

# テレビジョン伝送用アルミ被同軸ケーブル

堀口二三男\* 庄司一男\*\* 鈴木敏雄\*\*\*

## Aluminum-Sheathed Coaxial Cable for Television

By Fumio Horikuchi, Kazuo Shoji and Toshio Suzuki  
Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

In Japan, because of delayed development of wide-band transmission, the practice of sending television signals by coaxial cables had not previously been realized.

For the first time in this country the wire transmission system at very high frequencies has been adopted in the industrial television unit lately supplied to Akatsuka Power Station, Chugoku Electric Power Co., by Hitachi, Ltd.

Television requires that the coaxial cable not only has excellent transmission characteristics but also uniformity of local impedance at all points in its length. In order to satisfy the above requirements, Hitachi engineers have produced a polyethylene-string-insulated aluminum-sheathed coaxial cable with the construction and transmission characteristics specified below:

Inner Conductor.....Copper wire, outer diameter 2.8 mm  
Insulation .....Polyethylene string  
Outer Conductor.....Aluminum, outer diameter 13.5 mm  
Characteristic Impedance .....73.1Ω  
Attenuation .....26 decibels per km at 100 Mc  
Carrier Frequency.....91.25 Mc  
Transmission Line Length.....1.6 km

Aluminum-sheathed cable is suitable for pole lines by reason of its light weight and high resistance to vibration, and in respect to impedance uniformity shows a marked improvement over old cables.

### 〔I〕 緒 言

我国における商業テレビジョンの発達はめざましく、そのサービス範囲はマイクロ波中継によつて着々と拡張されている。

テレビジョン中継には、マイクロ波による場合と、同軸ケーブルによる場合の二通りがあり、欧米では両者とも使用されているが<sup>(1)~(3)</sup>、我国ではマイクロ波のみが実用されている現状である。マイクロ波によるか、同軸ケーブルによるかは、経済的にいずれが安価になるかという問題に大きく支配されることは当然である。同軸ケーブルによるときには、ケーブルの占める建設費の割合が

非常に大きいため、マイクロ波の方が有利のように考えられるが、伝送の確実性においては、ケーブルの品質が優秀であるならば、マイクロ波にまさるといえる。現在この問題に関しては明確な結論が与えられていないが、それぞれに一長一短があるから、伝送目的、中継距離、中継区間の地形などの総合的判断によつて決定されるものであろう。

我国においては、同軸ケーブルによる広帯域多重電話伝送の発達が遅れているため、とかく無線中継に頼る気運にあるが、最近需要の増加してきた工業テレビジョンにおいては、伝送範囲が商業テレビジョンに比較して非常に狭いため、有線方式の方が無線方式にまさる場合が多い。

\* \*\* \*\*\* 日立製作所日立電線工場

今回日立製作所が中国電力明塚発電所に納入したダム取水口附近の遠方監視に使用する工業テレビジョンにおいては、中継区間の地形が非常に悪く、無線中継では経済的に不利となるため、我国で初めての超高周波の有線伝送方式が採用された。ケーブルとしては、線路の地形上ポリエチレンコルデル巻アルミ被同軸ケーブルを採用して、重量の軽減を計り、さらに使用周波数の関係上、ケーブルの性能、接続方法、架線などには細心の注意が払われた。本線路の完成により、同軸ケーブルによつて直接テレビジョン伝送が可能であることが実証されたわけである。

この工業テレビジョンは、機器の製作を日立製作所戸塚工場が、線路は日立製作所日立電線工場が担当して製作を進めたもので、本報告ではアルミ被同軸ケーブルについてその概要を報告する。

## 〔II〕 ケーブル種類の選定

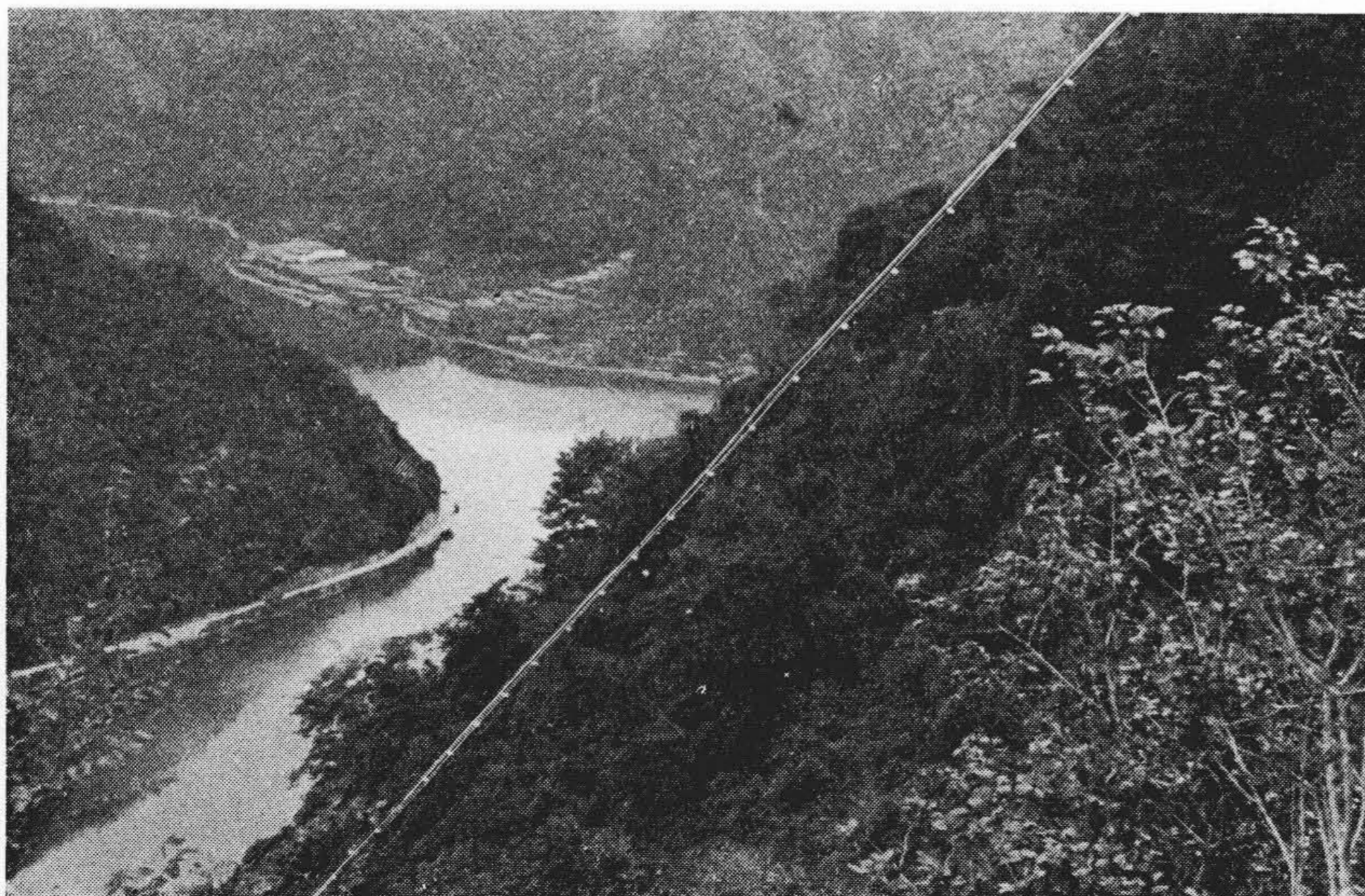
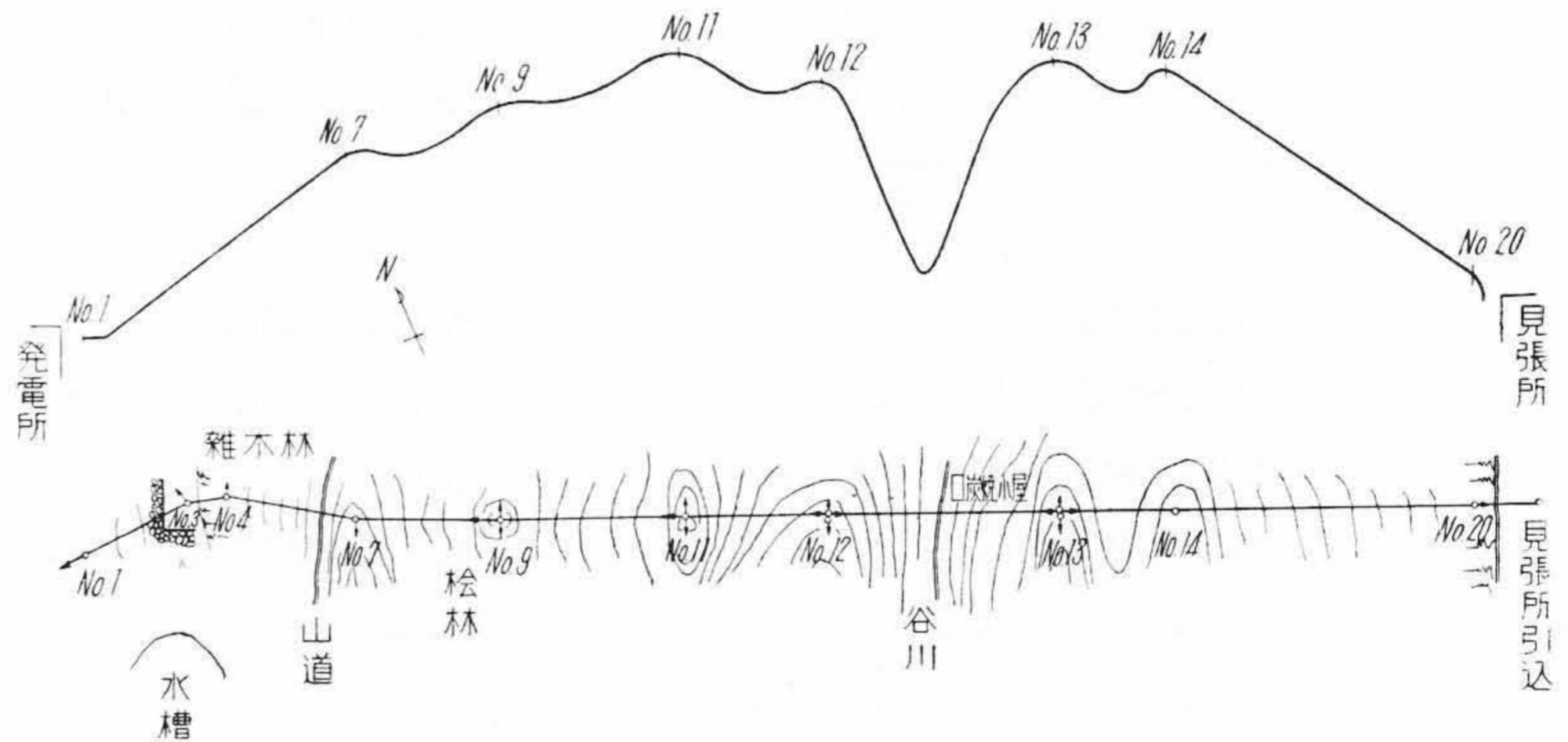
ケーブル架設線路の地形図は第1図に示すようであ

