薄肉ポリエチレン絶緣市内星ケーブルの製造に関する考察

Some Investigations on the Manufacturing of Exchange Area Cable Insulated with Thin Polyethylene Covering

田 長 生* Osao Kamada

Toshio Suzuki

Fumio Horiguchi

通信ケーブルの細線化のすう勢に対応して、薄肉ポリエチレン絶縁市内星ケーブルの製造条件およびケーブ ルの性能を検討した。このケーブルのポリエチレンの絶縁厚さは非常に薄いため、機械的熱的強度の点で問題 があったが、比較検討の結果、高密度ポリエチレンを採用することにより所期の性能を保持できる見とおしが 得られた。

ケーブルの伝送特性は、従来の紙ケーブルに比較してすべての面ですぐれており、薄肉プラスチック通信ケ ーブルの実用化の可能性が確認された。

言 1. 緒

最近における電話需要の急激な増加は, 既設管路への収容回線能 力の増加を要求することとなり,必然的にケーブルの細心化の方向 を決定している。しかも,通信ケーブルのプラスチック化も現在急 速に進捗している状況にあるので、この両者が相まってプラスチッ ク絶縁細心ケーブル実用化研究の一環をなして現在研究が進められ ている。筆者らはこの目的に沿って一連の調査研究を行っている が、その一環としてポリエチレン絶縁市内星ケーブルの細心化の可 能性を検討してみた。

ポリエチレンを細心導体上にきわめて薄く被覆することは困難で あったが、押出技術の改良によりこの点は解決されたものの、次の 段階としてポリエチレン絶縁体を薄くすることによる機械的強度の 低下を改善することが非常に重要な要因となり、従来の低密度ポリ エチレンに対して各種の高密度ポリエチレンを比較検討した結果, 通信ケーブル用としての目的に適合するタイプのものをうることが できた。

以上のように絶縁材料およびコア製造上の問題点を解決しての ち, 0.4mm 100対 ポリエチレン絶縁 ポリエチレンシース市内星ケ ーブル(以下 PE-P ケーブルと略称する)の試作を行い、性能検討の 結果, 0.4 mm 導体の薄肉ポリエチレン絶縁市内星ケーブルの実用 化の可能性を確認することができたので、その概要について報告す る。

2. 薄肉ポリエチレンコアの性能

従来もっぱら使用されてきた低密度ポリエチレンはそのすぐれた 誘電特性のゆえに、プラスチック通信ケーブル絶縁材料のほとんど を占めているが、 ただ機械的強度と熱的性能の面において若干の欠 点が指摘され、ケーブルの細心化を目的としたとき、絶縁厚さおよ び導体サイズの縮小によってたとえば耐摩耗性、圧縮変形などの機 械的強度の低下が、ケーブル製造上あるいは使用途上において問題 となってくる可能性が考えられる。

さらにまた, これらの細心ケーブルコアの製造技術上の諸問題に ついても十分な解明がなされなければならないが、特に極薄肉ポリ エチレン押出法の確立が根本となるであろう。

これらの観点から筆者らはまず細心化の目的に適合する絶縁材料 の究明をはかった。

2.1 試料製造条件

高密度ポリエチレンのここ数年における進歩は著しく, 現在のと

第1表 試料ポリエチレンの種類

式 料	ポリエチレンの種類	メルトインデックス	
A	低密度ポリエチレン	1.45	
В		11.12	
С	高密度ポリエチレン	0.30	
D		0.28	

第2表 試作コアの構造

導 体 サ イ ズ (mm)	絶 縁厚さ (mm)	仕上外径 (mm)
	0.13	0.66
0.4	0.10	0.60
	0.08	0.56

第3表 試作コア被覆の引張り強度

試 料	絶 縁 厚 さ (mm)	抗 張 力 (kg/mm²)	伸 (%)	
	0.13	2.49	580	
A	0.10	2.19	520	
	0.08	2.42	480	
В	0.13	3.28	950	
	0.10	0.10 3.00		
С	0.13	3.26	740	
	0.10	3.60	740	
	0.08	3.46	680	
	0.13	3.94	660	
D	0.10	3.67	620	

ころ性能のあらゆる面で完全ではないにしても、従来のポリエチレ ンの機械的強度, 耐熱強度の面での欠陥を補うことが期待され, 事 実,電線,ケーブルの分野でもある面では漸次応用面が拡大されよ うとしている⁽¹⁾⁽²⁾。

