

ポリマー材を用いた開削トンネルの免震工法と実設計事例（その1）

鉄道総合技術研究所 正会員 ○室野 剛隆，桐生 郷史，館山 勝
横浜市交通局 正会員 小林 正介

1. はじめに

既設開削トンネルの耐震評価を行った場合，中柱や側壁などの耐力が不足している事例がよく見られる．中柱は鋼板巻補強が有効な対策法として定着しているが，側壁については有効な補強法が無い．一面せん断補強なども提案されているが，地中構造物では，作業環境が狭隘であることや，アンカーボルトのためのコンクリート削孔に手間が掛かることなどから現実的ではない．鉄道トンネルを考えた場合は，線路閉鎖後でない限り施工ができず，時間・コストとも不利である．そこで，本研究では，トンネル側面の周辺地盤に対してポリビニルアルコール系ポリマー剤（以下，ポリマー）を壁状に設置して，地震力を低減させる耐震対策工法を開発した．ポリマー材という非常に柔らかい材料を用いて，地盤の変形が構造物に伝達するのを遮断することを狙っている．

2. ポリマー材の特性

本工法で用いるポリマーは，ポリビニルアルコール（PVA）を主剤とし，架橋剤と合成した白色粉末状の水溶性合成樹脂である．このポリマー水溶液と地盤とを攪拌混合することにより，ポリマー地盤改良体を構築する¹⁾．

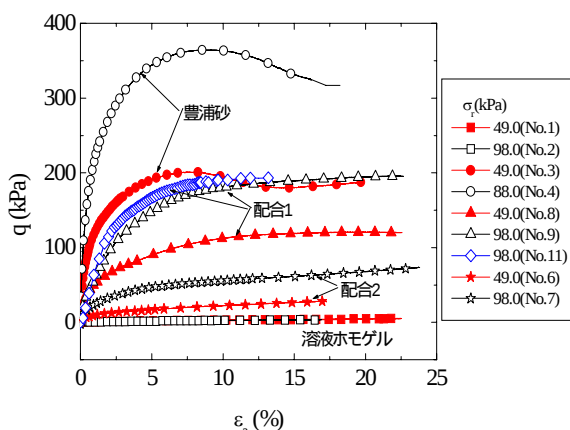


図1 三軸圧縮試験結果



図2 試験後の供試体写真

ポリマー地盤改良体は，セメントなどの無機系固化材と地盤を混合攪拌して固結体を築造する従来の地盤改良工法と異なり，柔軟性が高く地震時などによる変形追従性が高い．図1は三軸圧縮試験での軸差応力と軸ひずみの関係である．ホモゲル供試体は豊浦砂に比べて極めて剛性が低く，概ね 1/500 以下となっている．また，ポリマー混合土はポリマー水溶液の充填量の多寡に応じて土とホモゲルの中間的な特性を有することが分り，非常に柔らかいものから土に似た特性を有するものまで任意に調整することが可能である．また，軸ひずみが 25%に達するまで圧縮を進めた場合も，供試体には明確なすべり面は生成されなかった（図2）．

ポリマー免震層を構築するには，通常のセメント系地盤改良機を使うことが可能である．例えば，地盤に挿入したチェーンソー型カッターを有するベースマシンによって，カッターチェーンを回転，横方向に移動させることにより地盤の切削及び固化液による切削土との攪拌混合，もしくは置き換えを同時に行い，地中に等厚で連続した免震壁を築造することが考えられる．また，スクリーオーガーを有するベースマシンによって，スクリーオーガーを回転することによって地盤を排土し免震材と置き換えることにより，柱列状もしくは千鳥状，もしくは多少間隔が空いた柱状体の免震層を築造することも可能である．

3. 免震層の効果に関する解析的検討

免震層を構築することにより，どの程度，地震時断面力が低減するか数値計算により検討する．地盤・構造物を2次元FEMでモデル化した．構造は駅部の2層2経間構造で，ドライエリアを有する構造である．土被りはゼロで上層版が露頭している．地盤は関東ロームを挟む地盤で，GL-12m程度に基盤層がある．こ

キーワード ポリマー材，開削トンネル，免震工法

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-28 (財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7262

