

漏えいミリ波を用いた軌条上障害物探知方式の実験

(擬レーダ方式の実験)

Experiment of the Obstacles Detection System on Rail using mm Leaky Wave

(Experiment of Leaky Wave Meta-Radar)

雨宮好文*	上松馨*	栗田信男*
Yoshihumi Amemiya	Kaoru Uematsu	Nobuo Kurita
上村正雄**	渡部満**	御子柴晃一***
Masao Kamimura	Mitsuru Watanabe	Koichi Mikoshiba
福田重穂***	高木賢二郎***	
Shigeho Hukuda	Kenjiro Takagi	

要 旨

軌条上の障害物を探知する方法としての漏えい波を用いた擬レーダ方式をミリ波帯で実験を行ない原理の確認をした。らせん導波管を利用した漏えい導波管を開発し所期の特性を得ることができたが、ふく射の一様性、安定性などに問題がありこのため探知能力が場所により異なる。この点が今後、実用化の際の問題点である。

1. 緒 言

軌条上の障害物を事前に探知して事故の拡大を防ぐため、いままですでに多くの提案がなされ実際的な検討が行なわれてきたが、まだ決定的な方法が生まれていない。

これは障害物として何を考え探知すべきかをはっきりさせることができなためである。すなわち列車の安全を確保するためには、列車運行に支障のある障害物はすべて探知する必要がある。これは実際には不可能であるかも知れないが、技術的な限界とその実用化の際の問題点を明らかにして置くことは重要なことである。現在までの研究で技術的にすぐれているのは表面波レーダ方式であるが、これにも(1)障害物の探知範囲がかなり狭い、(2)このために両軌条間を警戒するとすれば、複線の場合少なくとも4条の表面波線路を必要とする(3)軌条保全、経済性に問題があるなどの欠点がある(4)。経済性は実用化時に特に問題になるものであり、探知範囲が広く、列車の移動閉塞、列車制御および列車無線などができる方式であれば経済的に有利なものとなる。

探知範囲を広くし、しかも障害物探知のほかにも多目的に利用することをねらった漏えい波擬レーダ方式をミリ波帯で実験するために国際技術研究所構内に約100m布設した。本報告ではこの方式の原理確認と探知能力に関する実験を主として述べる。

2. 漏えい波擬レーダ⁽²⁾

2.1 原 理

漏えい導波管を適当な距離に離して結合させ送信側にパルス変調波を送り出した場合、近端結合では受信機Iに、遠端結合では受信機IIに至る(図1参照)。この場合それぞれの受信波形がどうなるか吟味してみる。計算を簡単にするために伝送、ふく射による過渡現象はないものとして伝送路の減衰も無視する。はじめに漏えい波の波形は図1(b)のP点で観察すれば次式で与えられる。

$$\varepsilon(x, R, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} c(\omega) R(\omega) F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \dots (1)$$

ここに、 $c(\omega)$: 伝送路の伝送関数
 $R(\omega)$: ふく射の伝送関数
 ω : 角周波数

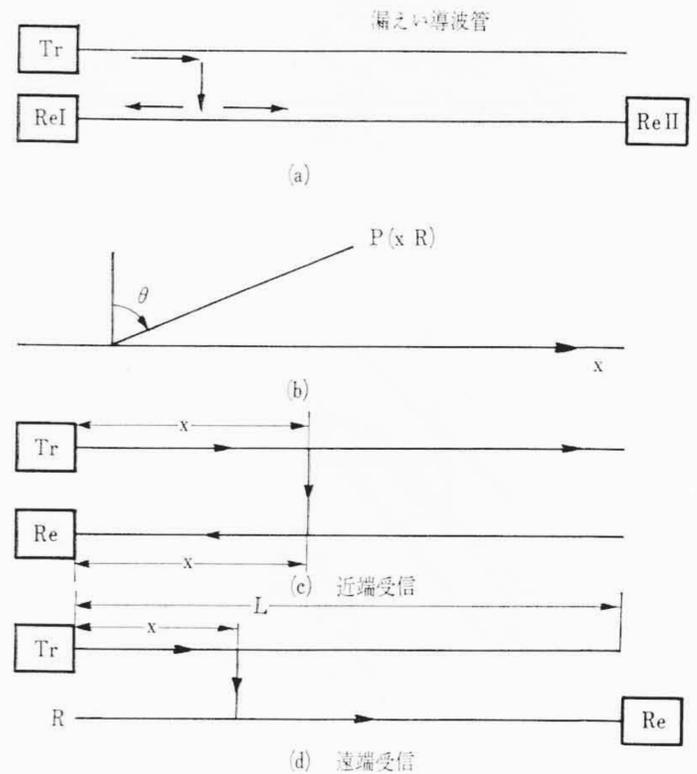


図1 対向漏えい導波管による結合

であり送出波形を $g(t)$ とすれば

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt \dots (2)$$

であることはよく知られている。送信波形として

$$g(t) = \sin \omega_0 t \quad 0 \leq t \leq T \dots (3)$$

なる方形波を考えれば、(1)式は近似的に

$$\varepsilon(x, R, t) \simeq \frac{K}{\sqrt{R}} \sin \left(t - \frac{x}{c} - \frac{R}{c} \right) \omega_0, \quad 0 \leq t - \frac{x}{c} - \frac{R}{c} \leq T \dots (4)$$

