

## I - B447

## 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(周辺地盤の応力分布について)

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<sup>1)2)</sup>。本検討は、免震構造の断面力低減メカニズムの解明を目的として、これまで詳しい検討がなされていなかったトンネルの変形、周辺地盤の応力・ひずみ分布などについて、矩形断面の開削トンネルの横断面方向を対象として、解析的な検討を行ったものである。解析結果の内、トンネル周辺地盤の変形については文献<sup>3)</sup>において報告したので、本報告は周辺地盤の応力分布について述べる。

## 2. 解析手法と解析条件

検討対象は厚さ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、既に実施済の模型振動実験<sup>2)</sup>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/m<sup>3</sup>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。FEMモデルの境界条件は、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

応力分布の比較はトンネルの上下左右それぞれ約4mまでの範囲の地盤・免震層の要素を対象として行い、図示はいずれもトンネルの左半分とした。対象時刻は、最大または最大値に近い応答が生じるトンネル頂底版間水平相対変位が最大となる時刻(免震層なしのケース:25.92秒、免震層ありのケース:25.72秒)とした。

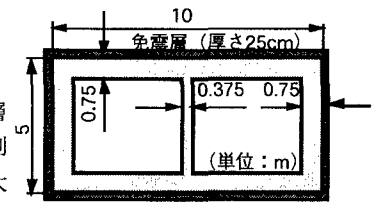


図1 模型断面図

1) せん断応力  $\tau_{xy}$ :

免震層の位置の要素の  $\tau_{xy}$  の分布を図3に示す。免震層の存在により  $\tau_{xy}$  はトンネル全周にわたり1/4~1/5に低減しており、免震層の設置によりトンネルに作用するせん断土圧は大きく低減されるものと考えられる。次に、免震層の外側の地盤における  $\tau_{xy}$  の分布を図4に示す。

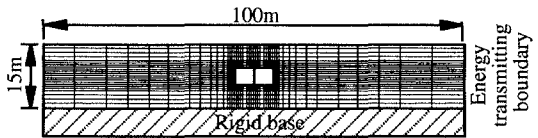


図2 FEMモデル図

$\tau_{xy}$  は、トンネル頂版、底版、側壁の中央部付近では免震層があるケースは免震層のないケースに比べて約2~20倍小さな値を示すが、隅角部付近では、逆に免震層ありのケースが最大で2倍程度大きな  $\tau_{xy}$  を示す。免震層のあるケースで特徴的なのは、トンネル頂版、底版、側壁の免震層の延長位置に存在する地盤の  $\tau_{xy}$  が周囲の要素に比べて大きな値を示すことであるが、これは免震層に大きなせん断変形が発生した影響がその真横や上下の地盤要素にも及び、せん断変形が卓越する傾向を示すためと考えられる。

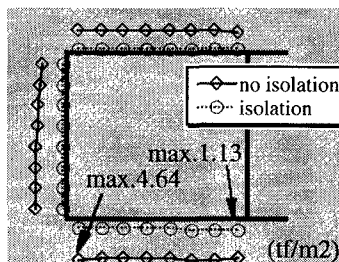


図3 せん断土圧分布

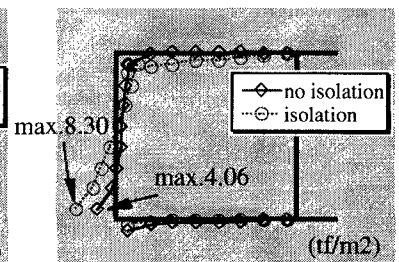


図5 直土圧分布

キーワード：開削トンネル、横断面方向、免震、動的解析

〒300-22 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043 熊谷組技術研究所 TEL: 0298-47-7502、FAX: 0298-47-7480

