

港 湾 技 研 資 料

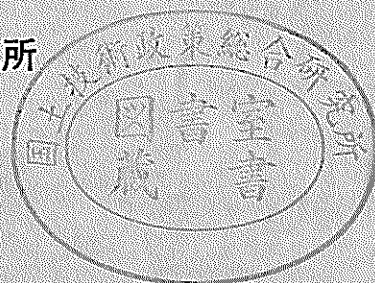
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 190 June 1974

東京港および小名浜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



港湾技研資料 16190 正誤表

ページ	欄	行	誤	正
14	右	下から 11	る。表2.3の……	る。付表2.2の……
15	左	11	(ホ)表2.2の…	(ホ)付表2.1の…

東京港および小名浜港における鋼管杭の腐食調査

目 次

1. ま え が き	1
2. 東京港における腐食調査	1
3. 小名浜港における腐食調査	15
4. あ と が き	22
参 考 文 献	22

Corrosion Survey of Steel Pipe Piles at Tokyo and Onahama Harbours

Kazuaki ZEN*
Masami ABE**

Synopsis

The corrosion survey of steel pipe piles at Tokyo and Onahama Harbours have been carried out, and the following results were obtained.

- (1) At Tokyo harbour, there were the following two corrosion tendencies.
 - (a) Concentrated corrosion occurred at the portion directly under mean low water level and the corrosion rate was more than 0.8 mm/yr.
 - (b) Concentrated corrosion rate at the portion directly under mean low water level was 0.1 to 0.2 mm/yr.

On the contrary, at Onahama harbour, concentrated corrosion didn't entirely generated at the portion directly under mean low water level as the same as the corrosion tendency of steel pipe piles at Shimonoseki Harbour, and so on.

(2) It is supposed that the concentrated corrosion phenomena of steel pipe piles at Tokyo Harbour depends on the same action of macro-corrosion cell as in the case of steel sheet piles and heavy damage of steel pipe piles caused directly under mean low water level is extremely due to the situation of the surveyed steel pipe piles where has been placed at the entrance of the river.

(3) It is assumed that the cathodic area of macro-corrosion cell generated at harbour constructions is the range between mean water level and mean low water level.

(4) The paint applied to the survey steel pipe piles didn't show protective effect against the concentrated corrosion directly under mean low water level.

* Senior Reserch Engineer, Structures Division

** Member, Structures Division

東京港および小名浜港における鋼管杭の腐食調査

善 一 章*
阿 部 正 美**

要 旨

東京港および小名浜港において鋼管杭の腐食調査をした結果、次のことがわかった。

(1)東京港では、(イ)平均干潮面直下部に腐食が集中し腐食速度は 0.8 mm/yr 以上である、(ロ)平均干潮面直下部の腐食速度は $0.1 \sim 0.2 \text{ mm/yr}$ であるという二通りの腐食傾向が見られた。これに対して、小名浜港では特に深度方向による腐食量差はない。なお、小名浜港のような腐食傾向は無防食の鋼管杭(下関港など)にも見られる。

(2)鋼管杭の集中腐食は、鋼矢板と同じくマクロ腐食によるものと予想され、また、集中腐食による損傷が著しかったのは調査鋼管杭が川口に位置したことによるものと思われる。

(3)マクロセルのカソード域はM.S.L.~M.L.W.L.と考えられる。

(4)使用された塗装は、集中腐食に対してほとんど効果は認められない。

1. ま え が き

港湾構造物の腐食調査は港湾調査指針¹⁾に準拠して昭和42年より実施しており、これらの調査結果はすでに報告されている^{2)~11)}。これまでの報告における調査対象物としては鋼矢板構造物、閘・水門施設、鋼管杭構造物が含まれているが、鋼矢板構造物が80数例で圧倒的に多く閘・水門施設は2例、鋼管杭構造物は3例である。これは調査対象物として長期間無防食で経過した構造物を優先的に取上げたためである。しかし、鋼管杭が港湾構造物の鋼管杭に使用され始めてから10数年経過するようになり、また鋼管杭の大水深構造物への使用は今後さらに増大するものと思われる。したがって、鋼矢板と同様に鋼管杭についても腐食傾向を把握しておく必要がある。

これに対して、昭和48年度に東京港と小名浜港において鋼管杭の腐食調査を行なった。本報は、これら2港の調査結果である。

2. 東京港における腐食調査

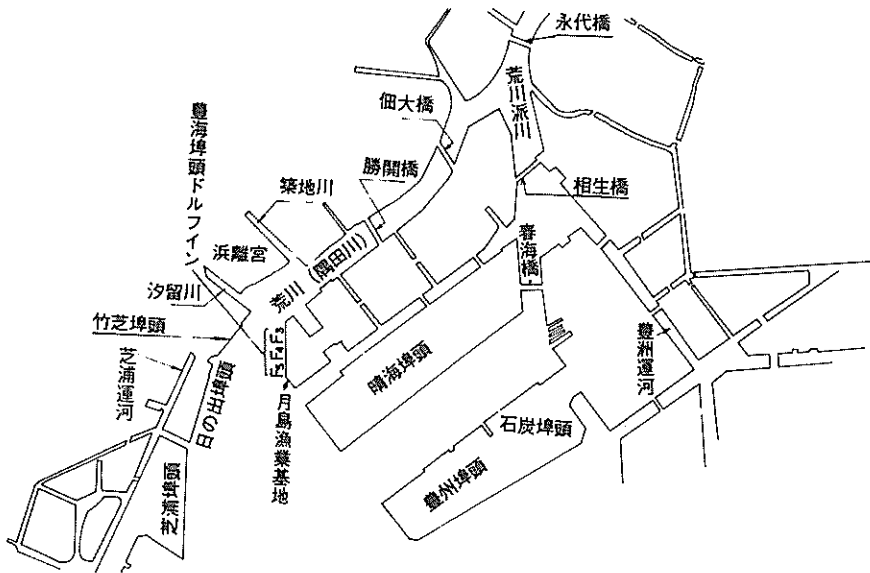
2.1 調査構造物

調査構造物は表2.1に示す東京港豊海水産埠頭である。付図2.1に豊海水産埠頭の位置図を、付図2.2に豊海水産埠頭の平面図を、付図2.3に豊海水産埠頭ドルフィン¹⁾の断面図を、付図2.4に豊海水産埠頭橋の断面図を示す。豊海水産埠頭は後述するように平均干潮面直下部に集中腐食が発生したため、昭和47年に付図2.5に示すように補強された杭もある。

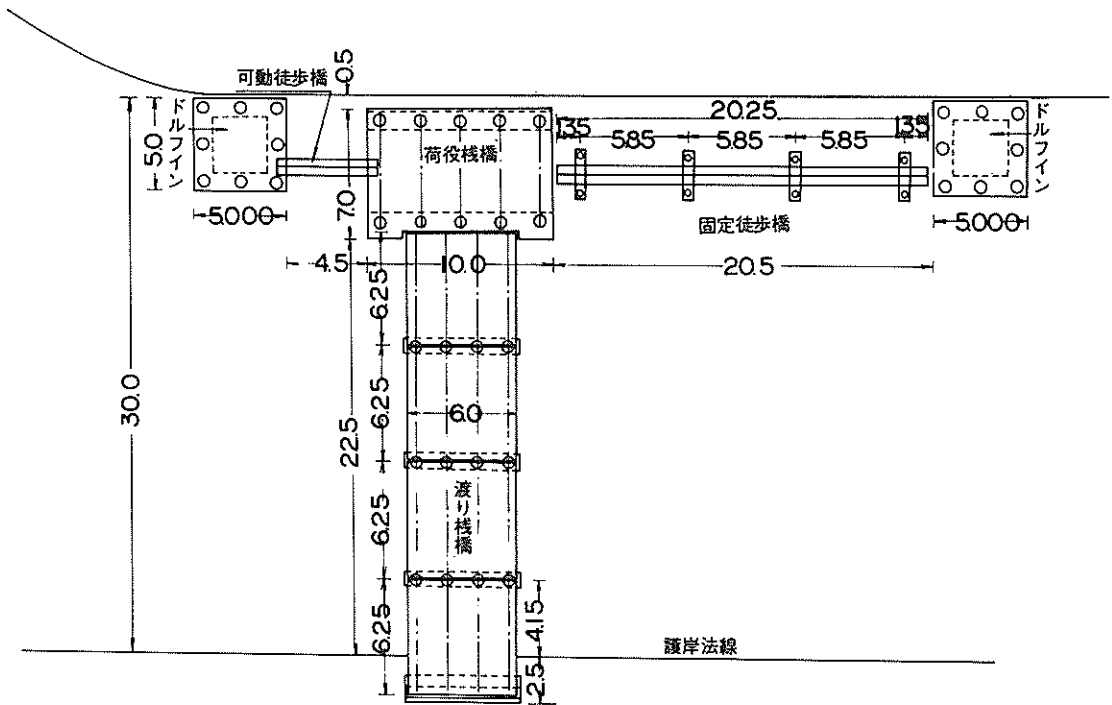
表2.1 東京港豊海水産埠頭ドルフィン、棧橋鋼管杭

施 設	鋼 管 杭 寸 法			材 質	竣 工	経過期間 (年)	防 食	調査年月
	D (mm)	t (mm)	ℓ (m)					
ドルフィン	508	9	22~23	STK41	S37.3	12	塗装	S48.12
棧 橋	406	6	18~22	STK41	S37.3	12	塗装	S48.12

