

火力発電所の騒音予測上の問題点とその対策

Prediction and Control of Thermal Power Plant Noise

発電所の新設に当たっては、個々の機器の騒音低減と同時に機器の配置及び建屋計画を考慮し、全体として経済的で調和のとれた騒音対策を実施する必要があるが、日立グループでも予測手法の研究及び開発を進めてきた。しかし、最近の環境保護の厳しい要請にこたえるためには、より高い精度の予測手法が必要となってきた。今回、発電所騒音を予測するうえで大きな誤差を生じやすい発電所建屋のしゃへい効果を高い精度で予測する手法を新たに開発し、相関技術、縮尺模型実験などによりその妥当性を立証した。これらの成果に基づいて予測プログラムを新たに作成して幾つかの火力発電所に適用し、実測値と予測値が十分な精度で一致することを確認した。

下 出 新 一* *Shimode Shin'ichi*
井川敬之助** *Ikawa Keinosuke*
平 松 力*** *Hiramatsu Tsutomu*
青 木 昱 秀**** *Aoki Ikuhide*
岩 田 弘***** *Iwata Hiroshi*

1 緒 言

発電プラント特に火力発電所は、比較的人口密度の高い地域に建設されることが多く、最近の環境改善問題にも騒音が関係する場合が増加しつつある。火力発電所は、各種各様の機器及び構造物の有機的結合であり、その音源は広く分布し、かつボイラ及びタービンを中心として大きな音源が集まっている。

騒音問題にはほとんどの機器が関係するので、個々の機器の騒音低減を心がけると同時に、敷地境界線上の騒音レベルを下げるための機器の配置及び建屋計画などを考慮し、全体として調和のとれた騒音対策を実施しなければ不経済であるばかりでなく、所期の効果が得られない。

日立グループでもかなり以前から予測手法の研究開発を進めてきた^{1)~4)}。しかし、最近の環境保護の厳しい要請にこたえるためには、より高い精度の予測手法が必要となってきた。今回、発電所騒音を予測するうえで大きな誤差を生じやすい発電所建屋のしゃへい効果を高い精度で予測する手法を新たに開発し、相関技術、縮尺模型実験などによりその妥当性を立証した。これらの成果に基づいて予測プログラムを新たに作成し、幾つかの火力発電所に適用し、実測値と予測値が十分な精度で一致することを確認した⁵⁾。

2 騒音予測上の問題点

発電所周辺の騒音を精度よく予測するうえでの困難な点は、建屋、タンクなどのしゃへい効果による減音量と、エネルギーの広がりによる距離減衰以外の要素、すなわちエクセスアテネーション(**Excess Attenuation**)を的確に把握できなかった点⁶⁾である。

建屋による減音量を高い精度で予測できることになれば、新たに防音塀など施さなくても、建屋の配置を考えるだけで十分な場合があり、また今後厳しくなると予想される労働環境の保全に対しても有益な資料を与える。

薄肉矩形壁など一部の形状を除いては、発電所内に点在している種々の形状の建屋群によるしゃへい効果を精度よく予測する手法が見当たらなかった。従来、簡略計算として各建屋群を、音源及び受音点からみて1枚の薄肉矩形壁で置き換

える手法が各方面で行なわれていたが、発電所建屋をすべて1個の直方体として取り扱い、かつ地表面の投影形状で近似していること、音波伝搬ルートを建屋群の外側だけに採っていることなどから、建屋の配置、形状及び音源と受音点の位置関係によって大きな予測誤差を生ずる。そこで筆者らは、湯沢ら⁷⁾が提案した「等価音源法」の考え方を応用して複雑な建屋群によるしゃへい効果を予測できる手法を開発し、十分満足できる予測精度のプログラムを確認した。

一方、敷地境界線付近の騒音レベルは、空気吸収と地表面の吸収などのエクセスアテネーションに大きく影響される。しかし、エクセスアテネーションについては、温度及び湿度に対する空気中の吸収を除いてはほとんど解明されておらず、実測データにも乏しい。屋外の現地測定でこれらの影響を個別に求めることは非常に困難であるので、筆者らは代表的な条件下で数多くの実測を行ない、その結果を予測計算に取り入れているが、これについては次の機会に報告する予定である。

3 建屋による減音量の予測手法の開発

半無限障壁による減音量を予測する手法として、従来から前川⁸⁾の図表が広く用いられている。湯沢ら⁹⁾は複雑な形の壁による減音量を計算するに当たって、図1に示すような分割による方法をとっている。筆者らはこの手法を指向性音源に対して、高低差のある複雑な障壁に適用できるように改良¹⁰⁾した。

