

報告

新設した音響実験施設の概要 —残響室の形状決定のための調査結果も含めて—

大塚定男、石井 貢、藤掛敏夫
(大気環境部)

New Acoustic Laboratory in Kanagawa Environmental Research Center

Sadao OTSUKA, Mitsugi ISHII, Toshio FUJIKAKE
(Air Quality Division)

1. はじめに

平成3年4月の移転に伴い、神奈川県環境科学センターでは音響関係の実験施設として残響室、無響室及び騒音解析室を新設した。1年あまりのエイジングを経て、無響室及び残響室において各種音響特性に関する調査を行った結果、実験施設及びその性能について知見が得られた。¹⁾

また、残響室の施工の過程で模型実験を実施して形状の検討を行った。その結果は、完成後の実残響室の測定結果との比較において良好であった。

そこで、本報告では無響室、残響室の音響性能の測定結果とともに、あわせて残響室の形状に関する模型実験の検討結果を報告する。

2. 無響室の構造と性能

2.2 主な用途と構造

無響室は図1に示すように音響の実験施設の一部として造られた。主な用途は騒音の模型実験、音響パワーレベルの測定、聴感実験等である。

無響室の外壁は、図2に示すように厚さ300mmの鉄筋コンクリートで造られている。その内側に防振ゴムと浮き遮音層を介して吸音楔が取り付けられている。吸音楔は3連構造になっていて、寸法は縦600mm、横600mm、奥行きが900mmである。この吸音楔の下限周波数は80Hzである。

