

# 低ガス圧電力ケーブルのガス漏えい点検出方法

## Practice of Detecting Gas Leakage from Low Pressure Gas Filled Cables

中西一清\* 森脇松男\* 今井利宣\*  
Issei Nakanishi Matsuo Moriwaki Toshinobu Imai

### 内 容 梗 概

低ガス圧ケーブルにガス漏れが発生した場合の漏えい点検出方法について述べる。また日立電線株式会社  
昭和33年9月に布設した日本国有鉄道横浜2号線(線路長4,300m)についてガス模擬漏えい試験を実施した結  
果を説明する。

### 1. 緒 言

低ガス圧ケーブルは絶縁層より適当な油抜きを行い約 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ の窒素ガス圧を加えたものである。その特長は絶縁油の移動が少ないこと、自己回復作用が期待でき、経年変化により性能が向上すること、鉛被あるいは接続部の鉛工箇所にかれつが発生した場合にガスが漏えいして湿気の侵入を防ぐことなどである。ケーブル系統にガス漏れが発生したことはケーブルのガス圧が低下することから警報発信装置が動作し、これにより知ることができる。しかしこれだけでは漏えい点を知ることはできない。このためにガス漏えい点検出の技術が必要となる。このたび日本国有鉄道横浜2号線(横浜変電所—新子安変電所)20kV $3\times 250\text{mm}^2$ 低ガス圧ケーブル線路長4,300mにおいて日立電線株式会社で考案した改良等圧法および比較法を用いて模擬ガス漏えい点を作って実験を行った。その結果ガス漏えい点の検出は十分な精度をもって可能であることがわかった。

### 2. ガス漏えい点の検出方法

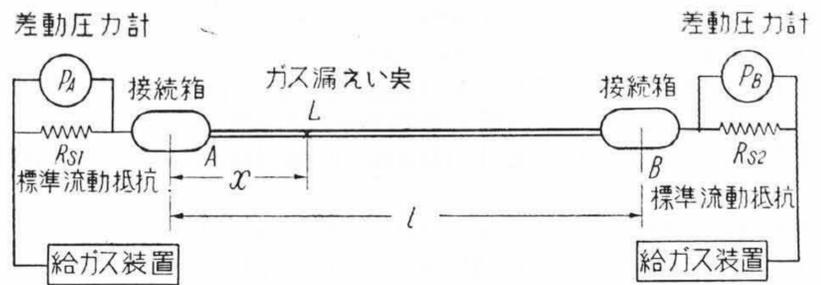
低ガス圧ケーブルのガス漏えい点検出方法としては現在種々の方法が考えられているが、そのおもなものはつぎのようである。

- (1) 圧力計を利用する方法
  - (a) 差圧法<sup>(1)</sup>
  - (b) 二区間法<sup>(1)</sup>
  - (c) 進行測定法<sup>(1)</sup>
  - (d) ガス圧低下警報器を取付ける法<sup>(2)</sup>
- (2) 差圧計を利用する方法
  - (a) トリプルマンメータ法<sup>(3)(4)</sup>
  - (b) 並行健全回線を利用する法<sup>(5)</sup>
  - (c) 改良等圧法<sup>(6)</sup>
  - (d) 比較法<sup>(6)</sup>
- (3) ケーブルのガス流動方向を検知する方法
  - (a) ガス流動方向指示器を取付ける法<sup>(7)</sup>
  - (b) 熱伝導を利用する法<sup>(2)</sup>
  - (c) ケーブルにハロゲン化合物を封入し漏えいガスをハロゲン検出器で検知する法<sup>(2)(8)</sup>
  - (d) ケーブルに放射性同位元素を封入し漏えいガスを放射線検出器で検知する方法<sup>(2)(8)</sup>

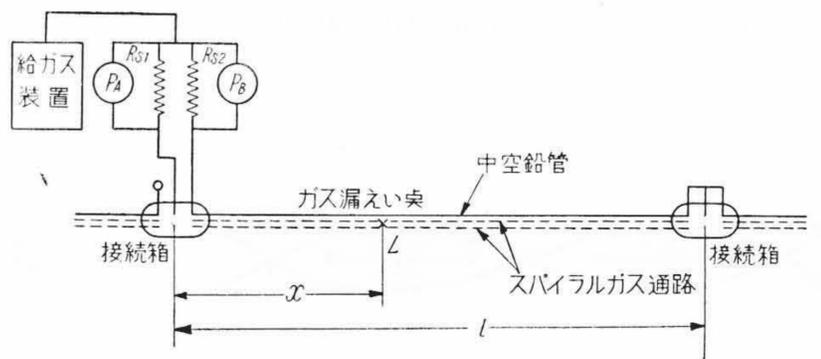
これらの方法のうち、国内では二区間法、トリプルマンメータ法などが一般化されておりこれらによるガス漏えい点の検出の実施例が報告されている<sup>(1)(3)(4)</sup>。

(1)の圧力計を利用する方法はおもにガスの漏えい量が多い場合に適用される。これら一連の方法は測定方法が簡単であるという特長があるが、ケーブルの圧力測定の精度が限られているので測定感

