

防爆形クロロプレンキャブタイヤケーブル

Explosion-proof Chloroprene Cabtyre Cable

杉 山 正 夫* 定 行 吉 郎*
Masao Sugiyama Yoshiro Sadayuki

内 容 梗 概

炭鉱の坑内で採掘用機械の電源供給に使用されるキャブタイヤケーブルは、使用条件が非常にかこくなため線間短絡時の電気火花による可燃性ガスへの引火、爆発が懸念される。

本稿では三菱鉱業株式会社との協同研究の結果開発した防爆形クロロプレンキャブタイヤケーブルの諸特性について述べ、保安上本ケーブルの使用が望ましいことを明らかにした。

1. 緒 言

炭鉱、鉱山の採掘用機器の電源供給には従来キャブタイヤケーブルが使用されてきた。キャブタイヤケーブルは一般に屈曲や衝撃に対する機械的強度は大きい、その強度には限度があり、落盤などの激しい打撃、圧縮力にあえば、絶縁被覆が破壊して線間短絡を起し電気火花を発生する。この電気火花が可燃性ガスに引火して爆発をひき起すことがあり、いわゆるガス山での採炭の機械化を阻害してきた。

このような危険を防止するためには、ケーブルを色々な手段で補強することが考えられるが、結局程度問題であって完全なものは望めず、反面可とう性をそこない価格の上昇を招くに過ぎない。

そこで筆者らはケーブルの各線心上に金属しゃへい体を設けて、線間短絡が起る直前に導体がしゃへい体に接触して継電器回路を作り電源を遮断する構造を案出した。このケーブルについて損傷状態を模擬した圧縮試験、衝撃試験を行った結果油入遮断器が動作して満足な成果を納めた。またしゃへい体を設けることによりキャブタイヤケーブルとしての諸特性が低下することはない。

2. 従来のキャブタイヤケーブルの欠点^{(1)~(4)}

コールカッタ、ローダなど鉱山、炭鉱における移動機器の電力供給には古くからキャブタイヤケーブルが使用されてきた。このケーブルは文字どおりゴム絶縁線心の外部に自動車のタイヤ (Cabtyre) のように強じんなゴム被覆を設けたもので、可とう性に富み摩耗、衝撃、張力、屈曲などの外力に強い。特に4種クロロプレンキャブタイヤケーブル⁽⁵⁾は絶縁線心間にゴム座床、シース中間に綿帆布補強層があり、機械的特性がすぐれたクロロプレンをシースとするので、機械的強度は非常に大きく、かこくな切羽での使用に好適である。しかしこのケーブルでも落盤、坑木の倒壊、機器による外傷など普通のケー

ブルでは想像できないくらい無理虐待を受けるので、絶縁体が破壊して線間短絡を起すことがある。このときの電気火花が可燃性ガスに引火、爆発すると一瞬にして多数の人命を奪い施設を破壊する。

このような危険を防止するためには、ケーブルの絶縁体、キャブタイヤゴム、ゴム座床の厚さの増加、亜鉛メッキ鋼線による補強⁽⁶⁾⁽⁷⁾などが考えられるが、結局程度問題で価格の上昇と可とう性の低下を招くに過ぎない。

3. 各種の改良形ケーブル

ケーブルを補強することが得策でない、ある限度をこえる外力に対しては安全弁を設けることが考えられる。すなわちケーブルに強大な外力が作用した場合、絶縁物が破壊して線間短絡をひき起す前に警報回路を形成させて電源を遮断し事故を未然に防止する考えである。色々な形式が考えられるが、次の4形式をとりあげ簡単に優劣を比較した。

3.1 電極対立形

第1図に示すように、穴あきゴムテープを介して二枚の電極 (たとえば銅テープ巻) をケーブルの長手方向に対立させ⁽⁸⁾⁽⁹⁾、一定限度を越える外力が作用すると、穴を通じて電極が接触し警報回路を作る。着想として面白いが、感度の調節が非常に微妙で実験の結果所望の特性が得られなかった。

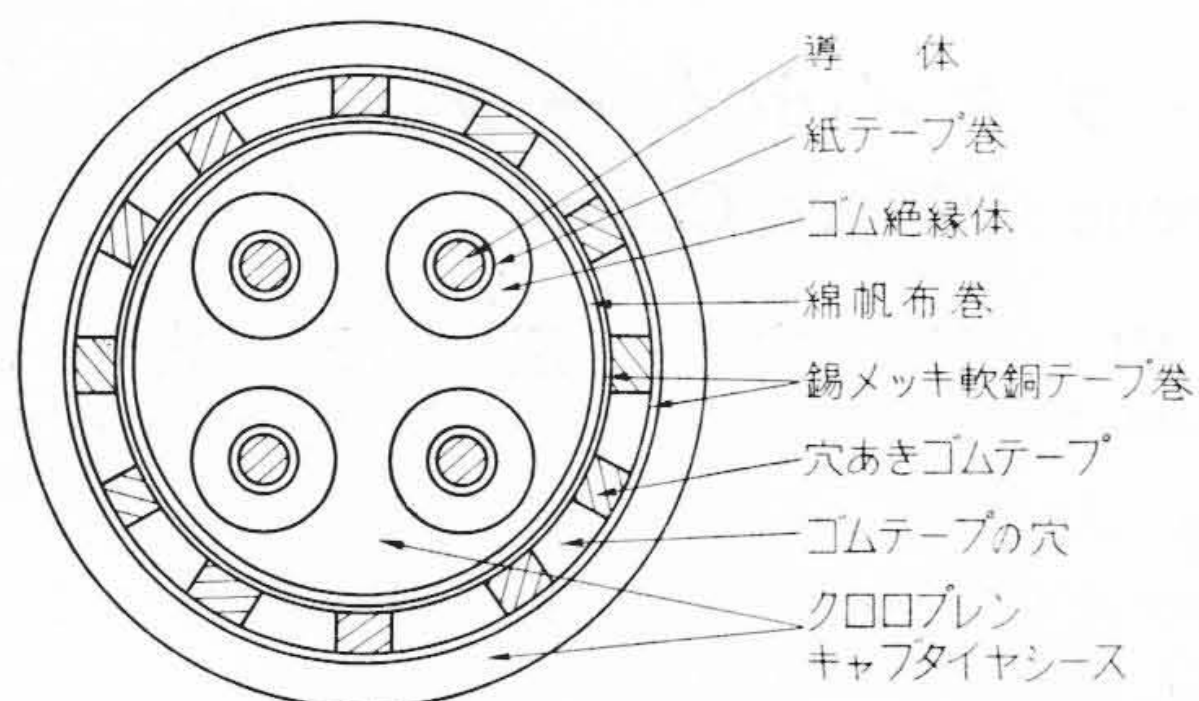
3.2 共通しゃへい形

第2図に示すように、ケーブル線心全体に対して共通の金属しゃへい体を設け、導体とこれが接触して警報回路を作る。可とう性の低下と、ゴム座床が破壊した際線間短絡を起す可能性があるので好ましくない。

