

振動レベルと振動速度との関係に関する人工波を用いた検討

山口大学工学部 正会員 ○国松 直 山口大学工学部 正会員 中川浩二
山口大学工学部 正会員 三浦房紀 宇部興産（株） 今村 威

1. はじめに 発破にともなう地盤振動の評価法として振動速度（PPV）と振動レベル（VL）の2つの方法がある。振動速度は既設構造物の破壊・損傷などの関連で多く用いられてきたが、最近では公害振動に対して振動レベルが問題にされることも多い。一方、これら2つの評価法の間には振動波形の周波数が8Hz以上で連続正弦波形であるときには $VL = 20 \cdot \log(PPV) + 91$ （以下この式によるVLをVL_{PPV}と表す。）なる1対1の関係が成立する。このことから、この関係式を用いて両者の対応が議論されているようである。

しかし、発破振動波形は種々の周波数成分を含むとともに、継続時間も有限であり、上記の仮定より算出された関係が連続正弦波形でない場合について成立するかどうかの検討が必要である。

そこで、本研究は2つの周波数の異なる正弦波形を位相をずらして重ね合わせた合成波形を用いて、その波形より算出されるPPVとVLとの関係について検討を行ったものである。

2. 周波数の異なる2つの加速度波形の合成波形による振動レベル 8Hz以上の周波数をもつ次の2つの連続正弦波形を加速度波形として考える。

$$\begin{aligned} W_1 &= \sqrt{2} \cdot A_1 \cdot \sin(2\pi f_1 t + \theta_1) \\ W_2 &= \sqrt{2} \cdot A_2 \cdot \sin(2\pi f_2 t + \theta_2) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 A_1 、 A_2 は加速度実効値、 f_1 、 f_2 は周波数、 θ_1 、 θ_2 は初期位相角である。この、2つの波形の合成波形は式（1）の和で表される。

従って、合成波形の振動レベルは定義¹⁾より次式で算出される。

$$VL = 10 \cdot \log_{10} (10^{VL_1/10} + 10^{VL_2/10}) \quad (2)$$

ここで、 VL_1 、 VL_2 はそれぞれ W_1 、 W_2 に対する振動レベルである。

以上のように、2つの異なる周波数の正弦波形の合成波形より算出される振動レベルは各正弦波形の振動レベルの大きさにより決定され、式（1）における位相差の影響を受けない。

3. 周波数の異なる2つの速度波形の合成波形による振動速度 合成加速度波形に対応する合成速度波形は式（1）を1階積分した後重ね合わせることににより次式で与えられる。

$$V = -\frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi} \left[\frac{A_1}{f_1} \cos(2\pi f_1 t + \theta_1) + \frac{A_2}{f_2} \cos(2\pi f_2 t + \theta_2) \right] \quad (3)$$

上式に加速度波形の実効値 A_1 、 A_2 、異なる2つの周波数 f_1 、 f_2 、初期位相角 θ_1 、 θ_2 を代入すれば、速度波形が求まり、その最大値によりPPVを得ることができる。

式（3）からも明かなように速度波形に対する合成波形には周波数および初期位相角が含まれ、PPVはそれらに影響されることがわかる。

4. 合成波形に対する振動レベルと振動速度との関係 式（1）、式（3）の変数である A_1 、 A_2 には 100gal～1000gal、 f_1 、 f_2 には10、30、50、70、90Hzのうちの2つの組み合わせを用いた。初期位相角は $\theta_2 = 0$ とし、 θ_1 を0、 $\pi/2$ 、 π と3通りに変えて合成波形を作成した。

上記の変数に対してそれぞれ VL_1 、 VL_2 、VLおよびPPVを算出した。

図a、図bは周波数の組み合わせが（10、30）、（10、90）の場合の結果である。図中の○、▲、□はそれぞれ10Hzの波の初期位相角を0、 $\pi/2$ 、 π と変えたときの値をプロットしている。縦軸は得られたPPVより算出されたVL_{PPV}からVLを引いた値を、横軸は（ $VL_1 - VL_2$ ）を表す。この図において横軸はVL_{PPV}と実際に算出された振動レベルの差が0ということの意味しており、周波数が8Hz以上の単一周

波数の場合には常にこのライン上にプロットされる。

通常、PPVの予測値からVLを推定することが多いわけであるがこのような場合には $(VL_{PPU} - VL) > 0$ の領域はVLの評価に対して安全側となる。逆に $(VL_{PPU} - VL) < 0$ の領域は危険側となる。

