

I - B457

既設地下構造物の横断面内の免震対策

鴻池組土木本部土木設計部 ○正会員 春海 正和

同上 正会員 嶋村 貞夫

同上 正会員 河西 寛

1. はじめに

トンネル等の地下構造物は、地震時に生じる地盤の変形に追従して変形する。このため、耐震性が不足する場合には、構造物に伝達する地盤の変形を遮断あるいは低減する免震対策が効果的である。矩形断面トンネルの全周に柔らかな免震層を設置した場合、横断方向の地震時増分断面力は 1/2 程度にまで低減することが確認されている^{1)~2)}。しかしながら、既設の地下構造物に関しては、全周に免震層の設置が困難であるため、何らかの工夫が必要になる。

本報告では、地表面から既設トンネルの両側に柔らかな免震層を鉛直壁状に設置することを提案し、免震層の設置深度とトンネルからの離隔距離が地震時増分断面力に及ぼす影響について、2次元FEMモデルに1次モードの地盤変位を生じさせる「地盤慣性力に基づく応答変位法」³⁾を用いて検討した。

2. 解析モデルおよび条件

検討の対象とした構造物は図-1に示す鉄筋コンクリート造の2連ボックスカルバートで、地盤は層厚30mの均一地盤とした。地下構造物の両側に設置する免震層の厚さは10cmで、その弾性係数は地盤の1/100とした。解析モデルは、図-2に示すように対称性を考慮した左半分のモデルで、底面が完全固定、左側面と右側面(対称面)が鉛直方向の変位を固定とした。地盤と免震層はアイソパラメトリック平面ひずみ要素、構造物は平面骨組要素でモデル化した。作用荷重は、式(1)より求めた要素中心深さにおける水平方向加速度から水平方向慣性力を算出し、これを全要素に物体力として作用させることによりモデルに1次モードの変位分布を生じさせた。表-1~2に構造物、地盤および免震層の入力定数を示す。

$$\alpha(z) = -\frac{8 \cdot S_v}{T_s} \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \cdots \cdots \text{式(1)}$$

ここに、 $\alpha(z)$:要素中心深さ z における水平方向加速度、
 S_v :設計応答速度、 T_s :表層地盤の固有周期、 H :表層地盤厚

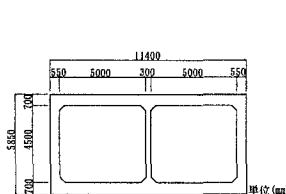


図-1 検討対象構造物

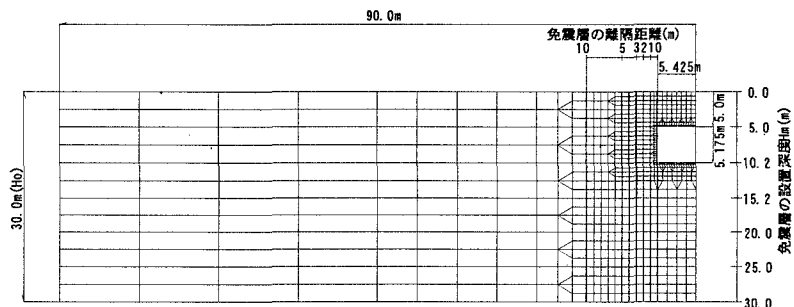


図-2 要素分割図

表-1 構造物の入力定数

	側壁	中壁(半分)	上床版	下床版
単位体積重量 γ (tf/m ³)	2.50			
弾性係数 E (tf/m ²)	2.6×10^6			
断面積 A (m ² /m)	0.55	0.15	0.65	0.70
断面2次モーメント I (m ⁴ /m)	6.932×10^{-3}	5.625×10^{-4}	1.144×10^{-3}	1.429×10^{-3}

表-2 地盤および免震層の入力定数

	地盤	免震層
単位体積重量 γ (tf/m ³)	1.6	1.0
弾性係数 E (tf/m ²)	6440	64.4
せん断弾性係数 G (tf/m ²)	2160	21.6
ポアソン比 ν	0.49	0.49

キーワード 免震, 耐震, トンネル, 2次元FEM解析, 断面力

連絡先 〒541 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 TEL 06-244-3617 FAX 06-244-3676

