

# 港 湾 技 研 資 料

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

No. 461      Sept. 1983

小松島港及び名古屋港における鋼管杭の腐食調査

善            一    章  
阿          部    正    美

運輸省港湾技術研究所



## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. 小松島港における腐食調査 .....	3
2.1 調 査 鋼 管 杭 .....	3
2.2 調 査 方 法 .....	4
2.3 鋼管杭の腐食傾向 .....	4
2.4 最大腐食量の推定 .....	7
3. 名古屋港における腐食調査 .....	10
3.1 調 査 鋼 管 杭 .....	10
3.2 調 査 方 法 .....	10
3.3 鋼管杭の腐食傾向 .....	10
3.4 最大腐食量の推定 .....	11
4. 結 論 .....	14
付 録 .....	14
参 考 文 献 .....	15
写 真 .....	17
付 図 .....	36
付 表 .....	40

## Corrosion Surveys of Steel Pipe Piles at Komatsujima and Nagoya Harbours

Kazuaki ZEN\*  
Masami ABE\*\*

### Synopsis

Corrosion surveys of steel pipe piles at Nokyo-pier at Komatsujima Harbour, which had elapsed 17 years, and at 9-gochi pier at Nagoya Harbour, which had elapsed 13 years, have been carried out. The following results were obtained:

- (1) Maximum corrosion rates on the steel portions where had been abraded by old tires as fender were about 0.7 mm/y. On the other hand, on the surfaces of steel pipe piles without fenders, pitting corrosion occurred at MLWL and maximum corrosion rates were about 0.5 mm/y (Komatsujima harbour).
- (2) Mean corrosion rates were about 0.2 mm/y and maximum corrosion rates were about 0.4 mm/y at splash zone, mean corrosion rates about 0.25 mm/y and maximum corrosion rates about 0.45 mm/y at MLWL, and mean corrosion rates about 0.1 mm/y and maximum corrosion rates about 0.2 ~ 0.3 mm/y (Nagoya harbour).
- (3) By using extreme value probability plots of the thickness loss of pipe piles, estimation of maximum corrosion amount at MLWL and in mud zone and comparison of corrosion tendencies at several corrosion environments were done.

---

\* Ex-Senior Research Engineer, Structures Division

\*\* Member of Materials Laboratory, Structures Division

# 小松島港及び名古屋港における鋼管杭の腐食調査

善 一 章 \*  
阿 部 正 美 \*\*

## 要 旨

小松島港農協飼料棧橋（17年経過）と名古屋港9号地南側棧橋（13年経過）の鋼管杭について腐食調査を行った。調査の結果は、次のとおりであった。

- (1) 防舷材（古タイヤ）の接触箇所の最大腐食速度は、0.7mm/y程度であった。防舷材が接触しなかった杭では、平均干潮面付近で孔食が著しく最大腐食速度は0.53mm/yであった（小松島港）。
- (2) 飛沫帯では、平均腐食速度は0.2mm/y程度、最大腐食速度は0.4mm/y程度であった。平均干潮面では、平均腐食速度は0.25mm/y程度、最大腐食速度は0.45mm/y以上であった。海中では、平均腐食速度は0.1mm/y程度、最大腐食速度は0.2~0.3mm/yであった（名古屋港）。
- (3) 肉厚減量の極値分布を用いて、平均干潮面と海泥中の最大腐食量の推定及び各環境における腐食傾向の比較を行った。

## 1. ま え が き

港湾鋼構造物では、平均干潮面付近等の特定部位に腐食が集中するケースがある。特定部位への腐食の集中は、特に、杭式構造物にとって危険である。腐食が集中する場合、最大腐食速度が問題となる。従来、港湾鋼構造物の設計では、一般に、平均腐食速度が使用されているが、最大腐食速度は、平均干潮面付近に腐食が集中するケースの外に、パイプライン、石油タンク、止水壁等でも重要である。今回、小松島港農協飼料棧橋と名古屋港9号地南側棧橋がそれぞれ改修されることになったので、回収杭について腐食調査を行った。腐食調査では、各深度から切取った鋼材片の肉厚をマイクロメーターで測定し、平均肉厚減量及び最大肉厚減量を算出した。この他、各環境における肉厚減量のヒストグラムを求め、又、グンベルの極値統計の方法を用いて環境毎の最大腐食量の推定を試みた。

## 2. 小松島港における腐食調査

### 2.1 調査鋼管杭

小松島港において、昭和57年3月に、農協飼料棧橋の改修のため、使用鋼管杭40本が回収された。棧橋は昭和40年に建設されており、腐食期間は約17年と推定される。棧橋の位置図を付図-2.1に、棧橋の平面図を付図-2.2に、棧橋の断面図を付図-2.3に示す。平面図に示すように、接舷側の鋼管杭は10本であり、残りの30本では接舷や防舷材（調査時点では、写真-2.1にみられるように古タイヤが使用されていた）による海洋生物の脱落の恐れは少ない。表-2.1に鋼管杭の仕様を示す。回収後の杭面観察（写真-2.2.3）、肉厚測定（図-2.1.2）より、棧橋に使用された鋼管杭は、上杭、中杭、下杭の3本から構成されていたことが確認された。設計の資料では鋼管杭の初期肉厚は16mmとなっていたが、肉厚測定値から初期肉厚は14~17mmの範囲と思われる。肉厚測定を行った鋼管杭は、付図-2.4に示すNo.1（接舷側）とNo.2（接舷側でない）の2本である。

表 2.1 調査鋼管杭

港 名	施設名	水深 (m)	鋼 管 杭			腐食期間 (年)	防食
			φ(cm)	t (mm)	l (m)		
小松島港	農協飼料棧橋	-3.0	30	14~17	14.7	17	なし

\* 前構造部 主任研究官（防食担当）

\*\* 構造部 材料施工研究室

## 2.2 調査方法

### (1) 引抜き前の観察（海面上）

干潮時（+0.33m）に杭面の目視観察（写真撮影）を行った。観察の向きは、付図-2.4のとおりである。

### (2) 鋼管杭の引抜き及び観察

上部コンクリートをはつた後、鋼管杭を引抜いて陸上に横たえた。杭面の目視観察（写真撮影）をした。

### (3) 試験片の切取り、脱錆、肉厚測定

引抜き杭2本について、付図-2.5の箇所で切断した。試験片に杭No.、深度、上下方向を明記した後、長尺試験片はさらに10cm深度ごとに切断した。10cm×15cmの試験片は、クエン酸ニアンモニウム10%溶液に浸漬して脱錆した。脱錆後、試験片の肉厚をポイント型マイクロメーターで測定した。

### (4) 脱錆した試験片の観察

脱錆した試験片の外表面及び内表面を観察（写真撮影）した。

## 2.3 鋼管杭の腐食傾向

### (1) 肉厚測定結果

調査鋼管杭の現有肉厚を深度方向について示すと、図2.1（杭No.1）、図-2.2（杭No.2）のとおりである。杭No.1、杭No.2とも両図に示すように、上杭、中杭、下杭の3本からなっており、各組の初期肉厚は明らかでない。したがって、上杭（+2.2m～+2.45m）の初期肉厚は、コンクリート中（杭No.1：+1.85m～+1.75m、杭No.2：+2.15m～+2.05m）の最大値5個の平均値を、下杭（-6.5m～-10.3m）の初期肉厚は、海泥中（杭No.1：-7.05m～-8.05m、杭No.2：-6.95m～-7.95m）の最大値5個の平均値を用いた。算出した初期肉厚は、次のとおりである。

	上杭	下杭
杭No.1	16.660mm	17.101mm
杭No.2	14.231mm	16.320mm

----- 最小肉厚  
 \_\_\_\_\_ 平均肉厚  
 - - - - - 最大肉厚  
 杭 No.1

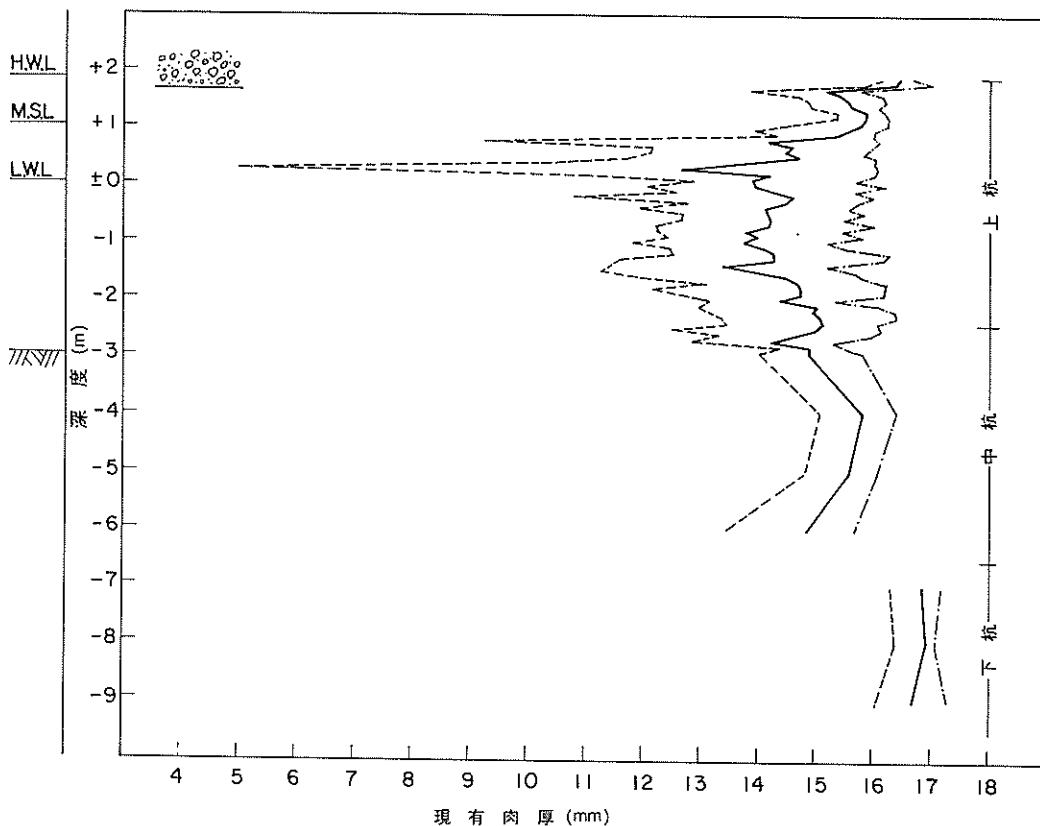


図-2.1 鋼管杭の腐食傾向(1)（小松島港，農協飼料栈橋）

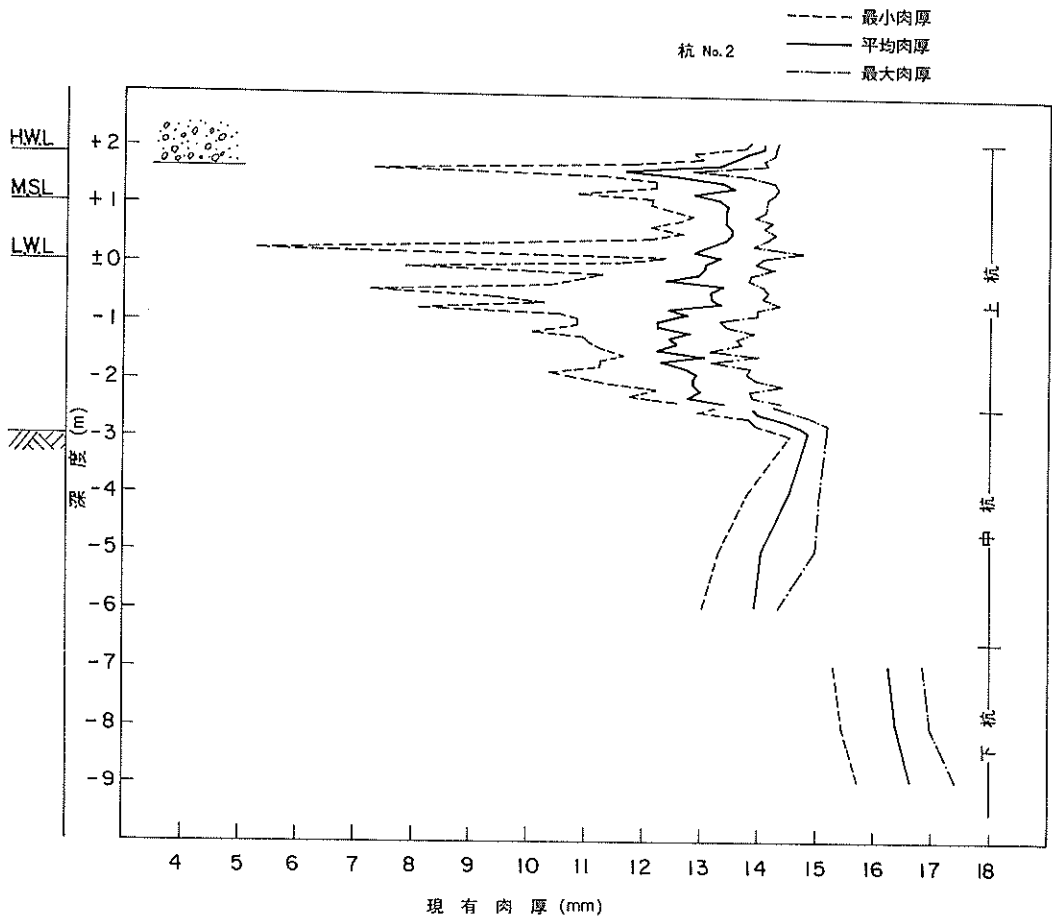


図-2.2 鋼管杭の腐食傾向(2) (小松島港, 農協飼料棧橋)

通常、腐食の面から見て、上杭の肉厚を厚く、下杭の肉厚を薄くするように考えられるが、ここに測定された肉厚は一般的考え方と合っていない。このへんの事情は当所の設計、建設資料がないので不明である。コンクリートをハクリした状態を見ると測定による誤差は認められず、海泥中も同様であった。

よってこのように測定した初期肉厚を用いて、コンクリート直下(+1.65m)、平均干潮面直下(+0.45m ~ -0.45m)、海水中上部(-0.65m ~ -1.35m)、海水中下部(-1.55m ~ -2.05m)、海泥中(-7m ~ -8m)の肉厚減量を算出した。各環境における鋼管杭の肉厚減量を度数分布に示すと、図-2.3のとおりである。同図によると、度数分布曲線の違いが目立つのは、平均干潮面直下である。すなわち、肉厚減量の出現頻度の最も高いのは、杭No.1 (接触側)では2.25mm ~ 2.50mmであったが、杭No.2 (接触側でない)では0.50mm ~ 0.75

mmであった。また、分布の右側裾野を比較すると、杭No.1では12mm付近まで肉厚減量が存在したが、杭No.2では9mmの範囲までであった。

腐食期間を17年(昭和40年~昭和57年)として各環境の腐食速度を算出すると表-2.2のとおりであった。ただし、杭内面の腐食量は杭外面の腐食量に比べて非常に小さいので、本報に示す腐食量(肉厚減量、腐食速度)は、杭外面についての値とみなせる。コンクリート直下(+1.65m)では、平均腐食速度は0.087mm/y ~ 0.150mm/y、最大腐食速度は0.168mm/y ~ 0.409mm/yであった。飛沫帯の腐食速度0.3mm/y(平均)、0.5mm/y(最大)に比べて+1.65mでの値は若干小さかった。これは、+1.65mがHWL(+1.85m)下のためである。海水中の平均腐食速度は、杭No.1(接触側)で0.1mm/yを越え、杭No.2(接触側ではない)で0.1mm/y以下であった。海水中の最大腐食速度は、杭No.1,

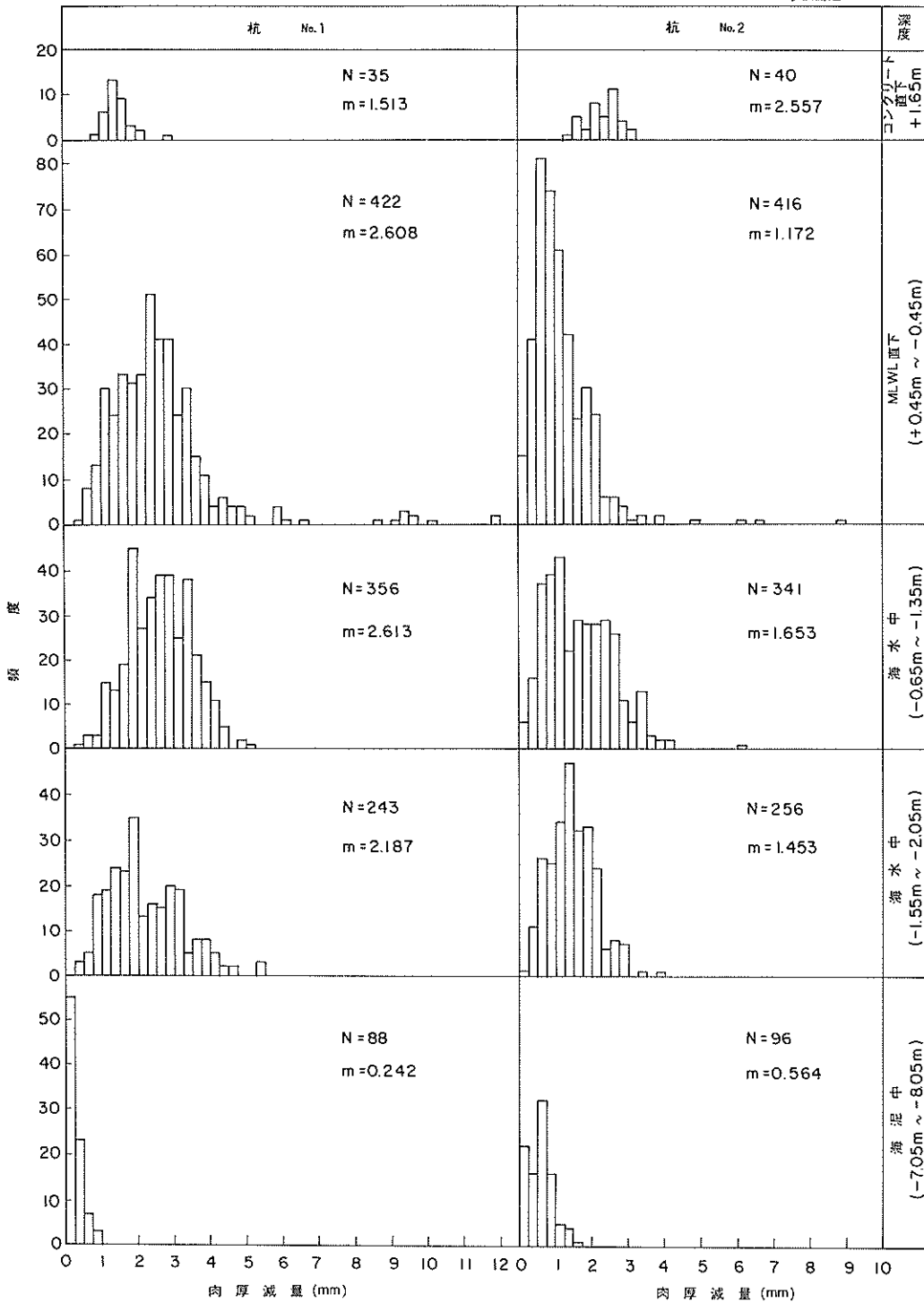


図-2.3 肉厚減量の度数分布図(腐食期間17年)

