

# マイクロ波回線用アルミ被同軸ケーブルの特性

## Characteristics of Al Sheathed Coaxial Cable for Micro Wave System

萩原 英二\* Eiji Hagiwara  
 花岡 利男\* Toshio Hanaoka  
 星 球一郎\* Kyuichirō Hoshi  
 堀口 二三男\* Humio Horiguchi  
 八田 達\* Tōru Hatta

### 内 容 梗 概

このたび日立電線株式会社では日立製作所本社（新丸ビル）と日立工場間のマイクロ波回線に使用するアルミ被同軸ケーブルを製作し、新丸ビル、筑波山、日立工場の3箇所に布設した。

ケーブル構造は中心導体が銅パイプで、ポリエチレンカップ絶縁、アルミ被であり、ビニルテープ防食を施したものである。ケーブルはインピーダンス 50Ω, VSWR 1.2 以下を目標にしたが完成ケーブルの値は十分この目標値を満足するものであった。また屈曲、変形による特性変化についても検討を加え、適正な条件を決めて布設作業を行なった。この結果実用試験成績も良好であり、現在好調に使用されている。

### 1. 緒 言

わが国におけるマイクロ波通信技術は昭和26~27年頃に黎明(れいめい)期を迎えてから、最近に至るまでめざましい発展を続け各分野に広く普及している。わが国の技術は2,000 Mc 帯よりスタートしたが、その後電子管の長足の進歩に伴って次第に高い周波数帯域(4,000~9,000 Mc さらに11,000~13,000 Mc) に向って日進月歩の発展を続けている<sup>(1)</sup>。

2,000 Mc 程度の比較的低い周波数帯は初期に開発が完了し、次の段階は4,000 Mc 帯に移り、これを起点として発展したもので、中間の2,500 Mc 帯域は最近まで未開拓のまま残されていた。一方最近におけるマイクロ波通信の激増に対して割り当てる周波数が少なく、このため2,500 Mc 帯の利用が再び考慮されることになり、クライストロンの開発と相まってその実現化が計られている。

日立製作所では本社(新丸ビル)と日立工場(日立市)間に昭和30年秋より実用化試験用の7,000 Mc 帯マイクロ回線を設置し使用していたが、今回これを更新することになった。新しいマイクロ波回線として周波数は2,500 Mc 帯を使用することになり、端局、アンテナ、給電線の構造性能に対して種々検討を加えた。

筆者らは給電線の設計製造ならびに工事を担当した<sup>(2)</sup>。給電線は中心導体として軟銅パイプ(外径18φ)、外部導体としてアルミパイプ(外径50φ)を使用し、ポリエチレンカップ絶縁、ビニルテープ防食(一部鋼帯外装)の構造のものを採用した。

マイクロ波給電線用同軸ケーブルは電気的特性がすぐれている上に機械的特性も安定した状態で使用されることが必要である。このため完成ケーブルの特性はもちろん、屈曲など工事上の要因による特性変化についても十分検討しておく必要がある。また万一予測しない事故によりケーブルが外傷を受けることも考えられ極度の変形による影響も考慮しておく必要がある。

今回は2,500 Mc マイクロ波同軸ケーブルの電気的特性、屈曲などの外的要素による特性変化ならびに布設工事について報告する。なお給電線系統としてはケーブルのほかに変換接栓が重要な問題であるが、これについては別途報告の予定である。

### 2. マイクロ波回線の概要とケーブル構造

#### 2.1 マイクロ波回線の概要

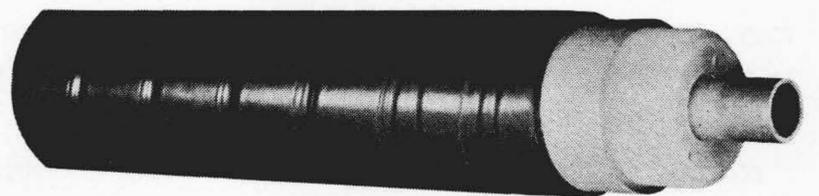
今回の2,500 Mc マイクロ波回線は日立製作所本社(新丸ビル)から送出された電波が筑波山中継所を経て日立市西方の328高地に取  
 日立電線株式会社電線工場

第1表 マイクロ波回線の概要

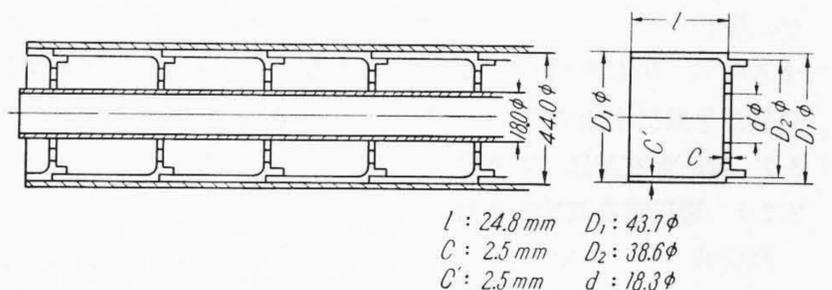
使用周波数	本社局 日立局 筑波山	2,540 Mc 2,660 Mc
変調方式	単一側帯波周波数変調(SSB-FM)	
通話容量	実装 60 ch, 最大 120 ch	
給電線長	新丸ビル: 105m 筑波山: 30m×2 日立工場: 10m	(ビニル防食) (鋼帯外装) (ビニル防食)