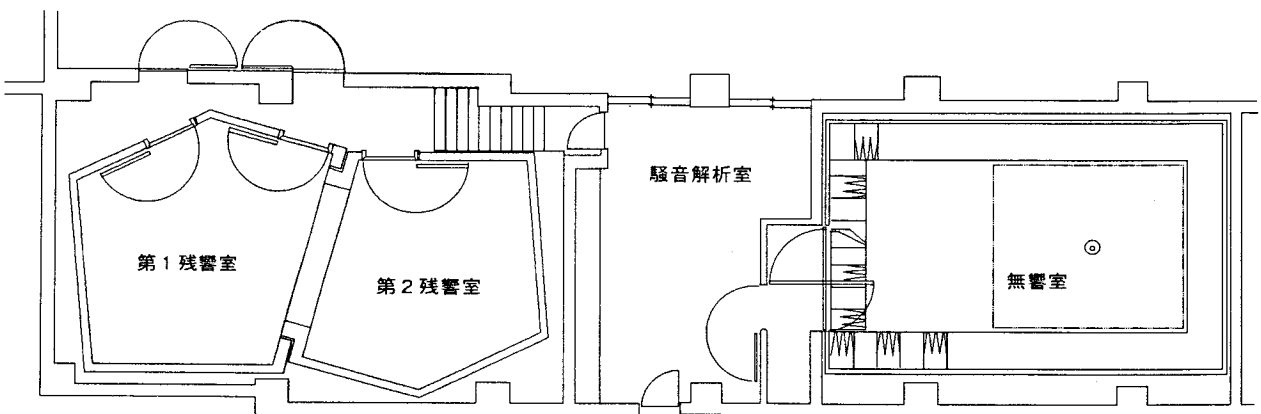


図1 騒音実験施設の概要

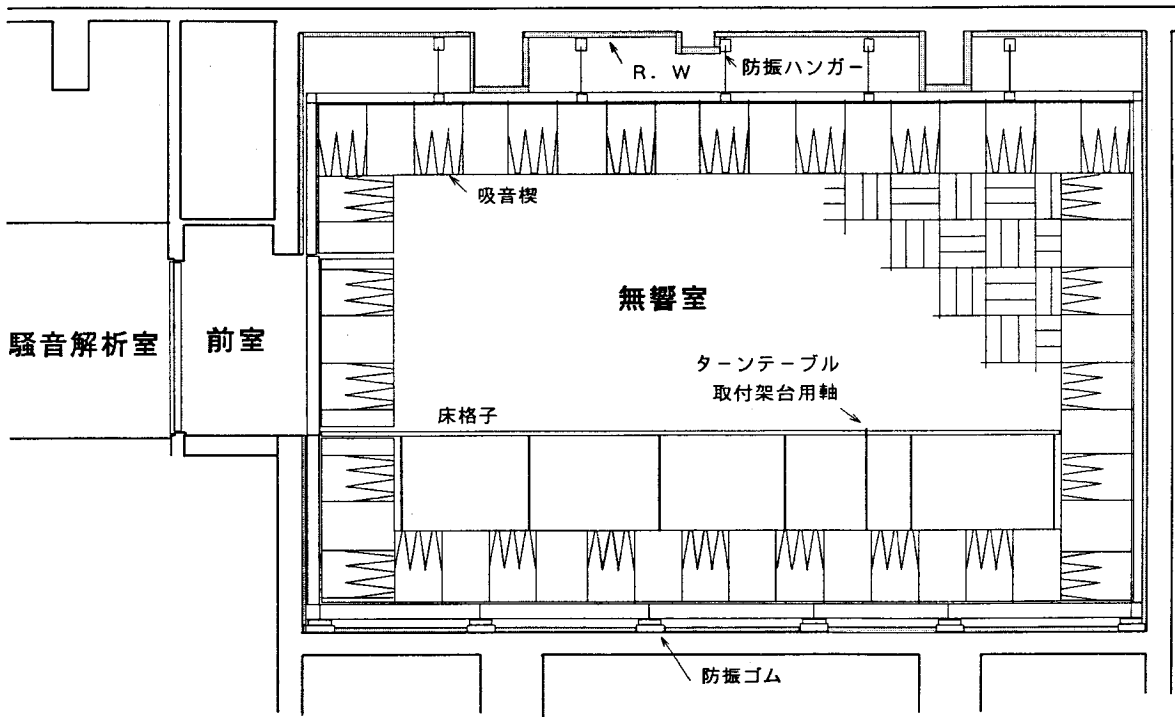


図2 無響室の断面図

室内の有効内寸、すなわち吸音楔の先端から先端までの寸法は、幅4.60m、奥行8.40m、高さ4.57mである。

無響室内には、作業性を考慮して、室底から1.29mの位置にワイヤーメッシュ(6φ×50p)の床格子が取り付けられている。

付帯設備としては、マイクロホン移動装置、監視用テレビカメラ、ターンテーブル用架台を据え付けた。

なお、空調は無響室内個別になっている。

2.2 逆二乗特性

測定は、図3に示すように長軸、短軸及び斜軸の3方向について行った。マイクロホンの高さは、