と求められる。ここに K は波源の振幅に関する定数である。これは $\frac{x}{c} + \frac{R}{c}$ だけ時間的におくれた方形波である。したがって、受信側の漏えい導波管に沿って方形波が伝送していると考えてもよい。近端受信では波形 $\varepsilon_i(t)$ は、伝送路長を L とすれば

$$\varepsilon_i(t) = \int_0^L \varepsilon(x, R, t) dx \dots (5)$$

で求められる。ここに図1(c)より

$$\varepsilon(x, R, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} c^2(\omega) R(\omega) F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

* 日本国有鉄道技術研究所
 ** 日立製作所中央研究所
 *** 日立電線株式会社日高工場

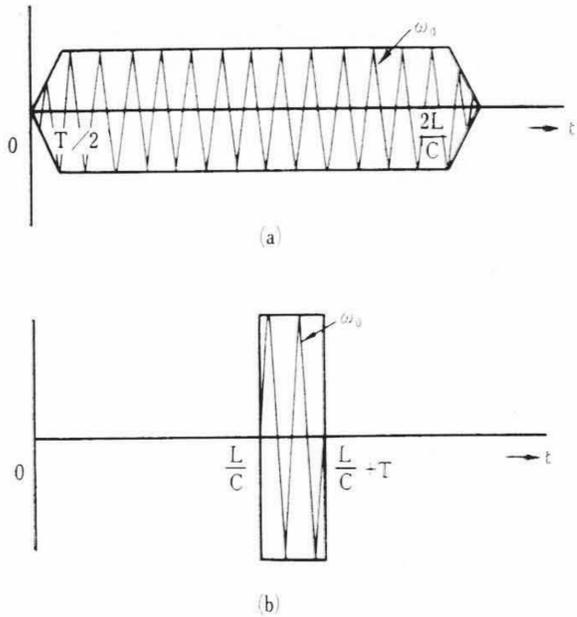


図2 対向漏えい導波管による受信波形

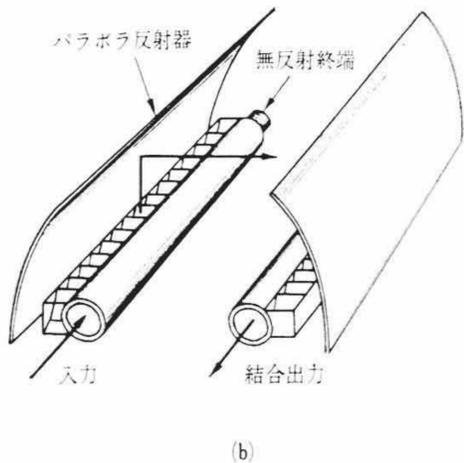
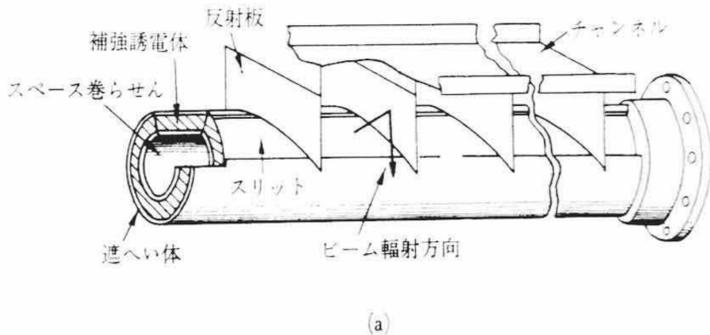


図3 漏えい導波管装置

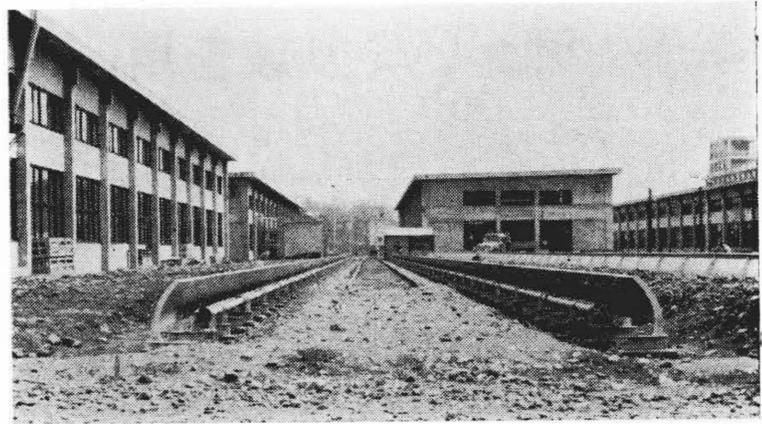


図4 鉄道技研構内に布設された漏えい導波管

車上送信，車上受信を考えれば，伝送系に要求される性能はかなりむずかしいものになるが，最低基地間ができるためには次の目標を置く必要がある。

- (1) 減衰定数（ふく射損失も含んだ）< 6 dB/km
- (2) 結合量 < -45 dB/m（漏えい導波管間隔 3 m）
- (3) 近端受信

3. 漏えい導波管系の構造と構成

3.1 漏えい導波管装置

ふく射損失も含めて，6 dB/km 以下の漏えい導波管を実現するためには，漏えい機構のない伝送路においてすでに 6 dB/km よりさらに減衰の小さな伝送路が必要となる。筆者らは，この目的には TE_{01} 波を伝送するらせん導波管を基本とした漏えい導波管が適すると考え，らせん巻線のピッチ，導波管の遮へい層までの距離により漏えい量を制御する漏えい導波管を開発した⁽³⁾⁽⁴⁾。

