

土 木 研 究 所 資 料

(第 332 号)

鋼 ぐ い の 腐 食 調 査 資 料

昭 和 4 2 年 1 0 月

建 設 省 土 木 研 究 所

土木研究所資料 正誤表
(第332号)

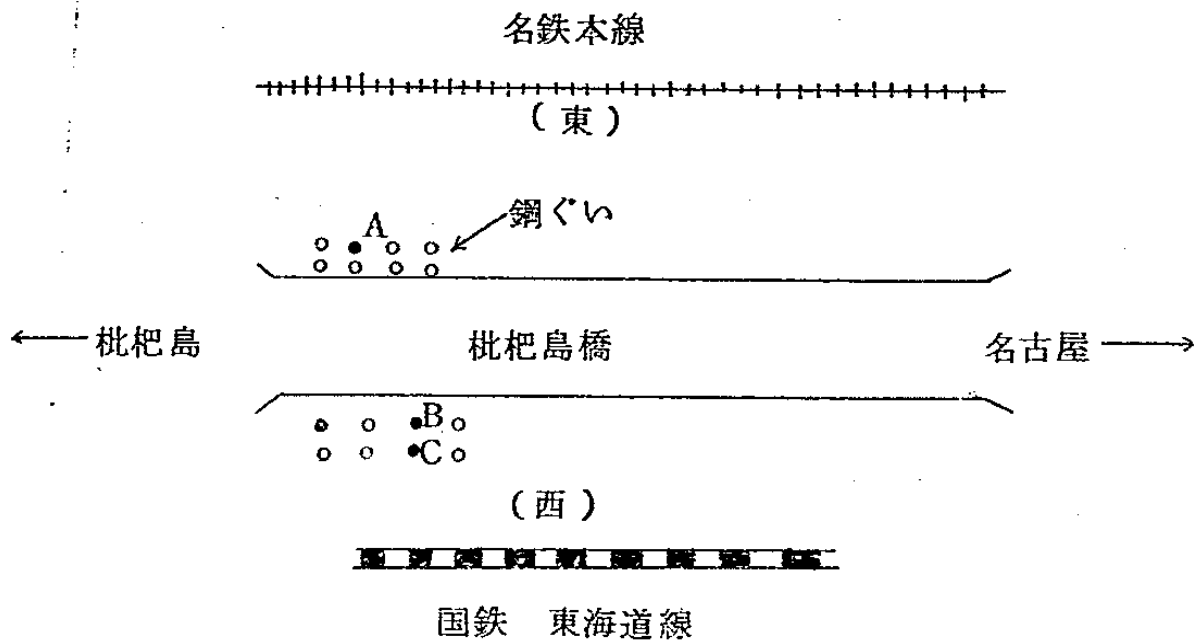
鋼ぐいの腐食調査資料

ページ	行	誤	正
1	下 3	駒 田 教 一	駒 田 敬 一
6	表	切換スイッチ, 肉厚5.3~12.7の覽にCRANGE 1を入れる	
13	表	一級国道	一般国道
14	表	0.025~0.057 mm/年	0.0025~0.0057 mm/年
15	表	一級国道	一般国道
"	"	海岸地炭	海岸地帯
16	"	0.117~13 mm/年	0.117~0.13 mm/年
18	表	試験番号3, 経過年数の覽に1.5を入れる	
21	図	1級国道	一般国道
"	"	江別豊幌路線橋	江別豊幌跨線橋
24	5	錆代は2 mとする。	錆代は2 mmとする。
"	表	表の摘要の空白覽に塗料名ビチコメールK-33回塗 を入れる。	
26	表-6	合 成	合成桁
43	7	一特橋	一等橋
"	15	AP+5, 100 m	AP+5, 100 m
43	下 1	EUO	Eu o
45	図	電極 (鉛径3 cm長5 cm 47)	電極 (鉛径3 cm長5 cm 4ヶ)
"	下 2	(4×3.14×0.239=3.00)	(4×3.14×0.239=3.00)
48	4	log	log e
53	10	10 mA/m ²	10 mA/m ²
54	下10	架設された図-1に示すような構 造の橋	架設された橋

ページ	行	誤	正
55	8	状態を図-2と写真に	状態を図-1に
57	6	超音波による	超音波法による
60	表	各抗平均の2の項で1.5.8.2を1.5.8.2に直す	
63	16~22	表-6	表-5
66	表	表-3	表-5
"	"	DOC	COD
"	下 1	表-4	表-6
67	1	示す通りである。	示す通りであるが、
"	"	表-5	表-7
"	表	表-4	表-6
68	1	表-5	表-7
"	4	表-6	表-8
"	6	表-6	表-8
72	5	SO ₄	SO ₄ ²⁻
"	下 5	図-4	表-6
"	下 1	1.5.7.3.5	1.5.7.3.5
73	7	(図-4)	(表-6)
"	8	0.011 0.078mm/年	0.011~0.078mm/年
80	図-1	図中の黒点に上から順にA, B, Cをつける(別紙図-1参照)	
"	"	批把島の左横に←印をつける、(別紙図-1参照)	
81	図-3	円に3と対称な点に1をつける(別紙図-2参照)	
86	表	8.3	8.3
95			6行と7行を末消する
98	下 1	9.2mm > 7.9.0mm	9.2mm > 9.0mm
99	下 4	土壌腐食性調査位置は図-4に示す	土壌腐食性調査位置は

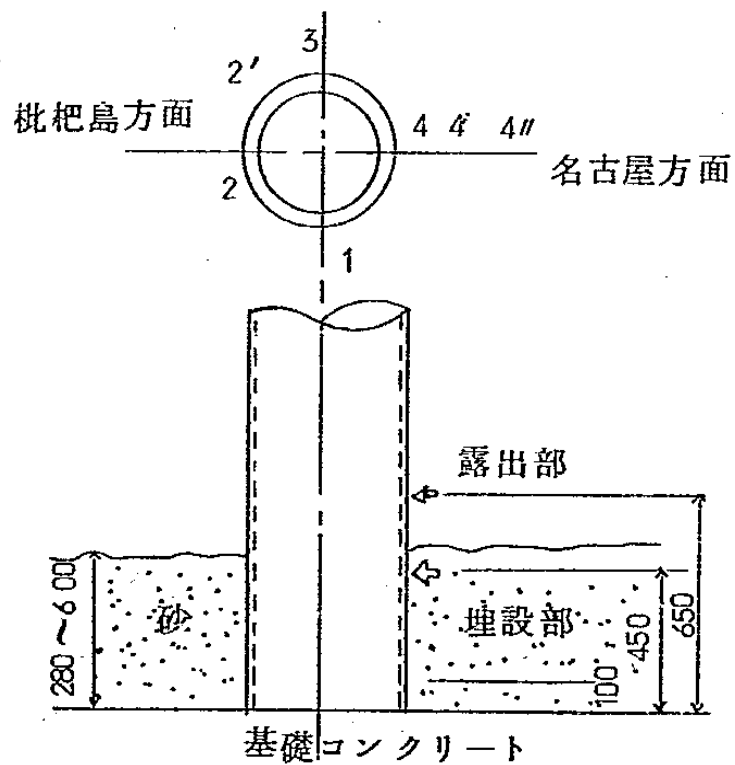
ページ	行	誤	正
103	15	図-7に示す形状にして各回路 3本	各回路 3本
105	下3	耐用命数	耐用年数
111	5	$\phi 1016$	$\phi 1016$
112	図	図-1の下方を別紙図のように直す(図-3参照)	
"	下1~3	$m/\text{月}$	$m/\text{年}$
116	図	図を別紙図のように直す(図-4, 図-5参照)	
"	下4, 6, 8	$m/\text{月}$	$m/\text{年}$
"	下8	$0.1m/m$	$0.1m/\text{年}$

a. 測定銅ぐいの位置



図一 1 歩道橋銅ぐい位置

図一 1



図一 3 測定点

図一 2

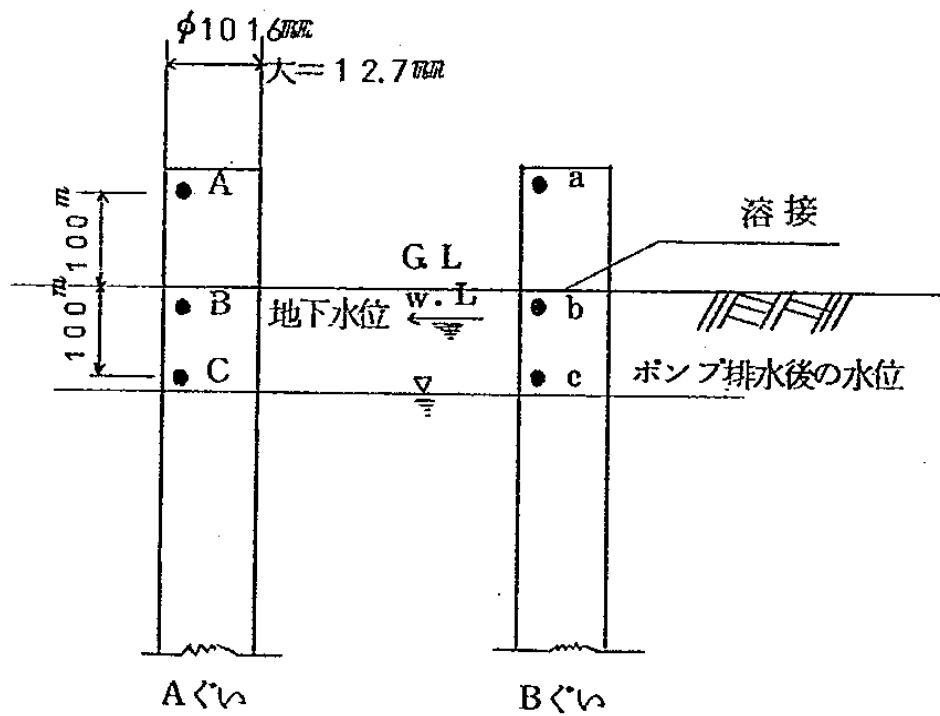


図-3

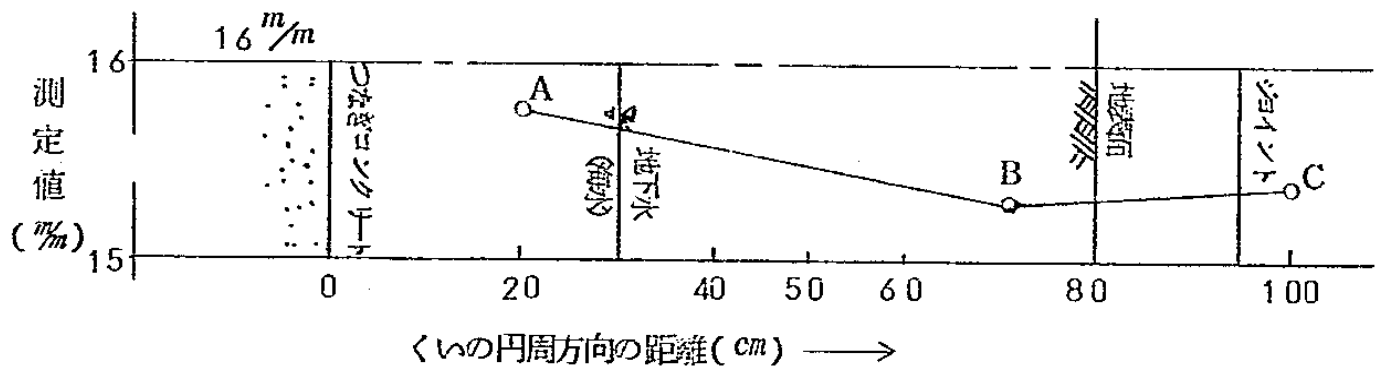


図-4

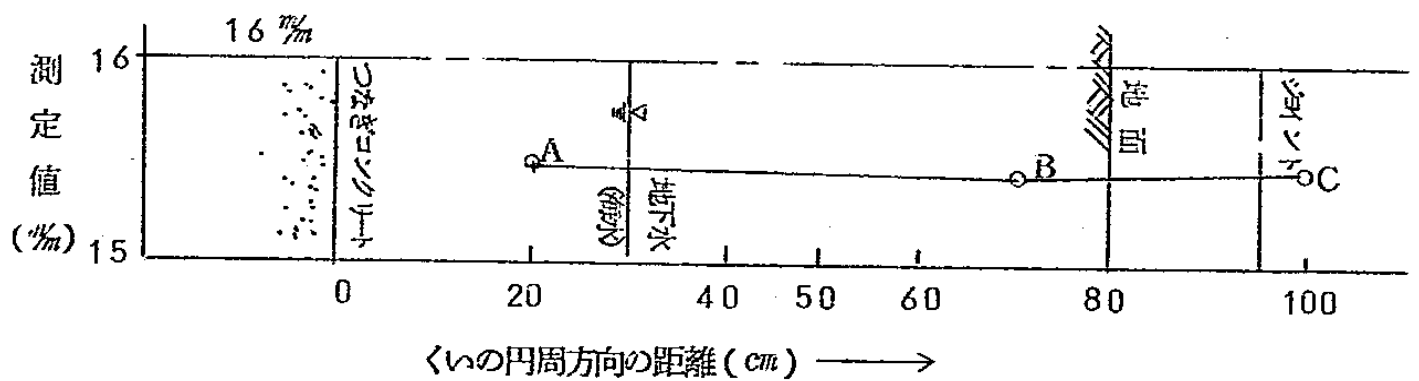


図-5

目 次

1	まえがき	1
2	腐食調査法の種類	2
3	電気抵抗式厚み計を用いた鋼ぐいの 腐食量測定方法	4
4	Rosenqvist の方法	9
5	鋼ぐい基礎の腐食に関する調査結果一覧表	13
6	鋼ぐい基礎の腐食に関する調査結果	17
(1)	北海道開発局	17
(2)	東北地方建設局	29
(3)	関東地方建設局	43
(4)	北陸地方建設局	75
(5)	中部地方建設局	79
(6)	中国地方建設局	85
(7)	四国地方建設局	111

1 ま え が き

本資料は、昭和42年度建設省技術研究会共通部門指定課題「構造物基礎形式の選定について」の調査にさいして建設省各地方建設局および北海道開発局において行なわれた橋梁の鋼ぐい基礎の腐食に関する調査結果を取りまとめたもので、昭和42年度の技術研究会の報告書の補足資料となるものである。

昭和42年10月31日

土木研究所基礎研究室

吉 田 巖

駒 田 教 一

足 立 義 雄

吉 岡 繁

2. 腐食調査法の種類

鋼ぐいの腐食調査として肉眼観察、切り取り検査、間接検査がある。

- 1) 肉眼観察では、腐食の状態だけを知ることができる。腐食部分をカラーフィルムで撮影し、スライドによつて調査できる。この場合、同一杭も同時、または事後撮影しておけば比較調査するのに都合がよい。
- 2) 切り取り検査は、肉厚の減少の状況を知るために任意の箇所（上部からの荷重の作用による影響が小さくてすむところ）から厚み測定用のテストピースを、ガス、または他の切断方法で切り取り、マイクロメーター等の計測器で測定するものである。

この場合、切り取るテストピースは、杭の軸方向に対して長くとり、円周方向に対しては、なるべく上部からの鉛直力の影響がないよう小さくとることが望ましい。切り取った部分のパッチングは図-1に示すとおり余裕巾を各3cmづつとらねばならない。パッチングの補修はつぎの要領でおこなうとよい。

a. パッチング用の鋼材の製作（ぐいと同一成分のもの）

a-1 くいの曲率とパッチングの曲率を同一にする。

b. 溶接施工（スミ肉溶接法による）

b-1 溶接部に予熱を加える。

b-2 溶接電流およびアーク電圧は十分に注意し作業する。

b-3 溶接順序に注意する。

できれば中心より対称に周辺に向つて溶接することが望ましい。

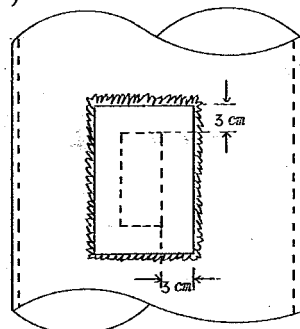


図-1

c. 検 査

溶接施工による検査は十分におこなうこと、とくに強度低下の原因とみなされるアンダーカット、オーバーラップ、ブローホール、スラグの巻込みなどや、不溶着など十分に検査せねばならない。

3) 間接検査

間接検査には、厚み計をもちいて鋼ぐいの腐食量を間接的に測定する方法と地盤の電気化学的性質を測定し、鋼ぐいの腐食の程度を知る方法とがある。

厚み計をもちいる方法は、被測定体に計量器を接触させ、鋼ぐいの一方の側よりその部分の肉厚の減少状況を知るもので、厚み計としては、種々のものが製作されている。例えば、磁気不飽和型鋼板厚み計、T-M式厚み計、電気抵抗式厚み計（スメツクゲージ）、超音波を利用した厚み計などがある。

地盤の電気化学的性質を測定する方法は、鋼ぐいの腐食が地盤の電気化学的性質によることを利用したものである。地中に埋められた鋼ぐいの腐食に関係する要素として、地盤の比抵抗、地下水中の水素イオン濃度、地下水中の溶存酸素量、鋼ぐいの自然電位、地盤の復極率などがあげられ、それぞれに対する測定法が提案されている。

本資料では、この内の一例として、電気抵抗式厚み計による測定法と鋼ぐいの腐食は地盤の復極率によるとしている Rosenqvist の方法について説明する。

3 電気抵抗式厚み計を用いた鋼ぐいの腐食量測定方法

3-1 構成および測定の特徴

電気抵抗式厚み計は、本体（インジケータ）および電気接触子から構成されている。接触子は4本の、電流（ i_1 、 i_2 ）および電圧接触子（ V_1 、 V_2 ）から成り立ち、図-2のように i_1 、 V_1 、 V_2 、 i_2 の順で一直線上に配列し測定するが、接触を確かにするため、それぞれスプリングバネを内蔵している。

本体は直流電流5Aを電流接触子に流し、そのときに生じる電位差を測定できる直流電圧計を具備している。

測定原理は、一般に金属板の2点間の電気抵抗値はその板の厚さに反比例することから、金属体に流す電流を一定に保ち、電圧接触子間 V_1 、 V_2 に発生する電位差を測定し、そのときの値で厚さを求めようとするものである。

この場合、接触子の間隔は測定体の肉厚および腐食量検査範囲の大きさに応じて適当な等間隔をとらねばならない。

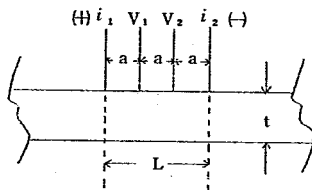


図-2

3-2 作業準備および校正

1) 準備について

- a. 測定するぐいの周辺をある深さまで堀削し、地中に埋込まれたぐいを空气中に露出させる。露出したぐいは測定個所の表面に付着している土や、塗料などを金属面が表われるまでグラインダーで研磨し、測定可能な状態にする。
- b. 埋込まれたぐいと同一材質の鋼材でテストピースをつくり現場に持込む。

- c. 100VのAC電源を本体に連結できるように用意する。もし、100Vの電源を現場にひくことができない場合は、5A程度の電流を測定体に流すことができるバッテリーを用意する。
- d. 本体に、接触子を連結し本体のチェック（ゼロ、電流、抵抗の調整）をおこなう。
- e. 作業人員は2名必要とする。
- f. テストピースの大きさは電流接触子間隔（1cm）の3倍を一辺とした正方形とする。

2) 校正について

本測定法の校正は、一般にもちいている校正曲線図を参照して、その測定値を校正する方法とは多少異なっている。まず、埋込まれたくいと同一成分の鋼材で作成した肉厚既知のテストピースに、4針接触子を当てると、計器内の肉厚指示計に、そのテストピースの測定厚みが表示される。

この段階において、テストピースの厚さ（マイクロメーター等で測ったもの）が測定厚さと一致しなかつたら、テストピースに接触子を当てたまま、抵抗の調整をおこない、テストピースの厚さが真の厚さになるように校正する。

以上は校正の一般的な作業手順である。

ところでくいが内側の地下水、その他の条件により湿気を含んだ場合の測定への影響についてであるが、金属の比抵抗は $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ であり、水や、コンクリート、その他のものと比較した場合、大巾に差があり測定時の湿気による影響は無視できる。したがってテストピースは正規のものが一つあればよい。

3-3 測定

測定に先立つての土の掘削は地表面より1.0～1.5の深さで測定者が自由に作業ができる範囲を掘るものとする。

測定はまず肉眼検査をおこない、腐食個所が不明瞭であつたらスメツク
ゲージによる部分測定をおこなう。

部分測定はくいの断面を4等分し、各点に符号をうち、その点より1～
2個所測定する。(図-3参照)

この場合、くいの軸方向における測定点のピッチは10cm～20cmする。
また、測定を細くやりたい場合は、細部測定をおこなえばよい。(図-4
参照)これはくいの軸方向および軸直角方向にピッチ10cmで等行線をひ
き、その交点に接触子をくい軸方向に一直線上に押当てて測定する。この場
合、くいの径が $\phi 600\%$ 以上になると測定者は等行線を適正な間隔に定
めなければならない。

なお、被測定板の厚さおよび材質の条件に応じて切換スイッチ、目盛
の読み、比抵抗の範囲等を選択して測定することが望ましい。次にその一
例を示す。

表-1 選択条件(但しSS41、径30cm～180cmの鋼管くい)

