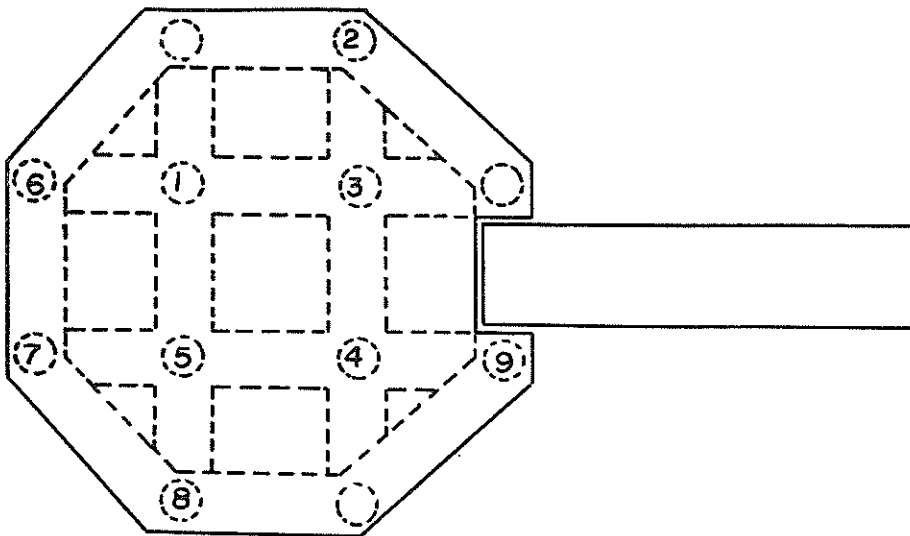


図9.2 調査鋼管杭



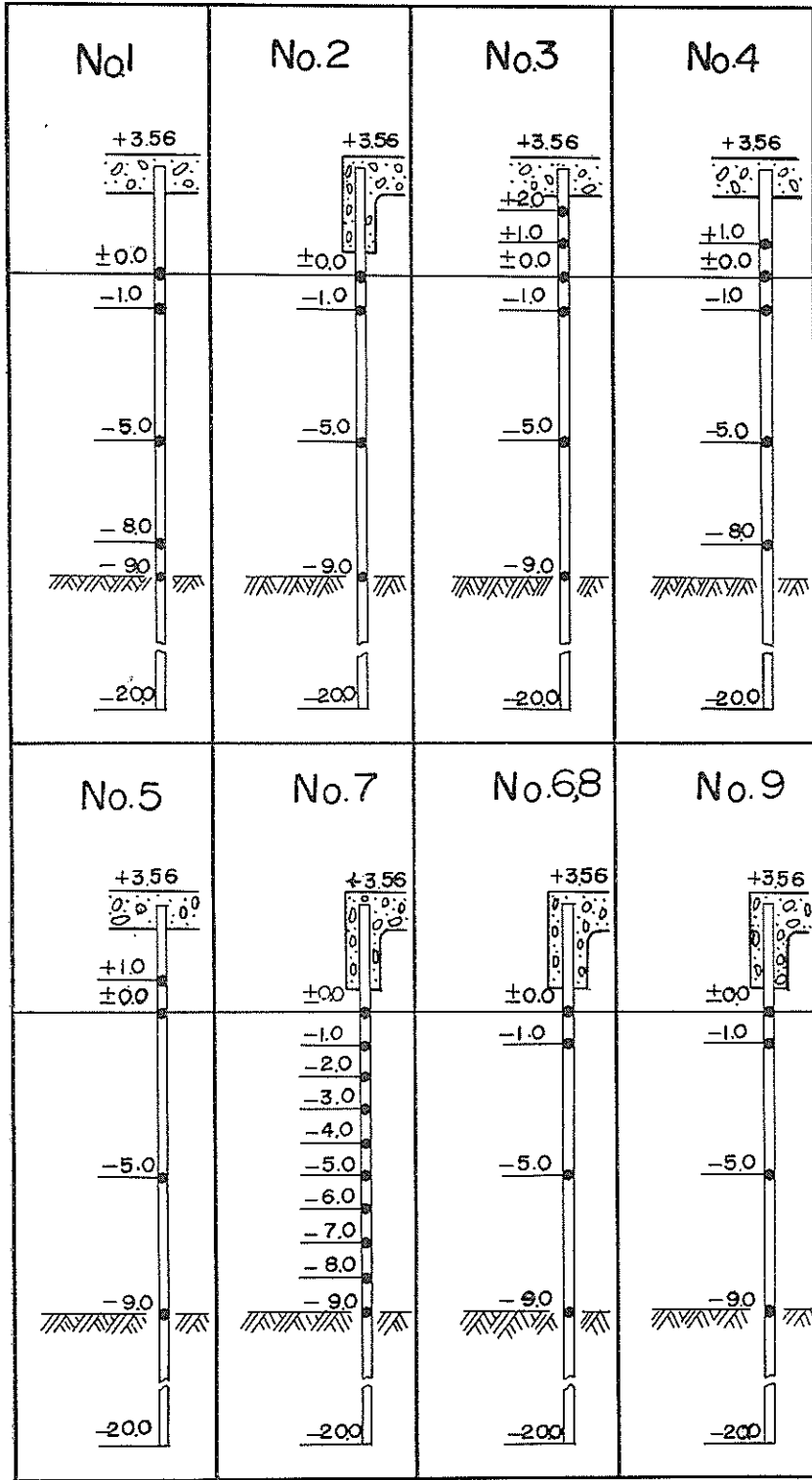


图 9.3 钢管桩测定点 (深度方向)

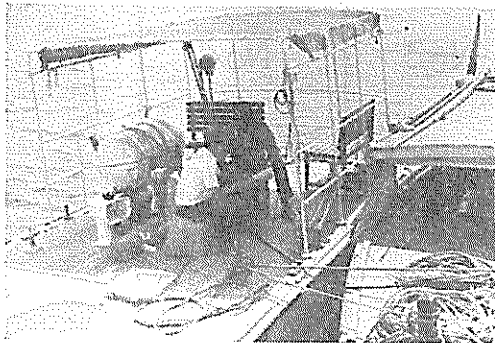


図 9.4 超音波式厚み計本体による肉厚読み取り (1)

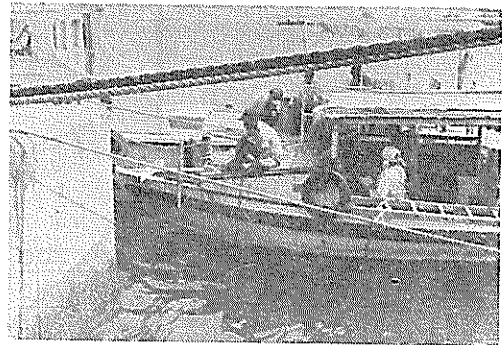


図 9.5 超音波式厚み計本体による肉厚読み取り (2)

表 9.2 下関港ドルフィン肉厚測定結果

深 度 (m)	銅 管 肉 厚 (mm)								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
+2.0			11.80						
+1.0			11.44	11.92 (11.36)	11.84				
±0	11.90	11.62	11.96	11.84 (11.28)	11.80	11.74	11.82 (11.20)	11.92	11.54
-1	11.67	11.87	11.64	11.84 (11.28)		11.84	11.80	11.90	11.84
-2							11.82		
-3							11.81		
-4							11.88 (11.30)		
-5		11.78	11.81	11.64	11.88	11.86	11.82 (11.20)	11.86	11.80
-6							11.82		
-7							11.80		
-8	11.90			11.86			11.84		
-9		11.87	11.80 (11.20)		11.40	11.94	11.80 (11.34)	11.98	11.76

