

漏洩同軸ケーブルの布設法と電気特性の関係

Performance of Leaky Coaxial Cables under Some Installation Conditions

漏洩同軸ケーブルの特性は環境によって影響され、結合損失の少ないケーブルほど影響を受けやすい。

ケーブルをコンクリート壁に近づけると伝送損失はしだいに増加するが、結合損失は距離によって増減し、約 8 dB の範囲で変化する。

鉄道建設公団において新幹線実験線路の防音壁を用いた布設実験を行ない架空、蛇管、壁上及び側壁 4 種類にわたる布設条件と特性の関係を明らかにした。また雨や雪による影響も少ないことを確認した。

日立電線株式会社では、水平指向性を漏洩同軸ケーブルの放射方向に合わせたアンテナを開発し、結合損失及び受信レベル変動の減少に大きな効果があることを確認した。

岡田茂生* Shigeo Okada

渡部信昭* Nobuaki Watanabe

亘理 達* Tôru Watari

1 緒 言

漏洩同軸ケーブルは、最近日本国有鉄道の列車無線に大量に使用され始めている。これまではトンネル対策が主であったが、安定した電界が得られることから電話のみならず高品質の伝送特性が要求されるデータ伝送を行なう目的で、今後は全線に 2 条布設されることとなり、列車無線の主役を演ずることとなった。

漏洩同軸ケーブルを用いてデータ伝送を行なう場合には、電界の局所的な落ち込みは許されず、これに伴い布設位置、気象条件の影響が新しい問題としてクローズアップされてきた。

本稿はこれらの問題に対処するための実験を中心とした検討結果及び新しく開発された列車アンテナと漏洩同軸ケーブルの結合について述べる。

2 漏洩同軸ケーブルの構造及び基本的特性

漏洩同軸ケーブル (Leaky Coaxial Cable: 以下, LCX と略す) は同軸ケーブルの外部導体に周期的なスロットを有するケーブルであり、ケーブル内の伝送エネルギーの一部がスロットから外部に漏れ、適当なアンテナと結合することにより通信を行なうことができる⁽¹⁾⁽²⁾。図 1 はその構造を示すものである。LCX の最も重要な特性は、伝送損失及び結合損失であり、標準的な測定方法による特性は表 1 に示すとおりである。

表 1 漏洩同軸ケーブルの特性 430MHz において、コンクリート上で測定される標準値を示す。

形 式 (LCX)	結 合 損 失 (dB)	伝 送 損 失 (dB/km)
4 5	5 0	3 6
4 6	5 5	2 6
4 7	6 5	2 3
4 8	7 5	"

3 布設条件によるケーブルの特性の変化

3.1 コンクリート壁の影響

LCX を大地又はコンクリート壁に近づけると伝送損失は増大する。この原因は LCX の近傍に蓄積されているエネルギーが大地やコンクリート壁に吸収されると考えられ、それ



