

山口大学工学部 正○国松 直 山口大学工学部 正 中川浩二

山口大学工学部 正 三浦房紀 宇部興産(株) 正 今村 威

1. はじめに 従来より岩盤の破碎、掘削には低コストで破砕力大きい火薬による発破作業が頻繁に行なわれてきた。しかし、最近では環境条件が厳しくなり発破作業に伴う振動に対して種々の規制がとられるようになってきている。また、このことを反映してコストの高い無発破工法に頼らざるをえない場合も生じてきている。このような状況において、発破振動の推定は施工計画の上で大きく影響を与えるものと思われる。

現在、公害振動の評価法としては人体感覚を考慮した振動レベルによる規制が行なわれており、発破振動においても振動レベルによる規制が種々の工事現場、鉱山等で設けられるようになってきた。

しかし、従来より提案されている発破振動の推定式は最大速度振幅をその対象としており、振動レベルに対するものは見当たらない。

そこで、本研究では振動レベルの推定式を求めることを目的として、まず段発発破における振動レベルの推定について検討を行なった。

2. 振動レベル計の数値シミュレーション 振動レベルは JIS Z 8735

(振動レベル測定方法)において、JIS C 1510 (振動レベル計)で定められた振動レベル計で振動レベルを測定することが規定されている。振動レベル計は2つの人体感覚、つまり周波数に対するレスポンス、波の継続時間に対するレスポンスを考慮して回路設計がなされている。そこで、これらの回路を数値的にシミュレーションするプログラムを作成した。¹⁾

3. 秒時差変化に伴うモデル波形の振動レベルの変化 段発発破による加速度波形は隣接孔の爆破による破壊の影響が同一であると、仮定すれば秒時差がある程度長く、各発破により生じる波形が重畳しない範囲については単発発破により生じる加速度波形がある秒時差で繰り返されたものと考えても差支えないであろう。

まず、ここでは現象を単純化するために単発発破により生じる加速度波形の代わりに正弦波形(以下モデル波形)を用いて、段発発破を間欠正弦波形で表すこととした。

図. 1は間欠正弦波形を示したものであり、図中の T_d はモデル波形の継続時間、 T_i は段発発破の秒時差を表わしている。単発発破振動により観測される加速度波形にはいろいろな周波数が含まれ、継続時間も一定ではない。また、振動レベル計の振動感覚補正特性は1~90 Hzの範囲で規定され、それ以外では12dB/octの遮断特性を持たせることが望ましいとされている。これらのことを勘案して、周波数は20, 50, 80 Hzの3種類、継続時間 T_d は波数を変化させることにより20ms ~ 150msの種々の波をモデル波形とした。

これらのモデル波形に対して、秒時差 T_i と継続時間 T_d の比 $T_r = T_i / T_d$ をパラメータとして T_r の増加に対する振動レベルの低下を調べた。ここで、 $T_r = 1$ は連続正弦波形であり波形が重畳しない範囲では最大の振動レベルを示す。そこで、この値を規準として他の $T_r > 1$ における振動レベルに対する差(以下レベル差)を求めた。ここで、図. 2は数値シミュレーションより得られた連続正弦波形に対する振動レベル出力波形と周波数50Hz、 $T_d = 40$ ms、 $T_i = 200$ msの間欠正弦波形入力に対する波形を示したものである。間欠正弦波形に対して振動レベルは T_d 区間で上昇、($T_i - T_d$) 区間で下降を繰

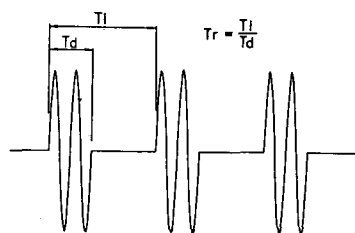


図. 1 間欠正弦波形

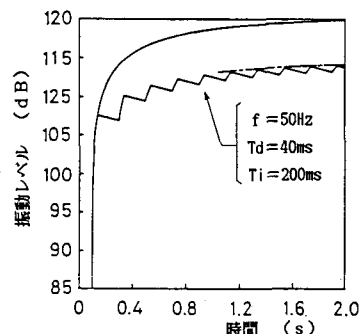
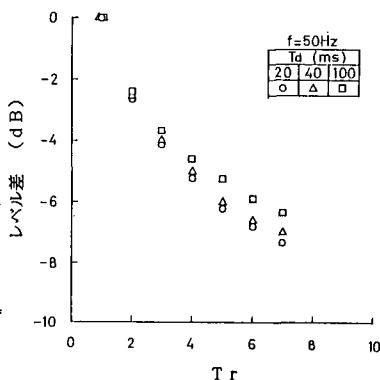


