# 電源開発株式会社沼原発電所用

# 275kVアルミ被OFケーブル

# 275kV Aluminium Sheathed Oil Filled Cables for Numappara Pumped Storaged Power Station

The installation of 3 circuits of single core aluminium sheathed oil filled cables for Numappara Power Station of the Electric Power Development Co. was completed in August 1973 after one year of careful engineering work.

The tunnel for cable installation extending about 600 m involves a 75 m inclined shaft with an angle of 45 degrees and 80.5 m of total elevation difference.

The use of this type of cable is worthy of note since the heavily reinforced lead sheathed oil filled cables have been traditional for such cable routes. The cables were laid from the outdoor switchyard to the underground transformer vault by using a caterpiller type breaking machine, motor driven break rollers and motor driven cable rollers. The cable in the pit on the trough was cleated in the shape of snake and embedded with sand over the entire length for the purpose of fire protection.

In order to prevent the flow-down of the sand and the slide-down of the cables the specially designed cable cleats were employed in the inclined shaft. The cleat was provided with a conical packing to increase cleating force by its wedge effect.

田中利夫\* Toshio Tanaka

垣花寿雄\*\* Toshio Kakihana

斉藤哲夫\*\* Tetsuo Saitô

加藤清夫\*\* Kiyoo Katô

天野隆喜\*\* Takayoshi Amano

# □ 緒 言

1 台あたり225MW,最大出力675MWの電源開発株式会社 沼原発電所は、世界で初めての500m級(最高全揚程525m)の 純揚水発電所で、栃木県黒磯の那珂川水系に位置する。地下 発電所内の主変圧器から地上に至る母線トンネルは、全長約 600m、高低差80.5mあり、ここに昭和47年8月から翌年8月 まで、3回に分けて1~3号機用の275kV 1×400mm²ビニル 防食アルミ被OFケーブルを布設した。

高油圧がかかるルートでは、従来、高油圧補強を施した鉛被OFケーブルが用いられる場合が多いが、今回は常時最大 8 kg/cm²Gの油圧値なので、通常ルートに広く用いられているアルミ被OFケーブルのアルミ被厚さの検討を行ない、この採用に踏み切った。ルート中45度の傾斜部では、ケーブルの滑落防止と砂の流出防止をかねて、クリートによる多点支持を行なった。布設上の最大の問題であった引入れ工事は、油圧駆動式の制動キャタピラおよび制動ローラを用いることによりスムーズな引入れができた。

ケーブルは1号線から順次運転にはいっており、火力、原 子力発電所建設計画の遅延という社会的情勢の中で、電力需 要増加に対処する大きな役割を果たしている。

#### 2 ルートの概要

発電所の概略配置は図1に示すとおりである。またケーブル布設ルートのプロフィールは図2に示すとおりである。ケーブルは図3で示すように、1号線は、トンネル壁面に設けた棚(たな)上に、2、3号線は、床上にそれぞれ砂埋め布設されており、中間接続はない。

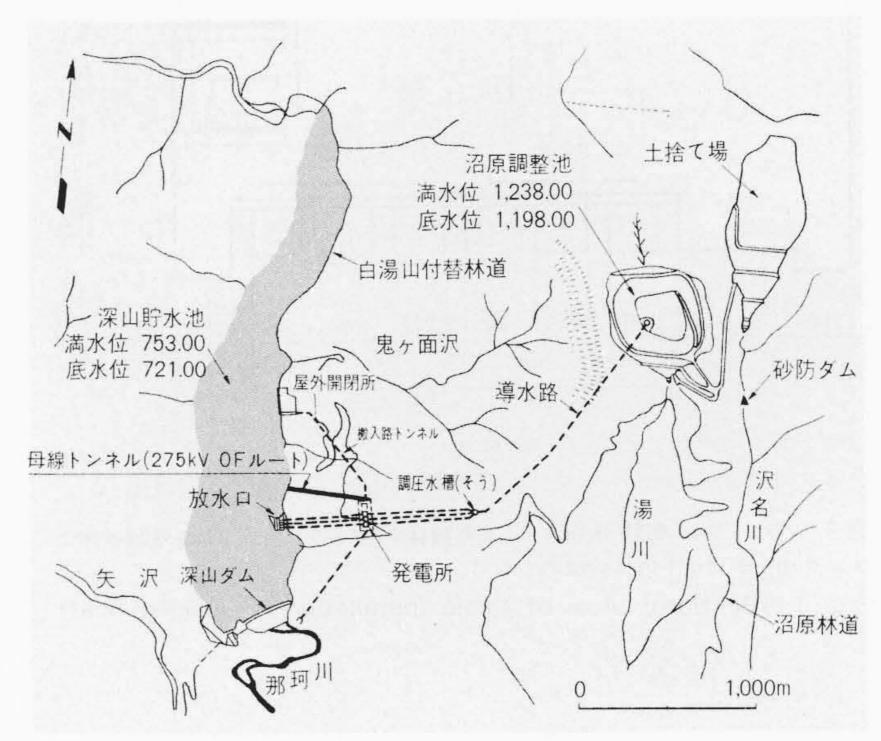


図 | 電源開発株式会社沼原揚水発電所の概要 トンネルに布設されている。

水発電所の概要 ケーブルは母線

Fig. I Layout of Numapphara Power Station

# 3 ケーブルおよび付属品

#### 3.1 ケーブル

従来, 高落差ルートには鉛被上に円周方向と軸方向の油圧 補強を施した鉛被高油圧OFケーブルが採用されてきた。一 方, 現在は, 一般ルートでは波付アルミ被OFケーブルが広

