

(I - 83) 箱形断面トンネルと円形断面シールドトンネルの地震時の変形に関する研究

日本大学大学院 学生 星 秀朋
フェロー 田村 重四郎

1. はじめに

地中構造物は地上構造物と比べて耐震性が高いと考えられていた。兵庫県南部地震の際にも、他の構造物に比べ地下構造物の被害の程度は小さかったものの、トンネルの被害が示された。

トンネル断面の耐震性を検討する場合、トンネルのみならず、トンネル周辺地盤の変形も重要な要素である。本研究では、主に複円形断面シールドトンネルの耐震性を検討するため、2 次元模型を用いて、弾性範囲ではあるが、振動実験を行い、数値解析結果と比較した。

2. 模型寸法・形状

模型は下記の3種類のトンネル模型を使用した。

- ①三連型円形シールドトンネル
- ②二連型円形シールドトンネル
- ③二線式箱形トンネル

(神戸高速鉄道大開駅トンネル断面 1/100)

モデルの断面形状を図-1 に示す。なおモデルの奥行きは450mmで統一した。

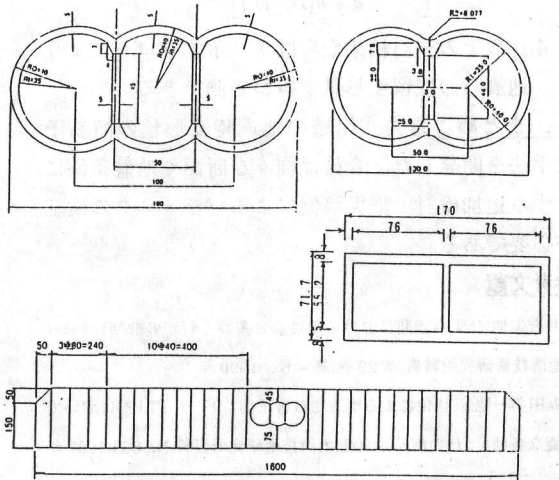
実験モデルの地盤の性状は一樣なものとした。表層地盤にはゼラチン(ニッピゼラチン工業株式会社製「S2100-4」)、トンネル構築にはシリコンゴム(パイエル株式会社製「シロプレン RTV-2K」)を使用した。模型と実物の剛性の比は $1:1 \times 10^4$ 、トンネルと地盤との剛性比は約 50:1 で、地盤が多少固めになっている。模型地盤では実地盤で軟質な表層部 20m をモデル化するものとし、その下部の $N=50$ 以上の地盤を工学的基盤とし固定することにした。ポアソン比は 0.495 としている。、材料の物性を表-1 に示す。

3. 実験方法および結果

モデルを振動台に固定し、トンネル軸直角方向に正弦波で加振した。各モデルの挙動は写真、ビデオ及び加速度計で記録した。

共振実験で得られたモデルの基本振動時のトンネル近傍のぶれ写真を写真-1,2,3 に示す。表-2 は実験で得られた1次及び2次の固有振動数である。

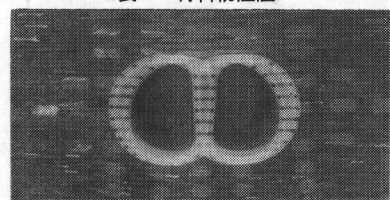
どのモデルでも、トンネルが地盤の変位に対応してほぼ同様な変位を示すことが分かる。ただし、トンネルの上半部では、トンネル周辺地盤とトンネルとの



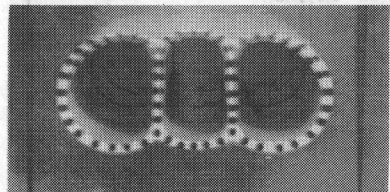
<図-1 トンネルの断面形状の例>

地盤(ゼラチンゲル)				トンネル(シリコンゴム)	
濃度	密度	弾性係数	伝播速度	密度	弾性係数
%	g/cm ³	grf/cm ²	cm/sec	g/cm ³	grf/cm ²
10	1.06	368	438	1.253	19950

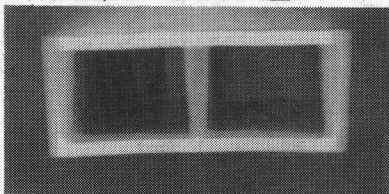
<表-1 材料物性値>



<写真-1 2連型シールドトンネルのぶれ写真>



<写真-3 3連型シールドトンネルのぶれ写真>



<写真-2 2線式箱形トンネルモデルのぶれ写真>

keyword : トンネル・模型試験・地震応答・トンネル中柱

住所 : 〒275-8575 習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部 (TEL/FAX 047-474-2428)

