

I-B 442

開削トンネルの免震構造に関する模型振動実験（正弦波加振）

熊谷組技術研究所 正会員 田中 港、鈴木 猛康、柏田 金一
熊谷組土木本部 正会員 小林 正宏

1. はじめに

これまで、トンネル外周に柔らかな免震層を形成することによる地震時断面力の低減効果（トンネルの免震化手法）を、主にトンネル長手方向への適用について示してきた。しかし兵庫県南部地震における開削トンネルの被害に見られたように、矩形断面のトンネルは地盤条件と地震荷重の組み合わせによっては、地震時横断面変形で過大な曲げモーメントやせん断力が隅角部に集中し、耐震上危険となる場合がある。このような場合、免震層を適用することにより周面せん断力のカットと断面力の平滑化により、集中した断面力を大幅に低減させることを数値解析によって示した¹⁾。そこで本稿では、開削トンネルの地震時横断面変形に対する免震の効果を検証する目的で模型振動実験を実施したので、その結果の一部（水平正弦波加振）について報告する。

2. 実験概要

検討の対象は、共同溝に代表される2連の矩形断面開削トンネルとし、以下の諸元は既往の研究²⁾を参考に決定した。

模型はアクリル板製で、幅 40cm×高さ 20cm、（側壁厚 3cm、隔壁厚 1.5cm）とし（図-1）、縮尺はせん断土槽の大きさから 1/25 とした。これは実構造物では、幅 10m×高さ 5m、（側壁厚 75cm、隔壁厚 37.5cm）に相当する。

免震層材料には、シリコンゴムを用い、免震モデルの模型全周にわたり 1cm の厚みで設けた。免震層材料のせん断弾性係数は 0.67kgf/cm^2 であり、初期のせん断弾性係数は、周辺地盤に対して約 1/220 となる。加振時は、剛性低下が大きくなるため、1/50 程度になっていると考えられる。

使用したせん断土槽の内法寸法は、長さ 180cm×奥行き 120cm×高さ 70cm である（写真-1）。せん断土槽内の模型の配置は、同一の加振条件・地盤条件の下で免震層の有無の効果を比較するため、同一形状のものを2体作成し（模型1：免震層なし、模型2：免震層あり）、縦列に設置した（図-2、写真-2）。模型の埋設深さは 20cm とし、表層地盤中央にトンネルが設置されるケースを想定した（図-3）。

模型地盤は乾燥地盤とし、豊浦標準砂の空中落下により作成した。締め固めによる密度調整は行わずに加振を実施した。模型地盤の物性値は、単位体積重量 1.528tf/m^3 、間隙比 $e=0.73$ であり、岩崎・龍岡の実験式によると、せん断弾性係数 147.1kgf/cm^2 、一次固有振動数は 40.5Hz となる。これに対して実地盤の物性値は、せん断弾性係数の拘束圧依存性を考慮した相似則³⁾から、せん断弾性係数 735.5kgf/cm^2 、一次固有振動数は 3.6Hz と推定される。

