U.D.C. 621.315.235:621.315.221.713-034.71.027.822

中国電力株式会社南原発電所用

220kVアルミ被OFケーブルの布設

Installation of 220kV Aluminium-Sheathed Oil-Filled Cables for Nabara Power Station

野村鉄馬* *Nomura Tetsuma*
藤田健彦* *Fujita Takehiko*
沢　孝雄** *Sawa Takao*
林田克哉** *Hayashida Katsuya*
須藤貞夫** *Sudô Sadao*
斉藤哲夫** *Saitô Tetsuo*

中国電力株式会社南原揚水発電所に布設した220kV OFケーブルは，ルート長約440mで途中48度斜坑111m（高低差82m）を含み全高低差120mあり，国内では最大級の高低差を持っている。このため，ケーブルは次の対策が施され布設された。

(1) ケーブル内油圧が12kg/cm^{2}の高油圧に対し，初の波付アルミ被を適用した。

(2) 熱伸縮の吸収と滑落防止の目的で，全長スネーク布設し，クリートによる多点支持を行なった。

(3) ケーブルの引入れは曲り管（スキッド パイプ）を利用することにより，他の制動装置容量を低減することができた。

(4) 防災の目的でケーブルは砂埋め布設しているが，地絡時の防災対策として特殊二重蓋構造を採用し，トラフ外部へ地絡の影響を及ぼさないようにした。

1 緒　言

広島市に流れる太田川の支流，南原川に位置する最大出力620MWの南原発電所は，最大揚程333.5mの純揚水式発電所で，広島県のピーク調整用電源の目的で建設された。

この地下発電機室から地上開閉所を結ぶ母線トンネルに220kV 1×1,000mm^{2}ビニル防食アルミ被OFケーブル2回線（1，2号機用）を布設した。母線トンネルは地下発電所の排気トンネルをも兼ねており，48度斜坑111m（高低差82m）を含め全長約440m，全高低差120mあり，超高圧ケーブル布設ルートとしては傾斜角，高低差共従来の実績を上回るものである。

このような高落差ルートに超高圧OFケーブルを布設するには，ケーブル内部油圧が12kg/cm^{2}と高油圧になるので，この高油圧対策，48度斜坑部におけるケーブルの滑落防止と熱伸縮吸収対策，ケーブルの引入れと接続の特殊技術の採用，火災を想定した防災対策などの問題があるが，類似の高落差布設経験を生かし，今回の使用条件を十分に吟味した設計によって昭和51年5月無事現地納入を完了した。

2 ルート概要と類似布設例

2.1 ルート概要

全長約440m，全高低差120mを持つケーブル布設ルートのプロフィルを**図1**に，**図2**，**3**にその布設方式を示した。ケーブルは母線トンネル内では床上のトラフ内に，発電機室内では鋼板ダクト内に配置されたトラフ中に砂埋め布設され，地上開閉所に気中形終端接続箱が，地下発電機室に変圧器直結

