

UDC 533.6.07:
534.83

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-347

極超音速風洞騒音対策

橋本 登・大平景司・小山忠勇
和田 勇・河野長正

1978 年 3 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

極超音速風洞騒音対策*

橋本 登** 大平景司** 小山忠勇**
和田 勇** 河野長正**

1 まえがき

極超音速風洞は高圧、高温の空気を用いて、マッハ数5から11までの極超音速の流れを数分間発生し、航空機、ロケット等の試験を行う設備である。このような高速気流を取扱う設備では、気体の運動によって発生する騒音が他の機械的振動による騒音に比べて著しく高いレベルのものとなる。空気力学第一部の極超音速風洞¹⁾(昭和40年度完成)は、研究所敷地内で民家に隣接した境界近くに位置しており、住民の騒音に対する関心の高まりと東京都公害防止条例の公布等により昭和45年度には建物外部に設置されている空気冷却器に防音壁(仮設)を設け、付近住民の苦情に対処してきた。本地区が第2種住居専用地域による規制基準の適用を受けるようになったため、本研究所の公害対策として48~53年度にわたり各種風洞、施設に対する騒音対策計画が立案され、その一環として51年度には境界に近い極超音速風洞の防音工事を行なった。

本風洞は 200 kg/cm^2 の高圧空気源設備、圧力制御装置、 1000°C まで加熱できるペブル加熱器、ノズル、測定部、第2スロート、拡散胴、屈曲管、空気冷却器、および2基の真空槽が主要な構成要素で、その他に補機として圧縮機、排気装置等が付属している。これ等の構成要素のなかで外部に対する騒音伝播が問題となるのは真空槽、配管系、加熱器の残留高圧空気排気兼燃焼ガス排出用煙突および排気装置の吐出口である。本報告では、風洞運転時各部から発生する騒音を測定、分析してえた音源の特性と、風洞本来の性能を阻害せず有効かつ適切な防音対策の計画、さらに施工の結果からえた防音効果と今後に残された問題点について述べる。

2 風洞各部の構造と騒音源

極超音速風洞各部の構造を空力騒音発生²⁾の面から考察する。高圧空気源、圧力制御装置およびペブル加熱器は、耐圧構造で肉厚も厚く流路内の騒音はほとんど外部へは伝播

しない。又加熱器内部の流速はきわめて遅く騒音発生²⁾のメカニズムには直接関係しないと考えてよい。つぎに極超音速ノズルは状態エネルギーを運動エネルギーに変える作用をし、騒音源となる高速気流の乱れは大きくない。測定部はノズルより流入する極超音速自由噴流中に模型をおいて各種の測定が行なわれる。ここでは騒音源としてジェット騒音や模型および支持装置によって発生する境界層騒音、衝撃波と乱れの干渉による騒音、剝離渦による騒音等各種の騒音源が存在し、そのレベルも高い。測定部は風洞始動後約2分間ほぼ定常状態を保つが、第2スロート以後の流れは空気が真空槽に流入して、その圧力上昇の影響が上流に進み、時間と共に流れの状態が変化する。測定部の極超音速流は真空槽の圧力上昇による測定部静圧の上昇によって、ついに気流が確立しなくなる。この間の真空槽と拡散胴間の流れは、まず風洞始動時に垂直衝撃波は第2スロートで呑み込まれ、拡散胴から真空槽入口に達し、膨張不足流れから過膨張流れ³⁾にいたるまで複雑な衝撃波系となるが、真空槽の圧力上昇と共に再び垂直衝撃波群を形成し配管系を上流側に徐々に移動し、冷却器、拡散胴へと逆行する。このような衝撃波系の移動は実測による流路壁圧の時間的変化から推定され、流路内の気流の乱れによる騒音や、衝撃波群と乱れの干渉によって発生する騒音レベルの時間に対する変化が理解される。

外部への騒音源としてもっとも大きなものは直径13mmの2基の真空槽である。この真空槽は排気装置により2.5~1 torrに減圧されており、ここに風洞始動と同時に流入する流れは圧力比の高い、すなわち低密度雰囲気中に自由噴流の膨張を行なわせた状態となり複雑な衝撃波系を伴っていると考えられ、大きな音響パワーをもっている。しかし、圧力比が低下すると複雑な垂直衝撃波系が配管系を上流に移動するようになる。この場合、真空槽への流入は亜音速ジェットとなり、音響パワーはよく知られた速度の8乗則に従う。つぎに冷却器は測定部を通過した空気を熱交換して冷却する機能をもつ、この部分は気流の混合攪拌がかなり激しく行なわれ、渦や渦と衝撃波の干渉による騒音は非常に高い、また入口には 90° の屈曲が2箇所あり流

* 昭和53年1月30日受付

** 空気力学第一部

れの剝離が考えられ大きな渦をともなった変動流が冷却器に流入し高い騒音レベルの原因となっている。拡散胴は建屋コンクリート壁で囲まれて、外部への騒音伝播はあまり大きくないが測定部の気流の乱れや、そこで発生した騒音が下流に伝わって拡散胴の騒音レベルはかなり高い。とくに衝撃波が上流に廻った通風時の後半で騒音が大きい。

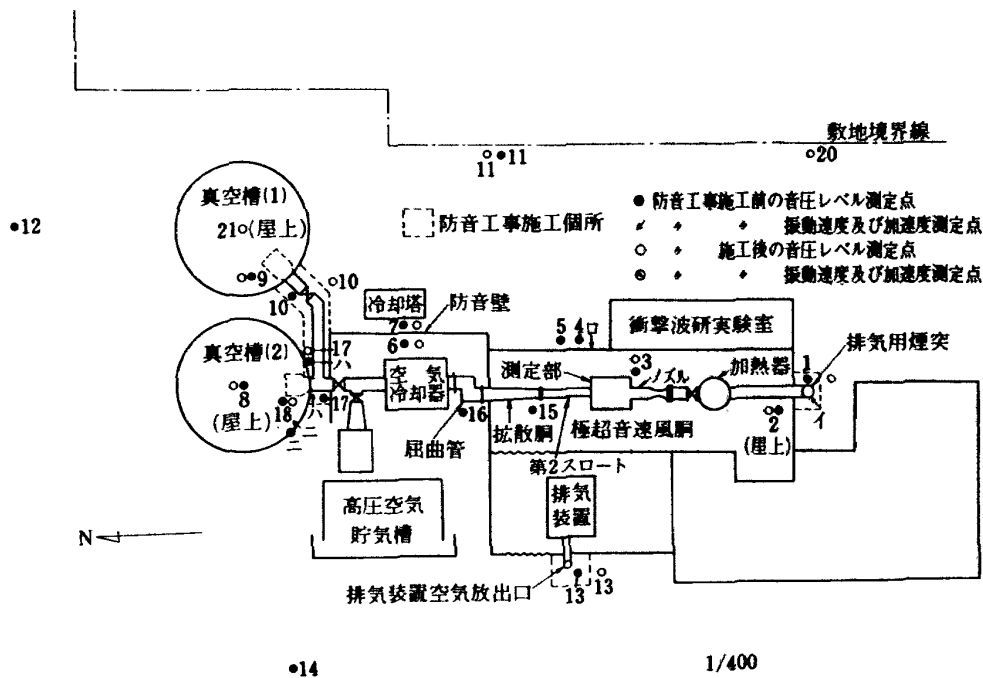
風胴本体の作動時の空力騒音の発生の定性的考察を行なったが、このほかに風胴と同時に作動しない補機関係の騒音源がいくつか考えられる。このなかで大きな騒音を発生するものは排気装置の吐出孔と加熱器の残留空気および燃焼ガスの排出煙突の二つである。前者は排気装置の周期運動ともなうパルスのな圧縮空気の吐出による騒音で、この消音方法はよく知られた原動機のマフラーの設計法を応用することができる。煙突は長い配管系を通して高圧空気を大気に放出するときの騒音、主としてジェット騒音となるが、防音による機能低下の制約が少ないため技術的に困難な問題はない。

3 防音対策前の騒音測定

防音工事を行なうためには風胴各部の騒音レベル、スペクトルおよび振動特性等を測定し、必要な減音量を明確にしておく必要がある。このため第1図●印に示すように18

個所の騒音測定点と4個所の振動測定点を選び、音圧レベル、振動加速度の測定を行なった。測定点は騒音の場合、音源より離れた場所(11, 12, 14等)、音源の近く(1, 2, 8, 9, 13, 17, 18等) および壁をはさんだ内外の2点(3と5, 6と7)を適当に選び、それぞれ受音点の特性、音源の音圧レベル、形状の推定、壁による音の透過率など計算に必要なデータを得るに都合のよい場所を選んだ。振動測定は音響測定を補足するもので防音対策の構造上の参考データを得るために重要な場所(イ, ロ, ハ, ニ)を選んだ。

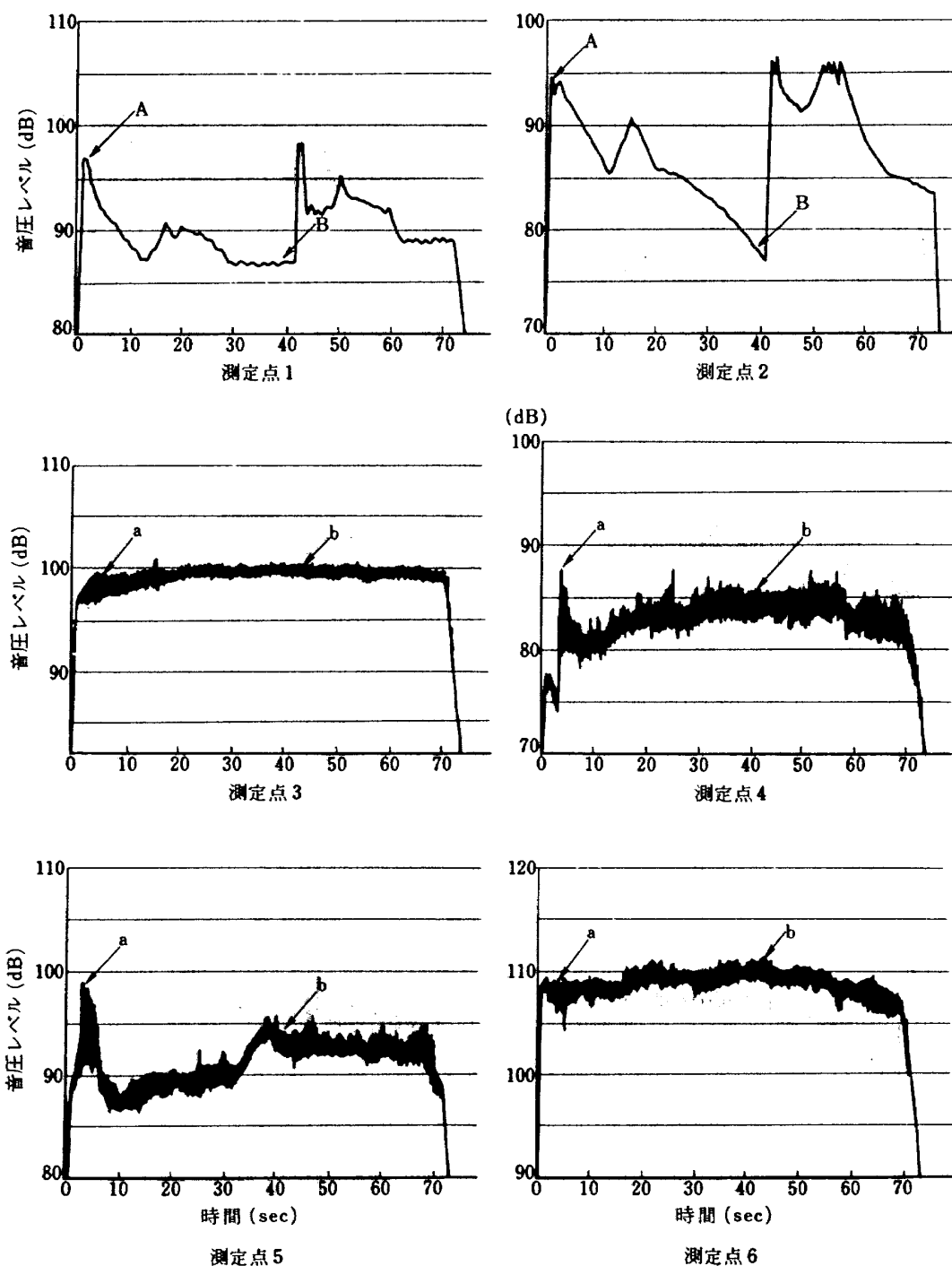
風胴の作動条件はすべてマッハ数7, 加熱器温度1000°K, 圧力70kg/cm²とし、真空槽No.2のみを使用し、真空槽No.1は減圧状態で真空仕切弁を閉じ空気は流入しない。これは圧力、温度が騒音を発生する気流のパラメータとして関係するだけで騒音発生のメカニズムには直接関係しないと考えられるからである。ただし、温度、圧力に対する騒音の相関関係を明らかにする必要がある。第2~5図にこれらの時間経過を示す、このなかで測定点1, 2, 13, 14の記録の時間軸の原点は風胴通風開始時刻と別にとられているが、その他は通風開始と同時刻である。これ等の記録の特徴は測定点6, 15, 16, すなわち実験棟内を除いて、通風開始後の数秒間の高い音圧レベルのピークがみられる。



第1図 測定点配置図

これはさきに述べた真空槽内の超音速ジェットによると考えられ、このピークを過ぎるとほとんど平坦であるが通風開始後40秒の時点を中心とする山なりの傾向を示す。拡散筒では始動直後のピークはみられず、騒音は徐々に増加し、終りまでこの傾向が続く、測定点1, 2は煙突の下部及び上部で加熱器残留空気の放出時に測定したもので、40秒の時点でみられる急激なレベル変動は放出弁の作動によ

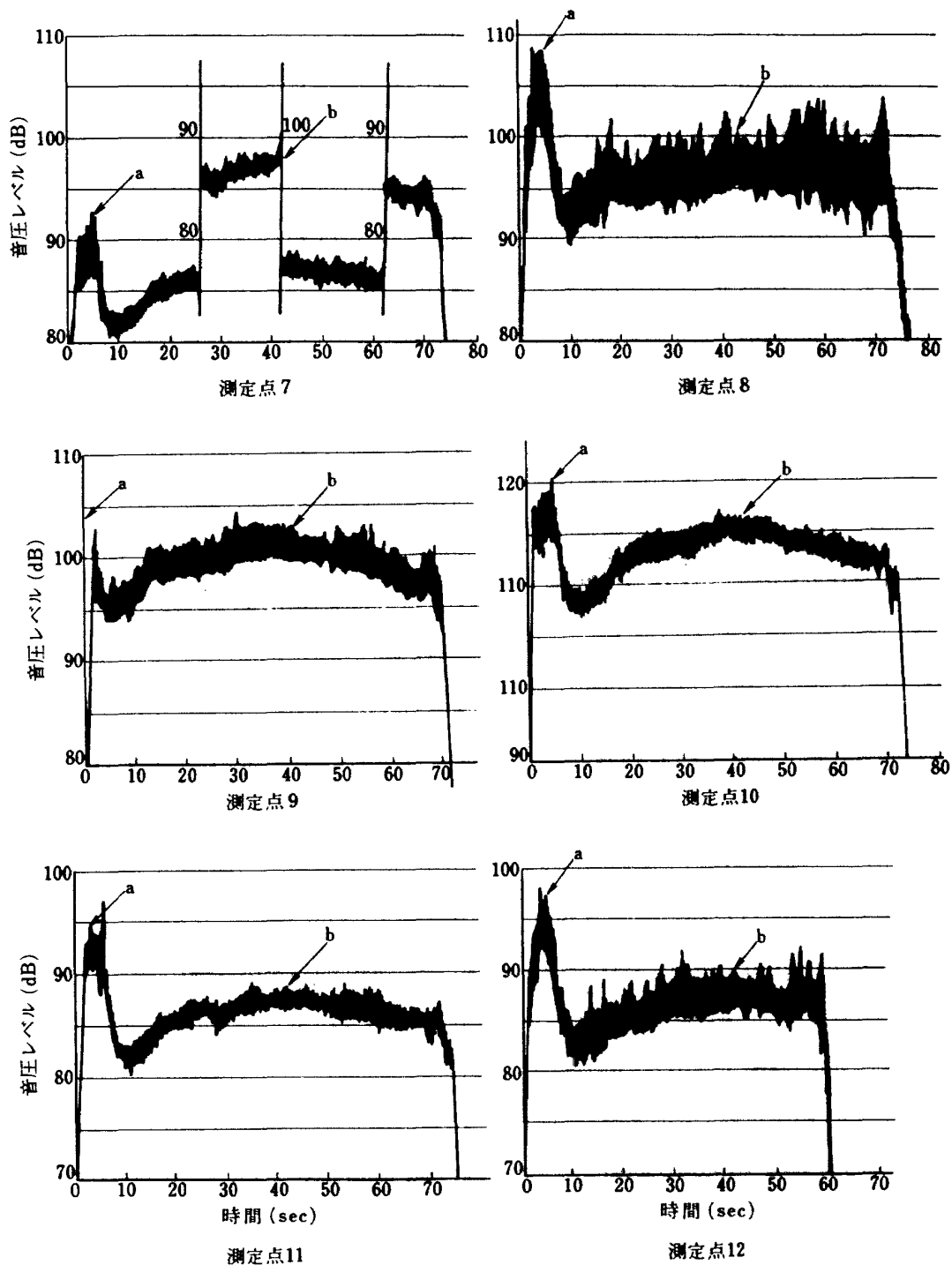
るものである。測定点3の騒音は排気装置の作動による時間経過で、始動後約3分までの高い騒音レベルはメカニカル・ブスターの排気騒音で、それ以後はロータリー・ポンプとミストセパレーターが作動し騒音レベルが低下する。それぞれの図中、矢印で示されたA, B, a, b, c, d, eの時刻における騒音の1オクターブ、バンド、スペクトルを測定点1～18についてそれぞれ第6-1～18図に示



