長大パイプライン建設途上の電食防止について*

市野瀬博美** 山村 隆男*** 中村 典道****

Corrosion Control of Long Pipelines under Construction ——To Solve Problems of Stray Current——

Hiromi Ichinose†, Takao Yamamura††
and Norimichi Nakamura†††

† Nippon Kokan K. K.

(2-3, Oote-machi, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan)

†† Nippon Kokan Koji K. K.

(88, Ono-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, Japan)

††† The Nippon Corrosion Engineering Co., Ltd.

(1-6-4, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan)

The pipelines in Japan are commonly required to be constructed in several disorderly separated sections, wherever the right of way is applicable. Therefore, cathodic protection system against the stray-current corrosion of pipeline should be applied carefully. Through analyses of practical experiences, the following conclusions were obtained. (1) Stray-current control of pipelines is usually required not only after the completion of the construction but also during their construction on account of long construction schedule and required quality of each pipeline. (2) Temporary galvanic anodes may be generally used for maintaining proper protective effect against pipe corrosion, where the potential gradient in soil is not so steep. (3) When the potential gradient is very steep, ordinarily arranged galvanic anodes are not sufficient, and use of impressed current systems is preferable. (4) In introducing an automatic potential controlling system, several rectifiers would be necessary when different locations of a pipeline show negative coefficient of mutual potential change so as to control such potentials in a consistent manner.

1 ま え が き

近来、長距離パイプラインの建設が盛んになりつつある。T社におけるN幹線、M環状幹線、O社におけるK幹線など建設完了のもの、あるいは建設途上のもので100km級のパイプラインが続々出現しており、今後オイルパイプラインがこれに加わり、わが国でも本格的パイプライン時代を迎えようとしている。

しかし、わが国は世界でも随一の電気鉄道密度を有し

ており、その迷走電流は狭い国土の地下に充満しているといっても過言でない状況である。従ってパイプライン建設に当っては、電食防止について十分留意しなければならない。従来、電食防止あるいは土壤腐食防止については、パイプライン完成時の姿において計画された電気防食装置が、パイプライン建設進行中あるいは完成後に設置され、その機能を果してきたが、数十kmあるいは数百km級のパイプラインの建設は、米国のような Right of Way の方式が採れないわが国では、着工できる地域から、短い場合は数十m、長くても数千m位の分断された姿の状態でパイプラインの建設が行なわれる。しかもその工期は3～5年であり、コマ切りのパイプラインは従来の電気防食計画によっては、その間、迷走電流に

* 昭和46年8月24日第18回腐食防食討論会（札幌）において発表

** 日本鋼管株式会社分室（東京都千代田区大手町2-3）

*** 日本鋼管工事株式会社技術部（横浜市鶴見区小野町88）

**** 日本防蝕工業株式会社技術部（東京都千代田区丸ノ内1-6-4）

図1 迷走電流に正逆があるような管路における管対地電位分布

図2 外部電源 ON-OFF 特性 (定電圧式)

対しても、また土壤腐食に対しても全く無防備に放置されることになる。われわれはパイプラインの建設に当たって、このコマ切れ状態の埋設管に対しての腐食防止、とくに電食防止に意を用いなければならない。本報告は、当社における経験の一端を紹介し今後のパイプライン建設の資料ともなればと願うものである。

2 迷走電流の影響による管対地電位の変動と

その制御

建設途上におけるパイプラインの防食は、たとえば、埋立地とか、海底、河底、運河などの横断のごとく、強烈な腐食性を持つ自然環境での防食と、迷走電流の多大に存在する人工環境の二つに分れるが、電気防食の歴史的過程は、その防食対象構造物の対地電位、または対水電位を、いかに防食電位に維持しようとするかの、電位制御の努力にあったものである。激しい変動を伴う人工環境による迷走電流の影響を緩和または除去できれば、自然環境における電位制御は、さほど苦勞の必要なものではないので、ここでは、もっぱら電鉄迷走電流の影響による管対地電位の変動とその抑制について考える。

