

## 北神戸線無線電話システムの設計

神戸建設部 施設課 野村 正則

同 部 同 課 今井 正彦

同 部 同 課 北村 孝二

### 要 約

神戸市道高速道路北神戸線は山岳部を走る道路であるため、既設の大阪地区、神戸地区の路線ように1ヶ所の基地局でサービスエリアをカバーすることができず、路線に沿って8ヶ所の基地局が配置される。これらの複数の基地局を効率よく、しかも同一周波数で運用するため、各基地局にS/N検出装置およびリモコン子局、北神戸線の管理センターである藍那に基地局(自動選択装置及びリモコン親局を設置することにより、移動局)からの受信レベルに応じて最適の基地局を自動的に選択して交信する無線電話システムとした。これにより、運用者は、移動局がどの基地局のエリアにいるかを知る必要はなく、既設の大阪地区、兵庫地区の運用形態に近い運用が可能となった。また、トンネル内においてもトンネル内無線通信補助設備を設けて不感帯をなくする構成とした。

### まえがき

陸上移動通信は、事業所と自動車その他の陸上を移動する移動体(移動局)との間の通信、あるいは移動体相互間の通信手段として公共業務、公益事業等社会のあらゆる分野で利用されている。

当団においても、交通管理、道路管理のため各管理部交通指令台と道路パトロールカーに設置した車載用無線局(移動局)との間に無線通信回線を設けて、道路における危険箇所の早期発見、応急処置または事故、工事等における情報収集および伝達を行うため400MHz帯の通信系を構成している。

神戸市道高速道路北神戸線においても、これまで同様無線通信回線を設けることとなるが、この

路線は、山岳部を通りAA級、A級クラスの長大トンネルを有する道路であるため、これにより、運用者は、移動局がどの基地局のエリアにいるかを知る必要はなく、既設の大阪地区、兵庫地区の運用形態に近い運用が可能となった。また、トンネル内においてもトンネル内無線通信補助設備を設けて不感帯をなくする構成とした。従来の大阪地区や兵庫地区のように高い建築物の屋上にアンテナを立てて、これで全地区をカバーすることは非常に困難であり、路線に沿って複数の基地局を設けることが必要である。

一方、電波は限られた資源である。現在、北神戸線用として割り当てられている周波数は、398.80

MHz（基地局送信波）および382.80MHz（移動局送信波）であり、電波行政上これ以上の周波数割当ては困難である。このため、北神戸線においては、複数の基地局を同一周波数で運用することとなり、各基地局を同時に運用した場合、隣接局間相互通信妨害（オーバーリーチ妨害）の問題が生じる。さらに電波法からも電波の発射を必要最小限にする必要がある。また、通信所である京橋管理センターでは、陸上移動局の正確な位置を把握できず、運用者による基地局選択は、不可能であり、何らかの方法で最も通信品質のよい基地局を自動選択する必要がある。

この方法として、北神戸線においては、各基地局にS/N検出装置を設け、これを親局に設けた基地局自動選択装置で処理することにより最適基地局を自動的に選択するシステムを採用したのでそのシステム概要について回線設計例と合わせて報告する。

## 1 北神戸線基地局配置計画

移動無線回線においては、その通話品質がS/N及びD/Uにより決定されるため、良好な通信回線を得るには、そのサービスエリア内において

表一 通話メリットとS/Nの相関関係

メリット	S/N	内 容
5	35dB以上	雑音は全然なく、非常に明快に通話が通ずる程度
4	35～25dB	雑音は多少あるが、十分、明快に通話が通ずる程度
3	25～15dB	雑音があるが、容易に通話が通ずる程度
2	15～10dB	雑音が多く、何回か繰返してやっと通話が通ずる程度
1	10dB以下	雑音の中にかすかに通話らしきものが聞える程度

十分な受信入力レベルを得ると共に他局からの妨害（同一周波数によるオーバーリーチ妨害）を最小とする必要がある。さらに基地局配置計画には、長大トンネルのサービス対策、運用・保守上の観点からも検討しなければならない。