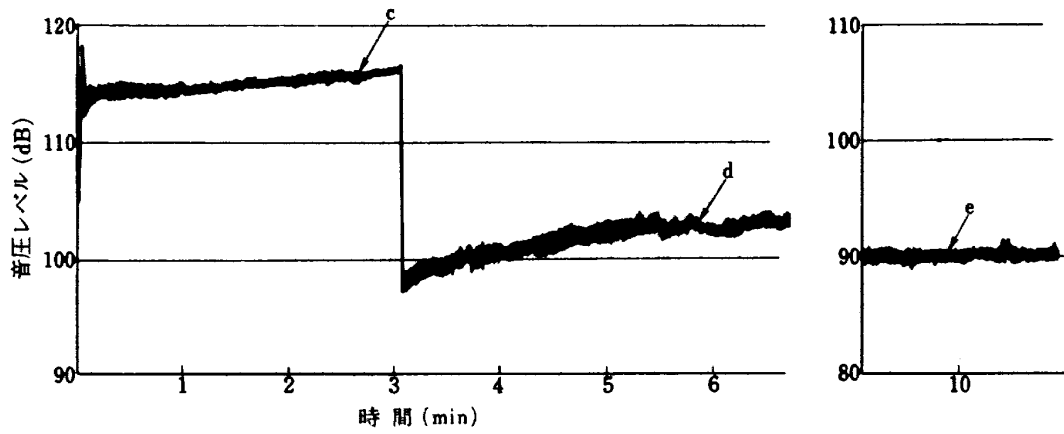
第2図 各測定点の音圧レベルの時間変動

す。この図より風胴本体の冷却器より下流ではすべて通風開始後のピーク時と、その後約40秒の時点におけるスペクトルは、いずれも125Hzと1KHzに山をもった特性を示す。この二つの山の高さを各場所で比較すると、配管系の近くの測定点17では1KHzの山が125Hzより約15dB高く、逆に真空槽の上部の測定点8、測定点12の離れた場所では125Hzが卓越している。このことから配管

系によるものが1KHzで、真空槽によるものが125Hzの山に対応すると考えられる。これらの周波数はいずれも外板の形状に対応する固有振動数が内部の気流から発生した騒音あるいは圧力変動によって励起されたものと判断されるが、その詳しい解析は行っていない。

