

長距離ITV伝送用 日立バロン形Zスクリーン ケーブル

Balloon Type Insulated Z-screen Cable for Long Range ITV Transmission

平衡対形ケーブルを用いてITV伝送システムを構成する場合、最も大きい問題はシステム間の漏話である。本稿は、長大自動車トンネル内ITVシステムのように、長中継間隔、多システム伝送が要求されるケーブルの漏話設計、特性について、今回日本道路公団恵那山トンネルに布設した日立バロン形絶縁Zスクリーンケーブルを例にとり説明した。

1条のケーブルで多システム双方向伝送を行なう場合、近端漏話はZスクリーンのような内部しゃへいにより容易に解決される。また遠端漏話の周波数及び距離依存特性については、これを周波数 f 及び距離 l の平方根 $\sqrt{l}$ に比例する直接漏話と、 f^2 と l に比例する間接漏話の和で表わすことにより説明できる。

1 緒 言

近年、交通、教育、産業の各分野で監視、案内サービスを目的としたビデオ情報システムへの需要が急速に高まりつつある。このうちITVシステムは最も需要の多いもので、単にテレビカメラとモニタを同軸コードでつないだだけの簡単なものから、長大自動車トンネル内交通監視システムのように数十台のカメラからの映像信号を選択のうえ中継伝送し、集中監視、制御するといった大規模システムまで、その適用分野は広範囲にわたってきている。

ITVの伝送路としては同軸ケーブルが主に使われているが、最近では既存の市外発泡ポリエチレン絶縁(Polyethylene Foamed: 以下、PEFと略す)ケーブルとともに、広帯域対形ケーブルやバロン対形ケーブルのような広帯域伝送専用の平衡対形ケーブルが用いられる傾向にある。これは平衡対形ケーブルが同軸ケーブルよりも次のような点で有利であることによるものである。すなわち、(1)既設ケーブルを利用できること。(2)分岐・接続など取り扱いが容易であること。(3)多システムの収容が可能であること。(4)低周波誘導妨害に強いこと。(5)経済的であること。

筆者らはこれまでにITV伝送、パルス符号変調方式(Pulse Code Modulation: 以下、PCMと略す)伝送などの広帯域伝送に用いる平衡対形ケーブルを検討してきたが、この度、中央自動車道恵那山トンネル内監視ITVシステム用として1.2/3.0バロン形絶縁Zスクリーンケーブルを開発、布設した。このトンネル内ITVシステムでは、1条のケーブルでトンネル内のカメラからの映像信号を全長約12kmのトンネルの両端にあるトンネル坑口分室(以下、坑口分室と略す)まで伝送する、いわゆる1条双方向中継伝送方式を採用している。

今後とも道路トンネルなどでITV監視システムは増加すると考えられるので、恵那山・網掛システムを例にとりITVシステム伝送路設計上特に配慮すべき問題点、及び今回納入した長距離ITV伝送用バロン形絶縁Zスクリーンケーブルの特性について紹介し、併せて広帯域平衡対形ケーブルの遠端漏話周波数・距離依存性について説明する。

井場木昭夫* *Ibaki Akio*
大森信夫** *Omori Nobuo*
星川雄*** *Hoshikawa Takeshi*
小林恒之*** *Kobayashi Tsuneyuki*

2 恵那山・網掛トンネル内監視ITVシステム

2.1 システムの概要

このITVシステムは、中央自動車道の中津川インターチェンジ(インターチェンジ: 以下、ICと略す)～飯田IC間に位置する約8.5kmの恵那山トンネル、約1.9kmの網掛トンネル及び両トンネル間のほぼ1.5kmの明かり区間の計約12.5kmの全区間を82台のカメラでカバーし、両端にある坑口分室の各6台のモニタにより選択監視するという、この種のシステムでは我が国最大のものである。図1に、この恵那山・網掛トンネル内ITVシステム系統図を示す。

日立電線株式会社は、このITVシステムのうち幹線伝送路用ケーブルの設計、製造を担当した。

2.2 システム伝送路への要求とその対策

システム伝送路への要求として次のようなものがあった。
(1) 82台のカメラからの映像信号をトンネルの両端にある坑口分室の各6台のモニタにより選択監視が可能であること。
(2) ケーブル収容管路の確保、布設工事の点よりトンネル内に布設するITV伝送用ケーブルは1条とする。したがって、1条ケーブル双方向伝送が可能であること。また各種のケーブルと並設されることもあるので、低周波誘導の影響が小さいこと。
(3) トンネル内に設置する中継器数はできるだけ少なくし、しかも中継器設置場所は換気所としたい。そのため最大中継間隔は約3.5kmとなる。

これらの諸要求に対しては、まず低周波誘導雑音に対して有利な平衡対ケーブルによる伝送を前提として、次のような対策をとった。

(1) カメラ台数が多いので、全区間を5ブロックに分割して集線点を各換気所に設ける。ブロック内のカメラからの映像信号は0.9mm市外PEFケーブルにより集線点に伝送する。これにより各ブロック内での最大集線距離は2km以下となるので、すべてのカメラは集線点まで0.9mm市外PEFケーブル(4MHzでの減衰量: 20dB/km)の無中継伝送距離内に収まる。各集線点からトンネル両側へは別の低損失幹線ケーブルによ

