
通 信 ケ ー ブ ル 特 集

モノレール用漏えい導波ケーブル.....	85
ヘリカルヒョウタン形通信ケーブルの機械的特性.....	91
通信ケーブルの鋼管による電磁誘導遮へい.....	96
ポリエチレンシースケーブルの溶着式接続法.....	101
ポリプロピレンの通信ケーブルへの応用.....	105
アルミ被細心同軸ケーブルの諸特性.....	110
ミリ波用 20 mm ϕ らせん導波管	115
UHF-TV 放送用双ループアンテナ	119
UHF-TV 放送用空中線 5 波共用装置	125

モノレール用漏えい導波ケーブル

Leakage Waveguide Coaxial Cable for Monorail Use

内 藤 達 郎*
Tatsuo Naitô

安 達 芳 男*
Yoshio Adachi

古 寺 裕*
Hiroschi Koderä

内 容 梗 概

羽田—浜松町間に建設される東京モノレール株式会社羽田モノレール線の列車無線トンネル対策用として非共振スロットアレイ形漏えい導波ケーブルを製作し、各種特性を測定した。その結果はケーブル減衰量、結合損失とも要求性能を十分満足し良好な性能であった。またトンネル内の周囲条件を模擬した測定も行なったが、塩水の付着などに対して比較的性能の変化は少なく、実用上問題のない程度であることがわかった。

1. 緒 言

鉄道における列車無線は最近 400 Mc 帯が多く用いられている。このような UHF 帯を使用したとき、通常の地上区間における基地局と列車(移動体)の間の通信は直接空間波を用いて行なわれるが、トンネル区間は基地局の電波がトンネル内に侵入せず、したがって通信が不可能となり安定な通信が確保できない。そこで基地からの電波をトンネル内に導き、また逆にトンネル内の列車より発する電波をトンネル外に導くための設備を設ける必要が生ずる。

東京モノレール株式会社羽田モノレール線⁽¹⁾では、海老取川および羽田空港駅の2箇所トンネル部分があり、列車無線使用にあたってなんらかのトンネル対策を施す必要があった。

これよりさき、東海道新幹線においても UHF 列車無線のトンネル対策として各種の漏えい導波方式が提案され検討された⁽²⁾。すなわち、ヘリカルライン、平行二線、開放同軸ケーブル、スロット同軸ケーブルなど多くの方法についてその実用性が検討された^{(3)~(5)}。

日立電線株式会社では、羽田モノレール線用としてこれらの漏えい導波線路のうち非共振スロットアレイ形同軸ケーブルが最適と考え実用化した。

一般に漏えい導波ケーブルと称するものは、ケーブルで電波を送信しながら電波の一部を外部に漏えい放射する。列車無線用ではケーブルを軌道に沿って架設するので列車はケーブルに並行して走ることになり、列車のアンテナで漏えい波を受信する。一方列車が発信した電波は漏えい導波ケーブルにはいってケーブル内を伝わり、トンネル区間連絡用同軸ケーブルにより基地局に送られる。漏えい導波ケーブルは伝送路と空中線を一体にした機能をもつもので、その重要な特性はケーブル内の伝送損失(ケーブル減衰量)およびケーブルと列車アンテナとの結合の度合(結合損失)である。この二つの特性は相反する関係にあり、結合損失を小さくすればケーブル減衰量が増加するので、このバランスを考えて漏えい機構の設計をすることが必要である。

またトンネル内の周囲条件は地上における条件に比べて非常に悪く、湿度が高いうえに水分、塩分の付着も考慮しなくてはならない。

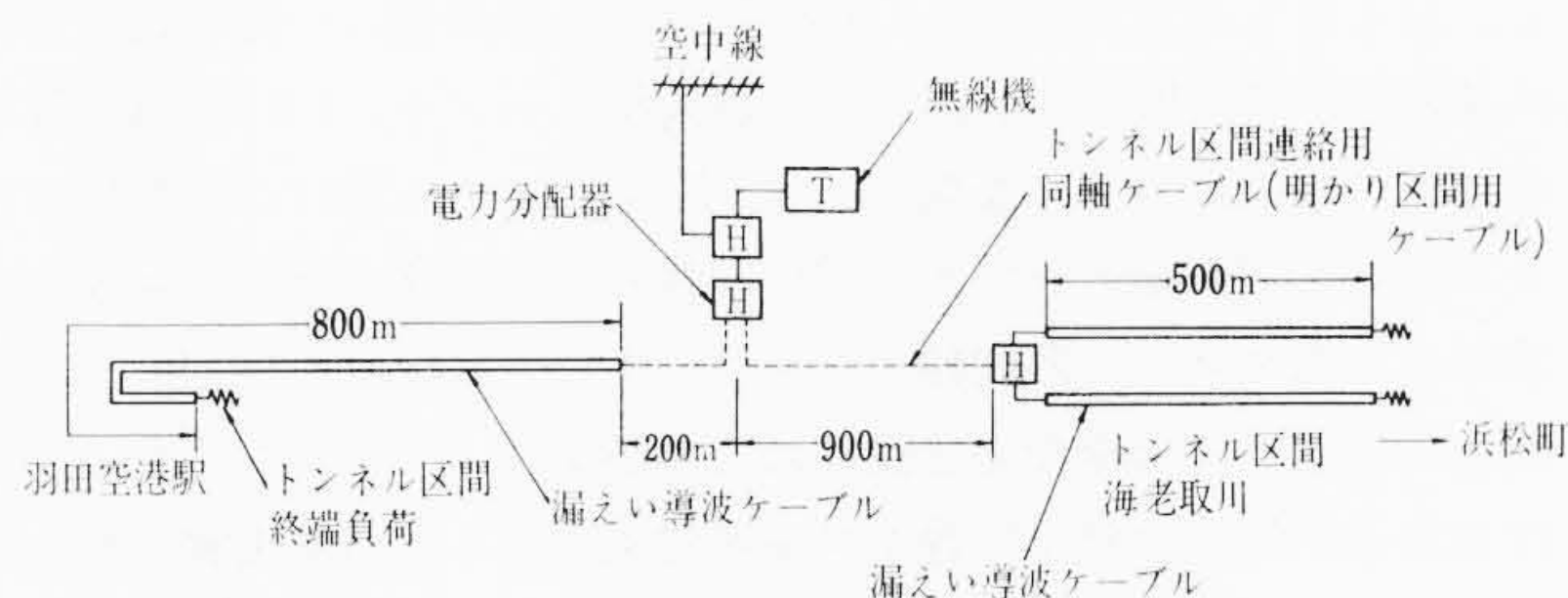
本報では非共振スロットアレイ形同軸ケーブルの各種特性ならびに周囲条件の変化による特性変化につき調査検討した結果を報告する。

2. 漏えい導波ケーブルに要求される性能

2.1 ルートの概要

羽田モノレール線の二つのトンネル区間は近接しておりいずれも羽田側にある。トンネル内には漏えい導波ケーブルを架設し、トンネルとトンネルの間は低損失の同軸ケーブルで連絡し、この区間全

* 日立電線株式会社日高工場



第1図 ルート概要

部を一括して給電してやる方式がとられた。トンネル対策用ケーブルのルートは第1図のとおりである。

2.2 ケーブルに要求される性能

回線設計および布設条件などから漏えい導波ケーブルに要求される性能は次のとおりである。

(1) 漏えい導波ケーブル減衰量 (375 Mc)

普通区間用ケーブル 30 dB/km 以下
特殊区間用ケーブル 33 dB/km 以下
(トンネル区間連絡用同軸ケーブル 26 dB/km 以下)

(2) トンネル区間結合損失 (375 Mc)

普通区間用ケーブル 平均値 75 dB 以下
特殊区間用ケーブル 時間率 95% 以上が 80 dB 以下の
こと

(3) 漏えい導波ケーブルのつり下げ位置はアンテナ直上 60cm とする。

(4) つり線をふくめたケーブル占有高さは 50 mm 以下のこと。

(5) 海岸地区のため塩水付着などに対して安定した性能を示すこと。

なお特殊区間用ケーブルとは回線の端部での総合レベルを改善するためケーブル減衰量を多少増加させるかわりに結合損失を少なくしたもので羽田モノレール線のルートでは海老取川トンネルの浜松町側に用いられるものである。

3. ケーブルの設計、構造

3.1 漏えい導波方式の検討

トンネル内に電波を送信するとともにその一部をトンネル内に漏えいするという機能をもった漏えい導波線路については種々の形式が考えられる。UHF 帯に使用可能なものとしては次の3種に大別できる。

- (1) 表面波線路を利用したもの
- (2) 平行二線 (平衡開放形)
- (3) 同軸線路 (不平衡漏えい形)

羽田モノレール線について使用条件により比較検討すると第1表のようになる。その結果、主として漏えい導波線路を設けるスペー

第 1 表 漏えい導波方式の比較表

方 式	比 較 検 討 結 果
表 面 波 線 路	(1) 表面状態の影響により伝送特性が変わる。 (2) 具体的実現性に乏しい。
平 行 二 線	(1) 壁面からの距離が伝送特性に影響する。モノレール線の場合のようにスペースが限られたときは不適である。 (2) 表面状態の影響により伝送特性が変わる。
同 軸 線 路	(1) 表面状態に対しては比較的安定。 (2) 価格は平行二線より高価。

スの関係および塩水の付着など周囲条件が特性に及ぼす影響を考え同軸線路形の漏えい導波ケーブルを採用することにした。

3.2 漏えい孔の検討

同軸形漏えい導波ケーブルの電波漏えい孔にも各種のものがある。おもなものをあげると、(1)同軸の外部導体の一部を長手方向に連続的に切り取ったいわゆる開放同軸ケーブル、(2)同軸の外部導体に波長に比べ小さな漏えい孔を間隔をおいて設けた非共振スロットアレイ形同軸ケーブル、(3)同軸の外部導体に共振スロットを設けた共振スロット形同軸ケーブル、(4)そのほか種々の漏えい孔、放射用突起、反射板などを設けたものがあり、それらのうちの多くは東海道新幹線の列車無線トンネル対策用として開発実験されたものである。

羽田モノレール線用としてはケーブルと列車アンテナとの相互位置、要求された伝送特性、結合損失の値などを考慮して、日立電線株式会社において開発検討を進めてきた非共振スロットアレイ形同軸ケーブルを使用することにした。すなわち列車アンテナとケーブルとの距離が比較的近く、共振形のように積極的に電波を放射しなくても十分所期の結合量を得ることができると考えたからである。