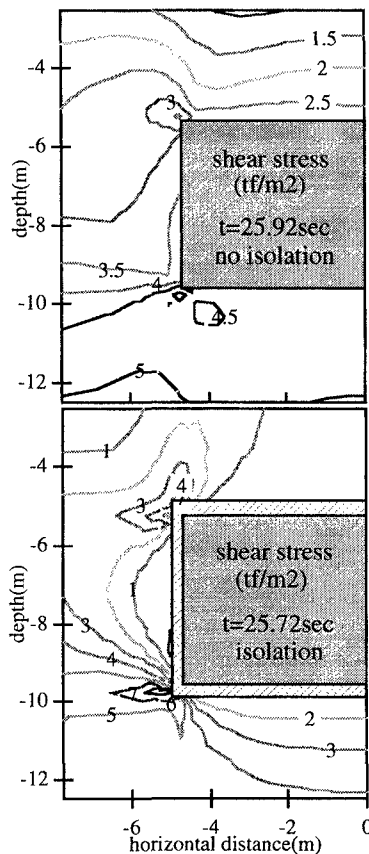
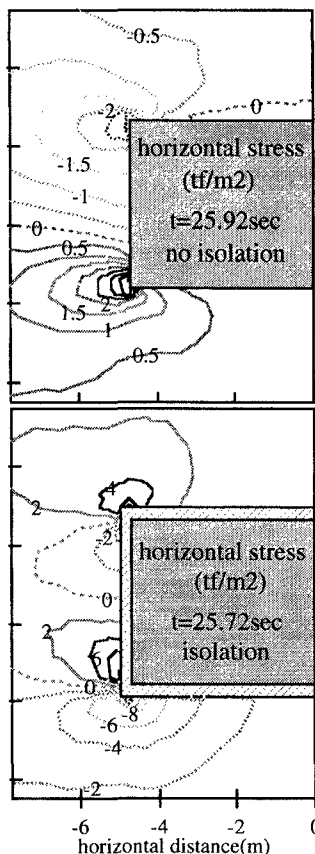
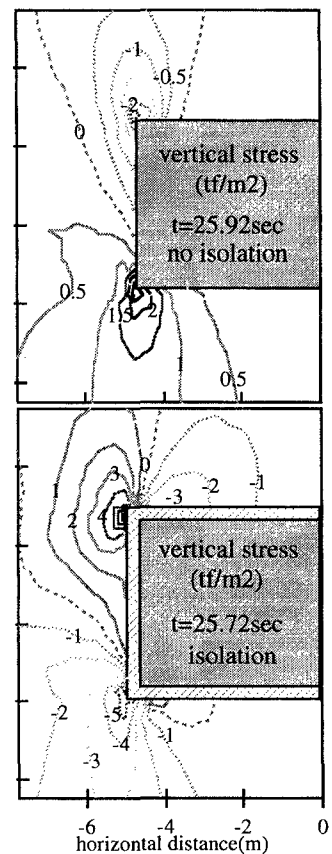
2) 水平方向直応力 $\sigma_x$ 、鉛直方向直応力 $\sigma_y$ ：

免震層の位置の要素のトンネル壁面に対する直応力の分布を図5に示す。図5よりトンネルに作用する直土圧は、免震層ありの場合が免震層なしの場合に比べて側壁下端で2.0倍、頂版端部で1.9倍、底版端部で0.5倍の値を示し、底版を除いて増加する傾向がみられた。同様な傾向は模型振動実験の結果においても得られた<sup>2)</sup>が、これは免震層に発生する大きなせん断変形に伴い大きな直ひずみも側壁や頂版の隅角部に接する地盤に発生するためと考えられる。底版で逆に直土圧が減少する傾向を示すことに関しては、本解析では表層地盤厚が比較的薄く、しかも底面境界が固定条件であるため、側壁側部や頂版上部と比べて相対的に底版下部の地盤の変形が生じにくいことが1つの原因として考えられる。次に、免震層の外側の地盤における $\sigma_x$ の分布を図6に示す。 $\sigma_x$ の値および値の変化がトンネルの隅角部に集中しているのは共通であるが、免震層のあるケースで特徴的なのは、トンネル頂版、底版の免震層の真横の位置の地盤要素において応力の等高線が圧縮伸張の符号が異なる上下2つの山に分離していることである。これは $\tau_{xy}$ の項でも述べたようにトンネル頂版、底版の免震層に大きなせん断変形が発生することによる影響がその真横の地盤要素にも及ぶためと思われる。図7に示す鉛直方向直応力 $\sigma_y$ についても同様な傾向がみられ、こちらはトンネル側壁の免震層の上下位置の地盤要素において圧縮伸張の符号が異なる左右2つの山に等高線が分離している。

## 4. まとめ

矩形断面トンネル横断面方向の免震構造に関して動的FEM解析による検討を行った結果、1)免震層設置によりトンネルに作用するせん断土圧成分は1/4～1/5に低減されるが、直土圧成分は増加する傾向を示す。2)免震層設置の影響により周辺地盤の応力分布は非免震の場合と異なる分布形状を示す。なお、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。

（参考文献）1)例えば、T. Suzuki：11WCEE, pp.413-416, 1996. 2)粕田他：第1回免震・制震コソウム講演論文集, pp.109-116, 1996. 3)粕田他：第32回地盤工学研究発表会講演集, 1997.

図4 せん断応力 $\tau_{xy}$ 分布図6 水平方向直応力 $\sigma_x$ 分布図7 鉛直方向直応力 $\sigma_y$ 分布