

# 開削トンネルにおける地震時縦断方向の挙動に関する検討業務

澤村康生\*

## 1. 研究の目的

地震時における線状地中構造物の挙動は、周辺地盤の変形による影響が支配的であることから、一般的に縦断方向の耐震解析は、構造物とその周辺地盤を弾性床上の梁にモデル化し、自然地盤の地震時変位を地盤ばねを介して構造物に静的に作用させる応答変位法が用いられている<sup>1)</sup>。しかし本手法は、地盤ばねの設定によりその答えが大きく変わる可能性があるほか、躯体の3次元的な挙動については考慮されていないなど、その適用性の範囲については議論の余地が残されている。最近の研究では、躯体断面の大きさを考慮したフレーム解析手法を用いている事例もあるが<sup>2)</sup>、解析手法そのものの有用性について示されているわけではない。上記の点を鑑みて本研究では、開削トンネルの縦断方向の耐震検討に資する基本的な挙動を確認することを目的に、3次元弾塑性有限要素法を用いた数値解析を実施した。解析では構造継手の接触状態を正確に表現することで頂版・側壁・底版・中柱に発生する応力をそれぞれ算出し、地盤の変位レベルに応じて評価を行った。

## 2. 研究の方法

本研究では、弾塑性有限要素解析コード DBLEAVES<sup>3)</sup>を用いて3次元弾塑性有限要素解析を行った。図1に解析対象、図2に解析メッシュをそれぞれ示す。解析対象は、N値10の砂質単層地盤に、1層2室の開削トンネルが建設された場合とし、解析領域は対称性を考慮して1/2モデルとした。開削トンネルと地盤は8節点6面体ソリッド要素で表現し、それぞれ弾性体と subloading  $t_{ij}$  model<sup>4)</sup>

