

一重鋼線がい装ケーブルによる長尺立坑ケーブルの布設

Installation of Deep Mine Shaft Cable Armored with Single Layer of Steel Wires

三 好 英 男*
Hideo Miyoshi

増 岡 信 雄*
Nobuo Masuoka

星 野 弘 之*
Hiroyuki Hoshino

内 容 梗 概

近代的鉱山の発展にともない斜坑による掘進では、能率が悪く合理化できないので長尺の立坑が必要となってきた。坑内の電力供給用の立坑ケーブルも 900 m を越えるものが必要となったので、ケーブル軽量化のため一重鋼線がい装の立坑ケーブルを製作した。

そこで一重鋼線ケーブルのねじれ問題と布設工事方法の検討を行なった。本稿ではケーブルの設計、ねじれの試験および布設工事を中心にして、本邦最長の立坑ケーブルの布設について述べる。

1. 緒 言

石炭鉱山や金属鉱山の立坑はその地下資源の開発が進むに従ってその深さを増し、また斜坑に代わって立坑が増加し、深さ 1,000 m に近いものが現われてきた。そこで坑内の電力の供給、信号および通信用の立坑ケーブルの長さも 1,000 m に近いものが必要となってくる。

わが国最長といわれた長崎県の三菱鉱業株式会社高島鉱業所二子立坑は立坑長 950 m で、ケーブルを布設する場合の垂直部分の長さは 915 m である。そこで要求されるケーブルを従来の二重鉄線がい装ケーブルで設計すると 14 t にもなる。これでは運搬、布設も困難となる。そこでがい装鉄線のケーブルに占める重量の割合を少なくするためにがい装に鋼線を使用し、がい装も一重にすることを考えた。これによってケーブルは二重がい装の場合の 1/2 の 7 t 程度にすることができる。

一重がい装ケーブルは、ケーブルの自重により荷重が加わるとねじれを生じてくるため、布設のうちに問題を生じてくる。これらの問題を解決するため、一連のケーブルのねじれ特性の試験を行ない、布設方法を改良することによって、一重鋼線がい装ケーブルを布設することが可能となった。

昭和 39 年 5 月には三菱鉱業株式会社高島鉱業所に 950 m (7.2 t) の立坑ケーブルを、また昭和 40 年 5 月には日本炭鉱株式会社二島鉱業所に 640 m (6.4 t) の立坑ケーブルを無事布設することができた。この場合の立坑ケーブルのねじれ量はほぼ実験による計算値と等しく、これらねじれはケーブルに悪影響を与えないことを確かめることができた。

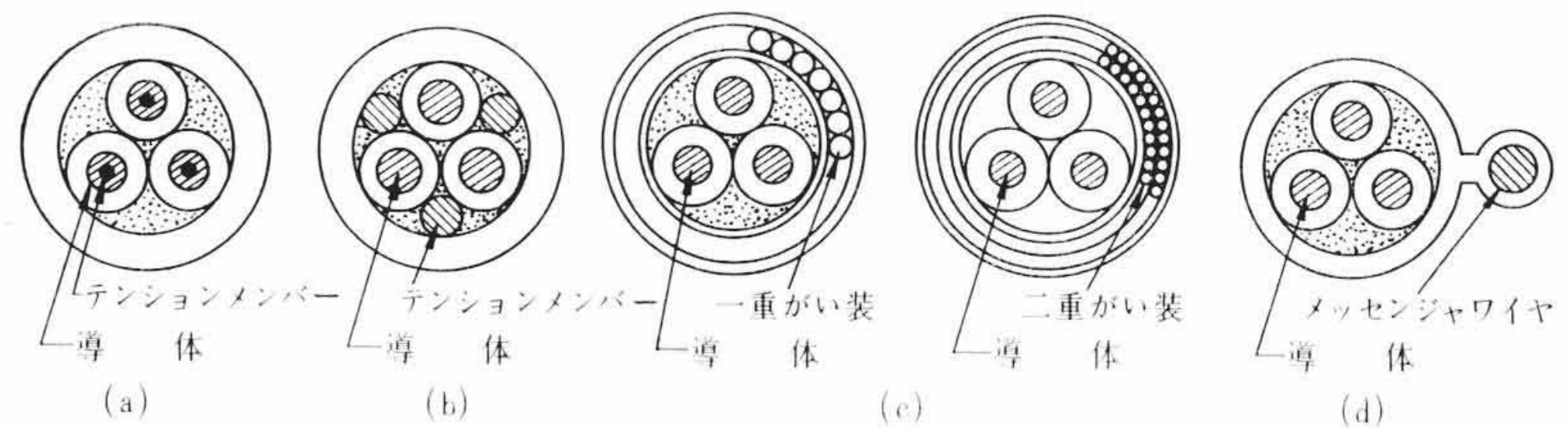
2. 立坑ケーブルの概要

2.1 立坑ケーブルの一般的構造

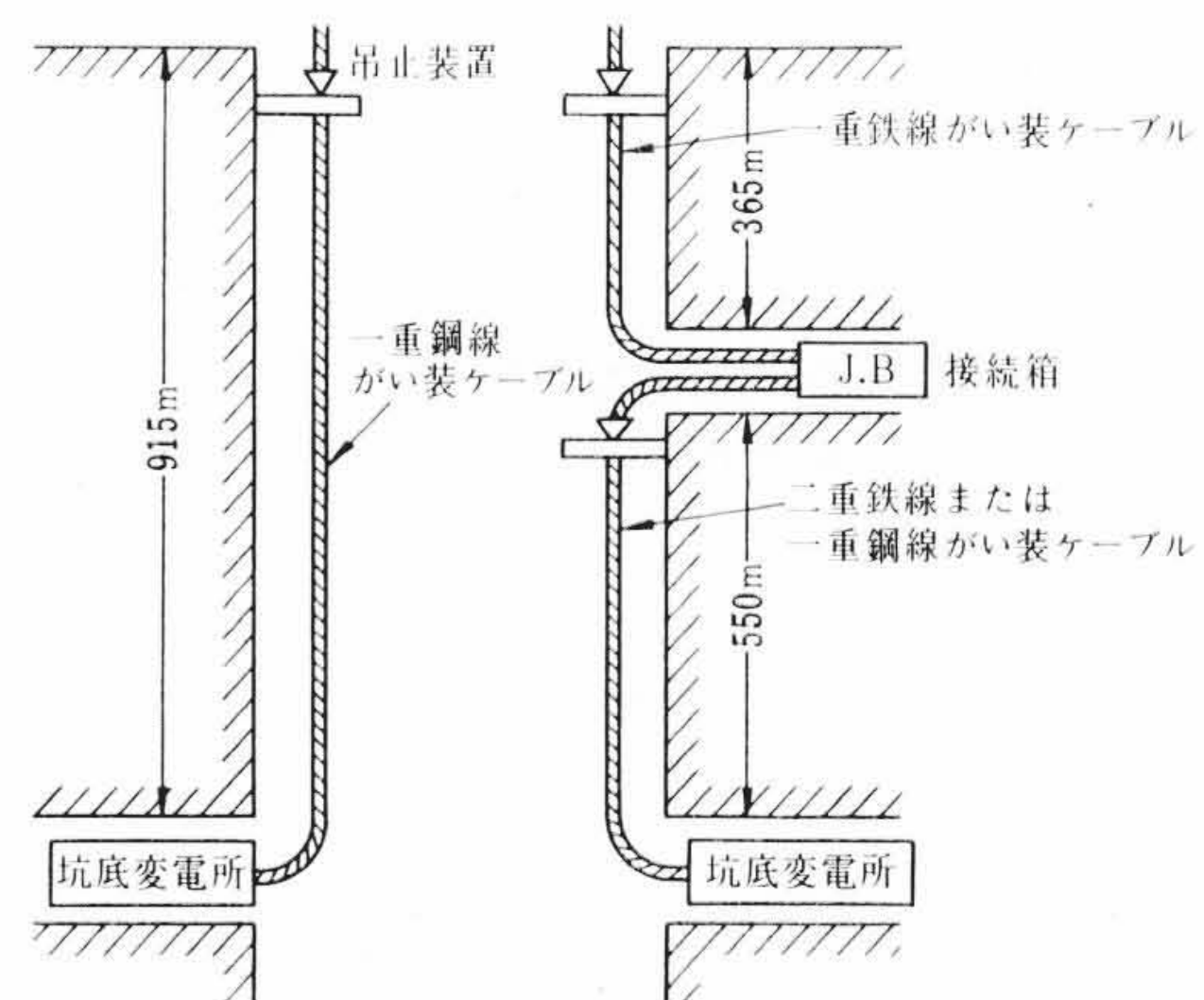
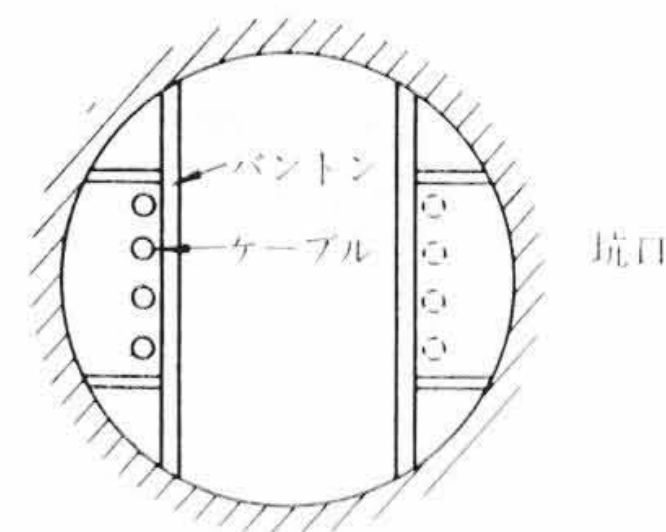
立坑ケーブルは垂直に布設されるケーブルであるため、その構造は自重に耐えるだけの引張力を持たなくてはならない。ケーブルに十分な引張力を持たせる方法としては、導体に引張力を持たせることができないので、第 1 図に示す方法が考えられる。