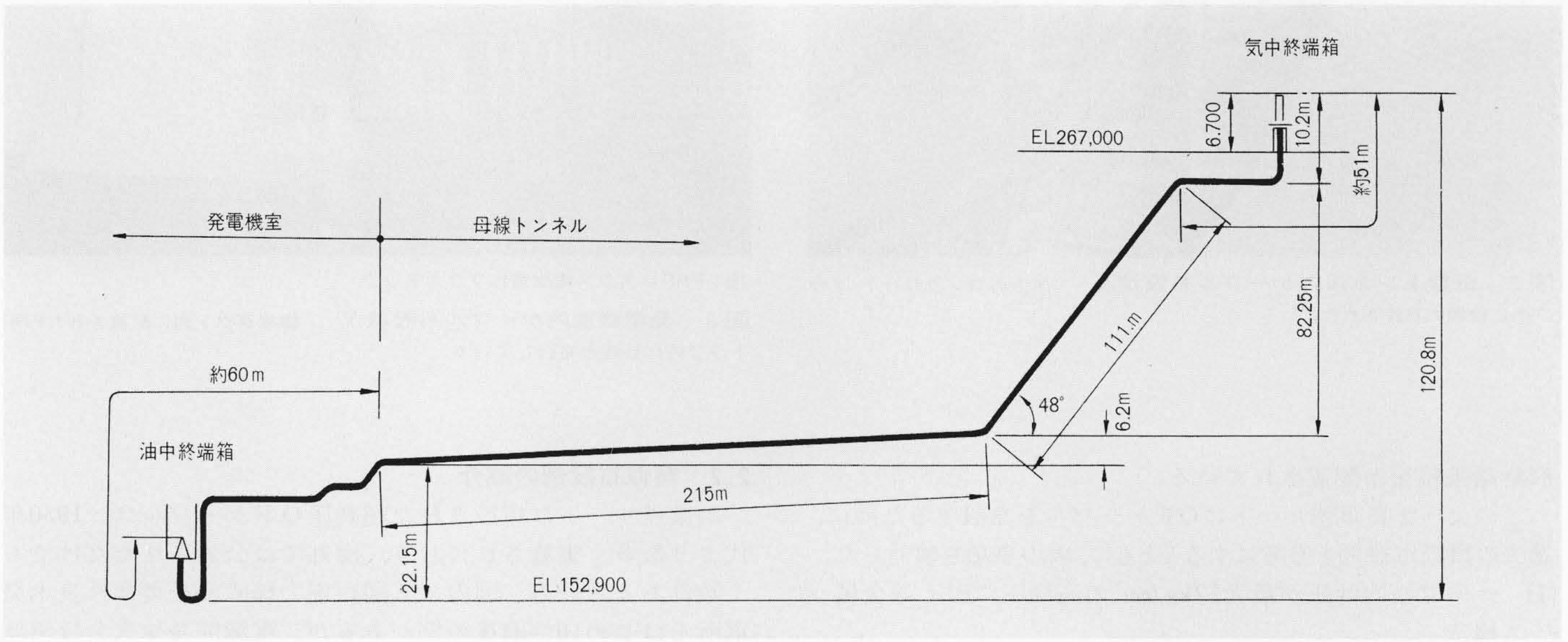


図1　ケーブル ルートの概要　48度傾斜を含む全高低差120mのルートである。

* 中国電力株式会社工務部　** 日立電線株式会社日高工場

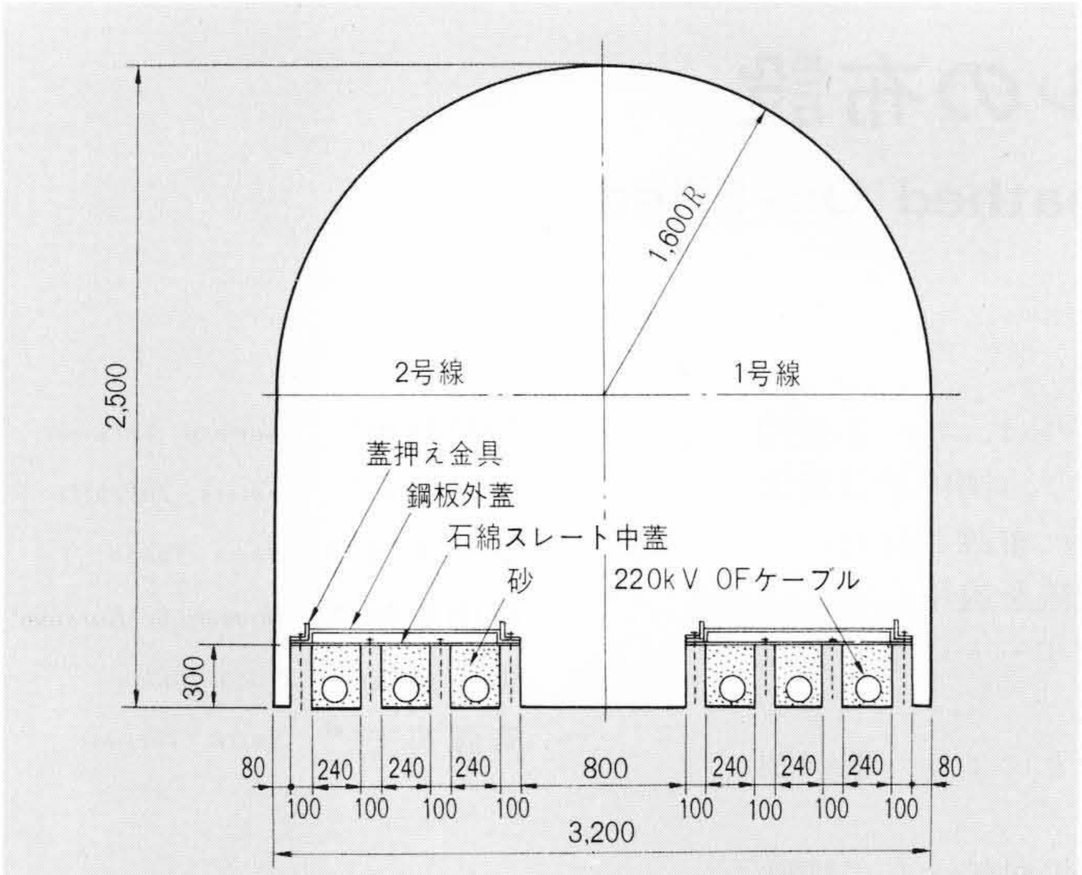
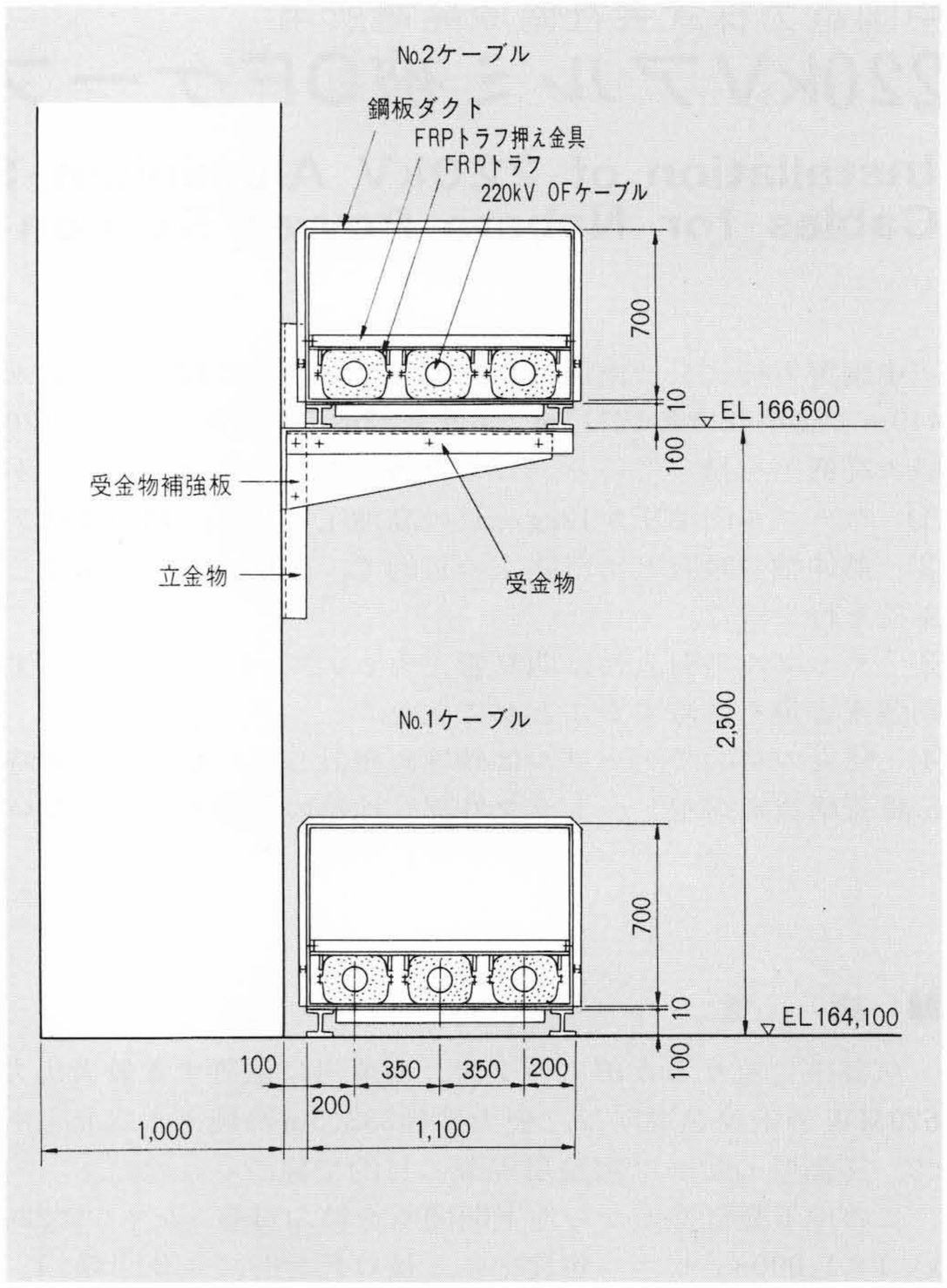
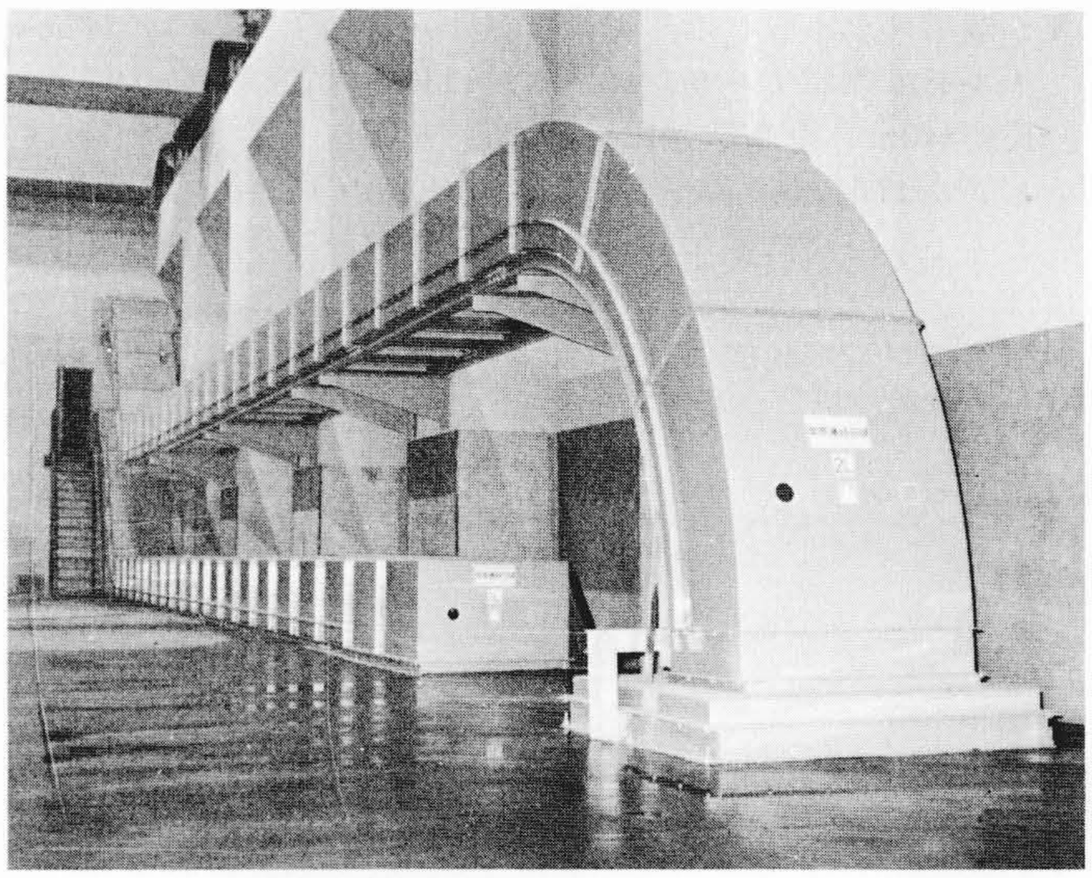