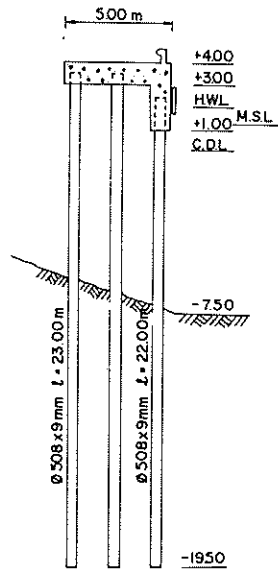
* 構造部 主任研究官
** 構造部



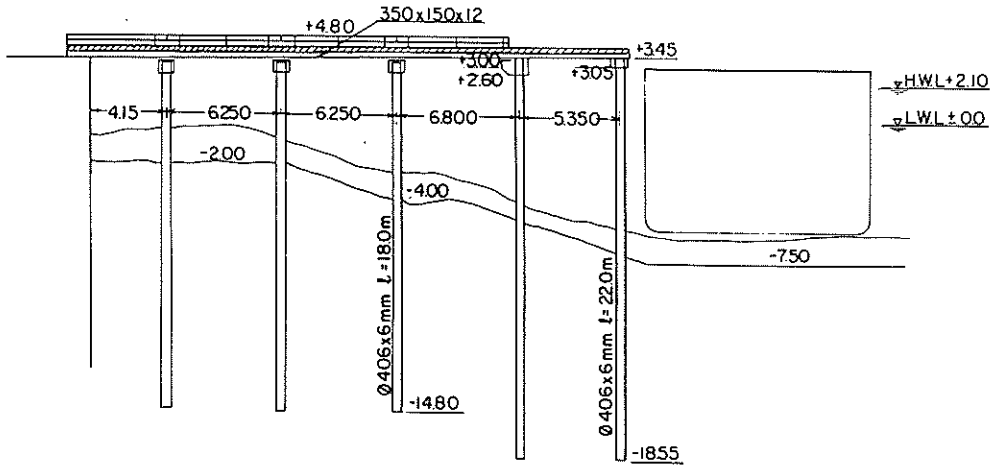
付図 2.1 東京港豊海水産埠頭位置図



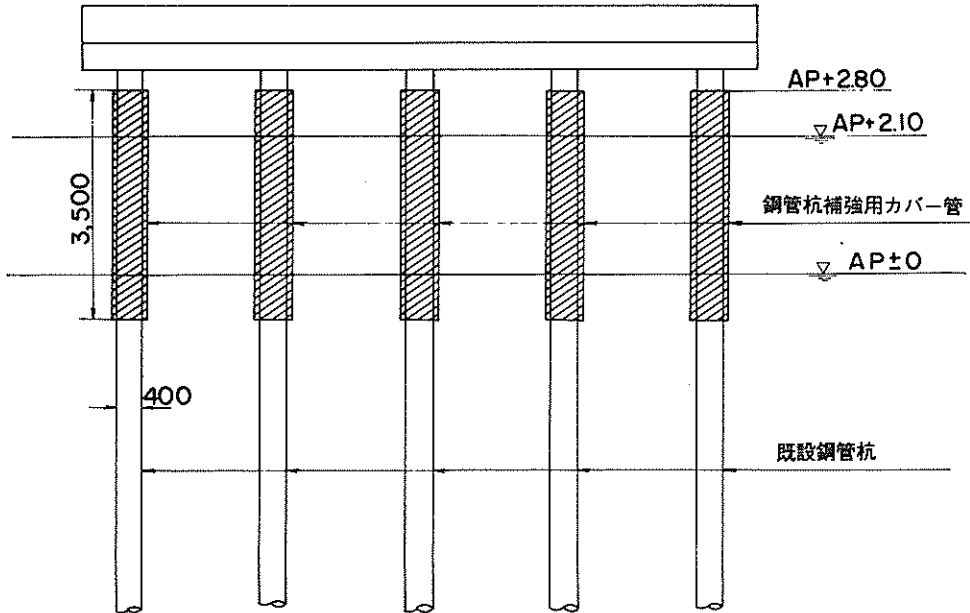
付図 2.2 東京港豊海水産埠頭棧橋、ドルフィン平面図



付図 2.3 東京港豊海水産埠頭ドルフィン断面図



付図 2.4 東京港豊海水産埠頭棧橋断面図



付図 2.5 東京港豊海水産埠頭鋼管杭の補強状況

2.2 調査年月および調査関係機関

調査は昭和48年12月に行なわれた。
調査に関係した機関は次の通りである。

東京都港湾局建設部港湾設計課
東京都港湾局東京港建設事務所
運輸省第2港湾建設局・横浜調査設計事務所
運輸省港湾技術研究所

なお、調査作業中、鋼管杭の回収工事は東京港建設事務所が、現地での観察は東京港建設事務所および運輸省港湾技術研究所が、現地における肉厚測定および室内における肉厚測定、観察は港湾技術研究所が主として行なった。

2.3 使用機器および用具

本調査で使用した機器および用具は次の通りである。

- (1)超音波式探傷厚み計一式(本体、陸上用探触子、高周波ケーブルなど)
- (2)クレーン(施工業者所有)
- (3)直流電弧溶接機一式(発電機、酸素ポンプ、溶接棒など、施工業者所有)(水中切断に使用)

(4)ガス切断機一式(陸上切断に使用)(施工業者所有)

(5)基準肉厚鋼板(SY-II)

(6)スクレーパー、ハンマ、ワイヤブラシなど

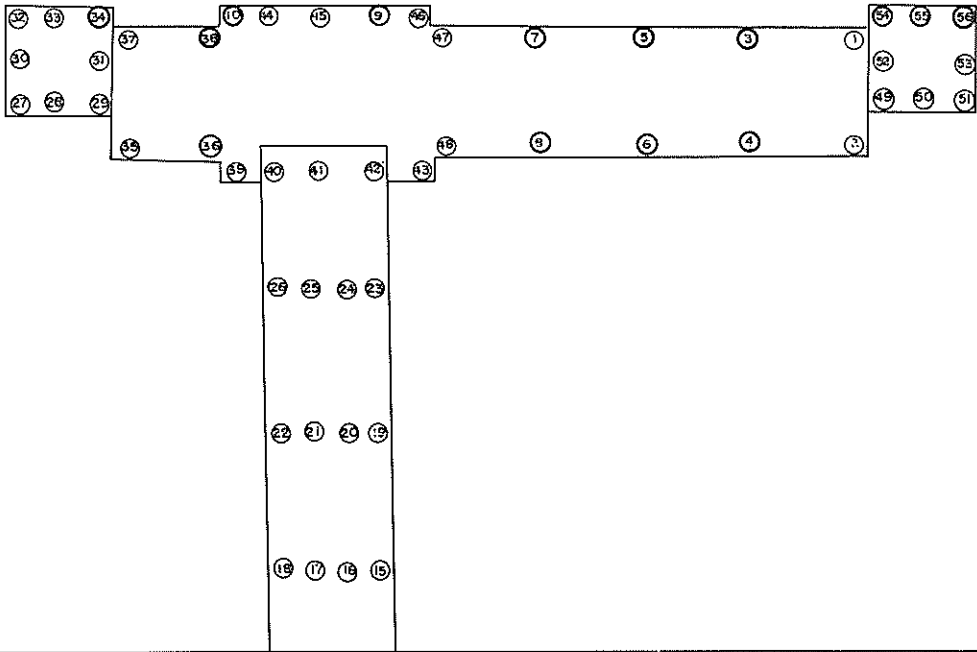
(7)カメラおよびフィルム(カラー)

(8)その他

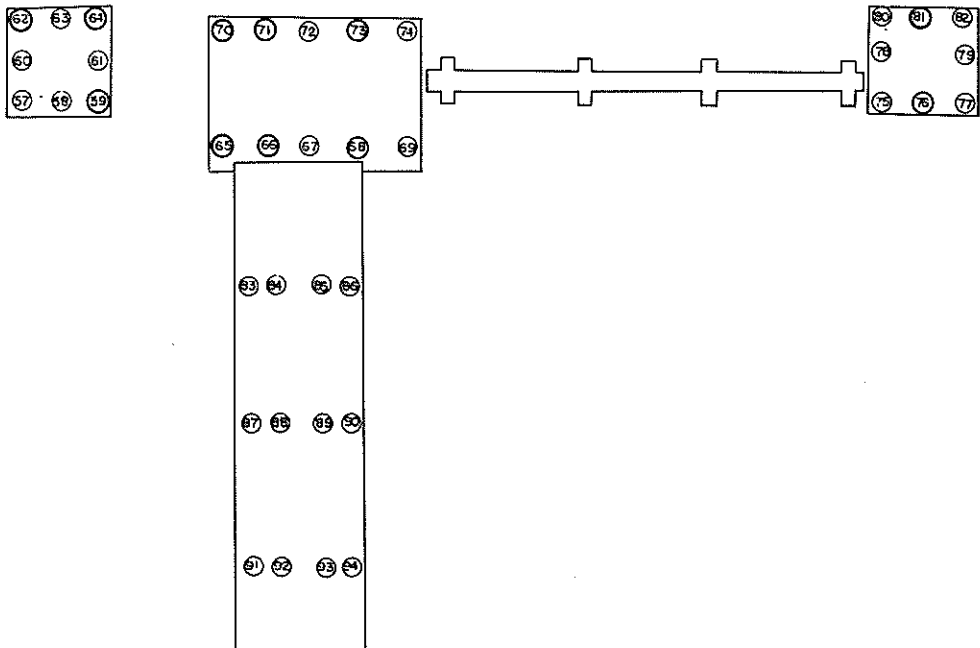
2.4 調査箇所

(1)調査杭の位置

回収後に観察、肉厚測定および試験片採取をした鋼管杭の位置を付図2.6、7に示す。



付図 2.6 東京港豊海水産埠頭調査鋼管杭位置図 (F₅)



