

工場騒音とその影響について

大阪大学工学部* 喜田村善一

近時生産工場その他事業場における作業環境の改善が喧しくさげられるようになり、その一つとして工場騒音の問題がとりあげられている。一方大阪市の首唱による「町を静かにする運動」は警笛追放を手はじめに非常に好評を博し、その結果工場付近の騒音についても深い関心がもたれるに至った。

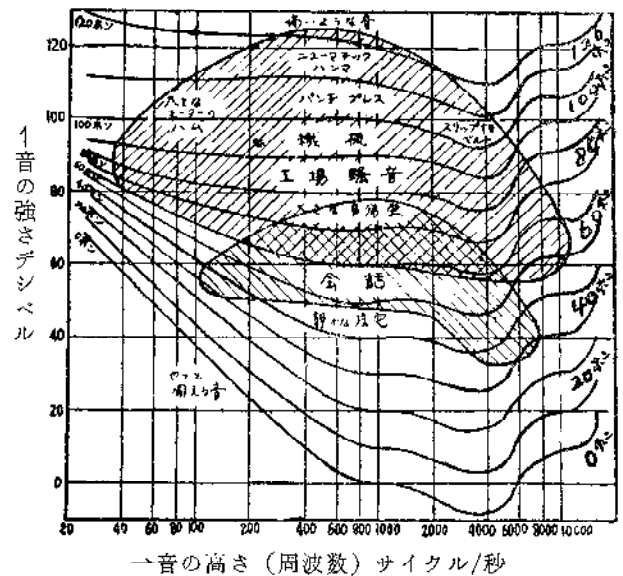
ここではこれら工場内外における騒音の問題について、われわれ関西都市騒音対策委員会（委員長大阪大学工学部熊谷三郎教授）の活動や、最近アメリカで開かれた騒音防止シンポジウムにおける工場騒音分科会の報告を中心に一般的な展望を試みる。

1. 騒音とは

一般に騒音とは“きく人にとって好ましくない音 undesired sound”として漠然と定義されるもので、物理的な立場から正確にきめられる性質のものではない。したがって都市の街頭における各種の交通機関から発する音やスピーカから流れ出る宣伝放送音、室内や車中で聞える邪魔な非楽音はもちろん、妙なる音楽といえども聞く人と場合によつては騒音となり得るのである。特に工場においては設備の機械化に伴い、ますます騒音がはなはだしくなつていく傾向がある。騒音の中には警笛や放送の音のように、ある程度大きくなければ意味をもたないものもあるが、工場騒音の如きは内部に働く人々に対してはもとより、付近で生活する人達にも、生理的、心理的に種々の悪影響を及ぼし、また機械自身にとつても騒音を出すことはエネルギーの浪費、部品の損耗など各種の無駄を意味するわけで、できるだけこれを抑制することが望ましい。

騒音の度合をあらわすのにわれわれはふつうデシベルまたはホンという単位を使う。デシベルは音の物理的な強さをはかるための単位で、ある騒音のエネルギーを P 、基準の音のエネルギーを P_0 （周波数が1000サイクル/秒の、耳で聞くことのできる最小の音のエネルギーをとり、 10^{-10} ワット/平方cm とする）とすれば、この騒音の強さは $I = 10 \log_{10} P/P_0$ デシベルで与えられる。しかし音の強さは同じであつてもその周波数が異なると耳に感ず

第1図 聴感曲線ならびに工場騒音の範囲



る音の大きさは異なつてくる。ある音を1000サイクル/秒の音と比較し耳に感ずる大きさを決定し、これをホンという単位を使つてあらわす。第1図の曲線群は Fletcher-Munson によつて得られた聴感曲線で、横軸に音の高さすなわち周波数を、縦軸に音の強さをいずれも対数目盛でとつている。この図でたとえば60ホンの曲線は1000サイクル/秒、60デシベルの強さの音と大きさが等しく感ぜられる純音を連ねたもので、周波数の低い、強さの小さい音は、1000サイクル/秒の音より相当強くしないと同等の大きさに感じないことが分る。

