

急崖地形のトンネル坑口部における 法面保護工の施工実績

山下 貴正¹・上南 隆²・志賀 弘史³・井上 拓也⁴

¹正会員 鹿島建設株式会社 横浜支店（〒231-0011 横浜市中区太田町4-51）
E-mail:yamtakam@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 横浜支店（〒231-0011 横浜市中区太田町4-51）
E-mail:uenami@kajima.com

³正会員 鹿島建設株式会社 横浜支店（〒231-0011 横浜市中区太田町4-51）
E-mail:shiga@kajima.com

⁴静岡県沼津土木事務所（〒410-0055 沼津市高島本町1-3）
E-mail:takuya1_inoue@pref.shizuoka.lg.jp

（仮称）静浦トンネルの到達側坑口は急崖地形かつ凸凹の激しい地山状況，また，岩塊崩落の懸念を考慮した施工が求められた．このため，大型高所作業車を用いてグラウンドアンカーを施工するとともに，3Dモデルを活用してアンカー調整台座が最小限となるグラウンドアンカーの配置・角度に変更し，合理化を図った．また，急崖法面におけるロープ高所作業の安全性確保について，工夫を凝らして施工を行ったのでここに報告する．

Key Words : steep cliff, rock collapse, rope access, aerial work platform, ground anchor

1. はじめに

（仮称）静浦1号トンネル（以降、本トンネル）は，国道414号静浦バイパスの一部として，沼津市下香貫地区と大平地区を結ぶ全長1,177mの道路トンネルである．本トンネルの到達側坑口である大平地区は，かつて石材を採取した跡地であり，急崖法面（鉛直から70°の勾配）が高さ約50m、幅40mにわたり連続する（写真-1）．当初は切土法面整形を行う計画であったが，施工に先立ち伐採を行ったところ，多数の亀裂、岩塊崩落の痕跡を確認した．そのため，法面整形を行わずに不安定岩塊は極力除去しながらも現状地山を生かした施工および岩塊崩落の可能性を考慮した安全な施工が求められた．



写真-1 法面状況（伐採後）

2. 工事の特徴

(1) 工事概要

工事名：（仮称）静浦1号トンネル本体工事
トンネル名称：沼津アルプストンネル
発注者：静岡県（交通基盤部 沼津土木事務所）

施工者：鹿島・集特定建設工事共同企業体
工事場所：静岡県沼津市大平地内
工期：2014(H.26).3.20～2018(H.30).7.31

(2) 工種概要

法面工の施工フローを図-1に示す。人力による切土法面整形を行わず、現況斜面のまま、浮石・不安定岩塊の撤去(人力掘削250m³)と斜面安定対策を行う。工種について、図-2に示すように大規模なすべり対策として、トンネル方向にグラウンドアンカーを3mピッチで施工する。地山形状が複雑なため、調整台座(以降、ざぶとんわく)をモルタル吹付により設置するが、調整厚さが過大となる場合は地山を切り込んで対策する。また、アンカー間の小規模崩壊の抑止として、中抜け対策工(モルタル吹付→ロックボルト→高強度ネット)を行う。施工順序は、中抜け対策工完了後、グラウンドアンカーの施工へと移る。施工数量を下記に示す。

・モルタル吹付工(t=10cm)	1,468m²
・高強度ネット中抜け対策工	1,416m²
・ロックボルト L=3.0m	579本
・グラウンドアンカー工	86本
タイプルアンカーU型(F60UA, F70UA)	
削孔長1本あたり	8.0m~24.5m
削孔 軟岩(φ115mm)	1,389m
受圧板設置工	86基
(KIT16C-340-L, KIT16C-425-L)	

3. 問題点

(1) 亀裂・浮石

施工に先立ち伐採を行ったところ、亀裂、岩塊崩落の痕跡を確認したことから、ドローン撮影およびクライミングにより亀裂・浮石調査を実施した。その結果、岩盤の安定性に影響のある主要な亀裂が3本(S-3, S-14, S-17)確認された。また、岩盤表面の風化、亀裂面の開口が進み、交差した亀裂に挟まれた岩塊の崩落が繰り返し発生した結果、設計時に測量した地山が崩落し、そのため、想定より斜面が一部痩せていた。また、崩落の危険性の高い浮石(ブロック)が存在しており、それら浮石の安定状態は、危険度が高い著しく不安定な岩塊 AA が 13 個、不安定な岩塊Aが 12個であることが判明した(図-3参照)。

