

港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH
INSTITUTE MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

第1巻 1号

Vol. 1 No. 1

港湾工事環境における鋼材の

腐食速度推定に関する実験研究.....善 一章

沖浜帯における波による砂移動について.....佐藤昭三・田中則男

アルミニウム粉末の混入がモルタル

およびコンクリートの強度に及ぼす影響.....小宮山正文・森口拓

1963年2月

運輸省港湾技術研究所



巻 頭 言

本研究所は37年4月、運輸技術研究所の港湾部門と港湾局調査設計室とを併合して世界に未だその例を見ざる港湾技術の総合研究所として発足したものであります。

かえり見ますれば、昭和21年5月、当所の前身が鉄道技術研究所の港湾研究室として発足以来多大の研究成果をあげ、港湾建設事業に大きな貢献をとげてまいりました。

近年、経済の急速な成長に伴い、港湾建設 臨海工業地域の造成 海岸防災等の事業量は増加の一途をたどっており、港湾技術の基礎研究機関として当所の果す役割は一段と重要度を加えてきました。

成立以来、一年に満ちませんが、鉄道技術研究所時代より17年間の成果をひきつぎ、研究面の充実をはかると共に国内はもとより A. A. , ラテンアメリカ諸国の研修生を受け入れ海外技術協力の一翼をになつております。

更に、38年度は設計基準部の成立が確定し、当所の特色である総合性が、尚一層発揮せられる事と確信します。

この時にあたり、研究面の成果の結晶とも云うべき研究所報告の初刊号を刊行いたします事は誠に意義ある事と思ひます。

当報告書が、港湾事業関係者に広く活用せられ、港湾建設の一翼をになう事を切望してやみません。

1963 年 2 月

港湾技術研究所長

福 内 大 正

目 次

港湾工事環境における鋼材の腐食速度推定に関する実験研究	1
§1. ま え が き	2
§2. 実 験 の 概 要	3
§3. 室 内 実 験	6
3-1 測 定 電 極	7
3-2 腐食環境の調整	7
3-3 測 定 方 法	7
3-4 測 定 結 果	11
3-5 考 察	11
§4. 野 外 実 験	15
4-1 測 定 電 極	15
4-2 測 定 方 法	19
4-3 測定結果および考察	20
4-4 考 察	20
§5. む す び	21
§6. あ と が き	21
沖浜帯における波による砂移動について	23
§1. 概 要	23
§2. 波による砂の移動限界	24
§3. 砂移動の方向	28
§4. 砂移動の形式	31
§5. む す び	33
アルミニウム粉末の混入がモルタルおよびコンクリートの強度に及ぼす影響	35
§1. 緒 言	35
§2 使 用 材 料	36
2.1 セ メ ン ト	36
2.2 細 骨 材	36
2.3 粗 骨 材	36
2.4 ポ ゾ ラ ン	37
2.5 界 面 活 性 剤	37
2.6 発 泡 剤	37

§3 試験方法	37
3.1 注入モルタル	37
3.2 注入モルタルの練り混ぜ	37
3.3 空気量試験	39
3.4 流動性試験	40
3.5 強度試験	41
§4 試験結果およびその考察	41
4.1 アルミニウム粉末が注入モルタルの空気量におよぼす影響	41
4.2 アルミニウム粉末が注入モルタルの流動性におよぼす影響	42
4.3 アルミニウム粉末がモルタルおよびコンクリートの強度におよぼす影響	43
§5 結論	45

Contents

Excerimental Study on Estimation of Corrosion Rate of Mild Steel under Maritime Enviroments	1
Laboratory Study of Sand Movement on offshore Zone	23
Effects of Powdered Aluminium as an Ingredient upon the Strengths of Mortar and Concrete.....	34

港湾工事環境における鋼材の腐食速度推定に関する実験研究

善 一 章*

Experimental Study on Estimation of Corrosion Rate of
Mild Steel under Maritime Environments

By Kazuaki Zen

It has long been regarded that the corrosion of mild steel under the maritime environments is inevitable regardless of the so many devices and methods developed for the corrosion. To expect the economical and effective use of mild steel for harbour construction works, therefore, it is considered primarily important to establish a practical method to estimate the corrosion rate in sufficient accuracy at first, and then to develop a effective device for the protection.

The purpose of this study is to review the theories on the estimation of corrosion of metal and to develop a new, practical, and accurate method for the estimation of corrosion rate of mild steel under the maritime environments.

Generally, corrosion rate of metal is determined using the exchange current, which is equivalent to the one at the intersection of the anodic and cathodic polarization curves obtained through laboratory tests on the particular metal. The shape of the anodic polarization curve is considered characteristic of a particular metal system and that of the cathodic is influenced primarily by the environmental factors. In addition to this, it is found through the field investigation and laboratory tests that under the marime environments the anodic polarization curve is quite flat while the cathodic is considerably steep.

Hence, the intersection of these curves depends upon the shape of the cathodic polarization curve, as far as the metal system is maintained unchanged.

Inthis study, only the mild steel for the maritime construction works, which is usually defined by SS 34, 39, 41, 49, or 50 in Japan Industrial Standards, is delt with, therefore, the polarization process of the steel is considered controlled by the cathodic polarization.

It is obvious, however, that the basic concept of this study is independent upon the type of metal and that only calibration works are required to apply the concept to any type of metal.

This shudy consists of two parts, the first is the laboratory tests and the second is the field test.

* 構造部 材料施工研究室

In the laboratory test, it was aimed at first to find the correlation among the depolarized current density, which is naturally assumed to indicate the cathodic polarization process, the specific resistivity of the modified environments, and the corrosive losses of mild steel samples subjected to the modified environments in the laboratory.

The relation obtained is expressed as following:

$$A = K \cdot I_{KD}^a \cdot \rho^{-b}$$
$$\doteq K \cdot I_{KD}$$

Where, A = Corrosion Rate of mild steel (mm/yr), computed from the corrosive losses of samples.

I_{KD} = Depolarized Current Density ($\mu A/cm^2$)

ρ = Specific Resistivity (ohm-cm)

K, a, b = Constants depending on the material or the dimension of the electrodes.

The depolarized current density quoted above is the circuited current density between the inserted two electrodes, magnesium and mild steel, measured by the suggested method under the corrosive environments.

Basing on the laboratory test results, the apparatus of several types were designed and manufactured to be subjected to the actual field conditions. The field test results using the newly developed apparatus, subjected to a number of typical soils prevailing in Yokosuka, Japan, were quite satisfactory and conforming with the laboratory test.

The author believes that it is possible to estimate the micro corrosion rate of mild steel under the maritime environments with sufficient accuracy using the newly devised apparatus.

The subject of this study is now developed into the macro corrosion problem which origins in the differential aeration and the results will be reported in a series before long.

§1 ま え が き

近年、港湾構造物の基礎工事に鋼材が盛んに使用されるにつれて、埋設された基礎鋼材の腐食が重要な問題となつて来た。

これに対して、埋設鋼材の腐食量が工事に先立つて予測されるならば、工事設計者は、当面する施工条件に最も適した鋼材の防食手段を容易に選択することが可能となり、港湾工事における鋼構造物の施工は、より一層有利に展開するであろうと期待される。

しかるに、埋設鋼材の腐食反応は、非常に数多くの要因に左右されるものであるから、その実体を正確に把握することは大変むずかしいことであり、また垂直に、深く埋設される鋼材の腐食速度の推定はほとんど実施されていない実状である。したがつて、一度にこの問題の解決を計ることは到底無理であるから、先づ、“各種類の腐食環境における鋼材の腐食速度の推定”について充分検討し、これから明らかとなつた諸事項を基として、港湾工事環境における埋設鋼材の腐食速度の把握に少しでも近づくことを目的として、この実験を計画した次第である。

実際に、各種類の腐食環境中に埋設されている鋼材表面には、腐食環境や鋼材の物理・化学的な差異等に起因して、微小電池が発生し、所謂、腐食電流が流れている。

鋼材の腐食速度は、腐食環境内における鋼材の重量変化を直接に秤量して、これを各種類の腐食速度の単位に

換算して表示するのが、基本的な表示法であるが、この場合のように、鋼材の重量変化を直接に秤量することが不可能なときには、腐食電流を電気化学的な操作によつて求め、ファラデーの法則により腐食速度の諸単位になおす方法が一般にとられる。

しかしながら、腐食電流の測定操作は、後述するように、複雑であり、また間接的でもある。また、このような実験室的な腐食電流測定法を現地測定に応用する場合には、耐衝撃性の点で難点を伴う。

