

地盤との剛性差が大きい開削トンネルの地震時挙動の FEM 解析
ー滑動のモデル化の有無による函体表面力の違いー

中央大学 学生会員〇七里 蒼 正会員 西岡英俊
中央大学大学院 学生会員 伊野 将矢
(株)HRC 研究所 正会員 島田 貴文

1. はじめに

開削トンネル等の地中構造物の耐震設計では、主に地盤変位の影響を考慮する必要がある。その影響は函体の剛性 (G_s) と地盤の剛性 (G_g) の比 (G_s/G_g) に依存すると考えられる。本報では、別途実施したアルミ棒積層体でのせん断土槽実験の再現解析をベースに、函体表面の滑り・隔離のモデル化の有無による函体表面力の算定結果の差異が、函体剛性比によってどのように変化するかを検討した。

2. 解析概要

解析モデルはジョイント要素を用いない実験の再現解析^{1),2)}をベースとし、函体底面が支持層に接する着底条件と接しない着底条件を対象に、新たにジョイント要素を考慮した表-1 に示す解析ケースを実施した。表-2 に具体的なパラメータを示す。

次に、図-1 に函体のせん断変形時の表面力の定義を示す。右方向へ強制変位を載荷しており、図-1 のようにせん断力 S_i 、 N_i 及び、偏心量を e_i で表し（上床版を $i=1$ 、時計回りに設定）、これらの作用力から算出したモーメントをそれぞれ式(1)に示すようにせん断力由来モーメント M_s および偏心モーメント M_e

とし、両者の和を換算モーメント M_c とした。本報では、地盤のせん断ひずみ $\gamma_g=1\%$ 時で各モーメント (M_e , M_s , M_c) を求めた。

$$M_c = \Sigma \left(N_i e_i + S_i \frac{H}{2} \right) = M_e + M_s \tag{1}$$

3. 解析結果

換算モーメント M_c と G_s/G_g の関係を図-2 に示す。全体的に G_s/G_g が増加するにつれて M_c も増加する傾向を示した。函体表面の滑りの有無で M_c に乖離が生じるのは、着底条件で G_s/G_g が 4 程度を上回る場合で、滑り有の方が M_c が小さくなるのがわかる。

図-2 の違いが上下床版と左右側壁のいずれで生じているのかを確認するため、非着底条件と着底条件のそれぞれで、各部位が負担する換算モーメントと G_s/G_g の関係を図-3 に示す。図-3(a) の非着底条件では、 G_s/G_g が 1 よりも小さい領域から滑りの有無による結果の乖離が生じている。ただし、その乖離は両者が相殺する方向となっていることがわかる。また左右側壁では G_s/G_g が 4 程度で不連続な低下が見られた。一方、図-3(b) の着底条件では、滑りの有無による乖離はほとんど見られなかった。

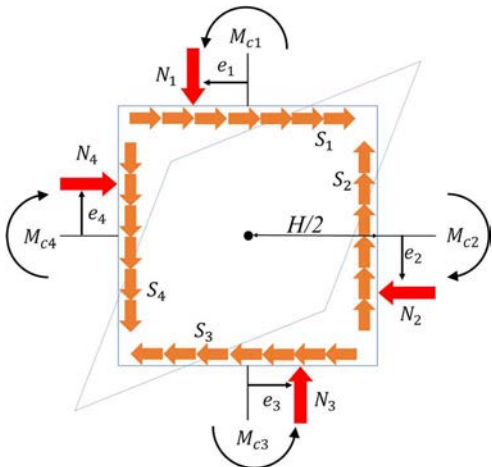


図-1 せん断変形の模式図

表-1 解析ケースの組合せ

解析モデル	ジョイント要素の条件	函体剛性 G_s
非着底条件	滑り無 (固定)	各 10 ケース ($0 \leq G_s/G_g \leq 13$)
	滑り有	
着底条件	滑り無 (固定)	
	滑り有	

表-2 主な解析パラメータ

地盤	せん断剛性 G_g	240 kN/m ²
	ポアソン比	0.45
ジョイント要素 (滑り有のケース)	摩擦係数	上面 : 0.18
		下面 : 0.35
		左側壁 : 0.15
		右側壁 : 0.19

キーワード 開削トンネル, FEM, 函体表面力, せん断剛性比
連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学後楽園キャンパス 2 号館 2304 号室
中央大学理工学部 都市環境学科 基礎・地下構造研究室

次に、図-2の違いがせん断力由来モーメント M_s と偏心モーメント M_e のいずれで生じているのかを確認するため、両モーメントと G_s/G_g の関係を図-4に示す。図-4(a)の非着底条件では G_s/G_g が1よりも小さい領域から滑りの有無による結果の乖離が生じ、滑り有では M_s は減少する代わりに M_e は増加し、結果的には相殺されている。また M_s は G_s/G_g が4程度

