

電力ケーブルの棚上クリート止め布設法

Installing of Power Cable by Fixing with Cleats on Shelf

岡 皓 一*
Kôichi Oka

浜 田 義 雄*
Yoshio Hamada

永 野 宏 郎*
Hiroo Nagano

内 容 梗 概

今回、中部電力株式会社畑薙発電所へ布設納入した揚水式地下発電所用主幹ケーブル 140kV 単心 200 mm² OF ケーブルは布設場所の制約から、通常の布設と異なる棚（たな）上クリート止めスネーク布設である。すなわち、トンネル内に平たんな棚を三段組とし、その上に単心ケーブル 1 回線ずつ計 3 回線を載せ、これを 3 m 間隔の固定用クリートでとめ、それらの中間には、短絡時保護用のスペーサを設けた。負荷サイクルによるケーブルのずれによる鉛被ひずみの集中を避けるため、ケーブルには、あらかじめ、クリート間隔ごとに水平方向に 30 mm 程度の蛇行（だこう）を人工的にもたせた。

これらにつき、布設仕様決定の経緯を中心に述べる。

1. 緒 言

中部電力株式会社畑薙発電所納入の 140 kV 単心 200 mm² OF ケーブルは、揚水式発電所の主幹ケーブルで、負荷サイクルは 1 日 2 回あり、負荷条件はかなり過酷と考えられる。

今回の中部電力株式会社畑薙発電所の場合、経済性からケーブルはダム岩壁沿い、およびトンネル内の布設となり、狭い空間に 3 回線並列布設する必要にせまられたので、その布設法としては、次のような種々の方法が考えられた。すなわち

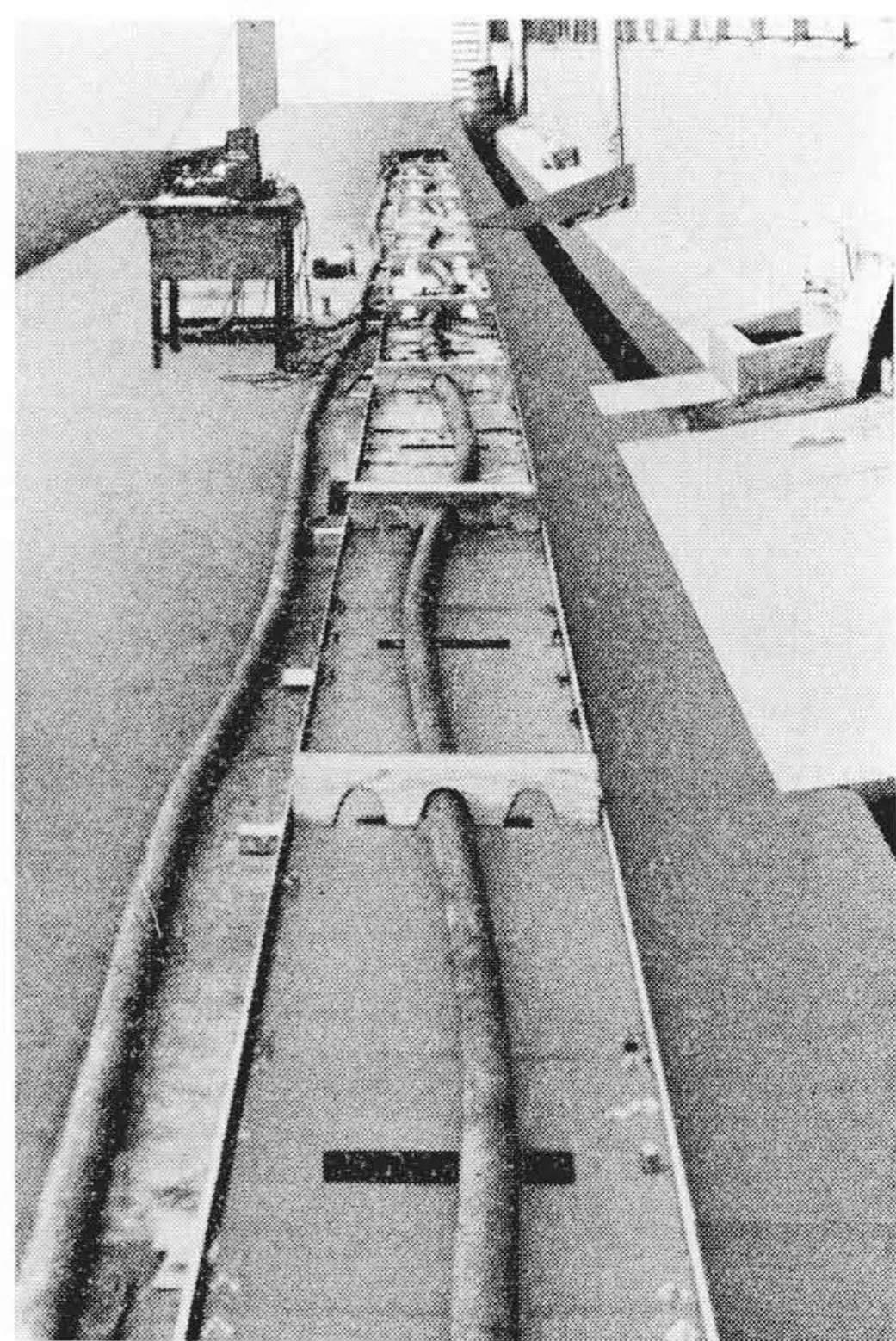
- (1) ケーブルを、ある間隔で(垂直な)壁にとめる。
- (2) 横木(腕)を、ある間隔で壁に取り付け、それにケーブルを載せる。
- (3) 上記の腕に、さらに棚を組み、この上にケーブルを置いて、ある間隔でクリートでとめる。
- (4) 管路布設と同じように、ケーブル側面をわくでしきり、1 箇所または数箇所に、オフセット（熱伸縮吸収部）を設ける。

(1)、(2)は米国の文献⁽¹⁾に詳細な実験例が報告されているが、それによると、ケーブルの支点間の部分は宙づりとなっているため、予想されるように、ヒートサイクルによって重みが 1 箇所に集中累積するという結果が得られている。

それと場所的な制約のため、1 箇所に大きなオフセットをとることは困難であったので、今回は(3)の棚上クリート止めという案を採用することにし、これを模擬実験で検討し、その布設仕様を決定した。

2. 布 設 ル ー ト

中部電力株式会社畑薙発電所は半地下式で、水車、発電機、変圧器はダムの余水吐の下側に設置されている。変圧器室は最上階に相当するのであるが、スペースの制約があり、ダム外へのケーブルの引き出しは、変圧器室床面より 12.5 m の高所に、ケーブル専用トンネルを作って行なわれた。いったんダムから出たケーブルは、ダム前側壁を水平に通じ、川の側岩壁に交わった点で直角に曲がり、側岩壁に沿って下流側開閉所へと向かう。この間、高低差 9.5 m、こう配 30 度の傾斜部が一箇所ある。ルート全体の全長は約 180 m である。ケーブルは変圧器容量 1 号機 58,800 kVA、2 号機および 3 号機 50,000 kVA に対応して、140 kV 単心 200 mm² OF ケーブルとし、変圧器 1 台につき、ケーブル 1 回線、計 3 回線が布設された。ほかに変圧器中性点もケーブルで引き出され、80 kV 単心 100 mm² ケー



第 1 図 ケーブル模擬布設実験状況

ーブルが採用された。

3. 模 擬 布 設 実 験

3.1 負荷サイクル試験

長さ 30 m の 140 kV 単心 200 mm² OF ケーブル（外径 71 mmφ）を第 1 図に示すように、棚上に布設し、これに 10,000 A、2,000 kVA の大電流変圧器によって、約 800～1,000 A の電流を通電して、布設仕様決定のための一連のヒートサイクル試験を行なった。導体温度変化は、一応 55℃ とし、ケーブルのスネーク量（ケーブル軸と直角方向の変位量）、鉛被ひずみ、発生応力、そのほか熱伸縮に伴う諸現象を観察した。