( )内の数字は2回の測定値間の差が0.5mm以上あるときの小さい方の値

表 9.3 下関港ドルフィン腐食量

深 度 (m)	初期肉厚 (mm)	現 有 肉 厚 <sup>1)</sup> 平 均 値 (mm)	肉厚減少量 <sup>1)</sup> (mm)	腐 食 速 度 <sup>1)</sup> (mm/yr)	現 有 肉 厚 <sup>2)</sup> 平 均 値 (mm)	肉厚減少量 <sup>2)</sup> (mm)	腐 食 速 度 <sup>2)</sup> (mm/yr)
+ 2	12.0	11.80	0.20	0.024	11.80	0.20	0.024
+ 1	12.0	11.64	0.36	0.042	11.73	0.27	0.032
± 0	12.0	11.73	0.27	0.032	11.79	0.21	0.024
- 1	12.0	11.74	0.26	0.031	11.80	0.20	0.024
- 2	12.0	11.82	0.18	0.021	11.82	0.18	0.021
- 3	12.0	11.81	0.19	0.022	11.81	0.19	0.022
- 4	12.0	11.59	0.41	0.048	11.88	0.12	0.014
- 5	12.0	11.74	0.26	0.031	11.81	0.19	0.022
- 6	12.0	11.82	0.18	0.021	11.82	0.18	0.021
- 7	12.0	11.80	0.20	0.024	11.80	0.20	0.024
- 8	12.0	11.87	0.13	0.015	11.87	0.13	0.015
- 9	12.0	11.68	0.32	0.038	11.79	0.21	0.024

1) 表9.2( )内の数字を含む

2) 表9.2( )内の数字を含まない

9-6-2 観察

調査したドルフィン（図9.6、9.7）のように海水面下までコンクリート被覆が下がっているため海面上からは鋼管杭を肉眼観察できなかった。海水面付近は図9.8、9.9のようにフシツボが少し付着していた。

9-6-3 水質試験結果

水質試験結果は表9.4に示す通りである。

表 9.4 下関港における水質試験結果

水 深 (m)	外 観	pH	Cl <sup>-</sup> (‰)
— 1	無 色	7.2	15.25
— 8	無 色	7.5	15.67

9-6-4 調査地点付近の土質

腐食調査時にとくに土質試験を実施しなかったので調査地点付近の過去のボーリング試験による土質を図9.10に示す。

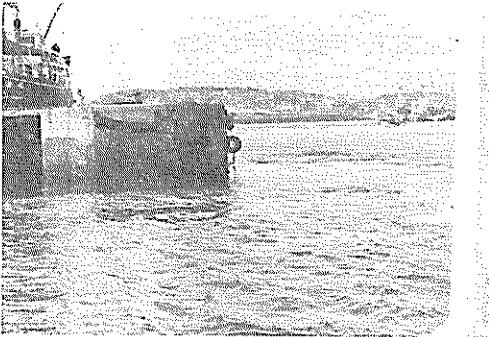


図 9.6 調査ドルフィン（海上より）



図 9.9 調査ドルフィン（海面付近2）



図 9.7 調査ドルフィン（第1突堤より）

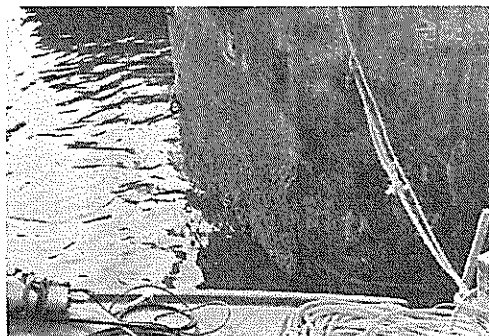


図 9.8 調査ドルフィン（海面付近1）

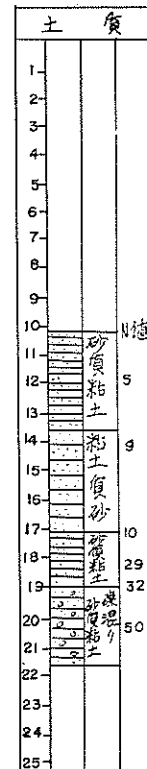


図 9.10 調査地点付近の土質

9-7 考 察

以上の測定結果より次のことが考察される。

(1) 超音波式厚み計（水中式）の現地適用性

表 9.2 に示すように探触子を適用したカ所の肉厚は一応全部読取れたが繰り返し 2 回の測定値間の差が大きいところ（たとえば 0.5mm 以上）が 7 カ所あった。これは測定者の肉厚読取りの誤差か、探触子の使用条件が十分でなかったのか、またはその他の因によるものかはっきりしない。調査鋼材は鋼管杭（この場合  $\phi 500\text{mm}$ ）であるので図 4.12 に示す矩形型の探触子を使用した。しかし矩形型探触子用のマグネットは図 9.11 に示すようにコの字

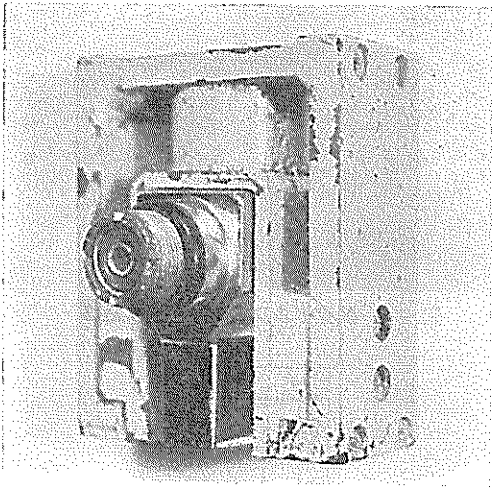


図 9.11 下関港で使用した短形型探触子（周囲がマグネット）

型で水晶振動子をまたいだ状態であり、図 4.11 に示す円形型探触子のようにマグネットと水晶振動子とは固着していないし、さらに鋼管に接するマグネットと水晶振動子の面は平面である。したがってマグネットが鋼管に吸着しても水晶振動子面は鋼管面に十分接触しないときもある。このときは水晶振動子のみを多少動かしてみても測定できないときはマグネットごと少しずらした。しかし

このように努力して折角鮮明な共振波形がでて肉厚を読取る間に水晶振動子が動くことがしばしばあった。これは主として水晶振動子に接続されている測定用電線が波のために動くことによると思われるが、このために測定に時間がかかる。したがって鋼管杭 No. 1, No. 2 以外の No. 3~No. 9 では図 4.11 に示す円形型探触子を使用した。しかしもともと円形型探触子は平板用であるから  $\phi 500\text{mm}$  の鋼管に接すると横方向どちらかに多少の隙間が鋼管杭と探触子面との間に生ずることが予想されるが、水晶振動子（探触子の中心  $\phi 20\text{mm}$ ）の面積の大半は鋼管面に接触したとみえて肉厚の読取りができた。しかし今後は鋼管杭の肉厚測定にはマグネットが水晶振動子に固着した矩形型探触子を用意することが必要である。

