

鉄道シールドトンネル横断方向における地震時軸力変動の影響に関する一考察

中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 ○張 洋 坂田 智基 室谷 耕輔
(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 津野 究 舩越 宏治 藤田 輝一

1. はじめに

鉄道シールドトンネルは、これまでの大規模地震に対しても大きな被害事例がなく、一般的に地震に強い構造物とされている。一方、シールドトンネルはアーチアクションにより軸力が卓越する構造物であるが、地震時作用による軸力変動はシールドトンネルの性能に影響し、その影響がもたらす地震時応答の変化程度を評価する研究が少ない。また、構造解析においては、軸力変動の影響を省略して常時平均軸力を用いた部材剛性で検討する手法も考えられるが、軸力変動を考慮する場合との差はまだ解明されていない。

そこで本研究では、鉄道シールドトンネル横断方向を対象として応答変位法による試計算を行い、軸力変動が地震時応答に与える影響と、常時平均軸力と軸力変動を考慮する部材剛性を用いた場合の差に着目して、異なるトンネル諸元と地盤条件のケースを設定し比較検討する。

2. 検討モデル

図-1、表-1に示すとおり、検討モデルは土被り15m、単線(内径 6.0m)と複線(内径 8.8m)を想定したシールドトンネルとし、地盤条件は良質地盤である砂質土(N=25)と軟弱地盤である粘性土(N=3)とする全4ケースについて検討する。

3. 検討手法及び条件

検討手法として、地中構造物の耐震設計で用いられることが多い応答変位法を用いる(図-2)。設計地震動は、鉄道耐震設計基準¹⁾のL2地震動スペクトルⅡとし、GHE-Sモデルを用いた一次元地盤応答解析より地盤応答を算定する。表-2に示すとおり、トンネル上下端の相対変形角は1/64～1/111である。構造モデルは、隣接する3リングを考慮した梁ばねモデルを用いる。

地盤ばねについて、各機関で様々提案されているが、本検討では鉄道標準「開削トンネル」の地盤ばね²⁾を設定する。分布幅は円心から左右 45 度の範囲とする(図-3)。荷重については、土被りから算定される初期断面力に対して、地震時のトンネル上下端の地盤変位、周面せん断力を考慮する。部材モデルについて、概念図を図-4に示す。セグメント本体はテトラリニアモデルでモデル化し、軸力変動を考慮した場合と常時平均軸力で考慮した場合の2パターンを用いる。セグメント継手及びリング継手は常時平均軸力により算出した線形ばねモデルを用いる。

キーワード:シールドトンネル, 耐震設計, 応答変位法, 軸力変動

連絡先:〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-10-13 中央復建コンサルタンツ(株) TEL:03-3511-2006

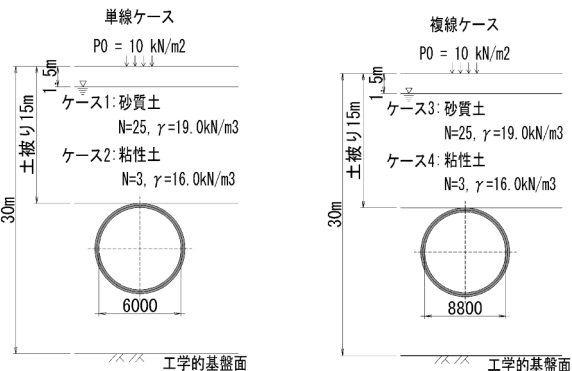


図-1 検討モデル

表-1 検討ケース

ケース	トンネル諸元				地盤条件		
	内径 (m)	セグメント本体			土質	N値	γ (kN/m ³)
		厚さ(mm)	幅(m)	配筋(SD345)			
1	6.0	300	1.2	外側D16-10 内側D16-10	砂質土	25	19
2	6.0	350	1.2	外側D19-12 内側D22-10	粘性土	3	16
3	8.8	400	1.6	外側D22-8 内側D22-8	砂質土	25	19
4	8.8	450	1.6	外側D25-13 内側D25-13	粘性土	3	16