る。線路長は約2kmと予定された。第1図および第2図より見てもわかるように、線路の勾配は非常に大きく最大約70°近くのところがある。架空通信線としては通常鉛被ケーブルが使用されているが、このような急勾配のところでは、ケーブルの重量が大きいため引留部分にかゝる張力が大きくなり、ケーブルの伸びる心配が多分にある。しかも山上のことであるから、風による振動疲労のおそれもあり、またケーブルの運搬、延線に対しても十分考慮しなければならない。すなわちケーブルとしては、軽量でしかも耐振動性のすぐれたものであることが要求されてくる。

軽量という点からは、合成樹脂の使用が考えられる。その代表的なものとしては、ポリエチレン絶縁塩化ビニル被覆のケーブルがあるが、機器からの要求を満足するには、ポリエチレン充実型の構造では、ケーブルの仕上り外径が約25mm、重量約500kg/kmになる。

軽量であるという点で、合成樹脂以外に着目されたのがアルミ被ケーブルである。

第1図  
テレビジョン伝送線路の地形図  
Fig.1.  
Topographical Map of Television Transmission Line



第2図 傾斜面の一例  
Fig.2. Example of a Slope

第1表 アルミニウムおよび鉛の特性  
Table 1. Properties of Aluminum and Lead

項目	材料	
	アルミニウム	鉛
純度 (%)	99.5	99.99
比重	2.7	11.4
抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	9~17	1.5
伸び (%)	5~35	50~70
硬度 (ブリネル)	23~44	3~7
耐振動回数	>100×10 <sup>6</sup>	1.5×10 <sup>6</sup>
融点 (°C)	655	327
線膨脹係数 (°C 当り)	23~24×10 <sup>-6</sup>	29~32×10 <sup>-6</sup>
疲労限 (kg/mm <sup>2</sup> )	3.5~6.0	0.2~0.3
導電率 (%)	59~60	8~9

アルミ被ケーブルは、第1表<sup>(4)</sup>に示した鉛との比較よりもわかるように、耐振動性にすぐれ、しかも軽量であることが特長である。この点今回のケーブルとしての要求には十分合致している。さらにアルミニウムが相当機械的に頑丈なものであるから、絶縁体に充実型を使用しなくても良く、空気絶縁の部分大きくとれる関係上ケーブル外径も相当小さくなる。機器からの要求を満足するアルミ被ケーブルの仕上り外径は約 14mm、重量約 180 kg/km となり、外径でポリエチレン充実型の 1/2、重量は 1/3 になり、ともにアルミ被ケーブルがすぐれており、価格的にも低廉になる。

アルミ被ケーブルは英国では盛んに使用されており、同軸ケーブルについても数多くの実施例があるので<sup>(5)(6)</sup> これらを参考にして今回のケーブルにはアルミ被ケーブルを採用することに決定した。

### 〔III〕 ケーブルに要求される高周波特性

機器よりケーブルに要求された性能は下記のようなものである。

- (1) 特性インピーダンス: 75±3Ω
- (2) 減衰量: 30 db/km 以下 (100 Mc)

テレビジョン伝送用の同軸ケーブルとしては、一般の同軸ケーブルと同じように、特性インピーダンスが一定で、減衰量の小さいことが当然必要であるが、これ以外にケーブル内部不均等性の特に小さいことが必要である。この不均等性は、内部導体の径の変動、偏心、外部導体の径の変動などに起因するもので、製造工程においてできるだけこれらを無くするように努力が払われるが、絶無を期待することは困難である。このためケーブルのインピーダンスは、長さの方向に対して平均インピーダンスよりの不規則な偏倚を生じている。

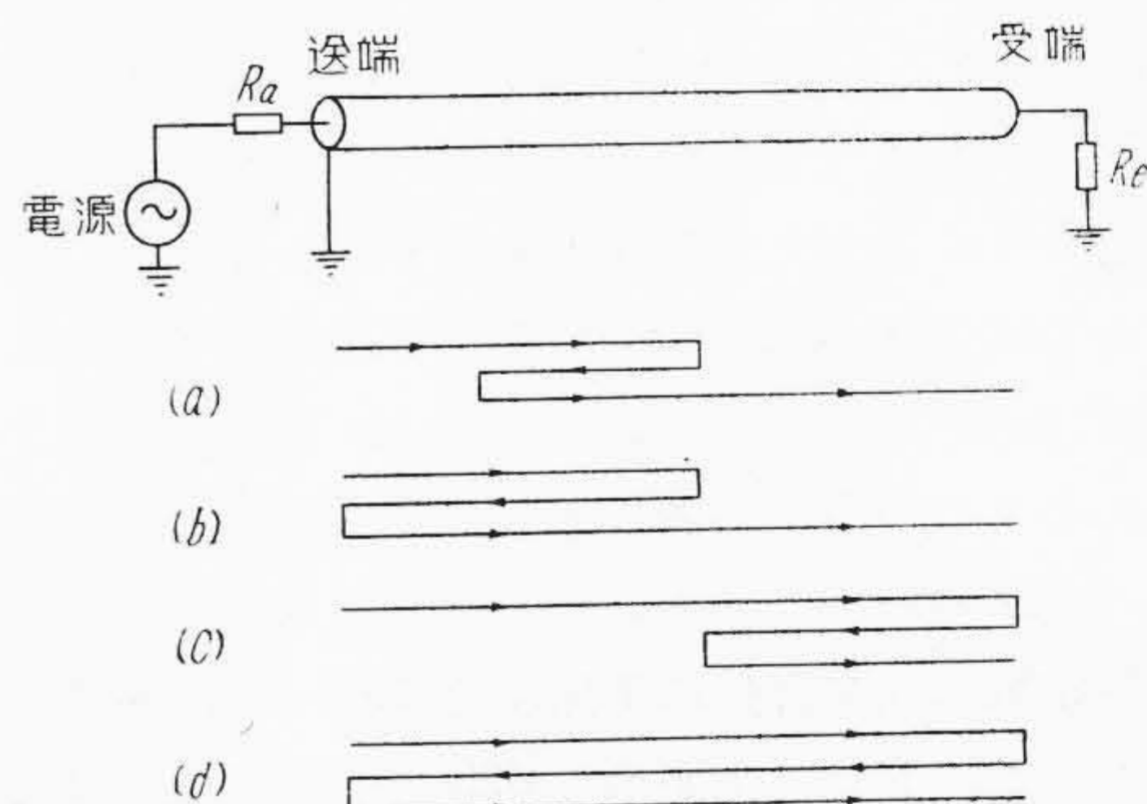
テレビジョン伝送はパルス伝送であるから、ケーブルを伝播して行くパルスは、インピーダンス偏倚点で偏倚の程度に応じてかならず反射を生ずる。この反射パルス

はさらに他の偏倚点で反射して受端に達したときには、主信号より遅れ、いわゆる“伴流の尾”となつてテレビジョン画像の黒白の境界に表われ、像を不明瞭にする現象がでてくる。さらにケーブルの接続部および送受両端における不整合によるパルスの反射の影響もあるので、テレビジョンの有線伝送が可能か否かの問題は一にこのケーブルの不均等性によつて決定されるといつてよい。

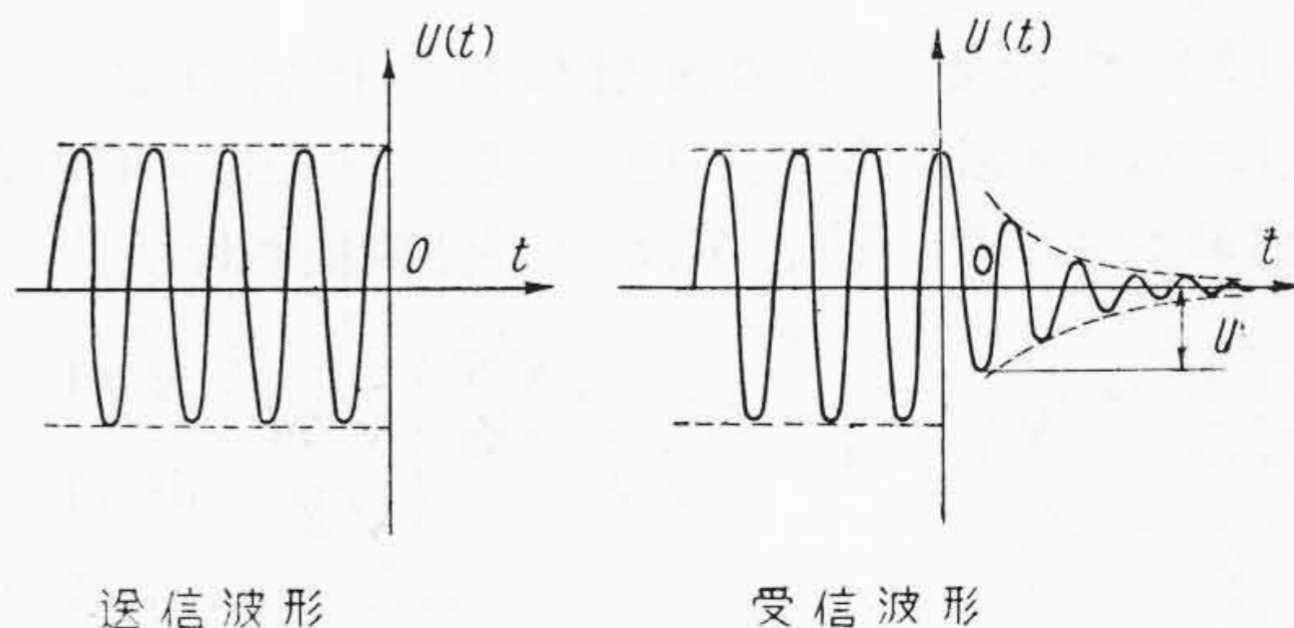
この不均等性に関しては今まで種々の研究がなされているが<sup>(7)~(12)</sup>、H. Kaden が最近テレビジョンにおけるケーブル内部不均等性のパルスに対する応動特性を研究している<sup>(13)</sup>、これを参考にして以下検討してみる。