(2) 調査ドルフィンの腐食量

調査した鋼管杭は図 9.1 のように H. W. L. (+2.86m) 以下におかれる。潮位間および海水中より測定した腐食量は表 9.3 に示すように 0.02~0.05mm/yr である。この値は鋼管杭の外側および内側からの腐食量を合わせたものである。0.02~0.05mm/yr は測定肉厚の全平均値であるから表 9.2 のように 2 回の測定値が 0.05mm 以上差のあるもの（たとえば No. 7,  $\pm 0$  の 11.82 と 11.20 など）も含んでいる。しかし表 9.2 によれば 11.82 のように大きい方の値が同一深度における他の測定値と見合うように思えるので 11.20 のように 0.05mm 以上小さい方の値を除いて腐食量を算出してみると 0.016~0.034mm/yr となる。どちらの腐食量が実際の値に近いかは切取りによる破壊調査を実施してみないとはっきりしないが、いずれにしても調査ドルフィンの腐食速度（鋼管の外側と内側からの腐食速度の和）は 0.05mm/yr 以下である。

10. 富山港における調査（タイ・ロッド）

10-1 調査対象構造物

富山港において調査した鋼構造物は表 10.1 および図 10.1 に示す矢板式けい船岸のタイ・ロッドである。タイ・ロッドの埋設状況は図 10.2 の通りである。

表 10.1 富山港における調査鋼構造物

名称	水深 (m)	タイ・ロッド				矢板					施工年	測定年月
		外径 <sup>1)</sup> (mm)	長さ (m)	期間 (yr)	防食	タイプ	肉厚 <sup>3)</sup> (mm)	長さ (m)	期間 (yr)	防食		
-7.5m 岸壁	-7.5	55	13.70 <sup>2)</sup>	33	ジュート巻き	YSP IV	15.5	13.00	33	なし	S.9	S.42.10

注 1) カタログ肉厚  
 2) 13.50mのうちコンクリート中3.25m, 土中9.65m, その他  
 3) 図8.4の③, ④, ⑤のカタログ肉厚

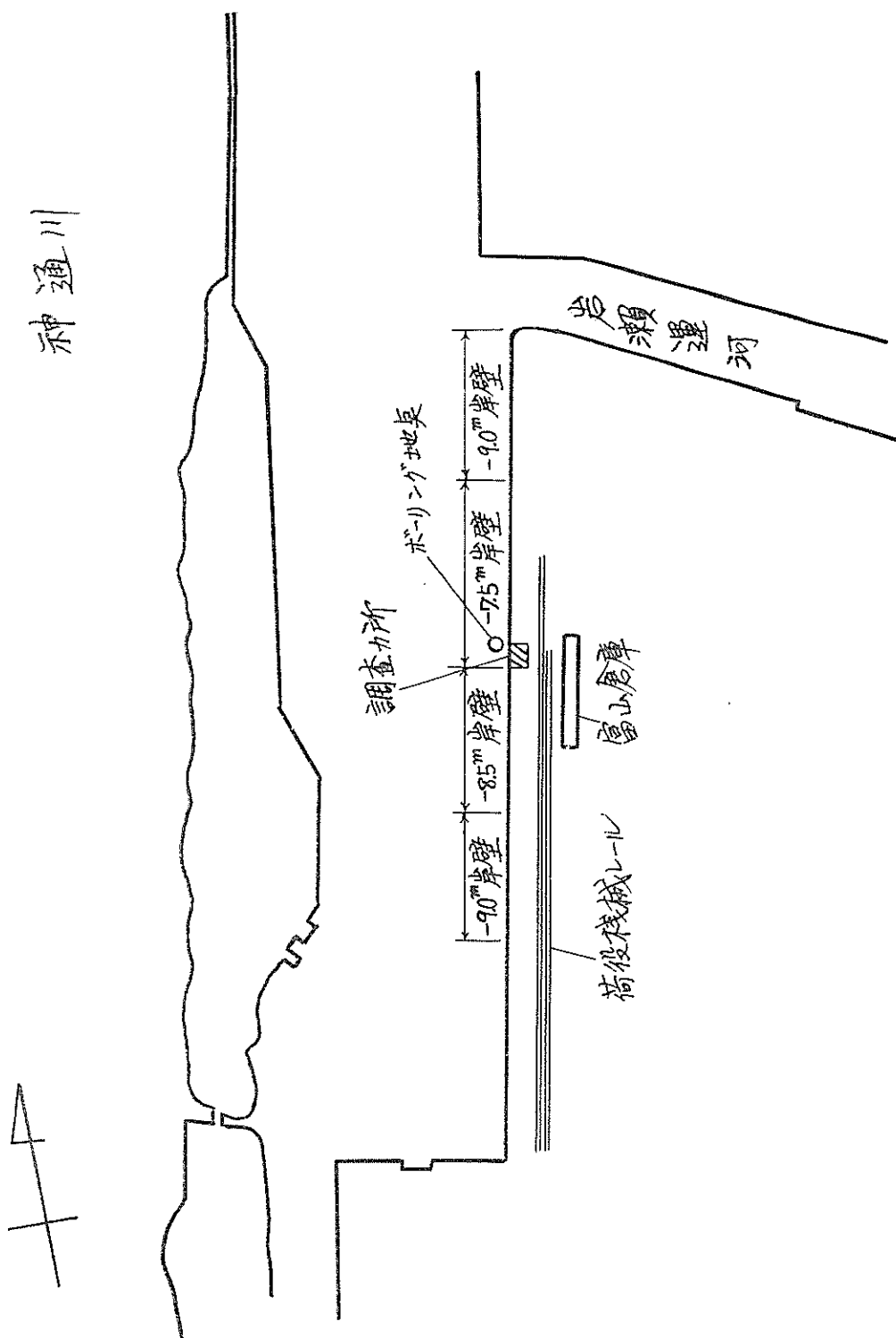
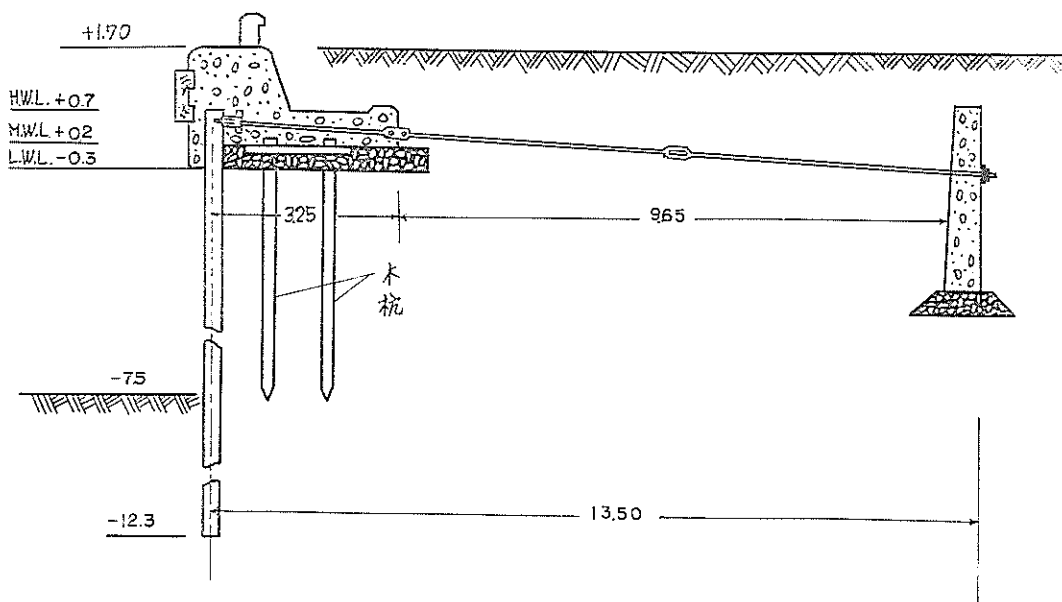


