

トンネルにおける免震対策工法の模型実験と数値解析

首都大学東京大学院 学生会員 ○波多野 陽香
 首都大学東京大学院 正会員 土門 剛
 首都大学東京大学院 正会員 西村 和夫

1. 目的

大都市において地上部分は高度に開発され、限られた都市空間の有効活用を目的として地下空間の利用が進んできた。それとともに、耐震性の照査が必要な構造形態も次々出現してきている。

そこで、地震時の地盤の変形を地下構造物に伝えにくくする免震技術の実用化を進める必要がある。免震対策工法としては、免震壁について多く研究されている。しかし、免震壁には施工性に課題があることが分かっている。そこで施工性を優先した免震対策工法の選択肢を増やす目的として免震杭が提案された。

たとえば、地盤条件の急変部に開削トンネルを新設する場合を考える。この条件を模擬した既報の数値解析から、地盤条件の急変部で開削トンネルの断面力が増大することが分かっている。このことを踏まえ、地震時断面力の低減を図る手法の一つとして開削トンネルの地盤条件の急変部付近に免震杭を打設する免震対策工法を考えた。

本研究では、免震対策工法の効果を模型実験により実施することを最終目的とする。今回は模型実験計画のため、数値解析による妥当性の検証を兼ねて、免震対策工法の数値解析による効果確認を実施した。

2. 三次元動的応答解析

2.1 解析モデル

解析モデルの概念図を図1に示す。地盤条件の急変部に開削トンネルを新設するケースを考える。開削トンネルの地盤条件の急変部付近に免震材を入れる。この免震材は杭構造を想定し、開削トンネル側から11本、その外側に10本の2列を両側に入れる。

これを相似則に基づき模型寸法および諸物性を決定した。今回の解析モデルではその値を用いる。

なお、免震杭はせん断剛性を地盤の1/100とし、寸法は半径4mm、長さ198mm、間隔12mmとする。図2に解析モデルの寸法図を示す。また免震材の配置(拡大図)を図3に示す。

(1)要素：トンネルはシェル型要素のMindlinシェル要素，地盤はソリッド要素の六面体でモデル化した。

(2)物性：模型実験ではトンネルを高密度ポリエチレン，地盤・免震材はシリコンゴムを用いることから，相似則によりそれぞれ実物，解析の物性値を表1，表2のようにした。

(3)境界条件：表3に示す。拘束有りと無しをそれぞれ○と×で示した。δは変位拘束，Rは回転拘束を示す。

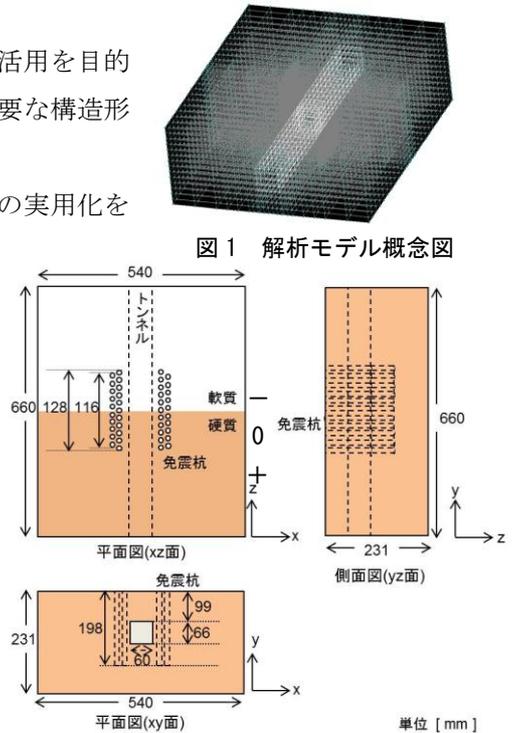


図1 解析モデル概念図

図2 解析モデル寸法図

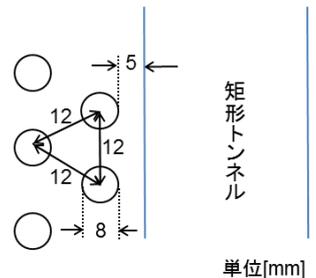


図3 免震材(平面図)

表1 トンネルの物性値

	覆工厚 [mm]	ヤング率 [MN/m ²]	ポアソン比	重量密度 [kN/m ³]	減衰比
実物モデル	600	3000	0.30	25.0	0.05
解析モデル	4	700	0.34	9.50	0.05

キーワード 動的解析，開削トンネル，免震，地震応答解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL：042-677-2785 FAX：042-677-2772