付図 2.7 東京港豊海水産埠頭調査鋼管杭位置図 (F₄)

(2) 試験片の採取箇所

試験片 - 1.0 ~ - 18.0 m までは 1 m 毎に 15 cm 幅で採

取したが、- 0.1 m 以上はコンクリート下端 ~ - 0.1 m 間

を 1.2 m 長毎に採取した。

2.5 調査項目および調査方法

調査としては破壊調査の実施と環境調査資料の収集が行なわれた。破壊調査は回収鋼管杭の観察および肉厚測定、さらに回収鋼管杭から切取った試験片の観察および肉厚測定である。また、環境調査資料の収集は過去に行なわれた豊海水産埠頭周辺の水質および底質資料を収集した。

(1) 肉厚測定

引抜き鋼管杭の肉厚測定は、引抜き後鋼管杭を陸上に横たえてから所定の深度について陸上用探触子を取付けた超音波式探傷厚み計で行なわれた。なお、測定深度は引抜き鋼管杭の頭部から10cmピッチでとり、肉厚測定に先立って付着物を除去した。現地での肉厚測定は鋼管杭の外側から行なった。

いっぽう、所定の深度毎に15cm幅で試験片を輪切り状にガス切断して港研へ送付し、港研においての切取り片の肉厚測定を超音波式探傷厚み計(陸上用)で測定した。このときの肉厚測定は試験片の外側が平滑な場合は厚み計探触子を鋼管杭外側に押しあてたが、外側が平滑でない箇所に対しては鋼管杭内側から測定した。

(2) 観察

現地では引抜き前、引抜き直後および肉厚測定時にそれぞれ鋼管杭面を観察した。また、港研における肉厚測定時にも杭面の観察を行なった。

(3) 環境調査資料の収集

水質、底質資料は過去の調査資料^{12)~14)}より調査施設付近のデータを引用した。

2.6 調査結果

(1) 観察結果

引抜き前の海水面上の鋼管杭面の状況を写真2.1に示す。写真2.1は昭和47年5月13日(午前10時、AP-0.20m)に撮影した豊海水産埠頭F₄(付図2.1、2.7参照)の棧橋部分の杭面であり、±0m付近に穴があいている杭が見られる。穴のあいている杭は荷役棧橋部分(杭No.65~No.74)でNo.67、68、70、71、72、73、74、渡り棧橋部分(杭No.83~No.94)でNo.85、86、87、88、89である。観察時の潮位(AP-0.20m)およびコンクリート被覆下端(+2.60m)を基準として杭面の様子をみてみると、コンクリート下端(+2.60m)~+2.0m間は錆色に包まれておりフジツボは+2.0~+1.9m付近まで付着している。深度が下がるにつれてフジツボの他に黒い付着物が加わる。しかし、+0.38m付近から海水面にかけては杭面に穴が見られる。穴は杭が輪切り状のものから直径が1~2cmのようなものなど大きさはまちまちである。なお、写真2.1のようにこの深度で杭面に地肌が見られるのは、潜水夫が損傷箇所を観察するために脱錆したものである。

次に、引抜いた杭面の状況を写真2.2、写真2.3に示す。

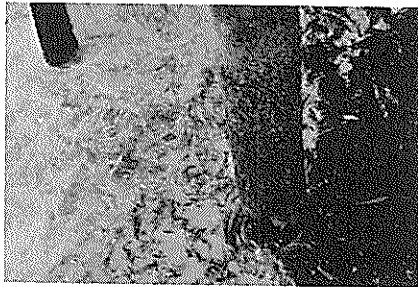


写真 2.1 東京港豊海水産埠頭、鋼管杭の腐食状況

写真 2.2 平均干潮面直下付近の腐食穴の状況
(東京港豊海水産埠頭)

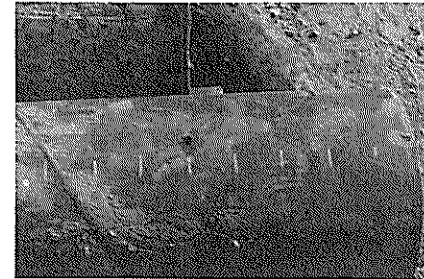
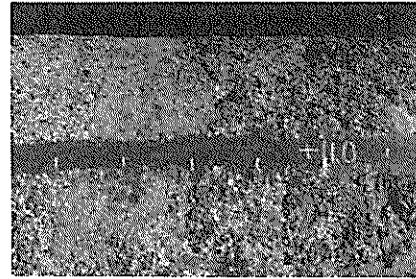
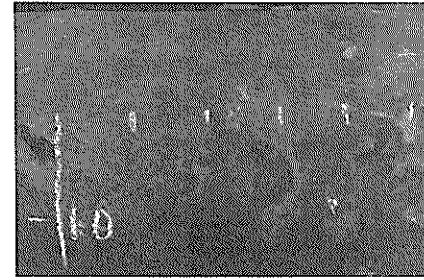
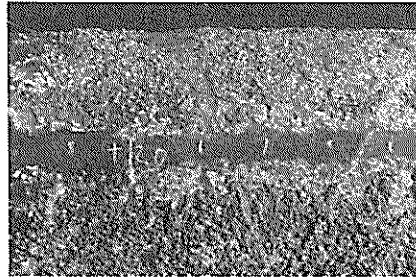
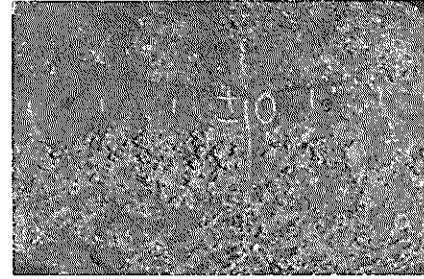
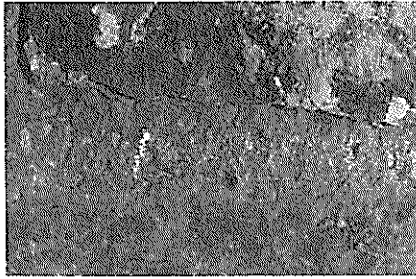
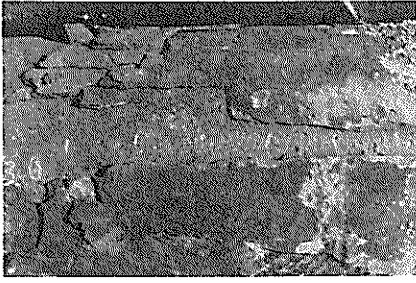


写真2.3 引抜き鋼管杭面の状況(東京港豊海水産埠頭 杭No.50)

(2) 肉厚測定結果

肉厚測定結果を図2.1～図2.6に示す。

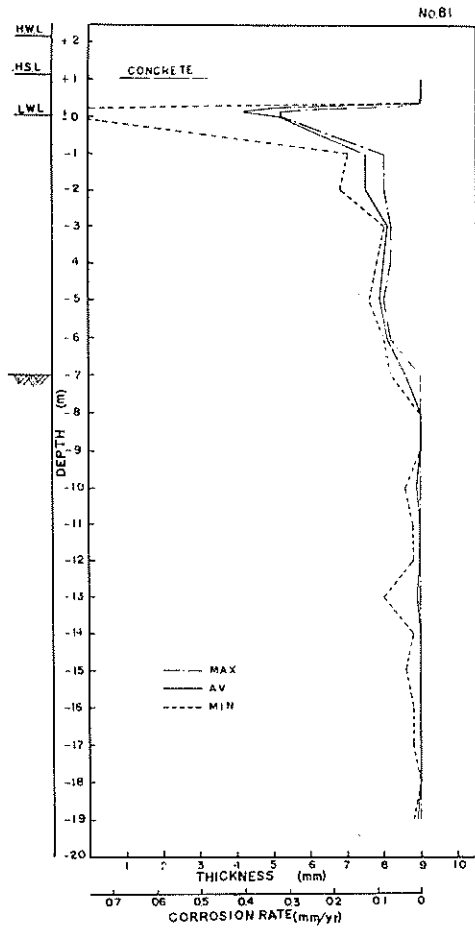


図2.1 東京港豊海水産埠頭における鋼管杭の腐食傾向(1)

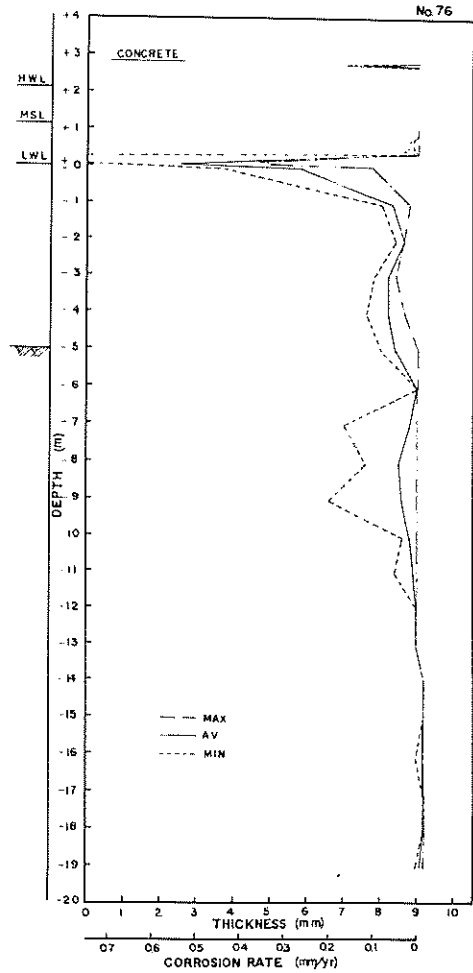


図2.2 東京港豊海水産埠頭における鋼管杭の腐食傾向(2)

