

小土被り山岳トンネルに施した地盤改良の地震時における効果の検討(その2)

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 高橋 源太郎 吉村 直人
中央復建コンサルタンツ 正会員 ○橋 直毅 室谷 耕輔

1. 概要

その1では、九州新幹線鹿児島ルート・新田原坂トンネルの終点側坑口付近の地盤改良を施した小土被り山岳トンネルにおいて、地震時の改良体の効果を確認することを目的として、逐次非線形解析による検討を行った。その結果、覆工の曲げ変形には効果があるものの、せん断力に対しては、改良体の効果があまりない結果となった。これは、解析モデル上、周辺地盤が覆工を引っ張っている現象が生じていることが要因の一つとして考えられる。

本報では、地盤が覆工を引っ張る現象を解消するために、覆工-地盤(改良体)間に剥離・滑りを考慮した逐次非線形解析を実施し、地震時における改良体の効果について検討した結果を報告する。

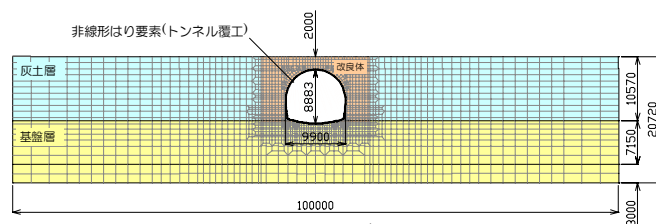


図-1 解析モデル

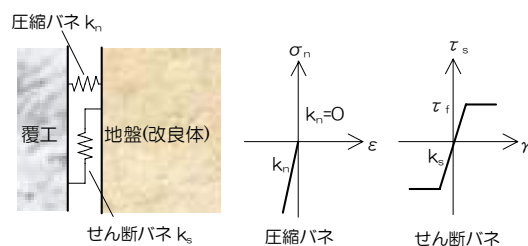


図-2 ジョイント要素の概念図

2. 土層構成と解析モデル

土層構成、解析モデル、地盤、改良体、トンネル覆工の非線形特性については、「地盤改良を施した小土被り山岳トンネルに対する地震時の改良体の効果(その1)」と同様である。

3. 剥離・滑り要素(ジョイント要素)

剥離・滑りは、図-2に示すジョイント要素を用いる。

剥離は、接触面において、垂直応力 σ_n が引張になる際($\sigma_n > 0$)に、バネ定数 k_n が0となることで生じる。滑りは、接触面のせん断応力 τ_s が地盤と構造物の間のせん断強度 τ_f を超過する場合に生じ、弾性-完全塑性体によりモデル化する¹⁾。 τ_f はMohr-Coulomb式より設定した。

$$\tau_f = C_f - \sigma_n \tan \phi_f \quad (\text{接触時}) \quad \text{式-1}$$

$$\tau_f = 0 \quad (\text{剥離時}) \quad \text{式-2}$$

ここに、 τ_f は地盤と覆工間のせん断強度、 C_f は地盤と覆工間の付着、 σ_n は地盤と覆工間の垂直応力($\sigma_n < 0$)、 ϕ_f は地盤と覆工間の摩擦角である。

圧縮ばね定数 k_n 、せん断ばね定数 k_s は、トンネル標準示方書¹⁾に示されるように無限大とし、

表-1 ジョイント要素の設定値

対象	圧縮バネ k_n (kN/m)	せん断バネ k_s (kN/m)	粘着力 C_f (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ_f (°)	摩擦係数 $\mu = \tan \phi_f$
灰土A4(CI)-覆工間	1.0×10^6	1.0×10^6	14.73	32.3	0.632
基礎A4(n-wt)-覆工間			1500	-	-
改良体-覆工間			250	-	-