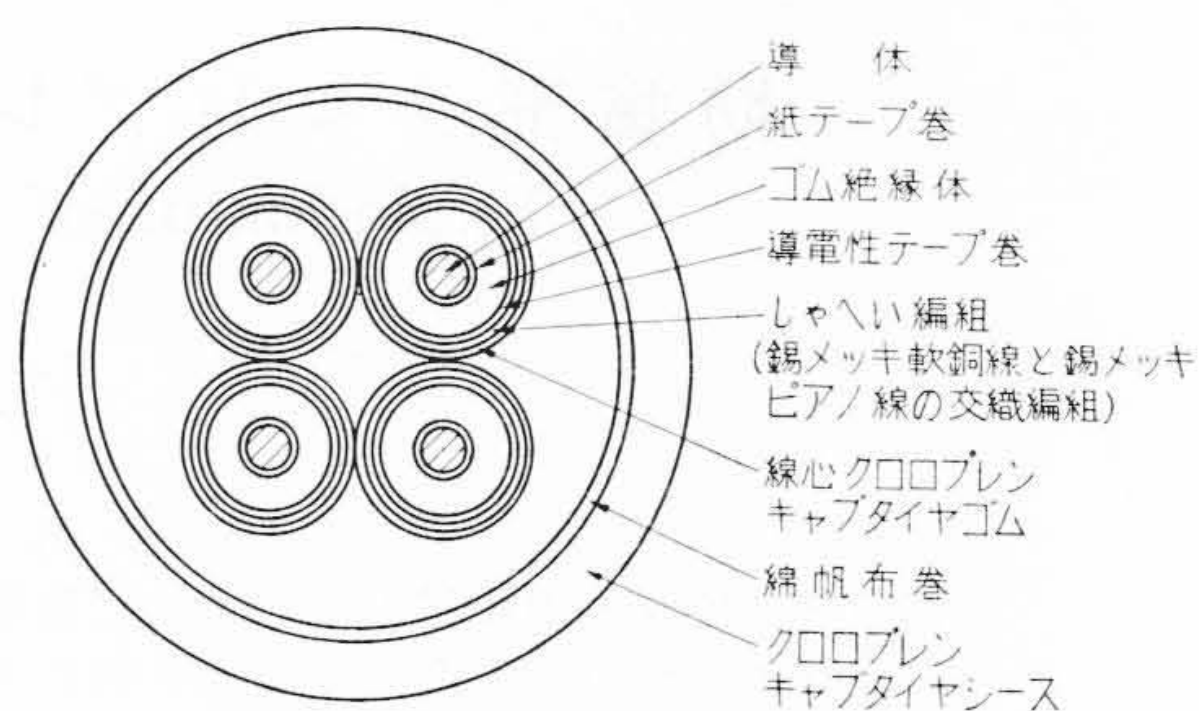
3.3 導電ゴム形

第3図に示すように、接地導体および補強帆布下を半導電ゴムで被覆し、絶縁体の損傷、劣化を大地漏洩電流によって監視する方法である。構造が単純で取り扱いに便利な長所を持ち、ヨーロッパの炭鉱⁽¹⁰⁾において実用されているが、これは絶縁劣化を常時監視する、いわば消極的な形式で保護能力の点で次に述べる各心しゃへい

