

# 港湾技研資料

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

No. 225      Sept. 1975

千葉港—10m岸壁鋼管杭における  
被覆材の防食効果

阿部正美

善一章

運輸省港湾技術研究所



# 千葉港－10m岸壁鋼管杭における被覆材の防食効果

## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	4
2. 調 査 方 法 .....	4
2.1 調査対象構造物 .....	4
2.2 調査塗膜 .....	5
2.3 塗装方法 .....	8
2.4 調査年月日 .....	11
2.5 使用機器 .....	12
2.6 調査箇所 .....	12
2.7 調査項目 .....	14
3. 調査結果および考察 .....	16
3.1 塗膜抵抗測定結果 .....	16
3.2 塗膜厚測定結果 .....	16
3.3 塗膜の観察結果 .....	18
3.4 塗膜の損傷箇所 .....	26
3.5 打込前の塗装鋼管杭の調査結果 .....	29
3.6 工事の際における塗膜損傷の発生状況 .....	29
3.7 塗膜の耐久性評価 .....	30
4. あ と が き .....	34
参 考 文 献 .....	34

# Protective effect of coatings applied to steel pipe piles of -10m quay wall at Chiba harbour

Masami Abe \*

Kazuaki Zen\*\*

## Synopsis

To make protective effect of coatings under practical conditions clear, four kinds of paints and three kinds of paints applying along with coating materials, such as glass or vinyl cloths, were applied to the portion above low water level of steel pipe piles of -10m quay wall at Chiba harbour and after 3.7 years the survey of coatings was done and the following results were obtained.

1) It was approved that in the case of steel pipe piles coated with good quality tar-epoxy paints independently whose film thicknesses were several hundreds micron or more, damage of the paints resulting from passing through by barnacle was nearly checked.

2) It was found that in the case of steel pipe piles coated with paints applying along with coating materials, such as glass or vinyl cloths, the protective effect of the coatings depended nearly on the kind of paint, and for instance, some tar system paints showed more good protective effect than an asphalt system paint.

3) In the range of +2.7m to +2.2m, where was above high water level and barnacle couldn't reach, in tar-epoxy paints, tar system or asphalt system paints applying along with coating materials, with the exception of chlorinated rubber paint, damages of coatings didn't nearly occurred.

4) In driving long coated steel pipe piles into sea water, coatings of 20 percent steel pipe piles got damaged and the damages of coatings were observed very often at the portion near high water level facing sea side.

---

\* Member, Structures Division

\*\* Senior Research Engineer, Structures Division

# 千葉港—10m岸壁鋼管杭における被覆材の防食効果

阿 部 正 美\*  
善 一 章\*\*

## 要 旨

実際条件下における被覆材の防食効果を明らかにするために、4種の塗料、3種の塗料とガラスまたはビニロン・クロスの覆装材とを併用した被覆材を、千葉港—10m岸壁鋼管杭L.W.L.上に適用し、3.7年後に被覆材の調査をして次の結果を得た。

- (1) 良質なタール・エポキシ系塗料を数百ミクロン以上の厚さに塗布したとき、フジツボの貫通による塗膜の損傷はほとんどないことがわかった。
- (2) ガラス・クロスまたはビニロン・クロスのような覆装材と塗料とを併用した塗装杭では、被覆材の防食効果はほとんど塗料の種類に左右され、例えばタール系塗料はアスファルト系塗料より良好な防食効果を示すことが明らかとなった。
- (3) H.W.L.上でフジツボが付着しないところ(+2.7~+2.2m)では、塩化ゴム系塗料を除きタール・エポキシ系塗料、タール系塗料、アスファルト系塗料の耐食性は大体良好であった。
- (4) 長尺の被覆鋼管杭を打込むとき、20%の鋼管杭の被覆材が損傷し、損傷箇所はH.W.L.付近の海側がほとんどであった。

---

\* 構造部

\*\* 構造部 防食主任研究官



## 1. ま え が き

港湾構造物の防食法の一つとして被覆材により防食を行なう方法があるが、港湾環境における被覆材の防食効果に関する資料は少ない。このことは塗膜の防食性調査のためには比較的試験が長期間を要することや調査のために現場条件を長期間確保しておくことが非常に難かしいためだと思われる。その上、塗膜面に複雑な劣化が生じている場合に、塗膜の性能評価をする方法が難かしいことにも原因すると思われる。さらに、室内試験や試験水槽中で塗膜の防食効果を検討する場合、自然環境の条件とかなり条件が異なってくる。特に海水中や潮位間においてはフジツボなど付着物に対する塗膜の影響が大きな問題となってくるので、現地条件下において実用試験を行なうことは、最も確実性の高い塗膜の防食効果を把握することが出来ると思われる。また、被覆材による防食法を検討する上からも現場条件下における塗膜の調査資料を数多く得ることは、実際に被覆材で構造物を防食するために必要なことである。このため、先に清水港において塗料のみによる実用試験を脚柱鋼管杭について行なった<sup>1)</sup>が、塗膜厚が150μ程度と薄かったため、付着物による損傷がひどく、4年未滿で付着物によりほとんどの塗膜が貫通した。したがって、今回は付着物に対する被覆材の抵抗を主として比較する意味から、塗料単味で膜厚を厚くしたものおよび覆装材(ビニロン・クロスやガラス・クロス)を塗料と併用したものについて現地で検討してみることにした。塗膜調査の試験方法や実際の塗膜調査例から、今回の調査条件に適すると思われる調査方法で調査を行なった。本報はその調査結果である。

## 2. 調査方法

### 2.1 調査対象構造物

千葉港で塗膜調査を行なった構造物は表2-1、図2-1、図2-2に示す、-10m3号岸壁の一部である。塗膜はこの脚柱鋼管杭37本の図2-3に示す如くL.W.L.上に塗布されている。

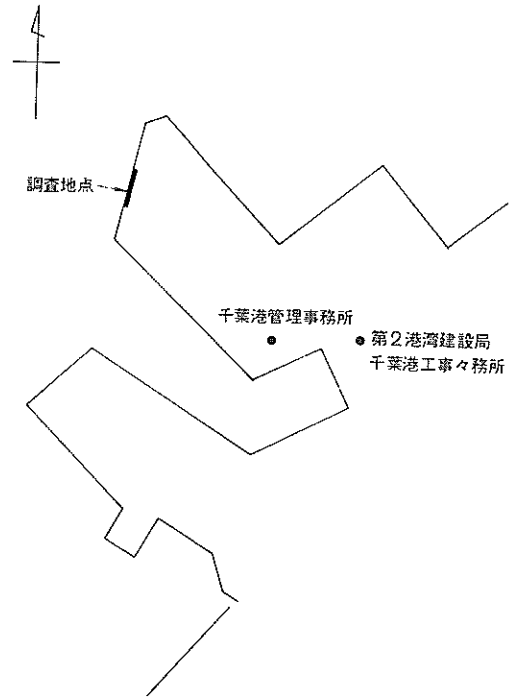


図 2-1 調査鋼構造物の位置図

表 2-1 千葉港における調査鋼構造物

構造物の名称	水深 (m)	鋼管杭			材質	延長 (m)	施工年月	経過期間 (年)	防食法	測定年月
		φ (mm)	t (mm)	ℓ (m)						
千葉港 - 10m 3号岸壁 (一部)	-10	812.8	12.7	15.0	STK41 STK50	30	S・44・10	3.7	塗料	S・48・8
				17.0						
				19.0						
				(上杭)						

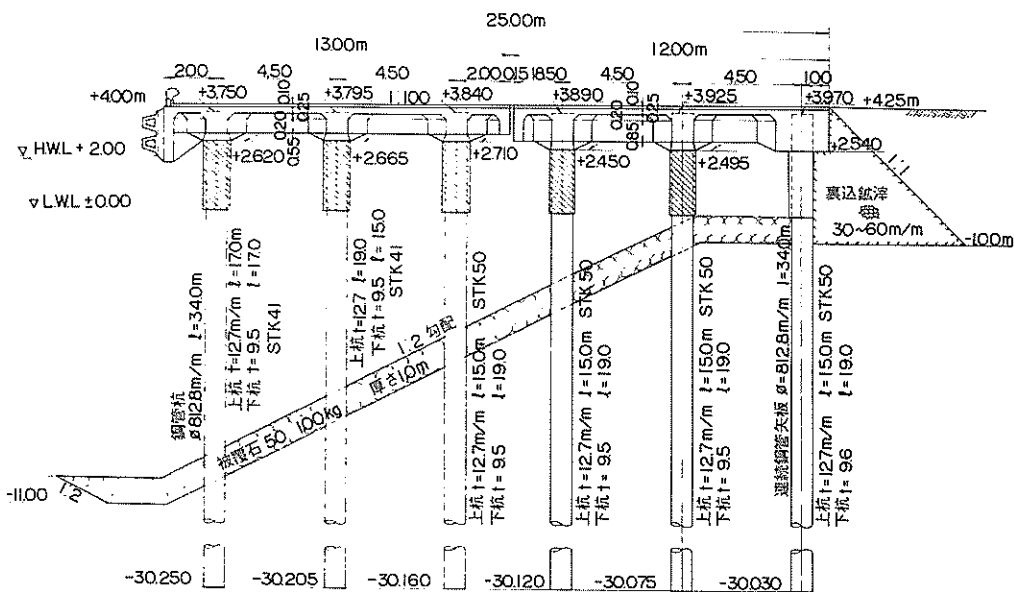


図 2-2 調査鋼構造物の断面図

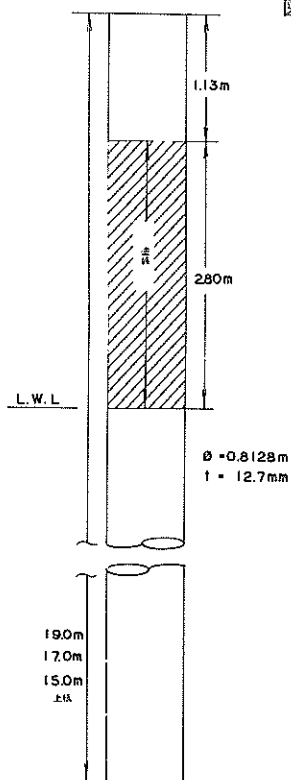


図 2-3 鋼管杭の塗装位置図

## 2.2 調査塗膜

調査した塗膜の塗装条件は表 2-2 の通りである。表 2-2 に示すように A 種塗装系～D 種塗装系においては塗料のみによる施工であるが、E 種塗装系～G 種塗装系については塗料の間にビニロン・クロスあるいはガラス・クロスを巻き込んだものが使用されている。そして、これら A 種塗装系～G 種塗装系の全塗装系は請負業者により塗布された。なお、塗装は請負業者の工場内で行なわれ、塗装後、請負業者により乾燥塗膜の膜厚測定が行なわれた。塗膜の測定状況を写真 2-1 に、測定結果を表 2-3 に示す。各塗装系の塗装状況を写真 2-2～写真 2-7 に示す。各塗装系の塗装仕様を以下に記す。

表 2 - 2 塗料の塗装条件

塗料種	塗料系	色	塗装回数	塗膜厚(μ)	仕上り塗膜厚(μ)	比重	配合比		塗布量(1回塗) g/m <sup>2</sup>	可使用時間 20℃ hr	指触乾燥 20℃ min	塗装間隔 20℃ hr	乾燥養生 20℃ 日	塗装方法	備考
							A	B							
A	タールエポキシ系 (ジンク・プライマー)	薄灰色	2回	20×20	240	232	70	30	100	5	5~6	1	—	スプレー	
		黒色	2回	100×2回			1.24	85	15	250	8	60	24	7~10	
B	タール・エポキシ系 (ショップ・プライマー)	赤錆色	1回	20×1回	1020		85	15	100	16	3	16	—	エアレススプレー	ゴム刷毛にて塗装
		黒褐色	1回	1000×1回			1	2	1500	1.5	240	24	5	刷毛塗り	
C	タール・エポキシ系 (鉛丹系プライマー)	橙赤色	1回	30×1回	530	1.360	95	5	120	6	15	5	—	エアレススプレー	
		黒色	1回	500×1回			1.225	85	15	550	2	600	10	3	
D	塩化ゴム系 (ゴム系用プライマー)	赤錆色	2回	45×2回	155				220		30	16	—	刷毛塗り	
		灰色	1回	35×1回					190		30	16	—	エアレススプレー	
		灰色	1回	30×1回					160		30	16	—	エアレススプレー	
E	コール・タールエナメル (ビニロン・クロス)	黒色	2回 2重巻	4000 } 6000	4000 } 6000						24		刷毛塗り	ゴム刷毛にて塗装	
F	コール・タールエナメル (ガラス・クロス)	黒色	2回 2重巻	4000 } 6000	4000 } 6000						24		刷毛塗り	ゴム刷毛にて塗装	
G	アスファルトエナメル (ビニロン・クロス)	黒色	2回 2重巻	4000 } 6000	4000 } 6000						24		刷毛塗り	ゴム刷毛にて塗装	

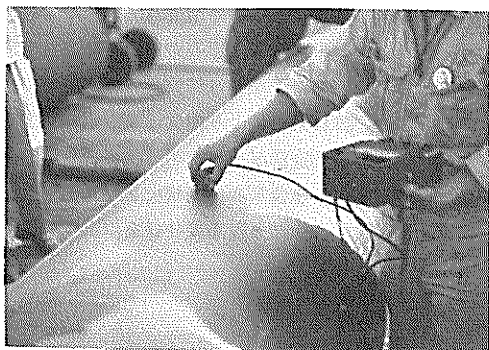


写真 2-1

ゲット式電磁微厚計による膜厚測定

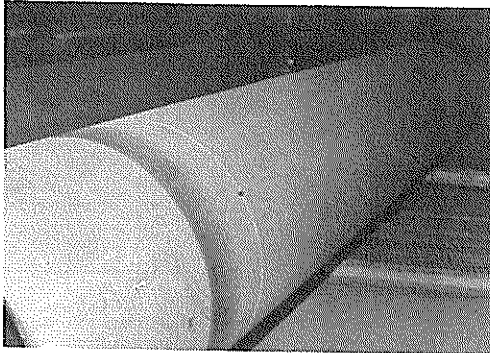
表 2-3 塗装された鋼管杭の膜厚測定結果

単位:  $\mu$ および $\sigma$

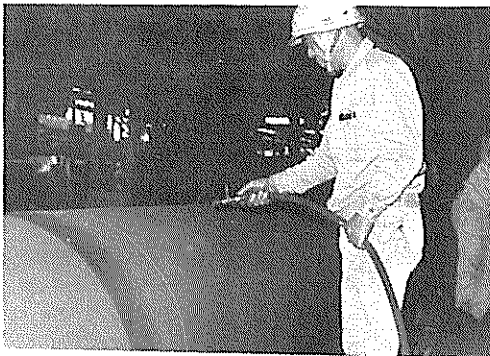
塗料種 別	1				2				3				4				5				
	測定 ヶ所	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
A	上	440	360	360	450	530	380	380	430	430	500	360	400	470	380	550	400	650	550	400	600
	中	440	470	400	360	480	370	450	440	380	340	390	420	340	420	470	300	640	480	380	520
	下	600	460	360	480	420	440	460	480	370	380	420	430	480	480	480	470	650	430	450	540
	平均, 偏差	$m=431.7\mu$	$\sigma=0.068$	$m=438.3\mu$	$\sigma=0.045$	$m=438.3\mu$	$\sigma=0.045$	$m=401.7\mu$	$\sigma=0.040$	$m=436.7\mu$	$\sigma=0.068$	$m=524.2\mu$	$\sigma=0.093$	$m=524.2\mu$	$\sigma=0.093$	$m=524.2\mu$	$\sigma=0.093$	$m=524.2\mu$	$\sigma=0.093$	$m=524.2\mu$	$\sigma=0.093$
B	上	0.90	1.45	1.40	1.10	1.40	1.40	1.60	1.40	1.30	1.10	0.60	1.70	1.45	1.35	1.85	1.40	1.20	1.20	1.60	1.60
	中	1.20	0.86	1.30	1.30	1.45	1.50	0.90	1.35	0.90	1.00	0.70	1.15	1.50	1.65	1.70	0.85	1.50	0.90	0.65	0.85
	下	1.15	0.85	1.25	1.10	1.20	1.50	0.90	1.15	1.15	1.10	0.85	0.85	0.90	1.30	1.80	1.80	0.75	0.85	1.20	1.30
	平均, 偏差	$m=1.16\mu$	$\sigma=0.194$	$m=1.31\mu$	$\sigma=0.219$	$m=1.03\mu$	$\sigma=0.279$	$m=1.46\mu$	$\sigma=0.317$	$m=1.13\mu$	$\sigma=0.317$	$m=1.13\mu$	$\sigma=0.317$	$m=1.13\mu$	$\sigma=0.317$	$m=1.13\mu$	$\sigma=0.317$	$m=1.13\mu$	$\sigma=0.317$	$m=1.13\mu$	$\sigma=0.317$
C	上	730	800	630	550	570	600	530	740	600	500	480	520	550	560	500	680	470	610	570	680
	中	900	620	700	530	510	560	560	700	540	520	460	520	620	540	480	560	470	550	540	660
	下	700	880	700	670	620	280	700	830	650	540	460	500	400	530	680	660	480	550	540	550
	平均, 偏差	$m=700.8\mu$	$\sigma=0.111$	$m=541.7\mu$	$\sigma=0.133$	$m=524.2\mu$	$\sigma=0.192$	$m=563.3\mu$	$\sigma=0.081$	$m=555.8\mu$	$\sigma=0.065$	$m=555.8\mu$	$\sigma=0.065$	$m=555.8\mu$	$\sigma=0.065$	$m=555.8\mu$	$\sigma=0.065$	$m=555.8\mu$	$\sigma=0.065$	$m=555.8\mu$	$\sigma=0.065$
D	上	150	175	160	150	190	155	160	180	135	180	170	165	150	160	195	175	180	170	150	170
	中	150	155	170	145	170	150	180	170	145	170	155	170	130	185	170	140	160	160	165	160
	下	165	170	170	160	180	160	170	165	140	175	140	160	130	145	190	145	220	180	160	160
	平均, 偏差	$m=160.0\mu$	$\sigma=0.010$	$m=169.2\mu$	$\sigma=0.011$	$m=158.8\mu$	$\sigma=0.015$	$m=159.6\mu$	$\sigma=0.022$	$m=169.6\mu$	$\sigma=0.017$	$m=169.6\mu$	$\sigma=0.017$	$m=169.6\mu$	$\sigma=0.017$	$m=169.6\mu$	$\sigma=0.017$	$m=169.6\mu$	$\sigma=0.017$	$m=169.6\mu$	$\sigma=0.017$
E	上	7.5	10.0	7.0	7.5	8.5	7.0	8.0	7.0	11.0	10.0	9.0	10.0	7.5	7.5	7.9	8.0	7.0	7.0	7.0	6.5
	中	11.0	9.0	8.2	7.0	6.0	6.2	7.2	6.8	9.5	10.0	9.5	10.0	6.5	6.2	6.1	6.5	7.0	6.6	6.8	7.0
	下	8.5	11.0	8.5	9.5	6.5	6.5	6.5	7.0	9.0	9.0	9.5	9.0	7.0	6.8	7.0	7.0	7.5	7.1	7.5	7.6
	平均, 偏差	$m=8.73\mu$	$\sigma=1.354$	$m=6.93\mu$	$\sigma=0.687$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$	$m=7.01\mu$	$\sigma=0.599$
F	上	6.5	6.5	6.9	6.8	7.5	7.0	8.0	7.5	10.0	10.0	9.5	9.5	11.0	11.0	9.0	11.0	7.0	7.0	7.0	6.8
	中	7.0	7.5	7.5	7.5	7.2	6.9	6.9	8.0	8.0	7.0	7.5	7.5	9.0	9.0	9.0	8.5	8.0	8.0	8.0	8.0
	下	8.0	8.0	8.0	7.5	8.0	6.9	6.8	6.5	8.0	7.8	8.5	7.5	9.0	11.0	11.0	11.5	7.5	8.0	8.0	7.5
	平均, 偏差	$m=7.31\mu$	$\sigma=0.533$	$m=7.26\mu$	$\sigma=0.501$	$m=8.45\mu$	$\sigma=1.08$	$m=9.95\mu$	$\sigma=0.436$	$m=7.56\mu$	$\sigma=0.473$	$m=7.56\mu$	$\sigma=0.473$	$m=7.56\mu$	$\sigma=0.473$	$m=7.56\mu$	$\sigma=0.473$	$m=7.56\mu$	$\sigma=0.473$	$m=7.56\mu$	$\sigma=0.473$
G	上	3.8	3.8	3.8	4.0	5.7	5.9	6.2	4.8	5.7	5.6	6.3	5.5	5.7	5.7	5.4	5.4	6.1	6.2	6.0	6.2
	中	6.2	6.2	6.2	6.1	4.7	4.7	4.8	4.8	7.1	6.7	5.6	6.9	5.8	6.0	6.1	6.1	6.2	5.4	6.2	6.1
	下	6.5	6.0	5.9	6.0	5.8	5.5	6.1	6.0	6.1	6.5	5.9	6.5	6.7	6.9	6.6	6.5	5.5	5.9	6.0	6.0
	平均, 偏差	$m=5.38\mu$	$\sigma=1.089$	$m=5.42\mu$	$\sigma=0.581$	$m=6.12\mu$	$\sigma=0.524$	$m=6.08\mu$	$\sigma=0.483$	$m=5.98\mu$	$\sigma=0.258$	$m=6.08\mu$	$\sigma=0.483$	$m=5.98\mu$	$\sigma=0.258$	$m=6.08\mu$	$\sigma=0.483$	$m=5.98\mu$	$\sigma=0.258$	$m=6.08\mu$	$\sigma=0.483$

