

崩落物堆積区間における薬液注入と長尺先受工を併用した 天端・切羽安定対策

Grouting and steel pile forepiling for ground stabilization of the deposit section of andesite boulder in Kwarayu tunnel

田口芳範¹⁾・齋藤 貴²⁾・貝原 登³⁾・宇田 誠³⁾・笹尾春夫⁴⁾

Yoshinori TAGUCHI, Takashi SAITO, Minoru KAIBARA, Makoto UDA, Haruo SASAO

Kwarayu tunnel in the JR Agatsuma line is a single-track tunnel, newly under constructing along with the substitution construction of present Agatsuma line, which will be going under water by the construction of the Yanba dam. Geological features in the most part of the tunnel is andesite with high strength, but there is a weakness part which consists of the andesite boulder deposit that fell from upper part when andesite lava was extruded. In this paper, we describe the grouting and steel pile forepiling for ground stabilization taken in this andesite deposit layer section.

Keywords: grouting, steel pipe forepiling, face bolt, andesite, tunnel

1. はじめに

J R 吾妻線川原湯トンネルは、国土交通省ハツ場ダム建設により現吾妻線が水没するための付け替え工事に伴い新設される単線トンネル（単線1号形、約29m²）である。このトンネルは約10.4kmの付け替え区間のほぼ中央の川原湯地区に位置し、延長は1870m（開削区間165mを含む）である（図-1）。トンネル延長のうち起点側の約1400mは一軸圧縮強度が60~100N/mm²の良好な安山岩区間であるが、終点側の約260m間は安山岩崩落堆積物と凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩からなる地質脆弱部となっている。本報告ではこのうち安山岩崩落堆積物層区間74m間において施工した天端・切羽地山安定対策工法について述べる。

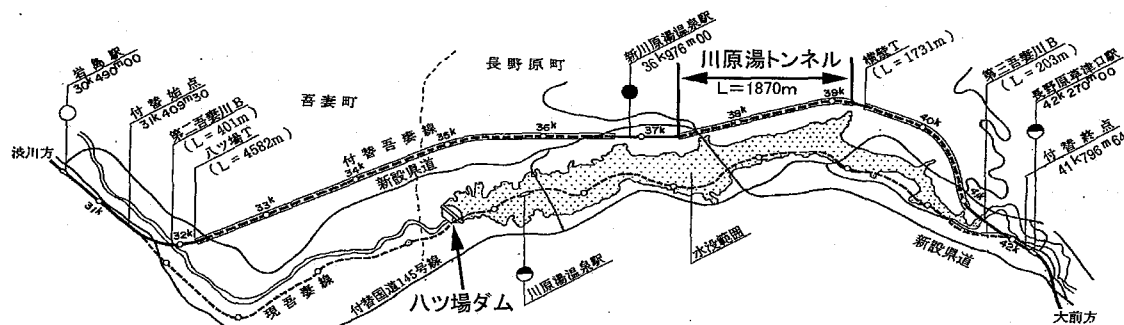


図-1 付け替え区間平面図

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社 上信越工事事務所
- 2) 正会員 東日本旅客鉄道株式会社 上信越工事事務所
- 3) 正会員 鉄建建設株式会社 北関東支店
- 4) 正会員 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部

