

パイプタイプガスコンプレッションケーブルの諸特性

Characteristics of the Pipe Type Gas Compression Cable

今井敏雄* 庄司民良* 渡辺靖明*
 Toshio Imai Tamiyoshi Shōji Yasuaki Watanabe
 外山泰久* 星野弘之* 比企野恭二*
 Yasuhisa Toyama Hiroyuki Hoshino Kyōji Hikino

内 容 梗 概

日立電線株式会社電線工場日高分工場建設にあたって、実負荷試験場が建設されたが、ここの第1号ケーブルとしてパイプタイプケーブルを布設し試験を開始した。

ケーブルの特性はガスコンプレッション形としてすぐれた値を示し、終端箱は種々異なった形のものを布設し特性を検討している。接続箱には特殊なダイヤフラムシースを用いて成功した。

最も問題となる鋼管の防食には、流電陽極法と外部電源法を比較しているが、外部電源式のほうが制御が容易で恒久的であるという点で有利である。

布設後3日間にわたる通電試験を行い、パイプ表面温度の測定、導体温度の測定を行い、計算結果と比較検討した。また三相インピーダンスも測定したが、通電による大きな変化は認められなかった。

1. 緒 言

パイプタイプケーブルは1931年ロンドンに布設されて以来、欧米において数多くの布設が行われてきた。わが国においても昭和31年以来、主として60 kV級の回路に使用されはじめた。

このタイプのケーブルは、布設条件によってはOFケーブルよりも経済的に安くなる点に特長があり、絶縁層の種類をたとえばコンプレッション形とか、プレッシャ形に変えることによって、種々な布設条件、たとえば水平布設、傾斜地布設、大容量回線などの使用目的に適合させることができる。また高ガス圧に関する技術を適用していわゆる自蔵形ケーブルを作れば、管路布設にも使用可能となる。

このようにいくつかの利点を有し、比較的古くから使用されているケーブル体系であるにもかかわらず、技術的にはまだ研究を要する問題がある。たとえば過渡的の油圧変動の問題⁽¹⁾、鋼管の防食の問題、付属品類特に終端箱、接続箱などの構造上の問題、ケーブルの熱的問題などである。

筆者らは、今回日立電線株式会社電線工場日高分工場建設にあたって設けられた実負荷試験場の第1号ケーブルとして、パイプタイプガスコンプレッションケーブルを取り上げ、上記の諸問題を継続的に長期間検討することとし、60 kV 3×150 mm²のポリエチレンシースコンプレッションケーブルおよびその付属品の試作と布設を行い、実験に着手した。この報告では、現在までの実験結果の概要について述べることにする。

2. ケーブルの概要

布設系統を第1図に示す。スパン約50mの中央部に5mRの直角曲りを2箇所入れ、またその間に直線接続箱1個を入れた。両端立上り部にはコンベンセータ2個を設置したが、後述するように2種類のものを作り比較検討を行うようにした。終端箱は種々な形式のものが実際に使用されているが、今回は5種類の異なった様式のものを取付けて比較することにした。

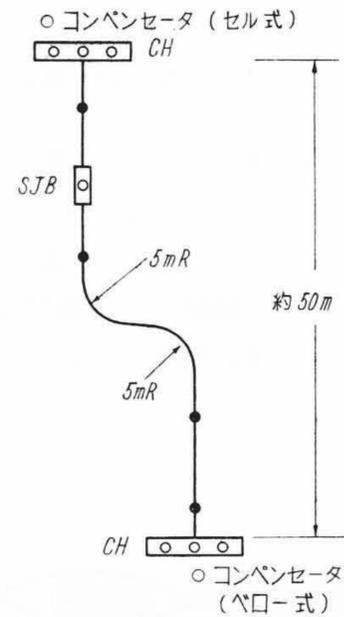
また鋼管の溶接部には電気防食による鋼管電位の測定用ターミナルを取付け、定期的に電位実測を行うようにした。

各部品の詳細を以下に順を追って紹介する。

2.1 ケーブルの構造

ケーブルの構造を第1表に示す。

* 日立電線株式会社電線工場

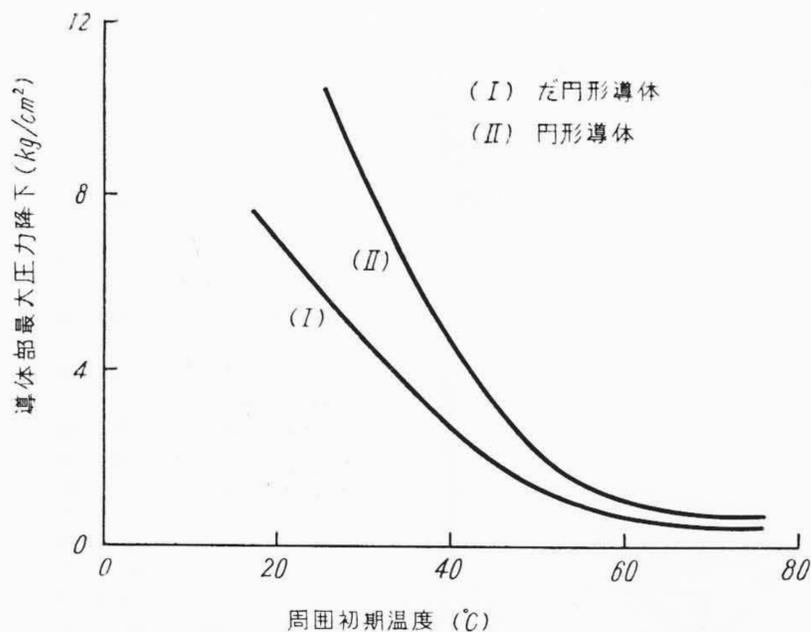


第1図 布設系統図

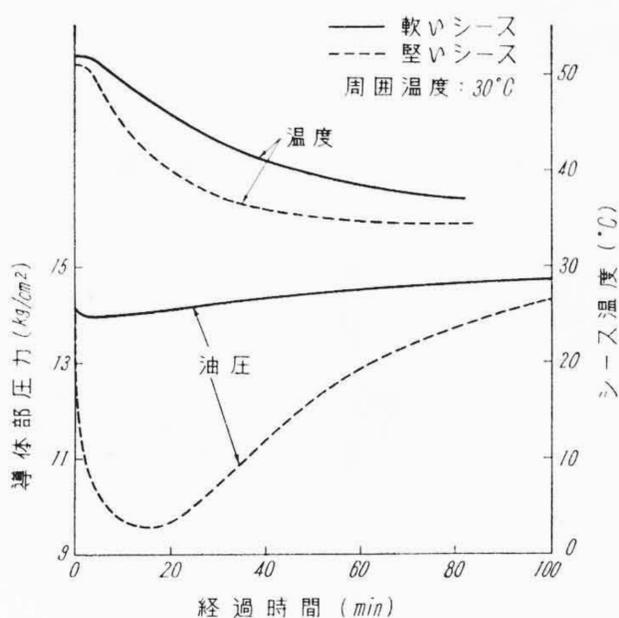
第1表 ケーブル構造表

項 目	単 位	規 格 値
公 称 電 圧	V	60,000
導 体	公 称 断 面 積	mm ²
	寸 法	mm×mm
	占 積 率	%
絶 縁 体 厚 さ	mm	7.6
シ ャ へ い 体 厚 さ	mm	0.4
PE シ ー ス 厚 さ	mm	2.0
補 強 真 ち ゅ う テ ー プ 厚 さ	mm	2×0.2
共 巻 PE テ ー プ 厚 さ	mm	2×0.2
スキッドワイヤ(3本) 仕 上 寸 法	mm	2.6×5.1
	mm×mm	33.8×38.3

まず導体はコンプレッションケーブルの場合は油の膨張収縮を半径方向の変形で補償するためだ円形にする必要がある。だ円率をいくらかにとるかにについては作業性と導体部の圧力降下を勘案して決めなければならないが、一例として丸導体と13.0:17.5を比較したデータを第2図に示す。これは60 mm²の圧縮導体による実験結果であるが、周囲温度を20°C冷却した場合に、導体部の油圧降下値がだ円形と円形でどれくらい違うかを示したものである。またこの降下値はだ円率によっても変わってくるが、今回は作業性(特に紙巻張力の均一性)の点より、13.0×17.5を採用した。



