

公害振動について

On the Vibration Pollution

大野進一*

Shinichi OHNO

1. はじめに

ここでは、公害振動とは工場設備、建設機械、交通機関などが原因で発生し、付近の住民に心理的物理的被害を与える振動であると定義しておこう。

振動による公害は一般に被害の及ぶ範囲が局地的であり、原因の推定も簡単である。またこれを件数で見ると、たとえば昭和47年に東京都に寄せられた公害に対する苦情16,650件のうち、振動に対するものは1,352件で、騒音6,912件、悪臭3,719件、煤煙1,880件について第4位となっており、振動は公害としては特に多くも少なくもないというところである。

以下では、振動計の設置方法、測定すべき物理量、規制基準、交通機関による振動などについて簡単に説明してみたい。

2. 振動計の設置方法

公害振動は普通建物内の人間が感じるのであるから、建物の振動を測定した方がよさそうであるが、建物の振動増幅率が建物ごとに異なるので、行政上は公害振動は地面の振動として測定される。

振動計を地面に設置すると、設置個所には振動計の重量が付加されるので、その振動状態は設置の前後で多かれ少なかれ変化する。もし状態変化が大きければ、振動計は設置前の地面の振動とは違うものを測定しているのであるから、測定値は無意味である。測定値がどれだけ信頼できるかということについて理論的に検討したものを見つけることができなかったので、筆者は以下のように考えてみた。

簡単のため、地面に置かれた振動計（ピックアップ部分）を図1のように半無限弾性体上に置かれた剛体円筒と考える。また振動は上下方向だけを考える。

振動計が地面の振動に伴なって振動すると、地面には

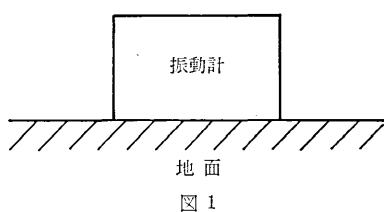


図1

振動計の慣性力が作用し、地面に局部的な変形が生じる。ところで公害振動の波長は少なくとも数メートルはあるので、振動計に較べて十分大きい地面が一体として振動する。振動計の重量は一体として振動する地面の部分の重量に較べて十分小さいから、振動計の設置は振動計の近くの地面に局部的な変形を生じるけれども、地面の大域的な振動には影響を与えないと考えてよい。そこで、もし慣性力による局部的変形が振動計の変位よりも十分小さければ、振動計の振動は地面の大域的な振動とほとんど同じであり、したがって振動計の指示する測定値は振動計を設置しなかったときの地面の振動を示していると考えることができる。

そこでまず慣性力による地面の局部的な変形を求めてみよう。いま地面が振動数 f Hz の正弦振動をしているとすると、振動計も同じく f Hz の正弦振動を行う。振動計が加速度 α なる指示をしているとすると、そのときの振動計の振幅 δ は $\delta = \alpha/(2\pi f)^2$ で与えられる。振動計の重量を W とすると、地面に作用する慣性力 F は $F = W\alpha/g$ である。図1において、円筒の半径 a 、土の密度 ρ 、ポアソン比 ν 、剪断波の伝搬速度 V_s とすると、慣性力 F が静的に下向きに作用したときの地面のたわみ w はブシネスクの結果を利用して

$$w = \frac{1-\nu}{4\alpha\rho V_s^2} F = \frac{1-\nu}{4\alpha\rho V_s^2} \cdot \frac{W\alpha}{g}$$

ここで振動計の振幅 δ と地面のたわみ w の比をとると

$$\frac{w}{\delta} = \frac{(1-\nu)\pi^2}{\rho V_s^2 g} \cdot \frac{Wf^2}{\alpha} \quad (1)$$

普通の土では大体

$$\rho = 1.6 \times 10^{-6} \text{ kgs}^2/\text{cm}^4$$

$$V_s = 1.50 \times 10^4 \text{ cm/s}$$

$$\nu = 0.35$$

と考えられるので^{1),2)}、これらの値を式(1)に代入すると

$$w/\delta = 1.82 \times 10^{-5} Wf^2/a \quad (2)$$

ところで、いまの場合慣性力は振動力なのであるが、図1のような系では動たわみは静たわみのせいぜい2倍位にしかならない^{1),2)}。したがって式(2)は地面の上に円筒形の振動計を置いたときの振動計の振動変位と地面の局部的変形の比を表すものと見てほとんど差支えない。