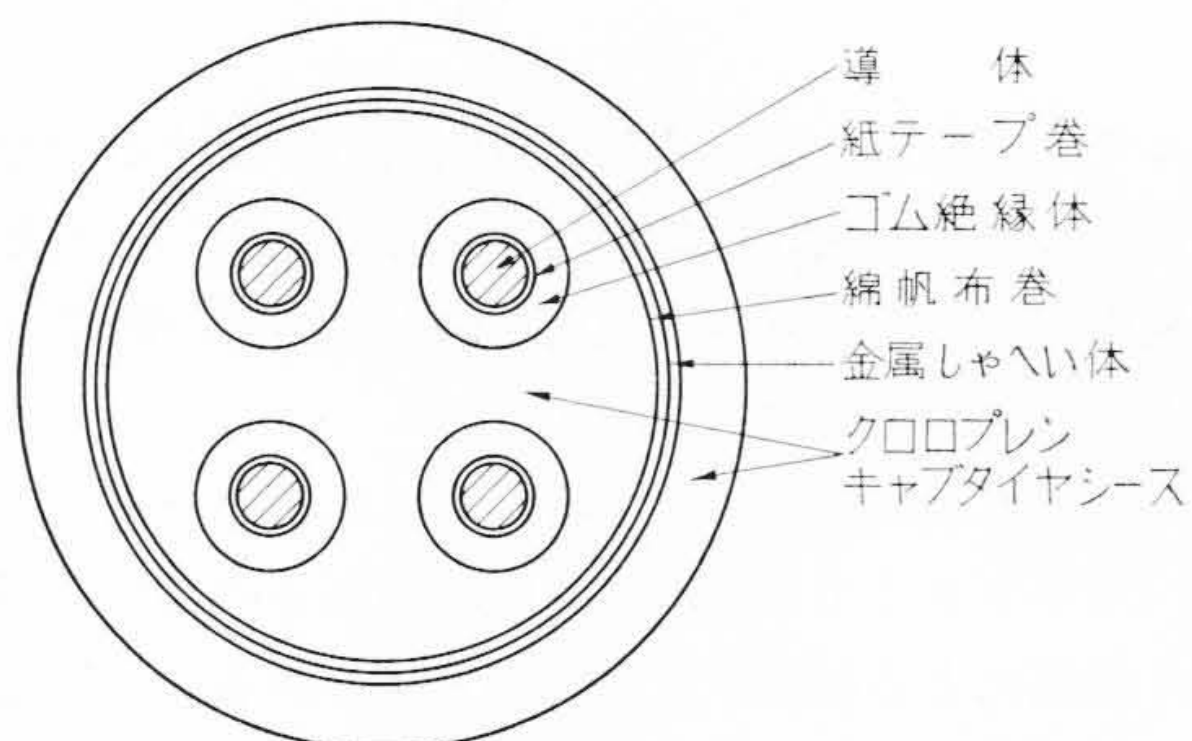
* 日立電線株式会社電線工場



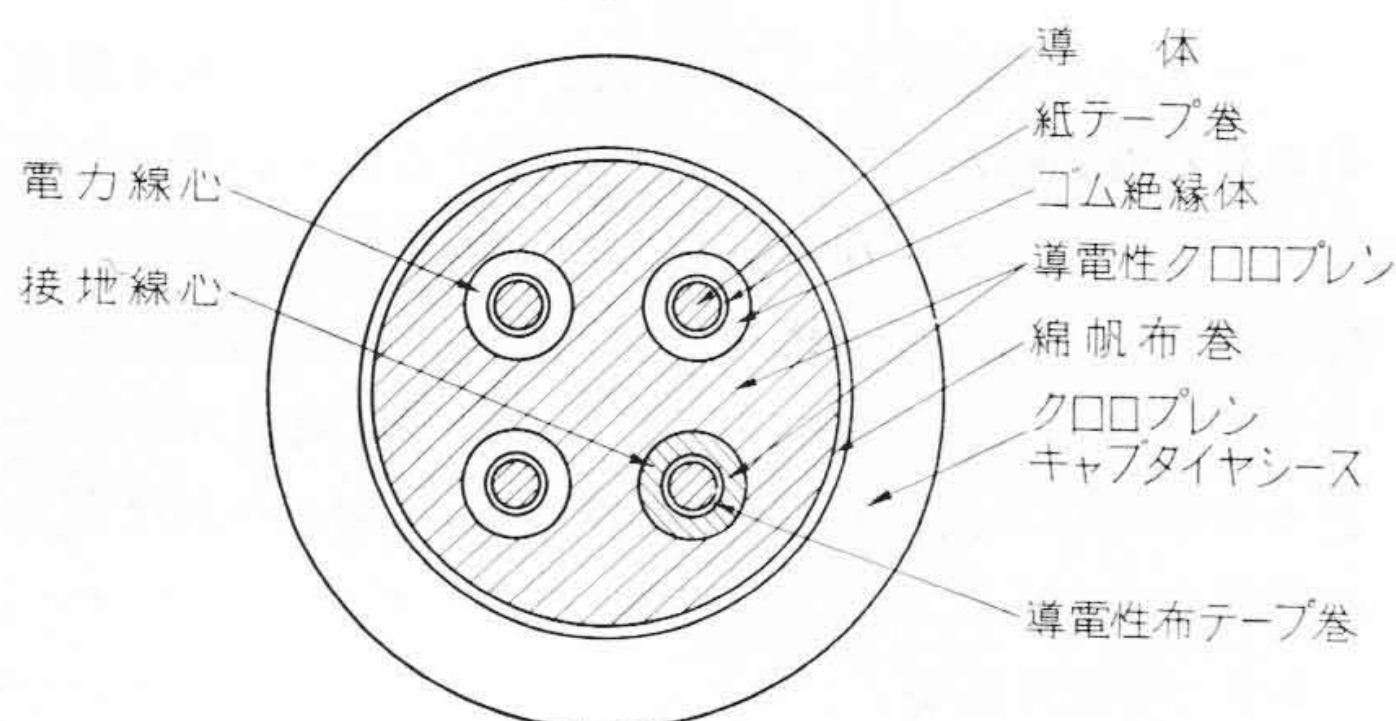
第1図 電極対立形キャブタイヤケーブル断面図



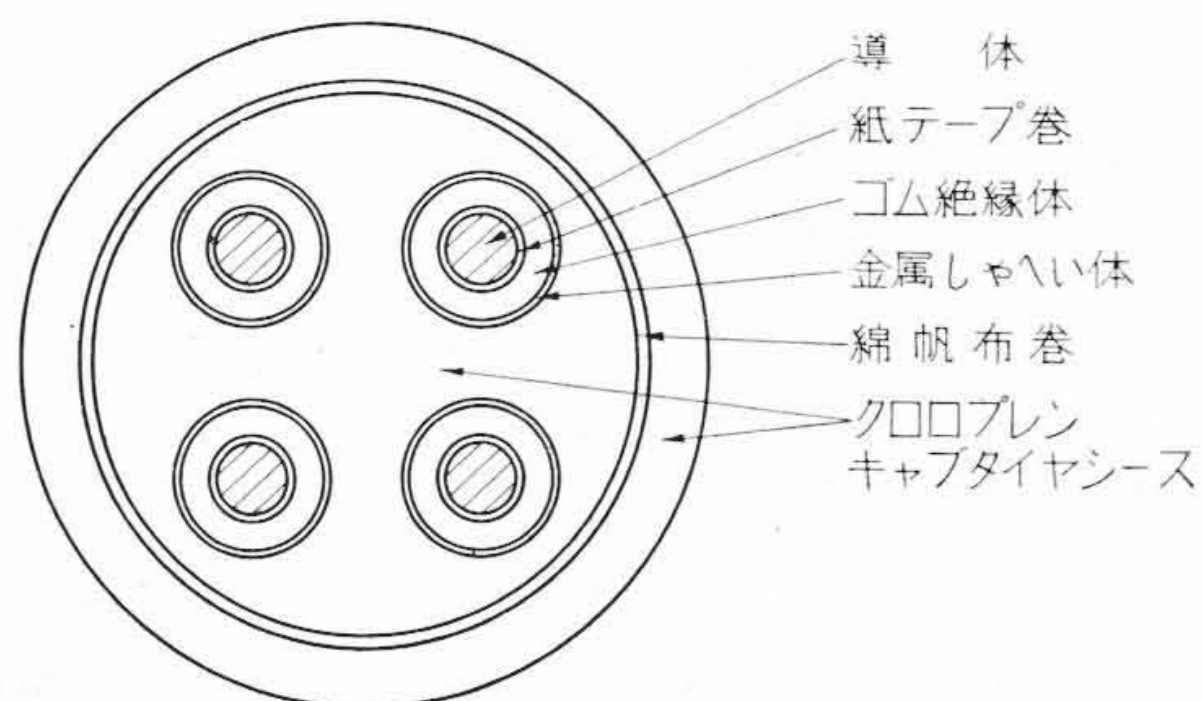
第5図 防爆形(CS形)クロロプレンキャブタイヤケーブル断面図



第2図 共通しゃへい形キャブタイヤケーブル断面図



第3図 導電ゴム形キャブタイヤケーブル断面図

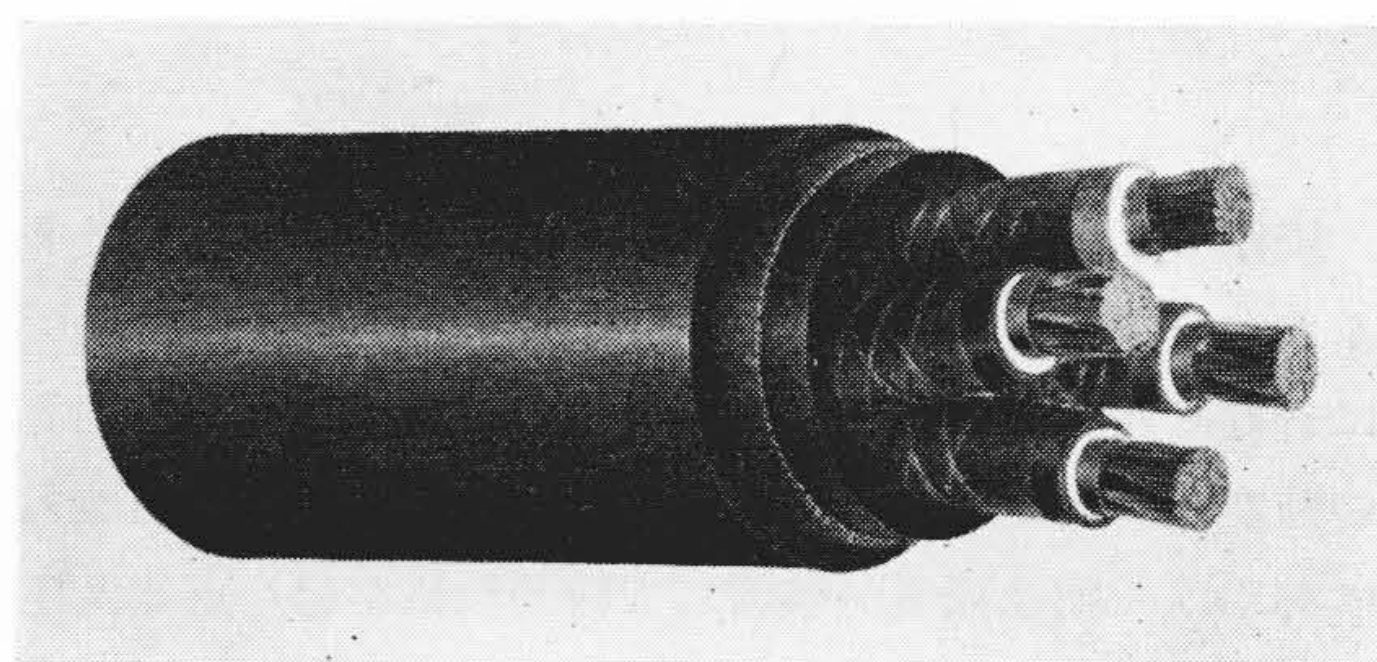


第4図 各心しゃへい形キャブタイヤケーブル断面図

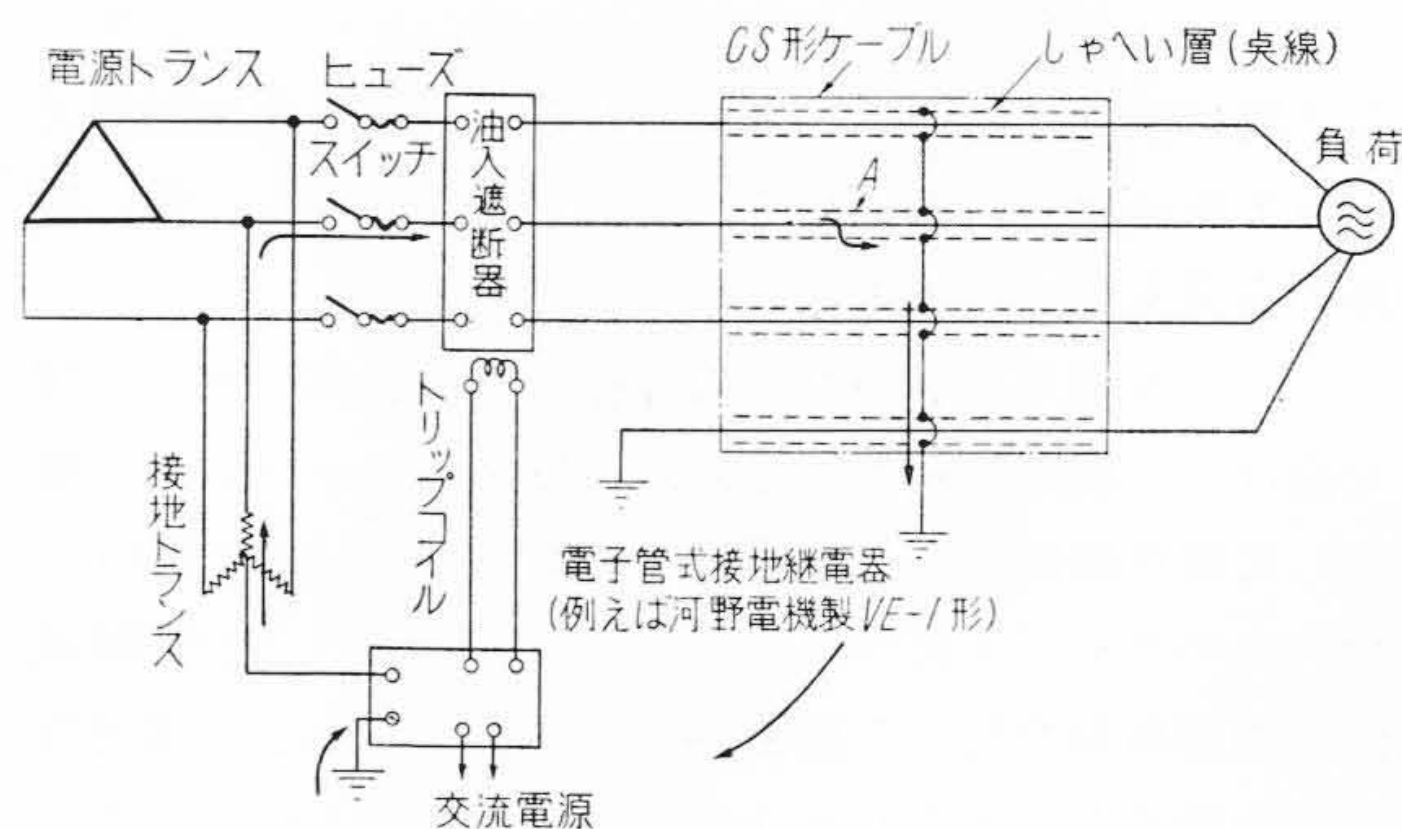
形に及ばない。したがってこの形式を危険予防形と呼ぶことにし、ガス爆発の危険性が少ない場所に推奨する。

3.4 各心しゃへい形

第4図に示すように、各絶縁線心上に金属しゃへい体を設けた構造で、線間短絡前に一線地絡の故障電流の小さい状態で接地継電器によって電源を遮断する考えであ



第6図 防爆形(CS形)クロロプレンキャブタイヤケーブル



第7図 保護継電器の使用法

る。この構造自体は米、英、独⁽¹¹⁾⁽¹²⁾の鉱山用ケーブルに例があるが、問題はしゃへい層の構成をどうするかにある。

(a) 銅テープ巻

錫メッキ軟銅テープをらせん状に巻く方法は可とう性が悪くなり、屈曲時のしわができこれが絶縁体にくい込む欠点がある。

(b) 銅線または銅線と綿糸の交織編組

錫メッキ軟銅線またはこれと綿糸を組合せて編組する方法は実験の結果、外力によって切断され警報回路ができないことがわかった。

(c) 銅線とピアノ線の交織編組

錫メッキピアノ線と錫メッキ軟銅線を組合せて編組する方法は、大きい外力を受けてもピアノ線が切断せ