(2) 岩塊崩落の発生

法面工施工直前に、90m³の岩塊(図-3に示す浮石番号8-1,8-2,8-3,12,13-1)が崩落(写真-2)し、法尻より15mは立入禁止となった。これに伴い、下記の問題点が発生した。

a) 施工足場

グラウンドアンカーの施工(ざぶとんわく・削孔・受圧板設置)は、地上から足場(約7,000空m³)を組む計画(図-4参照)であった。

しかし、以下の3つの側面で問題点が発生した。

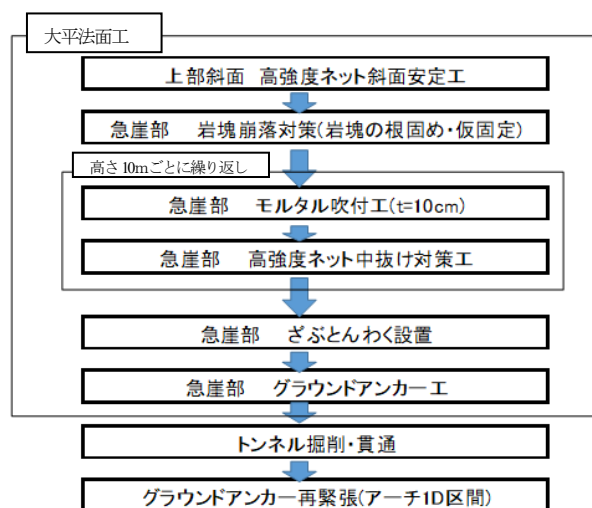
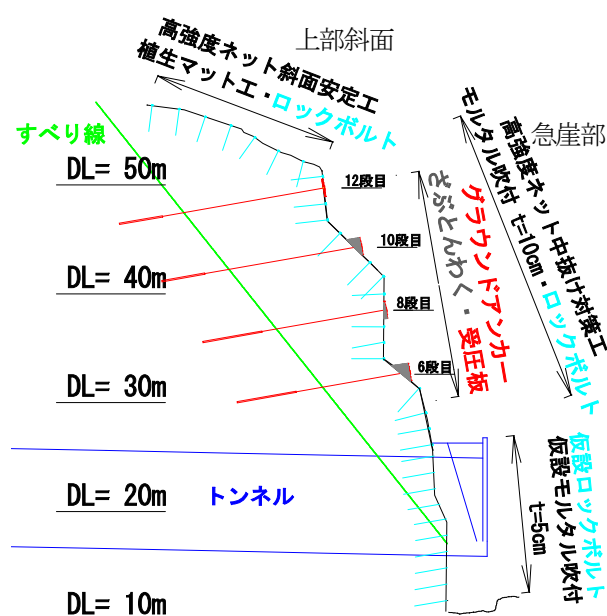
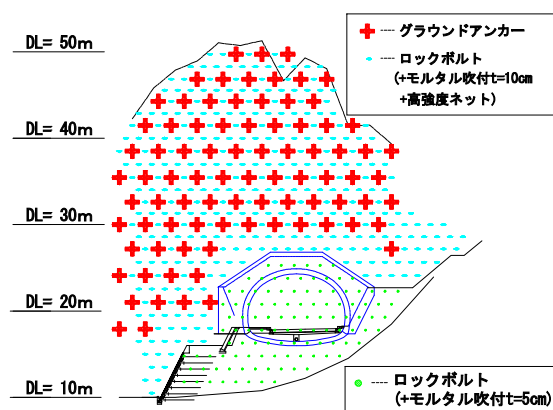