図2　母線トンネル内ケーブル布設状況　床上のコンクリート トラフ内に砂埋め布設された。





注：FRP＝ガラス繊維強化プラスチック

図3　発電機室内ケーブル布設状況　鋼板ダクト内に配置されたFRPトラフ内に砂埋め布設している。

形終端接続箱が配置されている。

このような高落差ルートにOFケーブルを布設するために，過去の類似布設例を参考にするとともに，次の事項を検討した。

(1)　ケーブル内油圧が最大12kg/cm^{2}の高油圧に耐える金属シース構造

(2)　48度斜坑部における滑落防止及び熱伸縮吸収を考慮した布設方法

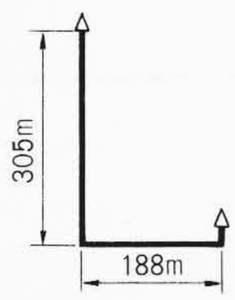
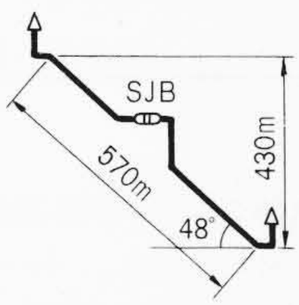
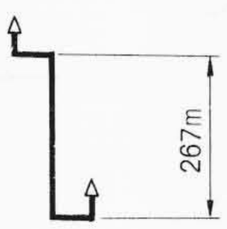
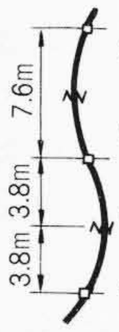
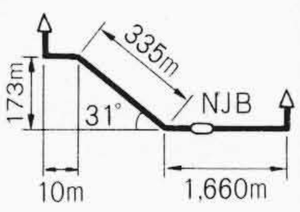
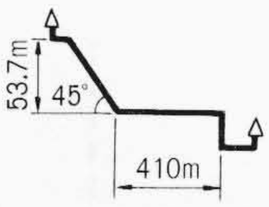
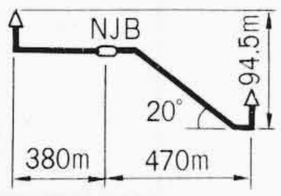
(3)　高落差ルートでのケーブル引入れと接続技術

(4)　火災を想定しての防災方法

2.2　類似布設例の紹介

高落差ルートに布設された超高圧ＯＦケーブルは，1950年代より数多く実施されており，海外では公表されただけでも十数件ある。一方，国内でも関西電力株式会社奥多々良木発電所をはじめ10件前後の例があるが，電源開発株式会社沼原揚水発電所では，傾斜角45度，高低差81mにアルミ被ＯＦケーブルが布設されており，また九州電力株式会社大平揚水発電所では1条約1,000mの長尺布設の例もある。その代表的な布設例を**表1**に示した。その特徴を列記すると次のとおりである。