一般に電鉄が単一でない地域、あるいは単一な電鉄でもその給電変電所が単一でない地域では、その電鉄の影響下にあるパイプラインの管対地電位は、図1のように、その両端において電位変動が激しく、中央部付近ではその変動は少ない。またその両端の電位は、図7の実例に示すごとく、逆相関の動きを行なっている¹⁾。この変動幅が大きくなると、管端付近の電位は電食危険電位と、過防食電位の両方を交互に示すことになる。建設途

図3 自動制御式外部電源 ON-OFF 特性

図4 流動陽極 ON-OFF 特性

上でも電気防食上の処置を施さない限り、貫通孔はできないまでも、孔食の発生はまぬがれないであろう。

近来、電気防食の分野にも、自動電位制御式の外部電源装置が普及し始め²⁾、パイプラインの電位制御も自動化の時代に入りつつある。本格的なパイプライン時代と、本格的なその電位制御の自動化時代を迎えたことは、パイプライン防食技術の展開期を意味するもので塗装防食の進歩とともに、パイプラインの安全性を一段と保証するものと言えよう。この電位制御について、筆者らは、その適用の有無についての効果を、ON-OFF 特性としてまとめて見た¹⁾。図2は、従来の定電圧式外部電源装置の特性である。この装置は、対地電位にバイアスを与える作用しかないから、電位の変動幅はほとんどそのまま残ってしまう。図3は自動電位制御式の外部電源装置の特性である。当然のことながら制御電位の変動幅は縮小されるはずである。さらに図4に流電陽極の特性を示す。流電陽極は接地体としての役割を果すから、その素材としてすでに電位変動幅の消滅に役立つはずである。ただ現今の接地技術では、希望する極低接地抵抗が得にくい土質の地帯で、その効果を十分果し得ないで

図5 片端制御の概念的制御結果

いる。

この三者を比較して見ると、電位制御の面からは、従来の定電圧式外部電源装置は電位のバイアスを与えるだけであり、自動式はその定格出力内ですぐれた制御性を示し、流電陽極はきわめて素直に電位制御を行ない得る素材としての特性を持っていることになる。しかしここで自動式の外部電源装置を万能だと解釈してはならない、重要な制御上の問題点が存在する。

現今、自動制御装置が装置工業のみならず、各方面で実用化していることは周知のとおりであるが、その基本は、負帰還型の定値制御装置であって、個々の装置は検出端付近のみを制御対象とした局部制御を行なっているに過ぎない。ここにいう自動式の外部電源装置もそのバリエーションというよりは、まさにこの古典的ともいえる定値制御装置であるから、制御範囲がすこぶる局部的である。外部電源装置は強力で大長パイプラインの防食装置としては誠に好都合な装置として考えられてきたし、今後もそのはずであるが、変動が逆相関を持つような制御対象には、単一な装置のみでは制御不良をまぬかれ得ないものであることを認識する必要がある。この点は流電陽極にも当てはまり、いかに素直な制御特性を持っていてもその効果は局部的である。図5に片端に自動電位制御式外部電源装置を設置した場合の概念図を示す。反対側は電位変動幅が拡大し、電食危険電位も解消せず、過防食電位は増大する。このことは、片端のみの制御では、文字通り片手落ちの制御しかできないことを意味している（ここに言う局部的とは、その対地電位の変動が正相関で動いている範囲のことである）。

3 電食条件の比較的ゆるやかな場合

図6にK幹線の比較的初期に敷設した約2,000mの区間の概略図を示す。図7は約2,000mの区間における、管対地電位の測定結果を示す。

この測定により管路の両端における電位変動が逆相関を持っていること、電位差の平均値に有位と思われる差のないことから、余り差のない大きさで、迷走電流の正逆流が存在すると推定される。管路の中央付近では電位変動は少ない。つまり迷走電流の出入はほとんどない。

図6 Mg 陽極試験路線図

ということから両端の電食発生が懸念されたが、選択排流器を取りつけるには軌道との間に距離がある。また外部電源予定地とも離れており管路としても接続されるのは1年以上の期間があったので、マグネシウム流電陽極による暫定防食を行なった。マグネシウム陽極の取り付けは、200mごとに分散設置した。流電陽極の場合はその効果範囲が外部電源装置に比べはなはだ狭いので図5のような片端だけ設置などということはまずないので、制御上都合がよい。その結果は図7の下部に示すとおりである。迷走電流による地上あるいは地表面の電位勾配が余り大きくなく急峻でもない場合は、先行工事区間の防食として有効な方法であることを示している。