第1表 供試ケーブルの構造表 (4心 30mm²)

項目 線心色別	導 体			紙テープ		ゴム絶縁体		マイラー テープ		しゃへい 組 編		クロ ロ ン シ ー ス		撚合 外径 (mm)	クロ ロ ン シ ー ス		綿 帆 布		クロ ロ ン シ ー ス		仕上 外径 (mm)	
	素線径	素線数	外径 (mm)	厚さ (mm)	外径 (mm)	厚さ (mm)	外径 (mm)	厚さ (mm)	外径 (mm)	厚さ (mm)	外径 (mm)	厚さ (mm)	外径 (mm)		厚さ (mm)	外径 (mm)	厚さ (mm)	外径 (mm)				
実測値	黒	0.440 ~0.447	7/27	7.79	0.10	7.99	1.98	11.95	0.05	12.05	0.30	12.65	1.40	15.45	36.5	2.5	41.5	0.8	43.1	3.3	49.7	49.7
	白	0.440 ~0.447	7/27	7.78	0.10	7.98	1.96	11.90	0.05	12.00	0.30	12.60	1.35	15.30								
	赤	0.440 ~0.447	7/27	7.80	0.10	8.00	1.90	11.80	0.05	11.90	0.30	12.50	1.35	15.20								
	緑	0.440 ~0.447	7/27	7.84	0.10	8.04	1.93	11.90	0.05	12.00	0.30	12.60	1.30	15.20								

ず確実に導体と接触し所望の特性が得られる。

4. 防爆形クロロレンキャブタイヤケーブルの特長

前述の4形式中錫メッキピアノ線を構成要素にした各心しゃへい形が最もすぐれていることがわかったので、試作検討の結果第5,6図に示すようなケーブルを生み出した。各線心にしゃへいを設けるところから、このケーブルをCore Shieldの頭文字をとって日立CS形ケーブルと略称する。