3.1.1 試 験 条 件

供試ケーブルは、140 kV 単心 OF ケーブル（外径 71 mmφ）約 30 m である。

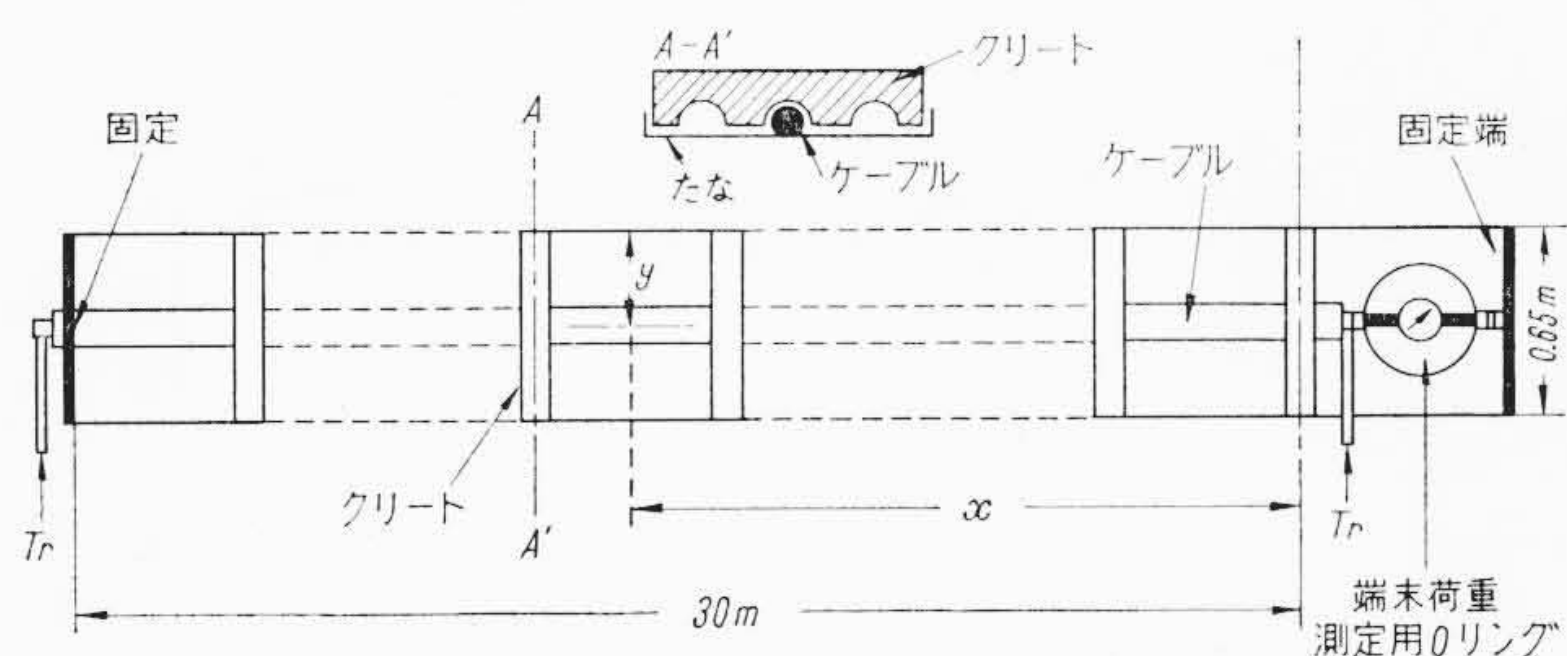
棚およびクリートの配置は第 2 図のとおりで、ケーブルは両端末固定である。

おもな測定量とその測定方法は次のとおりである。

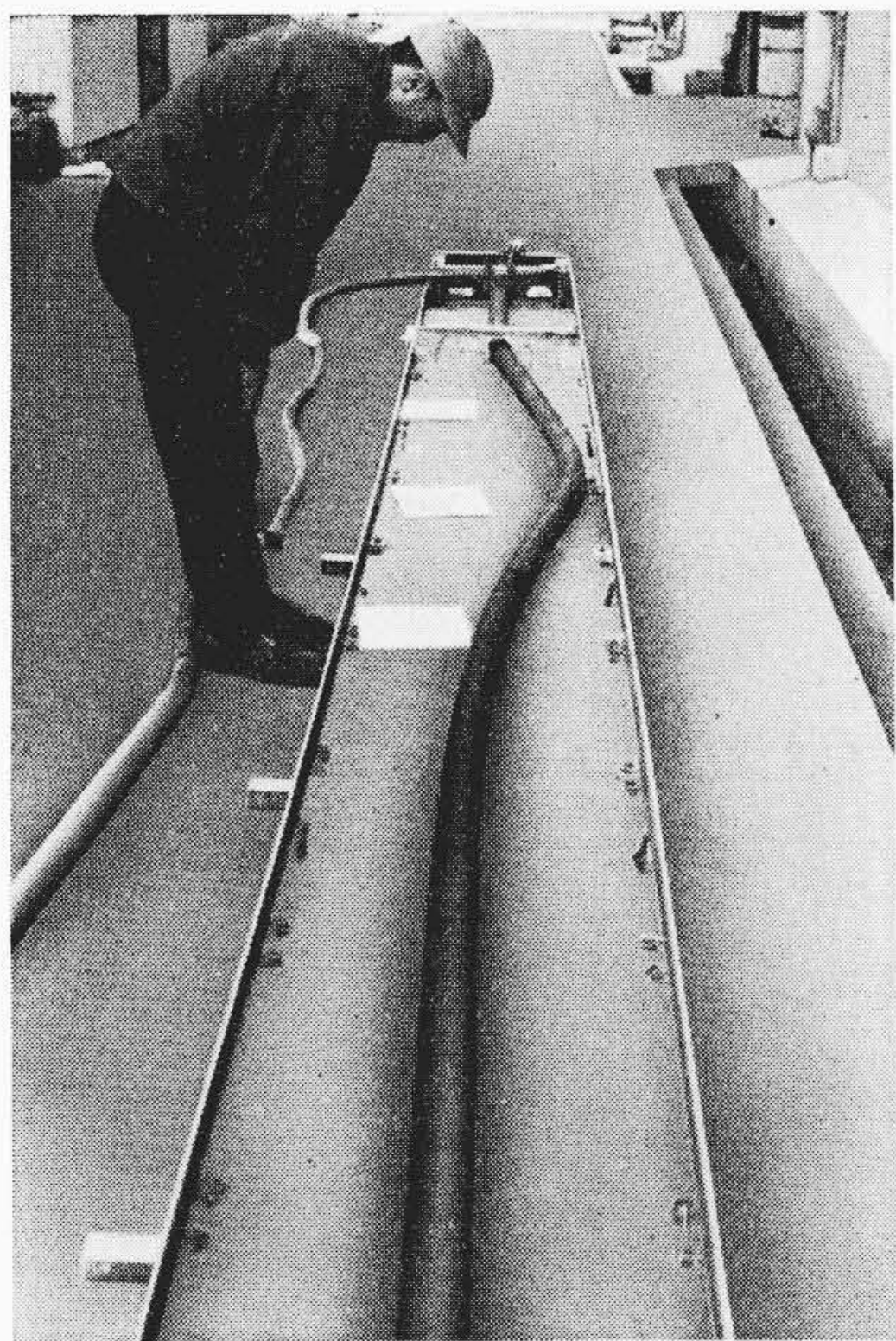
端 末 荷 重……片端のみ O-リング（ダイヤルゲージ付荷重計）で測定

ス ネ ー ク 量……ケーブルの防食層上面に十文字の印をつけ

* 日立電線株式会社電線工場



第2図 モデルケーブル布設図



第3図 スネークの集中

て、クリート止めアングル端より巻尺にて計尺（最小単位 1 mm）

鉛被ひずみ……ひずみゲージをケーブル鉛被に直接はりつけ、ひずみ計によって実測した。温度補償を行なうために、ゲージをケーブルの両面にはって、片方をダミーゲージとして、メータによる読取値の $\frac{1}{2}$ を測定値とした。

導体その他の温度…熱電対を導体その他に埋め込み mV メータにて測定。

その他の異常現象

導体温度変化は 55℃ を目標とし、通電電流 800~1,000 A で、通電時間 2 時間という加速実験を行なった。

3.1.2 通電試験結果

実験経過をその実験順に述べる。

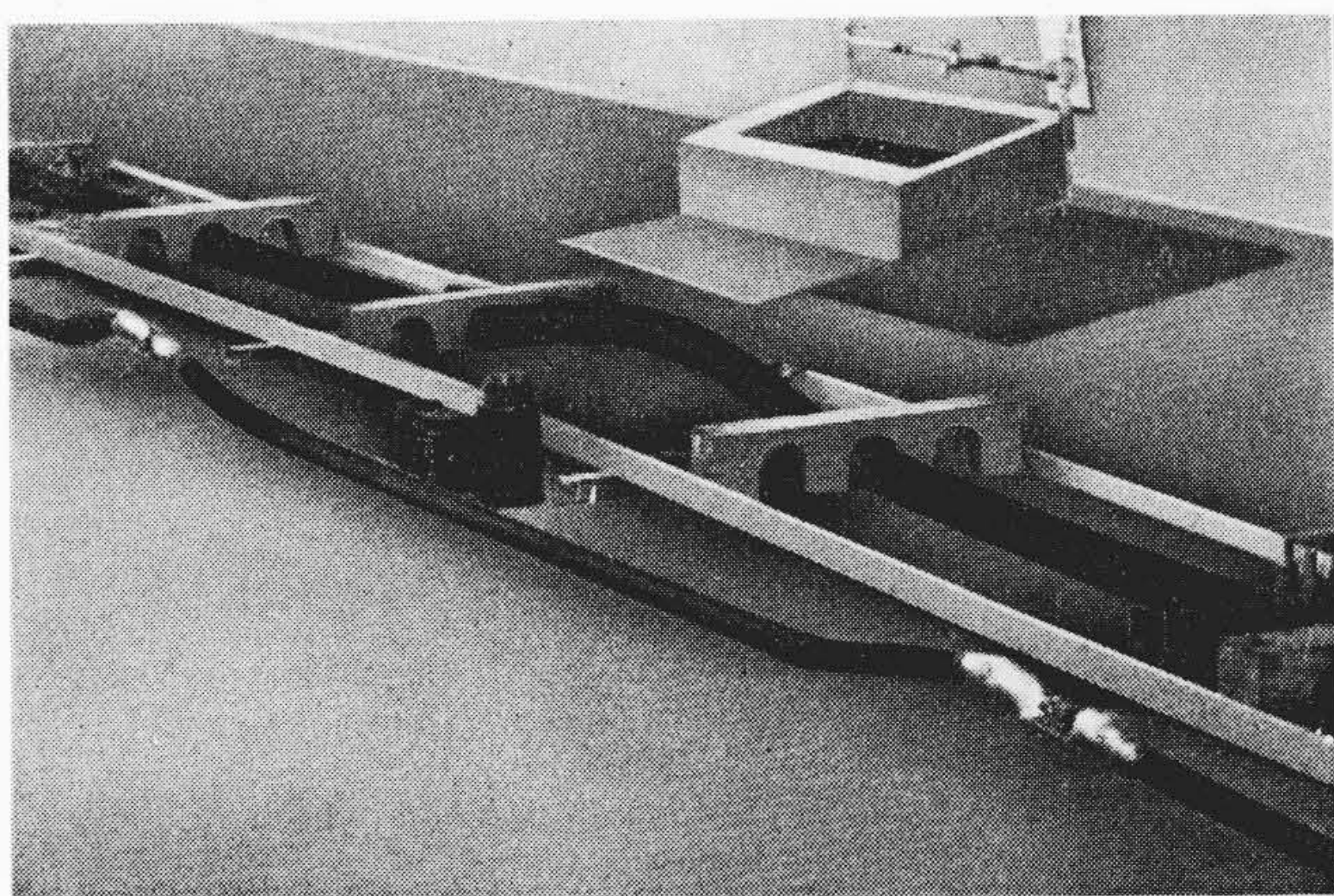
〔実験 1〕

まず、クリートを全く用いず、ケーブルを棚上に放置して通電実験を行なったが、この場合、第3図に示すように、ケーブル約1 mの部分に、水平偏位140 mmのスネークが集中発生した。

