

法面アンカー近接部におけるトンネル掘削の切羽安定対策

東京土木施工管理技士会
奥村組土木興業株式会社
監理技術者

二 神 修[○] 朝 木 大
Shu Futagami Hiroshi Asaki

1. はじめに

緊急地方道路整備工事（楠根トンネル）は、徳島県阿南市楠根町七浦を起点とする延長L=293mの道路トンネルである。起点（発進）側坑口部は、「深瀬地区地すべり防止区域」に該当することから、法面对策工として「アンカー工」が施工済みであり、トンネル掘削時における法面の安定確保と周辺地山のゆるみ抑制を目的とした補助工法として「長尺鋼管フォアパイリング工法（AGF工法）」が計画されていた。

しかし、地すべり対策工として施工されているアンカー工定着部とトンネル掘削面との最小離隔が2～3mであることから、トンネル掘削中に切羽が不安定化すると、周辺地山のゆるみを発生させ、アンカーの強度が損なわれることにより、地すべりを誘発することが懸念された。

本稿では、法面アンカー近接部における切羽安定対策と、施工した結果について報告する。

工事概要

緊急地方道路整備工事（楠根トンネル）は、発進側坑口（南側）に交差点が設けられることから、発進側坑口から104mが拡幅部（3車線区間）、104mから到達側坑口が標準部（2車線区間）の2断面構造で計画されている。

以下に、工事概要を示す。

- (1) 工事名：緊急地方道路整備工事
（楠根トンネル）
- (2) 発注者：徳島県
- (3) 工事場所：徳島県阿南市楠根町七浦～美濃谷
- (4) 工期：平成19年12月15日～
平成21年10月30日
- (5) 工事内容：道路トンネル 全長L=293m

拡幅部	L=104m
掘削断面積	A=118～120m ²
標準部	L=189m
掘削断面積	A=81～84m ²
縦断勾配	0.4～2.73%
- (6) 掘削工法：NATM
（爆破掘削によるショートベンチカット工法）

2. 現場における課題・問題点

前項で述べたとおり、発進側坑口付近は「地すべり防止区域」に該当しており、地すべり対策工として「アンカー工」が施工されていた。そこで、工事着手に先立ち、既往資料の確認および現地踏査を行い、以下に示す現地状況を確認した。

- 1) 「アンカー工」の想定されるすべり面は、坑口前面にまで及んでいる。
- 2) 「アンカー工定着部」とトンネル掘削面との離隔は約2～3mで、非常に近接している。
- 3) 地質性状は、秩父帯黒瀬川帯の砂岩を主体

に泥岩、石灰岩、礫岩が混在し、地層の層相変化が著しく、風化～強風化作用を受けており、R Q Dは7割が20%以下を示し、全体的に破碎が進行した状態であると判断できる。

4) 現地踏査で、地表面には蛇紋岩の転石が多く確認されており、トンネル掘削当初から蛇紋岩の出現が予測される。図-1に発進側坑口図、写真-1に発進側坑口正面写真を示す。

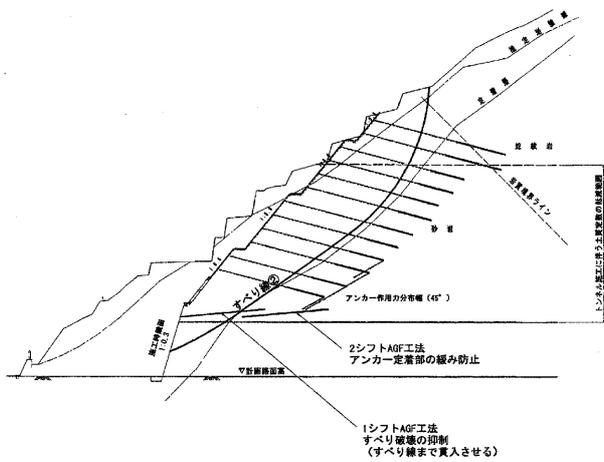
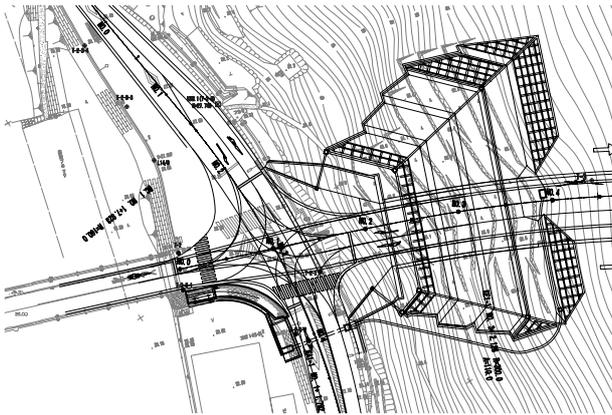


