

## 音による対象物の振動

## 株式会社フォトンプローブ

弊社内の実験では、音の問題は大変大きな悪影響を与える因子でした。

そこで、出来るだけ、室内では音を出さない、音の出る機械を止める、または防音材で覆う。などの処置をとってきました。

建物外の音は、天に運を任せて測定していました。(残念ながら、場所を選択できなかった)

ユーザからの質問を受けて、見積もりもせずに、経験だけで、今までの対処はよかったのだろうか。

ふっと、疑問に持ちました。そこで、質問に答える形で、検討することにしました

(余談)田舎に開発室を移してみても、やはり、大きかった”の感を持ちました。

## 1 音のエネルギー

”音の強さ”は、 $W / m^2$ 、の単位で表される。そして、”音圧”は、 $Pa$ 、で与えられる。

それに、”音の強さのレベル”がデシベルで与えられる。さらに、”音圧レベル”なる語まである。

では、”音の強さ”と”音圧”は何が異なるのだろうか。

単位から、”音の強さ”は、毎秒単位面積当たり透過するエネルギー、と知れる。

このエネルギーが、”音圧”を作り出すのだから、関係式が存在しなくてはならない。

音は縦波だから、毎秒単位面積当たり透過するエネルギーは、音により、作り出された密度波にエネルギーが移される。

密度の均一の空間を考える。ここに周波数 $F$ 、音速 $V$ の平面的な音が通過するときを考えよう。

この空間の物質は流動しないとする。すると音により、粒子は音の進行方向に動いたり、逆方向に動いたりする。つまり、粒子は

$$Z(t) = Z_0 \sin(\omega t)$$

の変動をする。ここで、 $Z$ 方向を音の進行方向とする。また、 $\omega$ は $2\pi F$ 、 $t$ は時間である。

この単振動をする粒子(質量 $m$ )はそのエネルギー $E$ として

$$E = \frac{1}{2} m \left( \frac{dZ(t)}{dt} \right)^2 = \frac{1}{2} m Z_0^2 \omega^2 \cos^2(\omega t) \quad [J]$$

の運動エネルギーを有する。時間と共に変動するが時間平均を求めると

$$E_{av} = \frac{1}{4} m \omega^2 Z_0^2 \quad [J]$$

となる。

## 2. 音の強さ

単位面積  $\times$  1秒間に進む距離内に、この粒子は $N$ 個存在する。

$$N = V / m = V N_d$$

$N_d$ : 単位体積あたりの粒子個数

従って、 $N$ 個全体のエネルギー  $E_s$  は

$$E_s = N \cdot E_{av}$$

このエネルギーが単位時間に単位面積を通過するエネルギー総量である。

従って、音の強さは

$$\text{音の強さ} = \frac{1}{4} V \omega^2 Z_0^2 \quad [W / m^2] \quad (1) \text{式}$$

と表される。ここで、振幅値 $Z_0$ が不明瞭な値として残る。

逆に、 $Z_0$ が測定できれば、”音の強さ”を知ることが出来る。

周波数が高ければ高いほど、音の強さが大きくなるように見えるが、高周波になると、粒子は追従できなくなる。

それにより、振幅が減少し、音の強さは弱まる。従って、物質空間によって、音の強さのピーク周波数が異なる。

## 3. 音圧

次に、”音圧”が圧力の単位であることより、上記の単振動を起こさせる力 $K$ と考える、

$$K = m \omega^2 Z_0 \sin(\omega t)$$

正負に変動することになり、1個あたりの”音圧”は一定値ではない。通常、実効値をとる。従って、

$$1 \text{ 個あたりの音圧} = m \omega^2 Z_0 / 2$$

と表される。

1個あたりの圧力は上式であるが、 $L$ 個が同時に動かされて圧力を発生させていると考える。

つまり、単位面積  $\times Z_0$  の体積内にある粒子の総数を $L$ とするのである。

$$L = N_d \cdot Z_0$$

全体の”音圧”は

$$\text{音圧} = \frac{1}{2} \omega^2 Z_0^2 N_d \quad [Pa] \quad (2) \text{式}$$

(1)式と(2)式より、 $Z_0$ を消去して

$$\text{音の強さ} = V / 2 \cdot \text{音圧}$$

と比例関係となる。

#### 4. 空気の場合

通常の空気の場合の各係数を求める

窒素(N<sub>2</sub>)80%、酸素(O<sub>2</sub>)20%の混合気体とすると、1モルは28.8gと推定できる。

空気の密度は1.293[kg/m<sup>3</sup>]なので、1モルの体積は、 $2.228 \times 10^{-2}$  [m<sup>3</sup>]。

1モルにアボガドロ数の粒子があれば、単位体積あたりの粒子の個数は

$$N_d = 6.022 \times 10^{23} / (2.228 \times 10^{-2}) = 2.703 \times 10^{25} \quad [\text{個} / \text{m}^3]$$

音速は331.45[m/s]、1kHzの周波数では

$$\text{音の強さ} = 4.2308 \times 10^9 \cdot Z_0^2 \quad [\text{W} / \text{m}^2]$$

$$\text{音圧} = 3.61032 \times 10^7 \cdot Z_0^2 \quad [\text{Pa}]$$

理科年表によると、静かな室内の音圧は、 $2 \times 10^{-3}$  [Pa]、とある。

従って、この場合のZ<sub>0</sub>は

$$Z_0 (\text{静かな室内}) = 7.44 \times 10^{-6} [\text{m}] = 7.44 [\mu\text{m}]$$

空気は、この程度の動きがあることと知れる。

#### 5. 固体の場合

固体の場合、上記展開の前提、“個々の粒子は独立かつ自由に動く”、を満たしていない。

したがって、正しい議論にはならないが、最大でもこの程度と言う目安を得ることが出来る。

< 目安 > 金属になれば、密度が増える。アルミニウムの場合、 $2.69 \times 10^3$  [kg/m<sup>3</sup>]なので、

$$Z_0 (\text{静かな室内}) = 1.63 \times 10^{-7} [\text{m}] = 163 [\text{nm}]$$

の変動が見込まれる。

#### 6. 測定結果と照らし合わせて

上記値は目安であるが、効果が1/100に減少しても、1.6nmの変動があることになる。

これは、実験の感覚と一致する。

実験では5mほど離れた、パソコンのファンの騒音が問題になる。

少なく見積もっても、1から2nmのノイズを発生させている。

上空を飛行機(以前の開発室では、横田基地の米軍機の騒音が大きかった)が飛んでいる間は、測定できない状況だった。車や近所の人たち(建物外の音なのだが、壁が薄いこともある)の話し声も大きな影響を与えた状況に納得できる。(この状況からの脱却を図るため、開発室を田舎に移した)

**弊社の結論としては、“音の影響は、予想以上に大きい”です。**

通常の建物室内にある空調設備は予想以上の騒音です。音対策もお忘れなく。

ご意見は下記にまでお願いします

株式会社フォンプローブ

東京都日野市東平山1-6-2

(〒191-0054)

代表取締役 理博 平野雅夫

開発室は

埼玉県大里郡寄居町大字金尾582

(〒369-1236)

最寄り駅;秩父鉄道 波久礼駅