石綿セメントベンド管を使用した模擬管路への ケーブル引入実験

Pulling of Power Cables into the Mock Ducts with Asbestos-Cement Bent Pipes

飯塚喜八郎*
Kihachirô Iizuka

吉 田 博 通**
Hiromichi Yoshida

仲 沢 亮 二** Ryôji Nakazawa

要旨

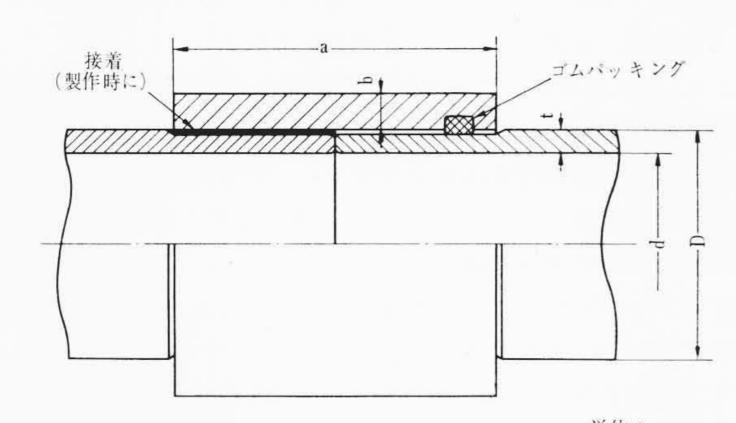
今回,東京電力株式会社で地中ケーブル用引入管路として種々の利点が考えられる石綿セメントベンド管の導入を検討するにあたり,実験用模擬管路へのケーブル引入実験を行ない,その実用性を調べた。その結果,管路内面には,張力と湾曲径によっては横圧のためワイヤロープの摩耗みぞやプーリングキャップによる傷がつきやすいが,ケーブル防食層に対しては実用上特に支障はなく,従来程度のルートに対しては十分使用に耐えると考えられ,使い方次第では曲率半径が 10m あるいは 5m の管路までも使用できると思われること,そのほか,引入張力および側圧は従来の理論計算値とほぼ一致することなどがわかった。

1. 緒 言

アメリカにおいては、地中ケーブル引入管路にプレハブのベンド管が各所に使用されており、種々の利点が考えられる。わが国においては今まで特殊の場合に鋼管あるいは硬質ビニル管によるベンド管を使用しているにすぎず、一般には鋼管、ヒューム管、石綿セメント管などを使用し、直管の折れ曲り接続により大きな湾曲径の曲線布設が行なわれており、このため接続部段違いなどによるケーブル損傷が考えられ、あまり小さな湾曲径を採ることは困難であった。

石綿セメント管は石綿繊維とセメントを混合し、のり状の状態でシリンダに巻き取り圧縮成形したもので、曲率半径が5m程度の小さなベンド管まで製作できる。したがって軽量なうえ内面がなめらかで接続部がスムースとなり、特に湾曲径の小さな場合には技術的、経済的に利点が多いと考えられる。そのためここでは、25,10 および5mのかなりきつい半径を有する石綿セメントベンド管を使用した実験用模擬管路を作り、275 kV アルミ被OFケーブル1条引入れならびに154 kV アルミ被および鉛被OFケーブル1条および3条一括引入れ実験を行ない、管路の実用性を調べると同時に、引入張力、側圧などについても検討を加えた。

なお,この実験は東京電力株式会社が計画し、日立電線株式会社 がその実施を受託し、両社協同で行なったものである。



 寸 法
 d
 D
 t
 a
 b

 130 φ 管
 130
 148(150)
 9(10)
 125
 17

11(13)