一方、防音塀など一部の障壁を除くと発電所の建屋は、複合した厚肉建屋又はタンクなどから成っている。

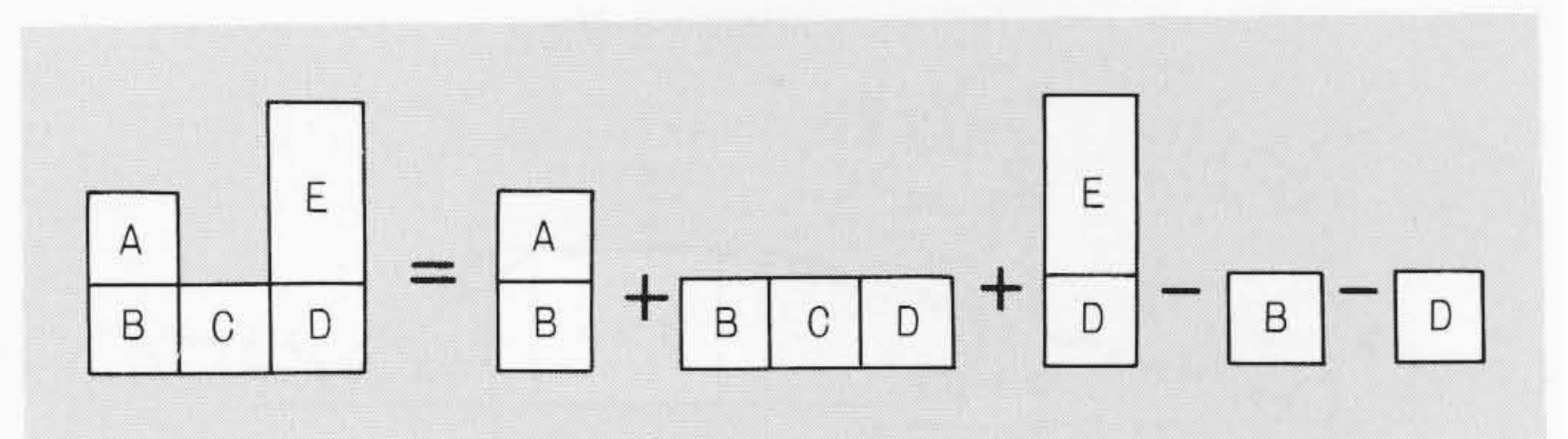
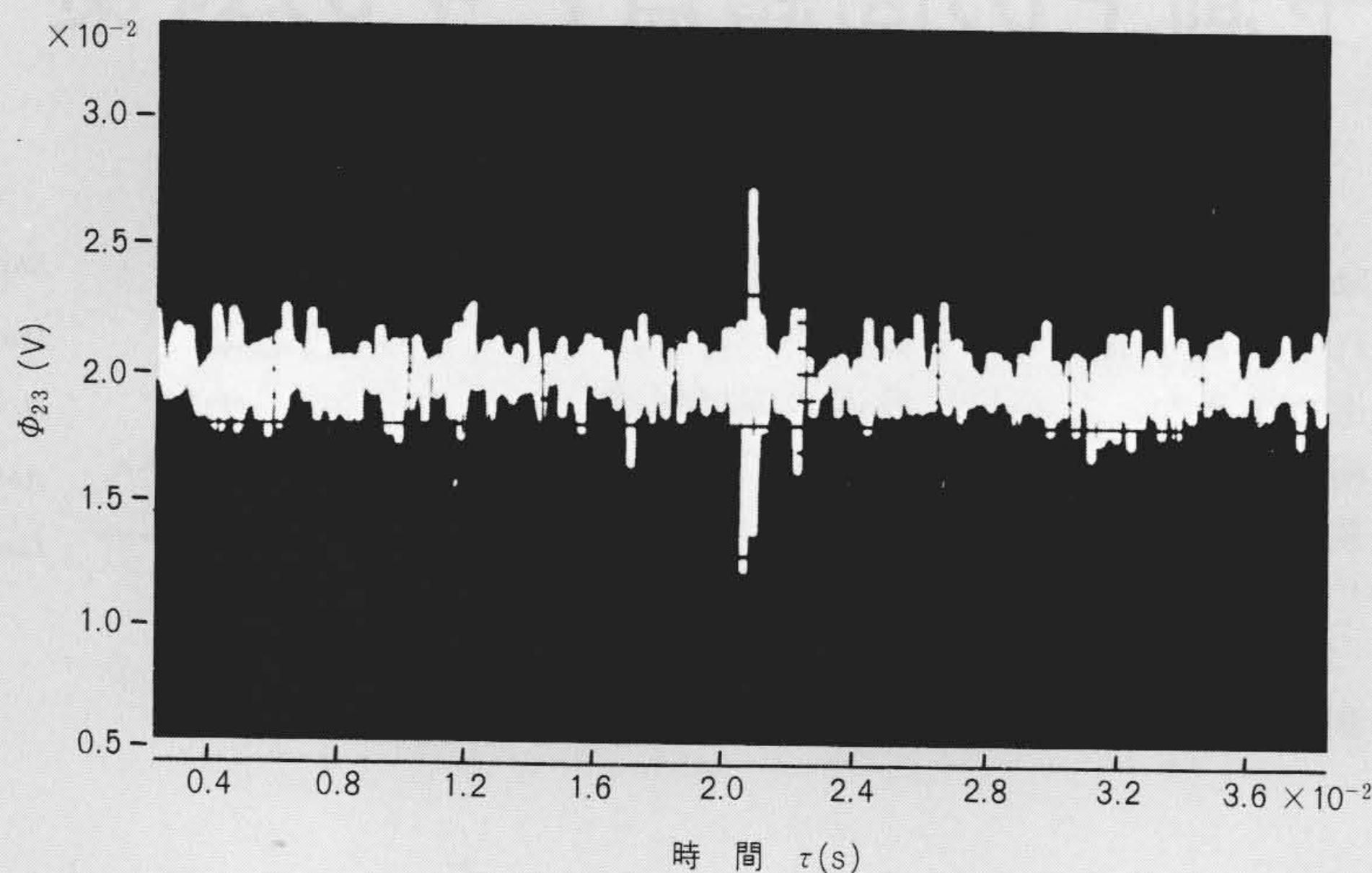


図1 壁の分割 湯沢らは、元の障壁の全開放空間と分割後のそれぞれの壁に対する開放空間との代数和が、等しくなるように分け計算している。

* 日立製作所機械研究所 ** 日立エンジニアリング株式会社防音エンジニアリングセンタ *** 福井大学工学部 工学博士
**** 日立製作所電力事業本部 ***** バブコック日立株式会社呉工場



時 間 $\tau(s)$	相関関数 $\Phi_{23}(V)$
• 1879	• 02413
• 1888	• 02238
• 1896	• 01478
• 1904	• 02168
• 1912	• 02917
• 1919	• 02438
• 1927	• 01618
• 1935	• 02181
• 1944	• 02433
• 1952	• 02271

図3 伝搬経路を決定するための相互相関関数 タンク前方40mの位置よりM系列信号で駆動されたスピーカ音と、タンク後方の#2マイクとの相互相関関数の波形を示す。

一般の建屋群に対する予測に応用ができ、かつ実用性のある予測手法として「等価音源法」が湯沢ら⁷⁾によって提案されている。筆者らはこの手法を一般の建屋群に適用できるように改良を加えた¹⁰⁾。主な点は、計算対象とする建屋の取舍選択と伝搬ルートの設定である。前者は各受音点に対する影響順位を考え、音源と受音点及び建屋の配置から決定される範囲にある建屋、タンクだけを対象としたことであり、後者は上記範囲内にある建屋間を伝搬する複数のルートをすべて取り上げたことである。このルート数は、建屋の数を m 個とすると最大 2^m 通りでそれぞれの個々のルートに対して計算

を行ない、最後に上方向及び側方向成分を合成して受音点の音圧レベルを算出するものである。また、この手法を発電所内でよく見かけるタンクなどの円筒構造物に適用することができる。すなわち、上方向のしゃへい効果は、音源と受音点を含む鉛直面で切断した断面形状を考え、厚さがある半無限長壁によるものと同等と考える。また側方向のしゃへい効果は、タンクの直径を幅とし、高さが無限大である薄壁に置き直して考えることにする¹⁰⁾。

4 予測手法の実験的確認

予測手法が妥当であることを確認する目的で、火力発電所で相関計測法を用いて主要音源からの伝搬経路を把握するための測定を行なった。また実物の建屋や発電所について上記の予測結果と実測結果とをチェックすることが困難であるので、縮尺模型実験によって予測計算の精度を確認した。

4.1 相関計測法を用いた伝搬経路の確認

工場敷地境界線、又はその内外の地点での騒音レベルを効果的に下げるためには、どのような機器が主要音源であり、それらから放射された騒音が問題となっている地点までどのような経路で伝搬するかを正確に把握して予測を行なう必要がある。

筆者らは以前から相関技術を用いて伝搬経路を把握する作業を行なってきた¹¹⁾。一例として比較的簡単なタンクの回折実験を示す。図2(a)に測定位置とタンクの平面図を、同図(b)に同側面図を示す。図3は、M系列信号で変調されたスピーカ音源、受音点の2入力信号 $x(t)$ 、 $y(t)$ を用いて相互相関関数 $\Phi_{xy}(\tau)$ を求めた結果を示したものである。相互相関関数 $\Phi_{xy}(\tau)$ は次のように定義されるもので、 $x(t)$ 、 $y(t)$ は各々の時間の関数であり、時間 τ だけずれた二つの信号の間にどの程度の関係があるかを示すものである。

$$\Phi_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t + \tau) dt$$

タンクとスピーカのほぼ中心線上#4マイクと#3マイク間では、測定値が $\tau_a = 0.2152$ 秒、 $\tau_b = 0.2176$ 秒と現われ、それぞれの伝搬距離 $d_a = 73$ m、 $d_b = 74$ mより割り出した $\tau_a = \frac{d_a}{C} = \frac{73}{340} = 0.2150$ 秒(C は音速)、 $\tau_b = 0.2176$ 秒とよく一致することから、音源に対しタンクのほぼ反対位置での両側の

