

高電圧ケーブルの導体構造

Conductor Screen of High Voltage Cable

比企野 恭 二* 渡 辺 靖 明* 庄 司 民 良*
Kyoji Hikino Yasuaki Watanabe Tamiyoshi Syoji

内 容 梗 概

ソリッドケーブルに導電性および半導電性の各種の導体遮蔽をほどこした場合の長時間交流破壊強度とインパルス破壊強度を検討し、遮蔽方式遮蔽機構に関する吟味を行なった。この結果次のことが明らかになった。

- (1) ソリッドケーブルにおいても長時間交流破壊強度、インパルス破壊強度に関しては導体遮蔽の効果が明確に認められる。この効果は導体圧縮の有無にかかわらず遮蔽を適用したときだけに認められ、撚線効果の低減だけに起因するものではなく、油膜の状態に大きな影響を受ける。
- (2) 長時間交流破壊強度に関しては金属化成紙を用いたときも半導体紙を用いたときもほぼ同程度の効果が認められるが、インパルス破壊強度に関しては金属化成紙の効果の方が顕著であり、半導体紙の効果は材料によりかなりの差が認められる。
- (3) 長時間交流破壊強度に関しては、遮蔽体の紙厚が遮蔽効果に大きな影響を与え、薄いものの効果が著しい。また遮蔽体枚数は2枚以上においては有意差は認められない。

〔I〕 緒 言

高電圧ケーブルの導体表面に導電性あるいは半導電性のテープを巻いて絶縁強度を向上させる、いわゆる導体遮蔽はかなり以前から実用されているが、遮蔽機構に関しては明らかにされていない点が多い。

導体遮蔽の効果はケーブルの種類、遮蔽材料、遮蔽方式により相当変化することが予想されるが、同じ条件の場合でも研究者によつて非常に異なつた値が示されている。遮蔽機構に関してもその解釈はまちまちであり、まだ定説のない現状である。

ケーブルが高電圧化するにしたがつて導体遮蔽に対する期待が大きくなつてきているが⁽¹⁾、導体遮蔽に関する系統的な検討結果にはほとんど接する機会がない。

本稿は最初の段階としてソリッドケーブルを対象にし、導体遮蔽の長時間交流破壊強度およびインパルス破壊強度に及ぼす影響について種々検討した結果を取まとめたものである。

〔II〕 高電圧ケーブルにおける導体遮蔽

(1) 遮蔽効果

各種のケーブルに導体遮蔽を用いたときの効果については多くの人々によつて報告されているが結果はかならずしも一致していない。

たとえば H. Brauns 氏 (Felten u. Guilleaume Carlswerk A.G.) は OF ケーブルにカーボンブラック紙の導体遮蔽を用いたときには交流破壊強度が12%上昇することを示し⁽²⁾、P.G. Priaroggia 氏と G. Palandri 氏 (Pirelli S.A.) は完全含浸した油浸紙試料にカーボンブラック紙を用いたときには交流破壊強度が40%、インパ

ルス破壊強度が5%上昇することを示している⁽³⁾ (この場合は撚線の凹凸は想定していない)。また C.T.W. Sutton 氏 (Enfield Cable Ltd.) はコンプレッションケーブルにカーボンブラック紙の遮蔽を用いたときにはインパルス破壊強度が25%上昇することを示しており⁽⁴⁾、P.R. Howard 氏と D.N. Browning 氏 (National Physical Laboratory) は撚線表面を平滑にしただけの処理で交流破壊度が10~20%、インパルス破壊強度は3.5 kg/cm²以上の圧力では8%向上することを示している⁽⁵⁾。また L.I. Komives 氏 (Detroit Edison Co.) はソリッドケーブルにカーボンブラック紙を用いたときには導体圧縮により撚線表面を平滑にしただけの場合よりインパルス強度が約30%向上することを示している⁽⁶⁾。H. Halperin 氏 (Commonwealth Edison Co.) は圧力ケーブルの長期負荷試験において、遮蔽をほどこしたケーブルには遮蔽のないケーブルに認められるような最内層の絶縁紙のストレスマークがまったく現われないことを報告している⁽⁷⁾。

本邦においては清水氏 (住友電工) がソリッドケーブルの場合、平滑な導体を用いた方が普通撚線を用いたときより交流破壊強度が向上し、この値は Levi Civita の式より算出した撚線効果の理論値とよく一致することを示している⁽⁸⁾。また細川氏ら (古河電工) は OF ケーブルに0.75mm、0.30mmの厚さのカーボンブラック紙遮蔽層を用いた場合、長時間交流破壊強度がそれぞれ24%、30%、インパルス破壊強度がそれぞれ15%、18~22%上昇し、0.15mm厚の金属化成紙を用いたときには長時間交流破壊強度およびインパルス破壊強度がそれぞれ12%、10~15%上昇することを示している⁽⁹⁾。