図 10.1 富山港におけるタイロッド腐食調査カ所



単位：m

図 10.2 調査タイ・ロッド埋設状況（断面図）

### 10-2 調査年月日

調査は昭和42年11月21日～11月22日に行なわれた。なお調査の日程は次の通りである。

#### 11月21日 ①調査についての打合せ

調査関係機関は次の通りである。

運輸省第1港湾建設局・新潟調査設計事務所

運輸省第1港湾建設局・伏木富山港工事事務所

運輸省港湾技術研究所

#### ②現場視察

#### 11月22日 ①外径測定

No. 1～No. 9

#### ②被覆材の採取

#### ③タイ・ロッド片の切取り

#### ④観察

### 10-3 使用機器

使用した機器は4-16のうちノギス、マイクロ・メーター（両球型）、カメラ、カッター、天秤、ガス切断器、クレーン船、排水用ポンプなど。

### 10-4 調査カ所

#### 10-4-1 外径測定カ所

ノギスによる外径測定カ所は現地打合せの結果、図10.3に示すように9本のタイ・ロッドのうち8本はコン

クリートより約1m離れた1カ所のみ、1本(No. 2)はコンクリートより1mピッチで8カ所設定した。各1カ所における測定点のとり方は4-11（タイ・ロッドの観察および外径測定）の図4.24、4.25の通りである。このときの測定点の表示は、たとえば1-1-A-①となる。この表示記号の最初の1は調査タイ・ロッドのNo.、次の1はコンクリートから1mのところ、Aは図4.24のA、①は図4.25の①を示す。

#### 10-4-2 タイ・ロッド片の切取り

タイ・ロッド片の切取りはNo. 2のタイ・ロッドのコンクリートより8m付近および外径測定タイ・ロッド(No. 1～No. 9)以外の任意の1本のジョイントについて行なった。

#### 10-4-3 上部コンクリート中の鋼矢板肉厚測定点

上部コンクリート中鋼矢板の肉厚測定は調査タイ・ロッドNo. 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9の7本が接続している凹矢板7枚について行なった。矢板断面方向の測定点は図10.4の通りである。また深度方向は天端より5cmのところである。

#### 10-4-4 木杭先端金具の採取

図10.2に示す木杭を全部引抜いたがそのうちの任意の1本に取付けられている金具1コを検討資料として採取した。

海 側

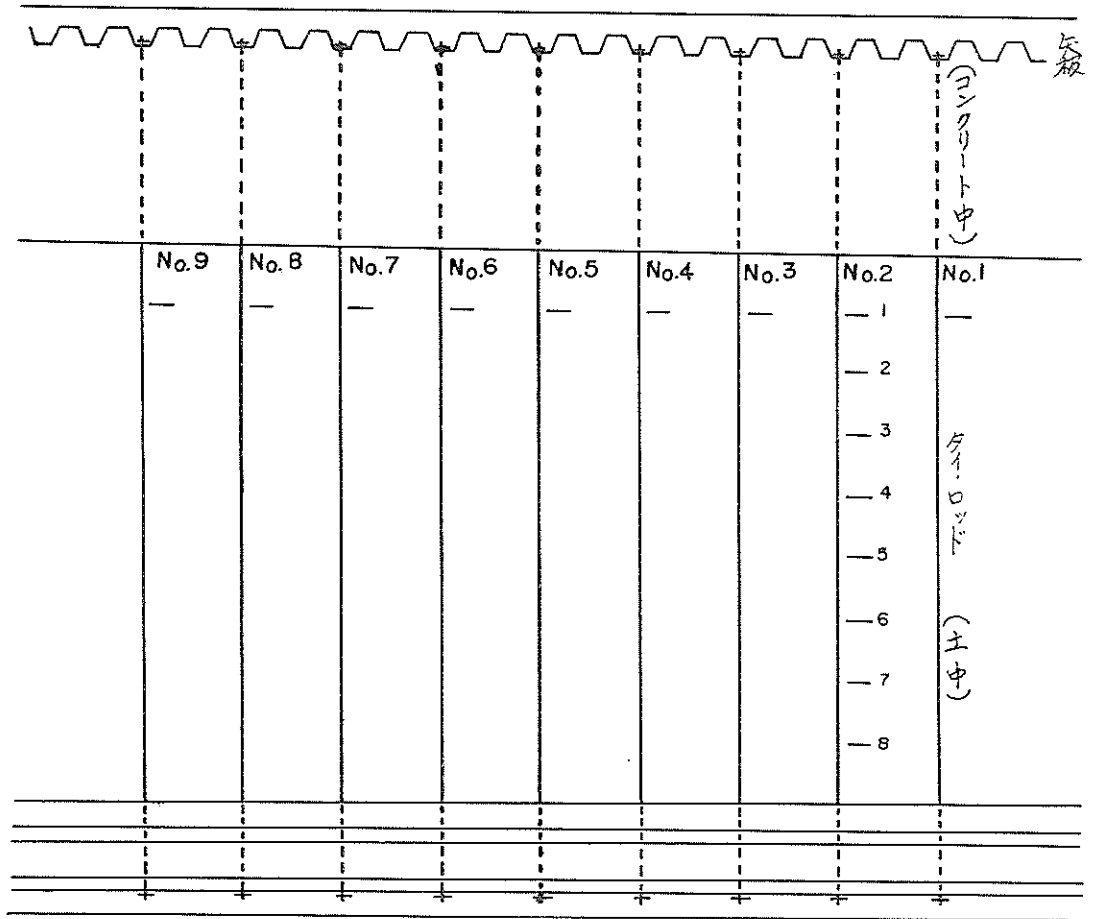


図 10.3 調査タイ・ロッド埋設状況 (平面図)

海 側

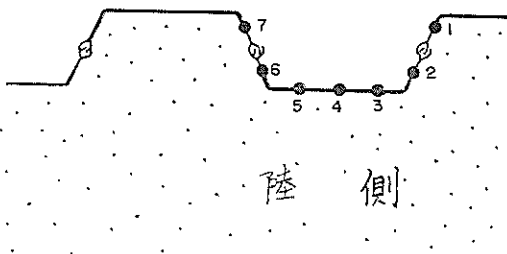


図10.4 鋼矢板天端(コンクリート中)の肉厚測定点

10-5 調査方法

調査方法は次の通りである。

10-5-1 観察および外径測定

タイ・ロッドの観察および外径測定は4-11の方法によった。

10-5-2 タイ・ロッド片の切り取り

タイ・ロッド片の切り取りは4-9と同じく直流電弧溶接機で切断した。切り取り片についての測定は4-11の方法によった。

10-5-3 鋼矢板天端部の肉厚測定

上部コンクリート中鋼矢板の肉厚測定は4-10-1-(1)の要領で両球型マイクロ・メーターで行なった。

10-5-4 木杭先端金具の観察

木杭先端金具は引抜き直後の観察と金具1コを実験室に持帰り両球型マイクロ・メーターによる肉厚測定および材質試験を行なった。

10-5-5 材質試験

切取りタイ・ロッド片および木杭先端金具の材質試験は4-14によった。

10-6 調査結果

10-6-1 現地におけるタイ・ロッドの外径測定結果

ノギスで測定したタイ・ロッドの外径測定結果のうち土中埋設分については表10.2に、コンクリート中の分は表10.3に示す。

10-6-2 観察結果

上部コンクリートを破壊して現れたタイ・ロッドおよび鋼矢板の状況を図10.5~10.7に示す。図10.5, 10.6からわかるようにコンクリート中のタイ・ロッドは裸のままである。なお図10.5に見られるようにタイ・ロッドが曲がっているのはコンクリートを破壊するときに曲がっ