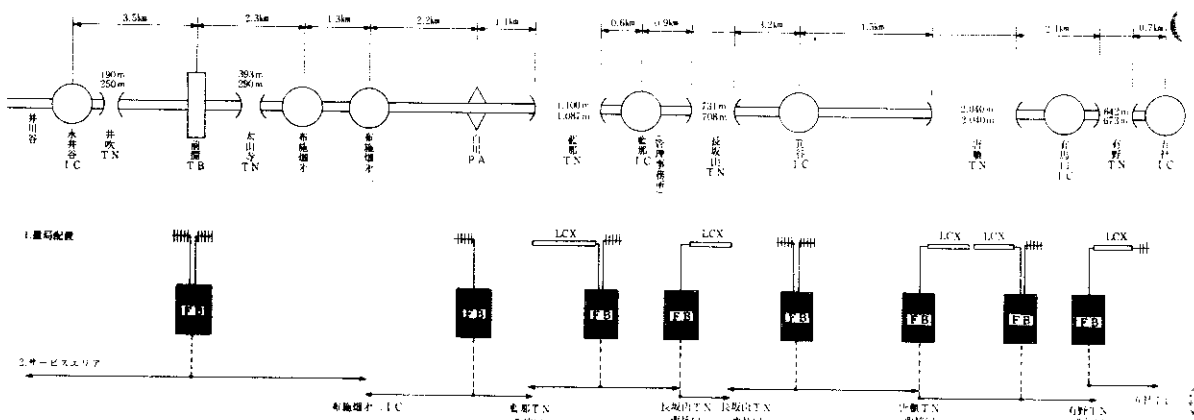
一般的に、通話メリットとS/Nの相関関係は、表一に示すとおりであり、今回の北神戸線の基地局配置の検討に際しては、通話メリット4以上、すなわちS/N25dB以上を目標として行った。

基地局配置設計の手順は次のとおりである。

### (1) 所要受信機入力の計算

トンネル外においては、17dB $\mu$ V、トンネル内では、さらにマージンをみて27dB $\mu$ Vとした。

(2) トンネル位置、用地確保の可能性、保守上の観点から候補地の選定を行う。例えば、管理所トンネル電気室等用地及び電源の確保し



図一 基地局配置計画

やすい場所を選ぶ。

- (3) 地形等の条件から経験式を用いて受信電界強度の机上計算を行う。
- (4) 現地実測により机上計算の比較を行い検証する。

この手順による設計例は後述するが北神戸線全体の基地局配置計画は、各基地局について以下の点を考慮し、図-1のとおりとした。

(1) 前開基地局

伊川谷～布施旗東ランプ間をサービスエリアとして、前開管理所内に設置することとした。

(2) 白川P. A基地局

布施畑東～藍那トンネル西抗口までをサービスエリアとして、白川P. A通信棟内に設置することとした。

(3) 藍那トンネル基地局

当トンネル内は、他局によるサービスが不可能なためトンネル電気室内に設置するものとし、トンネル内は、他の周波数（警察、消防波）との共用も考え、LCX（洩漏同軸ケー

ブル）でサービスすると共に、電力分配により長坂山トンネル西抗口までを空中線でサービスすることとした。

(4) 長坂山トンネル基地局

長坂山トンネル基地局は、藍那トンネル基地局同様、トンネル電気室内に設置する。なお、部分供用により箕谷IC基地局が設置されるまでは、長坂山トンネル東抗口に空中線を設置してサービスする。

(5) 箕谷IC基地局

長坂山トンネル～唐櫃トンネル基地局間の明り部をサービスするため設置する。

(6) 唐櫃トンネル基地局（唐抗口、西抗口）

当トンネル内は他局でサービスできないため設置する。なお、一方の抗口からではLCXで、トンネル内すべてをカバーできないための両抗口に設置することとし、さらに電力分配により有野トンネルまでの明り部をサービスすることとした。