2. 工場内における騒音の大きさとその測定

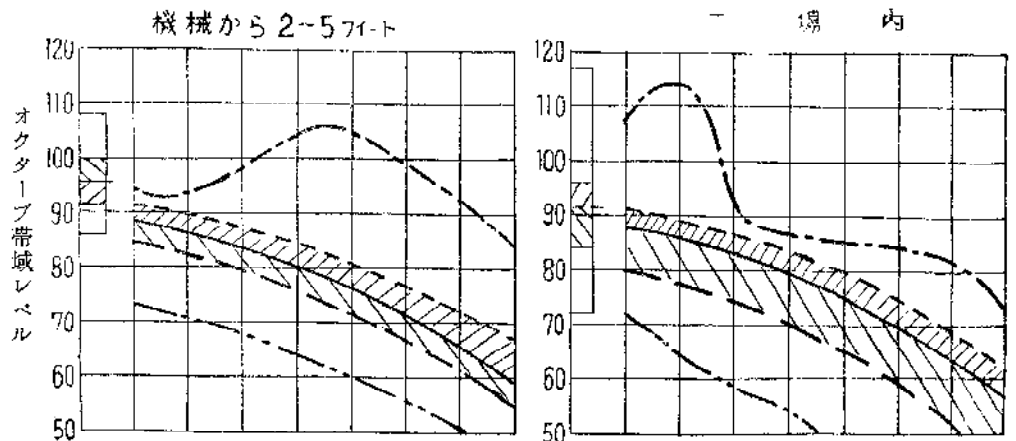
工場内では諸種の機械から発する音が周囲の壁や床、天井から反射する音と重なりあつて騒音の場を作つている。その強さも大小様々であり、その性質もあるいはモータや重油機から発する比較的連続的な音もあれば、鍛造の音のように衝撃的な音もある。また変圧器のうなりのように鈍いすなわち周波数の低い音もあれば、鋸で材木や金属をきる時の音のように周波数の高い音もあるなど千差万別である。第1図に工場騒音の大体の範囲も付記してある。

* 大阪市都島区東野田町9

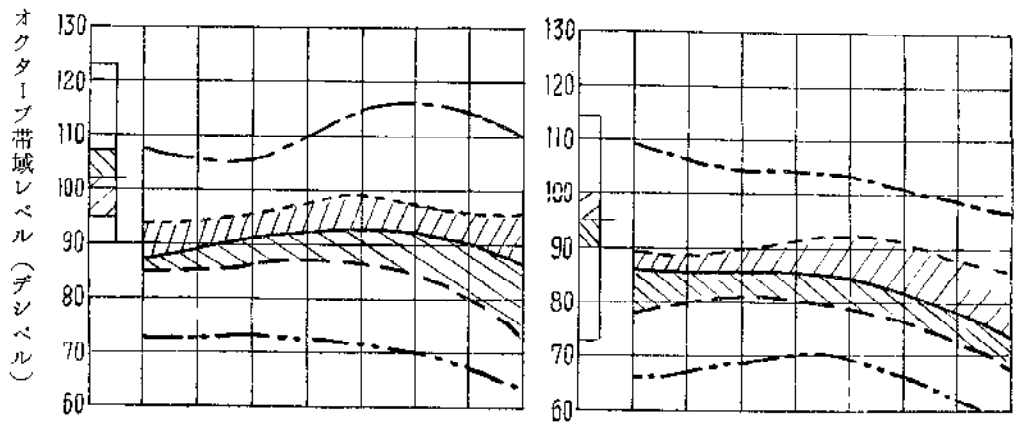
われわれはふつう日本工業規格(JIS)で定められた指示騒音計を用いて騒音の大きさを近似的に測定し、これを騒音レベル(単位ホン)といつている。この際騒音レベルに応じ騒音計に内蔵されている3つの聴感補正回路を適当に切替えて測定するわけで、この方法は装置や取扱簡便で十分実用に足る場合が多い。騒音レベルを測定する具体的な方法もJISで規定されており、工場内では正常作業中機械を使っている人などの頭部付近で測定し、特別の音源がないときは作業場のほぼ中央で測定する。またプレス音のように騒音計の指示が規則的に変動するとき、最大値、最小値とその変動の仕方を記し、つち音のように間欠的に発生し指示が大体一定な音はその最大値の平均で騒音レベルをあらわすことになっている。

