

食い違い断層変位を受けるトンネルの地盤物性および断層との交差角の影響検討

日本原子力発電(株) 正会員 秋山 隆 正会員 増田 崇治
(株) 構造計画研究所 正会員 ○三橋 祐太 正会員 島袋 ホルヘ

1. はじめに

原子力発電所の新規規制基準では、耐震重要施設は将来活動する可能性のある断層等の露頭のない地盤に設置することとされている。これは、断層変位に対する設計の妥当性証明の困難さや実証データの蓄積状況等を踏まえ、断層変位に対する研究が更に必要であるとの背景がある。一方で裕度評価や地震 PRA の観点から、断層変位に対する構造物の定量的な影響評価が求められている。本研究では断層変位を受けるトンネル構造物の影響検討を、地盤をばねでモデル化した有限要素モデルにより実施した。地盤の剛性、断層とトンネルの交差角を変えたパラメータスタディにより食い違い断層変位を受けるトンネルの影響評価を実施した。

2. 解析モデル

解析モデルを図 1 に示す。トンネルは鉄筋コンクリート構造を想定し、コンクリートをソリッド要素、鉄筋を平面応力要素によりモデル化している。また、トンネルの周囲には地盤を模擬した線形の地盤ばねを設定している。トンネルは内径 5m、覆工厚 0.5m の鉄筋コンクリートによりモデル化している。コンクリートおよび鉄筋は一般的な物性値を設定した。コンクリートは引張および圧縮に対する非線形材料として、鉄筋はバイリニアの非線形材料を設定している。境界条件として、トンネル軸方向の半分は、ばねを介した節点を固定し、もう半分にはばねを介して変位を入力する(図 1-A, B)。

地盤ばねの物性値は、別途行った周辺地盤をソリッド要素によりモデル化した解析モデル(図 1-C)と、線形領域でのトンネルの挙動が整合するように定めた。ただし、ばねはトンネルの法線・接線方向で同じ単位面積当たりのばね値とした。地盤をばねでモデル化したケースとソリッドでモデル化したケースでトンネルの応答を比較した、一部ひずみコンターに差異が見られるが両者はおおむね一致していることを確認した。

3. 地盤の剛性の影響評価

地盤の物性値がトンネルの応答に与える影響を評価することを目的とし、地盤のヤング係数として 1000MPa, 500MPa, 250MPa の 3 ケースを設定し、トンネルの応答を比較した。変形図およびトンネルに発生した最大せん断ひずみを比較したものを図 2 に示す。周辺の地盤が硬くなるほどトンネルの変形は断層近傍に集中し、結果的にひずみも大きくなることが確認できる。トンネルの損傷は断層交差部に生じる、トンネルが断層のずれを受けることによるせん断モードと、トンネルが S 字状に変形することにより、断層交差部から若干離れたところに生じる曲げモードに大きく分けられる。周辺地盤の剛性が変わることにより、後者の損傷モードが生じる位置が異なる。

4. トンネルと断層の斜交の影響評価

次に、トンネルと断層が斜め 45 度で交差する場合の検討を実施し、直交する場合と比べどのような変化が生じるかを検討した。トンネルと断層の交差角以外の条件は同一としている。トンネルの断層が 45 度で交差する場合の断層のずれ変位としては、トンネルが引張の変位を受けるずれ方向と圧縮の変位を受けるずれ方向の 2 種類が存在する。そこで両者の検討を実施し、直交する場合と合わせて 3 つの応答を比較した。トンネルの変形図および最大せん断ひずみを比較したものを図 3 に、トンネルの断面のコンターを図 4 に示す。コンター図を見るとトンネルと断層が直交するケースにおいて最も大きいせん断ひずみが生じている。一方でトンネルが引張を受けるケースでは広範囲にひび割れが比較的早い段階で生じ、それに伴って鉄筋の降伏も比較的早い段階で生じる傾向が見られる。一方で圧縮を受けるケースでは鉄筋の降伏は軽微である。ただしこれはある一定の変位量における比較であり、大きな変位量が入力された場合の応答は異なることも考えられる。

キーワード トンネル構造物, 断層変位, 有限要素法

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

5. まとめ

本研究では食い違い断層変位を受けるトンネルの影響評価を目的として、トンネルをソリッド要素で、地盤をばね要素でモデル化して検討を行った。地盤をばねでモデル化するには、地盤をソリッド要素でモデル化したモデルを別途作成し、ばねモデルとソリッドモデルで応答が整合するようにばね値を定めた。

地盤の物性値を変えた検討を実施し、地盤の剛性が固くなるほどトンネルの変形は断層交差部に集中し、トンネルに生じる最大せん断ひずみが大きくなることが分かった。また、トンネルと断層が斜交するケースに対して解析を実施し、直交するケースと応答を比較した。トンネルに生じる最大せん断ひずみはトンネルと断層が直交するケースにおいて基本的には大きく評価されるが、鉄筋の降伏などに着目すると、斜交のケースの方が大きくなる場合があることが分かった。

今後は地盤の非線形性の影響なども考慮した検討を実施し食い違い断層変位を受けるトンネルの影響評価の精緻化を図ってきたい。

謝辞：本研究は、電力9社と日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)による原子力リスク研究センター共通研究として実施した。関係各位に謝意を表す。