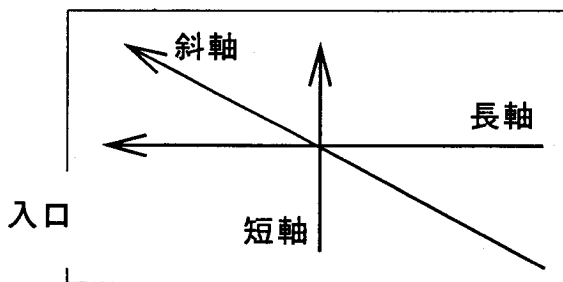
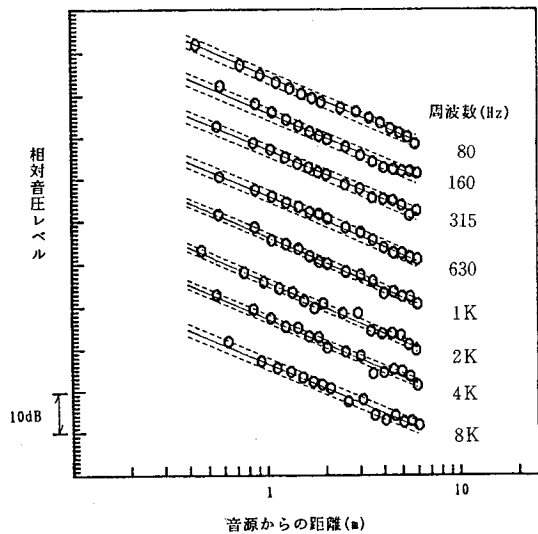


図3 逆二乗特性の測定方向

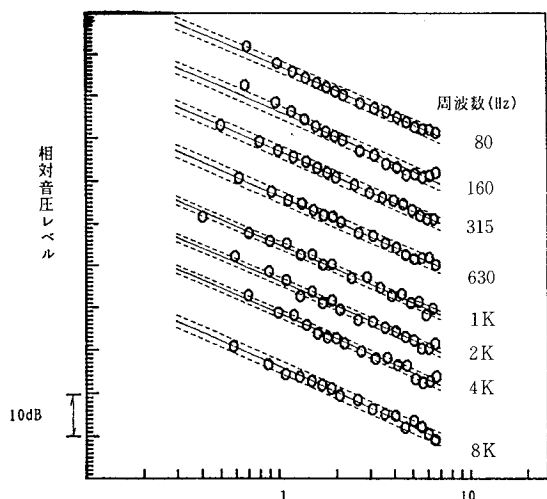
床格子から1.2mとした。

音源としては、低音用のウーハと高音用のツイータの2種類のスピーカを使用した。測定周波数は、低音用が80~1kHz、高音用が1.25~8kHzである。試験音は、1/3オクターブ間隔の純音と1/3オクターブバンドノイズの2種類とした。

試験音を純音とした場合の測定結果を図4~図6に示す。全体としては、ほぼ逆二乗法則に従っ

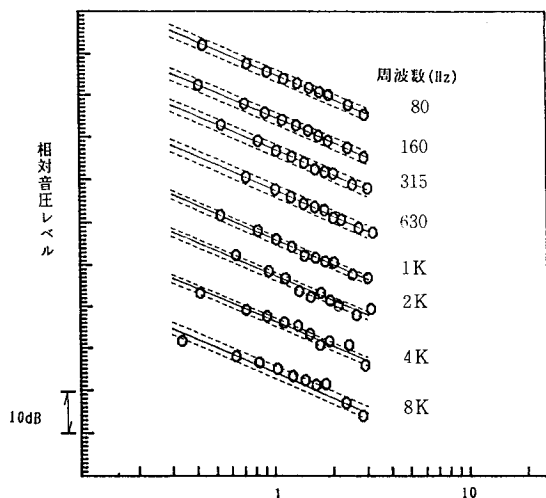


測定方向：斜軸、試験音：純音
図4 無響室の逆二乗特性(1)