第2図 だ円形導体と円形導体の比較



第3図 ダイアフラム作用の比較

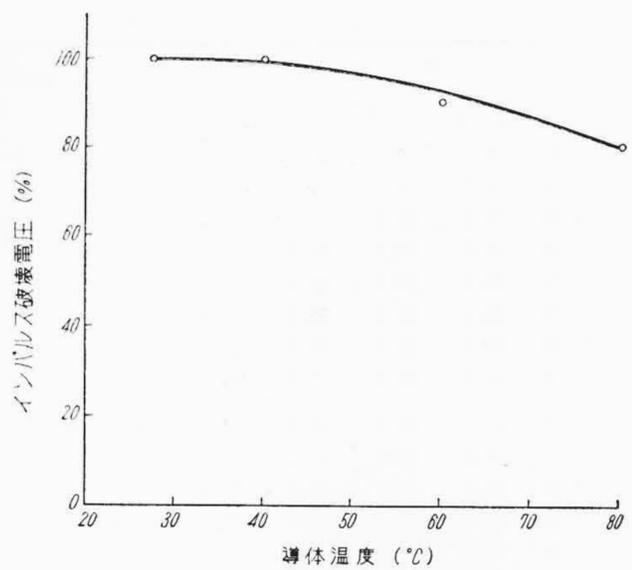
つぎに絶縁厚さは、60 kV 級ではコンプレッションケーブルの場合には主として衝撃電圧特性が問題となる。これは印加ガス圧の影響をほとんど受けないといわれているが当工場における実測値や、C. T. W. Sutton 氏⁽¹⁾などの実測値を参照すると、カーボン紙巻きのコンプレッションケーブルでは、常温において約 130 kV/mm の衝撃強度を有するとみてよい。この場合注意を要することは、コンプレッションケーブルでは油の粘度特性のため温度が上昇すると耐圧値が下がることである。当工場における実測結果および P. G. Priaroggia 氏⁽²⁾、C. T. W. Sutton 氏⁽¹⁾などの説を参照すると、80°C における衝撃強度は 100 kV/mm となる。

一方ケーブルシステムの必要衝撃強度は線路の避雷器の制限電圧により決まるが、一般には BIL の 20~30% 増しをとるようにしている。そこで 60 kV 系統の BIL 350 kV の 30% 増しを耐電圧値とし、さらにその 15% 増しを破壊電圧とみて計算すると 150mm² の場合 7.6mm となる。

つぎにダイアフラムシースは耐油性のポリエチレンを用いなければならないことは第 1 要件であるが、ダイアフラムアクションにも留意する必要がある。この実験結果の一例を第 3 図に示す。

補強層は真ちゅうテープ 2 枚をポリエチレンテープと共に巻きにして用いた。またスキッドワイヤは 3 本巻きとし、横圧の軽減をはかった。

3 線心のより合せはこれを行うと引入れが容易になる利点はあるが、他方一条の長さを長くできるというパイプタイプケーブルの特長を減殺することにもなる。今回は引入れのむずかしいより合せしない方式を採用することにした。



第4図 インパルス破壊電圧温度特性

2.2 試験結果

ケーブルの長時間破壊電圧は、常温において 300 kV で端末せん絡し、80°C、240 kV においてケーブル破壊があった（ガス圧はいずれも 12.5 kg/cm²）。またインパルス破壊電圧は常温にて 780 kV、80°Cにて 680 kV であり、いずれもこの種ケーブルの値として良好な結果である。

また直線接続箱を含んだ試験においては、長時間破壊電圧は常温にて 260 kV、80°Cにて 220 kV、インパルス破壊電圧は常温にて 760 kV、80°Cにて 640 kV であった。

つぎに温度の上昇による破壊電圧値の低下について、数多くの試料により温度条件を変えてインパルス破壊試験を行った。破壊電圧の平均値を、常温における値を 100% として示したものが第 4 図である。これからわかるとおり P. G. Priaroggia 氏の値⁽²⁾よりも小さく、C. T. W. Sutton 氏の値⁽²⁾よりも大きい低下率を示しているが、常温と 80°C との差は 20% と見るのが妥当であろうと思われる。

つぎに線路完成後通電試験を行った。温度上昇およびインピーダンスを測定したが、まずケーブルの温度上昇試験は 3 台の柱上変圧器を用いて 350A を通電した。測定結果を第 2 表に示す。

ガス圧の変化からガスの温度を推定すると 40.2°C となる。これに対し AIEE の方法によって計算した値は約 60°C であり実測値は安全側に出ている。またパイプ表面の温度は 39.6°C で、ガス温度の実測値からみてほぼ妥当な値であるが、計算値よりかなり安全側に出ている。つぎに導体温度は、電流遮断後 5 分以内に直流抵抗を測定しこれから換算して求めると

青相	39.6°C
白相	37.3°C
赤相	38.2°C

となるが、これは前記のガス温度に比較してかなり低い値である。これは条長が比較的短いため端末部の影響が現われたものと思われる。

別途気中で行ったコアの温度上昇試験によれば、350A で導体と気温との差は 20°C であるから、正確な導体温度は 20+40.2=60.2°C であると推定される。この値は計算値約 80°C に比較して安全側に出ている。

上記の温度上昇試験と並行してインピーダンスの測定を行ったが、その結果を第 3 表に示す。これからわかるように、各相リアクタンスはかなり大きい。これは 3 心をより合せないで引き入れたので、逆 3 角形にケーブルが配列されているため鋼管の影響を受けたものと推定される。このことは 3 心の間にかかなりの不平衡があることからわかる。またこれらが時間的にそれほど変化していないことから、ケーブルが熱伸縮によって大きく位置をかえることもな

第2表 温度測定結果

日	時	温度 (°C)				ガス圧 (kg/cm ²)	直流導体抵抗 (Ω)
		パイプ表面	土壌	分岐箱	気温		
9月10日	午前	8.15	22.3	22.2	—	21.7	—
		9.00	22.7	22.7	25.0	22.8	14.2
		9.30	22.2	21.7	27.0	22.5	14.2
		10.00	23.2	22.4	30.2	23.0	14.3
		10.30	25.0	22.7	31.5	23.7	14.5
		11.00	26.1	24.2	33.3	25.8	14.6
		11.30	25.5	22.7	36.0	25.2	14.6
	12.00	27.3	23.6	37.2	25.5	14.7	
	午後	1.00	27.7	22.3	36.3	24.9	14.8
		1.30	30.5	25.0	37.1	26.2	14.9
		2.00	26.3	20.7	36.8	23.9	14.9
		2.30	27.7	21.0	36.5	23.6	14.9
		3.30	27.3	20.3	35.0	23.5	14.9
		4.00	27.3	20.3	35.5	23.2	14.9
5.50		28.7	21.5	33.5	21.5	14.8	
9月11日	午前	9.35	32.3	23.6	41.0	26.0	15.0
		12.00	32.5	23.8	40.0	28.2	15.0
	午後	2.00	31.7	23.2	40.3	28.5	15.1
		6.00	34.5	25.0	36.8	23.8	15.0
9月12日	午前	9.00	36.0	28.0	39.0	27.8	15.0
		9.30	35.3	27.0	39.3	27.9	15.0
		12.00	40.3	31.2	35.8	23.9	15.0
	午後	1.00	34.8	25.8	36.6	24.5	15.1
		3.00	33.2	24.2	35.7	23.8	15.0
		4.00	34.8	26.0	—	23.7	—
		11.00	35.7	26.7	—	21.7	—
9月13日	午後	2.15	39.0	29.5	34.6	23.7	15.1
		3.35	38.7	29.3	35.2	23.7	15.1
9月14日	午前	9.00	38.7	28.7	34.9	23.9	15.1
		*11.00	37.7	31.0	28.3	24.5	14.7
		*12.00	36.0	30.5	26.8	23.4	14.7
	午後	*1.00	34.5	29.7	24.2	22.6	14.6
*2.00		31.7	28.7	23.5	22.0	14.5	

