3 心 OF ケーブル系統の重力,圧力 両油槽併用方式の油圧変化

Transient Pressure of 3 Core Oil Filled Cable Supplied by Gravity and Pressure Tanks

今 井 敏 雄* 網 野 弘*
Toshio Imai Hiroshi Amino

内 容 梗 概

OF ケーブルの給油系統の設計で問題となる過渡油圧変化に関してはすでに多くの理論的検討が行われているが、最近、給油区間の数を減らすことが線路の建設費を大幅に節減することになるので区間長をなるべく長くとる傾向にある。わが国では線路亘長の長い場合には重力油槽一圧力油槽併用方式を用いるのが一般的である。筆者らはこの給油方式の過渡油圧変化に数値的な検討を加えた。その結果、動作状態が明らかとなり、設計上の主要素である F. T. の設置高さおよび P. T. の容量と線路亘長の関連を示した図表を与えることができた。

1. 緒 言

現在わが国では 60~275 kV の地中送電線には大部分,低油圧(使用圧力 2.5 kg/cm² 以下) OF ケーブルが使用されている。このケーブルには低粘度の絶縁油が含浸されており,ケーブルの終端あるいは適当な位置に接続された給油槽によって,一定範囲内の油圧が加えられている。この含浸された油は負荷変動,あるいは外気温の変化に伴って膨張収縮を行うのでこれを補償するため,ケーブル中に油流を生じ油圧の分布が過渡的に変化する。この過渡的な油圧変動を許容範囲内におさえるための油槽形式の選択,容量の算定,油槽設置方法の決定などを,普通給油系統の設計といっている。いわゆる過渡油圧変化の算定は給油系統設計上の大部分を占めるものであり,古くから詳細な理論的検討が行われてきた(1)~(3)。

しかし、これらの詳細な理論計算を実際の線路設計に持ちこむことは、かなりの労力を要し必らずしも実用的ではない。筆者らは理論計算の結果と実測値を照合した結果、計算の厳密さよりは、計算条件の選択が大きく結果を左右するものであることを経験している。

このような観点から本報告では、給油方式のうち最も複雑な重力油槽(以下 F. T.)、圧力油槽(以下 P. T.) 給油方式の設計法について一連の検討を行った。その結果、この設計方法は少ない労力で従来行われていた簡略計算よりはるかに合理的かつ利用範囲が広いものであると思われるので、詳細を報告する。

2. F.T.-P.T. 併用方式の過渡油圧変化

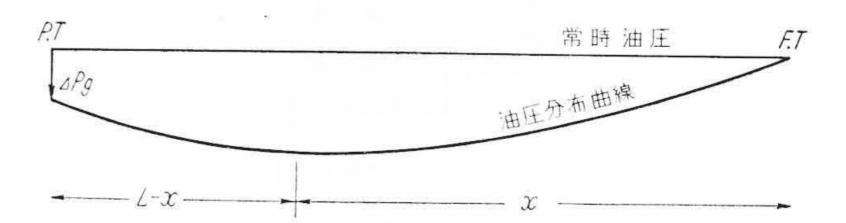
2.1 給油理論

F. T. 一P. T. 方式のケーブルの電流遮断時の過渡油圧の時間経過を考える。電流を遮断して一定時間経過したときの油圧分布は第1図のようになっている。圧力平衡点は、遮断直後には、線路の中央にあるが、P. T. からの給油が進行してその油圧が下がると、P. T. 側に移動する。

油圧の変化分にのみ着目すると一般に次式が成立する。

$$\varDelta P = ab \ (LX - \frac{1}{2}X^2) \(1)$$

- a: ケーブル単位長(cm) 当り, 単位時間(s) に膨張収縮する 油量, 通称オイルデマンド(cm³/s/cm)
- b: 油通路の油流抵抗(g/cm⁶/s)
- L: 油槽の給油するケーブルの長さ(cm)



x: F.T. の給油長 *JPg*: P.T. の油圧降下 L-x: P.T. の給油長

第1図 F. T. 一P. T. 方式の油圧分布

X: 給油槽よりの距離(cm)

F. T. - P. T. 併用方式の圧力平衡点の油圧降下は F. T. 側からみて

$$\Delta P_1 = \frac{ab}{2} x^2$$

P. T. 側からみて

$$\Delta P_2 = \frac{ab}{2}(L-x)^2 + \Delta Pg$$

ここで x: F.T.の給油区間長

L-x: P. T. の給油区間長

 ΔPg : 給油によって生じたP.T. の常時油圧からの降下分これらは同一点の油圧ゆえ, $\Delta P_1 = \Delta P_2$ である。よって

$$x = \frac{L}{2} + \frac{\Delta Pg}{Lab} \dots (4)$$

$$L - x = \frac{L}{2} - \frac{\Delta Pg}{Lab} \dots (5)$$

今ある時刻に F. T. および P. T. から流出する油量は

$$dV_{\text{F.T.}} = a\left(\frac{L}{2} + \frac{\Delta Pg}{Lab}\right)dt \dots (6)$$

$$dV_{P.T.} = a\left(\frac{L}{2} - \frac{\Delta Pg}{Lab}\right)dt \dots (7)$$

ここで $dV_{F.T.}$: F. T. より dt 時間に流出する油量

 $dV_{P.T.}$: P. T. より dt 時間に流出する油量

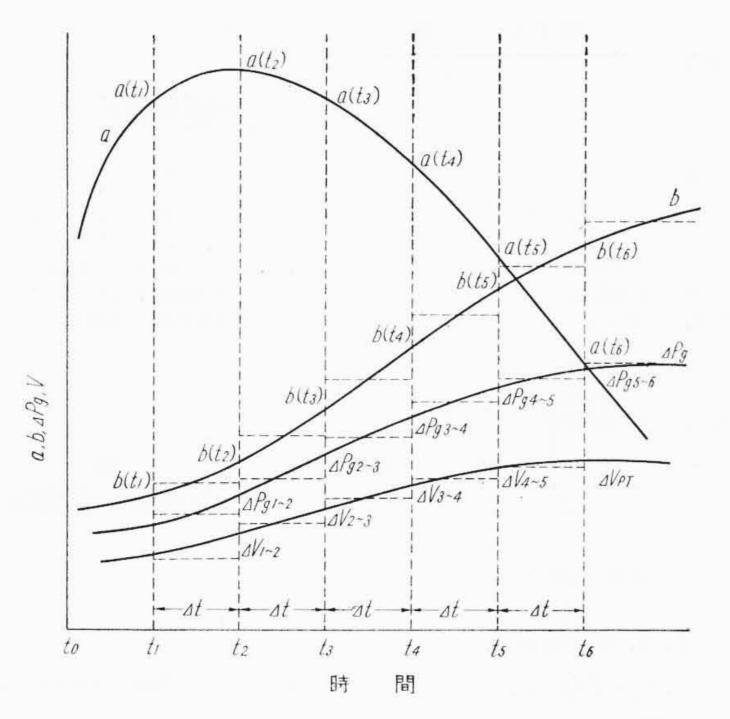
P. T. の油量および圧力平衡点の油圧降下は次式で示される。

$$V_{\text{P.T.}} = \int_0^t a\left(\frac{L}{2} - \frac{\Delta Pg}{Lab}\right) dt \dots (8)$$

