

# アルミ被細心同軸ケーブルの諸特性

## Characteristics of Aluminum Clad Thin Cored Coaxial Cables

古 寺 裕\* 鵜 飼 齊\* 森 田 昌 康\*  
 Hiroshi Kodera Hitoshi Ukai Masayasu Morita

### 内 容 梗 概

東海道新幹線には、わが国工業技術の粋が数多く集められているが、本報告ではその一つであるアルミ被細心同軸ケーブルの同軸心構造と漏話特性の変化、ケーブルに対する機械的変形と電気的特性の関係、発泡ポリエチレンコア特性と同軸心特性の関係、およびケーブル布設後の特性測定例について述べてある。

各種試験の結果、ケーブルの最適構造、布設上の問題、製造上の管理ポイント、および布設後におけるケーブル特性の変化などが明らかにされた。

### 1. 緒 言

東海道新幹線に使われているアルミ被細心同軸ケーブル<sup>(1)</sup>（以下細心同軸という）は、従来使われてきたいわゆる375形同軸ケーブルよりも小形軽量で、現在の進歩した中継機器を併用することによって、いままで同軸搬送を適用できなかった分野にもきわめて経済的な同軸搬送システムを提供できるものである。

細心同軸についてはいままで種々の報告<sup>(2)(3)</sup>が行なわれているが、本報告においては、同軸心構造と漏話特性の変化、ケーブルの機械的変形と電気的特性の関係および発泡ポリエチレンコア特性と同軸心特性の関係について布設後の特性例とともに述べる。

### 2. 細心同軸ケーブルの機械的特性

ケーブルの機械的特性に対する要求は、それぞれの品種、用途などによりさまざまであるが、ここでは同軸ケーブルの品質を保証する場合の一つの重要な要素であるパルス反射特性と、細心同軸に与えた衝撃変形との関係を検討した。

本細心同軸は、外部からの機械的衝撃に対して十分保護されているが、布設の際になんらかの形で外力を受けることが考えられ、ケーブルコアに対するその影響が問題となる。

#### 2.1 細心同軸の構造

ケーブルの機械的特性を検討する場合には、その構造が前提となる。

東海道新幹線に使われている細心同軸の構造を第1図および第1表に示す。

第1図および第1表からわかるように、このケーブルはアルミシースおよび鋼帯によって外力から保護されているとともに、ポリエチレンシースおよびビニル防食層によって腐食による保護力の低下がないよう十分考慮されている。

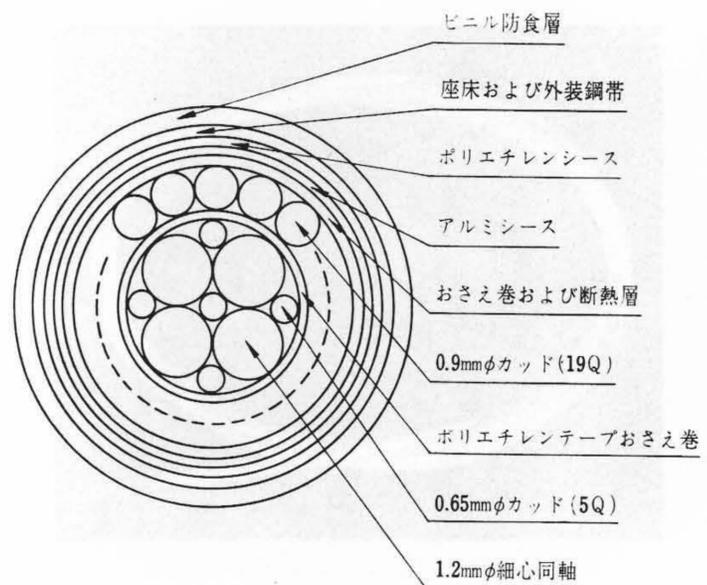
#### 2.2 試験方法

実際に布設されるケーブルが受ける外力の状況は、多種多様であり一律なものではないが、本実験では衝撃試験機を用いてケーブルに衝撃変形を与え、ケーブルコアに及ぼす外力の影響を調査した。この実験によって、衝撃による影響の概略を知ることができる。

第2図に衝撃試験機を使用した試験法の略図を、第2表に実験条件を示す。

この衝撃試験機はモータ（図示されていない）によりチェーンを介して衝撃ハンマを巻きあげ、一定高さのところに設定された落下距離設定ピンによってチェーンと衝撃ハンマの係合を開放して定まった高さから衝撃ハンマを落下させるようになっている。衝撃条件を変えるには、ハンマの重量または落下距離設定ピンの位置を変え