注：*印は電流遮断後

第3表 インピーダンス測定結果

日時	相	インピーダンス
9月7日 午後2.20	青相	0.0137Ω 52°17' = 0.00837 + j0.01085
	白相	0.0134Ω 54°19' = 0.00782 + j0.01090
	赤相	0.0154Ω 50°1' = 0.00990 + j0.01180
9月10日 午後2.50	青相	0.0147Ω 49°28' = 0.00954 + j0.01119
	白相	0.0137Ω 57°13' = 0.00744 + j0.01152
	赤相	0.0159Ω 47°30' = 0.01075 + j0.01173
9月11日 午後5.35	青相	0.01476Ω 49°9' = 0.00965 + j0.01131
	白相	0.01366Ω 56°51' = 0.00747 + j0.01144
	赤相	0.01601Ω 46°52' = 0.01095 + j0.01169
9月12日 午後1.15	青相	0.01478Ω 49°17' = 0.00964 + j0.01121
	白相	0.01383Ω 56°30' = 0.00764 + j0.01154
	赤相	0.01569Ω 46°16' = 0.01085 + j0.01134
9月13日 午後2.20	青相	0.01479Ω 48°50' = 0.00974 + j0.01113
	白相	0.01372Ω 56°42' = 0.00755 + j0.01148
	赤相	0.01610Ω 46°52' = 0.01102 + j0.01175

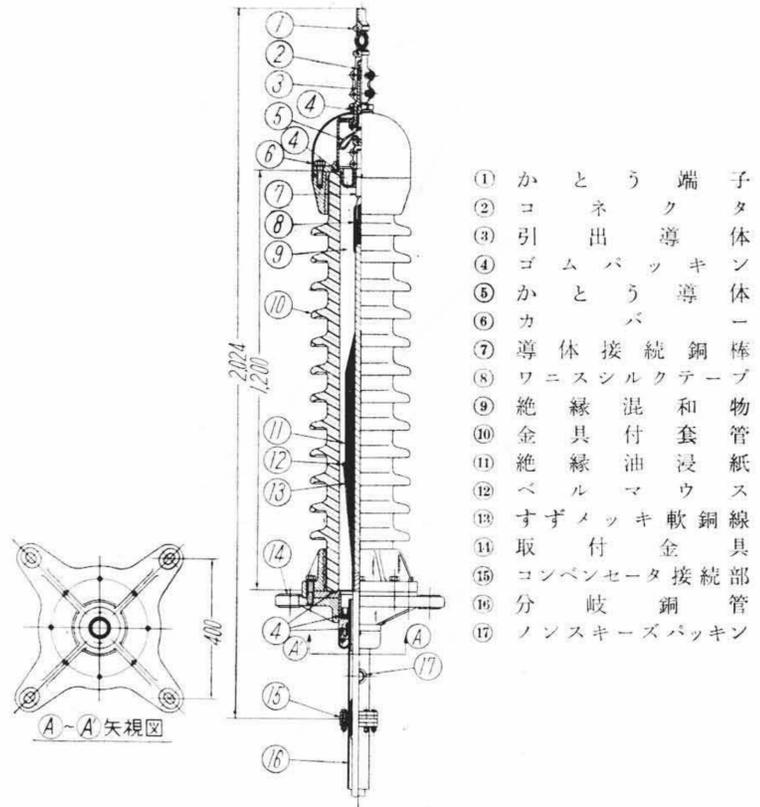
いであろうことがわかる。

なお、パイプタイプケーブルにおいては、短絡時の大電流が流れた場合の零相インピーダンスが問題となるが、これは短絡試験設備の完成をまって試験を行う予定である。

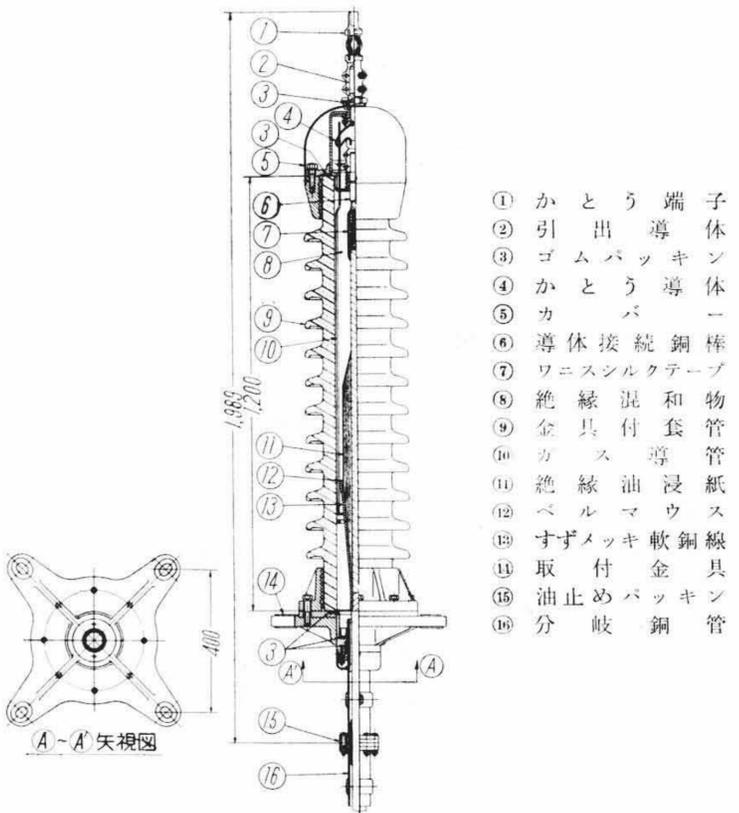
3. 付属品の概要

3.1 終端箱

終端箱は、いわゆるストップチューブを用いて内圧を直接がい管



第5図 普通式終端箱



第6図 自蔵式終端箱

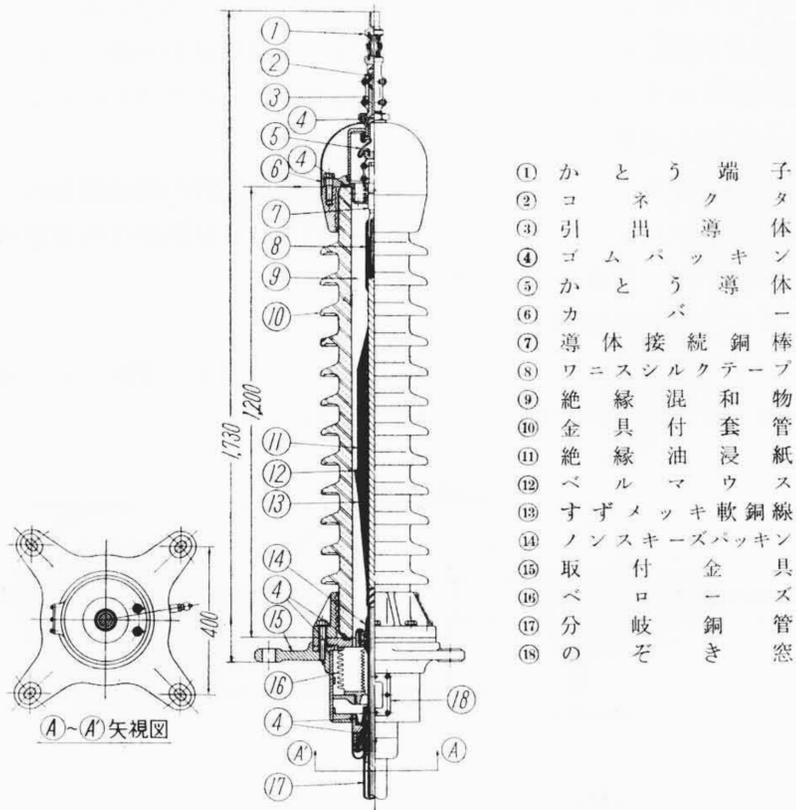
に加えないようにした構造のものも使われているが、この形のものの欠陥として機構が複雑になるため油漏れなどの事故が多いことがあげられている。そこで今回はこの方式を捨て、直接がい管に油圧を加える方法を採用した。

