

山岳トンネル縦断方向の耐震検討方法に関する一考察

大成建設(株)土木本部土木設計部 正会員 ○長田 翔平・西谷 友幸・石岡 賢治・長崎了

1. はじめに

近年、山岳トンネルの耐震性能に関して多くの研究が行われており、地震時の安全性について関心が高まっているが、破砕帯等の弱層を通過する山岳トンネルの縦断方向に関する既往の研究は少ない。また、山岳トンネルの覆工の設計においては、一般的に坑口部等で横断方向の検討は実施されるが、縦断方向の検討は省略され、そのモデル化に関しては確立された手法がないのが実情である。本稿は筆者らが考案した耐震解析モデルを報告し、山岳トンネル縦断方向の地震時挙動に関して考察するものである。

2. 耐震解析モデル

円形断面の山岳トンネルの縦断方向に対して、二次元動的 FEM 解析を実施する。表層、支持層、基盤層からなる水平成層地盤を想定し、トンネル縦断方向に 45° で交差する厚さ 0.4m の破砕帯を考慮する。図-1 に解析モデル図を示す。破砕帯以外の地盤は平面ひずみ要素でモデル化し、表層にはひずみ依存特性を与える。破砕帯はばね要素でモデル化し、ひずみ依存特性を与える。側方および底面境界は粘性境界とする。構造物は山岳トンネル縦断方向のフレキシブルな構造を再現するため、平面ひずみ要素+ジョイント要素でモデル化を行う。図-2 に示すように、トンネル断面を二次元モデルで評価できるよう、面積が等価となる等積箱形と仮定する。縦断方向剛性は耐震壁の剛性評価¹⁾に基づき、ウェブ部分のみを有効と考え、図-3 に示す奥行き厚さでモデル化する。地盤要素の奥行き厚さはトンネルの等価断面幅とする。打継目および地盤-構造物間にはジョイント要素を設置し、剥離・滑りを考慮する。また、破砕帯交差部付近のみ、トンネルをモデル化する。構造物端部は、実際にはトンネルが連続しており、地盤と接触しないため、地盤要素との境界はフリーとする。

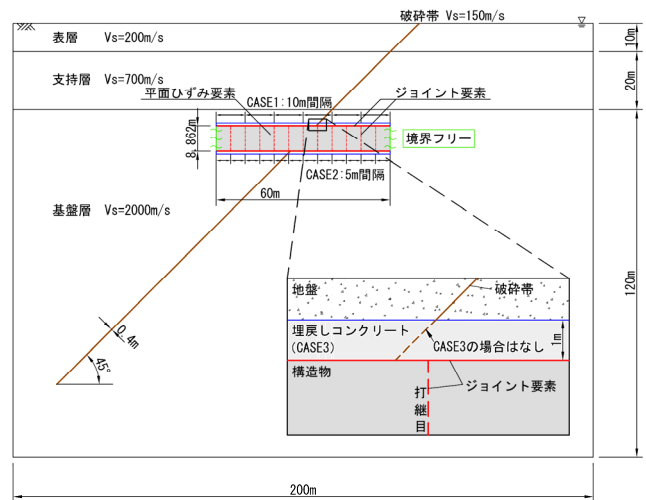


図-1 解析モデル図

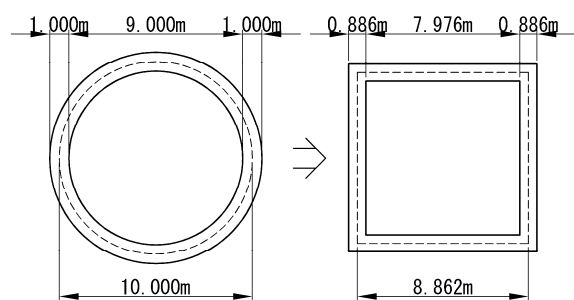


図-2 トンネルの等価断面

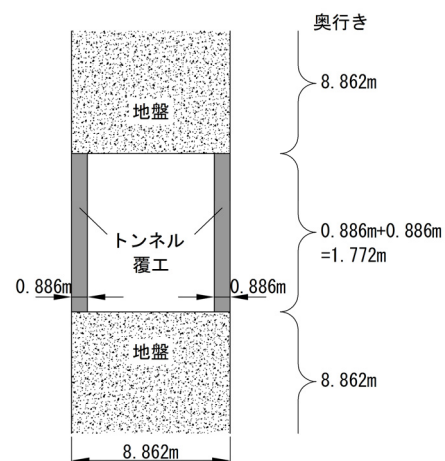


図-3 解析モデルの奥行き厚さの設定

解析ケースは、縦断方向の打継目が 10m 間隔のケース (CASE1)、打継目が 5m 間隔のケース (CASE2)、打継目が 10m 間隔で覆工背面 1m の範囲に埋戻しコンクリートを配置したケース (CASE3) の計 3 ケースとする。解析に用いる地震動は図-4 に示す道路橋示方書のレベル 2 地震動 (タイプ II) のうち I 種地盤のものをモデル底面に入力

キーワード 山岳トンネル 縦断方向 破砕帯 二次元動的 FEM 解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 (新宿センタービル) 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5296