136

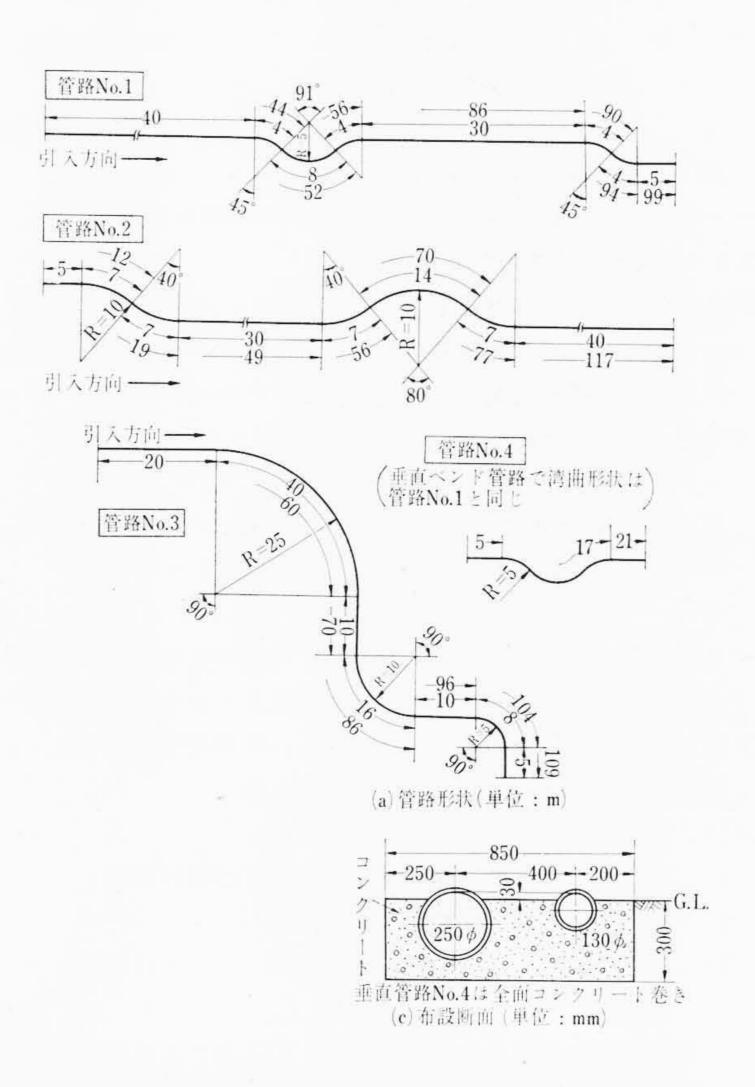
(注) Dおよびt寸法で()外は直管の,()内はベンド管の値

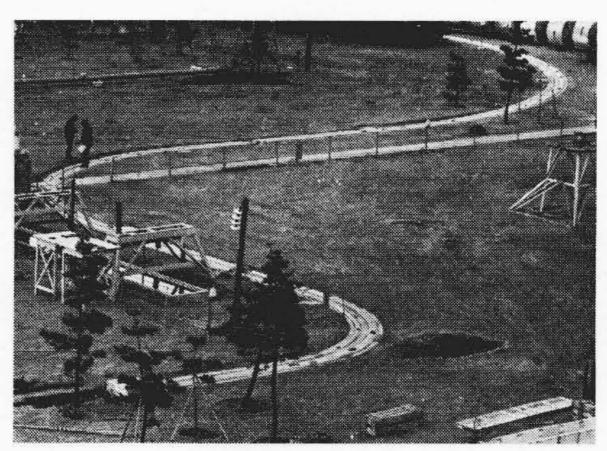
272 (276)

図1 管接続部構造

250 φ 管

250





(b) 布設状況(管路No. 3) 図 2 管路形状および布設断面図

^{*} 東京電力株式会社

^{**} 日立電線株式会社日高工場

表1 供試ケーブルおよび引入れの種類

ケーブル	以下の本文における略称	外 部 保 護 被 覆	外 (mm)	重 量 (kg/m)	条 _(m) 長	引入条数	引入管路径 (mm)
154 kV 1×800 mm ² 鉛 被OFケーブル	154 kV OFZN	鉛被,クロロブレン防食	85.5	22.1	120	1条	130
		如似, クートノレン切良				3条一括	250
154 kV 1×800 mm² アルミ被OFケーブル	154 kV OFAZV	アルミ被, 縦みぞ付ビニル防食(半硬質)	92	16.15	120	1条	130
104 KV 1× 000 IIIII 7 7 7 2 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7		/ ル、板、板みで打こール的長(千灰貝)				3条一括	250
275 kV 1×1,200 mm² アルミ被OFケーブル	275 kV OFAZV	アルミ被,平滑ビニル防食	115	22.8	120	1条	250

2. 実験方法

2.1 管路および引入れケーブル

使用した管および管路の形状ならびに供試ケーブルは次のとおり である。

> 管: 石綿セメント管(久保田鉄工株式会社製) 内径 130 および 250 mm の 2 種類,標準単長 4 m,曲 線部にはベンド管使用(半径25, 10 および 5 m) 管重量は 130 f で約 8 kg/m, 250 f で約 19 kg/m 管の接続部構造は図1に示すとおりである。

管 路: 図2に示す4種の形状で、130 0 と 250 0 の管路を平 行に合計8管路布設

> ケーブル引入方向は図中矢印方向で,管路の各所に観 測用検査窓をあけた。

ケーブル: 供試ケーブルおよび引入れの種類を表1に示す。

2.2 引入れ条件および測定項目

引入れはケーブルに逆張力(バックテンション)をかけて行ない、 その大きさはケーブル先端部が管路出口に出てくる張力最大時に, ケーブルに加わる張力あるいは側圧のいずれかが一般にケーブルの 許容値といわれる下記の値になるように選んだ。

ケーブル導体引張応力: 7kg/mm²

したがって800 mm²では5,600 kg, 1,200 mm²では8,400 kg ケーブル防食層側圧: 1,500 kg/m (OFZN ケーブル) 700 kg/m (OFAZV ケーブル)

すなわち, ケーブルの後ろに逆張力に相当する分だけの管路とケ ーブルがあることを模擬し, ケーブル使用上の最も過酷な条件で引 入れたわけである。なお、滑剤はいっさい使用せずに引入れ、引入 れと引抜きを交互に繰り返しながら実験を進めた。

次に,測定項目は

- (1) ケーブルおよび管路の外観,傷および摩耗状況
- (2) 引入張力,摩擦係数および側圧
- (3) ケーブル先端部の回転および3条一括引入れ時のケーブル 配置
- とし、管内観察は検査窓から行なった。引入張力にはすべてロード

