

# 港 湾 技 研 資 料

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

No. 241

Sept. 1976

港湾環境における鋼材の腐食・防食試験

善 一 章  
阿 部 正 美

運輸省港湾技術研究所



# 港湾環境における鋼材の腐食・防食試験

## 目 次

要 旨 .....	3
1 緒 言 .....	3
2 試験方法 .....	3
2-1 試験場所 .....	3
2-2 試験期間 .....	3
2-3 試験材及び試験材の配置 .....	3
2-4 腐食量測定法 .....	6
2-5 防食試験方 .....	7
3 鋼材片による腐食試験結果 .....	7
3-1 新潟港における腐食傾向 .....	7
3-2 京浜港における腐食傾向 .....	8
4 H杭による腐食試験結果 .....	11
4-1 測定法による腐食量差 .....	11
4-2 新潟港における腐食傾向 .....	11
4-3 京浜港における腐食傾向 .....	12
5 鋼矢板による腐食試験結果 .....	15
6 鋼矢板による電防試験結果 .....	15
7 考 察 .....	16
7-1 測定法によるH杭腐食量差 .....	16
7-2 港湾環境におけるH杭の腐食傾向 .....	17
7-3 長尺鋼材と鋼材小片の腐食量差 .....	18
7-4 試験材に見られる集中腐食 .....	18
7-5 電気防食効果 .....	19
8 結 論 .....	20
参考文献 .....	21

# Corrosion and Protection Tests of Steel in Marine Environments

Kazuaki ZEN\*, Masami ABE\*\*

## Synopsis

Corrosion and protection tests of steel in marine environments were done, and the following results have been obtained.

- 1) Mean corrosion rates of steel piles calculated from thickness measured by using ball type micrometer in laboratory approximated to the values obtained from weight decreases.
- 2) Mean corrosion rates (one side) of 6th year steel piles were 0.07 to 0.08 mm/yr in marine atmospheric zone, 0.27 to 0.29 mm/yr in splash zone, 0.05 to 0.13 mm/yr in tidal zone, 0.06 to 0.10 mm/yr in sea water, 0.02 to 0.05 mm/yr in sea mud zone, 0.065 to 0.16 mm/yr in atmospheric zone and 0.01 to 0.03 mm/yr in soil.
- 3) Protective current densities in sea water at Niigata port were larger than the standard value in ordinary sea water, 50 mA/m<sup>2</sup>. It is considered that such tendency is mainly due to increasing of specific resistance of sea water by flowing in of fresh water.

# 港湾環境における鋼材の腐食・防食試験

善 一 章\*  
阿 部 正 美\*\*

## 要 旨

港湾環境における鋼材の腐食・防食試験を行ない、次の結果が得られた。

- 1) 長尺材の平均腐食速度は、室内で両球型マイクロメーターによる肉厚測定から算出しても重量減量から求めても大差ない。
- 2) 6年材の平均腐食速度(片面)は、海上大気中で $0.07\sim 0.08\text{ mm/yr}$ 、飛沫帯で $0.27\sim 0.29\text{ mm/yr}$ 、潮位間で $0.05\sim 0.13\text{ mm/yr}$ 、海水中で $0.06\sim 0.10\text{ mm/yr}$ 、海泥中で $0.02\sim 0.05\text{ mm/yr}$ 、陸上大気中で $0.065\sim 0.16\text{ mm/yr}$ 、陸土中で $0.01\sim 0.03\text{ mm/yr}$ である。
- 3) 新潟港海水中における電気防食電流密度は、正常海水中の所要防食電流密度、 $50\text{ mA/m}^2$ を上廻った。これは主として河川水の流入による海水比抵抗の増大によるものと思われる。

## 1. 緒 言

港湾環境においては海水の存在のため鋼材の腐食・防食の問題が重要である。海水中腐食については従来からいろいろ試験されているが、腐食量測定法、試験材の形状による腐食量差、腐食量の経年変化、付着物の影響、試験材取付時期のずれによる腐食量差、水質差による影響など現地において長期間かけて検討すべき問題がいろいろとある。このため試験地として河川水が流入する新潟港と河川水の流入がない京浜港を選び、運輸省港湾局、運輸省第一港湾建設局、運輸省第二港湾建設局の協力を得て昭和40年～昭和48年にかけて鋼材の腐食試験を行なった。試験材としては長尺材(H杭、鋼矢板)と鋼材片を用い、海上大気中、飛沫帯、干満帯、海水中、海泥中、陸上大気中、陸土中の各環境における鋼材の腐食特性および腐食量測定法を検討した。なお、これらの腐食試験は普通鋼について行なったが、鋼材材質の腐食量におよぼす影響をみるため同時に耐食鋼試験材を配して普通鋼と腐食量を比較した(比較試験結果は発表済み<sup>1)</sup>である)。

この外、第一港湾建設局の計画した鋼矢板試験材による電防試験が新潟港海上試験場で行なわれた。本報ではこの電防試験結果も取纏めてみた。

## 2. 試験方法

### 2-1 試験場所

試験場所は運輸省第一港湾建設局、新潟港及び運輸省第二港湾建設局 京浜港で、以下新潟港、京浜港という。新潟港、京浜港とも海上試験場と陸上試験場がある。新潟港の試験場を図2-1に、京浜港の試験場を図2-2に示す。

### 2-2 試験期間

新潟港、京浜港における試験期間を図2-3に示す。

### 2-3 試験材及び試験材の配置

#### (1) 試験材

##### 形状・寸法

試験材には鋼材片と長尺材の2種類がある。鋼材片としては $50\text{ mm}\times 80\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ の小片を、長尺材としては断面が $200\text{ mm}\times 200\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ のH杭とFSP-II型の鋼矢板を使用した(京浜港ではYSP-I型)。なお、H杭の長さは新潟港では海上杭7.5m、陸上杭9.5mであり、京浜港では海上杭12m、陸上杭10mである(新潟港海上杭では7.5mの外に6.3mと10mの杭も使用した)。また鋼矢板の長さは新潟港海上で10m、京浜港海上で12mである。

##### 鋼種及び数量

新潟港、京浜港における試験鋼種及び試験材数量は表2-1、表2-2の通りである。

\* 構造部 防食主任研究官

\*\* 構造部

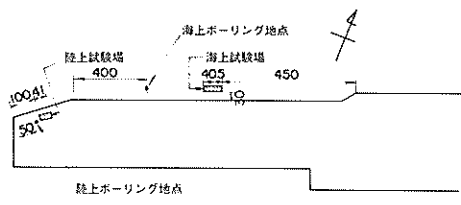
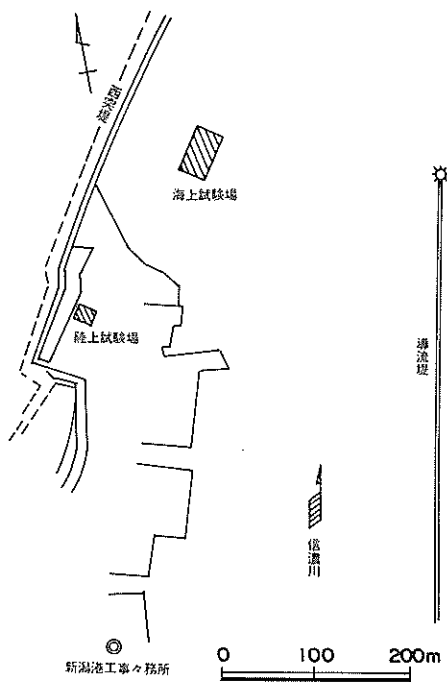


図 2-2 京浜港試験場

	S.40年	S.41年	S.42年	S.43年	S.44年	S.45年	S.46年	S.47年	S.48年	S.49年
新潟港	取付		回収				回収	回収		
			取付	回収			回収	回収	(追加材)	
京浜港	取付		回収				回収	回収		
			取付	回収			回収	回収	(追加材)	

図 2-3 試験期間

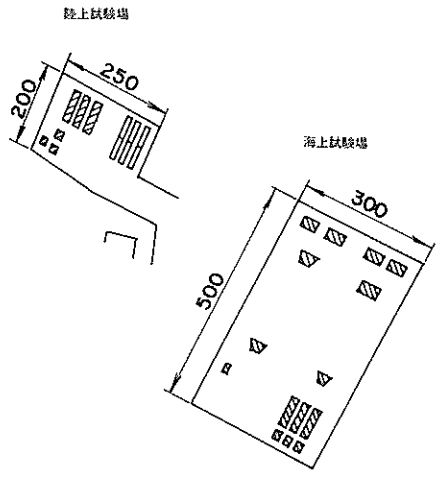


図 2-1 新潟港試験場

材 質

新潟港、京浜港における試験材の材質を表 2-3 に示す。

試験材の表面状態

鋼材片は黒皮（ミルスケール）付のままのものと黒皮をショットブラストによって除去したものの 2 種類があり、前者を黒皮材、後者をショット材とする。いっぽう、H 杭と鋼矢板は黒皮材のみである。

(2) 試験材の配置

新潟港における試験材の配置状況は、付図 2-1～付図 2-3 及び写真 2-1 の通りである。なお、新潟港では地盤沈下のために試験材の取付時と回収時とは腐食環境が変化した部分もある。付図 2-4 に試験期間における地盤沈下状況を示す。

京浜港における試験材の配置状況は、付図 2-5～付図 2-6 及び写真 2-2 の通りである。なお、京浜



表 2-3 試験材の材質分析結果

鋼種	成分系	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Cr %	Ni %
SS41	H 杭 (S. 40年取付材)	0.202	0.12	0.61	0.013	0.023	0.05	0.024	0.023
"	" (S. 42年取付材)	0.228	0.10	0.57	0.009	0.015	0.07	0.026	0.040
"	鋼材片 (S. 40年取付材)	0.186	0.05	0.59	0.015	0.016	0.01	0.017	0.012
"	" (S. 42年取付材)	0.184	0.03	0.42	0.023	0.047	0.05	0.020	0.012
SS50	H 杭 (S. 40年取付材)	0.270	0.07	0.59	0.009	0.018	0.07	0.027	0.035
"	" (S. 42年取付材)	0.181	0.03	1.41	0.021	0.013	0.05	0.032	0.047
"	鋼材片 (S. 40年取付材)	0.186	0.05	0.58	0.016	0.015	0.01	0.017	0.014
"	" (S. 42年取付材)	0.183	0.03	1.45	0.018	0.013	0.04	0.018	0.019

港では試験期間内の地盤沈下はなかった。

#### 2-4 腐食量測定法

##### (1) 鋼材片の腐食量測定

鋼材片の腐食量は次式より算出した。

$$\text{重量減量} = \frac{(W_0 - W)}{A} \times 100 \quad (\text{g/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{肉厚減量} = \left[ \frac{(W_0 - W)}{A} \times 100 \right] \frac{1}{7.86 \times 10} \quad (\text{mm}) \quad (\text{片面}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{腐食速度} = \left[ \frac{(W_0 - W)}{A} \times 100 \right] \frac{1}{7.86 \times 10 \times t} \quad (\text{mm/yr}) \quad (\text{片面}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $W_0$  : 初期重量 (g)  
 $W$  : 現有重量 (g)  
 $A$  : 鋼材片の表面積 (cm<sup>2</sup>)  
 7.86 : 鋼材片の密度 (g/cm<sup>3</sup>)  
 $t$  : 試験期間 (yr)

なお、 $W_0$ 、 $W$ の測定は直示形化学天秤で行なった。 $W_0$ の測定は現地取付前に、 $W$ の測定は回収後10%クエン酸アンモニウム溶液で脱錆してから行ない。また $W$ の測定前後に写真撮影をした。鋼材片の腐食量は原則として鋼材片2枚の平均値で示した。

##### (2) H杭の腐食量測定

H杭の腐食量は次式より算出した。

$$\text{肉厚減量} = T_0 - T \quad (\text{mm}) \quad (\text{両面}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{腐食速度} = (T_0 - T) / 2t \quad (\text{mm/yr}) \quad (\text{片面}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $T_0$  : 初期肉厚 (mm)  
 $T$  : 現有肉厚 (mm)  
 $t$  : 試験期間 (yr)

$T_0$ 及び $T$ の測定箇所によって図2-4に示すように測定法1, 3, 4, 7, 9, 13に分かれる。測定法1, 3, 4はH杭を回収後ハンマーやスクレーラーで付着物を除去してから現地で $T$ を両球形マイクロメータで測定した。測定法7, 9はH杭を回収後所定の深度からH杭片を切取って室内においてクエン酸アンモニウム10%溶液で脱錆して両球形マイクロメータで $T$ を測定したが、肉厚測定箇所は測定法7では測定法1にまた測定法9は測定法3に同じである。いっぽう、測定法13は測定法7, 9用に切取ったH杭ブロックから図2-4(測定法13)に示すように小片(2cm×10cm)を切出して成形後室内で行なった重量測定から平均肉厚を算出し、これを $T$ とした。なお $T_0$ はH杭を打込む前に長尺のまま室内で両球形マイクロメータで測定したが、所定の深度は図2-4(測定法1, 3, 4)に示すようにH杭フランジ面中央に小さな凹み(φ3mm, 深さ2~3mm)を付けた。

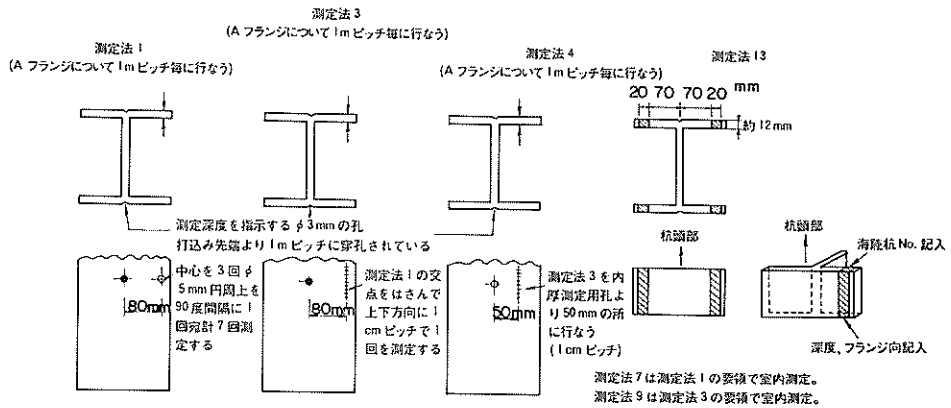


図 2-4 H 杭肉厚測定要領図

また、測定法 7、9 測定用に切取った H 杭ブロックを高さ 10 cm に成形して重量を測定し、H 杭打込み先端部（泥中）の H 杭ブロックの重量を基準として各深度における重量減量を求めた。これを測定法 17 とする。

この外、測定法 1 の測定箇所を超音波式共振厚み計（陸上用）で測定する方法を測定法 2 として参考までに行なった。

### (3) 鋼矢板の腐食量測定

鋼矢板を回収後付図 2-7 に示す箇所から付図 2-8、9 に示すように鋼矢板片を切り取り成形後、重量測定及び両球形マイクロメータによる肉厚測定を行なった。なお、肉厚測定点は新潟港矢板片では 3 点、京浜港矢板片ではゴバン目状に 16 点である。

### 2-5 防食試験法

防食用鋼矢板に流電陽極を取付けて電気防食を行ない、腐食量、防食電位、陽極消耗量などを測定した。なお、防食率を算出する際の無防食鋼矢板の腐食量としては 2-4 腐食試験による鋼矢板腐食量を用いた。陽極には Al 合金陽極と Mg 陽極が使用されたが、取付方法には付図 2-10 に示すように溶接する方法と吊下げ方法の二通りがある。防食用鋼矢板の腐食量測定は 2-4 (3) に準じて行ない、防食電位の測定は飽和甘汞電極を照合電極として高低抗電位計で行なった。

電防試験とは別に飛沫帯の防食のために海水面上をモルタルで被覆した鋼矢板を海中に打込み、回収後モルタルを破壊して腐食量を測定した。

この外、モルタル被覆と電防の併用についても試験した。なお、モルタル被覆、モルタル被覆と電防の併

用試験には鋼矢板の外に H 杭も用いた。モルタル被覆の状況を付図 2-11 に示す。

電防試験に用いた流電陽極のタイプ・性能は表 2-4 の通りである。




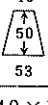
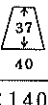
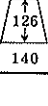
## 3. 鋼材片による腐食試験結果

### 3-1 新潟港における腐食傾向

海上大気中、干満帯、海水中、陸上大気中、土中の各環境における鋼材片の腐食傾向を図 3-1 に示す。なお、海水中の値は -1 m と -2 m の平均で示しており、土中（下）は陸土中残留水位下に埋設した鋼材片を指す。また、試験材には昭和 40 年と昭和 42 年取付の 2 種類がある。図 3-1 によれば、(1) 腐食量は試験材取付年次によって多少差がある、(2) 海上大気中では S S 5 0 の腐食量はショット材より黒皮材の方が大き目である、(3) 干満帯では黒皮材の方が腐食量のバラツキが大きい、(4) 海水中では鋼材表面による腐食量差はあまりない、(5) 陸上大気中では S S 4 1 の黒皮はショット材より腐食量が著しく大きい、(6) 土中（下）の鋼材片の中には残留水位の界面付近にまたがるものもあった。

図 3-1 に示すように陸上大気中では鋼材表面状況によって腐食量が非常に異なるケースがあるので、付表 3-1 ~ 付表 3-4 に S S 5 0 と S Y - II の鋼材片 16 枚についての腐食量のバラツキ具合を示す。付表 3-1 ~ 付表 3-4 によれば、陸上大気中の腐食量は黒皮材の方がショット材より大きいこと、ショット材では重量測定の方が肉厚測定より腐食量が大き目である



陽極の タイプ	形状寸法 (mm)	陽極重量(kg)		発生電流 (初期) (A)	有効電氣量 (A・yr)	寿命 (yr)
		芯金を含 む重量	正味重量			
A-16 (Al)	40×60×762 	7.0	6.1	1.40	1.60	0.5
L-12 (Al)	22×32×2000 	5.0	3.8	2.40	1.00	0.7
L-20 (Al)	29×41×2000 	8.5	7.4	2.60	1.90	1.2
SA-3 (Al)	48×53×1000 	8.0	6.5	1.90	1.74	1.8
SC-1 (Al)	34×40×1000 	4.8	3.3	1.78	0.88	1.0
52-T (Mg)	130×140×777 	26.8	23.6	6.00	3.60	0.6

発生電流、有効電氣量、寿命はそれぞれ海中の値を示す。

ことなどの傾向が見られる。肉厚測定結果は付図3-1に示す。

新潟港における海上大気中、干満帯、海水中、陸上大気中の各環境に3年曝露した鋼材片の表面状況を写真3-1、3-2に示す。

### 3-2 京浜港における腐食傾向

海上大気中、干満帯、海水中、陸上大気中、土中(上)、土中(下)の各環境における鋼材片の腐食傾向を図3-2に示す。図3-2の土中(上)、(下)は陸土中残留水位の上、下を示す。試験材には昭和40年と昭和42年取付の2種類がある。

図3-2によれば、(1)海上大気中、陸上大気中、干

満帯などでは鋼材片の腐食量は試験材の取付年次によって差が見られる、(2)京浜港では陸上大気中鋼材片の表面状況による腐食量は新潟港ほど大きくない、(3)京浜港では鋼材片の腐食量は試験環境の中では干満帯が最大である、(4)陸土中残留水位下の腐食量は非常に小さいなどの傾向が見られる。

肉厚測定結果は付図3-2に示す。

京浜港における海上大気中、干満帯、海水中、陸上大気中、および陸土中に3年間曝露した鋼材片の表面状況を写真3-3～写真3-6に示す。

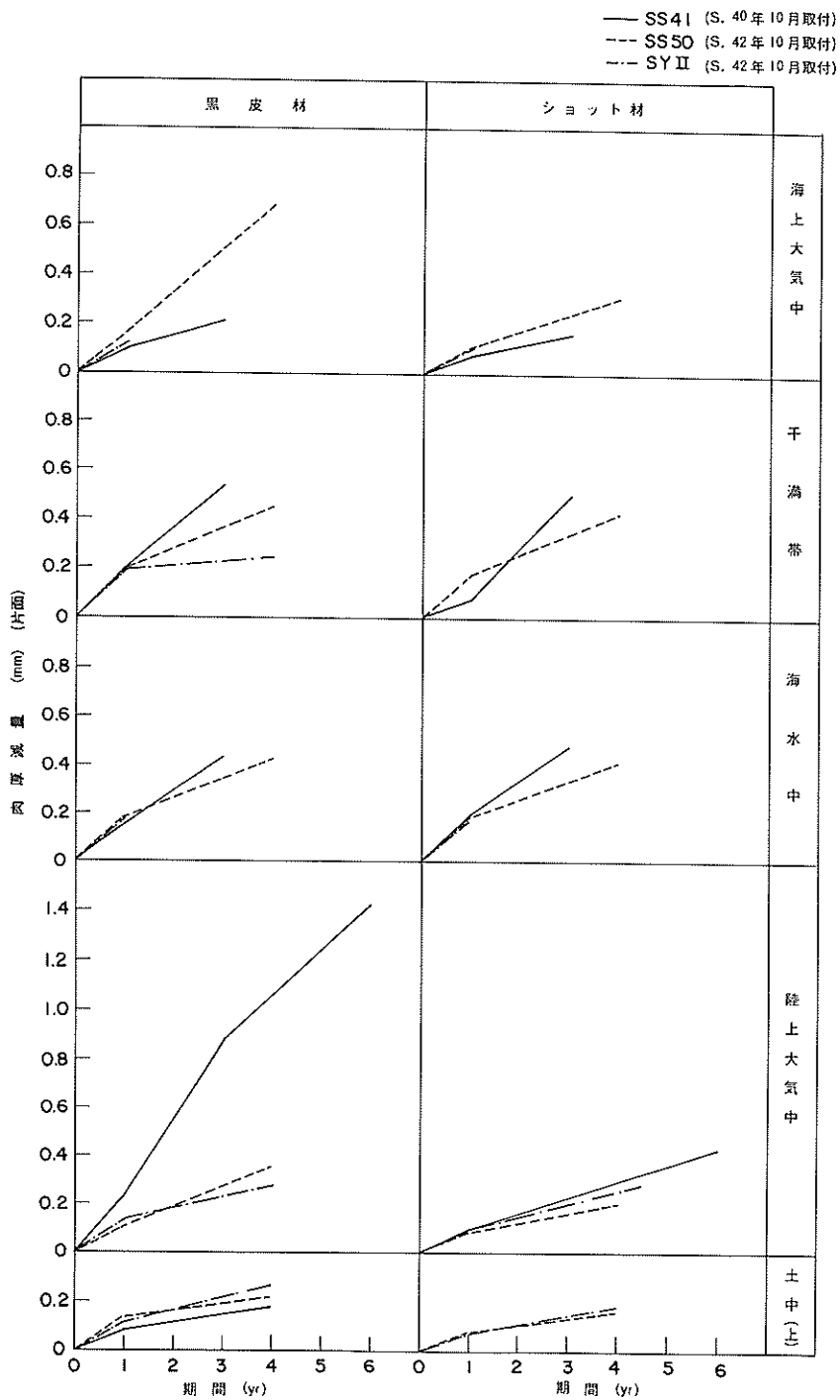


図3-1 新潟港における鋼材片腐食量の経年変化(重量測定による)

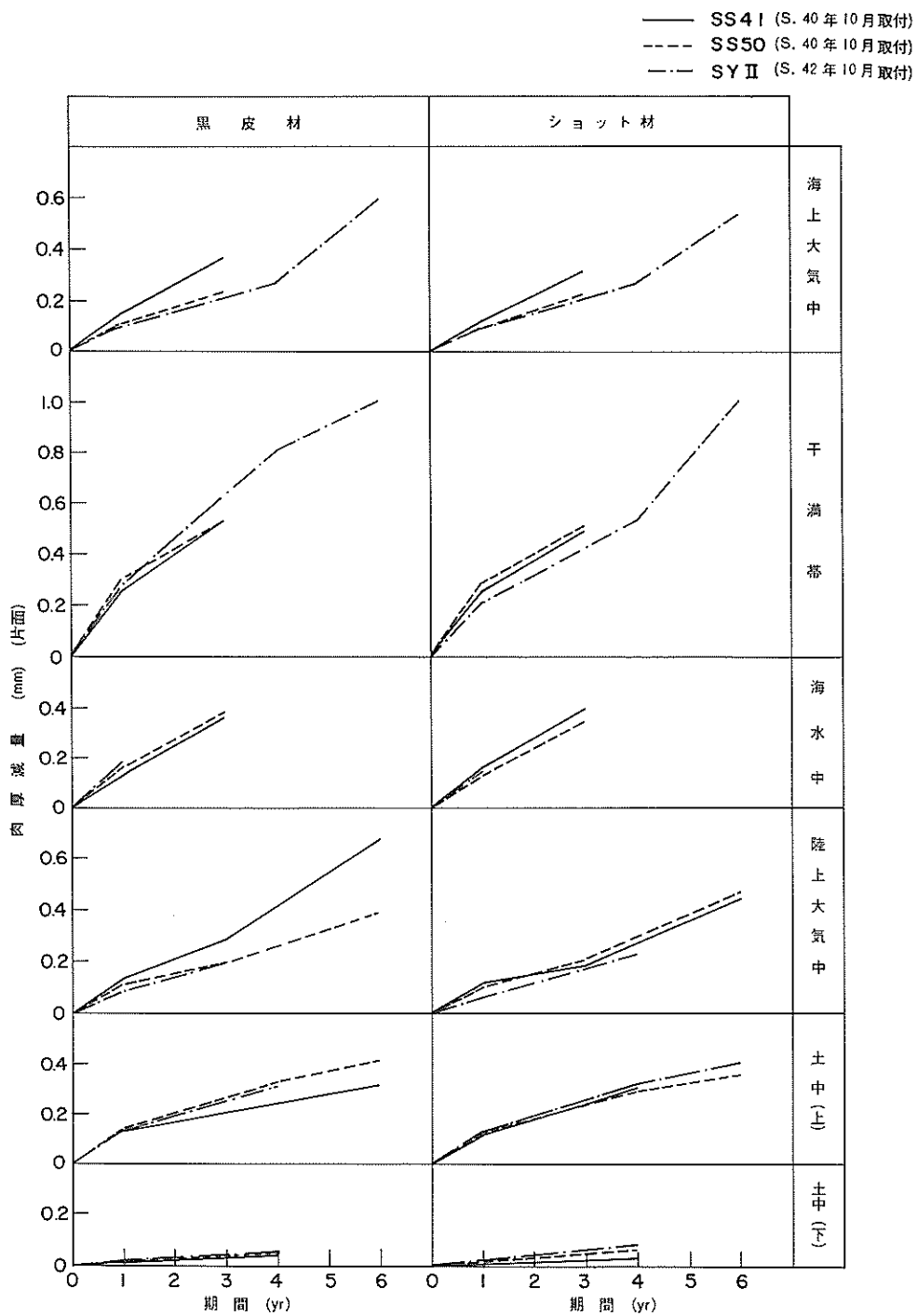


図3-2 京浜港における鋼材片腐食量の経年変化(重量測定による)

#### 4. H杭による腐食試験結果

##### 4-1 測定法による腐食量差

(1) 現地測定(測定法1, 2, 3, 4)と室内測定(測定法7, 9)の比較

新潟港における測定法による比較を付図4-1(S S 4 1, 海上杭), 付図4-2(SS 4 1, 陸上杭)に示す。なお, 現場測定の測定深度は1mピッチであるが室内測定の測定深度は飛沫帯~海水中では1m間をさらに小刻みにとってあるので付図4-1, 2を参照するとき同一深度で比較することが必要である。

新潟港海上杭では付図4-1に示すように腐食速度は現地測定(測定法1, 2, 3, 4)結果の方が室内測定(測定法7, 9)結果より各環境とも小さ目である。例えば, 飛沫帯(深度4.0m)で比較してみると現地測定が0.14~0.16mm/yrであるのに対して室内測定では0.17~0.18mm/yrである。

新潟港陸上杭では現地測定と室内測定による腐食速度間には大差ないが, 例えば地上直上部(深度8.0m)で比較してみると現地測定では測定法1が0.254mm/yr, 測定法2が0.172mm/yr, 測定法3が0.21mm/yr, 測定法4が0.175mm/yrであるのに対して室内測定では測定法7が0.30mm/yr, 測定法9が0.22mm/yrである。

いっぽう, 京浜港における測定法による比較を海上杭では付図4-3(SS 4 1)と付図4-4(SS 5 0)に, 陸上杭では付図4-5(SS 4 1)と付図4-6(SS 5 0)に示す。

京浜港海上杭(SS 4 1)では付図4-3に示すように腐食速度は現地測定(測定法1, 2, 3, 4)結果と室内測定(測定法7, 9)結果とでは各環境ともあまり差は認められない。海上杭(SS 5 0)では室内測定結果の方が現地測定結果に比べ腐食速度はやや大き目である。

京浜港陸上杭(SS 4 1, SS 5 0)では付図4-5, 4-6に示すように測定法2の深度8.0mの値を除いて現地測定結果の方が室内測定結果よりも腐食速度は小さ目である。

(2) 室内測定値間の比較(測定法9と測定法13)

新潟港海上杭についての比較を付図4-7~付図4-10に示す。付図4-7~付図4-10によれば海上杭についての平均腐食速度は測定法(9, 13)による差はほとんどないが, 最大腐食速度は測定法9の方が大き目である。

新潟港陸上杭についての比較を付図4-11~付図4-13に示す。付図4-11~付図4-13によれば, 陸上杭についても測定法9, 13による腐食速度差は平均値では大差ないが, 最大値では測定法9の方が大き目である。

京浜港海上杭についての比較を付図4-14~付図4-15に示す。付図4-14~付図4-15によれば, 測定法9と測定法13による腐食速度差はほとんどない。例えば, SS 4 1, 深度1.0m(付図4-14)の平均腐食速度は測定法9で0.282mm/yr, 測定法13では0.302mm/yr, 最大腐食速度は測定法9で0.322mm/yr, 測定法13で0.330mm/yrである。なお, 最大腐食速度は測定法9の方が大き目のところがある。

京浜港陸上杭についての比較を付図4-16~付図4-17に示す。付図4-16~付図4-17より, 京浜港陸上杭についても測定法9, 13による腐食速度差はあまりない。例えば, SS 4 1, 深度9.0m(付図4-16)の平均腐食速度は測定法9で0.11mm/yr, 測定法13で0.12mm/yr, 最大腐食速度は測定法9で0.19mm/yr, 測定法13で0.21mm/yrである。

##### 4-2 新潟港における腐食傾向

新潟港におけるH杭の腐食傾向を図4-1, 図4-2に示す。図4-1は海上杭(6年もの)の深度ごと

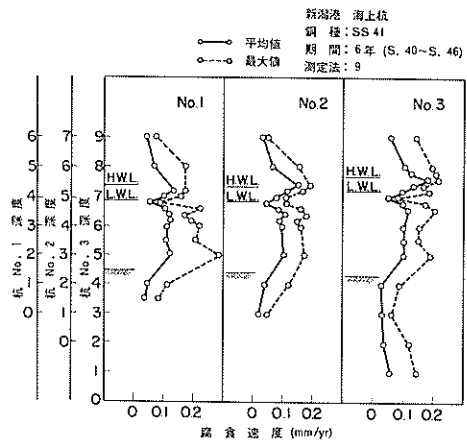


図4-1 新潟港におけるH杭の腐食傾向(1)

の腐食速度であり, 図4-2は陸上杭(6年もの)の深度ごとの腐食速度である。なお, 図4-1, 図4-2に示す腐食速度は測定法9による値である。

海上杭の平均腐食速度は, 海気中で0.05~0.1mm

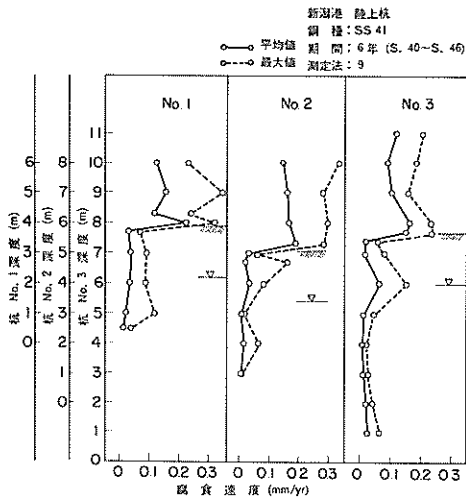


図4-2 新潟港におけるH杭の腐食傾向(2)

／yr，飛沫帯で0.18 mm／yr，平均干潮面直下で0.05 mm／yr，海中部で0.1 mm／yr，海泥中で0.03～0.06 mm／yrである。いっぽう最大腐食速度は0.03～0.16 mm／yr程度平均腐食速度より大きい。この外、杭長がNo 1 (6.3 m)，No 2 (7.5 m)，No 3 (10.0 m)と異なるが、各環境における腐食速度は大差ない。すなわち、海上杭では根入長を変えても杭の腐食傾向には変化はなかった(図4-1)。なお、新潟港では付図2-4に示すように6年間で約40cmの地盤沈下があり、このため海上杭では海水面上杭面の腐食環境は変化したことになる。

陸上杭の平均腐食速度は、陸上大気中で0.1～0.15 mm／yr，地中で0.01～0.03 mm／yrであるが、地面直上部は0.15～0.22 mm／yrと陸上大気中より大き目である。また残留水位付近で0.06 mm／yrと地中部としては大きい値の箇所も見られる。いっぽう、最大腐食速度は平均腐食速度より陸上大気中で0.05～0.18 mm／yr，土中で0.02～0.10 mm／yr大き目である(図4-2)。なお、陸上杭では地盤沈下の影響は残留水位面の変位程度である。この外、杭長がNo 1 (7.0 m)，No 2 (9.0 m)，No 3 (12.0 m)と異なるが、残留水位下の杭長を変えても杭の腐食傾向に変化は見られなかった。写真4-4(地面付近)に示すように地面直上部の杭面は黒皮下の錆層が丁度竹の子状に厚く付着し、かつ長期間除去されなかったため鋼材表面は潤滑状態に保たれ腐食が促進されたものと思われる。

次に、海上H杭の腐食量の経年変化を図4-3に、陸上H杭の腐食量の経年変化を図4-4に示す。なお、図4-3，図4-4の腐食量は測定法9の値である。

新潟港海上H杭では次の傾向がある(図4-3)。

- (i) 海上大気中では、腐食量は3年以降頭打ちの傾向がある。6年後の腐食量は0.2～0.38 mmである。
- (ii) 飛沫帯では、腐食量は3年以降では多少頭打ちの傾向がある。6年後の腐食量は0.7～0.9 mmである。
- (iii) 干満帯では、腐食量は3年以降頭打ちの傾向がある。6年後の腐食量は0.25～0.47 mmである。
- (iv) 海水中では、腐食量はほぼ直線的に増加する傾向がある。6年後の腐食量は0.5～0.62 mmである。
- (v) 海泥中では、腐食量は小さく6年後で0.22 mmである。

新潟港陸上H杭では次の傾向がある(図4-4)。

- (i) 陸上大気中では、腐食量はほぼ直線的に増加する傾向がある。6年後の腐食量は0.5～0.7 mmである。
- (ii) 陸土中では、腐食量は経年とともに頭打ちの傾向がある。6年後の腐食量は0.1 mm内外である。