- (1) 導体にテンションメンバーを入れる方法。
- (2) 多心ケーブルの介在部にテンションメンバーを入れる方法。
- (3) がい装を施す方法。
- (4) メッセンジャワイヤを添わせる方法。

ここで長尺立坑ケーブルとして採用できるのはがい装形のものであるが、従来から規格に定まっているがい装用鉄線を用いたのでは鉄線自身を支えるのに大部分を費やされることになる。そこで引張り



第 1 図 立 坑 ケーブル の 種 類



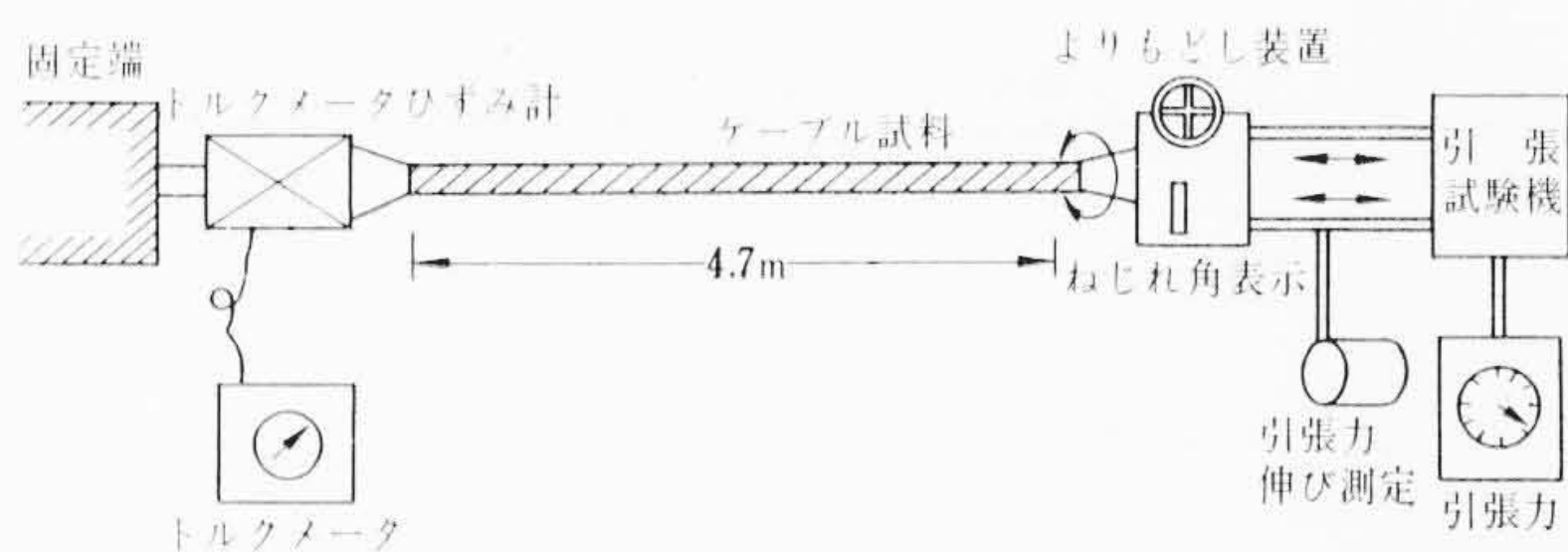
第 2 図 二 子 立 坑 の 概 要

強さが鉄線の 3 倍以上の鋼線を使用した一重鋼線がい装にすることが考えられる。ケーブルのがい装の安全率⁽¹⁾はアメリカでは 5~6 倍であるが、わが国では 4 倍である。参考までに巻上機のワイヤは 6 倍であり、静索は 4 倍である。