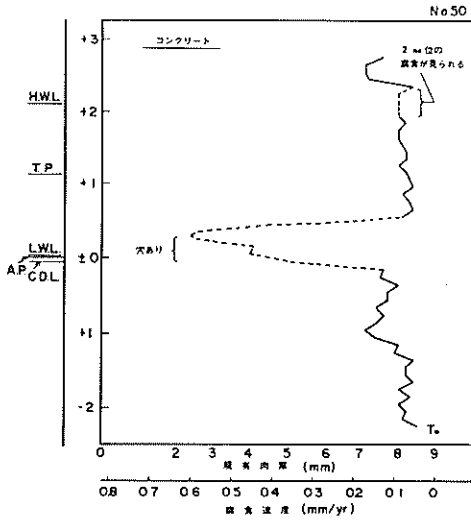


図 2.3 東京港豊海水産埠頭における鋼管杭の腐食傾向 (3)

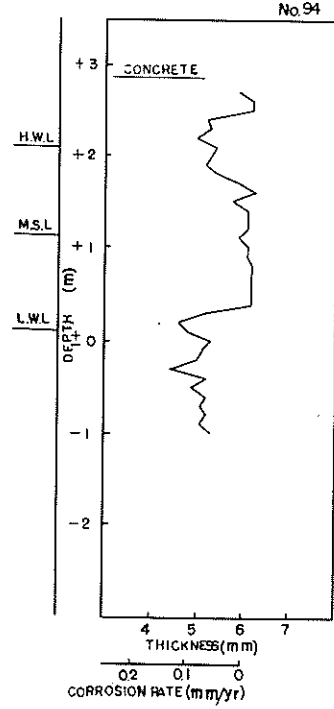


図 2.4 東京港豊海水産埠頭における鋼管杭の腐食傾向 (4)

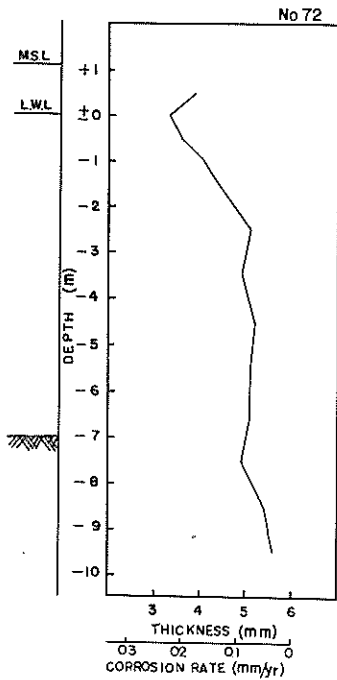


図 2.5 東京港豊海水産埠頭における鋼管杭の腐食傾向 (5)

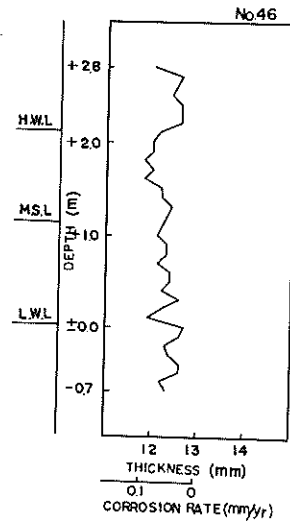


図 2.6 東京港豊海水産埠頭における鋼管杭補強ケーシングの腐食傾向

(3) 環境調査資料
水質調査資料を付表 2.1 に、底質調査資料を付表 2.2 に

示す。

付表2.1 水質試験結果

東京港

採水地点	採年 水月	水温 (℃)	pH	DO (ppm)	COD (ppm)	BOD (ppm)	Cl (%)	SS (ppm)	硫化物 (ppm)	透視度	採水 深度(m)
上流 A	S35.12	8.0	6.9	2.5			14.70				-3
	S36.7	27.0	5.8	0			2.93				
	S37.3	11.5	7.0	0.24			9.72				
上流 A	S44.1	9.5	7.0	2.40	36.9	21.9	5.55	18		19.0	
	S44.2	8.8	7.1	2.08	27.0	8.24	4.44	29		8.0	
	S44.3	9.0	6.8	1.28	32.0	10.3	3.44	27		11.0	
	S44.4	17.0	6.8	0.12	27.05	13.36	0.30	55		5.0	
	S44.5	20.0	6.9	0	30.9	16.5	3.63	29		10.0	
	S44.6	21.6	6.8	0	24.6	15.3	2.45	23		12.5	
	S44.7	21.5	6.7	0.34	24.2	12.4	0.77	51		6.3	
	S44.8	27.1	6.8	0.01	22.6	16.2	2.29	17		12.1	
	S44.9	19.8	6.9	0.60	15.4	9.36	2.02	23		15.0	
	S44.10	18.0	6.8	0.37	21.4	13.0	1.94	26		14.0	
	S44.11	16.0	7.0	0.45	17.6	9.23	4.21	20		21.3	
S44.12	13.8	7.0	0.76	19.3	14.0	3.54	17		12.3		
下流 A	S48	26.0	7.59	3.9	27.5		11.01	7	0	44.2	-2.42
上流 B	S36.5	22.7	7.0	0			4.00				
	S37.3	11.4	7.4	1.18			8.56				
下流 B	S46.5	19.5	<7.6	0.47	8.23	5.08	9.38	7.0		0.8m	-1
	S46.5	18.1	8.0	2.27	4.78	1.49	13.86	10.9		"	-4
	S46.8	28.9	8.7	13.00	13.36	7.60	12.94	<5		0.9m	-1
	S46.8	26.5	8.3	2.74	2.14	2.17	16.43	11.5		"	-5
	S46.10	18.1	7.6	4.21	3.00	1.85	10.36	<5		1.5m	-1
	S46.10	20.0	7.6	4.67	0.81	1.47	15.95	<5		"	-5.5
	S47.2	8.1	7.8	5.97	4.44	5.60	13.51	<5		1.0m	-1
	S47.2	10.7	8.2	6.92	1.96	0.72	17.51	<5		"	-4
	S47.2	10.7	8.2	6.87	1.27	0.28	17.87	<5		"	-7.5
対岸 A	S47	16.0	7.55	0	3.6		14.84	2	0.5	18.4	+0.65
対岸 B	S47	16.5	7.50	0.3	1.5		14.77	5	0.1	21.8	-0.63

付表2.2 底質試験結果

東京港

採泥地点	採年 泥月	採泥深度 (m)	泥色	臭気	泥温 (℃)	強熱減量 (乾泥%)	COD (mg/g)	硫化物 (mg/g)	硫酸塩 還元菌数/ℓ
対岸 A(1)	S47	-1.15~-1.65	黒	ドブ臭	16.0	10.4	49.96	1.74	
	"	-1.65~-2.15	"	"	"	11.0	36.33	1.02	
	"	-2.65~-3.15	"	"	16.8	8.9	24.08	0.55	
	"	-3.65~-4.15	暗灰	無臭	"	6.9	12.66	0.03	
対岸 A(2)	S47	-2.31~-2.81	黒	ドブ臭	17.5	15.6	58.29	6.63	
	"	-3.31~-3.81	"	"	18.0	9.5	39.96	1.78	
	"	-3.81~-4.21	暗灰	無臭	17.5	7.7	37.88	0.03	
対岸 B	S47	-1.63~-2.13	黒	ドブ臭	19.5	14.2	57.48	9.04	
	"	-2.13~-2.63	暗灰	無臭	19.5	5.3	6.38	0.05	
	"	-3.13~-3.63	"	"	20.0	4.5	6.02	0.03	
	"	-4.13~-4.63	"	"	21.0	6.0	10.73	0.08	
	"	-5.13~-5.63	"	"	21.0	5.8	11.34	0.08	
下流 A	S48	-2.52~-2.72	黒	ドブ臭	18.5	9.6	1.72	0.34	
	"	-3.42~-3.62	緑灰	無臭	18.0	4.1	15.46	0.07	
	"	-5.32~-5.52	黄褐	"	17.0	3.2	12.02	0.06	
下流 B	S46.5								4900
	S46.8								1200
	S46.10								400
	S47.2								25

※ cells/g (湿泥)

2.7 考 察

(1) 調査鋼管杭の腐食傾向

調査鋼管杭の腐食傾向は図2.3と図2.4の2通りがある。すなわち、一つの傾向は図2.3に示すように $+0.5\text{ m}$ ～ -0.1 m 間に腐食が集中して12年後の調査時点では穴があいており、穴の個所の腐食速度は 0.8 mm/yr 以上である。ただし、図2.3の腐食速度は腐食期間を調査時点までの12年として算出した値であり、穴は調査以前にあっていたことが観察されているので穴の個所の腐食速度はさらに大きく 1 mm/yr を超えることになる。もう一つの腐食傾向は図2.4に示すように $+0.5\text{ m}$ 直下付近の肉厚減少は多少大きくなるが、腐食速度は $0.1\sim 0.15\text{ mm/yr}$ 程度で穴があくまでには至らない。

