

空冷チラーの騒音防止に関する研究

真藤利孝 吉田克雄

Study on Noise Control for Air-cooled Chiller

Toshitaka Shindo Katsuo Yoshida

Abstract

The purpose of this research is to find sound barriers which abate the noise levels of air-cooled chillers as means of control of sound propagation. The authors researched acoustic power level, frequency, and propagation characteristics by investigation of existing machines. The sound barriers were studied using 1/8-scale models of five types of sound barriers which the authors designed and made based on investigation findings. As a result of experimentation through the models, although noise reduction of the conventional type barrier was about 10 dB(A), an effective sound barrier with more than 15 dB(A) noise reduction by means of double barriers including countermeasure against fan noise was developed. Continuous testing was done with real machines, and noise reduction of 18 dB(A) was confirmed, and the results of real machine tests were nearly equal to the results of model tests and calculations.

概要

この研究はチラーからの騒音を伝搬経路中で防止する方法として、効果的な防音壁を見出すことを目的とした。始めにチラーの実態調査を行ない、その音響特性を究明した。防音壁の検討は、模型実験で調べることにし、実態調査にもとづき、防音壁5種類を考案し縮尺1/8の模型で実験を行ない、それぞれの防音壁の効果を究明した。模型実験の結果、従来の防音壁では減音効果は10dB(A)であったが、ファン部分の対策を施した二重壁構造とすることにより15dB(A)以上の効果が得られる防音壁を見出すことができた。これらを実証するために、チラー実機による実験を行なった。実証実験の結果では、減音量18dB(A)が得られるとともに、模型実験および理論計算値と概ね対応していることが確認できた。

1. まえがき

この研究は建物空調用空冷チラーの運転時における騒音をチラー本体に手を加えることなく、極力減少させる方法を開発することを目的として行なった。

チラーの騒音対策方法としては機械そのものの対策、騒音伝搬経路中での対策、受信側での対策、管理・運用上での対策が挙げられるが、今回は経済性、汎用性などを考慮して伝搬経路中での対策としてチラー上部を開放させた防音壁で騒音対策を検討することとした。

防音壁の構造は遮音材としての機能の他、防音壁内側に吸音材を用いたものが騒音対策に効果的であり、これらを組み合わせたタイプのものとした。

始めにチラーの運転時の発生音を既設の15箇所調査し、次に効果的な防音壁の形状を見出すために模型実

験で各種形状の防音壁について防音効果を究明した。

さらに実機を用いた実証実験によりその効果を確認した。

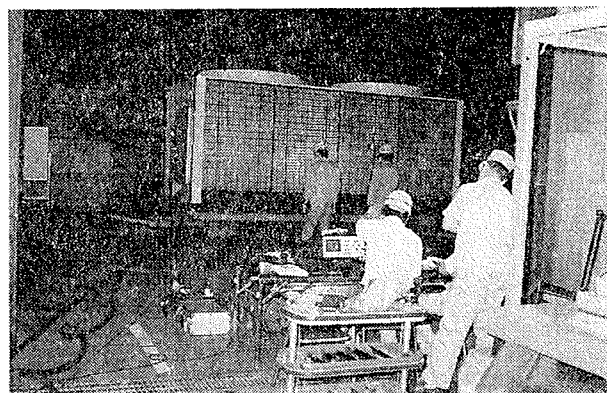


写真-1 チラーの実態調査の状況

2. 既設チラーの実態調査

模型実験での防音壁の検討を進めるに当たり、まず、チラーの音響的特性を調べるため、既設15箇所の実態調査を行なった。これは主にチラー近傍において精密騒音計とフィルターを用い音圧レベルを測定したものである。測定結果の1例として、チラーから1m離れた点の機器容量別の騒音レベルを図一1に、またその周波数特性を図一2に示す。調査の結果以下のことがわかった。

