

# 機械的外力とケーブル電気特性

## Electrical Characteristics of Power Cable and Mechanical Force

今井利宣\* 中西一清\* 多田誠\*

Toshinobu Imai Issei Nakanishi Makoto Tada

### 要 旨

電力需要の増大により電力ケーブルの使用量が飛躍的に増加し、これに伴ってケーブルの布設において種々の条件に遭遇する。ケーブルは製造後工場において各種の試験を行ない、特性を十分に握・保証したのち出荷されるが、ケーブルの布設途上において条件によっては種々の機械的外力を受けることは否定できない事実でありこのため特性の低下が起こることが懸念される。本稿は特別高電圧地下電力ケーブルとして最も使用実績の多いOFケーブルについて、ケーブルが布設される場合に受ける機械的外力と、それによるケーブル電気特性の変化を検討した結果を報告するもので、本実験よりOFケーブル布設に際して注意しなければならない作業条件が明らかになる。

### 1. 緒 言

電力ケーブルを布設するに際しては、あらかじめルートに異常箇所のないことを確認したうえ、熟練した作業員が経験豊かな監督者の指揮のもとに一心同体となって布設作業を行なうのであるが、作業の性格からみてケーブルには種々な機械的外力が加わる。ケーブルに機械的外力をあたえる布設条件としては、つぎのものが考えられる。

- (1) 引 張 り<sup>(1)</sup>
- (2) 直 角 曲 り
- (3) 過 小 屈 曲
- (4) ね じ れ<sup>(2)</sup>
- (5) 他 物 体 落 下
- (6) そ の 他

ケーブルは通常の条件で発生する機械的外力に対しては十分安全であるが、ある限界を越えた外力が加わる場合には特性の低下をきたすことになる。

ケーブルの実際における布設条件は前述の種々の条件が組み合わさった場合となることが多く、したがって布設時の機械的外力がケーブルに及ぼす程度を個別に論じることには問題が残され、かつすべての考えられる条件に対して十分満足するような実験を行なうことは困難である。

近年、高電圧ケーブル製造設備および技術が飛躍的に進歩したためケーブルの電気特性は非常に向上し、かつ防食材料の発達にともない腐食に対する保護も十分満足されるにいたった。よって、ケーブルの純電氣的事故および腐食による損傷はほとんどなくなり事故の多くは機械的外力によるものである<sup>(3)</sup>。

今度、実際のケーブル布設にあたって起こり得ると想定される諸条件を検討し、この結果よりケーブルに機械的な外力を加え、このために生じた電気特性の低下を60kV OFケーブルについて実験した。あわせてケーブルに生じた構造上の損傷を詳細に調査した。これらの実験結果より、布設作業中においてOFケーブルが受けるであろう機械的外力のうちケーブル特性に影響を及ぼす外力条件の範囲が判明した。これより、ケーブルの布設において避けなければならない作業条件が明らかとなった。

### 2. 直角曲り部引入れ

#### 2.1 実験の対象

ケーブル・ルートの設置に際しては極力曲りを少なくするよう選

\* 日立電線株式会社日高工場

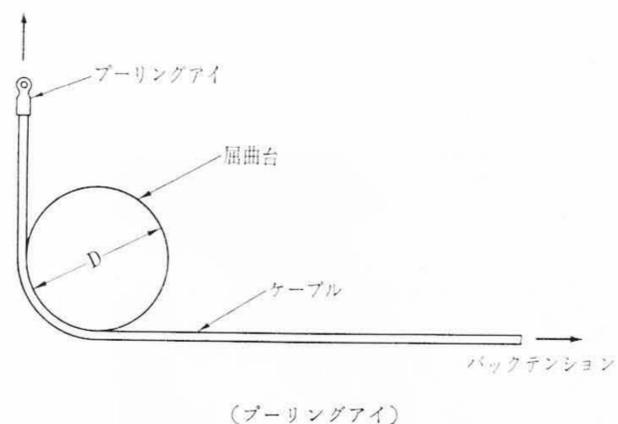


図1 直角曲り部引張り

定されるが<sup>(4)</sup>、ルートが長距離になると直角曲り部が存在するのはやむを得ない。ケーブルが直埋布設あるいは洞道内布設の場合には、その曲り部の屈曲径を大きくとることが比較的容易であるが、管路布設の場合には屈曲径は人孔内部の空間で制約されて小さくなる。したがってケーブルの布設ルートに直角曲り人孔が存在し、かつケーブルの引通しを行なう場合にはケーブルは比較的小さい屈曲径をもって通過することになり、曲り部分において機械的外力を受けることになる。このような直角曲り部引入れにおいて、屈曲径と引張り張力がケーブルにどのような影響を及ぼすかについて電氣的ならびに構造上から検討した。引張りはケーブル先端に取り付けたプーリングアイのみによるものと、プーリングアイとワイヤグリップの両者を併用した場合について実験した。

#### 2.2 プーリングアイによる引張り

プーリングアイのみを使用して直角曲り部を引き入れる場合について図1に示したような実験を行なった。試料ケーブルは表1に示した構造の60kV 3×325mm<sup>2</sup>クロロプレン防食OFケーブルを使用した。屈曲台は直径50, 100, 150cm(鉛被外径の各5, 10, 15倍)の3種類とした。引張り時の張力は2.0, 2.5, 3.0tの3種類とした。試料ケーブルは一条6mのものを9本使用した。

#### 2.3 プーリングアイとグリップ併用による引張り

ケーブルが直角曲り人孔を引き通される場合には、ケーブル導体に加わる張力を減少させるためにワイヤグリップによる中間引きを併用することが多い。すなわち図2のように直角曲り人孔においてケーブルの引通しを行なう場合、人孔内にはコロなどを適宜配置してケーブルに過小屈曲が生じないようにしたうえで、まずA端側のケーブルにグリップを取り付け、人孔内で作業の許す範囲までケーブルを引張る。このときケーブルは点線で示したような位置にくる。つぎに、ケーブル先端のプーリングアイによって人孔内のたるみの部分を引張る。このときの張力は直角曲り人孔からプーリングアイ

表1 60 kV 3×325 mm<sup>2</sup> クロロプレン防食 OFケーブル構造表

項	目	単	位	値
導 体	導 体 形 状	—		充 実 圧 縮 円 形
	よ り 線 構 成	本		61
	外 径	mm		22
導 体 遮 へ い カ ー ボ ン 紙	厚 さ	mm		0.3
	外 径	mm		22.6
絶 縁 紙	構 成	mm×枚		0.125×65
	厚 さ	mm		6.8
	外 径	mm		36.2
絶 縁 遮 へ い カ ー ボ ン 紙	厚 さ	mm		0.3
	外 径	mm		36.8
遮 へ い 層	銅 テ ー プ 厚 さ	mm		0.1
	カ ー ボ ン 紙 厚 さ			0.15
	層 の 厚 さ			0.25
	外 径	mm		37.3
鉛 被 (純鉛)	厚 さ	mm		3.6
	外 径	mm		95.6
座 床 層	厚 さ	mm		0.6
補 強 層	厚 さ	mm		0.6
防 食 層	ク ロ ロ プ レ ン 厚 さ	mm		3.0
	ク ロ ロ プ レ ン 帆 布 厚 さ	mm		1.0
油 通 路 (亜鉛メッキ鋼帯)	厚 さ	mm		0.6
	内 径	mm		16
ケ ー ブ ル 外 径		mm		106
ケ ー ブ ル 重 量		kg/m		29.6