\* 日立電線株式会社日高工場



第1図 アルミ被細心同軸ケーブルの構造図

第1表 アルミ被細心同軸ケーブル構造

項 目	単 位	同 軸 心	カ ッ プ	
			介在カッド(5Q)	外層カッド(19Q)
導 体 径	mm	1.2	0.65	0.9
絶 縁 体	—	発泡ポリエチレン	ポリエチレン	ポリエチレン
コ ア 外 径	約 mm	7.0	1.19	1.60
アルミシース厚	約 mm	1.5		
アルミシース外径	約 mm	35.0		
ポリエチレン防食層厚	約 mm	1.5		
ポリエチレン防食層外径	約 mm	38.0		
外 装 鋼 帯 厚	mm	0.8×2 枚		
ビニル防食層厚	約 mm	3.0		
ビニル防食層外径	約 mm	48.0		

ればよい。

#### 2.3 実験結果

##### 2.3.1 衝撃ハンマ落下距離と変形率

衝撃試験後の変形率と衝撃ハンマ落下距離との関係の測定結果を第3図に示す。

ケーブルの変形度を示すには種々の方法が考えられるが、ここでは(1)式に示すような定義をした。

すなわち、変形率をRとすれば

$$R = \frac{D-d}{D} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (1)$$

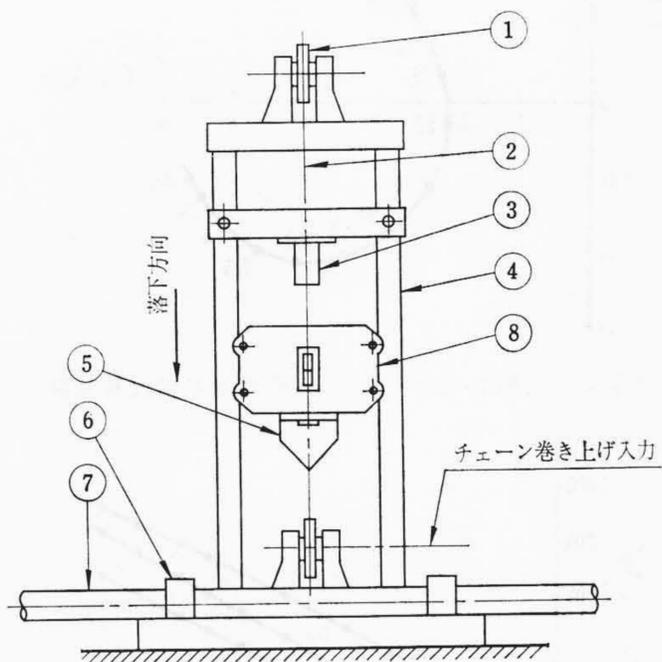
ただし、R：変形率(%)

D：変形前のケーブル外径(mm)

第2表 衝撃試験条件

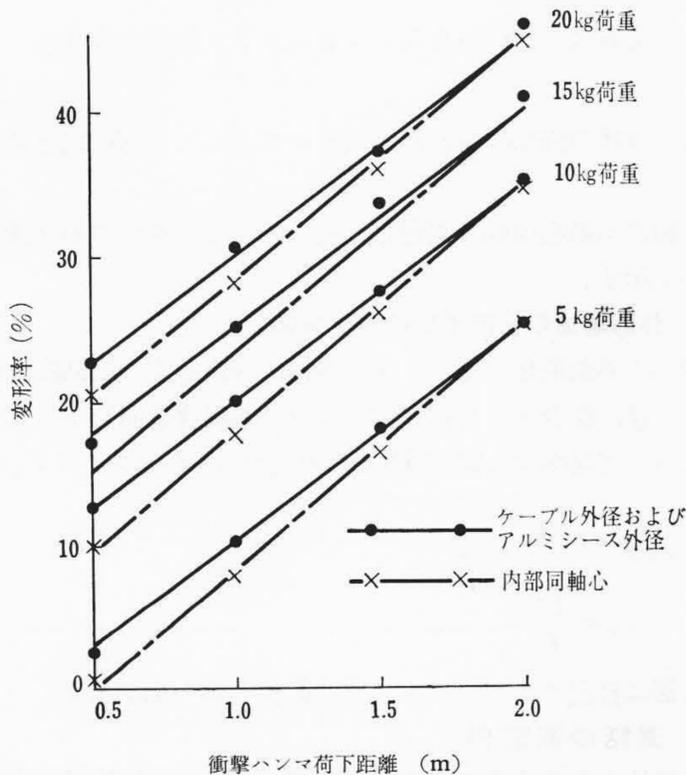
落下距離 (m)	0.5	1.0	1.5	2.0
衝撃ハンマ重量(kg)	5	10	15	20

備考 上記試験条件で16組合せの試験を実施した。



- ① スプロケットおよび衝撃ハンマ保持器巻き上げ用チェーン
  - ② 衝撃ハンマ保持器巻き上げ用チェーン
  - ③ 落下距離設定ピン
  - ④ ガイ ド レ ー ル
  - ⑤ 衝 撃 ハ ン マ
  - ⑥ 試 料 固 定 用 ク ラ ン パ
  - ⑦ 試 料
  - ⑧ 衝 撃 ハ ン マ 保 持 器
- (注) チェーン駆動用動力装置は示されていない。

第2図 衝撃試験装置略図



第3図 衝撃ハンマ落下距離と変形率の関係

d: 変形部分のケーブル短径 (mm)