 $V_{\text{P.T.}}$: $0 \sim t$ 時間に至る間に P. T. から流出する油量

APc: 圧力平衡点の油圧降下

^{*} 日立電線株式会社電線工場



第2図 F.T.-P.T. 方式に段々法を適用した際の概念図

一方 P. T. については次式が成り立つ。

$$V_{P.T.} = \frac{kT \Delta Pg}{P_0(P_0 + \Delta Pg)}$$
(10)

k: 油槽としてのガス定数

T: 油槽温度(°k)

 P_0 : F. T. との高低差によって決まる P. T. の常時油圧 (8)式と(10)式より

$$\frac{kT \, \Delta Pg}{P_0(P_0 + \Delta Pg)} = \int_0^t a\left(\frac{L}{2} - \frac{\Delta Pg}{Lab}\right) dt \dots (11)$$

となる。(11) 式を解いて APg の時間的変化を求めることが必要 である。しかし、(11)式中のaとbは時間の関数であり、ケーブル の熱的過渡現象および絶縁油の粘度特性によって決るが数式表現は 相当複雑である。また、たとえ割合簡単な数式表現が得られたとし ても、それは APg についての非線形微分方程式となり、なんらかの 仮定をおいて省略算を行わなければ一般解を求めることは不可能で ある。しかも計算上の仮定は常に設計上の安全側に置かねばなら ず、不合理な点は解決できないと考えられる。

2.2 F.T.-P.T. 方式に対する段々法の適用

段々法は、連続的に変動する諸量を短時間ごとに階段的に変化す るものとみなして, 各階段ごとの微小変化を基本式に入れて, 次々 に計算し、これらを継ぎ合わせてゆく方法である。したがって計算 はややはん雑であるが、時間間隔さえ適当に選択すれば結果は最も 信頼できる方法である。

段々法の概念を説明的に表わしたのが第2図である。 t1からt2ま でaは一定としその値は $a\left(\frac{t_1+t_2}{2}\right)$ とする。同じくこの期間 Δt 中には b は $b\left(\frac{t_1+t_2}{2}\right)$, ΔPg は Pg_1 の値とし,油量の変化を $\Delta V_{1\sim 2}$ とすると、P.T.の変化は次式で示される。

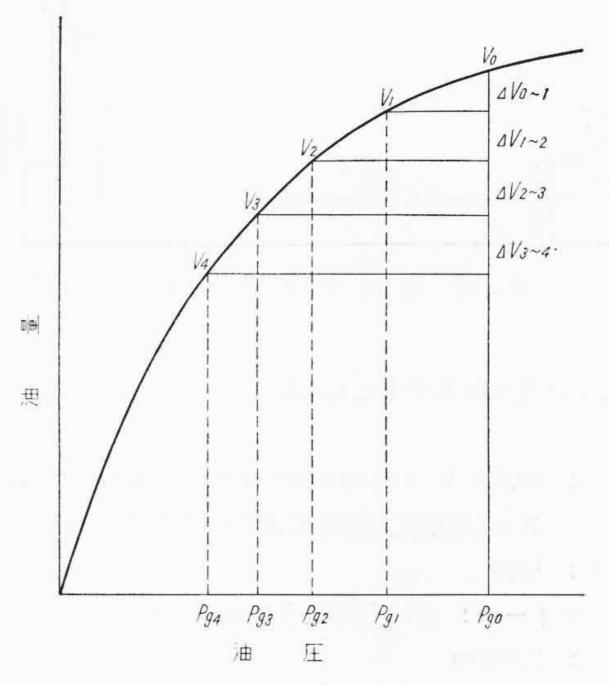
$$\Delta V_{\text{P.T.}_{1\sim 2}} = a \left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right) \left(\frac{L}{2} - \frac{\Delta P g_1}{L a_1 b_1}\right) \Delta t \dots (12)$$

F. T. については同じく次式で示される。

$$\Delta V_{\text{F.T.}_{1\sim 2}} = a \left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right) \left(\frac{L}{2} + \frac{\Delta P g_1}{L a_1 b_1}\right) \Delta t_1 \dots (13)$$

△V_{P.T.1} に相当する P.T.の油圧は, その動作特性である 第3回 から求め、これを ΔPg_2 とする。 $t_2 \sim t_3$ についても同様な計算を行 50

$$\Delta V_{\text{P.T.}_{2\sim3}} = a \left(\frac{t_2 + t_3}{2}\right) \left(\frac{L}{2} - \frac{\Delta P g_2}{L a_2 b_2}\right) \Delta t \dots (14)$$



第3図 P.T. の 特 性

第1表 段々法による F. T. 一P. T. 給油方式の計算表

時間経過	a	ab	l-x	ΔV	$\Sigma \Delta V$	ΔPg	Pg	ΔPc	Pc min
min	cm ³ /s•cm	g/cm ⁴	m	l	l	kg/cm ²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0	×10 ⁻⁶ 33.32	10 ⁻⁸ 1.084	1,000	1.00	0	0	0.765	0.054	0.981
5	55.84	5.62	978	1.63	1.00	0.025	0.740	0.293	0.742
10		5.82	944	-	2.63	0.065	0.700	0.325	0.710
15	54.18	5.62	899	1.54	4.17	0.113	0.652	0.340	0.695
20	50.89	5.50	875	1.37	5.54	0.137	0.628	0.347	0.688
30	46.96	5.27	824	2.46	8.00	0.185	0.580	0.365	0.660
40	42.20	4.92	763	2.08	10.08		0.532	0.375	0.650
-	36.45		m=	3.34	-				
60	30.15	4.64	685	2.48	13.42	0.292	0.473	0.400	0.635
80		4.27	608	3.35	15.90	0.335	0.430	0.413	0.622
120	22.97	3.39	350	-	19.25	0.383	0.382	0.460	0.575
180	2.26 65	2.26	65	1.85	21.10	0.423	0.342	0.423	0.613
240		0.203	21.30	0.425	0.340	0.340	0.695		

l-x: P.T.の給油区間長

△V: P.T.の給油量

Pg: P.T.の油圧

 $\Sigma \Delta V$: P.T.の給油量の積算

APc: ケーブルの圧力平衡点の油圧変動 Pc min: ケーブルの圧力平衡点の油圧

APg: P.T.の常時油圧からの変位

$$\Delta V_{\text{F.T.}_{2\sim3}} = a \left(\frac{t_2 + t_3}{2} \right) \left(\frac{L}{2} + \frac{\Delta P g_2}{L a_2 b_2} \right) \Delta t \dots (15)$$