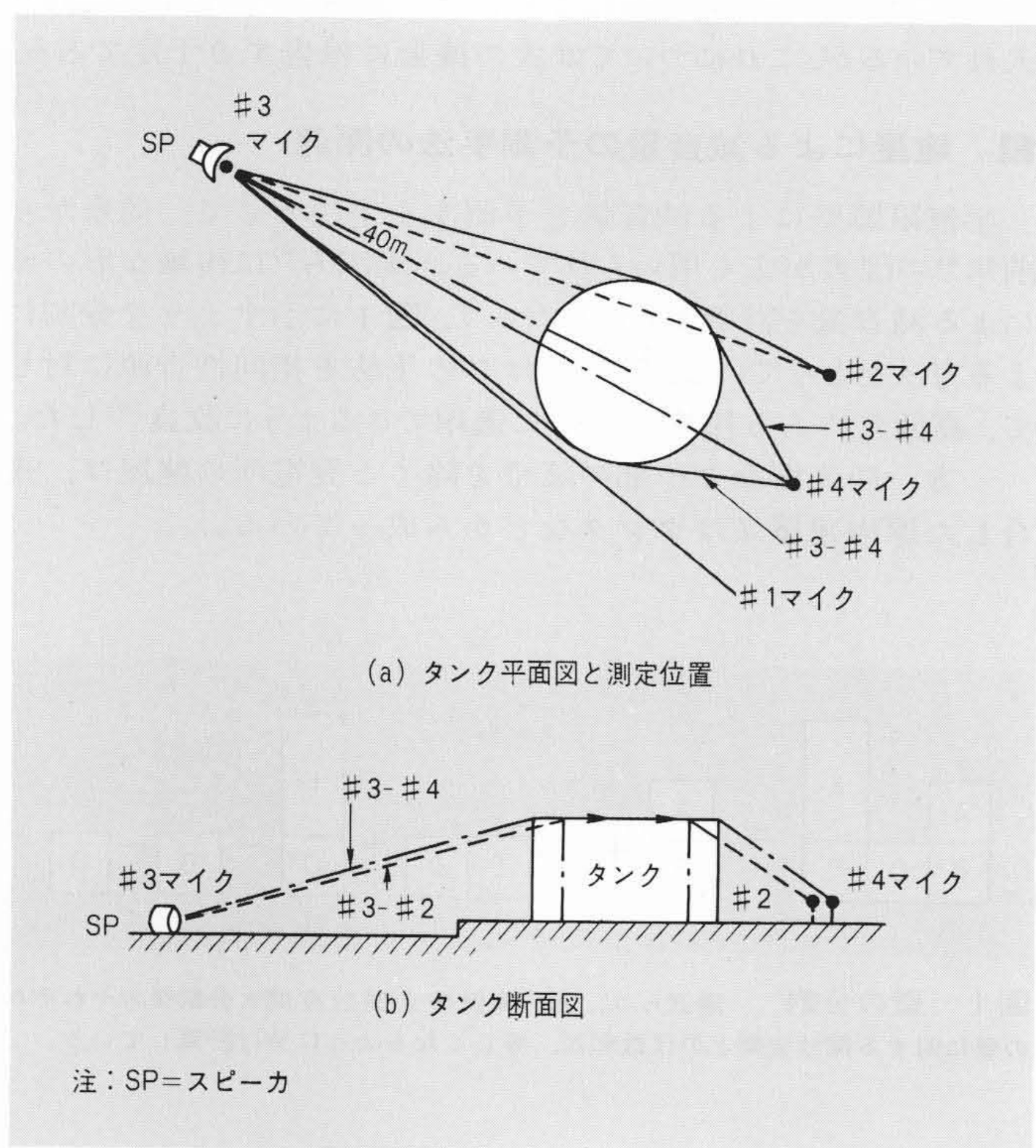


図2 タンクの音響伝搬経路 タンク前方40mの位置にM系列信号を入力としたスピーカを置き、その前方のマイク#3とタンク後方の各マイクとの伝搬経路を相互相関法により決定した。

表1 基本的相似則 r 及び m は、それぞれ実物及び模型を示すもので、音響模型実験の基本的相似則である。

諸 元	関 係
長 さ	$L_m/L_r = 1/m$
周 波 数	$f_m = n f_r$
時 間	$T_m = T_r/n$
音 圧	$P_m = P_r$
粒 子 速 度	$U_m = U_r$

それぞれの伝搬経路が把握できる。

タンクの両側の#1マイクと#2に対しての伝搬経路についても同様に良い結果が得られた。このように関連技術を駆使して音源からの伝搬経路を把握し、上記予測手法の考え方が妥当であることを確認した。

