

UDC 533. 6. 07:  
534. 83

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-420

風洞設備の防音技術

— 大型低速風洞騒音対策 —

高橋 宏 ・ 伊藤 忠  
野口 正芳 ・ 野中 修

1980年8月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# 風 胴 設 備 の 防 音 技 術\*

## — 大型低速風胴騒音対策 —

高 橋 宏\*\*

伊 藤 忠\*\*

野 口 正 芳\*\*

野 中 修\*\*

### 1. ま え が き

航技研の大型低速風胴<sup>1)</sup>(測定部 $6.5\text{m} \times 5.5\text{m}$ )は、昭和40年の竣工以来、V/STOL機の研究や航空機その他飛しょう体の低速領域における空力特性試験、あるいは実用機の開発試験に広く利用されているが、図1に示すような場所に設置されていて、年ごとに敷地境界に隣接して民家が立並ぶようになり、風胴の送風機や胴体各部から発生する騒音を防止する必要に迫られた。

とくに、当研究所を含む周辺の地区は、第2種住宅専用地域として用途指定され、それに準拠した公害防止の規制をうけるため、研究所内で比較的大きな騒音源となる各種風胴やその他の研究設備に対して、昭和48年以来、公害、とくに騒音対策の計画が進められてきた。

本大型低速風胴については、昭和38年の建設計画当初から騒音防止を考慮して、屋外に露出する部分は製作上可能な限りコンクリートで風路を形成し、また、送風機の鋼構造ケーシング部は、全周をコンクリート製の防音

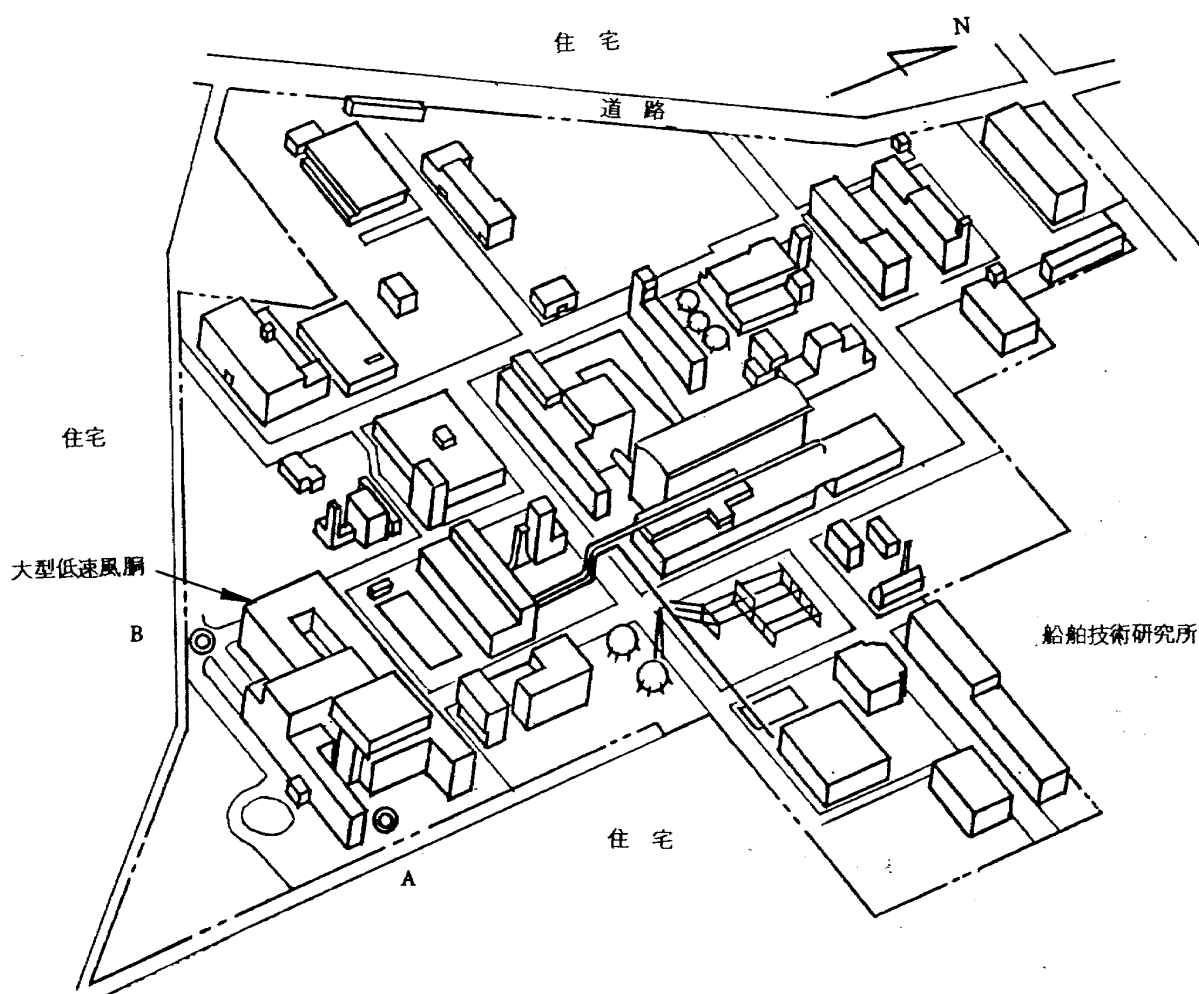


図1 構内案内図

\* 昭和55年5月24日受付

\*\* 空気力学第二部

壁で覆う等、風胴外部への騒音伝搬を防ぐように対策を施した。

しかし、前述のような経過と立地条件のなかで、本風胴の運転時の発生騒音が図1のAおよびBの地点でそれぞれ63dB(A)、55dB(A)となるため、環境騒音を勘案して、適切な騒音対策が必要であり、さきの騒音対策の年次計画の一環として、昭和53年度に防音工事を実施した。

本報告では、大型低速風胴から発生する騒音の調査と騒音対策の基本計画から実施に至る経緯、さらに防音工事施工後の成果と今後の問題点についてのべる。

なお、風胴建設当初に実施した送風機の防音壁についても略記して参考にする。

## 2. 風胴諸元

大型低速風胴の主要諸元は、つぎのようなものである。

測定部寸法	6.5 m×5.5 m (半密閉)
	5.6 m×4.6 m (自由噴流)
測定部風速	60 m/s (半密閉, 常用最高)
	25 ± 4.4 m/s (周期2秒)
送風機	可変節, 単段軸流送風機
	動翼の直径 9.3 m, 羽根数 10 枚
	風量 2.020 m <sup>3</sup> /s, 全圧差 100 mmAq
	〃 1.400 m <sup>3</sup> /s, 〃 140 mmAq
駆動電動機	同期電動機
	容量 11 MV, 3.000 kW

回転数 214 rpm

## 3. 騒音源

一般に、送風装置で発生する騒音の主要因として、つぎのものがあげられる。<sup>2)</sup>

### 1) 渦騒音源

- a 送風機動翼など、移動する物体の後流
- b 開口部を通過する脈動気流
- c 噴流
- d 物体表面上への気流の衝突
- e 乱流境界層
- f 粗い表面上の流れ
- g 隅角部を流れる乱れた気流

### 2) 純音音源

- a サイレンに類する反復パルス
- b エッジ・トーン
- c 振動片や空洞のように調律された機械系の振動

### 3) 二次的騒音源

- a ベアリングやギヤ等の機械摩擦
- b 送風機やブロワの動翼の不具合による力
- c 気流による仕切板や周壁の振動

本大型低速風胴に於ては、図2のような各部によって構成されているため、騒音源として、送風機の動翼と静翼、コーナー・ペーン、整流格子、整流金網、制御弁等の気流にさらされる部分、また、風胴壁面の境界層や気

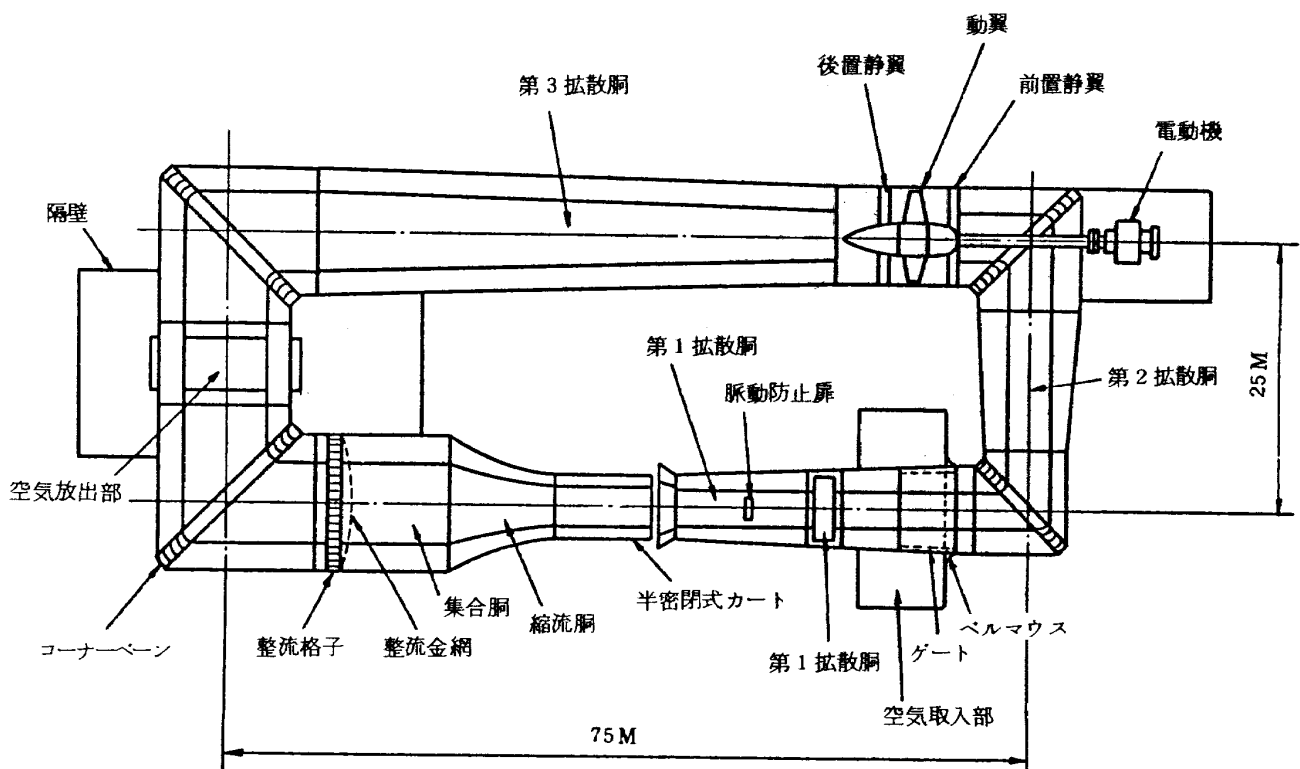


図2 大型低速風胴配置図

流自体の乱れと胴体壁面の振動、さらにポンプや空気圧縮機等の補機類の機械音が考えられる。

とくに卓越した騒音源として、送風機まわりと測定部下流の制御弁を含めた比較的気流が高速になる風路部分があげられる。

まず最初に取上げられる本風胴の送風機は、可変節すなわち動翼のピッチ角を変更して送風量を制御する方式をとっていて、回転数一定(214 rpm)で、測定部風速が60 m/sとなる作動点を主設計点としている。

試運転時に行った騒音測定の結果、風胴測定部の風速を低下させても、すなわち送風量を減少させても発生音が低下せず、むしろ増大する場合が認められた。

これは、騒音発生に最も大きな影響を及ぼす翼車の周

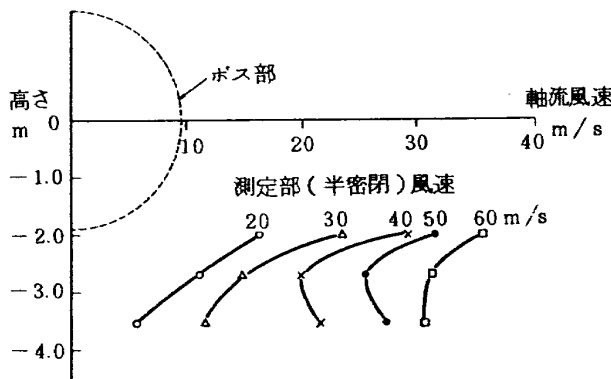


図3 送風機下流風速分布

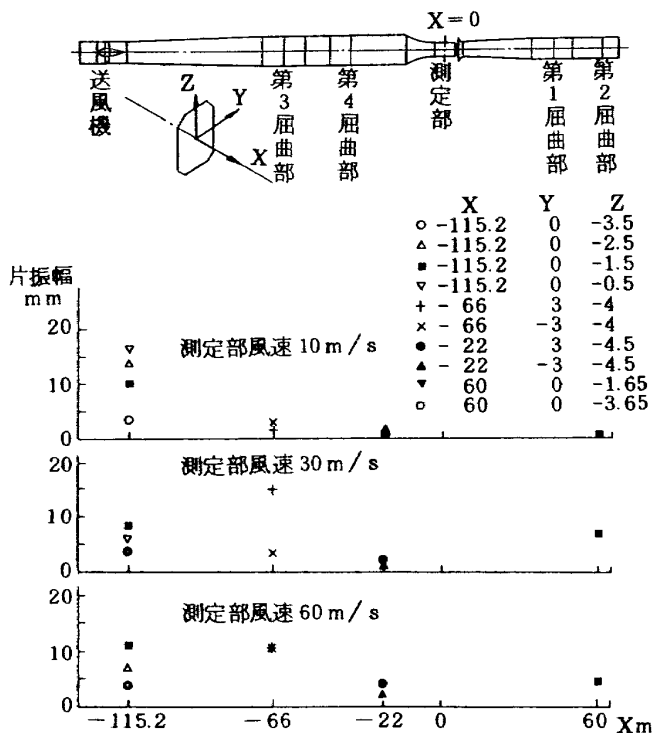


図4 風胴気流変動

速<sup>3)</sup>が一定であるため、送風量の変化による発生騒音の増減が小さいうえ、ピッチ角変更の結果、とくに動翼先端部の翼葉における迎角が適正をかくため、ボス部周辺の気流の剥離によるものと考察される。

また、騒音に限らず図3および図4に示す送風機下流の気流観測結果<sup>4)</sup>でも、送風量が設計点(測定部風速60 m/s)を外れると気流の一様性を失ったり、気流変動が不規則に増減する現象が見られる。

図5は測定部を開放型とした自由噴流の場合の、風胴測定部近傍の騒音を示すものであるが、この測定の結果では、測定部風速が37 m/sの場合に騒音が一番大きい値になっている。

以上のように、本大型低速風胴が発生する騒音は、送風量が最大のときに最大値をとるとは限らない。ただし、風胴設備の周辺や敷地境界に及ぼす騒音について検討する場合には、風路内気流による風胴壁の振動が原因になる二次的発生騒音も無視することはできない。そのため、騒音対策を立案するのに先立って、対象受音地点のそれぞれに寄与する風胴各部からの騒音を適格に把握して、個々の場所で送風量の変化による相違も確認する必要がある。

#### 4. 送風機の発生騒音と防音壁

本風胴の防音壁は、形状が非常に大きいため、ケーシングは現地で組立て製作したもので、さらに送風機の気流方向の両端に接続する風胴胴体部分を、送風機に先行して現場製作するなど、施工上の手順から送風機単体の

