

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

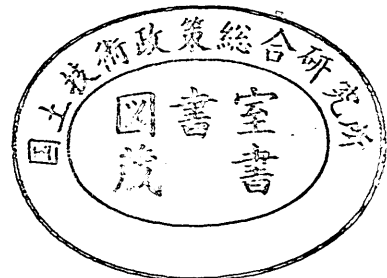
---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 14      NO. 3      SEPT. 1975

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第14巻 第3号 (Vol. 14, No. 3), 1975年9月 (Sept. 1975)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Influence of the clearance between bed and mouth sucking a solid body  
...Yoshikuni OKAYAMA, Tokuji YAGI, Yoshihiro SATO and Masaru SAITO..... 3  
(吸込間隙の影響を受ける固体の吸込力について  
.....八木得次・岡山義邦・佐藤義博・斎藤 勝)
2. 数値波動解析法による港内波高分布の計算...谷本勝利・小舟浩治・小松和彦.....35  
(Numerical analysis of wave propagation in harbours of arbitrary shape  
.....Katsutoshi TANIMOTO, Koji KOBUNE and Kazuhiko KOMATSU)
3. 浅海域における波浪の破碎変形.....合田 良実.....59  
(Deformation of irregular waves due to depth-controlled wave breaking  
.....Yoshimi GODA)
4. 港湾環境における耐食鋼の耐食性調査.....善 一章・阿部正美... 107  
(Survey of corrosion resistance of corrosion-resistant steel under marine  
environments.....Kazuaki ZEN and Masami ABE)
5. 電磁波による岩盤の破碎——局部加熱効果と熱破碎——  
.....小岩苔生・白鳥保夫・高橋英俊・松本 茂... 181  
(Rock breaking by microwave radiation——effects of local heating and thermal  
fracture.....Taisei KOIWA, Yasuo SHIRATORI, Hidetoshi TAKAHASHI  
and Shigeru MATSUMOTO)

## 4. 港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

善 一 章\*

阿 部 正 美\*\*

### 要 旨

港湾環境（海上大気中，飛沫帯，潮位間，海水中，海泥中，陸上大気中，陸土中）における耐食鋼の耐食性を2種類の普通鋼と12種類の耐食鋼のH杭を用いて，1965年～1973年にかけて新潟港，京浜港で調査し，次の結果を得た。

1) 港湾環境では，鋼材の腐食量は鋼種よりも腐食環境に大きく影響されることがわかった。すなわち，要因分析で求めたカテゴリー数量の最大差である要因レンジで比較してみると，新潟港では環境レンジは鋼種レンジの2倍であり，京浜港では5倍であった。

2) 飛沫帯では，P-Cu-Cr系の耐食鋼の腐食量は普通鋼の値の50%程度であり，また，海塩粒子が40～80 mgNaCl/day/m<sup>2</sup>と多い港湾における大気中でも一般の陸上大気中と同様に耐食鋼の耐食性が認められた。

いっぽう，海水中では耐食鋼の腐食量は普通鋼の値よりいく分小さい傾向であり，また，土中では耐食鋼と普通鋼の腐食量は大差なかった。

---

\* 構造部 防食主任研究官

\*\* 構造部

#### 4. Survey of corrosion resistance of corrosion-resistant steel under marine environments

Kazuaki ZEN\*

Masami ABE\*\*

##### Synopsis

Survey of corrosion resistance of corrosion-resistant steel under marine environments, such as marine atmospheric zone, splash zone, tidal zone, submerged zone, mud zone under sea water, atmospheric zone and mud zone at land side, has been carried out by using H-shaped piles consisting of 2 kinds of ordinary steel and 12 kinds of corrosion-resistant steel at Niigata and Keihin harbours in 1965 to 1973, and the following results were obtained.

1) It was approved that corrosion amounts of steel under marine environments were more greatly influenced by corrosion environments than by the kind of steel, that's to say, as a result of comparison with the range of category which was the greatest difference among the category scores calculated by component analysis, the value of corrosion environment was 2 times of that of kind of steel at Niigata harbour and 5 times at Keihin harbour.

2) And it was found that at splash zone, corrosion amounts of P-Cu-Cr system corrosion-resistant steel were only about 50% of those of ordinary steel, and even at atmospheric zone under marine environment in which content of sodium chloride in the air were 40 to 80 mgNaCl/day/m<sup>2</sup>, most corrosion-resistant steel showed good corrosion resistance as well as at ordinary atmospheric zone.

On the other hand, there were such tendencies that in sea water, corrosion amounts of corrosion-resistant steel were a little lesser than those of ordinary steel, while in both mud zones at sea side and land side, corrosion amounts of corrosion-resistant were much the same as those of ordinary steel.

---

\* Senior Research Engineer, Structures Division

\*\* Member, Structures Division

## 目 次

要 旨 .....	107
1. 緒 言 .....	111
2. 試験方法 .....	111
2-1 試験場所 .....	112
2-2 試験期間 .....	112
2-3 試験材および試験材の設置 .....	112
2-4 環境調査法 .....	114
2-5 腐食量測定法 .....	114
3. 新潟港における試験結果 .....	115
3-1 環境調査結果 .....	115
3-2 H杭試験結果 .....	115
3-3 鋼材片試験結果 .....	116
4. 京浜港における試験結果 .....	116
4-1 環境調査結果 .....	116
4-2 H杭試験結果 .....	117
4-3 鋼材片試験結果 .....	117
5. 考 察 .....	117
5-1 新潟港における腐食傾向 .....	117
5-2 京浜港における腐食傾向 .....	121
5-3 試験場所による腐食量差 .....	124
5-4 耐食鋼の耐食性 .....	127
6. 結 論 .....	132
参 考 文 献 .....	133

1. 緒 言

港湾においては大量の鋼材が建設材料として使用されているが、さらに海洋開発の展開とともに一層の鋼材需要増が望まれる。しかしながら、海水の存在のため鋼材の腐食が避けられないので腐食対策が重要な課題である。建設用鋼材としては、一般に SS41, SS50 の杭材や SY-II の矢板材等が使用されるが、これらの普通鋼より腐食量が小さい鋼材が開発されるならば腐食対策の一つである耐食鋼としての使用が期待できる。耐食鋼の使用は普通鋼の腐食しろによる方法と同様に施工、保守が極めて簡便という利点があるが、さらに他の腐食対策との併用効果が普通鋼より秀れる点があればそれに対応する利点も期待される。このためには、使用環境における耐食鋼の腐食特性が明確にされなければならない。耐食鋼は使用環境によって、例えば、陸上構造物用の耐候性鋼、海中構造物用の耐海水鋼等に大別される。前者については、古くから各地で検討され、陸上大気中におかれる耐食性の評価が明らかになるにつれて陸上構造物に実用される段階にきている。これに対して、海中構造物のおかれる環境は複雑であり、耐海水鋼の耐食性は明らかではない。また、海上大気中や海岸に近くて飛沫を浴びる陸上大気中のように海塩粒子が一般の陸上大気中より非常に多い環境での耐候性鋼の耐食性も明らかにする必要がある。したがって、本調査では港湾環境（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）における耐食鋼の耐食性を調査することにした。試験した鋼種は、耐海水鋼のみでなく耐候性鋼や各種試作鋼を含むので、ここでは比較の基準として使用した普通鋼以外の調査鋼種を一括して耐食鋼と呼ぶことにした。

なお、本調査は日本港湾協会との共同研究として昭和40年～昭和49年にかけて実施された。

2. 試験方法

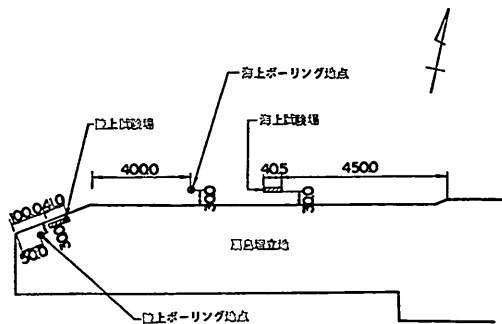


図2-1 京浜港試験場 (s=1:8,000) 単位:m

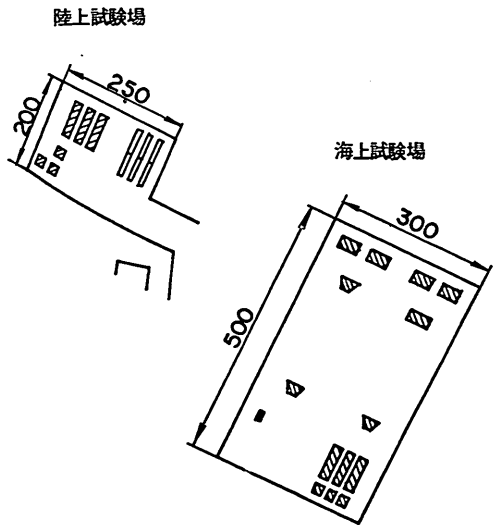
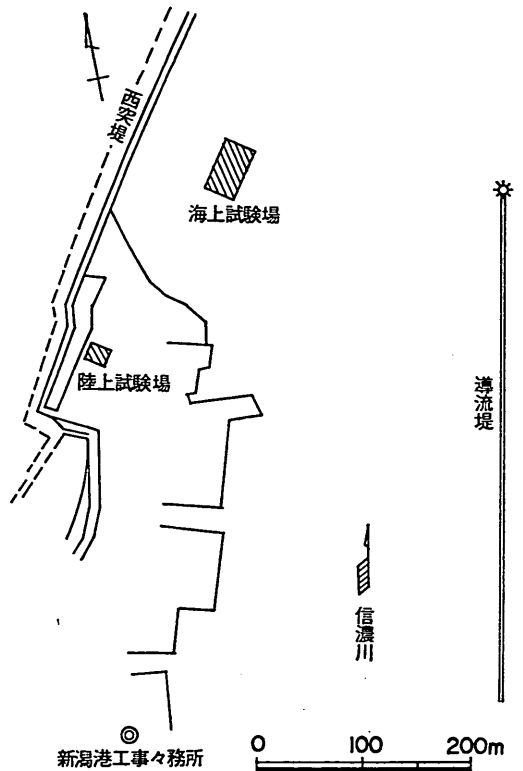


図2-2 新潟港試験場

2-1 試験場所

試験場所は、運輸省第一港湾建設局 新潟港およ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。京浜港の試験場を図2-1に、新潟港の試験場を図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。

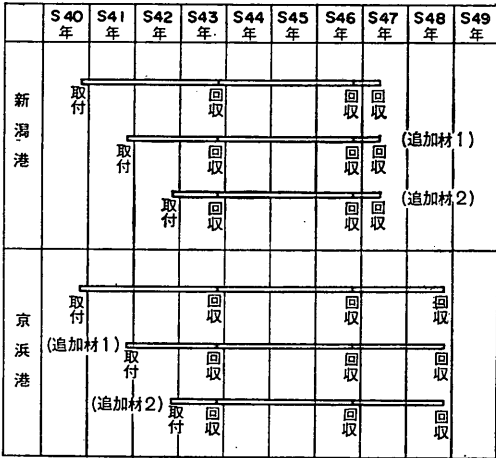


図2-3 試験期間

2-3 試験材および試験材の設置

(1) 試験材

形状・寸法

試験材には長尺材と鋼材片の2種類があり、長尺材としては断面が200mm×200mm×12mmのH杭を、鋼材片としては50mm×80mm×6mmの小片を使用した。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。

鋼種および数量

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

材質

新潟港、京浜港における基準鋼の材質を表2-3に、耐食鋼の成分系を表2-4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により除去したものとの2種類があり、前者を黒皮材、後者をショット材と表わす。いっぽう、H杭は原則として黒皮材であるが、鋼種E、Hはショット材である。

(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および写真2-1の通りである。なお、新潟港では地盤

表 2-1 新潟港における試験材

場所	鋼種	H杭 (200×200×8×12mm) (本)									鋼材片 (50×80×6mm) (枚)								
		40~41	40~43	40~46	41~43	41~46	41~47	42~43	42~46	42~47	40~41	40~43	40~46	41~43	41~46	41~47	42~43	42~46	42~47
新潟港	SS41	6	6	6							20	20	20						
	A	4	4	4							20	20	20						
	B										20	20	20						
	C	4	4	4							20	20	20						
	E	4	4	4							20	20	20						
	F	4	4	4							20	20	20						
	H				4	4	4							20	20	20			
	I	4	4	4							20	20	20						
	J				4	4	4							20	20	20			
	K										20	20	20						
	L																20	20	20
SS41																4	4	8	
SS50																24	24	48	
SY-II																24	24	48	

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

表 2-2 京浜港における試験材

場 所	鋼 種	H 杭 (200×200×8×12mm) (本)									鋼材片 (50×80×6mm) (枚)											
		40~	40~	40~	41~	41~	41~	42~	42~	42~	40~	40~	40~	41~	41~	41~	42~	42~	42~			
		41~	43	46	43	46	48	43	46	48	41~	43	46	43	46	48	43	46	48			
京 浜 港	SS41	4	4	4							16	16	16									
	SS50	4	4	4							16	16	16									
	A	4	4	4							16	16	16									
	B										16	16	16									
	C	4	4	4							16	16	16									
	E	4	4	4							16	16	16									
	F	4	4	4							16	16	16									
	G	4	4	4							16	16	16									
	H				4	4	4							16	16	16						
	I	4	4	4							16	16	16									
	J				4	4	4							16	16	16						
	K										16	16	16									
	L							4	4	4							16	16	16			
	SS41							6	6	8							8	8	16			
SS50																8	8	16				
SY-II							2*	2*	4*							24	24	48				

\* 矢板材

表 2-3 基準鋼の化学成分 (%)

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



表 2-4 耐食鋼の成分系

鋼種	成分系	試験材	
		新潟港	京浜港
A	P-Cu-Cr-Ni	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片
B	Cu-Cr-Ni	鋼材片	鋼材片
C	P-Cu-Cr-Al-Ti	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片
D	P-Cu-Ni	鋼材片	鋼材片
E	Cu-Cr-Ni	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片
F	P-Cu-Cr-Ni-Al	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片
G	P-Cu-Cr		H杭, 鋼材片
H	P-Cu-Cr-Ni	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片
I	P-Cu-Ni	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片
J	P-Cu-Cr	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片
K	Cu	鋼材片	鋼材片
L	P-Cu-Ni	H杭, 鋼材片	H杭, 鋼材片

沈下のために、試験材の取付時と回収時とでは腐食環境が変化した部分もある。試験期間における地盤沈下状況は付図2-4の通りである。

京浜港における試験材の配置状況は、付図2-5～付図2-6および写真2-2の通りである。なお、京浜港では試験期間内の地盤沈下はなかった。

#### 2-4 環境調査法

環境調査は、海水の水質試験、大気分析、気象データの収集およびボーリング調査を行なった。

##### (1) 海水の水質試験

試験項目は、塩分、硫酸イオン、pH、比抵抗で、採水は北原式採水器で行なった。採水地点は、付図2-7の通りである。塩分は塩素イオンを硝酸銀法で求めて算出し、硫酸イオンは硫酸バリウム法によった。また、pHはpH計で、比抵抗はA.C.ブリッジを用いて測定し、比重は比重計で測定した。

##### (2) 大気分析

大気分析項目は、亜硫酸ガスと海塩粒子であり、測定は昭和46年7月～昭和48年3月にかけて行なった。

亜硫酸ガスは二酸化鉛法で測定し、海塩粒子はガーゼに付着した塩分をクロラニル酸第二水銀比色法で測定した。

##### (3) 気象データ

新潟港、京浜港における気象データを収集した。

##### (4) 土質調査

新潟港では付図2-8に、京浜港では図2-1に示す各地点においてボーリング試験を行なった。

#### 2-5 腐食量測定法

##### (1) H杭の腐食量測定

H杭の腐食量は次式より算出した。

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

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

ここで、 $T_0$ : 初期肉厚 (mm)

$T$ : 現有肉厚 (mm)

$t$ : 試験期間 (yr)

$T_0$  および  $T$  については図2-4に示す9点を所定の深度毎に各フランジについて両球型マイクロメータで測定した。なお、 $T_0$  はH杭を打込む前に長尺のまま室内で測定したが、 $T$  は杭を回収後所定の深度からH杭片を切取ってクエン酸二アンモニウム10%溶液で脱錆後測定した。また、回収後の長尺杭面および $T$ 測定前後の杭面の写真撮影を行なった。

##### (2) 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。

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

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

(片面)

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

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)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

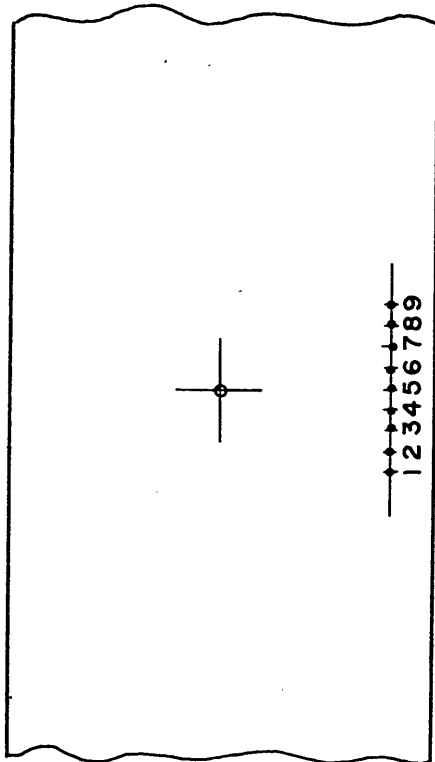
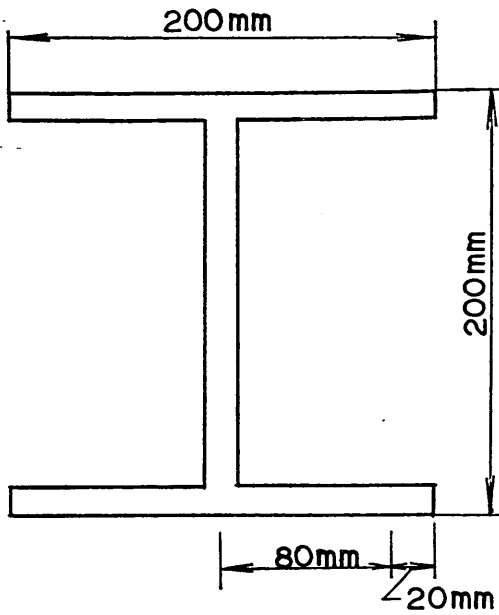


図2-4 H杭の肉厚測定箇所

$W_0$ ,  $W$  の測定は直立型化学天秤で行なった。なお、 $W_0$  の測定は現地取付前に、 $W$  の測定は回収後、10%クエン酸二アンモニウム溶液で脱錆してから行なった。また  $W$  の測定前後に写真撮影を行なった。

3. 新潟港における試験結果

3-1 環境調査結果

(1) 水質試験結果

新潟港海上試験場の水質は pH が 7~8, 塩素イオン ( $Cl^-$ ) が 0.35~12g/l, 比抵抗が 30~800 $\Omega$ -cm, 硫酸イオン ( $SO_4^{--}$ ) が 150~700ppm であり, 外観は無色である。これを清浄海水と比較してみると, pH は大差ないが, 塩素イオンは約  $1/3 \sim 1/50$ , 比抵抗は約 1.2~30倍, 硫酸イオンは約  $1/3.7 \sim 1/17$  と変化している。これは, 海上試験場が信濃川の河口に位置しているため淡水によって海水が希釈されたことによる。

(2) 大気分析結果

新潟港陸上試験場における硫酸ガスは平均 0.24mg  $SO_3$ /day/100cm<sup>2</sup>PbO<sub>2</sub>, 海塩粒子は平均 72mgNaCl/day/m<sup>2</sup> (北向取付ガーゼ), 48mgNaCl/day/m<sup>2</sup> (西向取付ガーゼ) である。一般に行なわれている陸上大気分析では海塩粒子は 0.5~1.4ppm 程度で平均 1.0ppm 内外であり, 亜硫酸ガスは田園地帯で 0.2~0.3mdd, 工業地帯で 2~3mdd 程度である。

PbO<sub>2</sub> 法による SO<sub>2</sub> 汚染度の判定標準<sup>2)</sup> によれば, 汚染度を次のように分類してある。

汚染度	mgSO <sub>3</sub> /day/100cm <sup>2</sup> PbO <sub>2</sub> の値	評価
汚染第1度	0.5以上 1.0未満	軽微な汚染
〃 第2度	1.0以上 2.0未満	普通度の汚染
〃 第3度	2.0以上 3.0未満	中等度の汚染
〃 第4度	3.0以上 4.0未満	やや高度の汚染
〃 第5度	4.0以上	

この判定標準によれば, 新潟港陸上試験場の亜硫酸ガス量は汚染第1度以下である。

(3) 気象データ

新潟港の気温は 1.4~26.0°C, 相対湿度は 68~82% であり, 風向別頻度は W 方向が最も多く強風頻度 (10m/sec 以上) は NW 方向が最も多い。

(4) 土質柱状図

新潟港試験場の土質柱状図を付図3-1に示す。

3-2 H杭試験結果

(1) 海上杭

新潟港海上杭の深度毎の腐食傾向例を 付図3-2~付図3-4 に示す。なお, 図中の実線は各測定深度における鋼

種毎の平均腐食量（測定深度における全測定点 2本×4フランジ×9点=72点の平均値）を示し、点線は各深度における鋼種毎の最大腐食量（全測定点中、大きい方からの5点についての平均値）を示す。また、A～Iの記号は耐食鋼A～Iの平均を意味する。また、付図3-2～付図3-4の左端には地盤沈下に伴う試験材の取付時と回収時の潮位および海底地盤の深度が記入してある。

付図3-2は試験期間3年（S.40～S.43）の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向であり、付図3-3は試験期間6年（S.40～S.46）の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向である。また付図3-4は追加鋼種のH杭腐食傾向である。左図はS.41年に追加されたH、J鋼種の試験期間が5年（S.41～S.46）の腐食傾向であり、右図はS.42年に追加された鋼種SS50、Lの試験期間が4年（S.42～S.46）の腐食傾向である。

新潟港海上杭（6年材）の回収時杭面の状況を写真3-1に示す。新潟港の海水中杭面は、写真3-1に示すようにカキや貝等の生物付着は少なく、むしろ海水中に浮遊している土粒子と錆が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3-2に示す。写真3-2によれば、基準鋼の海水面下（L.W.L.付近、海水中、海泥中）では黒皮によるミゾ腐食（grooving）が発生している。これに対し、耐食鋼ではミゾ腐食は見られない。

#### (2) 陸上杭

新潟港における陸上杭の深度毎の腐食傾向例を付図3-5～付図3-7に示す。なお、図中の実線、点線およびA～Iの意味は海上杭の場合と同じである。

付図3-5は試験期間3年（S.40～S.43）の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向であり、付図3-6は試験期間6年（S.40～S.46）の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向である。付図3-7は追加鋼種のH杭腐食傾向である。左図はS.41年の追加鋼種H、Jの5年ものの腐食傾向であり、右図はS.42年の追加鋼種Lの4年ものの腐食傾向である。

新潟港陸上杭の回収時杭面の状況を写真3-3に示す。新潟港陸上杭（基準鋼）では、写真3-3に見られるように地面直上部には錆層が厚く付着している。

新潟港陸上杭の各環境における脱錆後の杭面の状況を写真3-4に示す。写真3-4に見られるように、基準鋼では土中部分に黒皮によるミゾ腐食が発生しているが、耐食鋼ではミゾ腐食は見られない。

#### 3-3 鋼材片試験結果

海上大気中、干満帯、海水中（-1m）、海水中（-2

m）、陸上大気中における鋼材片の試験結果を付図3-8～付図3-12に示す。付図3-8～付図3-12の1年、3年、6年のデータは、S.40年に取付け1年、3年、6年後にそれぞれ回収した鋼材片の腐食量である。また、付図3-8～付図3-12の下段のデータは、S.40年に取付けS.41年に回収し、薬液による脱錆、腐食量測定後再びS.41年から5.5年間現地に配置した鋼材片の5.5年間の腐食量である。

追加鋼材片の試験結果を付図3-13,14に示す。付図3-13は、S.41年に追加取付け2年、5年、5.5年後にそれぞれ回収した鋼材片（鋼種J、H）の腐食量である。付図3-14は、S.42年に追加取付け1年、4年、4.5年後にそれぞれ回収した鋼材片（鋼種SS50、SY-II、L）の腐食量である。

新潟港における海上大気中、L.W.L.付近、海水中、陸上大気中の各環境に3年間暴露した鋼材片の表面状況を写真3-5に示す。

## 4. 京浜港における試験結果

### 4-1 環境調査結果

#### (1) 水質試験結果

京浜港海上試験場の水質はpHが7～8、塩素イオン（Cl<sup>-</sup>）が16～17g/l、比抵抗が20Ω-cm前後、硫酸イオン（SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>）が2,500ppm程度であり、外観は採水直後は懸濁物のためやや薄黒く見えるが暫く放置しておくとも無色となる。

京浜港海上試験場の海水を清浄海水と比較してみるとpH、塩素イオン、比抵抗、硫酸イオン等は大差ない。

#### (2) 大気分析結果

京浜港陸上試験場における亜硫酸ガスは平均1.4mg SO<sub>4</sub>/day/100cm<sup>2</sup>PbO<sub>2</sub>、海塩粒子は平均35mgNaCl/day/m<sup>2</sup>（北向取付ガーゼ）、45mgNaCl/day/m<sup>2</sup>（西向取付ガーゼ）である。亜硫酸ガスは工業地帯の陸上大気中では2～3mgSO<sub>3</sub>/day/100cm<sup>2</sup>PbO<sub>2</sub>程度という測定例があるが、京浜港陸上試験場の亜硫酸ガスの値はこの値よりやや小さ目である。また、PbO<sub>2</sub>法によるSO<sub>3</sub>汚染度の判定標準<sup>2)</sup>によれば、京浜港陸上試験場の亜硫酸ガス量は汚染第2度に相当する。

#### (3) 気象データ

京浜港の気温は4.1～25.8°C、相対湿度は62～83%であり、風向別頻度はNNW方向が最も多く強風頻度（10m/sec以上）もNNW方向が最も多い。

#### (4) 土質

京浜港試験場の土質柱状図を付図4-1（海上試験場）、

付図4-2 (陸上試験場) に示す。付図4-1によれば、海上杭の海泥はシルト層であり、付図4-2によれば、陸上杭の土質は砂層である。

#### 4-2 H杭試験結果

##### (1) 海上杭

京浜港海上杭の深度毎の腐食傾向例を付図4-3～付図4-5に示す。なお、図中の実線、点線およびA～Iの意味は新潟港海上杭の場合と同じである。

付図4-3は試験期間3年(S.40～S.43)の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向であり、付図4-4は試験期間6年(S.40～S.46)の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向である。付図4-5は追加鋼種のH杭腐食傾向である。左図はS.41年に追加された鋼種H、Jの試験期間が5年(S.41～S.46)の腐食傾向であり、右図はS.42年に追加された鋼種SS41、Lの試験期間が4年(S.42～S.46)の腐食傾向である。

京浜港海上杭(6年材)の回収時杭面の状況を写真4-1に示す。京浜港では新潟港に比べて海水中杭面にフジソバ、貝等の生物付着が著しい。

京浜港海上杭(6年材)の各環境における杭面の脱錆後の状況を写真4-2に示す。写真4-2に示すように、海水面下(干満帯、海水中、海泥中)では基準鋼杭面に黒皮によるミゾ腐食が発生しているが、耐食鋼杭面にはミゾ腐食は見られない。

##### (2) 陸上杭

京浜港における陸上杭の深度毎の腐食傾向例を付図4-6～付図4-8に示す。なお、図中の実線、点線およびA～Iの意味は新潟港海上杭の場合と同じである。

付図4-6は試験期間3年(S.40～S.43)の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向であり、付図4-7は試験期間6年(S.40～S.46)の基準鋼と耐食鋼のH杭腐食傾向である。付図4-8は追加鋼種のH杭腐食傾向である。左図はS.41年に追加された鋼種H、Jの試験期間が5年(S.41～S.46)の腐食傾向であり、右図はS.42年に追加された鋼種SS41、Lの試験期間が4年(S.42～S.46)の腐食傾向である。

京浜港陸上杭(6年材)の回収時杭面の状況を写真4-3に示す。陸上大気中では基準鋼の錆は粗く層状であるが、耐食鋼の錆は緻密である状況が写真4-3よりわかる。

京浜港陸上杭(6年材)の脱錆後の杭面の状況を写真4-4に示す。写真4-4によれば、地中の基準鋼杭面には黒皮によるミゾ腐食が見られるが、耐食鋼ではミゾ腐食は見られない。

#### 4-3 鋼材片試験結果

海上大気中、干満帯、海水中、陸上大気中における鋼材片の試験結果を付図4-9～付図4-12に示す。図中の1年、3年、6年のデータは、S.40年に取付け1年、3年、6年後にそれぞれ回収した鋼材片の腐食量である。また、図中の下段のデータは、S.40年に取付けS.41年に回収し、薬液による脱錆、腐食量測定後再びS.41年から5.5年間現地に配置した鋼材片の5.5年間の腐食量である。

追加鋼材片の試験結果を付図4-13, 14に示す。付図4-13は、S.41年に追加取付け2年、5年、7年後にそれぞれ回収した鋼材片(鋼種J、H)の腐食量である。付図4-14は、S.42年に追加取付け1年、4年、6年後にそれぞれ回収した鋼材片(鋼種SY-II、L)の腐食量である。

京浜港における海上大気中、干満帯、海水中、海泥中陸上大気中の各環境に3年間暴露した鋼材片の表面状況を写真4-5に示す。

## 5. 考 察

### 5-1 新潟港における腐食傾向

新潟港では地盤沈下(付図2-4参照)のため、飛沫帯、潮位間、海水上部(L.W.L.付近)におかれる試験材(H杭の該当する部分および鋼材片)では取付時と回収時とで地盤沈下量に相当する環境のずれがあった。したがって、回収した試験材の腐食環境は試験材の取付深度取付期間を考慮して決める必要がある。H杭の腐食傾向は主として各環境中の代表深度について検討したが、鋼種間の有意差検定のために行なった分散分析と要因効果を検討するために行なった要因分析では、試験材回収時点の環境を腐食環境とし、分析では各環境に含まれる全データを使用した。

#### (1) 海上大気中

海上大気中の試験材としては、海上杭のH.W.L.上の部分(H杭深度6.0、7.0m)と海水面上取付鋼材片が該当する。H杭海上大気中の腐食量について鋼種間の差を分散分析で検定してみると、3年材、6年材とも1%水準で有意差が認められる。なお、このときの腐食速度(片面)の平均値は、3年材で基準鋼0.088mm/yr、耐食鋼0.044mm/yr、6年材で基準鋼0.062mm/yr、耐食鋼0.026mm/yrである。

図5-11によれば、基準鋼の腐食量は経年とともにほぼ直線的に増加しているが、耐食鋼では経年とともに頭打ちとなる傾向がある。このことから、基準鋼と耐食鋼の腐食量差は経年とともに拡大して行くことが予想される。

因みに、6年材（H杭深度7.0m）の腐食速度（片面）は基準鋼で0.067mm/yr、耐食鋼で0.024mm/yrである。

いっぽう、鋼材片でも図5-13、図5-14に示すように腐食速度は経年とともに低下する傾向があり、3年材の腐食速度（片面）は基準鋼では黒皮材0.071mm/yr、ショット材0.055mm/yr、耐食鋼では黒皮材0.047mm/yr、ショット材0.042mm/yrである。

#### (2) H. W. L. 付近

H. W. L. 付近のH杭試験材としては、回収時の環境で判断すると3年材ではH. W. L. 上約0.2mからH. W. L. 付近までの範囲、6年材ではH. W. L. 上約0.4mからH. W. L. 付近までの範囲が該当する。H. W. L. 付近の最大腐食量は図5-11に示すように基準鋼、耐食鋼とも経年とともに頭打ちとなる傾向が見られ、6年材の腐食速度（片面）は基準鋼で0.181mm/yr、耐食鋼で0.140mm/yrである。

#### (3) 干満帯

図5-11に示すように、腐食量は基準鋼では経年とともにほぼ直線的に増加しているのに対して、耐食鋼では経年とともに頭打ちの傾向がある。6年材の腐食速度（片面）は、基準鋼で0.065mm/yr、耐食鋼で0.049mm/yrである。