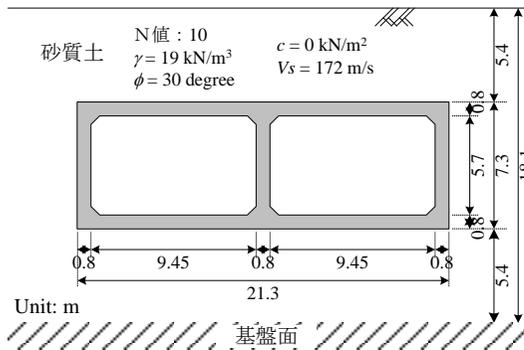


図1 解析対象

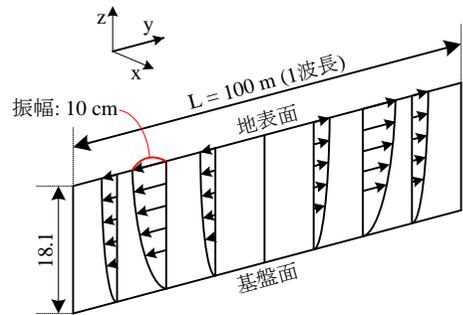


図3 地震時荷重の載荷方法

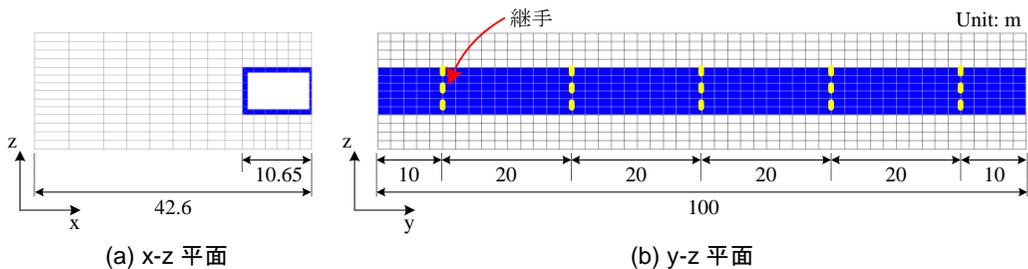


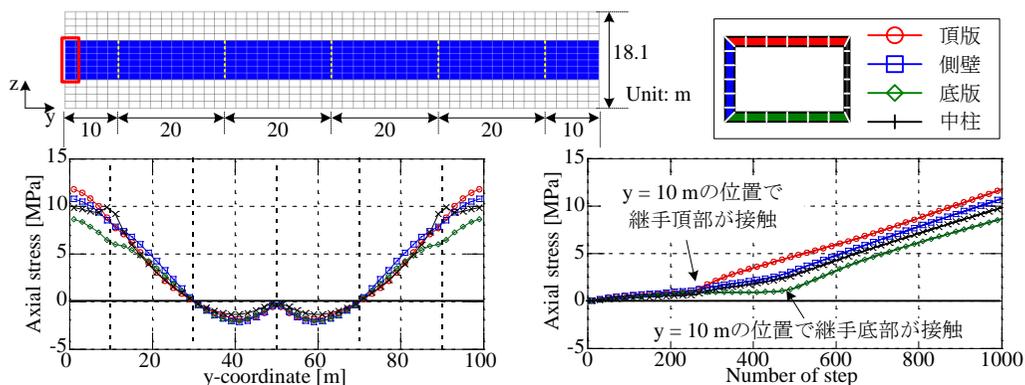
図2 解析メッシュ

によりモデル化した。地盤と躯体の接触面には弾完全塑性型の Joint 要素を配し、接触面におけるすべりと剥離を表現した。継手のモデル化に際しては、共同溝設計指針<sup>1)</sup>に従い、継手長 20 mm として spring 要素を用いた。継手特性は、継手遊間量 20 mm より相対変位が大きくなり接触を起こすまでは無拘束、接触後は躯体と同等の剛性を有するものとした。地震時の地盤変位は、図 3 に示すように鉛直方向 (z 方向) の地盤変位分布が基盤面で 0、地表面で最大の 1/4 波長の正弦波、縦断方向 (y 方向) の変位分布は 1 波長の正弦波とし、1000 step に分割して地盤に強制変位を与えた。地表面における地盤変位の最大値は  $u_{a,max} = 100$  mm、波長は  $L = 100$  m とした。

### 3. 得られた成果

図 4(a)には、躯体に作用する縦断方向の軸応力分布を示す。図より、 $y = 50$  m 付近では、躯体に作用する軸応力がほとんどゼロとなっていることがわかる。これは、 $y = 50$  m において、継手が開いているためである。断面の各位置に発生する応力を比較すると、解析領域の両端部において、頂版と底版に大きな差が発生している。そこで図 4(b)には、解析領域左端において断面の各位置に発生する軸応力の推移を示す。図より、250 step 付近までは各位置に発生する軸応力に差はなく、その値も小さいことが確認できる。これは、地盤の変位レベルが小さいため、いずれの継手においても、相対変位が継手遊間量の 20 mm 以下であるためである。変位レベルが大きくなると、 $y = 10$  m の位置で継手頂部が接触するために頂版では応力が増加するが、継手の底部は接触していないために底部における応力の増加量はわずかである。その後、さらに変位が大きくなると、 $y = 10$  m の位置で継手底部が接触し、以後、底部においても応力が増加する。このように、変位レベルに応じて継手の接触状態が異なるために頂版と底版に作用する軸応力が変化する。このような躯体の 3 次元な挙動は現在設計で用いられている応答変位法では表現することができない。

今後は、本研究の結果を踏まえて一般的な応答変位法と既往の研究<sup>2)</sup>による解析モデルの比較検討を行い、応答変位法の適用性や本解析結果との相違点について考察する必要がある。



(a) 1000step 目における縦断方向の軸応力分布 (b) 解析領域左端における軸応力の推移  
図 4 躯体に作用する軸応力分布と解析領域左端における軸応力の推移

### 4. 謝辞

本研究は、阪神高速(株)より委託されたものであり、関係各位に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：共同溝設計指針，pp.71-80, 1986.
- 2) 八ツ元 仁, 志村 敦, 李 圭太, 岡嶋義行：阪神高速道路大和川線開削トンネル部における縦断耐震検討，第 13 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2010.
- 3) Ye, B., Ye, G. L., Zhang, F. and Yashima, A. : Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, Soils and Foundations, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007.
- 4) Nakai, T. and Hinokio, M. : A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, Soils and Foundations, Vol.44, No.2, pp.53-70, 2004.