ケーブル内の反射は、ケーブルの送受両端におけるインピーダンス不整合によるものと、ケーブル内の不均等によるものからなり、これらの組合せで伴流の尾となるものは、第3図の4つの場合が考えられる。これ以上の3回、4回の反射による影響は通常無視してよいものである。

このような不均等のあるケーブルに、一定振幅の信号が時間  $t=0$  で突然 0 になつた場合、受端で受けた信号は第4図のように尾を引くことになり、受信波形の定常部分の振幅を 1 とし、過渡現象の始まつた瞬間の振幅を  $U$  とすれば、 $U$  と時定数  $T$  の大きさがテレビジョンの像を害する程度を知る目安となる。これを第3図のおおのの場合についてつぎに考えてみる。



第3図 反射の組合せ  
Fig. 3. Combination of Irregular Reflection



送信波形 受信波形  
第4図 送信波形と受信波形  
Fig. 4. Transmitted Wave Form and Received Wave Form

(1) 内部の二重反射に基づく伴流の尾

これは第3図(a)の場合に相当するものである。このときの振幅  $U$  と時定数  $T$  は下式で求められる。

$$U = \frac{l}{4r \left[ 1 + \left( \frac{4\pi fr}{v} \right)^2 \right]} \cdot \frac{\overline{S^2}}{Z_0^2} \cdot \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{\beta l}} & \beta l > 1 \\ \sqrt{2} & \beta l \ll 1 \end{cases} \dots (1)$$

$$T = \frac{1}{\beta v} \dots (2)$$

ただし  $r$ : 相関互長

$l$ : ケーブル長

$v$ : 伝播速度

$f$ : 周波数

$\overline{S^2}$ : 特性インピーダンス偏倚の二乗平均値

$Z_0$ : 特性インピーダンス

$\beta$ : 減衰量

(1)(2)式に与える諸定数はそれぞれつぎのようである。

搬送周波数..... 91.25 Mc

特性インピーダンス..... 75Ω

伝播速度.....  $2.7 \times 10^8$  m/s

ケーブル全長..... 2 km

全減衰量..... 60 db

インピーダンス不均等度..... 0.5 および  $1 \Omega^2 \cdot m$

相関互長..... 1, 3 および 10 m

計算結果を示すと第2表のようになる。

この結果よりみて相関互長が 1 m のときには約 -60 db 程度になるが、3 m 以上であれば二重反射に基づく伴流の尾は問題にならないことがわかる。しかし相関互長は製造条件によつて変化するものではあるが、従来のケーブルでは 2 m 前後であり、ケーブル性能の向上とともに漸次小さくなつてきているので 1 m 程度を考慮する必要がある。この点から考えると、ケーブル箇々の不均等度は  $0.5 \Omega^2 \cdot m$  より小さいことが希望されてくる。この場合時定数は相関互長に関係なく  $1.07 \mu s$  であるが、テレビジョンにおいて 1 面当り 625 本の走査線では映像点の持続時間は  $0.077 \mu s$  しかないので、過渡現象は相当の範囲におよび、 $U$  の値が大きいときには当然問題になつてくる。

(2) 内部と一端の反射に基づく伴流の尾

これは第3図の(b)(c)に相当する。このときの  $U$  の値は(3)式で求められる。 $T$  は(2)式と同様である。

$$U = r_a \sqrt{\frac{l}{r \left[ 1 + \left( \frac{4\pi fr}{v} \right)^2 \right]}} \cdot \frac{\sqrt{\overline{S^2}}}{2Z_0} \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\beta l}} & \beta l > 1 \\ \sqrt{2} & \beta l \ll 1 \end{cases} \dots (3)$$

ただし  $r_a$ : 送端における反射係数

今送端における反射係数を 0.1 として計算してみると第3表の結果をえる。

第2表  $U, T$  の計算値(1)

(ケーブル内の二重反射による場合)

Table 2. Calculated Values of  $U$  and  $T$  (1)

(Example of Double Reflection owing to Two Irregular Points of Cable)

項目	不均等度 $\overline{S^2} \cdot r$					
	$0.5 \Omega^2 \cdot m$			$1 \Omega^2 \cdot m$		
相関互長 $r$ (m)	1	3	10	1	3	10
$U$	$0.89 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$0.94 \times 10^{-7}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^{-5}$	$1.9 \times 10^{-7}$
$T$ ( $\mu s$ )	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07

第3表  $U, T$  の計算値(2)

(ケーブル内部および一端の反射による場合)

Table 3. Calculated Values of  $U$  and  $T$  (2)

(Example of Double Reflection owing to One Irregular Point and One End of Cable)

項目	不均等度 $\overline{S^2} \cdot r$					
	$0.5 \Omega^2 \cdot m$			$1 \Omega^2 \cdot m$		
相関互長 $r$ (m)	1	3	10	1	3	10
$U$	$1.3 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^{-5}$
$T$ ( $\mu s$ )	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07

この結果よりみて、相関互長が 3 m 以上であれば問題はないが、これより小さいときには、ケーブルの不均等度が  $0.5 \Omega^2 \cdot m$  でも問題になることがわかる。それゆえケーブルの不均等度をさらによくするか、送信機との整合を 0.1 よりも小さくすることが必要となつてくる。送信機との整合が不完全なときには、この組合せによる伴流の尾の妨害が非常に大きくなることは注意しなければならないことである。

(3) 両端における反射に基づく伴流の尾

これは第3図の(d)の場合で、このときには内部の不均等度は問題にならず、送端、受端の反射係数と、ケーブルの減衰量によつて決定される。

$$U = r_a \cdot r_e \times 10^{-6}$$

となりほとんど問題にならない程度である。

以上の検討の結果、ケーブルとしては不均等度  $\overline{S^2} \cdot r$  は  $0.5 \Omega^2 \cdot m$  以下にする必要のあることが確認された。

さらにケーブル間のインピーダンス差によつても、接続部で反射を生ずる原因となることは当然であり、これについては平均インピーダンスに対し  $\pm 1 \Omega$  を目標とし、ケーブル間のインピーダンス差を最小にするよう架設に当り配列を決定することが必要となる。

〔IV〕 ケーブル構造と二次定数

(1) ケーブル構造

架線および伝送特性を考慮して決定したケーブルの構造は、第5図に示すようにポリエチレンの丸紐を内部導体の上に螺旋状に巻き、これをアルミパイプの中に引込んで絞上げたもので、これをポリエチレンコルデル巻アルミ被同軸ケーブルと呼んでいる。

同軸ケーブルの構造としては、これ以外にポリエチレン円板を適当な間隔をおいて装着し、その上にアルミパイプを被せた円板絶縁型もあるが、アルミ被ケーブルの製作方法が、後に述べるように、ケーブルコアを長尺アルミパイプの中に引込んでいく方法をとるので、円板絶縁型では円板を内部導体に固着しないと、その間隔に不規則的な変化を生じ、インピーダンスの均等性を損うおそれが多分にあるので、極力均等性を良くする意味でコルデル巻を採用した。さらに延線その他によりケーブルに屈曲が与えられるときには、内部導体に癖がつき、これが偏心の原因となつて不均等を増す結果となることが確認されたので、内部導体は導電率 99% の硬銅線を使用して癖の発生を防止している。

ケーブルの標準構造を示すと第4表のようである。

(2) 二次定数

第5図のような構造のケーブルの二次定数を求めるには、まず第一に静電容量を知ることが必要である。このような構造のケーブルの合成静電容量は、近似的にコルデル紐による静電容量と、残部の空間部の静電容量との並列回路として取扱つてよい。

