

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

鉄道・運輸機構 正会員 ○赤澤 正彦, 芳賀 康司, 陶山 雄介, 瀧山 清美
 鉄道総合技術研究所 正会員 野城 一栄

1. 目的

小土被り未固結条件下の斜面中の山岳トンネルにおいては, 地震時に大きなせん断変形や地表面の傾斜に伴う斜面の変位が生じる可能性もある. 本稿では, 坑口部のRC山岳トンネル覆工の耐震検討法の確立に向けて実施した一連の研究^{1),2)}のうち, L2地震時の耐震性能に関して行った数値解析の結果について紹介する.

2. 検討方法

検討は地盤応答解析と静的構造解析とを分離して行うことにした. すなわち, 斜面を想定して比較的広い範囲をモデル化した地盤応答解析(図1)によりトンネル周りの地盤の応答変位を求め, 変形最大時の変位をトンネル周辺を詳細にモデル化した構造解析モデルに境界変位として入力し(図2), トンネルの応答値を算出することにした.

3. 常時の設計

表1に検討条件を示す. トンネル坑口部を想定し, 未固結・小土被り地山とし, 地表面には傾斜がある条件とした. 土被りは0.5D(トンネルの幅:D), N値は30を想定した. 斜面角度は0°(ケース1), 10°(ケース2), 20°(ケース3)とした. 表2に解析条件を示す. 常時の設計では, 全土被り荷重と対応した側圧を作用させて骨組解析を行い, 文献2)と同様に開削トンネルの設計法に準拠した限界状態設計法により覆工巻厚と鉄筋を決定した. 常時の設計による断面を図3に示す.

4. 静的構造解析

静的構造解析はFEMにより行い, 図4に例を示した(a)ケース1(整形地盤) (b)ケース3(斜面角度20°)のように20m×20mの範囲をモデル化した. 地盤の弾性係数はL2地震動を用いて別途実施した地盤応答解析¹⁾で求めた剛性を要素毎に入力した. 覆工は非線形バイリニアモデル²⁾としてモデル化し, 骨組解析により行った常時の設計で求まる断面力を初期値として与えた. このように作成したモデルに対し, 地盤応答解析¹⁾により得られた地盤変位を静的構造モデルに作用させた.

図5に, トンネルの応答(変形, 断面力)を示す. どちらのケースも地盤のせん断変形に合わせてトンネル

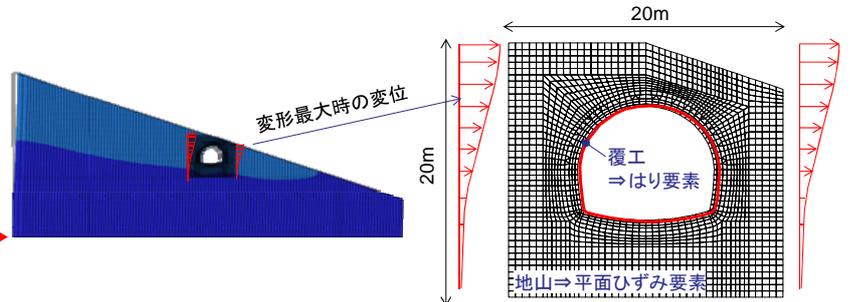


図1 地盤応答解析

図2 静的構造解析

表1 検討条件

	項目	入力値
地盤	土被り	0.5D
	斜面角度	0° (ケース1) 10° (ケース2) 20° (ケース3)
	N値	30
	内部摩擦角φ	37°
	粘着力c	10kPa
	ポアソン比ν	0.25
トンネル	設計基準強度 f_{ck}	24 MPa
	断面	新幹線曲線

表2 解析条件(常時設計)

項目	入力値
荷重	全土被り荷重
単位体積重量γ	18kN/m ³
側圧係数λ	0.45 (N=30)
ばね	引張ばね切り
変形係数E	75,000kPa
地盤反力係数 k_r	$1.7 \times E \times D^{-3/4}$

