

崖錐が厚く堆積した急傾斜地を 小土被りで掘る

Application of vertical pre-reinforcement bolt in the portal of a mountain tunnel which shows landslide-prone topography

中島 浩¹・岡田 正男²・矢野 竜也²・原田 雅也³
Hiroshi Nakajima, Masao Okada, Ryuya Yano and Masaya Harada

¹正会員 工修 ハザマ 土木事業本部 技術第二部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5)

E-mail: hnakajima@hazama.co.jp

²ハザマ・白石JV 寺本トンネル作業所 (〒501-4236 岐阜県郡上市八幡町相生3122-1)

³中日本高速道路株式会社 岐阜工事事務所 (〒504-0957 岐阜県各務原市金属団地131)

Around the north portal of Hinanari Tunnel in Tokai-Hokuriku Expressway, the overburden is below 1D (from STA.569+95 to STA.570+99.5, L= 104.5m) and the portal shows landslide-prone topography (W= 50 to 80 m). In the portal, the tunnel is planed to run through the thick unconsolidated talus deposit (more than 10m thickness). Precise examinations on the possibility of landslide due to tunnel excavation and on the face stability during tunnel excavation are therefore necessary. On these problems, countermeasures are examined and executed in consultation with the employer. In this report, the circumstance of examination and the results of construction are presented.

Key Words : *landslide-prone topography, thin overburden, talus deposit, vertical pre-reinforcement, ground improvement grouting*

1. はじめに

本工事の雛成トンネル北側坑口付近では、土被りが1D未満と小さく（最小土被り約3m）、崩落地形（幅50～80m）を呈し、厚く堆積した（層厚10m以上）未固結の崖錐堆積物層を、トンネル断面が切取るように計画されていた。そのため、トンネル掘削に起因する地すべりの発生、トンネル掘削時の切羽の安定性等について詳細な検討が必要であった。そこで、これらの諸問題に対して、対策工を検討するとともに実施工を行った。本報は、その検討経緯と施工結果について報告するものである。

2. 工事概要

東海北陸自動車道は、中部地方を南北に貫き愛知県一宮市で名神高速道路、富山県小矢部市で北

陸自動車道に接続する総延長約185kmの高速自動車道である。平成8年4月に美並IC～郡上八幡IC間が暫定2車線で開通したが、交通渋滞が激しく、この渋滞の緩和と東海北陸自動車道が全線開通したときの交通量の増加に備えるため、4車線化のために拡幅工事を行っている。

本工事は岐阜県郡上市八幡町に位置し、寺本トンネル536mおよび雛成トンネル518mの2本のトンネル（上り線（Ⅱ期線））を、NATM、補助ベンチ付全断面工法（爆破掘削、タイヤ方式）で施工するものである。

工 事 名 : 東海北陸自動車道寺本トンネル工事
工事場所 : 岐阜県郡上市八幡町
発 注 者 : 中日本高速道路㈱
中部地区支配人付 岐阜工事事務所
工 期 : 平成 16 年 3 月～平成 19 年 1 月

：橋梁下部工	橋 台	1 基
	橋 脚	6 基
	深礎工	12 本
：切盛土工	18.450m ³	他



本トンネル

雛成トンネル北側坑口付近の地質は、ジュラ紀～石炭紀の灰白色を呈するチャート主体から構成されている。当該チャートは、層状岩盤で異方性が著しく、幅3～5cm間隔程度で割れ目が発達していた。

当該斜面の地質および地層構成を詳細に把握するために、新たに4本の調査ボーリングを実施した結果、未固結の崖錐堆積物が最大約10mも堆積し、その下位の基盤岩も強風化し、非常に軟質化していることが判明した。

雛成トンネル北側坑口付近では、土被りが1D未満と小さく(STA.569+95～570+99.5, L=104.5m区間), 崩落地形(幅50～80m)を呈し, 厚く堆積した未固結の崖錐堆積物を, トンネル断面が切取るように計画されていた(図-1参照). そのため, 以下に示す事項が施工上の問題となった.