(1) 全体的な傾向として50 USRT (米国冷凍トン)級位まではUSRT数が大きくなるに従い騒音レベルも多少大きくなる。50 USRT以上は必ずしもUSRT数に比例して大きくはならない。100 USRT級の場合、コンプレッサー、ファンが増えてチラーの大きさも大きくなる。従って、100 USRT級の正面1m点では50 USRT級とあまり変わらないが、音の発生面は大きくなり音響パワーとしては増加する。

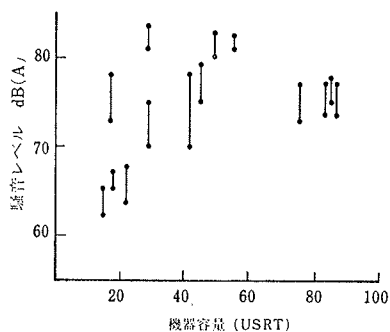
(2) 騒音レベルとしてはほぼ60~80 dB(A)の範囲である。

(3) 騒音レベルを支配している1/1オクターブバンド中心周波数は500 Hzと1 kHzである。

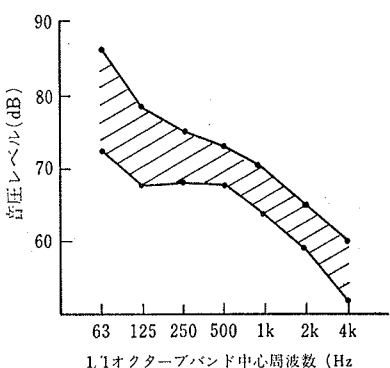
(4) チラーの天端高さをHとすれば高さ方向はH/2からH+1mへ高くなるに従いいくらか減衰している。

その他、特徴として騒音レベル、指向性、伝搬特性は

コンプレッサーと排気ファンを騒音源とした吸気ガリ面、および上部の排気ファン開口面を無指向性面音源とみなせるものである。



図一1 チラーの騒音レベル



図一2 チラーの騒音の周波数特性

3. 模型実験

防音壁の防音効果を調べるために模型実験を行なった。

模型実験は実物と相似の良い縮尺模型で実験することにより、実際の防音壁の効果などを手間のかかる実物大の実験を行なうことなく予測

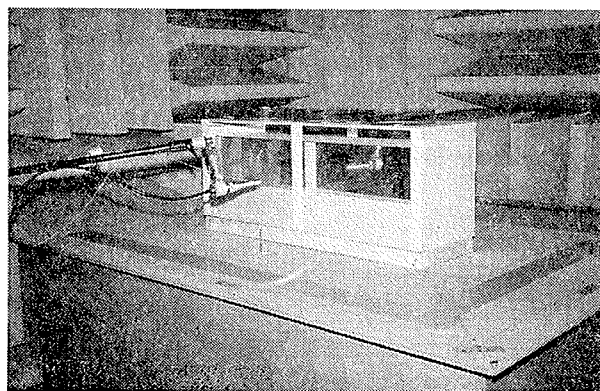
することができる。従って効果的な防音壁を見出すために、いろいろなケースについて模型実験で調べた。

3.1. 実験周波数の決定

実態調査結果より騒音レベル dB(A) に寄与する周波数は500 Hz, 1 kHz であるが防音壁により減音対策をした場合、高い周波数の音に比較して低い周波数の音は減音しにくく、推定計算を行なった結果、防音壁設置後の dB(A) に寄与する周波数帯域は1/1オクターブバンド中心周波数、250 Hz, 500 Hz, 1 kHz であった。模型の縮尺はフィルターの設定、マイクロフォンの大きさ、実験の精度、測定範囲などを考慮して1/8とした。従って模型で、この周波数に相当するものは、2 kHz, 4 kHz, 8 kHz となり、この3周波数帯域を実験周波数とした。

3.2. チラー単体模型の設計・製作

チラー単体の模型は、チラー周囲の音圧レベル、指向特性、距離減衰特性が実機に対応するように設計・製作を行なった。特にチラー側面では実機が厚さ0.8mm程度の鉄板でできておりある程度の遮音量があるので、この点の検討を行なった。模型は音源箱としてアルミ板で製作した箱の中に高音域用スピーカを2箇所設置したものとし、チラー本体の鉄板部分には厚さ2mmの模型用パルサで相似させた。この模型を写真一2に示し、100 USRT級チラーの工場での実機測定値と模型実測値の同一測点での比較例を図一3に示す。



