

0.32 mm, 4,200 対ユニット市内星ケーブルに関する考察

水上徳五郎* 星武夫** 星球一郎***

Studies on 0.32 mm, 4,200 Pair CQUL

(CQUL signifies Unit Type Star Quadded Lead Sheathed City Telephone Cable)

By Tokugorō Mizukami, Takeo Hoshi and Kyuichirō Hoshi
Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Recently, the number of city telephone circuits has increased rapidly owing to the big demand for telephones. Therefore, the trend of subscriber cables in multi-exchange areas of large city is towards a small conductor and greater number of pairs whereby it can make the most of the available space.

In compliance with this trend, the writers conducted the trial manufacture of the 0.32 mm×4,200 Pair CQUL having paper insulation and also a model installation experiments. By this timely experiments and various related studies, it was ascertained that these 0.32 mm multi-pair cables were sufficiently applicable for practical use.

The result of this trial manufacture can be summarized as follows:

- (1) The various properties of this cable are equal to the conventional ones, and satisfy the N.T.T. specifications (N.T.T. stands for Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation). Therefore it can be put into production for practical application wherein it will easily conform to the present specifications.
- (2) This cable is very economical in that its reduced diameter makes it possible to accommodate more conductors within the specified duct.
- (3) The cable properties are hardly affected at all by the pulling-in of the cable for installation in the ducts. And special precautions are not required when pulling-in for installation.

〔I〕 緒 言

最近の我国における電話の普及はめざましく、これと並行して市内電話回線の増設も急速に進められている。

とりわけ大都市では、電話加入者が急激に増加したため、ケーブル布設に用いられる地下管路は飽和しつつある。また一方電話器性能の向上は、ケーブルの減衰損失の増大を許しうるようになった。このような理由から加入者密度の大きい大都市中心地帯の加入者ケーブルには、管路内の収容対数が大きく経済的にも有利な、細心線多対ケーブル⁽¹⁾⁽²⁾が望まれるようになり、すでに最小心線径 0.4 mm, 最大対数 2,400 対までが実用化されている。しかし、地下管路の寸法によつてケーブル外径が制限されるので、これ以上の対数となると当然心線径を

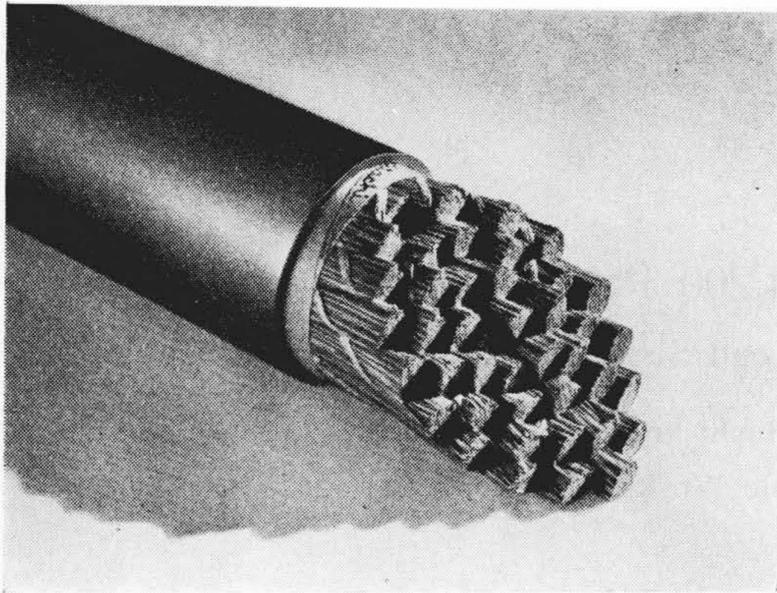
細くする必要がある。このような細い心線の絶縁方式としてはパルプ絶縁が有利であり、米国においては最小心線径 0.32 mm (AWG #28) までがパルプ絶縁によつて量産化されている⁽³⁾⁽⁴⁾。

日立製作所においてもすでにパルプ絶縁ケーブルの試作を開始して、パルプ絶縁に移行する準備を進めている。また一方従来の紙巻絶縁方式による 0.32 mm 心線多対ケーブルの採用も考えられるので、紙巻絶縁による 0.32 mm, 4,200 対ユニット市内星ケーブルを試作し、性能の検討と管路引込に対する考察を行った。