3.3 ケーブルの設計条件

ケーブルの設計にあたってはすでに述べた漏えい方式の検討および要求性能のほかに次に記す事項についても考慮した。

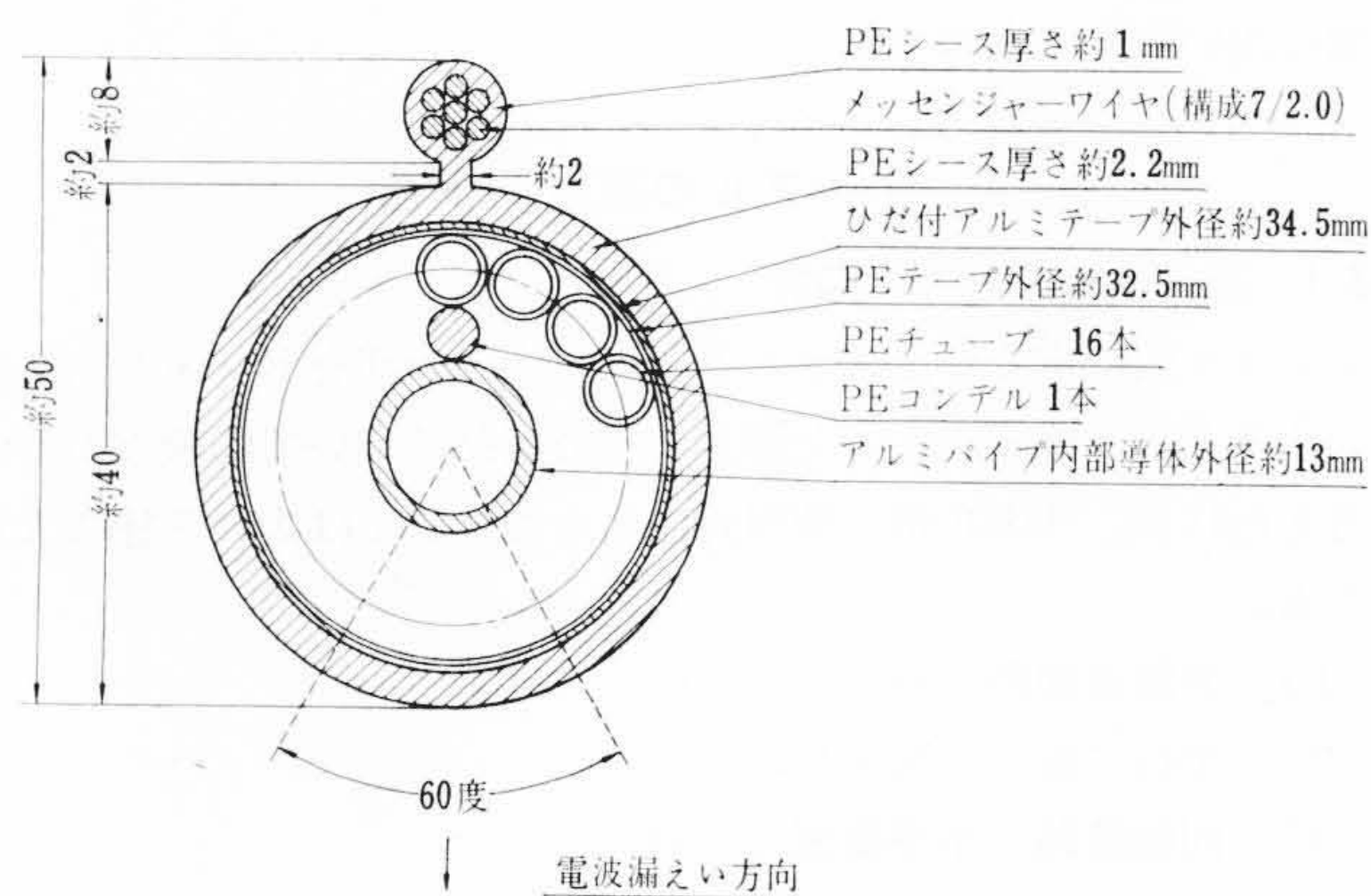
- (1) 特性インピーダンスは $50\ \Omega$ とする。
- (2) 電圧定在波比 (VSWR) は接栓を含み 375 Mc において 2.0 以下とする。
- (3) 架線工事を容易にするためヒョウタン形構造とする。
- (4) 連続生産に適した構造であること、および軽量で取り扱いが容易なこと。

3.4 ケーブルの構造

ケーブルの構造は第 2 図、第 2 表のとおりであり、ケーブル外観は第 3 図のとおりである。

3.5 漏えいスロットの構造

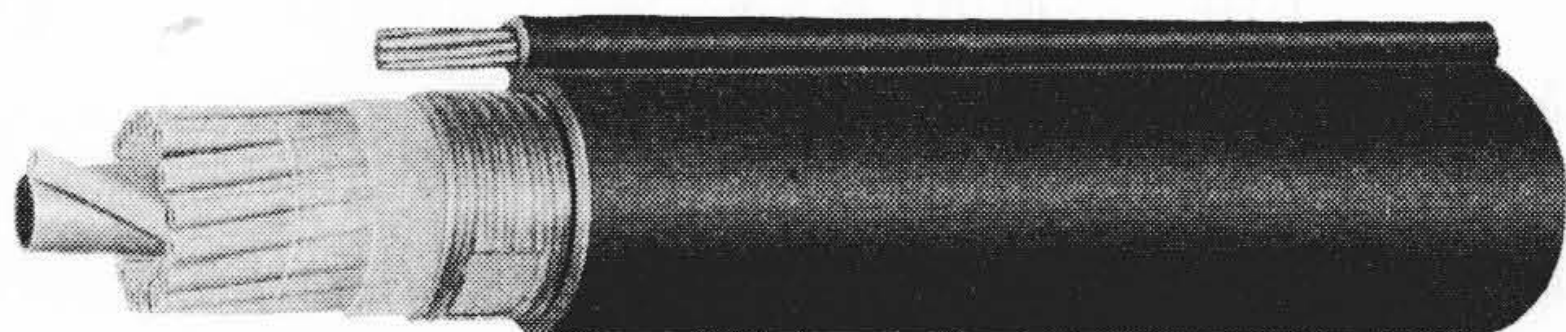
ケーブル減衰量および結合損失は漏えいスロットの大きさ、間隔(ピッチ)、形状に関係する。一般に非共振スロットを設けた漏えい



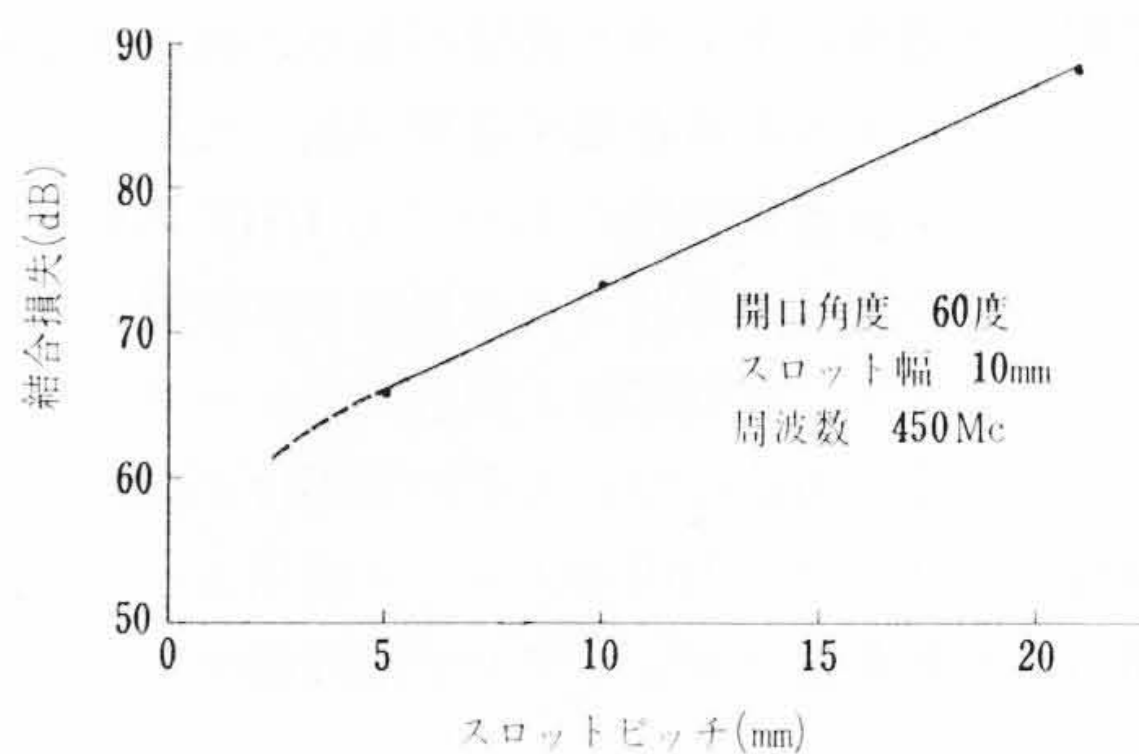
第 2 図 ケーブル断面図

第 2 表 ケーブル構造 単位 mm

項 目		種 別	普通区間用ケーブル	特殊区間用ケーブル
内 部 導 体	材 質		アルミパイプ	アルミパイプ
	外 径		13φ	13φ
絶 縁 体	第 1 層		4.5φ PE コルデル巻	4.5φ PE コルデル巻
	第 2 層		4.0φ PE チューブ密接巻	4.0φ PE チューブ密接巻
	第 3 層		PE テープ	PE テープ
外 部 導 体	材 質		ヒダ付軟アルミテープ	ヒダ付軟アルミテープ
	スロット 開口角		60 度	60 度
	スロット長さ		10	10
	スロット ピッチ		100	50
つ り 線			2.0×7 本	2.0×7 本
ポリエチレン 被 覆 厚	ケーブル部		2.2	2.2
	つ り 線 部		1.0	1.0



第 3 図 ケーブル外観



第 4 図 スロットピッチと結合損失の関係(例)

導波ケーブルにおいては、スロットの占有面積が大きくなるほど結合損失が小さくなり開放同軸ケーブルが最小となる。一方ケーブル減衰量は開放同軸ケーブルが最大で、スロット占有面積が小さくなると小さくなり完全同軸で最小となる。スロットピッチと結合損失(平均値)の関係の一例を第 4 図に示す。

この種構造のケーブルにおいて結合損失を小さくする（同時にケーブル減衰量は増加する）手段は次のとおりである。

- (1) 開口角度を大きくする（開口角度が 120 度より大きくなるとケーブル製造に困難さが増す）。
- (2) スロット長さを大きくする（共振しない範囲で）。
- (3) スロットピッチを小さくする。