測定方向：長軸、試験音：純音

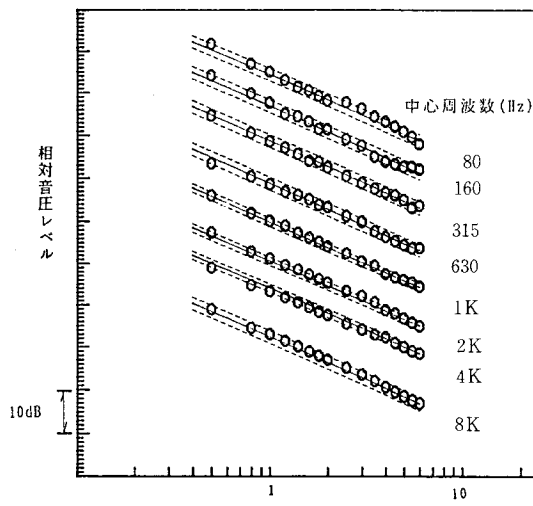
図5 無響室の逆二乗特性(2)



測定方向：短軸、試験音：純音

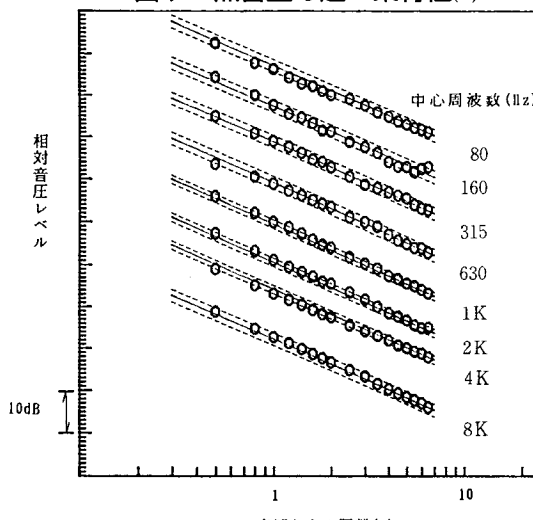
図6 無響室の逆二乗特性(3)

ていた。ただし、測定周波数が2 kHz以上では、測定値の偏差が大きくなる傾向にあり、音響パワーレベル測定のための規格であるJIS-Z-8732「無響室又は半無響室における音響パワーレベル測定方法」に示されている無響室の逆二乗特性に関する許容偏差をはずれている測定点もあった。この原因としては、床格子かマイクロホン移動装置かのいずれかの反射音の影響によるものと思われる。一方、試験音を1/3オクターブバンドノイズとした場合には、図7～図9に示すように、測定値は、ほぼJIS-Z-8732に示されている許容偏差内に入っていた。



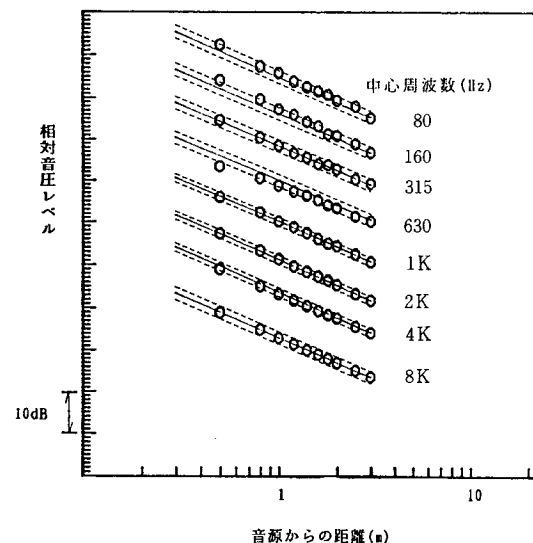
測定方向：斜軸、試験音：1/3オクターブバンドノイズ

図7 無響室の逆二乗特性(4)



測定方向：長軸、試験音：1/3オクターブバンドノイズ

図8 無響室の逆二乗特性(5)



測定方向：短軸、試験音：1/3オクターブバンドノイズ

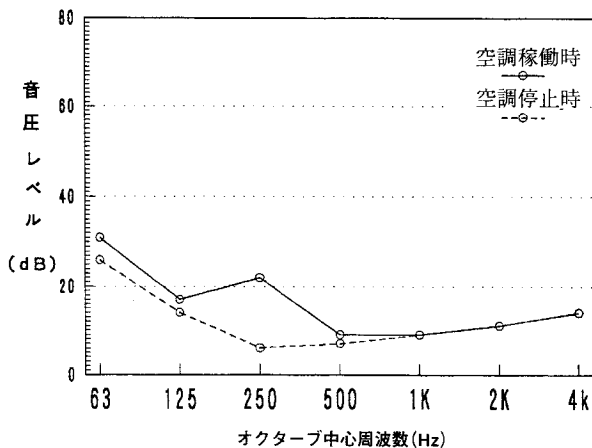
図9 無響室の逆二乗特性(6)

2.3 暗騒音

暗騒音は無響室内の中央部で測定した。マイクロホンの高さは床格子から1.2mとした。

測定器は、通常の実験等に使用するものとした。

空調稼働時及び空調停止時の暗騒音の周波数分析結果を図10に示す。500Hz以上の周波数で、音圧レベルが上昇しているのは、マイクロホンのノイズによるものと思われる。この場合の空調停止時の騒音レベルは19dBAであった。