漏えい波を 3 m 離れて受信するため途中の伝播損失を極力小さくすることが要求される。このためふく射波の垂直面内のビームを集束する必要があり円筒パラボラを利用した。低損失を得るために，波長に比べて大きな導波管径を用いている。このため伝送波の伝播速度が光速に近くなり，ふく射方向が伝送方向に近づくために近端受信ができない。これを改善するために反射板（位相変成器）を用いて，ビーム制御を効果的に行なうとともに⁽⁵⁾，近端結合を容易にしている。ここではこの反射板を一次ふく射器とよぶ。図3に漏えい導波管の構造並びに漏えい導波管装置の構成を示した。ここで用いたらせん導波管の径はミリ波通信用として研究されてきたものと同じである。

3.2 漏えい導波管系の構成

漏えいらせん導波管の伝送モードは TE_{01} 波を主体とした混成波である。励振は TE_{01} 波で，受信も TE_{01} 波で行なった。励振器で発生する不要波はモードフィルタ用らせん導波管でとり除き，このあとに漏えい導波管を接続している。

受信側は送信導波管より 3 m 離れて平行に布設され，漏えい導波管で受信し TE_{01} 混成波として伝送され $TE_{01} \leftrightarrow TE_{10}$ 変換器にて方形の TE_{10} 波に変換されレーダ受信機に接続されている。漏えい導波管の長さは，布設場所の都合により 86 m であり対向導波管の間にレールが敷かれていて，レールより導波管系をいくぶん高く布設した。ここで使用した変換器（励振器）は管壁結合形のものであり，損失は 2 dB 以内である。この変換器の円形の出側側の径が 12.3 mmφ のため，51 mmφ との接続にはらせんテーパ管を用いた。図4に漏えい導波管系の布設現場の写真を示した。

4. 漏えい波擬レーダの実験

4.1 漏えい導波管の諸特性

漏えい波擬レーダの実験を行なう前に，漏えい導波管の減衰量を

である。これは台形波に近いものになる。次に遠端受信では図1 (d)に示したようにどこで結合しても伝送距離は皆ひとしく L であるからこの場合には受信波形は送信と同じ幅の方形波となり

$$e_t(t, L) \approx \frac{K \cdot L}{\sqrt{R}} \sin \left(t - \frac{L}{c} - \frac{R}{c} \right) \omega_0 \dots \dots \dots (6)$$

振幅は長さ L に比例する。これを図2に示した。このように近端受信では伝送路長 L が正負の無限長になれば完全な連続波となる性質をもっている。

この近端受信の場合において，結合線路間の任意の位置に結合を妨げるようなものが存在すれば，その位置に相当するところで受信レベルが低下する。障害物の大きさ (l) が $2l/c > T$ のときには，完全にレベルが零となり， $2l/c < T$ では l が大きいほどレベル低下は大きくなる。

2.2 漏えい導波管に要求される性能

障害物探知の点からみた目標は (1) 列車前方 3 ~ 5 km の距離以内にある軌道上の障害物を探知し得ること，(2) 車上送信，車上受信が望ましいの2点である。受信波形はさきにも検討したように伝送が長いと連続波に近いもので帯域は送出パルスに比べてはるかに狭くこのため受信機としては楽になる。