### 2.3 塗装方法

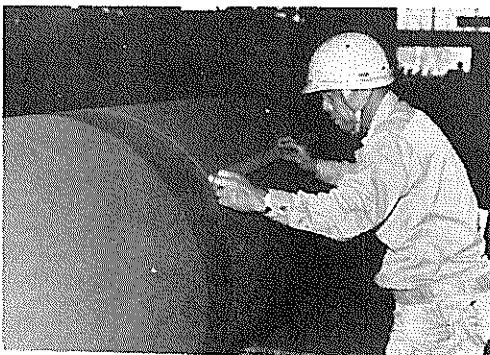
塗装される鋼管杭の下地処理条件としては、ショット・ブラスト法を用いてミルスケール (mill scale) や他の錆を完全に除去し、油類、湿気、水分その他の付着物を取り除いた。その上、鋼管杭の塗装表面の粗さを50 $\mu$ 以下に仕上げた。ショット・ブラストされた鋼管杭の状況を写真2-8に示す。



ショット・ブラスト処理された鋼管杭



圧搾空気により鋼面の清掃



塗装範囲の寸法入れ

写真 2-8 鋼管杭の下地処理

#### 2.3.1 A種塗料の塗装仕様

この塗装系は下塗り塗料としてはジंकリッチ系のプライマーを使用している。上塗り塗料にはタール・エポキシ系の塗料を塗装した塗装系である。

##### 1) 下塗り塗料の塗装

塗料の調整は使用前に所定の混合比 (A/B=70/30) にしたがって混合、攪拌を十分に行う。塗装はスプレー塗装で行い、2回塗りとして仕上り膜厚は40 $\mu$ 程度とする。(1回塗りの膜厚は20 $\mu$ とし、塗布量は100 $g/m^2$ 程度である)

##### 2) 上塗り塗料の塗装

塗料の調整は下塗り塗料と同様に、使用前に所定の混合比 (A/B=85/15) に従って混合、攪拌を行う。塗装はエアレス・スプレー塗装で行い必要に応じて塗料用シンナーを用いて希釈する(希釈率は10%以内)。塗装は2回塗りとし、膜厚は200 $\mu$ 程度に仕上げる。なお、1回塗りの膜厚は100 $\mu$ 程度とし、塗布量は250 $g/m^2$ 程度である。上塗り塗料の塗料性状を表2-4に示す。

表2-4 A種塗料(上塗り)の塗料性状

項目	成績
粘度 (KU/25℃)	90~110 (塗料液)
粘度 (KU/25℃)	90~110 (混合液)
比重	1.24 (混合后)
乾燥時間 (指触)	1 時間
乾燥時間 (硬化)	15~24 時間
完全硬化	7~10 日
可使時間 (40℃)	8 時間
有機溶剤 (区分)	第 2 種
色	黒・ブラウン

### 2.3.2 B種塗料の塗装仕様

この塗装系は下塗り塗料にショップ・プライマーを塗布し、上塗り塗料にはA種塗料と同じようにタール・エポキシ系塗料を用いているが、下塗り塗料の塗布回数を1回、上塗り塗料の塗布回数を1回として、仕上りの膜厚を1020 $\mu$ 程度にしている。A種塗装系の4倍程度の膜厚を有している厚塗り塗装である。

#### 1) 下塗り塗料の塗装

塗料の調整は所定の混合比(A/B=85/15)に従い混合、攪拌する。塗装はエアレス・スプレー塗装として、プライマー用シンナーを用いて必要に応じて希釈する(希釈率10~20%)。塗装は1回塗りの塗膜厚を20 $\mu$ 程度に仕上げる。塗布量は約100 $g/m^2$ である。

#### 2) 上塗り塗料の塗装

塗料の調整を所定の混合比(A/B=1/2)に混合し、良く攪拌を行う。A液とB液の混合はA液をB液中に移し混合、攪拌を行う。この塗料の塗装は従来の刷毛塗りとは異なり、加熱型コール・タールエナメルの手塗りと同様にゴム刷毛(厚さ2~5mmのゴム板を5cm巾に切って先をつけて用いる。弾性があるので曲面の塗装には好適である)を用いて塗装する。ゴム刷毛で鋼管表面に力強く塗料を押し込むように塗りつける。つづいて塗布量を増して所定の膜厚(1020 $\mu$ )程度まで肉付け塗装を行う。上塗り塗料の塗料性状は表2-5に示す通りである。

表2-5 B種塗料(上塗り)の塗料性状

項目	成績
塗布量 (1回塗り)	max 2800 $g/m^2$ , med 1500 $g/m^2$ min 800 $g/m^2$
塗膜厚 (1回塗り)	max 2mm, med 1mm, min 0.5mm
指触乾燥	10 $^{\circ}C$ -8時間, 20 $^{\circ}C$ -6時間 30 $^{\circ}C$ -4時間
硬化乾燥	10 $^{\circ}C$ -48時間, 20 $^{\circ}C$ -24時間, 30 $^{\circ}C$ -12時間
乾燥養生期間	10 $^{\circ}C$ -7日, 20 $^{\circ}C$ -5日, 30 $^{\circ}C$ -3日
可使時間	10 $^{\circ}C$ -3日, 20 $^{\circ}C$ -1.5日 30 $^{\circ}C$ -1日

### 2.3.3 C種塗料の塗装仕様

この塗装系は下塗り塗料として鉛丹系プライマーを用い、上塗り塗料にはA種、B種塗料と同様にタール・エポキシ系塗料を用いている。上塗り、下塗りとも各1回塗りで仕上り塗膜は530 $\mu$ 程度である。

#### 1) 下塗り塗料の塗装

使用前に所定の混合比(A/B=95/5)に混合、攪拌する。塗装はエアレス・スプレー塗装を行い、必要に応じて塗料を専用シンナーで希釈する(希釈率5%以内)。1回塗りの塗膜厚は30 $\mu$ 程度、塗布量は約120 $g/m^2$ である。

#### 2) 上塗り塗料の塗装

使用前に所定の混合比(A/B=85/15)に従い混合、攪拌を十分に行う。塗装は下塗り塗装と同様にエアレス・スプレー塗装を行う。1回の塗膜厚を500 $\mu$ 程度に仕上げる。1回の塗布量は550 $g/m^2$ 程度である。

### 2.3.4 D種塗料の塗装仕様

この塗装系は塩化ゴム系塗料を用いており、下塗り用塗料、中塗り用塗料、上塗り用塗料に分かれている。下塗り塗装は2回行い塗膜厚は90 $\mu$ 程度で、塗布量は500 $g/m^2$ 程度である。中塗り塗料は1回塗りで塗膜厚は約35 $\mu$ 、塗布量は190 $g/m^2$ 程度である。また上塗り塗装は1回塗りで塗膜厚は30 $\mu$ 程度、塗布量は約160 $g/m^2$ である。A種塗装系~G種塗装系の中で仕上り塗膜厚が最も薄い塗装系である。しかし下塗り塗料の塗膜厚は最も厚い。

### 2.3.5 E種塗料の塗装仕様

この塗装系は下塗りとしてコール・タール用プライマーを用い、上塗り塗料には溶融コール・タールエナメルを塗装した塗装系である。その上、覆材材としてビロン・クロスを2重巻きに巻き込んで施工されている。

プライマーの塗装方法は刷毛塗りとし、塗布量は約70~110 $g/m^2$ である。

表2-6 コール・タールエナメルの加熱許容時間

コール・タール エナメル温度( $^{\circ}C$ )	加熱許容時間(h)
210	10
230	8
250	6



コール・タールエナメル塗装は、まず最初にコール・タールエナメルの溶解を行うが、溶解は変質を防ぐために溶解槽にフタをして行い、出来るだけ速かに塗装温度(210~250℃)に到達するように溶解する。コール・タールエナメルの加熱許容時間は表2-6に示す通りである。加熱許容時間を経過したものや溶解の際にフタをしてない状態のものを用いると相当密着性が低下するようである<sup>1)</sup>。塗覆装の方式は以下に記す通りである。

第1回コール・タールエナメル塗装→第1回覆装(ビニロン・クロス)→第2回コール・タールエナメル塗装→第2回覆装(ビニロン・クロス)

なお、この時に覆装材の布目が見えないように塗膜面を仕上げる。

イ) 鋼管を回転させながら溶解したコール・タールエナメルを注ぎ、口が管軸に平行移動出来る装置で注加して均一の厚さに塗装して行く。(写真2-6)

ロ) 覆装材は溶解エナメル中を通過させてエナメルを含ませてからラセン状に巻きつける。重なりは覆装材の巾×1/2+10mm程度とする。

ハ) 覆装材を巻きつける際は覆装表面を適当な方法で押さえ、アワの除去および塗りならしを行ないシワや縮みの出来ないようにする。

ニ) その他、JISG-3492水道用鋼管コール・ター

ルエナメル塗覆装方法に伴って実施する。

### 2.3.6 F種塗料の塗装仕様

B種塗料と同様にコール・タールエナメルを用いた塗装系であり覆装材にはビニロン・クロスの代りにガラス・クロスを利用している。塗装の仕様に関してはB種塗料の塗装と同じである。なお覆装材として用いられたガラス・クロスの品質を表2-7に示す。

### 2.3.7 G種塗料の塗装仕様

B種、F種塗料においては塗料としてコール・タールエナメルを用いたが、G種塗料はコール・タールエナメルの代りにアスファルト・エナメルを用いたものである。覆装材にはB種塗装系と同様にビニロン・クロスを使用した。

プライマーおよびアスファルト・エナメルの塗装に際してはB種塗装系に準じて行った。ただし、アスファルトの塗装温度は170~230℃として最高許容温度は250℃である。アスファルト・エナメルの加熱時間は表2-8に示す通りである。使用した耐熱用ビニロン・クロスの品質を表2-9に示す。

その他、塗料の調整に関する注意事項は

1) 各塗料は使用に先立ち塗料缶の中の状態に注意し、万一著しい変質、異状が認められた場合にはその塗料を

表 2 - 7 ガラスクロスの品質

種 類	無アルカリ		含アルカリ	
アルカリ含有率(%)	0.8以下		1.5以下	
組 織	平 織			
厚 さ (mm)	0.13±0.02	0.22±0.03	0.15±0.02	0.27±0.03
用糸の番手(たて糸・よこ糸とも)	68±7	136±14	70±6	140±10
単繊維の直径(μ)	9±1.8または12±1.8			
密度(たて・よことも)(本/cm)	7以上			
引張強さ(たて・よことも)(Kg/15mm巾)	20以上	40以上	20以上	40以上

備考 1. 用糸の番手は、JISB3413(ガラス糸)の2.6による番手(長さ1000mの糸のグラム数)で表わす。

2. 巾は、普通160mm, 280mmおよび330mmの3種類とし、許容差は $\begin{matrix} +15 \\ 0 \end{matrix}$ mmとする。

3. 一巻の長さは、普通90mまたは420mとする。

表 2-8 アスファルトの加熱許容時間

アスファルトの温度(℃)	加熱許容時間(h)
200未満	36
200以上	24

表 2-9 耐熱用ビニロン・クロスの品質

組織		平織	
厚さ(mm)		0.5±0.1	
用糸		20番子または10番単糸	
密度(たて・よことも)(本/cm)		7±1	
引張強さ (Kg/50mm幅)	室温	たて	40以上
		よこ	35以上
	加熱処理後 (220℃・3分)	たて	35以上
		よこ	32以上
収縮率 (%)	加熱処理後 (220℃・3分)	たて	5以上
		よこ	5以下

- 備考 1.用糸の番手は、重さ0.4536 Kg当たりのハンク数(1ハンク=768.1m)で表わす(綿番手)。この場合の重さとは、公定水分(5.0%)を含むものの重さをいう。
- 2.幅は普通160mmまたは280mmとし、許容差は+15<sub>0</sub>mmとする。
- 3.1巻の長さは、普通400mとする。

使用しないこと。

2) 2液性の塗料(A種塗料~C種塗料)は各缶毎に十分攪拌、混合を行い、単一セット毎に均一になるまで混合、攪拌する。

3) 混合、攪拌後、一定時間後に粘度が高くなり塗装が出来なくなるために表2-2に示すように可使時間内に使用すること。

塗装上の注意としては

- 1) 塗装の塗りムラ、ピンホール、タレ、塗り残しなどの欠陥を生じないように充分注意する。
- 2) 重ね塗りの場合は塗膜の硬化状態に注意して、表2-2に示す塗装間隔の各塗料の時間以上に充分硬化した後に行う。
- 3) 塗装時には塗装面に損傷を与えないように注意し

て塗装を行う。

4) 低温または酷暑の場合、および湿気のはなはだしい場所では原則として塗装を行なわない。

塗料の保管に際しては火気のおそれのある場所、湿気のはなはだしい場所や直射日光の当る場所、その他不都合を生じる可能性のある場所に放置しないように注意する。塗装面に損傷、焼損を生じないように充分な防護処置を施し、その上鋼管杭の移動や打込み作業時に塗膜面が損傷しないように十分注意する。

以上の要領で陸上(工場内)においてA種塗料~G種塗料のそれぞれの被覆材が施された。なお、A種塗料~C種塗料では同じタール・エポキシ系塗料が用いられたが、各々塗料メーカーの異なる塗料が用いられている。

## 2.4 調査年月日

### 2.4.1 打込前の調査

調査は昭和44年12月22日~12月23日に塗装鋼管杭を打込む前に一度調査が行われた。塗装鋼管杭は工場から現場へ運ぶ際、塗膜に損傷を与えないように写真2-9に示す如く、塗膜面をムシロで覆いその上にバタ材をそえて針金で止め、運搬された。現場へ運ばれた塗装鋼管杭の状況を写真2-10に示す。

調査は主に塗膜抵抗測定、塗膜厚測定および塗膜面の写真撮影を行った。

12月22日

午前

i) 調査についての打合せ

ii) 調査現場視察

午後

i) 塗膜面の写真撮影、塗膜抵抗測定および塗膜厚測定

A種塗装杭6本、B種塗装杭6本、C種塗装杭6本、D種塗装杭6本、E種塗装杭6本、F種塗装杭6本、G種塗装杭6本の合計8本である。

12月23日

i) 塗膜面の写真撮影、塗膜抵抗測定および塗膜厚測定

A種塗装杭6本、B種塗装杭6本、C種塗装杭6本、D種塗装杭6本、E種塗装杭6本、F種塗装杭6本、G種塗装杭6本の合計27本である。

ここで用いた塗膜厚測定計測器は請負業者が用いたケット式電磁微厚計ではなく、エルコ・メーターを用いた。その理由としては i) 現場で測定を行うに当たり軽量、小型で片手で持て、持ち運びに便利である、 ii) 測定

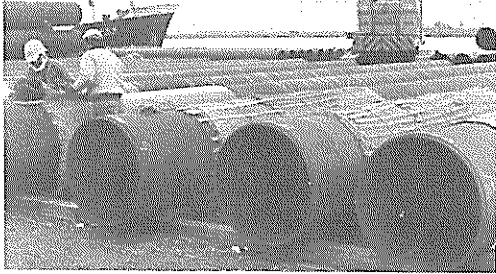


写真 2-9 塗装鋼管杭の塗膜面保護



写真 2-10 現場へ運ばれた塗装鋼管杭

の操作が簡単である， iii) 測定器の傾きにより指針の移動がない， iv) 塗装鋼管杭を打込んだ後の塗膜厚測定に際して上記の i) ~ iii) に示すように現場向きである。

#### 2.4.2 3.7年後における調査

3.7年後における調査は昭和48年7月30日～8月14日の間に行われた。

7月30日

塗膜抵抗測定，塗膜厚測定および塗膜の観察（写真撮影）をA種塗装杭の $\#1$ ， $\#3$ ， $\#5$ ，B種塗装杭の $\#1$ ， $\#3$ ， $\#5$ の合計6本の塗装杭について行った。

8月13日

塗膜抵抗測定，塗膜厚測定および塗膜の観察（写真撮影）をC種塗装杭の $\#1$ ， $\#3$ ， $\#5$ ，D種塗装杭の $\#1$ ， $\#3$ ， $\#5$ の合計6本の塗装杭について行った。

8月14日

塗膜抵抗測定，塗膜厚測定ならびに塗膜の観察（写真撮影）をE種塗装杭の $\#1$ ， $\#3$ ， $\#5$ ，F種塗装杭の $\#1$ ， $\#3$ ， $\#5$ ，G種塗装杭の $\#1$ ， $\#3$ ， $\#5$ の合

計9本の塗装杭について行った。

なお、調査の関係機関は次の通りである。

運輸省第2港湾建設局・横浜調査設計事務所

運輸省第2港湾建設局・千葉港工事事務所

運輸省港湾技術研究所

#### 2.5 使用機器

調査に使用した機器および用具は次の通りである。

- 1) テスター（YEW，L-20）測定範囲0～ $10^6 \Omega$
- 2) 抵抗計（メガー，L-5）測定範囲0～500 M $\Omega$
- 3) 抵抗測定用端子（測定塗膜面に接触する面積は19.6  $cm^2$ である）
- 4) エルコ・メーター（Elco meter）測定範囲0～9  $m\Omega$
- 5) カメラ（アサヒペンタックスSP），ストロボおよびフィルム
- 6) スケール，ウエス
- 7) 測定用紙，筆記用具
- 8) その他

#### 2.6 調査箇所

現地で塗膜調査を行った塗装鋼管杭は図2-4に示すように合計37本の塗装鋼管杭である。塗膜抵抗および塗膜厚測定箇所（深度方向）は図2-5の通りである。また断面方向の測定箇所は図2-6のように打込み前の調査においては4方向を、3.7年後の調査では2方向についてそれぞれ測定を行った。



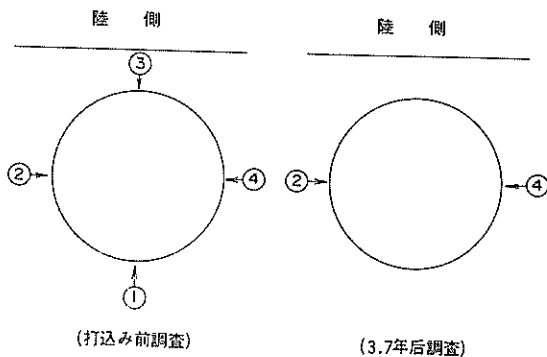


図 2-6 塗装杭の調査ケ所(断面方向)

## 2.7 調査項目

塗膜の防食作用としては塗膜に耐水性と絶縁性を持たせたタール・エポキシ系塗料(A種塗装系~C種塗装系)、塩化ゴム系塗料(D種塗装系)あるいはコール・タール・エナメル中にビニロン・クロスやガラス・クロス巻き込んだ塗装系(E種, F種塗装系), アスファルト・エナメルにビニロン・クロス巻き込んだ塗装系(G種塗装系)など防食性に秀れていると思われるものが施工された。

A種塗装系~G種塗装系の塗膜の劣化状況を判定, 評価する場合に, 従来より定量的には塗膜の抵抗測定で塗膜の劣化評価を判定してきているが, 図2-2に示す如く潮位間~飛沫帯にかけての塗膜の調査を行うにあたり, 以下に示すように立地条件が非常に悪い。