(2) 遮蔽機構

導体遮蔽がケーブルの破壊強度を向上させる機構とし

* 日立電線株式会社電線工場

第 1 表 導体表面状態が長時間交流破壊強度に及ぼす影響

試番	導体断面積 (mm ²)	最外層 素線数 (本)	導 体 外 径 (mmφ)	絶縁厚 (mm)	絶 縁 層 条 件	使用絶縁油	長 時 間 交 流 破 壊 試 験 結 果*				
							破壊電圧 時 間 (kV/h.min)	最大電位 傾 度 (kV/mm)	昇 圧 法 (kV/h)	破壊箇所	備 考
1	38	6	7.8	6.0	30/70重り,バットラップ 最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	80/5.55 80/5.12	25.3 25.3	70/6.00 後 10/6.00で上昇	ケーブル ケーブル	試験前 屈曲施行
2	50 (圧縮)	12	8.4	3.0	30/70重り,バットラップ 最内層バットラップ	重質鉱油+ポリイ ソプチレン	55/0.09	24.3	50/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル ケーブル	試験前 屈曲施行
3	80 (圧縮)	12	10.7	6.0	30/70重り,バットラップ 最内層バットラップ	重質鉱油+ポリイ ソプチレン	90/0.40	22.4	80/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル ケーブル	試験前 屈曲せず
4	100	12	13.0	5.5	30/70重り,バットラップ 最内層バットラップ	重質鉱油+ポリイ ソプチレン	95/1.00	23.9	90/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル ケーブル	試験前 屈曲施行
5	100	12	13.0	5.4	30/70重り,バットラップ 最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	90/2.55	22.9	75/6.00 後 15/6.00で上昇	ケーブル ケーブル	試験前 屈曲施行
6	100 (圧縮)	12	12.0	5.4	30/70重り,バットラップ 最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	90/1.45	23.4	75/6.00 後 15/6.00で上昇	ケーブル ケーブル	試験前 屈曲施行
7	100 (圧縮)	18	12.2	5.4	30/70重り,バットラップ 最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	90/2.50	23.3	75/6.00 後 15/6.00で上昇	ケーブル ケーブル	試験前 屈曲施行

* 最大電位傾度は熱線効果を考慮しない。

ては、熱線効果の低減⁽⁵⁾⁽⁸⁾、半導体紙の抵抗による高周波成分の減衰作用⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、絶縁層と導体との密着⁽¹⁾⁽³⁾、遮蔽材料の性質—たとえばカーボンブラック紙の表面活性 (Surface Activity)⁽³⁾⁽¹¹⁾ 導体からのイオンの放出の抑制効果⁽¹²⁾ など、および銅の存在による絶縁油の劣化 (Copper Soup)⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ の抑制効果などが考えられている。

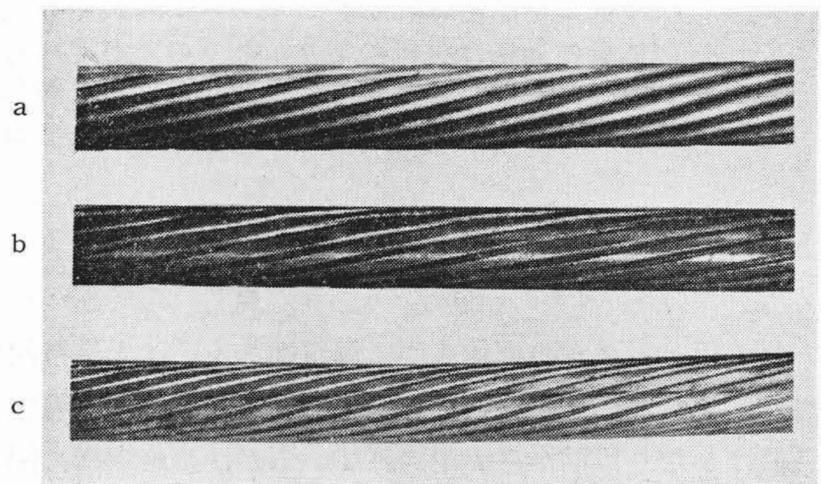
Levi Civita の理論式⁽⁸⁾によると 38~200 mm² の通常の SL ケーブルの導体においては32~33%の熱線効果 (素線の凹凸による電位傾度の増加) が算出される。