写真一2 模型チラー

3.3. 防音壁模型の設計・製作

防音壁の設計に当たり考慮した点は次の通りである。

(1) チラーの運転に支障をきたさないようにサービススペースを確保する。

(2) 運転性能を低下させる空気の流れを避ける。

(3) 一般的性能として吸音性能、耐水性、耐湿性、耐候性、耐食性、強度などが優れていることが必要であり、一般に防音壁材料として市販されており、これらの吸音

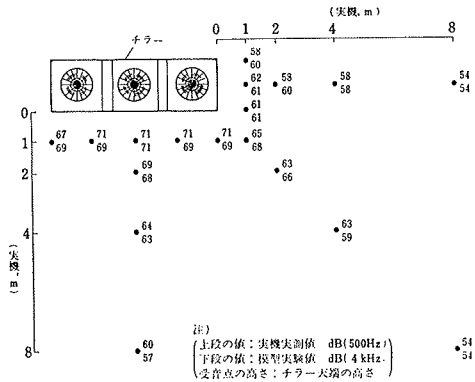


図-3 実機実測値と模型実験値の比較

率や透過損失値に相似させる。

以上を検討して材料は厚さ 6 mm のベニヤ合板に遮音シート 1 mm を張り合わせたものとし、吸音材はウレタン 10 mm (2 kHz, 4 kHz の場合)、グラスウール 12 mm (8 kHz) とした。この場合の吸音率と透過損失値を表-1 に示す。

模型実験周波数(Hz)	2 K	4 K	8 K
実物換算周波数(Hz)	250	500	1 K
吸音率	0.42	0.50	0.84
透過損失値(dB)	31	35	33

表-1 模型防音壁の吸音率と透過損失値

3.4. 防音壁の形状

防音壁の形状については下記の 5 種類を考案した。

Type 1 : サービススペースを確保し、防音壁の高さはチラーの天端+500 mm としたもの。

Type 2 : 高さは Type 1 と同じで必要風量を確保できる範囲でチラーと防音壁との間隔を狭くしたもの。

Type 3 : 高さを Type 1 よりも 1 m 高くし、空気の流れをショートサーキットを起こさないように排気ファン周囲にフードを設けたもの。

Type 4 : 逆L字型のもの。

Type 5 : 三方壁で、他の条件は Type 1 に同じもの。

これらの模式図を図-4 に示す。

3.5. 測定点

測定点の平断面を図-5 に示す。

模型実験は音源からの音を精度よく把握するために、天井面や壁面からの反射音の影響が少ない無響室で行ない各測定点での音圧レベルを精密騒音計で直読した。

3.6. 模型実験測定結果

各防音壁タイプの効果の模型実験結果を 100 USRT

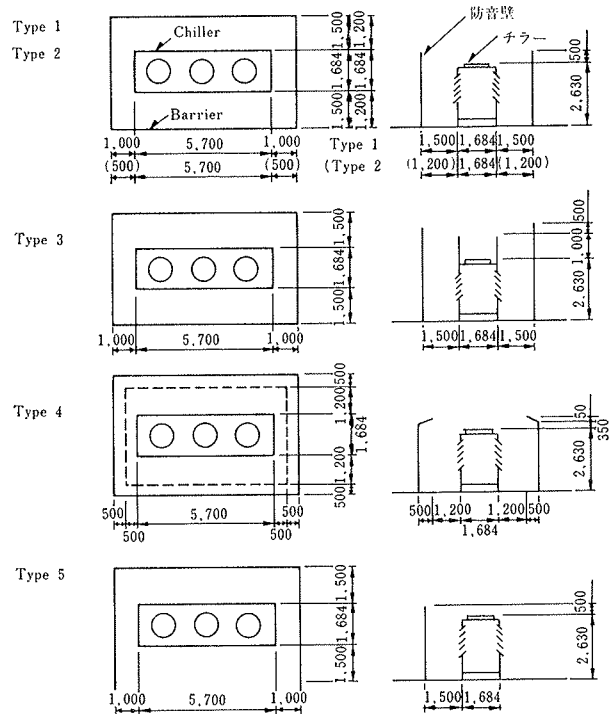


図-4 模型防音壁 (寸法は実物換算値)