表 1　代表的な高落差超高圧OFケーブルの布設例

場　　所	Raccoon Mountain アメリカ	Säckingen発電所 西ドイツ	Churchill Falls カナダ	Gland Coulee Dam アメリカ	沼原発電所 日本(電源開発株式会社)	奥多々良木揚水発電所 日本(関西電力株式会社)
時　　期	—	1968	1971	1974	1972	1974
ケ ー ブ ル	161kV　OFZE	235kV　OFZV	245kV　OFAZE	525kV　OFAZV	275kV　OFAZV	550kV　OFHZV, OFZV
導体サイズ(mm²)	1×1,625	1×300	1×1,125	1×1,000	1×400	1×1,000
ケーブル外径(mm)	100	85	94	122	101	147
ケーブル重量(kg/m)	—	19.3	20.3	—	13.7	51
最大油圧(kg/cm²)	45.0	23.0	28.5	21	8.0	18.0
金 属 シ ー ス (補強層)	鉛被(F-3合金) ステンレス テープ	鉛被(Pb-Te-Cu) すず, 黄銅テープ	平滑アルミ被(4.32t)	平滑アルミ被(4.6t)	アルミ被	鉛被
ルート状況 及び布設概要	 ○布設本数 14条(4cct+2spare) ○固定間隔 垂直部：2.75m 水平部：1.22m	 ○固定間隔12m(垂直スネーク) ○スペーサ間隔1m ○引入れは上方よりのワイヤロープ使用のボンド プーリング ○4cct(12本)布設 ○スレート板で隔壁防災	  ○固定間隔7.6m(アルミ クリート) ○ガイド クリート3.8m間隔 ○11cct(33本)布設 ○上方よりボンド プーリング	 ○スネークなし ○三条俵積 ○シリコン アルミクリート＋ネオプレン スペーサ ○固定間隔：2.14m ○布設本数：9本(3cct)	 ○斜坑部6m間隔でアルミ クリート固定(砂止め兼用)スネーク幅100mm ○布設本数9本(3cct) ○全長砂埋布設 ただし, 立坑部は耐火テープ巻き ○クリートはくさび形クリート	 ○床面トラフ内砂充てん布設 ○2cct(6本)布設 ○引入れはキャタピラ5台使用上方より引下ろし ○引止めは傾斜上端テンション メンバー

注：OFZE＝ポリエチレン防食鉛被OFケーブル　　OFAZV＝ビニル防食アルミ被OFケーブル　NJB＝普通接続箱
　　OFZV＝ビニル防食鉛被OFケーブル　　OFHZV＝ビニル防食高油圧OFケーブル
　　OFAZE＝ポリエチレン防食アルミ被OFケーブル　SJB＝油止接続箱

海外では，金属シースに平滑アルミ被の採用が目立つ。

(1)　高油圧用金属シースとしては，従来，鉛被が使用されていたが，機械的強度と信頼性の高いアルミ被が適用されはじめている。
(2)　ケーブルの支持方法は，クリートによる多点支持が多く，直線布設とスネーク布設に大別される。
(3)　国内では防災を考えた布設が極めて重視されているが，海外ではこの面の配慮はあまりなされていない。

3　ケーブル設計

高落差ルートにＯＦケーブルを適用する場合，その内部油圧が大きくなるため，金属シースの検討が重要になってくる。従来，この種のケーブルには高油圧補強を施した鉛被ケーブルが適用されていた。しかし，アルミ被ＯＦケーブルを採用すれば次のような利点がある。

(1)　重量を軽くできるので，ケーブルの長尺化及び布設工事の容易化が図れる。
(2)　機械的強度があり，長期の信頼性が高い。
(3)　高油圧補強層が不要である。
(4)　経済性の点で有利である。

以上のような利点を備えたアルミ被は，低・中油圧ＯＦケーブル用として使用されているが，高油圧用としては実例が少ない。そこでアルミ被を高油圧ケーブルに適用するため，次の検討を行なった。

3.1　アルミ被の許容応力

ＯＦケーブルのような内圧形ケーブルでは，内圧に対する許容ストレスからアルミ被厚さを決定しなければならない。一般にアルミ被の許容ストレスは，2.0kg/mm² とされている。その根拠は，短時間クリープ破断ストレスは5 kg/mm² 以上期待できるが，長期クリープ限界ひずみ 0.2%に対し許容できる常時ストレスは 2.2kg/mm² であるので，安全をみて設計上のフープ ストレスは2.0kg/mm² に決定されたものである。

3.2　アルミ被厚さの決定

ＯＦケーブルの内圧によるアルミ被のフープ ストレスは，(1)式より求められる。

$$\sigma=\frac{pd}{2t} \quad \cdots\cdots(1)$$

ここで，σ ：アルミ被のフープ ストレス(kg/mm²)
　　p ：ケーブル内部圧力(kg/mm²)
　　d ：アルミ被平均径(mm)
　　t ：アルミ被厚さ(mm)

今回はケーブル内油圧が12kg/cm²，アルミ被平均径が90mmになる。一方，220kV 1×1,000mm² ＯＦケーブルのアルミ被厚は，電気事業連合会規格の標準で求めると 2.3mmであり，この時のストレスは2.35kg/mm² となり許容値を上回る。

フープ ストレスを小さくするには，(1)式よりアルミ被厚さを厚くすることも一方法であり，この関係を試算すると**図4**に示すようになる。同図より許容フープ ストレス2.0kg/mm² の時のアルミ被厚は 2.7mmあればよいことになるが，実際にはケーブル製造時の公差と若干の裕度を考慮し，3.3mmを採用することにした。この時，最小アルミ被厚さに対するフープストレスは1.64kg/mm² となる。

参考までに海外で実施されている例と比較すると，アメリカのGland Coulee Damでは2.8kg/mm²，カナダのChurchill Fallsでは3.1kg/mm² であるのでかなり小さいといえる。