新潟港海上杭(6年材)の回収時における杭の表面状況を写真4-1～写真4-2に示す。海水中の杭面はフジツボや貝類の付着は少なく、海水中に浮遊している土粒子と錆が混ざり合ってペースト状に付着している状態である。新潟港海上杭(6年材)の各環境における脱錆後の杭面の状況を写真4-3に示す。

新潟港陸上杭(6年材)の回収時における杭の表面状況を写真4-4に示す。写真4-4に見られるように地面直上部に錆層が厚く付着している。陸上杭の各環境における脱錆後の杭面の状況を写真4-5に示す。

新潟港における杭のガス切断等作業状況を写真4-6に示す。

#### 4-3 京浜港における腐食傾向

京浜港におけるH杭の深度ごとの腐食傾向を図4-5(海上杭，6年もの)，図4-6(陸上杭，6年もの)に示す。なお、図4-5，図4-6の値は測定法9による。

海上杭の平均腐食速度は、海気中で0.06～0.09 mm／yr，飛沫帯で0.275～0.285 mm／yr，平均干潮面下で0.045～0.055 mm／yr，海中部で0.06～0.1 mm／yr，海泥中で0.025～0.05 mm／yrである。いっぽう、最大腐食速度は0.02～0.10 mm／yr位平均腐食速度より大きい(図4-5)。

陸上杭の平均腐食速度は、陸上大気中で0.06～0.1 mm／yr，陸土中で0.01～0.03 mm／yrである。いっ

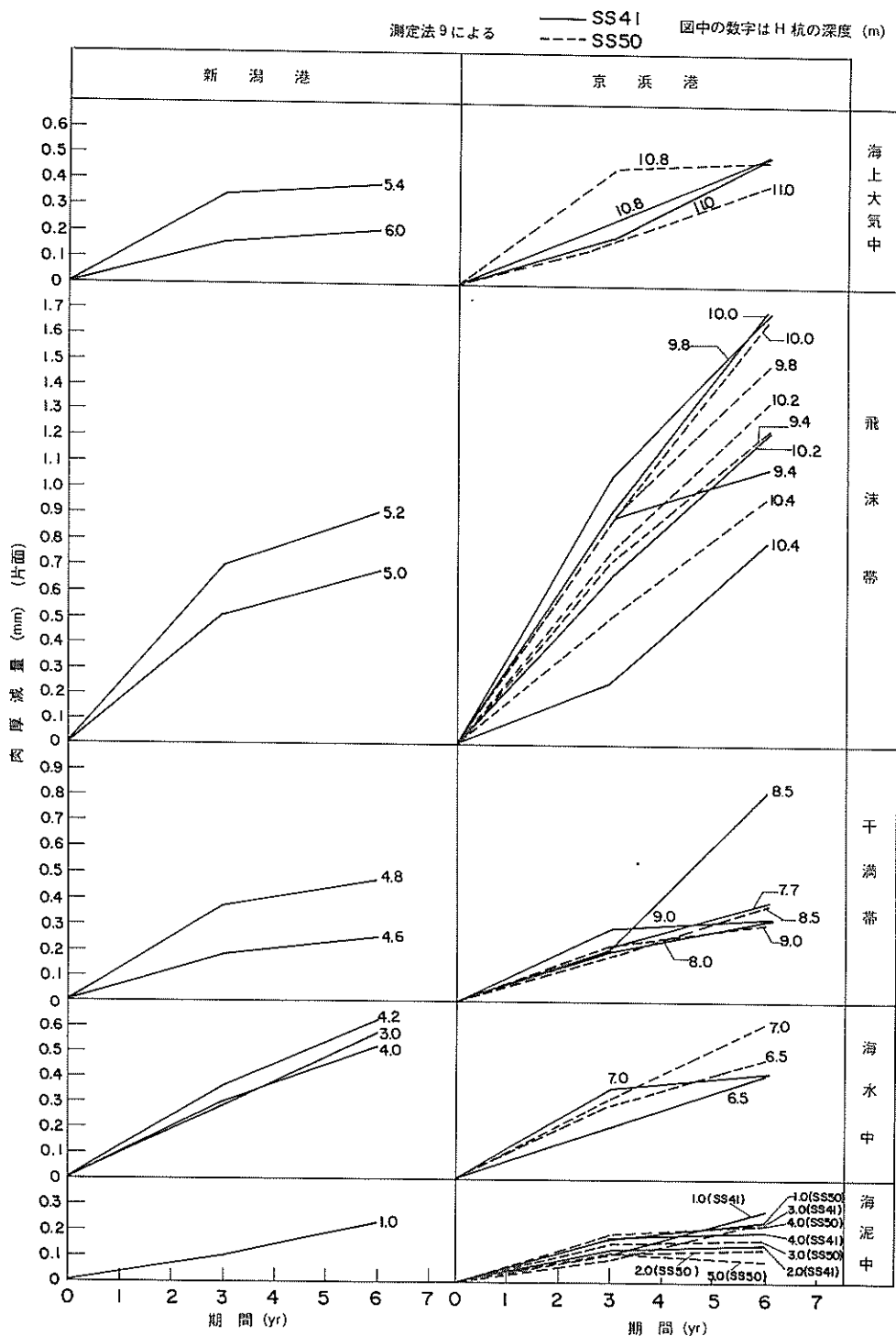


図4-3 海上H杭腐食量の経年変化

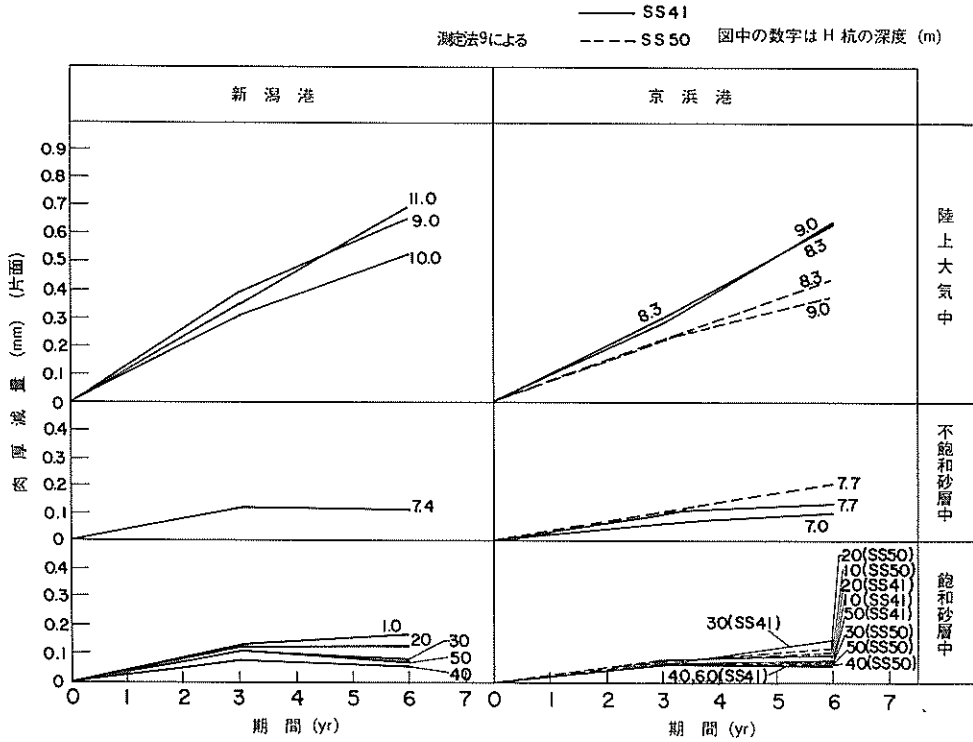


図4-4 陸上H杭腐食量の経年変化

ぼう、最大腐食速度は平均腐食速度より陸上大気中で  $0.05 \sim 0.14 \text{ mm/yr}$ 、陸土中で  $0.01 \sim 0.05 \text{ mm/yr}$  大きい (図4-6)。京浜港では新潟港のように陸上杭地上直上部の腐食は顕著ではなかった。

次に、海上H杭の腐食量の経年変化を図4-3に、陸上H杭の腐食量の経年変化を図4-4に示す。

京浜港海上H杭では次の傾向がある (図4-3)。

- (i) 海上大気中では、腐食量は直線的に増加する傾向が強い。6年後の腐食量は  $0.4 \sim 0.5 \text{ mm}$  である。
- (ii) 飛沫帯では、各深度ともほぼ腐食量は直線的に増加する。6年後の腐食量は  $0.8 \sim 1.7 \text{ mm}$  である。
- (iii) 干満帯では、腐食量はほぼ直線的に増加している。6年後の腐食量は  $0.3 \sim 0.38 \text{ mm}$  であるが、SS41の  $8.5 \text{ m}$  では  $0.8 \text{ mm}$  と大きい。
- (iv) 海水中では、腐食量はほぼ直線的に増加する傾向である。6年後の腐食量は  $0.4 \sim 0.6 \text{ mm}$  である。
- (v) 海泥中では、腐食量は小さくかつ頭打ちの傾向である。6年後の腐食量は  $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$  である。

京浜港陸上H杭では次の傾向がある (図4-4)。

- (i) 陸上大気中では、腐食量はほぼ直線的に増加す

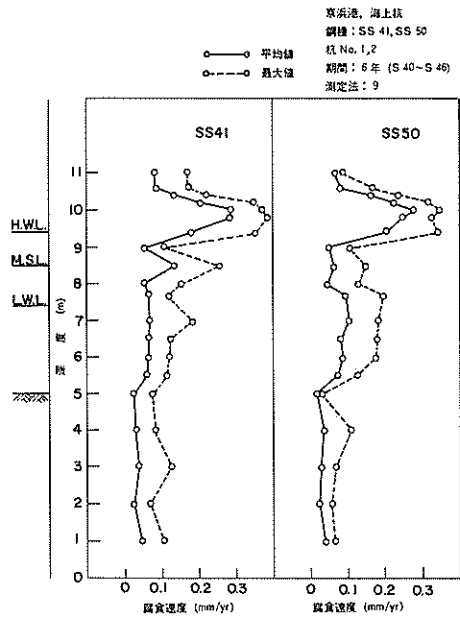


図4-5 京浜港におけるH杭の腐食傾向(1)

る傾向がある。6年後の腐食量はSS41で0.64mm程度、SS50で0.38～0.44mmである。

(II) 陸土中では、腐食量は経年とともに頭打ちの傾向が見られ6年後の腐食量はSS41で0.14～0.16mm、SS50では0.06～0.21mmである。

京浜港海上杭（6年材）の回収時における杭の表面状況を写真4-7に示す。写真4-7に示すように、海水中の杭面にはフジツボやカラス貝の付着が目立つ。海上杭の各環境における杭面の脱錆後の状況を写真4-8に示す。写真4-8に示すように、海水面下（干満帯、海水中、海泥中）には黒皮によるミゾ腐食が発生している。

京浜港陸上杭（6年材）の回収時における杭の表面状況を写真4-9に示す。京浜港の陸上杭では地面直上部に新潟港の陸上杭のような厚い錆層は見られない。陸上杭の各環境における脱錆後の表面状況を写真4-10に示す。

京浜港における作業状況を写真4-11に示す。

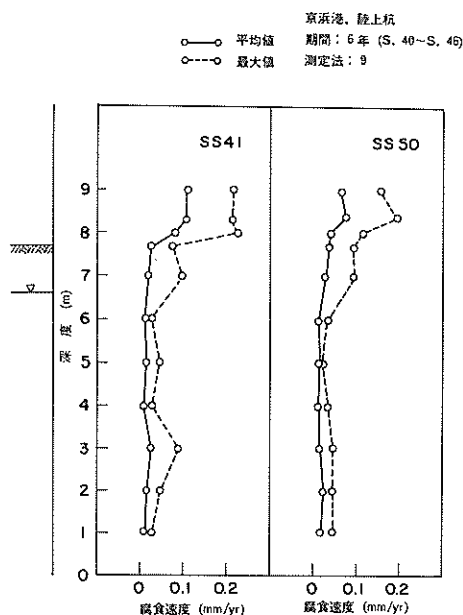


図4-6 京浜港におけるH板の腐食傾向(2)

## 5. 鋼矢板による腐食試験結果

新潟港における鋼矢板の深度ごとの腐食傾向は付図6-4の通りである（付図6-4の無防食の値を参照）。付図6-4によれば、新潟港海上鋼矢板の腐食速度は

海気帯で0.04～0.09mm/yr、海中部で0.03～0.1mm/yr、海泥中で0.01～0.03mm/yrである。

新潟港海上鋼矢板腐食量の経年変化を付図5-1に示す。付図5-1によれば、飛沫帯を除く各環境では腐食量は頭打ちの傾向が見られる。また付図5-1によれば京浜港海上鋼矢板腐食量の経年変化には次の傾向が見られる。

海上大気中では腐食量は頭打ちの傾向がある。

飛沫帯では腐食量は経年とともに直線的に増加する。

干満帯では腐食量はM.S.L.上(9.0m)で頭打ちの傾向がある。M.S.L.下(8.5, 8.0m)では急増の傾向である。

海水中では腐食量はほぼ直線的に増加する。

海泥中では腐食量は頭打ちの傾向が見られる深度と直線的に増加する深度がある。

新潟港鋼矢板材（6年材）の回収時における表面状況を写真5-1に示す。写真5-1に示すように、海水中ではH杭と同じようにフジツボ等貝類の付着は少なく赤橙色の錆が目立つ。

京浜港鋼矢板材（6年材）の回収時における表面状況は写真5-2に示す。干満帯、海水中環境においてフジツボやカラス貝等生物付着が目立つ。写真5-3に各環境における脱錆後の表面状況を示す。

## 6. 鋼矢板による電防試験結果

3年試験材について、電位測定結果を付図6-1に、腐食量測定結果を付図6-2に、陽極消耗量を付表6-1に示す。

付図6-1によれば、Al陽極1個を取付けた鋼矢板の電位（飽和甘汞電極基準）は当初は防食電位にやっと達したものと防食電位に不足したものとがあり、1年後では防食電位に達していたのは僅かに鋼矢板No34のみであった。したがって、1年後にAl陽極3個の追加取付けを行なったところAl陽極計4個により鋼矢板の電位は-900mvとなった（ただし、No17のみは陽極追加直後の電位は-780mvであった）。陽極追加取付100日後の鋼矢板電位は-850～-1000mvの範囲に収まっていた（ただし、このとき電位を測定した鋼矢板はNo5, 11, 17, 23のみである）。

付図6-2で鋼矢板の腐食量を比較してみると、電防をしていない場合には海水中で0.1～0.15mm/yr、海泥中で0.03～0.08mm/yrであるが、電防をした場合には特に海水中の腐食量の減少が目立つ。例えば、Al陽極を取付けた場合No8, 17を除いて腐食速度は



0.1 mm/yr 以下に減少しており、また Mg 陽極を取付けた場合腐食速度は 0.05 mm/yr 以下に減少した。ただし、Al 陽極と Mg 陽極によって腐食速度に差が生じたのは Al 陽極では防食電位に達しなかった期間があるのに対して Mg 陽極では過防食の試験を当初目標としたため防食電位に終始達していたためである。また、Al 陽極の場合は付表 6-1 に示すように Na 8, 11, 14, 20, 23, 31 の鋼矢板では陽極 4 個の中 1~3 個が鋼矢板回収時に脱落しており、防食電流の流入が不足したことが推定される。いっぽう、海泥中の鋼矢板腐食速度は Al 陽極取付の場合 0.01~0.08 mm/yr, Mg 陽極取付の場合 0.01~0.05 mm/yr で電防をしない場合の腐食速度と大差ない。

次に、6 年試験材についての電位測定結果を付図 6-3 に、腐食量測定結果を付図 6-4 に、陽極消耗量を付表 6-2 に示す。

付図 6-3 によれば、電防鋼矢板の中 Al 陽極 1 箇所を取付けた鋼矢板の電位は陽極取付直後は防食電位近くになっているが 1 年後には Na 35 を除いて防食電位に不足している。このため 1 年後に Al 陽極を 3 箇所追加して従来の 1 箇所と合せて計 4 箇所としたとき鋼矢板の電位は何れも -900 mV 台となり以後 5 年間ほぼ防食電位に達していた。いっぽう、Mg 陽極を取付けた鋼矢板の電位は当初 -1100 mV 台になったが以後 6 年間陽極の取付なしに -800 mV 台で十分防食されていたとみられる。

付図 6-4 に示す腐食量測定結果では、電防しない鋼矢板の腐食速度は海水中で 0.1 mm/yr 前後、海泥中で 0.01~0.03 mm/yr であるが、電防鋼矢板の腐食速度は海水中で 0.01~0.02 mm/yr、海泥中で 0.01 mm/yr 程度である。いっぽう、海水面上では電防鋼矢板の腐食速度は 0.04~0.05 mm/yr で無防食鋼矢板 Na 45 の値と大差ない。鋼矢板頭部をモルタルで被覆した Na 38, 40 の腐食速度は無防食鋼矢板 Na 45 の値と大差なく、モルタル被覆の Na 32, 35 の腐食速度は 0.01 mm/yr 程度である。モルタル被覆をした深度 (8, 9 m) で腐食量が大きかった Na 38, 40 の矢板面は片面は黒皮が残っているが片面は腐食して凹凸が激しかった。これはモルタル被覆の施工が不十分であったことを示すと思われるが、このことは写真 6-10 からもうかがわれる。すなわち、写真 6-10 では左から 2 番目のモルタル被覆面に錆色の部分が見えている。これはモルタルの充填が不十分で空洞化していることを示す 1 例である。

付表 6-2 によれば、6 年後に鋼矢板を回収したとき陽極の大半は脱落している。

付図 6-5 に防食 H 杭についての腐食量測定結果を示す。付図 6-5 に示すように、頭部のみモルタル被覆した H 杭の平均腐食速度は海水中で 0.1 mm/yr、海泥中で 0.02~0.03 mm/yr であるが、電防 H 杭では海水中、海泥中とも 0.01~0.015 mm/yr 程度である。いっぽう、海水面上では防食 H 杭の腐食速度は 0.01~0.04 mm/yr である。

新潟港海上鋼矢板材 (6 年材) の回収時における表面状況を写真 6-1~写真 6-3 に示す。写真 6-1~写真 6-3 に示すように、無防食の鋼矢板には海水中環境に赤褐色の錆の発生が認められたが、電気防食を行なった鋼矢板には赤褐色の錆の発生は認められなかった。

新潟港海上鋼矢板材 (6 年材) の各環境における脱錆後の表面状況を写真 6-4~写真 6-5 に示す。

新潟港海上 H 杭 (6.5 年材) の回収時の杭面状況を写真 6-6 に、各環境における脱錆後の表面状況を写真 6-7 にそれぞれ示す。

なお電防に用いられた流電陽極の状況を写真 6-8、写真 6-9 に示す。写真 6-8、写真 6-9 によれば、S. 43 回収した陽極はほぼどの陽極も形を整えているが、S. 46 に回収した陽極では芯金の露出しているものが見られる。特に Mg 陽極は S. 43 回収分に比べ 1/3~1/4 に減少していた。

## 7. 考 察

### 7-1 測定法による H 杭腐食量差

H 杭の腐食量差はフランジについて (4), (5) 式より算出した。(4), (5) 式の  $T$  (現有肉厚) の測定のし方によって測定法は分類されたが大別して現地測定と室内測定がある。現地測定には測定法 1, 2, 3, 4 があり何れも回収 H 杭のフランジ肉厚を現地で脱錆、測定した。また室内測定は測定法 7, 9, 13 がありこれらは肉厚測定箇所のフランジ部分を回収杭から切取って室内で薬液による脱錆後肉厚または重量を測定した。

海上杭では H 杭の腐食速度は現地測定の方が室内測定より平均値、最大値とも小さい目である。例えば、新潟港海上杭では平均値と比較すると深度 4, 5, 6 m では現地測定の方が室内測定より 0.02~0.03 mm/yr 程度小さく、深度 1, 2, 3 m では測定法 4 のように 3 m で 0.1 mm/yr, 2 m で 0.07 mm/yr 位現地測定値の方が小さいケースがあり、また測定法による差

はあまりないケースもある(付図4-1)。いっぽう、最大値の腐食傾向は平均値の腐食傾向と大差ないが深度が2m, 3mでは測定法9の値が飛び抜けて大きくなっている。最大値は所定の深度における測定点の中で現有肉厚が最小値であることを示すので、海水中(深度2, 3m)で測定法9の最大値が著しく大きいことはこれらの深度では孔食の著しい箇所があり深度方向に1cmピッチで9点測定したとき(測定法9)孔食箇所をマイクロメーターで測定したことを意味する。

京浜港海上杭と同様、平均腐食速度は現地測定値の方が室内測定値より小さ目である(付図4-4)。現地測定値の中でも特に測定法2(超音波法)による値がH.W.L.下で小さいが、この場合超音波共振式厚み計法(陸上用探触子)では孔食箇所の肉厚をほとんど測定できなかったことを示していると思われる。最大腐食速度では海泥面付近で測定法1による値が室内測定値より大きいケースがある。これは測定法1の測定点の中に孔食箇所が存在したことを示している。

海水中、海泥中H杭面は写真4-8に示すようにグルーピング(grooving, ミゾ状腐食)が発生しており現有肉厚測定を困難にしている。

室内測定値(測定法7, 9による)間の差は平均腐食速度、最大腐食速度とも大差ないが、海水中(付図4-4)、飛沫帯(付図4-3)での最大値は測定法9の方が測定法7より大きいケースがある。

陸上杭では平均腐食速度は陸上大気中においては現地測定値の方が室内測定値より小さ目であるが、陸土中では両者間にはあまり差はない(付図4-2, 付図4-5, 付図4-6)。なお、陸上大気中では測定法2による値の方が測定法1による値より大きいケース(新潟港)とこれと反対のケース(京浜港)がある。また最大腐食速度は室内測定値(測定法7, 9)と現地測定値(特に測定法3, 4)間には大差ない。

次に、室内測定法の中測定法9(肉厚測定)と測定法13(重量測定)を比較してみる。

海上杭では新潟港(付図4-7~付図4-10)、京浜港(付図4-14~付図4-15)とも測定法9, 13による腐食速度は平均値ではほとんど差がなく近似しているが、最大値では測定法9の方が測定法13より大きい。このように最大値で両者間に差が生じたのは、測定法9の場合の最大値は所定の深度における全測定値中の最大値(例えば、杭1本の場合は4フランジ×9測定点=36点、杭2本の場合は2本×4フランジ×9測定点=72点中の最大腐食速度=最小現

有肉厚)であるのに対して、測定法13の場合の最大値は所定の深度におけるフランジから1箇所ずつ切取った試験片中の最大値(例えば、杭1本の場合は1本×4フランジ=4箇所、杭2本の場合は2本×4フランジ=8箇所中の最大腐食速度=最小重量)であることに因る。

陸上杭についても海上杭と同様の傾向が新潟港(付図4-11~付図4-13)、京浜港(付図4-16~付図4-17)で見られる。

以上のことから、H杭の腐食速度は測定法9の値で整理・比較することにした。また、平均腐食速度は測定法9と測定法13では近似するため今後の長尺材の平均腐食速度を測定するには測定法13のように切取り、成形して重量を測定しなくても測定法9で間に合うと思われる。

## 7-2 港湾環境におけるH杭の腐食傾向

新潟港では6年間で約40cmの地盤沈下があったため新潟港試験杭についての測定結果は参考として、海上杭については地盤沈下のなかった京浜港におけるH杭の測定結果を主として考察することにする。

京浜港海上杭(6年もの)の深度ごとの腐食傾向は図4-5に示すように平均腐食速度(片面)は、海上大気中で0.07~0.08mm/yr、飛沫帯で0.27~0.29mm/yr、干満帯で0.05~0.13mm/yr、海水中で0.06~0.10mm/yr、海泥中で0.02~0.05mm/yrである。このように海上杭の腐食環境中で最も腐食速度が大きいのは飛沫帯であり腐食傾向は従来から示されているものと変わらない。ただ、従来の傾向と異なるところは干満帯(M.S.L.付近)で腐食速度が大きくなっている点である。この傾向は特にSS41で著しくSS50ではそれほど顕著ではない。図4-5は杭2本(計8フランジ)の平均値として示してあるので深度8.5mで腐食速度が大きい様子を見てみると付図7-1, 2のようになる。付図7-1, 2によれば杭No1のフランジ1, 3, 杭No2のフランジ3の腐食速度が大きい。写真7-1に杭No1の深度8.5mのフランジ面を、写真7-2に杭No1の深度9.0mのフランジ面を示す。写真を参照すると深度8.5mのフランジ面は深度9.0mのフランジ面に比べて凹凸がひどく左右のエッジ部が腐食のため不揃いであることが目立つ。

いっぽう、海上杭の最大腐食速度は平均腐食速度より0.02~0.12mm/yr位大きくこのような傾向は飛沫帯、海水中で特に著しい。

腐食量の経年変化は京浜港海上杭では海泥中を除い

てほぼ直線的な傾向が見られ、腐食量の増加は飛沫帯が最も大きい。これに対して新潟港海上杭では海上大気中、飛沫帯、干満帯で腐食量は経年とともに頭打ちの傾向が見られる。これは新潟港の地盤沈下に伴う試験杭の環境変化が一因と思われる。

京浜港陸上杭（6年もの）の深度ごとの腐食傾向は図4-6の通りで、平均腐食速度（片面）は陸上大気中で0.065~0.107mm/yr、陸土中で0.01~0.025mm/yrである。これに対して新潟港陸上杭（6年もの）の平均腐食速度（片面）は陸上大気中で0.09~0.16mm/yrと京浜港より大きく、陸土中は0.01~0.03mm/yrで京浜港と大差ないが残留水位付近で0.06mm/yr（杭No.3）と腐食速度が大きい箇所がある（図4-2）。新潟港陸上大気中では腐食速度の大きいところは地面直上部で、ここでは写真4-4（地面付近）に見られるように厚い錆層に覆われて鋼材表面は適度の湿気条件におかれるため地面上層部より腐食速度が大きくなっていると考えられる。新潟港陸土中の残留水位付近で腐食速度が大きい箇所が見られる現象は後述する集中腐食の現象ではないかと推察される（7-4参照）。

陸上杭の最大腐食速度は、平均腐食速度より陸上大気中で0.07~0.12mm/yr（京浜港）または0.07~0.18mm/yr（新潟港）大きく、陸土中で0.01~0.07mm/yr（京浜港）または0.01~0.13mm/yr（新潟港）大きい。このように陸上杭で最大腐食が大きいのは陸上大気中では厚い錆層をハンマーで叩き落とすと鋼材面が凹んでいるところであり、陸土中では写真4-10に示すように溝状腐食が著しいところかまたは写真7-4に示すような集中腐食に主として起因するところである。

#### 7-3 長尺鋼材と鋼材小片の腐食量差

鋼材片腐食量（図3-2）とH杭腐食量（海上杭：図4-3、陸上杭：図4-4）を環境ごとに比較してみる。なお、比較できる環境は海上大気中、干満帯、海水中、陸上大気中、陸土中である。

京浜港の海上大気中、海水中、陸上大気中、陸土中（残留水位下）では鋼材片腐食速度とH杭腐食速度は大差ないが、干満帯と陸土中（残留水位上）では鋼材片腐食速度の方がH杭腐食速度より大きい。

海水中における長尺鋼材の腐食傾向は一般に付図7-3に示すように干満帯よりその直下部の方が腐食量が大きい。La Queはこのような傾向を単独鋼材片と連結鋼材片について付図7-4のように示している。

これらのように干満帯で単独鋼材片の方が長尺鋼材（または連結鋼材片）より腐食量が大きい現象は、長尺鋼材では平均干満面上下にマクロセル（上がカソード、下がアノード）が発生して干満帯のカソードはアノードからの流入電流によって防食されて腐食量が小さいのに対して単独鋼材片は干満帯における豊富な酸素量のため腐食量は大きいと説明される。図3-2の干満帯鋼材片の腐食量が図4-3の干満帯H杭腐食量より3倍程度大きい傾向も上記のように説明できる。

いっぽう、陸土中（残留水位上）でも鋼材片腐食量の方がH杭腐食量を上廻っている。この現象も海上杭干満帯と同様にH杭では残留水位上がマクロセルのカソードとなるのに対して単独鋼材片では空気泡を含む残留水位上土中で激しく腐食したためであろう。

#### 7-4 試験材にみられる集中腐食

港湾環境で使用する長尺材では平均干満面と残留水位を界面として上下にまたがるマクロセルが発生しやすい。アノードから流出するマクロ腐食電流密度の分布は環境比抵抗、水深などいろいろの要因に支配されるが、もう一つの特長は部材の突出部から流出しやすいことである。海上杭では平均干満面上（湿っている範囲）の鋼材部分がカソード、平均干満面下がアノードとなる。これらの現象を写真で眺めてみる。

京浜港海上杭では写真7-3に示すように深度が8.1~8.3m付近でエッジ部の腐食が著しい。京浜港ではM.S.L.が杭深度で8.5mに相当するためエッジ部にみられる集中腐食はM.S.L.~L.W.L.間となる。

京浜港陸上杭では写真7-4に示すようにH杭フランジのエッジ部の腐食が目立つのは深度7.0~7.7m間で、これは残留水位上（地表面近く）である。これに対して新潟港陸上杭では写真7-5に示すように残留水位面付近でエッジ部の腐食が激しい。このような京浜港と新潟港にみられる差は京浜港陸上部は周囲を鋼矢板で取囲まれているため残留水位の変動がほとんど期待できないのに対し、新潟港陸上部は海岸に近接した砂浜のため残留水位の変動が生じたためと考えられる。すなわち、陸上杭で残留水位面を挟んで上下方向にマクロセルが発生しても水位の変動がほとんどないときマクロセルのカソード域が微小となり、マクロ腐食電流はカソード、アノード表面積比に比例するため流出するマクロ腐食電流密度は小さくなる。これに対して、残留水位が変動するとき変動幅に応じてカソード域が増大した結果マクロの腐食電流密度が増加する。

先に示した測定法9, 13ではフランジのエッジ部の腐食量を必ずしも正確に測定できないため、測定法17として重量測定を試みた。ただし、測定法17では長尺材からH形ブロック片を切出したためブロック片の初期重量がはっきりしない。したがって、ここでは海上杭では海泥中先端部(杭の打込先)から、陸上杭では陸土中先端部(杭の打込先)から切出したブロック片の重量を基準として重量減量を出してみた。測定法17による深度ごとの腐食傾向を付図7-5(京浜港海上杭, 6年もの)、付図7-6(京浜港陸上杭, 6年もの)に示す。付図7-5, 6に示すH杭腐食傾向は測定法9による腐食傾向(図4-5, 6)に類似している。これはブロック片1箇の重量は約4600gあり少々エッジ部の重量減量もあまり目立たず、また飛沫帯のようにエッジ部のみに限らず全面的に腐食量の大きいところではやはり大きな腐食速度となるなどによる。この結果、集中腐食量をうまく取出すためにはエッジの凹み量を測定する外仕方がなさそうである。

#### 7-5 電気防食効果

付表6-1(試験期間が3年の陽極材料)、付表6-2(試験期間が6年の陽極材料)より防食電流密度を算出すると付表7-1(3年もの)、付表7-2(6年もの)の通りである。なお、防食面積は(海水中鋼矢板表面積) + (海泥中鋼矢板表面積×1/5)の和とし、陽極溶解量(W)の有効電気量(A/yr)はAl合金陽極の場合はW(kg)/3.8(kg/A・yr)、Mg陽極の場合はW(kg)/8.0(kg/A・yr)とした。ただし、3.8kg/A・yrはAl合金陽極の海水中における消耗量、8.0kg/A・yrはMg陽極の海水中における消耗量である。また、付表7-1、付表7-2で陽極溶解量Wの欄が欠となっているのは回収時点で陽極が脱落していたため溶解量が算出できなかったことを意味する。この外、防食電流密度の欄で1)は最初に取付けた陽極(Al合金陽極では1箇、Mg陽極では1箇)のみによる防食電流密度(Al合金陽極では最初の1年間のみ、Mg陽極では試験期間)、2)はAl合金陽極の場合2年目追加取付した3箇のAl陽極と最初の1箇のAl陽極とによる防食電流密度である。しかし、付表7-1の杭No31, 34、付表7-2の杭No32, 35では防食電流密度の欄に1), 2)が記入されていない。

これは最初取付けと追加取付けの区別が回収Al合金陽極についてははっきりしないためである。付表7-1, 2の防食電流密度の中、Al合金陽極の場合取付陽極が脱落したケースでは1)と2)が植または2)のみの値が示してあるが、2)の値は回収できた陽極のみの溶解量に基づくものであるから少くともこの値以上の防食電流が流れたことになる。

3年材鋼矢板の防食電流密度はAl合金陽極では最初の1年間は17~39mA/m<sup>2</sup>であり、2年目と3年目は55~115mA/m<sup>2</sup>である。またMg陽極では3年間の防食電流密度は160~175mA/m<sup>2</sup>である(付表7-1)。

いっぽう、6年材鋼矢板の防食電流密度はAl合金陽極では1年目は20~40mA/m<sup>2</sup>、2年目~6年目は72~164mA/m<sup>2</sup>(陽極の脱落がないケース、杭No9, 18, 21, 24)であり、陽極が1箇脱落して3箇となったケース(杭No3, 12)でも68~70mA/m<sup>2</sup>であった。また、Mg陽極では6年間の防食電流密度は110mA/m<sup>2</sup>程度であった(付表7-2)。

一般に平均防食電流密度は正常海水中では50mA/m<sup>2</sup>程度といわれるが、上記のAl合金陽極(陽極を追加した場合)とMg陽極による防食電流密度は標準値の50mA/m<sup>2</sup>を上廻っている。

次に、電防の設計手順<sup>2)</sup>によって試験鋼矢板に対する所要陽極箇数を算出してみる。

例1(3年材Al合金陽極, 杭No2)

防食面積は4.774m<sup>2</sup>(海泥中面積は1/5として海水中面積に換算した)、正常海水中の初期防食電流密度は0.1A/m<sup>2</sup>であるから所要防食電流 = 4.774(m<sup>2</sup>) × 0.1(A/m<sup>2</sup>) = 0.4774Aとなる。したがって、所要陽極箇数 = 0.4774(A) ÷ 2.4<sup>\*</sup>(A/箇) ≒ 0.20(箇)となる。

例2(6年材Al合金陽極, 杭No9)

所要防食電流 = 4.326(m<sup>2</sup>) × 0.1(A/m<sup>2</sup>) = 0.4326(A)  
 所要陽極箇数 = 0.4326(A) ÷ 1.78<sup>\*\*</sup>(A/箇) ≒ 0.24(箇)

例3(3年材Mg陽極, 杭No26)

所要防食電流 = 4.365(m<sup>2</sup>) × 0.1(A/m<sup>2</sup>) = 0.4365(A)  
 所要陽極箇数 = 0.4365(A) ÷ 6.0<sup>\*</sup>(A/箇)

\* Al合金陽極L-12形の発生電流(表2-4)

\* Mg陽極52-T形の発生電流(表2-4)

\*\* Al合金陽極SC-1形の発生電流(表2-4)

≒ 0.07 (箇)

例4 (6年材 Mg 陽極, 杭No 27)

$$\begin{aligned} \text{所要防食電流} &= 4.179 (\text{m}^2) \times 0.1 (A/\text{m}^2) \\ &= 0.4179 (A) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{所要陽極箇数} &= 0.4179 (A) \div 6.0^* (A/\text{箇}) \\ &\approx 0.07 (\text{箇}) \end{aligned}$$