表-2.2 鋼管杭の腐食量

小松島港, 17年経過

環 境	平均肉厚減量 (mm)		平均腐食速度 (mm/y)		最大肉厚減量 (mm)		最大腐食速度 (mm/y)	
	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
コンクリート直下 (+1.65m)	1.513	2.557	0.087	0.150	2.860	6.961	0.168	0.409
平均干潮面直下 (+0.45m~-0.45m)	2.608	1.172	0.153	0.069	11.650	8.981	0.686	0.528
海水中上部 (-0.65m~-1.35m)	2.613	1.653	0.154	0.097	4.880	4.973	0.287	0.293
海水中下部 (-1.55m~-2.05m)	2.187	1.453	0.129	0.085	5.432	3.881	0.320	0.228
海 泥 中 (-7m~-8m)	0.242	0.564	0.014	0.033	0.819	1.026	0.048	0.060

No.2 とも 0.2 mm/y 以上であり、平均干潮面直下部では 0.5 mm/y 以上であった。平均干潮面直下の最大腐食速度がこのように大きかったのは、杭No.1 では防舷材による摩耗の影響（写真-1,2）、杭No.2 では海洋生物下の孔食（写真-1.3）によるものとみられる。海泥中の平均腐食速度は、0.01 mm/y~0.03 mm/y であり、最大腐食速度は 0.05 mm/y 程度であった。

(2) 観 察 結 果

引抜き前の杭面（海水面上）を写真-2.1 に示す。なお、写真-2.1 の撮影方向は付図-2.4 によった。杭No.1 の海水面上は防舷材（古タイヤ）による摩耗によって海洋生物が除去され、赤さびが発生していた。杭No.2 の海水面上は、海洋生物（ふじつほ）に厚く覆われていた。引抜き後陸上に横たえた杭の状況を写真-2.2（杭No.1）、写真-2.3（杭No.2）に示す、杭No.1の+0.25 m付近には、溝状の腐食跡がみられた。これは、タイヤの接触跡である。平均干潮面下でこのように付着物（海洋生物+さび層）が除去されたとき、除去された鋼材面の電位が除去されなかった鋼材面の電位に比べて約80mV 卑となる。この結果、除去された鋼材面がアノードとなり、脱錆箇所腐食が集中することになると解釈される。杭No.1 と杭No.2 とも、-2.45 mの箇所溶接跡がみられた。溶接部が上杭と中杭の継ぎ目である。溶接部には、17年後でも溶接の肉盛が十分に残っていた。海泥中では、杭面は海泥に覆われており、海泥下の杭面は平滑であった。写真-2.4に脱錆した試験片を示す。

2.4 最大腐食量の推定

港湾鋼構造物の設計では、一般に、平均腐食速度が使用される。これに対して、鋼管杭の平均干潮面直下部での腐食の集中、パイプラインや石油備蓄タンクの腐食、

止水壁に使用する鋼矢板の腐食等では、平均腐食速度より最大腐食速度の方が問題となる。また、調査対象施設についての全数調査の実施は到底不可能であるから、限られたデータから対象施設の腐食量を推定することになる。たとえば、今回の小松島港の調査では、全40本の鋼管杭の中、肉厚を測定した杭は僅かに2本であった。杭No.1の平均干潮面直下部（+0.25m）と海泥中の肉厚測定データについて、グンベルの極値統計法（付録参照）により最大腐食量（最大肉厚減量、最大腐食速度）を推定することを試みた。

(1) 杭No.1,+0.25 mの最大腐食量

杭No.1の+0.25 mの杭面には、写真-2.2 に示すように、防舷材（古タイヤ）の接触により腐食が集中した。+0.25 mの切り取り片（10 cm×15 cm）の肉厚測定値42点をランダムに7グループに分け、各グループごとの最大肉厚減量を選んだ。次に、7箇の最大肉厚減量を大きさの順に並びかえて順序統計量とし、プロット位置  $F(x)$  及び規準化変数  $y$  を付表-2.1 のようにまとめた。付表-2.1の数値を用いて  $F(x) \sim x$  を極値確率紙にプロットすると、図-2.4のように、測定値がほぼ直線となり、最大腐食量の分布はグンベル分布に従っていることがわかった。そこで、プロットした値に対する回帰直線を最小二乗法を用いて、次式のように得た。図-2.4に

$$x = 3.72 + 3.68y$$

回帰直線を実線で示した。併せて、同図に、 $\pm 1\sigma \pm 2\sigma$ の管理曲線を点線で示した。杭No.1は接舷側の杭10本の中の1本であるから、防舷材の接触面のみを対象とした場合接舷側の+0.25 mの再帰期間は  $T = \frac{15}{10} \times 10 = 10$  となる。したがって、図-2.4のx軸に平行に  $T = 10$ を



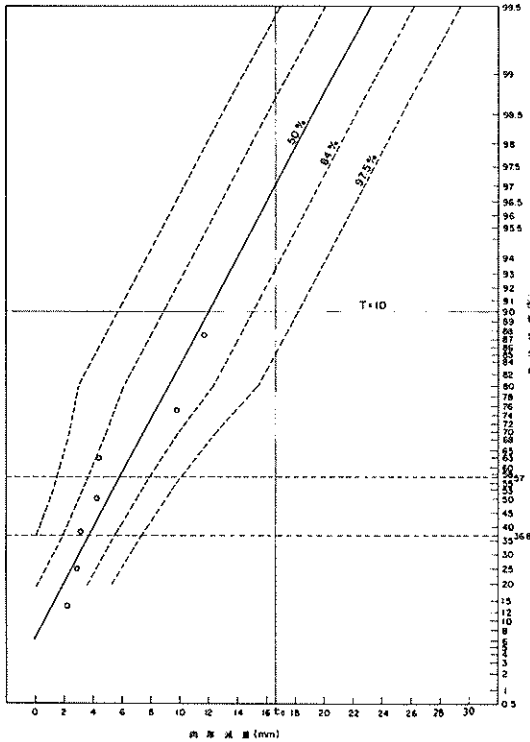


図-2.4 肉厚減量の極値分布  
(小松島港, 杭No.1, +0.25m)

通る直線を引き、回帰直線及び管理曲線との交点を求めることによって、最大腐食量は次のように推定される。

確率 (%)	最大肉厚減量 (mm)	最大腐食速度 (mm/y)
50	12.00	0.706
84	15.12	0.889
97.5	18.24	1.073

極値プロットから、初期肉厚の16.66mmと $T=10$ の直線との交点が $2\sigma$ の管理区間に入っていることがわかる。この結果、調査施設における接舷側杭の+0.25mでは、穴の発生の可能性はあったと推察される。

(2) 杭No.1, 海泥中(-7.05m~-8.05m)の最大腐食量

止水壁として鋼矢板を使用するとき、腐食量としては最大値が必要となる。したがって、杭No.1海泥中(-7.05m~-8.05m)の肉厚測定値(88箇)について、グンベルの極値統計法によって最大値を推定してみた。付表-2.2に88箇のデータを8つのグループに分けて11箇の最大肉厚減量及び規準化変数を示す。付表-2.2の数値を用いて、極値プロットをすると図-2.5のとおりであ

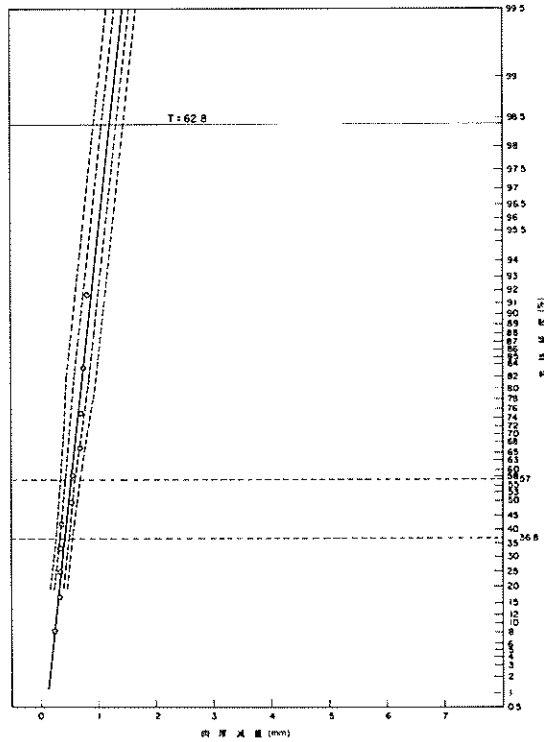


図-2.5 肉厚減量の極値分布  
(小松島港, 杭No.1, 海泥中)

る。プロットした値に対する回帰直線は、次式のようになった。

$$x = 0.4236 + 0.1936y$$

図-2.5に回帰直線を実線で示し、併せて、 $\pm 1\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$ の管理曲線を点線で示した。接舷側杭の海泥中の再腐期間 $T = \frac{30\pi \times 10}{15} = 62.8$ となる。ただし、30:杭の直径(cm), 15:試験片の切取幅(cm), 10:杭本数、図-2.5より、 $T=62.8$ のときの最大腐食量の推定値は、次のとおりである。

確率 (%)	最大肉厚減量 (mm)	最大腐食速度 (mm/y)
50	1.22	0.072
84	1.35	0.079
97.5	1.48	0.087

極値プロットより、最大肉厚減量が1.48mm以下である確率は97.5%と高率であり、杭の初期肉厚17.10mmからみて穴の発生はほとんど考えられない。

(3) 各環境の極値プロットの回帰直線

コンクリート直下, 平均干潮面直下, 海水中, 海泥中

の環境毎に、杭No.1と杭No.2の肉厚測定値について、極値プロットの回帰直線を示すと、図-2.6（杭No.1）、図-2.7（杭No.2）のとおりである。なお、図中の回帰直線は、(1)、(2)と同じく、極値プロットした点に適合するように最小二乗法で求めた。点線は、参考として、+0.25mの回帰直線を示した。両図から、回帰直線  $x = \frac{1}{\alpha}$

$y + \lambda \frac{1}{\alpha} = b$  の値を比較すると、杭No.1と杭No.2間では平均干潮面直下、海水中、海泥中では大差ないが、コンクリート直下では杭No.2の方が杭No.1より大き目であった。環境別にbの値を比較すると、平均干潮面直下の値が最大であった。

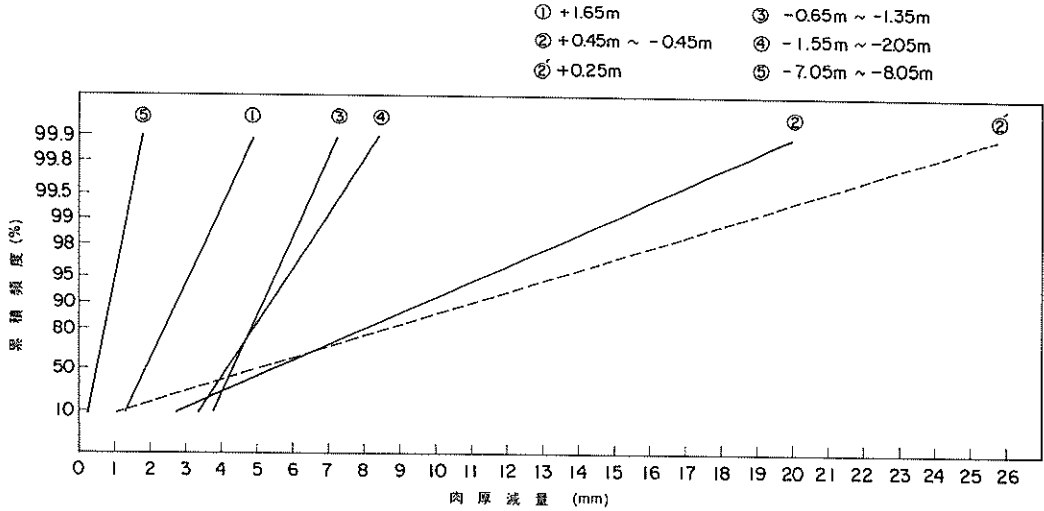


図-2.6 肉厚減量の極値分布（小松島港，杭No.1）

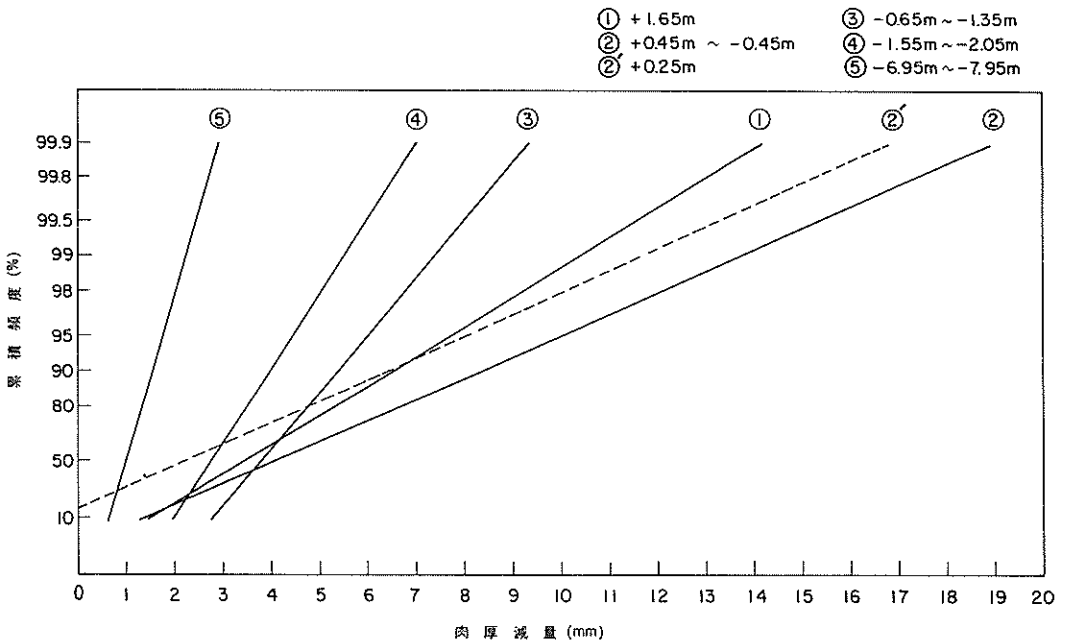


図-2.7 肉厚減量の極値分布（小松島港，杭No.2）

### 3. 名古屋港における腐食調査

#### 3.1 調査鋼管杭

昭和57年3月に、名古屋港において9号地南側棧橋が改修された。棧橋は昭和44年に建設されており、腐食期間は約13年である。棧橋の位置図を付図-3.1に、棧橋の平面図を付図-3.2に、棧橋の断面図を付図-3.3に示す。付図-3.4に示すように、棧橋は10本の鋼管杭、6本のコンクリート杭及び補強部材としての山形鋼（付図-3.2参照）よりなっていた。表-3.1に鋼管杭と山形鋼の仕様を示す。鋼管杭と山形鋼は当初塗装されており、また、海面上の鋼材部分は塗装により補修されたことがあった。

#### 3.2 調査方法

##### (1) 引抜き前の観察（海面上）

干潮時に鋼管杭及び山形鋼の目視観察（写真撮影）を行った。

##### (2) 鋼管杭と山形鋼の回収及び観察

改修計画では付図-3.4に示すように杭No.1～杭No.10の鋼管杭が引抜かれ、回収鋼管杭10本の中、2本（No.3とNo.10）を調査の対象とした。回収した鋼管杭と補強用山形鋼を陸上部において目視観察（写真撮影）した。

##### (3) 腐食量測定

回収した2本の鋼管杭（No.3, No.10）について、付図-3.5の箇所から試験片を切取った。切取った試験片に杭No.、深度、上下方向を明記した後、長尺試験片（例えば+2m±0m）を更に10cm深度ごとに切断した。最終寸法10cm×15cmとした試験片は、クエン酸ニアンモニウム10%溶液に浸漬して脱錆した。脱錆後、試験片の肉厚をポイント型マイクロメータで測定した。次式より腐食量を算出した。山形鋼については、肉厚測定の外に

$$\text{肉厚減量 (mm)} = \text{初期肉厚 (mm)} - \text{現有肉厚 (mm)}$$

$$\text{腐食速度 (mm/y)} = \frac{\text{肉厚減量 (mm)}}{\text{腐食期間 (y)}}$$

ノギスで幅を測定し、幅方向の腐食も算出した。

##### (4) 脱錆試験片の観察

脱錆した試験片の表面を観察（写真撮影）した。

#### 3.3 鋼管杭、山形鋼の腐食傾向

調査鋼管杭の現有肉厚を深度方向について示すと、図3.1（杭No.3）、図-3.2（杭No.10）のとおりである。ただし、両図の海泥面は調査時の深度で、初期に比べて多少浅くなっている。平均現有肉厚をみてみると、杭の腐食が著しかったのはHWL付近とMSL～LWL間であった。両深度の平均現有肉厚は2～3mm程度であったが、杭No.3のMSL～LWL間では平均現有肉厚は0mmに近かった。初期肉厚を5.8mmとして鋼管杭の腐食量を算出した。各環境における鋼管杭の肉厚減量を度数分布に示すと、図-3.3のとおりである。杭No.3と杭No.10とも類似の度数分布曲線を示した。各環境の中で、肉厚減量の出現頻度の最も高かったのはMSL付近であった。また、分布の右側裾野が最も広がったのはMLWLであり、最も狭かったのは海泥中であった。腐食期間を13年として、各環境の腐食速度を算出すると、表-3.2のとおりであった。表中、平均干潮面付近及び海水中上部で最大腐食速度が0.446mm/y以上となっているのは、この部位ではすでに穴が発生しており穴の発生期間が明らかでないことを意味する。平均腐食速度は、飛沫帯で0.2～0.26mm/y、平均干潮面付近で0.22～0.26mm/y、その他では0.1mm/yもしくは0.1mm/y以下であった。最大腐食速度は、海気帯で0.11～0.26mm/y、飛沫帯で0.4～0.43mm/y、平均干潮面付近で0.4～0.45mm/y以上、海泥中で0.05～0.07mm/y、その他で0.16～0.33mm/yであった。

表-3.3に山形鋼の腐食量を示す。表-3.3では上側が肉厚方向、下側が幅方向の腐食量である。山形鋼の腐食量は肉厚方向に比べて幅方向で大きく、特に、飛沫帯及び海水中上部の最大腐食速度は幅方向の方が肉厚方向より10倍以上大きかった。肉厚方向の腐食傾向を図-3.4に、幅方向の腐食傾向を図-3.5に示す。なお、鋼管杭、山形鋼とも塗装されていたが、塗装の防食効果はあまり認められなかった。

