

## 機械工場における騒音の現状とその防止技術\*

子 安 勝\*\*

### 1. まえがき

1977年度の環境白書によると、振動を含んだ騒音公害は各種公害に対する苦情件数の約35%を占め、トップにランクされている。また別の調査では、この騒音公害の過半数は工場騒音に関係したものである。

このように、現在わが国で工場騒音というと、まず公害としての側面、すなわち工場周辺の住民に対する影響という面から取上げられることが多い。しかし実際に工場騒音の問題の範囲はさらに広く、公害はその一断面にすぎないものである。

また一般に工場といっても、その業種業態や規模は多岐にわたっており、騒音問題の現れ方も複雑化することが多い。

本分では、各種工場の中でも特に業態が複雑であり、従来から騒音についての問題が多い機械工場を対象にして、騒音の現状や防止技術などを概説する。

### 2. 機械工場における騒音問題の現状と特徴

一般に機械工場で問題になりやすい機械の種類としては、プレス、切断機、切削機・研磨機、圧縮機、送風機、造機などがあげられる。このように騒音発生源の種類は多岐にわたっているが、機械工場における騒音問題は、その影響の現れ方や問題の取上げ方によって、次の二つに区分して考えられる。

#### 2.1 公害としての機械工場騒音

##### 2.1.1 騒音規制の現状

各種騒音公害のなかで、工場騒音はわが国で最も早く規制の対象になったものの一つである。騒音規制法では、工場のある地域及び時間帯に応じて、騒音レベルによる規制値が表1のように与えられている。既設工場の改修あるいは工場の新設にあたっては、この規制値を目標にして騒音防止設計が行われる。

表1の規制値は、工場の敷地境界線における騒音レベルに適用されることになっている。すなわち、工場内に設置されている機械類や作業から排出される騒音を直接に規制するものではない。従って、これまでのわが国における工場騒音の対策では、発生源はそのままにして建

屋構造や防音塀などによる対策が中心になることが多かった。ただ最近では、2.2節で述べる作業環境問題とも関連して、公害問題の中でも発生源規制の方向が考えられている。これは大規模な工場が集中している地域では、敷地境界線での規制が技術的にもむずかしいことも原因している。しかし大気汚染や水質汚濁のような物質による公害とはちがうので、それらと同様な総量規制に直接つながるような排出規制は、騒音の場合には必ずしも適応するものではないが、今後の一つの方向として工場騒音についての排出規制が検討されている。

##### 2.1.2 機械工場騒音の現状

一般に騒音の性状を規定するのは、主としてその音圧レベルについての次の諸特性である。

(1) 音圧レベルの周波数特性(または騒音レベル)

(2) 音圧レベルの時間変動

機械工場では、騒音発生源となる機械類や作業の種類、工場としての規模やレイアウト、建屋構造などが千差万別であり、それによって境界線における騒音のレベルもまた、それぞれの工場に特有なものになる。従って機械工場騒音の現状なり特徴なりを一般的にながめることはむずかしい。ここでは、実例によってその傾向を示しておくことにする。

a) 騒音の周波数特性 代表的な機械工場内における騒音の周波数特性を、1オクターブバンド音圧レベルで表した例を図1に示す。音圧レベルの値自体は、同じ工場内でも場所によって変わるもので、ここでは特に意味はないが、周波数特性は機械工場騒音の一般的な特徴を示すものと考えてよい。この場合の騒音には、高周波数成分の優越したものが多い。これは機械工場内の騒音が、金属同志の衝突や接触によって発生することが多い

表1 工場騒音の規制基準

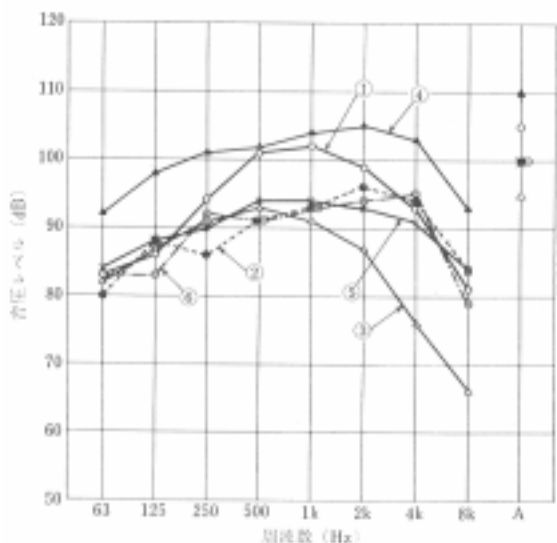
(単位: dB(A))

