

斜面中のトンネル坑口部の地震時挙動に与える地層構成の影響に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○野城一栄, 井澤 淳, 平田 亮
(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 陶山雄介, 高野裕輔

1. はじめに

鉄道山岳トンネル坑口部は RC 構造として荷重を考慮して設計することが多い。坑口部は小土被り未固結条件下となることが多いため、耐震検討が必要な場合もあるが、耐震設計法は未確立であり、個別に検討の上設計されているのが現状である。筆者らは、斜面中の山岳トンネル坑口部覆工の耐震性能や耐震性の検討法に関して現在検討を行っている^{1),2),3)}。これまでに、仮想的な斜面に対して 2 次元の地盤応答解析を行い、斜面中のトンネル坑口部の地盤変位を算定可能であることを確認した¹⁾。本研究では、実際の斜面中のトンネル坑口部の地盤応答解析を行うと共に、地層構成の影響についても検討を行ったのでその結果について報告する。

2. 解析方法

地盤のモデルには、地盤の非線形性に鉄道構造物の耐震設計で標準的に用いられる GHE-S モデル⁴⁾を用いるとともに、不整形性の強い断面に対しても適切に解析を実施できるように多重せん断ばねモデル¹⁾を適用した。Vs および単位体積重量は表 1 に示す地盤調査結果を用いた。GHE-S モデルの非線形パラメータについては各層の繰り返し三軸試験結果等を用いて設定するのが望ましいが、今回は試験結果が得られていないため標準パラメータ⁵⁾を用いることとした。また基準ひずみ $\gamma_{0.5}$ については安田・山口モデル⁶⁾より G- γ 関係を推定して決定した。このとき必要となる平均粒径 D_{50} には表 1 の値を用いた。

作成したモデルについて、次の手順で地盤応答解析を行った。なお、より実際に近い、複数の地層からなるケース（以下、「多層地盤」、図 1(a)）の他に、地震の影響が大きくなると考えられる、基盤とトンネルが位置する地盤との剛性差が大きくなるケース（Nos 層の上部を全て Tes 層としたケース、以下、「1 層地盤」、図 1(b)）についても解析を実施し、この影響も検討した。

- ① トンネル内を地盤で埋めた状態で自重解析を実施する。
- ② ①から得られる各要素の拘束圧を用いて、拘束圧依存（応力比の 0.6 乗）を考慮して剛性および規準ひずみを設定する。
- ③ トンネル覆工は RC 覆工の M- ϕ 関係における M_m 点に対応する割線剛性程度（ $EI=3000\text{kNm}^2$ ）を有する弾性梁要素でモデル化し、トンネル内部の地盤を取り除き、拘束圧依存を考慮した自重解析を実施する。
- ④ ③の初期応力を受け継いで、鉄道構造物等設計標準（耐震設計）に示す L2 スペクトル II を入力し、地盤応答解析を実施する。このとき基盤には $V_s=400\text{m/s}$, $\gamma=20\text{kN/m}^3$ の粘性境界を設置する。
- ⑤ 初期せん断の影響を考慮するため、得られた解析結果（変形）を 1.2 倍に割増¹⁾する。この結果を基にトンネルの残留変形を検討する。

表 1 各層の基本物性値

地層	層厚 (m)	土質 分類	平均粒径 $D_{50}(\text{mm})$	単位重量 $\gamma (\text{kN/m}^3)$	S 波速度 $V_s(\text{m/s})$	ポアソン比 (静的) ν_s	ポアソン比 (動的) ν_d
Ts	1.5	粘性土	0.020	13.7	200	0.333	0.45
ha	2.25	粘性土	0.001	13.7	170	0.333	0.45
ta	3.50	粘性土	0.001	13.7	220	0.333	0.45
tec	2.60	粘性土	0.004	13.7	300	0.333	0.45
tes	7.90	砂質土	0.100	18.6	270	0.333	0.45
Noc	6.30	粘性土	0.011	15.2	330	0.333	0.45
Nos	22.95	砂質土	0.100	18.6	380	0.333	0.50

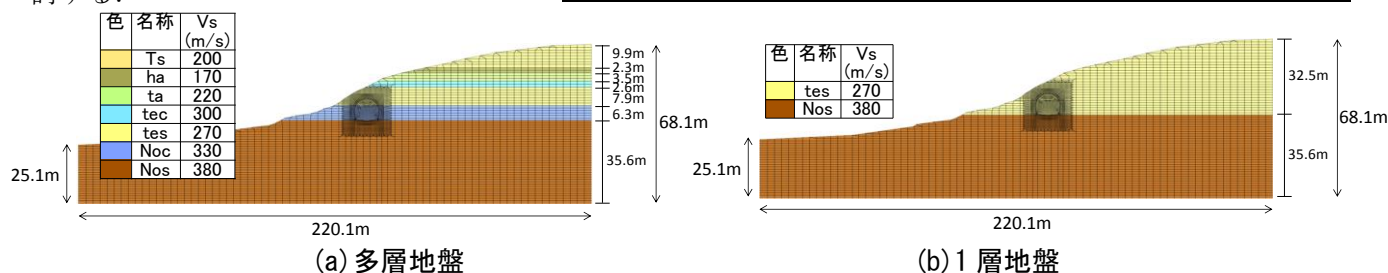


図 1 検討に用いた斜面

キーワード 山岳トンネル, 耐震検討, 地盤応答解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel: 042-573-7266

