

1054

開削トンネル免震構造の断面力低減メカニズムに関する解析的検討 (トンネル・周辺地盤の変形について)

熊谷組技術研究所 正会員 粕田 金一 鈴木 猛康

1. はじめに

トンネル外周に軟らかな免震材を配置することによりトンネルの断面力を大幅に低減する免震構造について、筆者らは解析的、実験的な検討を行ってきた¹⁾²⁾。これまでの検討結果によれば、免震層のせん断弾性係数と周辺地盤のせん断弾性係数との比を1/100程度に設定すると曲げモーメントやせん断力が約半分に低減されることが明らかとなっており、免震層の物性値を定める上での1つの目安が得られたと考えられる。しかし、これまでは免震層の物性値と断面力の低減効果の関係に主に着目していたため、トンネルの変形、周辺地盤の応力・ひずみ分布などについては詳しい検討がなされていなかった。本検討は、矩形断面の開削トンネルの横断面方向を対象として、免震構造の断面力低減メカニズムについて解析的な検討を行ったものであり、本報告では、その内のトンネル・周辺地盤の変形について述べる。

2. 解析手法と解析条件

検討の対象としたのは厚さ15mの表層地盤の中央の深度に設置された2連の開削トンネルであり、既の実施済の模型振動実験²⁾のプロトタイプと同一モデル、物性値とした。解析手法は、複素応答法による2次元動的FEM解析(等価線形解析)であり、地盤および免震層を2次元平面ひずみ要素で、トンネルを梁要素でモデル化し、トンネルの免震層あり・免震層なしの計2ケースを実施した。トンネルと免震層の断面図を図1に、FEMモデルを図2に示す。本解析に用いた地盤の物性値は、S波速度217m/sec, 単位体積重量1.53tf/m³であり、動的変形特性は振動実験に使用した豊浦標準砂の値³⁾を用いた。免震材料は、実験と同様に地盤に対するせん断弾性係数の比を1/220とし、厚さ25cmの層をトンネル全周にわたり配置した。入力地震波は実験と同様にモデル地盤の1次固有振動数に相当する3~4Hzの短周期成分が比較的卓越する記録である釧路沖地震(1993.1.15, M7.8)の際に釧路地方気象台において観測された水平EW成分(最大加速度922gal)を最大振幅200galに調整して用いた。境界条件は、側面はエネルギー伝達境界、底面は固定境界とした。

3. 解析結果

1)断面力：トンネルに発生する最大断面力の比較結果を図3に示す(左半分を図示)。頂版・底版・側壁および隔壁のコーナー部において曲げモーメント、せん断力は免震層の設置により約半分に低減した。軸力についても曲げモーメント、せん断力と同様の低減傾向が見られるが、側壁下部など低減効果あまり見られない箇所もある。この傾向は模型振動実験²⁾においても見られており、免震層がある場合には底版コーナー部の免震層・地盤の変形が大きいことが影響しているものと思われる。

2)トンネルの変形：トンネル頂・底版間の水平方向の最大相対変位が発生する時刻におけるトンネル変形図(左半分を表示)を図4,5に示す。免震層ありの場合がt=25.72秒において0.112cm、免震層なしの場合がt=25.92秒において0.227cmであり、免震層により水平相対変位が約半分に低減されることがわかる。なお、両者で最大値の発生時刻が異なっているが、それぞれ他方の時刻においても最大値に近い応答が生じていることをつけ加えておく。また、水平方向変位と発生時刻がわずかにずれるが、トンネルの底版中央位置に対する底版端部の最大鉛直相対変位量は、免震層ありの場合がt=25.74秒において0.035cm、免震層なしの場合がt=25.94秒において0.088cmであり、免震層によりトンネルの回転変形量も半分以下に低減されることがわかる。免震層の設置によりトンネルの水平変形量、回転変形量はともに減少するが、免震層の有無にかかわらず同じ変形モードで振動することが確認できた。