時間の区分	第1種区域	第2種区域	第3種区域	第4種区域
昼間	45以上 50以下	50以上 60以下	60以上 65以下	65以上 70以下
朝夕	40以上 45以下	45以上 50以下	55以上 65以下	60以上 70以下
夜間	40以上 45以下	45以上 50以下	50以上 55以下	55以上 65以下

\* 原稿受付 昭和53年4月25日。

\*\* (財)小林理学研究所(国分寺市東元町3-20-41)

(騒音規制法, 昭和43年11月27日)



1: 板金・製缶, 2: シャーリング, 3: 圧延・伸線, 4: 鍛工  
品製造, 5: 釘抜き・プレス, 6: くぎ・ボルト・ねじ製造  
図1 各種機械工場内の騒音の例

ためであって、人間に対する影響、対策の重点選定のどちらからみても、主として高周波数成分に注目することが必要であろう。一方最近では、超低周波音ということで可聴域以下あるいはこれに近い周波数域の空気振動が、騒音・振動と並んだ公害として注目されてきている。工場の場合にも、圧縮機や各種炉などがその発生源になることがある。特に超低周波音は伝搬の途中での減衰が小さいので、敷地境界線から遠く離れた場所にも影響が現れることがある。ただ一般に超低周波音については、その性状に未解明な点が多く、特に影響の評価という面を含めると、今後さらに資料収集、研究を進めることが必要な段階にあると考えられる。

b) 騒音の時間変動 機械工場内の騒音レベル変動の例を図2に示す。機械工場の騒音には、金属の衝突などによる衝撃性の音が多く、また切削・研磨などにおいては、加工中はほぼ一定の騒音レベルになっても、作業自体が間欠的であるために、騒音もそれに応じた変動をすることになる。さらに工場の敷地境界線では、2種類以上の発生源からの音の和となることが多いので、一般に騒音レベルは複雑な時間変動パターンを示す。こうした変動騒音の評価について、規制の面からはレベルの統計処理をした結果

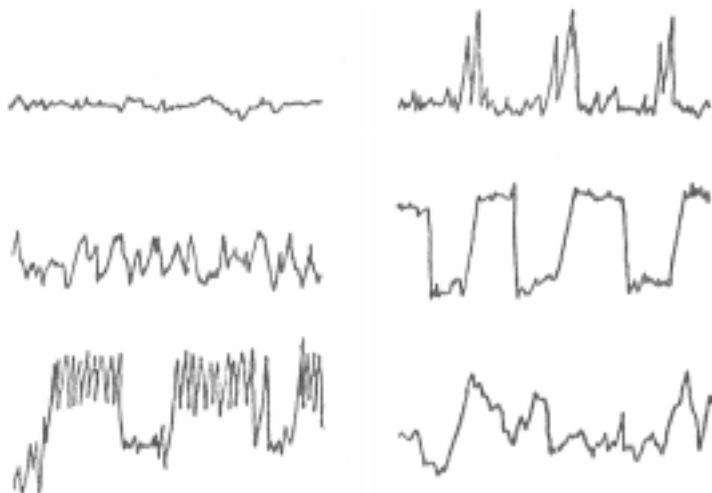


図2 機械工場における騒音レベル時間変動パターンの例

が使われることが多い。例えば表1に示した規制値の適用については、騒音規制法の中で評価量の算出方法が詳細に規定されており、騒音レベルの累積度数から求められる90%レンジの上端値 $L_5$ などが使われている。ただ実際にこうした騒音の対策を行う場合には、騒音レベルのピーク値を対象にした方がよいことが多い。もちろん、ピーク値の発生頻度が非常に小さい場合については、個別に考えることが必要になるであろう。