(7) 有野トンネル基地局

本基地局は、有野トンネル内をLCXでサー

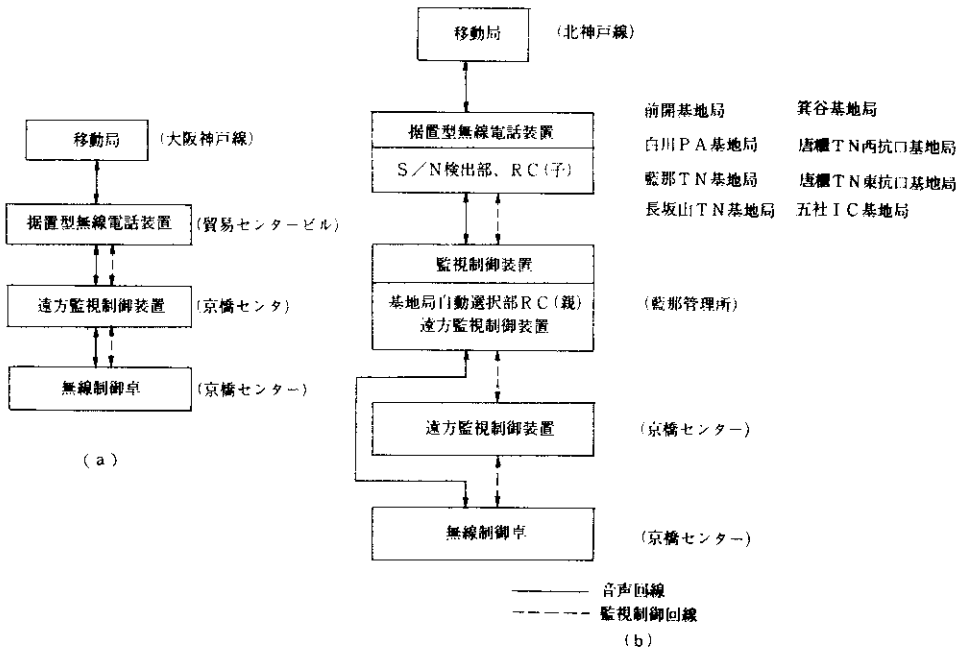


図-2 システム構成

ビスすると共に、LCXの先端に空中線を接続して五社ICまでの明り部をサービスする。

## 2 システム構成と各部の機能

### 2-1 システム構成

神戸地区の無線電話システムは、図-2(a)に示すとおりであり、音声回線としては、移動局無線電話装置(基地局)監視制御装置無線操作卓となっており、基地局も貿易センタービルに設置した1局で大阪神戸線全域をカバーしている。

一方、北神戸線は、1で述べたとおり、路線線形に沿って基地局を配置するシステム構成となっており、最終的には8基地局が予定されている。

また、その運用については、神戸管理部交通指令台(京橋管理センター)で行っており、この京

橋管理センターと北神戸線を走る移動局の間で通信が行われることになる。この通信を複数の基地局を通して、通話品質を良好に保ち(すなわちオーバーリーチ妨害をなくし)かつ効率的に行うため、図-2(a)の構成に、移動局からのスケルチ信号のS/Nを検出するS/N検出部、及びそのS/N信号に基づいて最適な基地局を自動的に選択する基地局自動選択部を加えた図-2(b)の構成とした。