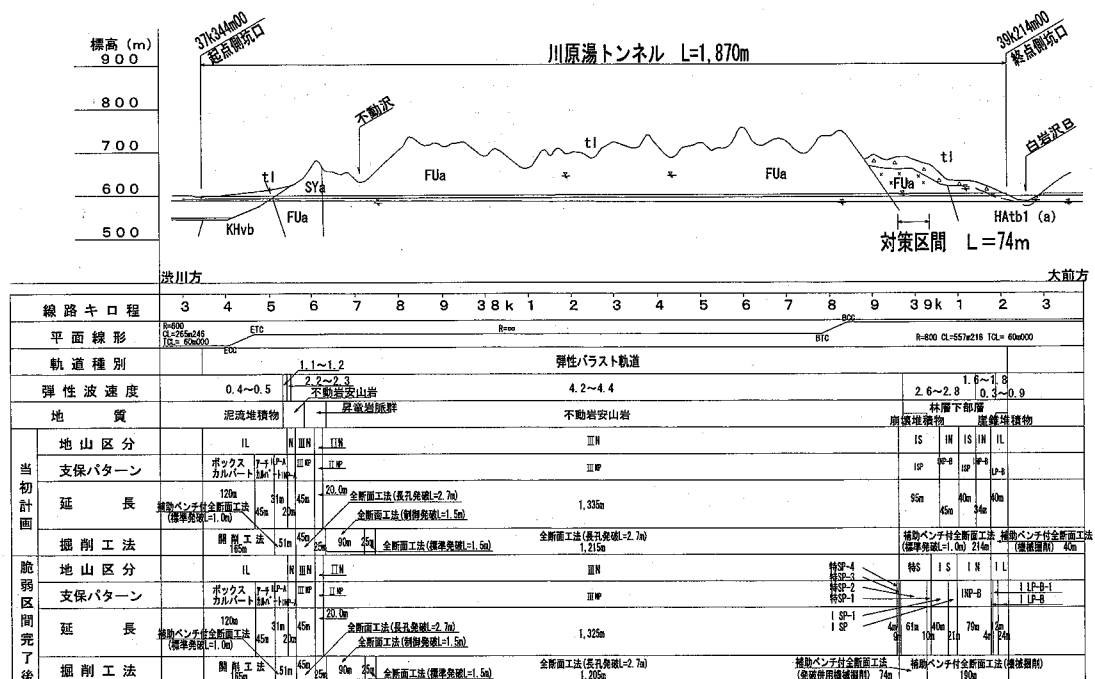


図-2 川原湯トンネル一般図

2. 地質概要

川原湯トンネルが位置する付近は新第三紀以来火山活動の激しかった地域である。トンネル部分の地質は大半が良質で堅硬な、新第三紀鮮新世後期の灰色～暗緑灰色を呈する気孔隙の多い両輝石安山岩である。この不動岩と呼ばれる安山岩の地山弾性波速度は新鮮部で4.2~4.4km/s、一軸圧縮強度(平均値)は新鮮部で96N/mm²、風化部では61N/mm²であり、また、亀裂係数は0.84で岩盤良好度はきわめて良いと考えられる(図-2)。

地質は終点方へ向かうにつれてやや不良となり、終点側坑口部の約260m間は林層と呼ばれる暗緑灰～黒灰色の両輝石安山岩質礫岩を主体とした火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩が基盤となる。

今回の地山安定対策工の対象となった区間では、不動岩安山岩帯が貫入した際に剥がれ落ちたと推定される安山岩崩落堆積物が林層凝灰角礫岩の上部に堆積し、その層境界はトンネル天端付近に出現するものと想定された(図-3)。また、基盤である林層凝灰角礫岩は不動岩安山岩の貫入に伴い破碎・変質を被っており、部分的に脆弱化しているものと推定された。

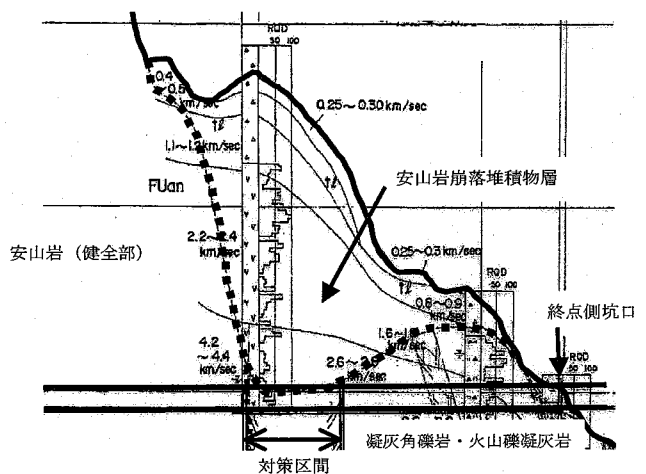


図-3 終点側坑口部地質概略図

3. 地山安定対策工法

トンネルは終点側から起点側に向かって掘削した。切羽が坑口より180mに達した時点で掘削を一旦停止し、その前方で基盤となる凝灰角礫岩の岩盤性状および安山岩崩落堆積物との層境を確認するために坑内からの地質調査ボーリングを実施した。このボーリングで確認した地質状況および凝灰角礫岩のコアにおいて実施した三軸圧縮試験（表－1）の結果をもとに地山安定対策工の施工を検討した。