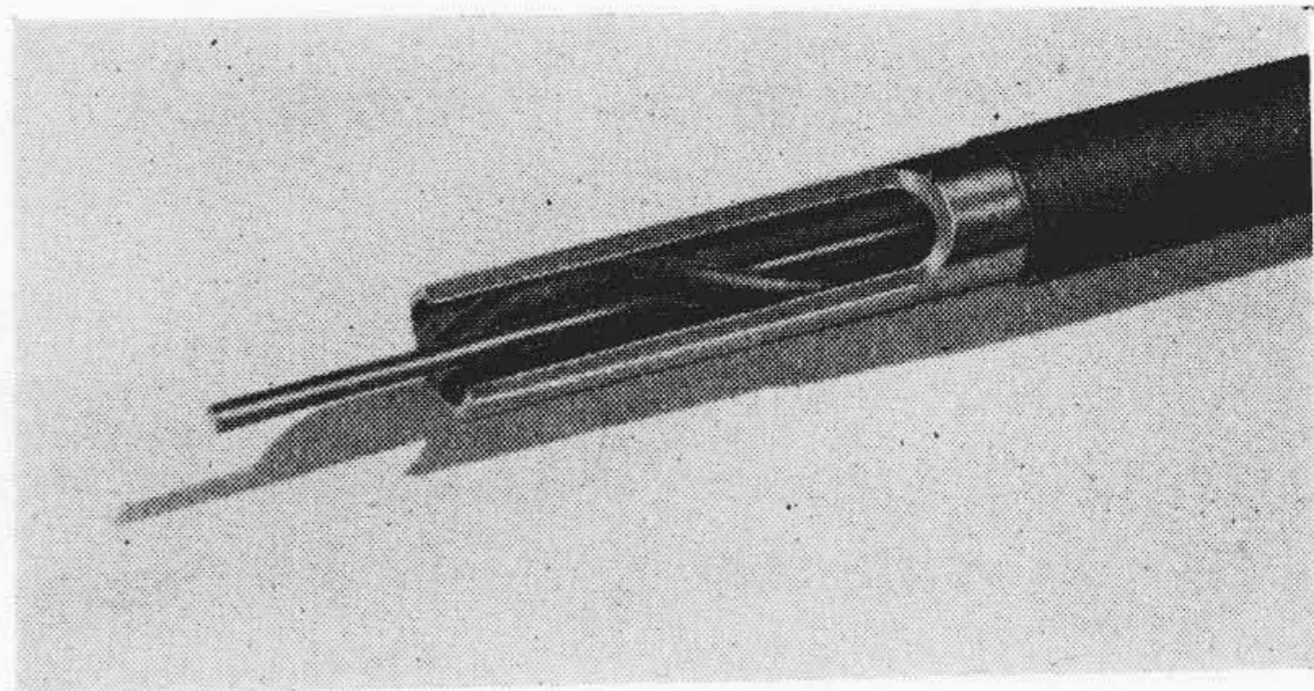
今コルデル紐の占める静電容量を  $C_c$ 、空間部の占める静電容量を  $C_a$  とすると

$$C_a = \frac{2\pi}{\log_e(r_2/r_1)} \left\{ 1 - \frac{(1+K)(r_2-r_1)}{4(r_2+r_1)} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$C_c = \frac{2\pi\epsilon_c}{\log_e(r_2/r_1)} \left\{ \frac{(1+K)(r_2-r_1)}{4(r_2+r_1)} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

- ただし  $r_1$ : 内部導体の半径
- $r_2$ : 外部導体の内半径
- $\epsilon_c$ : コルデル紐の誘電率
- $K$ : コルデル紐の撚込率

となる。それゆえに合成静電容量  $C_e$  は



第5図 ポリエチレンコルデル巻アルミ被同軸ケーブルの構造

Fig. 5. Construction of Polyethylene-String-Insulated Aluminum-Sheathed Coaxial Cable

$$C_e = C_a + C_c = \frac{2\pi}{\log_e(r_2/r_1)} \left\{ 1 + \frac{(\epsilon_c - 1)(r_2 - r_1)(1 + K)}{4(r_2 + r_1)} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

となる。(7)式の  $\{ \}$  内がコルデル巻絶縁型ケーブルの実効電導率である。これよりケーブルの二次定数は下式のように与えられる。

特性インピーダンス

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{1 + \frac{(\epsilon_c - 1)(r_2 - r_1)(1 + K)}{4(r_2 + r_1)}}} \log_e \frac{r_2}{r_1} (\Omega) \dots (8)$$

抵抗減衰量

$$\beta_r = \frac{\sqrt{f}}{Z_0} \left( \frac{\sqrt{\rho_1}}{2r_1} + \frac{\sqrt{\rho_2}}{2r_2} \right) \times 10^{-3} \text{ (nep/km)} \dots (9)$$

漏洩減衰量

$$\beta_g = 10.47 \sqrt{1 + \frac{(\epsilon_c - 1)(r_2 - r_1)(1 + K)}{4(r_2 + r_1)}} \cdot f \cdot \tan \delta \times 10^{-6} \text{ (nep/km)} \dots\dots\dots (10)$$

波長短縮率

$$k_\lambda = \frac{100}{\sqrt{1 + \frac{(\epsilon_c - 1)(r_2 - r_1)(1 + K)}{4(r_2 + r_1)}}} (\%) \dots\dots\dots (11)$$

- ただし  $f$ : 周波数 ( $\sim$ )
- $\rho_1$ : 内部導体の比抵抗 (C.G.S. e.m.u.)
- $\rho_2$ : 外部導体の比抵抗 (C.G.S. e.m.u.)
- $\tan \delta$ : 誘電正切

上式を用いてケーブル構造の計算および伝送特性の予測ができる。

第4表 ポリエチレンコルデル巻アルミ被同軸ケーブルの構造  
Table 4. Construction of Polyethylene-String-Insulated Aluminum-Sheathed Coaxial Cable

内部導体			絶縁体			外部導体			防蝕塗料	
材質	構成	外径 (mm)	材質	構成	コルデル外径 (mm)	材質	肉厚 (mm)	外径 (mm)	厚さ (mm)	仕上外径 (mm)
硬銅線	単線	2.8	ポリエチレン	コルデル巻	4.0	アルミニウム	1.3	13.4	0.3	14.0

## 〔V〕 アルミ被ケーブルの製造法

アルミ被ケーブルの製造法には、

(1) 引抜法 (2) 熱間押出法 (3) ストリップ法の三通りがあるが、現在我国で実用されているのは引抜法である。この方法は、ケーブルコアより少し太めのアルミパイプを直線状に延線し、この中に導線を引込み、ケーブルコアをこの導線によつてパイプの中に引入れ、その後ダイスによつてパイプを所要の径に引落とし、パイプとコアを密着させる方法である。この方法では、パイプの径の大きい程引込は容易であるが、その代りパイプの絞りの度合が大きくなつてケーブルの可撓性が悪くなるので、ケーブルコアより約 10% くらい径の大きいパイプの中に引込むのがよい。この可撓性はアルミニウムの純度の高いもの程良いので、アルミニウム素管も純度 99.5% 以上のものが使用される。

熱間押出法は、鉛被ケーブルと同様に熔融アルミをパイプ状に押出機で押出す方法であり、ストリップ法は、アルミニウムのストリップを成形ロールによつてケーブルの周りにパイプ状に巻付け継目を溶接するかまたは機械的に圧着する方法であるが、この両者は引抜法に比較して、コアの絶縁が熱劣化するとか、継目の接着が完全とはいえないという問題がある。

今回のケーブルは、絶縁体にポリエチレンを使用している関係上、引抜法によつてケーブルの製作が行われている。同軸ケーブルの製造において一番重要な作業は外部導体の成型法である。外部導体断面の幾何学的形状が完全な円筒になり、しかもケーブルの屈曲などにより変形しないかどうか大きく均等性に影響してくる。我国で同軸ケーブルの発達が遅れた原因は、この外部導体の成型に良い方法が見出せなかつたためともいわれている。

アルミ被ケーブルでは、パイプを用いるのであるから、パイプ素管の形状の正確なものがえられれば、当然従来の同軸ケーブルのような銅テープ成型の外部導体に比較して安定したものができるとは確実である。さらにアルミニウムの導電率は銅より悪いけれども、これがケーブル減衰量に影響するところはわずかである。またアルミニウム被覆を外部導体と外部保護被覆とを兼ねらせることができるので、構造上および製造上において有利である。

## 〔VI〕 接 続 法

鉛被ケーブルにおいては、ケーブルの接続に鉛工方法が用いられている。アルミ被ケーブルにおいてもアルミ半田が用いられているが、鉛被の接続に比較して接続

は手数を要するものである。これはアルミニウムの極電位が高いため直接鉛管や半田に接触させると、水分の存在により腐蝕を起しやすいためである。アルミ半田を用いてもこの腐蝕の心配は多分にある。しかし今回のケーブルでは、熱に弱いポリエチレンを使用している関係上アルミ半田による鉛工方法は使用できない。

われわれは今回のケーブルの中間接続器に機械的な接続方法を採用した。この場合接続器の材質としては、腐蝕を防ぐためケーブル外部導体と同質の材料を使用した。このような機械的方法による接続器においては水密性に問題があるが、これは合成ゴムのパッキングを用いることによつて解決した。その構造は第 6 図に示す通りである。実際の接続工事においては、保護筒の上に加熱収縮型の塩化ビニルを被せ、接続器が直接外気に触れることを避けている。本構造の接続器については、 $4 \text{ kg/cm}^2$  の空気耐圧試験および  $100 \text{ kg}$  の張力試験を行つたがなんら異常を認めなかつた。

電気的には、中間接続器はケーブルインピーダンスに十分整合することが必要である。これは接続部の整合が悪いと、これからの二重反射による伴流の勢力が大きくなり、テレビジョン画像に影響するためである。

この接続器の構造に基く不整合は、接続部分の各構成要素を、直列インダクタンスおよび並列容量で等価的に置き換えて吟味することが可能であるが<sup>(14)</sup>、われわれは  $0.04 \mu\text{s}$  のパルス試験<sup>(15)</sup>によつて、構造の検討改良を行つた。

