

トンネル坑口部における切土法面崩壊の原因と対策

戸田建設(株)	正会員	太田	孝司
戸田建設(株)	非会員	○岩永	信太郎
戸田建設(株)	非会員	奥	博志

1.はじめに

南原トンネル坑口は斜面中腹に位置し、その斜面下には県道（南原殿川線）が走る。このため、トンネル着手前にボックスカルバートを構築し、埋め戻し、盛土を行った後、トンネル工事に着手する計画となる。

平成 21 年 11 月より県道を迂回させ、ボックスカルバートの構造物掘削に着手し、平成 22 年 1 月より躯体工事を開始した。構造物掘削法面では、厚さ 1～2m の土砂層の下部に風化泥質変岩が分布し、掘削面に対し約 40 度の流れ盤であった。また切土高さが 10m を超える箇所もあることから、法面崩壊の危険も考えられるため、発注者と協議し、掘削法面にはラス網＋モルタル吹付（10cm）による表面保護を実施し、ボックスカルバート施工中の安全確保として、法面上部斜面の伸縮計（3 測線）を設置し観測を行いながらの施工を開始した。

平成 22 年 4 月の長雨により 22 日に地盤変動が発生し（1 日変位量約 600mm）それにより警報が鳴り始めたため作業を中断し退避したところ、法面の崩壊が発生した。

本稿では、法面崩壊後の調査、解析および結果を基に決定した対策工について報告する。

2.調査および計測

地すべりおよび法面崩壊発生後、発注者と協議し、緊急対策工として、押え盛土および水抜きボーリング（11 本）を実施した後、地すべりの深さ、範囲および発生機構を特定することを目的として調査ボーリング 7 箇所を実施した。調査ボーリングの実施位置を図-2 のように決定し調査を開始した。

3. 安定解析

調査ボーリングと計測結果からトンネル坑口部を含む幅約150m、すべり長約80m、深さ10mの範囲に風化岩すべりによる地すべりブロックの存在が明らかとなった。このすべり面の現況安全率を0.95とし、トンネル掘削による安全率低下計算は設計要領第一集（土工編）（西日本高速道路㈱）により行った。トンネル掘削時の仮設安全率を1.05とし、坑門位置を4.0m前に出すことで押え盛土によりトンネル完成時の安全率を確保した。

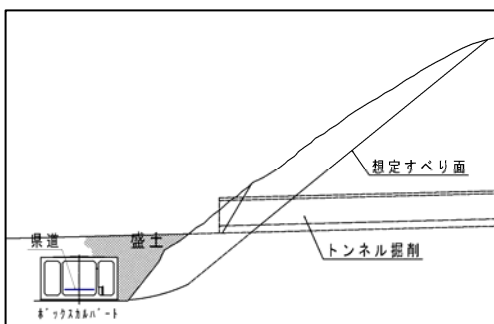


图-1 断面图

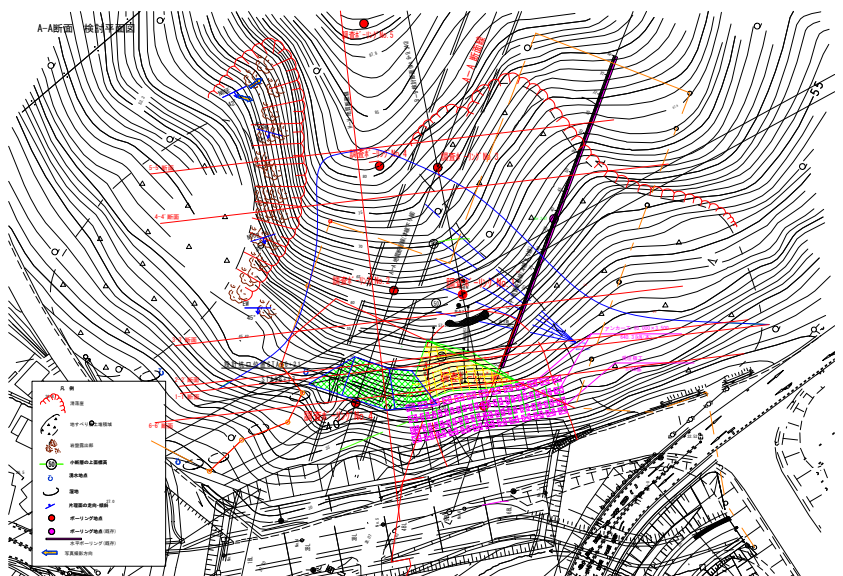


図-2 調査ボーリング位置図

キーワード 地すべり対策, トンネル坑口, 垂直縫土工

連絡先 〒800-0362 福岡県京都郡苅田町大字馬場 304 東九州自動車道南原トンネル工事 TEL：093-436-6123

3.対策工の選定

- 一般に、地すべり・斜面崩壊の可能性が高い地山においてトンネル工事を行う際は、以下の対策がある。
- a 地すべり・斜面崩壊を抑制する。すなわちすべりに対する安全率を増加させる対策。
 - b トンネル掘削によるゆるみを抑制する対策。
 - c トンネル切羽の安定化対策と変状対策。