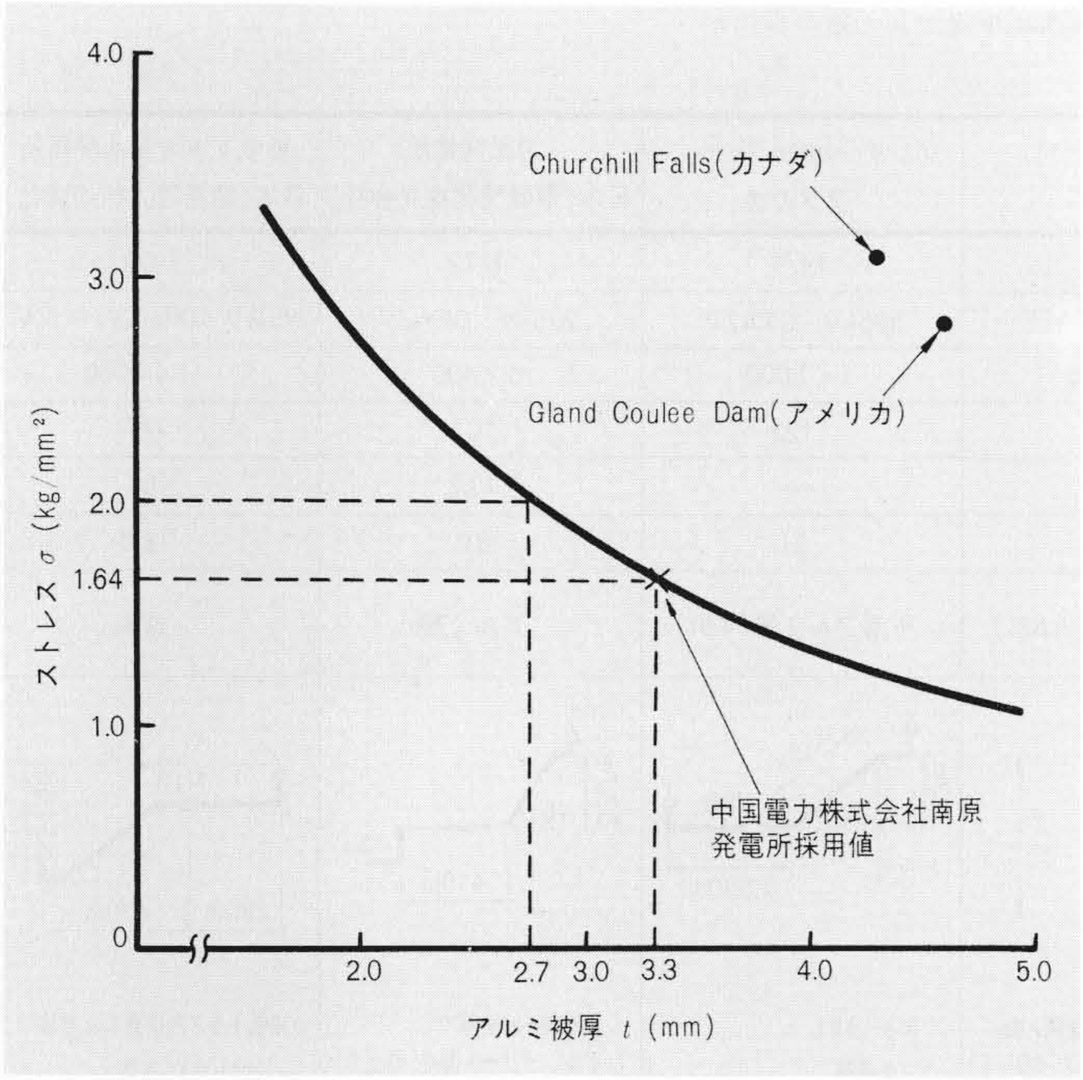


図4　アルミ被厚とストレスの関係　今回のケーブルで試算した結果である。

表2　220kV 1×1,000mm²アルミ被OFケーブル構造表　アルミ被厚さ以外は，一般のOFケーブルと同様の構造である。

項目		単位	規格値
導体	公称断面積	mm²	1,000
	形状	—	6分割圧縮中空円形より線
	バインダ巻厚さ(約)	mm	0.3
	外径(約)	mm	43.0
油通路	内径	mm	14.0
	鋼帯厚さ	mm	0.8
絶縁厚さ		mm	18.0
遮蔽層厚さ(約)		mm	0.3
銅線織込布テープ巻厚さ(約)		mm	0.5
アルミ被	厚さ	mm	3.3
	波の高さ(約)	mm	4.0
	山外径(約)	mm	96.5
ビニル防食層厚さ		mm	4.5
概算外径		mm	109
概算重量		kg/km	21,000

ケーブルサイズは洞道内気温を40℃とし，トラフ砂埋め構造，周囲の鉄鋼材の発熱，揚水発電所固有の負荷変動などを考慮して検討した結果1,000mm²を選定し，最終的なケーブル設計は**表2**に示す構造に決定した。

4　高落差布設工法

最大高低差120mの高落差ルートにOFケーブルを布設するには次の問題点が挙げられた。

(1)　48度斜坑部での熱伸縮吸収と滑落防止方法
(2)　ケーブル引入れ技術
(3)　高油圧下での接続技術

以上に対する検討結果を次に述べる。

表3　滑落防止方法の比較　超高圧OFケーブルでは，全長多点支持のほうが比較的多く採用されている。

項目	傾斜上方一点支持	傾斜全長多点支持
支持方法	テンションメンバーをケーブルに取り付け固定する。	クリートによりケーブルを固定する。
ケーブル布設スペース	作業スペースだけでよい。	スネーク布設を行なうので，スネーク スペース分広くなる。
所要引止め力	1箇所で固定するので大	分散固定ゆえ小さい。
砂埋め布設	砂止め板が必要	クリートを砂止め板と兼用
波付アルミ被の適用	コアの拘束力を期待できない。	スネーク布設ゆえ拘束力が増す。
熱伸縮対策	低所側にオフセットを設けて吸収する。	スネークにより分散吸収する。

4.1　熱伸縮吸収と滑落防止

48度斜坑部では，ケーブルの熱伸縮による滑落が起こる。この滑落を防止する方法としては，

(1)　傾斜上方で一点支持する方法
(2)　傾斜全長で多点支持する方法

が考えられた。

この両者を比較すると**表3**に示すようになるが，次の点を考慮し，スネーク布設方式による傾斜全長多点支持を適用した。

(1)　熱伸縮吸収のためスネーク布設が必要である。
(2)　多点支持ゆえ，滑落防止に対する信頼性が増す。
(3)　スネーク布設により，コアとアルミ被間の拘束力が増加