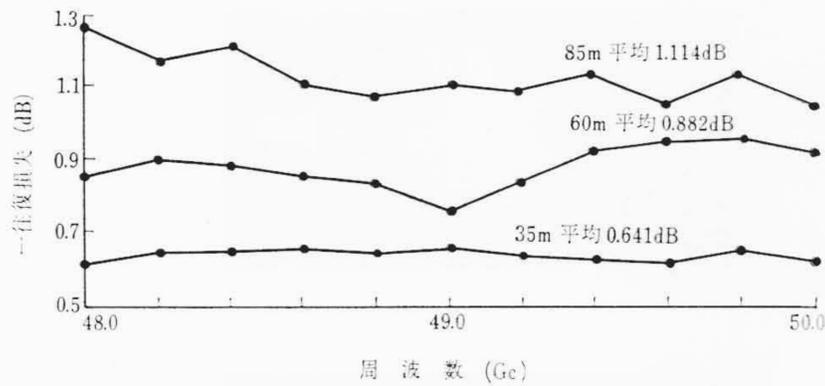


図5 損失の周波数特性

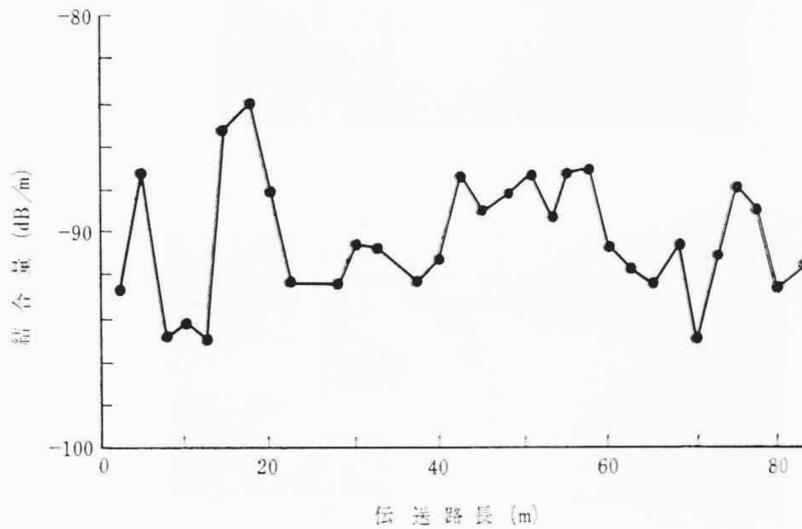


図6 伝送方向の結合量

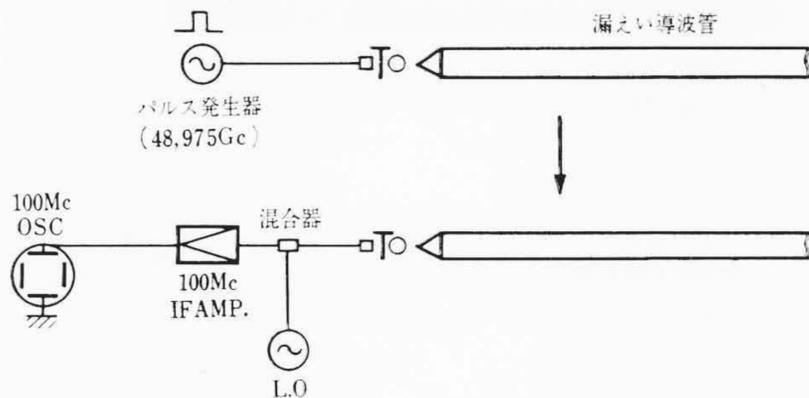


図7 漏えい波擬レーダブロック図

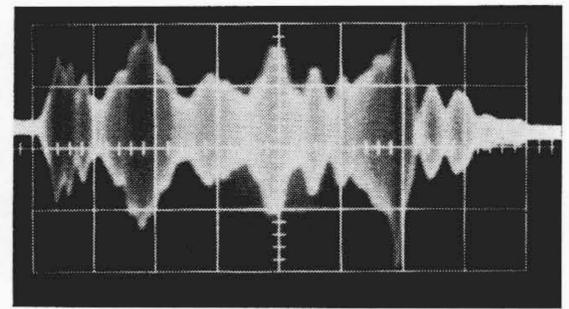
シャトルパルス法にて測定した。48~50 Gcを0.2 Gcおきに片道85, 60, 30 mにつき測定した結果を図5に示した。これより48~50 Gcでの平均減衰量を求めれば4.75 dB/kmを得る。

長さ方向(伝送方向)の結合量を一樣にするために、連続波を送信側に送り、受信側の開口を約5 mとし(これはパルスの空間長が約5.1 mであるため)ほかはすべてアルミ板にてパラボラの開口部をふさぎ2.5 m 間隔に長さ方向の結合量を一次ふく射器、パラボラと一次ふく射器の相対位置を調整してできるだけ一樣になるよう考慮した。この時の周波数は48.925 Gcである。結合量を一樣にするためにはかなり微妙な調整を必要とする。図6に結合量を伝送方向に測定した結果を示したが、平均 -90 dB/m(片側を考えれば -45 dB/m)であり、大きいところでは10 dBの差が認められるが、これ以上の改善はむずかしい。

4.2 漏えい波擬レーダの実験

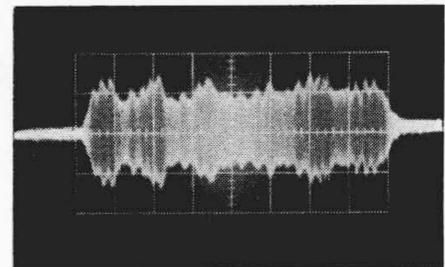
(I) 受信波形

図7に示すブロック図により擬レーダの実験を行なった。レーダの送受信機は日立電子製である。連続波による調整後のレーダ受信波形は図8に示すように、連続での結合量の伝送方向の分布



IF出力波形

図8 レーダ受信波形(連続波で調整後)



(レーダによる調整後)