北神戸線全体の移動無線システム図を図-3に示す。

### 2-2 各部の機能

ここでは、北神戸線の移動無線回線システムを構成する各部の機能についてその概要を述べる。

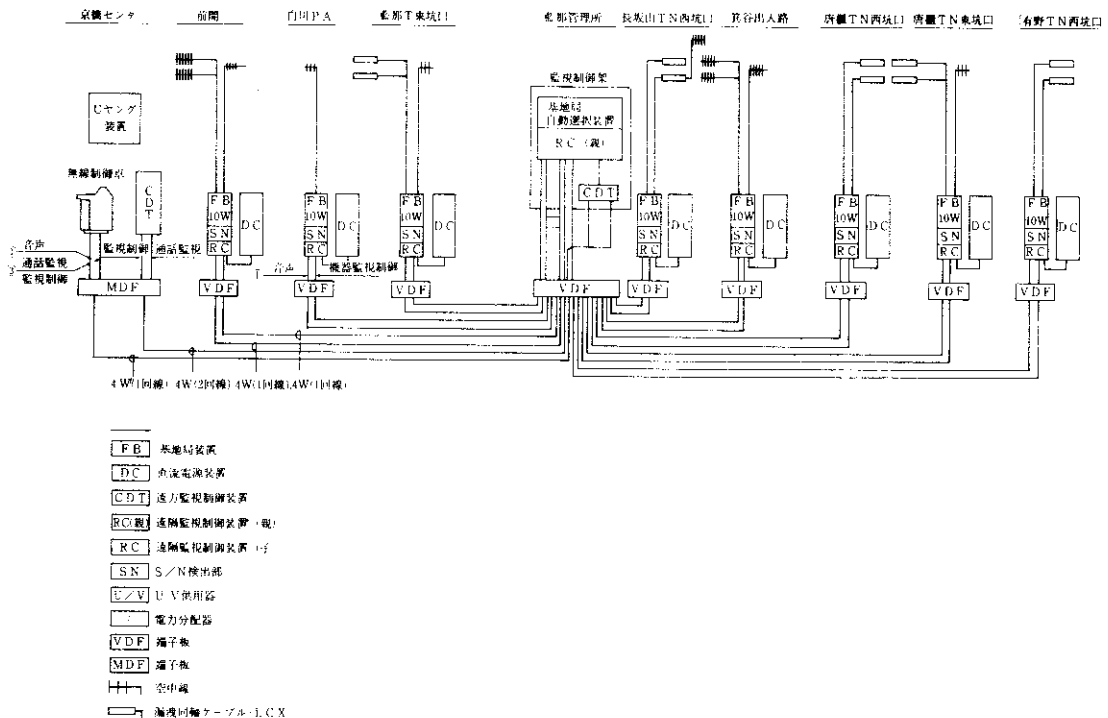


図-3 移動無線回線システム図

## 2-2-1 S/N検出部

S/N検出部は、基地局の中に組み込まれ、基地局の受信入力S/Nに応じてランク分けしたS/N情報信号を監視制御装置へ送出する。

受信S/Nは、次の4ランクに分けられる。

- ①  $S/N < 15\text{dB}$  (メリット1、2に相当)
- ②  $15\text{dB} < S/N < 25\text{dB}$  (メリット3に相当)
- ③  $25\text{dB} < S/N < 35\text{dB}$  (メリット4に相当)
- ④  $35\text{dB} < S/N$  (メリット5に相当)

上記4ランクに分けられたS/N情報は、音声帯域内に設定するランク毎の周波数のトーン信号として通信回線により監視制御装置へ送出される。なお、出力レベルは、0～-15dBmの任意のレベルに調整可能とする。

## 2-2-2 リモコン部

無線電話装置及び監視制御装置に組込んだリモコン部は、基地局装置のS/N情報信号、監視制御信号の送受を行うものであり、伝送方式は、下記のとおりとする。

- (1) 伝送回線 NTT 規格専用線相当(4W)
- (2) 監視制御項目伝送方式 周波数分割方式によるトーン信号伝送
- (3) 対向方式 監視制御共1:1
- (4) 通信方式 全二重方式
- (5) 送信応答時間 150msec

## 2-2-3 基地局自動選択制御部

基地局自動選択制御部は、下記の機能を有するものである。

- (1) 移動局からのスケルチ信号の入力した基地局のS/N検出ユニットからS/N情報を検出し、比較判定を行い、最もS/N条件のよい基地局を選択する。
- (2) S/Nランクが同一の場合、あらかじめ設定した番号の若番優先で、基地局を選択する。
- (3) 上記(1)、(2)の動作は、同時着信判定時(150msec以内に着信のあった複数局)におこない、それ以後の着信は、割込みとみなし、10dBダウンで音声系を接続する。なお、割込検知時、運用中であることを割込んだ移動局に知らせるため、割込みのあった基地局より短時間(10～30秒)の音声自動中継を行う。