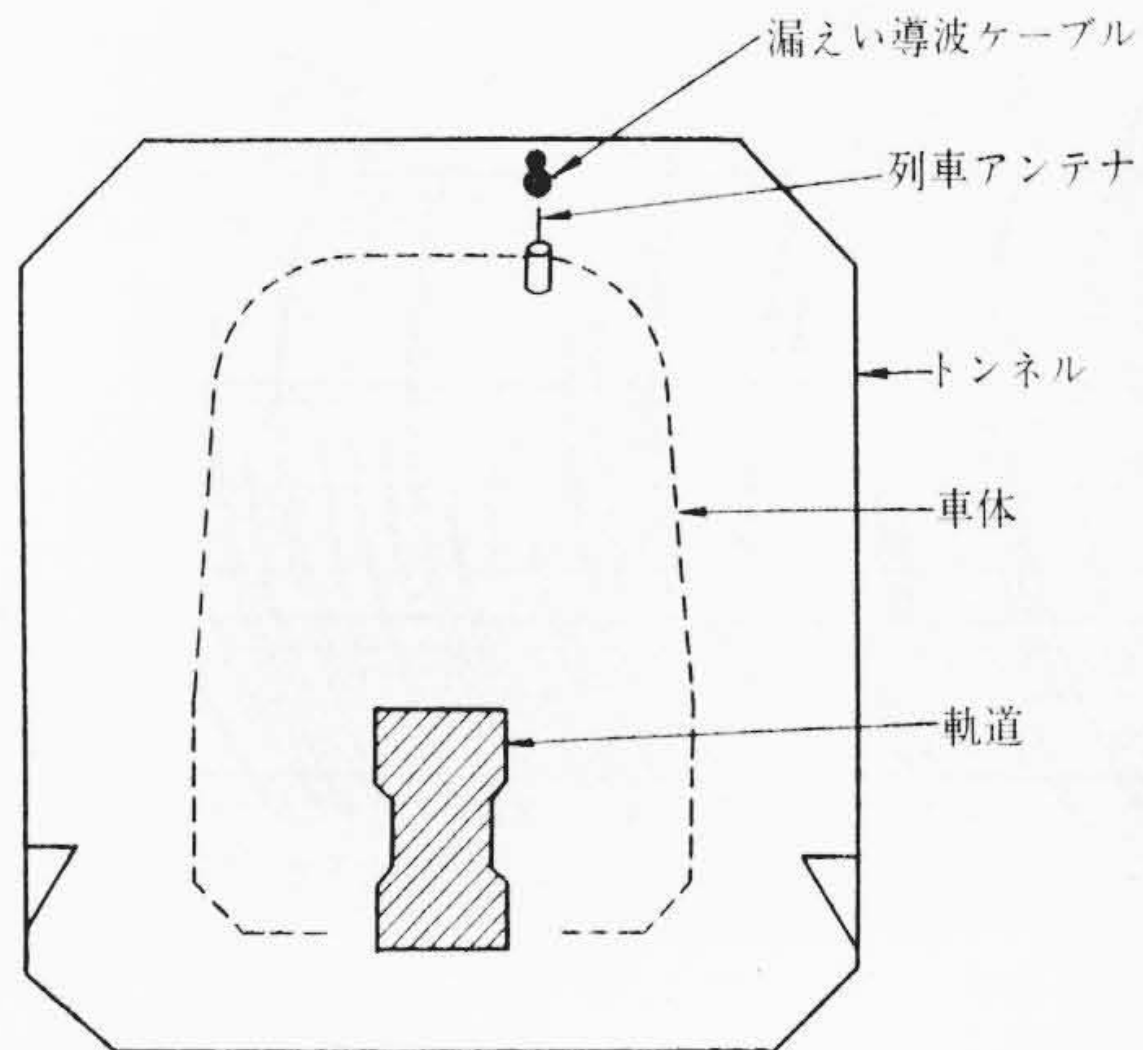
開放同軸形で得られる結合損失の値よりもさらに小さい結合損失を希望するときは非共振形ではなく、他の形式によるほかない。

羽田モノレール線用ケーブルは漏えいスロットを 2 種類とし、普通区間用と特殊区間用に区別した。特殊区間用はスロットピッチを $\frac{1}{2}$ にして結合損失の低下をはかったものである。第 2 表に漏えいスロットの寸法を示す。

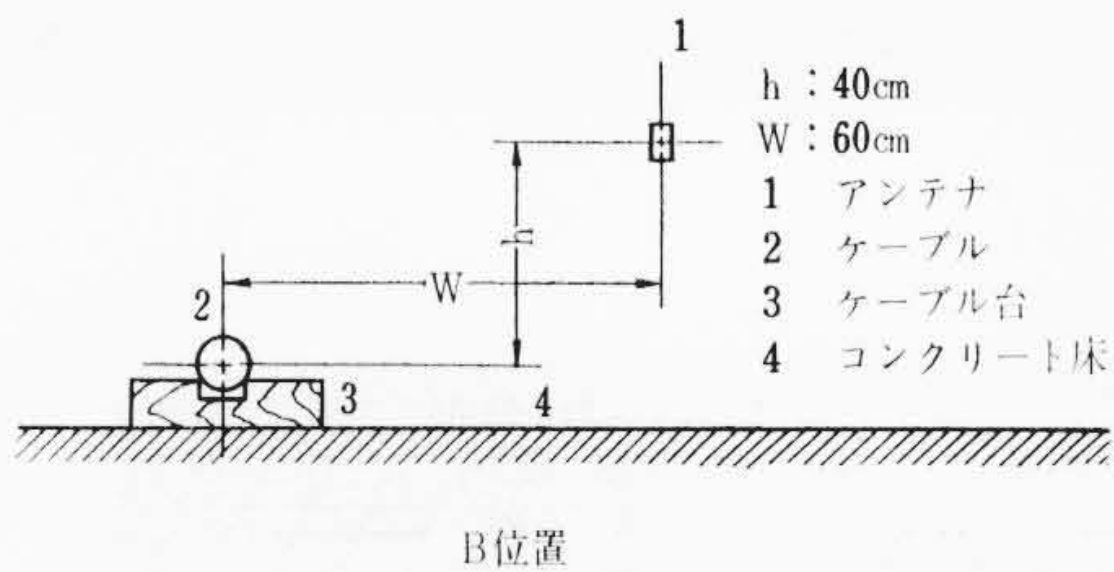
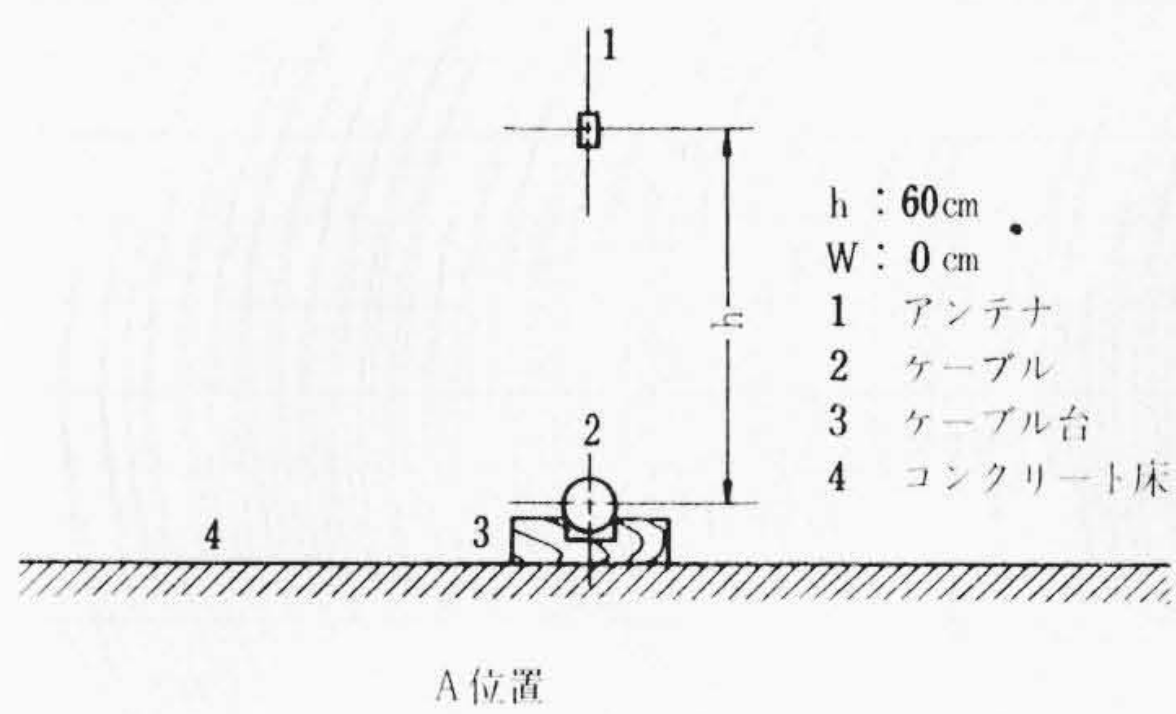
4. ケーブルの電気的性能

