

超低周波音及び低周波音に関する感覚反応実験について(第1報)

宮本俊二 末岡伸一 青木一郎

1 はじめに

最近、超低周波音及び低周波音による 圧迫感、不快感、耳鳴り、目まいなどの心理的・生理的影響の訴えが目立つようになってきており、新しい公害問題としてクローズアップされている。これらの人体影響については、従来から諸外国において研究が進められており、その成果は諸文献に発表されているところであるが、労働安全衛生という立場からの研究がすくなくない。一方、我が国では、ほとんど研究が進められておらず、最近になって、二三の研究が進められ、その一部が発表されるようになってきているが、今後の研究の進展が期待される現状にある。

筆者らは、問題の提起に対処して、生活環境の保全という立場から、これらの影響の解明を図ることを目的として、超低周波音及び低周波音の発生装置を試作し、感覚反応に関する実験を計画している。この第一段階として、試作発生装置を用いた感覚反応の検知閾値に関する実験を実施したので、これらの概要と結果について報告する。

2 発生装置

(1) 装置の構成

試作装置は、加振機の軸に円板状の振動板を直結し、加振機で振動板を往復運動させることによって、音を発生させる考え方の装置であるが、装置の外観、構造および構成は、それぞれ写真、図1および図2のとおりである。

加振機には、強制空冷式電動形を用いたが、音の発生装置とすることから、構造および機能に関してとくに次の諸点に留意している。

i) 超低周波域の出力音圧レベルを大きくするには、ストロークを大きくする必要があり、ロングストローク形とした。

ii) 良好な出力波形を得るために、駆動軸の支持機構として、固体まさつを極力小さくすることのできるエアベアリングを採用した。

iii) 駆動軸の中立位置の保持は、出力波形およびロングストロークの条件から、機械的方法によらず、駆動軸に差働トランスを封入し、電氣的に保持することとした。

iv) 強制空冷による音を低減するために、加振機は密閉構造とし、ダクトにより吸排気することとした。

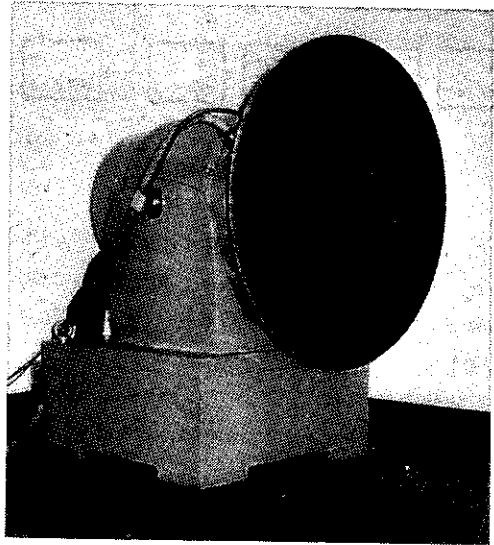


写真1 発生装置の概観

試作装置では、図2に示すように、湿気および粉じんを除去したエアコンプレッサからのエアを $3\sim 4\text{ kg/cm}^2$ に調整して、駆動軸の前後2箇所を設置したエアベアリングに送り込んで、駆動軸を支持し、さらに、駆動軸に封入した差働トランス出力を機械的に決まる中立位置に対応する電圧と比較して得られる差の電圧を、プリアンプに導入し、駆動コイル入力の直流分にフィードバックす

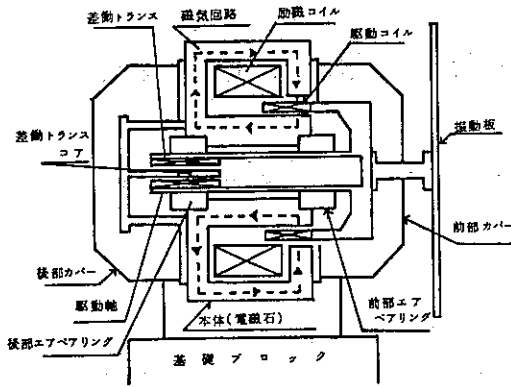


図1 発生装置の構造

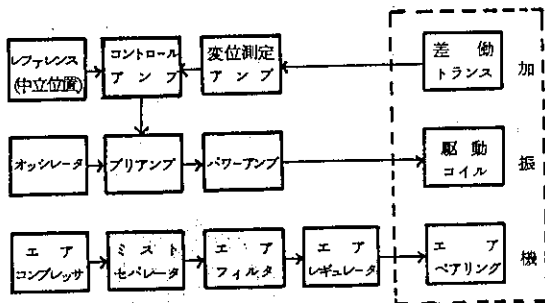


図2 発生装置の構成

ることによって、中立位置を保持する構成となっている。また、本体の前部には厚さ2mm、排気用ブロー側となる後部には厚さ3mmの鉄板のカバー(蓋)をそれぞれ装着して、内部発生騒音を低減している。