#### (4) 海水中上部（L. W. L. 付近）

H杭試験材を回収したときのL. W. L. 付近（H杭深度4.2～4.4m付近）がこれに該当する。

図5-11によれば、腐食量は基準鋼、耐食鋼とも経年とともに頭打ちの傾向があるが、耐食鋼の方が頭打ちの度合いが大きい。6年材の腐食速度（片面）は、基準鋼で0.111mm/yr、耐食鋼で0.095mm/yrである。

#### (5) 海水中

海水中の試験材には、H杭（海水中）と鋼材片（-1m、-2m）がある。H杭海水中の腐食量について鋼種による差を分散分析で検定してみると、鋼種間の有意差は3年材では認められないが、6年材では1%水準で認められた。図5-11によれば、腐食量は基準鋼では経年とともに直線的に増加しているが、耐食鋼では経年とともに頭打ちの傾向がある。6年材の腐食速度（片面）は、基準鋼で0.113mm/yr、耐食鋼で0.076mm/yrである。

鋼材片の腐食量も、図5-13、図5-14に示すように経年とともに基準鋼は直線的に増加するのに対して耐食鋼は頭打ちの傾向が見られる。鋼材片3年材の腐食速度（片面）は、基準鋼で0.146mm/yr（黒皮材）、0.161mm/yr（ショット材）、耐食鋼で0.140mm/yr（黒皮材）、0.138

mm/yr（ショット材）である。

#### (6) 海泥中

海泥中試験材は、海上H杭の深度2.5m付近から下部が該当する。海泥中の腐食速度は0.02mm/yr（片面）程度と小さく、基準鋼と耐食鋼間の差はほとんど見られない。

#### (7) 陸上大気中

陸上大気中の試験材としては、陸上杭の地面上部分と地上面に取付けた鋼材片が該当する。

陸上大気中のH杭試験材の腐食量について鋼種間の差を分散分析で検定してみると、3年材、6年材とも1%水準で有意差が認められた。なお、このときの腐食速度（片面）の平均値は、3年材で基準鋼0.112mm/yr、耐食鋼0.045mm/yr、6年材で基準鋼0.128mm/yr、耐食鋼0.033mm/yrである。

図5-12（地上約3m上）によれば、基準鋼の腐食量は6年材で急増しているのに対して、耐食鋼の腐食量は経年とともに頭打ちになる傾向がある。地上約3m上の6年材の腐食速度（片面）は、基準鋼で0.148mm/yr、耐食鋼で0.028mm/yrである。

鋼材片では図5-13、図5-14に示すように、腐食量は基準鋼では黒皮材、ショット材とも経年とともに直線的に増加するが、腐食量の増加は黒皮材の方がショット材より著しく6年材ではショット材の3.3倍にもなっている。これに対して、耐食鋼の腐食量は黒皮材、ショット材とも経年とともに頭打ちとなり、6年材では黒皮材の腐食量はショット材の値より10%増程度であり大きくない。鋼材片6年材の腐食速度（片面）は、基準鋼で黒皮材0.238mm/yr、ショット材0.072mm/yr、耐食鋼で黒皮材0.042mm/yr、ショット材0.037mm/yrであった。

H杭基準鋼では、写真5-1に示すように地面直上部の粗い層状の錆層が落ち難く、この錆層下のH杭腐食速度は0.188mm/yr（片面）で地上約3m上の値より大きい。

#### (8) 陸土中（不飽和砂層と飽和砂層中）

陸上中試験材としては、陸上杭の地中埋設部分が該当する。

陸土中では、図5-12に示すように腐食量は基準鋼、耐食鋼とも経年とともに頭打ちとなり、基準鋼、耐食鋼間の腐食量差はほとんどない。6年材の腐食速度（片面）は、不飽和砂層中で基準鋼0.034mm/yr、耐食鋼0.033mm/yr、飽和砂層中で基準鋼0.018mm/y、耐食鋼0.015mm/yrであった。

#### (9) 要因分析からみた腐食特性

新潟港における鋼材腐食量に影響する要因効果を検討

するためにH杭と鋼材片のケースについて要因分析を行った。

H 杭

H杭については6年材の肉厚減量(両面, mm)を外的基準とし, 腐食特性としては鋼種, 環境, フランジの向を取り上げた。腐食特性は次のカテゴリーに分割した。

アイテム	カテゴリー
1. 鋼種	1. 基準鋼 2. 耐食鋼(A, C, E, F, I,)
2. 環境	1. 海上大気中 2. H. W. L. 付近 3. 干満帯 4. 海水中 5. 海泥中 6. 陸上大気中 7. 陸土中
3. フランジの向	1. 1 2. 2 3. 3 4. 4

要因分析の結果を図5-1に示す。なお, 実測値と推定値の相関係数  $\rho$  は 0.70 である。図5-1で, mmはH杭肉厚減量 (mm両面) そのものであり, このmmの軸の正の方向に線の向きのあるカテゴリーは肉厚減量を大きくする方向に作用し, 負の方向に線の向きのあるカテゴリーは肉厚減量を小さくする作用をしている。また, 図5-1では結果を見やすくするために数値の総平均は0になるようにしてある。

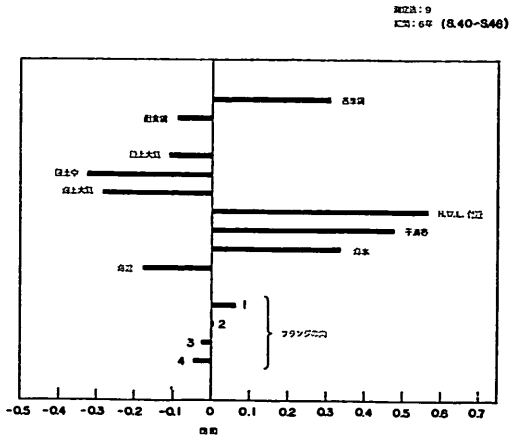


図 5-1 新潟港におけるH杭腐食特性の各カテゴリー数値

各腐食特性毎に最大の数値から最小の数値を引いたものをレンジと呼ぶが, 図5-1よりレンジを求めてみると, 鋼種0.515mm, 環境1.099mm, フランジの向0.110mmである。このレンジの大きいアイテムは腐食量への影響が強く, 反対にレンジの小さいアイテムは腐食量へほとんど影響しないアイテムといえる。この結果, H杭腐食量への影響度は環境, 鋼種, フランジの向となる。

環境の中, 腐食量を大きくするカテゴリー(正方向のカテゴリー)はH. W. L. 付近(0.566mm), 干満帯(0.476mm), 海水中(0.336mm)であり, 腐食量を減らすカテゴリー(負方向のカテゴリー)は陸土中(-0.328mm), 海上大気(-0.286mm), 海泥(-0.179mm), 陸上大気(-0.115mm)である。

鋼種では, 腐食量を大きくするカテゴリーは基準鋼(0.308mm), 腐食量を減らすカテゴリーは耐食鋼(-0.093mm)である。

フランジの向は環境, 鋼種に比べてH杭腐食量におよぼす影響はかなり小さく, レンジの大きさは環境レンジの1/10程度である。フランジの向で, 腐食量を大きくするカテゴリーは1(0.065mm), 2(0.003mm)であり, 腐食量を減らすカテゴリーは4(-0.044mm), 3(-0.024mm)である。

次に, H杭肉厚減量(6年材, 両面)の実測値と推定値\*の相関性は図5-2のようになる。図5-2に示すように,

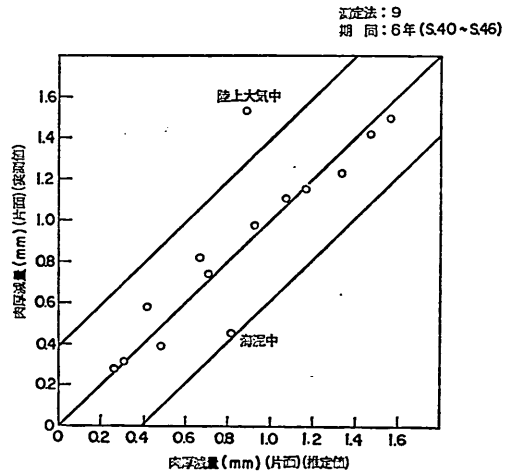


図 5-2 新潟港H杭肉厚減量の実測値と推定値の相関図

\* 推定値の算出法

$$\text{推定値} = \sum x_{jk} \quad (1)$$

$$\text{推定値} = \sum (x_{jk} - x_j) + \text{総平均} \quad (2)$$

ただし,  $x_{jk}$ : アイテム  $j$  のカテゴリー  $k$  に与えられた数値

$x_j$ : " " の平均

大半の値は信頼限界内に入っているが、基準鋼陸上大気中の値のみは信頼限界内に入っていない。このことは、陸上大気中の腐食傾向は要因分析のときに設定したアイテム、カテゴリーで説明するには不十分であることを示唆している。また、基準鋼陸上大気中では推定値より実測値の方が大きい、このずれは表面観察結果や鋼材片データ等から考えるとH杭表面状態（黒皮の有無）が要因として働いているものと思われる。

鋼材片

鋼材片については、3年材の腐食速度(mm/yr片面)を外的基準とし、腐食特性としては鋼種、環境、鋼材表面を取り上げた。腐食特性は次のカテゴリーに分類した。

- |       |        |
|-------|--------|
| アイテム  | カテゴリー  |
| 1. 鋼種 | 1. 基準鋼 |

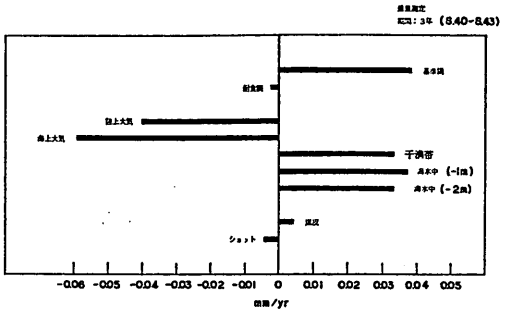


図 5-3 新潟港における鋼材片腐食特性の各カテゴリー数量

- |                                   |
|-----------------------------------|
| 2. 耐食鋼(A, B, C, D, E, F, G, I, K) |
| 2. 環境                             |
| 1. 海上大気中                          |
| 2. 干満帯                            |

重量測定  
期間：3年(S40・S43)

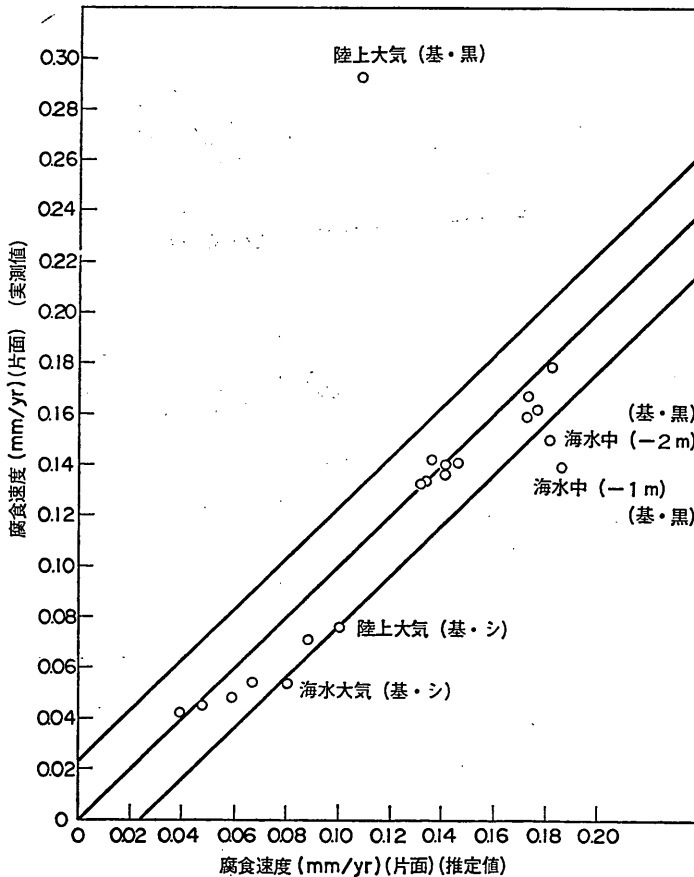


図 5-4 新潟港鋼材片腐食量の実測値と推定値の相関図

3. 海水中(-1 m)
  4. 海水中(-2 m)
  5. 陸上大気中
3. 表面
1. 黒皮
  2. ショット

要因分析の結果を図5-3に示す。このときの相関係数  $\rho$  は 0.89 である。各腐食特性毎のレンジは鋼種 0.050 mm/yr, 環境 0.097 mm/yr, 表面 0.009 mm/yr で、レンジの大きさから鋼材片の腐食量に影響するアイテムは腐食環境 > 鋼種 > 鋼材表面の順となる。

環境の中、腐食量を大きくするカテゴリーは海水中(-1 m) (0.038 mm/yr), 海水中(-2 m) (0.034 mm/yr), 干満帯 (0.034 mm/yr) であり、腐食量を減らすカテゴリーは海上大気中 (-0.059 mm/yr), 陸上大気中 (-0.040 mm/yr) である。

鋼種では、腐食量を大きくするカテゴリーは基準鋼 (0.039 mm/yr) であり、腐食量を小さくするカテゴリーは耐食鋼 (-0.003 mm/yr) である。

鋼材表面は環境、鋼種に比べて腐食量におよぼす影響はかなり小さく、レンジの大きさは環境レンジの約  $1/10$  である。鋼材表面では、腐食量を大きくするカテゴリーは黒皮 (0.004 mm/yr) であり、腐食量を減少するカテゴリーはショット (-0.004 mm/yr) である。

次に、鋼材片腐食速度 (3年材, 片面) の実測値と推定値の相関性を求めてみると、図5-4の通りである。図5-4に示すように、基準鋼 (黒皮材) 陸上大気中の値の片寄りがひどく、実測値は実に推定値の約3倍にも達している。これは、他の環境を含めた平均では鋼材表面の腐食量に対する影響度は低い、陸上大気中のみでは鋼材表面の影響が著しいことを示している。この他、海水中 (-1 m, -2 m) の基準鋼, 黒皮材, 陸上大気中 (基準鋼, ショット材), 海上大気中 (基準鋼, ショット材) では信頼限界すれすれかまたは少しはずれている。

### 5-2 京浜港における腐食傾向

H杭の腐食傾向は主として各環境中の代表深度について検討したが、鋼種間の有意差検定のために行なった分散分析と要因効果を検討するために行なった要因分析では、試験材回収時点の環境を腐食環境とし、分析では各環境に含まれる全データを使用した。

#### (1) 海上大気中

海上大気中の試験材としては、海上杭の H.W.L. 上の部分 (H杭深度 10.6 m 以上付近) と海水上取付鋼材片が該当する。

H杭海上大気中の腐食量について鋼種間の差を分散分

析で検定してみると、3年材, 6年材とも1%水準で有意差が認められる。なお、このときの腐食速度 (片面) の平均値は、3年材で基準鋼 0.194 mm/yr, 耐食鋼 0.094 mm/yr, 6年材で基準鋼 0.178 mm/yr, 耐食鋼 0.101 mm/yr である。図5-11によれば、基準鋼の腐食量は経年とともに直線的に増加しているが、耐食鋼では経年とともに頭打ちとなる。図5-11に示す深度 11.0 m の6年材の腐食速度 (片面) は基準鋼 0.084 mm/yr, 耐食鋼 0.030 mm/yr である。

いっぽう、鋼材片でも図5-13, 図5-14に示すように基準鋼の腐食量は経年とともにほぼ直線的に増加しているが、耐食鋼の腐食量は経年とともに頭打ちとなる。3年材の鋼材片腐食速度 (片面) は、基準鋼では黒皮材 0.122 mm/yr, ショット材 0.106 mm/yr, 耐食鋼では黒皮材 0.058 mm/yr, ショット材 0.054 mm/yr である。

#### (2) 飛沫帯

飛沫帯の試験材としては、海上杭の H.W.L. 付近の部分 (H杭深度 9.0~10.4 m) が該当する。飛沫帯のH杭腐食量について鋼種間の差を分散分析で検定してみると、3年材, 6年材とも1%水準で有意差が認められる。なお、このときの腐食速度 (片面) の平均値は、3年材で基準鋼 0.268 mm/yr, 耐食鋼 0.207 mm/yr, 6年材で基準鋼 0.207 mm/yr, 耐食鋼 0.182 mm/yr である。

飛沫帯の最大腐食量は、図5-11に示すように基準鋼, 耐食鋼ともほぼ直線的に増加しており、6年材の腐食速度 (片面) は基準鋼 0.285 mm/yr, 耐食鋼 0.233 mm/yr である。

#### (3) 干満帯

干満帯の試験材としては、干満帯におけるH杭部分と干満帯に取付けた鋼材片が該当する。

H杭腐食量は、図5-11に示すように基準鋼, 耐食鋼とも経年とともに頭打ちの傾向があるが、頭打ちの度合は耐食鋼の方が大きい。H杭6年材の腐食速度 (片面) は基準鋼で 0.053 mm/yr, 耐食鋼 0.018 mm/yr であった。

鋼材片腐食量でも、図5-13, 図5-14に示すようにH杭腐食量と同じような経年変化の傾向である。鋼材片3年材の腐食速度 (片面) は、基準鋼では黒皮材 0.179 mm/yr, ショット材 0.171 mm/yr, 耐食鋼では黒皮材 0.120 mm/yr, ショット材 0.118 mm/yr である。

#### (4) 海水中上部 (L.W.L. 付近)

海水中上部の試験材としては、海上杭の L.W.L. 付近の部分 (H杭深度 8.0 m 付近) が該当する。図5-11によれば、基準鋼と耐食鋼の腐食量は経年とともに多少頭



打ちの傾向があるように見受けられるが、基準鋼と耐食鋼の腐食量差はあまりない。

(5) 海水中 (±0 ~ -3 m)

海水中の試験材には、H杭海水中部分(±0 ~ -3 m)と海水中(-1.5m)取付の鋼材片がある。

H杭海水中の腐食量について鋼種による差を分散分析で検定してみると、3年材、6年材とも1%水準で有意差が認められた。分析に供した海水中データの平均腐食速度(片面)は、3年材では基準鋼 0.087mm/yr, 耐食鋼 0.098mm/yr, 6年材では基準鋼 0.080mm/yr, 耐食鋼 0.095mm/yr で、基準鋼より耐食鋼の方が若干大きかった。

図5-11 (H杭深度 6.0mの腐食量)によれば、基準鋼耐食鋼とも腐食量は経年とともにほぼ直線的に増加している。6年材の腐食速度(片面)は、基準鋼で 0.101mm/yr, 耐食鋼で 0.108mm/yr である。

鋼材片の腐食量は、図5-13、図5-14に示すように基準鋼、耐食鋼とも鋼材表面(黒皮材, ショット材)に関係なくほぼ直線的に増加しているが、基準鋼の方が耐食鋼よりやや大きい。鋼材片3年材の腐食速度(片面)は、基準鋼で黒皮材 0.129mm/yr, ショット材 0.132mm/yr 耐食鋼で黒皮材 0.101mm/yr, ショット材 0.099mm/yr である。

(6) 海泥中

海泥中試験材は、海上H杭の深度5m付近から下部の部分が該当する。海泥中の腐食速度は 0.03mm/yr (片面, 6年材)以下で小さく、基準鋼と耐食鋼間の腐食速度差はあまりない。

(7) 陸上大気中

陸上大気中の試験材としては、陸上杭の地面上部分と地面上に取付けられた鋼材片が該当する。

陸上大気中のH杭試験材の腐食量について鋼種間の差を分散分析で検定してみると、3年材、6年材とも1%水準で有意差が認められた。分析データの平均腐食速度(片面)は3年材では基準鋼 0.0091mm/yr, 耐食鋼 0.040mm/yr, 6年材では基準鋼 0.088mm/yr, 耐食鋼 0.039mm/yr である。

図5-12 (H杭深度 9.0m)によれば、基準鋼の腐食量は直線的に増加しているが耐食鋼の腐食量は経年とともに頭打ちの傾向が見られる。この結果、基準鋼と耐食鋼間の腐食量差は経年とともに開いて行く。H杭6年材の腐食速度(片面)は、基準鋼で 0.108mm/yr, 耐食鋼で 0.044mm/yr である。

鋼材片の腐食量は、図5-13、図5-14に示すように基準

鋼の腐食量は経年とともに直線的に増加するが、耐食鋼の腐食速度は1年以後急減している。この結果、H杭と同じく鋼材片でも基準鋼と耐食鋼間の腐食量差は経年とともに開くことになる。鋼材片3年材の腐食速度(片面)は、基準鋼で黒皮材 0.094mm/yr, ショット材 0.070mm/yr, 耐食鋼で黒皮材 0.038mm/yr, ショット材 0.036mm/yr である。

(8) 陸土中(不飽和砂層中と飽和砂層中)

陸土中試験材としては、陸上杭の地中埋設部分が該当する。

陸土中では、図5-12に示すように基準鋼、耐食鋼の腐食量は経年とともに頭打ちの傾向があり、基準鋼と耐食鋼間の腐食量差はほとんどない。6年材の腐食速度(片面)は、不飽和砂層中で 0.02~0.03mm/yr, 飽和砂層中で 0.01~0.02mm/yr 程度で小さい。

(9) 要因分析からみた腐食特性

京浜港における鋼材腐食量に影響する要因効果を検討するために、H杭と鋼材片のケースについて要因分析を行なった。

H 杭

H杭については6年材の肉厚減量(両面, mm)を外的基準とし、腐食特性としては鋼種、環境、フランジの向を取り上げた。腐食特性は次のカテゴリーに分割した。

アイテム	カテゴリー
1. 鋼種	1. 基準鋼 2. 耐食鋼(A, C, E, F, G, I)
2. 環境	1. 海上大気中 2. 飛沫帯 3. 干満帯 4. 海水中 5. 海泥中 6. 陸上大気中 7. 陸土中
3. フランジの向	1. 1 2. 2 3. 3 4. 4

要因分析の結果を図5-5に示す。なお、実測値と推定値の相関係数 $\rho$ は0.67である。各腐食特性毎のレンジは鋼種0.390mm, 環境2.101mm, フランジの向0.066mmであり、H杭の腐食量に影響するアイテムは環境>鋼種>フランジの向となる。

環境の中、腐食量を大きくするカテゴリーは飛沫帯(1.548mm), 海上大気中(0.688mm), 海水中(0.317

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

mm) であり、腐食量を減らすカテゴリーは陸土中 (-0.479mm)、海泥(-0.301mm)、干満帯(-0.192mm) 陸上大気中 (-0.117mm) である。

鋼種では、腐食量を大きくするカテゴリーは基準鋼 (0.176mm) であり、腐食量を減らすカテゴリーは耐食

鋼 (-0.06mm) である。

フランジの向は、環境、鋼種に比べてH杭肉厚減量におよぼす影響はかなり小さく、レンジの大きさは環境の約 1/30 である。フランジの向では、腐食量を大きくするカテゴリーは向 1 (0.029mm)、向 3 (0.012mm) であり

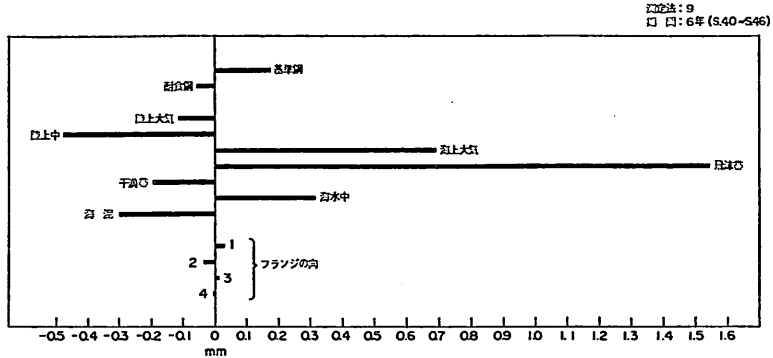


図 5-5 京浜港におけるH杭腐食特性の各カテゴリー数量

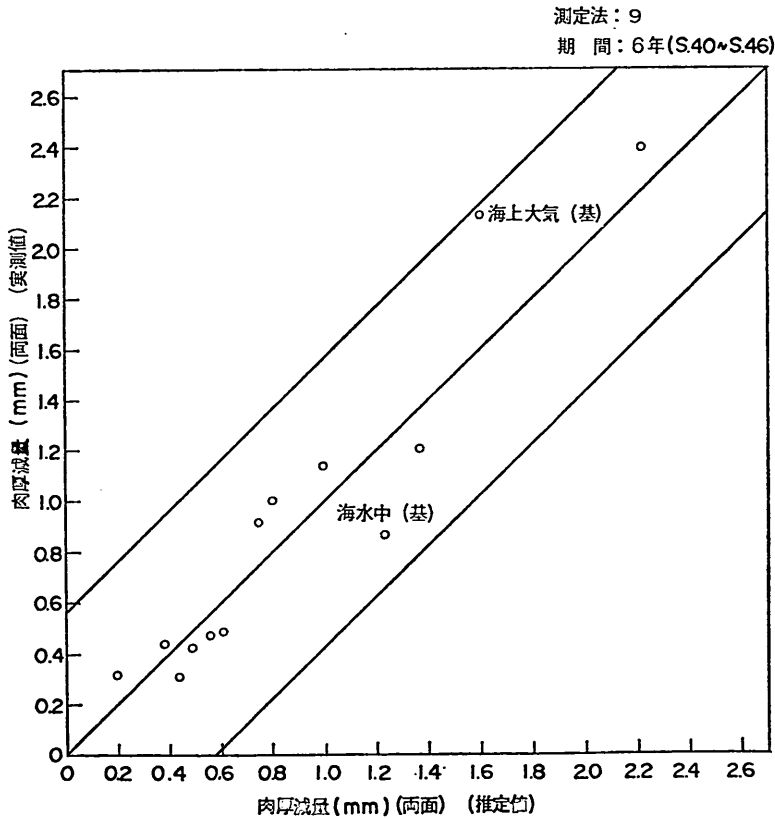


図 5-6 京浜港H杭肉厚減量の実測値と推定値の相関図

腐食量を減らすカテゴリーは向2(-0.36mm)向4(-0.005mm)である。

次に、H杭肉厚減量(6年材,両面)の実測値と推定値の相関性を求めてみると図5-6の通りである。図5-6によれば、何れも信頼限界内に入っているが、海上大気中の基準鋼では推定値 1.60mm, 実測値 2.13mmと片寄りが大き目である。

鋼材片

鋼材片については、3年材の腐食速度(mm/yr,片面)を外的基準とし、腐食特性には鋼種、環境、鋼材表面を取り上げた。腐食特性は次のカテゴリーに分割した。

- |       |  |
|-------|--|
| アイテム  | カテゴリー                                    |
| 1. 鋼種 | 1. 基準鋼<br>2. 耐食鋼 (A, C, E, F, G, I)      |
| 2. 環境 | 1. 海上大気中<br>2. 干満帯<br>3. 海水中<br>4. 陸上大気中 |
| 3. 表面 | 1. 黒皮<br>2. ショット                         |

要因分析の結果得られた各カテゴリー数量\*を図5-7に示す。このときの相関係数  $\rho$  は 0.90 である。各腐食特性毎のレンジは鋼種 0.052mm/yr, 環境 0.085mm/yr, 表面 0.004mm/yr であり、レンジの大きさから鋼材片の腐食量に影響するアイテムの順序は環境>鋼種>表面となる。

環境の中、腐食量を大きくするカテゴリーは干満帯(0.044mm/yr), 海水中(0.020mm/yr) であり、腐食量を減らすカテゴリーは陸上大気(-0.041mm/yr), 海上大気(-0.022mm/yr) である。

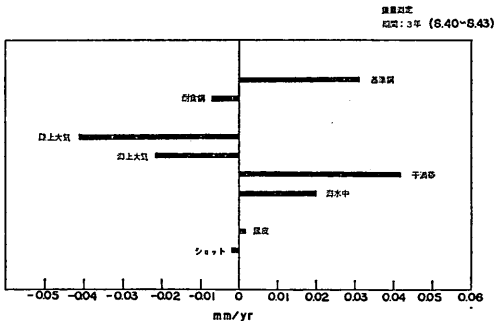


図 5-7 京浜港における鋼材片腐食特性の各カテゴリー数量

\* 結果を見やすくするために数値の総平均は0になるようにしてある。

鋼種では、腐食量を大きくするカテゴリーは基準鋼(0.031mm/yr)であり、腐食量を小さくするカテゴリーは耐食鋼(-0.007mm/yr)である。

鋼材表面は環境、鋼種に比べて腐食量におよぼす影響は小さく、レンジの大きさは環境レンジの約1/20である。鋼材表面では、腐食量を大きくするカテゴリーは黒皮(0.002mm/yr)であり、腐食量を減らすカテゴリーはショット(-0.002mm/yr)である。

次に、鋼材片腐食速度(3年材,片面)の実測値と推定値\*の相関性を求めてみると、図5-8の通りである。図5-8に示すように、京浜港鋼材片(3年材)では信頼限界内に何れも収まっており、また、相関係数も0.90と大きい。したがって、京浜港鋼材片(3年材)では設定したアイテム・カテゴリーで一応腐食量は説明できるようである。

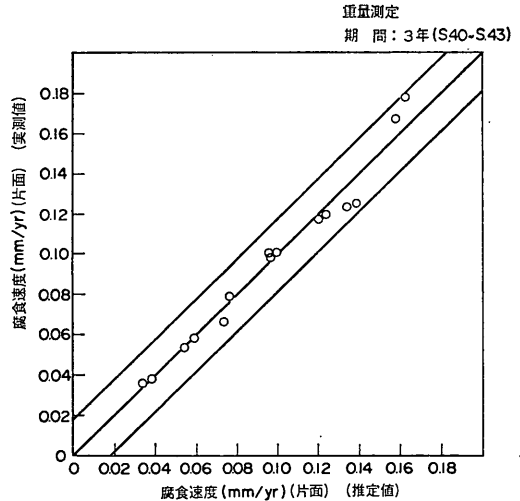


図 5-8 京浜港鋼材片腐食量の実測値と推定値の相関図

5-3 試験場所による腐食量差

試験場所による腐食量を比較してみると、海上試験場では図5-9, 陸上試験場では図5-10のようになる。図5-9, 10では、各環境毎に試験材(H杭, 鋼材片)の腐食量が肉厚減量(mm, 片面)として棒グラフで示してある。なお、H杭試験材の肉厚減量はどの環境にも含まれているが、鋼材片試験材の値は海上大気中, 干満帯, 海水中, 陸上大気中の4環境に限られている。この4環境では、H杭基準鋼, H杭耐食鋼, 鋼材片基準鋼(黒皮材), 鋼材片基準鋼(ショット材), 耐食鋼鋼材片(黒皮材), 耐食

\*\* 推定値の算出は、新鴻港H杭肉厚減量の推定値算出法に準ずる。

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

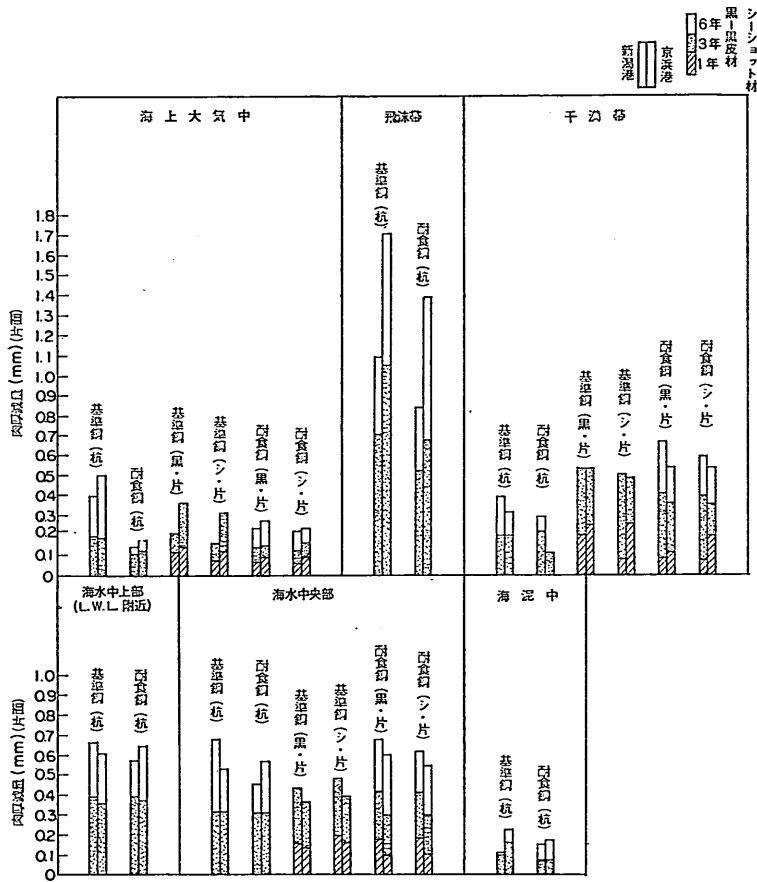


図 5-9 試験場所による腐食量の比較 (海上試験場)

