

III-211

トンネル空洞の発破振動時挙動の実測と解析の比較

電力中央研究所 正員 ○駒田 広也
" 本荘 静光
" 正員 日比野 敏
大成建設(株) 正員 石田 修

1. はじめに

岩盤内地下空洞の地震時挙動を把握し、地下空洞の耐震設計手法確立のための資料とすることを目的として、発破振動を利用した道路トンネル及びその周辺岩盤振動計測を実施した。本報告では、図-1に示すように、これらの発破振動計測結果の数値シミュレーションを実施して、解析結果と実測結果の比較を行い、地下空洞の動的挙動の分析を行った。

2. トンネルの位置と計測位置

発破点とトンネル間の地層構成は図-2に示す通りである。発破振動計測位置は図-3に示すように、加速度計及び動ひずみ計をトンネル空洞および周辺岩盤に設置した。数値解析の対象とした発破源は薬量 708 kgの斉発であり、トンネルからの距離は 196mである。また、図-2に示した岩盤およびトンネル覆工の物性値を表-1に示す。

3. 動的有限要素法および動的境界要素法

トンネル空洞の動的挙動を2次元有限要素法ならびに2次元境界要素法で解析した。発破振動記録波をP波とSV波に分離した入力波に対する応答を別々に算定し、これらの応答結果を重ね合わせることで、実挙動をシミュレーションする手法を採用した。有限要素法および境界要素法ともに、空洞の応答加速度波形の位相、周波数特性は、実測値とほぼ類似した結果となったが、その振幅は約2倍程度大きくなった。覆工ひずみの位相、周波数特性も実測値に良く類似しているが、振幅について、実測値より大きく、2~4倍の値となった。

4. 応答変位法

空洞が存在しない場合の空洞位置での岩盤のひずみを別途算

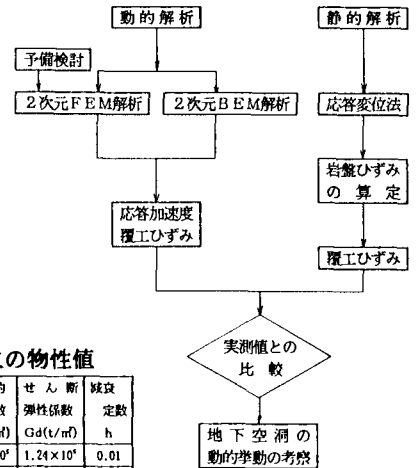


図-1 地下空洞の動的挙動の検討フロー

表-1 岩盤・トンネル覆工の物性値

物 性 名 称	弾性波速度 (km/s)		単位体積 重量 γ (t/m ³)	ポアソン 比 ν	動的せん断弾性係数 G_d (t/m ²)	静的せん断弾性係数 G_s (t/m ²)	減衰定数 h
	V_p	V_s					
凝灰質泥岩	1.8	0.8	1.90	0.37	3.40×10^4	1.24×10^4	0.01
凝灰角礫岩	2.7	1.3	2.20	0.34	1.02×10^5	3.79×10^4	0.01
石英安山岩	3.5	1.7	2.40	0.34	1.91×10^5	7.08×10^4	0.01
トンネル 覆工コンクリート	—	—	2.30	0.167	2.10×10^4	9.00×10^4	0.01
トンネル インバート部	—	—	2.00	0.32	7.60×10^4	2.90×10^4	0.01

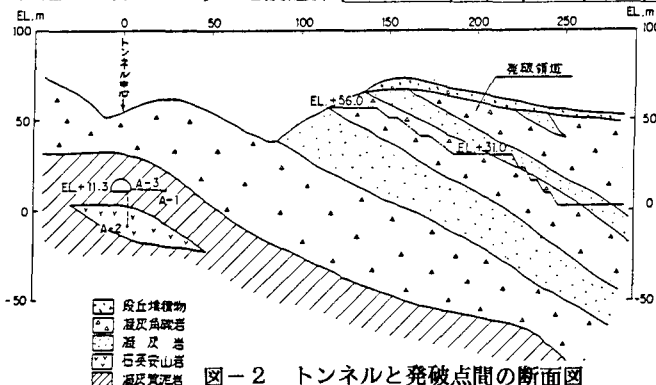


図-2 トンネルと発破点間の断面図

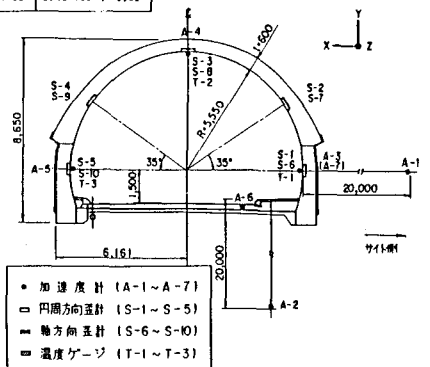


図-3 トンネル内計器設置位置図

定しておき、このひずみと等価な変位を空洞を含む有限要素法モデルの境界に強制的に入力して、空洞の変形・応力を求めた。ここでは、空洞の変形に影響を及ぼす岩盤のひずみとして、発破振動による波動伝播方向の入射P波による直ひずみ(ϵ_x)と入射SV波によるせん断ひずみ(γ_{xy})の2成分考慮する。岩盤ひずみの算定法として、以下の4種類の方法で算定した。すなわち、(1) 1次元波動論より、観測加速度波形を入力波として応答解析を行い、空洞位置の岩盤ひずみを求める。(2) 観測加速度波形より求めた速度波形を伝播速度で除して岩盤ひずみを求める。(3) 空洞周辺岩盤の4点の加速度波形より求めた変位の差から岩盤ひずみを求める。(4) 空洞のない地山のための2次元動的有限要素解析により岩盤ひずみを求める。