図-1 発進側坑口図



写真-1 発進側坑口正面

前述の現地条件から、予想される問題点を以下に示す。

- ①トンネル掘削途中での切羽の不安定化
- ②トンネル掘削途中での斜面崩壊の発生
- ③トンネル掘削に伴うアンカー工定着部への影響

上記の問題点のうち、重要構造物である「③アンカー工定着部への影響」について、検討を行った。表-1に、トンネル近傍のアンカーに対する近接度の区分を示す。

表-1 近接度の区分

アンカーとトンネルの離隔	近接度の区分
0.5D未満	制限範囲（要注意範囲）
0.5～1.0D	要注意範囲
1.0D以上	無条件範囲

※「既設トンネル近接施工対策マニュアル 平成8年9月（財）鉄道総合技術研究所」

本トンネル発進側坑口部の条件を表-1に当てはめると、離隔が0.5D（7.5m）未満であるため、「制限範囲（要注意範囲）」が適用される。すなわち、トンネル掘削による切羽の不安定化が、地山のゆるみを誘発してアンカーに直接影響を与える可能性が高く、トンネル掘削時における切羽の変位抑制効果を発揮する対策工が必要であると考えられた。

3. 対応策・施工結果

まず、「切羽の安定性」に着目した極限解析法（簡易計算法）を用いて、切羽安定性に対する照査を行った。図-2に、極限解析法（簡易計算法）を示す。

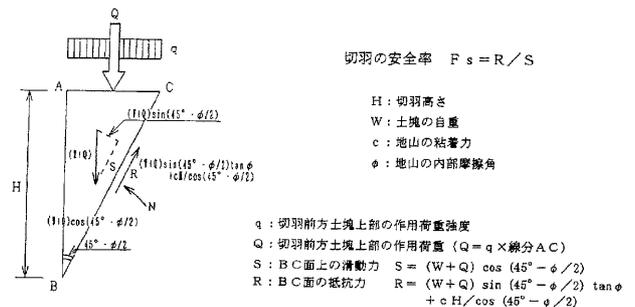


図-2 極限解析（簡易計算法）

※「補助工法の設計 2007年10月 ジェオフロンテ研究会」

切羽安定性の検討は、長尺鋼管フォアパイリング工のみで切羽が安定するかを確認するため、各シフトのラップ位置の断面で行った。図-3に、極限解析法（簡易計算法）を示す。

- a. 1シフト目ラップ位置
 測点 No.2+17.4
 トンネル掘削幅 D= 15.0 m
 切羽高さ h= 6.9 m
 土被り H= 9.6 m
 掘削長 t= 1.0 m
- b. 2シフト目ラップ位置
 測点 No.3+6.4
 トンネル掘削幅 D= 15.0 m
 切羽高さ h= 6.9 m
 土被り H= 19.0 m
 掘削長 t= 1.0 m