管路引込実験は各方面の御意見を徴し、管路引込のケーブル性能におよぼす諸種の影響に考察を加えたものである。

それらの結果 0.32 mm 多対ケーブルは十分実用化できる見透しをえたので取纏め報告する。

* ** *** 日立製作所日立電線工場



第 1 図 0.32 mm × 4,200 対ユニット市内星鉛被(非)ケーブル

Fig. 1. 0.32 mm × 4,200 Pair Unit Type Star Quadded Lead Sheathed City Telephone Cable

〔II〕 試作ケーブルの構造

電々公社では現在地下管路に内径約 75 mm の鋼管を使用しているため、現用の管路に布設できる 0.32 mm 市内ケーブルは最大 3,600 対までである。しかし将来多対ケーブル用管路として内径約 100 mm 程度の管路を使用することが予想されるので、試作対数は 4,200 対を選定し製作仕様は現行の電々公社仕様、仕 376 号—2 版に準拠した。

試作ケーブルの構造を第 1 表および第 1 図に示す。

0.32 mm ユニット市内星ケーブルは紙巻絶縁を施した心線 4 本を同時に撚合わせ(カッド撚)、このカッドを 51 本所定の配列にしたがって撚合わせて単位ユニットとし(集合撚)、さらに 42 本の単位ユニットを各層に配列して撚合せた後(ユニット撚合)、乾燥器内で十分乾燥しケーブル内の湿気を除去してから直ちに鉛被したものである。

〔III〕 ケーブル設計上の問題

市内ケーブルに要求される電気性能のうち、絶縁抵抗、絶縁耐力および静電結合などは製造中の片撚れ、カッド崩れおよび乾燥方法など、主として作業方法の良否によつて定まるので、ケーブル設計の主要部分は静電容量を標準値にするためのケーブル構造の決定となる。

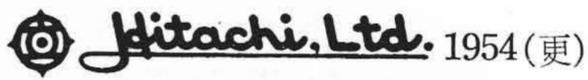
星型カッドの静電容量は (1)~(3) 式で示される⁽⁵⁾。実回線容量は

$d/D \leq 0.2$ $d/a \leq 0.35$ の条件においては

$$C_{s1} = \frac{12.1 \epsilon}{\log_{10} \frac{2a}{d} - \log_{10} \frac{D^2 + a^2}{D^2 - a^2} - \left[0.4 \left(\frac{d}{a} \right)^2 - 0.9 \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] \left[1 - 2 \left(\frac{a}{D} \right)^4 \right]} \text{ (PF/m) } \dots \dots \dots (1)^*$$

第 1 表 0.32 mm × 4,200 対ユニット市内星鉛被(非)ケーブルの構造

Table 1. Construction of 0.32 mm × 4,200 Pair Unit Type Star Quadded Lead Sheathed City Telephone Cable

項 目	構 造
導 体	0.32 mm 軟銅線
コア絶縁紙	厚 0.035 mm, 幅 6 mm クラフト絶縁紙 1 枚重巻
カ ッ ド	星型カッド, 左撚り
単位ユニット	構成 3 × 9 × 16 × 23 (カッド) 実対数 102 対 (51 カッド) 各層とも左撚り
ケーブル線心	構成 4 × 8 × 13 × 17 (ユニット) 実対数 4284 対 (42 ユニット) 各層とも右撚り
線心絶縁紙	厚 0.130 mm クラフト絶縁紙 2 枚巻 上層テープ標識印刷  1954(更)
鉛 被	厚 3.0 mm 更合金鉛 仕上外径 約 72 mm

* $d/D \leq 0.2$ $0.35 \leq d/a \leq 0.5$ の条件では

$$C_{s1} = \frac{12.1 \epsilon}{\log \frac{2a}{D} - 0.5 \left(\frac{d}{a} \right)^2 - 0.9 \left(\frac{a}{D} \right)^2 + 1.3 \left(\frac{d}{D} \right)^2} \text{ (PF/m) } \dots \dots (2)$$

また重信回線容量は

$d/D \leq 0.2$ $d/a \leq 0.5$ $a/D \leq 0.75$ の条件において

$$C_p = \frac{24.2 \epsilon}{\log_{10} \frac{a}{d} \cdot \frac{D^4}{D^4 + 2a^4}} \text{ (PF/m) } \dots \dots \dots (3)$$

ただし a : 対間距離 (mm)

d : 心線径 (mm)