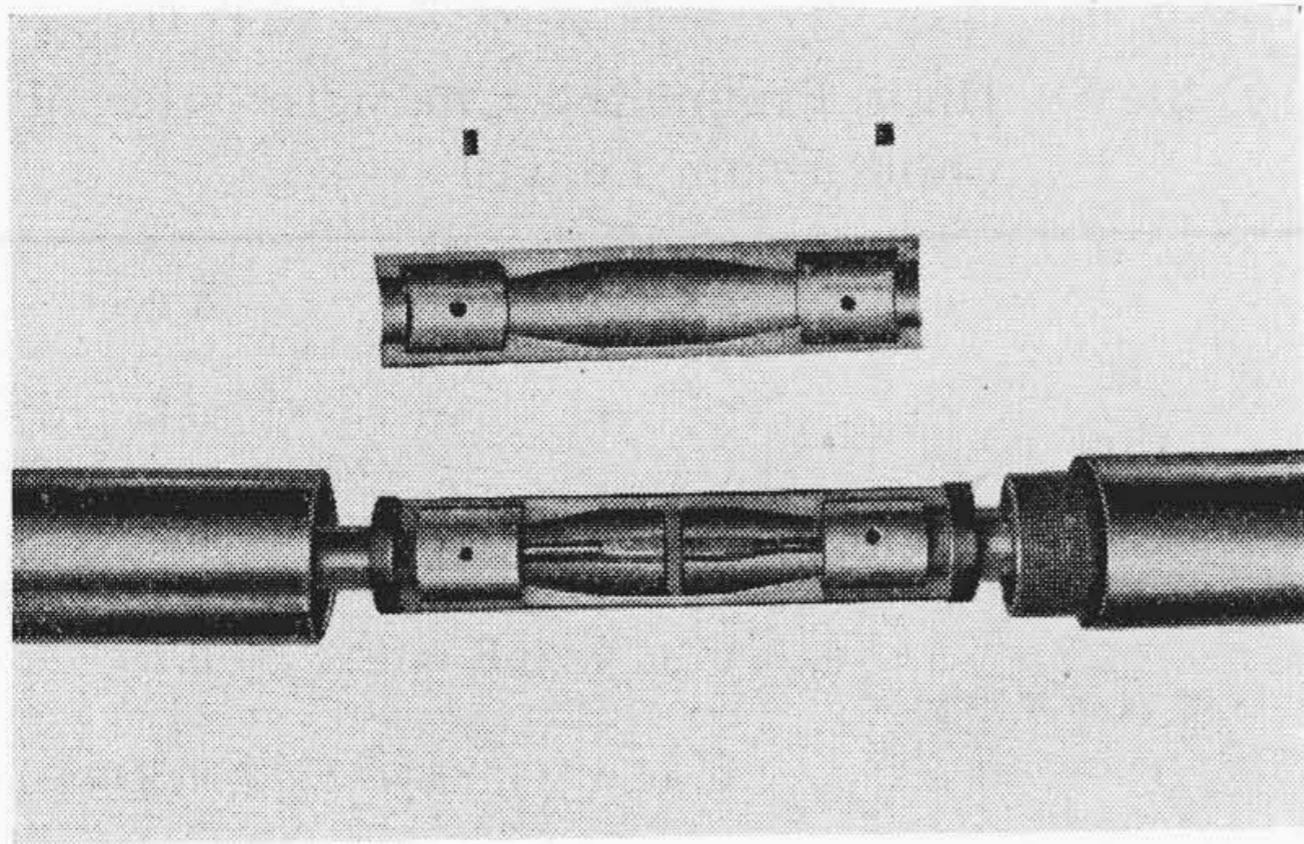
第 7 図の写真の下側が中間接続器の外観である。テレビジョン機器への接続には、ポリエチレン充実型の可撓性同軸ケーブルを使用するので、アルミ被ケーブルの送受両端は、第 7 図の上側に示した終端接栓を使用している。

## 〔VII〕 架 設 工 事

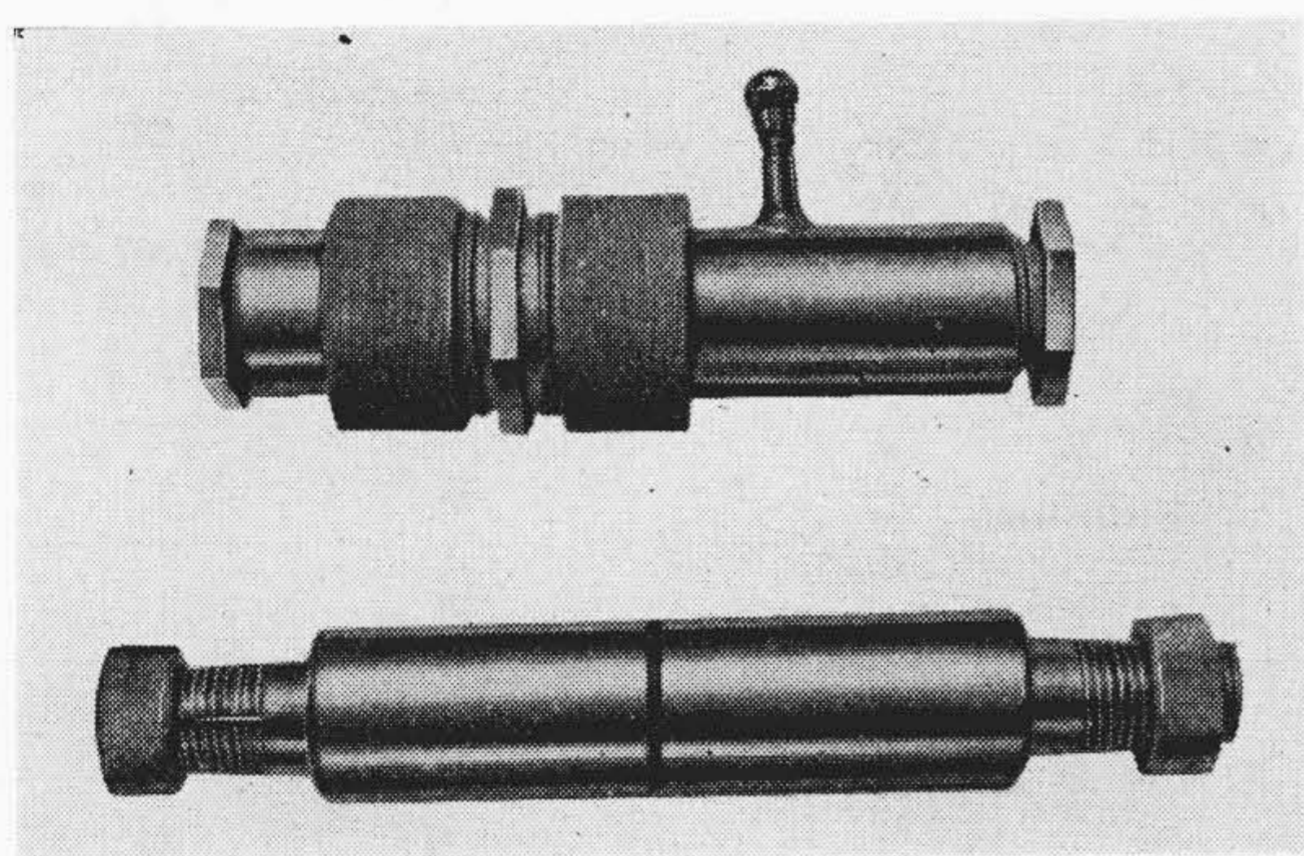
アルミ被ケーブルでも、架線工事法は鉛被ケーブルの場合と根本的に異つてはいないが、鉛被ケーブルに比較して可撓性、屈曲性が劣るのでこの点に注意が必要である。過度の屈曲や屈曲の繰返しは著しくアルミニウム被覆を劣化させ、損傷または変形のおそれがあり、さらにケーブルの高周波特性を低下させるので、今回の工事ではつぎのような方法がとられた。

(i) 延線に当つては急角度に曲げず、案内金車を出して引出角度は  $30^\circ$  以内とした。引出角度がこれ以上になると、ケーブルに癖がつき、延線後の癖直しが困難である。

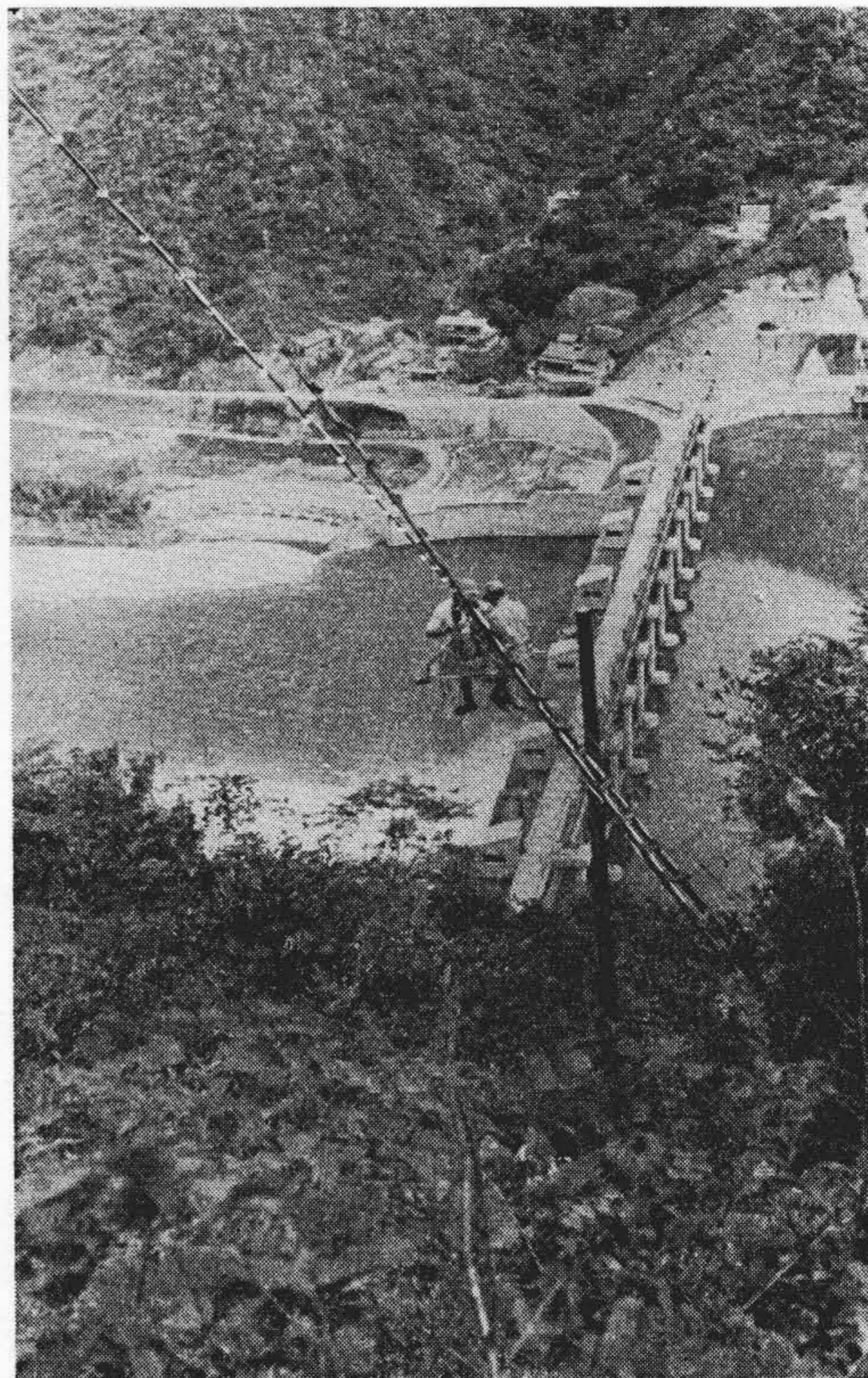
(ii) 延線はすべて手で引張る方法を取り、ケーブルに無理な力が加わることを防いだ。本ケーブルが非