地すべり面がトンネル断面内にある場合は、a と c の対策を主眼とするのが一般的であるため、当トンネルでは、a の対策を基本とし、目標安全率まで向上させる対策を検討した。検討案として、表-1 のように①押え盛土工、②地盤改良工、③垂直縫地工、④押え盛土＋垂直縫地工の複合案の計4案にて検討した。地すべり対策で一般的に用いられる排土工に関しては、用地境界を大幅に超えるため除外し、アンカー工、抑止杭に関してはトンネル断面内および緩み範囲内にアンカーや杭が入るために不採用とした。表-2 に各施工段階での安全率を示す。垂直縫地工の実施により、トンネル掘削時、垂直縫地工の安全率 1.05 を確保し、明り巻にて坑門 4m 手前に移動し、押え盛土により安全率 1.2 を確保する方法が、経済性、工期の両観点で最も良いと判断した。

表-1 対策工比較検討表

	対策案①	対策案②	対策案③	対策案④
対策工	押え盛土工	地盤改良工	垂直縫地工	垂直縫地工＋押え盛土
施工概要	坑口部に改良土による押え盛土を行い、風化岩すべりに対するカウンター抑止とする。	坑口上部の斜面に薬液を注入し、地盤のせん断強度を増加させ滑動抵抗力を増加させる。	坑口上部の斜面に鉛直にロックボルトを打設し、ロックボルトのせん断抵抗により風化岩すべりおよび表層すべりを抑える。	トンネル掘削時の仮設安全率1.05を垂直縫地工により確保し、坑門位置を前に出し押え盛土により完成時の安全率1.2を確保する。
対策工の効果	風化岩すべりに対して：○ 表層すべりに対して：× トンネルの変位抑制に対して：×	風化岩すべりに対して：○ 表層すべりに対して：× トンネルの変位抑制に対して：×	風化岩すべりに対して：○ 表層すべりに対して：× トンネルの変位抑制に対して：×	風化岩すべりに対して：○ 表層すべりに対して：× トンネルの変位抑制に対して：×
施工性	対策案②、③などの仮設足場等を必要としないため施工性は良いが、路体盛土完了後に初めて着手できる。	注入作業に時間を要し施工性が劣る。	足場スチールの設置が必要となる。足場設置後は削孔・モルタル注入・鉄筋挿入の作業となるため、②案に比べ施工性が良い。	③案に比べ垂直縫地ボルトの打設本数が少なくなる。 トンネルの明り巻き部延長 4m
工期	トンネル着手時期：平成23年7月	トンネル着手時期：平成23年6月	トンネル着手時期：平成22年11月	トンネル着手時期：平成22年11月
施工数量	押え盛土量 2000m ³ トンネル掘削延長増：15m	注入量 1329.8m ³	垂直縫地 D35－L＝9.7m × 158本	垂直縫地 D35－L＝9.6m × 99本 トンネル明り巻き4.0m
工事費	33,500千円	212,400千円	33,400千円	25,080千円
総合評価	トンネル着手時期が遅れ不採用 △	トンネル着手時期が遅れ、工事費も高く不採用 △	トンネル着手時期は予定通り ④案に比べ高価となる ○	トンネル着手時期は予定通り ③案に比べ安価である ◎

表-2 各施工段階での安全率

	安全率
現況	0.950
本体盛土時	1.440
坑口背面切土時	0.954
トンネル掘削時	0.940

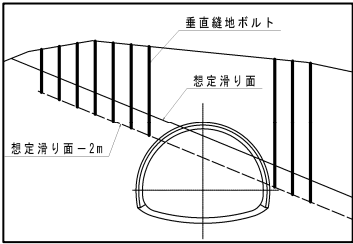


図-3 垂直縫地工横断面図

4.垂直縫地工の計画

垂直縫地工の計画として、トンネル掘削時の安全率 0.940 を 1.05 にするための必要抑止力は 413.8kN/m となる。この必要抑止力に対し、垂直縫地ボルトの本数、ボルト径および配置を計画した。必要抑止力を確保し、かつ用地境界内で納まること、さらに、トンネル断面に入るボルトはトンネル掘削によりせん断補強効果がなくなるため打設せず(図-3)、滑り方向斜面上部にその本数分を増し打ちする(図-4)計画とした。この時、垂直縫地工数量は D35 -99 本(長さ 5 m～14.0 m、平均長 L=9.6m)であった。

5.おわりに

垂直縫地工施工後、伸縮計および 3 次元計測による動態観測を実施しながら坑口切土とトンネル掘削を開始した。この時、伸縮計で 30mm の変位、3 次元計測では最大 20mm の沈下を確認したが、地すべり性の変動はなく、トンネル内空変位も 12mm 以下の変位で推移しており、地すべりを誘発することなく無事にトンネル掘削を完了できた。

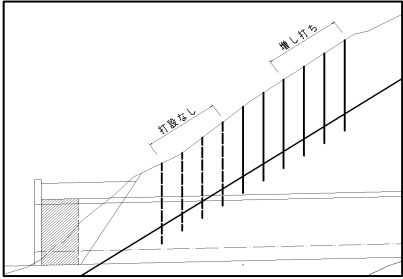


図-4 垂直縫地工縦断面図