\* 日立電線株式会社本社



第1図 比較法の原理



第2図 比較法の接続図

度は悪い。またこれらの方法はケーブルの圧力分布が過渡状態にあるときには測定しにくい。ケーブルが長い場合には測定器の結び込みなどによって起きた圧力分布のじょう乱がなくなるまで測定を行わなければならないので測定時間が長くなる欠点がある。

(2)の差圧計を利用した一連の方法は(1)の圧力測定を差圧測定に置換えることにより測定感度を上昇させたものであるが(1)の場合と同様にケーブルの圧力分布が過渡状態にあるときは測定しにくく測定時間が長くなる欠点がある。

(3)のガス流動方向を検知する一連の方法は圧力分布が過渡状態にある場合でも測定できるのでケーブルが非常に長い場合に好都合であるが、特殊付属品を必要としたり、異種ガスをケーブルに封入する必要があるなどの問題がある。

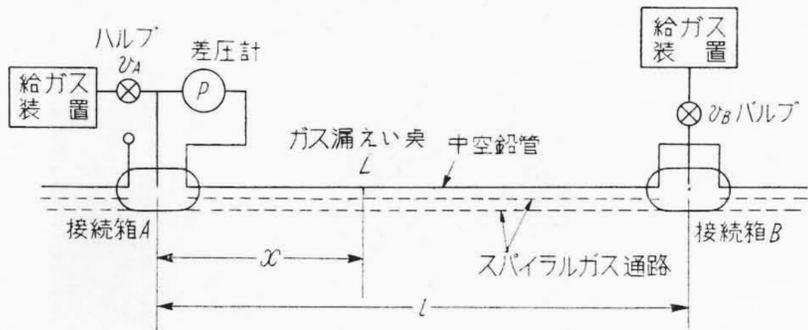
本稿ではトリプルマンメータと同程度の感度をもってガス漏えい点を検知できた改良等圧法、および比較法の測定原理とその実施例について説明する。

### 3. 測定法の原理

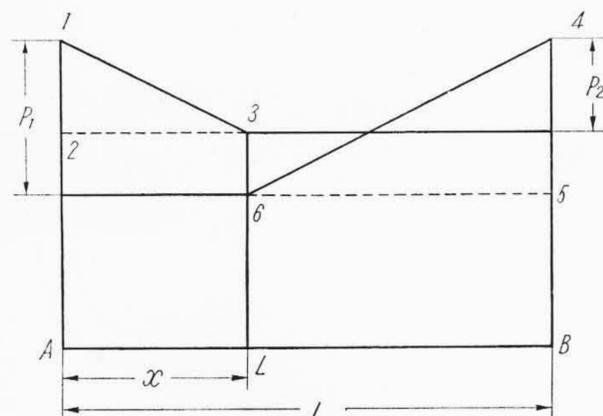
#### 3.1 比較法の測定原理

この方法は故障点を含むケーブル両端から等しい圧力で給ガスした場合に両端から故障点に向かって流れるガス流量の比が距離の比に逆比例することを利用したものである。

この方法の原理は第1図のとおりであり、ケーブル両端に給ガス装置を標準流動抵抗 $R_{S1}$ 、 $R_{S2}$ を介して接続してある。この場合両給ガス装置の圧力は相等しいものとする。この接続で $R_{S1}$ 、 $R_{S2}$ における圧力降下 $P_A$ 、 $P_B$ を測定すればA端からガス漏えい点までの流動抵抗 $R_X$ は(1)式によって求められる。



第3図 改良等圧法の原理



第4図 改良等圧法の圧力分布図

$$R_x = \frac{(P_B - P_A)R_{S2} + P_B R_L}{\frac{R_{S2}P_A + P_B}{R_{S1}}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $R_L$  はケーブル全長の流動抵抗である。また  $R_0$  をケーブル単位長の流動抵抗とすればA点よりガス漏えい点までの距離は(2)式で求められる。

$$x = \frac{R_x}{R_0} = \frac{(P_B - P_A)l_{S2} + P_B l}{aP_A + P_B} \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $a = \frac{R_{S2}}{R_{S1}}$

$l_{S2} = \frac{R_{S2}}{R_0}$  :  $R_{S2}$  のケーブル相当長

$l = \frac{R_L}{R_0}$  : ケーブル互長

この方法を実際の低ガス圧ケーブルに適用する場合、両端よりまったく等しい圧力で給ガスすることは事実上不可能であるから第2図に示すように中空鉛管ガス通路を利用して一方のケーブル端より給ガスを行えばよい。すなわちこの場合にはケーブル全体の流動抵抗  $R_L$  はみかけ上(3)式で示されることになる。