肉厚(mm)	測定に使用する 接触子	切換スイッチ	目盛の読み	比抵抗 $\Omega\text{-cm}$
5.3～12.7	一般用4針 接 触 子		スケール 1 で朱線目盛	20
12.7～30.0	厚板用4針 接 触 子	"	"	"

また、H型钢くいにおいてはウェブ、フランジの肉厚が異なっているため
接触子は両方とも使用することになる。

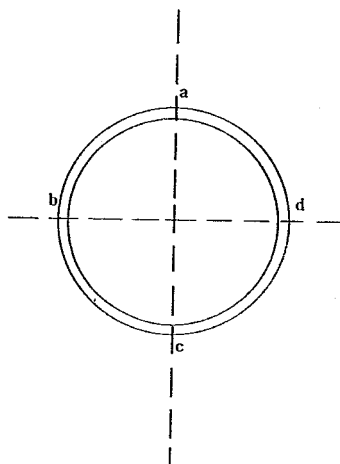


図-3 部分測定図

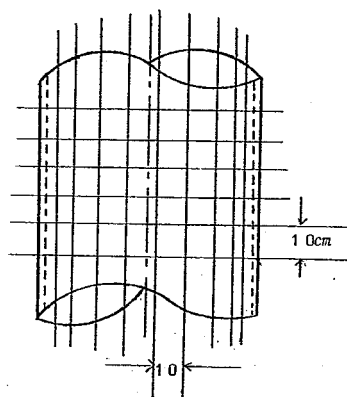


図-4 細部測定図

3-4 測定に関する心得

a. 針の寿命は、1日10時間を休みなしで使用すると約1ヶ月間は精度の低下はない。

b. 針の先端が丸味をおびた場合は直に研磨し、針先を細くすること。

(丸味は測定精度が悪くなる条件の一つである)

c. 測定器は海水に弱いから直接海水に浸すことのないよう注意すること。

d. 同一成分の鋼材でも溶接以外の方法で貼合せると、針が接触している側のみしか厚みの測定はできない。

e. 測定面に油、塗料、サビ等が附着している場合は、金属面が露出するまで研磨することが望ましい。

f. 平板鋼材を測定する場合は、切断されている一端より少なくとも30mmは離して接触子を押え付けること。

g. 針を固定している接触子のニギリはプラスチック製になっており、硬

い物（コンクリート路面など）に直接落下させると破損を生じることがあるので注意すること。

h．比抵抗が比較的小さいものは測定の精度がにぶる。（銅、アルミ等は
この部類に入る）

i．テストピースは被測定板と同一材質のものをを用いること。

二
の
外

4 Rosenqvist の方法

地中に埋められた鋼ぐいの腐食現象は電気化学的なものであるが、さらに厳密にはこれを陽極反応と陰極反応に分けることができる。すなわちこのうちの陽極反応は、本来の意味の腐食であつて、金属である鉄が周囲の地下水または間隙水中に、2 価の鉄陽イオン ($\text{Fe} = \text{Fe}^{++} + 2e$) となつて溶け出すことによつて起こる。

ところが金属はもともと電気的には中性であるから、このような陽極反応の結果は鋼の表面に過剰の電子をもたらし、もしこの電子が取り除かれなければ、腐食はここで停止するに至る。陰極反応というのは、このように陽極反応によつて蓄積された電子を除去する作用であり、電子と反応してこれを消費する元素あるいは化合物を一般に復極剤、このような反応そのものを復極作用と呼んでいる。

地中の鋼材に対する復極剤としては

炭素

3 価あるいは 4 価の鉄イオンとマンガン

陽子

ある種のバクテリア

などがあり、このような復極剤が多量にあればあるほど腐食作用は迅速である。したがつて地中における復極剤の存在量の多少、すなわち復極率は腐食の速度を支配する重要な要因である。

一方、腐食が電気化学作用であるからには、地盤の電気伝導度が腐食の速度を支配し、この値が大きいかほどすなわち地盤の比抵抗が小さいほど腐食が起りやすいものであることも疑いない。

このような原理から、地盤の復極率と比抵抗を測定して、その組合せにより鋼ぐいに対する地盤の腐食性を判定するのが Rosenqvist の方法である。地盤の復極率および比抵抗の測定には、コロージョン・ポイントと称する特

殊な原位置測定装置を使用し、復極率の基準としては、ポイントを

蒸留水 1000α

食塩 35 gr

過酸化水素 10α

なる割合で温度20℃なる標準溶液に浸したときをもつて100%とする。

なお復極率、比抵抗の組合せと腐食性の大小の關係は表-2に、またこれら測定値から年間腐食率を推定する資料は図-5の曲線によつて与えられているが、これらは

ノルウェーのオスロ市内における

鉄棒15例(10~70年経過)

スウェーデンのイエーテボリにおける

鋼ぐい6例

東部ノルウェーにおける鋼ぐい6例

の合計27例(いずれも地中に鉛直に打ち込まれたもので長さは10~25mの範囲にある)についての実測結果から得られたものである。

このRosenqvistの調査法は、現在では最も信頼のおける腐食性調査法とされており、オスロ市の建築当局はこの方法によつて腐食の危険性のないことが実証された場合にかぎり、建築基礎としての鋼ぐいの採用を認めている。

表-2 復極率および比抵抗と腐蝕程度 (Rosenqvist)

腐 食 度		復 極 率 (%)			
		0~40	40~60	60~80	80~100
比抵抗 (Ωm)	62.5 以上	1	1	2	2~3
	12.5~62.5	1	2	3	3~4
	2.5~12.5	2	2~3	4	4
	0.5~2.5	2	3	4	5
	0.5 以下	2	3~4	4	5

〔註〕 腐食度 1 : 腐食性非常に弱い

2 : " 弱い

3 : " 中位、近似的に腐食率 0.025 mm/年

4 : " 強い

5 : " 非常に強い

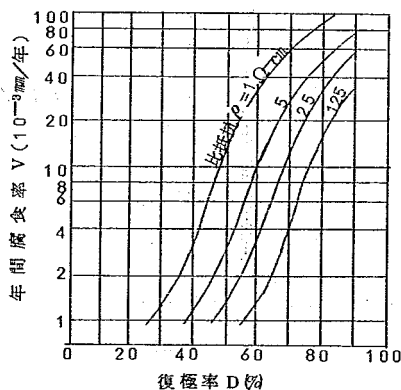
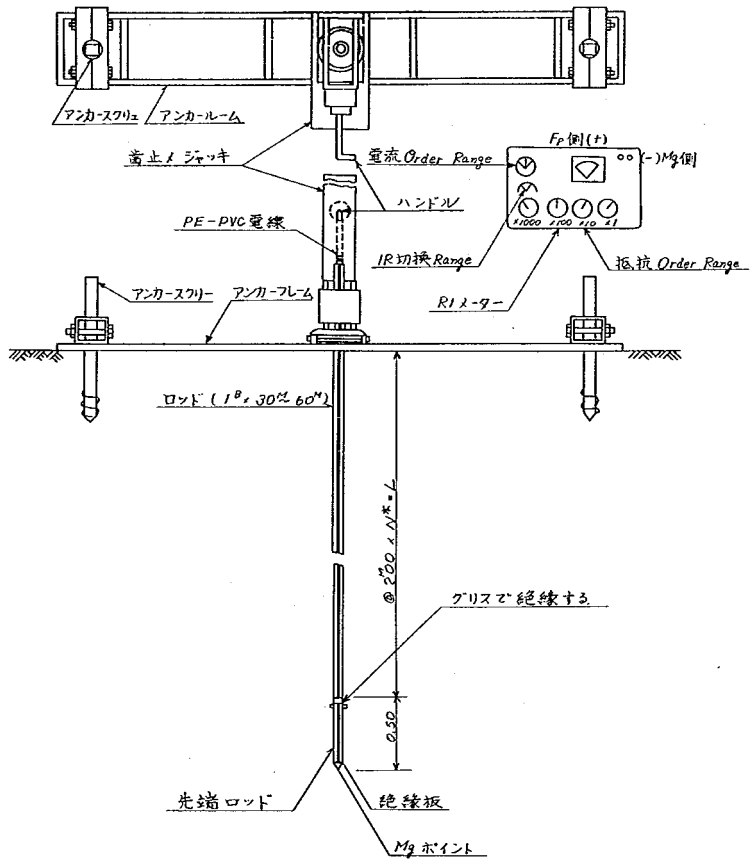


図-5 年間腐食率曲線

コロージョン・ポイントの測定器を図-6に示す。

図-6



5 鋼ぐい基礎の腐食に関する調査結果一覧表

地 建 名	河川および道路	測定橋名	埋設した地盤 および環境	埋 設 年 数
北海道開発局	一級国道12号線	江別豊幌跨線橋	(泥 炭 地)	4年7ヶ月 (最大年月)
東 北 地 建	一級国道13号線	壁 谷 沢 橋	礫 層 地 盤	
	一級国道4号線	茨 島 跨 線 橋	互 層 地 盤	
	"	南 大 橋	王石および砂の互 層地盤	
関 東 地 建	国道14号線	新小松川大橋	砂質シルト地盤 (潮風、迷走電流 の影響ありと予想 される)	施 工 中
	国道6号線	幸 谷 橋		
北 陸 地 建		六日町跨線橋外 10橋		

	防食工法	腐食調査法	腐食の状況
	マグネシウム陽極を用いた内部電源方式	直接測定法(ノギスを利用)、および重量測定法	防食したものの0.010mm/年、非防食のもの0.0096mm/年
0		コロージョンサウンド法による土の腐食度調査	各層の腐食度の推定は、礫層で0.001~0.015mm/年、シルト質および粘土層で0.01~0.03mm/年である
		"	全般的にみて腐食性の小さい地盤であるが、互層であるため局部的な腐食の促進があると推定される
		"	各層の腐食度の推定は、王石および砂の互層では0.001~0.0039mm/年であり、風化岩では0.001mm/年以下、砂層のみでは0.025~0.057mm/年である
0	流電陽極法	"	砂質シルト層の腐食量0.005~0.072mm/年 砂まじりシルト質粘土層の腐食量0.0012mm/年
		肉眼観察、間接測定および土壌の腐食度調査としてコロージョンサウンド調査	コロージョンサウンドによる各層の腐食の推定は、シルトおよび粘土で0.1mm/年以上、海底の砂質層では0.02~0.08mm/年である、板厚測定の結果では、土壌中(地表面より-80cm)で0.056~0.111mm/年である
	塗装 6件 腐食代2%を見込む 41件 考慮せず 1件	肉眼観察 8件 間接検査 3件	

地 建 名	河川および道路	測定 橋 名	埋設した地盤 および環境	埋 設 年 数
中 部 地 建	国道22号線	枇杷島橋	砂 質 地 盤	
中 国 地 建	一級国道9号線	逢 浜 橋	砂 質 地 盤 (海岸部)	2 年
	国道30号線	荘内跨線橋	互 層 地 盤 (干拓地)	6 年 8 ヶ月
	国道2号線	三原跨線橋	(平野部)	5 年 7 ヶ月
	百間川放水路 河口	百間川水門	(海岸地炭)	2 年 7 ヶ月
四 国 地 建	吉野川堤外地	試 験 く い	(平野部)	3 年
	国道11号線	津 田 川 橋	(河口地帯)	5 年 1 ヶ月

	防食工法	腐食調査法	腐食の状況
		間接検査	地中部と空気中とも肉厚の大差はなく腐食はない
①	地中に埋設した部分は塗装による 3回	肉眼観察 間接検査 (測定位置は地表面より80cm)	年間腐食 0.3 mm/年 空気中にあるぐいに錆が発生し、地中部にはみられなかった
		間接検査 (測定位置は地表面より10 m)	年間腐食 0.0299 ~ 0.06 mm/年
	塗装 3回	間接検査 肉眼観察	塗装もハクリしておらず、錆の発生もない
	外部電源方式	コロージョン サウンド法による土壌の腐食度調査	
①	腐食代を見込んだ方法	間接検査 肉眼観察	腐食量：空気中（地表面より1.0 m）：0.117 ~ 1.3 mm/年、地下水位面：0.15~0.133 mm/年、地中（表面より-1.0 m）：0.133 mm/年
	／	間接検査 肉眼観察	腐食量 空気中（地表面より1.0 m）0.04~0.1 mm/年、地下水位面：0.14~0.10 mm/年、地表面より-1.0 m：0.10/年

6 鋼ぐい基礎の腐食に関する調査結果

(1) 北海道開発局

〔1〕江別豊幌跨線橋の電気防食試験

1) 目 的

泥炭地においてマグネシウム陽極を用いた流電防食による鋼ぐいの防錆効果を確認しようとするもので、防食を施したものと施さないものについて腐食率、土性との関係などを明らかにし、今後の埋設鋼材の防食工法についての資料を得ようとするものである。

2) 試験概要

この試験は、国道12号線江別豊幌跨線橋鋼ぐいの防食工事に附随して実施したもので、使用材料は本工事において使用した鋼管（SS-41）径500mm、厚さ12mm、長さ1850mm、および配管用鋼管（SS-34 相当と思われる）径34mm、長さ5400mm、および腐食減量測定用供試体として120×80×2.3mm、の長方形の熱延鋼板を用い、防食を施したものと、しないものを同数導錆し土中に埋設した。

3) 使用材料、配線

腐食度、腐食状況を観察するための供試体は上記3種類の鋼材を使用した。

防食方法はマグネシウム陽極を用いた内部電源方式で、陽極には中川防食工業K.K製17-D（バックファイルリード線付）を用い、配線工事は同社にて本工事と同様の方法で施工した。

4) 供試体の配置

マグネシウム陽極および供試体の埋設位置と配置は図1～3のとおりで鋼杭は地下1mに横に倒して埋設し、1本を非防食、1本を防食用として

陽極に接続した。鋼板片はこの防食した鋼管に溶接したボルトにナットでとめ、非防食のものは絶縁板を入れて防食電流を阻止した。

配管用鋼管は、深度による影響を調べるためのもので、上部約 200 mm を残して鉛直に土中に押込み、鋼杭と同様 1 本を防食、1 本を非防食とした。

5) 埋設前の測定

鋼板供試体は、表面にミルスケールが附着していたので、脱錆剤ラスパー M7 (中川防食工業製) で処理した後、水洗し、アセトンで清浄にしたのち化学天秤で精秤した。

配管用鋼管は 1 m おきにサンドペーパーで表面の赤錆を磨き落とし、直径を 2 方向からノギスで 0.05 mm まで測定した。

埋設は昭和 37 年 11 月 24 日である。

6) 経年変化の測定

埋設後現在まで 5 回、埋設鋼管の電位の測定および鋼板供試体の減量の測定を実施した。測定結果を表 - 1、2 に示す。

表 - 1 本工事鋼杭および試験杭の対地電位 (mV)

試験番号	0	1	2	3	4	5
年月日	37.11.26	38.5.27	38.11.27	39.5.27	41.9.8	42.8.4
経過年数	0	05	10		38	47
本工事 M ₁	-825	-770	-750	-800	-	-
" M ₂	-785	-750	-720	-740	-810	-800
試験杭 (防食)	-	-780	-780	-650~* -790	-	-650~* -780
" (非防食)	-	-580	-540	-690	-	-600

* 試験杭付近の電位傾度が非常に大きく、電位の絶対値は電極側および -0.4 m 位の地下水位以下で大きく、-0.3 m 位の地下水位より上の部分で小さい

表-2 供試体減量 (g)

試験番号		1	2	3	4	5
経過年数		0.5	1.0	1.5	3.8	4.7
防食	2	0.110	2.202	1 3429	5.105	
	4	0.369	2.146	3 4640	5.715	6.157
	6	0.128	3.433	5 3955	7.134	6.976
	平均	0.202	2.594	4008	5.985	6.566
非防食	1	0.627	3.467	2 3936	4.980	6.566
	3	0.849	3.586	4 3227	5.685	5.553
	5	0.672	3.262	6 4113	10.617	
	平均	0.696	3.438	3759	7.094	6.060

なお、腐食鋼板の重量測定のための脱錆処理には、最初の1回目は埋設前の処理と同様ラスパーM7を用いたが、2回目以後は10%クエン酸アンモン液を用いた。

また、表-2の供試体減量の平均値から計算した鋼材の平均腐食速度は表-3のとおりである。

表-3 平均腐食速度

経過年数		0.5	1.0	1.5	3.8	4.7
mg/mdd·day	防食	0.65	4.2	4.3	2.5	2.2
	非防食	22	5.5	4.0	3.0	2.1
mm/年	防食	0.0030	0.019	0.020	0.012	0.010
	非防食	0.0104	0.026	0.019	0.014	0.0096

供試体埋設箇所附近の土壌の性質は、中川防食工業K.Kで測定した。

(別紙参照)

7) むすび

0.5年の測定においては、明らかに防食効果が認められるが、1.5年以降の測定値では防食、非防食の差が認められない。これは土壌の比抵抗を、 $3000\Omega\text{-cm}$ （地下5m附近を対象）として陽極を設置したが、地下0.5m附近では $6000\Omega\text{-cm}$ と大きい値を有するため電流密度が不足したことも一因と考えられるが、試験杭に溶接したボルト、ナット等にはほとんど腐食が認められないことから供試体の設置方法に問題があつたと思われるが詳細は不明である。配管用鋼管についてはまだ測定していない。

図 - 1 電気防食装置

1 級国道 12 号線

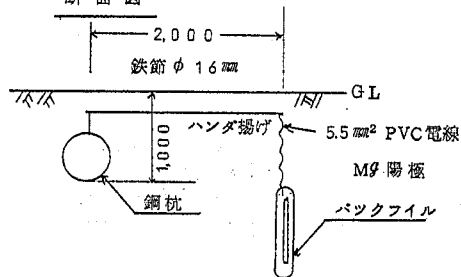
江別豊幌路線橋鋼柱防食工事

平面図

鋼枕 $\phi 5.00 \times 2,000$



断面図

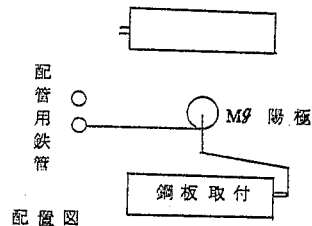


テスト鋼枕埋設位置



取付位置

橋
脚



配置図

図 - 2

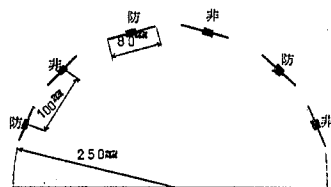
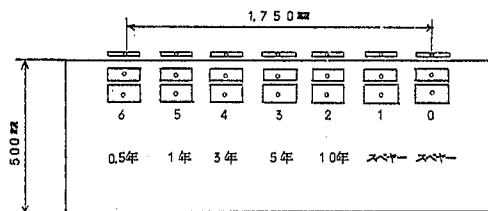
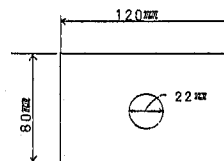
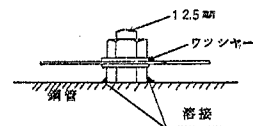
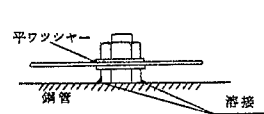
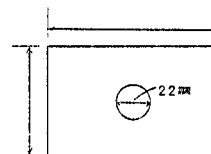


図 - 3

防食用テストピース



非防食用テストピース



1) テストピースは酸処理とする。

2) テストピースとボルトの絶縁はビニールホースを使用

8) 参考資料

(1) 地盤の解説

名 称	地 盤 の 種 類
第1種地盤	2 m以下の厚さの沖積層(4)を表面層としてもち、その下にすぐ相当広範囲にわたって第3紀以前の堅硬な地層がある地盤
第2種地盤	3～15 mの厚さの洪積層(2)(3)又は2～10 mの厚さの沖積層(4)を表面層として有する地盤
第3種地盤	15 m以上の厚さの洪積層(2)(3)又は10～25 mの厚さの沖積層(4)を表面層として有する地盤。
第4種地盤	いちじるしく軟弱な地盤(5)又は25 m以上の厚さの沖積層を有する地盤

- 注 a. 地盤の種類は地形及び地質構造に対する考慮と現場試験とによつて定めるのを理想とするが、大体の目安を上表によつても得られる。
- b. 沖積層と共存する洪積層は、その厚さの0.7倍の厚さの沖積層と等価であると考える。
- c. 「洪積層」は、砂利層、砂交り硬質粘土層、ローム層等からなる地盤であつて、台地の表面積などに多い。洪積層を伝わる弾性波(横波)の速度は大体100～150 m/secである。
- d. 「沖積層」砂礫層、粘土層等からなる現在堆積中の地層であつて、谷間及び低地の表面層等に多い、沖積層を伝わる弾性波(横波)の速度は大体100 m/sec以下である。
- e. 「いちじるしく軟弱な地盤」とは例えば沼沢地、泥海等及びそれらを新しく埋めた地盤をさす。

(2) 鋼ぐいの防食方法

現在考えられている防食方法は、対照表にしめすとおりであるが、原則として鍍代による防食方法を採用するものとする。これは、工費の面では割高になるが、維持管理の必要がなく確実に安易な利点を考慮したことによるものである。鍍代は2mとする。

a) 防食方法対照表

工 法	単 価	長 所	短 所	摘 要
鍍代を見込む	1200円/m ²	確実安易である	工費が高い	鍍代2mとして計算した
表面塗装	555円/m ²	比較的低廉であり、防食作業は容易である	打込作業の時間が多くなり塗膜剤落の心配がある	
内部式電気防食法	716円/m ²	外部式に比べて作業簡易で電氣的に確認の方法がある		20作毎に電極をとりかえるとして積算