##### (2) 観察結果

引抜き前後の杭面を写真-3.1に示す。海面上では塗膜の痕跡はほとんど認められず全面錆層に覆われてお

表 3.1 調査鋼管杭

港名	施設名	水深 (m)	鋼管杭			山形鋼			腐食期間 (年)	防食
			φ(mm)	t(mm)	ℓ(m)	幅(mm)	t(mm)	ℓ(m)		
名古屋港	9号地南側棧橋	-2	216.3	5.8	12.0 14.0	75×75	6.0	3.2	13	塗装

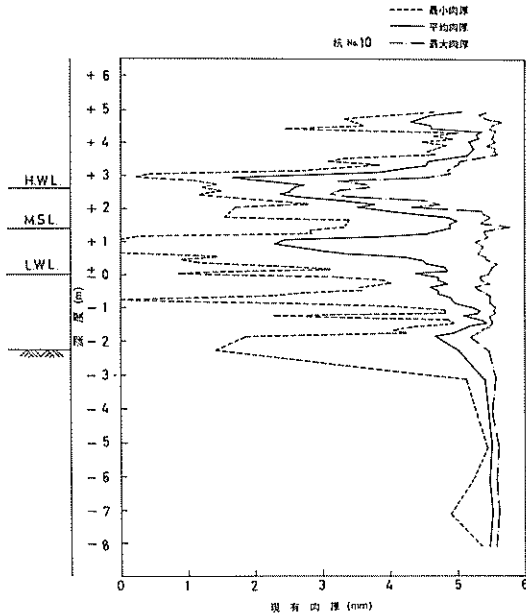


図-3.1 鋼管杭の腐食傾向(1)  
(名古屋港, 9号地南側棧橋)

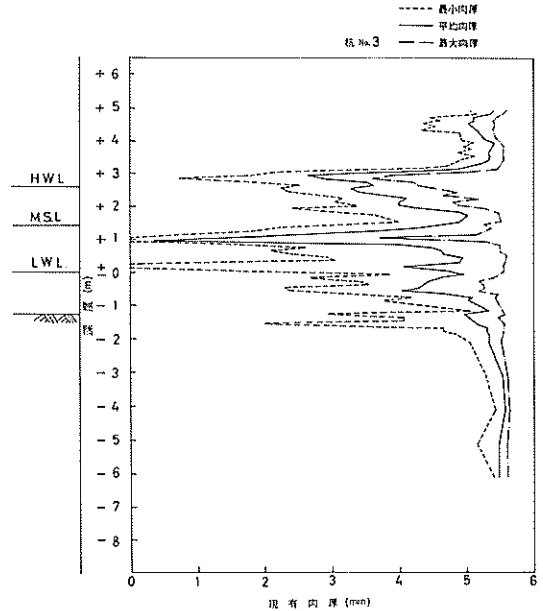


図-3.2 鋼管杭の腐食傾向(2)  
(名古屋港, 9号地南側棧橋)

り, 平均干潮面直下付近では穴が発生していた。穴の発生状況を図-3.6 に示す。脱錆後の試験片の様態を写真-3.2 ~ 3.9 (鋼管杭), 写真-3.10~写真-3.11(山形鋼) に示す。

### 3.4 最大腐食量の推定

小松島港の調査例と同じ方法で名古屋港の調査例についても最大腐食量の推定を試みた。名古屋港9号地南側棧橋では, 全10本中2本(No. 3, No. 10)の鋼管杭について鋼片を切り取り肉厚を測定した。杭No. 3の平均干潮面直下部(+0.85m)と海泥中の肉厚測定データについて, グンベルの極値統計法により最大腐食量(最大肉厚減量, 最大腐食速度)を推定した。また, 各環境の極値プロットの回帰直線を杭No. 3, 杭No. 10 について示す。

#### (1) 杭No. 3, +0.85m の最大腐食量

肉厚測定値120点をランダムに6グループに分け, 各グループごとの最大肉厚減量を選んだ。これら6箇の最大肉厚減量を大きさの順に並びかえて順序統計量とし, プロット位置 $F(x)$ 及び規準化変数 $y$ を付表-3.1のようにまとめた。付表-3.1の数値を用いて,  $F(x) \sim x$ を極値確率紙にプロットすると, 図-3.7のように測定値がほぼ直線となった。プロットした値に対する回帰直線は次式の通りであった。

$$x = 2.467 + 1.084 y$$

図-3.7に回帰直線を直線で示す。併せて, 同図に $\pm 1\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$ の管理曲線を点線で示した。杭No. 3は調査棧橋の杭10本の中の1本であるから, +0.85mの再帰期間 $T = \frac{2.163 \text{ cm} \times \pi \times 10}{15 \text{ cm} \times 4} = 11.3$ となる。再帰期間に相当する回帰直線及び管理曲線の値から, 最大腐食量は次のように推定される。

確率 (%)	最大肉厚減量 (mm)	最大腐食速度 (mm/y)
50	5.047	0.388
84	6.039	0.465
97.5	7.030	0.541

極値プロットから, 初期肉厚の5.8mmと $T = 11.3$ の直線との交点が $2\sigma$ の管理区間に入っている。この結果, 調査棧橋の+0.85mでは穴の発生の可能性はあったと推察できる。

#### (2) 杭No. 3, 海泥中の最大腐食量

杭No. 3の海泥中(-2.09m~-6.09m)の肉厚測定値(210箇)について, 極値統計法によって最大値を推定した。付表-3.2に最大肉厚減量及び規準化変数を示す。付表-3.2の数値を用いて極値プロットをすると図-3.8のとおりである。プロットした値に対する回帰直線は, 次式のようにになった。

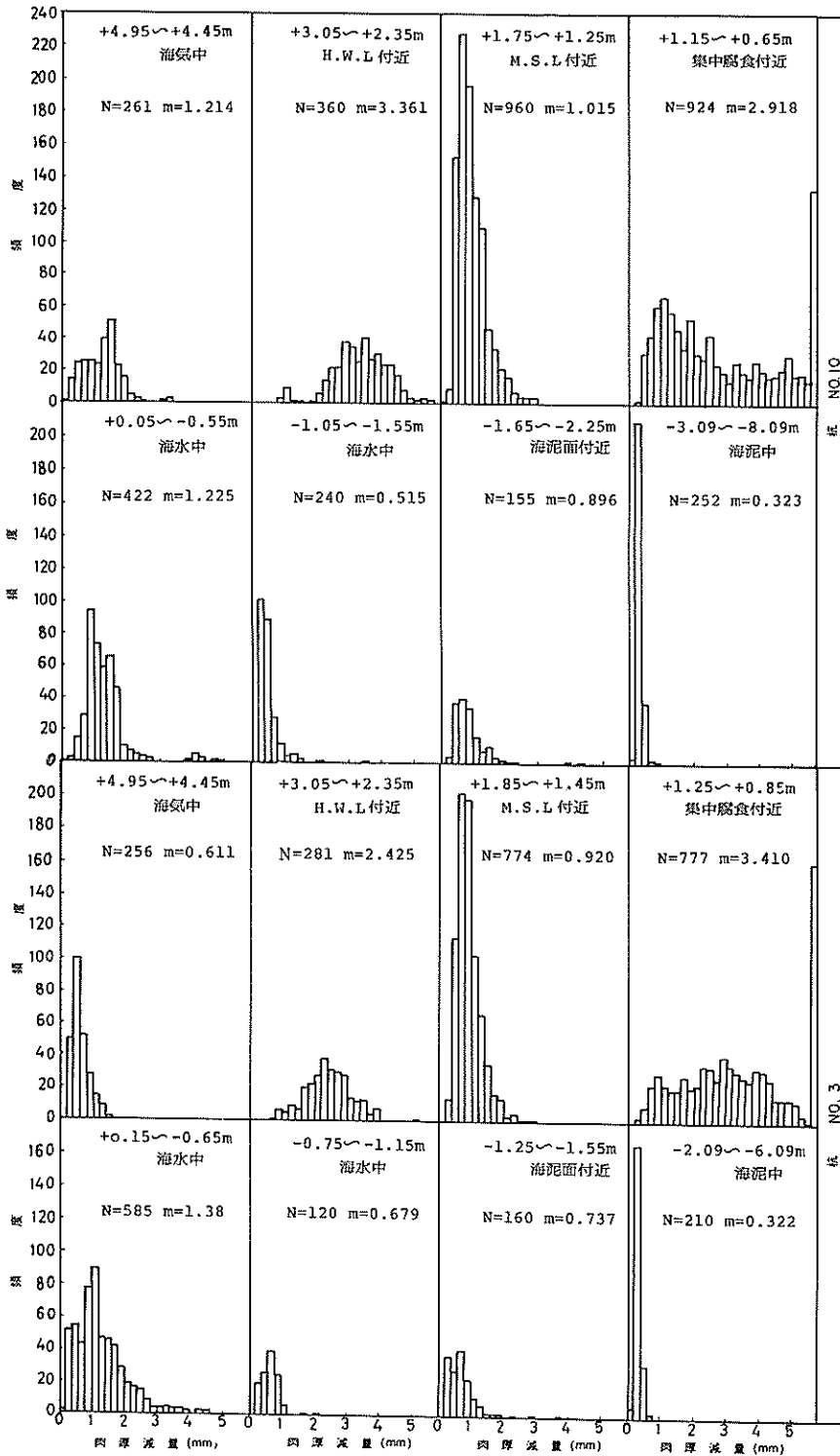


図-3.3 肉厚減量の度数分布図, (腐食期間13年)

表-3.2 鋼管杭の腐食量

名古屋港, 13年経過

環 境	平均肉厚減量 (mm)		平均腐食速度 (mm/y)		最大肉厚減量 (mm)		最大腐食速度 (mm/y)	
	No.3	No.10	No.3	No.10	No.3	No.10	No.3	No.10
海 気 帯 (+4.95m~+4.45m)	0.604	1.197	0.046	0.092	1.466	3.342	0.113	0.257
飛 沫 帯 (+3.05m~+2.35m)	2.436	3.361	0.187	0.259	5.068	5.576	0.390	0.429
M S L 付 近 (+1.85m~+1.45m)	0.917	0.987	0.071	0.076	2.860	4.260	0.220	0.328
平均干潮面付近 (+1.25m~+0.65m)	3.391	2.911	0.261	0.224	5.800	5.800	>0.446	>0.446
海 水 中 上 部 (+0.05m~-0.65m)	1.339	0.137	0.103	0.011	5.800	4.950	>0.446	0.381
海 水 中 下 部 (-0.75m~-1.55m)	0.648	0.517	0.050	0.040	2.022	3.510	0.156	0.270
海 泥 面 (-1.25m~-2.25m)	0.737	0.890	0.056	0.068	3.790	4.394	0.292	0.338
海 泥 中 (-3.09m~-8.09m)	0.285	0.323	0.022	0.024	0.632	0.890	0.049	0.068

表-3.3 山形鋼の腐食量

名古屋港, 13年経過

環 境	平均肉厚減量 (mm)	平均腐食速度 (mm/y)	最大肉厚減量 (mm)	最大腐食速度 (mm/y)
飛 沫 帯 (+2.75m~+2.35m)	3.182	0.245	6.000	>0.462
M.S.L.付近 (+1.85m~+1.45m)	1.450	0.112	4.014	0.309
MLWL付近 (+1.25m~+0.65m)	1.614	0.124	4.782	0.368
海水中上部 (+0.15m~-0.06m)	4.994	0.384	6.000	>0.462
環 境	平均幅減量 (mm)	平均腐食速度 (mm/y)	最大幅減量 (mm)	最大腐食速度 (mm/y)
飛 沫 帯 (+2.75m~+2.35m)	1.95	1.500	7.50	>5.769
M.S.L.付近 (+1.85m~+1.45m)	1.7	0.131	4.6	0.354
MLWL付近 (+1.25m~+0.65m)	1.4	0.108	4.0	0.308
海水中上部 (+0.15m~-0.06m)	1.66	1.277	7.50	>5.769

$$x = 0.418 + 0.128y$$

図-3.8 に回帰直線を実線で示し、併せて、 $\pm 1\sigma$ 、 $\pm 2\sigma$ の管理曲線を点線で示した。海泥中の再帰期間  $T = \frac{21.63 \times \pi \times 10}{15} = 45.28$  のときの最大腐食量の推定値は、次のとおりである。

確 率 (%)	最大肉厚減量 (mm)	最大腐食速度 (mm/y)
50	0.906	0.070
84	0.997	0.077
97.5	1.088	0.084

極値プロットによれば最大肉厚減量が1.088mm以下である確率は97.5%と高率であり、杭の初期肉厚5.8mmからみて穴の発生はほとんどない。

(3) 各環境の極値プロットの回帰直線

海気帯、飛沫帯、平均水面、海水中(上部、下部)、海泥面付近、海泥中の環境ごとに、杭No.3と杭No.10の肉厚測定値について極値プロットの回帰直線を示すと、図-3.9のとおりである。なお、平均干潮面直下部(No.3, No.10)と海水中上部(No.3)では鋼管杭に穴が発生していたので、図-3.9には両環境の回帰直線が含まれていない(ただし、No.3のみ+0.85mの回帰直線を

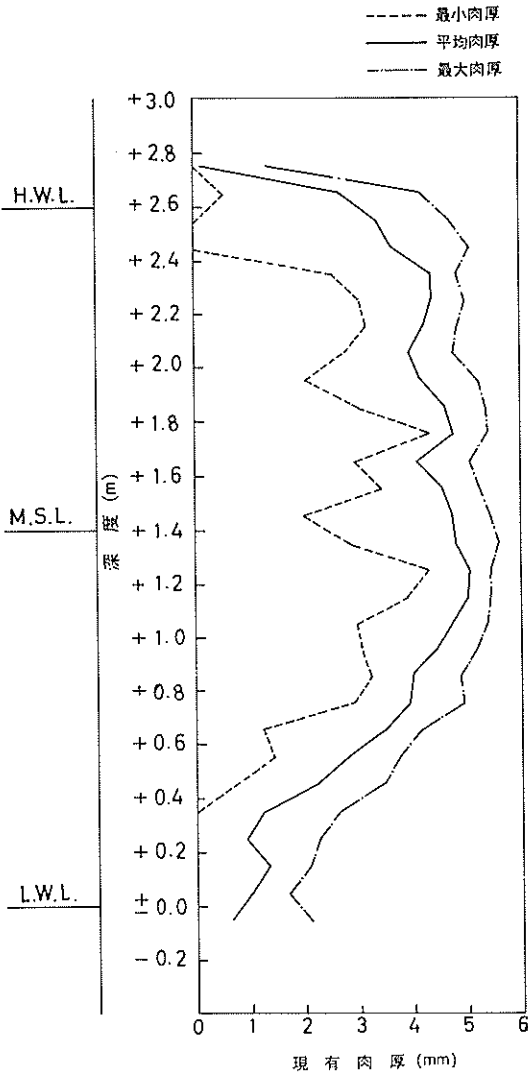


図-3.4 山形鋼の腐食傾向  
(名古屋港9号地南側棧橋)

示した)。図-3.9 からNo. 3とNo. 10の回帰直線  $x = \frac{1}{\alpha} y + \lambda$  の  $\frac{1}{\alpha} = b$  の値を比較すると、海気帯、平均水面、海水中下部ではNo. 3の方が大き目であったが、飛沫帯、海泥面付近、海泥中ではNo. 3とNo. 10は近似した。環境中では、海泥中のbの値が最も小さく、+0.85m(平均干潮面直下)のbの値が最も大きかった。

#### 4. 結論

本調査の範囲から、次のことが結論としていえる。

(1) 防舷材として使用した古タイヤが接触した箇所  
の杭面の腐食は著しく、この部位の腐食速度は平均で約

0.15mm/y、最大で0.7mm/y程度であった(小松島港)

(2) 防舷材が接触しなかった杭面では、特に、平均干潮面付近において孔食が著しく、平均腐食速度は0.1mm/y以下であったが、最大腐食速度は0.53mm/yと大きかった(小松島港)

(3) 飛沫帯の腐食速度は、平均で0.2~0.25mm/y、最大で0.4~0.43mm/yであった(名古屋港)。

(4) 平均干潮面付近では腐食が著しく、平均腐食速度は0.22~0.26mm/y、最大腐食速度は0.45mm/y以上(穴が発生)であった(名古屋港)。

(5) 海水中では、平均腐食速度は0.1mm/y程度もしくは0.1mm/y以上、最大腐食速度は0.3~0.45mm/yと大きく孔食が目立った(名古屋港)。

(6) 極値統計で求めた肉厚減量~累積頻度の回帰直線は、各環境における鋼材腐食傾向の比較に参考となる。

最後に、本調査の実施に際して協力頂いた運輸省第三港湾建設局・神戸調査設計事務所、小松島港工事務所、運輸省第五港湾建設局・設計室、名古屋港管理組合の関係各位に厚くお礼申し上げます。

(1983年6月30日受付)

#### 付 録

##### 極値統計

最大値の分布は、グンベル分布と呼ばれる極値理論の第一漸近分布に広く適用される。最大値  $x$  の分布は、(1)式で表わされる。

$$F(x) = e \times p \{ -e^{-a(x-\lambda)} \} \quad (1)$$

(1)式の両辺を2度対数をとり整理すると、(2)式、(3)式となる。

$$x = -\frac{1}{\alpha} \ln \ln \left( \frac{1}{F(x)} \right) + \lambda \quad (2)$$

$$x = \frac{1}{\alpha} y + \lambda \quad (3)$$

$$y = -\ln \ln \left( \frac{1}{F(x)} \right)$$

$F(x)$  : 累積分布関数

$\lambda$  : 最頻値

$y$  : 規準化変数

$\alpha$  : 形状係数  $(= \frac{\sqrt{b}}{\pi} \sigma)$

$\sigma$  : 標準偏差

$T$  : 再帰期間  $(= \frac{1}{1-F(x)})$

$T = \frac{\text{対象全面積}}{\text{測定面積}}$ ,  $T$ 倍の面積について期待される

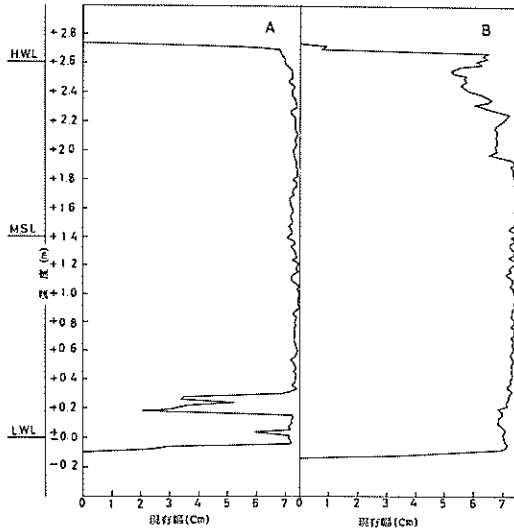


図-3.5 山形鋼の現有幅(名古屋港9号地南側棧橋)  
 (A: 鋼管杭と溶接している側,  
 B: 鋼管杭と溶接していない側)