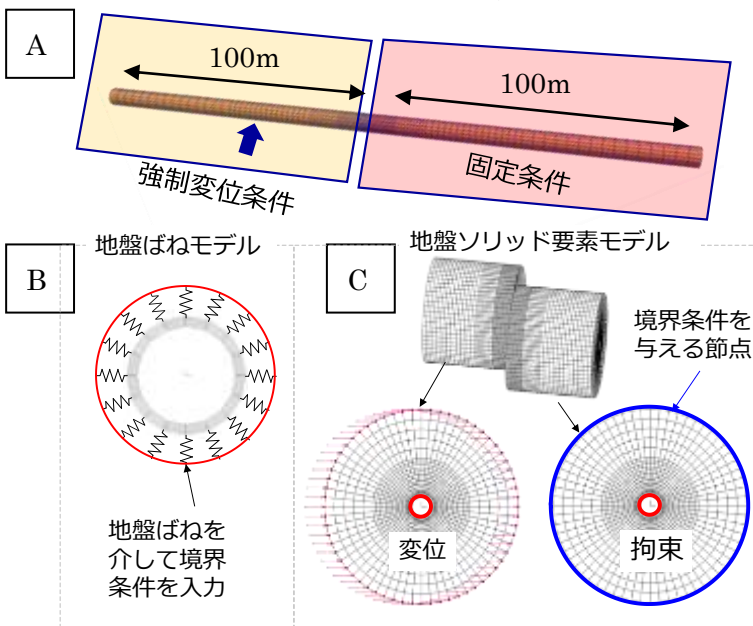


図1 解析モデル図

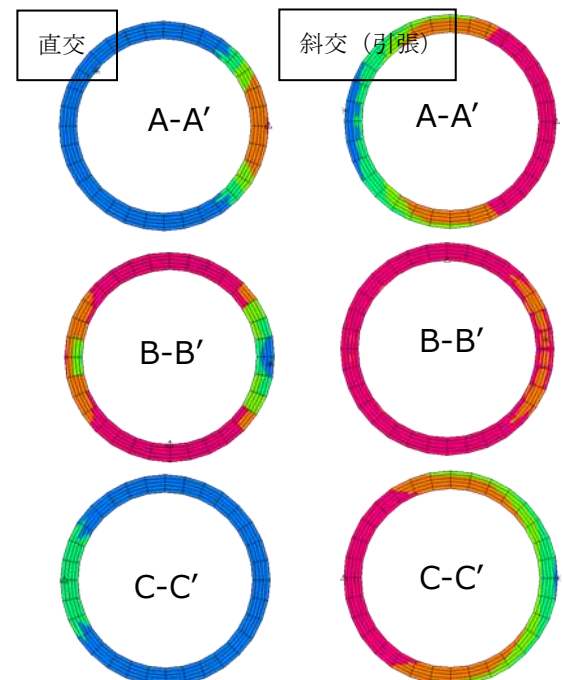


図4 最大せん断ひずみコンター図(断面図)

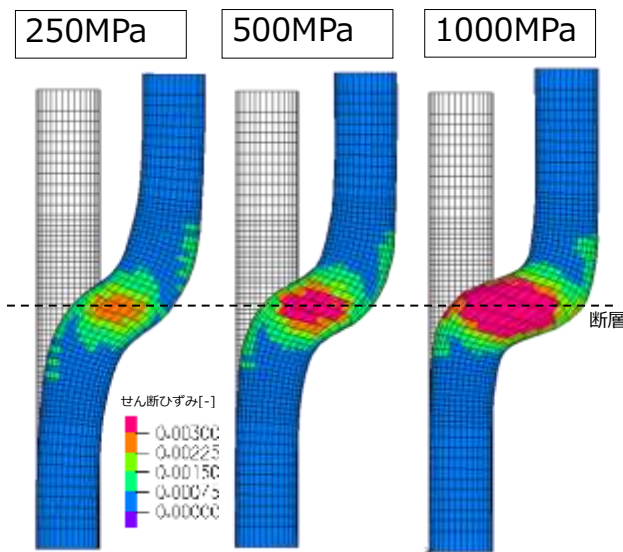


図2 変形図+最大せん断ひずみコンター図
(地盤の剛性の影響検討)

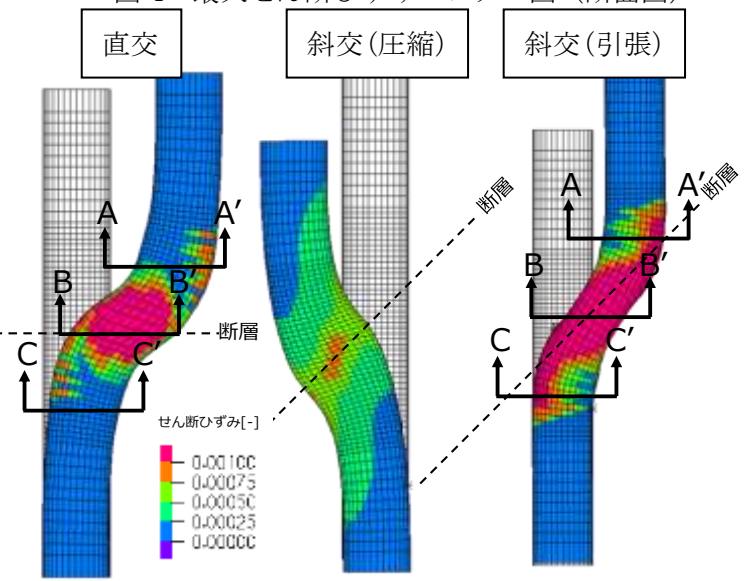


図3 変形図+最大せん断ひずみコンター図
(トンネルと断層の斜交の影響検討)