4.1 結 合 損 失

結合損失は漏えい導波ケーブルにおいてもっとも重要な性能である。以下結合損失の測定結果について述べる。



第5図 トンネル内ケーブルつり下げ位置

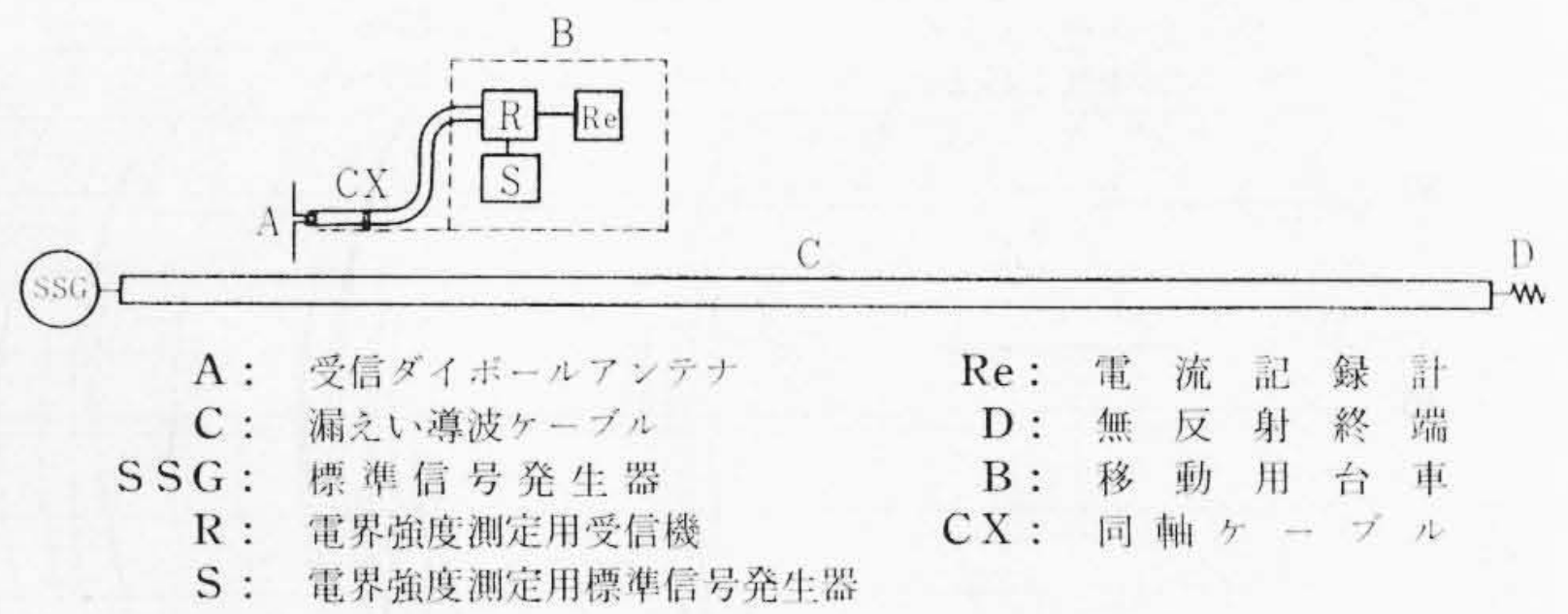


第6図 測定時のケーブル位置

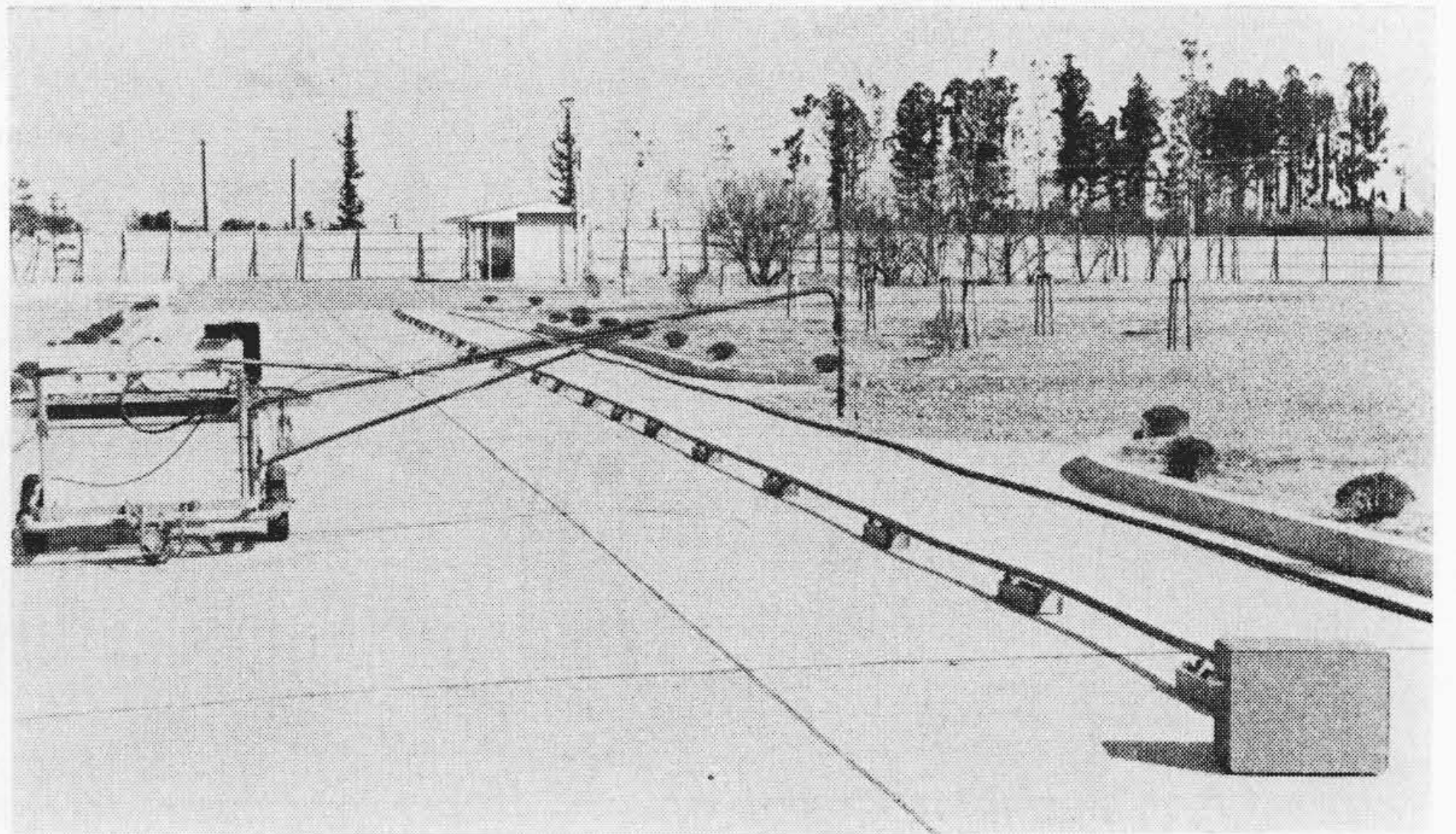
4.1.1 測定法

漏えい導波ケーブルは第5図のようにトンネル上部に架設されるのであるが、この状態を模擬するためにコンクリート床上に試験用ケーブル(約50m)の漏えい孔を上方に向けて置き、直上にアンテナを置いて測定した。第6図にケーブル位置を、第7図に測定系のブロックダイアグラムを示す。

測定にあたっては記録計を用いてケーブル長手方向に測定記録しチャートから規定値より悪化する時間率を読みとって判定した。また平均値はチャートから大ざっぱに推定された値である。



第7図 結合損失測定系ブロックダイアグラム



第8図 結合損失測定状況

第8図に結合損失の移動測定の状態を示す。

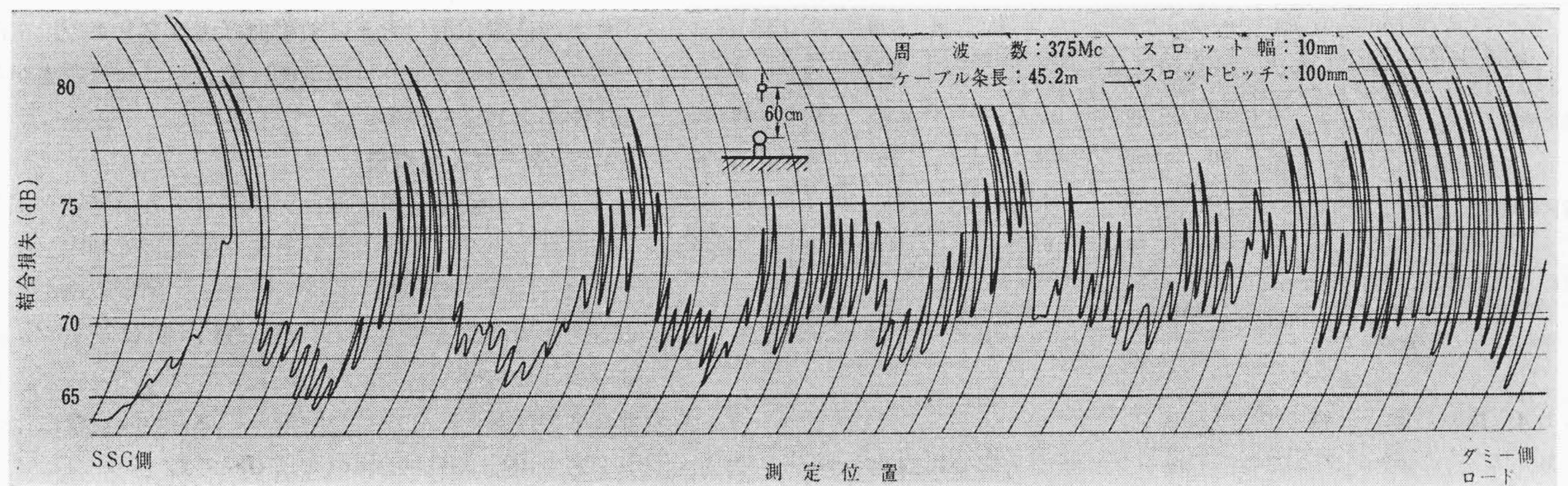
4.1.2 測定結果

結合損失の測定結果を第9, 10, 11, 12図に示す。第10図および第12図の場合は列車の揺れ、曲線部におけるケーブル中心のずれを考慮に入れてアンテナ位置を移動して測定したものである。

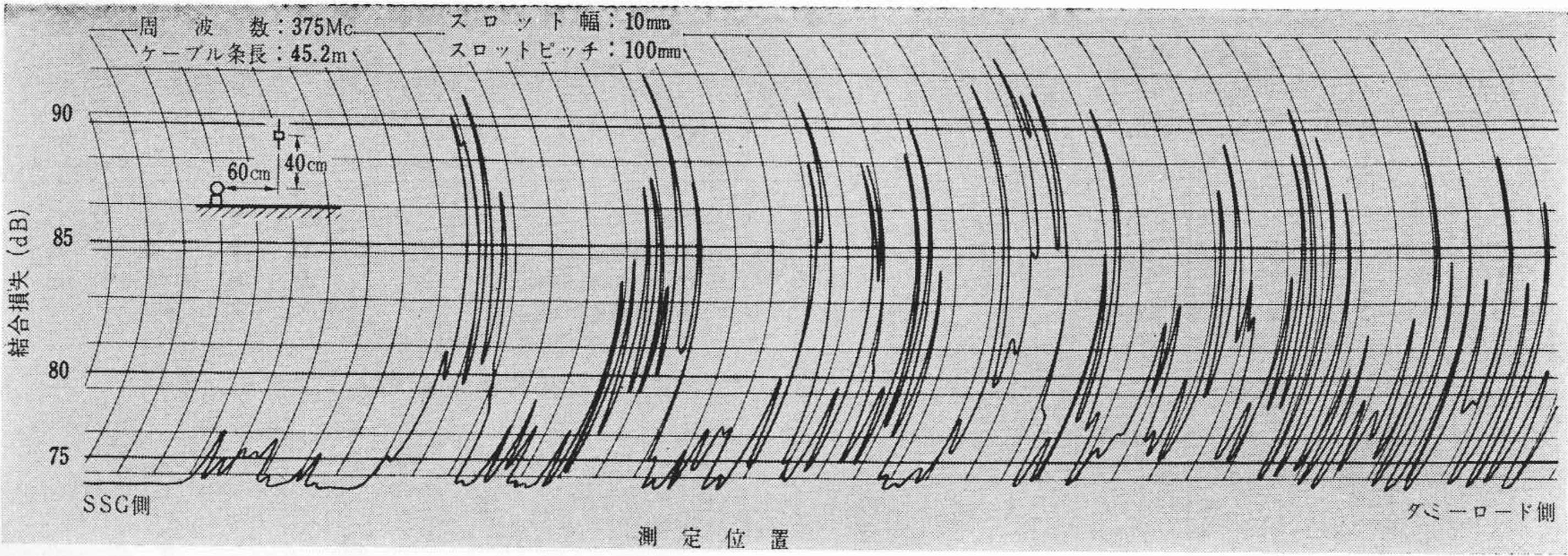
この測定結果につき結合損失の時間率を算定したのが第3表である。第3表によれば第6図A位置にくらべB位置のほうが結合損失が悪化していることがわかる。また普通区間用と特殊区間用では特殊区間用が5~10 dB 結合損失が改善されている。ケーブル減衰量の値とあわせ考察すれば、ケーブル減衰量の増加にくらべて結合損失の改善のほうが大きく、線路の末端区間における総合レベル改善の方法としては非常に有効であった。