これに対して、これまでに行なった鋼管杭の調査3例（下関港第1突堤先端ドルフィン、博多港須崎橋、須磨船積橋）では何れも図2.3、図2.4のような腐食傾向は見られず深度方向による腐食量差はほとんどない。

(2) 各ゾーンにおける腐食量

HWL付近の腐食量

コンクリート被覆がHWL上（ドルフィンでは $+2.88\text{ m}$ 、棧橋では $+2.60\text{ m}$ ）にとどまっている鋼管杭では、HWL上（ $+2.5\text{ m}$ 付近）に厚い錆層に覆われた箇所があり、この腐食速度は 0.2 mm/yr 程度である。なお、 6 mm 厚の鋼管杭で12年後に小さな穴があいている杭が1、2見られた。写真2.4にコンクリート直下の腐食例を示す。写真2.4ではコンクリート被覆下端（ $+2.88\text{ m}$ ）から $5\sim 10\text{ cm}$ 下に幅 5 cm 位の帯状の固い錆層に覆われた層があり、固い錆層を除去すると $1\sim 2\text{ mm}$ 位凹んでいる。HWLでは肉厚減量は 1 mm 内外であるが、 $1\sim 2\text{ mm}$ 程度の孔食が散見される（写真2.3）。

潮位間の腐食量

HWL～LWLの範囲を潮位間とすれば、潮位間の腐食は深度によって非常に異なる。HWLからM.S.LとLWLの間付近（ $+0.5\text{ m}$ 付近）にかけては腐食速度は 0.1 mm/yr もしくはこれ以下である。これに対して、 $+0.5\text{ m}$ ～ -0.1 m 間は腐食が集中してひどいところでは10年未満で穴があいている。なお、近接鋼矢板の腐食傾向は写真2.5のように(a)のパターン（平均干潮面直下部の凸面のみ腐食が集中する）が発生しており、集中腐食の深度は豊海水産埠頭の鋼管杭の場合と一致する。

海中の腐食量

海中の腐食量はLWLより -2 m 付近にかけて急減し、 -2 m 以深では平均腐食速度は 0.1 mm/yr 以下となる。

海泥中の腐食量

海泥中の平均腐食速度は 0.05 mm/yr 以下であるが、深度が深くなると 0 mm/yr に近い値である。杭76



写真2.4 コンクリート被覆（ $+2.88\text{ m}$ ）直下部の腐食状況（東京港）

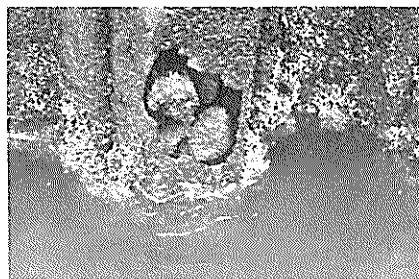


写真2.5 東京港における鋼矢板腐食例

（図2.2）では $-7\sim -9\text{ m}$ にかけて $\phi 2\sim 5\text{ cm}$ 位の大きさの凹み個所が散見されており、凹み個所の腐食速度は $0.1\sim 0.2\text{ mm/yr}$ と大きい。また、杭81（図2.1）では -1.3 m の深度で 0.08 mm/yr 程度の凹み個所が見られる。いっぽう、杭先端部（ $-1.8\sim -1.9\text{ m}$ ）は打込みにより塗膜が剥げやすい個所であるが腐食速度は 0.02 mm/yr 以下である。したがって、このことから泥中で 0.1 mm/yr を超える大きな腐食量が発生した現象は単に打込み時の塗膜剝離のみに発生因を求めることに難点がある。表2.3の底質資料によれば、海泥上層部にドブ臭があり、また硫酸塩還元バクテリアの存在なども検出されており、下層部より上層部の方が汚染されていることがうかがわれる。杭76では海泥上層部に比較的大きな腐食個所が散見されているが、これは底質の汚染と何らかの関係があるのかも想像されるがはっきりしない。海泥中に散見される孔食は鋼管杭よりも輸送管などで問題となろう。

(3) 集中腐食

平均干潮面直下部に見られる集中腐食は調査鋼管杭が川口付近に位置したことに起因するものと思われるが、鋼管杭での集中腐食発生例は少ないのでここでは鋼管杭の腐食

傾向に関係ありそのような事項を列挙するにとどめる。

(イ)水質：付表2.1にみられるように普通の海水よりかなり汚染されている。

(ロ)底質：海底面下2 m位は汚染川水の影響を受けている(付表2.2)。

(ハ)接舷船舶からの排水によって海水面が白濁したことがある(写真2.1)。

(ニ)近接銅矢板の腐食傾向は(a)であり、銅矢板の集中腐食の発生深度は鋼管杭の集中腐食の発生深度と一致する(写真2.5)。

(ホ)表2.2の塩分量より海水の比抵抗は数10~100Ω-cm程度と推定される。

(ヘ)攪拌の著しくないときにはある程度川水と海水の成層の存在が予想される。

(ト)汚染海域でも平均干潮面を狭む上下方向にマクロセルが発生した例がある。

(チ)既報の銅矢板の腐食傾向は海水汚染にあまり関係ない。

(リ)鋼管は塗装(黒色)されていた。

(ル)海洋付着物は少ない。

(レ)塗装は回収時(12年後)には海泥中のみに残っていた。

(4) コンクリート被覆深度

調査鋼管杭ではコンクリート被覆はH.W.L上とM.S.L付近の二通りあったが、平均干潮面直下部にはどちらのケースでも集中腐食が発生した(図2.1、図2.2)。このことから、もし集中腐食がマクロセルに起因するものであればマクロセルのカソード域はM.S.L~平均干潮面間とみなせる。また、コンクリート被覆を下げたときコンクリート被覆直下の裸鋼材面の腐食が激しいという見方があるが、写真2.6に示すようにその心配はみられない。このことは実験によっても確かめられている。

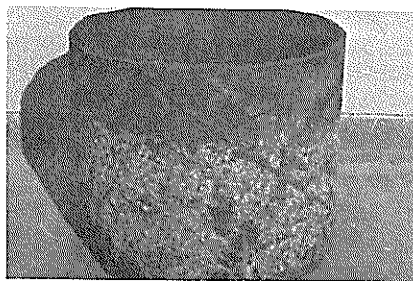


写真2.6 コンクリート被覆(+1.0 m)直下部の腐食状況(東京港)

(5) 塗装効果

12年後では海泥中以外は塗膜はほとんど見られなかったが、海泥中では打込み先端から約1 mの範囲に打込み傷があり、その他の深度では部分的に塗膜が剥けている個所があった。

平均干潮面直下部の集中腐食やH.W.L直上部の腐食に対しては塗装効果はほとんどみられない。

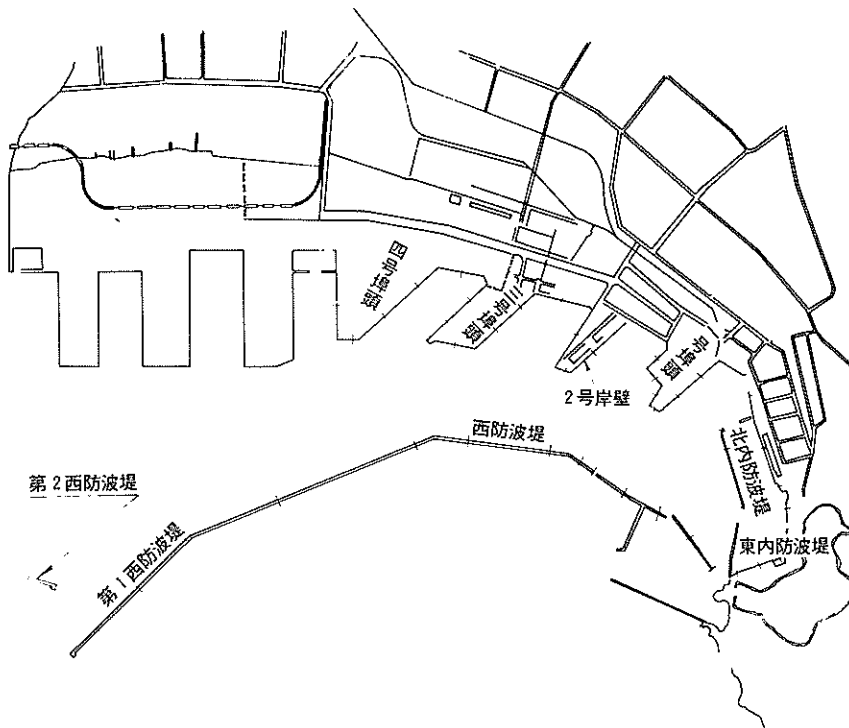
3. 小名浜港における腐食調査

3.1 調査構造物

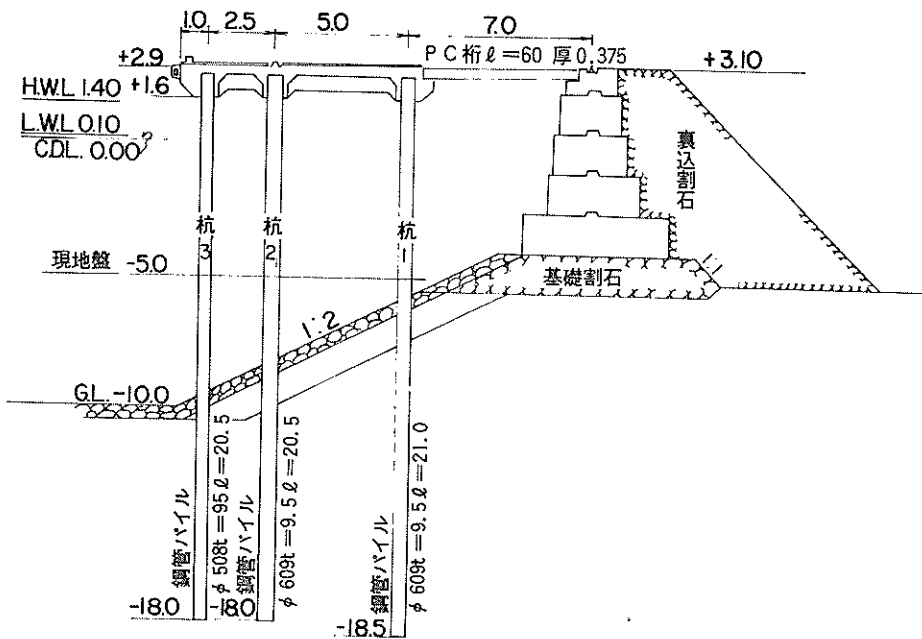
調査構造物は表3.1に示す鋼管杭式横棧橋である。調査構造物の位置図を付図3.1、断面図を付図3.2に示す。