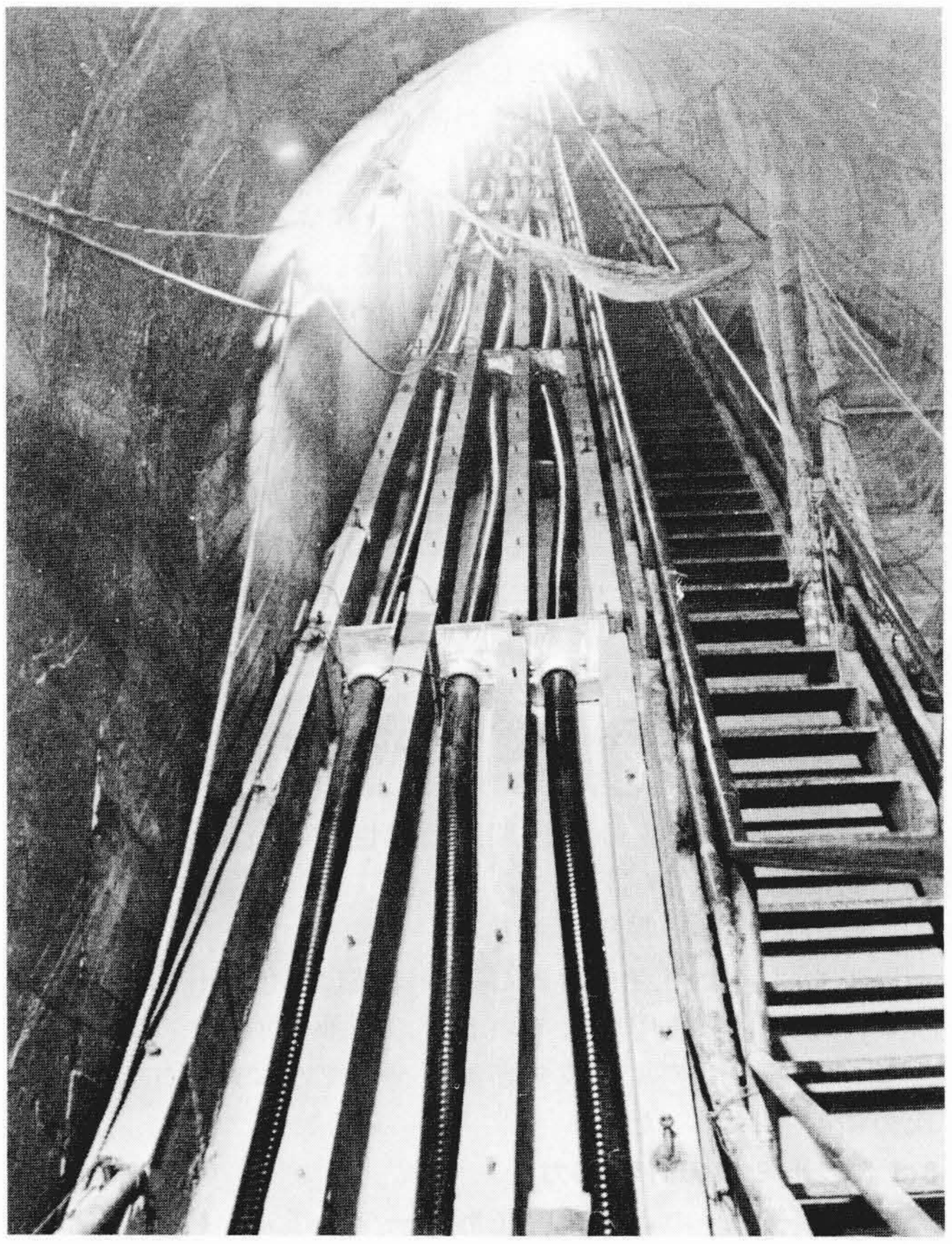


図5　スネーク布設状況　スネーク ピッチごとに砂止めを兼ねたクリートで固定している。

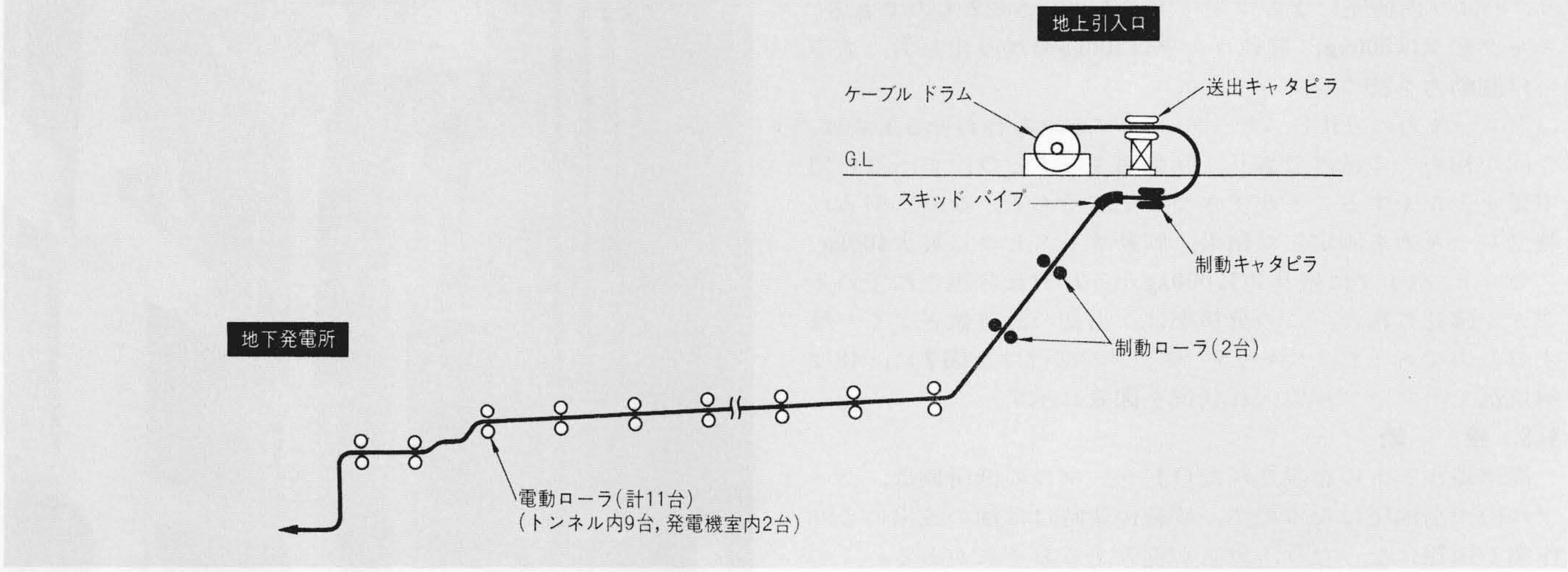


図 6　ケーブル引入れ方法　　キャタピラ及びローラにスキッド パイプを組み合わせ，滑り落ちを防止している。

し一体で挙動する。

(4)　48度斜坑部では砂の落下防止を必要とするが，スネークピッチごとに取り付けるクリートで砂止めを兼ねることができる。

スネーク寸法は，床上トラフ寸法との兼合いからスネークピッチ 5,450mm，スネーク幅70mmとした。**図 5** にスネーク布設状況を示す。

4.2　ケーブル引入れ工事

斜坑や立坑にケーブルを引き入れることは，古くから鉱山用立坑などで行なわれており，引入れ方式は次のように区分することができる。

(1)　ケーブルをドラムのまま低所側に搬入し，上方に向かって引き上げる。

(2)　ケーブル ドラムを高所側に設置し，適正なブレーキをかけながら低所側に引き下ろす。

今回の場合，ケーブル ドラムの寸法，重量の大きさと搬入口，あるいは布設トンネルの大きさとの兼合いから(2)の引き下ろし方法となり，ケーブルが自重で落下しないよう適正なブレーキ力を確保することが最も重要になった。ブレーキをかける方法には，上部ドラムで集中して行なう方法と全長にわたり分散して行なう方法とがある。