### 2.2 作業環境としての機械工場騒音

人間に対する騒音の影響の中でも最も重要なのは、騒音による聴力障害の発生であって、工場内の作業環境としてはまずこれを避けることが必要になる。

わが国では、以前から労働基準法によって強烈な騒音を発生する職場が有害作業の一つとして指定されているが、定量的な規制としては必ずしも十分な段階には達していない。最近作業環境測定法によって、指定職場について騒音レベルの定期的な測定が義務づけられたので、今後は実態の資料を基礎にした騒音規制の方向に進むことが考えられる。

表2は1970年のアメリカの職業安全保健法(Walsh Healey Act)の中に規定されている職場の環境騒音暴露許容基準であって、職場における騒音レベルに応じて1日の中での騒音暴露時間の制限が与えられている。ここでは、騒音レベルが5dB上昇することに制限時間が1/2になっている。これは騒音と難聴との関係についての「等時間効果説」と呼ばれる考え方を基礎にしたものである。この関係については、このほかに「等エネルギー説」という考え方がある。これは難聴の程度がある期間に耳に入った音の全エネルギーによって決まるとするもの

表2 職場の騒音暴露許容基準

1日における持続時間 (h)	騒音レベル (dB(A)) 動特性 slow
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 または以下	115

(職業安全保健法, 1970, アメリカ)

であって、騒音レベルが3dB上昇するごとに、制限時間が1/2になるとするものである。この二つの考え方の適応性については、今後の研究にまつところが大きい<sup>1)</sup>。

工場内の作業環境としての騒音低減に対しては、まず発生源となる機械や作業の改善が必要であるが、これは同時に公害としての騒音対策にもつながるものである。こうした意味からも、今後の工場騒音問題においては公害と作業環境との両面からアプローチすることが望ましいと考えられる。

### 3. 機械工場に適用される騒音防止技術

機械工場の騒音防止についての原則的な手順を図3の流れ図で示す。一般に騒音防止に適用される技術には多くの種類があり、同じ対象について同程度の効果を得るためにも、その方法は必ずしも一つに決まっていな。従って騒音防止技術においては、いくつかの基本的な方法からの選択、組合せというソフトウェアの技術が重要になる。これが騒音対策の重要な特徴であると共に、騒音対策の難しさの要因になっている。

ここでは、機械工場の騒音防止に適用される基本的な方法について、その現状と特徴とを示しておく。

#### 3.1 音源における騒音防止技術

機械などからの騒音の発生を低減させることは、本来すべての騒音対策の出発点になるものであるが、大きな効果を得るための技術的な困難さと共に、公害という面からの対策に重点があったために、これまでわが国では音源対策は比較的軽視されてきた傾向がある。しかし、すでに述べたように今後の工場騒音対策では、これが中心になることが望ましい。