各時刻における圧力平衡点の油圧は(9)式より求める。このよう な操作を繰り返して行うとついに、 $\frac{L}{2} = \frac{\Delta Pg}{Lgh}$ において、P. T. 端 が圧力平衡点となり、 F. T. のみから給油が行われるようになる。 したがってこれから後は徐々に油圧は上昇する。すなわち P.T.の 油圧が最も低下するのは圧力平衡点が P.T. 端に達した瞬間であ

2.3 段々法による計算例

段々法によって F. T. -P. T. 方式の P. T. の油圧, 各油槽の給油 長,給油量などの時間的な変動状況を求めた例を示す。前述のよう にこの方法は時間間隔が短いほど、計算精度は高い。第2図の基本 概念図に示されるように時間間隔を広くとると実変化に対して個々 の計算結果の隔りが大きくなる。したがって、ケーブルの温度変化 の速い範囲および圧力平衡点が P.T. 端に近づいたときなどのクリ テイカルな部分では短くとる必要がある。F. T. 一P. T. 方式につい ては P.T. 端の油圧に関する限り時間間隔を長くとると安全側の数 値が得られる。

段々法の計算ははん雑であるから第1表のような計算表を作成



し, 計算結果は逐次記入することにした。

計算例

ケーブル: $60,000~V~3 \times 150~mm^2$ クロロプレン防食 OF ケー

ブル(東京電力規格による標準構造)

布設方法: 管路

布設プロフィール: 第4図のように仮定する。

亘 長: 2,000 m

P. T.: 10セル, ただし1セル当りのガス定数は 0.045とす

る。

遮断前の初期温度条件: 4 孔式標準管路布設で土壌の固有熱抵

抗gは50°C/W/cm³として,初期温度を算出した。

損失変化量: 300Aの長期間通電後, 遮断したものとして $W_0 = 0.397 \, \mathrm{W/cm}$ とする。

(1) aおよびbの算出

a および b の算出は Network method によって行った。ただし遮断時の熱的過渡現象の初期条件として,遮断前の管路土壌部分の温度上昇は次のように算出した。

$$R_4 = \frac{gNL_f}{2\pi} \log_e \frac{4L}{l} = \frac{50 \times 1 \times 1}{2 \times 3.14} \log_e \frac{4 \times 1,460}{460}$$

=21.1 °C/W/cm

 $Td = W_0R_4 + T_0 = 0.397 \times 21.1 + 5 = 13.3$ °C

ここで

R₄: 土壌および管路の熱抵抗

N: ケーブル条数

8: 土壌の固有熱抵抗

 L_f : 損失率

L: 管路中心の深さ

1: 管路周辺の幾何学的平均距離

Td: 管路内壁温度

これに基くa b の計算結果を第1表に示す。

(2) 遮断前の油圧

F. T. と P. T. の高低差によって P. T. に与えられる静油圧は $Pg = (10-1.5) \times 0.09 = 0.765 \, \text{kg/cm}^2$

ケーブルの静油圧は

 $Pc = (10+1.5) \times 0.09 = 1.035 \text{ kg/cm}^2$

となる。

(3) 遮断瞬時から遮断後5分までの変化 遮断瞬時における線路中央部の油圧降下は

 $\times 10^{-3} = 0.054 \text{ kg/cm}^2$

0~5分における P.T. の給油量は

 $\Delta V_{\text{P.T.}} = a \frac{l}{2} \Delta t = 33.32 \times 10^{-6} \times 1,000 \times 10^{2} \times 300 = 1,000 \text{ cm}^{3}$

(4) 遮断後5分から10分までの変化

遮断後5分の P.T.の油圧変化を第3図と同様な方法により求

第2表 実測値との比較例

管路条件 電流条件		計	算. 值 (kg/cm²)			実	Sent
		ケーブル水浸せず (5°C)	圧力油槽側⅓ (5℃)	3が水浸 圧力液 水浸	水浸 圧力油槽側 573.8 m 水浸 (10℃)		測
通	電	+0.780	_	_	+0.395	+0	.32
遮	断	-0.616	-0.0	60	-0.225	-0	.16

ケーブル: 70 kV 3×60 mm² OF ケーブル P.T. の常時油圧: 1.32 kg/cm²

の常時油圧: 1.32 kg/c 通電電流: 211A

亘 長: 2,386.8 m P.T.: 30 セル

通電電流: 211A 通電時間: 6時間

めると、25g/cm²となる。

$$l - x = \frac{l}{2} - \frac{\Delta Pg}{abl} = \frac{2,000 \times 100}{2} - \frac{25}{5.62 \times 10^{-8} \times 2,000 \times 10}$$

 $=978\times10^{2}\,\mathrm{cm}=978\,\mathrm{m}$

また P. T. の給油量は

 ${\it \Delta V}=a~(l-x){\it \Delta t}=55.8\times10^{-8}\times978\times10^2\times300=1,630~{\rm cm^3}$ である。

(5) 遮断後10分から15分までの変化

P. T. の油圧変化の ΔPg=65 g/cm²

$$l - x = \frac{l}{2} - \frac{\Delta Pg}{abl} = \frac{2,000 \times 100}{2} - \frac{65}{5.82 \times 10^{-8} \times 2,000 \times 100}$$

 $=944 \times 10^{2} \text{ cm} = 944 \text{ m}$

また P.T.の給油量は

 $\Delta V = a (l-x) \Delta t = 54.2 \times 10^{-6} \times 944 \times 10^{2} \times 300 = 1,540 \, \mathrm{cm}^{3}$ となり遮断後15分の P. T. 油圧変動は $113 \, \mathrm{g/cm^{2}}$ となる。以下 P. T. の給油区間が遂次減少し最終的には零となるが,それに至るまでの計算経過は第1表のとおりである。