4 電食条件の強い場合

4.1 電位分布の推定

次にA幹線の中期に敷設された約4,000m区間の状況について述べる。この区間は図8に示すような電鉄との関係位置にあり、北方から延びる部分は既設のラインを通じて選択排流器の効果範囲に入っている。その端末における管対地電位は、図9に示すごとく電食危険電位と見られるものは出現しておらず、まずまずの電位であるとともに、ここでも両端末同志の間では逆相関の変動が現われ、選択排流器が動作した時のみ、電位は同方向に激しく動いている（図9 ※印）。ここで注目すべき点はこのラインにも暫定防食用としていくつかの流電陽極が設置されているが、それが十分な効果をあげているか、ということで図9からもわかるように選択排流器動作開始前後の両点の電位は、

	$P_{30'}/S$	P_{11}/S	ΔE
動作開始前	-700 mV	-2,000 mV	1,300 mV
動作中	-1,500 mV	-3,000 mV	1,600 mV

であって、後述の相関図からもわかるように、この管路の両端では、1.5Vを超える地表の電位勾配がある。また図9では一見まずまずの電位であるが、果して長時間この状態であるかどうかにも注目しなければならない。

幸い本管路の電位測定は、 $P_{30'}$ に測定器を据えたまま今1台の測定器で順次管路の各点の電位測定を行なっていたので、図9のごとき測定の同時性は各点ごとに得ら

図7 管対地電位差記録測定結果

図8 A幹線の一部

れている。そこで各点の電位と P_{30}' における電位との相関散布図を作成して、 P_{30}' における電位変動幅から、各点の電位変動範囲を推定して見ると、この管路が置かれている状態が判然と現われてきた。

通常、管路の電位測定は、迷走電流の影響がある場合 10～15 分の連続測定を行ない、その最貴値、最卑値、平均値をプロットとして電位分布を作っている。今回もそれにならった分布図を作ったが、やや懸念を感じて P_{30}'

において行なった長時間測定との比較において、上述の手段を用いた電位分布図を作った。この手順はなれないとやや複雑に感じるが、各点ごとに長時間の記録をとることに比べれば合理的であるし、デスクワークで色々な解析も行なえるので判断資料として効果的であると考えられる。図10はその手順の一部を示すものである。(その1)は P_{30}' に近い P_{27} の管対地電位と P_{30}' のそのの相関図で正相関を保っている。(その2)は P_{30}' の反対側の P_{11} のそれで逆相関を示している。10 分程度の測定では、図にプロットされた位の変動幅しか示さないが、 P_{30}' の長時間記録の変動幅を当てはめて見ると、各点の変動幅が拡大されて、測定記録のみでは現われなかった電食危険電位も隠されていたことがはっきりしてきた。この手法での管路の電位分布と、従来方法による測定時間内の電位分布とを図11に示す。これにより、a) P_{11} 付近は電食の危険性がある。b) $P_{12} \sim P_{14}$ 付近には流電陽極による暫定防食が施してあるが、大きな電位勾配の下では、暫定少数の陽極では不足である、などのことが判然とした。また P_{11} の救済には選択排流器の使用は不可能である。