そこで先づ、基礎地盤へ打込み可能な測定電極を考え、これを用いて港湾工事における各種類の環境の鋼材腐食性が比較的簡単に予測できるような推定法の検討を、1958年10月から1960年3月にかけて実施した。以下に報告するところは、提案した推定方法の実験室におけるキャリブレーションの過程、試作測定電極の形状・寸法の差異に基く測定の難易、および各国における推定方法との比較について実験・検討した結果である。もちろん、これは現場における鋼構造物についての永年観測結果を待つて始めて充分な実用性が立証されるべきものであるが、ここでは、その可能性について言及する。

§2 実験の概要

鋼材の腐食電流は、普通、次のようにして求められる。

先づ、鋼材をカソード、鋼材とは別に設けた電極をアノードとなるように腐食環境中で短絡してから、外部電源より電流を流す。このときの電流および鋼材の電位変化を測定し、電流・電位曲線を求めると、図-2・1に示すような曲線EPとなり、P点で屈折する。すなわち、鋼材面に発生していた微小電池の消滅をP点は意味する。このP点に相当する電位を E_a とすれば、 E_a は微小電池のアノードの開路電位である。

次に、鋼材をアノード、外部電極をカソードとなるように短絡したときの電流・電位曲線を上と同じ要領で求める。この電流・電位曲線は図-2・1に示す曲線EQとなつて、Q点で屈折する。Q点に相当する電位を E_c とすれば、 E_c は微小電池のカソードの開路電位である。

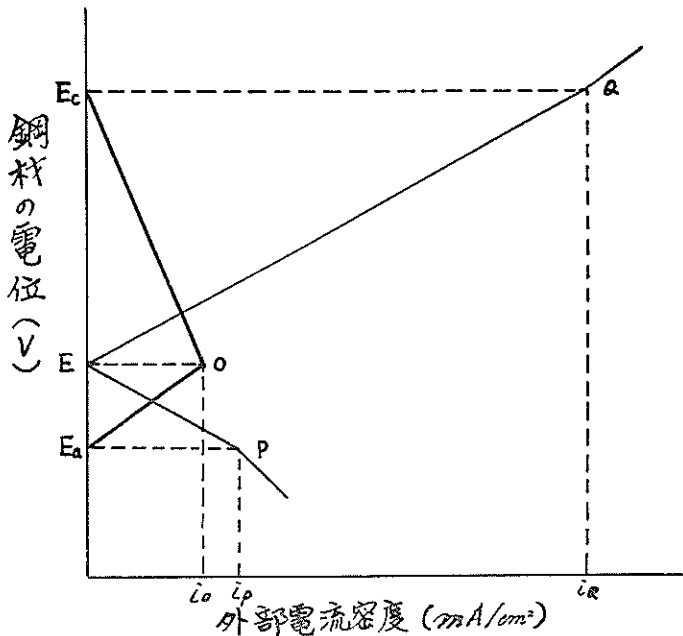


図-2・1 電流・電位曲線

とすれば、 E_c は微小電池のカソードの開路電位であり、 Q 点においても微小電池は消滅する。鋼材表面の微小電池は、腐食環境中において短絡し、アノードおよびカソードはそれぞれ分極する。このときのアノード分極曲線は、図-2・1 の E_aQ 、カソード分極曲線は E_cP となつて O 点で交る。 O 点に相当する電位 E が、鋼材の腐食電位であり、アノード分極曲線とカソード分極曲線の形状によつて支配されるものである。また、 O 点に相当する電流 i_0 が、鋼材の腐食電流である。Pearson は、腐食電流 i_0 を次式で表わしている。(文献4)

$$i_0 = \frac{i_Q \cdot i_P}{i_Q + i_P} \quad (\text{mA/cm}^2)$$

ただし、 i_Q, i_P は Q 点、 P 点まで分極させるに必要な外部電流であり、実測される値である。

Schwerdtfeger & Mc Dorman は、鋼材と土壌について Pearson の式を検討した。すなわち、5種類の土壌に鋼材を浸漬したときの鋼材の重量変化から求めた腐食速度と、同じ土壌と鋼材について、Pearson の式から求めた腐食速度とは 3.9% 以下の誤差範囲で一致することを確かめた。(文献4)。したがつて、埋設基礎鋼材の腐食速度の推定に対しては、Pearson の式を適用すればよいであろうと推察される。しかしながら、それには電流・電位曲線を描くために必要な電位測定用の照合電極を封入した計測器を使用しなければならないので、鋼材腐食速度推定地盤へ打込む際の耐衝撃性に劣ることは避けられないし、また、屈折点 P, Q を求めるための高度な電気化学的技術を要するなどの難点を伴う。

ソ連科学アカデミーの N. D. Tomashov & Y. N. Mikhailovsky は、埋設鋼材のマイクロ腐食速度の推定にこの方法を採用しているが、その適用範囲は深さ -2m までである。

そこで、機械的強度に優れ、比較的、簡単に鋼材の腐食電流 i_0 の大勢が推定できるような推定方法を見出すために、以下のような諸検討を加えてみた。

1) 分極曲線に影響する要因について

M. Stern (文献2) は、次のように述べている。

「アノード分極曲線の形状は、金属系に特有な性質と考えられるが、カソード分極曲線の形状に影響をおよぼすのは、腐食環境の諸因子である。その諸因子の中で、基本的な2因子は、次の通りである。

- (イ) カソードにおける被還元種を、その酸化状態から還元状態まで変化させるに必要な活性化エネルギー
- (ロ) 被還元イオンのカソードへの拡散速度。」

したがつて、各種腐食環境の鋼材腐食性を検討するに際しては、鋼材の各腐食環境におけるカソード分極曲線、すなわち、 E_cO に注目すべきであることがわかる。

2) 分極曲線の型

分極曲線の型は、大別すると、図-2・2に示すような3通りとなる。

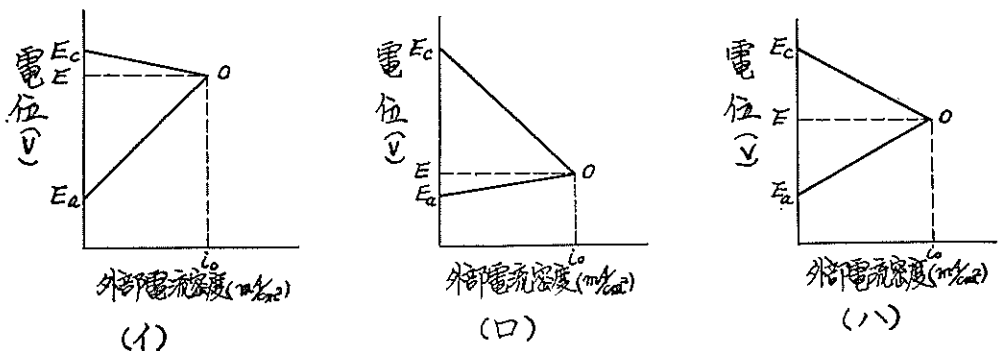


図-2.2 分極曲線の型

- (イ) アノード分極曲線の方が、電位変化が大きいカソード型の不平衡電極である。
- (ロ) カソード分極曲線の方が、電位変化が大きいアノード型の不平衡電極である。
- (ハ) アノード分極曲線と、カソード分極曲線の電位変化が等しい混合電極である。

分極曲線の型としては、上の3通りが考えられるが、本研究において必要なのは、港湾工事環境における鋼材の分極曲線の型である。(ロ)の型では、いわゆる“カソード”支配であるから、腐食環境の物理・化学的差異を論ずるには非常に便利、すなわち鋭敏であるが、(イ)の型は、逆に、(ロ)の型と異つて不都合、すなわち誤差が大きいと考えられる。

これに対して、N. D. Tomashov & Y. N. Mikhailovsky は、鋼材の腐食環境が土壌である場合について、次のように述べている。

すなわち、

(ロ)の型に属するもの

- a 砂と塩類、水分7~10%
- b 沃土質土壌と砂
- c 下水溝の沈泥
- d 灰色粘土、水分多量
- e 水分多量の粘土、砂土壌、小石混入
- f 灰色粘土、水分7~10%

(イ)の型に属するもの

- a 乾燥土、砂土
- b 乾燥沃土、石灰岩混入

以上のように、水分を含む各種土壌中における鋼材の分極曲線の型は、(ロ)に属するようである。この結果、港湾構造物基礎鋼材の腐食環境は大なり小なり海水に浸つた土壌類が主であるから、鋼材と港湾工事における腐食環境の分極曲線は(ロ)の型であろうと考えられる。

したがつて、ある系の化学反応速度は、その中で最も遅い反応速度に支配されるという法則の通り、(ロ)の型に属する港湾工事環境における鋼材の腐食速度、すなわち、腐食電流 i_0 は i_0 を流す反応の中で最も遅いカソード分極反応に支配されることになる。