2.4 実測値との比較例

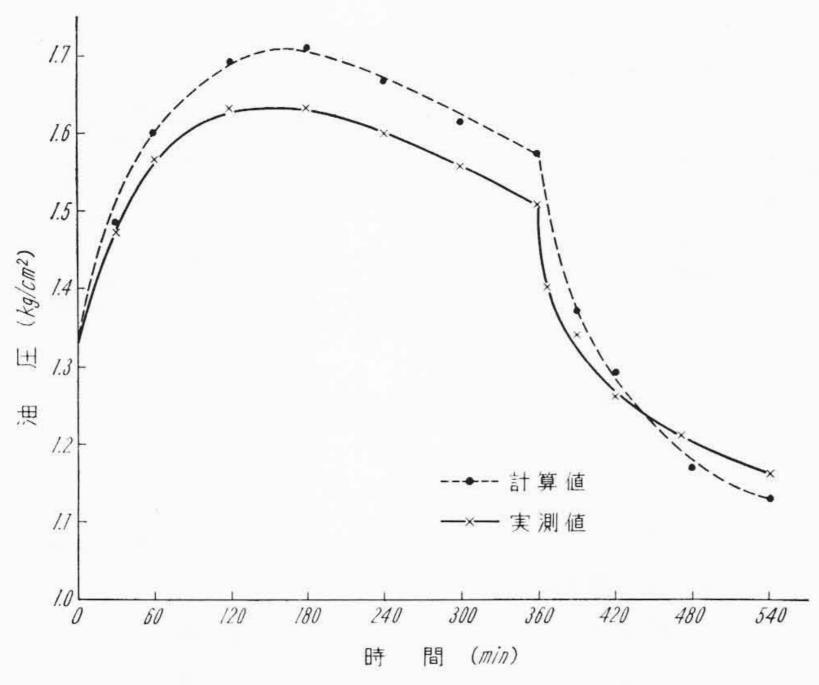
関西電力株式会社湊川一新三菱重工線 $70 \, \mathrm{kV} \, 3 \times 60 \, \mathrm{mm}^2 \, \rho \, \mathrm{p}$ pr pr

2.5 F.T. - P.T. 併用方式の動作

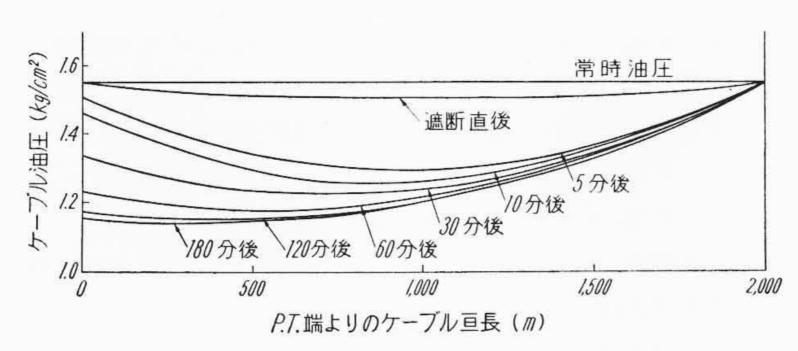
圧力平衡点の移動に伴うルートの圧力分布の変化の状態を段々法で計算した一例を第6図に示す。第6図よりルートの F. T. 側は油圧の時間的変化が小さく、 P. T. 側では時間経過とともに大きく変ることが明らかとなった。 P. T. の油圧変化はその容量によって差があるので、セル数をパラメータとして計算した例を第7~8図に示す。ケーブルの放熱条件としては管路が水浸した場合としない場合の両者を選び比較した。圧力平衡点における圧力降下の最大値は P. T. 側において最大となる場合とルートの中間において最大となる場合があるが、ケーブルの放熱条件が良好な場合には油槽容量とは無関係に多くの場合ルート中央間で最大値を示すことがわかる。また放熱条件が良好で P. T. 容量が小さい場合には,圧力平衡点はすみやかに移動して P. T. 端に到達するから F. T. との給油分担率は小さくなる。

2.6 F. T.—P. T. 併用方式の設計基準

ケーブル線路の電圧、サイズ、ルートの高低差などが与えられた



P.T. の油圧変化 第5図 F.T.—P.T. 方式の実測例



60 kV 3×150 mm² 防食 OF ケーブル 第 6 図 F. T. 一F. T. 方式の油圧分布の時間的変化の例

場合, F. T. の設置高さおよび P. T. の容量を決定するには, 前述したとおり段々法によってそのつど計算すればよいわけであるが, かなりの労力を要することになる。こういう場合, 各電圧, 各サイズ, 代表的条長, F. T. 高さ, P. T. 容量について, P. T. 端における油圧降下およびルート中央部における油圧降下の値を図表化しておけばきわめて便利である。

このような観点から各種の条件について計算を行い図示したものが第9図(A)および(B)である。(A)はルート中における最大油圧降下の値であり、(B)は P. T. 端の最大油圧降下値である。この場合計算条件は次のように仮定された。

電流値: 管路式1条の場合の許容電流値 (4孔式管路, g=100°C/W/cm³)

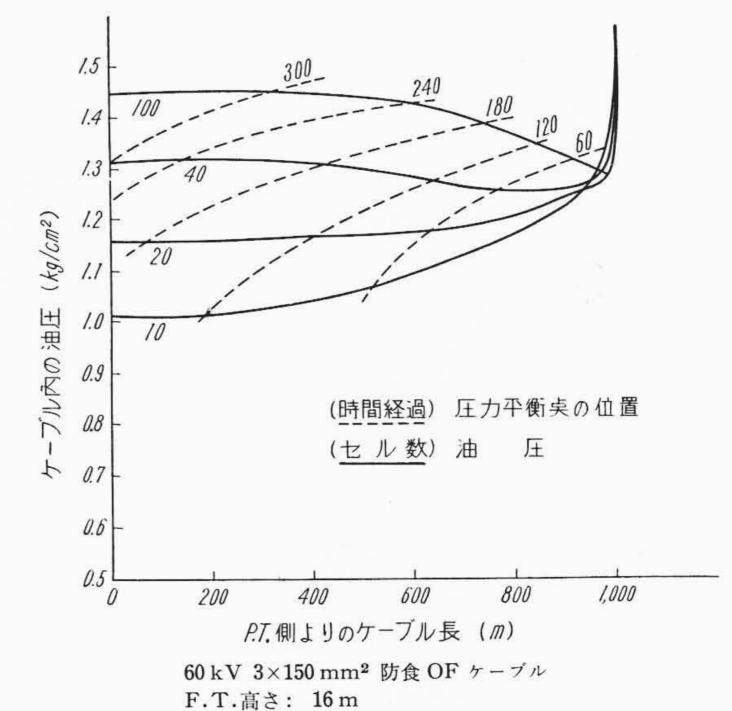
遮断前の温度: 許容電流を通電,無限大時間後の温度分布をとる。 ただし $g=50^{\circ}$ C/W/cm³,外気温 5° Cとする。