しかし騒音計で測定した騒音の大きさは騒音の一つの属性を示すだけ

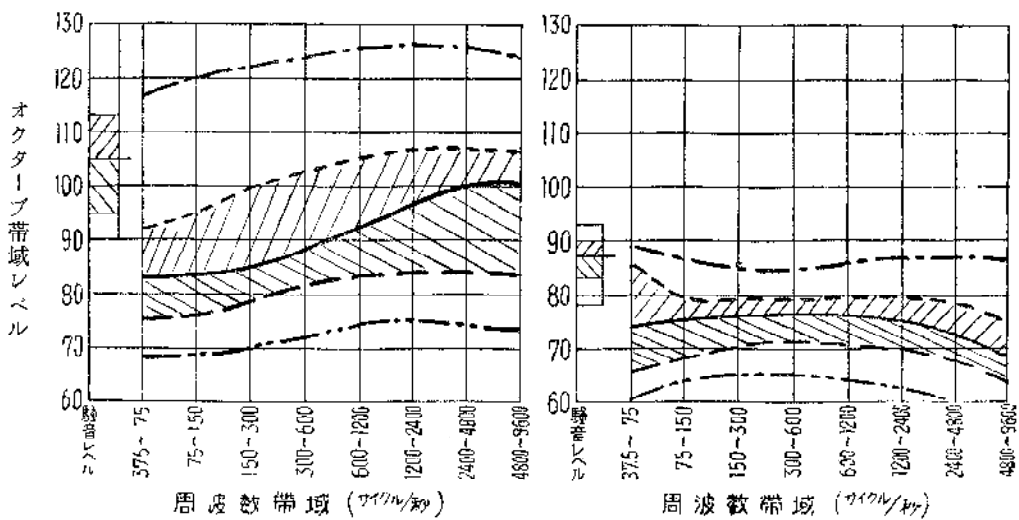
第2図 工場騒音の周波数スペクトラム



1) 皮革工業 (低周波騒音)



2) 一次金属工業 (中周波騒音)



3) 航空機工業 (高周波騒音)

上限 ———— 中央値 ———— 下限 ————
 上から $\frac{1}{4}$ - - - - - 下から $\frac{1}{4}$ - - - - -

で、騒音の影響を追求し、騒音の源を分析したり、その対策を講ずるような場合は、騒音を適当な周波帯に分けて測定した上考察を進めることが肝要である。周波数分析装置としてはふつうオクターブ帯域幅（ある周波数とその倍の周波数との間）の濾波器が用いられ、直接あるいは一旦テープに音をおさめてから各周波帯成分を求める。代表的な二三の業種の工場における騒音レベルとその周波数特性を第2図に示す。工場の規模や建物の構造、作業の性質などによつて当然大幅に違ってくるが、大体の傾向はうかがえよう。

工場の騒音は街頭騒音などと比較すれば概して連続的で大きさの変化も少いが、詳細に観察すれば時間的に変動している。そのもようを知るため記録計やオシロスコープが用いられることもある。

3. 工場付近における騒音の大きさ

工場内の騒音は建物の壁、窓、出入口などを通り、敷地内を伝播し、境界の扉を越えて工場外に洩れ、付近住宅内に侵入する。その大きさは工場内の騒音レベル、建物の状況、距離によりもちろん変化するが、われわれが32工場の付近の住宅147戸についてその居室内の騒音レベルを測定した結果では40ホン以下から68ホンまでであった。この際居室の窓、扉は閉じられており、主として連続騒音に対するものであるが、鍛造時その衝撃音で窓を開けた場合は88ホンに達するものがあつた。前記騒音レベル測定方法のJISでは、工場から外部に出る騒音が問題になる場合は、問題になっている場所（たとえば近接した住宅、事務所の窓ぎわ）で測定することに定め

られている。

アメリカで測定された工場外騒音の周波数特性を第3図に示す。これは100ヶ所以上の工場を対象としその敷地境界線から25フィートの点で測つたもので、工場の窓は開放の場合である。各窓を閉じたときは5デシベルほど下つている。第2図に比し高周波の部分がおちていることが分る。