図-1 施工フロー



(a) 縦断面図



(b) 正面図

図-2 工種概要

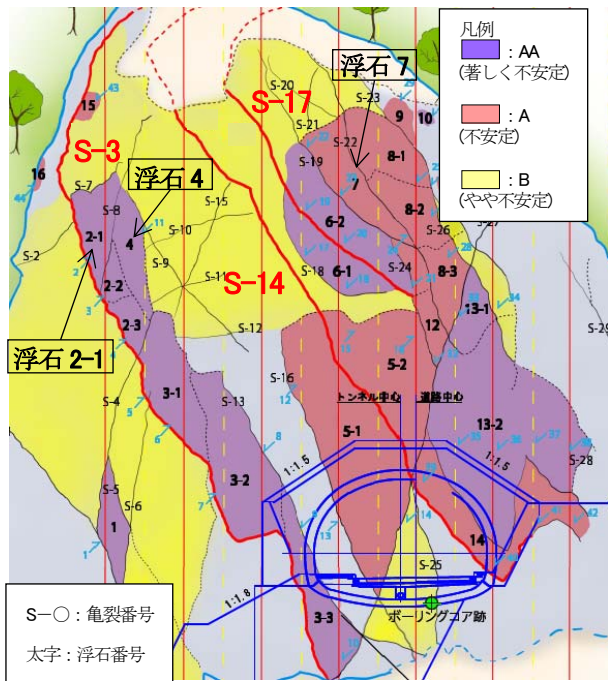


図-3 浮石・亀裂正面図



写真-2 岩塊崩落状況

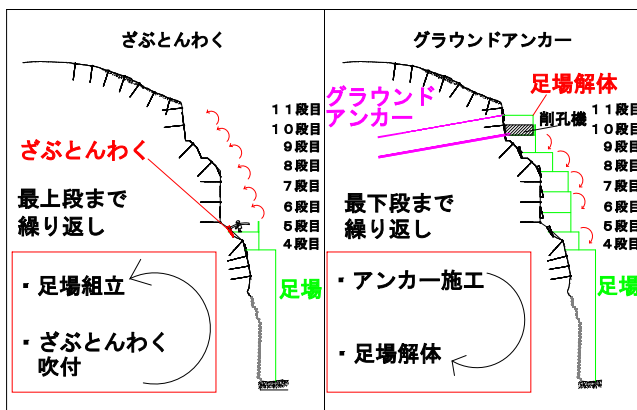


図-4 足場施工ステップ

- ①構造面：法面形状が複雑かつ鉛直な箇所もあり，構造的に不安定となる懸念
- ②施工性：ざぶとんわく施工と1段ごとの足場組立を12段，グラウンドアンカー施工と1段ごとの足場解体12段繰り返す必要があり，足場組立解体時における飛来落下の懸念

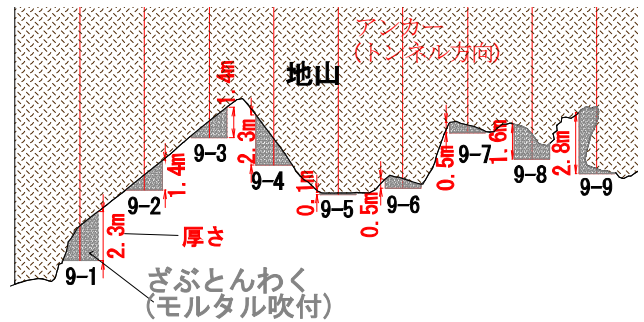


図-5 9段目水平断面図(配置・角度変更前)



写真-3 法面状況(鉛直箇所)

- ③リスク回避：岩塊崩落の兆候が見られても，直ちに解体するのは不可能．再度岩塊が崩落すれば足場の崩壊懸念

b) ざぶとんわく

グラウンドアンカーはトンネル進行方向に打設する設計であった．しかし，複雑な地山形状より，ざぶとんわくの厚さが2.5mを超えるものも発生し，厚吹きしたモルタルの落下といった懸念があった(図-5参照)．一方，設計では，調整厚が過大となる場合は地山を切り込んで対策する想定であったが，岩塊崩落を助長するおそれがあった．

c) ロープ高所作業

本工事では，中抜け対策工において，高さが50mあり，作業床を設けることが困難なため，法面上部からアクセスして，ロープ高所作業を行ったが，下記の問題点が発生した．

- ①45°(1割)の法面であれば，体重の半分は地面に預けることができるが，鉛直の場合はロープに全体重がかかり，ロープへの過負荷，および作業性の低下
- ②通常の法面は小段が設けられ，落下した場合も1段分の高さであるが，本工事は法面が鉛直な箇所もあり，作業の危険度が高い(写真-3)