- i) 上部工があることと, 塗料はL. W. L. 上に塗装されているために干潮時(1時間~2時間程度の間)でないと調査は出来ない。
- ii) 波の平穏な時でないと危険性が伴い調査が難しい。
- iii) 小舟で上部工の下に入って行くので思うような操

作が出来ず, その上足場が悪い。

iv) 上部工直下であれば付着物の影響はないが, H. W. L. 付近より下では付着物(主にフジツボ)が着しいので付着物を除去しても十分な塗膜面の乾燥が得難く, このために短時間で正確に塗膜の抵抗を測定することは難しい。

v) 塗装杭が常時, 波のしぶきなどにより湿っている。

vi) 岸壁には常時, 船の接岸があり上部工の下は非常に暗い。

など塗膜調査を行うにあたり色々な問題があり, 調査も制約されてくる。それ故, 塗膜抵抗測定ならびに塗膜厚測定は現場で測定出来る範囲内で補足的に行い, 主に塗膜の観察により各種塗装系の塗膜劣化状況を評価することにした。

### 2.7.1 塗膜抵抗の測定

打込前における塗膜抵抗の測定は杭が陸上部に横たえられていた状態で測定を行った。測定方法としては図2-7に示すように, まず測定ケ所をウエスできれいに拭き, 次に鋼管杭頭部の小部分をヤスリで鋼管の地肌が露出するようにこすり, 図2-7に示すA端子を取付ける。AとBの間に抵抗計を短絡したのちBを塗膜面上に押し当てる。この操作を1カ所につき2~3回くり返し測定値の確認を行う。

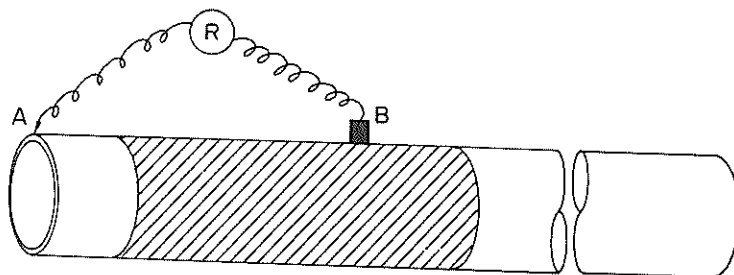


図 2-7 陸上における塗膜抵抗測定要領(打込み前調査)

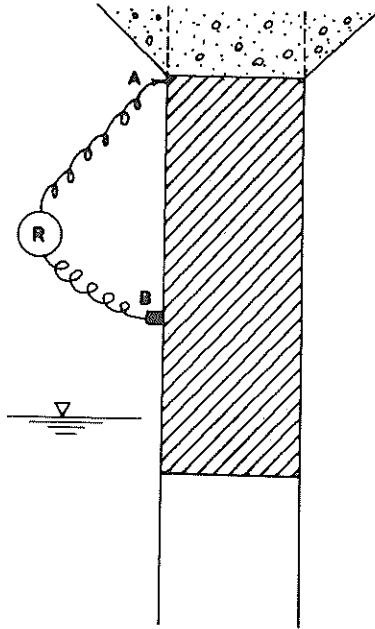


図 2-8 海上における塗膜抵抗測定要領  
(3.7年後調査)

3.7年後の調査時における塗膜抵抗の測定方法は図2-8に示すようにAを鋼管上部に設ける。これは上部の塗膜をハガシ、地肌面が露出するようにヤスリで鋼面を研磨して抵抗計の一端より出ている電線の端を接触させる。その上をビニール・テープで押さえて固定する。この時A付近の塗膜面はほとんど濡れていないがウエスで十分に拭いた。次に測定ケ所の塗膜面上に付着物が付着している場合には、スクレーラーで抵抗の測定出来る程度の面積(20cm×20cm)を除去し、ウエスで良く拭き塗膜抵抗測定用端子を押し当て、抵抗計により塗膜抵抗を測定する。塗膜抵抗測定用端子の形状寸法は図2-9に示す通りである。

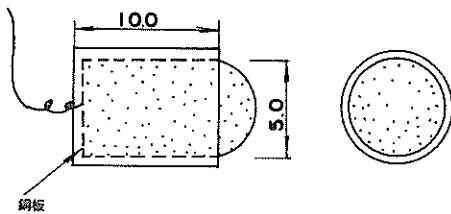


図 2-9 塗膜抵抗測定用端子の形状寸法 単位: cm

### 2.7.2 塗膜の膜厚測定

塗膜の膜厚測定は写真2-11に示す永久磁石式微膜厚測定器(エルコ・メーター)により行った。エルコ・メーターの仕様は次の通りである。

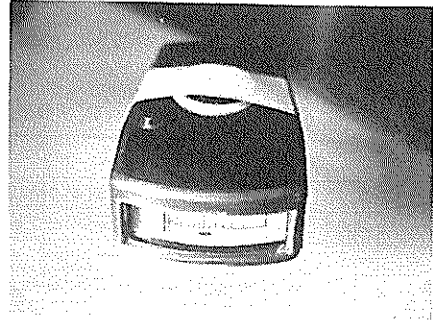


写真 2-11 膜厚測定に使用したエルコ・メーター

精度: ±5%

寸法: 9mm × 52mm × 25mm

重量: 160g

測定範囲: 0~9mm (最小目盛0.05mm)

使用方法は港研資料No.72, June, 1969, 15~16P「塗膜の厚み測定」に準じて行なった。

### 2.7.3 肉眼観察および写真撮影

肉眼観察および写真撮影については、塗膜抵抗測定および膜厚測定ケ所について塗膜の劣化状況や付着物に対する塗膜の影響を観察した。その上、付着物の付着している部分については付着物を除去した後の付着物(主にフジツボ)による塗膜への食い込み工合を観察し、塗膜がどの程度劣化しているものかを調査した。



### 3. 調査結果および考察

#### 3.1 塗膜抵抗測定結果

L. W. L. 上より上部工に至るまでの間に塗装された各塗装系の塗膜抵抗の測定結果（打込み前）は表3-1に示す通りである。また3.7年後に測定した結果は表3-2に示す通りである。特に3.7年後の測定では測定塗膜面を測定前に充分良くウエスで拭いて抵抗測定を行ったが、ここは海塩粒子などの飛沫が多い部分であるために、陸上

部における測定よりも測定値が小さ目であった。

深度がH. W. L.直上(+2.10m)付近においてはどの塗装杭にもフジツボの付着が見られたので、この付近の塗膜抵抗測定については付着物を除去して測定を行った。

#### 3.2 塗膜厚測定結果

3.7年後における厚みの測定は上部工の下端より20cmピッチに行った。その結果を図3-1に示す。

表3-1 打込み前における各塗装杭の塗膜抵抗測定結果

単位： $\Omega/m^2$

杭 No	塗料 系 測定 点 深度	A種塗料				B種塗料				C種塗料				D種塗料				E種塗料				F種塗料				G種塗料				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	上	∞	∞	∞	∞	79,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	中	∞	∞	∞	∞	59,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	下	∞	∞	∞	79,000	∞	∞	∞	∞	59,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2	上	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	中	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	29,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	下	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
3	上	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	中	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	137,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	下	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	67,000	120,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
4	上	∞	∞	16,000	∞	∞	∞	∞	∞	67,000	98,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	59,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	中	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	20,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	下	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	98,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
5	上	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	中	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
	下	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	

表3-2 3.7年後における塗膜抵抗測定結果

単位： $\Omega/m^2$

杭 No	塗料系 統名 測定 点 深度 (m)	タール・エポキシ系		塩化ゴム系		コール・タール系		アスファルト系	
		2	4	2	4	2	4	2	4
1	+2.420	400	59,000	40	40	∞	59,000	59,000	∞
	+2.220	3,000	39,000	40	40	∞	1,600	27,000	49,000
	+2.020	40	—	0	0	40	0	59,000	0
3	+2.510	140	98,000	40	100	∞	∞	35,000	∞
	+2.310	100	160	40	0	∞	∞	2,900	∞
	+2.110	—	40	0	0	100	14,000	40	40
5	+2.295	100	98,000	100	40	∞	∞	∞	49,000
	+2.095	40	82,000	40	40	∞	∞	∞	27,000
	+1.895	—	10,000	0	0	40	0	40	0

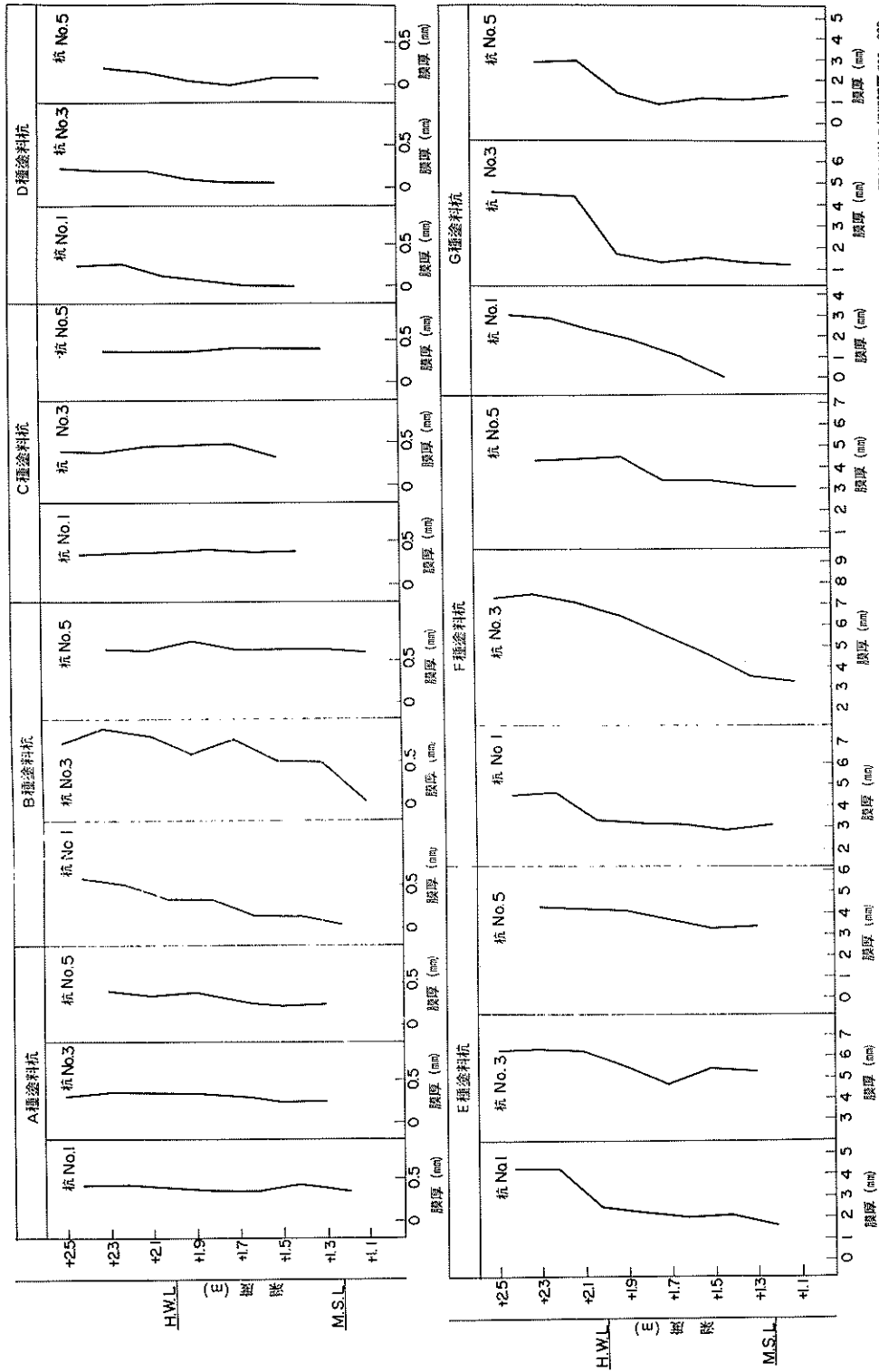


図 3-1 塗膜厚測定結果

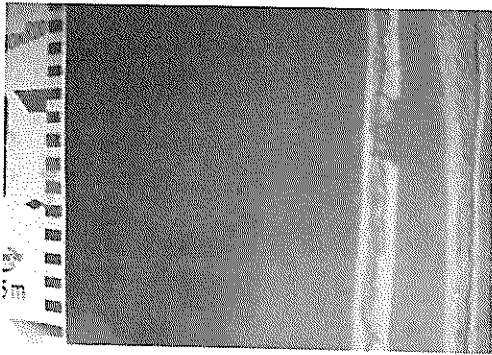
A種塗料杭の初期膜厚 400~500 $\mu$ , B種塗料杭の初期膜厚 900~1,200 $\mu$ , C種塗料杭の初期膜厚 500~600 $\mu$   
D種塗料杭の初期膜厚 150~170 $\mu$ , E種, F種塗料杭の初期膜厚 4~7mm, G種塗料杭の初期膜厚 4~6mm

### 3.3 塗膜の観察結果

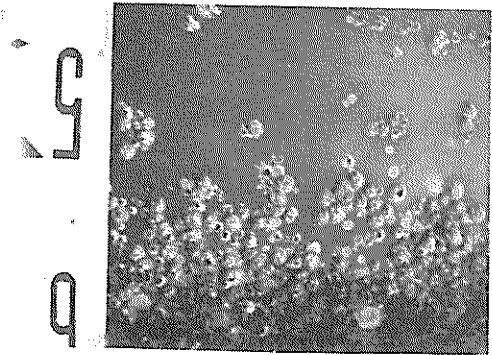
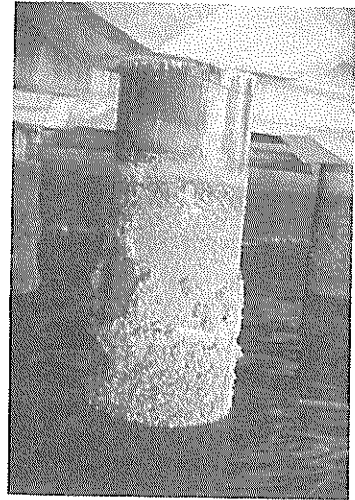
塗膜面の観察結果は写真3-1～写真3-7に示す。写真3-1～写真3-7に見られる特長は、打込みを行ってから3.7年間でフジツボ等付着物が抗全体に付着しており、コール・タールエナメルやアスファルトエナメルを用いたB種塗装系～G種塗装系についてはフジツボによる塗膜への食い込みが目立った。特に深度としてはH.W.L.直下より塗膜への食い込みが見られ、ガラス・

クロスやビニロン・クロスが露出している。また、A種塗装系～C種塗装系においてはフジツボの付着はB種塗装系～G種塗装系と同様に、H.W.L.直上までフジツボが付着しているが、覆装材を併用したB種塗装系～G種塗装系ほどフジツボによる塗膜への食い込みは認められなかった。

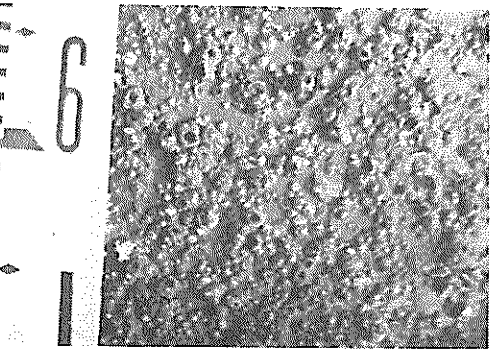
各深度の塗膜劣化状況を図3-2～図3-8に示す。



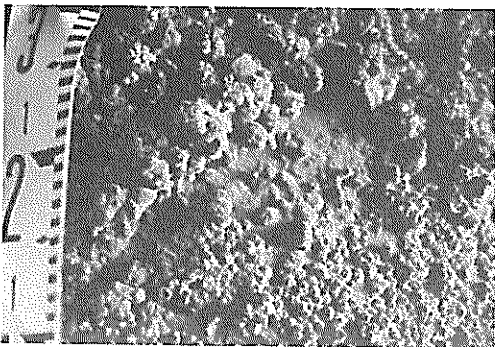
+2.42m  
 }  
 +2.28m



+2.20m  
 }  
 +2.00m



+1.78m  
 }  
 +1.62m

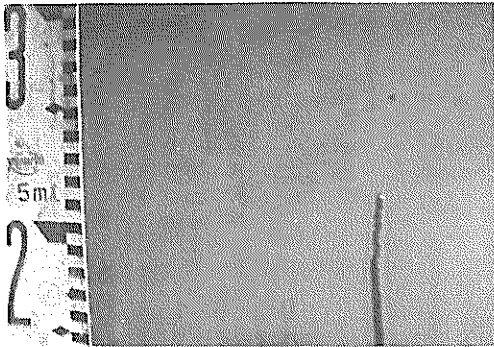


付着物除去前

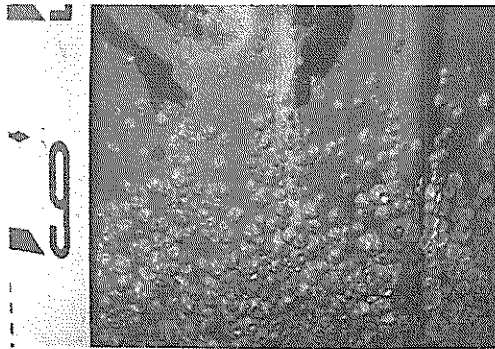
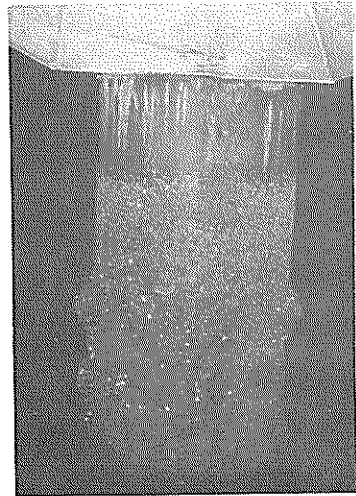


付着物除去後

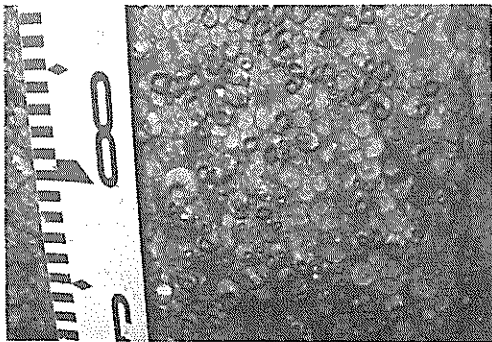
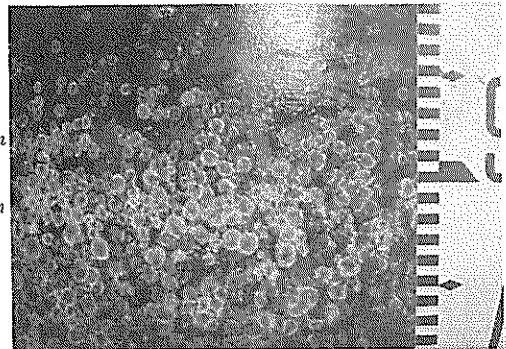
写真 3-1 A種塗装杭の塗膜状況



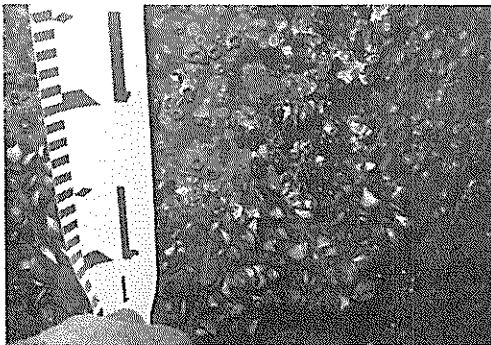
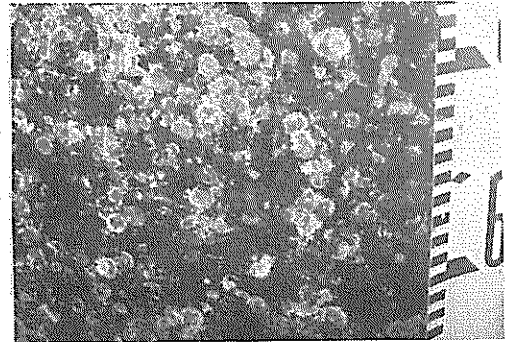
+2.48m  
 }  
 +2.30m