第6図 接続器の内部構造  
Fig.6. Interior of Joint



第7図 接続器および終端接栓の外観  
Fig.7. External Appearance of Joint and End Connector



第8図 接続工事状況  
Fig.8. Circumstances of Cable Jointing

常に軽量であるためこのような方法が可能なので、金車は3~4m毎にとりつけている。

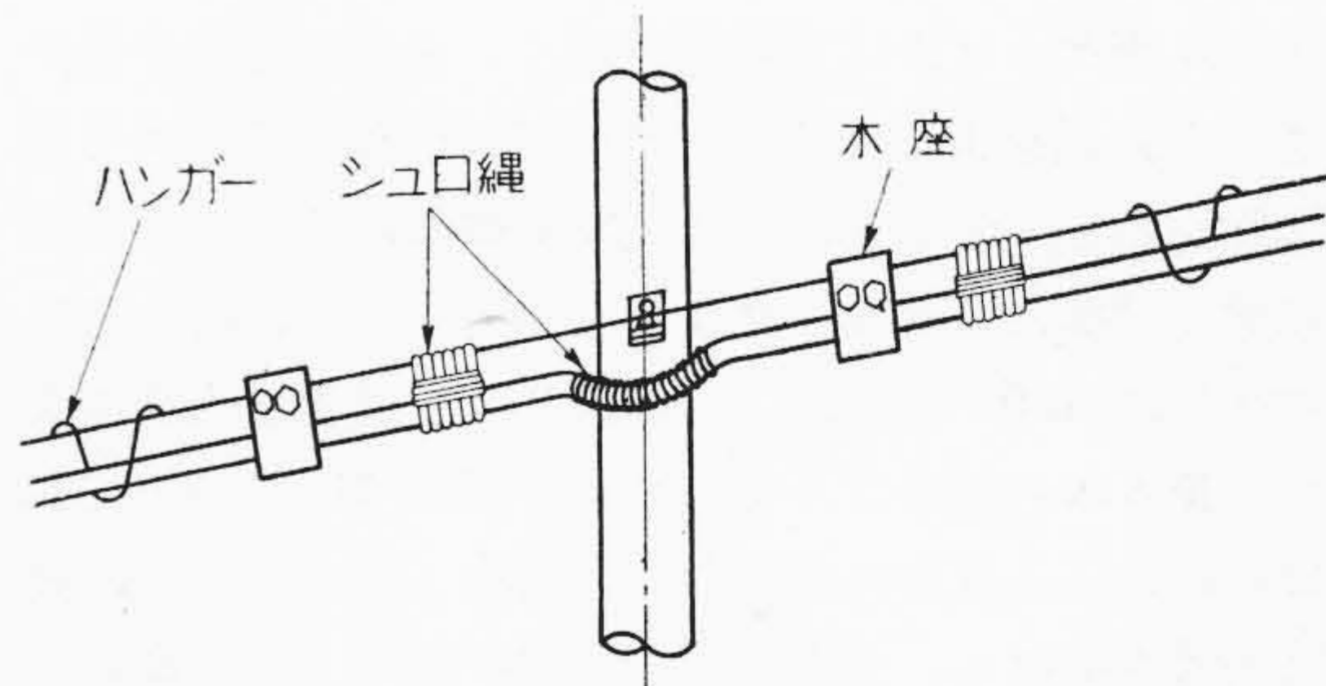
(iii) 屈曲はケーブル外径の40倍以上にし、それ以下の曲率半径での屈曲は禁止した。

本ケーブルの線路は、第1図の地形図でもわかるように相当難工事であることが予測されたので、アルミ被ケーブルを採用し、ケーブル巻枠も軽量のものを用い、さらにケーブル単位長も110mにするという考慮が払われた。しかし実際の工事においては、このような考慮にもかかわらず、ケーブルの運搬が非常に困難をきわめ、ケーブル巻枠より外して、把巻にして運搬するという難工事であつた。第8図に接続工事の状況の一例を示した。

本ケーブル線路は傾斜地が多いため、ケーブルの引留が必要となり、工事に当つては、第9図のようなシュロ縄と木座を用いた引留工事を行い、ケーブルの滑りを防止した。ケーブルが軽量であるためこの工法で十分な効果が期待できる。

アルミ被ケーブルの架線工法を鉛被ケーブルの場合に比較するとつぎの利点がある。

(i) 運搬、取扱が容易である。



第9図 架空ケーブル引留方法  
Fig.9. Anchor Method of Pole Line

(ii) メッセンジャーワイヤが細くてすむ。

(iii) ハンガーの数が少くてよい。

(iv) アルミニウムが強靱であるので、作業中、運搬中の損傷のおそれが少ない。

架設後の線路の保守には、ケーブルに外傷が生じた場合湿気の混入により線路の絶縁が低下するおそれがあるので、ガス封入方式を採用し、窒素ガスを約+0.5kg封入しており、警報装置を備えて事故の確認ができるようになっている。

〔VIII〕 ケーブルの性能

(1) ケーブル単位長の性能

(A) 高周波特性

完成ケーブル単位長(110m)の高周波特性は、第5表に示すようである。ケーブルの平均インピーダンス73.1Ωに対して十分±1Ωに入っている。測定結果より、ケーブルの実効誘電率は1.22の値がえられた。なお第5表は18枠についての値であり、静電容量は1kc、特性インピーダンス、減衰量は100Mcにおける値である。100Mcにおける測定は同軸型定在波測定器によっている。インピーダンス不均等性は、同調抵抗置換法により10Mcまでの7箇の値を用いており、従来のケーブルよりも一段と向上したことが認められる。

第10図は減衰量一周波数特性曲線で、実測値と計算値が良く一致していることがわかる。なおアルミ被ケーブルでは、外部導体に銅テープを用いたケーブルと比較してアルミニウムの導電率が銅より悪いので、減衰量は増加するが、(9)式よりもわかるように、外部導体による抵抗減衰量はその内径に逆比例するので、さほど大きくなく、内外導体の直径比を3.9、アルミニウムおよび銅の体積固有抵抗を $1.72 \times 10^{-6}$ および $2.83 \times 10^{-6} \Omega\text{-cm}$ として計算すると、銅を使用した場合より5.8%増加するに過ぎない。この程度であれば十分銅に代つてアルミニウムは外部導体として実用できるわけである。

(B) 機械的性質

アルミ被ケーブルは可撓性が悪く、さらに屈曲半径が小さいと挫屈を生ずるので、ケーブル取扱上における屈曲半径を指定する必要がある。第6表に屈曲試験の結果を示す。試験は完成ケーブルから試料をとり、種々の外径の円板に180°巻き付け、往復2回を繰返す方法によつた。第6表の結果よりケーブル外径の20倍以上であれば屈曲による変形は全くない。架設工事においては高周波特性を考慮し、安全をとつて40倍以上を基準とした。

アルミ被ケーブルの長所は耐振動性のすぐれた点である。このケーブルについて、固定点間距離1.5mの試料の中央を、振幅4mmおよび8mmで、毎分600~1,000回の振動試験を行つたが、 $3 \times 10^7$ 回に至つてもなんら異常は認められない。この試験は、ケーブルに約 $1 \text{ kg/cm}^2$ の空気を封入して行い、破壊は端部に取付けた圧力計により検出するようにしている。合金鉛使用の通信ケーブルにおいては、大体毎分800回、振幅5mmの振動で $(1 \sim 5) \times 10^6$ 回程度で破壊する。本ケーブル線路では事故防止のためガス封入方式をとることになつている。そのためケーブル接続器の気密が問題になるので、ケーブ

第5表 ケーブル単位長の高周波特性  
Table 5. High Frequency Characteristics of Cable Drum Length

静電容量 C(pF/m)	最大値	51.0
	平均値	50.6
	最小値	50.3
静電容量標準偏差	$\sqrt{\Delta C^2}$ (pF/m)	0.188
	$\sqrt{\Delta C^2} / \bar{C}$ (%)	0.371
特性インピーダンス $Z_0(\Omega)$	最大値	73.5
	平均値	73.1
	最小値	72.4
特性インピーダンス標準偏差	$\sqrt{\Delta Z_0^2}$ (Ω)	0.283
	$\sqrt{\Delta Z_0^2} / \bar{Z}_0$ (%)	0.387
減衰量 $\beta$ (db/km)	最大値	26.8
	平均値	25.9
	最小値	25.4
減衰量標準偏差	$\sqrt{\Delta \beta^2}$ (db/km)	0.348
	$\sqrt{\Delta \beta^2} / \bar{\beta}$ (%)	1.34
不均等度 $S^2 \cdot r$ (Ω <sup>2</sup> ·m)	最大値	0.137
	平均値	0.091
	最小値	0.049