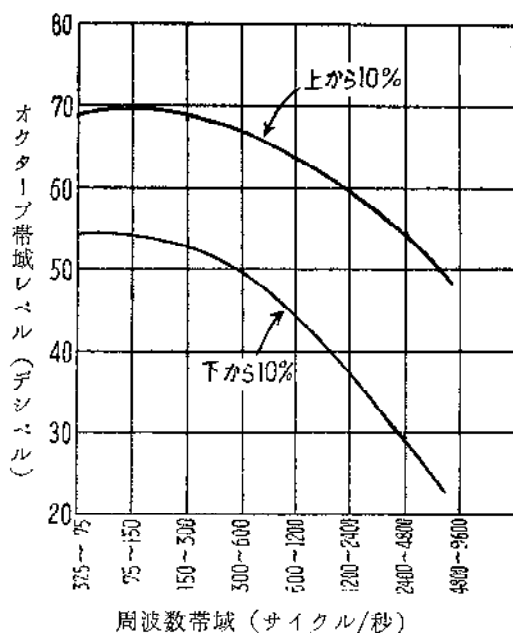
4. 工場騒音の影響とその忍限度

騒音が好ましくない音と定義される以上、その影響も当然何らかの意味で有害なものである。音はすべて耳をとおして感ぜられるが、人間の耳は眼や動物の耳と異なり、外界の刺激に対しほとんど無防備に曝されているため、騒音の影響は一層大きいといえる。事実騒音によつて相手の話が分り難かつたり、いらいらした不愉快な気持になつたり、絶え間ない緊張から神経を消耗し疲労を覚え、さらに強い騒音に対しては耳痛や眩暈を感じ、一時的な聾になつたりする。ここでは主として工場の機械から発する騒音が、内部で働いている労務者や工場付近に居住している人達に与える影響について、その主なものを述べる。

1) 難聴その他 非常に強い音を耳にすると部分的な聴力障害をうけ、その後徐々に回復するが、一日中やかましい工場で働いている労務者は長年の間に耳が永久的に聞え難くなり、いわゆる職業性難聴をおこす。第1、2表は大阪市立衛生研究所の山本剛夫技師（現在京都大学工学部助教授）が某紡績工場、製釘工場の労務者について、耳の感度の悪くなっている程度を調査した結果である。顕著な個人差はあるが、何れも経験年数とともに聴力が損われ、特に4096サイクル/秒(C⁵)の音に対し感度がおちている。たとえば製釘工場の例で30年以上勤務者は平均64.7デシベルつまり同年齢の常人が聞き得る音の数百万倍の強い音でないと感じなくなつている。低い周波数の音に対してはそれほど低下していないが、これはその範囲の強い音に対しては中耳の小骨筋の収縮が起つて、内耳に音が伝わるのを反射的に防いでくれるからと考えられる。

どの程度の強さの音からこの難聴を生ずるかは人によつても違ってくるが、全体として80ホン以下なら心配はなく、100ホン以上なら危険であるといえよう。現在労働省の規則では100ホン以上の騒音を発生する場所の作業を衛生上有害業務と指定し、何らかの措置を講ずることを規定している。もちろん騒音の性質によつてその影響も異なるから、当然各周波帯に分けて考えるべきで、上記山本氏の研究によればオクターブ帯域幅に対し中周波数では90デシベル、高い3200~6400サイクル/秒で85デシベル、低い50~100、100~200サイクル/秒でそれぞ

第3図 工場外騒音の周波数
スペクトラム



第1表 某紡績工場労務者の聴力損失 (単位デシベル)

上欄 梳綿, 初紡, 精紡, 仕上関係 中周波騒音 89デシベル
 下欄 練篠, 練紡関係 高周波騒音 86デシベル

試験音の周波数 サイクル/秒	試験音の周波数								調査 耳数
	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	
経験年数									
5年未満	7.5	9.0	10.0	11.1	10.0	12.7	15.1	12.9	72
	5.0	6.0	6.8	10.0	9.4	11.5	17.5	15.5	22
5年以上10年未満	11.3	10.6	11.3	11.9	12.5	13.1	15.6	13.8	8
	7.5	7.5	9.0	11.5	11.5	13.7	21.0	18.6	14
10年以上15年未満	12.6	12.7	12.9	13.3	14.0	15.2	17.1	14.9	7
	—	—	—	—	—	—	—	—	—

