

I-532 地盤剛性急変部におけるトンネルの地震時挙動確認実験

（その3）数値解析結果

東京湾横断道路㈱ 正員 林 光俊
セントラルコンサルタント㈱ 正員 中尾 茂
㈱奥村組 正員 ○色川邦彦

1. はじめに

本文は、（その2）で行われた模型振動実験のモデル2およびモデル3を対象とした数値解析を行い、その解析手法の妥当性を検討した結果を報告するものである。

2. 解析概要

本解析は、地盤モデルを線形領域とし、固有振動数、地盤変位、トンネルに発生する歪等に着目して3次元FEMによる数値解析を行った。

3. 解析条件

図-1に解析モデル、表-1に材料物性を示す。減衰定数は、正弦波加振（1～50Hz，0.5Hzピッチ）結果の共振曲線より求めた。また、入力波は、固有値解析結果より求まる1次固有振動数を有する正弦波（最大振幅 30,100gal）とし、トンネル軸方向、軸直角方向の二方向に加振した場合について検討した。

4. 解析結果

（1）トンネル軸方向加振

固有振動数は、表-2に示すように、実験の加速度共振曲線より求まるピーク値と比較的合っている。固有モード及び実験の応答加速度分布図を比較すると解析結果の1次モードは、せん断1次振動形を呈しており、実験結果と一致した。図-2にモデル2における地盤の最大応答変位の深さ方向の分布を示す。実験、解析結果ともに剛性変化点付近では応答が抑えられ、変化点から離れるにつれて応答が大きくなるという傾向を示している。応答値についても解析結果は実験結果と比較的合っている。図-3にモデル3における最大軸歪分布を示す。剛性変化点付近では、解析値は実験値よりも大きい応答を示したが、変化点で卓越する形状は同じである。

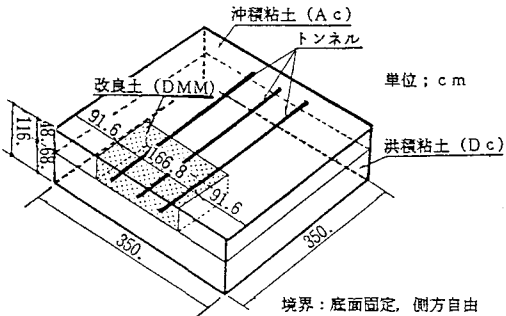


図-1 解析モデル

表-1 材料物性値

	単位体積重量 (kgf/cm ³)	せん断剛性 G (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)
沖積粘性土 (A c)	1.41 × 10 ⁻³	(44) 36	0.49	10.0
洪積粘性土 (D c)	1.42 × 10 ⁻³	(107) 123	0.49	
改良土 (DMM)	1.48 × 10 ⁻³	(106) 1061	0.49	

() ; モデル3

トンネルの断面性能

$r = 1.0 \times 10^{-3} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
 $EA = 4.9 \text{ (2.7)} \times 10^6 \text{ (kgf)}$
 $EI = 3.4 \text{ (1.4)} \times 10^6 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
() ; 欠欠き部

表-2 固有振動数（軸方向加振、モデル2）

固有値解析結果				実験結果	
次数	振動数 (Hz)	刺激係数	次数	振動数 (Hz)	
1	17.5	0.3207	1	18.0	
3	22.4	0.0163			
7	28.9	-0.0134	2	27.0	
13	33.0	0.0090	3	32.0	
25	41.0	-0.0127			

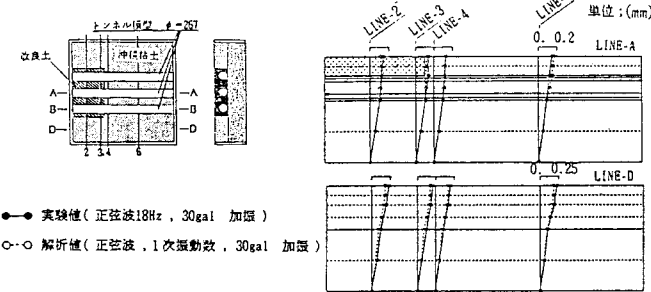


図-2 地盤の最大応答変位図（軸方向加振、モデル2）

(2) トンネル軸直角方向加振

軸方向加振と同様に1次モードはせん断1次振動形を呈し、固有振動数についても表-3に示すように比較的实验結果と一致する。図-4に地盤の最大応答変位の深さ方向の分布を示す。軸方向加振と同様に分布形状、応答値ともに実験結果と比較的よく合っている。図-5に、中央トンネルに発生した最大曲げ歪分布を示す。分布形状、応答値とも解析結果と実験結果はよく合っている。