(1) 工法の選定

当初、この区間の掘削に際しての補助工法の選定においては、これ以前の区間での掘削にシステム的に用いてきた長尺先受工（鋼管、 $L=12.0\text{m}$ 、10本/断面、シリカレジン注入）、鏡止めボルト（GFRP、 $L=12.0\text{m}$ 、10本/断面、モルタル注入）により事前に安山岩崩落岩塊群の移動を抑制し、さらに掘削中にフォアボーリング（自穿孔ボルト、 $L=3\text{m}$ 、モルタル注入）にて天端部の空隙充填および縫付けを行い、掘削を行う計画とした。

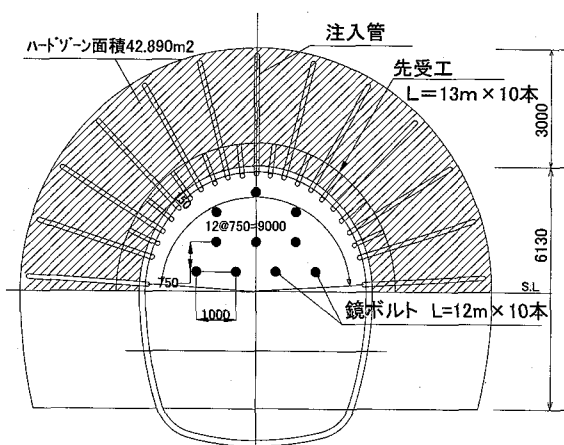
しかしながら、坑内よりの地質ボーリング調査結果から、上部の安山岩崩落岩塊群の分布は必ずしも下位の林層との単純な地層境界を形成するとは限らないことが推定され、また、安山岩崩落岩塊群の成因と推定される大規模な岩盤崩壊の発生以前の小崩落岩塊群、河川堆積物の礫等の未固結堆積物等がトンネル断面に出現することも想定された。さらに、安山岩崩落岩塊群の噛み合わせによっては、その一つを崩しただけで地山全体の崩壊につながる危険性が考えられた。そのため、施工中の安全性および供用開始後の周辺地山の安定性を目的に、トンネル掘削前に安山岩崩落岩塊群間の空隙を薬液注入工により充填し地山を一体化し、さらにこれまで用いてきた長尺先受工等を組合せて掘削を行うこととした。なお薬液注入工の施工対象区間は、坑内調査ボーリング結果より、39k034m～38k960mまでの74m間と計画した（図－4）。

(2) 薬液注入工

薬液注入工の施工においては、施工性、経済性、工期等を考慮し、これまでの区間で長尺先受工・支保の施工に用いていたガントリージャンボ搭載のドリフター

表－1 三軸試験による物性値

調査深度	103.0～103.6m	121.05～122.8m
地質区分	火山礫凝灰岩 強変質部	凝灰角礫岩 強変質部
粘着力 c (kN/mm^2)	35.7	38.8
変形係数 E (MN/mm^2)	41.7	10.7