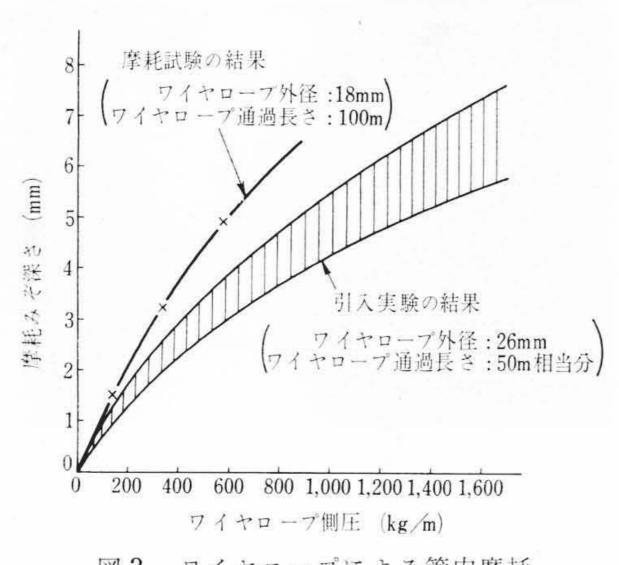
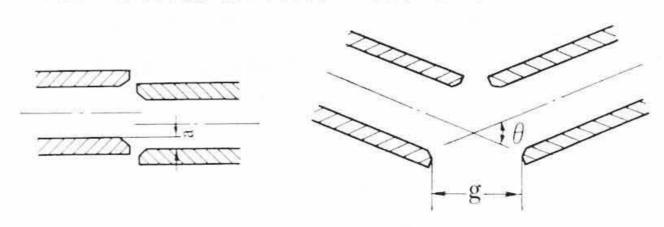


図3 ワイヤロープによる管内摩耗

表 2 管路接続部状況

接続部	段 <i>a</i> (mm)	円周最大開き g (mm)	折 れ 曲 り 角 θ (度)
$130~\phi$	4.8	8 (15)	約 2.5 (約 5)
250ϕ	5.4	16	約 3

- 注 1. ()内は特に 1 個所大きかった所
 - 2. 段違いa, 開きg, 折れ曲り角 θ は下図のとおり



セルを使用し、引入用ワイヤロープの摩擦力を考慮してケーブル先 端部と管路出口におけるワイヤロープとの両方を測定し、側圧につ いては管路 No. 1 (130 ¢) の入口から 48.5 m の位置における曲率部 1個所を管長1m切断し、それを外部から支持するときに加わる横 荷重により測定した。

3. 実験結果とその検討

3.1 管路布設作業性および接続部状況

布設作業性は、管が軽いため取扱いやすく比較的良好であった。 また, 布設後の管接続部における段違い, 折れ曲りなどはベンド管 といえども曲線部に出がちであり、その値は大きな個所で表2に示 すとおりであった。これは、管単長が決まっているので、曲線部か ら直線部へ移る個所など多少の長さのくい違いがあると折れ曲りを 生ずるし、また、同一曲率の管を2管路以上平行して布設する場合 の管路間隔は当然場所によって異なってくるのであるが、それを等 間隔に布設すればやはり折れ曲りなどを生じたりするわけである。 したがって表2程度のことは考慮しておく必要がある。

3.2 引入用ワイヤロープおよびプーリングキャップが管路に与 える影響

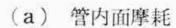
石綿セメント管は鋼管などに比べると柔らかいので, ワイヤロー プによる摩耗, 金具による傷などが心配される。

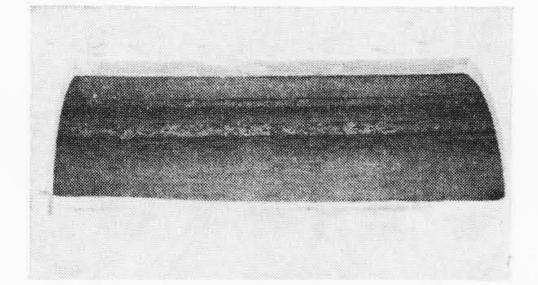
3.2.1 引入用ワイヤロープによる影響

引入実験の結果, 曲管部の側圧の大きい個所ではワイヤロープ による管内面摩耗深さはかなり大きく, 測定結果をばらつきの範 囲で示すと図3のようになる。なお、摩耗試験の結果も付記した。 図4(a)はその摩耗状況を示したものである。摩耗みぞ深さは、 ワイヤロープの側圧とその通過長さに影響され、それがわかれば 摩耗程度がほぼ推定できることになる。

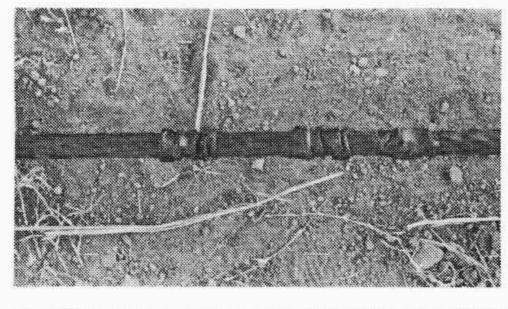
引入管路の出口近くに曲率半径の小さな曲線部があると, ワイ ヤロープの側圧とその通過長さの条件が非常にきびしくなるわけ で、一般にこのような場合は小さな曲率半径のある側から引入れ るほうがよく、管の摩耗が極端に減るだけでなく、引入張力その ものが小さくて済む。ただし、ここでは実験上必ずしもそれに従 ってはいない。