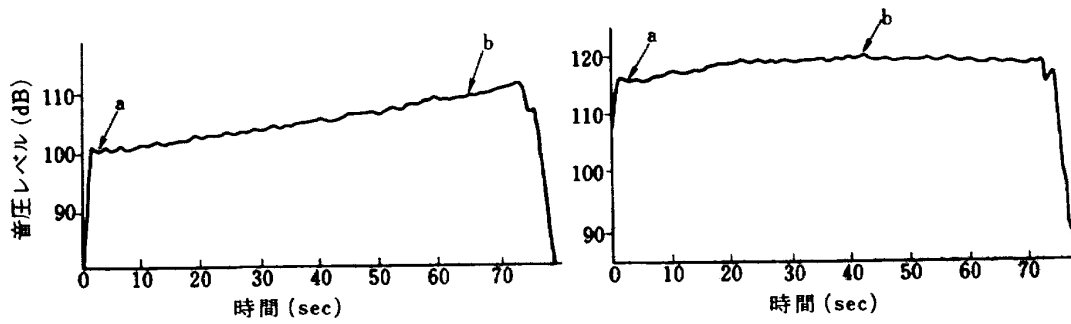


第3図 各測定点の音圧レベルの時間変動



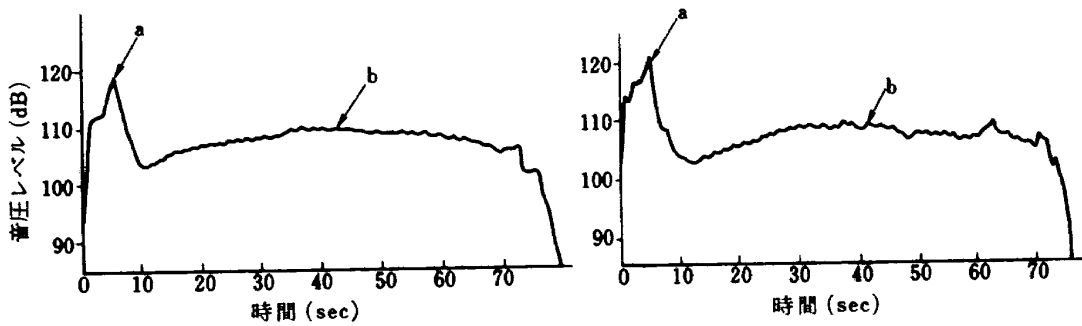
測定点13

測定点14



測定点15

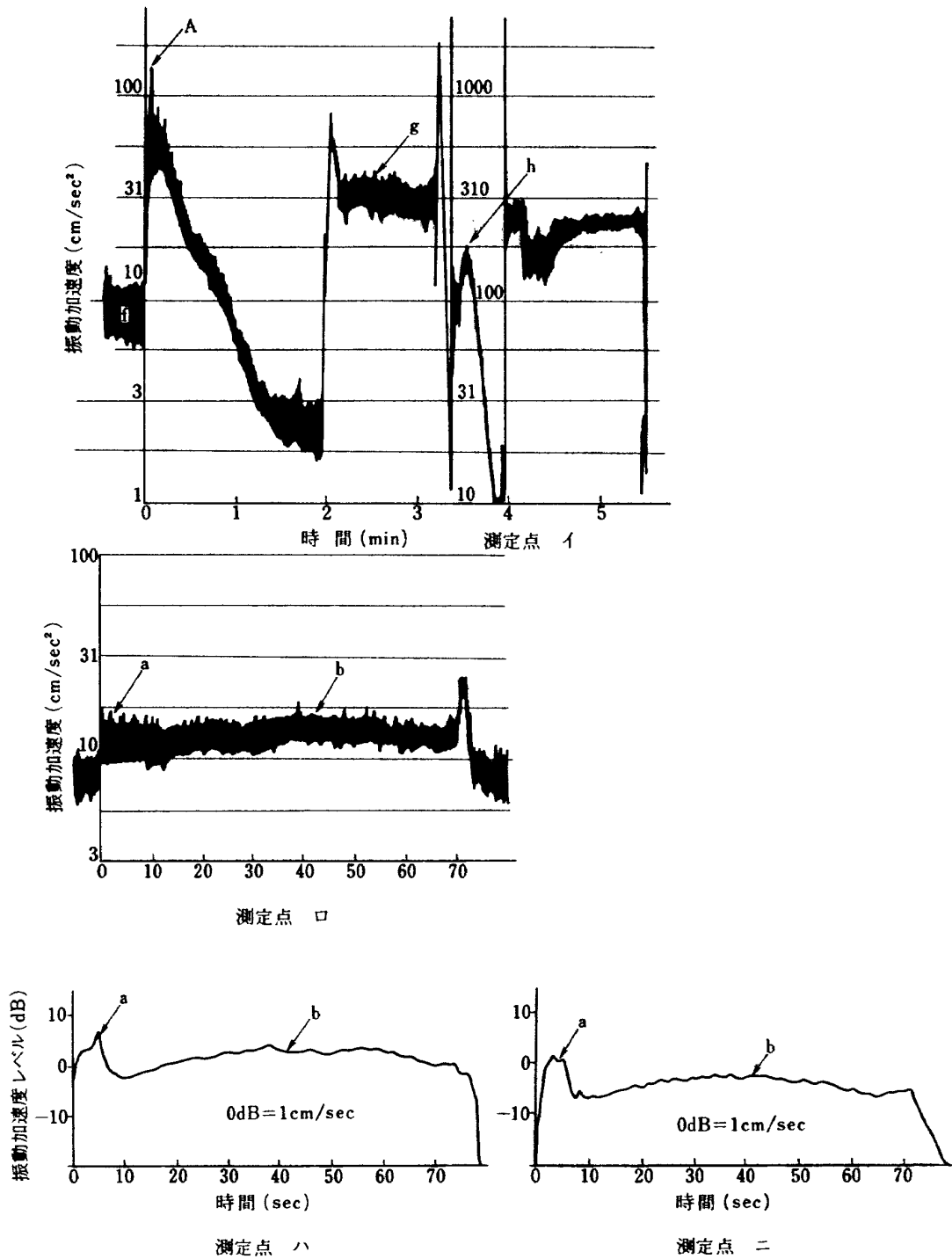
測定点16



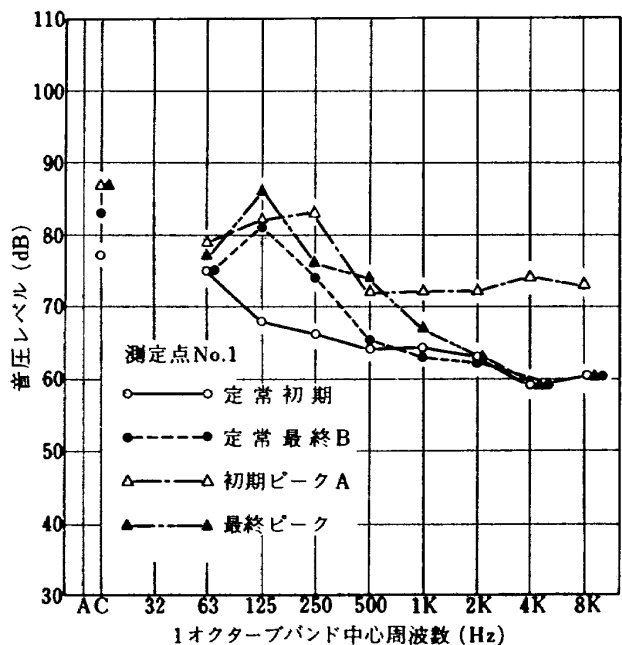
測定点17

測定点18

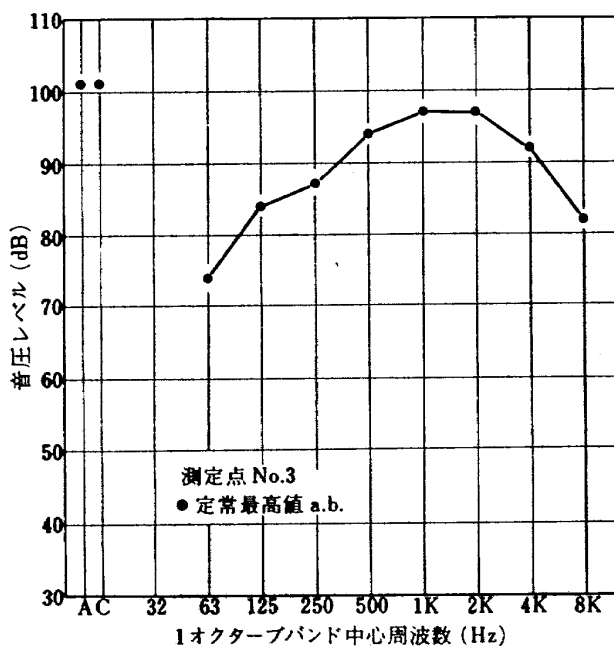
第4図 各測定点の音圧レベルの時間変動



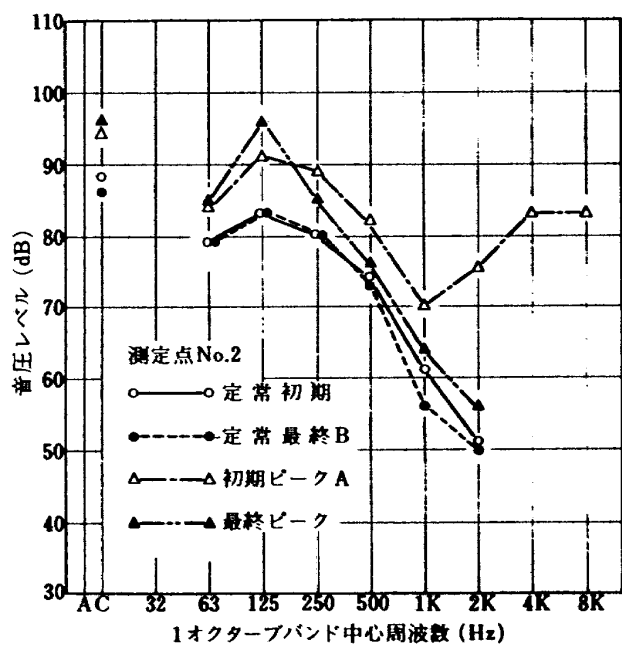
第 5 図 各測定点の振動レベルの時間変動



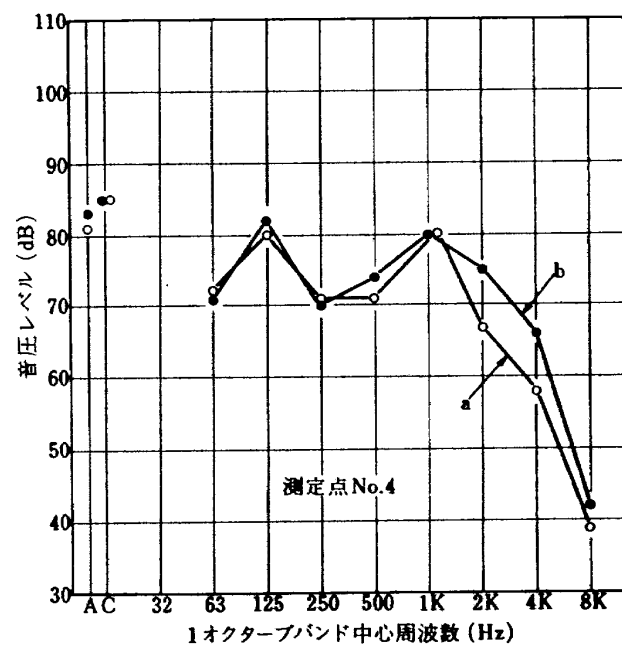
第6-1図 測定点1における音圧レベルの周波数分析



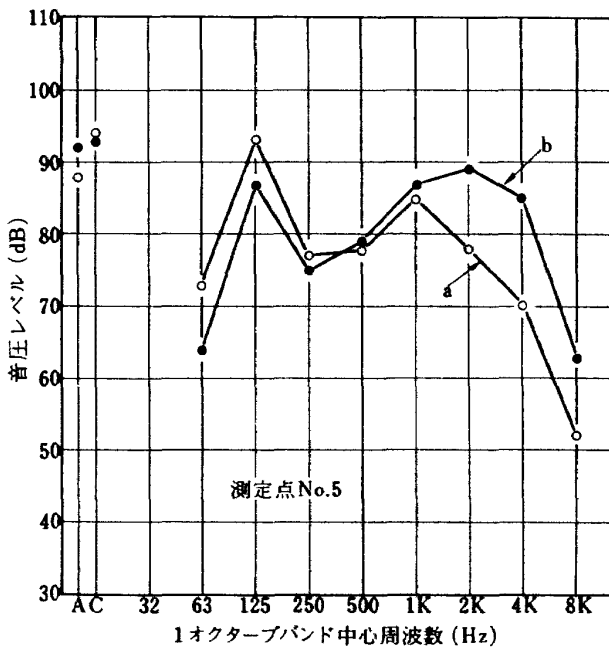
第6-3図 測定点3における音圧レベルの周波数分析



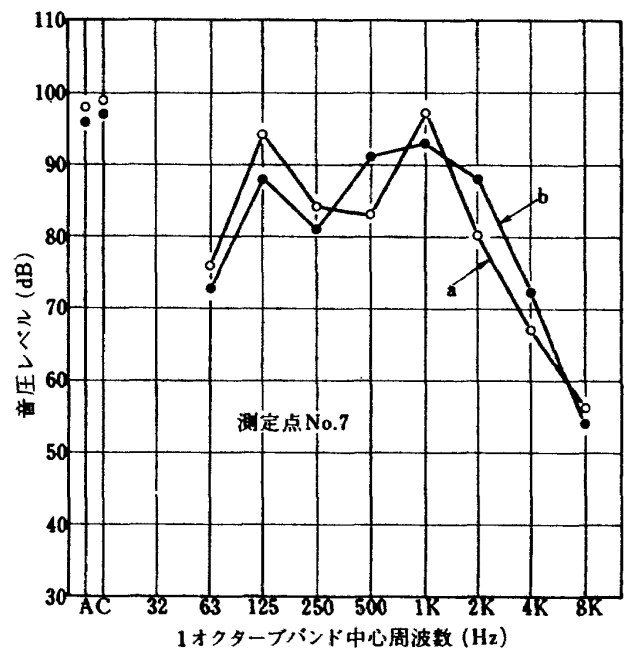
第6-2図 測定点2における音圧レベルの周波数分析



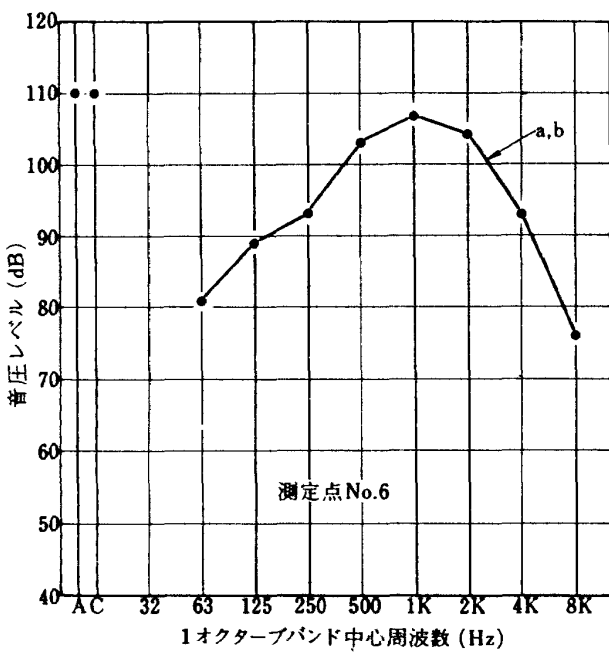
第6-4図 測定点4における音圧レベルの周波数分析



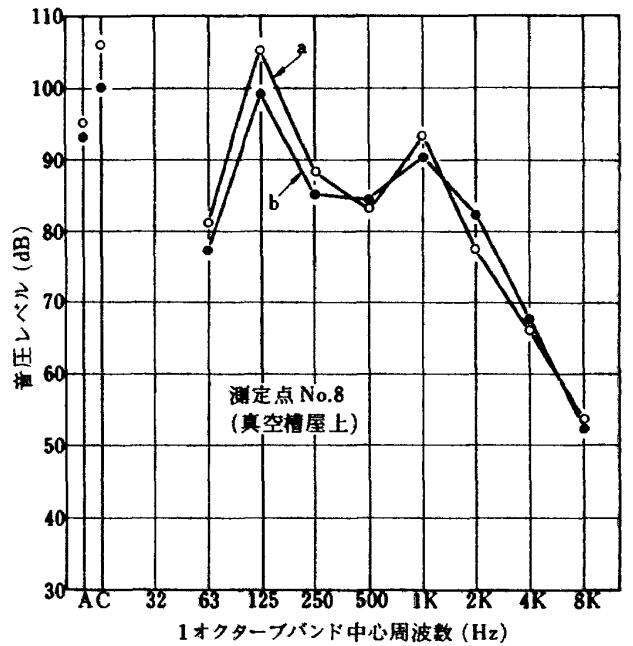
第 6-5 図 測定点 5 における音圧レベルの周波数分析



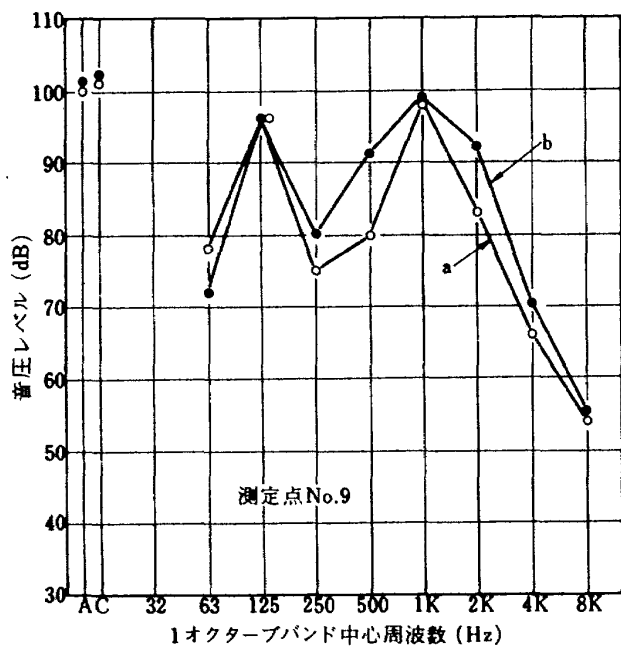
第 6-7 図 測定点 7 における音圧レベルの周波数分析



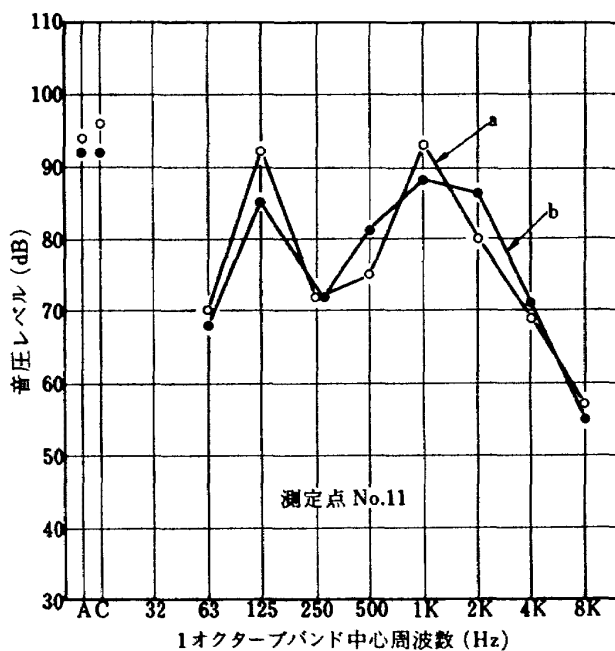
第 6-6 図 測定点 6 における音圧レベルの周波数分析



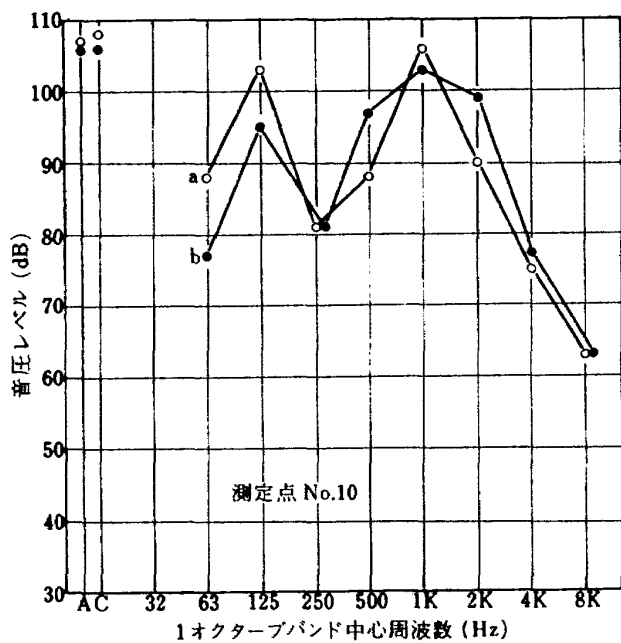
第 6-8 図 測定点 8 における音圧レベルの周波数分析



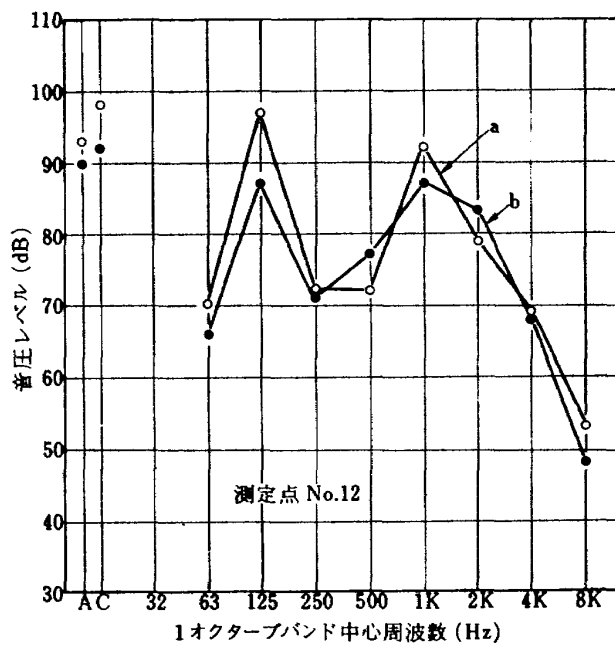
第6-9図 測定点9における音圧レベルの周波数分析



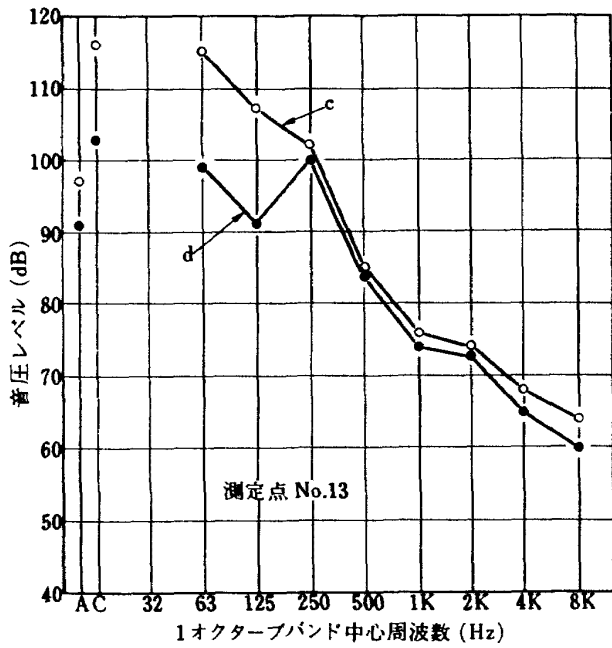
第6-11図 測定点11における音圧レベルの周波数分析



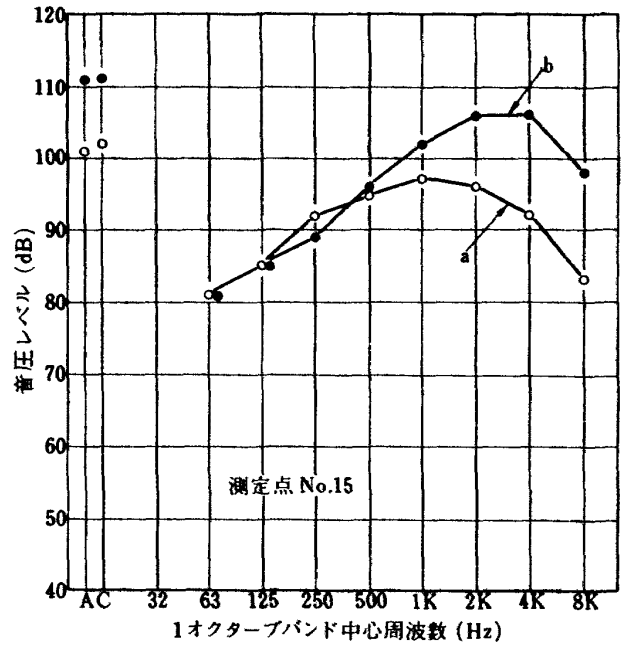
第6-10図 測定点10における音圧レベルの周波数分析



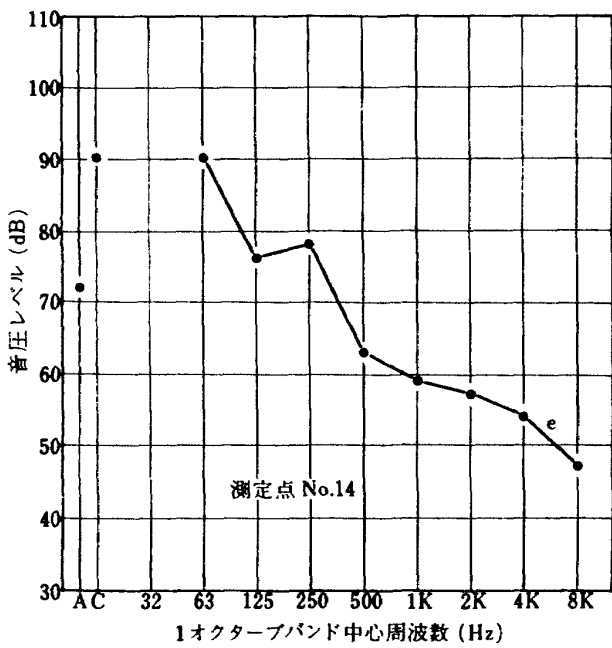
第6-12図 測定点12における音圧レベルの周波数分析



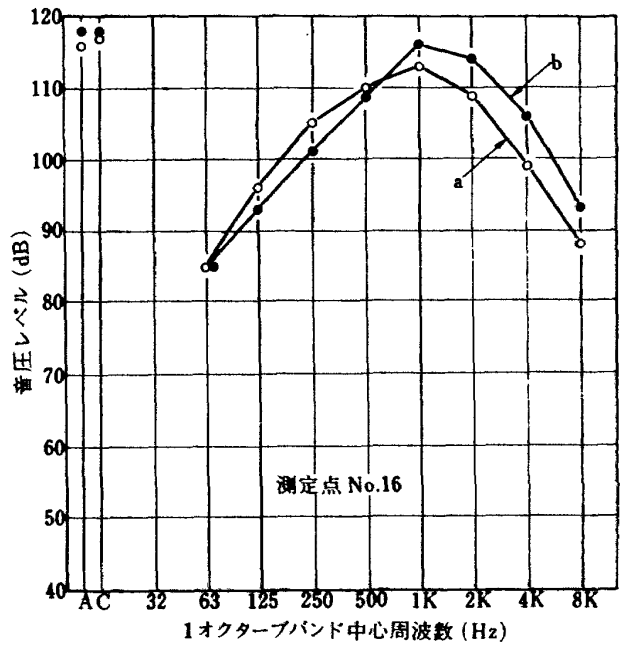
第6-13図 測定点13における音圧レベルの周波数分析



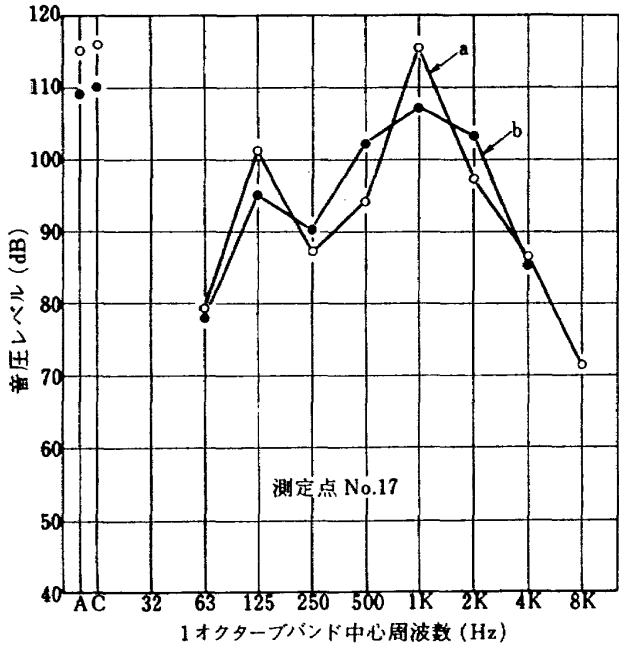
第6-15図 測定点15における音圧レベルの周波数分析



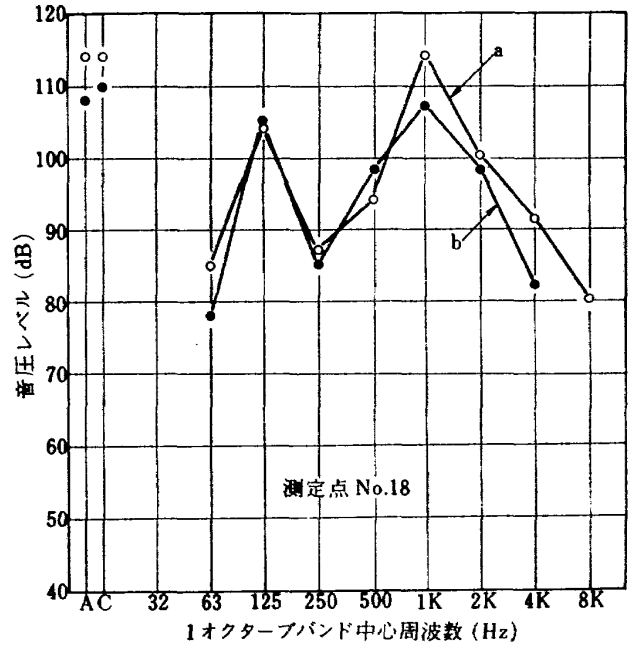
第6-14図 測定点14における音圧レベルの周波数分析



第6-16図 測定点16における音圧レベルの周波数分析



第6-17図 測定点17における音圧レベルの周波数分析

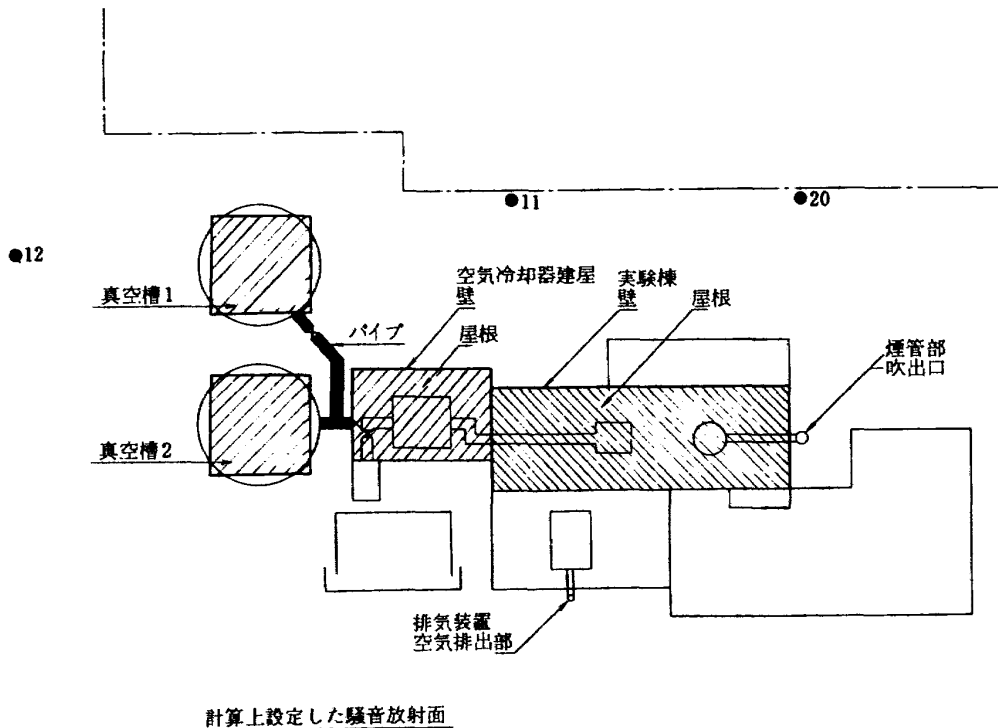


第6-18図 測定点18における音圧レベルの周波数分析

4 防音工事

一般に防音工事は敷地境界など、特定の場所における騒音レベルをある定められた許容値以内に収めることを目標とする。このために同時に発生する各音源からの寄与度を推定し、所要の減音量を求めて必要な防音対策を計画しなければならない。航技研極超音速風洞は敷地境界に近い

