マサ土と膨張性を呈する白色粘土に対応したトンネル施工

飛島建設　東北支店　正会員　寺島　佳宏
飛島建設　東北支店　正会員　○神田　裕一
飛島建設　東北支店　正会員　石野　卓哉
飛島建設　東北支店　森脇　丈滋
国土交通省　東北地方整備局　佐藤　正

１．はじめに

国道１１５号霊山道路トンネル工事は相馬福島道路のうち霊山 IC と阿武隈 IC を結ぶ自動車専用道路となる霊山道路の一環として，大断面（仕上り内空断面積　87.8m2）となる 3 本の山岳トンネル（金弁蔵トンネル，宝直トンネル，七ツ窪トンネル）の施工を行うものである．

主な地質は，中生代白亜紀の花崗閃緑岩（飯館山花崗閃緑岩）が基盤岩として広く分布し，それに貫入する新第三紀の火山岩（玄武岩）が岩脈として点在する．

本稿は，七ツ窪トンネルにおいて実施した先進ボーリングや類似条件実績から得られた情報等をトンネル施工に迅速にフィードバックし，安全に且つ，トンネルの長期安定性を確保することを目的に実施した対策内容について報告を行うものである．

２．先進ボーリングによる切羽前方の地質確認

トンネル掘削に先立ち，トンネル両坑口部および，弾性波速度の落ち込み部に対して，トンネル掘削を中断することなく急速施工可能なロータリーパーカッション・ワイヤーライン工法により約 100m／本のコアボーリングを行った．

その結果，坑口部では砂状を呈すマサ土が厚く分布し，途中，角礫状の玄武岩が貫入した複雑な地質状況であることが確認された（**写真１**）．また，弾性波の落ち込み部の一部では，白色粘土を挟む 5m 程度の土砂状変質帯が確認された．

写真−1　コア状況（終点側坑口より深度 20～25m）

３．膨張性白色粘土区間の対応

(1)　白色粘土区間の基本的考え方

近年，供用後に粘土を含む脆弱な地山において，路盤の盤ぶくれや覆工の変状事例等が多数，報告されていることから，前述のボーリングにて採取した白色粘土を対象に岩石試験を実施した．試験の結果，白色粘土には膨張性粘土鉱物（モンモリロナイト）を多量に含み，地山の膨張性判定指標 [1)]の複数項目において基準を超過していることが判明した（**写真２**）．そこで，事前に各施工段階（トンネル掘削，覆工コンクリート，舗装（共用後））におけるリスクの抽出と過去の膨張性地山の施工例から基本的な考え方を整理して，対策工を計画した．

試験前　　**水浸 30 分後**

写真−２　浸水崩壊度試験

(2)　トンネル掘削状況

トンネル掘削中，特に問題となるのは地山の押し出しに伴う肌落ち災害と支保の変状である．その対策工として補助工法の採用や支保のランクアップ，吹付コンクリートによるインバート早期閉合等が考えられた．しかし，ボーリングで確認された白色粘土が切羽にどのように分布しているのかが不明瞭であったため，必要最低限の対策工として支保パターンの変更（ＣⅠから ＣⅡ）と鏡吹付けコンクリート（t=5cm）を基本採用とし，白色粘土の手前からドリルジャンボによる前方探査を行い切羽前方の地質状況を三次元的に把握したうえで切羽観察，計測結果等を勘案し，必要な対策工を決定することとした．

キーワード　膨張性，マサ土，先進ボーリング，補助工法
連絡先　〒981-8540　宮城県仙台市青葉区柏木 1-1-53　飛島建設　東北支店　TEL:022-275-9951

白色粘土は切羽右踏前から出現し，厚さ約 2m の粘土層として延長 20m 程度の範囲で切羽に出現したが，切羽全体を覆うものではなく，複雑に分布していたが限定的な範囲であった．一部の吹付け面にクラックが生じたものの切羽の押し出しや大きな変位は生じることなく掘削を行うことができた．

(3) 覆工および舗装版の損傷リスク対応

膨張性土圧は，掘削後長期間にわたって続く場合があり，供用後に覆工アーチ部のひび割れや舗装版の盤ぶくれ等が発生するリスクが考えられた．供用後に変状が発生した場合，通行止めを伴う改築を余儀なくされることとなる．そこで，同様の地質状況で供用後に盤ぶくれが生じたトンネルの対策事例 [2] より，インバートコンクリート構築によるリング閉合と，覆工およびインバートコンクリートに補強鉄筋を施して長期安定性を確保することとした．