振動板については

i) 出力レベルを大とするためには、板を軽量とすることが必要である。

ii) 板のピストンモーション帯域を広げかつ板の変形を極力小さくするには、高い曲げ剛性が必要とされる。

などの条件を加味して、アルミハニカムをコアとし、カーボン繊維板を表面板とするサンドウィッチ構造の円板状の振動板を用いることとした。図3に、振動板の断面を示した。

加振機および振動板の主要諸元は、次のとおりである。

- 加振機：加振力200kg, 最大変位100mmp-p,
- 最大加速度13g, 振動数範囲2~600Hz
- 振動板：直径1,000mm, 厚さ24mm, 振動数上限100Hz, 重量約5.1kg

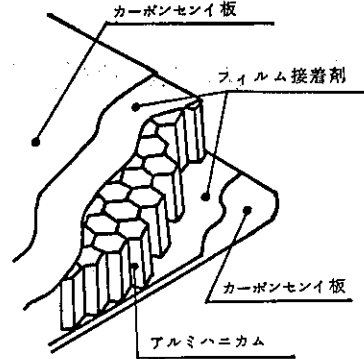


図3 振動板の断面

(2) 装置の特性

試作装置の諸特性を図4、図5、図6、図7、図8、図9および図10に示した。測定位置は、いずれの場合も振動加速度は振動板中央、音圧レベルは振動板中心軸上60cm(床上86cmとなる)である。図4および図5において、電圧入力180mVに対して、振動加速度と音圧レベルは、5~25Hzではよく対応し、7~9dB/oct.の割合でレベルが増加しているが、40Hz以上では、振動加速度は減少するのに反し、音圧レベルは6~8dB/oct.の割合で増加し、63Hzがピークとなっている。100Hzにみられるピークは、振動板の共振によるもので、図中の数値は、共振のため、電圧入力を-10dBとし、電圧換算により求めた。振動加速度を一定とした場合の音圧レベルの周波数特性は、図6のとおりである。これによると、振動板の振動-音響変換特性は、5~25Hzはほぼ平坦であるが、31.5Hz以上では周波数が高くなるにしたがってレベルが上昇しており、80Hzがピークとなっている。これは、実験室(5.1mL×2.6mW×2.5mH)の共振によるものである。図5における31.5Hz以上の周波数でのレベル増加は、この共振の影響と考えられる。

振動板面から60cmの位置での鉛直方向および水平方向の音圧レベルの分布を調べたが、図7および図8に示すように、鉛直方向(床上61~106cm)および水平方向(左右25cm)のいずれの場合も大半の周波数でレベル差は1dB前後であり、ほぼ一律のレベル分布となっているとしてもよいとおもわれる。この結果から、坐位での暴露実験には実用上十分なレベル分布と判断された。

装置の最大出力音圧レベルと歪率を測定した結果を図9に示した。ここでいう最大出力音圧レベルとは、歪率

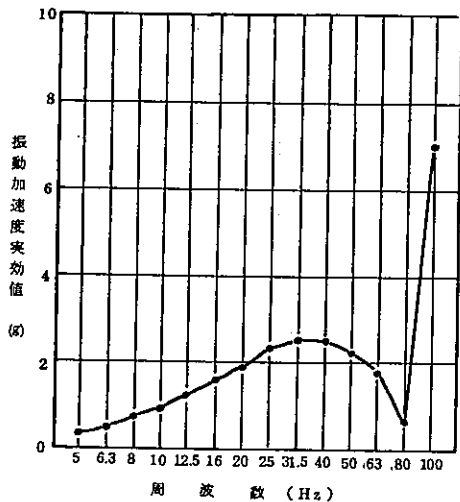


図4 発生装置の振動加速度一周波数特性 (電圧入力180mV, 振動板中央)

