

軽石質火山灰地山トンネルへのプレライニング工法の適用
APPLICATION OF THE PRE-LINING METHOD TO THE UNCONSOLIDATED PUMICE GROUND

鶴島 正征*・原 隆文*
Masayuki USHIMA, Takafumi HARA

Collapse of the cutting face and displacement by the shortage of the bearing capacity are main problems in the unconsolidated pumice ground tunnel drive.

Pre-lining method and other measures have been applied in order to overcome these problems. The results are as follows.

1. The cutting face was stable due to the umbrella of the pre-lining, which is to cast the mortar liner in the shape of arched shell in front of the face prior to the excavation.
2. The displacement of the tunnel was effectively restricted by the injection type foot-piles, reinforcement concrete at the leg of the heading etc.

Keyword: pre-lining, Pumice.

1. まえがき

避暑地で名高い長野県軽井沢町に造成中の別荘地開発事業の一環として、浅間火山降下碎屑物推積層の軽石層および軽石質ローム層・スコリア層で覆われた未固結地山に二車線道路トンネル（掘削断面積約75m²）をNATMで施工した。

未固結地山のトンネル掘削では、切羽の崩壊や地山のゆるみの増大・脚部地盤支持力不足による沈下量の増大・地表沈下等が問題となる。これらの課題に対する掘削工法を比較検討した結果、東葉高速線「勝田台トンネル」で施工実績を得たプレライニング工法（切羽前方地山内に予めアーチシェルの薄肉ライニングを構築する）を採用し、上半先進ベンチカットになる大断面一括掘削を行った。また、注入式フットパイリング及び根固めコンクリート・鋼製支保工と吹付けコンクリートによる全周閉合等により沈下の抑制を図った。

本文は、非常に特殊な軽石質火山灰土地山へのプレライニング工法の適用と、沈下の抑制工法の施工結果を報告するものである。

* 正会員 株式会社フジタ関東支店土木部

** 正会員 株式会社フジタ土木本部技術部

地質時代	記号	岩質・土質
第四紀	Pm-1	粗粒軽石
	La-1	黒い粘質ローム
	Lm-2	軽石質ローム
第三紀	Pm2	強風化軽石
	Tc1	凝灰質粘土
	Pm3	軽石
	Sc	スコリア
中新世	Tb	凝灰角礫岩
	La	安山岩

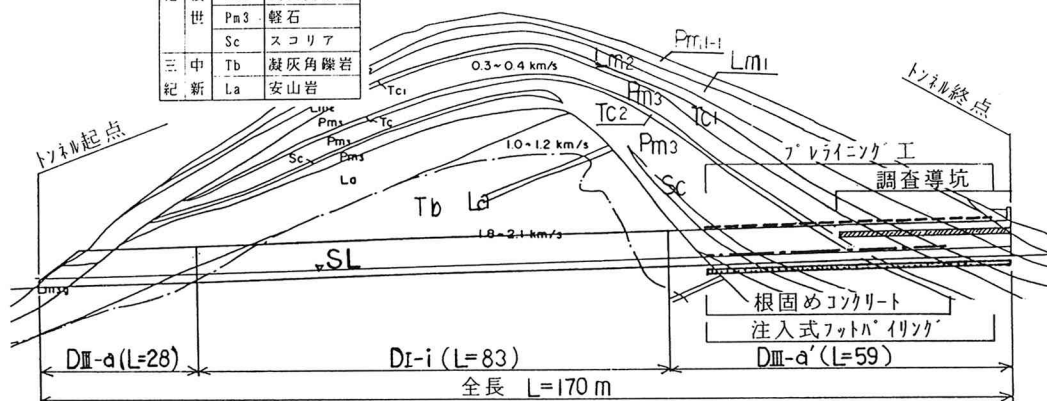


図-1 地質縦断図

2. 地形・地質概要

当トンネルは、軽井沢町の北部の山地（山頂標高1080m）の小尾根を南北に貫く、延長170m・最大土被り30mの道路トンネルである。

浅間山麓一帯は、基盤である新第三紀火山岩類（霧積層群）の上部に第四紀の浅間火山噴出物（溶岩、溶結凝灰岩、降下火山堆積物、非溶結火山砕屑物等）が堆積した地質構造となっている。トンネル通過位置の起点側120m区間は、霧積層群の中の凝灰角礫岩・安山岩（弾性波1.0～2.1km/sec）が主体である。終点側50m区間は、浅間降下碎屑物堆積層（弾性波0.4～1.0km/sec）の軽石層・軽石質ローム層・スコリア層が互層を成す未固結な火山灰地山である。地山分類は、全線にわたりDおよびE岩種である。