4.1.3 結合損失の周波数特性

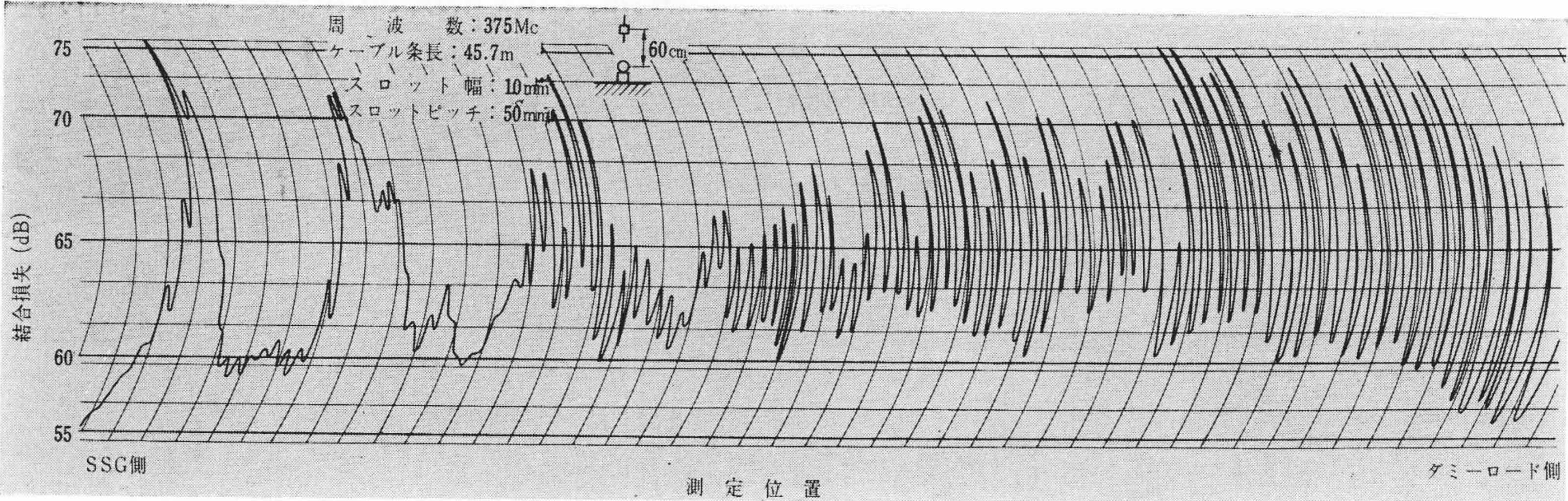
羽田モノレール線の使用周波数帯域は比較的せまいが、参考までに375 Mc $\pm$ 5 Mcについて結合損失の周波数特性を測定した結果では最悪値、時間率ともほとんど変わらず、一様な特性を示した。



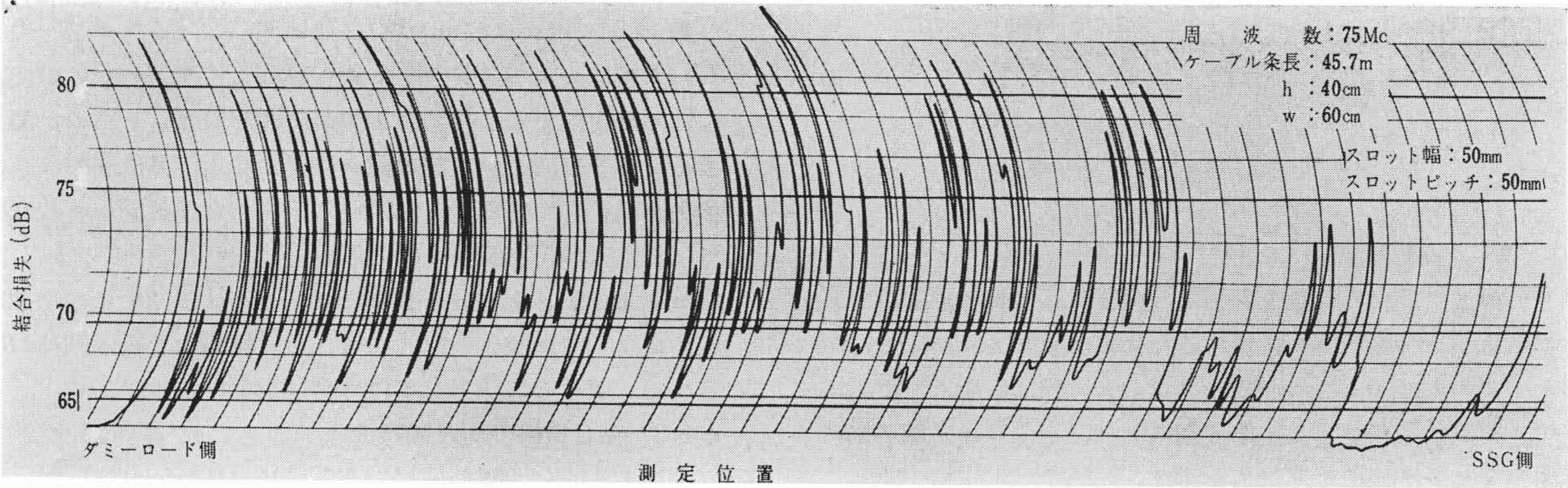
普通区間用ケーブル $h=60\text{ cm}$ $w=0$
第9図 結合損失測定結果(1)



普通区間用ケーブル $h=40\text{ cm}$ $w=60\text{ cm}$
第10図 結合損失測定結果 (2)



特殊区間用ケーブル $h=60\text{ cm}$ $w=0$
第11図 結合損失測定結果 (3)



特殊区間用ケーブル $h=40\text{ cm}$ $w=60\text{ cm}$
第12図 結合損失測定の結果 (4)

第3表 結合損失時間率 (周波数 375 Mc)										
ケーブル種類	スロット (mm)		減衰量 (dB/km)	アンテナ位置		結合損失 (dB)				
	ピッチ	幅		$h(\text{cm})$	$W(\text{cm})$	$90<(\%)$	$85<(\%)$	$80<(\%)$	$75<(\%)$	平均値
普通区間用ケーブル	100	10	26.6	60	0	0	0	2.5	12.5	70~75
				40	60	2.2	9.2	26	55.8	75~80
特殊区間用ケーブル	50	10	31.0	60	0	0	0	0	1	60~65
				40	60	0	1	4.4	19.5	70~75

注 結合損失
時間率: ケーブルに沿って定速度で移動したとき, 得られる結合損失の値を時間的ひん度で示したもの。

4.1.4 指向性

短いケーブルサンプルについてケーブル断面方向の指向性を測定した結果を第13図に示す。これはコンクリート壁面を反射物体と考え、アンテナを規定の位置に保ったまま反射板とケーブル

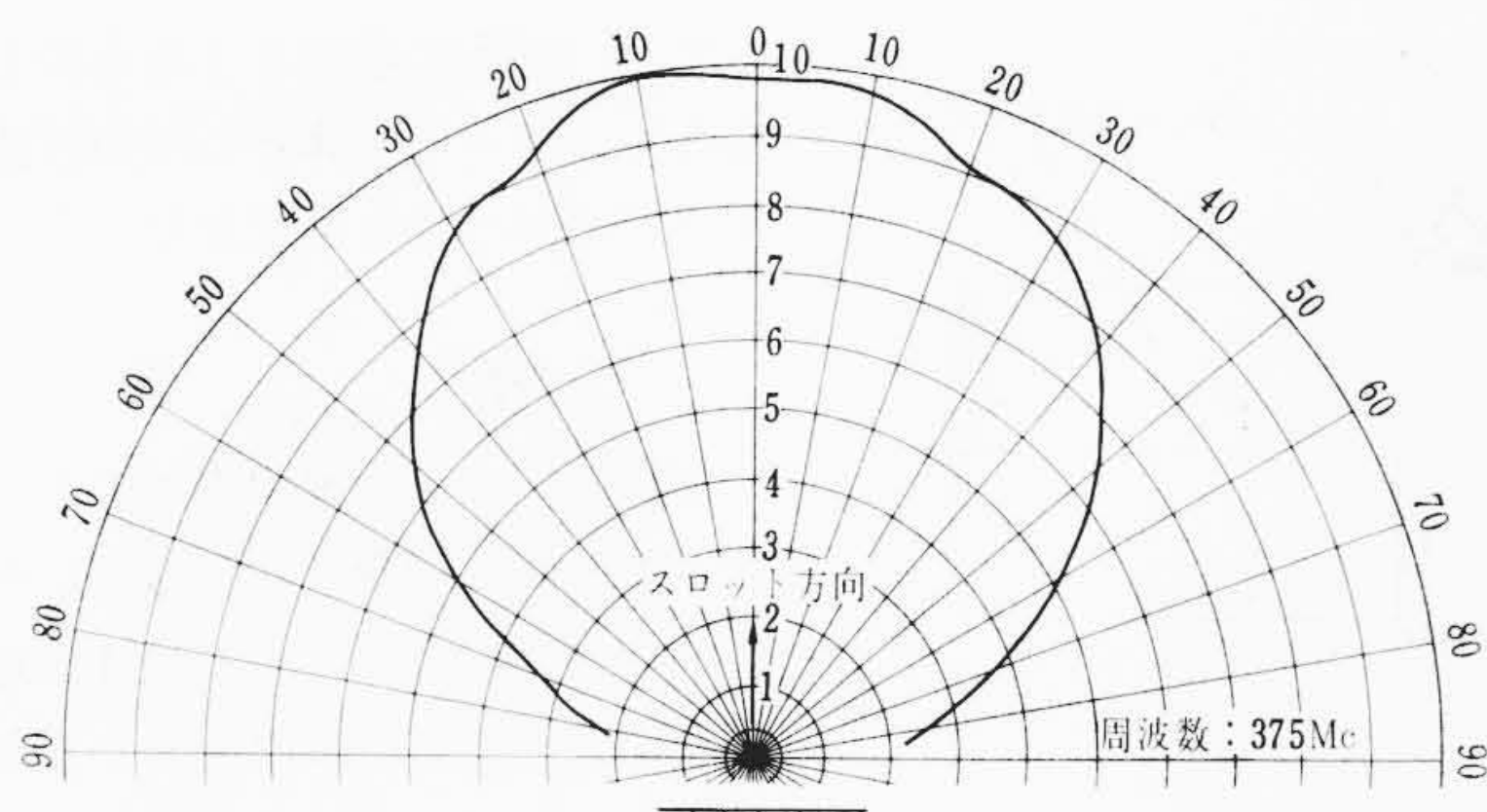
を回転したときのパターンである。なおこのようにアンテナの位置が近いときは放射波によりアンテナに電圧を誘起するというよりは静電的に結合している要素が多分にあると考えられる。