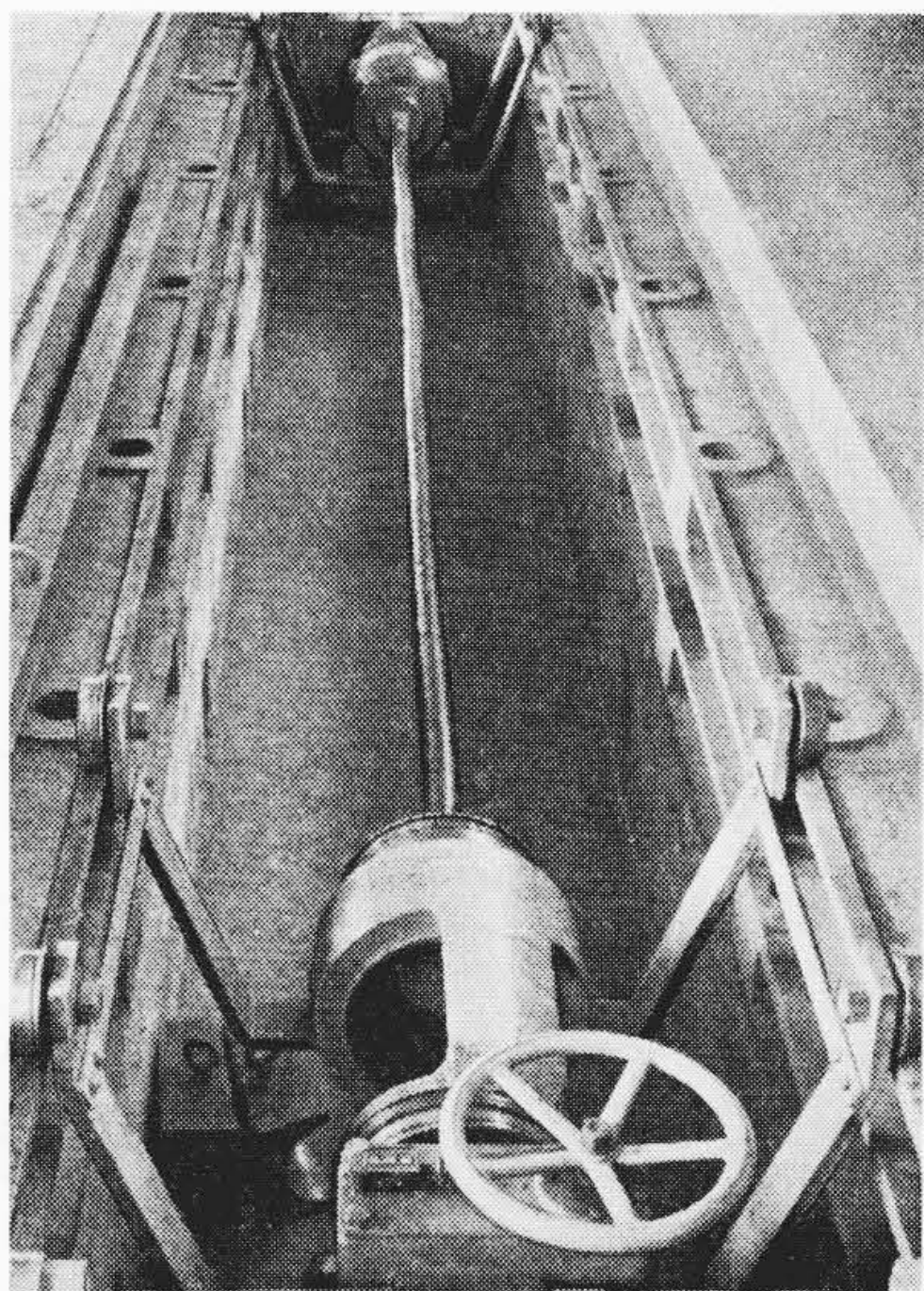
2.2 915 m の二子立坑ケーブルの概要

915 m の立坑ケーブルが必要となった、二子立坑は第 2 図のようになり、ケーブルは坑口から地下 915 m の地下変電所と垂直に結ぶものである。配電方式には斜坑によるケーブルの布設方法もあるが、ケーブル条長が立坑の 4 倍にもなり経済的でない。坑内の安全性からも立坑によるケーブル布設が有利である。立坑の布設ルートとしては 915 m を 1 条で布設するか、または 365 m レベルに横坑が

* 日立電線株式会社日高工場



第3図 ケーブル引張試験装置略図



第4図 引張試験装置

あるのでケーブルを2条に分け布設することが考えられた。1条布設の場合は一重鋼線がい装、2条分割の場合は二重鉄線がい装、または一重鋼線がい装ケーブルとなるが、これらの経済比較をすると、一重鋼線がい装ケーブルを布設するのが最も有利である。ここで要求されるケーブルは、11kV、 $3 \times 50 \text{ mm}^2$ 、条長は950 mである。

3. ケーブルのねじれ問題の検討

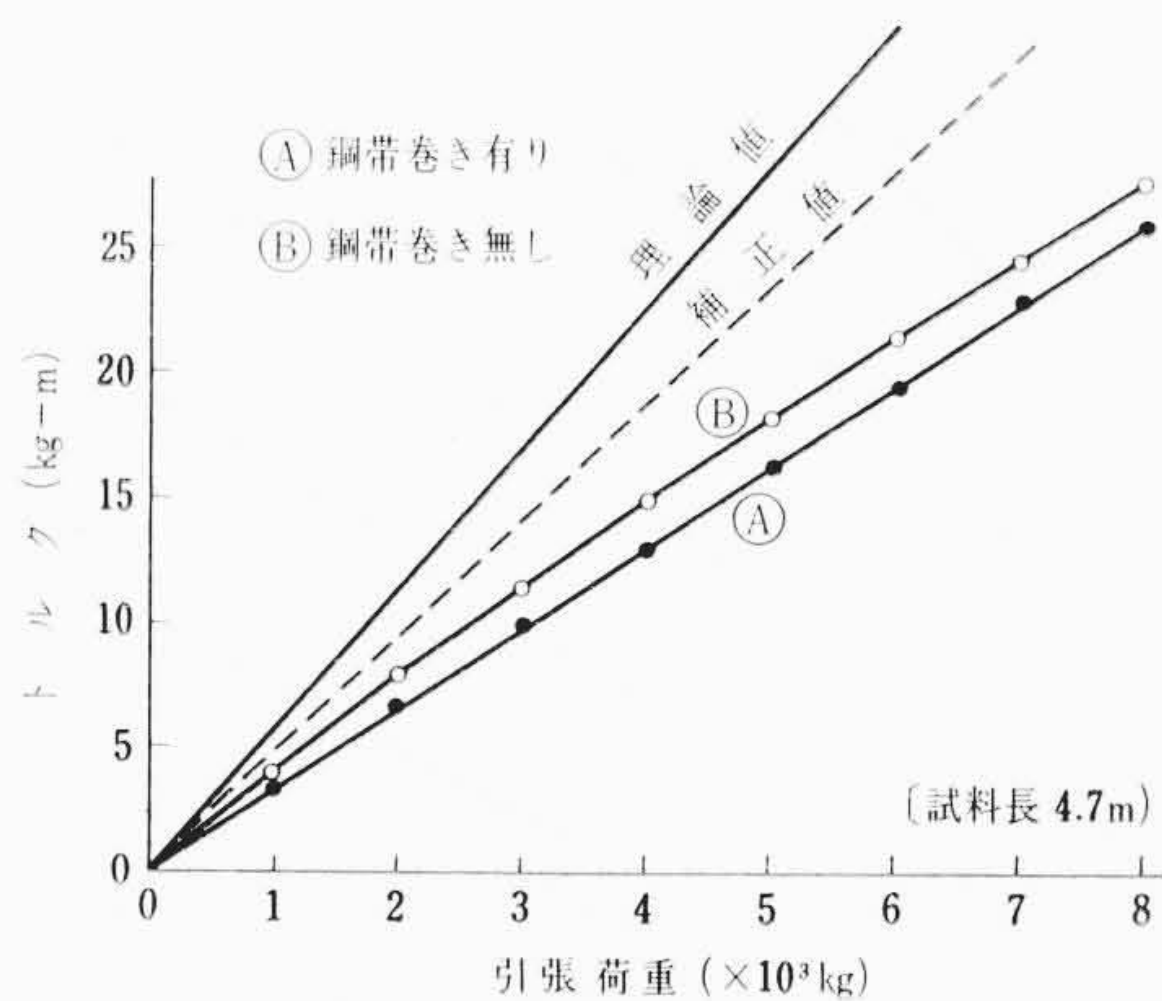
一重鋼線がい装ケーブルを布設するとき、ケーブルの自重によって、引張りが加わり、そのためがい装のよりがもどる方向にねじれを生ずる。がい装が二重の場合は上下のがい装のより方向が逆であるからねじれの現象は少ない。