第2表 ケーブル構造表

中心導体	材 料 外 厚 径 寸	軟 銅 パ イ プ 18.0 mmφ 1.4 mm
絶縁体	材 料 方 式 外 径	ポリエチレンカップ形成形物 連 続 装 着 44 mmφ
外部導体	材 料 外 厚 径 寸	軟 アル ミ パ イ プ 49 mmφ 2.4 mm
防食層	材 料 厚 寸	粘着ビニルテープ 2枚 0.4 mm
仕上り外径	51 mmφ	
外鋼帯(筑波山用)	材 料 厚 寸 仕上り外径	ゴム引綿テープ+鋼帯2枚+ビニル引綿テープ+粘着ビニルテープ 鋼帯厚 0.6 mm×2枚 60 mmφ



第1図 ケーブルの外観



第2図 ケーブルの断面構造

り付けられた反射板で反射され日立工場に到着するというものである。マイクロ波回線の概要を第1表に示す。

第1表からわかるように新丸ビルの給電線は非常に長尺である。

第 3 表 各ケーブルの特性インピーダンス

ケーブル番号	ケーブル条長 (m)	特性インピーダンス( $\Omega$ )
1(新丸ビル用)	65	49.8
2(新丸ビル用)	65	50.1
3(筑波山用)	30	49.9
4(筑波山用)	30	50.1
5(日立工場用)	15	50.3

マイクロ波通信の無線機は通常建屋最上階の一室に設置され、その直上の屋上に鉄塔ならびにアンテナを設け、アンテナと無線機の間隔を極力短くするので、給電線の条長は大抵 30~40 m である。しかし今回のマイクロ波回線では無線機は新丸ビル 7 階に設けられ、鉄塔を建屋の反対側に設置することになり、また径路も種々制約されたのでケーブル全長は 105 m に及ぶことになった。マイクロ波を同軸ケーブルにより 100 m 以上も伝送したことは国内では前例がない。

2.2 ケーブルの構造

本給電線の外観を第 1 図に、構造の詳細を第 2 図および第 2 表に示す。新丸ビル、日立工場用給電線はアルミパイプ上にビニル防食を施し、筑波山向のものには布設場所の条件を考えて鋼帯外装を行なった。完成ケーブルの外径(ビニル防食層上)は 51mm で重量は約 2.2 kg/m である。

3. ケーブルの電気的特性

3.1 特性インピーダンスならびに減衰量

3.1.1 特性インピーダンス

ケーブルの特性インピーダンスは送信機、受信機、アンテナとの整合上重要な要素である。ケーブルの特性インピーダンスを 10Mc の周波数で同調法により測定した。測定結果を第 3 表に示す。この測定値は周波数がマイクロ波帯に移行してもほとんど変化しないものと考えられる。また第 3 表の結果はインピーダンスの設計値 50 $\Omega$  によく一致しており、ポリエチレンカップの等価誘電率の設定が適切であったことを示すものである。

3.1.2 減 衰 量

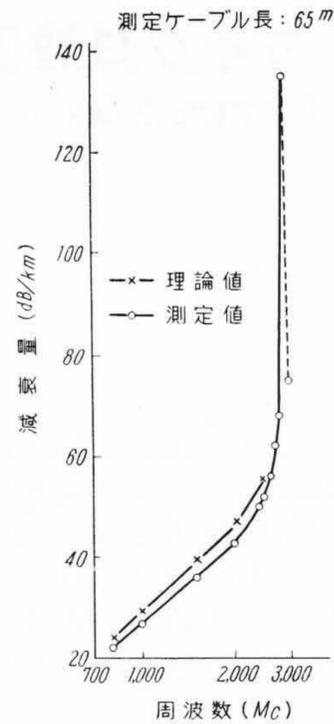
同軸ケーブルの減衰量は導体による抵抗減衰と絶縁体による漏えい減衰より成り立つ。特に後者は周波数に比例して増加するので、マイクロ波帯においては絶縁体の良否によって著しく左右されることになる。このためケーブルの設計に当って、誘電正接 ( $\tan \delta$ ) の値が問題となるが、本ケーブルでは  $1 \times 10^{-4}$  の値を設定した。この値を用いると抵抗減衰と漏えい減衰の比は 2,500 Mc で約 1:1 である。