第2表 某製釘工場労務者の聴力損失 (単位デシベル) 高周波騒音 101デシベル

試験音の周波数 サイクル/秒	試験音の周波数								調査 耳数
	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	
経験年数									
5年未満	9.0	7.5	11.5	17.0	20.5	24.0	35.0	31.9	28
5年以上10年未満	12.0	12.5	17.5	21.4	23.5	33.3	46.8	40.3	20
10年以上15年未満	14.4	14.8	20.8	23.3	26.8	35.1	49.9	43.0	17
15年以上20年未満	15.8	16.2	21.9	23.5	25.5	43.0	59.0	47.2	24
30年以上35年未満	15.0	16.1	20.6	27.5	42.8	54.8	64.7	48.0	14

れ 100, 95 デシベルを連続的騒音に対する聴限度として
 いる。この研究結果は最近アメリカでも紹介され高く評
 価されている。ソ連ではやはり衝撃的でない音に対し60
 ~350サイクル/秒で90~100デシベル、同じく350~800
 サイクル/秒で85~90デシベル、一般に800~12800サイ
 クル/秒で75~85デシベルを採用した。

難聴になる度合は一日の内騒音に曝されている時間の
 長短によつても変ることが予想され、この方面に対し大
 阪大学産業科学研究所北村音壱助教授の研究がある。ア
 メリカでも騒音の継続時間など時間的性質の重要性が、
 周波数特性と同程度に認識されてきている。

その他生理的影響としては、騒音下では交感神経の緊張
 が強くなり、感性たかぶり不眠を訴え、心臓の活動昂
 進し、胃の運動は速さおよび振幅が減少して食欲がな
 くなるなど、内臓に強くまた広く作用を及ぼす。

2) 会話の障害 騒音が人間の行動に及ぼす影響のう
 ち、もつとも重要なのは話が聞きとり難くなることであ
 る。われわれがふつう向い合つて話をしているとき、
 耳許に達する相手の声の大きさは65~70ホンである。静
 かな時はこの程度の大きさが一番聞き易いが、周囲の騒
 音がより大きいと、声がかこれに蔽い隠されて聞えなくな
 る。もつとも声は瞬間瞬間にその強さが相当変動してお
 り、騒音の強さがますとことばの聞えぬ割合が段々減少
 してくると考えられる。われわれは話の聞きとり易さを
 数量的にあらわすのに音節を数多く読み上げ、その内正

確に聞きとれた音節の%をとつたいわゆる明瞭度を以て
 するが、これが工場騒音の大きさによつていかに変るか
 を実測した一例が第3表であり、1m離れてふつうの大
 きさの声で話した場合の明瞭度である。これは某鋼球製
 造工場について行つたものであるが、やはり騒音の性質
 によつて妨害の度合は異なり、低い周波数成分の音は強
 さが大でも実質的には会話にあまり影響を与えない。

第3表 工場騒音による明瞭度の低下

周囲の 騒音レベル	ホン	72	79	82	88	94	100
明瞭度	%	82	81	67	37	24	4

Beranek は 600~1200, 1200~2400, 2400~4800サイ
 クル/秒の3つの帯域の騒音の強さをはかり、この平均
 を会話妨害レベル (S I L) とよび、会話が安定にでき

第4表 会話妨害レベル (SIL) 単位デシベル

話を する 距離 フィート	声の大きさ			
	ふつう の 声	少し大 きな 声	非常に 大きな 声	叫び声
0.5	71	77	83	89
1	65	71	77	83
3	55	61	67	73
6	49	55	61	67
12	43	49	55	61

るためにはこの値が第4表の値以下でなければならないとしている。

ふつうの作業，殊に緊密なチームワークを必要とする場合は，何らかの形でことばによる意志のやりとりを要し，したがって騒音が大きいと連絡の行違い，命令の繰返しによる時間の浪費がおこり，勢い不自然に声を大きくしなければならず，仕事の能率も下る。また動物の本能として危険を身に感ずるのは先ず音による場合が多いが，やかましい工場では大声で警告を与えてもそれが耳に入らず，不測の危害をうけるおそれなしとしない。