図－4 地山安定対策工の配置

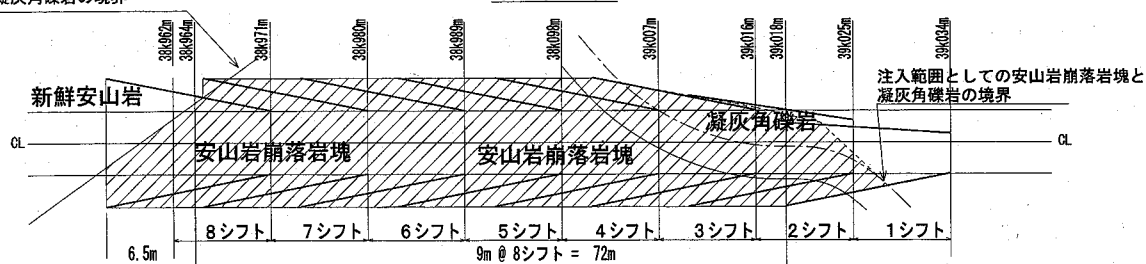
表－2 薬液注入工諸元

注入範囲		トンネル上半外周部 3 m (安山岩崩落堆積物の空隙を対象)		
注入材		1 次注入	2 次注入	備考
		セメント系	シリカゾル系	
注入率		15.0%	25.0%	1～6 シフト
		7.5%	12.5%	7～8 シフト
注入量	1 本当たり	4,578ℓ	7,629ℓ	15.5m/シフト 8～13本/断面
		2,294ℓ	3,820ℓ	
	1 ステップ 当たり	153ℓ	255ℓ	50cm ③30ステップ*
		76ℓ	127ℓ	
注入速度		8ℓ/min		
注入圧力		3.5N/mm ² 以上		中止値
		1.0N/mm ² 以下		再注入

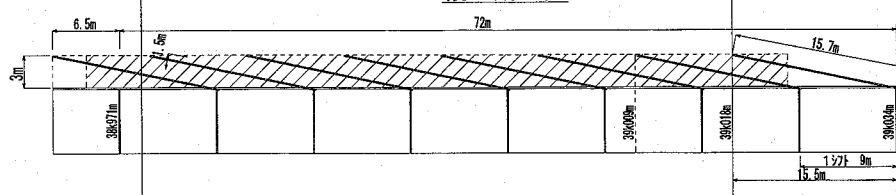
注入範囲としての安山岩崩落岩塊と
凝灰角礫岩の境界

平面図

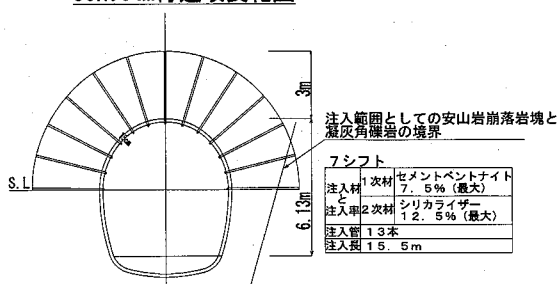
※ 地質想定ラインはS.L.で記載



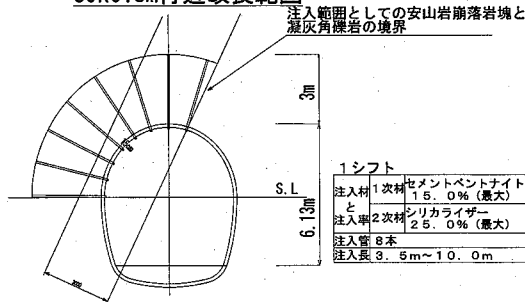
縦断図



38k964m付近改良範囲



39k018m付近改良範囲



図－5 薬液注入工施工範囲およびシフト割り図

(HD190×2基)にて74m間を8シフト(15.5m/1シフト、ラップ長6m)に分割し、注入、掘削の順に繰返し施工することとした。注入範囲については、トンネル掘削によるゆるみ領域あるいは過去の薬液注入工施工事例¹⁾を考慮し、安山岩崩落岩塊群を対象にトンネル上半外周部3m(薬液注入断面より15.5m前方)の範囲とした。