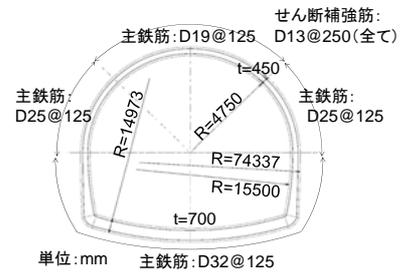


図3 常時設計による断面

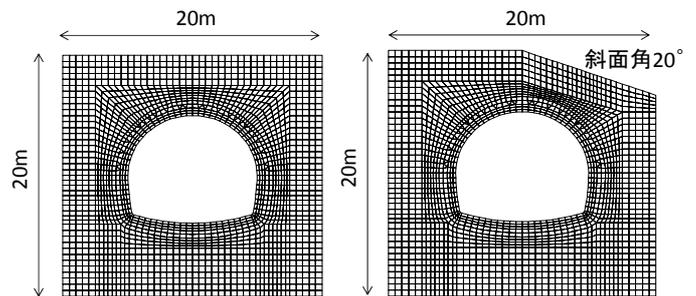


図4 解析メッシュの例

も全体的にせん断変形した。斜面角度が大きくなるのに伴い変形も大きくなる。トンネルの変形に応じ、アーチ右肩，左下隅角部では負曲げが，アーチ左肩，右下隅角部では正曲げが発生した。覆工の曲げ損傷の進展を図6に示す。曲げが大きくなる隅角部，アーチ肩部，インバート端部などで鉄筋の降伏が生じた。図6に，アーチ右肩，左下隅角部の要素における曲率 ϕ ， M の値も合わせて示すが， M 点に到達する要素はなく，良好な安全性を確認した。なお，せん断力は右下隅角部で大きくなり，常時のせん断補強筋 D13@250mm を D16@250mm にランクアップする必要が生じた。

この傾向はケース2でも同様であった。

なお，本稿では，解析領域として 20m×20m 範囲を選択した。トンネルの周りの地盤のひずみを，地盤応答解析と，静的構造解析とで比較したところ(図7)，両者が良く一致したことから，その妥当性を確認している。

5. まとめ

地盤応答解析の FEM 解析によりせん断変形下の RC 山岳トンネル覆工の L2 地震時の変形破壊挙動を調べた。未固結小土被りの斜面中にあるトンネルにおいても，常時の設計条件で決まる配筋に対し，せん断補強を追加する必要があるが，大きな地盤のせん断ひずみに対しても M 点に到達する要素はなく，アーチ形状の山岳トンネルの良好な安全性を確認した。今後は，これらの研究成果をまとめ斜面中の RC 山岳トンネル覆工の耐震検討法の提案に反映させていく予定である。

参考文献

- 1) 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，第 68 回土木学会年次学術講演会概要集，2013.9
- 2) 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，第 68 回土木学会年次学術講演会概要集，2013.9

