

坑口部地すべり対策によるトンネル掘削

国土交通省熊本河川国道事務所 峰 潔 毅
(現：鹿児島河川国道事務所)

○前田建設工業(株) 正会員 中山 泰起
前田建設工業(株) 正会員 金子 和己
前田建設工業(株) 正会員 羽根田 隆

1. 工事概要

高木トンネルは九州横断道（嘉島～山都）道路事業の一環として御船町に建設する延長 480mのトンネル（構造形式 NATM）である。本稿は、終点側坑口部で発生した変状に対してトンネル貫通に至るまでの対策を報告するものである。

2. 当初設計と修正設計

高木トンネル終点側坑口部は、右側法面を 1:0.5 で掘削し、明り巻構築後、盛土により埋戻しを行う計画であった。しかし、トンネル起点側坑口で発生した大規模な崩落と地質状況が類似していることに加え、白色凝灰岩が複雑に分布していることを考慮した結果、当初設計を見直すこととなった。修正設計では右側法面の切土を無くすことを目的とし、ソイルセメントによる盛土の中をトンネル掘削するように設計を見直した（図-1）。

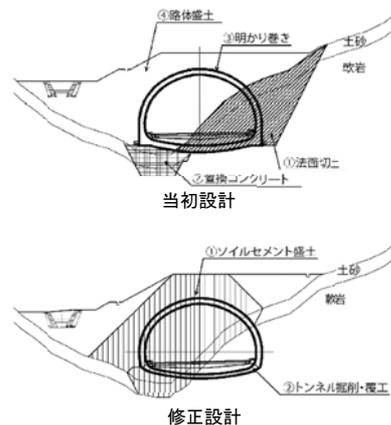


図-1 当初設計と修正設計

3. 変状と調査結果

ソイルセメント盛土に先立ち、沢部の堆積土砂および表土の除去時に法面上に幅 25～30mの馬蹄形をなす変状が発生した。押え盛土により変位の進行は抑制されたが、その後もクリープ的な変位が数週間観測されたことから、ソイルセメントの施工を中断して対策工の検討を行うこととなった。

変状位置と調査ボーリング実施箇所（5箇所）を図-2に示す。調査の結果、地すべりの原因となる白色凝灰岩が分布し、これによる浅層地すべり・崩積土地滑りが発生する危険性があった。今回のボーリング調査で低角度な流れ盤で分布し、変状直前に施工した河床部土砂部のソイルセメント置換部の掘削位置付近まで連続していた。

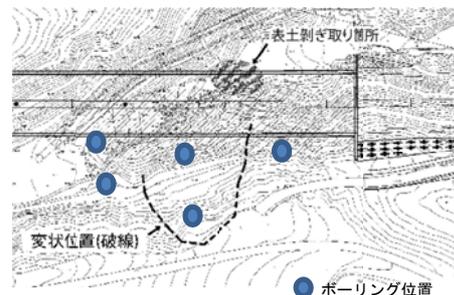


図-2 変状と調査箇所

4. 対策工の実施

変状対策としてカウンターウェイトになる押え盛土を基本に、さらに、トンネル掘削時の盛土除荷となる地すべり抵抗力の補完と緩み地山に緊張力を導入できるアンカー工を選定した。

変位抑制で応急的に実施した押え盛土は、必要強度(1N/mm²)を得るために中層混合処理であるスラリー攪拌揺動工（WILL工法）で改良した。

アンカー工の設計にあたっては、将来的にトンネル断面内に地すべり線が入るため、トンネル掘削に伴う浅層滑り、崩積土すべりそれぞれについて検討した結果、各ケースとも地すべり発生時の安全率(Fs=0.98)を下回る結果となった。とくに崩積土すべりはトンネル掘削時にFs=0.88まで低下し、安全率Fs=1.2を得るための必要抑止力は約280kN/m²となった（図-3）。

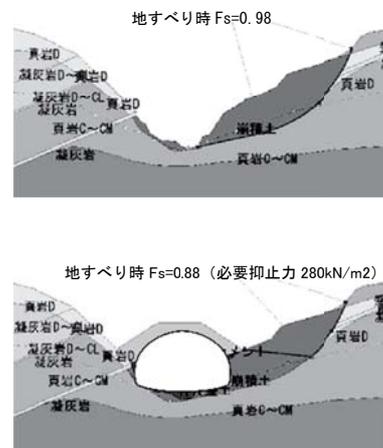


図-3 必要抑止力の算定

キーワード トンネル、白色凝灰岩、変状、安全率、削孔検層

連絡先 〒812 -0013 福岡県博多区博多駅東2丁目14番1号 TEL 092-451-1549

5. 追加対策の検討

トンネル掘削が終点側坑口に向かうに従い、トンネル切羽側壁部より小崩落が頻発するようになり、トンネル掘削による地山緩みの影響により変状区間に施工したグラウンドアンカー工の効果を損ない、地すべりが誘発される可能性が懸念された。また、斜面安定計算では、グラウンドアンカー下部を一体化された土塊と仮定して安全率 $F_s=1.48$ が得られるが、実際のトンネル掘削では以下のような現象の連鎖が懸念された(図-4)。