ケーブル構造: JCS 267 による。ただし東電および関電規格でも結果はほぼ同一である。

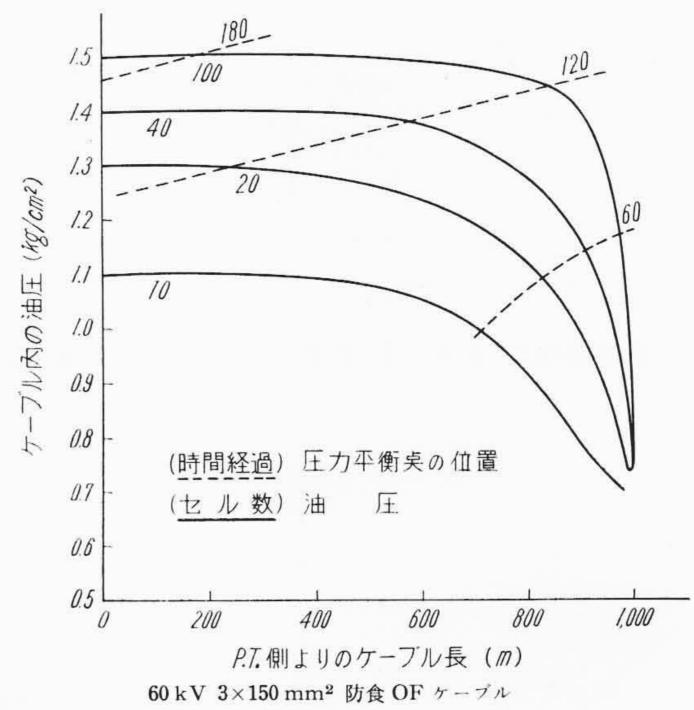
この図表の見方はつぎのとおりである。まず第1象限の横軸の条 長を所要値にとり、その点から垂直線を引いて、所要電圧サイズの 曲線との交点を求め、さらにその点から水平に第2象限へとたどり F. T. 高さの線との交点を求めさらにこの点より垂直に第3象限へ とたどって、P. T. セル数の線との交点を求める。この点より y 軸 に垂線をおろろせば、その読みが油圧降下をあたえる。

この図表から次のようなことがわかる。

- (i) すべての関係が大体直線関係で表現できる。
- (ii) ケーブルサイズの影響は、導体断面積が大きくなるに従って油圧降下は小さくなる。これは油通路径が大きくなるためであ



亘 長: 2,000 m 第7図 圧力平衡点の移動例 (気中布設)



60 kV 3×150 mm² 防食 OF ケーフル F.T.高さ: 16 m 亘長: 2,000 m

第8図 圧力平衡点の移動例 (水中布設)

る。ところが $250 \, \mathrm{mm^2}$ 程度の大サイズになると、反転して逆に導体断面積の上昇により油圧降下は大きくなり始める。これは a が大きくなるためである。このようにしてサイズの影響は第 1 象限の V 曲線となる。

(iii) (A)と(B)とを比較すると、P.T. セル数はルート中の最大油圧降下よりもP.T. 端の油圧降下に対して大きい影響を与える。これは、ルート中の最大油圧降下が主としてケーブルの条件によって定まることを示している。

(iv) 高さが高くなれば、油圧降下は大きくなる。ただし降下前の油圧が高いので、降下後の油圧の絶対値は大きい。

この図表を用いて与えられたケーブル系統の F. T. 高さ P. T. セル数を求めることが可能である。

(2) 図表を用いた設計例(ルートに高低差がない場合)

