

ポリマー材を用いた免震工法における免震効果に関する検討

中央復建コンサルタンツ	正会員	畔取 良典
中央復建コンサルタンツ	正会員	今泉 暁音
鉄道総合技術研究所	正会員	室野 剛隆
鉄道総合技術研究所	正会員	桐生 郷史

1. 目的

近年、開削トンネルの免震工法としてポリマー材を用いる工法¹⁾など、実用的なものが開発されている。しかし、免震材の配置や、その適用条件など、議論が不足しているのも事実である。そこで、本研究では、その検証となるデータを得ることを目的とし、トンネルの剛比、土被り厚を変えた解析を行なった結果を報告する。

2. 解析条件

(1) 検討断面

解析対象断面を図-1に示す。トンネルは土被り5mの1層2径間のRCラーメン構造で、中柱のピッチは3.5mである。地盤は、表層31mの比較的良好な地盤で、トンネルの上床版直上は埋戻土（N=10、砂質土）とした。

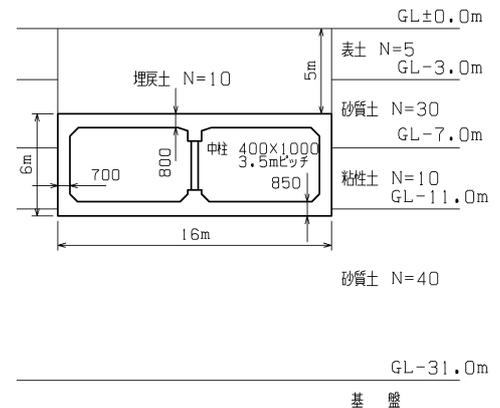


図-1 解析対象断面

(2) 検討ケース

検討ケースは、図-1に示す基本ケース（Case1）の他、土被りをなくしたCase2の2ケースとした。免震材の配置は、下床版位置から地表面までの側壁外側とし、幅は450mmとした（図-2）。なお、それぞれのケースについて免震材のない無対策のケースも実施している。

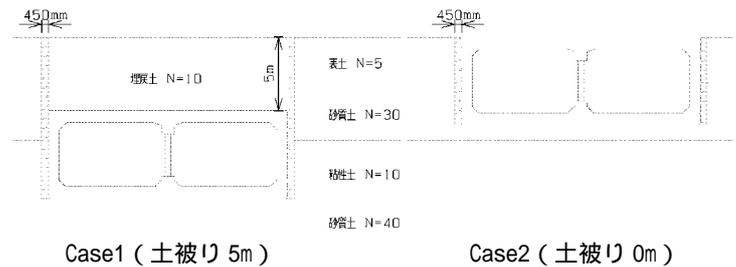


図-2 解析ケース

(3) 検討方法

解析方法は、2次元FEM動的解析とし、地盤および免震材は平面ひずみ要素、トンネルは梁要素としてモデル化した。解析モデルの幅はトンネルを中心に115mとし、側方は等変位境界、下方は粘性境界とした。なお、動的解析時の初期応力（地盤・トンネル）として、自重解析を実施し、初期応力場としている。トンネルの物性値は、線形弾性体（ヤング係数 $2.50 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ ）とし、曲げ剛性については、全断面有効の初期剛性EIの他、地震時の損傷を考慮し初期剛性の1/3（等価剛性EI/3）としている。なお、隅角部および縦桁部分には剛域を考慮している。地盤の非線形特性は修正R-0モデルにより考慮した。減衰はレーリー減衰とし、0.2Hz~5.0Hzでほぼ5%となるよう設定した。ポリマー免震材は、せん断弾性波速度 $V_s=10\text{m/s}$ 、単位体積重量 $=13\text{kN/m}^3$ とした。非線形特性はHDモデルとし、基準ひずみ $r=1.0 \times 10^{-3}$ としている。また、減衰およびポアソン比については、地盤と同値としている。入力地震動は、レベル2地震動として、鉄道耐震設計基準²⁾のスペクトルG1波形（最大加速度749gal）を基盤入力した。

3. 解析結果と考察

表-1に中柱の最大相対変位の比較結果を示す。トンネルの剛性を初期剛性EIとした場合には、トンネルの土被りに関わらずポリマー免震材の免震効果が認められるのに対して、等価剛性EI/3とした場合には、Case1

キーワード 開削トンネル、動的解析、免震材、免震工法、耐震設計

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10 中央復建コンサルタンツ株式会社 TEL06-6160-2212