$$R_L = R_S + R_l \dots\dots\dots (3)$$

ここに  $R_S$  : スパイラルガス通路の流動抵抗  
 $R_l$  : 中空鉛管ガス通路の流動抵抗

(1), (3)式よりガス漏えい点までの距離  $x$  は(4)式により求めることができる。

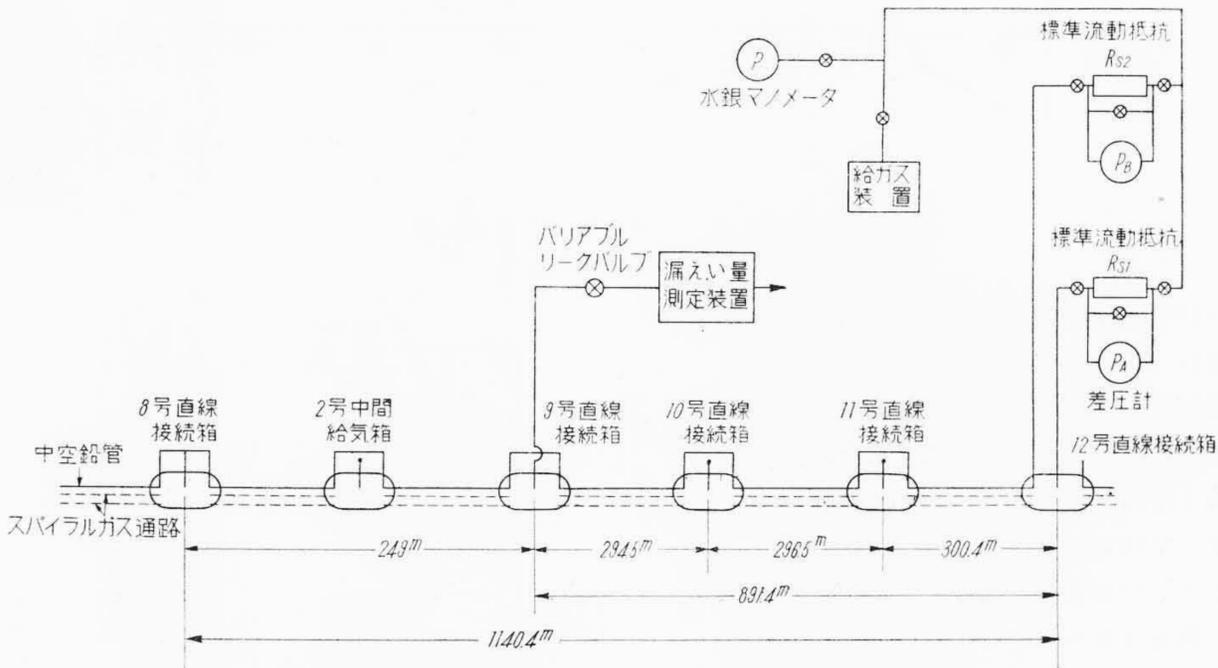
$$x = \frac{(P_B - P_A)l_{S2} + P_B(1+b)l}{aP_A + P_B} \dots\dots\dots (4)$$

ここに  $b = R_S/R_l$  でスパイラルガス通路の流動抵抗と中空鉛管ガス通路の流動抵抗の比である。

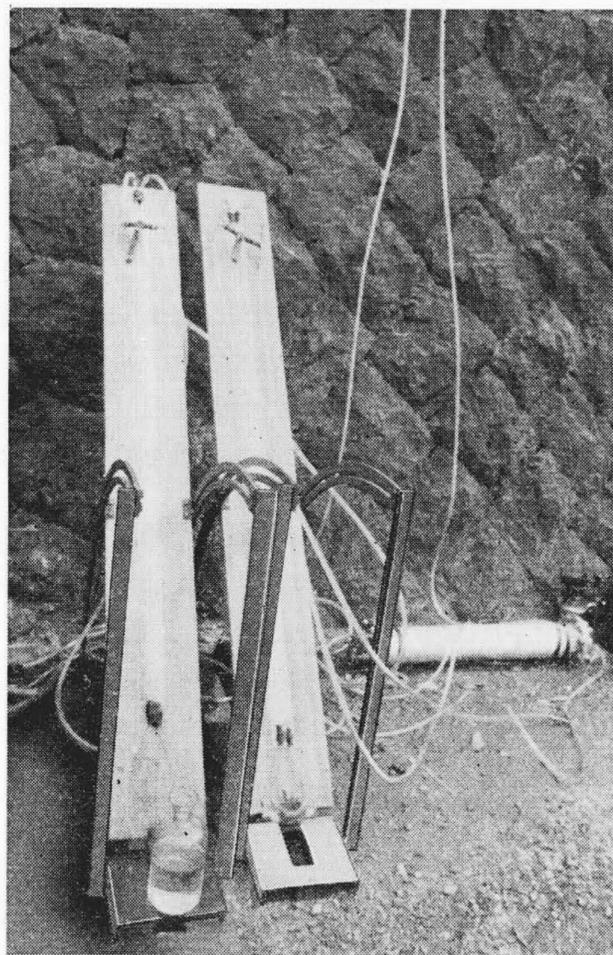
3.2 改良等圧法の測定原理

この方法は従来の等圧法を改良し差圧計を用いることによって測定感度を増加させたものである。第3図に示すように差圧計は接続箱と中空鉛管ガス通路の間にそう入し中空鉛管ガス通路を通して接続箱A,B間の圧力差を測定できるようにする。測定は最初にA,次にBより給ガスを行いそれぞれの場合のA,B間の圧力差  $P_1, P_2$  を測定し、このときの圧力分布曲線を描けば第4図のようになる。ケーブルの長さ方向のガス流動抵抗が均一であり、A,Bどちらから給ガスしても漏えい量に変化がないものとすれば(5)式によりA点からガス漏えい点までの距離  $x$  が計算できる。