間で、僅かではあるが差異が認められる。

トンネル断面では、2連型シールドトンネルの場合、トンネルが右に最大に変位した際、左側では僅かではあるが下方に変位し、右側は逆に上方に変位していることが認められる。ただし、両円形の接合部(カモメ部)では水平変位のみでほとんど鉛直変位を生じておらず、また回転もほとんど認められない。

2線式箱型トンネルでは、中壁はS字形に変形していて、側壁の変形とは著しく異なっている。また上床版は中壁頂部を軸に回転している。

3連型シールドトンネルでは、2連型シールドトンネルの挙動とよく類似している。左右のカモメ部と中央トンネル上壁では水平変位のみで、ほとんど鉛直変位を生じておらず、回転もほとんど認められない。

4. 解析の方法と結果

解析ではFEMを用い実験モデルの基本振動モードを対象として、動的挙動を調べた。

モデルは平面歪状態を想定し基盤は剛体、モデル地盤の両端は自由端とした。トンネルは梁要素として解析した。図-2,3,4にトンネル周辺部の振幅の分布図を示す。節点の原位置を黒丸、変位後の位置を白丸で示してある。分布図よりトンネルは実験結果と同様な変形をしていることがわかる。

トンネルの断面形状により変位の分布状態が全く異なることが認められた。特に大きな違いは中壁の挙動にある。中壁の耐震性はトンネル耐震性の基本であり、その変形は重要である。そこで図-5に中壁の振幅の分布図を示した。

中壁元付部の変位前・後の座標から、傾きを求め、水平変位量に対する鉛直変位量を算定する。(+)の場合、変位後に鉛直方向上向きに変位したことを示す。またトンネル中壁上端の変位位置から変位方向に対し垂線をおろしたのが破線、実線は中壁の変位前の軸線に平行な線である。

2連型シールドトンネルの場合、中壁上端接合部では回転はほとんど認められない。また破線が実線とほぼ重なっていて、実線に比べて変位が減少する。

2線式箱形トンネルでは、中壁上端接合部及び接合部の左右の節点については、左の節点で2.9%、接合部でほぼ0%、右節点で1.3%の鉛直変位があり、接合部で回転が生じていることがわかる。この回転により、中壁両端の相対水平変位の約2倍の変位が生じている。

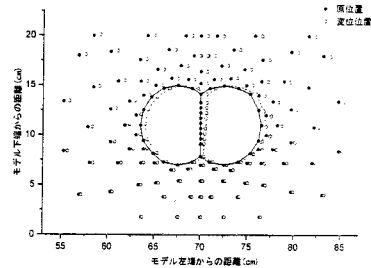
3連型シールドトンネルについては図-4に示すように右側に変位した場合、左側の中壁元付部では(-)1.4%、右側の中壁元付部で1.7%であるから、僅かに回転している。またこの値は2線式箱形トンネルよりは小さいものの、2連型シールドトンネルより大きい。

5. まとめ

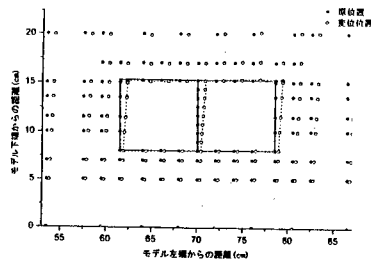
1. 模型振動実験結果と数値解析結果とはよい一致をみた。但し、弾性実験の範囲である。
2. シールドトンネルの中壁の端部はほとんど回転せず、箱型トンネルの場合と大きく異なる。
3. トンネル断面の形状及び構造は耐震性に大きな影響を与える。

	2連型シールド	2線式箱形	3連型シールド
基本振動数	3.78Hz	4.3Hz	4.515Hz
2次固有振動数	11.7Hz	13.5Hz	11.7Hz

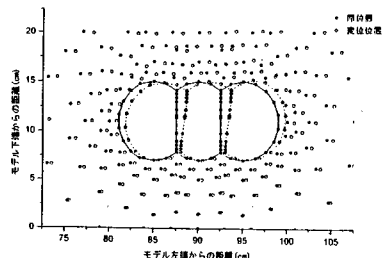
<表-2 固有振動数>



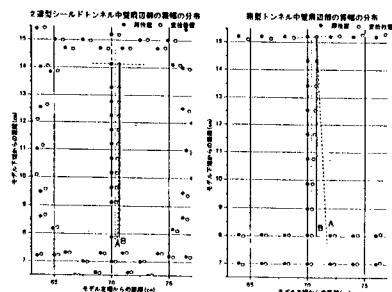
<図-2 シールドトンネル周辺部の振幅の分布>



<図-3 箱形トンネル周辺部の振幅の分布>



<図-4 3連型シールドトンネル周辺部の振幅の分布>



<図-5 中壁の振幅の分布>