

不整形地盤に位置する山岳トンネルの地震時挙動

東京都立大学 学生会員○杉本 悠
 首都大学東京 正会員 土門 剛
 首都大学東京 正会員 西村和夫

1. 研究の背景と目的

一般に、山岳トンネルの地震時挙動は周辺地山の挙動に支配されていると考えられている。さらに、周辺地山の地震時挙動は地震動の主要動である下方から入射するせん断波によるせん断変形に支配されていると考え、トンネルアーチ肩部およびインバート端部に大きな変形が生じ、それによりトンネル覆工に被害が生じると考えられてきた(図1)。しかし、1995年の兵庫県南部地震や2004年の新潟県中越地震においては、断層破碎帯等の不良地山ではトンネル肩部以外にも天端部などでの被害が多数観測された。

そこで本研究では、トンネル肩部以外の被害が多数報告されている不良地山を想定した2層の不整形地盤モデルを用いて2次元動的FEM解析を行い、不整形地盤における地震波の伝播挙動を明らかにし、その解析を基に不整形地盤にトンネルを配した振動解析を行い、強震時における山岳トンネルに被害が生じるメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 解析概要

2.1 不整形地盤解析

不良地山をモデル化するために、地盤のせん断波速度の異なる2層の不整形地盤を用いて地盤解析を行うこととした(図2)。解析領域は幅400m×深さ100mとした。なお、入力波はせん断波を想定し、現象を単純化するために100galの正弦波を下から入射させる。また、本研究では、最も厳しい条件下での評価を行うため、地盤を共振状態にさせる。そこで、まず、地盤の固有振動数を求めるために地盤の伝達関数を求めたところ、1次モード、2次モードともに大きな応答倍率を示した。そのため解析では1次固有周波数、2次固有周波数の2ケースを入力することとした。

2.2 トンネルー地盤系解析

不整形地盤モデルの解析データを基に不整形地盤に位置するトンネルの地震時挙動を把握するために、地盤内に直径10mの円形トンネルを配した解析を行う。解析の設定条件は前の不整形地盤解析と同一とする。

3. 解析結果

3.1 不整形地盤解析

地盤内の点がどのような軌跡を描いて運動しているかを確認する。その際の観測点として紙面の都合上、ここでは図2に示してある地表面(point1)と地下20mの点(point2)のみ示す。1次モードの粒子軌跡を図3-1、2次モードの粒子軌跡を図3-2に示す。これより1次モードでは地盤内粒子は成層地盤での挙動に近い、傾いた直線的な動きをするのに対し、2次モードでは楕円状のループを描いている。過去の研究より傾斜地盤境界にせん断波が入射すると反射・屈折波および表面波のひとつであるレーリー波が生じることがわかっている。そのため1次モードでは屈折せん断波が卓越している状態で、2次モードではレーリー波が卓越している状態であると推定できる。

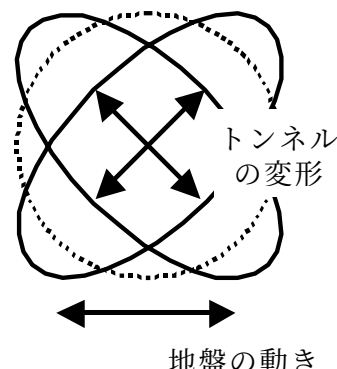


図1 せん断波によるトンネル変形の模式図

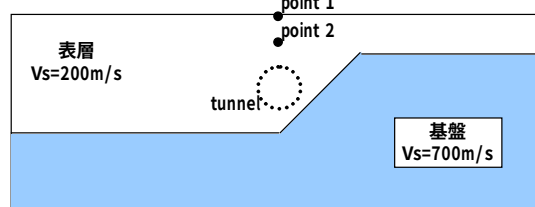


図2 解析モデル図

キーワード トンネル, 地震, レーリー波, 表面波, 不整形地盤

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 (首都大学東京) TEL 0426-77-1111

3.2 トンネルー地盤系解析

不整形地盤解析に位置するトンネルにどのような変位が生じ、どのような断面力が働くかを調べる。

(1) トンネルに作用する強制変位

図4にトンネルに働く右方向・左方向の最大強制変位を示す。これより1次モード、2次モードともに傾いたせん断変形に加え拡大・圧縮される変形が生じていることがわかる。これは、1次モードの地盤内粒子は傾いて直線的に動くがその傾きは場所により多少異なり、そのためトンネル底部と上部で変形の差が生じそれが拡大・圧縮される原因となったと考えられる。それに対し2次モードでは地盤内粒子は楕円のループを描いており、トンネル底部の動きは上部より小さいため、その差によりトンネルは常にゆがめられた状態で楕円軌道を動き、拡大・圧縮を繰り返す変形モードになっていると考えられる。変形概念図を図5に示す。