外部式電気防食法	777円/m ²	電氣的に確認の方法がある	初回の設備は内部式に比較して安い。維持費が少かる	初回 190円/m ² 以後毎年38円×20年 計 950円/m ²
----------	---------------------	--------------	--------------------------	--

注 本表の単価は、札幌豊幌線橋を例とし、防食期間を20年として鋼ぐいの外側のみの面積当りについて算出したものである。

b) 鋼ぐい防食方法の選定規準(参考)

地盤の比抵抗を磁気化学的復極作用との組合せによつて表-4のように腐食度を判定し腐食度と年間腐食率の關係は表-5によつて与えられる。

地盤の比抵抗率の測定にはコロージョンポイントと称する特殊な原位置測定装置を使用し、復極率の基準としてはポイントを海水中に浸したときをもつて100%とする。

表-4

腐 食 度		復 極 率 (%)			
		0~40	40~60	60~80	80~100
比	6.25 以上	1	1	2	2~3
抵	12.5~62.5	1	2	3	3~4
抗	2.5~12.5	2	2~3	3	4
	0.5 ~ 2.5	2	3	4	5
(Q-m)	0.5 以下	2	3~4	4	5

表-5

腐食率	腐食程度	年間腐食率(mm/年)	適 応 防 腐 法
1	非常に弱い	0.0025 以下	鍍代 (1 % 以下) 又は無防食による
2	弱 い	0.0025~0.025	塗装法
3	中 位	0.025	
4	強 い	0.025~0.125	内部電気防食法
5	非常に強い	0.125 以上	亜鉛鍍金法

また、鋼ぐいの防食例を以下にまとめる。

表一六 鋼ぐいの防食法を実施した例

くい長 (m)	くい径 (mm)	本数 (本)	橋 梁 名	橋長・巾員 (m)	上 部 形 式
35	508	140	豊幌跨線橋	154.0×10.0	ゲルバー式板桁、 合成
27	508	80	岩見沢大橋	400.0×6.0	連続トラス、合成 桁
29~43	813	133	新石狩大橋	917.8×8.0	5径間連続桁 ランガー桁、3径 間連続桁
			北17号橋		
19~22	508	40	新留崩橋	74.0×7.0	合 成 桁
6	H 300×300	92	東雲跨線橋	34.6×9.0	2径間 連続桁
18~27	508	42	汐見跨線橋	180.0×7.0	合 成 桁

表一七 鋼ぐいの防食法決定の前提となる施工個所の環境調査の実施例

橋 梁 名	工事個所	調 査 内 容
豊幌跨線橋	江 別 市	土壌の比抵抗測定 $\begin{cases} \text{上層} & 7,000 \sim 11,000 \text{ } \Omega\text{-cm} \\ 5\text{m} & 1,300 \sim 4,200 \\ 5\text{m} & 5,000 \sim \end{cases}$ 鋼ぐいの対地自然電位測定 0.55 ~ 0.61 V
岩見沢大橋	北村・新篠津村	比抵抗 $\begin{cases} 5\text{m} & 7,500 \text{ } 15 \text{ } 3,000 \\ 10 & 5,000 \text{ } 20 \text{ } 2,500 \end{cases}$ 電位 0.49 ~ 5.1 V
新石狩大橋	江 別 市	コロージョン・サウンディング 4個所で4m深さ毎 40mまで
石狩河口橋	石 狩 町	コロージョン・サウンディング 3個所で4m深さ毎 32mまで

	工事箇所	土質特徴	施工年度	備考
-	江別市	泥炭、シルト質粘土、砂礫	37	電気防食（サビシロ なし）
	北村、新篠津村	泥炭、シルト質粘土、砂礫	40	"（"）
	江別市	シルト質砂、粘土、細砂		"（"）
○	江別市		41	ザツプコート 同時に細いパイプを打込み塗料のハクリの状態を調査したが異状がなかった
	留萌市	砂、砂質粘土、砂岩	41	エポロン3回塗りと、サビ代2mm（海水の影響）
	留萌市	砂質粘土、泥岩	41	エポロン3回塗りと、サビ代2mm（海水の影響）
	"	泥炭、粘土、砂	41	エポロン3回塗りと、サビ代2mm（海水の影響）

	推定腐食量 mm/年	最大孔食 mm/年	備考
○			電気防食法
-	0.028	0.16	"
	0.05		"
	0.09		検討中

(2) 東 北 地 方 建 設 局

(1) 壁谷沢橋腐食試験

1) 場所 福島市御山字松川原～同市上川原

国道13号線壁谷沢橋架設地点

2) 試験期間 昭和41年1月27日～2月4日

3) 調査結果及び考察

調査結果は表-1及び図-1に示す殆んど礫層であり全般的にみて腐食性の小さな土壌と推定される。各地層における腐食度は礫層のところは $5.800 \sim 10.000 \text{ g/cm}$ 以上と高比抵抗を示し、腐食度は 0.001 以下 $\sim 0.015 \text{ mm/年}$ と大幅な差があるが、これは礫層でも中に粘土及びシルト分の多いところが大きな値を示している。

粘土及びシルト質微細砂のところは比抵抗 $2,350 \sim 4,500 \text{ g/cm}$ と礫層より小さな値を示し、腐食度も $0.010 \sim 0.031 \text{ mm/年}$ と大きくなっている。

このように当地は比較的腐食性の小さな土壌であるが、上にのべてきた腐食度は鋼ぐい全面が平均に腐食した場合であり、実際には種々の原因で局部的に孔食となることが多く、特に当地のように比抵抗に大幅な差がある場合は、その間にマクロセル(巨大腐食電池)を形成して腐食を促進し、上にのべてきた値の数倍以上にも達することがあるので十分な注意が必要である。

なお、河水の比抵抗は $9,000 \text{ g/cm}$ で腐食度は 0.020 mm/年 で河水の比抵抗が高く普通以下の腐食性を示した。

なお、土壌のPH及び河水、自噴水のPHを下記に上げる。

深 度	PH	深 度	PH
地表面	4.23	16 m	7.90
2 m	6.40	18 "	8.05
4 "	6.35	20 "	7.65
6 "	6.95	22 "	7.80
8 "	7.73	24 "	8.18
10 "	7.32	26 "	8.13
12 "	8.01	28 "	7.40
14 "	8.00	30 "	6.92

なお、河水のPH 4.40 自噴水のPH 6.63

を示した。

16℃にて測定する。

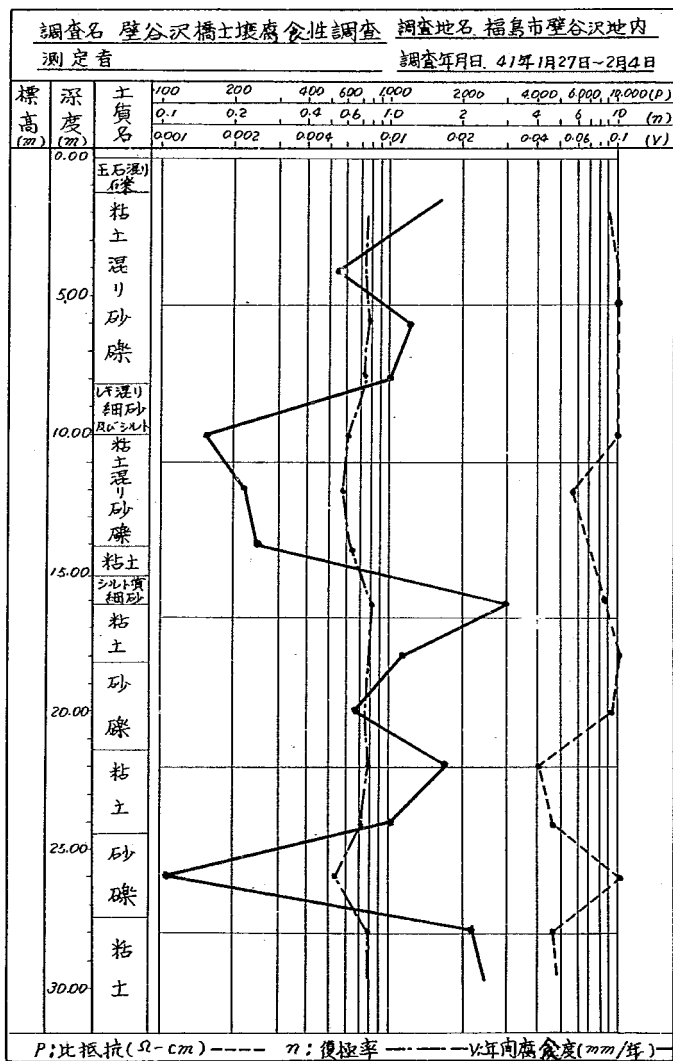
PH=7は中性、PH>7はアルカリ性、PH<7は酸性であるが、PHが4以下のとき大きな腐食性を示すので、河水及び地表面近くの土壌は比抵抗は高いが腐食性は大きな土壌と考えられるので注意が必要となる。

表-1 調査結果表

場所 福島市壁谷沢地内

深 度	I_p (mA)	R_j (Ω)	E_p (mV)	ρ (Ω -cm)	n	V(mm/年)
河 水	2.2	442.8	974.2	9,000	0.81	0.020
2.0	2.0	460.0	920.0	9,400	0.77	0.015
4.0	1.4	610.0	854.0	10,000	0.71	0.0054
6.0	1.8	505.0	909.0	10,000	0.76	0.0125
8.0	1.5	590.0	885.0	10,000	0.74	0.010
10.0	1.2	597.0	716.4	10,000	0.60	0.0016
12.0	2.3	300.0	690.0	5,800	0.58	0.0022
14.0	2.1	345.0	724.5	7,000	0.61	0.0024
16.0	7.5	128.0	960.0	2,350	0.80	0.031
18.0	1.6	560.0	896.0	10,000	0.75	0.011
20.0	1.9	450.0	855.0	9,100	0.71	0.0065
22.0	4.2	213.0	894.6	4,000	0.75	0.018
24.0	3.5	240.0	840.0	4,550	0.70	0.010
26.0	1.0	640.0	640.0	10,000	0.54	0.001
28.0	4.0	230.0	920.0	4,300	0.77	0.021
30.0	3.8	245.0	931.0	4,500	0.78	0.023

図-1 コロージョンサウンド測定結果



4) 結 論

壁谷沢橋建設地（福島市壁谷沢地内）の土壤腐食性を調査した結果次の結論を得た。

(a) 各地層における腐食度は次の如く推定される。

礫 層 0.001 以下～0.015 mm/年

シルト質及び粘土層 0.01～0.031 mm/年

(b) 当地は全般的にみて腐食性の小さな土壌であるが、比抵抗に大幅な差がありマクロセルの形成により局部的に腐食が促進され、その孔食度は上記の値の数倍にも達すると考えられるから十分な注意が必要である。

(c) 各土壌及び河水、自噴水の PH を測定したところ地表面 PH 4.2、河水 4.40、自噴水 6.60 と自噴水は別に問題はないが PH が 4 以下を示すと大きな腐食性を示すので注意が必要である。

(2) 茨島跨線橋腐食試験

1) 場所 盛岡市下厨川字四十四田

国道4号線 茨島跨線橋架設地点

2) 試験期間 昭和38年8月13日～8月23日

3) 調査結果及び考察

調査結果は表-2及び図-2に示す如く全般的にみて腐食性の小さい土壌と推定されるが、各地層における腐食度は次のべる如く相当の差がある。即ちローム層では比抵抗 $10,000\Omega\text{-cm}$ 以上で腐食度 $0.003\sim0.006\text{mm}/\text{年}$ と小さいが、粘土質ローム層では $0.02\text{mm}/\text{年}$ と3～6倍に増大する。しかし、次の砂質ローム層では比抵抗が $5,900\text{mm}$ と幾分低下するが腐食度も $0.0023\text{mm}/\text{年}$ と小さくなる。礫層では比抵抗が更に低くなって、腐食度は $0.0021\text{mm}/\text{年}$ と余り変っていないが、これは実際は礫層ではなく砂質ローム層であり、次の測定点(深度 1.25m)がその比抵抗($10,000\Omega\text{-cm}$ 以上)腐食度($0.001\text{mm}/\text{年}$ 以下)からみて礫層と思われる。砂質シルト層では比抵抗 $2,100\sim6,000\Omega\text{-cm}$ 、腐食度 $0.0023\sim0.0041\text{mm}/\text{年}$ となるが、転石に入つて $0.0014\text{mm}/\text{年}$ 次の礫混砂質シルト層では比抵抗 $5,500\Omega\text{-cm}$ 、腐食度 $0.001\text{mm}/\text{年}$ 以下と減少し、砂礫、転石では $10,000\Omega\text{-cm}$ 以上と比抵抗が増大し、腐食度も $0.001\text{mm}/\text{年}$ 以下と小さい。

このように当地は比較的腐食性の小さい土壌のようであるが、上にのべてきた腐食度は、ぐい全面が平均に腐食した場合であり、実際には種々の原因で局部的に孔食となることが多く、特に当地のように地層によつて比抵抗や土質が異なる場合はその間にマクロセル(巨大腐食電池)を形成して腐食を促進し、上にのべた値の数倍以上にも達することがあるので十分な注意が必要である。

なお、東北本線は昭和42年度に、直流電化の計画であるが、当地の土壌比抵抗が高い点からみて鋼くいが著るしく電食障害を受けることはまづないものと思われる。

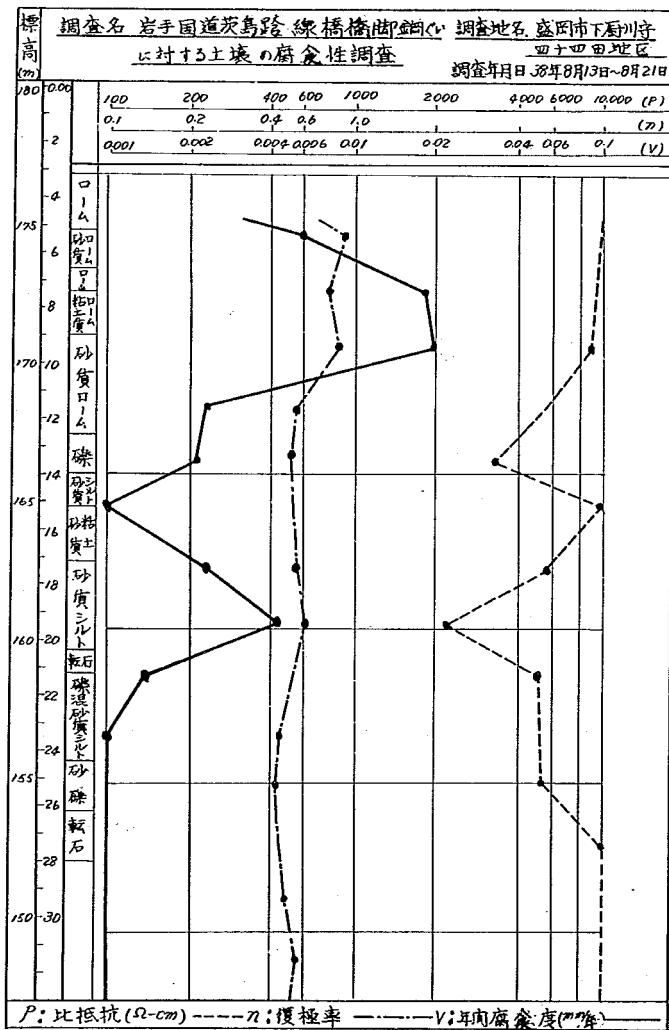
しかし、その際の状況によつては影響を受けることも考えられるので、電化後にその調査ができるよう一応鋼くいを16φ～19φ 鉄筋でボンドして測定端子を取り出しておくことが望ましい。

表-2 調査結果表

場所 盛岡市下厨川字四十四日地内

	I_p (mA)	R_j (Ω)	E_p (mV)	ρ (Ω -cm)	N	V (mm/年)	PH
2.0	0.8	1,040	832	10,000以上	0.69	0003	6.60
2.5	0.4	2,830	1,132	"	0.94	0006	7.49
4.5	2.0	477.5	955	9,400	0.79	0019	6.90
6.5	2.2	441	970	9,000	0.81	002	7.25
8.5	2.4	300	720	5,900	0.6	00023	6.30
10.5	3.8	184	699	3,300	0.58	00021	8.80
12.5	0.7	990	693	10,000以上	0.57	0001以下	
14.5	2.4	302.4	726	6,000	0.60	00023	
16.5	6.5	114	741	2,100	0.61	00041	
18.5	2.4	271	650	5,400	0.54	00014	
20.5	1.8	289	520	5,500	0.43	0001以下	
22.5	1.7	295	502	5,500	0.41	"	
24.5	1.0	507	507	10,000以上	0.42	"	
26.5	0.8	694	555	"	0.46	"	
28.5	0.9	630	567	"	0.47	"	
30	0.8	696	555	"	0.46	"	

圖-2



4) 結 論

岩手国道茨島跨線橋建設地の土壤腐食性を調査した結果、次の結論を得た。

(a) 各地層における腐食度は次の如く推定される

ローム層	0.003 ~ 0.006 mm/年	程度
粘土質ローム層	0.019 ~ 0.020 "	"
砂質ローム層	0.0021 ~ 0.0023 "	"
礫 層	0.001 "	以下
砂質シルト層	0.0023 ~ 0.0041 "	程度
礫混砂質シルト層	0.001 ~ 0.0014 "	"
砂礫、転石	0.001 "	以下

(b) 深度 1 0.5 m までの土壌の PH は 6.30 ~ 8.80 で、特に腐食を促進することは考えられない。

(c) 当地は土質の異なる地層が互に混入しているのでマクロセルの形成により局部的に腐食が促進され、その孔食度は上記の値の数倍にも達すると考えられるから十分な注意が必要である。

(d) 土壌比抵抗が高いので電食障害は受けないものと考えられるが、電化後、調査ができるように鋼ぐいをボンドした上、測定用端子を取り出しておくことが望ましい。

(3) 南大橋腐食試験

1) 場所 盛岡市仙北町新山

国道4号線盛岡バイパス南大橋架設地点

2) 試験期間 昭和39年7月11日～7月20日

3) 調査結果及び考察

測定結果は表-3、図-3に示す如く深度1m～1.3mまでは玉石と砂の互層で比抵抗8,000～10,000Ω-cm以上と高比抵抗を示し、腐食度は0.001～0.0039mm/年と小さい。深度1.5m～2.3mまでは砂層で比抵抗6,000～10,000Ω-cm以上と多少小さくなるが腐食度は0.0025～0.0057mm/年とやはり小さい。

深度2.5mは花崗岩の風化したもので比抵抗10,000Ω-cm以上と大きく、腐食度0.001mm/年以下と更に小さくなっている。

以上の如く当地の土壌腐食性は極めて小さいと判断されるが、以上にのべてきた腐食度は鋼の全面が平均に腐食した場合であり、最も重要視する局部腐食すなわち孔食は塩類あるいは有機物の分布状況、酸素含有量の部分的な差等によつてマクロセル(大電池)を形成し、その最大孔食度は上記の値の数倍以上になることがある。実地腐食試験の例によればその倍数は2.7～3.9の範囲で平均6.7である。

表-3 調査結果表

場所 盛岡市仙北町新山地内

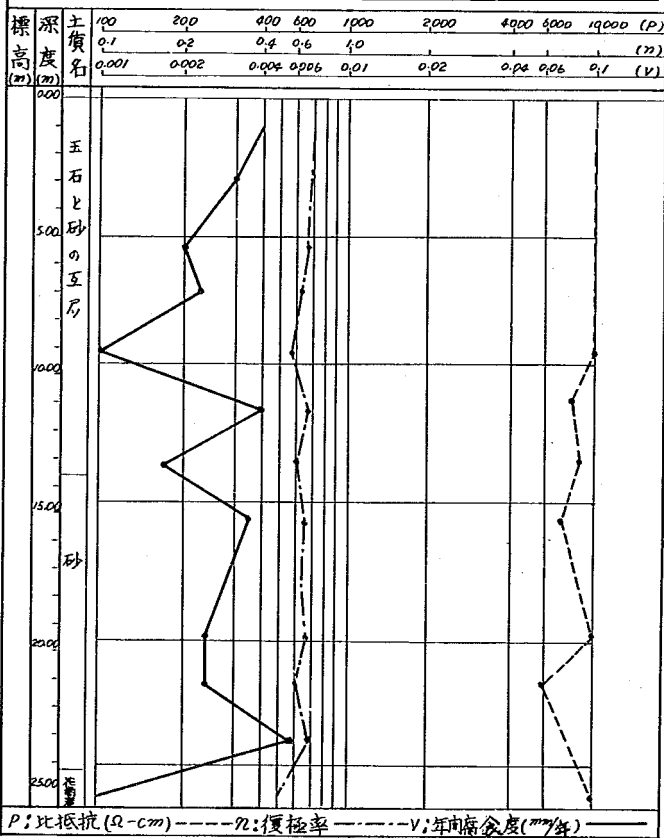
日時 7月11日(土)~7月20日(月)