4．坑口部（マサ土区間）の掘削検討

(1) 対策工の検討方法

貫通側となる終点側坑口部のボーリングによって確認されたマサ土（**写真１**）L=35m 区間の対策内容について記述する．

対策工の検討にあたって，ボーリング結果および，類似した地山条件となる 3 本の近傍トンネルと起点側坑口部の施工実績を整理し，その事象を分析して終点側坑口部の対策工にフィードバックさせることとした．また，「内部摩擦角と切羽安定に必要なｃ／γＤとの関係」[3]により切羽の安定性の評価を行ったところ，何らかの対策工が必要と判断された．

(2) 対策工の選定

自立性の無いマサ土で問題となったのは，①地耐力不足による脚部沈下，②トンネル周辺地山の緩みに伴う斜面崩壊であった．

① 脚部沈下の抑制対策

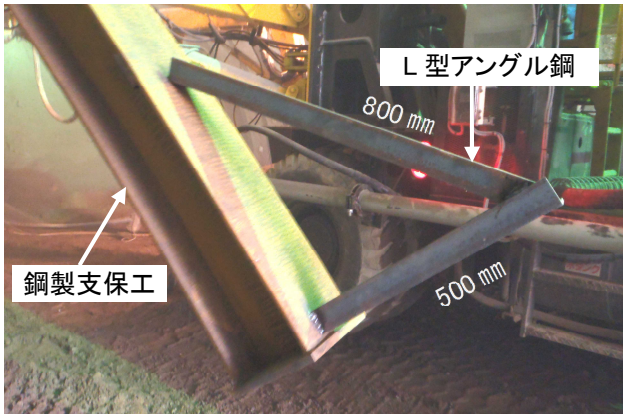
起点側掘削時に沈下量を約 70%低減できた簡易ウィングリブ（**写真３**）を上下半に採用し，計測結果から早期閉合の必要性を判断する対策フローとした．

② 切羽および斜面崩壊防止対策

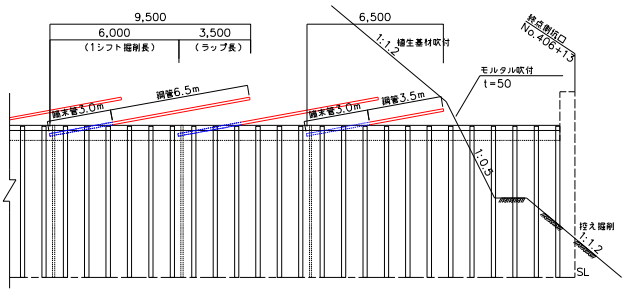
天端の安定対策として注入式長尺鋼管先受け工を採用した．打設パターンはシフト長 6m（打設長 9.5m）として鋼管下地山の抜け落ちの抑制を図った（**図１**）．

鏡面の安定対策は先受け工の効果を見込んだ「極限解析」[4]の結果から鏡ボルト等の大規模な補強は不要と判断した．

また，トンネル上部の 3 段の切土法面（勾配 1:1.2）は先行して植生基材吹付を行い，坑口付け部はトンネル断面 120 度の高さまで 1：0.5 で掘削してモルタル吹付けを行い，それ以下は緩やかな勾配で地山を存置して安全率を高めることとした．



写真−3 簡易ウィングリブによる脚部沈下抑制



図−1 終点側坑口の長尺鋼管先受け工打設縦断図

(3) 坑口部の掘削状況

切羽は自立性の無いマサに覆われたが，斜面崩壊をきたすことなく掘削，貫通することができた．また，本設インバートによるリング閉合後，坑内変位は速やかに収束した．

5．おわりに

切羽前方の地質性状とそれに対応した十分な情報収集により特徴を把握することで，トンネルの安定性と安全性を確保したうえで経済的な計画を立案することが重要と考えられた．今後，風化変質花崗岩におけるトンネル施工の参考となれば幸いである．

参考文献

1) ㈳土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法・同解説]，p37，2006 年．
2) 平井公康，鈴木照行，秋月亨，八重樫栄：供用中の NATM トンネルの盤ぶくれ・一般県道宮古港線・小山田トンネル，トンネルと地下 Vol26, pp19-25, 1995 年．
3) 真下英人，鈴木正彦，猪熊明：トンネル切羽安定性の簡易評価法の提案，土木学会論文集，№638/Ⅲ-49，pp.117-129，1999 年．
4) ㈳土木学会：トンネルライブラリー第 20 号山岳トンネルの補助工法，pp.70-74，2009 年．