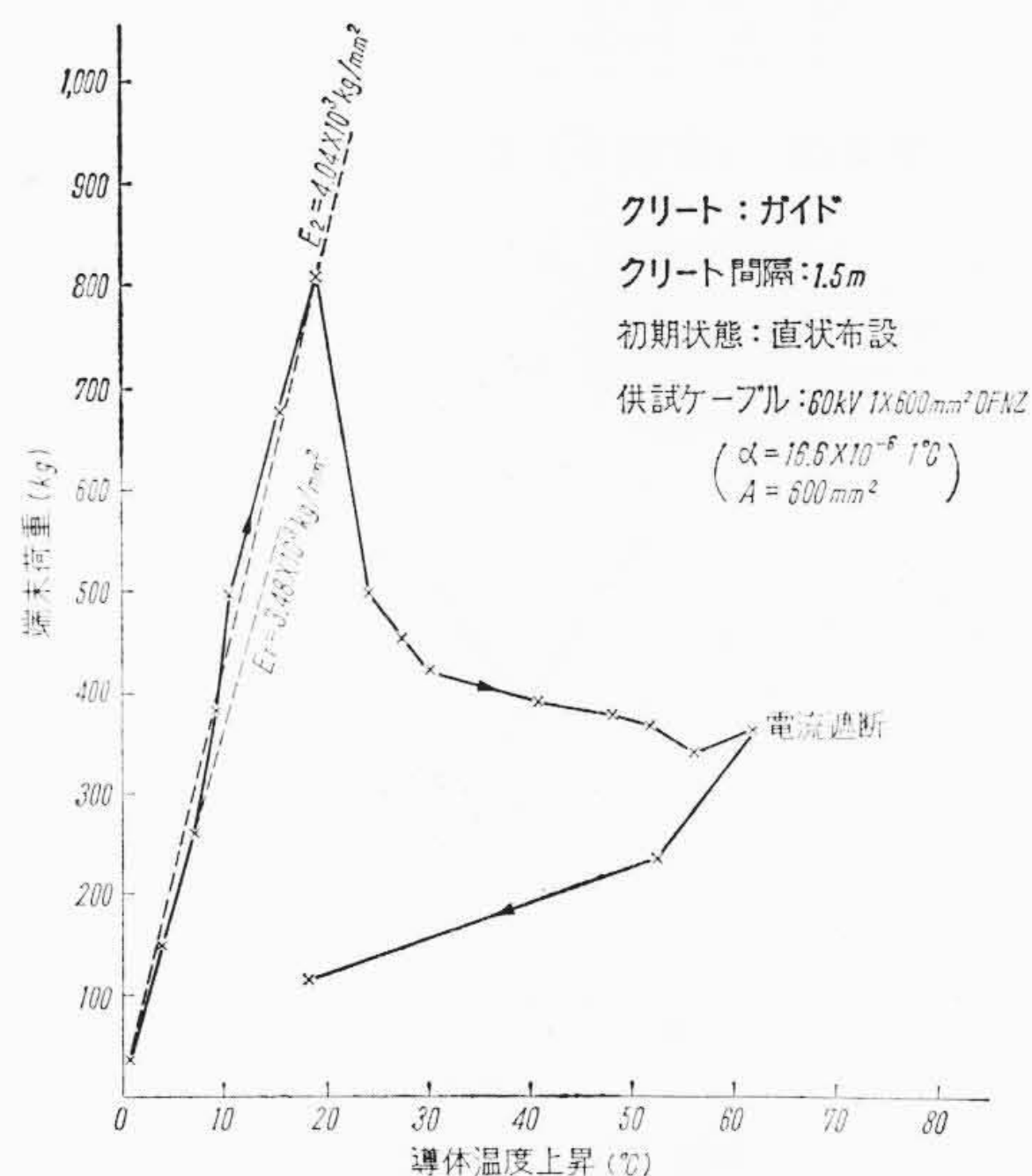
〔実験 2〕

次に、クリートをガイド（すなわち長さ方向にはケーブル移動が可能）として用いた。

その結果、水平方向のスネーク偏位は全スパン(クリート間隔)とも2 mm以下であったが、第4図に示すように、1箇所のスパンで垂直方向に約120 mmのつき上げを生じ、ケーブル全長の伸びがこの一点に集中した。



第4図 ケーブルのつき上げ



第5図 直状布設ケーブル端末荷重

なお、このときの温度—荷重曲線は、第5図で、端末荷重は温度上昇20℃のとき800 kgで、その後は、ざ屈して低下している。

〔実験 3〕

スパンごとの応力の不平衡が著しいので、これを避けるために、布設時にあらかじめ水平方向に 30~40 mm のスネークを人工的にもたせ実験を行なったが、1 回のヒートサイクルでは大きなスネークの集中はないにしても、やはりヒートサイクルごとのケーブルの長さ方向の偏位は避けられない。