(2) トンネル覆工に生じる断面力

図6に最大応答軸力図および曲げモーメント図を示す。これより軸力、曲げモーメントともに1次、2次どちらのモードでもトンネル肩部以外に断面力のピークが発生した。1次モード、2次モードともに軸力の分布に大きな差異はないが曲げモーメントの分布では違いが見られた。この差異は先の強制変位で説明したような挙動の違いから生じていると考えられる。

4. まとめ

以上の結果をまとめる。不整形地盤では入力周波数により地盤挙動は大きく異なり、1次モードでは屈折せん断波が卓越し、2次モードではレーリー波が卓越する。その挙動の違いにより、不整形地盤に位置する山岳トンネルでは肩部以外でも応答断面力のピークが発生することがわかってきた。そのためトンネル天端部等に見られた被害について不整形地盤による影響が関係している可能性が確認された。しかし、不整形地盤での応答倍率が成層地盤と比較して相対的に大きいわけではなく、他にも複数の要因が重なって山岳トンネルに被害が生じていると考える。

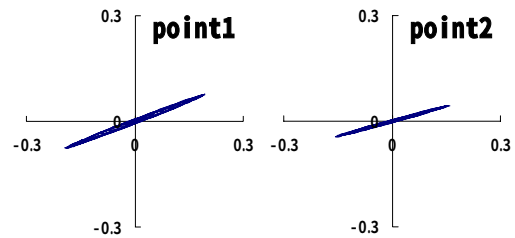


図 3-1 1次モードでの粒子軌跡

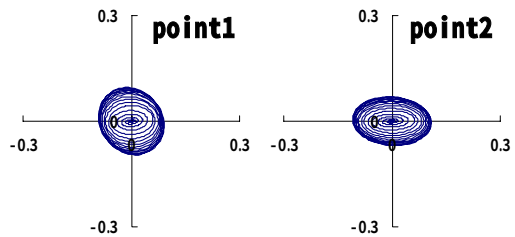


図 3-2 2次モードでの粒子軌跡

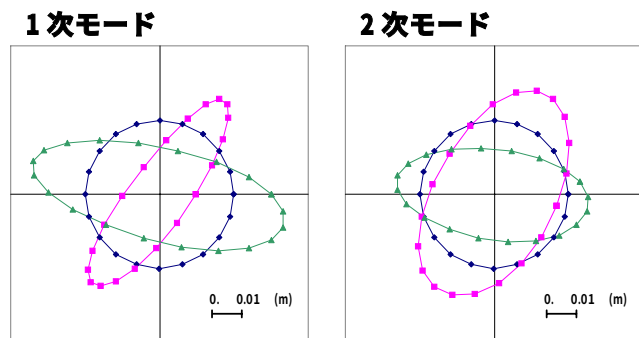


図 4 トンネルに作用する強制変位

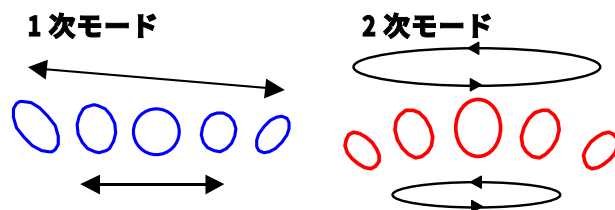


図 5 トンネル変形の模式図

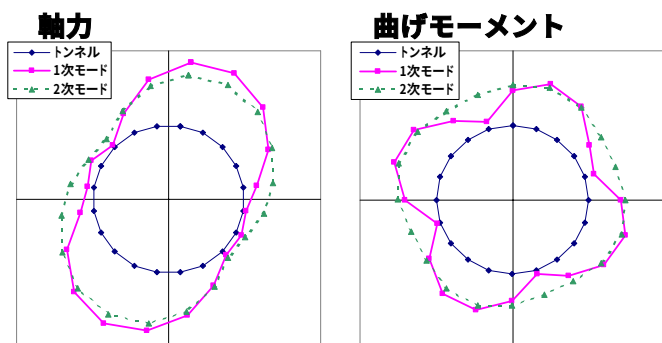


図 6 最大応答断面力図

参考文献

- 1) Yamaguchi, Y., Tsujita, M., Wakita, K.: Seismic Behavior Of a Rock Tunnel, Proc. Of JSCE No.374/I-6,1986.10
- 2) 大町達夫・飯山かほり：地震観測に基づく不整形地盤による上下動増幅要因の検討、土木学会論文集 No.654/ I -52,2000.7