

覆工周辺に傾斜層理面を有する泥岩トンネルの変形挙動評価

長崎大学大学院 学生会員 ○早川 輝
長崎大学大学院 正会員 李 博

長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 井浦 智実
長崎大学工学部 学生会員 門田 英義

1. はじめに

我が国の国土は広く軟岩で覆われており，道路，鉄道トンネルの大半は，この軟岩で構成される地山に施工されている．軟岩は脆弱であるため，緩み圧や塑性圧によるトンネル内空側への地山の押し出しが顕著であり，トンネルの正確な変状予測が求められている¹⁾．また，トンネル掘削面の地層が水平から傾斜するケースが見られ，掘削時に地層がすべり面となり，断面欠損等を引き起こす事例もある．通常，水平な地層では緩み圧が鉛直下向きに天端に作用するが，層が傾いている構造では偏圧が作用し，特異的な変形挙動を示すことが報告されている²⁾．そこで，本研究では層理面が傾斜状に分布する軟岩に着目し，数値解析に基づいて傾斜層理面がトンネルの変形挙動に与える影響について考察する．

2. 解析の概要

地山の膨張性や傾斜層理面の影響を考慮した上で，トンネル周辺岩盤の変状を評価するため，弾塑性モデルを用いた変形解析を行った．数値解析手法は有限差分法を用いた．解析対象地域は JR 西九州ルート，俵坂トンネル西工区であり，土被りの異なる 2 地点（以下，地点 A と地点 B）を比較の対象としている³⁾．各地点の切羽の写真を図-1 に示す．解析モデルの領域は上下方向，水平方向ともに 3D（D：トンネル直径）とし，層理面の傾斜角度は 0°，20°としている．境界条件については，上載圧を実現場に合わせて土被り 234.9m と 70.5m とし，側圧はランキン理論に基づいた土圧をかけた．ここで，側圧係数 K_0 は，現場の地山の膨張性を考慮して $K_0=0.75$ としている．解析モデルを図-2 に示す．図中の赤く示した層理面を周囲と異なる物性値を持つインターフェイスとして表現することで，傾斜した層理面による影響を検証した．解析に用いた物性値は軟岩を想定し，泥岩部分では岩盤等級 DI 級，凝灰岩部分では岩盤等級 CII 級の地山パラメータを用いた．入力物性値を表-1 に示す．解析のステップとして，まず掘削前の状態で自重解析を行い，その後上部半断面先進掘削工法に沿ったステップで変形解析を行った．

表-1 入力物性値

	地山 (凝灰岩)	地山 (泥岩)	吹付 コンクリート
密度 ρ (kg/m ³)	2300	2200	2450
ポアソン比 ν	0.3	0.35	0.2
変形係数 E (MPa)	800	400	20000
粘着力 c (MPa)	0.98	0.49	6.99
内部摩擦角 ϕ (°)	40	35	40