ため、防音対策は敷地境界線における騒音レベルを可能な限り減少せしめることを目的として計画された。このために、さきに述べた風洞周辺の騒音および振動レベルの測定結果に基づいて各騒音源の騒音放射面における音圧レベルを設定し、これを音源として騒音伝播の計算プログラムを使用し、受音点に到達する音圧レベルを計算した。すなわち、風洞各部を第7図に示す様な平面で分割し、各面に音源が



第7図 計算上設定した騒音放射面

一様に分布していると仮定した。音源レベルの設定は、真空槽No1については直径13mの球形を一辺9.5mの立方体でおきかえ、球の表面積と立方体の表面積をほぼ等しくとり、測定点9の騒音レベルの実測値より推定した。真空槽No2についても一辺9.5mの立方体でおきかえ、上部と下部についてそれぞれ測定点8と18の実測値より推定した。配管系は測定点10、17の実測値より推定した。冷却器の壁、屋根はともに同一レベルとし、測定点7の実測値および壁、屋根の伝達損失を差引いた測定点6の実測値を平均した値を用いた。実験棟の壁、屋根は測定点4の実測値、測定点ロの壁の振動加速度レベルから放射音圧レベルを推定した値、および測定点3からコンクリート壁の伝達損失を差引いた推定値を平均して求めた。これらの各面

における推定値を通風開始後約3秒と40秒について、まとめて第1表に示す。実際の計算は各面を適当な大きさに分割し、騒音レベルを求めようとする場所までの距離減衰をそれぞれ計算し、これ等を加え合せてその場所の騒音レベルとした。測定点11,12について計算された騒音レベルと実測された騒音レベルの比較を第8,9図に示す。実測値と計算値はかなりよい精度で一致している。また、第10~13図に敷地境界(測定点11,20)での各音源からの推定騒音レベルを示す。騒音対策目標レベルを風洞敷地境界、すなわち測定点11,20で50dB(A)とすると現状の騒音レベルは最大92~94dB(A)であるので所要の減音量は42~44dB(A)となるが、図中の騒音レベルが約50dB以下の実験棟の壁、屋根は防音対策を施す必要が

表-1 現状の推定音源レベル一覧表

ピーク時(通気後約3秒)

(単位: dB)

音源		周波数(Hz)								
		63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	
真空槽	1	81	98	78	90	101	84	68	55	
真空槽	2	上部	84	108	91	85	98	78	67	53
		下部	78	108	81	87	118	96	82	71
パイプ		85	100	84	89	110	90	79	62	
空気冷却器建屋	壁屋根	67	76	80	80	77	67	55	40	
実験棟建屋	壁屋根	61	58	56	47	43	36	31	22	
煙	突	煙管部	79	82	83	72	72	72	74	73
		吹出口	101	108	106	99	87	92	100	100

(煙突は別時刻 A時刻)

定常時(通気後約40秒)

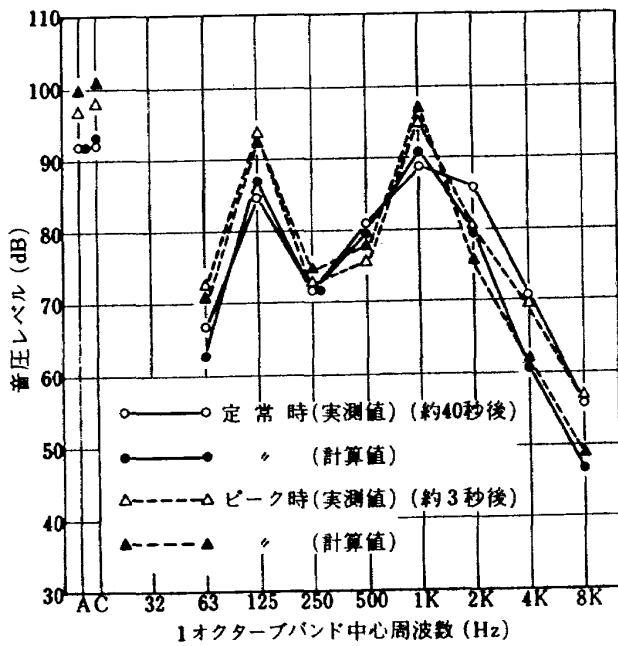
(単位: dB)

真空槽	1	72	96	81	92	101	92	71	55	
真空槽	2	上部	76	98	85	83	90	83	67	52
		下部	75	105	80	84	109	92	80	68
パイプ		74	94	81	98	104	100	77	62	
空気冷却器建屋	壁屋根	68	72	75	80	79	72	62	44	
実験棟建屋	壁屋根	62	60	58	48	43	39	34	24	
煙	突	煙管部	75	70	67	65	64	63	60	60
		吹出口	96	100	97	91	78	68	63	58

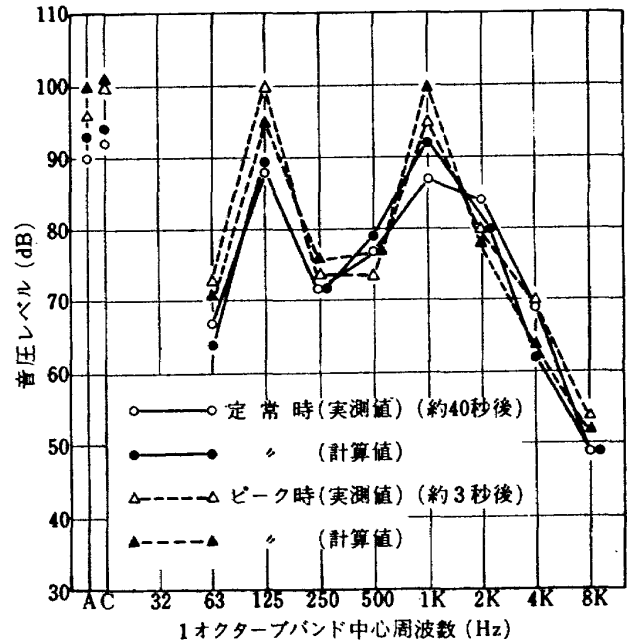
(煙突は別時刻 B時刻)

ない。したがって、対策を要する騒音放射面は真空槽No1 No2, 配管系, 空気冷却器の壁, 屋根の4個所となる。第14, 15 図におのおのの現状騒音レベルからの所要減音量を示す。これらの図より明らかなごとく, 真空槽および配管系について1 KHzと125 Hzでそれぞれピーク時最大

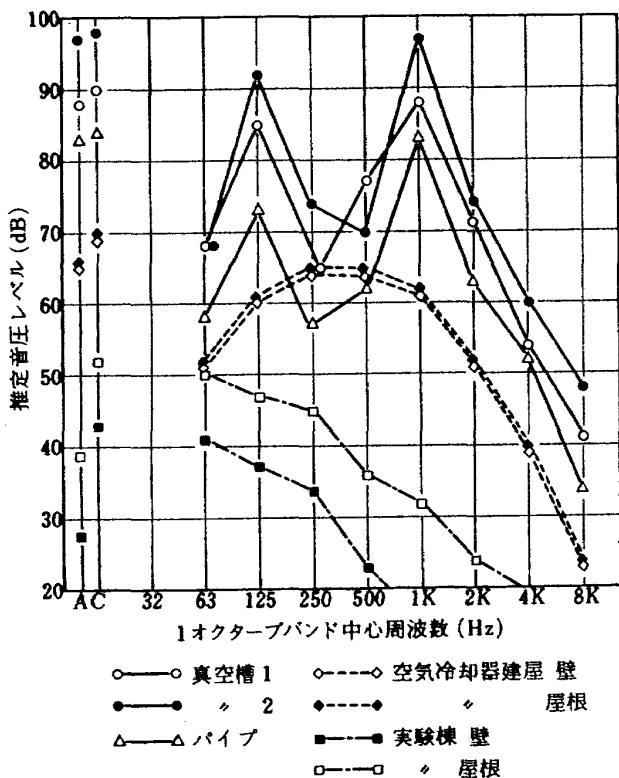
65 dB, 41 dB, 定常時最大56 dB, 35dBの減音量が必要である。とくに, 真空槽についてこれだけの減音量をその機能低下をきたすことなく実現することは技術的に非常に困難である。防音対策について, まず音源となっている真空槽入口ジェット騒音を減少させることが第一段



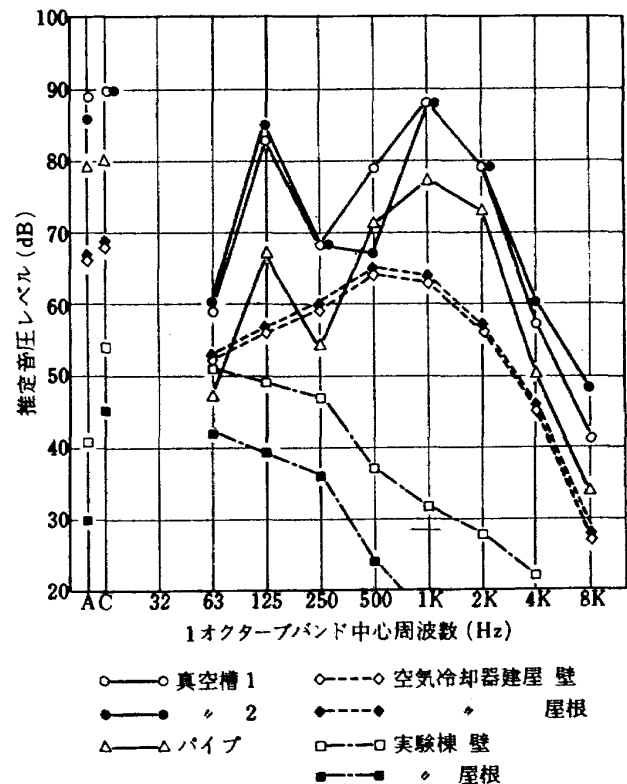
第8図 現状音圧レベルの実測値と計算値の比較 (No.11)



第9図 現状音圧レベルの実測値と計算値の比較 (No.12)



第10図 各音源による敷地境界 (No.11) での推定音圧レベル (ピーク時)



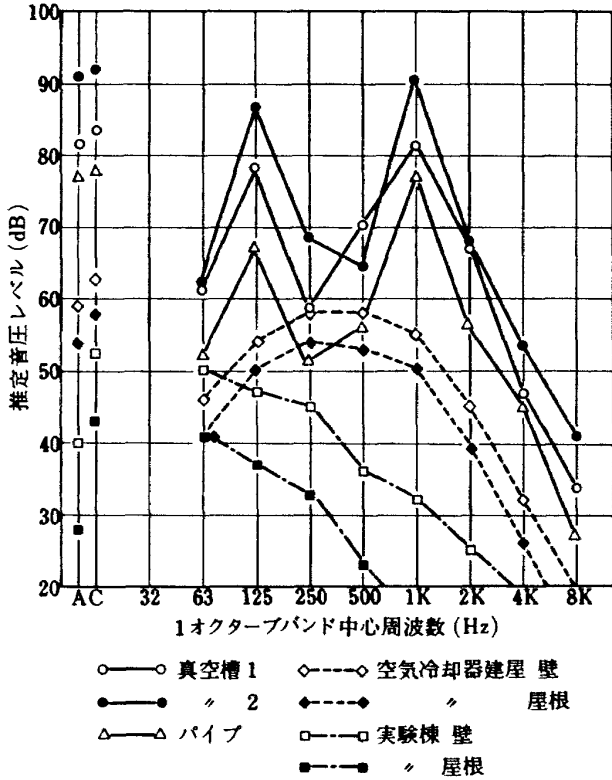
第11図 各音源による敷地境界 (No.11) での推定音圧レベル (定常時)

階として重要と考えられる。このため、通風時の圧力損失、到達真空度の低下、耐重量強度等の制約を考慮して、できるだけ消音効果の大きいサイレンサーを設計、製作した⁵⁾。真空槽以外の防音は音源をコンクリートまたはコンクリート・ブロック壁で遮蔽するとともに、気流の出口には消音

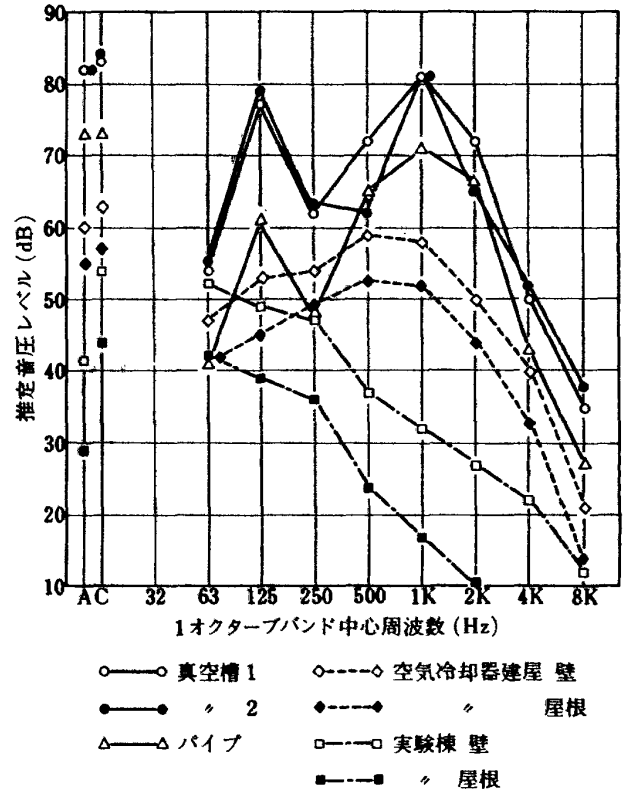
器^{6,7)}を設けて外部への騒音伝播を防止する方針に従った。

4.1 真空槽サイレンサー

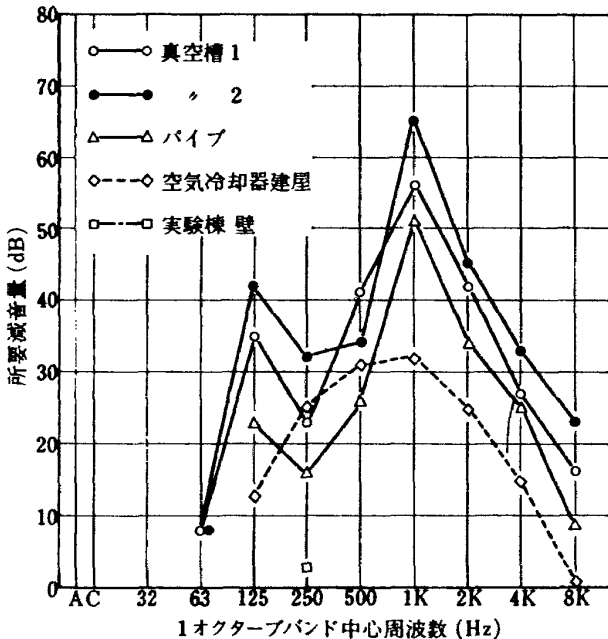
サイレンサーは流路断面積を拡大した多孔パツフル円筒と既製の吸音エレメントより構成されている。騒音の減少



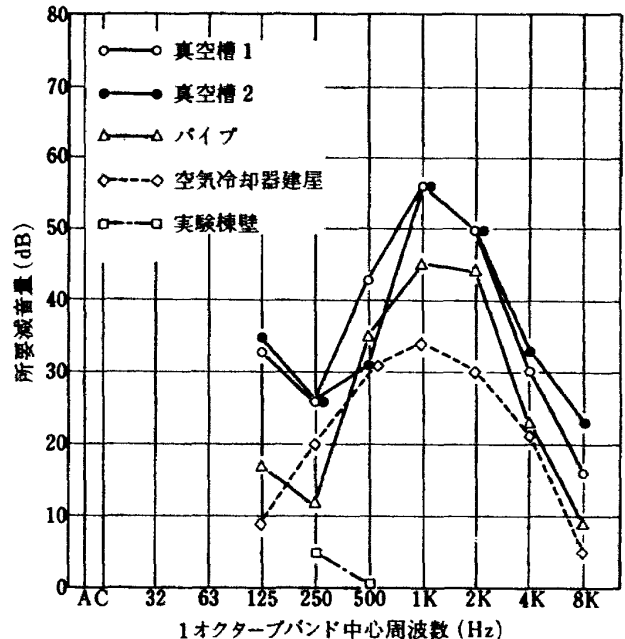
第12図 各音源による敷地境界 (No.20) での推定音圧レベル (ピーク時)



