

神戸大学 正 北村泰寿 正 桜井春輔 西松建設 正〇繁徳章吾

1. まえがき 従来より、発破振動の測定および評価の単位には振動速度が用いられている。一方、振動規制法によって公害振動と呼ばれる地盤振動は振動レベル(VL)で規制されている。発破振動は規制対象にはなっていないが、公害振動的な振動の測定、評価は振動レベル値によって与えられる傾向は否めない。このような状況より、本研究は振動速度と振動レベルの対応関係を明らかにするために行った基礎的研究である。

2. 振動レベル計 図-1に示すいくつかの回路によって振動レベル計は構成されている。筆者らは、本学会支部年講で振動レベル計の指針の応答をディジタル計算機を利用してシミュレーションする方法を報告した¹⁾。図-1において、回路要素の計算式として必要となるものは炉波器、補正特性回路、整流器、指示計である。また、この計算式の誘導には線形ディジタル・フィルタ設計理論が主役を果す。本文では詳細は省略し、一連の差分方程式で表わされる回路要素の最終計算式を下記にまとめておく。

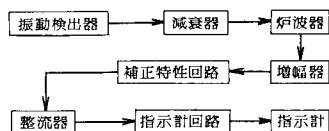


図-1 振動レベル計の構成

1) 炉波器 $y(nat) = (1 - 2e^{-\alpha \Delta t} \cos \alpha \Delta t + e^{-2\alpha \Delta t})x(nat - \Delta t) + 2e^{-\alpha \Delta t} \cos \alpha \Delta t y(nat - \Delta t) - e^{-2\alpha \Delta t} y(nat - 2\Delta t)$
 αR であり、 $x(t)$, $y(t)$ は入力および出力時系列、 Δt はサンプリング間隔、また $Q = 400.3345$ である。

2) 補正特性回路 $y(nat) = Kx(nat) - Ke^{-\alpha \Delta t} \{ \cos b \Delta t + (c/b) \sin b \Delta t \} x(nat - \Delta t) + 2e^{-\alpha \Delta t} \cos b \Delta t y(nat - \Delta t) - e^{-2\alpha \Delta t} y(nat - 2\Delta t)$

αR であり、 $b = 11.0585$, $c = 26.0328$, また K は利得を1にするための定数で Δt に依存する。

3) 整流器 $y(nat) = (1 - e^{-\alpha \Delta t / \tau})x(nat) + e^{-\alpha \Delta t / \tau} y(nat - \Delta t)$ (τ : 時定数)

4) 指示計 $y(nat) = (1 - 2e^{-f \Delta t} \cos g \Delta t + e^{-2f \Delta t})x(nat - \Delta t) + 2e^{-f \Delta t} \cos g \Delta t y(nat - \Delta t) - e^{-2f \Delta t} y(nat - 2\Delta t)$

αR であり、 $f = 13.696$, $g = 10.272$ である。

3. 実測との対比 本計算式を実際問題へ適用するに当たっての基礎的な検討は前報¹⁾に報告したので、ここでは実測の振動レベル波形とシミュレーションした振動レベル波形を比較し、本計算式の正当性を示す。なお、実測値と計算値は図-2に示すような実験のフローチャートに従って求めた。

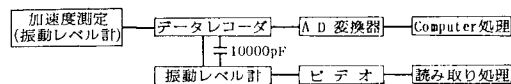


図-2 実験のフローチャート

まず、本計算式を発破振動のような衝撃性の振動へ適用するに先立って、卓越周波数が比較的低く、継続時間の長い道路交通振動へ適用を行った。図-3は、道路端で上下動の振動加速度波形と振動レベル波形一例を示したものである。スペクトル解析によれば、主要周波数は10~20Hzの範囲にある。同図の振動レベル波形において、実測波形とシミュレーション波形は局所的には若干差異もみられるが、ほぼ一致していることとみなしてよい。

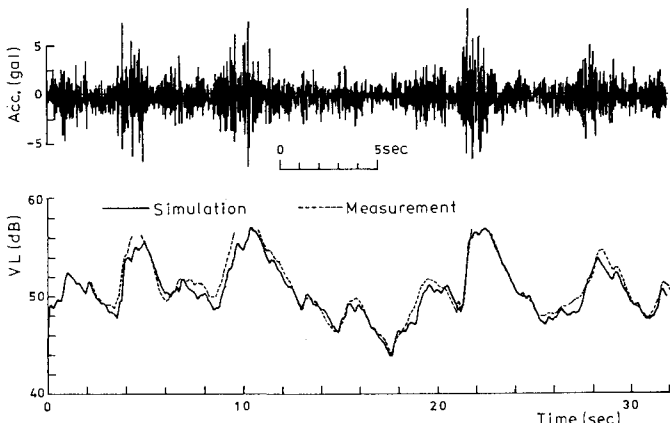


図-3 道路交通振動の加速度波形と振動レベル波形の一例

次に、発破振動における上下動の振動加

速度波形と振動レベル波形の一例を図-4に示す。なお、同図のデータは、トンネル発破による振動が土被り約150mの地表面で観測したものである。また、図-5は図-4の加速度波形のパワースペクトルを描いたものである。同図において、90Hz以上の周波数成分については、図-1の炉装置(-12dB/oct)の影響によって小さくなっていくことも考えられるが、30~90Hzの範囲内のデータと言えよう。図-4の振動レベル波形において、シミュレーション波形は初動部で多少実測波形より大きくなっていくが、初動部以外では実測波形とよい一致をみている。