4.2 縮尺模型実験

空気中での音響模型実験の基本的な相似則は¹²⁾、基本相似

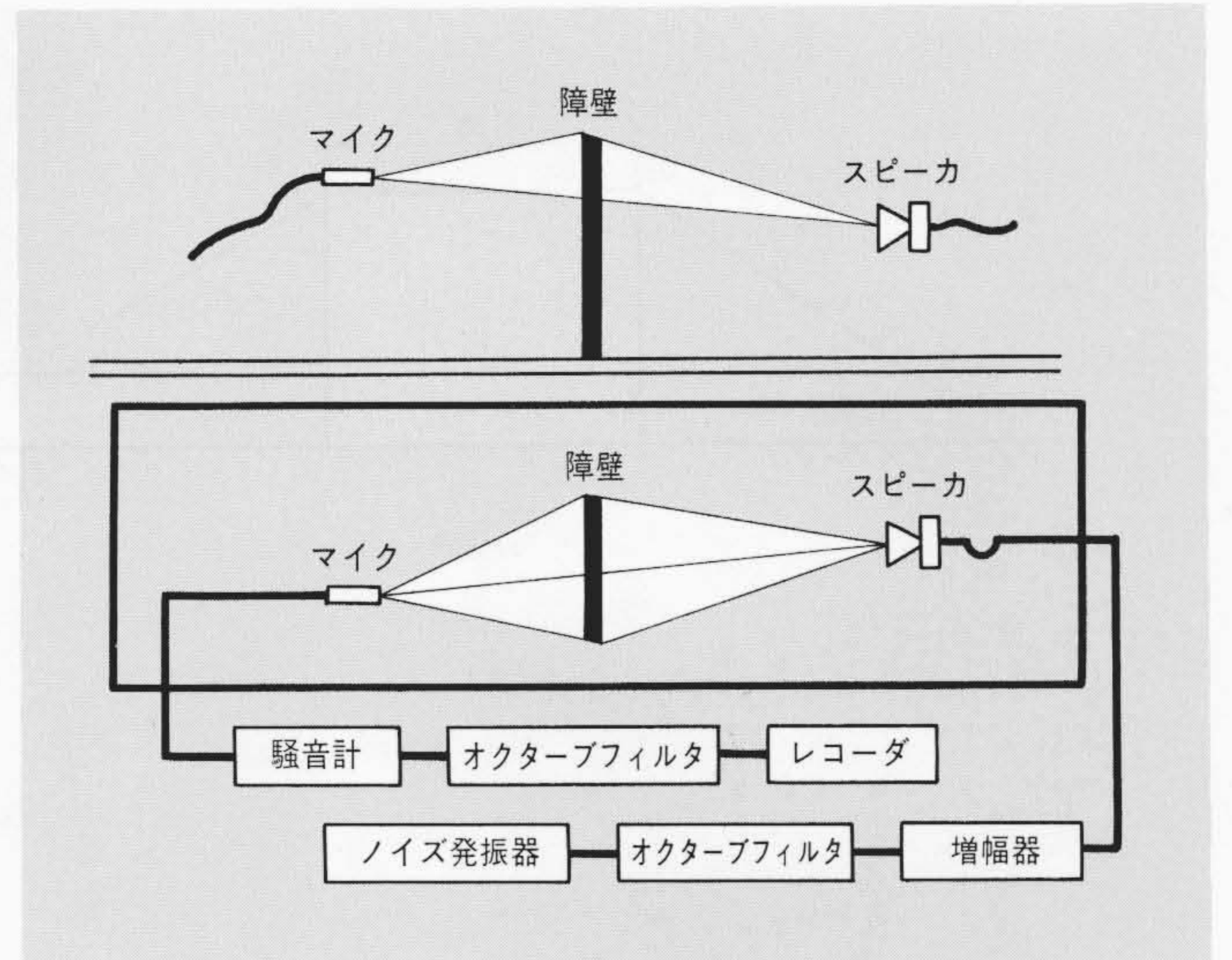


図4 模型実験のブロック図 障壁によるしゃへい効果を、バンドノイズを用いて模型実験により求めるものである。

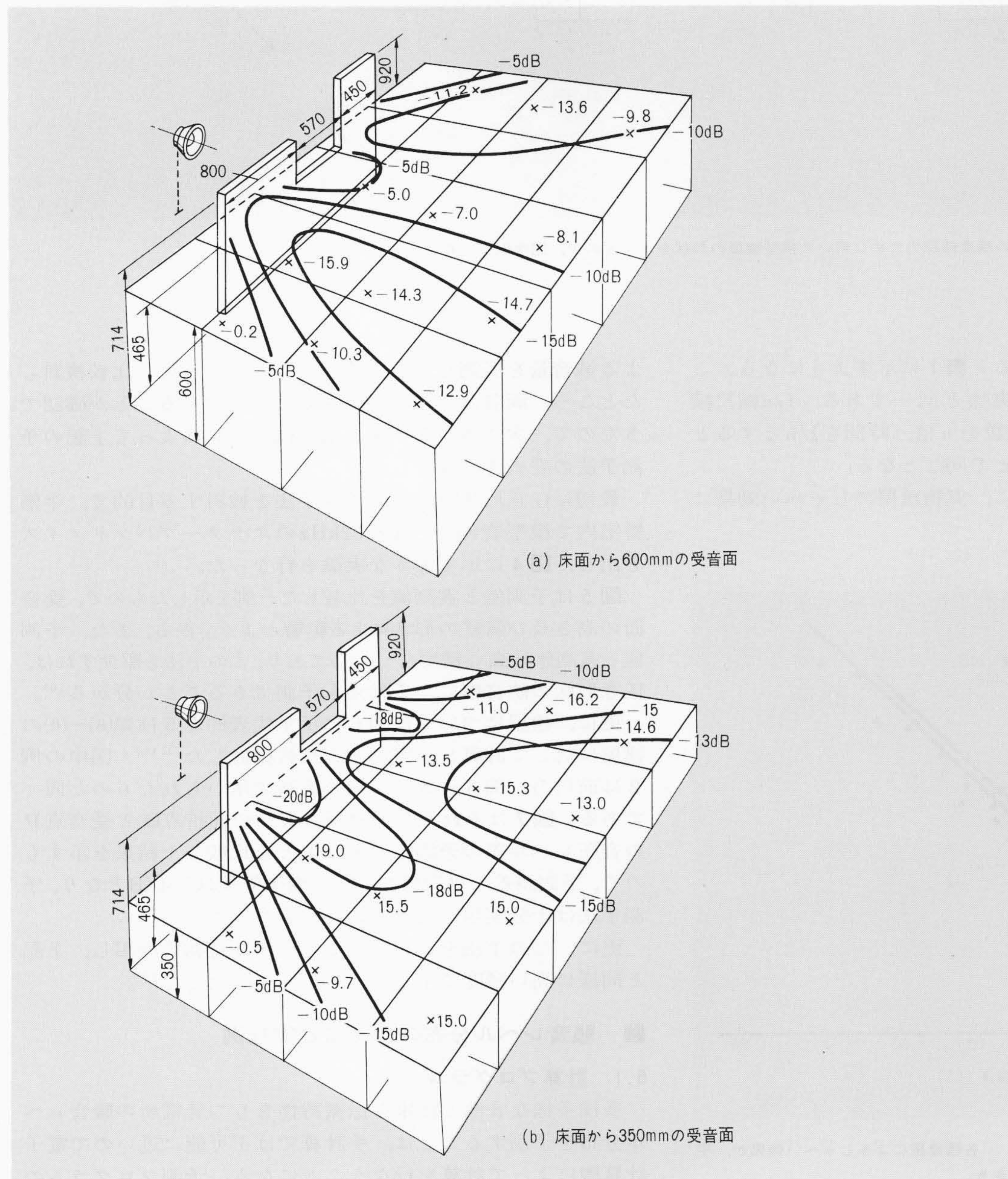


図5 障壁によるしゃへい効果の予測 複雑な障壁によるしゃへい効果を予測したもので、受音面の位置により結果が異なる。実測値(図中の×印)と比較した結果、予測精度が高いことが確認できる。