図9 レーダ受信波形

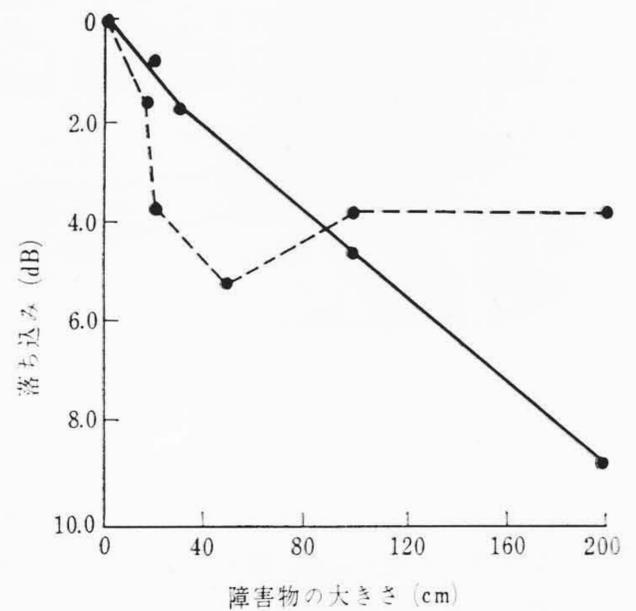


図10 障害物の大きさと落ち込み量

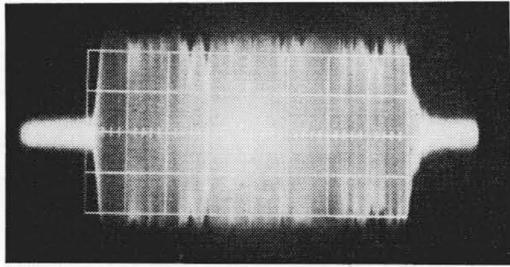
(図6)と類似していることがわかる。しかし、このままの波形では障害物の有無を確認することははなはだ困難であるため、できるだけ受信波形の平坦化が必要である。送出パルス幅は17 nsecである。

この平坦化は長さ方向に一樣に結合し、しかも位相が連続に変わるようであれば得られる。ここではレーダ波形を見ながら、できるだけ波形が平坦になるように調整を行なった。調整は主として同筒パラボラを用いて行なった。調整後の受信波形は最大3 dBの落ち込みであり、この点を除けば2 dB以内に入れることができた。図9にこの時の受信波形を示す。受信波形は送信周波数または局発の周波数の変化によりかなり変わることが認められた。

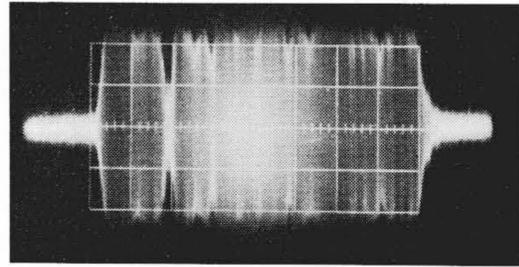
(II) 分解能に関する実験

分解能に関する実験では初めに大きさによる落ち込み量を測定したが場所により相違があるので、小さなもので落ち込みの大きいところと、逆に小さいところの2箇所で行なった。この結果を図10に示した。これからわかるように小さなもので落ち込んでも、大きなものではそう落ちないという現象がある。これは多分に位相関係に原因するものと考えられる。

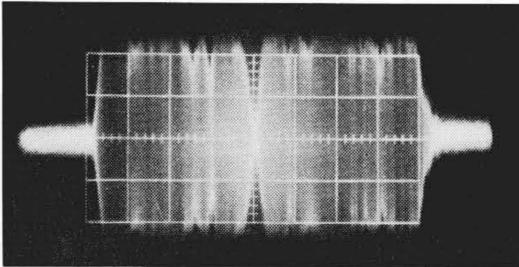
次に障害物の大きさとレール間の位置関係による落ち込みの実験では、レール上から25~35 cmのところでは落ち込みが最大となり、ここにビームが集中していることを物語っている。送信側か