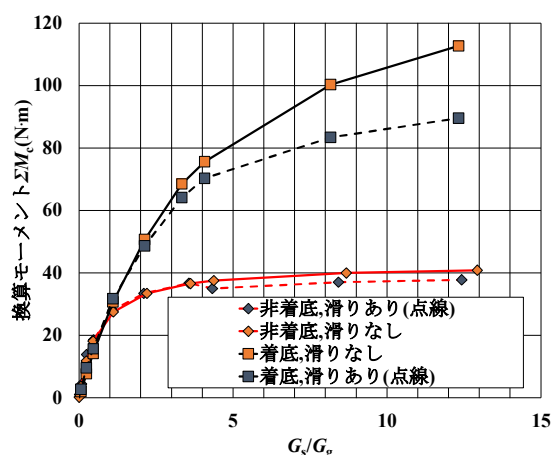
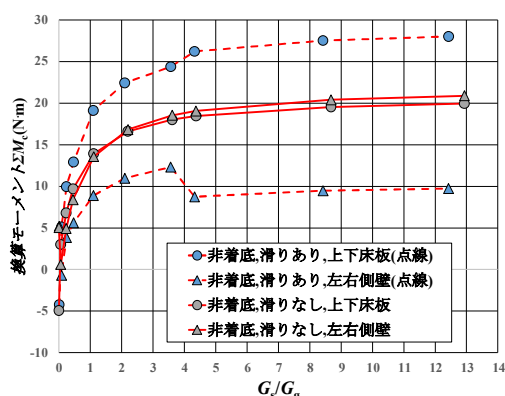
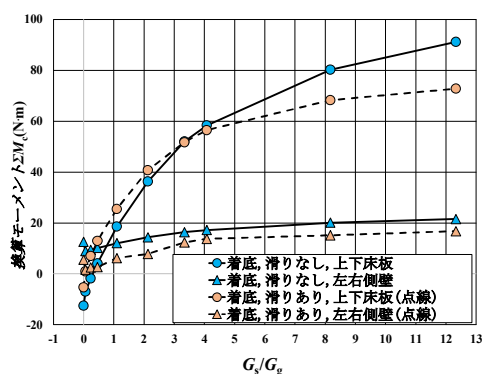


図-2 せん断剛性比 G_s/G_g —換算モーメント M_e 関係

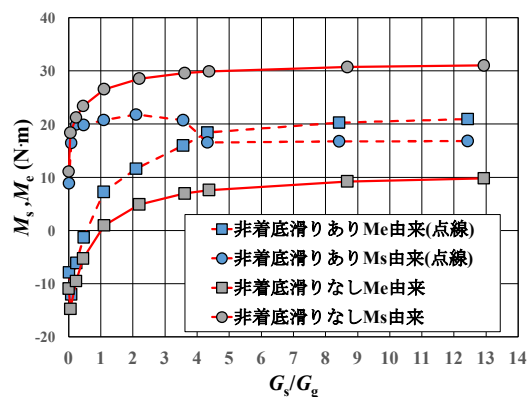


(a)非着底条件

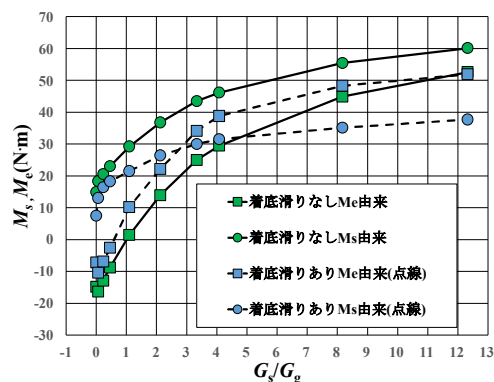


(b)着底条件

図-3 せん断剛性比 G_s/G_g —換算モーメント M_e 関係（上下床版と左右側壁の比較）



(a)非着底条件



(b)着底条件

図-4 せん断剛性比 G_s/G_g —せん断力由来モーメント M_s 関係およびせん断剛性比 G_s/G_g —偏心モーメント M_e 関係

で不連続な低下が見られた。一方、図-4(b)の着底条件でも、滑りの有無による乖離は、非着底条件と同じ方向に生じてはいるものの、その乖離幅は相対的に小さく、 M_s の不連続な低下は見られなかった。

4. おわりに

本研究では、函体表面の滑り・剥離や函体底面の支持条件が函体表面力に及ぼす影響について、FEM 解析により検討した。せん断力は、滑らない場合・ G_s/G_g の小さい場合で優勢となり、滑る場合・ G_s/G_g の大きい場合で垂直力が優勢となることがわかった。

耐震設計の際に対象とするせん断剛性比によっては、注意すべき作用力や作用力を負担する函体の面が異なると考えられる。

参考文献

- 1) 西岡勉，運上茂樹：ひずみ伝達特性を用いた地中構造物のせん断変形量の推定，土木学会論文集 No. 710/1-60，273-282，2002。
- 2) 西野風雅，伊野将矢，島田貴文，西岡英俊：開削トンネルの地震時せん断挙動における函体表面力計測試験，第 41 回地震工学研究発表会，土木学会，2022。
- 3) 七里蒼，伊野将矢，島田貴文，西岡英俊：弾性 FEM 解析による開削トンネルの地震時挙動におけるせん断変形に関するひずみ伝達率近似式の適用性の検討，土木学会関東支部，2023。