また, ワイヤロープによる摩耗対策としては, ロープになんら かの処理を施すとか, ベンド管内面に耐摩耗処理を施すなどが考

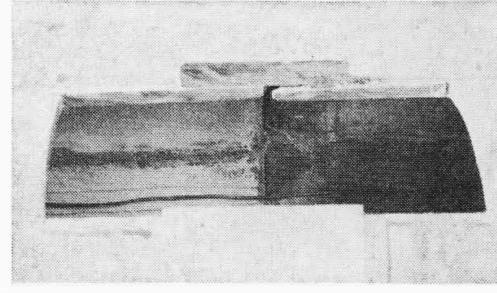




(b) ワイヤロープ 被覆たるみ状況



(c) 接続部割れ目



(d) 接続部砕け

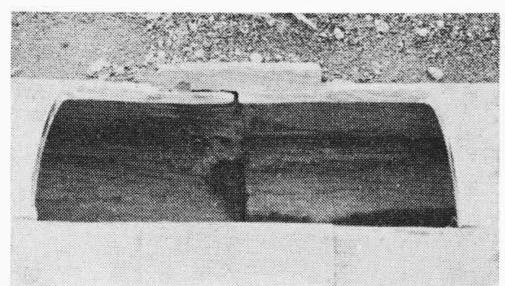


図4 引入実験後の管路およびワイヤロープ状況

えられる。なお、ここでは、ワイヤロープ上に約2 mm 厚のポリエチレンを押出被覆し使用してみたが、 $1\sim2$ 回の引入れで被覆層の各所に図4(b)のようなたるみが発生し、さらにはすりむけを生じた。したがって、この程度のポリエチレンを単に被覆しただけでは使用限度は2 回程度で、さらに検討を要する。

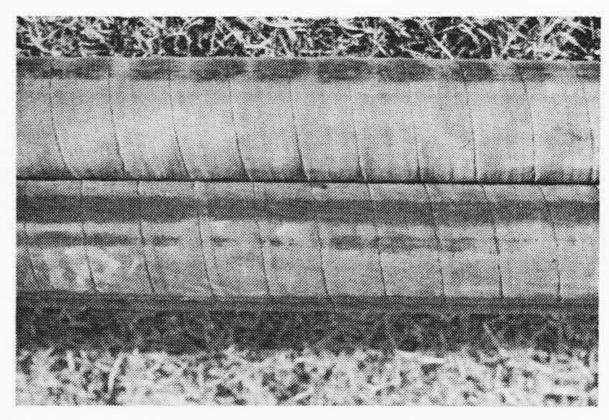
3.2.2 プーリングキャップによる影響

ケーブルの管路引入れには、一般にケーブル先端へプーリングアイを取付けるが、そのプーリングキャップ部通過時の側圧により、曲管部の管路接続部雄側がつぶされて割れ目を生じた。その状況を図 4 (c)に示す。これは、プーリングキャップ通過時に集中側圧荷重を受けたとき、接続部に雌雄はめ合い面間げき、段違いあるいは折れ曲りがあるために生ずるものである。段違い、折れ曲り量などの違いで一概にはいえないが、ここでは 130ϕ および 250ϕ の管路とも、半径 5 m 部では張力が約 3,000 kg、10 m 部では約 4,000 kg 以上になると割れ目を生じている。さらに同一管路で $2\sim3$ 回引入れを行なうと、ロープによる摩耗も加わり、条件のきびしい所では図 4 (d)のように砕けたりするのも出てくる。この対策としては、ベンド管の接続端部だけでもカラーなどで管肉を厚くして補強するとか、雌雄はめ合い面の間げきを埋めるなどが考えられる。

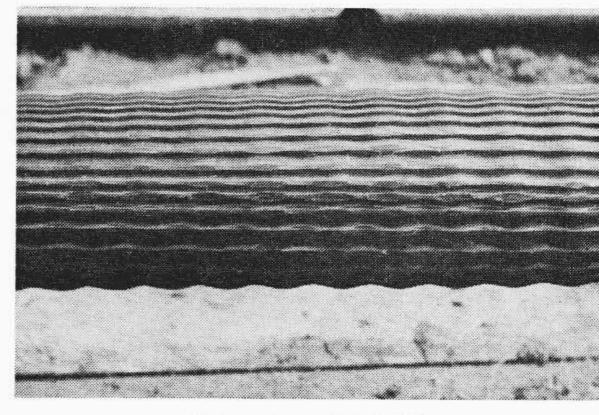
そのほか、管路口端部は比較的摩耗あるいは傷がつきやすいので注意を要し、防水装置の取付上からも問題がでるので、補強あるいは保護する必要があろう。また、引入れには突起のついたものの使用はできるだけなくすよう留意すべきである。