D : 遮蔽外径 (mm)

ϵ : 誘電率

すなわちケーブル静電容量は心線径、対間距離、遮蔽外径および誘電率によつて決定されるわけで、これをケーブル構造上からいうと対間距離は紙巻外径およびカッド外径により定まり、誘電率はコアの絶縁紙テープの寸法すなわち含紙率によつて定まる。

(1)~(3)式において静電容量を標準値とすると、遮蔽外径および誘電率と含紙率の関係を予め求めておけば上記の構造の設計が可能である。

0.32 mm 市内星ケーブルの場合遮蔽外径を 1.8 mm とし、コア絶縁紙テープに K # 35 (クラフト紙 0.035 mm 厚) 6 mm 幅を用いると誘電率は 2.20 となる。これらの

条件で静電容量を標準値にするための対間距離を求めると 0.98 mm となる。

実際のケーブル設計に際しては上記の計算からは単にカッド構造を求めうるに過ぎない。したがって静電容量をほぼ標準値とするためのケーブル仕上外径は通常(4)式より決定している。

$$D = K\sqrt{n+t} \dots\dots\dots(4)$$

ただし D : ケーブル仕上外径 (mm)

n : 単位ユニット数

t : 上巻テープ厚 (mm)

K : 作業係数

ここで作業係数 K は心線径、製造法などに関係し心線径によつてほぼ一定した値を示す。従来のユニット市内星ケーブルの条件を基礎として 0.32 mm, 4,200 対の外径を求めると 64.8 mm となる。

以上述べた方法によりケーブル各部の外径寸法は設計できるが、このほか製造方法とも関連して撚合ピッチの選定、被鉛による静電容量増加、製造時の季節による影響なども無視できない問題であり、これらの諸条件と静電容量の関係を把握することは設計上重要である。

[IV] ケーブルの電氣的諸特性

試作ケーブルの電気試験成績を第2表~第4表に示す。試験の結果は各項目とも十分現行市内ケーブル規格(仕376号一2版)に合格しており、静電結合はむしろ従来の 0.4~0.9 mm 市内ケーブルよりも安定した値を示している。また以前試作した 0.32 mm, 30 対市内星ケーブルおよび 0.4 mm 市内星ケーブルとの二次定数の比較を第5表に示す。0.32 mm ケーブルが 0.4 mm ケーブルに比べて、特性インピーダンスおよび減衰量が大きいのは導体径の相違を考えれば当然のことであり、減衰量についてみると 0.32 mm は 0.4 mm よりも約 37% 大きい。

市内ケーブルに許容される減衰損失は電話器の性能および交換局設備の種類によつて異なるが、通常大都市の複合局地区(自動ATM式)では最大約 4.0 db 位である⁽⁶⁾。

[V] 管路引込模擬実験

ケーブルは管路引込に際して相当の張力を受ける。したがつて 0.32 mm のような細い心線は従来の 0.4 あるいは 0.5 mm の心線と異り、心線の伸び、断線、および電氣的性能の変化などが懸念される。そこで管路引込模擬実験を行い、引込によつて生ずるケーブル性能の変化を測定し、0.32 mm 市内ケーブルの実用性について考察を加えた。

電々公社では、地下管路として無処理鋼管と塗料処理

第2表 試作ケーブルの電気試験成績

Table 2. Electrical Properties of the Trial One's in Commercial Testing

試験項目	試験成績			規格 (仕376-2版)
	最大値	最小値	平均値	
絶縁抵抗 (MΩ/km・20°C)	64.	49	54	2以上
導体抵抗 (Ω/km・20°C)	217.9	207.2	211.8	* 217±16
静電容量 (nF/km・1kc)	57.4	47.9	52.7	平均値 50±10%
静電結合 (PF/150 m・1kc)	85.	0	22	最大値 800 以下 平均値 150 以下
絶縁耐力 (D.C. 500 V・1分間)	合格			
摘要	空気耐圧試験 3.0 kg/cm ² 合格 タンピング試験 1.5 倍 合格 断混線なし			

* 0.32 mm の規格がないので、0.4 mm の現行規格より導体径の自乗比で算出したもの。

第3表 試作ケーブルの一次定数周波数特性

Table 3. Relation between Frequency and Primary Constant of the Trial Makings

項目	周波数 (kc)	
	1	5
実効抵抗 (Ω/km)	431.0	449.5
インダクタンス (μH/km)	834.0	827.0
静電容量 (nF/km)	51.7	51.2
漏洩コンダクタンス (μS/km)	2.5	11.2