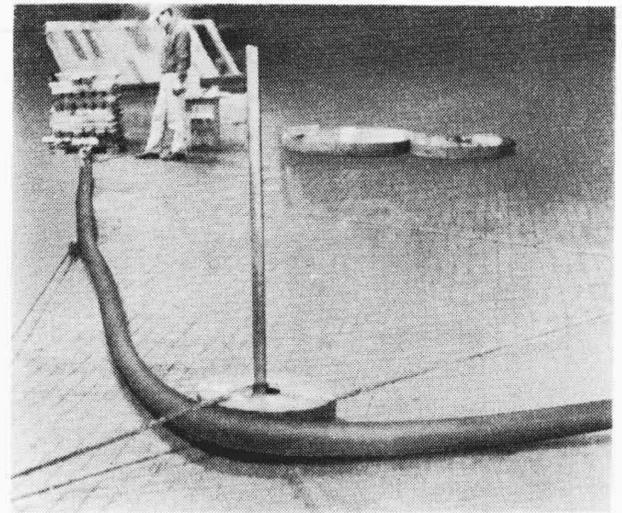


図3 ワイヤグリップによるケーブル引張り

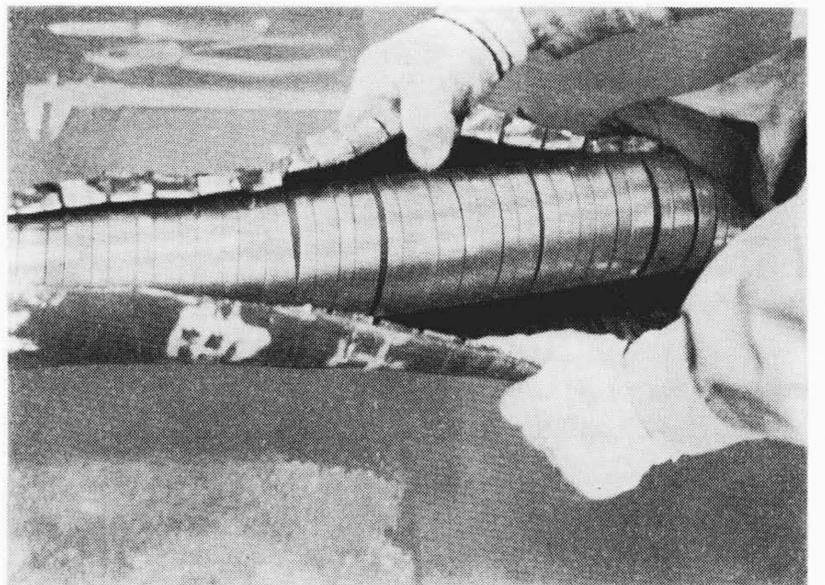
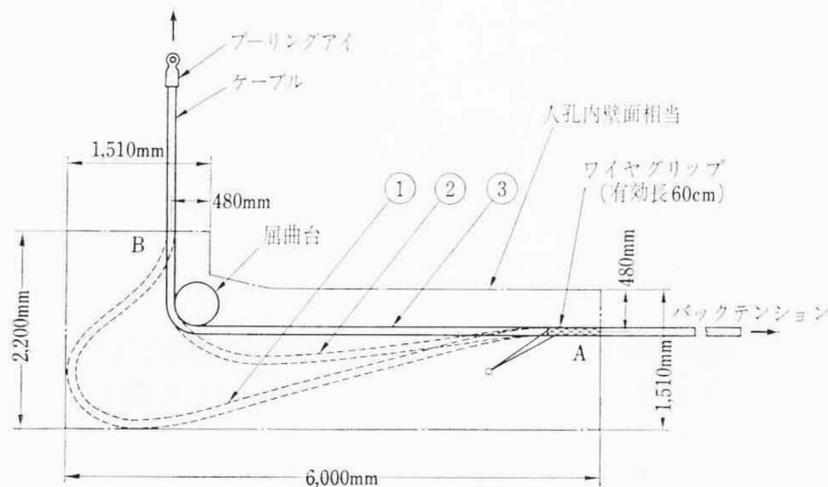


図4 補強層黄銅テープのずれ



(プーリングアイ+グリップ)

- ① ワイヤグリップ中間引きによって人孔内にタルミを取った場合
- ② プーリングアイによってタルミを引張った場合
- ③ プーリングアイとワイヤグリップの調和が悪くて、プーリングアイのみでケーブル全長を引張った場合

図2 直角曲り部引張り

までのケーブル引張り分のみとなり、たるみのない場合に比べて減少できる。

この場合、グリップの引張りとプーリングアイの引張りのタイミングが十分に調和することが必要である。もし、タイミングが悪い場合には、図2の実線に示す状態でケーブル全長が引張られるので曲りの部分で大きな横圧を生ずることになる。

実験は工場内試験場の床面に図2に示すような人孔壁面に相当する線を引き人孔を模擬した。試料ケーブルは60 kV 3×325 mm<sup>2</sup> OFZを使用した。直角曲り部の屈曲直径は50cm(鉛被外径の5倍)とした。ケーブルの直角曲り部引通し操作はつぎのようにした。

- (1) 人孔内に十分たるみができるまでAに取り付けたワイヤグ

リップでケーブルを引く。

- (2) つぎに、ケーブル先端のプーリングアイをチェンブロックで引く。
- (3) ケーブルが屈曲台に接触した後、定められた張力となるまでプーリングアイを引く。
- (4) この操作をくり返して、最初にワイヤグリップを掛けた個所がBに達すると止める
- (5) このようにすることによってケーブルにグリップのは持力のみ作用した部分とグリップのは持力と屈曲引張り力の両者が作用した部分を作成した。

なお、ケーブルの張力としては1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 tの5種類とした。試料ケーブルは一条13 mのものを5本使用した。ワイヤグリップによるケーブル引張り状況を図3に示す。

#### 2.4 ワイヤグリップの影響

グリップを使用してケーブルを途中で引張った際、その取付方法が不完全な場合には、グリップはケーブル表面をすべりは持作用は全然生じない。不十分な取付のときは、ケーブル最外層のネオプレン防食層に軸方向の引張り力が大きく働き、ゴムが局部的に伸びて蛇腹(じゃばら)状を呈し、これに伴って鉛被上の補強黄銅テープも移動しこのテープのギャップが図4に示すようにいちじるしく不整となる。しかし、取付方法が完全であるとは持作用は良好であり3.0 tの張力でケーブルを引張った場合でも、は持部およびその近傍のケーブルにおいて異常は認められなかった。

#### 2.5 ケーブル解体調査結果

プーリングアイのみを使用して直角曲り部を引き入れた場合のケーブル損傷の状態を表2に示す。

つぎに、プーリングアイとワイヤグリップを併用して直角曲り部

表2 ケーブル損傷状態 (プーリングアイ)