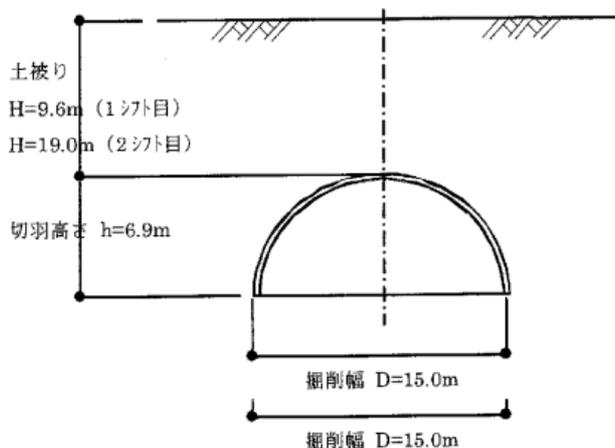


図-3 トンネル検討断面

土質定数は、表-2を参考にし、単位体積重量は、標準的な値を採用した。

表-2 風化岩に対する粘着力と内部摩擦角

風化岩の種類	粘着力C (tf/m ²)	内部摩擦角φ(度)
変性岩	0~0.2 (0.1)	20~28 (26)
火成岩	0 (0)	23~36 (29)
堆積層	古生層	0~0.4 (0.1)
	中生層	0~1.0 (0.5)
	古第三紀層	0~2.0 (0.7)
新第三紀層	0~2.5 (2.0)	12~22 (12.5)

()は平均値

※「トンネル掘削時地盤変状の予測・対策マニュアル

平成6年2月 建設省土木研究所」

採用した土質定数を、以下に示す。

単位体積重量 $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$

粘着力 $C = 1.0 \text{ kN/m}^2$

内部摩擦角 $\phi = 29.0 \text{ 度}$

表-3に、検討結果を以下に示す。

表-3 切羽安定性評価結果

断面	No.2+17.4	No.3+6.4
潤み荷重強度 Pf (kN/m ²)	78.4	88.8
作用荷重 Q (kN)	234.0	268.1
滑動力 S (kN)	431.2	460.5
抵抗力 R (kN)	220.9	230.5
安全率 Fs	0.51	0.50
評価	NG	NG

以上の結果から、両断面ともに安全率が1.0以下になることから、何らかの切羽の安定対策が必要であると判断した。

切羽の安定対策の選定条件として、①切羽天端の安定対策、②切羽鏡面の安定対策、③前方地山の変位抑制、④地表面沈下対策の4条件を満たす補助工法を選定する必要があり、表-4に示す、補助工法分類表から適合する工法を検討した。

表-4 補助工法分類表

工法	目的				対象地山					摘要	
	施工の安全確保				周辺環境の保全						
	天端の安定	鏡面の安定	脚部の安定	地下水対策	地表面沈下対策	近隣建物被害対策	硬岩	軟岩	上砂		
先受け工	フォアパイリング (先掘式、注入式)	○						○	○	○	
	長尺フォアパイリング	○				○	○		○	○	*2
	パイリング	○				○	○		○	○	*1
	水圧シールド工法 (掘削機付)	○	○	○			○	○		○	*1
鏡面の補強	鏡吹付けコンクリート	○							○	○	○
	鏡吹付	○							○	○	○
	長尺鏡吹付	○							○	○	○
脚部の補強	脚部補強吹付			○			○			○	○
	脚部補強パイプ			○			○			○	*2
	板コンクリート			○			○			○	○
地下水対策	水抜きパイリング	○	○	○	○				○	○	○
	サンドバット	○	○	○	○						○
	ブレイクバル	○	○	○	○						○
	水抜き坑	○	○	○	○				○	○	○
	注入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
地山補強	透水性	○	○								○
	掘削補強	○	○								○