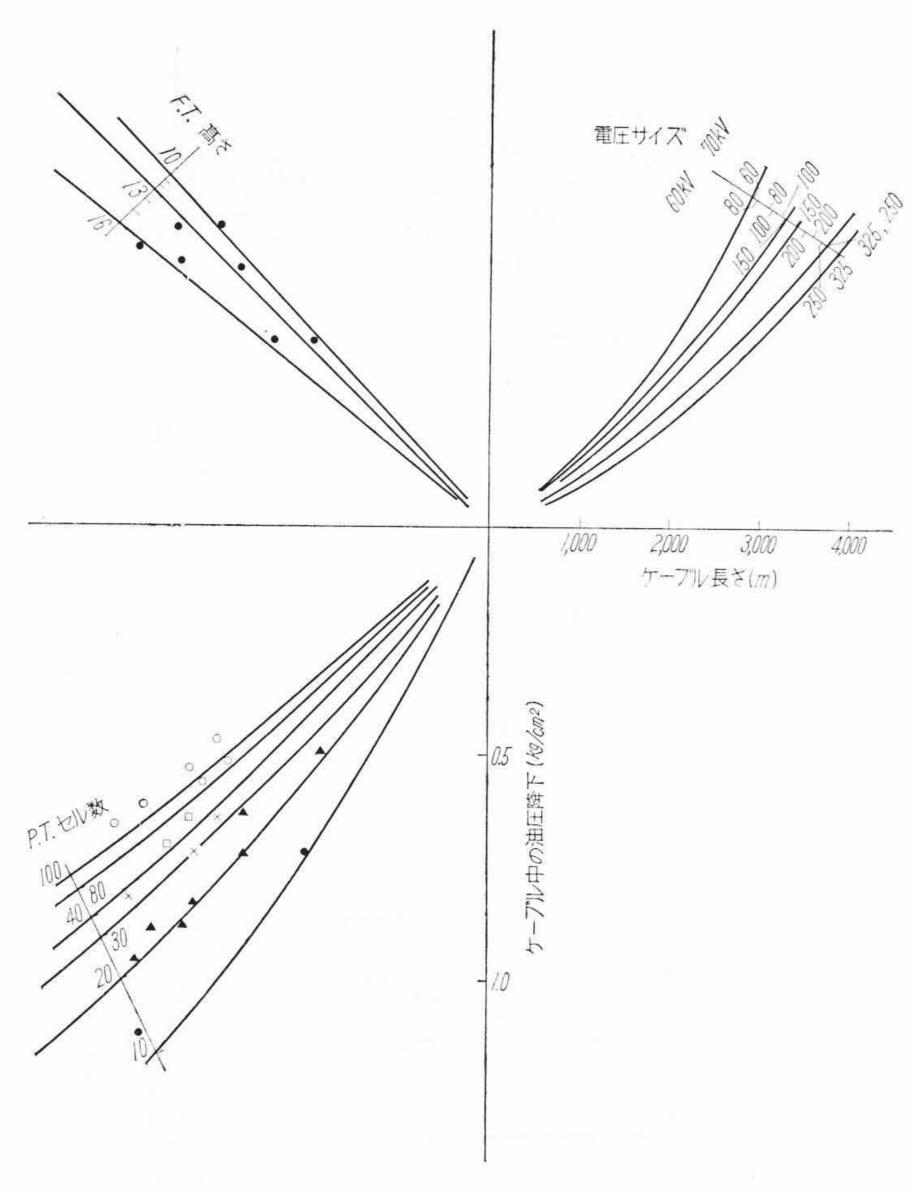
まずルートに高低差がない水平布設を例にとる。

ケーブル: $70 \text{ kV } 3 \times 325 \text{ mm}^2$

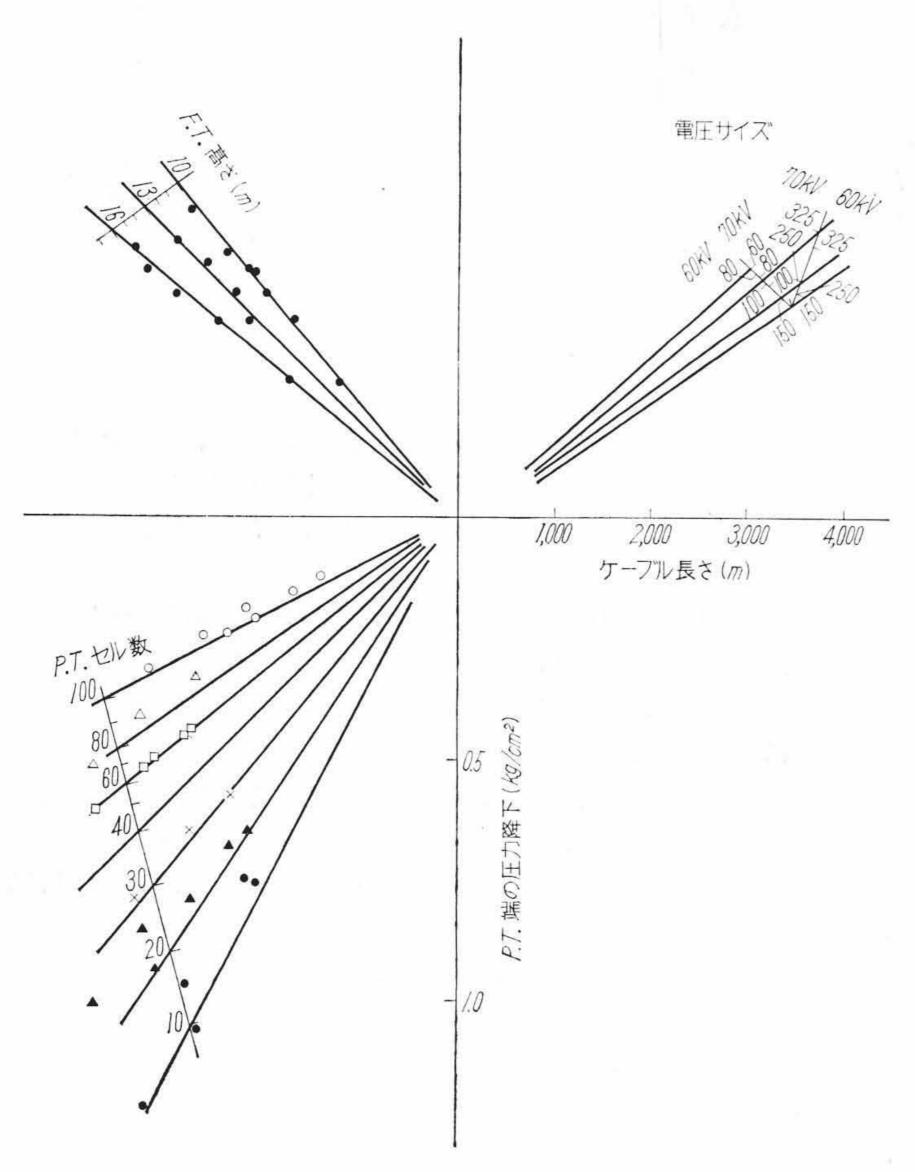
亘長: 3,000 m

布設条件: 管路内, 地下 1.5 m

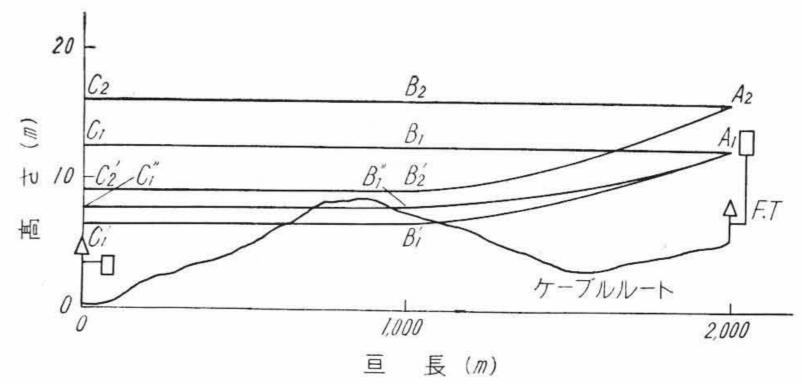
という条件のもとで, F.T. 高さおよび P.T. セル数を求めてみ



第9図(A) F.T.-P.T. 給油方式ケーブル中油圧降下



第9図(B) F. T. -P. T. 給油方式 P. T. 端油圧降下



第10図 高低差のある場合の設計例

よう。

まず F.T. 高さを $10 \, m$ とすれば、ルート中における最大油 圧降下は、第9図(A)よりつぎのようになる。

P. T. セル数= 20 のとき 0.6(kg/cm²)

P. T. セル数= 40 のとき 0.45(kg/cm²)

この場合油圧降下が起る前のルート中のケーブルの常時油圧は

 $(10+1.5) \times 0.09 = 1.05 \text{ (kg/cm}^2)$

であるから P. T. セル数=20 として $0.6 \, \mathrm{kg/cm^2}$ の油圧降下が起っても $1.05-0.6=0.45(\mathrm{kg/cm^2})$ の余裕があることになる。つぎに第 $9 \, \mathrm{図}(B)$ を参照する。P. T. 端の油圧降下は,

P.T.セル数=20セルのとき

 $0.60(kg/cm^2)$

P.T.セル数=40セルのとき

 $0.40(kg/cm^2)$

この場合 P.T. 端の終端箱の最上部が地上より 5 mの位置に あるとすればこの部分の常時油圧は

 $(10-5) \times 0.09 = 0.45 (kg/cm^2)$

であるから、P. T. セル数 20 セルでは負圧になり 40 セルが必要であることがわかる。

このようにして、ルート中においても P.T. 端においても、 負圧にならないためには、F.T. 高さ 10 m に対しては P.T. セ ル数は40セルが必要であることがわかる。

(3) 図表を用いた設計例(ルート中に高低差のある場合)