* 日本道路公団維持施設部通信課 ** 日立電線株式会社研究所 *** 日立電線株式会社日高工場

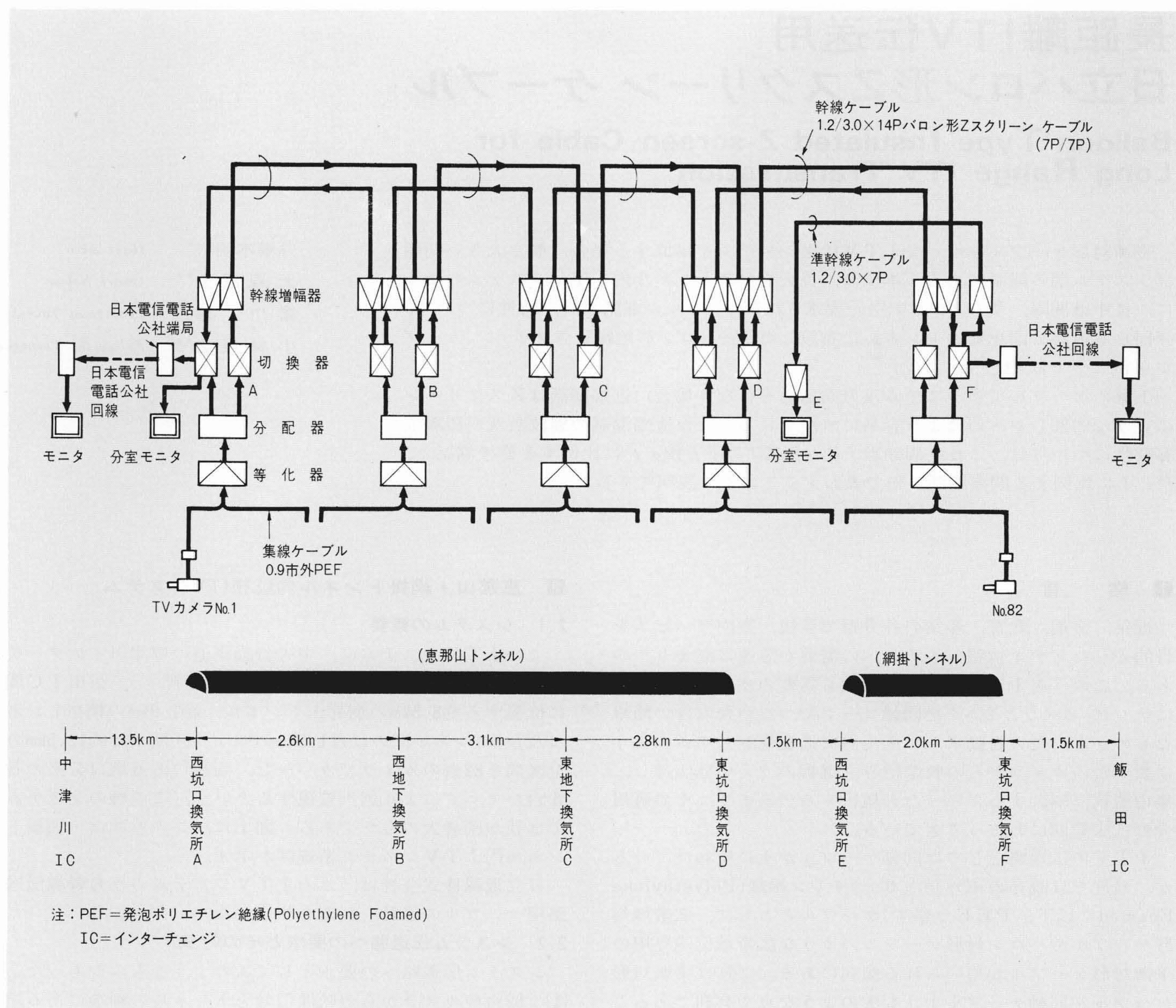


図1 恵那山・網掛トンネルITVシステム系統図 このITVシステムでは、中継器を換気所構内に設けたので中継間隔が平均3km、最大3.5kmと長くなっている。

り中継伝送する。

(2) 幹線ケーブルは上り信号、下り信号を1条で伝送するので(1条双方向伝送)、ケーブル内を分割しゃへいする必要がある。ケーブル内を分割しゃへいする方法として、近端漏話特性、経済性に優れたZスクリーン構造を採用する。

(3) 3.5km無中継伝送を行なうためには、中継器利得を40dBとすると線路減衰量は4MHzで、11.4dB/km以下でなければならない。そのため導体径を1.2mm、絶縁方式としては低誘電率となるバロン形を採用し、低損失化を図る。

中継間隔が最大3.5kmと長くなることにより、漏話雑音については従来以上の性能が要求される。これに対する検討は次章に譲るが、その結果をまとめケーブル構造の設計を行なうと表1、図2に示すような構造、設計目標値となる。

内部しゃへいには構造が簡単でユニット間のしゃへい特性の良好なZスクリーンが用いられているが、この構造はアルミニウム/ポリエステルラミネートテープをケーブル心集合の際、Z形に同時成形し、両ユニット間をしゃへいし、各ユニットを覆う構造である。

3 漏話雑音の検討

3.1 漏話雑音の種類

恵那山ITVシステムの伝送系は、図1に示したようにトンネル内集線系、トンネル内幹線系、トンネル外日本電信電話公社(以下、公社と略す)回線系の3区間に大別される。幹線系では4中継6システム1条双方向伝送を行なうので、ここで用いられるZスクリーンケーブルでは、3種類の漏話雑音が問題となる。すなわち、同方向伝送ユニット内遠端漏話雑音、異方向伝送ユニット間近端漏話雑音及びまわり込み漏話雑音である。

3.2 遠端漏話雑音

トンネル内集線系、幹線系、トンネル外公社回線系の各区分での総合遠端漏話減衰量を X_{F1} 、 X_{F2} 、 X_{F3} (dB)とすると、モニター端末での遠端漏話雑音によるS/N比、 $(S/N)_F$ (dB)は各区分の漏話雑音が電力和で相加すると考えると、

$$(S/N)_F = -10 \log(10^{-X_{F1}/10} + 10^{-X_{F2}/10} + 10^{-X_{F3}/10}) \text{ (dB)}$$

更に各区分に漏話雑音を均等配分すると($X_F = X_{Fi}$; $i=1, 2, 3$)

表1 Zスクリーン ケーブルの構造諸元及び要求性能 ITV信号の双方向、長距離伝送(回線長12km, 最大中継間隔3.5km)を行なうため、内部しゃへいにZスクリーンを低誘電率絶縁体として、バロン形絶縁を採用した。

項 目		設 計 目 標
ビ デ オ 対	導 体	1.2mm電気用軟銅線
	絶 縁 体	材料形状 バロン形PEチューブ
		外 径 約3.0mm
	構 成	対より(PE介在燃添, プラスチック テープおさえ巻)
	減 衰 量	4MHz, 1kmで標準値10.5dB, 最大値11.5dB以下
対	特性インピーダンス	4MHzで145±10Ω
	漏 話 減 衰 量	1. ユニット内遠端漏話減衰量 4MHzで100%の組み合わせが 42-10log l/250dB以上 平均値は, 58-10log l/250dB以上 ただし l: わく長 (m) 2. ユニット間近端漏話減衰量 4MHzで83dB以上
制 御 カ ッ ド	導 体	0.9mm電気用軟銅線
	絶 縁 体	材料形状 着色PE
		外 径 約1.44mm
集	構 成	カッドより
	合	1.2/3.0バロン ビデオ対 14対, 0.9mm制御カッド 16カッド及び警報回線を図2のように2ユニットに分割し, Z形に成形したアルミニウム/ポリエステルテープによりユニット間をしゃへいする。
しゃへい及び外被		アルベス シース
ケ ー ブ ル 外 径		約41mm
ケ ー ブ ル 重 量		約1.4kg/m