CS形ケーブルは第7図のように保護継電器と組合せて使用される。いま、かりにA点で導体としゃへい層が短絡したとすれば、継電器に自蔵されている直流電源のために矢印のように電流が流れて油入遮断器がトリップされ電源を遮断する。第7図は△結線の場合を例示したが、Y結線の場合は接地トランスが不要で、中性点と大地間に継電器を入れて使用すればよい。

CS形ケーブルの構造上の特長を述べると次のとおりである。

4.1 導電性テープ

各線心上に導電性マイラーテープ（片面銅粉蒸着またはカーボン付）を巻いて、絶縁体を機械的に保護するとともに編み目を通して異物が侵入することを防止する。

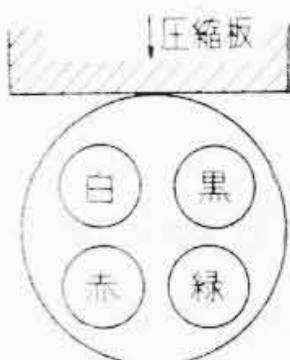
4.2 線心キャブタイヤゴム

金属しゃへい層外部に着色クロロレンを被覆して線心識別を行うとともに、ゴム座床として外力に対してクッションの役目を果し、しゃへい体同志が摩擦によって損傷することを防止する。

4.3 しゃへい層

保護能力、可とう性と価格の点から金属しゃへい体の密度が決定してある。接地線にはしゃへいが不要と考えられるが、使用者によって何色を接地線にするか一定し

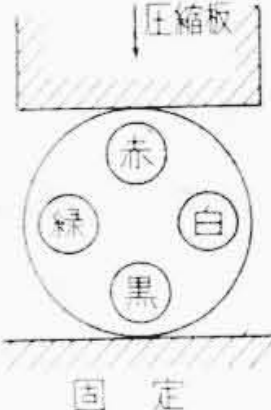
第2表 圧縮試験後の解体結果 (R = 5 mmの場合)

項 目		破 壊 状 況				摘 要
		黒 心	白 心	赤 心	緑 心	
線 心	導 体	断線なし	断線なし	断線なし	断線なし	4.7~5.3 tで導体 しゃへい間短絡
	ゴム 絶 縁 体	軸方向に約 5 mm破壊	黒心と同じ	黒心と同じ	黒心と同じ	
	マイラーテープ	切 断	切 断	切 断	切 断	
	しゃへい編組*	TA切断 TP異常なし	黒心と同じ	黒心と同じ	黒心と同じ	
	クロロブレ ンシース	約 5 mm破壊	異常なし	約 5 mm破壊	約 5 mm破壊	
シ ー ス	クロロブレ ンシース	上部圧縮面に約 7 mm程度き裂ができる				
	綿 帆 布	上, 下圧縮面にき裂ができる				
	クロロブレ ンシース	上部圧縮面に約25mm程度き裂ができる				

注: 1 TAは錫メッキ軟銅線の略

2 TPは錫メッキピアノ線の略

第3表 圧縮試験後の解体結果 (平板の場合)

項 目		破 壊 状 況				摘 要
		黒 心	白 心	赤 心	緑 心	
線 心	導 体	断線なし	断線なし	断線なし	断線なし	8.0~8.5 tで導体しゃへい間短絡
	ゴム 絶 縁 体	異常なし	異常なし	異常なし	約 3 mm破壊	
	マイラーテープ	切 断	切 断	切 断	切 断	
	しゃへい編組	TA切断 TP異常なし	黒心と同じ	黒心と同じ	黒心と同じ	
	クロロブレンシース	約 5 mm破壊	約 5 mm破壊	異常なし	約 5 mm破壊	
シ ー ス	クロロブレンシース	約10~15mmき裂ができる				
	綿 帆 布	上, 下圧縮面にき裂ができる				
	クロロブレンシース	上, 下圧縮面に20~25mmき裂ができる				

ないので全線心に設けることにした。

5. 防爆形クロロレンキャブタイヤケーブルの性能

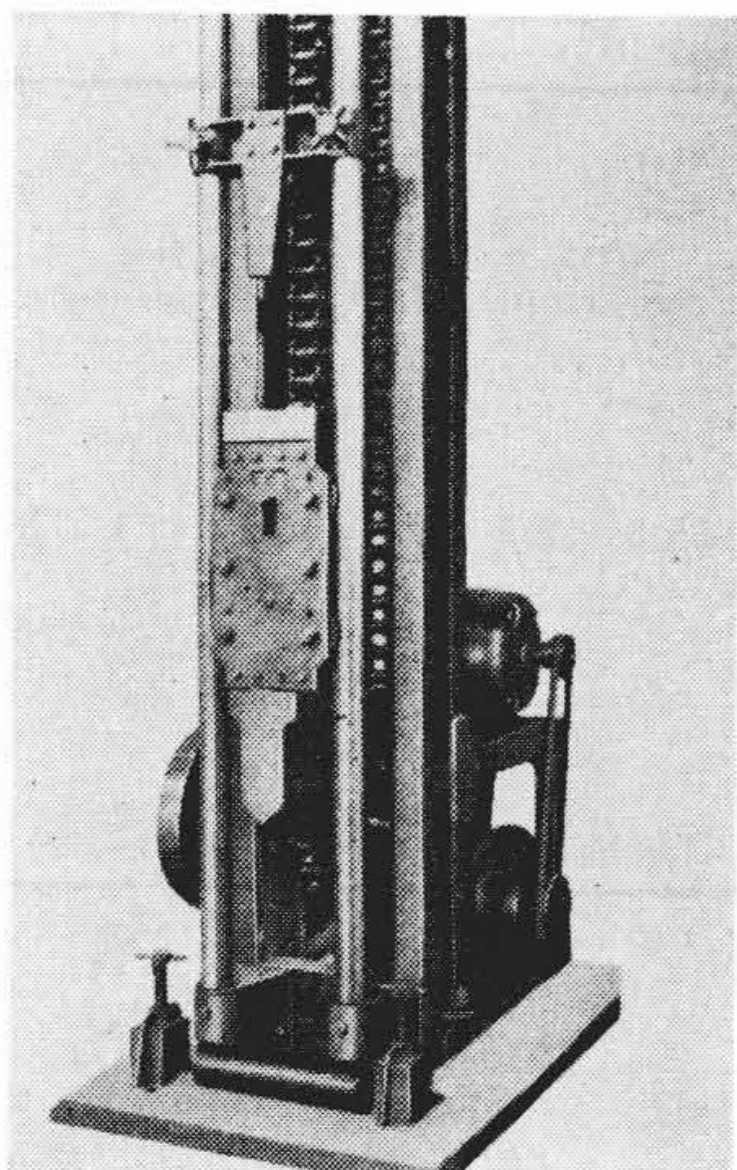
4心 30mm² CS形ケーブルについて、ガス爆発に対する保護能力（以下防爆特性という）の確認と、しゃへい体によるケーブル特性の低下がないことを実証する目的で次に述べる各種の試験を行った。

