油性系に比べてはるかに電流密度の時間的増加が少ない。また各維持電位の低下による所要電流値の増加は油性系塗料の場合と比較してごくわずかであった。したがって油性系のごとく電位が卑になるほど電流値の増加が加速されるような悪影響はないものと思われる。

4. 結 び

以上これらのことからビニル系塗膜は海水による劣化がきわめて少なく油性系に比べてすぐれた塗膜特性を有するが、塗膜欠陥部に腐食が集中し易いことが明らかに見られた。しかしながらビニル系に適正な電気防食法を併用することは塗膜に悪影響を及ぼさず、また所要電流

が少なくすむ等の有利性があり、またこのような局部腐食の原因が除かれる等の好都合がある。したがって現状では船体防食の管理上、海水中のビニル塗装に電気防食を併用することは最も有効な防食法であると考えられる。

しかしながら電気防食の施工しがたい場合でビニル系塗料を使用するときにはもし塗膜傷ができるとその部に腐食が集中することに注意する必要がある。

終りに臨み本試験の実施に際し、ご援助をいただいた日本造船研究協会の関係の方々に深く感謝の意を表します。
(昭和37年2月23日受理)

電 気 防 食 施 設 の 干 渉 に つ い て*

星 野 九 平**

Interference from Cathodic Protection Installations

Kyuhei Hoshino

Protective current in earth, which flows from anode to cathode for cathodic protection, causes potential gradient in ground, and metallic foreign structures in the field will be affected by the current.

The phenomenon is called interference, and it causes sometimes damages on the foreign structures.

In this paper, theoretical equations for the potential gradient in the field are discussed, and some methods of applying the equations for analyzing measured potentials, and for finding suitable method to reduce the interference, are explained including practical remarks to be attended.

1. ま え が き

水中や地中に埋設されている金属体に電気防食法を実施したとき、これに近接する他の埋設金属体に電気的影響を及ぼすことがあり、その程度によっては問題となる場合がある。特に市街地では同じ道路に通信ケーブル、電力ケーブル、ガス管、水道管等が敷設され、互に近接している場合が多く、しかもこれらの施設が電気鉄道の迷走電流により電食されるような場合には、一般に排流接続が最も効果的な対策としてよく実施されるが、この際他管路に及ぼす影響、すなわち干渉が問題となり、東京、東海、関西等における各地区の電食防止対策委員会に持込まれて解決されることが多い。

この干渉の本質は、電気防食施設の陽極から防護対象物たる陰極に向って流れる防食電流のため、大地中にある電位傾度をもった電場を生ずるが、その電位傾度の大小

きな地帯に他の埋設金属体が存在するとき、防食電流の一部がそれに分流し、その電流の流出点に電食を発生する現象である。

2. 大地電位分布の計算

電気防食による大地電位の変動は、陽極付近における大地電位の上昇(陽極効果)と、被防護体付近における大地電位の下降(陰極効果)とに分けて考えられる。

陽極の形状が比較的小さい場合は、等価的に球と見なし、かつ土壤抵抗率 ρ を均一として陽極効果は計算し得られる。すなわち図1に

図1 防食施設と第2構造物との関係位置

* 昭和36年11月21日 第5回防食技術討論会において発表

** 日本防蝕工業(株) (東京都港区芝新橋 5-1 越田商工ビル)

図 2 関数 $1/\sqrt{h^2+l^2}$

$$v_a = I\rho/2\pi r = I\rho/2\pi\sqrt{h^2+l^2} \dots\dots\dots (1)$$

v_a の距離の減衰状況は、関数 $1/\sqrt{h^2+l^2}$ に支配され、曲線をもって示せば図 2 のとおりである。

注：(1) 陽極は比較的浅く埋設されているものとし、これを地表面に埋設された半球として扱った。

(2) この大地電位は無限遠地点 (remote earth) を基準とした土壌の電位である。

また、陽極の形状が直線状埋設体ならば、次に述べる被防食埋設管に対すると同様 (ただし、電圧極性は反対) にして、陽極から任意の距離にある地表面の電位を知ることができる。