第6表 屈曲試験結果  
Table 6. Result of Bending Test

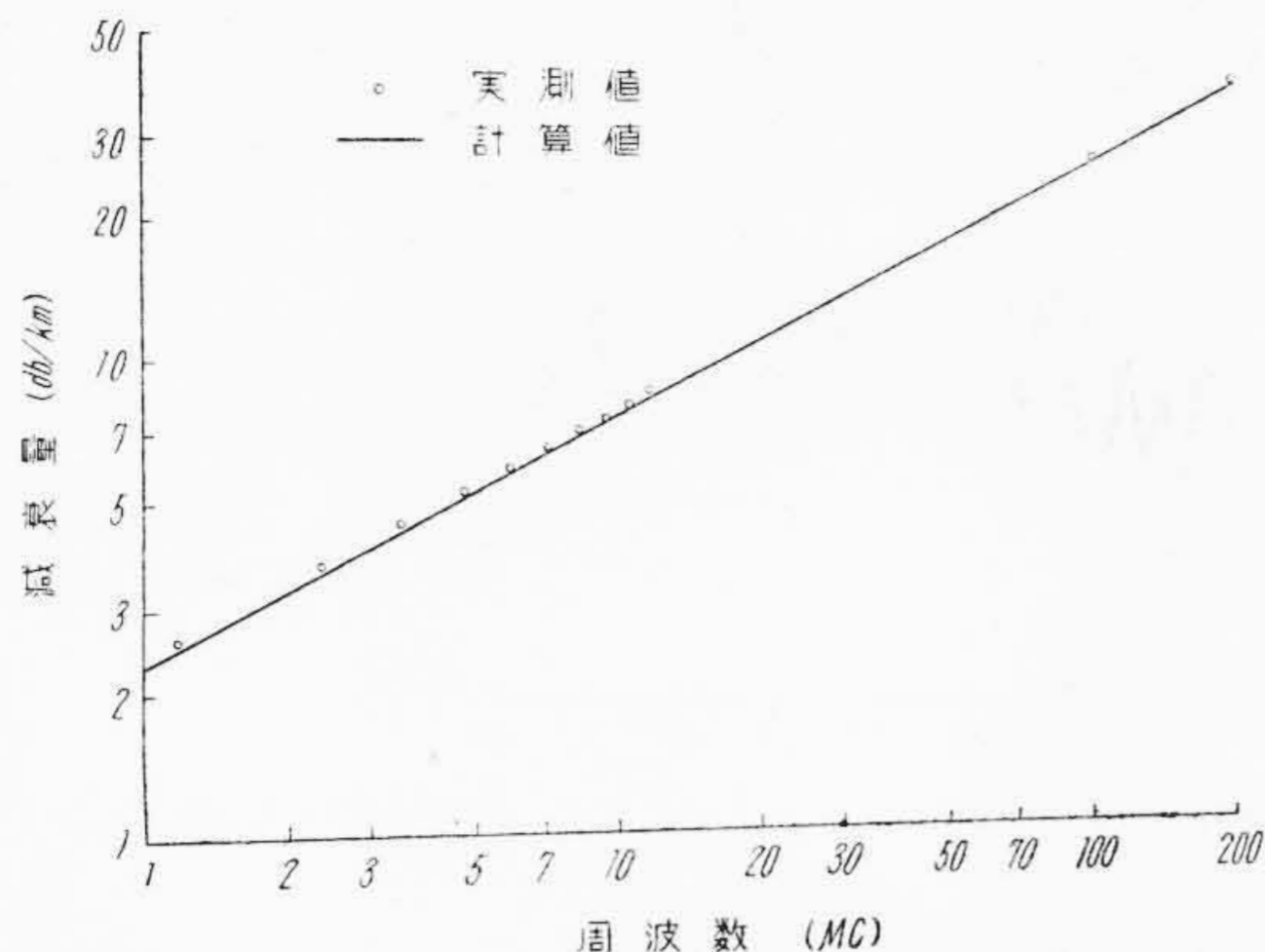
円板外径 (mm)	円板外径 ケーブル外径	屈曲部寸法 (mm)		屈曲部の状況
		横方向 最大外径	縦方向 最小外径	
110	8.2	18.8	6.4	挫屈を生ず
120	8.9	18.8	6.5	挫屈を生ず
130	9.6	16.9	9.7	扁平になる
140	10.4	16.4	10.4	扁平になる
150	11.1	15.4	11.7	少し変形する
160	11.9	14.3	11.8	少し変形する
200	14.8	14.2	12.4	外観上異常なし
300	22.2	13.5	13.4	外観上異常なし

ルと同様な振動試験を行つたがなんら異常は認められていない。

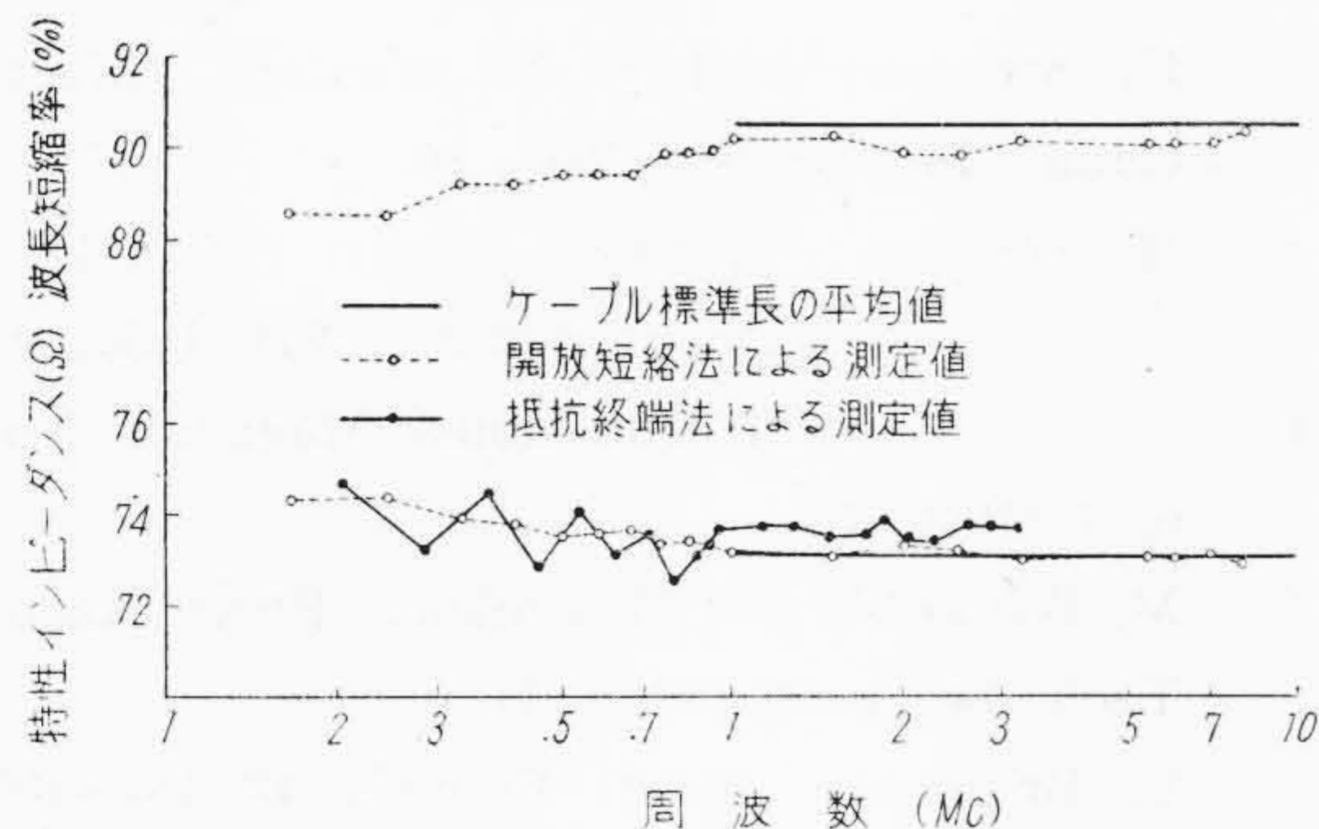
(2) ケーブル架設後の性能

架設後のケーブル実長は、アルミ被同軸ケーブル1,600mと、両端に機器接続用のポリエチレン充実型同軸ケーブル20mを持ち、合計1,620mである。架設後の線路特性は、このポリエチレンケーブルを含めて測定した。





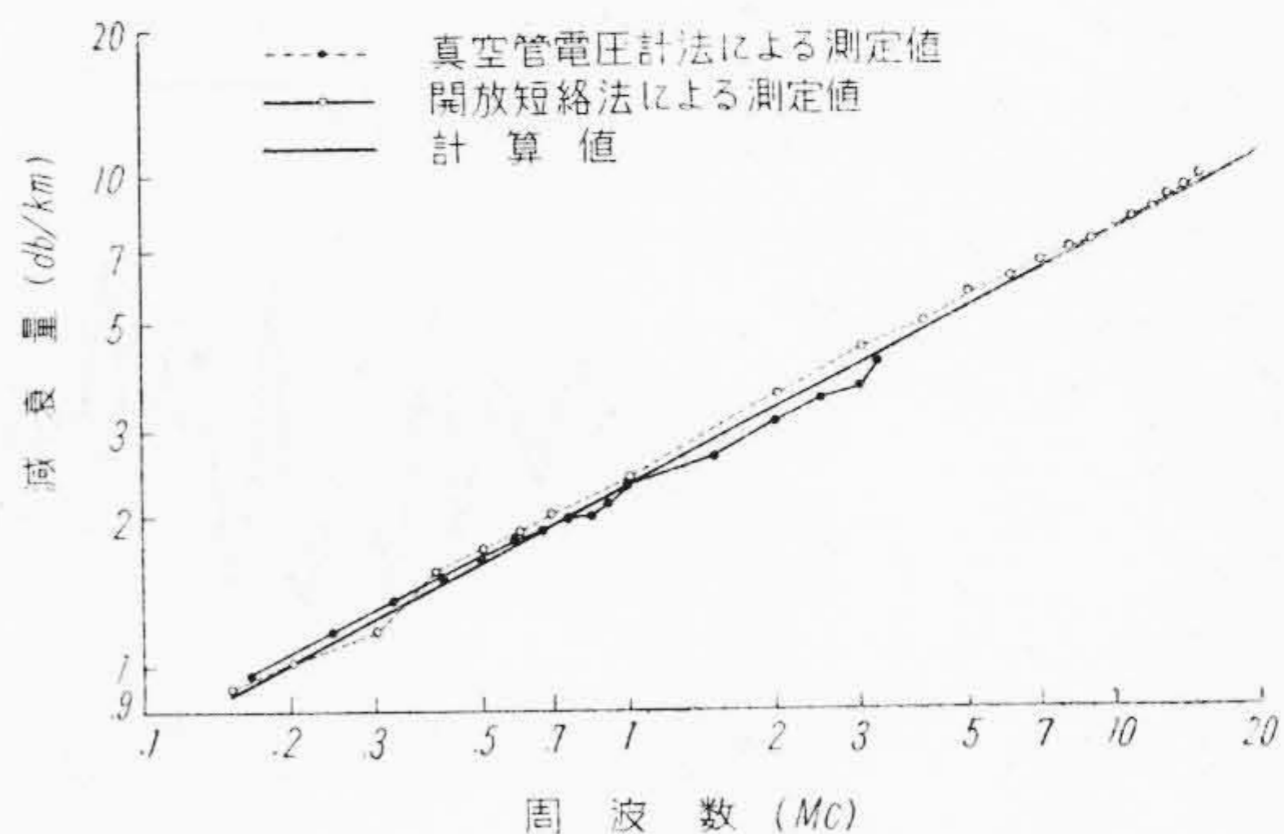
第10図 ケーブル減衰量の周波数特性  
Fig. 10. Relation between Frequency and Attenuation