新潟海上試験場は信濃川の河口に位置するため川の流入により海水比抵抗は正常海水の比抵抗より大き目である。陽極の発生電流は一般に海水の比抵抗が $30\Omega\text{-cm}$ のときの値であるから海水の比抵抗が $\rho\Omega\text{-cm}$ に変化したとき、発生電流 $=I_0 \times (30/\rho)$ となる。ただし、 $I_0$ は比抵抗が $30\Omega\text{-cm}$ のときの発生電流である。例えば、 $\rho = 300\Omega\text{-cm}$ とすれば発生電流は $I_0/10 (A)$ となる。したがって、このときの所要陽極箇数は例1～例4の10倍となる。この試験ではA陽極を1枚の鋼矢板に4箇づつ取付けているが、上記の発生電流と比抵抗の関係から試験場海水の比抵抗を逆算してみると数 $100\Omega\text{-cm}$ となる。これに対して試験場海水の比抵抗を測定してみると $30\sim 800\Omega\text{-cm}$ 程度である。試験場海水の比抵抗は常時数 $100\Omega\text{-cm}$ と大きな値とは限らないが、試験鋼矢板への陽極取付箇数がAl合金陽極で正常海水中での取付箇数の約20倍大きかった原因の一つとして海水比抵抗の増大化が考えられる。この外、海水比抵抗の増大化に伴って所要防食電流が増加する因として次の諸点があげられる。

(1) 海水中鋼材腐食速度は海水中の塩分(NaCl)濃度が $10\text{g/l}$ のときに最大といわれる。すなわち、正常海水中より約 $1/3$ に希釈された塩水中の方が腐食量は大きく、この結果防食電流も大きくなる。

(2) 海水比抵抗が大きくなると防食鋼材面に石灰質被覆が生成しにくくなり、この結果平均防食電流密度が大きくなる。

次に、上記のように新潟海上試験では取付陽極の脱落があった。3年材では試験杭12本の中、杭No 14のL-12形陽極(吊下げ)1箇、杭No 31のA-16形陽極(吊下げ)1箇が回収できなかった。これに対して、6年材では12本の試験杭の中陽極が脱落しなかったのは半分の6本(杭No 9, 18, 21, 24, 27, 29)で残り半分の杭では取付陽極が1～3本脱落し、また脱落は陽極取付の溶接(杭No 3, 6, 12)でも吊下げ(杭No 15, 18, 32, 35)でも発生した。陽極の取付法は付図2-10に示すように溶接法は陽極芯金鉄棒の上下を杭に溶接し、吊下げは陽極芯金鉄棒

の上部を杭に溶接し下部は海泥中に埋設した。しかし新潟港では波浪による衝撃が激しく、また付図2-10のように陽極から出ている芯金が長かったことなどのため多くの陽極が6年材では回収できなかったのではないかと推察される。なお、陽極が脱落した時点ははっきりしないが、例えば付図6-2によれば杭No 18(陽極の脱落がなく、防食電流密度が $164\text{mA}/\text{m}^2$ )と杭32(陽極が4箇取付けの中3箇脱落)の防食電位は6年後で大差ない。このことは陽極の脱落が試験杭の回収時期に近かったのかまたは陽極の溶解量は試験期間内平均的には起こらなかったことを示唆するものと思われる。

海水中(付図6-4の深度7, 6, 5m)の腐食速度は無防食鋼矢板(No 43, 45の平均)では $0.026, 0.062, 0.098\text{mm}/\text{yr}$ であるが、電防鋼矢板ではNo 9で $0.005, 0.0, 0.009\text{mm}/\text{yr}$ , No 24で $0.007, 0.002, 0.018\text{mm}/\text{yr}$ 等である。防食率を試算してみると深度7.0mで約80%, 深度6.0mで70～100%, 深度5.0mで80～90%となる。

この外、モルタルによる杭頭部の被覆と電防の併用効果またはモルタル被覆のみの防食効果を試験してみたが、例えば杭No 35(付図6-4)のように良好な傾向も見られたがNo 38, 40(付図6-4)のように予想に反した結果も得られた。これはモルタル被覆の施工が不完全なため大きな空洞を生じてモルタル被覆本来の防食試験が十分に行なえなかったためである。このことから、現地ではモルタル被覆施工を入念に実施することが重要であることがわかる。

## 8. 結 論

以上の試験結果から次のことがいえる。

(1) H杭試験材の腐食速度は室内測定(測定法7, 9, 13)より現地測定(測定法1, 2, 3, 4)の方が平均値、最大値とも小さ目であった。室内測定では測定法7, 9(両球型マイクロメーターによる肉厚測定)と測定法13(切取小片の重量測定)によるH杭腐食速度の平均値は大差ないが、最大値は測定法9の場合が大き目であった。この結果、H杭の平均腐食速度を求めるには脱錆を十分に行なう室内における肉厚測定ですむことがわかった。

(2) 京浜海上杭(6年材)の平均腐食速度(片面)は、海上大気中で $0.07\sim 0.08\text{mm}/\text{yr}$ 、飛沫帯で $0.27\sim 0.29\text{mm}/\text{yr}$ 、干満帯で $0.05\sim 0.13\text{mm}/\text{yr}$ 、海水中で $0.06\sim 0.10\text{mm}/\text{yr}$ 、海泥中で $0.02\sim 0.05$

mm/yr であった。干満帯は一般にL.W.L.～H.W.L. 間を指すが、同じ干満帯でもM.S.L.下は0.05 mm/yr と小さいがM.S.L.付近またはH.W.L.に近くなると腐食速度はこれを上廻る傾向がある。したがって、港湾環境における長尺鋼材の腐食傾向を示すには干満帯の腐食環境はH.W.L.～M.S.L.とM.S.L.～L.W.L.に二分することが望まれる。

海上杭の最大腐食速度は平均腐食速度より0.02～0.12 mm/yr大きく、特に飛沫帯、海水中では両腐食速度差は著しかった。

(3) 陸上杭(6年材)の平均腐食速度(片面)は陸上大気中で0.065～0.107 mm/yr(京浜港), 0.09～0.16 mm/yr(新潟港), 陸土中で0.01～0.025 mm/yr(京浜港), 0.01～0.03 mm/yr(新潟港)であった。なお、新潟港陸上杭では残留水位で0.06 mm/yrと腐食速度が大きい箇所が見られた。陸上杭の最大腐食速度は、平均腐食速度より陸上大気中で0.07～0.12 mm/yr(京浜港), 0.07～0.18 mm/yr(新潟港)大きく、陸土中で0.01～0.07 mm/yr(京浜港), 0.01～0.13 mm/yr(新潟港)大きかった。

(4) 海上杭ではM.S.L.付近に陸上杭では残留水位付近に腐食がひどい現象が発生したのは、平均干潮面または残留水位面を挟んで上下方向に発生するマクロ腐食に起因する集中腐食と考えられる。

(5) 新潟港海上試験場において防食試験用鋼矢板を防食電位に保つには、Al合金陽極の取付箇所数は正常海域の取付箇所数の約20倍要した。また防食電流密度は正常海水中の値50 mA/m<sup>2</sup>を上廻った。これは新潟港海上試験場には河水が流入して海水比抵抗が30～数100 Ω-cmの範囲に変化したことに主として起因するものと推察される。

最後に、本試験の実施に御協力頂いた運輸省港湾局、運輸省第一港湾建設局、運輸省第二港湾建設局、運輸省港湾技術研究所の関係各位に厚く御礼申し上げます。

(1976年6月30日受付)

#### 参考文献

- 1) 善一章, 阿部正美: 港湾環境における耐食鋼の耐食性調査, 港研報告, Vol. 14, No. 3, p.109～p.179 (1975).

付表3-1 新潟における鋼材片試験結果(重量測定による)

鋼種: SS50

鋼材表面	腐食環境	鋼材片No	初期重量(g)	4.5年後 <sup>*</sup> の重量(g)	重量減量		腐食速度(mm/yr)	平均腐食速度(mm/yr)	標準偏差(mm)
					(g)	(g/dm <sup>2</sup> )			
黒皮	陸上 大気中	145	231.54	183.0356	48.50	48.24	0.136	0.094	0.065
		146	231.22	210.53	20.69	20.58	0.058		
		147	233.70	211.72	21.98	21.86	0.062		
		148	233.62	215.05	18.57	18.47	0.052		
		149	232.52	215.74	16.78	16.69	0.047		
		150	233.62	215.80	17.82	17.72	0.050		
		151	230.86	175.1600	55.70	55.40	0.157		
		152	232.38	160.9770	71.40	71.02	0.201		
		153	232.58	216.22	16.36	16.27	0.046		
		154	231.94	166.5920	65.35	65.00	0.184		
		155	232.22	213.75	18.47	18.37	0.052		
		156	233.00	213.77	19.23	19.13	0.054		
		157	232.22	213.89	18.33	18.23	0.052		
		158	231.90	213.84	18.06	17.96	0.051		
		159	231.48	144.1200	87.36	86.89	0.246		
		160	234.58	217.27	17.31	17.22	0.049		
ショット	陸上 大気中	205	179.7590	163.1434	16.6156	16.92	0.048	0.050	0.004
		206	200.80	182.6116	18.19	18.52	0.052		
		207	199.2792	184.3652	14.9140	15.19	0.043		
		208	203.30	187.1790	16.12	16.42	0.046		
		209	205.00	189.5772	15.42	15.71	0.044		
		210	204.44	188.2874	16.15	16.45	0.047		
		211	204.70	189.2840	15.42	15.70	0.044		
		212	213.02	196.0682	16.95	17.26	0.049		
		213	216.68	199.3102	17.37	17.69	0.050		
		214	211.94	193.6680	18.27	18.61	0.053		
		215	193.7970	176.2740	17.5230	17.84	0.050		
		216	214.72	197.1722	17.55	17.87	0.051		
		217	210.30	192.6472	17.65	17.98	0.051		
		218	200.22	181.6810	18.54	18.88	0.053		
219	201.06	181.5548	19.51	19.86	0.056				
220	192.9452	172.5980	20.3472	20.72	0.059				

\* 昭和41年10月~昭和46年5月

付表3-2 新潟港における鋼材片試験結果(肉厚測定による)

鋼種:SS50

鋼材表面	腐食環境	鋼材片No	初期肉厚(mm)	4.5年後の肉厚(mm)	肉厚減量(mm)	腐食速度(mm/yr)	平均腐食速度(mm/yr)	標準偏差(mm)
黒皮	陸上 大気中	145	7.932	6.364	1.568	0.174	0.097	0.123
		146	7.990	7.579	0.411	0.046		
		147	7.915	7.507	0.408	0.045		
		148	7.921	7.626	0.295	0.033		
		149	7.952	7.664	0.288	0.032		
		150	7.890	7.530	0.360	0.040		
		151	7.887	6.255	1.632	0.181		
		152	7.902	5.472	2.430	0.270		
		153	7.935	7.660	0.275	0.031		
		154	7.898	5.785	2.113	0.235		
		155	7.962	7.742	0.220	0.024		
		156	7.931	7.597	0.334	0.037		
		157	7.926	7.672	0.254	0.028		
		158	7.931	7.555	0.376	0.042		
		159	7.884	5.119	2.765	0.307		
		160	7.930	7.656	0.274	0.030		
ショット	陸上 大気中	205	6.077	5.760	0.317	0.035	0.028	0.005
		206	6.719	6.462	0.257	0.029		
		207	6.748	6.557	0.191	0.021		
		208	6.863	6.650	0.213	0.024		
		209	6.850	6.544	0.306	0.034		
		210	6.854	6.602	0.252	0.028		
		211	6.920	6.700	0.220	0.024		
		212	7.150	6.911	0.239	0.027		
		213	7.316	7.099	0.217	0.024		
		214	7.098	6.929	0.169	0.019		
		215	6.542	6.264	0.278	0.031		
		216	7.161	6.898	0.263	0.029		
		217	7.094	6.881	0.213	0.024		
		218	6.744	6.469	0.275	0.031		
219	6.750	6.485	0.265	0.029				
220	6.516	6.156	0.360	0.040				



付表3-3 新潟港における鋼材片試験結果 (重量測定による)

鋼種: SYII

鋼材表面	腐食環境	鋼材片 No.	初期重量 (g)	4.5年後 の重量 (g)	重量減量		腐食速度 (mm/yr)	平均 腐食速度 (mm/yr)	標準偏差 (mm)
					(g)	(g/dm <sup>2</sup> )			
黒皮	地上	345	189.6066	164.8682	24.7384	25.5298	0.072	0.080	0.024
		346	186.3650	164.7378	21.6272	22.3191	0.063		
		347	185.5642	166.7586	18.8056	19.4072	0.055		
		348	188.3390	164.9554	23.3836	24.1317	0.068		
		349	185.0250	166.4024	18.6226	19.2184	0.054		
		350	196.8652	165.3150	31.5502	32.5595	0.092		
		351	197.0014	160.0080	36.9934	38.1769	0.108		
		352	191.7456	167.0966	24.6490	25.4376	0.072		
		353	187.6940	167.0144	20.6796	21.3412	0.060		
		354	197.0066	169.1452	27.8614	28.7527	0.081		
		355	191.5922	165.6228	25.9694	26.8002	0.076		
		356	196.4310	143.2884	53.1426	54.8427	0.155		
		357	192.5430	165.8888	26.6542	27.5069	0.078		
		358	196.8076	170.3778	26.4298	27.2753	0.077		
		359	191.5576	165.8964	25.6612	26.4821	0.075		
		360	192.2438	161.3236	30.9202	31.9094	0.090		
ショット	地上	405	141.5930	124.1778	17.4152	18.9090	0.053	0.062	0.010
		406	144.9480	125.3022	19.6458	21.3309	0.060		
		407	145.1020	127.8358	17.2662	18.7472	0.053		
		408	147.0200	124.1900	22.8300	24.7883	0.070		
		409	144.3300	120.9340	23.3960	25.4028	0.072		
		410	139.6800	116.7394	22.9406	24.9084	0.070		
		411	141.2632	122.8554	18.4078	19.9868	0.057		
		412	141.2436	112.5080	28.7356	31.2004	0.088		
		413	142.4630	124.7472	17.7158	19.2354	0.054		
		414	142.7374	123.1704	19.5670	21.2454	0.060		
		415	146.3988	127.3970	19.0018	20.6317	0.058		
		416	146.9954	127.4798	19.5156	21.1896	0.060		
		417	146.6164	123.9480	22.6684	24.6128	0.070		
		418	143.2530	127.7732	15.4798	16.8076	0.048		
419	143.8920	125.1220	18.7700	20.3800	0.058				
420	138.6690	116.7400	21.9290	23.8100	0.067				

付表3-4 新潟港における鋼材片の試験結果 (肉厚測定による)

鋼種: SYII

鋼材表面	腐食環境	鋼材片 No	初期肉厚 (mm)	4.5年後 の肉厚 (mm)	肉厚減量 (mm)	腐食速度 (mm/yr)	平均 腐食速度 (mm/yr)	標準偏差 (mm)
黒皮	地上	345	6.419	5.610	0.809	0.090	0.090	0.037
		346	6.452	5.878	0.574	0.064		
		347	6.250	5.752	0.498	0.055		
		348	6.414	5.737	0.677	0.075		
		349	6.240	5.854	0.386	0.043		
		350	6.546	5.446	1.100	0.122		
		351	6.507	5.258	1.249	0.139		
		352	6.538	5.966	0.572	0.064		
		353	6.263	5.730	0.533	0.059		
		354	6.554	5.750	0.804	0.089		
		355	6.498	5.422	1.076	0.120		
		356	6.542	4.852	1.690	0.188		
		357	6.490	5.588	0.902	0.100		
		358	6.485	5.800	0.685	0.076		
		359	6.506	6.013	0.493	0.055		
		360	6.466	5.517	0.949	0.105		
ショット	地上	405	4.674	4.376	0.298	0.033	0.045	0.015
		406	4.689	4.354	0.335	0.037		
		407	4.691	4.372	0.319	0.035		
		408	4.760	4.340	0.420	0.047		
		409	4.672	4.244	0.428	0.048		
		410	4.544	4.008	0.536	0.060		
		411	4.578	4.268	0.310	0.034		
		412	4.584	3.763	0.821	0.091		
		413	4.616	4.272	0.344	0.038		
		414	4.650	4.230	0.420	0.047		
		415	4.735	4.291	0.444	0.049		
		416	4.754	4.350	0.404	0.045		
		417	4.751	4.278	0.473	0.053		
		418	4.645	4.404	0.241	0.027		
419	4.694	4.419	0.275	0.031				
420	4.502	4.074	0.428	0.048				

付表6-1 昭和43年回収分の陽極消耗量

陽極のNo	陽極のタイプ	内芯の長さ、直徑		溶接鉄筋の長さ直徑	現有重量	内芯の重量	溶接鉄筋の重量	内芯+溶接鉄筋重量	現有重量-鉄筋重量	陽極溶解量 (陽極初期重量-現有重量)	陽極取付年度	合計溶解量	取付期間	
		(cm)	呼称											
2-1	A-16	94.0	D10	7.5	5.77	0.94	0.075	0.604	5.77-0.604=5.166	61-5.166=0.934	S. 4.0取付		3	
2-2	L-12	221.0	"	1.78	4.44	2.210	0.178	1.440	4.44-1.440=3.000	38-3.000=0.800	S. 4.1取付		2	
2-3	L-12	218.5	"	1.88	4.89	2.185	0.188	1.437	4.89-1.437=3.453	38-3.453=0.347	S. 4.1取付		2	
2-4	L-12	220.7	"	1.96	5.02	2.207	0.196	1.457	5.02-1.457=3.563	38-3.563=0.237	S. 4.1取付		2	
5-1	A-16	94.0	D10	7.8	5.73	0.94	0.078	0.607	5.73-0.607=5.123	61-5.123=0.977	S. 4.0取付		3	
5-2	L-12	219.5	"	1.73	4.67	2.195	0.173	1.426	4.67-1.426=3.244	38-3.244=0.556	S. 4.1取付		2	
5-3	L-12	218.0	"	1.71	4.66	2.180	0.171	1.416	4.66-1.416=3.244	38-3.244=0.556	S. 4.1取付		2	
5-4	L-12	217.5	"	1.63	4.79	2.175	0.163	1.405	4.79-1.405=3.385	38-3.385=0.415	S. 4.1取付		2	
8-1	SA-3	119.8	D13	2.5	6.36	1.198	0.025	1.231	6.36-1.231=5.129	65-5.129=0.971	S. 4.0取付		3	
8-2	SC-1	119.0	"	ナシ	3.93	1.190	ナシ	1.184	3.93-1.184=2.746	33-2.746=0.554	S. 4.1取付		2	
8-3	SC-1	119.0	"	ナシ	3.94	1.190	ナシ	1.184	3.94-1.184=2.756	33-2.756=0.544	S. 4.1取付		2	
8-4	SC-1	119.5	"	3.0	4.03	1.195	0.03	1.219	4.03-1.189=2.811	33-2.811=0.489	S. 4.1取付		2	
11-1	SA-3	120.0	D13	ナシ	6.42	1.200	ナシ	1.194	6.42-1.194=5.226	65-5.226=0.974	S. 4.0取付		3	
11-2	SC-1	119.5	"	1.9	3.67	1.195	0.019	1.209	3.67-1.209=2.461	33-2.461=0.839	S. 4.1取付		2	
11-3	SC-1	119.5	"	ナシ	4.24	1.195	ナシ	1.189	4.24-1.189=3.051	33-3.051=0.249	S. 4.1取付		2	
11-4	SC-1	119.5	"	3.0	3.78	1.195	0.030	1.236	3.78-1.236=2.514	33-2.544=0.756	S. 4.1取付		2	
14-1	A-16	94.0	D10	17.5φ16	5.45	0.94	0.175	0.896	5.45-0.896=4.554	61-4.554=1.546	S. 4.0取付		3	
14-2	L-12	219.5	"	1.77	3.58	2.195	0.177	1.413	3.58-1.413=2.167	38-2.167=1.633	S. 4.1取付		2	
14-3	L-12	219.5	"	1.75	4.36	2.195	0.175	1.411	4.36-1.411=2.949	38-2.949=0.851	S. 4.1取付		2	
14-4*	L-12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
17-1	A-16	94.0	D10	8.0	5.84	0.94	0.08	0.609	5.84-0.609=5.231	61-5.231=0.869	S. 4.0取付		3	
17-2	L-12	219.5	"	1.66	4.72	2.195	0.166	1.418	4.72-1.418=3.302	38-3.302=0.498	S. 4.1取付		2	
17-3	L-12	220.0	"	1.90	5.10	2.200	0.190	1.447	5.10-1.447=3.653	38-3.653=0.147	S. 4.1取付		2	
17-4	L-12	216.5	"	1.40	4.94	2.165	0.140	1.375	4.94-1.375=3.565	38-3.565=0.235	S. 4.1取付		2	
20-1	SA-3	120.5	D13	1.58	6.17	1.205	0.158	1.448	6.17-1.448=4.722	65-4.722=1.778	S. 4.0取付		3	
20-2	SC-1	117.8	"	ナシ	3.90	1.178	ナシ	1.172	3.90-1.172=2.728	33-2.728=0.572	S. 4.1取付		2	
20-3	SC-1	110.5	D10	1.00	1.84	1.105	0.100	0.433	1.84-0.433=1.407	33-1.407=1.893	S. 4.1取付		2	
20-4	SC-1	120.5	D13	ナシ	4.20	1.205	ナシ	1.199	4.20-1.199=3.001	33-3.001=0.299	S. 4.1取付		2	
23-1	SA-3	119.5	D13	ナシ	5.91	1.195	ナシ	1.189	5.91-1.189=4.721	65-4.721=1.779	S. 4.0取付		3	
23-2	SC-1	119.0	"	2.8	4.19	1.190	0.028	1.228	4.19-1.228=2.962	33-2.962=0.338	S. 4.1取付		2	
23-3	SC-1	119.0	"	ナシ	4.16	1.190	ナシ	1.184	4.16-1.184=2.976	33-2.976=0.324	S. 4.1取付		2	
23-4	SC-1	119.0	"	ナシ	4.06	1.190	ナシ	1.184	4.06-1.184=2.876	33-2.876=0.424	S. 4.1取付		2	
26	52-T	"	"	11.04	9.747	"	11.04	2.916	9.747-2.916=6.831	23.6-6.831=16.769	S. 4.0取付		3	
28	52-T	"	"	11.75	9.696	"	11.75	3.029	9.696-3.029=6.667	23.6-6.667=16.933	S. 4.0取付		3	
31-1	A-16	94.0	D10	8.0	6.12	0.94	0.08	0.609	6.12-0.609=5.511	61-5.511=0.589	1個はS. 4.0年取付		3	
31-2	A-16	94.0	"	18.0φ16, 18.0φ13	6.00	0.94	0.18	0.997	6.00-0.997=5.003	61-5.003=1.097	4.0年取付		2	
31-3	L-12	220.0	"	18.2	5.16	2.200	0.182	1.438	5.16-1.438=3.722	38-3.722=0.078	3個はS. 4.1年取付		2	
31-4*	A-16	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
34-1	SA-3	118.4	D13	1.8	6.12	1.184	0.018	1.206	6.12-1.206=4.914	65-4.914=1.586	同		2	
34-2	SA-3	120.5	"	3.0	6.22	1.205	0.030	1.246	6.22-1.246=4.974	65-4.974=1.526	同		2	
34-3	SA-3	120.5	"	1.29	6.01	1.205	0.129	1.403	6.01-1.403=4.607	65-4.607=1.893	同		2	
34-4	SC-1	117.8	"	0.5	3.76	1.178	0.205	1.180	3.76-1.180=2.580	33-2.580=0.720	同		2	
32-1	SA-3	129.5	D13	2.38	1.76	1.295	0.238	1.665	1.76-1.665=0.095	65-0.095=6.405	S. 4.1取付		6.5	
32-2	A-16	93.8	D10	8.4φ13, 18.8φ16	1.38	0.938	0.084	0.909	1.38-0.909=0.471	61-0.471=5.629	S. 4.1取付		6.5	

\*は回収時にすでに脱落しており回収出来なかった陽極を示す。合計溶解量は脱落した陽極の溶解量を含んでいない。No.3, 2-1, 2は日航へ取付けた陽極である(S. 4.7回収)。

付表6-2 昭和46年回収分の陽極消耗量

陽極のNo	陽極タイプ	内芯の長さ、直径		溶接鉄筋の長さ、直径	現有重量	内芯の重量	溶接鉄筋の重量	内芯+溶接鉄筋重量	現有重量-鉄筋重量	陽極溶解量 (陽極初期重量-現有重量)	陽極取付年度	合計溶解量	取付期間
		(cm)	呼称										
3-1*	A-16	1810	D10	ナシ	292	181 × 0.560 = 101.4	ナシ	101.4	292 - 101.4 = 190.6	38 - 190.6 = 189.4	S. 40 取付	5.841	5
3-2	L-12	160.7	D10	93	294	160.7 × 0.560 = 90.0	ナシ	0.997	294 - 0.997 = 1.943	38 - 1.943 = 185.7	S. 41 取付	5	5
3-3	L-12	184.0	D10	ナシ	274	184.0 × 0.560 = 103.0	ナシ	103.0	274 - 103.0 = 171.0	38 - 171.0 = 209.0	S. 41 取付	5	5
6-1*	A-16	156.0	D10	ナシ	271	156.0 × 0.560 = 87.4	ナシ	0.874	271 - 0.874 = 183.6	38 - 183.6 = 196.4	S. 40 取付 S. 41 取付	1.964	5
6-2	L-12												
6-3*	L-12												
6-4*	L-12												
9-1	SA-3	109.3	D13	ナシ	514	109.3 × 0.995 = 108.8	ナシ	108.8	514 - 108.8 = 405.2	6.5 - 405.2 = 244.8	S. 40 取付	7.630	6
9-2	SC-1	108.0	D13	ナシ	203	108.0 × 0.995 = 107.5	ナシ	107.5	203 - 107.5 = 95.5	3.3 - 95.5 = 234.5	S. 41 取付	5	5
9-3	SC-1	109.0	D13	ナシ	286	109.0 × 0.995 = 108.5	ナシ	108.5	286 - 108.5 = 177.5	3.3 - 177.5 = 152.5	S. 41 取付	5	5
9-4	SC-1	115.8	D13	ナシ	314	115.8 × 0.995 = 115.2	ナシ	115.2	314 - 115.2 = 198.8	3.3 - 198.8 = 131.2	S. 41 取付	5	5
12-1*	SA-3												
12-2	SC-1	121.5	D13	ナシ	222	121.5 × 0.995 = 120.9	ナシ	120.9	222 - 120.9 = 101.1	3.3 - 101.1 = 228.9	S. 40 取付	5.562	5
12-3	SC-1	103.0	D13	ナシ	312	103.0 × 0.995 = 102.5	ナシ	102.5	312 - 102.5 = 209.5	3.3 - 209.5 = 120.5	S. 41 取付	5	5
12-4	SC-1	109.3	D13	ナシ	232	109.3 × 0.995 = 108.8	ナシ	108.8	232 - 108.8 = 123.2	3.3 - 123.2 = 206.8	S. 41 取付	5	5
15-1	A-16	94.0	D10	40.7	578	94.0 × 0.560 = 52.6	ナシ	116.9	578 - 116.9 = 461.1	6.1 - 461.1 = 148.9	S. 40 取付	4.072	6
15-2	L-12	150.8	D10	5.7	212	150.8 × 0.560 = 84.4	ナシ	0.903	212 - 0.903 = 121.7	3.8 - 121.7 = 258.3	S. 41 取付	5	5
15-3*	L-12												
15-4*	L-12												
18-1	A-16	94.0	D10	28.0	396	94.0 × 0.560 = 52.6	ナシ	0.968	396 - 0.968 = 299.2	6.1 - 299.2 = 310.8	S. 40 取付	6.172	6
18-2	L-12	150.8	D10	ナシ	1.58	150.8 × 0.560 = 84.4	ナシ	0.844	1.58 - 0.844 = 0.736	3.8 - 0.736 = 306.4	S. 41 取付	5	5
18-3*	L-12												
18-4*	L-12												
21-1	SA-3	113.5	D13	ナシ	320	113.5 × 0.995 = 112.9	ナシ	112.9	320 - 112.9 = 207.1	6.5 - 207.1 = 442.9	S. 40 取付	9.735	6
21-2	SC-1	121.5	D13	ナシ	299	121.5 × 0.995 = 120.9	ナシ	120.9	299 - 120.9 = 178.1	3.3 - 178.1 = 151.9	S. 41 取付	5	5
21-3	SC-1	115.5	D13	ナシ	312	115.5 × 0.995 = 114.9	ナシ	114.9	312 - 114.9 = 197.1	3.3 - 197.1 = 132.9	S. 41 取付	5	5
21-4	SC-1	105.3	D13	ナシ	189	105.3 × 0.995 = 104.8	ナシ	104.8	189 - 104.8 = 84.2	3.3 - 84.2 = 245.8	S. 41 取付	5	5
24-1	SA-3	123.5	D13	ナシ	549	123.5 × 0.995 = 122.9	ナシ	122.9	549 - 122.9 = 426.1	6.5 - 426.1 = 223.9	S. 40 取付	7.078	6
24-2	SC-1	110.8	D13	ナシ	297	110.8 × 0.995 = 110.2	ナシ	110.2	297 - 110.2 = 186.8	3.3 - 186.8 = 143.2	S. 41 取付	5	5
24-3	SC-1	129.8	D13	10.0	311	129.8 × 0.995 = 129.2	ナシ	145.0	311 - 145.0 = 166.0	3.3 - 166.0 = 164.0	S. 41 取付	5	5
24-4	SC-1	131.5	D13	8.0	298	131.5 × 0.995 = 130.8	ナシ	144.7	298 - 144.7 = 153.3	3.3 - 153.3 = 176.7	S. 41 取付	5	5
27	52-T			143.8	535		ナシ	344.0	535 - 344.0 = 191.0	23.6 - 191.0 = 216.90	S. 40 取付	21.690	6
29	52-T			ナシ	188		ナシ	0.601	188 - 0.601 = 127.9	23.6 - 127.9 = 223.21	S. 40 取付	22.321	6
32-1	A-16	93.5	D10	8.4	482	93.5 × 0.560 = 52.4	ナシ	0.611	482 - 0.611 = 420.9	6.1 - 420.9 = 189.1		1.891	
32-2*	A-16												
32-3*	A-16												
32-4*	L-12												
35-1	SA-3	109.5	D13	ナシ	498	109.5 × 0.995 = 109.0	ナシ	109.0	498 - 109.0 = 389.0	6.5 - 389.0 = 261.0		6.930	
35-2	SA-3	116.5	D13	15.0	452	116.5 × 0.995 = 115.9	ナシ	1.396	452 - 1.396 = 312.4	6.5 - 312.4 = 337.6			
35-3*	SA-3												
35-4	SC-1	112.0	D13	ナシ	347	112.0 × 0.995 = 111.4	ナシ	111.4	347 - 111.4 = 235.6	3.3 - 235.6 = 0.944			

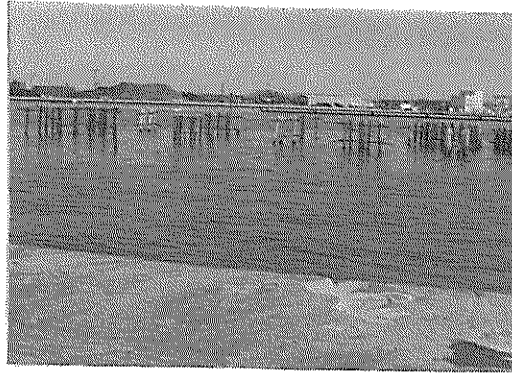
\*は回収時にすでに脱落しており回収出来なかった陽極を示す。合計溶解量は脱落した陽極の溶解量を含んでいない。

付表7-1 陽極より流出した防食電流密度 (S. 43回収分)

杭 No	陽極の タイプ	取付 期間 (yr)	防 食 面 積 (m <sup>2</sup> )			陽極溶 解量 (W) (kg)	Wの有効電氣量		防 食 電 流 密 度		
			海水中	海 泥 中	計		A・Y	A/Y	A/m <sup>2</sup>	mA/m <sup>2</sup>	
2	A-16	3	3.720	5.270	4.774	0.934	0.246	0.082	0.0172 <sup>1)</sup>	17.2 <sup>1)</sup>	
	L-12	2		5.270/5		0.800	0.211	0.105	0.264 <sup>2)</sup>		
	L-12	2		=1.054		0.347	0.091	0.046	4.774		5.53 <sup>2)</sup>
	L-12	2				0.237	0.062	0.031	=0.0553		
5	A-16	3	3.224	5.456	4.315	0.977	0.257	0.086	0.0199 <sup>1)</sup>	1.99 <sup>1)</sup>	
	L-12	2		5.456/5		0.556	0.146	0.073	0.287 <sup>2)</sup>		
	L-12	2		=1.091		0.556	0.146	0.073	4.315		6.65 <sup>2)</sup>
	L-12	2				0.415	0.109	0.055	=0.0665		
8	SA-3	3	3.348	5.456	4.439	1.971	0.519	0.173	0.0390 <sup>1)</sup>	3.90 <sup>1)</sup>	
	SC-1	2		5.456/5		0.554	0.146	0.073	0.383 <sup>2)</sup>		
	SC-1	2		=1.091		0.544	0.143	0.072	4.439		8.63 <sup>2)</sup>
	SC-1	2				0.489	0.129	0.065	=0.0863		
11	SA-3	3	2.852	5.332	3.918	1.274	0.335	0.112	0.0286 <sup>1)</sup>	2.86 <sup>1)</sup>	
	SC-1	2		5.332/5		0.839	0.221	0.111	0.356 <sup>2)</sup>		
	SC-1	2		=1.066		0.249	0.066	0.033	3.918		9.09 <sup>2)</sup>
	SC-1	2				0.756	0.199	0.100	=0.0909		
14	A-16	3	3.720	4.960	4.712	1.546	0.407	0.136	0.0289 <sup>1)</sup>	2.89 <sup>1)</sup>	
	L-12	2		4.960/5		1.633	0.430	0.215	0.463 <sup>2)</sup>		
	L-12	2		=0.992		0.851	0.224	0.112	4.712		9.83 <sup>2)</sup>
	L-12	2							=0.0983		
17	A-16	3	3.348	5.084	4.365	0.869	0.229	0.076	0.0174 <sup>1)</sup>	1.74 <sup>1)</sup>	
	L-12	2		5.084/5		0.498	0.131	0.066	0.193 <sup>2)</sup>		
	L-12	2		=1.017		0.147	0.039	0.020	4.365		4.42 <sup>2)</sup>
	L-12	2				0.235	0.062	0.031	=0.0442		
20	SA-3	3	3.472	5.332	4.538	1.778	0.468	0.156	0.0344 <sup>1)</sup>	3.44 <sup>1)</sup>	
	L-12	2		5.332/5		0.572	0.151	0.076	0.521 <sup>2)</sup>		
	L-12	2		=1.066		1.893	0.498	0.249	4.538		11.48 <sup>2)</sup>
	L-12	2				0.299	0.079	0.040	=0.1148		
23	SA-3	3	3.596	5.332	4.662	1.779	0.468	0.156	0.0335 <sup>1)</sup>	3.35 <sup>1)</sup>	
	L-12	2		5.332/5		0.338	0.089	0.045	0.300 <sup>2)</sup>		
	L-12	2		=1.066		0.324	0.085	0.043	4.662		6.44 <sup>2)</sup>
	L-12	2				0.424	0.112	0.056	=0.0644		
26	52-T	3	3.286	5.394/5 =1.079	4.365	16.769	2.096	0.699	0.1601 <sup>1)</sup>	160.1 <sup>1)</sup>	
28	52-T	3	2.976	5.270/5 =1.054	4.030	16.933	2.117	0.706	0.1752 <sup>1)</sup>	175.2 <sup>1)</sup>	
31	A-16		3.596	4.836	4.563	0.587	0.154				
	A-16			4.836/5		1.097	0.289				
	L-12			=0.967		0.078	0.021				
	A-16										
34	SA-3		3.224	5.456	4.315	1.586	0.417				
	SA-3			5.456/5		1.526	0.402				
	SA-3			=1.091		1.893	0.498				
	SA-3					0.720	0.189				
32 (H杭S.) (47回収)	SA-3	6.5	2.250	5.802	3.410	6.405	1.686	0.281	0.1548	15.48	
	A-16	6.5		5.802/5 =1.160		5.629	1.481	0.247			

