

鉄道シールドトンネル横断方向における地震時応答に関する一考察

中央復建コンサルタンツ(株)
(公財)鉄道総合技術研究所

正会員 ○中里 大樹 坂田 智基 室谷 耕輔
正会員 津野 究 船越 宏治 木下 果穂

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。しかし、トンネル周辺の地盤条件や地震動の性質によっては、地震時応答が大きくなる可能性もあるが、その応答特性は明確にはなっていない。

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、地盤条件やトンネルと基盤面の位置関係が地震時応答に与える影響について比較検討する。

2. 検討モデル及び検討ケース

図-1に検討モデル、表-1に検討ケースを示す。検討モデルは、土被り15m、内径φ8.8mの複線を想定したシールドトンネルとする。また、トンネル位置と地盤条件の違いによる影響を検討するため、シールドトンネルが表層地盤内となるケースとインピーダンス比が大きくなる基盤内に1/2埋没するケースに対して、それぞれ砂質土(N=25)と粘性土(N=3)の全4ケースについて検討する。

3. 検討手法及び条件

検討手法としては、隣接する3リングを考慮した梁ばねモデルに対して、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約1/60～1/90である。

地盤ばねについては、各機関で様々な提案されているが、本検討ではトンネルの変形モードに応じて計算される理論ばね(図-2)²⁾を設定する。荷重については、常時荷重による初期断面力に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。部材モデルの概念図を図-3に示す。セグメント本体は軸力変動を考慮したテトラニアモデル、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

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

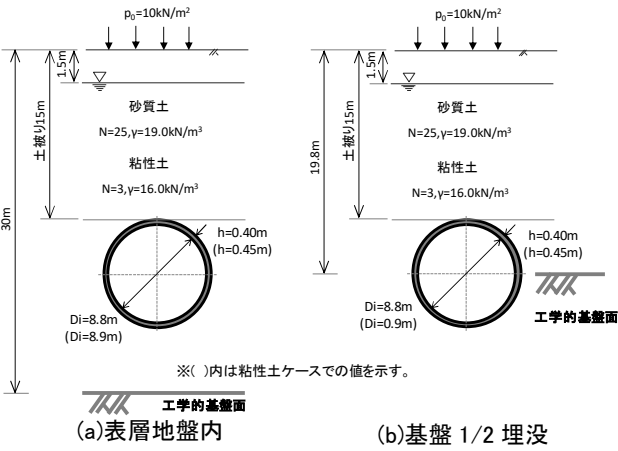


図-1 検討モデル

ケース	トンネル諸元		地盤条件		
	トンネル位置	セグメント諸元	地盤条件	土被り	地下水位
ケース1	表層地盤内	b=1.60m h=0.40m	砂質土(N=25) γ=19kN/m³	15m	G.L.-1.5m
ケース2	基盤1/2埋没	D22-8(内・外)			
ケース3	表層地盤内	b=1.60m h=0.45m	粘性土(N=3) γ=16kN/m³		
ケース4	基盤1/2埋没	D22-13(内・外)			

表-1 検討ケース

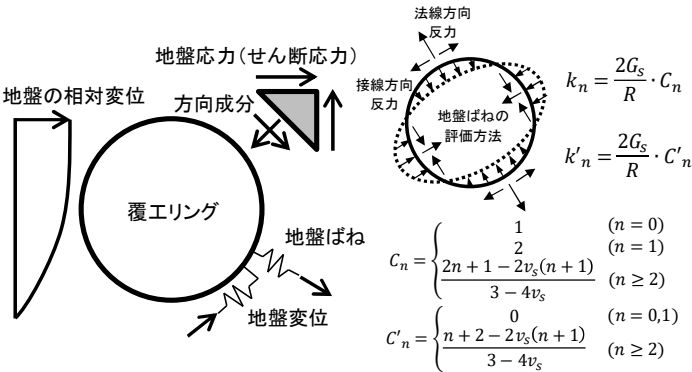


図-2 応答変位法の概念図

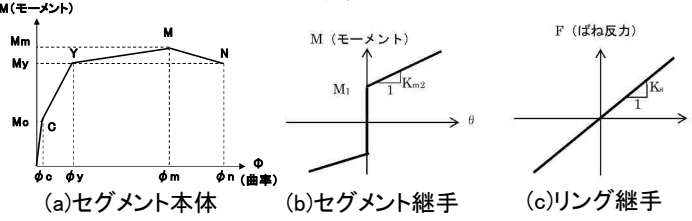


図-3 部材モデルの概念図

表-2 各ケースの地盤解析結果

	砂質土地盤		粘性土地盤	
	ケース1 表層地盤内	ケース2 基盤1/2埋没	ケース3 表層地盤内	ケース4 基盤1/2埋没
トンネル上端変位(cm)	22.4	10.4	22.7	14.9
トンネル下端変位(cm)	9.9	0.3	8.3	0.0
相対変位(cm)	12.5	10.1	14.4	14.9
相対変形角	1/74	1/91	1/64	1/62

4. 試算結果

(1)最大断面力の比較: 図-4 に砂質土モデル(ケース 1,2)の断面力図を示す。常時断面力とケース 1 の最大断面力を比較すると、曲げモーメント及びせん断力は 2 倍程度、軸力は 0.7~1.4 倍程度となっている。また、ケース 2 においては、インピーダンス比が大きくなる表層地盤と基盤の境界部に、大きな応力集中が生じている。そのため、常時断面力と比較すると、曲げモーメントは 2 倍程度、軸力は 0.5~1.4 倍程度となっており、特に、せん断力については、4 倍程度と非常に大きい増加率が表層地盤と基盤の境界部に生じている。