しかるに、前述した通り、カソード分極は腐食環境の諸因子に影響を受けるものであるから、各腐食環境における短絡電流、すなわち、腐食電流 i_0 は当然各環境によつて異つた値をもつ。一方腐食電流 i_0 の測定が一般に面倒なことの大きな原因の一つは、鋼材表面に発生している微小電池のアノード部分とカソード部分とを分離できないことである。このために、腐食電流 i_0 が直接に測定できないのである。

この点を改良するために、上の諸検討事項から推察されることは、アノードを鋼材より電位の卑なる他の金属で置換えて、カソードの鋼材とアノードとが別々に取り出し得るような模型電池を考え、これを腐食環境の中で短絡したときの安定電流を求めれば、この安定電流の比較によつて腐食環境の鋼材腐食性が比較できるのではなからうかということである。

このような模型電池形成の方向に進んだものに、ノルウェー土質工学会で採用している N. G. I. コロージョン・サウンドがある。

これは、アノードにマグネシウム金属を用いた型であつて、アノードは円錐形で打込錐の先端に取付けられており、カソードは鋼材で円筒形をなしている。アノード対カソードの表面積比は大略1対20である。

測定項目は、模型電池による短絡安定電流 I_p と環境抵抗 R_j である。その測定法は、先づ模型電池を腐食環

境中に打込み、アノードとカソードを短絡する。このときの電流 I_p を測定する。次に、アノードおよびカソードを使用して、600サイクル/秒の交流ブリッジで環境の抵抗 R_j を求める。

$E_p = I_p \times R_j$ に I_p , R_j を代入して、起電力 E_p を算出する。一方、 R_j を $\rho = \mu \cdot R_j$ に代入して環境の比抵抗 ρ を求める。(ただし、 μ は係数)。 E_p を次式に代入して減極度 N を求める。

$$N(\%) = \frac{E_p}{E_{uo}} \times 100$$

ただし、 E_{uo} は標準環境における起電力で、1.20(V)とする。

以上の N および ρ を、N. G. I コロージョン・サウンド使用指針図に適用して、測定環境における鋼材腐食速度を推定する。

この方法は、先に述べた Pearson の式を現地測定に応用する方法に比べて機械的強度の点で秀れている。

しかしながら、次のような難点を有する。

その一つは、N.G.I コロージョン・サウンドの適用範囲は、その使用指針図を参照すれば、鋼材腐食速度が0.001から0.03ないし0.1mm/yrである。港湾工事環境における鋼材の腐食速度としては、むしろ0.1から0.2mm/yr程度の測定範囲を必要とすることがしばしばである。

次に、N.G.Iコロージョン・サウンドの短絡電流密度と測定環境における推定腐食電流密度の相違である。

Tafel の式に示されているように、過電圧は分極電流密度の大小に左右されるものであるから、非常に大きな電流密度のときの減極性をもつて、非常に小さな電流密度のときの減極性を検討することは無理があると考えられる。N. G. I コロージョン・サウンドでは、相当に大きな電流密度のときの減極特性から、鋼材の腐食速度 (mm/yr) が0.001から0.10というような微弱電流密度のときの電極反応を推定しようとしているのであるから、その推定結果に対しては疑問が持たれる。

その他にも、アノード表面積に対してカソード表面積が大きいので、アノード分極が多少なりとも大きくなる危険性が認められるし、また、打込錐の先端にアノードであるマグネシウム金属が取付けられているので、打込時の摩滅により表面積の変化が考えられるなどの難点がいろいろと推察される。

これらの難点を解決する推定方法の確立、およびこの推定方法を現地測定に応用する測定機器の検討をこの実験研究では行つた。室内実験では前者を、野外実験では後者を取り扱つた。

本研究では、港湾工事環境における鋼材の腐食速度 (mm/yr)が0.10~0.20のときに流れると予想される腐食電流密度に相当する電流密度で環境の減極性を検討することを目的として、回路に可変抵抗器を挿入して、環境の抵抗と可変抵抗器の和を一定とした。もちろん、この一定とした回路全抵抗の大きさは、必要とする電流密度を保つ値である。このように、回路全抵抗を一定としたときの短絡安定電流を減極電流と呼ぶ。

直接に測定することができない腐食電流 i_0 の比較の代りに、模型電池の短絡安定電流、すなわち、減極電流の比較によつて、各種環境の鋼材腐食性が推定できるのではないかと考えて以下の実験を行つた。

なお、減極電流の外に、電流の流れに密接な関係のあると思われる電気伝導性も測定項目とした。

§3 室内実験

模型電極のアノードとしては、電気防食の流電アノードの一種として使用されているマグネシウム金属を用いて室内用の測定電極を作成し、実験室において、各種腐食環境の減極電流、および、電気伝導度と鋼材腐食量との相関性を検討して、鋼材腐食速度の推定方法を提案した。

なお、後述するように、短絡電流は減極電流 I_{KD} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)、電気伝導度は比抵抗 ρ ($\Omega\text{-cm}$)、鋼材腐食量は腐食速度 A ($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$, または mm/yr) で表わす。

3-1 測定電極

マグネシウム板 (1.7mm×20mm×200mm)、および軟鋼板 (2mm×20mm×200mm) の一端にそれぞれ短絡用の被覆電線を接続する。次に、電極補強の意味で両金属板の片面にベークライト板 (3mm×25mm×200mm) を一枚ずつ、有機合成樹脂で絶縁、接着する。このように加工した両板の金属面を相対立、固定して、写真-3・1に示すような測定電極を作成した。このときの、測定電極の材質・形状、および寸法は、表-3・1の通りである。これを室内用電極と呼ぶ。

3-2 腐食環境の調整

港湾工事環境における鋼材の腐食反応を検討するのであるから、腐食環境には比較的電気伝導性の良いものを選んだ。また、腐食環境の種類としては、主に、土壌類を対象としたが、特に、これに港湾に縁の深い海水を加えた。土壌類としては、表-3・2に示す種類のものを選択して、腐食環境の調整に供した。この中、土炭粉は、土炭塊を粗・細粉碎機により、微粉末とした。

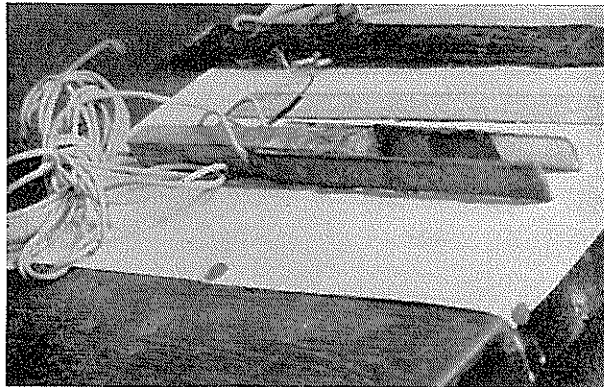


写真-3・1 室内用測定電極

表-3・1 電極形状・寸法表

電 極	材 質	電 極 面 積 (mm ²)	電 極 間 隔 (mm)
ア ノ - ド	高純度マグネシウム	20 × 60	24
カ ソ - ド	SS 41	20 × 60	

表-3・2 腐食環境調整用土壌

土 壌	採 取 場 所	土 壌	採 取 場 所
黒褐色砂質沈泥	横須賀市田浦	黒色沈泥	横須賀市浦賀
砂	神奈川県鶴沼	黒褐色沈泥	同 川間
黒褐色沈泥	横須賀市池上	土炭粉	同
赤褐色粘土質沈泥	同 平作	〜ド	同
黄褐色砂質沈泥	同 浦賀	粘 土	横浜市高島
黒褐色砂質沈泥	同 川間		

これら採取した土壌類に、調整用の各種溶液を加えてから充分混合する。特に、粘土などは混合機にかけて混合した。次に、混合された土壌類は、貯蔵容器に入れてから振盪機で充分締固める。その後更に、1週間放置したものを供試腐食環境とした。その組成は、表—3・3 に示す通りである。この中、二酸化マンガン (MnO_2) や二酸化鉛 (PbO_2) は減極作用が著しいのではないかと考えて添加してみた。

表—3・3 腐食環境組成表

No.	腐 食 環 境	含 水 比(%)	貯 蔵 容 器
1	黒褐色砂質沈泥～蒸溜水	飽 和	A
2	土炭粉～蒸溜水	同	A
3	粗砂～水道水	29	B
4	黒色沈泥, 標準砂～蒸溜水	飽 和	A
5	沈泥質砂～蒸溜水	同	A
6	粘土砂～水道水	26	B
7	粘土～海水	飽 和	A
8	粘土細砂～水道水	61	B
9	土炭粉～蒸溜水	飽 和	A
10	赤褐色粘土質沈泥～海水	同	A
11	～ドロ	同	A
12	細砂～水道水	23	B
13	粗砂～水道水	10	B
14	細砂, 粗砂～水道水	19	B
15	細砂～水道水	16	B
16	黒褐色沈泥, 粒状 MnO_2 ～水道水	飽 和	A
17	黒褐色砂質沈泥, 粒状 MnO_2 ～海水	同	A
18	細砂, 粗砂～水道水	15	B
19	砂～水道水	15	B
20	粗砂～水道水	7	B
21	細砂～水道水	18	B
22	同 ～海水	13	B
23	細砂, 粗砂～水道水	11	B
24	黒褐色沈泥, 粉末 MnO_2 ～修酸溶液	飽 和	A
25	粉末 MnO_2 ～修酸溶液	同	A
26	黒褐色砂質沈泥, 粒状 MnO_2 ～海水	同	A
27	黒褐色沈泥, 粒状 MnO_2 ～海水	同	A
28	黒褐色沈泥, PbO_2 ～修酸溶液	同	A
29	酸素飽和海水	同	A
30	粒状 MnO_2 ～海水	同	A