今回プレライニング工法を適用した軽石層は、弱風化～未風化の灰色～淡黄色を呈する軽石で、礫径φ5～50mm程度を主体とし、粘着力は0でN値は10以下である。軽石自体は、単位体積重量 γ_t が1.15g/cm³と小さくポーラスで、砕破しやすい粒子で構成されている。また、同層は殆どバインダー分を含んでいないが、形状が角ばっておりインターロッキング効果で安定しているものの、軽微な振動を与え噛み合わせの一部が崩れると、容易に不安定になり崩壊する。地下水位は全体にトンネル基面以下であるが、浅間降下碎屑物堆積層は透水性が大きいため降雨等の浸透による影響がある。軽石層の特殊性をふまえ施工方法の検討資料を得るため、事前に調査導坑（掘削断面積3.57m²）を終点側より30m掘削し地山状況の確認や載荷試験、数種の薬液注入試験等を実施した。



写真-1 軽石層接写

3. 施工条件および施工上の問題点

本トンネルの施工条件および施工上の問題点は以下の通りである。

- ① 終点60m区間の軽石層火山灰地山は、未固結で粘着力がないため、切羽の崩壊が懸念される。
- ② 土被りが浅く軟弱地山のためトンネル掘削に伴い地山のゆるみ、地表沈下の増大および脚部支持力不足による沈下量の増大が懸念される。
- ③ 地上部は山林で構造物等の支障物件はないが、国立公園地域内のため周辺環境へ配慮し、地上にトンネル掘削の影響を及ぼさないようにする必要がある。
- ④ 軽石層は極めて透水性のよい地盤のため、降雨等の浸透が切羽不安定化の要因となる。
- ⑤ 本トンネルが幹線道路の一部であるため、全体の工程管理上早期完成の必要がある。

4. 工法概要

前章の施工条件から、切羽安定性を確保し地表沈下の抑制を図るとともに、大断面一括掘削により施工速度・経済性の点で有利な掘削工法としてプレライニング（PASS）工法を採用した。プレライニングの施工手順は以下の通りである。

専用の5連オーガ式削孔・注入機を備えたクローラー式ベースマシンにより、上半約120°範囲を切羽前方4mの地山内に、アーチシェルのモルタル製薄肉覆工（プレライニング）を構築する。1スリット孔は幅81cm、厚さ17cmで、全16スリットを1枚おきに削孔・モルタル注入を繰り返し、アーチシェルを構築する。このマシンは数々の制御システムが搭載され測量・位置決め・削孔・注入等全自動で制御されるため、施工はオペレータと監視員他計3名で行われる。