付表7-2 陽極より流出した防食電流密度 (S. 46 回収分)

杭 No	陽極の タイプ	取付 期間 (yr)	防 食 面 積 (m <sup>2</sup> )			陽極溶 解量(W) (kg)	Wの有効電気量		防食電流密度				
			海水中	海 泥 中	計		A・Y	A/Y	A/m <sup>2</sup>	mA/m <sup>2</sup>			
3	A-16	6	3.348	5.332	4.414	—	0.498	0.100	0.309 <sup>2)</sup>	7.00 <sup>2)</sup>			
	L-12	5		5.332/5		1.894							
	L-12	5		=1.066		1.857							
	L-12	5		2.090		0.550					0.110	=0.0700	
6	A-16	6	3.224	5.332	4.290	—	0.517	0.103	0.103 <sup>2)</sup>	24.0 <sup>2)</sup>			
	L-12	5		5.332/5		1.964							
	L-12	5		=1.066		—							
	L-12	5		—		—					—	=0.0240	
9	SA-3	6	3.284	5.208	4.326	2.448	0.644	0.107	0.0247 <sup>1)</sup>	24.7 <sup>1)</sup>			
	SC-1	5		5.208/5		2.345	0.617	0.123	0.379 <sup>2)</sup>	87.6 <sup>2)</sup>			
	SC-1	5		=1.042		1.525	0.401	0.080	4.326				
	SC-1	5		—		1.312	0.345	0.069	=0.0876				
12	SA-3	6	3.224	5.208	4.266	—	0.602	0.120	0.292 <sup>2)</sup>	68.4 <sup>2)</sup>			
	SC-1	5		5.208/5		2.289							
	SC-1	5		=1.042		1.205					0.317	0.063	4.266
	SC-1	5		—		2.068					0.544	0.109	=0.0684
15	A-16	6	3.162	5.332	4.228	1.489	0.392	0.065	0.0154 <sup>1)</sup>	15.4 <sup>1)</sup>			
	L-12	5		5.332/5		2.583	0.680	0.136	0.201 <sup>2)</sup>	47.5 <sup>2)</sup>			
	L-12	5		=1.066		—	—	—	4.228				
	L-12	5		—		—	—	—	=0.0475				
18	A-16	6	3.224	5.270	4.278	3.108	0.818	0.136	0.0318 <sup>1)</sup>	3.18 <sup>1)</sup>			
	L-12	5		5.270/5		3.064	0.806	0.161	0.701 <sup>2)</sup>	163.9 <sup>2)</sup>			
	L-12	5		=1.054		3.840	1.011	0.202	4.278				
	L-12	5		—		3.840	1.011	0.202	=0.1639				
21	SA-3	6	3.844	4.960	4.836	4.429	1.166	0.194	0.0401 <sup>1)</sup>	40.1 <sup>1)</sup>			
	SC-1	5		4.960/5		1.519	0.400	0.080	0.473 <sup>2)</sup>	97.8 <sup>2)</sup>			
	SC-1	5		=0.992		1.329	0.350	0.070	4.836				
	SC-1	5		—		2.458	0.647	0.129	=0.0978				
24	SA-3	6	3.906	4.960	4.898	2.239	0.589	0.098	0.0200 <sup>1)</sup>	20.0 <sup>1)</sup>			
	SC-1	5		4.960/5		1.432	0.377	0.075	0.352 <sup>2)</sup>	71.9 <sup>2)</sup>			
	SC-1	5		=0.992		1.640	0.432	0.086	4.898				
	SC-1	5		—		1.767	0.465	0.093	=0.0719				
27	52-T	6	3.038	5.704 =1.141	4.179	2.1690	2.711	0.452	0.1082 <sup>1)</sup>	108.2 <sup>1)</sup>			
29	52-T	6	2.976	5.828 =1.166	4.142	2.2321	2.790	0.465	0.1123 <sup>1)</sup>	112.3 <sup>1)</sup>			
32	A-16		3.348	5.332	4.414	1.891	0.498						
	A-16			5.332/5		—							
	A-16			=1.066		—							
	L-12			—		—							
35	SA-3		3.472	5.270	4.526	2.610	0.687						
	SA-3			5.270/5		3.376	0.888						
	SA-3			=1.054		—							
	SC-1			—		0.944	0.248						



海上部



海上部H杭

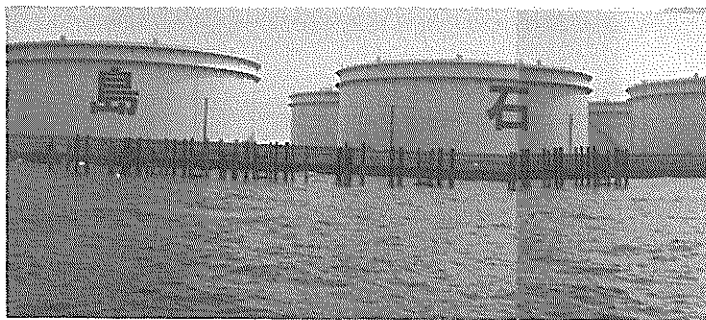


海上部矢板材



陸上部

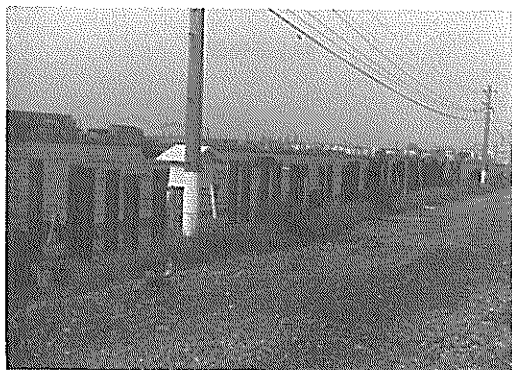
写真2-1 新潟港における試験材配置状況



海上部



海上部



陸上部



陸上部

写真2-2 京浜港における試験材配置状況



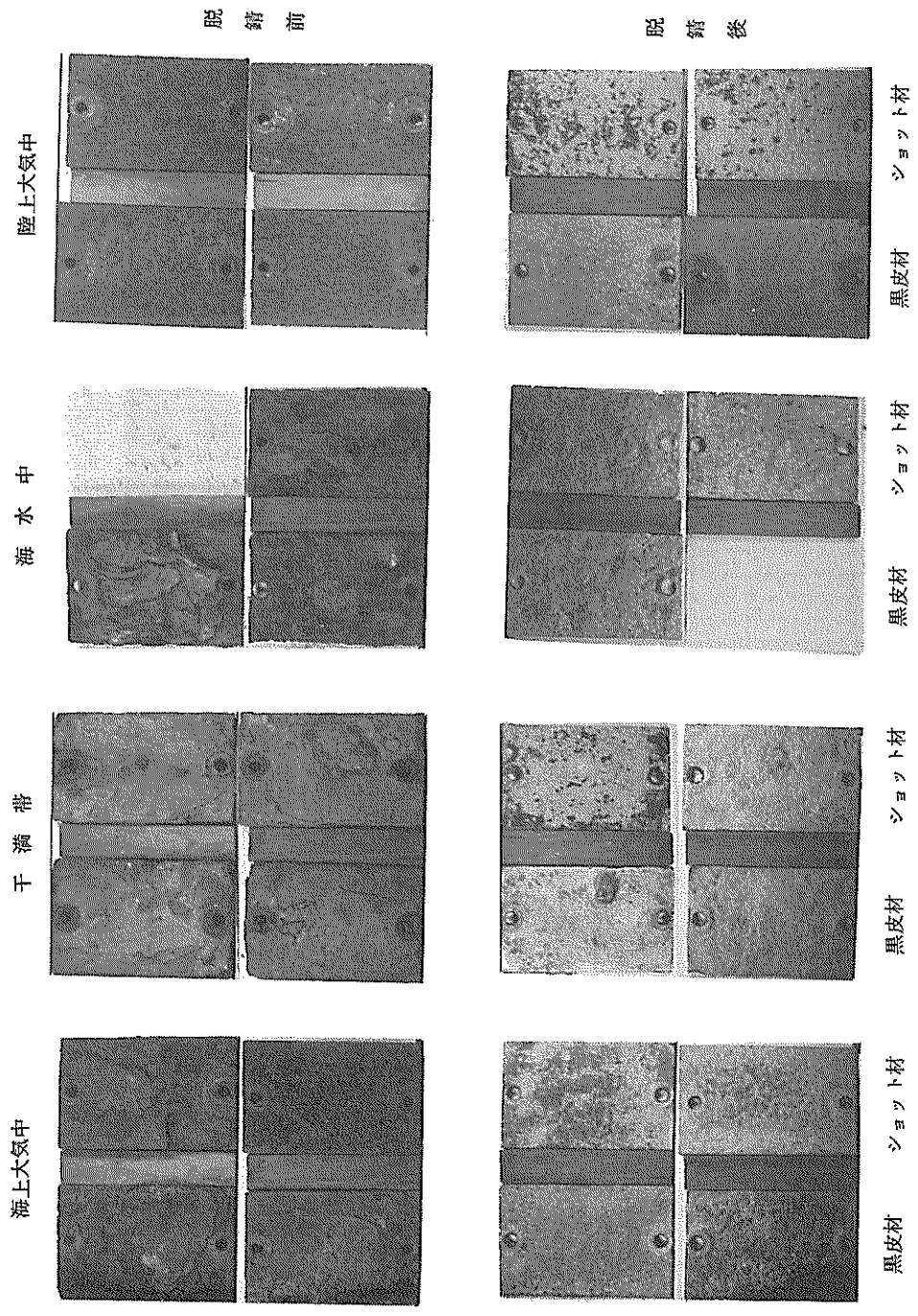
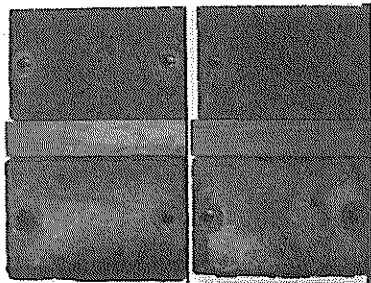
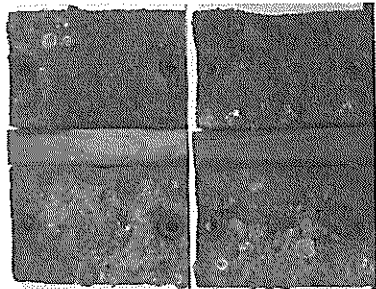


写真 3-1 新潟港における鋼材片の表面状況 (SS41)

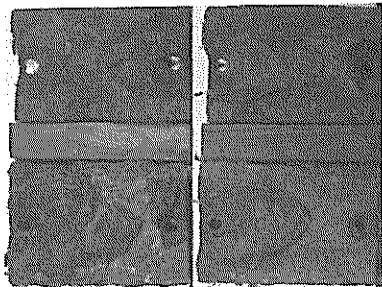
海上大気中



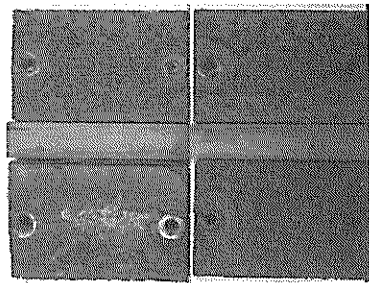
干潟帯



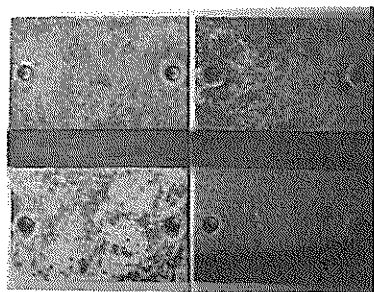
海中



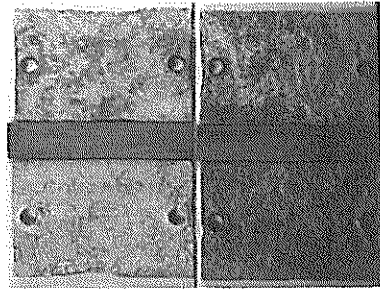
陸上大気中



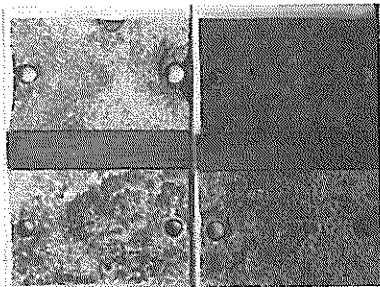
脱 錆 前



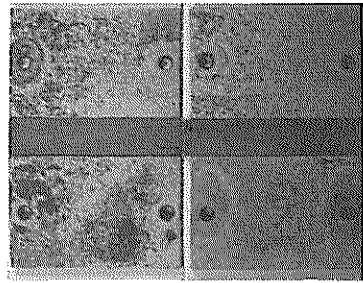
黒皮材  
ショット材



黒皮材  
ショット材



黒皮材  
ショット材



黒皮材  
ショット材

脱 錆 後

写真3-2 新潟港における鋼材片の表面状況 (SS50)

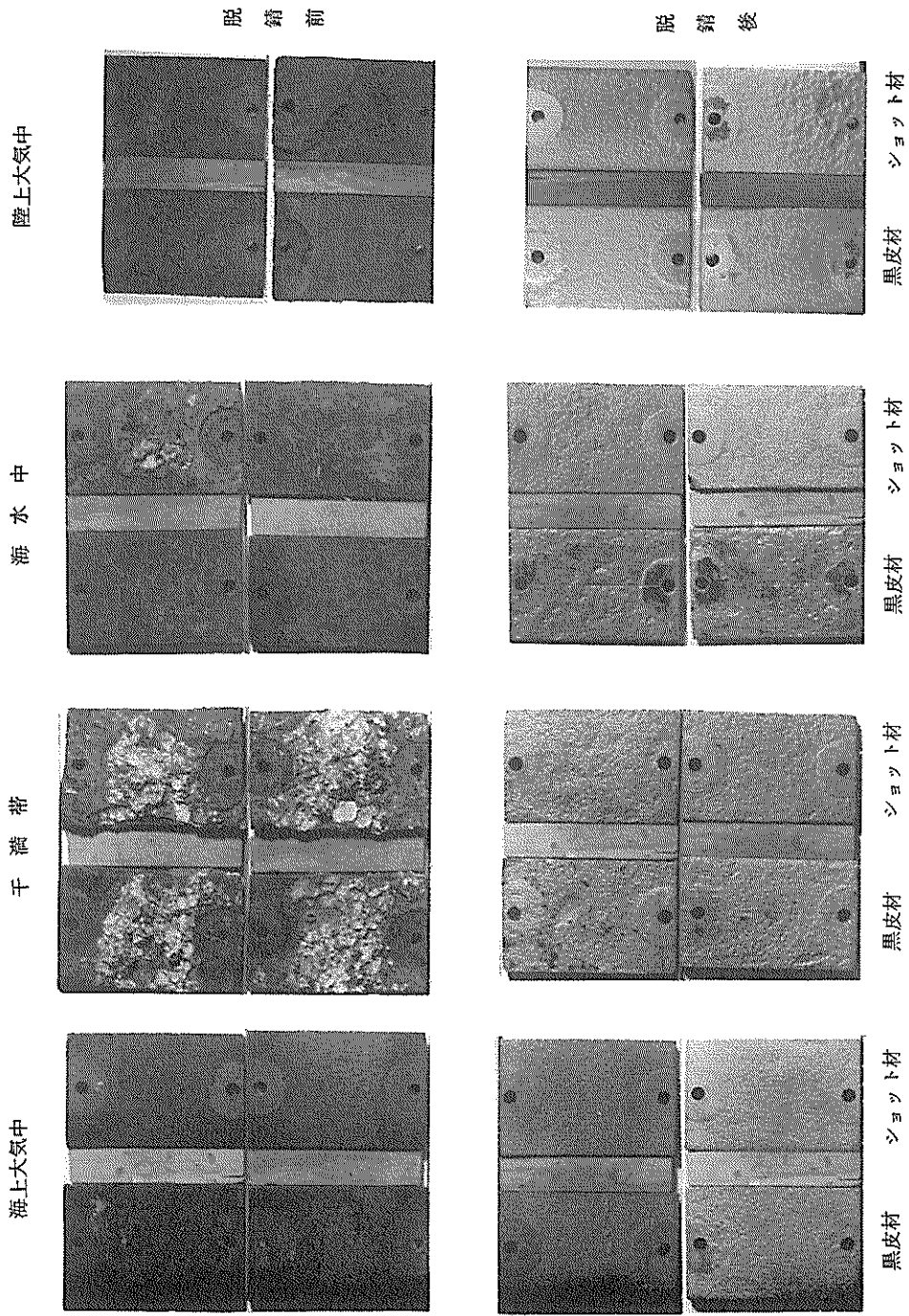
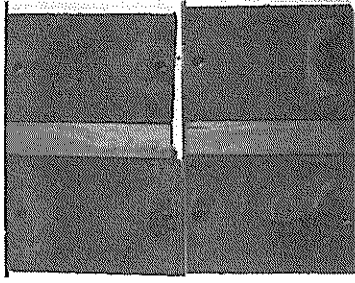


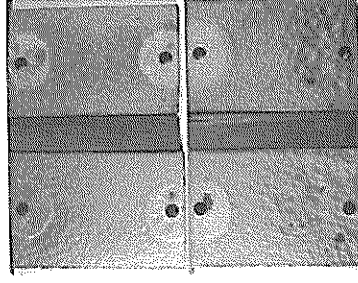
写真 3-3 京浜港における鋼材片の表面状況 (SS41)

陸上大気中



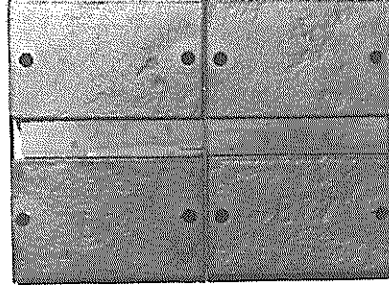
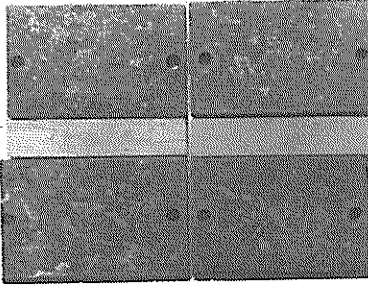
脱 錆 前

脱 錆 後



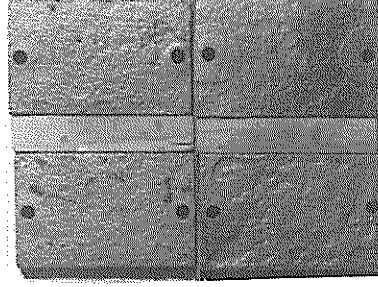
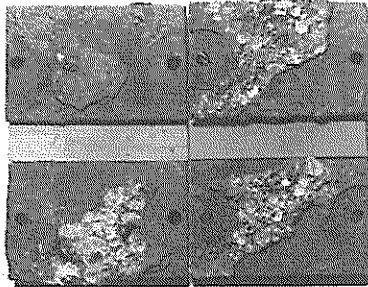
黒皮材 ショット材

海 水 中



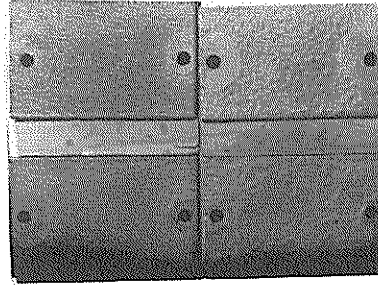
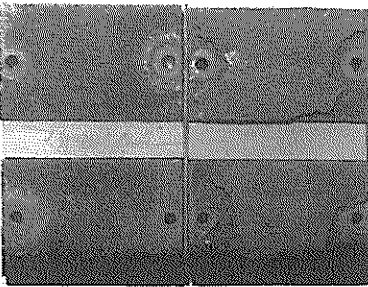
黒皮材 ショット材

干 満 帯



黒皮材 ショット材

海上大気中



黒皮材 ショット材

写真 3-4 京浜港における鋼材片の表面状況 (SS50)

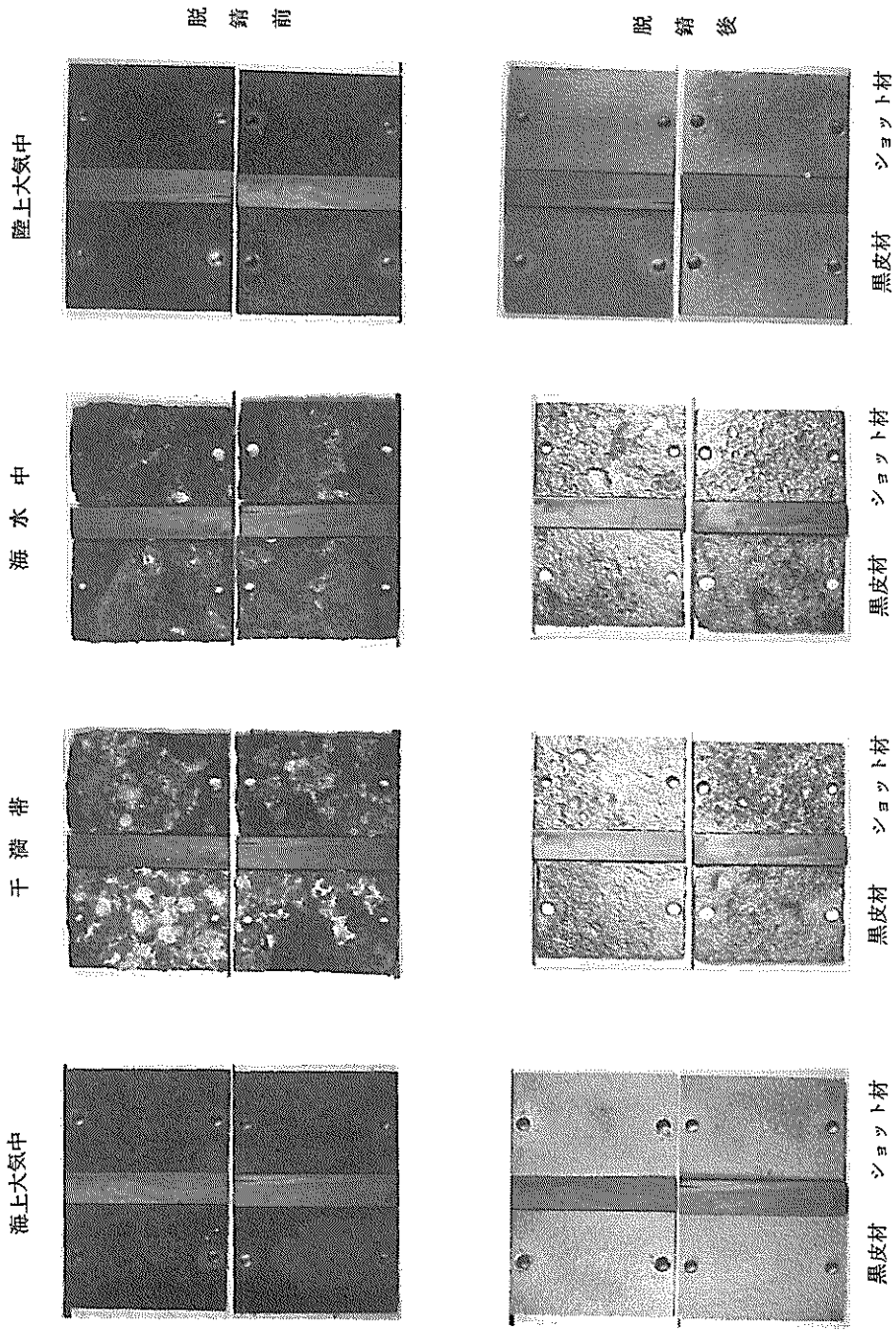
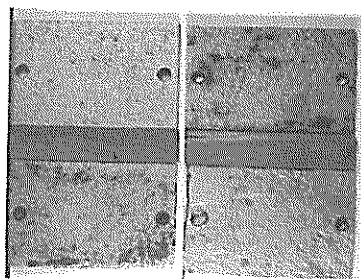


写真3-5 京浜港における鋼材片の表面状況 (SY-II)

SY-II

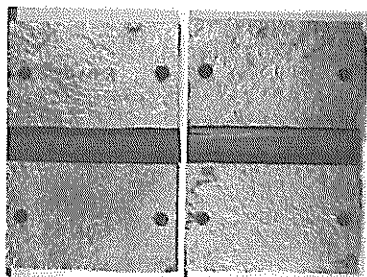


黒皮材

ショット材

陸土中 (上)

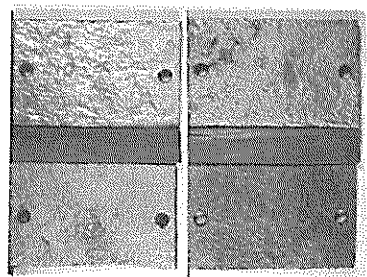
SS50



黒皮材

ショット材

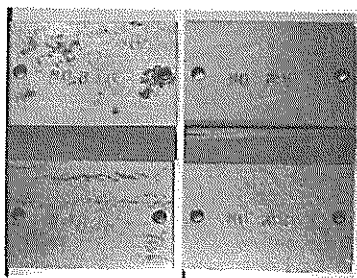
SS41



黒皮材

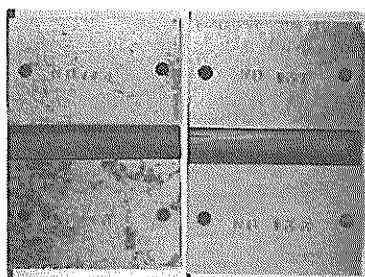
ショット材

陸土中 (下)



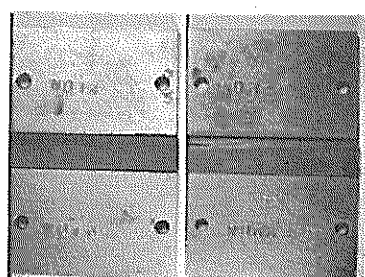
黒皮材

ショット材



黒皮材

ショット材



黒皮材

ショット材

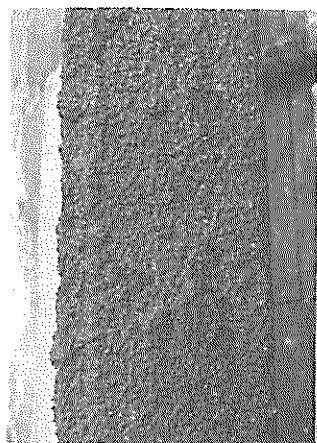
写真3-6 京浜港における鋼材片の表面状況 (脱錆後) (陸土中)



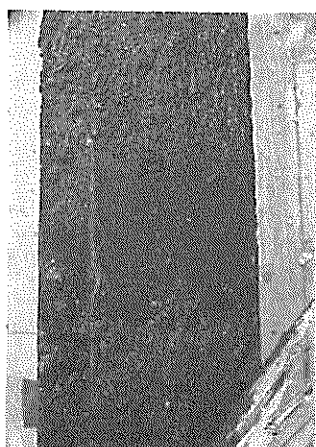
飛沫帯～干満帯付近



海水中（上）



海水中（下）

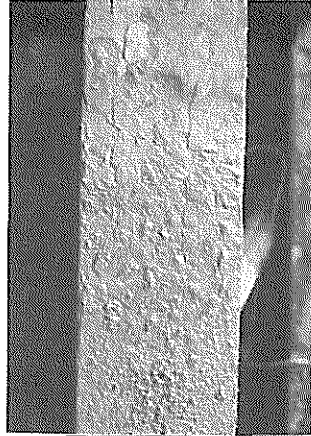
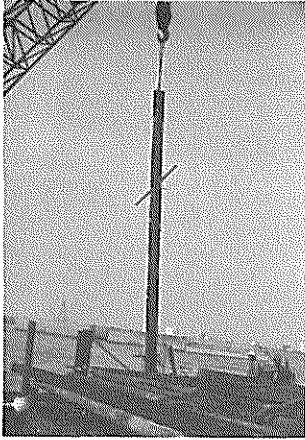


海水～海泥付近

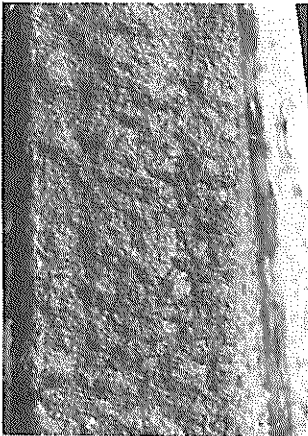


海泥中

写真4-1 新潟港海上H杭の表面状況（回収時）（SS41）



飛沫帯～干満帯付近



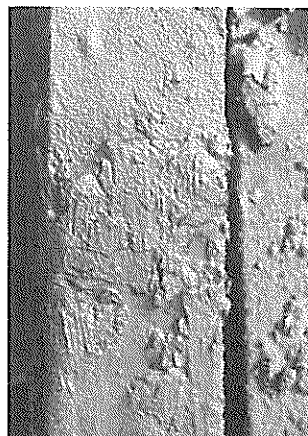
海水中（上）



海水中（下）



海水～海泥付近



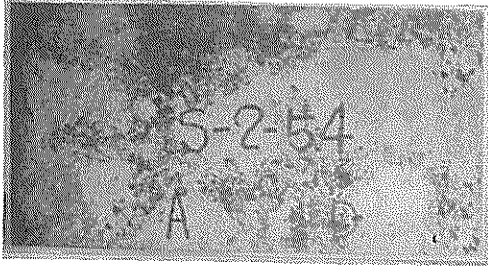
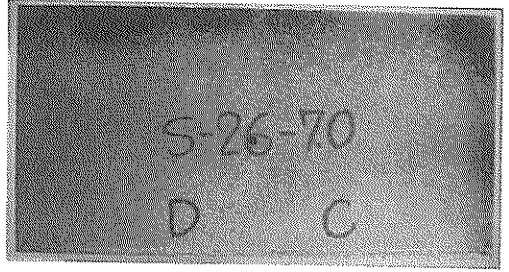
海 泥 中

写真4-2 新潟港海上H杭の表面状況（回収時）（SS50）

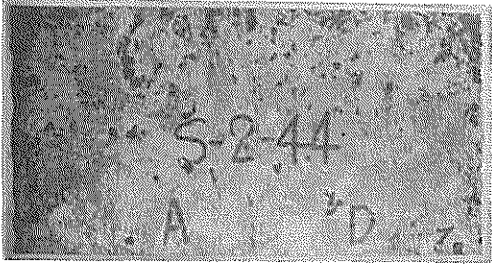
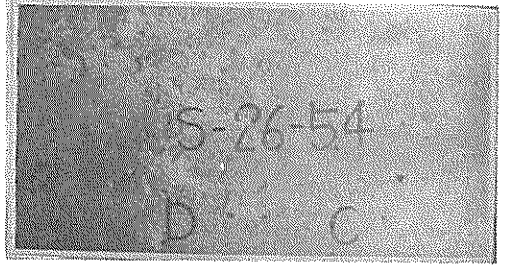




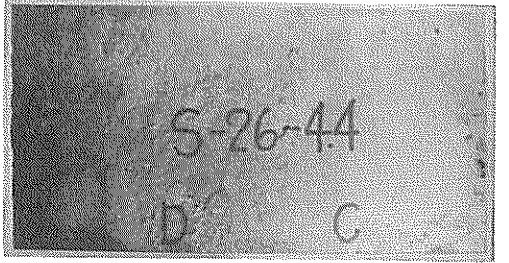
海上大気中



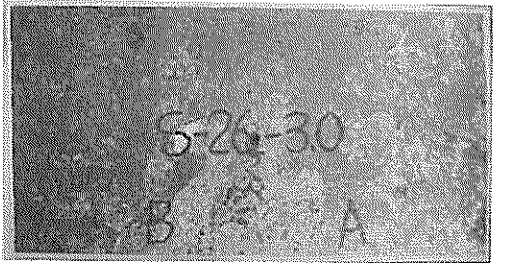
飛沫帯



海水中(上)



海水中(下)



海泥中



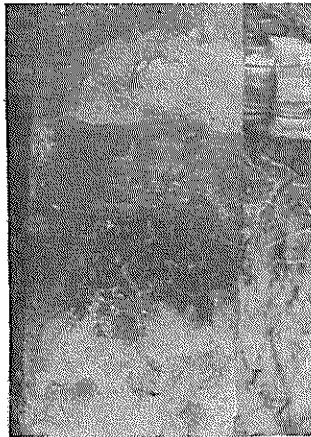
SS41

SS50

写真4-3 新潟港海上H杭の表面状況(脱錆後)



陸上大気中



地面付近



不飽和砂層中

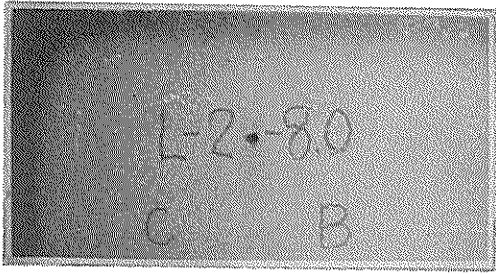


不飽和～飽和砂層付近

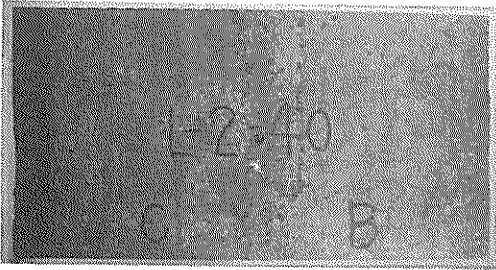
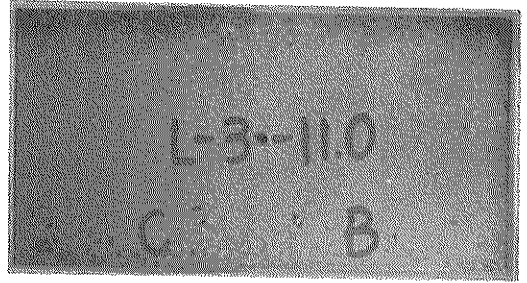