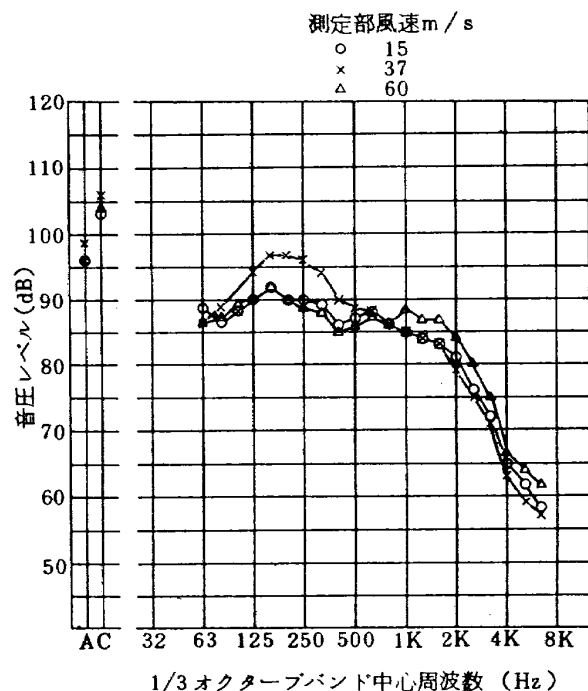


図5 測定部(自由噴流)騒音

発生騒音を直接測定することができなかった。

ただし、送風機設備完成後、測定部に固定壁カートを使用して半密閉型測定部とした場合の測定部の騒音については、比較的多くの測定結果がえられているので、それらの値から送風機の音響パワーレベルを推算することができる。

いま、胴体内における騒音の伝搬について、送風機以外の風路部分で発生する騒音と風路内での騒音の減衰が単純に相殺するものと仮定して送風機の音響パワーを求め、一般に用いられている送風機騒音の大きさ  $PWL$  を求める概算式<sup>5)</sup>

$$PWL = PWL_0 + 10 \log_{10} Q P_t^2$$

で求められる値との比較を試みると、図 6 のようになる。

式中の  $PWL_0$  は、送風機の型式できまる比音響パワーレベルで、軸流送風機では通常 54～56 dB とされる。本送風機の場合は 55 dB として計算した。 $Q$  は送風量  $m^3/s$ 、 $P_t$  は送風機の全圧  $mmAq$  である。

図によっても、既に述べたとおり本送風機は送風量と発生騒音の間に一定した関係が認められないことが判る。むしろ、送風量が少ない範囲では、概算値を上廻る騒音を発生し、送風量が増加して設計作動点（測定部風速 60 m/s）に近づくに従って概算値より下廻る傾向にあることが認められる。

また、本風胴に数年遅れて当研究所に設置された、

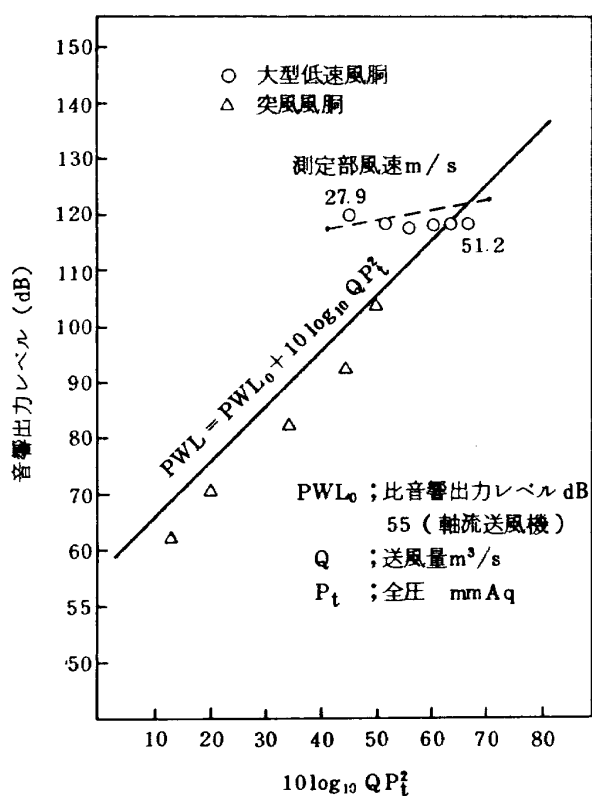


図 6 送風機騒音

2 m × 2 m 突風風胴における送風機の音響パワーレベルを同図に付記したが、概算値に比較的良好に合っているのが判る。これは、突風風胴の送風機が、動翼の取付を固定して回転数制御による風胴測定部の風速設定を行って、最高効率付近での騒音を対象とする概算式の作動条件に適合しているためと判断される。

なお、軸流送風機の発生騒音が動翼の後流渦によるもので、dipole の音場に属する<sup>2)3)</sup>ものとして、回転する丸棒や回転翼における音響パワー  $W$  を求める式<sup>6)</sup>を転用することが考えられる。すなわち、

$$W = k \frac{\rho}{C^3} (C_d \cdot S_t)^2 V^6 h L \quad \text{watt}$$

で、発生騒音が周速の 6 乗に比例する量となり、前出の概算式の周速の 5 乗で与えられる場合と異っている。

上式中、 $k$  は定数、 $\rho$  は空気密度 ( $kg/m^3$ )、 $C$  は音速 ( $m/s$ )、 $C_d$  は動翼の形状抵抗係数、 $S_t$  はストロハル数、 $h$  は動翼翼型の厚み ( $m$ )、 $L$  は動翼の全長 ( $m$ ) である。

本送風機に対して、風胴測定部風速が 10 m/s と 60 m/s の 2 点に対応する条件で推算を試みたが、 $V$  は動翼直径の 70 % の位置の周速<sup>3)</sup>を採り、 $k$  は文献 6 における板状翼が 0° および 25° の取付角をとったときの実験値をもとに算出して適用し、 $C_d$  は 0.01～0.02 とし  $S_t$  は 0.18 を採用した。

その結果、音響パワーレベルに換算すると、図 6 の破線で示すような値になった。すなわち、測定部風速が 10 m/s あたりでは 117 dB、60 m/s では 123 dB になった。本送風機のように回転数が一定で動翼の取付角を変更する方式をとる送風機では、周速を基準とする上式が、比較的適用しやすいものと判断される。

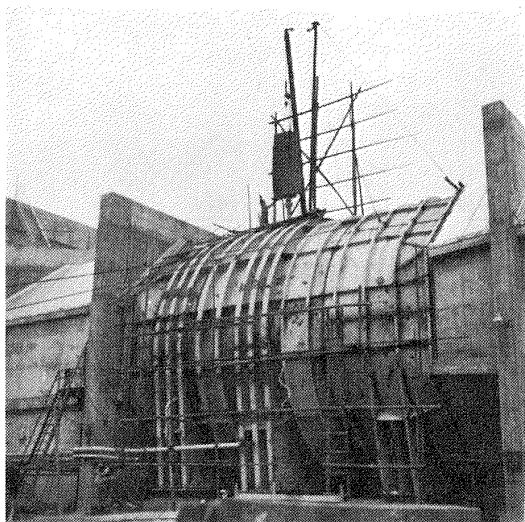
大型低速風胴は大規模な設備であるため、風胴建設当初から送風機が大きな騒音源になると予測され、とくに構内の研究棟や敷地境界が隣接しているので、送風機に対して防音壁を設けるように計画した。

防音壁は、厚さ 150 mm のコンクリート製の壁で送風機全体を覆うものとし、内面には木毛セメント板張りを施した。

図 7 は、防音壁の施工前後の状況を示すものである。

送風機のケーシングから 14 m 距った地点（図 9 の D 地点）で、防音壁施工前後にそれぞれ測定した騒音レベルを比較して図 8 に示した。

150 mm 厚のコンクリート壁の場合、一般に用いられる Mass Law<sup>3)</sup>によって騒音減衰を予測すれば、500 Hz で 40 dB 以上の減衰が期待されることになるが、本防音壁の場合は 15 dB の減衰に止まっている。



送風機組立



防音壁施工後

図7 送風機防音壁

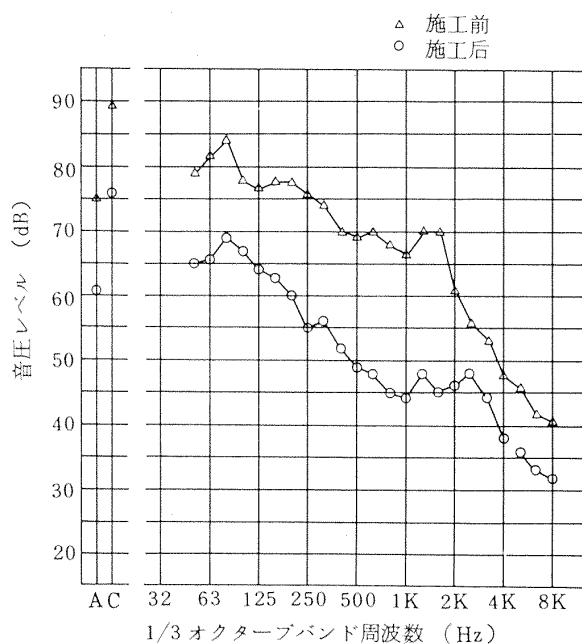


図8 送風機防音壁の効果

これは、比較的近い位置に風胴胴体用の作業用マンホールや電動機室の出入口用シャッターがあり、これらを透過する騒音が合成される結果と考察される。

## 5. 風胴騒音の測定

前述のように、本風胴の送風機発生騒音が必ずしも送風量に比例して増減していないため、風胴各部から伝搬する騒音を把握する上で、送風量を変えて風胴周囲の敷地点で測定した。

測定地点は、図9に示すA、C、DおよびE地点で、測定結果は表1のようになった。胴体の壁やマンホールからの直接透過音と、壁などが振動して発生する二次的騒音源によるものとが考えられるが、この場合でも測定部風速が20m/s、あるいは40m/sあたりで騒音が最高値になるものがあり、風速に対して発生騒音が一定の傾向にないことが判明した。

なお、今回の大型低速風胴の騒音対策を計画した要因は、敷地境界における騒音対策にあるため、配置上最も近隣住宅への影響が大きいと判断されるA、Bの2地点を選び、これらの地点を受音点として計画を進めた。

まえがきでも説明したとおり、大型低速風胴の運転による両受音点の騒音レベルは、A地点で63dB(A)、B地点で55dB(A)であり、それぞれの周波数特性は、図10に示すものである。図にはE地点の測定結果も記入してあるが、参考値として加えたもので送風機上流側のマンホールからの騒音と電動機室内にある軸受シール空気用プレートファン等の補機類の発生する騒音が主因となって55dB(A)に達している。このマンホールとファンについては、別途に消音対策を進めているので本防音計画の対象から除外した。

A、Bの両受音点に達する騒音を低減する対策を立案するため、指示騒音計によって風胴の全域にわたって綿

表1 風胴周辺の騒音レベル

測定点	dB(A)			
	測定部風速 m/s			
	10	20	40	60
A	62	64	63	64
B	53	54	55	55
C	58	59	59	60
D	57	58	60	56
E	54	54	55	54

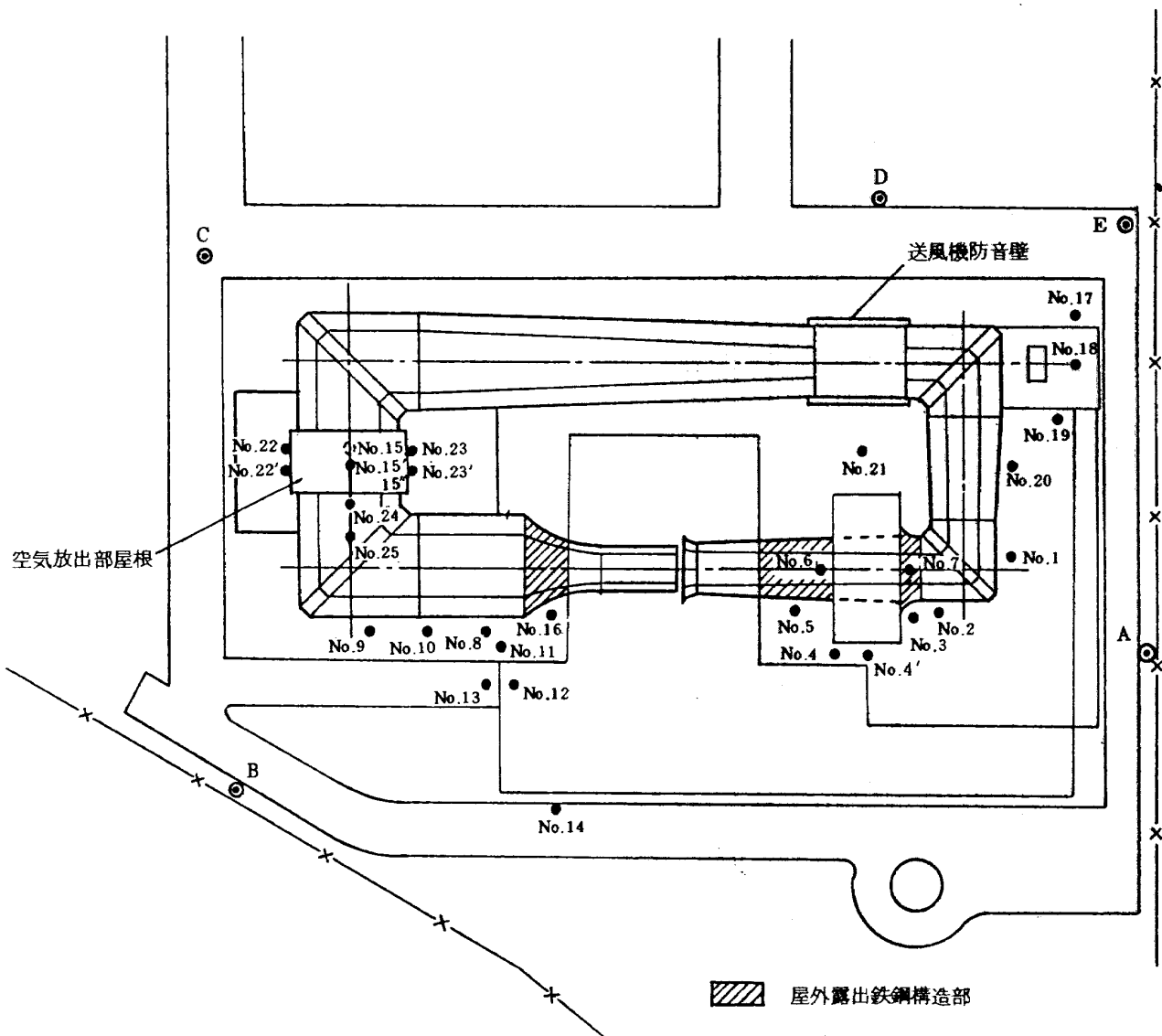


図9 風胴各部騒音測定点配置

密な騒音測定を行い、正確な騒音環境の実態の把握を期した。なお、前出表1の測定結果と、風胴実験計画に基づき試験風速を勘案して、騒音測定時の風胴測定部風速を40m/sに限定した。

騒音測定上、とくに付表的な地点として図9に記入しているNo.1～No.25の部位については、周波数特性も求めた。その結果は図11～図21に示すとおりになった。

図11におけるNo.8地点の値は、縮流胴からの騒音に加えて近くのマンホール（No.11の付近）からの影響をうけているため、1000Hz前後で高めになっていると判定される。図12の両地点とも、胴壁からの騒音のほかマンホール周囲のすきまからの風胴気流の洩れによる騒音が影響していると認められる。図13のNo.3地点は、鋼板製のベルマウスが露出している部分に近いので、最も高い値を示しているが、傾向は他の2地点と比較的に類似している。No.4'およびNo.21地点もそれぞれマ

ンホールに近いので、1000Hz付近でやや高い値を示している。図14のNo.5地点は制御弁に近く、この部分もさきのベルマウス部同様に鋼板製風路が屋外に露出していて高い値を示している。図15の両地点は、特殊な風胴実験の際に風路内に外気を取り入れるためのダンパーの付近で、ほとんど同じレベルを示している。図16のNo.16地点は、鋼板製の縮流胴の影響を直接うけている。図17のNo.18地点は、電動機室内のため、主電動機や油ポンプ、ベビーコンプレッサ、さらにプレートファン等があるので、特異な周波数特性を示している。