- ①現在供用しているⅠ期線への影響



図-1 地質横断図 (STA.570+20.0)

- ③トンネル掘削時の切羽の不安定化
- ④小土被り，偏圧地形による覆工への偏圧作用

そこで，①～④に示す施工上の問題について，対策工の検討・実施を行った。なお，④の対策工の検討・実施結果については，別の機会に述べるものとする。

(2) 斜面安定対策と切羽安定対策の検討

トンネル掘削にともなう周辺地山の緩みを考慮して¹⁾，トンネル掘削後の斜面の安定解析を行った。その結果，解析を行ったすべての断面で(当該区間の代表として4断面とした)，斜面の安全率が1.0より大きく下回り(表-1参照)，人為的要因に起因する地すべりの多数の実例から原地形の安全率が5～10%低下した時点で発生しているとある²⁾ことも併せて，当該斜面に対する安定対策工が必要と判断した。

なお，当該斜面の崖錐堆積物の土質定数は，現状の安全率を，「崩積土すべり，運動停止中」として $F_s=1.05$ と評価³⁾し，逆算法を用いて決定⁴⁾した。

表-1 II期線掘削後の斜面の安全率一覧

検討断面 検討時期	A-A断面	B-B断面	C-C断面	D-D断面
I期線掘削後 (着工前)	1.121	1.050	1.063	1.438
II期線掘削後 (無対策時)	0.923 (17.7%)	0.831 (20.9%)	0.924 (13.1%)	0.850 (40.9%)

()内は低下率を示す。

また，本工事のトンネル断面は，厚く堆積した未固結の崖錐堆積物層を切取るように計画されていたため，特にトンネル掘削時の切羽天端の不安定化と切羽鏡面の不安定化が問題となった。

以上から，当該坑口部における斜面の安定対策および切羽の安定対策について詳細に検討を行うこととした。

坑口部における地すべり，斜面崩壊および切羽天端の安定が問題となる場合，一般には表-2に示すような対策が示されている(網掛けは本トンネルにおける採用可能な工法を示す)。これらのうち，地すべり対策としては，押え盛土，垂直縫地ボルトおよびアンカー工等が，切羽天端の安定対策としては，垂直縫地，地山注入および長尺鋼管フォアパイリング等が考えられる。

ここで，急峻な地形，地質状況(硬いチャートなどの転石を含む地盤)および用地境界等を考慮すると，当該坑口部においては，①～④に示す対策

工が考えられる。

表-2 坑口部の設計において予想される問題点⁵⁾

問題点	地すべり	斜面崩壊	切羽崩壊	偏圧	地耐力不足	記 事
主な対策						
のり面防護工	○	○				
擁壁	○	○			○	抱き擁壁
保護切土・押え盛土	○	○			○	ソイルセメント，エアモルタル等
垂直縫地ボルト	○	○	○	○		
アンカー工	○	○	○	○		
抑止杭	○	○				深礎，H鋼杭，鋼管杭
水抜き工(地表・坑内)	○	○	○			ウエルポイント，水抜きボーリング
地山注入(地表・坑内)	○	○	○	○		
切羽安定対策			○	○		噴吹付けコンクリート，鎮止めボルト，パイプルーフ，フォアボーリング，長尺鋼管フォアパイリング，水平ジェットグラウト，プレライニング
脚部補強			○	○	○	ウイングリブ付き鋼製支保工，脚部補強ボルト，脚部注入，仮インバート

注：○は一般的に用いられる工法

- ①当初設計(軽量盛土+AGF)+垂直縫地+長尺鏡ボルト
- ②垂直縫地+地山改良注入
- ③グラウンドアンカー工+AGF+長尺鏡ボルト
- ④押え盛土+AGF+長尺鏡ボルト

当初設計(軽量盛土+AGF)と上記の①～④に示した対策案を，効果(斜面の安定性およびトンネル掘削時の切羽の安定性)，施工性，工期および工費等の面から総合的に比較検討した結果，トンネル掘削時にも斜面の安定効果を得ることできること，切羽の安定効果が高いこと，工期への影響が小さいこと，4案の中で最も経済的であること等から，②案の「垂直縫地+地山改良注入」が最も効果的な対策工と判断した。