第4表 試作ケーブルの二次定数周波数特性

Table 4. Relation between Frequency and Secondary Constant of the Trial Makings

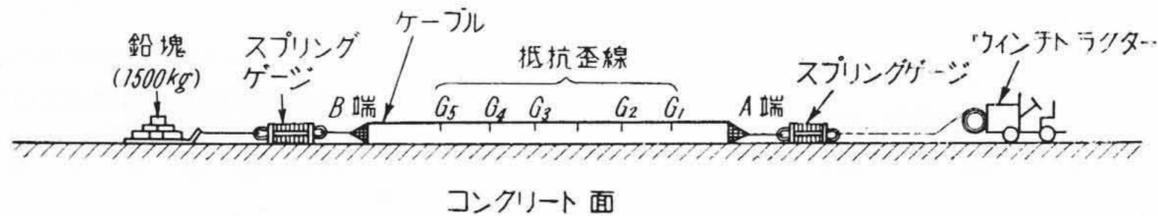
二次定数	周波数 (kc)	
	1	5
特性インピーダンス (Ω)	1,153	519
位相角 (°)	44.5	43.2
減衰定数 (db/km)	2.30	5.11
位相定数 (rad/km)	0.19	0.44

第5表 導体径による二次定数と周波数の関係

Table 5. Numerical Values of Secondary Constant as Functions of Conductor Diameter

項目	線種	試作品	0.32 mm×30 P	0.4 mm×50 P
			CQL	CQL
特性インピーダンス (Ω)		1,153	1,190	948.5
位相角 (°)		44.5	44.5	44.4
減衰定数 (db/km)		2.30	2.13	1.68
位相定数 (rad/km)		0.190	0.247	0.195

を施したジュート巻鋼管とを使用している。この両者では鉛被管路間の摩擦抵抗にかなりの差があるが、今回の実験では条件の悪い無処理鋼管を使用することを想定した。



第 2 図 引 込 実 験 方 法

Fig. 2. Arrangement for Experiments Installing

直線管路におけるケーブルの引込張力はケーブルの自重と鉛被管路間の摩擦抵抗の相乗積によつてほぼ決定され、一般につぎの(5)式で求められる。

$$F = \mu W + k \dots \dots \dots (5)$$

こゝで

F : 引込張力

μ : 摩擦係数

W : ケーブルの自重

k : 作業係数

したがつて摩擦係数に対する補正が適切であれば、実際管路に引込まなくても路面において実情に近い引込の実験を行うことができる。そこで筆者らは第 2 図に示すような方法、すなわちケーブルの片端に摩擦係数と条長の補正を目的とした鉛塊を取付け、試作ケーブルに平常の管路引込平均長(ケーブル長約 130 m)を引込むに要する張力を与えた。引込はウィンチトラクターを用い、速度 5~5.5 m/min でコンクリート路面上を約 130 m 引張り、その間の鉛被歪みおよび電気性能の変化を測定した。

補正用の鉛塊重量を算出するための摩擦係数は第 6 表に示すように、種々の異つた平面をもつ物体と鉛との摩擦係数を実験的に求め、さらに処理鋼管に引込む場合の管路の状態および潤滑剤として塗布されるグリスの量などの条件を考慮して 0.8 とした。また(5)式における作業係数 k は管路入口のケーブル彎曲による摩擦抵抗、引込用鋼撚線の伸びなどにより定まるものであるが⁽⁷⁾、一応無視してその結果張力 $F=1.650 \text{ kg}$ の計算結果をえた。今回の実験では補正用鉛塊を取付け、さらにケーブルは路面上に延してあるからケーブルには引込当初より実際の場合の管路引込完了直前の張力すなわち最大張力がかかるのできわめて厳密な実験といえる。

〔VI〕 管路引込の鉛被におよぼす影響

(1) ケーブル張力の変化

ケーブル両端末に取付けたスプリングバランスにより張力を測定した。その結果を第 7 表に示す。移動距離 60 m までの測定値にかなりの変動がみられるが、これはコンクリート路面上の凹凸、および電車線路を横断したことなどの影響である。第 2 図 A 端の張力測定結果は

第 6 表 摩擦係数測定結果

Table 6. Measuring Results of Frictional Constant Among the Lead and Several Kinds of Substances