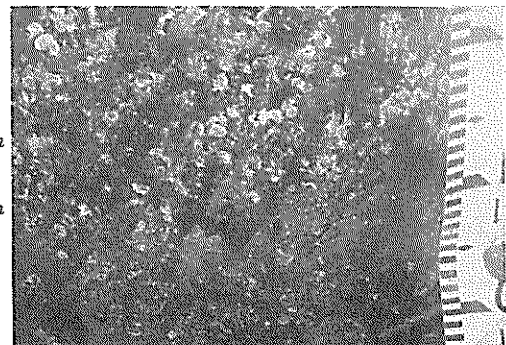
+2.12m  
 }  
 +2.00m



+1.90m  
 }  
 +1.74m



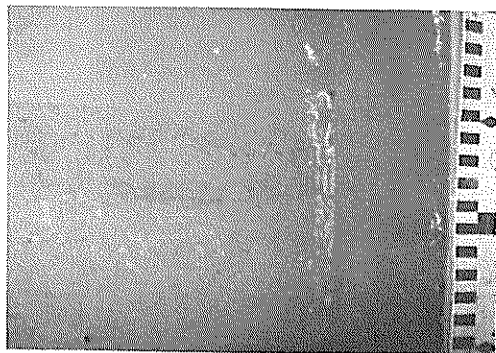
+1.67m  
 }  
 +1.47m



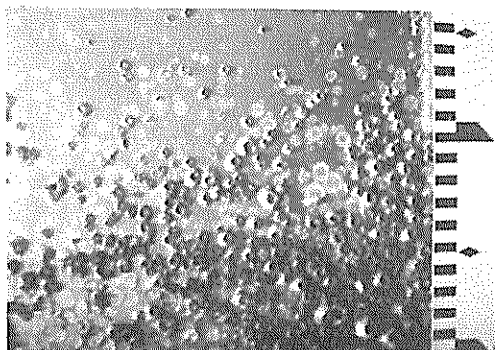
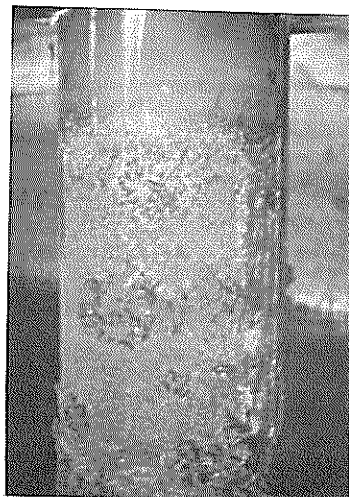
付着物除去前

付着物除去後

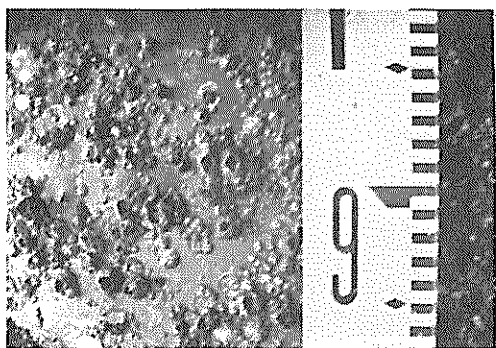
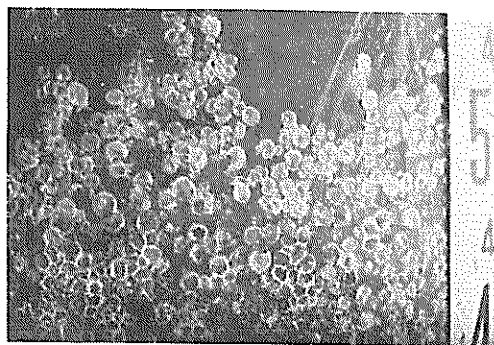
写真 3-2 B種塗装杭の塗膜状況



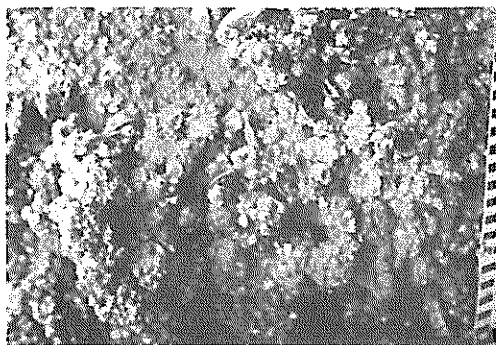
+2.40m  
}  
+2.25m



+2.15  
}  
+2.00



+1.70m  
}  
+1.53m



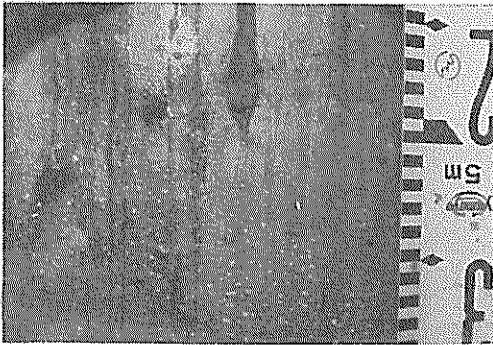
+1.20m  
}  
+1.05m

付着物除去前

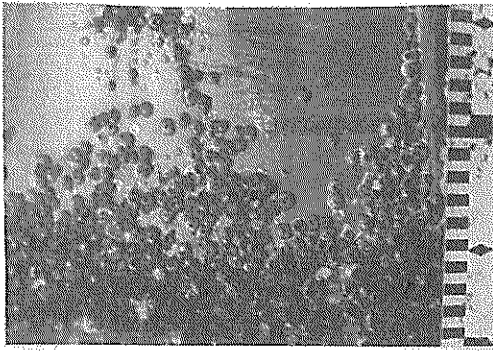
付着物除去後

写真 3-3 O種塗装杭の塗膜状況

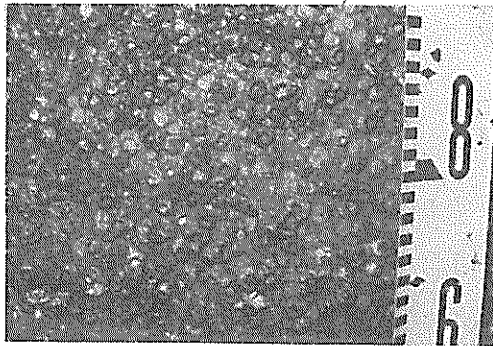
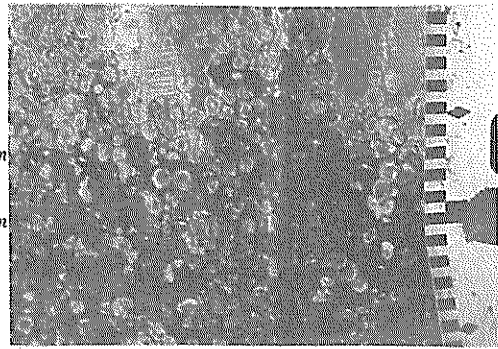




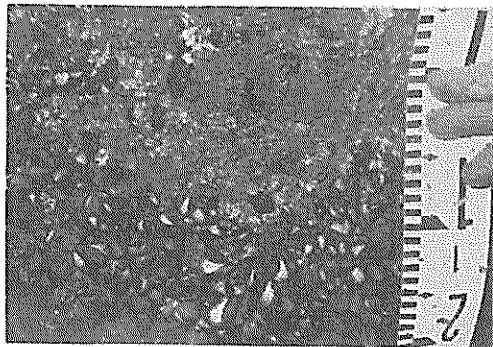
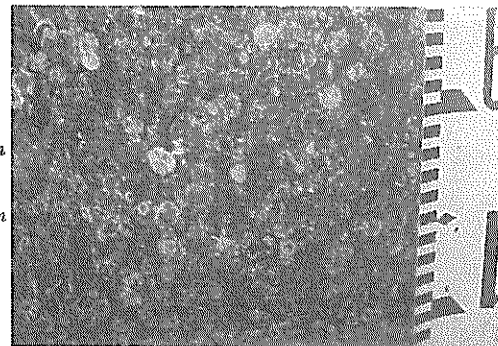
+2.35m  
S  
+2.20m



+2.15m  
S  
+2.00m



+1.78m  
S  
+1.68m



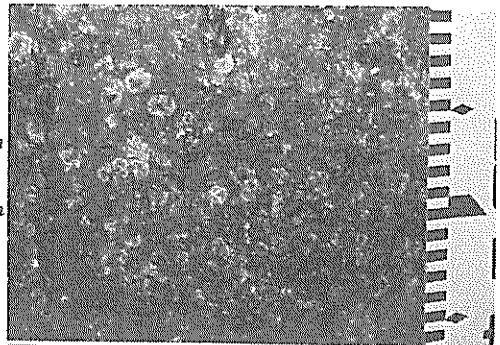
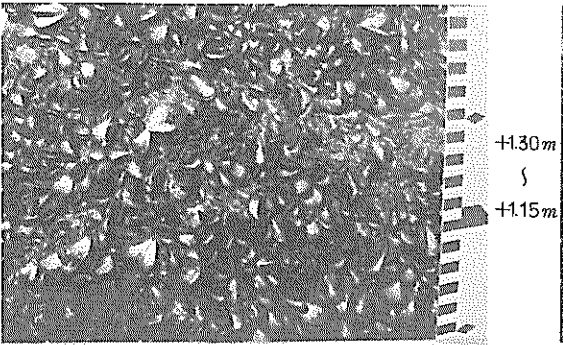
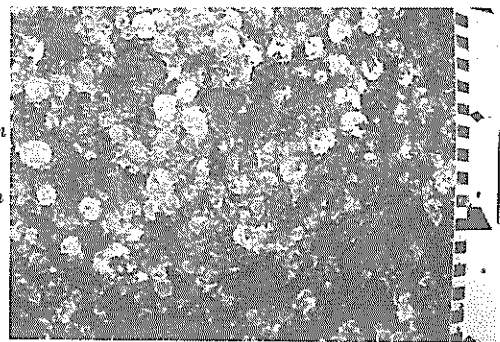
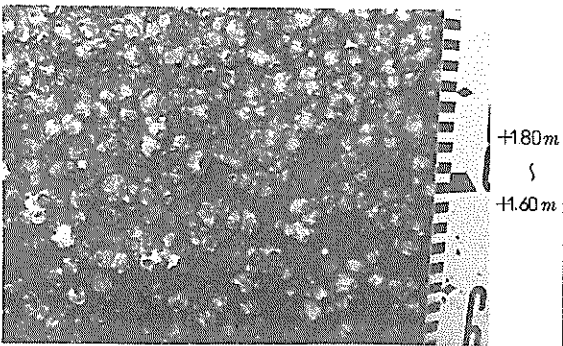
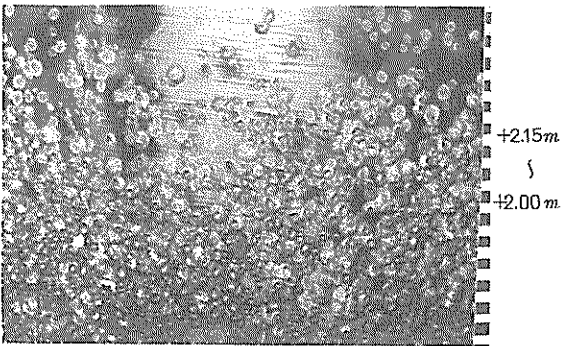
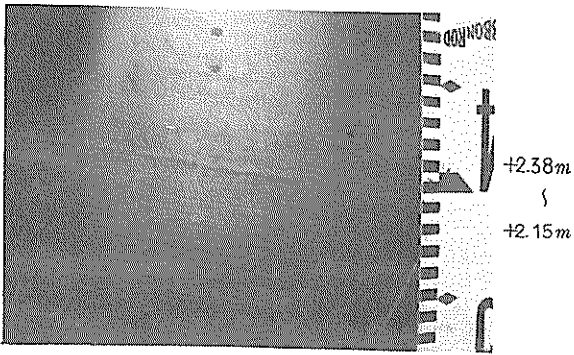
+1.50m  
S  
+1.30m



付着物除去前

付着物除去後

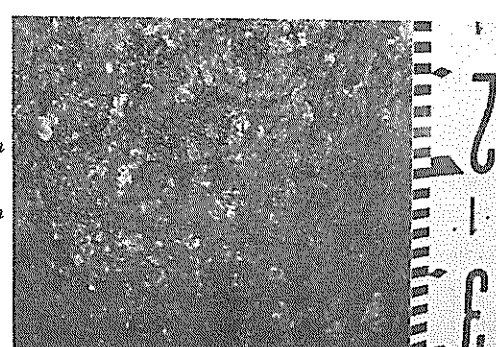
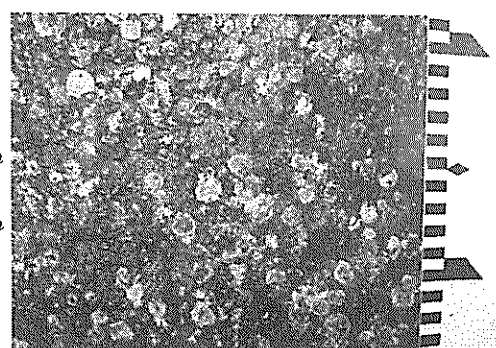
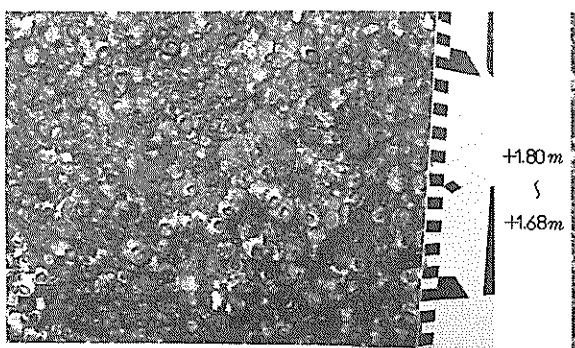
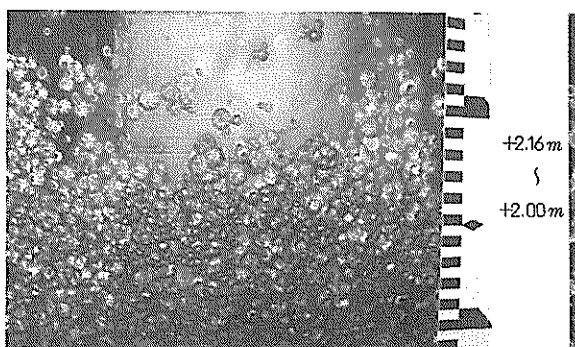
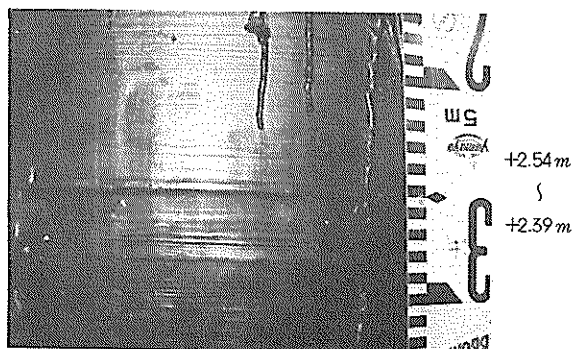
写真 3-4 D種塗装杭の塗膜状況



付着物除去前

付着物除去後

写真 3-5 B種塗装杭の塗膜状況

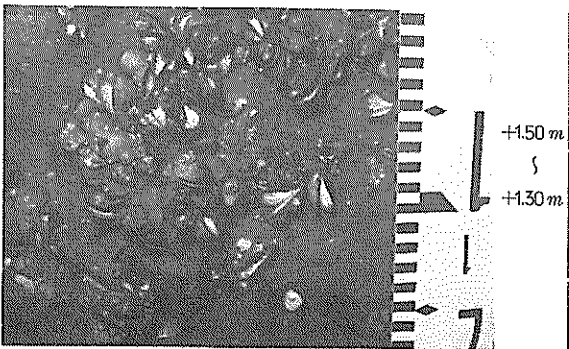
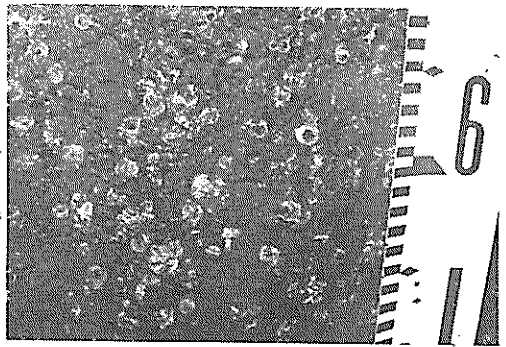
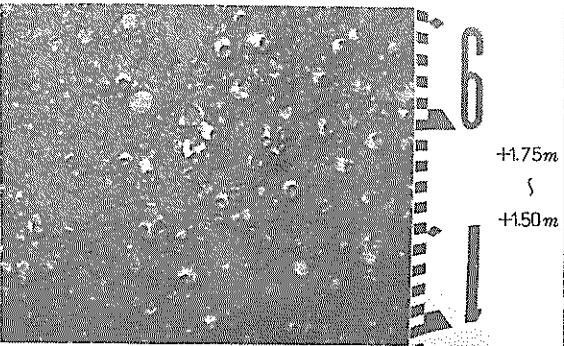
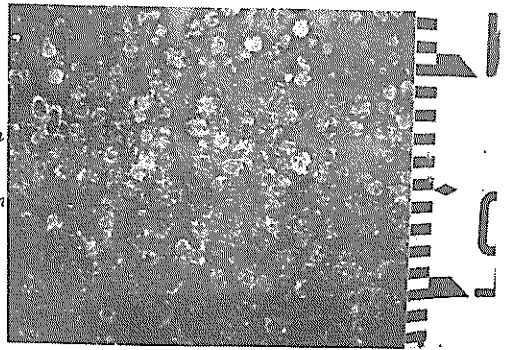
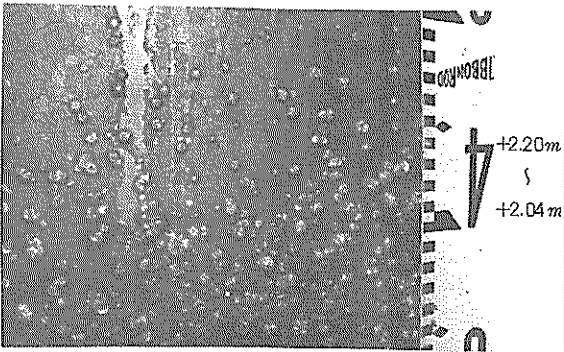
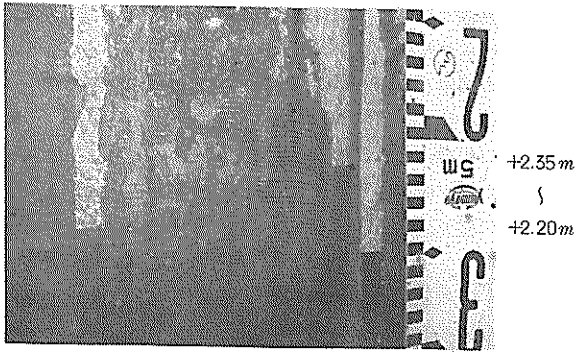


付着物除去前

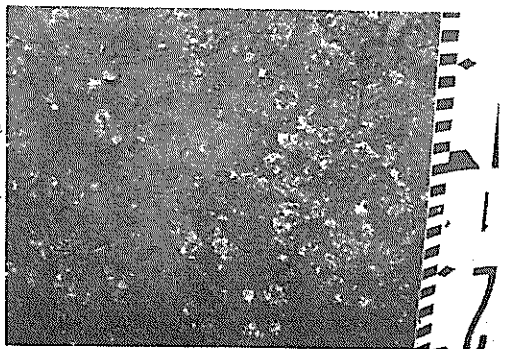
付着物除去後

写真 3-6 F種塗装杭の塗膜状況





付着物除去前



付着物除去後

写真 3-7 G種塗装杭の塗膜状況

### 3.4 塗膜の損傷箇所

塗装鋼管杭を打込む施工時に、塗装された塗膜面の一部が打込作業により損傷した。その状況を図3-9～図3-10、写真3-8に示す。特に杭打ち船から陸へ張られたワイヤー・ロープによる損傷が多く、その他、打込みの際に杭を吊り込む時点で他の杭とぶつかり塗膜がハクリを生じたものも認められた。