飽和砂層中

写真4-4 新潟港陸上H杭の表面状況（回収時）（SS41）



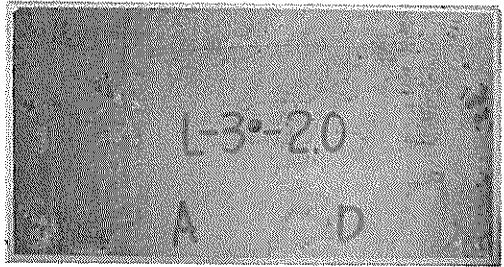
陸上  
大気中



不飽和  
砂層中



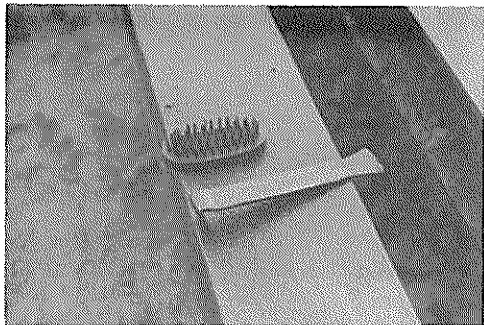
飽和  
砂層中



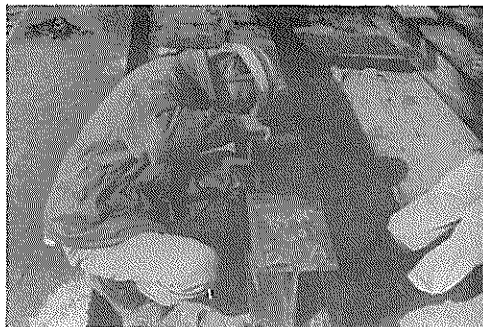
SS41 (No. 2)

SS41 (No. 3)

写真4-5 新潟港陸上H杭の表面状況 (脱錆後)



脱錆に用いたワイヤーブラシ，スケーラー



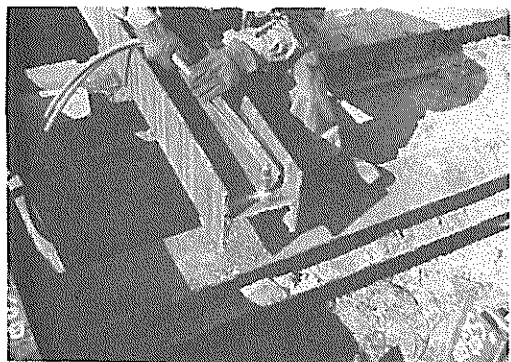
現地肉厚測定



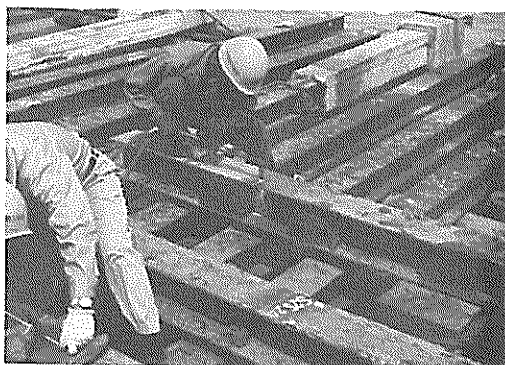
ガス切断寸法入れ



杭No. 深度の記入

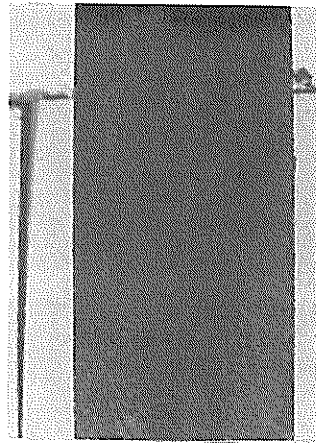


ガス切断



ガス切断

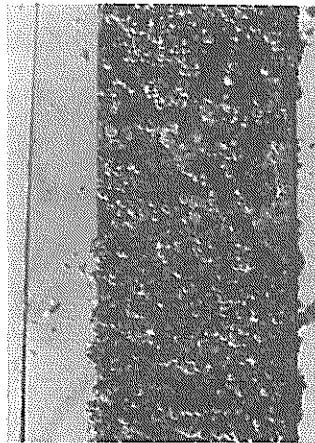
写真4-6 新潟港における作業状況



海上大気中



飛沫帯



干満帯



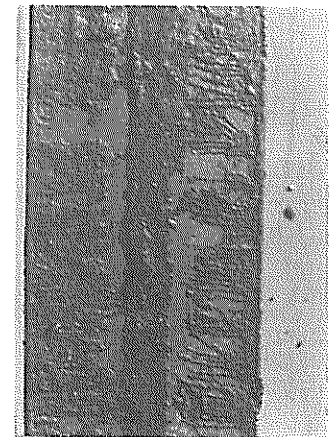
海水中(上)



海水中(下)

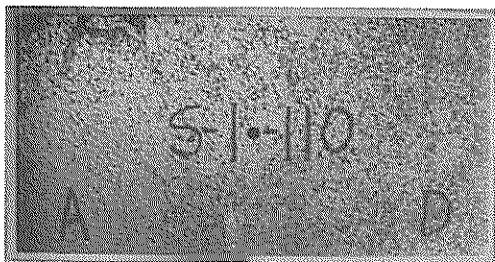


海水～海泥付近

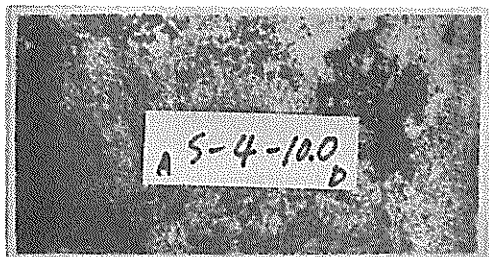


海泥中

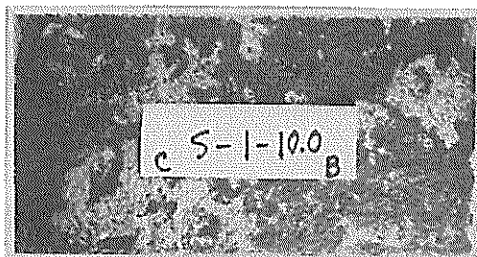
写真4-7 京浜港海上H杭の表面状況(回収時)(SS41)



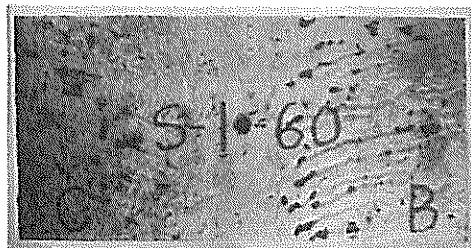
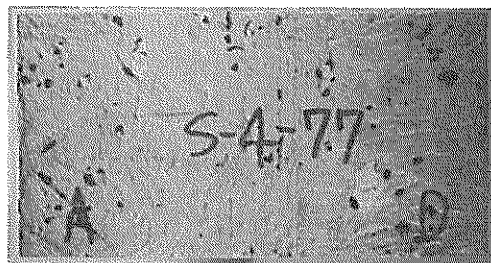
海上大気中



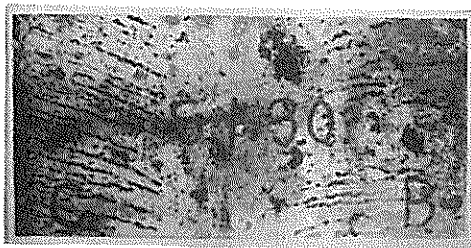
飛沫帯



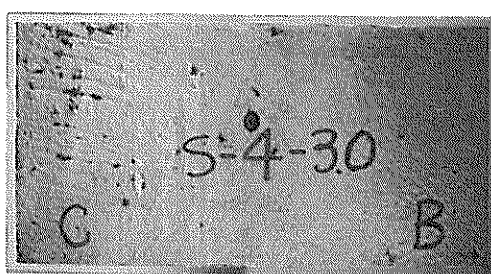
干満帯



海水中



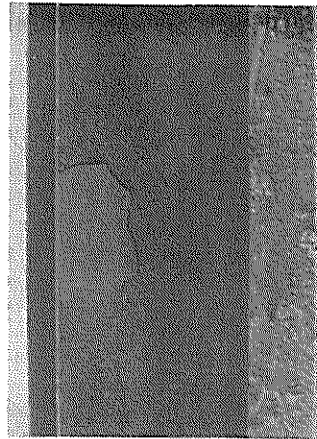
海泥中



SS41

SS50

写真4-8 京浜港海上杭の表面状況(脱錆後)



陸上大気中



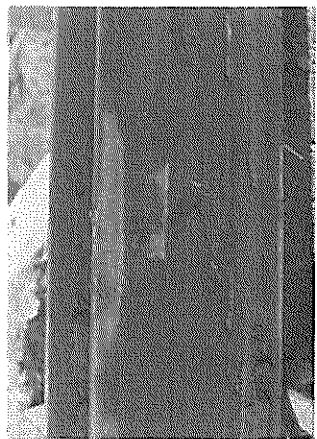
地面付近



不飽和砂層中

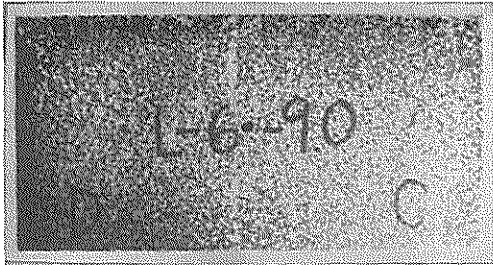


不飽和～飽和砂層付近

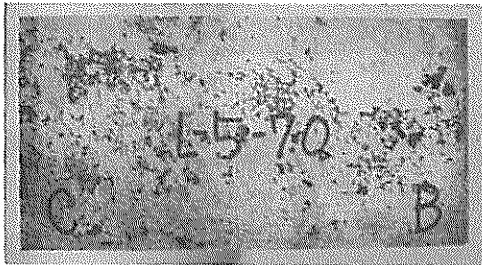
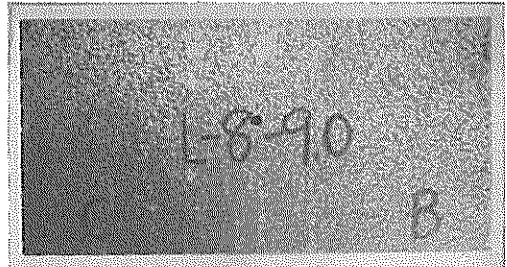


飽和砂層中

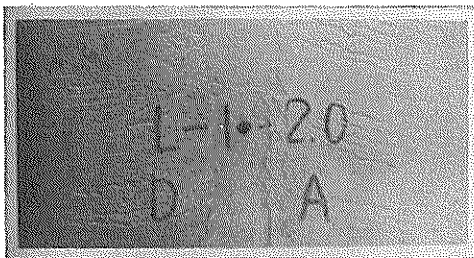
写真4-9 京浜港陸上H杭の表面状況（回収時）（SS41）



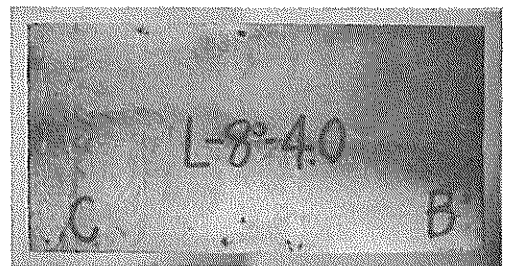
陸上  
大気中



不飽和  
砂層中



飽和  
砂層中



SS41

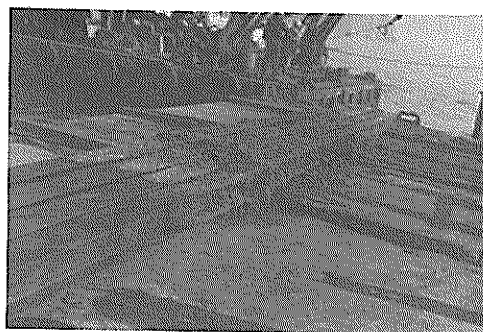
SS50

写真4-10 京浜港陸上H杭の表面状況（脱錆後）

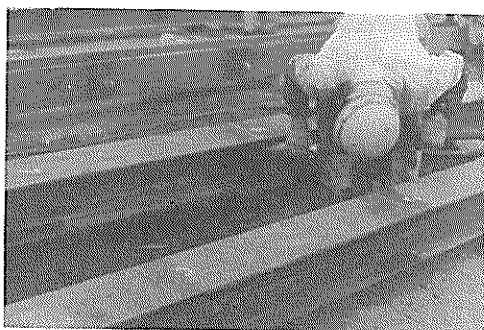




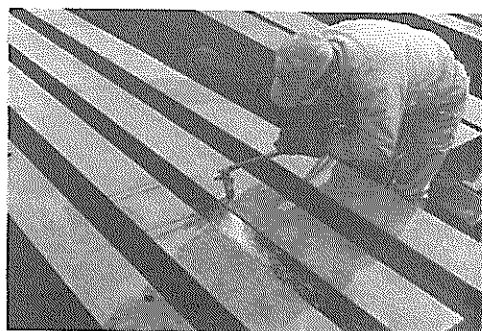
鋼材片の回収



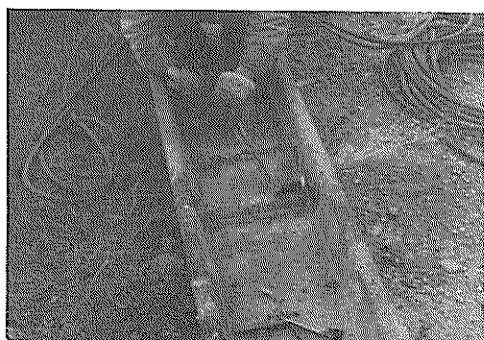
回収されたH杭



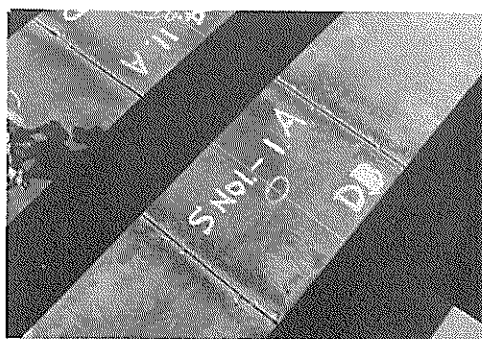
測定地点の脱錆



H杭ガス切断



鋼矢板ガス切断



H杭ガス切断箇所

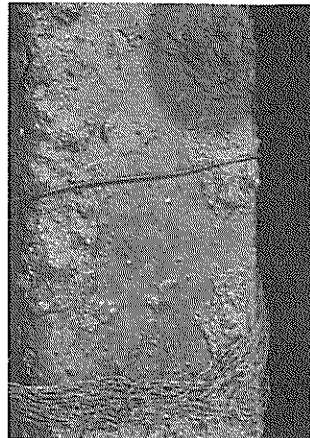
写真4-11 京浜港における作業状況



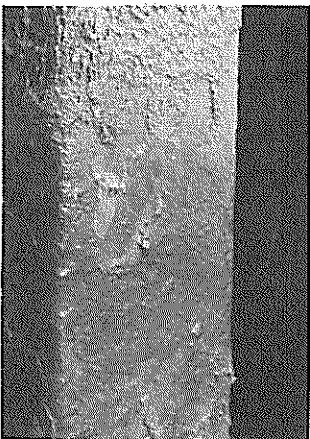
干満帯



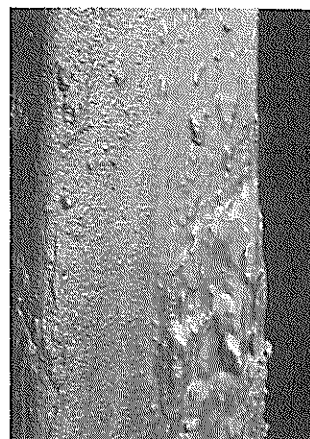
海水中（上）



海水中（下）

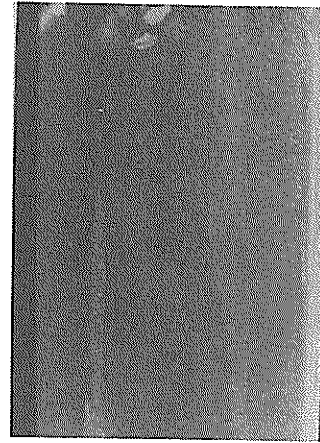
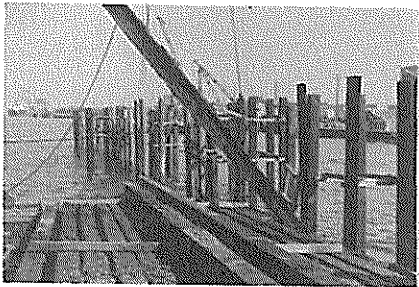


海水～海泥付近



海泥中

写真5-1 新潟港海上矢板材の表面状況（回収時）（無防食）



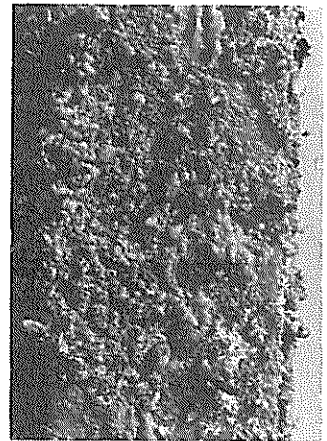
海上大気中



飛沫帯



干滴帯



海水中(上)



海水中(下)



海水～海泥付近



海泥中

写真5-2 京浜港海上矢板材の表面状況(回収時)

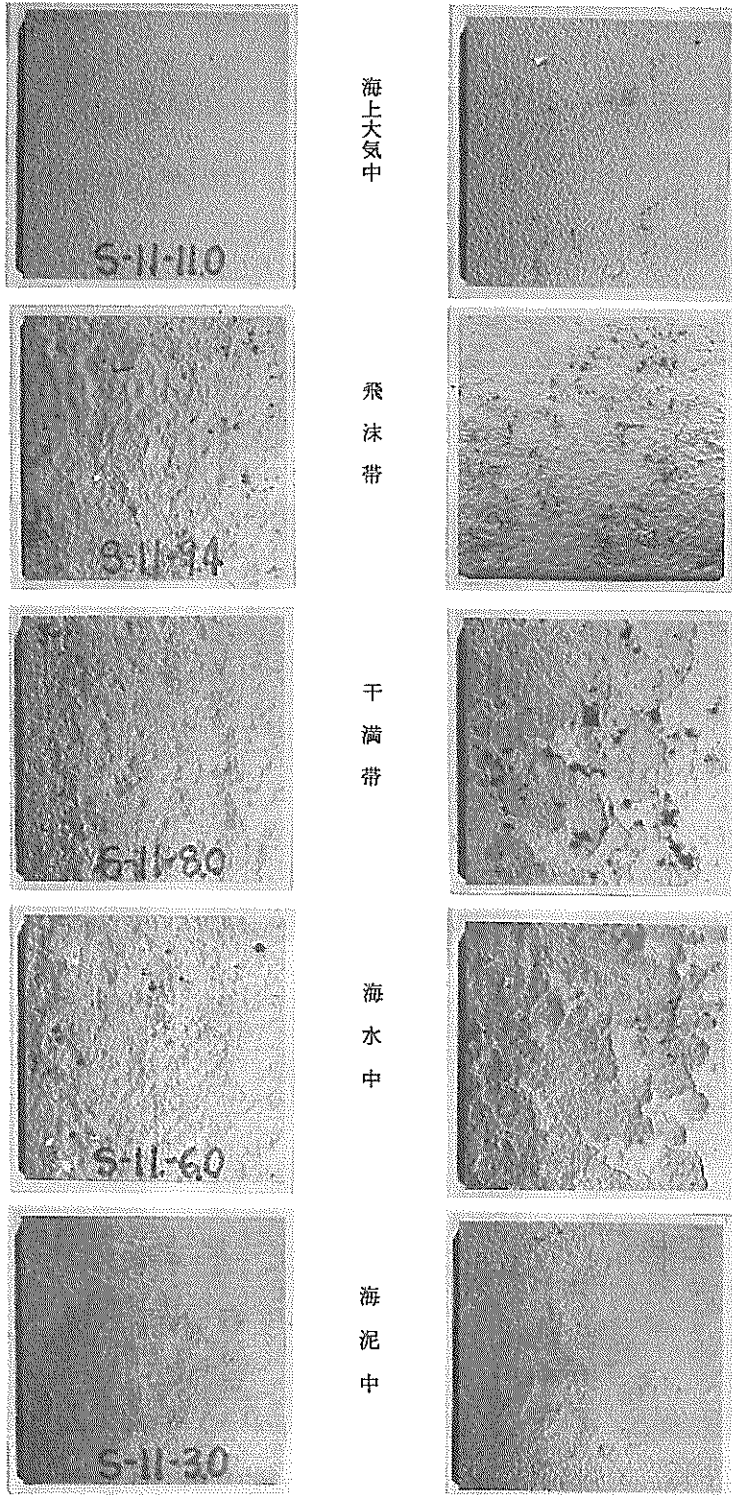


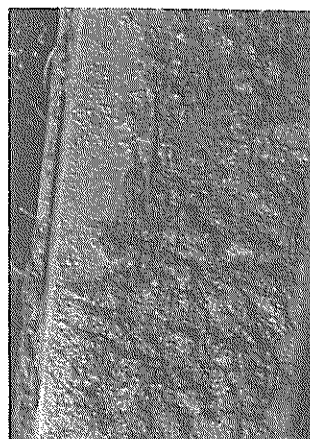
写真5-3 京浜港海上矢板材の表面状況（脱錆後）



海上大気中（モルタル被覆）



干 滴 帯



海水中（上）



海水中（下）

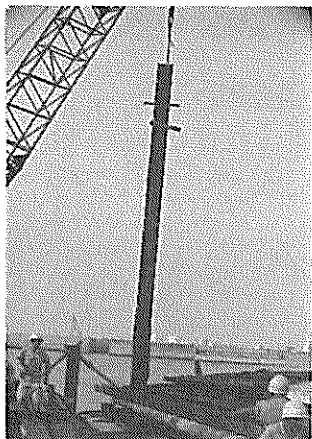


海水～海泥付近

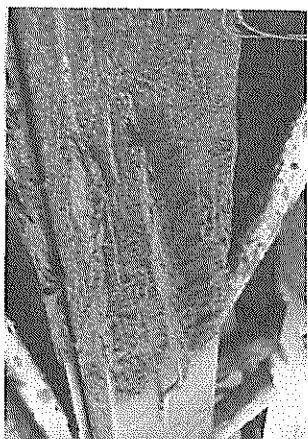


海 泥 中

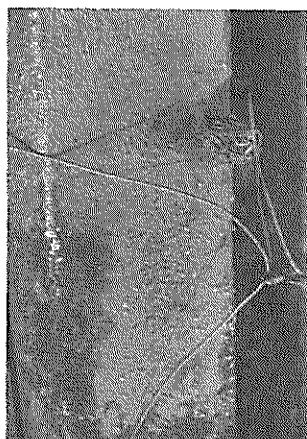
写真 6-1 新潟港海上矢板材の表面状況（回収時）（無防食，頭部モルタル被覆）



海上大気中



干満帯～海水中(上) 付近



海水中(下)

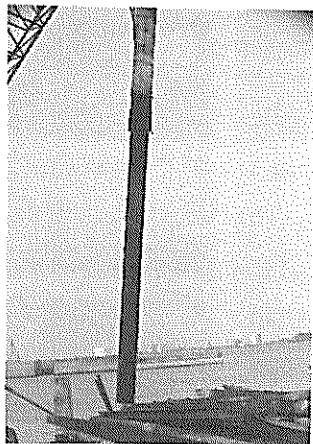


海水～海泥付近

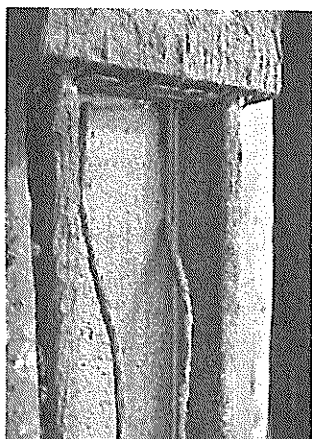


海 泥 中

写真 6-2 新潟港海上矢板材の表面状況(回収時) (A1 陽極吊下げ)



干満帯～飛沫帯付近（モルタル被覆）



海水中（上）



海水中（下）

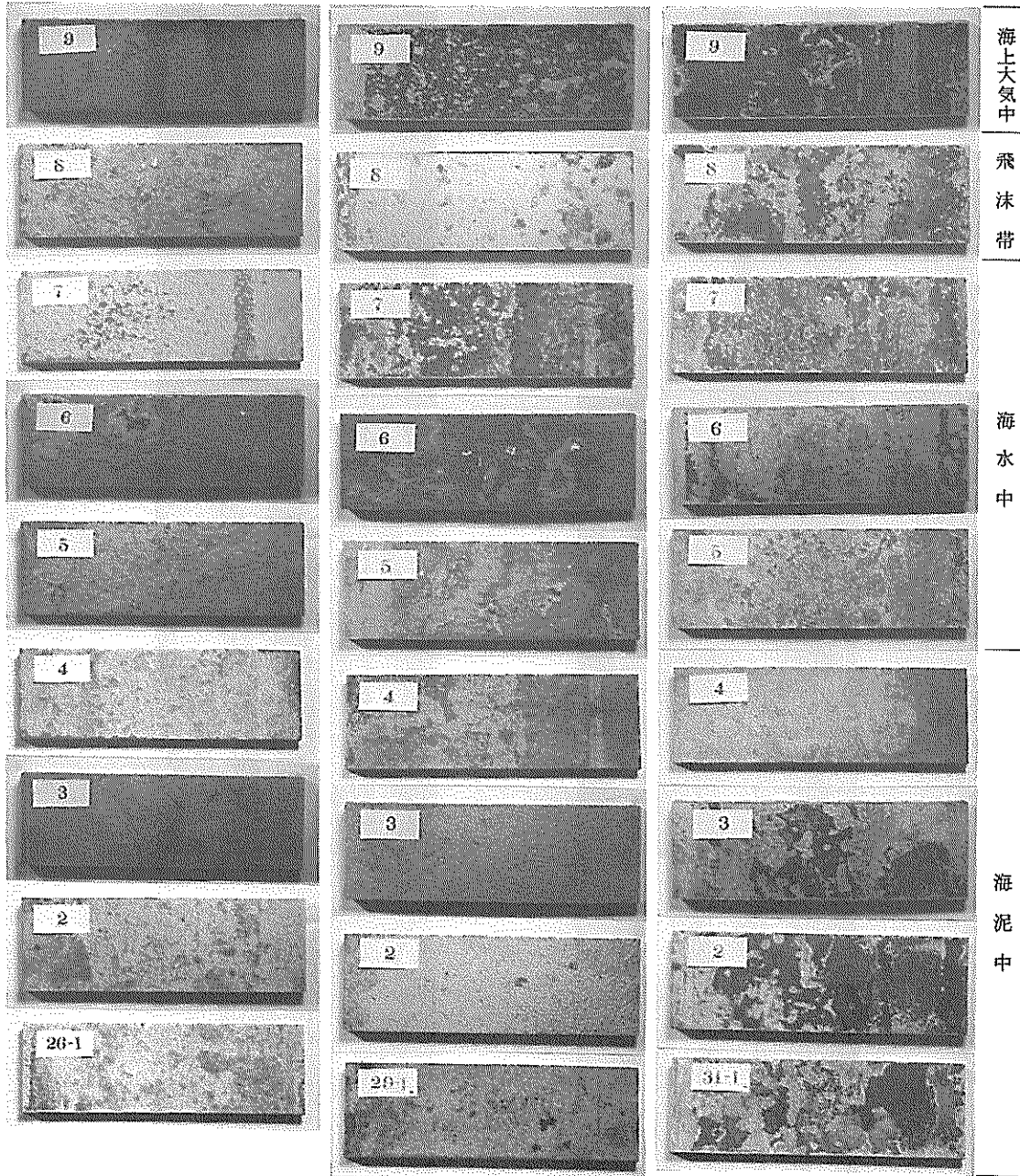


海水～海泥付近



海 泥 中

写真 6-3 新潟港海上矢板材の表面状況（回収時）（A<sub>1</sub>陽極，頭部モルタル被覆）



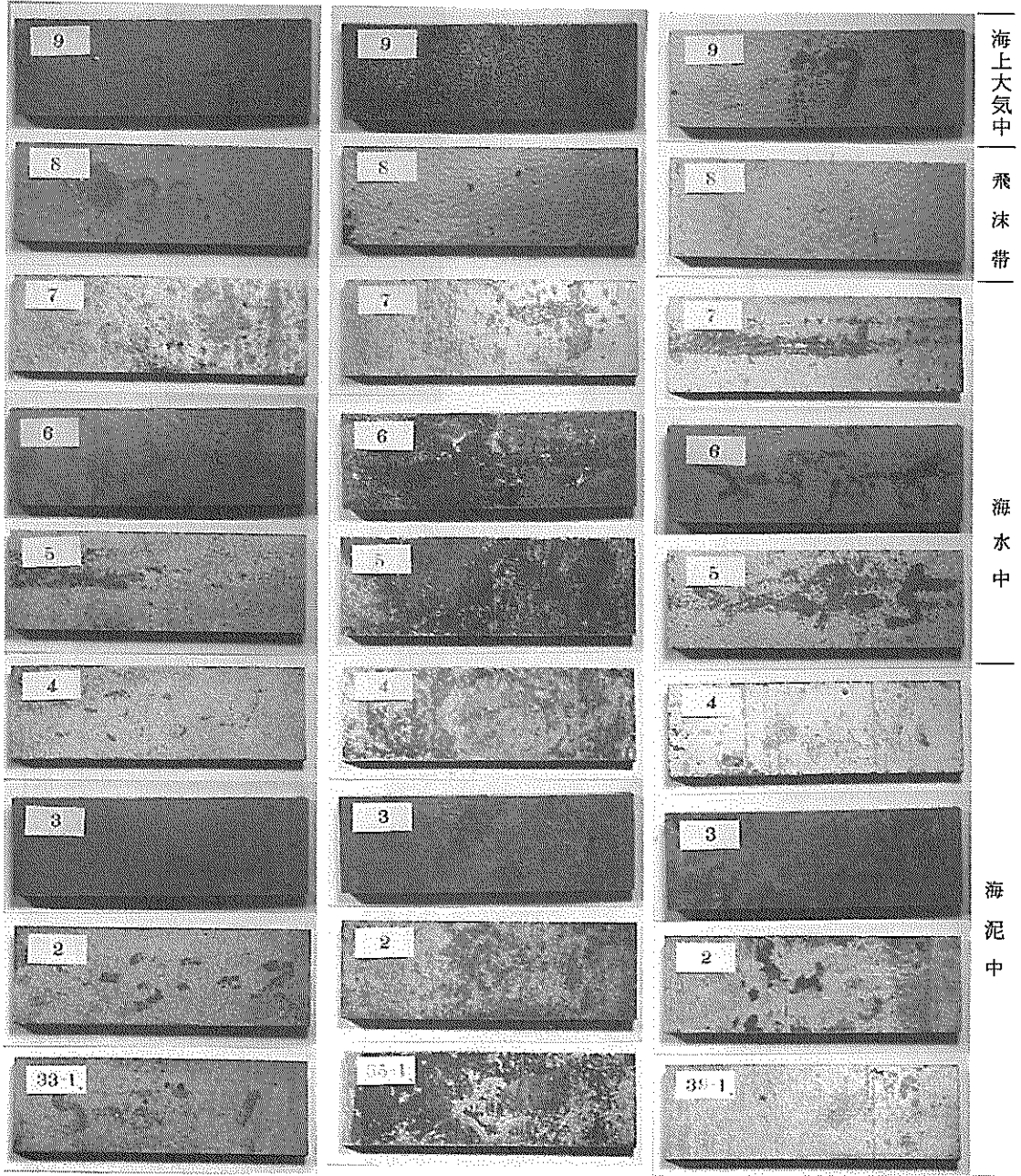
無 防 食

無防食, 頭部モルタル被覆

A.L陽極, 頭部モルタル被覆

写真 6-4 新潟港海上矢板材の表面状況 (脱錆後)



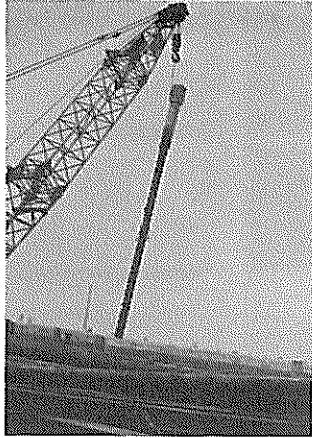


Mg 陽極吊下げ

Al 陽極吊下げ

Al 陽極溶接

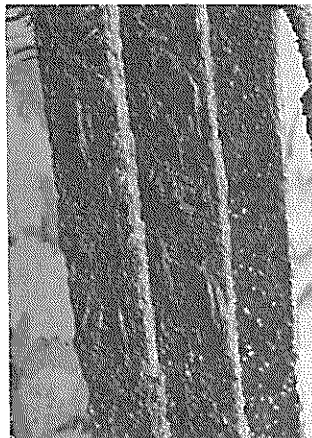
写真 6-5 新潟港海上矢板材の表面状況 (脱錆後)



海上大気中（モルタル被覆）



干満帯



海水中（上）



海水中（下）



海水～海泥付近



海泥中

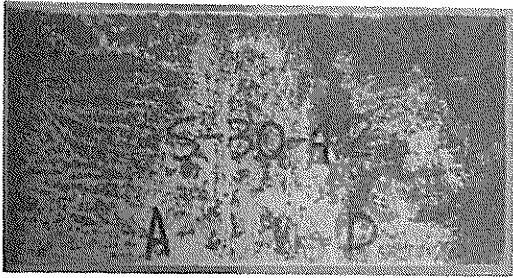
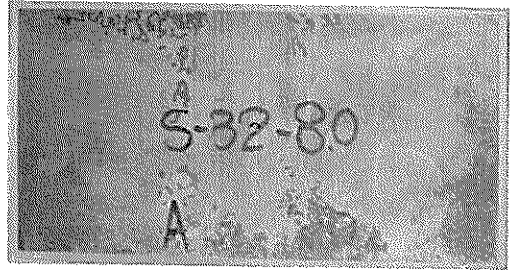


海泥中

写真6-6 新潟港海上H杭の表面状況（回収時）（A0陽極，頭部モルタル被覆）



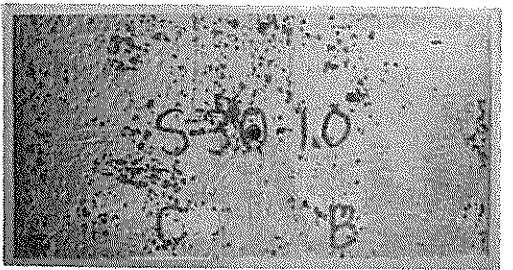
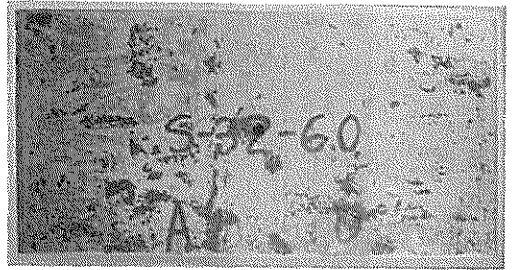
海上  
大気中