一重鋼線がい装ケーブルは回転させないで布設するか、または回転させながら布設する構造となる。

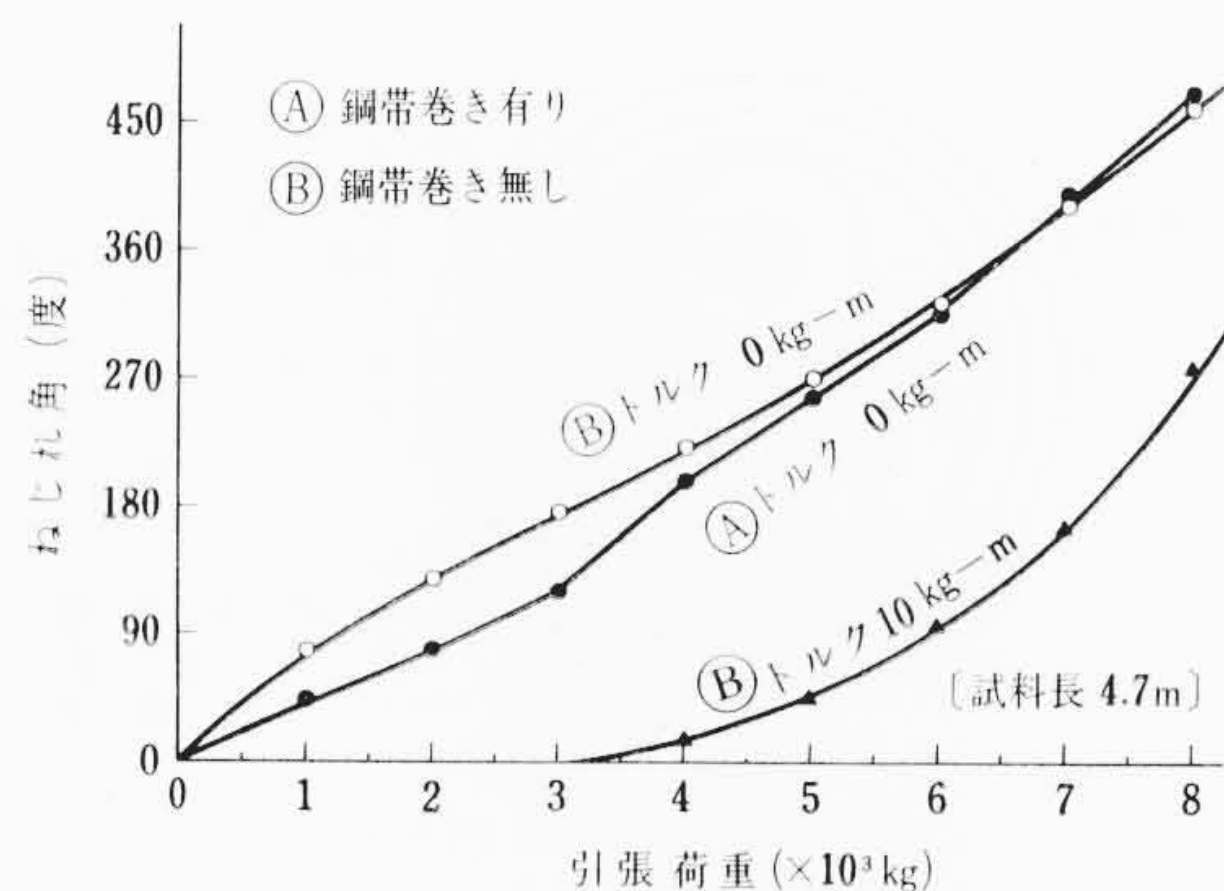
そこでねじれの解析をするために、ケーブルのねじれ特性の試験を行なった。ケーブルは915 mの立坑部分の1/200の仮定で、4.7 mのケーブル試料であり、ケーブルの構造は第9図、第1表に示すものと同じである。試料はねじれの効果をみるため、がい装上に鋼帯をがい装と逆方向に巻いたものと巻かないもの2種類を選んだ。実験は布設の場合に問題と思われる、ケーブルの発生トルク特性、ねじれ角特性および伸びの特性の三つの特性をつかむために行なった。測定の方法は第3図に示すようにケーブル試料を介してトルクメータと回転式のよりもどし器で固定して引張試験機に接続されている。

3.1 引張荷重と発生トルクの関係

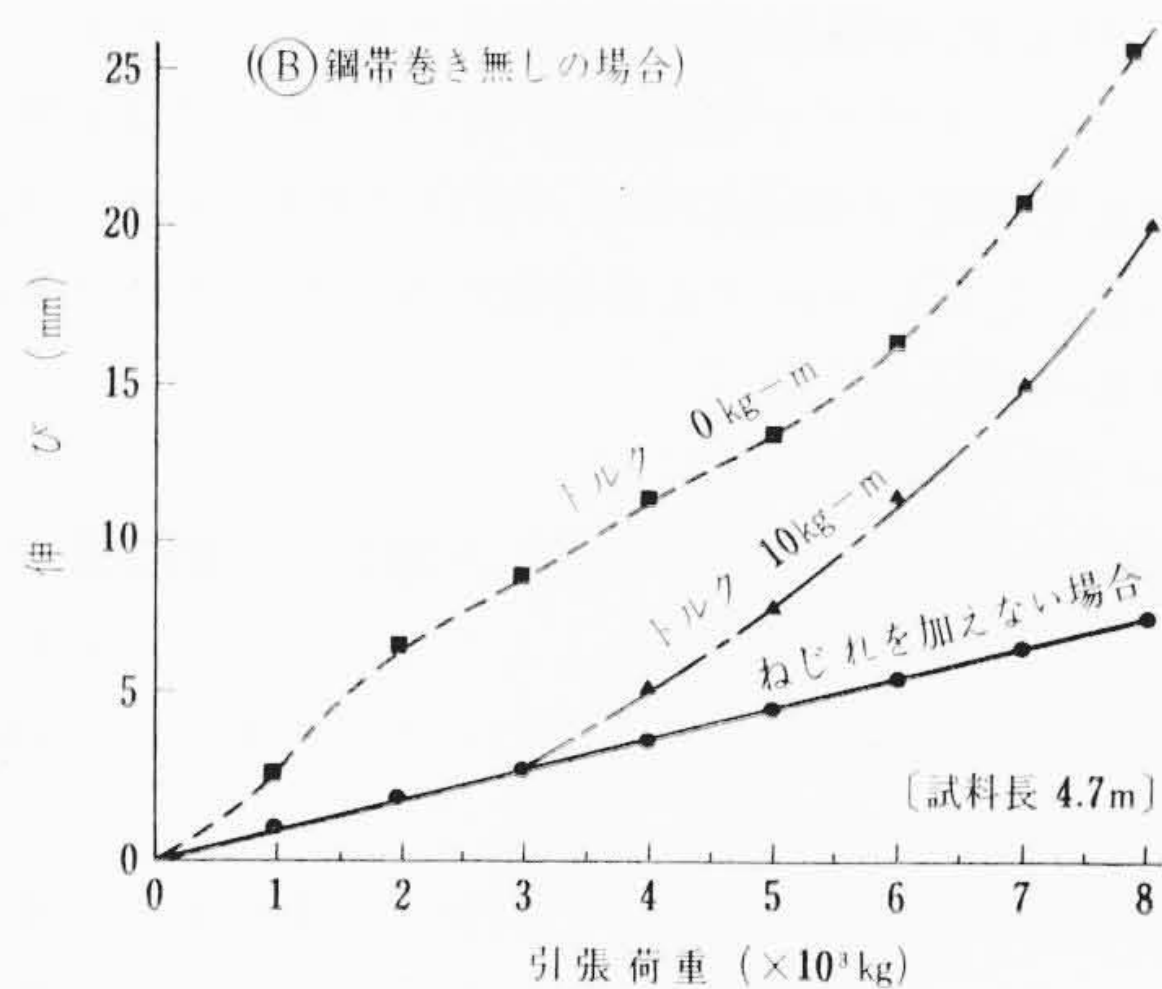
ケーブルがねじられない場合引張荷重に比例してケーブルの発生トルクは大きくなる。第5図においてがい装のみに引張荷重が加わるとして計算した理論値より小さく70%ぐらいになる。これはがい装のみに引張りが加わらないこと、がい装相互またはシースを介してお互いに干渉し合って自由にすべらないためであろう。銅導体に引張荷重を分担させると点線のようにになり実測に近くなる。