図18のNo.12とNo.13地点の間には、出入口用のシャッターがあり、No.12地点は直接に風胴測定部の影響をうけている。図19で、No.15地点は空気放出部の胴体真下の位置で、またNo.15'、No.22、No.23は上屋内の測定点である。これらの地点は、風胴の風路が必要に応じて外気に開放できるように、風胴壁上下面が水平

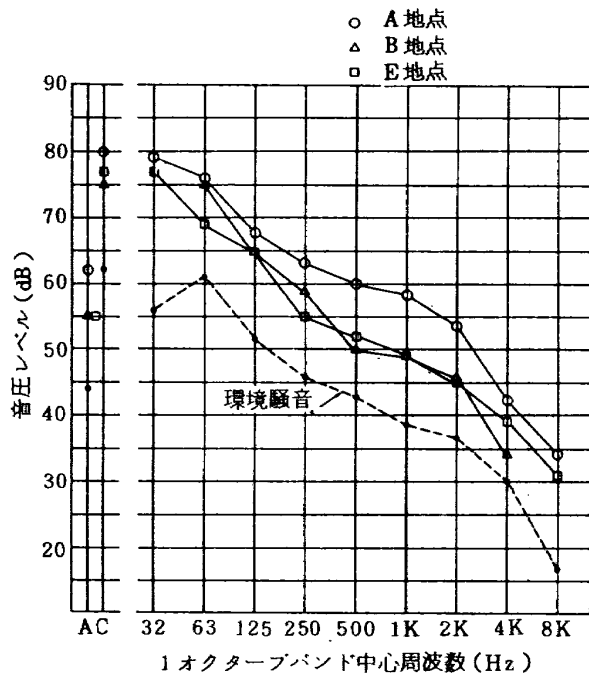


図 10 敷地境界付近の騒音

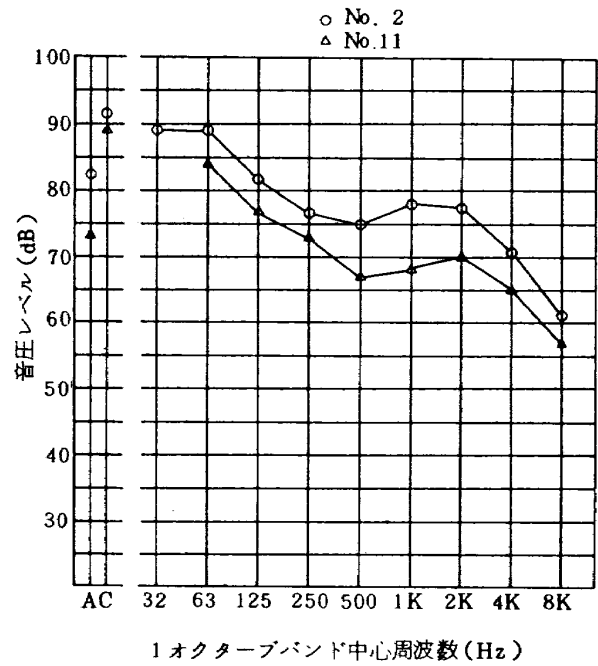


図 12 マンホール近傍の騒音

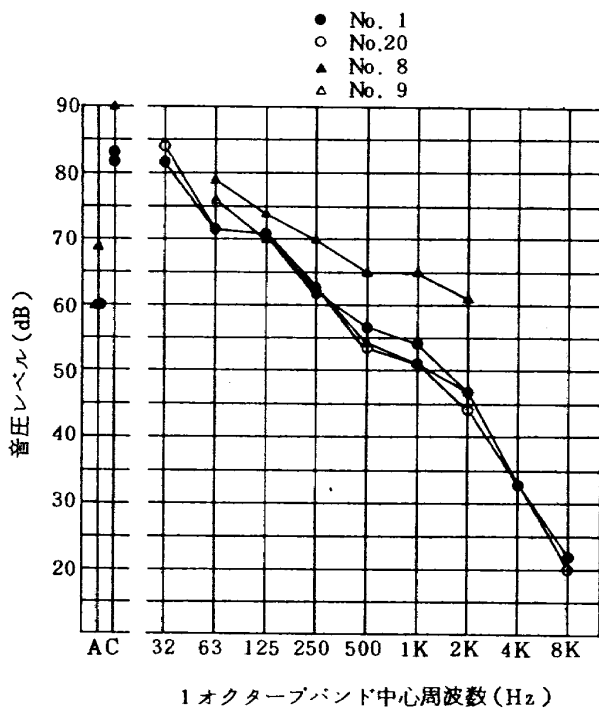


図 11 風洞近傍の騒音

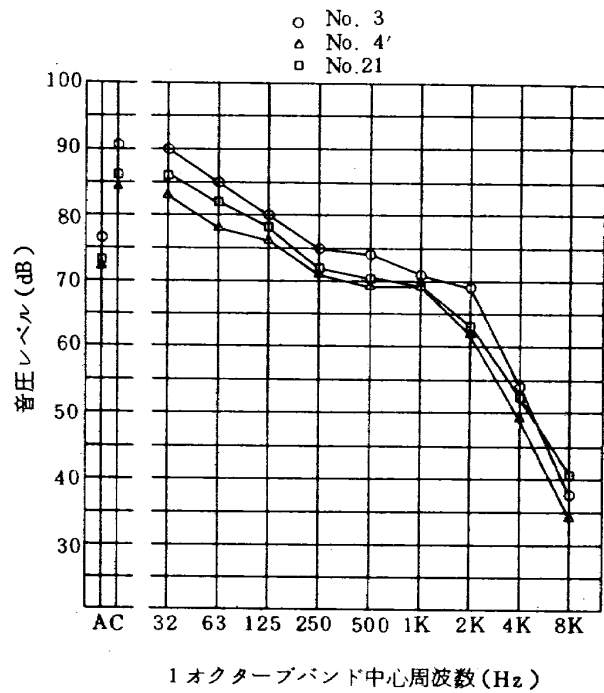


図 13 ベルマウス近傍の騒音



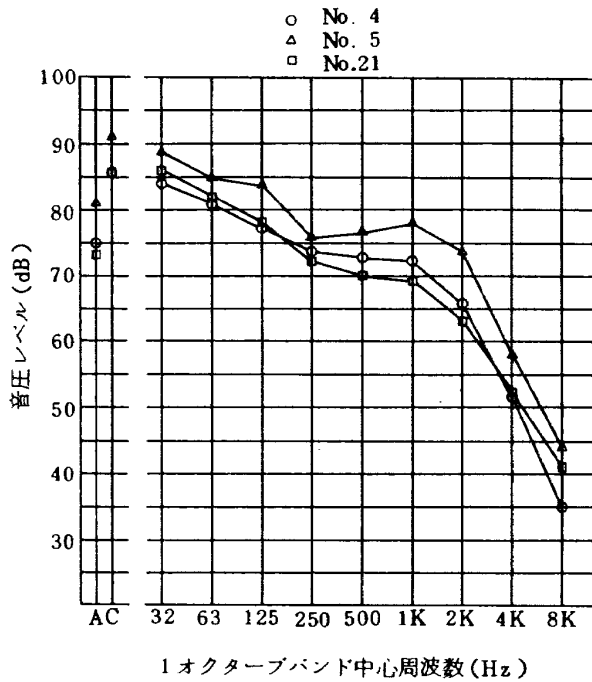


図 14 制御弁近傍の騒音

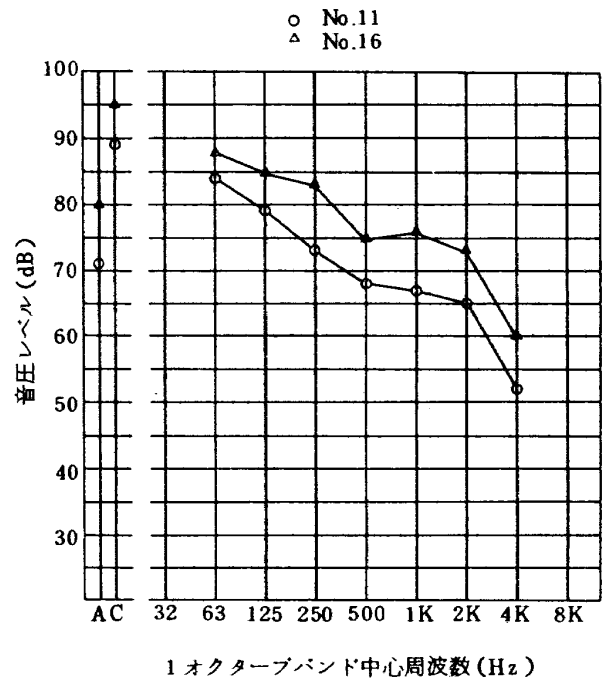


図 16 縮流胴近傍の騒音

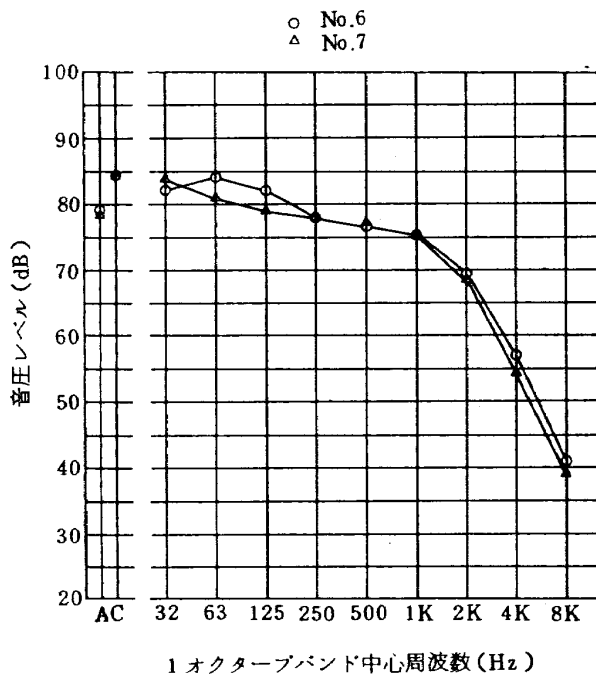


図 15 空気取入部 (ダンパー) 近傍の騒音

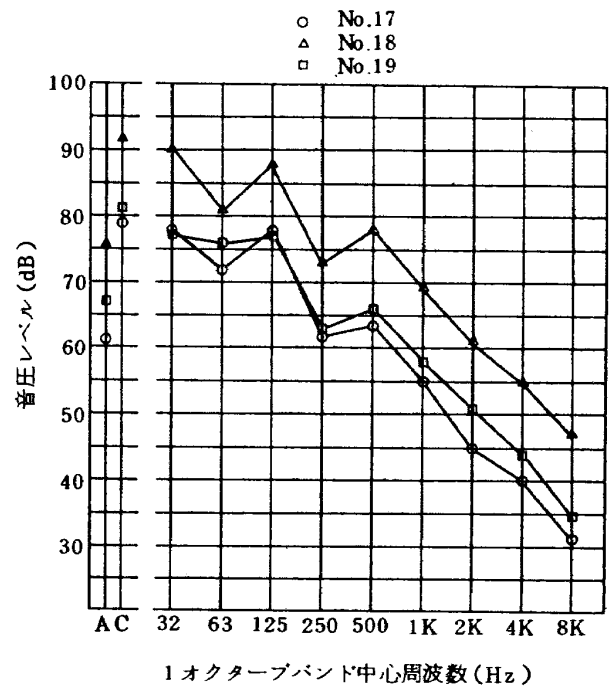


図 17 主動力室周辺の騒音

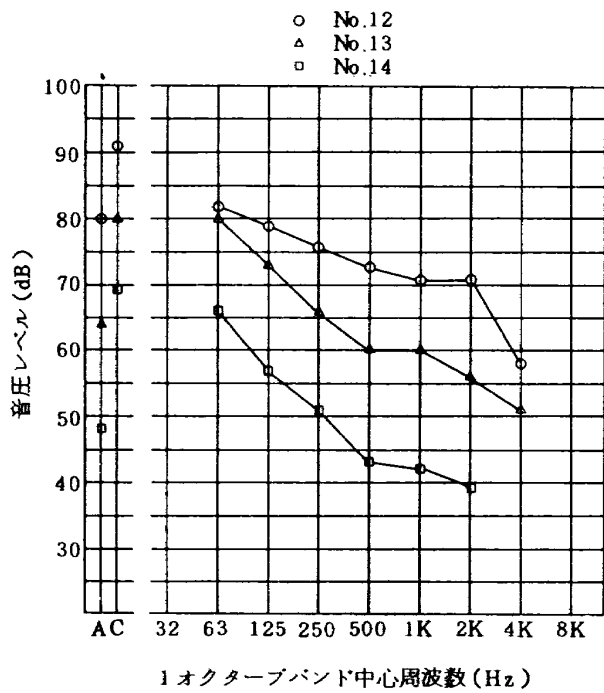


図 18 測定棟周辺の騒音

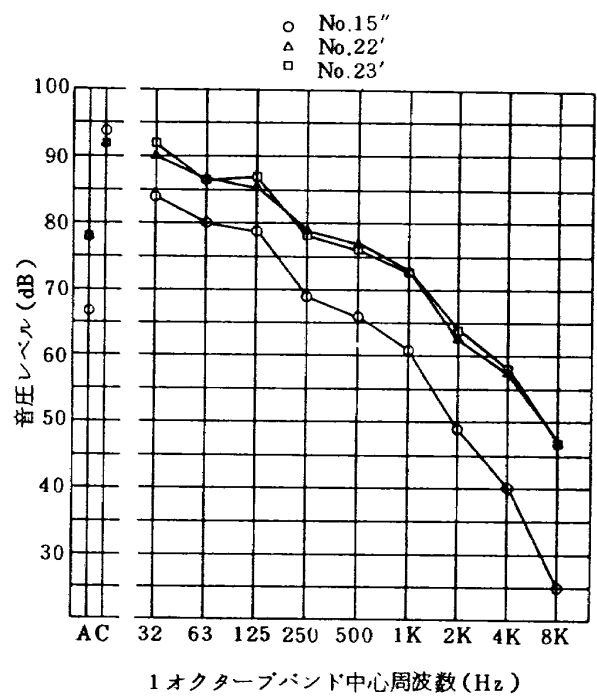


図 20 空気放出部屋根の騒音

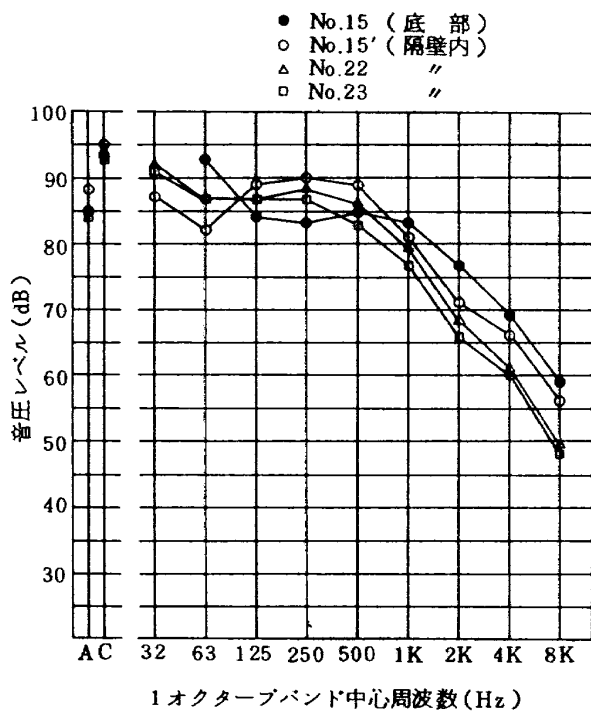


図 19 空気放出部の騒音

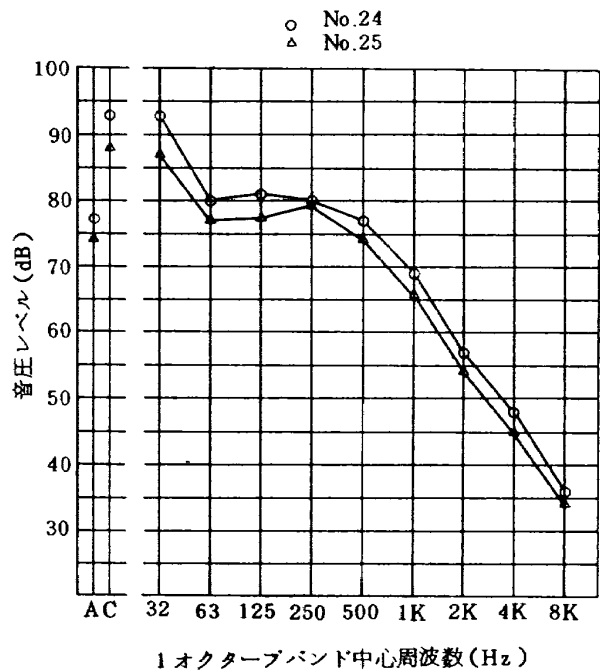


図 21 空気放出部上屋外壁近傍の騒音

引きのシャッターで、更に両側面が垂直引きシャッターで形成されている空気放出部にあるうえ、周囲が図 22 で見られる高い障壁で囲まれているため、比較的高い騒音レベルを示し、類似の周波数特性をもっている。図 20 は、空気放出部の屋根の両端付近と、屋根上中央部の測定値を示す。屋根はデッキプレートと 60mm 厚の軽量モルタルで作られている。屋根の周囲のうち 2 方向が開放になっていて、下からの騒音の回込みがあるが、総体的に 10 dB 以上の減衰がみられる。図 21 は、図 23 でみられる空気放出部上屋の近傍で測定した結果を示す。

