

ポリマー材を用いた開削トンネルの免震工法における構造形状に関する検討

ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 ○桐生 郷史
 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆
 東京工業大学 正会員 盛川 仁

1. はじめに

著者らは、開削トンネル側面にポリビニルアルコール系ポリマー材という柔軟な材料を免震層として配置することで、地震外力の低減を図る地震対策工法（以下、ポリマー免震工法）を考案し、実用化を図っている¹⁾ほか。また、地盤と構造物のせん断剛性の比率の違いによって、地震時発生断面力を低減させる効果（以下、免震効果）が得られる場合と得られない場合があることを確認しており、無対策時において地盤が構造物に「作用」として働いているのか、「抵抗」として働いているのかの違いが、免震効果の有無と関係していることも示している²⁾。以上の知見から、地盤と構造物のせん断剛性の比率を指標とすることによって、ポリマー免震工法の適用性を判断できる簡易なチャート（以下、判定チャート）を提案している²⁾。判定チャートは、一般的な鉄道構造物を想定して1層2径間の開削トンネルを対象として作成してきた。しかし、駅部のように多層多径間の開削トンネルの場合は、構造形状が変わることによって、地盤と構造物のせん断剛性の比率だけでなく、地盤と構造物の周面摩擦の違いなどについても少なからず免震効果に影響を与える可能性がある。そこで、本報では、径間数の違いが免震効果に与える影響について検討するとともに、判定チャートが想定している構造物と異なる形式の構造物に対する適用可能性について考察した。

2. 解析モデルおよび検討ケース

基本解析モデルを図1に示す。解析は2次元動的FEM解析を用い、地盤（修正R-Oモデル）および免震層（双曲線モデル）は平面ひずみ要素、開削トンネルは梁要素としてモデル化した。免震層の幅および剛性は、最低限免震効果を発揮することを確保している幅(w=800mm)、せん断剛性(現地盤の1/100程度のせん断剛性)とした。ここで、地震時に構造物は非線形化すると考えられるが、具体的な免震効果の程度を評価するのではなく、免震効果の有無を判断する簡易な判定チャートの妥当性を検証することが目的であるため、開削トンネルは線形部材としてモデル化した。

検討ケースを表1に示す。検討した構造形式は、1径間当たりの構造物の幅8.0m、高さ6.0m（ケースA）として、ケースBは2径間（幅16.0m）、ケースCは3径間（幅24.0m）、ケースDは4径間（幅32.0m）である。部材（上下床版、側壁、中柱）の断面諸元はいずれのケースも同一とし、端部を側壁、それ以外を中柱として与えた。ここで、表中の全体剛性とは、図2で示すように単位水平荷重を構造物に作用させた時の構造物全体系のせん断剛性としている。

3. 構造物の径間数が免震効果に与える影響

構造物中柱位置での相対変位が最大となった時刻における地盤のx方向の応力コンター図を図3に示す。抽
 キーワード 開削トンネル, 免震工法, ポリマー材

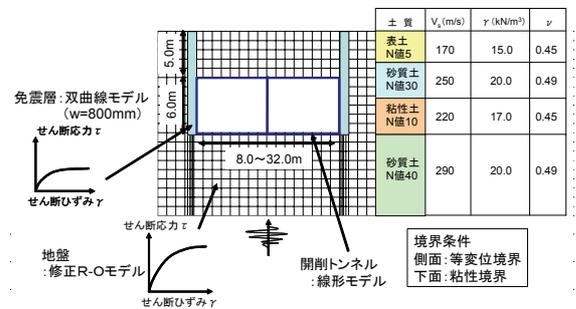


図1 基本解析モデル

表1 解析ケース

検討ケース	B=幅 H=高さ	全体剛性 G_s (kN/m ²)
A	B=8.0m H=6.0m	32600
B	B=8.0m × 2 H=6.0m	12700
C	B=8.0m × 3 H=6.0m	9500
D	B=8.0m × 4 H=6.0m	7400

上床版: A=0.8m², I=0.0427m⁴ 下床版: A=0.85m², I=0.0512m⁴
 側壁: A=0.7m², I=0.0286m⁴ 中柱: A=0.114m², I=0.0015m⁴

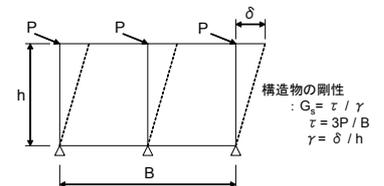


図2 構造物の剛性の考え方

出した時刻では、紙面右側から左側に地盤・構造物が変形している状態である。構造物の変形に寄与すると考えられる構造物側方の地盤の応力状態に着目すると、いずれのケースにおいても紙面で構造物の右側の圧縮応力が大きく、左側の圧縮応力が小さい結果となっている。これは、地盤が構造物に「作用」として働いている状態であり、既往の研究結果から、いずれのケースも免震効果を発揮する可能性があることを示している。