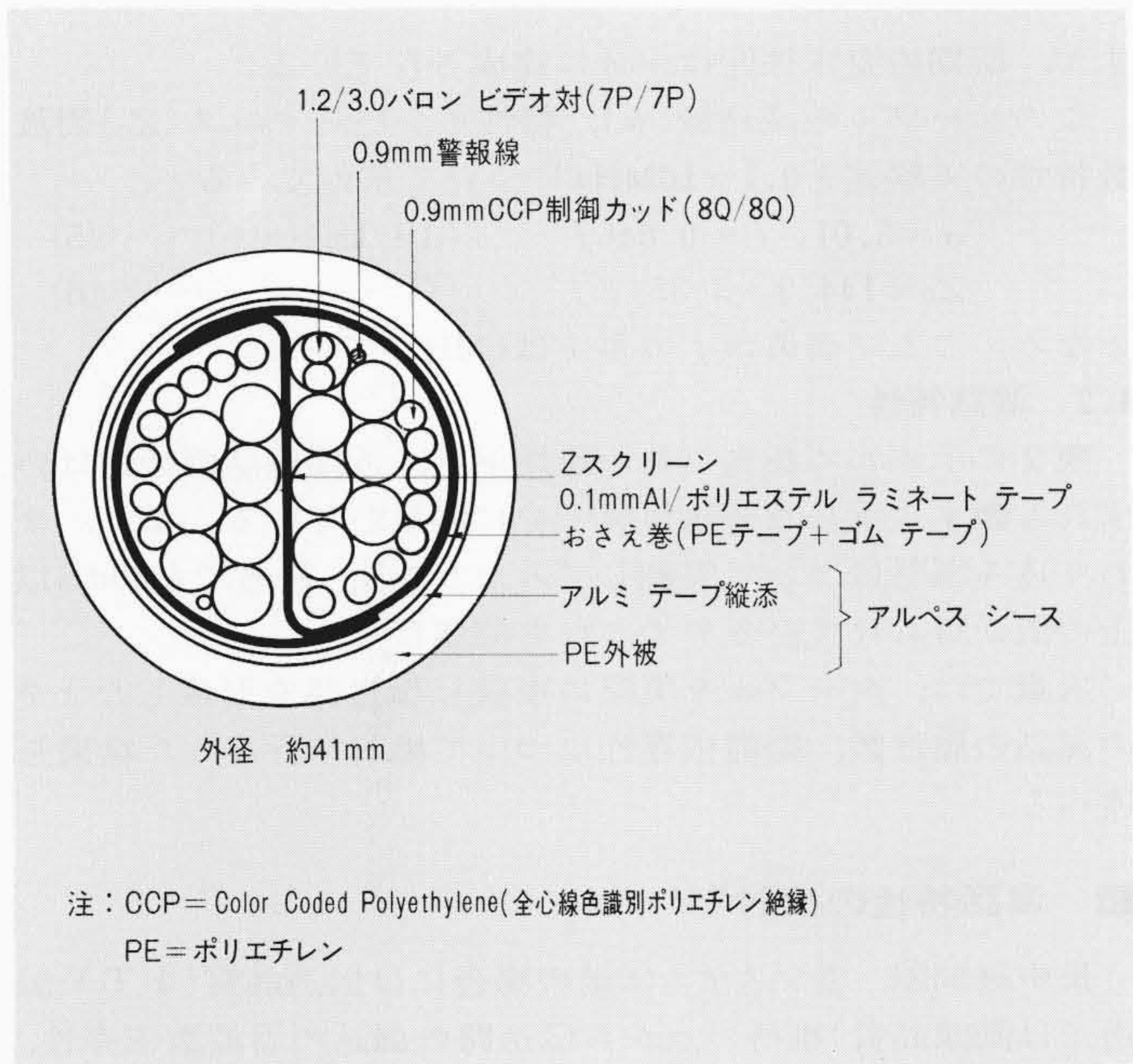


図2 1.2/3.0バロン絶縁Zスクリーン ケーブルの断面構造 このケーブルでは、バロン ビデオ対と制御カッドを上手に配列し、外径を約41mmに抑えることができた。

$(S/N)_F = X_F - 10 \log 3$

で表わされる。したがって、

$X_F \geq X_{F1} = X_{F2} = X_{F3} \doteq (S/N)_F + 5 \text{ (dB)} \dots\dots(1)$

(S/N)_Fの制御値として公社のITV-4M方式回線規格の「4MHzで23dB以上」を参考にして、ここでは6dBの余裕をとり、幹線系12kmでの総合遠端漏話減衰量はX_F=34dBとなる。

上式で求めたX_Fを用いて幹線用ケーブルの製造時に必要なわく長(標準長250m)での遠端漏話減衰量平均値 $\overline{X}_{FP}$ 及び最悪値X'_{FP}を求める。 $\overline{X}_{FP}$ についてはシステム間漏話、漏話の距離依存性ともに電力和相加と考えた次の(2)式に、収容システム数n=6, わく長l=250m, 伝送距離L=12kmを代入すると $\overline{X}_{FP} \geq 58\text{dB}$ が得られる。

$\overline{X}_{FP} \geq X_F + 10 \log L/l + 10 \log (n - 1) \text{ (dB)} \dots\dots(2)$

- ここで $\overline{X}_{FP}$: わく長lでの遠端漏話減衰量平均値 (dB)
X_F: 遠端漏話によるS/N比制限値(=34) (dB)
l: わく長(=0.25) (km)
L: 伝送距離(=12) (km)
n: ユニット内収容システム数(=6)

次に最悪値X'_{FP}を規定するに当たり、遠端漏話の場合にはその平均値 $\overline{X}_{FP}$ と最悪値X'_{FP}の間には標準偏差をσ_Fとすると、近似的にX'_{FP}≒ $\overline{X}_{FP} - 2\sigma_F$ の関係があり、この種のケーブルではσ_Fは6~10dBであることが知られていることを利用する。したがって、 $\overline{X}_{FP}=58\text{dB}$, σ_F=8dBとするとX'_{FP}としては42dB以上が必要となる。この場合の遠端漏話S/N比は(2)式より計算してX_F=18dBとなるが、ケーブルを接続するとき各わく内の最悪の組合せ同士が全長にわたって接続されることがほとんどないことなどから、5dB以上の改善を見込むことができるので問題はないものと思われる。

3.3 近端漏話雑音

幹線区間では1条のケーブルで4中継6システム双方向伝送を行ない、上り下り中継器とも同一換気所構内に設置されるので、異方向伝送システム間の漏話、すなわち近端漏話が問題となる。

近端漏話によるS/N制限値として公社規格では4MHzで20dB以上と規定されているが、遠端漏話の場合と同様29dBを設計目標とする。中継器利得を40dBとすれば、近端漏話の距離依存性は高周波では無視できるから、(3)式よりわく長当たりの近端漏話減衰量最悪値X'_{NP}は83dB以上となる。

$X'_{NP} \geq X_N + G + 10 \log m + 10 \log n \dots\dots\dots(3)$

- ここで X'_{NP}: わく長当たりの近端漏話減衰量 (dB)
X_N: 近端漏話によるS/N比制限値(=29) (dB)
G: 中継器利得(=40) (dB)
m: 中継区間数(=4)
n: 異方向伝送システム数(=6)

3.4 まわり込み漏話

中継伝送の場合に中継器設置点で中継器出力の一部が、ケーブル内の中継器を通らない制限回線などを經由して中継器入力側に逆送される、いわゆるまわり込み漏話が発生し、S/Nの悪化、ひいては中継器の発振をひき起こすことがある。

まわり込み漏話を第3回線(図3の#0に相当)を經由する二重近端漏話として扱う。第3回線としては前述した制御回線などの中継器を通らない回線があるが、これを經由するまわり込み漏話には自己回線の中継器入力側への自己まわり込み漏話と、他回線の中継器入力側へのまわり込み漏話の2種類に分けられる。これらまわり込み漏話の漏話減衰量要求値X_Rは次のようになる。