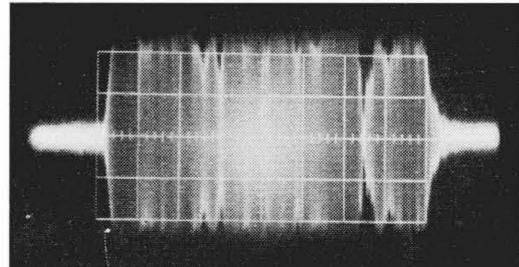
障害物のない場合の受信波形



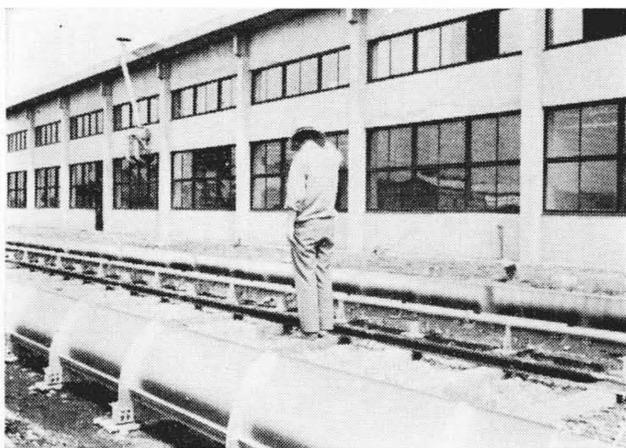
障害物：幅1mのアルミ板 17.5m 地点



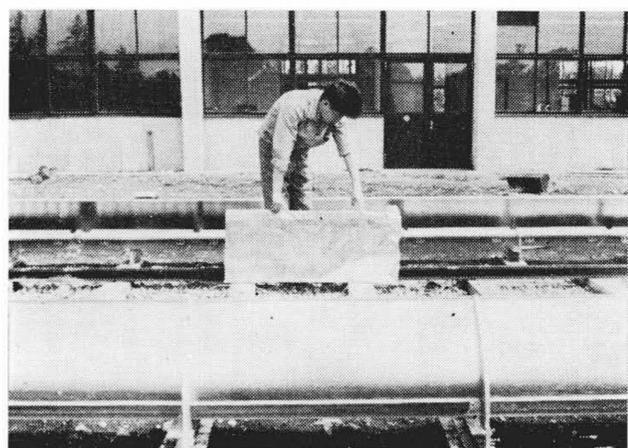
障害物：幅1mのアルミ板 38.5m 地点



障害物：人間 63.5m 地点



障害物が人間の場合



幅1mのアルミ板

図11 障害物と受信波形

らの距離による相違は、特に送信側に近い方が落ち込みやすいという明瞭な結果は得られなかった。障害物の材質による相違は認められず原理的にも透過波を問題にしているのが明らかである。障害物の大きさによる落ち込み幅の実験を行なったが定量的な結果をつかむことができなかった。

障害物による落ち込みが最初の予想よりも大きかったので、受信波形を平坦化する一つの手段として、LFでのAttを10dBぬいてブラウン管の上で見かけ上平坦化し障害物による落ち込みの実験を行なった。この様子は図11に示すとおりである。障害物は1m幅のアルミ板と人間である。全体の長さが約86mであるから写真の一目盛は約11mであり距離の分解能も障害物探知としては十分である。分解能は全体的によいが場所により変わり、最悪個所では探知不能のところもあった。

5. 考 察

5.1 実験結果に対する考察

結合量の長さ方向の分布は理論的には一様になるはずであるが、誘電体の厚さ、スリットの幅を一様にするのがむずかしいこと、円筒パラボラの精度、一次ふく射器の位置が大きく影響していると考えられる。特にミリ波帯ではこれらの機械的精度の影響が大きい。伝送損失は平均で4.75dB/kmであり、一応所期の性能は得られたがふく射に寄与しているものはわずかでほかは熱損失となっていると考えられるのでさらに原理的な吟味が必要である。

探知能力が伝送方向の場所によって異なるのは、結合が一様に行なわれていないためであり、レーダ受信波形が比較的一様になっているのは必ずしも結合が一様であることを意味していないと考えら

れる。

5.2 実用化導波管系に対する考察

ミリ波漏えい導波管を用いた今回の実験で、技術的に最もむずかしかった点はミリ波を用いたことであった。すなわち波長が約6mmであり $\lambda/4$ (約1.5mm)ずれたものが同時に入射すれば相殺して零になる。このことは機械精度がかなり高く要求されることであって、特にこれらを何m何kmの長さにわたって保証することはきわめて困難なことである。これらの点から今回の漏えい導波管の問題点は

- (i) 結合量の長さ方向の分布が一様でない。
- (ii) 調整は困難ではないが微妙である。
- (iii) 温度変化による影響が多少認められる。

があげられる。(i)の点は探知能力と深く関係し、分解能が場所によって異なる原因となり最悪の場合には探知不可能な地帯ができる。(ii)は布設工事上の大きな欠点であり、また安定性が(iii)と合せ考え悪いことが推定される。したがって、実用化に当たってはこれらの諸点を十分に考慮したものでなければならない。

これらの問題点の主要原因は波長の短いミリ波帯を用いたことにあり、センチ波を用いることにより解決されると考えられる。センチ波帯を用いることにより問題になるのは

- (i) 回折が大きくなり分解能が低くなる。
- (ii) 全体の寸法が大きくなる。

の2点であろう。以下これらにつき簡単に検討してみる。

(1) 回折の問題

周波数を低くすると回折が多くなり探知能力が低下する。ここで問題になる回折は有限の大きさの板による回折であるが、これ

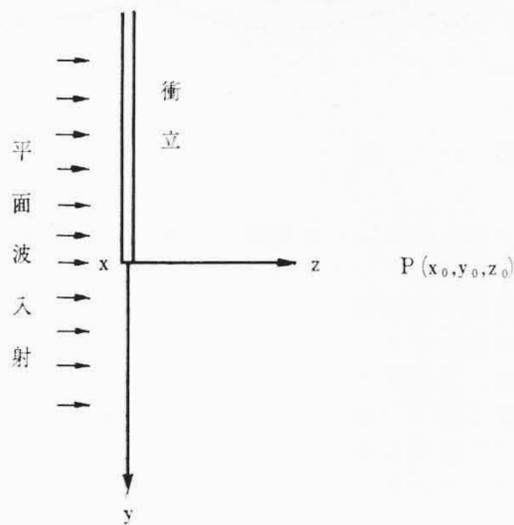


図12 衝立てと観察点との関係

についてはこれまで論じられていないので、半無限の衝立によるフレネル回折から推定する。

観察点 $P(x_0, y_0, z_0)$ および衝立の位置における電磁界の強さを I, I_0 とすると、衝立へのまわり込みは、衝立の大きさ $|y_0|$ が

$$|y_0| \gg \left(\frac{\lambda z_0}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{4}} \quad (\lambda: \text{自由空間波長})$$