図. 2 数値シミュレーションによる振動レベル出力波形

図. 3 レベル差と T_r の関係

り返しながらある一定値へ漸近する。継続時間が約2秒以上ではほぼ一定値と人体が感じることを勘案して、ここでは波形入力時から2秒後の値を振動レベル値とした。この場合のレベル差は図より約-6dBであることがわかる。

図. 3は周波数 50Hz のモデル波形について継続時間をパラメータとして T_r の増加に伴うレベル差を示したものである。この図は T_r の増加に伴ない右下がりの傾向を示し、 T_r の増加が振動レベルの低減に有効に作用していること表わしている。また同図より継続時間が長くなればレベル差は小さくなる傾向がみられる。また、ここには示していないが、レベル差に対する周波数の影響は同一継続時間についてほとんど差がなく非常に小さいことが別途明らかにされている¹⁾。

4. 秒時差を考慮に入れた振動レベルの推定 段発発破における秒時差の効果を考慮に入れた振動レベルの推定式として次式が考えられる。

$$VL = (T_r=1 \text{ に対する振動レベル}) - (\text{段発発破の秒時差による振動レベル差}) \quad \text{--- (1)}$$

上式において ($T_r=1$ に対する振動レベル) は単発発破の振動レベルと波の継続時間に密接に関連していることが考えられる。図. 4は縦軸に $T_r=1$ に対する振動レベルと単発発破に対する振動レベルの差をとり、横軸に継続時間をとってプロットした結果である。この図よりこれらの関係は一つの曲線で近似できることがわかる。そこで、図. 4の結果に対して回帰分析を行った結果、次のような ($T_r=1$ に対する振動レベル) の推定式が得られた。

$$(T_r=1 \text{ に対する振動レベル}) = (\text{単発発破の振動レベル}) + (28.1 + 9.7x \log(1/T_d)) \quad \text{--- (2)}$$

なお、回帰式を求めるにあたって使用した波の継続時間は 20ms ~ 150ms である。

次に、(段発発破の秒時差による振動レベル差) の推定は図. 3に示されるように次式で表すことができよう。

$$\text{レベル差} = A \times \log(1/T_r) \quad \text{--- (3)}$$

この係数Aは図. 3の結果より T_d と密接に関連していると想像される。そこで、図. 3の結果に対して各継続時間について回帰分析を行なった。その結果、係数Aの値を継続時間に対してプロットしたものが図. 5である。これより係数Aは継続時間に対して直線で近似できるようである。その回帰式は次式となる。

$$A = -0.013 \times T_d + 9.0 \quad \text{--- (4)}$$

以上のような検討より、段発発破の秒時差が一定で、無限に同一の単発発破が続くものと仮定したとき、初段の起爆から2秒後(人体感覚上2秒以降は一定の振動レベルと感じる)の振動レベルの推定式は(1)式に、(2)、(3)(4)式を代入して結局次式で与えられる。

$$VL = (\text{単発発破の振動レベル}) + (28.1 + 9.7 \times \log(1/T_d)) + (-0.013 \times T_d + 9.0) \times \log(1/T_r) \quad \text{--- (5)}$$

上式中の(単発発破の振動レベル)および波の継続時間 T_d は通常行われる試験発破において得ることができる。その結果を用いて、上式から $T_r > 1$ のある秒時差に対する振動レベルを推定することができる。本研究では波形が重畳しない範囲について検討を行ったが今後は波形が重畳する範囲について検討を行う必要がある。また、単発発破の振動レベルの推定が大きな課題である。

参考文献

1) 国松、中川、三浦、第17回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp116 ~ 120

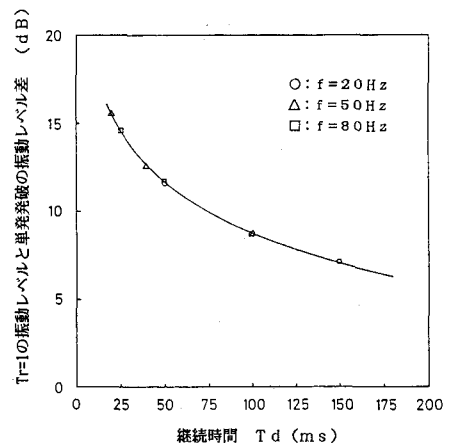


図. 4 $T_r=1$ の振動レベルと単発発破の振動レベル差と継続時間との関係

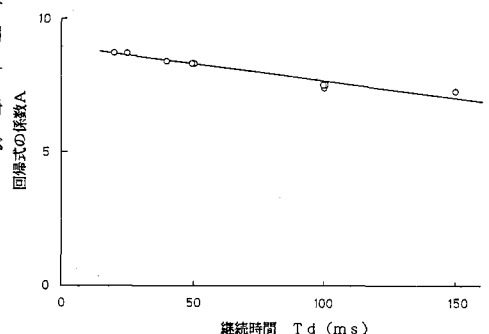


図. 5 継続時間と回帰式の係数Aとの関係