$$x = \frac{P_1}{P_1 + P_2} l \dots\dots\dots (5)$$



第5図 比較法の測定器接続図

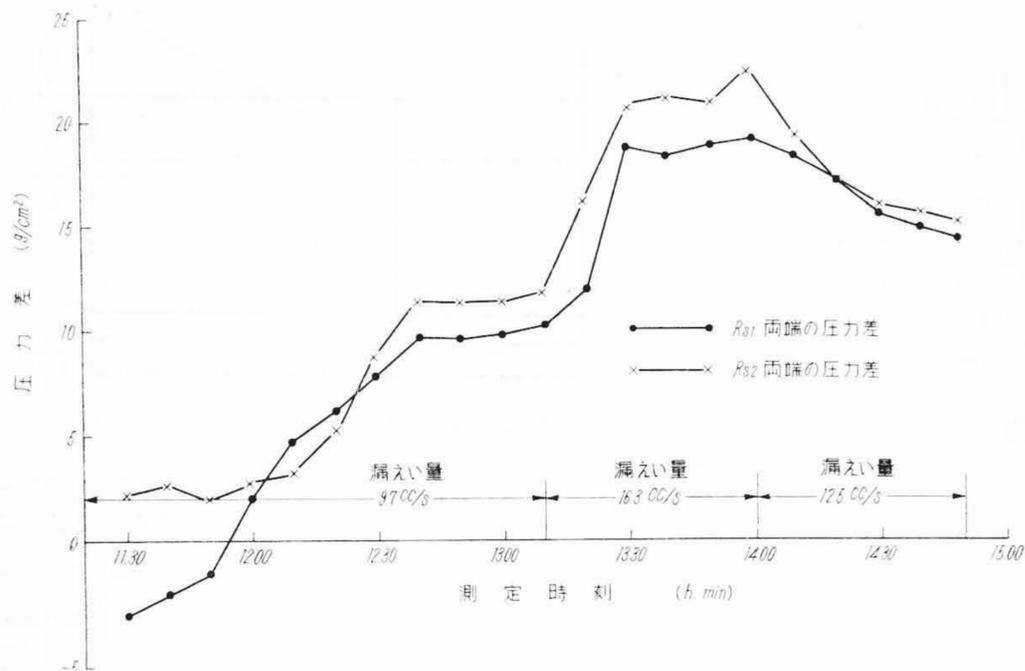


(差圧計と右端は標準流動抵抗)  
 第6図 比較法の測定状況

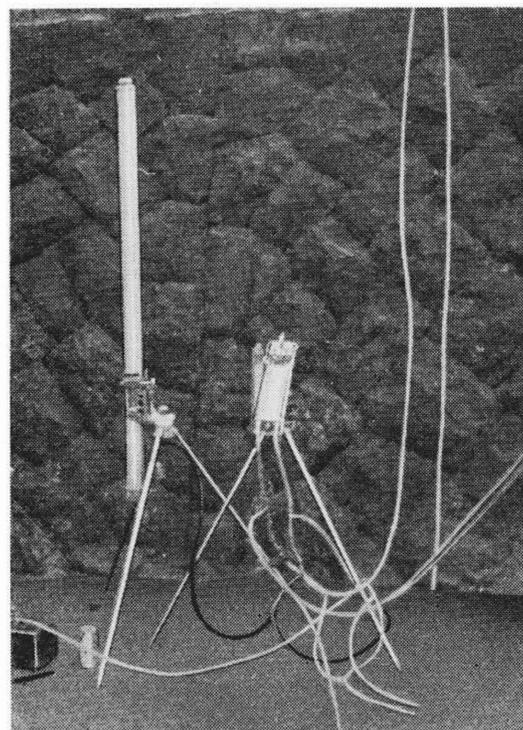
4. ガス模擬漏えい試験の実施例と結果

4.1 実施方法

日本国有鉄道横浜2号線においてガス模擬漏えい試験を8号および



第 7 図 比較法の圧力変化曲線



(水銀マンノメータと差圧計)  
第 9 図 改良等圧法の測定状況

び12号直線接続箱の間1,140.4mの区間で行った。この区間の9, 10, 11号直線接続箱および2号中間給気箱は給ガスシステムをケーブルと同等にするため接続換えを行った。すなわち三叉銅管をはずして中空鉛管ガス通路が「直通する」ようU字形銅管を接続し、接続箱内部へ開放するユニオンは盲とした。これで各接続箱は給ガスシステムからみるとケーブル本体と同様になる。