表2 地盤・免震材の物性値

		層厚 [m]	せん断剛性 [kN/m ²]	ポアソン比	重量密度 [kN/m ³]	減衰比
地盤 (硬質)	実物モデル	23.1	63000	0.40	16.0	0.1
	解析モデル	0.231	620	0.39	15.0	0.05
地盤 (軟質)	実物モデル	23.1	6300	0.40	16.0	0.1
	解析モデル	0.231	62	0.39	15.0	0.05
免震材	実物モデル	-	23	0.34	13.2	0.05
	解析モデル	-	0.62	0.08	13.2	0.08

表3 境界条件

	δ_x	δ_y	δ_z	Rx	Ry	Rz
XY面	○	○	×	×	×	×
ZY面	○	○	○	×	×	×
底面	×	×	×	×	×	×
その他	○	○	○	×	×	×
トンネル	○	○	○	×	×	○

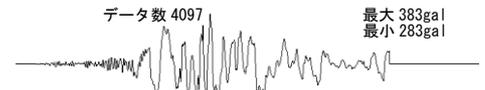


図4 入力波

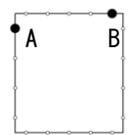


図5 解析位置

2.2 解析条件および入力地震動

(1)解析コード：解析コードとして、動的有限要素解析プログラム TDAPIIIを用いた。

(2)入力波：入力地震動は新神戸変電所の地表で得られた兵庫県南部地震の観測記録を工学的基盤に引き戻した推定波形(図4)を用いる。入力波は基盤からx軸方向に入力した。

3. 解析結果

図5に示す開削トンネル上の点A、点Bで、z軸に沿って加震時のトンネル横断方向断面力を評価する。この断面力より免震杭の免震効果を確認する。なお断面力は軸力、曲げモーメントとし、いずれも動的解析で生じた最大時の値とする。なお、図2の平面図において、地盤急変部を0とし、z方向上向き、すなわち軟質地盤側をマイナスとし、逆にz方向下向き、すなわち硬質地盤側をプラスとする。

免震杭の無い場合、有る場合(以下、免震無、免震有とする)について、トンネルの加震時最大断面力の分布を図6~図9に示す。

3.1 軸力

点A、点Bのz軸上で、それぞれの最大時の軸力(以下、最大軸力)を示す。

(1)点A：最大軸力を図6に示す。硬質地盤で、免震無に比べ、免震有の最大軸力が低減している。

(2)点B：最大軸力を図7に示す。地盤条件急変部で、免震無に比べ、免震有の最大軸力が低減している。

3.2 曲げモーメント

点A、点Bのz軸上で、それぞれの最大時の曲げモーメント(以下、最大曲げモーメント)を示す。

(1)点A：最大曲げモーメントを図8に示す。免震杭の有無による差はほぼない。

(2)点B：最大曲げモーメントを図9に示す。地盤条件の急変部で、免震無に比べ、免震有の最大曲げモーメントが少し低減している。

4. 結論

解析により、免震杭による軸力の低減が見られた。一方、曲げモーメントでは免震杭の有無による差はあまりなかった。

5. 今後の課題

今回の解析では、免震杭による顕著な免震効果が見られなかった。今回想定した条件を見直し、改めて解析を実施することが今後の課題である。

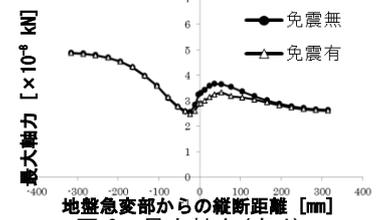


図6 最大軸力(点A)

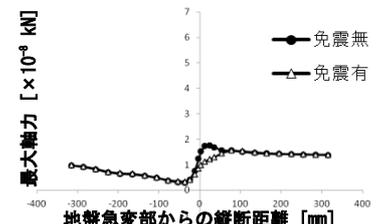


図7 最大軸力(点B)

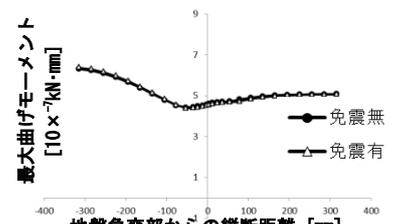


図8 最大曲げモーメント(点A)

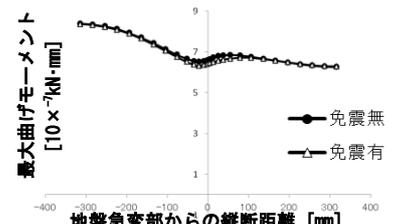


図9 最大曲げモーメント(点B)