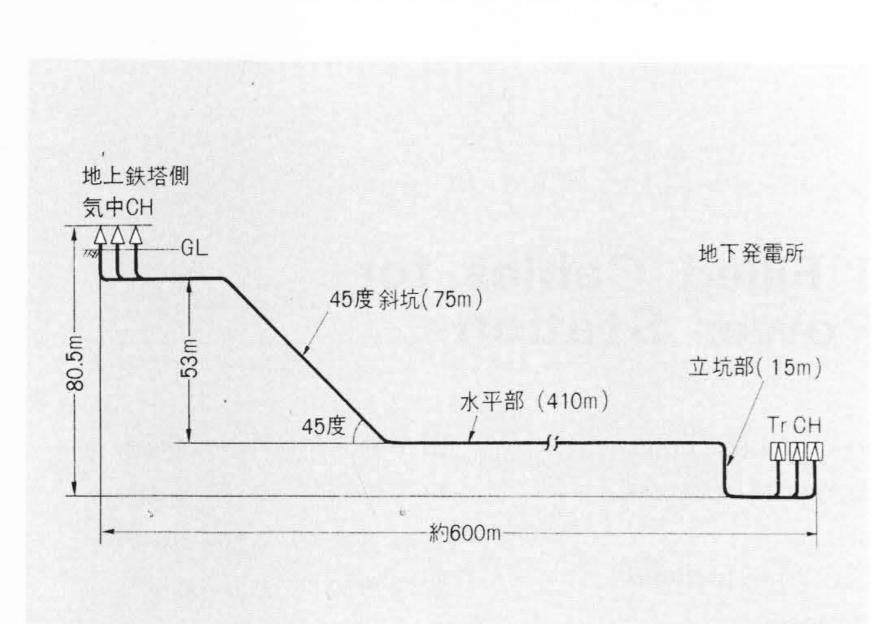


図 2 ケーブル ルートの概要

傾斜角度45度を含むルートである。



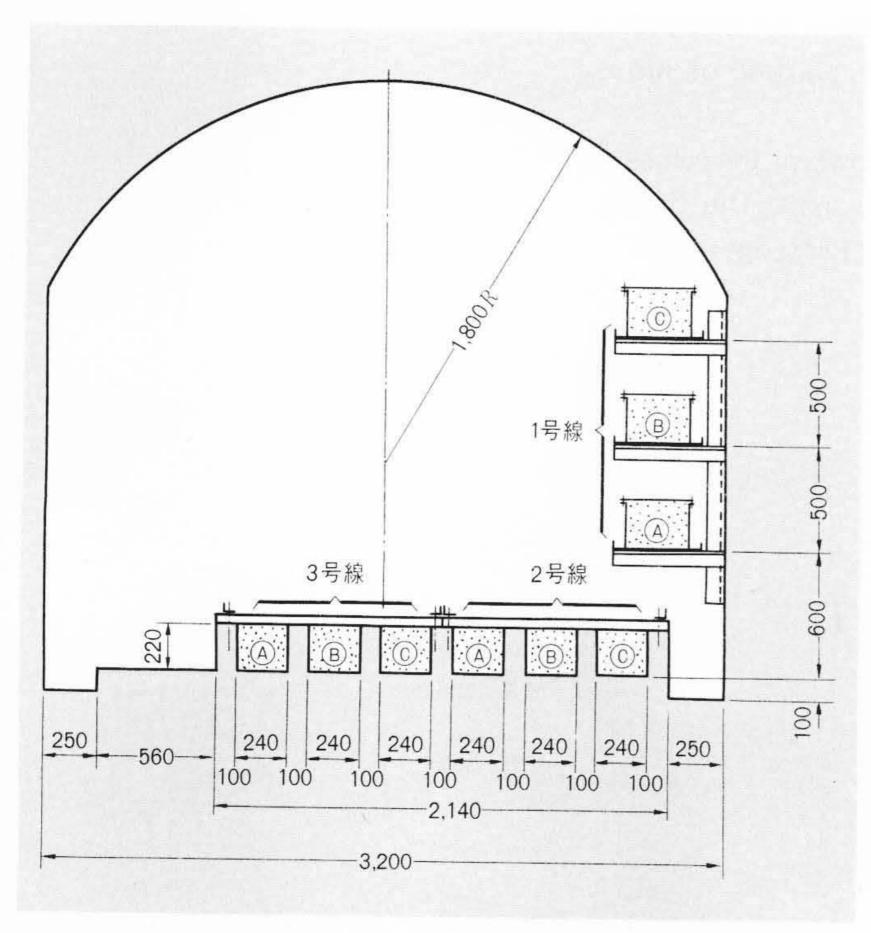


図3 ケーブル布設状況 1号線はFRPトラフ内, 2, 3号線は床上 コンクリートピット内に砂埋めされた。

Fig. 3 Sectional View of Cable Installation in Inclined Shaft

く使用されている。高落差ルートへ波付アルミ被OFケーブ ルが適用できれば、鉛被ケーブルの場合に必要な円周方向、 軸方向の補強層構造が省略でき、また機械的強度の増加や軽 量化などの利点がある。両者の比較は表1に示すとおりであ る。アルミ被ケーブルの適用のため次の検討確認を行なった。 耐油压 (1)