3. 解析結果

図2にトンネル覆工の水平変位の時刻歴を、図3に相対変位最大時および地震動終了時の周辺地盤およびトンネルの変形状況を示す。仮想的な地盤と同様、実際の斜面に対しても、提案したモデルにより評価が可能であることを確認した。1層地盤の場合、多層地盤と比べてトンネル天端と下端の相対変位差が、最大時で4割程度増加し、残留値では2倍以上に大きくなっていることが分かる。得られた残留変位に対して建築限界余裕量を確認した結果を図4および図5に示すが、多層地盤では建築限界外余裕量が47mm残ったのに対し、1層地盤では16mmにまで減少することが分かる。これは、軟らかい層(tes)と $V_s=380\text{m/s}$ の硬い層(Nos)との境界部の軟らかい層側でせん断変形が卓越し、ちょうどここに位置するトンネルのせん断変形が大きくなったためと考えられ、このような条件にトンネルが位置する場合には注意が必要であると考えられる。

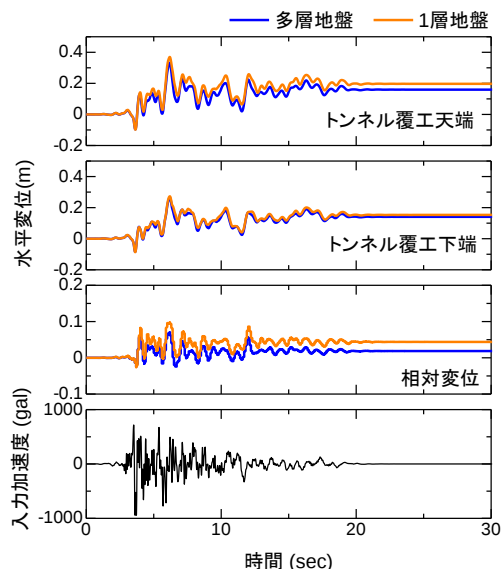


図2 トンネル覆工の変位時刻歴

	多層地盤		1層地盤	
	トンネル変形図	周辺地盤変形図	トンネル変形図	周辺地盤変形図
相対変位最大時				
地震動終了時				

図3 トンネルおよびトンネル周辺地盤の変形図

4. まとめ

実際の斜面中のトンネル坑口に対しても、GHE-S モデルと多重せん断ばねモデルを用いた応答解析手法により、地震時の影響の評価が可能であることを確認した。また、基盤とトンネルが位置する地盤との剛性差が大きくなる場合でトンネルが基盤直上にある場合は、せん断変形が集中して大きな変形が生じる可能性があるため、注意が必要であることがわかった。

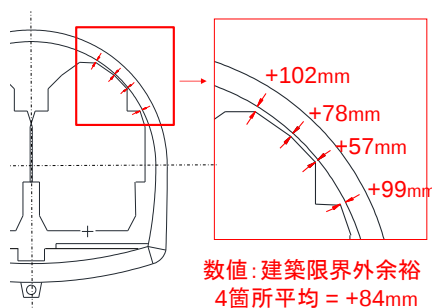


図4 建築限界外余裕の初期値

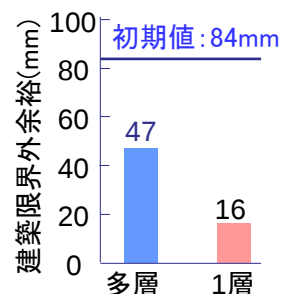


図5 ケース間比較

参考文献:

- 井澤他：トンネル坑口部を有する未固結斜面の地盤応答解析，土木学会第68回土木学会年次学術講演会概要集，2013。
- 赤澤他：斜面中のRC山岳トンネル覆工の耐震性能に関する基礎的検討，土木学会第68回年次学術講演会概要集，2013。
- 野城他：せん断変形下のRC山岳トンネル覆工の変形破壊挙動に関する数値解析，土木学会第68回年次学術講演会概要集，2013。
- 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。
- 野上雄太，室野剛隆：S字型履歴曲線を有する土の非線形モデルとその標準パラメータの設定，第30回土木学会地震工学研究発表会論文集，2009。
- 安田進，山口勇：種々の不攪乱土における動的変形特性，第20回土質工学研究発表会，1985。