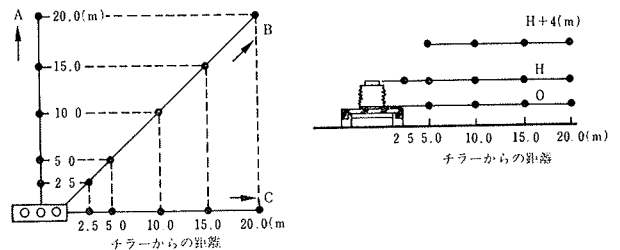


図-5 測定ポイント位置 (寸法は実物換算値)

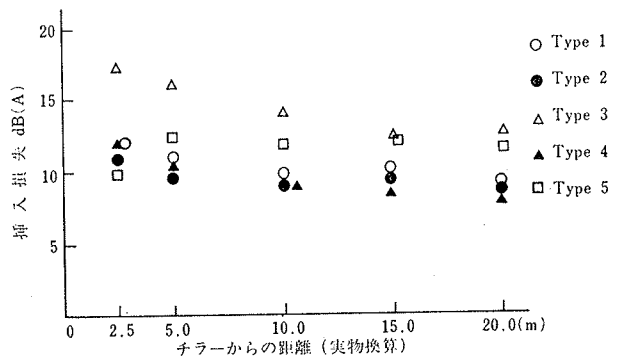


図-6 模型防音壁の効果量

級, A 方向, チラーの高さ H_m について図-6 に示す。これによれば Type 3 の防音壁の効果が最も良いといえる。なお Type 3 の防音壁については、防音壁とフード高

さの差が 500 mm で防音壁の高さを变化させた場合の効果量（防音壁有り無しの音圧レベルの差）の関係を検討した。その結果を図-7 に示す。

防音壁の施工性、経済性、効果などを考慮すると、防音壁の高さがチラー天端から 1.5 m の場合が効率が良いといえる。

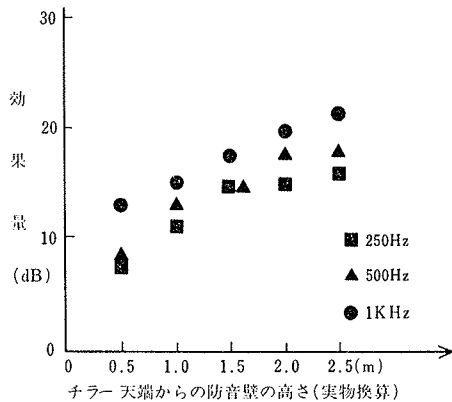


図-7 防音壁とフードの高さの差が 500mm の防音壁高さの効果量の関係

4. 実証実験

実証実験は模型実験を行なったもののうち、Type 1 と Type 3 の防音壁について行なった。チラーは 100 USRT 級と 30 USRT 級のものをを用い、防音壁は耐熱、耐水、耐候性を有することと、強度、施工性、保守性、経済性などを考慮して吸音性のセラミックタイプのものとした。防音壁 Type 3 の上部の様子を写真-3 に示す。また、この実験の際にチラーをコンクリートブロック、空気バネ、防振ゴムなどにより支持し、その固体伝搬音に対する効果を床スラブの振動加速度レベルを測定し比較することにより検討した。