実例を考えてみると、たとえば振動計が重量3kg、接

* 東京大学生産技術研究所 第2部

表1 振動規制基準

府県名		東京都		新潟県		兵庫県				
項目	時帯間	昼	夜	昼	夜	前8時 後6時	前6~前8 後6~後10	後10時 前6時		
		住居専用 住居 商業・準工業 工業 工業専用 その他	前8時 後7時 前8時 後8時	65 60 65 75 70	後7時 前8時 後8時 前8時	60 70 75 70	前8時 後6時 前8時 後8時	65 65 70 1.2	0.3 0.5 0.9 1.2 0 0.3 0.6 0.6	
府県名		神奈川県			愛知県			大阪府		
項目	時間帯	前8時 後6時	前6~前8 後6~後11	後11時 前6時	前8時 後7時	前6~前8 後7~後10	後10時 前6時	前8時 後6時	前6~前8 後6~後9	後9時 前6時
		0.3 0.6 0.9 1.2 1.2 0.6	0.1 0.3 0.6 0.9 1.2 0.3	0.1 0.1 0.2 0.3 0.9 0.1	0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 0.7	0.3 0.3 0.6 0.9 1.2 0.5	0.3 0.3 0.3 0.6 0.9 0.3	0.3 0.5 1.0 1.5 1.5 1.5	0.3 0.3 1.0 1.5 1.5 0.7	0.1 0.3 0.5 0.5 0.7

単位は東京都および新潟県は dB、他府県は mm/sec

地面の半径 5 cm の円筒形であるとすると、

$$f=30 \text{ Hz} \text{ のとき } w/\delta=0.01$$

$$f=96 \text{ Hz} \text{ のとき } w/\delta=0.1$$

となるから、この振動計の場合 30 Hz 以下であれば測定値は振動計設置前の振動を十分正確に表わしたものであり、100 Hz ではあまり信用できないといふことができる。

また筆者の研究室の公害振動計の場合、重量 2.3 kg、支点は半径 0.25 cm の円筒脚 3 本であるから、この公害振動計をそのまま地面においておいたとすると、式(2)において $W=2.3/3=0.77 \text{ kg}$, $a=0.25 \text{ cm}$ とすると、

$$w/\delta=5.60 \times 10^{-5} f^2$$

したがって $f=30 \text{ Hz}$ において $w/\delta=0.05$ となり、そろそろ測定値が信頼できなくなることがわかる。

式(1)から一般に振動計は重量が小さく、接地面積の大きいものがよいことがわかる。

なおここでは上下方向についてだけ考えたが、水平方向についても同じように考えることができ、式と同じオーダーの結果が得られる。

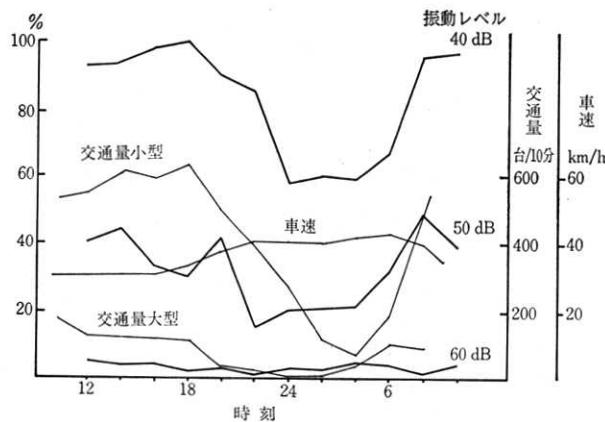
ところで以上では振動計と地面の結合は確実であるとしているが、砂地や草地の場合、砂がくずれたり、草がばねとして作用したりすると思われるが、上の結果はそのまま適用できない。筆者の研究室では $150 \times 80 \times 12.5$ の鋼板の 4 隅に径 10 φ、長さ 115 の脚を付けたものを地面に押込み、これに公害振動計をのせて地面の振動を測定した。実験的検討を行ってみると、振動計を地面にそのまま置くのは確実な方法ではなく、上のような測定用の台を地面に押込んでその上に振動計をのせるのが正しい測定値を得るために必要であると認められる。

3. 測定すべき物理量と規制基準

表1はいくつかの都府県の振動規制基準である。これを見ると、自治体によって、振動速度を測定するところと、振動レベルというものを測定するところがあることがわかる。公害振動においては人間の振動感覚を反映する物理量を測定すべきであると思われるが、上の二つの量はいづれも振動感覚のある意味で反映しているといえる。

人間の振動感覚については多くの研究があるが、研究の結果は研究の対象や実験の条件により一致しない³⁾。しかし振動数がある程度より上では、同じ振動速度に対して同じ振動感覚を生じるといえるようである。その振動数は DIS 2631 では 8 Hz であり、Janeway¹の乗心地曲線では 20 Hz である。したがって、公害振動では余り低振動数の成分はないといえれば、振動速度は一応人間の振動感覚を反映しているといえよう。これに対して東京都のものは騒音計にならって人間の振動感覚の補正回路を有する測定器を用いて振動を測定するものである。振動感覚曲線としては DIS 2631 の上下振動に対する曲線を用いている。

ところで著者は東京都の測定する物理量を振動レベルと呼ぶのは適当ではないと思う。騒音の場合、騒音ということばには不必要不愉快な音という限定された意味があるので、騒音計の測定値を騒音レベルと称しても差支えないが、振動ということばは極めて一般的なことばであり、単に騒音計にならって作った振動測定器の測定値という限定された内容を有する物理量に与える名称としては振動レベルということばは不適当であると考えられ