第3図から明らかなように、衝撃ハンマ落下距離と変形率は比例関係にある。落下距離および衝撃荷重が比較的小さいときは、アルミシースの変形率に比べて内部同軸心の変形率は小さく、機械的に保護されていることがわかるが、衝撃ハンマ落下距離が2mになると衝撃荷重は5kg程度でも内部同軸心の変形率はアルミシースの変形率と同じ値となり、保護効果が失われている。

2.3.2 カッドに対する影響

次に、外層カッドおよび介在カッドに対する衝撃の影響は次のとおりである。影響の度合いは各カッドの断線試験および混線試験によって判断した。その結果を第3表に示す。

第3表から明らかなように、40kg-mの仕事量をケーブルに与

第3表 断混線試験結果

落下距離	0.5m		1.0m		1.5m		2.0m	
	断線	混線	断線	混線	断線	混線	断線	混線
5kg 荷重	0	0	0	0	0	0	0	0
10kg 荷重	0	0	0	0	0	0	0	⊕ 2
15kg 荷重	0	0	0	0	0	⊕ 2	0	⊕ 5 ⊕ 2 ⊕ 4
20kg 荷重	0	0	0	0	0	⊕ 2	0	⊕ 4 ⊕ 4

- 備考 (1) 同軸心の直流2kV/1分間耐圧結果は良好であった。
- (2) 上表の数字は、断、混線不良発生数を示す。
- (3) 上表の⊕は、介在カッド、⊕は外層カッドを示す。

第4表 絶縁体損傷数

落下距離	0.5m		1.0m		1.5m		2.0m	
	介在	外層	介在	外層	介在	外層	介在	外層
5kg 荷重	0	0	0	0	0	0	2	0
10kg 荷重	0	0	2	0	6	0	8	3
15kg 荷重	0	0	4	0	12	10	17	19
20kg 荷重	0	0	6	5	19	18	20	22

備考 上表の数字は絶縁体の損傷発生数を示す。

えても断線事故は起こらないが、混線事故は20kg-mの仕事量でおきており、その個数は外層カッドよりも介在カッドに多い。

混線の原因は絶縁体の損傷によるものであるが、断線事故がおきていないのは衝撃の影響が心線を破断させるまでには至っていないことを示すものである。

さらに、第4表に各カッドの絶縁体損傷数を示す。

第4表からわかるように絶縁体の損傷は10kg-m以上の仕事量から多く発生している。損傷箇所は各カッドとも同一のところであることは少なく、各心線とも異なった場所で損傷を受けているため、第3表と第4表の結果は一致しない。

また、外層カッドよりも介在カッドのほうが衝撃の影響を多く受けているが、これはケーブル構造上介在カッドは比較的堅い同軸心にかこまれ、または直接隣りあっているのに対し、外層カッドはおさえ巻ポリエチレンテープないしは断熱紙巻層のクッション効果が作用しているためと考えられる。

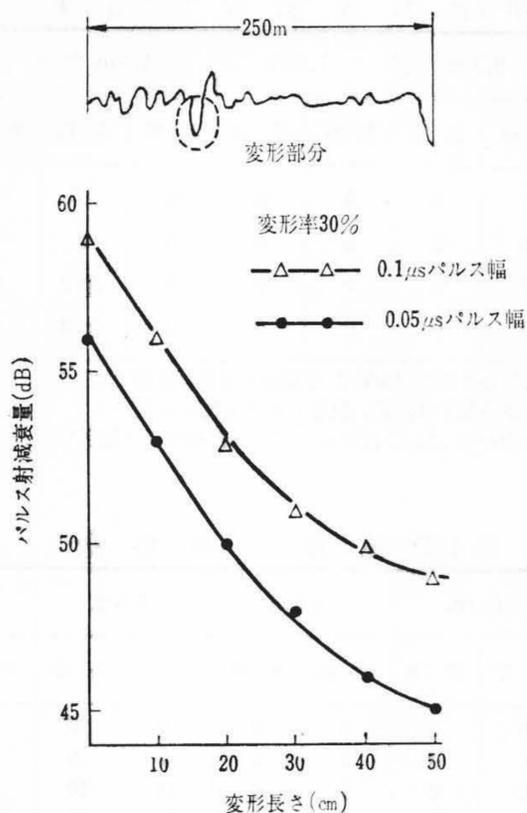
2.3.3 同軸心に対する影響

同軸心の変形とパルス反射減衰量(以下パルス反射という)の関係は次のとおりである。

同軸心のパルス反射に対する変形の影響を調査するには、部分的な変形を与えただけでは不十分で、ある長さにわたって変形を与えないとパルス反射の劣化として現われてこないことがある。したがって変形率を一定として変形長さを変えながら測定する必要がある。また、その変化を容易にトレースできるようにするため、パルス反射のよい(パルス反射減衰量大きい—不均等の少ない)ケーブルを用い、変形部分を反射波形の比較的平坦な部分に選んだ。