第5図 引張荷重～トルク特性



第6図 引張荷重～ねじれ角特性



第7図 引張り荷重～伸び特性

3.2 引張荷重とねじれ特性の関係

ねじれ特性はケーブルを引張り、トルクメータの目盛を0 kg-mまたは10 kg-mに保つように、よりもどし器を回転させる。引張荷重とねじれ角の関係が第6図である。鋼帯巻き有りのものは荷重の小さい部分でねじれ防止に効果が認められる。

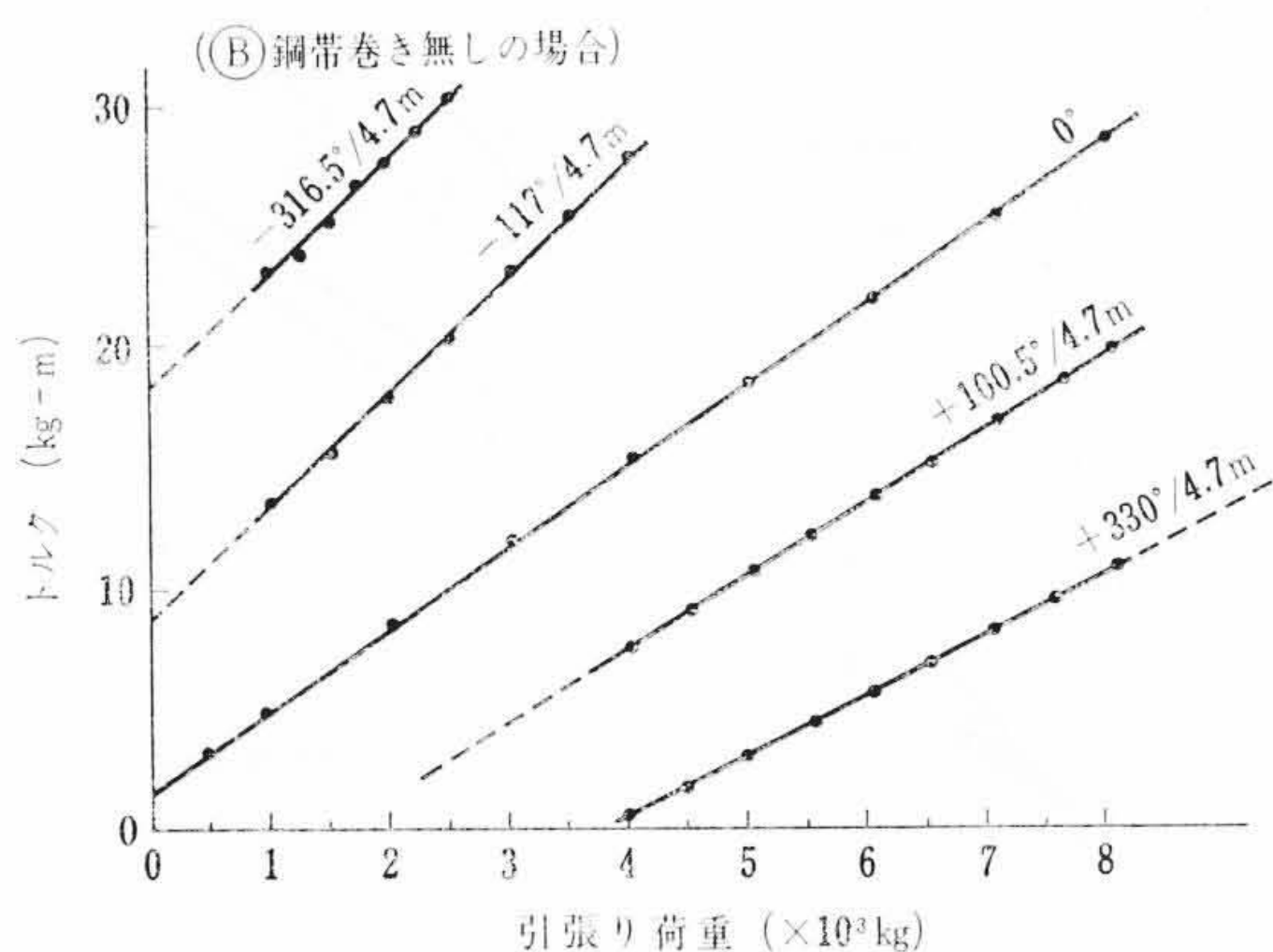
ここで、ケーブルを坑底から、または地上から、先端を自由にして回転させたとすると、立坑長915 mに対するケーブル重量は7.2 tであるから、第6図から各レベルの単位長のねじれ角量がわかるので、これらを915 mにわたって積分すれば、ケーブルの全ねじれ量が計算される。計算値は

トルク 0 kg-m の場合 96 回/915 m (鋼帯巻き)
105 回/915 m (鋼帯無し)

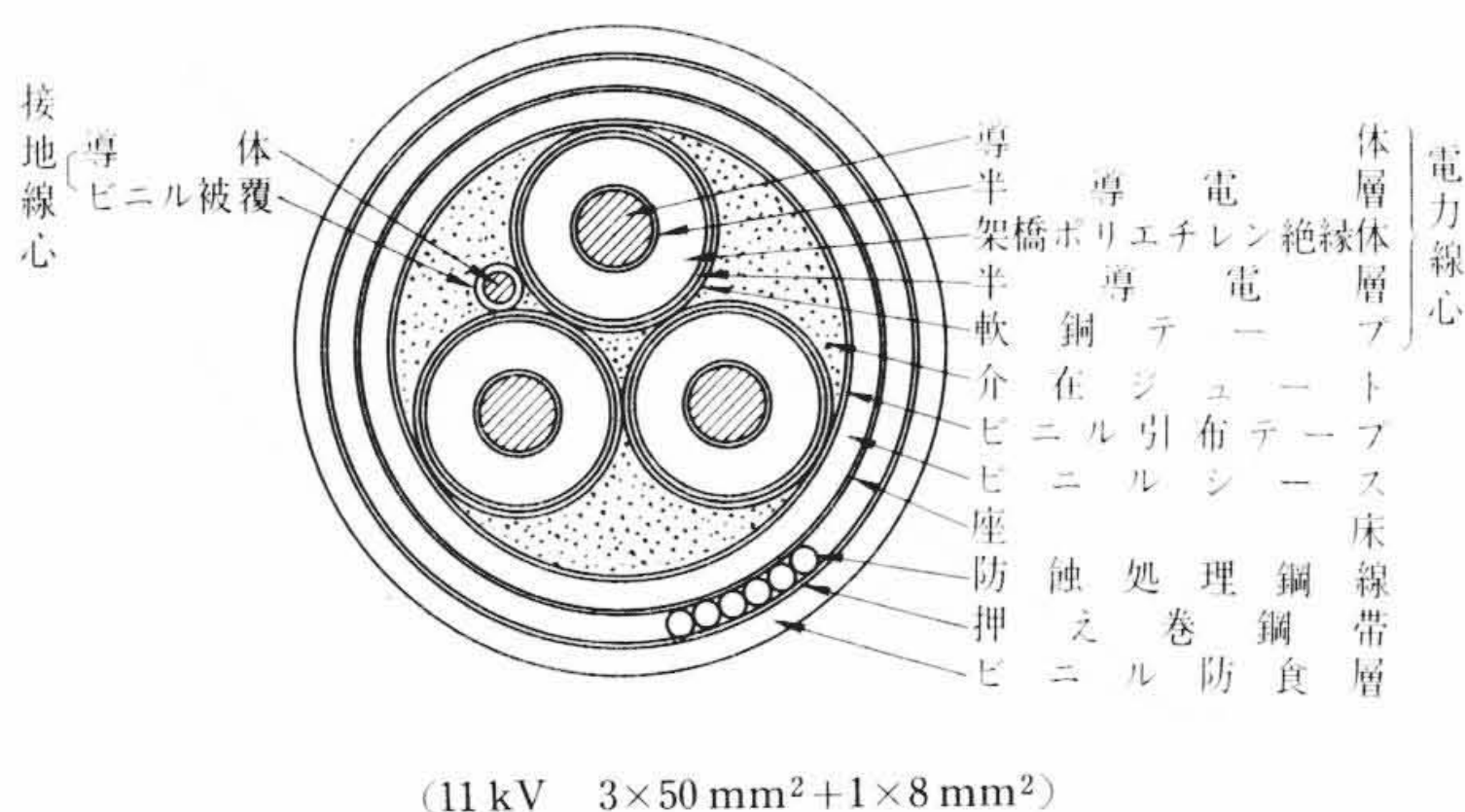
となり、がい装上の逆方向巻きの鋼帯の効果はがい装の笑い防止にも役だが、10% ねじれを減少させるのに役だつ。