現在の設計では、本ケーブルのアルミ被下径73.3mm に対 するアルミ厚さは2.1mmとなり、この厚さで6kg/cm2Gの油 圧まで許容されている。今回は常時最大油圧が8kg/cm²G(ゲ ージ圧)であるため、アルミ被厚さをこの油圧に相当する2.8mm とした。このときアルミ被円周方向の応力は1.16kg/mm²であ り従来の実績からみて問題ない値である。ケーブルに16kg/ cm2Gの内圧を30分間かけた後、30分間2kg/cm2の割合で昇圧

表 I 高落差ルート布設高油圧鉛被OFケーブルと波付アルミ被OF ケーブルの比較 一般ルートでは波付アルミ被OFケーブルが広く使用さ れている。

Table I Comparison of Reinforced Lead Sheathed Cable and Corrugated Aluminium Sheathed Cable

項 目	波付アルミ被 O F ケーブルの得失 (鉛被 O F ケーブルとの比較)	評 価*
ケーブル外径	鉛被ケーブルより約6mm大きいが取扱い上の 問題なし。	Δ
ケーブル重量	鉛被ケーブルの約70%に軽減。	0
内圧補強構造	厚肉アルミ被の適用により金属補強テープの 巻付が不要。	0
機械的強度	アルミ被の適用によりケーブル自重や布設時の外力による変形の不安がない。 鉛被には使用温度における結晶粒の粗大化, 振動疲労などの懸念があるが, アルミ被は耐 疲労強度が高く, 電動ローラによる高落差長 尺布設には適している。	0
曲 げ 特 性	アルミ被が厚肉となるため,曲げ剛性が若干大きいが性能および実作業性は問題ない。	Δ
許容電流	片端接地でかつ布設間隔が340mmと大きいためシース損の許容電流に与える影響は鉛被と 大差ない。	

注: \*○は有利,□は同等,△はやや不利を示す。

表 2 275kV I×400mm<sup>2</sup>高落差布設アルミ被OFケーブル構造表 アルミ被厚さ以外は一般のアルミ被OFケーブルと同様の構造である。

Table 2 275kV I × 400mm2 Corrugated Aluminium Sheathed Oil-Filled Cable Installed in Inclined Shaft with High Elevation Difference

	項	目	数 量	公 差
導	公 称 断 面	積 (mm²)	400	
न्त	形	状	中空円形	
体	構	成 (本/mm)	72/2.6	
14	概 略 外	径 (mm)	29.2	
油	内	径 (mm)	12.0	±0.5mm
通	厚	き (mm)	0.8	± 8 %
路	外	径 (mm)	13.6	
絶	導体上カーボン紙	(約) (mm)	0.3)	
	絶 縁 厚	さ (mm)	20.4 21.0	± 5 %
縁	絶縁体上カーボン	紙 (約) (mm)	0.3	
	ゃへい層概略厚さ 同線織込布テープ巻厚	(mm) 厚さを含む) (mm)	0.8	
ア	厚	(mm)	2.8	90%以上
22	* 1 to	₹ (mm)	4.8	
ルミ	波の概略高	₹ (mm)	4.0	====
ルミ被	722	径 (mm)	88.5	
ルミ被	722	径 (mm)		100%以上
ルミ被	概略外ニル防食層厚	径 (mm)	88.5	100%以上
ルミ被ビ	概 略 外 ニル防食層厚 略 外	径 (mm) さ (mm)	88.5 4.5	100%以上
ルミ被ビ概	概 略 外 ニル防食層厚 略 外 略 重	径 (mm) さ (mm) 径 (mm)	88.5 4.5 101	100%以上
ルミ被ビ概概	概 略 外 ニル防食層厚 略 外 略 重 略 油	径 (mm) さ (mm) 径 (mm) 量 (kg/km)	88.5 4.5 101 13,700	100%以上 — — — 以 下
ルミ被ビ概概概	概 略 外 ニル防食層厚 略 外 略 重 略 油 大導体抵抗(	径 (mm) さ (mm) 径 (mm) 量 (kg/km) 量 (l/km)	88.5 4.5 101 13,700 2,900	

し油圧試験を行なったが、アルミシースの内圧破壊値は63kg/ cm²Gと8.0kg/cm²Gに対して十分余裕のある値であった。 (2) 許容電流

アルミ被厚さを2.1mmから2.8mmとしたため、シース損/ 銅損の増加によるサイズアップが懸念されたが, 片端接地で ありかつケーブル布設間隔が340mmと大きいため0.015から 0.018に増加する程度であり、許容電流的には全く問題ないこ とを確認した。また鉄損によるケーブル周囲温度の上昇が懸 念されたため、ベース鉄筋はケーブルセンタから150mm離す 設計とした。