##### 3.1.1 騒音発生機構に注目した防止技術

一般に機械からの騒音発生機構は、3種類に大別して取扱われる。それぞれの中での主要な防止技術を以下に示す。

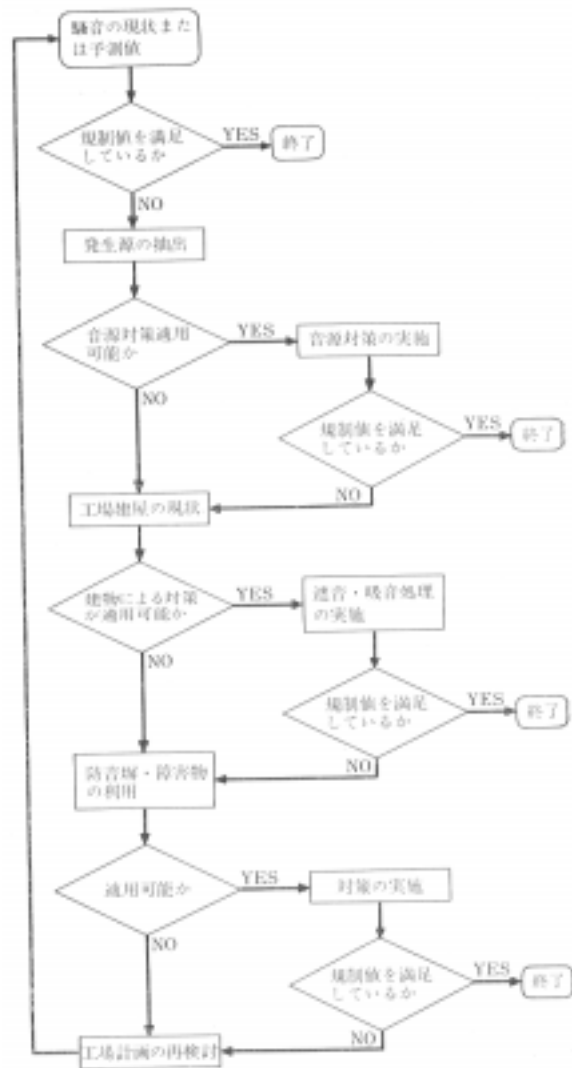


図3 機械工場騒音防止の基本的な流れ

a) 物体の振動による騒音発生防止 この場合には、さらに 起振力の発生、振動の発生、騒音の放射の3段階に分けて考えられる。この各段階において適用される主要な防止技術をまとめて表3に示す。これらの騒音防止技術は、機械設計の段階にまでもどって適用されるもので、機械の諸機構の根本的な変更にもどさかのぼる場合が少なくない。ただその中で、制振材料や防振合金などによって起振力から振動への変換を低減させる方法は、最も可能性の大きいものであると考えられる。またこの範囲の最終段階になる振動面からの騒音放射において、振動面の面積を減らすことが特に有効であり、実際にも適用の可能性の大きい方法である。

b) 空気力学的要因による騒音発生防止 この場

表3 物体の振動による騒音の発生とその防止技術

発生機構	防止技術
起振力の発生	機構の変更 緩衝
物体振動の発生	ダンピング処理 重量・剛性の増加 振動絶縁
騒音の発生	放射面積の低減

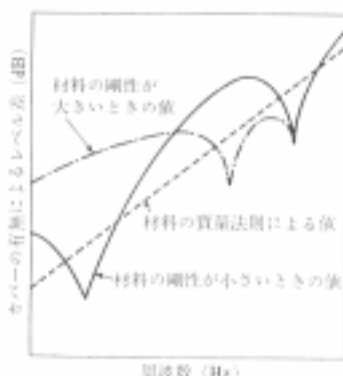


図4 密閉防音カバーの減音特性の傾向

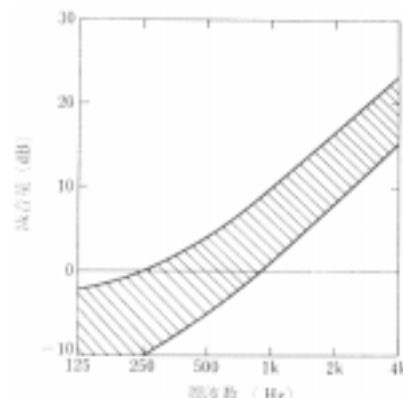


図5 防音ラギングの効果

合には、気流の断続あるいはうずの発生を減らすことが騒音防止の基本になる。このためには、特に気流の速度を低下させることが重要であり、こうした方向での機械設計を行うことが有効な方法になる。

c) 気体の急激な体積変化による騒音発生の防止  
爆発、燃焼などに伴った発生気候であって、これらの現象の原因を取除くことが第一の原則である。ただこれは機械などの根本的な変更を意味するものであって、普通には実施は容易でない。せいぜいこれらの現象につながる共鳴、共振を避けるような考慮が望まれる程度であることが多い。