を満足すれば半無限長の衝立と等価と考えられる(図12)。このことから回折は $\sqrt{\lambda}$ に比例すると考えられるから探知能力は回折を主とすれば $\sqrt{\lambda}$ に逆比例すると判断してよいだろう。したがって周波数を 50 Gc から 10 Gc にしたとすれば、探知できる大きさは $\sqrt{5}$ になる。

(2) 漏えい導波管装置の大きさ

導波管の直径は減衰量で決定される。図13は今回と同程度の減衰を得るための導波管の直径と周波数の関係を示したものである。たとえば 10 Gc 帯では 110~120 ϕ となる。ビーム集束用のパラボラは今回の実験から開口長を 10~15 λ とすれば十分であることがわかった。漏えい導波管の垂直指向性にも関係するが、周波数を特に下げない限り 50~60 cm 程度のパラボラがよいと考えられる。

6. 結 言

以上実験結果を主体に述べたが、これらを要約すると

(i) 擬レーダ方式の原理を確認し、それが障害物探知方式とし

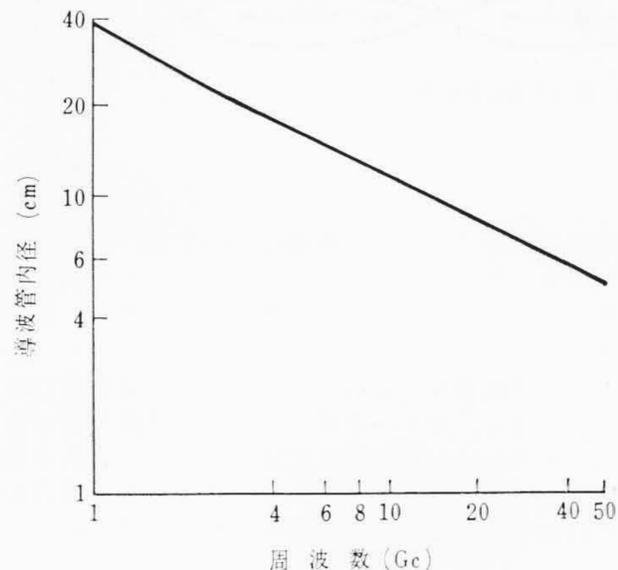


図13 減衰定数一定(1.1 dB/km)としたときの周波数と導波管内径との関係

て有効な方法であることを明らかにした。

- (ii) 分解能はミリ波帯(50 Gc)では 10~20 cm 大のものであり予想より良い結果であった。
- (iii) 分解能が伝送方向により相違があり、これは主として結合の不均一が原因であった。
- (iv) 分解能を良くするためにミリ波を用いたが、結合の一様性布設の精度などに問題がある。

などである。この方式をさらに改善するために、伝送路の改善をはじめ、擬レーダ方式の理論的な検討が望まれる。特に分解能を決定する要因が回折であるか位相であるかを吟味する必要があるだろう。

最後に終始ご指導を賜った日本国有鉄道電気局遊佐氏、鉄道技術研究所河辺信号研究室長、埼通信研究室長および日立電子株式会社の関係者のかたがたに深謝する。

参 考 文 献

- (1) 鉄道通信協会：障害物探知方式に関する研究報告書(昭37-3)
- (2) 雨宮, 栗田, 上松：漏えい波擬レーダの構想, 電気関係関西連大(昭9-4)
- (3) 御子柴, 西田：低損失漏えい導波管の伝送損失, 昭39. 電気通信全国大会, No. 261
- (4) 渡部, 御子柴, 上村, 高木：低損失漏えい導波管の一実験, 昭39 電気通信全国大会 No. 262
- (5) 雨宮, 渡部, 上村, 御子柴：漏えいらせん導波管, 昭40, 電気四学会連合大会 No. 1472



特許の紹介



特許第438409号

安部克郎

ブレーキ機構

従来の万能掘削機のブレーキ機構においては、ブレーキの踏力を一定とした場合、激しい連続作業のためブレーキドラムの温度上昇により、ブレーキバンドの締付力が著しく変化する。そのため制動不能となることがしばしばあった。

したがって、操縦者はひんばんにブレーキの調整を行なわねばならないばかりでなく、ブレーキ操作に非常な熟練を要した。

本発明はこれにかんがみ、図1に示すようにペダルの端末をカム形状とし、ブレーキドラムが温度上昇した場合でも踏力を一定に保ち、かつ締付力が変化しないようにしたものである。

次に本発明と従来のブレーキ機構とを図2の特性曲線について比較してみると、従来のリンク機構ではレバー比が著しく変化するのに対し、本発明はカム機構としたから、レバー比はなんら変化することなく一定の踏力でブレーキを操作することができる。

前述のように、本発明によれば、運転中に起きる熱膨張のいかににかかわらず同じ調子（踏力）でブレーキを操作することができるから、未熟者でも容易に操作できるばかりでなく、カム面の形状も単純な曲線であるため設計および製作も容易である利点がある。
(箱崎)