#### (3) 曲げ特性

曲げ径2,000 $mm \times 2$ 往復(アルミ被平均外径の23.4倍)の曲げ試験を行なったが異常は認められなかった。

ケーブルの構造は表2に示すとおりである。

#### 3.2 付属品

高所側は気中終端箱,地下の低所側は変圧器直結形終端箱が使用された。気中終端箱は従来の布設条件と特に異なる点はなく、要求絶縁階級より耐塩害用がい子(B-2571)が使用された。油中終端箱は気中終端箱の約80m低所側に設置されるため、高油圧に耐える鉛工補強が必要となる。数種類の鉛工補強方式について内圧18kg/cm²Gで1年間の長期試験を行なった結果、エポキシとガラステープを交互巻きして下部銅管に固定する方式が作業性も良く、性能的にもすぐれていることが実証されたのでこの方式を採用した。

#### 4 布設設計

布設設計上の直面した問題点は主として次の点であった。

#### 4.1 45度傾斜部における滑落防止

滑落防止の方法には、傾斜上方で引き止める1点支持、または斜面全長を多点支持する方法があるが、下記の理由により多点支持する方法とした。

- (1) 1点支持では所要引き止め力が大きくなる。
- (2) ケーブルの熱伸縮を吸収するため、スネーク布設を行な

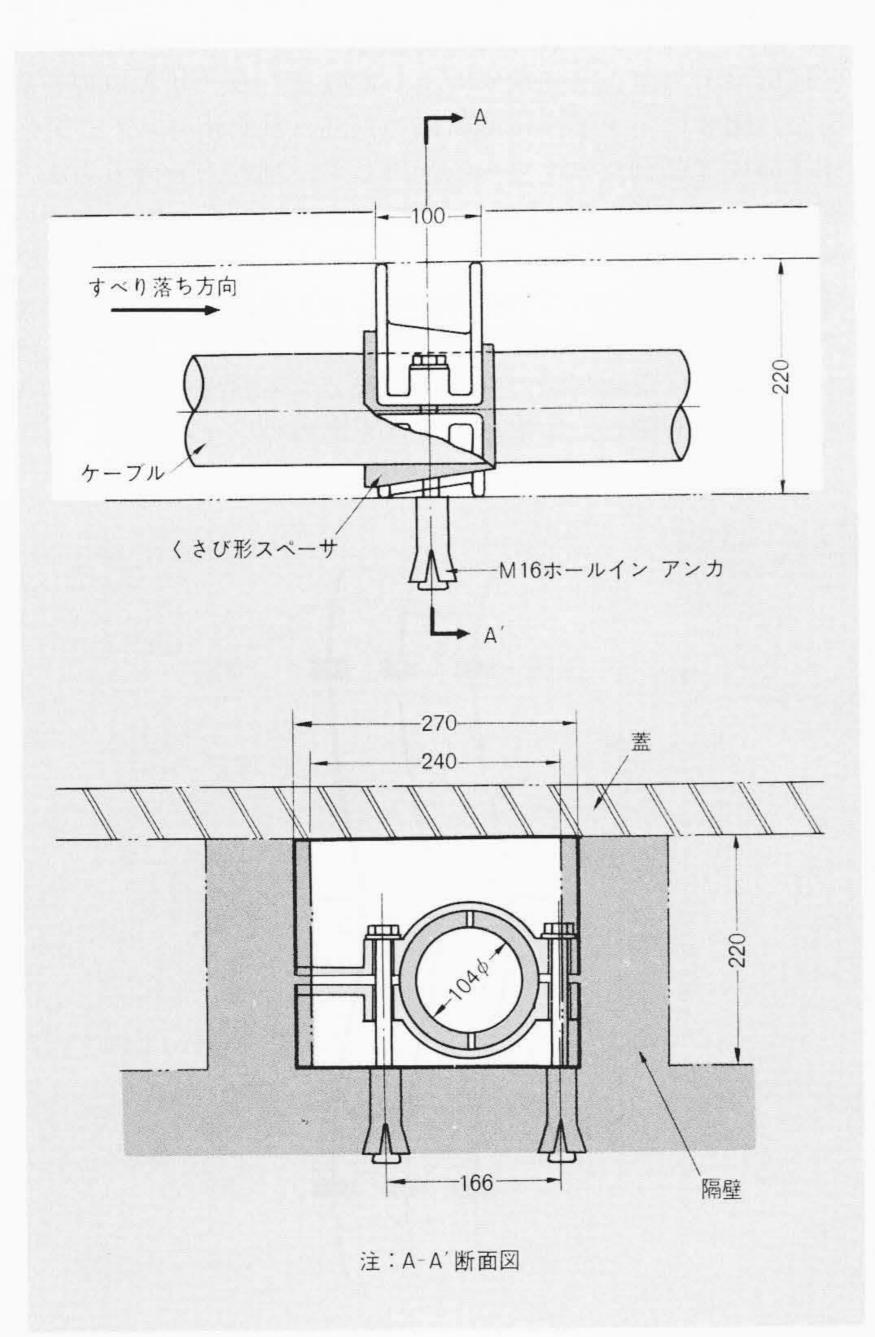


図4 テーパ付アルミ合金クリート くさび効果を利用してケーブルすべり落ちを防止するとともに、砂止め板としても利用している。

Fig. 4 Cable Cleat with Shutting of Sand