ガス漏えい点は9号直線接続箱とし可変リークバルブを通して漏えいさせ、漏えい量はメスシリンダ中の水に置換して測定した。

#### 4.2 測定方法

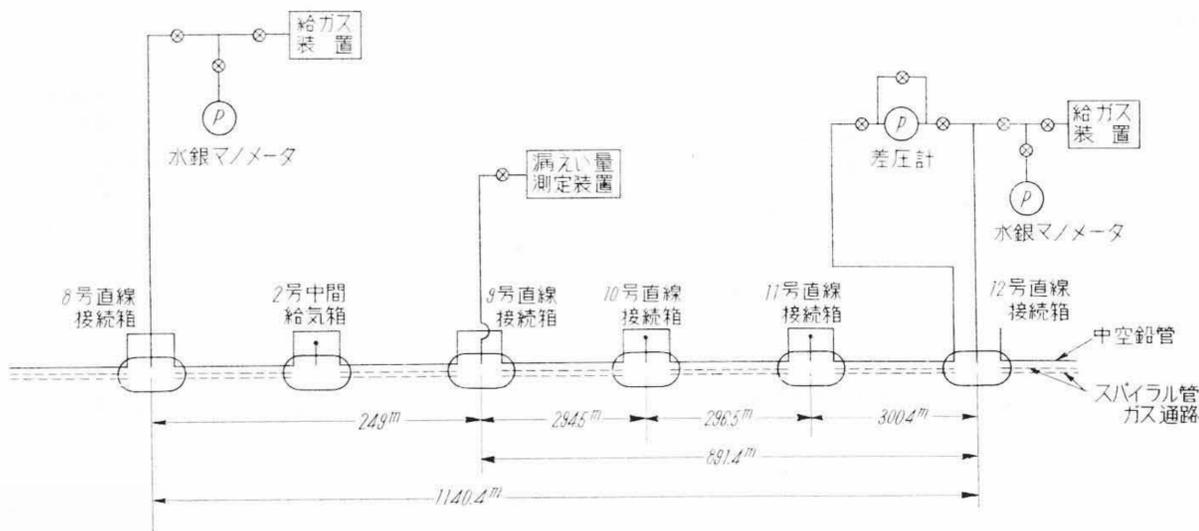
##### 4.2.1 比較法によるガス漏えい点の測定

測定時における測定器具の接続を第5図および第6図に示す。また第1表にガス漏えい点検出に必要な諸量を示す。漏えい点よりガスを漏えいさせた場合の標準流動抵抗  $R_{S1}$ ,  $R_{S2}$  による圧力降下の変動を第7図に示し、この圧力変動曲線で圧力差がほぼ一定の値に落ちていた時のガス漏えい点算定距離を第2表に示す。

##### 4.2.2 改良等圧法による漏えい点の測定

このときの測定器具の接続を第8図および第9図に示し、測定した圧力変化曲線を第10図に描く。ガス漏えい量に対する圧力の変化を図示すれば第11図となる。

漏えい点はこの図の任意の同一流量に対する差圧  $P_1$ ,  $P_2$  の値を用いて計算すればよい。その結果を第3表に示す。



第 8 図 改良等圧法の測定器具接続図

第 1 表 ガス漏えい点算定に必要な諸量

ケーブル流動比抵抗 (スパイラルガス通路の流動比抵抗)	$5.20 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^6/\text{s}$
中空鉛管ガス通路の流動比抵抗	$2.96 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^6/\text{s}$
標準流動抵抗 $R_{S1}$ のケーブル相当長	456 m
標準流動抵抗 $R_{S2}$ のケーブル相当長	502 m
ケーブル互長 (試験区間長)	1,140.4 m

第 2 表 比較法によるガス漏えい点測定

測定時刻 (h:min)	漏えい量 (cc/s)	圧力差 (平均)		算定距離 (m)	誤差 (%)
		$P_A$ (g/cm <sup>2</sup> )	$P_B$ (g/cm <sup>2</sup> )		
12.40~13.10	9.7	9.82	11.40	950	5.16
13.30~14.00	16.3	18.83	21.14	933	3.68
14.20~14.50	12.5	14.23	15.04	900	0.79

第 3 表 改良等圧法による測定結果

算定距離 (m)	誤差 (%)
806	7.4

第 4 表 比較法と改良等圧法の比較

比較項目	比較法	改良等圧法
測定方法	多少複雑	簡単
測定セット	多少複雑	簡単
所要測定時間	30分以上2時間程度	比較法の2倍必要
精 度	良好, ただし布設後長時間を経たケーブルで流動抵抗に変化をきたしているときは誤差大	良好