空調稼働時 20dBA 空調停止時 19dBA

図10 無響室の暗騒音

なお、参考として低騒音測定用のマイクロホンを使用して暗騒音を測定したところ、その結果は空調停止時で10dBA以下であった。

2.4 扉の遮音性能

扉の遮音性能は、無響室-騒音解析室間と無響室-前室間について、それぞれの室間の音圧レベル差で表わした。

測定点は扉からの距離を1mとして、音源側と受音側に設けた。その高さは、扉の面内にほぼ均等に5点配置できるように設定した。また、音源は騒音解析室側とした。

無響室-騒音解析室間と無響室-前室間の測定結果を図11に示す。この図は、オクターブバンドごとに、5点の測定値の平均値で表されている。いずれも扉の遮音性能として、良好な結果が得られた。なお、無響室-騒音解析室間の2kHz以上の音圧レベル差は、その差が大きすぎるため測定は不能であった。

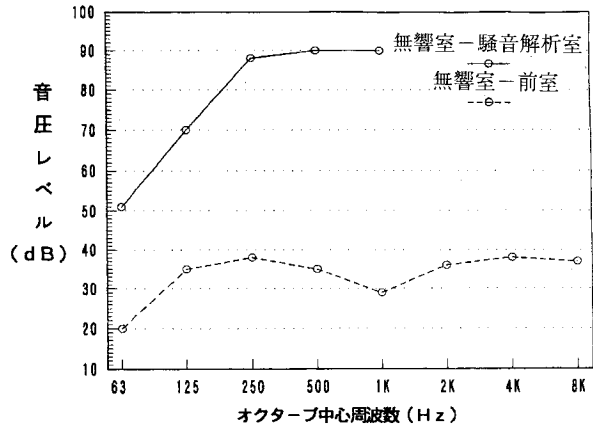


図11 扉の遮音性能

3. 残響室の構造と性能

3.1 構造

残響室はコンクリート製で2室からなっており、どちらの残響室も形状は不整形7面体(側壁5面、天井面、床面)である。両残響室とも天井を約10°傾斜させ、壁5面のうち2面を4°手前側に傾けてある。

両残響室の床面下に防振ゴムを取り付けて(各残響室に28個ずつ)、建物矩体から音響的に絶縁している。また、2つの残響室の接合部分は互いにはめ合いになっているが、50mmのギャップを設けて間にグラスウールを充填している。

残響室壁面の厚さは外側が200mm厚、はめ合い部分はそれぞれ300mm厚になっている。床面厚さは300mm、天井面厚さは200mmになっている。各表面とも仕上げはコテ仕上げで、壁面の加工等は行っていない。

容積は第1残響室が167.2m³、第2残響室が140.4m³である。透過損失測定のために両残響室の間に設けた開口部試料取付枠面積は10m²(2,790mm×3,700mm)である。その他の残響室の仕様は表1に示す。また第1残響室は残響室法吸音率の測定に兼用する。図12に両残響室の断面図を示す。

表1 残響室の仕様

	第1残響室	第2残響室
床面積 (m ²)	32.48	27.54
室容積 (m ³)	167.23	140.38
全表面積 (m ²)	178.98	159.98
試料開口部面積 (m ²)	12.0	

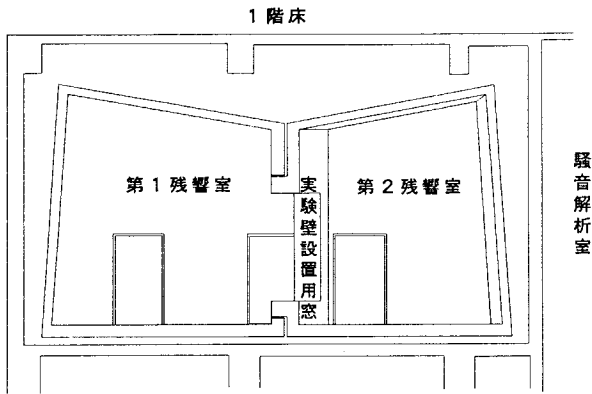


図12 残響室の断面図

残響室の大きさに関しては、透過損失測定のために使用する場合にはJIS-A-1416「実験室における音響透過損失測定方法」に定める100m³以上の容積を満足している。また、残響室法吸音率の測定に使用する場合にはJIS-A-1409「残響室法吸音率の測定方法」に定める150m³以上の容積を満足している。

付帯設備としては、独立空調システムのダクト吸排気口が両残響室に各2か所、出入口が第1残響室に2か所、第2残響室に1か所設けてある。

3.2 音圧レベル分布

残響室内の音圧レベル分布を求めた。室内に各10か所の測定点を設け、1隅に設置したスピーカ音源からの発生音をマイクロホンで受けることに

より、室内の拡散性を見た。マイクロホンは壁面から1m以上離れた領域内の互いに1m以上離れた場所で、床面からの高さ1.5mの位置に設置した。測定のプロックダイアグラムを図13に示す。

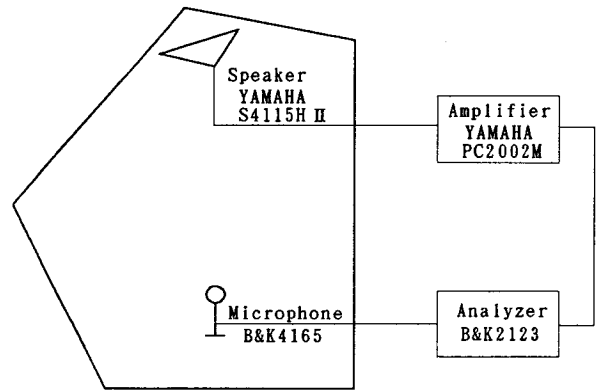


図13 音圧分布測定のプロックダイアグラム

図14に第1、第2残響室の音圧レベル分布の標準偏差を示す。両残響室ともJIS-A-1416「実験室における音響透過損失測定方法」に定める標準偏差の値を満足していた。