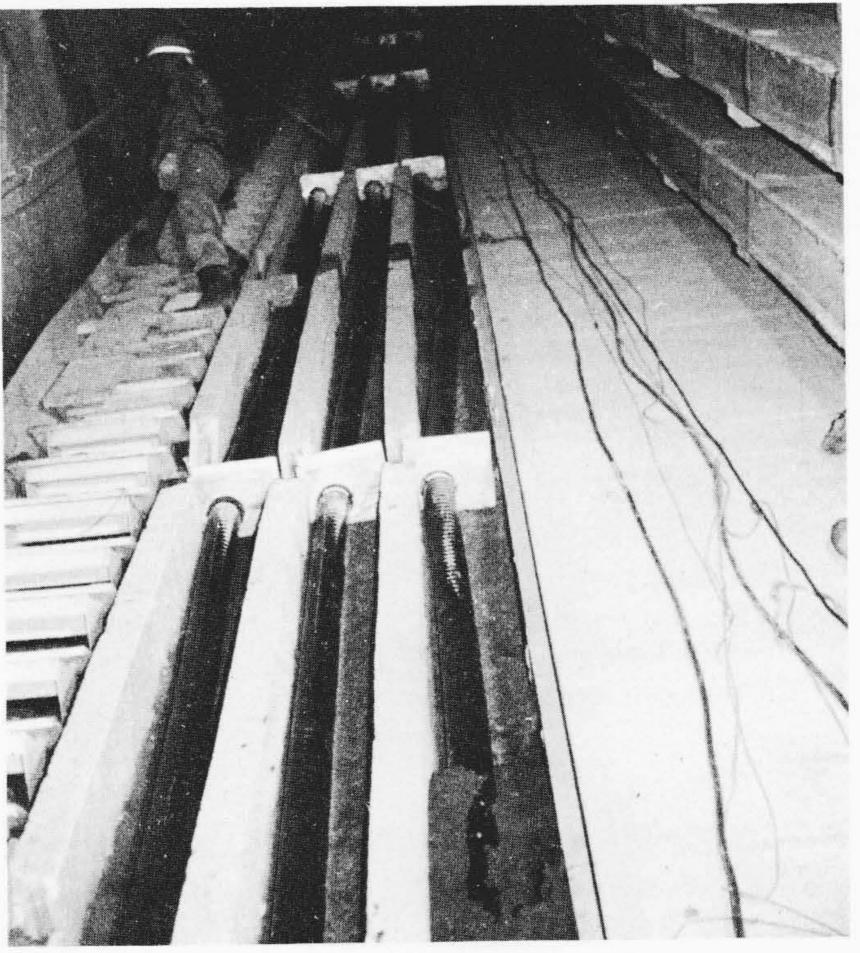


図5 スネーク布設と砂止めの状況 クリートはピット内いっぱいの形状とし、砂止めを兼ねている。

Fig. 5 Snake Installation in Inclined Shaft

い、スネークピッチごとにクリート固定を行なう。このクリートは多点支持に利用できる。

(3) クリート形状をケーブルピット断面に同一とすることで砂止めに利用できる。

クリート形状としては、図4に示すように、くさび効果を利用しており、すべり落ちに伴い、把(は)持力が増加するので信頼度が高くなる構造を採用した。この構造では、把持力として、少なくともクリートあたり400kgは期待でき、くさび効果を利用しない通常のクリートの2倍以上の把持力が得られる。

# 4.2 砂の流出防止

ケーブル火災を防止するため、最も確実かつ経済的な砂埋め方式が採用された。この砂は、水分量の違いにより程度の差はあるが、傾斜面が30度を越えると自然に流下してしまう。今回はケーブルをスネークさせる点に着目し、図5に示すようにスネークピッチ6mごとに固定するクリートを砂止めと兼用することにした。この場合、砂の重量としては傾斜部全長で、ケーブルあたり約6tに達するが、6mごとになると約480kgになり、砂止め設計は容易になる。

一方、各砂止め区間ごとに、砂が下方に移動することにより、ピット蓋(ぶた)の浮き上がるのを防止する必要があるが、この点では、ケーブル相間の隔壁と関連した構造上および施工上の問題が重なり、解決にはかなりの経過を要したが、図6に示すようにコンクリート蓋をアングルで固定する方法をとった。