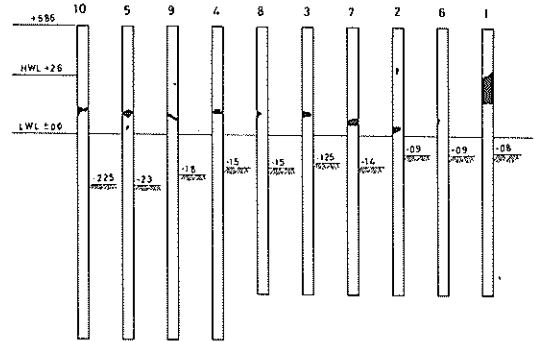


図-3.6 名古屋港9号地南側棧橋における鋼管杭の穴の発生状況(黒い部分: 穴の発生ヶ所)

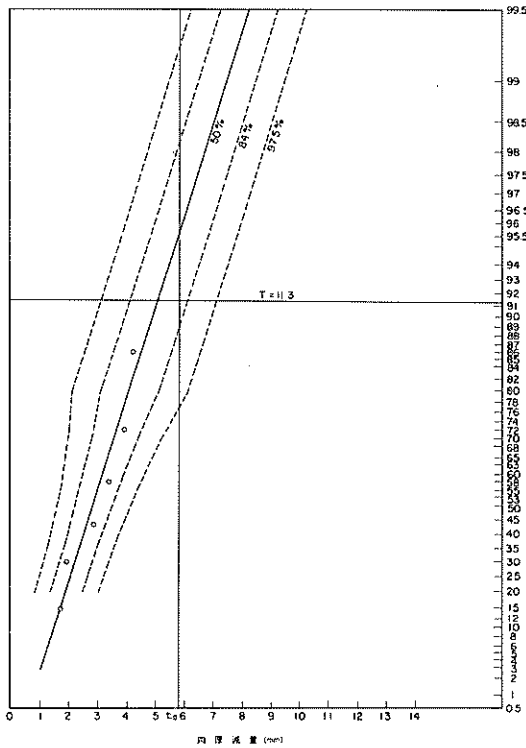


図-3.7 肉厚減量の極値分布  
 (名古屋港, 杭No.3, +0.85m)

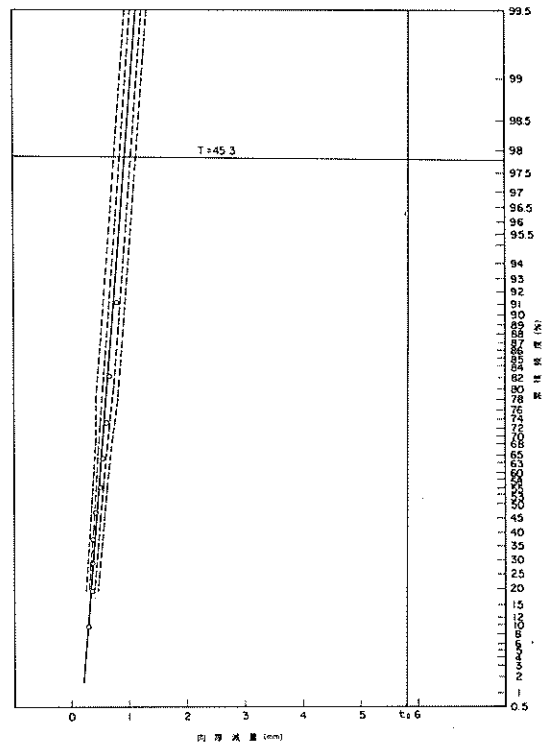


図-3.8 肉厚減量の極値分布  
 (名古屋港, 杭No.3, 海泥中)



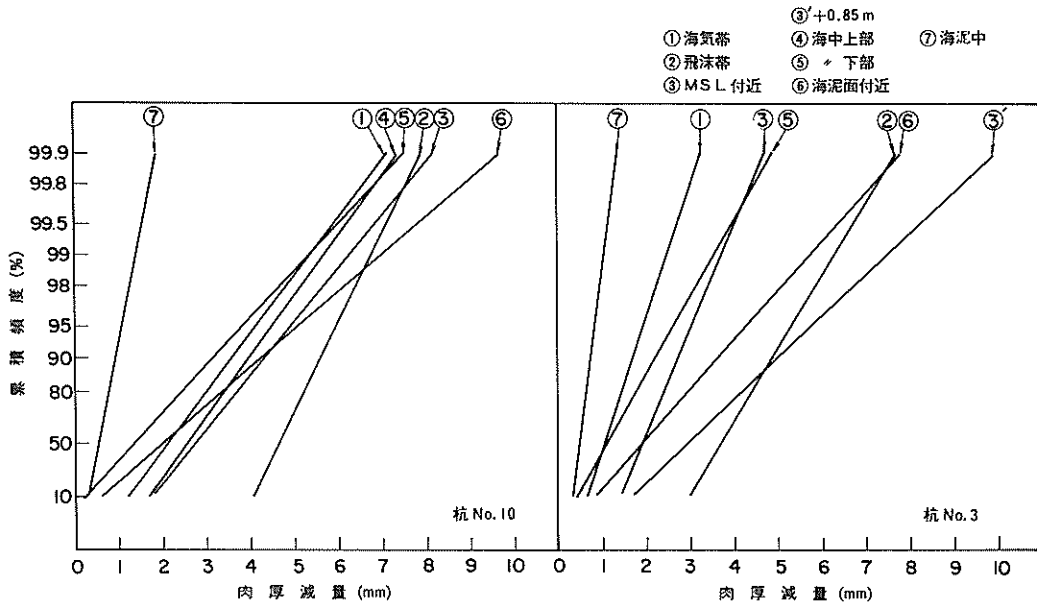
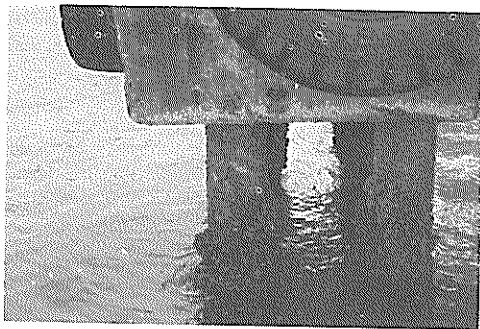


図-3.9 肉厚減量の極値分布(名古屋港, 杭No.3, 杭No.10)

値  $x$  (最大腐食量) を求める。

参考文献

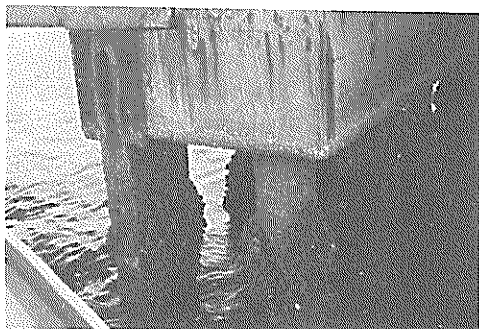
- 1) 善, 阿部: 港湾鋼構造物の腐食調査(昭和53~56年調査)  
港研資料No.413, pp.1~92, 1982.



①



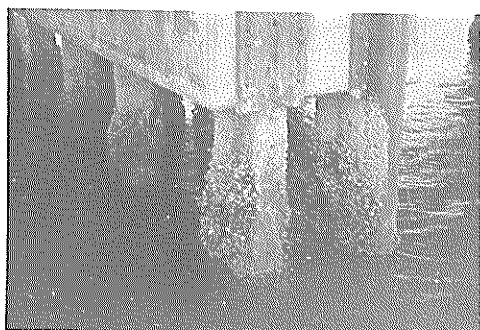
⑤



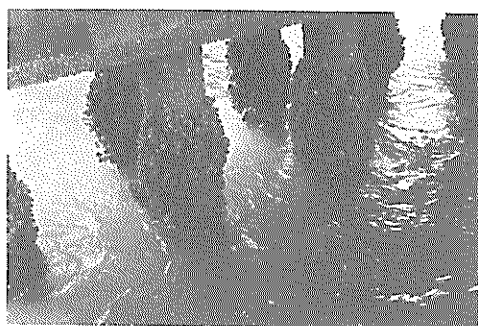
②



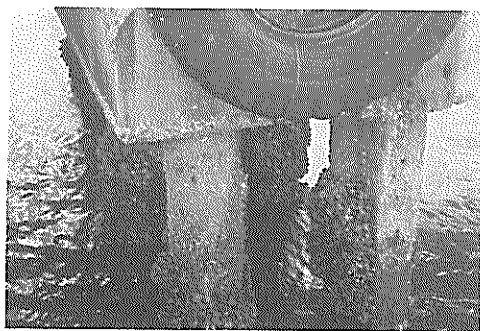
⑦



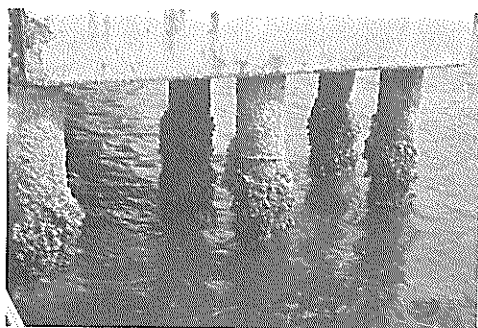
③



⑧

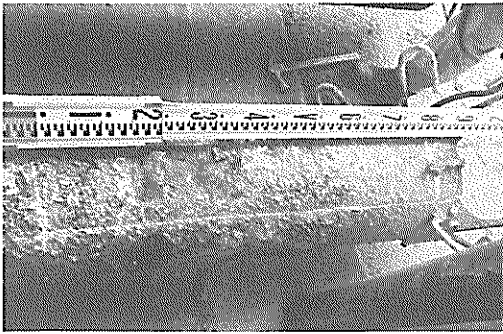


④

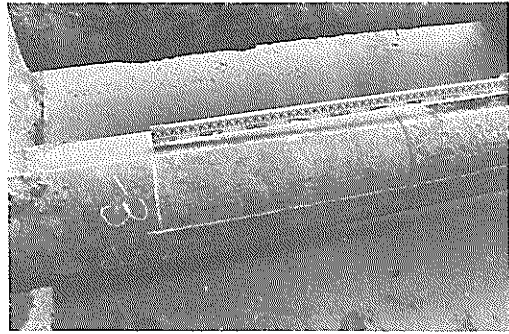


⑨

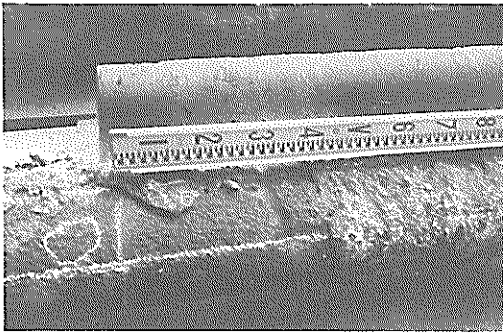
写真-2.1 引抜き前の杭面（海水上）（小松島港）



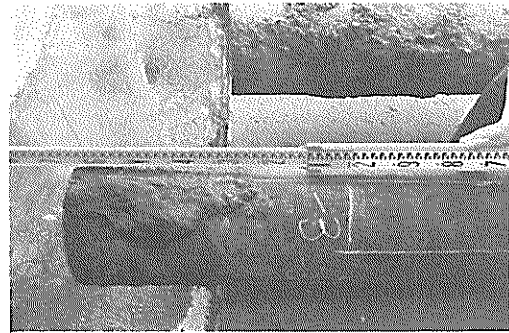
+ 1.0 m ~ + 1.8 m



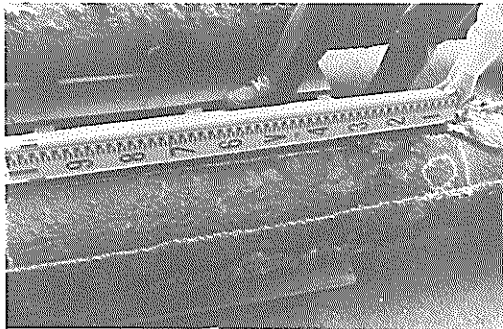
- 3.0 m ~ - 2.2 m



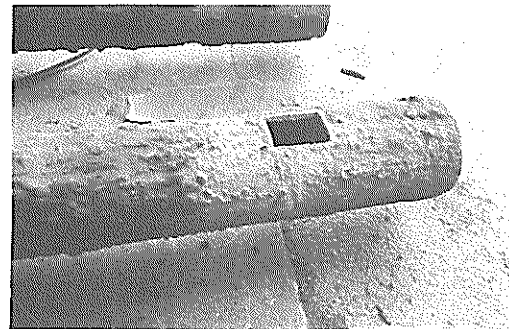
± 0 m ~ + 0.8 m



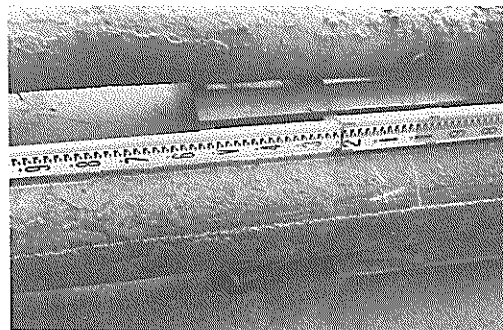
- 3.7 m ~ - 2.7 m



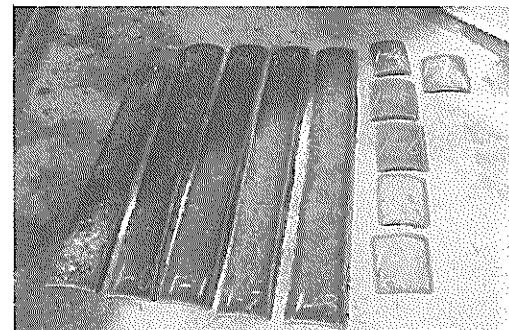
- 1.0 m ~ ± 0.0 m



- 4 m 付近

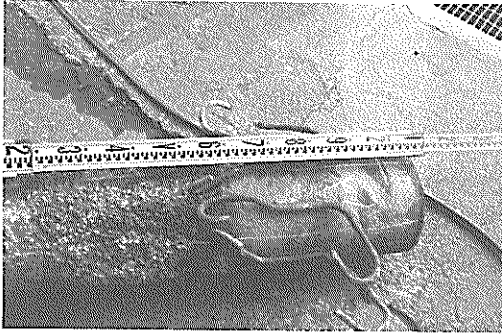


- 1.9 m ~ - 0.8 m

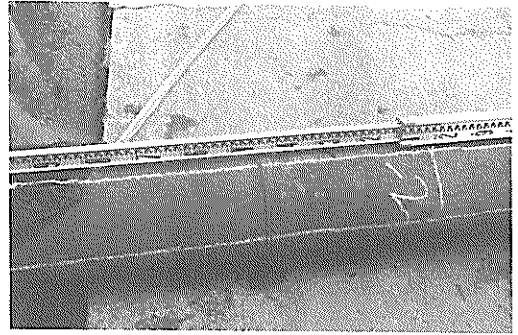


切取り片

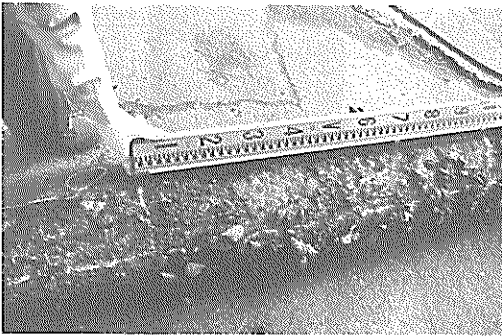
写真- 2.2 引抜き杭 (No. 1) の表面 (小松島港)



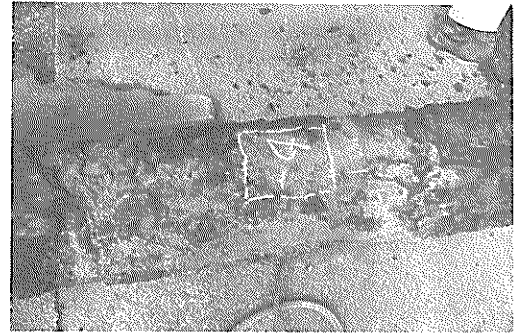
- 1.2 m ~ + 2.1 m



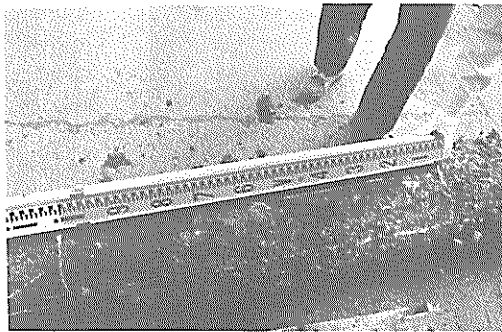
- 2.9 m ~ - 1.9 m



± 0.0 m ~ + 1.0 m



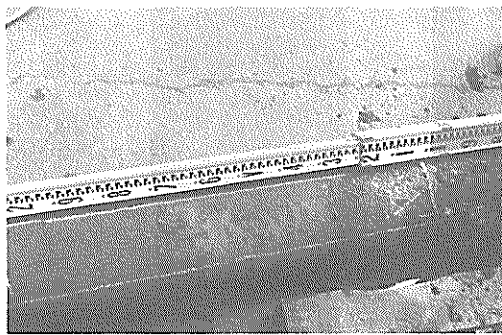
- 4.0 m 付近



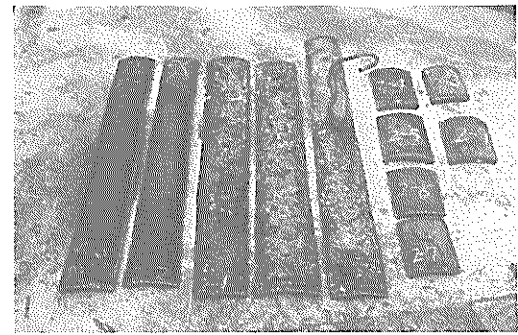
- 1.0 m ~ ± 0.0 m



- 8.0 m 付近



- 2.0 m ~ - 1.0 m



切り取り片

写真-2.3 引抜き杭 (No.1) の表面 (小松島港)



