

トンネル覆工に及ぼす近接発破の影響

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
 同上 正員 久武 勝保
 大阪大学大学院 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、既設トンネルの覆工の安全性を考慮して行われなければならない。この目的のために、現場においては覆工の振動速度を測定し、それによって発破方法を制御する手法がとられている。しかしながら、振動速度の許容値の決定は、かなり経験的であり、かつ最大振動速度の生じる場所と最大ヒズミの生じる場所とが異なるという報告もなされており、⁽¹⁾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、近接発破のトンネル覆工に及ぼす影響を明らかにするための第一歩として、有限要素法により覆工の振動挙動を解析したものである。

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によって表わされる。

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = F \quad (1)$$

ここに、 M 、 C そして K はそれぞれ質量、減衰及び剛性マトリックスであり、 M は consistent mass matrix として、そして C は

variable damping として求められている。また U 、 $\dot{U}$ 、 $\ddot{U}$ そして F は、それぞれ変位、速度、加速度及び荷重ベクトルである。なお式(1)は Wilson の θ -method を適用して解析した。

③ 入力データの決定

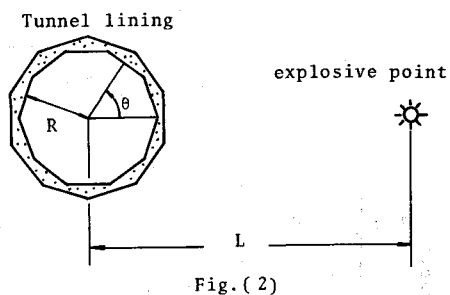
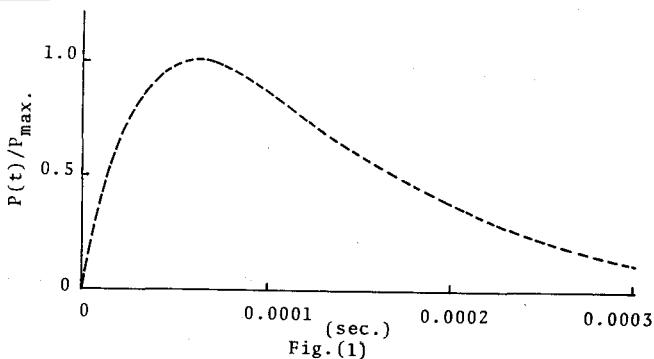
爆轟圧の最大応力 P_d (g/cm^2) は、爆薬の爆速 D (cm/sec) 及び装薬密度 Δ (g/cm^3) がわかれば Jones による次式によって求めることができる。⁽²⁾

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

しかし、一定の爆轟圧を示す同一爆薬を用いても、対象となる岩盤の性質に応じて、岩盤に与えられる圧力 P は大幅に変わるため、 P_d 、 D 及び岩盤との関係より P を算定し、⁽³⁾これを用いて解析を行なった。なお、 P は Fig. (1) のごとく経時変化するものとした。⁽⁴⁾

④ 発破圧の作用半径と薬量との関係

解析を行なう場合、発破圧の作用半径 r がどれだけの薬量 W に対応しているかを求める



いなければ、現実に対応した解析ができない。そのために、現場の素振トンネルで測定された最大振動速度 $V_{max} \sim W$ の関係⁽⁵⁾と、現場をモデル化して解析的に求めた $V_{max} \sim r$ の関係から、 $r \sim W$ の関係を求めた。そして、これを用いて薬量に対応した発破半径 r を算定し、解析を行なった。