### 3.1.2 発生源近傍での騒音防止技術

騒音の発生機構での対策によって目的が達成できればよいが、実際には必ずしも十分でないことが多い。特に既設工場においては、機械の変更などはそれ程容易ではない。そのために次の段階の騒音対策として騒音源近傍での騒音防止が取上げられる。

a) 防音カバー フードあるいはパッケージとも呼ばれており、機械の周囲を囲むことによって発生した騒音が周辺に伝播するのを抑制するものである。作業性などの面で支障がない機械については、完全密閉のカバーを適用することが騒音防止の面からは最も望ましい。この場合の騒音防止効果には、カバーに使われる材料・構造の性能、カバー寸法などが関係する。簡単にカバーの性能を考えるとときには、材料の透過損失データが使われるが、実際には機会表面とカバーとの間隔が小さく、さらにカバー自体の寸法も小さいことが多いので、そのままカバーの設計に適用することはできない。これらの条件を含めた解析から、材料の効果を模型的に示したのが図4である。材料の面密度のほかに、その剛性が遮音効果を規定する要因になる<sup>2)</sup>。実際に機械のカバーを適用するときには、作業性や内部の温度上昇に問題があるた

めに、完全な密閉が難しい例が少なくない。こうした場合には、機械の一部分だけを覆う形式のカバーが使われる。このときにはカバーの寸法や方向によって騒音低減の効果が変わるので、設計段階での予想は難しいが、実用的な効果の最大限度は10dB程度と考えておくのよがい。

b) 防音ラギング 配管や機械ケーシングからの放射騒音の低減に適用される方法で、ロックウールやグラスウールなどの吸音材料を貼りつけ、その表面を鉄板やモルタルで被覆した構成をとるものである。音響性能についての基礎資料が不足しており、一般的な設計方法は確立されていない。普通の施工方法は、数百Hz以上の騒音低減に役立つもので、低音域ではかえって放射騒音が大きくなることがある(図5)。

c) 消音器 空気などの気体や流体の通過には障害にならないで、騒音を低減させる装置の総称であって、主として次の範囲の騒音防止に適用される。

- (1) 送風機、圧縮機、内燃機関の吸排気騒音
- (2) 調節弁、安全弁からの騒音
- (3) 防音カバー開口部からの騒音
- (4) 建物開口部からの騒音

現在実用されている消音器、吸収形、リアクティブ形の2種類およびその組合せからなっている。実際の消音器の原音特性は形式や形状、寸法などに関係するが、その一般的な傾向を図6に示す。ここにみられるように、吸収形は主として中高音域の騒音に、リアクティブ形は低音域の騒音に対して適用されるのが原則である。消音器の性能としては、減音量のほかに流体の運動に対する抵抗(圧力損失)が重要な条件であって、減音量と圧力損失とのバランスのとれた設計を行うことが重要である。現在は各種性能をもった消音器が製造、市販されているので、特殊な場合を除いてこれらの中から適応した