がい管に水圧を印加して破壊試験を行った結果 250 kg/cm² にてがい管上下部の金具の部分から磁器離断し、中央部は縦割れて破壊した。なお50%せん絡電圧は 628 kV であった。

さて線心終端箱は国内外において種々な形式のものが使用されており、たとえば従来一番普遍的なのは内部の油の膨脹収縮をコンペンセータによって補償する方式であるが、イギリスなどにおいてはがい管上部にガス室を設け、パイプ内のガスと絶縁チューブで連絡したいわゆる自蔵式ケーブルヘッドも使用されている。

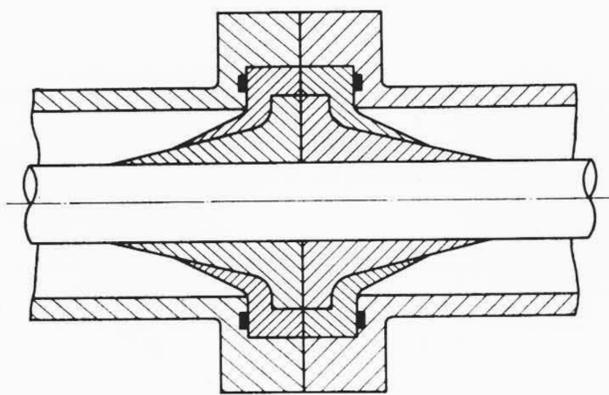
そこで今回は、これら線心終端箱の利害得失を比較するため、つぎのような各種のものを作製した。

- (1) 普通式終端箱...コンペンセータにつなぎ込む方式



- ① かとう端子
- ② ネット
- ③ 引出導体
- ④ ゴムパッキン
- ⑤ かとう導体
- ⑥ カカ
- ⑦ 導体接続銅棒
- ⑧ ワニスシクテ
- ⑨ 絶縁混和物
- ⑩ 金具付套管
- ⑪ 絶縁油浸紙
- ⑫ ベルマウ
- ⑬ すズメッキ軟銅線
- ⑭ ノンスキーズパッキン
- ⑮ 取付金具
- ⑯ 岐管
- ⑰ 分の
- ⑱ の

第7図 ベロー自蔵式終端箱

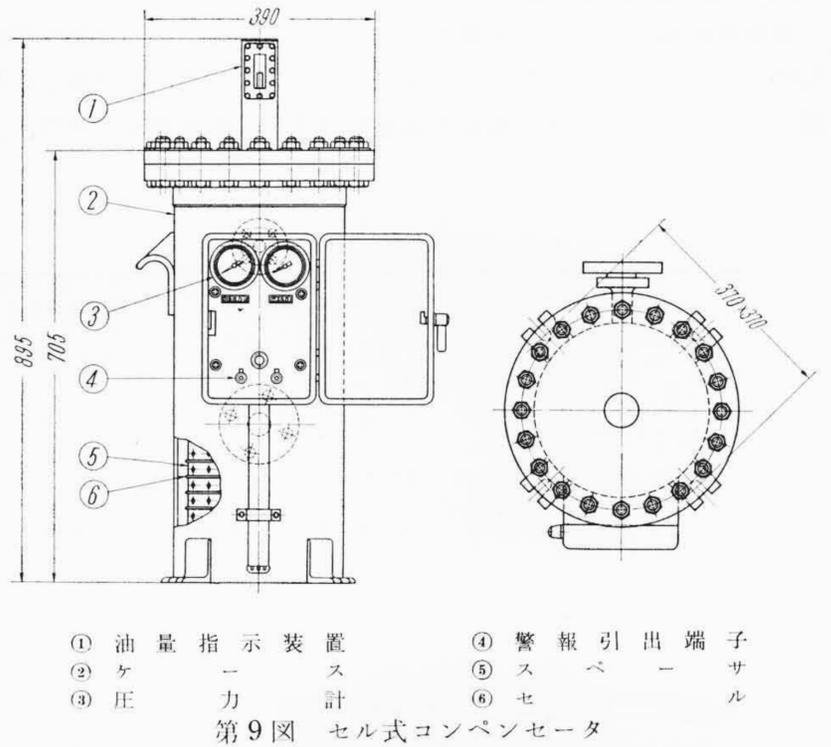


第8図 N.S. パッキン

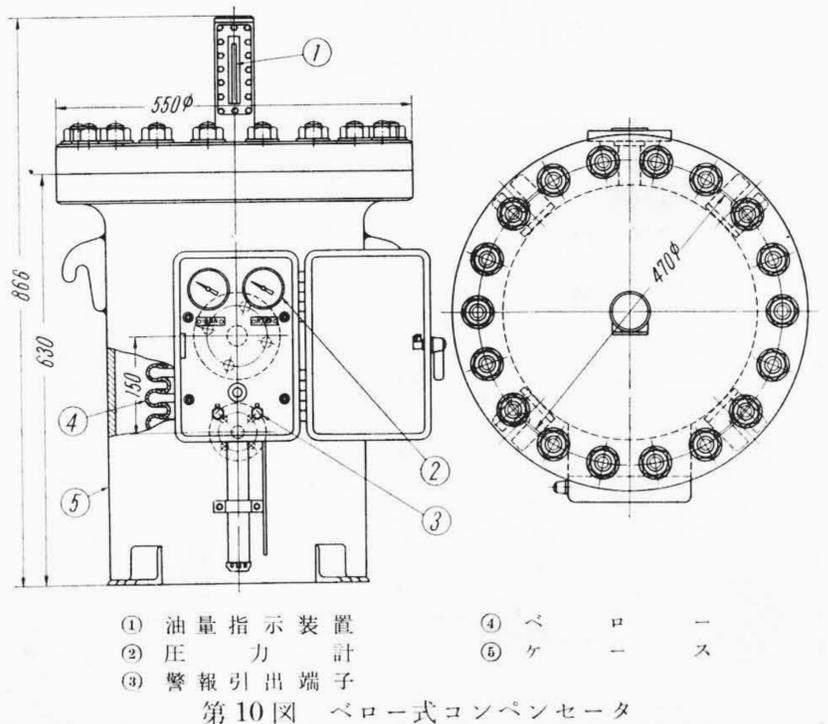
- (2) 自蔵式終端箱...パイレックスガラス管を使用
- (3) ベロー自蔵式終端箱...終端箱の下部にステンレスの2重ベローを収納し、ガスと油が直接触れないようにしたもの
- (4) グランドパッキン式終端箱...上部導体引出棒をグランドパッキン式にしたもの
- (5) セメントレス式終端箱...がい子の固定にセメント付けを使用せず機械的に押しつけるもの

1~3の図面を第5~7図に示す。4の方式は1~3の方式が導体かとう端子を終端箱内部に有しているのに対し、この方式では内部のかとう端子を省略したものである。これは一般にパイプタイプケーブルでは線心の伸びがある程度終端部に出てくるので、これがい管に直接加わるのを防ぐために設けるのであるが、もしグランドパッキンにてこの動きをある程度逃し、しかもガスタイトに保つことができれば構造が簡単になる。また5のセメントレスがい管は、がい子と金具の接着にセメントを使用せず金具で機械的に把持するようにしたもので、間にパッキンを入れる。この場合注意を要するのはがい子テーパ部の傾斜角とパッキンの材質である。傾斜角があまり小さいとすべりがおこるので30度が適当である。また材質は鉛のようなクリープを起す金属は不適當で、かたいゴムが有効であった。

つぎに注意を要するのは終端箱内の油を系統のガスと隔離する油止めパッキンである。これはグランドパッキンなどを使用するとポリエチレンシースや絶縁層を強い力で締めつけるので、変形を生ずるおそれがある。今回の布設においてはこの点を改良するため特殊



