

近接発破によって生じる既設トンネルの覆工応力

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

既設トンネル近傍での発破作業は、既設トンネルの安全を考慮して行う必要がある。本研究では、近接発破によって生じる既設トンネルの覆工応力をシミュレーション解析によって求め、従来使用されている覆工応力推定式との比較を行った。

② 解析手法

本解析は、発破振動という動的問題を、Wilsonの θ 法を用いた有限要素法により、平面ひずみの仮定のもとに解いたものである。この場合、実際の発破は3次元的存在であるが、これを2次元的に解析するため、以下のような取扱いを行う。すなわち、ある測点で現場実測された最大振動速度 V_{max} と薬量との関係を求めておき、一方、解析により前記の測点での V_{max} と仮想発破孔半径 r との関係を求める。このようにして、同じ V_{max} を生じる使用薬量と解析で用いる r とを対応付けて解析を行う。地盤の力学特性については、現場で測定されることの多い縦波伝播速度 V_p を考え、この V_p から求められる動的弾性係数を使用する。また、発破の入力データは以下のごとく取扱う。すなわち、爆薬の爆轟圧は爆薬の種類によりJonesの近似式で算定し、さらに岩盤に加えられる最大³⁾圧力を岩質に応じて決定する²⁾。また、発破圧力の経時変化はStarfieldらの発破圧変化⁴⁾に準拠する。Fig. 1に解析のための幾何学的関係を示す。

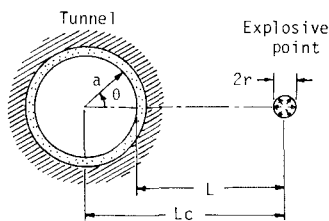


Fig. 1 解析の幾何学的関係

Table 1 解析データ

	密度	ポアソン比	縦波速度
覆工	2.4 g/cm ³	0.20	3.4 km/s
地盤	2.6 g/cm ³	0.21	Table 2

Table 2 パラメータの変化

	r (cm)	V _p (km/s)	Lc (m)
Case 1	2.6	5.3	8
Case 2	2.6	5.3	15
Case 3	2.6	5.3	35
Case 4	2.6	5.3	70
Case 5	2.6	6.2	8
Case 6	2.6	6.2	35
Case 7	2.6	6.2	70
Case 8	2.6	4.1	8
Case 9	2.6	4.1	15
Case 10	2.6	4.1	35
Case 11	0.9	5.3	8
Case 12	0.9	5.3	35
Case 13	8.0	5.3	15
Case 14	8.0	5.3	35

③ 解析結果と考察

本解析手法の妥当性は、現場実測の結果により既に検証済みであるから、以下、近接発破における種々の因子が既設トンネル覆工の挙動に及ぼす影響を解析により求め、考察を加える。なお、トンネル内径を3 m、コンクリート覆工厚を50 cm、爆薬の爆速を5000 m/sと仮定し、解析に用いたデータをTable 1, 2に示す。

Fig. 2は、覆工内面の各測点に生じる最大振動速度 V_{max} の分布を表わしたもので、爆源の遠近にかかわらず爆源方向に最大値の生じていることがわかる。Fig. 3は V_{max} の最大値 $\{V_{max}\}_{max}$ と距離 L の関係を示したもので、これから $\{V_{max}\}_{max}$ の値が L の約2乗に逆比例して減少すること

Tomio ITO, Masayasu HISATAKE, Yōich KOBAYASHI.

がわかり、またこの値は現場実測の距離減衰の値にほぼ等しい。次に、覆工に生じる最大引張応力と最大圧縮応力はほぼ同程度であるが、コンクリートの引張強度は圧縮強度の約1/10であるから、覆工の安全性にとって最大引張応力が最も問題となる。Fig. 4は、覆工内の最大引張応力 $\{\sigma_t\}_{\max}$ の分布が爆源との距離によつてどのように変わるかを示したもので、これから爆源が遠ざかるにつれて、最大値 $\{\sigma_t\}_{\max}$ の生じる位置が $\theta=0^\circ$ から $\theta=80^\circ$ の方へ移行していくことがわかる。従つて、トンネル覆工においては $\{V_{\max}\}_{\max}$ と $\{\sigma_t\}_{\max}$ の生じる位置が異なる場合もある⁸⁾。Fig. 5は、覆工内の $\{\sigma_t\}_{\max}$ と L_c の関係を表わしており、 $\{\sigma_t\}_{\max}$ に対しても $\{V_{\max}\}_{\max}$ と同様な距離減衰が見られる。