塗料を塗装した杭が合計37本あるが、杭打ちを終了した時点において塗膜の損傷箇所が、図3-9に示す如く37本中7ヶ所(7本)認められた。このことは特に

塗装を行なって鋼管杭を防食するという目的を持って施工されたにもかかわらず、打込み時においてすでに塗膜の損傷を生じたことは施工(打込み)する際には何らかの塗膜への防護策が必要と思われる。

損傷のはなはだしいものは巾20cm、長さ50cmの間に傷が散在しているものも見受けられ、当然そのままの状態では放置しておくならば他の良く塗装されている部分よりも腐食は早く進行し、局部的に腐食が集中することも考えられる。このため、工事終了後少なくとも塗膜の損傷ヶ所の点検および補修が必要である。

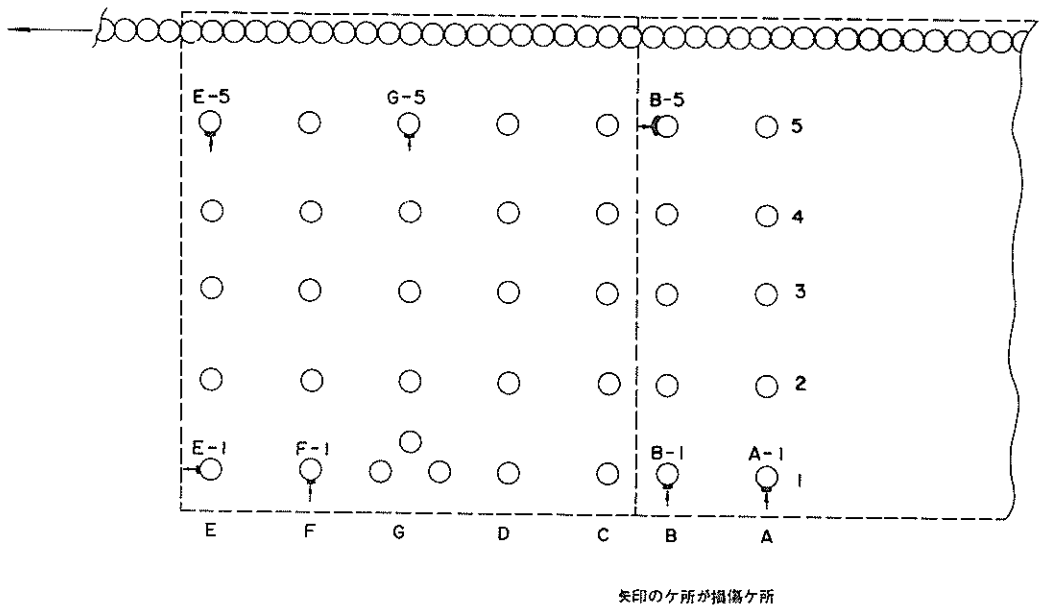


図 3-9 施工時に塗膜の損傷を生じた杭(断面方向)

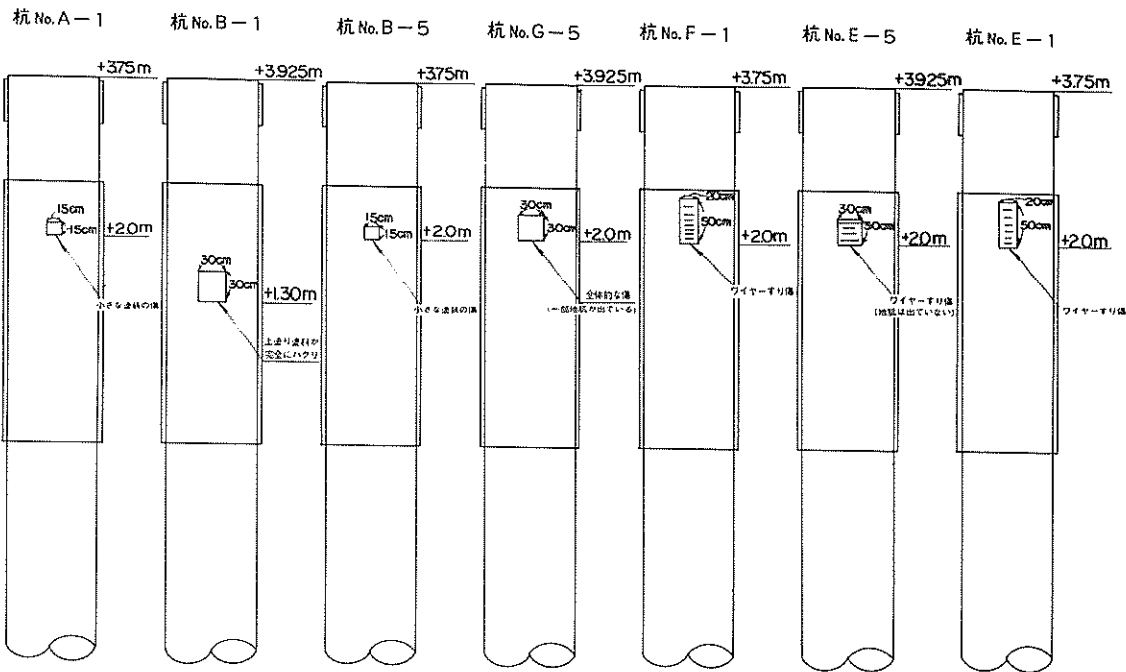
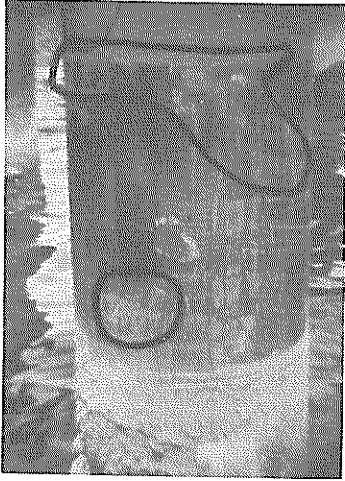


図 3-10 施工時に塗膜の損傷を生じた杭の損傷状況（深度方向）

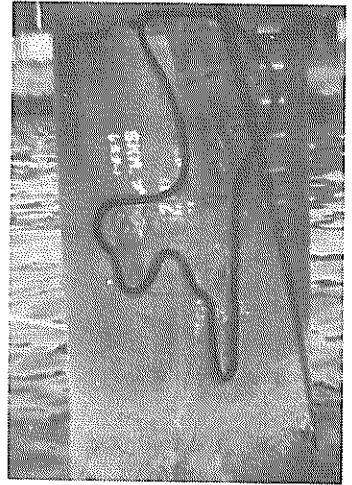




杭No A-1



杭No B-1



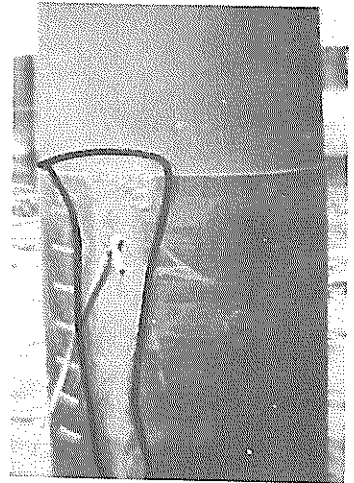
杭No B-5



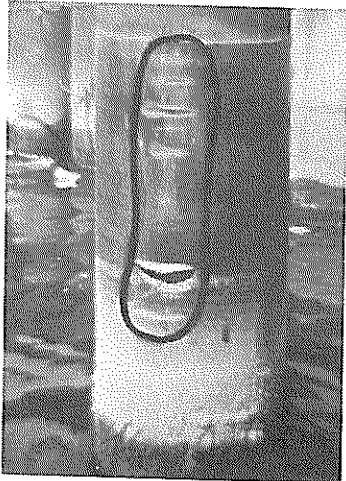
杭No B-5



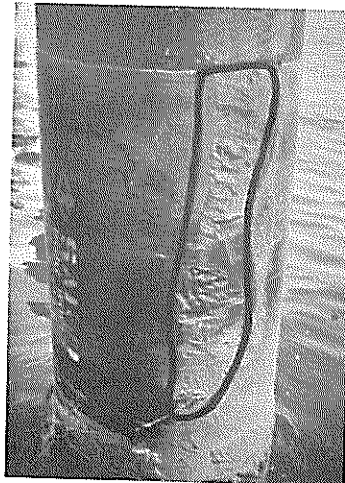
杭No G-5



杭No F-1



杭No B-5



杭No E-1

写真 3-8 塗膜損傷杭の損傷状況(黒枠でかこんだ部分が損傷ケ所)

### 3.5 打込前の塗装鋼管杭の調査結果

表2-2に示す塗装条件により、請負業者のもとでA種塗装杭～G種塗装杭が塗装されたが、塗膜厚の測定結果は表2-3に示すように各塗装杭とも表2-2に示す塗装条件の塗膜厚よりも若干厚めに仕上げられている。特にタール・エポキシ系塗料の中では塗膜の厚いB種塗装杭やB種塗装杭～G種塗装杭においては同じ条件で塗膜を仕上げたにもかかわらず、B種塗装杭では塗膜の最も厚い部分で1850 $\mu$ 、最も薄い部分で750 $\mu$ と仕上り塗膜の変動が大きい。B種塗装杭では仕上り塗膜は最も厚い所で1.10mm、最も薄い所で6.0mm、F種塗装杭においても最も厚い部分はB種塗装杭と同様に1.10mm、最も薄い部分で6.5mmと4.5～5.0mm程度の膜厚の差が認められる。また、G種塗装杭では7.1mm～3.8mmの範囲であった。

すなわち、工場内という塗装を行うためには好適な場所であり、塗装管理を十分に持って塗装されたにもかかわらず塗装される鋼管杭は写真2-2～写真2-7に示す如く横にして塗装を行うために、上に塗装された塗料が塗装を完了してから塗膜が乾燥するまでの間に、わずかではあるが下の方向へ移動した結果このように塗膜厚の変動がみられたと思われる。また、現場に運搬されてきた塗装鋼管杭の塗膜抵抗を陸上部において、測定した結果は表3-1に示す通りである。これらの値を表3-3に示すPritulaの関係表<sup>3)</sup>により塗膜面の評価を行ってみると、どの杭の塗膜抵抗測定値も10,000 $\Omega$ /m<sup>2</sup>以上の値を示しており、外見評価も「優」にランクされ塗膜の絶縁性は良好であった。

### 3.6 工事の際における塗膜損傷の発生状況

塗装された鋼管杭を打込む際に、塗膜の損傷を生じた杭は図3-9に示す通りである。また、これら損傷を生じた塗装杭の深度方向における損傷ケ所は図3-10に示す通りである。

表3-3 管の塗膜抵抗による塗膜損傷度

外見	塗膜損傷度	管1m <sup>2</sup> 当りの塗膜抵抗( $\Omega$ )
優	無	$\infty$ ～ 10,000
良	極 微 小 点	1,000 ～ 2,500
可	微 小 数	2,500 ～ 500
不 可	相当大面積損傷	500 ～ 50
極 不 良	はなはだしく損傷	50 ～ 5
極々不良	無 塗 装	5 ～ 0

図3-9に示す通り、損傷を生じた塗装杭は陸より最も近い1列目の塗装杭と、陸に最も接近している5列目の塗装杭に集中している。つまり、2列目～4列目にある塗装杭には工事の際に生じた塗膜の損傷ケ所は認められなかった。

また、陸側面(図2-6において③に当る方向)には塗膜の損傷ケ所は認められず、損傷した7ヶ所中海側面(①)の損傷ケ所の数が5ヶ所、方向②に2ヶ所あった。すなわち、工事作業の状況下では陸側面(方向③)は塗膜の損傷を起しにくい方向であると思われる。しかしながら、海側面(方向①)や方向②、④においては工事の際に塗膜を傷つけ易いことが打込み船の位置等からも予想される。したがって、海上打込みか陸上打込みかによって塗膜が損傷し易い方向が左右されるようである(千葉港においては海上より杭打ちを行った由)。

次に、施工時に損傷した塗膜の内訳は図3-10に示すように、杭打ち船より陸に張ったワイヤー・ロープで塗膜面を損傷した杭が3本(杭NoE-1, 杭NoE-5, 杭NoF-1)と吊り込み時に他の杭とぶつかり塗膜のハクリを生じた杭が2本(杭NoB-1, 杭NoG-1)、その他何らかの理由で小さな塗膜の損傷を生じた杭が2本(杭NoA-1, 杭NoB-5)である。塗膜を損傷した深度はH.W.L.付近(+2.00m)が最も多く7ヶ所中6ヶ所である。他の1ヶ所は+1.30m付近で上塗り塗料のハクリが認められた(写真3-8)。

施工時に損傷した塗膜面を3.7年後に観察したところワイヤー・ロープで損傷した杭(杭NoE-1, 杭NoE-5, 杭NoF-1)では損傷面の拡がりはなく、打込み時に損傷を受けた面積とほぼ同様であった。このことは、塗膜の損傷ケ所がH.W.L.上であったために、フジツボなど付着物による影響をあまりうけない部分であったこと、

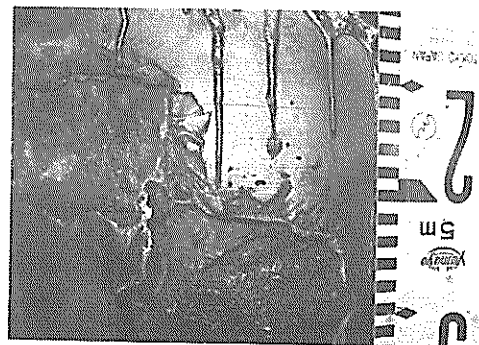


写真 3-9 塗膜を損傷した部分の3.7年後における状況(G種塗装系)

塗膜厚が4~6mmと厚く塗装されており、その上、覆装材としてビニロン・クロスやガラス・クロスを巻き込んでいるために外部からの応力強く、また塗装を行う際に鋼管杭の表面をショット・ブラスト処理をして、下地処理による塗膜への影響がほとんど表われなかったこと等のためと思われる。なお塗装杭No G-5の損傷箇所は完全に塗膜が消失して鉄の地肌が露出している状態であったが、写真3-9にも見られるようにE種塗装杭やF種塗装杭と同様に塗膜厚が厚く、ビニロン・クロスを覆装材として巻き込んであるために、外部への劣化の拡がりはほとんど認められなかった。しかしながら、損傷を生じた塗装杭No A-1, No B-5では写真3-10に示

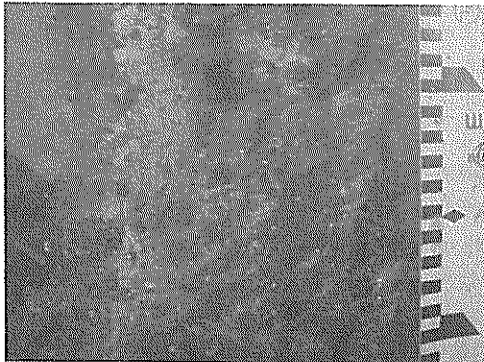


写真 3-10 塗膜を損傷した部分の3.7年後における状況 (A種塗装系)

すように発錆箇所が広がり、図3-2に示すように杭No A-1では発錆が断面方向①から②の方向にまで広がっていた。すなわち、覆装材を併用しなかった塗装では塗膜の損傷箇所から塗膜の劣化が進行した。原因としては、E種塗装杭~G種塗装杭のように塗膜の膜厚が厚くなく(約250~1,000μ)、小さな傷が多く認められたこと波しぶきのかかるゾーンであることなど、図3-11に

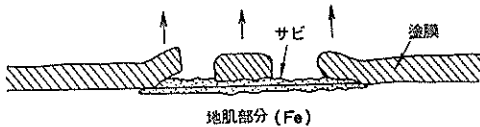


図 3-11 サビによる塗膜の劣化状況

示すように薄い塗膜が鉄のサビの成長に伴って地肌(Fe)との密着性を失い、サビが塗膜を押し上げるような状態となり順次サビが増大していったと思われる。

### 3.7 塗膜の耐久性評価

まず各種塗装系の耐久性を評価する前に、塗装鋼管杭

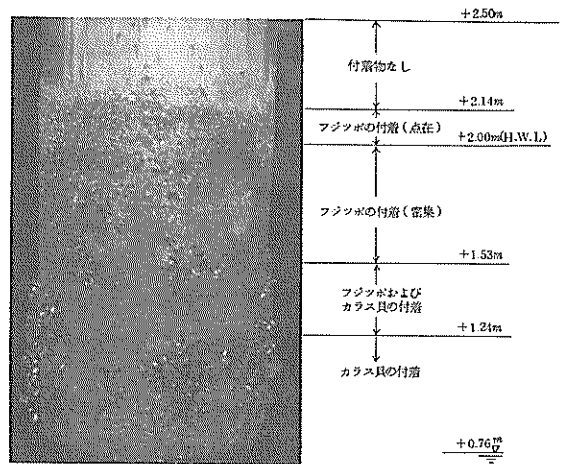


写真 3-11 塗装杭に付着した付着物の分布状況例

へ付着した付着物の分布状況を示すと写真3-11のようである。大体H.W.L.直上(+2.20m~+2.10m)付近より下方に向かってフジツボが付着し始め、H.W.L.(+2.00m)では、ほとんどの塗装杭がフジツボで全面覆われている。以下+1.50m付近までフジツボの密集が続き、+1.50m付近から+1.20m付近までフジツボとカラス貝が混って付着し、+1.20m以下ではほとんどフジツボは観察されずカラス貝の付着のみである。なお、図2-2に示すように+2.2m~+2.7m付近より上はコンクリートの上部工により塞がれており、直射日光はらず常時湿気のある環境である。

#### 3.7.1 タール・エポキシ系塗料

表2-2に示す如く、タール・エポキシ系塗料を用いた塗装系はA種塗装系~O種塗装系である。A種塗装系~O種塗装系では各々塗膜厚が異なり、膜厚はB種塗装系>O種塗装系>A種塗装系の順である。これらは、同じタール・エポキシ系塗料であるが塗料メーカーが異なる。

フジツボなどの付着物が付着していないゾーン(+2.10m付近より上部)においては、施工時に損傷を生じた部分(杭No A-1の+2.00m付近, 杭No B-5の+2.00m付近)を除いて、B種塗装杭の杭No B-1とO種塗装杭の杭No O-1にわずかな劣化が認められた程度で3.7年後におけるタール・エポキシ系塗料の塗膜面は良好であった(図3-2~図3-4)。

また、フジツボの付着するゾーンでは図3-1に示す塗膜厚測定結果を参照すると、A種塗装系とO種塗装系の膜厚は付着物の付着しないゾーンとほとんど変化なく、

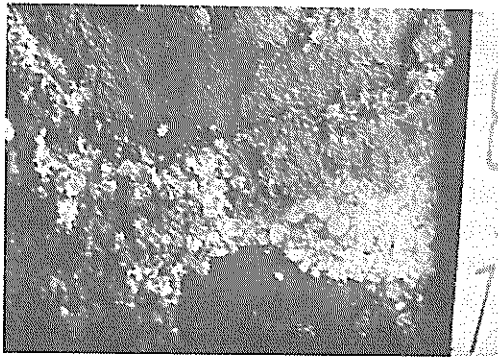


写真 3-12 B種塗装杭の上塗り塗料のハクリ

またフジツボによる塗膜への食い込みも見られない。しかし、B種塗装系（杭61や杭63）の膜厚は深度が下るに従って減少している。写真3-12に示すようにB種塗装系ではフジツボによる塗膜への食い込みよりもむしろ下塗り塗料と上塗り塗料間の密着性の低下によって上塗り塗料のハクリが生じたため、塗膜厚が減少したものである。B種塗装系はタール・エポキシ系塗料としてはかなり厚く（1,000 $\mu$ 程度）上塗り塗料を刷毛で1回塗布したため、B種塗装系の膜厚減少は下塗り塗料と上塗り塗料間の密着性が低下したことに起因するのではないと思われる。通常、タール・エポキシ系塗料の1回塗り仕上げ塗膜厚は100~300 $\mu$ 程度で、厚いと思われる塗膜でも500 $\mu$ 程度である。また、密着性の点からは、刷毛塗り塗装よりもエアレス・スプレー塗装の方が次のような事から塗膜に対して良い結果を与えるようである。すなわち、エアレス・スプレー塗装とは空気をまったく使わずに水圧と蒸気圧を使用してスプレーする方法である。スプレーの原動力となる水圧は特殊なピストン・ポンプによって作り、蒸気圧は塗料の加熱による溶剤の膨張により得られる。そして、適当に括約されたノズルから放出されると急激な容積の変化を生じて塗料の噴霧化が行なわれる。エアレス・スプレーの利点は、i) 空気を用いないために塗料の噴霧化が直接的で無駄がなく塗料の損失が少ない、ii) 一種のホット・スプレーであるために1回塗りで厚い塗膜が得られる、iii) 塗料が熱いので塗装物に流展性があり密着性が良い、などの理由により刷毛塗りによって薄い塗膜を数回塗装する場合であれば問題ないと思われるが、刷毛塗りでの厚い塗膜（1,000 $\mu$ 程度）を1回で仕上げることは密着性の点からあまり好ましくないようである。A種塗装系およびC種塗装系についてはエアレス・スプレーを用いて塗装された。