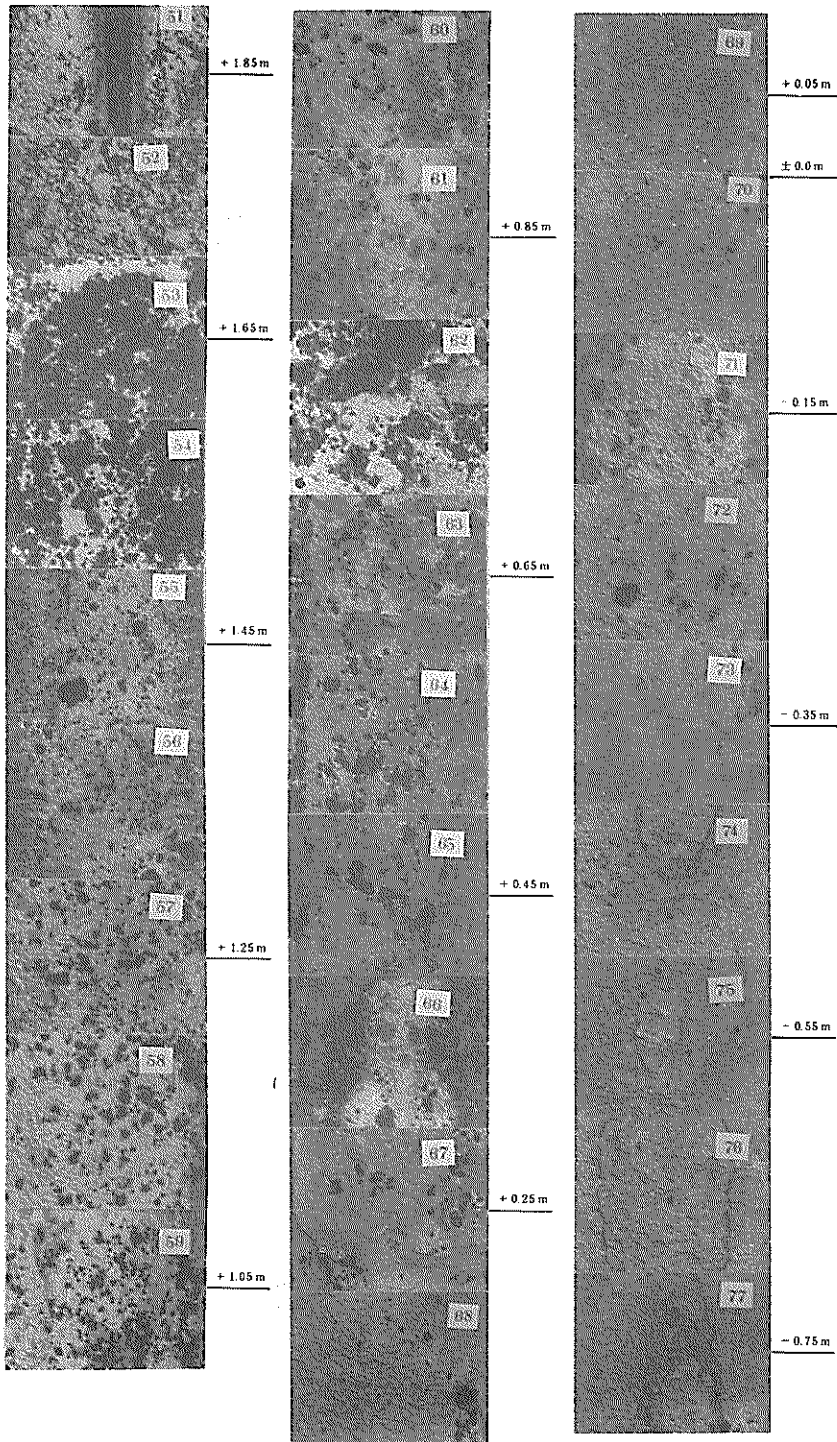


写真-2.4 小松島港農協飼料棧橋における鋼管杭の腐食状況(1)  
杭No.1, 深度+1.85m~-0.75m

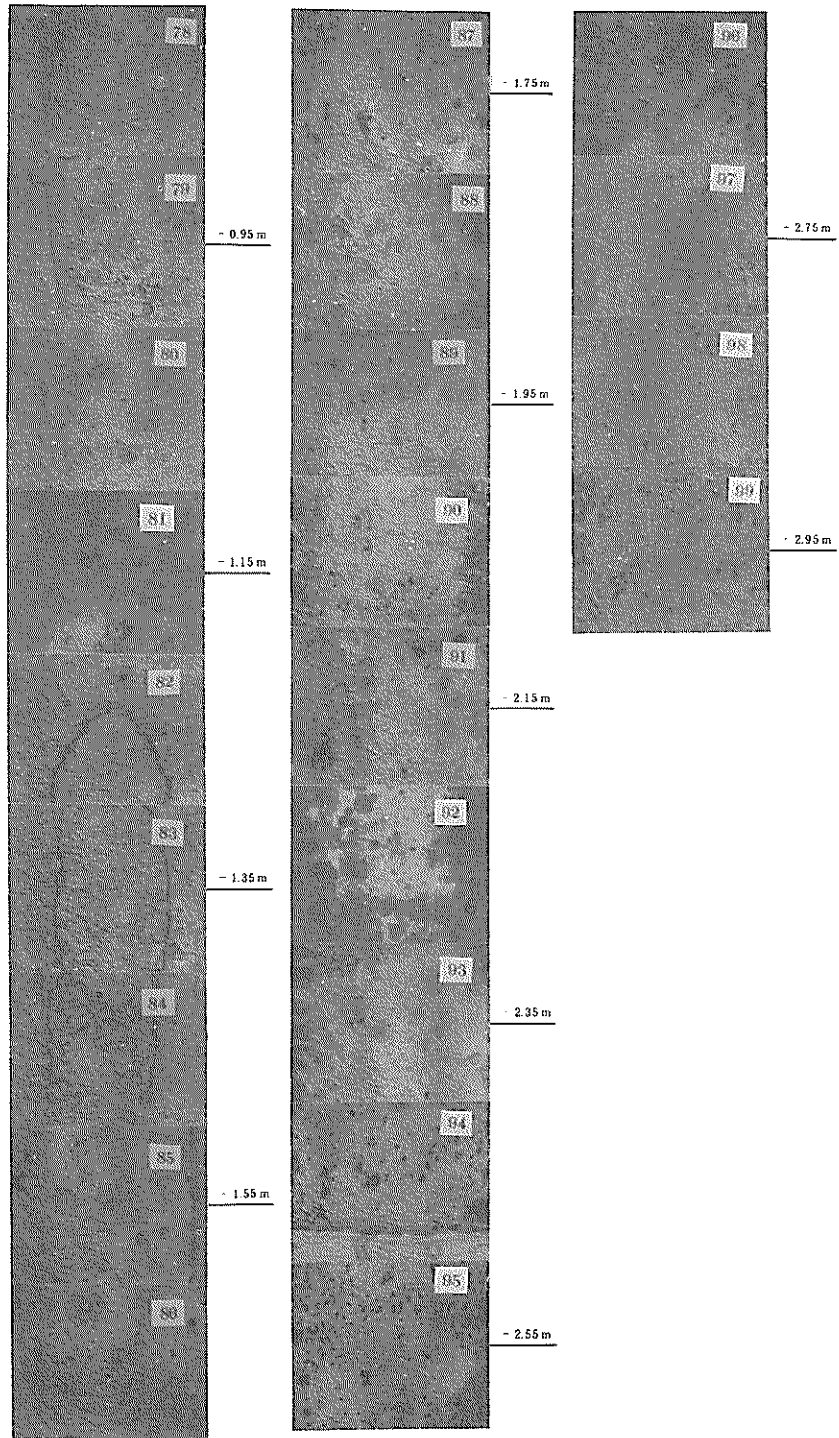


写真-2.5 小松島港農協飼料栈橋における鋼管杭の腐食状況(2)  
杭No.1, 深度-0.85m~-2.95m

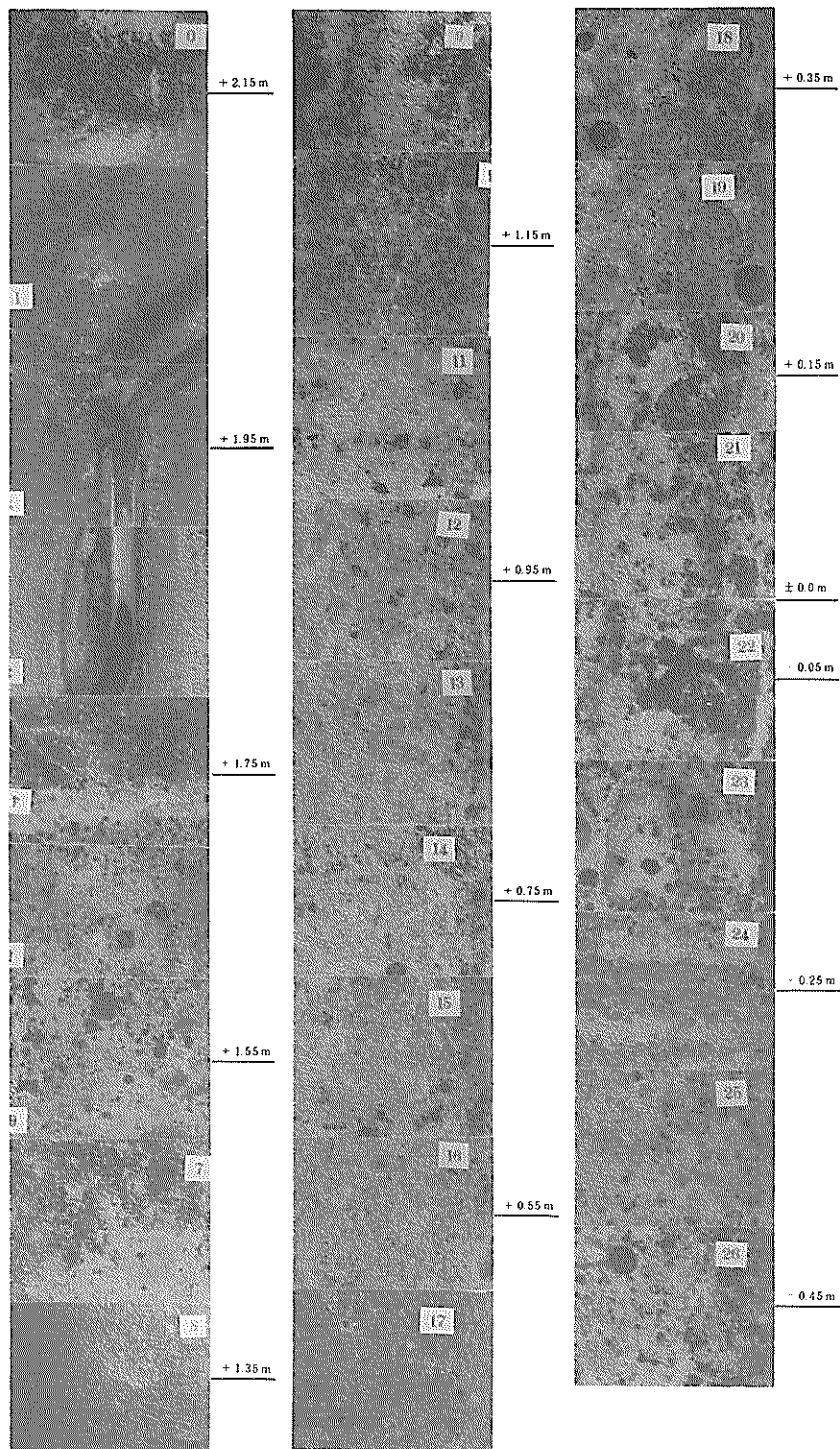


写真-2.6 小松島港農協飼料棧橋における鋼管杭の腐食状況3)  
杭No.1, 深度+2.15m ~ -0.45m

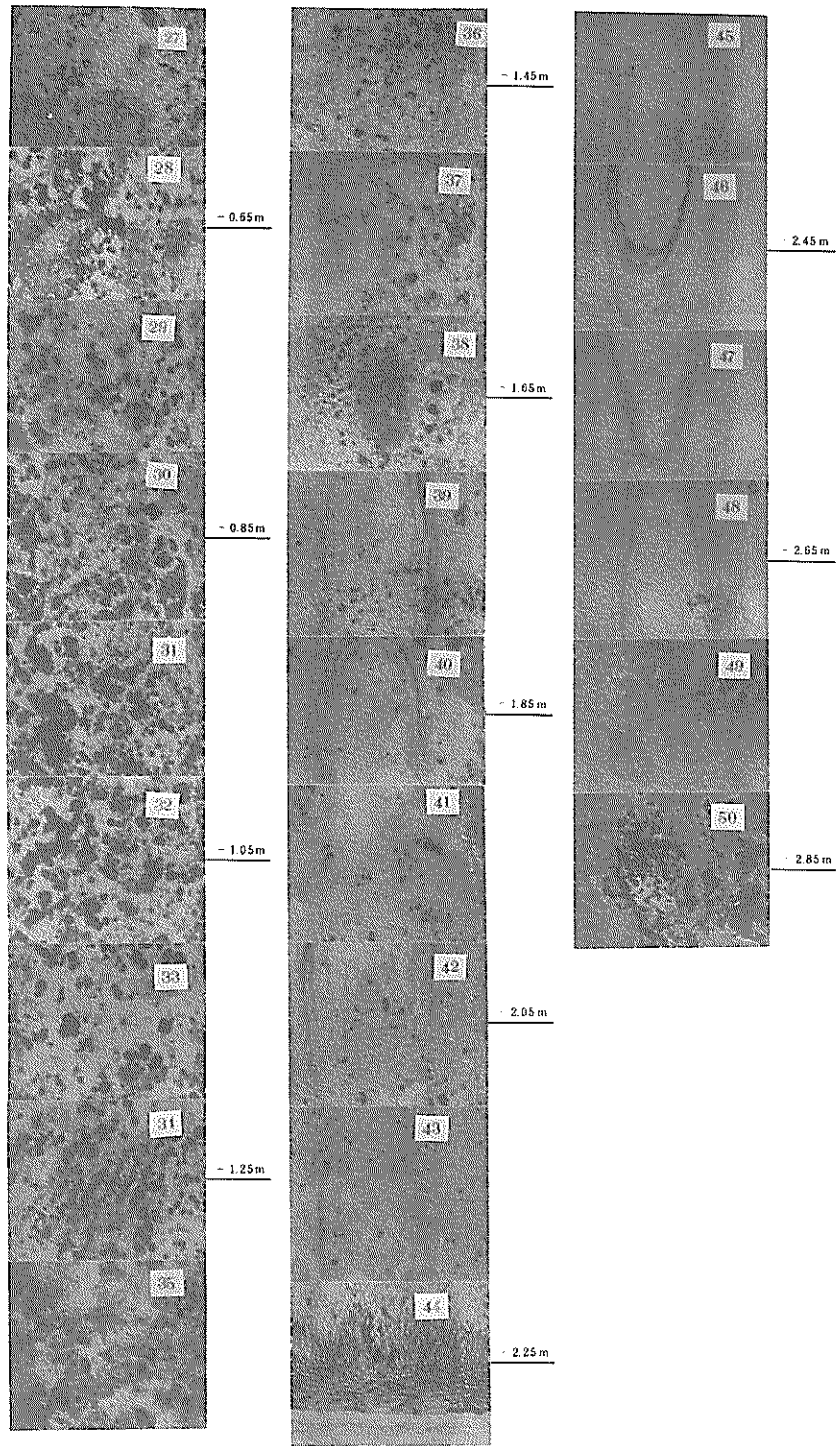


写真- 2.7 小松島港農協飼料棧橋における鋼管杭の腐食状況(4)  
杭No. 2, 深度 - 0.55m ~ - 2.85m



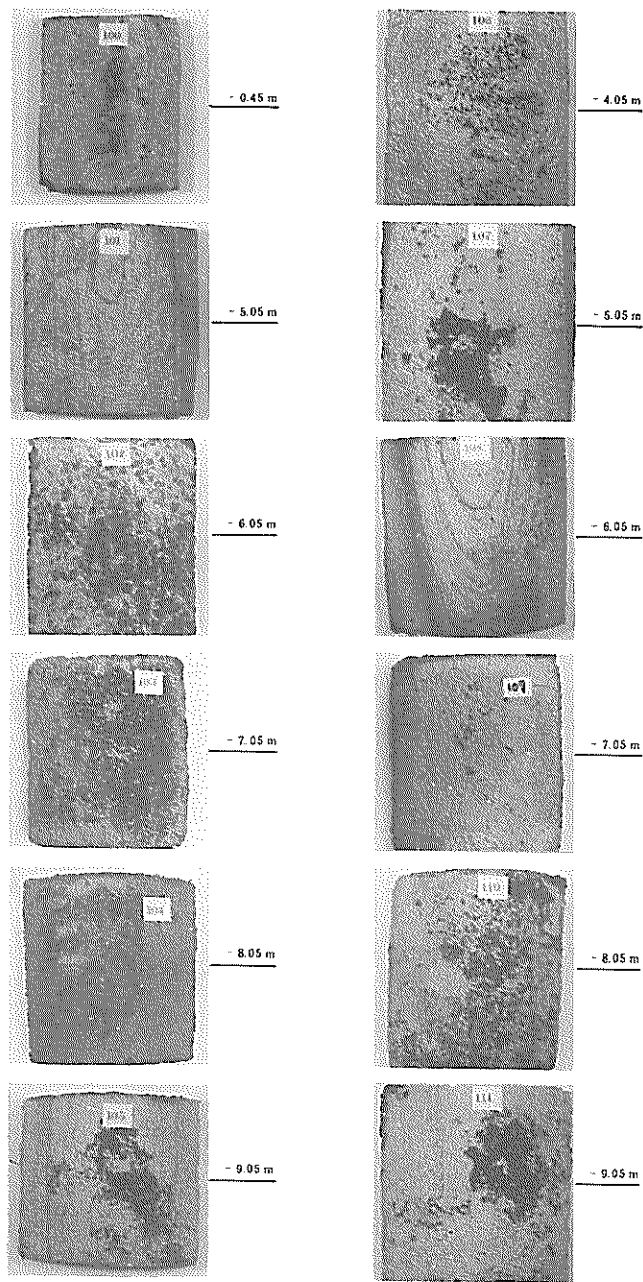


写真-2.8 小松島港農協飼料棧橋における鋼管杭の腐食状結(海泥中)(5)



9号地南側棧橋全景(1)



9号地南側棧橋全景(2)



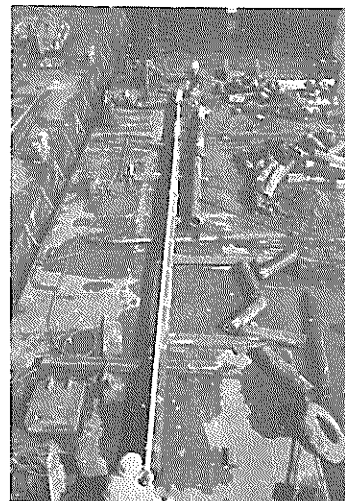
鋼管杭の穴の発生状況(1)



鋼管杭の穴の発生状況(2)



引抜鋼管杭(杭No.3)の穴の発生状況  
(+1.0m付近)



引抜鋼管杭の全長(杭No.10)

