

I - B 378

2 連型円形シールドトンネルの地震時の挙動に関する実験的研究

日本大学 正 田村 重四郎

東京電力 正 牧野 達謙

日本大学 学 星 秀朋

東大生研 正 小長井 一男 三神 厚 片桐 俊彦

1 はじめに

近年都市部の地下利用が進み、大型かつ複雑化した地中構造物の建設が増えてきている。トンネル断面の耐震設計を行う場合、周辺地盤の変形が重要であることはこれまでの研究より明らかになっている。また、地盤の変形分布に対応してトンネルが変形した時、トンネル直周辺の地盤の性質がどう変わるかが重要となる。

本研究では線形の範囲ではあるが、地盤と地中構造物との相互関係を調べるため、2次元模型を用いて振動実験を行い数値解析を実施したので報告する。

2 模型寸法、材料

模型は2次元模型で、実際の三連型シールドトンネルの断面を見本として、これをめがね型トンネル断面に変形したものである。モデルスケールは1/80となっており、地盤材料はゼラチンゲル(ニッピゼラチン工業(株)S2100-3)、構築はシリコンゴム(バイエル(株)シロプレン RTV-21C)を使用した。また、地盤が透明材料で作られているので、揺れを見やすくするため地盤中にゴム紐を設置した。模型と実物の剛性の比は $1:1 \times 10^4$ 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。モデルの断面形状は図-1、材料の物性は表-1に示す。

3 実験方法

モデルを振動台に乗せて固定し、トンネル軸直角方向に正弦波で加振する共振実験と兵庫県南部地震における神戸港第8突堤での加速度波形を入力してその挙動を調査する加振実験を行った。各モデルの挙動は写真、ビデオ及び加速度計で記録した。

4 実験結果

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は写真-1に示してある。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。モデルの全体で地盤のせん断一次振動モードが生じていて、トンネルも地盤の変位に対応してほぼ同様な変位を示すことがわかった。ただし、トンネルの上半部での水平変位量については、トンネルより2cm離れた地盤とトンネルの間では、僅かではあるが差異が認められる。この間で相対的変位により歪が発生していることが推測される。トンネル断面では、トンネルの斜め上方部分は右に最大変位した際、左側で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、これは外側部分のみ顕著にあらわれており、両円形の接合部(カモメと呼ばれている)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。トンネル中壁は両端固定の梁の変形に似た形で変形することになる。

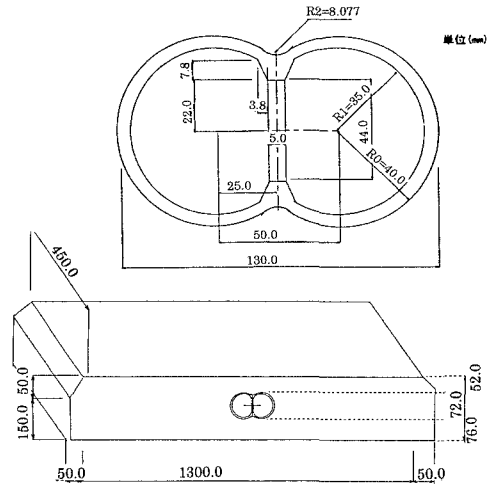


図-1 断面形状

表-1 材料物性値

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

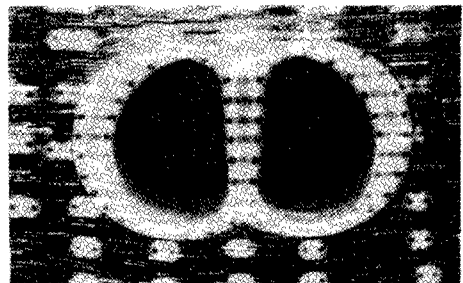


写真-1 モデルの基本振動時のぶれ写真

表-2 モデルの固有振動数

基本振動数	3.78Hz
2次固有振動数	11.7Hz

5 解析の方法と結果

モデルを弾性体とし、有限要素法で解析した。地盤は平面歪み状態、トンネル構造は梁要素におきかえた。三角形要素に分割し、要素数は 332、接点数は 212 である。物性値は実験で得られたものを使用した。また、モデルの基盤は剛体とし、端部は自由端としている。図-2 に基本振動モードを示す。モードより実験結果とよく一致していることが分かる。FEM により得られた基本振動モードからトンネル周辺地盤の主応力及び最大せん断応力の値を求め、ベクトル的に示したものが図-3、4 である。なお横軸はモデルの中央部から±20cm(モデル左端から 50cm~90cm)の範囲についてのみ図に示した。これらを見てみると、トンネル周辺地盤に応力が集中しているのが認められる。