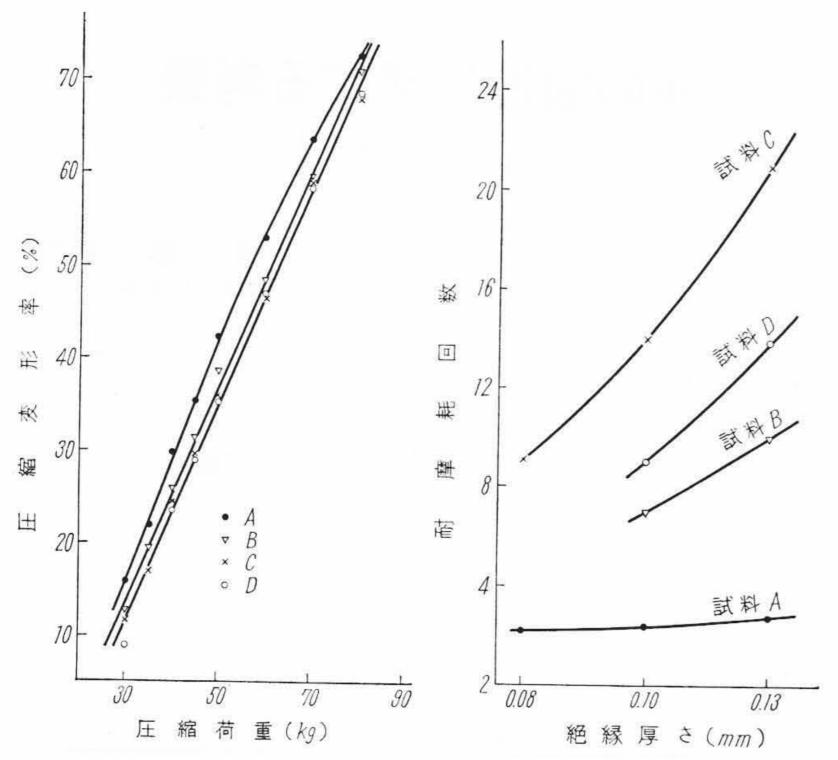
したがって高密度ポリエチレンによって、上述の細心化によって 起ると予想される欠点をカバーできるものと考え,第1表に示す各 種の重合法にもとづくポリエチレンを用いて,第2表に示すコア試 料を作製してそれらの性能比較を行った。なお、高密度と低密度ポ リエチレンの一般的性能の比較については既報(3)されているので省 略する。

2.2 機械的強度

2.2.1 引張強度

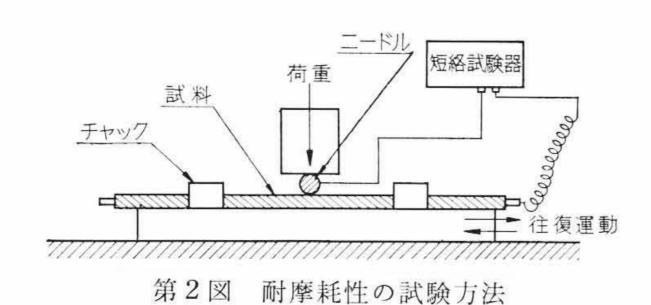
第3表に絶縁体の引張強度を示す。絶縁厚さが 0.08mm のよう

^{*} 日立電線株式会社電線工場



第1図 常温圧縮強度試験結果

第3図 耐摩耗性の実測結果



に薄くなっても十分な性能をいずれも保持しており, 高密度ポリエチレンの抗張力は非常に大きい。

2.2.2 常温圧縮強度

2枚の平行平板の間に線心試料をはさみ、常温で荷重を加えたときのコア外径の変化を百分率で表わし第1図に示した。この場合の絶縁厚さはいずれも0.1mmであるが、非常に大きい力に耐え、高密度ポリエチレンは加圧変形率が小さい。80kg 荷重下においても導体の露出はない。このことから、常温においては絶縁厚さが非常に小さくなっても、静的圧縮に対してはいずれのタイプのポリエチレンも耐えることが明らかである。

2.2.3 耐摩耗性

耐摩耗性の測定は第2図に示すような試験器で行い,試料表面に350gの荷重を加えたニードルを押しつけて試料を往復運動させ,試料絶縁体が摩耗,短絡するまでの往復回数の平均値で耐摩耗性を測定した。