次に、以上のような騒音測定によって騒音、環境を説明する手法について略記する。

まず、騒音測定をもとにして、音源をいくつかの面あるいは線や点音源の集合として近似し、さらにそれぞれ

の音源の強さを求めて音源モデルを作成する。

つぎに、これらの音源モデルから受音点に至る騒音伝搬の計算を行い、各音源の受音点への案与度を求める。その後、最終的に計算結果と受音点で直接測定した騒音を比較して確認する。

なお、騒音測定によって円形あるいは長方形壁面の音響パワーを求める方法としては、騒音伝搬の指向性を考慮した中心軸上の距離減衰の計算法を利用することができる。

図 24 は、長方形壁面からの騒音の距離減衰の計算例<sup>7)</sup>で、距離を表わす横軸は、等価直径  $D = \frac{2ab}{a+b}$  を単位として測った数値である。横軸が 0.25 付近で、指向性を表わす  $n$  の値が、どんな値をとっても減衰がすべて 0 土

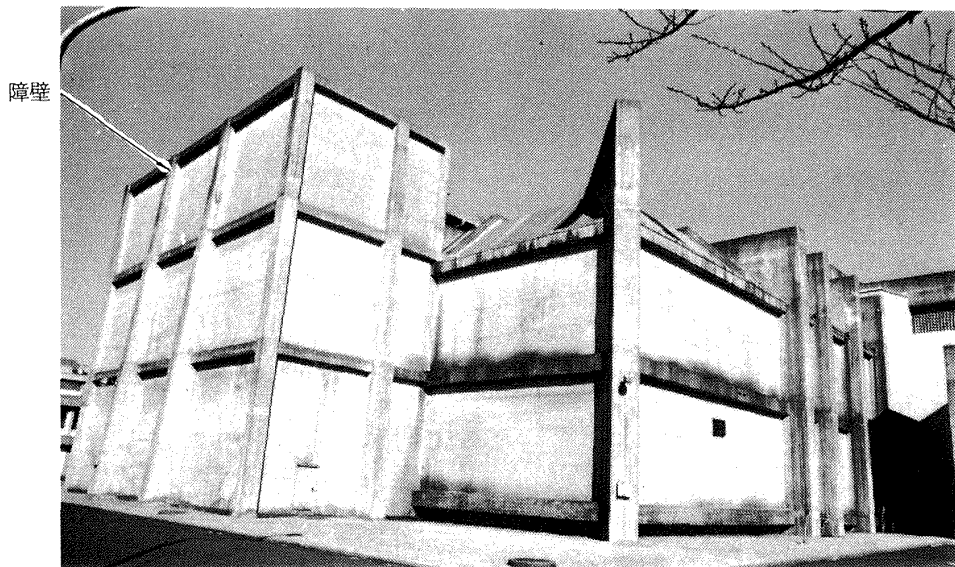


図 22 空気放出部障壁

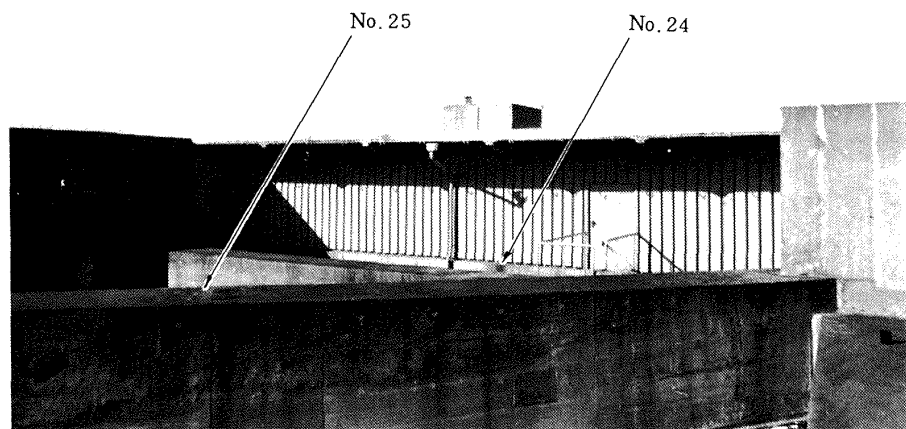


図 23 空気放出部上屋

1 dBの範囲内にあることが判る。したがって、騒音測定の実用精度からその付近で面音源からの音の強さのレベル (Intensity Level) が測定できれば、そのままの値を音源の単位面積当りの音響パワーレベルとすることができる。ここで音の強さのレベル (IL) は、1 気圧で温度が 0~40°C 付近では音圧レベル (SPL) とほとんど同じ値となるので、普通の騒音測定 (音圧レベル測定) をもって音の強さのレベルとすることができる。

なお、図 24 で、各点音源からの放射パワーを面の法線方向へ  $J_0$ 、それと角  $\theta$  をなす方向へ  $J_\theta = J_0 \cos^n \theta$  とすれば、指向性を表わす  $n$  が、0 のとき無指向性となり、 $\infty$  のときは面に垂直方向にのみ放射され平面波となることを意味する。

また、隣接するいくつかの壁から騒音が放射されて合成しているような複雑な騒音環境では、次に述べるように必要個所の振動を測定して、騒音測定結果の補足を行うことができる。<sup>7)</sup>

すなわち、壁の音源側のエネルギー密度を  $E$  (erg/m<sup>3</sup>)、壁の音響透過率を  $\tau$  とすれば、拡散音場にある壁を透過する音響パワー  $W$  (watt) は、

$$W = \frac{\tau c E S}{4} \quad (5.1)$$

で与えられる。

ここで、 $c$  は音速 (m/s) で  $S$  は壁の面積 (m<sup>2</sup>) であ

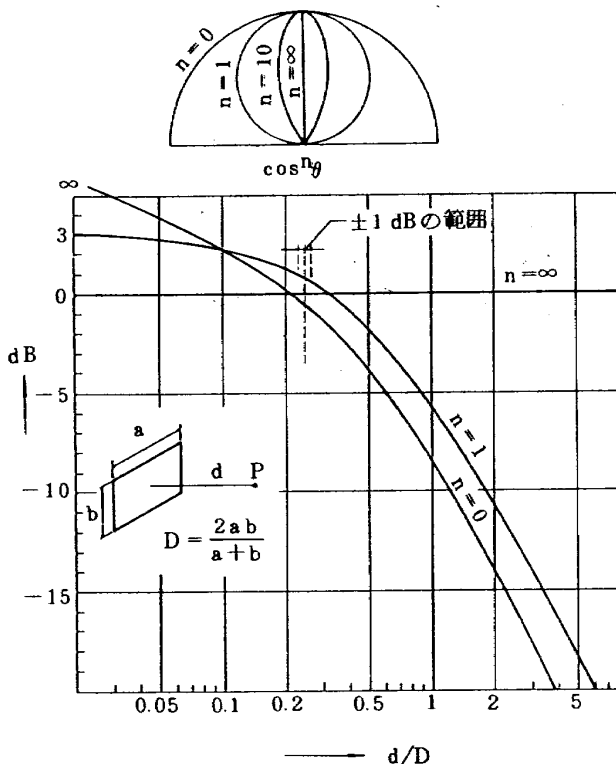


図 24 長方形面音源中心軸上の距離減衰

る。また、この壁の速度振幅の実効値を  $V_{eff}$  とすれば、この振動により放射される音響パワー  $W$  (watt) は、

$$W = \kappa \rho c V_{eff}^2 S \quad (5.2)$$

である。 $\rho c$  は固有音響抵抗 (Ns/m<sup>3</sup>) と呼ばれ、通常定数のように用いられる。 $\kappa$  は壁面の材質や表面状態によってきまる音響放射係数である。

上記の 2 式は当然等しくなるので、

$$V_{eff} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau E}{\kappa \rho}}$$

となる。いま、 $E$ 、 $\kappa$ 、 $\rho$  が既知の値ならば、 $V_{eff}$  を測定して  $\tau$  を求め、更に (5.1) 式から音響パワー  $W$  を求めることができる。

あるいは、(5.2) 式で、 $\kappa$ 、 $\rho c$ 、 $S$  を既知として  $V_{eff}$  が測定できれば  $W$  を求めることができる。すなわち、壁からの単位面積の放射パワーレベル ( $\overline{PWL}$ ) は、

$$\begin{aligned} \overline{PWL} &= 10 \log_{10} \frac{W}{10^{-12}} \quad (\text{dB}) \\ &= 20 \log_{10} V_{eff} + 10 \log_{10} \kappa + 146 \quad (\text{dB}) \end{aligned}$$

となる。ただし、 $\rho c$  を通常用いる 414 Ns/m<sup>3</sup> とした。なお、音響放射係数  $\kappa$  は、コンクリート構造の場合、限られた低周波領域を除けば周波数にほぼ無関係に 1 とされる。

以上のように、振動測定から壁の放射音響パワーを求めることができるが、実用に当っては、壁の振動測定技術の困難さと、換算式の精度から、そのみで直接騒音を求めるのは早計であり、あくまでも騒音測定の補足手段と考えるべきである。

本大型低速風洞の騒音対策においては、前に述べた綿密な騒音測定と随時行った壁面の振動測定の結果から、騒音対策前の騒音環境を解明するため、A 受音点に対して図 25、B 受音点に対して図 26 のように音源を想定した。さらに、音源の種類と想定音源の位置を考慮して、騒音測定の結果をもとに音源レベルを求めた。

以上のようにして求めた音源モデルをもとに、騒音の伝搬と A、B 両受音点に対する寄与度の計算を行った。

2 個の騒音モデルの、音源の種別 (面、線、点音源の別)、騒音パワーレベルの周波数特性、音源の記号、音源面の座標を表 2 および表 3 に示した。

表で示す種別の 1 は点音源を、4 は面音源をさす。周波数特性は、1 オクターブバンド中心周波数の 62.5, 125, 250, 500, 1,000, 2,000, 4,000 Hz で整理してある。