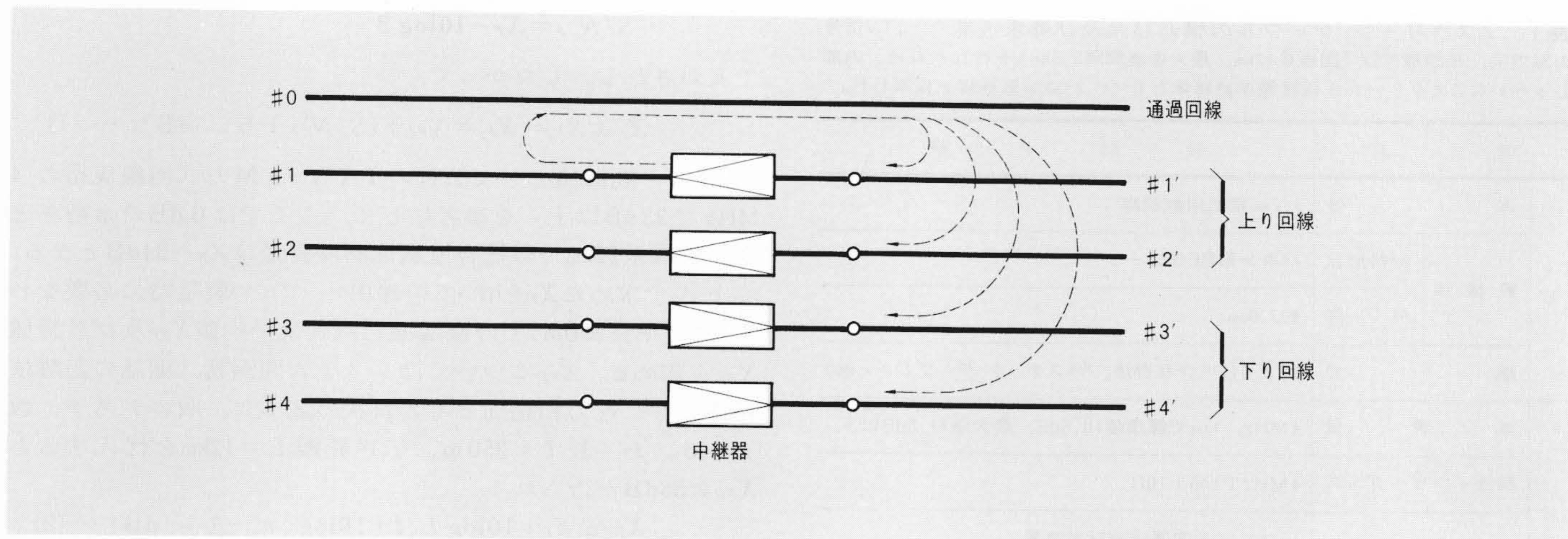


図3 まわり込み漏話 図中の4種のまわり込み漏話経路のうち注意をしなければならないのは、#1→(#0)→#2'という経路である。

(1) 自己回線へのまわり込み

$$X_R \geq G$$

ここで G は中継器利得であり、この条件は中継器が発振しない条件である。

(2) 他回線へのまわり込み

$$X_R \geq G + S/N + 10 \log n \quad (\text{dB}) \dots \dots \dots (4)$$

S/N はシステム設計条件により決定されるものであるが、30dB程度は必要と思われる。また、 n は収容システム数である。ここでは中継器利得 $G=40\text{dB}$ 、 $S/N=30\text{dB}$ 、収容システム数 $n=6$ であるから、(4)式より $X_R \geq 78\text{dB}$ は必要となる。

4 ケーブルの特性

4.1 電気的特性

このケーブルの構造を図4に、主な電気的特性を表2に示

表2 1.2/3.0バロンZスクリーン ケーブルの主な電気特性 ここには代表的特性のわく長データを示してあるが、漏話、減衰量とも表1の要求性能を十分に満たしている。

項 目	平均値	標準偏差	最大値	最小値 (最悪値)
静電容量 (nF/km at 1kHz)	29.2	0.52	30.9	27.9
減衰量 (dB/km at 4MHz)	10.2	0.52	11.3	9.6
特性インピーダンス (Ω at 4MHz)	146.0	5.47	154.1	134.5
遠端漏話減衰量 (dB/250m at 4MHz)	64.6	8.48	—	(45)
近端漏話減衰量 (dB/250m at 4MHz)	105.7	6.70	—	(83)

すが、所期の要求性能は十分に達成されている。

このケーブルの減衰量(α)、特性インピーダンス(Z_0)周波数特性の実験式を0.1~10MHzについて求めてみると、

$$\alpha = 5.01\sqrt{f} + 0.046f \quad (\text{dB/km}) \dots \dots \dots (5)$$

$$Z_0 = 144.3 + 3.35/\sqrt{f} \quad (\Omega) \dots \dots \dots (6)$$

となる。ここで周波数 f の単位は(MHz)である。

4.2 漏話特性

表2に示すわく長当たりの遠端漏話、近端漏話両特性はいずれも表1に示した要求値を十分に満足している。また、まわり込み漏話について実測してみたところ、最悪でも80dB以上の値が得られているのでこれも問題はない。