初期の研究においては遮蔽効果は熱線効果の低減に基づくものであることが実験的に認められていたが、P.R. Howard 氏⁽⁵⁾らにより次第に遮蔽効果が100%熱線効果の低減に依存するという考えに疑義がもたれはじめた。最近では P.G. Priaroggia 氏⁽³⁾らにより素線の曲率が小さい方が破壊強度が高いという熱線効果の考えと相反する結果が試料実験によつて報告され、電位傾度の問題以外に導体と絶縁層の間の油膜の状態が重要な意味をもつことが示唆されている。

このような幾何学的な考慮のほか P.G. Priaroggia 氏⁽³⁾、F.W. Greenfield 氏⁽¹¹⁾らはカーボンブラック紙の表面活性による不純物の吸着により破壊強度が向上すると考え、W.A. Del Mar 氏⁽¹²⁾は銅と絶縁紙間およびカーボンブラック紙と絶縁紙間の仕事函数には差があり遮蔽体表面からのイオンの放出は金属表面からより困難であると考え、半導体材料の利点を暗示している。

L.I. Komives 氏⁽⁶⁾はインパルス破壊においてもカーボンブラック紙の遮蔽効果を認めているが、P.G. Priaroggia 氏⁽³⁾はインパルス破壊におけるカーボンブラックの効果は交流破壊の場合に比較するとはなはだしく少なく、この原因としてはカーボンブラック紙の表面活性の効果に重点をおいた説明を試みており、100 μs 以下の速い現象においては吸着の作用が追従できないことによるとしている。

このように導体遮蔽の効果に関しては最近多くの機構



第 1 図 100 mm² 普通導体と圧縮導体の外観
(a) 普通導体 (最外層素線数 12 本)
(b) 圧縮導体 (最外層素線数 12 本)
(c) 圧縮導体 (最外層素線数 19 本)

が提示されているが、どの機構が実際ケーブルの場合に支配的な役割を果すかという点に関しては各研究者の意見は一致していない。

〔III〕 ソリッドケーブルにおける 導体遮蔽条件と破壊強度

ケーブルの破壊強度に影響を及ぼす導体遮蔽条件として、導体の表面状態、導体遮蔽材料、導体遮蔽紙厚、導体遮蔽紙枚数、絶縁紙の最内層のラップ、などを採り上げ、このおのおのがソリッドケーブルの場合どのような影響を及ぼすかを試作ケーブルを作成して実験的に検討した。

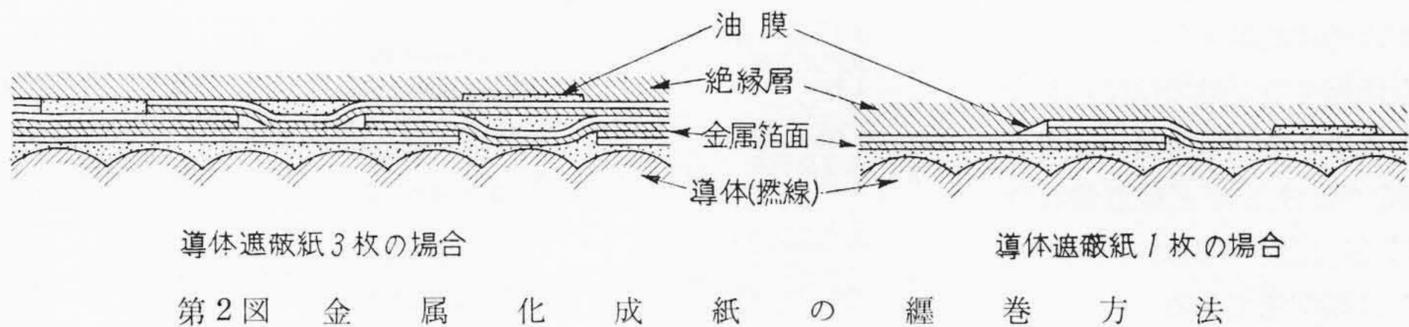
(1) 導体表面状態

導体表面状態の影響を検討するために、38 mm²、100 mm² の普通熱線、50 mm² 圧縮導体 (公称圧縮率約 7%) 80mm²、圧縮導体 (公称圧縮率約 8%)、100mm² 圧縮導体 2 種 (最外層素線本数の12本ものと18本のもの、公称圧縮率はいずれも約 8%) を作成してこれに絶縁層をほどこして単心ソリッドケーブルとしこの長時間交流 (50~) 破壊試験を行なつた。各ケーブルの構造の詳細と破壊電圧の実測値を第 1 表に比較して示す。第 1 図は 100 mm² の普通熱線と 2 種の圧縮導体の表面の写真