図 1 漏洩同軸ケーブルの構造 外部導体に周期的スロットが設けられている。

* 日立電線株式会社研究所

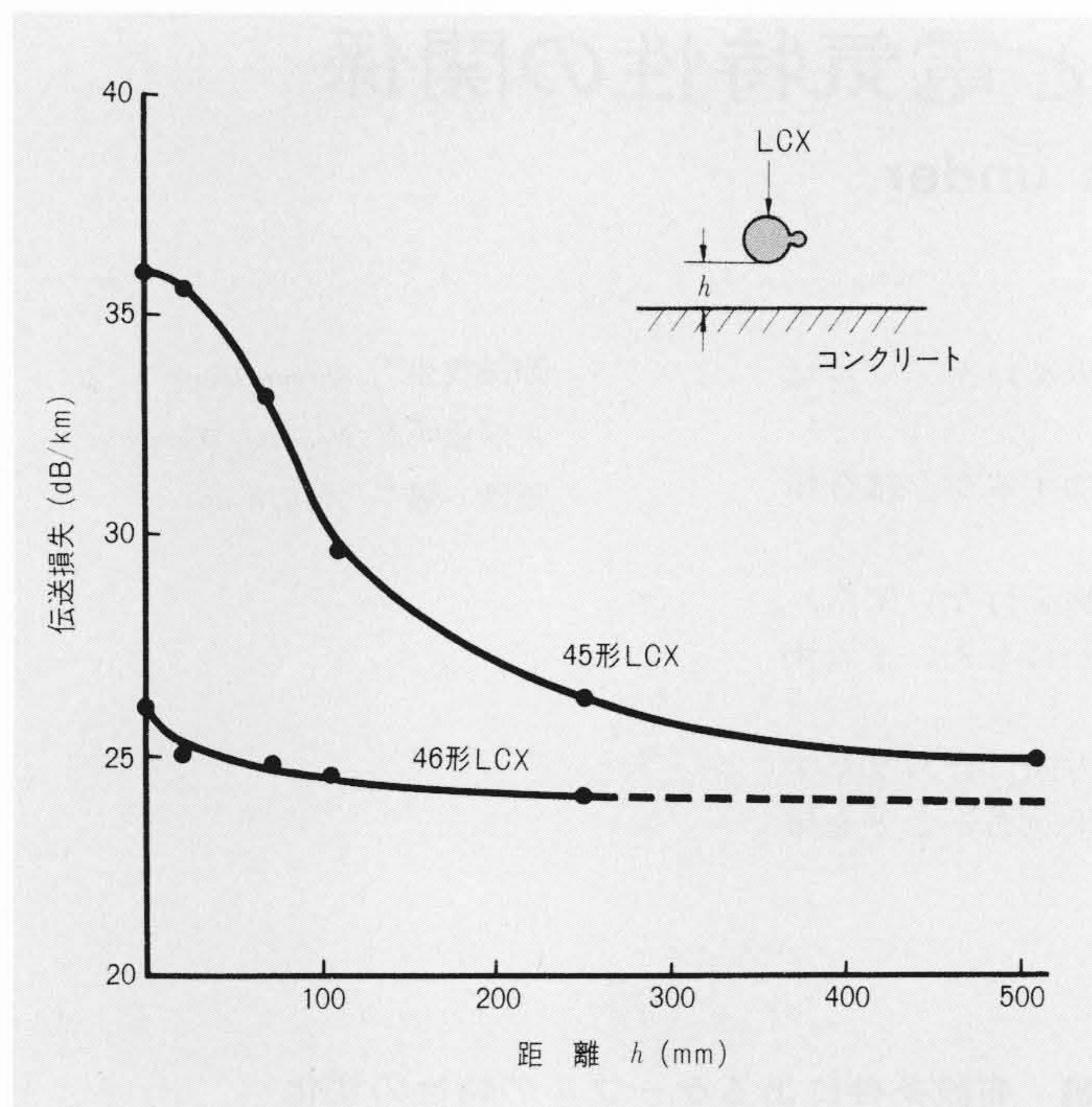


図2 コンクリートからの距離(h)による伝送損失の変化 47形LCX, 48形LCXは、ほとんど変化しない($f=430\text{MHz}$)。

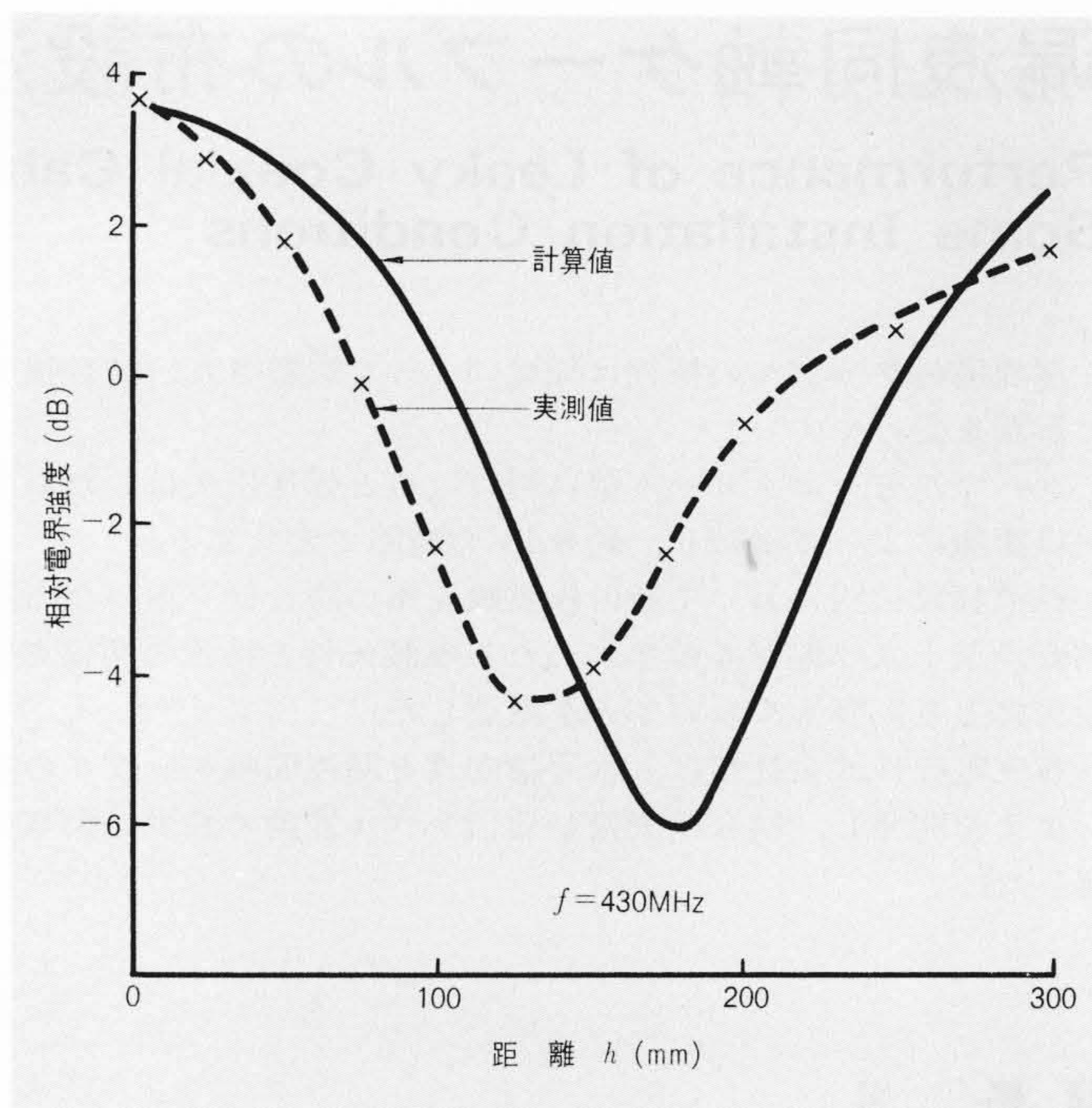


図3 コンクリートからの距離(h)による電界強度の変化 コンクリート壁からの反射波との干渉により電界強度は h によって変化する。

らの湿り具合やスロットの向きにより伝送損失の大きさは異なる。また結合損失の小さいケーブルほど影響を受けやすい。すなわち、前述した4種類のケーブルのなかでは45形LCXが最も影響を受けやすい。図2はその実測値を示すものである。

一方、結合損失の面から見るとコンクリート壁はイメージとして作用し、直接波と反射波の干渉により結合損失はLCXとコンクリート壁の離隔距離(h)によって増減する(図3)④。

3.2 新幹線試験線路におけるLCX布設実験

上越線浦佐において、豪雪対策用の実験線路を用いてLCXの布設実験が行なわれた。実験の目的は、(1)LCXの布設位置、(2)気象条件によるLCX特性の変化を調べることにあり、周囲条件の影響を最も受けやすい45形LCXが使用された。図4は実験線路の断面及び概観を示すものであり、軌道の両側には防音壁が設けられている。45形LCXはこの防音壁を利用して布設されている。

3.2.1 LCX布設条件

(1) 低架空布設

防音壁上約200mmの高さにLCXを架設する。LCXの支持方法は二つ割りのプラスチックの支持具でLCXをはさみ、それをL鋼にボルトで固定する。支持間隔は6mである。

(2) 蛇管内布設

LCXを蛇管(ポリエチレン製、直径約105mm)の中に入れ、それを防音壁上に固定する。温度伸縮を考慮して木片(枕木)を約6m間隔に置き、上下方向のスネーク布設を行なっている。