第11図 線路の特性インピーダンスおよび波長短縮率の周波数特性  
Fig. 11. Relation between Frequency and Characteristic Impedance and Wave Length Constant of Television Transmission Line

第11図は特性インピーダンスおよび波長短縮率の測定結果で、開放短絡法(線路終端を開放または短絡して、同調周波数における入力インピーダンスを測定する方法)によつて測定したインピーダンス値と、ケーブル単位長の平均インピーダンスとは良く一致している。波長短縮率においてはわずかの差があるが、これは短縮率66%のポリエチレン充実型ケーブル20mを含めて測定しているのが原因である。インピーダンス測定結果において、抵抗終端法(線路終端に線路の平均インピーダンスに近い抵抗を接続し、同調周波数における線路の入力インピーダンスを測定する方法)による値がわずかに大きい平均インピーダンスを与えているが、この方法によるインピーダンスは、開放短絡法による値とは意味が少し異なるものであるから比較はできない。

第12図は減衰量の測定結果である。真空管電圧計で送受両端の電圧より求めた減衰量と、理論式よりの計算値とは良く一致している。開放短絡法による結果も大体一



第12図 線路減衰量の周波数特性  
Fig. 12. Relation between Frequency and Attenuation of Television Transmission Line

致するが、周波数が高くなると、入力インピーダンスがケーブルインピーダンスに近くなるため、誤差が大きくなるので、測定は3Mcに留めた。線路の使用周波数における減衰量の測定は、測定が困難であるため実施できなかったが、第10図および第12図より計算値と実測値が一致することより推定は可能である。

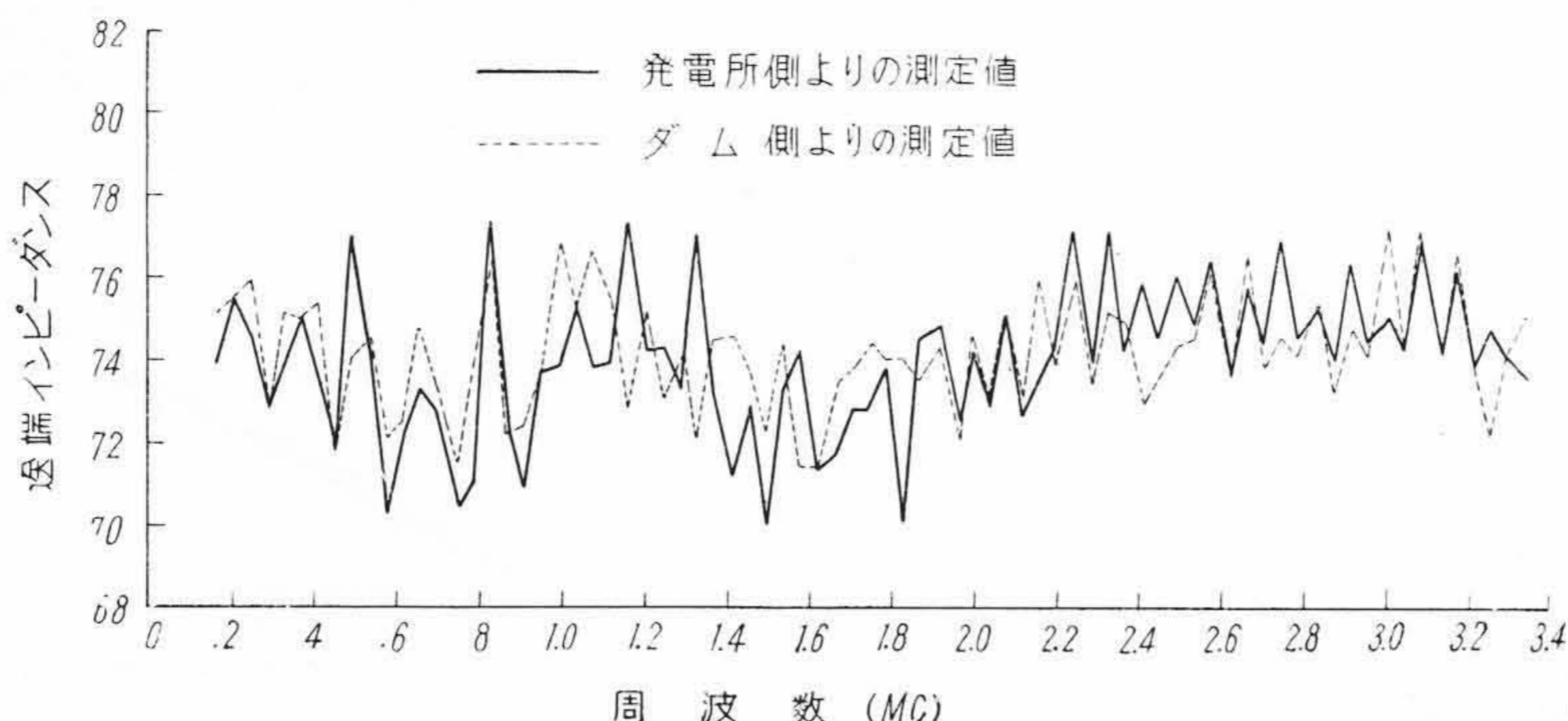
第13図(次頁参照)は架設後の線路の均等性を知る意味で、発電所側およびダム側より終端に73.8Ωの抵抗を接続したケーブルの入力インピーダンスを測定した結果である。測定器としては同調抵抗置換法装置を使用した関係上任意周波数のインピーダンスを求めることができず、同調周波数のみの実数部の測定になつている。今回のケーブルは架空線路である関係上ダクト引込みの同軸ケーブルに比較して条件が非常に悪く、さらに地形の悪い点も加わつて、ケーブル延線による癖の発生が多くなり、これがある程度影響して第13図のような変化になつたのではないかと考える。この不均等がテレビジョン伝送にどのような影響があるかを知ることはむづかしい問題で簡単に説明できるものではなく、この解明は理論的にも実験的にも今後に残された問題である。

本線路によつてテレビジョン像を伝送した結果では、全く支障がなく十分な成果がえられた。今後ケーブル製造技術の発達により不均等性も改善されるであろうからテレビジョンの有線伝送がますます信頼性のあるものとなることは十分期待できる。

### [IX] 結 言

以上今回中国電力明塚発電所に架設したテレビジョン伝送用のアルミ被ケーブルについて報告したが、この線路の特長を要約すればつぎの通りである。

- (1) 本ケーブル線路は、テレビジョン直接91.25 Mcの周波数で、1.6 kmを有線伝送するものとして我国で最初のものである。



第13図 線路の不均衡性

Fig.13. Irregularities of Television Transmission Line

(2) 使用したケーブルは、ポリエチレンコルデル巻アルミ被同軸ケーブルで、線路地形が悪く架設困難な点を、ケーブルが非常に軽い点で克服している。

(3) アルミ被ケーブルは機械的に頑丈で、しかも耐振動性にすぐれており、この点架空線路には最適である。またアルミ被覆が外被と外部導体を兼ねることができるとはケーブル製造上の有利な点である。

(4) ケーブル内部不均等性は、アルミ被ケーブルの採用により従来のケーブルより一段と向上した。

(5) ケーブルの接続には、特殊な機械的接続方法を用い、さらに線路の保守にガス封入方式を採用した。終りに臨み本線路の架設に当り終始多大の御援助を戴いた中国電力通信課高橋係長、土橋氏および明塚発電所上村所長に厚く感謝するとともに、設計製作に種々御指導御援助を戴いた日立製作所戸塚工場渡辺副工場長、東課長、今西主任、日立製作所中央研究所関口主任、日立電線工場関係者および測定に協力を戴いた瀬成田氏に対して深謝の意を表する次第である。

参考文献

(1) F. A. Cowan: Proc. I. R. E. 35 1364~1367 (1947, 11)

(2) J. McQuay: Radio News 38号 39~41 (1947, 11)

(3) H. Stanesby and W.K. Weston: Elect. Cmm., 26 186~200 (1949, 9)

(4) 日本金属学会: 金属便覧 丸善発行 (昭 27-12)

(5) : Plastics 15 243~244 (1950, 9)

(6) : Telcon House Magazine No. 6, 7 (1950, 3)

(7) M. Didlaukis and H. Kaden: Elekt. Nach. Tech. 14 13~23 (1937, 1)

(8) L. Brillouin: Elect. Comm., 17 164~187 (1938, 10)

(9) P. Mertz and K.W. Pflieger: Bell. Sys. Tech. Jour., 16 541~559 (1937, 10)

(10) 辻: 電気三学会第22回連合大会予稿 (昭 18-4)

(11) 鳴海: 電気三学会第22回連合大会予稿 (昭 18-4)

(12) 宮川: 同軸ケーブルの研究 科学新興社発行 (昭 25-6)

(13) H. Kaden: Arch. Elekt. Übertragung 7 157~162, 191~193 (1953, 3,4)

(14) R.J. Turner: Post Office Elect. Eng. Jour., 45 72~76 (1952, 7)

(15) 本多, 堀口: 日立評論 36 1701~1707 (昭29-11)