屈曲直径(cm)		50			100			150		
張力(t)		2.0	2.5	3.0	2.0	2.5	3.0	2.0	2.5	3.0
防食層(クロロブレン)		○	○	黄銅テープの喰込	○	○	○	○	○	○
補強層(黄銅テープ)		○	○	テープのずれ	○	○	○	○	○	○
鉛被(純鉛)		肌荒れ	肌荒れ	肌荒れ	肌荒れ	肌荒れ	肌荒れ	○	○	わずかの肌荒れ
より合せ介在		○	○	○	○	○	数本切れ	○	○	数本切れ
油通路(スパイラル鋼帯)		つぶれ最大(14.6×20.0)	つぶれ最大(15.0×20.2)	つぶれ最大(16.2×19.3)	つぶれ最大(15.6×19.1)	つぶれ最大(15.4×18.4)	つぶれ最大(16.7×19.1)	わずかなつぶれ最大(16.0×18.2)	つぶれ最大(15.9×19.0)	つぶれ最大(15.7×19.2)
青	遮へい帯	カーボン紙切れ4箇所	カーボン紙切れ4箇所	カーボン紙切れ3箇所	○	○	○	○	○	○
	カーボン紙	○	切れ1箇所	切れ1箇所	○	○	わずかなずれ	○	○	○
	絶縁紙	切れ4箇所うち3箇所は全枚数	切れ5箇所1箇所の最大切れ56枚	切れ2箇所1箇所の最大切れ57枚	しわ(小)	しわ(中)	しわ(大)切れ1枚	○	○	しわ(中)
	カーボン紙	切れ3箇所いずれも2枚	切れ4箇所うち1箇所2枚	切れ2箇所いずれも1枚	しわ	しわ	○	○	○	○
	導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○
赤	遮へい帯	カーボン紙切れ4箇所	○	カーボン紙切れ3箇所	○	○	○	○	○	○
	カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	絶縁紙	しわ(大)	切れ2箇所1箇所の最大切れ49枚	切れ2箇所1箇所の最大切れ21枚	しわ(小)	しわ(中)	しわ(中)	○	○	しわ(小)
	カーボン紙	しわ	○	切れ1箇所1枚	しわ	○	○	○	○	○
	導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○
白	遮へい帯	カーボン紙切れ7箇所	○	カーボン紙切れ1箇所	○	○	○	○	○	○
	カーボン紙	切れ3箇所	○	切れ3箇所	○	○	○	○	○	○
	絶縁層	切れ3箇所いずれも全枚数	切れ1箇所37枚	切れ4箇所1箇所の最大切れ62枚	しわ(小)	しわ(中)	しわ(中)	○	○	しわ(小)
	カーボン紙	切れ4箇所いずれも1枚	切れ1箇所1枚	切れ1箇所2枚	○	○	○	○	○	○
	導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注 1. 解体試料長はケーブル中央部約 100 cm  
 2. ○印は異常なしを示す。

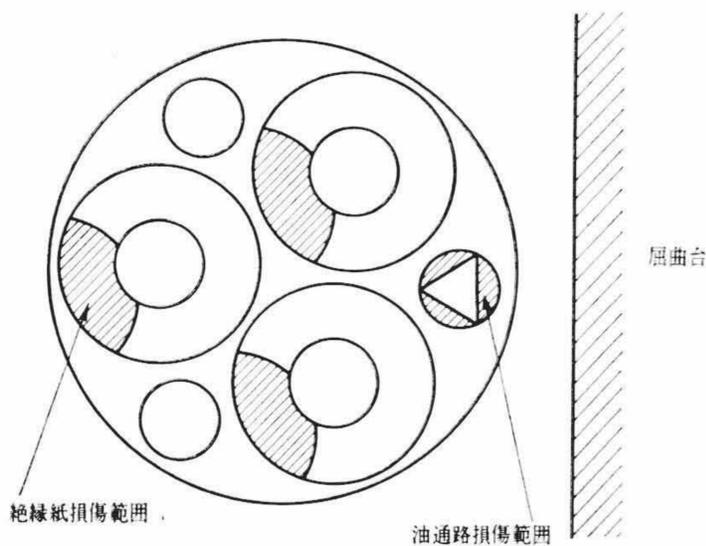


図5 ケーブル損傷範囲

(3) 絶縁紙の切れ方向はいずれの箇所も屈曲台と反対側であり、油通路は屈曲台側が変形している。これを図5に示す。

### 3. 過小径の曲げ

#### 3.1 実験の対象

人孔内におけるケーブル・オフセット決定時、許容屈曲半径は、 $10d$  ( $d$ はケーブル鉛被外径)とされている<sup>(5)</sup>。また3心ケーブルでは工場内試験として $12d$ の直径の屈曲台で屈曲操作を行なう場合があるが、結果に問題はない。本実験は、布設途上において万一これ以下の曲げ径をケーブルが受けた場合を想定し過小径の曲げがケーブルに及ぼす影響の程度を検討した。

#### 3.2 曲げの方法

試料ケーブルとしては $60\text{ kV } 3 \times 325\text{ mm}^2$  OFZを使用した。屈曲直径は50, 100, 150 cm (鉛被外径のおおの5, 10, 15倍)の3種類とし、屈曲の回数は往復2回(通常の曲げ試験と同様)および4回の2種類とした。なお、試料長は一条約6 mであるから端末部の影響を調査するため両端末のケーブル線心を鉛被に対して固定したものと自由にしたものとの両者について実験した。図6のように屈曲台を使用し屈曲直径が100および150 cmの場合は人力によって曲げ操作を行なったが、50 cmの場合は人力では曲げが困難のため、チェーンブロックを使用して約400 kgの張力を加えて曲げた。

を引き入れたときの損傷状態を表3に示す。

これらより、本実験の条件内ではつぎのことがわかる。

- (1) ワイヤグリップの中間引き使用は、油通路スパイラルにわずかな変形をあたえる以外はケーブルになんら異常を及ぼさない。
- (2) ケーブル絶縁層の損傷は、引張り張力の大きさにはほとんど左右されず、屈曲径に大きく影響される。

表3 ケーブル損傷状態 (ブリーディングアイトリップ)

張力 (ton)	1.0			1.5			2.0			2.5			3.0		
	ワイヤグリ ップ+屈曲	ワイヤグリ ップ No.1	ワイヤグリ ップ No.2												
引張り条件	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
防食層 (クロム)	テープのずれ	○	○	テープのずれ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
補強層 (黄銅)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鉛被 (純鉛)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
より台せ介在	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
油 (スパイラル鋼帯)	つぶれ最大 (14.4×20.4)	つぶれ最大 (14.9×19.8)	つぶれ最大 (15.9×19.5)	つぶれ最大 (11.8×23.4)	つぶれ最大 (15.7×19.7)	つぶれ最大 (16.4×19.0)	つぶれ最大 (15.0×20.8)	つぶれ最大 (15.1×19.7)	つぶれ最大 (16.0×19.1)	つぶれ最大 (16.6×19.4)	つぶれ最大 (15.3×19.9)	つぶれ最大 (15.4×19.2)	つぶれ最大 (16.3×20.5)	つぶれ最大 (15.1×20.0)	つぶれ最大 (16.0×19.5)
遮へい帯	○	○	○	カーボン紙切れ1箇所	○	○	カーボン紙切れ1箇所	○	○	○	○	○	カーボン紙切れ1箇所	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
絶縁紙	しわ (小)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
遮へい帯	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
絶縁紙	切れ1箇所全枚数	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
遮へい帯	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
絶縁紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
遮へい帯	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
絶縁紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
カーボン紙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注 1. 解体試験長はケーブル中央部約 100 cm  
2. ○印は異常なしを示す。