5.1 試 料

実験に使用したケーブルの構造を第1表に示す。

5.2 圧 縮 試 験

ケーブルが圧縮外力を受けた場合、警報回路を形成するかどうか確認するため、20 t アムスラー試験機によっ



第8図 連続衝撃試験装置

て圧縮試験を行った。圧縮板としては平板と $R = 5 \text{ mm}$ のものを使用し、導体しゃへい間接触の検出は 1.5 V の乾電池によった。試験結果は第2, 3表に示すとおりで錫メッキ軟銅線は切断するが錫メッキピアノ線は健全で所望の結果が得られた。

さらに第7図の結線を行い、20 t アムスラー試験機によって供試ケーブルを圧縮し、油入遮断器が動作するかどうか確かめたところ、満足な結果が得られた。電源電圧は 220 V 、負荷としては 200 V 三相 0.75 kW (1 HP) のモータを使用した。試験後ケーブルを解体した結果は第2, 3表とほぼ同じであるから省略し、補足的説明を加える。

- (a) $R = 5 \text{ mm}$ の場合 4.3 t で油入遮断器動作。
- (b) 平板圧縮板の場合 5.2 t で油入遮断器動作。
- (c) 継電器は日立製電子管式低圧接地継電器で、短絡抵抗が次の値以下になった場合動作するように調整した。

$$\begin{cases} R = 5 \text{ mm} \text{ の場合 } 3 \text{ k}\Omega \\ \text{平板圧縮板の場合 } 20 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

5.3 連続衝撃試験

ケーブルが衝撃力を受けた場合に継電器が動作するかどうか確認する目的で、第8図の装置によって連続衝撃試験を行った。おもりとしては JIS C 3004 に規定された $R = 10 \text{ mm}$ 、 25 kg のものを使用し、回路は第7図と同様である。ただし坑内の実際を模擬して電源電圧は 420 V 、接地継電器は安川電機株式会社製 REN-060 BH 形とした。

- (a) 連続衝撃試験

18秒に1回おもりが落下するようにした。

- (b) 連続衝撃後の屈曲試験

連続衝撃を加えたケーブルに1分間30回の速度で 180° の屈曲を与えた。この場合ケーブルには 6 kg の

第4表 油入遮断器が動作するまでの衝撃回数

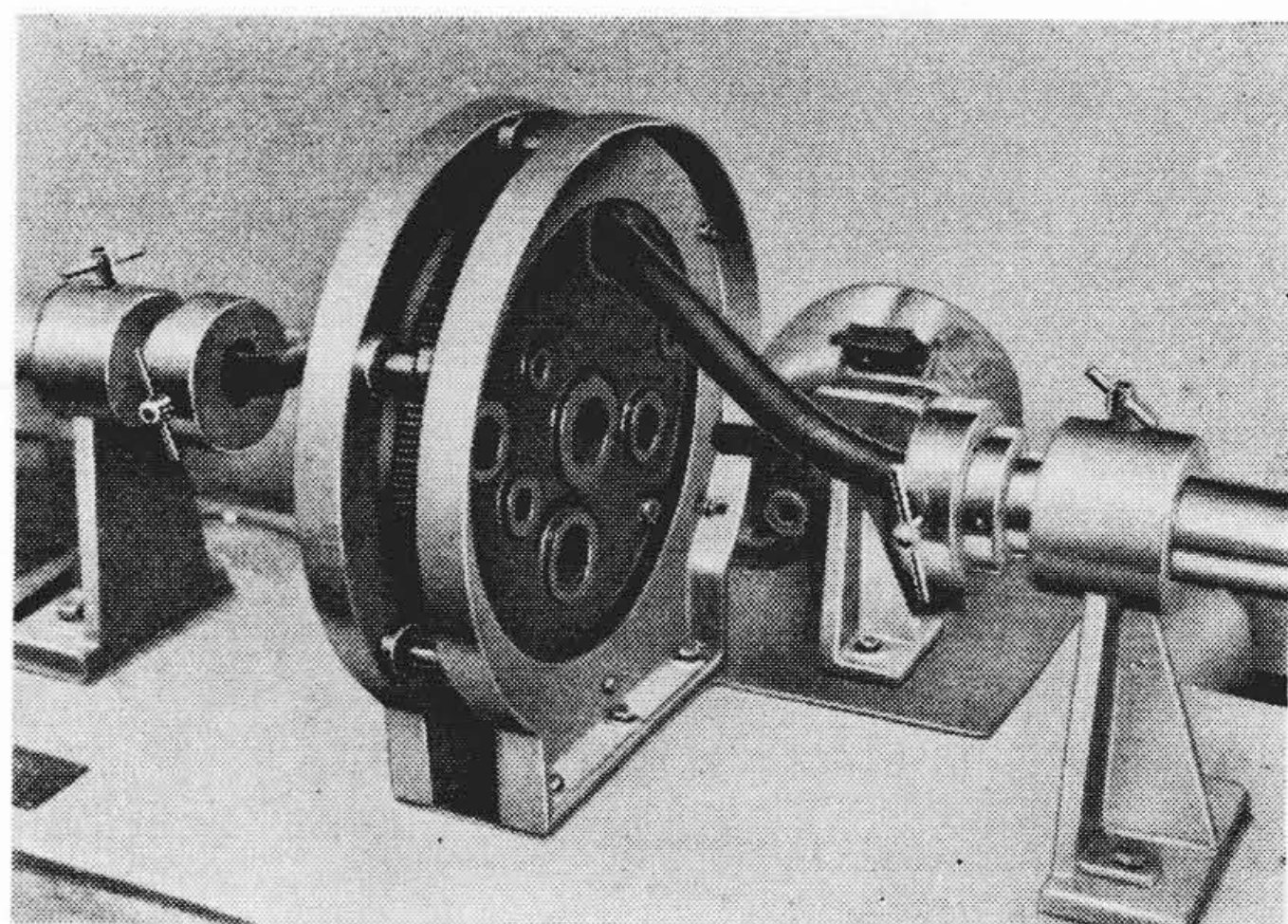
No.	項目	落下高さ (m)			衝撃方向*
		0.5	0.7	1.0	
1	衝撃回数 (回)	328~373	141~156	40~44	
	動作率 (%)	100	100	100	
2	衝撃回数 (回)	283~312	94~117	27~32	
	動作率 (%)	100	100	100	

注: 1 おもり 25 kg

2 * 矢印は衝撃力の加わった方向を示す

第5表 連続衝撃後の屈曲試験結果

衝撃	荷重 (kg)	25
	落下高さ (m)	0.7
	回数 (回)	15
屈曲	屈曲径 (mm)	200
	屈曲倍数 (倍)	4.4
	回数 (回)	5,500
結果	しゃへい体	軟銅線 ピアノ線
	導体	軟銅線
		全数切断, つきささりなし 異常なし 約80%切断



第9図 屈曲試験装置

張力がかかるようにした。

第4表に油入遮断器が動作するまでの衝撃回数を示した。これから防爆性が完全であること (動作率 100%) と、外力を加える方向によってケーブルの強度に差があることがわかる。

第5表は連続衝撃後屈曲試験を行った結果を示す。これから導体がほとんど切断するくらい衝撃と屈曲を加えても、しゃへい層のピアノ線が断線して絶縁体につきささることはない。また衝撃のために切断した軟銅線が屈曲中につきささって短絡を起す心配もないことが明らかになった。