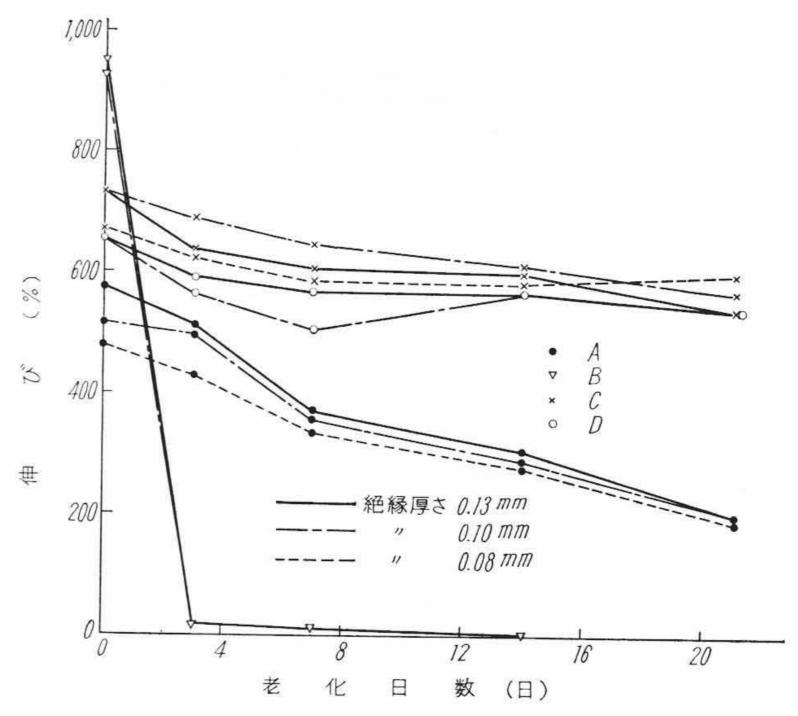
この結果を第3図に示す。すなわち低密度ポリエチレン絶縁体の摩耗抵抗に比較して高密度ポリエチレンのそれは非常に高い値を示す。特にメルトインデックスの小さい試料Cは低密度ポリエチレンの約10倍程度の抵抗性を示すことが明らかである。

2.3 熱的性能

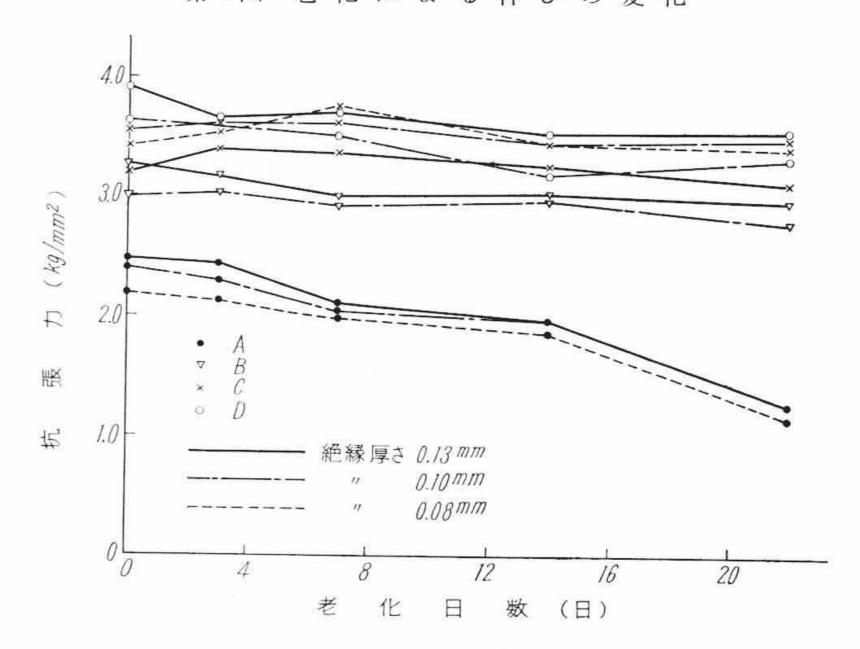
2.3.1 耐老化特性

これらのコア試料を100°Cで長時間熱老化させて機械的強度の低下を比較した結果を第4図および第5図に示す。ここであげたように極度に絶縁厚さの薄い場合には低密度ポリエチレンの加熱劣化は絶縁厚さの大きいものよりややはげしい。

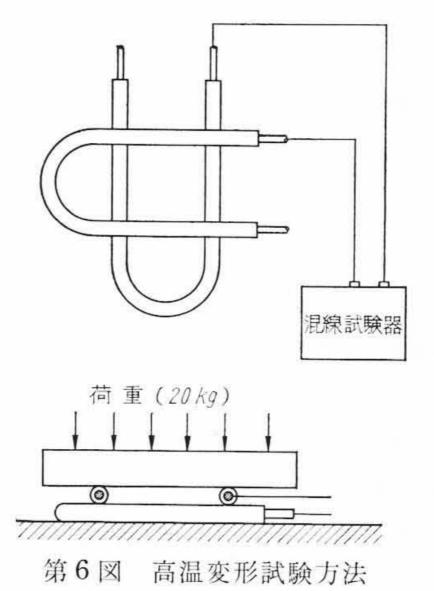
また高密度ポリエチレンにおいても分子量の低い(いいかえればメルトインデックスの高い)ものは劣化が著しく使用に耐えない。このことは後述するように熱ストレスクラッキングにおいても明らかである。これに対し、分子量の高い高密度ポリエチレン