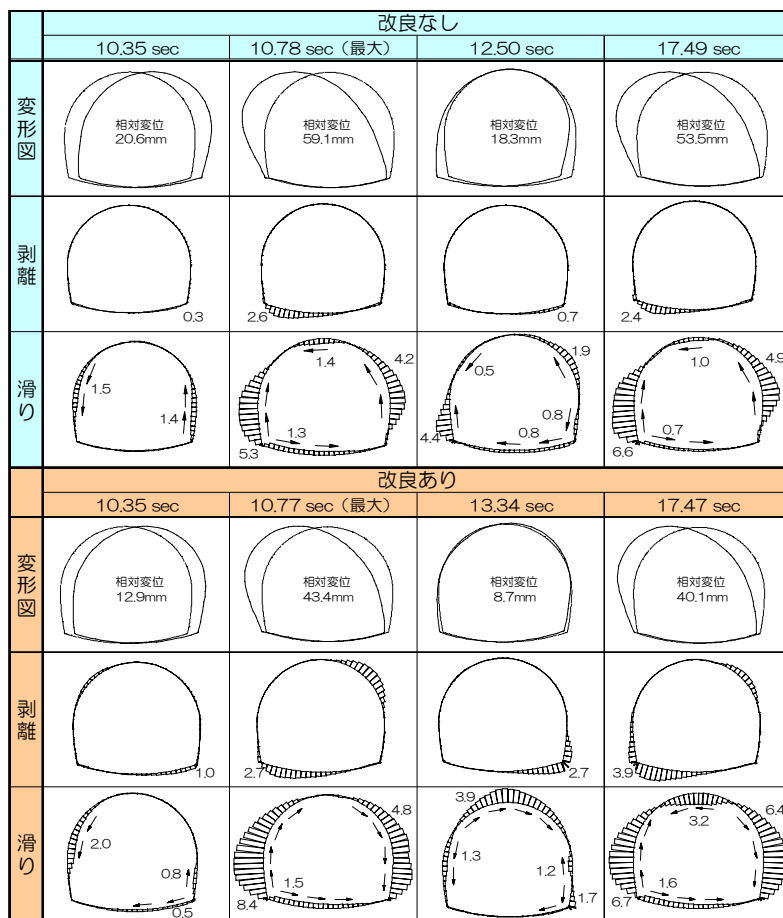


図-3 剥離・滑りの地震時挙動 (単位 mm)

キーワード 山岳トンネル, 逐次非線形解析, 小土被り, 地盤改良, ジョイント要素

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4丁目11番10号 中央復建コンサルタンツ(株) TEL 06-6160-2312

解析上 $1.0 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ を設定した。また、地盤と覆工間の付着 C_f 、地盤と覆工間の摩擦角 ϕ_f は、地盤(改良体)の強度定数 C 、 ϕ を用いた(表-1)。

4. 解析結果

地盤(改良体)ー覆工間の剥離・滑りの地震時挙動を図-3に示す。剥離は、覆工がせん断変形する方向のインバート端部で卓越し、滑りは、覆工がせん断変形する方向とは逆向き方向に側壁付近で卓越し、時間の経過とともに、その挙動を繰り返すことがわかった。また、図-3において、改良体ありのケースの剥離、滑りの量は、改良体なしのケースを比較して、大きくなる結果となった。これは、改良なしの場合、周辺地盤の剛性は小さく、覆工は地盤の変形に追従しやすいが、改良ありの場合、トンネル周辺の改良体の剛性が大きいため、覆工は改良体の変形に追従しにくくなるためであると考えられる。

図-4に断面力図およびM- ϕ 履歴曲線を示す。剥離・滑りの影響について、曲げモーメントは100%(Case1と3との比較)、96%(Case2と4との比較)であり、部材曲率は98%(Case1と3との比較)、93%(Case2と4との比較)の低減しかなく、曲げ変形に対しては、ほとんど影響がないことが確認できる。

一方、せん断力については、剥離・滑りを考慮すると87%(Case1と3との比較)、70%(Case2と4との比較)まで低減しており、剥離・滑りの影響が大きいことが確認できる。

また、せん断力に対する改良体の効果については、剥離・滑りを考慮しない場合で90%(Case1と2との比較)の低減しなかったものが、剥離・滑りを考慮することにより、72%(Case3と4との比較)まで低減することが確認できた。これは、図-5に示すように、剥離・滑り要素がなしの場合、地盤変形時の覆工周辺の主応力は、覆工に対して法線方向の主応力が卓越するが、剥離・滑り要素がありの場合、覆工周辺の主応力の向きが接線方向に卓越しており、地盤が覆工を引っ張る現象が解消され、せん断力を低減させたものと考えられる。