3)周辺地盤・免震層の変形：2つのケースのトンネル頂・底版間の水平最大相対変位発生時刻における変位図(左半分を表示)を図6,7に示す。作図範囲はトンネルの上下左右1mまでの要素を対象とした。免震層なしのケースではほぼ一様な地盤のせん断変形が生じているのに対して、免震層ありのケースでは免震層の位置で大きなせん断変形が生じており、その分だけ、頂・底版、側壁の近傍の地盤のせん断変形が抑制されている。特にトンネルよりも上部の地盤は剛体的にほぼ水平に変位している。免震層のせん断ひずみは、周辺地盤の約100倍程度の大きなひずみが発生しており、底版部で

約2%、頂版部と側壁部で約1%である。免震層がある場合の周辺地盤のせん断ひずみは、トンネルの上下コーナー部以外では免震層がない場合に比べて約20%~50%の値を示し、大きな

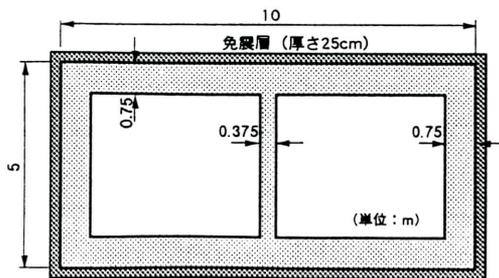


図1 トンネル横断面図

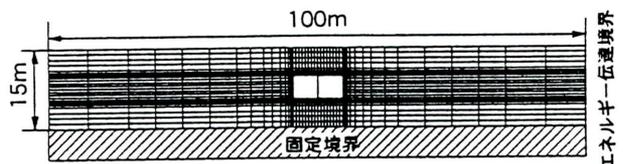


図2 解析モデル図

An analytical study on the mechanism of seismic isolation effect for rectangular tunnel (deformation of tunnel and surrounding soil); Kinichi KASUDA, Takeyasu SUZUKI (Technical Research & Development Institute, Kumagai Gumi Co., Ltd.)

せん断ひずみの低減効果がみられた。逆に上下コーナー部付近の地盤は、免震層がある場合には、免震層がない場合に比べてせん断ひずみが局所的に集中する傾向がみられ、約2倍～7倍大きなせん断ひずみの発生が見られた。

4. まとめ

矩形断面トンネル横断面方向の免震メカニズムに関して動的FEM解析による検討を実施した結果、1)免震層の設置によりトンネルの水平変形、回転変形は約半分に減少するが、免震層の有無にかかわらず同じ変形モードで振動することが確認できた。2)免震層に大きなせん断変形が生じた結果、周辺地盤では頂・底版、側壁の近傍ではせん断変形が抑制され、逆に上下コーナー部付近では局所的に大きなせん断ひずみが発生することがわかった。なお、トンネルの縦横比による影響が今後の課題として挙げられる。最後に本研究は、建設省土木研究所、(財)土木研究センターと民間17社による官民共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の一環として行ったものである。

(参考文献) 1)例えば、T. Suzuki : Damage of urban tunnels due to the Southern Hyogo Earthquake of January 17,1995 and the evaluation of seismic isolation effect, 11WCEE, pp.413-416, 1996. 2)柏田他 : 矩形断面トンネルの免震構造に関する模型振動実験, 第1回免震・制震技術講演論文集, pp.109-116, 1996. 3)龍岡,足立 : 新体系土木工学18 土の力学(Ⅲ), 1981.