第4図 老化による伸びの変化



第5図 老化による抗張力の変化



はきわめて安定な性能を示す ことがわかった。

なお、老化性能はこの範囲 では絶縁厚さによって大きな 影響は受けないもののように 思われる。

2.3.2 高温変形

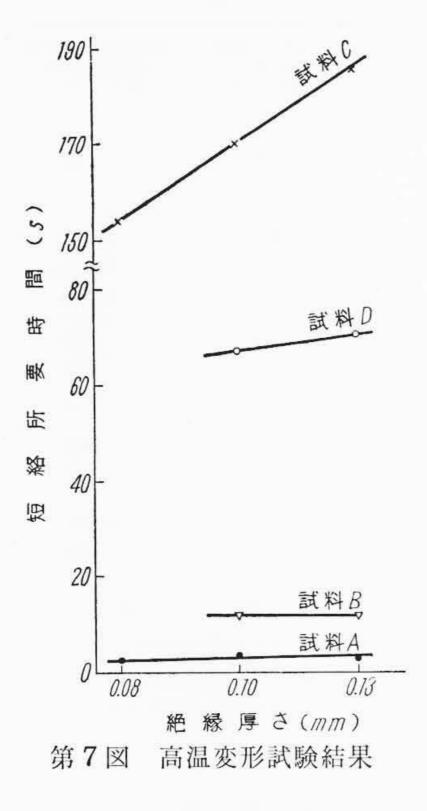
第6図に示すように, U字 形試料を4点接触させて平行 平板間にはさみ,120℃におい て20kgの荷重を加えて, 導 体間短絡をするまでの時間を 求めた。第7図はその結果を 示したものであるが, 高分子

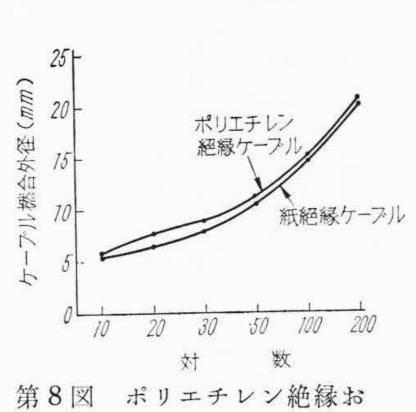
量の高密度ポリエチレンは低密度ポリエチレンに比較して著しく 耐熱性がすぐれている。特に試料 C は非常に良い特性を示してい る。

2.4 電気的特性

各試料とも絶縁抵抗は $100 \, \mathrm{kM}\Omega/\mathrm{km}$ 以上の高抵抗を示したので 省略し,第4表に誘電特性と破壊電圧を示す。高密度ポリエチレン の誘電特性は低密度ポリエチレンに比較してほとんど劣らないので 通信ケーブル用としての用途に対して十分である。

水中破壊電圧は絶縁厚さが非常に小さいのにかかわらず高い値を





よび紙絶縁市内星ケーブル

の対数とより合せ外径

第4表 試作コアの誘電特性と破壊電圧

測定項目	絶 縁 厚	素材誘	心線破壊電圧		
試料	(mm)	誘 電 率	誘電正接	(V)	
	0.13			8,230	
A	0.10	0.10 2.30 2~3×	2~3×10 ⁻⁴	5,900	
	0.08			5,400	
В	0.13			11,700	
	0.10	2.33	3~5×10⁻⁴	7,400	
	0.13			11,100	
C	0.10	2.33	3~5×10⁻⁴	10,900	
	0.08			4,950	
	0.13	0.04		9,580	
D	0.10	2.34	4~5×10−4	9,230	

保持し、高密度ポリエチレンは低密度ポリエチレンより一般に破壊 電圧が高い模様である。

なお,絶縁抵抗の長期高温浸水後の変化については一般に低密度 ポリエチレンのほうがすぐれていると考えられ,この点については 次の機会に報告したいと考える。

2.5 熱応力きれつに対する強度の比較(4)

各試料線を線径の1,2,3倍の直径の丸棒に20回巻付けたものを5 個あて作り、これを 80° Cの温水中に浸しきれつが発生し始めるまでの時間を求めたのでこれを $\mathbf{第5}$ 表に示す。