次にケーブルの減衰量を定在波法により測定した結果の一例を第 3 図に示す。第 3 図の測定値と理論値はきわめてよく一致している。2,900 Mc 付近で予想されたとおり遮断周波数の特性が明らかに現われている。この周波数になると不要姿態 ( $TE_{11}$ ) が発生するので、基本波 (TEM 波) のエネルギーが分散し、このため減衰量が急激に増加するものである。

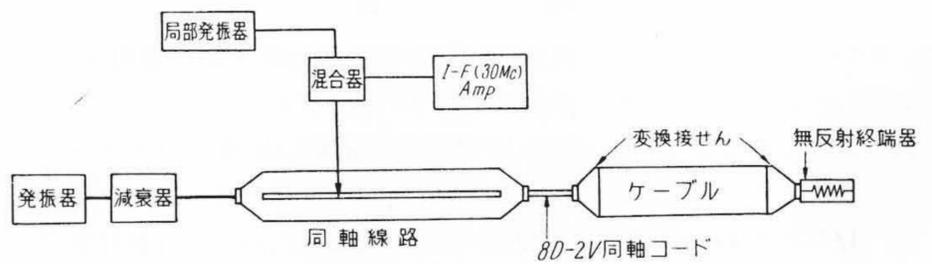
3.2 電圧定在波比 (VSWR)

3.2.1 電圧定在波比の意義

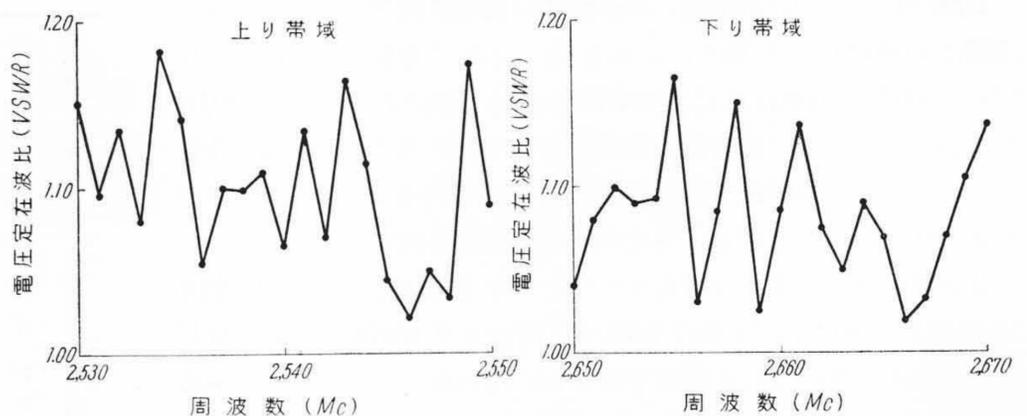
高周波ケーブルをマイクロ波帯で使用する場合、注意を要する現象は進行波の反射である。ケーブルの長さ方向にインピーダンスの不均衡点があると進行波が反射する。2,500 Mc の周波数になると波長がかなり短くなるので、ケーブルの軸方向の多くの点で発生した反射波が同位相で重なり合う確率が大きくなり、微小な反射でも合成反射波は非常に大きいものになる。



第 3 図 減衰量周波数特性



第 4 図 VSWR の測定回路



(測定ケーブル長 65m)

第 5 図 電圧定在波比周波数特性

このような現象は電圧定在波比 (VSWR) によって規格化されるのが普通であり、使用周波数範囲ならびにその付近で VSWR 特性のよいことが最も重要な事項である。この VSWR は最大値をもって規定するのが普通であり、今回のケーブルについては VSWR の目標を最大 1.2 に定めた。

3.2.2 電圧定在波比測定法

VSWR を実際に測定するにはケーブルの終端を理想的なインピーダンス (無反射終端器) で成端し、ケーブルの始端における定在波の最大値と最小値の比率を求めればよい。VSWR の測定回路を第 4 図に示す。

第 4 図の同軸線路は通常 50 $\Omega$  のインピーダンスをもつスロットドラインが使用され、VSWR は同軸線路上の電圧最大値と最小値の比から求められる。

測定回路のうちで同軸線路の残留 VSWR, S 形接栓 (せん) 付 8D-2V 高周波同軸コード、変換接栓ならびに無反射終端器の VSWR はケーブルの VSWR に比べて十分小さいことが必要である。このため上記各要素の VSWR を分離測定した結果、ケーブルに比較して十分小さいことがわかった。

第4表 アルミ被同軸ケーブルの屈曲試験結果

屈曲半径(m)	倍率	往復1回	往復2回	往復3回
1.5	30R	異常なし	異常なし	異常なし
1.0	20R	異常なし	異常なし	波状のしわがでる
0.75	15R	波状のしわがでる	波状のしわがでる	やや挫屈を生ず

3.2.3 電圧定在波比測定結果

ケーブルのVSWRの測定は2,450~2,670 Mcの範囲で2.5 Mcごとに行なったが、特に使用周波数帯域での特性は重要であるので、この間は1 Mcごとに測定を行なった。新丸ビル用ケーブルについてVSWRを測定した結果を第5図に示す。第5図の結果によると上り帯域、下り帯域とも当初の目標値1.2以下であり、一応の目的は達成した。