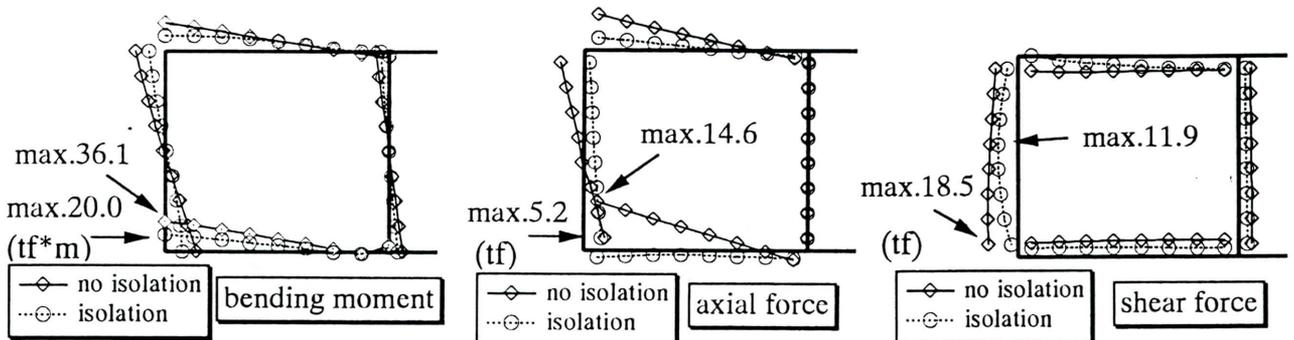


図3 最大断面力図 (a)曲げモーメント

(b)軸力

(c)せん断力

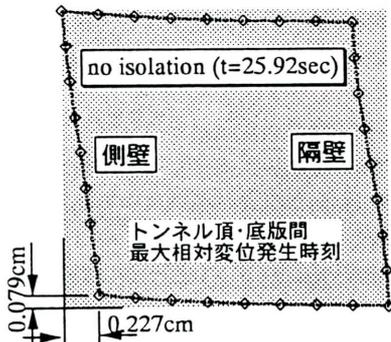


図4 トンネル変形図 (免震層なし)

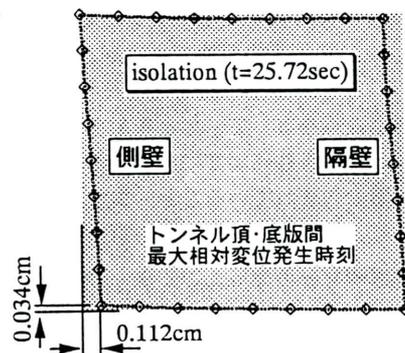


図5 トンネル変形図 (免震層あり)

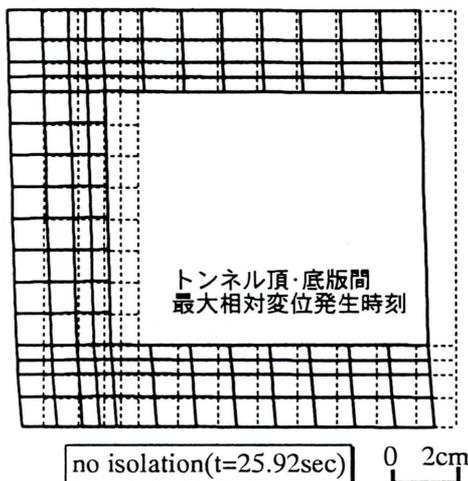


図6 周辺地盤の変位図 (免震層なし)

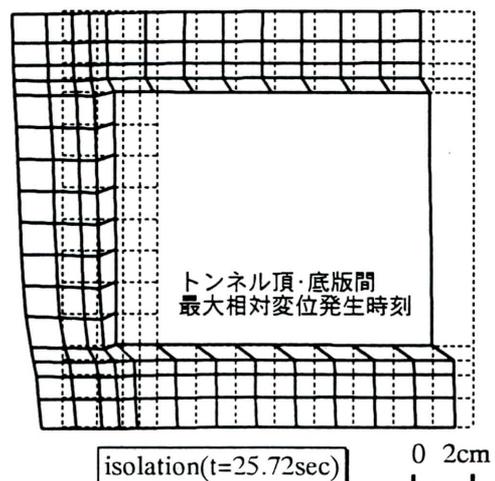


図7 周辺地盤の変位図 (免震層あり)