

不整形構造を有する地盤でのトンネルの地震時挙動

首都大学東京大学院 学会員 ○山口 智也
 首都大学東京大学院 正会員 土門 剛
 首都大学東京大学院 正会員 西村 和夫

1. 目的

過去のトンネルの地震被害例を見ると、天端部付近での被害が報告されるなど、従来の地下構造物の耐震設計で使用されている成層地盤モデルでは、十分に予測することはできない箇所の被害が多数報告されている。本研究では、それらの被害例を踏まえ、実際の地質の急変や、断層を想定した不整形地盤をモデル化した数値解析を行い、従来の成層地盤モデルに位置するトンネルとの地震時の挙動の違いを明確にし、不整形地盤におけるトンネルの地震時挙動を考察することを目的としている。

2. 解析方法

トンネル横断面の挙動に的を絞り、本解析では不整形地盤を想定した上で、鉛直境界をはさんで軟質と硬質の二層からなる表層を有する地盤の二次元 FEM モデルによる動的解析を実施した。

2.1 モデル化

研究の第一段階として、地山・トンネルともに材料特性を線形弾性とし、地山とトンネルの間の滑り剥離を考慮するためにジョイント要素(図1)を挿入した。

- (1) 地盤： 地盤モデルは幅・深さが 1000-180m モデルと 1000-540m モデル(図2, 図3)の、それぞれ成層地盤と不整形地盤の2つずつとした。成層地盤は2層地盤構造として、表層の V_s を 200m/s, 基盤の V_s を 700m/s と設定した。一方、不整形地盤は表層の物性を軟質と硬質に分け、軟質の V_s を 200m/s, 硬質の V_s を基盤と同じ 700m/s と設定した(表1)。

- (2) トンネル： 現象を単純化するために直径が 10m, 覆工の厚さが 500mm の円形とした。またトンネルの配置場所は、事前に地盤だけで地震時応答解析を行い検討した。図4は不整形地盤モデル(1000-540m)での水平・鉛直方向の軸ひずみの和を求めたものであり、このコンター図より地盤の体積変化が最も確認された、鉛直境界付近にトンネルを設置した。

- (3) 境界： 逸散減衰を表現するため、側方は二次元側方境界、底面は粘性境界とした。

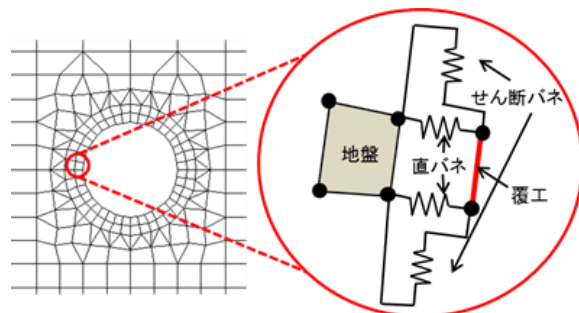


図1 ジョイント要素概念図

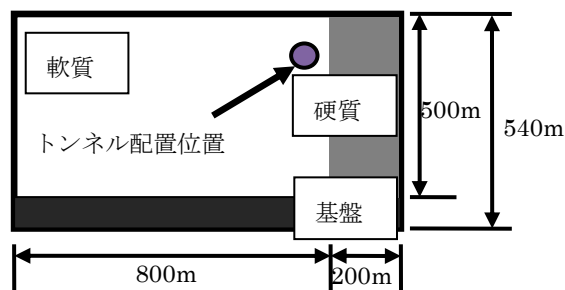


図2 不整形地盤モデル(1000-540m)

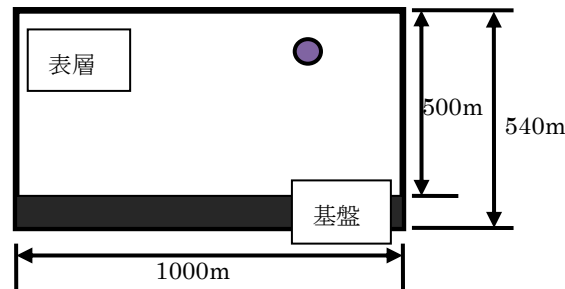
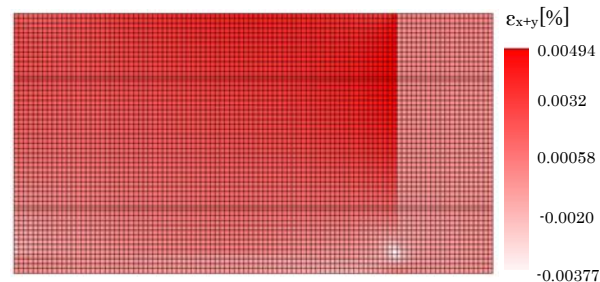


図3 成層地盤モデル(1000-540m)