# 4.3 棚上布設

1号線ケーブルでは、特に傾斜部において多くの配慮が払われた。

(1) 壁面の長手方向1.5mごとに設ける立金物は、傾斜面に直 角にする。

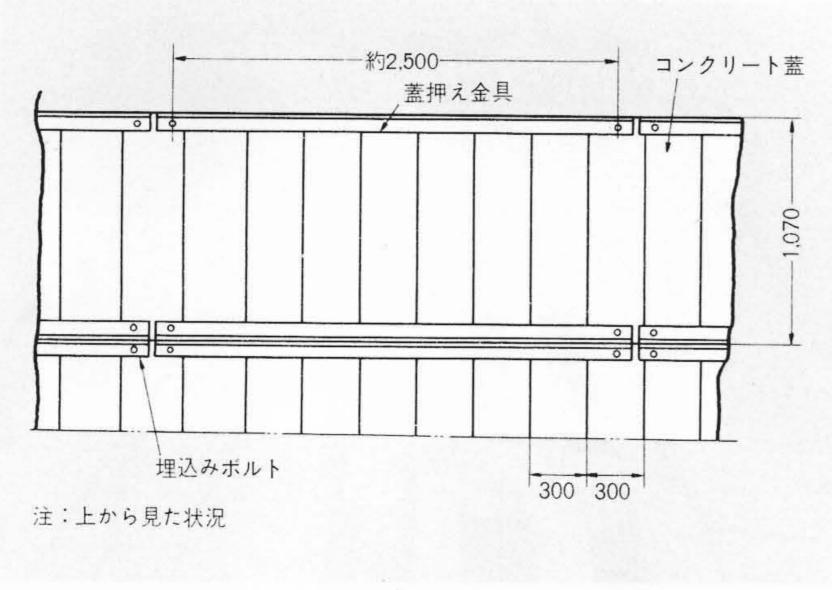


図 6 コンクリート蓋固定状況 あらかじめ埋められたボルトを利用して、アングルを固定する。

Fig. 6 Fixing of Concrete Cover

- (2) ケーブル棚には、ストッパ金具をつけ、すべり落ちを防ぐ。
- (3) トラフは、軽量化のため**FRP**(ガラス繊維強化プラスチック)を採用した。
- (4) トラフ本体と蓋部は、砂の流出すきまをなくすため、実験により最も適当な厚さのパッキンと押え金具を選んだ。
- (5) トラフ蓋には砂入れ穴を設けない一体化構造を採用し、 砂入れ工法上の解決を図った。
- (6) 砂止めとすべり落ち防止兼用のクリートは、トラフ底を貫通して、受棚に直接固定する方法とし、トラフと棚を一体化した。
- (7) トラフはステンレスバンドで棚とともに1.5mごとにバインドし、2段にわたる一体化を考えた。

#### 4.4 垂直部の布設方法

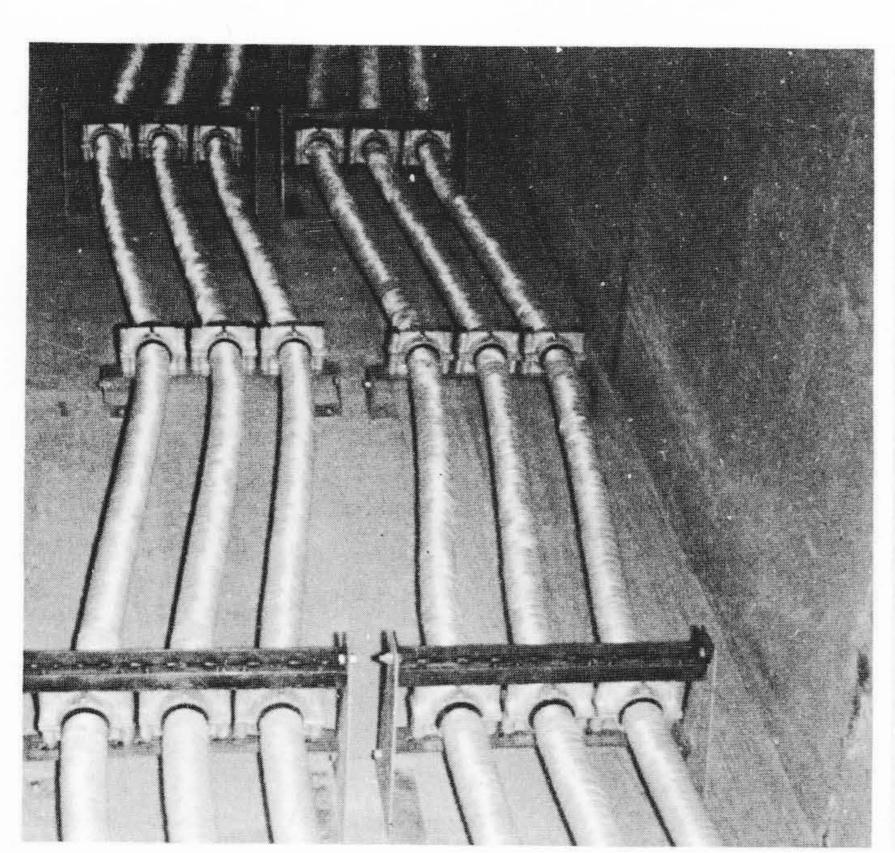
ケーブルの熱伸縮対策として、垂直部で15mを、作業性か

# 5 布設工事

現地における工事中,最も重要な部分であるケーブル引入 れ工事を主体として以下に述べる。

#### 5.1 引入れ工事

大きな角度を有する傾斜部や立坑にケーブルを引き入れる には、ケーブルが落下する状態にならぬよう、適正なスピー ドを保つことが重要である。このための引入れ方法としては, ケーブルドラムを低所におき、高所に向けて引き上げる方式 と、ブレーキをかけつつ高所から低所に引き降ろす方式があ る。超高圧ケーブルの場合、特にトンネル内布設のような場 合は、ドラム寸法やケーブル重量が大きく、現場搬入の点か ら、後者の引き降ろし方法によらざるを得ないのが普通であ る。今回のルートでは、地中送電線の引入れに使用している 各種機械力の組合せ使用を考え, 電動ローラの基本原理を活 用し、図8に示すように傾斜部の頂部に制動用キャタピラを、 傾斜部には制動ローラを分散配置して、制動力を得る方法を 採用した。計算上ケーブルが傾斜部をすべり落ちないための 制動力は約600kgであったが、これに対し、3台の制動ローラ (制動能力150kg/台)で約300kgを、残りの制動力を制動キャ タピラ(制動能力700kg/台)で分担させた。また、ケーブル降 ろし作業中は常時制動力を連続監視できる検出装置を制動キ ャタピラに装備し、作業の安全性を高めた。この結果、引入