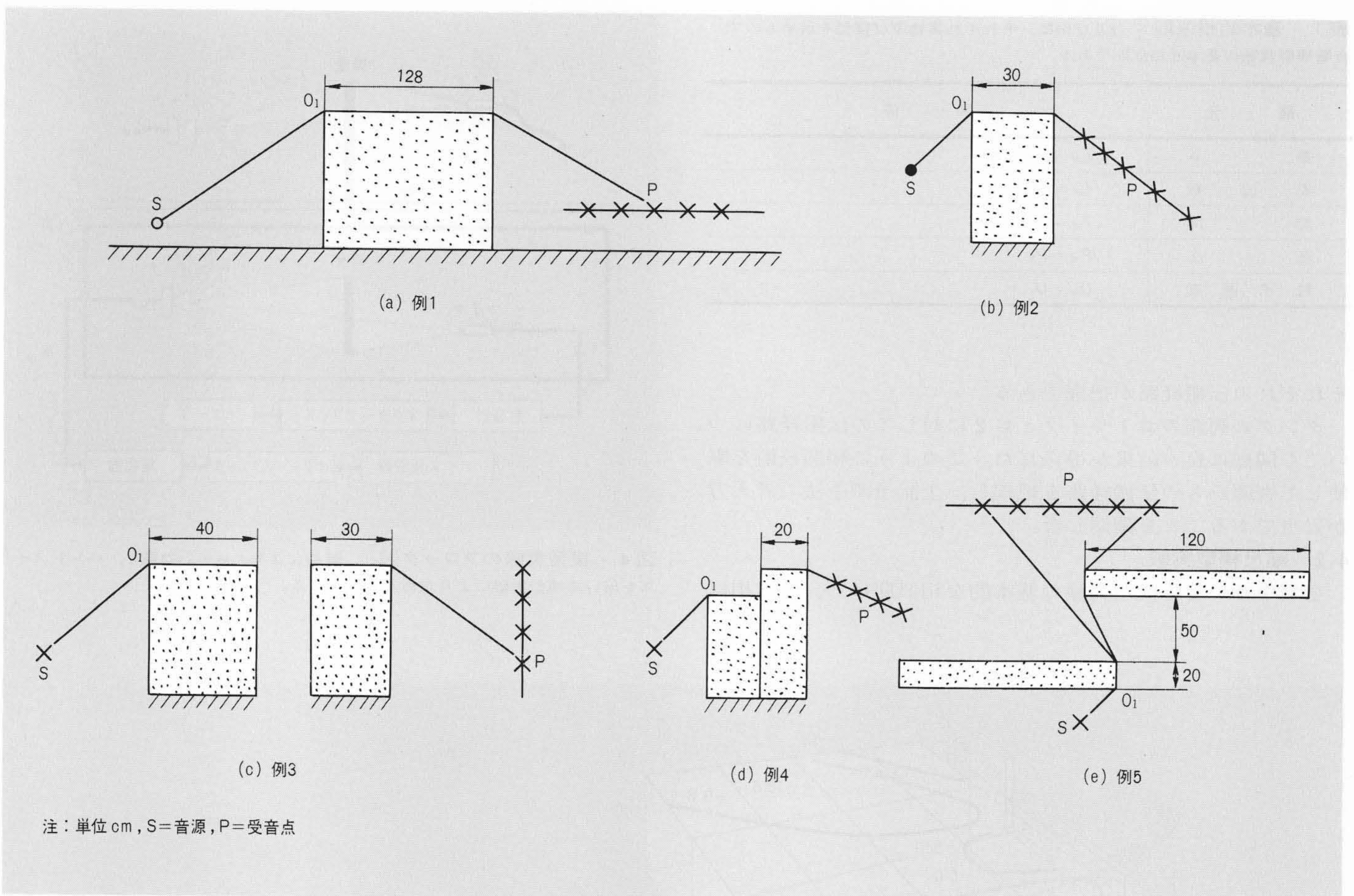


図6 各種模型建屋 本予測法の精度確認のために用いた模型建屋の形状を示すもので、図中例1～4は側面図を、例5は平面図を示す。

比として幾何学的縮尺比をとると表1に示すようになる。ここで音速 C と空気の密度 ρ は実物と同一である。 $1/n$ 縮尺模型実験では実物に対して周波数を n 倍、時間を $1/n$ とすると音場の関係は実物と縮尺模型とで同じとなる。

上記の関係を確認するために、実物建屋のしゃへい効果に

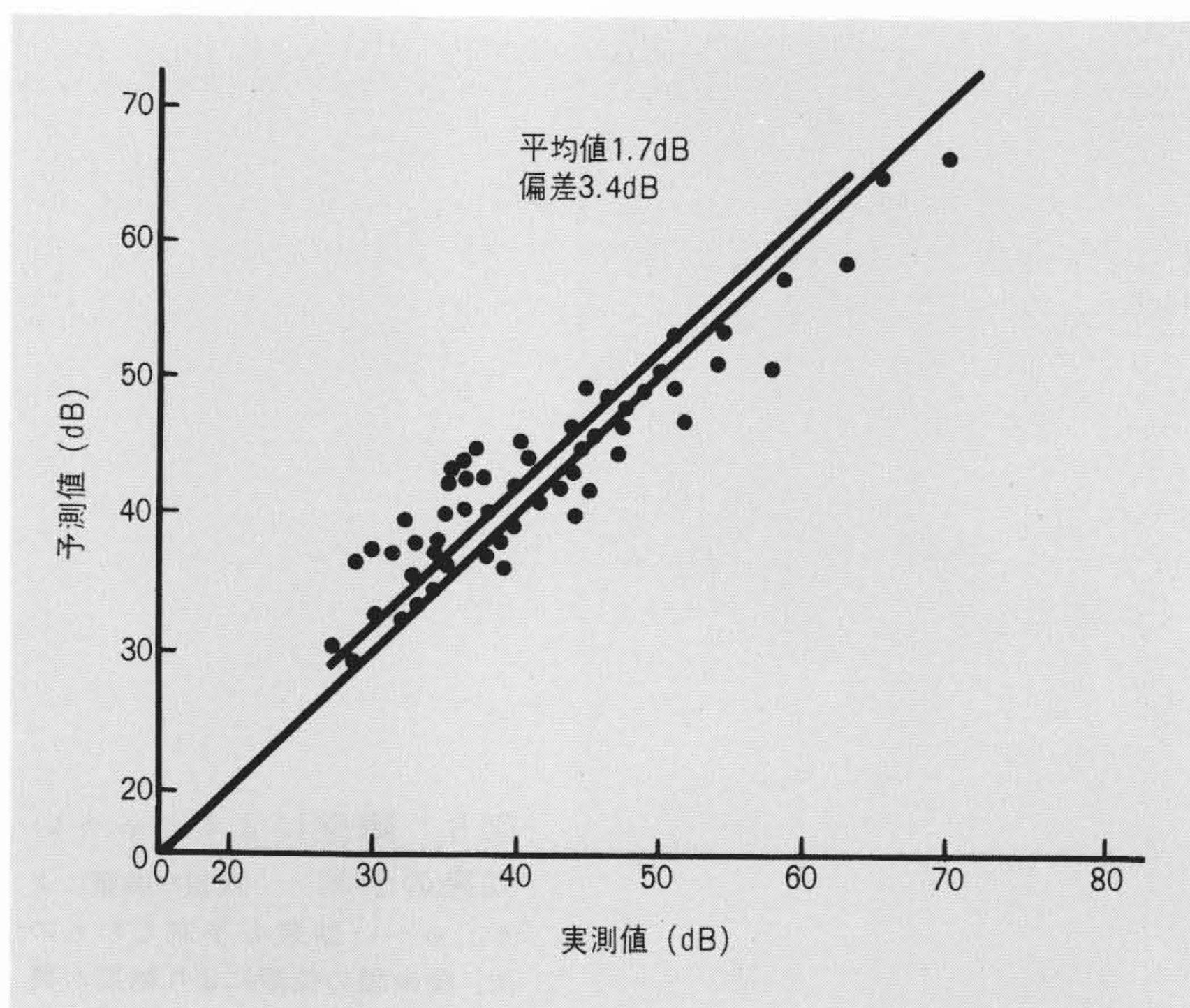


図7 しゃへい効果の予測誤差 各種建屋によるしゃへい効果が、平均誤差1.7dB、標準偏差3.4dBで予測できる。

よる減音量を実測し、その縮尺模型実験の結果と比較検討したところ、両者は誤差の範囲内でよく一致することが確認できたので、次に述べる一連の縮尺模型実験によって上記の予測手法の妥当性を検討した。