深 度	$I_p(\text{mA})$	$R_j(\Omega)$	$E_p(\text{mV})$	$\rho(\Omega\text{-cm})$	n	V(μV/年)
1.0	1.3	650	845	10,000以上	0.70	0.0038
3.0	0.9	900	810	" "	0.68	0.003
5.0	0.8	1,000	800	" "	0.67	0.002
7.0	1.5	500	750	10,000	0.63	0.0024
9.0	0.7	990	693	10,000以上	0.58	0.001
11.0	2.0	400	800	8,000	0.67	0.0039
13.0	1.7	420	714	8,300	0.59	0.0017
15.0	2.2	350	770	7,000	0.64	0.0035
17.0	1.8	420	756	8,300	0.63	0.003
19.0	1.3	620	806	10,000以上	0.67	0.0025
21.0	2.4	303	730	6,000	0.61	"
23.0	2.1	390	820	7,900	0.68	0.0057
25.0	1.0	610	610	10,000以上	0.51	0.001以下

調査名 仙北町橋土壌腐食性

調査地名 盛岡市仙北町新山地内

調査年月日 39年7月11日～7月20日



4) 結 論

仙北町橋建設地の土壌腐食性を調査した結果、次の結論を得た。

(a) 各地層における腐食度は次の如くである。

玉石と砂の互層 $0.001 \sim 0.0039 \text{ mm/年}$

砂 層 $0.0025 \sim 0.0057 \text{ mm/年}$

花崗岩（風化岩） 0.001 mm/年 以下

(b) 鋼管が地下水面を通して打込まれる時は、この附近の腐食が非常に激しいものとなるから注意を要する。

(c) ここで述べている腐食度は鋼管の全面が平均に腐食した場合についてであるが、実際は局部的に孔食となるので最大孔食度は測定結果で述べた値の少なくとも数倍になることがある。

(d) 地表面の土壌のPHは7.08、河水のPHは6.52、比抵抗は $10,080 \Omega\text{-cm}$ で、特に腐食を促進することは考えられない。

(3) 関 東 地 方 建 設 局

(1) 新小松川橋

1) 概 説

これについては現在施工中の新小松川橋における事例を記述することとする。

参考迄に当橋梁についての概要を記す。

国道名、及び河川名 ; 一般国道14号線、荒川、中川

橋 格 ; 一特橋

幅 員 ; 車道13m、歩道2.25m

橋 長 ; 荒川 529.10m、中川 156.20m

上部形式及び支間 ; 単純箱桁橋、最大スパン56.4m

下部形式及び高さ ; 橋脚～中空小判型、最大高20.2m

基 礎 構 造 ; 鋼管ぐい径609.6mm、最大長41.0m

橋脚1基当り28～62本

設 計 震 度 ; 鉛直0.1、水平0.25

計画高潮位 ; AP+5.100m

計画河床高 ; AP-4.48m (橋脚フーチング天端はこれより1.0m下り)

2) 環境調査

a 鋼ぐいの腐食性調査

鋼ぐいの腐食厚や防食法の決定並びに鋼ぐいの使用の適否の判定のため当架橋地点においてこれに関する調査を実施した。(昭和40年9月)。その内容を具体的に記述する。

i 減極率測定

(電極～コロージョンポイント……鉄⊕亜鉛)

$$\frac{E_p}{R_{UO}} \times 100 = \text{減 極 率 } (\%)$$

に じ じ

(Rosenqvist による年間腐食量算出表による)

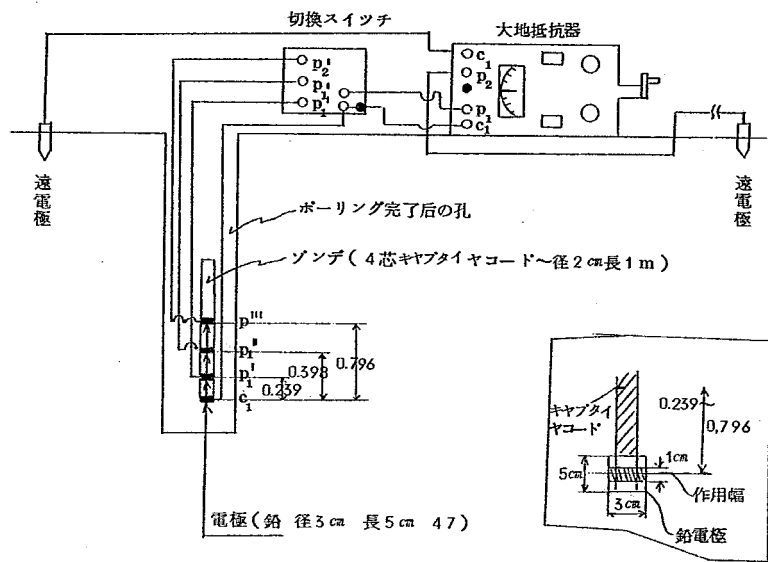
$$\frac{4 \pi a V}{I} = \text{地層の比抵抗 (} \Omega \text{ -cm)}$$

ここに

$$\left\{ \begin{array}{l} a = \text{電極間隔} (0.239m, 0.398m \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 0.796m \text{ の } 3 \text{ 種}) \\ \frac{V}{I} = \text{大地抵抗器で測定} \end{array} \right.$$

このときの測定装置の概略を次に示す。(図-1)

図 - 1



鉛電極の間隔は $4\pi a$ が整数となるような値にした。

$$(4 \times 3.14 \times 0.239 = 3.000)$$

この方法によつて各地層の平均比抵抗を求めたのが表 - 1 である。

表-1 各地層の平均比抵抗

ボーリング孔	深度(m)	地 質	平均比抵抗 ($\Omega\text{-cm}$)
No. B-2	2~7	シルト混り中砂 砂質シルト	360
	7~10	砂質シルト	500
	10~27	砂質シルト シルト質粘土	1,200
No. B-5	2~10	シルト混り中砂 砂質シルト	490
	10~25	砂質シルト	1,310
	25~31	シルト混り細砂 中 砂	2,010

III 迷走電流測定

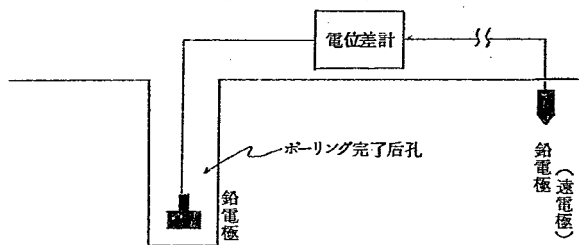
地中を流れる直流電流が鋼材を通ると、その流出部で腐食を生ずる。

鋼ぐいはその頭部が鉄筋と溶接され、鉄筋相互間は鉄筋で接続され、これらの部分はすべてコンクリート巻にされている。従つて鋼ぐいの1团は1つの接地された回路網を型成することとなる。そのため、今地中を流れている直流電流によつて発生している2地点間の電位差は鋼ぐい-鉄筋-鋼ぐいの回路網で短絡されることになりここに流れる短絡電流が鋼材の電食電流となるのである。その大きさは2地点間の「電位差」と「鋼ぐいの接地抵抗」によつて決定されるものである。

測定は2地点間の電位差を10秒毎に10~20分間読みとりこの算術平均をとつて平均電位差とした。

この方法の概要を図-2に示す。

図-2 迷走電流測定配置図



この測定によつて得た結果を表-2に示す。

表-2 迷走電流測定による平均電位差表

深 度	4.0 m	8.0 m	18.0 m	28.0 m
№B-2	6.3 mV	30.3 mV	13.0 mV	13.8 mV
№B-5	—	62.6 mV	48.7 mV	33.6 mV

又、鋼ぐいの接地抵抗は先に求めた電気検層法による平均比抵抗を用いて求める。

計算式は次の通りであり、計算に用いた鋼管ぐいは直径508mm、肉厚12mm、全長38mである。

$$R_e = \frac{\rho}{2\pi} \left\{ \frac{1}{\ell} \log e \frac{2t(\ell+d)}{d(\ell+2t)} + \frac{1}{\ell+t} \log e \frac{\ell+2t}{t} \right\}$$

ここに ρ ; 鋼ぐいの深度に相当する各地層の平均比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

~電気検層法より得た平均比抵抗

t ; 土被り深度 (くい頭の土被りは2m) (cm)

ℓ ; 鋼ぐいの長さ (cm)

~腐食量を算定したくい長であり、

№B-2 くい頭より5m+3m+19m+11mの各 ℓ (=38m)

LB-5 くい頭より $8m+15m+15m$ の各 ℓ ($=38m$)

d ; 鋼くいの直径 (cm)

R_e ; 接地抵抗 (Ω)

$\log$; 自然対数

この2つの値を用いた各範囲の深度 (R_e の計算で用いた ℓ の各範囲) における、鋼くいを流出入する短絡電流; I は次式で求められる。

$$I = \frac{V}{2R_e} \quad (\text{mA})$$

ここに V ; 平均電位差、 R_e ; 接地抵抗

そこで腐食鋼重; W_f は次式で求められ年間の全腐食量; m が算出される。

$$W_f = \frac{I \cdot t_s \cdot Z}{C} \quad (\text{gr/year})$$

ここに I ; 流出入短絡電流 (mA)

t_s ; 時間 (sec)

Z ; 化学当量 ($\text{Fe} = 28$)

C ; 金属 1 gr を電解、折出する電食量

($\text{Fe} ; 96500$)

$$m = \frac{W_f}{\pi \cdot d \cdot \ell \cdot F_s} \quad (\text{mm/year})$$

ここに F_s ; 鋼の比重 (7.85)

以上3つの測定を行なった。

全腐食量は減極率により推定される腐食量と迷走電流により推定される。

腐食量との総合量で示す。その代表的なものを表-3、4に示した。

表-3 全腐食量算定結果一覧表 (その1)

ボーリング 測定番号	深 度 m	地 質	減価作用による腐食量 (mm/年)	迷走電流による腐食量 (mm/年)	総合腐食量 (mm/年)	2mmを腐食する年数 (年)
162-1	0.20	ヘ ド ロ	5×10^{-3}	1.58×10^{-4}	5.16×10^{-3}	388
2	1.20	シルト混り中砂	8×10^{-3}		8.16×10^{-3}	245
3	3.20	"	5×10^{-3}		6.16×10^{-3}	325
4	5.20	砂質シルト	$< 1 \times 10^{-3}$		$< 1 \times 10^{-3}$	> 2000
5	7.20	"	8×10^{-3}	7.04×10^{-4}	8.70×10^{-3}	230
6	9.20	"	8×10^{-3}		8.70×10^{-3}	230
7	11.20	"	9×10^{-3}		9.03×10^{-3}	222
8	13.20	"	5×10^{-3}		1.53×10^{-3}	1300
9	15.20	"	8×10^{-3}	3.24×10^{-5}	8.03×10^{-3}	250
10	17.20	"	3×10^{-3}		3.03×10^{-3}	660
11	19.20	シルト質粘土	3×10^{-3}		3.03×10^{-3}	660
12	21.20	"	$< 1 \times 10^{-3}$		$< 1 \times 10^{-3}$	> 2000
13	23.20	"	23×10^{-3}		23.03×10^{-3}	86
14	25.20	"	22×10^{-3}		22.03×10^{-3}	90
15	27.20	"	9×10^{-3}		9.03×10^{-3}	220
16	29.20	細 砂	30×10^{-3}	8.39×10^{-5}	30.08×10^{-3}	67
17	31.20	"	16×10^{-3}		16.08×10^{-3}	125

表-4 全腐食量算定結果一覧表 (その2)

ボーリングNo 測定番号	深 度 m	地 質	減弱作用による腐食量 (mm/年)	迷走電流による腐食量 (mm/年)	総 合 腐 食 量 (mm/年)	2mmを腐食する年数 (年)
No5-1	0.20	〜 ド ロ	15×10^{-3}	9.3×10^{-3}	24.3×10^{-3}	82
2	1.20	シルト混り中砂	5×10^{-3}		14.3×10^{-3}	1400
3	3.20	"	8×10^{-3}		17.3×10^{-3}	1150
4	5.20	"	6.8×10^{-3}		16.1×10^{-3}	1240
5	7.20	砂質シルト	5×10^{-3}		14.3×10^{-3}	1400
6	9.20	"	5.9×10^{-3}		15.2×10^{-3}	1320
7	11.20	"	1.1×10^{-3}	2.39×10^{-4}	1.35×10^{-3}	1480
8	13.20	"	3.5×10^{-3}		3.74×10^{-3}	535
9	15.20	"	5.8×10^{-3}		6.04×10^{-3}	332
10	17.20	"	2.3×10^{-3}		23.24×10^{-3}	86
11	19.20	"	8×10^{-3}		8.24×10^{-3}	243
12	21.20	"	2.4×10^{-3}		2.64×10^{-3}	760
13	23.20	"	7.2×10^{-3}		7.44×10^{-3}	270
14	25.20	"	15×10^{-3}	9.76×10^{-5}	15.10×10^{-3}	132
15	27.20	"	7×10^{-3}		7.10×10^{-3}	282
16	29.20	"	4.2×10^{-3}		4.30×10^{-3}	466
17	31.20	シルト質細砂	$< 1 \times 10^{-3}$		$< 1 \times 10^{-3}$	>2000
18	33.20	砂混り シルト質粘土	1.2×10^{-3}		1.30×10^{-3}	1540

b. 腐食に対する処置の決定と設計腐食量について

当地点の腐食性調査の結果から鋼ぐいの設計上の腐食代を求める
と次のようになる。

i 防食を施さない場合

総合腐食量をもつとも多いところは版B-2孔の深度29 m 附近のシルト質粘土層であり年間0.03 mmの腐食量を示している。
今橋の耐用年数を50年とすれば、その時点の全腐食量(代)は
 $0.03 \times 50 = 1.5 \text{ mm}$ となる。

ii 防食方法として電気防食法を用いたとき。

・橋の耐用年数 50年

・防食効果 {	防食最大年限	20年
	防食効率	80%

以上の仮定条件のもとに全腐食量(代)を求めると次のようになる。

$$\Delta t = 0.03 \times (1 - 0.80) \times 20 = 0.12 \text{ mm} \dots \text{電防効果有}$$

$$\Delta t' = 0.03 \times (50 - 20) = 0.90 \text{ mm} \dots \dots \text{電防効果無}$$

$$\Sigma \Delta t = 0.12 + 0.90 = 1.02 \text{ mm} \dots \dots \text{橋梁耐用年限時腐食量}$$

従つて本調査結果から判断すれば鋼ぐいの使用による腐食の問題
はおこらないと考えられる。

しかし、次の2点その他を総合的に判断して電気防食法を採用
することとした。

(a) 地域性から来る迷走電流の増加。

～迷走電流の影響は地域性に支配される要素が非常に多いこ
とから、将来当地区の近接したところに直流電源を使用する工
場とか、電車軌条が設置される可能性が考えられる。

(b) 隣近橋梁の年間腐食量調査との勘案。

～当架橋地点より上流約1.6 kmに「平井橋」、下流側約3 km

には「葛西橋」があるがこれらの調査では年間腐食量は夫々
 0.06 mm/年 、 0.1 mm/年 と今回の測定結果の2～3倍の高い
 値を示しており、その結果いずれも電気防食（外部電源式）を
 採用している。

尚、小松川橋より約30 Km上流まで東京湾の潮の影響をうけて
 いる。（河口～小松川橋約5 Km）

そこで当小松川橋においては、この隣接橋梁の内の、平井橋の
 測定値を用いて全腐食量を決定した。

$$\Delta t = 0.06 \text{ mm/年} \times 20 \text{ 年} \times (1 - 0.80) = 0.24 \text{ mm} \cdots \text{電防効果有}$$

$$\Delta t' = 0.06 \text{ mm/年} \times (50 - 20) = 1.80 \text{ mm} \cdots \text{電防効果無}$$

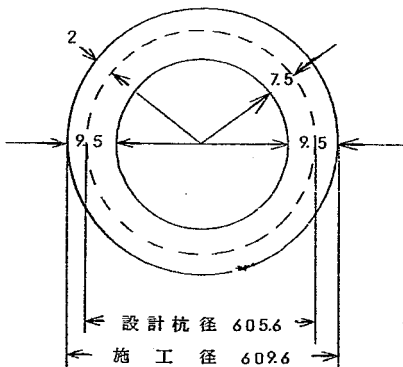
$$\therefore \Sigma \Delta t = 0.24 + 1.80 = 2.04 \text{ mm} \approx \underline{2.0 \text{ mm}} \cdots \text{橋梁耐用年限}$$

時全腐食量

従つて設計上の鋼ぐいの板厚として2 mmを減ずることとした。

（図-3）

図-3 設計鋼杭断面 （単位；mm）



尚前述の内容からも解るように電気防食法の中でも主に次の
 3点から「流電陽極法」を採用することとした。

(1) 比較的腐食量が少ない

(2) 設備費が少なく済む

(3) 管理が容易である

3) 電気防食処置の方法

小松川橋下部工事には次のような方法によつて電気防食を施している。

本下部工事は現在施工中であるため防食効果については記述できない。

ここに本下部工事での電気防食施工に対する主な仕様を列記する。

(電気防食施工の仕様)

- a. 本電気防食工はAl陽極による流電陽極法
- b. 本電気防食工の寿命は20年とし防食電流密度は 10 mA/m^2 とする。
- c. 陽極はAl陽極を使用し、陽極鉄心を丸鋼(φ16mm)に溶接しこの丸鋼を鋼ぐいに溶接して取付ける。
- d. 鋼ぐい間は金属的に接続するため丸鋼(φ16mm)で溶接する。
- e. 防食効果を確認するため鋼ぐいより丸鋼(φ16mm)を立上げ、更にフーチング下に埋設したZn基準電極からリード線を立上げピア-天端の測定箱に収納する。
- f. Al陽極は50個につき1個の割で検査することとする。
- g. Al陽極の接続、ぐい間の接続等の溶接は外圧に対し切断しない様充分溶接する。
- h. 本工法設置後6ヶ月後の効果を確認するため電位測定を行ない主任監督員に報告する。

[2] 幸 谷 橋

まえがき

本調査は、建設省技術研究会共通部門指定課題において研究を行なっている構造物の基礎形式の選定の一環として、鋼ぐいの腐食量を調査し、これに対する基礎資料を得るために行なったものである。

調査箇所は管内の鋼ぐい使用工事のうち初年度として6号国道幸谷橋橋脚を調査することとした。

調査方法は肉眼及びカメラによる観察と超音波厚み計を用い間接検査を行なった。更に環境調査として土質調査・水質調査、コロージョンサウンド、対地電位測定も行なった。

1.) 調査目的

建設省関東地方建設局常陸工事々務所管内の八間堀川橋梁（幸谷橋）は橋脚として鋼管パイルを使用し、昭和33年10月～11月に施工したものであるが、本調査は約9年経過後の鋼管パイルの腐食程度を知ること及び今後実施される同種調査の調査方法に関する参考資料を得ることを目的として昭和42年9月12、13両日に実施したものである。

2.) 調査対象

幸谷橋は茨城県龍ヶ崎市佐貫、国道6号線の八間堀川に架設された図-1に示すような構造の橋で、使用された鋼管パイルは次の通りである。

鋼管パイル：外径 486 mm、板厚 16及び12 mm

長さ 42 m（上部9 mが16 mm他12 mm）

本数 12本 材質 SS-41

今回の調査対象は12本のうち右岸は最外側の2本、左岸は中央の2本計4本の図-1に示す地中連梁の上部約50 cmの接地部分だけである。

3.) 調査項目

- | | |
|------------|------------|
| a 板厚の測定 | 日本鋼管株式会社 |
| b 土質及び水質調査 | 建設省東京技術事務所 |

c コロージョンサウンド 中川防食工業株式会社

d 対地電位の測定 中川防食工業株式会社

4.) 調査方法及び結果

調査は、まず対象パイル附近のコンクリートブロックをはがし、土壌不攪乱状態でコロージョンサウンド測定を行ない、次にパイルの周囲約30cmを地中連梁上面の深さまで掘さくし、パイル表面に土壌が附着している状態で対地電位を測定し、続いて板厚の測定に入った。その間、水質及び土質調査のため試料採取、パイル表面の肉眼観察や写真撮影を実施した。又、パイル表面の肉眼観察の結果、部分的に腐食によるくぼみがみられたのでこのような部分でも板厚測定を実施した。

なお、測定位置は通常常水面より約80cm上面に位置するが、雨期や灌漑用水使用時は増水のため水面下に没することもあり、乾湿あいなかばする環境である。

それぞれの調査方法及び結果について順に説明を加える。

4.) - 1 外面の観察

外面の観察は対地電位測定のと、部分的にパイル表面の附着物をワイヤーブラシで水洗除去してから行なつた。その結果、パイル表面には腐食によつてくぼみになつているところと、腐食のない平滑な部分のあることが明確に観察された。これらの点については数カ所を選んで板厚の測定も行なつたが、パイル表面の状態を図-2と写真に、観察結果の概要を次に示す。

a コンクリートブロックの下部は厚い錆で覆われている。

b それより下の部分は粘質土と赤錆が混合したもので覆われている。
赤錆は酸化第二鉄 Fe_2O_3 である。

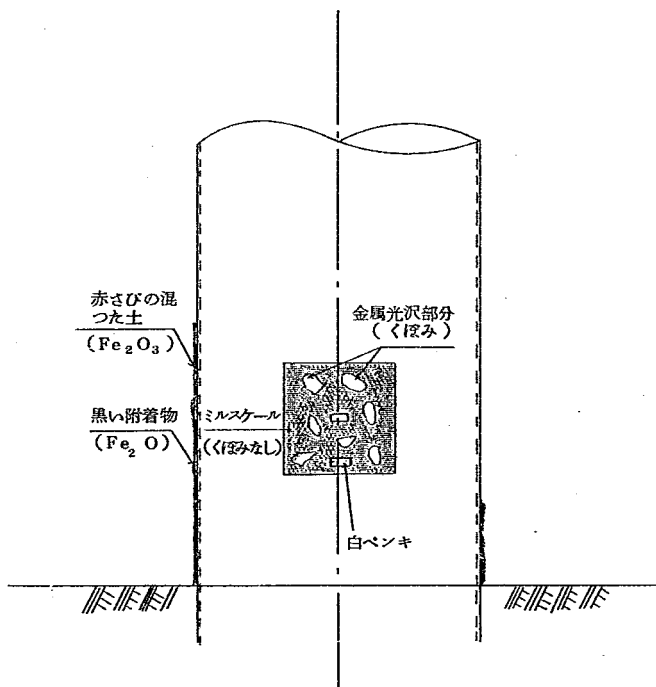
c 赤錆の下には黒色の附着物がある。これは酸化第一鉄 FeO で、これが酸化されると赤錆 Fe_2O_3 になる。

d これらの腐食生成物をワイヤーブラシで除去し水洗すると鋼管パイ

ルの地肌が現われ大小さまざま（大きいもので直径30mm）の金属
光沢のある部分と黒色の部分がおおよそ半々の面積比でみられた。

- e 金属光沢の部分はくぼみになっていて腐食した部分であり、黒色の
部分はくぼみがなく、ミルスケール（ Fe_3O_4 ）が残っている。
- f 腐食していない部分でパイル打込時に記した白ペンキのマークが残
っているところもあった