そこで次に、クリートを固定式(ケーブル長さ方向にも固定)として実験することにした。

〔実験 4〕

ク リ ー ト 固 定 方 式

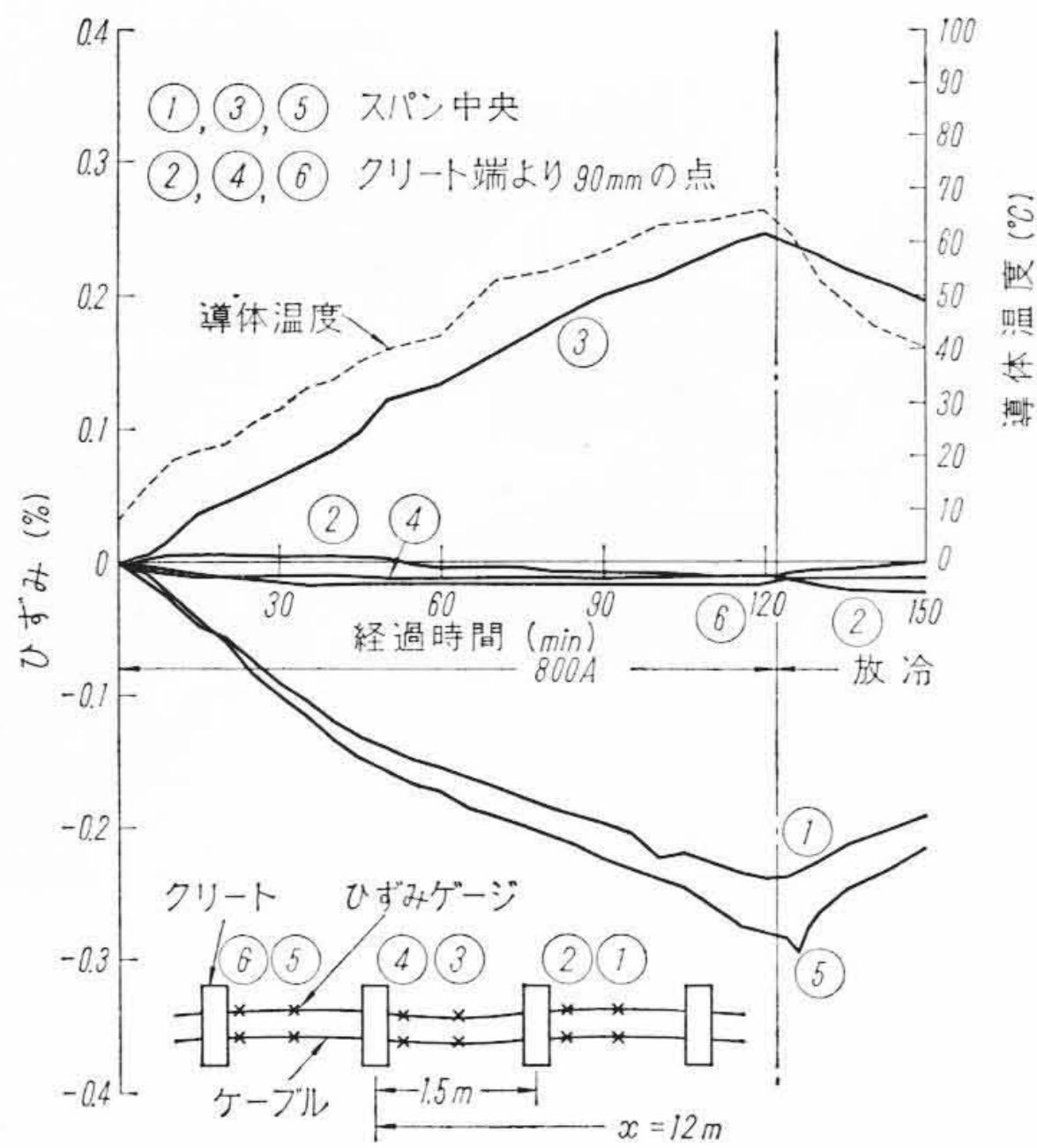
クリート間隔 1.5 m

初期状態 人工スネーク 30~40 mm

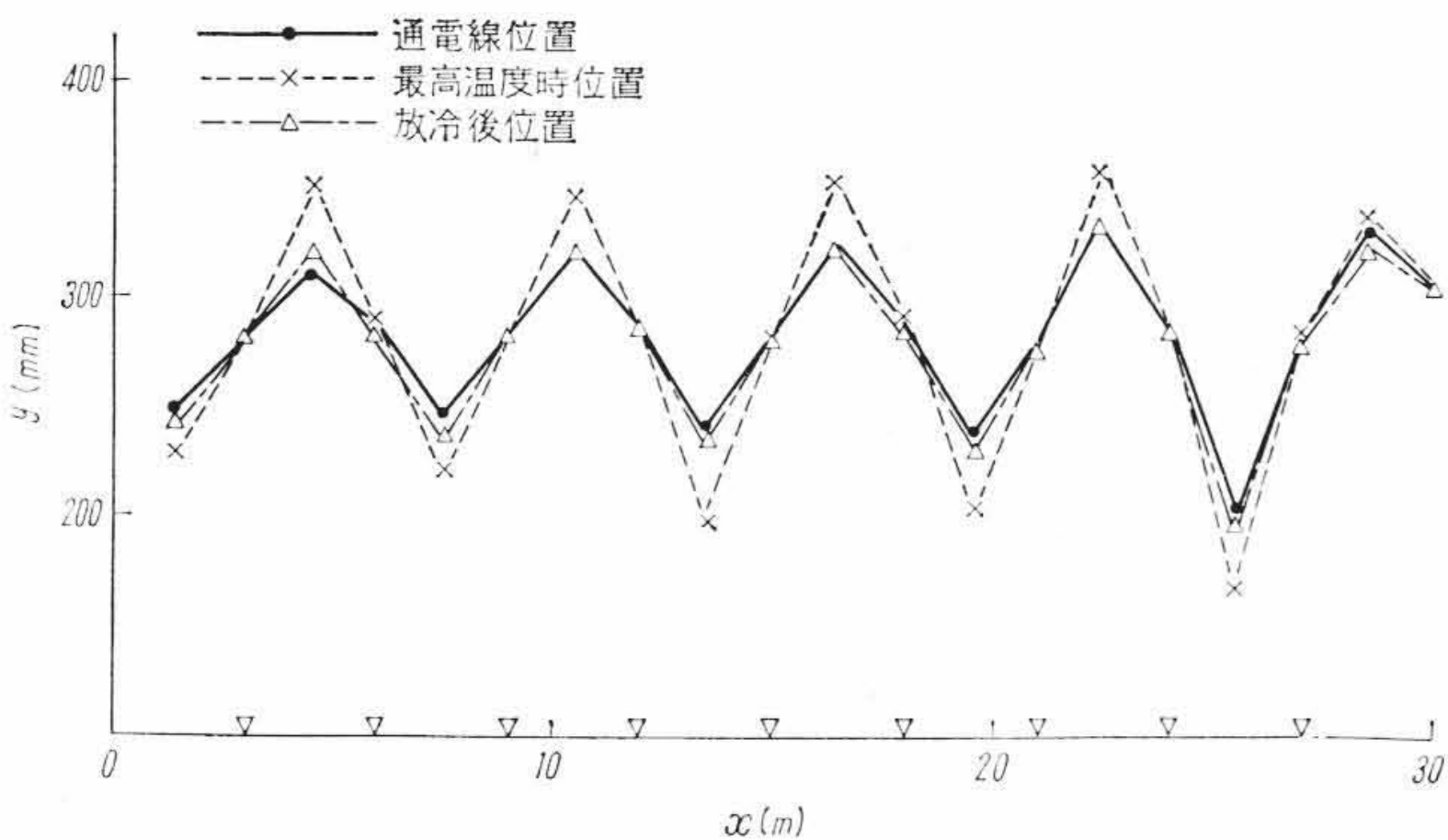
〔実験4〕に先だち、クリート単独でケーブルの引き抜き試験を行ない、ケーブル上キャンバステープ(0.6 mm厚)2枚巻き、クリートのケーブルは持力は平均560 kgであることを実測した。

このは持力 560 kg を〔実験 1, 2〕から得られたケーブルに発生する最大内部応力 600~800 kg と比較して考えると、直状布設では、隣接スパンのどちらかがざ屈した場合、クリートにはかなりの不平衡の力がかかることが考えられ、安全性がないので、〔実験 2, 3〕の場合と同様、ケーブルをあらかじめスネークさせるということで実験を進めた。

その結果，クリートにおけるケーブルのすべりはなく，スネー



第 6 図 「実験 4」における鉛被ひずみ



第 7 図 「実験 5」におけるスネーク偏位量

ク偏位量は、各スパン 10 mm で均一であり、ざ屈後の荷重曲線で、最大荷重は 340 kg であった。

しかし、鉛被ひずみは第 6 図で示すとおり、スパン中央ではすべて 0.3% で許容ひずみに達している。

これは、スパン 1.5 m は、ケーブル外径 70 mmφ に対してオフセット (スネーク) を与えるには、やや短く、最初人工的にスネークを与える際に、全体に均一な曲率をもたせることができず、スパン中央の一箇所で集中的に曲がり、スネークの形は V 字形になる。この観点から、次の実験はクリート間隔を 3.0 m にして行なった。

なお「実験 4」で、ひずみが 0.1% になるのは温度変化 20～25℃ に対してである。

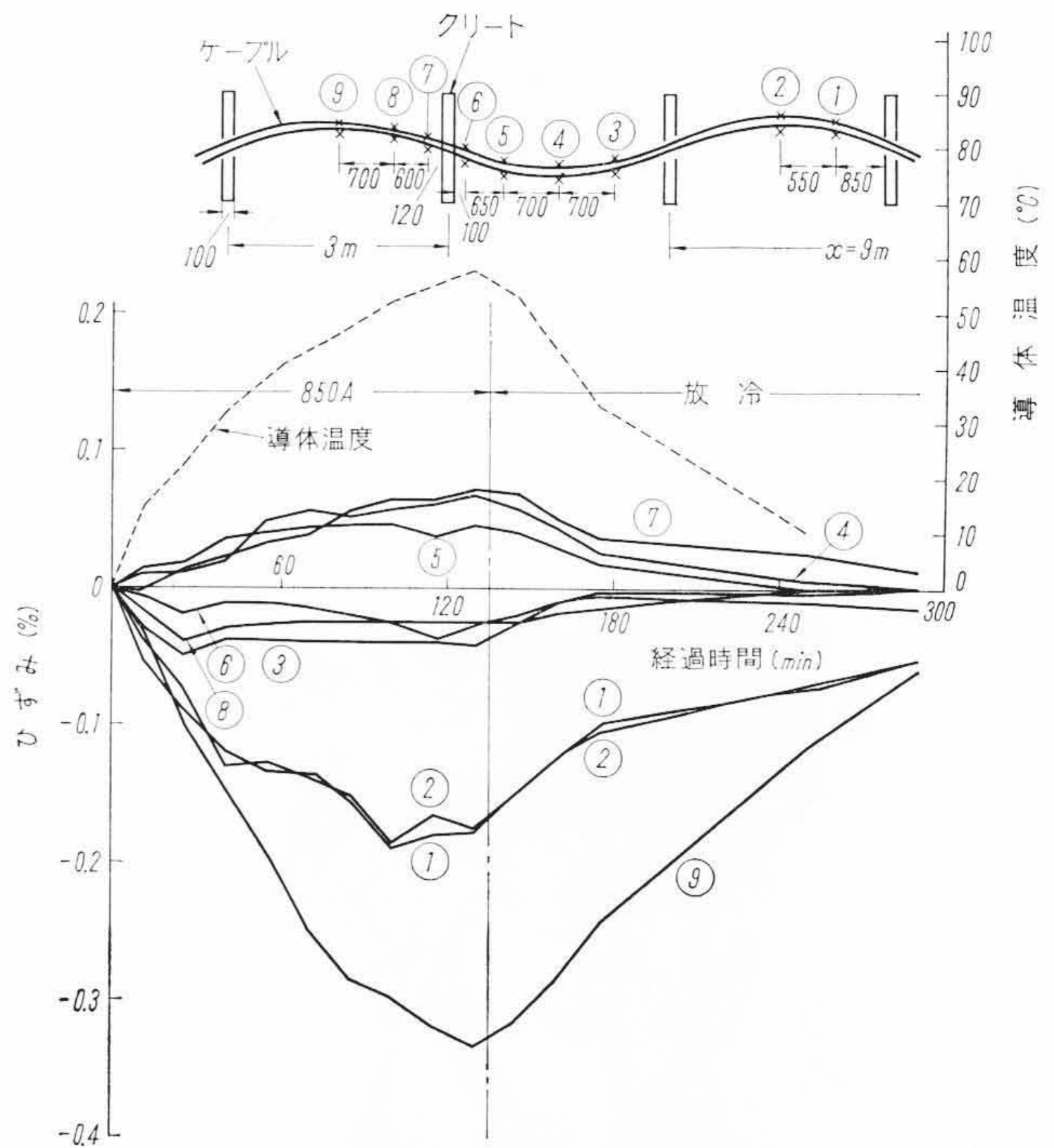
「実験 5」

クリート 固定方式
クリート間隔 3.0 m
初期状態 人工スネーク 30 mm

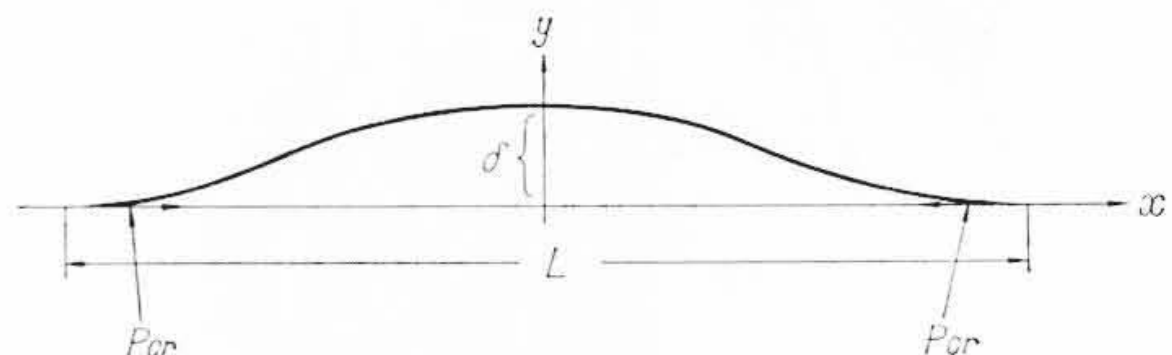
「実験 4」では、クリートにおけるケーブルのすべりもなく、端末荷重も最大 330 kg で、クリートは持力 560 kg に対して裕度はあるが、スネークの形は V 字形で、ひずみはスパン中央部へ集中し、クリートにはねじれの力がかかりかかっていると思われるので、引き続き「実験 5」として、クリート間隔 3.0 m の実験を行なった。

最大荷重 310 kg、導体温度上昇 55℃ のときのスネーク偏位量は第 7 図に示すように 30～40 mm である。

ケーブルは、第 1 回通電後は、通電前の位置にもどっていないが、クリートにおけるケーブルのすべりはなく、これは通電によ



第 8 図 「実験 5」における鉛被ひずみ



第 9 図 スネーク布設形状

ってスネークの形が変形したためと考えられる。

「実験 5」の布設状況は第 1 図に示されているが、クリート間隔を 3.0 m にとると、スネークの形は、「実験 4」におけるように、曲率の大なる部分が、スパン中央に集中するようなことはなく均等に分布される。

ひずみは第 8 図に示すように測定 9 点の中 1 点が 0.3% でやはり大きい。この点が 0.1% になっているのは温度上昇 25℃ のときである。他の点はいずれも 0.1% ないしそれ以下で、「実験 4」の各スパンすべて 0.3% と比べると大きく軽減されている。

以上の一連の実験結果から、最終的に得られた「実験 5」を今回の布設条件とした。

3.1.3 スネーク布設の仕様

この実験結果を参考にして、スネーク布設法の適用を一般化するために、若干の検討を行なった。

(1) 布設曲線

オイラーのざ屈式⁽²⁾から、ケーブルを一応弾性体とみなしたときのざ屈荷重 P_{cr} 、ざ屈曲線 y 、鉛被ひずみ ϵ は、次のように表わされる。ただし、スパン長 (クリート間隔) を L 、ケーブルの曲げ剛性を EI とし、スネーク布設の座標を第 9 図のようにとる。