また塗膜へのフジツボによる食い込みは、先に清水港の調査で使用した塗装系（タール・エポキシ系）の塗膜厚が100~150 $\mu$ 程度という薄い膜厚を用いたために、フジツボによる塗膜への貫通が容易に起ったものと思われる。フジツボなど付着物に対して抵抗性を持たせるには少なくとも、今回用いた塗装系のように300~500 $\mu$ 以上の塗膜厚が必要と思われる。しかし、塗膜厚をむやみに厚くしてもB種塗装系のように、塗装方法を誤るとその塗料の性能を十分発揮出来ない場合もある。その上、同じタール・エポキシ系塗料によっても品質によって防食効果が左右されるものもある。菅、山口<sup>5)</sup>はタール・エポキシ系4種、ジungkリッチ系2種を用い、荻田港において現地試験を行ったが、良質なタール・エポキシ系塗料ではフジツボによる貫通が阻止されたが、タール・エポキシ系塗料は塗料の品質により防食効果の差が著しいために、使用に際しては選別が必要であると報告している（使用した塗料の塗膜厚は300~500 $\mu$ 程度である）。それ故、ある種の塗料の試験結果のみからその種の塗料系全体の性能を遽断することは危険であると思われる。

### 3.7.2 塩化ゴム系塗料

塩化ゴム系塗料を用いた塗料系は表2-2に示すD種塗装系である。

この塗装系のフジツボなど付着物の付着しないゾーンにおける塗膜の劣化状況は、写真3-13および図3-5に示す如く、どの塗装杭にもフクレ（フクレの度合はMedium~Medium Dense）やサビの劣化が認められた。その上、表3-2に示すように3.7年後における塗膜抵抗測定値もほぼ0に近い値を示しており、塗膜の耐久性は極めて悪い結果を示した。

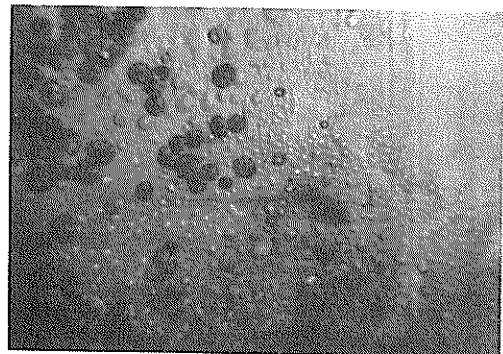


写真 3-13 D種塗装杭のH.W.L.直上における塗膜の劣化状況（フクレ、サビの劣化）

H.W.L. 付近より下のゾーンにおける塗膜の状況は、写真3-4, 図3-5に見られる通りである。H.W.L. 付近においては、フジツボを除去してみると上塗り塗料の残存は認められず、赤錆色の下塗り塗料が露出してさらにとろとろ鉄の地肌が露出している部分も散見される。+1.80m付近では付着物を除去する前の観察ではすでに上塗り塗料の残存はなく、除去後の観察においても鉄の地肌と下塗り塗料の混り合った状態であり、塗料の被覆効果は失われている。+1.60m付近より下のゾーンにおいては黒い鉄の地肌のみで、塗料の残存

はまったく認められない。この傾向は図3-1に示す塗膜厚測定結果からもよくうかがえる。すなわち、H.W.L. 付近より塗膜厚の減少が始まり、+1.60m以下の深度においてはほとんど0に近い塗膜厚を示している。なお+1.60m付近より以下のゾーンにおいては黒い鉄の地肌が観察されるが、赤橙色の発錆は認められない。また塩化ゴム系の塗料は表3-4に示す如く、塗膜の浸漬試験結果<sup>4)</sup>からもタール・エポキシ系の塗料より塗膜の耐久性は劣るようである。

表3-4 浸漬試験における塗装系の評価

肉眼観察	ゴバン目試験	塗装系	備考
フクレ (Few ~ Medium) ごく軽いサビ	ハクリあり	B-III>B-I>B-II	>はゴバン目試験 においてハクリ数 の少ない順
フクレ, サビ クラッキング ハクリの劣化	劣化が激しい ため試験出来 ず	P-II>P-I>P-III> S-III>S-II>S-I	>は重量減少量の 小さい順
全面サビの劣化	劣化が激しい ため試験出来ず	O-II>O-III>O-I> U-I>U-II>U-III	>は重量減少量の 小さい順

B:タール・エポキシ系塗料, PおよびO:塩化ゴム系塗料  
S:モルタル被覆, U:油性系塗料

### 3.7.3 コール・タール・エナメル系塗料

コール・タール・エナメル系塗料を用いた塗装系は表2-2に示すB種塗装系とF種塗装系である。

H.W.L. より上部のゾーンについては施工時に塗膜の損傷を生じたヶ所(杭NoE-1, NoE-5, NoF-1)を除けば、3.7年後においても写真3-5, 写真3-6に見られるように塗膜表面には劣化らしい劣化も認められず良い防食効果を示した。その上、表3-2に示す如く塗膜の抵抗測定値もかなり高い抵抗値を示していた。

しかしながら、H.W.L. 直下よりフジツボによる塗膜への食い込みが生じており、その結果+1.80m付近までは写真3-5, 写真3-6に示すように塗膜への食い込みが激しく塗膜表面に凹凸が認められる。+1.80m以下の深度では塗料と併用したビニロン・クロス(B種塗装系)やガラス・クロス(F種塗装系)の露出が認め

られる(写真3-14)。このことは塗膜厚測定結果(図3-1)からも予想出来、どの塗装杭もH.W.L. 直下から膜厚は減少している。しかし、フジツボによる

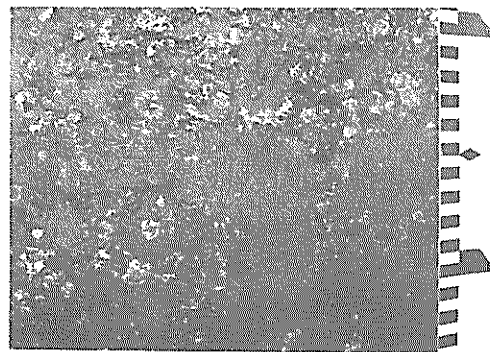


写真 3-14 フジツボの塗膜への食い込みによる覆装材の露出状況

塗膜への食い込みはビニロン・クロスやガラス・クロスの覆装材のところで止まっており、塗装鋼管杭への防食効果は3.7年間を経過した現在でも維持されている。コール・タール・エナメル自体、図3-12に示す如く耐

水性が非常に良いことと、覆装材を2重巻きにしてフジツボなどで付着物の食い込みを阻止したことにより効果があったと思われる(図3-6, 図3-7)。

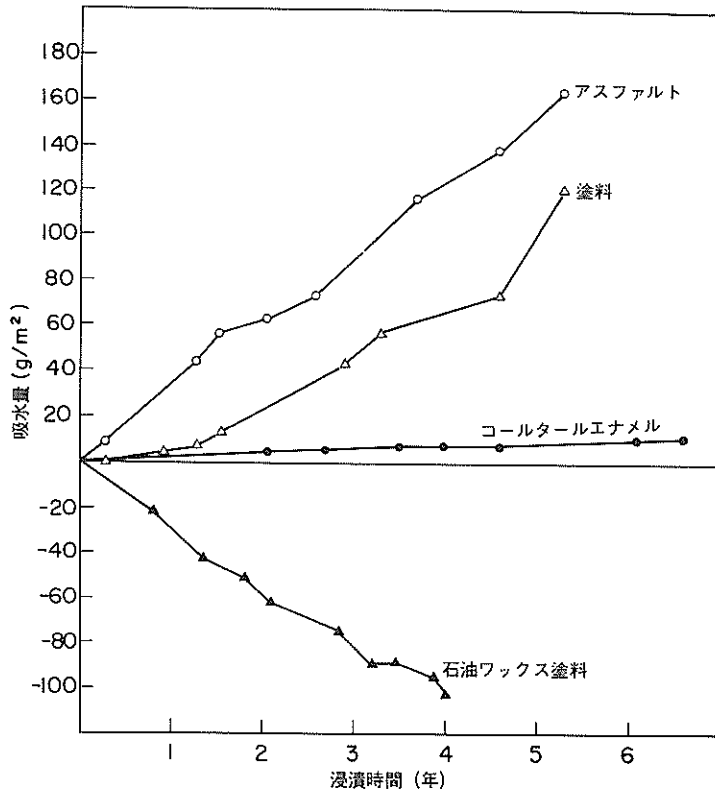


図 3-12 長期間浸漬時の澀育系塗膜の吸水量

### 3.7.4 アスファルト系塗料

付着物の付着してないH.W.L.直上より上のゾーンにおいては、調査した杭の中でチェックの劣化を生じていた塗装杭(杭6G-5)が1本認められたが、施工時に損傷を生じたヶ所(杭6G-5)を除けばその他の劣化は認められない。また表3-2に示す塗膜抵抗測定値も高抵抗を示しコール・タール系塗料と同様に耐久性は良好であった。

付着物の付着し始めるH.W.L.付近より下の深度においての塗膜の状況は、コール・タール系塗料と同様にフジツボによる塗膜への食い込みが目立った。+1.90 m付近まではフジツボの塗膜への食い込みにより塗膜の凹凸が激しい。その上、+1.90 m付近~+1.70 m付近では覆装材として巻き込まれたビニロン・クロスの露出

が顕著に認められた。+1.70 m付近より下の深度ではアスファルトの残存はほとんど認められず、ビニロン・クロスだけが鋼管杭に付着している状態であった(写真3-7参照)。また、図3-1に示す塗膜厚測定結果でもH.W.L.直下より膜厚が急激に減少して行き+1.70 m付近より下の深度では膜厚が1mm程度かそれ以下の所も認められる(1mm程度の測定値は覆装材として用いたビニロン・クロスの厚さと思われる)。

すなわち、+1.70 m付近より下の深度においては、3.7年後に調査した結果では塗料の残存はほとんど認められずに、無防食の状態であった。このことは図3-12に示す澀育系塗膜の吸水量からもみられるように、アスファルトはコール・タールに比べ耐水性が極めて悪い。その結果、潮位間のように海水に触れるゾーンにおいて

はアスファルト自体が海水を吸収し、徐々に鉄の地肌との密着性が失なわれたことと、フジツボなど付着物による塗膜への食い込みも伴って劣化が進行して行ったものと予想される。

それ故、同じ覆装材を巻き込んで施工してもアスファルト系塗料のように潮位間より下のゾーンにおいては防食効果が3.7年未済で失なわれてしまうものや、コール・タール系塗料のように3.7年後においても良い防食効果を示しているものも見られ、塗料の種類により防食効果の差が認められる。

#### 4. あとがき

以上の調査結果から、次のことが言えよう。

(1) 良質なタール・エポキシ系塗料のみを数百ミクロン以上塗布したとき、フジツボの貫通による塗膜の損傷はほとんどないことがわかった。

(2) ガラス・クロスまたはビニロン・クロスのような覆装材と塗料とを併用した塗装杭では、被覆材の防食効果はほとんど塗料の種類に左右され、例えばタール系塗料はアスファルト系塗料より良好な防食効果を示すことが明らかとなった。

(3) フジツボの付着しないH.W.L.上(+2.7~+2.2m)では、塩化ゴム系塗料を除きタール・エポキシ系塗料、タール系塗料、アスファルト系塗料の耐食性は大体良好であった。

(4) 長尺の被覆鋼管杭を打込むとき、20%の鋼管杭の被覆材が損傷し、損傷箇所はH.W.L.付近で海側がほとんどであった。

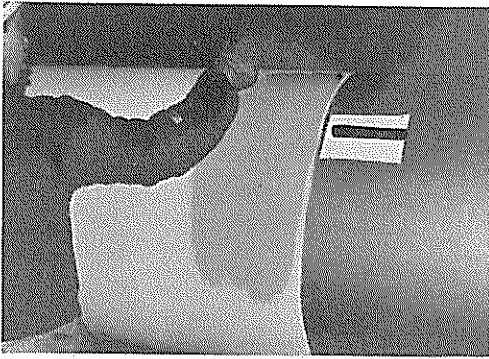
本調査は稼働している千葉港-10m3号岸壁の鋼管杭の一部に、付着物に対する被覆材の抵抗を主に比較する意味から塗料単味で膜厚を厚くした塗装系および覆装材を塗料と併用した塗覆装材が塗布されそれぞれの防食効果を検討した。調査は肉眼観察、写真撮影を主に、塗膜抵抗の測定と塗膜厚の測定を従にして行ったが、使用した各種被覆材の防食効果を一応把握することが出来たと思われる。最後に本調査の実施に当たり御協力いただいた運輸省第2港湾建設局・横浜調査設計事務所、千葉港工事事務所の関係各位にお礼申し上げます。

(1975年7月1日受付)

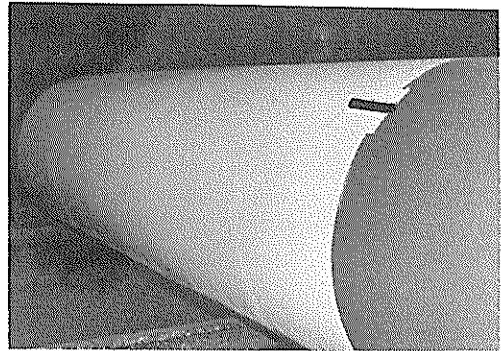
#### 参考文献

- 1) 善, 阿部: 清水港における塗膜調査, 技研資料, 672, 1~60 (1969)
- 2) J. I. S. G 3492-1968, 21~24. 皮はぎ試験結果におよぼすエナメル加熱時間の影響
- 3) V. A. Pritula: Cathodic Protection of Pipe Lines and Storage Tanks, H. M. S. O (1953)
- 4) 阿部: 海気中および海水中における鋼材に対する塗料の防食効果, 技研資料, 6197, 15~16 (1974)
- 5) 善, 山口: 海岸におけるI形鋼杭に対する塗料の防食効果, 防食技術, 23, 247~255 (1974)

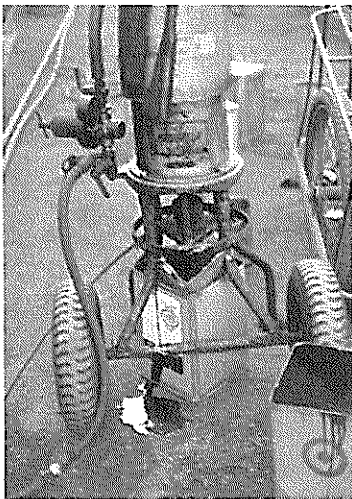




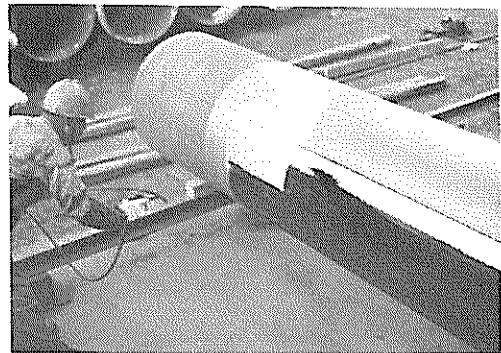
下塗り塗料（ジンク・プライマー）の2回目塗装



下塗り塗料（ジンク・プライマー）の塗装完了



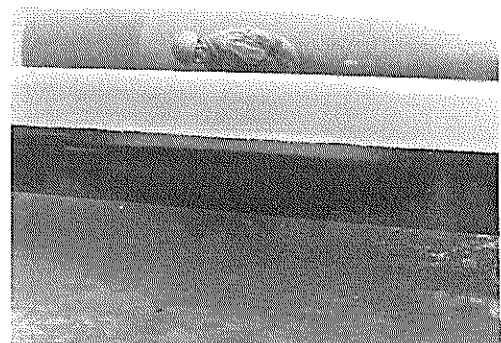
エアレス・スプレー塗装機（上塗り塗料）



上塗り塗料の1回目塗装



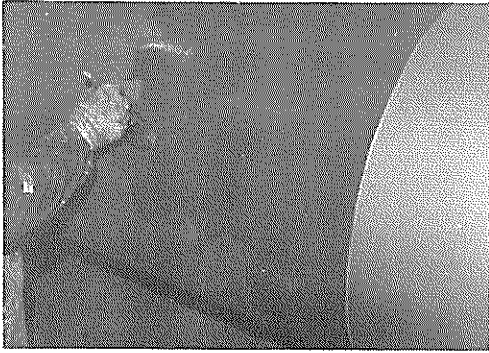
上塗り塗料2回目塗装



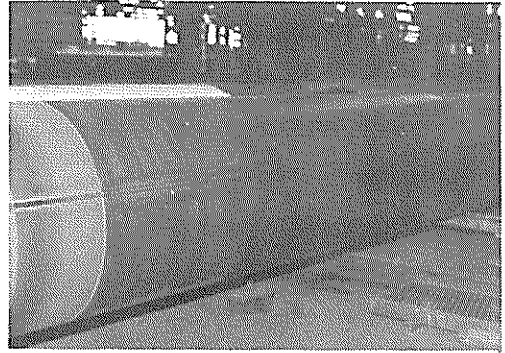
塗装完了（下塗り塗料2回塗り＋上塗り塗料2回塗り）

写真 2-2 A種塗料の塗装状況

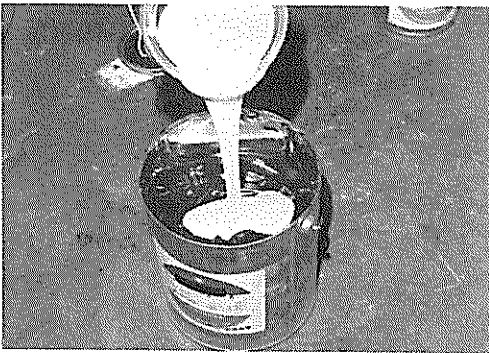




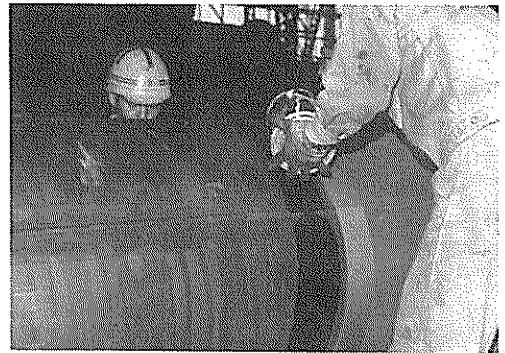
下塗り塗料 (ショップ プライマー) の塗装



下塗り塗料 (ショップ・プライマー) の塗装完了



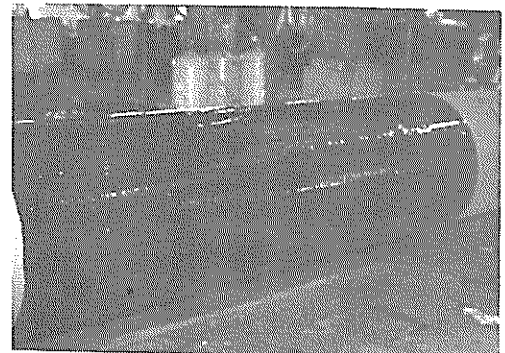
上塗り塗料の混合 (A/B=1/2)