図-1 パイル表面の状態



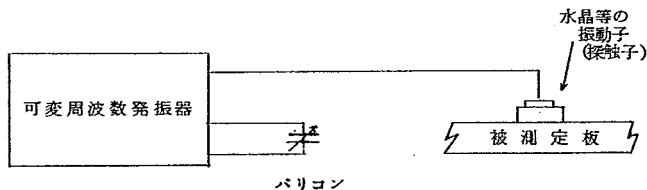
4) - 2 板厚測定

金属の腐食量を非破壊的に測定する厚み測定法としては電気抵抗法、超音波法、磁気法、放射線法、熱伝導法、渦電流法等いろいろ提唱されているが、実際の施設や装置の構造材料を測定するために開発された厚み測定器には電気抵抗法、超音波法、磁気法によるものが多い。

今回の測定に使用した測定器は超音波によるものであるが、この測定器は他の計器に比べて精度がよくて誤差が少なく、測定器も小形で携帯に便利な上、操作も簡単で現場使用に有利であり更に造船工業においてかなりの実績を有するものである。

a 使用機器 帝国通信社製 UDM-7型 共振式厚さ計

超音波厚み計は水晶、ロソジェル塩、チタン酸バリウム等の圧電現象を利用したもので、下図の様に連続的に周波数を変えうる発振器の出力探触子で音波にかえ、厚さを知ろうと思う板の面から油、グリセリン等の油膜を介して音波を入れる。



発振周波数を変えると板中の超音波の周波数、したがって波長も連続的に変わることは $v = f \cdot \lambda$

v = 音速、 f = 周波数、 λ = 波長 の式で明らかである。

板中の波長 λ の半分の整数 n 倍と厚さ t とが等しくなると板中に定常波ができて板は共振する。その共振の振動エネルギーは発振器が供給するわけで当然発振管の陽極直流電流 I_p が増加する。逆に I_p

が極大となつたとき板中で定常波ができてある周波数の n 倍で共振した事を知る。

b 作業要領

パイプパイルの測定点、表面をアングルサンダーで腐食面の凹凸が少なくなるまで削除した。ただし場所によつては最大凹みまで削除した所もあった。

c 板厚更正及び精度

測定精度は次の表の通りである。

表-1 精 度 表

	板 厚 (mm)	可 説 範 圍 (mm)	精 度 (mm)
1	1.0 ~ 4.0	0.05	1 / 20
2	4.0 ~ 16.0	0.1	1 / 10
3	16.0 ~ 32.0	0.2	1 / 5
4	32.0 ~ 48.0	0.3	1 / 3.3

今回の測定では3を使用した。

d 測定位置の選定

本調査の対象となつた鋼管パイルの建設時の板厚は、公称16mmとなつているがパイル製作時の鋼板にJISで規定されている許容板厚があるため、各パイルは無論の事、同じ板でも場所によつて板厚に若干のバラツキはある。

図-2 板厚測定点

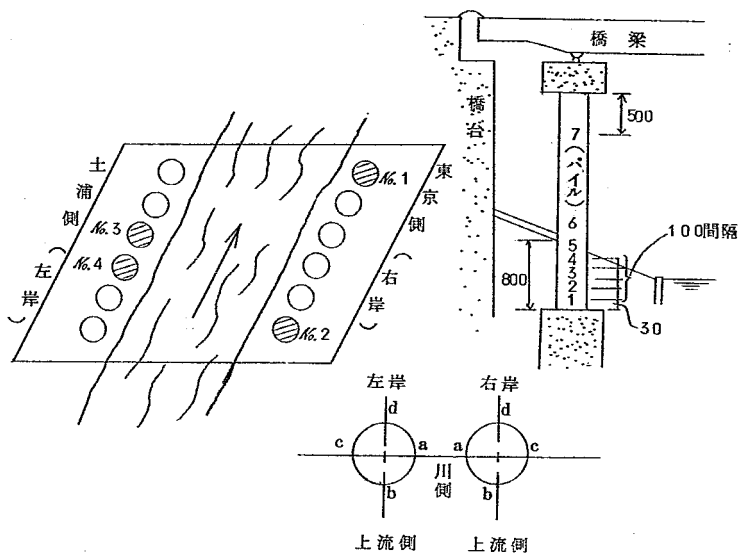


図-2に示す測定点1～7について一直線上に行なつたのは打込み深度による減厚の比較および露出部（塗装）と埋設部の比較が出来る様にしたものである。

a線は川側の面、c線は橋台側の面、b線は上流、d線は下流と各々異なつた諸条件があると考ええる。（但し、各杭について、位置6はa、b… いずれも露出部で地中連梁よりa=530、b、d=680、c=830mmでa、b、c、d線との交点である）

結果

図-2に示す定点測定の結果を表-2と図-3に、外面観察の結果追加した測定結果を図-5に示す。

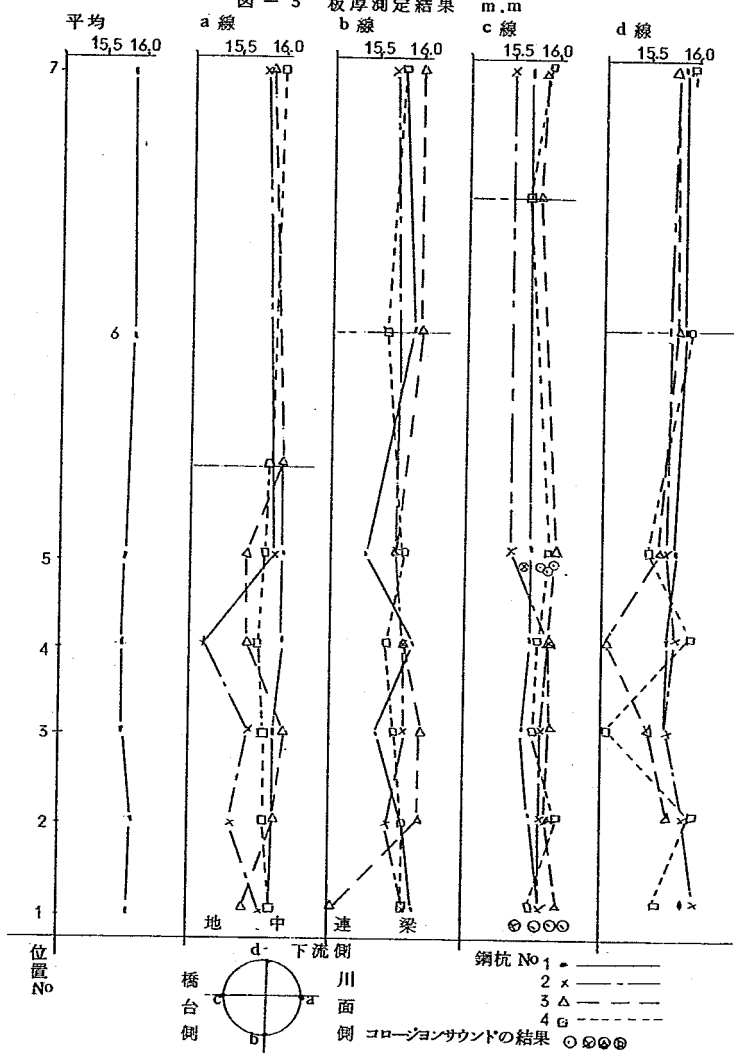
表-2 板厚測定結果

単位 ㎜

地中連梁よりの距離及び位置 №		埋 設 部					露 出 部	
		1	2	3	4	5	6	7
		30 _{埋深}	130 _{埋深}	230 _{埋深}	330 _{埋深}	430 _{埋深}	530,830 _{露出}	上から500 _{露出}
№1	a 川側	15.9	15.9	15.9	16.0	16.0	16.0	15.9
	b 上流	15.9	15.8	15.5	15.9	15.4	15.9	15.8
	c 橋台側	15.8	15.7	15.6	15.7	15.7	15.7	15.7
	d 下流	16.0	15.9	15.7	15.7	15.8	15.9	15.9
№2	a 川	15.7	15.4	15.6	15.1	15.8	—	15.8
	b 上	15.8	15.6	15.8	15.8	15.7	—	15.7
	c 橋	15.8	15.8	15.8	15.9	15.5	—	15.5
	d 下	16.0	15.9	15.7	15.8	15.7	—	15.8
№3	a 川	15.6	15.9	16.0	15.6	15.6	16.0	15.9
	b 上	15.0	16.0	16.0	15.8	15.7	16.0	16.0
	c 橋	16.0	15.9	15.9	15.9	16.0	15.8	15.9
	d 下	—	15.7	15.5	15.0	15.6	15.8	15.8
№4	a 川	15.9	15.8	15.8	15.7	15.8	15.9	16.0
	b 上	15.8	15.8	15.7	15.6	15.7	15.6	15.8
	c 橋	15.7	15.9	15.8	15.8	15.9	15.7	15.9
	d 下	15.6	15.9	15.0	15.9	15.5	15.9	15.9
各抗平均	a	15.76	15.75	15.82	15.60	15.80	15.97	15.90
	b	15.62	15.80	15.75	15.77	15.62	15.84	15.82
	c	15.83	15.82	15.77	15.82	15.77	15.73	15.70
	d	15.86	15.82	15.47	15.60	15.62	15.87	15.85
総 平 均		15.76	15.80	15.70	15.70	15.71	15.85	15.83
		15.734					15.840	
各抗のa線上の平均		15.74	b線上のX	15.71	c線上のX	15.80	d線上のX	15.67

但し、埋設部のみ(位置1~5)

図-3 板厚測定結果



25



4) - 3 土質及び水質調査

a 試験項目

i 土 質

- ① 現場含水比 (3 2 ~ 4 5 %)
- ② 土粒子の比重 (2.6 0 ~ 2.7 3)
- ③ 土の遠心含水当量 (4.4 ~ 2 6.3 %)
- ④ 粒度分析及び三角座標法による分類
No 1、No 2 : ローム
No 3 : 砂質ローム
No 4 : 砂
- ⑤ PH (試験結果は表 - 3 の通り)
- ⑥ 塩素イオン (Cl^-) (試験結果は表 - 3 の通り)
- ⑦ 硫酸イオン (SO_4^{2-}) (")
- ⑧ PH (H_2O) 及び PH (KCl) (試験結果は表 - 4 の通り)

ii 水 質

- ① PH (試験結果は別紙表 - 6 の通り)
- ② 塩素イオン (Cl^-) (試験結果は別紙表 - 6 の通り)
- ③ 溶存酸素 (DO) 及び酸素飽和百分率 (試験結果は別紙表 - 6 の通り)
- ④ 化学的酸素消費量 (COD) (試験結果は表 - 6 の通り)
- ⑤ 硫酸イオン (SO_4^{2-}) (試験結果は表 - 6 の通り)
- ⑥ 亜硝酸イオン (NO_2^-) (")

b 試験方法

i 土 質

- | | | |
|------------|---------|---------|
| ① 現場含水比 | J I S A | 1 2 0 3 |
| ② 土粒子の比重 | " | 1 2 0 2 |
| ③ 土の遠心含水当量 | " | 1 2 0 7 |

④ 粒度分析 JISA 1204

⑤ PH (ガラス電極法) JISK 0101

⑥ Cl^- (モール法及び比色法)

下水試験法及びJISK 0101

⑦ SO_4 (比濁法) JISK 0102

⑧ PH (H_2O)、PH (KCl) 土質試験法 (土質工学会)

II 水 質

① PH (ガラス電極法) JISK 0101

② Cl^- (モール法) 下水試験法

③ DO (ウインクラーナトリウムアザイド変法) 下水試験法

④ COD (アルカリ性高温法)

⑤ SO_4^{2-} (比濁法) JISK 0102

⑥ NO_2^- (比色法) 下水試験法

III 化学的試験

① 採取状態のままの試料 (湿潤土) 200g を共栓メスリンダーに採取し、500cc の蒸留水を加えて、2分間反転攪拌した懸濁溶液を濾過し、この濾液について試験を行なったその結果は次の通りである。

表一3 土質化学的試験結果表

項目 \ 試料	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	備考
PH	7.4	6.6	6.9	7.2	
Cl^-	9.0 (mg/kg)	48 (mg/kg)	58 (mg/kg)	48 (mg/kg)	
(")	(128) (")	71 (")	8.0 (")	6.3 (")	
SO_4	28.1 (")	22.3 (")	42.3 (")	33.5 (")	
(")	(40.0) (")	(32.9) (")	(58.1) (")	44.2 (")	

注 () 内は乾燥土に換算した値を示す。

- ② 気乾土 10 g をビーカーに採取し、再蒸溜水 25 cc を加えて 2 分間スターラーで攪拌し、30 分放置後 PH を測定して、 $PH \cdot (H_2O)$ を求めた。
- ③ 操作は b) と同様であるが、土に加える液は再蒸溜水の代りに $NKCl$ を使用して $PH(KCl)$ を求めた。
- 以上の結果は次の通りである。

表-4 土質試験法による PH の測定表

項目 \ 試料	$\mu 1$	$\mu 2$	$\mu 3$	$\mu 4$	備 考
PH (H_2O)	7.5	6.4	6.7	7.2	
PH (KCl)	6.2	4.9	5.9	5.7	

IV 水質試験

① 採水条件

右岸橋下 9月12日13時30分 天候強雨(但し採水中の増水はほとんど認められず)

気 温 24.0℃ 水温 24.8℃

全 水 深 0.70

採水々深 水面より全水深の2割

左岸橋下 9月13日9時 天候晴後曇(前日より約20cm増水し、流速も増す)

全 水 深 0.70

採水々深 水面より全水深の2割

② 採水方法

DO測定用は杓子で採水し、サイホンを用いて採取した。

その他試験用として2ℓハイロート採水器により採水した。

③ 試験及び試験結果

D Oは現地で固定し、その他の試験検水とともに当所に搬入し、室内試験を行なった、その結果は次の通りである。

表-3 水質試験成績表

試料 項目	右岸	左岸	備考	※(参考) 関東地方河川の平均値
PH	6.8	6.9	13日測定	6.7
Cl ⁻	45.2 PPM	42.6 PPM	"	7.8 PPM
D O	(63.9%) 5.2 PPM	(82.3%) 6.7 PPM	()内は飽和度 "	
DOC	7.2 "	11.3 "	"	0.70 PPM(日本平均)
SO ₄	24.1 "	23.9 "	15日測定	20.0 "
NO ₂	0.07 "	0.04 "	14日 "	0.003 "(日本平均)

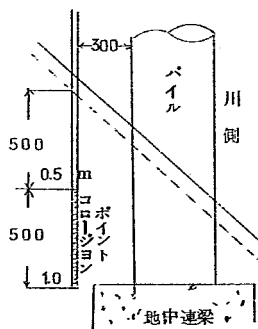
※注 水質調査法(半谷高久著)

4) - 4 コロージョンサウンド

a 使用機器

ノルウェー GEONOR 社製コロージョンサウンド

b 測定点



測定点は左図に示す如く、各調査対象鋼管パイプの橋台側で地表面から深さ0.5 mと1.0 mの2点とした。なお、参考のため河底の泥土および河水についても同様の測定を行なった。

c 結果

測定結果から求めた土壌の比抵抗、復極率および平均年間腐食度は表-4に

示す通りである。表-5の關係から腐食程度、腐食度を $\bar{v}$ で示すと
 右岸では高腐食性から低腐食性（腐食度 $\bar{v}$ Ⅳ～Ⅱ）の範圍にあり、
 左岸では中腐食性から低腐食性（ $\bar{v}$ Ⅲ～Ⅱ）の範圍にあることがわ
 かる。

表-4

測定点	深度 (m)	I_p (mA)	R_j (Ω)	E_p (mV)	ρ (Ω -cm)	n	$\bar{v}$ (mm/年)
$\bar{v}$ 1	0.5	3.8	232	881.6	4,100	0.74	0.018
	1.0	5.6	181	1,013.6	3,200	0.85	0.040
$\bar{v}$ 2	0.5	3.2	329	1,052.8	6,200	0.88	0.041
	1.0	4.9	219	1,073.1	4,000	0.90	0.050
$\bar{v}$ 3	0.5	1.5	562	843.0	10,000	0.71	0.006
	1.0	2.2	448	985.6	8,900	0.82	0.025
$\bar{v}$ 4	0.5	2.7	317	855.9	6,000	0.72	0.015
	1.0	2.4	361	866.4	6,600	0.72	0.013
泥土		6.8	153	1,040.4	2,700	0.87	0.050
河水		2.8	280	784.0	5,200	0.65	0.006

I_p : 発生電流

R_j : 抵抗

E_p : 駆動電圧

ρ : 比抵抗

n : 復極率

$\bar{v}$: 平均腐食度

表-5

比抵抗($\Omega\text{-cm}$) \backslash 復極率	0~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0
0 ~ 50	II	III ~ IV	IV	V
50 ~ 250	II	III	IV	V
250 ~ 1,250	II	II ~ III	IV	IV
1,250 ~ 6,250	I	II	III	III ~ IV
6,250 以上	I	I	II	II ~ III
腐食度 μ	腐食程度		腐食度 (mm/年)	
V	極高腐食性		0.125 以上	
IV	高腐食性			
III	中腐食性		0.025	
II	低腐食性			
I	極低腐食性		0.0025 以下	

① Th. Rosenqvist ; Subsoil Corrosion of Steel(1961)
より

一方、比抵抗から表-6により腐食程度を判定することもあるが、
これによれば腐食程度は普通以下となる。

表-6

腐食程度	腐食度 (mm/年)	土 壌 比 抵 抗 ($\Omega\text{-cm}$)	
		米 国	ソ 連
非常に高い	1.0 以上	0 ~ 100	0 ~ 500
高 い	0.2 ~ 1.0	100 ~ 1,000	500 ~ 2,000
普 通	0.05 ~ 0.2	1,000 ~ 6,000	2,000 ~ 10,000
低 い	0.05 以下	6,000 以上	10,000 以上

1. Th. Rosenqvist; Subsoil Corrosion of Steel より

4) - 5 対地電位

a 使用機器

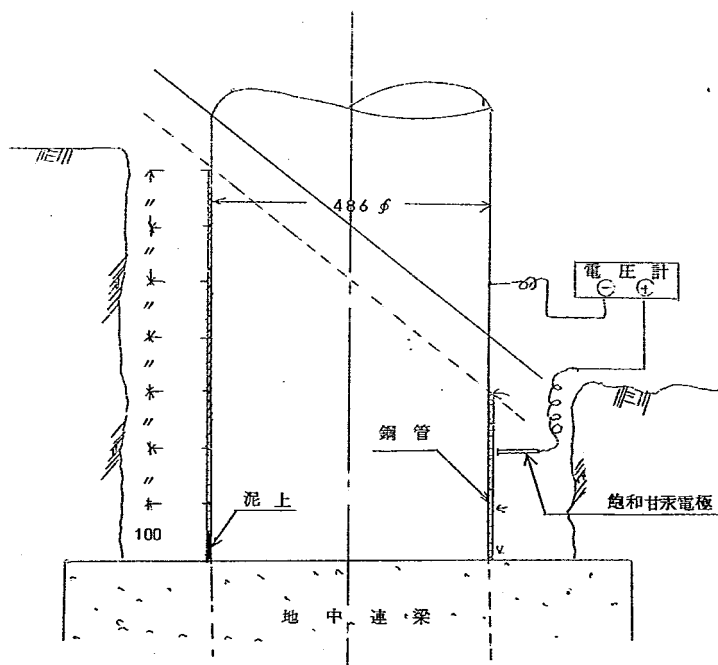
トランジスタ式直流電圧計 1台

飽和甘汞電極 1本

b 測定点

鋼管パイルの周囲を地中連梁上面の深さまで掘さくし、パイル表面に土壌が附着している状態で図-5に示す如く10cm間隔で川側と橋台側の電位分布を測定した。

図 - 5

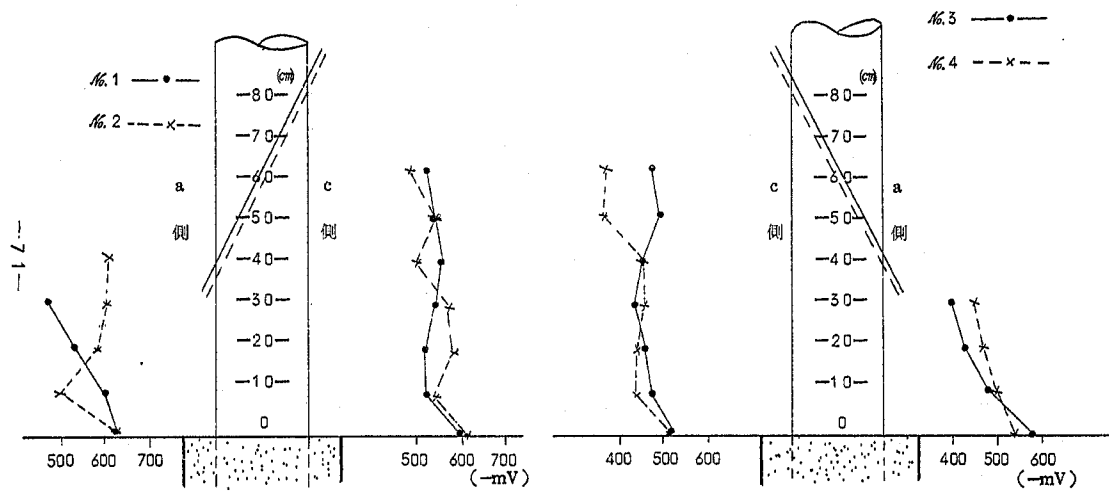


c 結 果

測定結果は図-6に示す如く、 $\#2$ パイルの川側を除いては一様な傾向がみられる。即ち、川側では、地表面に近い程、貴な電位でさびの多いことを示し、深くなるにつれて卑になり、腐食し易い金属面のあることを示している。また橋台側では、川側ほど明確ではないが似たような傾向を示している。 $\#2$ において地中連梁上面から20～40 cmの上の部分が卑な電位になっているが、これは測定の際基準電極がたまたま活性な金属面に接触したためと考えられる。