第2表 導体遮蔽材料とケーブル破壊強度

試番	導体断面積 (mm ²)	最外層素線本数 (本)	導体外径 (mmφ)	絶縁厚 (mm)	導体遮蔽条件	絶縁層条件	使用絶縁油	長時間交流破壊試験結果				インパルス破壊試験結果*				備考
								破壊電圧時間 (kV/h.min)	最大電位傾度*** (kV/mm)	昇圧法 (kV/mm)	破壊箇所	破壊電圧 (kV)	最大電位傾度*** (kV/mm)	昇圧法 (kV/Shots)	破壊箇所	
1	38	6	7.8	6.0	遮蔽なし	30/70重り,バットラップ最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	80/5.12	25.3	70/6.00後10/6.00で上昇	ケーブル	—	—	—	—	試験前屈曲施行
2	38	6	7.8	6.0	0.12mm厚カーボン紙(A)3枚オーバーラップ	30/70重り,バットラップ最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	100/3.17	31.6	70/6.00後10/6.00で上昇	補強部	—	—	—	—	試験前屈曲施行
3	100	12	13.0	5.4	遮蔽なし	30/70重り,バットラップ最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	90/2.55	22.9	75/6.00後15/6.00で上昇	ケーブル	—	—	—	—	試験前屈曲施行
4	100	12	13.0	5.5	0.1mm厚グラファイト紙2枚オーバーラップ	30/70重り,バットラップ最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	105/0.21	26.4	75/6.00後15/6.00で上昇	ケーブル	—	—	—	—	試験前屈曲施行
5	100 (圧縮)	18	12.2	5.4	遮蔽なし	30/70重り,バットラップ最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	90/2.50	23.3	75/6.00後15/6.00で上昇	ケーブル	—	—	—	—	試験前屈曲施行
6	100 (圧縮)	18	12.2	5.4	0.1mm厚グラファイト紙2枚オーバーラップ	30/70重り,バットラップ最内層オーバーラップ	重質鉱油+ロジン	105/0.15	27.2	75/6.00後15/6.00で上昇	ケーブル	—	—	—	—	試験前屈曲施行
7	100	12	13.0	5.5	遮蔽なし	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	95/1.00	23.9	90/3.00後5/3.00で上昇	ケーブル	—	—	—	—	試験前屈曲施行
8	100	12	13.0	5.5	0.1mm厚金属化成紙(A)3枚ネガテブラップ**	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	100/1.20	25.2	90/3.00後5/3.00で上昇	補強部	—	—	—	—	試験前屈曲施行
9	50 (圧縮)	12	8.4	3.0	遮蔽なし	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	55/0.09	24.3	50/3.00後5/3.00で上昇	ケーブル	290	128	150/3後10/3で上昇	ケーブル	試験前屈曲施行
10	50 (圧縮)	12	8.4	3.0	0.1mm厚グラファイト紙3枚バットラップ	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	60/1.58	28.8	50/3.00後5/3.00で上昇	ケーブル	280	124	150/3後10/3で上昇	ケーブル	試験前屈曲施行
11	80 (圧縮)	12	10.7	6.0	遮蔽なし	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	90/0.40	22.4	80/3.00後5/3.00で上昇	ケーブル	470	117	450/3後10/3で上昇	ケーブル	試験前屈曲せず
12	80 (圧縮)	12	10.7	6.0	0.1mm厚金属化成紙(B)1枚オーバーラップ	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	100/1.30	24.9	80/3.00後5/3.00で上昇	ケーブル	600	149	450/3後10/3で上昇	ケーブル	試験前屈曲せず
13	80 (圧縮)	12	10.7	6.0	0.1mm厚グラファイト紙2枚バットラップ	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	95/2.10	23.9	80/3.00後5/3.00で上昇	ケーブル	480	119	450/3後10/3で上昇	ケーブル	試験前屈曲せず
14	80 (圧縮)	12	10.7	6.0	0.15mm厚カーボン紙(B)2枚バットラップ	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	100/0.23	24.9	80/3.00後5/3.00で上昇	補強部	560	139	450/3後10/3で上昇	ケーブル	試験前屈曲せず
15	80	12	11.5	5.8	0.15mm厚カーボン紙(B)2枚バットラップ	30/70重り,バットラップ最内層バットラップ	重質鉱油+ポリソブチレン	105/1.20	26.2	80/3.00後5/3.00で上昇	ケーブル	540	135	450/3後10/3で上昇	ケーブル	試験前屈曲せず