次章では、ケーブルを実際に接続し伝送路を形成したときの漏話の周波数、距離依存性について検討を行なった結果を述べる。

5 漏話特性の検討^{7),8)}

長中継間隔、多システム伝送の場合には伝送品質(ITV伝送では画像品質)維持の点から伝送路の漏話の周波数依存性、距離依存性について正確に把握しておく必要がある。

まず遠端漏話の周波数依存性を伝送距離(l)を4.3kmとした場合について図5に、距離依存性を図6に示す。これらの図



図4 1.2/3.0バロン形絶縁Zスクリーン ケーブル 従来の内部しゃへいケーブルに比べると、Zスクリーンのスペースファクタが良い。

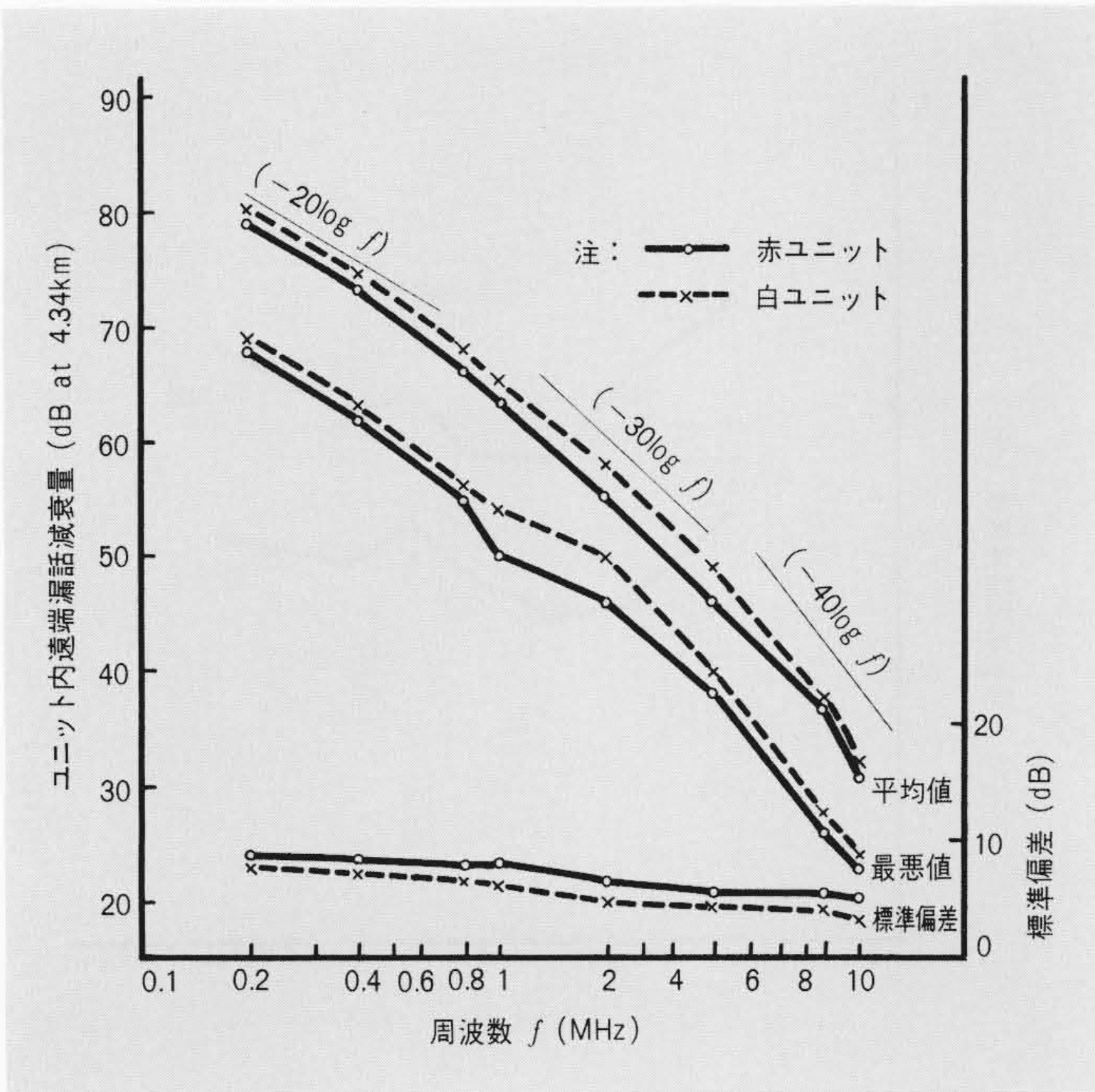


図5 遠端漏話減衰量周波数依存特性 周波数が高くなると、いわゆる間接漏話成分が優勢になってくる。

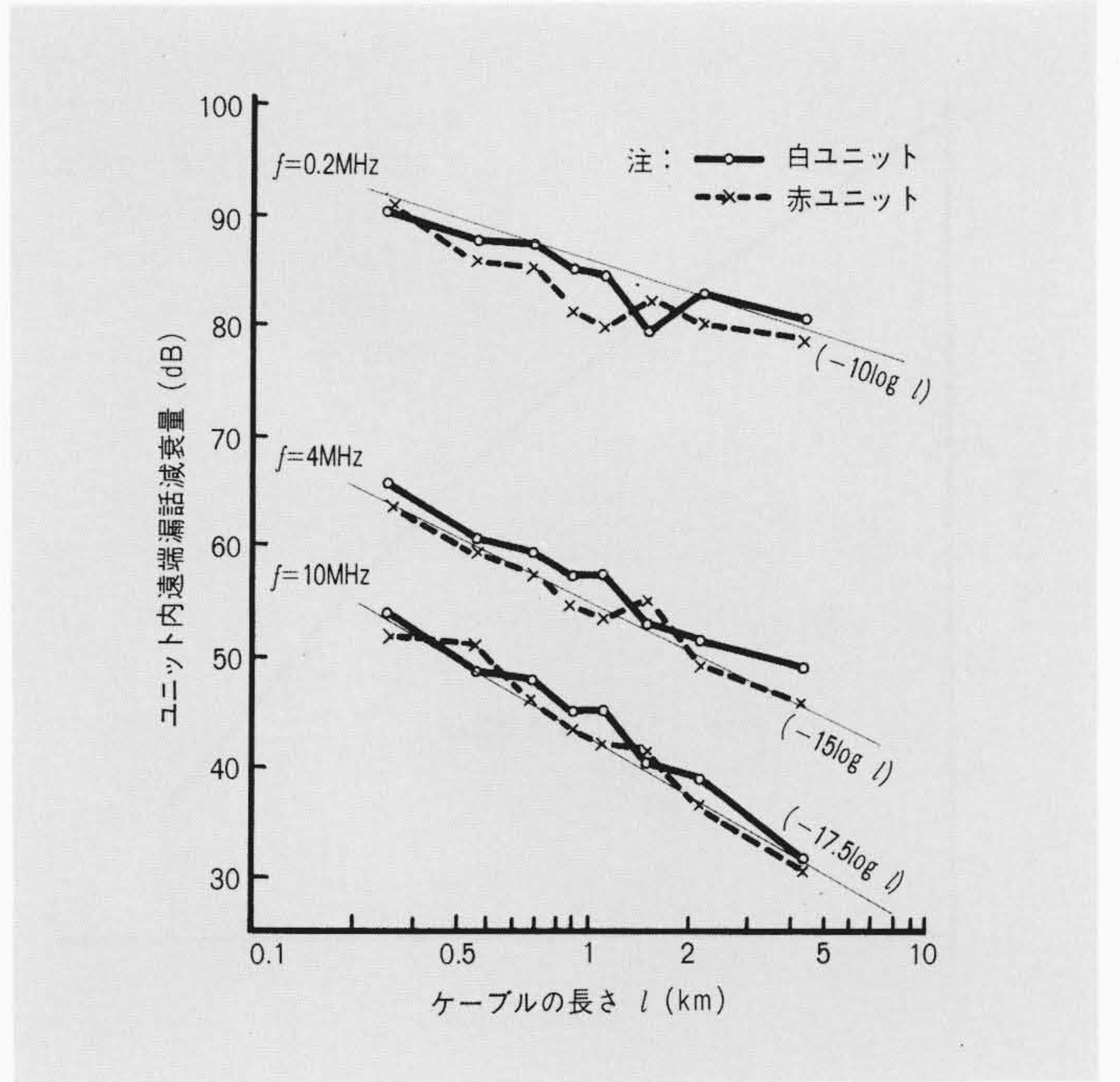


図6 遠端漏話減衰量距離依存特性 周波数が高くなると、遠端漏話の距離依存性が大きくなっている。

より周波数(f)、 l が大きくなると、 f 、 $\sqrt{l}$ に比例する直接漏話のほかに f^x 、 l^y に比例する間接漏話の影響により遠端漏話が劣化していることが分かる(x 、 y :未知数)。したがって、遠端漏話が直接漏話と間接漏話の2成分から構成されるとして、これらについて定式化しておく必要がある。そのため、遠端漏話減衰量(振幅)のほかに遠端漏話位相量を合わせて測定した。間接漏話を第3回線経由の二重遠端漏話とみなし、図7に示すベクトル合成により遠端漏話特性が表わされるものと考えて、直接漏話成分と間接漏話成分とに分離してみた。その結果、直接漏話は f に、間接漏話は f^2 に比例し、ある周波数以上では直接漏話レベルと間接漏話レベルの大小関係が逆転するということが確かめられた。