4. ケーブルの機械的特性(屈曲特性)

4.1 ケーブルの屈曲特性

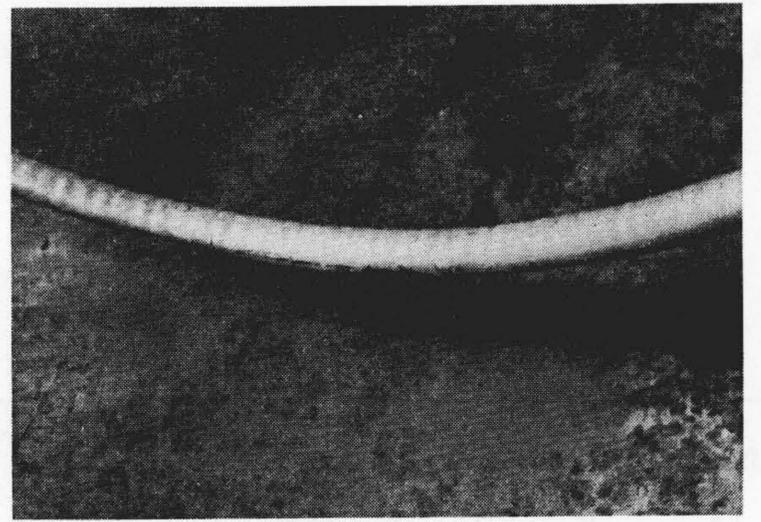
アルミ被同軸ケーブルの機械的特性のうちで最も重要なものは屈曲特性である。アルミ被ケーブルは屈曲により挫屈(ざくつ)を生じやすいので、布設工事の際に許される屈曲半径の最小値をあらかじめ決めて置く必要がある。このため屈曲によるケーブル外径の変化、ならびに被覆上のしわの発生状況を調査した。

4.2 屈曲試験方法

試験試料として長さ約5mのものを用い、ケーブル外径に対してそれぞれ15倍(0.75m)、20倍(1.0m)および30倍(1.5m)の曲率半径で往復3回の屈曲試験を行なった。同時に試験回数ごとに屈曲方向とこれと直角の方向の外径変化を測定した。

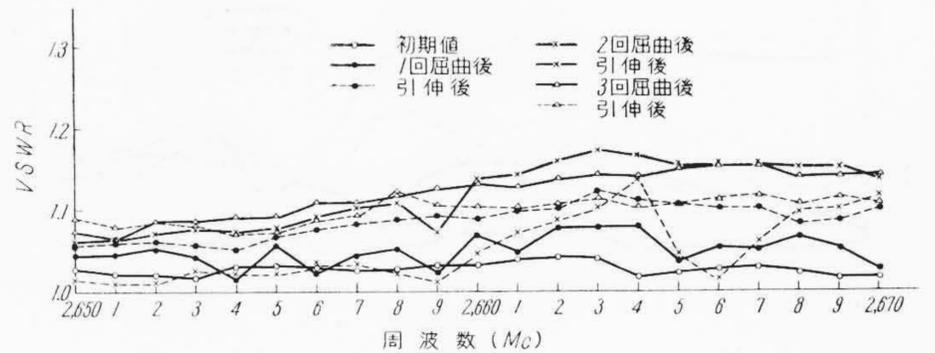
4.3 測定結果ならびに考察

屈曲試験結果を第4表に、屈曲試験によって波状のしわが発生した状況を第6図に示す。また各屈曲回数ごとにケーブル外径(長径と短径)の変化を測定した結果を第5表に示す。ただしケーブル外径の変化は初期値に対する変化を百分率(%)にて示した。屈曲試験の結果によると屈曲半径1.5mの場合にはまったく異常は認められないが、1.0mの半径になるとややしわを生じ、半径0.75mになると3往復で挫屈(ざくつ)を生ずることがわかった。一方屈曲による外径変化と



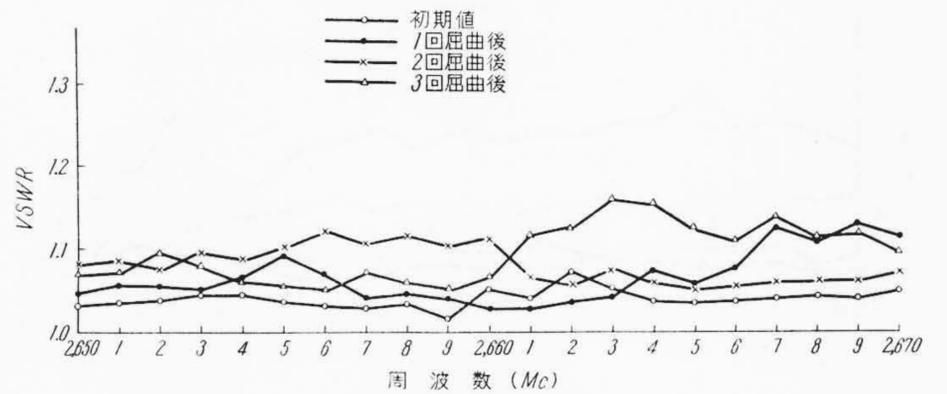
(屈曲半径 0.75m, 2往復屈曲後)