* インパルス波形 1/40 μs, 導体 (-) 極
 ** 金属面の導電と, 絶縁紙との密着を考慮した巻き方
 ***最大電位傾度は, 撚線効果, 遮蔽効果を考慮に入れない



であり平滑の程度を比較して示したものである。

第1表より導体構成および圧縮による導体表面の平滑化は長時間交流破壊強度にはほとんど影響を与えないことが認められる。破壊箇所の解体結果では, 普通導体の

場合は素線による凹凸の頂部, 圧縮導体の場合は圧縮により平滑になつた素線の角の部分から破壊は出発しており, 最内層の絶縁紙のバットスペースを通つている。

第 3 表 各種半導体遮蔽紙の固有抵抗

種 類	カーボン紙 (A)	カーボン紙 (B)	グラファイト紙
固有抵抗 ($\Omega\text{-cm}$, 20°C)	7.5×10^9	6.5×10^5	2.3×10^4
測定条件	3 枚重ね PO Box 使用	2 枚重ね 電極荷重 200g/cm ² D.C.2V, 5分印加	2 枚重ね 電極荷重 200g/cm ² D.C.2V, 5分印加

第 4 表 各種半導体遮蔽紙を浸漬した絶縁油の電気特性

試 料	80°Cにおける誘電正接 (%)	80°Cにおける固有抵抗 ($\times 10^{12} \Omega\text{-cm}$)
重質 鉱油 の み	0.23	5.61
グラファイト紙を浸漬した重質鉱油	0.21	8.70
カーボンブラック紙(B)を浸漬した重質鉱油	0.17	9.03

注：重質鉱油 250 cc 中に半導体紙 5g を浸漬し 140°C × 15 時間 (真空中) 後の油の特性を測定。

(2) 導体遮蔽材料

半導電性の導体遮蔽材料としてカーボンブラック紙 (A), カーボンブラック紙 (B), グラファイト紙および導電性の導体遮蔽材料として絶縁紙にアルミニウム箔を貼付した金属化成紙 (A), 絶縁紙にアルミニウムを真空蒸着した金属化成紙 (B) を用い, 単心ソリッドケーブルを作成して長時間交流 (50 \sim) 破壊強度, インパルス (1/40 μ s) 破壊強度の比較を行なつた。試作ケーブルの構造の詳細と破壊強度の測定値を第 2 表に示す。

使用した半導体紙の固有抵抗は課電電圧, 課電時間とともに減少する傾向をもつが, 代表的な値を第 3 表に示す。またこれらの半導体紙は吸着性⁽¹⁵⁾を持ち, 重質鉱油に浸漬したときには第 4 表に示すように油の電気特性が若干改良される。金属化成紙を用いる場合は金属箔間の導電と絶縁層との密着を考慮してネガテブラップを採用し第 2 図に示すような纏巻方式を採用した。

第 2 表の結果から長時間交流破壊強度に関しては導体遮蔽を用いることにより導体を圧縮するだけでは得られなかつた遮蔽効果が認められるが, 各遮蔽材料の間ではほとんど有意差はない。また遮蔽適用前の導体の圧縮の有無も効果には無関係である。

インパルス破壊強度に関しては金属化成紙の効果が顕著で約 28% の効果が認められるが, 半導体紙の効果はカーボンブラック紙 (B) が約 19%, グラファイト紙はほとんど効果なく, 材料

による差が目立ち, がいして金属化成紙よりは劣る。

38 \sim 200 mm² までの各種のサイズの実際の SL ケーブルの中で特に製造条件の等しいものを集めて, 導体遮蔽の長時間交流破壊強度 (10kV/6 時間あるいは 15kV/6 時間のステップで電圧を上昇) に対する効果を検討した結果を第 5 表に示す。この結果より導体を圧縮しただけの場合には効果は認められずグラファイト紙を普通燃線, 圧縮導体に用いた場合の効果はそれぞれ約 30%, 約 33% カーボンブラック紙 (B) を普通燃線, 圧縮導体に用いた場合にはそれぞれ約 35%, 約 30% の効果が認められる。

破壊は絶縁紙最内層のバットスペースから出発しているものが多い。

第 5 表 実際ケーブルにおける半導体遮蔽紙の効果

導 体 遮 蔽 方 式	長時間交流破壊電圧 (kV)	個 数
普通導体遮蔽なし	80 (10/6)	8
圧縮導体遮蔽なし	80 (10/6)	2
普通導体上にグラファイト紙 (0.1mm厚×3枚) の遮蔽	100 (10/6) 105 (15/6) 110 (10/6)	5 15 1
圧縮導体上にグラファイト紙 (0.1mm厚×3枚) の遮蔽	105 (15/6) 110 (10/6)	5 1
普通導体上にカーボンブラック紙 (0.15mm厚×2枚) の遮蔽	100 (10/6) 105 (15/6) 110 (10/6)	1 2 6
圧縮導体上にカーボンブラック紙 (0.15mm厚×2枚) の遮蔽	100 (10/6) 105 (15/6)	1 4