- ① 油量指示装置
 - ② ケー
 - ③ 圧力計
 - ④ 警報引出端子
 - ⑤ スペ
 - ⑥ セ
- 第9図 セル式コンペンセータ



- ① 油量指示装置
 - ② 圧力計
 - ③ 警報引出端子
 - ④ ベロー
 - ⑤ ケー
 - ⑥ ス
- 第10図 ベロー式コンペンセータ

な線心を締付けない形のパッキン(N.S.パッキン⁽⁴⁾と呼んでいる)を使った。これは第8図に示す構造のもので、コアを全然締めつけることなく、ガスまたは油の自己圧力でゴムのひだをコアに密着させようとするものである。

3.2 コンペンセータ

コンペンセータはセル式とベロー式があり、いずれも実用されているが、今回はこの二種を製作した。

(1) セル式コンペンセータ

セルは通常OFケーブルのような低油圧用としては銅板、真ちゅう板などの比較的たわみ性にとんだ金属板が使用されるが、パイプタイプケーブルの場合は万一油漏れがおこったときには、15kg/cm²の圧力が直接セルに加わるおそれがあるので、これらやわらかい金属板は適当でない。

そこでステンレス鋼板を用いた特殊ダイヤフラム式セルを設計製作した。第9図にその構造を示す。セルの変位はガラス板を通して直読することができる。

(2) ベロー式コンペンセータ

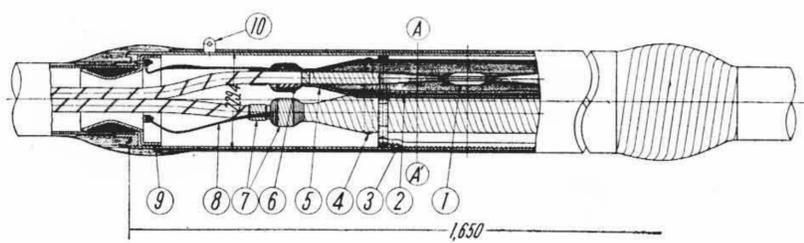
ベロー式コンペンセータはセルの代りにベローを内蔵したもので、ステンレス鋼板製のベローを用いて設計製作した。構造を第10図に示す。油面指示はセル式と同じく直読式によった。

3.3 直線接続箱

直線接続箱は、ケーブル導体がだ円であるため小幅油浸紙を巻かなければならない。したがって導体スリーブ部の絶縁紙段落しに問題があって、この部分の電氣的強度を増すには鉛筆削りを捨て、ス

第 4 表 直線接続箱の電界強度

区 別	絶 縁 層 の 材 料	半 径 方 向 最 大 ス ト レ ス kV/mm	軸 方 向 最 大 電 位 傾 度 kV/mm		沿 面 の 最 大 電 位 傾 度 均 値 kV/mm
			導 体 ス リ ー ブ 部	他 の 部 分	
AEIC	含 浸 ク レ ー プ 紙 (ソ リ ッ ド ケ ー ブ ル)	2.36	0.47	0.24	0.12
日 立	小 幅 油 浸 紙	2.68	0.413	0.366	0.16



(A-A) 断面

- ① 導 体 接 続 管
- ② ダイヤフラムシース
- ③ 支 持 わ く
- ④ バ イ ン ダ
- ⑤ 補 強 テ ー プ
- ⑥ ス ペ ー サ
- ⑦ ワニスシルクテープ
- ⑧ 接 地 線
- ⑨ 断 熱 筒
- ⑩ 接 地 端 子

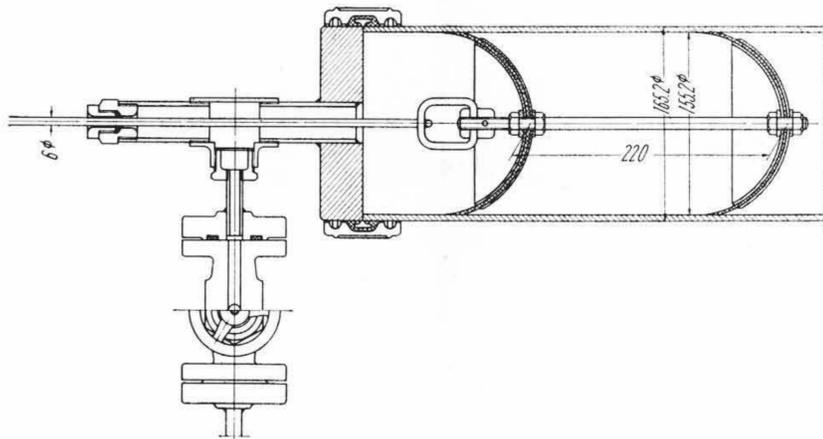
第 11 図 直 線 接 続 箱

テッピングによったほうがよい。設計値に基き各部分の電界強度計算値と AEIC のソリッドケーブルに関する基準値を比較した結果を第 4 表に示す。すなわち、ガス圧が印加されるので AEIC の値よりもいくぶん過酷な値を採っている。

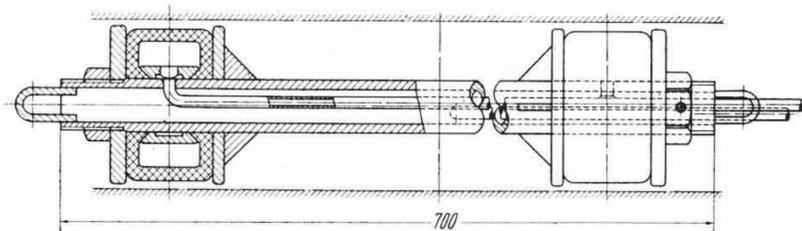
つぎにダイヤフラムシースとしては、熱収縮性の特殊耐油性合成樹脂チューブを用い、しゃへい金属の引出しには熱硬化性樹脂積層品を用いた。構造を第 11 図に示す。

3.4 工 事 用 部 品 類

パイプタイプケーブルの引入れに際しては通常の管路引込の場合と異なり、種々の作業工具を必要とする。



第 12 図 マ ウ ス



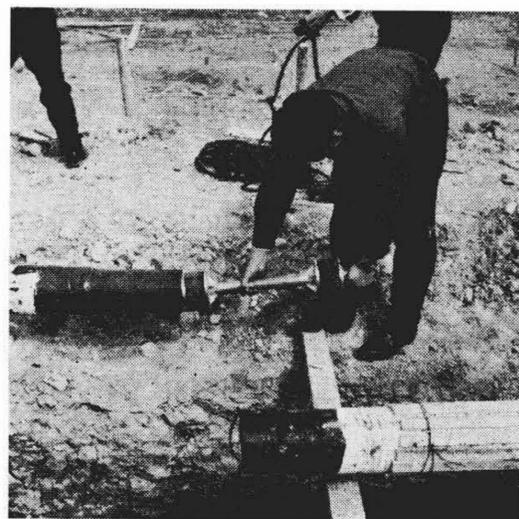
第 13 図 ピ グ



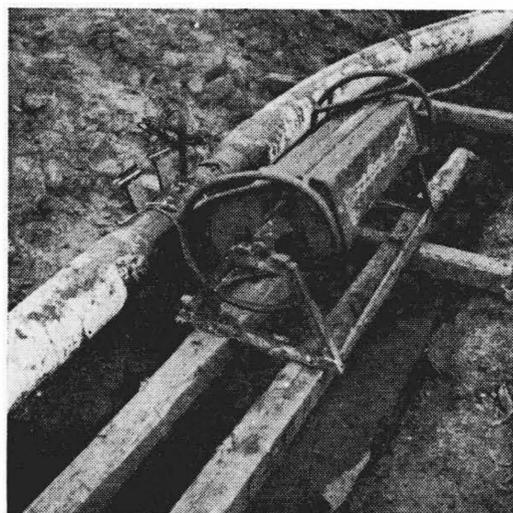
熔 接



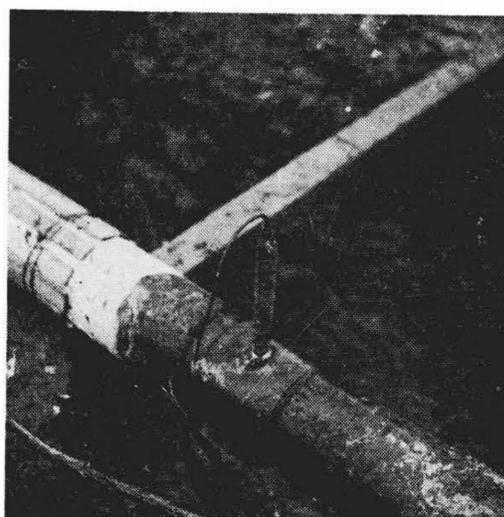
ホリデーテスト



ピグの差込み



熔接部レントゲン試験



防食用電極

第 14 図 パ イ プ 布 設 状 況

(1) マウス

管路の竹通しに相当するものでパイプの場合は条長が長いので、竹を通す代りにマウスを圧搾空気で送り込む方法を採用。今回設計製作したものは第12図に示す構造のもので、吹入圧力は2~5kg/cm²程度で十分であった。

