

## トンネル中壁(柱)の耐震性について

日本大学大学院 学生会員 菊地数馬 田邊裕司 元日本大学 フェロー 田村重四郎  
東大生研 正会員 小長井一男 片桐俊彦 徳島大学 正会員 三神厚

### 緒言

1995年兵庫県南部地震で神戸高速鉄道大開駅の倒壊を含めた地中管状構造物の被害を受けて以後、レベル2地震動に対するトンネル断面の安定性について、種々の検討が進められている。地中構造物に対する応答変位の考え方は1960年代に既に確立していたが、設計では現在のようなレベル2地震動を想定していなかった。レベル2地震動に対しては機能の維持を基本とする対応を取ることとされているが、その最終的にかつ主要な事項として、閉鎖している地中空間の保持が挙げられる。この場合、中壁や中柱が重要な役割を果たすことは言うまでもない。本文では地震時の変形の大きい軟弱地盤中に建設されているトンネルの中壁(柱)の挙動について、トンネル断面を対象とし模型振動実験と数値解析を行ったので報告する。

### 模型実験

図-1は模型振動実験で撮影したブレ写真である。模型地盤(材料：シリコン)は厚さ23cm、長さ160cm、奥行き45cmで一樣な材質とした。トンネル模型は実在する地下鉄の断面を原型としていて、直径8cmの円形断面を3ヶ連結したシールドトンネルで、縮尺は1/80であり、材料はシリコンである。写真は水平に加振したときの基本振動状態で、地盤とトンネルの動きを読み取ることができる。中壁が上下端で相対変位し、かつS字形に変形していることが明瞭で、両端で大きな曲げモーメントが生じていることは確かであり、このような中壁の変形は箱型2線式トンネルでも発生していることは既述した通りである。

### 数値解析

図-2は前述の2次元模型を有限要素法で解析し、得られた基本振動時の変位モードである。解析に当たっては弾性体とし、平面歪状態を想定し、使用した材料の力学的性質は表-1の如くであり、要素数442、節点数291である。トンネルは梁要素として取り扱っている。図より変位モードが模型振動の変位の分布とよく一致していることが分かる。

図-3はトンネルに発生する曲げモーメントを示したもので、大きさは地表面の変位で正規化している。左・右側のトンネル側壁部では、トンネルがせん断変形している場合のモーメント分布に酷似しているが、カモメ部では側壁に比して著しく大きな曲げモーメントが局部的に生じている。

### 回転バネ挿入による効果の検討

そこで中壁の上下端に回転バネを挿入した場合の曲げモーメントの分布を検討する。回転バネのバネ定数は壁の高さの1/20に対し単位幅の壁当りの曲げ剛性を低下させることにより算出していて、1/5、1/20、1/50、1/100としている。図-4は1/50ケースの曲げモーメント分布を示したものである。回転バネの低下に従って、カモメ部及び中壁のモーメントが急激に低下し、かつ左・右トンネル側壁部のモーメントが殆んど変化していないことが認められる。カモメ部の両翼及び中壁端部に生じている最大(最小)曲げモーメントの値は表-2に示してある。表で1/100の場合に注目すると、カモメ部両翼の最大曲げモーメントは非常に小さくなっていることが分かる。回転バネ定数が小さく、ヒンジに近くなっているためであろう。更に4ヶ所のカモメ部の両翼の曲げモーメントの差が壁のモーメントに等しくなっているのは、中壁よりカモメ部に加わるモーメントが両翼部に分割して作用していることを示している。このことは低いバネ定数の回転バネを採用することが、中壁のみならず両翼部のモーメントの低下を生じること、大きい軸応力が作用している中壁(柱)

Keywords : トンネル 耐震 中壁 振動実験 数値解析

〒275-0006 千葉県習志野市泉町1-2-1 TEL/FAX 047-474-2428

については耐震性の向上に著しい効果があることを示している。

**まとめ**

中壁(柱)をもつトンネルでは、中壁(柱)の端部に小さいバネ定数をもつ回転バネの機構を用いることにより、中壁(柱)と床版との接合部近傍及び中壁(柱)の曲げモーメントを大幅に減少し得る。更に検討する必要があるが、トンネル構造の耐震性の大きな向上が期待できることを示した。



図 - 1 トンネル模型の基本振動時のブレ写真

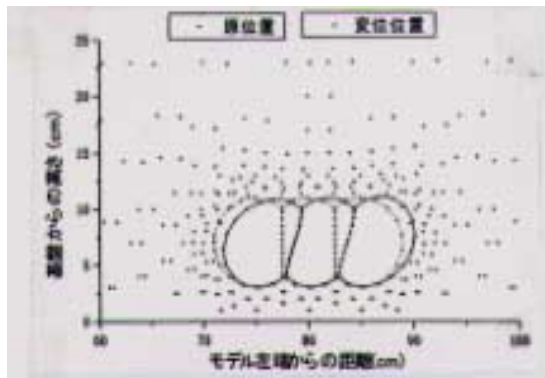


図 - 2 基本振動時の変位モード

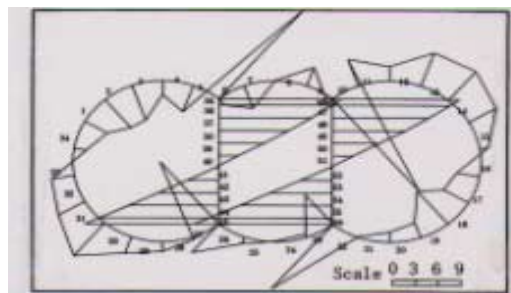


図 - 3 基本振動時にトンネルに生ずる曲げモーメント

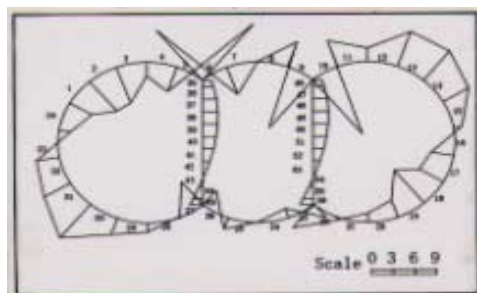


図 - 4 中壁の上下端に回転バネを設置したときの曲げモーメントの分布

表 - 1 材料の力学的性質

シリコンゴム(地盤)			
濃度 (%)	密度 (gr/cm <sup>3</sup> )	弾性係数 (grf/cm <sup>2</sup> )	せん断波伝播速度 (cm/sec)
9	0.966	1074	607
シリコンゴム(トンネル)			
濃度 (%)	密度 (gr/cm <sup>3</sup> )	弾性係数 (grf/cm <sup>2</sup> )	
8.5	1.34	25483	

表 - 2 回転バネのバネ定数とカモメ部の曲げモーメント値

回転バネ係数の比 (k/EI)		1/1	1/5	1/20	1/50	1/100	
側壁の最大曲げモーメント		6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	
カモメ部	中壁上端部	外側翼部	17.4	14.1	11.6	10.8	10.5
		内側翼部	1.2	5.4	8.6	9.6	10.0
		中壁上端	16.2	8.7	3.0	1.2	0.5
	中壁下端部	外側翼部	-12.2	-8.4	-5.5	-4.6	-4.2
		内側翼部	5.6	1.5	-1.7	-2.8	-3.2
		中壁下端	-17.8	-10.0	-3.9	-1.8	-1.0

k 回転バネ係数 EI 単位幅当りの中壁の曲げ剛性 (単位 grf・cm)