第4図は変形率を30%にして変形長さを変えた場合の測定結果を示したものである。

第4図からわかるように、変形長さが10cm以下であればパルス反射の劣化は最大3dB程度であるが、50cmになると10dBの劣化が起こっている。このことから、変形率は小さくても変形長さの長い(約10cm以上)変形を受けたときはパルス反射が大幅に劣化するので、布設工事の際に注意する必要がある。



第4図 変形長さとパルス反射減衰量の関係

### 3. 同軸心間の漏話特性

#### 3.1 漏話

同軸心間の漏話減衰量（以下漏話という）は一般に周波数とともに大きくなる。したがって漏話の規格としては伝送周波数帯域の下端で定めるのが合理的であり、細心同軸ではそれを 60 kc/s にとる場合が多い。

遮へい層をもつ2本の同軸心間の漏話は次の式で表わされる。

$$\text{近端漏話 N. X. T.} = \frac{Z_R}{4 Z_c \gamma_c} (1 - e^{-2\gamma_c l}) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{遠端漏話 F. X. T.} = \frac{Z_R l}{2 Z_c} e^{-\gamma_c l} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $Z_R$ : 総合結合インピーダンス

$Z_c, \gamma_c$ : ケーブルの伝送定数

$l$ : ケーブル長さ

であり、 $Z_R$ は近似的に

$$Z_R \approx \frac{Z_k^2 Z_{12}}{Z_{11}^2} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $Z_k$ : 結合インピーダンス

$Z_{12}$ : 遮へい層の表面インピーダンス

$Z_{11}$ : 同軸心外部導体の自己インピーダンス

と表わすことができる。

一般に  $Z_c, \gamma_c$  はほかの条件によって定められるので、漏話特性を改善するには総合結合インピーダンスを小さくするのがよい方法である。

一方、遮へい層の表面インピーダンスはその材料と寸法により定められるので、結合インピーダンスと外部導体の自己インピーダンスの比  $Z_k/Z_{11}$  を小さくするのが漏話特性をよくするための合理的な方法となる。

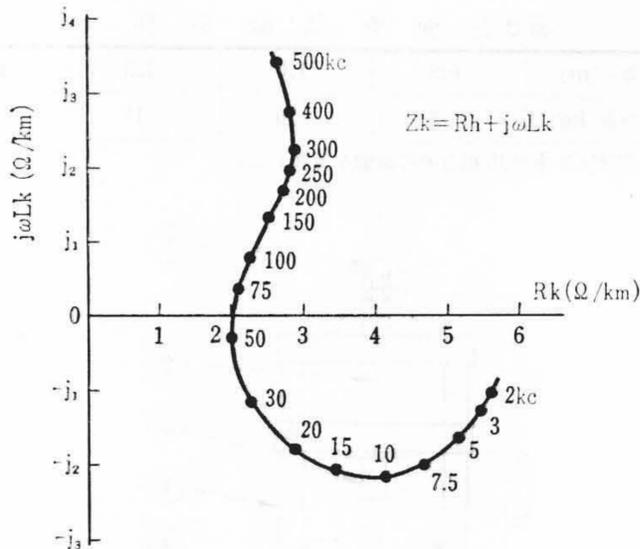
#### 3.2 結合インピーダンス

結合インピーダンス  $Z_k$  は次のように定義される。

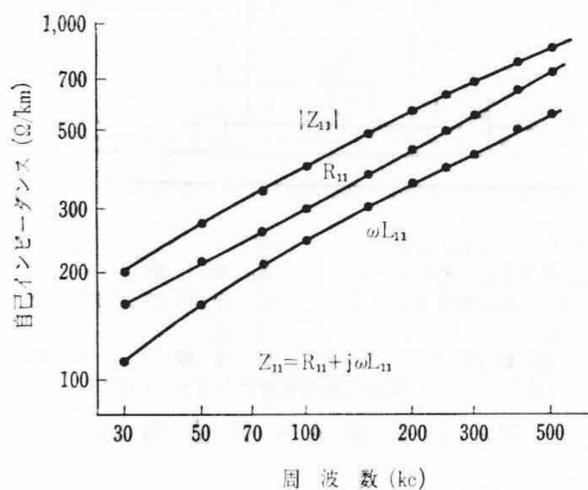
すなわち、同軸心の中心導体と外部導体間に電流  $I$  を流したとき、外部導体に沿って現われる電圧を  $V$  とすると、

$$Z_k = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (5)$$

また、相反定理により、外部導体の外部に帰路をとり電流  $i$  を流



第5図 同軸心結合インピーダンスの周波数特性



第6図 同軸心自己インピーダンスの周波数特性

し、外部導体の内部に現われる電圧  $v$  によっても (5) 式と同様に定義できる。

第5図に本細心同軸で測定した結合インピーダンスの周波数特性の一例を示す。

#### 3.3 外部導体の自己インピーダンス

同軸心の外部導体を通り、その外部に帰路をもつ回路に電流  $I'$  が流れるとき、結合インピーダンスにおける場合と同じように、外部導体に沿って発生する電圧  $V'$  から自己インピーダンス  $Z_{11}$  が定義できる。