間接漏話経路の第3回線として従来は不平衡回線が考えられてきたが、次のような理由から誘導対を往路、被誘導対を帰路とするような重信回線を考えたほうが適切と思われる。

- (1) 実回線・重信回線間静電結合を例にとると、誘導対の対地容量不平衡及び誘導対と被誘導対の間の容量不平衡の和で表わされる。
- (2) 重信回線の電圧は誘導対、被誘導対に対して不平衡(継電圧)となる。
- (3) 不平衡回線は互いに独立な伝送回線とはなり得ず、また、しゃへい体が接続部で完全に接続されないことも考えられるので伝送損失が大きくなり、予測のつかないことがある。
- (4) これに対して誘導対と被誘導対で構成される重信回線は、事実上独立な回線とみなすことができるなどである。

継電圧は距離 l に比例することより、これまでのことを式で表わすと、遠端漏話減衰量 X_F の周波数、距離依存性は、

$$X_F = -20 \log \sqrt{(a f \sqrt{l})^2 + (b f^2 l \epsilon^{-\Delta \alpha l})} \quad (\text{dB}) \quad \cdots (7)$$

ここで $a f \sqrt{l}$: 直接漏話成分

$b f l \epsilon^{-\Delta \alpha l}$: 間接漏話成分

$\epsilon^{-\Delta \alpha l}$: 第3回線と実回線の伝送損失の差の補正
($\Delta \alpha = c \sqrt{f}$)

f : 周波数 (MHz)

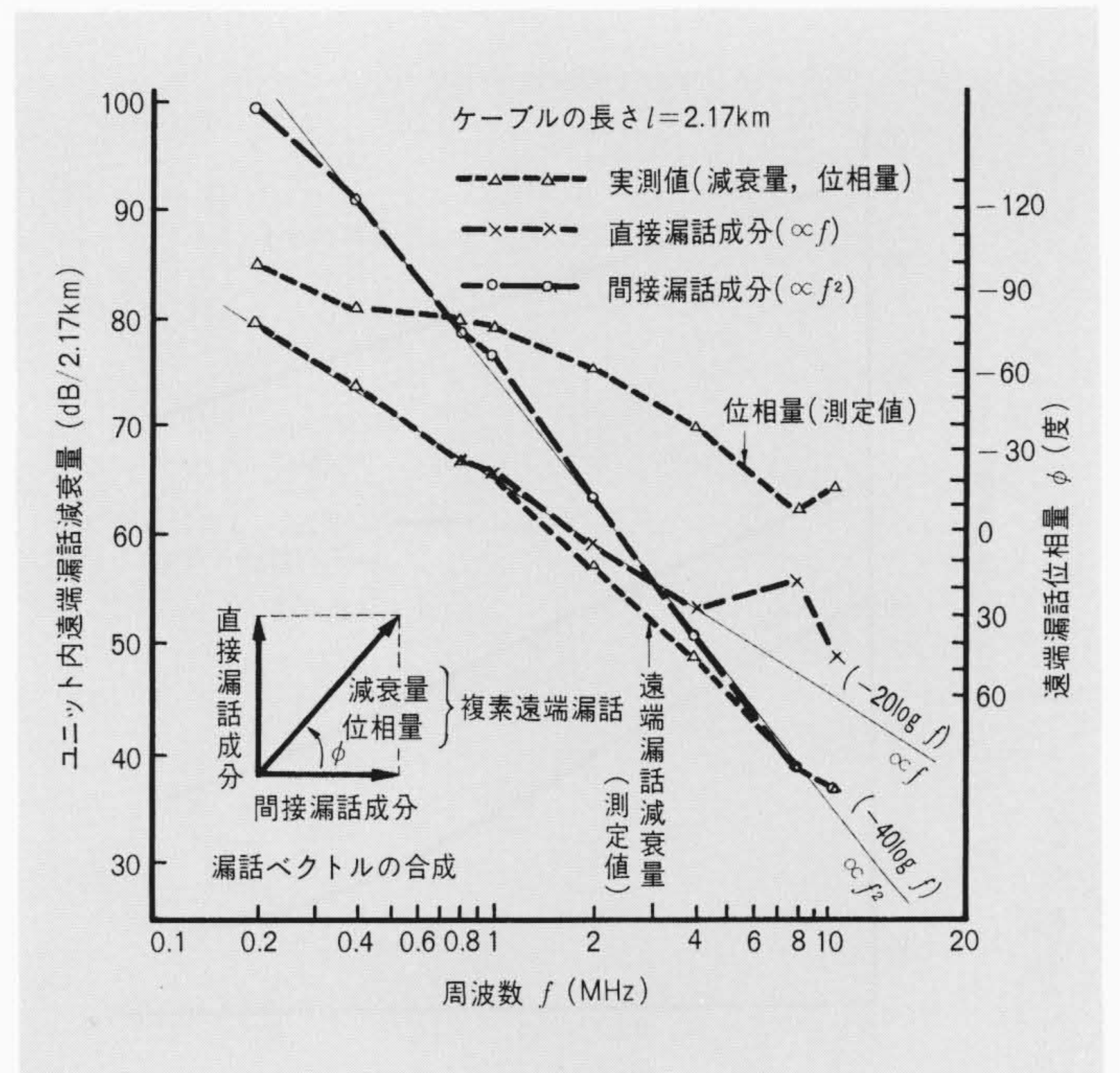


図7 遠端漏話における直接漏話と間接漏話の周波数依存特性の一例 一般に遠端漏話減衰量と呼ばれているものは、直接漏話と間接漏話成分をベクトル合成したものである。

l : 伝送距離 (km)

a , b , c : 比例定数

伝送距離2.17kmのときの遠端漏話測定結果と(7)式による計算結果の比較を図8に、遠端漏話距離依存性についての測定結果と計算結果について図9に示す。いずれも実測値と計算値とが非常によく一致していることが分かる。