鋼鋼材片 (ショット材) の順に左から並べてあり、その他の環境ではH杭基準鋼、H杭耐食鋼の順に左から並べてある。これら各試験材の棒グラフは左側が新潟港、右側が京浜港の値であり、また、H杭試験材では3年材、6年材の値より成り、鋼材片試験材では1年材、3年材もしくは1年材、3年材、6年材の値より成る。

(1) 海上大気中

H杭腐食速度 (6年材, 片面) は、基準鋼では新潟港 (H.W.L. 上 2.0m) の値 0.067mm/yr に対して京浜港 (H.W.L. 上 1.5m) の値は 0.083mm/yr であるが耐食鋼では新潟港、京浜港とも 0.02~0.03mm/yr で場所による腐食速度差はあまりない。

鋼材片腐食速度 (3年材, 片面) でもH杭腐食速度と同様の傾向が基準鋼、耐食鋼でそれぞれ見られる。

京浜港基準鋼 (3年材) の腐食量は、鋼材片の方がH杭より2倍位大きい。これは、鋼材片の取付深度が付図

2-6 に示すように飛沫帯に接近した海上大気中であることに起因すると思われる。

(2) 飛沫帯

図5-9 に示す飛沫帯の値は、新潟港、京浜港飛沫帯の最大値 (飛沫帯の中で腐食量が最大である深度の値) をとった。

H杭腐食量は基準鋼、耐食鋼とも新潟港より京浜港の方が約1.6倍大きい傾向であり、京浜港の最大腐食速度 (6年材, 片面) は基準鋼で 0.285mm/yr、耐食鋼で 0.232mm/yr である。また、飛沫帯の平均腐食速度を基準鋼 (6年材, 片面) について比較してみると、京浜港の値 (0.193mm/yr) は新潟港の値 (0.124mm/yr) の約1.6倍である。このように、新潟港より京浜港の方が飛沫帯の腐食量が多いが、この原因として場所による飛沫条件の違いや新潟港の地盤沈下による環境変化 (初期は海上大気中であつたが回収時には飛沫帯) 等があげら

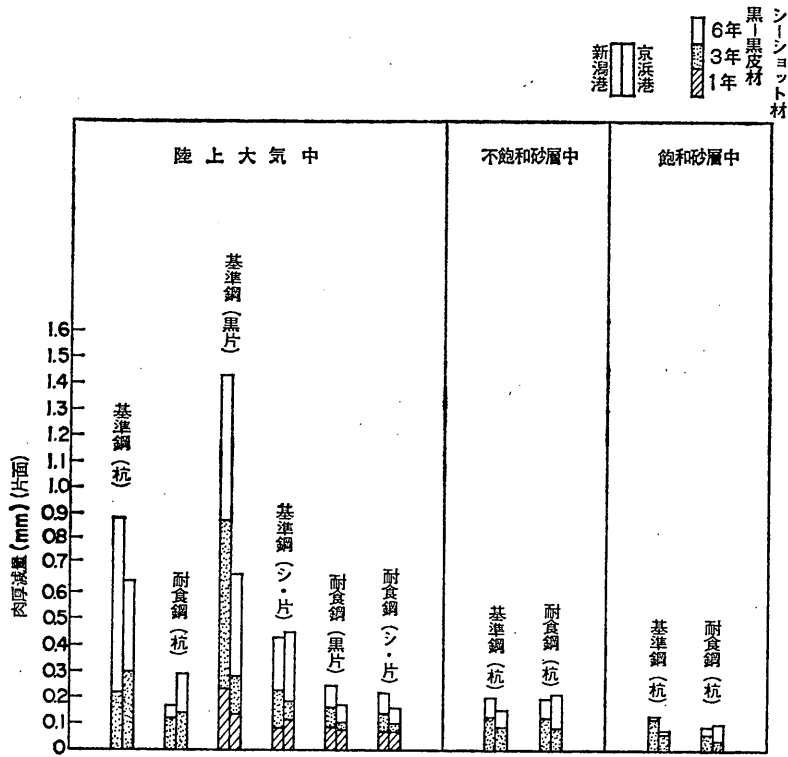


図 5-10 試験場所による腐食量の比較 (陸上試験場)

れる。

飛沫帯普通鋼の腐食速度は、大湊湾の鋼矢板 (40年経過) で平均 0.103mm/yr (海側, 陸側合せての値で, 海側の値が主), 最大 0.26mm/yr 以上 (海側+陸側), 東京湾の鋼管杭 (11年経過) で 0.1~0.2mm/yr (外側+内側) であった調査例<sup>9)</sup>がある。また, 港湾構造物設計基準<sup>4)</sup>では普通鋼 H. W. L. 以上の腐食速度は 0.15mm/yr (両面とも海側の片面) である。したがって, 今回の飛沫帯平均腐食速度を設計基準の値と比べてみると, 新潟港では基準の値より小さく京浜港では基準の値より大きい。耐食鋼平均の腐食速度は, 基準鋼の値に対して新潟港, 京浜港とも約80%である。

(3) 干満帯

図5-9のH杭腐食量は干満帯における最小値である。H杭腐食速度 (6年材, 片面) は, 基準鋼では新潟港 0.065mm/yr, 京浜港 0.053mm/yr, 耐食鋼では新潟港 0.049mm/yr, 京浜港 0.018mm/yr であり, 基準鋼, 耐食鋼とも新潟港の方が京浜港より腐食速度は大きく目である。このような傾向は, 新潟港の地盤沈下による環境変

化(初期は飛沫帯で回収時は干満帯)が一因と思われる。

いっぽう, 鋼材片腐食速度を基準鋼についてみると場所および鋼材表面による差はあまりない。

(4) 海水中

海水中上部 (L. W. L. 付近) のH杭腐食速度はL. W. L. 付近の最大値をとった。海水中上部ではH杭腐食速度 (6年材, 片面) は, 新潟港では基準鋼 0.11mm/yr, 耐食鋼 0.095mm/yr, 京浜港では基準鋼, 耐食鋼ともあまり差はなく 0.10~0.11mm/yr 程度である。

海水中央部 (新潟港では杭深度 3.0m, 京浜港では杭深度 6.0m) の値と比較してみると, H杭腐食速度 (6年材, 片面) は, 新潟港では基準鋼 0.11mm/yr, 耐食鋼 0.08mm/yr であり, 京浜港では基準鋼, 耐食鋼とも 0.07~0.08mm/yr 程度である。基準鋼についてみると新潟港の方が腐食速度はやや大きく, 耐食鋼については場所による差はあまりない。因みに, 新潟港は河川水による海水の希釈があり, 京浜港では石炭粉末等による汚濁が認められた他は清浄海水との差はない。

いっぽう, 鋼材片腐食速度 (片面) は基準鋼, 耐食鋼

とも場所による差はあまりなく、基準鋼（3年材）で新潟港 0.14mm/yr, 京浜港 0.12mm/yr, 耐食鋼（3年材）で新潟港 0.14mm/yr, 京浜港 0.10mm/yr である。

H杭と鋼材片の腐食量を比較してみると、新潟港では鋼材片の方がH杭より大き目であるが、京浜港ではほとんど差は見られない。

海中での鋼材腐食速度(普通鋼)は一般に 0.10mm/yr (片面)<sup>3)</sup> 以下であり、港湾構造物設計基準でも 0.2mm/yr (両面) である。これに対して、本調査でも基準鋼全体平均値は 0.10mm/yr (6年材, 片面) 程度である。

#### (5) 海 泥 中

H杭腐食速度（6年材, 片面）は、基準鋼では新潟港 (0.017mm/yi) より京浜港 (0.038mm/yr) の方が大きい、耐食鋼では新潟港 (0.026mm/yr) と京浜港 (0.029mm/yr) の差はあまりない。

北湊港鋼矢板 (34年経過)<sup>3)</sup> の海泥中の腐食速度は 0.01mm/yr (片面) 以下と非常に小さい。また、港湾構造物設計基準では普通鋼海泥中の腐食速度は 0.05mm/yr (両面) である。今回の調査結果では、新潟港は調査例より大きく設計基準値と大差なく、京浜港は調査例より大きく設計基準値よりやや大きい。これは、構造物調査例の方が経過期間が長いこと、試験材に比べて構造物は揺れないため酸素の供給が非常に少ないこと、土質の差等が関係しているのではないと思われる。また、新潟港より京浜港の方が腐食速度が大きいのは、京浜港の海泥はシルト層であるのに対して新潟港の海泥は砂層であることにも一因があるものと思われる。

#### (6) 陸上大気中

H杭腐食速度（6年材, 片面）では、新潟港（地上 1.8m）で基準鋼 0.148mm/yr, 耐食鋼 0.028mm/yr, 京浜港（地上 1.5m）で基準鋼 0.108mm/yr, 耐食鋼 0.048mm/yr であり、基準鋼で比べてみると新潟港の方が大きい。陸上大気中では気象条件以外に亜硫酸ガスと海塩粒子が腐食に大きな影響を持つが、本調査のように飛沫を浴びる新潟港陸上大気中では海塩粒子（飛沫）による影響が基準鋼（黒皮材）では著しい。

鋼材片腐食速度（6年材, 片面）では、基準鋼（黒皮材）のみ新潟港 0.238mm/yr, 京浜港 0.112mm/yr と大差があるが、基準鋼（ショット材）、耐食鋼（黒皮材, ショット材）では場所の差はほとんどない。また、基準鋼では鋼材表面状況による差が著しく、黒皮材とショット材の腐食量比は新潟港  $\frac{3}{1}$ 、京浜港  $\frac{1}{1}$  である。これは、先に述べた新潟港における飛沫や表面結露と密接な関係がありそうである。これに対して、耐食鋼では鋼

材表面状況による腐食量差はあまりない。

#### (7) 陸土中（不飽和砂層中, 飽和砂層中）

H杭腐食量は、陸土中では場所の差はあまりなく、不飽和砂層中では 0.03mm/yr, 飽和砂層中では 0.02mm/yr 程度である。

#### 5-4 耐食鋼の耐食性

新潟港, 京浜港における試験材（H杭, 鋼材片）の腐食量測定結果から、基準鋼と耐食鋼の腐食量を比較してみると次のようになる。図5-11にH杭（海上）腐食量の比較を、図5-12にH杭（陸上）腐食量の比較を、図5-13に鋼材片（黒皮材）の腐食量の比較を、図5-14に鋼材片（ショット材）の腐食量の比較を示す。

#### (1) 海上大気中

H杭では、新潟港, 京浜港ともほぼ同様に基準鋼の腐食量は経年とともに直線的に増加するが、耐食鋼の腐食量は経年とともに頭打ちとなる。耐食鋼の6年間の腐食量は、新潟港, 京浜港とも基準鋼の値の36%である。耐食鋼の中、新潟港では鋼種 E (Cu-Cr-Ni 系), F (P-Cu-Cr-Ni-Al 系) の腐食量が小さく基準鋼の値の29%であり、京浜港では鋼種 E, F, G (P-Cu-Cr 系) の腐食量が小さく基準鋼の値の16%(E), 28%(F), 31%(G)である。

鋼材片では、耐食鋼の腐食量はH杭と同じく新潟港, 京浜港とも経年とともに頭打ちの傾向である。これに対して、基準鋼の腐食量は京浜港では経年とともに直線的に増加する傾向が見られるが、新潟港では経年とともに多少頭打ちの傾向である。しかし、基準鋼腐食量の経年変化は6年材試験片脱落のためはっきりしない面がある。耐食鋼の腐食量は、基準鋼の値に対して3年材で新潟港では67%（黒皮材）、76%（ショット材）であり、京浜港では48%（黒皮材）、51%（ショット材）である。耐食鋼の中、新潟港黒皮材では鋼種 D (P-Cu-Ni 系), A (P-Cu-Cr-Ni 系), C (P-Cr-Cr-Al-Ti 系) の腐食量が小さく基準鋼の値の56%(D), 61%(A), 62%(C)であり、新潟港ショット材では鋼種 D の腐食量が小さく基準鋼の値の58%である。京浜港黒皮材では鋼種 F (P-Cu-Cr-Ni-Al 系), E (Cu-Cr-Ni 系), A, C の腐食量が小さく基準鋼の値の32%(F), 37%(E), 40%(A, C)であり、京浜港ショット材では鋼種 F, I (P-Cu-Ni 系), A, C の腐食量が小さく基準鋼の値の34%(F), 41%(I), 43%(A), 45%(C)である。

#### (2) 飛沫帯

新潟港では、基準鋼, 耐食鋼とも腐食量は経年とともに頭打ちの傾向であり、耐食鋼の6年間の腐食量は基準

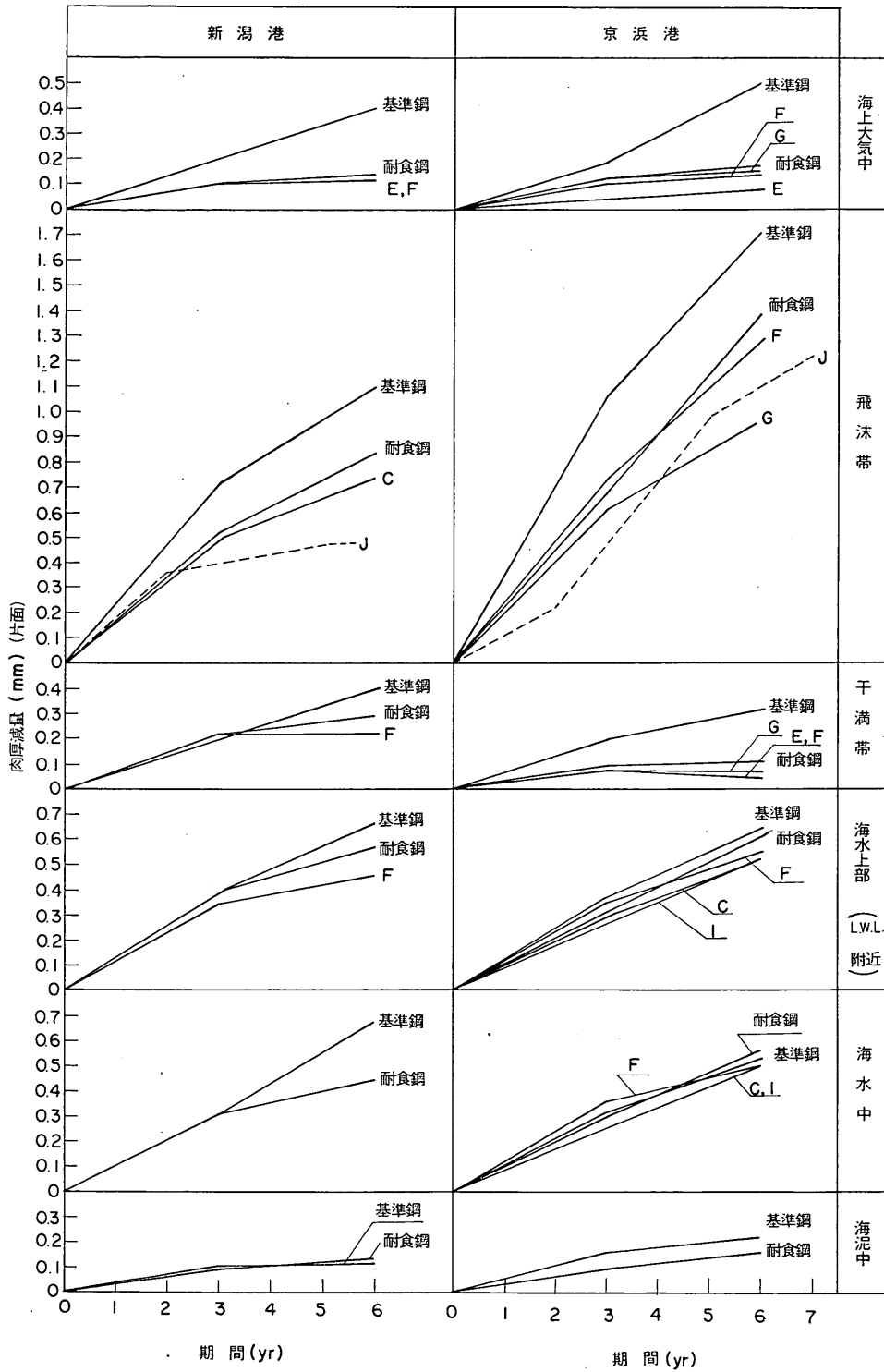


図5-11 H杭 (海上) 腐食量の比較

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

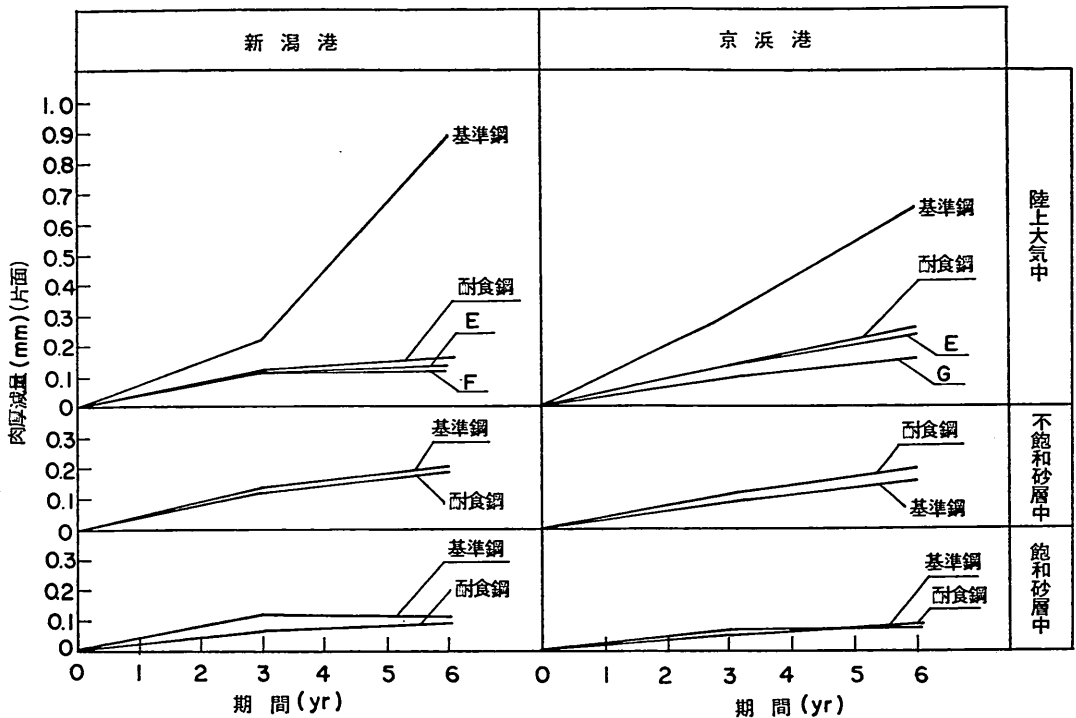


図 5-12 H杭 (陸上) 腐食量の比較

鋼の値の77%である。耐食鋼の中、鋼種 C (P-Cu-Cr-Al-Ti 系) の腐食量がやや小さく基準鋼の値の70%である。追加材鋼種 J (P-Cu-Cr 系, S. 41 年取付) の腐食量は図5-11より求めた基準鋼5年目の値に対して49%である。

京浜港では、基準鋼、耐食鋼とも腐食量は経年とともに頭打ちの傾向が見られる。耐食鋼6年間の腐食量は基準鋼の値の80%である。耐食鋼の中、鋼種 G (P-Cu-Cr 系) F (P-Cu-Cr-Ni-Al 系) の腐食量が小さく、基準鋼の値の57%(G)、75%(F)である。追加材では、鋼種 G と同系の鋼種 J の腐食量は図5-11より求めた基準鋼5年目の値に対して66%である。

(3) 干潟帯

新潟港H杭では、基準鋼の腐食量は経年とともに直線的に増加するが、耐食鋼では頭打ちの傾向である。耐食鋼の6年間の腐食量は基準鋼の値の75%である。耐食鋼の中、鋼種 F (P-Cu-Cr-Ni-Al系) の腐食量が小さく基準鋼の値の52%である。

鋼材片では、耐食鋼の腐食量は経年とともに頭打ちの傾向であるが、基準鋼では経年とともに増加する傾向である。なお、基準鋼6年材が脱落したため3年以降の腐

食傾向ははっきりしない。耐食鋼の3年間の腐食量は基準鋼の値に対して77% (黒皮材), 79%(ショット材) である。耐食鋼の中、黒皮材では鋼種 A (P-Cu-Cr-Ni 系) C (P-Cu-Cr-Al-Ti 系), F の腐食量が小さ目で基準鋼の値の70%(A, C, F) であり、また、6年材では鋼種 D (P-Cu-Ni 系) の腐食量が小さい。ショット材ではあまり差はなく、鋼種 F, I (P-Cu-Ni 系), B (Cu-Cr-Ni 系) C, D の腐食量が小さ目で基準鋼の値の74%(F), 77% (I, B, C, D) である。

京浜港H杭では、基準鋼、耐食鋼とも腐食量は経年とともに頭打ちとなる傾向が見られるが、頭打ちの度合は耐食鋼の方が大きく、基準鋼と耐食鋼間の腐食量差は経年とともに開いて行く。耐食鋼の中、鋼種 F, E (Cu-Cr-Ni 系), G の腐食量が小さく基準鋼の値の16%(F), 17%(E), 23%(G) である。

鋼材片でも、H杭と同じ腐食量の経年変化の傾向が見られる。耐食鋼の3年間の腐食量は基準鋼の値の67% (黒皮材), 69% (ショット材) である。耐食鋼の中、黒皮材では鋼種 I, C の腐食量が小さく基準鋼の値の54% (I), 60%(C) である。なお、6年材では鋼種 G の腐食量は鋼種 I の値に等しい。また、ショット材では鋼種



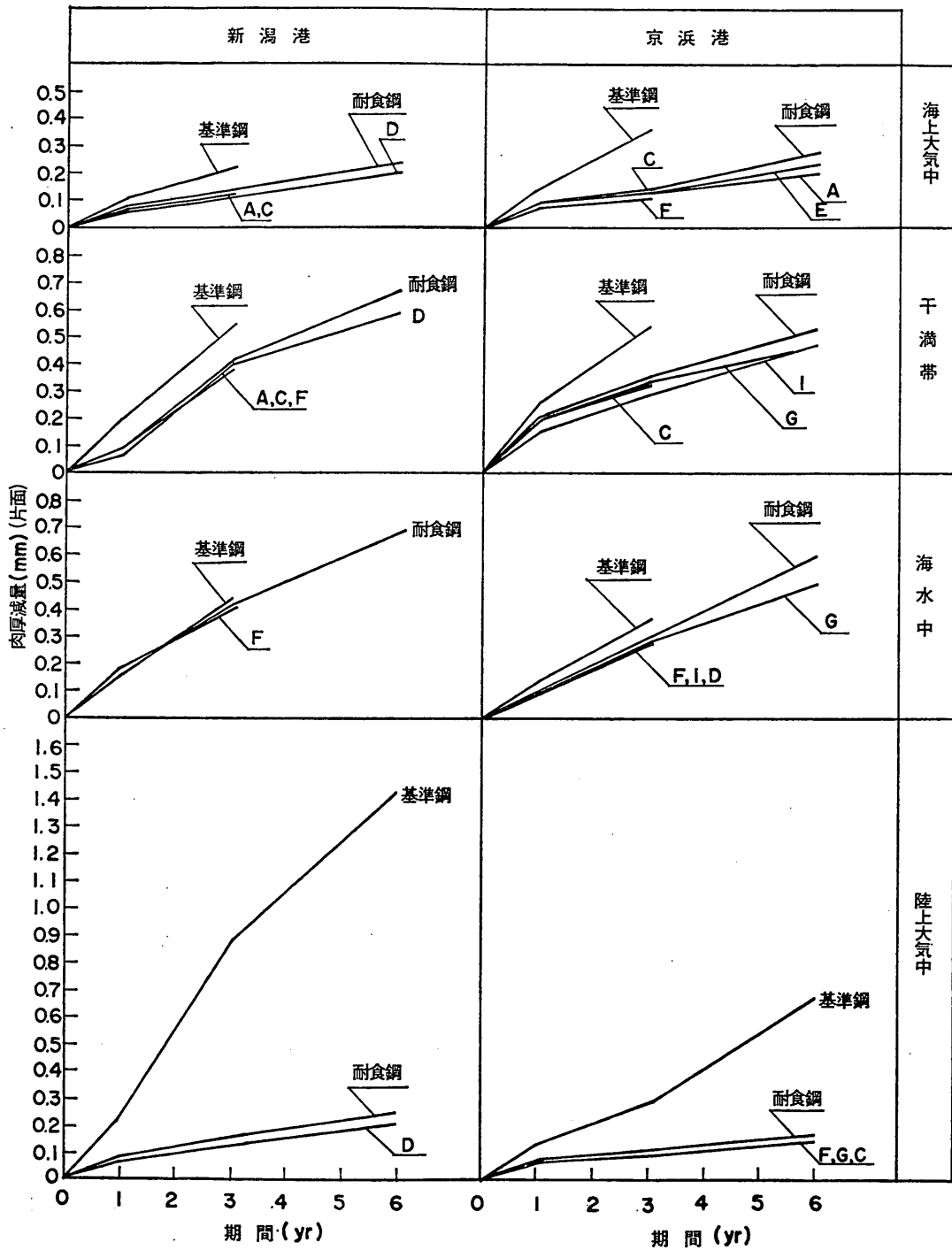


図 5-13 鋼材片腐食量の比較 (黒皮材)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

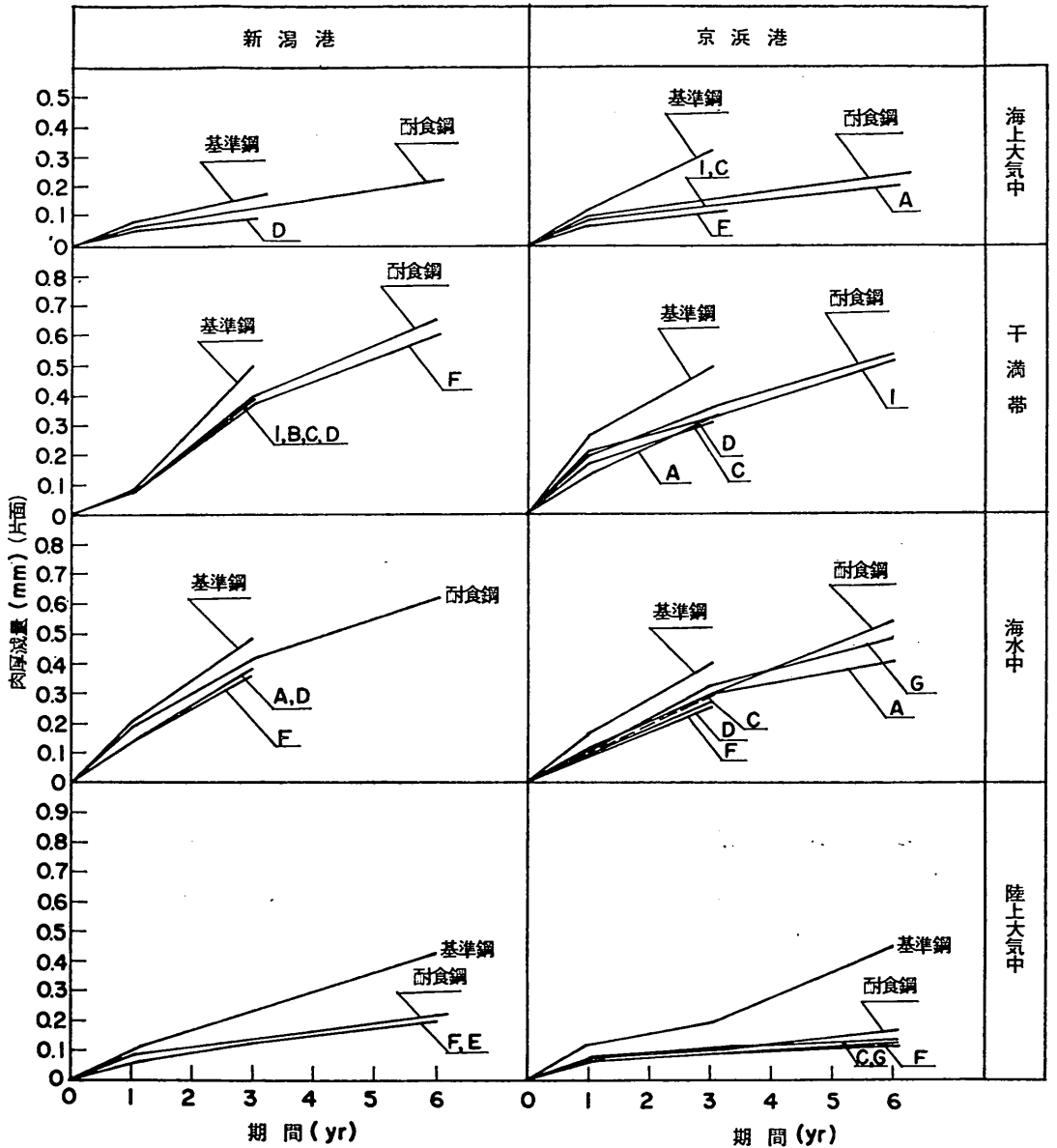


図 5-14 鋼材片腐食量の比較 (ショット材)

D, A, C, I の腐食量が小さく基準鋼の値の61%(D), 65%(A, C, I)である。なお、6年材では鋼種 E, F, G, I の値は大差ない。

(4) 海水中

新潟港の海水上部におけるH杭腐食量は、基準鋼、耐食鋼とも経年とともに頭打ちの傾向であり、この傾向は基準鋼より耐食鋼の方が著しく6年間で耐食鋼の腐食量

は基準鋼の値の86%である。耐食鋼の中、鋼種F(P-Cu-Cr-Ni-Al系)の腐食量が小さく基準鋼の値の69%である。

京浜港でも基準鋼と耐食鋼のH杭腐食量は経年とともに頭打ちの傾向がやや見られ、基準鋼と耐食鋼間の腐食量差はあまりない。耐食鋼の中、鋼種C(P-Cu-Cr-Al-Ti系), I(P-Cu-Ni系), Fの腐食量が小さく基準鋼

の値の86%(C, I), 90%(F)である。

新潟港の海水中央部のH杭腐食量は、基準鋼では経年とともにほぼ直線的に増加しているが、耐食鋼では経年とともに頭打ちの傾向が見られる。耐食鋼の6年間の腐食量は基準鋼の値の67%であり、耐食鋼間の腐食量差はあまりない。

新潟港鋼材片の腐食量は、基準鋼、耐食鋼ともやや頭打ちの傾向であるが、基準鋼では6年材が脱落したためはっきりしない。耐食鋼の3年間の腐食量は基準鋼の値の96%(黒皮材), 87%(ショット材)である。耐食鋼の中、黒皮材では鋼種Fの腐食量が小さ目で基準鋼の値の92%であり、ショット材では鋼種F, D(P-Cu-Ni系), A(P-Cu-Cr-Ni系)の腐食量が小さ目で基準鋼の値の79%(F), 80%(D), 82%(A)である。

京浜港のH杭腐食量は、基準鋼、耐食鋼とも経年とともにほぼ直線的に増加しており、基準鋼と耐食鋼間の腐食量差はほとんどない。耐食鋼の中、鋼種C, I, Fの腐食量がやや小さ目で基準鋼の95%である。