一般に通信ケーブルでは使用中の通電による温度上昇ということがほとんどないので、耐熱応力きれつ性も電力ケーブルにおけるほど高度の要求はない。しかしここで行った程度の試験期間内できれつを発生するようなものは適当ではない。

この特性は結晶化度や分子量によっても影響される。ここで使用した試料Cの高密度ポリエチレンは種々の試験の結果,加工条件を適正におさえれば薄肉ポリエチレンケーブルの絶縁体として十分の適応性をもっていることが明らかとなった。

しかしながら現段階における一般的な比較では、機械的強度、耐熱性については高密度ポリエチレンが著しくすぐれている反面、重合法の性格上触媒の残留がときとしてみられるものがあり、そのため導体上のさびの発生、長期高温浸水による絶縁抵抗劣化などの恐れのあるものがあり、材料の選択には十分の注意が必要であるとともに、高密度ポリエチレンの今後の技術改善に期待するところも大きい。

第5表 熱応力きれつ試験結果

(単位: h)

Nv 4=	絶縁厚さ	巻	付 倍	数
試 料	(mm)	1	2	3
	0.13	1,500<	1,500<	1,500<
A	0.10	1,500<	1,500<	1,500<
	0.08	1,500<	1,500<	1,500<
В	0.13	140	195	200
	0.10	200	180	195
	0.13	1,500<	1,500<	1,500<
C	0.10	1,500<	1,500<	1,500<
	0.08	1,500<	1,500<	1,500<
ъ	0.13	1,150	1,500<	1,500<
D	0.10	1,400	1,300	1,300

第6表 ダイス絞り方法と静電結合

S-S結合 (PF/l) ディス 絞り方法	最	大	値	最	小	値	平	均 値
A		80			5			42.3
В		45			0			18.7
С		95			0			37.5

3. 薄肉ポリエチレン絶縁ケーブル製造上の問題

以上の検討結果から,高密度ポリエチレンのあるタイプのものは, 細心通信ケーブルコアの絶縁体として適切な性能をそなえているこ とが明らかとなったので, 試料 C のものについて 0.4 mm 100対 PE-P 市内星ケーブルの試作を行い, 製造上の問題点および特性を 検討した。

試作ケーブルは高密度ポリエチレンの薄肉絶縁であることを除いては、一般ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブルと同一構造であり、製造設備も従来のものをそのまま使用して試作を行った。今回の試作によって得た製造上および構造上の問題点を要約して以下に述べる。

3.1 薄肉被覆押出

プラスチックケーブルの細心多対化をはかる場合,最も問題となるのは薄肉被覆の製法である。薄肉被覆を製造する方法は現在国内,国外で盛んに研究され,従来の押出法のほかに,テープ溶着法,溶液塗装法その他各種の方法が開発されつつある。

本研究はこれらの研究の一環として行ったもので,押出法による 薄肉被覆の限界,薄肉被覆に適したポリエチレンの選択,およびそ の機械的,電気的特性の調査が目的であり,その結果の数例を前章 に述べた。

3.2 ケーブルより合せ

ポリエチレン絶縁ケーブルのより合せは紙絶縁の場合と異なり、より合せの際に十分な絞りと成型力をあたえることが不可能である。これは紙絶縁のようにすきまをもたせたテーピング絶縁方式とポリエチレン充実絶縁方式との絶縁構造の相違よりすれば当然のことであるが、このことがカッドより、ケーブルより合せの工程を通じて、片よれ、カッドくずれ、あるいは配列不良を起しやすい原因となっている。

このうちのカッドよりについて、ダイス絞り方法と静電結合特性 (カッドくずれに最も関係がある)との関係を調査した結果は、 第6表に示すとおりである。

この結果よりみて明らかなように、ポリエチレン絶縁カッドのダイス絞り方式が静電結合に大きく影響しているので、ダイス絞りの方式は製造上特に検討を要する問題である。

このほか,薄肉被覆ポリエチレンコアのより合せの際におこる,こすれ,圧着による絶縁耐圧の低下については,一般のプラスチック

第7表 0.4 mm 100対ポリエチレン絶縁および 紙絶縁市内星ケーブルの構造比較

The Court of	塚川19年 / パの併足1	L +X
ケーブル種類 構造	PE-P 市内星ケーブル	紙絶縁市内星ケーブル
コア心線絶縁	0.13mm厚高密度ポリエチレン	0.035mm厚クラフト絶縁紙1枚
コア心線外径(mm)	0.66	0.83
カッド外径(mm)	1.63	1.63
より合せ構成	$4\times10\times16\times21$	$3\times9\times16\times23$
より合せ上絶縁	0.25mm厚ビニル引綿テープ1枚	0.065mm厚クラフト約縁紙2枚
より合せ外径(mm)	12.5	12.0
シース構造	2.0mm厚塩化ビニル	1.2mm厚鉛被
仕上外径(mm)	16.4	14.4