5 解析結果及び考察

Fig.(2) に発破点と既設トンネルとの幾何学的関係を示す。Fig.(3), (4) はそれぞれ、 $L = 15m, 35m$ の場合の、 $\theta = 0^\circ$ における覆工内面の振動速度の経時変化を示しており、発破点に近いと、振動速度の周期は短くなり、かつ振動速度の最大値 $V_{max}(\theta=0^\circ)$ が非常に大きくなる。そこで、 $V_{max}(\theta=0^\circ)$ と L との関係をプロットすると、Fig.(5) が得られる。これより、 $V_{max}(\theta=0^\circ)$ と L との間には、両対数紙上で直線関係が存在し、 $V_{max}(\theta=0^\circ)$ は L の -2.68 乗に比例して減少することがわかる。 V_{max} と L との関係は、地盤特性の影響を受けると思われるが、多くの実測結果から、両対数紙上で直線近似されること⁽⁶⁾を考えると、本解析によって覆工の振動挙動をある程度シミュレートすることができるとはいいかと思われる。なお、地盤は花崗岩(弾性定数 $E = 400,000 \text{ kg/cm}^2$, ポアソン比 $\nu = 0.21$)、覆工はコンクリート($E = 240,000 \text{ kg/cm}^2$, $\nu = 0.2$)、 $D = 5000 \text{ m/sec.}$, $\Delta = 1 \text{ g/cm}^3$, $R = 3 \text{ m}$, 覆工厚 50 cm , $W = 600 \text{ g}$ とし解析を行なった。参考文献：(1) 桜井, 他：第10回岩盤力学に関するシンポジウム, 1976. (2) 佐々・伊藤：工業火薬協会誌, vol.32, No.6, 1971. (3) 日本材料学会編：岩石力学とその応用. (4) Starfield J.M. 他：Int. J. Rock Mech. Min. Sci. vol.5, 1968. (5) 伊藤・藤中：水曜会誌, vol.15, No.4, 1964. (6) 池田：第2回岩の力学講演会, 1973.

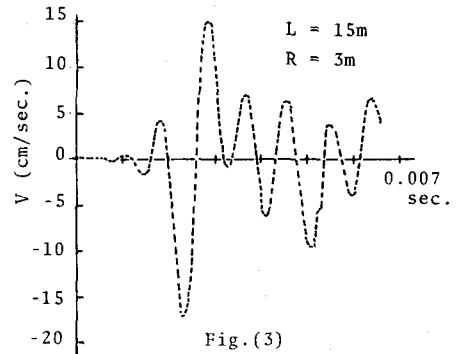


Fig. (3)

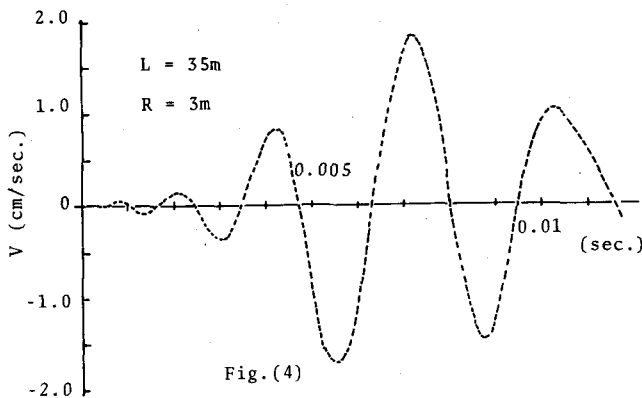


Fig. (4)

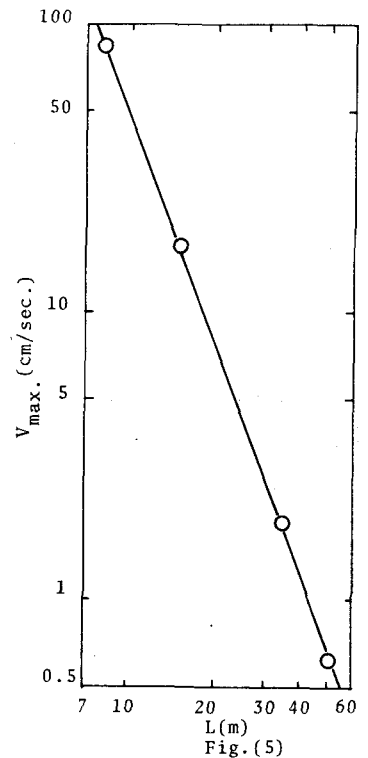


Fig. (5)