上塗り塗料の塗装

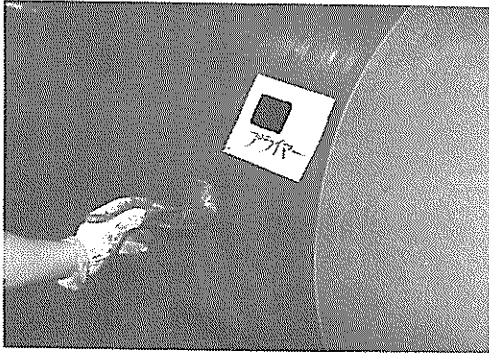


上塗り塗料の塗装 (刷毛塗り)

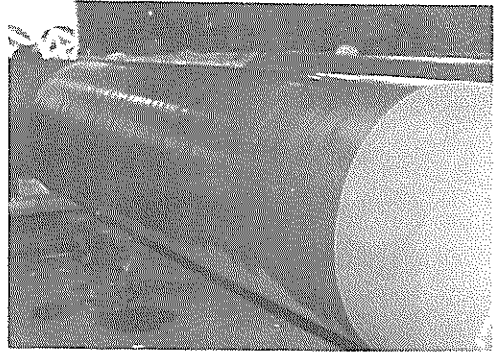


塗装完了 (下塗り塗料 1回塗り + 上塗り塗料 1回塗り)

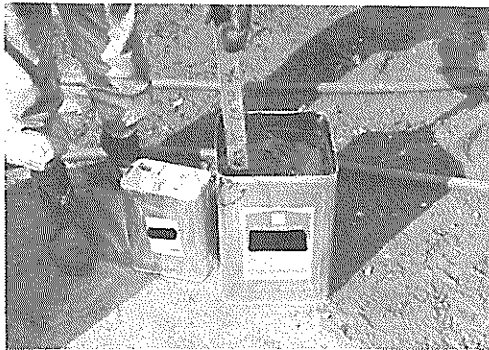
写真 2-3 B種塗料の塗装状況



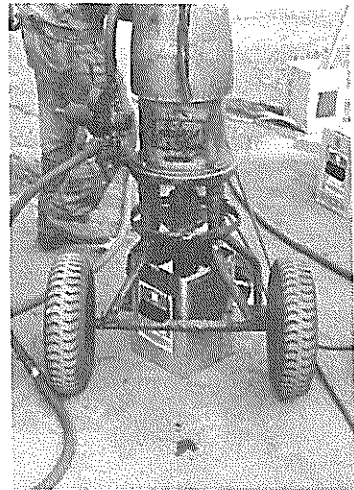
下塗り塗料の塗装 (1)



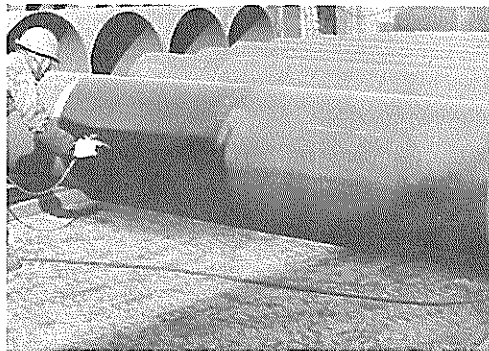
下塗り塗料の塗装 (2)



上塗り塗料の攪拌



エアレス・スプレー塗装機 (上塗り塗料)

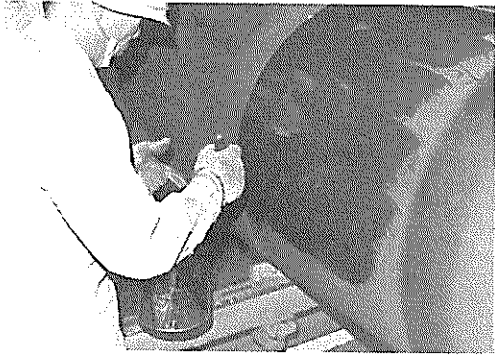


上塗り塗料の塗装 (1)

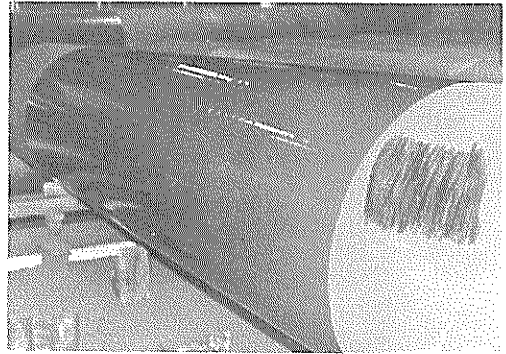


上塗り塗料の塗装 (2)

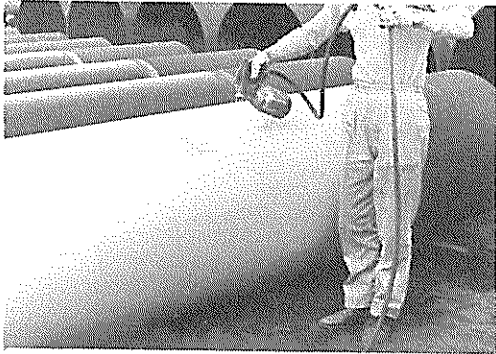
写真 2-4 G種塗料の塗装状況



下塗り塗料の塗装



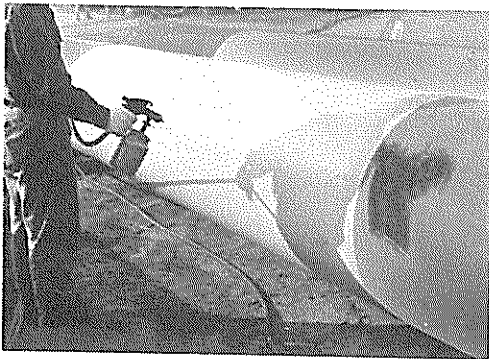
下塗り塗料の塗装完了（2回塗り）



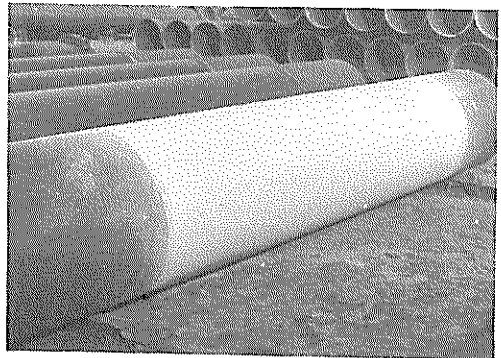
中塗り塗料の塗装



上塗り塗料の攪拌



上塗り塗料の塗装

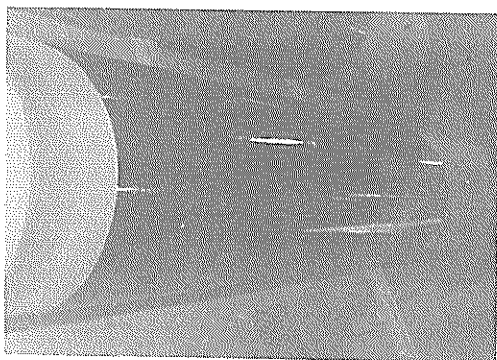


塗装完了（下塗り塗料 2回 + 中塗り塗料 1回 + 上塗り塗料 1回）

写真 2-5 D種塗料の塗装状況



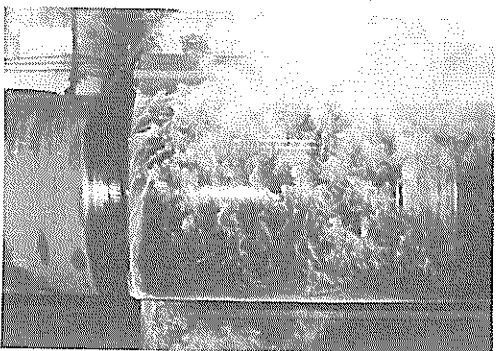
エナメル・プライマーの刷毛塗り塗装



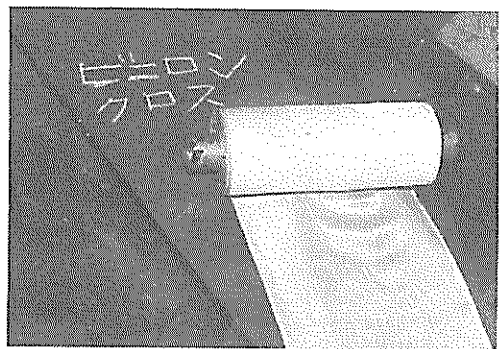
エナメル・プライマーの塗装完了



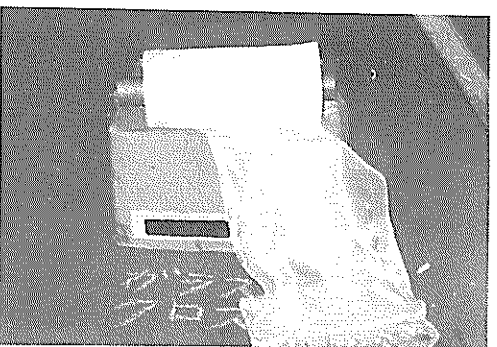
コール・タールエナメルの溶融 (210℃～250℃)



コール・タールエナメル塗装



覆装材として使用したピロン・クロス



覆装材として使用したガラスクロス



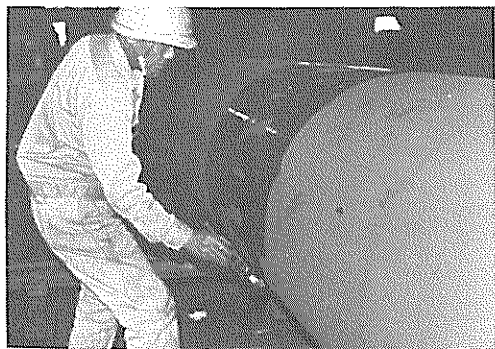
覆装材の巻き付け (2重巻)



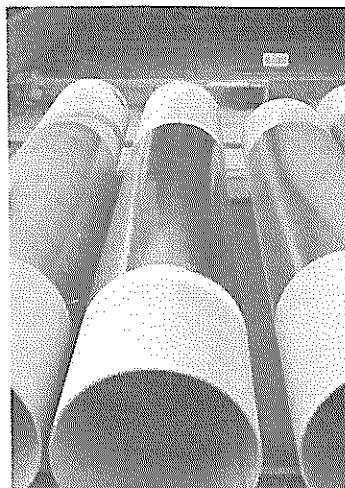
塗装完了 (コールタール2回塗り、ピロンクロス2重巻)

写真 2-6 E種, F種塗料の塗装状況





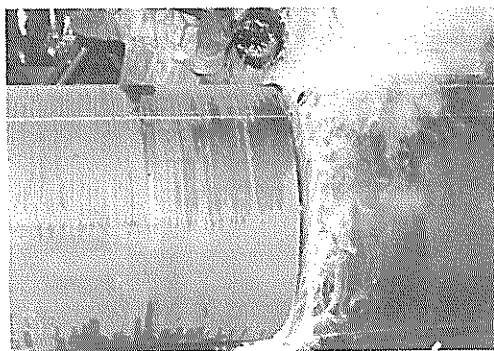
アスファルト・プライマー刷毛塗り塗料



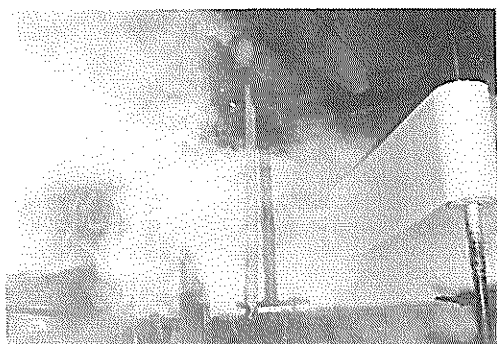
アスファルト・プライマー塗装完了



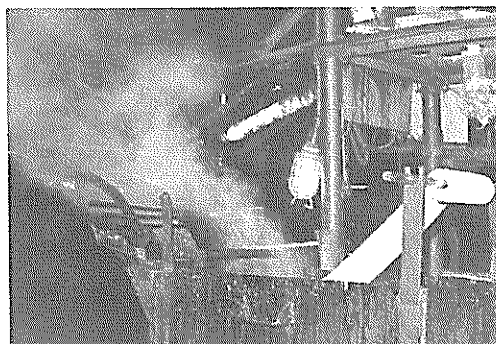
アスファルトの溶融(170℃～230℃)



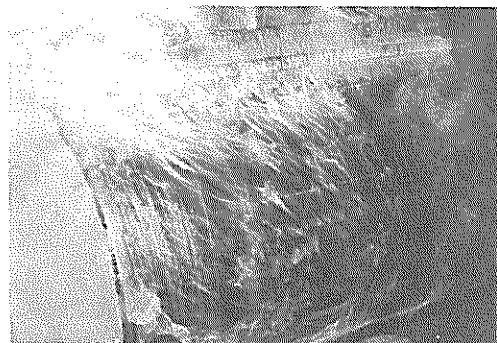
アスファルト塗装



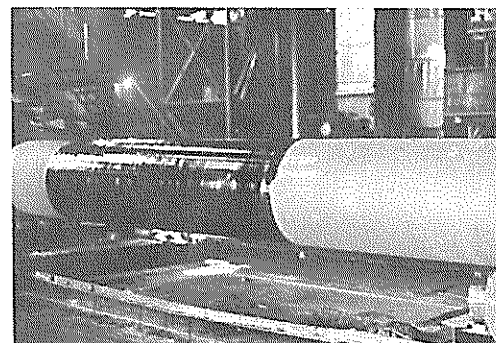
覆装材のアスファルト中含浸(1)



覆装材のアスファルト中含浸(2)



アスファルトの2回塗り



塗装完了(アスファルト2回塗り、ビニロンクロス2重巻)