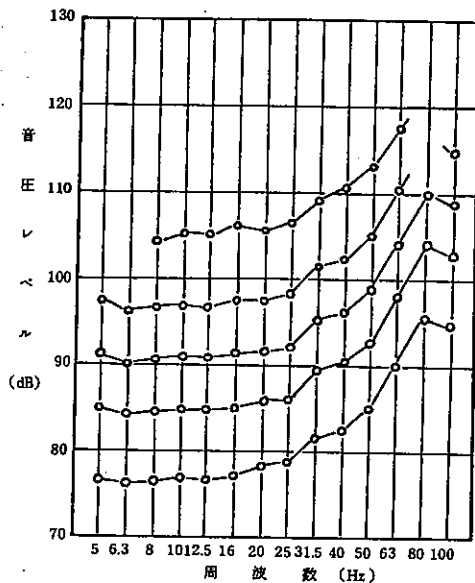


図6 g別音圧レベル一周波数特性 (振動板中央, 振動板中心軸上60cm)

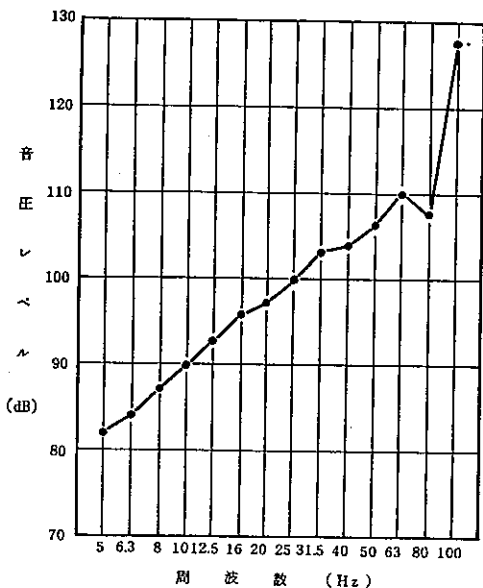


図5 発生装置の音圧レベル一周波数特性 (電圧入力180mV, 振動板中央軸上60cm)

が6%以下もしくは振動板がはばたく、びびるなどの異常振動を示さない状態での限界の音圧レベルである。20 Hz以上の周波数での歪率は6%以下となっており、16 Hz以下についてはシンクロスコープにより波形観測したが、20 Hzおよび25 Hzとはほぼ同等またはこれより良好な波形であった。また、振動板中央の振動加速度

と振動板中心軸上60 cmの音圧レベルとその関係を調べたが、図10に例示するように、直線性は良好であり、また、4回の測定でのばらつきは、平均値±0.7 dBであることから、再現性も十分であると考えられた。これらの結果は、振動加速度から音圧レベルを求めてもよいことを示している。

3 感覚反応実験

(1) 対象とした反応

hearing thresholdについては、代表的なものとして、ISOR226(20Hz~20kHz)があり、超低周波域を含むものとしては、諸外国文献(総合的なものとして文献¹⁾がある。)に発表されているところであるが、我が国でも岡井ら²⁾および山田ら³⁾の研究が発表されている。一方において、超低周波域を含む音については、圧迫感があり、音を感じる、耳鳴りがするなどの影響が訴えられていることもあり、これを考慮して、この実験では、hearingは別として、feelingに関する検知閾値を調べることとした。

(2) 実験方法

実験は、上衣等をぬぎ、ワイシャツ等の軽衣の状態で、被検者を畳に坐らせ、次のような方法で実施した。実験者が、加える音のレベルを徐々に上昇(上昇系列)およ

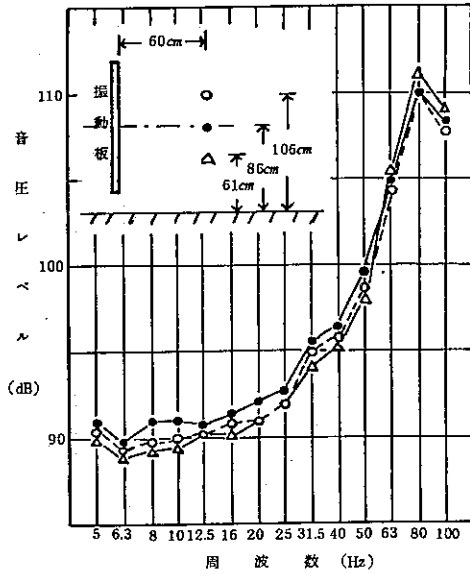


図7 鉛直方向の音圧レベルの分布
(振動板中央 1g時, 振動板面から60 cm)