(2) プーリングアイ

プーリングアイは組立て式(各線心ごとに圧縮した後組立てる方式)を採用した。引張り強さは10t以上で十分な強度を有している。

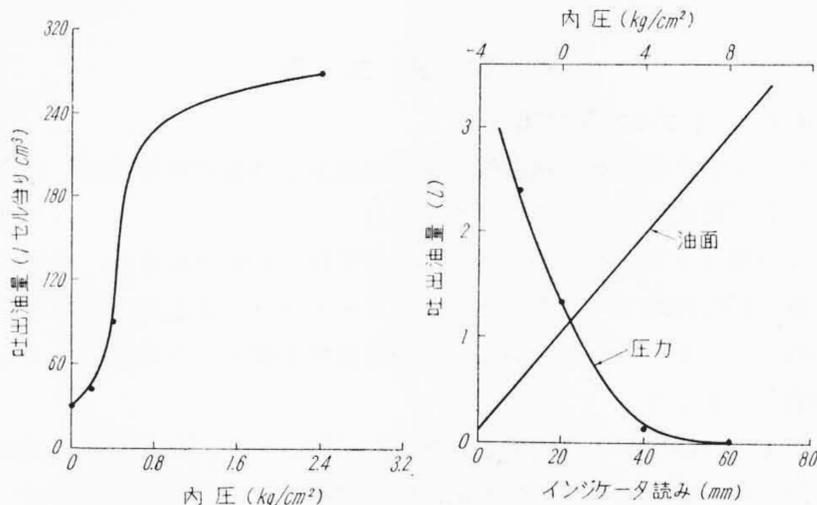
(3) ナイトキャップ

パイプタイプケーブルは引入後、翌日に接続処理を行う間、パイ

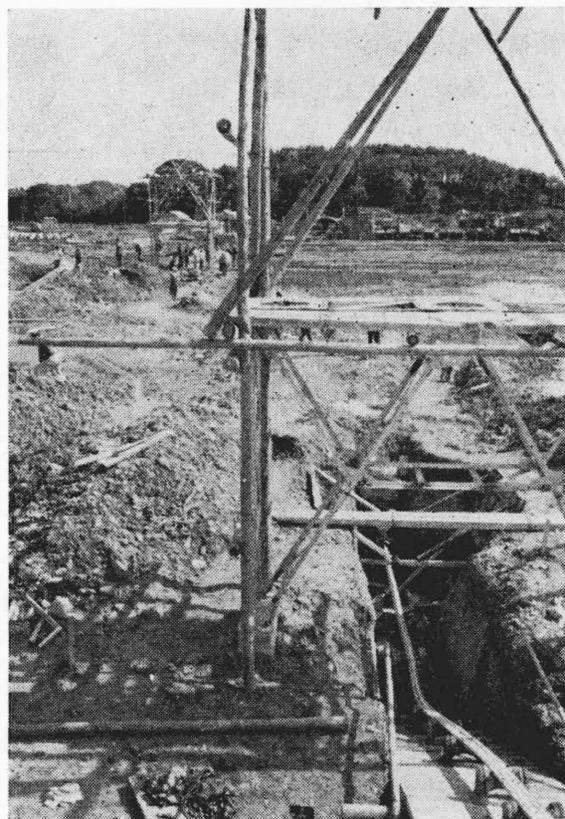
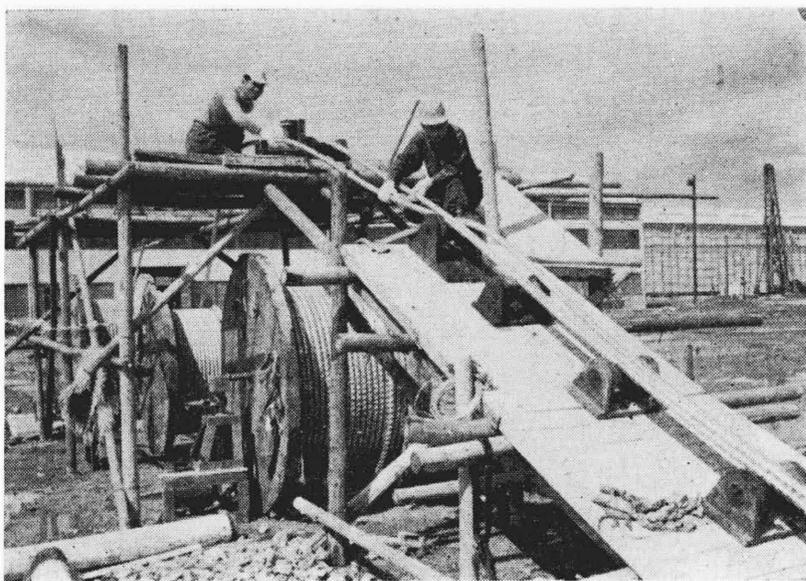
プの中に湿気の侵入を防ぐため末端をシールしておく必要がある。このためナイトキャップを用いる。終端箱用は分岐鋼管を利用しその先端に鉛管製のものを取付け、直線接続用は鋼管製とし、両側からくるものがく異なるように曲げてある。

第5表 張力測定結果

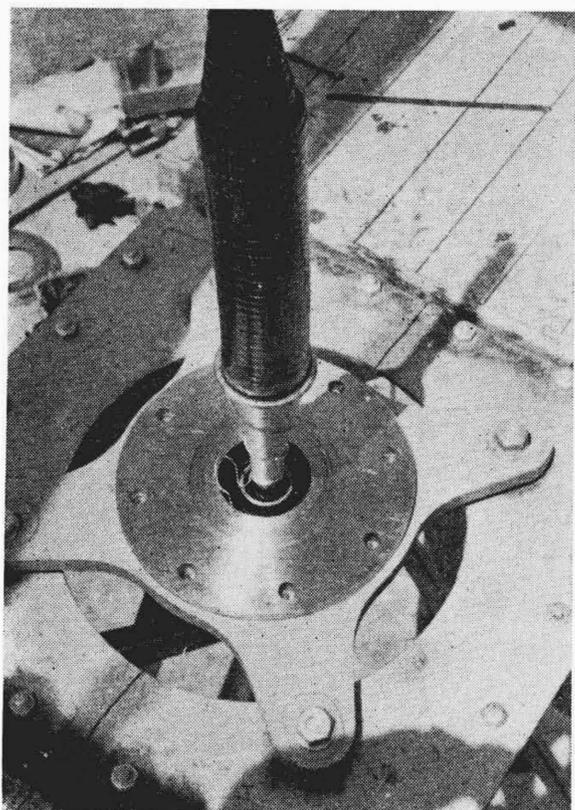
引入れ長さ(m)		10	20	30	40	45
張力(kg)	最大	280	200	320	350	420
	平均	150	100	250	220	350
引入速度(m/min)		6.7	6.7	10	5	—



