

# 大断面トンネルにおける坑口部の脆弱地山対策について

国土交通省 東北地方整備局 南三陸国道事務所 蒲雅志  
 榎大林組 正会員 ○国島広弥 平川泰之 柏原宏輔

## 1. はじめに

定内トンネルは、岩手県の沿岸部と内陸部を結ぶ釜石花巻道路に建設中の延長 808m、掘削断面積 101~123m<sup>2</sup>の大断面トンネルである。岩手県は県土が広く東西方向の都市間距離が長いこと、そのことが地域間連携を阻害する大きな要因となっている。釜石花巻道路の整備により、物流や産業活動の活性化また災害発生時における緊急輸送等の円滑化が期待されている。

掘削を開始する終点側坑口は、斜面に対して約 75 度で進入する斜面斜交型の形状である。また、当該地質は頁岩主体で割目が発達しているため剥離しやすく、坑口付近には風化の著しい DL~DH 級の層が厚さ 11m 程度存在した。さらに、坑口部直近の橋台施工のために行った地山掘削では法面崩壊が発生しており、トンネルの掘削に先立ち地山安定対策が必須となっていた。そこで偏土圧対策として押え盛土工を追加し、また天端安定対策として一部区間で注入式フォアポーリングから長尺鋼管フォアパイリング (以下 AGF) に変更した。本稿では、掘削補助工法の注入管理に着目した施工経緯について報告する。

## 2. 注入実績・切羽観察に基づく注入施工方針の決定

注入管理は、安全性・施工性・経済性などに着目し、効率的・計画的に行う必要がある。本トンネルは大断面でありかつ法面崩壊が生じた地山を掘削するため、当初設計の注入量 (10kg/m) では十分な地山改良が望めないと想定された。そこで、前サイクルの注入実績および切羽観察の情報をもとに、次サイクルの注入量や注入圧を決定する注入施工方針を作成し施工に反映した。直近の地山状況をフィードバックすることで、注入量の最適化を図り、掘削時の切羽崩壊防止に努めた。注入施工方針、注入フローをそれぞれ表-1 および図-1 に示す。

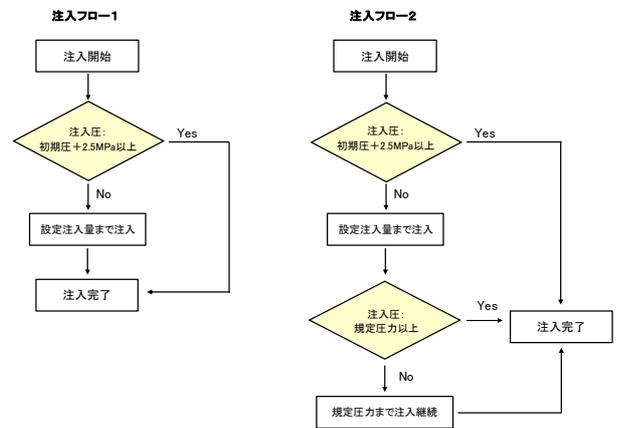


表-1 注入施工方針

図-1 注入フロー

段階	前サイクルの情報	次サイクルへの施工方針
STEP1	注入実績において、初期圧からの圧力上昇が顕著である。(初期圧+1.0MPa以上) 掘削中においても改良効果が高く、肌落ちがない。	注入フロー-1 ・注入量は変更しない(設計注入量10kg/m)
STEP2	注入実績において、部分的もしくは全体的に圧力上昇が少ない。(初期圧+0.5MPa~1.0MPa) 掘削中において改良効果がある程度確認できるが、部分的な崩落が見られる。	注入フロー-1 ・注入量の増量(設定注入量: 設計×2倍) ・本数の追加
STEP3	注入実績において、部分的もしくは全体的に圧力上昇が少ない。(初期圧+0.5MPa以下) 掘削中において崩落が顕著で改良効果が不十分である。	注入フロー-2 ・注入量の再増量(設定注入量: 設計×3倍) ・規定圧力の設定(初期圧+1.0MPa) ・本数の追加