項 目	静 摩 擦 係 数	摘 要
鉛 ~ 鉄	0.74~0.83	赤錆びた粗な鉄板
鉛 ~ 鉄	0.67	同上、接触面にグリス塗布
鉛 ~ 鉄	0.36~0.45	平滑な定盤
鉛~コンクリート	0.48~0.71	上塗り仕上げした比較的平滑なコンクリート

第 7 表 引込実験中のケーブル張力

Table 7. Relation between Tension and Travelling Distance at Installation Experiment

移動距離 (m)	張 力 (kg)		磨 擦 係 数
	A 端	B 端	
0	1,500	1,300	—
20	—	1,500	—
40	1,500~1,700	—	—
60	1,300~1,500	1,300~1,500	—
80	1,500	1,200	0.54
100	1,400~1,500	1,000	0.72~0.89
120	1,500~1,600	1,200	0.54~0.72
130	1,500~1,600	1,200	0.54~0.72

第 8 表 抵抗歪線の性能

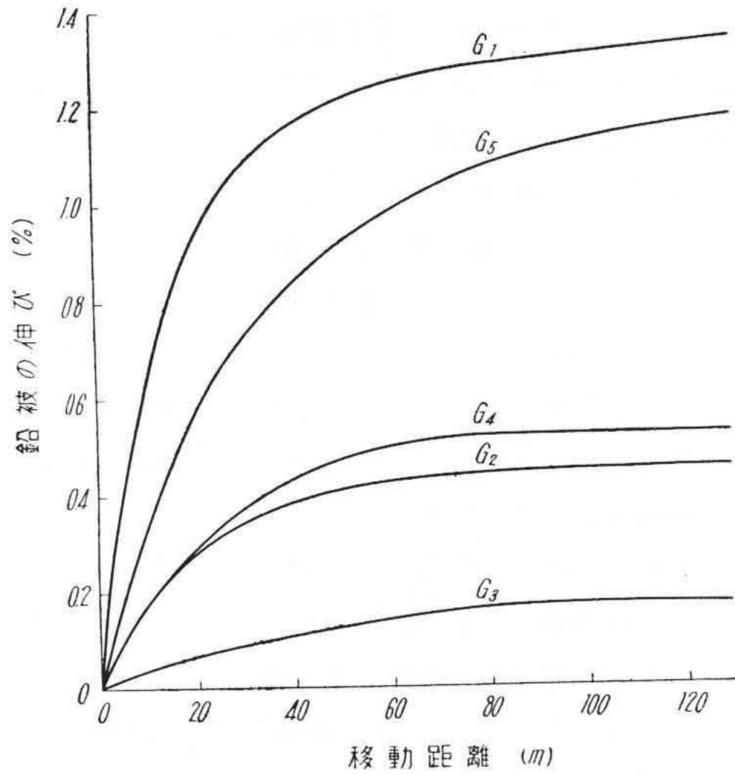
Table 8. Some Physical Constants of Strain Gauge

項 目	性 能
ゲージの種類	SK-I 型ペーパーゲージ
歪線抵抗 (Ω)	60±0.2
標点距離 (mm)	58
ゲージファクター	2.1±1%

1,600 kg であり、当初計算した 1,650 kg とほぼ一致している。

(2) 鉛被の伸び

歪計による鉛被各部の伸びの測定結果を第 3 図に示す。測定用の抵抗歪線⁽⁸⁾は第 8 表に示す性能の共和無線研究所製の SK-1 型ペーパーゲージを用いた。抵抗歪線は第 2 図に示す位置にいずれも鉛被の上側に取付け、鉛被への接着剤はニトロセルローズを用い、接着を確実に



第3図 引込実験による鉛被の伸び
Fig. 3. Relation between Elongation of Lead Sheath and Traveling Distance at Installation Experiment

するため赤外線灯で約4時間照射し乾燥した。

鉛被の伸びは第3図に示すように40~60mまで急激に増加し、爾後は飽和曲線を示しほとんど伸びは変化しない。また両端末に近いほど大きく、ケーブルの中央部ほどその値は小さくなっているが、このことは鉛塊を集中荷重として端末に取付けたことによる影響である。実際的にはケーブル各断面の引張強さは引張側のケーブル端末が最も大きく、終端末にいくにしたがつてほぼ直線的に減少し、鉛被伸びもこの引張強さに比例して変化するものであろう。またケーブルの中央部ほど鉛被伸びが小さくなっているのはケーブルの引張側端末ではほとんど鉛管のみに負荷がかかるのに対して中央部ほど鉛管と心線との摩擦抵抗のため内部心線にも張力が分担され鉛管の単位断面積当りの張力が減少するためと考えられる。