3.3 残響時間

2つの残響室の残響時間を測定した。JIS-A-1409「残響室法吸音率の測定方法」に従い、室内に5か所の測定点を設け、スピーカ音源により測定した。測定のプロックダイアグラムは図13に示した音圧分布測定時のものと同様である。

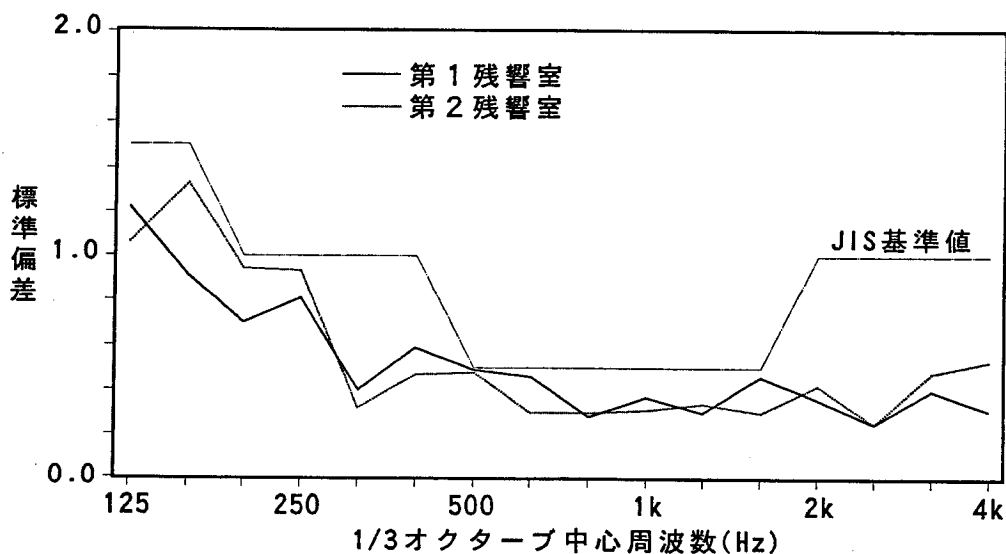


図14 残響室内音圧レベル分布の標準偏差

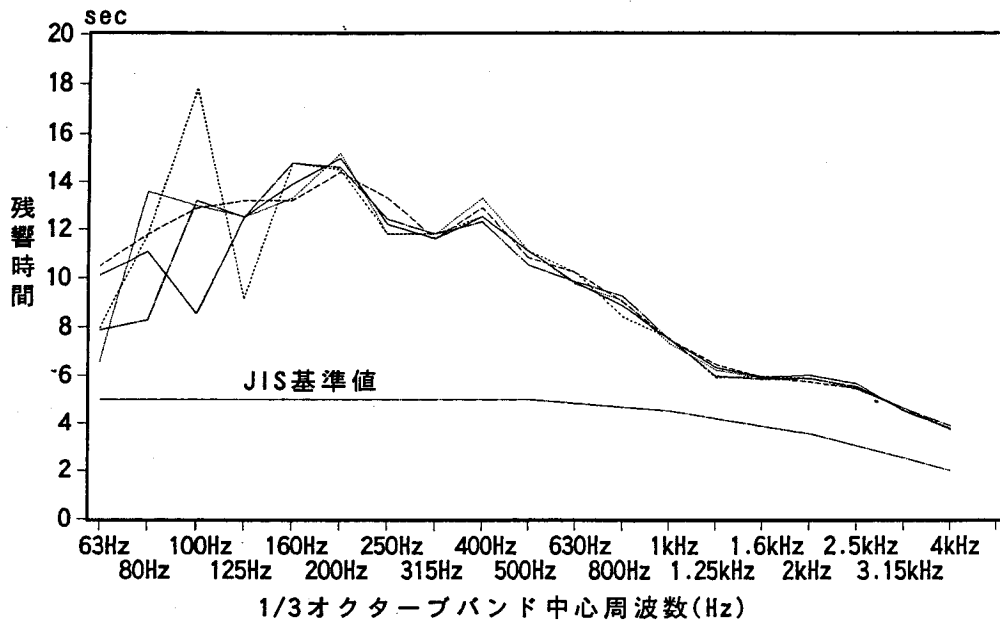


図15 第1残響室の残響時間分布

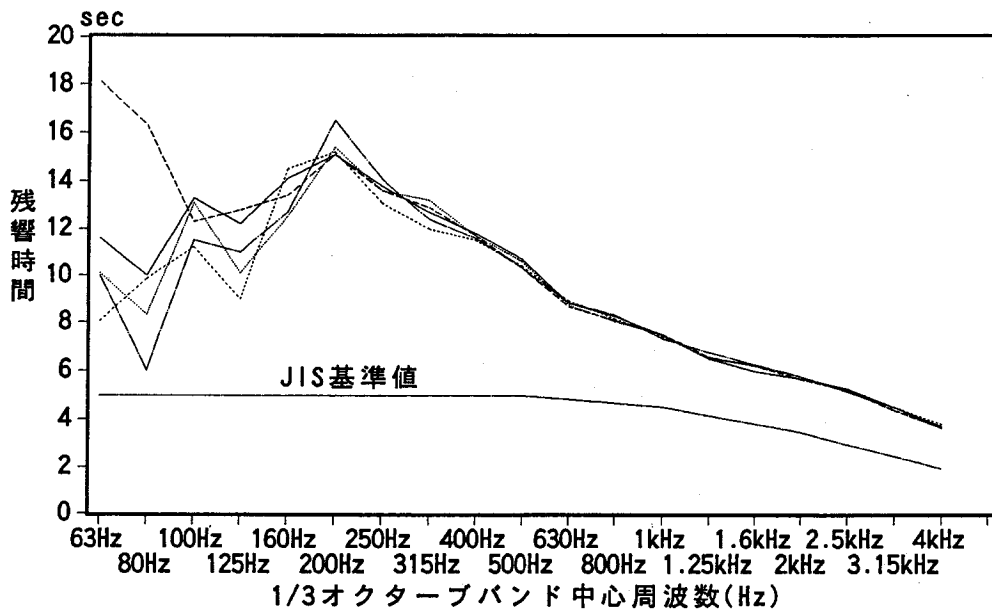


図16 第2残響室の残響時間分布

第1残響室における周波数毎の残響時間の分布の測定結果を図15に、また第2残響室における測定結果を図16に示す。第1、第2残響室はいずれもJIS-A-1409に定める残響室の残響時間を満足していた。

3.4 標準供試体の音響透過損失

試料取付枠に標準供試体を設置し、音響透過損失を測定した。標準供試体はJIS-A-1416「実験室における音響透過損失測定方法」に従い、150mm厚コンクリートブロックを積み上げ両側に各

25mm厚のモルタルを塗布した。

測定はJISに従って行った。通常、第2残響室を音源用、第1残響室を受音用残響室として測定を行っているが、測定性能のチェックのため、逆に第1残響室を音源側、第2残響室を受音側としても測定を行った。測定のプロックダイアグラムを図17に示す。図18の測定結果はJIS-A-1416を満足した。