(4) S/N検出ユニット機能により自動選択された基地局は、2周波単信方式で自基地局内のみ音声自動中継を行う。

(5) 指令台から応答する場合は、その選択された基地局のみを接続する。

(6) 指令台からの初期送信については、移動局の位置が明確でないことから、全基地局一斉に行う。

## 2-2-4 監視制御装置

監視制御装置は、基地局の監視制御を行うもので、その項目は次のとおりである。

### (1) 通話監視制御

#### ① 監視項目

基地局選択、基地局送信、基地局受信

#### ② 制御項目

個別選択、一斉送信

### (2) 機器監視制御項目

#### ① 監視項目

基地局1号機動作中、基地局2号機動作中、基地局故障、基地局通話度数、基地局自動選択装置自動一手動

#### ② 制御項目

基地局1号2号指定、基地局自動選択装置自動一手動

## 2-2-5 無線制御卓

無線制御卓の機能は、主として操作機能と表示機能に分けられる。

### (1) 操作機能

① 卓上の選択釦により個別選択(送受信)ができること。

② 卓上の基地局選択自動釦により基地局自動選択装置が作動すること。

③ 卓上の一斉釦により各基地局の一斉送受信ができること。

④ 卓上の基地局切替釦により基地局1、2号機選択が可能なこと。

⑤ 卓上のモニタスピーカにより受信音声モニターできること。

⑥ 卓内にテープレコーダを内蔵し、自動、手動により通信音声を録音できること。

### (2) 表示機能

各基地局について、その状態（送信、選択、受信、1号機動作中、2号機動作中、故障、試験中）を表示すること。

### 2-2-6 ログギング装置

ログギング装置は、京橋管理センター無線制御卓に設置し、移動局動態入力を行うことにより、日報、月報、移動局の動態、基地局又は移動局ごとの抄録を印字する。

## 3 運用形態とフローチャート

北神戸線の無線設備の運用形態は、平常時は基地

局自動選択機能を用いた運用となる。しかし、事故等の異常時においては、全基地局を運用してすべての移動局に音声自動中継を行ったりある特定基地局を固定して運用する場合も考えられる。

そこで本システムでは、基地局自動選択時、一斉選局時、個別選択時の3種類の運用形態を想定し、それぞれ操作卓の押釦により選択できるようにした。

以下にそれぞれの場合についてフローチャートを示し、その流れを説明する。

### 3-1 基地局自動選択時（図-4）

基地局自動選択時は、平常時の運用形態であり、

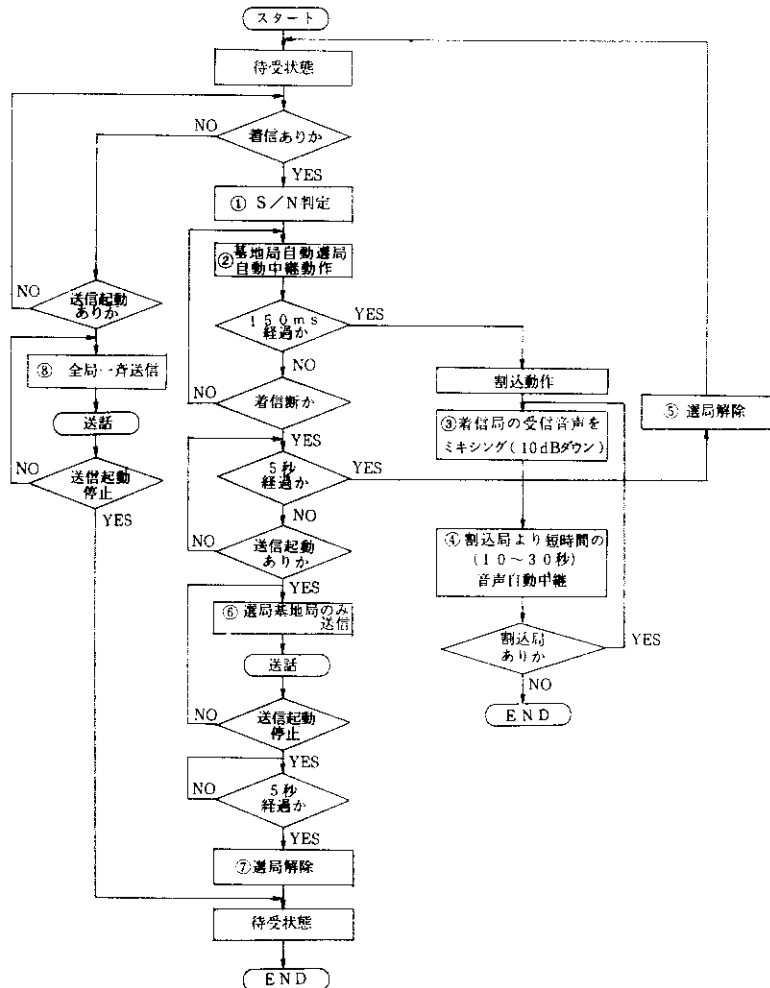


図-4 運用フローチャート（基地局自動選択時）

移動局から着信があった場合、そのスケルチ信号のS/Nを判定し①基地局を自動選択する。②その着信後、150msec以上経過していれば、以後の着信は、割込みとみなし、10dBダウンで受信音声をミキシングする③とともに割込み局より短時間の音声自動中継④を行う。また、着信断後5秒経過した場合は、選局を解除し⑤初期状態にもどる。5秒経過していない場合は、選択基地局のみ送信し⑥送信起動停止後5秒経過したのち選局解除を行い⑦初期状態にもどる。基地局から移動局を呼び出すと