すなわち

$$Z_{11} = \frac{V'}{I'} \dots\dots\dots (6)$$

第6図に自己インピーダンス周波数特性の一例を示す。

#### 3.4 漏話の測定例

漏話特性を改善するには 3.1 でも述べたように  $Z_k/Z_{11}$  を小さくすることがよい方法であるが、通常は  $Z_k$  が小さくなるよう考慮する。

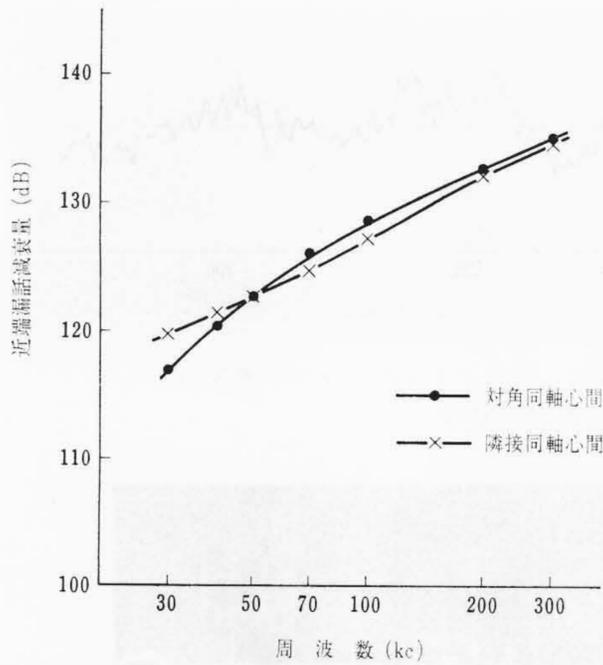
本細心同軸ではその方法として外部導体上に鉄テープを2枚開放らせん状に巻き、上層のテープは下層テープの間げきをおおうようにしてある。これにより同軸心本体を機械的に保護するとともに、漏話特性の向上を図っている。