第6図 屈曲後の試料の状況



(屈曲半径 1.5m)

第7図 屈曲によるVSWRの変化



(屈曲半径 1.0m)

第8図 屈曲によるVSWRの変化

第5表 屈曲による外径変化率(%)

半径(m)	方向	測定点	初期値(mm)	1 往復				2 往復				3 往復			
				屈曲	戻し	逆屈曲	戻し	屈曲	戻し	逆屈曲	戻し	屈曲	戻し	逆屈曲	戻し
1.5	屈曲方向	A	49.2	-1.22	-1.22	-2.03	-1.22	-2.03	-1.22	-1.63	-1.83	-1.44	-1.63	-1.83	-1.44
		B	49.0	-0.82	-1.22	-0.82	-1.02	-1.65	-1.43	-1.43	-1.43	-1.22	-0.82	-0.41	-1.43
		C	49.2	-1.22	-1.22	-1.44	-1.22	-2.03	-1.63	-1.63	-1.22	-1.44	-1.83	-1.83	-2.03
	直角方向	A	48.9	1.63	1.02	1.22	0.81	0.81	0.81	1.02	0.81	0.61	0.40	1.22	1.02
		B	49.1	0.40	0.61	0.40	0.40	1.01	0.40	0.40	0.40	0.61	0.40	1.42	0.40
		C	49.0	1.40	0.81	1.02	1.81	1.42	0.61	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.61
1.0	屈曲方向	A	48.9	-1.03	-0.61	-1.43	-0.82	-1.66	-1.23	-1.66	-0.20	-1.85	-1.66	-1.85	-1.23
		B	48.9	-2.04	-1.43	-1.85	-1.23	-1.03	-1.85	-1.23	-1.23	-2.66	-2.25	-2.46	-2.25
		C	48.9	-1.03	-0.41	-0.61	-0.41	-1.66	-0.61	0	-0.21	-1.85	-1.23	-1.66	-1.23
	直角方向	A	49.3	0.20	-0.20	0.81	0	0.81	0.81	1.01	0.61	1.01	0.61	0.81	0.41
		B	49.1	1.83	0.81	1.42	0.61	1.62	1.22	1.43	0.81	1.83	1.01	1.83	1.01
		C	49.2	0.41	0	0.40	-0.21	1.22	0.20	1.22	0.40	1.62	0.22	1.63	1.62
0.75	屈曲方向	A	49.2	-1.63	-1.22	-2.64	-1.22	-2.64	-1.83	-3.05	-2.03				
		B	49.3	-1.83	-1.62	-3.85	-1.83	-3.85	-2.23	-3.25	-1.42				
		C	49.3	-2.22	-2.01	-2.63	-2.02	-3.44	-1.82	-3.44	-2.83				
	直角方向	A	49.1	1.43	1.02	1.83	1.40	2.24	1.43	2.65	2.04				
		B	49.1	1.80	1.02	2.04	1.43	2.24	0.61	2.44	1.63				
		C	49.3	1.02	0.81	1.42	0.81	2.03	1.01	2.23	1.21				

(注) (i) A, B, Cは屈曲時の中央部および両側50cmの点を示す。  
 (ii) 変化率の無符号は外径増加, -符号は外径の減少を示す。

の関係について考察すると、波状のしわができるのは外径変化 2% 程度、挫屈を生ずるのは 3% の外径変化に相当することがわかる。

5. 屈曲ならびに局部変形による電気的特性の変化<sup>(3)</sup>

5.1 屈曲による電気的特性変化

5.1.1 測定方法ならびに結果

前章の屈曲試験を行なう際に被測定ケーブル 5 m の片端に変換

第 6 表 屈曲による VSWR の変化(最大値)

屈曲回数	屈曲前	1 回屈曲後	引伸後	2 回屈曲後	引伸後	3 回屈曲後	引伸後
屈曲半径(m)							
1.5	1.04	1.08	1.12	1.17	1.14	1.15	1.12
1.0	1.07	1.13	1.08	1.10	1.10	1.16	1.14
0.75	1.05	1.18	1.20	1.26	1.27	1.30	1.25

接栓を取り付け、他端に無反射終端器を接続して屈曲した場合の VSWR を測定した。なお変換接栓とスロッチドラインの接続には同軸コードを使用せず直接接続を行なった。屈曲による VSWR の変化を 2,650~2,670 Mc の周波数について測定した結果を第 7, 8, 9 図に示す。また各条件における VSWR の最大値を取りまとめ第 6 表に示す。ただし測定値はいずれも変換接栓ならびに終端器を含めた値である。

