

供用するⅠ期線トンネルとの近接施工下におけるやせ尾根坑口部のトンネル掘削

国土交通省北陸地方整備局
株式会社大林組

金沢河川国道事務所 大下 陽一
正会員 菅原 惇 伊藤 邦彦 浜田 崇

1. 目的

本工事は、延長 9.4km の金沢東部環状道路の、2 車線で暫定供用中区間を 4 車線化するトンネルⅡ期線（以下、Ⅱ期線とする）であり、Ⅰ期線トンネル（以下、Ⅰ期線とする）との離隔約 20m で施工している。貫通箇所となる終点側坑口部は、図-1 に示したようにやせ尾根状の地形を呈しており、周囲の斜面には小規模な地滑りや崩壊が確認されていた。当初設計では、やせ尾根地形部への改良盛土による人工地山の造成、斜面安定対策として、垂直縫地ボルト工法と掘削補助工法が計画されていた。供用するⅠ期線との近接施工下において、Ⅰ期線の安全性を確保することが最重要課題であった。これらの施工および計測結果について以下に述べる。

2. 本工事の特徴

（1）地耐力の不足する改良盛土下部の地盤改良

既往のボーリング調査より、図-2 のような地層構成を把握した。終点側坑口部は、N 値が 1～3 の軟弱な崖錘堆積層及び、5～11 のⅠ期線盛土が分布していた。軟弱層上への改良盛土による、軟弱層の変形が懸念された。FEM 解析によるⅡ期線掘削の影響検討の結果、Ⅰ期線の覆工コンクリートが許容応力値を上回ることが判明したため、対策工が必要となった。そこで、図-3 のように軟弱層に対し中層混合処理による地盤改良（設計強度 $q_{\text{uck}}=1000\text{kN/m}^2$ ）を施工することで、覆工コンクリートの許容応力値を満たした。

（2）トンネル掘削時の周辺地山の緩みによる斜面崩壊

当該区間では、斜面安定対策工として垂直縫地ボルト工法、トンネル周辺地山の緩み防止の掘削補助工法として長尺鋼管先受工、長尺鏡ボルト工、インバート早期閉合が設計されていた。図-4 に示すように垂直縫地ボルト工法は D32 の鋼棒を掘削断面まで挿入する設計であり、機械掘削時、ボルトの引込みによる斜面の不安定化と、長尺鋼管先受工との干渉が懸念された。対策工として、トンネル断面内の垂直縫地ボルトは図-5 に示す FRP 製とし、長尺鋼管先受工との干渉を防止するとともに、掘削時のボルト切断が容易に可能となり、施工性と安全性を確保した。