なお実証実験はチラーの能力を測定しながら行なったが防音壁の影響による能力の低下は認められなかった。

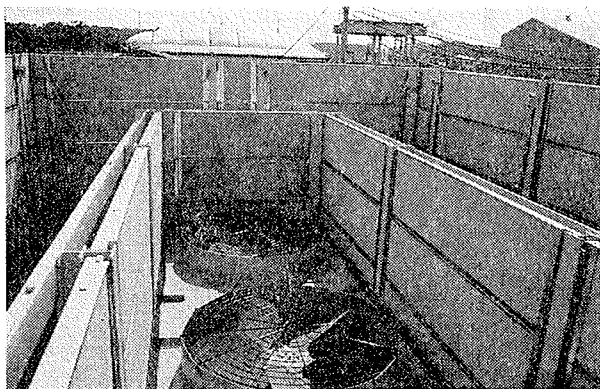


写真-3 防音壁 Type 3

4.1. 実証実験結果

実証実験結果の一例として 100 USRT 級の A 方向について図-8 に示す。チラーの天端の高さ H、距離 2.5 m でみると、Type 3 の防音壁の場合 48 dB(A) となり防音壁なしの場合 66 dB(A) であるので 18 dB(A) の効果量が得られている。100 USRT 級および 30 USRT 級の各防音壁の効果量について模型実験値、チラーの音源パワーレベルから求めた計算値、および実証実験値の比較したものを表-2、表-3 に示す。これらの結果はおおむね一致しているといえる。なお計算値はチラーの各面を面音源としてそれぞれ分割数して 1, 2 回、回折、1 回反射を考慮して求めたものである¹⁾。

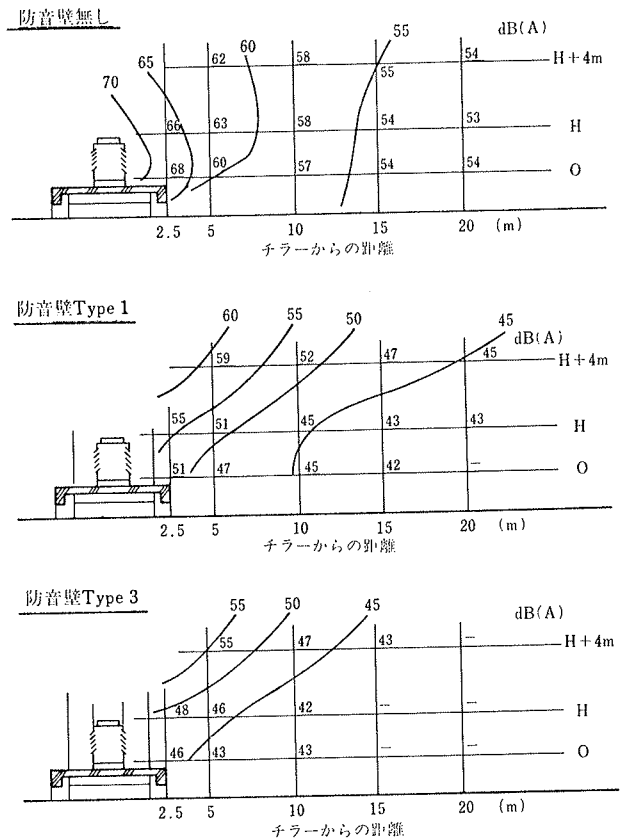


図-8 実証実験結果 (100USRT 級, A 方向)

距離 (m)		2.5	5	10	15	20
防音壁 Type 1	実機実測値	11	12	13	11	10
	模型実測値	12	11	10	10	9
	計算値	12	12	11	11	11
防音壁 Type 3	実機実測値	18	17	16	—	—
	模型実測値	17	16	14	12	13
	計算値	17	16	16	15	15

表-2 防音壁の効果量の比較 (100USRT 級, dB(A), A 方向, 高さ H)

距離 (m)		2.5	5	10	15	20
防音壁 Type 1	実機実測値	9	9	8	6	8
	模型実測値	8	7	7	6	7
	計算値	13	12	11	11	11
防音壁 Type 3	実機実測値	17	14	13	10	11
	模型実測値	15	10	10	7	6
	計算値	15	14	13	12	12

表-3 防音壁の効果量の比較 (30USRT 級, dB(A), A方向, 高さH)