3.3 管路内摩耗みぞ、傷などがケーブルに与える影響

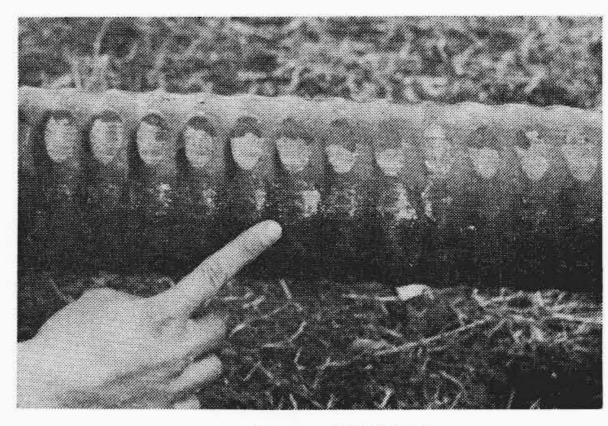
上述のように管路内面には接続部の段違いや折れ曲りがある



(a) 154 kV OFZN



(b) 154 kV OFAZV



(c) 275 kV OFAZV (指示部が本実験によるもの, 上部の削り傷は鋼管引入れによるもの) 図 5 引入実験後のケーブル外観

うえ、摩耗みぞや傷を生ずるが、これらのケーブルに与える影響が 大きな問題である。図5は引入実験後のケーブル外観であるが、そ の結果は次のとおりであった。すなわち

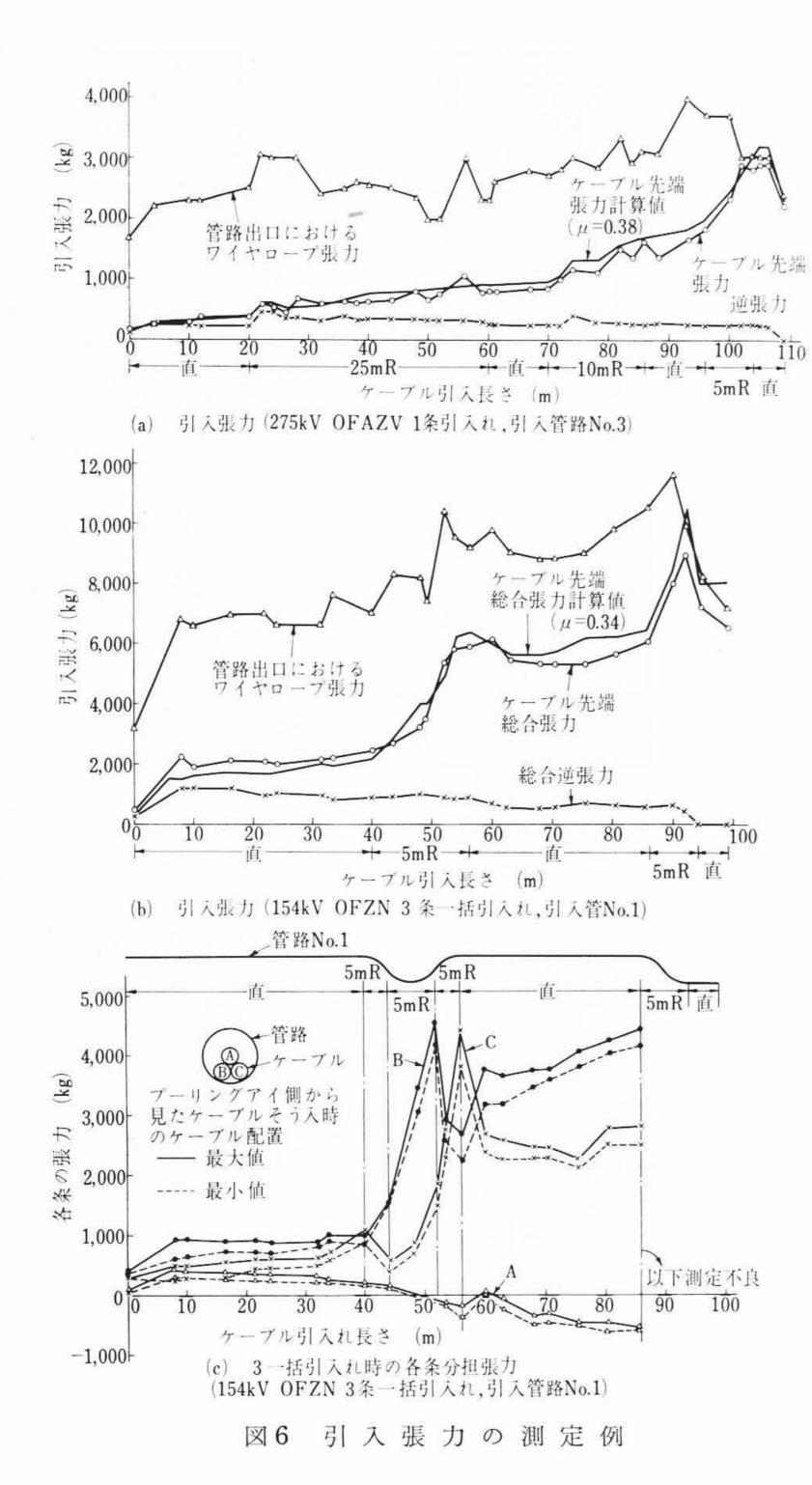
- (1) 鉛被ケーブルのクロロプレン防食層では外装カンバスに若 干のこすれ傷が見られた程度であり
- (2) アルミ被ケーブルでは、縦みぞ付きビニル防食層の摩耗高さが $0.5\sim0.8\,\mathrm{mm}$ 程度であり
- (3) 平滑ビニル防食層でも若干の摩耗傷を生じた程度でいずれも防食層に対しては実用上特に支障は認められなかった。図 5(c)には平滑ビニル防食層に対する石綿セメント管と鋼管とによる傷の比較があり,両者の損傷程度はまったく異なることがわかる。これは、管自体が石綿セメント製で柔らかいため、少々の傷やみぞがあってもケーブルを損傷するには至らないためである。