第13図 各音源による敷地境界 (No.20) での推定音圧レベル (定常時)



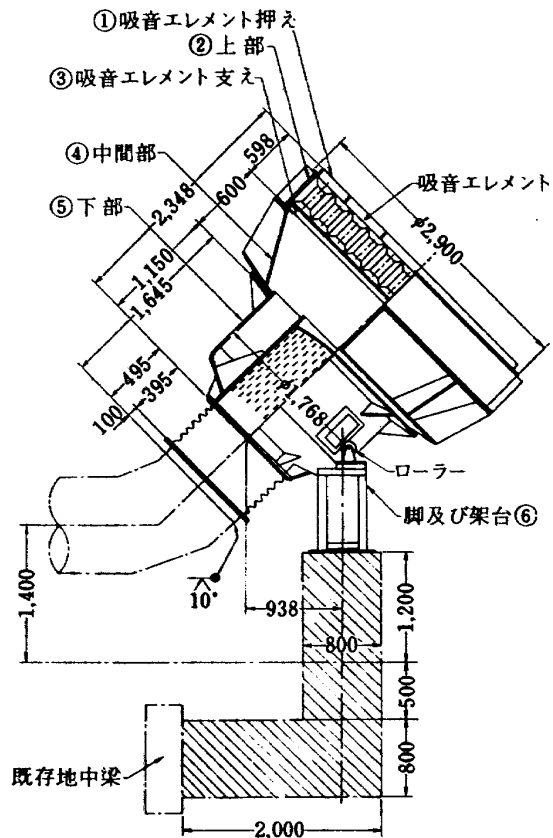
第14図 現状騒音レベルに対する所要減音量 No.11, 20 (ピーク時)



第15図 現状騒音レベルに対する所要減音量 No.11, 20 (定常時)

は流路面積の拡大による流速の低下にもなり騒音パワーの減少と、孔あきパッフルによるジェットのスケーラの縮小化で得られるスペクトルの高域へのシフト、これは吸音エレメントの吸音効果の増大と面密度法則による外板の伝達損失の増大をもたらす、さらに騒音発生体積の減少、パッフルの一つの孔によるジェット騒音と他の孔のジェット流との干渉による吸音効果が総合されたものである。

真空槽No 1, No 2に同形サイレンサーを使用した。その構造を第16図に示す。パッフルはサイレンサー下部に設けられ、直径約1 m、高さ約1.4 mの円筒形で、その周辺部に直径60mmの孔を29個×12段、上面部に40個を穿った。この外側に直径約1.8 m、高さ約1 mの外筒で流路が形成され、この断面積は配管系の断面積の約2倍となっている。パッフルの上端面より約0.6 m離れて吸音エレメント受けを設け、既製の吸音エレメント(直径252mm、長さ450mm)94本を1段に並べて固定した。吸音エレメント1段当りの吸音特性を第2表に示す。このサイレンサーの1台の総重量は約3,900 kgで真空槽への取付けは溶接によって固定されたが、その重量は温度変化を考慮して、ローラーによって支持されている。また、配管系の接続はベローによって結合されている。

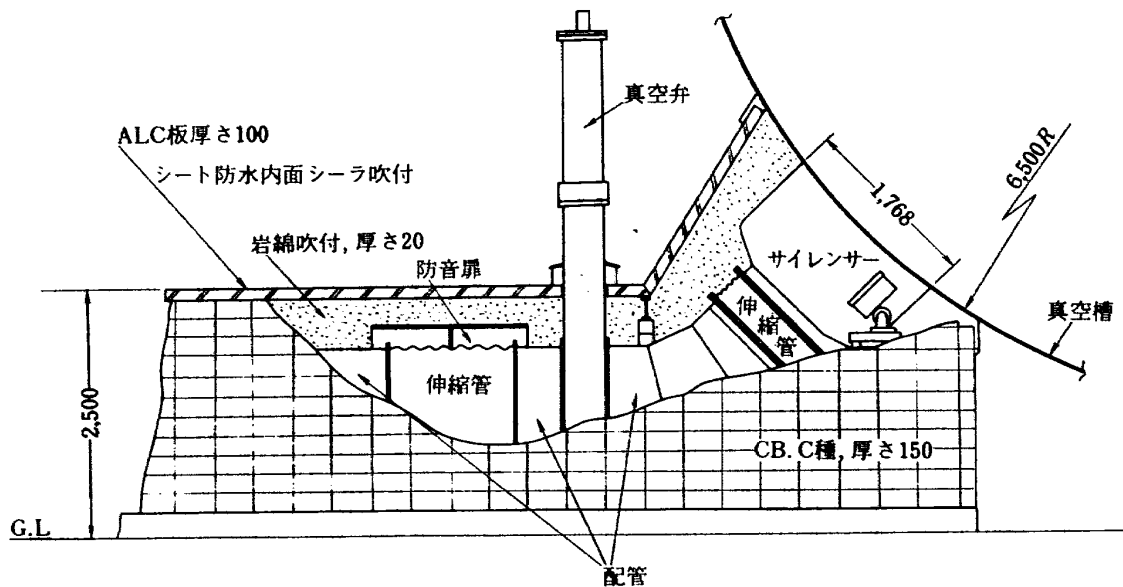


第16図 真空槽サイレンサー構造図

第2表 吸音エレメントによる減音量

周波数 Hz	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
250φ 1列当り	2	4	6	9	13	12	11	10

(dB)



第17図 配管系騒音対策施工図

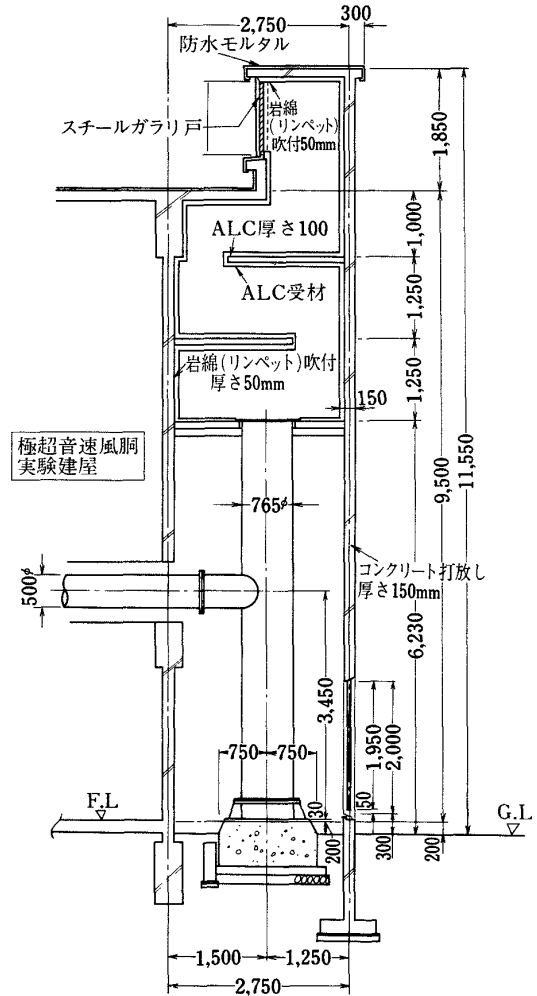
4.2 配管系

配管系より発生する騒音は管内部の気流の圧力変動が1 KHz の管の固有振動を誘発したものと考えられる。この防音対策として、管の構造強化や管内の流れの安定化が考えられるが、ここでは確実にしかも経済的な方法として管の周囲をコンクリート・ブロック壁で密閉する方法をとった。第17図に示すごとく、厚さ150mmのコンクリート・ブロックで幅2.2m~3m、高さ2.5m~4mの側壁を作り、天井をALC板で掩い、その中に配管系を収めた。ブロック壁の一方側の内壁面に厚さ20mmの岩綿吹付を行なって、音の反射を防止した。

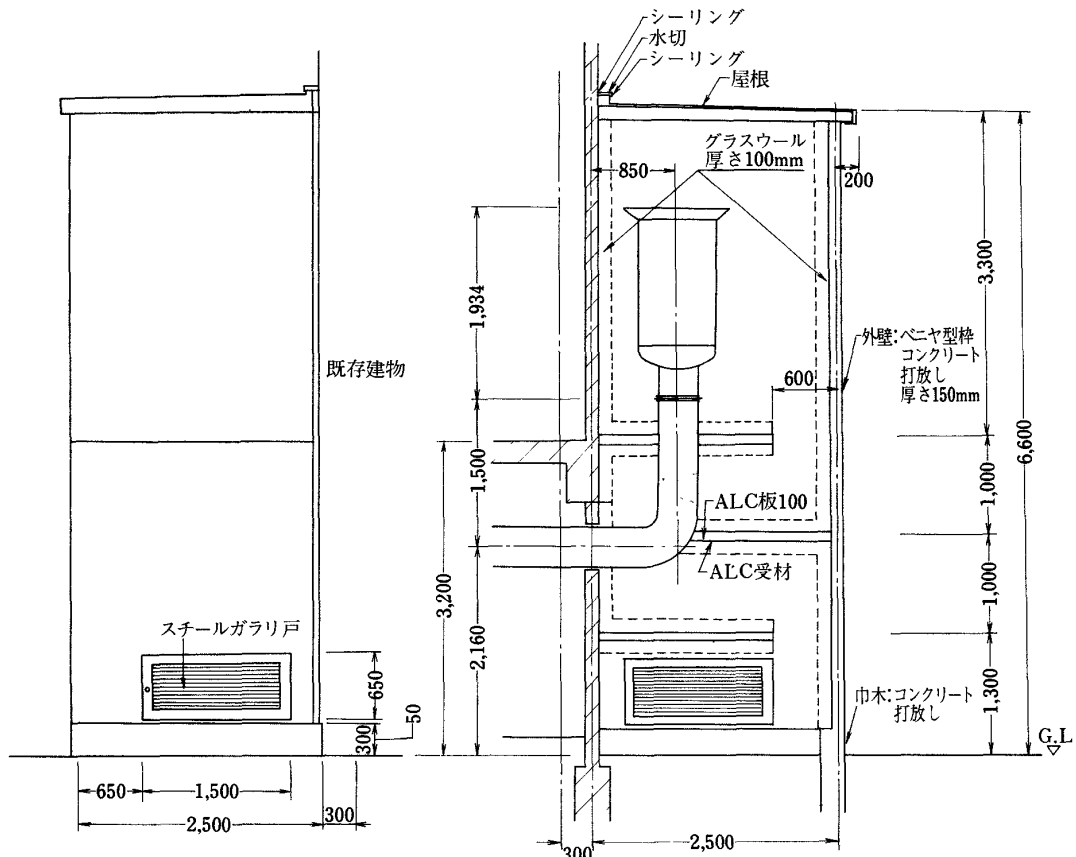
4.3 煙突部

この部分はペブル加熱器の燃焼ガスが排出されるため高温になるので、煙突内部に通常の吸音物質を貼ることができない。そこで、煙突の上半分を取除いて、既設建屋を利用して2.35×2.75mの矩形断面、高さ5.35mの消音器を取付けた。消音器の内部に吸音板2枚を入れて流れを屈曲させ、壁面にはすべて厚さ50mmの岩綿吹付を施した。煙突の下半分はそのままとして、厚さ150mmのコンクリートで外部を密閉し外板からの透過音を遮断した。

(第18図参照)



第18図 加熱器煙突騒音対策施工図



第19図 排気装置騒音対策施工図

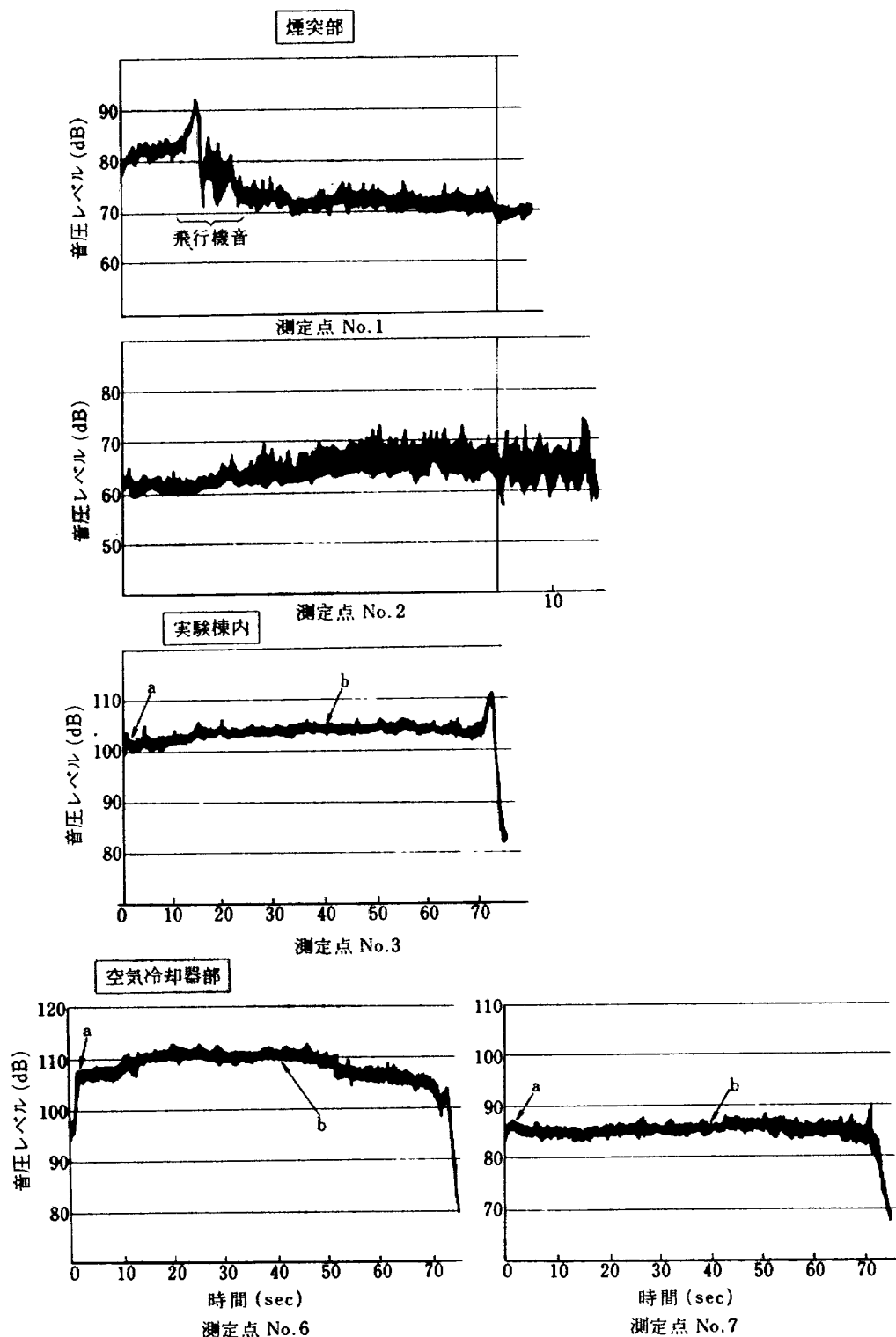
4.4 排気装置の排気孔

排気装置の騒音はパルス状の衝撃音で、排気孔にはすでにマフラーが取付けてあり、かなり減衰しているが、なおかつ63 Hz以下の低周波成分が高いレベルを示している。低周波で消音効果を大きくするため、大型の消音器により、既設のマフラーを囲って排気音の減少を計った。第19図にその構造を示す。構造の概略は厚み150mmのコンクリート壁で高さ6.6m、断面2.4m×2.5mの消音器の外壁

を作り、内部に吸音板3枚を設け、内面全体を金網で表面を押えた厚さ100mmのグラスウールで内張りを施した。消音器の下部に1.5m×0.65の排気孔を設けた。

5 防音工事後の騒音測定

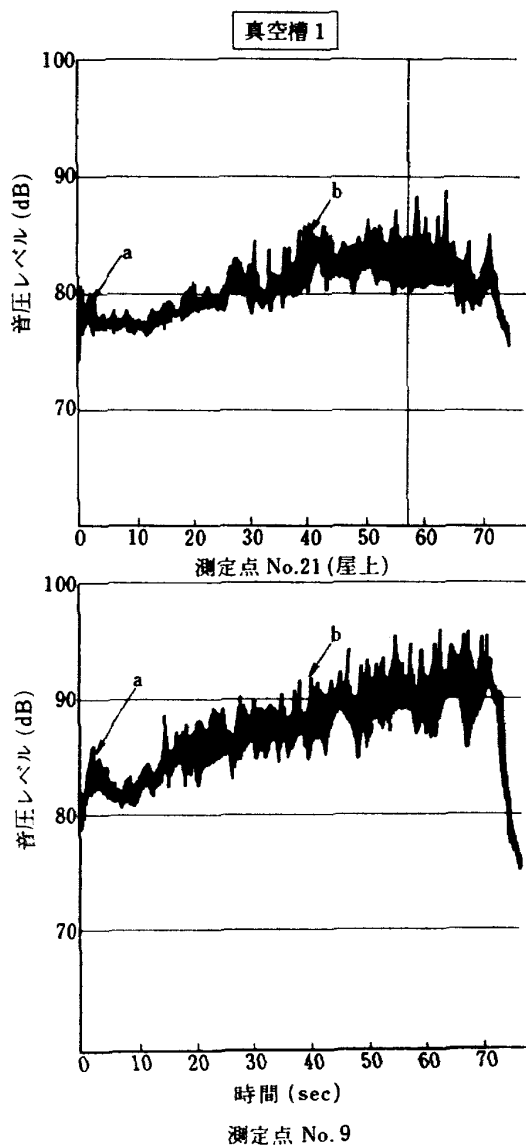
前述の防音対策工事を施工し、所期の目的がどの程度達成されたかを調べるため対策工事後の騒音、振動について工事前と同様な測定を行なった。この結果を工事前の測定