表 10.2 土中タイ・ロッドの外径測定結果

(ノギスによる)

ロッド No.	延長方向 測定点		外 径 (mm)				ロッド No.	延長方向 測定点		外 径 (mm)			
			①	②	③	平均				①	②	③	平均
1	1	A	53.2	55.4	54.1	54.2	2	1	A	55.5	55.4	55.6	55.5
		B	53.2	55.5	54.0	54.2			B	55.4	55.1	55.8	55.4
		C	53.4	55.8	54.4	54.5			C	55.2	54.8	55.2	55.1
2	1	A	55.5	55.4	55.6	55.5	2	2	A	55.9	55.4	56.0	55.8
		B	55.4	55.1	55.8	55.4			B	55.8	55.0	56.0	55.6
		C	55.2	54.8	55.2	55.1			C	55.6	55.4	55.6	55.5
3	1	A	55.6	55.0	55.5	55.4	2	3	A	55.9	55.2	55.4	55.5
		B	55.4	55.2	55.4	55.3			B	55.8	55.4	55.0	55.4
		C	55.2	55.4	55.6	55.4			C	55.9	55.2	55.9	55.7
4	1	A	55.0	55.4	55.4	55.3	2	4	A	55.8	55.2	55.9	55.6
		B	55.4	55.4	55.6	55.5			B	55.8	55.0	55.9	55.6
		C	55.4	55.2	55.1	55.2			C	55.8	55.2	55.4	55.5
5	1	A	54.4	55.8	55.0	55.1	2	5	A	54.6	56.0	56.0	55.5
		B	54.0	55.7	55.0	54.9			B	54.6	55.8	56.0	55.5
		C	54.4	55.5	54.8	54.9			C	54.6	55.5	56.0	55.4
6	1	A	54.9	55.2	55.4	55.2	2	6	A	54.9	56.2	56.0	55.7
		B	55.0	55.2	55.9	55.4			B	55.0	56.1	56.0	55.7
		C	55.5	55.4	55.8	55.6			C	54.9	56.0	56.0	55.6
7	1	A	55.5	55.4	55.5	55.5	2	7	A	54.9	56.2	56.2	55.8
		B	55.6	55.8	55.2	55.5			B	55.0	56.1	56.1	55.7
		C	55.4	55.4	55.2	55.3			C	55.0	56.2	56.0	55.7
8	1	A	55.6	56.2	55.8	55.9	2	8	A	55.4	56.0	56.0	55.8
		B	55.9	55.8	55.6	55.8			B	55.4	56.1	56.1	55.9
		C	56.0	56.1	54.6	55.6			C	55.5	56.0	56.2	55.9
9	1	A	55.2	55.4	55.8	55.5	平 均		55.6	標準偏差		0.5	
		B	55.1	55.4	55.6	55.4							
		C	55.0	55.4	55.6	55.3							
平 均			55.3	標準偏差			0.6						



表 10.3 コンクリート中タイ・ロッドの  
外径測定結果 (ノギスによる)

延長方向 測定点	外 径 (mm)			
	①	②	③	平 均
1	54.8	55.2	55.6	55.2
2	55.4	55.2	55.4	55.3
3	55.4	55.8	55.6	55.6
4	54.9	55.0	55.4	55.1
平 均	55.3	標準偏差		0.3

たものである。

掘り出したときのタイ・ロッドは図 10.8~10.10 の通りである。図 10.8~10.10 に見られるように土中埋設のタイ・ロッド面にはジョイントやダーン・バックルも含めて全面的にジュート<sup>注</sup>被覆が施されている。土地の人の記憶では調査タイ・ロッドの施工時にはタイ・ロッドに瀝青物を塗り、別に麻袋にも加熱溶融した瀝青物をつけてからタイ・ロッドに巻きつけたそうである。

観察したところ次のことがわかった。

- ① ジュートは2回巻きつけてある。
- ② ジュートは劣化していない。
- ③ ジュートについている瀝青物は真黒で新鮮な感じである。
- ④ ジュート被覆は土中のタイ・ロッド部分のみである。図10.5などに見られるようにコンクリート中のタイ・ロッド部分は裸のままであるが、さらに図 10.8などジョイントに接するコンクリート面をこわしてみると最初コンクリートで裸のまま包んでからコンクリート外のタイ・ロッドをジュート被覆被覆したことが明らかとなった。

また図 10.9, 10.10 からわかるようにコンクリートに近いところ(大体1m以内)ではジュート被覆の上に発錆が見られる。一方ジョイント部の被覆をとると図 10.11, 10.12 のような形状のジョイントが現われたが、ほとんど腐食していない。図 10.13, 10.14 にタイ・ロッドよりはがしたジュート被覆材を示す。なおジュート被覆の厚みは約3mmである。次に図 10.15 にタイ・ロッド No. 2 の掘出し状況を、図 10.16 に No. 2 の吊り上げ状況を示す。

また図 10.17 にタイ・ロッドの切断状況を示す。一方

調査タイ・ロッド No. 1~No. 9 の測定カ所 1, すなわちコンクリートより1mのところのタイロッド面を図 10.18~10.20 に示す。

また切り取りタイ・ロッドの断面は図 10.21 の通りである。

最後に参考として木杭の引抜き状況を図 10.22 に、木杭先端に取付けられた金具を図 10.23 に示す。



図 10.5 コンクリート中にあったタイ・ロッド



図 10.6 コンクリート中にあったタイ・ロッド



図 10.7 コンクリート中にあった矢板天端

注) ジュート (Jute) : 黄麻の繊維で織ったものでヘシヤンクロスとも呼ばれる。JIS L-3405には織方について5種類の規定があるが覆装用としては9号(8オンス物)および7号(10オンス物)が主に使用される。ジュートは水中で単独では腐り易いが実際の管の塗装では加熱溶融した瀝青質塗料中を通過させて巻くので、これに包まれており比較的耐久性がある。