ケーブルと異なった考慮が必要である。このようなこすれおよび圧着と絶縁耐圧の関係については現在なお実験継続中であるが、アメリカの例にみられるような高速度高能率のカッドより合せ機では、ポリエチレンとガイドおよびダイス間の摩擦と発熱が問題になるといわれている。

結局,薄肉ポリエチレンケーブル製造の条件として,ポリエチレンとの摩擦係数の小さく耐摩耗性にとみ,しかも熱放散性の良いダイス,ガイド材料の選択が必要となってくる。

3.3 ケーブル外径

試作ケーブルの外径を同一対数の紙絶縁市内星ケーブルと比較すると第7表のとおりである。すなわちケーブル外径の増加は PE-Pケーブルのシース厚の差にもとずくのみである。またケーブル対数と外径の関係を導体径 0.5 mm の場合で比較すると第8図のようであり、対数の増加に従って両者の外径の差は縮小される。このことは従来プラスチックケーブル多対化の大きな障害とされてきた外径増加の問題の解決に道が開かれたものと考えられる。

このほか,紙絶縁よりプラスチックへの移行にともなって接続工事を簡便にすることが必要とされており,対番号を簡単に識別できること,分岐接続部において容易に心線の摘み出しができることが要求されている。

対番号の識別は絶縁体の多色組合せにより、また心線の摘み出し はユニット形構成の採用が研究されているが、この点の検討は本報 では行わない。

4. 0.4 m 100対 PE-P 市内星ケーブルの電気的特性

4.1 商用試験結果

試作した 0.4 mm 100対 PE-P ケーブルの一般的な電気的特性を 第8表に示す。比較のために従来からの紙絶縁市内星ケーブルの値 を併記してある。

試験の結果は各項目とも、十分現行の市内星ケーブル規格(電々公社仕376号3版および特仕3176号)に合格する。すなわち静電容量は標準値に近く、ポリエチレン絶縁体厚さの妥当であることがわかる。また静電結合は紙絶縁ケーブルの数分の一の値でありきわめて良好な性能を示している。

4.2 伝送特性測定結果

PE-P 市内星ケーブルおよび紙絶縁市内星ケーブルの伝送特性測 定結果を**第9表**および**第9**図に示す。

周波数 3 kc における遠端漏話減衰量はカッド間においても最悪 85 dB/500 m 以上であり、PE-P ケーブルは紙絶縁ケーブルよりもはるかにすぐれていることがわかる。PE-P ケーブルの誘電正接は30kc まで10⁻³ 程度であり、紙絶縁ケーブルの誘電正接に比較して一けた程度良好である。しかしケーブルより合せ上の上巻テープとして、綿テープを使用しているので、最外層の回線の誘電正接は紙絶縁の場合と同程度になり吸湿性材料を使用することが好ましくないことを明らかにしている。したがって理想的には上巻テープも非吸湿性材料を使用しなければならないが、これは市内ケーブルとして

第8表 商 用 試 験 成 績

項		目		規 格 値*	0.4mm 100対 PE-P 市内星ケーブル	0.4mm 100対 紙絶縁市内 星ケーブル
	抵抗 km20°C)	最最平	大小均	2(5)	180	50
導体 (Ω/k1	抵抗 m20℃)	最最平	大小均	147.5	135.5 135.2 135.3	135.6 134.8 135.2
	容量 (/km)	最最平	大小均	55以下	54.8 48.5 50.2	54.2 48.3 51.2
静電結合	Q内 S-S	最平	大均	1600(600) 300以下(100以下)	56 18	560 130
合 (PF/ 500m)	Q内 P-S	最平	大均		430 102	2,050 532
絶	縁 耐	J.	J	D.C. 500V min (D.C.1000V min)	合 格	合 格
断	混	紡	ł		なし	なし

^{*} 電々公社仕様書 仕376号3版 ただし()内は電々公社仕様書 特仕3176号

第9表 遠 端 漏 話 減 衰 量

(dB/500m, 3kc)

項	目	0.4mm 100対 PE-P市内星ケーブル	0.4mm 100対 紙絶縁市内星ケーブル
Q内 S-S		135.0	124.0 92.5
	平		103.5
	最 .	140以上	140以上
Q間 S-S	最	85.4	78.1
	平	121.5	116.8

