

立坑を有するシールドトンネルの地震時挙動に関する研究

京都大学大学院 正会員 Freddy Duran C.
 京都大学大学院 学生会員 丸尾 陽平
 京都大学大学院 正会員 清野 純史
 京都大学大学院 正会員 常井 友也

1. 研究の背景と目的

一般的に地下構造物は地震被害を受けにくいとされているが、兵庫県南部地震では、シールドトンネルと立坑の接続部に被害が生じた。本研究では、立坑に接続されたシールドトンネルを想定し、3次元有限要素法によって動的解析を行い、立坑を有するシールドトンネルの地震時挙動について明らかにすることを目的とする。

2. 解析手法と解析モデル

2.1 解析手法と解析モデル

本研究は上述したように3次元有限要素法を用いて動的解析を行う。また、本研究では、シールドトンネルとそれに接続された立坑を対象とした。また、立坑がシールドトンネルに及ぼす影響を考察するために、シールドトンネルのみのモデル、立坑のみのモデル、自由地盤モデルも解析対象としてモデル化した。モデル全体および、各構造物のモデル寸法を図-2.1に、地盤および構造物の物性値を表-2.1に示す。

2.2 入力地震動

本研究では構造物の基本的な振動特性および構造物間の相互作用の影響を知るために、振幅 100[gal]、周波数 $f=1.67$ [Hz]の正弦波を入力した。また、立坑を有するシールドトンネルの地震応答を明らかにするために、図-2.2に示す地震動を入力した。入力方向は正弦波、地震波ともにトンネル軸直角方向(X軸方向)、トンネル軸方向(Y軸方向)に入力した。

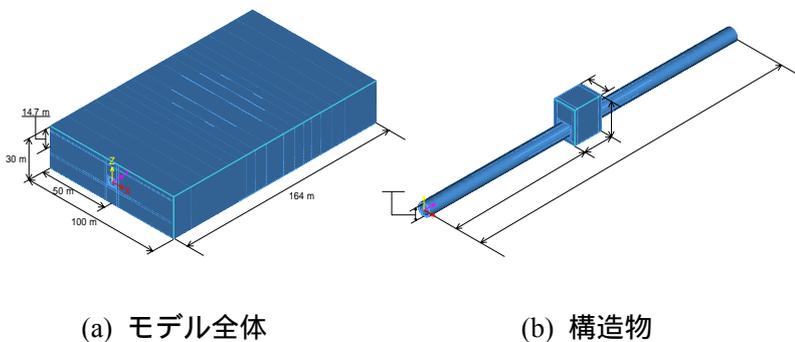


図-2.1 モデル寸法

表-2.1 解析諸元

	地盤	立坑	シールドトンネル
単位体積重量(kN/m ³)	17.66	24.03	24.03
ポアソン比	0.49	0.167	0.167
せん断波速度(m/s)	200	2050	574
弾性係数(kN/m ³)	-	2.45×10^7	1.92×10^6
レイリー減衰 α	0.516		
β	0.0037		

3. 動的相互作用の影響

3.1 軸直角方向の動的相互作用

本節では軸直角方向に正弦波を入力した際の動的相互作用について考察する。着目する点をととして、シールドトンネル上端にてせん断ひずみ Y_{xy} が最大になる点((X,Y,Z)=(0, 72, 3))における、変位応答時刻歴およびひずみ Y_{xy} 応答時刻歴を図-2.3に示す。X軸方向の変位は、最大は $T=9.86$ [sec]で立坑接続モデルが-0.93[cm]でシールドトンネルのみと自由地盤モデルが-1.04[cm]で約89[%]の値となった。またせん断ひずみ Y_{xy} においては、立坑接続モデルのみ非常に大きな値となっており、

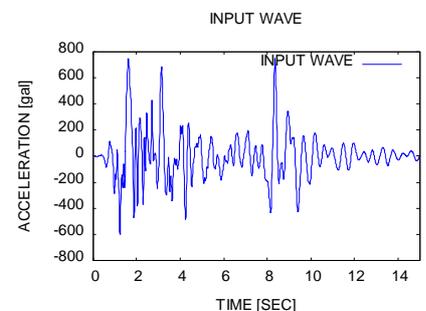


図-2.2 入力地震動

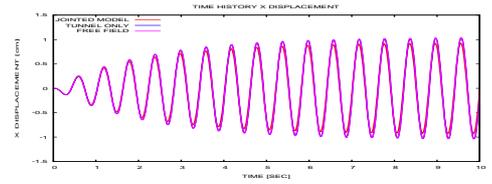
キーワード シールドトンネル 立坑 相互作用 地震応答解析

連絡先 〒615-8246 京都府京都市西京区京都大学桂 TEL 075-383-3252

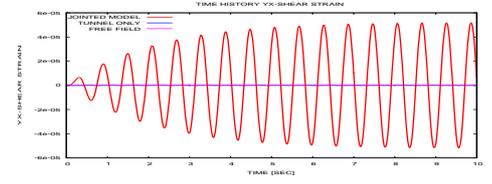
A 点においては立坑により変位が拘束され、また立坑のロッキングにより大きなひずみ ϵ_{xy} が生じていることが考えられる。