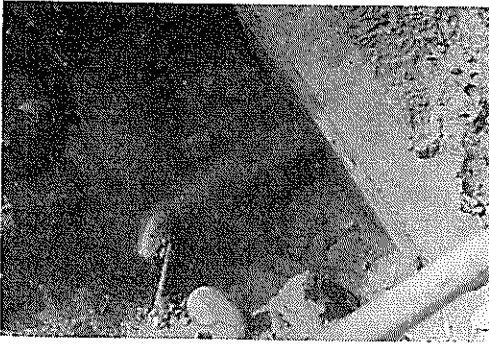


図 10.8 掘出したジョイント部

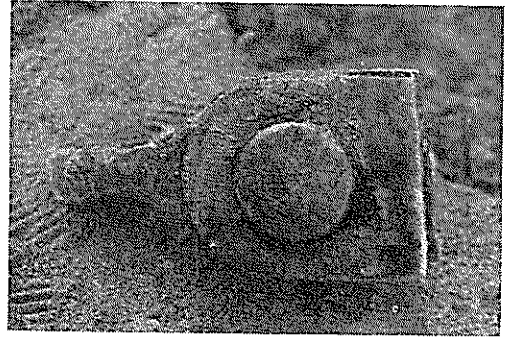


図 10.12 切取ったジョイント部

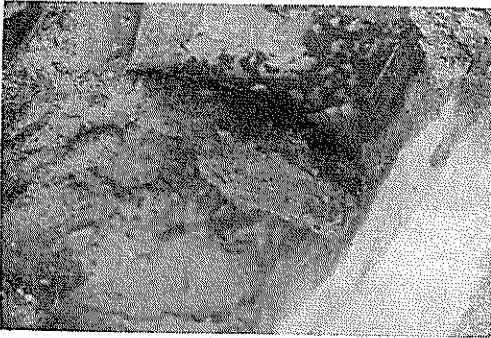


図 10.9 掘出した直後のジョイント部

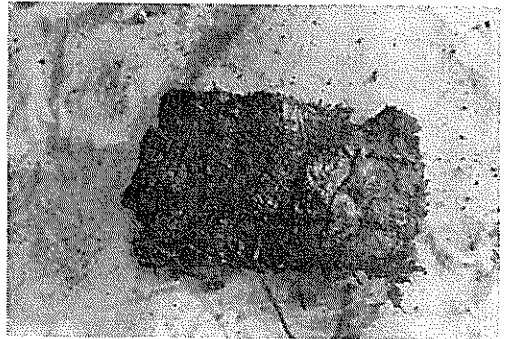


図 10.13 ジュート被覆



図 10.10 掘出したタイ・ロッド

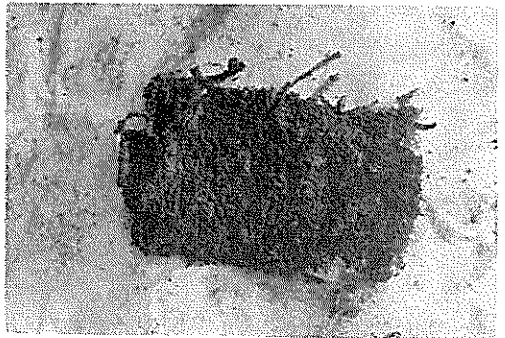


図 10.14 ジュート被覆



図 10.11 ジュート被覆をはいだジョイント部



図 10.15 No.2 の掘出し

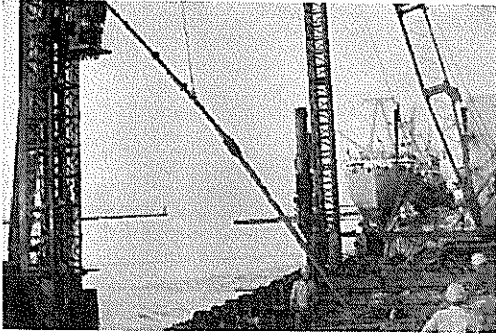


図 10.16 No.2 の吊上げ



No. 1-1

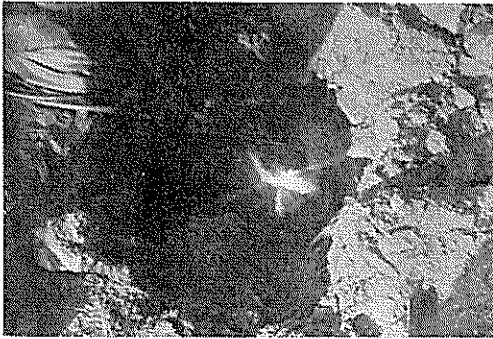
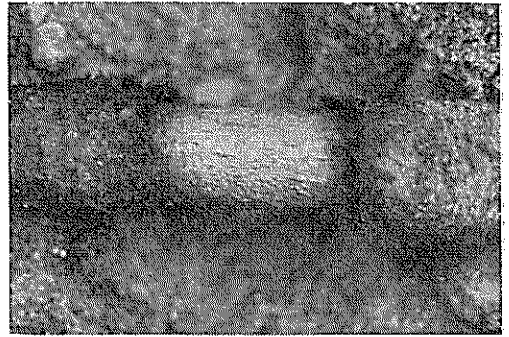
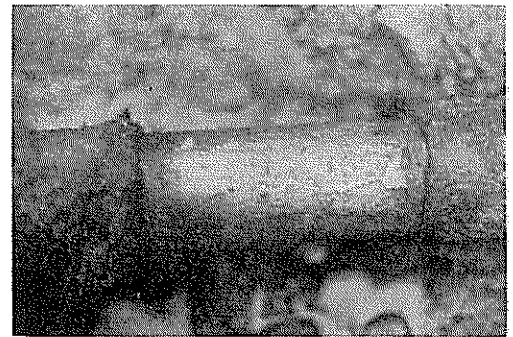


図 10.17 タイ・ロッドの切断

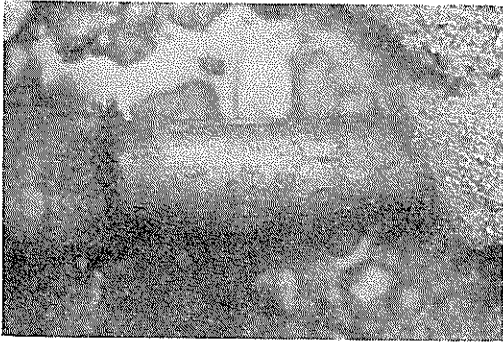


No. 2-1



No. 3-1

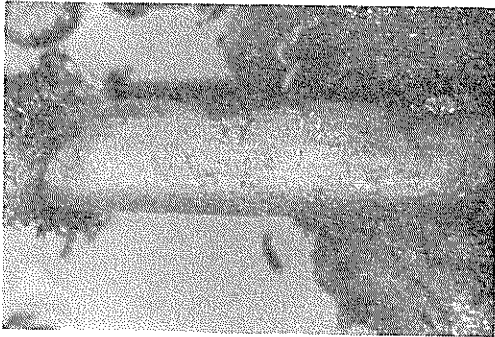
図 10.18 外径測定タイ・ロッド面 (1)



No. 4-1

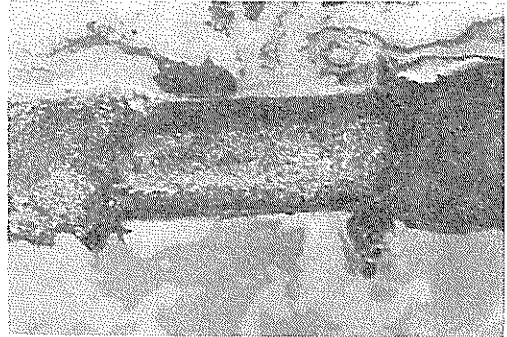


No. 7-1

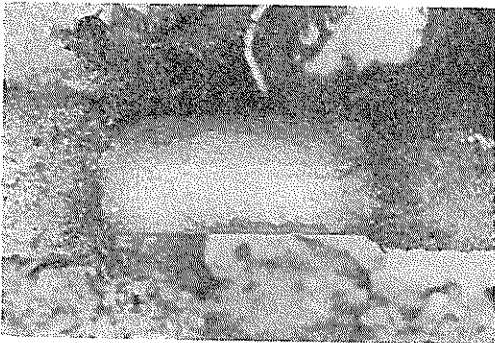


No. 5-1

外径測定タイ・ロッド面 (富山港)  
(カラー写真参照)



No. 8-1



No. 6-1



No. 9-1

図 10.19 外径測定タイ・ロッド面 (2)

図 10.20 外径測定タイ・ロッド面 (3)