きは、全局一斉送信を行い⑧、送信起動停止後待受状態にもどり、移動局からの応答を待つ。

### 3-2 一斉選局時(図-5)

操作卓で一斉選局した場合①、着信した基地局すべてで受信し②、全基地局に音声自動中継を行う③。また、送信起動がある場合、すべての基地局から一斉送信を行う④。

一斉選局時は、隣接局によるオーバーリーチ妨害により、受信感度がいちじるしく低下する場合は、

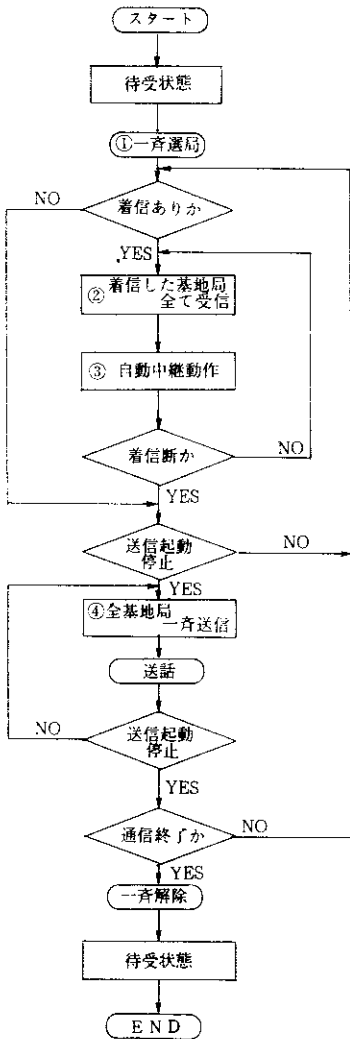


図-5 運用フローチャート(一斉選局時)

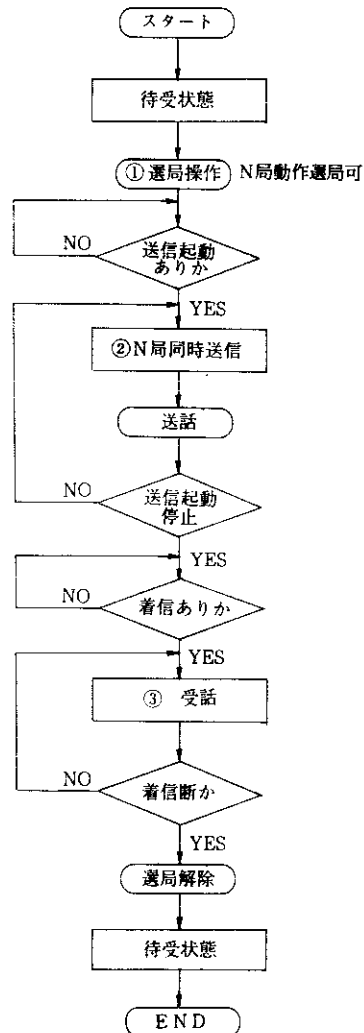


図-6 運用フローチャート(個別選択時)

る。

### 3-3 個別選択時(図-6)

操作卓で、ある特定の基地局を選択した場合①)、送信は、選局された基地局のみ可能で②)、受信もS/N判定なしで選択された基地局のみ接続する③)。

## 4 回線設計例

ここでは、1. で述べた手順にもとづき、藍那トンネル基地局を例にとり、回線設計を行う。

藍那トンネルは、西行、東行共に1000mを超えるトンネルである。トンネル内における電波の減衰は、明り部に比べてはるかに大きく、このような長いトンネル内の無線サービスを行った場合、十分な回線品質の確保は困難である。従って、トンネル内の対策としては、洩漏同軸ケーブルをトンネル内壁面に布設し、このケーブルの輻射によりトンネル内を安定かつ良好な回線品質でサービスすることとした。

また、明り部サービス対象範囲は、藍那トンネル東抗口から長坂山トンネル西抗口の間とした。

#### (1) 所要受信入力電圧

S/N25dB以上(通話メリット4)を得るための所要受信入力電圧C(dB $\mu$ V)は、次式で求められる。

$$C \geq S/N + N - I = 25\text{dB} + N - I \quad (1)$$

ここで、N:受信器入力雑音(内部雑音 $N_1$ と外部雑音 $N_2$ の合成値)(dB $\mu$ V)

I:S/N改善係数(dB)

受信機入力雑音のうち、内部雑音 $N_1$ は、

$$N_1 = 10 \log B + F - 31 \quad (2)$$

で与えられる。

ここで、B:受信機の等価雑音帯域幅(8KHz)