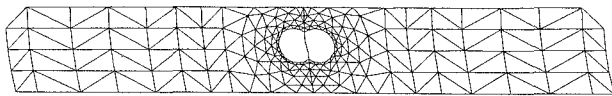


図-2 モデルの基本振動モード

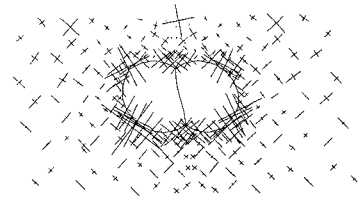


図-3 シールドトンネル周辺地盤の主応力分布図

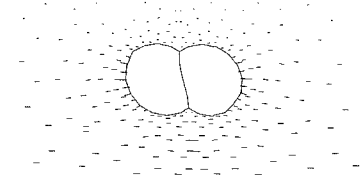


図-4 シールドトンネル周辺地盤のせん断応力分布図

6 考察

地下構造物は、周辺地盤の地震時変形・変位に追従して変形する。また、トンネルと地盤の剛性差によって構造物周辺の地盤には地盤とトンネルの間に力の平衡を保つために歪みが発生する事が認められる。

以下に参考として、2線式箱型トンネル断面を用いて行った振動実験、数値解析の結果を掲載する。モデルの断面形状を図-5 に示す。地盤、構築に使用した材料は本実験と同じ物である。写真-2 に示す箱型トンネルの基本振動モードより、モデルの中壁は 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た。これは地盤に接している側壁の回転変形に伴って、これと剛結している上床版が中壁頭部を中心に回転するため、中壁上端部がモーメントを増加させる方向に回転するためと推測される。以上のことより、箱型トンネルでは、中壁が S 字に変形するのに対し、カモメ部分がほとんど回転しない2連型円形シールドトンネルの方が接合部にかかるモーメントは小さくなる事が推測される。

箱型トンネルモデルでトンネルの極周辺地盤において、トンネルの存在により比較的大きい歪が発生することが示されている。そこで土の剛性の歪依存性を考慮して、極周辺地盤の剛性を歪のレベルに対応して、 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線（建設省土木研究所資料 1778 号）を参考に低下させ、どのような影響を与えるかについて検討した。収束前と後の主応力の分布を図-6、7 に示す。これによりトンネルに作用する応力は歪依存性を考慮すると減少することが分かる。応力分布が異なる2連型円形シールドトンネルについてもこのことを検討する必要がある。

この研究で日本大学生産工学部学生、広瀬 友明、横手 裕明、若松 洋介の 3 君の協力を得たので記して謝意を示します。

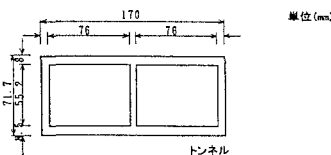


図-5 断面形状

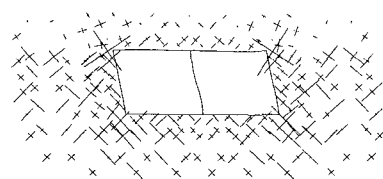


図-6 箱型トンネル周辺地盤の主応力分布図(収束前)

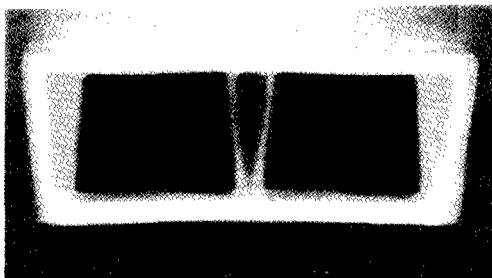


写真-2 モデルの基本振動時のぶれ写真

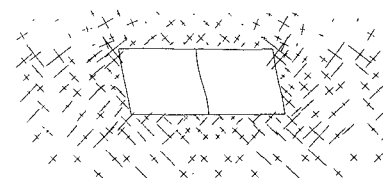


図-7 箱型トンネル周辺地盤の主応力分布図(収束後)