京浜港鋼材片の腐食量は、基準鋼、耐食鋼ともほぼ直線的に増加している。耐食鋼の3年間の腐食量は基準鋼の値の78%(黒皮材), 75%(ショット材)である。耐食鋼の中、黒皮材では鋼種F, G, D, Iの腐食量が小さ目で基準鋼の値の71%(F), 73%(G, D, I)であり、ショット材では鋼種D, F, Cの腐食量が小さく基準鋼の値の64%(D), 67%(F), 73%(C)である。なお、6年間の腐食量では鋼種A, Gの腐食量が小さ目である。

#### (5) 海泥中

新潟港海泥(砂層)中のH杭腐食量は、基準鋼、耐食鋼とも経年とともに頭打ちの傾向である。基準鋼と耐食鋼の腐食速度は6年間で0.017mm/yr(片面)程度で大差なく、また、耐食鋼間の腐食速度差もあまりない。

京浜港海泥(シルト)中のH杭腐食量は、基準鋼、耐食鋼とも経年とともに頭打ちの傾向である。基準鋼と耐食鋼の腐食速度は6年間で0.03mm/yr(片面)程度で大差なく、また、耐食鋼間の腐食速度差もあまりない。

#### (6) 陸上大気中

新潟港H杭の腐食量は、基準鋼では経年とともにほぼ直線的に増加するが、耐食鋼では経年とともに頭打ちの傾向である。耐食鋼の6年間の腐食量は基準鋼の値の19%である。耐食鋼の中、鋼種F(P-Cu-Cr-Ni-Al系), E(Cu-Cr-Ni系)の腐食量がやや小さく基準鋼の値の13%(F), 15%(E)である。

新潟港鋼材片の腐食量は、基準鋼では経年とともに直線的に増加するが耐食鋼では経年とともに頭打ちとな

る。耐食鋼の6年間の腐食量は基準鋼の値の18%(黒皮材), 51%(ショット材)である。耐食鋼の中、黒皮材では鋼種D(P-Cu-Ni系)の腐食量が小さ目で基準鋼の15%であり、ショット材では鋼種F, Eの腐食量がやや小さく基準鋼の値の47%(F, E)である。

京浜港H杭の腐食量では、基準鋼、耐食鋼ともほぼ直線的に増加する傾向である。耐食鋼の6年間の腐食量は基準鋼の値の41%である。耐食鋼の中、鋼種G(P-Cu-Cr系), Eの腐食量が小さく基準鋼の値の25%(G), 37%(E)である。

京浜港鋼材片の腐食量は、基準鋼では経年とともにほぼ直線的に増加するが耐食鋼では経年とともに頭打ちとなる。耐食鋼の6年間の腐食量は基準鋼の値の27%(黒皮材), 34%(ショット材)である。耐食鋼の中、黒皮材では鋼種F, G, C(P-Cu-Cr-Al-Ti系)の腐食量が小さ目で基準鋼の値の21%(F, G, C)であり、ショット材では鋼種F, C, Gの腐食量が小さ目で27%(F), 28%(C), 29%(G)である。

#### (7) 陸土中

陸土中(不飽和砂層中, 飽和砂層中)の腐食量は、基準鋼、耐食鋼とも経年とともに頭打ちとなる傾向であり特に、飽和砂層中ではこの傾向が著しい。6年間の腐食速度は不飽和砂層中で0.02~0.03mm/yr(片面), 飽和砂層中で0.01~0.02mm/yr(片面)程度であり、場所および鋼種間の腐食量差はあまりない。

## 6. 結 論

以上の考察からH杭の試験結果を中心として述べると次のことが結論としていえよう。

(1) 港湾環境では、鋼材の腐食量は鋼種よりも腐食環境に大きく影響されることがわかった。すなわち、要因分析で求めたカテゴリー-数量の最大差である要因レンジで比較してみると、新潟港では環境レンジは鋼種レンジの2倍であり、京浜港では5倍であった。

(2) 海上大気中では、基準鋼の腐食速度は経年によってあまり変わらず6年間で新潟港0.067mm/yr(片面), 京浜港0.084mm/yr(片面)であったが、耐食鋼の腐食速度は経年とともに低下して6年間で新潟港0.024mm/yr(平均, 片面), 京浜港0.030mm/yr(平均, 片面)であった。耐食鋼平均の6年間の腐食速度は、新潟港、京浜港とも基準鋼の値の36%であり、最も腐食速度の小さい鋼種の値は、新潟港では基準鋼の値の29%, 京浜港では16%であった。

(3) 新潟港では、H. W. L. 付近の最大腐食速度は基準

## 港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

鋼、耐食鋼とも経年とともに低下する傾向であり、6年間の腐食速度は基準鋼0.181mm/yr(片面)、耐食鋼平均0.140mm/yr(片面)であった。耐食鋼平均の6年間の腐食速度は基準鋼の値の77%であり、最も腐食速度の小さい鋼種の値は基準鋼の値の70%であった。また、追加材では5年間の腐食速度は鋼種J(P-Cu-Cr系)の値が基準鋼の値の49%であった。

京浜港では、飛沫帯の最大腐食速度は基準鋼、耐食鋼とも経年とともに低下する傾向であり、6年間の値は基準鋼0.285mm/yr(片面)、耐食鋼平均0.233mm/yr(片面)であった。耐食鋼平均の6年間の腐食速度は基準鋼の値の80%であり、最も腐食速度の小さい鋼種G(P-Cu-Cr系)の値は基準鋼の値の57%であった。

(4) 新潟港の干満帯では、基準鋼の腐食速度は経年によってあまり変わらず6年間で0.065mm/yr(片面)であったが、耐食鋼の腐食速度は経年とともに低下し6年間で0.049mm/yr(平均、片面)であった。耐食鋼平均の6年間の腐食速度は基準鋼の値の75%であり、最も腐食速度の小さい鋼種の値は基準鋼の値の52%であった。

京浜港では、基準鋼、耐食鋼とも腐食速度は経年とともに低下する傾向が見られ、低下の度合は耐食鋼が大きかった。6年間の腐食速度は基準鋼0.053mm/yr(片面)耐食鋼平均0.018mm/yr(片面)で、耐食鋼平均の値は基準鋼の値の34%であり、最も腐食速度の小さい鋼種の値は基準鋼の値の16%であった。

(5) 新潟港の海中では、基準鋼の腐食速度は経年により変わらず6年間で0.113mm/yr(片面)であったが、耐食鋼の腐食速度は経年とともに低下する傾向が見られ6年間で0.076mm/yr(平均、片面)であった。耐食鋼平均の6年間の腐食速度は基準鋼の値の67%であり、耐食鋼間の腐食速度差はあまりなかった。京浜港では、基準鋼、耐食鋼の腐食速度は経年によりあまり変わらず、6年間で0.09mm/yr(片面)程度で基準鋼と耐食鋼間の腐食速度差はほとんどなかった。最も腐食速度の小さい鋼種の値は基準鋼の値の95%であった。

(6) 新潟港の海泥中の腐食速度は、基準鋼、耐食鋼とも経年とともに低下し6年間で0.02mm/yr(片面)程度で、鋼種間の腐食速度差はあまりなかった。

京浜港においても同様の傾向であったが、6年間の腐食速度は0.03mm/yr(片面)程度であった。

(7) 新潟港の陸上大気中では、基準鋼の腐食速度は経

年によりあまり変わらず6年間で0.148mm/yr(片面)であったが、耐食鋼では経年とともに低下する傾向で6年間で0.028mm/yr(平均、片面)であった。耐食鋼平均の6年間の腐食速度は基準鋼の値の19%であり、最も腐食速度の小さい鋼種の値は基準鋼の値の13%であった。

京浜港では、基準鋼の腐食速度は経年によりあまり変わらず6年間で0.108mm/yr(片面)であったが、耐食鋼では経年とともに低下する傾向で6年間で0.044mm/yr(平均、片面)であった。耐食鋼平均の6年間の腐食速度は基準鋼の値の41%であり、最も腐食速度の小さい鋼種の値は基準鋼の値の25%であった。

(8) 陸土中(不飽和砂層中、飽和砂層中)の腐食速度は、基準鋼、耐食鋼とも経年とともに低下する傾向であり、6年間で不飽和砂層中0.03mm/yr(片面)、飽和砂層中0.015mm/yr(片面)の程度で鋼種および試験場所による差はあまりなかった。

昭和40年～昭和42年に日本港湾協会より提供された耐食鋼試験材の耐食性調査結果が上記のように得られた。本調査は日本港湾協会との共同研究として行なわれたもので、調査の実施に際しては運輸省港湾局、運輸省第一港湾建設局、運輸省第二港湾建設局および運輸省港湾技術研究所の関係各位の御援助を頂き、特に、運輸省港湾技術研究所・林構造部長には長期間にわたる調査の遂行についての御尽力と調査に関する有益なる御助言を頂きまた、構造部・横山淑子技官には調査資料の整理に御協力して頂きました。

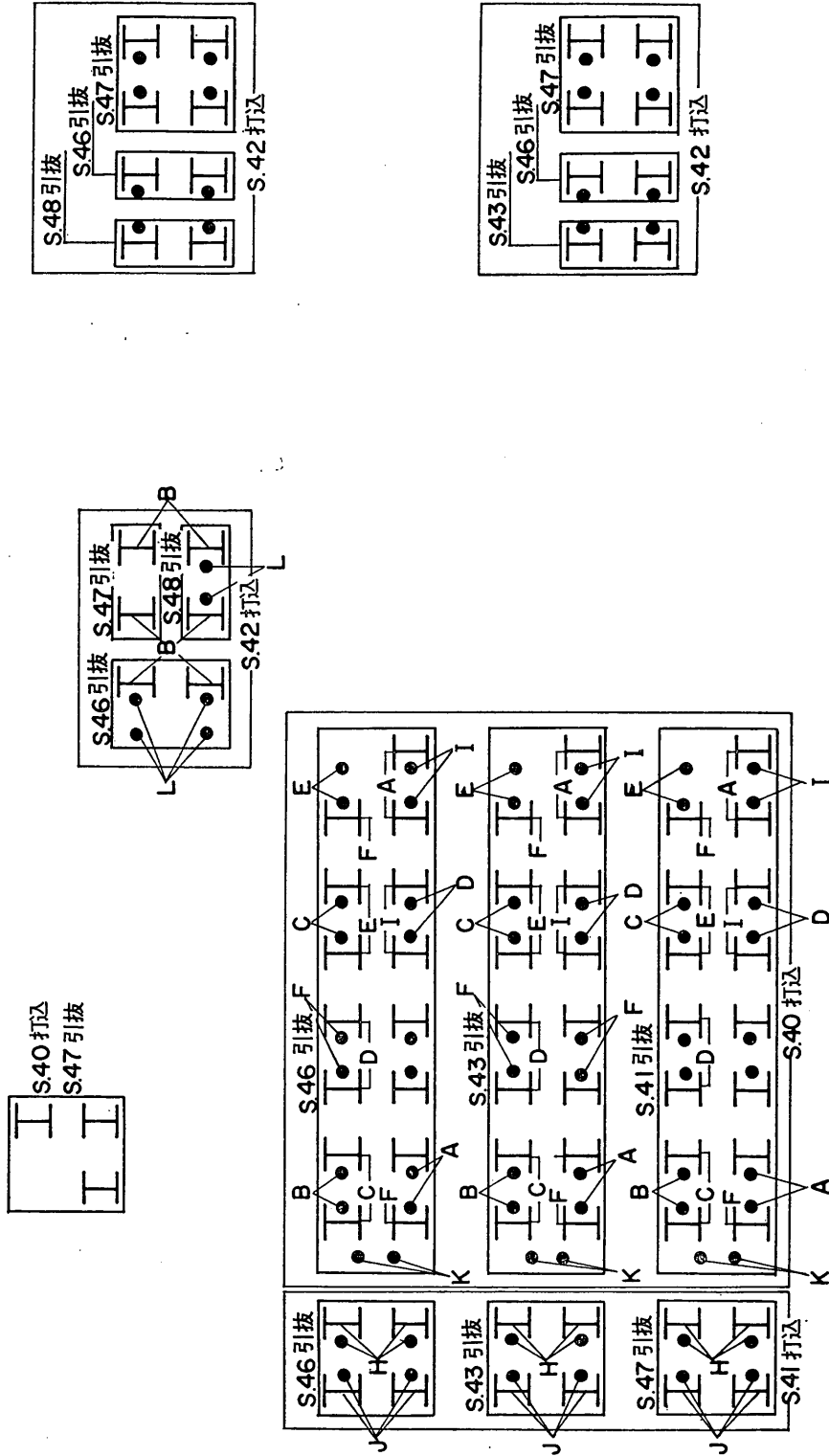
この他、日本港湾協会を始め、新日本製鉄㈱、日本鋼管㈱、川崎製鉄㈱、住友金属㈱の関係各位には供試耐食鋼の提供等の御協力を頂きました。

ここに改めて関係各位に厚く御礼申し上げます。

(1975年6月30日受付)

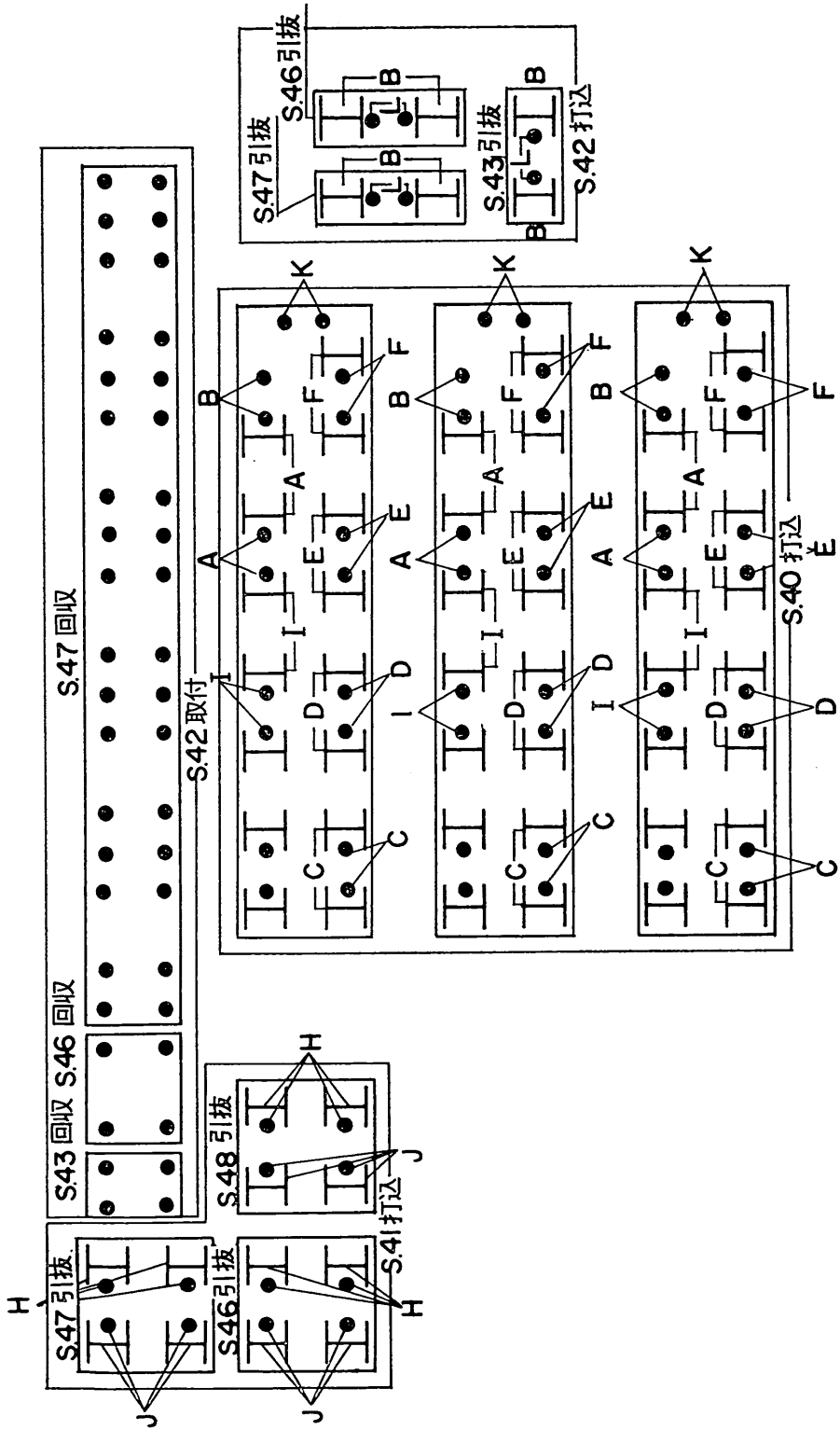
## 参考文献

- 1) 耐海水鋼耐食性調査委員会：耐海水鋼耐食性調査報告，S.50年6月
- 2) 寺部：大気汚染の測定における察用試験，最新の分析化学，p.83，1967
- 3) 善：海中構造物腐食の実態と対策，鹿島出版会，S.49年7月
- 4) 運輸省港湾局編：港湾構造物設計基準，日本港湾協会，S.42年4月

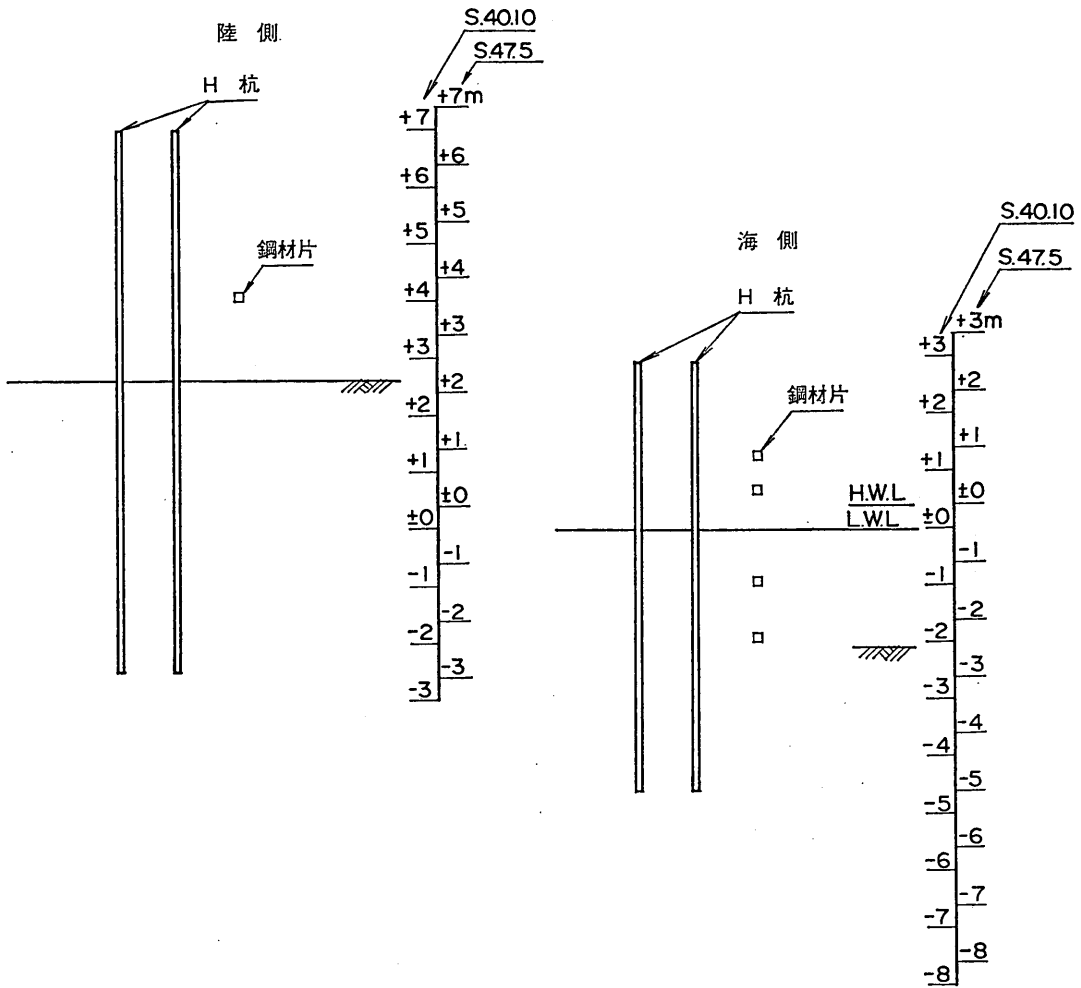


付図 2-1 新高港における試験材配置状況 (海上部)

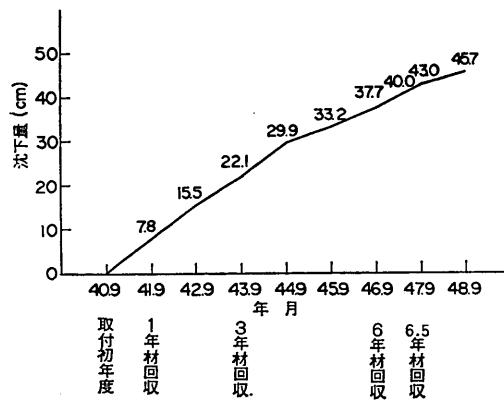
● 印鋼材片取付位置



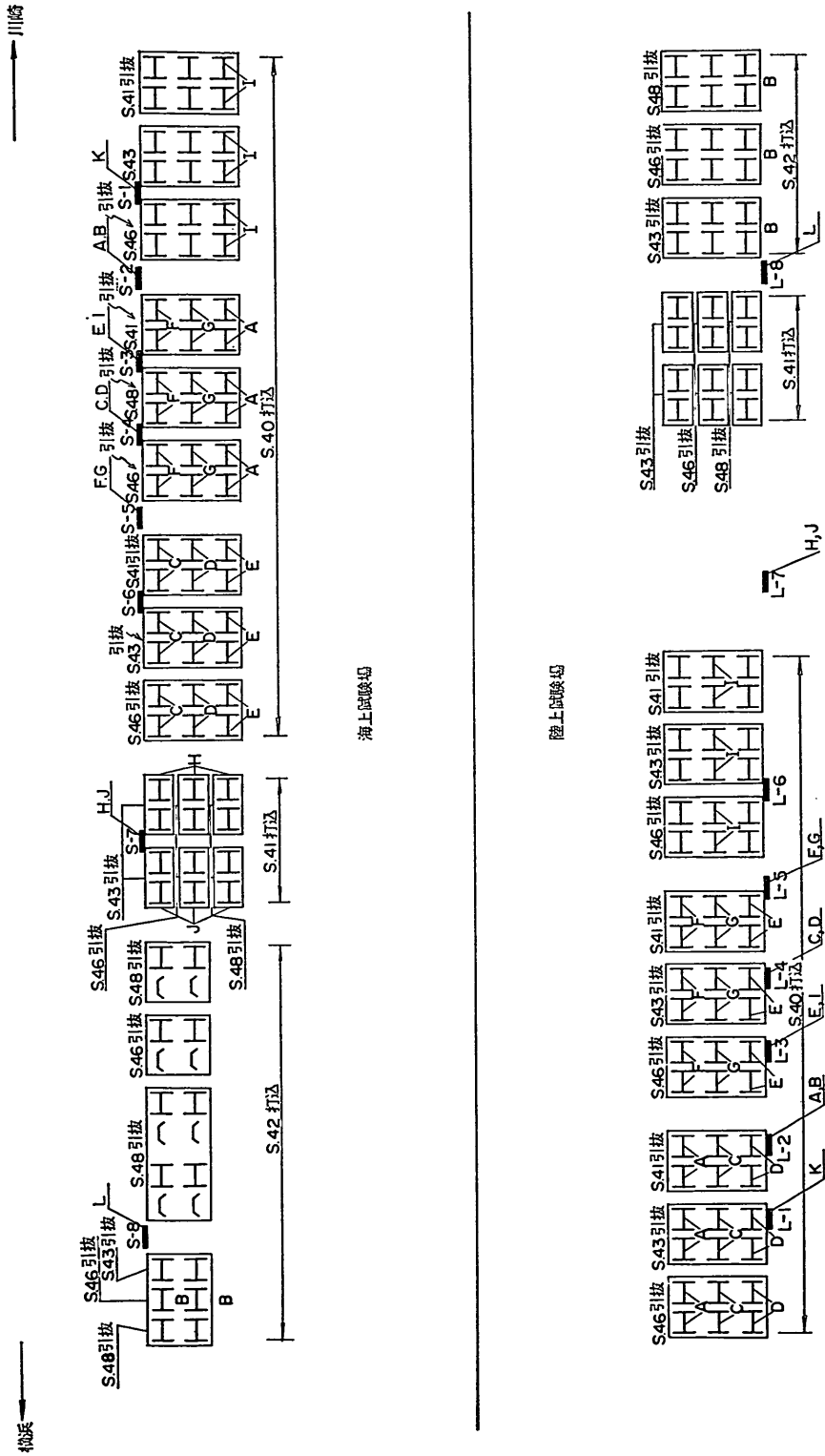
付図 2-2 新潟港における試験材配置状況 (陸上部) ●印鋼材片取付位置



付図 2-3 新潟港における試験材配置状況



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

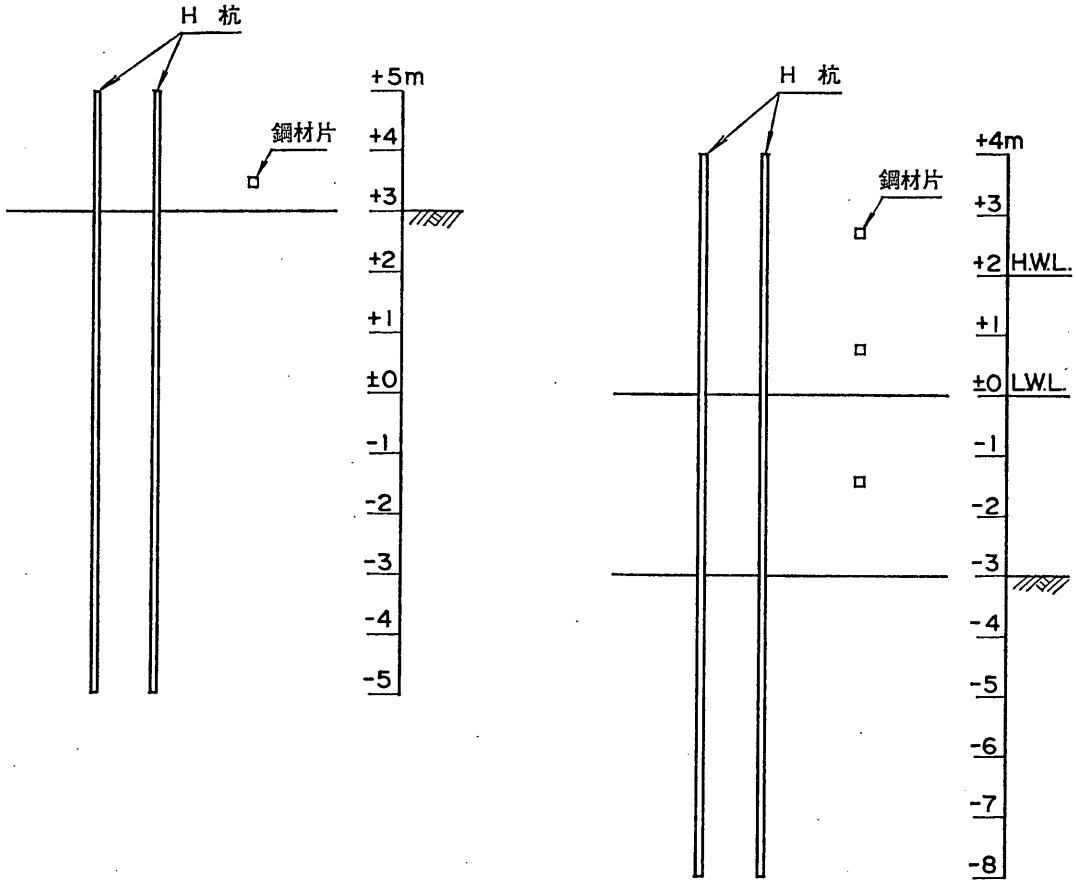


付図 2-5 京浜港における試験材配置状況

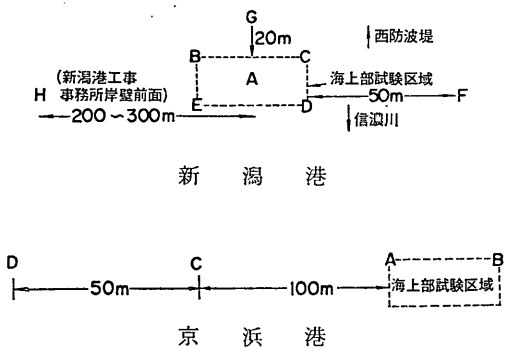


陸側

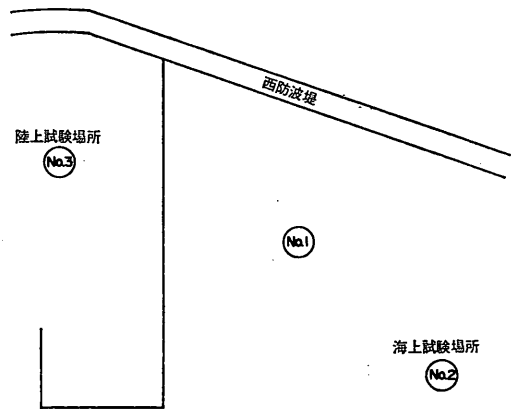
海側



付図 2-6 京浜港における試験材配置状況

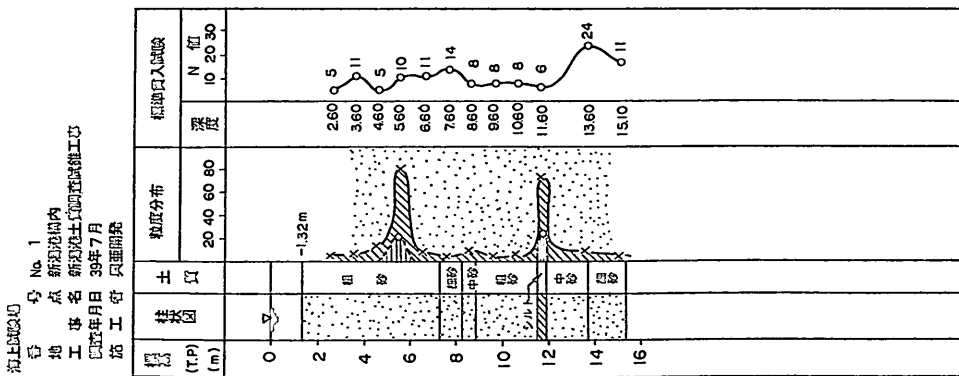
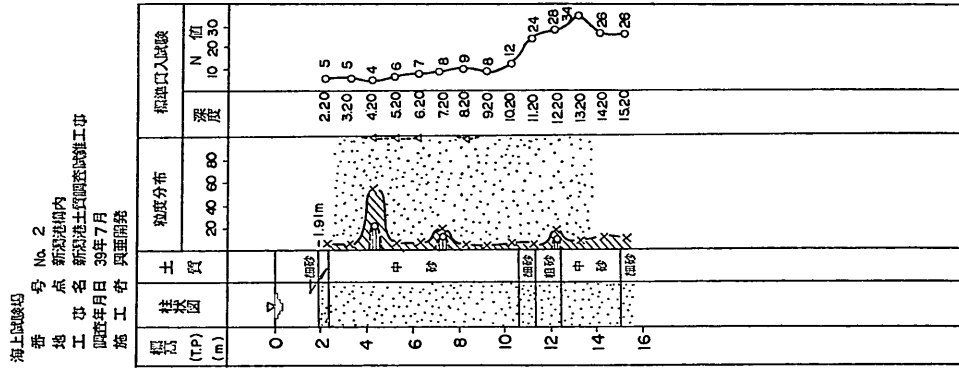
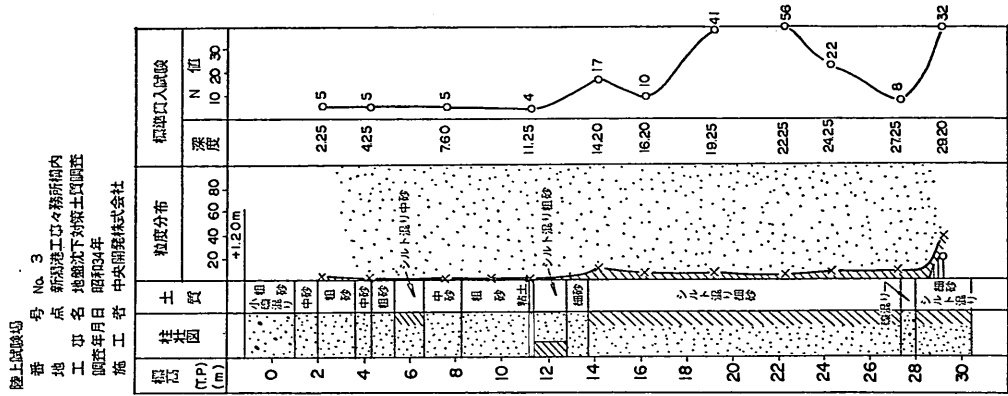