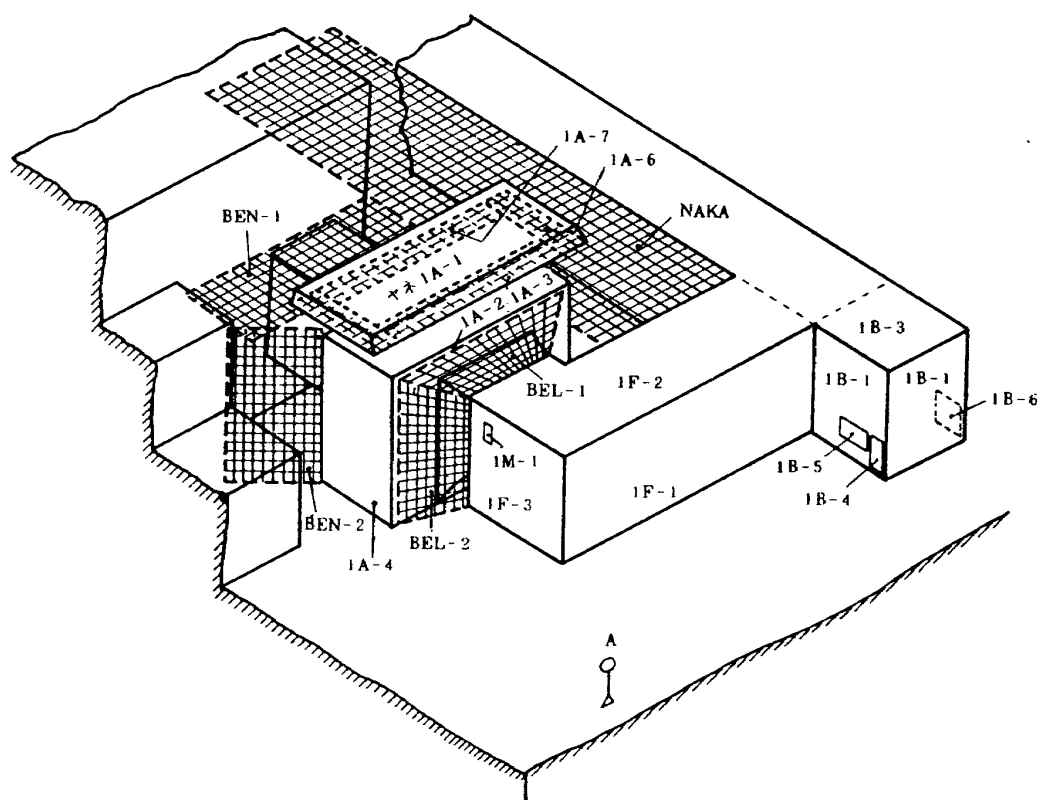


図 25 A 地点に対する音源面

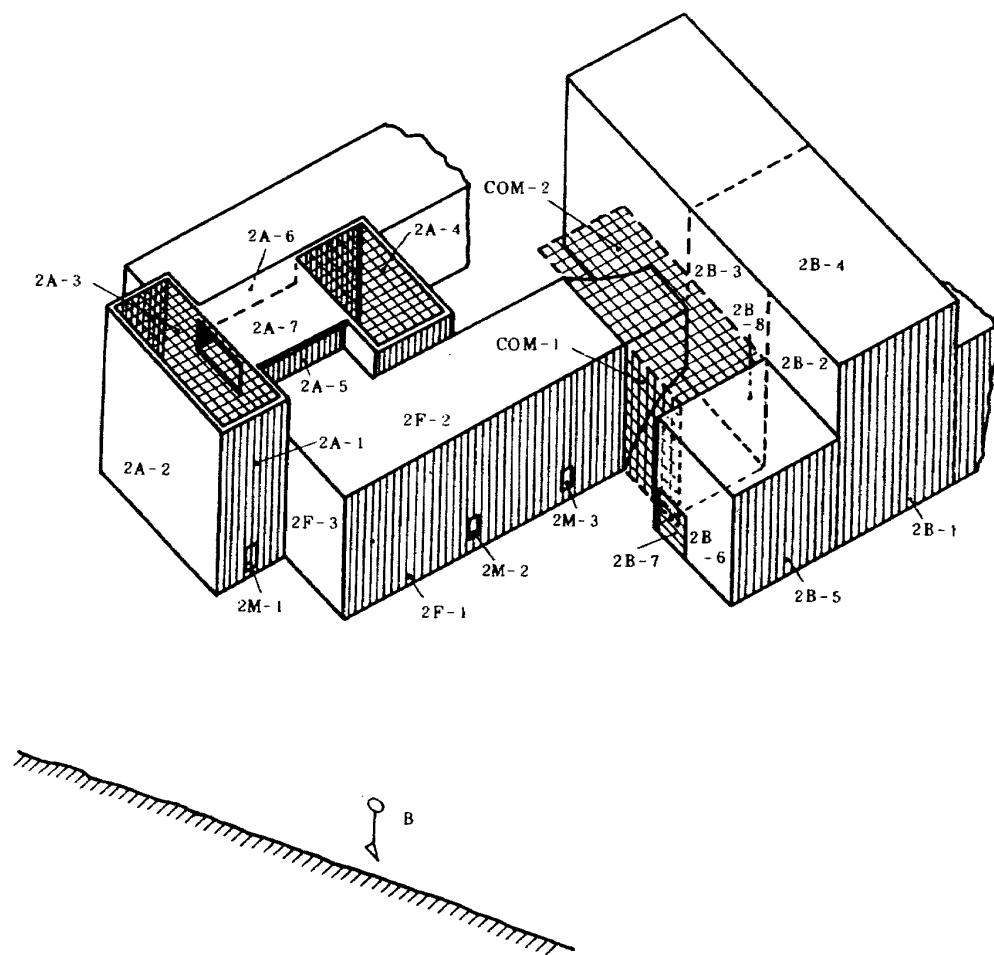


図 26 B 地点に対する音源面

表2 A地点側音源モデル

INPUT DATA OF SOURCE PART										
4	69.0	71.0	56.0	44.0	37.0	24.0	2.0	0.0	1B 1	1
	97.8	35.4	0.0	97.8	35.4	12.0				
	97.8	25.9	0.0	97.8	25.9	12.0				
4	69.0	71.0	56.0	44.0	37.0	24.0	2.0	0.0	1B 2	2
	85.9	25.9	0.0	85.9	25.9	12.0				
	97.8	25.9	0.0	97.8	25.9	12.0				
4	69.0	71.0	56.0	44.0	37.0	24.0	2.0	0.0	1B 3	3
	85.9	25.7	12.0	97.8	25.9	12.0				
	85.9	35.1	12.0	97.8	35.4	12.0				
4	72.0	78.0	62.0	64.0	55.0	45.0	40.0	31.0	1B 4	4
	95.6	25.8	0.0	95.6	25.8	2.0				
	97.8	25.9	0.0	97.8	25.9	2.0				
4	76.0	77.0	63.0	66.0	58.0	51.0	44.0	35.0	1B 5	5
	92.6	25.8	1.5	92.6	25.8	3.5				
	95.6	25.8	1.5	95.6	25.8	3.5				
4	72.0	78.0	62.0	64.0	55.0	45.0	40.0	31.0	1B 6	6
	97.5	35.4	0.0	97.5	35.4	4.0				
	92.0	35.4	0.0	92.0	35.4	4.0				
4	72.0	71.0	63.0	54.0	51.0	44.0	33.0	21.0	1F 1	7
	85.4	2.3	0.0	85.3	2.3	7.0				
	85.9	25.7	0.0	85.9	25.7	7.0				
4	72.0	71.0	63.0	54.0	51.0	44.0	33.0	21.0	1F 2	8
	85.4	2.3	8.0	85.9	35.1	8.0				
	75.0	2.3	8.0	75.0	35.1	8.0				
4	72.0	71.0	63.0	54.0	51.0	44.0	33.0	21.0	1F 3	9
	74.8	2.3	0.0	74.8	2.3	8.0				
	85.4	2.3	0.0	85.3	2.3	8.0				
1	102.0	85.0	80.0	78.0	81.0	80.0	74.0	64.0	1M 1	10
	78.0	2.3	4.0							
4	78.0	67.0	64.0	58.0	52.0	46.0	33.0	24.0	1A 1	11
	61.6	19.1	15.0	77.5	19.1	15.0				
	61.6	-6.5	15.0	77.5	-6.5	15.0				
4	60.0	57.0	53.0	42.0	35.0	26.0	5.0	0.0	1A 2	12
	73.0	15.5	0.0	73.0	15.5	12.0				
	73.0	-3.5	0.0	73.0	-3.5	12.0				
4	78.0	78.0	77.0	76.0	74.0	67.0	55.0	38.0	1A 3	13
	74.0	-6.5	12.0	74.0	19.0	12.0				
	78.0	-6.5	12.0	78.0	19.0	12.0				
4	60.0	57.0	53.0	42.0	35.0	26.0	5.0	0.0	1A 4	14
	65.0	-3.0	0.0	65.0	-3.0	12.0				
	73.5	-3.0	0.0	73.0	-3.0	12.0				
4	78.0	78.0	77.0	76.0	74.0	67.0	55.0	38.0	1A 5	15
	74.0	-6.5	12.0	74.0	-3.0	12.0				
	61.0	-6.5	12.0	61.0	-3.0	12.0				
4	82.0	81.0	78.0	77.0	76.0	69.0	56.0	40.0	1A 6	16
	74.0	15.5	12.0	74.0	19.0	12.0				
	61.5	15.5	12.0	61.5	19.0	12.0				
4	82.0	81.0	78.0	77.0	76.0	69.0	56.0	40.0	1A 7	17
	61.5	-3.5	12.0	61.5	15.5	12.0				
	65.0	-3.5	12.0	65.0	15.5	12.0				
4	80.0	74.0	68.0	67.0	63.0	61.0	46.0	30.0	BEL 1	18
	76.5	10.0	9.5	76.5	2.0	9.5				
	73.5	-3.0	12.0	73.5	15.0	12.0				
4	80.0	74.0	68.0	67.0	63.0	61.0	46.0	30.0	BEL 2	19
	76.5	2.0	0.0	76.5	2.0	9.5				
	73.5	-3.0	0.0	73.5	-3.0	12.0				
	65.0	15.0	13.0	65.0	15.0	13.0				
	65.0	-5.5	13.0	65.0	-5.5	13.0				
4	80.0	78.0	70.0	70.0	65.0	50.0	35.0	BEN 2	21	
	65.0	-3.0	0.0	65.0	-3.0	13.0				
	59.0	-5.0	0.0	65.0	-5.0	13.0				

表 3 B地点側音源モデル

INPUT DATA OF SOURCE PART									
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 1	1
	34.0	-20.6	0.0	34.0	-20.6	19.5			
	50.0	-20.6	0.0	50.0	-20.6	19.5			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 2	2
	34.0	-20.6	10.0	34.0	-20.6	19.5			
	34.0	-5.7	10.0	34.0	-5.7	19.5			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 3	3
	34.0	-5.7	0.0	34.0	-5.7	19.5			
	34.0	2.8	0.0	34.0	2.8	19.5			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 4	4
	34.0	-20.6	19.5	50.0	-20.6	19.5			
	34.0	2.8	19.5	50.0	2.8	19.5			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 5	5
	23.0	-20.6	0.0	23.0	-20.6	10.0			
	34.0	-20.6	0.0	34.0	-20.6	10.0			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 6	6
	23.0	-20.6	0.0	23.0	-20.6	10.0			
	23.0	-5.7	0.0	23.0	-5.7	10.0			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 7	7
	23.1	-7.5	0.0	23.1	-7.5	4.0			
	23.1	-11.5	0.0	23.1	-11.5	4.0			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 8	8
	23.0	-5.7	0.0	23.0	-5.7	10.0			
	34.0	-5.7	0.0	34.0	-5.7	10.0			
4	71.0	54.0	45.0	39.0	27.0	19.0	7.0	0.0 2B 9	9
	23.0	-20.6	10.0	34.0	-20.6	10.0			
	23.0	-5.7	10.0	34.0	-5.7	10.0			
4	72.0	71.0	63.0	54.0	51.0	44.0	33.0	21.0 2F 1	10
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5			
	27.8	0.0	0.0	27.8	0.0	10.5			
4	72.0	71.0	63.0	54.0	51.0	44.0	33.0	21.0 2F 2	11
	0.0	0.0	12.0	27.8	0.0	12.0			
	0.0	12.8	12.0	27.8	12.8	12.0			
4	72.0	71.0	63.0	54.0	51.0	44.0	33.0	21.0 2F 3	12
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5			
	0.0	9.5	0.0	0.0	9.5	10.5			
1	91.0	84.0	80.0	74.0	75.0	77.0	72.0	67.0 2M 1	13
	-6.5	9.5	1.0						
1	91.0	84.0	80.0	74.0	75.0	77.0	72.0	67.0 2M 2	14
	15.5	0.0	1.5						
1	91.0	84.0	80.0	74.0	75.0	77.0	72.0	67.0 2M 3	15
	20.5	0.0	1.5						
4	55.0	59.0	55.0	50.0	37.0	27.0	13.0	0.0 2A 1	16
	0.0	9.5	0.0	0.0	9.5	15.5			
	-8.4	9.5	0.0	-8.4	9.5	15.5			
4	55.0	59.0	55.0	50.0	37.0	27.0	13.0	0.0 2A 2	17
	-8.4	9.5	0.0	-8.4	9.5	15.5			
	-8.4	27.2	0.0	-8.4	27.2	15.5			
4	96.0	81.0	73.0	73.0	74.0	68.0	61.0	50.0 2A 3	18
	-8.4	9.5	15.5	0.0	9.5	15.5			
	-8.4	27.2	15.5	0.0	27.2	15.5			
4	96.0	81.0	73.0	73.0	74.0	68.0	61.0	50.0 2A 4	19
	13.0	25.0	15.5	24.0	25.0	15.5			
	13.0	13.0	15.5	24.0	13.0	15.5			
4	90.0	77.0	74.0	73.0	70.0	59.0	51.0	39.0 2A 5	20
	0.0	17.0	15.5	0.0	17.0	13.0			
			15.5	0.0	17.0	13.0			
4	89.0	74.0	63.0	62.0	62.0	51.0	43.0	20.0 2A 7	22
	12.7	17.0	15.5	12.7	24.0	15.5			
	0.0	17.0	15.5	0.0	24.0	15.5			
4	83.0	79.0	76.0	68.0	67.0	65.0	52.0	35.0 COM 1	23
	28.0	0.0	0.0	28.0	0.0	14.5			
	28.0	-5.5	0.0	28.0	-5.5	14.5			
4	83.0	79.0	76.0	68.0	67.0	65.0	52.0	35.0 COM 2	24
	28.0	-5.5	14.5	34.0	-5.5	14.5			
	28.0	19.0	14.5	34.0	19.0	14.5			

## 6. 騒音伝搬の計算

前項で述べた音源モデルによって、各音源からA、B両受音点への騒音の伝搬を計算してそれぞれの寄与度を求めたが、はじめに主な計算法について略記する。

まず、有限の面音源の拡散については、計算を簡略化するため、無指向性として一般に知られている二重積分の形で求める。<sup>7)</sup>

すなわち、 $a \times b$  ( $a < b$ ) の面音源から距離  $d$  離れた受音点の音響エネルギー密度は、

$$E = \frac{w}{2\pi c} \int_0^a \int_0^b \frac{dx \cdot dy}{(x^2 + y^2 + d^2)}$$

から求められる。ここで、 $c$  は音速、 $w$  は単位面積当りの音響パワーである。

また、距離  $d$  による音圧レベルの変化は、徐々に減衰する形になるが、これを Rathe は図 27 のように分類している。<sup>8)</sup>

これは、面状音源減衰領域は、 $0 < d < \frac{a}{\pi}$

線状音源減衰領域は、 $\frac{a}{\pi} < d < \frac{b}{\pi}$

点状音源減衰領域は、 $\frac{b}{\pi} < d$  ( $a < b$ )

の3種類の領域として、それぞれの倍距離当り 0 dB、-3 dB、-6 dB の傾きで近似しているので、面音源を点音源の集合体として取扱う上から、面音源の分割比を求める基準として採用する。

すなわち、分割された小面積(面素)の大きさは、1辺が  $\pi d$  以下であれば、点音源として近似できるとみなす。

従って、音響パワー  $W$  (watt/m<sup>2</sup>) をもつ面状音源の伝搬は、音圧レベル (SPL) に変換すると次式のように表わされる。

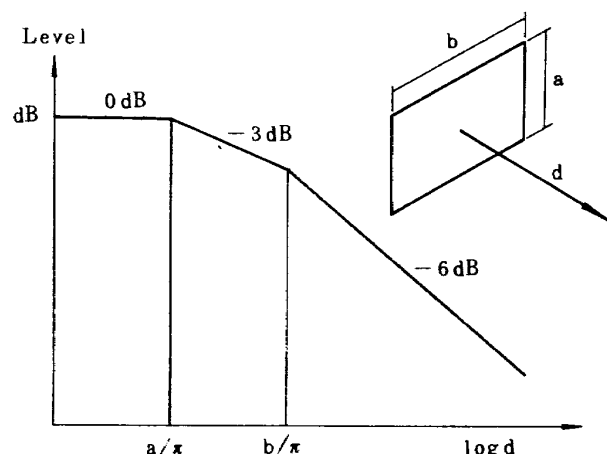


図 27 音圧レベルの距離減衰

$$SPL = 10 \log_{10} \sum_i \sum_j \frac{W}{2\pi} \cdot \frac{dx \cdot dy}{d_{ij}^2} \quad (\text{dB})$$

ここで、 $d_{ij}$  は面素と受音点の距離である。

また、想定した面音源に対する障壁の遮音効果<sup>9)</sup>は、距離  $d$  の点における音圧レベル差 ( $\Delta L$ ) として次式で計算する。

$$\Delta L = 10 \log_{10} \sum_i \sum_j \frac{W}{2\pi c} \cdot \frac{dx \cdot dy}{d_{ij}^2} - 10 \log_{10} \sum_i \sum_j \left( \frac{W}{2\pi} \cdot \frac{dx \cdot dy}{d_{ij}^2} \cdot 10^{10} \cdot [Att]_{ij} \right) \quad (\text{dB})$$

ここで、 $[Att]_{ij}$  は点音源と見做される各面素の障壁による減衰値である。<sup>10)11)</sup>

なお、障壁による遮音効果を求める場合、前述の距離減衰の場合のように1辺が  $\pi d$  近い面素で点音源近似をするとかなり粗い分割になり、面素上の代表点設定の違いで遮音効果に大きな相違が生じることになる。

そこで、誤差が 0.5 dB 以内の実用精度にするため、分割比を  $a/b > 5$  とし、代表点位置を面素中心とする。

また、多重障壁による回折効果は、文献 9 に示されている回折点どうしの行路差の計算で求める簡便法によるものとする。

本大型低速風胴の騒音伝搬の解明においても、以上の計算法をもとに、さきに想定した音源モデルから敷地境界付近の A、B 両受音点に対する騒音伝搬の計算を行った。計算の実行は、鹿島建設技術研究所において行ったが、計算フローチャートの概要は図 28 に示すとおりである。得られた計算結果から計算法の適否を判定するため、実測した騒音レベルとの比較を試みると図 29 および図 30 のとおりになり、両者がよく一致しているので、計算で採用したいくつかの仮定が妥当であったことが立証された。

そこで、上記の計算結果を各騒音源の部位別に整理しなおして、A、B 両地点の騒音レベルに対する寄与度を求め、それぞれの騒音源について具体的な騒音対策を立案した。

各騒音源の寄与度を dB(A) で整理した結果は、表 4 に示すとおりになり、予想通りに屋外に露出した鋼構造部分の空気取入部および縮流胴がそれぞれ最も大きな値を示している。また、各周波数別の寄与度を、音源面ごとに整理したものが表 5 および表 6 で、これを騒音対策の使用材料選定の資料とした。