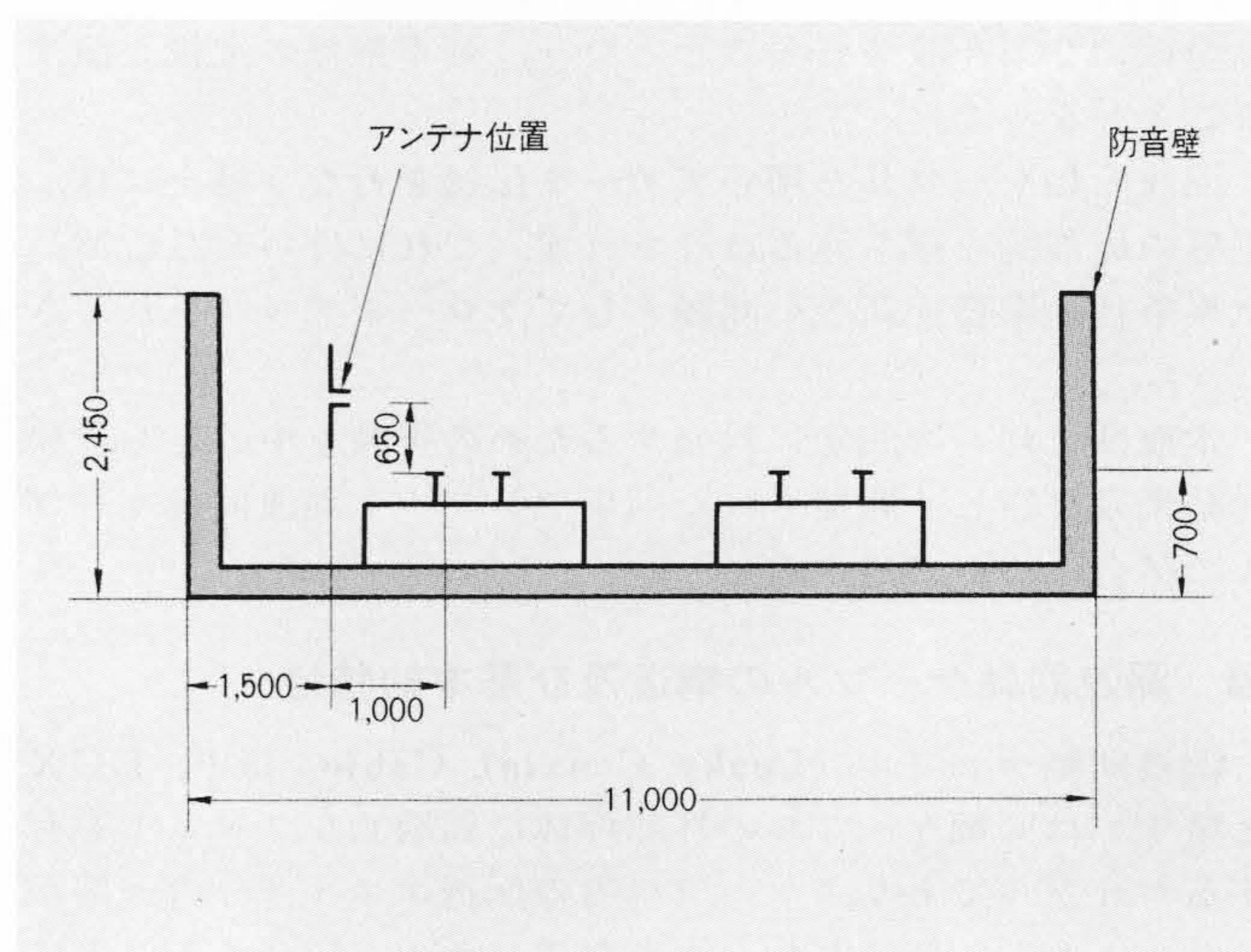
(3) 壁上布設

LCXを防音壁上に置き、枕木上のプラスチック支持具でケーブルを固定している。支持間隔は約6mである。

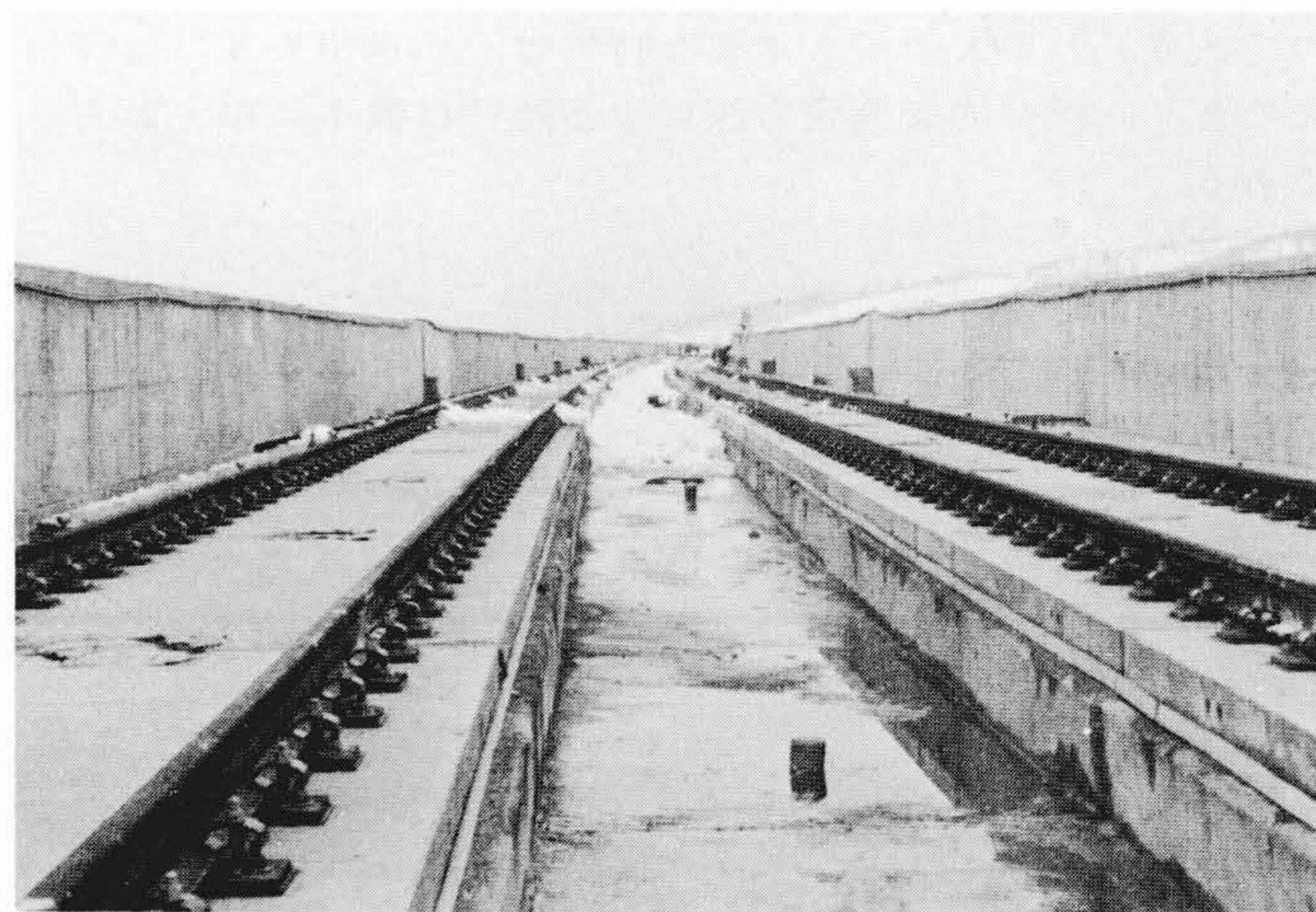
(4) 側壁部布設

防音壁の上面から約100mm下の側壁部にプラスチック支持具を用いてLCXを固定する。

上述した布設法は表2に示す。



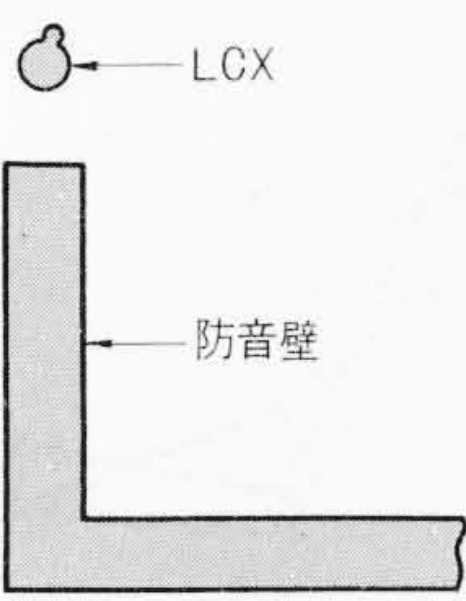
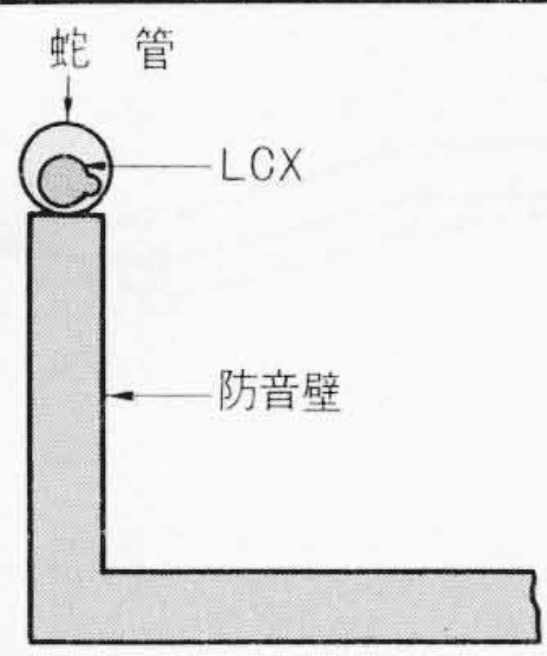
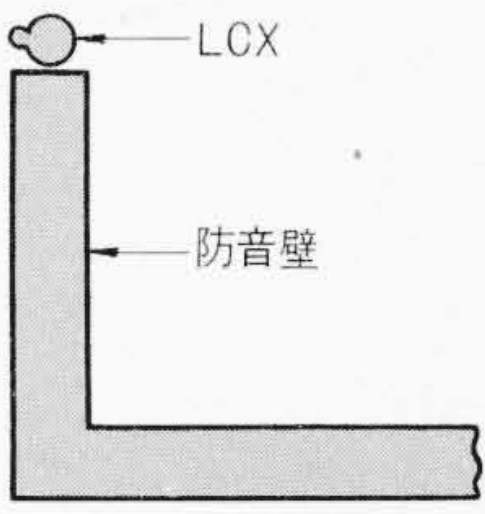
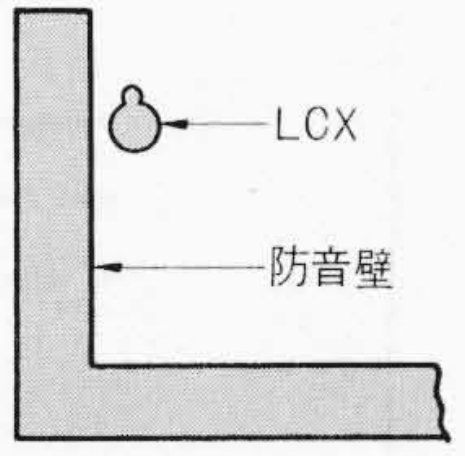
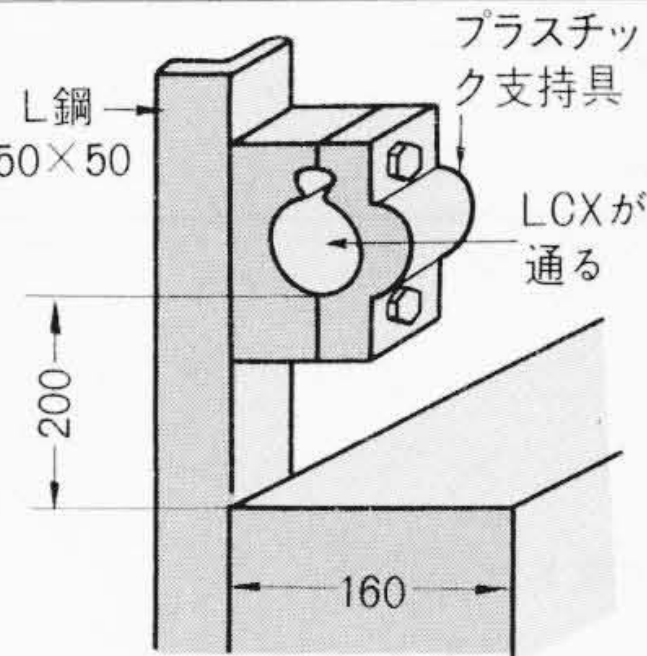
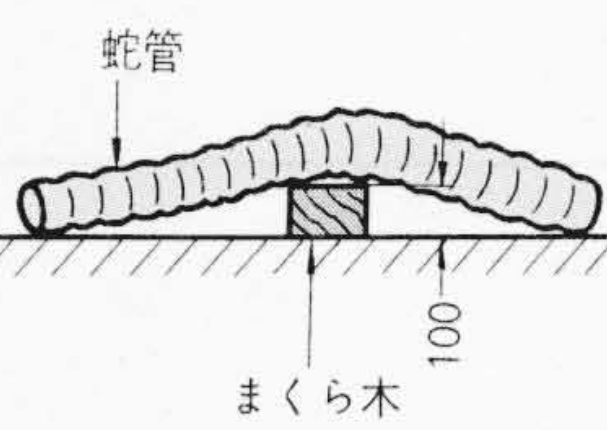
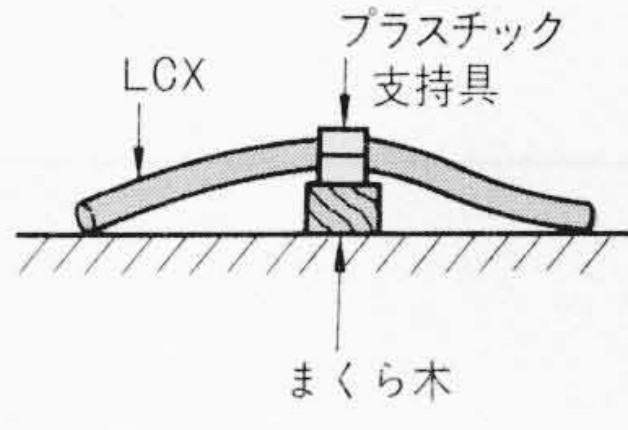
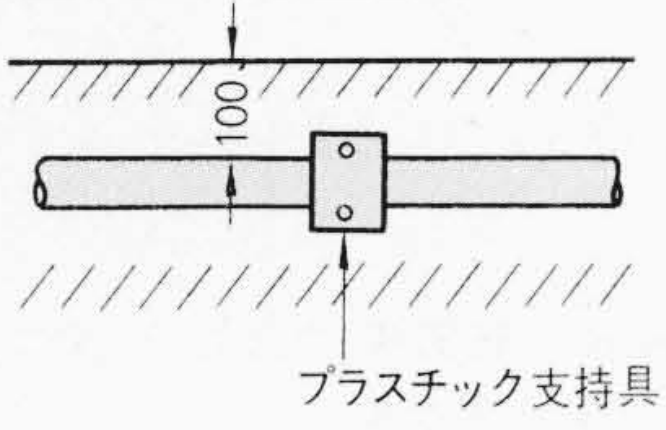
(a)



(b)

図4 実験線路 (a)断面：結合損失測定時のアンテナの標準位置も示している。(b)実験線路の概観を示す。

表2 LCXの布設方法 防音壁を利用して4種類の布設実験を行なった。

布設条件	布設法	低 架 空 布 設	蛇 管 内 布 設	壁 上 布 設	側 壁 布 設
長 さ (m)		125	100	50	160
布 設 位 置					
支 持 方 法					
寸法単位 (mm)					

3.2.2 伝送損失

4種類の布設法に対し、中央の接続点をはさんで区間が二つに分けられる。一つは架空布設と蛇管布設の区間であり、他は壁上布設と側壁布設の区間である。そこで、これらの区間をまとめた伝送損失の測定値を表3に示した。架空+蛇管部は損失が少なくなっているが、これはLCXが防音壁から遠ざかっているためであり、3.1の結果に対応している。