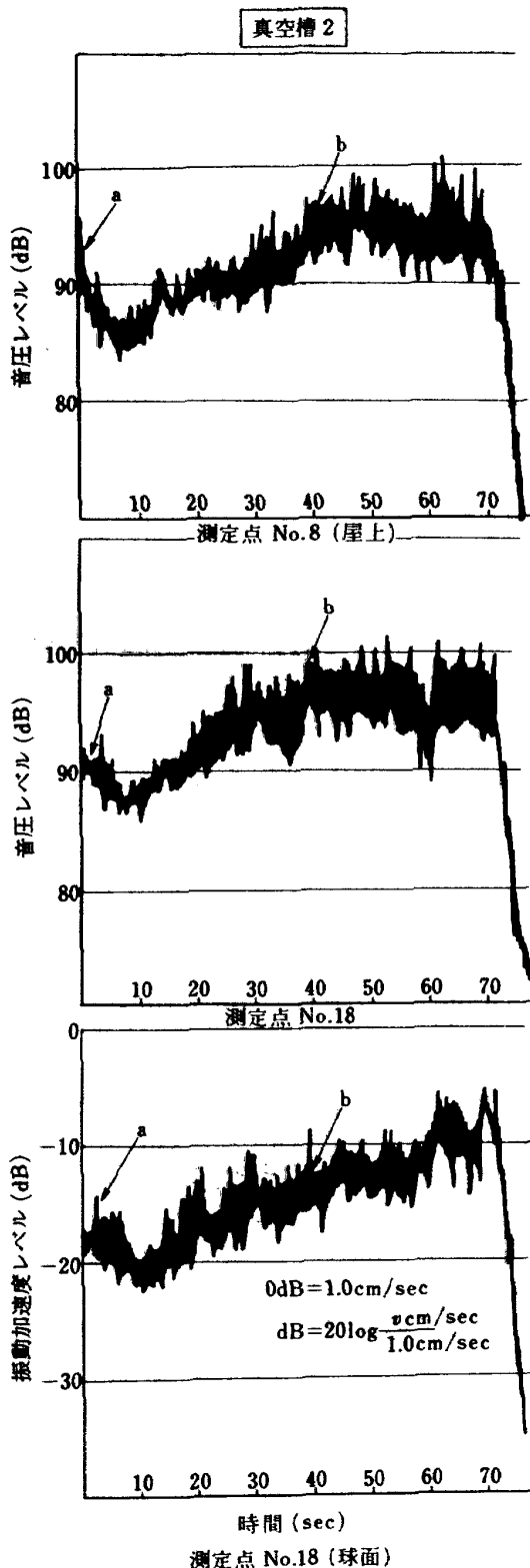
第20-1図 対策後の騒音レベルの時間変動

結果と比較し、今後の対策の資料とするため問題の検討を行なった。風胴の運転条件および計測方法は前回と同じものとしたが、測定点は防音工事のために変更され、騒音については敷地境界の測定点20、および真空槽No1の屋上の測定点21を追加し、測定点4, 5, 12, 14, 15, 16を省略した。振動測定では測定点1, 2を省略した(第1図参照)。第20-1~5図に風胴始動後の騒音レベルの時間経過の記録を示す。測定点1, 2の記録は煙突の地上および屋上での測定結果で、風胴停止後の残留高圧空気放出による高い騒音レベルがほとんど暗騒音レベルと同程度に減少した。風胴運転時における各部の騒音の時間経過をみると、防音対策に関係のない測定点6(冷却器建屋内)を除いて、著しい特徴は風胴始動後数秒間に生じる非常に高い騒音レベルのピークがほとんど消滅し、全体的に時間

の経過とともにゆるやかに増大し、その後やや減少する傾向を示している。騒音レベルについてみると、測定点6においては対策前のものとほとんど同一である。真空槽ではNo2の屋上(測定点8)で始動後のピーク時において、



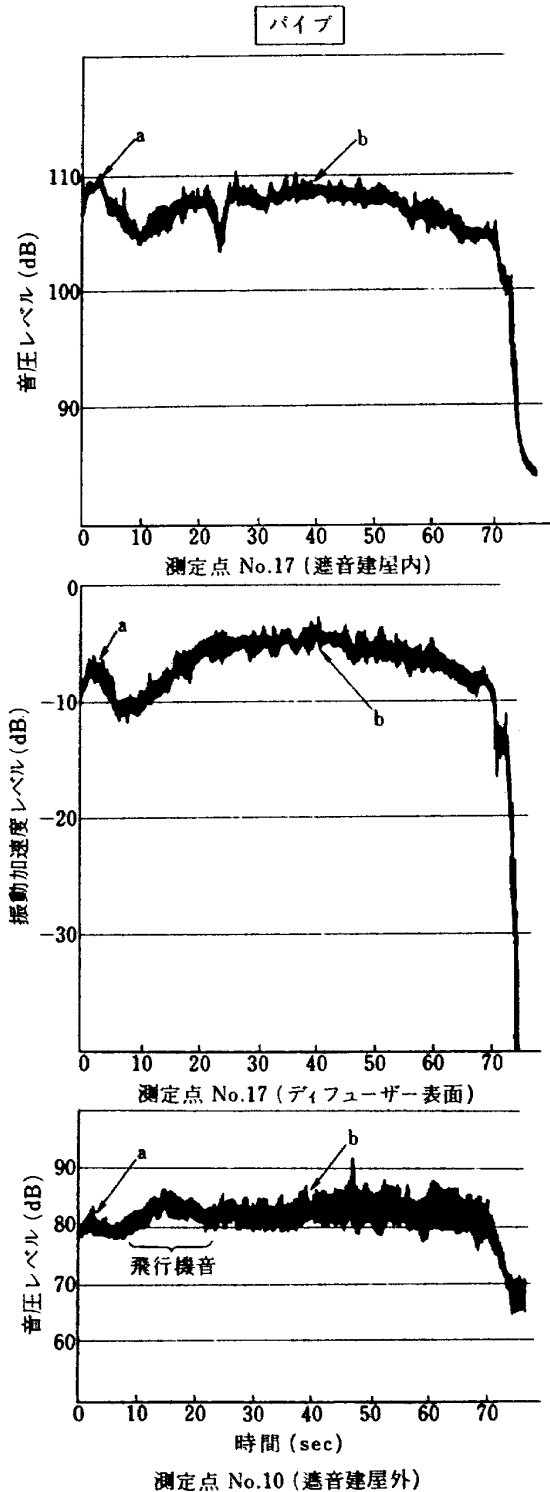
第20-2図 対策後の騒音レベルの時間変動



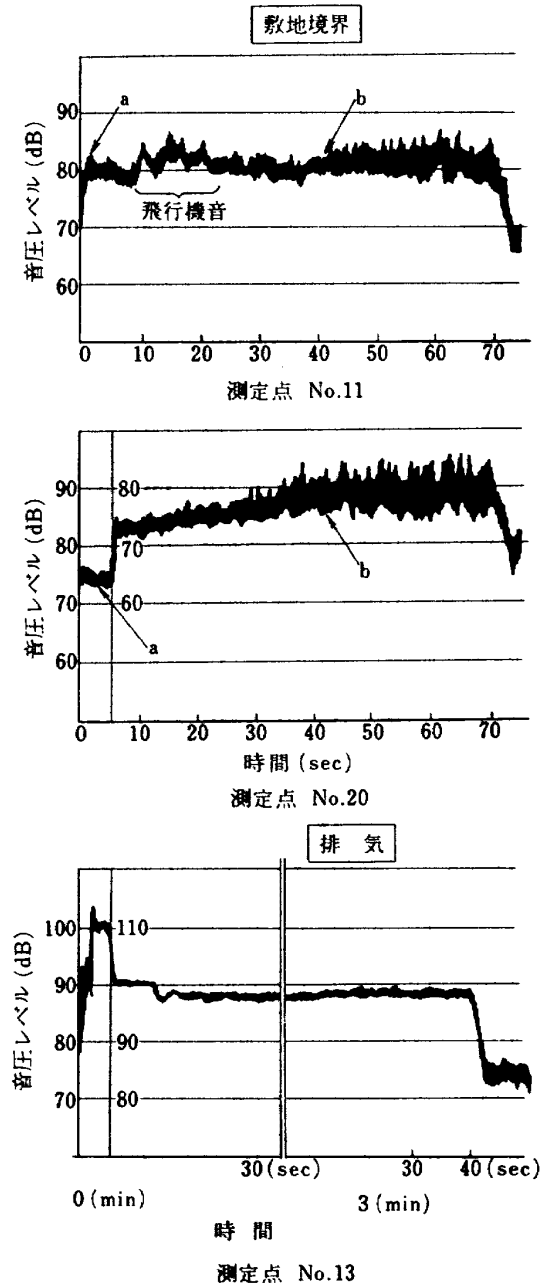
第20-3図 対策後の騒音レベルの時間変動

対策前 110dB 近くあったものが 95dB に、40 秒後で 97 dB が 93 dB にそれぞれ低下した。また、下部の測定点 18 ではピーク時 120dB、40 秒後 107dB のものがそれぞれ 91dB、97dB に減少した。真空槽 No.1 の下部 (測定点 9) でピーク時 101dB、40 秒後 101dB がそれぞれ 93dB と 88dB に減少した。また配管系について

は測定点 10 で比較するとピーク時 120dB、40 秒後 115dB がそれぞれ 80dB、81dB と大幅に減少した。敷地境界線の測定点 11 についてみるとピーク時 94 dB、40 秒後 88 dB がそれぞれ 80 dB、81dB に低下した。つぎに、排気装置の吐出孔の騒音についてみると始動後 3 分間 115dB が 99dB に、3 分以後 103dB が 82 dB にそれぞれ低下した。第 21-1~14 図に第 20 図の a, b で示された時刻、指示のない測定点 1, 2 は風洞停止後の定常状態において、また測定点 13 は排気装置の始動後 3 分間の定常状態における 1 オクターブバンドスペクトル



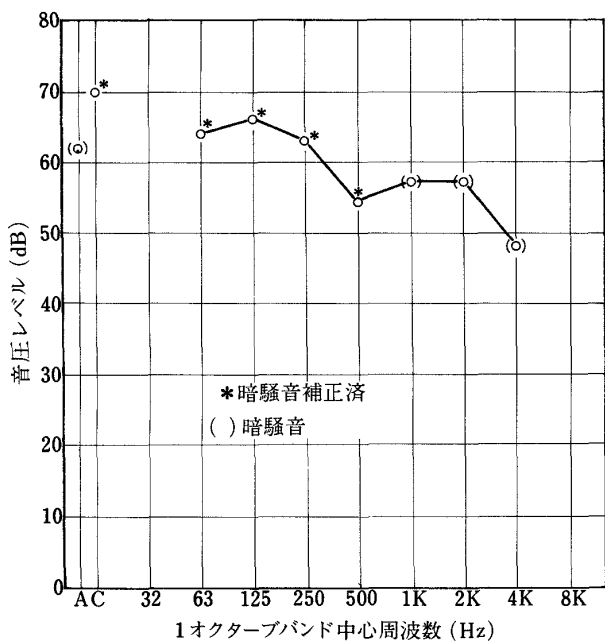
第 20-4 図 対策後の騒音レベルの時間変動



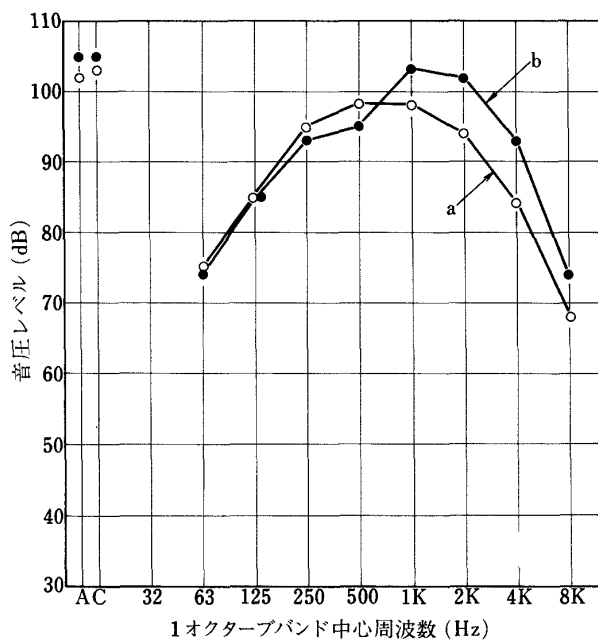
第 20-5 図 対策後の騒音レベルの時間変動

分析の結果を示す。それぞれ第6-1~18図と比較して防音工事による特性の変化を明らかにすることができる。まず、測定点1, 2 について第21-1, 2 図をみると風洞停止後の定常状態の騒音レベルは70 dB(C)となり、高い周波数で暗騒音の影響を受けて測定値が得られなかった。つぎに、測定点3, 6 については防音工事に直接関係がなく、1 KHz に中心をもつ山なりのスペクトル分布をして、

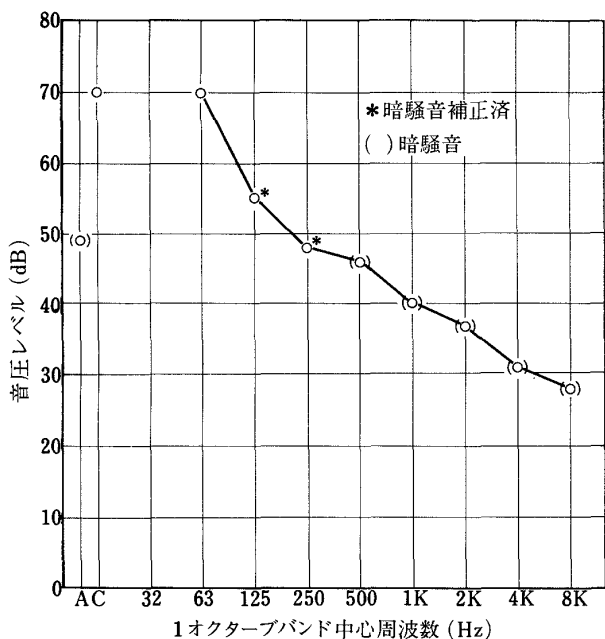
第21-3, 4 図に示すごとく対策前とほとんど同じ騒音レベルである。冷却器外側(測定点7)については第21-5図より、前回にみられた125Hzと1 KHz の高いピークが消えて、ほとんど平坦なスペクトル分布となった。これは真空槽と配管系の騒音特性の影響によると考えられる。つぎに、真空槽No.1の下部(測定点9)および上部(測定点21)について第21-6, 7 図に示されると



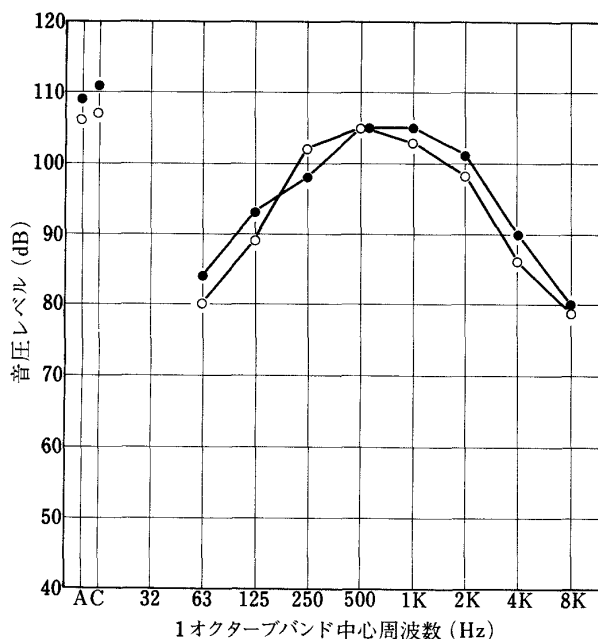
第21-1図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点1)



第21-3図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点3)



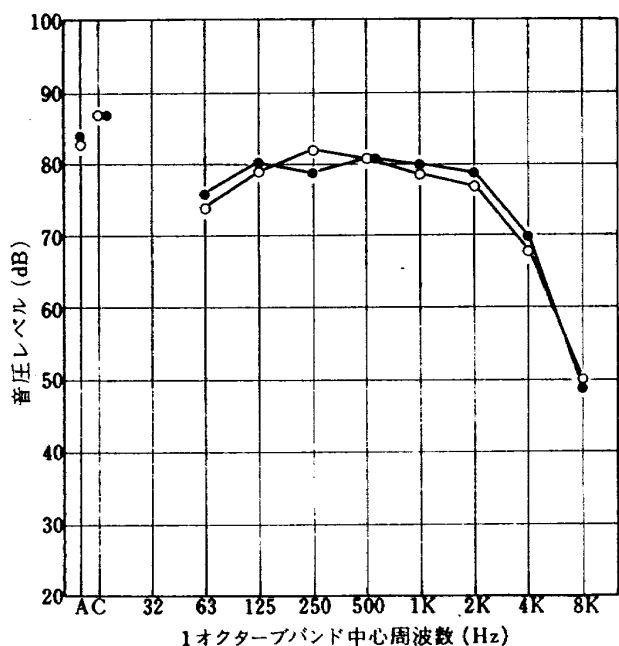
第21-2図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点2)



第21-4図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点6)