電位を知りたい点が地表面でなくとも、普通の埋設管類のごとく深さ 1 m 前後ならば、陽極にきわめて近い場合を除き、地表面の値とほとんど変わらないので、この計算法が適用できる。

図 3 排流施設と埋設管との関係位置

電気鉄道のレールに排流する場合は (図 3)、レールを地表面にある線状陽極接地体とみなして扱えばよいが、レールは一般にきわめて広範囲につながっていて、直流に対する接地抵抗が低いので、その陽極の効果 (排流によるレール電位の上昇に基づく大地電位の上昇) は一般に僅少である。

電鉄レールと埋設管との間の開路電圧 V_0 なる点を排流、接続したときの排流電流 I は、排流点からみたレール側の接地抵抗を R_1 、埋設管側のそれを R_2 、排流抵抗を R_3 とすれば (2) 式をもって表わされる。

$$I = V_0 / (R_1 + R_2 + R_3) \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 R_3 は電線その他の金属抵抗であるが、 R_1 と R_2 はレールあるいは埋設管の金属抵抗 (継目部を含

において陽極中心より距離 r の地点における大地電位の上昇 v_a は陽極電流を I とすれば (1) 式で与えられる。

む) と大地に対する漏れ抵抗との総合抵抗であって、たとえば埋設管では、排流点の両側が無限長ならば $R_2 = \sqrt{r_1 w} / 2$ 、排流点から一方のみ長さ l ならば $R_2 = \sqrt{r_1 w} \coth \alpha l$ をもって示されるものである。

$$\text{ここに } \alpha = \sqrt{r_1 / w}$$

r_1 : 埋設管単位長当りの平均導体抵抗

w : 埋設管単位長当りの平均漏れ抵抗

排流点におけるレール電位の上昇分 v_1 は

$$v_1 = IR_1 = V_0 R_1 / (R_1 + R_2 + R_3) \dots\dots\dots (3)$$

また埋設管の排流点における管電位 v_{p_0} は

$$v_{p_0} = -IR_2 = -V_0 R_2 / (R_1 + R_2 + R_3) \dots\dots\dots (4)$$

電気鉄道と無関係の外部電源方式電気防食装置においても $v_{p_0} = -IR_2$ の関係がなり立つことはもちろんである。

排流点から距離 x の埋設管電位 v_p は、埋設管がきわめて長いものとすれば、

$$v_p = v_{p_0} e^{-\alpha x} \dots\dots\dots (5)$$

埋設管単位長当りの流入電流 i は

$$i = v_p / w = -IR_2 / w \cdot e^{-\alpha x} \dots\dots\dots (6)$$

埋設管を無限長と仮定すれば $R_2 = \sqrt{r_1 w} / 2$ なるゆえ、(7) 式によっても表わされる。

$$i = -I / 2 \cdot \alpha e^{-\alpha x} \dots\dots\dots (7)$$

被防食埋設管が抵抗率 ρ の地中に深さ D に埋設されているものとすれば (図 4)、その直上 A とそれより直角に y 離れた地点 B との間の大地電位差 v_o は

図 4 埋設管との関係位置

$$v_o = (i\rho/2\pi) \log [1 + (y^2/D^2)] \dots\dots\dots (8)$$

あるいは

$$v_o = -(I\alpha\rho/4\pi) e^{-\alpha x} \cdot \log [1 + (y^2/D^2)] \dots\dots\dots (9)$$

となる。

v_o の距離の関係は、考える路線が y = 一定、すなわち埋設管に平行ならば $e^{-\alpha x}$ にしたがって変化し、 x = 一定、すなわち埋設管に直角ならば $\log [1 + (y^2/D^2)]$ にしたがって変化する。前者は埋設管の減衰係数 $\alpha = \sqrt{r_1 / w}$ に支配されるが、後者は減衰係数には直接関係なく、埋設深さ D との関係によって変化する。これらの距離の変化状況を図示すれば図 5 および図 6 となる。