気象条件の影響を調べるために晴、雨、雪の条件下で測定を行なった。その結果は図5(b)に示す。雨及び同図(c)に示すように、新雪が軟らかく積もった状態での伝送損失の差は少ないことが分かる。

3.2.3 結合損失

結合損失の測定はダイポール アンテナを用いてケーブルに沿って連続的に行なわれたが各布設区間の代表的な部分を取り出して図6に示す。アンテナの位置は図4に示すとおりであり、また伝送損失によるレベル低下は補正してある。これらのデータより次のことが分かる。

- (1) 布設場所により結合損失は異なり、側壁が最も少なく、架空が最も多い。その差は7～8dBである。
- (2) 雨、雪の結合損失に及ぼす影響はほとんど見られない。
- (3) 結合損失の変動は側壁、蛇管、壁上、架空の順に増大する。

また今回の実験により、電化柱を避けるためにLCXを電

表3 実験線路における伝送損失の測定値 コンクリート壁の影響が表われている。

布設条件	410MHz		450MHz	
	上り	下り	上り	下り
架空+蛇管	24.5	25	28	27.5
壁上+側壁	29	27	35	33.5

注：単位 (dB/km)

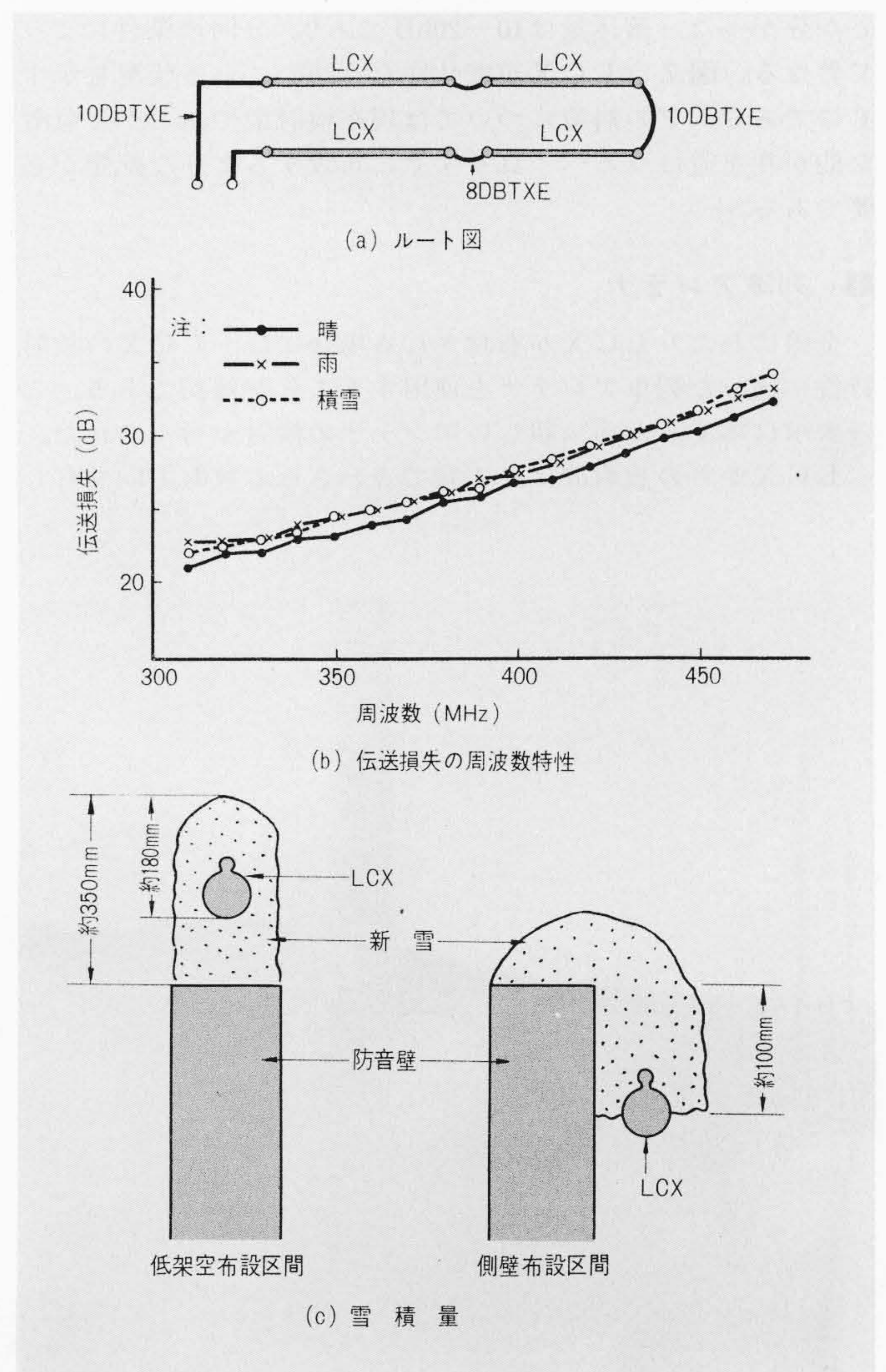


図5 伝送損失測定値 LCX：900m, 10DBTXE：90m, 8DBTXE：6mを含む。

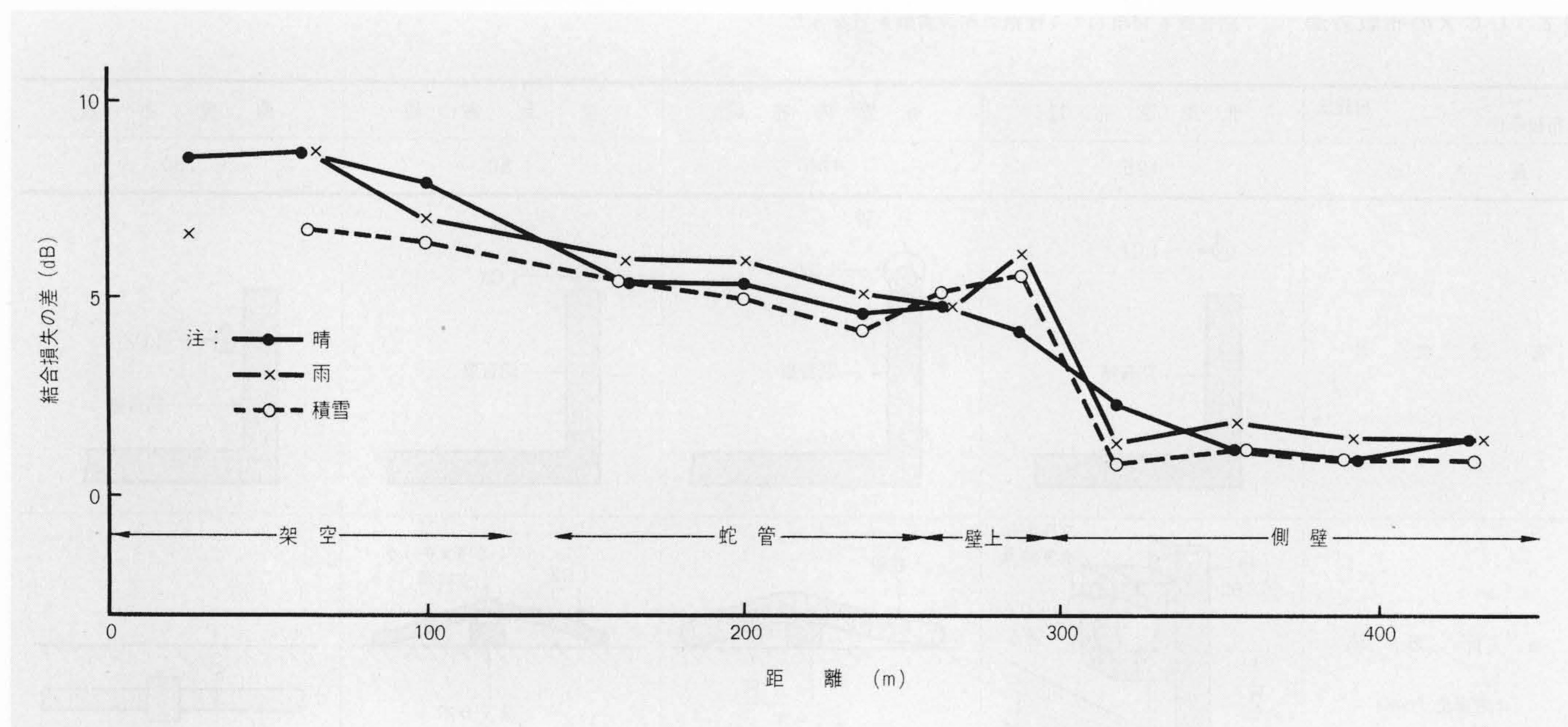


図6 布設条件及び天候による結合損失の変化 縦軸はコンクリート上に布設した場合の標準結合損失との差を表わす。

化柱の外側にう回すると、局所的な電界の落込みを生ずることが分かった。落込量は10～20dBであり、う回の条件によって異なる。図7はLCXが電化柱をう回している状況を示すものである。この対策については現在検討中であるが、急激な曲がり避けなるべく真すぐに布設するような配慮が必要である。