結合インピーダンスを低下させる他の方法としては、

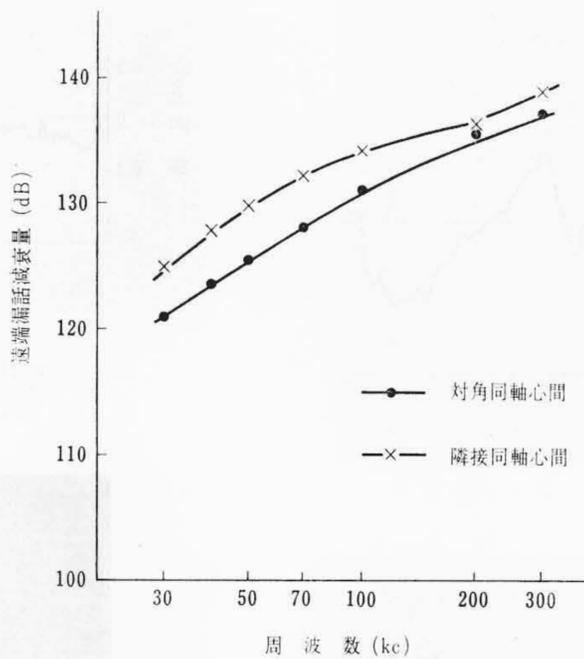
- (1) 鉄テープ縦沿
- (2) 鉄テープ重ね巻き

などが考えられるが、いずれも可とう性が悪化したり、屈曲したときの性能低下など問題点を含んでいるため、本細心同軸には採用されなかった。

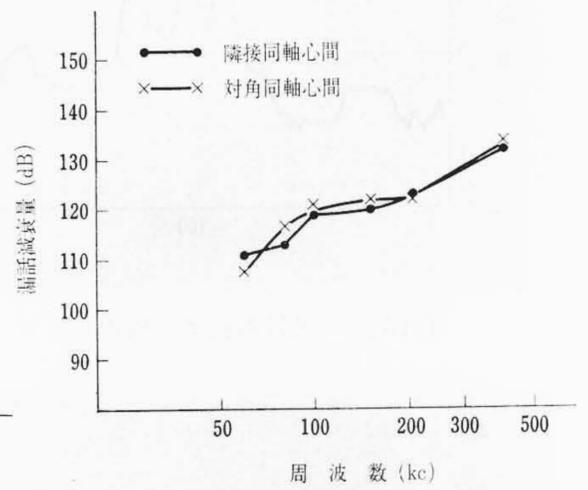
第7図および第8図に本細心同軸の漏話の周波数特性測定例を、



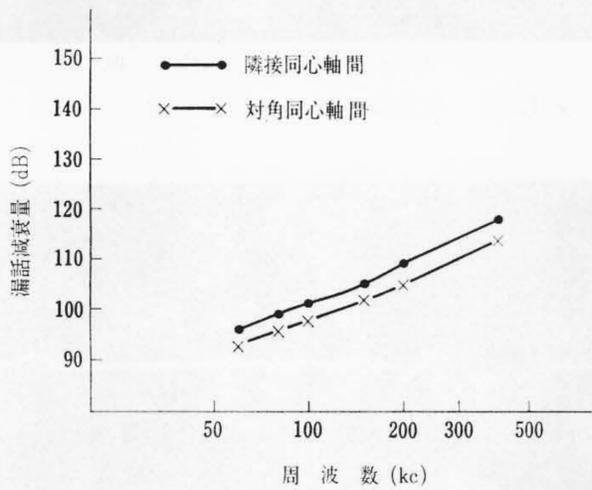
第7図 近端漏話周波数特性



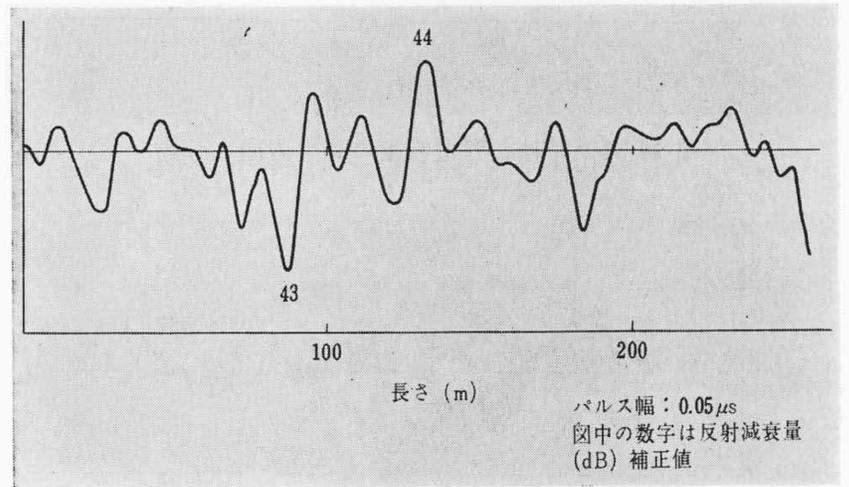
第8図 遠端漏話周波数特性



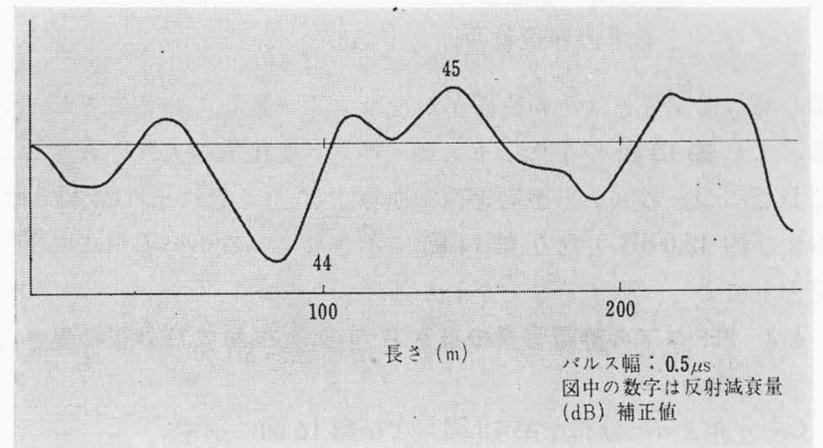
第9図 布設後の漏話の周波数特性 (近端漏話)



第10図 布設後の漏話の周波数特性 (遠端漏話)



第11図 試料のパルス反射波形(1)



第12図 試料のパルス反射波形(2)

また第9図および第10図に布設後の漏話の周波数特性測定例をそれぞれ示す(ただし布設前後の測定ロットは異なるもの)。

おのおのの図からわかるように、60 kc/s で近端漏話、遠端漏話ともに95 dB以上であり、問題のない値である。

#### 4. 同軸心内部不均等とパルス反射特性の関係

同軸心の性能は、特性インピーダンス、減衰量、あるいは漏話などのほか種々の特性で検定されるが、そのうちの一つに正弦自乗波パルスによるいわゆるパルスエコー試験(以下パルス試験という)がある。この方法によれば、同軸心の内部不均等をその位置とともにパルス反射として明りょうに測定することができる。

このパルス試験結果が、被測定ケーブルの実際の実特性(特に長さ方向の分布)をどの程度表わしているかを調査し、あわせて布設後の細心同軸のパルス反射特性についても検討した。

##### 4.1 実験方法

結果の判定を行ないやすくするため、比較的内部不均等の大きい同軸心として、発泡ポリエチレンコア押出の条件だけを乱し、他の製造条件は通常のものとした試料を作製した。

この実験の目的に合う試料の作製方法は上に述べた方法のほかに、機械的な変形を与える方法、あるいは異寸法心線をそう入する方法などさまざまな方法が考えられるが、押出条件を乱す方法が最も实际的であり、かつ不測の要因がはいりにくい方法であると考えられるからである。