本ルートでは，48度斜坑部でのケーブル滑り落ち力は約1,400 kgになるので，上部集中方式あるいは分散方式で行なっても相当の容量が必要となり好ましくない。

図 6 に引入れ方法を示した。同図中のスキッド パイプとは

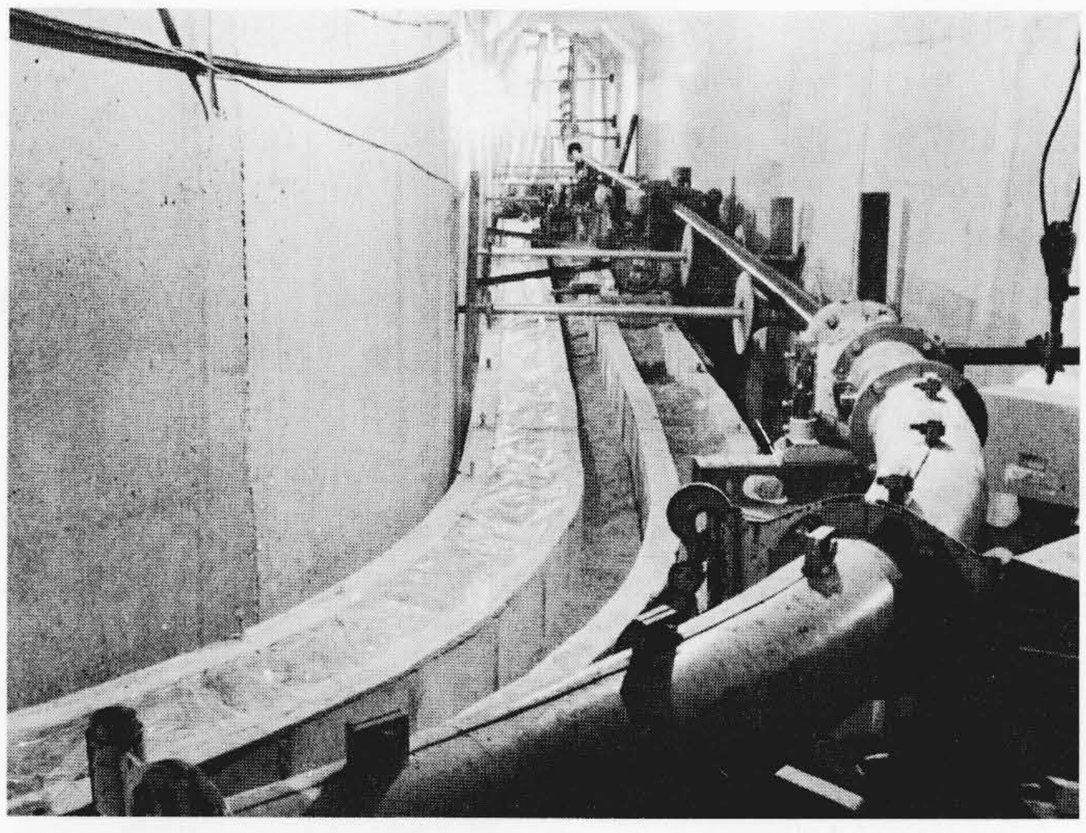


図 7　スキッド パイプ部ケーブル引入れ状況　　曲り管部での側圧をブレーキ力に利用した。

図 8　48度斜坑部の引入れ状況　　ケーブルは 2 ～ 3 m 間隔で配置されたころ上を引き下ろされている。

一種の曲り管であり，傾斜上部の曲り部に設置することにより，パイプ内側圧によるブレーキ力を生じさせるものである。キャタピラは500kg，電動ローラは100kgの送り出し力，あるいは制動力を持つ。

ブレーキ力の分担にスキッド パイプを組み合わせる工法は，今回が初めての試みであり，制動用キャタピラ，ローラの使用量を少なくすることができた新工法である。なお，引入れ時ブレーキ力を測定した結果，制動キャタピラに最大400kg，スキッド パイプに残りの1,000kgがそれぞれ分担されていることが確認された。この分担率は，当初の計算値とよく一致するものであった。スキッド パイプの据付けを**図7**に，48度斜坑部でのケーブル引入れ状況を**図8**に示す。

4.3 接　　続

高落差ルートに布設されたＯＦケーブルの低所側は，ケーブル内が高油圧になるので，接続作業時には油の流出により作業が困難になったり，ガスが混入するおそれがある。このため，具体的作業方法が検討されているが，大別すると次の三つの方法がとられている。

(1) 引入れ前に低所側となる端末部に油止め対策を施してから延線し，作業は通常の場合と同様に行なう。

(2) 引入れ後，ケーブル絶縁油をN_2ガスと置換する。この状態で低所側接続を行ない，その後，脱ガス排気して再度絶縁油を含浸する。

(3) 引入れ前には，ケーブルの前処理をほとんど行なわず引き入れ，接続時は下側端末を開放して行なう。このとき高所側端末は密封，若しくは真空排気する。

いずれも国内外で実施例のある方法であるが，(1)は引入れ作業に先立って端末処理を行なうため，その防護及び最終布設位置を事前に調整しなければならない問題がある。(2)は技術的信頼性に問題が残るので，(3)の方法で実施した。**図9**に低所側端末の変圧器直結形終端接続部の据付け状況を示す。