5.1.2 測定結果の考察

測定結果によると屈曲半径が 1.5 m, 1.0 m (それぞれ 30 倍および 20 倍の半径) の場合には 3 往復の屈曲に対して VSWR の著しい変化は認められない。しかし屈曲半径が 0.75 m (15 倍の半径) になると屈曲後の VSWR はやや悪化し、この傾向は屈曲回数の増加とともに顕著になることがわかった。この結果と第 4 表の機械的な屈曲特性を合わせ検討した結果、ケーブル布設の際に許容する最小屈曲半径を 1.5 m に決定した。

5.2 局部変形による電気的特性変化

5.2.1 測定方法ならびに結果

予測できない事故によって万一ケーブルに外傷が与えられた場合を想定して次の方法により試料を作成した。すなわち長さ 5 m の試料のほぼ中央部に大きき 50 φ, 深き 3 mm, 大きき 10 φ, 深き 5 mm のくぼみをそれぞれ 1~4 個所与え VSWR を測定した。測定結果をそれぞれ第 10, 11 図に示す。また局部変形の一例を第 12 図に示す。

5.2.2 測定結果の考察

測定結果によると 50 φ, 3 mm の変形の場合、変形が 1 個所程度では VSWR は悪化するとは限らず一定した傾向を示さない。しかし変形が 4 個所程度におよぶとかなりの悪化が認められる。一方 10 φ, 5 mm の変形に対する VSWR の悪化は 50 φ, 3 mm の場合より顕著な傾向を示すことがわかる。

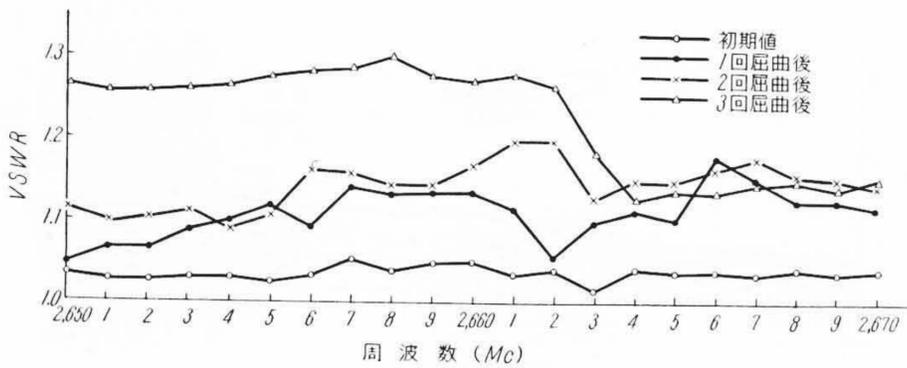
5.3 部分変形による電気的特性変化

5.3.1 測定方法ならびに結果

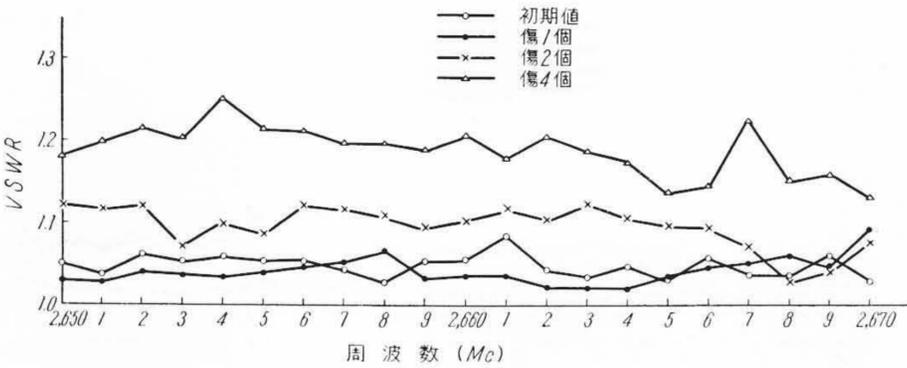
この変形は局部変形とことなり、ケーブルのある部分がつぶされて扁平になった場合を想定したものである。長さ 5 m の試料のほぼ中央部約 200 mm の間をそれぞれケーブル外径の 10%, 30% の圧縮を加えた試料を作成した。これらの試料について VSWR を測定した結果を第 13 図に示す。