(1) セル式コンペンセータ (2) ペロ式コンペンセータ
第15図 コンペンセータの特性



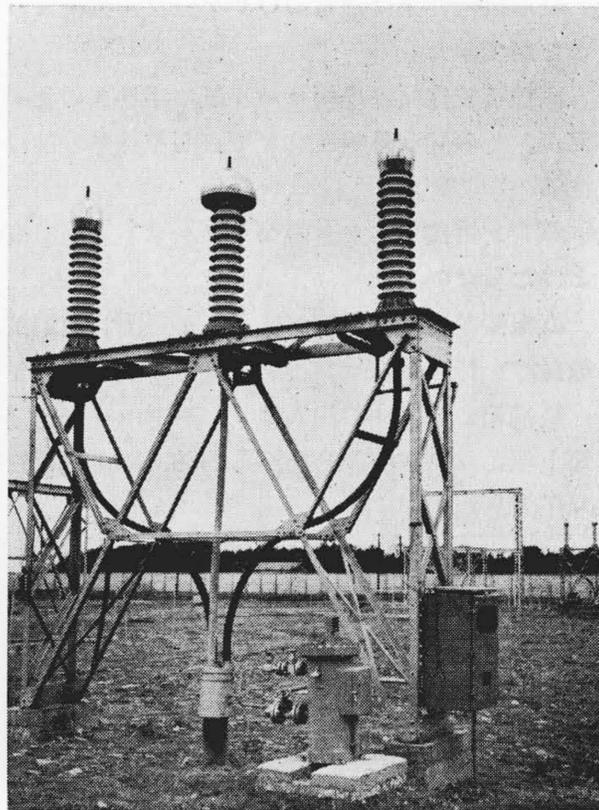
ケーブル引入れ



終端箱の組立



接続箱の組立



完成状況

第16図 ケーブル布設工事

(4) ピグ

熔接部の気密性試験のためピグが使われるが、タイヤ部 42 kg/cm²、中間部 35 kg/cm² の使用圧力に耐えるように設計されている。ピグの構造を第 13 図に示す。

4. 布設工事

4.1 パイプの布設工事

ルート中央部の S 字状曲管および端末立ち上り部の曲管は新しい試みとして防食層加工後に曲げ作業を行った。

この場合立ち上り部のパイプは曲げ半径 1.5 m であるが、変形率は最大 13% 程度であった。またホリデーテストによる試験にも十分合格しているため、この方法は高価な曲管を使うより経済的かつ現場的といえよう。

パイプの熔接が 1 箇所終了ごとに、35 kg/cm² 30 分の漏れ試験を行った。また各カラーの上部には防食電位測定用の電極を熔接により取付けた。

また熔接部の検査に完全を期するため、レントゲン発生装置により熔接部の透視撮影を行った。

全長の熔接が完成してからつり下しを行い、川砂を充てんして埋めもどした。これらの状況を第 14 図に示す。

4.2 ケーブル引入れ

ケーブル引入れに先だて新しい試みとしてマウスによるロープの引き入れを行った。ポンペを接続して 2~5 kg/cm² の圧力を加え、マウスの進行によって圧力を調節する。1 分間にほぼ 5m くらいの速度で進行し、約 10 分後に他端に到達した。

ケーブルを導入するためのドラムの配列は 3 ドラムをタンデムに置きヤグラをこえて引き入れた。

反対端では神楽棧によって 1 分間 5~10m の速さで引入れたが、その引込張力測定結果を第 5 表に示す。この値を R. C. Rifenburg 氏の方法⁽⁵⁾によって計算した値と比較してみると、ドラム回転力のケーブル等価長を 30m、基礎摩擦係数 0.25 とすれば計算値は 620kg となり、上記の最大 420 kg より安全側にでている。

引入れを終ったケーブル端末から立ち上り部の曲管を差込み、熔接を行ってナイトキャップをかぶせた。ケーブル表面温度は最高 53.3°C で、問題となるほどのものではない。

4.3 接続作業

終端接続作業は通常の OF ケーブル接続よりも短時間で終了することができた。

直線接続作業は小幅ロール紙の手巻きのため、かなり時間を要したが、その間赤外線ランプで表面を加熱し油浸紙表面に水分が付着するのを防いだ。

鋼管を熔接するときのケーブルコア表面温度は最高 40.3°C で問題とはならない。

直線接続、終端接続が終わってから配管の熔接、コンペンセータの取付けを行った。コンペンセータの油量特性を第 15 図に示す。

終端箱の絶縁油の注入はコンペンセータを通じて行ったが、終端箱上部より真空引きしながら約 60°C に予熱した絶縁油をガス圧により圧入した。

パイプラインの系統はまず真空引きを行い、のちこれをポンプから切り離して真空度低下試験を行いもれや水分吸着のないことを確かめて窒素ガスを封入した。

これらの工事状況を第 16 図に示す。

5. 鋼管の防食

5.1 防食鋼管

わが国で規格化されている鋼管は JIS G 3432 ガス管と JIS G 3433

第 6 表 防食ガス管の構造

項 目	単 位	規 格 値		
		PVC チューブ	ガラス防食	
鋼 管	外 径	mm	165.2	165.2
	肉 厚 (約)	mm	5.0	5.0
	内 径 (約)	mm	155.2	155.2
内 面 塗 装	—	—	PR 110	PR 110
	外 面 塗 装	—	PR 110	PR 110
防食層	アスファルト(約)	mm	2.0	2.0
	PVC チューブ	mm	0.5	—
	ガラステープ	mm	—	0.5
	アスファルト(約)	mm	1.0	1.0
	ジュート(約)	mm	3.0	3.0

圧力配管用鋼管とがある。前者は適用範囲として、蒸気、水、油、ガスおよび空気などの配管に用いる配管用鋼管となっており、水圧試験値としては 25 kg/cm² まで保証されている。後者は適用範囲として主として使用圧力 300 kg/cm² 未満の各種圧力配管に用いる鋼管となっており、水圧試験値は 50~450 kg/cm² まで保証されている。価格的にはかなり差があり、たとえば 4 B (外径 114.3 mm) の場合で約 30% 程度の差がある。法規の点からみると労働基準法の高圧ガス内圧容器 (内径 200 mm、長さ 1 m 以上または容積 0.04m³ 以上の大きさで、圧力が 2 kg/cm² 以上のガス圧容器) の試験は常用圧×1.5=15×1.5=22.5 kg/cm² となっているのでガス管を用いても抵触することはない。

今回は在庫品を使う観点から、ガス管を採用した。

つぎにパイプの防食層は、アメリカではソマチック、イギリスではゴムサンドイッチ、わが国では熱収縮性ビニルチューブ防食層が使用されているが、今回の試作品では電気防食を行う予定のため、古い形式のガラステープ巻アスファルト塗装防食と、ヒンチューブ防食層とを比較することとした。防食ガス管の構造を第 6 表に示す。

なお熔接法はアメリカの例によるとチルリング法が最良といわれているが、わが国ではまだその経験がないので従来通りのカラー熔接法にて行うことにした。

鋼管の曲げは、前述したように日立製作所日立工場にて行った。本実験により防食層加工後でも十分曲げることがわかった。曲げ後ホリデーテストで試験を行ったが 25 kV 耐圧で防食層に異常は認められなかった。従来わが国では曲り部には高価な曲管を使っていたが、直管を現地で曲げることも十分可能であるとの自信が得られた。