5. 対策工の概要と施工結果

(1) 対策工の概要

垂直縫地の設計は，計画安全率を $F_{sp}=1.20$ とした^{1),3)}。表-3に設計諸元，図-2に対策工の断面図を示す。

表-3 垂直縫地ボルトに関する設計諸元一覧

項 目	規 格	備 考
削孔径	115mm	
補強材	D32 SD345 許容引張応力度 200N/mm ²	腐食代 1mm を考慮
地山との極限周面 摩擦抵抗	チャート : 0.48N/mm ² 崖錐層 : 0.14N/mm ²	岩盤 (風化岩) 砂礫 (N 値 20)
極限周面摩擦抵抗 の安全率	$F_{sa} = 2.0$	永久
異形鉄筋と注入材 の許容付着応力	1600 kN/m ² (1.6N/mm ²)	注入材の設計基準 強度 24N/mm ²
低減係数	$\mu = 0$	植生工のり面
補強材の配置間隔	縦断方向 : @1.5m 横断方向 : @1.5m	

a) 垂直縫地ボルト

斜面の安定対策としてトンネル断面を外して配置する垂直縫地ボルトは、D32(SD345)の異形棒鋼を用い、トンネル掘削時の切羽安定対策としてトンネル断面内に配置するボルトは、φ22mmのGFRPボルトを採用することとした。表-4に垂直縫地ボルトの充填材の配合を示す。

なお、トンネル施工時の切羽の安定対策としてGFRPボルトによる垂直縫地と地山改良注入を併せて実施する対策範囲には、経済性も考慮して、スリット入りの特殊な挿入管を用い、垂直縫地と地山改良注入を同一孔で施工した。

b) 地山改良注入

地山改良注入については、注入対象地山の地質、土被りの厚さおよび改良効果等について総合的に検討した結果、トンネル上半の掘削外周から3mの範囲とし、注入工法としては、二重管ダブルパッカー工法を採用した。また、注入材は、注入対象地山の地質、効果、経済性および長期耐久性等について比較検討し、効果、経済性および長期耐久性に優れ、総合的に最も効果的と判断したセメントミルクを使用した。また、注入材の計画注入率は、注入対象地山の地質から31.5%とした。表-5および表-6にそれぞれ地山改良注入に用いたセメントミルクの配合と垂直縫地・地山改良注入の施工数量一覧を示す。

表-4 縫地ボルトの充填材の配合(1m³あたり)

セメント(kg)	水(kg)	減水剤(l)
1225	588	22.2

表-5 地山改良注入材の配合(1m³あたり)

セメント(kg)	水(kg)
895	716

表-6 垂直縫地施工数量一覧

種別	仕様	長さ(m)	本数	備考
縫地ボルト	D32(SD345)	12.0	240	トンネル断面外
縫地ボルト	D32(SD345)	10.0	206	斜面安定対策
縫地ボルト	D32(SD345)	8.0	100	
縫地ボルト	D32(SD345)	5.0	71	
縫地ボルト	D32(SD345)	3.0	54	計 671本
縫地ボルト	GFRP、φ22	17.0	4	トンネル断面内
縫地ボルト	GFRP、φ22	16.0	8	切羽安定対策
縫地ボルト	GFRP、φ22	15.0	12	
縫地ボルト	GFRP、φ22	14.0	10	
縫地ボルト	GFRP、φ22	13.0	11	
縫地ボルト	GFRP、φ22	12.0	14	
縫地ボルト	GFRP、φ22	11.0	9	
縫地ボルト	GFRP、φ22	10.0	6	
縫地ボルト	GFRP、φ22	9.0	6	
縫地ボルト	GFRP、φ22	8.0	5	
縫地ボルト	GFRP、φ22	7.0	7	
縫地ボルト	GFRP、φ22	6.0	6	
縫地ボルト	GFRP、φ22	5.0	1	計 99本
縫地+改良注入	GFRP、φ22	20.0	2	トンネル断面内
縫地+改良注入	GFRP、φ22	19.0	4	斜面安定対策
縫地+改良注入	GFRP、φ22	18.0	8	切羽安定対策
縫地+改良注入	GFRP、φ22	17.0	13	スリット入りの特殊管を採用
縫地+改良注入	GFRP、φ22	16.0	23	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	15.0	39	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	14.0	35	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	13.0	33	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	12.0	33	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	11.0	30	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	10.0	38	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	9.0	29	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	8.0	32	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	7.0	23	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	6.0	16	
縫地+改良注入	GFRP、φ22	5.0	2	計 360本
地山改良注入		13m	13.0	トンネル断面外
地山改良注入		12m	12.0	斜面安定対策と
地山改良注入		11m	11.0	して異形棒鋼に
地山改良注入		10m	10.0	よる縫地ボルト
地山改良注入		9m	9.0	配置するととも
地山改良注入		8m	8.0	に、地山改良注
地山改良注入		7m	7.0	入も行う必要が
地山改良注入		6m	6.0	ある範囲
地山改良注入		5m	5.0	
地山改良注入		4m	4.0	計 78本