全般的な電位分布からみて地中連梁の近傍を除き、かなりのさびが附着しているものと判断される。

なお、この測定では地中連梁コンクリート中の電位が測定されることを期待したが、連梁上面では測定出来なかつた。



图一 6 对地电位测定结果

5) 考 察

a 環境の腐食性について

土質、水質の調査結果及びコロージョンサウンドの結果から環境の腐食性は余り大きくないと判断される。

一般に、腐食性の大きい土壌は Cl^- や SO_4 を多く含み、従つて比抵抗が小さく、土質からみれば砂やロームに比較して、シルトや粘土の方が大きな腐食性を示すことが多い。水についても同様で激しい腐食性を有する海水は、 Cl^- を約 30,000 PPM も含み、比抵抗も 25~36 $\Omega\text{-cm}$ と小さく、鉄鋼の腐食度は約 0.2 mm/年 にも達する。土壌としてもやはり Cl^- の多い海底土壌が大きな腐食性を示すが、この場合は土質によつてかなりの差がある。砂質の海底では比抵抗が 500~1000 $\Omega\text{-cm}$ で腐食度が 0.02~0.08 mm/年 なのに対し、シルトや粘土質では 100 $\Omega\text{-cm}$ 以下で腐食度も 0.1 mm/年 を超えることが多い。また、PH については PH 4 を界にしてアルカリ性側では問題ないが PH 4 以下の強い酸性になると鉄鋼は激しく溶解してしまう。

以上のようなことから当地の土壌や水の腐食性を判断すれば PH は 6.4 ~ 7.4 とほぼ中性を示し、 Cl^- については土壌で 4.8 ~ 9.0 PPM 水でも 42.6 ~ 45.2 PPM で何れも腐食性を増大させる程の値ではない。更にコロージョンサウンドの測定結果も平均年間腐食度 0.013 ~ 0.05 mm/年で低腐食性から高腐食性の範囲内にあることを示している。

b 板厚測定結果について

図-4 によれば板厚測定結果はバラツキが多く、特に一定の傾向はみられない。これは腐食が均一なものでなく、部分的に大きいところと小さいところあるいは腐食していないところがあるためと考えられる。板厚測定結果を空气中、土壌中に別けて総平均をとつてみると空气中では板厚が 15.840 mm (塗膜が残っている)、土壌中で 15.734

mmとなり、やはり土壌中では幾分腐食が進行していることを示している。

また各パイルについて最大板厚減少をみると板1で0.5 mm、板2で0.7 mm、板3で1.0 mm、板4で0.9 mmとなり年間腐食度にして0.056~0.111 mm/年 と大きな値を示している。総平均の年間腐食度0.012 mm/年の5~10倍の値である。このことはパイル表面の観察結果や、追加測定した結果(図-4)からも明らかで、金属光沢のあるくぼんだ部分の板厚は腐食していないと思われる平滑な部分より0.1~0.7 mm(0.011~0.078 mm/年)も薄くなっている。

これらの測定値から真の平均板厚を推定することはかなり難しいことであるが、板厚の表示法としては、出来るだけ多くの測定値の平均値に最大値、最小値を併記するのがよいと思われる。

また、コロージョンサウンドの測定結果と比較すると数値としては2倍程度の差のあるところもあるが、腐食現象が非常に多くの因子によつて影響されることを考えれば、むしろ満足すべき一致とみてよいと思われる。

○ 今後の調査法について

板厚の測定は超音波厚さ計を使用し、予め規則的に選定した測定点と表面の肉眼観察後に選定した測定点について測定しそれらの平均値に最大値、最小値を併記して板厚を表示するとよい。唯、この際測定点は多い程信頼性も増してくるわけであるが、測定点の研磨方法もかなり重要なポイントであると思われるので接触子と被測定板との接触程度等については今後の研究に待つべき点がある。

また外面の観察に当つては全面をきれいに洗つて行なうにこしたことはないが、時間や人手に制限のある場合は部分的に行なわざるを得なくなるので、このようなときは円周上180°または90°間隔に2~4点について縦方向に連続的に観察することが必要と思われる。

なお、コロージョンサウンドは鋼ぐいを使用する際、土壌の腐食性を
予め知るために開発された測定器であるから、実用パイルの板厚測定
に際してはコロージョンサウンドの測定値と、実際の腐食度との関連性
をチェックする意味でも機会ある毎にこれを実施すべきであると思う。
これらの調査が多数実施され、コロージョンサウンドと実際の腐食度
との関連性が明確になれば鋼ぐいの使用に当って予め適確に環境の腐
食性を知ることが出来るし、実用のものでもわざわざ掘さくしたり引
き抜いたりしなくても腐食程度を知ることが出来るようになると思わ
れる。

(4) 北 陸 地 方 建 設 局

橋 梁 名	河川および 道 路 名	埋設した環境 及 地 盤	埋設年数	地 表 面 か ら の 測 定 位 置	
三国スノージェット	国道17号線	(山 岳 部)	4年5ヶ月	表面より1.5 m および3.4 m	
六日町跨線橋	"	砂レキ層地盤 (平 野 部)	1年10ヶ月	地表面より2.0 m および4.3 m	
八 幡 橋	"	砂レキ層地盤 (平 野 部)	1年8ヶ月	地表面より2.0 m	○
落 石 止 柵		(山 岳 部)	1年1ヶ月	地表面より25 cm 75 cm, 125 cm	
第 3 跨 道 橋	農道及用水	(平 野 部)	4年3ヶ月	-50 cm	
古 城 橋	国道8号線	(平 野 部)	3年8ヶ月		
荒 川 橋	"	(平 野 部)	1年5ヶ月		
吉 浦 橋	"	(丘 陵 部)	2年5ヶ月		○
白 田 切 橋	国道18号線	(山 岳 部)	2年11ヶ月		
安野川第23号橋	国道49号線	(平 野 部)	2年5ヶ月	地表面上 40 cm 地表面下 -15 m	
雪崩防止工	国道7号線	(山 岳 部)	9ヶ月		

防 蝕 措 置 法	防蝕法選定理由	腐 蝕 調 査 法	腐 蝕 の 状 況
塗装 2 回 (調合ペイント)	橋梁上部の塗装に 準じる	肉眼観察	剝離が生じ局部的な腐蝕が 発生したが再塗装の必要は ない
" 3 回 (調合ペイント)		"	埋設部において多少の腐蝕 がみられる。腐蝕による断 面変形はみられない
○ " 3 回 (調合ペイント)	今後の継続して測 定するのに適して いるため	"	地中部の観測点では多少の 腐蝕の進行がみられる
" 1 回 (調合ペイント)	落石、雪崩の影響 が少ないから	"	
考慮せず		"	くいの表面の錆を手でこす れば粉末状になり、新たな 表面が現われる
腐蝕代 2 mm を見込 む		肉眼観察 間接検査	
"		" "	
○ "	鋼ぐいを利用した ため	肉眼観察	
"		肉眼観察 間接検査	
塗装		肉眼観察	
塗装 2 回 (J. I. S. K シアミナト鉛)		"	

(5) 中 部 地 方 建 設 局

0

0

(1) 枇杷橋の鋼ぐい腐蝕調査

1) 一般

- a 道路名 国道22号線 庄内川
b 所在地 名古屋市西枇杷島町
c 測定年月日 昭和42年9月12日
d 測定鋼ぐい 歩道橋東側の枇杷島町方面より2本目 1本
" 西側の " 3本目 2本
e 測定器 電気抵抗式金属厚み測定器(スメックゲージ)
メーカー 三菱重工業株式会社
測定範囲 (鋼のとき)

最大測定厚み	最小測定厚み	測定確度
5.0 mm	5.7 mm	5.0~3.0 mmで5~2 mm以下
		3.0~1.0 mmで1~0.5 mm以下
		1.0~0.5 mmで0.2~0.1 mm以下

注) ただし厚板用千針接触子使用の場合

材質 SS41

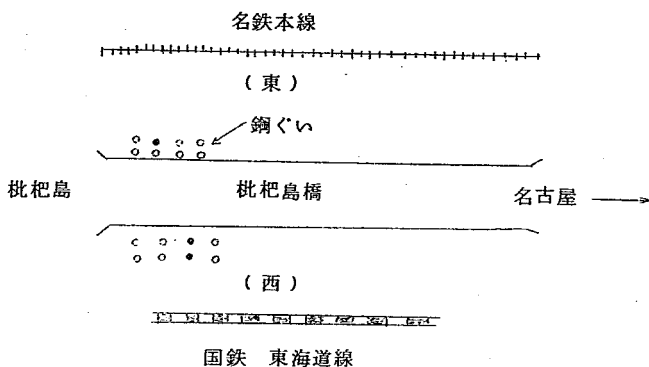
テストピース 360 mm×360 mm×12 mm

2) 結果

厚板用千針接触子使用

鋼ぐい寸法, 外径50.8φ%±5.08, 厚み9.5%±1.4

a. 測定鋼ぐいの位置



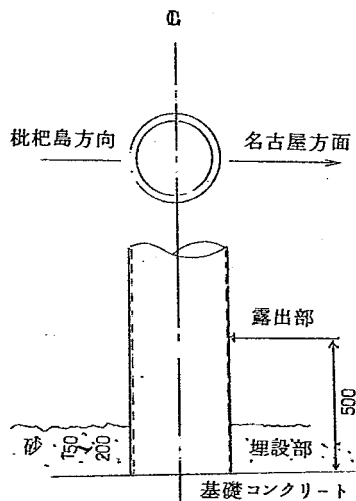
図一1 歩道橋鋼ぐい位置

b. 鋼ぐいの肉厚

1 A 鋼ぐい

Tab1 単位mm

測定点	厚み
埋設部	1 10.3
	2 10.3
	3 10.3
	4 10.3
露出部	4' 10.4



図一2 測定点

II B 鋼ぐい

Tab2

単位 鋼

測定点	厚み
埋設部	1 9.9
	2 10.0
	2' 9.9
	3 10.0
	4 10.0
埋設部上部 4'	10.1
露出部 4'	10.0

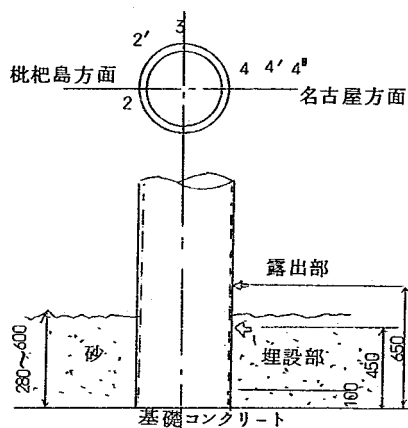


図-3 測定点

III C 鋼ぐい

Tab3

単位 鋼

測定点	厚み
埋設部	1 10.3
	2 10.3
	3 10.3
	4 10.2
露出部 4'	10.3

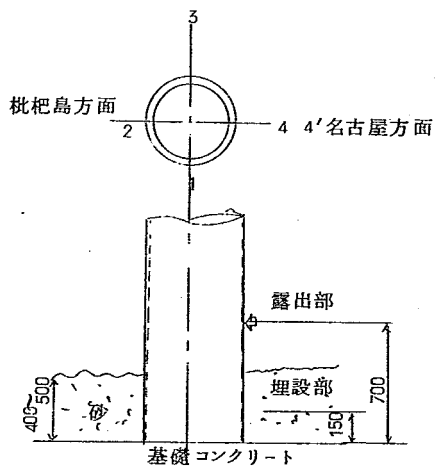


図-4 測定点

3) 考 察

歩道橋の鋼ぐいは現在のところ埋設部と露出部の肉厚の大差はほとんどなく腐食はない。A 鋼ぐいとB 鋼ぐいの肉厚が約0.3%異つてゐるが製作上の誤差と考えられる。

地質上、砂地における腐食量は統計的に調べて非常に少ない。

また、鋼杭の腐食例を以下にまとめる。

事務所	橋梁(水門 ひ管)名	施工 年度	スパン割	腐食調 査の有 無	腐食代	防食法	摘 要
名古屋 国道	一色大橋	41	24+5@30.9 +24	無	15%	防錆塗装 (上・中・下)	地上に出るため、美観上塗装を行なつた
	新逢妻橋	39	25+32.2+25	"	"	"	
岐阜 国道	犀川橋	41	50.0	"	2%	防錆塗装 (ザブコート塗布)	
	新木曾川橋	41	9@65.10	有	2%	ナシ	
	岐南跨線橋	42	30.2	"	2%	ナシ	
	境川跨線橋	42	25.1	"	2%	ナシ	
名阪 国道	服部川橋	39	30+(40+45 +40)+30	無	2%	ナシ	「くい基礎 の設計篇」 による。
	鈴鹿川橋	39	12+(38+2@ 44+38)	"	2%	ナシ	
	久米川橋	39	45+55+45	"	2%	ナシ	
	長田川橋	39	36+2@39 +36	"	2%	ナシ	
磐田	新天龍川橋	39	58.16+13 @65.68	"	2%	ナシ	同 上
	芳川橋	41	315+50.0 +31.5	"	2%	ナシ	
	中浜名橋	41	9@19.6	"	2%	ナシ	
三重	本郷橋	40	45.12	"	2%	ナシ	同 上

事務所	橋梁（水門 ひ管）名	施工 年度	スパン割	腐食調 査の有 無	腐食代	防 食 法	摘 要
三 重	名南右岸取付	41	1 5.6	なし	0	外部電源法	
	名 南 橋	42	25.73+25.73	"	0	"	
	天白扇川橋	40	3@20.0=60.0 3径間	"	0	"	
	共和高架橋	41	11.7+34.0+ 14.3+2@2.90 (5径間)	"	0	防食塗装 (ザフコート塗布)	

(6) 中国地方建設局



〔1〕 逢浜橋の腐食量測定

1). 一 般

- | | |
|-----------------------|---|
| a. 道路及び河川名 | 一般国道 9 号線 逢浜川 |
| b. 所 在 地 | 島根県大田市五十猛町逢浜 |
| c. 建設年月日 | 着工 昭和 40 年 5 月 8 日
竣工 " 41 年 1 月 25 日 |
| e. 地 形 | 平野部 |
| f. 杭の形状及び寸法 | 鋼管杭 $\phi 508\%$ 厚 9% $\ell=15\text{m}$ |
| g. 杭の埋設年数 | 2 年 |
| h. 地表面からの
測定位置の深さ | 80 cm |
| i. 地下水の位置お
よび杭内の状況 | 地下水位. 地表面から 60 cm. 中埋材料. 砂 |
| j. 測定した位置の
土質柱状図 | 別 紙 |
| k. 測定結果表 | 別 紙 |
| l. 杭の表面に附着
していたもの | 錆と細砂の混合したものが 5% 程度附着 |
| m. 地盤の比抵抗の
測定値 | 測定せず |
| n. 防 食 措 置 法 | 特別に防食措置はしなかつた根入部分は, 工
場防錆塗装のみで根入より上部は, 防錆塗装
1 回 (含鉛酸系) 上塗々装 2 回 (長油性フタ
ル酸系, マリンペイント) 施工し常位水位々
置は別紙図面通り $\phi 6^m \times \phi 9^m$ のコンクリート
を施工したが, 河床変動によりコンクリート
下部が露出し錆が発生した。 |

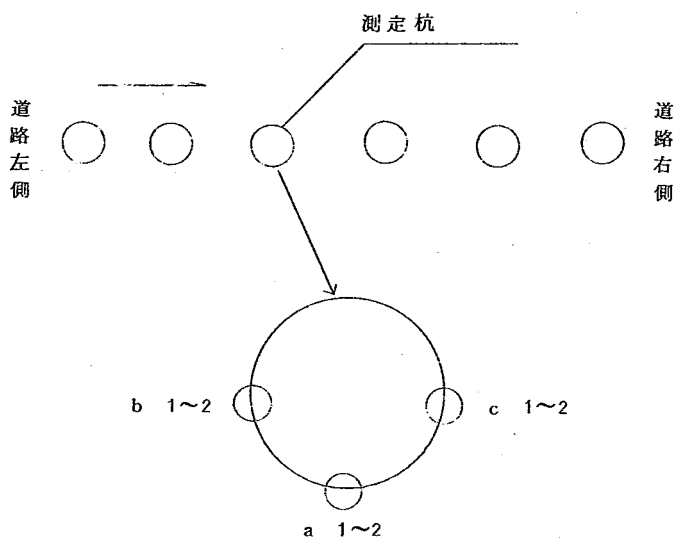
2) 調査法の種類

- a. 肉眼観察
- b. 間接検査

表 一 1 測定結果表 (部分測定)

埋込み前の 杭の肉厚 (%)	測 定 値 (%)								摘 要
	a - 1	a - 2	b - 1	b - 2	c - 1	c - 2	d - 1	d - 2	
9	8.3	8.4	8.5	8.4	8.3	8.5			測定厚 $= 50.4 / 6 = 8.4 \%$ 腐食量 $= \text{埋込前厚} - \text{測定厚}$ $= 9.0 - 8.4$ $= 0.6 \%$ 腐食率 $\frac{0.6}{2} = 0.30 \frac{\text{mm}}{\text{年}}$

図 - 1 測定位置図



(下関側橋脚の中心ぐい)

3.) ま と め

今回調査の対称とした逢浜橋の竣功は昭和41年1月であるが、杭打完了は昭和40年8月で、現在2ケ年を経過したところである。

竣功当時は別紙一般図のとおり橋脚附近には土砂の堆積があり別紙橋脚図面の如く、地盤線附近はコンクリートで巻立を行っていたが、昭和41年7月の降雨時コンクリートの下部が洗掘され鋼杭が露出し錆の発生を助長する結果となり現在に至つたものである。

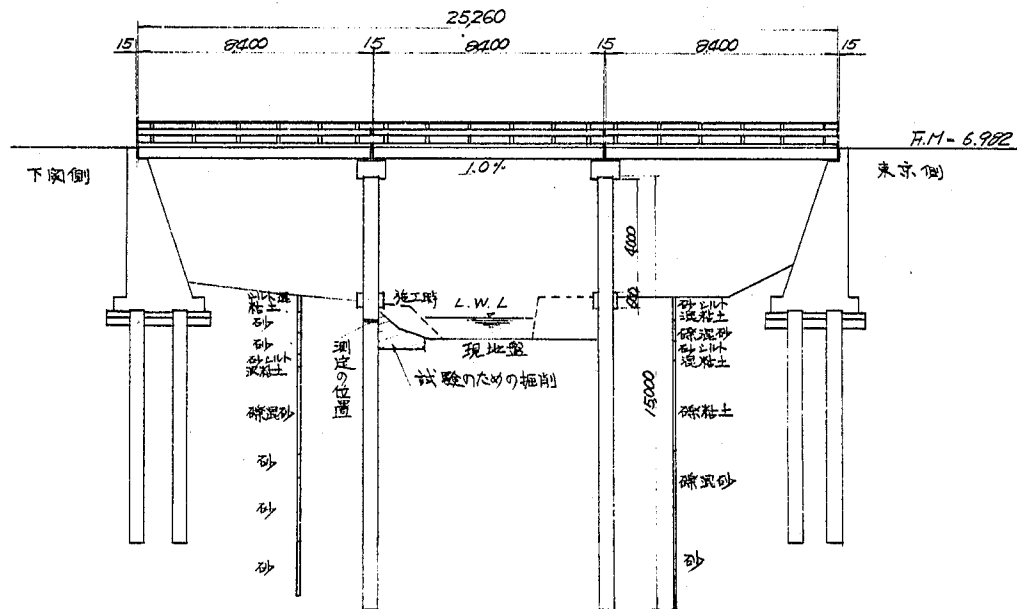
見掛は現地が海岸部でもあり相当の腐食を生じているかのように見うけられたので今度の電気抵抗による腐蝕量の測定を実施した。

