不整形地盤に位置するトンネル覆工の地震時挙動

大成建設(株) 会員 〇杉本 悠

首都大学東京 会員 土門 剛

首都大学東京 会員 西村 和夫

1. 目的

近年の大地震において、トンネル覆工の天端部の圧座やインバートの隆起など従来の地震時挙動の考え方 (成層地盤,S波の下方鉛直入射を仮定した場合,鉛直・水平軸から45°の4箇所に応力が集中)に沿わな い被害が多数観測された.これらの被害を生じさせる可能性の一つとして背面空洞など施工上の問題が含ま れるが、ここでは影響が大きいと考えられる地形的・地質的不整形に関する影響について検討した.

- これらの影響には,
- ① 屈折により鉛直軸から角度を有してトンネルに入射するS波の影響
- S 波の屈折の際に生じる P 波の影響
- S 波および P 波の重複による影響
- ④ Rayleigh 波の影響
- ⑤ 種々の不整形の特徴に起因する増幅モードの影響

などが考えられる.これらのメカニズムに関する知見を得ることを目的として、本研究では不整形地盤の分 類のうち、傾斜境界を有するものを対象として解析による検討を行った.

2. 解析方法

2.1 モデル化 (図 1)

トンネル横断面の検討として二次元モデルとした.なお,研究の第一段階として地山・トンネルともに 線形要素とした.

- 地山:予備解析に基づき,幅1000m,深さ100mの2層地盤とし,表層の厚さを60mから20mに45°の傾斜角で変化させることで傾斜境界をモデル化した.また,定性的な知見を得ることを目的として,表層のVsを200m/s,基盤のVsを700m/sと設定し,実際の地盤で想定されるよりも大きな剛性差を与えた.
- 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.
- ③ 境界: 逸散減衰を表現するため, 側方・底面にはともに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,時間領域での有限要素解析の汎用プログラム TDAPIIIを用いた.
 - ② 入力波:正弦波および実波を基盤から鉛直入射させた.正弦波の周波数は後述の伝達関数の結果から決定した.なお、実波として入力した波は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である.
 - ③ 解析ケース:入力波の種類およびトンネルの 有無をパラメータとして解析を行った.トン ネルを配置したケースでは、図1に示すよう な配置とし各位置1ケースとして実施した.

up
(-60,40)
(0,40)
(20,40)
up

up
(-125,20)
(-60,20)
(0,20)
up
up

麦層
0
x
up
u

キーワード トンネル 地震時被害 不整形地盤 覆工

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース TEL 0426-77-1111(4566)

3. 解析結果

以下に主な結果を示す.

- ① 伝達関数: 不整形地盤であるから水平方向の位置によって伝 達関数は変化するもののおおむね図 2 に示すように水平方向は 0.8Hz および 2.5Hz, 鉛直方向は 1.6Hz でピークをとる. なお, これらの周波数は傾斜境界左方と同じ構造をもつ成層地盤で S 波および P 波を下方から鉛直入射した場合の S 波, P 波の卓越周 波数とほぼ一致する. 傾斜境界で P 波が発生し, 鉛直に近い角度 を有して表層内で増幅したことの現れであると考えられる.
- ② 覆工断面力:図3,図4に実波入力時における(20,40)の位置の 覆工断面力を示す.断面力のピークが成層地盤における45°の 方向から回転し,天端近くに生じていることから,天端部での圧 座等被害を生じさせる可能性を示唆している.なお,この断面力 分布は,正弦波解析と比較した結果,0.8Hz入力時の断面力分布 とほぼ同様で,その影響が強い.一方,1.6Hzの影響は相対的に 小さいことも分かっている.
- ③ トンネル変形の評価指標:覆工に断面力を与える変形には体積 変化を伴わないせん断変形と体積変化を伴う拡大・圧縮変形があ る.図5に断面力の最大値と、せん断変形を表す指標である主ひ ずみ差の相関を示した.本図より曲げモーメント(図5の■印) は主ひずみ差と線形関係にあり、主ひずみ差で決定されることが わかる.一方、軸力(〇印)は拡大・圧縮変形の生じない成層地 盤における実波の軸力応答値(●印)の近似曲線をすべて上回っ ている.成層地盤における実波の軸力応答値の近似曲線を境とし て図に示すようにせん断変形によるもの(N_s)と拡大・圧縮変形 によるもの(N_v)に分けることができる.斜面近傍において N_v は全体の 30~40%を占め、拡大・圧縮変形の影響が大きいことが 分かる.さらに、応答値は拡大・圧縮変形を最も受ける斜面近傍 の(20,40)において最大の値を示した(点 A).

4. 結論

本研究により以下のことがわかった.

- ① 1.6Hzのように傾斜境界を有する不整形地盤に特有の増幅モードが確認されたが、その影響は相対的に小さく、成層地盤の増幅モード(0.8Hz)が支配的である.
- ② 斜面近傍において、断面力のピークが天端に生じることはなかったが、天端から 10° 前後の箇所に生じ、不整形の存在が断面力ピークの回転をもたらすことが分かった。
- ③曲げモーメントはせん断変形に起因するため,斜面の影響が及ば ない位置か,成層地盤において大きな応答を示す.
- ④ 一方,軸力は傾斜境界の存在による拡大・圧縮変形に起因するため,斜面近傍で大きな応答を示すことがある.





図 3 軸力 実波, (20,40)



図 4 曲げモーメント 実波, (20,40)