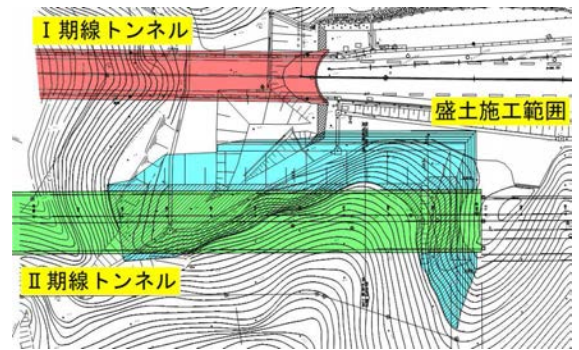


図-1 終点側坑口部

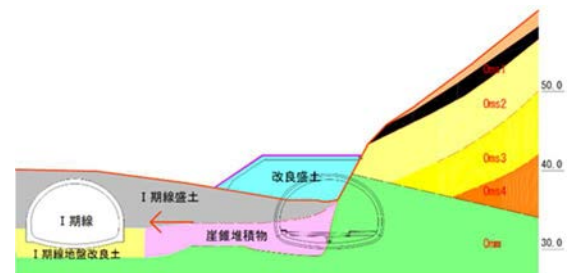


図-2 終点側坑口部の地質構成

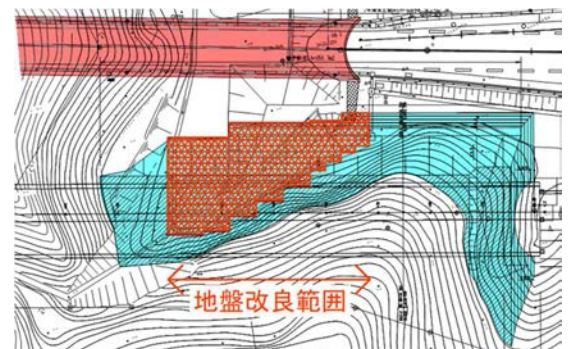


図-3 改良範囲

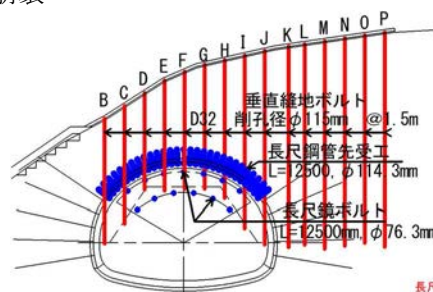


図-4 垂直縫地と補助工法

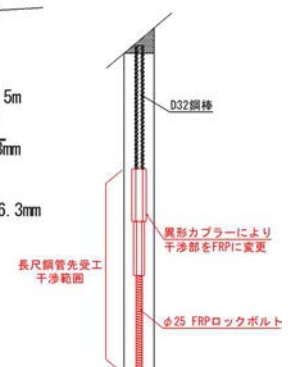


図-5 FRP 詳細

キーワード 近接構造物対策, 地すべり対策, 垂直縫地ボルト工法, 動態観測

連絡先 〒920-3122 石川県金沢市福久町ホ 7-1 金沢月浦トンネル工事事務所 TEL076-255-0865

3. 計測結果と考察

(1) I期線計測結果と評価

トンネル覆工応力および坑内変位については、図-6 のような配置で計測した。管理基準値はNEXCO 管理要領（保全編）の許容値を参考に表- 1 の通り設定した。

施工時は、自動での監視計測を行った。表-2 に示すように測定結果に有意な影響は認められなかった。

① 内空変位・天端沈下ともに、測定値のばらつきはあるものの、測定結果は-0.3～0.4mm と微小であった。

② 覆工応力は最大でも 0.4N/mm2 の増加であり、施工による有意な変化は認められなかった。

(2) 地山の動態観測と考察

掘削時の挙動を監視するため 4 種の計測を行い、地山の動態観測を行った。各種計測位置を図- 7 に示す。地山の限界ひずみ等をもとに決定した、各種計測の管理基準値および管理レベルを表- 3 に示す。

終点側坑口部の施工には約 1 ヶ月を要した。以下に、表-4 に示した各種計測の結果について述べる。

- ① 地表面変位速度は、管理レベルI（1mm/日）を超過する断面があり、法面の点検、周辺調査、監視の強化等の対応をしたが、切羽の通過後収束に至った。
- ② 地中水平変位は、トンネル掘削時に一時的に管理レベルIを上回り最大 2.3mm/日となったが、切羽の通過とともに変位速度が低下し、収束に至った。管理レベルI超過時の対応は①と同様。
- ③ やせ尾根自体は全体に斜面方向に傾く挙動を示したが、斜面崩壊等の兆候と考えられる、せん断方向の変位挙動は発生しなかった。
- ④ 地中鉛直変位は、トンネル直上で最大 0.17%の引張の区間ひずみが生じたが、管理レベルI以下であった。
- ⑤ 垂直縫地ボルトの軸力は、トンネル直上で最大 133kN であり、管理レベルI以下であった。

4. おわりに

本工事では、供用中のI期線の安全性確保が最重要課題であった。I期線の覆工コンクリートへの影響について、事前に地質および設計内容を検討し、施工条件に沿った工法を選択することで、安全性を確保できた。II 期線掘削によるやせ尾根斜面について、周辺地山の緩み抑制と施工性、安全性の向上を両立させるため、垂直縫地ボルトを一部 FRP 製を採用した。また、坑内外計測によって常時動態観測を行い、その内容から検討内容の妥当性を確認できた。

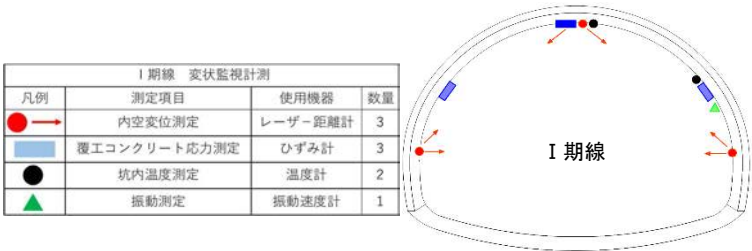


図- 6 I 期線計測点の配置

表- 1 管理レベル一覧

管理レベル	天端沈下 (mm)	内空水平変位 (mm)	管理レベル	増加圧縮応力 (N/mm2)	増加引張応力 (N/mm2)
I	-4	-3.2	I	-2.7	0.54
II	-6	-4.8	II	-4.1	0.81
III	-8	-6.4	III	-5.4	1.08

(天端沈下) + : 隆起 - : 沈下 (符号) + : 引張 - : 圧縮
(内空変位) + : 拡大 - : 縮小

表- 2 計測結果一覧

測定項目	地盤改良時	II期線施工時	管理レベル
内空変位 (mm)	水平	-0.2～0.1	< I
天端沈下 (mm)		-0.2～0.4	< I
覆工応力 (N/mm2)	天端	-0.2～0.4	< I
	右肩部	-0.4～0.3	< I
	左肩部	-0.2～0.2	< I

表- 3 管理基準値一覧

管理レベル	地中水平 変位測定	地表面 変位測定 (水平)	地表面 変位測定 (最大沈下量)	地中鉛直 変位測定 (ひずみ)	垂直縫地ボルト 軸力測定
I	1mm/日 (10%)		52mm (50%)	0.35% (50%)	135kN (50%)
II	5mm/日 (50%)		79mm (75%)	0.53% (75%)	200kN (75%)
III	10mm/日		105mm	0.70%	270kN

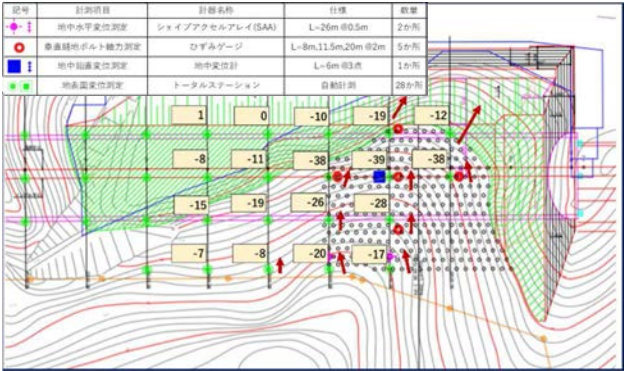


図- 7 地表面沈下及び水平変位分布

表- 4 計測結果一覧

計測項目	物理量	最大値	結果
地表面変位	最大沈下量	39mm	< I (52mm)
	変位速度	4.3mm/日	< II (5mm/日)
地中水平変位	水平変位	12mm	-
	変位速度	2.3mm/日	< II (5mm/日)
地中鉛直変位	区間ひずみ	0.17%	< I (0.35%)
垂直縫地ボルト軸力	ボルト軸力	133kN	< I (135kN)