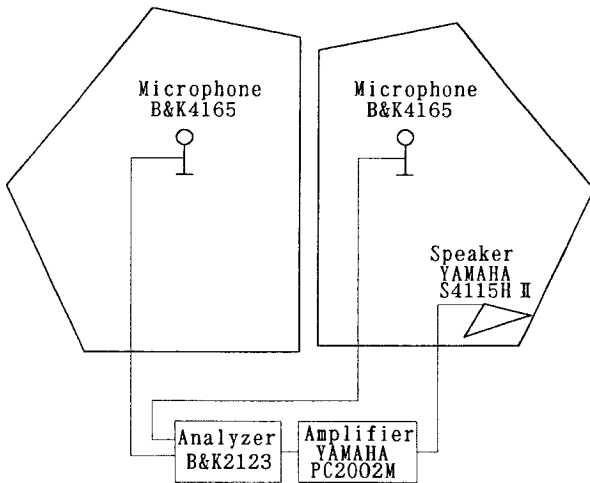


図17 音響透過損失測定のプロックダイアグラム

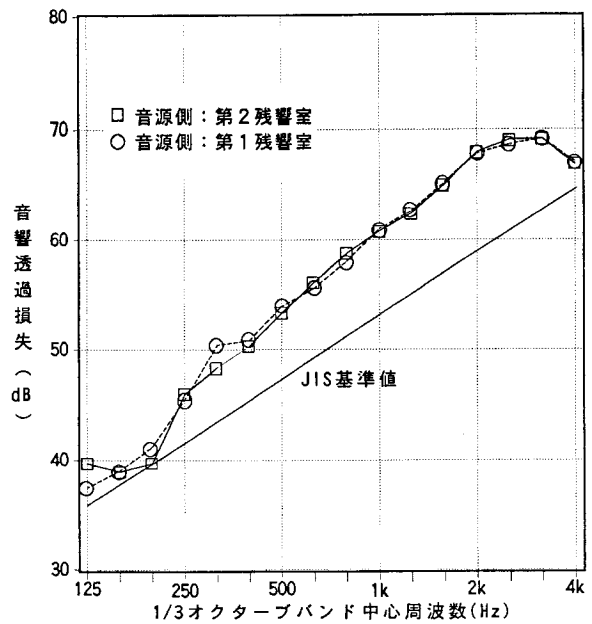


図18 標準供試体の透過損失

3.5 暗騒音レベル

残響室内における周波数毎の暗騒音レベル測定結果を図19に示す。建物内に造られたにもかかわらず、両残響室とも暗騒音は低レベルであった。

4. 騒音解析室

騒音解析室は無響室、残響室の間にあり、両実

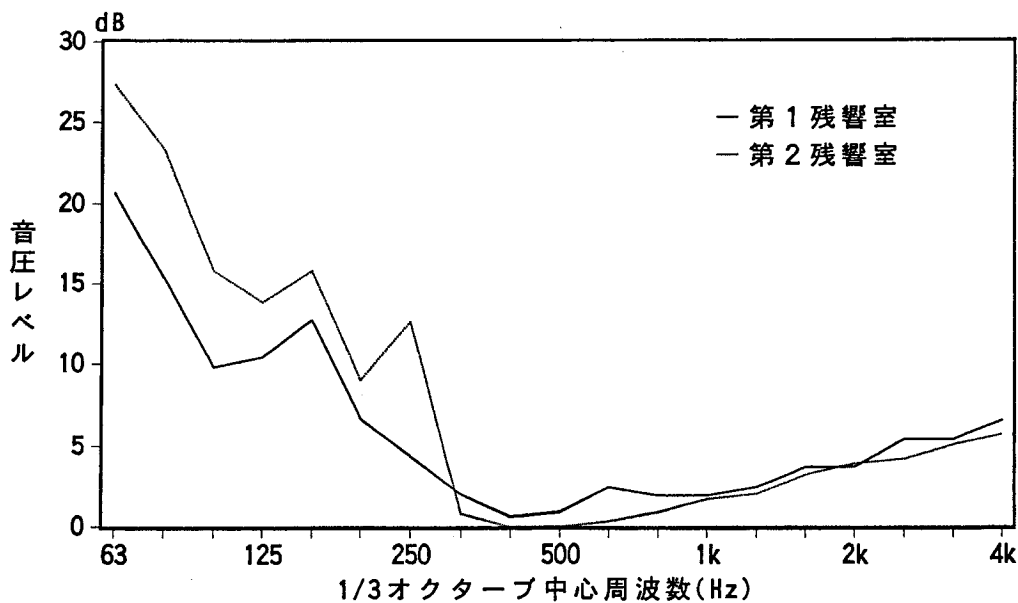


図19 残響室内の暗騒音

験室の計測データをサンプリングし、一次処理まで行う室である。床面積は38.5㎡で、無響室側、残響室側にそれぞれ計測機器(システム)を置くスペースが設けてある。信号ボックスが無響室側には1個、残響室側には2個つけられており、その他無響室側に観察用ITVとマイクロホン移動装置が設置されている。

発電機、変電装置等が格納されている電気機械室が近いため、外部騒音の侵入を防ぐ目的で窓は二重にしてある。

5. 残響室の形状に関する検討

5.1 残響室形状決定のための模型実験

残響室内の拡散性能を向上させることを目的に残響室壁面の傾斜について検討した。その傾斜角度を決定するため前もって模型残響室を製作し、残響時間測定時にレベルレコーダに記録される減衰波形の折れ曲がり調べた。模型残響室は塩化ビニール製で1/10スケール、5壁面のうち2壁面を傾斜させたものを4個製作した。壁面の傾斜角度はそれぞれ0°、3°、4°、5°とし、天井面付近を水平に切断し上面部分を蓋とした。これらの模型残響室で残響時間の減衰波形を求め、その形状を検討した。^{2),3)}

両残響室の設計時の容積が160-180㎡であるところから限界周波数がおよそ180Hzになる。⁴⁾そこで200Hz前後を重点に、1/3オクターブバンドで125Hz-2kHzの範囲で測定を行った。使用した分析器はヤマハユニバーサルサウンドフィールドアナライザAS-2である。

ここで問題にしている「折れ曲がり」とは、残響室において残響時間計測のために減衰波形を求めたとき、室の形状により生じる減衰波形の折れ曲がりのことで、最近の研究ではこの折れ曲がりにも音響学的意味が含まれていることがわかってきている。^{5),6)}しかし、折れ曲がりのある減衰波形全体を使って求めた残響時間には誤差を含みやすいため、安定した残響時間の計測にはこれが無いことが望ましい。当所の測定においては従来より初期減衰波形から残響時間を求めてきた。

4つの模型における減衰波形の例として125、250、500、1kHzの場合の結果を図20に示す。1kHz以上の中高音域の減衰についてはどの模型の減衰波形も折れ曲がり目立たず、優劣の判断は

出来なかった。それ以下の周波数について検討したところ、図20の例でも明らかなように、壁面傾斜角が4°の場合が最も折れ曲がり少なくなっていた。そこで検討の結果、高い周波数から125Hzまで最も折れ曲がりの少なかった4°を新設残響室の壁面傾斜角と決定した。