## 3. 現場の実施工について

終点側坑口部における地質縦断詳細図を図-2 に示す。

(1) No. 56+9.4~No. 56+4.4 【STEP1 および STEP2】

押え盛土下部から風化岩の地山が出現した No. 56+9.4 から、当初設計の注入量(10kg/m)で注入式フォアポーリング (注入材: シリカレジ) を 1m 間隔で 3 サイクル実施した。3 サイクル目においては押え盛土範囲を除くほぼ全孔が定量注入となり、また注入圧の上昇が 1.0MPa 程度にまで減少した。そこで No. 56+6.4 から、圧力上昇の少ない孔において注入量の増量(20kg/m)および注入本数の追加を行い、確実な地山改良を図った。しかし、掘削時に左

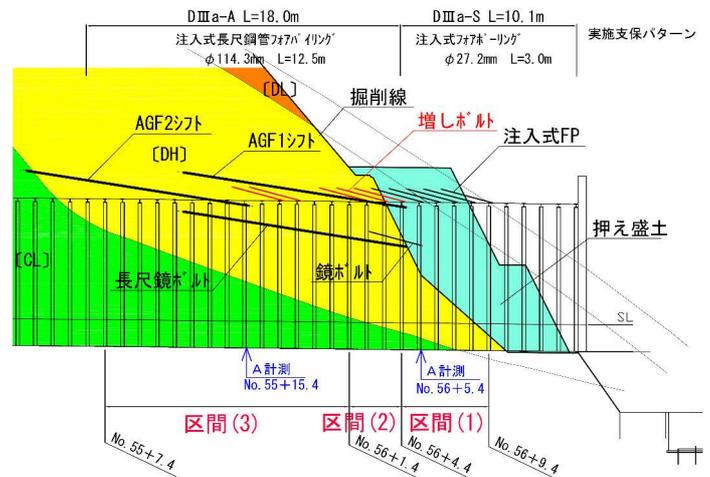


図-2 坑口部地質縦断詳細図

キーワード 大断面トンネル、脆弱地山対策、注入管理、長尺鋼管フォアパイリング、増しボルト工

連絡先 〒026-0054 岩手県釜石市野田町 1-9-22 榎大林組 釜石道路工事事務所 TEL0193-27-8126

肩部や鏡面で小崩落があり、核残しおよび鏡面吹付けのみでは褐色を帯びた風化岩の安定を保つことが困難な状況となった。そこでNo. 56+5.4において、地山の悪い切羽左側の全本数（18本）に20kg/mの注入を実施し、さらに鏡ボルト（L=3.0m、注入量10kg/m）を15本追加施工して鏡面の安定を図った。No. 56+4.4からのAGF1シフト目に関しても、前の注入結果において増量注入した切羽左側の注入圧力の上昇が図-3のように0.5MPa程度と少ないこと、および事前に実施した水平ボーリングの結果よりこの先も破碎・碎片化が顕著な風化岩が続くことが想定されたため、全本数(31本)を20kg/mの注入量として施工した。さらに、鏡ボルトを継続するに際し、前述のボーリング結果に基づいて簡易計算による設計法を実施し、切羽前方のすべり土塊の安定計算を行った。その結果、7.4m以上のボルト長が必要であるとの結果であったため、長尺鏡ボルト（L=12.5m）を採用し15本の追加施工を行い、鏡面および前方地山の安定を図った。

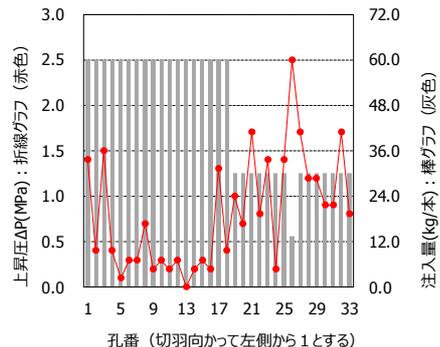


図-3 注入量と圧力上昇との関係(No. 56+5.4)