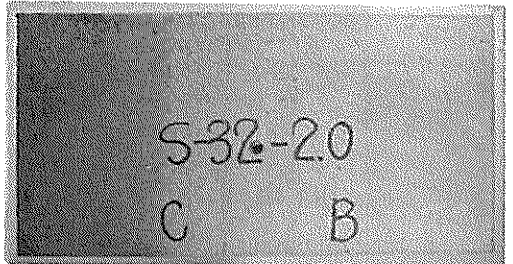
飛沫  
帯



海水  
中



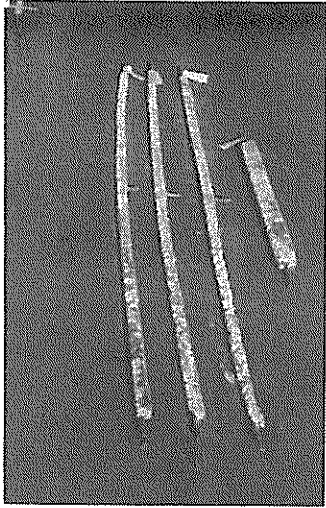
海  
泥  
中



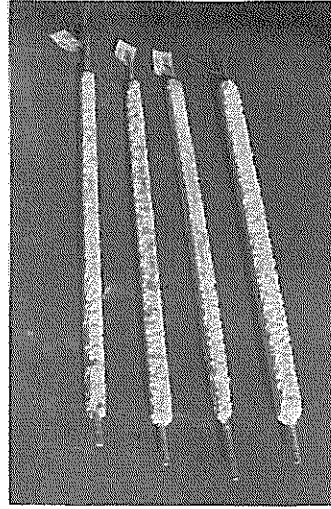
頭部モルタル被覆，無防食

頭部モルタル被覆，A<sub>2</sub>陽極溶接

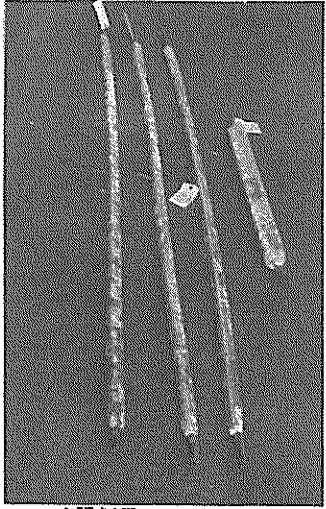
写真6-7 新潟港海上H杭の表面状況（脱錆後）



A $\phi$ 陽極溶接 (No. 5)



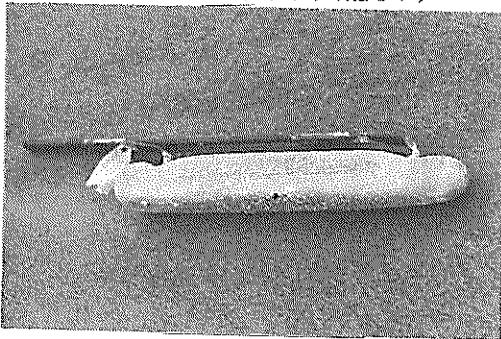
A $\phi$ 陽極溶接 (No. 8)



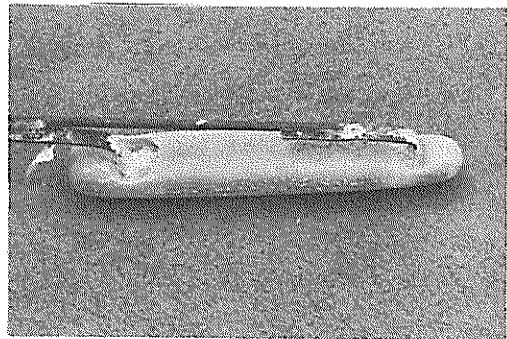
A $\phi$ 陽極吊下げ (No. 17)



A $\phi$ 陽極吊下げ (No. 23)

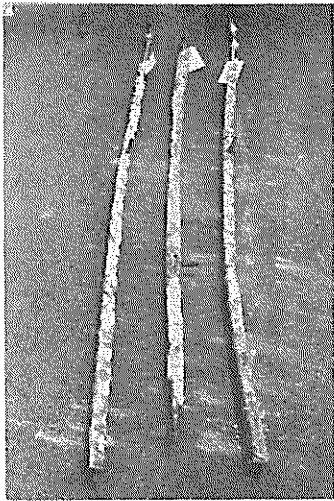


Mg陽極 (No. 26)

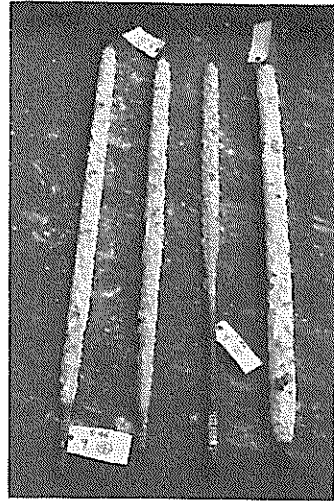


Mg陽極 (No. 28)

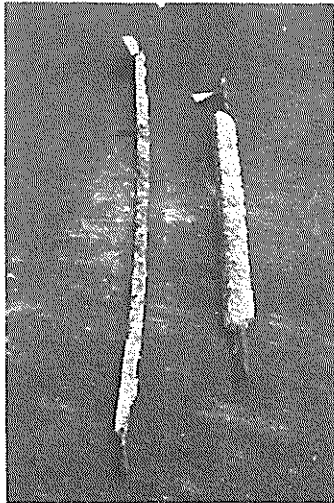
写真6-8 電防に用いられた流電陽極 (S. 43回収)



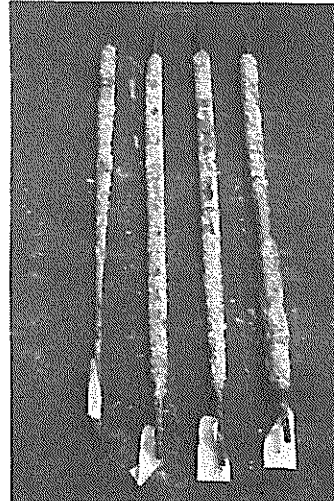
A $\alpha$ 陽極溶接 (No. 3)



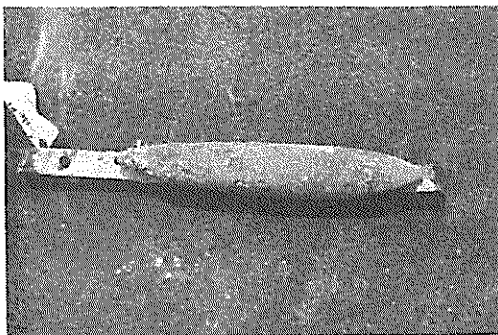
A $\alpha$ 陽極溶接 (No. 9)



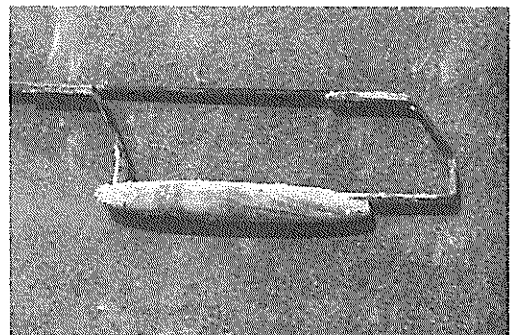
A $\alpha$ 陽極吊下げ (No. 15)



A $\alpha$ 陽極吊下げ (No. 21)



Mg陽極 (No. 27)



Mg陽極 (No. 29)

写真6-9 電防に用いられた流電陽極 (S. 46 回収)

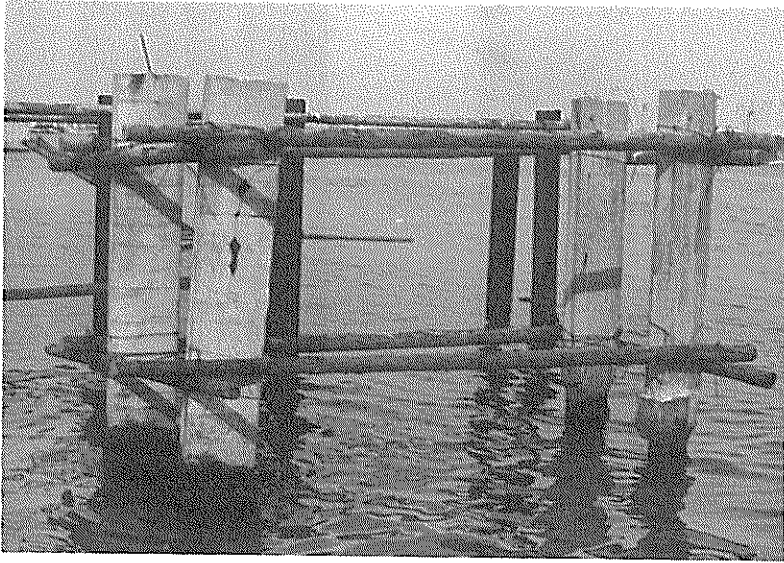
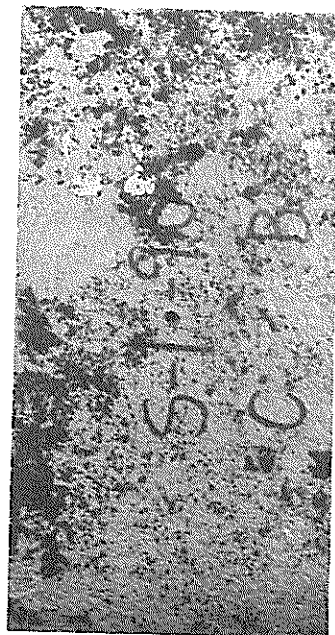


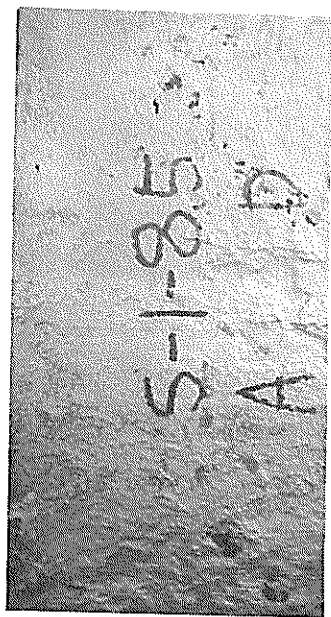
写真6-10 モルタル被覆施工状況



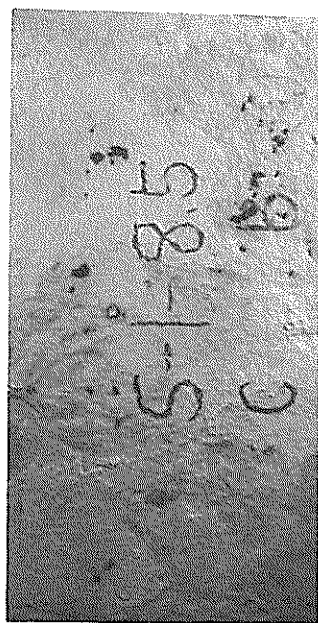
フレンジ 1, 4 面



フレンジ 2, 3 面



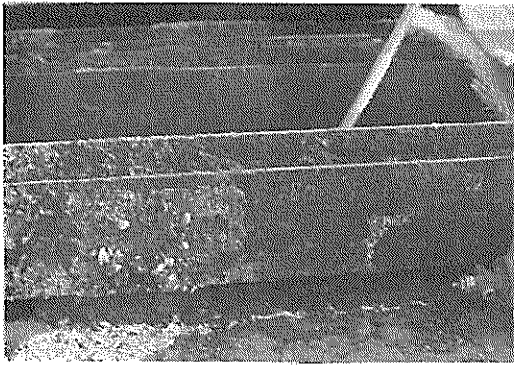
フレンジ 1, 4 面



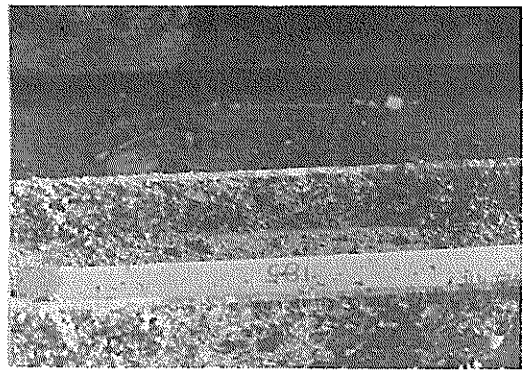
フレンジ 2, 3 面

写真7-2 京浜港における回収H杭の表面状況（脱錆後）（深度9.0 m）

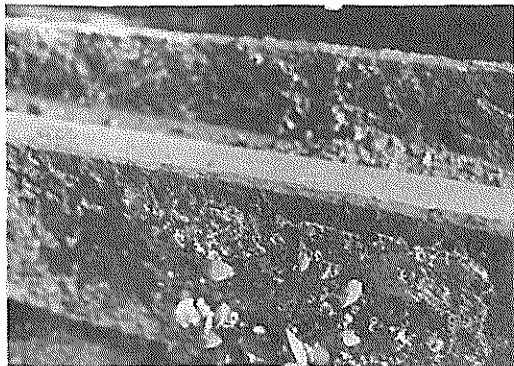
写真7-1 京浜港における回収H杭の表面状況（脱錆後）（深度8.5 m）



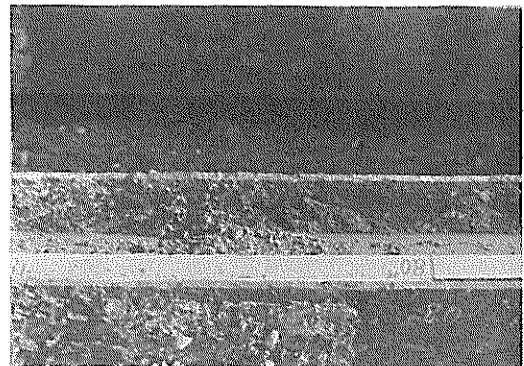
7.7 m ~ 8.4 m 付近



8.2 m ~ 8.8 m 付近



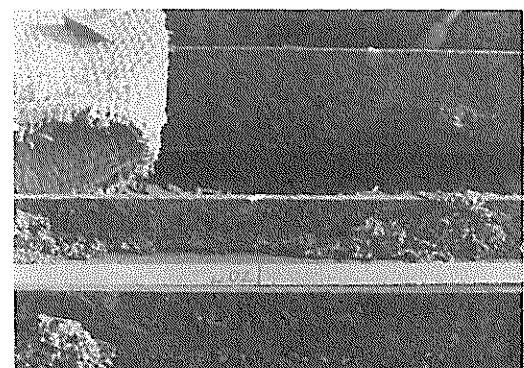
8.1 m ~ 8.3 m 付近



8.0 m ~ 8.7 m 付近



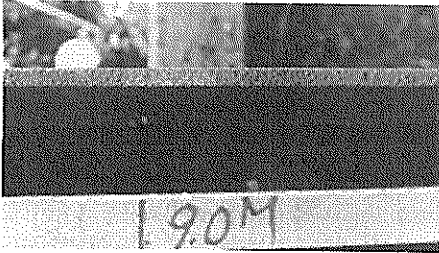
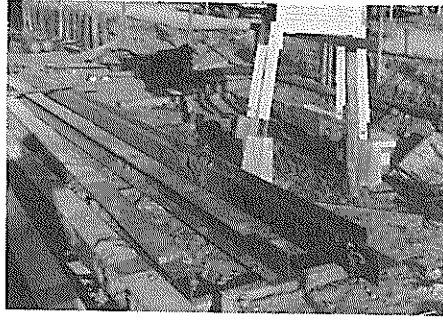
7.4 m ~ 8.0 m 付近



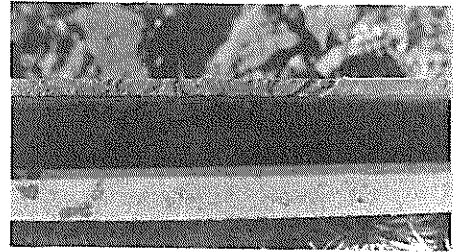
6.6 m ~ 7.4 m 付近

写真7-3 京浜港における回収H杭のエッジ部の腐食状況 (海上杭, S. 48 回収)

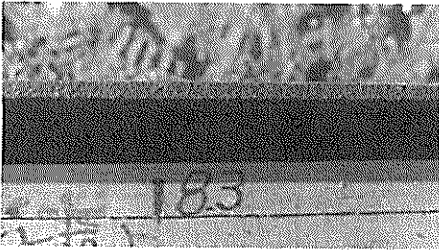




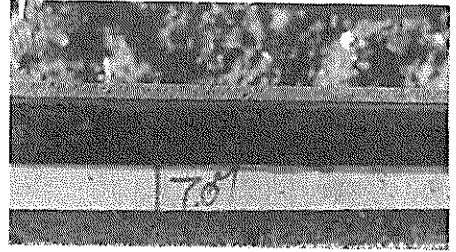
9.0 m 付近



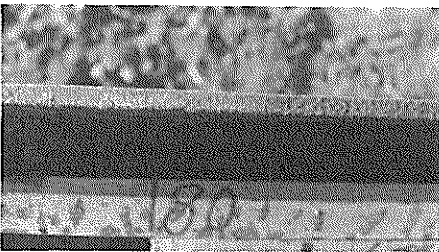
7.3 m 付近



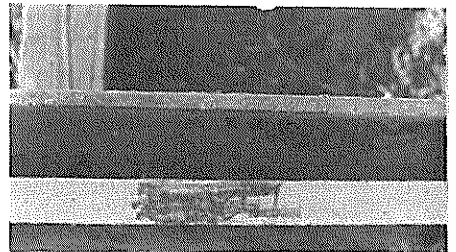
8.3 m 付近



7.0 m 付近



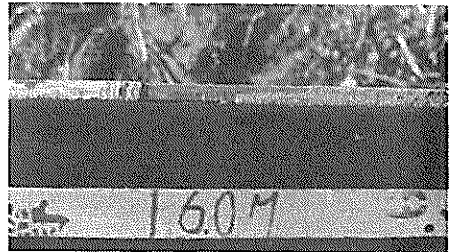
8.0 m 付近



6.3 m 付近

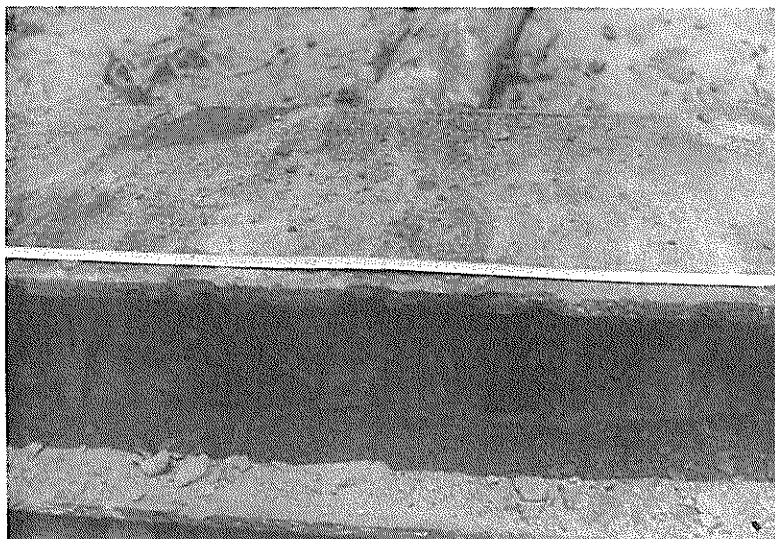


7.7 m 付近

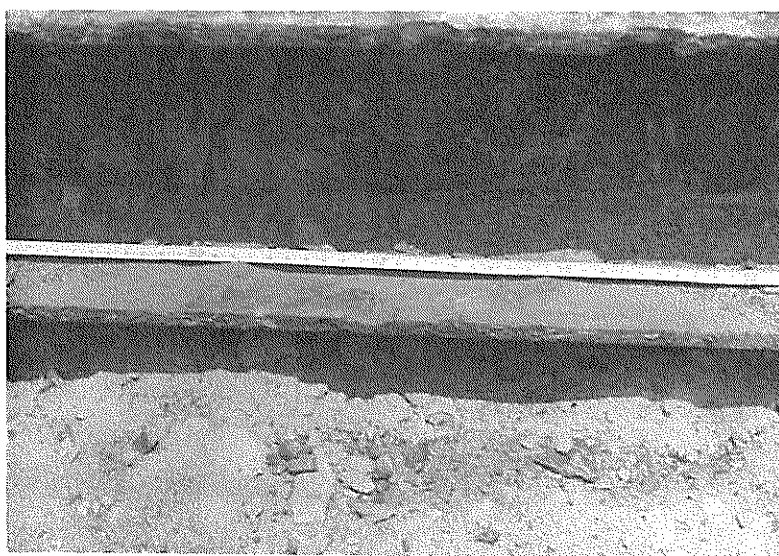


6.0 m 付近

写真7-4 京浜港における回収H杭のエッチ部の腐食状況（陸上杭，S. 48回収）

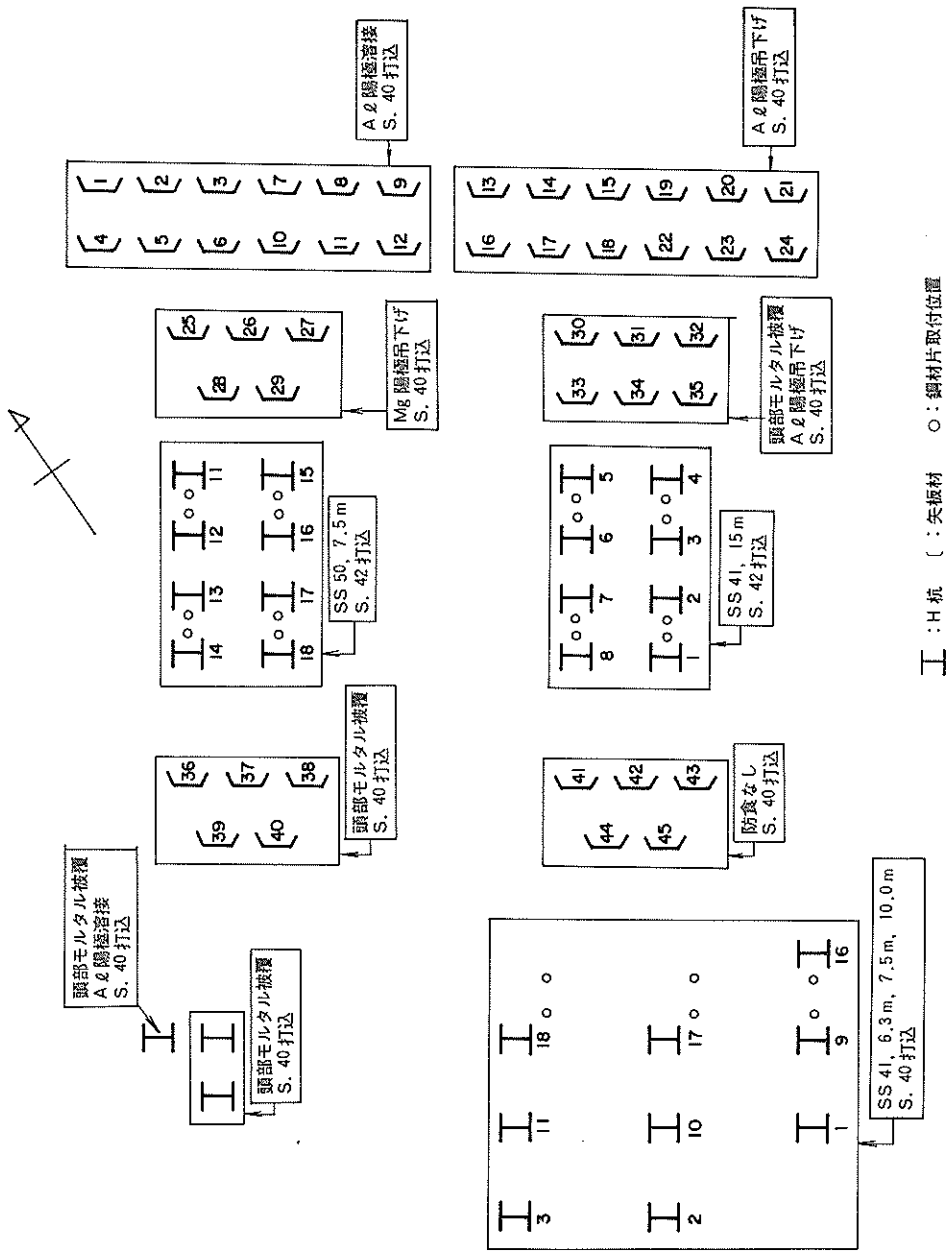


下より 4.10 m ~ 4.40 m 付近

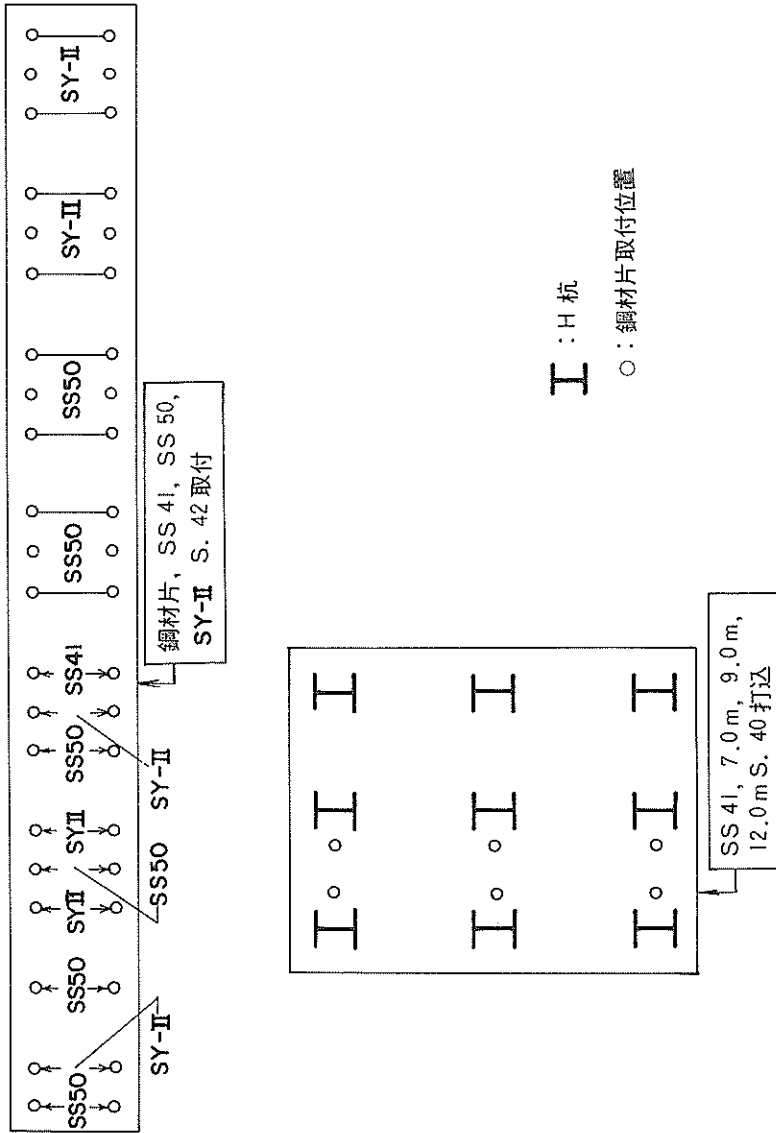
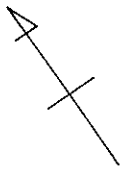


下より 4.20 m ~ 4.60 m 付近

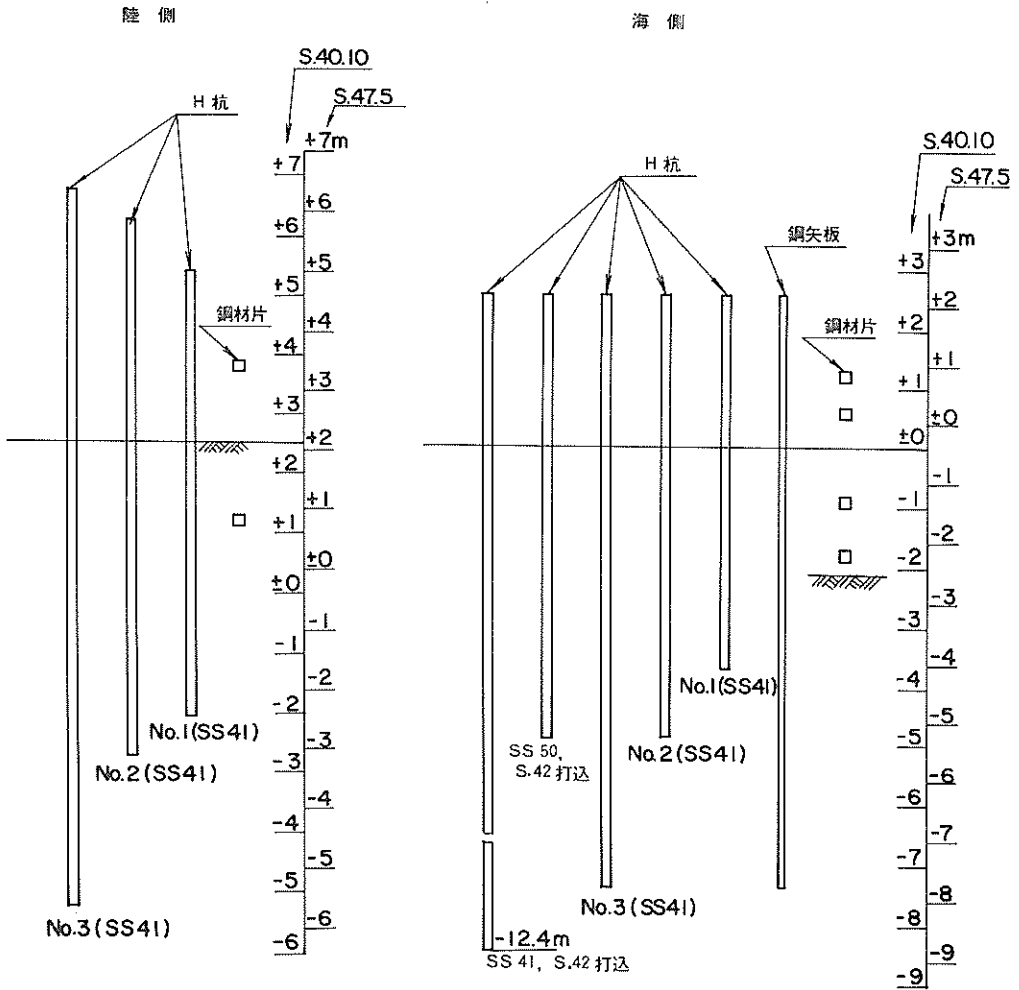
写真7-5 新潟港における回収H杭のエッジ部の腐食状況（陸上杭，S. 47回収）



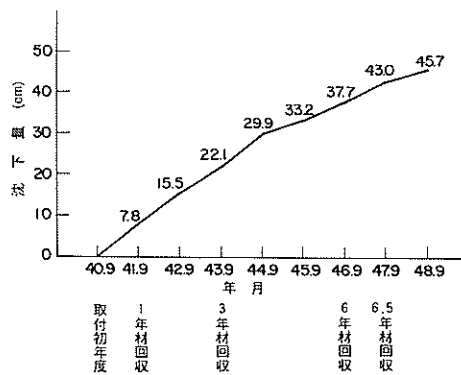
付図 2-1 新高港における試験材の配置状況 (海上部)



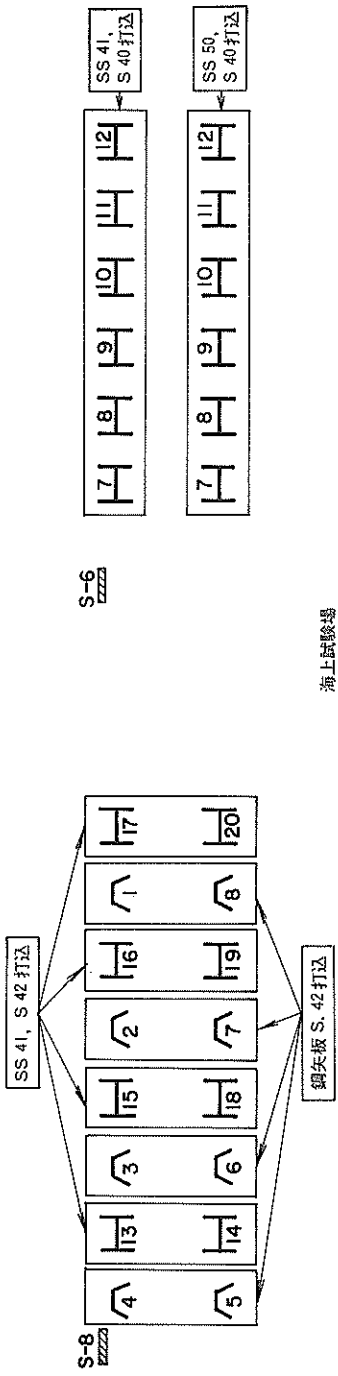
付図 2-2 新潟港における試験材の配置状況 (陸上部)



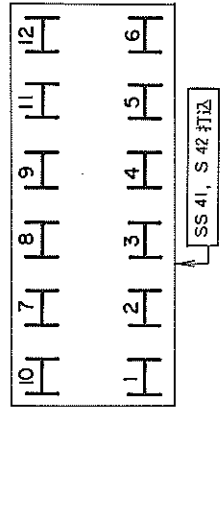
付図 2-3 新潟港における試験材の配置状況



付図 2-4 新潟港における地盤沈下状況 (S. 40.9 ~ S. 48.9)



