

膨張性が懸念される地山でトンネル施工中に生じた変状対策の検討

戸田建設株式会社 正会員 ○永吉真也
 戸田建設株式会社 正会員 三宅拓也
 戸田建設株式会社 正会員 佐佐木秀行
 福島県会津若松建設事務所 非会員 片寄友康

1. はじめに

福島県で当社施工中のトンネル工事は、グリーンタフ地域の山麓の交通を改善する工事である。主な切羽地質は火山礫凝灰岩であり、事前調査から膨張性鉱物であるスメクタイトの含有が確認されていた。

本報では、施工時の変状に対応した検討事例について報告する。

2. 変状発生状況

坑口から800m付近より、粘土質性状を示す火山礫凝灰岩変質部の出現とともに、内空変位の増大が生じた。特に初期変位の変位速度が著しく、支保完了後1日で80mm程度の押し出しも確認される状態であったため、以下の対策を実施した。

- 支保パターンを変形余裕100mmを見込んだDIIタイプとする
- 側壁部左右各4本の注入式補強ボルト(シリカレジンを注入)を挿入する
- 鋼製ストラッド併用の一次インバート閉合を行う

以上の対応に関わらず、変形量は増加し、縫い返しを余儀なくされた。この時のA計測結果を図1に示す。

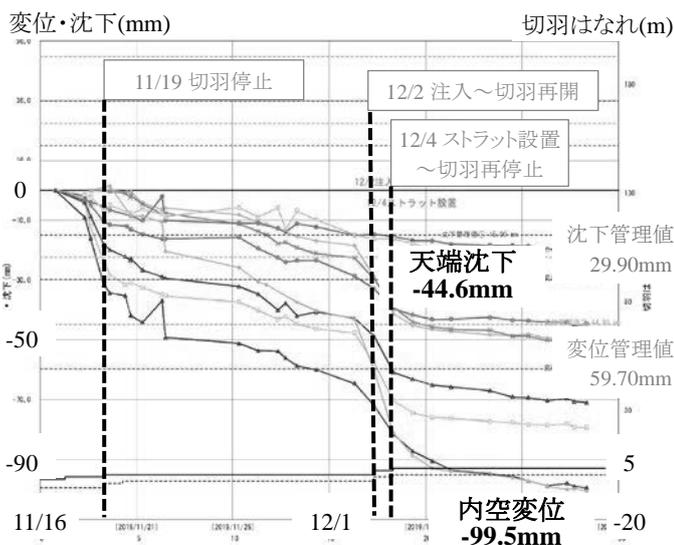


図1 No.843 A 計測結果(12/14時点)

先進ボーリング試料は、凝灰角礫岩の一部が熱変質による

り、強度低下と強いスレーキング性を示した。脆弱地山の存在が、変形量の増大を及ぼし、支保工応力を増加させ、支保工健全性を低下させることが想定されたため、FEM解析を実施し、対策工の検討を行うこととした。

3. 変状対策の検討

対策工の検討のためには最終変位量を早期に把握する必要があったが、計測値は一次インバート閉合後も、さらに変形量が増加して収束傾向がみられなかった。このため、最終変位量の予測値を計測値の指数近似により想定した。また、最終変位の予測値は計測可能な変位量であり、先行変位を含んでいないことから、一般的な先行変位率40%を考慮して全変位量を表1と算定した。

表1 No.843 変位量予測値(12/11時点)

	管理基準値	予測時の最大変位	最終変位予測値	全変位量
天端沈下	29.9mm	43.6mm	50mm	83mm
内空変位	59.7mm	97.2mm	104mm	173mm

次に、一様な地山モデルとして簡略化し、実土被り(135m)相当の荷重条件を与えて櫻井の手法で逆解析を実施したところ、地山弾性係数の推定値は極めて小さい53N/mm²であった。

得られた地山弾性係数を用いて順解析を実施した結果を表2、図2に示す。順解析は、類似解析で実績が豊富な非線形弾性解析により行った。塑性領域は上方に3.5m、側方に4mと推定され、現状のロックボルト長4mではトンネルの変位抑制に対して十分な効果が発揮されないものと予想された。また、支保工の発生応力を照査したところ、鋼製支保工、吹付けコンクリート双方の降伏が想定された。

表2 順解析による支保工応力

	発生応力	管理値
鋼製支保工(H-150)	235.0 N/mm ²	235.0N/mm ²
吹付けコンクリート(t=20cm)	37.2 N/mm ²	24.0N/mm ²

※鋼製支保工は降伏応力まで応力を分担すると仮定した

膨張性地山, 変状, FEM, 施工時解析事例, 支保工応力分担, 高強度吹付け

連絡先 戸田建設(株)東北支店 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町3-3-6 星和仙台ビル9F