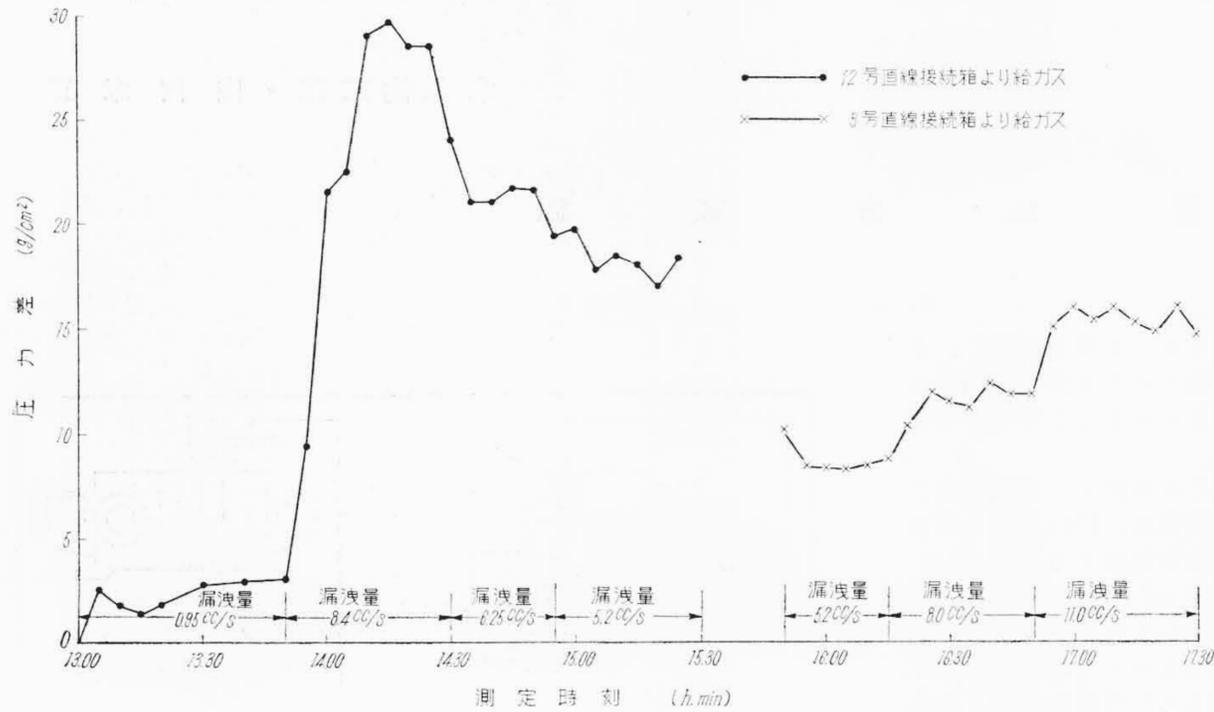
### 5. 結果の検討と両測定法の比較

#### 5.1 比較法

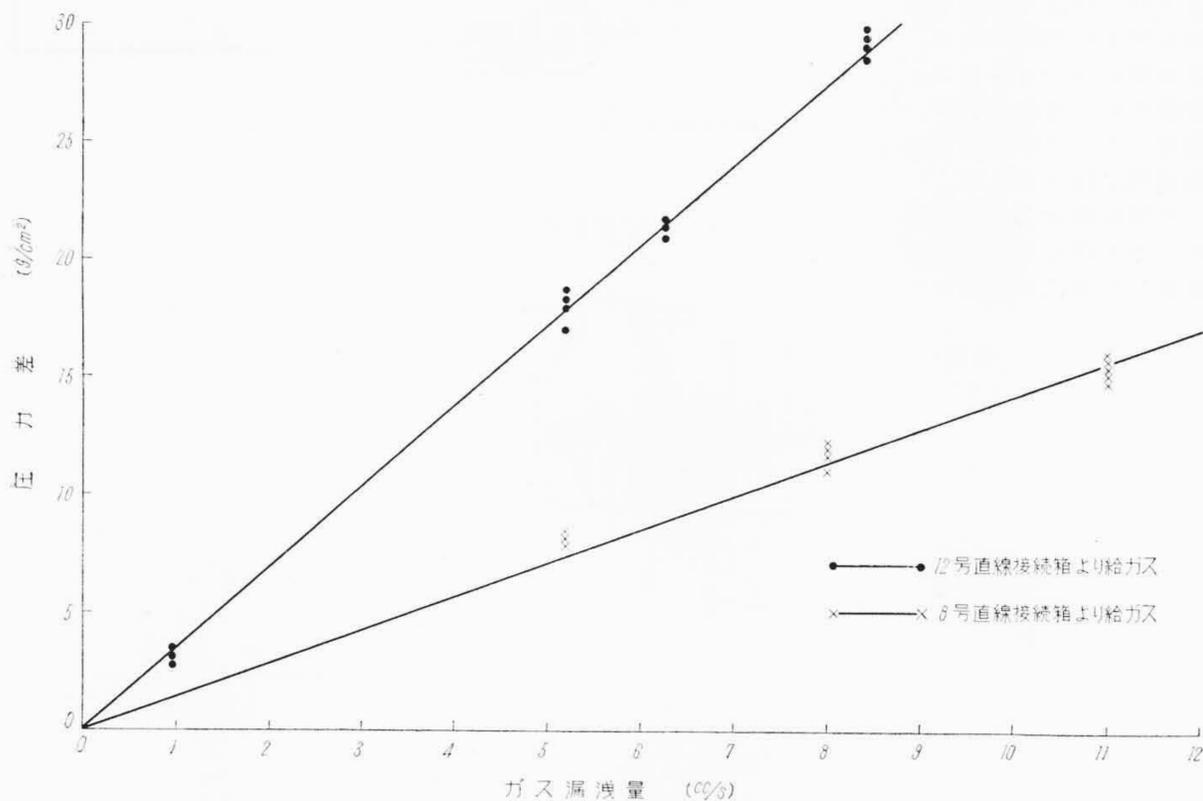
この方法は標準流動抵抗とケーブルのスパイラルガス通路の流動抵抗を比較するような形で故障点を標定するために、スパイラルガス通路の流動抵抗がケーブル製造直後の値に比較して相当変化している場合、たとえば絶縁油がスパイラルガス通路に浸出してくるような場合とか、乱流が起るような大きなガス漏えいの場合には適応できないことも予想される。