写真-3.1 名古屋港9号地南側浅橋鋼管杭の表面状況

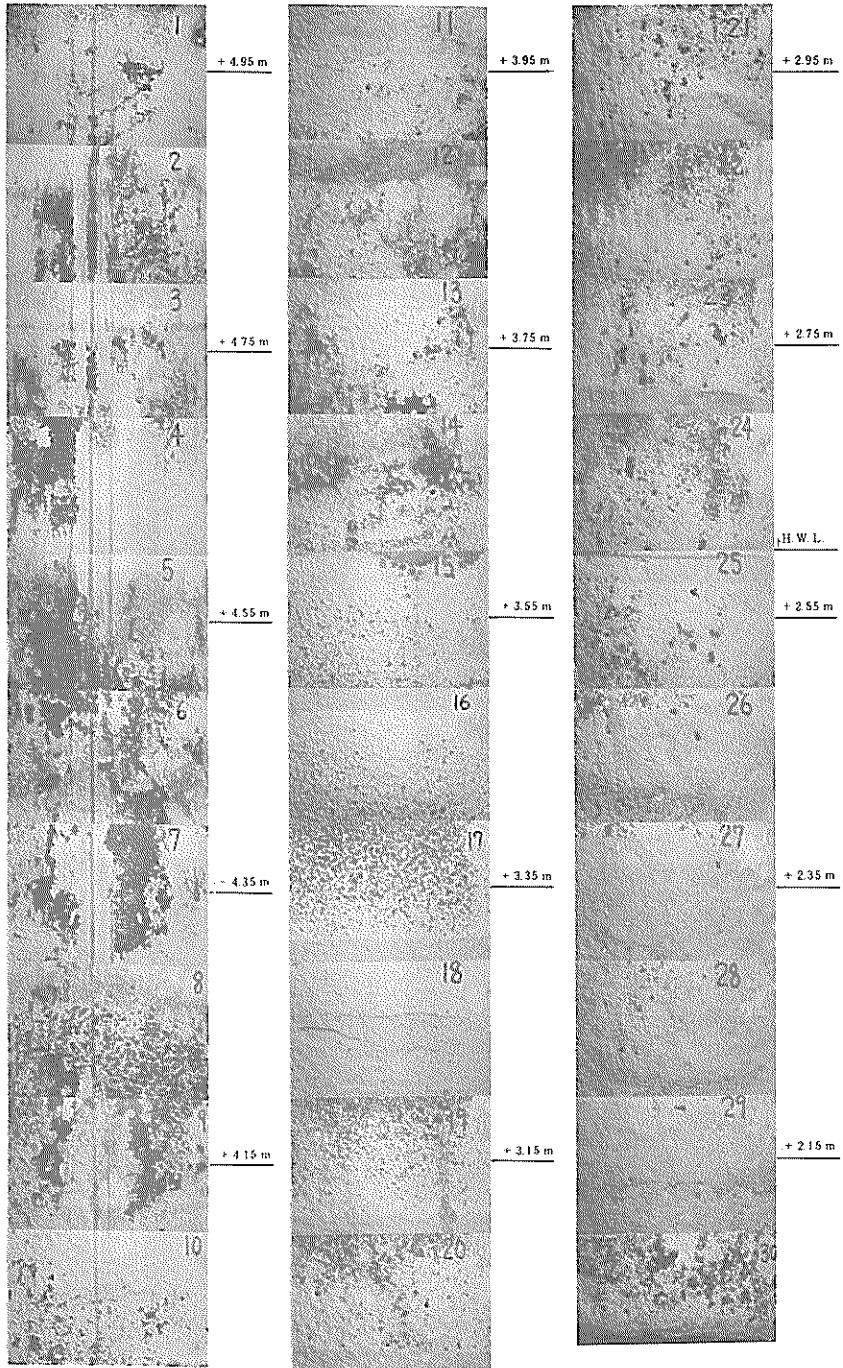


写真-3.2 名古屋港9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況1)  
杭No.10, 深度+4.95m~+2.05m

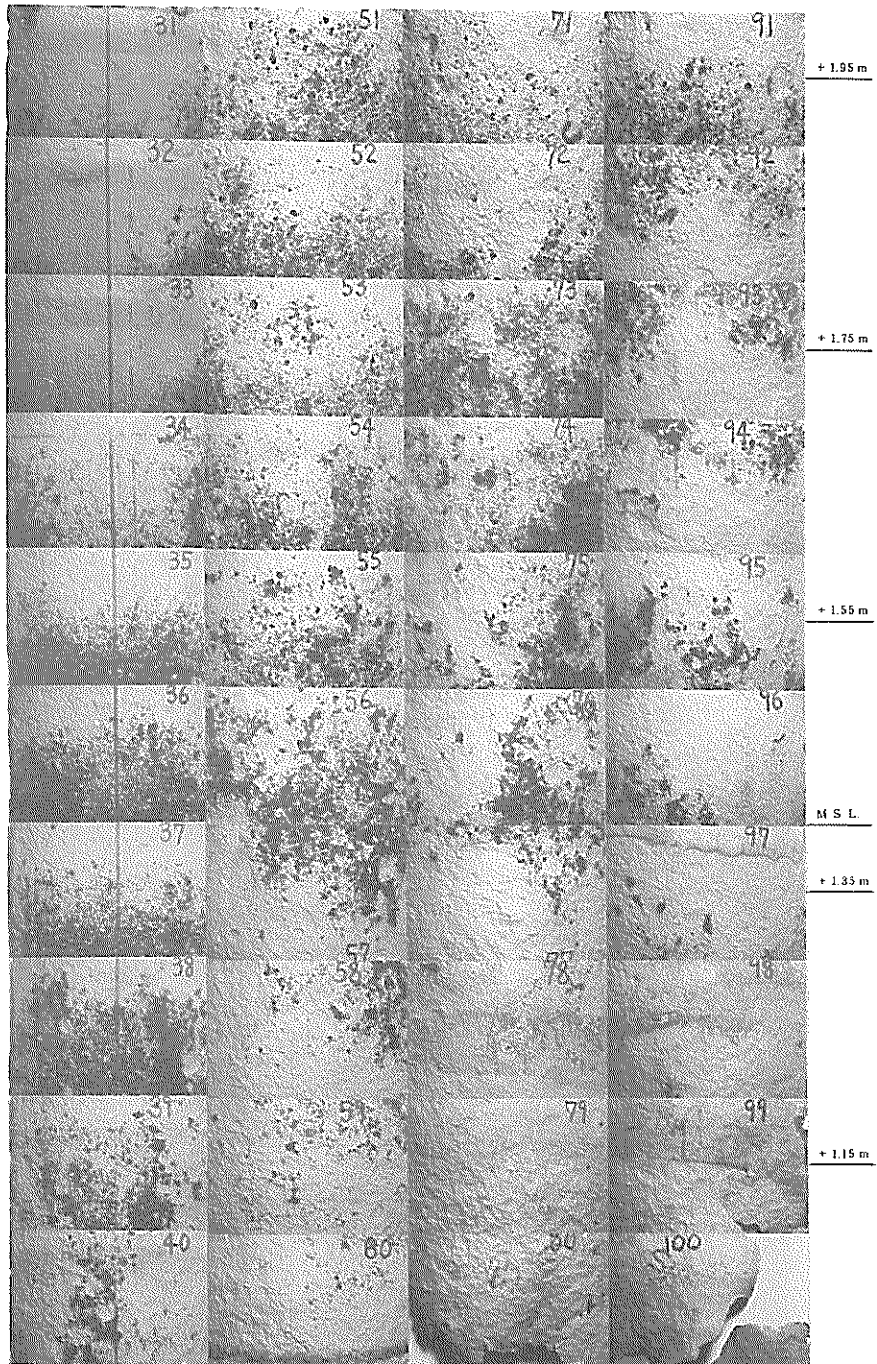


写真-3.3 名古屋港9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況(2)  
杭No.10, 深度+1.95m~+1.05m



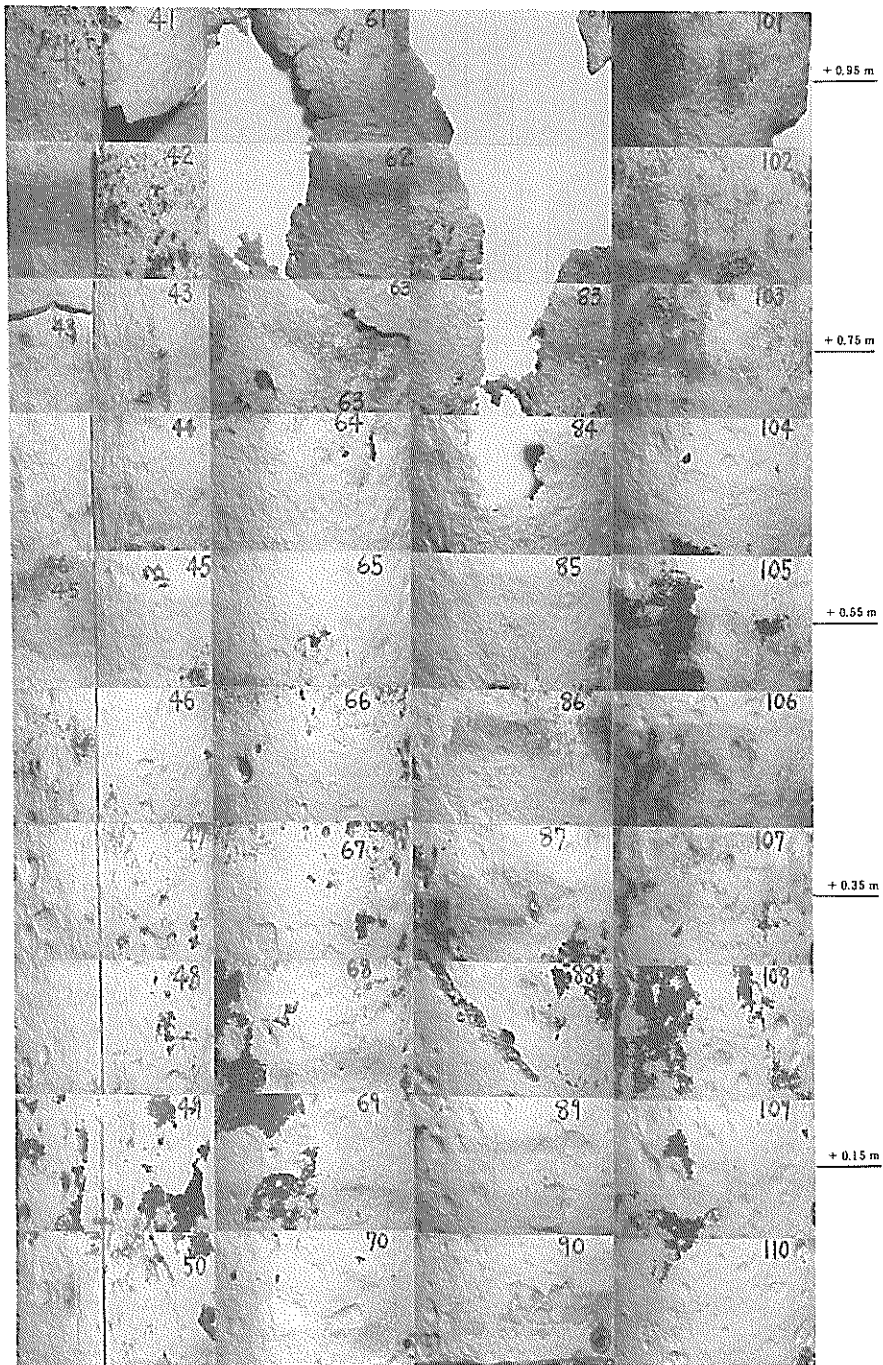


写真-3.4 名古屋港9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況(3)  
杭No.10, 深度+0.95m~+0.05m

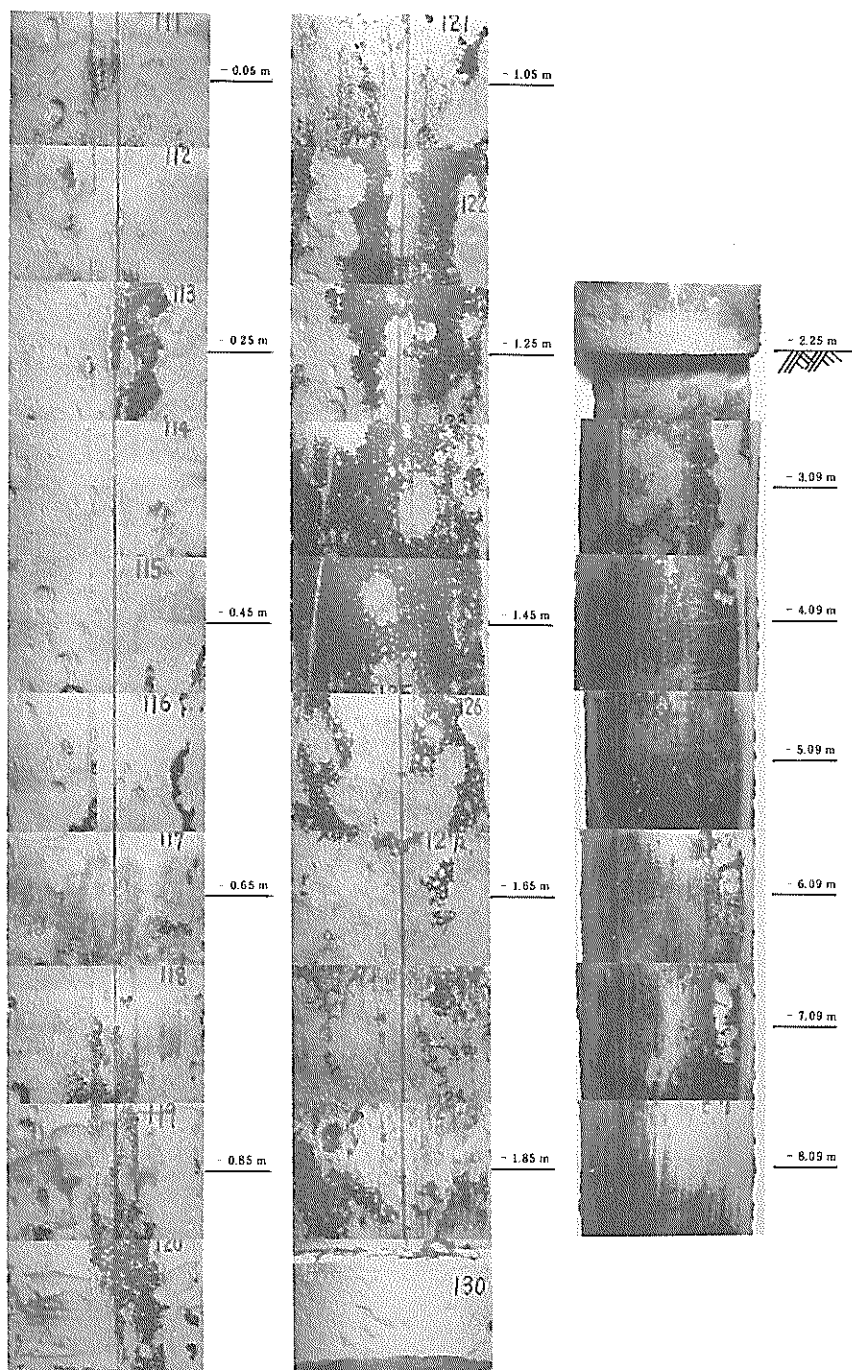


写真-3.5 名古屋港9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況4)  
杭No.10, 深度-0.05m~-8.09m

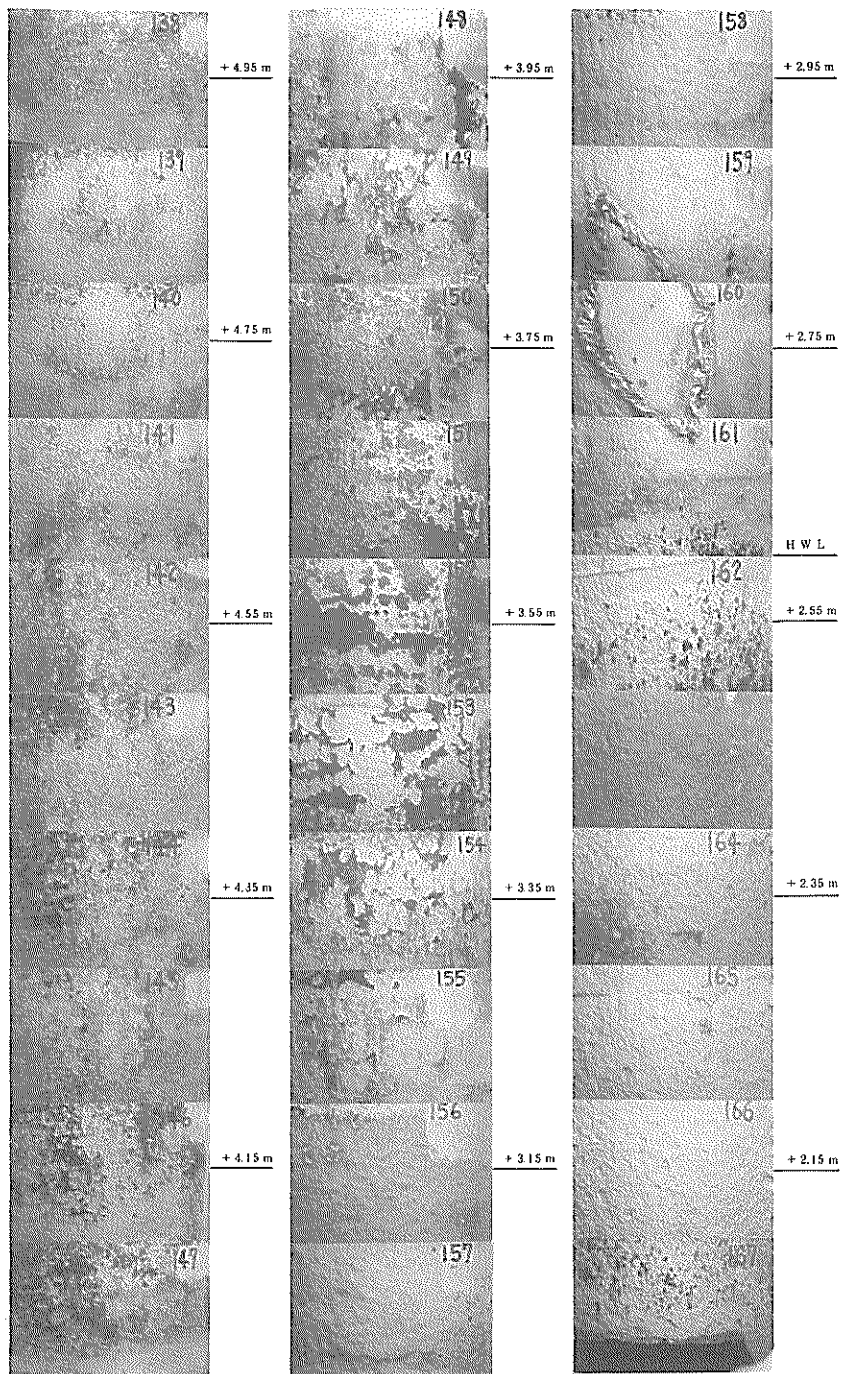


写真- 3.6 名古屋港 9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況(5)  
 杭 No. 3, 深度+ 4.95m ~ + 2.05m