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$y = \frac{\delta}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi x}{L} \right) \dots\dots\dots (2)$$

実際、スネーク布設を均等に行ない得る場合は、大体これに近い形状となる。

ところで、このケーブルの長さ、スパン長 L との差を $\Delta L'$ と

すると,

$$\Delta l' = \int_0^L \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx - L \quad (3)$$

であり,

$$\delta \ll L \quad (4)$$

を用いて, 省略算を行なうと,

$$\Delta l' = \frac{\pi^2 \delta^2}{4L} \quad (5)$$

したがって, 温度上昇前後のスネーク幅を, それぞれ δ_0 , δ , その間のケーブル長の変化を Δl とすると,

$$\delta^2 - \delta_0^2 = \frac{4}{\pi^2} L \cdot \Delta l \quad (6)$$

で, Δl とスネーク幅変化量 $\Delta \delta$ の間には,

$$\Delta \delta = \sqrt{\delta_0^2 + \frac{4}{\pi^2} L \Delta l} - \delta_0 \quad (7)$$

$$= \frac{\frac{4}{\pi^2} L \Delta l}{\sqrt{\delta_0^2 + \frac{4}{\pi^2} L \Delta l} + \delta_0} \quad (8)$$

なる関係があり圧縮 P (反抗力) は

$$P_{cr} = \frac{4 \pi^2 EI}{L^2}$$

で, 一定であるから, 導体温度変化を t とすると,

$$\Delta l = \alpha t L \quad (9)$$

$$\therefore \delta^2 - \delta_0^2 = \frac{4}{\pi^2} L^2 \alpha t \quad (10)$$

また, 曲率 $1/\rho$ は, クリート固定部およびスパン中央部で最大で

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2 \pi^2 \delta}{L^2} \quad (11)$$

したがって, この点の曲率変化 $\Delta \frac{1}{\rho}$ は,

$$\Delta \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{2 \pi^2}{L^2} (\delta - \delta_0) \quad (12)$$

$$= \frac{8 \Delta l}{L \left\{ \sqrt{\delta_0^2 + \frac{4}{\pi^2} L \Delta l} + \delta_0 \right\}} \quad (13)$$

$$= \frac{8 \alpha t}{\sqrt{\delta_0^2 + \frac{4}{\pi^2} L^2 \alpha t} + \delta_0} \quad (14)$$

よって, 最大ひずみ ε は, r をケーブルの鉛被外半径として,

$$\varepsilon = r \cdot \Delta \frac{1}{\rho} = \frac{8 \alpha t r}{\sqrt{\delta_0^2 + \frac{4}{\pi^2} L^2 \alpha t} + \delta_0} \quad (15)$$

(2) スネーク幅の設定

(15)式から分かるように設定スネーク幅 δ_0 は大きいほうが, ひずみは小さく有利であるが, スペースの点で制約される。

正確には δ_0 は, 布設時の温度によって変えれば理想的であるが, 作業性から考えてもそれほどこまかな δ_0 の規定は無意味であり, また, δ_0 があまり小さくなると, 本来のざ屈の効果がなくなるおそれもあるので, むしろ温度によらず一定の値 30 mm 程度とするのが妥当と思われる。このとき, 最低季節温度で $\delta_0 = 30$ mm を設定するという最も条件の悪い場合でも $\delta_{\max}$ は

$$\delta_{\max} = \sqrt{\delta_0^2 + \frac{4}{\pi^2} L^2 \alpha t} \quad (16)$$

で, 棚幅はこれから決定される。

本例の場合を計算してみると

$$\delta_{\max} = \sqrt{30^2 + \frac{4}{\pi^2} \times 3,000^2 \times (16.6 \times 10^{-6}) \times 55} = 64 \text{ (mm)} \quad (17)$$

これは実験とよく一致しており, 許容できる大きさである。

また, R をケーブルの最大曲率点における曲げ半径とすると

$$\frac{R}{D} = \frac{L^2}{2 \pi^2 \delta D} \geq 30 \quad (18)$$

$$\therefore \delta \leq \frac{L^2}{60 \pi^2 D} \quad (19)$$

が必要であるが, 本例でも

$$\delta \leq 210 \text{ mm} \quad (20)$$

となり, $\delta_{\max} = 64$ mm に対してはかなりの余裕がある。

(3) スパン長の決定

スパン長すなわち固定クリート間隔 L とひずみとの関係は(15)式から

$$L = \frac{4 \pi \sqrt{\alpha t}}{\varepsilon} \cdot r \sqrt{1 - \frac{\varepsilon \delta_0}{4 \alpha t r}} \quad (21)$$

本例では

$$L = \frac{4 \times 3.14 \times \sqrt{(16.6 \times 10^{-6}) \times 55}}{3 \times 10^{-3}} \times 35 \times \sqrt{1 - \frac{(3 \times 10^{-3}) \times 30}{4 \times (16.6 \times 10^{-6}) \times 55 \times 35}} = 4,440 \sqrt{1 - 0.70} = 2,410 \text{ (mm)} \quad (22)$$

しかし, 実際の布設は余裕をみて 3 m で行なった。

したがって, 銅導体ケーブルで, 温度上昇 $t = 55^\circ\text{C}$, 最大許容ひずみ $\varepsilon = 3 \times 10^{-3}$ とすれば, スパン長 L (mm) は

$$L = 127 \sqrt{r^2 - 24.6 r} \quad (23)$$

r : ケーブル鉛被外半径 (mm)

あるいは, 下記の安全側近似式

$$L = 127(r - 12.3) \quad (24)$$

が得られる。

(4) ケーブル余長

スネーク布設を行なうのに必要なケーブル余長は, まずケーブル単位長当たりの余長が

$$\Delta l = \int_0^L \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx - L \quad (25)$$

$$\therefore \frac{\Delta l}{L} = \left(\frac{2 \pi \delta_0}{L}\right)^2 \quad (26)$$

で与えられるので, ルート全長を L_L , 全余長を ΔL_L とすると

$$\Delta L_L = \left(\frac{2 \pi \delta_0}{L}\right)^2 \cdot L_L \quad (27)$$

となる。本例では $\delta_0 = 30$ mm, $L = 3,000$ mm としたから

$$\frac{\Delta l}{L} = 0.4 \times 10^{-2} (=0.4\%) \quad (28)$$

で, 普通このようにごく小さな比率である。

本布設例の場合全余長は $L_L = 180$ m であったから $\Delta L_L = 0.72$ m である。

3.2 クリートによるケーブルの固定

3.2.1 クリートの持ち力

〔実験4〕に先だち, 使用する木製クリートのケーブルは持ち力を知るために, クリートからのケーブル引き抜き試験を行なった。この際, ケーブルには, 幅 80 mm, 厚さ 0.6 mm のカンバステープを二層巻き, クリートをその上からかぶせて, 棚へボルト締めした。

ケーブルの外径は, 数箇所の測定で 71 mm ϕ (バラツキは 0.5 mm 以下) であった。ボルトナットの締め付けは, 普通のスパナ (柄

の長さ 250 mm)で、ほぼいっぱい(しめつけトルクは 600 kg-cm, ボルトは 5/8") である。

この結果、クリートの持力は、平均値 $\bar{F}=560$ kg, 最小値 380 kg, $\bar{F}-2\sigma=430$ kg は十分期待してもよい。

3.2.2 クリートによる多条ケーブル止め

通電試験は、すべて 1 条のケーブルで行なったが、今回の現地布設は 3 条一括止めであった。そこで、3 条一括して、ケーブルをクリートに止め、引き抜き試験を行なったところ、ボルトが両端にしかない場合は、両側のケーブルには力がかかるが、中央のケーブルには、全くは持力がかからず、このままの固定法では 3 条一括の固定はできないことが判明した。そこで

- (1) ボルト止めは両端のみで、中央のケーブルに、両側のケーブルより多層のカンバステープを巻き、外径を大きくして止める。
- (2) ボルト止めは両端のみで、クリートの上に、形鋼をあてがう。
- (3) ボルトの数を増して、中央のケーブルの両側にもボルト止めを行ない、各ケーブルにそれぞれボルト止めの力が、かかるようにする。

の三つの方法を考え、実地に試験した。

その結果、(1)の方法は中央のケーブルのカンバステープを適当に加減することにより採用可能ではあるが、作業条件を決めがたく、(2)の方法は期待したほどの効果が得られなかったので、(3)の方法を現地に適用することにした。

