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

鉄道総合技術研究所 正会員 〇野城 一栄 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

1. 目的

鉄道トンネル坑口部は 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、現状では耐震設計法が未確立であり、個別に検討 20m

(側圧係数 \)

Ш

の上設計されているのが現状である.本稿 では、せん断変形下の RC 山岳トンネル覆 工の変形破壊挙動を数値解析により検討 したのでその結果について紹介する.

2. 検討方法

検討は、常時の設計と地震時の検討を分 離して行うことにした. すなわち, 全土被 り荷重を与えた骨組解析(図1)により常時の設計を行い、続い て、FEM 解析により、地震によるせん断変形を想定して、左右 の境界に三角形分布の水平変位を作用させ(図2),地盤のせん 断変形に対する変形破壊挙動の検討を行うことにした.

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・ 小土被り地山とした.土被りは0.5D(トンネルの幅:D),N値 は10 (ケース1)と30 (ケース2)の2種類を想定した.表2 に解析入力値を示す.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図1に示す骨組解析を行い,開削トンネル の設計法 1)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. 地震時の検討

地震時の検討は FEM により行い,図2のように 20m×20mの 範囲をモデル化した.ここで、今回はせん断ひずみを受けるト ンネルの変形・破壊挙動を概略把握することを目的としたため, このような範囲とした.表3に解析入力値を示す.地盤は弾性 体とし、弾性係数は地盤内で一様とした. 覆工は文献 ²⁾を参考 に非線形バイリニアモデル(図4)とし、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.また,地震 によるせん断変形を想定して, 左右の境界に三角形分布の水平 変位を作用させた. ここで,境界に,鉛直上側で変位が大きく なるように、一様変位勾配の水平変位を、地山のせん断ひずみ (解析領域の左端の上下2点の水平変位差から算出した地盤の 層間ひずみ)が3%となるまで与えた.

キーワード 山岳トンネル, 覆工, 鉄筋コンクリート, せん断変形

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7266



図1 常時の設計(骨組解析)

滞Τ ⇒はり要素 11 通悉 溃 逐合 地山⇒平面ひずみ **図2** 地震時の検討 (FEM)

表1 検討条件

20m

	項目	入力値
地盤	土被り	0.5D
	N 値	10 (ケース 1) 30 (ケース 2)
	内部摩擦角↓	32° (N=10) 37° (N=30)
	粘着力c	10kPa
	ポアソン比 <i>v</i>	0.25
ネトルン	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	0.55 (N=10) / 0.45 (N=30)
ばね	引張ばね切り
亦形核粉 E	25,000kPa (N=10)
发///示姒 E	75,000kPa (N=30)
地盤反力係数 k _r	$1.7 \times E \times D^{-3/4}$

せん断補強筋: 主鉄筋:D19@125 D13@250(全て) 1€450



-507-

図 5, 図 6 に, ケース 1

(N=10)を例にとり,地山 のせん断ひずみ 3%時のト ンネルの応答値(変形,断 面力)を示す.地盤のせん 断変形に合わせてトンネル

表3 解析条件(地震時の検討)		
	項目	入力値
地盤	モデル	弾性体
	変形係数 E	25,000kPa (N=10) 75,000kPa (N=30)
覆工	モデル	非線形バイリニア ²⁾



も全体的にせん断変形をした.トンネルの変形に応じ,覆工のアーチ右肩, 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. 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.覆工の曲げ損傷の進展を図7 に示す.せん断ひずみが大きくなると,曲げモーメントMが大きくなる隅角 部,アーチ左右肩部,インバート端部などで鉄筋の降伏が生じるが,鉄筋降 伏後は,降伏箇所では曲率々は増加しなくなり,代わりに降伏範囲が広がる. なお,この傾向はケース2でも同様であった.

(変位: ×5 表示)

図5トンネルの変形(ケース1)

29%

m

294mm

5. まとめ

ー様せん断ひずみを与え る FEM 解析によりせん断 変形下の RC 山岳トンネル 覆工の変形破壊挙動を調べ た.

その結果,地山のせん断 ひずみの増加に伴い,鉄筋 の降伏が生じるが,鉄筋降 伏後は,降伏箇所では曲率 が増加しなくなり,代わり に降伏範囲が広がる破壊の 進展形態となること,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,良好な安全性を確認し た.

山岳トンネルは地山に囲 まれたアーチ状の地中構造 物であり,優れた変形性能 を有していることが改めて 確認された.

参考文献



1)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説(開削トンネル),2004.4
2)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),2012.9