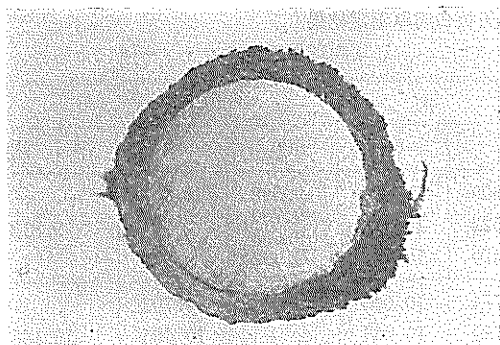


図 10.21 切取りタイ・ロッドの断面

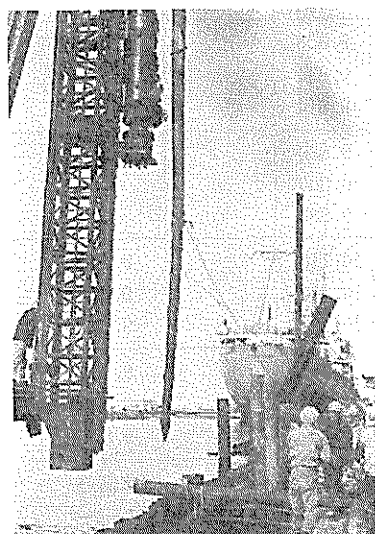


図 10.22 木杭の引上げ

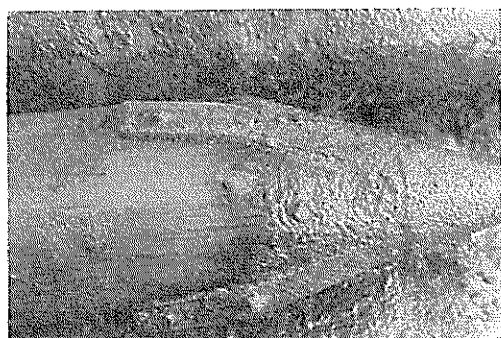


図 10.23 木杭先端の金具

10-6-3 切取りタイ・ロッド片についての測定

切取りタイ・ロッド片より約20mm厚の試料をカッターで切断し、ジュート被覆を除去し脱錆後外径、肉厚、重量を測定した。測定結果は表10.4の通りである。

10-6-4 上部コンクリート中鋼矢板の肉厚

上部コンクリート中鋼矢板の肉厚をマイクロ・メーターで測定した結果は表10.5の通りである。

10-6-5 木杭先端金具の肉厚

木杭先端金具の肉厚は表10.6の通りである。

10-6-6 材質試験結果

タイ・ロッド、ターン・バックルおよび木杭先端金具の材質試験結果は表10.7の通りである。

10-6-7 調査地点付近の土質

腐食調査時にとくに土質試験を行なわなかったため過去のボーリング試験結果を参照すると図 10.24 の通りである。

表10.4 成形タイ・ロッド片についての測定値

	外径(mm) <sup>1)</sup>	肉厚(mm) <sup>2)</sup>	重量(gr)
1	56.2	20.606	
2	56.2	20.356	
3	55.6	20.306	
4	54.9	20.504	
5	55.3	20.818	
6	56.3	20.488	
7	54.6	19.996	
8	55.0	19.612	
9	55.6	21.146	
10	55.9	21.030	
11	56.1	20.668	
12	56.1	20.142	
13		19.764	
14		20.094	
15		20.458	
16		20.900	
17		21.188	
18		21.422	
19		21.328	
20		21.046	
21		20.038	
平均値	55.7	20.551	386.33
標準偏差	0.6	0.518	

1) ノギスによる測定値

2) 両球型マイクロ・メーターによる測定値

表 10.5 上部コンクリート中鋼矢板の肉厚測定結果

(両球型マイクロ・メータによる)

矢板 No.	肉 厚 (mm)				肉 厚 (mm)				
	③	④	⑤	平均	①	②	⑥	⑦	平均
1	15.540	15.522	15.450	15.526	9.800	10.362	9.592	10.018	9.813
	15.640	15.692	15.306		9.522	10.398	9.730	9.682	
	15.572	15.540	15.472		9.470	10.380	9.688	9.500	
2	14.918	14.862	14.906	14.928	9.774	10.066		10.702	10.156
	14.976	15.034	14.912		9.730	10.064		10.664	
	14.908	14.936	14.900		9.722	10.048		10.636	
3	15.302	15.196	15.176	15.244	9.682	9.700		10.174	9.830
	15.258	15.280	15.170		9.598	9.688		10.160	
	15.366	15.232	15.212		9.678	9.650		10.136	
4	15.520	15.452	15.580	15.423	10.062	9.808		10.174	10.006
	15.442	15.082	15.604		10.078	9.834		10.100	
	15.480	15.094	15.550		10.130	9.814		10.054	
5	15.730	15.466	15.514	15.567		9.880			9.886
	15.618	15.506	15.540			9.890			
	15.648	15.480	15.528			9.888			
	15.638								
6	14.922	15.060	14.870	14.957		10.118		9.786	9.947
	14.918	15.032	14.902			10.106		9.754	
	14.912	15.004	14.990			10.140		9.776	
7	16.028	16.036	15.862	15.983	9.530	9.862		9.854	9.804
	15.964	16.032	15.920		9.572	10.004		9.980	
	16.040	16.002	15.962		9.540	10.050		9.848	
平均	15.375		標準偏差	0.357	平均	9.920		標準偏差	0.291

表 10.6 木杭先端金具の肉厚測定値

(両球型マイクロ・メータによる)

	肉厚(mm) <sup>1)</sup>		肉厚(mm) <sup>2)</sup>
1	4.662	1	4.772
2	4.628	2	4.804
3	4.558	3	4.804
4	4.508	4	4.778
5	4.530	5	4.794
6	4.556	6	4.786
平均値	4.574	平均値	4.790
標準偏差	0.054	標準偏差	0.012

1) 図8.23の足状部分

2) 図8.23の先端部分

表 10.7 材質試験結果

試料	成分含有量 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
タイ・ロッド	0.10	<0.02	0.34	0.014	0.050	0.03	0.01	0.15
ターン・バックル	0.23	<0.02	0.59	0.024	0.022	0.03	0.03	0.26
木杭先端金物	0.23	0.22	0.40	0.016	0.021	0.02	0.04	0.021

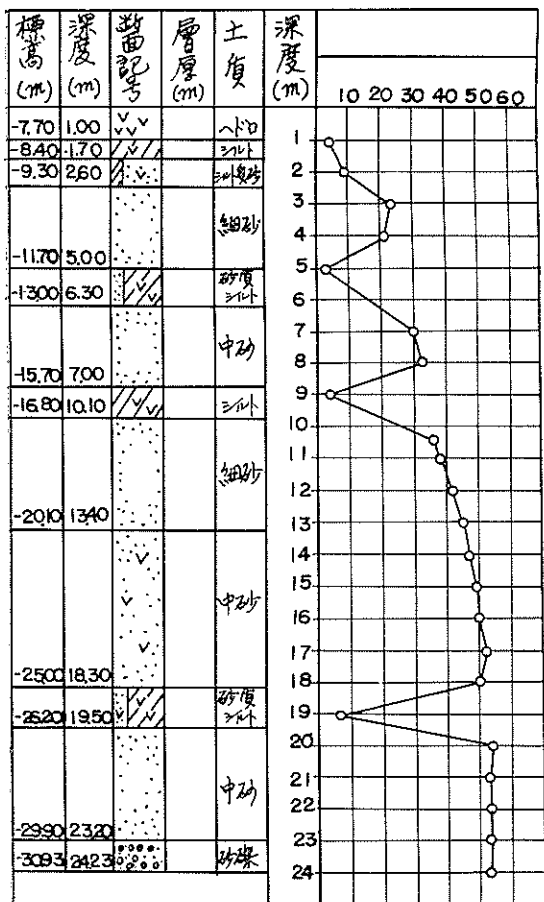


図 10.24 調査地点付近の土質状態

### 10-7 考 察

以上の測定結果より次のことが考察される。

#### (1) 土中タイ・ロッドの腐食量

調査タイ・ロッドは図10.2に示されるように潮位間にゆるやかな傾斜をもって土中に33年間埋設されており、これを掘り出してみると図10.21に見られるように瀝青材を付けた厚さ3mm程度のジュート被覆が施されていた。