備考 A: 1/ 応口瓶 B: $\phi 25\text{cm}$, 深 23cm ガラス水槽

3-3 測定方法

3-2 で述べたように調整した供試環境について、比抵抗および減極電流を測定した。次に、両者を測定した後、供試腐食環境中に研磨鋼材片をある期間浸漬し、そのときの鋼材減量から腐食速度を求めた。各項目に対して規制した測定方法は以下に述べる通りである。

3-3-1 比抵抗の測定

図-3・1および写真-3・2に示すように、短絡用電線をA・C・ブリッジに接続した室内用測定電極を、供試腐食環境中に垂直に挿入する。このA・C・ブリッジは、小型1,000 サイクル/秒の発振器 (OV-102C 型) およびA・C・ブリッジ本体とから成っており、抵抗測定範囲は、0.1Ω から 1MΩ である。次に、素早く A・C・ブリッジで、マグネシウム | 腐食環境 | 鋼材の回路抵抗 $R(\Omega)$ を測定する。

腐食環境の比抵抗 $\rho (\Omega\text{-cm})$ は、次式より算出する。

$$R(\Omega) = \rho \times k \times \frac{l}{A} = \frac{2.4}{12} \times \rho \times k$$

$$\therefore \rho (\Omega\text{-cm}) = 5 \times R \times \frac{1}{k}$$

ただし、 l : 電極の間隔 (cm)

A : 電極の表面積 (cm²)

$\frac{1}{k}$: 補正係数, 1.4

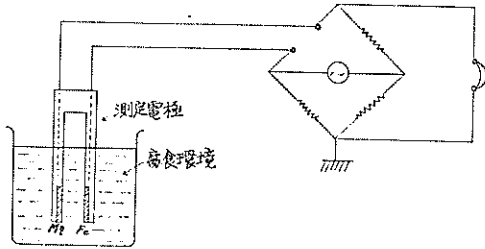


図-3・1 A.C.ブリッジによる抵抗測定回路

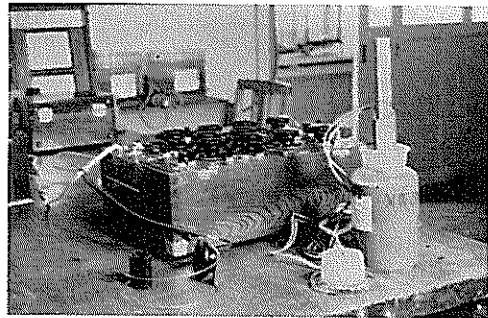


写真-3・2 A・C・ブリッジによる抵抗測定

なお、比抵抗測定のために、腐食環境中に測定電極を挿入したときを、あらゆる測定の出発時であると見做してストップ・ウォッチにより計時を始めるものとする。

3-3-2 減極電流の測定

§ 2 で述べたように、港湾工事環境における鋼材表面に流れるであろうと推定される腐食電流密度の範囲で、

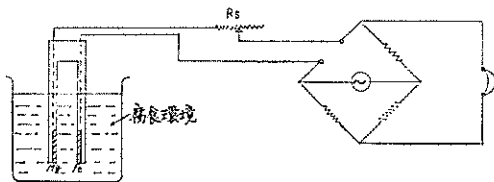


図-3・2 全抵抗を一定に調整する回路

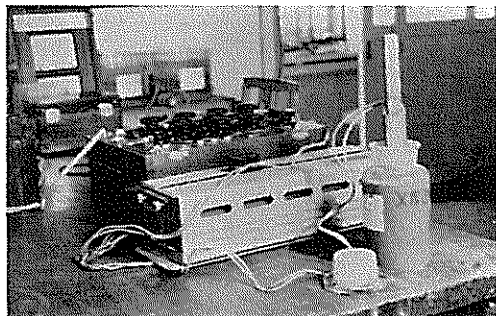


写真-3・3 全抵抗一定に調整

鋼材の電極反応を検討するために、次のような操作を行う。

すなわち、回路抵抗 $R(\Omega)$ の測定が終ると、この回路に可変抵抗 R_s を図-3・2 および写真-3・3に示すように加えて、回路の全抵抗が期待する一定値となるように R_s を調整する。

R_s の調整が完了したら、測定電極のA.C.ブリッジ接続電線を図-3・3および写真-3・4に示すようにD.C.電流計に接続する。

港湾工事環境においては、加える抵抗 R_s は環境の抵抗 R に比して一般に相当大きな値である。

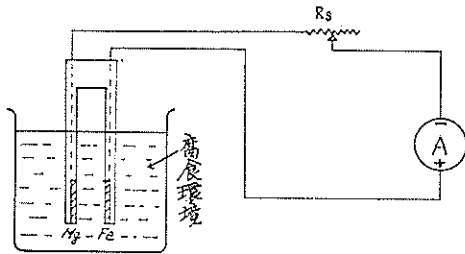


図-3・3 減極電流測定回路

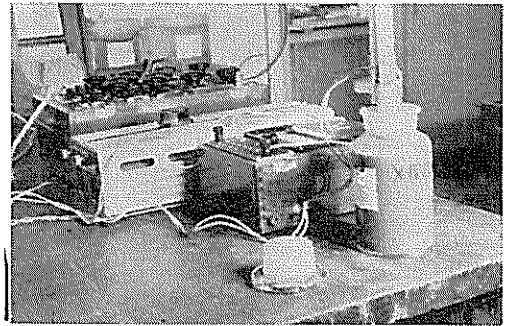


写真-3・4 減極電流測定

電流計に短絡と同時に、電流値は段々と低下して行く。この低下の様相を観察すれば、次のようになる。すなわち、比抵抗測定開始時より始動しているストップ・ウォッチに従い、最初の3分間は30秒間隔で、3分以上30分までは1分間隔で電流値を記録して行くと、電流の減少変化は大体初めの10分間で収まり、20分間以後ではほぼ一定の値に落ち着く。

このように、一定条件で短絡したときの安定した電流を減極電流と呼び、30分間経過したときに測定するものと規定する。その符号を $I_K(\mu A)$ 、または $I_{KD}(\mu A/cm^2)$ とする。

なお、比抵抗および減極電流の測定は、腐食環境の鋼材片浸漬期間における変動をチェックする意味で、浸漬期間の前後に行つて、比抵抗および減極電流の測定値は、その前後における平均値で表わすことにした。

この節で規制した測定方法によれば、用いた室内用測定電極の適用可能な腐食環境は、比抵抗 (ρ) が $10,000 \Omega\text{-cm}$ 程度であり、港湾工事環境を対象とするには、この範囲で充分と思われる。

3-3-3 鋼材腐食速度の測定

比抵抗および減極電流の測定が終了した腐食環境中に、重量既知の研磨鋼材片を約30日間浸漬し、以下に述べる要領で鋼材腐食速度を測定した。

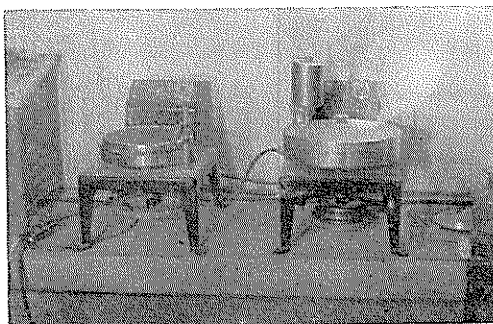


写真-3・5 ディスク・サンダー(左)、琢磨機(右)

先づ、市販軟鋼板 (S S 41) から $50\text{mm} \times 90\text{mm} \times 2\text{mm}$ の寸法の鋼材片を切り取り、これをディスク・サンダーで研磨する。ディスク・サンダーは、写真-3・5(左)に示す研磨機であつて、回転輪の上に固定したサンド・ペーパーの上に試験片を押さえながら、これを研磨するものであり、サンド・ペーパーは、粗目のものから次第に細目のものへ取替える。研磨に使用したサンド・ペーパーは、#2, 1M, 1F, 0, 3/0, 5/0 の6種類であり、何れも丸型である。

