

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
同 同 久武 勝保
同 大学院 学生員 小林 洋一

① はじめに

既設トンネルの近傍での発破作業は、既設トンネルの安全性を考慮して行なう必要がある。この目的のために現場ではトンネル内で測定される振動速度によって発破方法を規制するという手法が用いられる。しかし、この方法では現場の岩盤の性状、爆薬の種類、トンネルの幾何学条件などを適切に把握することができず、設計の段階で十分な施工計画を立てるまでには至っていない。本研究は以上の点を考慮し、シミュレーション解析によって近接発破によるトンネルの振動挙動を明らかにしようとするものである。¹⁾

② 有限要素法による動的問題の解析

本問題で解かれる運動方程式は次式で表わされる。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f \quad (1)$$

ここに、 M 、 C 、 K はそれぞれ質量、減衰、剛性マトリックス、 $\ddot{u}$ 、 $\dot{u}$ 、 u 、及び f はそれぞれ加速度、速度、変位、及び荷重ベクトルである。 M 、 C 、 K は定数マトリックスとなっている。

なお、本研究では二次元平面ひずみ状態を仮定し、式(1)はワイルソンの法で解かれている。

③ 地山の力学特性と入カデータの決定

(i) 地山の力学特性

岩石の弾性係数は静的に求めた値より、動的に求めた値の方が一般的に大きい。²⁾ さらに、岩石の弾性係数と岩盤のそれとは異なる。そこで、本解析では地盤の縦波速度 V_p から求められる動的弾性係数を用いることで現実の問題により近づくものと考え、これを使用する。また、 V_p は工事現場において測定することができ、かつ岩盤の状態を分類する指標としても有効である。

(ii) 入カデータ

使用する爆とう圧 P_d (g/cm^2)は、爆速 D (cm/s)、及び装てん密度 Δ (g/cm^3)がわかれば Jones による式(2)によって求めることができる。³⁾

$$P_d = 0.000424 D^2 \Delta (1 - 0.543 \Delta + 0.193 \Delta^2) \quad (2)$$

しかし、同一の爆薬を使用した場合でも、対象となる岩盤の性質に応じて岩盤に伝えられる圧力 P は異なる。本解析での P の値は上記の点を考慮し、 P_d 、 D 、 Δ 、 V_p 及び岩盤密度との関係によ、³⁾算定した。なお、 P は Fig. 1 に示されるように経時変化するものとした。^{4), 5)} また、解析の幾何学的条件を Fig. 2 に示す。図中、 d は爆源とトンネルの最短距離(m)、 L は中心間距離(m)、 a はトンネル半径(m)、そして r は発破圧の作用半径(cm)である。

④ 解析結果及び考察

(i) 発破圧の作用半径と変量の関係

現実に対応した解析を行なうために

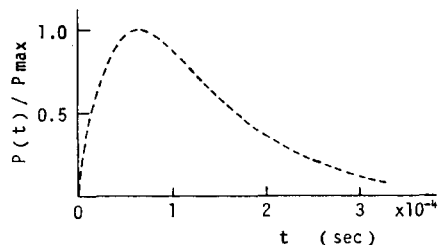


Fig. 1 発破圧の経時変化

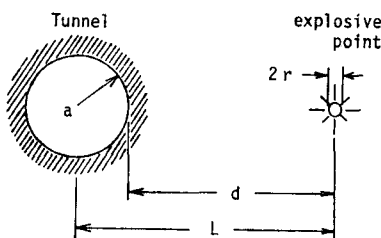


Fig. 2 幾何学的関係

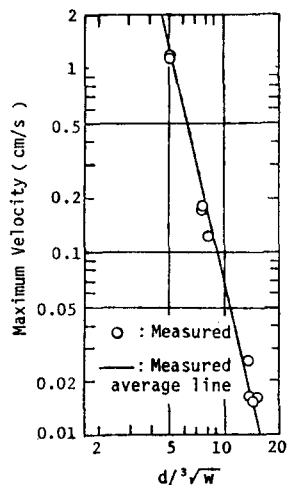


Fig. 3 最大振動速度と $d/\sqrt{w}$ の関係

は、解析で用いる発破圧の作用半径 r がどれだけの葉量 $W(g)$ に対応しているかを求めておく必要がある。Fig. 3に素掘りトンネルA(凝灰岩)で測定された最大振動速度 V_{max} とパラメータ $d/\sqrt{W}$ の関係を示す。一方、解析的に求めた V_{max} と r の関係がFig. 4である。ただし、地盤の V_p を4 km/sとした。Fig. 3, Fig. 4の両図とも両対数紙上で直線近似されることより、 W と r の関係がFig. 5として求められる。