本試料を用いて、発泡ポリエチレンコア(以下PEFコアという)の静電容量の長さ方向の分布(以下 $C_p$ -分布という)と外径の長さ方向の分布(以下 $d\phi$ -分布という)、および同軸心静電容量の長さ方

向の分布(以下 $C_x$ -分布という)とパルス反射特性の対応を調査した。

##### 4.2 パルス試験

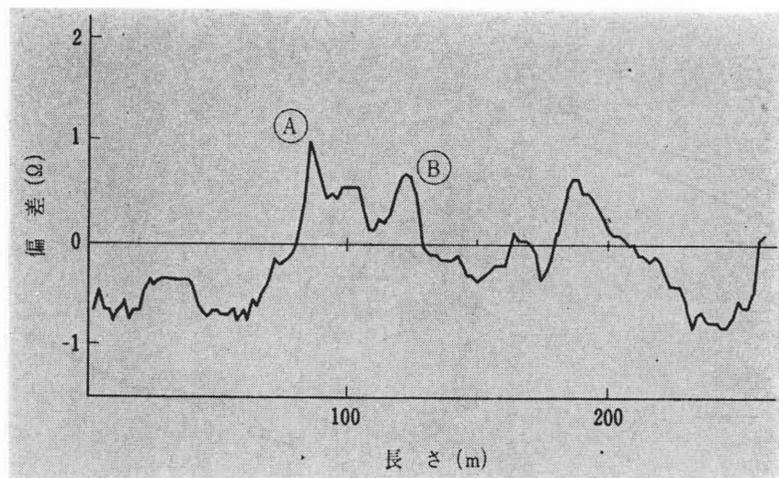
試料のパルス反射波形を第11図および第12図に示す。

これらの図によれば、測定端から約90 mと約140 mのところに不均等点が存在する。計算によれば、これらの点ではそれぞれ約 $1.05\Omega$ および約 $0.95\Omega$ の急げきなインピーダンス変動があるはずである。

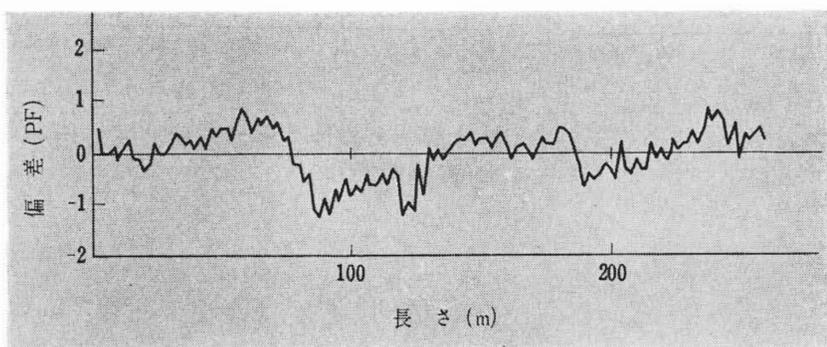
##### 4.3 試料のインピーダンスの長さ方向の分布および静電容量の長さ方向の分布

試料のインピーダンスの長さ方向の分布および $C_x$ -分布を第13図および第14図に示す。

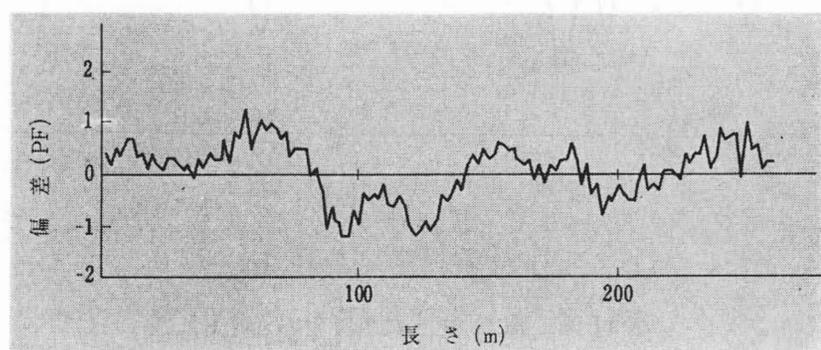
これらの図と第11図または第12図を重ねあわせてみると、パルス反射の悪い点とインピーダンスまたは静電容量の急げきな変動を



第13図 試料の長さ方向のインピーダンス分布



第14図 同軸心静電容量の長さ方向の分布



第15図 発泡ポリエチレンコア静電容量の長さ方向の分布

示している部分とはその位置がかなりよく一致していることがわかる。また第13図のうち、インピーダンス変化量の大きいA点およびB点について図から不均等量を逆算すると、それぞれ約43.5 dBおよび約45.0 dBとなり第11図に示されている不均等点に場所、値ともによく一致することがわかる。