3.3 短絡試験

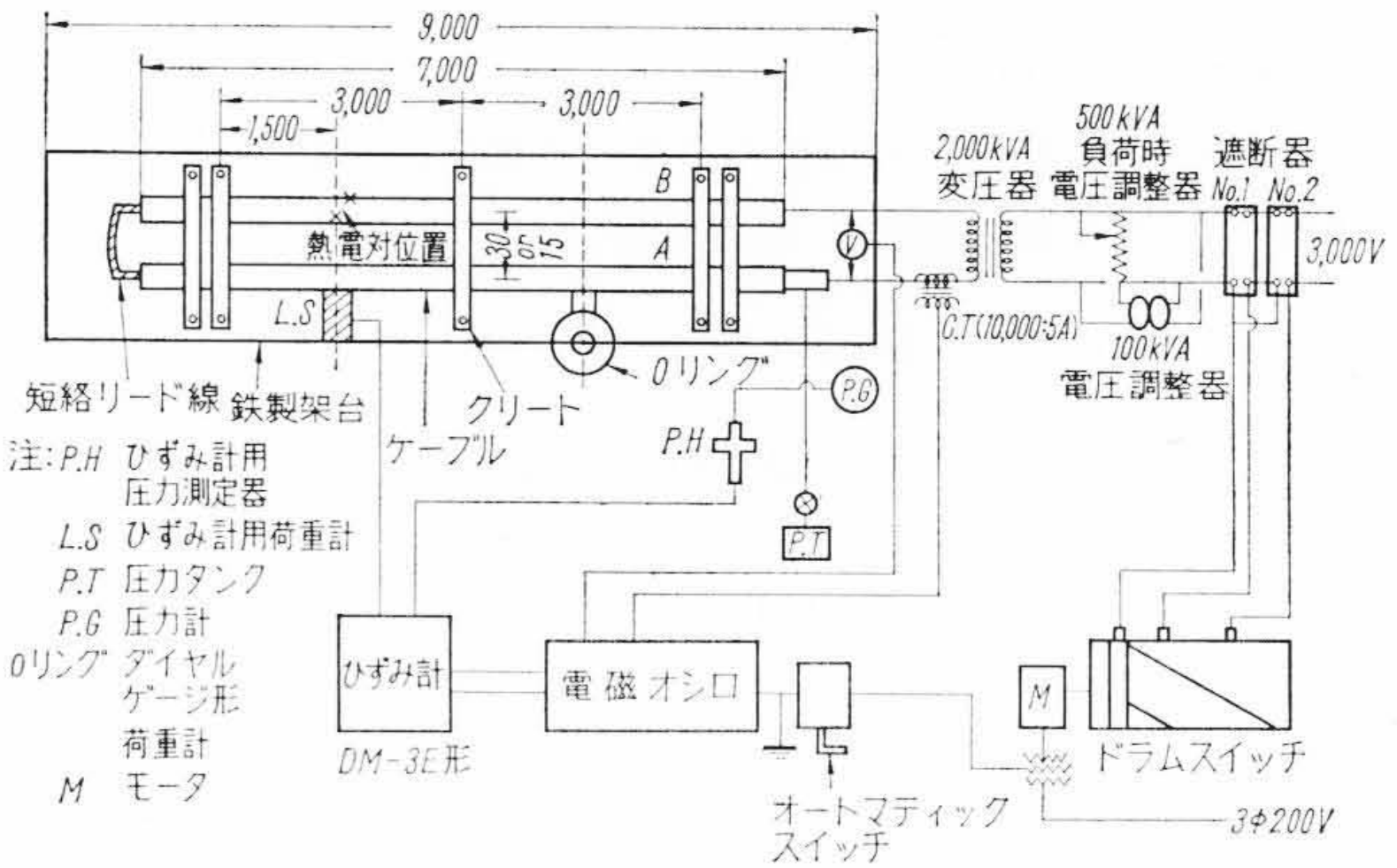
短絡事故が発生したとき、短絡電流による反発または吸引衝撃がケーブルにはたらく。この衝撃によってケーブルに異常の生ずる恐れがあり、その保護方法を決めるために短絡試験を行なった。

3.3.1 試験方法

布設棚上に 140 kV 単心 200 mm² OF ケーブルを 2 条並べて配置し、3 m 間隔にクリートを固定した。2 条のケーブルの間隔は

30 cm および 15 cm とした。

短絡電流は遮断容量 350,000 kVA からの算出値 14,500 A と、実布設容量からの算定値 8,900 A およびその中間値 12,000 A (いずれも実効値) を目標とし、通電時間はそれぞれ 8, 25, 50 サイクルについて計 18 回行なった。



第 10 図 短 絡 試 験 回 路

第 1 表 電 磁 力 の 比 較

試験番号	短絡電流(A)波高値		実測電磁力 (kg/1.5m)	計算電磁力 (kg/m)		F _s (kg)
	(I)	(II) 5 c/s 目		(I) の場合	(II) の場合	
10	14,250	12,350	35	41.4	31	70
11	20,900	18,050	112.5	89	66.6	225
12	24,560	19,760	130	122	79.5	260
13	14,250	11,870	55	41.4	31	110
14	20,900	17,100	65	89	59.7	130
15	22,370	20,900	150	102	89	300
16	16,150	11,870	60	53	31	120
17	20,900	17,100	82.5	89	59.7	165
18	23,750	20,140	120	115	82.5	240

(注) F_s はクリート間隔 3 m の場合クリートにかかる電磁力 (実測値). 電磁力はリングにて直読した。

第 2 表 短 絡 試 験 結 果

試験 No.	条 件	短 絡 条 件		温度上昇 (°C)		O リング 偏 位 (×10 ⁻² mm)		衝撃力校正 (kg)	ケーブル最大偏位 (mm)		PH による 圧力変化 (kg/cm)	備 考
		電 流 (AP)	時 間 (c/s)	導 体	ケーブル 表面	最 大	最 小		A	B		
1	ク リ ト 間 隔 3 m ケ ー ブ ル 間 隔 15 cm 補足実験 立 会	11,020	8.5	2.0	0	0	—	—	0	0	0	ケーブルほとんど偏位しない
2		16,530		3.7	0	13	—	—	0	0	0	
3		19,380		5.2	0	19	—	—	0	0	0	
4		11,400	26.5	3.8	0	8	—	—	0	0	0	
5		16,720		7.8	0	13	—	—	0	0	0	
6		19,950		19.3	0	24	13	70	0	0	0	
7		11,040	52	9.7	0	7	—	—	0	0	—	
8		17,100		17.0	0	33	16	80	0	0	—	
9		19,760		22.5	0.5	37	19	105	—	—	—	
10		12,350	11	1.3	0	14	5	35	—	—	0	
11		18,050		4.7	0	40	20	112.5	—	—	0	
12		19,760		7.5	0	43	25	130	—	—	0	
13		12,350	28	4.8	0	20	10	55	6	9	0	
14		17,100		13.5	0	22	12	65	30	40	0	
15		20,900		15.8	0.5	45	35	150	47	90	0	
16		12,350	52	8.3	0.5	20	10	60	8	10	—	
17		17,100		15.5	0.5	33	10	82.5	33	48	—	
18		20,140		23.6	0.7	43	20	120	49	77	0.1	
19		21,850	51					—	43	78	0.1	1.5m スペースをつける (自由)
20			51					—	40	47	0.1	
21	立 会	21,700	53	26	1			—	15	15	0.1	1.5m スペース (固定)

おもな測定項目は、短絡電流、過渡油圧変化、電磁力、ケーブルの移動、温度上昇などで、その試験回路は第10図のとおりである。

3.3.2 実験結果

電磁力の実測値と計算値の比較を第1表に示すが、この値はケーブル間隔が15 cmのものである。

短絡電流は、条件の最も過酷な単相短絡時をとり、電磁力の計算は(29)式による。

$$F = \frac{10^{-7}}{4.9} \cdot \frac{LI^2}{S} \dots\dots\dots (29)$$

F : 短絡電磁力 (kg/m)

L : ケーブルスパン長さ (m)

S : ケーブル間隔 (m)

I : 短絡電流 (A)

実験結果は第2表に示すとおりであるが、この実験から得られた諸事項を要約すると次のようになる。

(1) 20,500 A, 50 c/s の短絡電流に対し、導体温度上昇は25℃程度、ケーブル表面温度は1℃程度であり問題ない。

(2) 短絡時の過渡油圧変化はケーブル7 mに対して0.1 kg/cm²であり問題ない。

(3) ケーブル間隔15 cmのときは、ケーブルの最大偏位は最高49 mmとなりスペーサを必要とする。しかし、このスペーサはケーブルを固定せず、長さ方向に自由に移動可能なものとするのが好ましい。

(4) クリート間隔3 mの中間にスペーサ（ボルトにて両端固定したもの）を付けると、ケーブルの偏位は15 mm程度に減少する。しかしスペーサはケーブルの温度上昇時の伸びを半径方向に逃がす必要があるため、ケーブルの穴にある程度の幅を持たすようにしなければならない。

(5) ケーブル間隔15 cmの場合、短絡時240～300 kgの力がクリート固定点にかかることが判明したが、これは計算値とほぼ合致する。

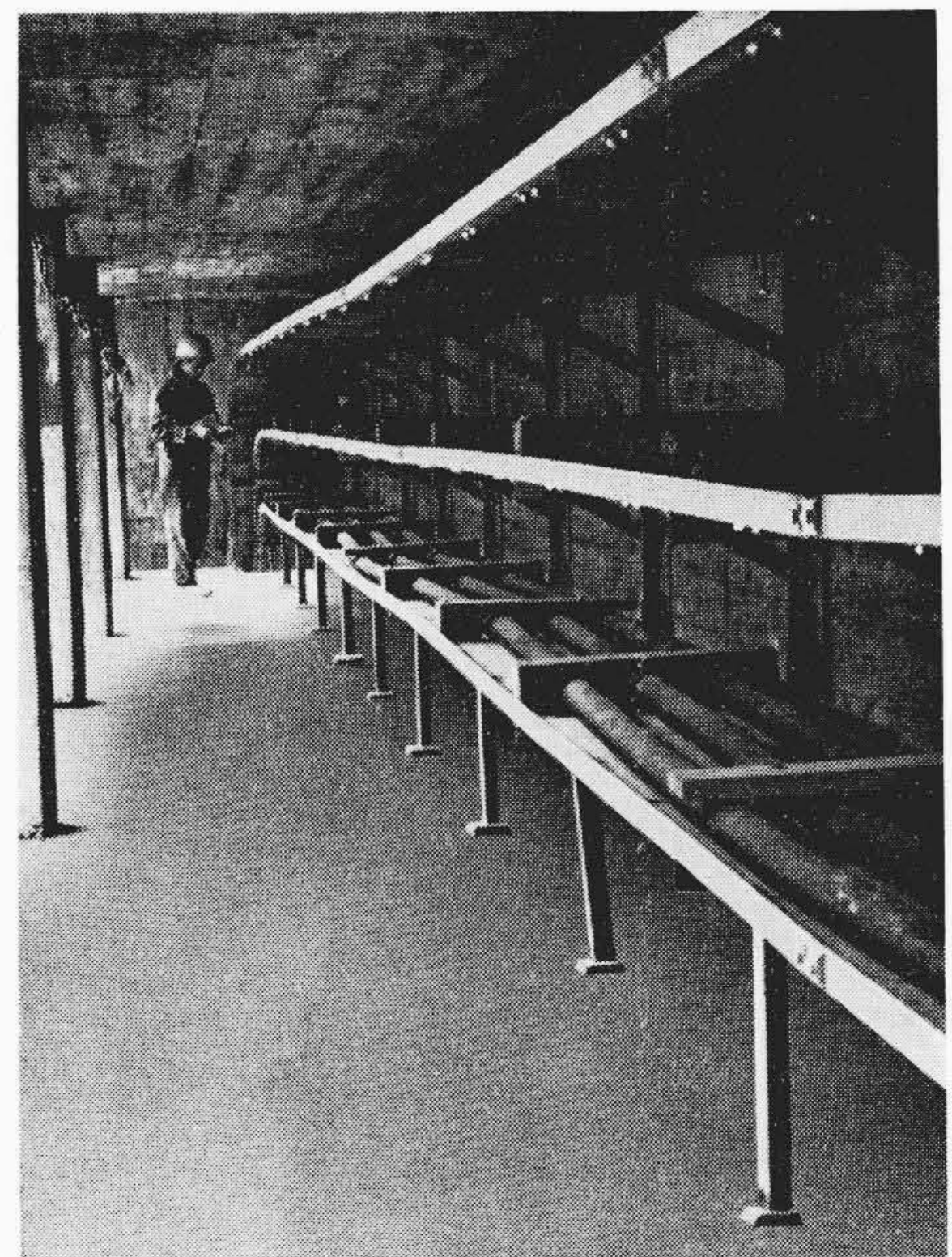
(6) 合計21回の短絡試験終了後、クリート止め部のケーブルの解体、構造試験を行なったが、別途行なった構造試験結果に比べてなんらの異常は認められず、短絡衝撃力は特に問題とならないと考えられる。