写真4 大型高所作業車 I 使用状況



写真6 高所作業車 II 使用状況

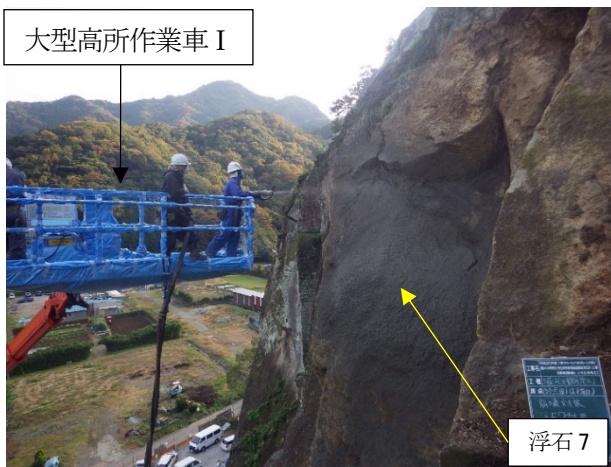


写真5 崩落懸念岩塊 根固め状況



写真7 高所作業車 III 使用状況

4. 施工実績

(1) 施工足場

岩塊崩落を受けて、図-3に示す、更に不安定化した浮石7と、元々著しく不安定であった浮石4、浮石2-1について、モルタル吹付による「岩塊根固め」とロックボルトによる「岩塊仮固定」を、急崖法面施工前に実施した。その際、再度岩塊崩落が発生した場合に巻き込まれないため、大型高所作業車 I (プロント スカイリフト S56XR 54m)を使用した(写真-4参照)。これにより、写真-5に示すように、法面と離隔をとって作業できるため、安全性が向上した。

また、施工足場の工夫として、地上から20m以下でのモルタル吹付の際には、ロープ高所作業に加えて、写真-6に示すように高所作業車 II (AT-250S デッキ最大地上高：25m、最大積載荷重：2.5 t、最大作業半径：14m)を併用し、下記の利点があった。

- ①急崖法面のため、ロープ高所作業は危険性が高く、墜落災害のリスクを軽減

- ②法面对策が完了していないため、ロープ高所作業では上部からアクセスしたが、最大で40m法面を昇る必要があるため、作業員の負担軽減

グラウンドアンカーの施工足場として、写真-7に示すように、大型高所作業車 III (AT-550S、デッキ最大地上高：55m、最大積載荷重：6.7 t、最大作業半径：30m)を使用し、下記の3つの側面で利点があった。

- ①構造面：法面形状に関わらず、高所作業車の安定性は変わらない
- ②施工性：AT-550Sは1日あれば組立可能であるため、足場の組立解体が不要となり、工程短縮
- ③リスク回避：岩塊崩落の兆候が見られた場合、退避することが可能であり、その後に岩塊崩落が発生した場合でも崩落に伴う災害を回避できる

(2) ざぶとんわく

モルタル吹付厚さを低減させるため、グラウンドアンカー配置・角度を変更した。変更にあたり、アンカー緊張時における滑動を検討した。ざぶとんわくのカタログ

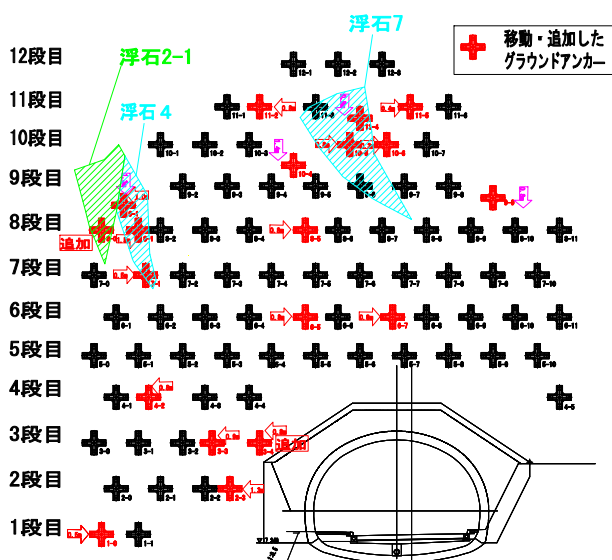


図-6 正面図(アンカー配置移動)