(注) ○ : 比較的によく採用される工法

*1 : 通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が困難な対策

*2 : 適用工法によって、トンネル施工機械設備、材料で対処が異なる工法

1) 長尺フォアパイリング工法

先受け工として設計で計画されている。

2) 鏡吹付け工法

鏡面からの肌落ちを防止する工法で、単独では切羽の変位抑制効果は期待できない。しかし、鏡

ボルト工と併用で施工される場合が多い。

3) 鏡ボルト工法・長尺鏡ボルト工法

切羽鏡面前方にロックボルト等を打設し、切羽前方地山を補強する工法で、長尺鏡ボルト工法は、地表面沈下対策も期待できる。

4) 垂直縫地工法

坑外からロックボルト等を打設する工法である。すでにアンカーが施工されている当該地山には適さない。

以上により、設計で計画されている長尺鋼管フォアパイリング工法に加えて、鏡吹付け工法と長尺鏡ボルト工法を併用することに決定した。補助工法概要図を、図-4 に示す。

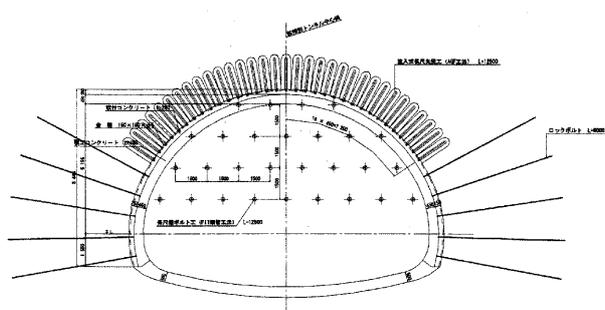
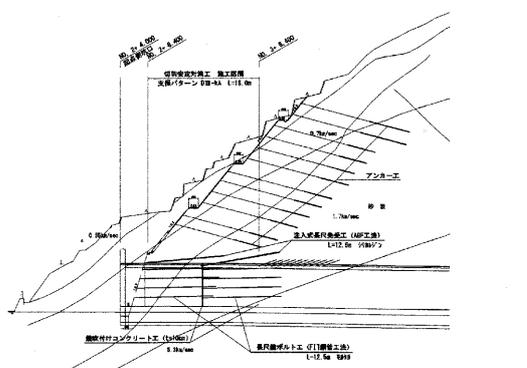


図-4 採用した補助工法概要図

長尺鏡ボルト工には、施工実績等から「鋼管型FIT工法」を採用した。

以下に、鋼管型FIT工法の諸元を示す。

鋼管 : FIT 鋼管 $\phi 76.3$ $t = 6$ mm

打設長・本数 : 1 シフト $L = 12.5$ m

28本/1シフト×2シフト

打設間隔 : 1.5m×1.5m 格子状千鳥

ラップ長 : 3.5m



写真-2 FIT ボルト施工状況



写真-3 掘削状況

充填材 : FIT モルタル、シリカレジン
 充填量 : 167 ℓ / 本

トンネルを掘削するにあたり、周辺地山の動態観測および既設アンカー工の荷重計測を2回/日の頻度で行い、計測管理基準(管理レベルI~IV)を設定して掘削による変位の発生に備えた。

坑口付け当初は、切羽ごとに岩質が変わる互層状態の地山が続き、日々の動態観測値の動きに注視しながらの掘削であった。また、掘削当初から蛇紋岩が一部露呈したことから、変位の発生が懸念されたが大きな変位は発生せず、すべて管理レベルI以内で収束した。計測結果を、表-5 に示す。

表-5 計測結果

	孔内傾斜計		地表面変位		アンカー荷重計	
	2箇所		80箇所		7箇所	
	K-1	K-2	No. 1~80	No. 1~5	No. 6~7	
最大変位量	明瞭な変位なし		X=-6.1mm Y=-9.3mm Z=+8.8mm	明瞭な変位なし		
管理レベルI	t < 1mm/10日		X, Y a < 10mm/10日 Y a < 12.5mm	P > 330kN/5日 P < 360kN/5日	P > 420kN/5日 P < 450kN/5日	

5. おわりに

計測管理の結果から、長尺鋼管フォアパイリング工と長尺鋼管鏡ボルト工が、切羽の安定化と周辺地山の変位の抑制効果を有効に発揮したことが確認できた。

今回のように、地すべり防止区域で法面アンカー工の直下を掘削するトンネル施工はあまり例がなく、近接構造物に対して影響を与えた場合の危険度を考慮して、補助工法を再検討することの重要性を再認識することができた。