# 不整形地盤に位置するトンネルの地震時挙動

首都大学東京大学院	学会員	○菊地	拓洋
首都大学東京大学院	正会員	土門	岡川
首都大学東京大学院	正会員	西村	和夫

### 1. 目的

従来の地下構造物の耐震設計では、一般に地盤を成層であると仮定して数値解析を行っている.しかし、実際の被害例をみると、覆工構造や施工に起因すると思われるものも含まれるが、それ以外に成層地盤における 地震時応答では起こりえない変形モードに起因すると考えられる覆工被害も生じている.

本研究では、それらの被害例を踏まえ、不整形地盤の影響を評価するために、数値解析を用いて、成層地盤 に位置するトンネルと不整形地盤に位置するトンネルの地震時挙動と覆工破壊の違いを明らかにすることを 目的としている.

### 2. 解析方法

本解析では,基盤と表層を有する2層の成層地盤と,傾斜境 界を有する不整形地盤の二次元 FEM モデルを用いた.

#### 2.1 解析モデル

トンネル横断面の地震時挙動に的を絞り,二次元モデルと した.なお,研究の第一段階として地山およびトンネルとも に材料特性は線形弾性とした.

- (1) 地盤:地盤モデルは図1,図2のモデルとし,深さが180mの1000-180mモデルと深さが100mの1000-100mモデルの2つとした. 傾斜部は45度とした. 物性値は表1のように,せん断波速度Vsを表層が200m/s,基盤が700m/sとした.
- (2) トンネル:トンネルモデルは図3左から円形,曲率イン バート有,直線インバート有,インバート無しの4パタ ーンとし,覆工厚は500mmとした. トンネルの配置場所は,図4の不整形地盤における解

析結果より,傾斜付近で大きな軸ひずみが発生している ので,傾斜境界付近とした.

(3) 境界: 逸散減衰を表現するため, 側方には二次元側方 境界,底面には粘性境界を設置した.

### 2.2 解析方法および解析ケース

- (1) **解析コード**: 解析コードとして,有限要素解析プログラム TDAPIIIを用いた.
- (2) 入力波:新神戸変電所における兵庫県南部地震の観測記録を Vs が 780m/s の岩盤まで引き戻した波 を基盤から鉛直入射させた.
- (3) **解析ケース**: 傾斜境界付近を中心に, 斜面下端(0,0)から鉛直方向, 垂直方向ともに 5m 間隔で複数ケ ーストンネルを配置した.

キーワード 不整形地盤,動的解析,地震時挙動,傾斜境界連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL:042-677-2785 FAX:042-677-2772





図2 成層地盤モデル(1000-180m)

表1 地山物性值

	Vs(m/s)	G(MN/m²)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ν
表層	200	77	21	0.3
基盤	700	950	25	0.25



# 3. 解析結果

以下にトンネル位置(0,40)での解析結果のみ示す.

### 3.1トンネル覆工に生ずる最大断面力図

図5および図6は地盤モデル1000-100m,インバート無しモデルの断面力図である.不整形地盤と成層地盤を比較すると,最大軸力と最大曲げモーメントの最大値の発生方向が,成層地盤が45度に発生しているのに対し,不整形地盤は天端部方向に回転して発生しているのが確認できる.

同様な傾向は 1000-180m モデルでも確認できた.

### 3.2 トンネル天端部に生ずる最大断面力

表2は地盤モデル1000-100mのトンネル天端部に生ずる最大 断面力である.不整形地盤に位置するトンネルでは,成層地盤 に位置するトンネルの6倍以上の断面力が生じているのが確認 できる.

同様な傾向は 1000-180m モデルでも確認できた.

### 3.3 M-N図によるトンネル覆工破壊の評価

図7に地盤モデル1000-100m,インバート無しモデルのM-N 図を示す.不整形地盤と成層地盤を比較すると,不整形地盤の ほうが耐力強度を超えた断面が多いのが確認できる.

また,天端部に着目すると,不整形地盤に位置するトンネルの天端部のほうが,成層地盤に位置するトンネルの天端部より, 破壊曲線近傍に位置していることが確認できる.

同様な傾向は 1000-180m モデルや,他のトンネルモデルでも 確認できた.

### 4. 結論

本研究により以下のことが明らかになった.

- (1) 断面力の最大値は,成層地盤が 45 度方向に生じるのに対し, (1) 断面力の最大値は,成層地盤が 45 度方向に生じるのに対し, (1) 不整形地盤に位置するトンネルは,45 度より天端部方向に 5 回転して生じる.
- (2) 天端部に働く断面力は、不整形地盤に位置するトンネルでは、 断面力の最大値の発生方向が、45度よりも天端部方向に回転するので、成層地盤に位置するトンネルと比較して、大きな断面力が発生する.
- (3) トンネル覆工の破壊は、不整形地盤に位置するトンネルは、通常のせん断変形の他に、体積変化が生じるので、耐力強度を超える断面が多い.
- (4) 天端部覆工の破壊では,成層地盤に位置するトンネルでは,破壊曲線の内側にあるのに対し,不整形 地盤に位置するトンネルでは,破壊曲線近傍にある.

以上より,不整形地盤に位置するトンネルでは,断面力の値や生じる方向が成層地盤とは大きく異なるこ とが示された.また,実際に被害が報告されている天端部に生ずる断面力は,成層地盤よりもはるかに大き いことがわかった.したがって,耐震設計では,実際の地質構造を再現した数値解析を行なうことが必要な 場合もありうることがわかった.



図6 最大曲げモーメント(左:不整形 右:成層)

表2 天端部断面力(1000-100m モデル)

		不整形	成層
円形	Nmax(kN)	1346	127
	Mmax(kN∙m)	319	53
曲率インバート有	Nmax(kN)	1300	146
	Mmax(kN•m)	315	42
直線インバート有	Nmax(kN)	1223	132
	Mmax(kN•m)	301	45
インバート無し	Nmax(kN)	1454	139
	Mmax(kN∙m)	342	45