表4 ケーブル損傷状態 (過小屈曲)

屈曲直径 (cm)	50				100				150			
	コアの両端末は自由		コアの両端末は固定		コアの両端末は自由		コアの両端末は固定		コアの両端末は自由		コアの両端末は固定	
屈曲回数	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
防食層 (クロロブレン)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
補強層 (黄銅テープ)	テープのずれ	テープのずれ	テープのずれ	テープのずれ	○	○	○	○	○	○	○	○
鉛被 (純鉛)	座掘。肌荒れ大	座掘。凹部に亀裂	座掘。肌荒れ大	座掘。凹部に亀裂	座掘	座掘	肌荒れ	座掘	○	肌荒れ	○	肌荒れ
より合せ介在	数本切れ	十数本切れ	数本切れ	十数本切れ	○	○	○	○	○	○	○	○
油通路 (スパイラル鋼帯)	つぶれ最大 (15.8×19.4)	つぶれ最大 (15.4×19.7)	つぶれ最大 (15.0×19.2)	つぶれ最大 (16.0×19.0)	つぶれ最大 (14.7×19.9)	つぶれ最大 (14.9×20.1)	つぶれ最大 (16.0×19.0)	つぶれ最大 (15.7×19.8)	つぶれ最大 (16.5×18.8)	つぶれ最大 (15.0×19.7)	つぶれ最大 (16.5×18.5)	つぶれ最大 (15.9×19.4)
青	遮へい帯	○	カーボン紙切れ6箇所	カーボン紙切れ2箇所	カーボン紙切れ25箇所	○	○	○	○	○	○	○
	カーボン紙	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ切れ5箇所	○	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	○	ギャップ乱れ	○
	絶縁紙	突上げおよび落込みしわ	切れ9箇所うち4箇所は全枚数	切れ6箇所うち1箇所の最大切れ8枚	切れ14箇所うち8箇所は全枚数	ラップ不整	しわ (中)	しわ (小)	しわ (中)	○	しわ (小)	○
	カーボン紙	しわ	切れ10箇所うち5箇所は2枚	切れ5箇所いずれも1枚	切れ11箇所うち10箇所2枚	○	○	○	○	○	○	○
赤	遮へい体	○	カーボン紙切れ19箇所	カーボン紙切れ2箇所	カーボン紙切れ31箇所	○	○	○	○	○	○	○
	カーボン紙	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ切れ1箇所	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ切れ6箇所	○	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	○	ギャップ乱れ	○
	絶縁紙	切れ6箇所うち1箇所の最大切れ14枚	切れ13箇所うち5箇所は全枚数	切れ6箇所うち1箇所は全枚数	切れ16箇所うち5箇所は全枚数	しわ (中)	しわ (中)	しわ (小)	しわ (大)	しわ (小)	しわ (小)	○
	カーボン紙	切れ4箇所いずれも2枚	切れ18箇所うち6箇所2枚	切れ16箇所うち2箇所2枚	切れ22箇所うち6箇所2枚	○	○	○	しわ	○	○	○
白	遮へい帯	○	カーボン紙切れ10箇所	カーボン紙切れ6箇所	カーボン紙切れ22箇所	○	○	○	○	○	○	○
	カーボン紙	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ切れ1箇所	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ切れ4箇所	○	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	ギャップ乱れ	○	ギャップ乱れ	○
	絶縁紙	切れ1箇所5枚	切れ10箇所うち5箇所は全枚数	切れ11箇所うち1箇所は全枚数	切れ13箇所うち6箇所は全枚数	しわ (中)	しわ (中)	しわ (中)	しわ (大)	○	しわ (小)	しわ (小)
	カーボン紙	切れ3箇所いずれも1枚	切れ10箇所うち6箇所2枚	切れ8箇所うち6箇所2枚	切れ13箇所いずれも2枚	○	○	○	しわ	○	○	○
心	導体	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

注 1. 解体試料長はケーブル中央部約100cm  
 2. ○印は異常なしを示す。

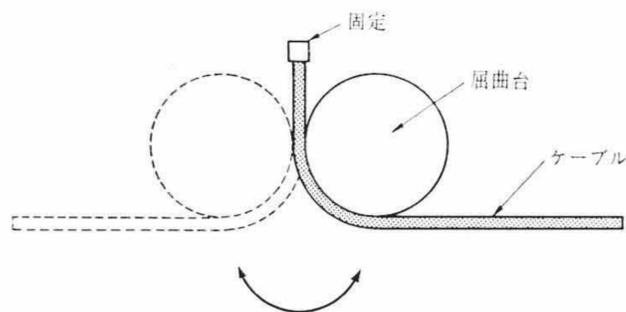


図6 過小径の曲げ

3.3 ケーブル解体調査結果

表4に解体調査結果を示す。屈曲直径150cm (鉛被外径の15倍) で往復2回の場合にはケーブルは異常なく、100cm (鉛被外径の10倍) では紙じわが若干生じ、50cm (鉛被外径の5倍) では紙切れがはなはだしい。なお、ケーブル線心を自由にしたものは固定した場合に比較して損傷程度が少ないことがわかった。

4. 機械的外力とケーブル電気特性

4.1 機械的外力とケーブル損傷程度

これまでの実験で得られた結果より、ケーブルに各種の機械的外力が作用した場合の損傷程度一覧を表5に示す。

4.2 電気試験用ケーブルの布設条件

表5から、ケーブル屈曲直径が100cm (鉛被外径の10倍) かそれ以上の場合には屈曲および直角曲りによる外力を受けても、絶縁層には大きな影響がないことがわかる。屈曲直径が50cm (鉛被外径の5倍) の場合には絶縁紙の切れ、油通路のはなはだしい変形が生じ、明らかに損傷が認められる。このような場合、ケーブル電気特性にどの程度の低下をもたらすかを知ることはケーブルの性能を見きわめるといふ観点から重要であり各種の電気特性を試験した。

試料ケーブルの布設条件を図7に示す。試料ケーブルは60kV 3×325mm<sup>2</sup> OFZ約170m二条であり、いずれも同一なルート条件で布設が行なわれたものである。ただし、直角引通し人孔内のケーブル引張り方法が異なり、I番線はプーリングアイのみでケーブル

を引張りながら直角曲り部を通過させたものであり、II番線はワイヤグリップによる中間引きとプーリングアイによる引張りの両者を調和よく併用したものである。直角曲り部の屈曲直径は50cmである。

4.3 試料採取位置および試験項目

電気試験用ケーブルの採取位置は図7に、試験方法は表6に示されたとおりである。試料はケーブルの直角曲り部引入方法の相違により電気特性の変化を比較できるように考慮して採取されている。