付図 2-7 採水地点

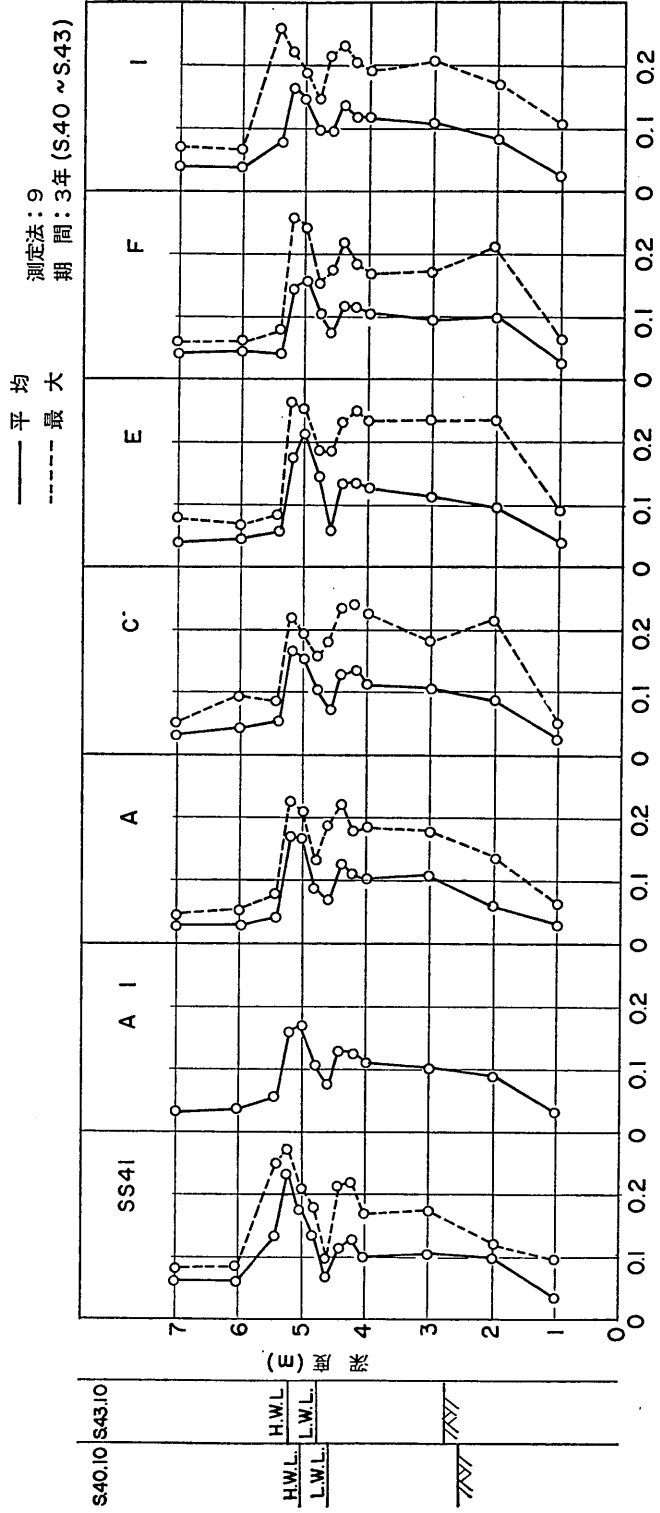


付図 2-8 新潟港におけるボーリング地点

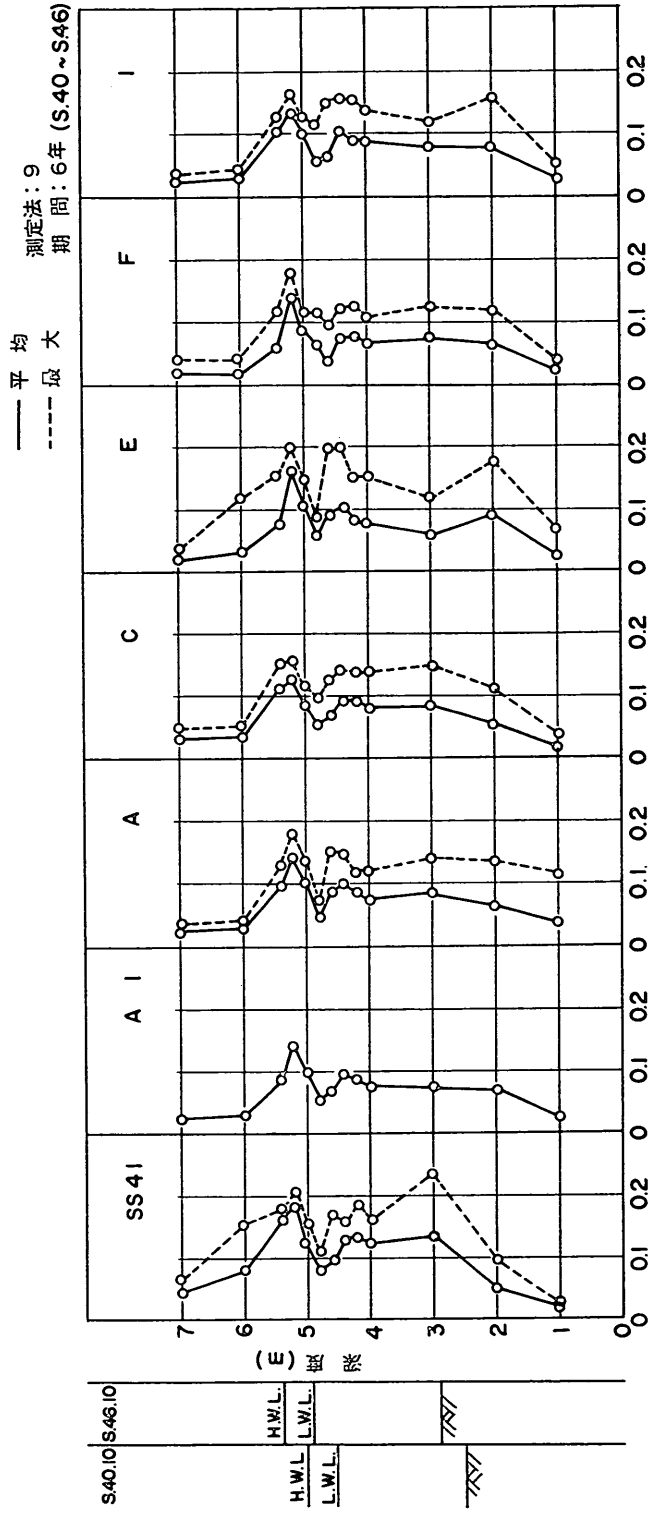
港灣環境における耐食鋼の耐食性調査



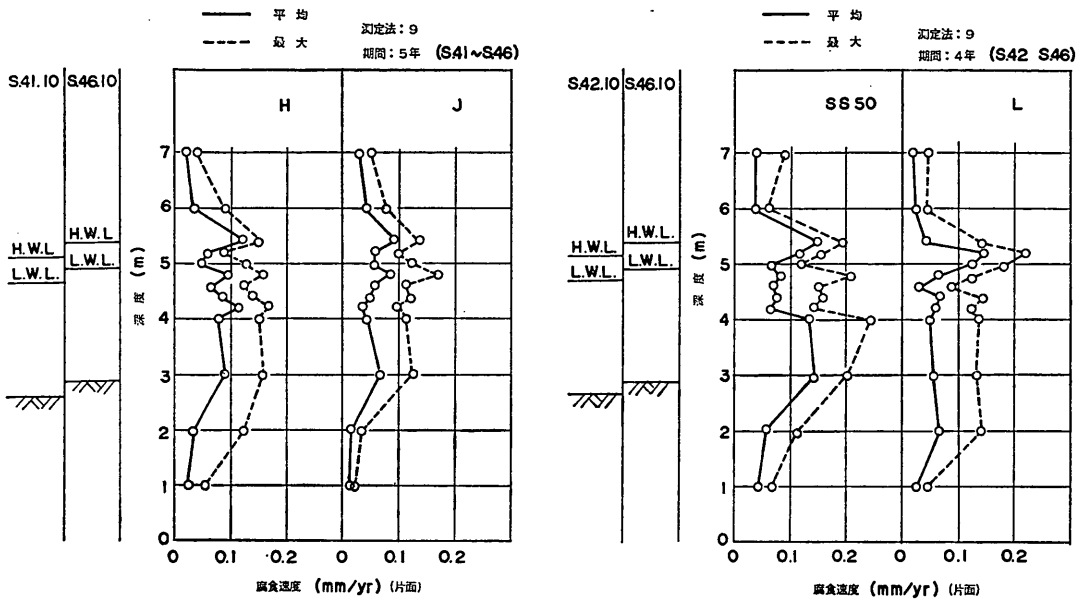
付図 3-1 ボーリング調査結果 (新羽港)



港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

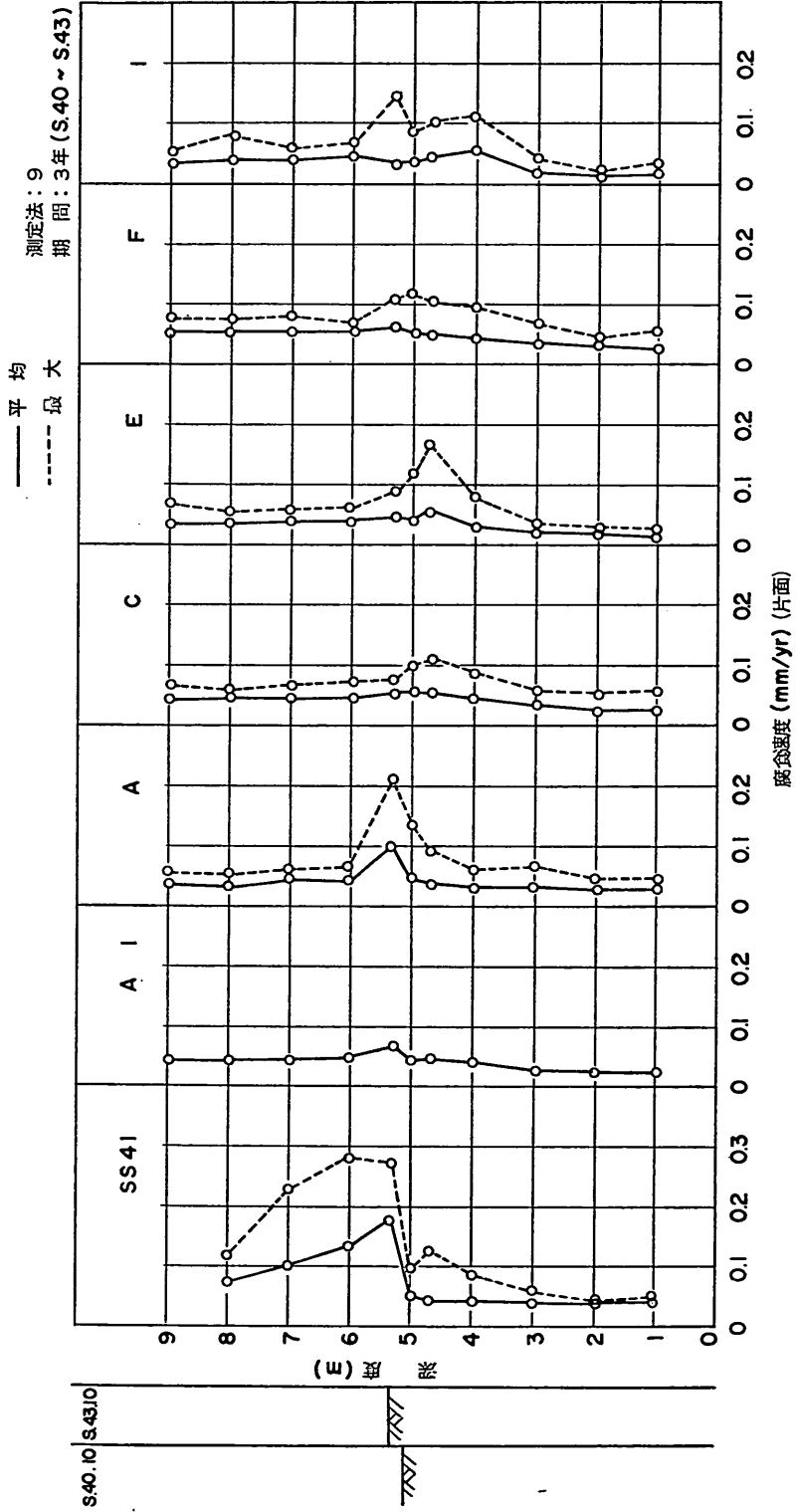


腐食速度 (mm/yr) (片面)  
付図 3-3 新潟港海上杭の腐食傾向

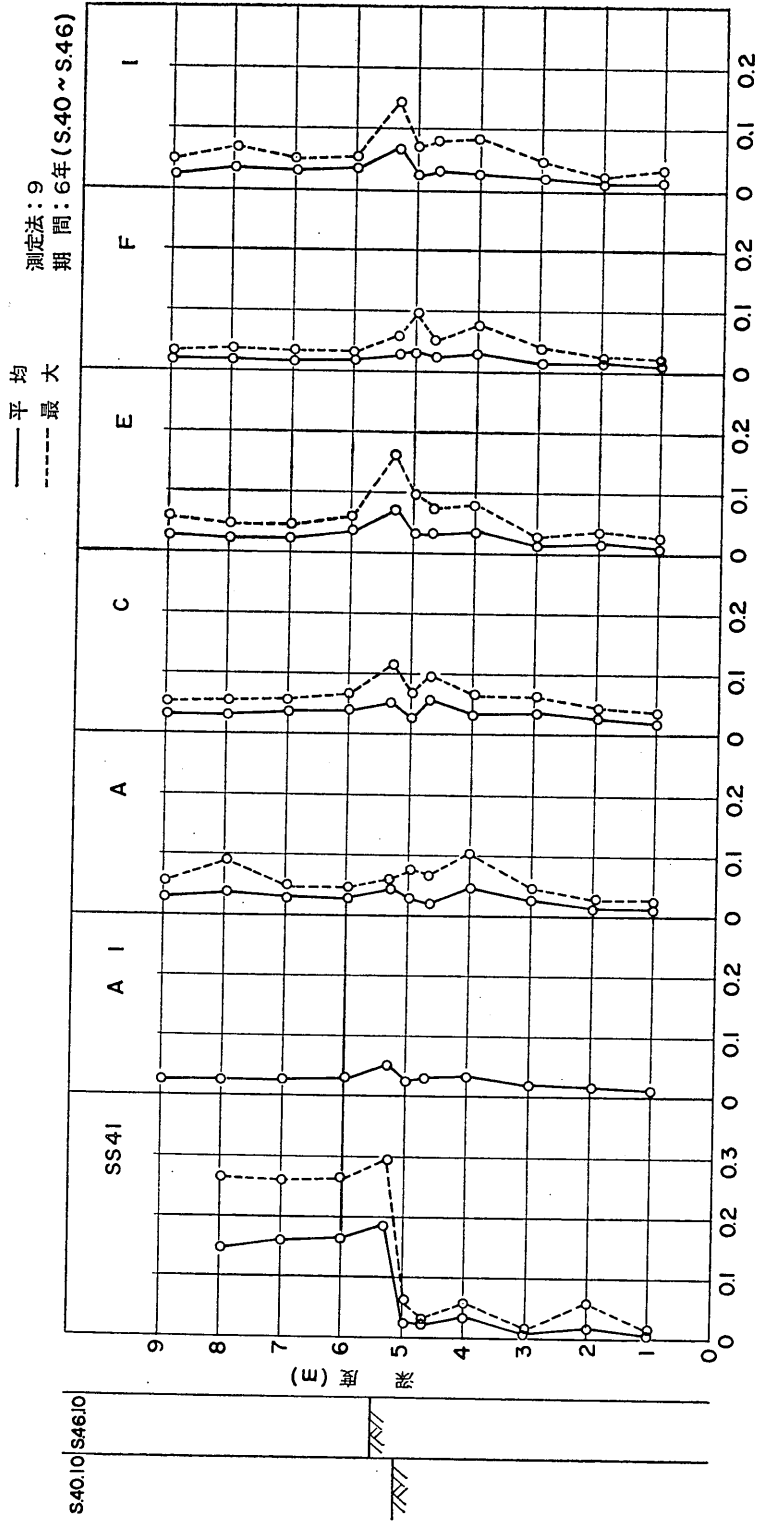


付図 3-4 新潟港海上杭の腐食傾向

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

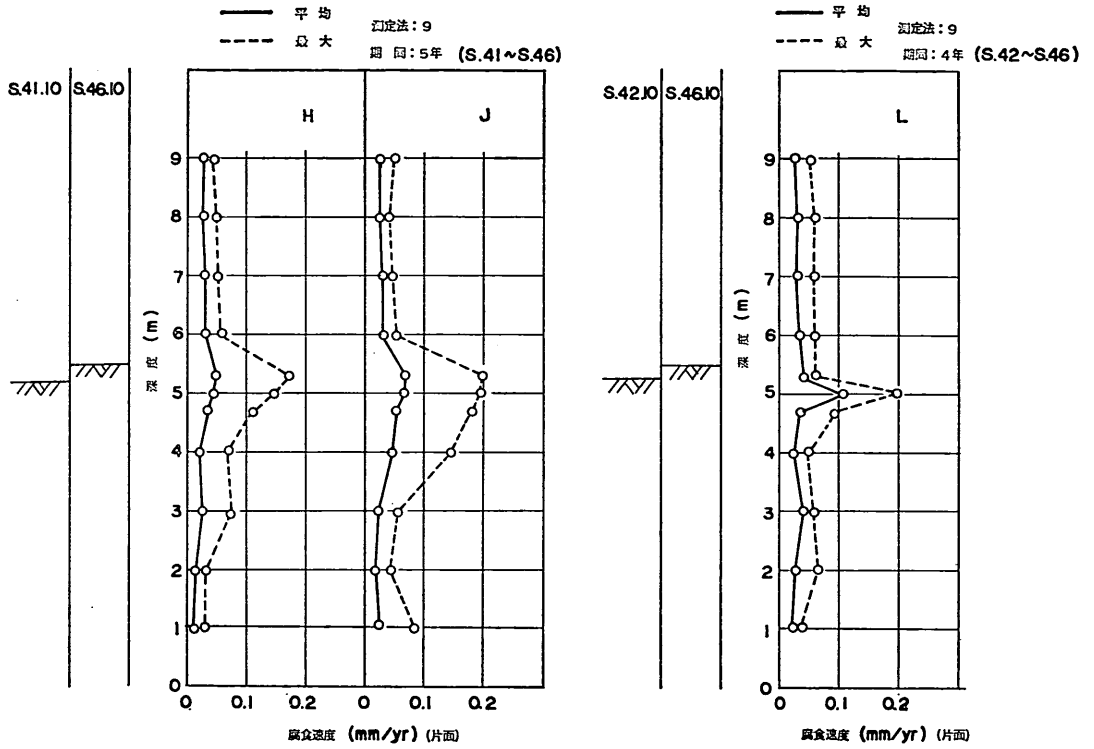


付図 3-5 新潟港陸上杭の腐食傾向



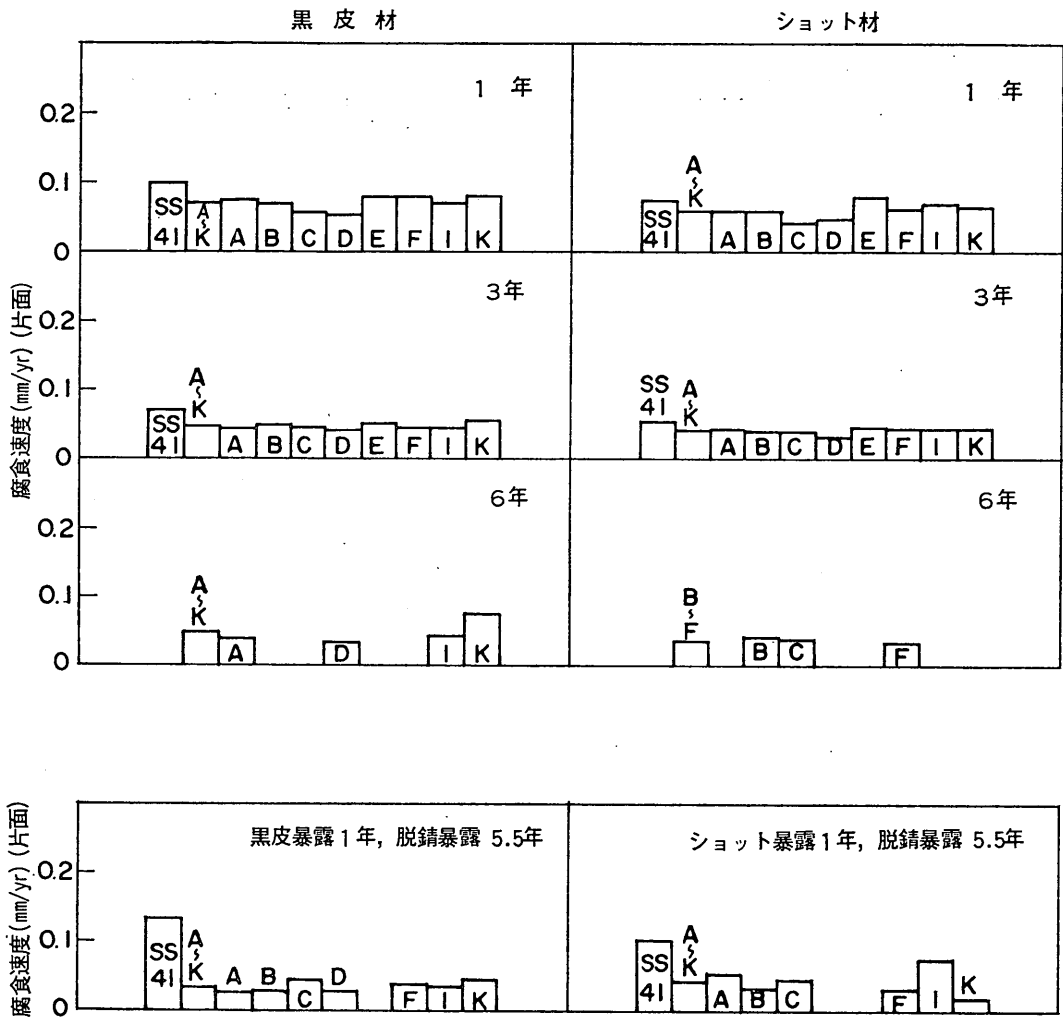
腐食速度 (mm/yr) (片面)  
 付図 3-6 新潟港陸上杭の腐食傾向

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



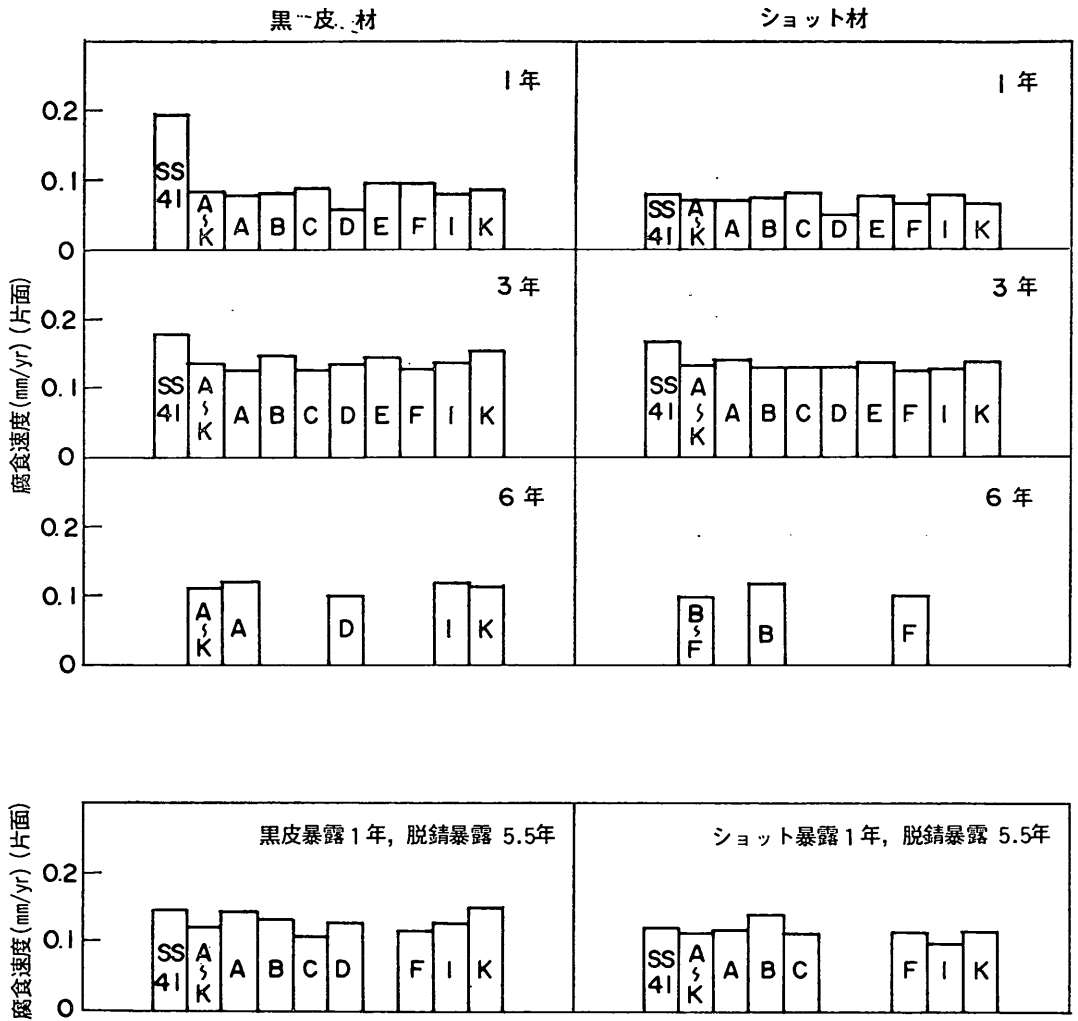
付図 3-7 新潟港陸上杭の腐食傾向



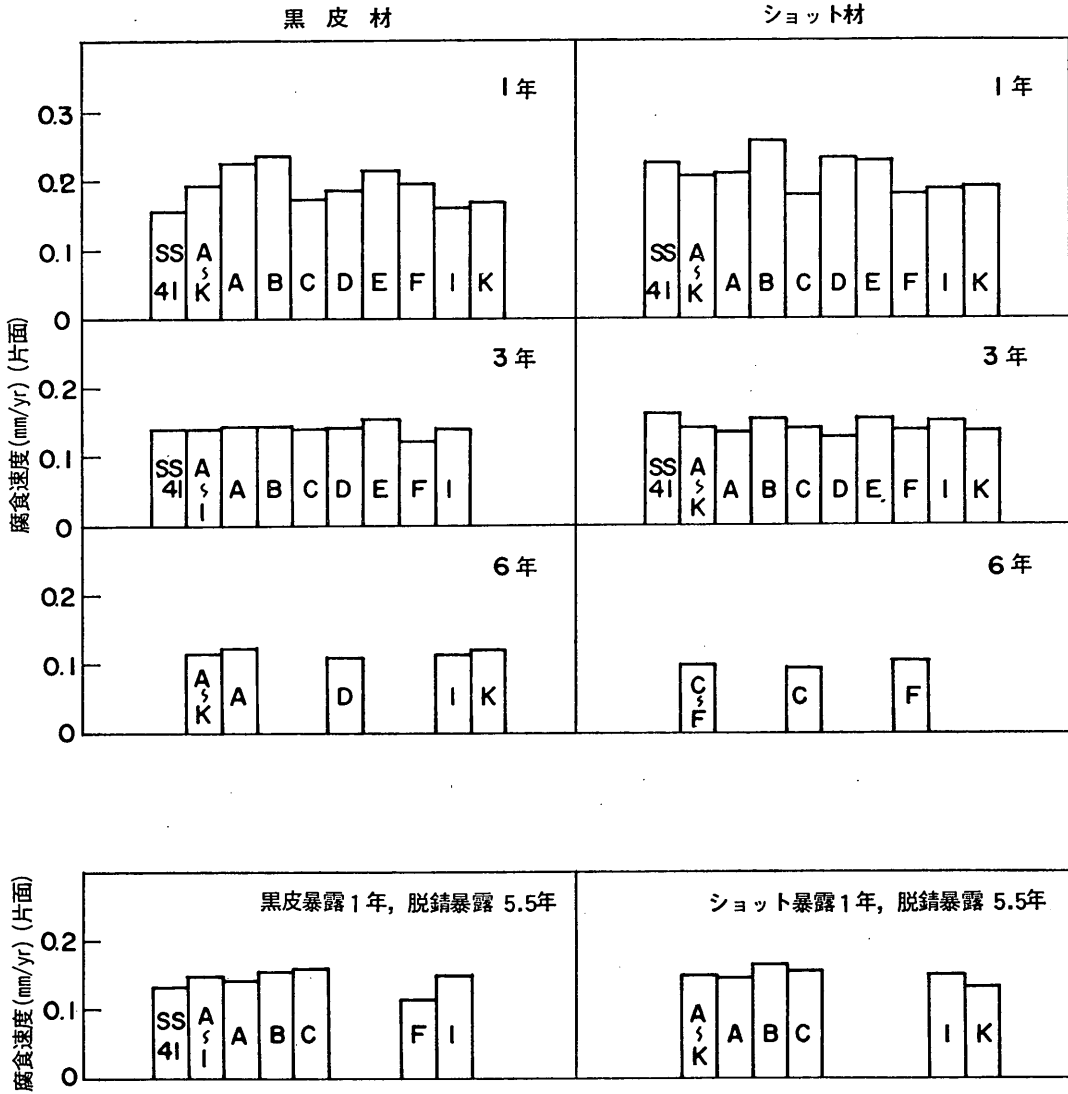


付図 3-8 新潟港における鋼材片の腐食速度 (海上大気中)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