4. ケーブル布設棚

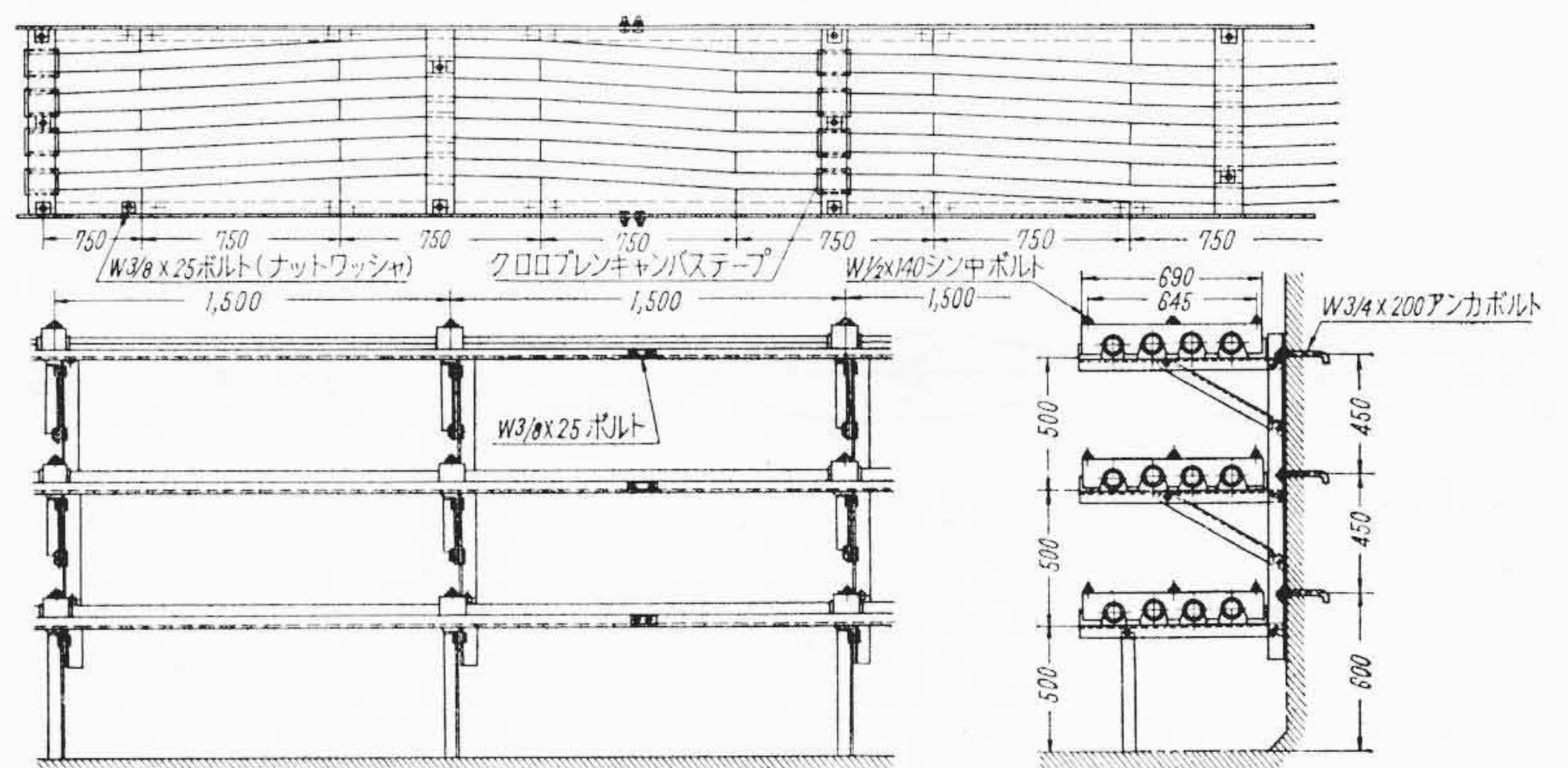
ケーブル配置は、1回線分水平配置とし、各回線は垂直配置すなわち3段とした。垂直配置は空間利用率がよく、点検など保守も容易となるので、多条布設の場合は好ましい。変圧器の中性点は80 kV OF ケーブルで引き出され、接地抵抗器に接続されるので、140 kV OF ケーブルに並列に80 kV OF ケーブルも載せることになった。ただしこの80 kV OF ケーブルは中性点用機器室の屋上で一括して1条のケーブルとなるため、各段のケーブル条数は異なっている。またケーブルルートは、ダム内、ダム前側壁部、岩壁部の3区分に大別されるが、その構造はそれぞれいくらか違ったものとなった。棚布設状況を第11図に、構造図を第12図に示す。

同一棚上のケーブル相間隔は150 mmとした。温度上昇時のケーブル伸びによる反抗力を小さくするために、ケーブルをあらかじめスネークさせておくことが必要であった。

さきの実験結果から6 mのピッチで30 mmの初期スネークを与え、3 mおきにケーブルを固定した。ケーブルがもっとも伸びた状態でのスネーク幅を60 mmと予想し、棚の設計に当たっては70 mm



第11図 棚布設状況



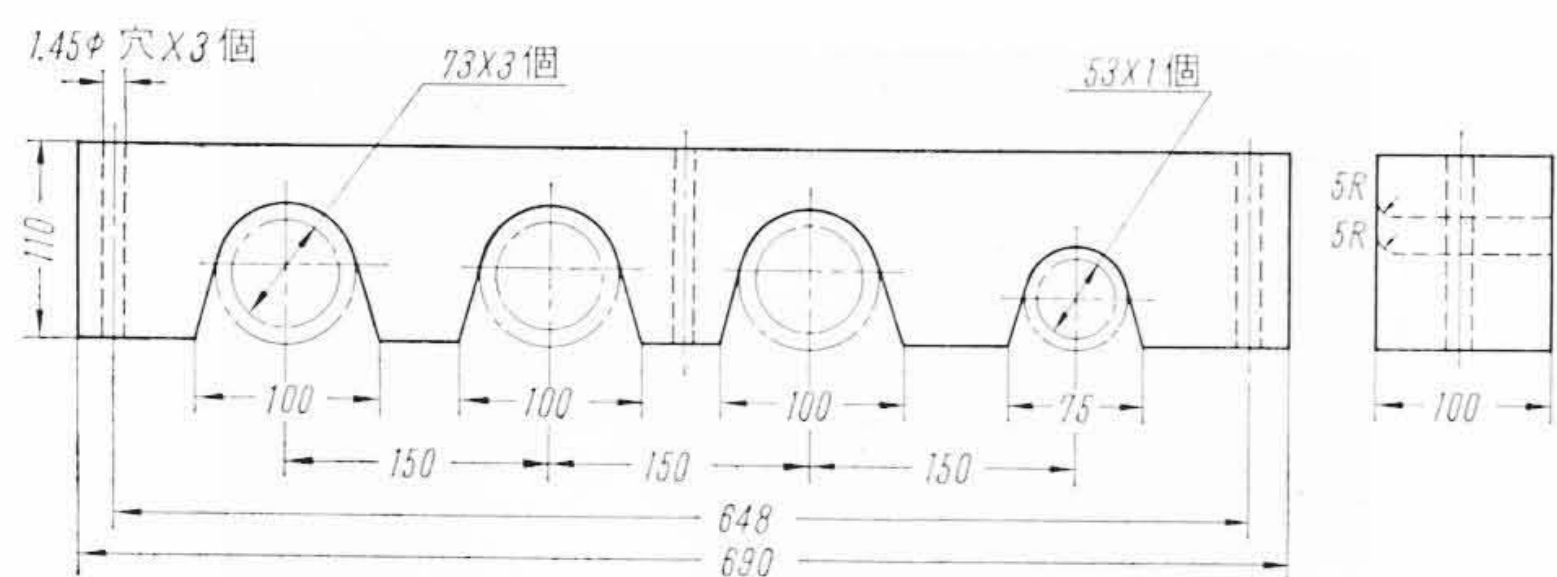
第12図 棚構造図

まで稼動できる幅を採用した。

ケーブル棚部材には鉄材を使用した。磁性体なので、ある程度の温度上昇は予想されたが、平板の上に、3条を水平に配列しても磁気回路がケーブルと鎖交しなければその値は小さいものと考えられた。通電実験の結果によると、棚の温度上昇は1度以下であった。ケーブルのすべりと外観をよくするために、鉄板の上に2.5 mm厚の黒色ビニルシートを敷いた。

ケーブルの固定には木製クリートを使った。ただし、防腐、防蟻処理として通常のAsCu（アスキュー）処理を施した。クリートが直接ケーブルに当たるのを避けるためケーブル外周に1 mm厚、100 mm幅のクロロプレンテープを5 mm厚に巻いた。しかしケーブルが、設計値より2 mmほど細く仕上がったので、巻き厚は6 mm程度となった。予備実験の結果からこの巻き厚は3 mmくらいで十分であったと思う。

短絡電磁力によるケーブルの損傷を防ぐためにケーブルスネーク部の中央にスペーサを設け、ケーブルを全然固定せず、ケーブル軸に直角方向にはたらく機械的衝撃力を受けるようにしたものである。また温度上昇によるケーブル伸びをスネークさせるためにスペーサには長孔をあけた。その構造をそれぞれ第13図および第14図に示す。