(固定) カーブル 2000 マネーク幅 2000 マーブル (可動) (可動)

図7 垂直部でのスネーク布設向は固定の支持を行なっている。

スネークピッチを4mに固定し、中間部は左右方向に可動、上下方

Fig. 7 Installation of Cable in Vertical Shaft

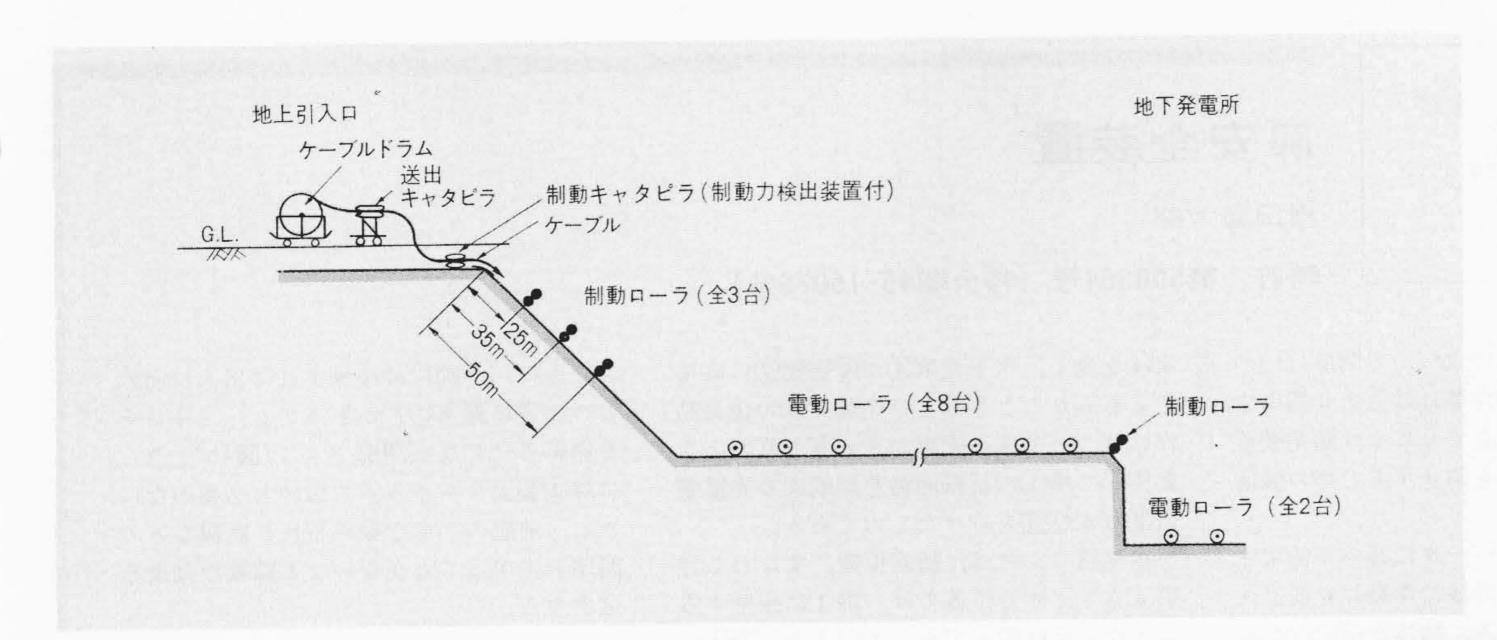


図 8 ケーブル引入方 法 キャタピラおよび 制動ローラですべり落ちを 防止している。

Fig. 8 Arrangement of Cable Laying Equipments

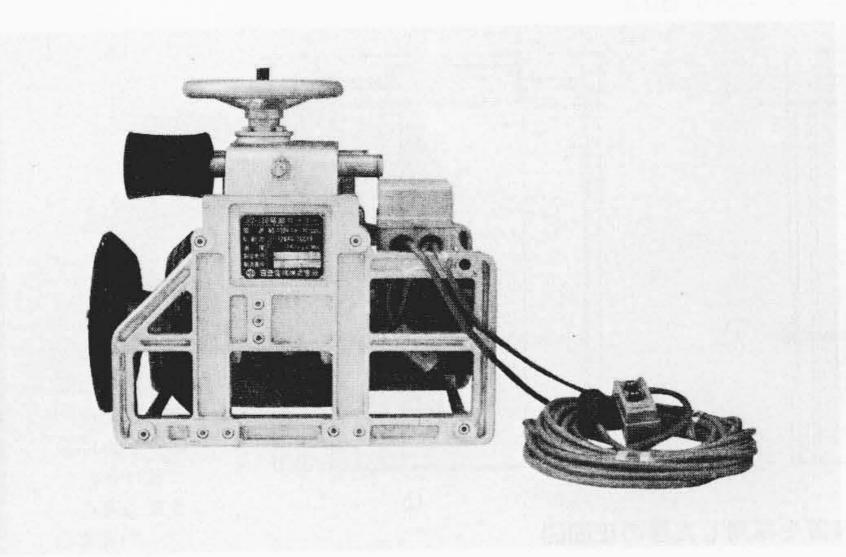


図 9 日立電動ローラの仕様および引入れ時の使用状況 ケーブルは加圧ローラに把持されて引っ張られる。使用例は「号線の引入れ状況である。

Fig. 9 Motor Driving Type Cable Roller

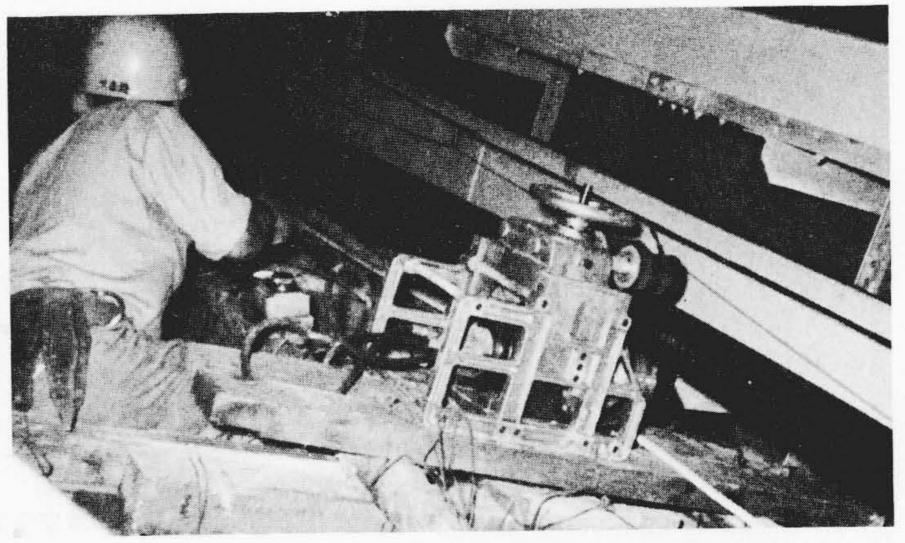
れ時の測定によると、キャタピラの最大制動力は300 kgにとどまり、残りの約300kgは予定どおり、途中の制動ローラ3台が分担するという理想的な引入れが行なわれた。

#### 5.2 電動ローラ

傾斜部から水平部に入ると、適当な位置に配置された電動ローラが、ケーブルを順次把持して引き入れていく。この電動ローラは、トンネル内のケーブル引入れにきわめて大きな改善をもたらしたものである。以前はトンネル内の引入れにおいても、管路内引入れと同様、あらかじめケーブル先端に取り付けられたプーリングアイ部にワイヤを連結し、そのワイヤをウインチにより巻き取りつつ引入れを行なっていたが、電動ローラは、耐摩耗性にすぐれたゴムをはりつけた加圧ローラで、ケーブルを把持し引き入れていくので、ケーブルに張力をかける必要がなく、曲がり部でも側圧のかかる心配がない。傾斜部に設置した油圧式制動ローラは、原理的には電動ローラと同一であり、電動機を油圧駆動式に代えて、バルブ操作により所定の制動力を得るようにしたものである。図9は日立電動ローラの仕様および1号線引入れ時の同ローラ使用状況を示したものである。