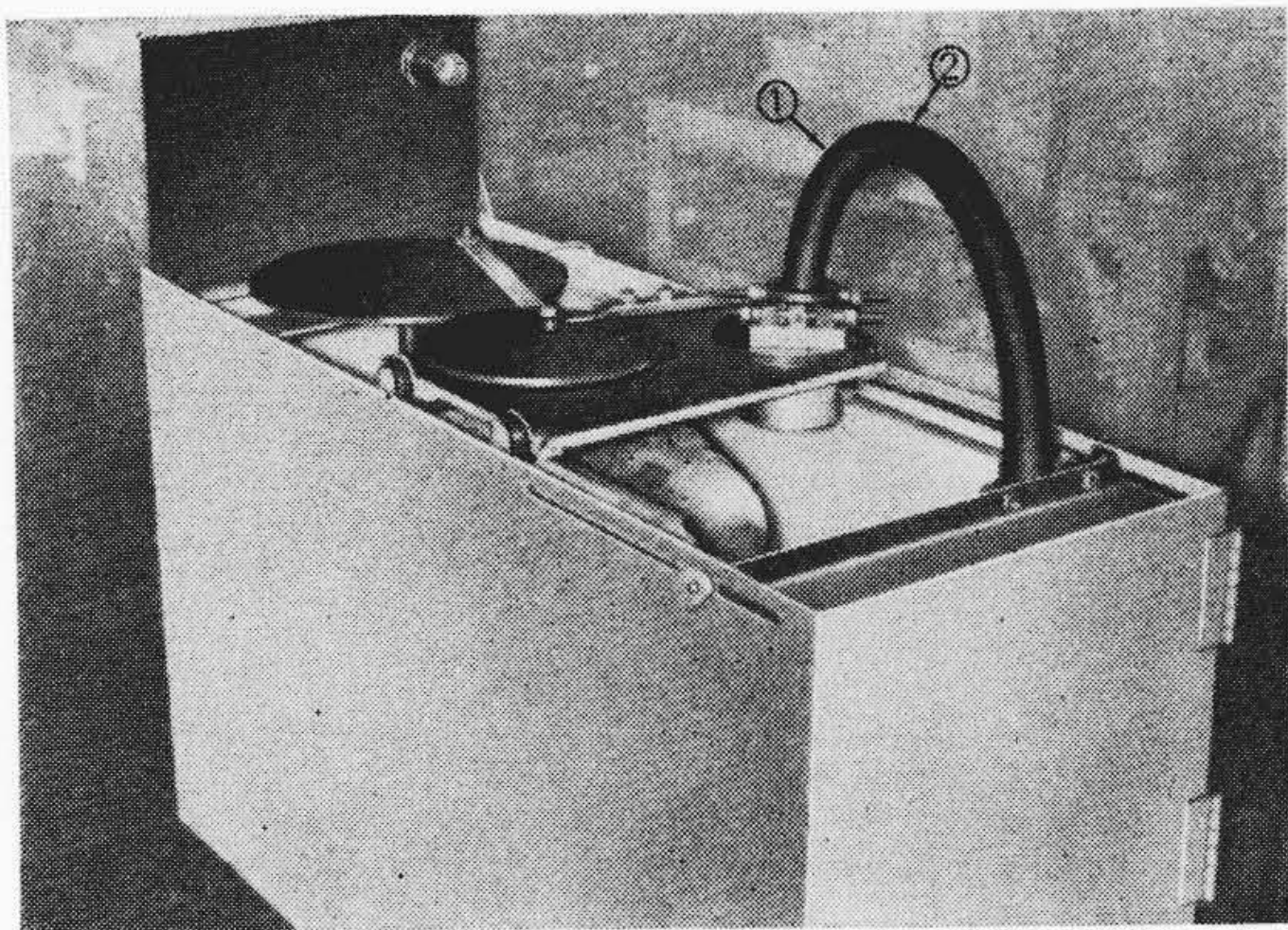
5.4 屈曲試験

第9図の装置において、回転子を毎分20回の速度で連続200回、回転させて屈曲を与えた結果、マイラーテープが一部破れ、しゃへい層の軟銅線が一部切断したほか

第6表 屈曲ねじり試験後の解体結果

項 目	屈曲ねじり箇所	破 壊 状 況			
		黒 心	白 心	赤 心	緑 心
線 心	導 体	① 27本（中心子より）断線 ② 断線なし	20本（中心子より）断線 1本断線	19本（中心子より）断線 断線なし	20本（中心子より）断線 断線なし
	ゴ ム 絶 縁 体	① 異常なし ② 異常なし	異常なし 異常なし	異常なし 異常なし	異常なし 異常なし
	マイラーテープ	① 切 断 ② 異常なし	切 断 異常なし	切 断 異常なし	切 断 異常なし
	しゃへい編組	① TA 切断, TP 良 ② TA 1/3切断, TP 良	黒心と同じ 黒心と同じ	黒心と同じ 黒心と同じ	黒心と同じ TA 良, TP 良
	クロロプレンジース	① 異常なし ② 異常なし	異常なし 異常なし	異常なし 異常なし	異常なし 異常なし
ジース	クロロプレンジース	—	異常なし		
	綿 帆 布	—	異常なし		
	クロロプレンジース	—	異常なし		

注： 1 屈曲ねじり箇所については第10図参照（①は主にねじり，②は屈曲を受けた部分である）
 2 導体素線総数 189本
 3 このケーブルの導体は複合よりといって，あらかじめ27本の軟銅線を集合したもの（子より）を7個より合せてある



第10図 屈曲ねじり試験装置

は異常がなかった。この場合もピアノ線は無傷であるから継電器の動作に支障はない。

5.5 屈曲，ねじり試験

第10図の装置で，チャック間の距離が850mmになるようにケーブルを取り付け，230mmのストロークでケーブル外径の4倍の屈曲を与え，それと同時にケーブル軸の回りに左右100度ずつのねじりを加えた。1ストローク中に2回ねじり，屈曲は毎分45回，ねじりは毎分90回の速度とした。屈曲を43,200回，ねじりを86,400回加えたあとの解体結果を第6表に示した。導体素線の切断，マイラーテープの破れ，しゃへい層軟銅線の一部切断はあるが，ピアノ線は健全なためCS形ケーブルの機能は保持されている。

5.6 折り曲げ試験

4心14mm²CS形ケーブルを20tアムスラー試験機を利用して二つに折り曲げ，この操作を30回繰返しピアノ線が折れるかどうか調べた。二つ折りに要する圧縮力

は1.1tで，解体結果ピアノ線はもちろん各部に全然異常が認められなかった。またピアノ線の抗張力，伸びを調べたが疲労の形跡も認められなかった。

6. 結 言

以上日立CS形ケーブルの構造，諸特性を述べ，このケーブルが坑内保安上有益であることを明らかにした。電力線心，操作線，接地線と組合せた複合CS形も含めて，三菱鉱業株式会社，北海道炭鉱汽船株式会社，住友石炭鉱業株式会社をはじめとしてすでに30,000m以上の納入実績を持っている。このほか3,000Vの電気ショベルケーブルにもCS形構造を採用し，日鉄鉱業株式会社などに納入実績がある。危険予防形（導電ゴム形）クロロプレんキャブタイヤケーブルは構造単純，可とう性大，接続容易などの長所があるが，CS形ケーブルに比べて肝腎の防爆性が劣るのでガス爆発の危険が少ない場所で，絶縁劣化看視用に使用するのが適当である。このケーブルはまた屈曲による特性変化（導電ゴムの電気抵抗）があるのでさらに検討を続ける必要がある。