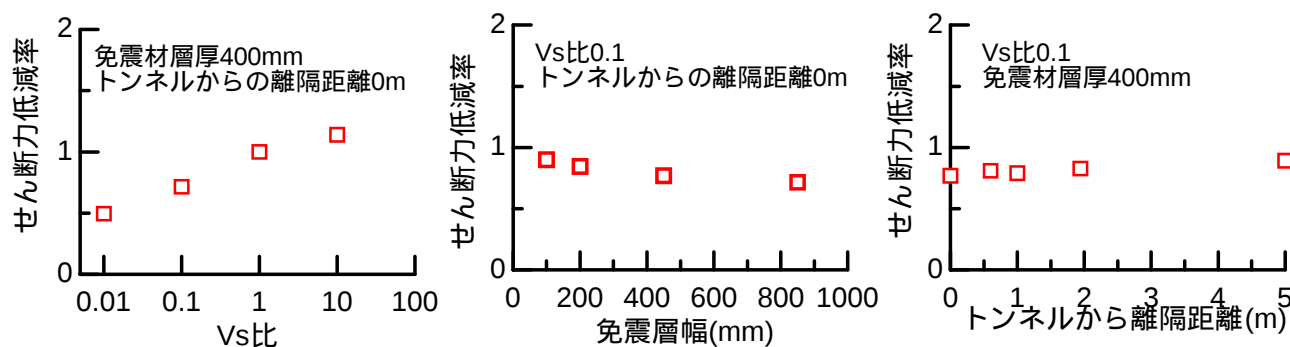


図3 免震層の剛性，厚さ，設置位置がせん断力低減効果に与える影響

ここでは，免震材の剛性，免震材の厚さ，免震材の設置位置を検討対象とした．入力地震動は，耐震標準で規定され L2 地震動である．なお，地盤とポリマーは非線形性を考慮しているが，部材は弾性材料として扱っている．結果を図3に示す．縦軸は対策前に対する対策後のせん断力比である．

(1)免震材の剛性による影響：Vs比が1というのは，無対策を表している．免震材が有効に働いて，せん断力が低減していることが分かる．Vs比はせん断力の低減率に大きな影響を及ぼしており，Vsの対数に対して線形的にせん断力の低減が期待できることが分かる．

(2)免震材の厚さによる影響：免震層の厚さが200mmより薄くなると急激にその効果は低減するが，400mm程度の厚さを確保できれば，厚さの影響はほとんど無いことが分かる．

(3)設置位置の影響：設定位置の影響は少ないことが分かる．既設のトンネルを対策するには仮設時の矢板等が残置されていることが多く，実際には1m程度，トンネル本体から離れた位置に施工するのが現実である．

4．Inertial 及び Kinematic 相互作用に対する免震層の効果

用地の高度利用の観点から，開削トンネル上部に土木・建築建屋等の構築がなされる場合が最近の事例として見られる．そこで，慣性力（Inertial 相互作用）に対する効果と，地盤変位（Kinematic 相互作用）に対する効果に分離した検討を行った．図4が分離方法，図5が結果である．全体系の解析と，構造物の質量がゼロの解析を実施する．構造物ゼロの解析は Kinematic 相互作用の効果のみが評価されている．Inertial 相互作用の影響は，全体系の解析結果から，質量ゼロの解析結果を差し引くことによる求まる．Kinematic 相互作用が卓越する場合（図3）には，免震材は効果的であるが，Inertial 相互作用が卓越する場合には逆効果であることがわかる．これは周辺地盤が柔くなることにより，慣性力による影響を周辺地盤ではなく部材で分担する割合が増えるためである．

5．まとめ

ポリマー材を開削トンネルの側方に設置する免震工法を提案し，その効果について数値解析により検討した．なお，実現現場への適用事例については本論文（その2）で報告する．

参考文献 1) 舘山勝，矢口直幸，平山勇治，花森一郎：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，pp.19-24，2002.03

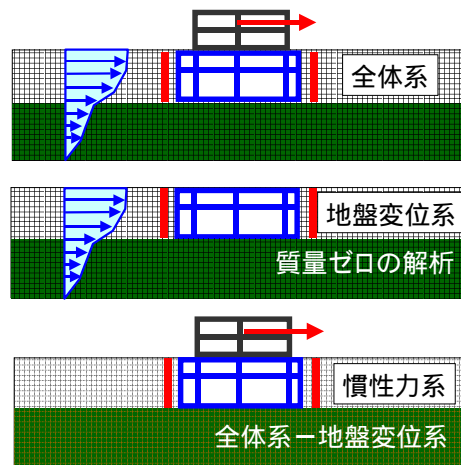


図4 Inertial・Kinematic 相互作用の分離

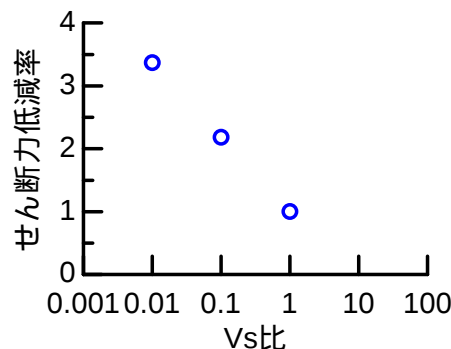


図5 Inertial 相互作用に対するポリマー免震材の効果