注入工法については、安山岩崩落岩塊群の空隙を確実に注入するという目的から再充填可能な二重管ダブルパッカー工法を採用した。注入率は、注入工法による標準注入率²⁾を採用しダブルパッカー工法の標準である40%とした。注入材については、安山岩崩落岩塊自体が数mと巨大であること、空隙率が高い可能性があること、マトリックス部があっても強度が低いと推定されること等の状況を考慮し、1次注入材(セメント系)15%、2次注入材(シリカゾル系)25%とした。安山岩崩落岩塊群直下(74m間)の施工で用いた薬液注入工法諸元を表－2、薬液注入工施工範囲およびシフト割を図－5に示す。

(3)掘削工法および支保

施工においては、切羽の安定性確保およびトンネル掘削断面の早期閉合を行うため、掘削工法として補助ベンチ付全断面掘削工法を採用した。薬液注入工の1シフト施工長は15.5mであるが、地山を緩めない慎重な施工を必要としたためラップ長を長く設定し、1掘進長を1mとして1シフト9mの掘削を行い、再び薬

液注入工を施工するサイクルとした。

施工時のベンチ長は3m（切羽の3基後方）とし、下半掘削と同時にインバート部の掘削を行い、インバート支保工（H150）と下半支保工（H150）を接続して剛なリングを形成し、インバート吹付け（ $t=15\text{cm}$ ）を行うことにより断面を早期に閉合することとした。この区間で使用した支保パターンを図-6に、補助工法の諸元を表-3に示す。

なお、薬液注入工施工区間から不動岩安山岩（Ⅲ_N）区間への移行区間（38k960m～38k950m）については、鋼製支保工を150H全周から100H上半部のみと徐々に軽減する緩衝区間とした。

掘削方式については、トンネル断面内に現れた安山岩崩落岩塊群を小割する方法が課題であった。この際の対策として、鉄矢木を用いて地山に抵抗する方法も考えられたが、断面に大きく支障する安山岩崩落岩塊群の処理には安全上十分な配慮が必要であった。そこで下位の林層を残しながら安山岩崩落岩塊群について限定的に小割発破を行う発破併用機械掘削とした。

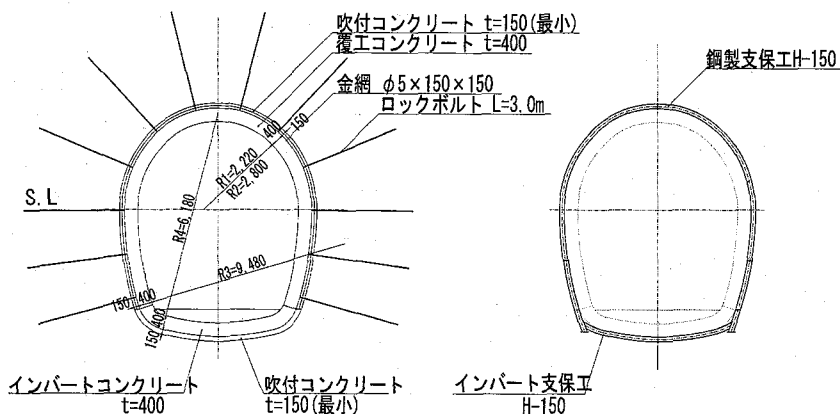


図-6 支保パターン

表-3 補助工法諸元

長尺先受工	鋼管, $L=12.0\text{m}$, 10本/断面, シリカレジン
鏡止めボルト	GFRP, $L=12.0\text{m}$, 10本/断面, モルタル
鏡吹付けコンクリート	$t=5\text{cm}$ (薬液注入施工断面 $t=15\text{cm}$)



写真-1 安山岩崩落岩塊群の層境

4. 施工の結果

(1) 切羽状況

安山岩崩落岩塊群区間の施工においては、39k034mから実施した坑内からのボーリング調査結果どおり、39k025m付近で切羽に向かって右側アーチ肩部より安山岩崩落岩塊群が出現し、39k014m付近では安山岩崩落岩塊群と林層凝灰角礫岩の層境がほぼ45°の角度でトンネルセンターまで下がってきた（写真-1）。その後、切羽の進捗に伴い39k018mではトンネル掘削断面全面が安山岩崩落岩塊群で満たされる状態となった。