以上のように剥離・滑りを考慮することで、地盤が覆工を引っ張る現象が解消され、変形、曲げモーメントおよび曲率、せん断力に対して、改良体の効果を確認することが出来た。

5. まとめ

逐次非線形解析結果に基づく、地盤改良の耐震性についてまとめる。

- ① 覆工ー地盤(改良体)間に剥離・滑りを設けることで、せん断力を顕著に低減できる。
- ② 剥離・滑りを考慮することで、地震時における変形および断面力に対する改良体の効果が確認された。

今後は、改良体の効果をさらに確認するために、改良幅や高さ、地盤と改良体の剛性比などをパラメータとした解析の実施などが課題である。

参考文献 1) 土木学会編：2006年制定 トンネル標準示方書 開削トンネル・同解説，p. 73，2006. 7

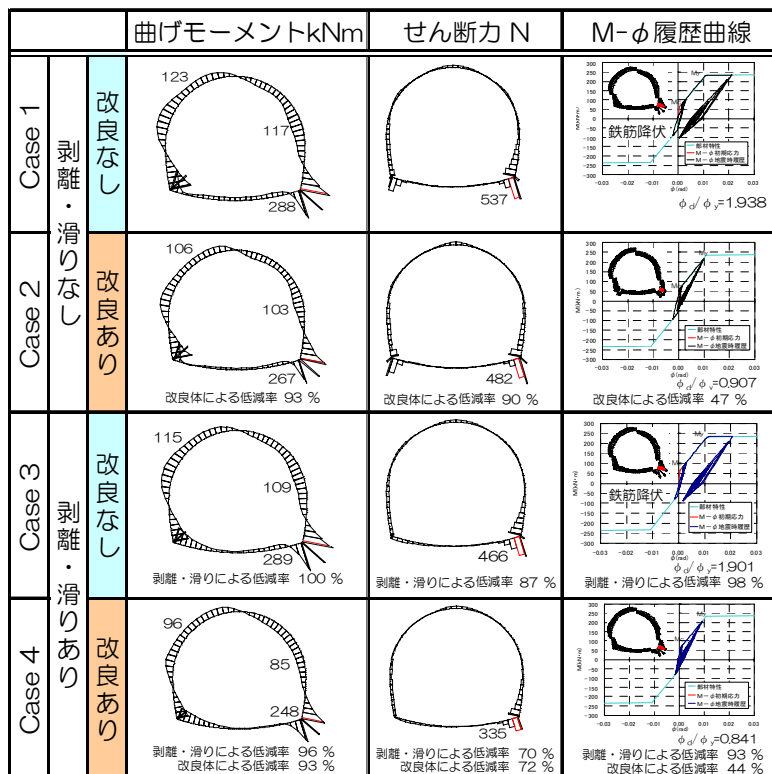
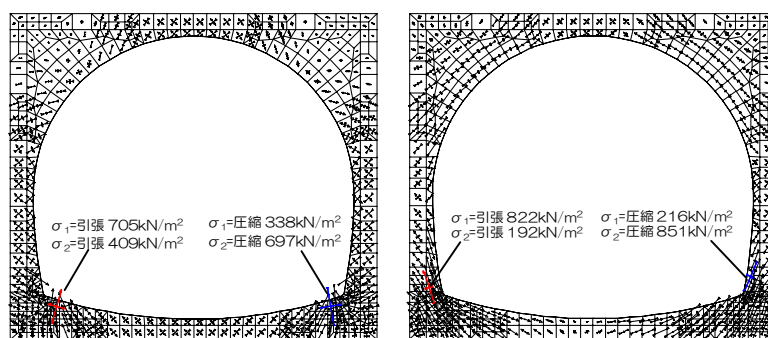


図-4 トンネル覆工の断面力結果(最大時)



(a) 剥離・滑りなし (b) 剥離・滑りあり
図-5 断面力最大時の覆工周辺の主応力分布(改良あり)