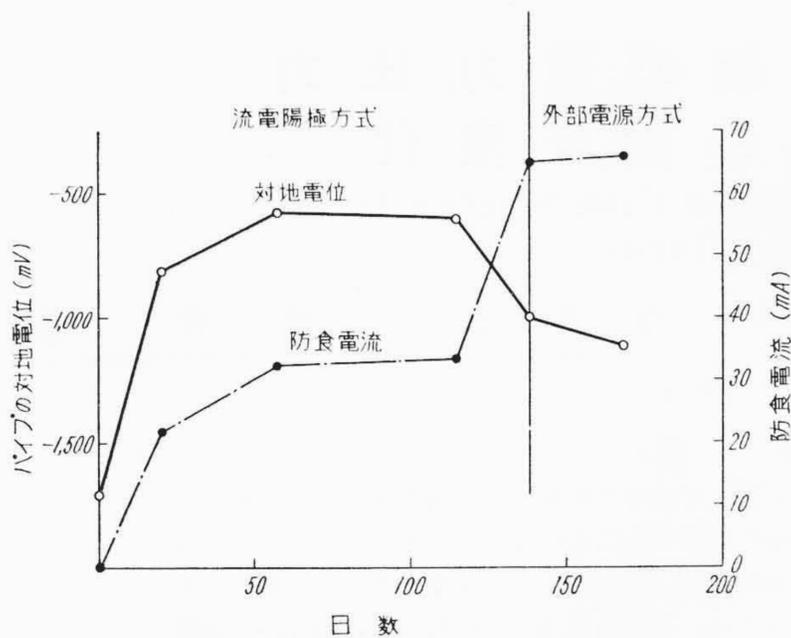
5.2 電気防食工事

電気防食はまず流電陽極を適用することとし、マグネシウム陽極ガルボパック 17D 1 個をパイプラインの近くに埋設した。埋設に先だてて大地の土壤比抵抗を測定したところ地層の各部分によって相当異なっており 3,000~75,000Ω/cm となっている。また pH 計により pH 測定を行ったところ 6.7 でほぼ中性といえる。また埋設前におけるパイプの電位を測定した結果は各点とも飽和硫酸銅電極基準 (以下電位はすべてこの基準にて示す) で -520±10mV 程度でほぼ鋼管の自然電位を示している。

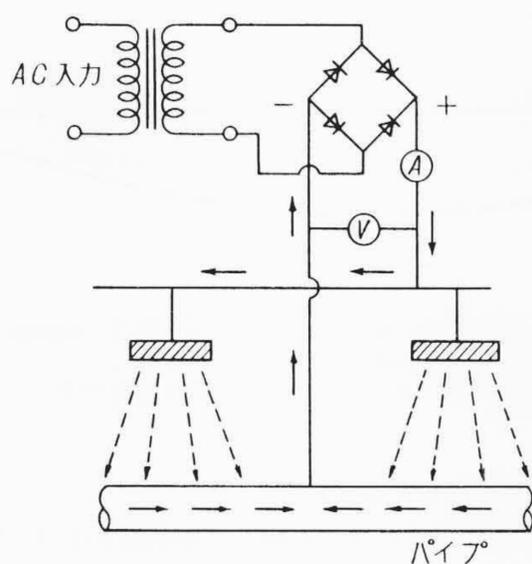
このような予備的測定を行ったのちガルボパック 17D を地中深さ約 1.1 m に埋設し、リード線で地上まで引出し、パイプのカラーから引き出したリード線と接続した。

埋設後のパイプの対地電位および防食電流の変化を第 17 図に示す。

埋設前の電位はほぼ鋼管の自然電位を示しているが、マグネシウム陽極埋設直後においてはいずれも -1,700 mV 内外のほぼマグネシウム陽極の電位と思われる非常に卑の電位を示している。ところが約 1 箇月の中には鋼管の防食に必要なとされている約 -850mV 程



第17図 対地電位および防食電流の変化



第18図 外電式防食法

度の電位を示し3箇月以降ではついにこの電位をわってさらに貴に向う傾向が認められた。この原因としては防食層の吸水による絶縁抵抗の低下、架台の絶縁フランジ、ワッシャなどの漏えい抵抗の低下などが考えられ、この対策としては、マグネシウム陽極の追加も考えられるが、抜本対策としての確実性が懸念されるので、あらゆる土壤、防食層条件に対して簡単に調節することができ、かつ恒久的である、外部電源方式を適用することにした。

外部電源法は第18図に示すように、パイプを整流器直流側の負極に、地中に埋設した陽極を正極に接続して通電を行うものであるが、今回使用した各種機器の仕様は次のとおりである。

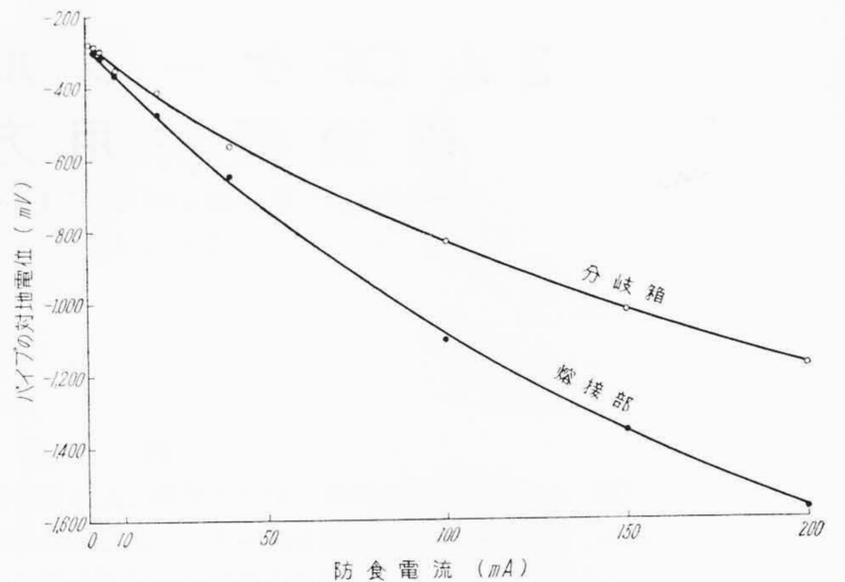
直流電源： 乾式セレン整流器, A.C. 側单相 100V, D.C. 側 6 V, 2A, 最高入力 24W

電 極： 磁性酸化鉄電極 (55φ×850l)

電極の周囲にバックフィル充てん

導 線： 直流電源より電極およびパイプへの導線は 3.5 mm² ポリエチレン絶縁ビニルシース線使用

布設後における防食電流とパイプ電位の関係を第19図に示す。これからわかるとおりこのパイプの防食電位を -850mV 以下に保つためには70mA以上の防食電流が必要である。またこの値は経年変化によって変わることが予想されるが、このような場合には



第19図 防食電流と電位特性

整流器のタップの切換えによって簡単に制御することが可能であり流電陽極の場合のようにマグネシウム陽極を追加埋設などの手数を要しない点がきわめて便利であり、またいろいろな土壤条件に対しても信頼性が高く恒久的防食法であるといえよう。

4. 結 言

日立電線株式会社電線工場日高工場の実負荷試験場第1号ケーブルとしてパイプタイプガスコンプレッションケーブルの布設を行った結果つぎのような諸点が明らかになった。

- (1) 各種の付属品類の比較を行っているが、現在までのところ各型とも実用に耐える性能を示している。また新しいアイデアの付属品もいくつか作成したが、いずれも良好な特性を示している。
- (2) ケーブルおよび付属品の電気試験結果は、きわめて良好な特性を示している。
- (3) パイプおよびケーブルの布設に関する貴重なデータと経験が得られた。
- (4) パイプの防食に流電陽極と外電式を適用比較した結果、技術的経済的に外電式がすぐれていることがわかった。
- (5) 温度上昇試験を行った結果、AIEEの計算方式は安全側に出ることがわかった。
- (6) インピーダンスの測定を行ったが、通電によってそれほど著しい変化は認められないことがわかった。リアクタンスの大きさは抵抗とほぼ同程度である。

本ケーブルの設計製作工事にあたって種々ご指導をいただいた日立電線株式会社電線工場内藤副工場長、久本、大和両部長、水上副部長、杉山、高橋両課長、日線機器酒井氏に深甚な感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) C. T. W. Sutton, A. M. Morgan: CIGRE, No. 204 (1956)
- (2) P. G. Priaroggia: Electrotechnica, 41, p. 289 (1954)
- (3) E. J. Merrell: Lecture in Course on Insulated Conductors Sponsored AIEE (Dec. 1, 1955)
- (4) K. S. Wyatt: Wire & Wire Products 25, (11) p. 971 (Nov. 1950)
- (5) AEIC: Underground Systems Reference Book p. 10-12 ~10-32 (1957)