4.2 ケーブル減衰量

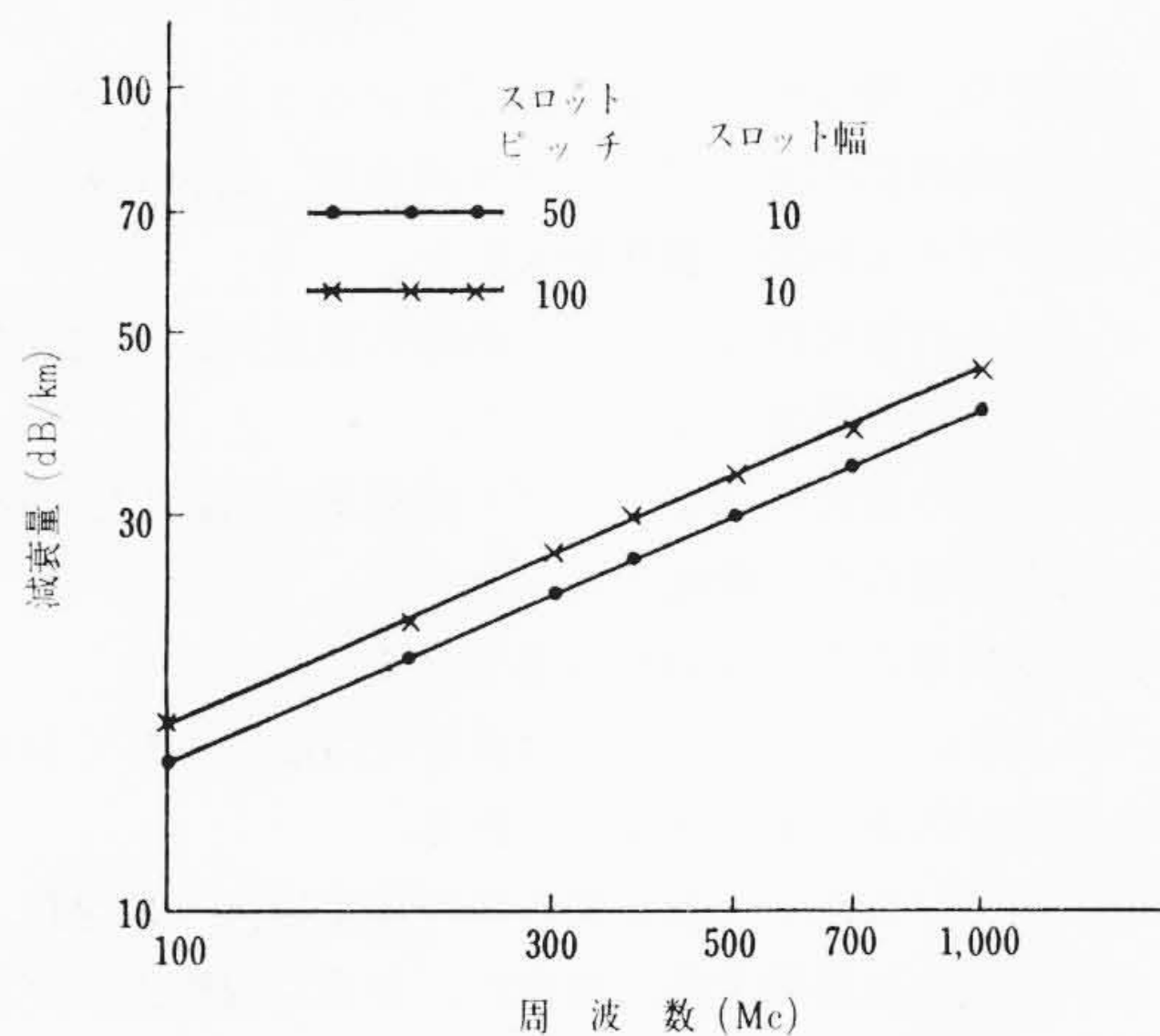
ケーブル減衰量も電波漏えいに関連するので結合損失と同様にコンクリート上にケーブルを延線して測定した。測定法は等価 VSWR 法によって行ない、測定誤差を小さくするため周波数変化法によった。第14図にケーブル減衰量の周波数特性を示す。漏えい孔を設けたことによるケーブル減衰量の増加は漏えい孔なしの同軸ケーブルの減衰量に比べて普通区間用で約 2 dB, 特殊区間用で約 7 dB であった。

4.3 電圧定在波比 (VSWR)

VSWR の周波数特性を第15図に示す。VSWR の測定も結合損



第13図 ケーブル断面方向指向性



第14図 ケーブル減衰量周波数特性

失と同様にケーブルを第6図の状態にして測定した。VSWRの値も周波数によりあまり変化がなく、非共振スロットの特長を示している。

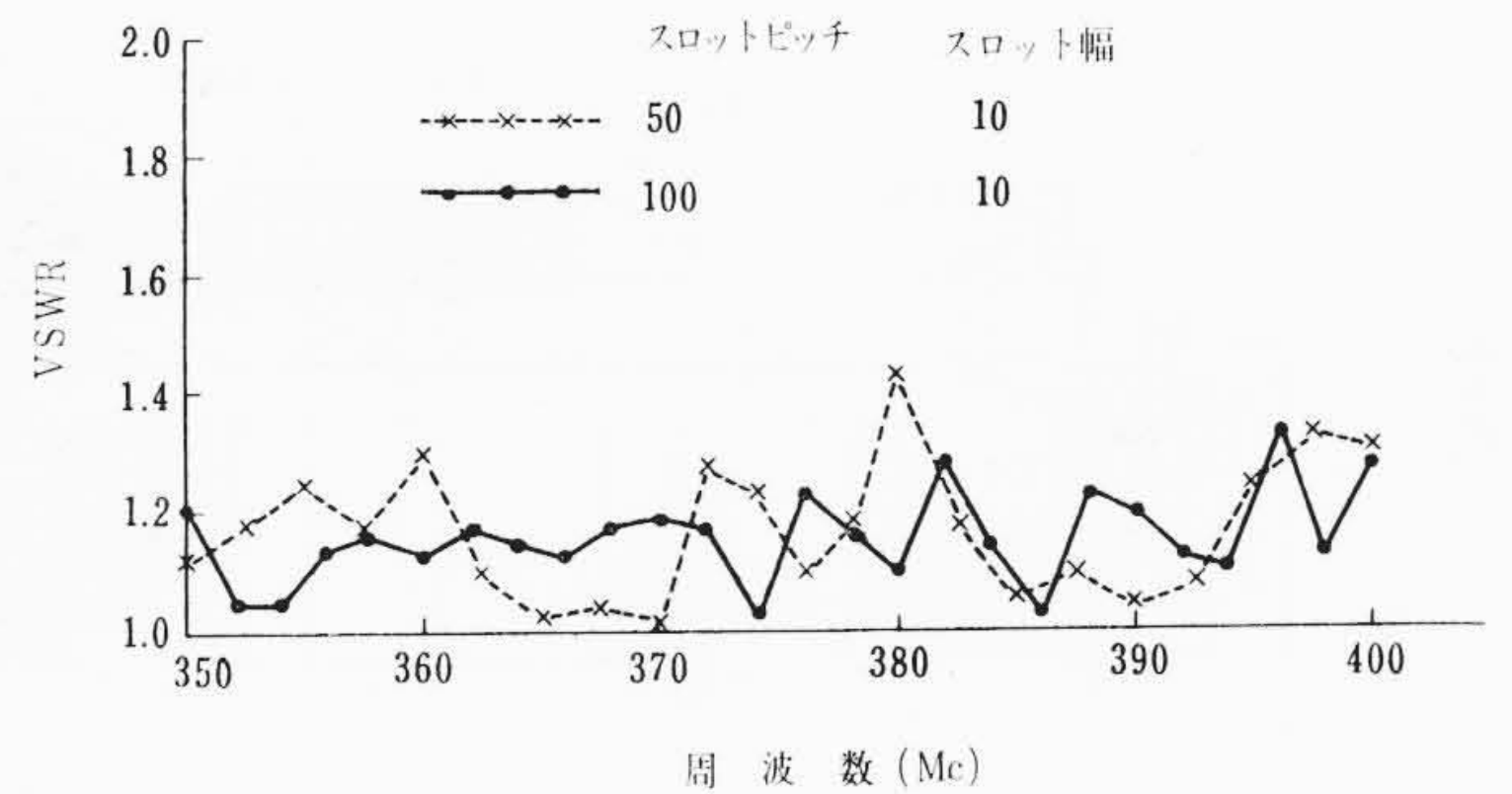
5. 周囲条件の変化による特性変化

トンネル内が地上の晴天時と同じような周囲条件であれば申し分ないが、実際ケーブルをトンネル内に架設した場合、トンネル内の周囲条件は必ずしもよくない。すなわち高湿度、塩水の付着、金属粉、塵埃(じんあい)の付着など伝送特性、漏えい特性に悪影響を及ぼす可能性のある要因が多くある。したがってこれらの条件の下で漏えい導波ケーブルがどのような性能を示すかは重要な問題である。そこで実際の周囲条件を模擬して特性の変化を測定した。