(2) No. 56+4.4～No. 56+1.4 【STEP3】

AGF および長尺鏡ボルト施工後、掘削を開始して間もなく AGF 端末管撤去時に天端の一部が崩落し、一時掘削作業を中断した。崩落箇所周辺の地山は想定していた以上に多亀裂で開口した割れ目が広範囲に分布しており、注入薬液が入りやすい部分に逸走し、AGF 鋼管周辺地山の改良が不十分になったことが崩落の要因として考えられた。そこで、AGF 端末管を撤去する3サイクルに増しボルト工として、注入量30kg/mの注入式フォアボーリングを施工した。また、注入式フォアボーリングの1サイクル目は初期圧+1.0MPaまで注入する定圧管理とし、緩んだ切羽の地山を確実に改良した。さらに、割れ目に薄層粘土を挟み亀裂が発達した右天端部に長尺鏡ボルトを5本追加施工し、前方地山の安定を図った。

(3) No. 56+1.4～No. 55+7.4 【STEP3】

(2)で実施した対策工による地山改良効果により、No. 56+1.4(4サイクル)以降増しボルト工（注入式フォアボーリング）は不要であった。しかし、No. 55+19.4(6サイクル)の掘削において徐々にアーチ部の地山改良効果が薄れ、天端に打設した鋼管が露出する状態となり(写真-1参照)、再びアーチ部からの地山崩落が懸念された。そこで、7サイクル目から切羽上半部に残るDH級風化岩の地山安定を確保するため、再度注入量30kg/mの増しボルト工の施工を2シフト行った。また、1シフト目では先の施工で効果が確認された定圧管理（初期圧+1.0MPaまで注入）を採用した。さらにNo. 55+15.4からのAGF第2シフトに関しても、事前地質調査より同様の多亀裂な地山が続くと想定されたため、全孔において注入量を30kg/mと設定した。



写真-1 切羽状況(No. 55+19.4)

上記(1)～(3)の施工を通して注入実績と掘削時の地山安定状況との関係性に着目した結果、本トンネルのDL～DH級頁岩層に関しては、注入圧力が「初期圧+1.0MPa」まで上昇すれば地山改良効果が確認できるという指標が得られ、施工に反映した。

この区間における坑内計測結果を表-2に示す。土被りの大きいNo. 55+15.4においては、地山上方のゆるみ荷重増大で沈下量が大きくなっているが、AGFの効果もあり管理レベルI未満の結果であった。また、地表面への注入材のリークもなかったため、確実にロスのない地山改良が施工されたものと考えられる。

表-2 坑内計測結果

断面	天端 沈下量(mm)	内空 変位量(mm)	支保ハーン	注入施工内容
No. 56+5.4	-7.1	3.7	DⅢ a-S	18孔を20kg/m+鏡ボルト15本
No. 55+15.4	-14.6	3.6	DⅢ a-A	全孔30kg/m
管理レベルI	-25	-50		
管理レベルII	-37	-75		
管理レベルIII	-50	-100		

※沈下が負、縮みが負

4. おわりに

本トンネルの坑口部は風化の著しいDL～DH級の頁岩層であり、数センチ間隔で格子状に亀裂の発達した地山が広範囲に分布していたことから、掘削においては確実な地山改良が必要不可欠であった。この技術的課題に対し、直近の注入実績や切羽観察を次注入にフィードバックする注入施工方針を作成し、脆弱地山に適合した注入を行ったことで、確実な地山改良を行うことができた。また貫通側においても、厚さ10m程度の頁岩風化帯が存在したが、終点側における掘削実績を活用した注入管理により崩落を未然に防ぎ、平成28年9月15日に無事貫通を迎えることができた。