

立坑に接続するシールドトンネルの縦断方向耐震検討

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

1. はじめに

シールドトンネルと立坑との接続部は、縦断方向に剛性が極端に変化することや、立坑の挙動の影響を受けることから、地震の影響を受けやすいと考えられる。そこで、立坑に接続する単線シールドトンネルを対象にトンネル縦断方向の地震時の検討を行った。

2. 検討概要

(1) 検討対象

検討ケースは図 1 に示すとおり設定した。単線シールドトンネル (トンネル外径 $D=6.6\text{m}$ 、セグメント高さ $h=30\text{cm}$) を検討対象とし、トンネルが砂質土 ($V_s=230\text{m/s}$) に位置するものとした。シールドトンネルの土被りは 15m とし、地表面から立坑底面までの深さが 25m 、また、地表面から基盤層 ($V_s=400\text{m/s}$) までの深さを 30m とした。

(2) 構造解析モデル

構造解析モデルは、図 2 に示すような「縦断方向はりーばねモデル」を用いた。このモデルでは、セグメントリングをはりとし、リング継手面を軸方向ばね、回転ばねおよびせん断ばねでモデル化した。また、立坑をはりとし、立坑接続部については、軸方向ばね、回転ばねおよびせん断ばねでモデル化した。ここで、立坑接続部のモデル化については、図 3 に示すようにセグメントと坑口コンクリートを長ボルトで結合する構造を考えた。セグメント側 (図中の㉞) のばねと立坑側 (図中の㉟) のばねを直列ばねとして足し合わせた合成ばねとしてモデル化した。表 1 に立坑接続部の合成ばねの組合せを示す。セグメント側は、リング継手を考慮した非線形のばねとし、立坑側について、合成ばね A は、剛結とし、合成ばね B は、アンカー定着部のコーン破壊を考慮した非線形のばねでモデル化した。図 4 に合成ばね B の考えで算出した立坑接続部の回転特性を示す。

キーワード シールドトンネル、耐震設計、縦断方向

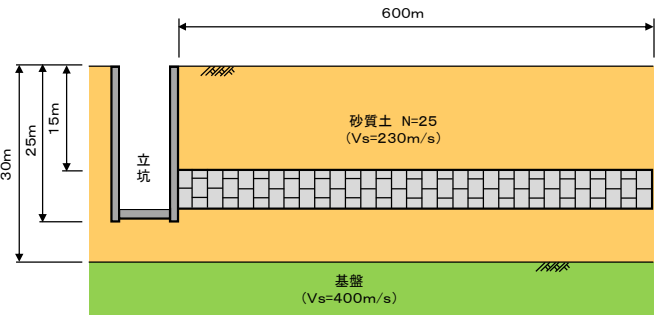


図 1 検討ケース

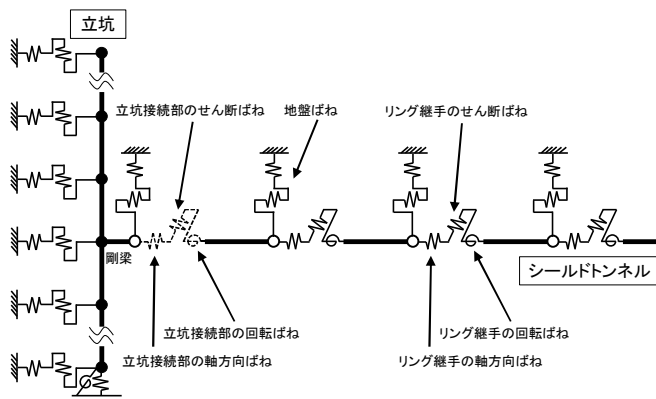


図 2 縦断方向はりーばねモデル

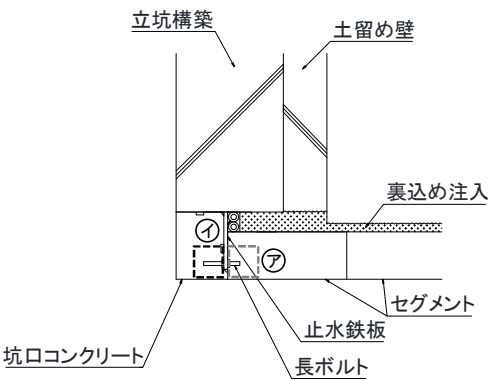


図 3 立坑接続部の例

表 1 立坑接続部の合成ばねの組合せ

検討ケース	セグメント側：㉞	立坑側：㉟
ばね A	リング継手相当のばね特性	剛結
ばね B	リング継手相当のばね特性	アンカー筋相当のばね特性

(3) 解析手法

一次元地盤応答解析で得られた時刻歴変位を、地盤ばねを介して「縦断方向はりばねモデル」に入力した。地盤応答解析については、GHE-S モデルを用いた逐次解析法により時刻歴応答解析を行った。設計地震動は、L2 地震動スペクトルⅡを用いた¹⁾。

3. 検討結果

構造解析より得られた立坑およびセグメント本体の鉛直曲げモーメントを図 5 に示す。立坑接続部に着目すると、鉛直曲げモーメントは、合成ばね A では、9322kN・m、合成ばね B では 5458kN・m となっており、立坑側のばねをアンカー筋相当でモデル化した合成ばね B の方が小さい結果となった。