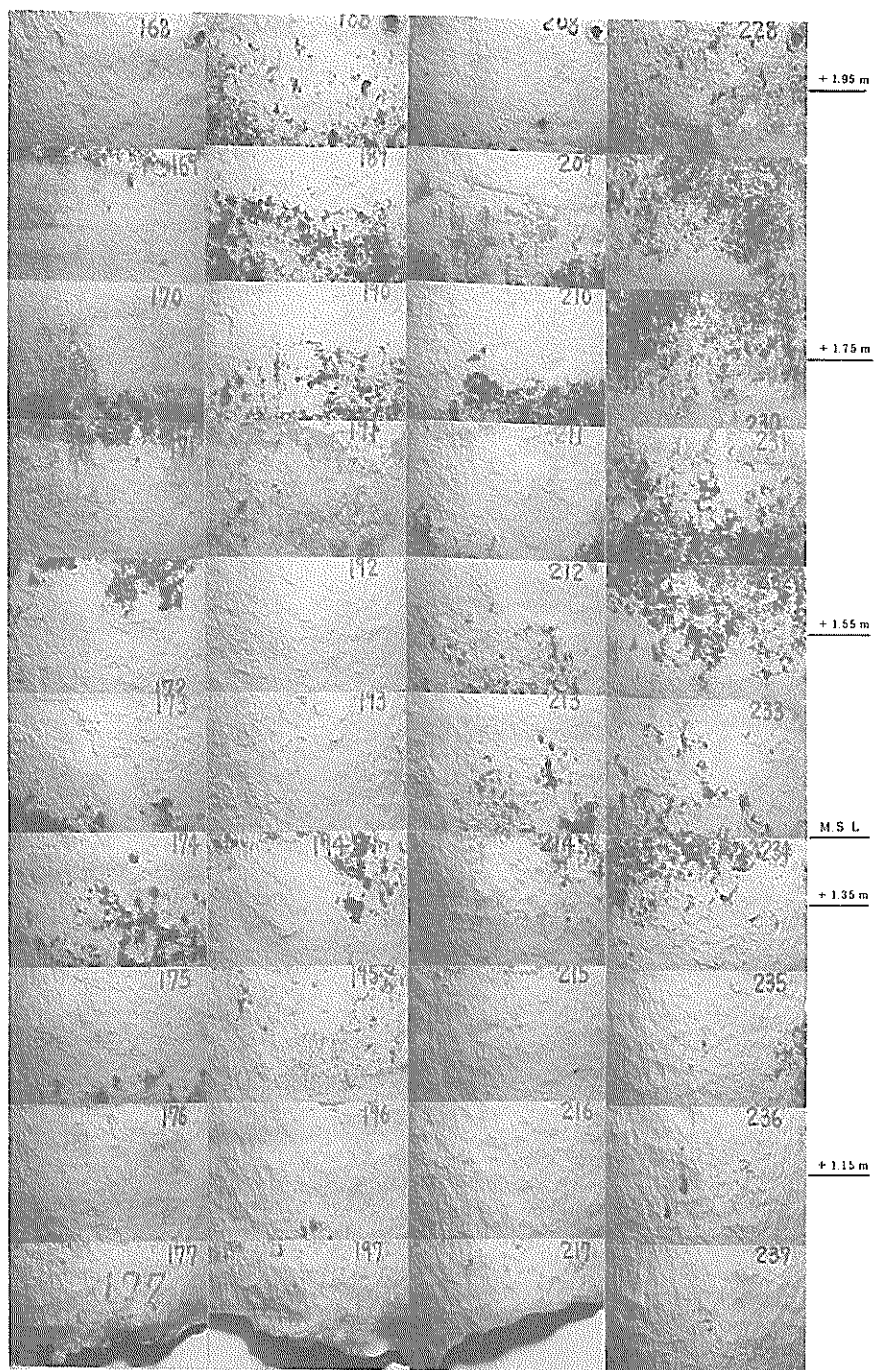


写真-3.7 名古屋港9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況(6)  
杭No.3, 深度+1.95m~+1.05m



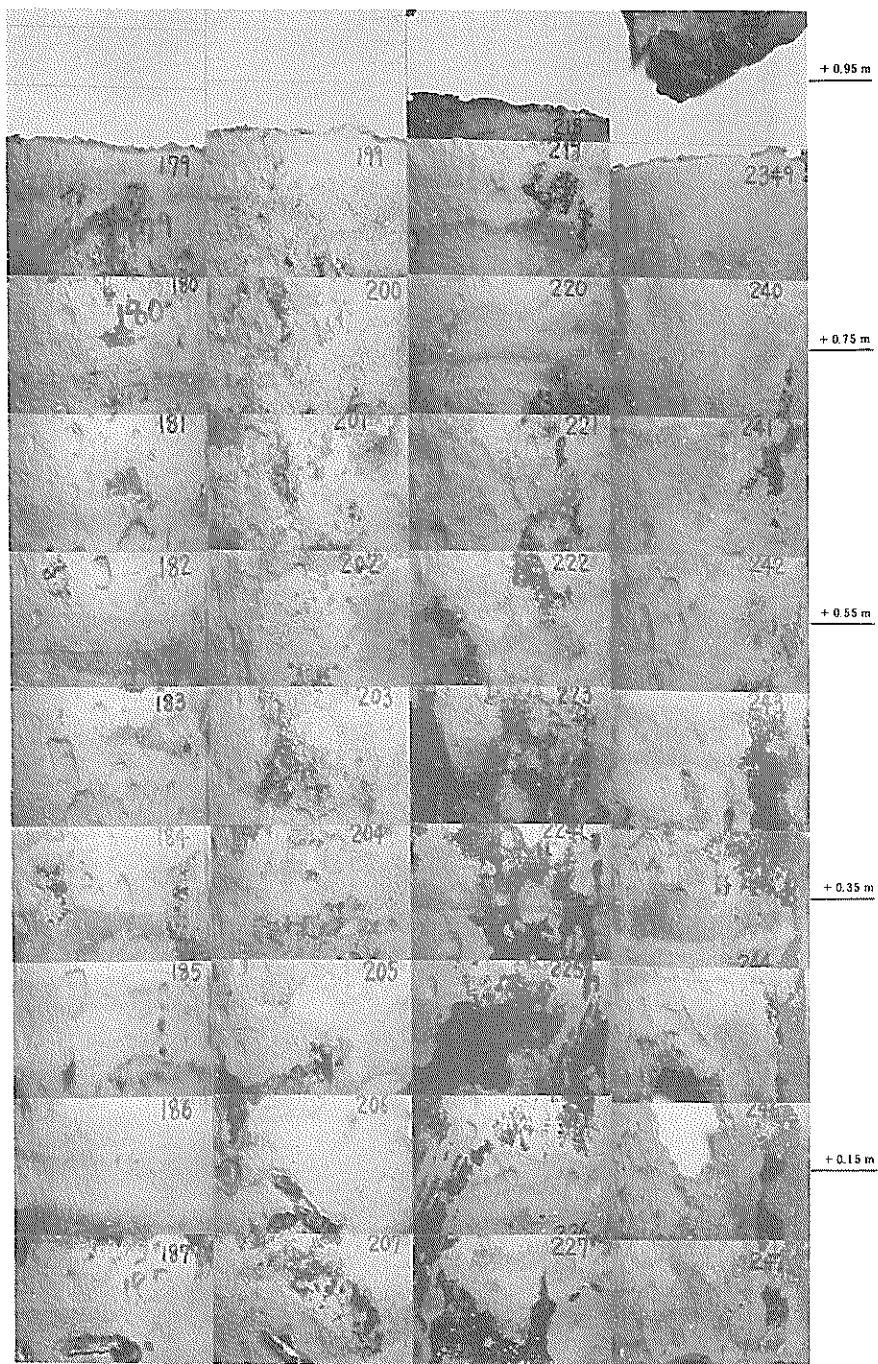


写真-3.8 名古屋港9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況(7)  
杭No.3, 深度+0.95m~+0.05m

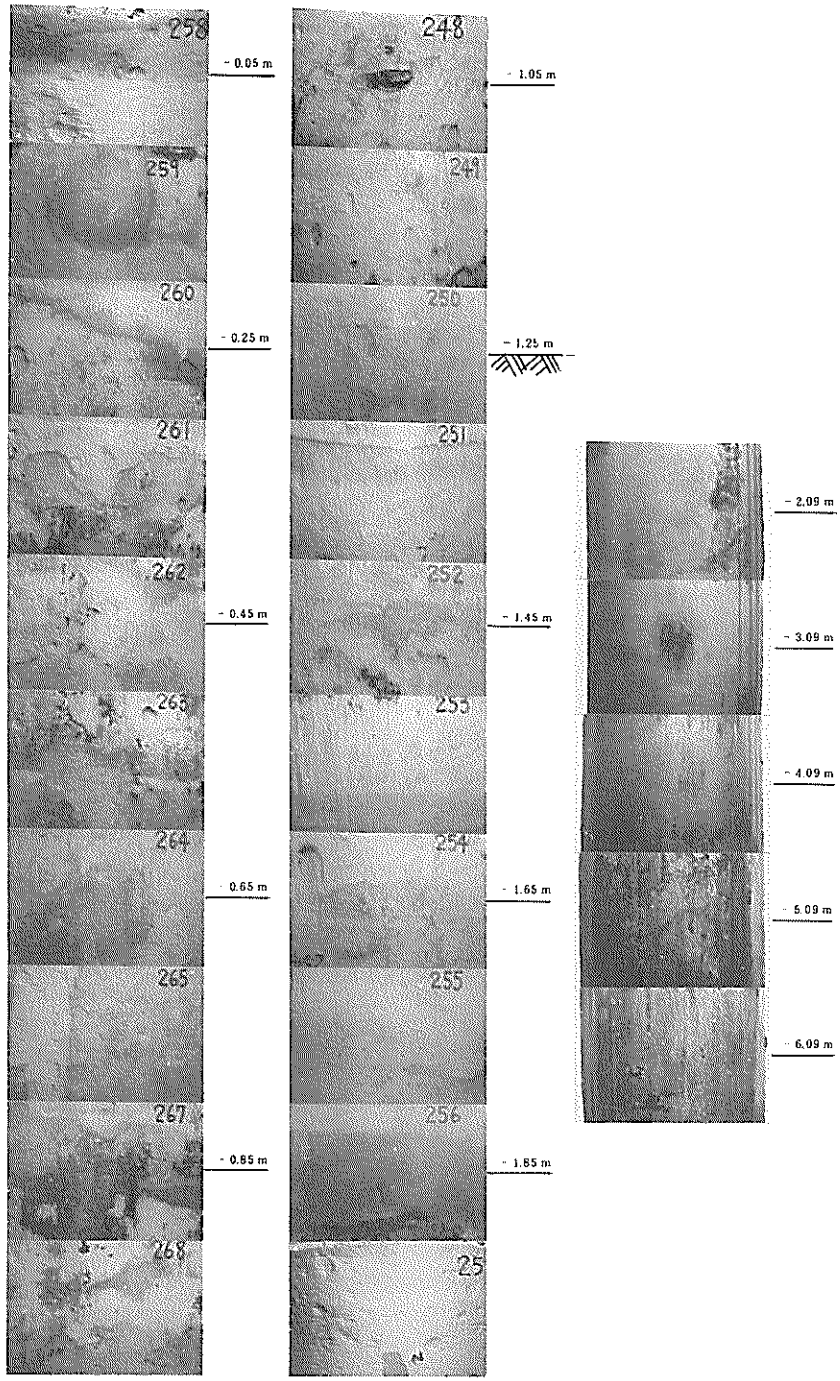


写真- 3.9 名古屋港 9号地南側棧橋における鋼管杭の腐食状況(8)  
杭No.3 , 深度 - 0.05m ~ - 6.09m

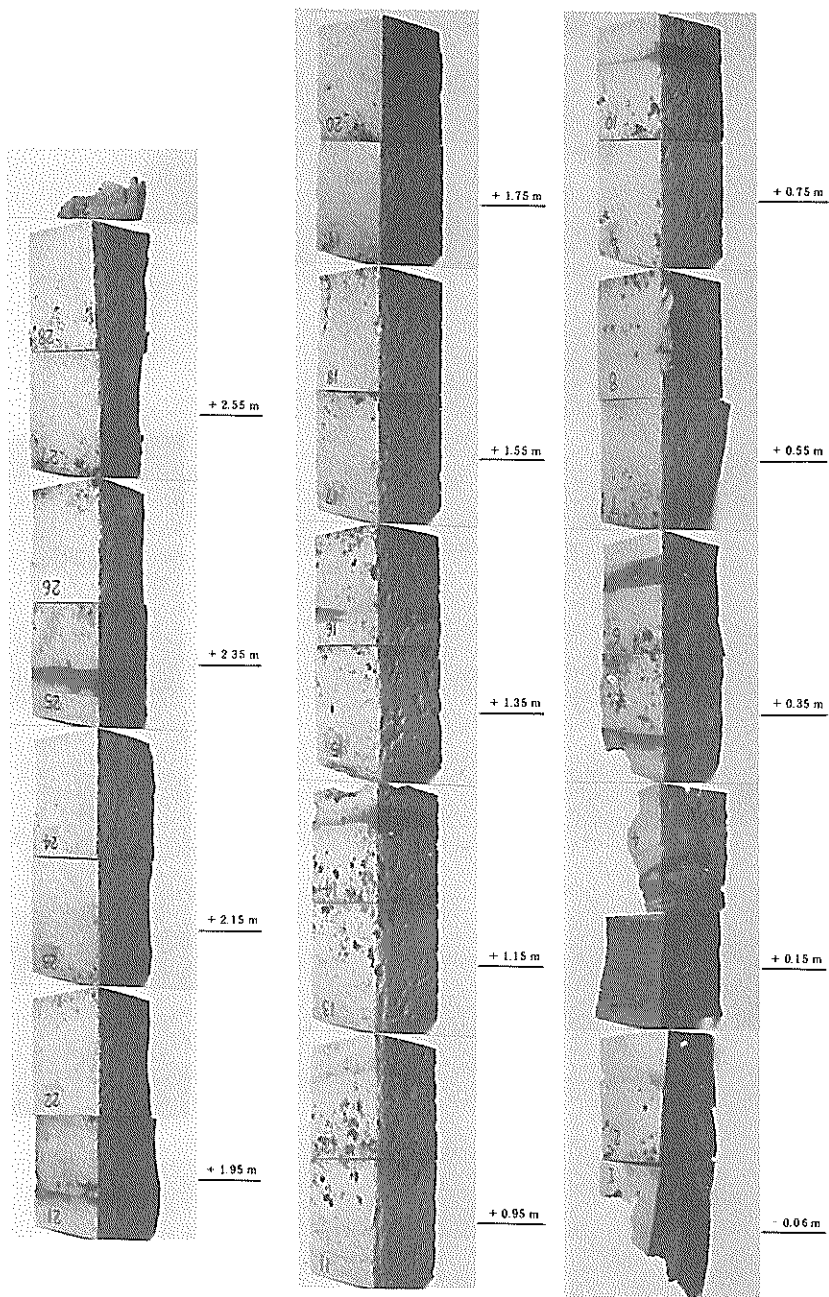


写真-3.10 名古屋港9号地南側棧橋における山形鋼の腐食状況(1)

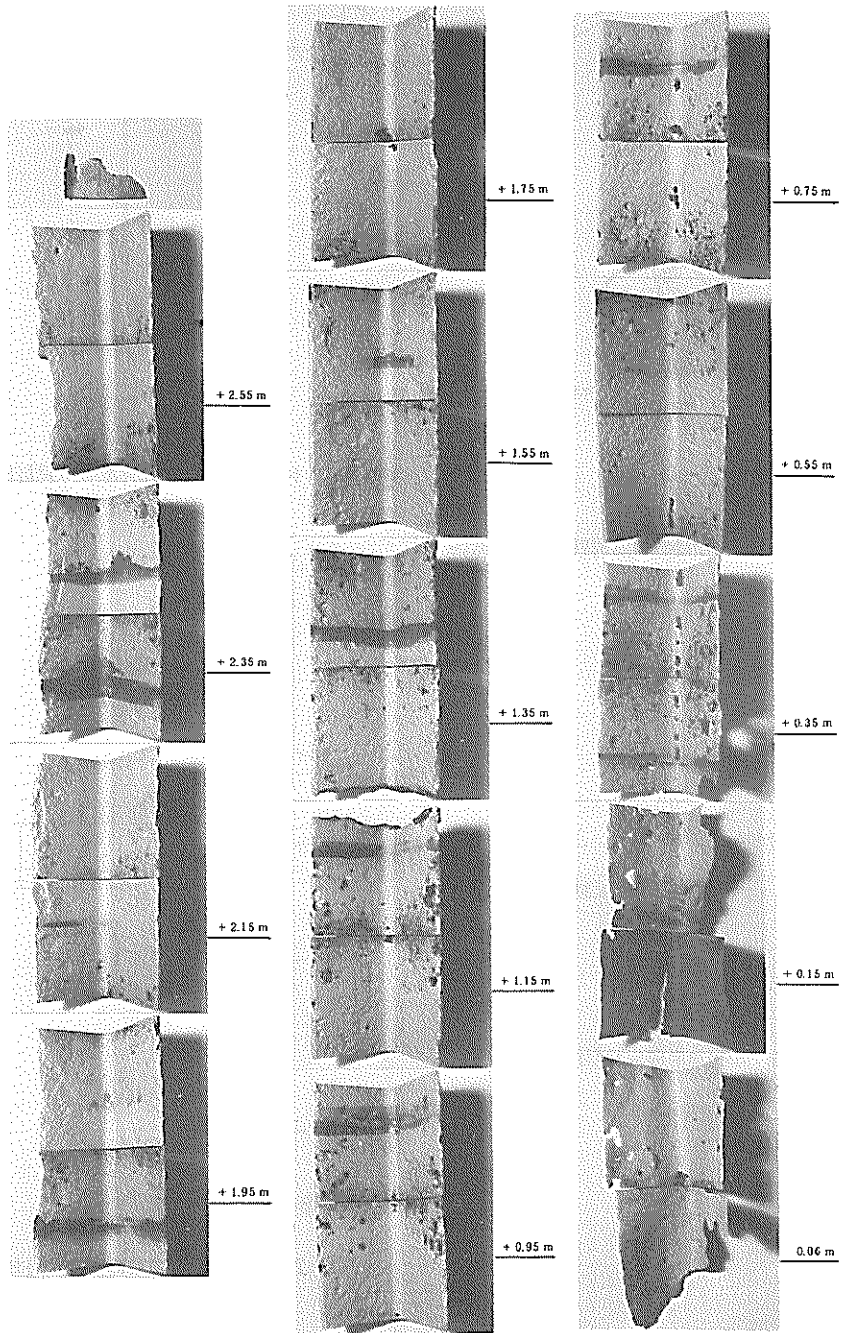
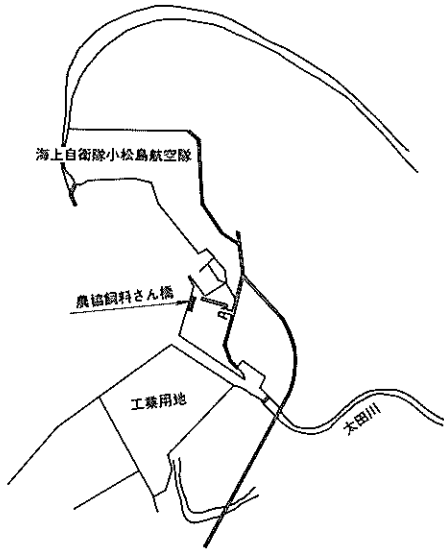
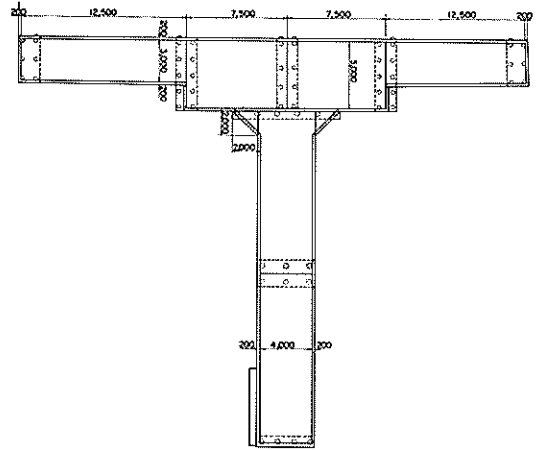