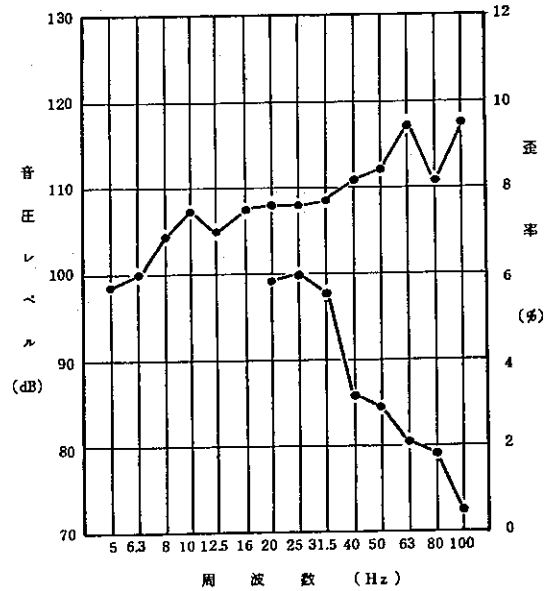


図9 最大出力音圧レベルと歪率
(振動板中心軸上 60 cm)

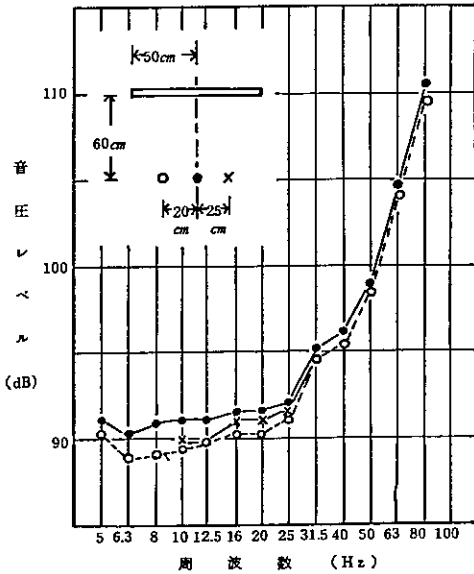


図8 水平方向の音圧レベルの分布
(振動板中央 1g時, 振動板面から60 cm)

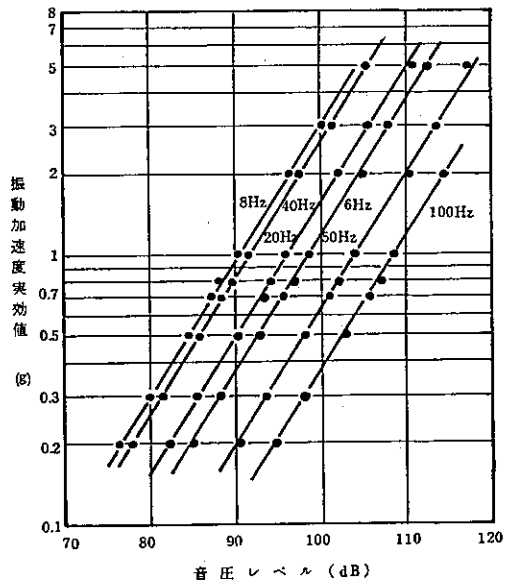


図10 振動加速度と音圧レベルの関係
(振動板中央, 振動板中心軸上 60 cm)

び下降(下降系列)させる過程で, 被検者が感じ始めたおよび感じなくなった時に, 合図を送らせ, その時の加えている音の音圧レベルを測定した。実験は, 被検者ごとに, 上昇系列および下降系列を一組として, 原則とし

て2回実施したが, 被検者は20~24才の男子9名である。実験した周波数は, 10Hzおよび20Hzを除いた8~100Hzの範囲の1/3オクターブバンド中心周波数である。加えた音の音圧レベルは, 振動板中央の振動加速度を測定し, 振動加速度を図10に例示した振動加速