ディスク・サンダーで研磨した鋼材片を、写真-3・5(右)に示す琢磨機で仕上げ研磨を行つた。琢磨機は羊皮を張つた回転輪の上に、研磨材として酸化クローム懸濁液を滴下しながら、試験片をこれにあてて仕上げ研磨

するものである。次に、仕上げ研磨した鋼材片を有機溶剤（エーテルおよびアルコール）でよく洗浄して完全に脱脂、乾燥し、重量を化学天秤（直示型）で素早く 1/10,000gr まで正確に秤量する。以上のように処理した鋼

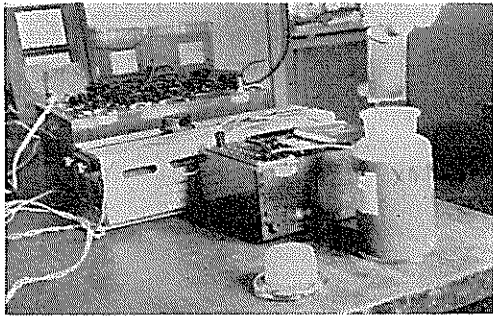


写真-3・6 研磨鋼材片浸漬前



写真-3・7 研磨鋼材片浸漬中

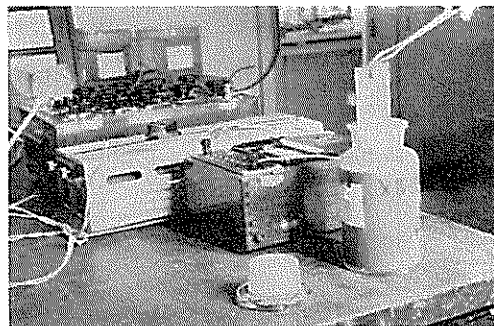


写真-3・8 研磨鋼材片浸漬後

材片を、腐食環境の中央部に垂直に浸漬する。その状況を写真-3・6に示す。

鋼材片を浸漬した腐食環境容器に蓋をしてから、振動のほとんど感じられない室内に写真-3・7に示すように静置した。

約30日間静置後、写真-3・8に示すような要領で取出して、鋼材表面に付着している腐食環境試料を水で充分に洗い落とし、更に、クエン酸アンモニウム10%溶液で処理して完全に脱錆する。次に、鋼材片を水洗およびアルコール洗浄し、乾燥後、再び化学天秤で 1/10,000gr まで正確に秤量する。浸漬前後における鋼材片の重量変化から、腐食速度を算出する。

なお、浸漬試験の期間は7月～8月であり、同期間中における静置場所の温度変化は、13時において26～32°Cの範囲であつた。

3-4 測定結果

室内における測定結果は、表-3・4に示す通りである。

3-5 考察

表-3・4に示す実験結果について、供試腐食環境の減極電流 I_{KD} ($\mu A/cm^2$) および比抵抗 ρ ($\Omega-cm$) と鋼材腐食速度 A ($mg/dm^2/day$, または mm/yr) との相関性を検討した。この結果を、表-3・5～表-3・7に示す。

表-3・4 室内測定結果一覧表

環 境 No.	比 抵 抗 ρ (Ω -cm)	減 極 電 流 I_{KD} ($\mu A/cm^2$)	鋼 材 腐 食 速 度 A		NGI方法による算出値 N(減極度%)
			mg/dm ² /day	mm/yr	
1	658	14.2	1.9	0.009	28
2	462	20.8	3.3	0.015	42
3	392	21.3	2.6	0.012	43
4	3,850	23.3	4.7	0.022	47
5	1,729	22.1	3.7	0.017	44
6	700	21.7	2.4	0.011	43
7	63	22.5	4.7	0.022	45
8	354	22.5	3.1	0.014	45
9	294	25.0	4.1	0.019	50
10	70	26.7	6.9	0.032	53
11	84	26.3	5.3	0.025	52
12	364	27.1	10.7	0.050	54
13	700	28.8	15.0	0.070	58
14	4,200	30.0	14.4	0.067	60
15	4,480	30.8	17.7	0.082	62
16	252	33.3	18.0	0.084	67
17	42	32.5	25.7	0.119	65
18	2,800	32.5	21.2	0.098	65
19	5,250	30.8	13.6	0.063	62
20	4,200	32.1	16.8	0.078	64
21	3,260	32.3	17.8	0.083	64
22	2,100	33.3	13.5	0.063	67
23	5,600	34.2	21.6	0.100	68
24	56	35.0	24.9	0.116	70
25	84	34.6	16.7	0.078	69
26	140	35.4	18.3	0.085	71
27	56	36.3	26.0	0.121	73
28	196	38.3	29.3	0.136	77
29	56	41.7	79.5	0.369	83
30	28	50.0	98.5	0.457	100

表-3・5 重相関係数 $\gamma_{z,xy}$ の検定結果

$\gamma_{z,xy}$	F_0	$F_{27}^2(0.05)$	$F_{27}^2(0.01)$
0.95	※※ 130.12	3.35	5.49

表-3・6 偏相関係数 $\gamma_{zx,y}$ の検定結果

t_0	$t(30, 0.05)$	$t(30, 0.01)$
0	2.042	2.750

表-3・7 偏相関係数 $\gamma_{zy,x}$ の検定結果

t_0	$t(30, 0.05)$	$t(30, 0.01)$
※※ 15.938	2.042	2.750

ただし、 $x = \log \rho$, $y = \log I_{KD}$, $z = \log A$

表-3・8 鋼材腐食速度の実測値と推定値の比較

環 境 No.	鋼材腐食速度 A (mg/dm ² /day)		鋼材腐食速度 A (mm/yr)	
	実 測 値	推 定 値	実 測 値	推 定 値
1	1.9	0.8	0.009	0.008
2	3.3	3.3	0.015	0.016
3	2.6	3.6	0.012	0.017
4	4.7	5.1	0.022	0.024
5	3.7	4.2	0.017	0.019
6	2.4	3.9	0.011	0.018
7	4.7	4.5	0.022	0.021
8	3.1	4.5	0.014	0.021
9	4.1	6.6	0.019	0.031
10	6.9	8.4	0.032	0.039
11	5.3	7.9	0.025	0.037
12	10.7	8.9	0.050	0.041
13	15.0	11.1	0.070	0.052
14	14.4	12.9	0.067	0.055
15	17.7	14.2	0.082	0.066
16	18.0	19.0	0.084	0.088
17	25.7	17.3	0.119	0.081
18	21.2	17.3	0.098	0.081
19	13.6	14.2	0.063	0.066
20	16.8	16.6	0.078	0.077
21	17.8	16.9	0.083	0.079
22	13.5	19.0	0.063	0.088
23	21.6	20.9	0.100	0.097
24	24.9	22.8	0.116	0.106
25	16.7	21.8	0.078	0.101
26	18.3	23.8	0.085	0.110
27	26.0	26.1	0.121	0.121
28	29.3	31.8	0.136	0.148
29	79.5	43.5	0.369	0.202
30	98.5	85.0	0.457	0.395

先に提案した測定方法によれば、各種類の腐食環境における鋼材の腐食速度は、測定電極の短絡電流、すなわち、減極電流で表示されるのではないかと予想されたが、以上の検定の結果によれば、減極電流は単独でも腐食速度に有意にひびくが、比抵抗は減極電流と一緒になつて腐食速度に影響をおよぼしていることが明らかとなつた。

そこで、三者の関係を表わす実験式を求めると、次式の通りである。

$$A = k \times I_{KD}^a \times \rho^{-b}$$

$$a = 3.69, \quad b = 0.001$$

$$\therefore A \approx k \times I_{KD}$$

Aの単位が $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ のとき

$$k = 4.57 \times 10^{-5}$$

Aの単位が mm/yr のとき

$$k = 2.12 \times 10^{-7}$$

この式から判るように、同一腐食環境における鋼材の腐食速度 A の大小は、主として減極電流 I_{KD} の大小に左右されて、比抵抗 ρ による影響の度合は小さい。