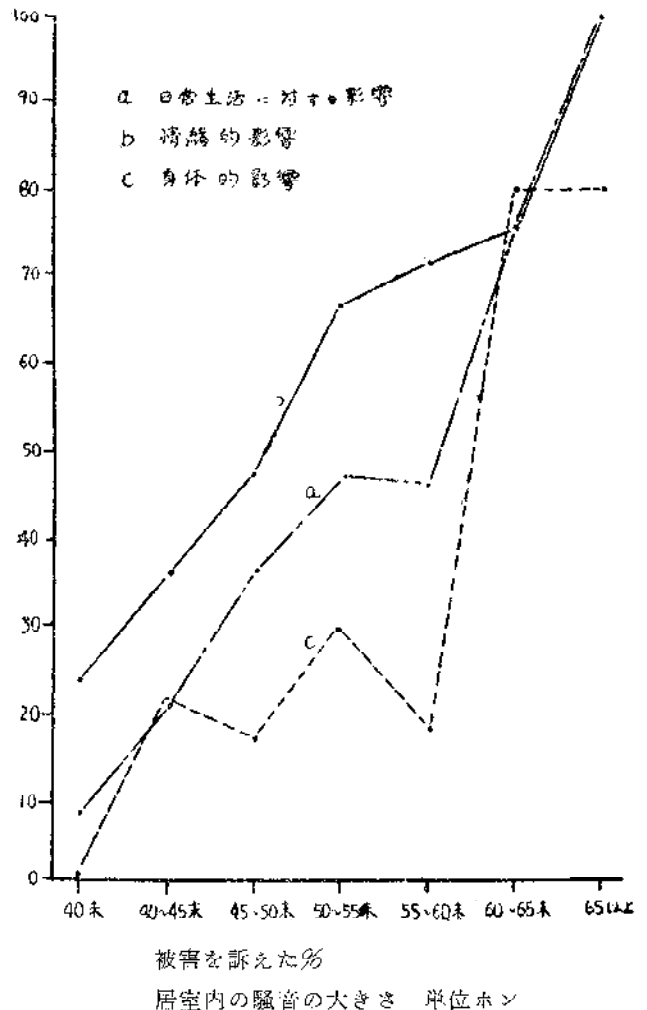
3) 作業能率の低下 上記の会話の妨害によるものを除けば，直接作業能率に及ぼす騒音の影響はあまりめだたない。しかし騒音にうち勝とうとする内的努力によつて不快感，疲労感が増加し，エネルギーの消耗がます。一例で騒音下の作業では静かな場合に比し19%余分の新陳代謝があつたことが報告されている。仕事の出来高に対する

影響についての従来のデータは，実験計画が貧弱で批判の余地があるといわれているが，加算，文字抹消，タイプ，紡織作業で，その作業速度が騒音によつて数%下つたことがしばしば文献に引用されている。特に全く意味のない工場騒音などより，音楽や話声によるものの方が注意力の集中を妨げる故か影響がはなはだしいことは興味深い。一般に聴覚的な影響を除いた騒音の他の面への影響は重要な研究テーマでありながら十分な成果が上つていない。アメリカでもこの方面の研究の促進が要望されている。

4) 付近居住者に与える影響 以上は主として工場内の労務者に対する影響であつたが，工場騒音の影響としてはこの外，その工場付近の人達に与えるものがある。敷地が広大で，建物，設備の完備した大工場ならともかく，小さな町工場や小機業地などでは，騒音が隣接した住宅内に侵入し，これが両者の紛争の種になることがしばしばある。それも工場地帯であればある程度己むを得ないが，住宅地に建てられた工場では，工場側としても相手に迷惑を及ぼさないよう，十分注意しなければならない。

われわれの委員会では先年工場付近の居住者約94名に

第4図 騒音付近居住者に与える影響



直接面接し，質問紙法によつて工場騒音の被害につき医学的，心理学的な調査を行つた。その結果を日常生活（話が聞きにくい，仕事や勉強が手につかないなど），情緒（病気のとき困る，おちつきがない，腹がたつなど），身体（元気がなく食事が進まぬ，頭痛，耳鳴り，顔色変り胸がどきどきするなど）に対する影響の3つに大別して，その居室内の騒音の大きさととの関係をえがいたものが第4図であつて，騒音レベルがますとともに，被害を訴える%も大きくなつていく。特に60ホン以上で影響が顕著である。また夜ねつきが悪くなるとか朝早く

第5表 工場騒音の許容値 単位ホン

工場 所在地別	時間別	
	昼 間	夜 間
工業地域	65~70 (午前7時~午後11時)	55~60 (午後11時~午前7時)
準工業及商業地域	60~65 (同上)	50~55 (同上)
住宅地域	55~60 (午前8時~午後8時)	45~50 (午後8時~午前8時)