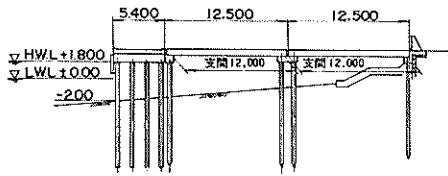
写真-3.11 名古屋港9号地南側棧橋における山形鋼の腐食状況(2)



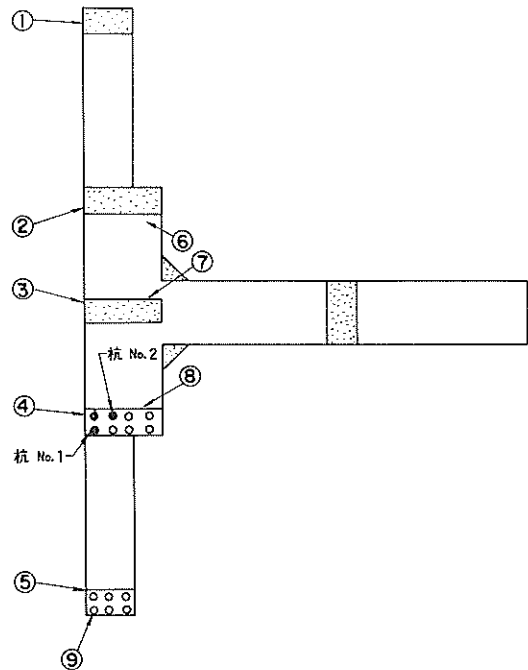
付図-2.1 小松島港農協飼料栈橋の位置図



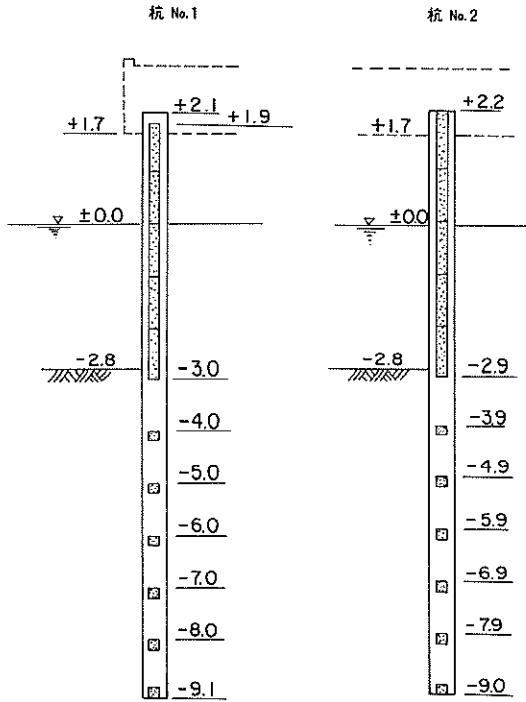
付図-2.2 小松島港農協飼料機橋の平面図



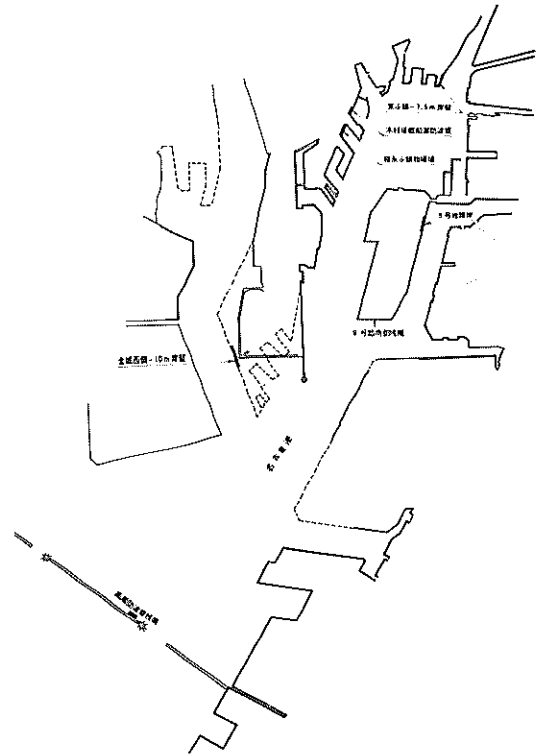
付図-2.3 小松島港農協飼料栈橋の断面図



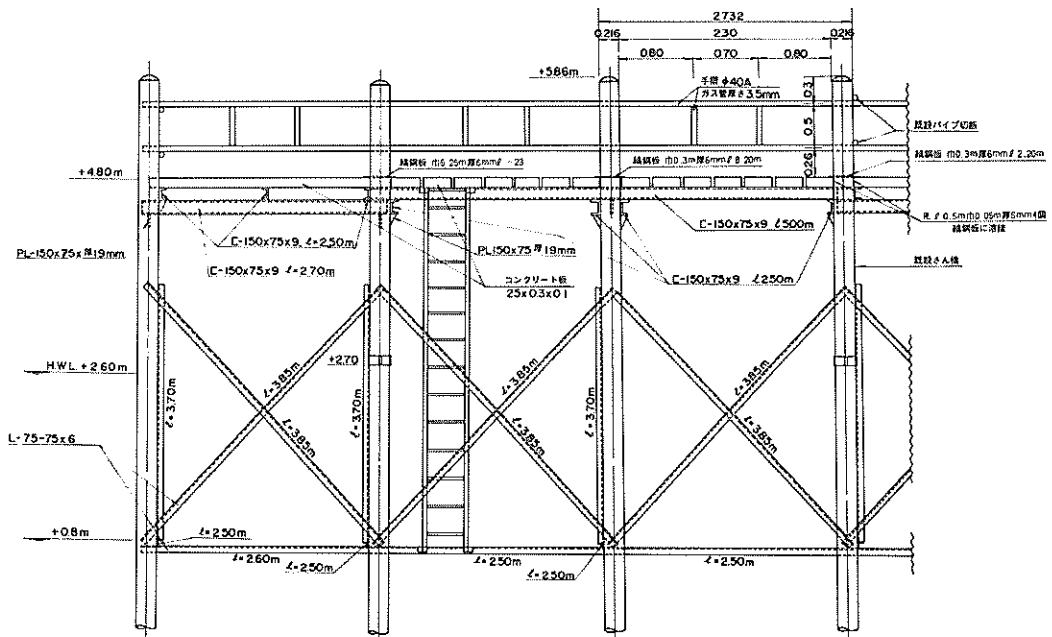
付図-2.4 観察(写真撮影)の方向および引抜杭の位置



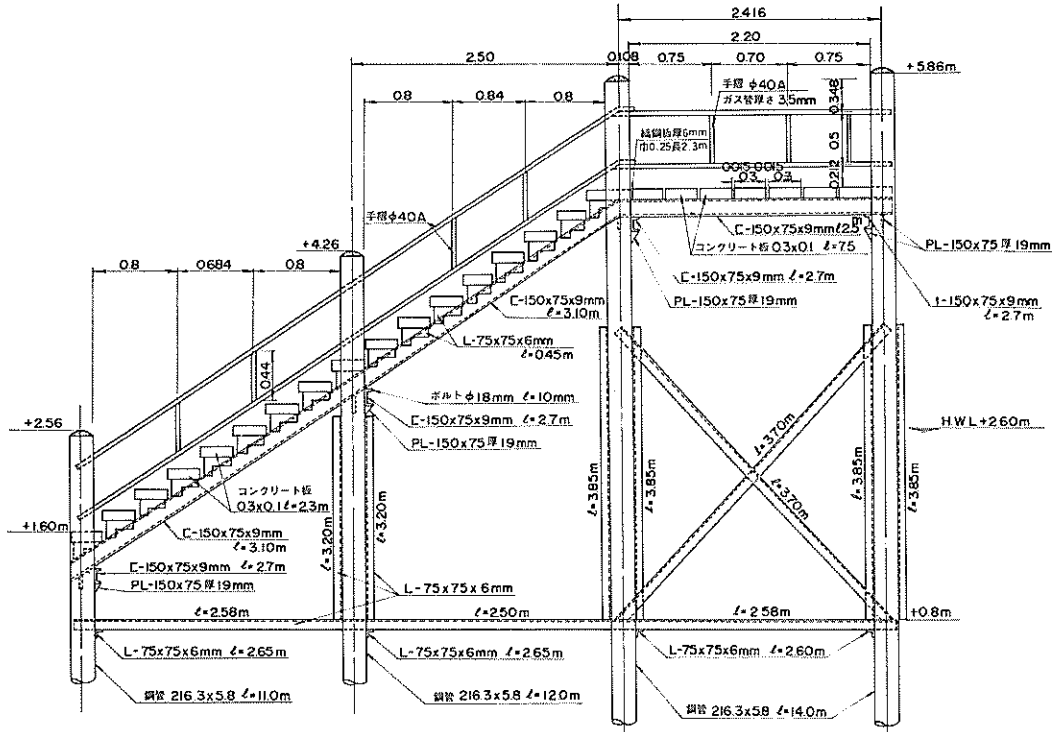
付図-2.5 小松島港農協飼料栈橋における  
回収杭の試片切り取り位置



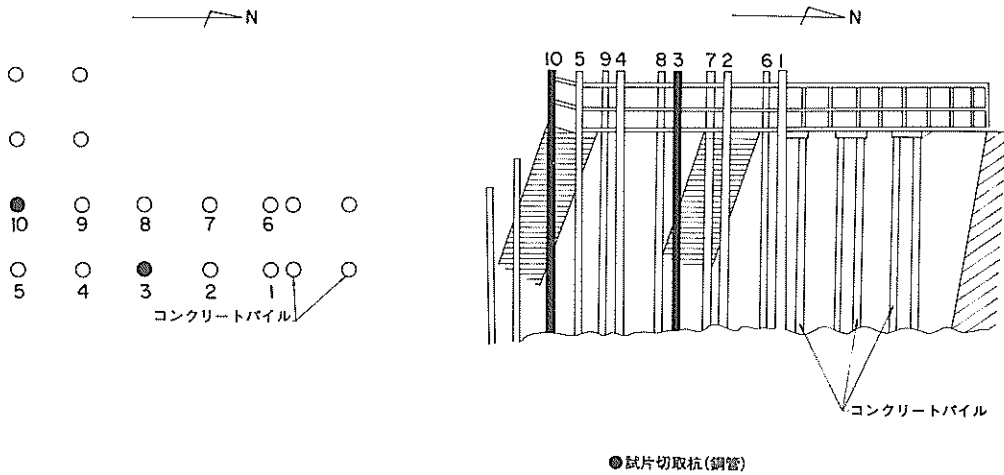
付図-3.1 名古屋港9号地南側栈橋の位置図



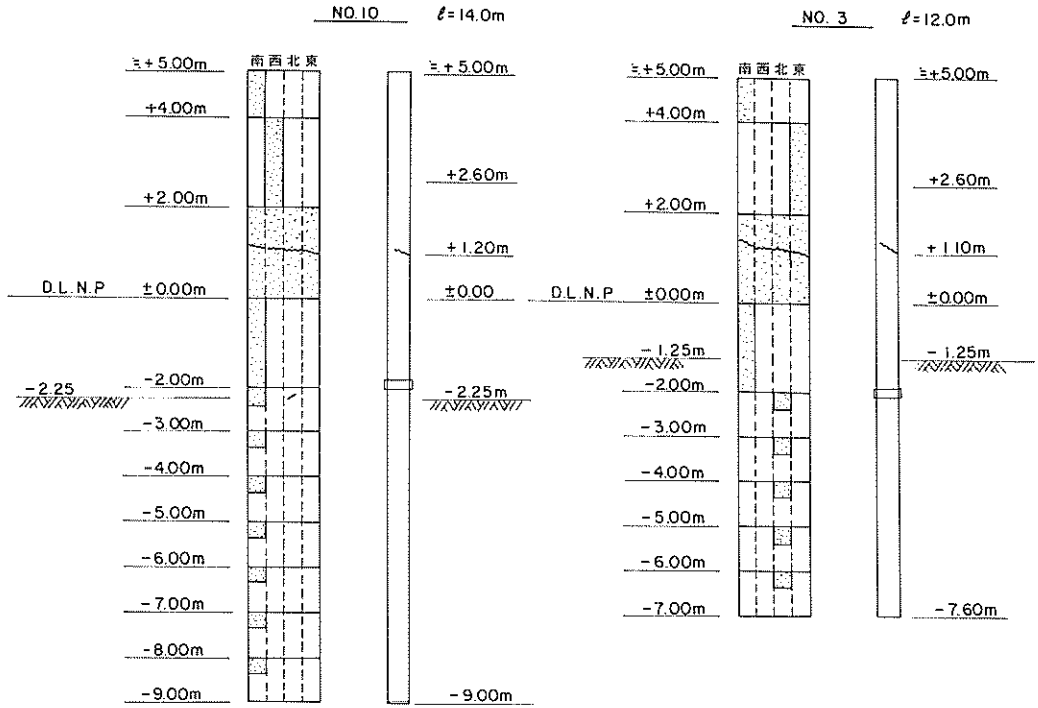
付図-3.2 名古屋港9号地南側栈橋の断面図(1)



付図-3.3 名古屋港9号地南側棧橋の断面図(2)



付図-3.4 名古屋港9号地南側棧橋の回収杭の位置



付図-3.5 名古屋港9号地南側棧橋の回収杭の切取り位置



付表-2.1 順序統計値とした最大肉厚減量

小松島港 杭No.1  
平均干潮面下(+0.25m)

データのグループ	最大肉厚減量 (mm)	順位 M	最大肉厚減量 z (mm)	F(z) = M/N+1	規準化変数 y	y <sup>2</sup>	xy
1-6	11.658	1	2.244	0.125	-0.7302	0.5332	-1.6386
7-12	9.786	2	2.834	0.250	-0.3251	0.1057	-0.9213
13-18	2.244	3	3.156	0.375	0.0205	0.0004	0.0645
19-24	4.356	4	4.306	0.500	0.3672	0.1348	1.5812
25-30	4.306	5	4.356	0.625	0.7553	0.5705	3.2901
31-36	3.156	6	9.786	0.750	1.2456	1.5515	12.1894
37-42	2.834	7	11.658	0.875	2.0123	4.0494	23.4594
		Σ	38.340		3.3456	6.9455	38.0247

付表-2.2 順序統計値とした最大肉厚減量

小松島港 杭No.1  
海泥中(-7.05m~-8.05m)

データのグループ	最大肉厚減量 (mm)	順位 M	最大肉厚減量 z (mm)	F(z) = M/N+1	規準化変数 y	y <sup>2</sup>	xy
1-8	0.819	1	0.247	0.0833	-0.9081	0.8246	-0.2243
9-16	0.761	2	0.325	0.1667	-0.5814	0.3381	-0.1890
17-24	0.561	3	0.339	0.2500	-0.3251	0.1057	-0.1102
25-32	0.325	4	0.345	0.3333	-0.0928	0.0086	-0.0320
33-40	0.247	5	0.381	0.4167	0.1340	0.0179	0.0511
41-48	0.695	6	0.535	0.5000	0.3672	0.1349	0.1965
49-56	0.535	7	0.561	0.5833	0.6185	0.3825	0.3470
57-64	0.345	8	0.695	0.6667	0.9028	0.8151	0.6274
65-72	0.381	9	0.717	0.7500	1.2456	1.5516	0.8931
73-80	0.717	10	0.761	0.8333	1.7012	2.8941	1.2946
81-88	0.339	11	0.819	0.9167	2.4401	5.9541	1.9984
		Σ	5.725		5.5020	13.0272	4.8526

付表-3.1 順序統計値とした最大肉厚減量

名古屋港 杭No.3  
+0.85m

データのグループ	最大肉厚減量 (mm)	順位 M	最大肉厚減量 z (mm)	F(z)	規準化変数 y	y <sup>2</sup>	xy
1-20	1.698	1	1.696	0.143	-0.665	0.442	-1.128
21-40	2.838	2	1.880	0.286	-0.225	0.051	-0.423
41-60	4.186	3	2.838	0.429	0.167	0.028	0.474
61-80	1.880	4	3.340	0.571	0.579	0.335	1.934
81-100	3.340	5	3.910	0.714	1.088	1.184	4.254
101-120	3.910	6	4.186	0.857	1.869	3.493	7.824
		Σ	17.850		2.813	5.533	1.2935

付表-3.2 順序統計値とした最大肉厚減量

名古屋港 杭No.3  
海泥中

データの グループ	最大肉厚減量 (mm)	順位 $M$	最大肉厚減量 $z$ (mm)	$F(z)$	規準化変数 $y$	$y^2$	$xy$
1- 21	0.610	1	0.278	0.091	-0.887	0.765	-0.2466
22- 42	0.758	2	0.366	0.182	-0.533	0.285	-0.1951
43- 63	0.498	3	0.370	0.273	-0.262	0.069	-0.0969
64- 84	0.518	4	0.384	0.364	-0.012	1.330	-0.0046
85-105	0.370	5	0.400	0.455	0.238	0.056	0.0952
106-126	0.278	6	0.498	0.545	0.501	0.251	0.2495
127-147	0.632	7	0.518	0.636	0.794	0.631	0.4113
148-168	0.366	8	0.610	0.727	1.144	1.309	0.6978
169-189	0.384	9	0.632	0.818	1.606	2.580	1.0150
190-210	0.400	10	0.758	0.909	2.351	5.525	1.7821
		$\Sigma$	4.814		4.940	12.801	3.7077

港 灣 技 研 資 料      No.461

1 9 8 3 · 9

編 集 兼 發 行 人      運 輸 省 港 灣 技 術 研 究 所

發 行 所      運 輸 省 港 灣 技 術 研 究 所  
                 橫 須 賀 市 長 瀬 3 丁 目 1 番 1 号

印 刷 所      日 青 工 業 株 式 會 社

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