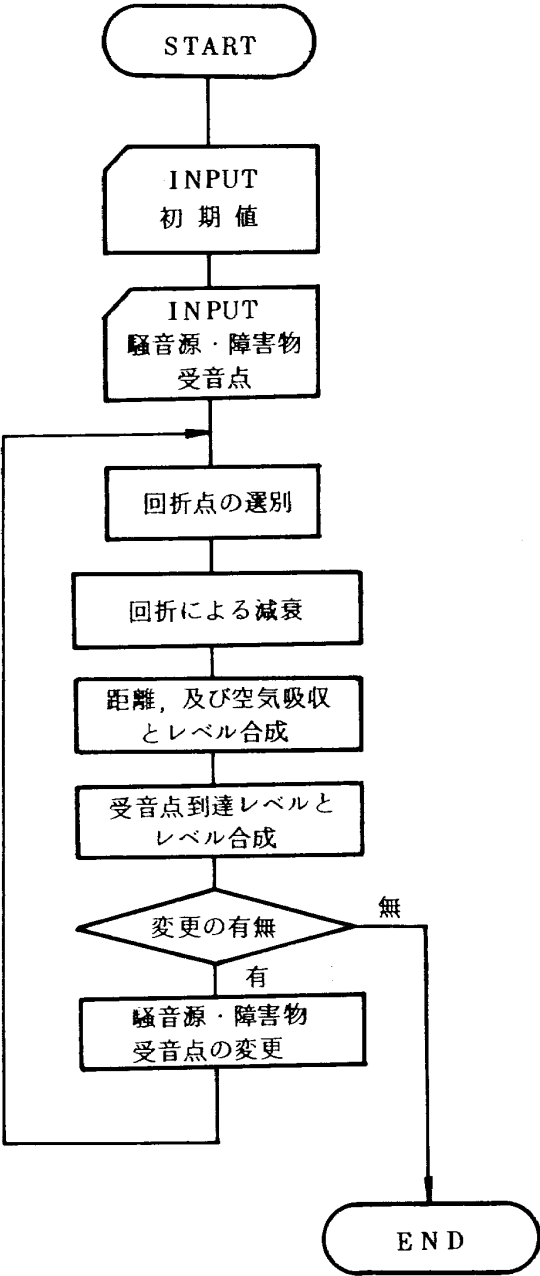


図 28 計算フローチャートの概略

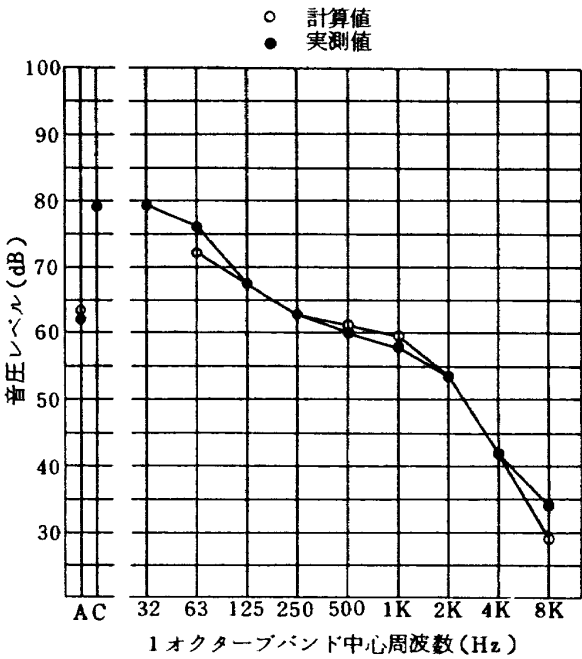


図 29 騒音計算値と実測値 (A地点)

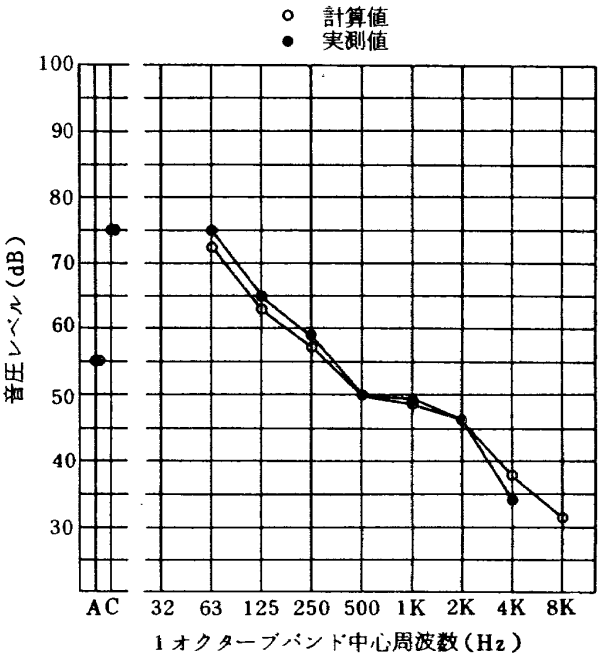


図 30 騒音計算値と実測値 (B地点)

表 4 各騒音源の寄与度

音 源 名	音 源 記 号	寄与レベル dB(A)
1 空気取入部	1A-3, 1A-5	61
2 制 御 弁	BEN-1, 2	55
3 ベルマウス	BEL-1, 2	54
4 マンホール	1M-1	51
5 そ の 他		50
TOTAL		63

(A地点)

音 源 名	音 源 記 号	寄与レベル dB(A)
1 縮 流 胴	COM-1, 2	51
2 空気放出部	2A-3, 4 2A-5	48 41
3 マンホール	2M-1, 2, 3	47
4 そ の 他		49
TOTAL		55

(B地点)

表 5 寄与度(1)

FREQUENCY (HZ) NO. SOURCE	POINT NAME - RP-1 ( HIGASHI )										n
	62.5	125.0	250.0	500.0	1000.0	2000.0	4000.0	8000.0	C		
1 SURFACE	60.6	60.5	59.4	58.4	56.3	49.0	36.7	19.1	66.4	60.1	1A 3
2 SURFACE	56.1	56.1	55.1	54.1	52.1	44.8	32.4	14.8	62.0	55.8	1A 5
3 SURFACE	59.6	57.6	49.6	49.6	50.6	44.2	28.8	13.0	62.6	53.5	PEL 2
4 SURFACE	63.4	57.4	51.3	50.3	46.3	44.0	28.7	12.1	64.8	52.2	PEL 1
5 POINT	67.0	50.0	45.0	43.0	46.0	44.7	38.5	28.0	67.2	50.6	1M 1
6 SURFACE	61.4	55.4	49.4	48.4	44.4	42.2	26.9	10.4	62.9	50.3	PEL 2
7 SURFACE	55.2	53.1	45.1	45.0	46.0	39.6	24.2	8.4	58.1	48.9	PEL 1
8 SURFACE	59.6	58.6	50.6	41.6	38.6	31.4	20.2	7.8	62.5	47.1	1F 1
9 SURFACE	63.1	52.0	48.9	42.8	36.7	30.3	17.0	7.3	63.7	45.4	1A 1
10 SURFACE	56.5	55.4	47.4	38.4	35.4	28.2	17.0	4.7	59.3	43.9	1F 3
11 SURFACE	56.7	55.5	47.3	38.2	35.1	27.8	16.5	4.0	59.5	43.8	1F 2
12 SURFACE	49.6	47.6	43.4	40.9	38.2	28.8	12.9	-6.4	52.8	42.6	1A 6
13 SURFACE	52.9	54.9	39.9	27.9	20.9	7.6	-14.7	-17.3	57.1	40.0	1F 2
14 SURFACE	51.1	53.1	38.1	26.1	19.1	5.7	-16.6	-19.3	55.3	38.1	1F 1
15 SURFACE	46.5	47.5	33.5	36.5	28.5	21.2	13.9	4.3	50.4	37.0	1F 5
16 SURFACE	41.3	47.3	31.3	33.3	24.3	14.0	8.7	-0.9	48.5	34.7	1B 4
17 SURFACE	42.4	39.4	35.4	24.4	17.4	8.1	-13.2	-18.9	44.7	29.5	1A 4
18 SURFACE	43.2	44.3	28.2	14.7	5.8	-9.7	-34.5	-39.9	46.8	29.2	1F 3
19 SURFACE	40.2	35.7	28.2	22.0	15.4	2.2	-17.1	-39.1	41.8	25.0	1A 7
20 SURFACE	29.8	33.0	14.1	13.2	1.2	-10.6	-16.0	-25.8	34.8	18.3	1B 6
21 SURFACE	28.4	22.5	15.6	1.6	-7.2	-16.9	-38.2	-43.8	29.5	10.7	1A 2
TOTAL NOISE LEVEL	72.0	67.5	62.8	61.2	59.5	53.5	42.1	29.2	74.1	63.6	(DB)

TOTAL NOISE LEVEL = 63.6 DB(A)

表 6 寄与度(2)  
POINT NAME - RP-2 ( NISHI )

FREQUENCY (Hz) NO. SOURCE	62.5	125.0	250.0	500.0	1000.0	2000.0	4000.0	8000.0	C	A	
1 SURFACE	58.9	54.7	51.4	43.2	42.0	39.3	25.7	7.6	61.0	48.1	COM 2
2 SURFACE	58.3	54.2	51.2	43.2	42.2	39.7	26.2	8.3	60.5	48.1	COM 1
3 SURFACE	68.9	52.7	43.1	41.1	39.8	30.7	20.5	5.8	69.0	46.5	2A 3
4 SURFACE	57.9	56.9	48.9	39.9	36.9	29.6	18.3	5.6	60.0	45.4	2F 1
5 POINT	53.1	46.1	42.1	36.1	37.1	38.8	33.5	27.8	54.5	43.7	2H 1
6 SURFACE	65.9	49.6	40.0	38.0	36.5	27.2	16.8	1.7	66.0	43.4	2A 4
7 POINT	51.7	44.7	40.7	34.7	35.7	37.4	32.0	26.3	53.1	42.3	2H 2
8 SURFACE	54.6	53.6	45.6	36.6	33.6	26.3	15.0	2.4	57.5	42.1	2F 3
9 SURFACE	58.3	44.7	41.2	39.6	36.2	24.4	15.6	2.5	58.6	41.2	2A 5
10 POINT	49.8	42.8	38.8	32.8	33.8	35.3	29.8	23.9	51.1	40.3	2H 3
11 SURFACE	53.2	51.9	43.6	34.4	31.3	23.9	12.5	-0.3	55.9	40.2	2F 2
12 SURFACE	52.2	45.2	38.2	32.2	32.2	27.0	15.4	10.6	53.2	37.3	2B 7
13 SURFACE	39.5	43.5	39.5	34.5	21.5	11.1	-3.3	-17.1	46.4	35.2	2A 1
14 SURFACE	57.7	41.4	28.9	26.1	24.0	10.1	-1.1	-20.1	57.8	33.8	2A 7
15 SURFACE	37.8	41.8	37.8	32.8	19.8	9.5	-4.8	-18.5	44.7	33.5	2A 1
16 SURFACE	53.0	36.0	27.0	21.0	9.0	0.6	-11.0	-19.6	53.1	28.6	2B 6
17 SURFACE	52.9	35.9	26.9	20.9	8.9	0.3	-12.3	-20.4	53.0	28.6	2B 1
18 SURFACE	50.8	33.8	24.8	18.8	6.8	-1.7	-14.1	-22.0	50.9	26.4	2B 5
19 SURFACE	49.4	32.4	23.3	17.3	5.2	-3.4	-15.9	-24.0	49.5	25.1	2B 2
20 SURFACE	49.2	32.1	22.9	16.8	4.0	-3.8	-16.4	-24.5	49.3	24.8	2B 3
21 SURFACE	48.4	31.1	21.7	15.3	2.8	-6.1	-18.9	-27.1	48.5	23.9	2B 9
22 SURFACE	43.8	27.5	20.6	15.2	7.0	-10.1	-24.6	-43.3	43.9	20.4	2A 6
23 SURFACE	45.1	27.0	16.6	8.8	-5.4	-16.5	-31.8	-42.8	45.2	20.2	2B 4
24 SURFACE	32.6	13.0	1.0	-9.6	-24.6	-37.5	-54.6	-67.3	32.7	7.3	2B 8
TOTAL NOISE LEVEL	72.3	62.9	57.1	50.1	48.6	45.9	37.7	31.2	72.9	55.3	(DB)

TOTAL NOISE LEVEL = 55.3 DB(A)

## 7. 騒音対策案

今まで述べた騒音の実測や計算の結果をもとに、大型低速風胴の敷地境界付近、すなわち A、B 両受音点での騒音レベルを 50 dB(A) の目標値におさめるため、騒音対策の方案を検討した。

表 4～表 6 の寄与度を基に、寄与度が高く騒音対策の施工上無理がなく効果的な音源について対策するものとし、対策を施さない部分（表 4 のその他の部位）の寄与レベルに対して無視できるレベルまで十分減衰させるように計画した。

すなわち、そのレベル差が 10 dB 以上になるものとし、対策を施した音源からの寄与レベルが 38 dB(A) 以下になるように所要対策量を求めた。

なお、遮音構造の基本的な考え方として、当研究所の近隣住宅に対するだけでなく、所内の研究環境を守るためにも、塀による遮音のように限られた方向だけの対策でなく、可能なかぎり騒音源を全面的に覆う方式を原則とした。

その結果、各音源に対する所要対策量と対策の方案を表 7 のとおりとした。

また、A、B 両地点の騒音レベルを目標値の 50 dB(A) にするための各騒音源に対する所要対策量の周波数特性を整理して図示すると、図 31 および図 32 のようになった。それに対して表 7 に記載してある騒音対策に使用する材料の透過損失特性は、図 33 のとおりであり、上記所要減衰量を十分満足しうるものであることが判る。

マンホールについては、前述のとおり風胴本体の改修時期に、一緒に改修を行い騒音対策を実施する予定のため、今回の実施対象から除外したが、本騒音対策立案の段階では、当然マンホールも所要の対策が行われるものとして全体計画を進めた。

以上の騒音対策案に従って、防音施工を実施した場合の、騒音伝搬の予測計算を行った。

使用材料の透過損失と施工性の難易さによる遮音効果を加味しながら、図 25 および図 26 と同様に音源モデルを想定して、A、B 両受音点に対する寄与レベルを求めた結果、表 8 のようになった。

防音対策を実施する部位の寄与度は、A 地点に対しては制御弁が、B 地点に対しては空気放出部が最も大きな値を示しているが、それぞれ 37 dB(A) および 35.5 dB(A) で、計画値の 38 dB(A) 以下におさまっている。

表 7 騒音対策案

音 源 名	所要対策量	対 策 方 案
空 気 取 入 部	29 dB(A)	東・南・北の三方を ALC(120mm)で塞ぐ 開放側一方をグラスウール(100mm)で吸音
制 御 弁	23 "	壁を ALC(100mm)で空気取入部のひさし 部分まで立上げ
ベルマウス	22 "	壁・屋根を ALC(100mm)で塞ぐ 扉は NHK タイプ C 級程度
マンホール	19 "	別途

( A 地点 )

音 源 名	所要対策量	対 策 方 案
縮 流 胴	19 dB(A)	壁・屋根を ALC(100mm) 塞ぐ 扉は NHK タイプ C 級程度
空 気 放 出 部	16 "	開口部約 1/3 オーバースライド設置 他は ALC(100mm) にて屋根をかける
マンホール	15 "	別途

( B 地点 )

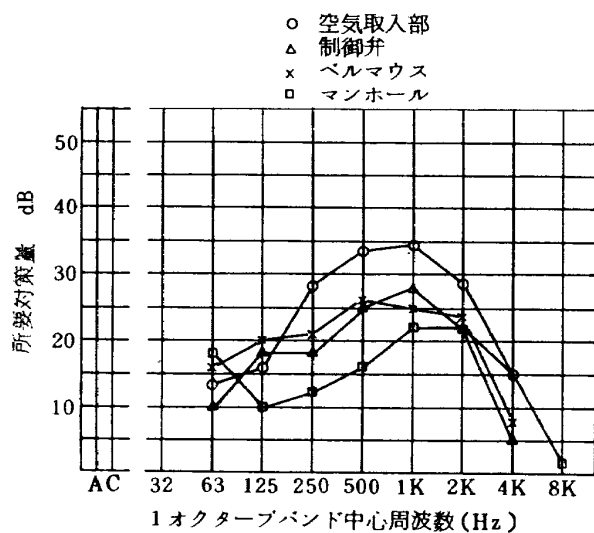


図 31 所要対策量の周波数特性 (A地点)