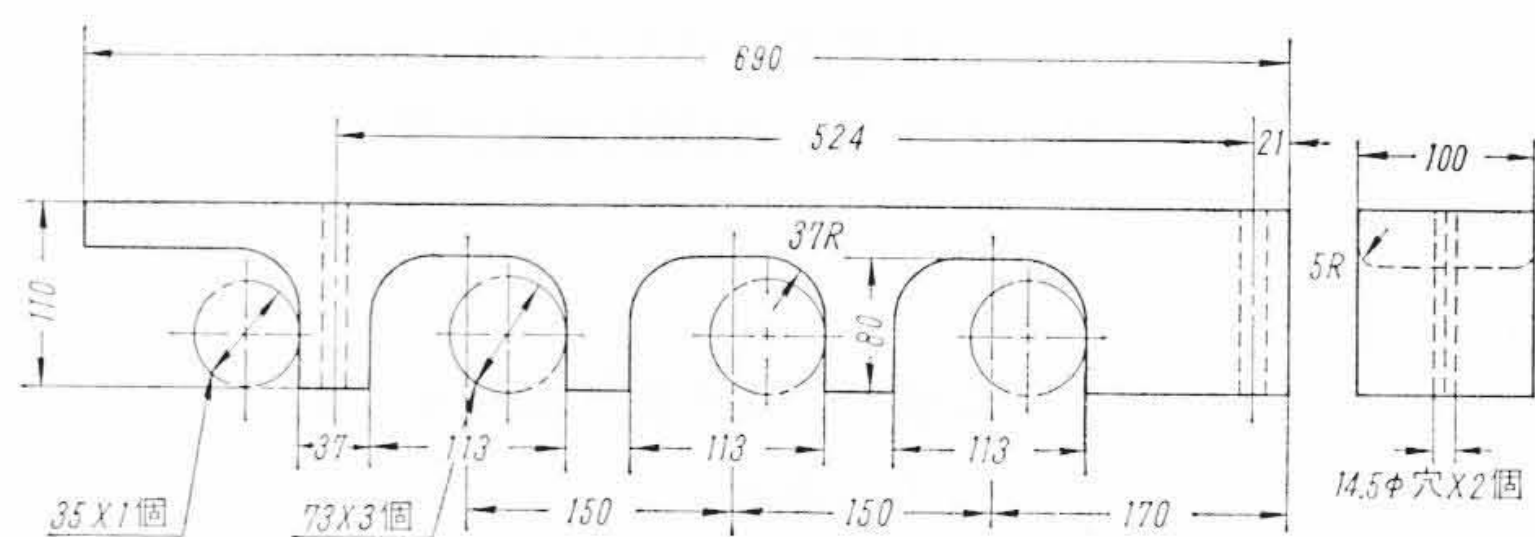
第 13 図 固定用 ク リ ー ト

5. 結 言

以上、場所的な制約から、部分的に大きなオフセットをとれない場合の布設法としての棚上布設法について述べた。この布設法はケーブル全長にわたってあらかじめスネークをとる方法である。すなわち単なる直状布設とすると、大きなつき上げ力を発生し、クリートによるケーブルの固定が困難で、一部分にそのたるみが集中累積する危険性があるので、スネークをとらなければならない。

また、短絡電磁力によるケーブルの衝突を避けるために、適当な間隔ごとにスペーサを設けるのが妥当である。

今回布設納入した畑薙発電所における現地引き渡し試験は 240 A 7 時間の通電で、全く異常なく行なわれた。



第 14 図 ス ペ ー サ

最近の傾向として、共同みぞやトンネル内布設が増加しつつあるとき、棚上布設に対する参考として本報告がその一助ともなれば幸いである。

終わりに、本布設に際して、多大のご協力をいただいた中部電力株式会社の関係各位、ならびに日立電線株式会社工事課須田、ケーブル設計課網野、第一研究課相田、岡部の諸氏に、深甚なる謝意を表する次第である。

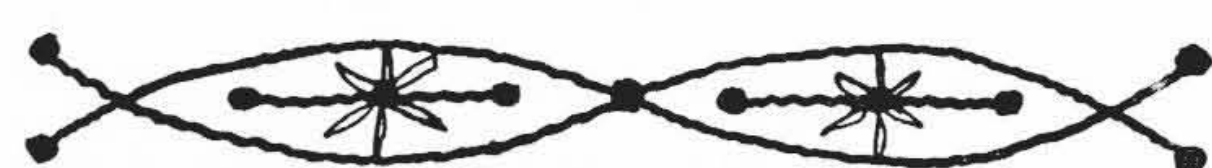
参 考 文 献

- (1) W. Holttum: The Installation of Metal-shielded Cables on Spaced Supports, Power Apparatus & Systems. April 1955, pp. 729-745
- (2) チモシェンコ: 材料力学(上巻), コロナ社 (昭 30)



特許 第 299895 号

特 許 の 紹 介



井 原 一 男・岡 野 金 平

軸 封 水 用 セ グ メ ン ト パ ッ キ ン グ

軸封装置においては、パッキングと回転軸の接触圧力が常時適正値に保持されなければならない。

接触圧力が小さ過ぎると、十分な軸封を行なえないし、またそれが過大になると摩擦が大きくなりパッキングの損耗が大きくなるからである。

水力機械など圧力の高い軸封を行なうのに、分割片を縮付スプリングで円周的に継いだセグメントパッキングが用いられているが、このパッキングは、従来その接触圧力を縮付スプリングの縮付力で得るものと考えられ、こうした観点から構成されていた。

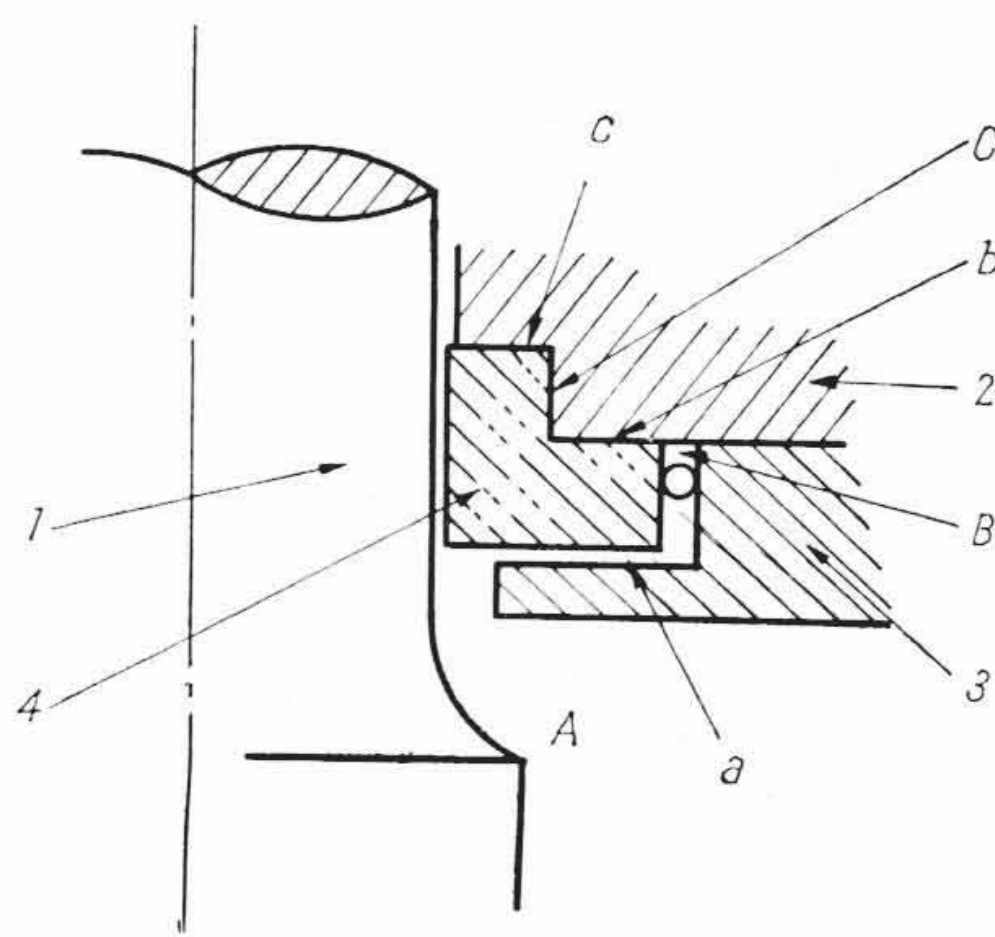
ところが発明者が、このほどパッキングについて実験を行なったところ、封圧が高くなるとその影響を受けて接触圧力が大きくなることが明らかになった。

この現象は、第 1 図について次のように説明することができる。第 1 図において、1 は回転軸、2、3 はケーシング、4 がパッキングである。封圧は A 室から作用するものとする。このように A 室に封圧が作用するとパッキング 4 は、図示のように上方に押し上げられパッキングボックスの a 面との間に B 室に通じる流水路を形成して A 室と B 室を連絡し、B 室つまりパッキング背面からパッキングに封圧が作用してこれが接触圧力を増すものと考えられる。事実発明者は、このような観点よりこの発明の構成をえ、すぐれた技術的効果を認めた。

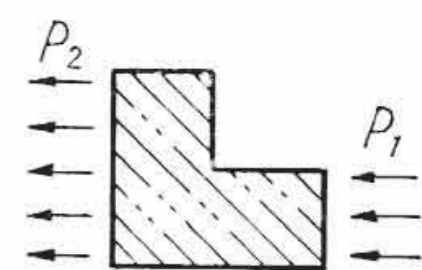
すなわちパッキングを L 型断面に形成し、封圧が作用するパッキングの外周面、つまり背面の面積を小さくするものである。A 室から封圧が作用するとパッキング 4 はパッキングボックスの b 面に密着し、A 室を B 室に連絡するが、C 室に対しては b 面によりシールして、封圧を通じない。したがって、パッキングにむける作用力の

平衡状態は、第 2 図に示すように、パッキングが B 室に対向する面積に、B 室の圧力 P_1 を乗じたものと、パッキングの回転軸との接触面積と接触圧力 P_2 とを乗じたものが平衡することになるから、B 室の圧力 P_1 に対応し、回転接触面積と B 室押圧面との面積比を適正にすることで所期の接触圧力を得ることができる。

この発明は、これらの理論に基づき、L 型断面の形状を適当に決めることにより、封圧の大小に関係なく適当な接触圧力を得るものであり、この構成にすれば縮付スプリングの縮付力は、在来に比べはなはだ小さくすることができ、組立作業が容易になる利点もある。



第 1 図



第 2 図