3.2 軸方向の動的相互作用

軸直角方向の振動と同様に、目する点をととして、シールドトンネル上端にてトンネル軸方向軸ひずみ ϵ_{yy} が最大になる点((X,Y,Z)=(0, 68, 3))における、変位応答時刻歴およびひずみ ϵ_{yy} 応答時刻歴を図-2.4 に示す。変位応答は立坑接続モデルで-0.87[cm]、シールドトンネルのみのモデルで-0.97[cm]、自由地盤で-1.03[cm]の Y 軸方向変位が生じており、立坑接続モデルはトンネルのみのモデルに比べ、94[%]の変位となっている。また Y 軸方向軸ひずみ ϵ_{yy} はトンネルのみのモデル並びに自由地盤とは正負反対のひずみが生じている。これは前節に示した通り、立坑の Y 軸方向のロッキングの影響により軸ひずみに位相差が生じたものと考えられる。



(a) 変位応答時刻歴



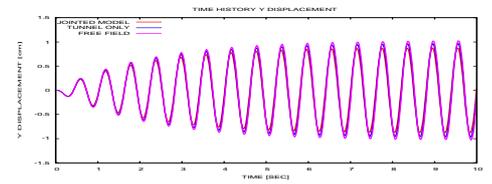
(b) せん断ひずみ ϵ_{xy} 応答時刻歴

図-2.3 軸直角方向

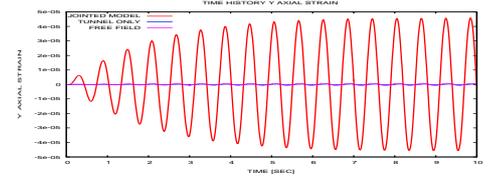
4. 立坑を有するシールドトンネルの地震応答

4.1 軸直角方向の地震応答

トンネル軸直角方向に振動を加える場合、立坑のロッキングとシールドトンネルの回転変形により、立坑接続部付近にねじれが生じていると考えられる。そこで図-3.1 にねじれモーメント分布図を示す。図-3.1 より、ねじれモーメントの値は Y=73[m]に近づくにつれ大きくなり、は Y=73[m]の位置にてねじれ応力の値は 1129[kN/m²]となった。シールドトンネルのねじれ応力の値に対しては、コンクリートの許容ねじり応力は 3200~6000[kN/m²] となっており、破壊には至っていないものと考えられるが、立坑接続部付近に比較的大きなねじれ応力が発生することは明らかである。



(a) 変位応答時刻歴



(b) 軸ひずみ ϵ_{yy} 応答時刻歴

図-2.4 軸方向

4.2 軸方向の地震応答

トンネル軸方向に振動を加える場合、立坑接続部付近に大きな軸応力が発生する。そこで図-3.2 に軸応力分布図を示す。軸応力はひずみ同様に Y=68[m]でシールドトンネル約 1500[kN/m²]の引張が、下端では 750[kN/m²]の圧縮が生じている。軸応力の値に対しては、シールドトンネル設計・施工指針にあるように、設計基準強度によってセグメント用の圧縮応力度が定められており、その値は 16000~22000[kN/m²]となっているため、今回算出された値においては軸方向にも軸力による破壊には至っていないものと考えられるものの、立坑接続部付近に軸応力が集中することは明らかである。

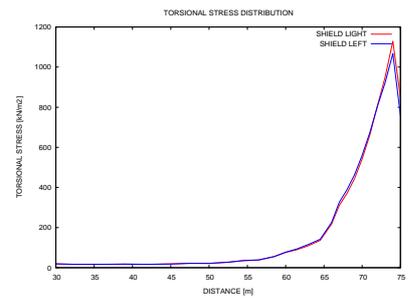


図-3.1 ねじれ応力分布図

5. 結論

本研究では正弦波により構造物間の相互作用について示し、実際の地震動を入力した際の立坑を有するシールドトンネルの地震挙動について明らかにした。しかし現状では、異種構造物間の耐震性能や限界状態ならびに損傷状態および横断・縦断面に対する照査基準は明らかになっていない。そのため、今後は本研究で取り扱ったような立坑を有したシールドトンネルの動的解析を積極的に行い、ケーススタディを増やすことで照査基準を明らかにすることが望まれる。

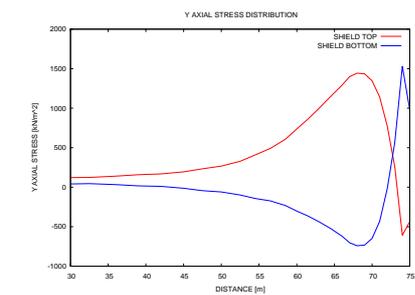


図-3.2 軸応力分布図