最初に任意形状防音塀の予測手法を検討する目的で、半無響室内で模型音源から4～32kHzのオクターブバンドノイズを出し、図4に示すような実験を行なった。

図5は予測値と実測値を比較した一例を示したもので、受音面の高さ及び障壁の形状による影響がよく分かる。また、予測値と実測値は高い精度で一致しており、この手法を駆使すれば、任意形状の防音塀による効果を予測できることが分かる¹⁰⁾。

更に、建屋については図6に示す代表的な5種類(a)～(e)の建屋に対して計算し、実測値と比較検討した^{7), 10)}。図中の例2は前川の、例3～5は湯沢の実験で用いられたものと同一である。図7はそれぞれの建屋の最初の回折点 O_1 と受音点 P の音圧レベル差の予測値と実測値とを比較した結果を示すもので、予測誤差の平均値1.7dB、標準偏差は3.4dBとなり、予測手法は十分実用に耐えることが分かった¹⁰⁾。

更に、この手法をタンクなどの円筒構造物に適用し、上記と同様に高い精度で予測できることを確認した¹⁰⁾。

5 騒音レベル分布の予測法と実施例

5.1 計算プログラム

多種多様な音源と複雑な伝搬特性をもつ発電所の騒音レベル分布を予測することは、手計算では不可能に近いので電子計算機によって計算を行なうことになる。予測プログラムの

入力データの概略は次に述べるとおりである。

- (1) 入出力を制御するデータ
- (2) 音源のデータ、例えばパワーレベル、指向特性など。
- (3) 伝搬特性の計算データ、例えば計算の対象となる建屋、タンク、防音塀などしゃへい物の形状と位置、地表など反射面の位置と反射率、気象条件など。

プログラムのフローチャートを図8に示す。入力データが読み込まれ、受音点と音源との位置関係をもとにして建屋間を騒音が伝搬する経路が決定された後、それぞれの経路に対して地表面などの反射、音源の指向性を含めた建屋による影響が計算される。更に、空気中の吸収など気象条件による補正をした後、すべての音源に対して総合音圧レベルが計算される。

出力は最終的に発電所周辺の等騒音レベル線図が描かれ、建屋の輪郭、道路、境界線、その他の目標物なども自由に描かれる。また各受音点での影響度を出力することもできる。

5.2 騒音予測の実施例

複雑な予測プログラムを開発しても、その予測値が実測値と一致しなければ意味がない。実在する火力発電所について計算し、実測値と比較した一例を図9に示す。実測値と予測値の差は一部の音源の近傍を除いて2 dB程度で、満足すべき精度であることが分かる⁵⁾。この予測プログラムを用いることにより大部分の発電所騒音を予測することができるが、複雑に入りくんだ高低差の多い地形の影響については、縮尺模型を用いたほうが精度の高い予測ができる場合がある。一例として脱硫装置4基の対策の効果を予測するために行なった $\frac{1}{128}$ 縮尺模型を図10に、測定結果の一例を図11に示す⁵⁾。このような縮尺模型実験と予測計算とを適当に組み合わせることが、騒音の予測及び対策上重要である。

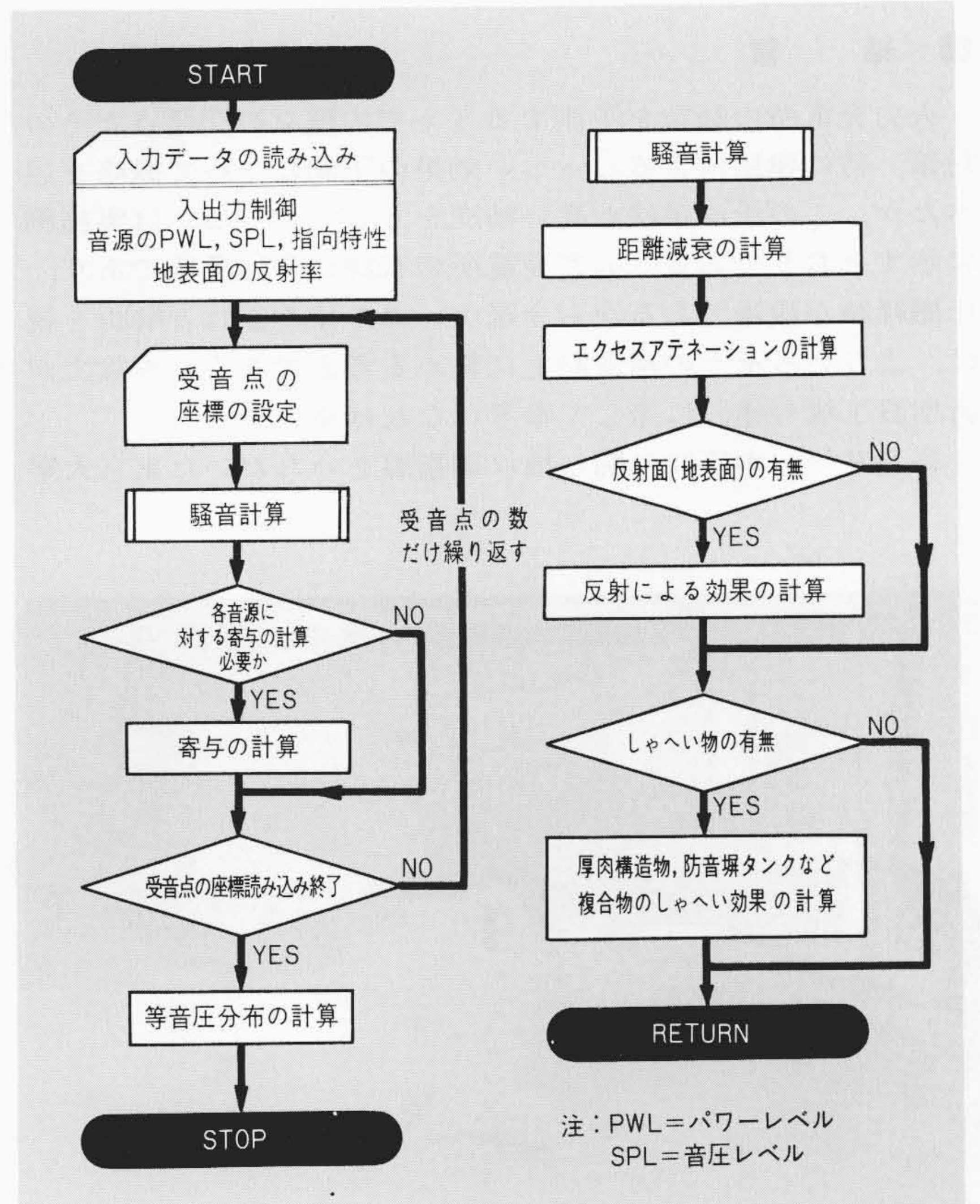
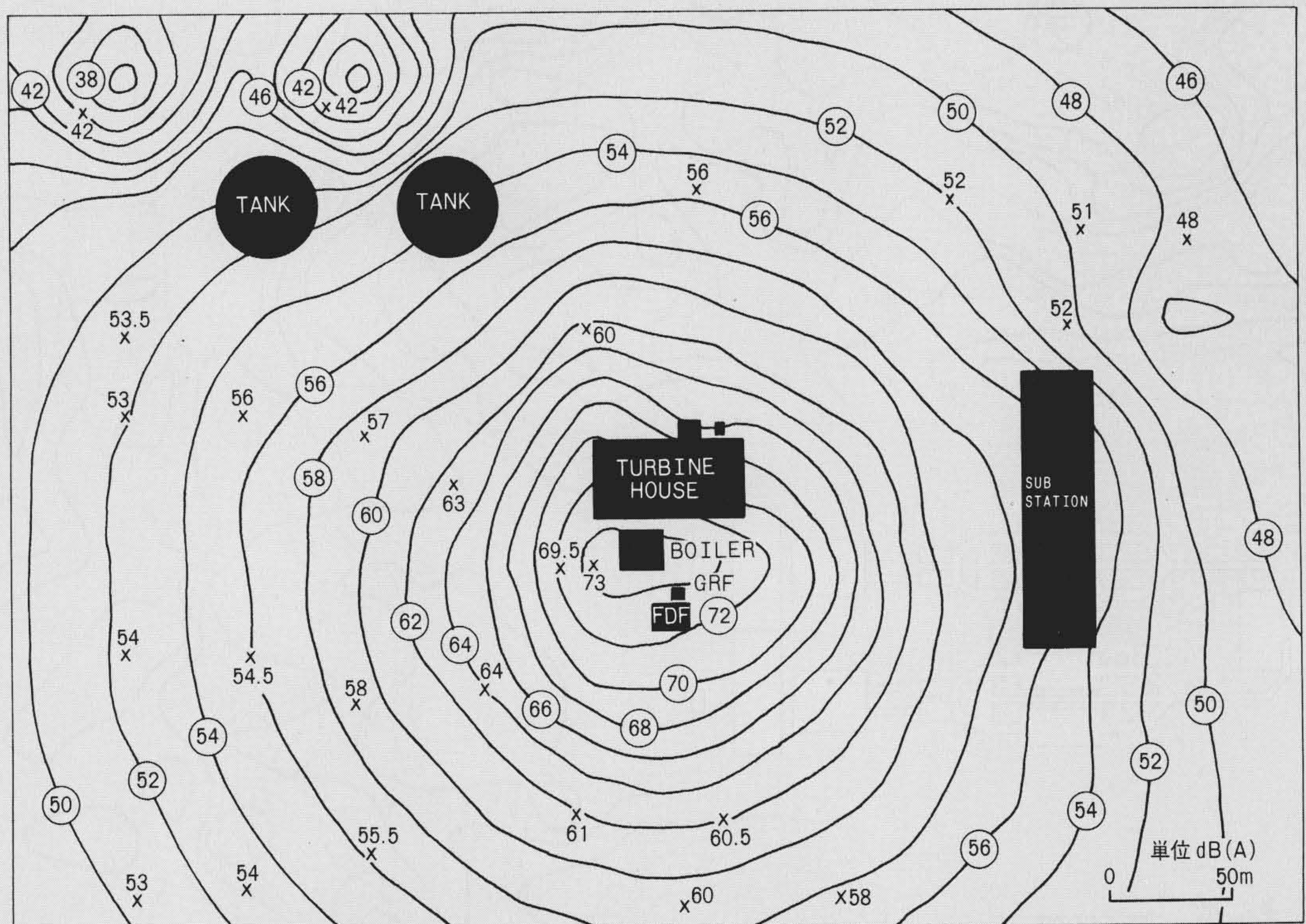