3.3 ケーブルの伸び

ケーブルの伸びは第7図のようにケーブルが回転する場合、すな



第8図 ケーブルのねじれとトルク、引張力の関係



第9図 立坑用架橋ポリエチレン絶縁一重鋼線がい装電力ケーブル断面図

わちトルク0 kg-m の場合はがい装のより込み率の減少により、伸びも大きくなる。ケーブル915 m についての伸びは2.3 m である。また、温度変化40℃ の場合の伸びの変化は0.44 m であり比較的小さい値である。しかしケーブルの伸縮があるからケーブルは坑口で一点支持するのが好ましい。

3.4 ケーブルの残留トルク

回転を与えないでケーブルを布設した場合は、第2図で立坑ケーブルの上部の大きなトルクはよりもどしとなって、ねじれが下部に伝わっていき、全体が均一なトルクでバランスする。この場合のバランスしたトルクは、次のようになる。

第8図は一定のねじれ角を与えた場合の引張荷重とトルクの関係である。ケーブルの単位長さのねじれ角 θ とトルク τ 、引張荷重 T の関係式は

$$\tau = F_1(\theta, T) \dots\dots\dots (1)$$

ケーブルの上端から下端まで同一トルクとなるので

$$F_1(\theta, T) = \text{const}$$

また、 $\theta = F_2(\tau, T)$

となる、上端と下端でケーブルがねじれないから

$$\int_0^L F_2(\tau, T) dl = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここで L はケーブル全長である。またケーブルの単位重量を w 、下端よりの長さを l とすれば、 $T = wl$ となる。

第8図から(1)式は

$$\tau = 31.5 \times 10^{-3} l - 0.25 \theta$$

$$\therefore \theta = \frac{31.5 \times 10^{-3} l - \tau}{0.25}$$

(2)式が $L = 915$ m において0となる τ の値は、 $\tau = 14.4$ kg-m において

$$\int_0^{915} \frac{31.5 \times 10^{-3} l - \tau}{0.25} dl = 0$$

第1表 立坑用架橋ポリエチレン絶縁一重鋼線がい装電力ケーブル構造表 (11 kV 3×50 mm²+1×8 mm²)

項 目		単 位	規 格 値	
公 称 電 圧		kV	11	
線 心 数		—	3	1
導 体	公 称 断 面 積	mm ²	50	8
	構 成	mm	19/1.8	7/1.2
	外 径	mm	9.0	3.6
架橋ポリエチレン絶縁体厚		mm	6.0	0.6
軟銅テープ巻厚		mm	0.15	—
より合せ径(約)		mm	47(右ヨリ)	
ビニルシース厚		mm	2.7	
ゴム引帆布巻厚		mm	1.0	
一重鋼線がい装		mm×本	2.9×58(右ヨリ)	
破断荷重		kg	58,800	
安 全 率		—	8.0(注4)	
ビニル防食層厚		mm	3.5	
標準仕上外径(約)		mm	69	
導 体 抵 抗 (20℃)		Ω/km	0.386	2.360
試 験 電 圧		kV/10分	25	—
絶 縁 抵 抗 (20℃)		MΩ-km	3,000	—
概 算 重 量		kg/km	8,000	
ケ ー ブ ル 条 長		m	960	
荷造りドラム寸法		m	A	1.57
			B	3.04

となり、 $\tau = 14.4$ kg-m で、バランスすることがわかる。しかし、14.4 kg-m のトルクを残したままでは、ケーブルの布設は困難であるので結局ケーブルを回転しながら布設しなくてはならない。

4. ケーブルの設計

以上の予備検討の結果からケーブルは先端を回転しながら布設する構造となる。ケーブルの構造は第1表と第9図に示す。

4.1 絶 縁 体

ケーブル外径を小さくするために架橋ポリエチレンを絶縁体として採用している。これは現在油の流下をなくするため、紙ケーブルの代わりに出現し、広く使用されているブチルゴム立坑ケーブルより絶縁厚を25% 薄くできて、外径も10% 小さくできる。70 kV 級の架橋ポリエチレンケーブルも発表されているので、ここでは特性について述べることを省略する。

4.2 シースおよび防食層

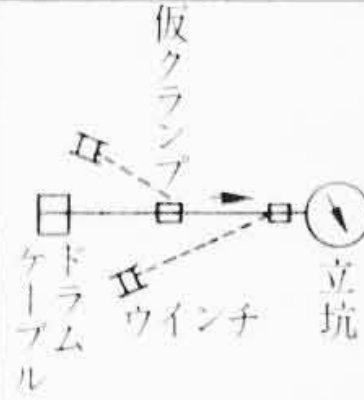
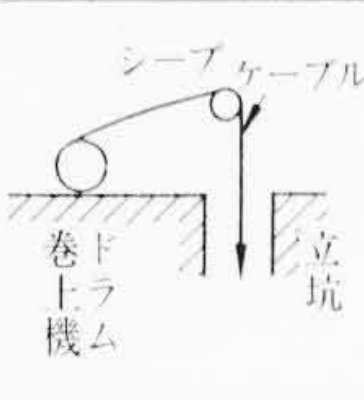
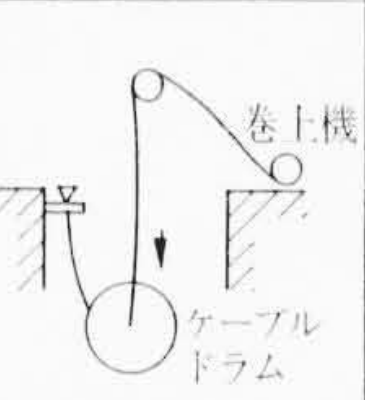
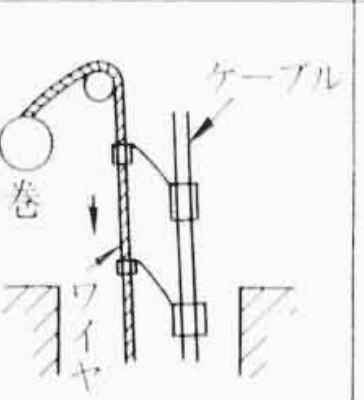
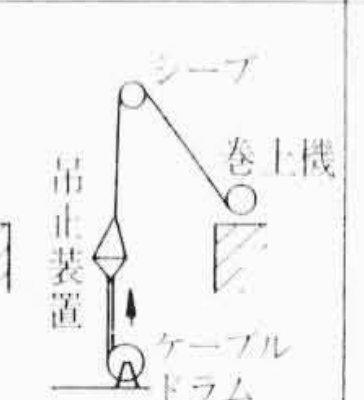
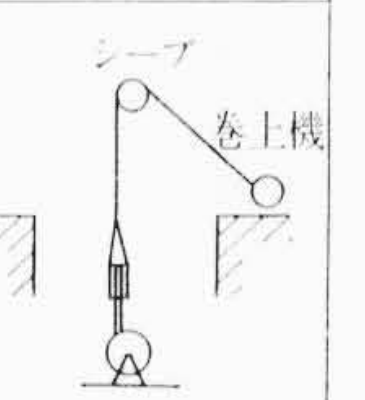
過去においては外傷の点で、クロロプレンを用いたが、試験の結果はビニルで十分であり、鮮明な回路表示を行なうためには防食層にビニルを用いるのがよい。布設方法を改良することによりビニル防食層に外傷をつけないようにする。また寒冷地においては耐寒性ビニルを用いるので−35℃ まではだいじょうぶである。