表3.1 調査鋼構造物

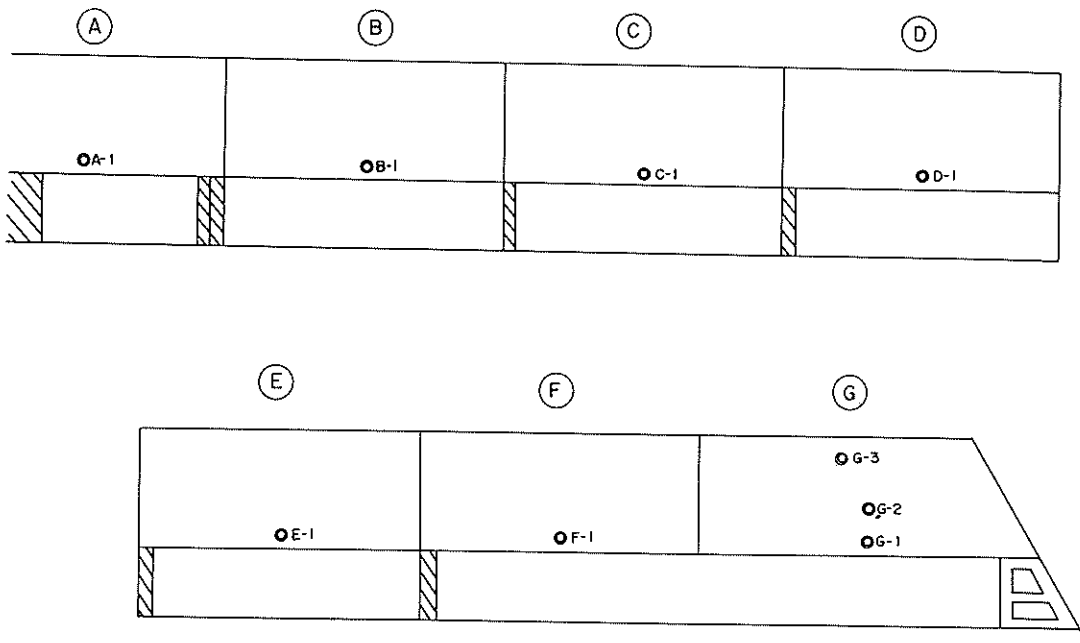
港名	施設名	水深(m)	鋼管杭寸法			延長(m)	施工年	経過期間(yr)	防食法
			D(mm)	t(mm)	ℓ(m)				
小名浜港	2号埠頭2号岸壁	-5.3	609	9.5	21.0	185	S.39	9	電気防食(外電式)
		-7.6	609	9.5	22.0				
		-8.9	508	9.5	20.5				



付図 3.1 小名浜港 2 号埠頭 2 号岸壁位置図



付図 3.2 小名浜港 2 号埠頭 2 号岸壁断面図



付図3.3 肉厚測定杭の位置図

3.2 調査年月および調査関係機関

調査は昭和48年7月に行なわれた。

調査に関係した機関は次の通りである。

福島県土木部港湾課

福島県小名浜港湾建設事務所

運輸省第2港湾建設局・横浜調査設計事務所

運輸省港湾技術研究所

なお、調査は現地で福島県小名浜港湾建設事務所の協力を得て運輸省港湾技術研究所が実施した。

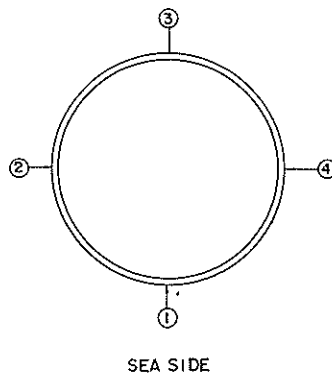
3.3 使用機器

本調査で使用した機器および用具は次の通りである。

- (1)超音波式探傷厚み計(本体、水中用探触子、高周波ケーブルなど)。
- (2)基準肉厚鋼板(SY-II)。
- (3)スクレーパ、ハンマ、ワイヤブラシなど。
- (4)カメラおよびフィルム(カラー)
- (5)その他

3.4 調査箇所

2号埠頭2号岸壁は付図3.3に示すようにA~Gの7スパンよりなっている。また、付図3.2の断面図に示すように基礎鋼管杭は-5.3m、-7.6m、-8.9mの三通りの水深となっている。肉厚測定用鋼管杭は延長方向は各ス

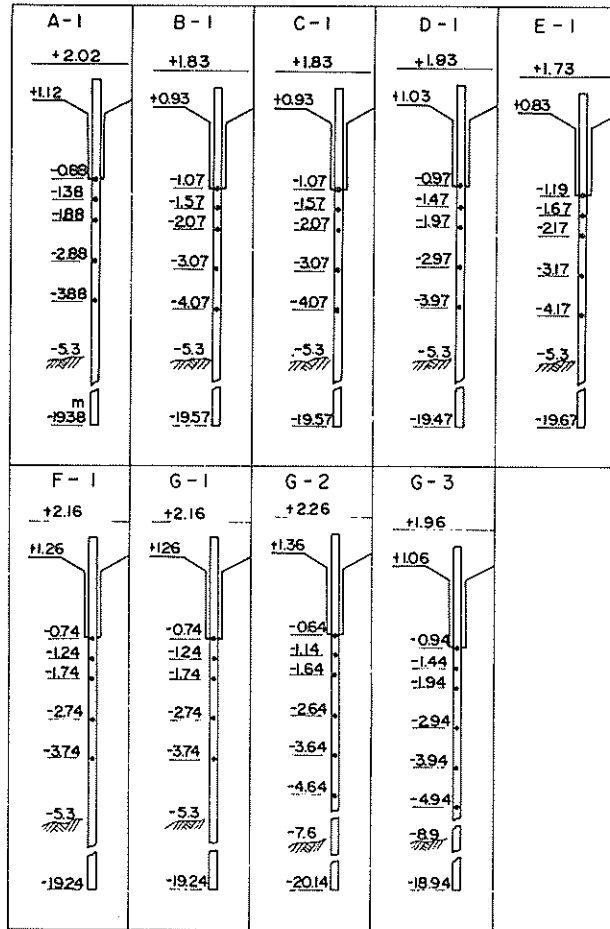


付図3.4 肉厚測定箇所(断面方向)

ンより1断面を、断面方向は最も浅い-5.3mのものを選んだ。ただし、Gスパンのみは1断面について三通りの水深の3本を選んだ。肉厚測定用杭の番号は、各スパンから選んだ1断面には各スパンの位置を示す符号を付け、断面方向は水深の浅い杭から順次1、2、3とした。したがって、肉厚測定用杭は次の9本であり杭の位置は付図3.3に示す。

A-1 B-1 C-1 D-1
E-1 F-1 G-1、2、3

なお、各スパンから最も水深の浅い杭を測定の対象としたのは、鋼矢板では水深の浅い方が集中腐食が平均干潮面



付図 3.5 鋼管杭肉厚測定深度（小名浜港）

直下付近に発生しやすい傾向のある¹⁾ことを参考としたためである。各測定杭の肉厚測定箇所は、断面方向は付図 3.4 のように 4 方向、深度方向は付図 3.5 のように 5～6 深度である。なお、付図 3.5 の測定深度はコンクリート被覆下端深度を潮位面より算出し、以下これを基準として 50 cm または 100 cm ビッチで出した。

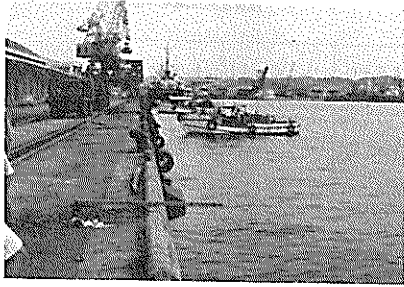
3.5 調査項目および調査方法

調査は超音波式探傷厚み計による鋼管杭肉厚の非破壊測定および潜水夫による肉眼観察が行われた。

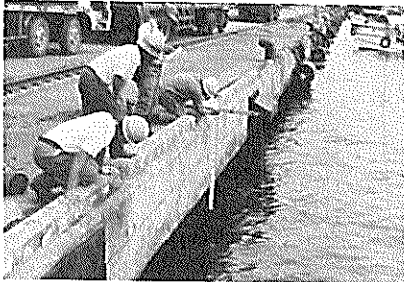
(1) 肉厚測定

超音波式探傷厚み計（水中用）による肉厚測定は港湾調査指針 3・2・2・d(イ)の方法で行なった。肉厚測定に先立って測定箇所の付着物をスケーラで除去した。次に、コンクリート被覆下端を基準として付図 3.5 に示す測定深