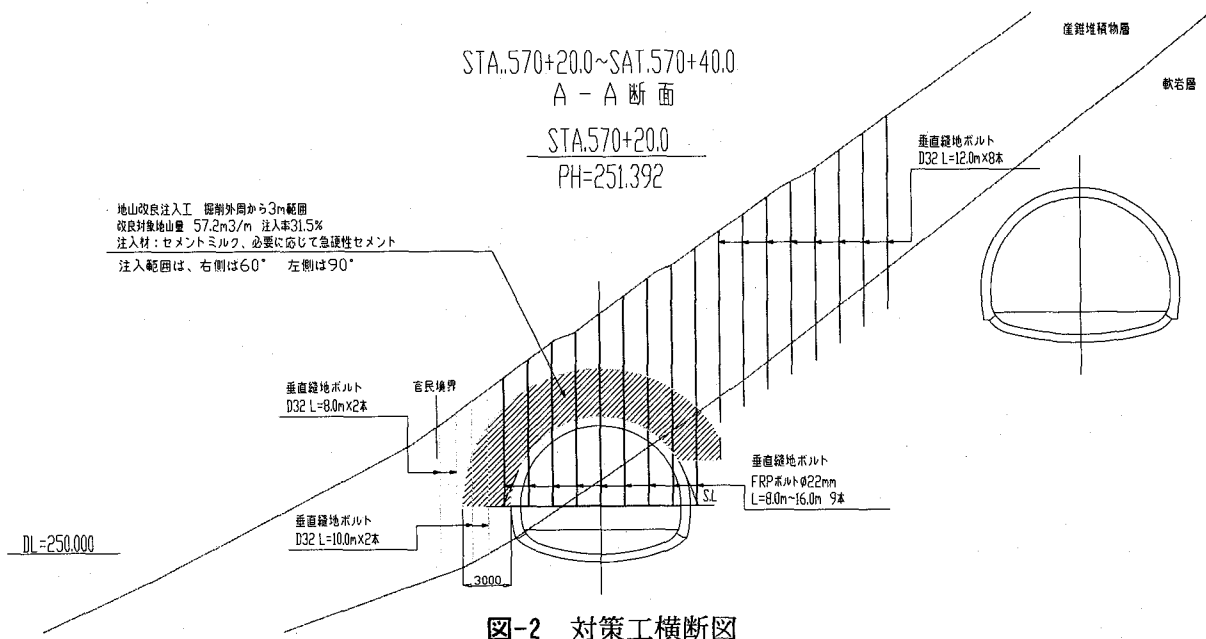