4.2. 固体伝搬音の検討

30 USRT 級のチラーをバネ定数の異なる2種類の防振ゴム, 空気バネ, コンクリートブロックの4ケースで支持した場合の設置床スラブの振動加速度レベルを測定した。各防振材のバネ定数およびチラー設置後の固有振動数を表-4に示す。

防振材料	バネ定数(kgf/cm)	固有振動数(Hz)
防振ゴム A	5,900	9.0
防振ゴム B	2,410	6.0
空気バネ	532	3.0

表-4 各防振材のバネ定数と固有振動数

チラー設置床下に建築物の居室が有ると想定して, ここの固体伝搬音による騒音の影響について検討を行なった。これは振動加速度レベルから下式を用いて音圧レベルを計算し居室内の音圧レベルを検討した。

$$SPL = VL + 10 \log S/A + \log K - 20 \log f + 36$$

SPL: 音圧レベル

VL: 振動加速度レベル

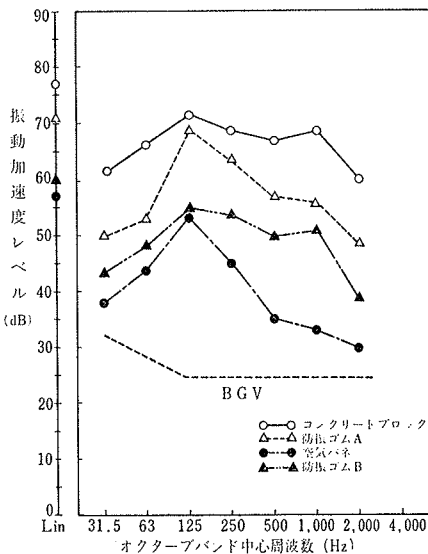


図-9 各支持材料による床スラブの振動加速度レベル

S: 音の放射面積

A: 室の吸音力

f: 周波数

K: 放射係数

(コンクリート=1)

各支持材料を用いた時の床ス

ラブの振動加速度

レベルの比較

を図-9に示す。

なお実証実験に

用いた床スラブ

はコンクリート

厚16cm, スパ

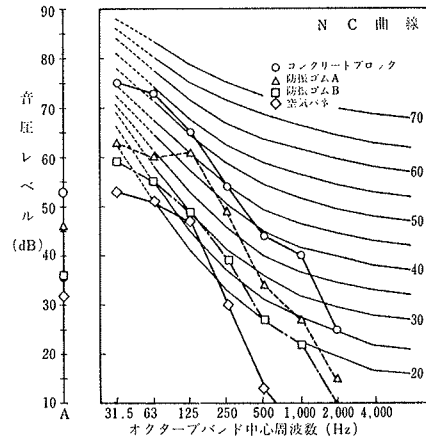


図-10 計算による直下階相当の音圧レベル

ン6×9mの大きさである。

各支持材料別の設定床直下の居室での音圧レベルの比較を図-10に示す。これは8帖間の大きさを想定し音の放射が天井からのみであると仮定したものである。防振ゴム

Bおよび空気バ

ネの場合NC-30程度となっている。今回の実証実験では床スラブのスペンが大きいので固体音も大きくなるが, 集合住宅などの場合はスペンも小さくチラー設置床の剛性を上げることのできるため固体音の影響も今回のケースより小さくすることができ, チラー設置床直下階を寝室として利用することも可能である。

5. 結び

以上のように実験を行なった結果, 排気ファン部分にも対策を施した2重壁構造にすることによって18dB(A)の減音量が得られることが判明し効果的な防音壁を見出すことができた。これは一般の防音壁(今回の実証実験, 防音壁 Type 1 相当)での減音量が10dB(A)程度であることからすれば大きな改善であるといえる。

これらは今後, 騒音対策に広く応用できるものである。

謝辞

今回の研究は東京電力(株)からの委託研究により実施したもので研究を進めるに当たり御協力いただいた営業開発部の方々, チラーを貸与された三菱電機(株), 実験解析に御協力をいただいた日東紡音響エンジニアリング(株)に謝意を表します。

参考文献

1) 吉田, 他: 騒音コンタープログラムの開発, 大林組技術研究所報, No. 23, (1981), pp. 125~128