掘削の結果土中の杭については錆はあまり見られず空中にさらされている部分に錆の発生があり、この錆も当初予想した程でもなく現在は露出されてからの年数も浅く浮錆程度であつたが測定の結果は別紙のとおりである。

なお当初は測定は1本に限らず橋脚一基につき2ヶ所計4ヶ所を予定していたが、腐食も少く他も同程度と判断し、1本の部分測定のみで打切つた。

今後の対策としては露出した部分を腐食の少い内にコンクリート等で巻立を行うよう考えている。

図-2 逢浜橋一般図 $S = \frac{1}{2000}$



〔2〕 庄内跨線橋の腐食測定

1) 一般

- a. 道 路 名 一般国道30号線(国鉄宇野線常山立体交差)
- b. 所 在 地 岡山県玉野市庄内地先(東高崎一宇藤木)
- c. 地 形 干 拓 地
- d. 杭 の 形 状 $508\phi \times 9.0\text{mm} \times 30000$
- e. 杭の埋設年数 6年8ヶ月
- f. 地表面からの測定位置の深さ 1.0 m
- g. 地下水の位置および杭内の状況 地表面下2.4 m
中埋なし
- h. 測定した位置の土質柱状図 一般図参照
- i. 土のPH測定結果

測定方法 ガラス電極PHメーターによる

測定値 第1回 6.3

" 第2回 7.2

" 第3回 8.3

平 均 7.3

j. 杭の表面に附着していたもの 砂交り粘土

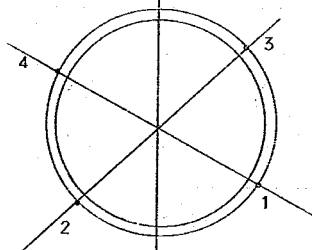
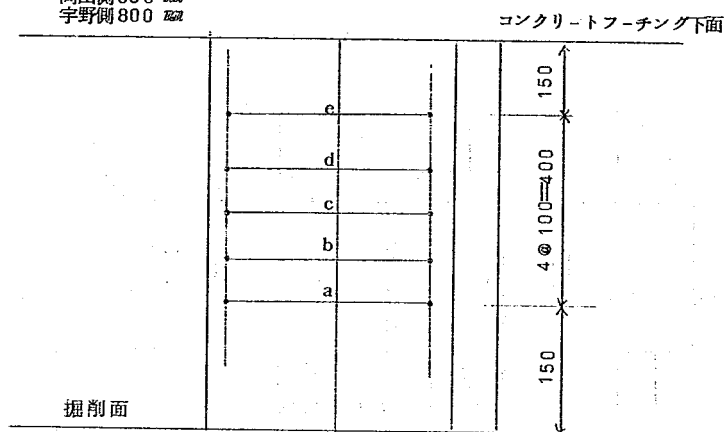
k. 防 食 措 置 塗装なし

l. 測 定 計 器 日本鉱業株式会社製油所所有の電気抵抗厚み計

地表下

岡山側 650 mm
宇野側 800 mm

図 - 1 - 測定位置図



岡山側

圖-2

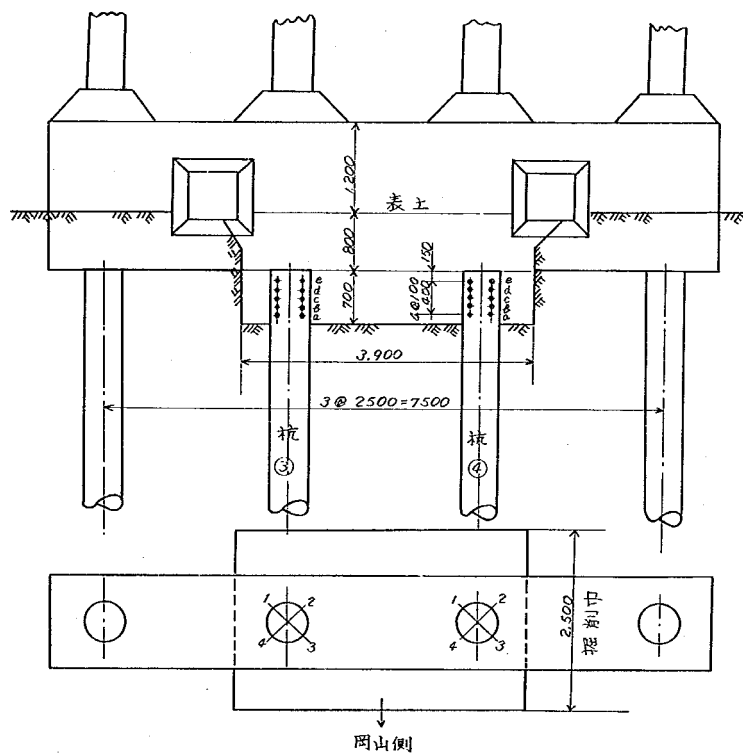


图-3

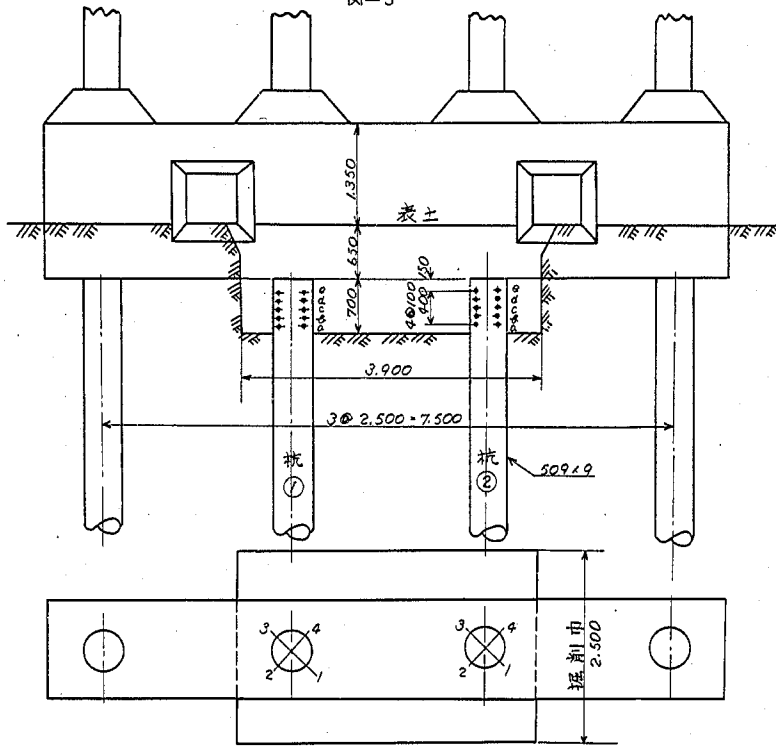


表 - 2 測定結果表

a 岡山側橋脚基礎杭 (測定点40点)

	杭 番 号 ①					杭 番 号 ②						
打込前の 杭 内 厚	断面	位置	1	2	3	4	断面	位置	1	2	3	4
9 釐	a		8.9	8.9	8.9	8.9	a		8.5	8.9	8.6	8.6
	b		8.9	8.8	8.6	8.8	b		8.9	8.8	8.6	8.5
	c		8.9	8.9	8.9	8.6	c		8.8	8.9	8.9	8.6
	d		8.6	8.9	8.9	8.5	d		8.7	8.8	8.7	8.5
	e		8.7	8.8	8.9	8.9	e		8.9	8.8	8.9	8.6

b 宇野側橋脚基礎杭 (測定点40点)

	杭 番 号 ③					杭 番 号 ④				
打込前の 杭 肉 厚	位置	1	2	3	4	位置	1	2	3	4
	断面					断面				
9 mm	a	8.0	8.8	8.5	8.7	a	8.0	8.5	8.7	8.1
	b	8.3	8.7	8.7	8.5	b	8.0	8.5	8.5	8.3
	c	8.5	8.7	8.5	8.8	c	8.8	8.7	8.8	8.6
	d	8.8	8.8	8.7	8.9	d	8.7	8.8	8.9	8.7
	e	8.8	8.9	8.8	8.9	e	8.8	8.8	8.9	8.7

2) まとめ

測定厚(平均値)

岡山側

宇野側

$$3507/40 = 87.7 \approx 88 \text{mm}$$

$$3451/40 = 86.3 \approx 86 \text{mm}$$

腐食量

＝埋込前厚　－　測定厚

$$= 9.0 - 8.8 = 0.2 \text{ mm}$$

$$9.0 - 8.6 = 0.4 \text{ mm}$$

$$0.2 \text{ mm} / 6 \text{ 年 } 8 \text{ ヶ月} = 0.0299$$

$$0.4 \text{ mm} / 6 \text{ 年 } 8 \text{ ヶ月} = 0.0599$$

$$\approx 0.030 \text{ mm/年}$$

$$\approx 0.060 \text{ mm/年}$$

腐蝕率

$$0.030 \text{ mm/年}$$

$$0.060 \text{ mm/年}$$

(3) 三原跨線橋の腐食測定

1) 一般

a. 道路名　一般国道2号線

b. 所在地　広島県三原市皆実町

c. 建設年月日　着工　昭和36年8月23日

竣工　昭和37年3月25日

d. 地　　形　平野部

e. 杭の埋設年数　5年7ヶ月

f. 地下水の位置及び杭内の状況(中埋材料)

地表面下1.5m　中詰コンクリート

g. 測定した位置　土質柱状図および土のPH

h. 測定結果表　別　紙

i. 防食措置法　塗装による方法

塗装材料名(防錆)　デラスト　アルミン(中上塗)

塗装回数　2回　3回

j. その他

1 測定にあたり防錆塗料もはく離しておらず腐食は認められなかつ

たが埋込前の厚さが不明なので測定を実施した。

ii 測定はスメックゲージを使用した

iii 測定はNo 1 ボール（北側）については（別図参照）

乾土部 3 箇所 湿度部 3 箇所

No 2 ボール（南側）については

乾土部 4 箇所 湿度部 4 箇所

圖-1 三原跨線橋一般圖

S I D E V I E W

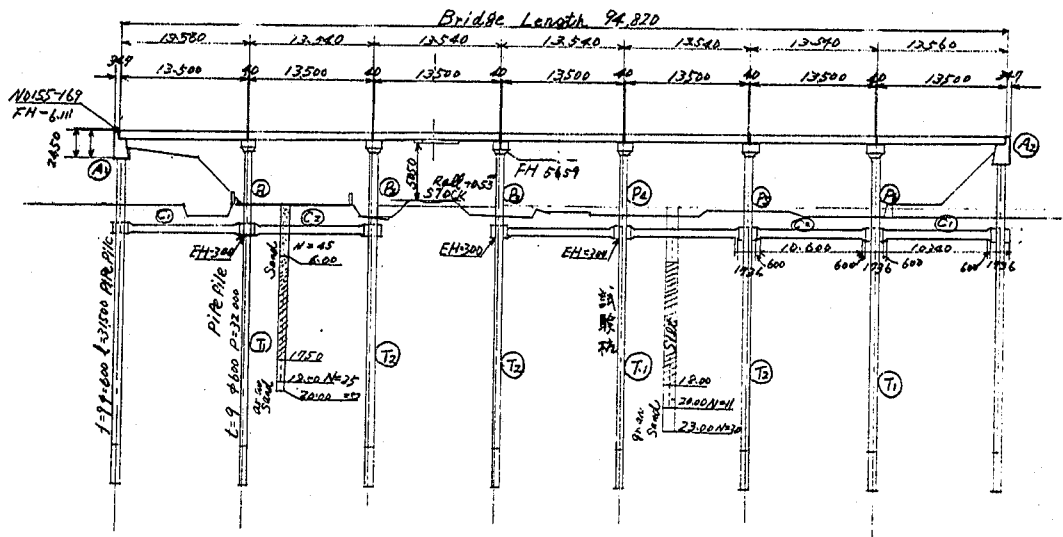


図-2 測定位置図

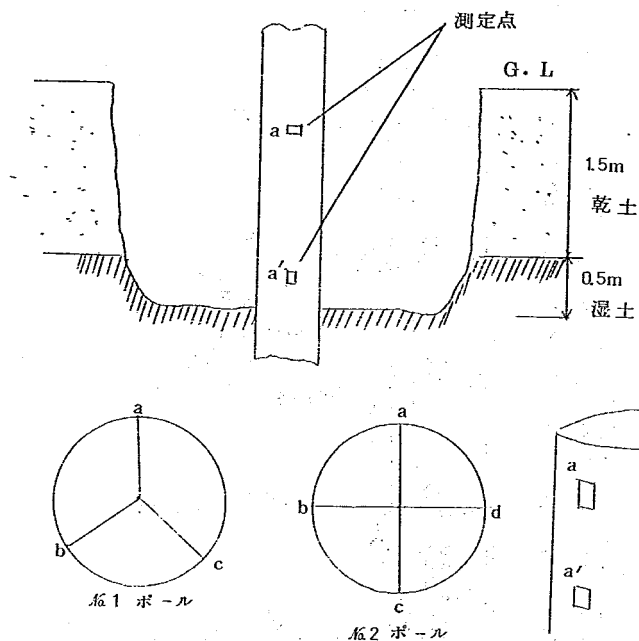


表-1 測定結果表

	a	a'	b	b'	c	c'	d	d'
No.1ボール	9.7	8.7	9.5	9.5	9.7	9.5	—	—
	9.5	8.6	9.6	9.2	9.7	9.0	—	—
No.2ボール	8.7	9.2	9.2	9.2	9.2	9.1	9.3	9.3
	9.1	9.3	8.7	9.2	9.2	9.2	8.7	9.1

測定厚

$\Sigma = 257.9$

$$257.9 / 28 = 9.21 = 9.2 \text{ 取} > 7.9.0 \text{ 取}$$

〔4〕 百間川河口水門の電気防食

1) ま え が き

岡山海岸百間川河口水門工事に於て、種々検討の結果重要構造物の基礎には、鋼管パイルを採用したが、鋼杭が果してどの程度腐食するものであるか、また防食法としての塗装や電気防食法がどれほどの効果があるものかということについては、余りデータがないが、鋼杭の設計に当つては使用場所の腐食性に応じた防食法を考慮すべきである。

鋼材が水中や土中にて発生する土壤の腐食性が電気化学的に明らかにされ、その防食法として、電気防食法が出現して幾多の成果を上げていることは広く関係者の知る所である。ここに岡山海岸百間川河口水門に実施した電気防食法の全貌をその調査の段階より計画・実施と順に追つて述べる。

2) 土壤腐食性の調査及び結果

水門の建設予定地域にて、鋼杭基礎を採用した際、土壤の腐食性が鋼杭に対してどれほどの影響を与えるかを判定するための調査を昭和37年10月に実施した。この調査法は現在その分野において最も信頼されているノルウェーのRosenqvist氏の考案した Corrosion Sound 測定器を使用し、Corrosion Point と呼ぶ特殊な原位置測定装置を測定深度まで挿入し、Corrosion Point の土中における発生電流及び抵抗を測定し、得られたデータよりRosenqvist氏の実測結果から作成された図表を用いて年間腐食率を推定するものであり、その土壤腐食性調査位置は図一4に示すボーリング位置 κ 2及び κ 3（水門建設位置）の近傍の堤防上で3箇所（ κ 1～ κ 3）で行う予定でCorrosion Sound を挿入したが、深度2～3mで堤防の捨石に当り挿入困難となり、測定位置を κ 4、 κ 5に変更し、 κ 4は深度

20 m, ㍺5は深度16 mまで測定したが、水門建設位置でのデータを得るため、㍺3付近で4~5 m沖へ船を出し、船上から手で挿入出来るだけの深度(5 m)まで測定した。又、水の比抵抗・PHは㍺3付近の堤防の内外及び㍺4, ㍺5の泥水から試料を採取し、土壤のPHは㍺3~㍺5で試料を採取して測定した。調査結果は、表2・3・4に示す如く、大部分が腐食率 $0.1 \text{ mm}/\text{年}$ 以上を示した。当地域は海岸地帯であること、又、昔は海底であつたこと等により土壤中の塩分含有量、有機物の含有量等腐食を促進させる原因となる要素が多分にあるため、この様な高い腐食度を示したものと考えられる。

腐食率は鋼杭の全表面が一様に腐食をした場合で、実際に腐食が起る際は狭い範囲に起り、特に溶接部においては、材質的な差異から又地層変化部では酸素の濃淡差から局部腐食を生ずる。

3) 電気防食装置

土壤腐食性の調査結果に基づき、土壤による腐食を防止して鋼杭の寿命を延長するため、電気防食法を採用することになった。

防食方式の選定に当つては対象面積が大にして、又水門完成により、川側の水は淡水化されるので、水の比抵抗変化に伴う河底土壤の比抵抗の変化、これによる電極発生電流の調整、分極による防食所要電流の減少等の変化に対応出来ることなどの理由により外部電源方式とした。

土壤中に埋設された裸の鉄鋼に対する防食電流密度は $6 \sim 20 \text{ mA}/\text{m}^2$ の範囲であるが、当地域の如く、土壤が高腐食性の場合には大きな電流を必要とし、幾多の施工例と併せて検討し、防食電流密度を $15 \text{ mA}/\text{m}^2$ とした。

a. 設計概要

1. 防食対象

表-1 鋼ぐい，鋼矢板の形状寸法

形 状	鋼 杭	鋼 矢 板
外 径	609.6mm	Ⅱ 堅
全 長	27m	12m
コンクリート埋設長	0.7m	0.5m
防 食 長 さ	26.3m	11.5m
数 量	534本	844枚(3376m)

ii 防 食 面 積

$$\text{鋼 杭} \quad 0.6096 \times \pi \times 26.3 \times 534 \approx 26880 \text{ m}^2$$

$$\text{鋼矢板} \quad 1.4 \times 2 \times 11.5 \times 3374 \approx 10870 \text{ m}^2$$

$$\text{計} \quad 37750 \text{ m}^2$$

iii 防 食 電 流

$$37750 \text{ m}^2 \times 0.015 \text{ A/m}^2 \approx 566 \text{ A}$$

安全率 10 % として 624A

iv 直 流 電 線 装 置 の 出 力 電 圧 の 決 定

出力電圧の決定に際して考慮する事項は次のとおりである。

- ① 電極の接地抵抗による電圧降下
- ② 電極の導体抵抗による電圧降下
- ③ 電線の導体抵抗による電圧降下
- ④ 被防食体の接地抵抗による電圧降下
- ⑤ 電極および被防食体の分極電圧
- ⑥ 各接続部の抵抗による電圧降下及び比抵抗の変化に対する安全率等

以上のうち、大きい事項は①及び②であり、一般的には出力電圧は海水中の場合は20V，地中のものや，配線路の長いものは36Vである。

本設計では、比抵抗は小さいが、地中のものがつ配線路が長いため
36Vを採用した。

V 電極の電圧降下

電極の接地抵抗は次の算式によつた

$$R = \frac{P}{2\pi L} \left(2.3 \log \frac{8L}{D} - 1 \right)$$

R : 接地抵抗 (Ω)

P : 比抵抗 (Ω-cm) 150Ω-cm

L : 電極の長さ (cm) 100cm

D : 電極の外径 (cm) 2.4cm

従つて、電極の接地抵抗は次の通りである。

$$R = \frac{150}{2 \times \pi \times 100} \left(2.3 \log \frac{8 \times 100}{2.4} - 1 \right) = 0.618 \Omega$$

電極は1回路3本並列に設置したので、干渉を生じて接地抵抗は
幾分増加する。この修正係数は電極を5m間隔で設置すると1.2と
なるので、修正接地抵抗は、

$$0.618 \times 1.2 = 0.74 \Omega \text{ となる。}$$

通電電流は電極1本当り $78 / 3 = 26 \text{ A}$ であるから電圧降下は、
 $0.74 \times 26 = 19.2 \text{ V}$ となる。

VI 電線の電圧降下

電極の接地抵抗による電圧降下は、上述の如く19.2Vで、前項
の③と⑤は合せて約20V、⑥として20V程度みればこれらの合
計が23.2Vとなるから電線の導体抵抗による電圧降下は12.8V
以内であればよいことになる。

b. 設備概要

i 直流電源装置

電気防食用直流電源装置として、次のとおりの仕様とし、セレン

整流器で单相全波整流方式とし、回路構成は容易なグループを組合せて回路線を決定した。

直流電源装置仕様

入 力 AC 200V 3φ 60～

出 力 36V×78A×8P

入力電力 38.5KVA

方 式 单相全波整流方式 自空冷等

年間使用電力量 168MWH（初年度）

ii 電 極 装 置

電極材料としては、現在磁性酸化鉄、鉛銀合金、黒鉛、珪素鑄鉄等が一般に使用されているが、当地域のような低比抵抗土壤中で大電流を流す場合には、珪素鑄鉄電極が有利であるので、当所では珪素鑄鉄電極を採用した。