図4は、地震による増分荷重に対する免震効果を抽出するために式(1)で示す指標 α を導入して整理した結果を示す。 α は、無対策時の地震時増分断面力に対する免震対策時の地震時増分断面力の比率であり、 α が1.0未満であれば免震効果を発揮していると判断できる。ここで抽出した断面力は、側壁、上下床版、中柱の部材の最大せん断力とした。いずれのケースにおいても、径間数が増加するにつれて、免震効果が小さくなっている。表1に示した構造物の全体剛性は、径間数が増えるにつれて小さくなっており、このことは、地盤の剛性に対する構造物の剛性の比率が大きい時に地盤が「作用」として働き、地盤の剛性に対する構造物の剛性の比率が小さい時に地盤が「抵抗」として働く傾向にあるという既往の研究結果と同様の傾向であると言える。なお、中柱については、多径間になると断面力が無対策に比べて増大し、免震効果が発揮されない結果を示しているが、以降の検討は、ポリマー免震工法の断面力低減効果として最も期待している側壁に着目して検討を進める。

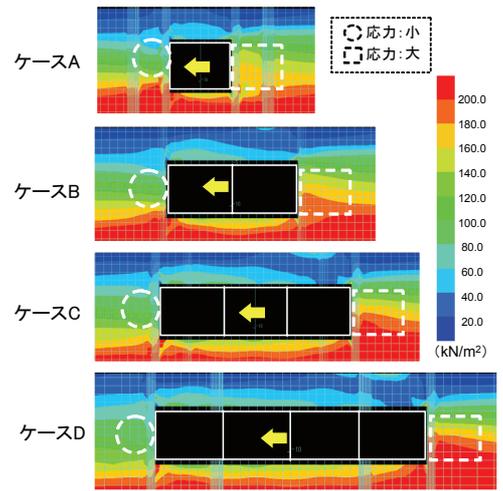
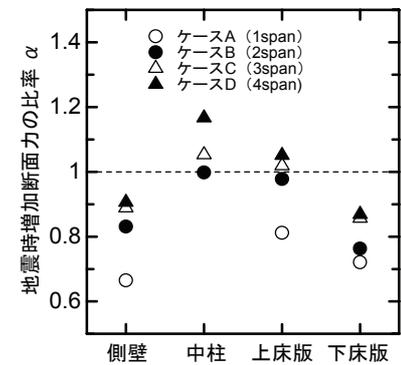


図3 x方向応力コンター図



$$\alpha = \frac{(\text{地震時最大せん断力})_{\text{免震}} - (\text{常時せん断力})_{\text{免震}}}{(\text{地震時最大せん断力})_{\text{無対策}} - (\text{常時せん断力})_{\text{無対策}}} \quad (1)$$

図4 免震効果の比較

4. 判定チャートの適用可能性

図5は、構造物側壁の免震効果に着目して、既往の判定チャートに、径間数の違いを構造物の全体剛性 G_s の違いとして指標に反映させた結果を示している。いずれも免震効果が発揮されない可能性のある領域となり、図4で示した詳細検討における結果と判定チャートによって免震効果を判断した結果が概ね良好な関係にあることが示されている。

以上のことより、構造物の剛性を全体剛性 G_s として評価すれば、径間数に関わらず、既往の研究で提案した指標($\beta, G_s/G_g$)による判定チャートを用いて当該免震工法の有効性を評価できることが示された。

5. まとめ

構造物の全体剛性を用いて構造物の剛性を表すことにより、既往の研究で提案した判定チャート図を用いて径間数によらず免震効果を適切に予測できることが示された。今後は、提案した判定チャートが想定している構造物と異なる多層の構造形式の構造物に対する適用可能性について検討する予定である。

参考文献 1) 室野剛隆, 桐生郷史, 舘山勝, 小林正介: ポリマー材を用いた開削トンネルの免震工法, 第28回土木学会地震工学論文集, 2005. 2) 桐生郷史, 室野剛隆, 盛川 仁: ポリマー材を用いた既設開削トンネルのための免震工法の適用性, 土木学会論文集A, vol64, No.4, pp905-914, 2008.

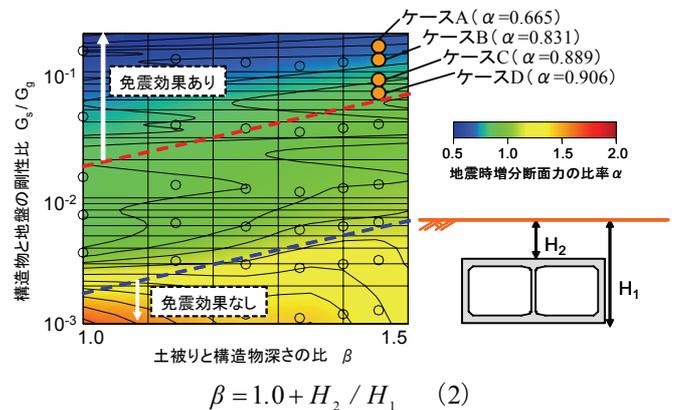


図5 地盤・構造物の剛性比と免震効果

$$\beta = 1.0 + H_2 / H_1 \quad (2)$$