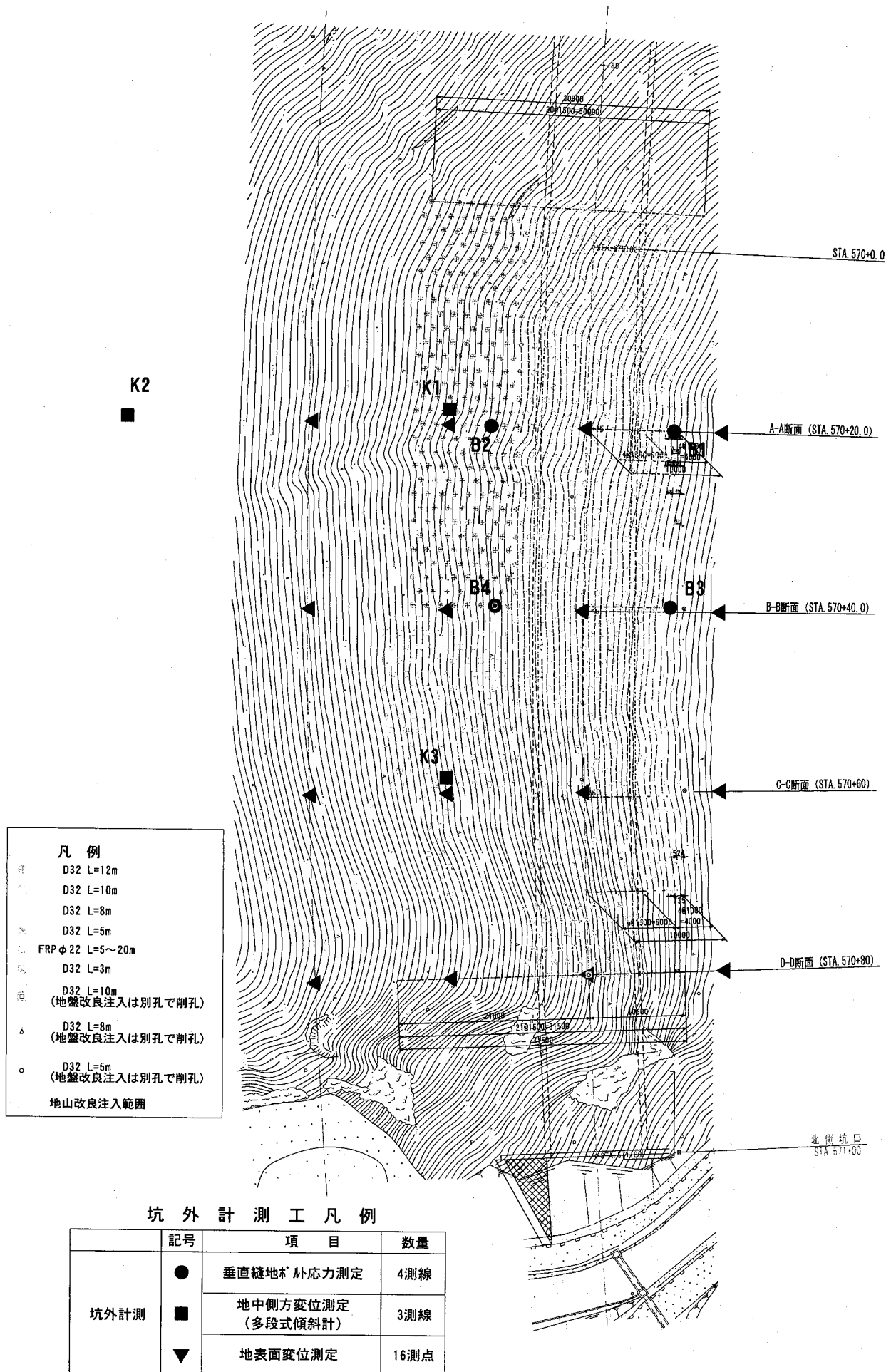