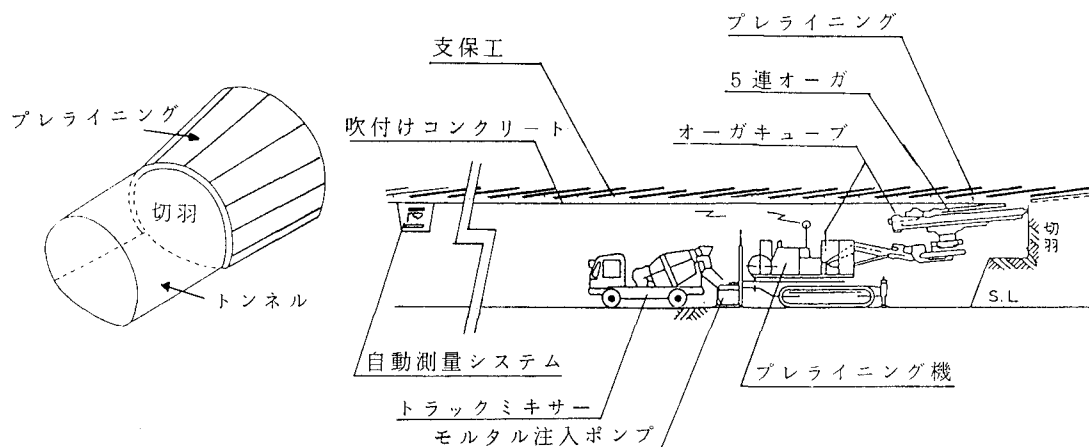


図-2 プレライニング概念及び施工システム図

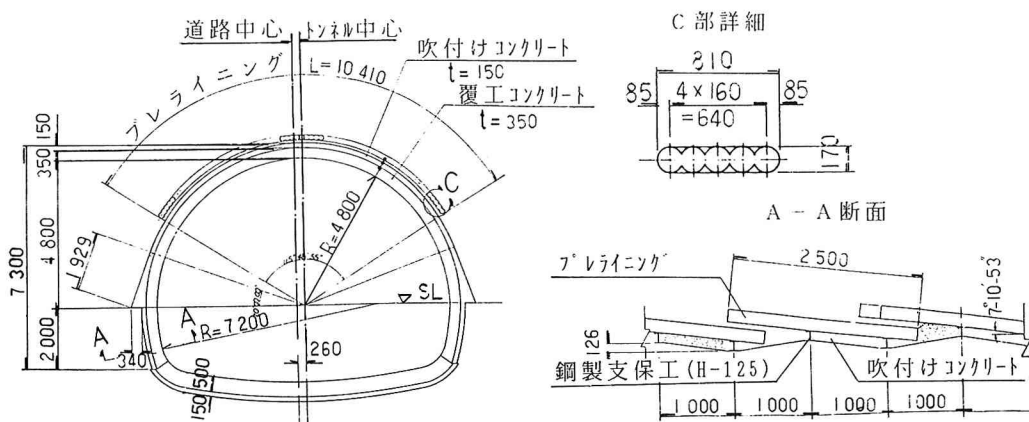


図-3 D III-a' 支保パターン図

5. 施 工

(1) プレライニング工

掘削は上部半断面先進 NATM (プレライニング併用) 工法を採用し、ベンチ長を50mとした。プレライニングは掘削2m毎に上半約120°の範囲に施工し、支保は鋼製支保工H-125 (@ 1.0m) および吹付けコンクリート (t=15cm) とした。

凝灰角礫岩から火山灰地山への層の変化部やスコリア層 (火山ガラス) においてはスリットの孔壁が自立せず、プレライニングが施工できない部分が生じたため注入式フォアパイリングで補完した。

また、孔壁がオーガーにより乱され、スリット断面積が設計値より大きくなった部分では、モルタル注入率を上げ孔壁の保持と隣接スリットとの連続性を確保した。

1 スリットの施工時間 (位置決め～オーガー引抜き) は約16分で、16スリットのプレライニング打設には約4時間30分を要し、前後の準備・片付けを含めると約6時間のサイクルタイムであった。

プレライニングの区間の掘削は天端崩落の危険がなく、切羽作業の安全性確保に大きく寄与した。また、切羽鏡部についても核残し掘削程度で軽石層の崩落を防止することができたのは、プレライニングの先受け効果によるものと考えられる。

地表面沈下の測定は、土被りが0.5D・1D・1.5D・2Dの位置で実施したが、土被りの違いにもかかわらず、先行沈下量はほぼ同一の20mm程度であった。これは、切羽到達以前の地山先行変位の抑制にPAS工法が効果を発揮したものと考えられる。一方先行変位が抑制されれば、後続沈下も抑制され切羽通過



写真-2 プレライニング施工状況

後 2 D 付近で沈下が収束するのが一般的であるが、強度がポーラスで軽く変形しやすい極めて特異な軽石層では、その地耐力不足の為後続沈下が大きく、切羽距離 2 D を過ぎても沈下が継続した（図－ 4 参照）。

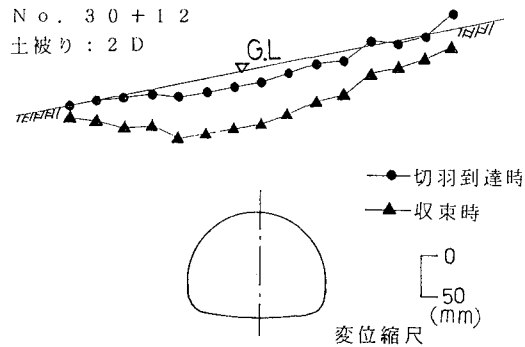
(2)脚部沈下対策

計測の結果、トンネルの沈下特性は以下の通りであった。

- ①天端及び上半脚部の沈下量がほぼ同じである。
- ②切羽通過後 2 D を過ぎても天端・脚部沈下が収束しない傾向が見られた。
- ③内空変位量は 1 0 m/m以下で、吹付けコンクリートのクラック等支保の有害な変状は見られなかった。

これらの現象から、本区間のトンネル沈下は上半脚部の支持力の不足が原因と判断し、「注入式フットパイル」「根固めコンクリート」「一次支保による全周閉合」等の対策を講じた。

(図－ 5 沈下量経日変化図参照)



図－ 4 地表沈下図

①注入式フットパイル

上半脚部の地耐力を増し沈下を抑制し、かつ下半掘削時の軽石層の剝落を防止するためL=3mのフットパイルを1間当たり2本打設した。注入材はLW、ウレタン等を試験したがゲルタイムが遅くポーラスな軽石層では逸失してしまうため、ゲルタイムの短い水ガラス系溶液型注入材を使用した。薬液の種類と配合は表－ 1 の通りであり、1本当たり200 ℓ注入を行った。