く、流入空気がないため騒音は他の部分から伝播するものと配管系の振動の伝達による若干の騒音輻射が考えられる。測定結果にみられる騒音減少は1 KHz について著しい、これは配管系の騒音低減の影響と考えられ、125Hzのピークはあまり減少していない。真空槽No.2について上部(測定点8)および下部(測定点18)をそれぞれ第21-8, 9 図に示す。上部では1 KHz のピークは対策前に

比べて約15 dB 低下しているが、下部では約23 dB の減少が得られている。これは配管系の騒音レベルの低下の影響を距離的に近い下部でより多く受けているためである。配管系の囲壁外側の測定点10(第21-10図)では1 KHz で約30dB もの減少がみられ、このピークはよく減衰している。しかし、125Hzは10 dB程度しか減衰していない。これを配管系の囲壁内側(測定点17)の第21



第21-5図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点7)

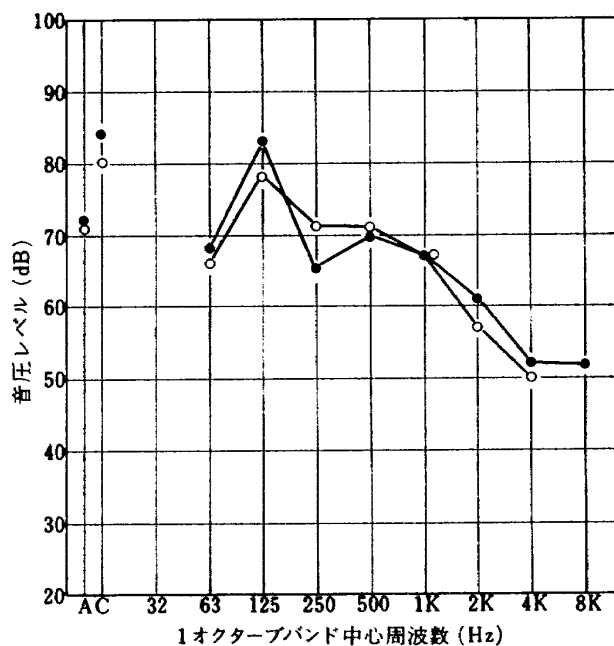
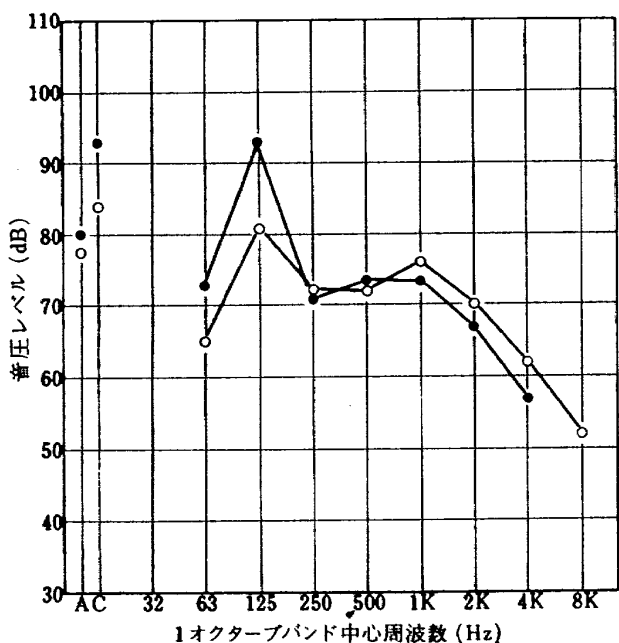
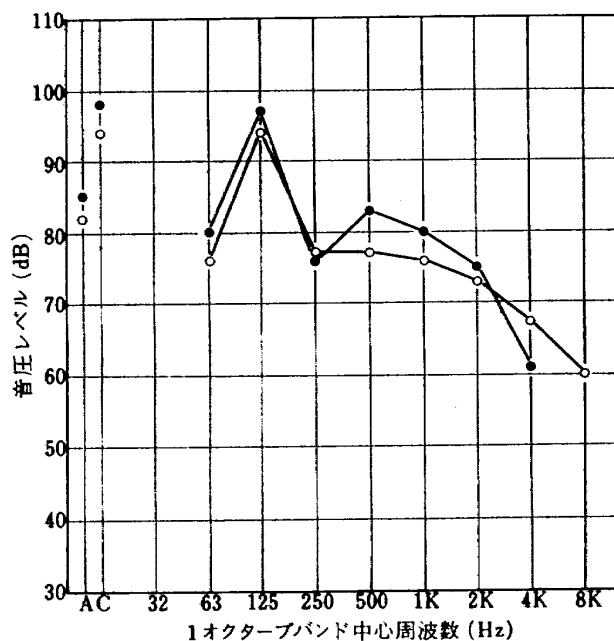


図21-7 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点21)



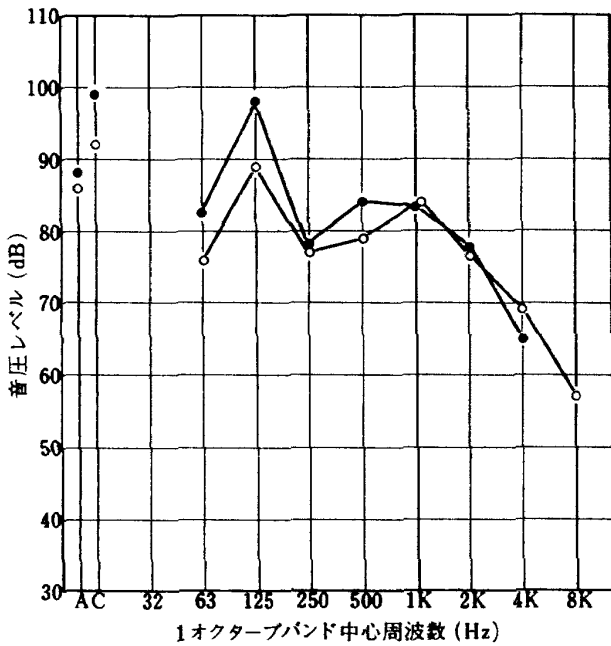
第21-6図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点9)



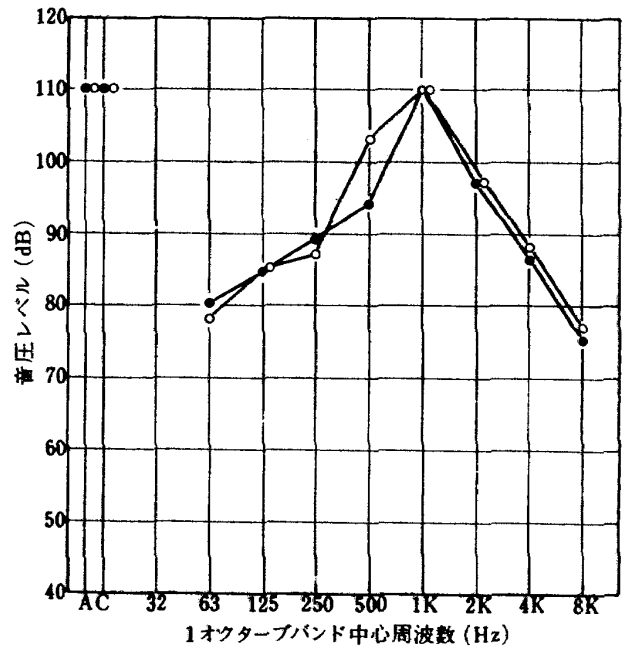
第21-8図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点8)

- 1 1 図と比較すると、ここでは1 KHz の単一の大きなピークのみがみられ、配管系で1 KHz の非常に高い騒音が発生していることを実証している。125Hz のピークは対策前のスペクトルではかなり顕著に認められるが、これは真空槽の騒音の影響を受けたもので囲壁によって外部と遮断されて始めて音源の特性が分離され明確になった。つぎに敷地境界においては第 2 1 - 12, 13 図より対策前の配管系による1 KHz のピークはほとんど減衰したが、

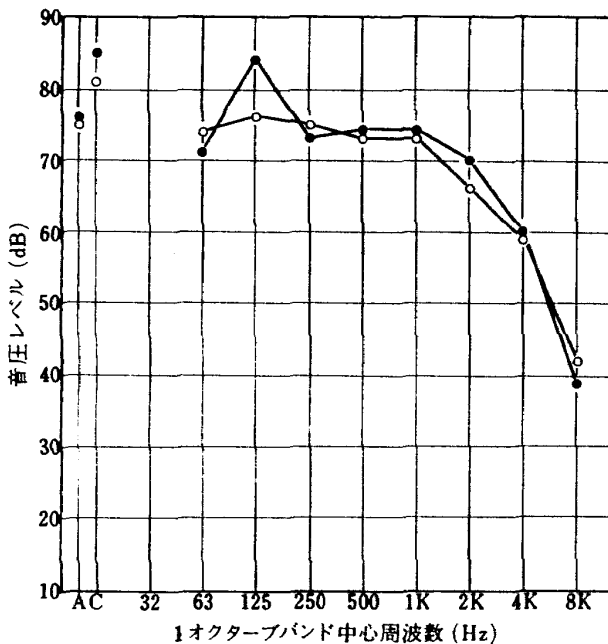
125Hz ではまだ若干のピークを示している。しかし、騒音レベルは測定点 1 1 で77~78 dB(A), 測定点 2 0 で73~74 dB(A) となり、対策前に比べて14~17dB (A) の効果があった。つぎに、排気装置では測定点 1 3 の測定値(第 2 1 - 1 4 図)を対策前と比較し、A特性で15~19 dB, C特性で15 dB 程度の減少がみられ、63Hz のみ暗騒音以上で125Hz 以上は暗騒音に埋れている。



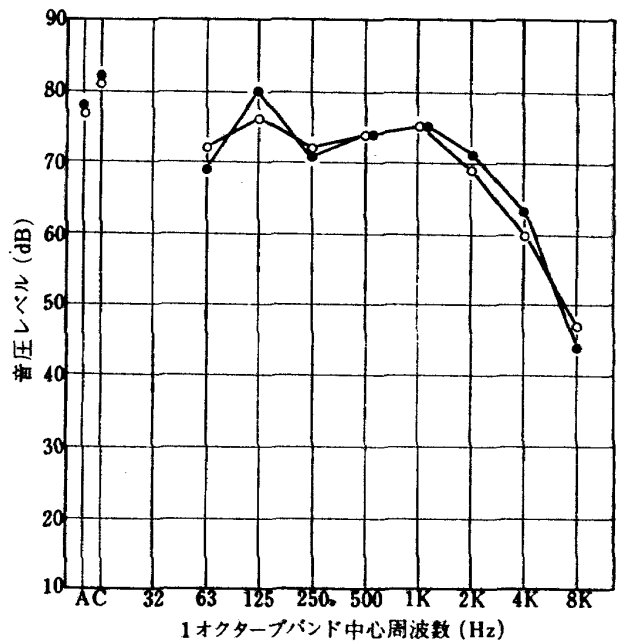
第 2 1 - 9 図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点 18)



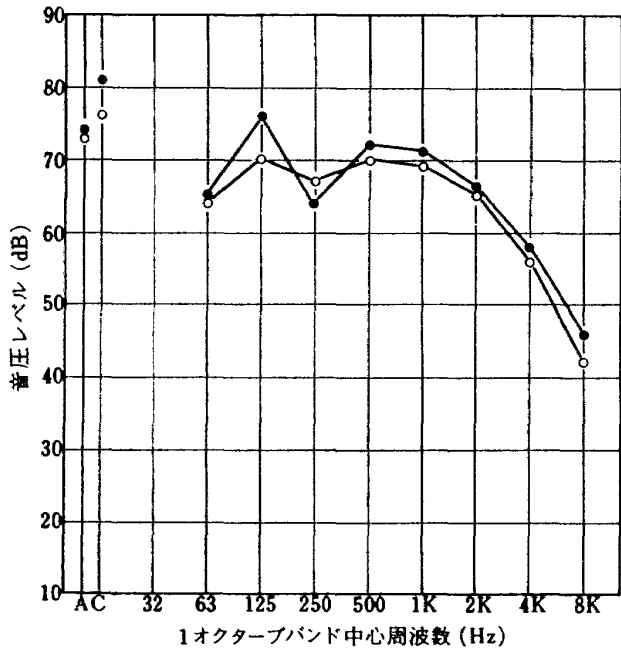
第 2 1 - 1 1 図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点 17)



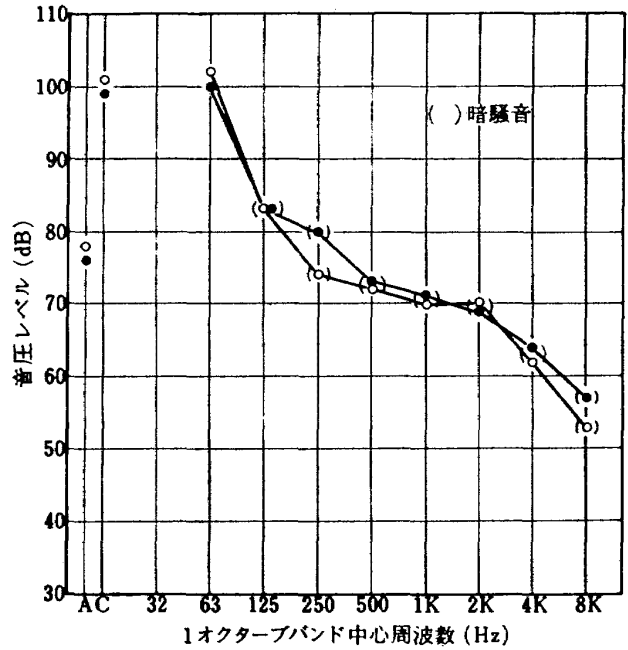
第 2 1 - 1 0 図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点 10)



第 2 1 - 1 2 図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点 11)



第 21-13 図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点 20)



第 21-14 図 対策後の音圧レベルの周波数分析 (測定点 13)

6 騒音対策結果の検討

防音対策工事の結果、風洞各部について得られた騒音低下を評価するため、対策前の測定結果について用いたもの

と同じ方法によって各部の騒音推定レベルを求めた。この推定値を a 時刻 (始動後約 3 秒) と b 時刻 (始動後 4 0 秒) について、それだけ第 3, 4 表に示す。また、これらの値を用いて前回と同じ計算プログラムにより計算した測定点

対策後の各部分の推定音源レベル一覧表

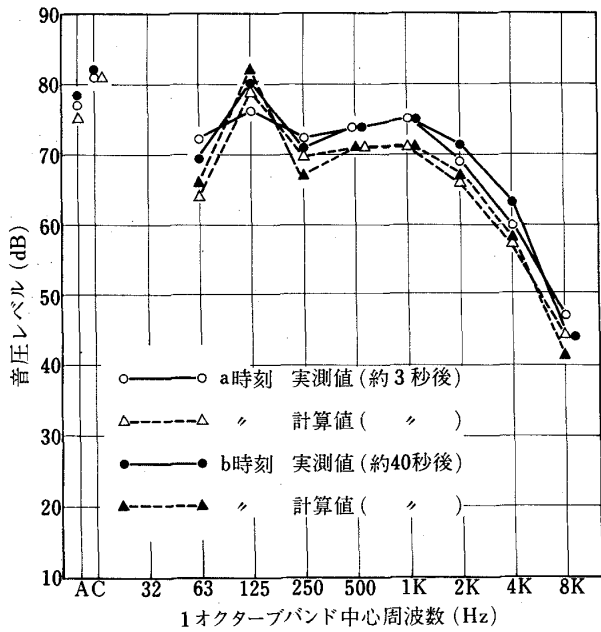
第 3 表 a 時刻 (約 3 秒後)

音源	周波数 (Hz)								
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	
真空槽 1	上部	69	80	74	81	70	58	52	41
	下部	68	83	75	82	79	71	64	53
真空槽 2	上部	79	97	80	79	81	74	69	60
	下部	69	93	71	72	88	73	60	48
パイプ	壁	49	50	50	56	54	37	25	17
	屋根	53	53	51	69	64	45	22	9
空気冷却器建屋	壁屋根	71	76	82	81	79	78	69	51
実験棟建屋	壁屋根	62	59	64	51	44	33	23	8

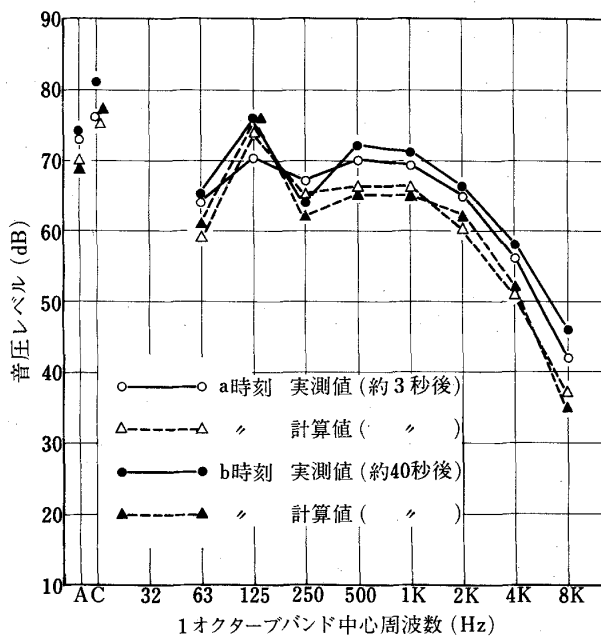
第 4 表 b 時刻 (約 4 0 秒後)