音声周波帯のみを対象とする限り大した問題でなくケーブル価格と 対比して考慮すべきことがらであろう。

4.3 絶縁特性

PE-P ケーブルの絶縁体はポリエチレンであるから、耐湿耐水性の点ではきわめてすぐれており、紙絶縁ケーブルのように外被損傷時にただちに絶縁障害を起すことはない。

次に PE-P ケーブルと紙絶縁ケーブルの商用周波数における絶縁 破壊電圧の測定結果を 第10表 に示す。

すなわち PE-P ケーブルの絶縁耐力は紙絶縁ケーブルの20倍以上のきわめて高い値を示し、安定した絶縁特性を保持することが明らかである。

以上のことから市内ケーブルにおけるプラスチック材料の採用は、伝送特性、漏話などの特性向上とともに絶縁特性の安定化にきわめて効果が大きい。

5. **PE-P** ケーブルの接続工法

新しいケーブルの実用化にあたってまず接続工法が解決されなければならない。PE-P ケーブルの接続工法には全テーピング方式または補助鉛管式が考案実用化されているが、将来はストランタームなどからさらに発展した機械的接続法に移行する傾向にある。

補助鉛管式接続法はアメリカにおいてスタルペスケーブルの接続 法として開発されたもので、解体再使用の可能な点で有利である が、火気を使用しなければならない点、および鉛工技術を要するな どの欠点がある。

全テーピング式接続法は自己融着テープなどの絶縁材料の進歩により発達したものであり、接続作業に熟練を必要としない点および火気を使用しない点などで機械的接続法に近づく一段階にあると考えられるが、解体再接続のとき材料費の高価なこと、およびテープのずれの懸念などの欠点をまぬがれない。

第10表 維 縁 破 壊 電 圧

(A.C.50 c/s V 実効値)

項	目		0.4mm 100対 PE-P市内星ケーブル	0.4mm 100対 紙絶縁市内星ケーブル
日形よっぱの	最	大		2,000
星形カッドの	最	小	50,000以上	1,600
対角心線間	平	均		1,780
	最	大		1,500
星形カッドの	最	小	50,000以上	1,050
隣接心線間	平	均		1,210
S 400 LT.	最	大		1,100
心線一括	最	小		950
シース間	平	均		10,20
当 心 コ フ	最	大	16,000	
単心コア	最	小	10,500	
水 中	平	均	13,600	

筆者らは従来からプラスチックケーブルの接続法について検討を進めていたが、将来の機械的接続法に移行する前の段階としては火気を使用しないテーピング式接続法の改善が本質的であると考え、PE-P ケーブルのシース接続法として次のような改良したテーピング式接続法を考案した(5)。

すなわち 第10 図 に示すように、ケーブル心線接続部上に中央部が硬質、両端部が軟質のプラスチックスリーブをかぶせ、スリーブの両端部に切割りを入れてケーブル外径になじませる。ケーブルシースとスリーブとの間には突起付金属テープを介在させ、ケーブルシースから硬質スリーブにかけて自己融着テープ、粘着アルミテープおよび粘着ビニルテープを巻き、巻止塗料を塗布する。

中央部に硬質スリーブを使用するのはスリーブ上全長にわたって テープ巻をすることなく、端末部のみテープ巻することにより再接 続時の材料節減をはかり、テープ巻の圧力によりスリーブが変形し て接続部の水密性をそこなうことを防ぐと同時に、外圧などに対す る接続部の機械的強度を増すためである。

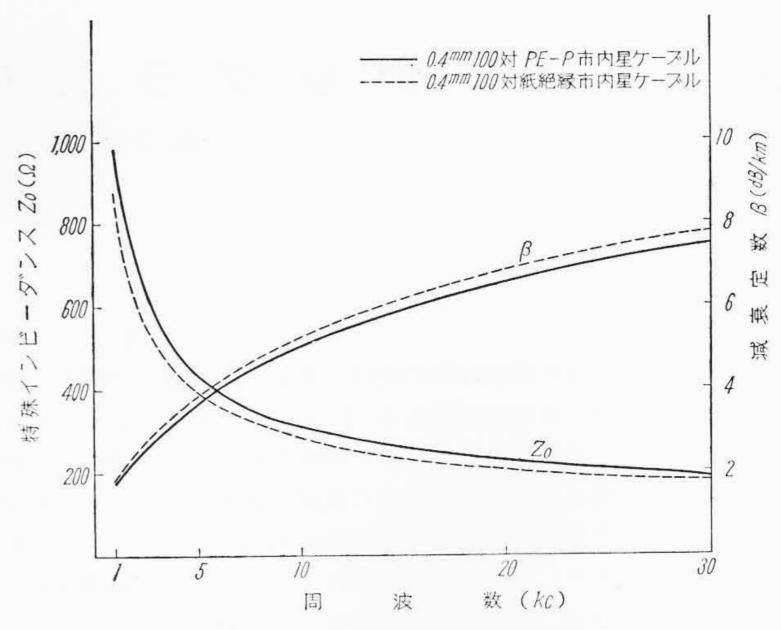
またスリーブとシースの間に突起付金属テープを介在させる理由は、テープの両面にでている多数の突起が、シースおよびスリーブに食い込んで、スリーブとシースが突起付金属テープを介して確実に一体となり、ケーブル接続部に屈曲、引張などの外力が加わってもテープ巻部分が動いて水密性をそこなうのを防ぐためである。実際にテープ巻によるシース接続部の引張強さを測定した結果は、突起付金属テープを介在させた場合には100kg、無処理の場合には30~50kgの値が得られており、その効果は非常に大きい。