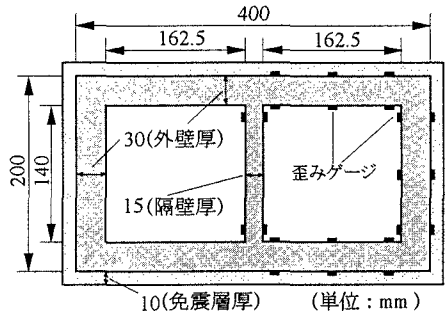


図-1 トンネル模型の横断面図

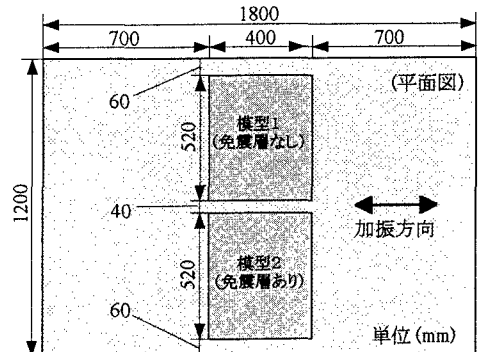


図-2 模型設置平面図

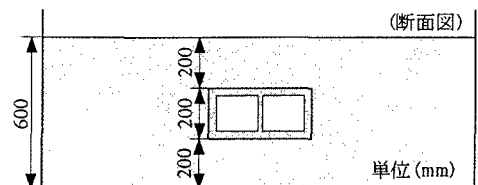


図-3 模型設置断面図

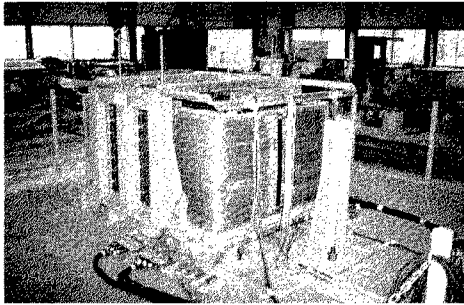


写真-1 せん断土槽全景

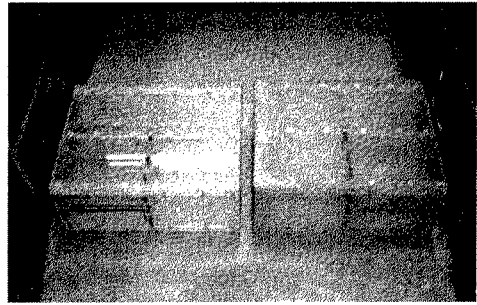


写真-2 トンネル模型設置状況

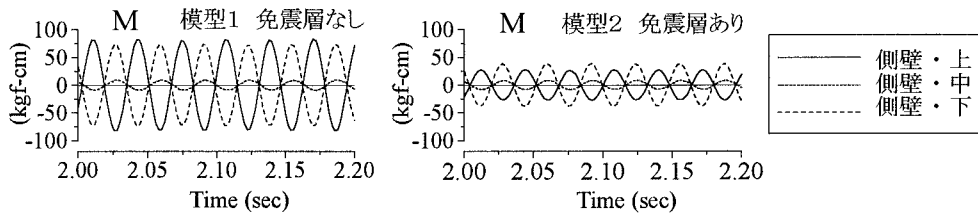


図-4 曲げモーメントの時刻歴波形の一例

3. 実験結果

図-4は、周波数35Hz、加速度振幅200galの正弦波で加振したときの、模型側壁の3計測点における曲げモーメントの時刻歴波形の一部である。“免震層なし”のケースでは、側壁の上部と下部で大きな曲げモーメントが発生し、その位相が180度ずれていることがわかる。また、“免震層あり”では、“免震層なし”に比べて、側壁上部、下部で曲げモーメントが約半分に低減している。次に、曲げモーメントとせん断力の最大値の分布をそれぞれ図-5、図-6に示す。側壁だけでなく、頂版、底板、隔壁においても同様に端部の曲げモーメントは50%以下に低減されていることが確認できる。せん断力についてもほぼ半減しており、免震層が地震時増分断面力の低減に効果的であることが実証された。

4. まとめ

開削トンネルの横断面方向について、免震層設置による免震効果の検証を目的として模型振動実験を実施した。正弦波水平加振の結果、すべての計測点で曲げモーメント・せん断力が半減することが確認された。このことから、免震層は地震時増分断面力の低減に非常に有効な手法であることが実験的に検証された。今後、動的FEM解析結果との比較など詳細な検討を実施する予定である。なお本研究は、建設省土木研究所、(財)土木研究センター、及び民間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) 鈴木：トンネル免震構造の開削トンネルへの摘要，土木学会第23回地震工学研究発表会，pp.413-416，1995。
- 2) 当麻、国生、岩楯：非岩着地中構造物の耐震設計に関する研究（その1），電力中央研究所報告，No.383023，1984。
- 3) 香川：土構造物の模型振動実験における相似則，土木学会論文報告集，No.275，pp.69-77，1978。

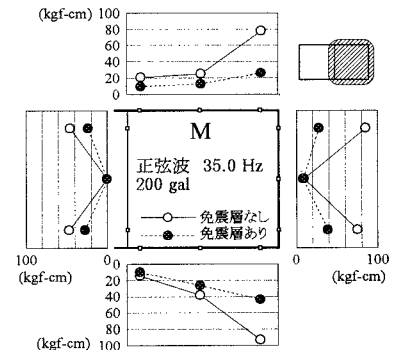


図-5 曲げモーメントの最大値分布

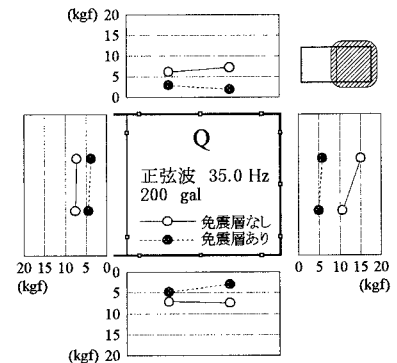


図-6 せん断力の最大値分布