測定結果の最大伸びは端末部において約1.3%、端末より10m以上中央部に入ると0.5%以下であり、いずれも実用上問題なく無視できる程度である。

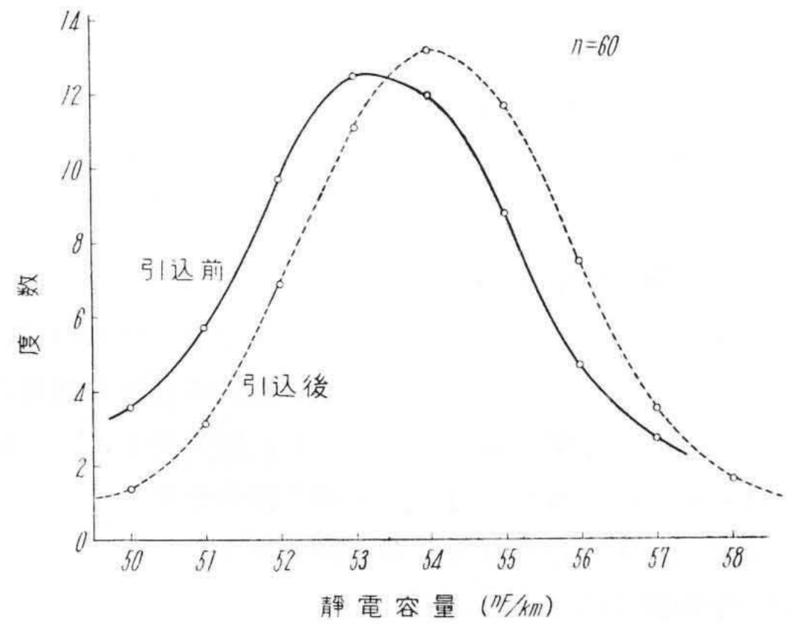
(3) 鉛管のタンピングおよび抗張力

管路引込実験完了後、歪計の取付位置より鉛管を採取してタンピングおよび抗張力試験を行った。試験結果を第9表に示す。

タンピング試験の結果はいずれも引込実験の際のコンクリート面との摩擦部分より亀裂を生じているが、現行規格以上の倍率をもっており、また抗張力も特に低下しているとは考えられない。タンピングおよび抗張力の試験結果と管路引込の際の鉛被歪みとの関連性は認められ

第9表 鉛管のタンピングおよび抗張力試験結果
Table 9. Physical Properties of Lead Sheath in Mechanical Tests

鉛管採取位置	タンピング試験		抗張力試験	
	拡張内径 (mm)	倍率	抗張力 ($\frac{kg}{cm^2}$)	伸び (%)
G ₁	139	2.14	2.30	42
G ₂	154	2.37	—	—
—	159	2.45	2.22	44
G ₃	180	2.77	2.22	44
G ₄	138	2.13	—	—
G ₅	171	2.64	2.22	36



第4図 静電容量度数分布曲線
Fig. 4. Frequency Distribution Curve of Various Capacities on the Installation Experiment

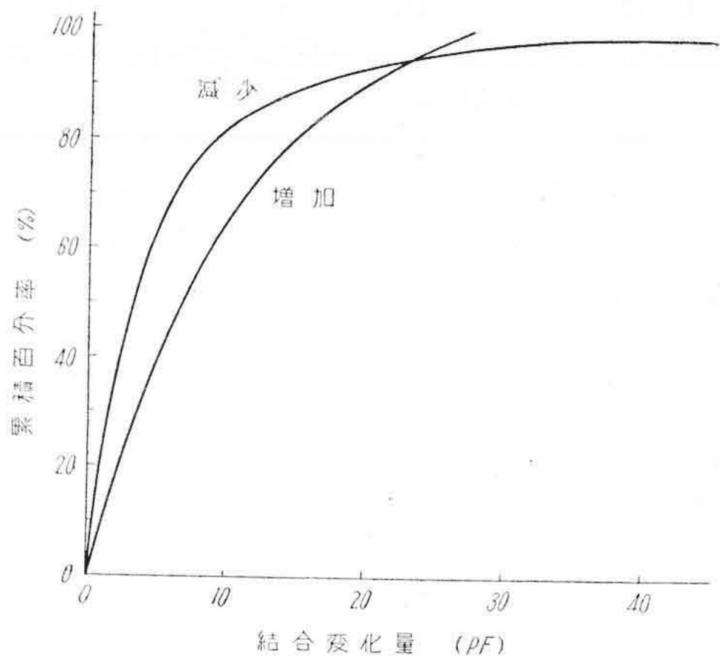
ないが、これは鉛被が管路引込によつて歪みを受けても常温で容易に再結晶し、引込完了後ごく短時間で歪みがとれるためであり(9)(10)、引込の際の鉛被歪みは問題にならない。