注：() 内は昇圧法。単位は kV/h
試験はいずれも屈曲施行
いずれも 20 kV, SL ケーブル

第 6 表 導体遮蔽紙の厚さがケーブル破壊強度に及ぼす影響

試 番	導体遮蔽材料とその厚さ (mm)	長時間交流破壊試験結果				インパルス破壊試験結果			
		破壊電圧時間 (kV/h.min)	最大電位傾度 (kV/mm)	昇 圧 法 (kV/h)	破壊箇所	破壊電圧 (kV)	最大電位傾度 (kV/mm)	昇圧法 (kV/Shats)	破壊箇所
1	遮 蔽 せ ず	90/0.40	22.4	80/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	470	117	450/3 後 10/3.00 で上昇	ケーブル
2	0.1mm厚 Al 真空蒸着紙 1 枚オーバーラップ	100/1.30	24.9	80/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	600	149	450/3 後 10/3.00 で上昇	ケーブル
3	0.02mm厚 Al 真空蒸着紙 3 枚ネガテブラップ	115/1.30	28.6	80/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	580	144	450/3 後 10/3.00 で上昇	ケーブル
4	0.15mm厚カーボンブラック紙 (B) 2 枚バットラップ	100/0.23	24.9	80/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	560	139	450/3 後 10/3.00 で上昇	ケーブル

注：(1) 金属化成紙のまき方は第 2 図に準ずる
(2) 導体は 80mm² 圧縮導体, 外径 10.7mm である
(3) 絶縁厚は 6.0mm でバットラップである
(4) 使用絶縁油は重質鉱油とポリイソブチレンの混和物である
(5) 試験前には屈曲しない
(6) 0.02mm 厚 Al 真空蒸着紙の場合には座床としてカーボン紙使用
(7) インパルス波形 1/40 μ s, 導体 (-) 極
(8) 最大電位傾度は燃線効果, 遮蔽効果を考慮しない

第7表 導体遮蔽紙枚数とケーブル破壊強度

試番	導体遮蔽枚数	長時間交流破壊試験結果				インパルス破壊試験結果			
		破壊電圧時間 (kV/h.min)	最大電位傾度 (kV/mm)	昇圧法 (kV/h)	破壊箇所	破壊電圧 (kV)	最大電位傾度 (kV/mm)	昇圧法 (kV/ Shots)	破壊箇所
1	なし	55/0.09	24.3	50/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	290	128	150/3 後 10/3で上昇	ケーブル
2	1	55/2.11	24.3	50/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	290	128	150/3 後 10/3で上昇	ケーブル
3	2	65/0.25	28.8	50/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	290	128	150/3 後 10/3で上昇	ケーブル
4	3	60/1.58	26.6	50/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	280	124	150/3 後 10/3で上昇	ケーブル
5	4	60/1.55	26.6	50/3.00 後 5/3.00で上昇	ケーブル	280	124	150/3 後 10/3で上昇	ケーブル

注：(1) 導体は 50 mm² 圧縮導体，外径 84mm である
 (2) 絶縁厚は 3.0mm でバットラップである
 (3) 導体遮蔽紙はグラファイト紙 (0.1mm 厚) でバットラップである
 (4) 使用絶縁油は，重質鉱油とポリイソブチレンの混和物である
 (5) 試験前に屈曲施行
 (6) インパルス波形，1/40 μs，導体 (-) 極
 (7) 最大電位傾度は撚線効果，遮蔽効果を考慮に入れない

(3) 導体遮蔽紙の厚さの影響

導体遮蔽紙の厚さが遮蔽効果に与える影響を検討するために 0.02 mm, 0.1 mm の厚さのケーブル絶縁紙にアルミニウムを真空蒸着した導体遮蔽紙を作成し，これを 80 mm² 圧縮導体に第 2 図の方法でそれぞれ 3 枚，1 枚をまき，6 mm 厚の絶縁層を設けた単心ソリッドケーブルを作成し長時間交流 (50 \sim) 破壊強度 (5 kV/3 時間のステップで電圧を上昇)，インパルス破壊強度 (1/40 μs, 10 kV/3 Shots のステップで電圧を上昇) を測定した。