以上は式を簡単にするため、基準点として v_o は無限遠地点を、 v_a は埋設管の直上地点をとったが、いずれ

図 5 関数 e^{-ax}

図 6 関数 $\log_{10}[1 + (y^2/D^2)]$

流出して金属体に腐食を起こすことになる。この金属体の長さが無限大ならば、その電位は零とみなしうるので、大地電位の $\ominus$ 区間が流出区域となる。短い場合は、図 7 のように埋設地帯の電位 v を面積 $amp = \text{面積 } cnp$ となるように水平線 mpn を画くとき mp が流入区域、 np が流出区域となる。

3. 干渉の測定法

も x, y, l の比較的大きな地点を電位変動の少ない基準点として取り扱うことができる。そして両者を重畳することにより総合効果を知ることができる。

一般にある電位の傾きをもつ大地中に金属体が埋設されると、高電位の地帯で電流が金属体に入射し、低電位の地帯で

図 7 埋設地帯の電位分布
面積 $[amp] = \text{面積 } [cnp]$

干渉の程度は各埋設物の状況が一般に複雑で不明の点が多いので、実測によらねば明らかでないが、実測も土地の状況により制限を受けることが多い。実際問題としては、前記の大地電位分布を念頭において、数少ない要所にて実測を行ない解析することが必要である。

干渉の有無を測定する通常の方法は、電気防食施設を動作させた時と、停止した時とについて、調査すべき地中埋設物の対地電位を比較測定することによって行なわれる。しかし更に正確を期するためには、電気防食施設を一定時間間隔（たとえば 1 分または 2 分）で開閉し、その影響下にあると想像される構造物について、高抵抗電圧計と硫酸銅電極とを用いて実施される。この場合、電位の基準点を通信線の利用などにより、電気防食施設および電気鉄道などの影響のない遠方地点に取りうるならば、電位状況は明確になるが、一般には埋設金属体とその付近に接地した硫酸銅電極との間の電位差を測定する方法によって行なわれる。

図 8 各種排流状態における地表面電位差

しかし時には、埋設金属体に測定用電線を取り付けることが困難な場合もある。このような場合には2個の硫酸銅電極を適当な間隔に地面に接地しその間の電位差を高抵抗電圧計で測定することにより干渉程度を推定する場合もある。一方の電極を埋設金属体の直上に、他方の電極をそれより埋設体に直角方向 y 離れた地点に配置すれば、(8) 式あるいは (9) 式で示される電位差を測定することになる。

図8は900mm 配水本管と2万V 電力ケーブル2条とをやや離れた地点において別々の排流器に接続し、これらの埋設物の直上に当る道路面に2本の接地棒を打込み、その間の電位差を各種排流状態において測定した結果を示す。これによれば、水道排流時には平均 +0.31V、ケーブル排流時には平均 -0.50V の電位変化を生じ、両者同時排流時においても -0.29V の電位変化が認められる。よってここでは実地対策として両者をボンンドし、電力ケーブルの排流器で一括排流する方法がとられた。

図9 ケーブルからの距離と地表面電位差との関係

$$\begin{aligned} \text{計算式 } V &= (i\rho/2\pi) \cdot \log[1 + (y^2/D^2)] \\ i &= 2.58 \text{ mA/m} \\ \rho &= 22.5 \Omega \cdot \text{m} \\ D &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

図9は排流されている地下ケーブルに直角方向の地表面電位差を2個の硫酸銅電極と高抵抗電圧計を用いて測定し、それがケーブルからの距離に対しいかに変化するかを示した一例である。この場合電位差は電車の影響により時々刻々変化するので、ケーブル対地電圧と同時測定を行ない、その一定値に換算した値をプロットしたものである。この電位差は(8)式で表わされるので、土壤抵抗率 ρ とケーブルの埋設深さ D を測定してその値を(8)式に代入し、実測値 v (電位差) から i (ケーブル単位長当りの流入電流) を求めることができる。なお(8)式の関係より dv/dy の最大は $y=D$ のときであることがわかる。図9には以上の計算結果をも併せ示し

