

断層の動的破壊を考慮した食い違い変位を受けるトンネルの3次元有限要素解析

(株)構造計画研究所 正会員 ○三橋 祐太 孫 宏晨 ラジャセカラン シャンタヌ
 静岡理工科大学 野口 博 丸田 誠
 東京大学 橋本 学 奥田 洋司

1. はじめに

原子力発電所近傍で破碎帯などの弱層に変位が励起された際の影響評価が、裕度評価や確率論的リスク評価などの観点から求められている。本検討では、動学的破壊シミュレーション解析により断層の破壊過程をシミュレーションし、断層と交差するトンネル構造物に食い違い断層変位を入力した際の影響を評価した。

2. 解析条件

断層変位を受ける地中構造物に関する既往の検討では、構造物と周辺地盤をモデル化した上で、モデル境界に変位を入力した静的解析が多く行われている。本解析では、断層をまたがるトンネルを検討対象として、断層全体をモデル化し、動力学破壊シミュレーションに基づいた解析を実施した。解析モデルの全体図を図1に示す。断層パラメータなどは、三橋ら¹⁾を参考にして作成した。断層の走行方向の中央部分に、コンクリート造のトンネル構造物及びトンネル周辺地盤をモデル化した。トンネルの形状は、一般的なものとして、図2に示すように作成した。解析モデルの総節点数は、約400万節点である。解析コードは、大規模並列解析可能な有限要素解析コードFrontISTR²⁾をカスタマイズしたものをを用いた。

動学的破壊シミュレーションに用いる地殻の物性値は、せん断弾性係数30GPaである。一方、トンネル周辺を切り出した検討に用いる地盤物性としては、より柔らかい地盤を対象として、せん断弾性係数0.3GPaとした。本解析では、コンクリートの非線形特性として、野口らを中心としたグループが開発した構成則³⁾をFrontISTRに実装した。コンクリートの応力ひずみ関係を図3に示し、コンクリート材料構成則を表1に示す。

3. 動的効果の影響検討

動学的破壊シミュレーション解析により求めたトンネル周辺地盤の断層変位を境界条件とした静的解析を実施し、両者の応答を比較することで動的な影響評価を検討した。本検討の動的解析ではトンネル構造物を線形とした。図6に最大せん断ひずみの時刻歴に静的解析により評価された値(青い点線)を示す。動的解析では、解析の継続時間を $T=20.0(s)$ とした。せん断ひずみの時刻歴は、定常状態に至っているため、振動の中立

トンネル周辺地盤メッシュ

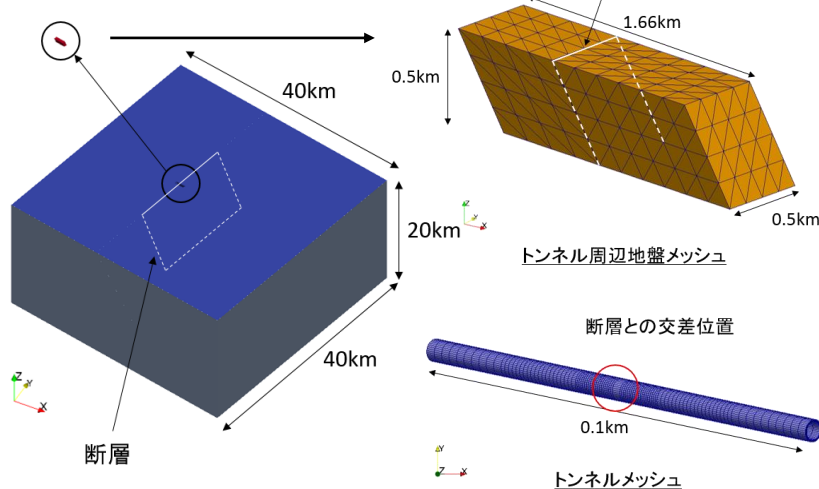


図1 解析モデル(全体図)

図2 解析モデル(トンネル)

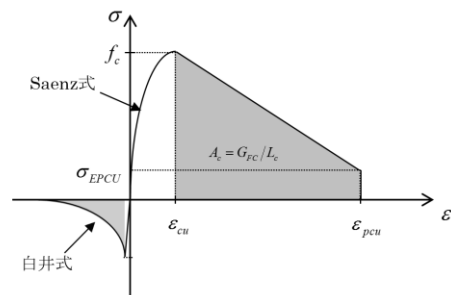


図3 コンクリートの応力ひずみ関係

表1 コンクリート材料構成則

構成則	モデル
圧縮破壊条件	William-Warnkeの5/パラメータモデル(Kupferの基礎実験)
ひび割れモデル	固定ひび割れモデル
ひび割れ後の圧縮強度低減	野口・飯塚モデル
ひび割れのせん断伝達特性	青柳・山田モデル

キーワード 並列有限要素解析, 動学的破壊シミュレーション, 断層変位, トンネル, コンクリート非線形
 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

軸と静的解析の結果と近くなっていることが確認できる。時刻歴で見た時の最大値と定常時の最大せん断ひずみは、本検討条件においては最大値の方が1割程度大きい結果となった。本検討によって食い違い断層変位を受けるトンネルの動的な影響評価が可能であることが示された。