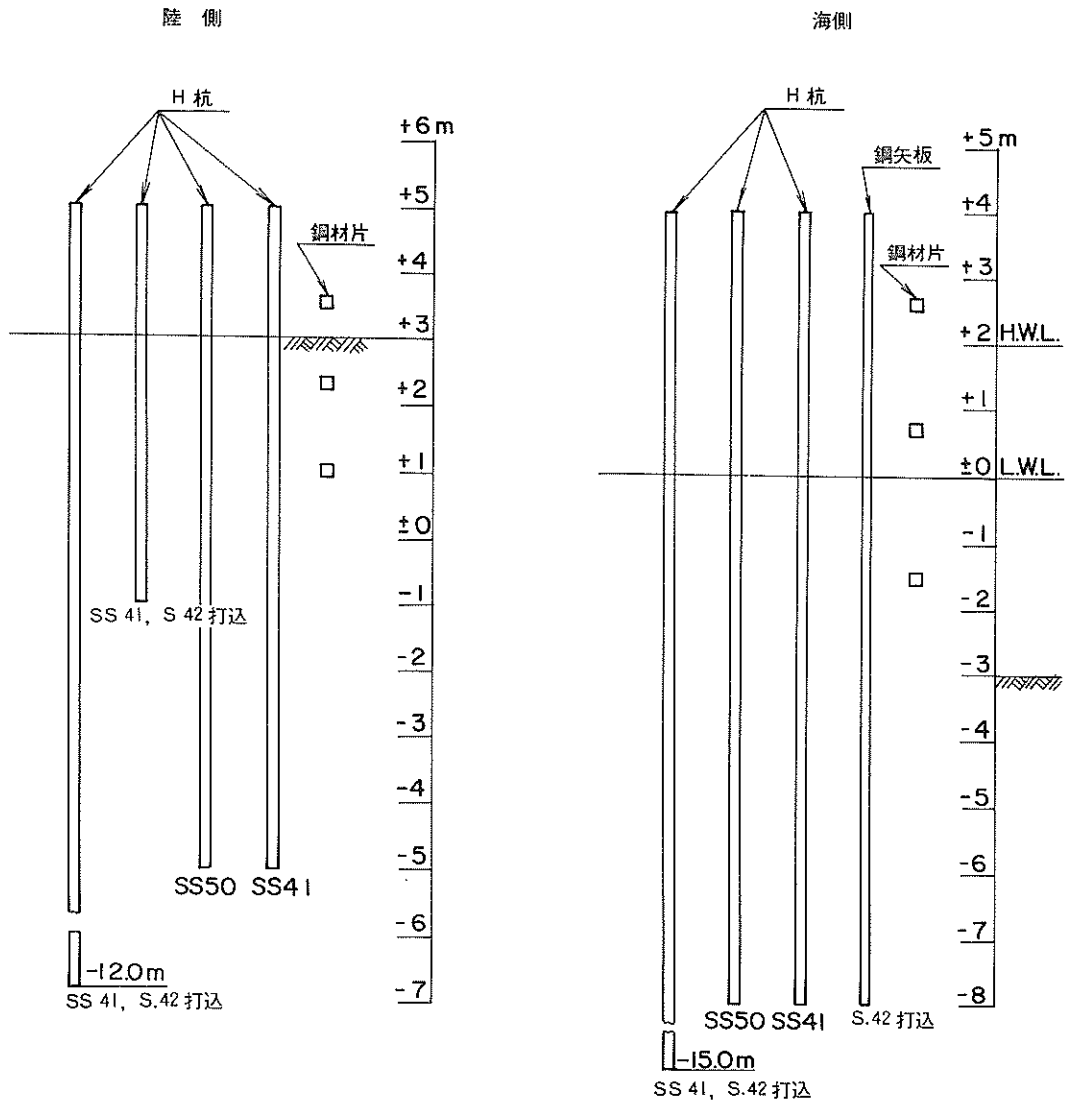
海上試験場



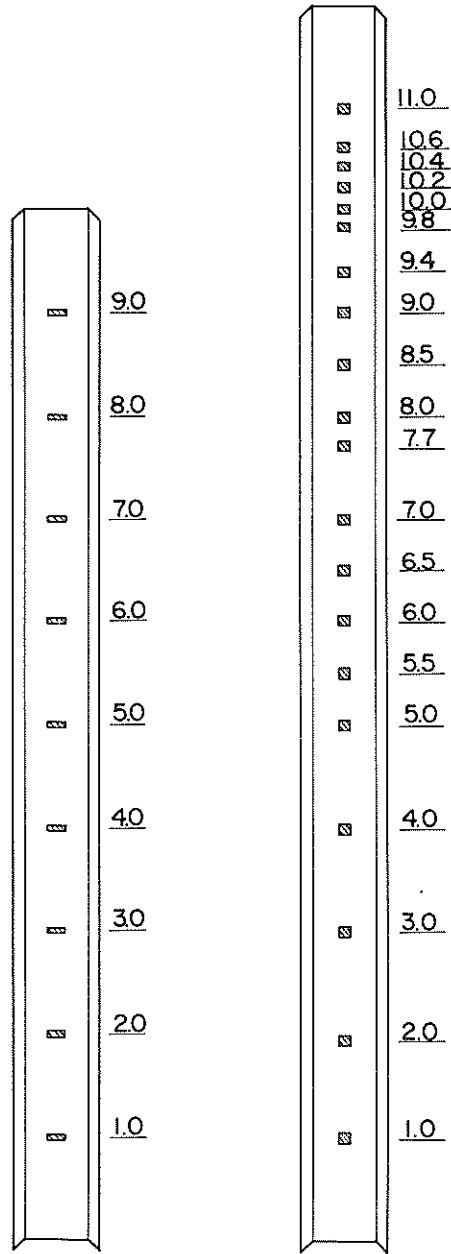
陸上試験場

▨ : 鋼材片取付位置

付図 2-5 京浜港における試験材の配置状況



付図 2-6 京浜港における試験材の配置状況

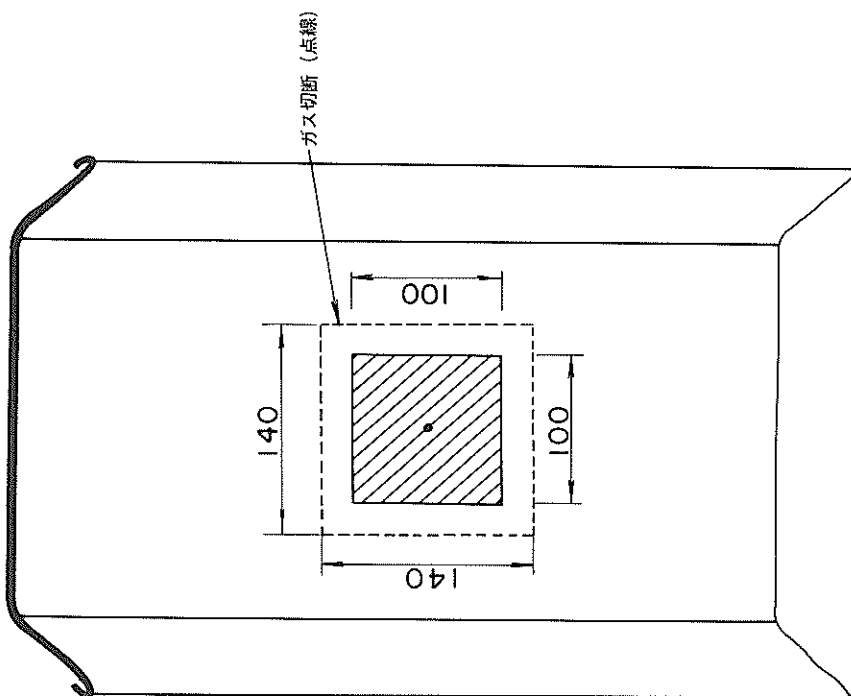


新潟港 (9 深度)

京浜港 (20 深度)

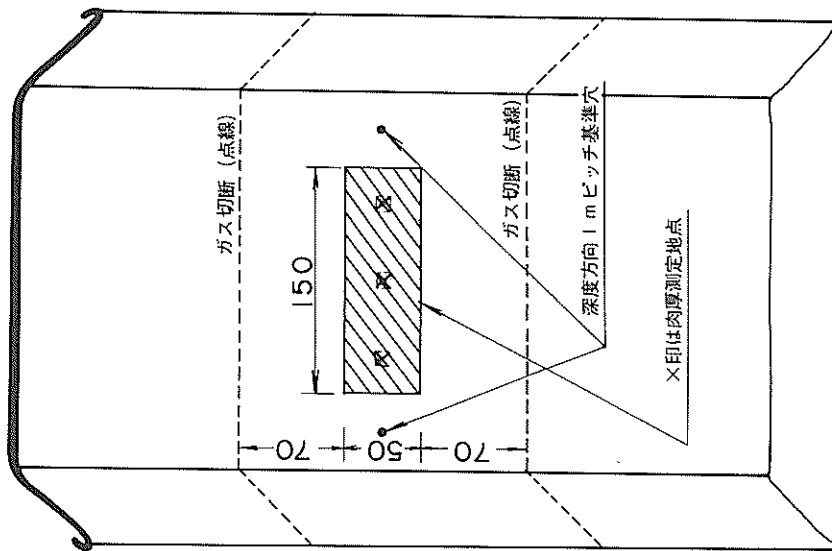
付図 2-7 新潟港および京浜港における鋼矢板の切り取り箇所





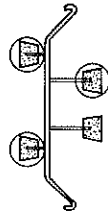
斜線部分：成形仕上げ試験片  
単位：mm

付図 2-1-9 京浜港における鋼矢板の成形試験片

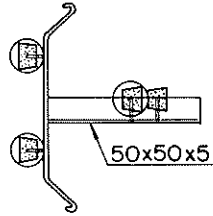


斜線部分：成形仕上げ試験片  
単位：mm

付図 2-1-8 新島港における鋼矢板の成形試験片



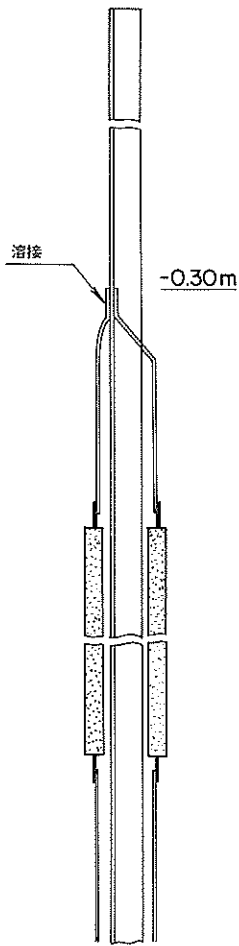
鋼矢板 No.1~No.12



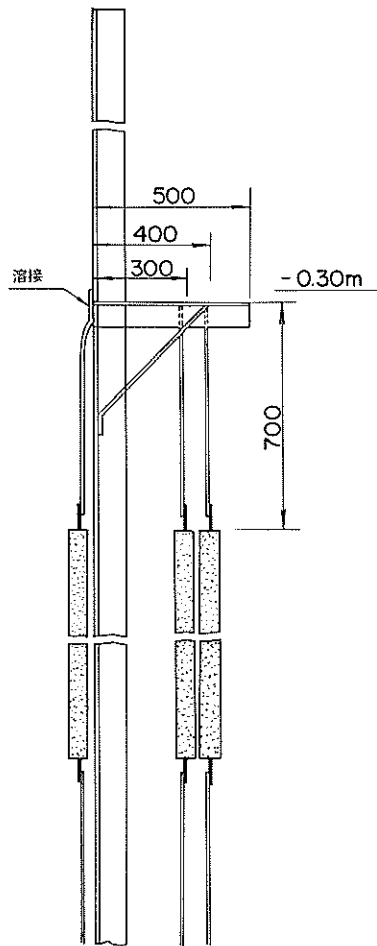
鋼矢板 No.13~No.24, No.30~No.35



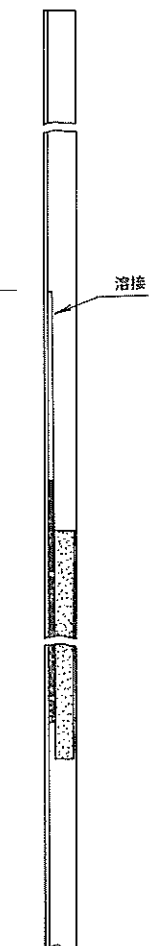
鋼矢板 No.25~No.29



A<sub>2</sub>陽極溶接



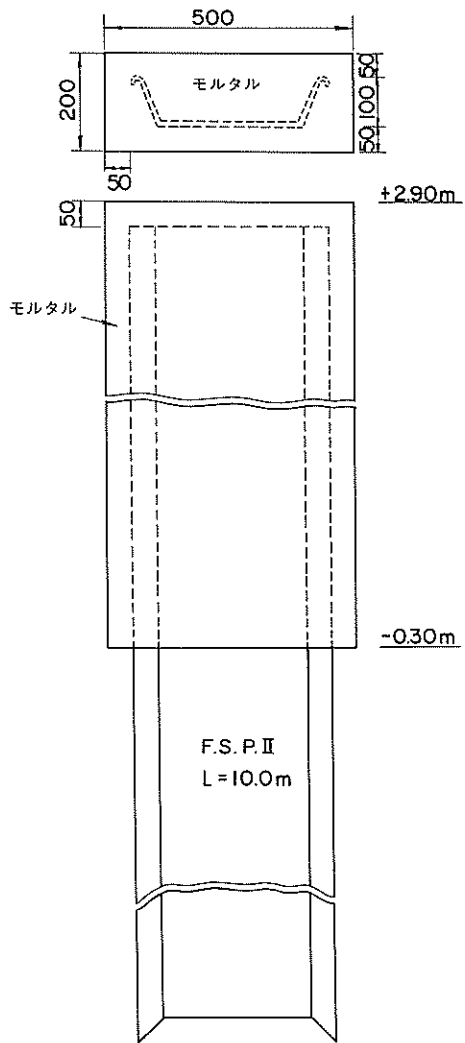
A<sub>2</sub>陽極吊下げ



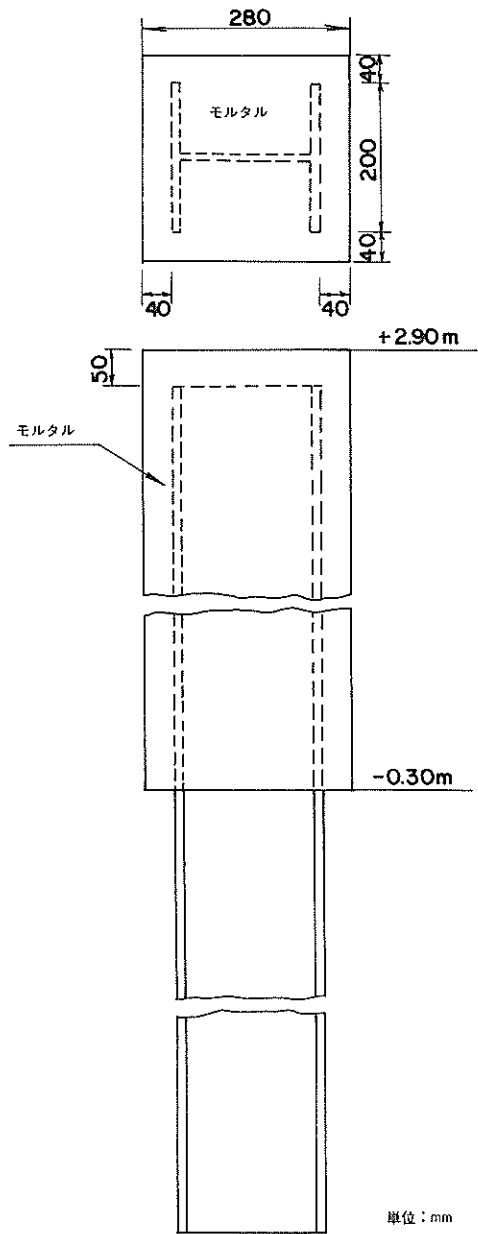
Mg陽極溶接

※ マルで囲んだ陽極は S.41 追加分  
単位：mm

付図 2-10 陽極の取付け要領図

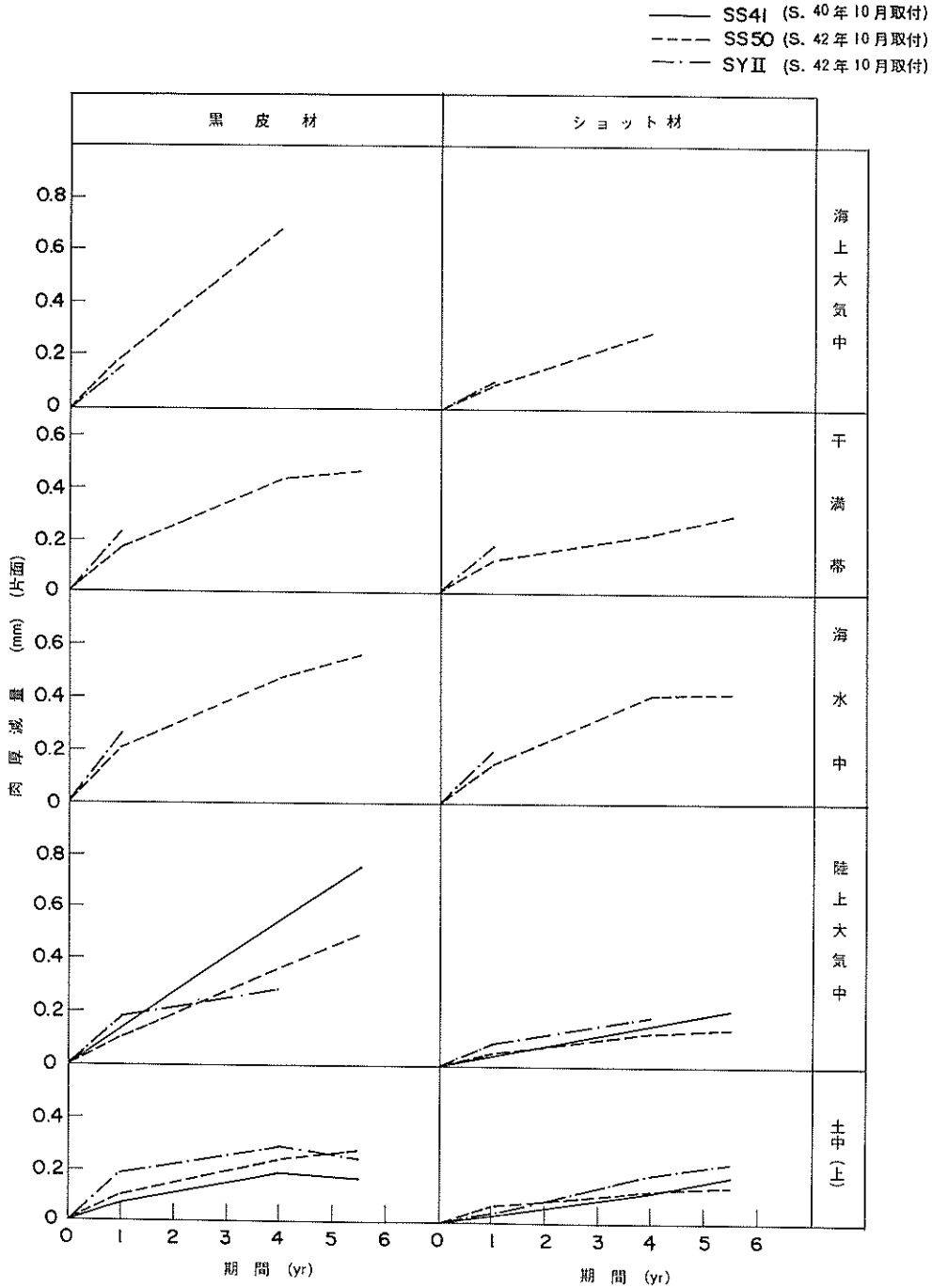


付図 2-11 鋼矢板に使用したモルタル被覆の施工図

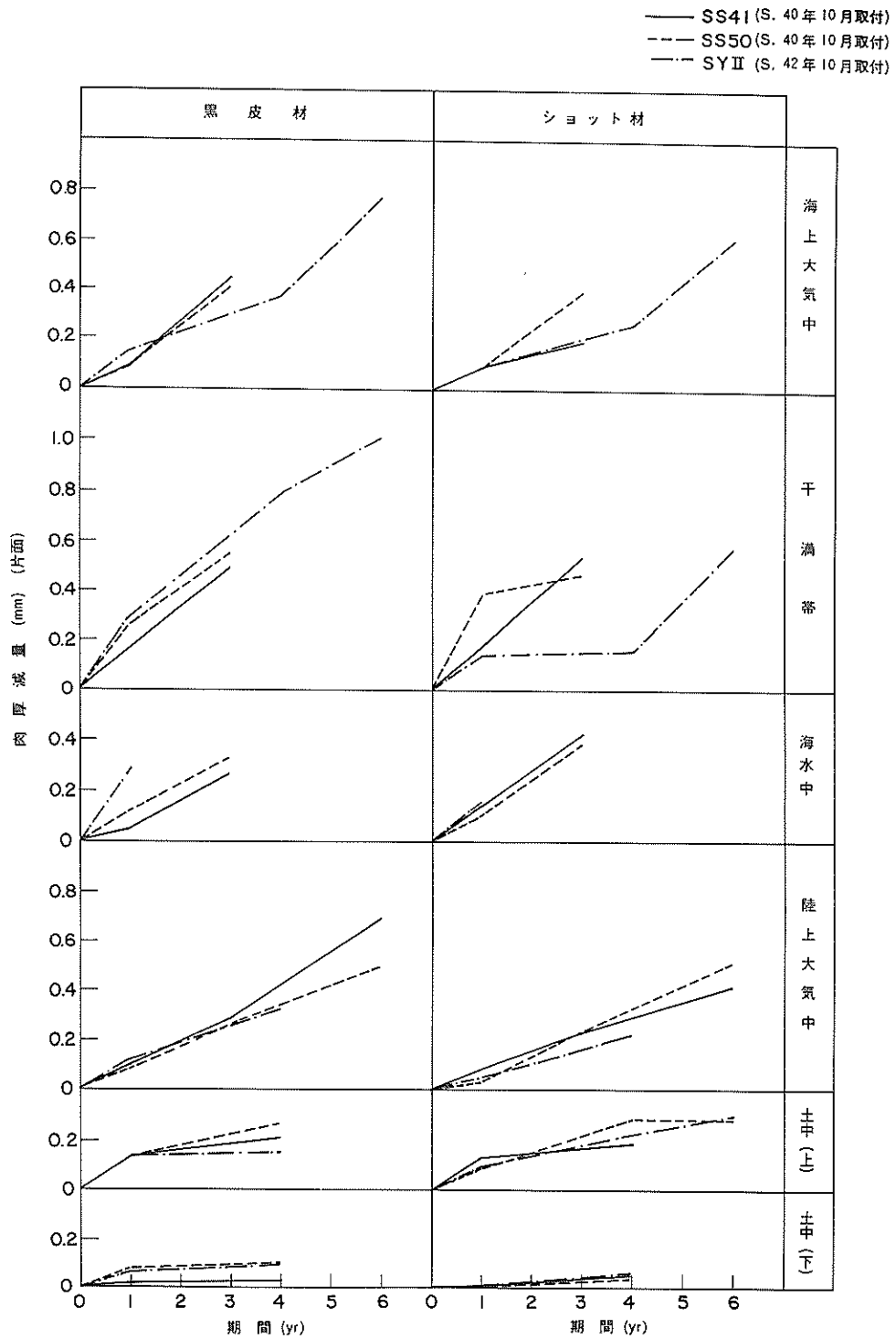


付図 2-12 H杭に使用したモルタル被覆の施工図

単位：mm



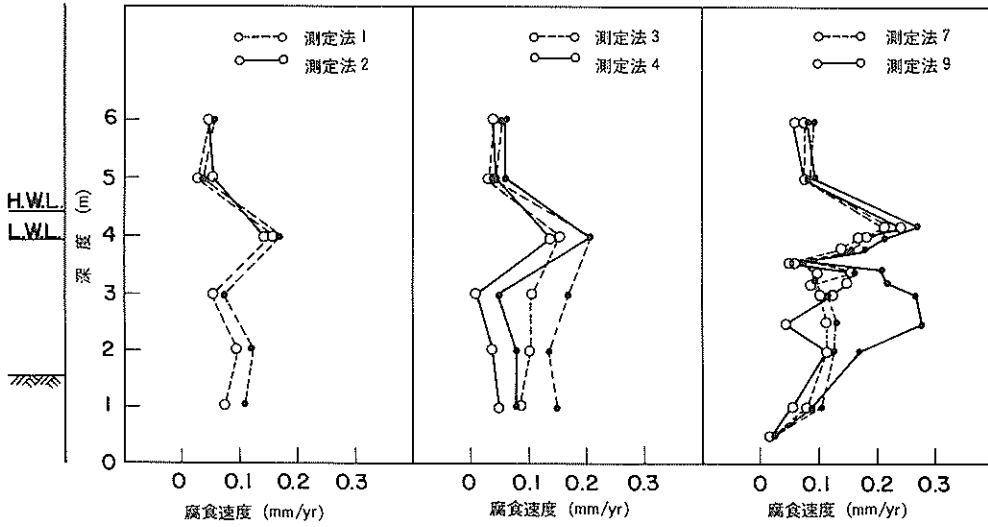
付図3-1 新潟港における鋼材片腐食量の経年変化 (肉厚測定による)



付図3-2 京浜港における鋼材片腐食量の経年変化 (肉厚測定による)

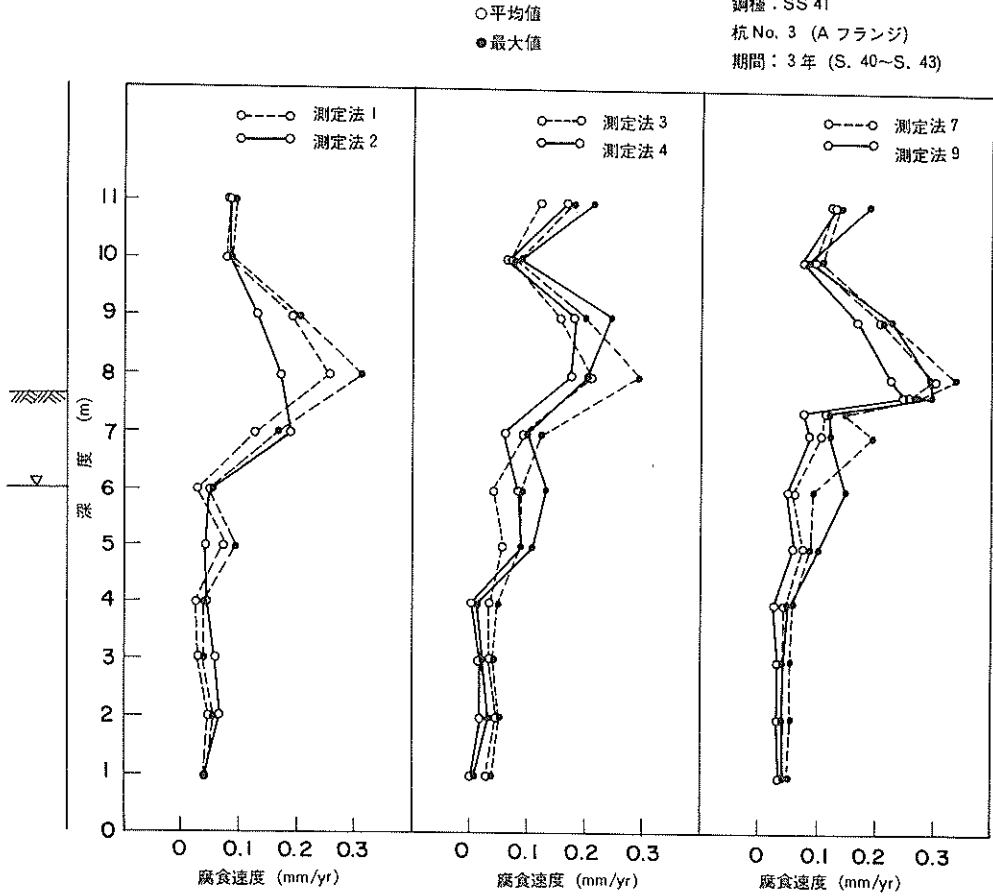
新潟港、海上杭  
 鋼種：SS 41  
 杭 No. 1 (A フランジ)  
 期間：3年 (S. 40~S. 43)

○平均値  
 ●最大値



付図4-1 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(1)

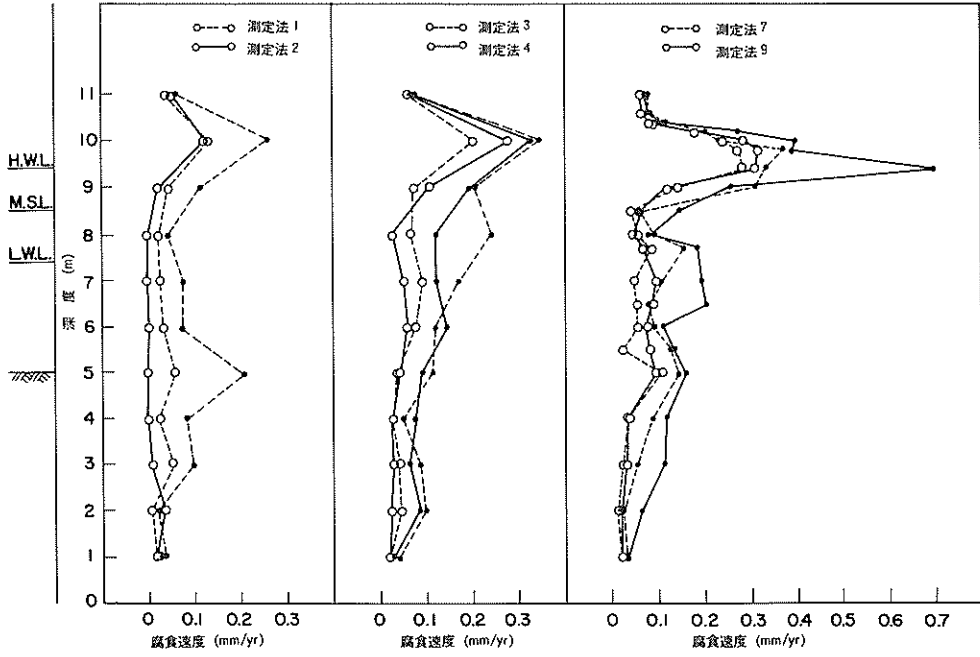
新潟港、陸上杭  
 鋼種：SS 41  
 杭 No. 3 (A フランジ)  
 期間：3年 (S. 40~S. 43)



付図4-2 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(2)

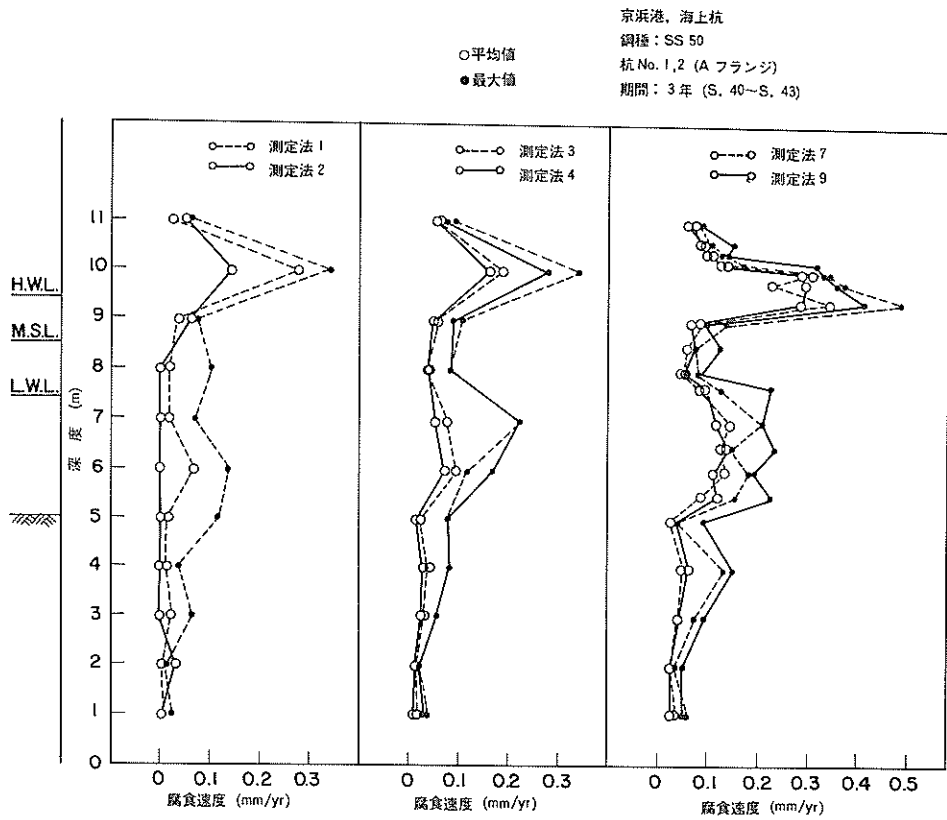
京浜港，海上杭  
 鋼種：SS 41  
 杭 No. 1, 2 (A フランジ)  
 期間：3年 (S. 40~S. 43)

○ 平均値  
 ● 最大値



付図 4-3 京浜港における互杭肉厚測定法の比較 (1)





付図4-4 京浜港におけるH杭肉厚測定法の比較(2)

京浜港、陸上杭

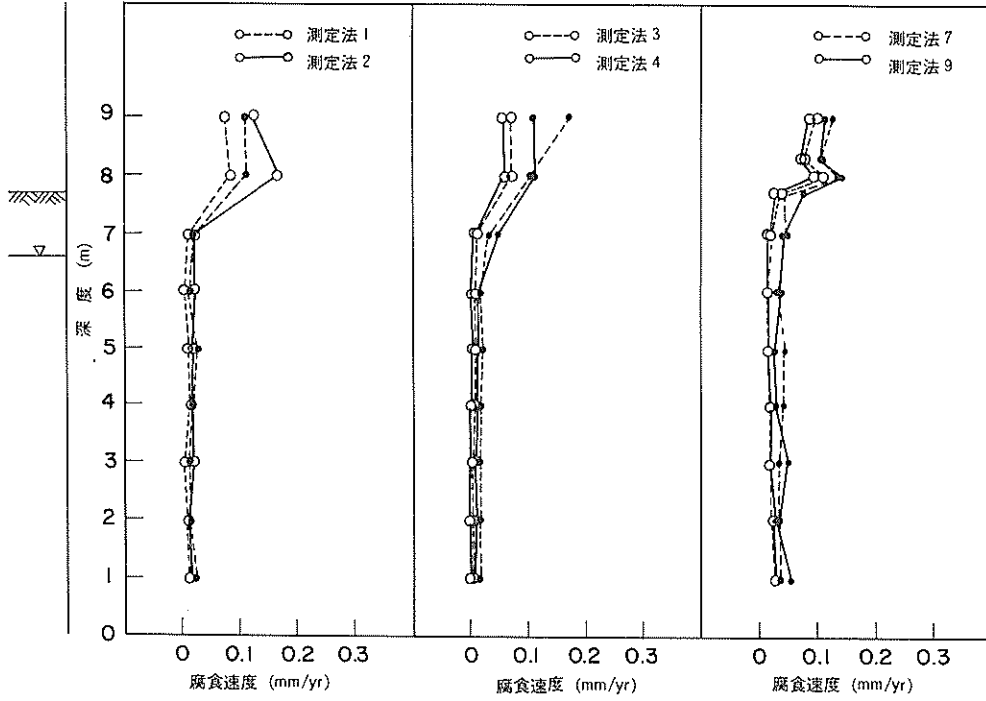
鋼種：SS 41

杭 No. 1, 2 (A フランジ)

期間：3年 (S. 40-S. 43)