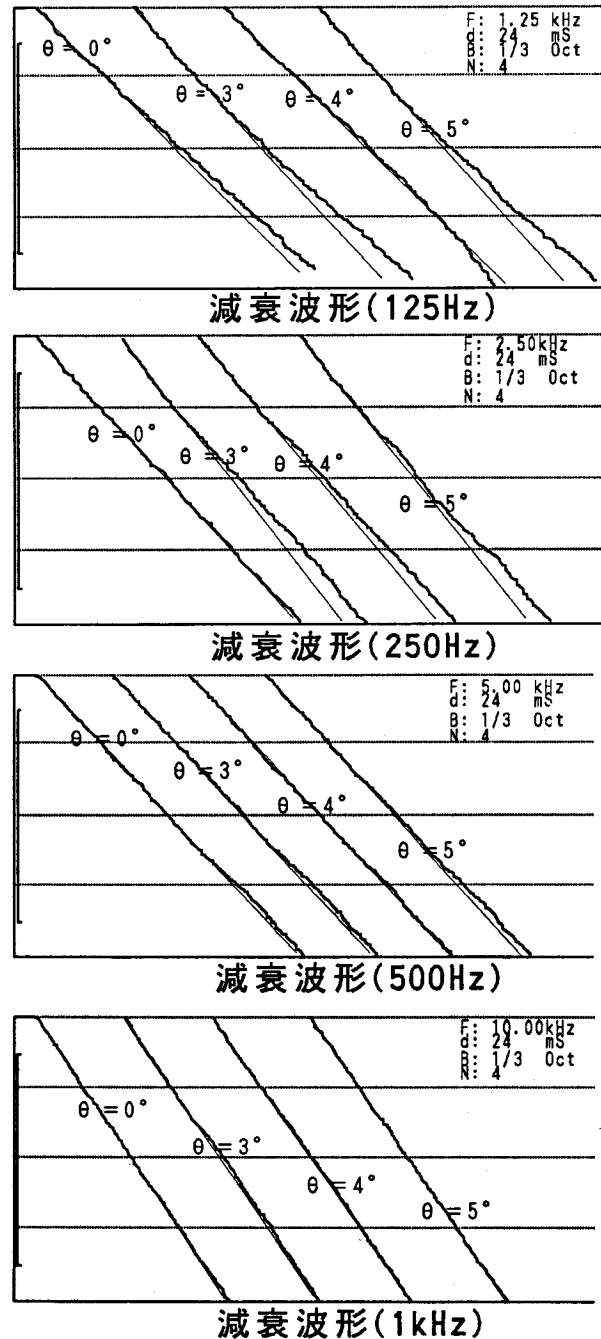


図20 模型残響室における減衰波形

5.2 模型残響室と施工後の実残響室との減衰波形の比較

残響室の施工後、第1残響室内において減衰波形を求め、壁面傾斜角度4°の模型残響室の減衰

波形と比較した。その結果を図21に示す。この図において、模型残響室と実残響室の残響時間が異なっていることから減衰波形の傾斜も違っている。ここで比較するのは両者の減衰波形の折れ曲がり具合である。

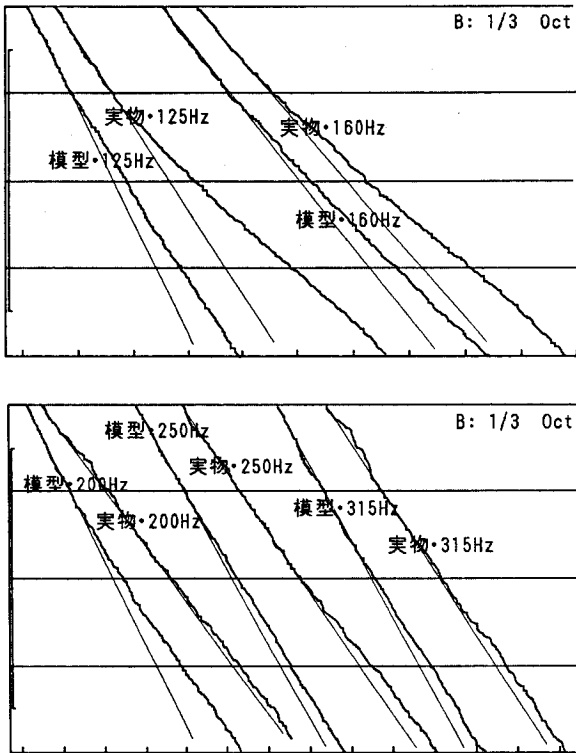


図21 模型残響室・実残響室の減衰波形の比較

実残響室の減衰波形についてみると、200Hz以上ではほぼ直線的に減衰していたが、160Hz以下では折れ曲がり方が顕著であった。この結果は模型残響室において検討したKathらの限界周波数の計算結果と良く一致していた。

模型残響室・実残響室の減衰波形の比較では、かなり良く一致していた。125Hzを除いてはむしろ実残響室の方が折れ曲がり方が少なく、良好な性能を示していることがわかった。

5.3 吸音率測定時の残響室における減衰波形の挙動

残響室壁面の傾斜が下向きになっている関係で、試料を床面に据え置きした場合初期減衰が大きくなる可能性があり、それを検討するためグラスウール10m²(200mm厚)を床面に敷き、減衰波形の挙動を調べた。

その結果、図22に示すように250Hz以上は直線性を保っており、125-200Hzも顕著な折れ曲がりには生じていなかった。

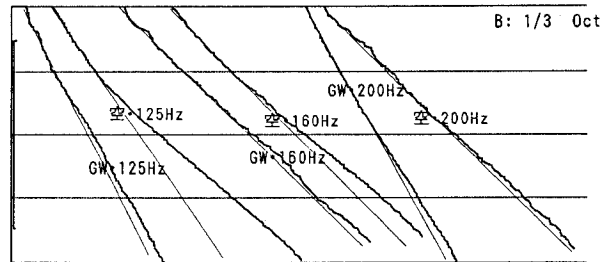


図22 吸音材料測定時の減衰曲線の挙動

6. まとめ

神奈川県環境科学センターに新設した無響室、残響室についてJIS等に基づく基本的な測定を行ってきたが、運用上特に問題がないことがわかった。今後各種音響調査に使用していく予定である。

参考文献

- 1) 深野松三、藤掛敏夫、尾崎雅亮、石井貢、大塚定男、“音響実験室の構造と性能”、神奈川県公害センター年報第10号(1978) PP124-132
- 2) 小林好人、塩田正純、瀬田恵之、滝川浩一、内田季延、“新音響施設の性能”、音響学会騒音研究会資料N87-10-02(1987)
- 3) 平田能睦、“残響室の形状と残響波形の折れ曲がり”、音響学会建築音響研究委員会資料AA81-14(1981)
- 4) U.Kath und W.Kuhl, “Einfluss von Streuflaeche und Hallraumdimensionen auf den Gemessenen Schallabsorptionsgrad”, Acustica 11(1961) pp50-64
- 5) 川上福司、“Power-law decayの初期減衰率”、音響学会電気音響研究委資料EA87-21(1987)
- 6) F.Kawakami & K.Yamaguchi, “A systematic study of power-law decays in reverberation rooms”, J.Acoust.Soc.Am 80(2), August(1986) pp543-554