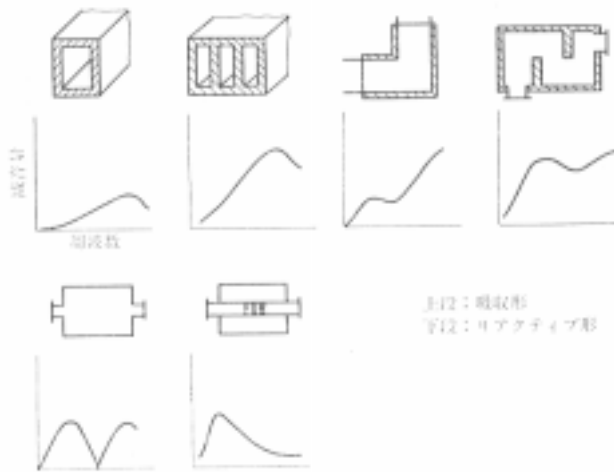


図6 各種消音器の基本的な形式と減音特性

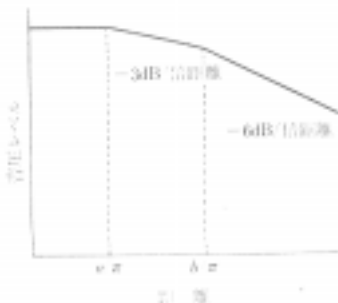


図7 面音源(寸法 $a \times b$ )からの拡散減衰の特性

ものを選択使用するのがよい。

### 3.2 騒音の伝搬経路に適用される防止技術

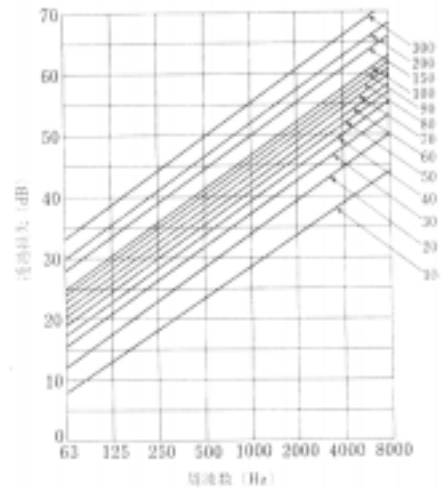
すでに述べたように、従来の工場騒音の防止については、伝搬経路の対策が中心となることが多く、特にその効果や適用の容易さ、経済性などから、今後も騒音防止技術の一つの中心になるであろう。

#### 3.2.1 音源からの距離による騒音低減の利用

騒音の発生源を遠く離すことは、最も簡単でしかも確実な方法の一つであり、特に工場を新設するときには、これを考慮しておくのが有利になることが多い。

a) 拡散減衰 騒音源から放射された音が広がりながら伝搬するための減衰を意味する。従って特に発生源の近くでの減衰特性は、音源の形状や寸法に関係する。機械工場では、音源が建物内にあることが多い。この場合には建物の外壁面を面音源と考え、図7に示す減衰特性を利用して騒音の低減効果を推定する。

b) 過剰減衰 発生源から数十m以上離れた位置では、図7で予想される以上の騒音減衰が起こることが多い。その原因としては、主として地表面の吸収と空気吸収とがあげられる。これらの吸収による減衰効果は、



各曲線の数値は面密度 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) を示す  
図8 質量法則による透過損失値

いずれも高周波数ほど大きい。空気吸収については、これまでに多くの研究があり、実用的にも十分な資料が与えられている<sup>3)</sup>。これに対して地表面吸収についての研究は、比較的最近になって行われており、実用性という点ではまだ十分とはいえない<sup>4)</sup>。こうしたこともあって、普通の騒音防止計画ではこれら過剰減衰の影響は無視されることも多い。

#### 3.2.2 建物に対する騒音防止技術

機械類が建屋内に設置されているときや屋内作業の場合には、建築的な方法すなわち建屋内部や外壁に遮音・吸音の工法を適用することが、伝搬経路対策として非常に有効なことが多く、従来の工場騒音対策、特に公害問題の対策の中心として適用されてきたものである。

a) 建屋外壁の遮音 この場合の設計は、次式によって外壁遮音構造として必要な透過損失  $R$  を算出して行われる。

$$R = L_1 - L_2 - 6 \quad (\text{dB})$$

ここで  $L_1$  は建屋内側の壁際における騒音の音圧レベル、 $L_2$  は建屋外側(距離1m程度)の音圧レベルで、対策目標値として与えられるものである。実際の建屋の設計では、上式で算出された値以上の透過損失をもった構造を選定して使用する。このためには、各種構造についての透過損失資料を利用することができる。こうした資料が得られないとき、一重壁については近似的に質量法則によって透過損失を推定してもよい。すなわち、材料の面密度 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) がわかれば、図8から透過損失の値が求められる。実際に建屋外壁の遮音を行うときに弱点になりやすいのは、窓、出入口、換気口などの開口部や各種接合部のすきまからの音の透過である。そして

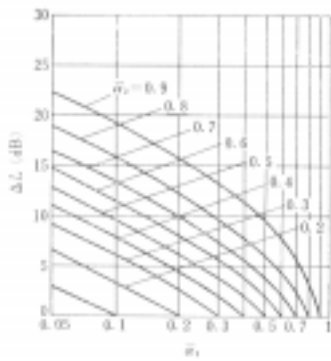


図9 室内吸音処理による騒音低減量の限界値

これに対する処理の適否が、外壁の遮音による騒音防止対策の成否につながる事が多い。

b) 建屋内壁壁の遮音 建屋内にある機械や作業の中で特定のものから発生する騒音が他のものに比較してきわだたて大きく、しかもそれを隔離しても作業などに支障がないときには、隔壁の遮音によって騒音を低減させるのが有効な方法になる。これは公害対策としてだけでなく、工場内の他の区画での作業環境の改善にも効果がある。この場合の設計基本式になるのは、隔壁の透過損失  $R$  を算出するための次式である。