トンネル覆工のひずみは岩盤ひずみを用いて次式で求めることができる。

$$\epsilon_c(t) = k_1 \cdot \epsilon_{gx}(t) + k_2 \cdot \gamma_{gxy}(t) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $\epsilon_c(t)$: 覆工コンクリートの周方向ひずみ、 $\epsilon_{gx}(t)$ 、 $\gamma_{gxy}(t)$: 岩盤の垂直ひずみ、せん断ひずみ、 k_1 、 k_2 : ϵ_{gx} 、 ϵ_{gxy} に対するひずみの伝達率(k_1 、 k_2)は図-4に示すようにモデル境界の岩盤に様なひずみ(ϵ_{gx} 、 γ_{gxy})を与えた場合の覆工コンクリートに生ずるひずみの比率である。すなわち、 $k_1 = \epsilon_c / \epsilon_{gx}$ 、 $k_2 = \epsilon_c / \gamma_{gxy}$ 。図-5にトンネル覆工コンクリートのひずみ伝達率を示す。

図-6に4種類の方法で算定した岩盤ひずみから、式(1)を用いて算定した測点S-3の覆工ひずみ波形と実測波形との比較を示す。いずれの方法で求めた場合も波形形状、位相、振幅ともに互いに良く類似している。また、実測値に対しては、振幅は1.2~1.6倍と大きい、波形形状、位相は良く類似しており、実測波を良くシミュレートしている。

5. 考 察

有限要素法、境界要素法および応答変位法のいずれの解析結果も実測値に比較して波形形状、位相は良く類似しているが、振幅は大きな値となった。この原因として、以下のことが考えられる。すなわち、(1) 岩盤および覆工コンクリートの減衰定数の設定値($h = 1\%$)が実際の値より小さく評価した可能性があること、(2) 岩盤と覆工コンクリートの密着度が全体に悪く、岩盤からの振動が覆工コンクリートに伝達しにくい構造になっている可能性があること、(3) 解析では、図-3に示した岩盤中の測点(A-1)の記録波形を入力と考えたため、実際の入力より大きく評価した可能性があること。

今後、これらの考え方のもとに、実際の地下空洞の振動挙動を分析していく予定である。

参考文献 1) 本荘、他「トンネル空洞に入射する発破振動波の特性について」土木学会 第41回年次学術講演会部門Ⅲ 昭和61年度

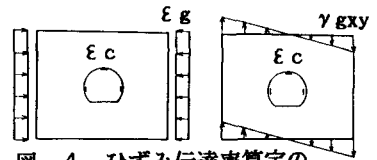
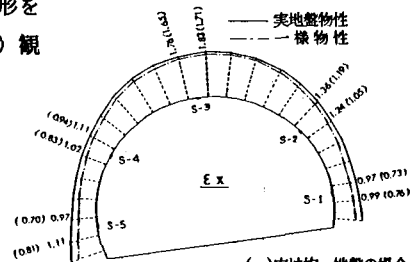


図-4 ひずみ伝達率算定のための岩盤ひずみ



・()内は均一地盤の場合
 ・+圧縮、-引張

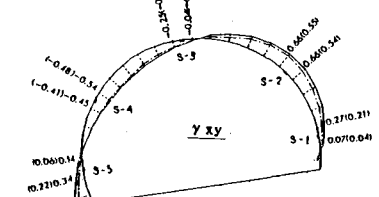


図-5 トンネル覆工コンクリートのひずみ伝達率

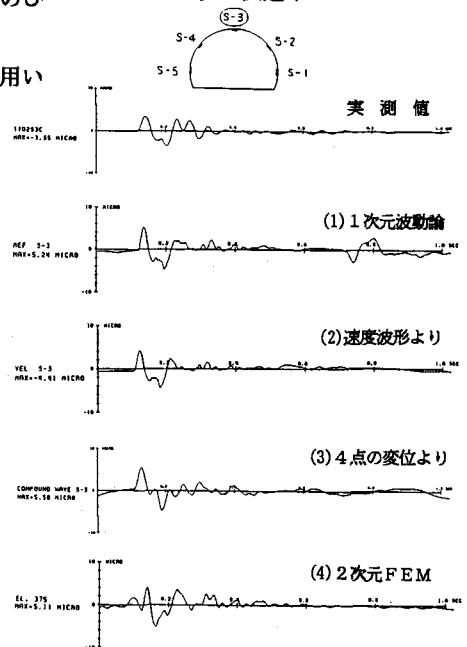


図-6 応答変位法によるトンネル覆工ひずみ波形と実測波形