値の上限(厚さ823mm)としては、滑動の安定に対する安全率は1.2であったが、道路橋示方書¹⁾の長期安全率の許容値1.5を満足するよう、水平方向・縦断方向ともに、地山形状に適応させた。アンカー同士やトンネル断面との干渉条件を下記に示す。

- ①アンカー同士の離隔を0.5m以上
- ②アンカーとトンネル断面との離隔が1.5m以上
- ③定着部同士の離隔が1.5m以上

上記干渉条件を満足するため、角度調整台座を使用して角度調整を行った。

角度の修正だけではざぶとんわくの厚さを減らす効果が小さい場合は、配置を変更することで滑動を満足させた。加えて、詳細設計で憂慮されている岩塊を効果的に抑えた(図-6参照)。

以上の検討から、下記の変更を行った。

- ①水平角度の変更(53基：設計との差→最大 32.1°)
- ②縦断角度(48基：設計との差→最大 17.8°)
- ③配置の移動(17基)、追加(2基)(図-6参照)

この変更により、ざぶとんわくの総吹付量は、変更前の 120m^3 に対して、変更後は 61m^3 と半分に減らすことができた。また、図-7と写真-8のアンカー番号94に示すように、変更前は非常に厚い台座となるため圧迫感の懸念があったが、変更することで圧迫感を低減させた。

グラウンドアンカーの施工について、図-8にアンカー配置・角度変更前後の、法面の裏側から見た3Dモデルを示す。変更前と比べて変更後は、アンカー同士の干渉を防ぐために、施工精度の向上が必須となったが、打設ごとに、アンカー方向を座標で管理して削孔機をセットすることで、アンカー同士が交差することなく、施工を完了することができた。

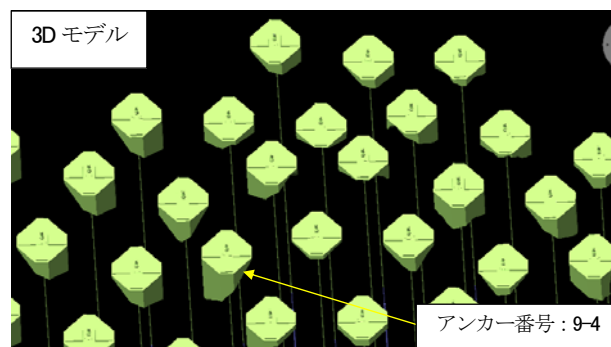


図-7 ざぶとんわく状況(変更前)

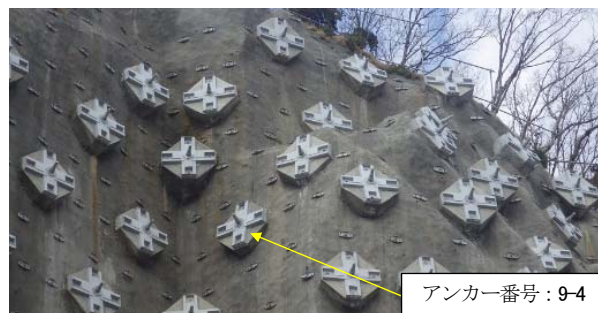


写真-8 ざぶとんわく状況(変更後)