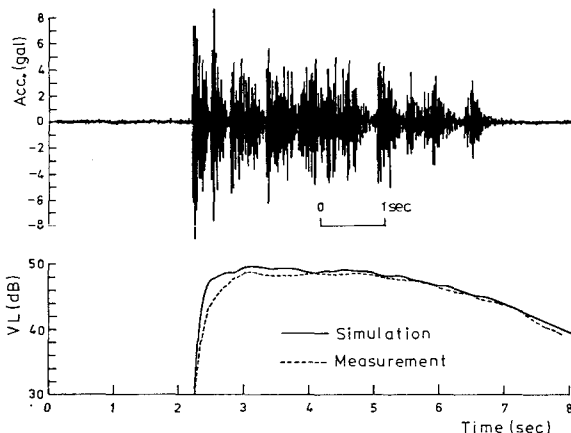


図-4 発破振動の加速度波形と振動レベル波形の一例

一般に、トンネル発破の場合には初段（心抜き）の振動が大きく、図-4の加速度波形においてもみられる。しかし、振動レベル波形においては初段のレベルが必ずしも大きくなっていない。これは、他の処理データにおいてもみられた現象で、振動レベル計の立ち上り特性に起因するものと考えられる。

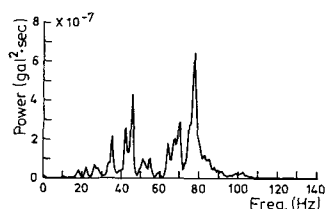


図-5 パワースペクトル

4. 振動速度と振動レベル 本計算式は実測の振動レベル波形を十分シミュレートすることがわかった。したがって、この計算式を利用して、図-4の測定と合わせて実施した多数同時測定の振動速度データより振動レベル波形を計算し、振動速度と振動レベルの対応を調べる。図-6は、実測の振動速度と振動レベルの計算値の対応を図示したものである。なお、同図は1発破についてそれぞれの最大値を1つ取り出し対応させたものではない。たとえ、図-4の加速度波形にみられるように、振動速度波形も継続時間0.1~0.2秒の波群の連続となっている。この波群数個の最大値をそれぞれ読み取り、同時刻付近の振動レベルのピーク値と対応させたものである。

いま、8Hz以上の単一周波数の連続正弦振動に対する振動速度(V)と振動レベル(VL)は次のような理論式によって関係づけられている。

$$VL = 20 \log_{10} V + 91 \quad \text{ただし、} VL: \text{dB}, V: \text{cm/sec}$$

ところで、図-6に示すように、今回の測定データに対する振動速度と振動レベルの対応式は、理論式よりも約7dB低いレベルを示す。単一バースト信号の継続時間を変化させたとき、継続時間1秒以下では連続振動に対する相対レスポンスはレベル低下することが知られている。約7dBのレベル低下を単一バースト信号の継続時間で評価すれば約0.05秒前後の時間となり、先に述べた0.1~0.2秒の波群の連続とみてもよき継続時間の短い波群の連続とみてもよきならぬ。

5. あとがき 今回のトンネル発破による測定データでは、主要周波数成分は90Hz以下となっている。しかし、90Hz以上の周波数（岩盤露頭などでは生じることもある）に対しては炉装置のシャ断特性によるレベル低下も考慮しなければならない。また、連続振動の理論式よりレベルの低減量などの程度に見積るが継続時間に依存しており、今後多くのデータに対して検討を要する課題であろう。

文献 北村・繁純：振動レベル波形のデジタルシミュレーション(201)、(202)、土木学会関西支部昭和55年および57年度年報。

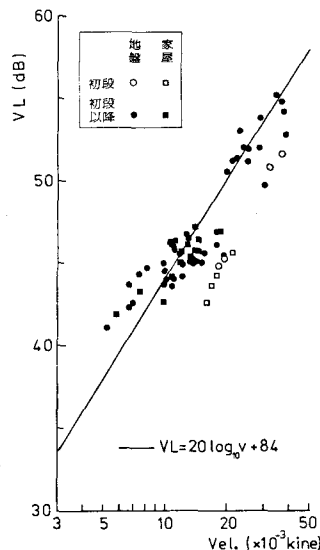


図-6 振動速度と振動レベルの対応