4 列車アンテナ

全線にわたりLCXが布設される場合には、LCXの放射特性に適した列車アンテナを使用することが適切である。この要求に応ずるために新しいアンテナの検討が行なわれた。

LCXからの放射波は、(1)式で表わされる放射方向を有し

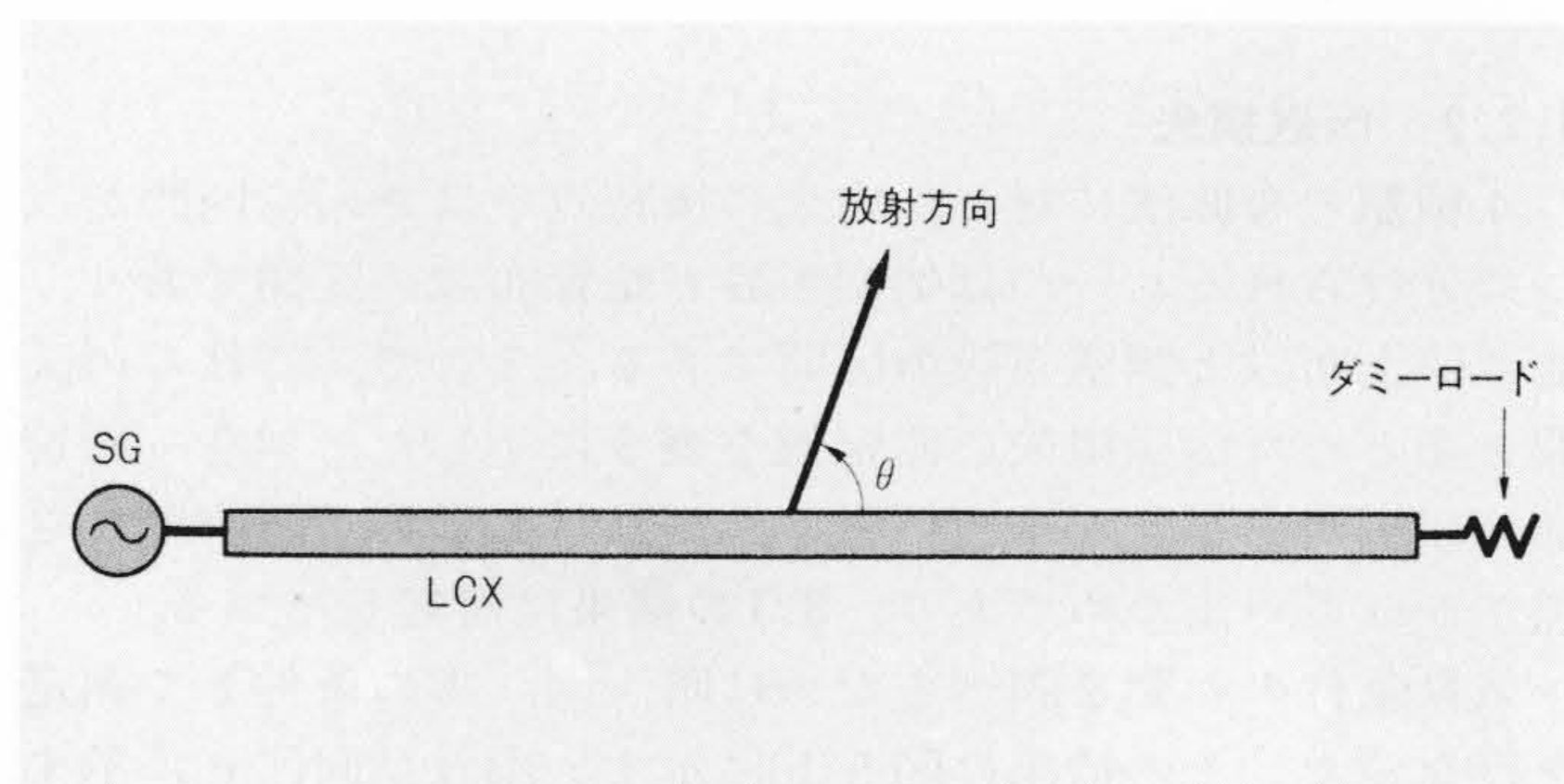


図8 放射方向の定義 放射方向は、スロットのピッチ及び周波数によって決まる。

ている⁽²⁾。

$$\cos \theta = \sqrt{\epsilon} - \frac{\lambda}{p} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 θ ：図8に示すように定義する

ϵ ：LCX内部の等価誘電率

λ ：自由空間波長

p ：スロットのピッチ(同図参照)。

これと結合するアンテナは、この方向の波を選択的に受信すればよい。そのためには、アンテナの水平面内の指向性を絞る必要がある。そうすることにより利得の向上及び不要散乱波による影響の除去が期待できる。またダイポールアンテナ及び従来の空間波を主体にしたアンテナに比べてより安定した結合が得られることになる。

このようなアンテナを実現するために、アンテナアレイの素子数及び給電条件の検討を行なった。図9はアンテナの長さが一定の場合の素子数と、利得の関係を示すものである。これより長さが2mの場合には、素子数は4個が適当であることが分かる。