4. コンクリートの材料非線形の静的解析

前章で示したコンクリート線形の静的解析結果に対して、コンクリートの非線形を考慮した場合の影響評価を行った。食い違い断層変位が10cm時の変形図（変形倍率200倍）およびせん断ひずみコンターの比較を図4に、コンクリート非線形の場合のひび割れコンターを図5に示す。コンクリート非線形を考慮することで、断層交差部においてひずみが卓越する結果となった。ひび割れ図を見ると、断層交差部では2方向以上のひび割れが発生しており、損傷が集中している。断層交差部でコンクリートが引張破壊することにより、ひずみが卓越したと考えられる。

食い違い変位量50cm時の変形図を図7に示す。変位量の小さいレベル（図4(b)）では、断層付近のトンネルがS字型の変形を呈している。食い違い変位量が大きくなると、断層位置の極近傍のみに変形が集中する破壊モードとなった。トンネルの断層交差部に損傷が集中することで、ひずみの局所化が生じたと考えられる。

5. まとめ

動力学破壊シミュレーションで断層の破壊過程を動的に考慮することで、断層の食い違い変位を受けるトンネル構造物の動的な影響評価を実施し、本条件では動的な影響を考慮することで1割程度の差異が見られることが分かった。さらに周辺地盤を切り出したモデルにより、コンクリートの非線形の考慮の有無を変えた検討を実施することで、非線形性の影響評価を検討した。本検討では動的な影響評価・非線形性の影響評価を別々に行ったが、両者を同時に考慮した検討なども今後実施していく予定である。

参考文献

- 1) Yuta Mitsunashi, Gaku Hashimoto, Hiroshi Okuda and Fujio Uchiyama, Study on estimation of the fault model of Kamishiro Earthquake using dynamic fault rupture simulation, SMiRT-24, 2017.8.
- 2) FrontISTR 研究会 HP: <http://multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/>
- 3) Noguchi H., Kashiwazaki T. and Miura K. : Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Joints Subjected to Multi-Axial Loading, Proc. of the Thomas T. C. Hsu Symposium on Shear and Torsion in Concrete Structures, SP-265, American Concrete Institute, pp.223-244, Nov., 2009.

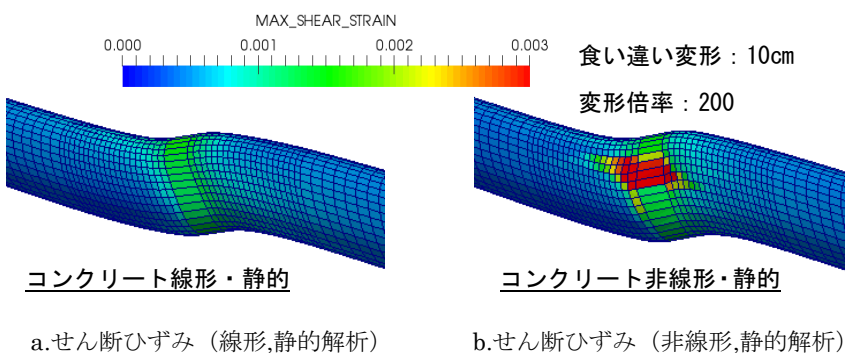


図4 断層付近トンネルのせん断ひずみコンター

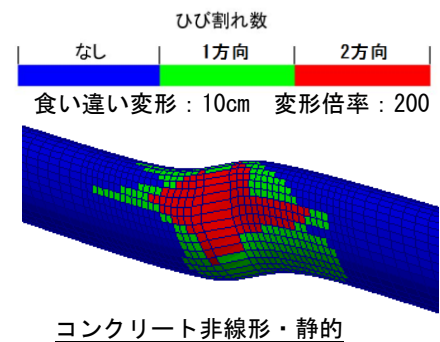


図5 断層付近トンネルのひび割れ図

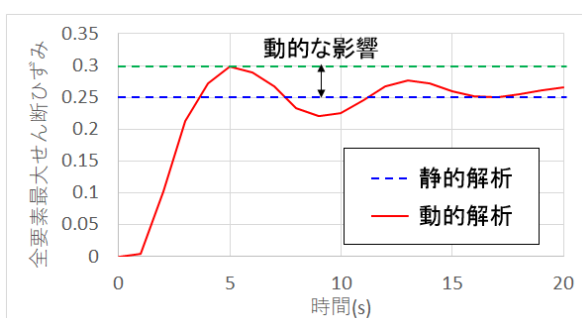


図6 最大せん断ひずみの比較

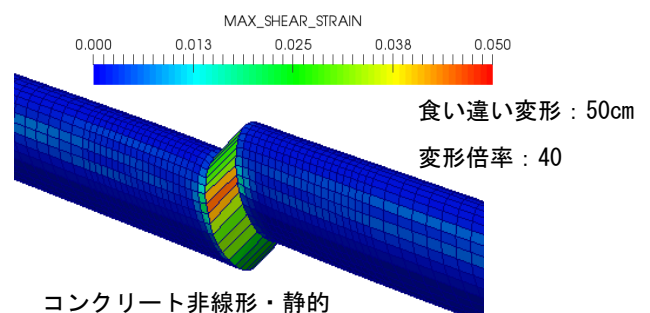


図7 断層付近トンネルのせん断ひずみコンター