Fig. 6は、薬量に関する、岩盤の力学特性、及び L_c を変化させた場合について、 $\{V_{\max}\}_{\max}$ と $\{\sigma_t\}_{\max}$ との関係を示したものである。これから、図示の範囲内では $\{V_{\max}\}_{\max}$ と $\{\sigma_t\}_{\max}$ の間には、上記のパラメータの値にかかわらず、両対数紙上ではほぼ直線関係が認められる。また、図中の破線は従来の推定式⁹⁾で算定される覆工応力を表わし、本解析結果の約10倍となっている。これは、同推定式が無限弾性媒質内を平面波が通過する際に生じる振動速度と応力の関係から覆工応力を求めており、地山の減衰特性やトンネルの存在を無視していることに起因する。

要するに、Fig. 6の本解析結果を利用すれば、覆工内面の $\theta=0^\circ$ で測定される $\{V_{\max}\}_{\max}$ を用いて、覆工の安全性を検討できる。なお、本研究に協力された山脇正啓君(現熊谷組)に謝意を表す。

参考文献 1) 佐々, 伊藤: 工業火薬協会誌, Vol. 32, No. 6, 1971.

2) 工業火薬協会編: 発破ハンドブック, pp 375~377, 山海堂, 1976.

3) 伊藤, 久武, 小林: 昭和53年度土木学会関西支部年講概要, III-31. 4) Starfield, Pugliese: Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 5, pp 65~77, 1968. 5) 伊藤, 久武, 小林: 土木学会年講概要, III-252, 昭和54年. 6) 小林: 昭和54年度修士論文. 7) 前出 2), pp 335~337.

8) 桜井, 葛西: 土木学会年講概要, III-210, 昭和49年. 9) 日本トンネル技術協会: トンネル工事の発破振動および騒音対策に関する調査

研究報告書, 昭和52年.

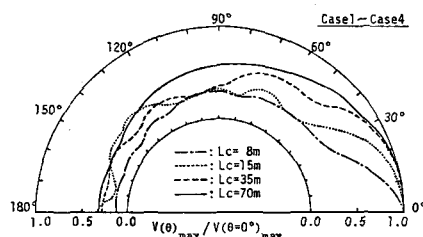


Fig. 2 覆工内面の $V_{\max}$ 分布

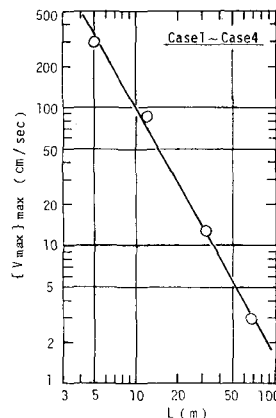


Fig. 3 $\{V_{\max}\}_{\max}$ の距離減衰

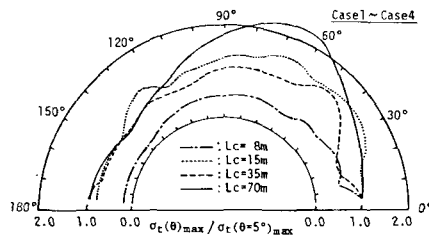


Fig. 4 覆工内の $\sigma_t\text{max}$ の分布

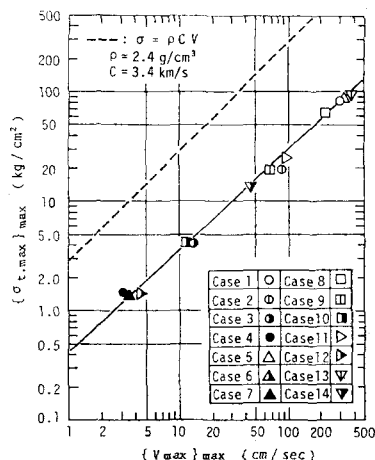


Fig. 6 $\{\sigma_t\}_{\max}$ と $\{V_{\max}\}_{\max}$ の関係

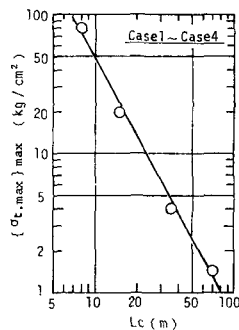


Fig. 5 $\{\sigma_t\}_{\max}$ の距離減衰