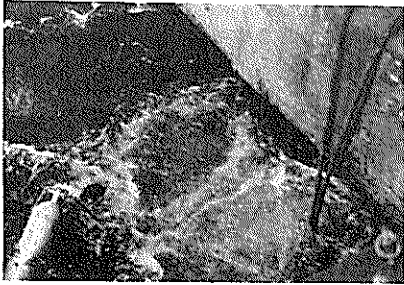
度をマークし、各測定箇所の 10 cm×10 cm 程度の面積についてさらに固着している錆層をスケーラおよびハンマで除去して鋼材の地肌を出した。付着物除去が終了すると、厚み計本体を測定杭の上部コンクリート上に設置し、厚み計に接続してある探触子を潜水夫が測定箇所にあてる。このとき、探触子は探触子先端部に付けてある磁石により鋼管杭面に吸着される。探触子の吸着と同時に厚み計本体で鋼管杭の肉厚を読み取る。肉厚測定は探触子の押しあて吸着を繰り返して 1 箇所につき 3～7 回行なった。写真 3.1 に測定状況を示す。



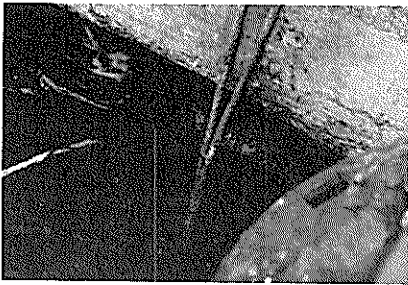
A、Bスパンにおける付着物除去作業中の潜水夫船



潮位より調査深度の測定状況



潜水夫による付着物除去および探触子押しあて作業状況



潜水夫（アクアラング使用）による付着物除去作業状況

写真3.1 小名浜港（2号埠頭2号岸壁）における腐食調査状況

3.6 調査結果

超音波式探傷厚み計（水中用）による鋼管杭の内厚測定結果は付表3.1～付表3.9の通りである。付表3.1～付表3.9より各測定杭の深度毎の平均現有内厚を図示すると図3.1の通りである。なお、2号埠頭2号岸壁は沈下しているため図3.1では現有内厚を建設時（S39年）と調査時（S48年）の深度で示してある。なお、2号岸壁では電気防食（外部電源法）が施工されていたが、調査時点では防食作用は十分ではなかった。

付表3.1 鋼管杭の内厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位：mm

杭 号	断面方向		深 度 (m)				
			-0.88	-1.38	-1.88	-2.88	-3.88
A-1	①	最大値	9.6	9.4	9.4	9.6	9.8
		最小値	9.6	9.2	9.4	9.2	9.6
		平均値	9.6	9.3	9.4	9.4	9.7
	②	最大値	9.4	9.6	9.4	9.4	9.6
		最小値	9.4	9.6	9.2	9.4	9.4
		平均値	9.4	9.6	9.3	9.4	9.5
	③	最大値	9.4	9.6	9.6	9.6	9.6
		最小値	9.2	9.5	9.5	9.6	9.5
		平均値	9.3	9.6	9.5	9.6	9.5
	④	最大値	9.4	9.4	9.4	9.5	9.4
		最小値	9.2	9.4	9.2	9.0	9.0
		平均値	9.3	9.4	9.3	9.2	9.2
	平均 値		9.4	9.5	9.4	9.4	9.5
	標準 偏差		0.13	0.12	0.12	0.21	0.23

付表3.2 鋼管杭の内厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位：mm

杭 号	断面方向		深 度 (m)				
			-1.07	-1.57	-2.07	-3.07	-4.07
B-1	①	最大値	9.4	9.6	9.6	9.6	9.6
		最小値	9.2	9.4	9.4	9.4	9.5
		平均値	9.3	9.5	9.5	9.5	9.6
	②	最大値	9.6	9.4	9.6	9.5	9.4
		最小値	9.5	9.0	9.5	9.4	9.4
		平均値	9.6	9.2	9.6	9.5	9.4
	③	最大値	9.5	9.5	9.6	9.5	9.4
		最小値	9.2	9.5	9.5	9.4	9.4
		平均値	9.4	9.5	9.6	9.4	9.4
	④	最大値	9.5	9.6	9.4	9.6	9.4
		最小値	9.4	9.5	9.2	9.5	9.2
		平均値	9.5	9.6	9.3	9.5	9.3
	平均 値		9.4	9.4	9.5	9.5	9.4
	標準 偏差		0.18	0.18	0.14	0.07	0.11

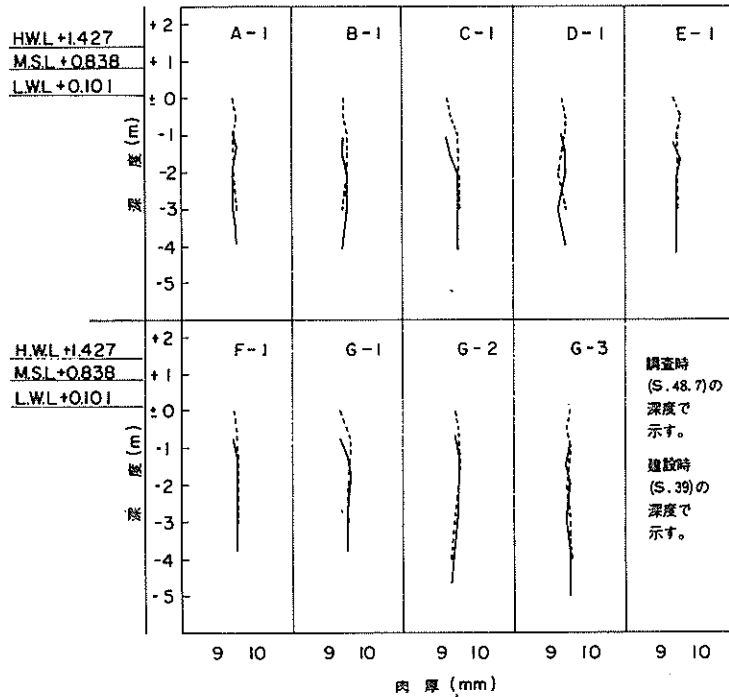


図 3.1 小名浜港 2 号埠頭 2 号岸壁鋼管の腐食傾向

付表 3.3 鋼管杭の肉厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位: mm

杭 名	断面方向		深 度 (m)				
			-1.07	-1.57	-2.07	-3.07	-4.07
C-1	①	最大値	9.6	9.4	9.5	9.5	9.5
		最小値	9.5	9.4	9.5	9.2	9.4
		平均値	9.6	9.4	9.5	9.4	9.4
	②	最大値	9.2	9.4	9.6	9.6	9.5
		最小値	8.4	9.2	9.5	9.6	9.5
		平均値	8.9	9.3	9.5	9.6	9.5
	③	最大値	9.4	9.4	9.5	9.6	9.4
		最小値	9.2	9.4	9.4	9.5	9.4
		平均値	9.3	9.4	9.4	9.5	9.4
	④	最大値	9.6	9.2	9.5	9.6	9.5
		最小値	9.0	9.0	9.5	9.6	9.4
		平均値	9.3	9.1	9.5	9.6	9.5
	平均 値		9.2	9.3	9.5	9.5	9.5
	標準 偏差		0.31	0.13	0.05	0.11	0.05

付表 3.4 鋼管杭の肉厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位: mm

杭 名	断面方向		深 度 (m)				
			-0.97	-1.47	-1.97	-2.97	-3.97
D-1	①	最大値	9.4	9.5	9.4	9.5	9.4
		最小値	9.2	9.2	9.2	9.2	9.4
		平均値	9.3	9.4	9.3	9.4	9.4
	②	最大値	9.5	9.5	9.5	9.2	9.5
		最小値	9.0	9.2	9.4	8.8	9.0
		平均値	9.3	9.4	9.5	9.0	9.3
	③	最大値	9.6	9.4	9.5	9.4	9.6
		最小値	9.4	9.4	8.8	9.0	9.5
		平均値	9.5	9.4	9.3	9.2	9.5
	④	最大値	9.2	9.6	9.6	9.5	9.5
		最小値	9.0	9.5	9.5	9.4	9.2
		平均値	9.1	9.6	9.5	9.4	9.4
	平均 値		9.3	9.4	9.4	9.2	9.4
	標準 偏差		0.20	0.12	0.22	0.20	0.16

付表 3.5 鋼管杭の肉厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位：mm

杭 号	断面方向		深 度 (m)				
			-1.17	-1.67	-2.17	-3.17	-4.17
E-1	①	最大値	9.6	9.6	9.5	9.6	9.4
		最小値	9.4	9.4	9.4	9.6	9.4
		平均値	9.5	9.5	9.5	9.6	9.4
	②	最大値	9.2	9.5	9.6	9.5	9.5
		最小値	8.6	9.4	9.4	9.4	9.4
		平均値	9.0	9.5	9.5	9.4	9.5
	③	最大値	9.5	9.6	9.6	9.2	9.4
		最小値	9.4	9.5	9.5	9.0	9.2
		平均値	9.5	9.5	9.5	9.2	9.3
	④	最大値	9.6	9.5	9.2	9.6	9.6
		最小値	9.4	9.4	9.0	9.0	9.5
		平均値	9.5	9.5	9.1	9.4	9.6
	平均 値		9.3	9.5	9.4	9.4	9.4
	標準 偏差		0.29	0.06	0.18	0.20	0.10