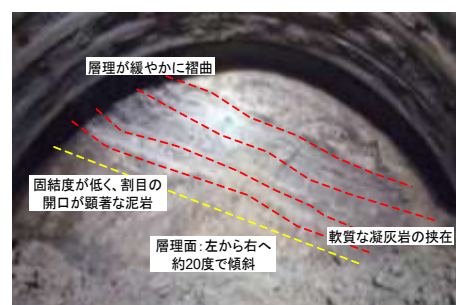


図-1 地点 A と地点 B の切羽の写真

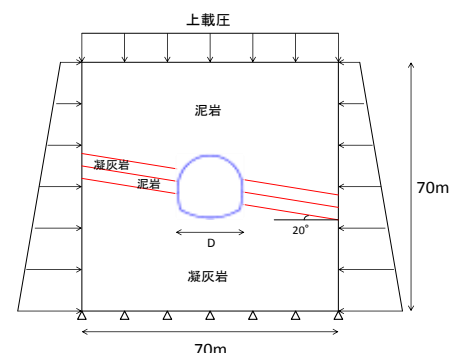


図-2 解析モデル概要

3. 解析結果と考察

図-3 に示すようにトンネル内の天端，左右側方部の3点で変位の計測を行った．なお，トンネル上半部掘削後を変位の初期値としている．

図-4, 5 にそれぞれ地点 A, B の変形モードと，実現場と解析結果の内空変位量を示す．ここで，内空側へ押し出す変位を正としている．一般的に山岳トンネルは天端が大きく沈み，側方部はトンネル外側へ膨らむことが確認されているが，図-4, 5 より解析結果の内空変位は実現場と同様に，内側へ向けて発生していることが分かる．今回の結果は，実現場の物性値や側圧係数などを数値解析に忠実に入力することにより，図-6 に示すようにトンネルの側方部に天端部よりも大きな応力が発生したためであると考えられる．また傾斜角 20°の解析結果は傾斜角 0°の結果と比較して左右非対称に変形が発生している．これは層理面が傾斜することにより生じる滑りが発生したためであると考えられる．次に，傾斜角 20°の解析結果と実現場の変形モードを比較すると，実現場はトンネル全体が右側にずれ込むのに対し，傾斜角 20°の解析結果は左側にずれ込むような結果となった．これは，実現場の切羽より上部の地層特性を考慮していなかったためであると考えられる．また実現場と同様に，土被りが大きくなるほど土圧も高くなるため，地点 B に比べ，地点 A の方が内空変位量が大きく発生することが分かる．

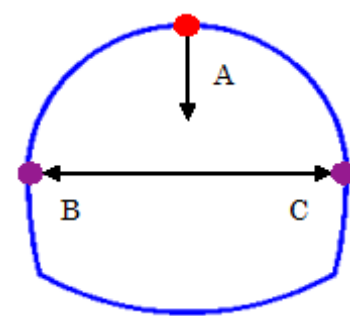


図-3 変位の観測点

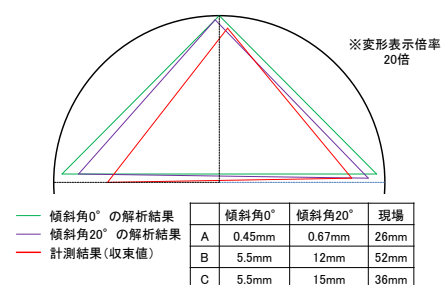


図-4 地点 A の変形モードおよび実現場と解析結果の変位量

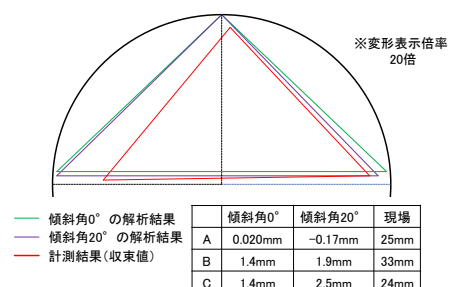


図-5 地点 B の変形モードおよび実現場と解析結果の変位量

土被り 234.9m

土被り 70.5m

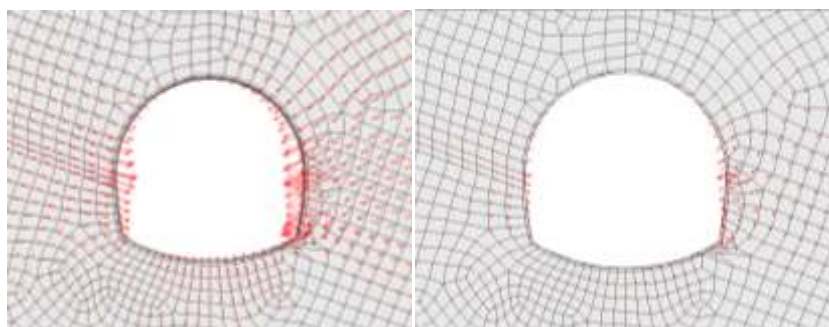


図-6 トンネル周辺岩盤の変位ベクトル

4. おわりに

本研究では，傾斜層理面とトンネル内空変位との関係性について数値解析を行うことにより考察した．その結果，層理面が傾斜状に分布する構造では層理面に沿った滑りが発生し，トンネルが左右非対称の特異的変形を起こすことが解明できた．しかし実現場と比較してトンネル全体がずれ込む方向に誤差が見られたため，今後はトンネル周辺だけでなく，地山全体の地層分布を考慮した数値解析の実施が必要であると考えられる．

5. 参考文献

- 1) 後藤知治，内田雅洋，高山藤博：TSP など切羽前方予測を試みつつ膨潤性地山に挑む-九州新幹線西九州ルート俵坂トンネル(西)-，トンネルと地下，Vol.42，No.3，pp.7-14，2011.
- 2) 武石将和：層理面傾斜角の影響を考慮したトンネル内空断面の変形挙動の解明，長崎大学工学部社会環境デザイン工学科卒業論文，pp.43-51，2015.
- 3) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：俵坂トンネル(西)トンネル施工検討会資料，pp.1-2，2013.