表1 地山物性値

	V_s (m/s)	G (MN/m ²)	γ (kN/m ³)	ν
表層(軟質)	200	77	21	0.2
基盤・表層(硬質)	700	950	25	0.3

図4 軸ひずみの和 ϵ_{x+y}

キーワード 不整形地盤, 動的解析, 地震時挙動

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

2.2 解析方法

- (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：最大加速度 100gal，振動数 0.1Hz，データ数 1024，16 波長の正弦波を用いた．なお振動数は，使用した地盤モデルにおける卓越振動数を求めた．

3. 解析結果

以下に主な結果を示す．

3.1 トンネル覆工に発生する最大断面力

- ① 最大軸力：図 5 に 1000-540m モデルでの最大軸力を示す．不整形地盤の軸力は，成層地盤に比べはるかに大きくなることが確認できる．さらに最大値の生じる位置が，成層地盤は+x 方向を基準とし 45 度に発生しているのに対し，不整形地盤では 90 度近くに発生していることが確認できる．
- ② 最大曲げモーメント：図 6 に 1000-540m モデルでの最大曲げモーメントを示す．不整形地盤と成層地盤で最大値に大差はないものの，軸力と同様に最大値の生じる方向の回転が見られた．

なお，①，②と同様な傾向は 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 1000-540m 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より，天端に大きな断面力が発生することが分かる．これは不整形地盤に位置するトンネルが，天端近くに被害が生じる可能性を示唆している．

同様な傾向は1000-180mモデルでも確認ができた．

3.3 モデルの高さでの最大断面力比較

表 3 は 1000-180m，1000-540m モデルでの最大断面力を比較したものである．鉛直境界が 180m から 540m と高くなることにより，軸力および曲げモーメントの最大値がいずれも大きくなっている．

4. 考察

本研究の結果から，鉛直境界付近に位置するトンネルは，成層地盤と異なり天端方向に大きな軸力が発生することが分かった．この原因を図 7 により考察する．成層地盤で生じるようなせん断変形が，近傍の硬質地盤によって制限され，そのかわりにトンネルの圧縮変形が優越する．その結果として，トンネルには圧縮力が卓越したと考えられる．さらに，硬質地盤から反力を受けるトンネルは通常のせん断変形とは異なることから，断面力の最大値の発生方向が回転したと考えられる．以上のことから，今回は極端なモデルではあるが，耐震設計を行う場合は不整形地盤を考慮する必要があると思われる．今後の課題としては，より実務的なトンネルモデルを用いた解析や，地盤の非線形性を考慮したモデルでの解析を行うことが必要である．

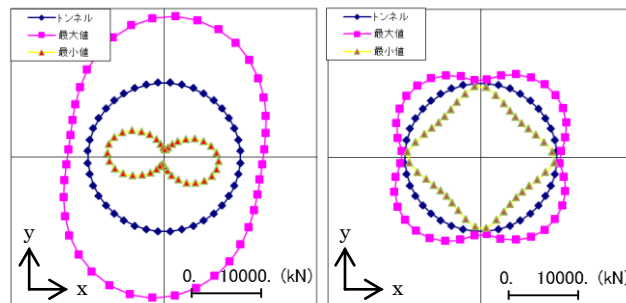


図 5 最大軸力(左:不整形 右:成層)

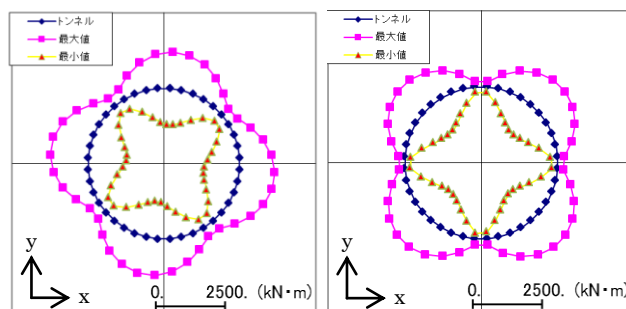


図 6 最大曲げモーメント(左:不整形 右:成層)

表 2 天端部断面力比較(1000-540m モデル)

	不整形地盤	成層地盤
軸力(kN)	8875	453
曲げモーメント(kN・m)	1200	27

表 3 各モデルでの最大断面力比較

	1000-180m モデル		1000-540m モデル	
	不整形地盤	成層地盤	不整形地盤	成層地盤
軸力(kN)	2161	803	8994	3072
曲げモーメント(kN・m)	342	298	1251	1134

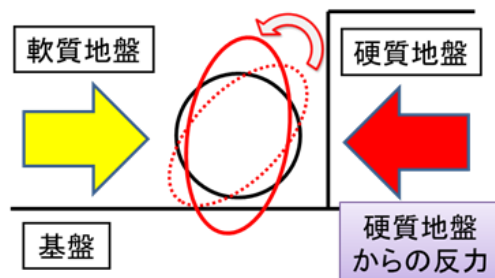


図 7 不整形地盤でのトンネル挙動概念図