同様に、立坑およびセグメント本体の水平曲げモーメントを図 6 に示す。立坑接続部に着目すると、水平曲げモーメントは、合成ばね A では、5074kN・m、合成ばね B では 4826kN・m となり、立坑接続部のばね特性 (図 4) の設定による差はみられなかった。

つぎに、トンネル標準示方書²⁾を参考に限界状態設計法の考え方で、立坑接続部の照査を行った例を表 2 に示す。この結果、立坑側のばねをアンカー筋相当でモデル化した合成ばね B を用いた場合では、すべての項目にておいて、照査を満足する結果となった。

4. まとめ

立坑に接続するシールドトンネルを対象に縦断方向の耐震検討を行った。今後は、地盤条件や立坑接続部の構造を変え、傾向を把握することを考えている。

参考文献

- 国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），pp. 47, 2012.
- 土木学会：トンネル標準示方書[シールド工法編]，限界状態設計法編，pp. 340, 2016.

表 2 立坑接続部の照査結果の例

	検討ケース		合成ばねA	合成ばねB
	合成ばねの組合せ		セグメント側—リング継手 立坑側—剛結	セグメント側—リング継手 立坑側—アンカー筋
立坑接続部	軸引張力 N_{tmax}	(kN)	1,477	1,397
	引張耐力 N_{tu}	(kN)	7,501	7,501
	$\gamma \cdot N_{tmax}/N_{tu}$	—	0.20	0.19
	鉛直曲げモーメント M_{vmax}	(kN・m)	9,322	5,458
	曲げ耐力 M_{ud}	(kN・m)	8,579	8,579
	$\gamma \cdot M_{vmax}/M_{ud}$	—	1.09	0.64
	水平曲げモーメント M_{hmax}	(kN・m)	5,074	4,826
	曲げ耐力 M_{ud}	(kN・m)	8,579	8,579
	$\gamma \cdot M_{hmax}/M_{ud}$	—	0.59	0.56
	鉛直せん断力 S_{vmax}	(kN)	4,220	3,812
	せん断耐力 S_u	(kN)	4,812	4,812
	$\gamma \cdot S_{vmax}/S_u$	—	0.88	0.79
	水平せん断力 S_{hmax}	(kN)	2,746	2,769
	せん断耐力 S_u	(kN)	4,812	4,812
	$\gamma \cdot S_{hmax}/S_u$	—	0.57	0.58

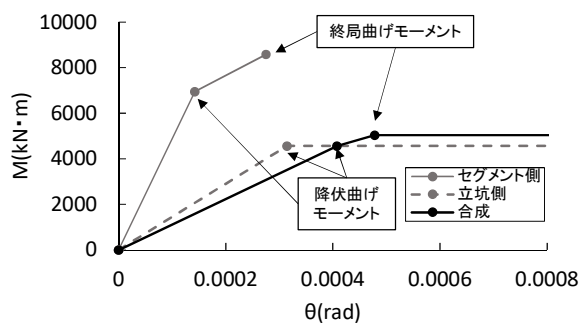
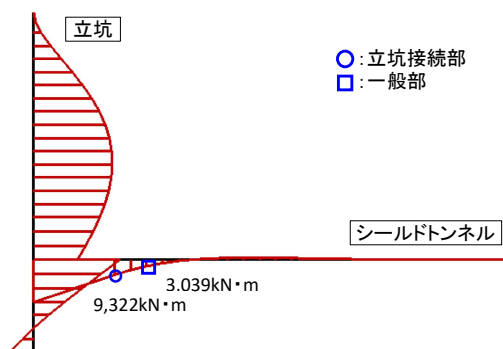
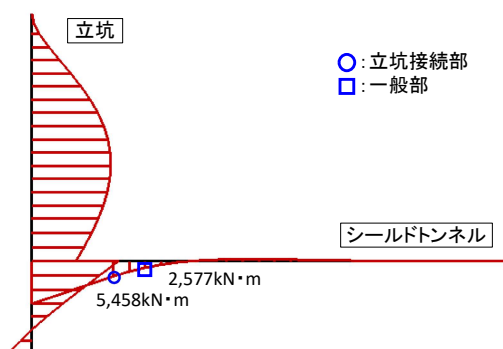


図 4 立坑接続部の回転特性（合成ばね B）

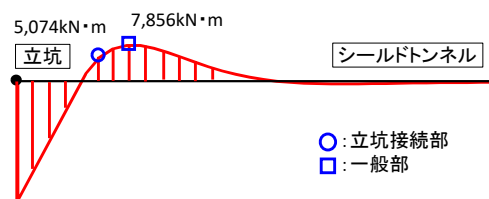


(a) 合成ばね A（立坑側：剛結）

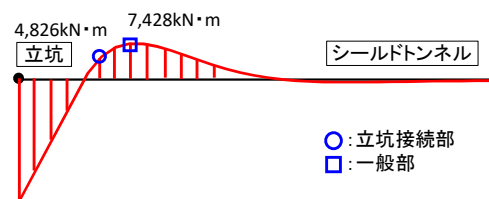


(b) 合成ばね B（立坑側：アンカー筋）

図 5 鉛直曲げモーメント



(a) 合成ばね A（立坑側：剛結）



(b) 合成ばね B（立坑側：アンカー筋）

図 6 水平曲げモーメント