する。解析手法は全応力の非線形動的解析手法とし、解析コードは TDAPⅢを使用する。

3. 解析結果

3 ケースの同時刻における変形およびせん断応力コンター図を図-5 に示す。なお、この時刻は全ケースにおいて構造物要素の最大せん断応力が発生する時刻である。変形に着目すると、構造物は周辺地盤の変形に伴い打継目が滑動することで 1 ブロックごとに右方向へ回転変形している。これはブロック間の打継目において縁が切れていることに起因する山岳トンネル特有の変形である。また、せん断応力に着目すると、構造物と周辺地盤との接触部に応力が集中しており、対角方向にせん断応力が伝達されている。破砕帯交差位置近傍のブロックには両脇のブロックと比べ、比較的大きな応力が発生している。これは破砕帯による局所的な変形に伴い、破砕帯交差位置近傍のブロックが柱のような役割を果たしていると考えられる。その観点で打継目の間隔の違いに着目すると、CASE1 に比べ、CASE2 では伝達経路となるブロックが増えることによる分散効果として、発生応力が低減していることが分かる。

また、CASE3 においても、CASE1 と比較して発生せん断応力が低減している。これは覆工背面を埋戻しコンクリートで置換することによって、構造物に接する地盤の破砕帯に伴う変形の不連続性が緩和されることが要因と考えられる。既往の検討²⁾では、破砕帯を通過する山岳トンネルの横断方向の検討に関して、埋戻しコンクリートによる変位抑制効果が確認されており、縦断方向に対しても有効となる可能性がある。

4. まとめ

山岳トンネル縦断方向の耐震解析方法を提案した。同手法は円形の山岳トンネルを等積箱型の等価断面とし、原子力構造物で採用される耐震壁の剛性評価に基づき、ウェブ部分のみを有効とした平面ひずみ要素でモデル化を行う。打継目では剥離・滑り挙動の評価を行うことで、変形時の蛇腹構造を再現することが可能となる。

上記モデルで二次元動的 FEM 解析を実施した結果、破砕帯交差位置近傍では周辺地盤のせん断変形に伴い、構造物がブロックごとに回転するように変形し、対角方向にせん断応力が卓越する傾向となることがわかった。また、破砕帯等の弱層を通過する場合、打継目の間隔を小さくすることや、覆工背面を埋戻しコンクリートで置換することは、構造物に発生する応力の低減に有効であると考えられる。

本検討では、従来のモデル化方法を組み合わせて耐震解析方法を提案したが、今後は本手法のような簡便なモデル化による合理的な山岳トンネル縦断方向の耐震設計法を確立するため、詳細な検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008), 2008.
- 2) 西谷友幸, 長田翔平, 石岡賢治, 長崎了：破砕帯を通過する山岳トンネルの変位抑制工法に関する一考察, 第 71 回年次学術講演会, 2016. (投稿中)

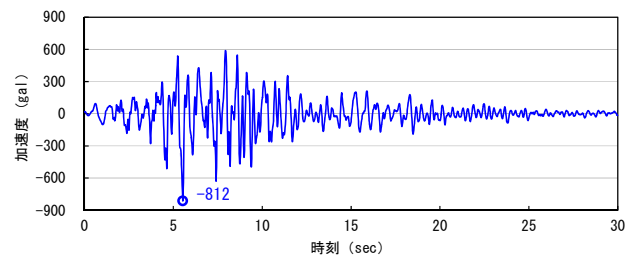


図-4 解析に用いた地震動

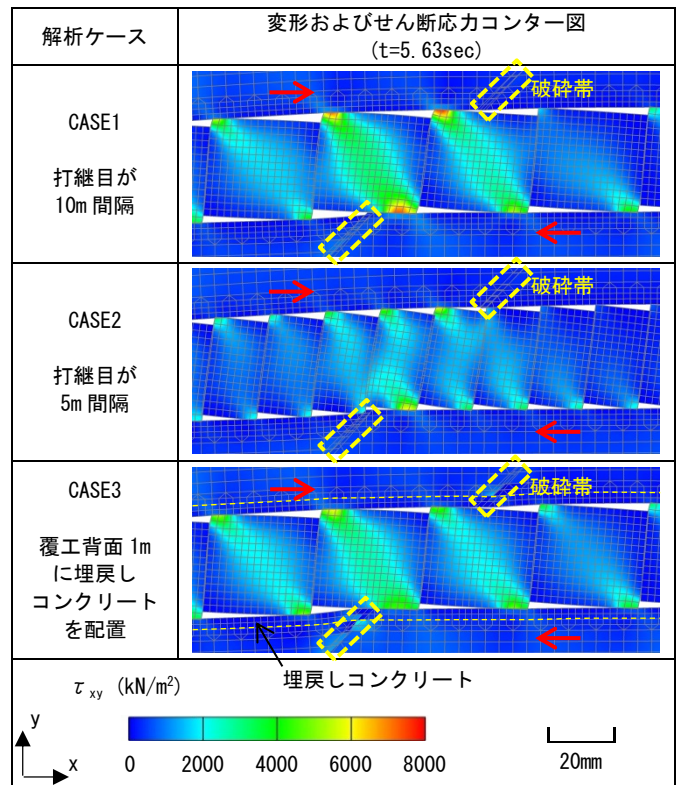


図-5 変形およびせん断応力コンター図