5.3.2 測定結果の考察

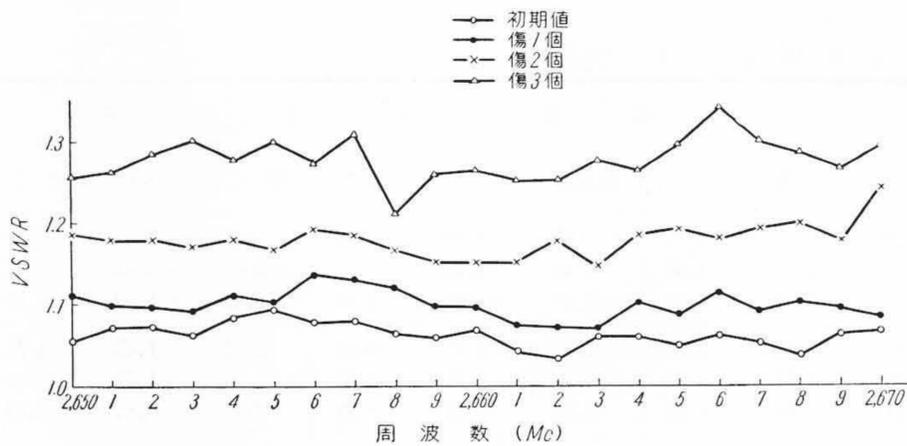
ケーブル外径の数%に相当する変形の場合、長さが 200mm に及んでも VSWR はそれほど悪化しないことがわかる。しかし 30% の部分変形に対しては著しく特性が悪化するので、布設工事に当ってはケーブルに極度の変形を与えないよう細心の注意を払う必要がある。



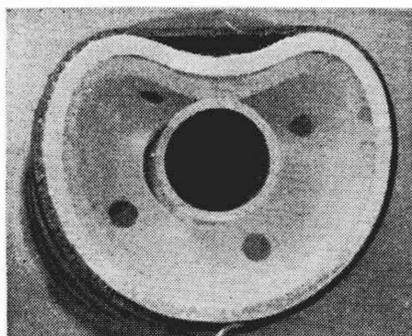
第 9 図 屈曲による VSWR の変化 (屈曲半径 0.75m)



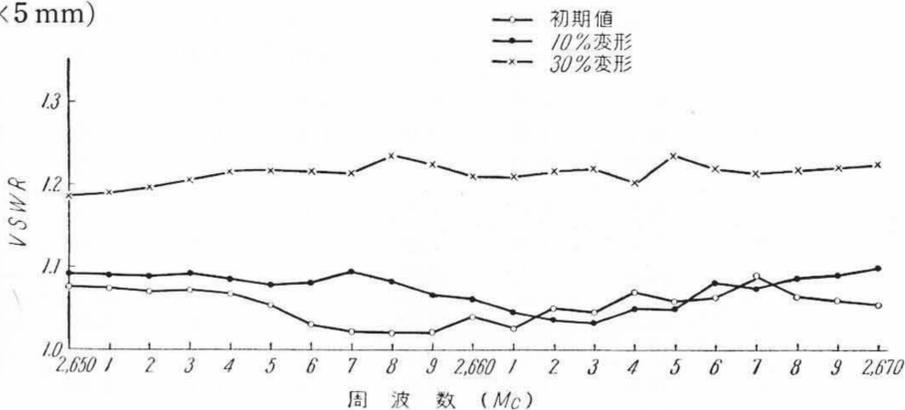
第 10 図 局部変形による VSWR の変化 (50×3 mm)



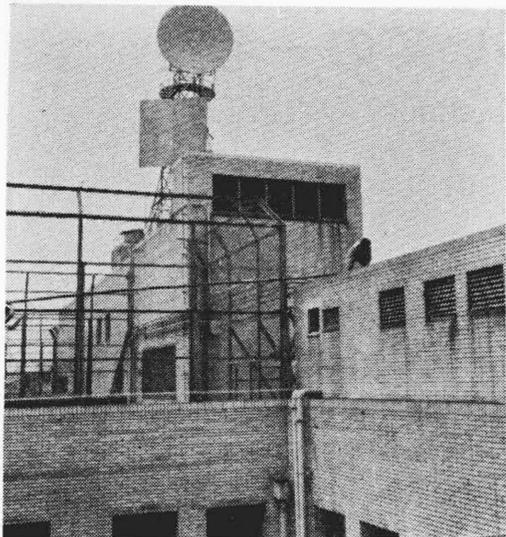
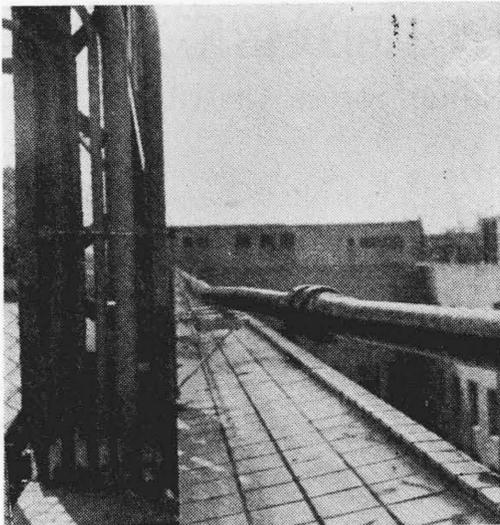
第 11 図 局部変形による VSWR の変化 (10×5 mm)