図-2 対策工横断図



6. 計測工および対策工の効果

(1) 計測項目の選定

供用中のⅠ期線への影響、斜面の安定性の確認および対策工の効果を確認するため、表-7に示す計測工を行い、管理基準値を設定して慎重にトンネル掘削を行った。また、図-3に垂直縫地および計測工の配置を示す。

(2) 計測結果

a) 垂直縫地ボルト応力測定

測定した4測点ともに、トンネル掘削の接近および通過にともなう発生応力の増加が見られた。発生応力は、谷側の測点（図-3のB1およびB3参照）に比較して山側の測点（図-3のB2および

B4)が大きい。これは、トンネル掘削にともない、山側の地山が、トンネル断面の内空側に向かって引き寄せられているためと考えられる。

STA.570+20 (B1 および B2) および STA.570+40 (B3 および B4) に設置した縫地ボルトの測定値ともにその傾向が見られ、垂直縫地ボルトが効果的に斜面の滑動を抑制しているものと考えられる。

トンネル掘削完了時点における発生応力の最大値は、約72N/mm² (圧縮)であった。これは、垂直縫地ボルト(異形棒鋼, SD345)の発生応力の管理限界値とした鋼棒の許容応力度 200N/mm² の 1/3程度となっている。図-4に測点B4の縫地ボルトの発生応力経時変化を示す。

b) 地中側方変位測定

各測点ともに、地中内の特定の深度における明確な側方変位および同一方向への変位の進行は見られなかった。事前の調査ボーリングによって確認した地層境界(上位の崖錐体積物層と下位の軟岩層)でのすべりや、その他の深度での地盤の挙動は生じていないものと判断できる。

これは、施工した垂直縫地によって斜面の挙動が抑制されているためと考えられる。後述する地表面変位の計測結果と一致している。

表-7 計測工一覧

計測対象	計測項目	目的
Ⅰ期線への影響	覆工の表面ひずみ	既設トンネル覆工の表面ひずみの発生状況を測定し、トンネル構造の安定性や覆工の健全性を監視する。
斜面の安定性	地表面変位	トンネル掘削にともなう地表面の挙動を測定し、斜面の安定性を監視する。
	地中変位(孔内傾斜計)	調査ボーリング孔を用いた孔内傾斜計で地中の側方変位を計測することによって、斜面の安定性を監視する。
対策工の効果	縫地ボルトの応力(ひずみ計)	縫地ボルトの発生応力を測定することによって、その効果の確認と偏土圧の作用状況を監視する。

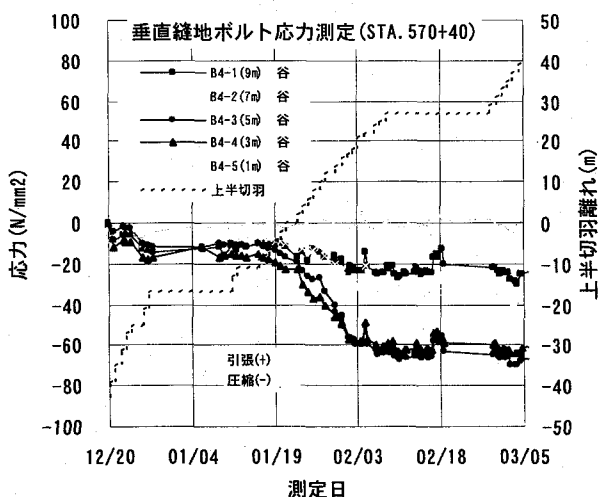


図-4 B4測点の垂直縫地ボルトの発生応力経時変化(STA.570+40)

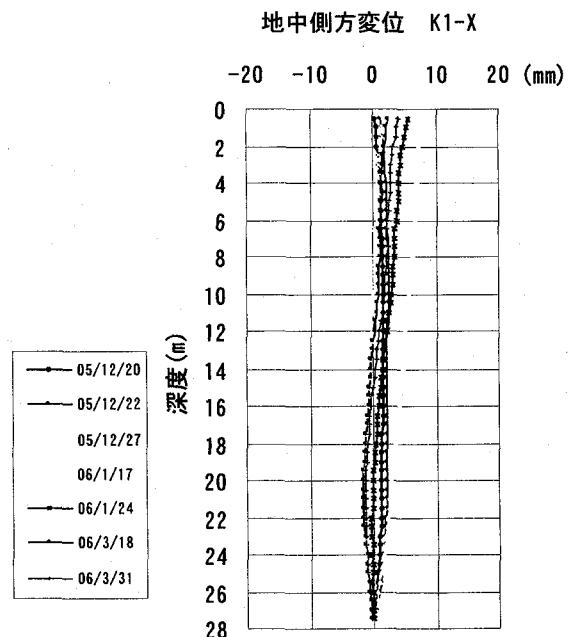


図-5 K1測点の孔内傾斜計による地中側方変位結果 (STA.570+20)