図-5 に粘性土モデル(ケース 3,4)の断面力図を示す。常時断面力とケース 3 の最大断面力を比較すると、曲げモーメント及びせん断力は 2 倍程度、軸力は 0.8~1.3 倍程度となっている。また、常時断面力とケース 4 の最大断面力を比較すると、曲げモーメントは 2 倍程度、軸力は 0.6~1.4 倍程度、せん断力についてはケース 2 と同様に、表層地盤と基盤の境界部に 4 倍程度と非常に大きな値を示している。

一方、砂質土と粘性土の違いに着目すると、ケース 1 と 3 は曲げ、せん断ともに 2.0 倍程度の増加率であり、また、ケース 2 と 4 も曲げは 3.0 倍程度、せん断は 4.5 倍程度と同様の増加率を示している。

以上より、砂質土と粘性土の違いよりも、シールドトンネルが表層地盤と基盤の境界部に位置するといったインピーダンス比が大きくなる条件のほうが、地震時応答に与える影響が大きいことがわかる。

(2)継手の最大断面力の比較: 図-6 にセグメント本体と継手の最大断面力比較図を示す。セグメント継手の断面力の増加率について、表層地盤内(ケース 1,3)では砂質土、粘性土ともに曲げ、せん断が 2 倍程度であるが、インピーダンス比の大きい基盤 1/2 埋没(ケース 2,4)では砂質土、粘性土ともに曲げ、せん断が 3~4 倍程度であることが確認できる。

以上より、セグメント継手においても表層地盤内ケースよりも基盤 1/2 埋没ケースの断面力のほうが大きいことがわかる。これは、(1)でも述べたが、インピーダンス比が大きい表層地盤と基盤の境界部にセグメント継手が配置されているため、応力が集中したと考えられる。なお、リング継手においては、3~5 倍程度と大きな増加率を示しているが、その値は小さいことから、影響は小さいと考える。

5. おわりに

本研究では、鉄道シールドトンネル横断面を対象として応答変位法による試算を行い、地盤条件やトンネル位置の違いが地震時応答に与える影響について比較検討した。

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)土木学会: トンネルライブラリー第 19 号 シールドトンネルの耐震検討, 2007.12.

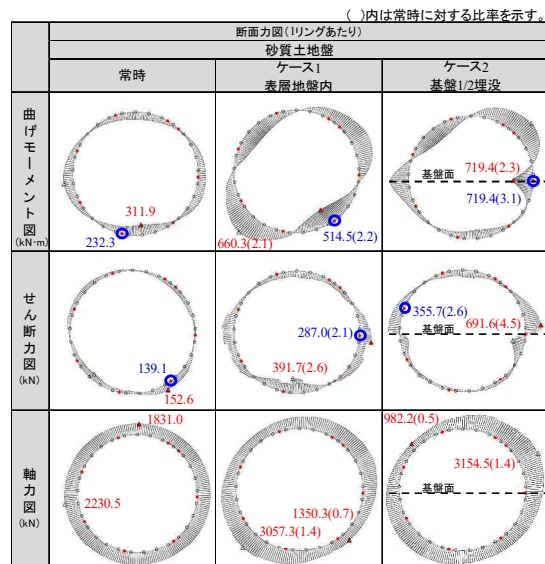


図-4 断面力図(砂質土モデル)

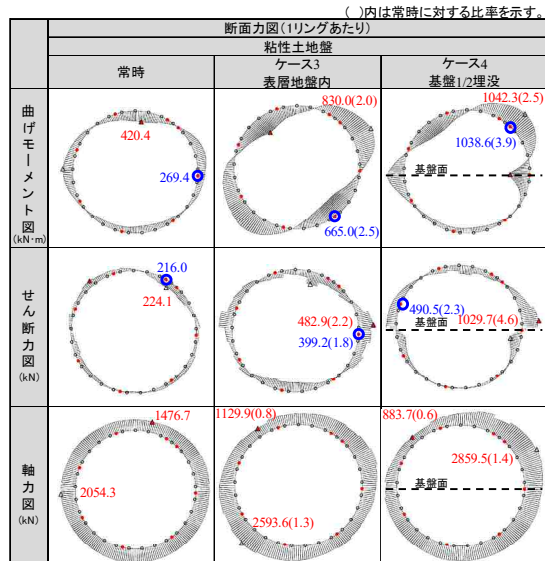


図-5 断面力図(粘性土モデル)

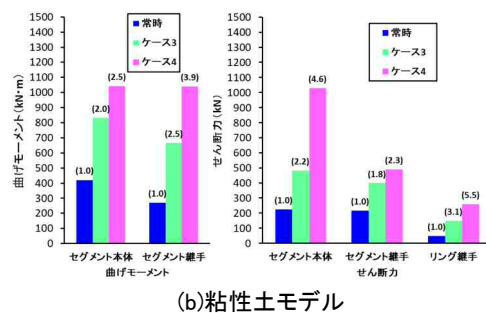
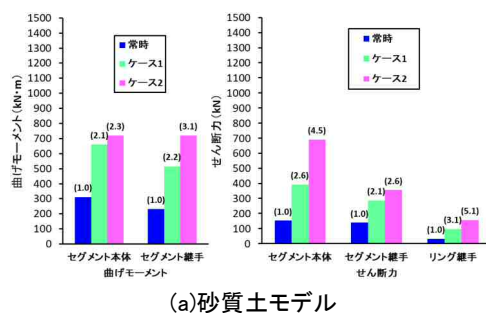


図-6 セグメント本体と継手の最大断面力比較図