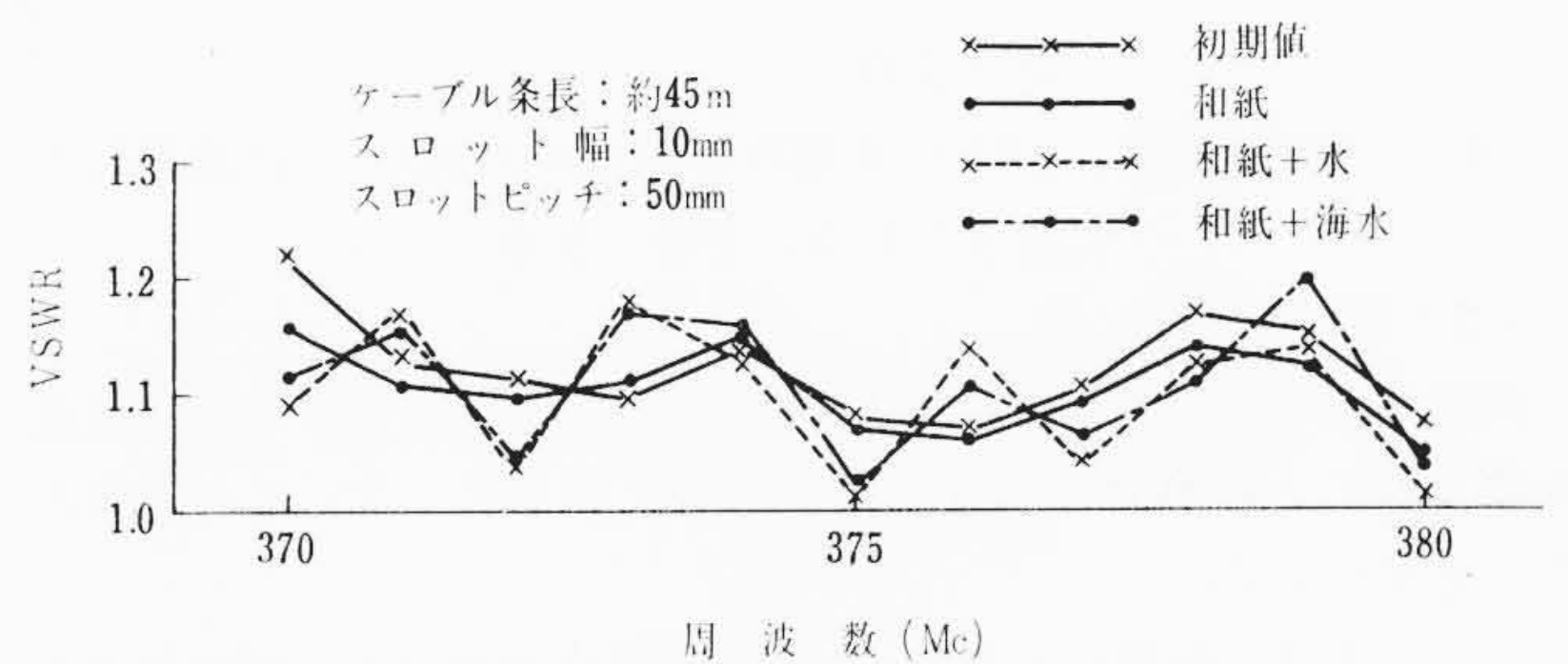
5.1 周囲条件の選定

比較的過酷な条件として和紙に水をしみこませる方法をとった。測定条件は次の四つである。

- (1) 初期条件 ケーブルそのまゝの状態
- (2) 和紙 厚さ0.05mm幅65mmの和紙を1/6ラップでケーブル表面に巻きつけた状態
- (3) 和紙+水 (2)の状態のケーブル外周に水道水をしみこま

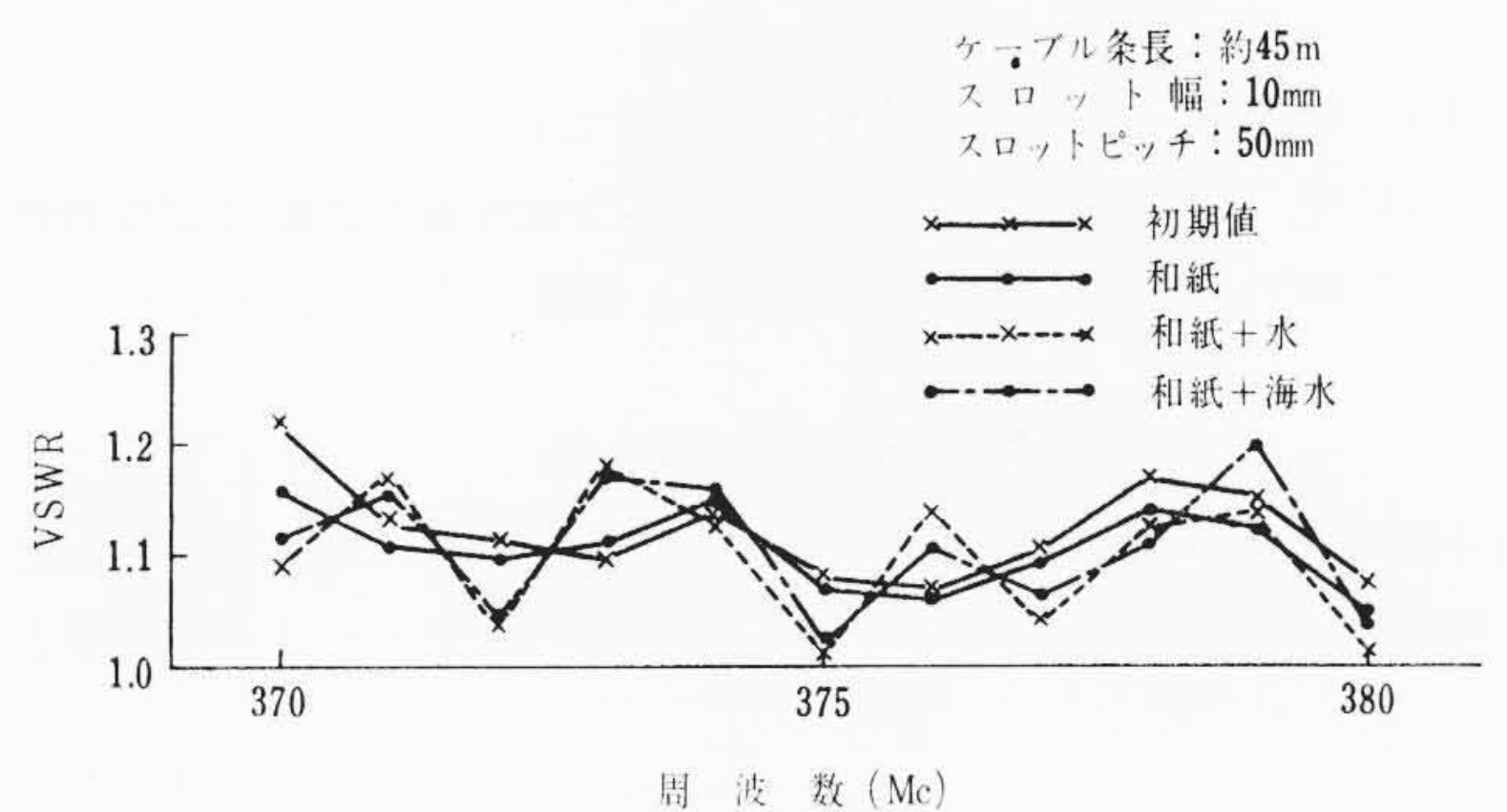


第15図 VSWR 周波数特性



普通区間用ケーブル

第16図 周囲条件変化によるVSWR変化(1)

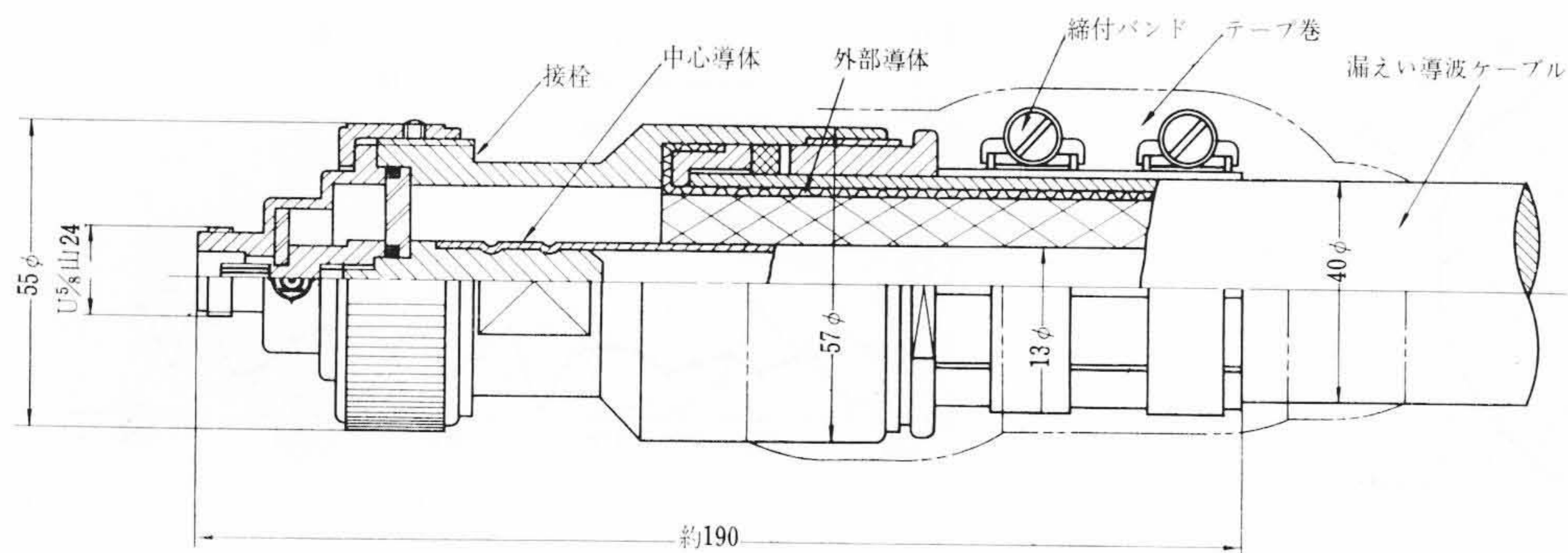


特殊区間用ケーブル

第17図 周囲条件変化によるVSWR変化(2)