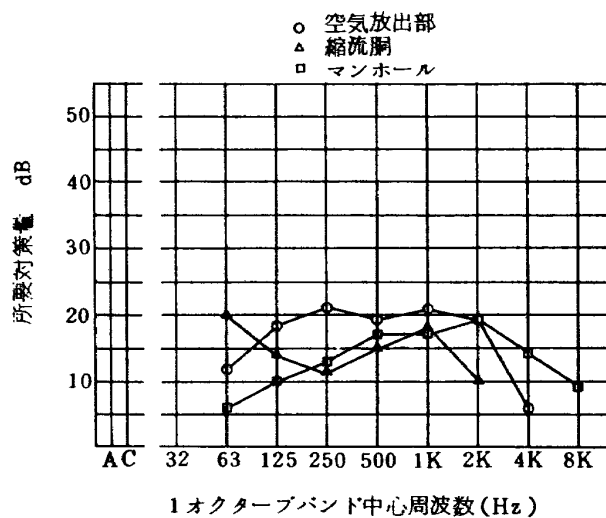


図 32 所要対策量の周波数特性 (B地点)

表 8 騒音対策後の寄与度予測値

音 源 名	記 号	寄 与 レ ベ ル	備 考
風 胴	1F-1～3	48	
吸 込 口	1A-1, 4	43.5	未対策の部分
動 力 室	1B-1～6	42	
制 御 弁	BEN-1, 2	37	対策部分
そ の 他	NAKA	35	
空 気 取 入 部	1A-3, 5, 6	33	対策部分
マ ン ホ ール	1M-1	32 (51)	対策後
ベルマウス	BEL-1～2	27.5	対策部分
TOTAL		50.5 (54) dB(A)	

( ) マンホールを対策しない場合

A地点

音 源 名	記 号	寄 与 レ ベ ル	備 考
風 胴	2F-1～3	48	
空 気 放 出 部	2A-1, 2, 5, 6, 7	42.5	未対策の部分
空 気 放 出 部	2A-3, 4	35.5	対策部分
実 験 棟	2B-1～9	39.5	
マ ン ホ ール	2M-1～3	32 (47)	対策後
縮 流 胴	COM-1, 2	25	
TOTAL		50 (52) dB(A)	

( ) マンホールを対策しない場合

B地点

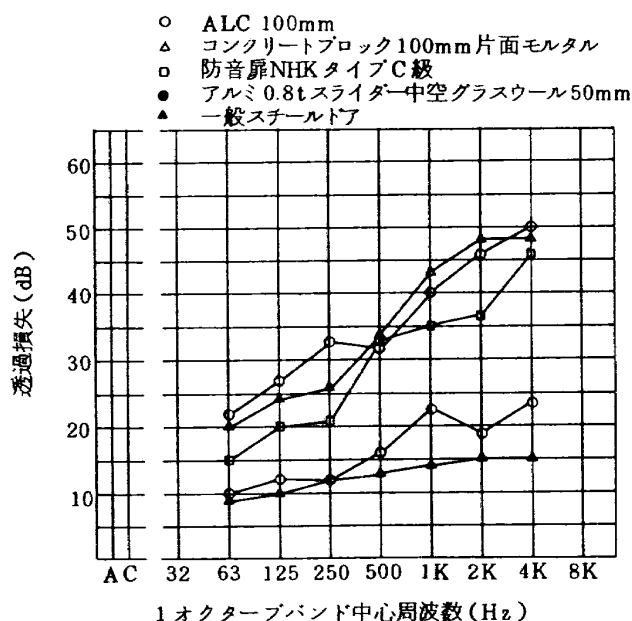


図 33 対策材料の透過損失

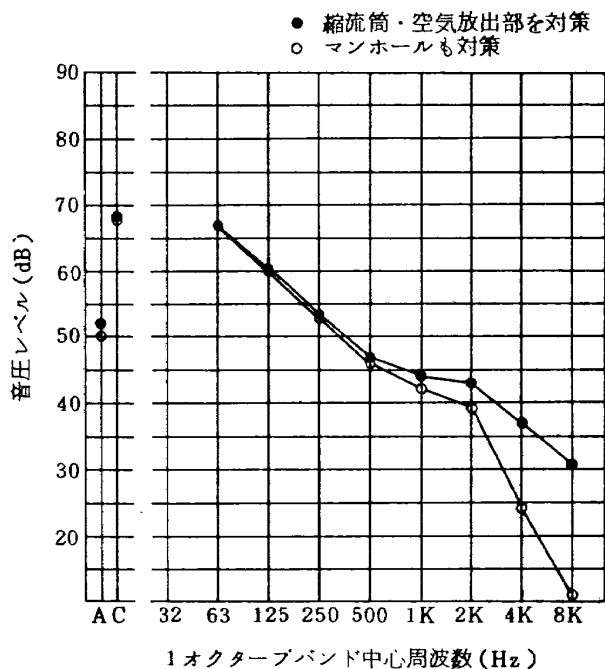


図 35 対策後の騒音予測 (B地点)

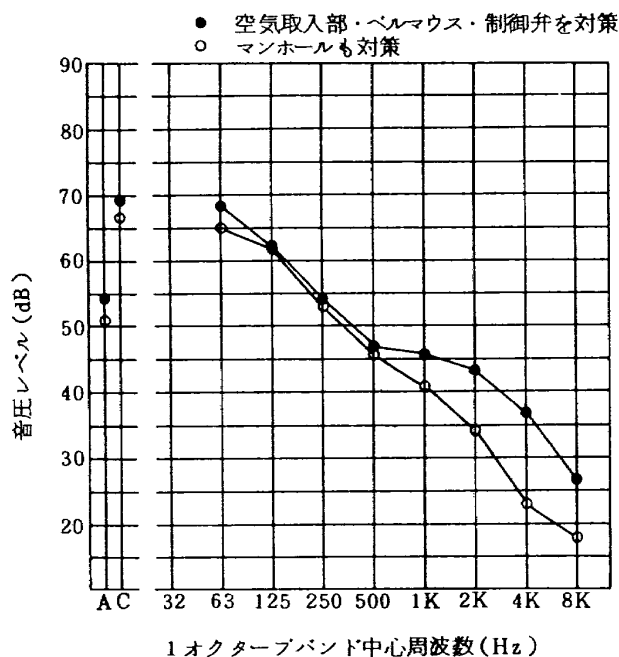


図 34 対策後の騒音予測 (A地点)

また、A、B両地点における周波数別の騒音レベルの予測計算結果は、図 34 および図 35 のようになり、総合して、マンホールを対策すればA地点が 50.5 dB(A)に、B地点が 50 dB(A)になり、目標値をほぼ満足するものとなったが、既存施設へ防音施工する困難さと予測計算の精度から±2 dB程度の誤差は覚悟する必要があるものとする。

また、A、B両地点とも、マンホールの対策を除外する場合、A地点で 3.5 dB(A)増加して 54 dB(A)となり、

B地点では 2 dB(A)増加して 52 dB(A)となる。

騒音対策の立案中に、すでに判明していた事であるが、表 8 でも明らかなように対策案実施後は、風胴胴体の屋根や壁から放射される騒音の寄与レベルが最も大きく残り、A、B両地点に対してともに 48 dB(A)となることが予測される。この騒音も対策する方法を検討したが、施工規模も所要経費も過大となるので断念せざるをえなかった。

## 8. 防音施工

防音対策の実施計画を進めるのに先立って、所要工事費や防音評価、さらに風胴本来の機能への影響を考慮しながら、騒音対策案を再検討して防音施工の方法や範囲の選定を行った。

その結果、A受音点に関しては、元来騒音レベルが高く、近隣住宅への影響が最も大きいので、騒音伝搬の計算結果など再検討して当初対策案のとおりとし、ベルマウス部、空気取入部および制御弁部の3個所の部位に対して防音施工することにした。マンホールについては、すでに度々述べたとおり別途に対策する予定があるため、今回の施工範囲から除外した。

B地点に関しては、騒音レベルに最も大きく寄与しているのが、表 4 に示されるとおり縮流胴からの騒音放射であり、これは対策案のとおり遮音施工することにした。つぎに寄与度の大きい部位は、表中の“その他”(風胴胴体、測定室建屋)、空気放出部、マンホールの順にな

る。この中で一番寄与度の大きい風胴胴体に対しては、有効な遮音構造として最も簡便な塀を採用するとしても、高さ 16m 以上で延長 40m に及ぶものを設けることになり、莫大な費用を要して現実性を欠くため、対策案のとおりに施工範囲から除外した。

空気放出部については、対策案の段階では障壁の上部の開口部のうち、約 200m<sup>2</sup>を ALC 板で閉塞し、残り約 100m<sup>2</sup>の部分に開閉可能な扉（オーバースライダー）を設けるように計画し、対策部分について 16 dB(A)の減衰を期待したが、つぎのような観点のもとに、実施計画から除外することにした。

- 1) 開口部面積の 2/3 を閉塞するため、空気放出時に風胴気流に与える影響が懸念される。
- 2) 地上 15m 以上の施工になり、作業が困難なうえ、完成後の保守のため特殊な装置を用意する必要がある。
- 3) B 地点に対し、2 dB(A)程度の減衰のための対策としては、あまりにも経費が高み、現実性を欠く。
- 4) 前述の風胴胴体からの騒音対策同様に、将来、とくに低周波騒音が問題視される状況が生じれば、そ

の時点で総合的に検討するのが適切である。

また、マンホールについては、A 地点の場合と同様に、別途に対策するものとして除外した。

以上のように防音施工範囲を決定したが、騒音レベルの予測は、A 地点については当初の対策案どおりに施工するものとしているので表 8 と変らないが、B 地点については空気放出部の対策を除外するため、当初の予想値を一部修正した結果、表 9 のようになるものと推定された。

すなわち、マンホールが未対策のままであれば、A 地点が 54 dB(A)、B 地点が 53 dB(A)と予測され、マンホールの騒音対策が実施されれば、両地点がそれぞれ 50.5 dB(A)、51 dB(A)になるものと予測される。

なお、別途対策予定のマンホールの所要騒音対策量は、表 7 で明らかなように、A 地点に関するものは 19 dB(A)、B 地点に関するものは 15 dB(A)である。

当初の騒音対策案を計画する時点では、遮音用の壁や屋根の材料として、軽くて施工性と遮音特性にすぐれた軽量発泡コンクリート<sup>12)</sup>(Autoclaved Light-weight Concrete, ALC)を取上げたが、実施計画の段階では、

表 9 B 地点の騒音レベル予測値

音 源 名	記 号	寄 与 レ ベ ル	備 考
風 胴	2F-1 ~ 3	48	
空 気 放 出 部	2A-1 ~ 7	48	
実 験 棟	2B-1 ~ 9	39.5	
マ ン ホ ール	2M-1 ~ 3	32 (47)	対策後
縮 流 胴	COM-1, 2	25	
TOTAL		51 (53) dB(A)	

( ) マンホールを対策しない場合

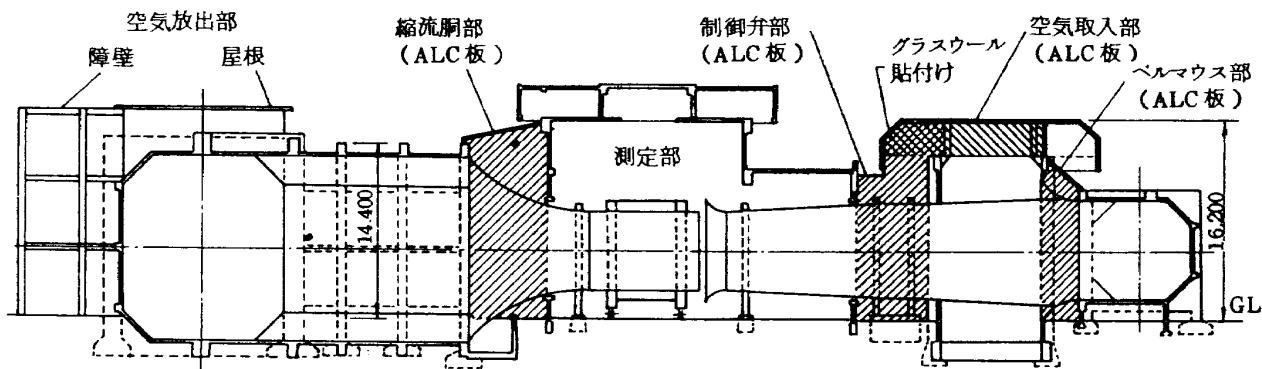


図 36 防音施工部位（南面図）

一般に使われる現場打ちコンクリート構造についても改めて検討した。しかしコンクリート構造の場合は、壁の厚さを決定するのが、遮音効果よりも施工上の制約の方が優先して、120mm以上を要することになり、既存構造物への荷重依存が過大となるうえ、施工部位が風洞胴体や既存建屋を介して分散しているため、工数が甚だしく増大し、かえって不利な条件が重なるため採用を断念した。

防音施工を行う部位は、図36の斜線を引いた部分で、縮流胴とベルマウス部は全周をALC板で覆う工法をとり、制御弁部は制御弁を挟んで南北に2面のALC板による障壁を設け、既存の空気取入部のひさしの部分まで立上げる。空気取入部は、東・南・北の3面のダンパー前面に約1mの間隔をおいてALC板の壁を設け、西側のダンパーの前面は従来通り開放のままとする。ただし西側の開口部にあたる既存のデッキプレート製ひさしと、制御弁の両側に立上げるALC板製の壁に囲まれた内側

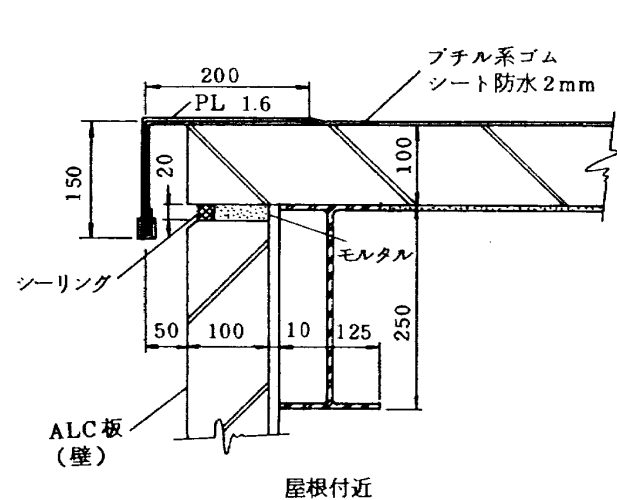
部分は、100mm厚さで $24\text{ kg/m}^3$ のグラスウールを厚さ75mmまで押えつけて貼付け、反響を防止するようにする。

ALC板の代表的取付けとグラスウール内貼りの施工要領を図37および図38に示した。また、図38の下の方で見られるように、既存の構造物に溝型鋼を取付ける場合は、ケミカルアンカーを使用して締結した。

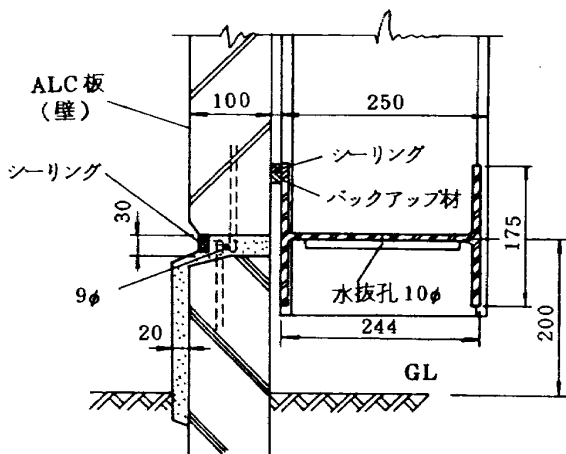
ALC板の壁と屋根は全面シーラ処理し、壁の外面のミリシガン吹付けで表面を仕上げた。屋根の部分は、上面をブチル系ゴムシート防水(厚さ2mm)のうえ、シルバー塗装で仕上げる。