図8 予測プログラムのフローチャート 予測プログラムの計算手順を示したもので、受音点の座標が読み込まれ、その点での距離減衰、エクセスアテネーション、しゃへい効果などを計算後、等音圧レベル線図が描かれる。



注: GRF=Gas Recirculating Fan, FDF=Forced Draft Fan

図9 火力発電所の等騒音レベル分布の予測及び実測 火力発電所の騒音を予測し、実測値と比較した結果の一例を示すもので、高精度の予測ができるようになった。図中の×印は、実測値を示す。

6 結 言

火力発電所の騒音を予測するうえでの種々の問題点とその対策，特に建屋によるしゃへい効果の予測について概略を述べたが，この予測手法が高い精度をもっていることは実施例に示すとおりである。火力発電所の音源が多種多様であり，伝搬経路が複雑であるから今後データの積み重ねと解析を続け，よりいっそうの精度向上に努める考えである。本論文が新增設工場の建設に際して参考になれば幸いである。

終わりに，本研究に関し種々御指導をいただいた東京大学

生産技術研究所工学博士石井教授，工学博士橘 助教授及び神戸大学工学博士前川教授，並びに東北工業大学湯沢教授に対し厚くお礼申しあげる。

参考文献

- 1) 井川：工場周辺における騒音予測，日立評論55，67～70（昭48-4）
- 2) 下出ほか3名：ガスタービン発電プラントの騒音予測，日本ガスタービン学会誌，4，16，14～21（昭52-3）
- 3) 伊藤，平松，青木：火力発電所の防音計画と対策，日立評論，55，73～78（昭48-4）
- 4) T. Hiramatsu and I. Aoki：Plans and Schemes for Noise Control at Thermal Power Plants. 231, Proc. of Inter-noise 75 (1975, Aug.)
- 5) 井川，下出：複雑な建屋回折を考慮した音場予測と実測との対比 日本騒音制御工学会講演論文集（昭52-11）
- 6) Beranek：Noise Reduction 185～205 (Mc Graw-Hill Book Company 1960)
- 7) 湯沢ほか2名：多重障壁の減音効果 日本音響学会誌，31，538～547（昭50-9）
- 8) 前川：有限障壁（衝立）による騒音の回折 日本音響学会誌，21，1～7（昭40-1）
- 9) 湯沢：ナイフ又は直角エッジをもつ種々の形の有限建造物による騒音減衰 日本音響学会誌，32，3，139～146（昭51-5）
- 10) 下出，井川：構造物によるしゃへい効果の研究その1～3 日本音響学会講演論文集（昭52-10）
- 11) 平松：相関解析技術を応用した最近の振動騒音源の調査実例 日本機械学会関西支部第73回講習会教材（昭52-6）
- 12) 橘，石井：音響模型実験における相似則と実験手法 日本音響学会誌，32，621～630（昭51-10）