#### 5.2 改良等圧法

この方法はガス漏えい点を境にして左右のケーブル流動抵抗を比



第10図 改良等圧法の圧力変化曲線



第11図 改良等圧法の流量圧力降下曲線

較する形で漏えい点を検出するものであるからケーブル流動抵抗が長年の使用で変化しても局部的なものでなければ誤差の原因とはならない。

次に A 点より給ガスした場合と B 点より給ガスした場合において漏えいガス量が増減すれば第11図の圧力線図のこう配が変化するので誤差の原因となることが考えられるが、給ガス点から漏えい点に至る圧力降下はケーブル内圧(約1気圧)に比較して小さいので漏えいガス量の変化は小さい。たとえば本試験の場合にはケーブル内圧に比べて2%程度であった。実際のガス漏えい孔は不安定なものでありこの程度の流量変化は常に存在するものと考えられるので別に問題とはならない。

5.3 両測定法の比較

第4表に比較法と改良等圧法の比較を示す。両者とも測定所要時間をかなり必要とする点に問題があるが改良等圧法がすぐれているといえる。測定に長時間を要するのはこれらの方法に限らずトリプルマノメータ法をはじめとして、ガス圧力ガス流量が定常状態に達

してからでなければ測定しにくい方法全部に対していえることである。

本試験ではケーブル条長が長いために、測定器具の取付時に発生したガス圧分布のじょう乱および漏えい量を変化させた際に生じたガス圧分布のじょう乱が終るまでの時間がかかり長く完全に平衡するまでには恐らく2時間以上を必要とすることが予想された。測定の際に注意しなければならないことは給ガス圧力の変動である。これは給ガス圧力の変動値が瞬間的に差圧計の読みの変動値となるからで、漏えいガス量が小さいときは差圧計の読みも小さいから大きな誤差の原因となる。

6. 結 言

日本国有鉄道横浜2号線 20kV 3×250mm<sup>2</sup> 低ガス圧ケーブル 4,300 mにおいて模擬ガス漏えいを起させて、比較法および改良等圧法により漏えい点の検出を行った。その結果を要約すると次のようになる。

- (1) 本試験ではケーブル全長が長く、ガス圧分布が完全に平衡するまでデーターを取り得なかったが、比較法においてはガス漏えい量約500 cc/minで誤差約8%、漏えい量1,000 cc/minで誤差約6%、改良等圧法で7%とこの段階においては満足な結果が得られた。
- (2) 上記の結果よりこれらの方法を繰り返して漏えい点を追跡した場合、漏えい量によって差はあるが、300 mの接続箱間隔の場合には約20m程度の誤差範囲で漏えい点を標定することができる。

- (3) ケーブル全長が非常に長い場合には圧力計、差圧計を利用する方法は不適當で、放射性同位元素による検出法が適していると思われる。
- 終りにのぞみ、この試験を実施するに当り日本国有鉄道関係各位の懇切なるご指導、ご援助を賜ったことに厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 齊藤： 藤倉電線技報 5号 73 (1954-7)
- (2) L.G. Brazier, D.T. Hollingsworth, A.L. Williams: P.I.E.E., 100, Part II, 641 (1953)
- (3) 藤沢, 津村: 住友電気, 65号14(1957-5)
- (4) 藤沢, 津村, 外: 電気学会東京支部大会 163 (昭 29-10)
- (5) 藤倉電線: 特許公報 昭28-398
- (6) 今井, 中西, 森脇: 電四連大 618 (昭 34-4)
- (7) C. T. Hatcher: T. AIEE, 63, 790 (1944)
- (8) C. T. W. Sutton: CIGRE No 202 (1952)