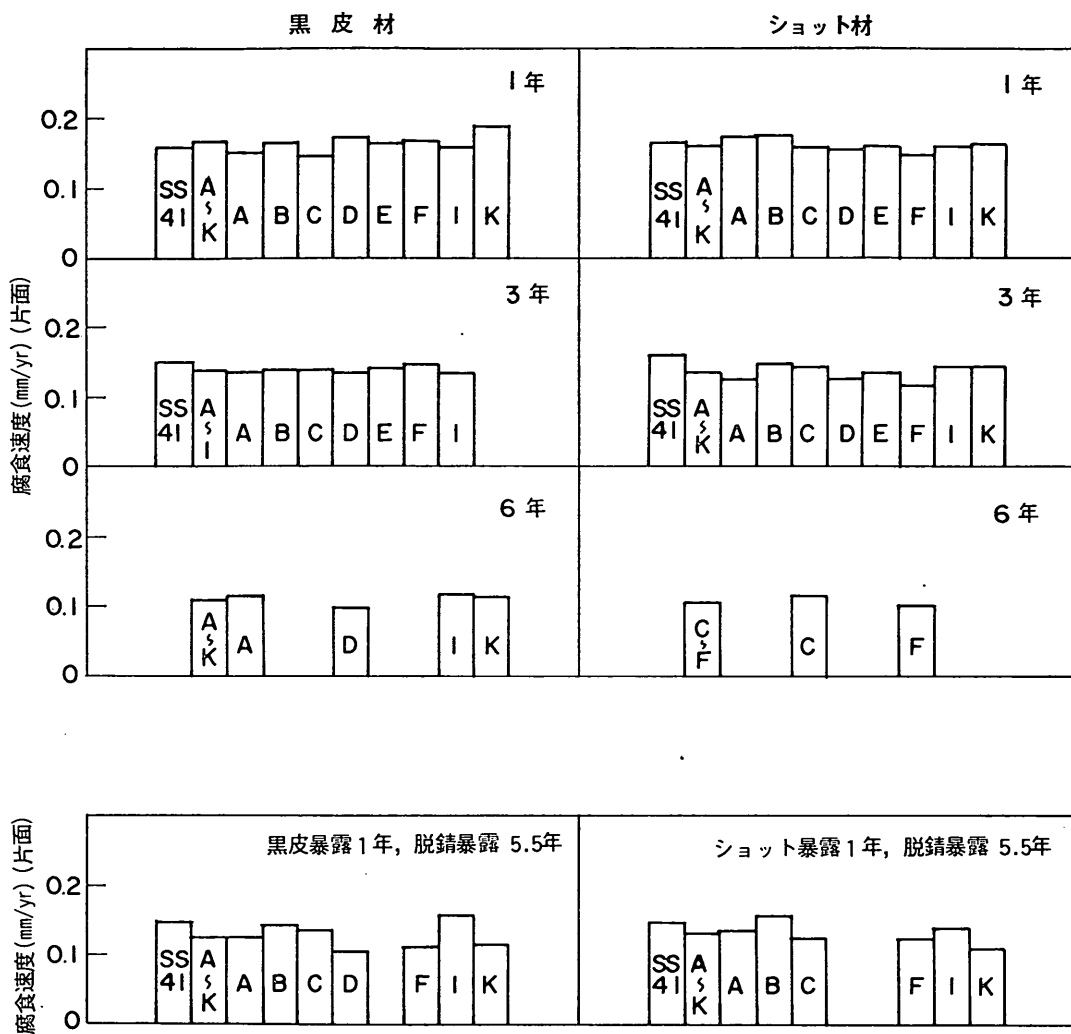


付図 3-9 新潟港における鋼材片の腐食速度 (干満帯)

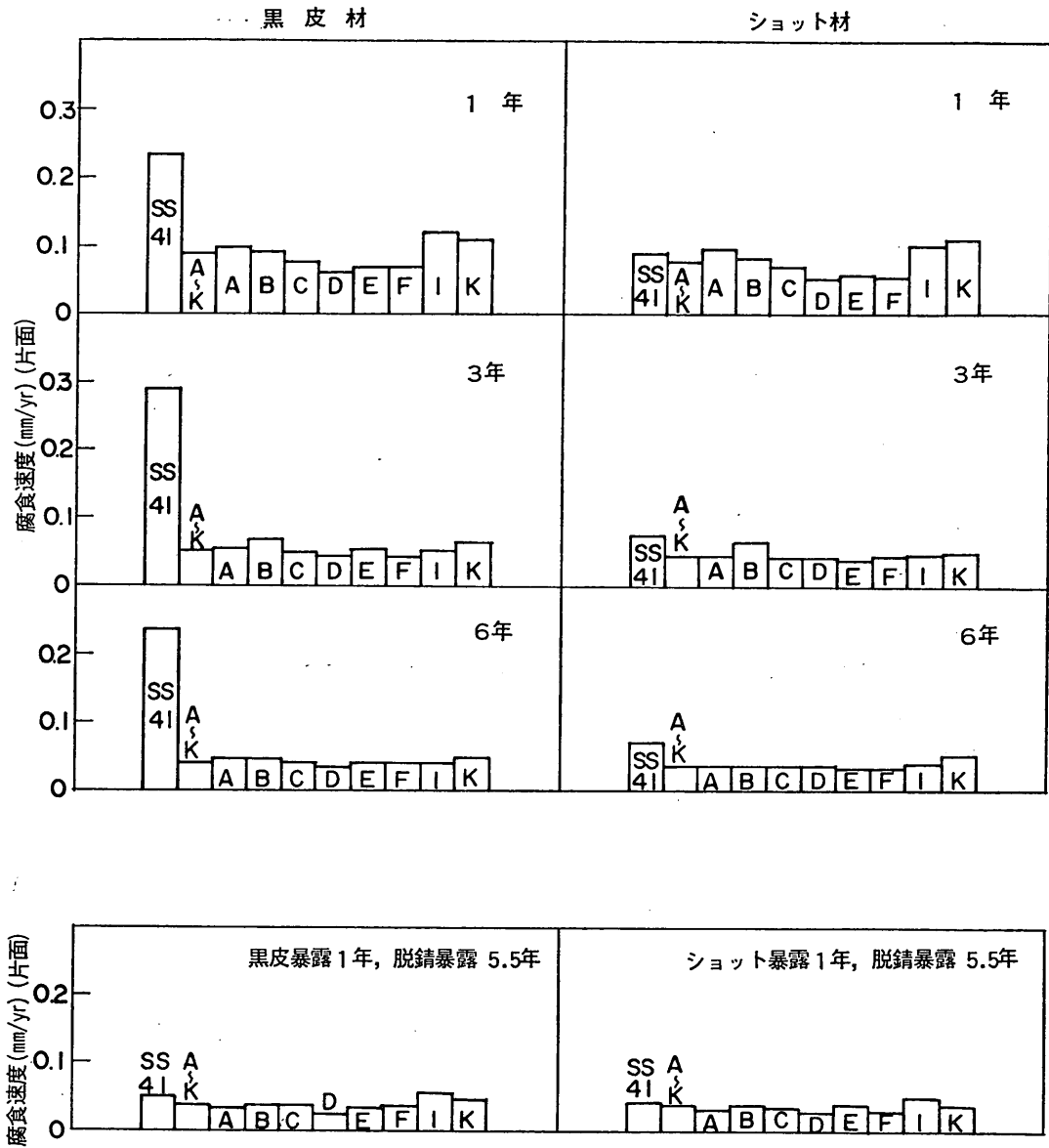


付図 3-10 新潟港における鋼材片の腐食速度 (海水中, -1 m)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

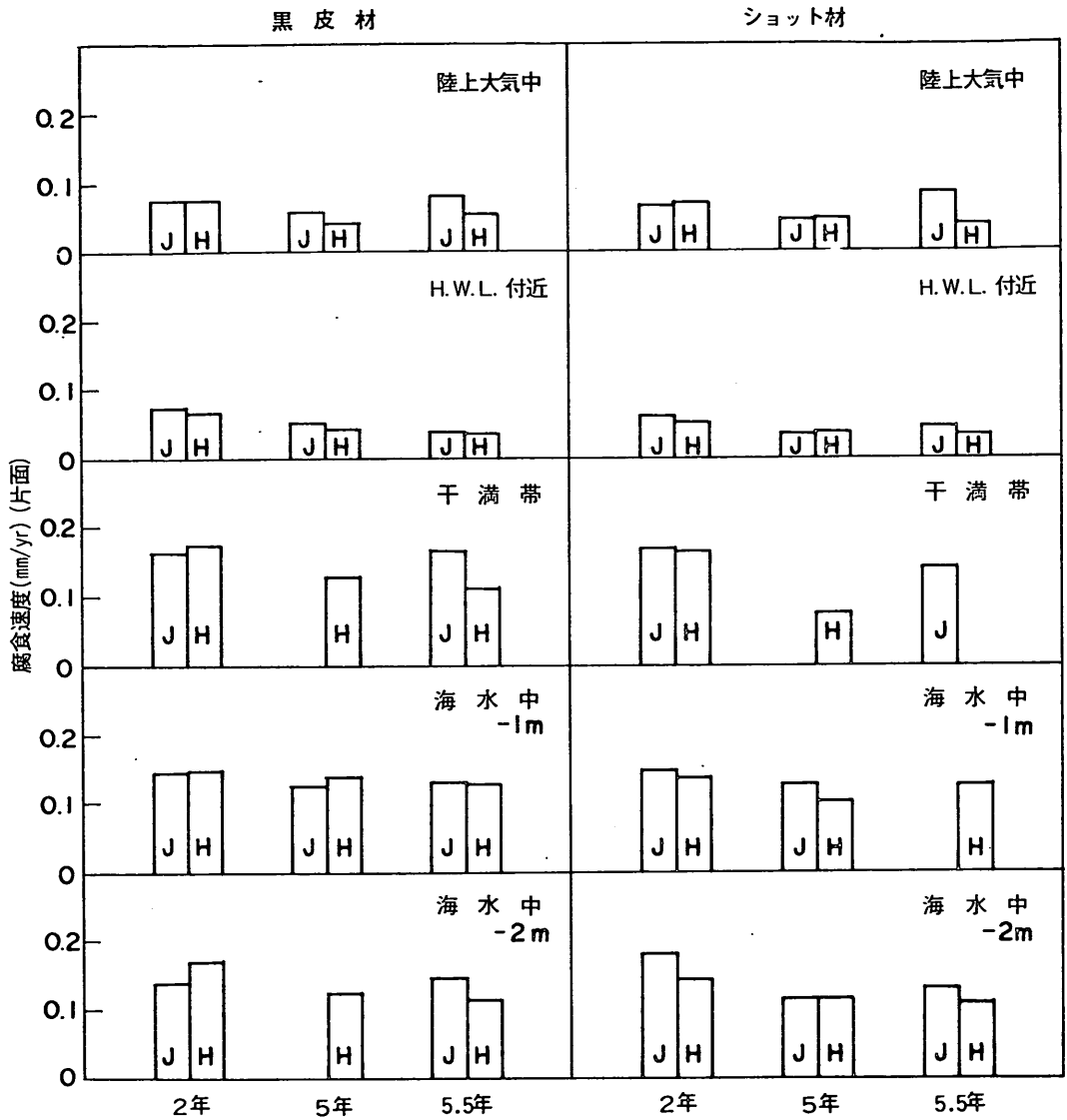


付図 3-11 新潟港における鋼材片の腐食速度 (海水中, -2 m)

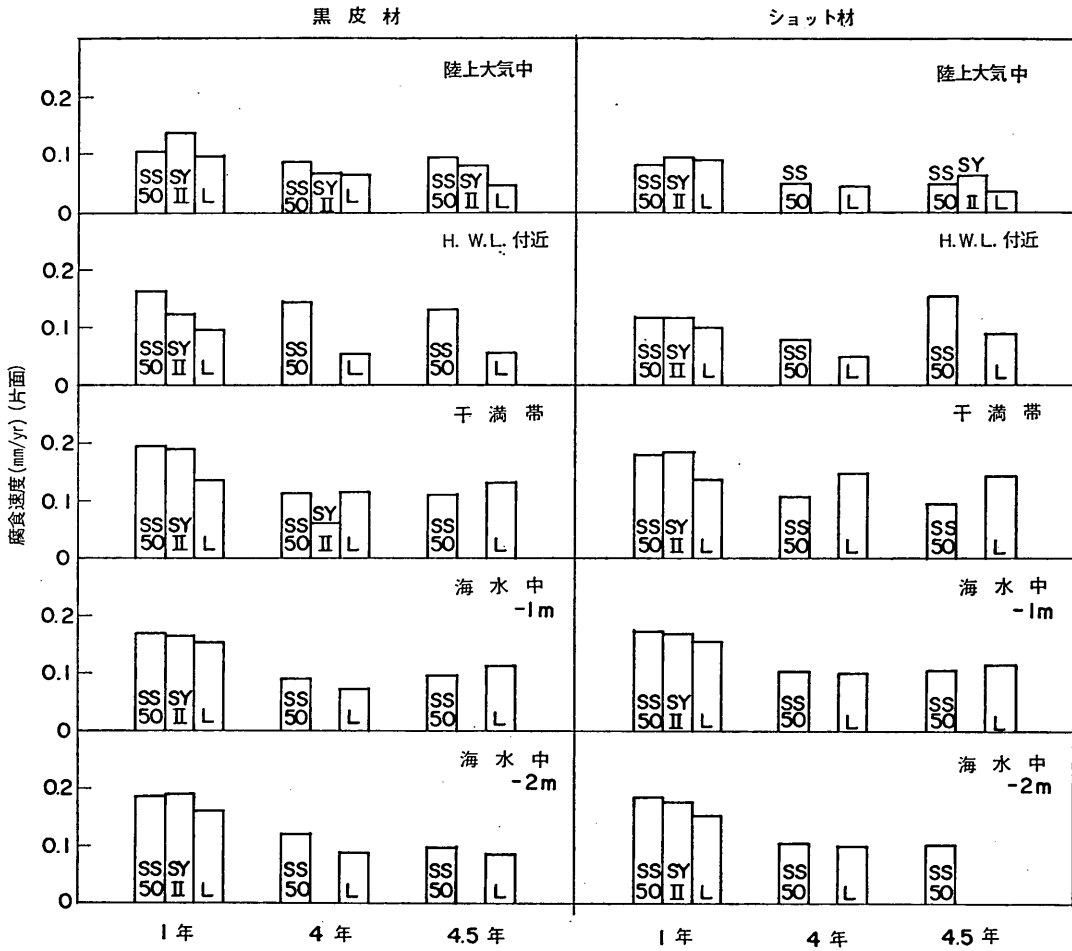


付図 3-12 新潟港における鋼材片の腐食速度 (陸上大気中)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



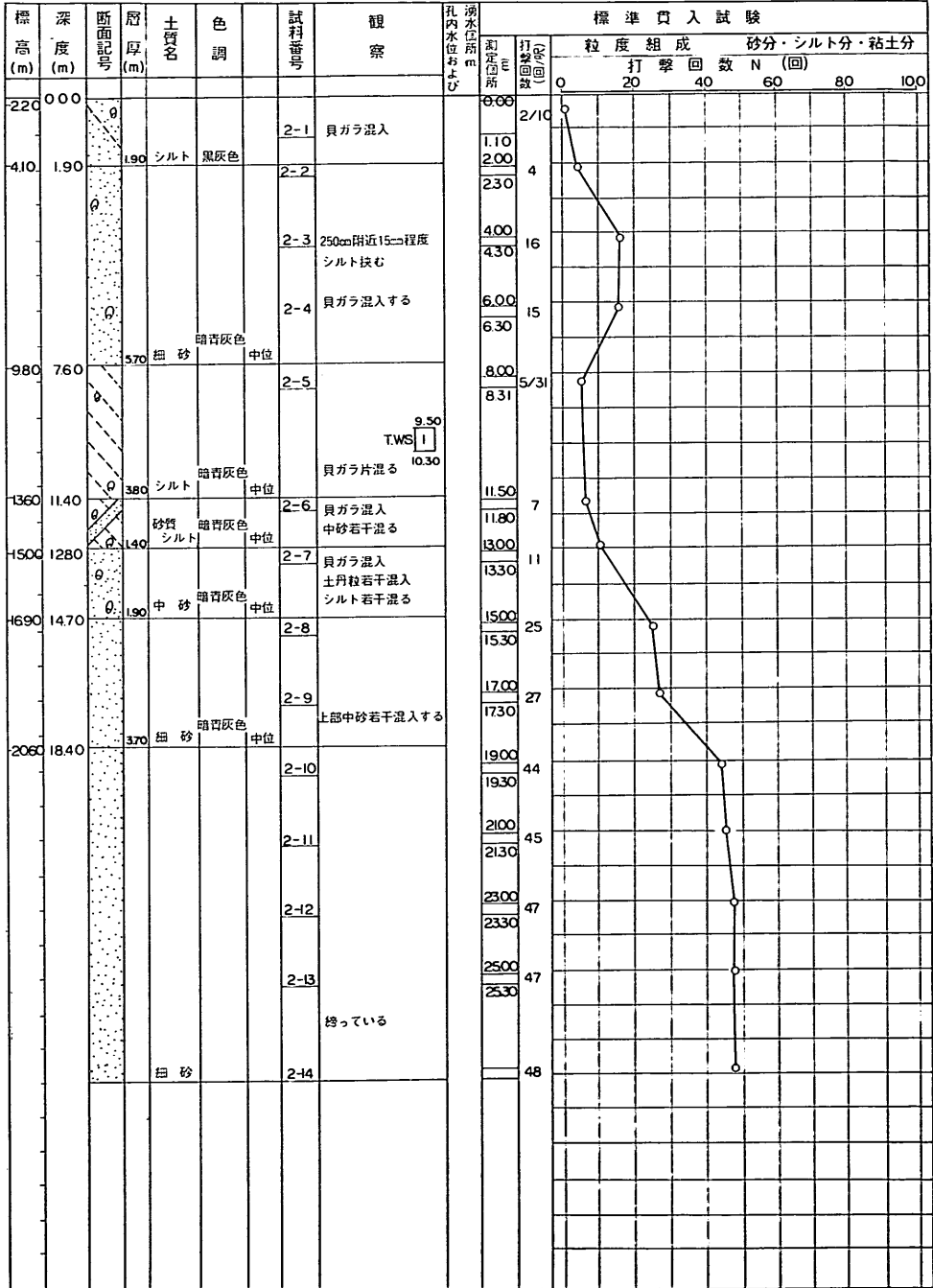
付図 3-13 新潟港における鋼材片の腐食速度 (S. 41年取付)



付図 3-14 新潟港における鋼材片の腐食速度 (S. 42年取付)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

調査年月日……昭和39年8月4日～8月11日  
 調査番号……No. 2 (陸上)  
 掘進方法……ロータリー式  
 総掘進長……30.20m(2800m)  
 使用機械名……RL-100型

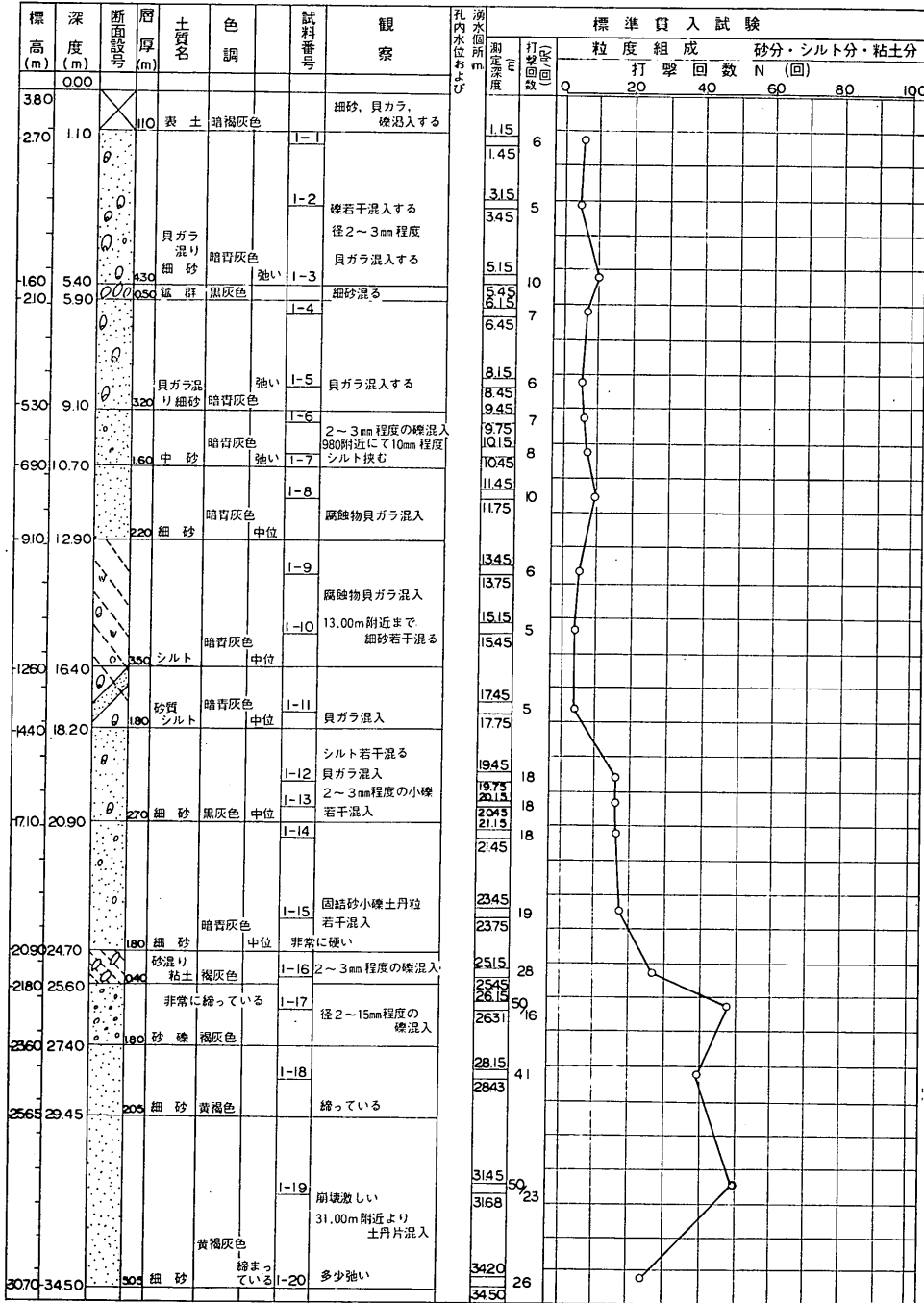


付図 4-1 ボーリング調査結果 (京浜港, 海上部)



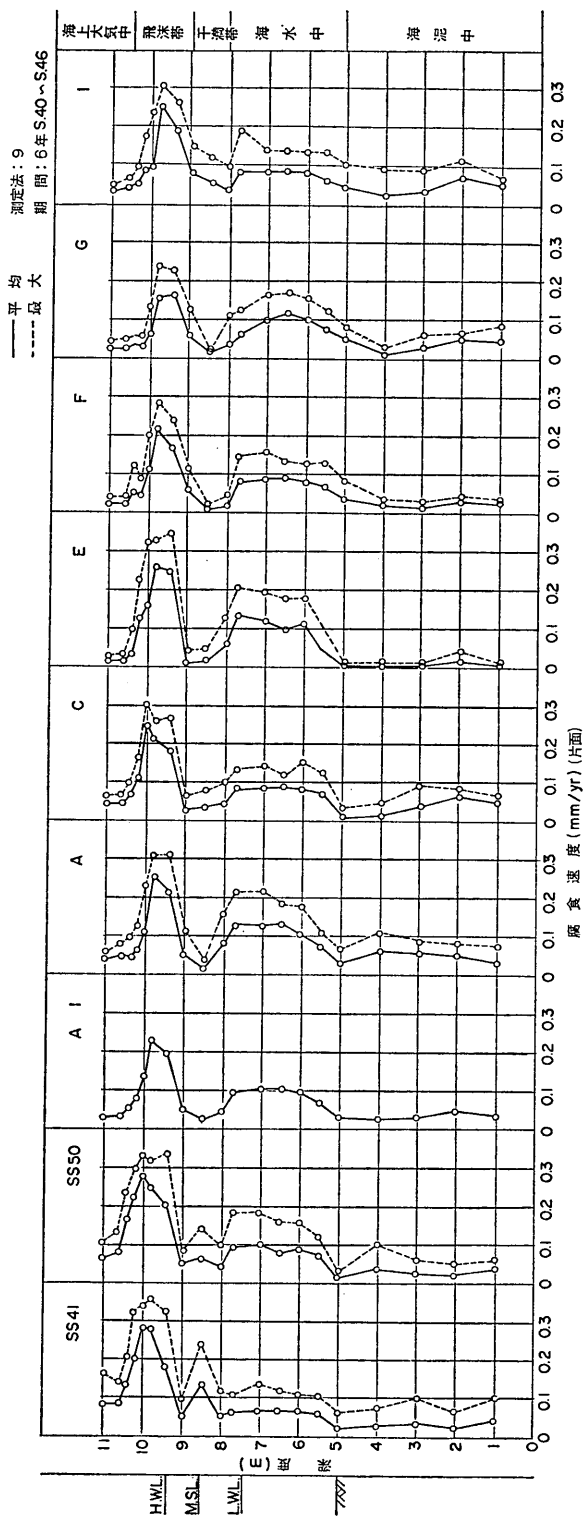
善 一章・阿部正美

調査年月日……昭和39年8月15日～8月22日  
 調査番号……No. 1 (海上)  
 掘進方法……ロータリー式  
 総掘進長……30.70m (34.50m)  
 使用機械名……RL-100型



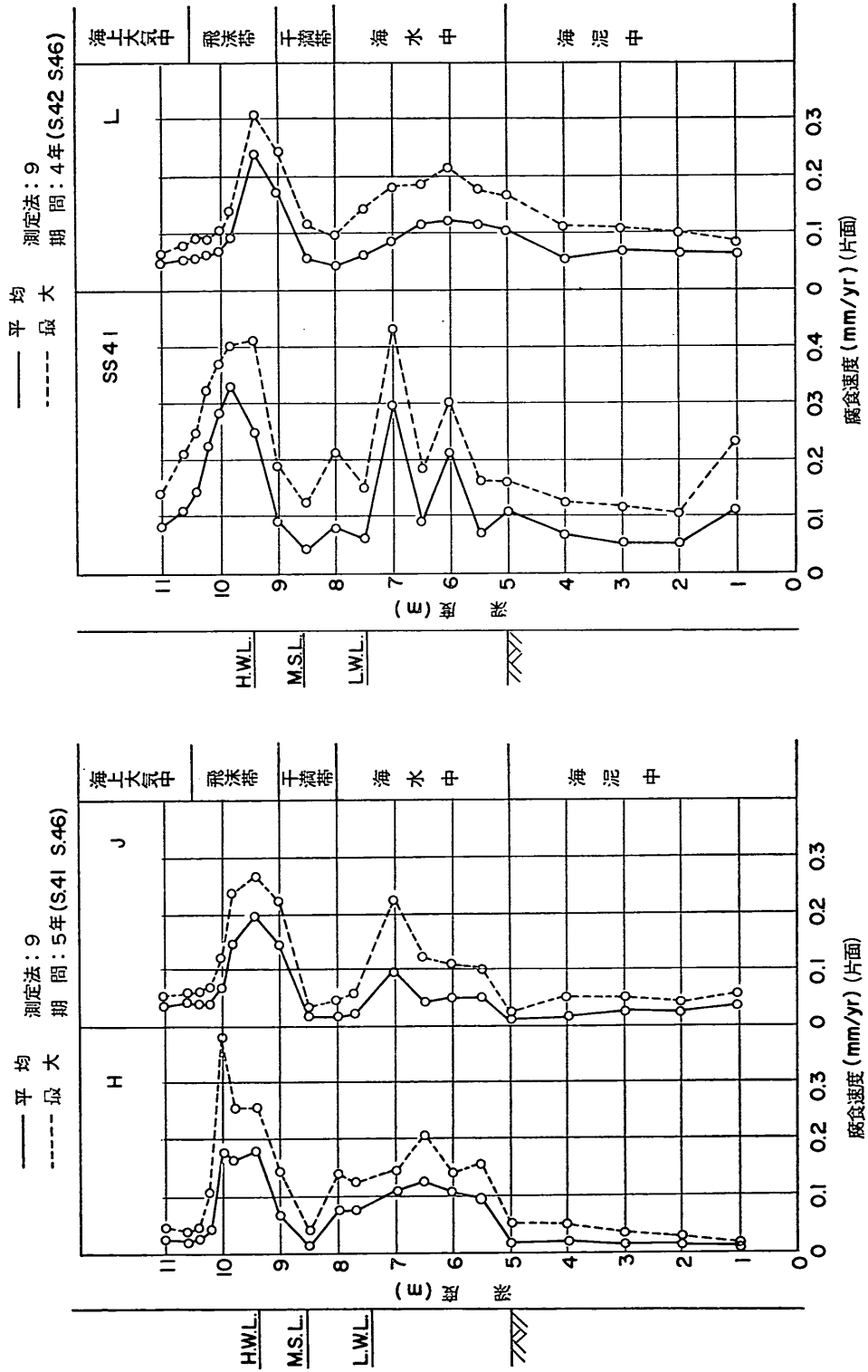
付図 4-2 ボーリング調査結果 (京浜港, 陸上部)





付図 4-4 京浜港海上杭の腐食傾向

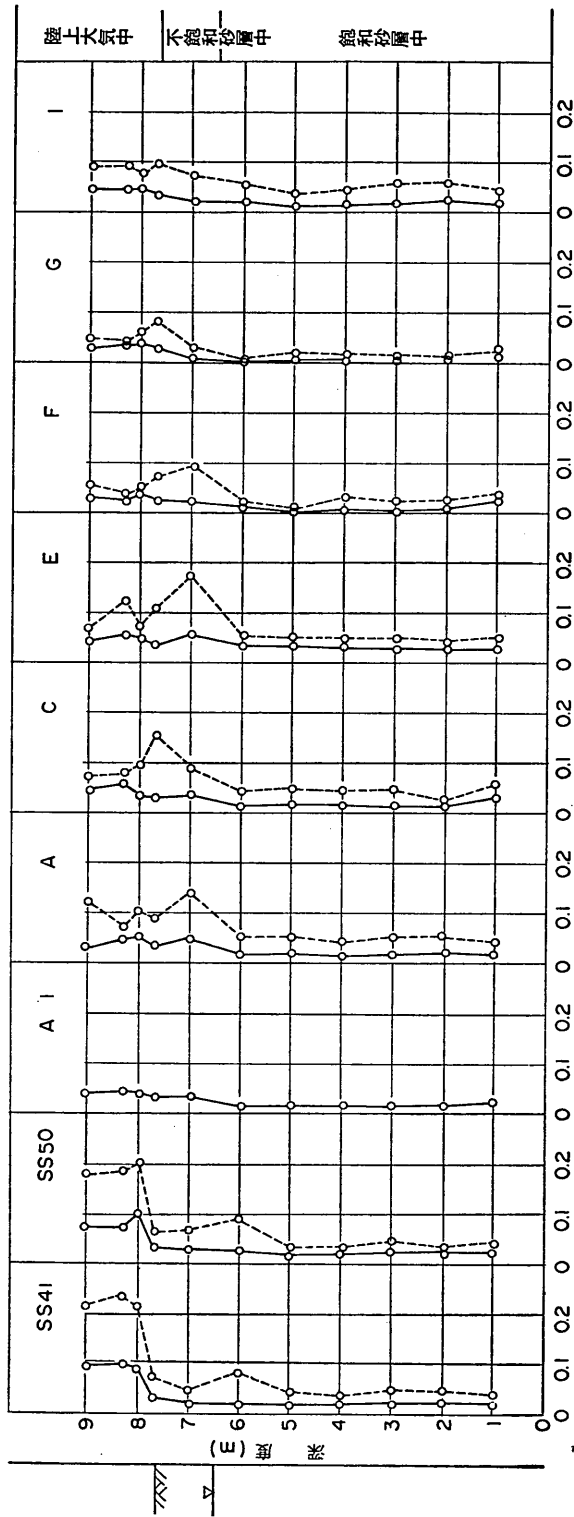
港灣環境における耐食鋼の耐食性調査



付図 4-5 京浜港海上杭の腐食傾向

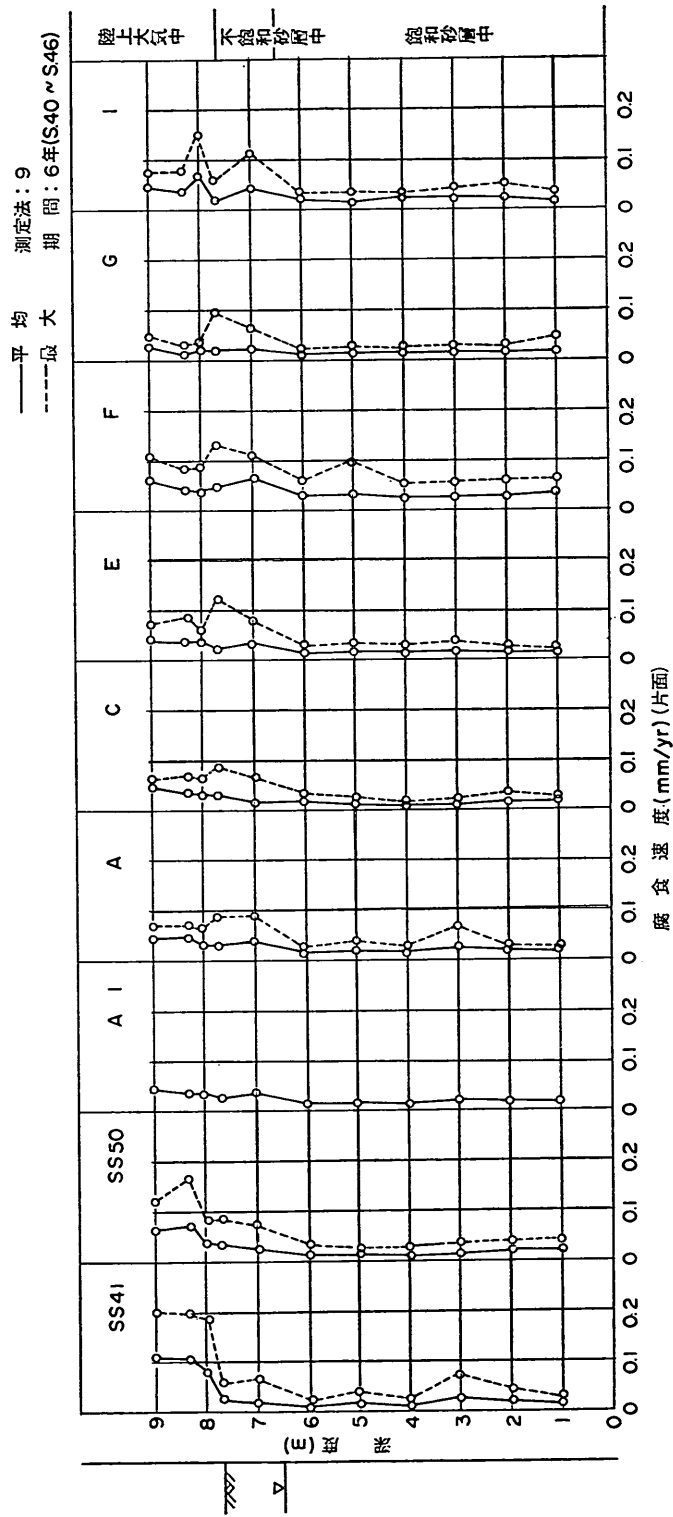
測定法：9  
期間：3年(S40~S43)