4.3 が い 装

一重がい装の場合はがい装の方法がケーブルの布設可否を決定する。がい装には140 kg/mm² の鋼線を使用し、可能な範囲でロングピッチにより合わせる。またがい装上の金属テープはがい装の笑い防止とねじれを減少させるのに効果がある。

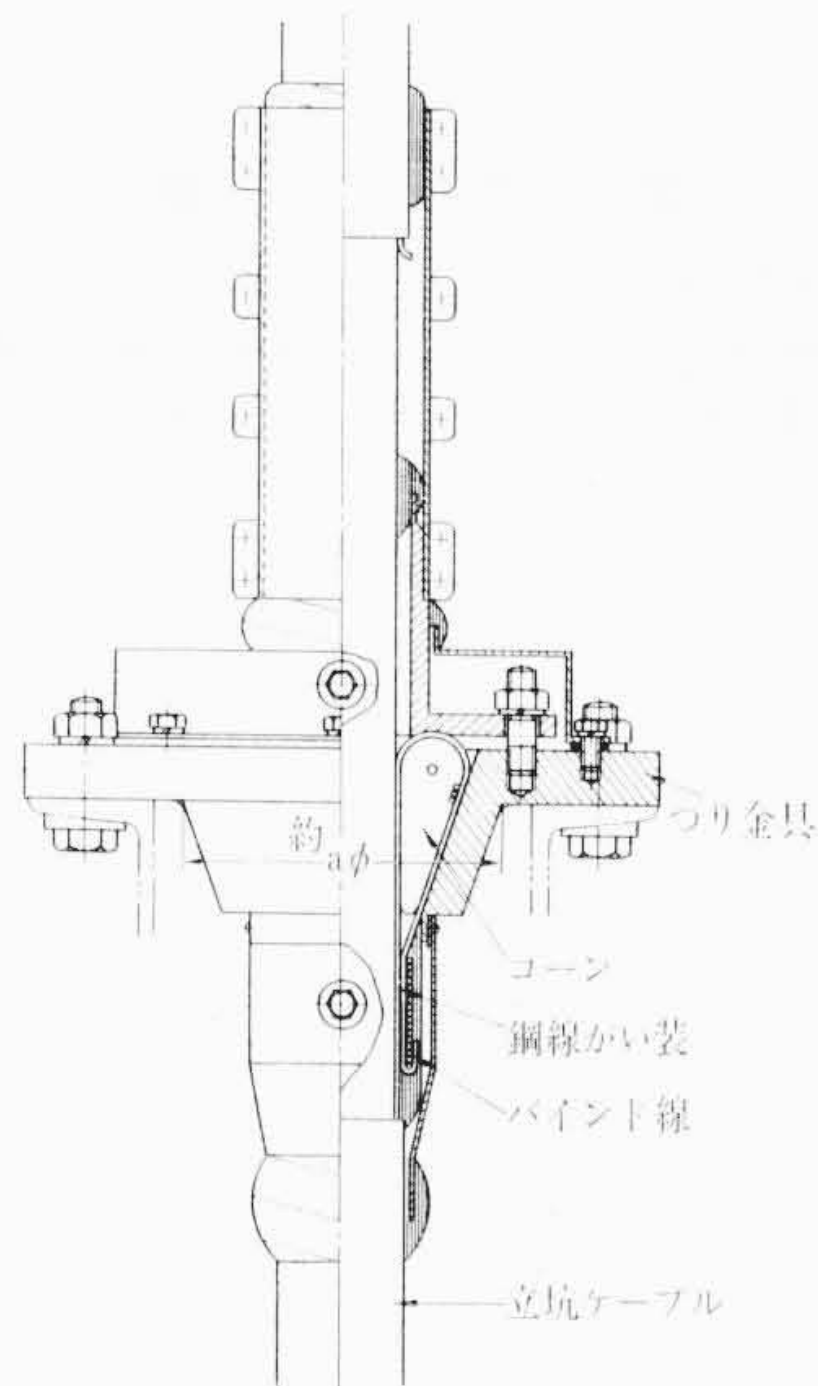
4.4 ねじれによるケーブルのひずみとがい装の締付力

ケーブルの最もねじれの大きい坑口付近では実験の結果、ケーブルのねじれは380°/4.7 m となる。しかし導体にキンク発生の兆候はまったくなく、絶縁体のひずみは0.82°/cm となる。ケーブルの許容

布 設 方 向	地 上 か ら 坑 底 へ				坑 底 か ら 地 上 へ	
布 設 工 法	(1)地上延線法	(2)巻ドラム巻降し法	(3)ドラム引降法	(4)補助ワイヤ引止降法	(5)吊止装置吊上法	(6)仮クランプ吊上法
						
工 法	2台のウインチで交互に引下す	ケーブルを巻上機の胴にワイヤの代りに巻替して引下す	ケーブルを固定してケーブルドラムを下しながら布設する	ワイヤにクランプをつけケーブルを止める	坑底から吊止装置をワイヤで引上げる	坑底から仮クランプをケーブルにつけ引上げる
安 全 性	A	B	C	B	A	B
時 間	B	B	A	B	A	B
経 済 性	C	A	A	B	A	A

順位はA, B, C (Aが最も便利なもの)

第2表 立坑ケーブル布設方法の比較



(一重鋼線がい装ケーブル用)

第10図 コーン式つり止め装置

曲げの場合の絶縁体ひずみが $7.1/cm$ であるから、ねじれによるひずみは非常に小さいことがわかる。

また鋼線がい装による締付力も坑口付近が最も大きくなるが、締付力は計算値では $4.2 kg/cm$ となる。これはケーブルの押圧試験の結果および布設の実績から十分余裕のある値である。絶縁体が架橋ポリエチレンであるので高温時の変形はやや大きくなるので、実験は $100^{\circ}C$ 付近で行なって安全性を確かめた。

5. ケーブルのつり止め方法⁽²⁾

立坑ケーブルは垂直に布設されるから、その坑口においてケーブルの自重に耐えるだけの十分なつり止めを行なうか、ケーブル全長に分散してつり止めを行なう必要がある。

5.1 一点支持によるつり止め方法

これはケーブルの上部一点で支持する方法である。

(1) コーン式つり止め装置

第10図のようにコーン形の金具にがい装線を巻き、ケーブルをつり止めるもので、最も一般に用いられている。二重がい装の場合はつり止め金具も二重となり、がい装上下の荷重のバランスを調整する必要がある。またケーブル中間には $20\sim 40 m$ おきに振止めを施す。

(2) ニツ割クランプ

ケーブルを両側から金具で締め付けるもので、防食層のあるケーブルではすべりを生ずる心配があり、重量級のケーブルには適

さない。

5.2 多点支持方法

ケーブル全長にわたってケーブルをつり止める方法である。

(1) クリート止め

木製または金属製のクリートを $2\sim 4 m$ おきに止め坑壁または坑わくに固定する。

(2) ワイヤグリップ止め

ワイヤをネット状に編んだワイヤグリップを $10\sim 20 m$ 間隔で止めるものである。

(3) 補助メッセンジャワイヤ法

仮工事に適するものでケーブル全長に補助ワイヤを添わせ荷重を分散させる。

以上つり止め方法には種々あるが、安全性から長尺の一重鋼線がい装ケーブル用としてはコーン式つり止め装置を用いた。

6. ケーブルの布設工事方法

立坑ケーブルの布設工事は危険をとまなうから、工事方法の決定には細心の注意が必要である。布設現場の設備、地理的条件、工期など総合判断して決定すべきである。第2表は立坑ケーブルの布設方法⁽³⁾の代表的な一例を示したものである。