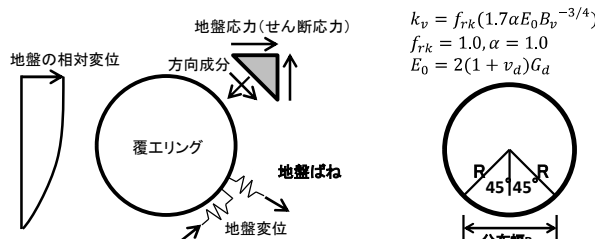


図-2 応答変位法の概念図

図-3 地盤ばねの設定

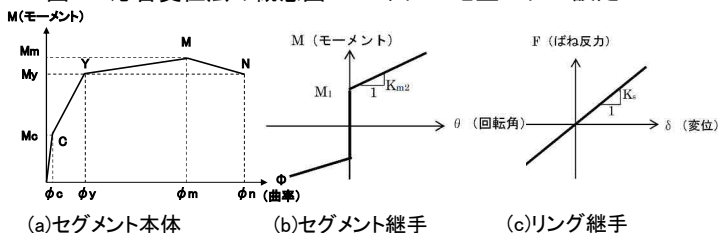


図-4 検討モデルの概念図

表-2 地盤変位解析結果

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
最大相対変位 (cm)	5.7	8.6	12.4	14.4
変形角	1/111	1/74	1/74	1/64

4. 試算結果と比較

(1)軸力の変動比率:図-5に各ケースの軸力図と軸力変動比率を示す。常時平均軸力に対して、単線モデル(ケース1,2)では約300~400kN、複線モデル(ケース3,4)では約600~1,000kNの軸力差が生じている。しかし、軸力変動比率については、トンネルモデルや地盤条件による差、または軸力条件による差はほとんどなく、常時平均軸力に対して約0.6~1.5倍となっており、最大5割程度の軸力の変動が生じている。このように常時軸力に対して地震時の軸力が5割も変動するため、地震時における部材照査は、軸力の変動に留意する必要があると考えられる。

(2)断面力比較:図-6に各ケースの常時・地震時断面力図、図-7にセグメント本体の常時に対する地震

時断面力の増加比率を示す。常時断面力に対する地震時断面力の変化を図-7で確認すると、トンネル断面形状や地盤条件による影響が小さく、全ケースにおいて曲げモーメントでは約1.5~2.3倍、せん断力では約1.9~2.6倍となっている。一方、軸力変動を考慮する場合と考慮しない場合(図-7の青と赤)については、曲げモーメント、せん断力とも0.2ポイント程度の小さい差となっている。

セグメント継手においては、図-8に示すように、セグメント本体と同様にトンネル断面形状や地盤条件によらず、全ケースではほぼ同様の増加比率を示している。一方、軸力変動を考慮する場合と考慮しない場合(図-8の青と赤)については、セグメント本体と同様に曲げモーメント、せん断力とも0.2ポイント程度の小さい差となっている。リング継手においては、せん断力は約2.3~4.8倍の大きな増加比率を示しているが、その値は小さいことから、影響は小さいと考える。

5. まとめ

本研究では、鉄道シールドトンネル横断方向を対象として応答変位法による試算を行い、軸力変動が地震時応答に与える影響と、常時平均軸力と軸力変動を考慮する部材剛性を用いた場合の差に着目して、異なるトンネル諸元と地盤条件のケースを設定し比較検討した。

今後、様々なトンネル及び地盤条件での試設計を実施して、限界状態設計法への移行に際しての検討の深度化を実施していく予定である。

参考文献

- 1)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 2012.9
- 2)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル, 2001.3