表-3 固有振動数（軸直角方向加振，モデル2）

固有値解析結果			実験結果	
次数	振動数(Hz)	刺激係数	次数	振動数(Hz)
1	17.1	-0.2961	1	18.0
2	19.0	0.1254		
4	23.3	-0.0284	2	25.0
8	29.7	0.0040		
11	31.9	-0.0070	3	32.0

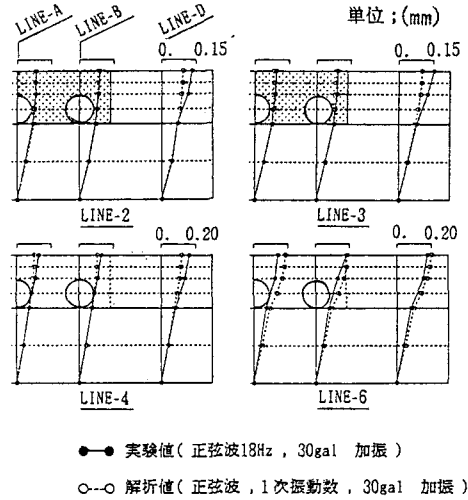


図-4 地盤の最大応答変位図（軸直角方向加振，モデル2）

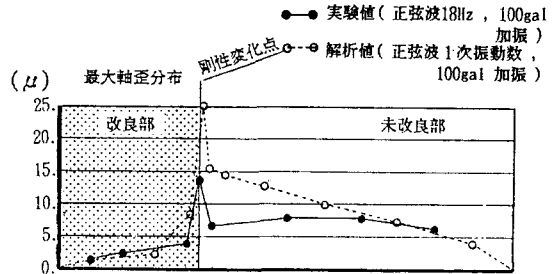


図-3 最大軸歪分布（軸方向加振，中央トンネル，モデル3）

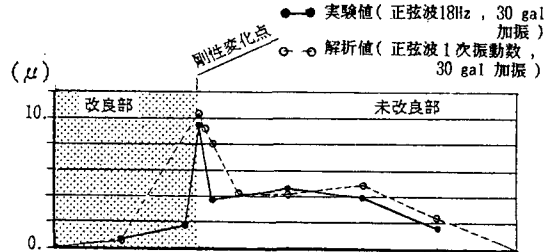


図-5 最大曲げ軸歪分布（軸直角方向加振，中央トンネル，モデル2）

5. まとめ

実験結果と解析結果を比較検討し、以下のことがわかった。

- 固有値解析結果より、軸方向・軸直角方向とも、1次に関しては、振動数・振動形ともに実験結果と比較的一致する。
- 軸方向加振における軸歪分布については、実験、解析両者ともに剛性変化点付近で卓越する形状であった。一方、応答値については変化点付近で差異が生じた。その理由としては、剛性の違いにより変化点付近で歪が集中し、地盤物性が変化したためと思われる。
- 軸直角方向加振における曲げ歪については、分布形状、応答値とも比較的良好に合っている。

以上、軸歪については引き続き検討する必要があるが、地盤剛性急変部を通過するトンネルに発生する断面力の算定手段として、FEMは、大抵的に有効な手法であると思われる。

6. おわりに

今回は3次元FEMを用いて解析を行なったが、地盤の非線形特性および実地盤を対象とした広範囲なモデルとなると、電子計算機の容量、演算時間が膨大なものとなり、必ずしも実務的な計算手法とはいえない。解析モデルの検討も含め計算手法については今後さらに検討が必要と思われる。なお、本解析にあたり種々の御指導を頂いた東海大学久保慶三郎教授、埼玉大学渡辺啓行教授に深甚な謝意を表したい。