試験項目はコロナ試験、交流長時間破壊、インパルス破壊および誘電正接特性試験である。

表5 機械的外力による損傷状態一覧

2.6 再現実験(A,B,C)によるケーブル損傷の程度

屈曲径(cm)	項目	張力(ton)						
		0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
50	ワイヤグリップ	No.1	○△	○△	○△	○△	○△	○△
		No.2	○△	○△	○△	○△	○△	○△
	ワイヤグリップ+屈曲引張り		II X <sub>2</sub> △	I X <sub>4</sub> △	III X <sub>2</sub> △	II X <sub>4</sub> △	III X <sub>8</sub> △	
	屈曲引張り				II X <sub>2</sub> △	III X <sub>8</sub> △	III X <sub>8</sub> △	
100	屈曲	a 屈曲2回	II X <sub>2</sub> △					
		屈曲4回	III X <sub>32</sub> △					
	b 屈曲2回	III X <sub>23</sub> △						
	屈曲4回	III X <sub>43</sub> △						
150	屈曲引張り				○△	○△	○△	
	屈曲	a 屈曲2回	○△					
		屈曲4回	○△					
	b 屈曲2回	○△						
屈曲4回		○△						

注：解体したケーブルは中央部約100cm

記号 a.....コアを自由にした場合 b.....コアを固定した場合

○.....紙切れおよび紙しわ発生なし

×.....紙切れ

△.....スパイラル変形

I II III.....紙切れの発生した線心数

X<sub>2</sub> ..... 2は紙切れ個所数

大, 中, 小の規準

大 { 絶縁紙数の1/2以上紙しわのあるもの。

中 { 絶縁紙数の1/2以上紙しわのあるもの。

小 { 紙しわが絶縁紙の10数枚目までになくなっていないもの。

スパイラルが2.5mm以下に変形したもの。

4.4 試験方法および結果

各試料の課電履歴および結果を表7に、その交流長時間およびインパルス電圧破壊値を図8に示す。これよりケーブル絶縁層に紙切れが存在する場合インパルス破壊電圧は極端に低下するが、交流長時間破壊値はさほど低下しないことがわかる。これは破壊個所を解体した結果インパルス破壊点は導体直上の紙切れ個所より出発し、すぐに遮へい帯に至っているのに対して、交流破壊点は絶縁層を

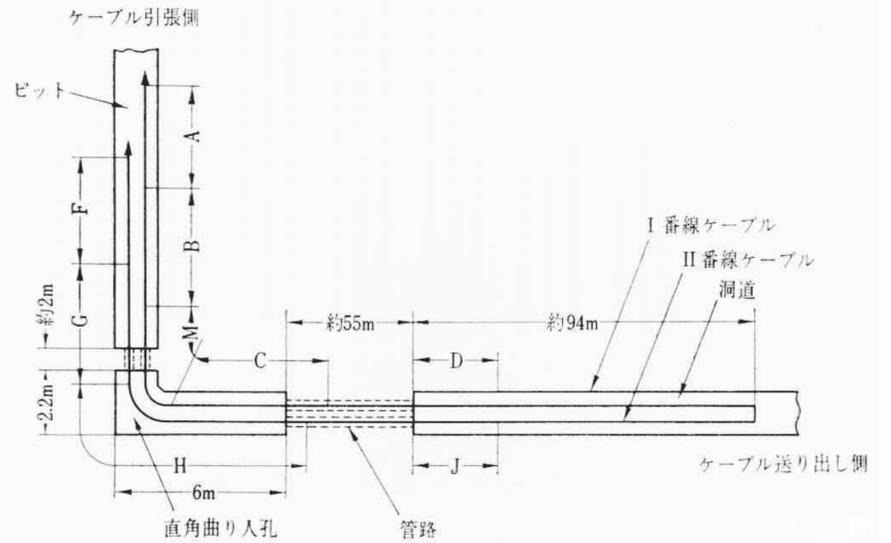


図7 ケーブルの布設条件

表6 電気試験方法

記号	線別	試料長(m)	採取位置	試験方法
M	I	10	人孔内屈曲開始位置よりプーリングアイ側へ	ケーブルを曲げた状態(屈曲半径約1m)でコロナ試験を行ない、後に三心一括でインパルス課電、一線心を破壊したのち、残り交流長時間破壊を行なう
B	I	14	Mよりプーリングアイ側へ	Mと同じ
C	I	10	Mより送り出し側へ	誘電体正接一電圧特性を測定後、インパルスで破壊を行なう
D	I	10	洞道端より送り出し側へ	Cと同じ
G	II	14	人孔内屈曲終了位置よりプーリングアイ側へ	Mと同じ
H	II	10	Gより送り出し側へ	Cと同じ
I	II	10	Dと同じ	Cと同じ

注：AおよびF(各々12m)は破壊試験を行わず。

表7 電気試験結果

試料線心	コロナ試験	誘電体正接	インパルス破壊		交流時間破壊	
			課電方法	結果		
M	青赤白 AC 5~38.1 kV でコロナ発生なし	—	170 kV/3回 課電後 20 kV/3回 宛昇圧	170 kV/1回 B.D. — —	100 kV/3 hr 課電後 20 kV/3 hr 宛昇圧	— 140 kV/10分 140 kV/1時間15分
B	青赤白 AC 20~90 kV でコロナ発生なし	—	140 kV/3回 課電後 20 kV/3回 宛昇圧	— — 220 kV/3回	100 kV/3 hr 課電後 20 kV/3 hr 宛昇圧	200 kV/20分 180 kV/5分 —
C	青赤白 —	19.0~76.2 kV で測定 (25°C)	140 kV/3回 課電後 20 kV/3回 宛昇圧	480 kV/1回 440 kV/1回 460 kV/1回	—	—
D	青赤白 —	19.0~76.2 kV で測定 (25°C)	140 kV/3回 課電後 20 kV/3回 宛昇圧	580 kV/2回 560 kV/1回 540 kV/2回	—	—
G	青赤白 AC 20~90 kV でコロナ発生なし	—	140 kV/3回 課電後 20 kV/3回 宛昇圧	500 kV/1回 — 500 kV/1回	Bと同じ	190 kV/1時間39分
H	青赤白 —	19.0~76.2 kV で測定 (25°C)	140 kV/3回 課電後 20 kV/3回 宛昇圧	560 kV/1回 560 kV/3回 560 kV/1回	—	—
I	青赤白 —	19.0~76.2 kV で測定 (25°C)	140 kV/3回 課電後 20 kV/3回 宛昇圧	560 kV/3回 600 kV/1回 560 kV/3回	—	—

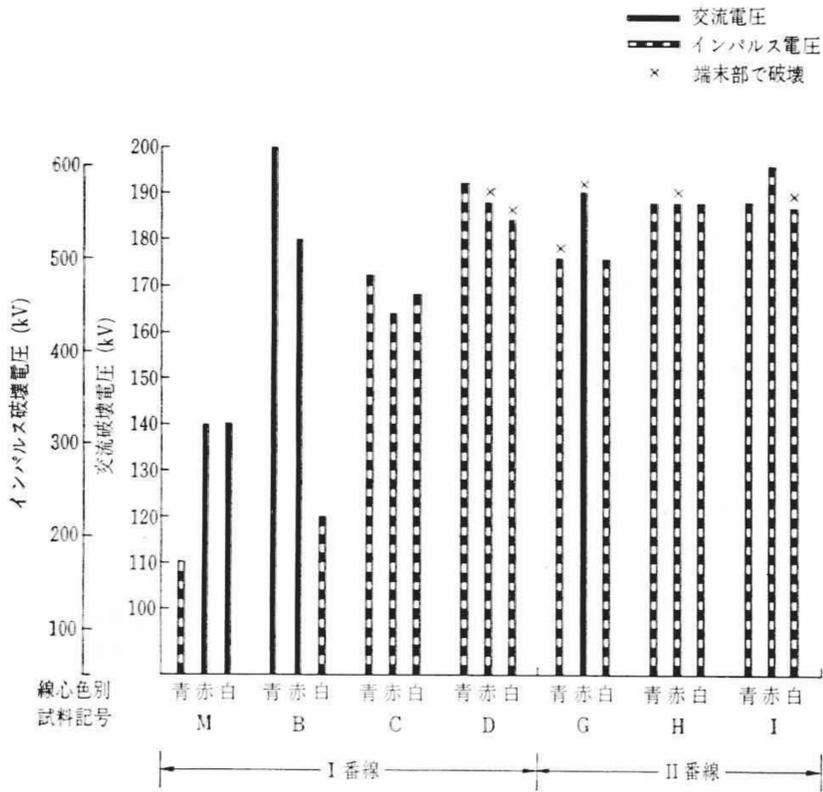
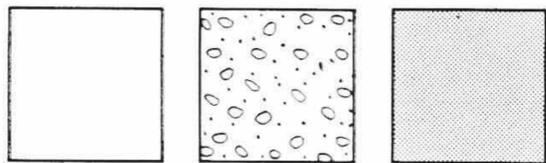