したがって、遠端漏話の高周波特性を改善するには、直接漏話はもとより間接漏話の改善にも十分注意を払い、特に対

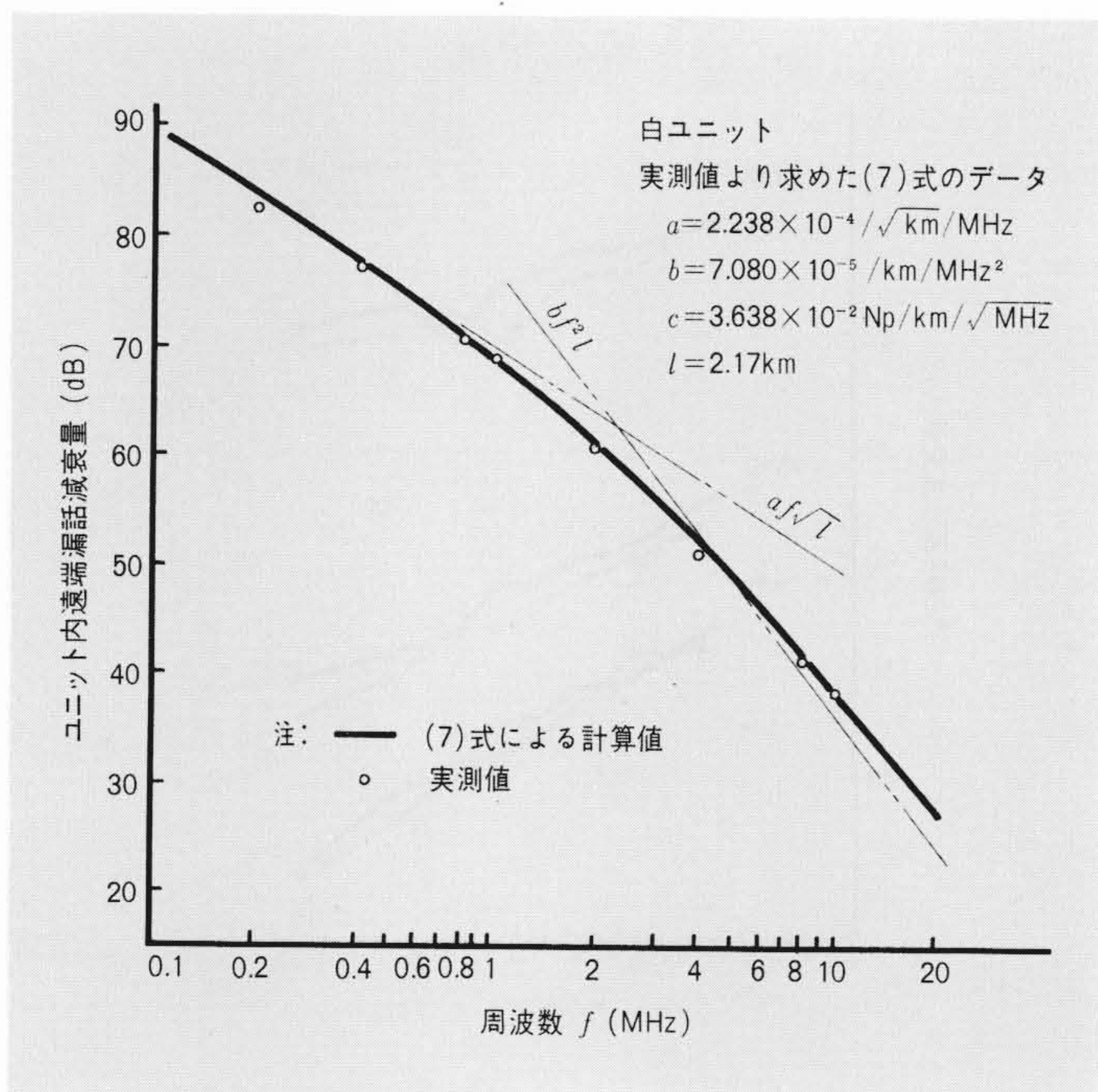


図8 遠端漏話周波数依存特性((7)式と実測値の対応) 低周波では直接漏話($\propto f, \sqrt{l}$)が、高周波では間接漏話($\propto f^2, l$)が優勢となることが分かる。