アンテナの水平パターンは、LCXの給電方法に関係してくる。すなわち、図10(a)に示すようにLCXの給電方向が常

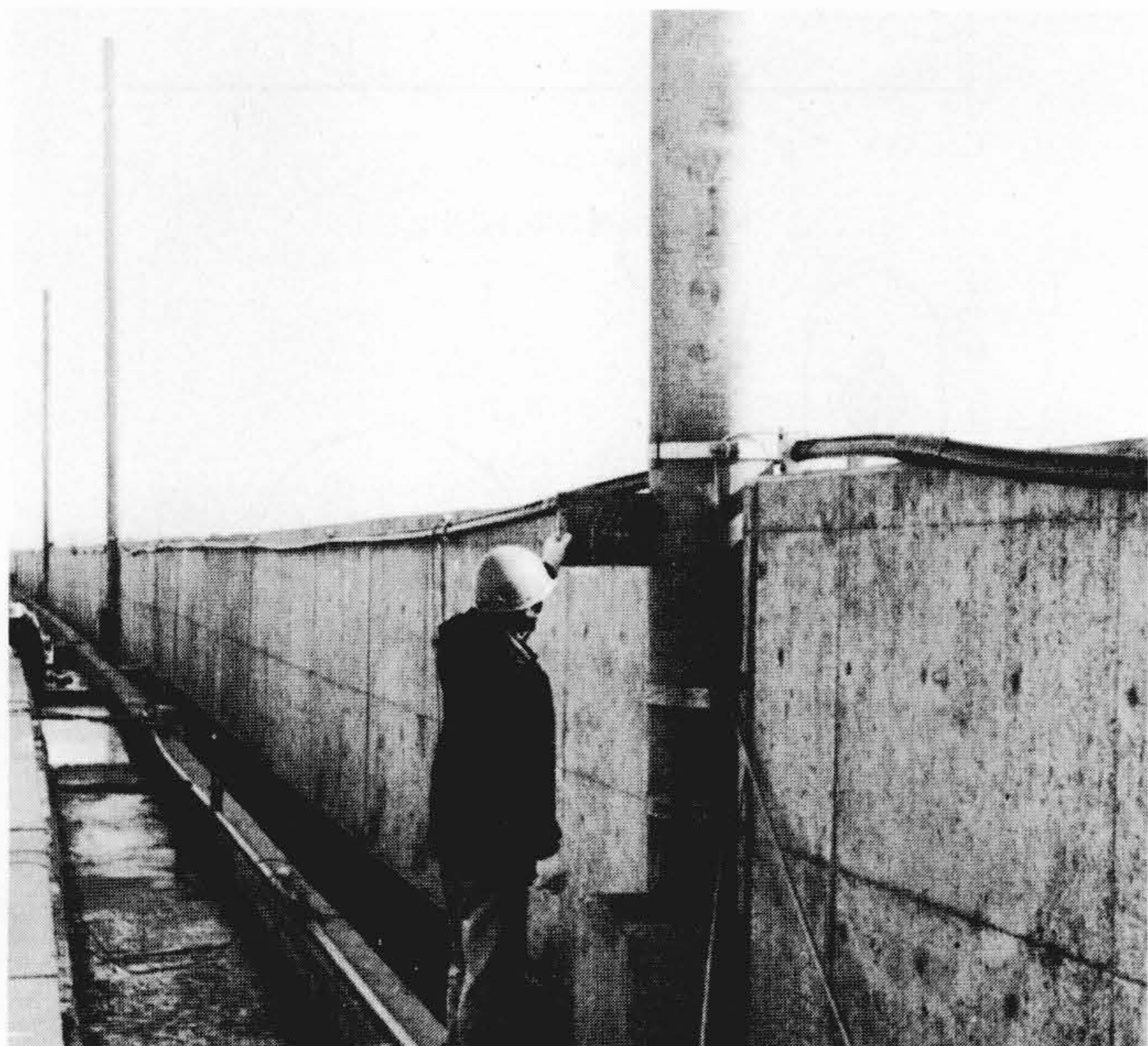


図7 電化柱う回状況 側壁布設区間における一例を示すものである。

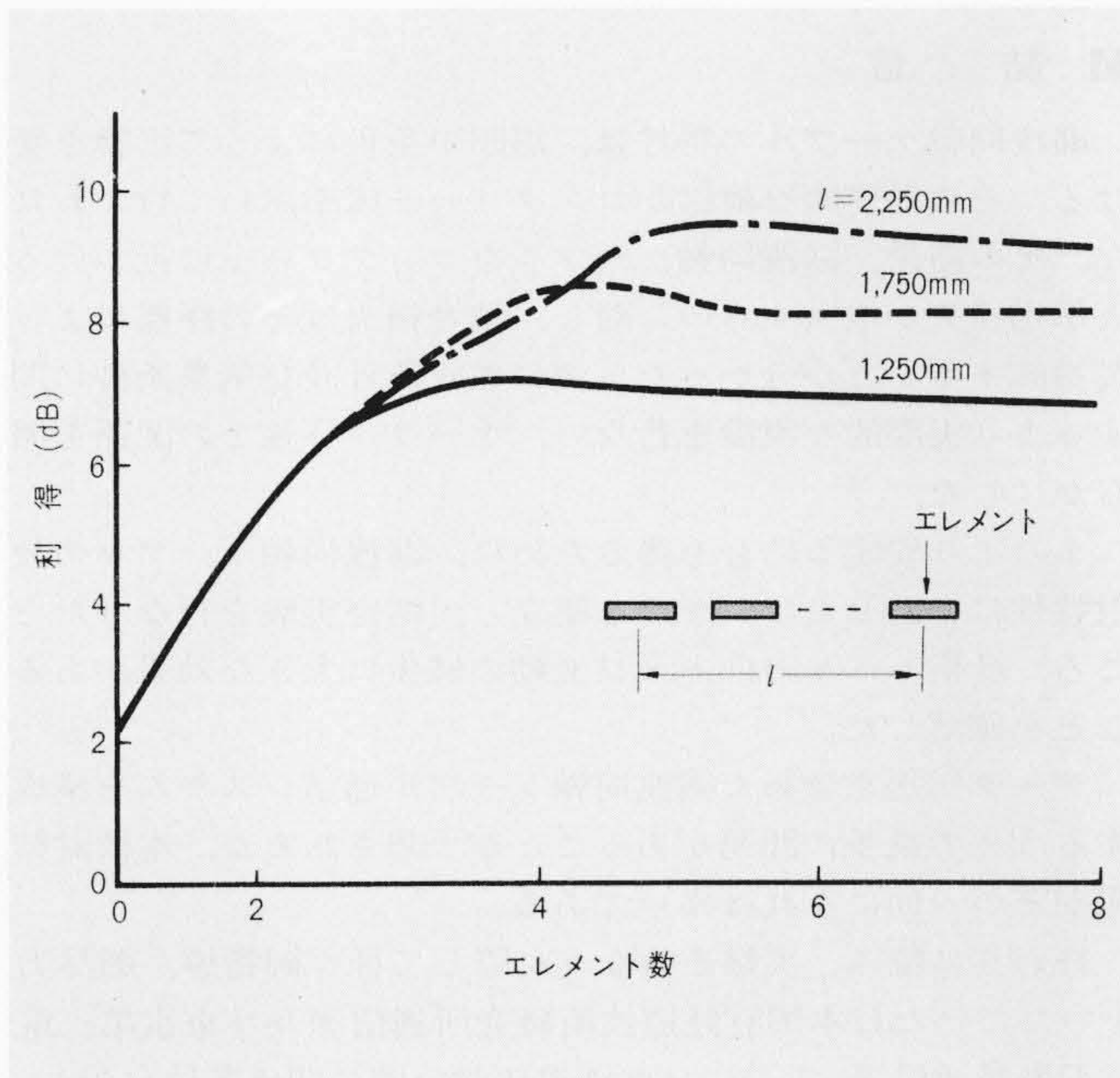


図9 利得とエレメント数の関係 アンテナの全長を一定にした場合の計算値である。

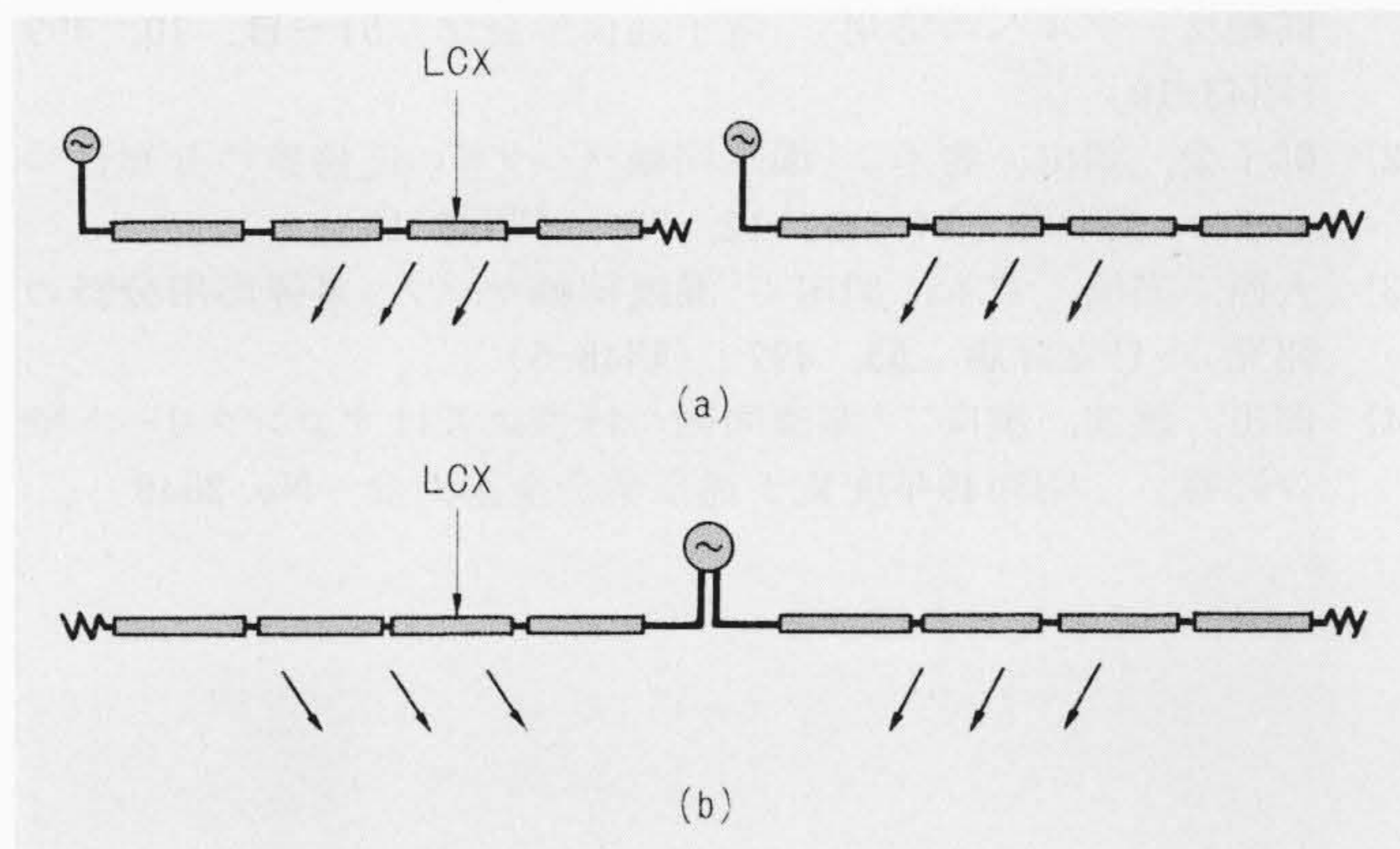


図10 LCXの給電方法 列車アンテナの水平指向性は、(a)の場合には単ビーム、(b)の場合には双ビームが適する。

に一定の場合には単ビームが適しており、同図(b)に示すように給電方向が逆になる場合には双ビームが適している。我々はその両方の検討を行なった。図11に双ビーム及び単ビームのパターンを示す。また垂直面のパターンはLCXの布設位置と、アンテナの取付位置の関係より検討されねばならない。LCXの布設位置は現実的な制約によりいろいろ変わり得るので、水平 ± 60 度の範囲をカバーできるようにした。図12に垂直面のパターンを示す。