# 6 結 言

世界的規模を誇る電源開発株式会社沼原揚水発電所におけ



項	目	仕	様
電 動	機	100V, 200W I φ 4 Pコンデンサ起	己動形モートル
減 速	機	減速比 132: 1, ハーモニックド	ライブ
引張	カ	120kg/100kg, 50Hz/60Hz	
引張速	度度	7 m/min/8.4m/min, 50Hz/60Hz	
駆動方	向	可逆(ソケット差し込みによって	変えられる)
適用ケー	ブル	40 ~ 150mm ∮	
重	量	45kg	
容	積	全長505×全幅300×全高445(mm)	

る母線トンネル内に布設された、最大高低差80.5m、傾斜角45度(斜面長75m)、全長約 $600m \times 3$ 回線の275kV OFケーブルについて記述したが、その主要点を要約すると下記のとおりである。すなわち、

- (1) 従来, 高落差ルートに採用されてきた補強付鉛被OFケーブルに代えてアルミ被OFケーブルを適用可能とした。
- (2) ケーブルは防災の目的で砂埋めされた。
- (3) ケーブルのすべり落ち防止として、くさび効果を利用したテーパ付クリートにより多点支持方法とした。
- (4) 熱伸縮吸収のため、スネーク布設を行ない、スネークピッチごとに固定するクリートは、すべり落ち防止と砂の流出防止とを兼用させた。
- (5) 引入れ工事は、高所から低所に引き降ろす方法をとり、 キャタピラ、傾斜部における制動ローラおよび水平部におけ る電動ローラの機械力によりスムーズな引入れができた。

終わりに臨み、昭和47年8月から翌48年8月に至る3期に 渡った布設工事を中心として、この間種々ご指導をいただい た電源開発株式会社の各位をはじめ日立電線株式会社関係各 位に対して深い謝意を表わす次第である。