図より明らかなように $(VL_1 - VL_2)$ の差が大きくなると位相差に関係なく $(VL_{PPU} - VL) = 0$ のラインへ近づく傾向にあるが $(VL_1 - VL_2)$ が小さくなるにつれて、どの図においても大きく変動していることがわかる。その変動は主に安全側に大きく約3 dB以下である。しかし、図aに見られるように危険側に約1.5 dB変動しているものもある。これらの変動の原因は2つの波形の干渉の結果として算出されるPPVの大きさによるものであり、図aの位相差 π の結果は2つの波形の山と谷が一致したことによる特異な結果となっている。図bに見られるように山と谷が一致するような周波数においても2つの波形の周波数の差が大きい場合にはお互いの影響は小さいといえる。しかし、 $(VL_1 - VL_2) = 0$ 付近では2つの波形の振幅の大きさが同じ程度であるので位相差の影響は小さくなるが単一周波数によるPPVの大きさと合成波形によるPPVの大きさととの差が大きくなり、結果的にPPVを過大評価することになる。

図c(50,70)、図d(70,90)は2つの周波数の比が整数とならない場合の結果であり、このような場合には $(VL_{PPU} - VL) < 0$ となることはなくすべて安全側で評価される。

4. まとめ 周波数の異なる2つの連続正弦波形の合成波形よりVLとPPVとの関係を検討した結果、周波数が8 Hz以上の単一周波数の連続正弦波形に対して成立する両者の関係式 $VL = 20 \cdot \log(PPV) + 91$ は合成波形の結果に対しては一義的には成立しないことが判明した。特に、卓越周波数が2つ存在し、それらの卓越周波数による振動レベルが等しいような場合には上式による誤差は大きくなる。しかし、その誤差は安全側に大きく危険側への誤差は非常に特異な場合に生じて、その値も1.5 dB程度である。

なお、現在ランダム波形を用いた解析を進めており、その結果については当日発表を行う予定である。

参考文献 1) 日本規格協会：日本工業規格 振動レベル計 JIS C 1510

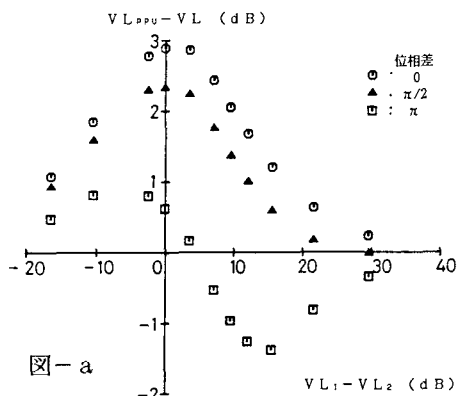


図-a

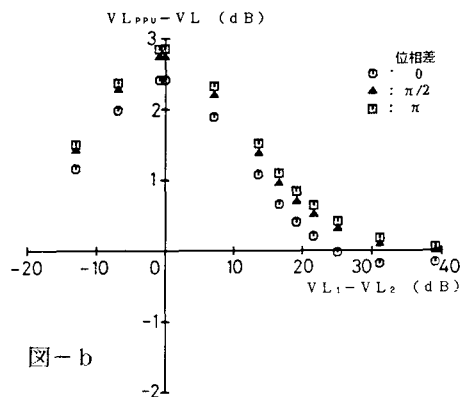


図-b

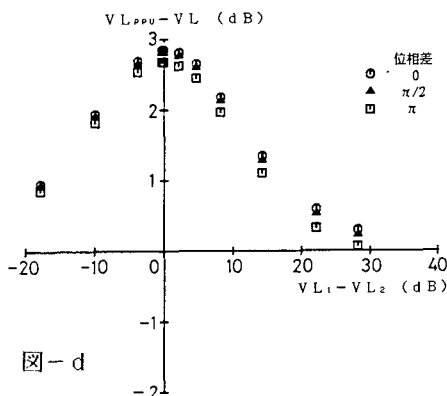


図-d

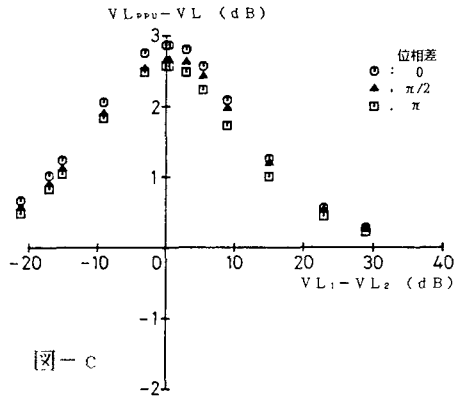


図-c

図a～d $(VL_{PPU} - VL)$ と $(VL_1 - VL_2)$ との関係 (a:(10,30)、b:(10,90)、c:(50,70)、d:(70,90))