図8 ケーブル破壊電圧一覧



ケーブル特性低下なし。 ケーブル特性低下。 ケーブル特性著しく低下。 使用不可。

注 太線内は実験範囲

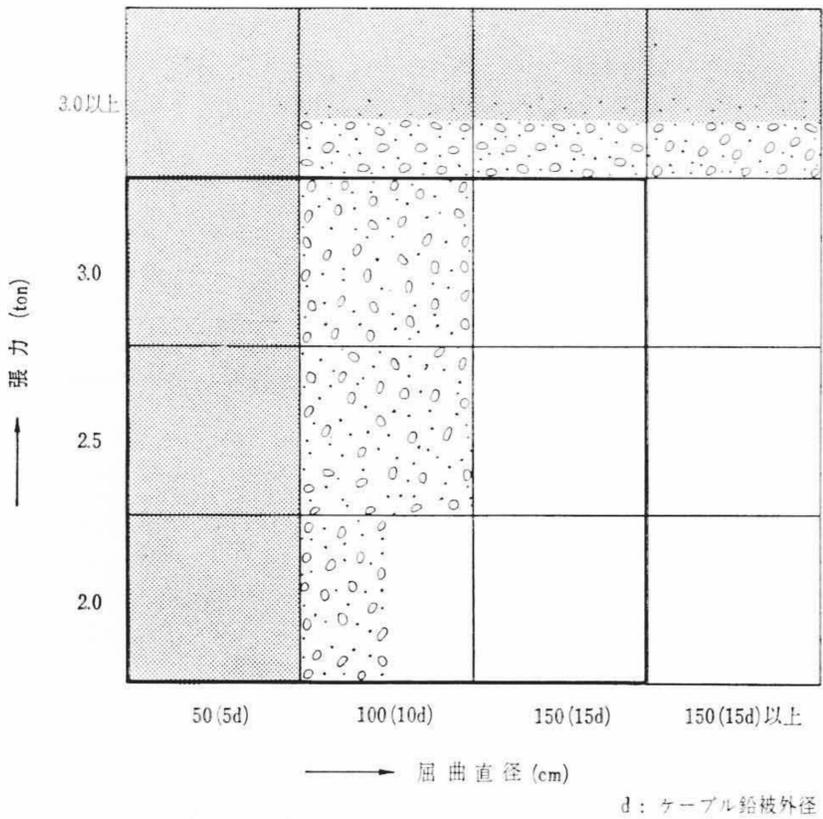
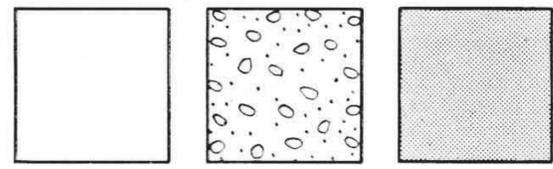


図9 屈曲径とケーブル損傷程度 (直角曲り部引張り)

ジクザク状にはしり径路の長いこと、あるいは導体直上のカーボン紙が効果的であることなどによると考えられる。

また、紙切れがほぼ全枚数に生じても交流コロナ開始電圧は90kV以上と高いことがわかる。

誘電正接は常温において76.2kVまで測定したが異常なく、紙切れによる変化は認められなかった。



ケーブル特性低下なし。 ケーブル特性低下。 ケーブル特性著しく低下。 使用不可。

注 太線内は実験範囲

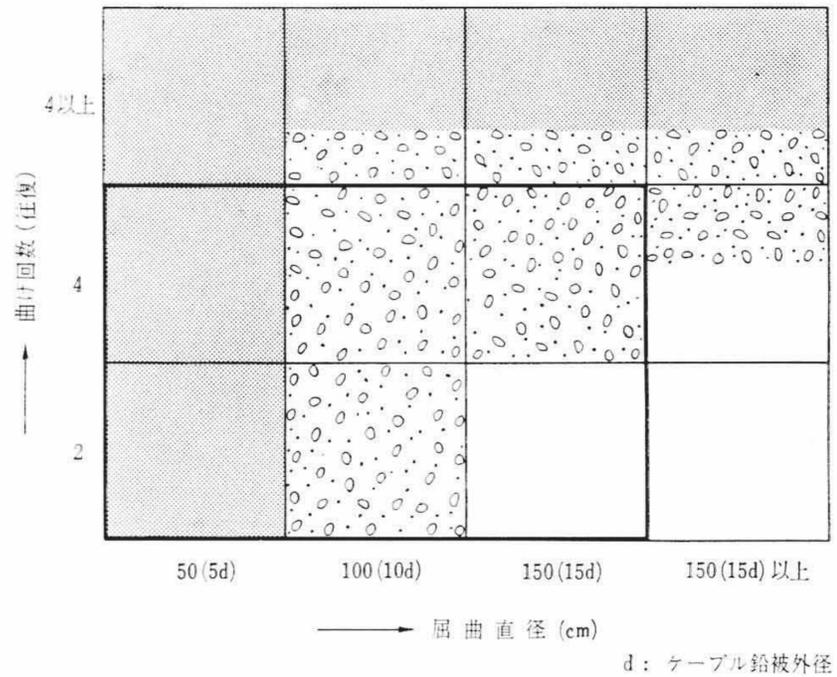


図10 屈曲径とケーブル損傷程度 (過小径の曲げ)

### 5. 布設時の注意点

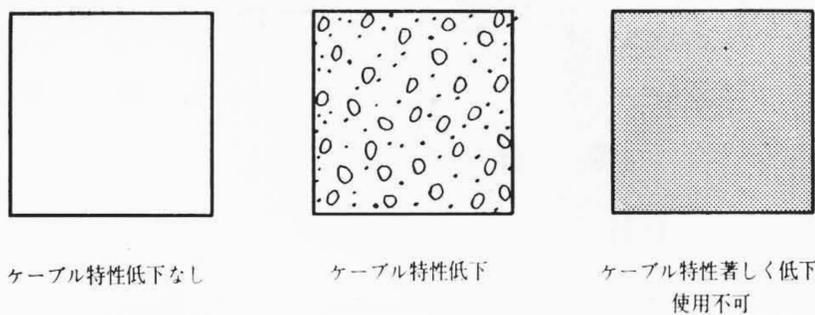
60kV 3×325mm<sup>2</sup> OFケーブルに機械的外力をあたえ、その構造上および電気的な特性低下をは握したが、その結果よりOFケーブル布設時に注意すべき事項としてつぎのことがいえる。