また、管路としての機能を持続できるかどうかも問題であるが、 コンクリート巻き布設であれば、特にひどい条件でない限り、従来 程度のルートに対しては問題ないものと思われる。

3.4 引入張力およびケーブル側圧ならびに理論計算値との比較 3.4.1 引 入 張 力

張力測定結果の一例を図6に示す。張力には変動があるが、同図(a),(b)は変動幅の最大の値で示してある。

ここでケーブル引入張力計算には、一般に使用されている Rifenburg 氏の式⁽¹⁾を用いた。しかし、別途、短尺および長尺ケ 日



ーブルについて種々の条件で摩擦係数の測定を行なったが、ちょっとした表面状態の違いにより大きく変化するうえ、測定のばらつきもあり、しかも引入実験時の条件も一定とは限らないため、引入張力の理論計算値との比較は、摩擦係数の採り方が問題であり、かなり困難である。ここでは一応妥当と思われる値を採って計算したが、その結果は図のように実測値と比較的一致しており、Rifenburg 氏の式でほぼよろしいものと考えられる。なお、3条引きについては、過酷側のクレードル配置について計算した。

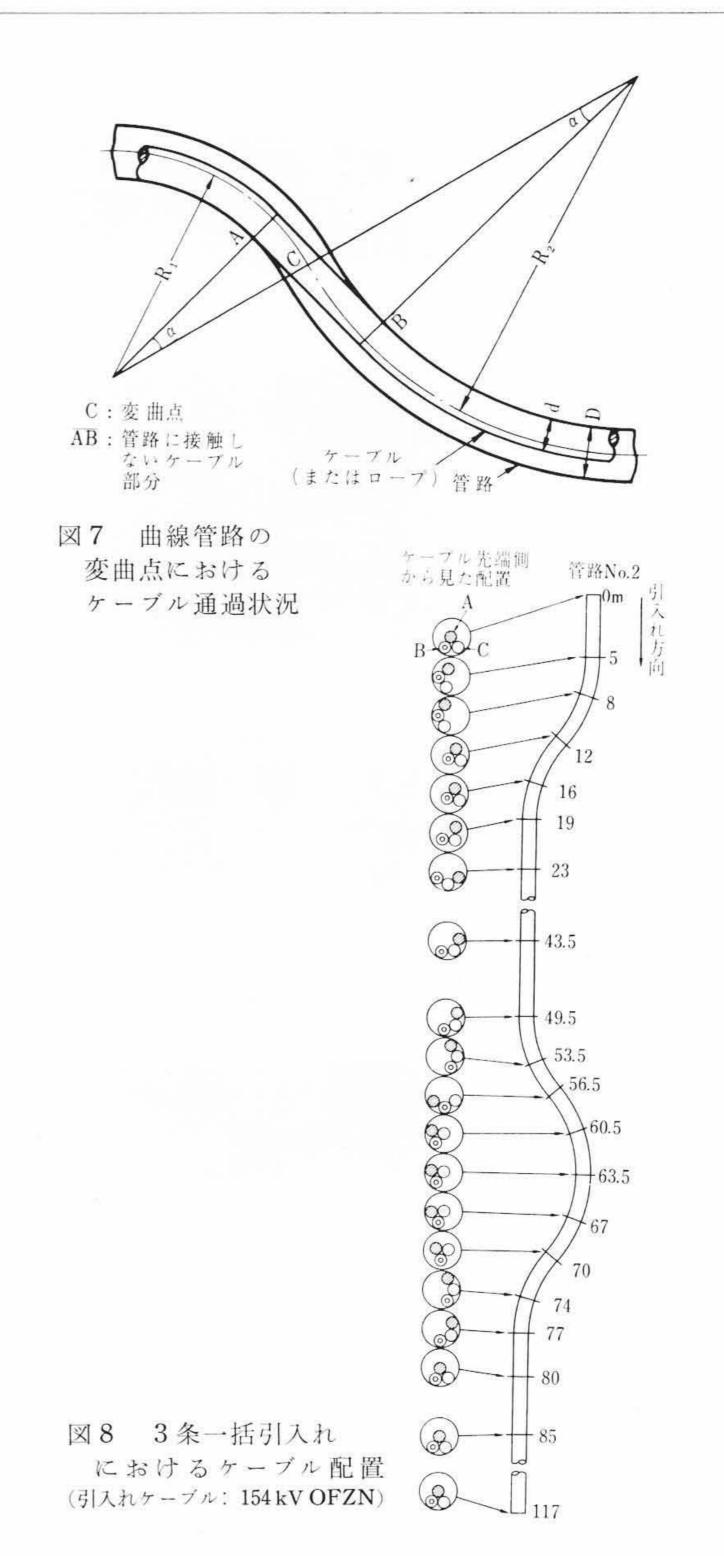
表3 張力測定値より求めた摩擦係数

ここで, 引入張力の理論計算を行なう場合, 正確には次の点を

ケーブル	摩擦係数
154 kV OFZN	0.33~0.40
154 kV OFAZV	0.33~0.38
275 kV OFAZV	0.36~0.39

表4 側圧の比較

ケーブル	張 力 <i>T</i> (kg)	曲率半径 R (m)	側 圧	(kg/m)	
			計算値(T/R)	実 測 値	
154 kV OFZN	3, 300	5	660	640	
154 kV OFAZV	1,300	5	260	275	