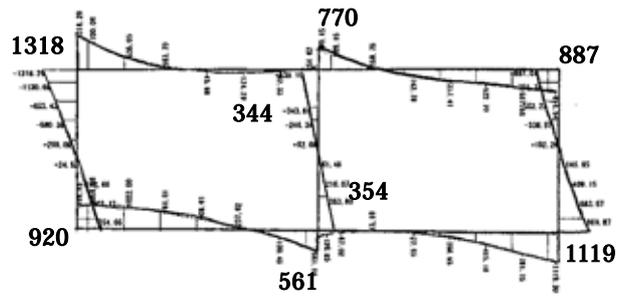
では、免震材を配置すると、応答が増幅する傾向が見られる。図-3、図-4に、等価剛性 $EI/3$ の場合のモーメント図を示す。Case1では、トンネル全体の变形が、無対策の時よりも免震材を配置した場合がより大きくなっていることを示している。Case2では、発生断面力が低下して、免震材の効果が現れている。

表-1 中柱の応答値（最大相対変位）

地盤モデル	自然地盤変位	トンネルの剛性			
		初期剛性 EI		等価剛性 $1/3EI$	
		無対策	免震材有	無対策	免震材有
Case1 (土被り 5m)	2.8cm	1.7cm	1.0cm	2.9cm	4.4cm
Case2 (土被り 0m)	0.56cm	0.4cm	0.2cm	0.7cm	0.6cm

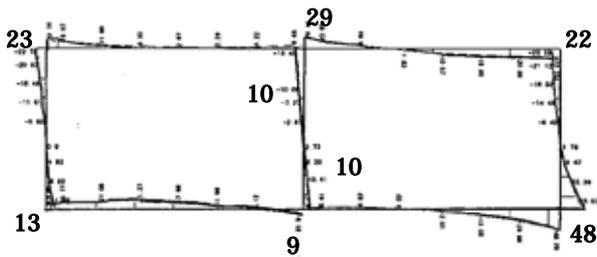


(a)無対策

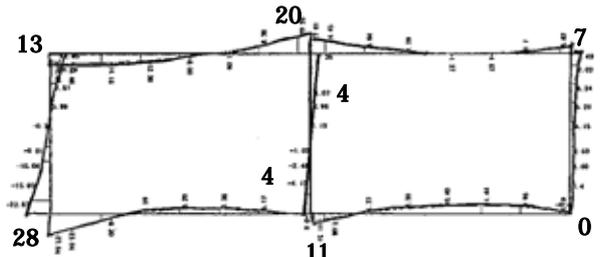


(b)ポリマー免震材有

図-3 相対変位最大時の曲げモーメント図 (Case1 トンネル剛性：等価剛性 $EI/3$) 単位：kN・m



(a)無対策



(b)ポリマー免震材有

図-4 相対変位最大時の曲げモーメント図 (Case2 トンネル剛性：等価剛性 $EI/3$) 単位：kN・m

土被りがある場合にトンネルの応答が増幅した原因として、上載土の慣性力の影響が考えられる。地震時には、上載土が振動することにより上床版にせん断力が作用し、開削トンネルを变形させる。ここで、ポリマーのような柔軟な材料を配置すると、地盤変位がトンネルに伝達する力を遮断することは可能、つまり、トンネル側方の地盤が外力として作用する状態に対しては有効であるが、側方の地盤が抵抗として作用する状態に対しては不利である³⁾ため、上載土において地盤が抵抗として作用しなかったことが、トンネルの応答が増幅した要因の一つであると推察される。

4. 今後の課題

今回の解析では、トンネルの剛比および土被りとポリマー材の免震効果の関係を把握したが、免震材を配置することによりトンネルの応答値が増幅する場合もある結果となった。今後は、トンネル上載土の影響や、トンネルと地盤の剛比等に加えて、免震材の剛性、配置についても研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 館山勝, 矢口直幸, 平山勇治, 花本一郎: ポリマー地盤改良に関する基礎的研究 鉄道総研報告 vol.16 No.3 2002.03 pp.19-24
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (財)鉄道総合技術研究所 1999.10
- 3) 室野剛隆, 桐生郷史, 館山勝, 小林正介: ポリマー材を用いた開削トンネルの免震工法の開発と適用事例 第40回地盤工学研究発表会 2005.07 (投稿中)