以上のような施工要領をもとに、遮音壁の全面にわたって隙間からの騒音の洩れのためその効果を低下させることのないようなど入念に施工した。

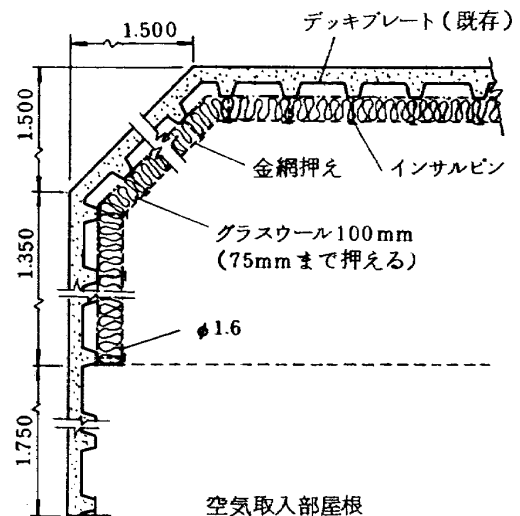
工事完成の様子は、図39および図40で見られるように、体裁よく仕上げることができた。



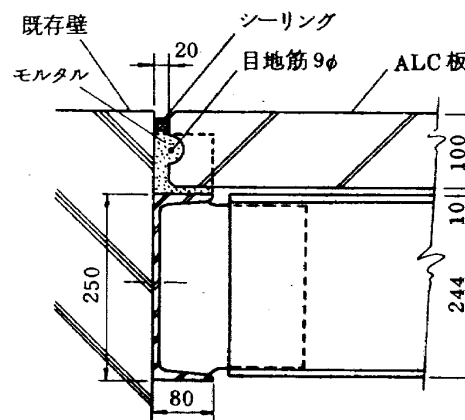
屋根付近



基礎付近



空気取入部屋根

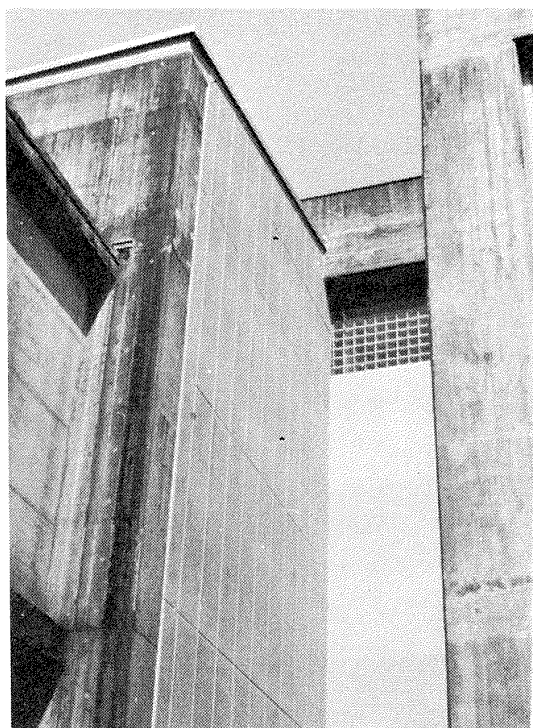


既存建屋付近

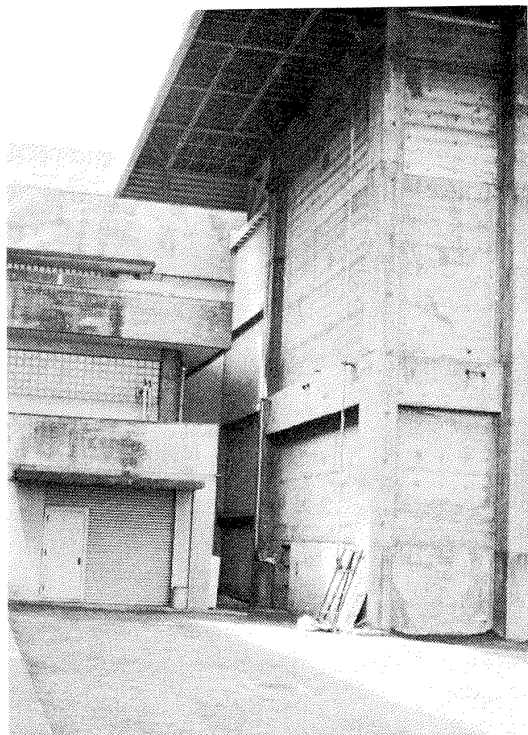
図37 施工要領(1)

図38 施工要領(2)



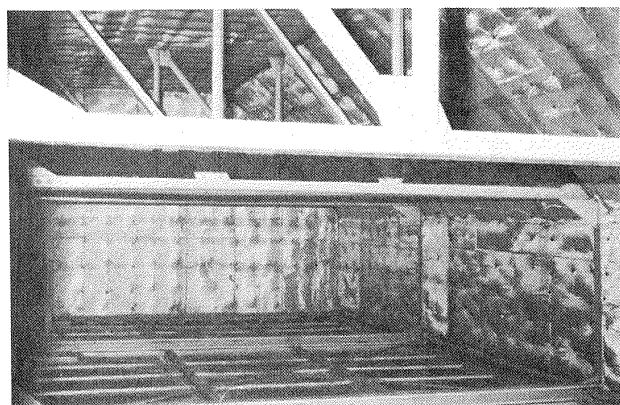


縮流胴部

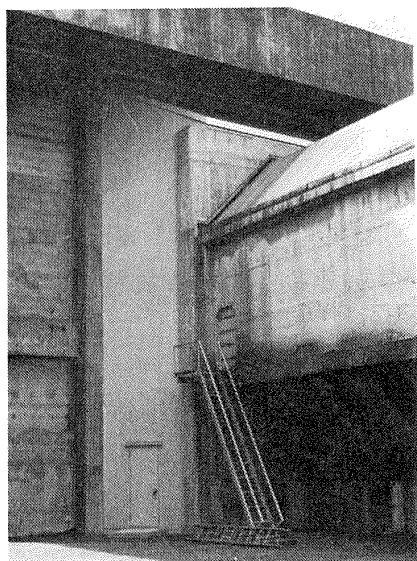


制御弁部

図 39 防音施工(1)



空気取入部ひさし内貼



ベルマウス部

図 40 防音施工(2)

## 9. 成 果

以上のような騒音対策完了後、受音点 A, B 両地点の騒音レベルを測定した結果、A 地点で 54 dB(A), B 地点で 51 dB(A) となった。A 地点に関しては、計画どおりの騒音対策を実施した結果、表 8 のマンホールに対策しない場合の予測値と完全に一致した。

B 地点に関しては、表 9 のマンホールに対策しない場合の予測値 53 dB(A) に対して実測は 51 dB(A) にとどまった。これは、騒音測定の精度と胴体部分や空気放出口さらに縮流胴部を含めた寄与レベルの予測精度による相違と考える。

マンホールに対して、図 31 あるいは表 7 のような騒音対策を施せば、A 地点に対して 51 dB(A) の寄与レベルが 32 dB(A) となり、総合した騒音レベルは 50.5 dB(A) と予想される。また、B 地点に対するマンホールの寄与レベル 47 dB(A) が 32 dB(A) となり、総合の騒音レベルは 49 dB(A) になる予測ができる。ただし B 地点については、騒音対策を施さない "その他" の部分の不明確さのため、50 dB(A) あたりに落ち着くものと想定される。

受音点 A, B 両地点で測定した防音施工の前後の騒音レベルと周波数特性を図 41 および図 42 で比較してみた。両者とも明らかにマンホールからの騒音寄与と推定される 1,000 ~ 2,000 Hz あたりの騒音に高目の値を残しているが、今後のマンホールに対する騒音対策で十分

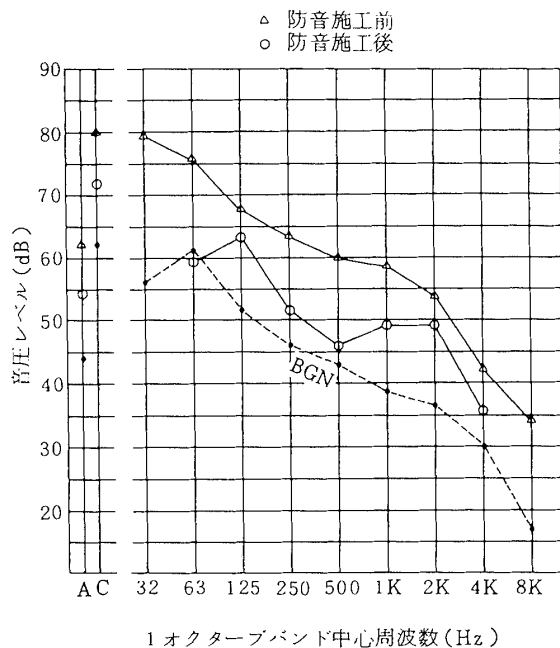


図 41 A 地点の騒音

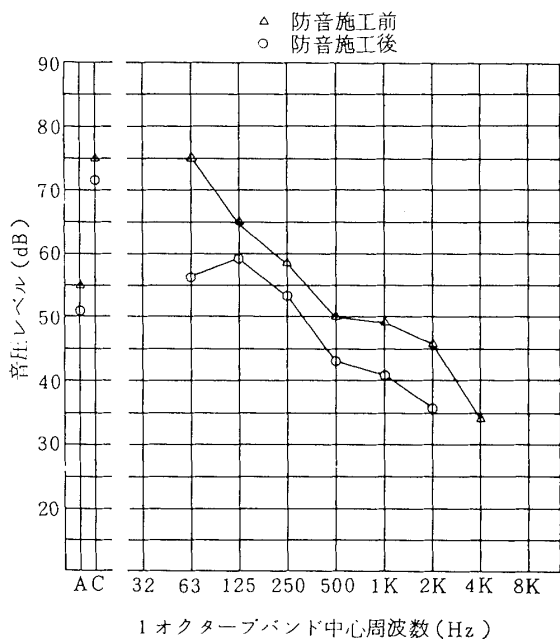


図 42 B 地点の騒音

に解決するものと考える。

以上のことから、今回実施した騒音対策は、敷地境界付近で 50 dB(A) という最終目標値に対して、十分満足しうる成果をおさめたものと確信する。

## 10. む す び

大型低速風洞の騒音対策は、前述のように計画どおりの成果をえて完成したが、風洞胴体からの騒音放射が意外に大きく、表 8 で判るように A、B 両地点に対して共

に寄与レベルが 48 dB(A) になっているうえ、表 5 の No. 8, No. 10, No. 11 あるいは表 6 の No. 4, No. 8, No. 11 等で示されているように、低周波領域で高い値になっている。現在のところ何等の支障がないので、胴体については対策をしていないが、将来、低周波騒音が問題にされる場合があれば、何等かの対策を要求される事態が考えられる。現在考えられる対策案としては、風洞と振動絶縁した壁と屋根を付加するか、空気放出部の影響も加味して風洞の近くに塀を建てることである。

最後に、本騒音対策に際して騒音環境の調査から基本決定まで終始格別な御尽力いただいた鹿島建設技術研究所環境計画部の古宇田部長と菅眞一郎氏、さらに計画初期に使用材料や防音施工法について御助言いただいた(株)日本音響設計事務所の内藤三郎氏に心から謝意を表します。また、当研究所の突風風洞騒音の資料掲載を快諾下さった新型航空機研究グループの広末健一グループリーダーと騒音測定に援助下さった大型低速風洞制御研究室の戸田亘洋室長に深く感謝いたします。なお、本大型低速風洞防音工事の実施設計を鹿島建設(株)が、防音施工を(株)日本富士建設が担当したことを付記する。

## 文 献

- 1 重見 孝ほか；航空宇宙技術研究所大型低速風洞について、日本航空学会誌 Vol. 15, No. 167, 1967
- 2 H.C. HARDY ; Generalized Theory for Computing Noise from Turbulence in Aerodynamic System, ASHRAE J., Jan. 1963
- 3 C.M. HARRIS ; Handbook of Noise Control McGRAW-HILL, 1957
- 4 海老沼幸成ほか；大型低速風洞の特性試験(1) 航空宇宙技術研究所資料, TM-334
- 5 福田基一；騒音防止工学, 日刊工業新聞社, 1976
- 6 E.Y. YUDIN ; On The Vortex Sound from Rotating Rods, Trans., Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, Vol. 14, No. 9, p. 561, 1944 NACA TM-1136
- 7 守田 栄ほか；騒音対策ハンドブック, 日本音響材料協会編
- 8 E.J. RATHE ; Note on Common Problems of Sound Propagation, J. Sound Vib. 10 (3)
- 9 麦倉 喬ほか；広がりのある騒音源に対する障壁の遮音効果—近似法—, 鹿島建設技術研究所年報第 23 号
- 10 前川純一；障壁(塀)の遮音設計に関する実験的研究, 日本音響学会誌第 18 巻第 4 号 (1962)

11 前川純一；有限障壁（衝立）による騒音の回折，日本音響学会誌第 21 巻第 1 号（1965）

12 旭化成建材編，ヘーベル・ハンドブック

ほかに

M.J.LIGHTHILL；On Sound Generated Aerodynamically I General Theory, Proc. Royal Soc. of London, Vol.A211 564 (1962)

E.Z.STOWELLほか；Vortex Noise from Rotating Cylindrical Rods, NACA TN-519

H.H.HUBBARD；Propeller-Loudness Chart for Light Airplanes, NACA TN-1358

久我新一；点音源の集合とみなしうる音源からの形態による騒音伝搬性状の解析，日本建築学会論文報告集，第 67 号，昭和 36 年 2 月

前川純一；ひろがりをもつ音源による騒音回折の近似計算，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）昭和 45 年 9 月

守田 栄；騒音と騒音防止，オーム社 1976

既 刊 資 料

TM-410	低圧タービン用静翼の二次元高速翼列試験	1980年 3 月	蓑田 光 弘, 山 崎 紀 雄 能 瀬 弘 幸
TM-411	水平軸型風車翼の空力設計と性能計算	1980年 4 月	石 田 洋 治, 野 口 正 芳
TM-412	航空宇宙技術研究所計算機ジョブの統計的分析	1980年 4 月	中 村 絹 代
TM-413	宇宙材料実験用ロケット頭胴部の大迎角空力特性に関する研究 - その 2, 遷音速風洞試験 -	1980年 4 月	宇宙材料実験用ロケット 回収研究チーム
TM-414	真空環境下での保存による固体プロペラント特性の変化	1980年 4 月	清 水 盛 生, 伊 藤 克 弥 種 村 利 春, 藤 原 勉 五 代 富 文
TM-415	低圧における圧力測定系の時間遅れ	1980年 5 月	黒 田 行 郎, 阿 部 登 宮 島 博
TM-416	航空計器統合化のための調査研究 A Survey for the Purpose of Flight Instrument Integration	1980年 5 月	岡 部 正 典, 田 中 敬 司 川 原 弘 清
TM-417	イオンエンジン運転制御装置 (主 to そのプログラムとデータ処理について)	1980年 6 月	北 村 正 治
TM-418	回収用パラシュートの放出・開傘に関する風洞試験	1980年 8 月	宇宙材料実験用ロケット 回収研究チーム
TM-419	主記憶有効利用のための諸方策および航技研システムへの適用検討	1980年 8 月	末 松 和 代, 吉 田 正 廣 土 屋 雅 子, 畑 山 茂 樹

---

## 航空宇宙技術研究所資料 420 号

昭和 55 年 8 月 発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町 1880  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182  
印刷所 株式会社 東京プレス  
東京都板橋区桜川 2 - 27 - 12

---