真空槽 1	上部	68	80	66	71	68	61	52	50
	下部	73	90	71	74	74	67	57	50
真空槽 2	上部	80	94	76	83	80	75	61	55
	下部	80	95	73	70	86	72	63	55
パイプ	壁	51	49	51	48	59	40	26	17
	屋根	55	52	52	61	69	48	25	9
空気冷却器建屋	壁屋根	73	77	79	81	80	80	71	50
実験棟建屋	壁屋根	62	61	64	47	49	44	35	16

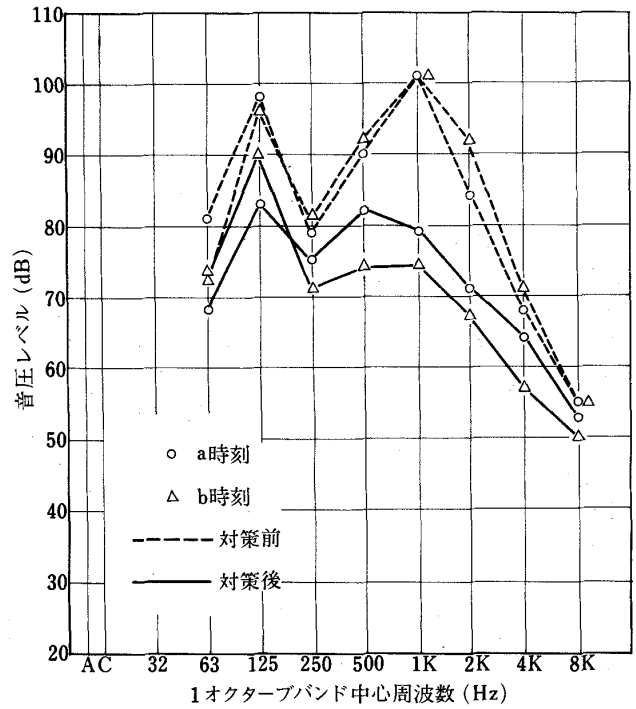
11, 20の音圧レベルを実測値と比較したものを第22, 23図にそれぞれ示す。両者は数dB以内で一致しており、これらの推定値が妥当であることを示している。対策工事の前後について、それぞれの推定音源レベルを比較したものを第24～27図に示す。これ等の図より考えられる騒音特性の変化は、真空槽No.1についてa, b両時刻ともに大きな減音量が得られ、とくに1KHzのピークが著しい。これは配管系の騒音低下の影響を受けたものと考えられる。



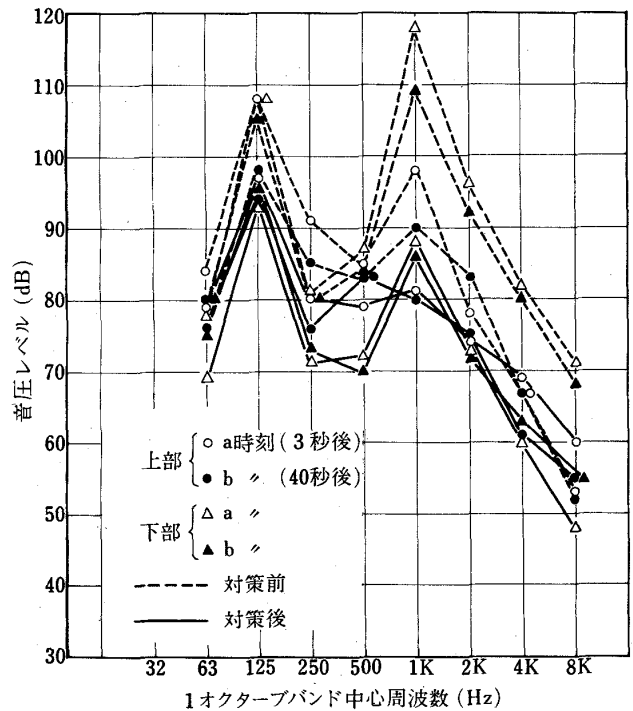
第22図 実測値と計算値の比較 (No. 11)



第23図 実測値と計算値の比較 (No. 20)



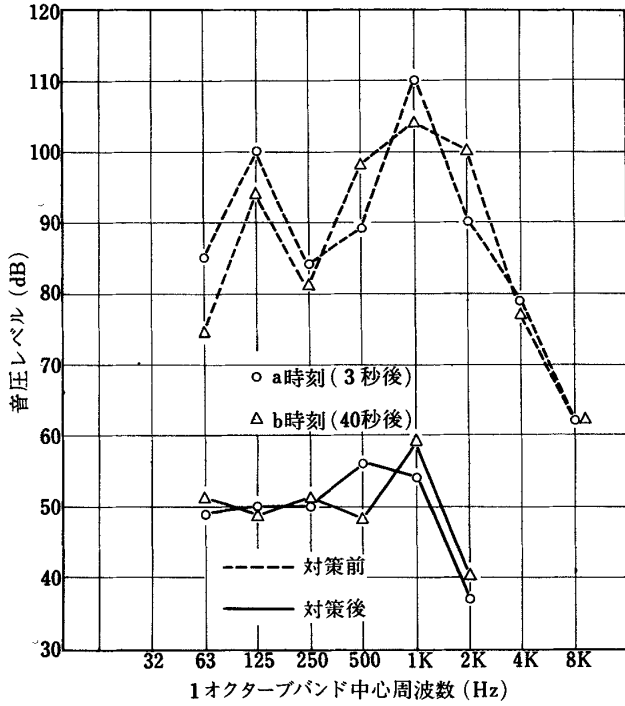
第24図 対策工事前後の推定音源レベルの比較 (真空槽1)



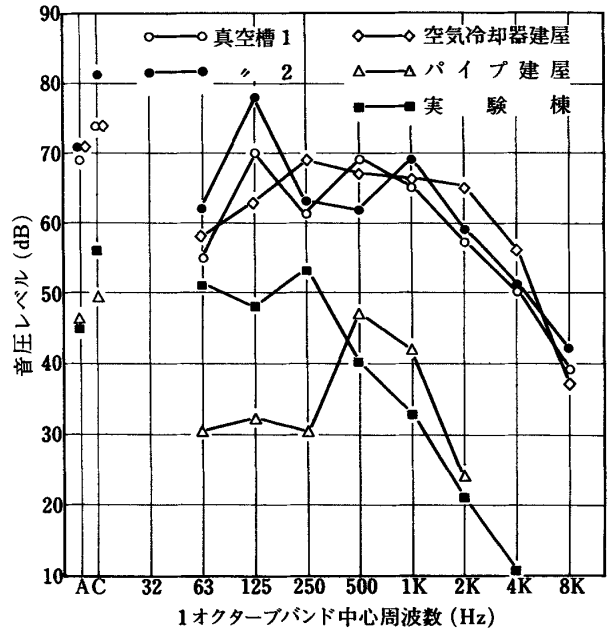
第25図 対策工事前後の推定音源レベルの比較 (真空槽2)

つぎに、真空槽No 2について、減音量は1 KHz において約20 dBを最大として、それより高低域で減音量は減少している。125Hzのピークは約10 dBの減少を示した。配管系についてみると1 KHz で約50 dBもレベルが低

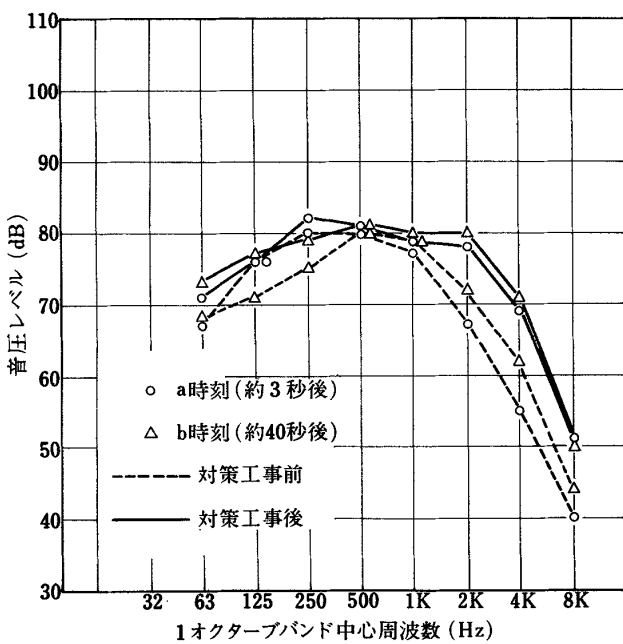
下し、全周波数帯域に亘って大きな減音量が得られた。冷却器建屋についてはほとんど大きな変化はみられない。これらの推定騒音レベルを用いて、おのおの寄与度を敷地境界の測定点11、20において計算した結果を第28～31



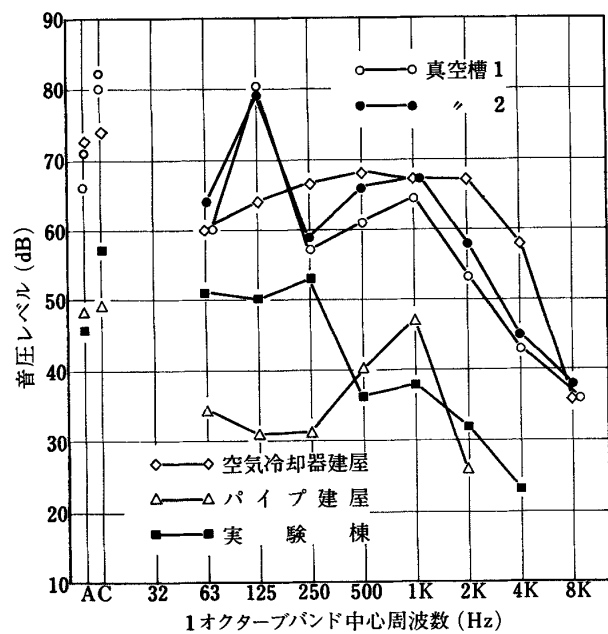
第26図 対策工事前後の推定音源レベルの比較 (配管系)



第28図 No.11点における各音源の推定寄与度 (3秒後)



第27図 対策工事前後の推定音源レベルの比較 (空気冷却器)

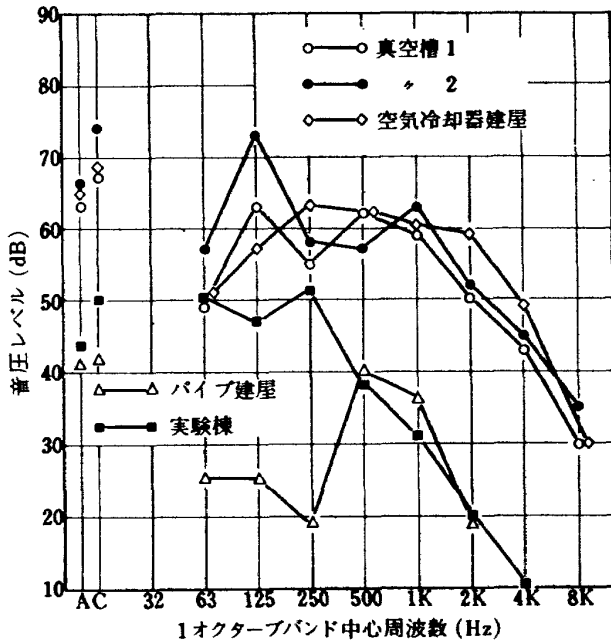


第29図 No.11点における各音源の推定寄与度 (40秒後)

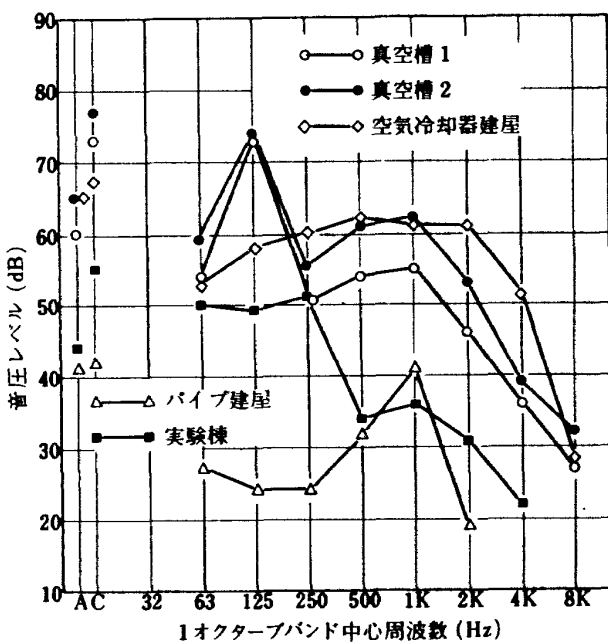
図に示す。これらの図から真空槽No 2が音源として寄与度が一番大きく、ついで真空槽No 1と防音対策を行なわなかった冷却器建屋が同程度に大きく、その他の配管系、実験棟は寄与度が小さいことがわかった。なお、この測定では真空槽No 1には流入空気がないので、それ自身騒音の発生は僅かで、計算上では表面を完全反射と考えた等価音源とみなした。したがって、真空槽No 2の騒音に、ほとんど依存

していると考えてよい。この計算はかなり粗い評価で、厳密には各部の騒音放射面の形状をより詳しく考慮する必要がある。

真空槽の騒音発生については始動後数秒間の高い騒音レベルがなくなったことにより配管より流入するジェット流の特性は一定で変化がなく、亜音速ジェットと考えられる。亜音速ジェット騒音の低減には流出速度を減少せしめることが有効で、2基の真空槽を同時に使用し流入速度が2分の1になると24 dBのジェット騒音の減少が見込まれる。しかし、第32図に示されるごとく測定点11での実測値は、風胴の作動圧力の低い場合を除いて、一基と二基の騒音レベルに大きな変化はみられなかった。これは音源の測定点に対する位置関係、ジェット騒音以外の音源、真空槽外板の励起、二基使用によるジェット圧力比の増加等多くの要因があると思われる。図より、圧力が2倍になると音圧レベルは6 dB増加することがわかる。したがって音圧は集合胴圧力に比例して増加する。



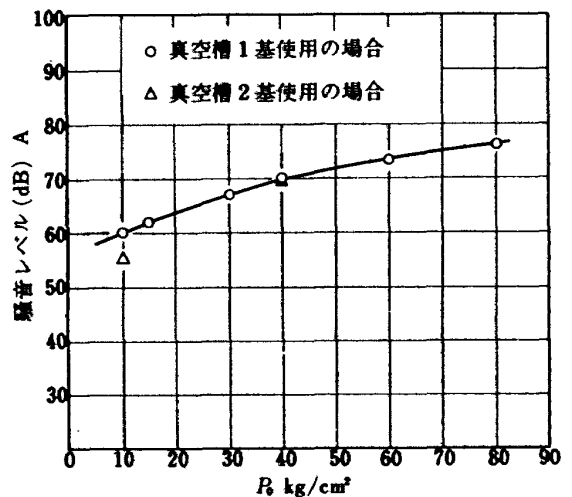
第30図 No 20点における各音源の推定寄与度 (3秒後)



第31図 No 20点における各音源の推定寄与度 (40秒後)

7 むすび

極超音速風胴の運転時に発生する騒音を敷地境界において可能な限り低下せしめることを目的として、防音対策工事を行なった。工事前にいくつかの代表点について騒音、振動を測定し、風胴各部の騒音レベルを推定して所要の減音量を求め、防音工事を計画した。工事は2基の真空槽、配管系、排気装置の空気吐出孔および煙突の各部について行なった。工事後ふたたび騒音、振動測定を行ない、工事前と比較し各部の減音量を明らかにした。その結果、真空槽No 2についてはA特性で20~28 dB、C特性で11



第32図 測定点11での風胴作動圧力と騒音との関係

～22 dBの低下をみた。またスペクトルでは配管系に起因する1 KHzのピークが消えたが、真空槽球殻による125 Hzではあまり効果がなかった。配管系の防音は最も効果が著しく、1 KHzの大きなピークがよく遮断され、外部への影響がほとんどなくなった。そのほか、煙突、排気装置の空気吐出孔の騒音は暗騒音以下に減少し、所期の目的を達した。敷地境界では工事前に比して14～17 dB(A)の騒音低下が得られたが、いまだ十分満足のゆくものではなかった。風洞の運転条件すなわち風洞の集合胴圧力、温度及び使用ノズルのスロート面積による流量変化と騒音との関係の詳細は明らかでないが、本報告では音圧と集合胴圧力についての結果を示した。

今後騒音レベルの低下のためには、真空槽の防音と冷却器建屋あるいは冷却器本体の防音対策が必要である。

本防音対策工事の計画、施工、推定値算定、騒音測定について御協力を頂いた鹿島建設技術研究所、環境計画部・古宇田深次長及び菅真一郎の両氏に対し深甚なる謝意を表す。

参考文献

1. 極超音速風洞建設グループ：50 cm極超音速風洞の計画と構造，航技研報告 TR-116（1966/9）
2. Ed, Schwartz, IR: Basic Aerodynamic Noise Research, NASA SP-207, (1969).
3. 光安 信, 瀬戸邦聡: チョークド・ジェットの特性 日本航空宇宙学会誌 第19巻, 第207号(1971).
4. Berahek, L.L.: Acoustics, McGraw Hill, (1954)
5. 鳥崎忠雄, 小林実: 原動機部要素試験設備用消音装置の特性試験, 航技研資料 TM-212
6. Harris, C.M: Hand book of Noise Control, Mc Graw Hill, (1957).
7. 牛田健二, 高橋 宏: 遷音速風洞の防音, 航技研資料 TM-32, (1964/4).

TM-347 正 誤 表

	誤	正
P 1. 左側 下 段	え	へ
P 17. 右側 3行目	0.65	0.65 <i>m</i>
P 23. 右側 3行目	それだれ	それぞれ

航空宇宙技術研究所資料347号

昭和53年3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