図2 車道端の上下方向振動(板橋区小茂根)⁴⁾

るのである。強いて名前をつけるのであれば、公害振動レベルとか、上下振動感覚レベルとかいうものが考えられよう。

それはともかく、東京都の使用するいわゆる振動レベル計の感覚補正回路は8Hz以上については出力が振動速度に比しするようになっているので、8Hz以上の正弦振動については振動速度計の指示値と振動レベル計の指示値は比例関係にある。

つぎに振動の規制基準値を表1のように決めた理由を考えると、これははっきりしたことが判らない。公害振動はもともと振動の存在が予想されないところに発生する振動であるから、およそ感知し得る振動はすべて規制するということにすれば、人間の振動感覚閾値が規制基準値となるが、現実には余りきびしくもできないので、結局は多少感じる程度は止むを得ないという常識的判断で数値を決めているのであろう。表1の基準値はいずれも人間の振動感覚閾値よりも多少高い値となっていると認められる。

4. 交通機関による公害振動

公害振動の原因となる交通機関は自動車と鉄道であるが、自動車による地面の振動は、筆者の測定では、道路が平坦であれば測定値で見る限りほとんど問題にならないようである。また東京都が環状七号線について行なった調査の結果を見ても人間が感じるような振動はまれにしか発生していない。図2はこの環状七号線の調査結果のうち板橋区小茂根において車道端における上下方向振

動を測定した結果である⁴⁾。図2において振動について5分間の測定のうち振動レベルが60dB、50dB、40dBを越えた時間は何%かという現わし方をしている。つまりたとえば12時においては60dB以上になったのは5分間のうち7%位、50dB以上は40%位、40dB以上は93%ということである。人間の振動感覚閾値は振動レベルで表わせば大体60dBであり、50dB、40dBというような振動は人間には感じない。したがって図2から60dB以上となる時間の割合、つまり人間に感じるような振動の発生する割合は一日を通してきわめて低く、しかも交通量と余り関係がないと認められる。しかし測定器で辛うじて感知できる程度の40dBというような振動は交通量に従っていることがわかる。ただしこれは平坦な道路での結果であり、道路に穴があいているれば事情は一変する。

以上は自動車についての結果の一例であるが、振動源としては鉄道の方が自動車よりも強力である。図3は江東区南砂二丁目で車道端の上下方向振動を測定したものであるが、道路の下を走っている地下鉄による振動の方が自動車による振動よりも大きく現われている。この地点は都電の旧線路が道路を半分横切っており、大型トラックが線路を乗越えるたびに大きな振動が発生する。それでも地下鉄の振動の方が大きくなっている。図3において地下鉄による振動波形を見ると、地下鉄が7輌編成であることがわかる。地下鉄によるビルの振動騒音は大きな問題であるが、カナダにはこれを避けるために防振ゴムの上に高層ビルを建てた例がある⁵⁾。

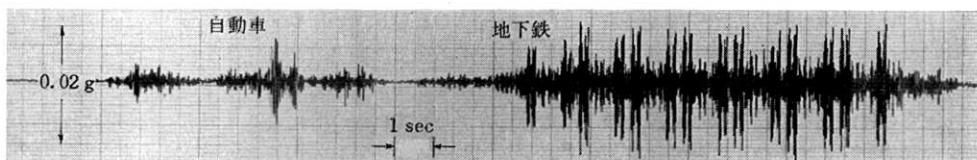


図3 車道端の上下方向振動(江東区南砂二丁目)

5. おわりに

以上公害振動のいくつかの問題について簡単に述べたが、ここでは公害振動の防止という大きな問題が省略されている。

おわりに実験に協力された亘理研・大野研の各位に感謝する。

(1974年9月18日受理)

参考文献

- 1) F. E. Richart, Jr 他: *Vibrations of Soils and Foundations*, Prentice-Hall, 1970
- 2) 山原浩: 地盤・基礎の振動特性, 機械学会第399回講習会教材, 昭和49年
- 3) 岡田晃他: 駆音・振動・衝撃の影響と対策, 医師薬出版, 昭和45年
- 4) 交通工学研究会, 東京都建設局, 公害局: 環状七号線沿線交通環境調査, 昭和48年
- 5) W. E. Blazier: Bolt, Beranek and Newman Inc. 報告, 未刊

次号予告(12月号)

研究解説

コンクリート複合..... 小林一輔
——複合系コンクリート——

調査報告

南伊豆における危険物火災を中心とした地震被害..... 柴田碧史雄
藤原隆文

研究速報

アルミニウム粉末の焼結現象におよぼす Mixing 処理の影響..... 原明善四郎
智清

気相成長した鉄双結晶境界のエレクトロンチャンネリングパターンによる解析..... 石山洋行
日本敏

鋼織維強化コンクリートの諸性状と織維の形状特性..... 小林一輔
伊藤利治

研究室紹介

菊田研究室..... 菊田惺志