#### 5.1 直角曲り部引入と屈曲径

- (1) 張力が2.0~3.0tで直角曲り部を通過するとき、屈曲径は少なくとも150cm(鉛被外径の15倍)以上必要である。
- (2) すなわち、屈曲径が150cmでは絶縁紙、鉛被その他に異常はなく油通路にわずかな変形が生じる程度でありケーブル特性は低下しない。
- (3) 屈曲径が100cm(鉛被外径の10倍)では絶縁紙にしわが多少生じ、油通路が若干変形しケーブル特性の低下が懸念される。
- (4) 屈曲径が50cm(鉛被外径の5倍)では絶縁紙はほぼ全枚数切れを生じ、鉛被は屈曲内側に肌荒れを生じ、油通路は著しく変形するなどケーブルは使用不能の状態となる。
- (5) 以上を図示すると図9のようになる。
- (6) 実際布設の際には、局所的な屈曲径の減少、瞬間的な引張力の増大などを考慮して、(1)で述べた条件より大きな屈曲径で引き入れることが望ましい。

#### 5.2 過小径曲げと屈曲径

- (1) 屈曲径150cm(鉛被外径の15倍)、回数2回よりも過酷な過小径の曲げを受けるとケーブル特性が低下する。
- (2) すなわち、この場合は油通路にごくわずかな変形が生ずるのみで絶縁紙その他には異常なくケーブルの特性は低下しない。
- (3) 屈曲径150cmで回数4回、および直径100cm(鉛被外径の10倍)で2,4回の場合とも絶縁紙にしわ、ラップのみだれが生じ、鉛被に肌荒れが発生し、油通路は変形し特性は低下する。損傷程度は屈曲径が小さいほど大きく回数が



注 太線内は実験範囲

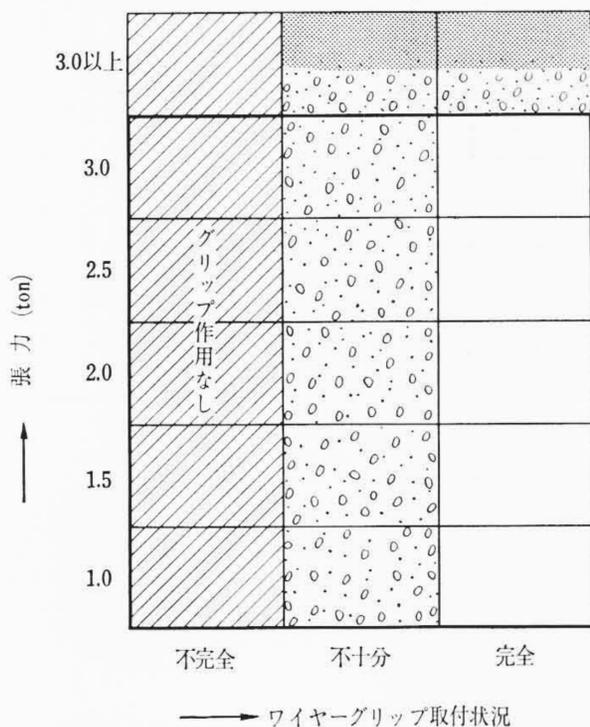


図 11 グリップ張力とケーブル損傷程度

多いほど大きい。

- (4) 屈曲直径 50 cm (鉛被外径の 5 倍) ではこれらに加えて絶縁紙の切れが各所に発生する。
- (5) 以上を図示すると図 10 のようになる。

5.3 グリップ引張り

- (1) グリップの取付けが完全な場合には張力が 1.0~3.0 t で引張りを行ってもケーブル特性は低下しない。すなわち、防食層、補強層、鉛被には影響はない。油通路に若干変形する部分を生ずるが絶縁紙は異常ない。
- (2) 取付けが不十分であると張力 1.0~3.0 t で局部的にグリップがスリップし防食層に部分的な伸びを生じ蛇腹状となり補強黄銅テープが大きくずれる。
- (3) 取付けが不完全であると小さな張力でスリップして防食層表面に擦り傷を生じる。
- (4) グリップは正常な取付けを行なうと 3.0 t の張力までなんら支障を生じないが、取付けを誤ると 1.0 t でも損傷を受ける場合があり、できる限りグリップの使用を避けることが望ましくやむを得ない場合でも取付けには細心の注意が必要である。
- (5) 以上を図示すると図 11 のようになる。

6. 結 言

ケーブルが布設時に受ける機械的外力のうち、直角曲り部の引入れおよび過小径の曲げがケーブルにどのような影響を及ぼすかについて 60 kV 3×325 mm<sup>2</sup> OF ケーブルについて電氣的ならびに構造上の特性低下をは握した。結果よりつぎのことが明らかとなった。

- (1) ケーブルが直角曲り部引通しによる外力を受けるとき、張力が 2.0~03. t の場合屈曲直径が 150 cm (鉛被外径の 15 倍) 以上では影響はない。100 cm (鉛被外径の 10 倍) では紙じわの発生によりケーブルの特性低下が懸念される。50 cm (鉛被外径の 5 倍) では紙切れのため使用不能となる。さらに鉛被外径の 15 倍以上の直径を持つ特殊曲りケーブルガイドの使用が望ましい。
- (2) ケーブルが過小径の屈曲を受けるとき屈曲直径が 150 cm で実際の引入れでは局部的な屈曲径の減少、瞬間的な張力の強化を考慮して、屈曲径は許すかぎり大きくする必要がある。往復 2 回まではケーブルに影響ない。100 cm では紙じわの発生、油通路の変形のためケーブル特性は低下する。50 cm では紙切れのため使用不能となる。
- (3) ワイヤグリップは取付けが完全なときには張力 3.0 t でもケーブル特性に影響をあたえない。しかし取付けを誤るとケーブルを損傷させるゆえ、できるだけ使用しないことがのぞましい。
- (4) 絶縁紙の切れがほぼ全枚数にわたって生じた場合でも、交流コロナ開始電圧は 90 kV 以上であり、また誘電正接には影響しない。
- (5) 絶縁紙の切れが生じた場合、交流破壊電圧はさほど低下しないがインパルス破壊電圧は極端に低下する。

以上は 3 心ケーブルとして最大サイズである 60 kV 3×325 mm<sup>2</sup> OF Z について実験したものであるが、本結果は 60~70 kV の 3 心 OF ケーブル全般について該当するものとして差支えない。単心ケーブルについてはその構造上、機械的外力に対してケーブルが受ける損傷程度が 3 心ケーブルと異なるが 60~70 kV 級では本結果と大差ない結論が導きだされるであろう。

なお、140 kV 以上のケーブルについてはその絶縁厚、ケーブル外径が異なるので本結果を直ちに適用することは問題であると思うがケーブル取扱上なんらかの参考になれば幸いと考える。