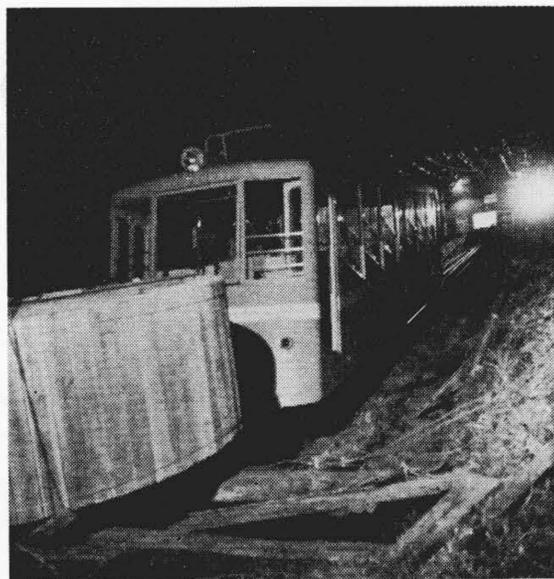
第 12 図 局部変形試料の一例



第 13 図 部分変形による VSWR の変化

第14図 新丸ビル屋上におけるケーブル  
布設工事

第15図 中間接続部の状況



第16図 筑波山におけるケーブル運搬状況

## 6. 布設工事の概要ならびに布設後の特性

### 6.1 ケーブル布設工事の概要

#### 6.1.1 新丸ビル屋上における工事

さきに述べたように本ケーブルの布設における一番の難ルートは新丸ビル屋上である。無線室とアンテナの間に距離が105 mあり、中間の屈曲箇所は11箇所にあつた。ケーブルの許容曲率半径を1.5 mに決めてあるので、ケーブルを2条のまま延線することは不可能であり、4条に分割布設し、中間接栓によっておのおのを接続した。またケーブルを延線する場合の矯正器、屈曲させる場合のベンダーなど布設工具についても十分な吟味を加えてケーブルに極度の変形を生じないようにした。第14, 15図に新丸ビル屋上におけるケーブル布設工事ならびに中間接続部の状況を示す。

#### 6.1.2 筑波山頂上における工事

筑波山頂のマイクロ中継所には長さ30 mの鋼帯外装アルミ被同軸ケーブル2条を使用した。筑波山は中腹以上に運搬道路がないので運搬方法が問題になったが、ケーブルカーを夜間使用することによって解決した。運搬状況の一例を第16図に示す。

#### 6.1.3 日立工場屋上における工事

ケーブル条長は15 mで短尺であり、布設工事上特に問題はなかった。

### 6.2 布設後のケーブルの特性

#### 6.2.1 VSWR 試験

ケーブルの布設が完全に完了した後、総合的なケーブルのVSWR(接栓, アンテナを含む)を測定した。その結果新丸ビル屋上のケーブルのVSWRは使用帯域内で平均1.12であった。この結果は第5図のわく長試験結果に比較してわずかに悪化している。これは条長105 mの長尺で測定したことならびに変換接栓, 中間接栓の反射が重畳したことによるものと考えられる。

#### 6.2.2 ガス漏れ試験

外傷保護ならびに吸湿防止のためケーブルに80 g/cm<sup>2</sup>の圧力で乾燥空気を封入した。ガス漏れ試験の結果漏れは皆無であった。

## 7. 結 言

日立製作所本社(新丸ビル)と日立工場間の新設2,500 Mcマイクロ波回線に使用するアルミ被同軸ケーブルの構造, 特性ならびに布設工事について述べた。本ケーブルは3箇所(新丸ビル, 筑波山上, 日立工場)で使用されたが, 新丸ビルにおけるケーブル全長は105 mに及び中間の屈曲箇所も多く, 布設ルートとしてはかなりの悪条件であった。

ケーブル構造は中心導体銅パイプ, ポリエチレンカップ絶縁, アルミ被とし, インピーダンス50Ω, VSWRの最大値の目標を1.2に置いたが, 工場内の試験の結果十分これらを満足した。次に屈曲による機械的変形ならびにVSWRの悪化を併せ考え, 工事の際に許容する最大曲率半径を1.5 mとした。また思わざる事故によってケーブルに外傷を生じた場合の特性悪化の程度についても考察を加えた。

布設ならびに接続工事は作業方法ならびに工具を十分検討し, 慎重に作業した結果, 満足な状態で完了した。全ルートを通した電氣的試験も好結果を得て, 現在好調に使用されている。

最後に本調査にあたり終始ご指導, ご援助をいただいた日立製作所戸塚工場の関係各位ならびに本社通信工事課梶谷主任および日立電線株式会社電線工場の設計, 製造, 研究, 検査の各関係者に深く感謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 菅原: 信学誌, 44, 120 (昭36-1)
- (2) 八田, 堀口, 星, 萩原: 昭36電気通信学会支部大会 No. 453 (昭36-11)
- (3) 萩原, 花岡, 安達: 昭36電気通信学会支部大会, No. 452 (昭36-11)