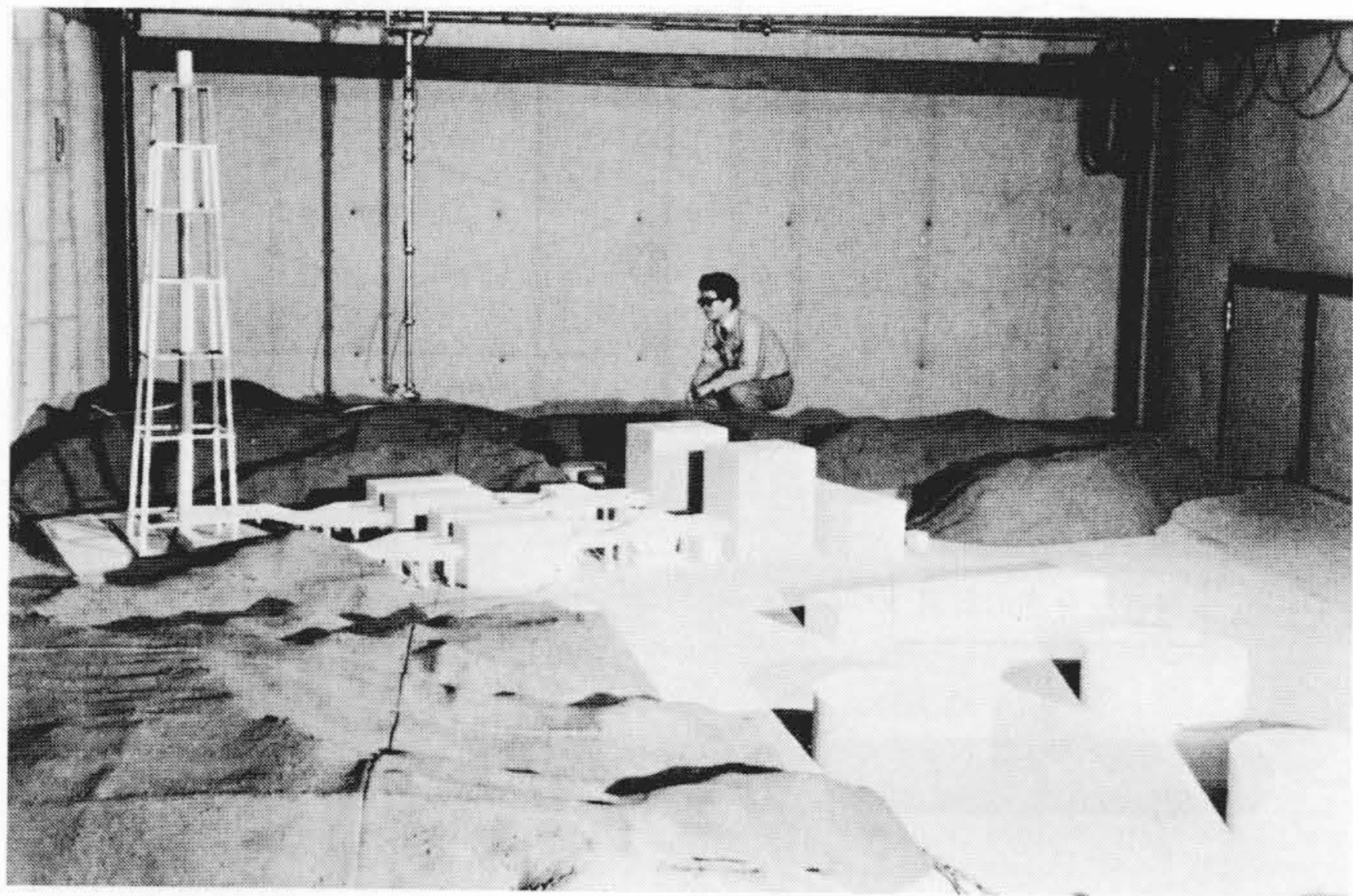


図10 火力発電所の縮尺模型の一例 騒音対策を施した脱硫装置4基からの音波伝搬特性を縮尺模型実験により把握する。

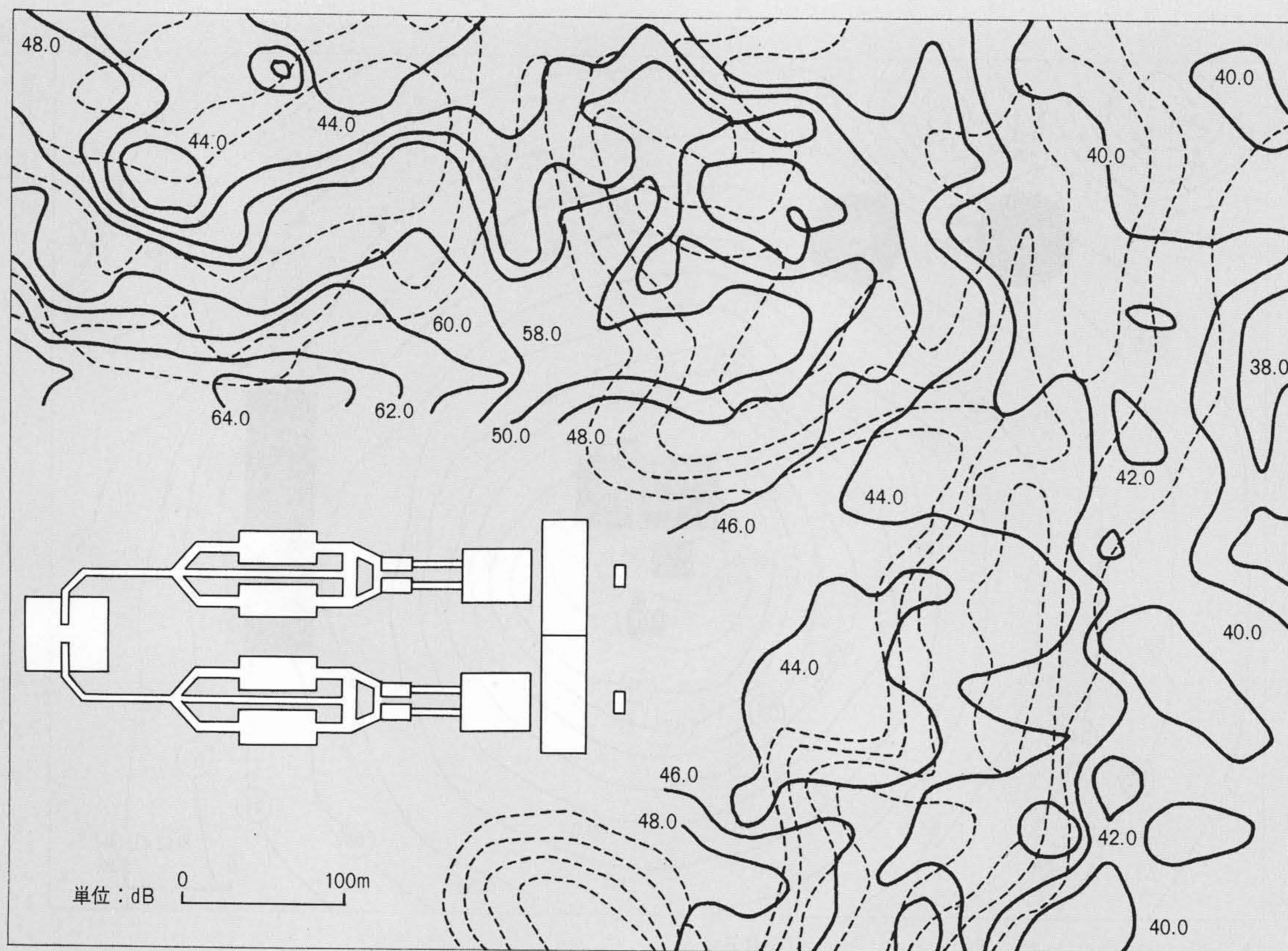


図11 $\frac{1}{128}$ 縮尺模型による火力発電所の等音圧レベル分布の予測例 縮尺実験結果をもとに，等音圧レベル線図が描かれている。図中の実線は63Hz帯域の等音圧レベル線を，点線は山の等高線を示す。