終わりに、本検討を行なうに際して多くのご指導を与えられた東京電力株式会社工務部地中線課ならびに南東京電力所地中線課の各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) Underground System Reference Book, Chapter 8: Edison Electric Institute (1957)
- (2) 阪部, 橋本, 岡田, 垣花: 電気学会関西支部大会 No. 9-26 (昭 39-11)
- (3) 広瀬: 電力 43, No. 13 p. 109-116 (昭 34-11)
- (4) 飯塚, 加藤, 山下: 電力 48, No. 10 p. 107~111 (昭 39-9)
- (5) 飯塚, 加藤, 山下: 電力 48, No. 13 p. 103~110 (昭 39-11)



登録新案第746698号

矢崎 智

誘導円板型継電器

誘導円板型継電器の回転力は周波数に比例するため、最少起動電流および限時特性が周波数の影響をうけるという欠点がある。

この考案はこの欠点を改良するもので、一次巻線  $W_1$  と同一鉄心に巻かれた二次巻線  $W_2$  の両端にリアクタンス  $X_0$  と抵抗  $R_0$  を直列に接続し、抵抗  $R_0$  の両端を極鉄心 2 に巻かれた極巻線  $W_p$  に接続、抵抗  $R_0$  の両端電圧で極巻線  $W_p$  を付勢するようにしたもので、リアクタンス  $X_0$  は誘起電圧とは無関係となり、周波数により比例的に分担電圧を増すので抵抗  $R_0$  の端子間電圧は周波数  $f$  に対しほぼ一定となり、かつ一次巻線  $W_1$  に流入する電流  $I_1$  と極巻線  $W_p$  に流入する電流  $I_s$  との相差角  $\theta$  も周波数  $f$  の増加につれて大きくなるので電流  $I_s$  の横軸に対する投影分  $I_s \sin \theta$  を  $1/f$  の形にすることができ、トルク  $T$  を周波数  $f$  に対し無関係なものとする事ができる。

従来、このような周波数の影響を取り除くために極巻線  $W_p$  のインピーダンス  $r+jX$  の  $r$  を変化できるようにしたものが提案されているが、二次巻線  $W_2$  と独立のインダクタンスを用いて補償するものでないため、二次巻線  $W_2$  の誘起電圧の大きさおよび位相により、等価的な補償用インダクタンスが変わることとなり周波数の影響をなくする方法と、継電器に大きなトルクを得ることが相反するため小形継電器を作製する場合に大きな障害となっていたが、この考案はこれらの点を解決するものである。(西宮)

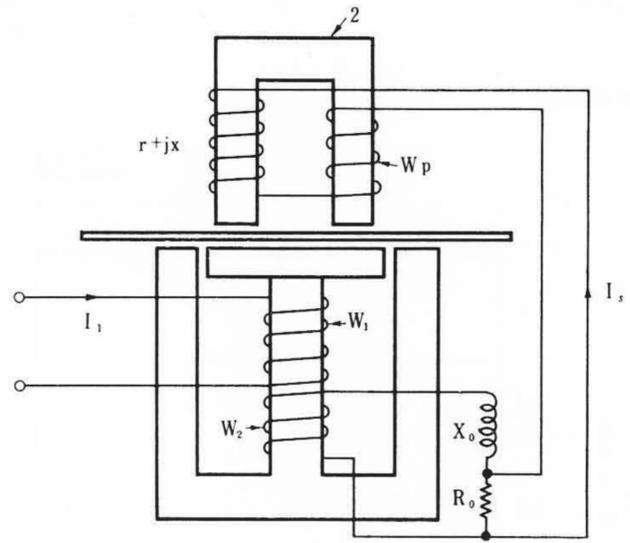


図1



特許第440056号

比良清一・矢崎 智

三相電動機用保護継電器

従来の三相電動機用保護継電器は、三相回路の線間電圧によって動作するものであるため、電動機がいったん停止するまでたとえ一相断線事故が発生しても、その誘起電圧の存在によって継電器は断線事故を検出できない欠点があり、また過負荷を検出できないため別に過電流継電器を併置する必要があった。

この発明は三相電動機の逆接続、過電流および欠相を1台の継電器でもって確実に検出するもので、図1のごとく結線される。

この結線において電動機  $K$  が正常運転を続けている状態においては巻線  $W_1, W_2, W_4$  にはそれぞれ電流  $i_b, i_c, i_a$  が流れ、また巻線  $W_3$  に誘起する電圧によって巻線  $W_5$  には電流  $i_e$  が流れ、図2のベクトル表示となり、極鉄心磁束  $P$  と主磁束  $M$  とによって円板  $D$  は一定方向の駆動トルクを受け、制御スプリングの反力と平衡して不動作状態を維持する。

次に相接続が逆になった場合は主鉄心磁束  $M$  と極鉄心磁束  $P$  との位相関係が図3のごとくなり、円板  $D$  には正常時と逆方向の駆動トルクが与えられ、このトルクが制御スプリングの抑制トルクと相加わって円板を回転せしめ所期の継電動作をなす。

次に正常接続において過負荷となった場合には図4に示すように主鉄心磁束  $M$  および極鉄心磁束  $P$  が図4に比較してともに大きくなり、駆動トルクが抑制トルクに打ち勝つので円板  $D$  は逆接続時と反対方向に回転し、所期の継電動作をなす。

さらに欠相時(断線時)の場合は各相の断線に応じて所期の継電動作をなすもので、この発明によれば、過負荷時、逆相時、欠相時の各故障に応じ適確に動作して有効な電動機保護が1台の継電器で行なえる特長がある。(西宮)

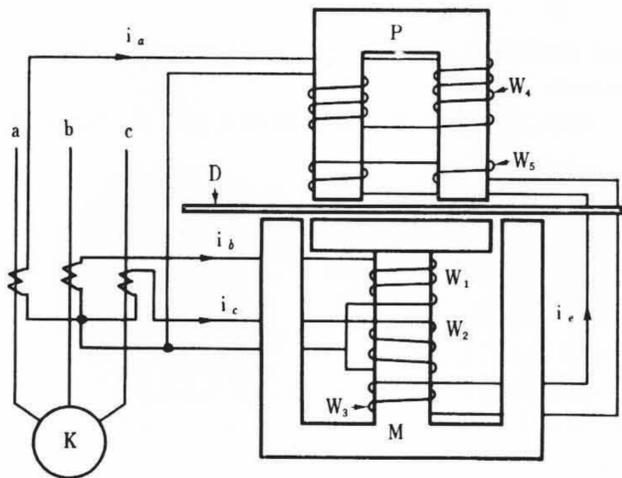


図1

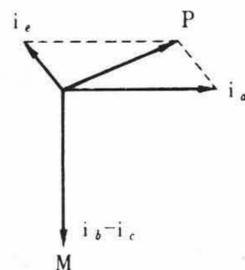


図2

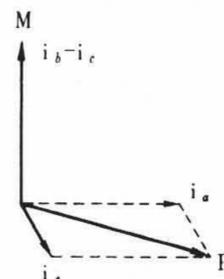


図3

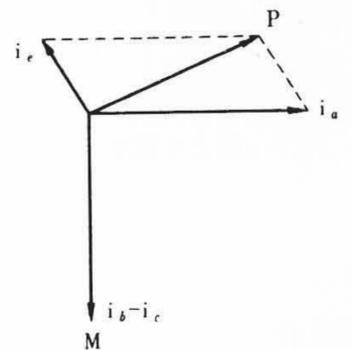


図4