——平均  
-----最大

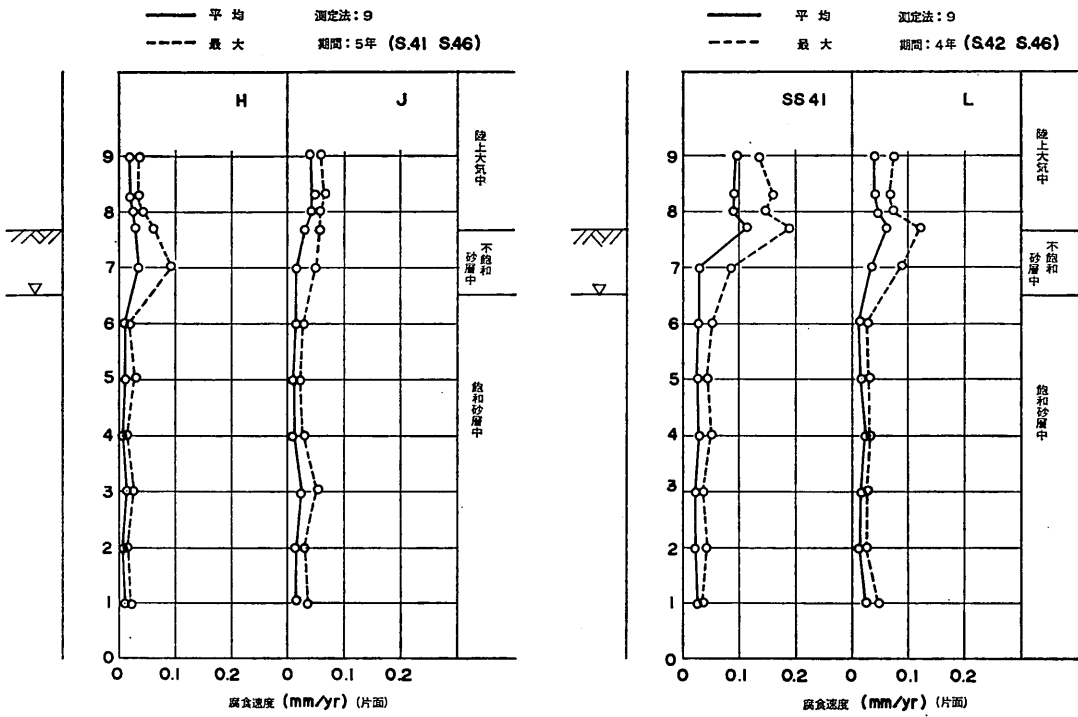


腐食速度 (mm/yr) (片面)  
付図 4-6 京浜港陸上杭の腐食傾向

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

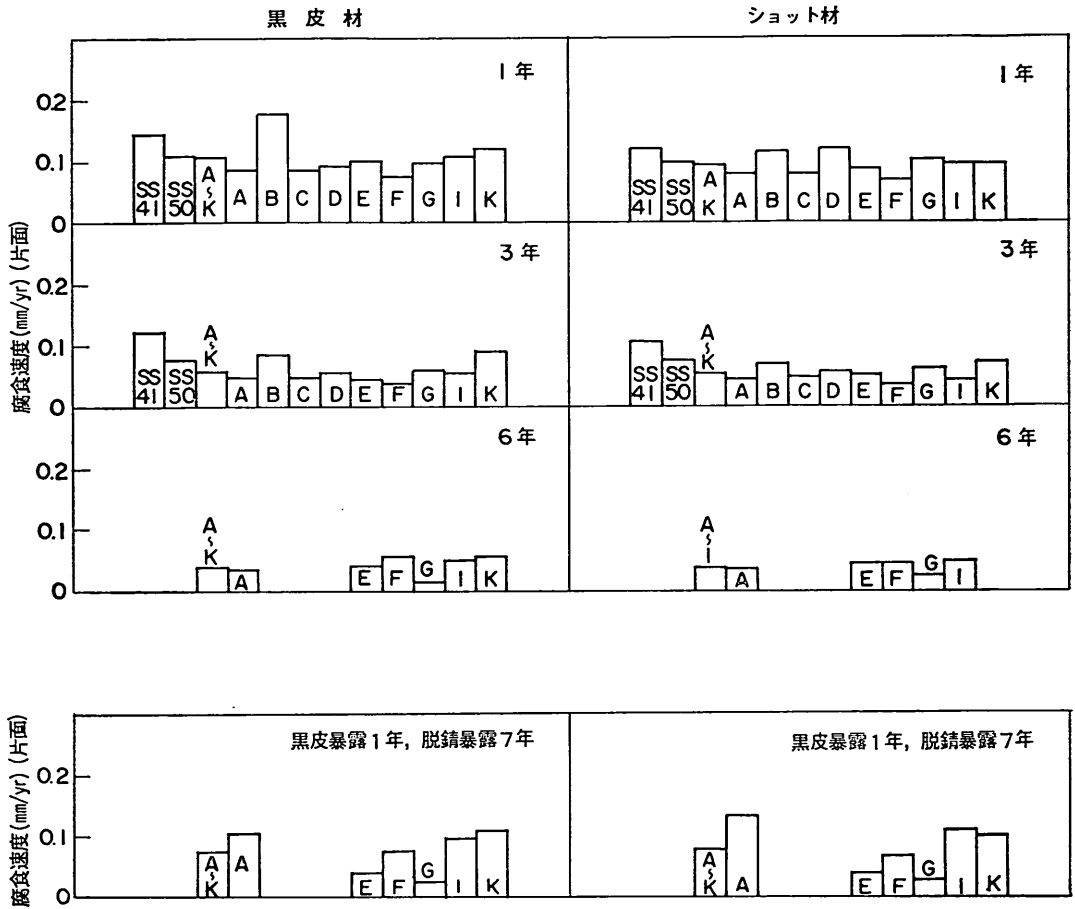


付図 4-7 京浜港陸上杭の腐食傾向



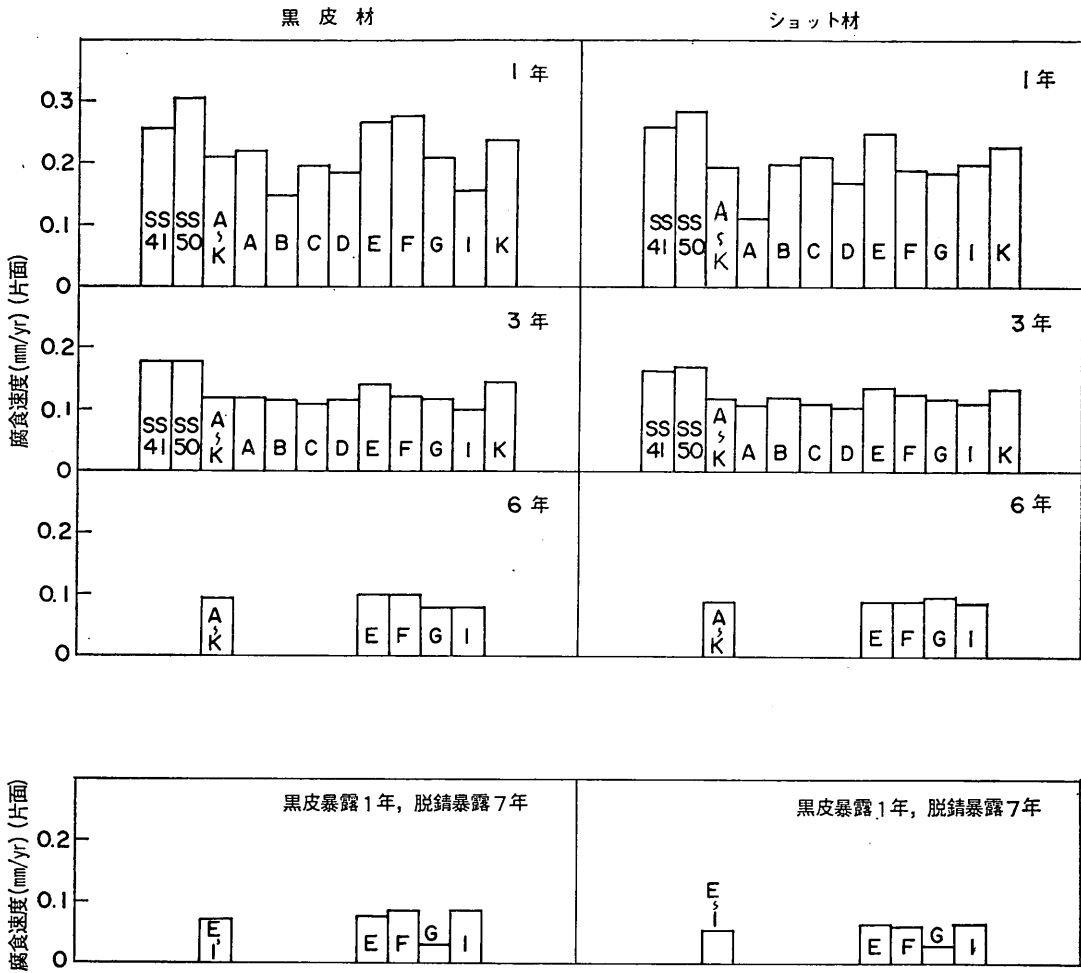
付図 4-8 京浜港陸上杭の腐食傾向

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



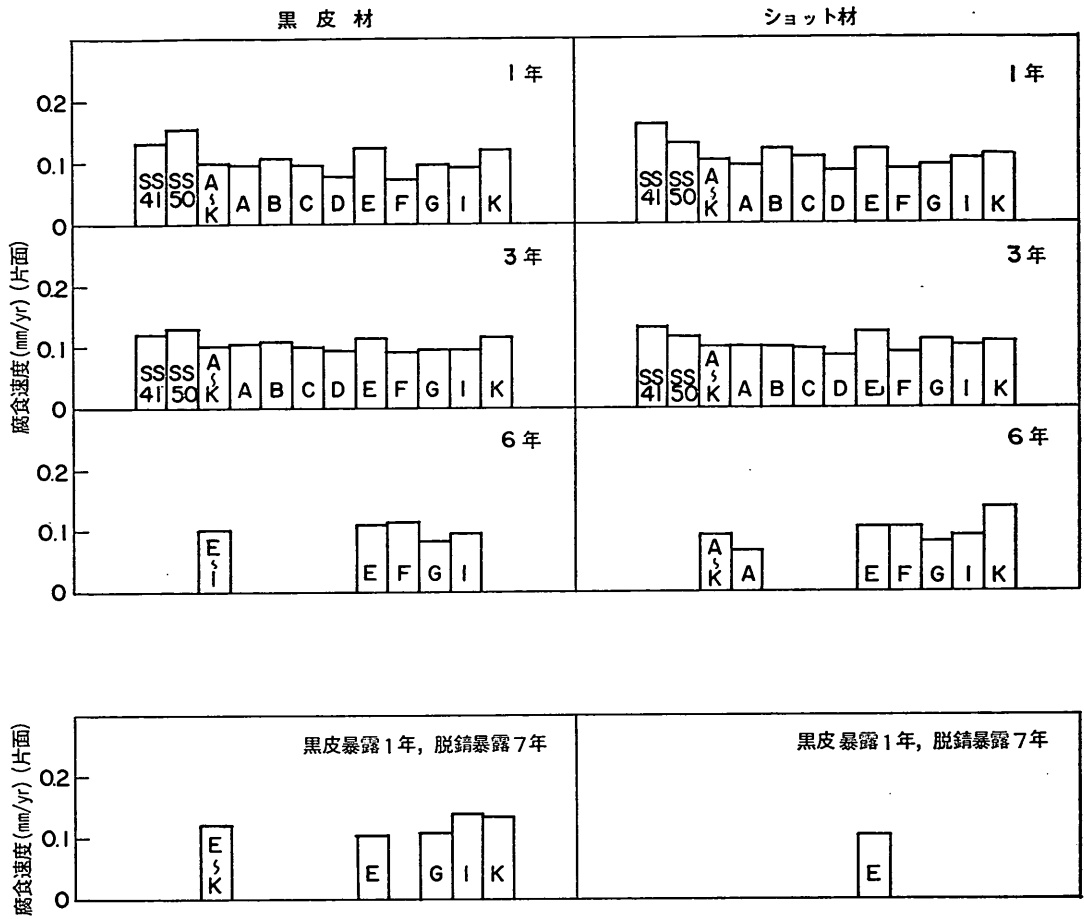
付図 4-9 京浜港における鋼材片の腐食速度 (海上大気中)



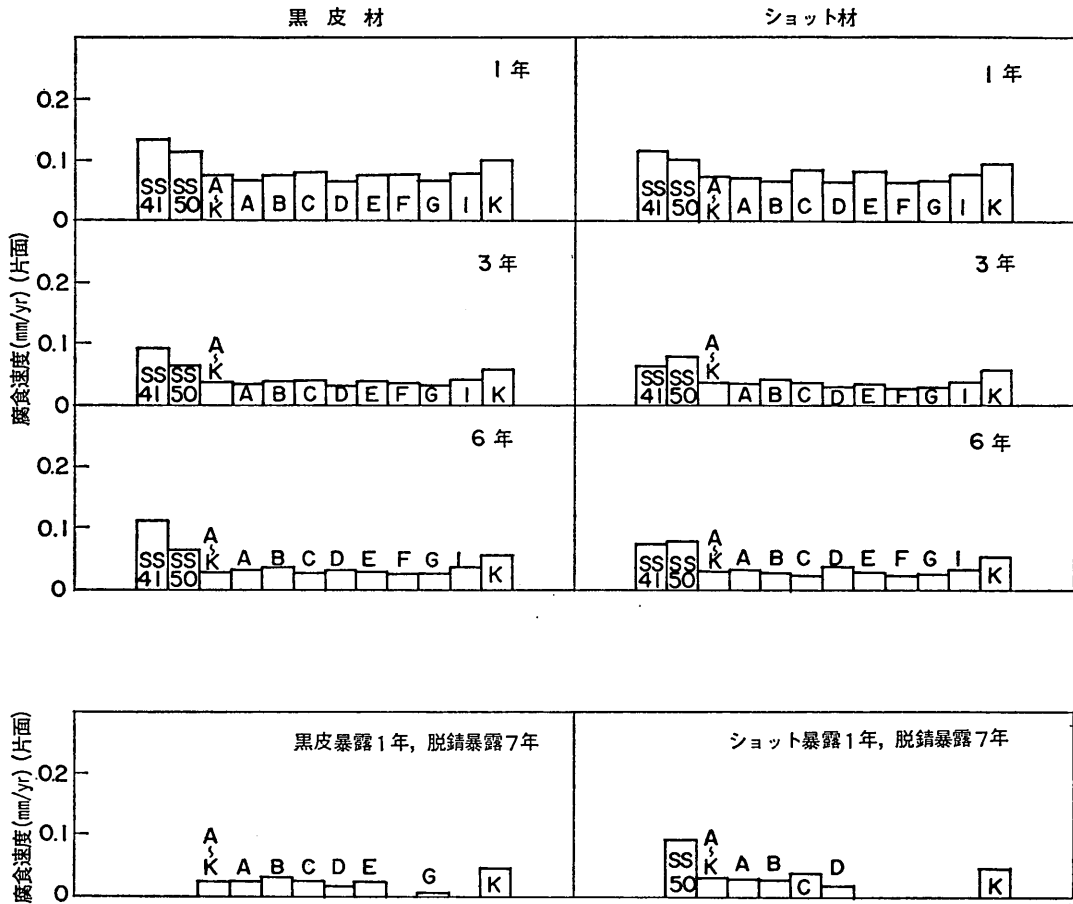


付図 4-10 京浜港における鋼材片の腐食速度 (干潟帯)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

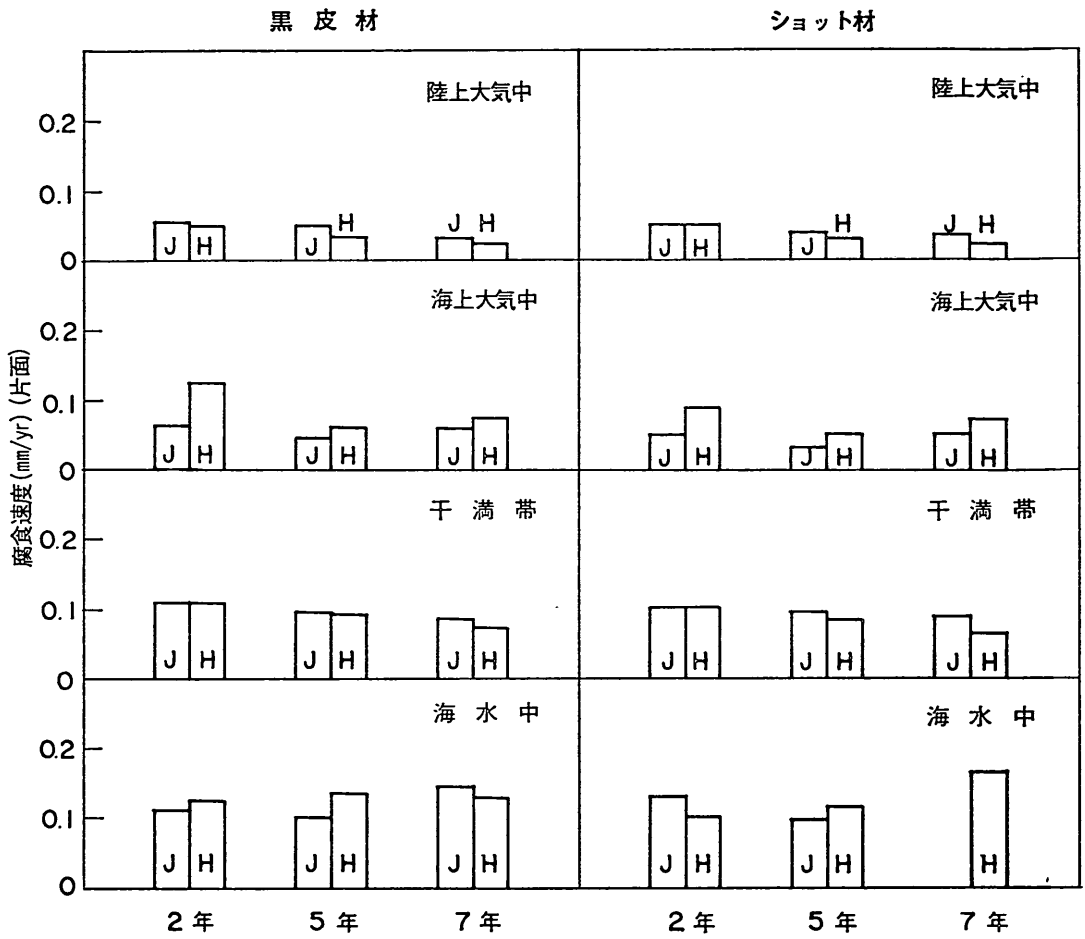


付図 4-11 京浜港における鋼材片の腐食速度 (海水中)

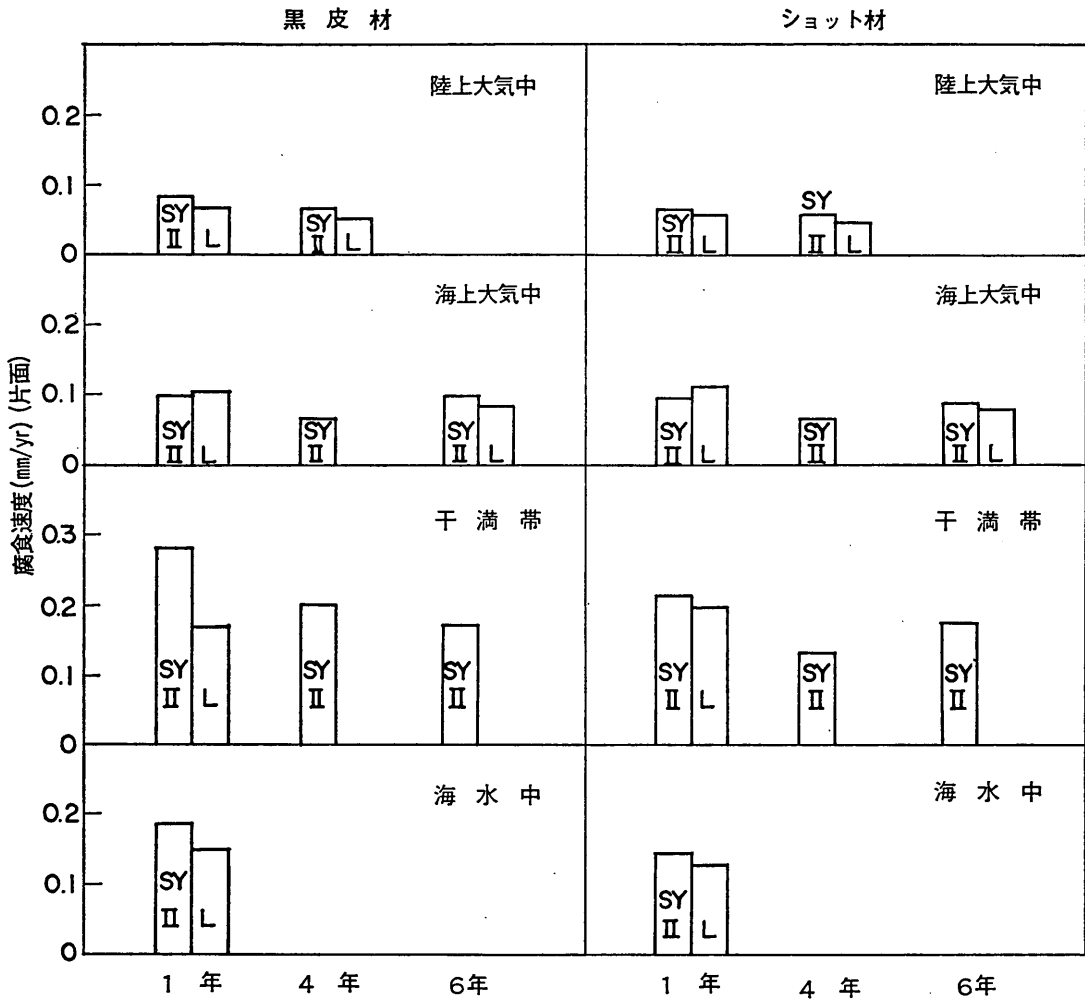


付図 4-12 京浜港における鋼材片の腐食速度 (陸上大気中)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



付図 4-13 京浜港における鋼材片の腐食速度 (S.41年取付)



付図 4-14 京浜港における鋼材片の腐食速度 (S. 42年取付)

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

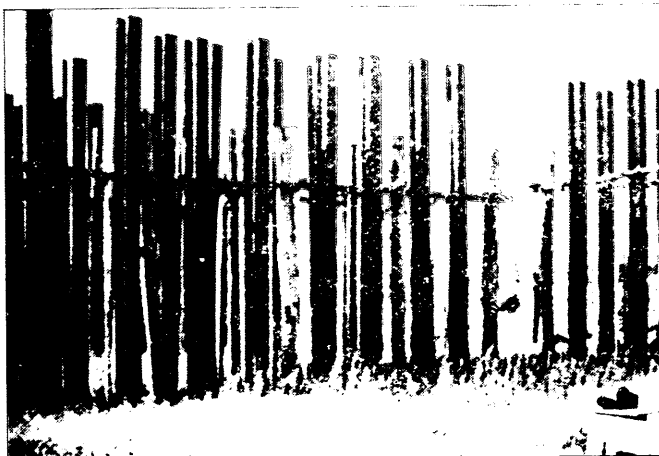
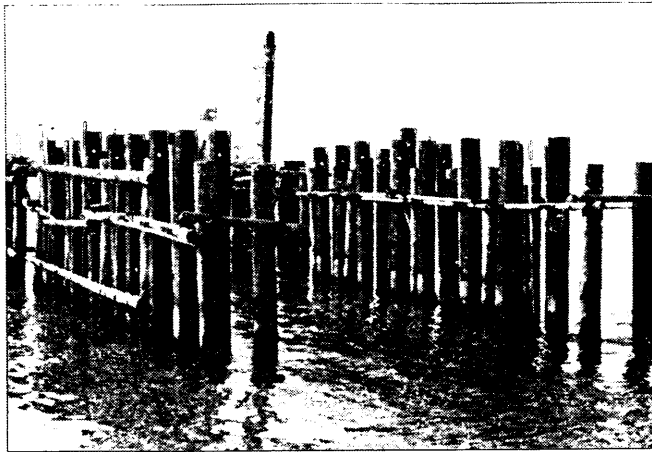
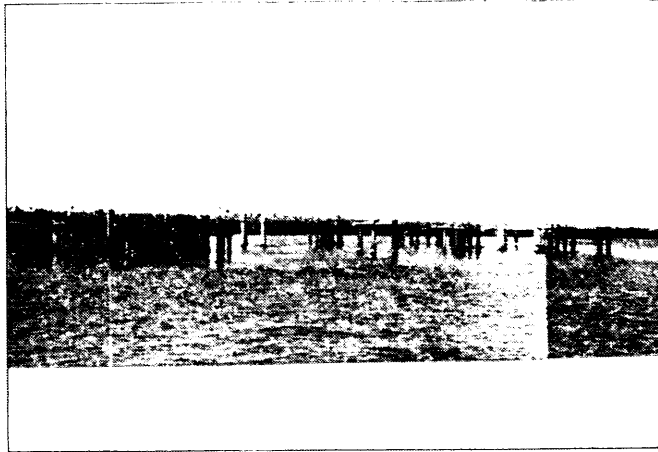


写真 2-1 新潟港における試験材配置状況

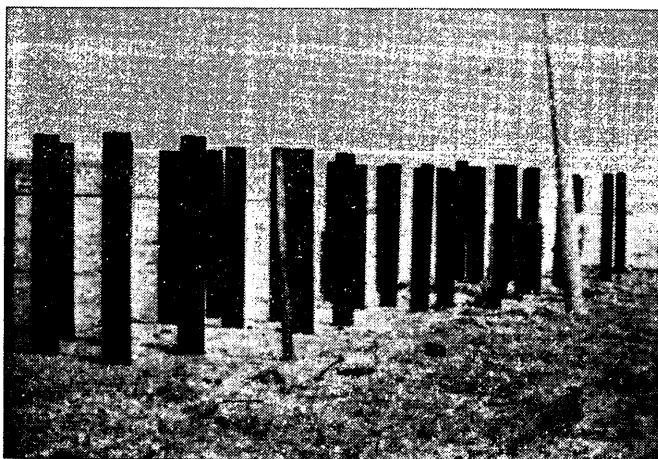
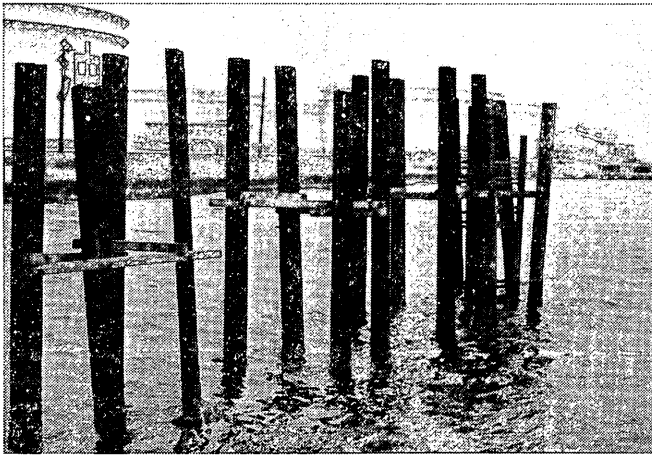
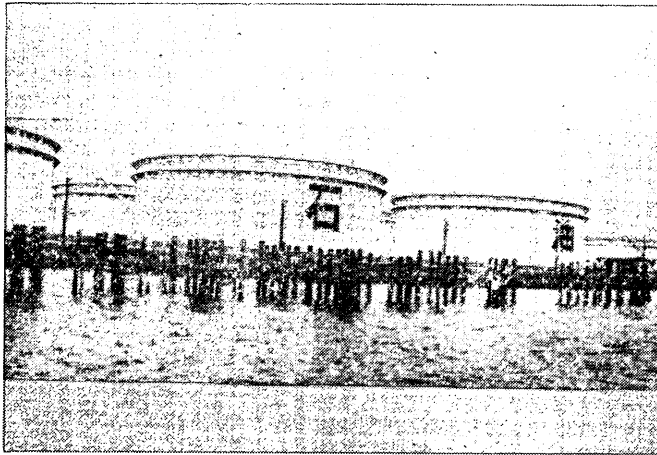


写真 2-2 京浜港における試験材配置状況

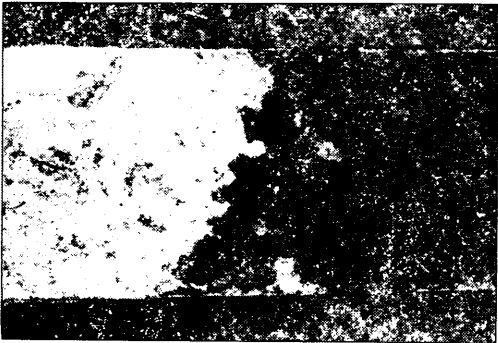
港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