ルート中に高低差のある 場合には 上記 よりも 多少複雑となる。それはルートの高所にある部分の油圧がどうなるかを調べる必要があるからである。そのためには各位置,各時刻における最低油圧点の時間変化すなわち最低油圧点の包絡線を画いてこれとルートのプロフィルが交差するかどうかを調べればよいが,実用的には第9図(A)(B)を用いて次のようにすれば十分正確かつ安全側にあることが確められている。

まずルート中において最大油圧降下の起る点であるが、これは理論的には中央点から P. T. 端までの間であればどこでも起りうる可能性があるが、実際計算を行ってみると実用的範囲内では、ほとんどの場合中央点の近傍に起る。 P. T. 端に起る場合は P. T. のセル数が非常に少ない範囲内に限られていることがわかる。そこでここでは最大油圧降下点を中央点にとるものとする。

つぎに最大降下が起ってから、その部分の油圧は上昇しながらP. T. 端に達する。この上昇は P. T. 端に達するまで徐々に行われる。実際計算してみると管路が水浸していない場合には中央点に起った最低油圧がそのまま P. T. 端まで同じ値で到達すると考えれば実用的には十分正確でかつ安全側にあり、その誤差もセル数の非常に多い範囲でせいぜい 0.2 kg/cm² 程度であることがわかる。したがって、油圧の包絡線の近似曲線としては中央点にとった最低油圧の値を P. T. 端にまで延長すればよい。

このような方法によってつぎの例の F. T. 高さおよび P. T. 容 量を求めてみよう。

ケーブル: 70 kV 3×60 mm²

亘 長: 2,000 m

布設条件: 管路内, 地下 1.5 m プロフィルは 第10 図 のとお

りとする。

まず F. T. の高さを、13 m とすれば 第9図(A) よりルートに おける最大油圧降下は

P. T. セル数=20 のとき $0.55(kg/cm^2)=6.2(m)$

また P. T. 端の油圧降下は第9図(B)より

P. T. セル数=20 のとき $0.55 (kg/cm^2)$

となるので、包絡線は第10図において

 $B_1B_1' = 6.2 \text{ (m)}$

にとって $A_1B_1'C_1'$ 曲線によって表わすことができる。この曲線 はルートの高低差を示す曲線と交わっているのでこの場合 P.T. は20セルでは不足であることがわかる。

そこで40セルとすれば、ルートの最大油圧降下は

 $0.45 \text{ (kg/cm}^2) = 5.0 \text{ (m)}$

また P. T. 端の最大油圧降下は

 $0.35(kg/cm^2)$

となるので

 $B_1B_1''=5(m)$

にとると包絡線 $A_1B_1"C_1"$ が油圧降下曲線となるが、これでも不 足である。

ところがこれ以上セル数を増すのは一般的に経済的でないの で、F. T. の高さを 16 m に上げる。こうすれば前と同様の方法に より P. T. 20 セルの場合, $A_2B_2'C_2'$ が油圧曲線となってルートプ ロフィルと交差しないから、十分である。また、 P. T. 端の条件 についても、図からわかるように負圧になることはない。このよ うに中央点から P. T. 端側に高所がある場合には条件によっては 負圧を生ずる可能性があるので、F.T. 高さおよび P.T. セル数 の選択には十分注意しなければならない。特にこの場合 P.T.の セル数を増すことはそれほどの効果はなく, F.T. の高さを上げ ることが有効である。

(4) その他の考慮を要する条件

F. T. の高さおよび P. T. のセル数を決定する一般的方法を述 べたが、このほかにも考慮を要する条件がある。

その第1は、管路が水浸しになっている場合である。この場合 には b が非常に大きいのに対して, a の減衰も非常に早い。計算 を行った結果によれば、P.T. 端の圧力降下はほとんど問題とな らず、ルート中央点における圧力降下のみが問題となる。その絶 対値は第9図(A)に示した値のほぼ2倍前後になるが安全をみて 2.5倍と考えておけばよい。そして油圧分布の包絡線としては, (3)で述べた $B_1'C_1'$ のような水平線を考える必要はなく, A_1B_1' を対称的に裏返した、 $A_1B_1'C_1$ という二次曲線を考えればよい。 したがってこの場合の操作としては, まず水がない場合について F. T. 高さおよび P. T. のセル数を求め、つぎに水があるものとし て F. T. 高さを補正すればよい。

つぎに考えなければならないのは、負荷印加時の圧力上昇であ る。これは通常短時間であれば 5 (kg/cm²) 程度まで許容してい るが、この値は第9図(A)の値の2倍程度になる。この値が 5 (kg/cm²) を上回る場合にはさらに鉛被の補強を強くするなどの 対策をとる必要がある。

また F. T. の高さを決めるにあたって、鉛被にかかる常時油圧 にも留意する必要がある。この値は通常 2.5 (kg/cm²) 以下にと る。これを上回る場合にはさらに種々検討を必要とする。

3. 結

前述の結果を要約するとつぎのようになる。

- (i) F. T. -P. T. 併用方式に段々法を適用しその動作状態を明 らかにすることができた。
- (ii) 各種サイズおよび布設条件について、検討した結果、これ らの相関関係がノモグラフにより直線的に表現されることがわか った。
- (iii) その結果, 日常の設計において F. T. の高さおよび, P. T. のセル数を簡単に求めることができる。

とくにルートの P. T. 端側にレベルの高い部分がある場合には その決定にあたって油圧降下曲線を画く必要がある。

- (iv) さらに管路の水浸しの問題, 負荷印加時の圧力上昇の点な どについても考慮をはらう必要がある。
- (v) 今後の問題としてさらにこの図表の精度を上げかつ油圧の 包絡線を簡単に求めるために計算器による演算などを検討してい る。

また, 短時間負荷のように, 定格電流以上の大電流が流れた場 合すなわち, ab が変った場合の影響についても総合的に検討を行 う予定である。

本稿を終えるに当り,終始,ご指導いただいた日立電線株式会社 電線工場杉山課長 および 橋本主任 に厚く お礼申しあげる次第であ

献 文

- (1) G. B. Shanklin, F. H. Buller: T. AIEE 50, 147 (1931)
- (2) K. W. Miller, F. O. Wollaston: T. AIEE 52, 98 (1933)
- F. O. Wollaston: T. AIEE 68, 1284 (1949)
- J. H. Neher: T. AIEE 72, Pt | 712 (1953) (4)
- (5) J. H. Neher: T. AIEE 70, pt | 1361 (1951)
- (6) F. H. Buller, J. H. Neher, F. O. Wollaston: T. AIEE 75, Pt | 180(1956)
- (7) 洞沢: 古河電工 13, 60 (1941)
- (8) 武藤, 津元: 藤倉技報 18, 27 (1959)