終りに臨み終始御指導を賜った三菱鉱業株式会社施設部和田副長ならびに実験を担当された日立電線株式会社電線工場根本，森両氏，御協力いただいた増田主任，庄司主任，依田氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 武藤：オーム 44, 1145 (昭32-8)
- (2) 山本：電学誌 52, 933 (昭7-12)
- (3) 増沢，宮島：電学誌 54, 345 (昭9-5)
- (4) 調査報告：電学誌 59, 452 (昭14-8)
- (5) JIS C 3311 (1956)：クロロプレんキャブタイヤケーブル

- (6) BS 708 (1957): Trailing Cables for Mining Purposes
- (7) BS 1116 (1956): Flexible Trailing Cables for Quarries and Metalliferous Mines
- (8) 特許第214407号: 危険予防形キャブタイヤケーブル
- (9) 特許第214408号: キャブタイヤケーブル危険予防装置
- (10) 長川: 九州炭鉱技術連盟会誌 12, 44 (昭34-2)
- (11) IPCEA: General Specifications for Wire and Cables with Rubber, Rubber-Like and Thermoplastic Insulations, S 19-81
- (12) VDE O 250/12.55: Vorschriften für Isolierte Starkstromleitungen
- (13) 杉山, 根本, 定行: 電四連大予稿 666 (昭33-5)
- (14) 杉山, 根本, 定行: 電四連大予稿 622 (昭34-4)



新案の紹介



実用新案第478599号

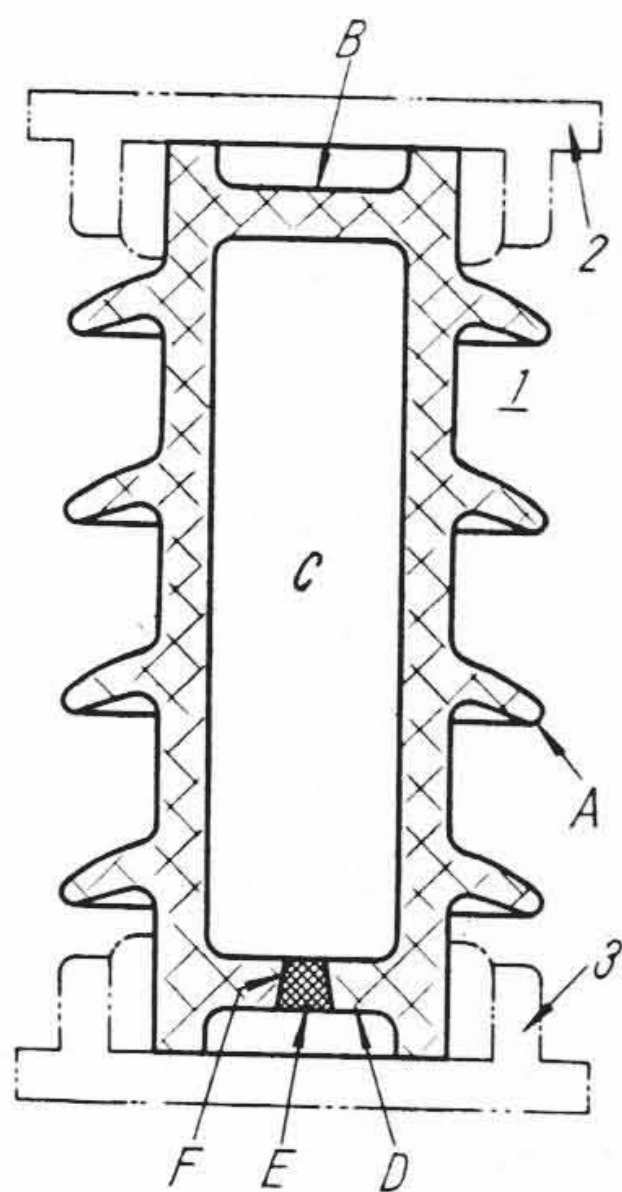
杉山金太郎・伊藤秀雄
加藤清次

中空碍管密封部

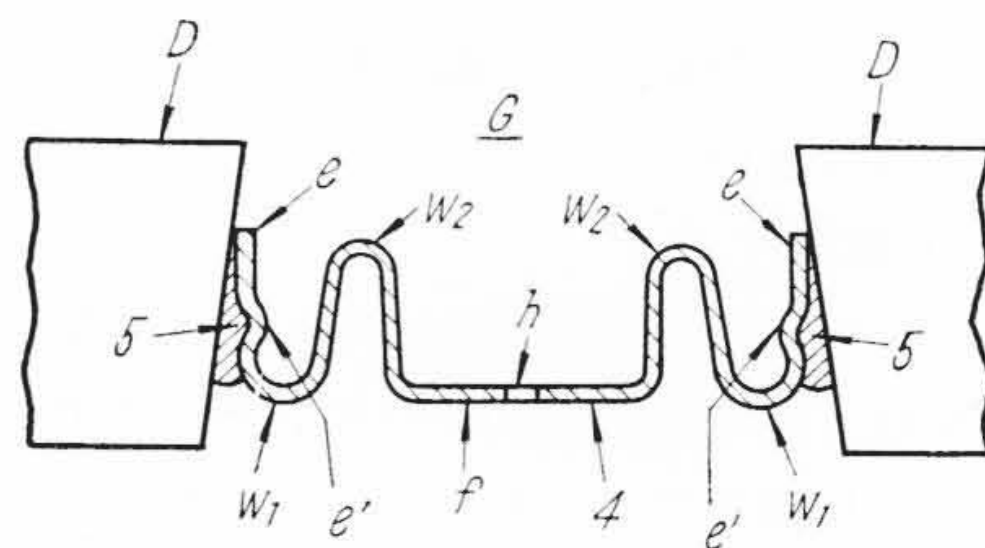
第1図に示すような中空碍管の内部の閃絡電圧を上げるために、管内の空所Cには乾燥した空気とか、特選の高絶縁耐力のガス体が充填される。この考案はかような碍管における密封部の新規な構造に関するものである。

第1図においてヒダAを有する碍管1は上方に区切壁Bを設けて筒状空所Cの一端を仕切り、下方の区切部Dから所望のガスを入れて後栓Eによって閉塞するのが普通であって、Eとしては碍子または硝子片を用い適當の合成樹脂接着剤Fを用いるものであった。ところがこの構造では碍管1自体の膨張収縮に対応しがたく、ために

長期使用にわたり密封状態を確保することは至難とされた。そこでこの考案は第2図に示すような金属製波形弾性鼓状体4を用いて、その弾性周壁eを碍管1のD部に明けた口Gの口周に摩擦掛合させ、エポキシ樹脂5、をくさび状環状空隙に充填したものである。鼓状体4の底にはガス出入孔hがあってここから抽気後絶縁ガスを注入してハンダの一滴で閉塞する。鼓状体4には w_1 および w などの彎曲部分があって十分な伸縮に答えるから長期の使用に耐えて密封を確保する効果がある。(宮崎)



第1図



第2図