写真 2-7 G種塗料の塗装状況

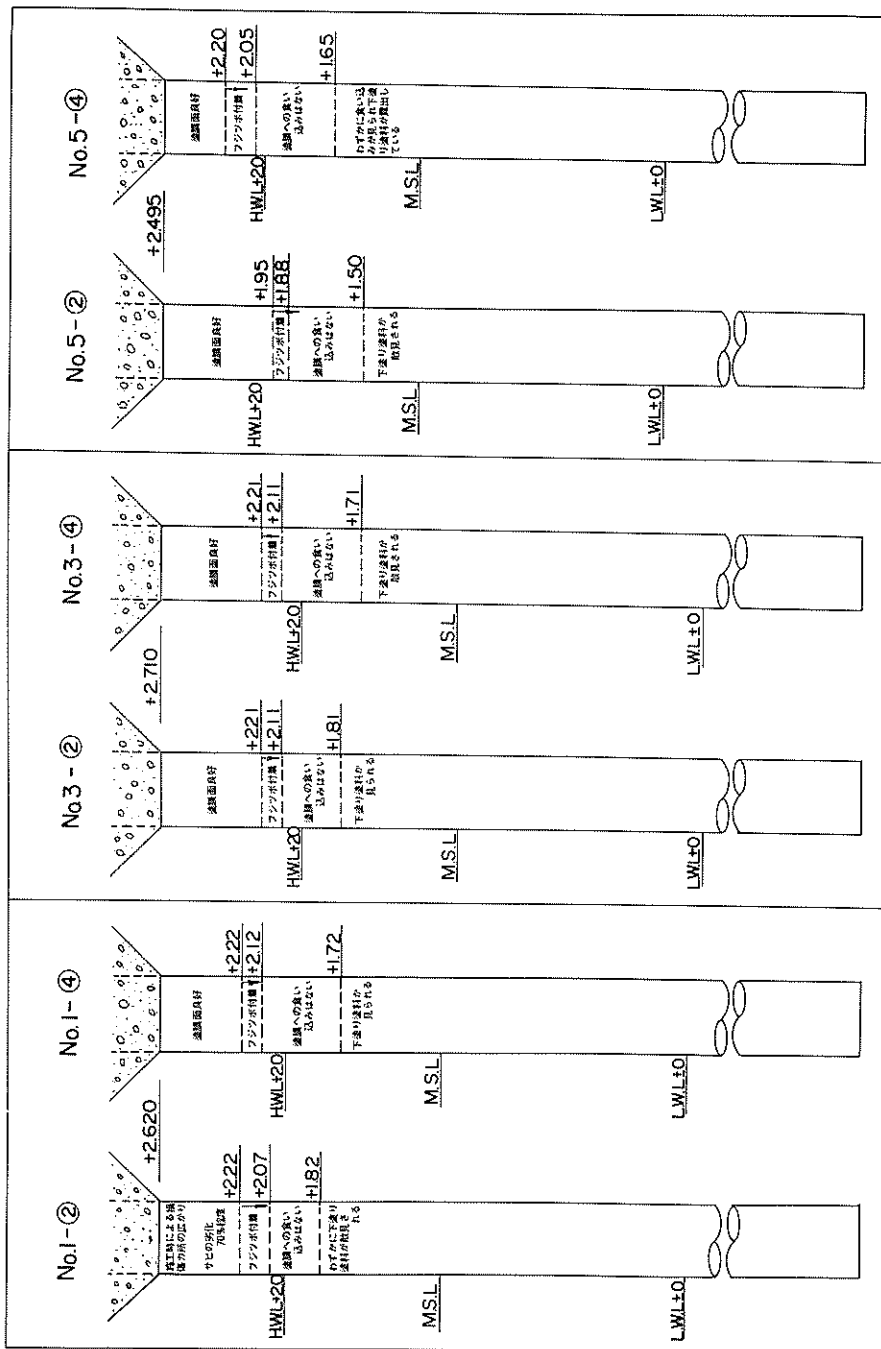


図 3-2 A種透抜杭の劣化状況

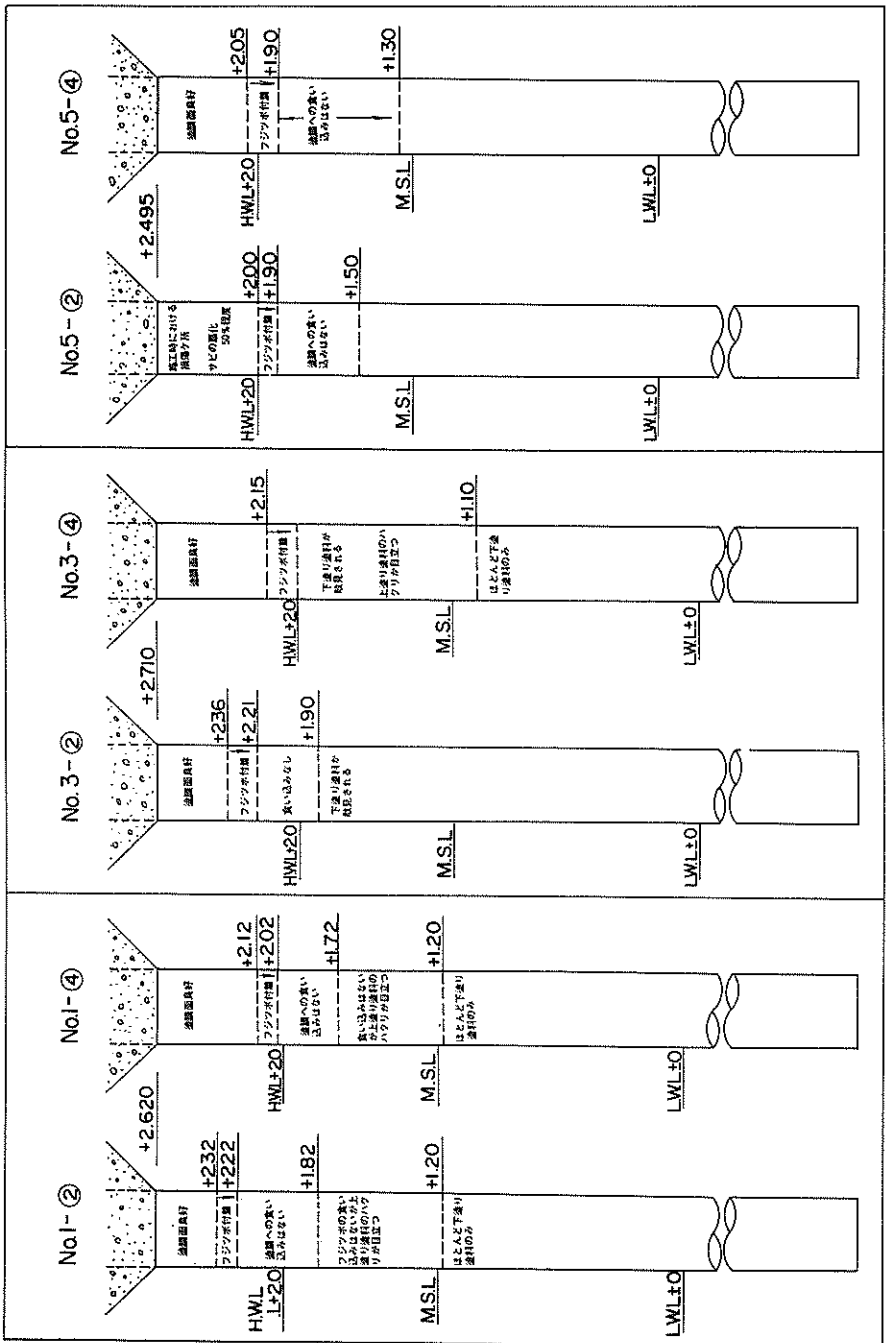


図 3-3 B種塗装杭の劣化状況

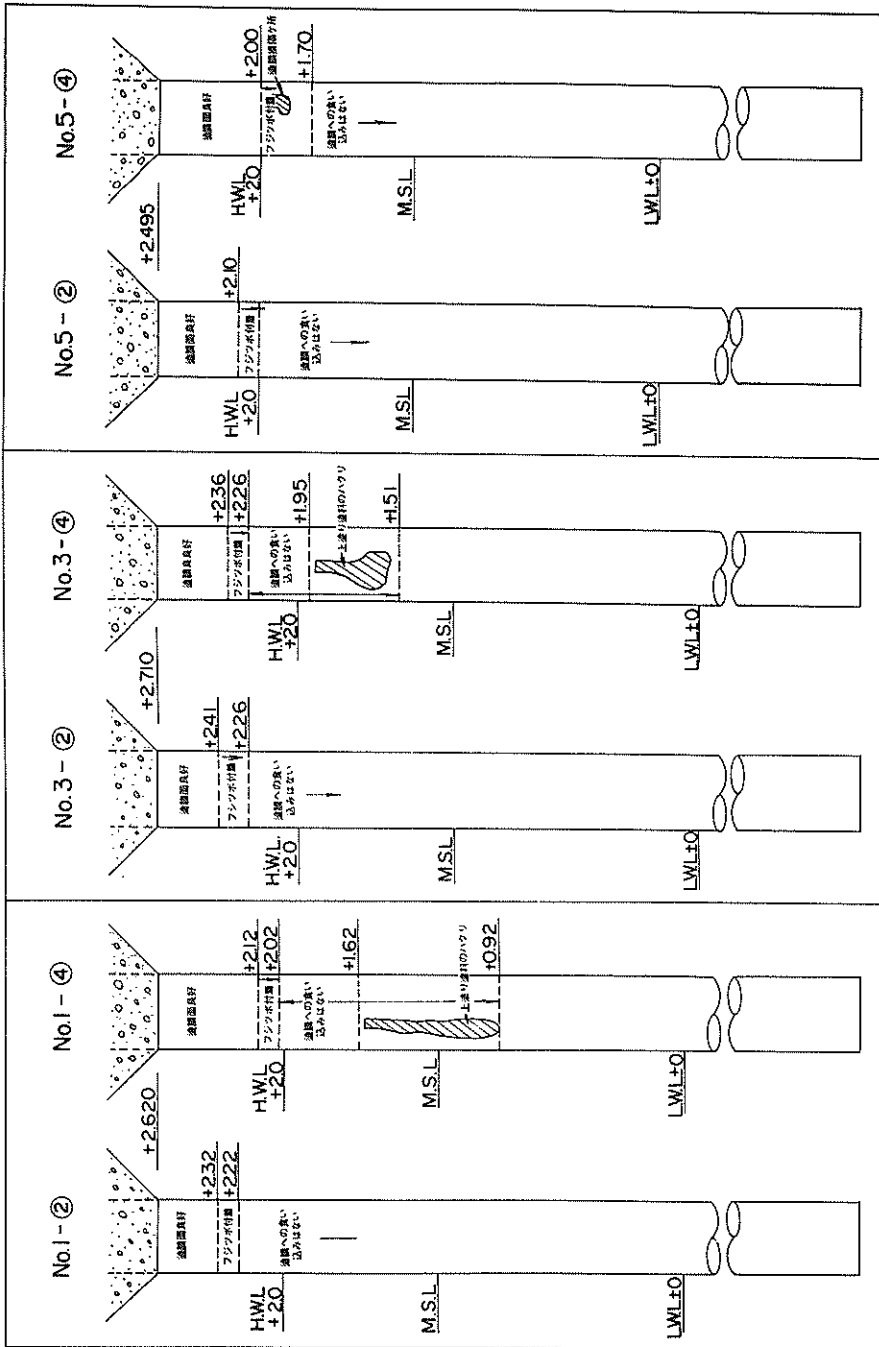


図 3-4 〇種塗装機の劣化状況



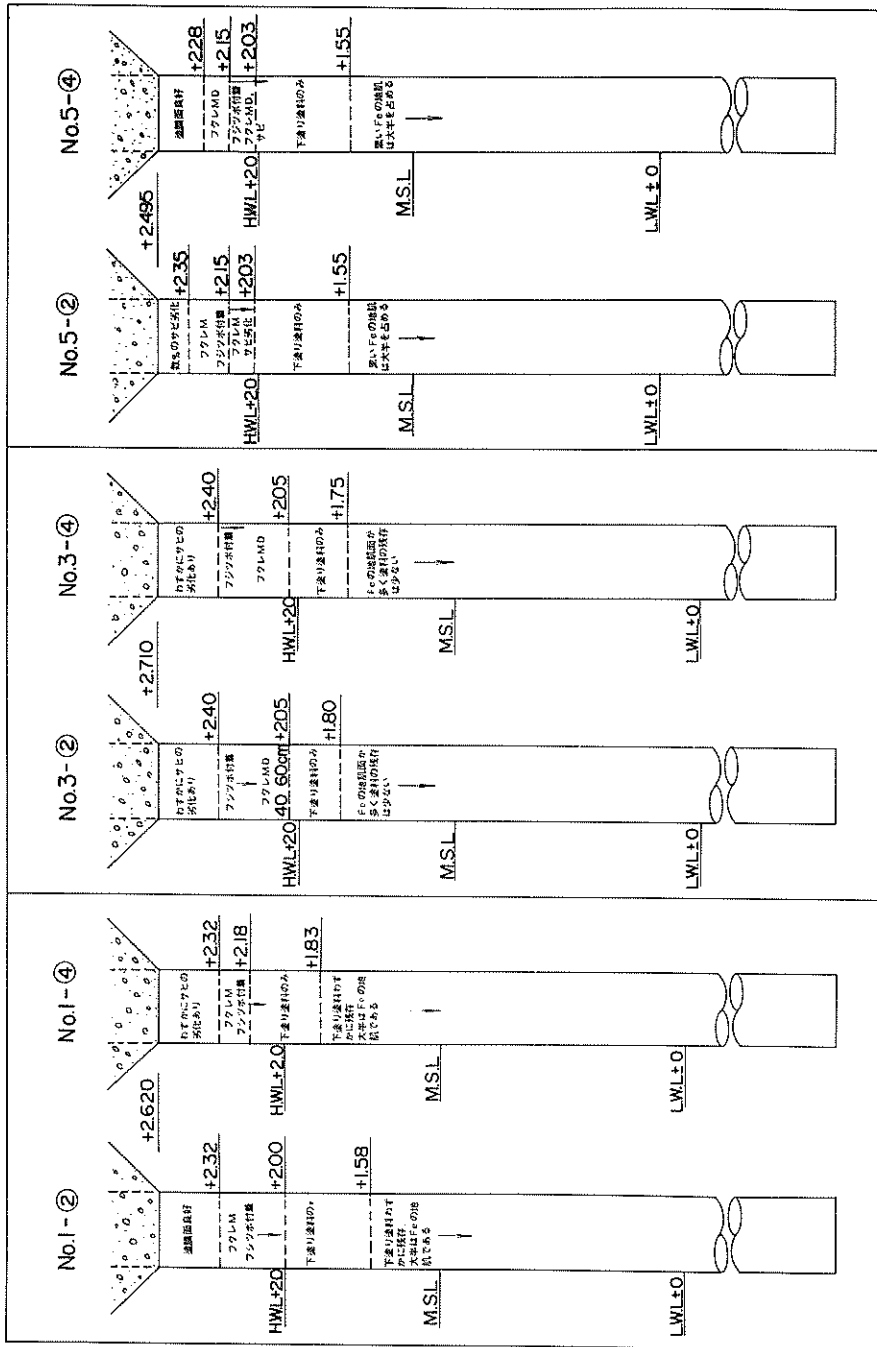


図 3-5 D種塗装杭の劣化状況

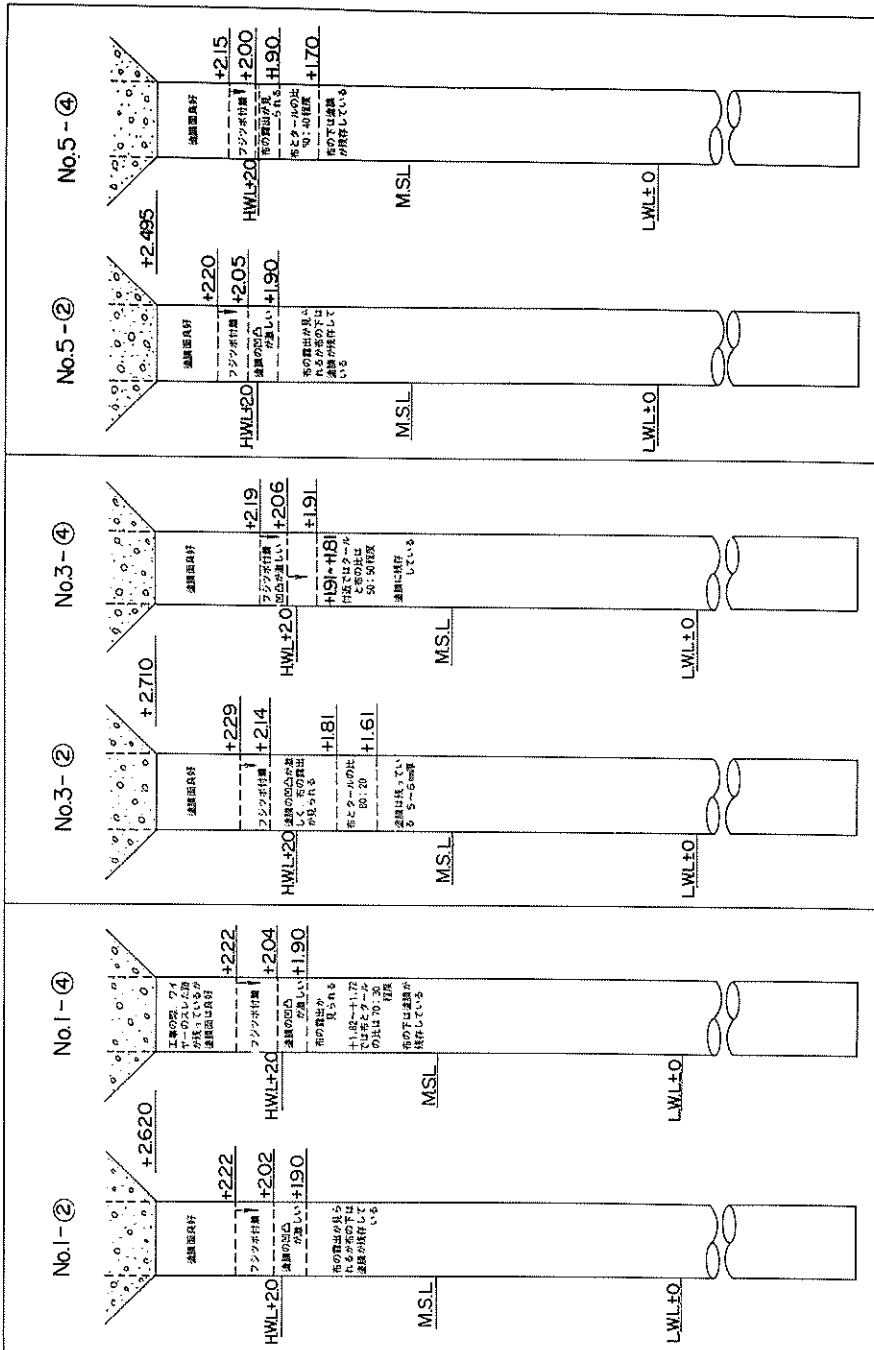


図 3-6 B 種遊装材の劣化状況

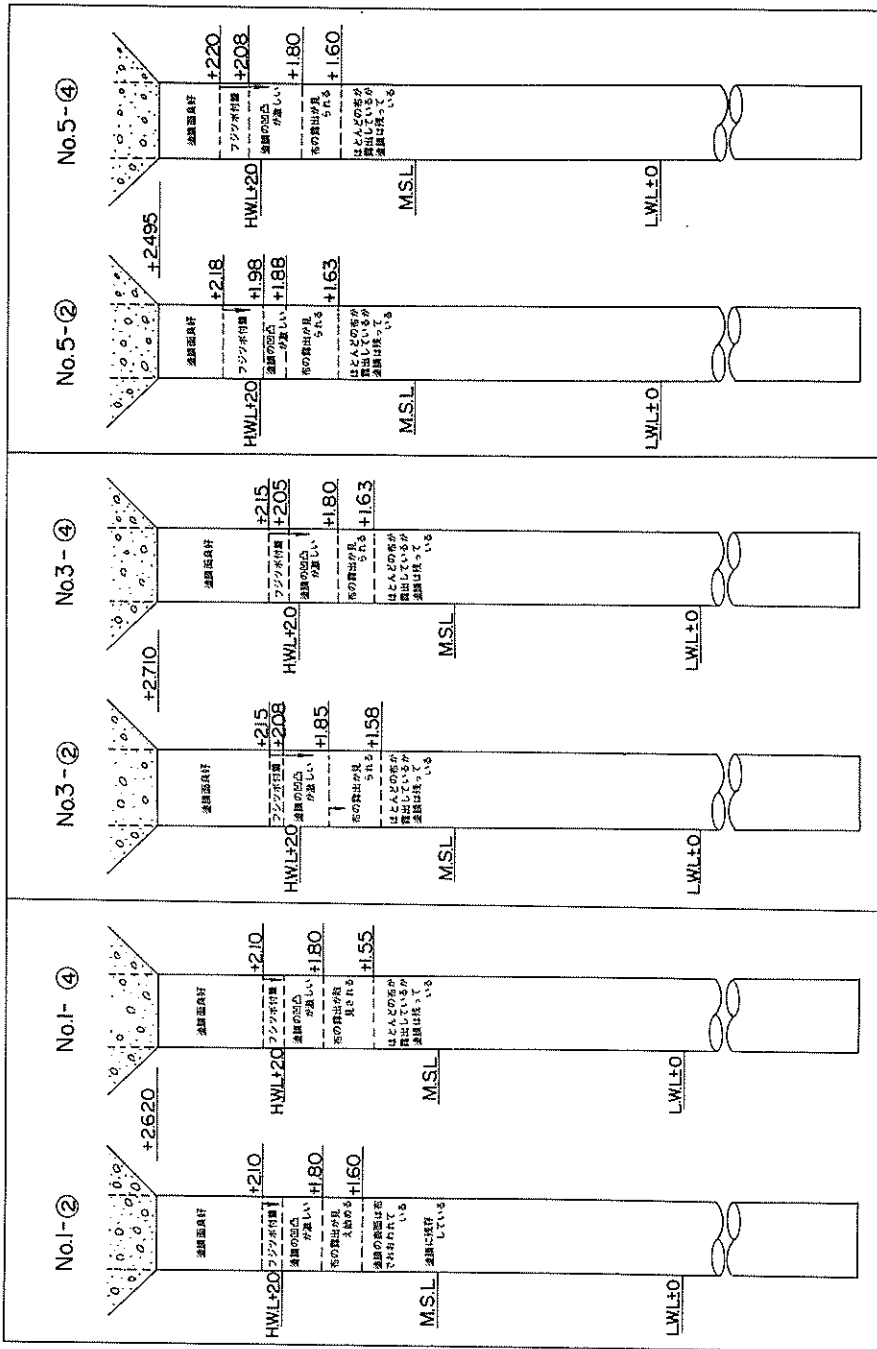


図 3-7 F 種塗装杭の劣化状況

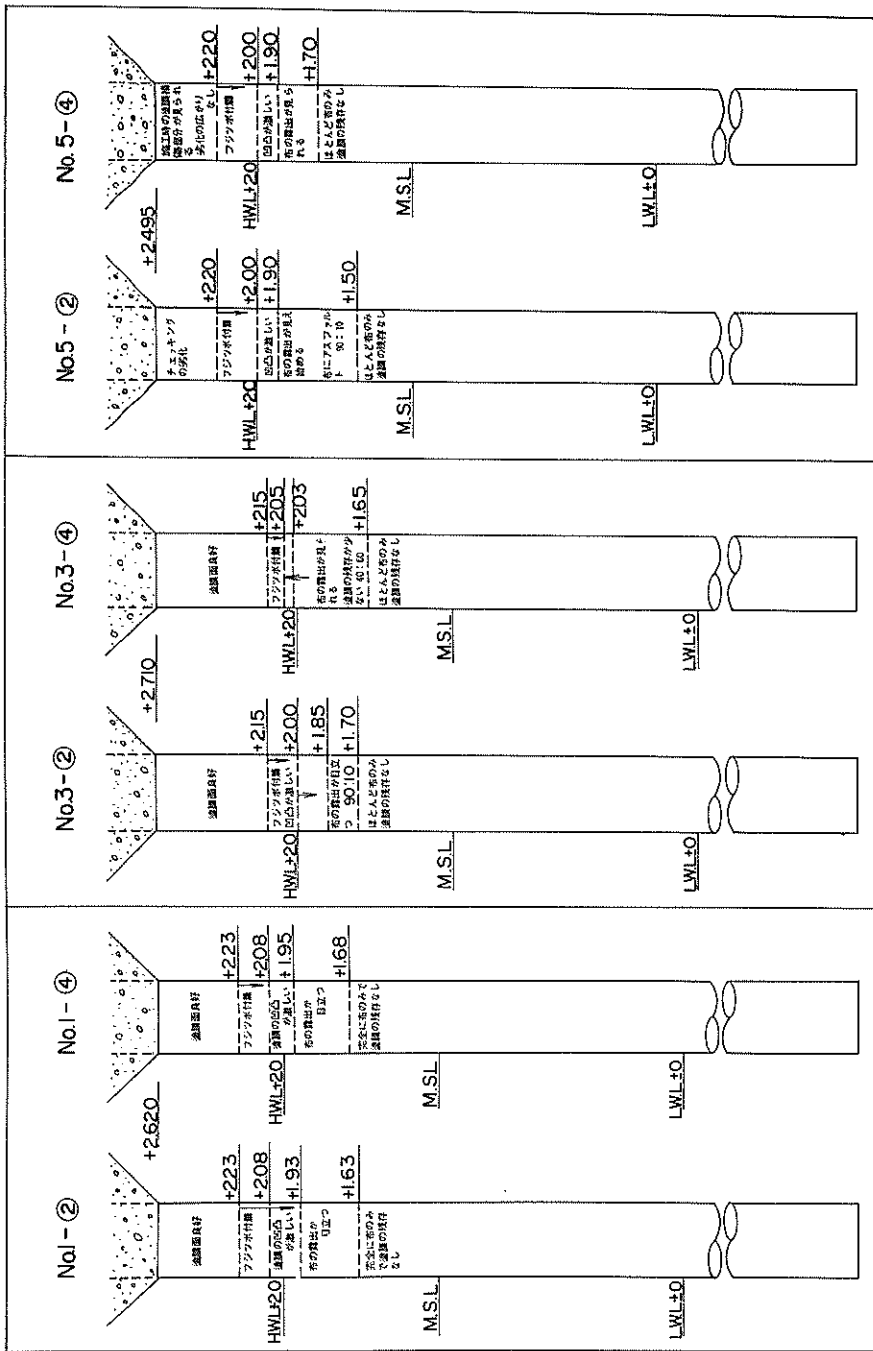


図 3-8 G種塗装杭の劣化状況

港 湾 技 研 資 料      No.225

1 9 7 5 ・ 9

編 集 兼 發 行 人      運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所

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

印 刷 所      ( 有 ) 葵 印 刷 工 業

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