#### 4.4 PEF コアの静電容量の長さ方向の分布および外径の長さ方向の分布

$C_p$ -分布と  $d\phi$ -分布を第15図および第16図に示す。

これらの図においてもそれぞれ静電容量および外径の急げきな変動部分があり、その場所は4.3におけると同様パルス反射の悪い点とよく一致する。

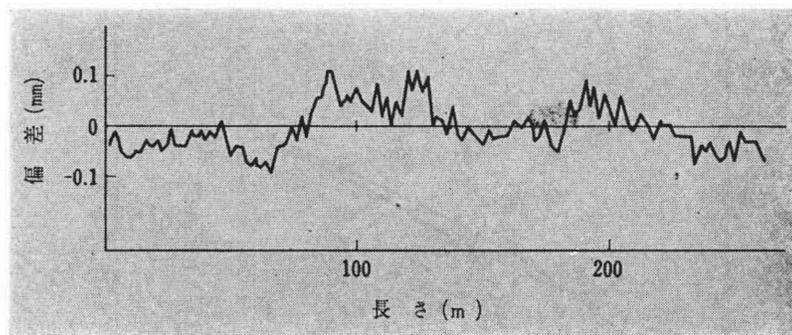
以上のように  $C_p$ -分布、 $d\phi$ -分布および  $C_x$ -分布が均一でなく急げきな変動部分を含んでいるとインピーダンスの長さ方向の分布も一様でなくなりパルス反射の劣化として現われる。

また、ここでは主としてPEF コア外径ないしは静電容量とパルス反射の関係について検討したが、2.3.3でも述べたように機械的変形とパルス反射とも密接な関係にあるから、パルス反射のよい同軸心は静電容量や外径などの不均一にもとづく内部不均等ないしは機械的な変形による障害などは、まったく起こっていない良質のものであると判断してよい。

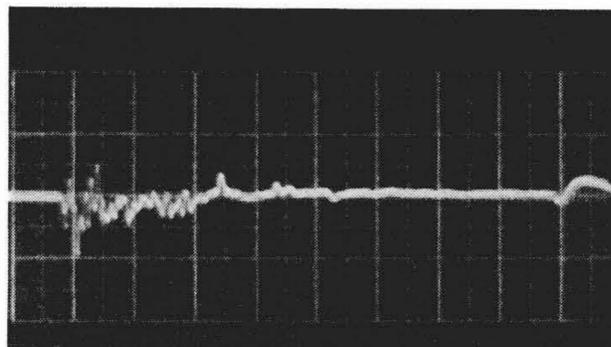
#### 4.5 布設後の細心同軸のパルス反射

第17図および第18図に1中継区間で測定した細心同軸の布設後のパルス反射波形を示す。

図に示されているように、最悪反射値は45 dBをはるかに上まわ

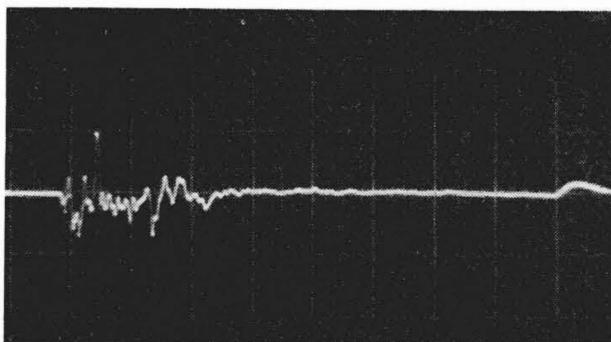


第16図 発泡ポリエチレンコア外径の長さ方向の分布



パルス幅: 0.2  $\mu$ s 最悪反射減衰量: 49.8 dB

第17図 布設後のパルス反射特性(その1)



パルス幅: 0.2  $\mu$ s 最悪反射減衰量: 49.3 dB

第18図 布設後のパルス反射特性(その2)

る値で、接続点における端インピーダンス差によるパルス反射も最悪値を上まわる良好な値である。これにより製造時の性能が布設後も保たれていることおよび接続工法が適切であることがわかる。

## 5. 結 言

以上述べたことを要約すれば次のとおりである。

- (1) 電氣的性能を保証できる変形量は本細心同軸の場合、10 kg-m までの仕事量に加えられたとき、ないしは20%の変形率に達したときがそれぞれ限界と考えられる。
- (2) 同軸心の可とう性または取り扱いやすさを考えたとき、鉄テープ2枚開放らせん巻の遮へい構造で十分な漏話特性が布設後まで保証できる。
- (3) 同軸心のパルス反射特性は、その機械的変形を含め内部不均等と密接な関係にあることを実際の試料により確認した。
- (4) 布設後のデータから、接続工法が適切であったことおよび布設時には機械的変形を受けなかったこと、また外力を受けたと考えても内部に対する保護が十分であったことが明らかにされた。

終わりに当たり、終始ご指導ご協力いただいた日本国有鉄道のかたがた、日立電線株式会社の関係各位に厚くお礼申しあげる。

## 参 考 文 献

- (1) 日本国有鉄道仕様書: 幹電 26-212号
- (2) 古河電工時報 (昭 34-7)
- (3) 通信用ケーブル: 日本電信電話公社 (昭 37-3)