3. 解析結果

図-3は、地表面からの免震層の設置深度がトンネル側壁の地震時増分最大断面力に及ぼす影響を示したものである。免震層とトンネル側壁との間隔は1.0mである。図の縦軸は表層地盤厚30mに対する免震層の設置深度の比率(H_m/H_0)であり、横軸は免震層がない場合に対する最大断面力の比率(低減率)である。曲げモーメントとせん断力は、概ね設置深度が深くなるほど小さくなる傾向を示す。免震層の設置深度がトンネル下面深さの2倍($H_m/H_0=0.67$)以上であれば、より大きな免震効果が得られるが、トンネル下面深さ($H_m/H_0=0.34$)までの比較的浅い場合には曲げモーメントは殆ど低減できない。これに対し、軸力は免震層の設置深度が表層地盤厚の半分($H_m/H_0=0.50$)のときに最小になり、それ以上になると増大する傾向を示す。

図-4は、免震層とトンネル側壁との純間隔が側壁の地震時増分最大断面力に及ぼす影響を示したもので、免震層の設置深度は地表面から20m($H_m/H_0=0.67$)とした。図-4では縦軸が断面力の低減率を表わす。曲げモーメントとせん断力は、免震層をできるだけトンネルに近づけて設置することにより大きな免震効果が得られるが、トンネル高さ程度(約5m)離して設置した場合には殆ど免震効果が現れない。これに対し、軸力は免震層の離隔距離が5.0mのときに最小になり、それ以下ではトンネルに近いほど大きくなる傾向を示す。

図-5は、免震層がない場合と、図-3、4に白丸で示したケース($H_m/H_0=0.67$)の変形および断面力分布を比較して示したものである。免震層を設けることにより、ロッキング変形が増大し、水平方向のせん断変形が減少する傾向が認められ、これにより断面力の分布形状が滑らかになり、最大値が低下している様子が伺える。

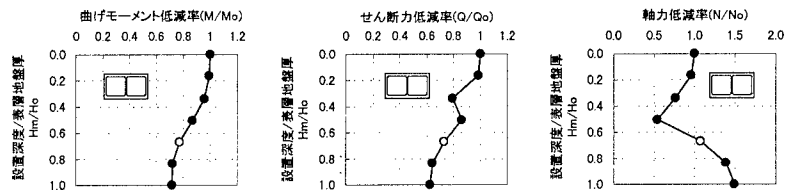


図-3 免震層の設置深度がトンネル側壁の最大断面力に及ぼす影響

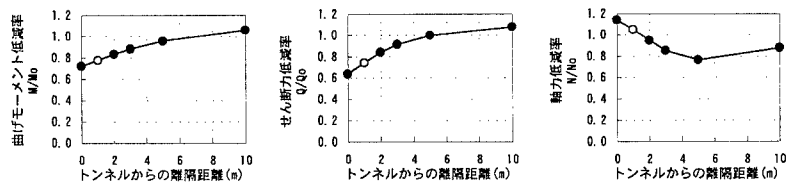


図-4 免震層の離隔距離がトンネル側壁の最大断面力に及ぼす影響

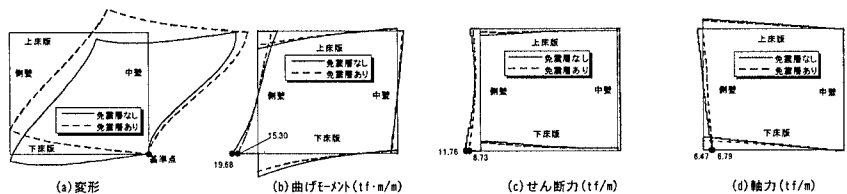


図-5 変形および断面力分布

4. あとがき

以上の結果より、既設トンネルの両側に免震層壁を設置することにより、側壁の耐震性を左右すると考えられる地震時増分曲げモーメントとせん断力を6～7割に低減し得ることが判明した。今回の条件では免震層をトンネルの全周に設置した場合よりも免震効果が少ない結果となったが、免震層厚を増やせば同程度の効果を得ることも可能と考えられる。今後は、免震層の厚さ等をパラメータとした追加解析を実施するとともに、免震メカニズムを解明し、免震層による既設トンネルの免震対策の実現に向けて努力したい。

なお、本報告では、建設省土木研究所、(財)土木研究センター、民間17社による共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の研究成果の一部を引用させて頂いた。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所他：地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発に関する共同研究報告書(その1)、1996。
- 2) 河西、嶋村、笹川、春海：免震層によるトンネル横断方向の免震効果、第1回免震・制震コロキウム講演論文集、土木学会、pp. 101～108、1996。