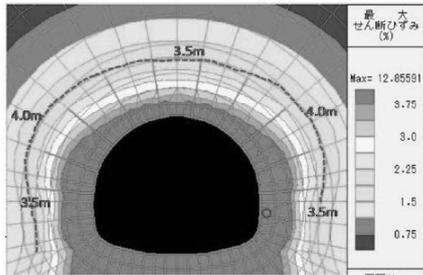


図 2 最大せん断ひずみ図

新支保パターン検討に際し、施工性、調達性を満足する、次の3ケースの支保工構成について比較検討を行った。

Case-1 高規格支保工、高強度吹付けに変更

Case-2 支保間隔を0.75mに変更

Case-3 鋼製支保工を H-200 に変更、高強度吹付けに変更

検討結果を表 3 に示す。すべてのケースで鋼製支保工は降伏したが、Case-1、Case-3 では吹付けコンクリートが許容値に収まった。鋼製支保工は降伏するが、超過した応力は吹付けコンクリートと周辺地山が分担するという考え方²⁾に立ち、両ケースでは支保の健全性は保たれると考えた。

Case-1 と Case-3 について経済性で比較したところ、わずかに Case-1 が有利であったことから、支保工構成を Case-1 に決定した。更に、ロックボルト長を 6m として、ロックボルトの降伏対策に1断面当りの打設数を増強する対策を含めて、新支保パターン E を決定した。

表 3 支保工比較検討表

	元設計		Case-1		Case-2		Case-3	
支保工間隔	1.0m		1.0m		0.75m		1.0m	
鋼製支保工	H-150 SS400	降伏	H-150 SS540	降伏	H-150 SS400	降伏	H-200 SS400	降伏
吹付 コンクリート	24N/m m ²	降伏	36N/m m ²	OK	24N/m m ²	降伏	36N/m m ²	OK
支保健全性	×		○		×		○	
経済性	—		◎		—		○	

管理基準値は解析結果より表 4 と定め、変位量が管理レベル I を下回る区間が 10m 連続した場合、支保のランクダウンを検討することとした。以上の検討に基づく新支保パターン E により、吹付けコンクリート等の支保工に変状なく、地山不良区間を通過することができた。E パターンで施工した支保 No.865 の A 計測結果を図 3 に示す。

本検討は、実施工で発生した変状に対し、計測値から最終変位量を早期に予測し、FEM による逆解析・順解析を活用して変状対策工(新支保パターン)を立案するものである。

このように、施工時の変状に対して、単純な仮定のもとで迅速に対応できる本検討方法は有効であった。

表 4 管理基準値

管理レベル	レベル I	レベル II	レベル III
天端沈下	80.4mm	120.6mm	160.8mm
内空変位	66.9mm	100.4mm	133.8mm

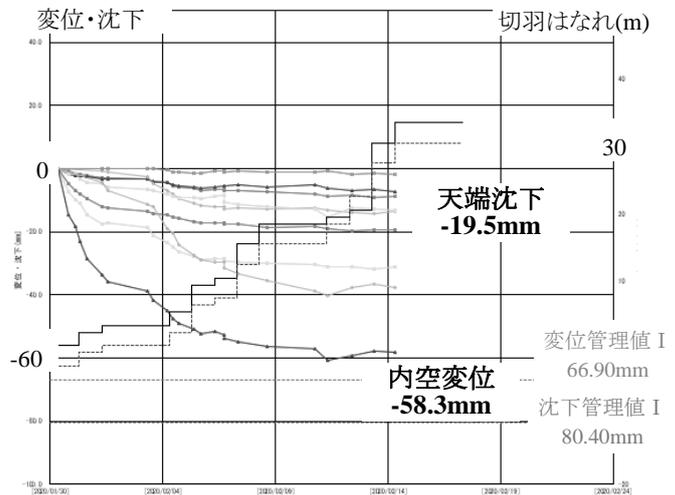


図 3 No.865 (パターン E) A 計測結果

5.今後の課題

本検討では、非線形弾性解析法により変位、応力、塑性化領域を推定し、変状対策の検討を実施した。非線形弾性解析法は迅速な対応のために有効であった。一方で、塑性変形量がさらに大きく、塑性化領域の挙動が問題となる場合には、厳密に再現できる解析手法ではないという特徴があった。さらに、メッシュ構造が追従できない大变形に対しては、FDM(有限差分法)が適している³⁾と考えられた。

今後、弾塑性モデルや FDM での解析結果との比較を行い、施工にフィードバックするとともに、施工中は膨潤性に係る長期的な変位にも注視していきたいと考える。

参考文献

- 1)伊東孝, 赤木知之, 土山茂希:トンネルの切羽進行に伴う内空変位と地山のクリープ特性による変位の分離, 土木学会論文集, 1990 巻 418 号, pp279-282, 1990. 6.
- 2)林貴博, 佐藤秀史, 橋本忠幸:蛇紋岩地帯におけるトンネル支保構造の検討について, 第 55 回(平成 23 年度)北海道開発技術研究発表会, 2012. 2.
- 3)竹林亜夫, 土田淳也, 岡部正, 森本真吾:山岳トンネルにおける 3 次元数値解析の適用状況, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 2005. 9.