次に、同じ地盤での最大加速度 A_{max} と $d/\sqrt{W}$ の関係をFig. 6に示す。図中の実線はFig. 5の結果を用いて解析的に求めたものであり、これは実測結果とよく対応している。すなわち、実測及び解析の V_{max} を用いて $r \sim W$ の関係を決定しておけば、解析により他の物理量を推定できることがわかる。

(iii) 振動挙動の推定

$r \sim W$ 関係は地盤材料によって変化するものと思われるが、以下においては(i)で求められた $r \sim W$ 関係をそのまま利用し、Aとは異なる素掘りトンネルB(蛇紋岩⁶⁾)の振動挙動を推定した。当該場の V_p がわかっているないので、この値を2 km/s ~ 4 km/s²⁾に変化させて解析を行なった。Fig. 7, Fig. 8にそれぞれ $V_{max} \sim d/\sqrt{W}$, $A_{max} \sim d/\sqrt{W}$ の関係を示す。 V_{max} , 及び A_{max} は V_p の値によって変化することから、紙波速度は地盤解析の重要なパラメータとなることがわかる。しかし、同図の直線の傾きは V_p によってあまり変化しない。また、 $V_p = 2 \text{ km/s}$ の場合の解析結果は比較的に実測結果に一致している。

参考文献

- 1) 伊藤・久武・小林: 昭和53年度関西支部講演概要, II-31. 2) 土木学会編: 土木技術者のための岩盤力学, 1975年7月. 3) 工業火薬協会編: 発破ハンドブック, 山崎塾, 1976年9月.
- 4) 伊藤・佐々: 水曜会誌, vol. 16 No. 2, 1967年. 5) Starfield A.M., Pugliese J.M.: Int. J. Rock Mech. Min. Sci., vol. 5 pp 65-77, 1968年. 6) 伊藤・藤中: 水曜会誌, vol. 15 No. 4, 1964年. 7) 田中・浅野・樋口・桜井: 鉄道技術研究報告, NO. 734, 1971年5月.

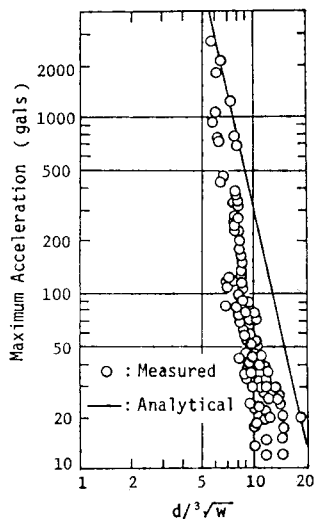


Fig. 6 最大加速度と $d/\sqrt{W}$ の関係

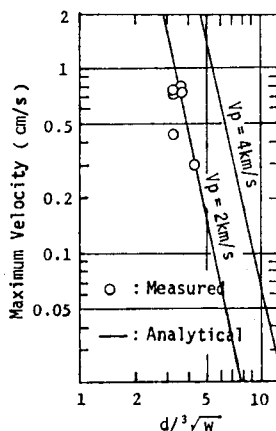


Fig. 7 最大振動速度と $d/\sqrt{W}$ の関係

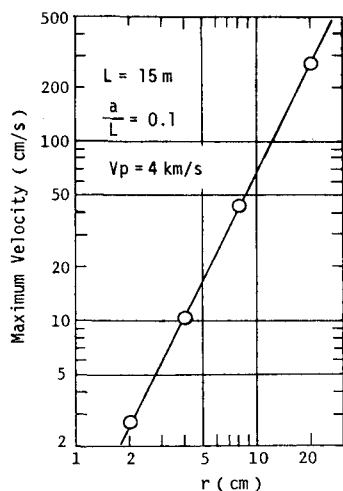


Fig. 4 最大振動速度と r の関係

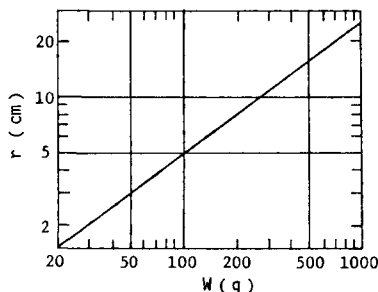


Fig. 5 r と葉量の関係

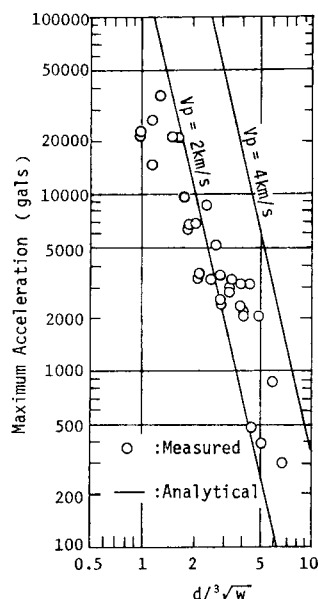


Fig. 8 最大加速度と $d/\sqrt{W}$ の関係