(2) 薬液注入工施工状況

安山岩崩落岩塊群の空隙充填を目的に実施した薬液注入工であったが、注入シフトが進むに連れ、1次注入材の注入率が計画注入率（15%）に達せず注入圧力上昇を生じる傾向が続いた。このため、7シフト以降注入率の見直しを行い、1次・2次注入材とも当初計画の半分に相当するそれぞれ7.5、12.5%に低減し施工を進めることとした。最終的な注入実績では、それぞれ平均3.6%、21.0%となった（表-4）。

このような注入実績となった背景には、安山岩崩落岩塊群個々の岩塊が数mオーダーとかなり大きな径であったこと、また空隙部分があったとしても長い年月にわたり細粒分等で充填されていたため、粒子の大きい1次注入材は浸透していかなかったものと推定される。

表-4 注入実績

注入区分	注入率 (%)		備考
	設計	実績	
一次注入	15.0	3.6	7, 8シフトの設計は7.5%
二次注入	25.0	21.0	7, 8シフトの設計は15.0%

表-5 施工実績

工種	シフト								平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	
鏡ボルト	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
鏡吹付け・注入段取り	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
注入孔削孔	3	2	2	2	3	2	2	1	2.1
1次注入	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
2次注入	5	5	4	5	4	4	2	2	3.9
フォアパイリング	2	2	2	2	2	1	2	1	1.8
掘削	8	10	10	7	9	8	7	6	8.1
計	21	22	21	19	21	18	16	13	18.9

単位：方（1日＝2方）

(3) 施工状況

施工自体は、薬液注入工および長尺先受工等の補助工法による天端安定対策および鏡止めボルト、鏡吹付けコンクリートによる切羽安定対策等により、安山岩崩落岩群をゆるめることなく掘削を進めることができた。なお、注入区間1シフト当たりの平均施工日数は約9.5日（18.9方）、平均日進は約0.95mであった（表-5）。

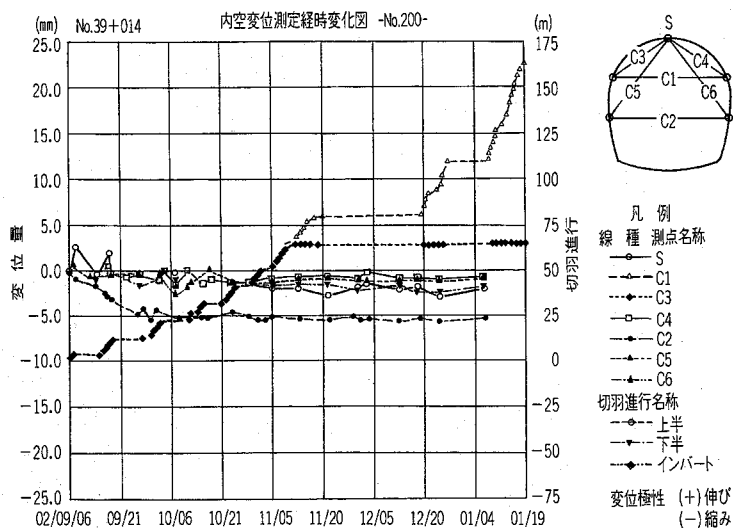


図-7 内空変位経時変化図（39k 014m）

(4) 計測結果

天端沈下および内空変位は、それぞれ最大で3mm、5mm程度で収束し安定した状態での施工となった（図-7）。これは補助工法等の効果のみならず、安山岩崩落岩塊群を支える基盤である林層凝灰角礫岩が、幸いにして変質等を受けず地耐力を十分に保持していたことも一つの要因と考えられる。

5. おわりに

一連の地山安定対策工を併用して掘削した結果、掘削時の内空変位・天端沈下は5mm以下であり、安定かつ安全な施工を行うことができた。これは薬液注入工による地山改良、先受工による先行補強および補助ベンチ工法での断面の早期閉合の相乗効果によるものであると考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本鉄道施設協会：注入の設計施工指針，1987.
- 2) (社)日本薬液注入協会：日本薬液注入協会設計資料，2002.