土中タイ・ロッドの外径は表10.2に示すように上部コンクリートより1mのところの平均値は55.3mm、タイ・ロッド No.2 についての1mピッチの平均値は55.6mmである。また切り取り、成形タイ・ロッド片の外径（ノギスで測定）は表10.4のように55.7mm、重量より算出した外径は55.2mmである。これに対してタイ・ロッドの外径は施工資料によれば55mmとなっているが、上部コンクリート中タイ・ロッドの外径55.3mmを初期外径とすると土中タイ・ロッドの腐食量は零となる。すなわち33年間潮位間に相当する付近の土中に埋設された調査タイ・ロッド

は腐食しなかったことになる。

#### (2) ジュート被覆の防食効果

土中タイ・ロッドの腐食量が零ということはタイ・ロッド表面を入念に2回巻きで包んでいたジュート被覆の防食効果ではないかとまず考えられる。しかし図10.2のようにタイ・ロッドは潮位間に位置するため干潮時にはその大半は不飽和砂層中にあり、またタイ・ロッドは鋼矢板と電気的に接続しているので（試みに図10.5に示す乾いた裸タイ・ロッドと鋼矢板間の電気抵抗を測定してみるとこのことははっきりと確かめられた）干潮時不飽和砂層中におかれるタイ・ロッドは鋼矢板構造物のカソードになることがこれまでの実験結果から予想される。したがって厳密にはジュート被覆のないタイ・ロッドならびに鋼矢板と電気的な接続がなく、同じ深度に埋設されたジュート被覆のタイ・ロッド片との比較がないので上述のタイ・ロッドの腐食量が零という現象は全てジュート被覆による防食効果のみであると断定されない。

一方図10.8～10.10に示すようにタイ・ロッド No.1～No.9 では上部コンクリートから1m付近までのジュート被覆上に赤褐色の錆が散見される。しかし外径測定結果によればノギスで測定されるほどの腐食ではないことは明らかである。No.2 のタイ・ロッドについてこのような発錆現象を観察してみると発錆範囲はコンクリートから大体1m以内に限られており、1m以上離れたところのジュート被覆上には全く発錆は認められない。しかしこのような現象は全てのタイ・ロッドに見られたのではなく No.1～No.9 の群より20mほど離れた任意のタイ・ロッドのジュート被覆上には発錆は見られなかった。このような発錆現象に対していろいろその原因が考えられるが現段階では単なる推測にすぎないのでここでは省略する。なおジュート被覆は入念に2回ロッド部分のみならずターン・バックルにも行なわれており過去の施工の手固さが十分うかがえる。

#### (3) 上部コンクリート中鋼矢板の肉厚

鋼構造物の腐食調査では鋼材の初期肉厚を確認することが必要であるが、上部コンクリートをこわす機会は少ないのでカタログ肉厚を初期肉厚とすることが多い。幸いに今回上部コンクリートをこわしたのでカタログ肉厚と比較するためコンクリート中の肉厚を測定してみた。その結果は表10.5に示すように③、④、⑤の肉厚平均値は15.38mm、標準偏差は0.36mm、①、②、⑥、⑦の肉厚平均値は9.92mm、標準偏差は0.29mmである。鋼矢板のタイプはY S P IVであるので③、④、⑤のカタログ肉厚は15.5mmである。したがってこの鋼矢板ではカタログ肉厚とコンクリート中鋼矢板の肉厚とは近似している。

#### (4) 材質の影響

表10.7に示す材質試験結果ではタイ・ロッドとターン・バックルはほぼ同一材質である。したがって両者間には異種金属による電池作用はないと思われる。

#### (5) 木杭先端金具の腐食

木杭は数m以下に打込まれていたため木杭先端にシューとして取付けられた金具は丁度単独で飽和泥層中に埋設されたことに相当する。33年後に引上げたところ図10.23に示すように白い鉄面をしており打込み時と同じようにしっかりと木杭についている。参考までに金具の肉厚をマイクロ・メーターで測定してみると表10.6のように足状に出ているところで4.6mm、先端部で4.8mmである。

また材質は表10.7の通りで普通鋼と思われる。初期肉厚がわからないので先端金具にどのくらいの腐食があったのかははっきりしないが、観察結果では十分再使用できると思われる。

### 11. あとがき

提案した調査法で28年～38年経過した鋼矢板（広畑港、大阪港、志布志港、佐世保港）、8.5年経過した鋼管杭（下関港）および33年たったタイ・ロッド（富山港）の腐食調査を昭和42年度に実施した。

調査の結果は次の通りである。

(1) 超音波式厚み計（水中用）により現地で海側から測定した鋼材肉厚は切り取り鋼材片として室内で求めた肉厚にほぼ等しい。しかし現地で測定可能なのは全測定点の50～90%である。また海水面上では超音波式厚み計で求めた腐食速度と重量減量より求めた腐食速度との間には0.05mm/yrの差が見られたところがある。したがって超音波式厚み計による調査の外にできるだけ切り取り破壊調査を行なうことが望ましい。

(2) 超音波式厚み計で測定不能な鋼矢板面の最大凹みは2.8～2.9mmである。

(3) 同じカ所の鋼矢板腐食速度を比較したところ、過去の値（0.3mm/yr内外）は今回の鋼矢板片切り取りによる破壊調査または超音波式厚み計による非破壊調査の結果（0.05mm/yr以下）よりも数倍以上大きい。

#### (4) 調査鋼矢板の腐食速度は

H. W. L. 上 0.01～0.03mm/yr

H. W. L. 0.1～0.12mm/yr

H. W. L. ～海底泥面 0.02～0.05mm/yr

である。

ただしここでいう腐食速度は鋼矢板両面の腐食速度の和であり、初期肉厚としてはカタログの肉厚を用いた。

また凸矢板と凹矢板による腐食速度の違いはないようである。

#### (5) 調査鋼管杭の腐食速度は

H. W. L. ～海底泥面で0.02～0.05mm/yrである。

ただしここでいう腐食速度は鋼管内外の腐食速度の和であり、初期肉厚をカタログに示されている肉厚として算出した。

(6) 調査タイ・ロッドの土中部分はジュート被覆が施されており腐食速度は0mm/yrであった。ただし初期外径にコンクリート中のタイ・ロッドを用いた。

なお本調査結果は港湾鋼構造物の腐食調査を改めて実施した初年度のものであるので今後さらに調査を行なって資料を蓄積して行きたい。以上の結果の外に調査法に関する資料も得られたので現在作成されている調査基準に対して多少なりとも参考となれば幸いである。最後に本調査の実施に協力して頂いた関係機関の方々に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 善一章：港湾における鋼材腐食の研究（第1報）港研報告，5，No.8，1～184（1966）
- 2) H. H. Arup & G. Glantz：An evaluation of corrosion of sheet steel piling in Danish Harbors, Proceedings 2nd International Congress on Metallic Corrosion（1963）
- 3) Harbor Corrosion Committee：Corrosion research in Danish Harbor Works, Corrosion Prevention & Control, 9, No.5, 35～38（1962）
- 4) E. R. Kennedy & J. S. Wilson：New York Harbor Corrosion, Materials Protection, 6, No.1, 53～55（1967）
- 5) 善一章：港湾における鋼材防食法の研究（第1報），港研報告，5，No.9，1～141（1966）



港 湾 技 研 資 料 No.49

1968年6月

編集兼発行者 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 中和印刷株式会社  
東京都中央区入船町2丁目3番地