度-音圧レベルの関係から換算して求めた。さらに、モニターマイクロホン置き、音圧レベルのチェックを行った。

(3) 実験結果

上昇系列と下降系列のそれぞれで得られた音圧レベルの平均をその実験における閾値とし、実験ごとに得られた閾値の平均をその被検者のその周波数における閾値とした。図 11 に、被検者 9 名の閾値の平均と標準偏差を示した。図には、個人差が大きいことが示されているが、被検者別にみると、実験ごとに得られた閾値は、なかには 3~5 dB の違いを示す場合もあるが、大半は 1~2 dB 程度であって、被検者の判断の再現性は比較的良好のものであった。被検者 9 名の平均は、次のような傾向を示している。63~100Hz の周波数範囲は 73~74 dB となっているが、他の周波数よりレベルが低く、最も感度が高いことを示している。50Hz 以下では、周波数が低くなるにしたがって、レベルは高くなり、感度が低くなることを示しており、100Hz と 8Hz では 18 dB のレベル差がみられる。

実験において、被検者が感じ始めたおよび感じなくなったとした反応を大別すると、耳の圧迫感・こもる、気になるおよび体に感じるとなるが、それぞれの反応に対

表 1 反応別回答数

反応の内容		周波数(Hz)									
		8	12	16	25	31.5	40	50	63	80	100
耳の圧迫感こもる		0	2	3	3	6	5	6	6	7	7
気になる		1	1	0	0	0	2	2	2	1	1
体に感じる	全体	4	1	2	3	2	0	0	0	0	0
	ムネ	3	4	3	2	1	1	0	0	0	0
	ウデ	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	ノド	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

する回答数を周波数別に示すと、表 1 のようになる。

31.5Hz 以上では耳に関係する反応が、25Hz 以下では体に関係する反応がそれだれ多数を占めており、とくに、50Hz 以上では耳に関係する反応が、8Hz では体に関係する反応がそれぞれ顕著となっている。また、図 11 には、参考として、Nixon, Johnson らが発表した hearing threshold を破線で示したが、本実験結果と比較すると、音がきこえなくとも、音を感じる周波数域があることになり、超低周波域の音の特徴を示しているものと考えられる。

4. おわりに

本実験によって、超低周波音及び低周波音の感覚反応に関する検知閾値について多くの知見が得られたが、被検者が 9 名であることおよび個人差が大きいなどもあり、さらに、実験を重ね、検討を続けてゆく考えである。また、音のレベルが大きくなることによって、反応がどのように変化するかについても、今後の検討課題とする予定である。

試作した発生装置は、出力波形はまず良好であり、検知閾値の実験のレベル範囲および各種の発生源の発生レベル範囲からみると十分であり、feeling に関する実験等に対しては実用に供し得るものと考えられる。また、数 Hz 以下の出力レベルを上げる方法としては、振動板の厚みを増して剛性を高くする、板面積を大きくして放射パワーを増加するなどがあげられる。

終りに、本試作装置の製作に協力頂いた明石製作所の関係者に謝意を表する。

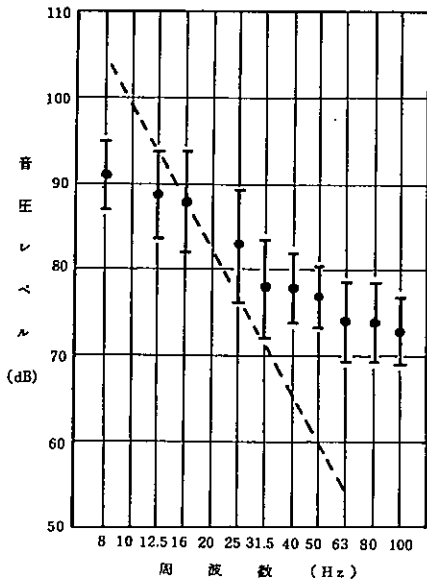


図 11 検知閾値

参 考 文 献

1) N. Broman : THE EFFCT OF LOW
FREQUENCY NOISE ON
PEOPLE

J. Sound & Vibration 1978 Vol. 4

2) 岡井ほか : 低周波音による人体反応
日本騒音制御工学会講演論文集
1977, 1978

3) 山田ほか : 低周波音が及ぼす人体影響

日本騒音制御工学会講演論文集
1976, 1978

4) C.W.Nixon, D.L.Johnson : INFRA SOUND
AND HEARING

Proceedings of the Inter-
national Congress on Noise
as a Public Health Problem
1973, Dubronik