考慮しなければならない。すなわち,図7のように変曲点を有する曲管部においては,ケーブルあるいはワイヤロープがまったく管壁に接触しない部分 \overline{AB} を生じ,これを除いて考える必要がある。ここで用いる文字を図のように採ると,計算に使用する曲り角度は,管路の曲り角度より変曲点 1 個所につき 2α だけ差引いた値となる。ここで α は次式で表わされる。

$$\alpha = \cos^{-1} \left(1 - \frac{D - d}{R_1 + R_2} \right) \dots (1)$$

したがって、D-d が大きいほど、また R_1+R_2 が小さいほど α は大きくなる。なお、管路 No. 3 については補正角を考慮する必要はないわけである。

ここで、補正角を考慮し、ケーブル張力の計算値と比較して、 逆に実測値に適合する摩擦係数を求めると表3のようになり、本 実験における値としては、この辺が妥当な値であろう。

次に、普通引入作業において測定される張力は、管路出口におけるワイヤロープ張力であるが、これは実際はケーブル先端の張力に対し、さらにそこから管路出口に至るまでのワイヤロープによる摩擦力が加わったものであり、真のケーブル張力よりも大きく、出口において両者は一致する。ケーブル先端張力、管路出口のワイヤロープ張力およびワイヤロープの摩擦力の間の関係は、ロープの重量を無視して考えると次式で表わされる。

 $T_2 = T_1 e^{\mu \theta} \dots (2)$ $F = T_2 - T_1 = T_1 (e^{\mu \theta} - 1) \dots (3)$

ここに、 T_1 : ケーブル先端張力

T₂: 管路出口のワイヤロープ張力

F: ワイヤロープの摩擦力

μ: ワイヤロープの摩擦係数

θ: ケーブル先端部から管路出口に至るまでの管路屈 曲角(正確には(1)式の補正角を考慮)

本実験では特に、曲り角度が大きいうえ、ワイヤロープが管路を摩耗させるため摩擦係数も大きいので、 T_1 と T_2 の差は大きく表われている。

次に、3条引入れの張力分担について測定した結果によると、曲線部では、外側にくるケーブルには引張力が大きく加わり、内側にくるケーブルでは逆に小さくなり、場合によっては圧縮力になることもある。この傾向は曲率半径の小さいほど顕著となり、その一例は図6(c)のとおりである。これは同図(b)に対する各条の分担張力である。すなわち、Rifenburg 氏の条件一括引入張力計算式による値は、ケーブル総合張力では実測値と比較的一致しているが、各分担張力は小さな曲線部を通過するときにかなり変化することを考慮しなければならないことがわかる。

3.4.2 ケーブル側圧

張力をT, 曲率半径をRとすると,側圧はT/R で計算されるが,本実験では,側圧測定位置における正確なケーブル張力は,ケーブル先端部がそこを通過するときにしか測定できない。このときの張力から計算で求めた側圧と,実測値とを比較した結果が表 4 であり,両者はかなりよく一致している。したがって,側圧は T/R の計算でよいことがわかる。

3.5 ケーブル先端の回転および3条一括引入れのケーブル配置

ケーブル先端部における回転角を引入れを行ないながら測定した結果、より戻し器使用のものではすべて60 度以下であり、回転の方向は一定していない。しかし、より戻し器を使用しない引入れを、鉛被ケーブル1条引きにつき1回行なったところ、管路出口における回転角はワイヤロープ(\mathbf{Z} より)のより戻り方向に190 度であり、これをみてもかなりロープより戻りの影響の大きいこと、およびよ

り戻し器の効果の大きいことがわかる。

次に、3条一括引入れにおいて、ケーブル先端より約10 m 後方における各ケーブルの配置を引入れを行ないながら測定した。その一例を図8に示す。また、同一管路での状態を比べると、引入れごとに同一配置になるとは限らず、ちょっとしたきっかけで多少異なっている。しかし全体的にみたケーブル配置は、ほぼ一般に予想される状態になるといえる。

4. 結 言

実験の結果は以上のとおりであり、結論をさらに要約すると、次 のようになる。

- (1) 管は軽いため取扱いやすく、その布設作業性は比較的良好である。
- (2) ケーブル引入時に、ベンド管内面はワイヤロープ、プーリングキャップなどにより摩耗みぞや傷を生じやすいが、かなりひどいみぞや傷があっても、ケーブル防食層に対しては特に支障は認められず、一般に本実験よりゆるい条件の所が多い従来程度のルートに対しては、十分使用可能と考えられる。また、使い方次第では、曲率半径10mあるいは5mの管路までも使用できるものと思われる。
- (3) 引入張力の理論計算は、Rifenburg 氏の式でほぼよろしい ものと考えられる。ただし、変曲点を有する曲管路におい ては、補正角を考慮する必要がある。
- (4) ケーブル側圧の計算は、従来の式 (T/R) でよい。
- (5) 3条一括引入れのケーブル配置は、ほぼ一般に予想される 状態になる。