てある。

干渉の問題は、いくつかの埋設物に関係するものであるから、測定調査は関係者間の協力によらなければ成果があがらない。このため、各地区の電食防止対策委員会その他において、あらかじめよく打合せを行なって実施することが大切である。

4. 干渉の軽減法

干渉をどの程度まで軽減すべきかは、対象物の重要性・耐用年数・材質・土壌の抵抗率・腐食性・その他の事情により一律に定めにくいのが実情である。イギリスの埋設物電気防食合同委員会では、防食用電源装置を開閉したときの対象物の陽極的電位変化 20 mV を一応の許容限界としているが、わが国の大都市付近における選択排流の実例からみれば、この範囲に抑制しえない場合が多い。現実問題としては、共同調査を実施して対策委員会にかけ処理されている。

干渉を軽減する方法には、次の手段がある。

(a) 外部電源方式では出力電圧を下げ、選択排流方式では抵抗器を挿入する方法によって排流電流を減少する。電流の減少と電位変化の減少とは大体比例する。

(b) 流入する干渉電流を少なくするため、陽極の接地場所を他の地下埋設物からなるべく速く離す。

(c) 選択排流方式では排流点としてなるべく他の地下埋設物から離れた個所を選ぶ。

(d) 二つの構造物を一つないしそれ以上の金属ボンンドにより連結する。ボンンドの施設個所は両者間の電位差が大きく、距離が近く、施設費が安価ですむところが適している。

(e) 両構造物を完全防食するような電気防食法を共同で実施する。これはそれまでに両者が電気防食を施していないため、腐食問題を起こしている場合に適している。とくに選択排流方式の場合、電気鉄道の同一個所に別々の排流器を取り付けると、一方のヒューズが切れたとき、他方の排流電流が増大し、激しい干渉を伴う上にやがて残った方のヒューズも切れ、その結果両方共無防食状態になるという不都合があるので、共同排流が望ましい。

(f) 正の電位変化が測定された地点に流電陽極を設置する。これは正の電位変化が小さく、かつ局所化されている場合、たとえば、二つの構造物が交差しているような地点に有効である。

(g) 正の電位変化が測定された個所を防食ケーブルや被覆管と取り換えるか、あるいはその部分を現場で被覆する。

この方法は正の電位変化が小さいか、あるいは交差点の両側数 m くらいは周囲の大地と有効に絶縁できる場

合にのみ効果が期待できる。

絶縁被覆は両構造物のいずれか一方、または両方に適用されるだろうが、もし干渉をおそれる他の埋設物にのみ適用した場合は、腐食を局所に集中させるおそれがある。

(h) 干渉を与える区間が短ければ、その部分だけを絶縁接手により電氣的に切り離し、残りの部分を相互に絶縁電線により連結する方法も考えられるが、絶縁区間の防食が未解決のまま残される不利がある。

(i) 特殊の場合として被防食体と干渉をおそれる埋設物との間に不用の埋設金属体があるときは、これを埋設物に接続して身代わりに電流を流出せしめる方法がある。ただし両者を接続したために、異種金属の接触あるいは通気差による電池を構成して大切な埋設物が陽極とならないようにすべきである。

5. ボンド施工上の注意

電気防食法の実施に当り、ボンドの施工は防食すべき埋設鉄管の一部の接手が高抵抗のとき電気防食の効果を高めるため、あるいは他の埋設物に対する干渉を防止するために行なわれる。