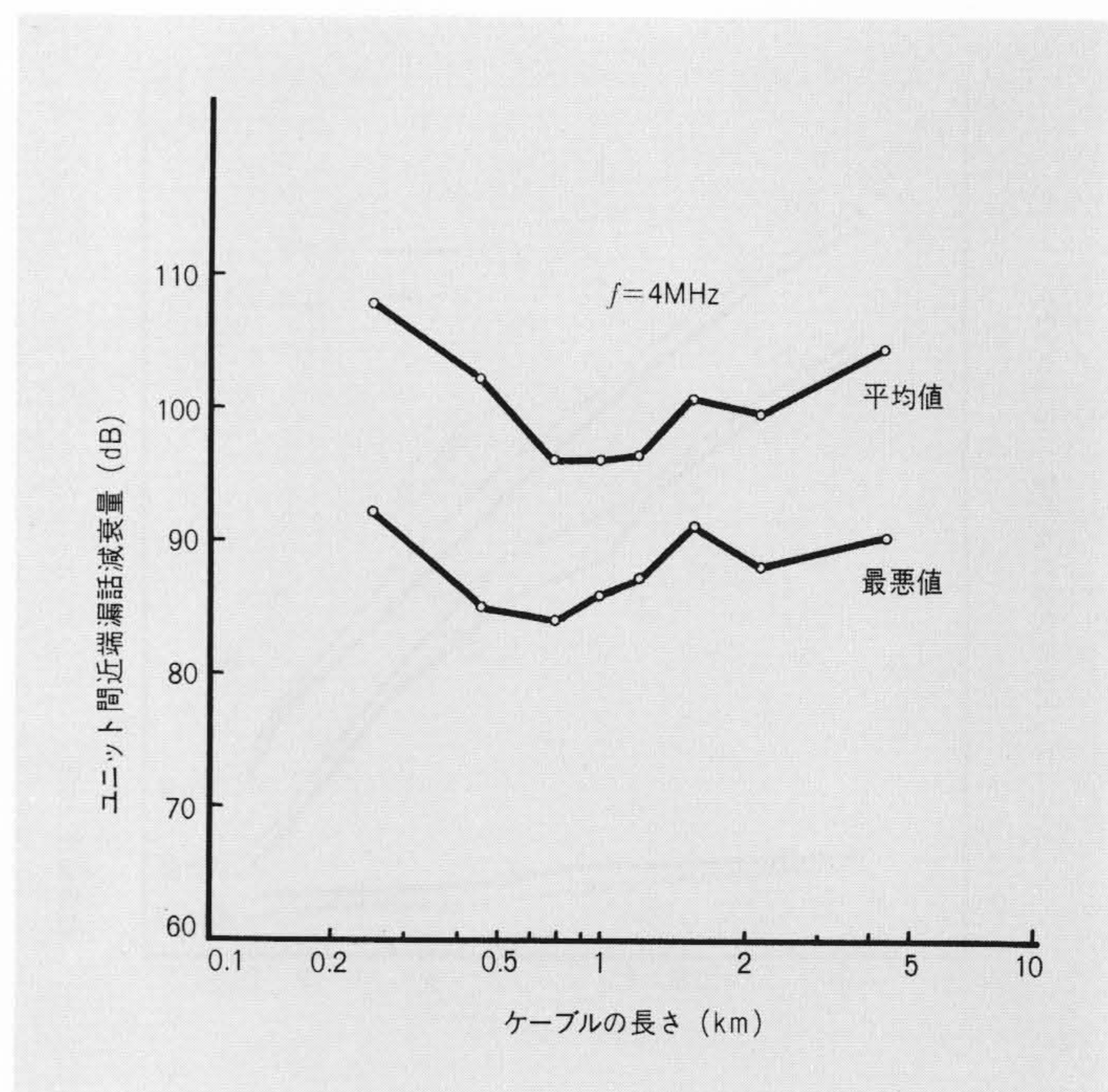


図10 ユニット間近端漏話減衰量距離依存特性 ユニット内遠端漏話減衰量のような系統的な距離依存性が存在しないことが分かる。

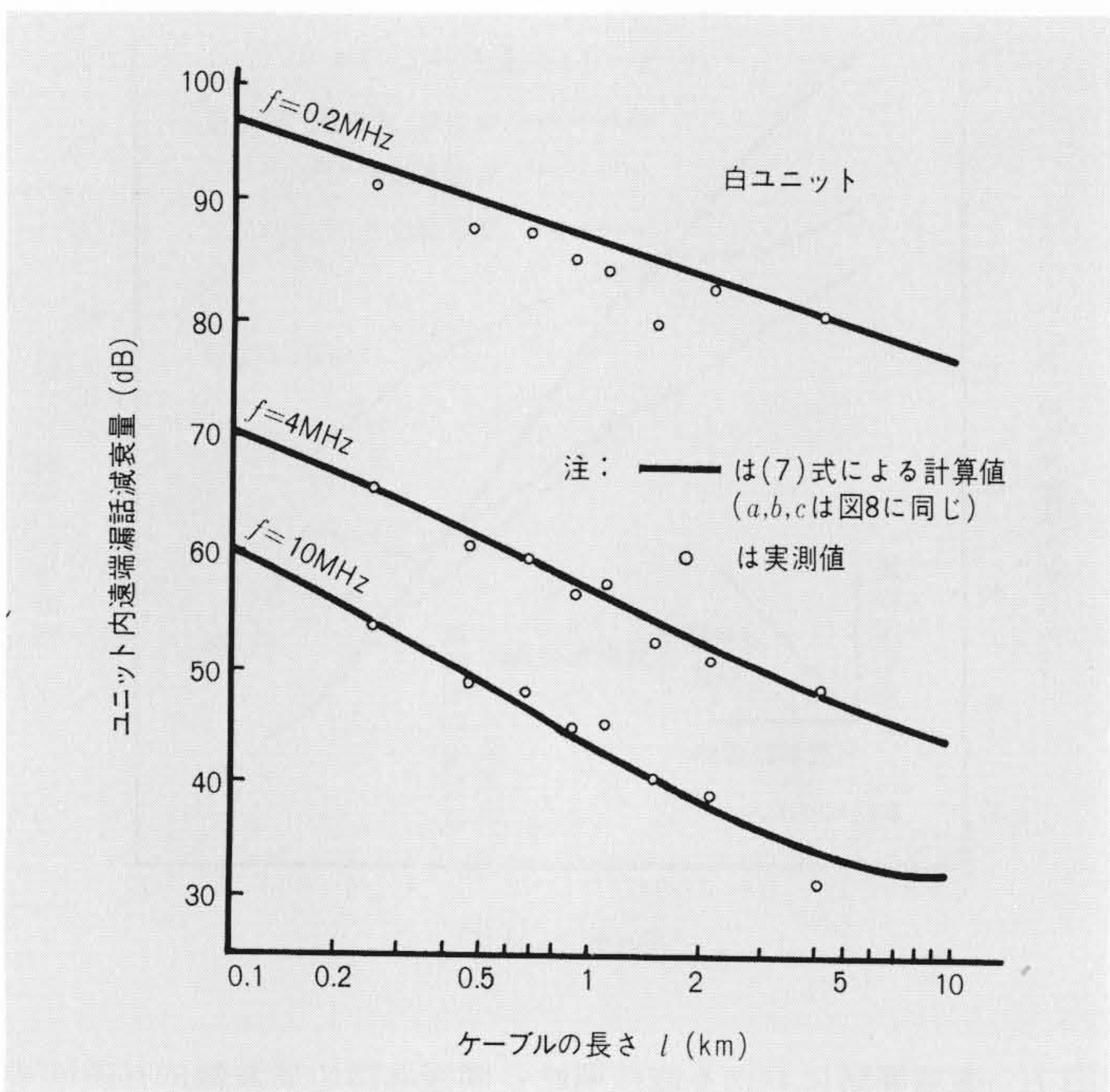


図9 遠端漏話距離依存特性((7)式と実測値の対応) 低周波で計算値より若干ずれているが、これは測定誤差によるものと思われる。

の対地容量不平衡をできるだけ小さくすることが必要である。

なお近端漏話については、Zスクリーンの良好なしゃへい特性により、 $l = 4.3\text{km}$ の場合でも図10に示すようにわく長のデータとほとんど差がない。

6 結 言

日本道路公団恵那山トンネル内監視 I T V システムの幹線伝送路として用いられているバロン形絶縁 Z スクリーン ケー

ブルを例にとり、I T V 伝送用平衡ケーブルの設計、特性について紹介した。特に長大自動車トンネルなどのように中継間隔が長くなる場合、周波数が高くなると遠端漏話では間接漏話成分が無視できなくなるので、間接漏話成分の影響についても検討した。近端漏話については、Zスクリーンの良好なしゃへい特性により問題のないことが分かった。

今回紹介したケーブルは、I T V、中容量 P C M などの広帯域信号の長中継距離伝送に最適のものと思われる。

最後に本ケーブル開発に当たり種々御指導をいただいた日本道路公団の関係各位、システム取まとめの立場から御討論をいただいた東京芝浦電気株式会社の関係各位、及び本ケーブルの開発、製造に御協力をいただいた日立電線株式会社の関係各位に対し、深く謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 岡本, 大森ほか:「Z形ユニットスクリーンケーブルの特性」, 日立評論, **54**, 709 (昭和47-8)
- 2) 池部, 佐藤ほか:「平衡対を用いた画像伝送サービス方式」, 施設, **23**, 9, 100 (昭和46-9)
- 3) 水谷, 星川ほか:「双方向 I T V システムへの Z 形ユニット遮へいケーブルの適用」, 電子通信学会昭和50年度全国大会講演論文集, No. 1522 (昭和50-3)
- 4) 石鍋, 大野:「恵那山トンネルのコントロールシステム」, 放送技術, **29**, 46 (昭和51-1)
恵那山トンネルの制御・監視システムについて概説してある。
- 5) 小久保, 平山:「恵那山トンネル監視 I T V システム」, 画像伝送研究会資料, **18-1**, テレビジョン学会 (昭和50-11)
- 6) 日下, 大森ほか:「平衡形通信ケーブルの高周波漏話特性」, 電子通信学会昭和51年度総合全国大会講演論文集, No. 1636 (昭和51-3)
- 7) 林(訳):「有線電話伝送工学」, 403, 学献社 (1969)
- 8) H. Cravis, T.V. Crater: "Engineering of T1 Carrier Systems Repeatered Lines" B.S.T.J. **42**, 431 (1963)
ケーブルの漏話(特に直接漏話)特性についてていねいに説明してあるので、有用な参考文献といえる。