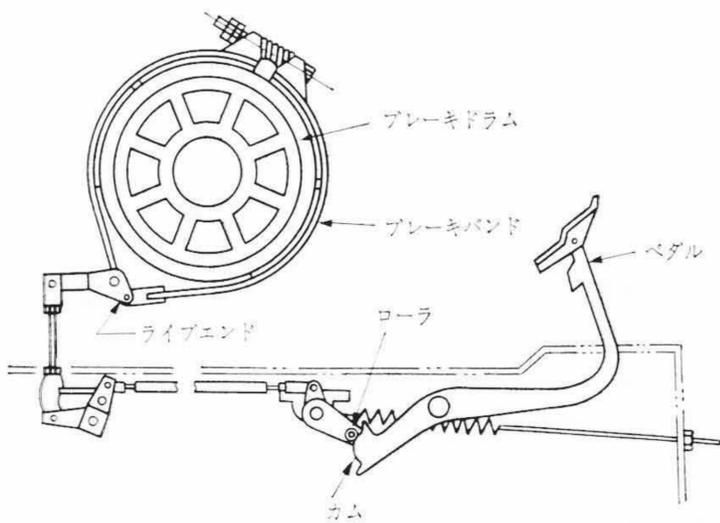


図 1

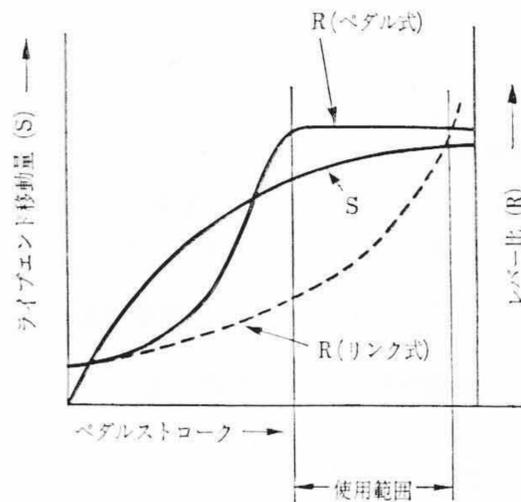


図 2

特許第438416号

安部克郎・柿沼三郎

穴掘機のケリーバ押し下げ装置

アースドリルの穿孔は、バケットに連結したケリーバを回転させるとともに、その自重によりケリーバに推圧をかけながら行なう。しかし、かたい地盤では推力の不足をきたし穿孔困難となる。

本発明は、かたい地盤でも穿孔ができるようにケリーバに油圧による強力な推力を掘削バケットに与える油圧押し下げ装置に関するものである。

図示のようにスラストはケリーバを楔作用で結合させるコッタとボールベアリングを内蔵した回転接手部および上下動する支持部

(油圧シリンダ) から構成されている。

図1において、シリンダが下向き（ケリーバに推力をかける）に作用すると、スラストが下がりバネに支持されているコッタが摺（しゆう）動面に沿って食い込んでゆき、ケリーバとスラストの両者は固く結合され、ケリーバはシリンダの油圧で押し下げられる。

また図2に示すように、シリンダを縮めてストップにコッタが当たるとバネが圧縮されながら摺動面に沿ってコッタがケリーバから離れて隙が生じ、ケリーバを自由に上下動させることができる。

本発明によれば、ケリーバに任意に大きな推力を与えることができるので、どんな土質においても高能率に穴掘り作業を行なうことができる。
(箱崎)

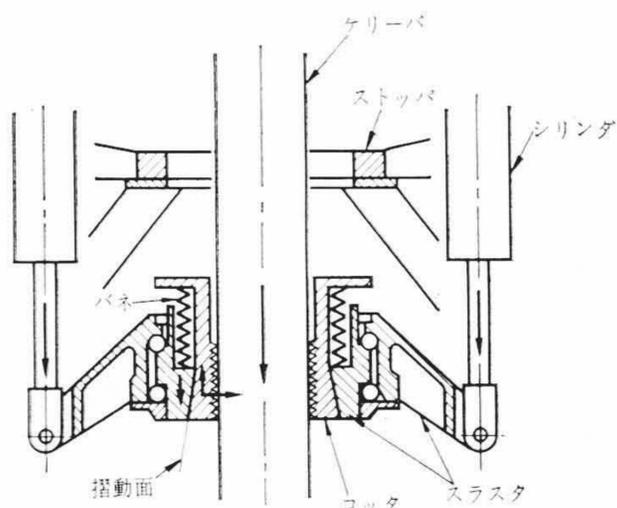


図1 コッタ噛込時（ケリーバ推圧）

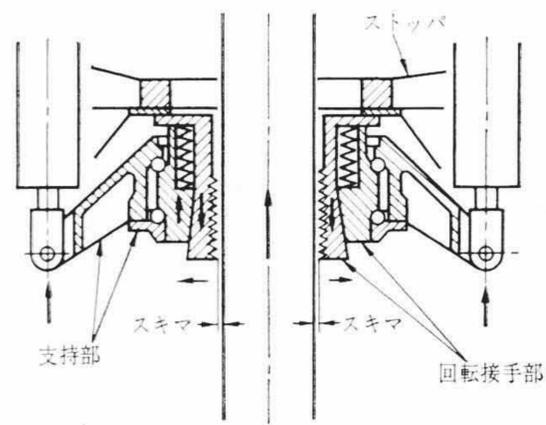


図2 コッタ開放時（ケリーバ巻上）