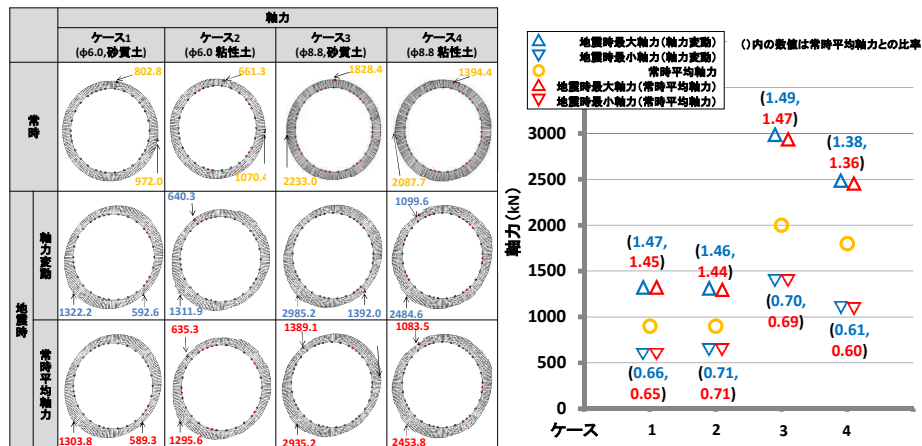


図-5 軸力図と軸力変動比率

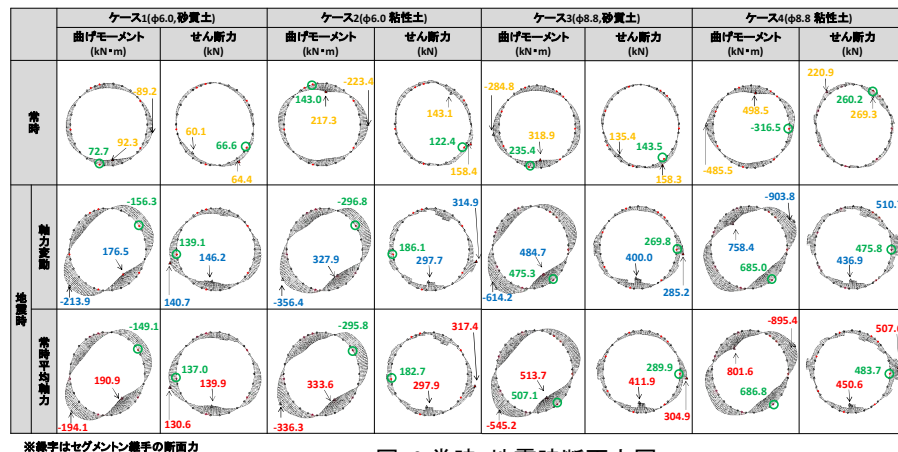


図-6 常時・地震時断面力図

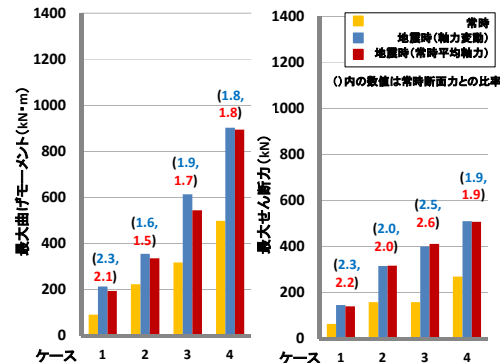


図-7 セグメント本体の断面力の増加比率

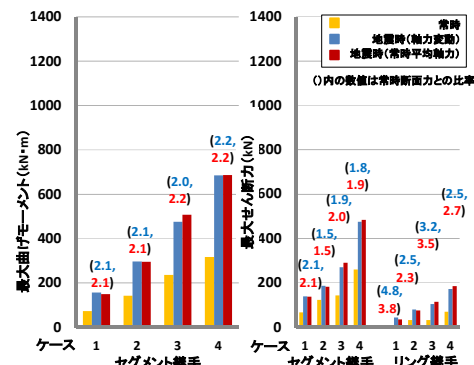


図-8 継手の断面力の増加比率