また、この式に各測定値を代入して算出した鋼材腐食速度の推定値を、表-3・4の実測値と比較してみると、表-3・8のようになる。

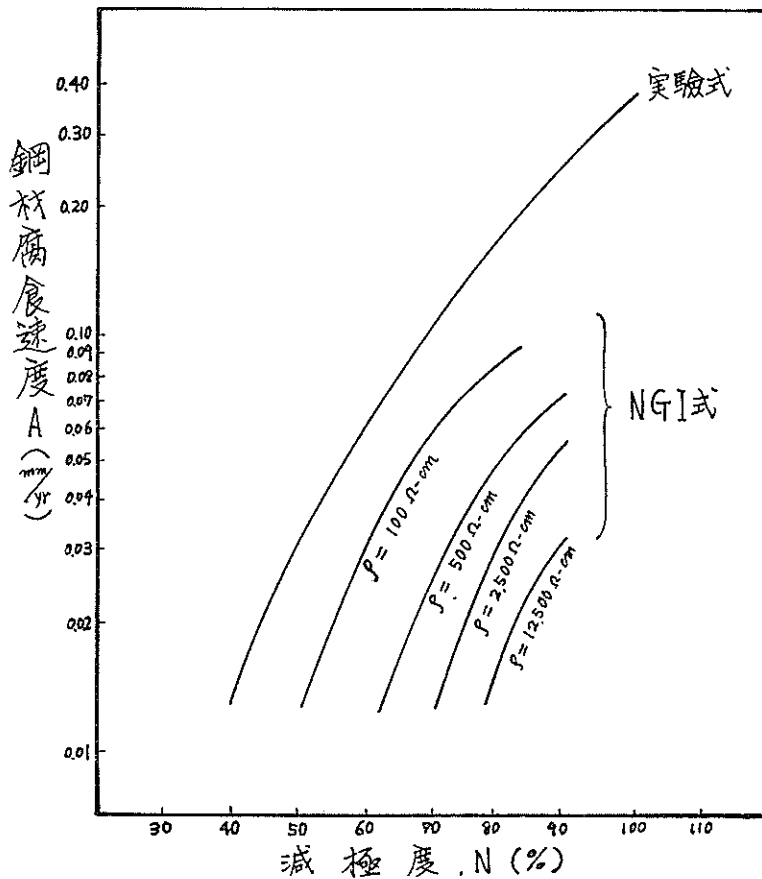


図-3・4 実験式とNGI式との関係

この表によれば、推定値と実測値にはあまり大差は認められない。しかしながら、環境 No.29 については両値との間に可成りの差が見られるが、この現象は、表—3・3に示すように No.29 のみは酸素ガスの微泡を底部から放出し続けている溶液であるから、鋼材表面における条件が、他の環境と著しく異なることに起因するものである。

本研究と同じ模型電池の形式を採用している N.G.I コロージョン・サウンドとの比較のために、室内測定結果を N.G.I コロージョン・サウンドの使用指針にしたがって取敢えず表示してみる。この算出値を表—3・4に示す。

ただし、本実験と N.G.I とでは、測定電極を短絡するときの条件が全く異つていることに留意しておくことが必要である。

これを図示すれば、図—3・4の通りである。すなわち、N.G.I コロージョン・サウンドでは、鋼材の腐食速度 (mm/yr) が 0.03 から 0.1 程度までの腐食環境にしか適用できないが、本実験の方法によれば、鋼材の腐食速度 (mm/yr) が 0.1~0.2 という港湾工事環境にも充分使用できる。

また、減極電流を測定するときに、環境の抵抗に比して可成り大きな可変抵抗を挿入して定抵抗としたところ、マイクロ腐食速度はこの減極電流に左右されるものであつて、環境の抵抗の変動にはほとんど関係のないことがわかり、図に示すように 1 本の関係曲線として表示し得るので、鋼材の腐食速度を推定する場合に、本実験の方法の方が N.G.I の方法より簡便である。

以上は、同一種類の腐食環境に対する適用を考えての考察であるが、次に、物理・化学的の差異が甚だしい、すなわち、減極電流に大差のある腐食環境に対する適用を考えてみる。今、腐食環境①、②があり、物理・化学的な差が大きくて、両者が相接していると仮定する。環境①、②を貫いて鋼材が埋設されるときには、減極電流の小さい環境（例えば、①とする）における鋼材がアノード、減極電流の大きい環境（②）における鋼材がカソードとなるようなマクロ電池が発生して、環境①に腐食反応が、先に検討した同一環境内における反応とは別に、進行することが考えられる。

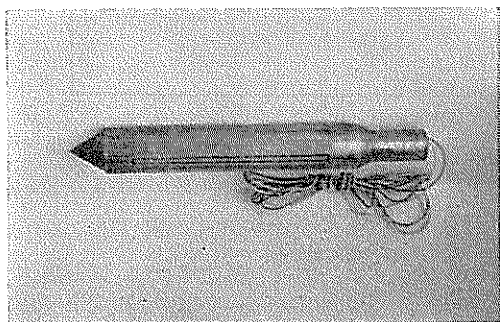
このような腐食をマクロ腐食と考えると、両腐食環境における減極電流にある程度の差のある場合には、すなわち、両腐食環境が物理化学的に異質のときには、その境界付近においてはマクロ腐食反応の進行が推定される。

しかしながら、この際の腐食速度の定量的な推定については本研究では触れなくて、更に実施している継続実験の方で取扱うことにした。

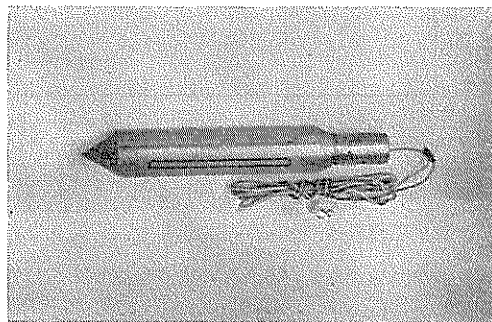
§4 野 外 実 験

4-1 測 定 電 極

野外における測定電極としては、打込み作業に耐え得ることと、腐食環境の比抵抗測定範囲が室内用測定電極と同じ程度であることを目標として、図—4・1および写真—4・1、4・2に示すような形状・寸法の測定電極を試作した。

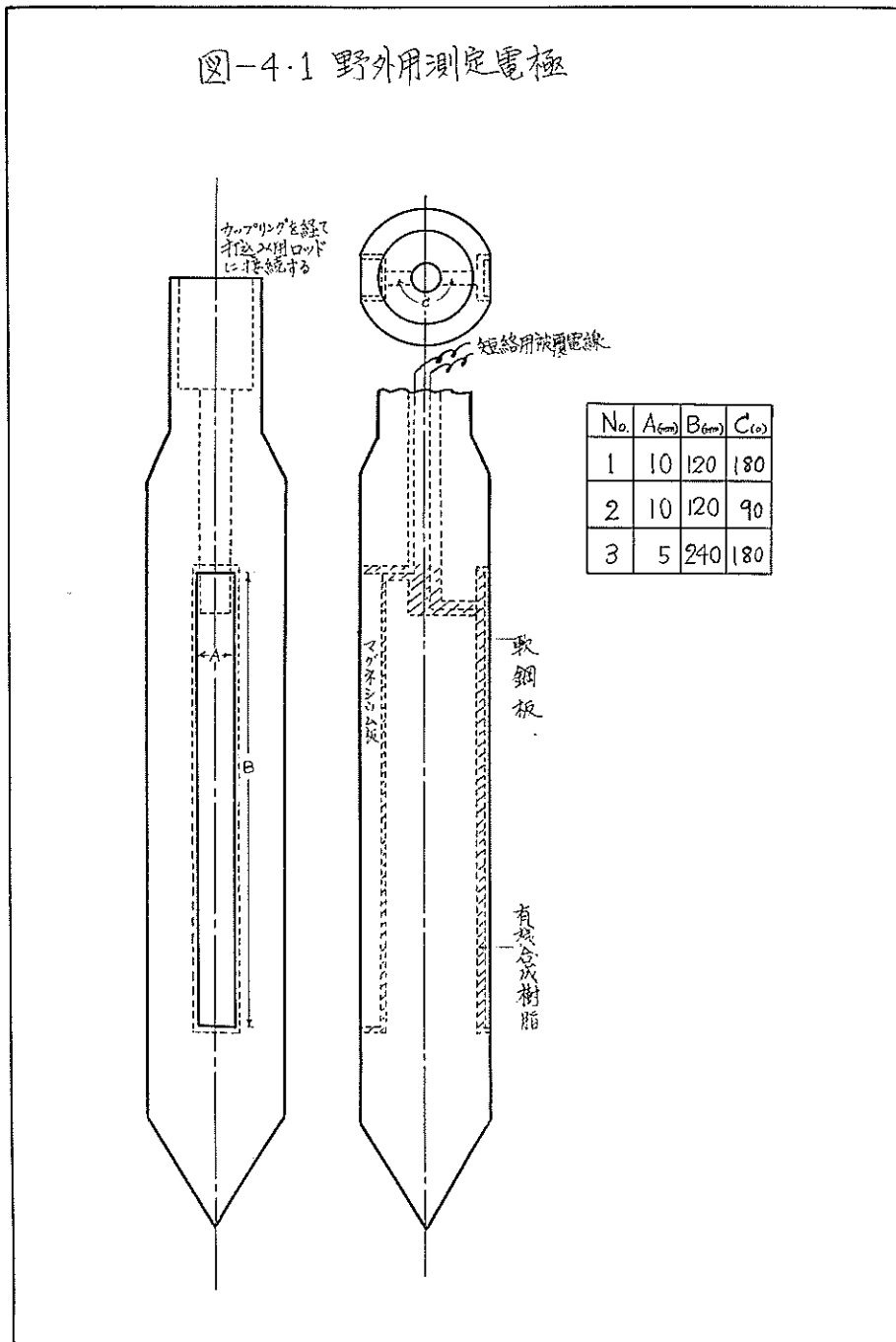


写真—4・1 野外用測定電極(1)