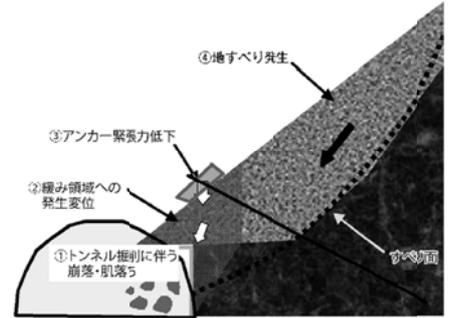


図-4 トンネル掘削時の崩落連鎖

- ① トンネル掘削に伴う崩落・肌落ち
- ② 崩落・肌落ちに伴う緩み領域への変位発生
- ③ アンカー緊張力の低下
- ④ 地すべり発生

トンネル掘削による周辺地山への影響を評価するため、2次元有限要素法(FEM)による弾塑性解析を実施した。破壊基準はMohr-Coulombの破壊基準を用い、塑性領域の評価を行った。解析断面は、地すべり主軸断面とし、解析ケースは、「対策工なし」と「対策工あり」の2ケース実施した。対策工としては、注入式長尺鋼管フォアパイリングを変状側の側壁前方に打設することとし、鋼管による先受補強効果については、地山の弾性係数に応じて先受け工領域の弾性係数を向上させる方法でモデル化した。

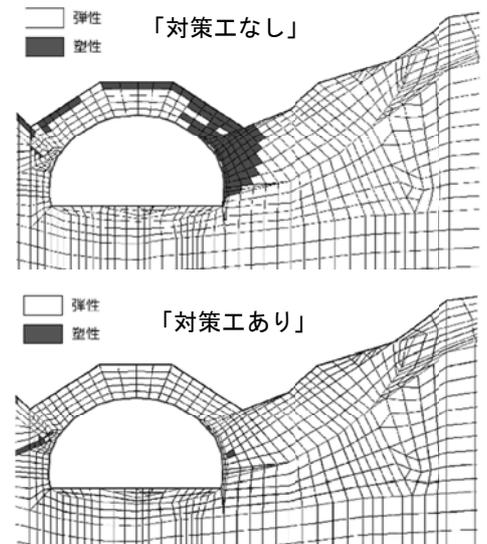


図-5 弾塑性解析による塑性領域

図-5の着色されたメッシュ部分がトンネル掘削に伴う塑性領域であるが、「対策工なし」のケースではトンネル断面右側の側壁部からの地表面までの塑性領域が分布することから、トンネル掘削による地山緩みの影響がグラウンドアンカーの打設範囲まで影響する可能性が示唆された。「対策工あり」のケースでは「対策工なし」で見られた塑性領域が見られなくなり、グラウンドアンカー下部を一体化された土塊と仮定できる条件に近いと考えられる。

6. 追加対策実施基準と施工結果

以下の条件のいずれかに該当した場合、地山塑性領域対策を実施した。

- ① 削孔検層をトンネル側壁前方に実施し、削孔速度が2.5m/min以上となる場合(2.5m/minはトンネル掘削時の崩落地山実績を採用)
- ② 傾斜計およびアンカー荷重計の計測値が1次警戒レベルを超過した場合(表-1, 2)

変状区間への削孔検層の結果、削孔速度は3.0m/min以上と非常に高く(図-6)、トンネル断面右側壁に追加対策として長尺鋼管フォアパイリング10本(@450mm)を27m区間(9m×3シフト)で実施した。

トンネル上半掘削時は、変状区間を通して1次警戒レベル以内で推移した。また、下半掘削時に一時、孔内傾斜計で2次警戒レベルを超過する変位が見られたが、増しロックボルトにより変位は収束した。グラウンドアンカー荷重計については、掘削中の応力解放に伴う緩やかな低下が見られたが、1次警戒レベル以内で収束した。以上の地すべり対策工及び情報化施工を併用した観測施工により、無事貫通に至った。

表-1 傾斜計管理警戒区分

警戒レベル	変位速度 (mm/日)	警戒レベルに応じた体制
通常	0.5未満	通常施工
一次警戒	0.5以上 2.0未満	トンネル掘削中断—経過観察 追加対策工の検討
二次警戒	2.0以上	トンネル掘削中止 追加対策の実施

表-2 アンカー荷重計管理警戒区分

警戒レベル	アンカー力の推移 (設計アンカー力に対して)	警戒レベルに応じた体制
通常	±7.5%未満	通常施工
一次警戒	+7.5%以上—10%未満	トンネル掘削中断—経過観察 追加対策工の検討
二次警戒	±10%以上	トンネル掘削中止 追加対策の実施

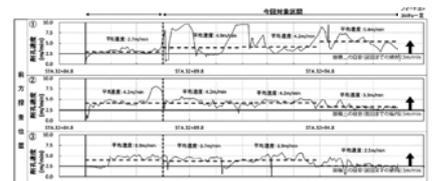


図-6 削孔検層結果