F:受信機の雑音指数(dB)

これを(2)式に代入し、 $N_1 = -12.0\text{dB}$ (ただし、 $F = 10\text{dB}$ とした。)が得られる。

また、外部雑音 $N_2$ は、通行車両の台数によるが、過去の測定例から、

$$N_2 = -6.3\text{dB}\mu\text{V} \quad (3)$$

とした。

S/N改善係数I(dB)は、FM変調の場合次式

で求められる。

$$I = 10 \log \frac{3 \cdot f_d \cdot B}{2 \cdot f_m^3} \quad (\text{dB})$$

ただし、 $f_d$ :最大周波数偏移(KHz)

$f_m$ :最高変調周波数(KHz)

(4)式に、 $f_d = 2.5\text{KHz}$ 、 $f_m = 3.0\text{KHz}$ を代入して、

$$I = 4.4\text{dB} \quad (5)$$

となる。

(1)式にこれらの値を代入して、 $C = 15.3\text{dB}\mu\text{V}$ となるが、機器マージン等を見込んで、 $17\text{dB}\mu\text{V}$ を所要受信入力電圧とした。

なお、トンネル内は、電波干渉等を考慮し、さらに $10\text{dB}\mu\text{V}$ 高い $27\text{dB}\mu\text{V}$ とした。

#### (2) 基地局設置場所

藍那トンネル基地局は、藍那トンネル内及び藍那トンネル東抗口から長坂山トンネル西抗口間をサービス対象としているため、藍那トンネル東抗口付

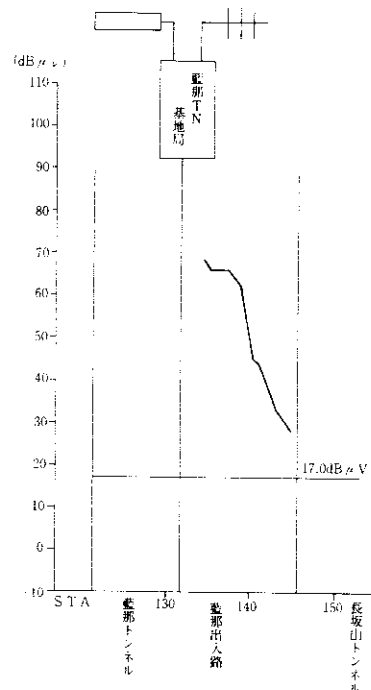


図-7 受信入力電圧分布図(計算値)



近に設置することとした。

(3) 回線設計

藍那トンネル基地局は、次のような設備案で検討した。

- 無線機出力 10 W
- 設置空中線 LCX (トンネル内)  
3素子八木型 (明り部)
- 電力分配機 10:1 (トンネル内:明り部)

これらの設備案に基づいて計算された明り部の受信入力電圧分布を図-7に示す。

また、トンネル内の受信電圧レベルは、  
受信電圧=LCX線路電圧-結合損失-マージンで与えられる。

ここで、結合損失は、LCXから1.5m離れた位置 (標準位置)におけるLCXと移動局空中線との結合損失であり、これ以上離れた場合の損失は、マージンに含めるものとする。

マージンは、25dBとし、その内訳は次のとおりとした。

- 距離損失 7dB (LCXからの距離を7mとした。)
- 干渉によるレベル変動損 15dB
- 機器マージン 3dB

藍那トンネルの漏洩同軸ケーブル系統を図-8に示し、この場合の受信入力レベルダイヤを図-9に示す。図より最低受信入力電圧は、28.9dBμVとなり27dBμVを満足している。