○ 平均値

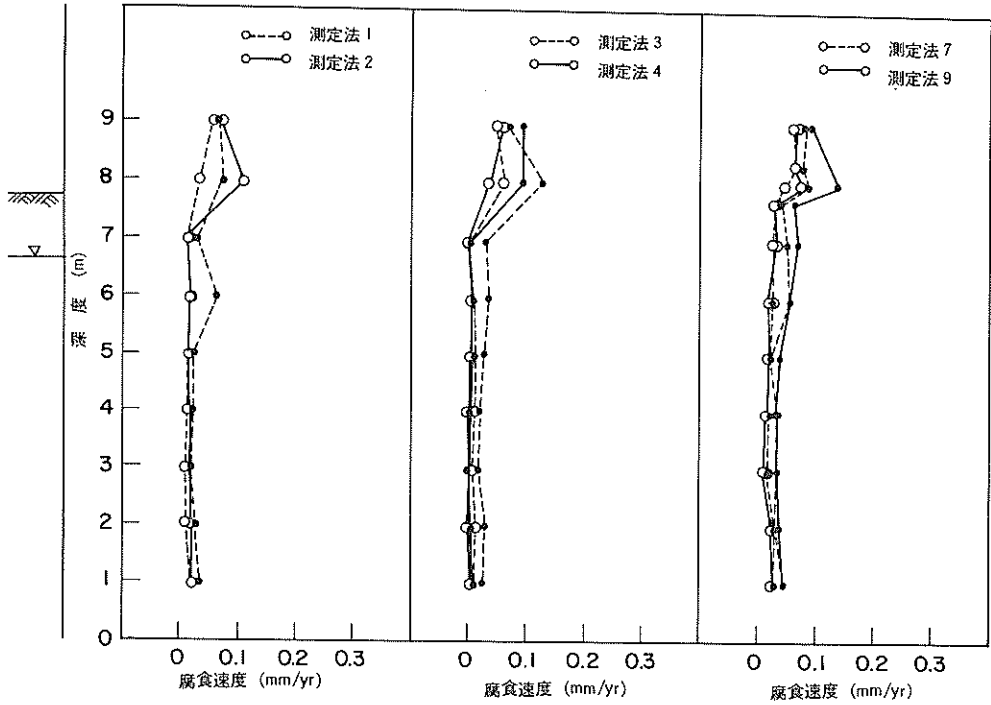
● 最大値



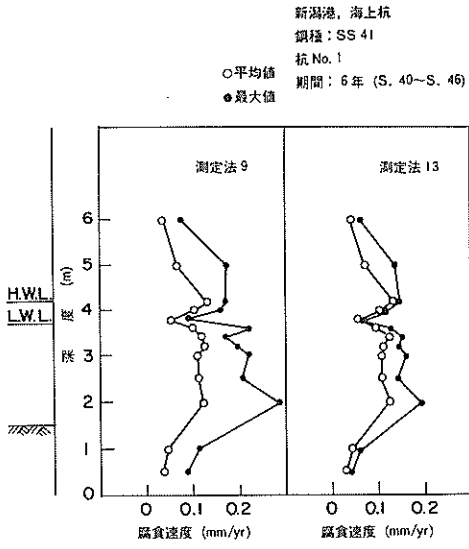
付図 4-5 京浜港におけるH杭肉厚測定法の比較(3)

京浜港、陸上杭  
 鋼種：SS 50  
 杭 No. 1, 2 (A フランジ)  
 期間：3年 (S. 40~S. 43)

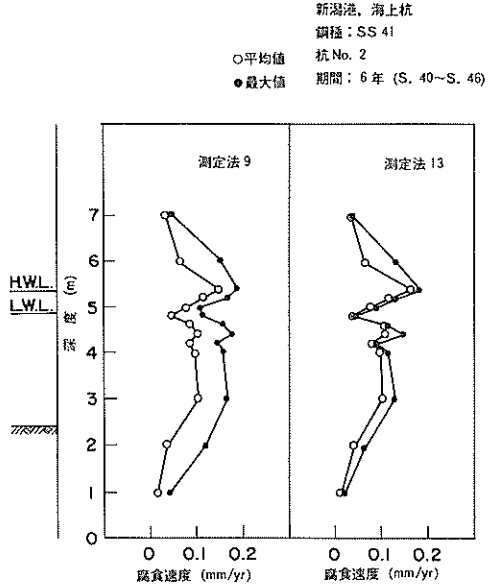
○ 平均値  
 ● 最大値



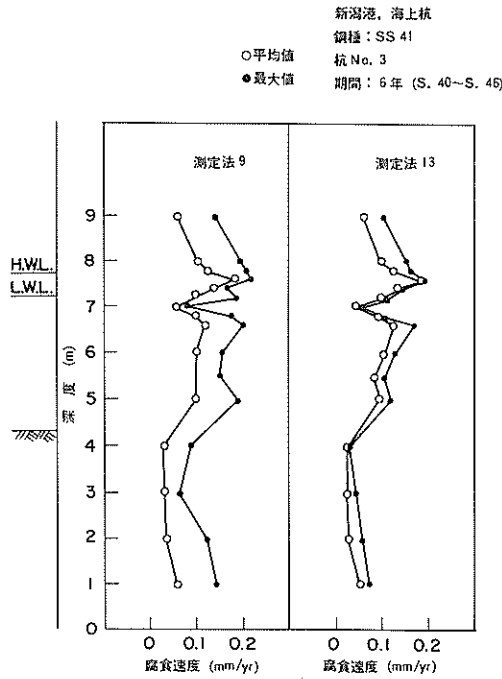
付図4-6 京浜港におけるH杭肉厚測定法の比較(4)



付図4-7 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(1)



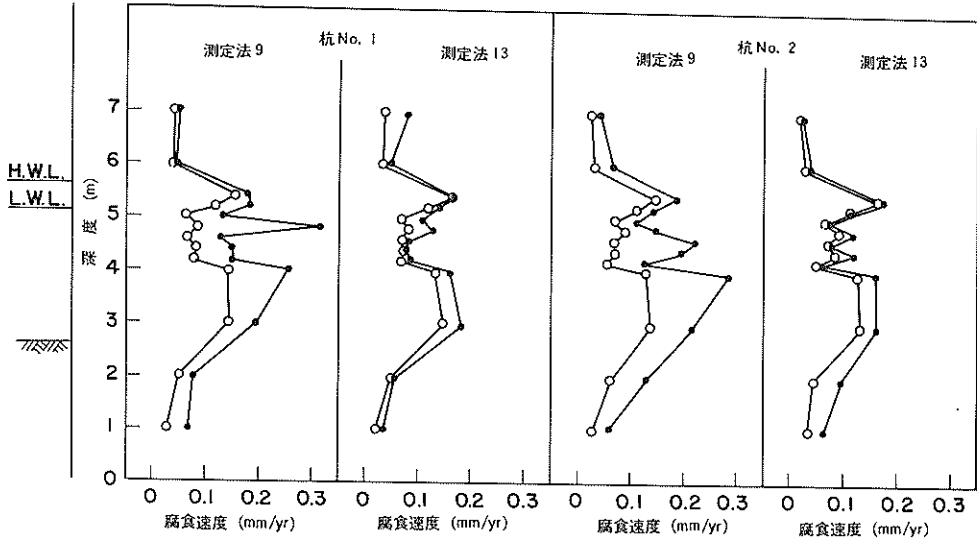
付図4-8 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(2)



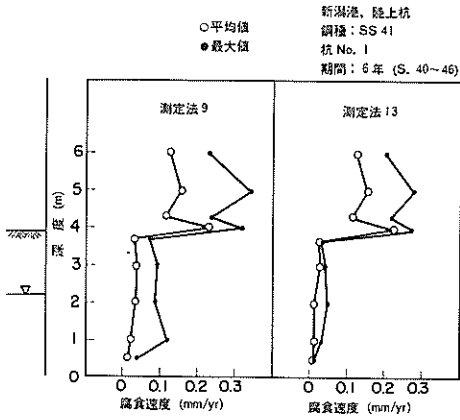
付図4-9 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(3)

新潟港、海上杭  
 鋼種：SS 50  
 杭 No. 1, 2  
 期間：4年 (S. 42~S. 46)

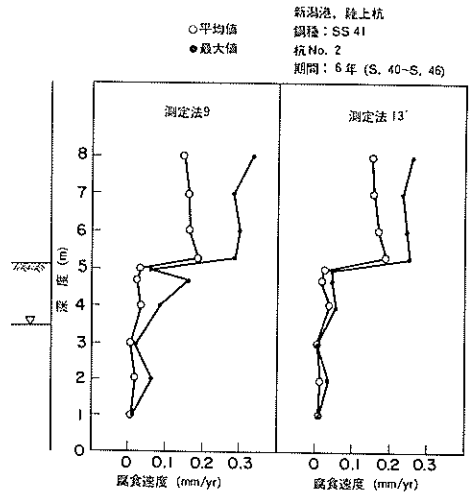
○平均値  
 ●最大値



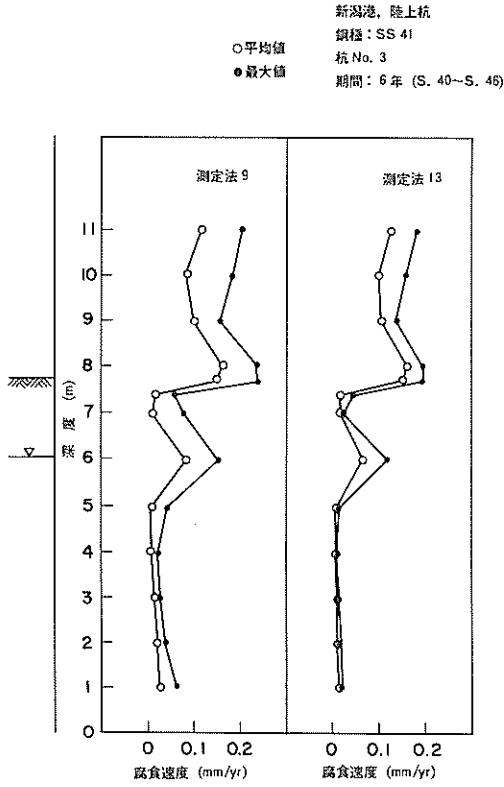
付図4-10 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(4)



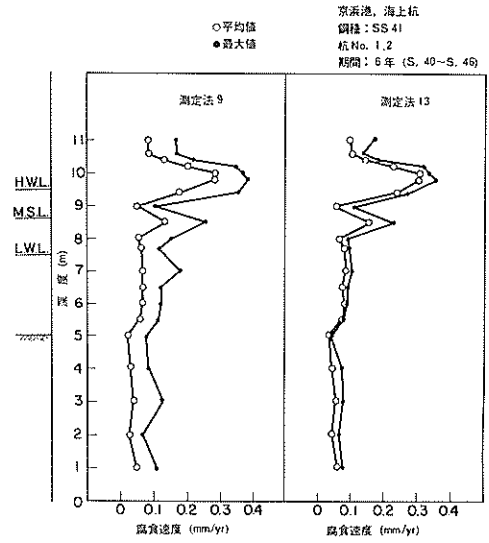
付図4-11 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(5)



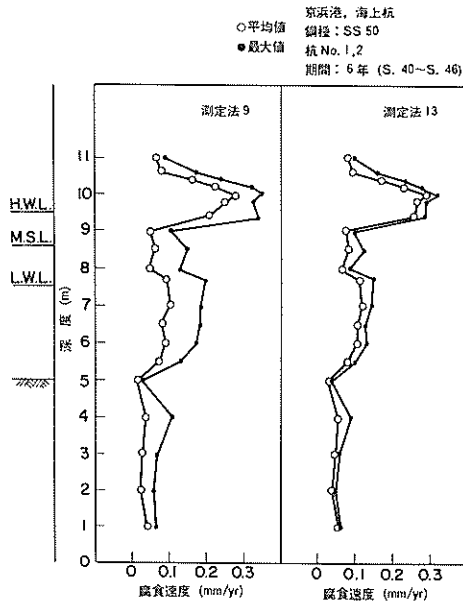
付図4-12 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(6)



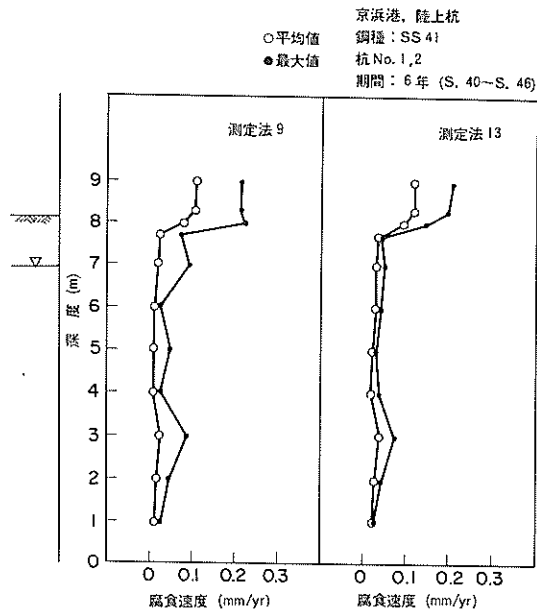
付図4-13 新潟港におけるH杭肉厚測定法の比較(7)



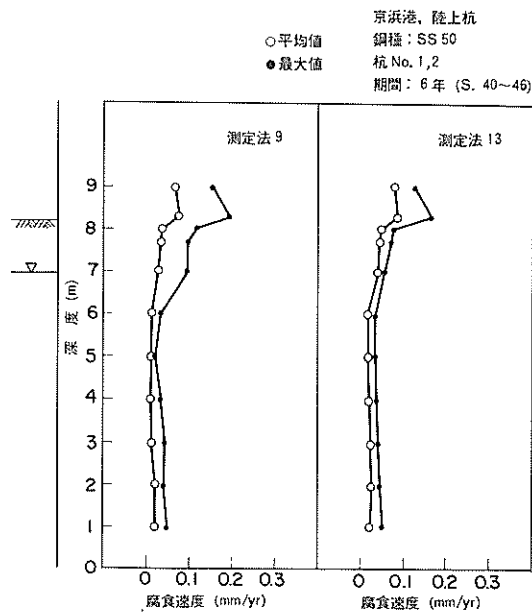
付図4-14 京浜港におけるH杭肉厚測定法の比較(1)



付図4-15 京浜港におけるH杭肉厚測定法の比較(2)

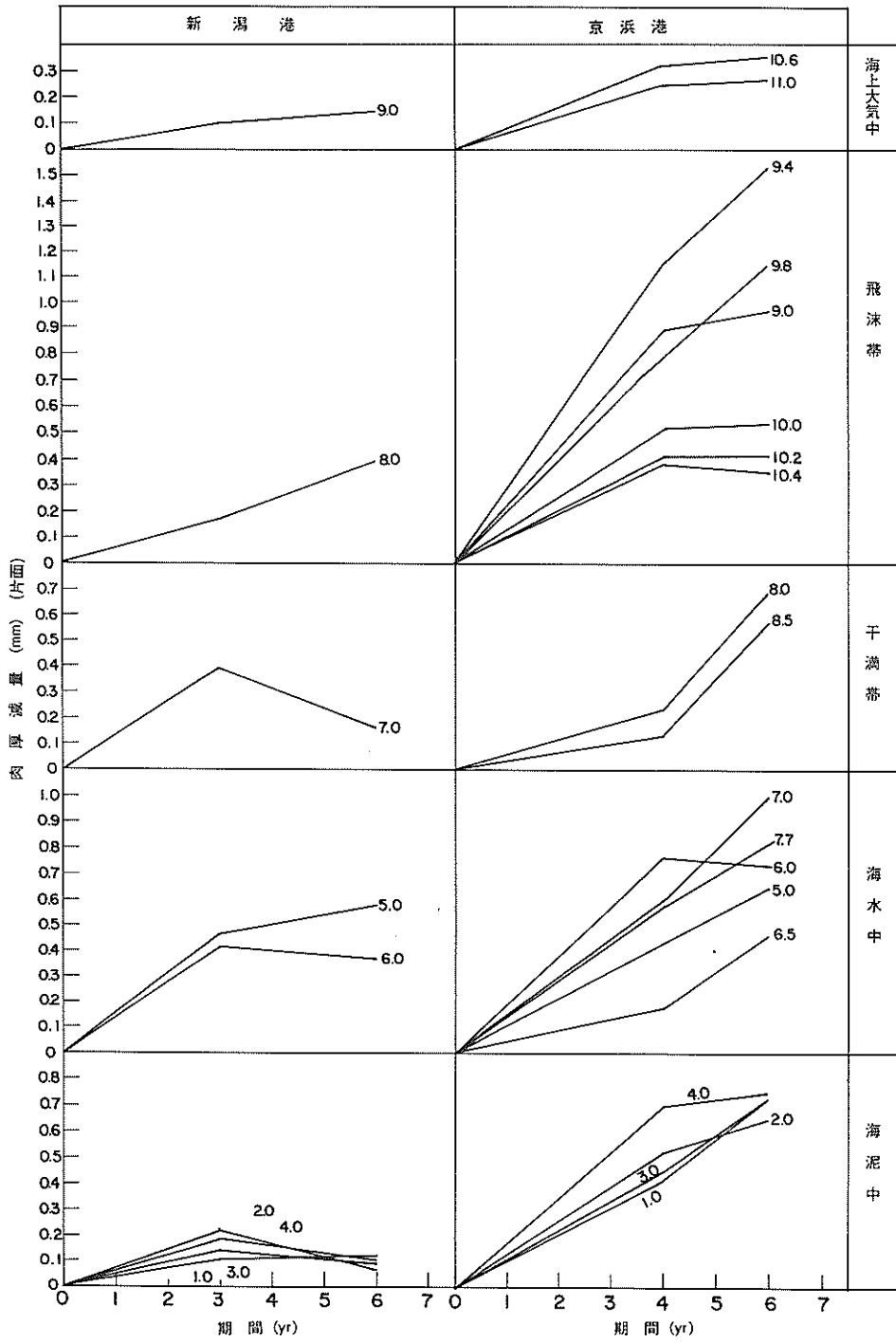


付図4-16 京浜港におけるH杭肉厚測定法の比較(3)



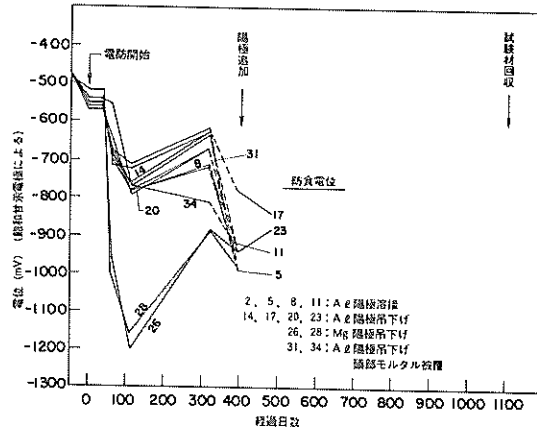
付図4-17 京浜港におけるH杭肉厚測定法の比較(4)

グラフ内の数字は深度 (m) を示す。  
 重量測定による。



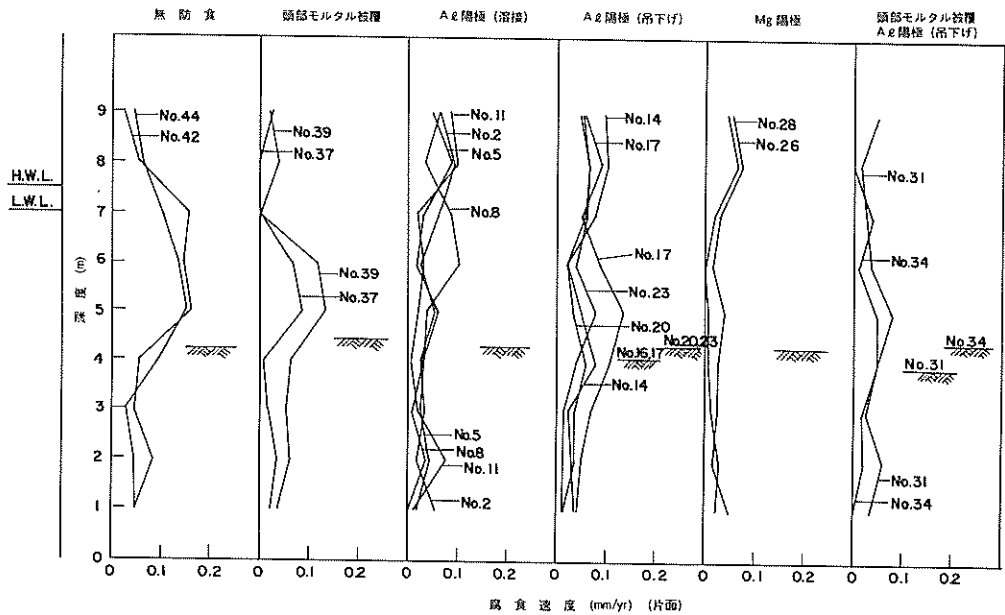
付図5-1 鋼矢板 (海上) 腐食量の経年変化



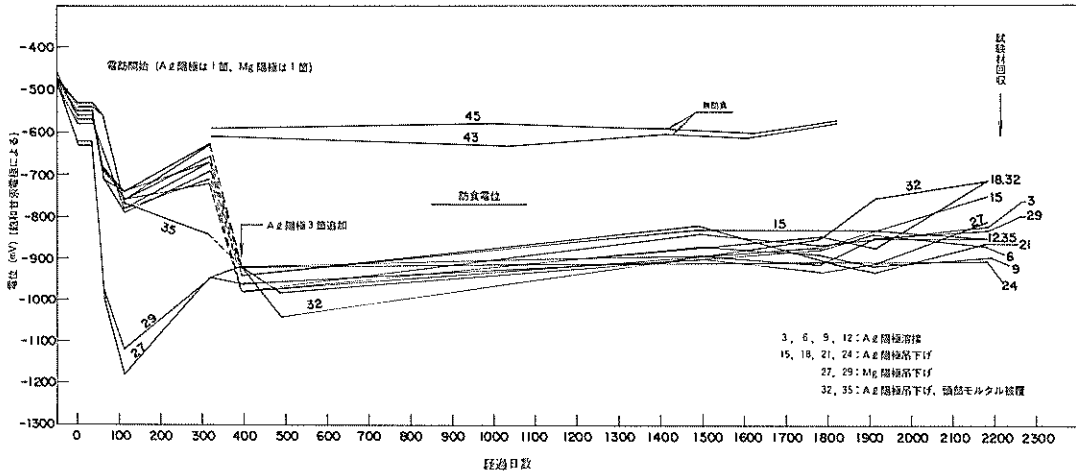


付図6-1 電気防食に用いた鋼矢板の電位変化 (試験期間3年: S. 40~S. 43)

新潟港、海上鋼矢板  
 期間: 3年 (S. 40~S. 43)  
 重量測定による

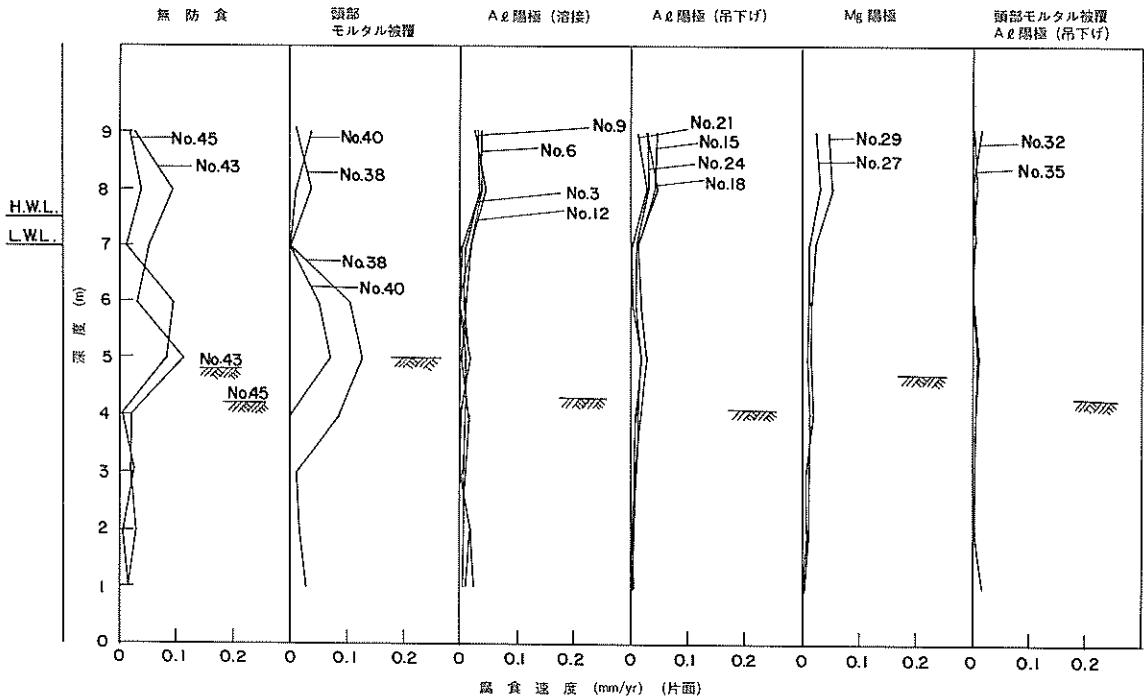


付図6-2 新潟港における鋼矢板腐食速度



付図6-3 電気防食に用いた鋼矢板の電位変化 (試験期間6年: S. 40~S. 46)

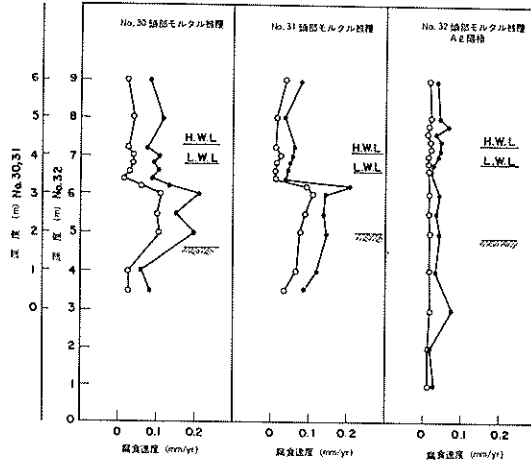
新潟港, 海上鋼矢板  
 期間: 5年 (S. 40~S. 46)  
 重量測定による



付図6-4 新潟港における鋼矢板腐食速度

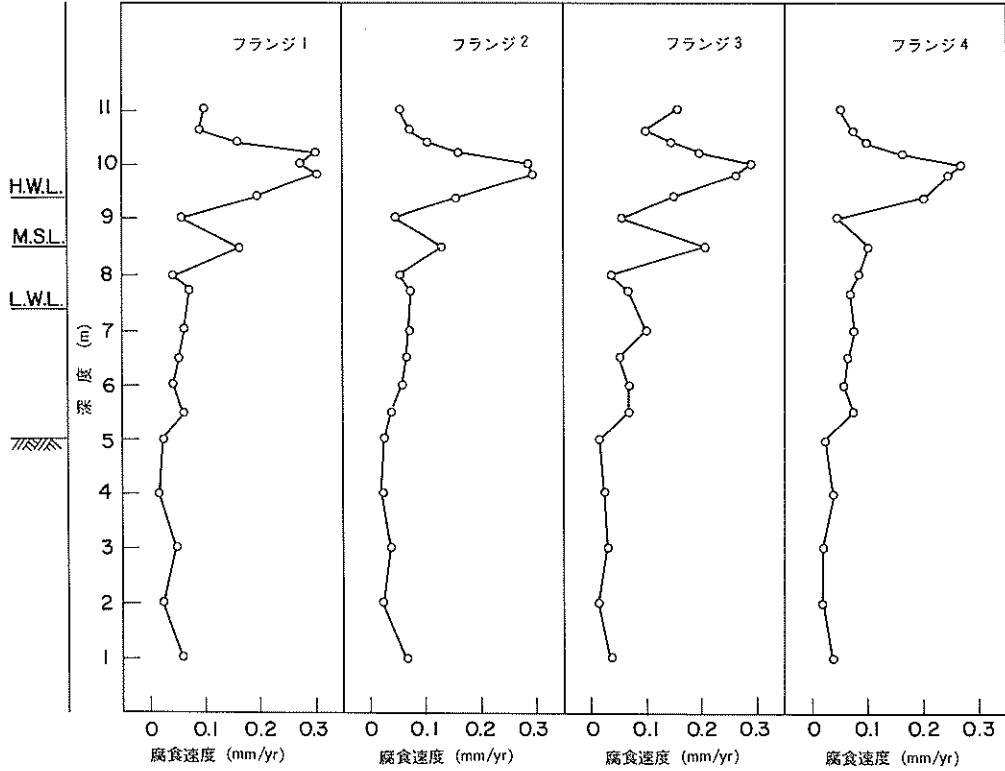
新加坡、海上社  
 試 No. 30, 31, 32  
 期間: 6.5年 (S. 43-S. 47)  
 測定法: B

○平均値  
 ●最大値



付図6-5 防食H杭の腐食速度

京浜港, 海上杭  
 鋼種: SS 41  
 期間: 6年 (S. 40~S. 46)  
 杭 No. 1  
 測定法: 9



付図7-1 京浜港海上H杭の各フランジ毎の腐食傾向(1)

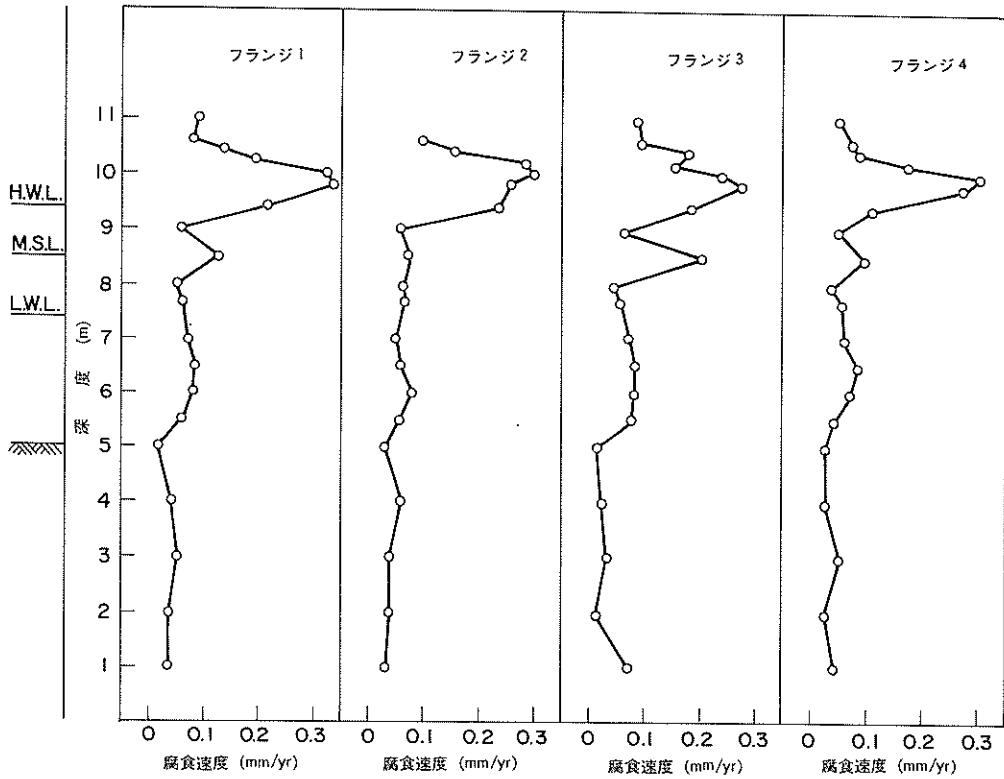
京浜港、海上杭

鋼種：SS 41

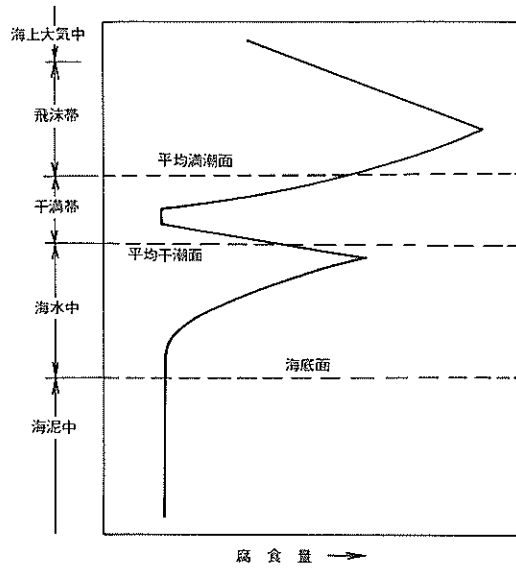
期間：6年

杭 No. 2

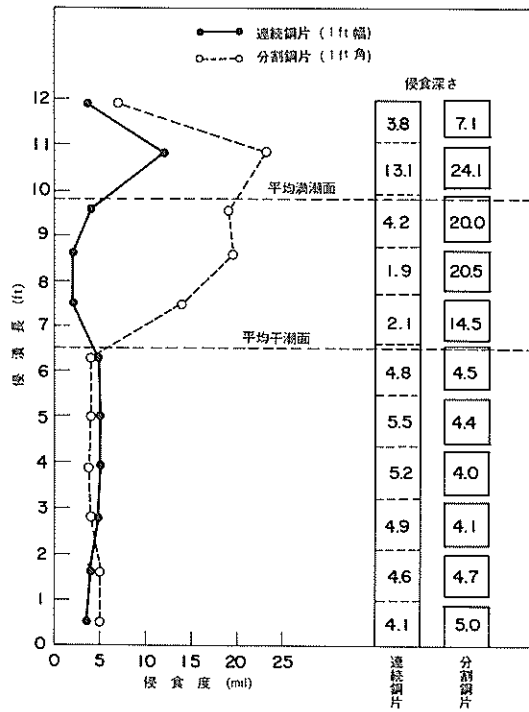
測定法：9



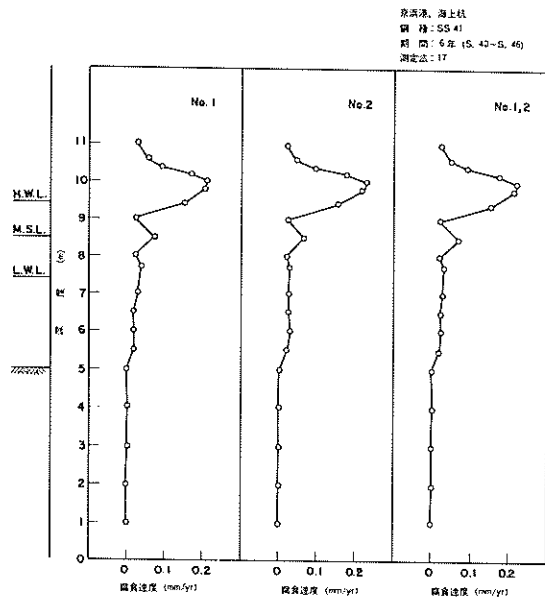
付図7-2 京浜港海上H杭の各フランジ毎の腐食傾向(2)



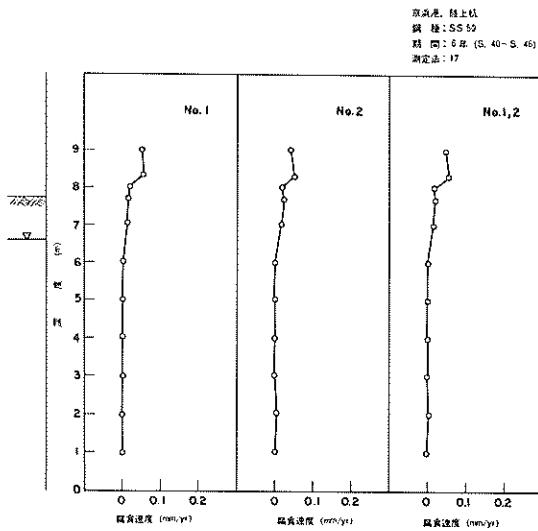
付図7-3 海水中における長尺鋼材の腐食傾向 (Kure Beach, 5年浸漬)



付図7-4 海中浸漬鋼片の侵食度分布 (Kure Beach, 151 day)



付図7-5 京浜港における海上H杭の腐食傾向



付図7-6 京浜港における陸上H杭の腐食傾向

港湾技研資料 No.241

1976・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 日青工業株式会社

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