ルート中でケーブルの放熱条件が著しく 付 録 異なる場合の段々法の適用

ケーブルの放熱条件が長さ方向の位置によって著しく異なる場合 がある。たとえばルートのある部分が水浸し, ほかの部分は水浸し ていないような場合はこれに当る。

(1) 遮断後圧力平衡点が水浸しない部分にあるとき

 l_1 : 水浸しない部分のケーブルの亘長(cm)

l₂: 水浸した部分のケーブルの亘長(cm)

 $L=l_1+l_2$: 全亘長(cm)

 a_1 : 水浸しない部分のケーブルのオイルデマンド $(cm^3/s/cm)$

 a_2 : 水浸した部分のケーブルのオイルデマンド $(cm^3/s/cm)$

 b_1 : 水浸しない部分のケーブルの油流抵抗 $(g/cm^6/s)$

 b_2 : 水浸した部分のケーブルの油流抵抗 $(g/cm^6/s)$

X: 重力油槽の給油亘長

 \mathbf{F} . \mathbf{T} . よりみた圧力平衡点の油圧変化は $X \leq \mathbf{l}_1$ ゆえ

$$\Delta P_1 = \frac{a_1 b_1}{2} X^2 \dots (1)$$

P.T. よりみて

(1)(2)式より

$$X = \frac{\Delta Pg + \frac{1}{2}a_1b_1l_1^2 + \frac{1}{2}a_2b_2l_2^2 + a_1b_2l_1l_2}{a_1b_1l_1 + a_1b_2l_2}....(3)$$

となる。 ΔPg , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 の時間変化を入れると, Xは逐次増加する。 $X \ge l_1$ になると圧力平衡点は浸水部分に移動したことになる。

 $X \leq l_1$ における各油槽の給油量は

$$\Delta V_{\rm FT} = a_1 x \Delta t \dots (4)$$

$$\Delta V_{\rm PT} = \{a_2l_2 + a_1(L - X - l_2)\}\Delta t$$
.....(5) となる。

(2) 圧力平衡点が水浸した部分のケーブルに移動したとき F. T. 端よりみた圧力平衡点の油圧は次式で示される。

$$\varDelta P_{1}=\frac{1}{2}a_{1}b_{1}l_{1}^{2}+\frac{1}{2}a_{2}b_{2}(X-l_{1})^{2}+a_{2}b_{1}(X-l_{1})l_{1}...\left(6\right)$$

P. T. 端よりみて, 同じく

$$\Delta P_2 = \Delta Pg + \frac{1}{2} a_2 b_2 (L - X)^2 \dots (7)$$

(6)(7)式より給油長を求めると F.T. については

$$X = \frac{\Delta Pg + \frac{1}{2} a_2b_2L^2 - \frac{1}{2} a_2b_2l_1^2 + a_2b_1l_1^2 - \frac{1}{2} a_1b_1l_1^2}{a_2b_2 + a_2b_1l_1}$$

.....(8)

となる。

各油槽の給油量は

$$\Delta V_{\text{F.T.}} = \{a_1 l_1 + a_2 (X - l_1)\} \Delta t_1$$
 (9)

(3) 圧力平衡点が P.T. 端に達した後の油圧変化。

F. T. から P. T. に給油が行われ、油圧が上昇する過程では次のとおりとなる。

F. T. 端 から P. T. 端をみて全ルートの油圧降下を二つに分ける。水浸しない部分のケーブルにおける油圧降下は

$$P_{12} = \left(\frac{a_1 l_1^2}{2} + a_2 l_1 l_2 + l_1 \frac{dV}{dt}\right) b_1....(11)$$

水浸した部分のケーブルにおける油圧降下は

$$P_{23} = \left(\frac{a_2 l_2^2}{2} + l_2 \frac{dV}{dt}\right) b_2 \dots (12)$$

となる。 ここで $\frac{dV}{dt}$ は F. T. から P. T. に単位時間に流入する油量で

ある。 f-Jル全長での油圧降下は,P.T. の油圧降下に等しいから $\Delta Pg = P_{12} + P_{23}$ となる。これより $\frac{dV}{dt}$ を求めると,

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta Pg - \frac{a_1b_1l_1^2}{2} - a_2b_2l_1l_2 - \frac{a_2b_2}{2}l_2^2}{b_1l_1 + b_2l_2} \dots \dots (13)$$

(13)式に a_1 , b_1 , a_2 , b_2 の時間変化を入れて $\frac{dV}{dt}$ を求めると P. T. に流入する油量が求められる。(13)式とP. T. の特性曲線から P. T. の油圧の時間的変化が得られることになる。



製品紹介



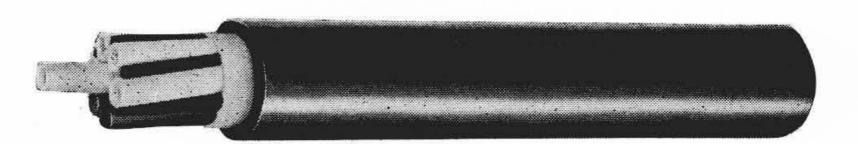
ビニル被ふくコントロール管

工業計測の新しい方向として集中計量管理と自動制御が大きくとりあげられ、遠隔操作のための空気圧または油圧の伝送路としてビニル被ふくコントロール銅管あるいはビニル被ふくコントロールポリエチレン管が使用されるようになった。

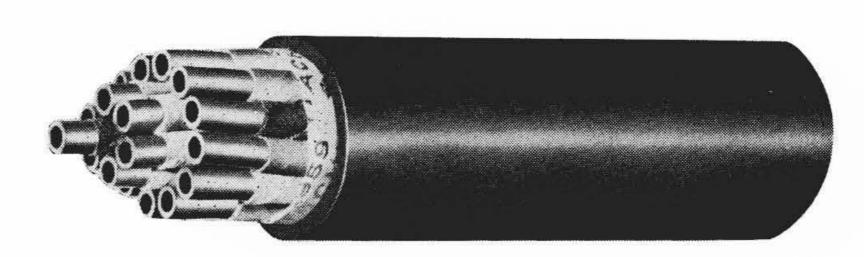
ビニル被ふくコントロール銅管は色別を施した銅管を撚合せ、綿 テープでおさえ巻きし、その上にビニルを被ふくしたもので、つぎ のような利点がある。

- (1) 従来のように1本ずつ配管しないので工事が簡単になる。
- (2) ビニル被ふくがあるので銅管が腐食しない。
- (3) 識別が容易である。

ビニル被ふくコントロールポリエチレン管は銅管の代りに高分子量のポリエチレン管を使用したもので、これは低圧回路で化学工場などのような特に耐腐食性を強く要求される場所に適しており、またコントロール銅管よりも軽量で安価であるという長所もある。



第1図 ビニル被覆コントロールポリエチレン管



第2図 ビニル被覆コントロール銅管