試作ケーブルの詳細と試験結果を，遮蔽を用いないものおよびカーボンブラック紙 (B) を用いたものと比較して第 6 表に示す。

長時間交流破壊強度は 0.02 mm 厚の薄いアルミニウム蒸着紙の場合の効果が著しく約 28% であり，0.1 mm 厚のアルミニウム蒸着紙の場合は約 11% の効果で同程度の厚さのカーボンブラック紙とほぼ等しい。

インパルス破壊強度に対する効果は 0.02 mm 厚のものとはほとんど差がなくそれぞれ 23%，28% である。

(4) 導体遮蔽紙の枚数の影響

通常導体の上に数枚の遮蔽紙を用いても多少の撚線の凹凸は残る。このため 50 mm² の圧縮導体に 0.1 mm 厚のグラファイト紙を 1, 2, 3, 4 枚用いて 3 mm 厚の絶縁をほどこした単心ソリッドケーブルを作成し，長時間交流 (50 \sim) 破壊強度とインパルス (1/40 μs) 破壊強度を測定し遮蔽紙の枚数の検討を行なった。この結果を遮蔽紙を用いない場合と比較して第 7 表に示す。

この結果よりグラファイト紙が 2 枚以上の場合には効果には有意差は認められないが，1 枚の場合にはほとんど効果が認められないのはバットラップであるため，遮

蔽のバットスペース部分の絶縁紙が直接導体に対するためであろう。

また第 2 表の試番 8, 12 を比較すると金属化成紙の場合でも 1 枚 (オーバーラップ) と 3 枚 (ネガテブラップ) との間には効果に差がないことが認められる。

(5) ラップの影響

導体遮蔽紙のラップおよび絶縁紙最内層のラップにより導体遮蔽上の油膜形状が変化するものと考えられる。第 2 表 試番 1 \sim 6 は導体遮蔽および最内層の絶縁紙ともオーバーラップにしたものであり，試番 7 \sim 11, 13 \sim 15 はバットラップあるいはネガテブラップのものであり，試番 12 は金属化成紙をオーバーラップ，絶縁紙をバットラップにしたものである。これらの結果から破壊強度にはこれらのラップの影響はほとんど認められないことがわかる。

[IV] ソリッドケーブルにおける導体遮蔽の検討

ソリッドケーブルの長時間交流破壊には絶縁層の局所的な発熱が大きく影響する⁽¹⁶⁾と考えられているが，導体表面の現象である導体遮蔽により明確な効果が認められることは興味深い。

種々の構成の圧縮導体において長時間交流破壊強度が普通撚線の場合に比較して改良されないことは注目しなければならない。

電解液槽法⁽¹⁷⁾によつて電位傾度の解析を行なうと圧縮導体の場合には，最大電位傾度は圧縮され平滑になつた素線の端の角の部分に移行し，撚線効果は数パーセント改良されるにすぎないことがわかるが，これ以外に圧縮導体では遮蔽体を用いたときと同じような絶縁層との密着が得られないことが影響しているか否かは疑問であり今後の検討にまちたい。

導電性の金属化成紙と半導電性のカーボンブラック紙およびグラファイト紙とが長時間交流破壊強度に及ぼす効果は厚さが同程度のときにはほぼ等しく，P. G. Priaroggia, W.A. Del Mar, F.W. Greenfield 氏らにより示唆されている半導体紙の吸着あるいは電子の放出抑制などの材料的な効果は認められない。半導体紙の場合は金属化成紙の場合と比較して油膜の条件は若干不利と考えられるので材料の特性がマスクされることも想像できるが少なくともソリッドケーブルの場合はこのような効果は支配的でないといえる。

金属化成紙の厚さが薄い場合に長時間交流破壊強度が

向上するのは油膜の厚さが遮蔽紙厚に相当して減少するためであると考えられる。この種の破壊は油膜から出発し⁽¹⁶⁾油膜厚は薄いほど破壊強度が高い⁽¹⁾⁽³⁾。遮蔽紙厚により明確に遮蔽効果に差が現われるのは興味ある事実で長時間交流破壊における油膜の重要性を示しており、H. Thevénon 氏⁽¹⁸⁾、L. Domenach 氏⁽¹⁹⁾により最近提示されている半導電性の粘着剤を用いて導体遮蔽上に油膜のできないように考慮した遮蔽方式は一考に値する。

インパルス破壊強度において金属化成紙の効果が顕著であり、半導体遮蔽紙の場合には材料によつて効果に差があり概して劣るのは、インパルスのように早い現象の場合には導電性としての役割が不完全になることによると推定される。材料によつて差が認められるのは、早い現象の場合の固有抵抗に差があるためであると思われるが、詳細は今後の検討にまたなければならない。インパルス破壊においてカーボンブラック紙の効果が少ないことは P. G. Priaroggia 氏⁽³⁾、L. Meyerhoff 氏⁽²⁰⁾も報告している。