〔VII〕 管路引込時の電気特性におよぼす影響

(1) 静電容量

管路引込の前後にケーブルを延長した状態で静電容量を測定し変化の状態を調べた。

引込前後の静電容量測定値を度数分布曲線(11)で示すと第4図のようになる。第4図に示すように引込によつて静電容量分布は上限に移動しその増加率は約1.3%である。また総体的にみると引込前に比べて引込後は標準偏差が僅に小さくなっている。いゝかえれば容量分布曲線は上限に圧縮された形になっている。これは引込の際の鉛被変形、張力による鉛被内径の収縮、およびケーブル線心の縮りに原因する外層カッドの容量増加を意味するものである。



第5図 結合変化量の累積度数曲線
Fig.5. Ogive-Curve of Variation of Static Coupling for Installation Experiment

(2) 静電結合

引込前後とも静電容量と同時に測定を行ったもので、引込前後の結合変化量を増加および減少に分けて累積百分率で表わすと第5図のようになる。図に示すように結合変化量は増加減少とも、ほぼ同じ割合を示している。

以上の結果では増加分と減少分がちょうど相殺されるので平均値にはほとんど変化なく、また各測定値についてもその変化量は90%以上が20PF以下なので現行規格および実績から考えて、引込による結合変化は実用上問題にならない。

〔VIII〕 結 言

0.32mm 市内ケーブルの各種性能およびその実用性について4,200対ユニットケーブルにより種々検討の結果つぎのような結論をえた。

- (1) ケーブルの諸性能は現行市内ケーブル規格に十分合格しており、従来のケーブルに比較して劣らない。
- (2) 0.4mm 市内星ケーブルに比較して外径が約14%縮減できる。したがって管路収容対数は増加し、現用の75mm 管路で3,600対ケーブルの収容が可能である。
- (3) 減衰損失は市内星ケーブルより約37%増加する。線路許容損失を4.0db とすると、最大線路互長は約1,800m となる。
- (4) 管路引込のケーブル性能におよぼす影響はいずれも問題なく、従来の方法で支障なく布設することができる。

本研究に際し絶えず御指導御鞭撻を頂いた日立製作所日立電線工場関係上司および試作課久本課長、山本主任、測定その他に御協力を頂いた庄司、佐藤、橋本、三浦の諸氏に深甚の謝意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) 小松, 高尾, 北村: 電気三学会連合大会余稿 5 872 (昭30.4)
- (2) 平田: 藤倉電線技報 (5) 55 (1954)
- (3) H. G. Walker, L. S. Ford: Electrical Engineering 51 838 (Dec. 1932)
- (4) J.S. Little: B.S.T.J. 20 82 (Jan. 1941)
- (5) H. Meinke: E.N.T. 17 (Feb. 1940)
- (6) 電気通信学会: 通信工学大鑑 2515 (昭19)
- (7) 塚本, 磯部, 大森, 小口: 電気三学会連合大会余稿 5 872 (昭30.4)
- (8) 三宅, 加藤: 電気抵抗歪計 (昭28.6 丸善)
- (9) 電気通信学会: 通信工学大鑑 2,105 (昭19)
- (10) C.A. Piercy: G.E. Rev. 43 (12) 489 (Dec. 1940)
- (11) 三浦, 朝香: QCテーブル (昭28.11 丸善)

「日立評論」

綴込みカバー

特価1組 ¥100

(郵送料共)



「日立評論」の綴込み用として美しい綴込みカバーを発売致しております。

御希望の方には実費でお願い致しておりますから下記に御申込み下さい。

日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1の4 (新丸ビル7階)
振替口座 東京 71824