付表 3.7 鋼管杭の肉厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位：mm

杭 号	断面方向		深 度 (m)				
			-0.74	-1.24	-1.74	-2.74	-3.74
G-1	①	最大値	9.6	9.6	9.6	9.6	9.2
		最小値	9.2	9.5	9.4	9.5	9.0
		平均値	9.4	9.6	9.5	9.5	9.1
	②	最大値	9.6	9.6	9.8	9.5	9.6
		最小値	9.4	9.6	9.6	9.5	9.6
		平均値	9.5	9.6	9.7	9.5	9.6
	③	最大値	9.4	9.6	9.6	9.5	9.6
		最小値	9.2	9.4	9.5	9.4	9.5
		平均値	9.3	9.5	9.5	9.5	9.6
	④	最大値	9.2	9.4	9.6	9.6	9.6
		最小値	9.0	9.0	9.6	9.6	9.5
		平均値	9.1	9.3	9.6	9.6	9.5
	平均 値		9.3	9.5	9.6	9.5	9.5
	標準 偏差		0.20	0.17	0.08	0.06	0.20

付表 3.6 鋼管杭の肉厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位：mm

杭 号	断面方向		深 度 (m)				
			-0.74	-1.24	-1.74	-2.74	-3.74
F-1	①	最大値	9.4	9.5	9.6	9.5	9.6
		最小値	9.4	9.4	9.5	9.4	9.5
		平均値	9.4	9.5	9.6	9.4	9.6
	②	最大値	9.6	9.4	9.6	9.5	9.6
		最小値	9.5	9.2	9.5	9.2	9.4
		平均値	9.5	9.3	9.6	9.4	9.5
	③	最大値	9.4	9.5	9.6	9.5	9.6
		最小値	9.2	9.4	9.5	9.5	9.5
		平均値	9.4	9.4	9.5	9.5	9.5
	④	最大値	9.5	9.6	9.6	9.6	9.5
		最小値	9.2	9.5	9.4	9.5	9.2
		平均値	9.4	9.6	9.5	9.5	9.3
	平均 値		9.4	9.5	9.5	9.5	9.5
	標準 偏差		0.11	0.10	0.06	0.11	0.13

付表 3.8 鋼管杭の肉厚測定結果

超音波探傷式厚み計による
単位：mm

杭 号	断面方向		深 度 (m)					
			-0.64	-1.14	-1.64	-2.64	-3.64	-4.64
G-2	①	最大値	9.6	9.6	9.6	9.4	9.4	9.4
		最小値	9.2	9.6	9.4	9.2	8.8	9.2
		平均値	9.4	9.6	9.5	9.3	9.1	9.4
	②	最大値	9.6	9.6	9.6	9.6	9.4	9.4
		最小値	9.5	9.2	9.4	9.4	9.2	9.2
		平均値	9.6	9.5	9.5	9.5	9.3	9.3
	③	最大値	9.6	9.6	9.5	9.8	9.8	9.5
		最小値	9.5	9.0	9.4	9.6	9.6	8.6
		平均値	9.5	9.4	9.4	9.7	9.7	9.2
	④	最大値	9.0	9.6	9.6	9.4	9.5	9.8
		最小値	9.0	9.6	9.5	9.4	9.4	8.6
		平均値	9.0	9.6	9.6	9.4	9.5	9.3
	平均 値		9.4	9.5	9.5	9.5	9.4	9.3
	標準 偏差		0.23	0.22	0.09	0.17	0.29	0.29

付表3.9 鋼管杭の肉厚測定結果
超音波探傷式厚み計による
単位：mm

杭名	断面方向		深 度 (m)					
			-0.94	-1.44	-1.94	-2.94	-3.94	-4.94
G-3	①	最大値	9.8	9.6	9.8	9.8	9.6	9.8
		最小値	9.2	9.4	9.6	9.2	9.4	9.6
		平均値	9.6	9.5	9.7	9.4	9.5	9.7
	②	最大値	9.8	9.8	9.6	9.6	9.8	9.8
		最小値	9.4	9.2	9.4	9.4	9.6	9.4
		平均値	9.5	9.4	9.5	9.5	9.7	9.6
	③	最大値	9.8	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
		最小値	9.4	8.8	9.0	9.0	9.2	9.4
		平均値	9.5	9.4	9.3	9.4	9.5	9.6
	④	最大値	9.6	9.6	9.6	9.4	9.6	9.4
		最小値	9.4	9.6	9.4	9.2	9.2	9.2
		平均値	9.4	9.6	9.5	9.4	9.5	9.3
	平均 値		9.5	9.4	9.5	9.4	9.5	9.5
	標準 偏差		0.17	0.22	0.23	0.19	0.16	0.20

3.7 考 察

図3.1によれば、測定鋼管杭の平均現有肉厚は9.2～9.5mmの範囲にある。付表3.1～付表3.9によれば測定深度毎の標準偏差は0.05～0.31mmであり、いま標準偏差が0.20mm (n=12) と0.31mm (n=18) のときの肉厚平均値の範囲を95%の信頼限界で求めてみると次のようになる。

$$\pm \frac{0.2}{\sqrt{12}} \times 2.201 = \pm 0.13 \quad (\text{mm})$$

$$\pm \frac{0.31}{\sqrt{18}} \times 2.201 = \pm 0.16 \quad (\text{mm})$$

したがって、測定鋼管杭の平均肉厚は9.0mm以上はあると推定される。いっぽう、付表3.1～付表3.9より最小肉厚が9mm以下であった測定箇所は次の5箇所である。

杭名	断面方向	深度(m)	最小値(mm)	平均値(mm)	最大値(mm)
C-1	②	-1.07	8.4	8.9	9.2
E-1	②	-1.17	8.6	9.0	9.2
G-2	③	-4.64	8.6	9.2	9.5
G-2	④	-4.64	8.6	9.3	9.8
G-3	③	-1.44	8.8	9.4	9.6

潜水夫による鋼管杭表面の内眼観察によれば、鋼管杭表面はほとんど平滑で微小の凹みが散在するとのことであつたが、上記5箇所がその顕著なところであらう。

調査鋼管杭ではコンクリート被覆が当初±0mまで下げられていたが、その後9年間の沈下によりコンクリート被

覆の下端は-1m近くまで下がっている。いっぽう、港湾における既設鋼構造物の腐食調査結果によれば、港湾鋼構造物には平均干潮面を狭んで上下方向にマクロ腐食が発生しやすい。マクロ腐食量に影響する要因はいろいろあるが⁽¹¹⁾2号埠頭2号岸壁では鋼材断面が円形である、コンクリート被覆が海水面下まで下がっていてマクロセルのカソードがコンクリート中である、水深が-5m以深である、淡水は存在しない等マクロ腐食量を小さくする条件が多い。

4. あとがき

東京港豊海水産埠頭および小名浜港2号埠頭2号岸壁の鋼管杭の腐食調査を実施して、次の結果を得た。

(1)港湾構造物の鋼管杭には、(イ)平均干潮面直下部に腐食が集中しこの箇所の腐食速度は0.8mm/yr以上(図2.3)(ロ)平均干潮面下の腐食速度は0.1～0.2mm/yr程度(図2.4)、(ハ)コンクリート被覆が海水面下まで下がっていると深度方向による腐食量差はほとんどない(図3.1)などの腐食傾向がある。

(2)鋼管杭の集中腐食は鋼矢板と同じくマクロ腐食によるものと予想されるが、集中腐食による損傷がひどいのは調査鋼管杭が川口付近に位置していたことに主因があると思われる。

(3)平均干潮面の上下方向に発生するマクロセルのカソード域はほぼM.S.L～平均干潮面間とみなせる。

(4)HWL上の防食にはコンクリート被覆が十分効果を示しているが、平均干潮面直下部の腐食に対してもコンクリート被覆を平均干潮面まで下げることは効果的と思われる。

(5)使用した塗装は、HWL上や平均干潮面直下部の腐食に対してはほとんど効果は認められない。

最後に、現地測定に協力して頂いた関係機関の方々には厚くお礼申し上げます。(1974年4月1日受付)

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾編：港湾調査指針605～646 日本港湾協会(1971)
- 2) 善、阿部：港研資料、449、1～136(1968)
- 3) 善、阿部：港研資料、484、1～87(1969)
- 4) 善、阿部：港研資料、499、1～99(1970)
- 5) 善、阿部：港研資料、4111、1～70(1971)
- 6) 善、阿部：港研資料、4128、1～86(1971)
- 7) 善、阿部：港研資料、4131、1～104(1972)
- 8) 善、阿部：港研資料、4138、1～101(1972)
- 9) 善、阿部：港研資料、4139、1～58(1972)
- 10) 善、阿部：港研資料、4147、1～81(1972)
- 11) 善：港研報告、Vol.12、41、141～194(1973)
- 12) 一都三県公害防止協議会：東京湾総合調査報告(1972)
- 13) 東京都公害局監視部：都内河川・内湾の水質(1973)
- 14) 東京都港湾局：東京湾運河底・水質調査報告書(1973)

港湾技研資料 No. 190

1974.6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

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