一般に金属化成紙は半導体紙に比較して加工上の不規則点が発生しやすく、超高圧ケーブルの導体遮蔽には材料的な検討が必要である。

インパルス破壊強度には破壊が油膜から出発しているにもかかわらず遮蔽体の厚さの効果がないのはインパルス破壊が油膜の強度にあまり依存せず⁽²¹⁾、絶縁紙のバリアー作用に依存する⁽¹⁾⁽³⁾ことによるものと思われる。遮蔽体の枚数は0.1 mm厚程度のものであれば導体面が直接絶縁層に対する部分がないように巻いてあるときには十分な効果が得られ、肉眼で認められる若干の凹凸の影響はほとんどない。また巻き方による油膜の形状による差もほとんどなく、むしろこれらの点は屈曲に対する考慮をしなければならない。

〔V〕 結 言

以上ソリッドケーブルに各種の導体遮蔽を条件をかえてほどこし長時間交流破壊強度とインパルス破壊強度の測定を行ない、この結果より遮蔽機構に対する検討を加えたが、得られた結果を要約すると

- (1) ソリッドケーブルにおいても導体遮蔽の効果は長時間交流破壊、インパルス破壊両方に明確に認められる。
- (2) 導体を圧縮しただけの処理ではまったく破壊強度を増加させない。
- (3) 長時間交流破壊においては導体遮蔽材料による差は認められず、カーボンブラックの特殊な材料的効果も認められない。また数多い実際の S L ケーブルの長時間交流破壊試験の結果によつても半導体紙

の効果が確認された。

- (4) インパルス破壊においては金属化成紙の効果が顕著で半導体紙の効果はこれに劣り、ことにグラフィイト紙の効果はあまり認められない。
- (5) 遮蔽体の紙は長時間交流破壊強度に大きな影響を与え、薄い場合ほど効果が大きい。インパルス破壊強度には影響が認められない。
- (6) 遮蔽体枚数は0.1 mm程度のものときには2枚以上あれば十分で、1枚の場合バットあるいはネガテブラップの部分があると破壊強度は遮蔽を用いないときの値まで低下する。
- (7) 遮蔽体および最内層絶縁紙のラップは破壊強度に影響を与えない。

最後に本研究に終始御指導いただいた東北大学鳥山教授、アルミニウム真空蒸着に御協力いただいた日立製作所戸塚工場山辺氏、終始御鞭撻いただいた日立電線株式会社内藤、山野井両部長、久本副部長、水上課長に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) L. Domenach: CIGRE No. 217 (1954)
- (2) H. Brauns: CIGRE No. 206 (1954)
- (3) P.G. Priaroggia, G. Palandri: Power Apparatus and Systems No. 22, 1343 (1956)
- (4) C.T.W. Sutton: CIGRE No. 204 (1956)
- (5) P.R. Howard, D.N. Browning: J I E E, I, (New Series) 653 (1955)
- (6) L.I. Komives: Trans. AIEE, 60, 929 (1941)
- (7) H. Halperin: Power Apparatus and Systems No. 24, 348 (1956)
- (8) 清水: 住友電気彙報 11号, 31 (昭 11) (Levi Civita の原文引用あり)
- (9) 細川, 中野, 井上, 桐ヶ谷: 電四学連大会予稿 No. 500 (昭 32)
- (10) K.S. Wyatt: Power Apparatus and Systems No. 22, 1361 (1956) (Discussion)
- (11) F.W. Greenfield: Trans. AIEE, 60, 1342 (1941) (Discussion)
- (12) W.A. Del Mar: Power Apparatus and Systems No. 22, 1361 (1956) (Discussion)
- (13) L.G. Brazier, D.T. Hollingsworth, A.L. Williams: PIEE, 100, Pt. II, 641 (1953)
- (14) H.D. Short: CIGRE No. 209 (1956)
- (15) 便覧カーボンブラック カーボンブラック懇和会 (昭 25)
- (16) B. Hansson: ASEA 3 (June 1946)
- (17) D. Mc Donald: PIEE, 100, Pt. II, 145 (1953)
- (18) H. Thevénon: 特許公報 (昭 31-10890)
- (19) L. Domenach: 特許公報 (昭 32-1883)
- (20) L. Meyerhoff: Power Apparatus and Systems No. 22, 1359 (1956) (Discussion)
- (21) R.W. Atkinson: Power Apparatus and Systems No. 22, 13, 1359 (1956) (Discussion)