注入後しばらくは沈下量は余り変位しなかったが時間が経つと徐々に変位した。

このクリープ的な沈下を注入式フ

ットパイルだけでは抑制できなかった。この原因として、薬液の強度不足・注入範囲・施工精度等が考えられた。

②根固めコンクリート

注入式フットパイルのみでの沈下の抑制が困難であったため、脚部の支持面積を増やす目的で、幅 50cm・厚さ15cmの根固めコンクリートを打設した。当初は吹付けコンクリートによる施工を試みたが、吹付けのエアが軽石を吹き飛ばすため施工不能であったため、通常の生コンクリートを直接打設した。

③下半、インバート閉合

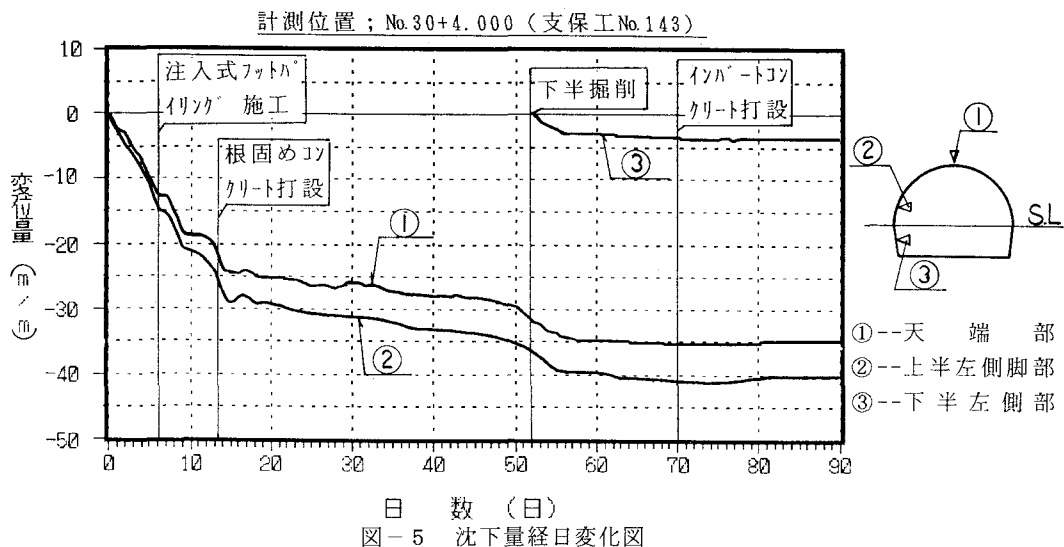
上記の①・②を併用することにより沈下速度は小さくなったが、クリープ変形が持続したため、鋼製支保工および吹付けコンクリートによる全周閉合を実施した。

その結果閉合後、数日は変位があったものの収束し、インバートコンクリート打設後も変位しなかった。

表－ 1 LCグラウト性状及び配合表

種 類	4 0 0 ℓ当り配合表		ゲルタイム
主 剤 : JIS3号水ガラス	A 剤 (200 ℓ)	水ガラス : 80 ℓ、水 : 120 ℓ	20
硬化剤 : LCグラウト*	A 剤 (200 ℓ)	LCグラウト : 20 kg、水 : 190 ℓ	～ 25 秒

* : 瞬結型無機溶液型土質安定剤

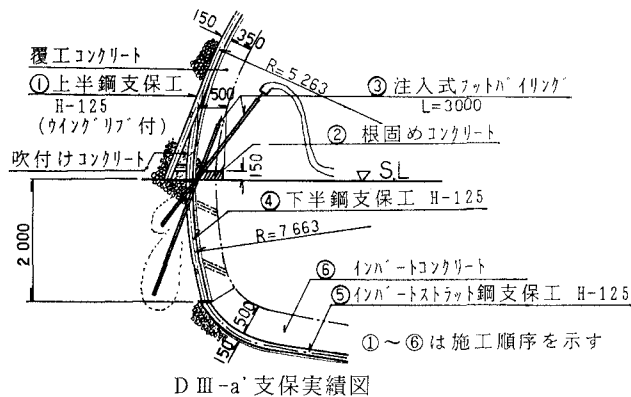


以上のように、①～③の工法を試行錯誤したが、早期の全周閉合がこの軽石質火山灰地山下のトンネルの沈下を抑制する上で最良の工法であったと考えられる。

6. おわりに

プレライニング工法は、東葉高速鉄道勝田台トンネルにおいて未固結砂層に対する切羽の安定性確保および地表沈下量の抑制に大きな効果があることを実証した。

今回報告した軽井沢トンネルでは、軽石質火山灰地山に対し一部孔壁崩壊等のためプレライニングの造成が不完全な部分を生じたものの、全体として切羽の安定性確保に寄与したものと考えられる。今後は、削孔システムの改良等により、適用地盤の一層の拡大を目指したい。



7. 参考文献

- 1) 原 隆文・香川 和夫ら：プレライニング工法による勝田台トンネルの施工、トンネル工学研究発表会論文・報告集、p p. 185～190、1992.10