海水～海泥付近



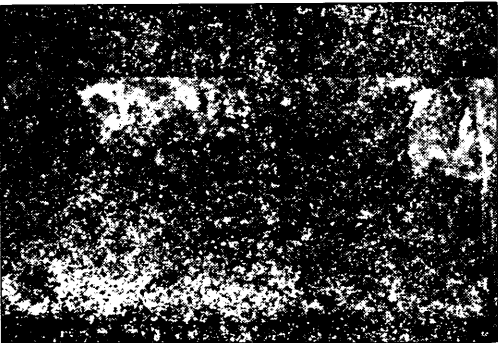
海泥中



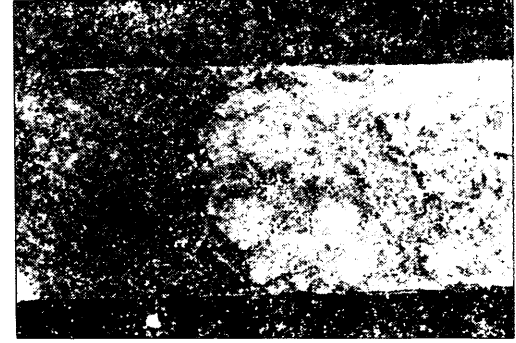
干帯



海水中



海上大気中



飛沫帯

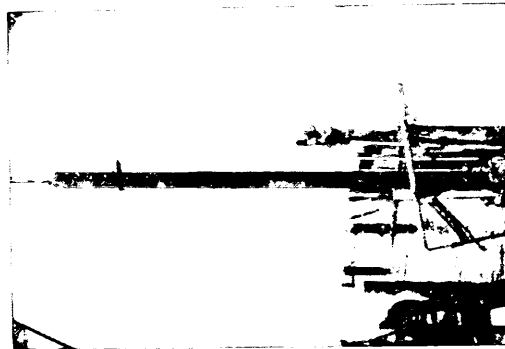
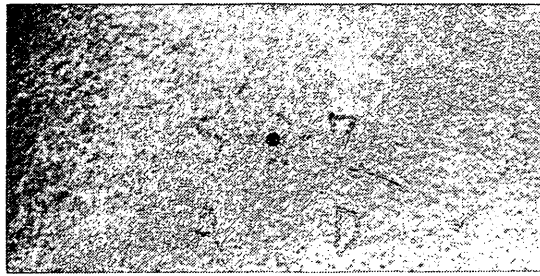
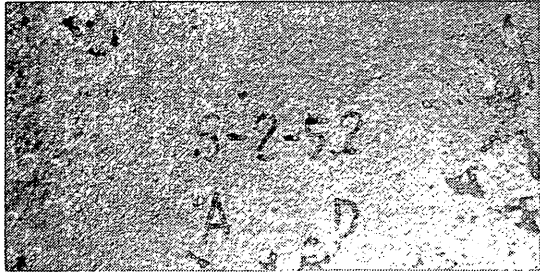
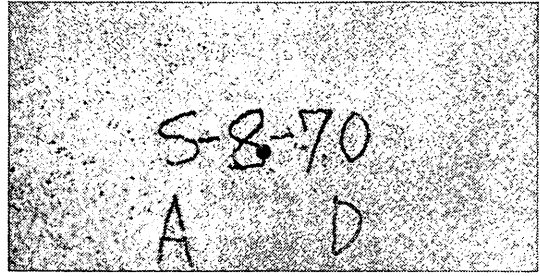


写真 3-1 新潟港海上杭面の状況 (回収時)

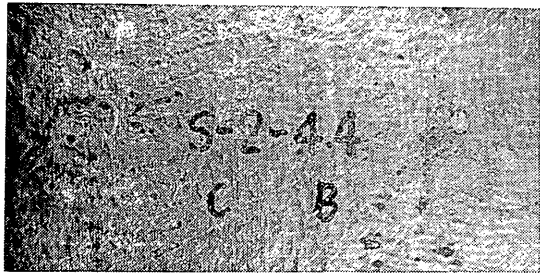
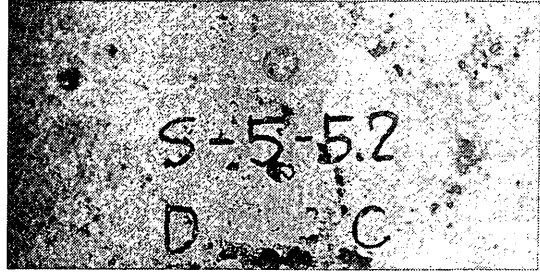




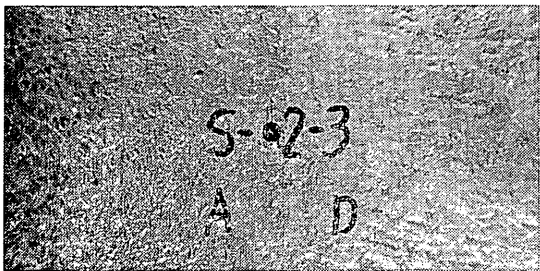
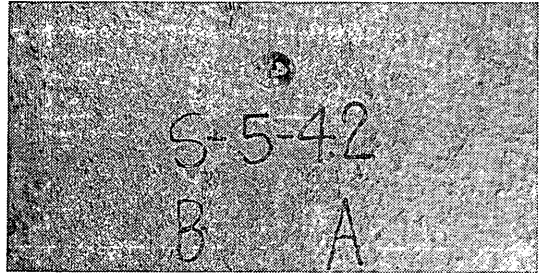
海上大気中



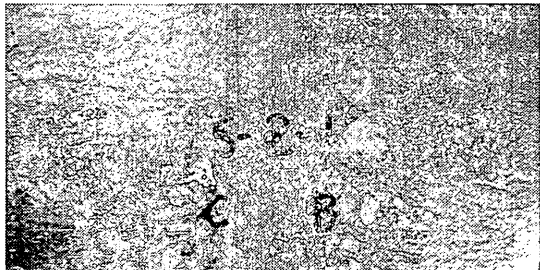
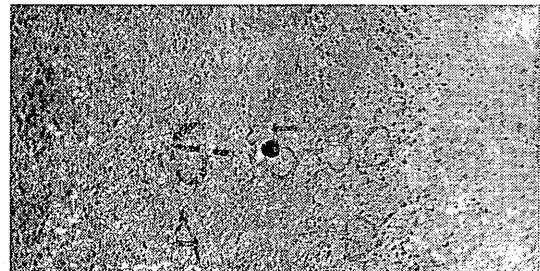
飛沫帯



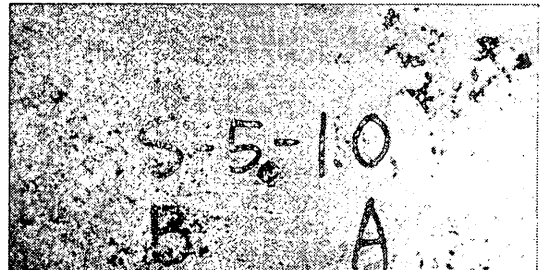
海水中上部



海水中



海泥中

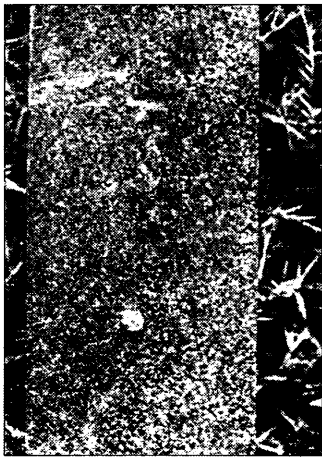


基準鋼

耐食鋼

写真 3-2 新潟港海上杭面の状況（脱錆後）

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



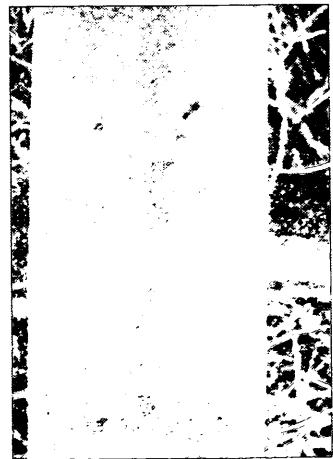
陸上大気中



不飽和砂層中

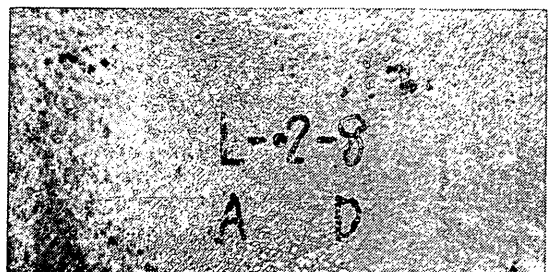


地面付近

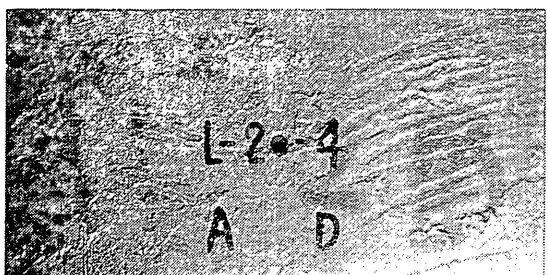
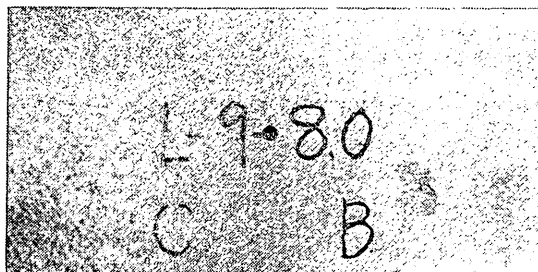


飽和砂層中

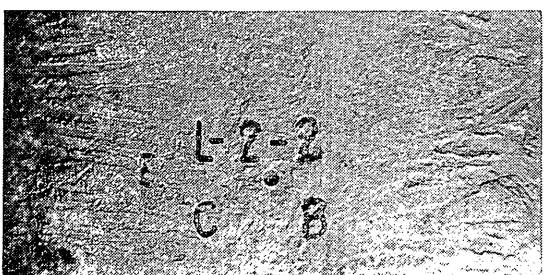
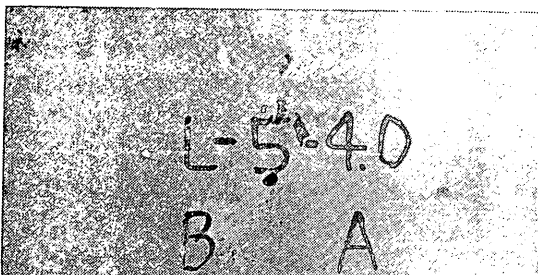
写真 3-3 新潟港陸上杭面の状況 (回収時)



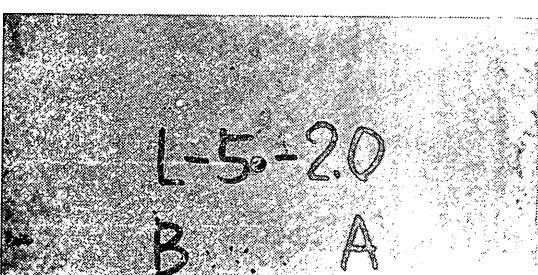
陸上大気中



不飽和砂層中



飽和砂層中



基準鋼

耐食鋼

写真 3-4 新潟港陸上杭面の状況（脱錆後）

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

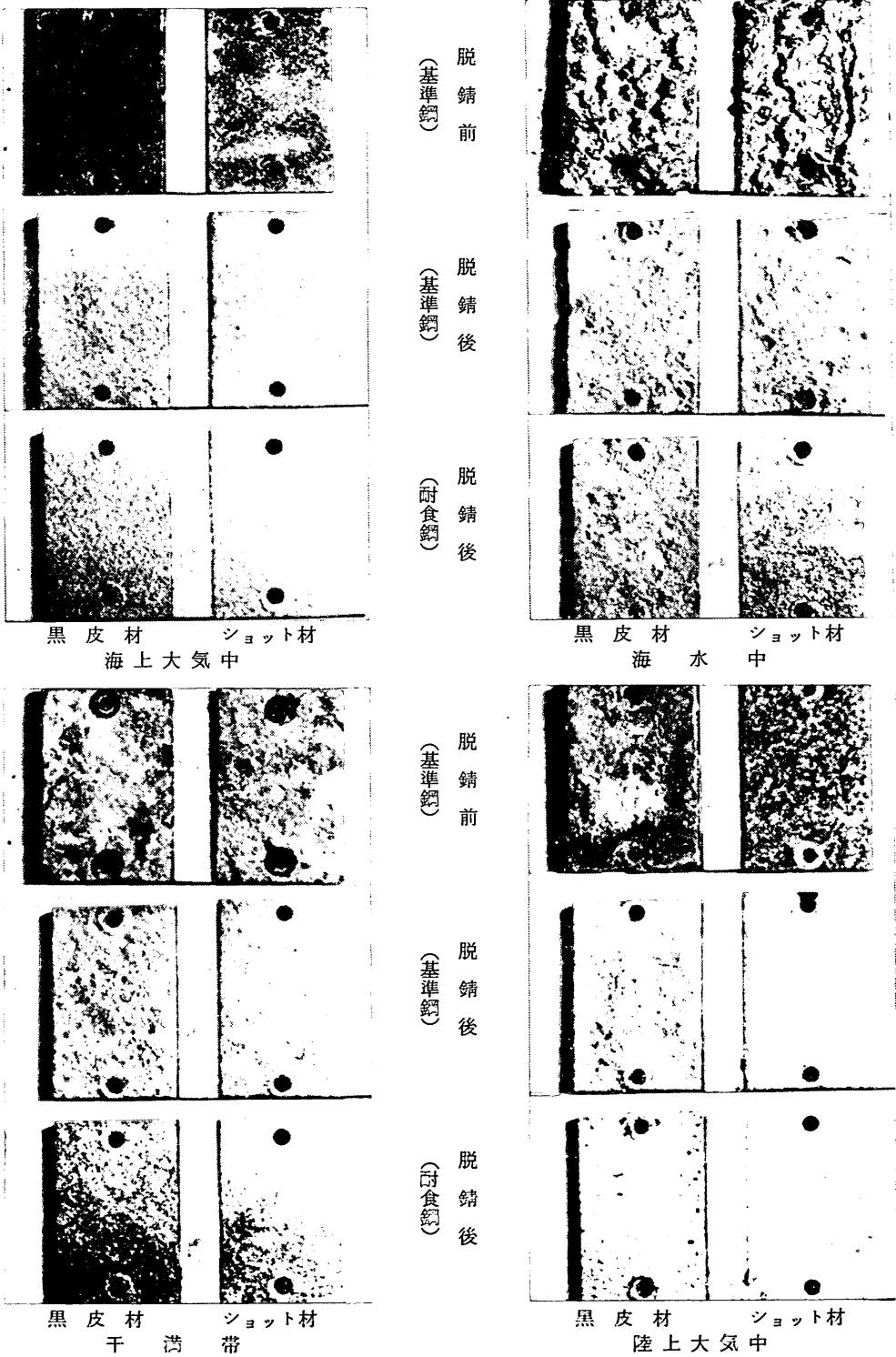
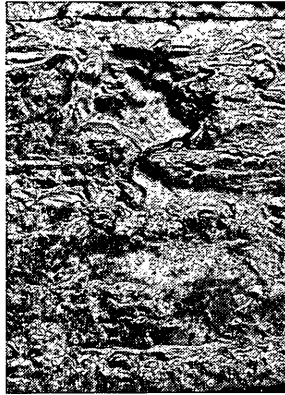


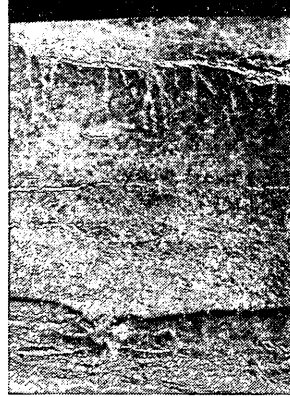
写真 3-5 新潟港における鋼材片の表面状況



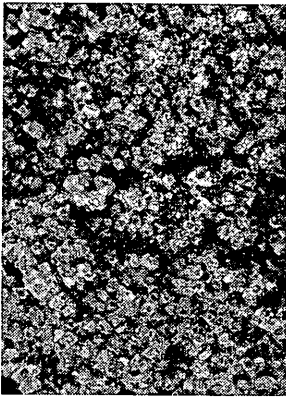
海水～海泥付近



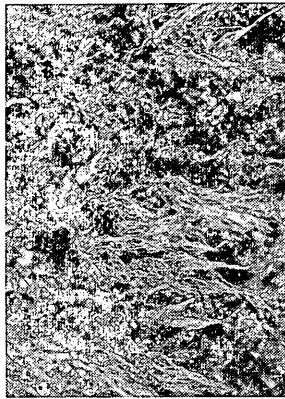
海泥中



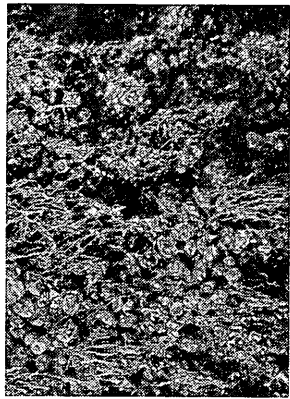
海泥中



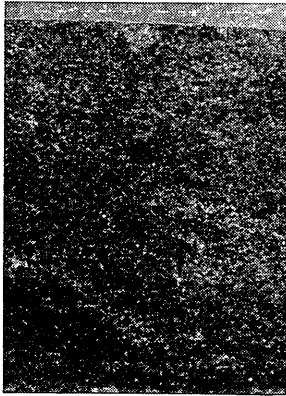
干満帯



海水中



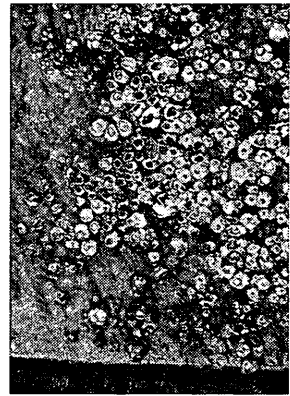
海水中



海上大気中



飛沫帯



干満帯

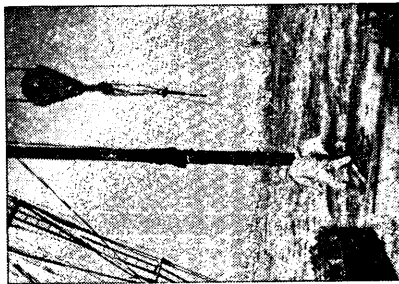


写真 4-1 京浜港海上杭面の状況（回収時）

港湾環境における耐食鋼の耐食性調査

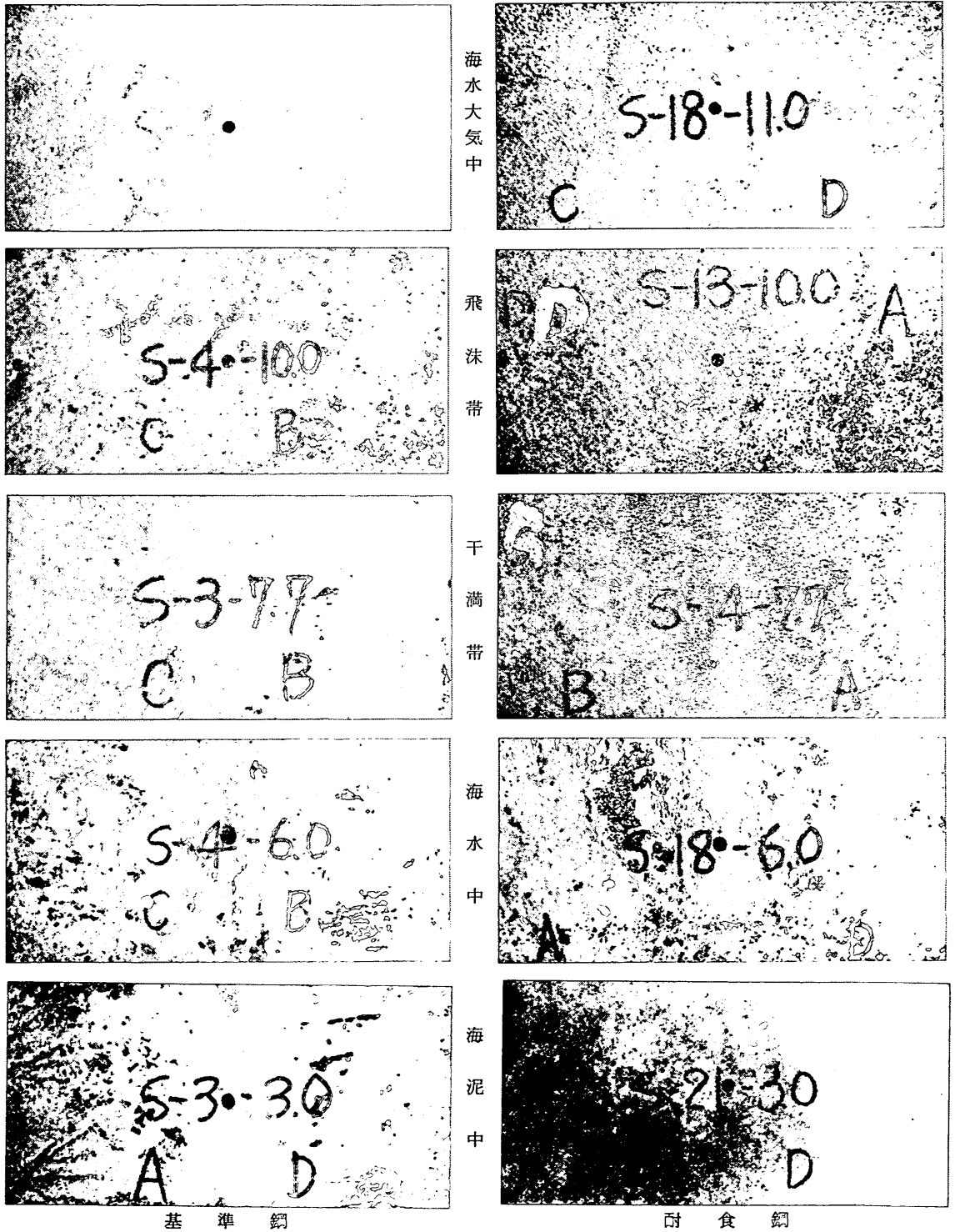
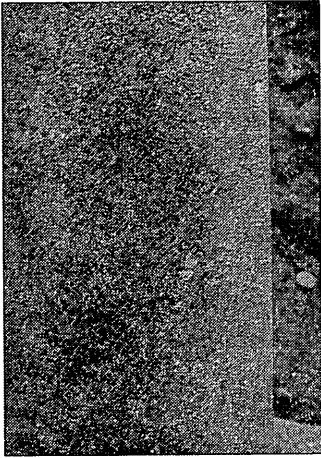
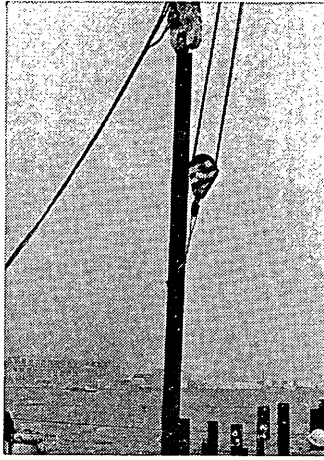


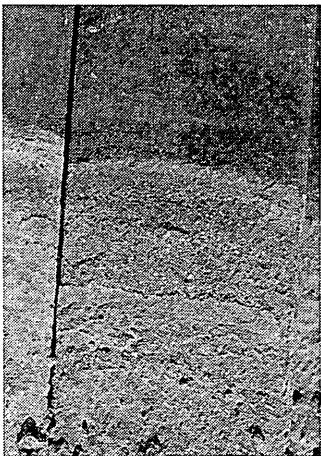
写真 4-2 京浜港海上杭面の状況（脱錆後）



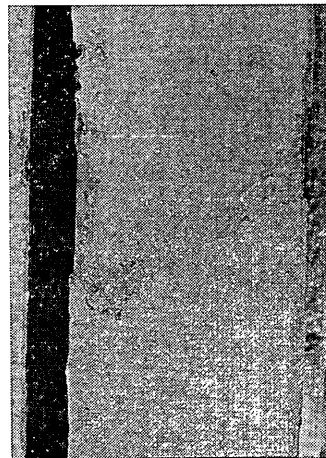
陸上大気中



不飽和砂層中



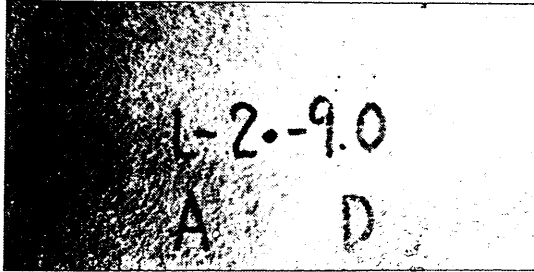
地面付近



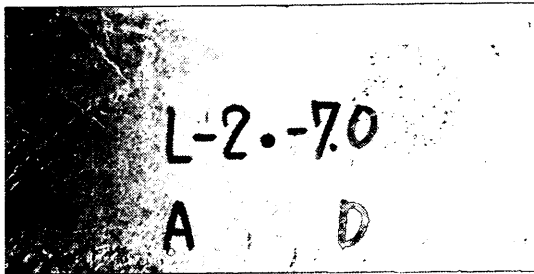
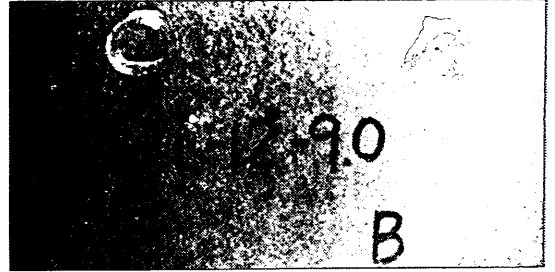
飽和砂層中

写真 4-3 京浜港陸上杭面の状況（回収時）

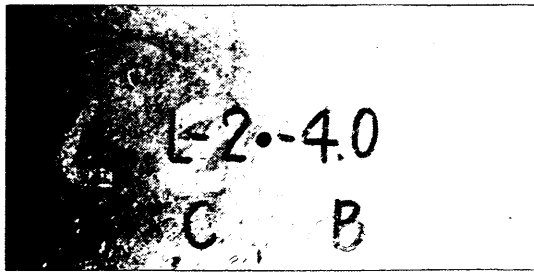
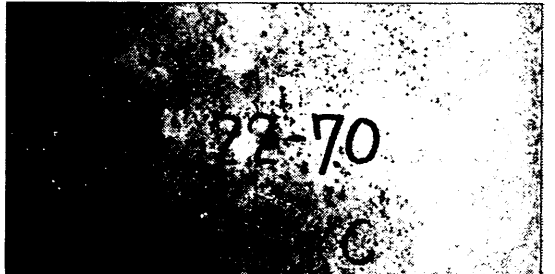
港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



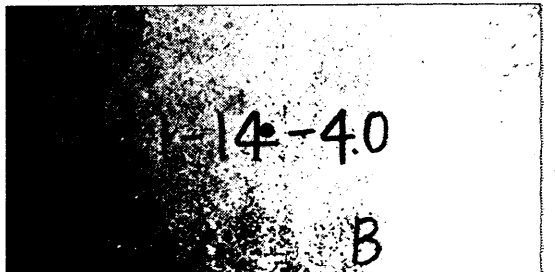
陸上  
大気中



不飽和  
砂層中



飽和  
砂層中

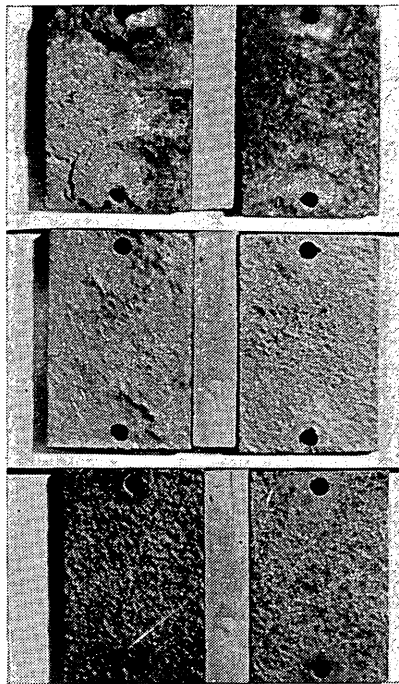


基 準 鋼

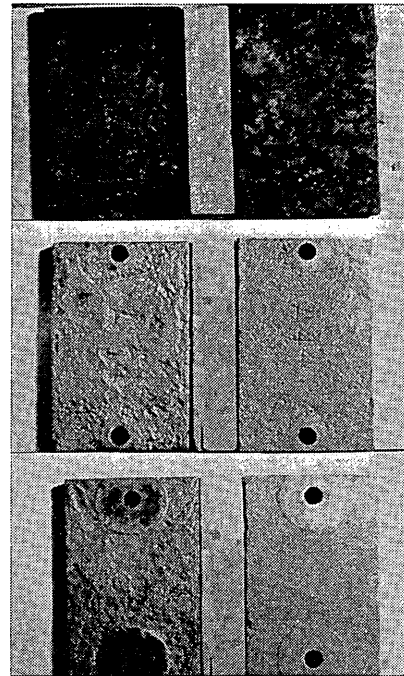
耐 食 鋼

写真 4-4 京浜港陸上杭面の状況（脱錆後）

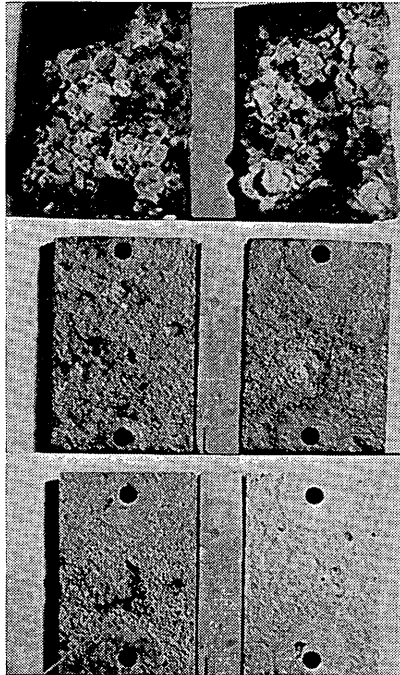




黒皮材 ショット材  
海上大気中



黒皮材 ショット材  
海水 中

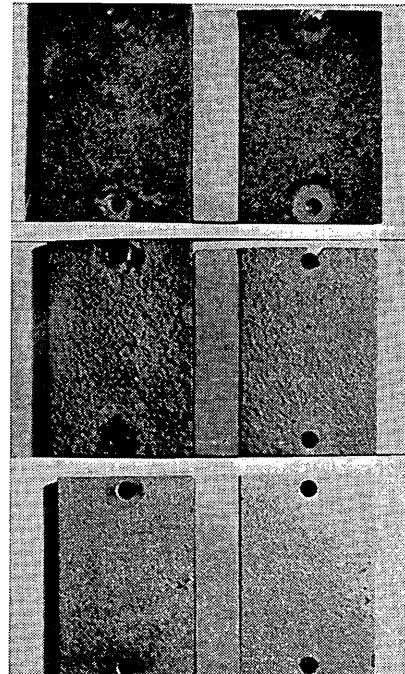


黒皮材 ショット材  
干満帯

(基準鋼)  
脱錆前

(基準鋼)  
脱錆後

(耐食鋼)  
脱錆後



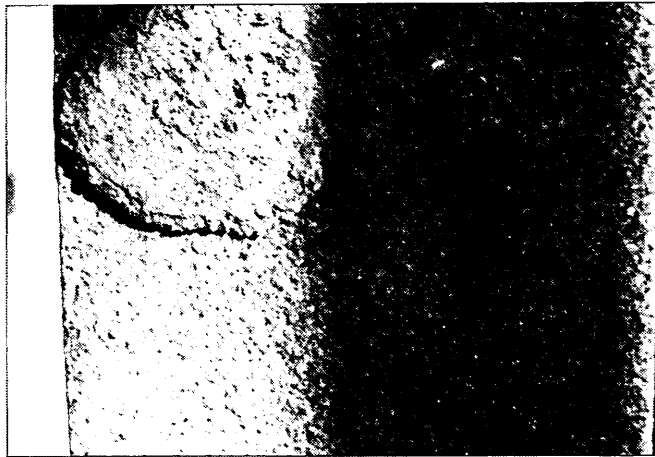
黒皮材 ショット材  
陸上大気中

写真 4-5 京浜港鋼材片の表面状況

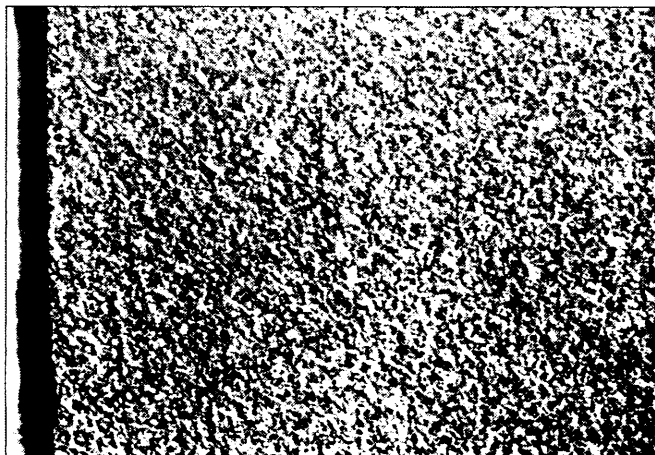
港湾環境における耐食鋼の耐食性調査



基  
準  
鋼



基  
準  
鋼



耐  
食  
鋼

写真 5-1 H杭（黒皮材）の腐食状況（新潟港，陸上大気中，6年材）