写真—4・2 野外用測定電極(2)

図-4.1 野外用測定電極



この図-4.1および写真-4.1, 4.2に示すように、打込みヘッドに刻まれた2本の細長い溝に、電極材料として用いるマグネシウム板と軟鋼板とを、有機合成樹脂で絶縁、固定する。このとき使用したマグネシウム板および軟鋼板の材質は、表-3.1に示すものと同じであり、これら両板には、それぞれ測定計器に短絡するための被覆電線が接続されている。このような電極を、野外用の測定電極と呼ぶ。電極の種類としては、図-4.1に示すように電極板寸法および取付位置によつて、No.1 から No.3 までがある。

電極の使用要領は、電極板を有する部分をカップリングで打込み用のロッドに接続してから野外腐食環境に打

込み、次に、環境の減極電流および比抵抗を測定するものであるが、図—4・1に示す試作測定電極 No. 1, 2, 3 について、以下に述べるような諸検討を加えて、その実用性を確かめてみた。

1) 室内用測定電極および野外用測定電極による減極電流、抵抗の比較

比較試験の方法は、内径 50cm、深さ 40cm のガラス製水槽に満たした比較試験用の環境について、両測定電極で別々に減極電流および抵抗を測定し、それらの測定結果を比較、検討するというやり方である。

ただし、このときの野外用測定電極による減極電流、抵抗の測定方法は、室内用測定電極による測定方法に準拠した。

また、比較試験用の環境は、環境取扱の便宜上、水溶液を用いることにし、その組成は表—4・1に示す通りである。

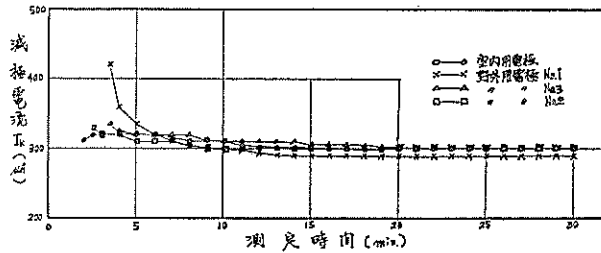
表—4・1 比較試験用の環境

No.	環 境 組 成
1	海 水
2	(2ヶ月放置した) 塩化アンモニウム溶液
3	ヨードと海水を含む蒸溜水
4	海水を少量含む水道水
5	水 道 水

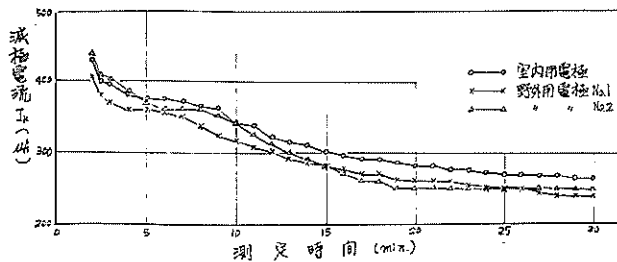
表—4・2 比較試験用環境の抵抗 (Ω)

No.	室内用電極 2×6cm ²	野 外 用 電 極	
		1×12cm ² , 180°	0.5×24cm ² , 180°
1	4	2.6	1.8
2	380	255	171
3	400	268	180
4	800	536	360
5	1,220	817	549

両測定電極で求められた抵抗および減極電流を、表—4・2および図—4・2から図—4・6に示す。



図—4・2 比較環境 No.1 における減極電流



図—4・3 比較環境 No.2 における減極電流

先づ、抵抗を比較する。表—4・2から、野外用測定電極の測定可能範囲を求めれば、表—4・3に示す通りとなり、測定電極の形状、寸法の変化によつて環境に対する測定電極の適用範囲が調節できることがわかる。

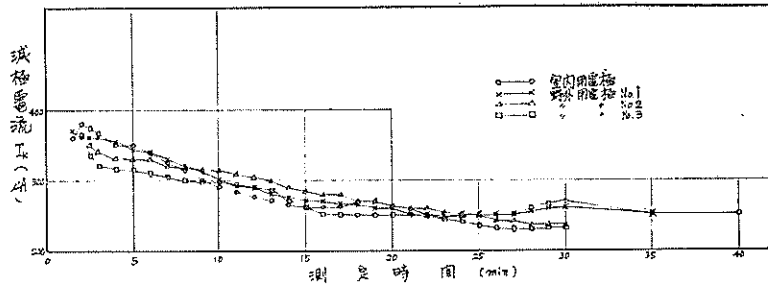


図-4.4 比較環境 No.3 における減極電流

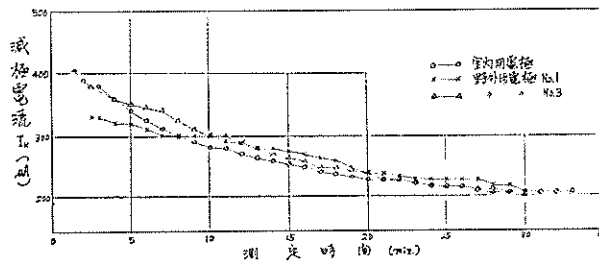


図-4.5 比較環境 No.4 における減極電流

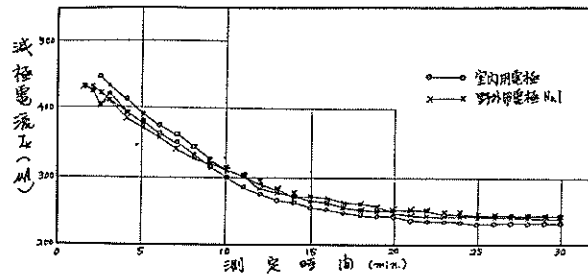


図-4.6 比較環境 No.5 における減極電流

表-4.3 測定電極の適用環境の比抵抗限界

測定電極の種類	測定抵抗比	適用環境の比抵抗限界 ($\Omega\text{-cm}$)
室内用電極	R	14,000
野外用電極No.1	$0.67 \times R$	21,000
野外用電極No.3	$0.45 \times R$	31,000

すなわち、たとえ電極板が同一表面積であつても、電極板を細長くする程、高抵抗の環境まで適用できる範囲が広がって行く。しかしながら、本研究では、港湾工事環境を腐食環境の対象と考えるのであるから、せいぜい比抵抗が $10,000\Omega\text{-cm}$ から $15,000\Omega\text{-cm}$ まで測定できれば充分と思われる。一方、減極電流は、図-4.2~図-4.6から明らかなように、室内用

または野外用各測定電極を使用してもほとんど両電極による測定値には差が見られない。

2) 有機合成樹脂の絶縁、接着効果の検討

野外用測定電極の試作にあたり、電極板の絶縁、接着・固定を兼ねてから有機合成樹脂を使用した。しかし、有機合成樹脂の耐絶縁性、耐衝撃性および耐磨耗性などの総合的評価はまだ明らかではない。そこで、有機合成樹脂の使用に先立って、次のような試験を行った。写真-4.3に示すように、測定電極に刻まれた電極板埋め込み用の細長い溝に有機合成樹脂を充填する。樹脂が硬化した後、その表面を極く細目の仕上げ用研磨紙でできるだ

け平滑に磨き、これを十分に締固めた砂地盤に打込む。なお、このときの打込みの条件は、重錘が 70kg、重錘の落下距離は 100cm、打撃数 $N=54$ 、打込み深度は 130cm であつた。

次に、これを引上げてから樹脂の部分を観察したところ、樹脂表面に微かな短い傷が散見されたに過ぎず、この打込みの繰返しによつて、樹脂の耐衝撃性、耐磨耗性は良好であることが認められた。

樹脂の耐絶縁性は、野外用測定電極 No.1 と No.3 を用いて検討した。海水を撒布して電気伝導性を良くした砂地盤を十分に締固め、この中に上と同じ要領で No.1 と No.3 をそれぞれ別々に打込む。ただし、打込みに先立つて、No.1 および No.3 の電極板の絶縁性をメガーで確かめておく。打込みのときには、電極板にそれぞれ接続している短絡用被覆電線は、打込み用ロッドの内側を通つてロッドの上端より出ている。

この 2本の短絡用電線をメガーに接続してから、電極の打込み前後による絶縁抵抗の変化を繰返して測定したところ、電極 No.1 と No.3 は共に変化は見られず、何れの場合にも絶縁抵抗は無限大を示した。

