

## 破碎帯と交差するトンネルの耐震性検討に向けた破碎帯を有する地盤の解析的検討

構造計画研究所 正会員 ○三橋 祐太  
電力中央研究所 正会員 永田 聖二  
東北電力 正会員 熊田 広幸

### 1. 目的

東北地方太平洋沖地震以降の基準地震動の増大に伴って、耐震安全性に対して従来の保守的な評価を高度化することが必要となっている。特に、トンネルやカルバートなどの屋外重要土木構造物が破碎帯と交差する場合には、耐震性能照査が厳しくなる可能性が懸念されている。また、破碎帯による局所的な変形の影響を受ける RC 構造物の挙動については未解明な部分も多く、評価手法の構築が求められている。以上の背景から、我々は岩盤内に位置する破碎帯と交差する実規模トンネル構造物を対象とし、一連の耐震安全性の評価を実施している。その際に、実用性・実現性の観点から破碎帯の応答値（変位量）を求める動的解析と、破碎帯の変位に対する構造物の限界値を求める静的 RC 非線形解析を分けて行うこととした。動的解析においては岩盤内に位置する破碎帯との動的相互作用を考慮するために比較的広域の地盤をモデル化するが、岩盤内に局所的に存在するトンネルが地盤の挙動に与える影響はごく小さいと考えトンネルはモデル化しない。静的解析においては、トンネルとその近傍の岩盤のみを比較的詳細にモデル化する。本報告では、応答値算出のための 3 次元動的解析実施するとともに、破碎帯傾斜方向の 2 次元解析でも等価な結果が得られることを示す。

### 2. 解析モデル

解析モデルを図 1 に示す。地盤は水平成層を仮定し、破碎帯を走向、傾斜、垂直 3 方向のばね要素で、表層地盤および岩盤をソリッド要素でモデル化した。地盤物性値は文献[1]を参考に表 1 に示すものを用いた。破碎帯の初期剛性は拘束圧依存で与えられているため、破碎帯の地表面からの深さと単位体積重量から有効応力を求めたうえで、各要素に対して別個の初期剛性を与えた。表層地盤および破碎帯には R0 の非線形材料を設定した。破碎帯の傾斜角は 80 度、走向角としてトンネルの軸方向とのなす角を 30 度とした。先述の通りトンネルはモデル化しないが、破碎帯との位置関係や破碎帯に生じる相対変位を検討するうえで、図に示すように G. L. -75m の深さに想定した。入力地震動は、耐専 M7.1 波を解放基盤面 (G. L. -20m) に規定したうえで、1 次元波動伝播解析 (SHAKE) により G. L. -200m (解析モデル底面) まで引き戻した 2E 波を外力として用いた。減衰はレーリー減衰とし、ターゲット振動数は 2.0Hz および 10.0Hz とした。

### 2. 解析結果

トンネル位置における破碎帯を挟んだばね要素の相対変位時刻歴を図 2 に示す。ばね要素の相対変位時刻歴は 3 成分が求まるが、傾斜方向の成分のみが卓越しており、11mm 程度の最大相対変位となっている。破碎帯の傾斜方向と地震動の入力方向は 60 度の角度をなしている (破碎帯の走向方向とトンネルの軸方向は 30 度で交差しており、トンネルの軸直交方向に地震動を入力している) にも関わらず、破碎帯の応答変位は傾斜方向が卓越しており走向方向と鉛直方向は極小さくなる結果となった。本検討では破碎帯の傾斜角を 80 度と比較的高角に設定していることから、破碎帯の幾何条件に起因するものと考えられる。

### 3. 2 次元モデルによる検討

一般的に破碎帯を有する地盤の地震時における挙動を求めようとする、その構造上 3 次元の解析を行う必要がある。一方、先に見たように本報告における条件において、応答変位が破碎帯傾斜方向に優位に大きい結果を踏まえると、破碎帯傾斜方向に断面を設定した 2 次元解析でもある程度挙動を評価可能であることが期待できる。実務において、3 次元解析はモデル化が煩雑で計算時間も要するため、2 次元解析による検討に

キーワード 破碎帯, 3 次元解析, 耐震性能評価, トンネル構造物

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央 4 丁目 5 番 3 号 構造計画研究所 防災・環境部 TEL 03-5342-1137

対するニーズが高いという状況もある．そこで， 図 4 に示すように， 3 次元のモデルから破砕帯傾斜方向に断面を取り出した 2 次元モデルを作成し検討を行った．用いる地盤の物性値，非線形特性等は 3 次元解析で用いたものと同様である．地震動の入力方向と破砕帯の傾斜方向のなす角（60 度）から，3 次元モデルに入力した地震動を  $\sin(60 \text{ 度})=0.866$  倍したもの（傾斜方向成分）を 2 次元解析のモデルに入力した．

3 次元解析と 2 次元解析でトンネル位置の相対変位を比較したものを図 5 に示す．2 次元モデルでは，傾斜方向の応答変位時刻歴は 2 次元解析と 3 次元解析でよく一致しており，本検討における問題設定では破砕帯傾斜方向に作成した 2 次元解析モデルでも破砕帯の挙動をよく再現することがわかった．