ボンドは、それに流れると予想される電流に対し十分な容量のものが必要であるが、ときには電流を制限するため、適当な抵抗をもたせることもある。

ボンドは異種金属による電池作用を起こさないよう絶縁電線を使用するか、または耐水性の絶縁テープをよく巻き、さらに接続部の防水を完全にすることが必要である。

異種の埋設物を共同排流するような場合は、排流点におけるボンドだけでは不十分で、さらに適当な場所で両者をボンドすることが必要である。たとえば 150 mmφ の鋼管と鉄管 (1 本の長さ 6 m および 3 m) とを共同排流した場合の、排流点から 100 m あるいは 200 m 離

れた点の埋設管電位を計算すれば次のごとくなり、条件によっては両者間にかかなり大きな電位差の生ずることがわかる。

	管体のみ	接 手	総 合
導体抵抗 (r)	鋼 管 $3.8 \times 10^{-5} \Omega/\text{m}$ 鉄管 $7.6 \times 10^{-5} \Omega/\text{m}$	$2.0 \times 10^{-4} \Omega/1$ 個 $5.0 \times 10^{-3} \Omega/1$ 個	$0.071 \Omega/\text{km}$ $1.74 \Omega/\text{km}$

対地漏れ抵抗 (w) 塗 装 抵 抗 $10 \Omega/\text{m}^2$

土 壌 抵 抗 率 $5,000 \Omega/\text{cm}$

$$w = 0.019 + 0.050 = 0.069 \Omega/\text{km}$$

減 衰 係 数 $\alpha = \sqrt{r/w}$

$$\text{鋼 管 } \alpha = \sqrt{0.071/0.069} = 1.01/\text{km}$$

$$\text{鉄管 } \alpha = \sqrt{1.74/0.069} = 5.0/\text{km}$$

排流点から x km 離れた点の埋設管電位

$$\text{埋設管の長さ } \infty \text{ の場合 } v = v_0 e^{-\alpha x}$$

$$\text{埋設管の長さ } L \text{ の場合}$$

$$v = v_0 \cosh \alpha(L-x) / \cosh \alpha L$$

ただし v_0 = 排流点における埋設管電位 = 1 とする。

管 の 種 類	$x=100 \text{ m}$ における v ($L=100 \text{ m}$)	v の 差	$x=200 \text{ m}$ における v ($L=200 \text{ m}$)	v の 差
鋼 管 ∞	0.906	0.299	0.817	0.449
鉄 管 ∞	0.995	0.388	0.980	0.612
鋼 管 L	0.607	0.019	0.368	0.168
鉄 管 L	0.887	0.108	0.649	0.331

ボンドをとる相手の一つが電力ケーブルの場合は、ケーブル事故時に電撃や火災その他の電氣的危険が波及しないよう、チョークや遮断器を取り付けるなど特別な対策が必要である。

ただし、水道本管が電力ケーブルによくボンドされているときは、一般に接地抵抗が低く、また近くに水道の分岐その他人のふれるおそれがない限り危険がないので、特別な防護施設は必要ではない。

(昭和 37 年 4 月 24 日受理)

技術トピック

家庭用スプレーガンの腐食

殺虫剤の腐食性に対する考え方の不足によって、家庭用圧縮スプレーガンが 5 年足らずで穴があいた。この失敗はハンダ付けした開閉弁の真下の部分のポンプチューブ中にハンダに使用した金属が浸透して起こったものである。スプレーガンの他の部分や黄銅製開閉弁などは腐食を受けていないので、使用年数はかなり長期にわたるものと思われるが、ガンが使用できないので、全体としては 5 年以上使用できなくなっている。

この装置の失敗は次の二つの根本的原因に起因している。1) ポンプ筒に使われている鋼は腐食性殺虫剤による侵食性が非常に少ない。2) 設計が完全に誤っている。すなわち、円筒の本体と円筒の上にハンダ付けした開閉弁の間の空間の通風口まで殺虫液を許すという設計にある。

この構造の改良によってコスト高になるとは考えられない。

Mat. Prot., 1, No. 3, 108 (1962)

(E. S.)