3) 測定電極の打込み抵抗

図—4・1に示す形状の測定電極の打込み抵抗を検討するために、測定電極の打撃数と土質試験用の標準貫入試験錐の打撃数とを比較した。比較する打撃数としては、測定電極 No.1 と標準試験錐とをそれぞれ、十分に締固めた砂地盤の深度 -45cm~-75cm、および-75cm~-105cm の距離を土質試験の標準方法で打込むに要する値とした。

表—4・4 野外用電極と標準貫入試験錐の打撃数比較

打 撃 数	打 込 深 度 (cm)	
	-45~-75	-75~-105
野外用電極による打撃数	14	14
標準打撃数	10	10

つたので、これを各種腐食環境に打込み、それら環境の鋼材腐食性を推定することにした。

先づ、久里浜地区の土炭地盤にいろいろな大きさの穴（径 150cm、深さ 150cm、または、径 70cm、深さ 70cm など）を掘り、この穴の中に各種腐食環境を充填する。

腐食環境の種類は、表—4・5の通りである。これらを充填する際に、小さい方の穴には主として粘土などのような比較的容易に電極が打込めるものを詰め、大きい方の穴には比較的打込みが困難な砂などを詰めて野外測定に供するように留意した。

表—4・5に示す腐食環境の調整は、土壌類に調整溶液を加えてこれをシヨベルで十分に混合して、同表に示すような含水比としたため、含水比の小さい腐食環境の中には空気が多量に連行されている模様であつた。

このように調整した各種腐食環境をそれぞれ土炭地盤に掘つた穴の中に充分密に填める。これに測定電極を、前節と同じ方法で打込み、次に、室内実験のときと同じ方法で減極電流および比抵抗を測定した。

なお、各種環境の含水比は、測定電極の打込み時および引抜き時に測定した含水比の平均値で表わす。



写真—4・3 樹脂充填の測定電極

以上の諸検討の結果、使用した有機合成樹脂は野外用測定電極の絶縁材料および接着固定材料として適当であることが確かめられた。また、測定電極の打込み抵抗は標準貫入試験錐よりもやや大きい程度であることがわかつた。

4-2 測定方法

前節で測定電極の実用性をいろいろと検討したが、その結果、野外においてこれを使用し得ることがわか

また、測定電極の打込みに際しては、予めメガーで電極板の絶縁抵抗が無限大であることを確かめてから使用した。

表—4・5 野外実験用環境

環境 No.	環境組成	含水比(%)
1	砂 ~ 海水	
2	砂 ~ 雨水	12
3	砂 ~ 雨水	9
4	砂 ~ 海水	11
5	砂 ~ 海水	
6	砂 ~ 水道水	飽和
7	粘土 ~ 海水	120
8	沈泥 ~ 海水	27
9	沈泥 ~ 海水	飽和
10	粘土 ~ 水道水	82
11	沈泥 ~ 水道水	飽和
12	ボゾラン ~ 海水	
13	ボゾラン ~ 水道水	56

表—4・6 野定測定結果一覧表

環境 No.	比抵抗 $\rho(\Omega\text{-cm})$	減極電流	
		$I_K(\mu A)$	$I_{KD}(\mu A/cm^2)$
1	7,448	500	41.7
2	7,084	490	40.8
3	7,497	420	40.0
4	5,460	460	38.3
5	4,494	418	34.8
6	1,393	370	30.8
7	217	360	30.0
8	210	330	27.5
9	196	315	26.3
10	861	310	25.8
11	232	290	24.2
12	280	270	22.5
13	1,036	250	20.8

4-3 測定結果

野外における測定結果は、表—4・6に示す通りである。

4-4 考察

室内における測定方法と同じ方法で、野外においても腐食環境の減極電流と比抵抗の測定が可能であることがわかった。しかしながら、野外用測定電極の打込み深度は—2m足らずであつたから、更に深く打込んでみる必要がある。表—4・6に示す野外における測定結果を、室内実験で求めた式に代入して、供試腐食環境の鋼材腐食速度を推定すると、表—4・7のようになる。

同表と表—3・8を比較すれば、全般的に野外環境の方が室内実験で調整した腐食環境よりも大きい鋼材腐食速度のあることが推定されることを示している。このことは、腐食環境の調整方法の差に基くものであると考えられる。なぜなら、腐食環境の水分が飽和している場合を比較しても、空気泡を大体追出した室内調整環境は、空気泡の追出し操作を行わなかつた野外環境よりも鋼材腐食性は劣るであろうと予想されるからである。

次に、N.D. Tomashov & Y. N. Mikhailovsky ら

表—4・7 野外環境の鋼材腐食速度推定値

環境 No.	推定鋼材腐食速度 A	
	mg/dm ² /day	mm/yr
1	43.5	0.202
2	40.1	0.186
3	37.3	0.173
4	31.8	0.147
5	22.3	0.104
6	14.2	0.066
7	12.9	0.060
8	9.4	0.043
9	7.9	0.037
10	7.4	0.034
11	5.8	0.027
12	4.5	0.021
13	3.3	0.015

が、ガス管路埋設のように比較的浅く埋設する鋼材を対象として、§2で述べた方法で推定した鋼材腐食速度と本実験の野外環境における鋼材腐食速度とを比較してみる。

前者の鋼材腐食速度の推定値は、表—4・8の通りである。

表—4・8 N. D. Tomashov & Y. N. Mikhailovsky の鋼材腐食速度推定値

環境の種類	推定鋼材腐食速度		
	g/m ² /yr	mg/dm ² /day	mm./yr
砂と塩類, 水分 7~10%	1,572	43.1	0.200
沃土質土壌と砂	252	6.9	0.032
下水溝の沈泥	270	7.4	0.034
灰色粘土, 水分多量	252	6.9	0.032
水分多量の粘土, 砂土壌・小石混入	214	5.9	0.027
灰色粘土, 水分 7~10%	120	3.3	0.015

表4・7と表—4・8においてそれぞれ類似している組成の環境の鋼材腐食速度の推定値は、近似していることがわかる。

§5 結 び

本実験の範囲から、次の諸点が明らかとなつた。

1) 本実験で提案したように、回路に可変抵抗を挿入する測定方法によつて、各種類の港湾工事環境の鋼材腐食速度、すなわちマイクロ腐食速度を推定することは可能であると思われる。

2) そのときの鋼材腐食速度 A は、次式で表わされる。

$$A = k \times I_{KD}^a \times \rho^{-b}$$

$$\approx k \times I_{KD}^a$$

$$a = 3.69$$

$$b = 0.001$$

A の単位が mg/dm²/day のとき

$$k = 4.57 \times 10^{-5}$$

A の単位が mm/yr のとき

$$k = 2.12 \times 10^{-7}$$

3) 港湾工事環境における測定電極としては、野外用試作測定電極 No.1 が適当であろう。

4) 減極電流の測定によつて、腐食環境の物理・化学的差異が甚しい境界附近における鋼材のマクロ腐食が予想できると思われる。

§6 あ と が き

港湾工事における埋設基礎鋼材の腐食速度を推定するに当り、各種腐食環境の鋼材腐食性を、現場において比較的簡単に推定することから着手して、マイクロ腐食速度の定量的、ならびに、マクロ腐食反応の定性的な把握が可能となつた。

次の問題としては、マクロ腐食速度を定量的に推定することであり、この解決によつて埋設基礎鋼材の腐食速

度の推定が総合的に可能となるであろう。

そこで、本実験に引継いで、マクロ腐食速度推定に関する実験を実施しており、また、マイクロ腐食速度計の携帯化にも努めている。

最後に、本実験を行うに当つて、N.G.I コロージョン・サウンドに関する文献を提供して戴いた富士製鉄 KK・工博・石黒健氏、実験に使用した土壌の分類ならびに野外用電極の打込みに関する技術的な援助を受けた港湾技術研究所・技術士・柳瀬土性研究室長、および N.G.I コロージョン・サウンドの使用指針ならびにこれの国内適用例に関する文献を提供して戴いた日本防食工業 KK・工博・技術士・花田政明氏の方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 石井靖丸, 石黒健共著; 鋼杭工法, p. 168~170 技報堂, 1959年版
- 2) Stern, M. ; Fundamentals of Electrode Processes in Corrosion, Corrosion, Vol. 13, No. 11, 775t~782t, Nov., 1957.
- 3) Tomashov, N. D. & Y. N. Mikhailovsky ; Corrosivity of Soil, Corrosion, Vol. 15, No. 2, 77t~82t, Feb., 1959.
- 4) Phelps, E. H. ; Electrochemical Techniques for Measurement and Interpretation of Corrosion, Corrosion, Vol. 18, No. 2, 239t~246t, June, 1962.