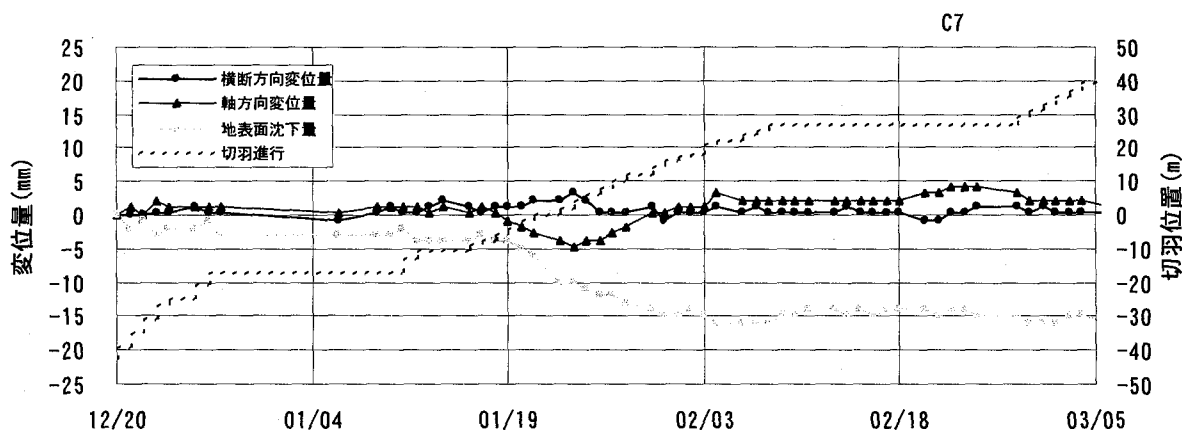


図-6 トンネル直上部における地表面変位の経時変化(STA.570+40)

c) 地表面変位測定

各測点における計測結果を見ると、トンネル直上の地表面沈下量が最も大きな値を示し、15～28mmで収束している。切羽位置が0.5D(5m)程度手前から沈下が大きくなり始め、通過後、概ね2D(20m)程度離れた時点で最大となり、収束している。その他の測点の地表面沈下量は、概ね10mm以内で収束している。

平面的な挙動では、最大でも7mm程度で収束しており、ほとんど変位が見られない測点も多い。

このことから、縫地ボルトによる斜面の変位抑制効果が伺える。図-6にSTA.570+40のトンネル直上部における地表面変位の経時変化を示す。

d) 測定結果の考察

雛成第一トンネル北側坑口付近で実施した各計測項目の計測結果から、トンネル掘削にともなう周辺地山の緩みに起因する地すべりは、斜面安定を目的として実施した垂直縫地により効果的に抑制されたものと考えられる。また、供用中であるI期線の既設トンネルについても、目視および覆工の表面ひずみ測定結果から判断して、構造物として支障を来たような大きな変状を発生させることなく、本トンネルの掘削を完了することが出来た。

7. まとめ

一部区間、縫地ボルト間からの土砂の抜け落ちにより、注入式フォアポーリングを併用しながらのトンネル掘削となったが、切羽の安定を目的として実施したGFRPボルトによる垂直縫地と地山改良注入によって、切羽の安定を保つことができ、大きな変状を発生させることなく、安全に施工することができた。

今回のような地形・地質条件下では、トンネル坑内から対策工を実施するよりも、坑外から対策を実施した方が、斜面の安定および切羽の安定を確保するうえで、効果的かつ経済的な場合もあり、今後施工される類似した条件下におけるトンネル工事の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 財団法人高速道路技術センター：トンネル掘削を誘因とする地すべり対策に関する基本検討報告書(日本道路公団委託),1996.02
- 2) 地すべり対策研究会：地すべり・斜面崩壊の調査・解析・防止工法—総合資料集—,経営開発センター出版部,1977.10
- 3) 日本道路公団：第3章切土,設計要領第一集,1998.05
- 4) 社団法人日本道路協会：道路土工のり面工・斜面安定工指針,1999.03
- 5) 土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説,1996.08