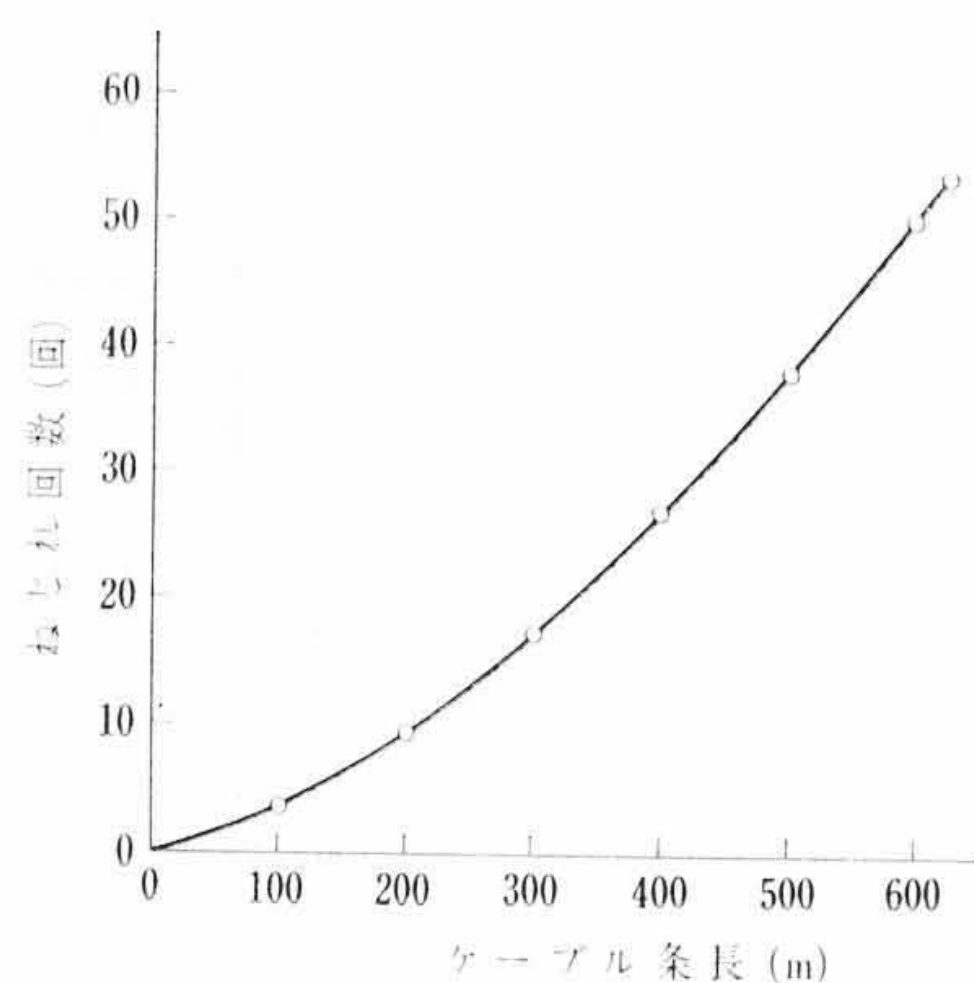
6.1 三菱鉱業株式会社一二子立坑ケーブルの布設方法

巻上機的能力、坑内のスペース、パントンと坑壁間へのケーブルの布設、防食層の防護などを考えて第2表(5)のつり止め装置引上方法を採用した。

ケーブルは先端を自由に回転しながら布設するため、つり上げのワイヤとケーブルはより戻し器を使用してねじれを分離しなくてはならない。これはつり上げのケーブルとワイヤが荷重によりねじれるためである。より戻し器は $10 t$ の引張りで $0.5 kg\cdot m$ のトルクで自由に回転するから布設後ケーブルの残留トルクは零と考えてよい。布設時におけるケーブルのねじれは防食層上に坑底でスジを入れて、布設後ねじれを目測する方法をとった。湧水のため測定が中断されることもあったが、 $915 m$ で 100 回回転していることが推定された。ほぼ実験検討した値と一致しており安全性が確認できた。さらにこのねじれの問題を詳しく調べた、日本炭鉱株式会社の立坑ケーブルのねじれの測定値を付記する。

6.2 日本炭鉱株式会社一二島鉱業所の立坑の布設方法

立坑長は $640 m$ で、布設されるケーブルは $3 kV$ 、 $3\times 150 mm^2$ 、架橋ポリエチレン絶縁一重鋼線がい装ケーブルである。ケーブルの布設方法は、ケーブルをパントンの坑の中心寄りに布設するために第2表(3)のドラム引降し方法を採用した。ただしドラム降しは改造スカホードで降ろすために工事は安全である。ケーブルのねじれの測定は坑口に固定されたつり止め装置に直結した、より戻し器の



第11図 坑底よりのねじれ回数

回転により行なわれたもので、ケーブルの各レベルにおけるねじれ回数がわかる。またケーブルの防食層に印刷された直線上のスジにより布設後の各レベルのねじれを測定することができる。これによりケーブルの各長さのねじれ量、また長さ方向のねじれ分布がわかる。この関係は第11図に示すとおりである。

7. 結 言

長尺立坑ケーブルの布設は一重鋼線がい装ケーブルの採用により

可能となった。布設工事および工場での諸実験から、われわれは一重鋼線がい装ケーブルで問題となるねじれがケーブルならびに布設工事に悪影響を与えないことを明らかにした。

また経済的にも一重鋼線がい装ケーブルが従来の二重鉄線がい装ケーブルよりも有利で、しかも布設工事においてケーブルの外径が小さくできるので取扱いがきわめて良好であった。ケーブルをさらに軽量化するためには導体を扇形にしてケーブル外径を小さくする方法がある。

最近 600~1,000 m の立坑ケーブルの要求が多くなっているが、これら長尺立坑にはすべて一重鋼線がい装立坑ケーブルを布設する方針である。布設工事の安全性と工期上からつり上げ方式が好ましい。

最後に本開発にご協力いただいた三菱鉱業株式会社、日本炭鉱株式会社のかたがたに、また社内関係各位に厚く感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) IPCEA S-19-81 (1964)
- (2) Edison Electric Institute: Under Ground Ref. Book.
- (3) Electrical Distribution: (April 1964)

Vol. 26

日立造船技術

No. 1~2

目 次

- ・プロペラによってかじが受ける起振力について
- ・二重吸入口つきアングル弁の抵抗測定
- ・冷蔵庫防熱壁の伝熱に関する二、三の考案
- ・進水用コロの強さ (第1報)
- ・球形タンク支持脚付近の局部応用
- ・高張力鋼のカセイソーダ水溶液中における耐食性
- ・原油燃焼の前処理法 (第3報)
- 各種原油の処理試験——
- ・PS連続合成げたの終局強度に対する基礎実験

- ・タッピング作業における切削トルクとめねじ拡大量
- ・波形マンホールカバーの強さ
- ・3.5% Ni 鋼の熱間加工法
- ・コルモノイ合金の吹付溶接の実地適用のための実験 (第2報完)
- ・ヘリアークスポット溶接施工法
- ・水圧鉄管組立中におけるX線散乱線量率の分布測定
- ・ぎ装工作への接着剤の利用

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区楼島北之町 60