試作したアンテナは厚さ7cm、長さ2mでCavity Back Slot Antennaを素子にしたものである。図13はその概観を

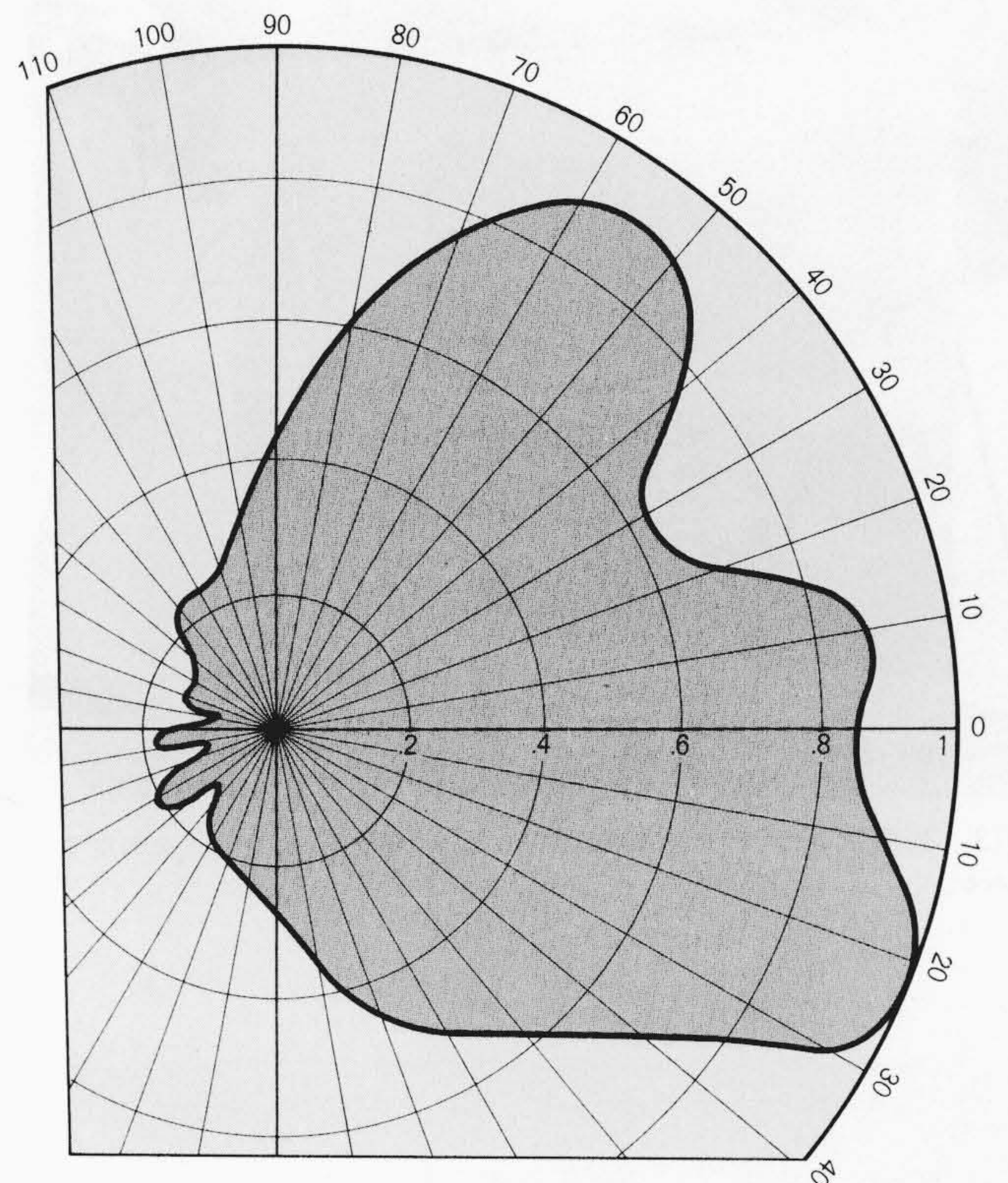


図12 列車アンテナの垂直パターン LCXの布設位置を考慮し、垂直面内のカバー範囲は広くしておく必要がある。

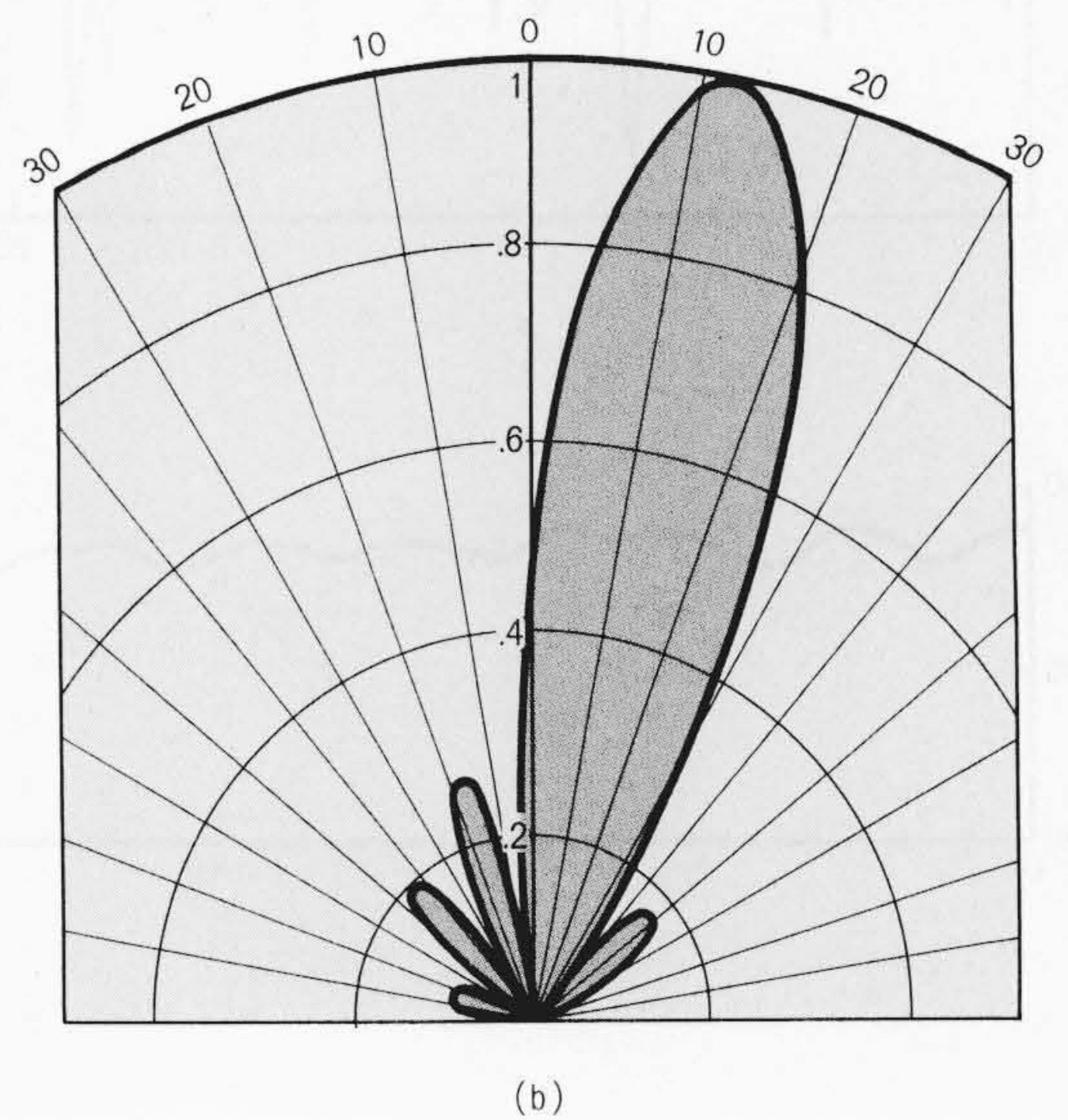
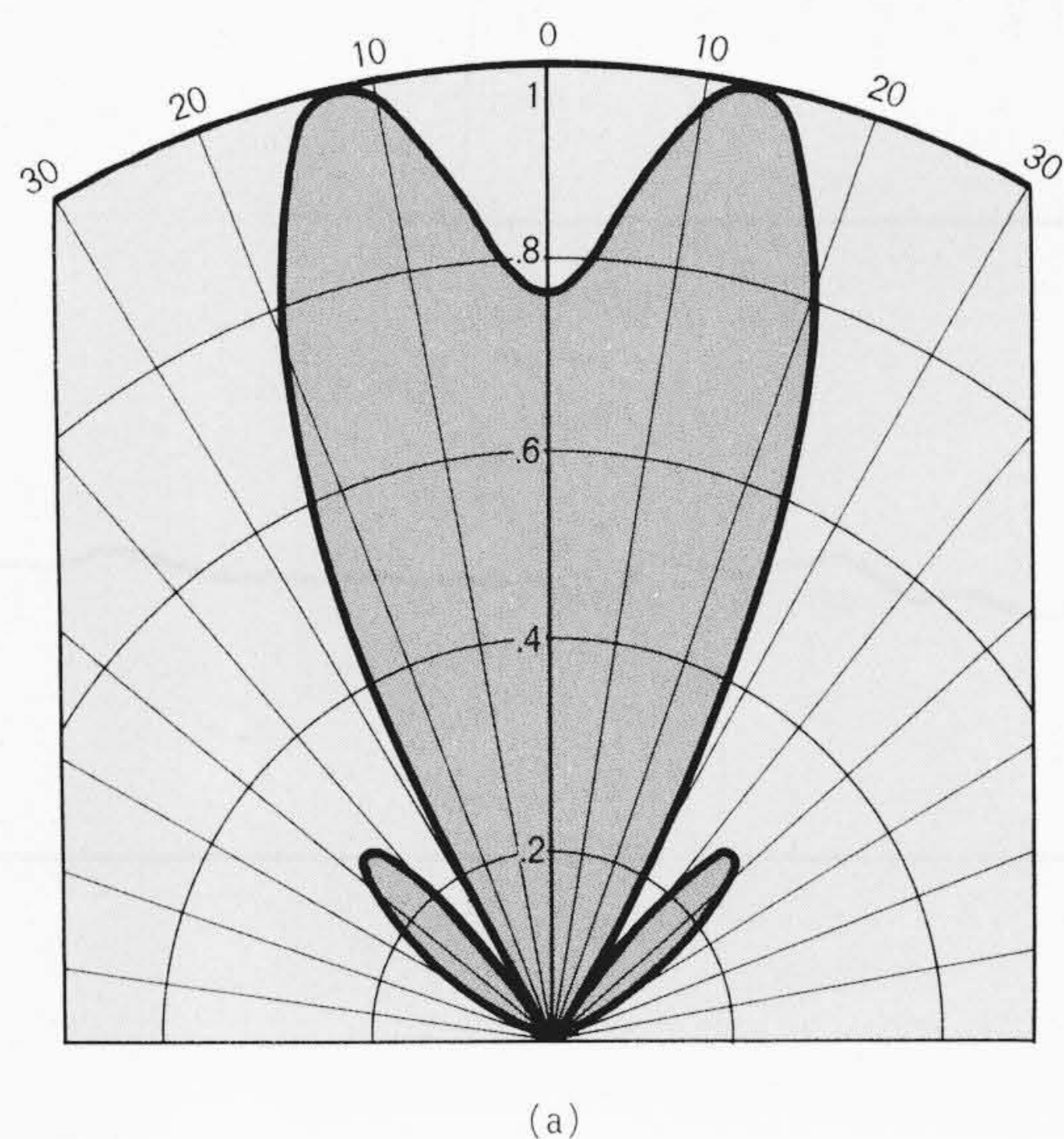


図11 列車アンテナの水平パターン (a) 双ビーム及び(b) 単ビームのパターンを示している。

示すものであり、取付時の車体を模擬するためアンテナの上下にアルミ板を取り付けている。

このアンテナを用いてLCXとの結合実験を行なったところ、単ビームの場合に結合損失は約7dB改善された。図14は新幹線実験場での測定波形の一部を示すものであり、受信レベル変動はダイポールアンテナで11dBあるのに対し、列車アンテナを用いると4dBとなり大幅に改善されることが分かる。