第4表 周囲条件変化による減衰量、結合損失の変化

ケーブル種別	フロッツ(mm)		周囲条件	周波数(Mc)	減衰量(dB/km)	アンテナ位置		結合損失(dB)				
	ピッチ	幅				h(cm)	W(cm)	90<(%)	85<(%)	80<(%)	75<(%)	平均値
普通区間用ケーブル	100	10	初期値	375	26.6	60	0	0	0	2.5	12.5	70~75
						40	60	1	6.9	14.9	40.5	73~78
			和紙	375	30.2	60	0	0	0	1	5.6	65~70
						40	60	1.2	4.8	16.3	50	74~79
			和紙水	375	32.2	60	0	0	1	2	6.6	66~71
						40	60	1	2.7	14.0	43	75~80
			和紙海水	375	32.7	60	0	0	1	1	3.5	65~70
						40	60	1	3.1	13	39.8	75~80
特殊区間用ケーブル	50	10	初期値	375	31.0	60	0	0	0	0	1	60~65
						40	60	0	1	4.4	19.5	70~75
			和紙	375	32.0	60	0	0	0	0	0	60~65
						40	60	1	1.5	6.8	21.6	70~75
			和紙水	375	34.0	60	0	0	0	0	1	63~68
						40	60	0	0	1	8.4	67~72
			和紙海水	375	37.0	60	0	0	0	0	1	60~65
						40	60	0	1	2.2	13.9	67~72



第18図 接栓部構造

して第18図に示すようなものを製作し、ルート全体としての性能を良好に保つことができた。

7. 結 言

羽田モノレール線列車無線のトンネル区間に開発された漏えい導波ケーブルについてその特性を述べたが要約すると次のとおりである。

(1) 非共振スロットアレイ形

同軸ケーブルを用いるこ

とにより、要求性能を十分満足させることができた。

(2) また特殊区間用としてケーブル減衰量、結合損失の異なったケーブルも同時に製作納入した。

(3) ケーブルの諸特性はスロットが非共振形のため周波数に対して一様で、異常点はなかった。

(4) 周囲条件の変化によるケーブル減衰量、結合損失の変化は、実用上問題のない程度であった。

(5) 自己支持形のため架設が容易である。

以上述べたように、このケーブルは良好な性能を示しており、今後いっそう用途が広まるものと期待される。

終わりにご指導いただいた日立製作所戸塚工場佐々木課長、日立電子サービス株式会社菊地主任、鈴木氏、日立電線株式会社日高工場杉山部長はじめ関係者に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 福島：電気鉄道 18, 2 (昭39-1)
- (2) 中村，稲葉ほか：日立評論 46, 886 (昭39-5)
- (3) 村田，八田ほか：通信学会全国大会予稿 167 (昭37)
- (4) 山本，塩山：通信学会全国大会予稿 166 (昭37)
- (5) 北垣，奥村ほか：電気四学会連合大会予稿 1705 (昭38)

6. 端 末 接 栓

同軸ケーブルにおいてはケーブルの性能とともに端末接栓の性能が良好であることがたいせつである。漏えい導波ケーブル用接栓と

せた状態

(4) 和紙+海水 (2)の状態のケーブル外周に $\frac{1}{2}$ に濃縮した海水をしみこませた状態

5.2 測 定 結 果

周囲条件を変えて行なった結合損失、ケーブル減衰量の測定結果を第4表に、VSWRの測定結果を第16, 17図に示す。この結果次のことがいえる。

(1) 水分の付着によりケーブル減衰量は増加する。増加量は6~7 dB/kmであるが、これは周囲条件最悪に近いときの値であり実際はこれより小さいと思われる。

(2) 結合損失は水分の付着によりほとんど変化がないか、かえって小さくなる傾向がみられる。

(3) VSWRはほとんど変化がみられない。

この結果、同軸形漏えい導波ケーブルは周囲条件変化による特性変化が比較的少なく、実用上問題のない程度と考えられる。



特 許 の 紹 介



特許第408408号(特公昭38-2157)

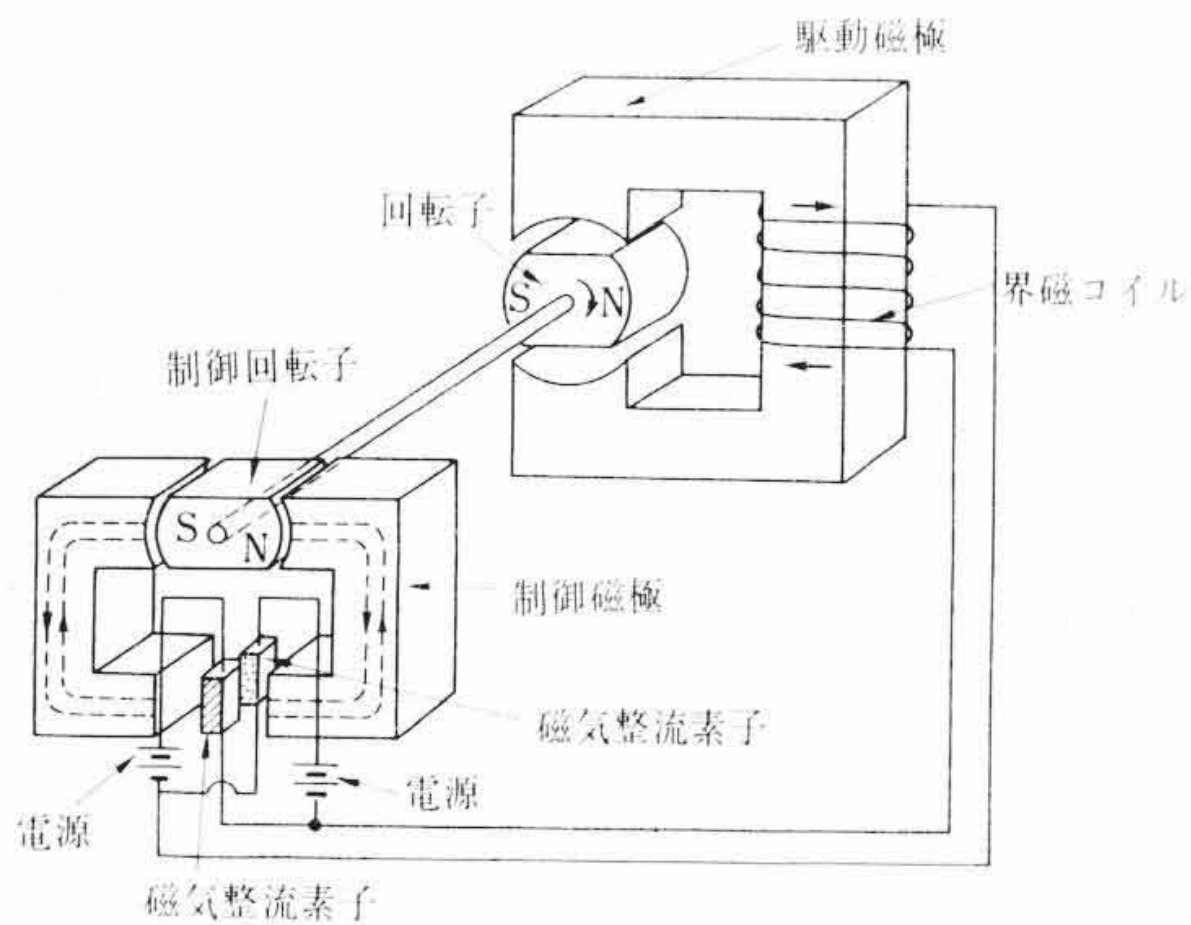
池 上 和 一

磁 気 整 流 素 子 を 用 いた 電 動 機

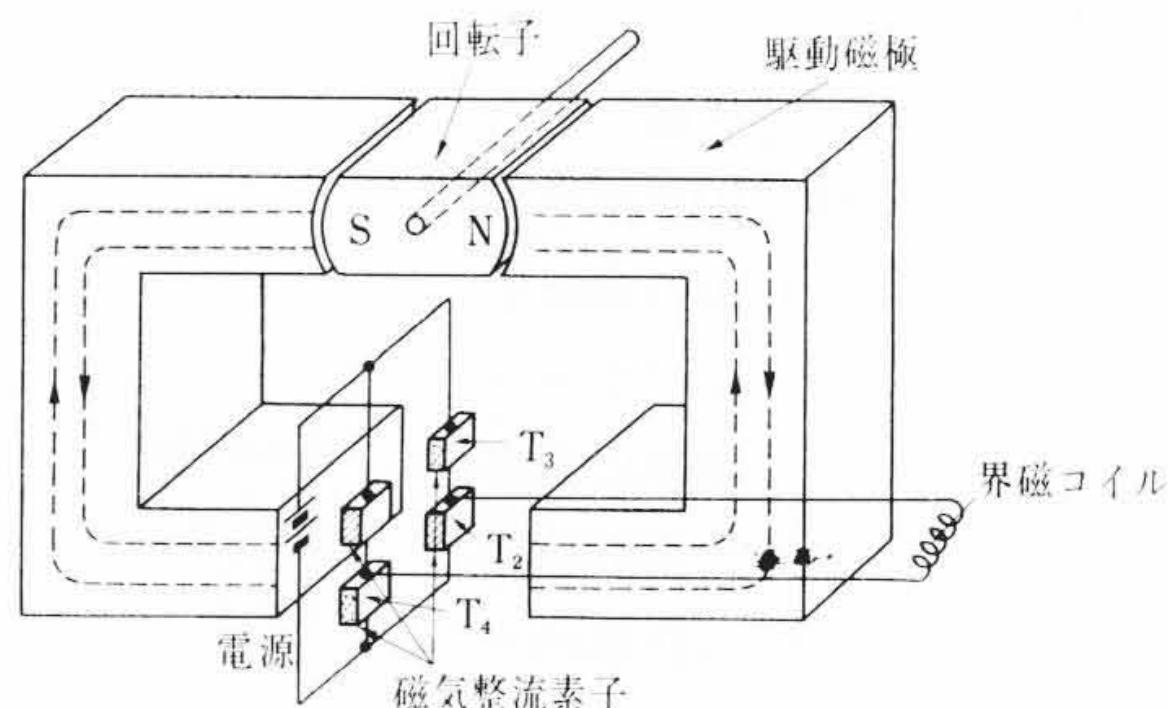
従来、磁氣的整流効果をもつ素子片を利用して整流作用を行なわせるようにした電動機として、第1図に示したようなものがあったが、これは2個の電源を必要とするため構造上および経済上はなほだ不都合である。

これに対し本発明は第2図に示すように、回転子の回転によって生ずる交番磁界中にブリッジの各辺を構成するように接続した磁気

整流効果をもつ4個の素子片を配置し、その対辺に当たる2個の素子片(たとえば T_1, T_2)が前述の交番磁界方向が変わるごとに他の対辺に当たる2個の素子片(たとえば T_3, T_4)とは、同時に逆の抵抗変化を生ずるような構成とすることによってブリッジの出力端に生ずる信号により、またはこの信号の増幅信号により前述回転子に対する界磁線輪を励磁するようにしたものであって1個の電源によって交番励磁信号を発生することができるばかりでなく、交番励磁信号の大きさも第1図のものより格段に大きいものが得られるという特長を有する。(佐々木)



第1図



第2図