したがって突起付金属テープを使用することにより、接続部に屈曲、引張りなどの外力が加わったときもテープ巻部分がずれて水密性をそこなうことがなく、きわめて安定した性能の接続部をうることができる。

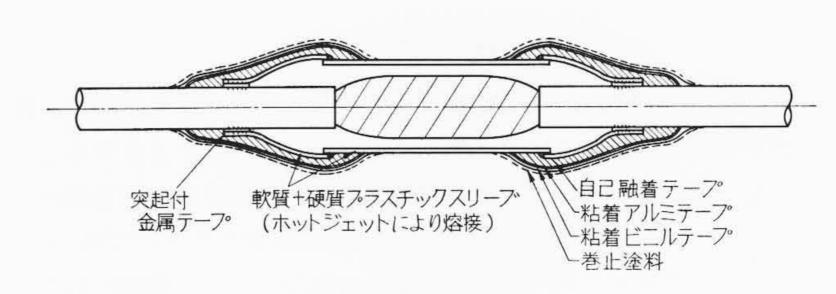
6. 結 言

以上, 薄肉ポリエチレン絶縁市内星ケーブルの実用化について, 押出, 材質, 性能ならびに製造上の諸問題を検討して一応の見通しが得られた。これを要約すると次のとおりである。

- (1) ポリエチレン絶縁体の厚さを薄くすることによる機械的強度の低下は、従来の低密度ポリエチレンに代って高密度ポリエチレンの使用により解決できる。
- (2) 高密度ポリエチレンのスクリュー押出による薄肉被覆は製造法の改良により 0.08mm の絶縁厚さまで製造可能の見通しを得た。
- (3) 薄肉高密度ポリエチレン被覆は機械的強度だけでなく、特に耐熱特性においても低密度ポリエチレンより格段にすぐれており、通信ケーブル用として適応性が十分にある。



第9図 伝送定数周波数特性



第 10 図 ポリエチレン絶縁ポリエチレンシース 市内星ケーブル

- (4) ケーブル製造上特に従来の紙絶縁ケーブルと根本的に変更を必要とする点はないが、カッドよりにおけるダイス絞りの改良はケーブルの静電結合に関係があり、紙絶縁ケーブルの数分の一に低下することができ非常に効果的であった。
- (5) 伝送特性は紙絶縁ケーブルに比較してそん色なく、漏話特性, 絶縁の安全性ですぐれている。
- (6) 細心プラスチック多対ケーブル実用化の障害とされてきた 紙絶縁ケーブルよりも外径が増加する問題は、薄肉被覆が可能と なったことにより道がひらかれ、今後の発展に期待がもたれる。

細心プラスチック絶縁通信ケーブルの研究はまだ糸口についたばかりであり、たとえば高密度ポリエチレンの採用の問題にしてもまだ研究しなければならない問題が残っており、本報告でシース接続法の改良案をのべたが、この点もさらに合理的なものに改善していく必要がある。さらに押出法にかわる新しいポリエチレンの薄肉被覆法、心線識別法、ケーブル構成法の研究などに多くの課題が残されている。

終りに本研究にご指導をいただいた日立電線株式会社間瀬副部長,杉山,吉川,星の各課長,ご協力をいただいた川和田,星の両氏に深謝する。

参考文献

- (1) 川和田, 吉川, 鎌田: 日立評論別冊 No. 21, 49 (昭 32)
- (2) 川和田,梅井,吉川: 日立評論別冊 No. 28,75 (昭 33)
- (3) 鎌田, 宮沢, 内藤: 日立評論, 40, 639 (昭 33)
- (4) J. H. Heiss, V. L. Lanza: wire and wire Products, 33, 182 (1958)
- (5) 実用新案出願中