設置位置は水門の内側（百間川側）の河底の土壤中に沈設し、電極は図一七に示す形状にして各回路3本、合計24本使用し、設置は相互の干渉を出来る限り小さくするため、左右5m前後10mの間隔で施工するも、設置場所が泥土質のため自然沈下を生ずる憂いがあるので、コンクリート柱を杭打し、これより張出したビニロンテープにより支持するようにした。又、このコンクリート柱により埋設位置を標示警戒することにした。電極リード線は、14mm² EVBA（ポリエチレン絶縁、ビニールシース真鍮外装ビニール被覆ケーブル）を使用する。

iii 配 線 配 管

配線配管工事は交流（1次）側と直流（2次）側とから構成し、交流側の配線配管は管理所より1号塔柱上の直流電源装置間であり、その間管理所～7号塔柱中間はコンクリートトラフとヒューム管を使用して地下埋設、7号塔柱から直流電源装置までの橋梁部及びコ

ンクリート埋込部は厚鋼電線管を使用し、配線は600V38sq
3芯BNケーブルを使用した。

直流側の配管配線の(+)側は直流電源装置出力側より橋梁部及びコ
ンクリート埋込部は厚鋼電線管を使用し、土中部はビニール電線管
を使用して配管した。配線は600Vビニール電線を使用し、電極
装置に結線した。

又、(-)側の鋼杭、鋼矢板の立上り点は塩化ビニールチューブの被
覆した22φ鉄筋を使用し、その先端には(-)接続用端子を使用し、
それを600Vビニール電線にて結線した。

IV. ボンド工事

各鋼杭及び鋼矢板相互を規定の太さの鉄筋で溶接し、互に金属的
に接続するために行なった。

ボンド用鉄筋は鋼杭は19φ鋼矢板は13φを使用し、さらに図一
1に示す所定の位置で塩化ビニールチューブの被覆した22φ鉄筋
を立上げ(-)接続用及び測定用端子とした。

V. 測定装置

本装置は鋼杭の電位測定に用いる基準電極の挿入用として、各塔
柱に2ヶ所設置し塔柱コンクリートを貫通して基礎土壤に至る硬質
塩化ビニール管(2B)を設置したものである。

c. 施工概要

本工事は構造物新設の工程との関係上各年度毎に区分して施工する
ことになり、昭和39年度よりその工事が着工された。その概要を年
度別に示すと次のとおりである。

表一 2 工事概要表

年 度 別	期 間	施 工 内 容
昭和 3 9 年度	自 昭和 3 9 年 8 月 至 昭和 4 0 年 3 月	鋼杭，鋼矢板間の相互ボンド一部(-) 鉄筋立上げ及び測定装置設置工事
昭和 4 0 年度	自 昭和 4 0 年 4 月 至 昭和 4 1 年 3 月	(-)鉄筋立上げ測定端子設置工事，一 部コンクリート埋込部配管直流電極 装置設置工事
昭和 4 1 年度	自 昭和 4 1 年 4 月 至 昭和 4 2 年 3 月	1 次・2 次側配線配管工事，電極装 置設置工事，通 電

d 防食効果の判定

土壌・水中（いずれも中性環境中）における鋼の防蝕電位は，S・C・E（飽和甘汞電極）の基準で， -770 mV よりひくい値（マイナスの状態）である。

測定は通電前の防食対象物の自然状態での電位で自然電位ともいわれ，防食効果判定の目安となる不通電電位の測定と電源装置の定格の80～90%を通電し，不通電電位と比較して防食効果を判定する為の測定とを行なう。

一般に鋼材は不通電電位の状態より -200 mV 分極促進させれば防食が達成される事が知られている。

4) 電気防食法の経済的考察

本工事の水門基礎には，鋼杭（外径609.6mm，長さ27m）548本と鋼矢板（Ⅱ型）844枚を用いているが，現在電気防食を採用する為鋼材の腐食代は0.15mm見込んでゐる。今，この水門の耐用命数80年として腐食代を見込んだもの（非防食）と比較してみる。

土壌の腐食性調査結果より年間腐食度は0.1mm以上であるが，これ

を年間0.1mmの腐蝕度として計算する。現実には鋼杭・鋼矢板の肉厚を増加する場合には、局部腐食による開孔等により強度低下、寿命の短縮が伴うが、今回は全面均一に消耗すると仮定する。

a 鋼材の肉厚増加による直接の増加額

(鋼杭) 増加厚(80年×0.1-0.15)	7.85 mm
面 積	26,880 m ²
鋼材比重	7.86
鋼材の価格	58,000 円/t
重量の増加(26,880×0.00785×7.86)	1,658.5 t
増加金額(1,658.5×58,000)	96,193,000 円
(鋼矢板) 増加厚(この場合は両面腐食を受ける)	15.7 mm
面 積	10,870 m ²
鋼材比重	7.86
鋼材の価格	53,000 円/t
重量の増加(10,870×0.0157×7.86)	1,341.3 t
増加金額(1,341.3×58,000)	71,088,900 円
両者合計にて 重量増加	2,999.8 t
増加金額	167,281,900円

上記の如く、重量及び金額共増加するも、実際にはこれに伴う運搬費、打込工事費等種々の経費が加算されるが、今回は直接腐食に対処する費用のみで、電気防食装置と比較する。

b. 電気防食費用

電気防食に関する経費は、初期の設備投資と80年間の電気料金及び維持管理費となる。

設備投資	昭和39年度	1,850,000円
	昭和40年度	2,530,000円
	昭和41年度	1,400,000円
	計	18,380,000円

使用電気料	初年度	使用率 80%	1,296,000-
	2年度	使用率 50%	811,200-
	3年度以降	使用率 30%	486,720-

入力電力 38.5KVA 電力料金 4.8円/KWH

となり80年間では合計 40,071,360-

維持管理費 年間電位測定、電流調査及び補修費が100,000円

程度要するので、80年間では8,000,000円

これらの合計が電気防食施設の経費で総額66,451,360円となる。

c. 経済的比較

これらを比較するとき、腐食に対する直接の防護対策として、

鋼材の肉厚増加法 167,281,900 円

電気防食法 66,451,360 円

その差額約1億円に達する。この他関係の経費を含めれば、巨額の経費節約となり、電気防食法が有利である。

更に肉厚増加法では、施工後はそのまま放置されるが、電気防食法では長年その状況が監視出来るので適切な処置を講ずることが出来る利益がある。

5) あ と が き

当地域のように、海岸地帯での基礎鋼材に対する防腐は電気防食の採用が、基礎鋼杭・鋼矢板の腐食に対する対策としては適当であると思われるが、土壤腐食性の測定器として利用されたノルウェーの Corrosion Sound 測定器は土壤腐食性を判定する上には満足すべきものとのことであるが、地下水の影響による腐食度の変化及び鋼杭による腐食試験調査を実施し、実際の腐食度との比較が出来ないので心残りである。

表一3 調査位置 №3 測定結果表

	標 高 (m)	深 度 (m)	I_p (ma)	R_j (Ω)	I_p (V)	g (Ω -cm)	N	V(mm/年)
№3 1回目	- 0.20	- 1.00	13	73.1	0.950	1200	0.79	0.040
	1.70	2.50	18	36.0	1.010	950	0.84	0.060
	2.70	3.50	60	17.2	1.030	270	0.86	0.095
	3.00	3.80	60	16.8	1.010	270	0.84	0.090
№3 2回目	- 0.20	- 1.00	11	82.6	0.915	1400	0.77	0.034
	1.50	2.30	11	82.0	0.910	1400	0.76	0.034
№3 沖 合		水 中	207	6.4	1.320	90	1.10	0.1以上
	- 1.50		132	9.8	1.300	160	1.08	"
	2.50		197	6.8	1.340	105	1.12	"
	3.00		113	8.2	1.270	120	1.06	"
	4.00		180	7.0	1.260	105	1.06	"
	5.00		197	7.0	1.380	105	1.15	"

表一4 調査位置 №4 測定結果表

№4	0	- 1.00	37	29.0	1.030	500	0.90	0.075
	- 1.50	2.50	155	95	1.470	150	1.22	0.1以上
	3.50	4.50	182	7.0	1.270	105	1.06	"
	5.50	6.50	167	7.5	1.250	110	1.04	"
	7.50	8.50	162	7.8	1.260	120	1.05	"
	9.50	10.50	167	7.2	1.260	105	1.00	"
	11.50	12.50	177	6.9	1.220	105	1.02	"
	13.50	14.50	150	7.8	1.170	120	0.97	"
	14.50	15.50	167	7.0	1.170	105	0.97	"
	15.00	16.00	90	12.8	1.150	200	0.96	"

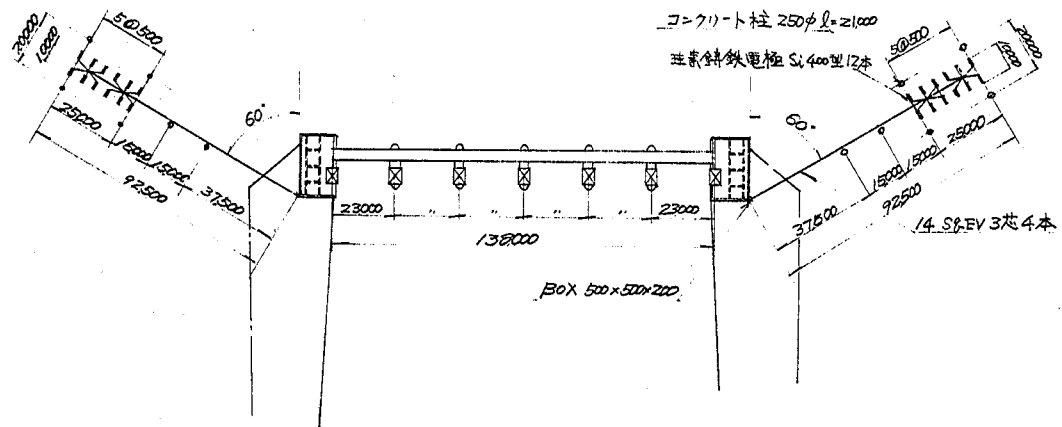
表-5 調査位置 №5 測定結果表

№	標高 (m)	深度 (m)	I_p (mA)	R_j (Ω)	E_p (V)	g (Ω -cm)	N	V(年)
№5	+ 0.50	- 1.00	25	35.4	0.885	600	0.74	0.035
	- 1.00	2.50	45	24.0	1.080	400	0.90	0.082
	3.00	4.50	55	20.0	1.100	320	0.92	0.090
	5.00	6.50	130	9.4	1.220	150	1.02	0.1以上
	7.00	3.50	155	8.0	1.240	120	1.04	"
	9.00	10.50	125	9.5	1.190	150	0.99	"
	11.00	12.50	147	8.2	1.200	120	1.00	"
	13.00	14.50	167	7.4	1.240	110	1.04	"
	15.00	16.50	172	7.2	1.240	105	1.04	"
	16.00	17.50	165	7.2	1.190	105	0.99	"
	17.00	19.50	132	9.2	1.220	140	1.02	"
	18.00	19.50	142	8.5	1.210	130	1.01	"
	19.00	20.50	147	8.3	1.220	130	1.02	
	19.50	20.80	62	16.9	1.050	270	0.87	0.985

表-6 水の比抵抗・PH及び土壌のPH

場 所	PH	比 抵 抗 (Ω -cm)
海水 堤防の外側	6.80	51.2
河水 堤防の内側	6.40	75.2
泥水 百間川の上流	7.36	45.0
№3 附近堤防上	5.50	
№4 附近埋立土	5.67	
№5 附近埋立土	6.30	

図-1 電極設置位置図 $S = 1/2000$



(7) 四 国 地 方 建 設 局

(1) 吉野川堤外地における試験杭の腐食量調査

1) 一般

a 所在地 徳島市中吉野町

b 地形 平野部

c 杭の形状及び寸法 JIS杭 $\phi 1016$ $t=12.7\%$

d 杭の埋設年数 3年

地表面からの測定位置の深さ 地上1m, 地表, 地中1m

地下水の位置及杭内の状況 地上に出ている部分は中埋をしていない

ポンプ排水後の水位地下13.0m

e 測定した位置の土質柱状図及土のPH

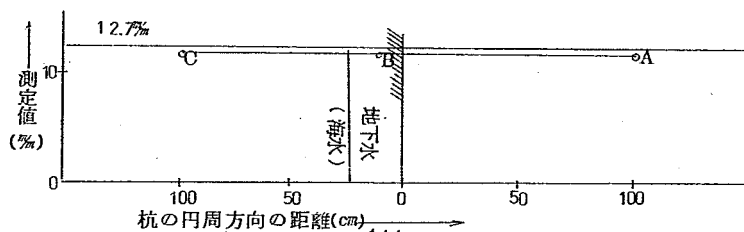
f 防食措置法 腐食代2mmを見込んだ方法

g 調査法の種類 間接検査

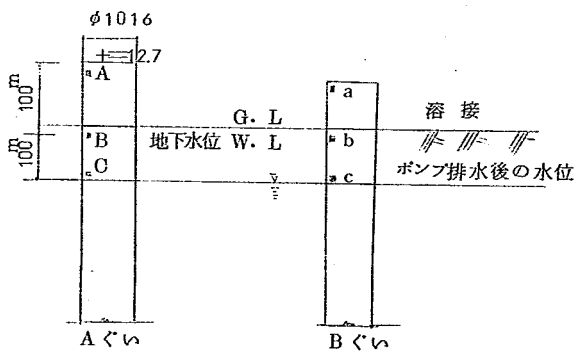
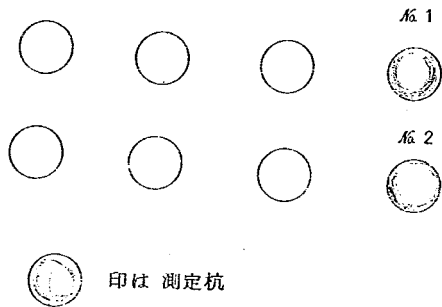
2) 測定結果

表-1 Aぐいの測定結果

測点	埋込み前の杭の肉厚(%)	測定値%						摘要
		a	b	c	d	e	平均値	
A	12.7	12.0	12.7				12.35	
B	12.7	11.9	12.6				12.25	
C	12.7	12.3					12.30	



圖一-1 鋼管杭位置圖

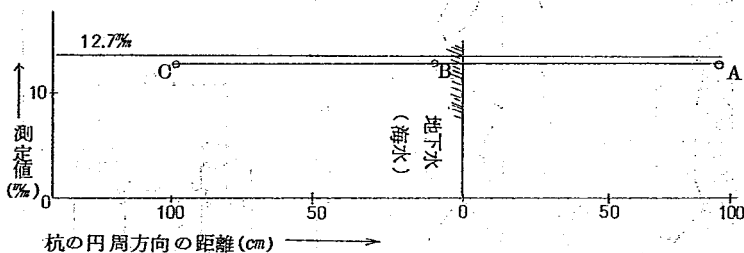


注 地表面測定は溶接個所をさけ地中で測定した。

表面・仕上の程度はあばたが多少残る程度に磨上げ測定した。

表一2 Bぐいの測定結果

測点	埋込み前の 杭の肉厚(%)	測定値%						摘 要
		a	b	c	d	e	平均値	
A	12.7	11.6	12.5				12.05	
B	12.7	12.3					12.30	
C	12.7	12.0					12.00	



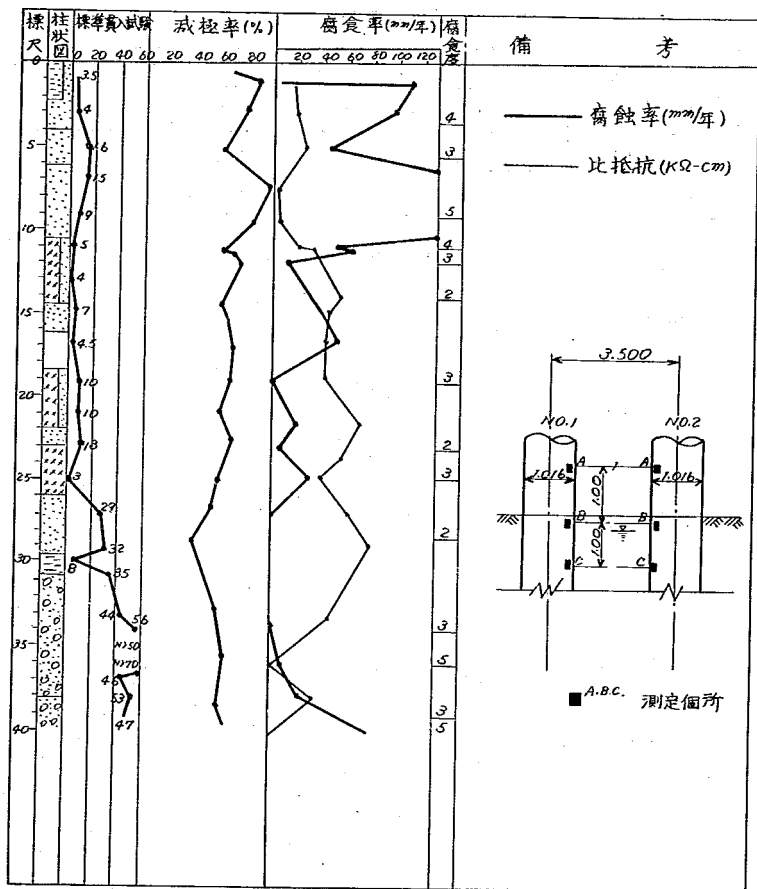
腐食量

No 1

$$\begin{aligned}
 A: T &= 12.7 - 12.35 = 0.35\% \\
 &\quad 0.117 \text{ mm/月} \\
 B: T &= 12.7 - 12.25 = 0.45\% \\
 &\quad 0.15 \text{ mm/月} \\
 C: T &= 12.7 - 12.3 = 0.4 \\
 &\quad 0.133 \text{ mm/月}
 \end{aligned}$$

No 2

$$\begin{aligned}
 A: T &= 12.7 - 12.05 = 0.65\% \\
 &\quad 0.132 \text{ mm/月} \\
 B: T &= 12.7 - 12.30 = 0.40\% \\
 &\quad 0.133 \text{ mm/月} \\
 C: T &= 12.7 - 12.0 = 0.70\% \\
 &\quad 0.233 \text{ mm/月}
 \end{aligned}$$



〔2〕 津田川橋の腐食量調査

1) 一般

- a. 道路および河川名 国道11号・津田川
- b. 所在地 香川県大川郡津田町南羽立
- c. 建設年月日 着工 37年6月26日
竣工 38年3月30日
- d. 地形 (平野部) 河口
- e. 杭の形状および寸法 $\phi 609.6$ (外径) $t=16$ (厚) %
- f. 杭の埋設年数 5年1ヶ月
- g. 地表面からの測定位置の深さ 1.0m
- h. 地下水の位置および杭内の状況 つぎコンクリート+0.3m
- i. 測定した位置の土質柱状図および土のPH 砂 層
- j. 調査法の種類 間接検査

2) 測定結果

表-1 Aぐいの測定結果表

測点	埋込み前の杭の肉厚mm	測定値 %						摘 要
		a	b	c	d	e	平均値	
A	16.0	15.6	15.9	15.9	15.8		15.8	つなぎコンクリートより+3.0cm地下水あり
B	16.0	15.3	15.4	15.4	15.0		15.3	ジョイントの下満潮時には浸水
C	16.0	15.4					15.4	ジョイントの上降雨時に川床の浸水あり

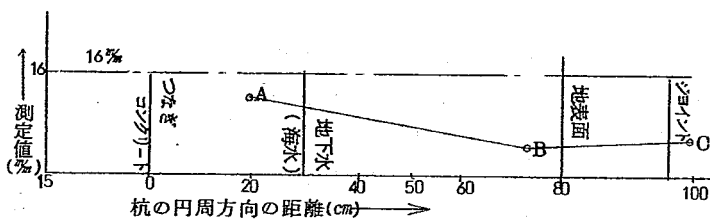
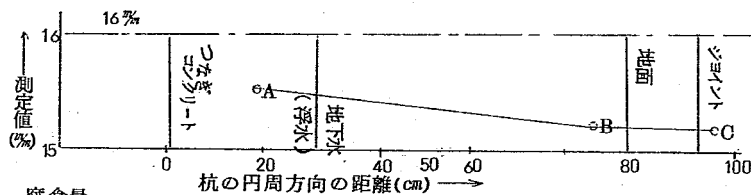


表-2. Bぐい. の測定結果

測点	埋込み前の杭の肉厚(%)	測定値%					摘要
		a	b	c	d	e	
A	16.0	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	つなぎコンクリートより+30cm 地下水あり
B	16.0	15.4	15.3	15.3	15.5	15.4	ジョイントの下満潮時は浸水
C	16.0	15.4	15.5			15.4	ジョイントの上降雨時に川水の浸水あり



腐食量

※1

$$\begin{aligned}
 A: T &= 16.0 - 15.8 = 0.2\% \\
 &\quad 0.04 \text{ 腐蝕/月} \\
 B: T &= 16.0 - 15.3 = 0.7\% \\
 &\quad 0.14 \text{ 腐蝕/月} \\
 C: T &= 16.0 - 15.4 = 0.6\% \\
 &\quad 0.102 \text{ 腐蝕/月}
 \end{aligned}$$

※2

$$\begin{aligned}
 A: T &= 16.0 - 15.5 = 0.5\% \\
 &\quad 0.1\% \\
 B: T &= 16.0 - 15.4 = 0.6\% \\
 &\quad 0.102 \text{ 腐蝕/月} \\
 C: T &= 16.0 - 15.4 = 0.6\% \\
 &\quad 0.102 \text{ 腐蝕/月}
 \end{aligned}$$

※1杭と※2杭との間隔は2.08m

杭の表面に附着していたもの………塗装の一部は腐食によりはがれ、また塗装の気泡ができ中に水分があり塗装の表面は砂が附着していた。