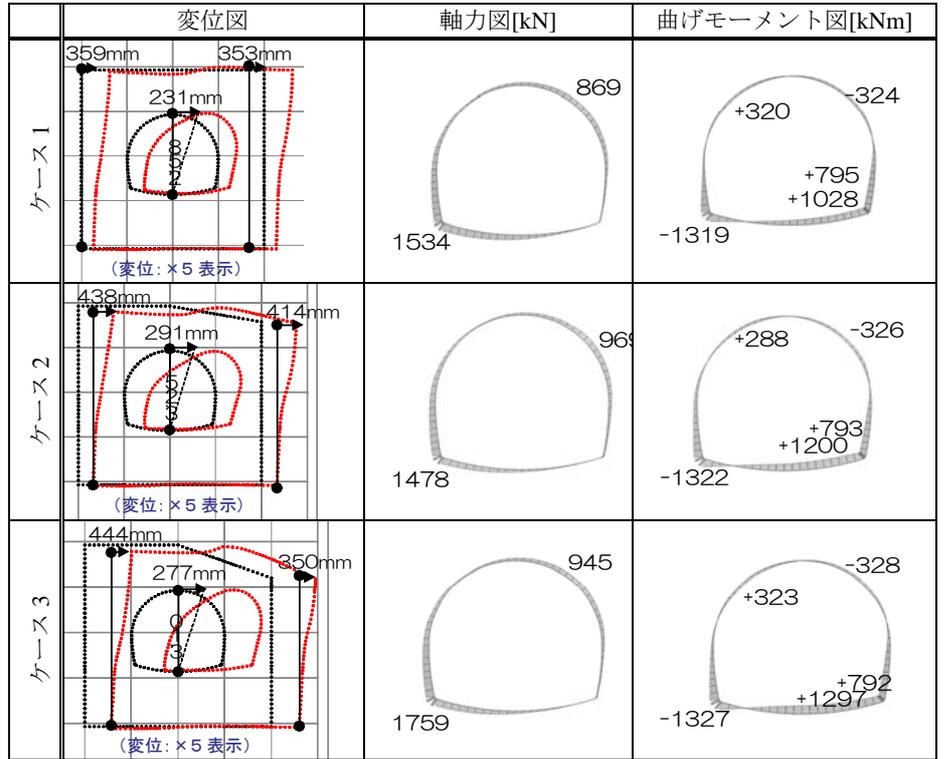


図5 トンネルの応答(変形, 断面力)

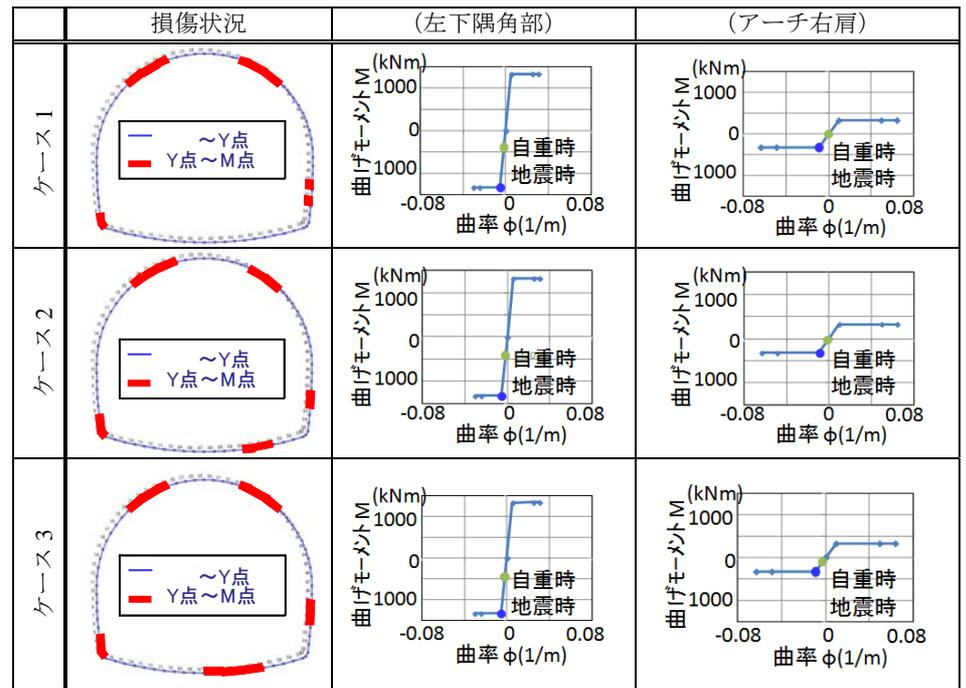


図6 覆工の曲げ損傷の進展

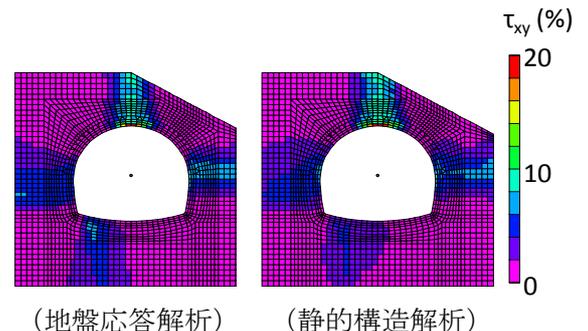


図7 せん断ひずみ分布比較(ケース3)