特許第257475号

木暮健三郎・山内章正

逆止弁装置

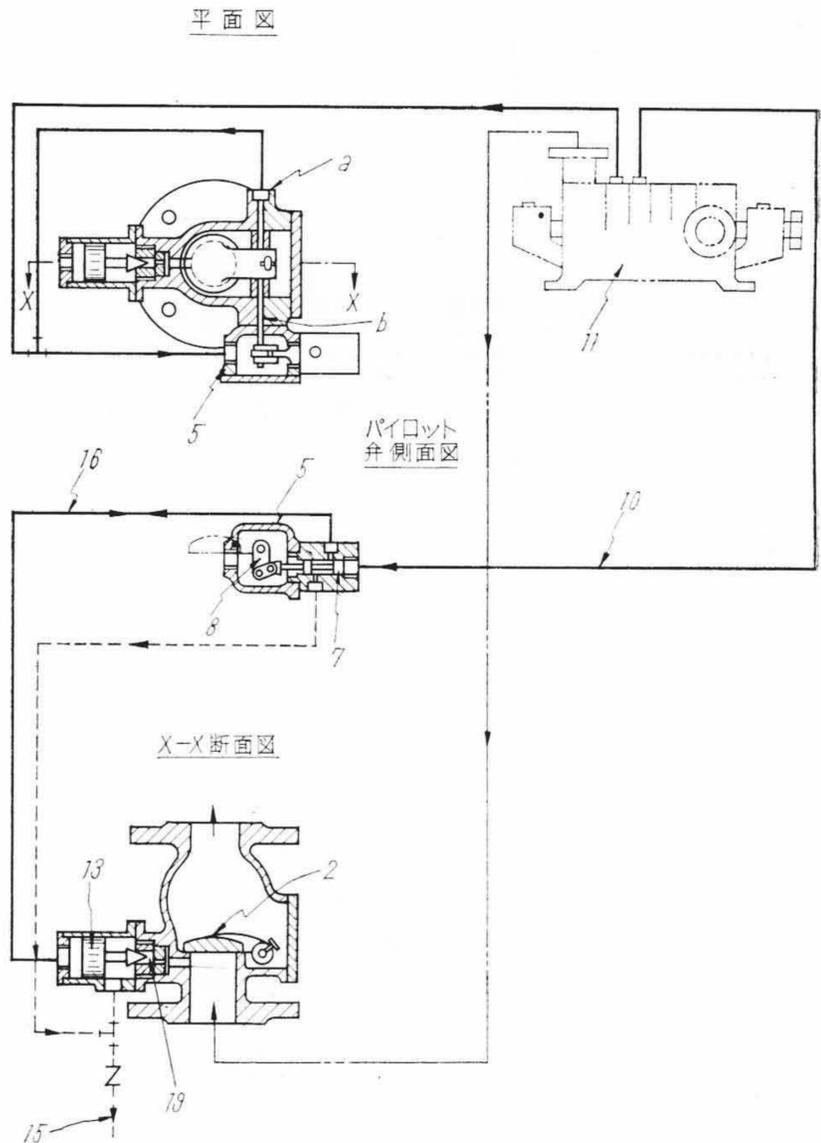
この発明は主弁に連動するレバ装置にパイロット弁を連結し、そのパイロット弁の両側に相異なる圧力を作用させて主弁を閉鎖する補助力を生じさせるようにし、カウンターウエイトなしで主弁の閉鎖を迅速に行わせるようにしたものである。

ポンプ11を運転して揚水を行うと、主弁2は開きレバ装置8を介してパイロット弁7が左行する。そのため導管16、10は連通し圧力水の作用により逃し弁13は右行して連通口19を閉鎖する。

パイロットケース5内にはバルブ軸軸受部 a, b から漏洩する高圧の吐出水、ポンプ11の高圧側圧力水が流入してパイロット弁7の左側に作用し、またパイロット弁7の右側にはポンプ11の低圧側圧力水が作用しているから、パイロット弁7はその両側に作用する圧力差により常に右方に押圧される。したがって、主弁2はレバ装置8を介して常に閉鎖しようとする力を受けながら適宜開度に保持されているため、ポンプ11の運転が停止すれば主弁2は逆流水による圧力と前記閉鎖力との協力により迅速にしかも完全に閉鎖される。ポンプ運転中になんらかの原因により主弁2が開かないときには、逃し弁13の左側の圧力水はパイロット弁7を経て排出されるため、逃し弁13は左行して連通口19を開く。その結果、ポンプの吐出水の一部は導管15を経て排出されるのでポンプの過熱は防止される。

この発明によれば、カウンターウエイト、水封装置および漏洩水処理装置などを必要とせず、水封のためのパッキンなどの摩擦力がないから主弁開閉動作は軽快となり、装置全体が完全に水封されているから圧力水の漏洩する心配はない。

(野村)



Vol. 22 日 立 No. 10

- ◎オートライオン
- ◎電気熔接の話
- ◎活躍する水中モートルポンプ
- ◎柔よく剛を制す
- ◎ブルドーザの働き
- ◎東京都の地下鉄
- ◎ビジネス特急に公衆電話
- ◎ガラスを使わない真空管
- ◎磁石の話
- ◎手軽に楽しめる録音・再生
- ◎用途の広い産業用電気掃除機

発行所 日立評論社  
 東京都千代田区丸の内1丁目4番地  
 振替口座東京71824番  
 取次店 株式会社オーム書店  
 東京都千代田区神田錦町3の1  
 振替口座東京20018番

Vol. 21 日立造船技報 No. 2

- ◎原子炉用ステンレス鋼のTIG溶接の研究
- ◎ルンドバーク型多重効用式真空蒸気装置
- ◎支索を有するマストの計算図表について
- ◎重心試験時の張索の影響について
- ◎共振型疲れ試験後の研究
- ◎放電加工改良の基礎的研究(1)  
 ……電極消耗比, 放電回路の考察……
- ◎ねじりを受ける切欠き軸の光弾性的研究
- ◎特許, 新案紹介, 製品紹介

本誌につきましてのご照会は下記発行所へ  
 お願いいたします。

日立造船株式会社技術研究所  
 大阪市此花区桜島北之町