4.2 電食防止のための自動制御外部電源装置

この路線の北部のガバナーステーションは、防食計画において、自動制御式の外部電源装置の設置が予定され

図9 管対地電位差 P_{30}' , P_{11} 同時測定結果

図10-1 P_{30}'/S 対 P_{27}'/S 相関図

図10-2 P_{30}'/S 対 P_{11}/S 相関図

図11 電位変動幅とその分布

ていたので、即座に、これも計画中に含まれていた南側のガバナーステーションとともに、その設置工事が開始され、電源装置が完成していたのを幸いに、ガバナーステーションの工事と併行して電気防食工事はきわめて短時日に完成し稼動にはいった。本自動制御方式外部電源装置はサイリスターに、制御入力を加えて直流出力電圧を変動せしめる負帰還型比例制御方式のコントローラーであって、通常の制御機器と同様、制御量の検出端は点である。しかるに制御対象は長さを持った管路であり、その管路は図11のごとき電位分布で、かつ図9~10に見るごとく両端で逆相関の変動をなしている。制御端における制御により P_{30} 付近の電位が一定になれば、その反対側の P_{11} はかえって変動幅が大きくなるとともに、制御電位の設定いかんによっては、 P_{11} の電食危険電位は解消しないのではないかということは、前述の図5の推論から容易に想定されるところである。図12にその制御結果の電位分布を、図13にその測定記録の一部を示す。この結果は設定電位を、電位検出位置 P_{30}' の電位変動の最卑値よりさらに卑な電位に設定することにより、 P_{11} における電食危険電位の出現は解消することがわかった。

図 12-1 電位設定 $-1,900\text{ mV}$ 時の制御結果 図 12-2 電位設定 $-2,100\text{ mV}$ 時の制御結果 図 13 管対地電位 P_{30}' , P_{25} , P_{17} , P_{11} ならびに直流出力同時測定結果

図14に制御特性として電位-電流曲線を示す。一般に負帰還型比例制御方式の特徴として、出力増加時における設定値よりのズレであるオフセットは P_{29} の特性曲線にはなだ端的に現われている。一方 P_{11} における特性曲線はこのオフセットが現われず通常の外部電源装置からの出力変化のごとき特徴を示しており図12~13と相まって、定値制御としては P_{11} 、すなわち管路の端末は完全に制御不能な状態になっていることがわかる。これを解消するにはこの端末にも自動制御方式による外部電源装置を設置する必要があるが、図12~13でわかるごとく、電位変動幅が電食危険電位を脱し、かつ、有害な過防食状態も現われないので、パイプライン建設途上としては、まずまずの成果と考える。この制御不良の状況は次項で述べるごとく、管路完成と同時に自動的に解消し

た。

4.3 自動制御の平衡配置

前記 P_{11} のとき変動は、これと向い会った P_7 にも発生していた。この解消は P_{11} や P_7 に自動装置をつけるのと全く同じ理由で P_{11} と P_7 とが管路として接続されれば P_1 のガバナステーションの自動制御外部電源装置が平衡動作に入るので済むはずである。点制御の機械で、長さを持った、しかも被制御量が長さ方向に異なった分布をしている制御対象を制御しようとするれば、どうしても複数の制御装置が必要であるが、おおむねパイプラインと迷走電流の関係は、ライン軸上の迷走電流の往復動作と考えられるから、迷走電流に対しては、その往復の道程と、外部電源装置の防食範囲の両方を勘案して、2個以上の装置を平衡動作させれば済むはずである。

図14 制御特性

流電陽極による場合は3項に述べたごとく、比較的、短い距離の分散配置であるので、平衡状態を作り易いことは言うまでもない。管路が完成して P_{11} や P_7 とが接続されて上記のような平衡状態が現出してからの管対地電位分布を図15に示す。

5 ま と め

以上長大パイプライン建設途上の防食の問題について、その一端を述べたがパイプライン建設途上の問題点は、このほかにも多々存在するところであり、それが理論上、技術上のテーマとして一元的に結びつかないところにあるため、本稿もいささかテーマが分散し、焦点のボケたレポートになった。ここで気の付いたことを箇条書きに並べ結びとしたい。

1) パイプラインは、その工期やグレードにもよる

図15 完成後の電位分布

が、建設の途上においても防食—電気防食の設置が必要である。

2) 地表面の電位勾配が余り急峻でない場合は、暫定的な流電陽極でも十分防食電位の保持は可能である。

3) 地表面の電位勾配が急峻になってくると、暫定少数の陽極では間に合わない。強力な外部電源装置が必要になる。

4) 対地電位の自動制御化は今後必須のものとして定着してゆくであろうが、長さを持ち変動の分布が正相関でないようなラインについては、複数個のコントローラーで電位の平衡を保つように考えなければならない。

(昭和47年3月14日受理)

参 考 文 献

1) 市野瀬博美：電食防止研究委員会資料，No. 2008 (1970).
2) 金井一男，千葉智祥：第14回腐食防食討論会講演要旨集，B203 (1967).