また夜中に眠がさめるなど、睡眠妨害の訴えは40～45ホンからかなり多い。徹夜作業を行う工場はこの点十分考慮する必要がある。

われわれは以上の結果から、一般の工場騒音に対する許容値として第5表の値を提唱、大阪府公害防止条例などに適用されている。この場合騒音をはかる場所は工場敷地の境界から外へ5mの地点であつて、住宅内ではここに示した値から平均10デシベル下るとして定めたものである。すなわちこれによれば工場地域の住宅においても居室内の騒音の大きさは常に60ホン以下となり、住宅地域の住宅では夜間40ホン以下となる。なお5ホンの幅をもたせたのは測定技術や公害問題の性質を考えに入れた結果である。

上の許容値は連続的な工場騒音に対するものであつて、衝撃的な音など特殊の騒音に対してはこの定め方は完全ではない。夜間の睡眠に対する影響についてもさらに検討の余地がある。

5. 騒音の防止対策

前に述べたように工場騒音は内部で働く人々や近くで生活する人達に種々の悪影響を及ぼすものであるから、できるだけこれを軽減し少くも限度以内におさめるよう適当な対策を講ずることが必要である。諸工業の発達したアメリカではオートメーションの採用により機械の近くに人間のおることはますます少くなつてはいるが、なおこの方面の研究、実施が進んでいて、Noise Controlなる雑誌も発行され、防音装置の設計施工専門の会社も設立されている。わが国でも最近騒音問題がやかましく取り上げられるとともに、工場側や付近居住者から防音装置に対する要望がたかまりつつあり、われわれの委員会も多くの工場の騒音軽減対策を設計指導し効果をあげてきた。

参考のため工場騒音に対して大阪府に公害の陳情のあつた件数を年度別にあげれば第6表の如くである。昭和29年度は公害未然防止の積極化を図つて公害防止条例が

第6表 騒音公害陳情件数

年度	昭25～26	27	28	29	30	31	32	33
件数	58	64	55	237	234	319	329	525

改正され前記許容値が設定された年、33年度は大阪市が騒音防止運動を活発に推進した年であつて、これらの年度に陳情件数は著しく増加している。33年度の例では騒音関係は全公害陳情件数の59.9%をしめ、月別では8, 7, 9月の順で特に夏季に多いのは住居および工場とも窓をあけ放すことが多い故であろう。

騒音はその発生源から媒質（主として空気）中を伝播

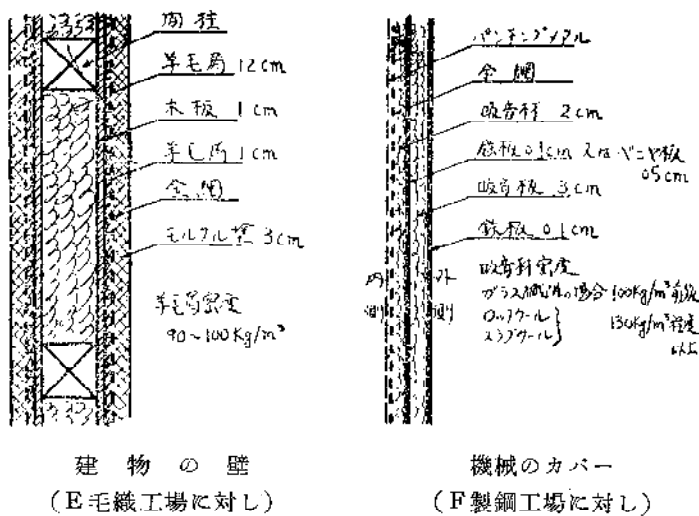
し最後に耳に達するのであるから、技術的にこれを防ぐ方法として発音体自体に手を加え音の発生をできるだけ少くするもの、伝播の途中でこれを遮りまた吸収するもの、耳のところで防ぐものに分けて考えられる。