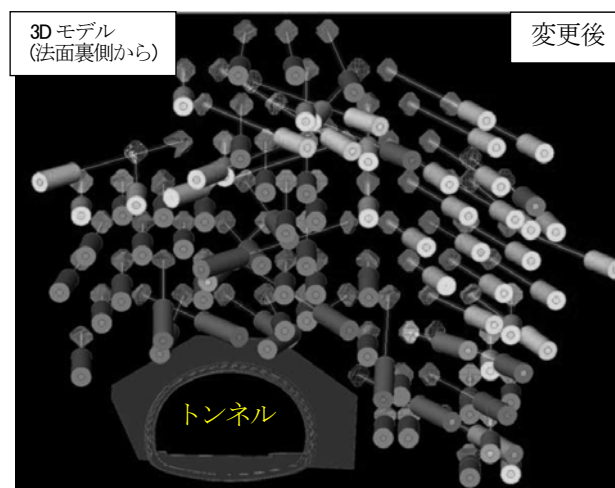
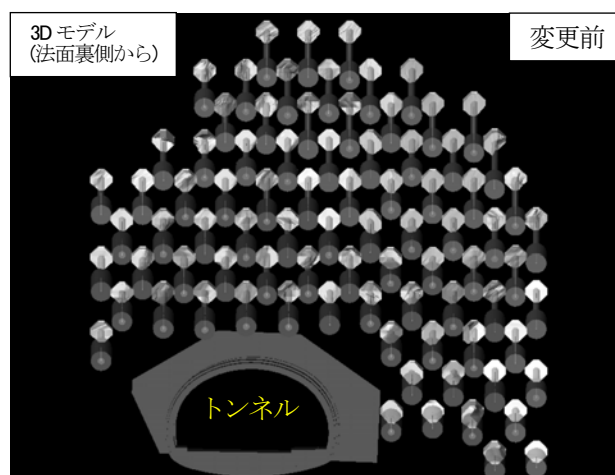


図-8 グラウンドアンカー正面図(3Dモデル)

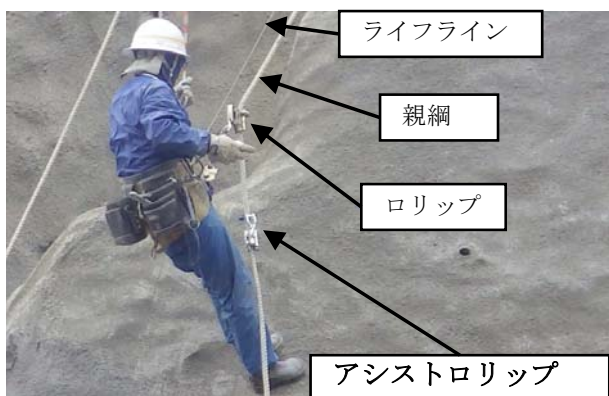


写真-9 アシストロリップ



写真-10 法面全景(施工完了後)

(3) ロープ高所作業の安全性向上

安衛則上は、ロリップ+ライフラインによる2重の安全対策であるが、ロリップの操作を誤るとライフラインのみが命綱となり、急崖法面においてはリスクが大きい。そのため、ロリップ+ライフライン+「アシストロリップ」による3重の安全対策(トリプルセーフティ)とした。アシストロリップとは、写真-9に示すように、ロリップの親綱下方に取付け、ロリップの落下によって、アシストロリップが親綱を保持(ロック)し、転落事故を防止するものである。これにより、ロリップの誤操作が起きた場合も、ライフライン+アシストロリップで墜落を防止でき、安全性を向上させた。

孔時に注水することによる粉塵対策や、吹付プラントのコンプレッサーに対して消音機設置といった騒音対策も実施したことで、苦情もなく施工を完了することができた。

また、急崖法面・崩落の懸念のある施工現場であったため、詳細な亀裂・浮石調査結果をもとに、崩落が懸念される浮石を効果的に抑え、更なる岩塊崩落を防ぎながら、グラウンドアンカー工の機能を損なわず、調整台座を最小限に抑えた。加えて、様々な工夫を凝らした安全性の確保により、無事故、無災害で工事を完了できた。

トンネルの貫通、坑口付けの施工の際にも、法面に変状は見られなかった。

5. おわりに

施工現場は、近隣住民が隣接する中での工事であったことから、施工の効率化、近隣対策が求められた。そのため、アンカー配置・角度の変更や高所作業車を用いるなど、施工の効率化を図った。さらに、ロックボルト削

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，pp.308-309，2012.

(2018.8.10 受付)

Construction Records of Slope Protection Above Tunnel Portal in Steep Cliff

Takamasa YAMASHITA, Takashi UENAMI, Hirofumi SHIGA and Takuya INOUE

The portal of Shizuura tunnel is in steep cliff that have possibilities of rock collapse. It makes construction of slope protection more efficient that 3D model and aerial work platform. In order to ensure safety, it makes all kinds of efforts about working of rope access.