最後に、本店地中線課在任中に本実験の計画にあたられ、種々ご 指導をいただいた東京電力株式会社北東京電力所古越課長および東 京電力株式会社南東京電力所地中線課青柳副長にお礼申し上げると ともに、ご援助をいただいた関係各位に感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) R. C. Rifenburg: AIEE, 72, 1275 (Dec. 1953)
- (2) 佐野: ケーブル工事の実際,92(昭33,オーム社)

新案の紹介

登録実用新案第758524号

渡 辺 政 己・畠 山 尚・大 石 義 雄

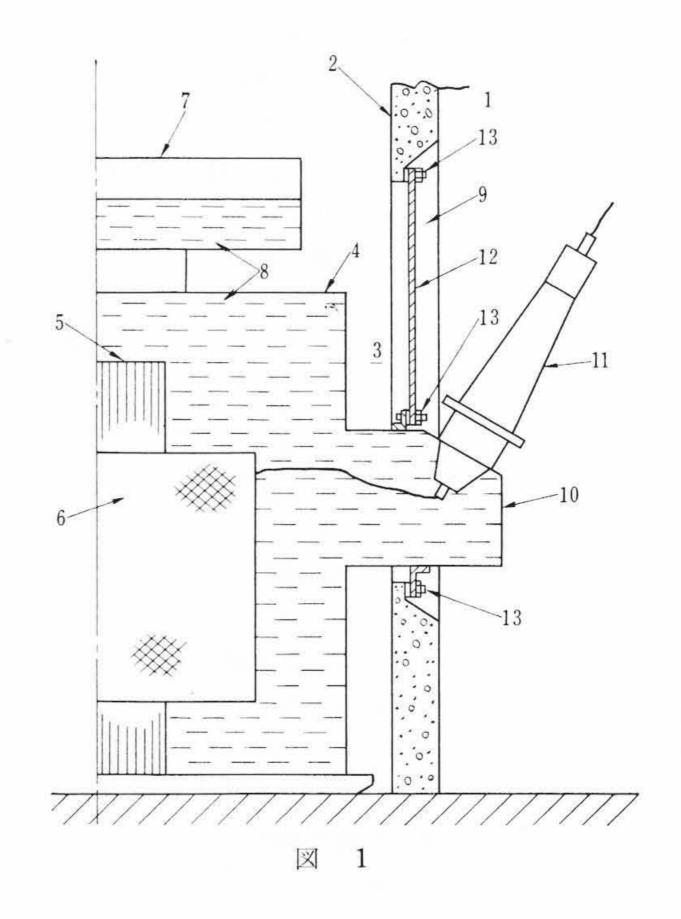
変圧器高圧端子套管の塩害防止装置

近年海岸線の近くに設置される発電所および変電所における高圧 端子套管の塩害防止対策として電気機器を建屋内に設置するかまた は高圧端子套管を耐塩害防止用として特別に製作されたものを採用 したり、あるいは活線洗浄を行なっているが、これらの方法では変 圧器の設備全体が大形化してしまい不経済となっている。

この考案はこの問題を解決したもので図面において1は建屋内部,2は建屋側壁,3は建屋外に設置された変圧器本体で,4は油槽,5は変圧器鉄心,6は巻線,7はコンサベータ,8は絶縁油,9は建屋側壁2を貫通して設けられた窓,10は油槽4の側壁より突出した端子套管取付部,12は窓9の間げきをふさぐ塞板,13は塞板取付ボルトを示している。

この考案では、変圧器本体3を建屋外に設置し、端子套管取付部10に樹立した高圧端子套管11を建屋内に収納するようにするため、建屋側壁2に端子套管11を変圧器本体に取り付けたままで建屋内にそう入し得る高さおよび幅を有する窓9を設け、端子套管11のそう入後窓を塞板12にて閉鎖するようにしたものである。

この考案によれば、大きな建屋を必要とせず高圧端子套管の塩害 防止を簡単かつ経済的に行なえるばかりか危険な高圧部分が建屋内 にあるため建屋外における変圧器本体の保守点検を安全に行なうこ とができる。 (白土)



登録実用新案 第765871号

栗山阜

変 圧 器 鉄 心

変圧器の組立輸送限界容量を拡大するために通常内鉄形変圧器においては、継鉄間に3個の中央巻線脚および一対の側脚を設けた三相五脚鉄心を用いて鉄心高さを低くするようにしているが、種々の問題のため、輸送限界容量を拡大する要求に十分に応ずることができないでいる。

この考案は、この問題を解決したもので図面において 1, 2, 3 は中央巻線脚(主脚), 4, 5, 6 は各中央巻線脚に巻付けられる巻線, 7, 8 は各中央巻線脚を継ぐための上部および下部継鉄, 9, 10 は側脚, 11および 12 はそれぞれ中央巻線脚 1, 2 の間および 2, 3 の間に設けられた補助側脚である。

この考案では,各中央巻線脚1,2,3間に補助側脚11,12を配置し,上部および下部継鉄7,8および側脚9,10とによって三相七脚鉄心を構成したものである。

この考案によれば、通電時に中央巻線脚 1, 2, 3 に発生し継鉄部 7,8 側脚 9,10 および補助側脚 11,12 に流れる磁束は各中央巻線脚の半分となるから、これらの断面積も半分ですむので変圧器鉄心の全体高さ H_7 を低くすることができる。したがって、この変圧器鉄心を使用すれば大形変圧器の組立輸送限界容量を拡大することができる。