1) 発音源の改良 工場に多数の機械が配置されている場合など、先ず騒音が主としてどこから発生しているかその根源をつきとめる必要がある。音を発生するのは局部的、過渡的であつても、それが機械の各部や床に振動として伝わつたり、あるいは共振または共鳴をおこして全体として音を輻射するので、音源の究明は相当困難であるが、機械を一個一個でできれば各部分部分を動かし、また騒音の大きさの分布すなわち距離や方向による変化、運転状況を変えて音の周波数特性の変化を調べるなどの方法をとれば大体の見当をつけることができる。そしてその発音機構を追求し、その部分の構造や材料を改善し、ガタをなくし、運転速度を変更したりして音の発生を少くする。最近の例で新しい扇風機は羽根形を変えて空気の乱れを少くし、変圧器が鉄心やコイルの締付を十分にして振動をとめ、モーターは回転中の動釣合に注意し、電車の車輪の間に人造ゴムをはさんだり、両車を合成樹脂で作つて当りをやわらかにしたりして音を小さくしている。

2) 遮音壁 騒音源そのものの音を小さくすることは抜本的で最善の策であるが、現存の機械を騒音だけのために一挙に改造することは経費の関係もあり、現実問題として中々困難である。むしろ発生した音をその伝播の途中、なるべく音源の近くで防ぐのが手軽な場合が多い。たとえば機械にカバーをかぶせたり、スクリーンをたてたりする如きである。

工場の一空または建物全体から音が出るのを防ぐにはその四周や天井を防音構造にする。一般に音が壁に当たつた場合、ガラスや金属はもちろん、ふつうの材料ではそのほとんどが表面で反射され、一部が表面または内部吸収され、一部がすきまをとる空気音または固体音として透過される。後者は問題にならぬほど小さいが、当たつた音によつて壁全体が前後に板の振動をして音を輻射するのが大きく、これを防ぐのが肝要である。固体の壁の場合遮音の度合はその材料に関係せずほとんど重量に比例し、また高い周波数ほどよく減衰する。一方二重の壁をつくりこれらを独立に構成できれば、一重の場合の倍の減衰が得られるりくつて、厚い一重壁を作るよりはるかに経済的である。実際には二つの壁の間を十分広くするか、フェルトなど吸音材をつめても、その間に柱など共通の支えが必要で両者を全く無関係に保つことは困難であるが、それでも一重壁よりすくれていることは確かである。

第5図 遮音壁の構成



さらに効果をあげるには壁面にテックスなどの吸音材をはればよい。これにより音のエネルギーを吸収してその室内の騒音レベルを下げ、ひいては遮音の効果も上る。

なお扉やスクリーンなど高さが有限の防音壁においては、音は波長が長く相当廻折するので、特に低周波の音に対してはその高さを十分高くしないとその効果が期待できないことも注意すべきである。

われわれの委員会が推奨した遮音壁の構成の例を第5図に示す。

3) 耳栓 以上のような方法によつても騒音の大きさが相当大である場合、たとえば騒がしい工場内部で働く労務者などに対しては、姑息な手段ではあるが耳栓によつて音を遮り耳を保護することが必要である。従来耳に挿入した感じがよくないため着用をためらうむきもあったが、特に100ホン以上あるような所では絶対に必要で、これによつて難聴のおそれが非常に減少し、仕事の

能率も上る。耳栓にも種々の構造があり、かんたんな綿の栓などからゴム、スポンジ、合成樹脂でできたものなどが市販されている。人造ゴムで作られたセレクトンの如きは耳に特に有害な4000サイクル/秒以上の高周波の音に対し約40デシベルの減衰を与え、会話に必要な比較的低い音はあまり小さくしないようになっている。

4) 事前措置 騒音公害などの場合、問題が紛糾してから対策を講ずることは経費もかさみ感情問題も加わつてその解決は困難である。1)、2)の方法で十分の納得が得られないときはやむを得ず、機械の移設や工場または住宅自体の移転が行われることさえある。このような愚を避けるため根本的には都市では建築基準法関係の用途地域制を確立し、住宅地域と工業地域を確然と分離し、また工場が機械を新設、増設または移転する場合は建築許可と同様あらかじめ届出で、騒音公害のおそれあるときは前もつて十分防音措置を講ぜしめる制度を強化する必要がある。

以上工場騒音についてその大きさ、影響、対策などを広く浅く述べた。騒音環境の変化に対する人間の順応能力は大きいながらも限界がある。本文が合理的な作業環境、静穏な生活環境の実現にいくらかでも役立てば幸いである。

なお本稿は昭和30年8~10月繊維界に連載したものに若干の手を加えたものであることとお断りしておく。

文 献

C. M. Harris : Handbook of Noise Control
A.S.A. : Noise Control