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2}$$

ここで  $L_1$  は騒音源のある室内の平均音圧レベル、 $L_2$  は隣接室内の平均音圧レベルである。また  $S$  隔壁の面積、 $A_2$  は隣接室の吸音力である。 $A_2$  は室内面の吸音率  $\alpha_i$  の部分の面積を  $S_i$  としたとき、 $A_2 = \sum \alpha_i S_i$  で算出される。上式で算出された透過損失  $R$  をもった壁構造の選定については前項 a) の場合と同様に取扱えばよい。

c) 室内の吸音 騒音源の設置されている工場建屋の天井や壁面に吸音材料を施工することによって、騒音の低減をはかる方法である。この方法は音源からの反射音を減らすものであって、機械から離れた場所での騒音低減に有効である。そして室の平均吸音率  $\bar{\alpha}_1$  から  $\bar{\alpha}_2$  にしたときの騒音レベルの低減量は、近似的に次式で求められる。

$$\Delta L = 10 \log_{10} \frac{\bar{\alpha}_2(1 - \bar{\alpha}_1)}{\bar{\alpha}_1(1 - \bar{\alpha}_2)}$$

図9はこの関係を示したもので、一般的な吸音処理効果の限界を与えるものである。ここにみられるように、この方法で非常に大きな騒音の低減を期待することはできないが、他の方法と併用した補助手段としては、重要な働きをすることが多い。

### 3.2.3 防音塀

工場の敷地境界線や屋外に設置されている機械の近くに防音塀を立てる方法は、それほど大きな効果は期待できないが、工場の稼働状態に対する影響が小さいことなどから、これまで工場騒音の対策として非常によく使われてきた。

この場合の減音量については、点音源や無限長線音源に対する計算図表が与えられているが<sup>7),8)</sup>、工場では音源になるのが建物や機械などかなりの大きさをもっているため、実際の設計にそのまま使うことはできない。防音塀を設置するときには、音源や受音点のなるべく近い位置に高い塀をたてるのが有効である。

## 4. む す び

以上機械工場における騒音の現状とその防止技術について、公害と作業環境との両面からながめた結果を示した。機械工場では、発生源となる機械や作業の種類が非常に多く、それに応じて騒音の状態も千差万別である。しかもそれに対する防止技術の種類も多いので、実際の対策を成功させるためには、それぞれの問題ごとに対策の目標、経済性を含めた各種防止技術の適用効果などについての十分な検討に基づいて、具体的な対策方法を選定することが重要である。そしてこの段階では、騒音防止技術についての知識と経験とが役に立つことが多い。本文ではこうした基礎知識の一端として、現状の概要を紹介したものであり、ここを出発点にして更に詳細にわたった理解へと進むことを期待したい。

なお実際に機械工場の騒音問題の中には、機械の振動が建物構造などを駆動して壁面から騒音として放射される例が少なくない。本文ではこの問題には全く触れなかったが、実際の騒音防止対策の中では、これが重要な意味をもつことを指摘しておきたい。

### 参 考 文 献

- 1) 日本音響学会編：騒音・振動(上)、コロナ社 (1978) 28.
- 2) R.S.Jackson: Some Aspects of the Performance of Acoustic Hoods, J.Sound and Vibration, 3, (1966)82.
- 3) C.M.Harries: Absorption of Sound in Air in the Audio-frequency range, J.Acoust.Soc.Amer., 35, (1966) 11.
- 4) T.F.W.Embleton, J.E.Piercy and N.Olson: Outdoor Sound Propagation over Ground of Finite Impedance, J.Acoust.Soc.Amer., 59, (1976) 267.
- 5) 久我信一：遮音材料，技報堂出版 (1978).
- 6) 子安 勝：吸音材料，技報堂出版 (1976).
- 7) 前川純一：障壁の遮音設計に関する実験的研究，日本音響学会誌，18 (1962) 187.
- 8) 山下充康，子安 勝：線状音源に対する障壁の遮音効果，日本音響学会誌，29 (1973) 207.