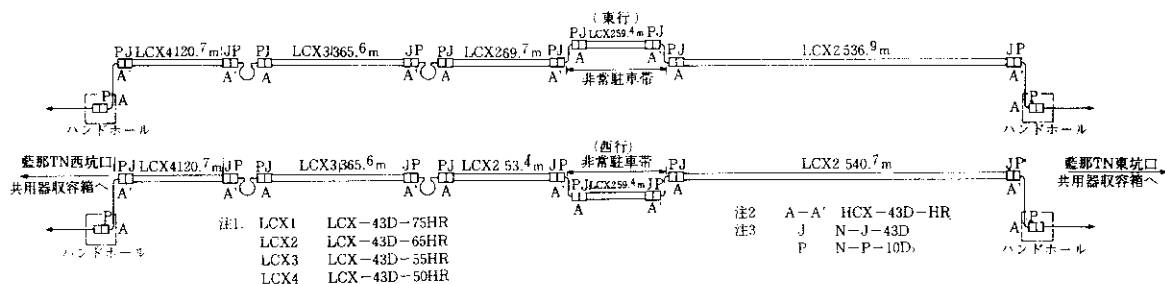


図-8 藍那トンネル漏洩同軸ケーブル系統図

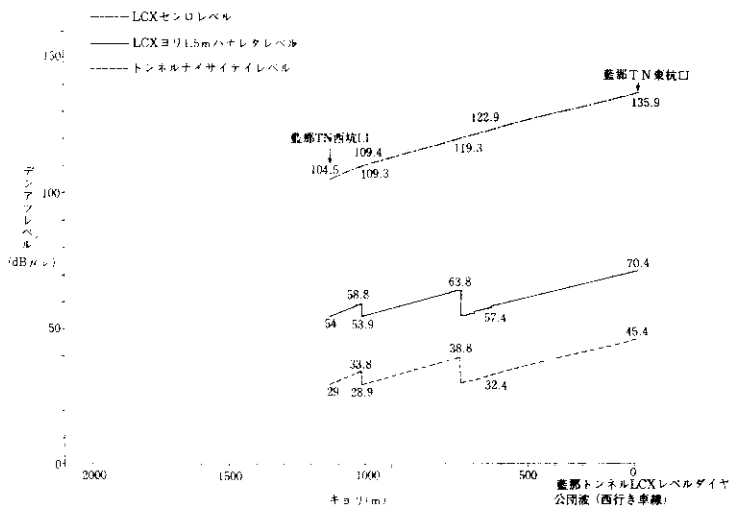


図-9 受信入力レベルダイヤ (トンネル内)

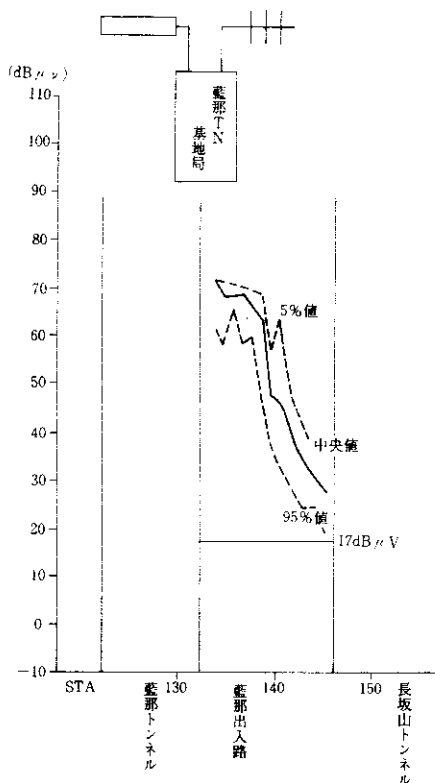


図-10 入力電圧分布図（測定値）

#### (4) 実測による検証

図-10に藍那トンネル東抗口から長坂山トンネル西抗口までの実測した入力電圧分布図を示す。なお図は、(3)の設備案の無線機出力に換算している。この実測結果から、17dB  $\mu$ V以上の受信入力を確保できるものと考えられる。

また、同時にトンネル内の干渉レベル変動を測定したが、約13dB程度であり、設計に用いた値15dBとほぼ近い値であることから、図-8の設計案で問題はないと思われる。

#### あとがき

北神戸線の無線電話システムについて、その計画概要、システム構成、機能について報告した。

本システムは、S/N検出装置、基地局自動選択装置を用いて、複数の基地局を効率よく運用する構成

となっているが、さらにAVMシステム（車両位置自動表示システム）等を組み合わせることにより、道路管理業務の迅速化、より効率的な移動無線設備の運用も可能と考える。これについては、今後の研究課題である。

最後に、ここに本報告ができたことは、長年にわたり、北神戸線の無線設備の検討、調査設計、伝播調査等にたずさわってきた方々の御尽力のたまものであり、関係者各位に深謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：北神戸線移動無線回線調査・設計業務報告書（昭和55年3月）
- 2) 阪神高速道路公団：無線設備（布施畑～藍那間）調査設計業務報告書（昭和59年11月）
- 3) 阪神高速道路公団：北神戸線藍那～箕谷間無線伝播調査設計業務報告書（昭和62年2月）