4. まとめ

屋外重要土木構造物に対する実用的な耐震性能照査方法を検討するために，岩盤内に破砕帯を有する地盤を対象として 3 次元解析による応答評価を行った．さらに，本報告の条件設定においては，2 次元解析でも同等の評価が可能であることを示した．今後限界値を求めるための材料非線形静的解析を実施するとともに，耐震性能照査方法の検討を行う．

謝辞：本研究は，電力 8 社と日本原子力発電(株)，電源開発(株)，日本原燃(株)による研究の一環として実施した．関係各位に謝意を表す次第である．

表 1 材料物性値一覧

|      | 層厚   | 上端     | 下端     | Vs   | poi  | rho               | G0                             | h   |
|------|------|--------|--------|------|------|-------------------|--------------------------------|-----|
|      | m    | m      | m      | m/s  | -    | kN/m <sup>3</sup> | MPa                            | %   |
| 表層地盤 | 5.0  | 0.0    | -5.0   | 300  | 0.45 | 18.0              | 170                            | -   |
| CM1  | 40.0 | -5.0   | -45.0  | 1000 | 0.40 | 23.0              | 2300                           | 3.0 |
| CM2  | 60.0 | -45.0  | -105.0 | 1300 | 0.37 | 25.0              | 4200                           | 3.0 |
| CH1  | 40.0 | -105.0 | -145.0 | 1500 | 0.36 | 25.0              | 5900                           | 2.0 |
| CH2  | 55.0 | -145.0 | -200.0 | 2000 | 0.35 | 26.0              | 11000                          | 2.0 |
| 破砕帯  | -    | -      | -      | -    | 0.45 | 18.0              | $2.2 \times \sigma_{m0}^{0.6}$ | 5.0 |

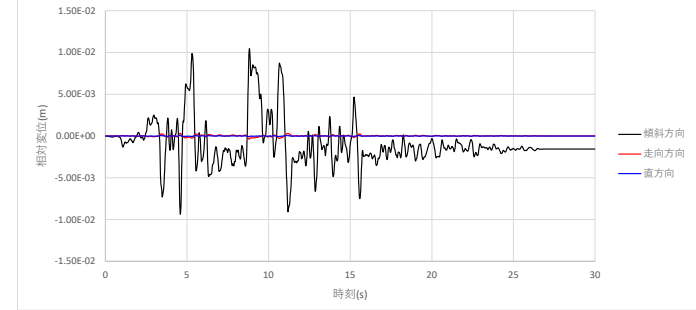


図 2 トンネル位置相対変位時刻歴

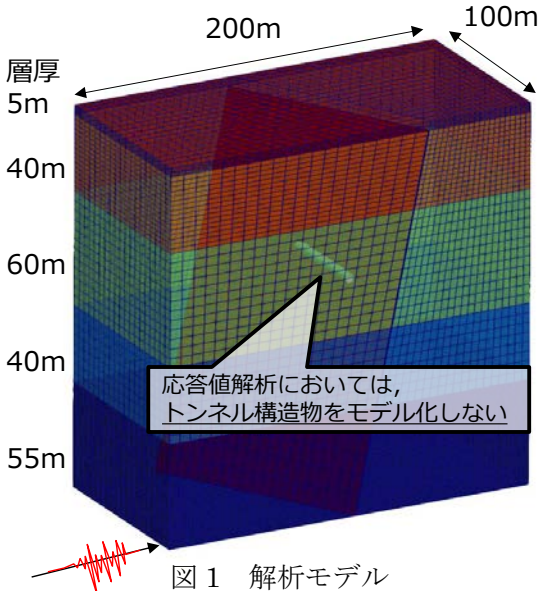


図 1 解析モデル

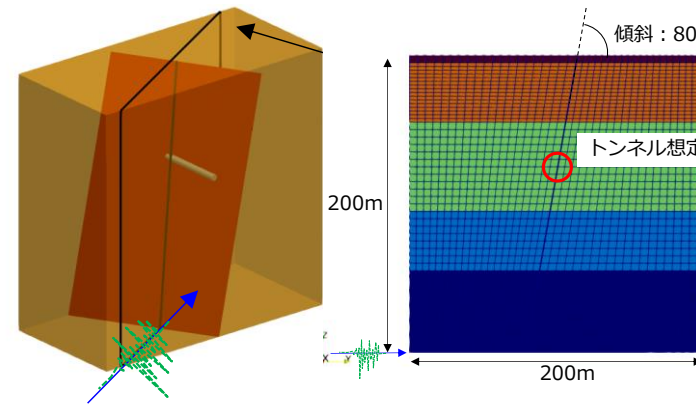


図 3 2 次元傾斜断面モデルのイメージ図

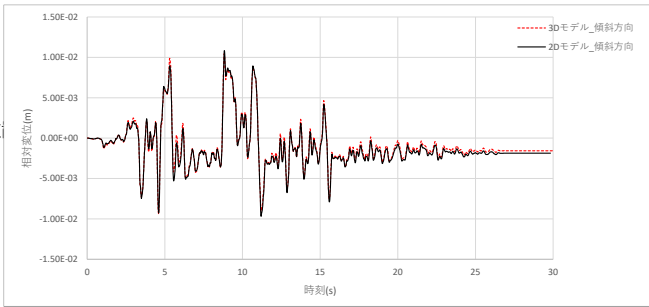


図 4 トンネル位置における相対変位の比較（傾斜方向）

参考文献

[1] 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術＜技術資料＞，平成 21 年 2 月 28 日，土木学会．