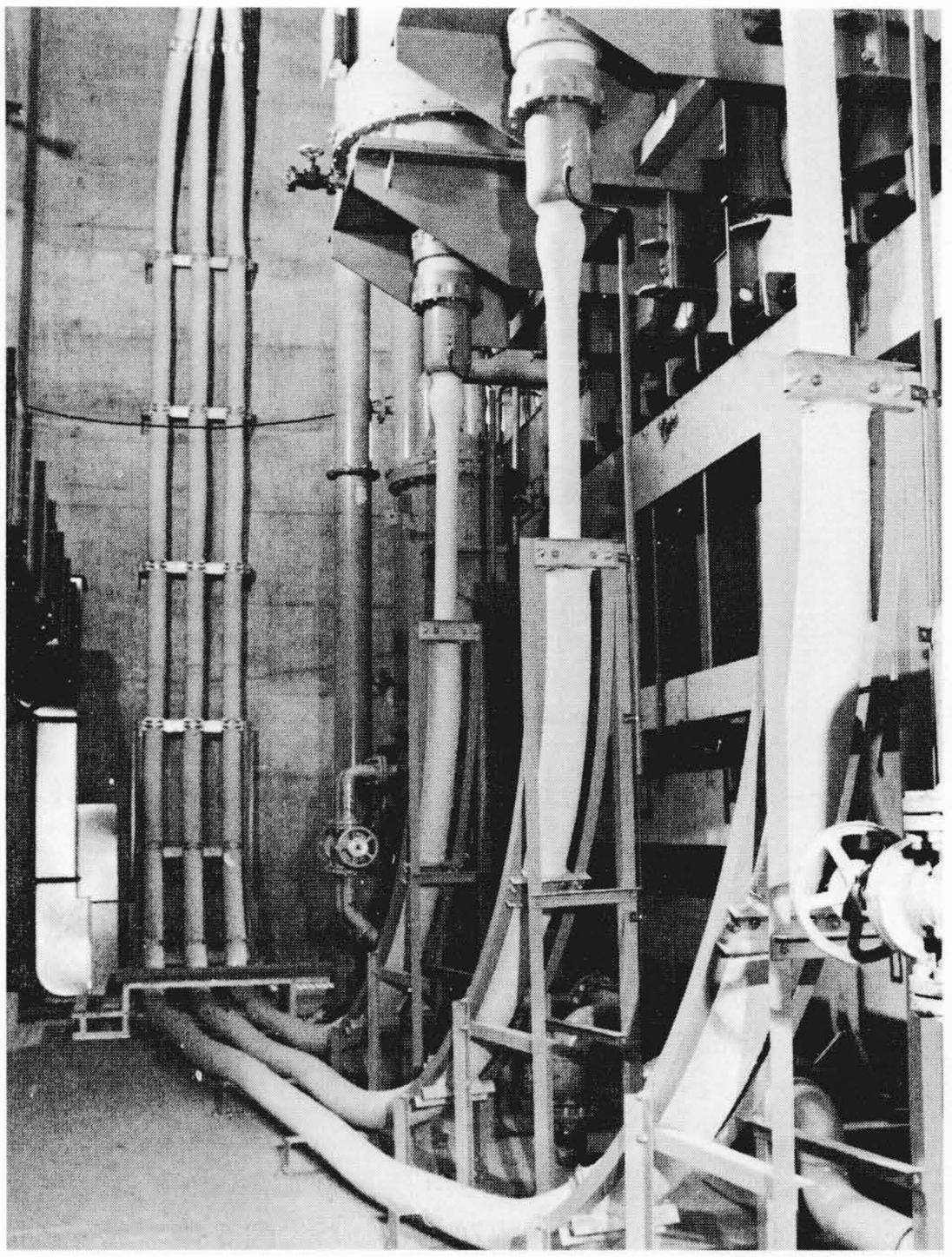


図9　変圧器直結形終端接続箱据付け状況　低所側端末部ゆえ，接続作業には特殊技術が要求された。

5 防　　災

超高圧送電系統は中性点直接接地方式で運転されるので，地絡電流が大きくなり，本線路では地絡電流17kA，継続時間0.1秒である。一方，地絡電流が15kA，継続時間が0.1秒以上の条件下では，地絡部で発火する可能性のあることが過去の実験より確認されているので，今回もこの範囲に入るといえる。この火がＯＦ油に引火すると，高落差ルートでは特に地下発電所への影響が大きく，大きな問題になる。

従来より防災の目的で砂埋め布設がよく採用されており，今回も砂埋め布設をしているが，地絡時には地絡部は高温，高圧でアークを伴った大音響とともに破壊する現象となるので，トラフ内部の砂が飛散してしまうおそれがあり，この種の対策が必要であると考えられた。

今回の地絡条件では，地絡部でのトラフ内空気は500℃の高温になり，そのため，数気圧の圧力上昇が伴うことが予想された。地絡に対し最もよい防災方法は，トラフの外にその影響を及ぼさないようにすることであり，これを前提にして種々検討した結果，**図2**に示す方法を採用した。

この方法は図示のように，トラフ上部に斜坑での砂止めのための石綿スレート板製中蓋を設けるとともに，外蓋に強度の大きい鋼板蓋を被せる特殊二重蓋方式であり，中間には空気層を設けている。この構造は地絡により中蓋は破壊されるが，外蓋との間の空気層により地絡爆発エネルギーを吸収するとともに，外部への砂の飛散を防ぐ目的をもっている。

なお，中蓋の石綿スレート板は，48度斜坑部での砂の圧力に耐えることを実験的に確認した結果，性能的にも優れていることが実証されたので採用した。一方，ケーブルが露出する立上り部では，ケーブルは地絡時と外部火災の防護を考慮し，延焼防止剤の塗布及びパイプによる各相分離防災を施した。

6 結　　言

高低差120m，全長約440mの中国電力株式会社南原揚水発電所に布設された220kV 1×1,000mm² ＯＦケーブルについて述べたが，その技術的内容を要約すれば次のとおりである。

(1) 12kg/cm²という高油圧ケーブルに，我が国では初の波付アルミ被ＯＦケーブルを適用した。

(2) 48度斜坑部の滑落防止と熱伸縮吸収の目的で，スネーク布設を採用し，スネーク ピッチごとにクリートによる多点支持を行なっている。

(3) ケーブルの引入れは，曲り部の側圧による摩擦力の増加を利用したスキッド パイプをキャタピラ式制動装置，ローラ式制動装置と組み合わせる新工法を適用した。

(4) ケーブルは防災の目的で砂埋め布設する一方，地絡時防災対策として，トラフ蓋を強度の異なる二重蓋で構成し，中間に空気層を設けることにより，トラフの外にその影響を及ぼさないようにしている。

今回の布設によって得られた経験と技術が，今後の高落差布設超高圧ＯＦケーブルの建設計画に役立てば幸いである。

終わりに，本計画遂行のために種々御指導，御援助をいただいた中国電力株式会社及び日立電線株式会社の関係各位に対し，深謝する。