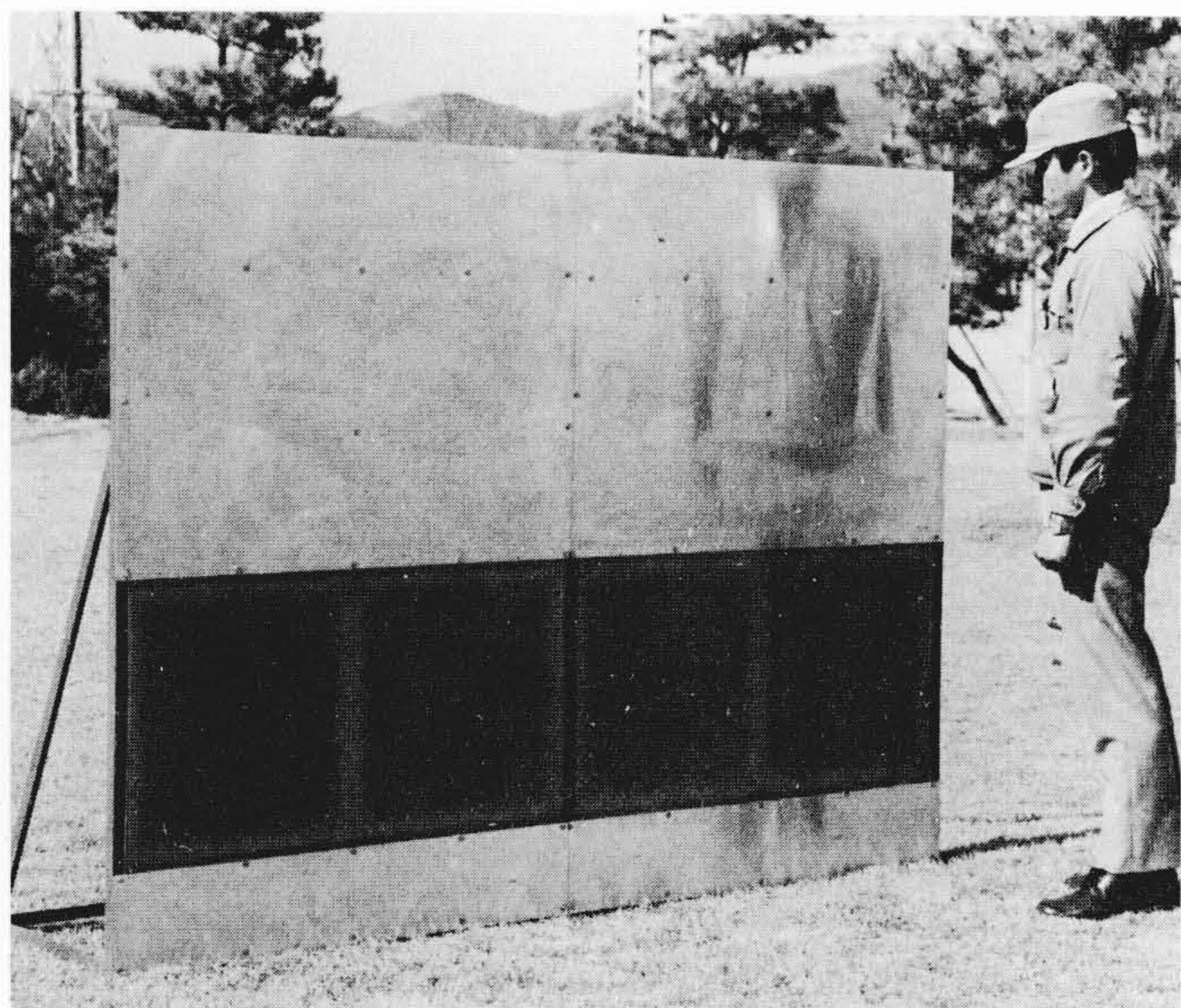


図13 列車アンテナ 4個の素子によって構成されており、全長は2mである。

5 結 言

漏洩同軸ケーブルの特性は、周囲の条件によって影響を受ける。その基礎的な検討がコンクリート床を用いて行なわれた。その結果、漏洩同軸ケーブルをコンクリートに近づけると伝送損失が増大するのに対し、結合損失はその距離によって増減することが分かった。更に布設条件及び気象条件に関するより実際的な実験を行ない、ケーブル特性との関係を明らかにした。

またより安定な結合を得るために、漏洩同軸ケーブルの放射特性に合わせたアンテナを開発し、結合実験を行なったところ、受信レベルの向上及び変動の減少に大きな効果があることを確認した。

データ伝送を含めた漏洩同軸ケーブル通信システムを構成するうえで幾多の問題があることが予想されるが、本検討結果がその一助になれば幸いである。

終わりに臨み、実験を行なうに際して種々御指導、御尽力をいただいた日本国有鉄道技術研究所通信課及び東京第二電気工事局通信課、並びに日本鉄道建設公団の関係各位に対し、謝意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 御子柴、塗田、岡田：「同軸ケーブルからのふく射とその漏れ同軸ケーブルへの応用」 電子通信学会誌 51-B, 10, 499 (昭43-10)
- (2) 御子柴、岡田、青木：「漏れ同軸ケーブルの近傍界の分布について」 信学誌 54-B, 12, 789 (昭46-12)
- (3) 大西、高橋、青木、岡田：「漏洩同軸ケーブル各種応用分野の開発」 日立評論 55, 497 (昭48-5)
- (4) 岡田、渡部、梶岡：「漏洩同軸の特性に及ぼすコンクリート壁の影響」 昭和49年度電子通信学会全国大会 No. 2048

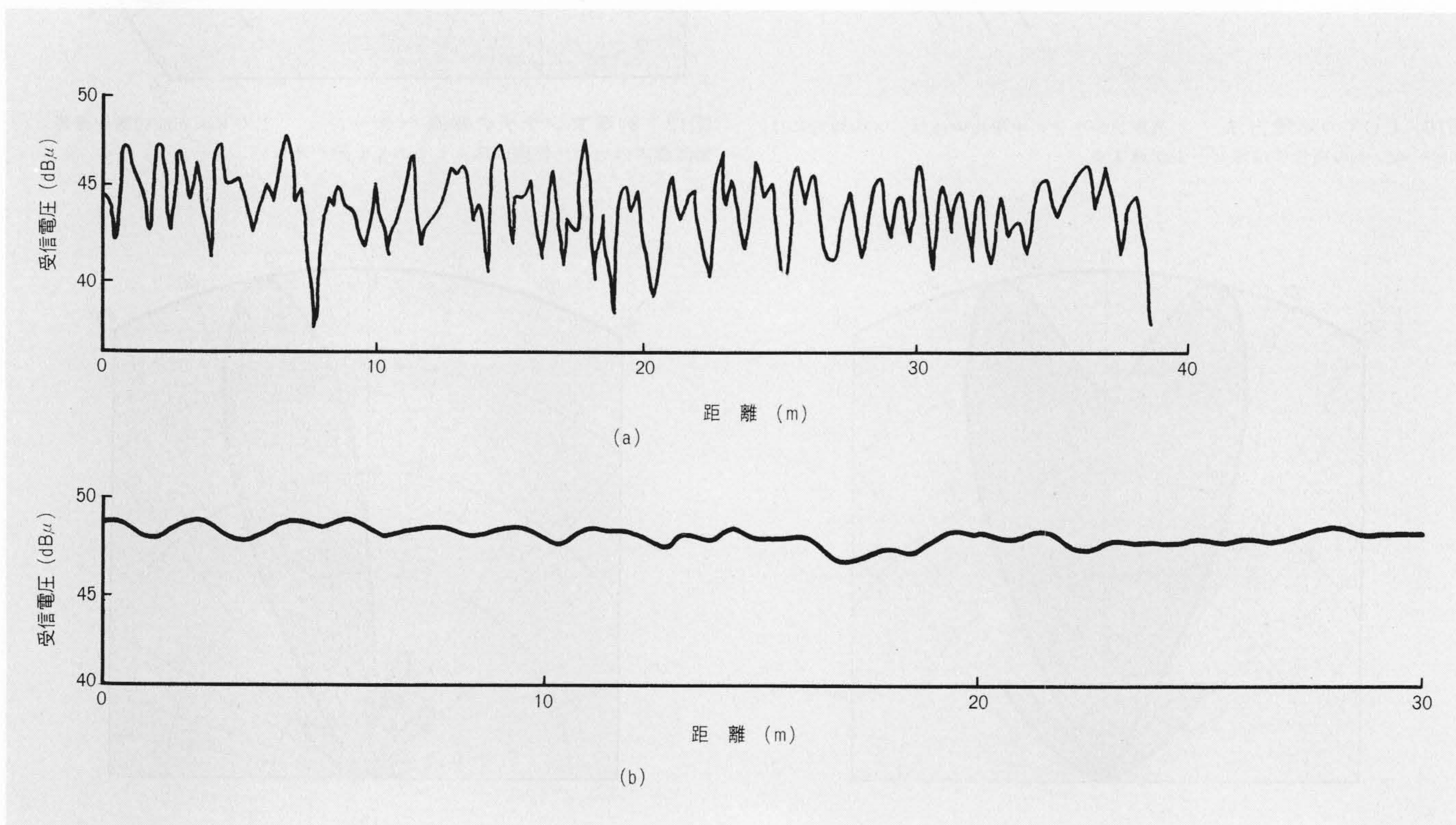


図14 受信レベルの測定例 壁上布設区間、 $f=414\text{MHz}$ (a)ダイポールアンテナと(b)列車アンテナを用いた場合の受信レベル測定波形の比較を示したもので、列車アンテナを用いると大幅に改善されることが分かる。