

トンネル坑口部における斜面安定の3次元的評価

亀谷 英樹* 平野 孝行*
Hideki Kameya Takayuki Hirano

1. はじめに

山岳トンネルの坑口部では、トンネルの掘削や坑口付けの切土を誘因とした地すべりがしばしば問題となる。

しかし、地すべり地帯をトンネルが通過する場合の影響評価には未だ不明な点も多く、設計において必ずしも適切な評価が行われているとはいえない。

そこで、実際の現象により則した斜面の安定性評価を行うために、地すべり対策工の1つである押え盛土工の抑止効果に関する新しい3次元的評価法を試みた。また、同時に仮想トンネルを用いてシミュレーションを実施した。

2. 現状の設計手法の問題点

現在、トンネル坑口部の斜面安定を評価する場合には以下のような問題がある。

(1) 斜面安定の3次元的評価

トンネルの掘削が斜面の安定性に与える影響は、トンネル縦断方向の2次元評価で検討する機会が多いが、実際には3次元的な特性を有した現象である。押え盛土で坑口部のすべりを抑止する場合には、図-1のトンネル中央部(A-A)と側部(B-B)との力学的釣合いを勘案して、押え盛土全体の抑止効果を3次元的に評価する必要がある。

(2) トンネル掘削が地山物性値に与える影響

トンネル掘削が地すべりに与える影響には以下の2つが挙げられる。しかし、一般にこれらを適切に評価する手法が確立されているとは言えない。

- ①トンネル掘削による排土効果とすべり面の欠損
- ②ゆるみ領域の地山強度定数の低下

一般に、上記事項が設計で考慮されていない場合、(1)は安全側(場合により過大)、(2)は危険側の評価となる。したがって、安全で経済的な施工を行うためには設計段階でこれらの影響を適切に評価する必要がある。

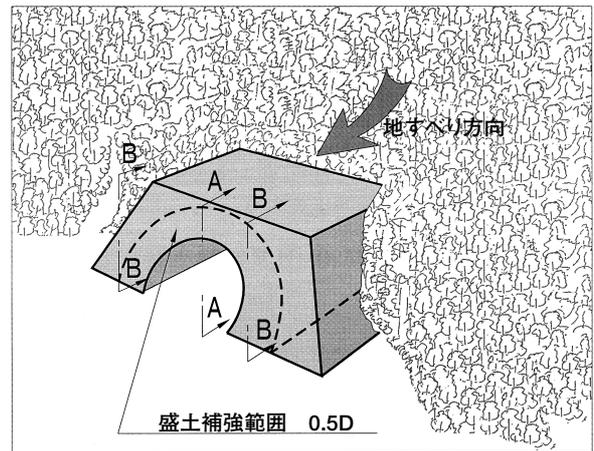


図-1 トンネル坑口部の押え盛土の概要図

3. 仮想トンネルでのシミュレーション

(1) 仮想トンネル坑口部での地形・地質

仮想トンネルの坑口部には、上部緩斜面に崖錐が堆積し、それ以深は風化岩が分布していると設定した。

(2) 解析モデルと解析条件

図-1のトンネル中央部(A-A)と側部(B-B)の2断面について円弧すべり法による斜面安定解析を実施した。中央部の解析モデルを図-2に示す。中央部(A-A)の解析モデルでは、参考文献1)より表-1のように地山物性値に対するトンネル掘削の影響をモデル化した。すなわち、ゆるみ域の粘着力 c_{sl} と内部摩擦角 ϕ_{sl} は掘削前の値(c, ϕ)に対しそれぞれ0.3, 0.75倍とし、トンネル通過部は排土効果を考慮して単位体積重量を $\gamma_{sl} = 0 \text{ kN/m}^3$ とした。トンネル掘削によるゆるみ高さは補助工法を用いない通常掘削の場合1.0D、長尺先受工法(AGF工法)を適用する場合0.5Dと設定した¹⁾。

トンネル側部(B-B)は、中央部(A-A)のトンネル通過部の物性値をゆるみ域の値に置換えてモデル化した。

表-1 トンネル通過部とゆるみ域における地山物性値¹⁾

	単位体積重量 $\gamma_{sl} (\text{kN/m}^3)$	粘着力 $c_{sl} (\text{kN/m}^2)$	内部摩擦角 $\phi_{sl} (\text{deg})$
通過部	0.0	0.0	0.75ϕ
ゆるみ域	γ	$0.3c$	0.75ϕ

(γ, c, ϕ : 掘削前の値)

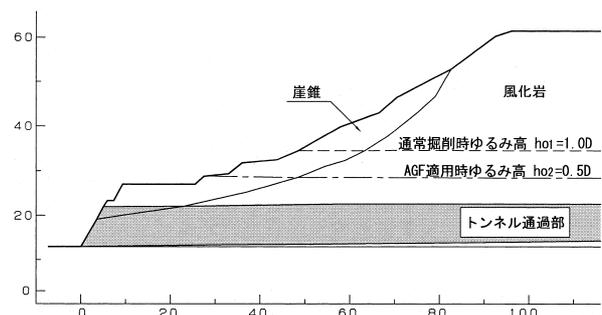


図-2 解析モデル (トンネル中央部: A-A)

*土木設計部設計課

(3) 解析結果と斜面安定の3次元評価

図-3、図-4は、トンネル掘削後の中央部 (A-A) と側部 (B-B) において、計画安全率 $F_s=1.2$ を下回る円弧すべりを描いたものである。同図から、坑口部のすべりには、「①トンネル上部を通過するすべり」と「②トンネル断面内を通過するすべり」という2つの形態があることが分る。

①のすべりは、AGF 工法 (ゆるみ高さ: $0.5D$) で抑止することとした。解析結果を図-5 (A-Aの場合) に示す。図-5から、ゆるみ域の縮小により斜面上部の安全率が $F_s=1.2$ 以上となったことが分る。

一方、②のすべりに対しては押え盛土工で抑止することとした。先ず中央部 (A-A) と側部 (B-B) の縦断について、押え盛土の必要延長を求めるために、押え盛土の延長と斜面安全率および必要抑止力との関係求めた (表-2, 図-6)。その結果、側部 (B-B) では押え盛土の延長が約 $L=11\text{m}$ で計画安全率 $F_s=1.2$ を満足しているのに対し、中央部 (A-A) では約 $L=27\text{m}$ の延長が必要であることが分かった。

ここで、図-1のように押え盛土をトンネル断面方向に $0.5D$ の範囲で補強し、中央部と側部を一体化させると、中央部と側部の必要抑止力 (余裕抑止力) の足し合せにより斜面の安定性を3次元的に評価できる。図-6から、両者の足し合せにより安全率 $F_s=1.2$ を満足する押え盛土の延長は約 $L=15\text{m}$ となる。

なお、押え盛土の補強方法には、セメント混合処理、ジオテキスタイルや金網の布設等が考えられる。

表-2 解析結果

押え盛土の延長 L (m)	安全率 中央部 (A-A)	安全率 側部 (B-B)
10	0.68 (-322)	1.17 (-24)
15	0.77 (-222)	1.50 (287)
20	0.93 (-148)	1.76 (669)
25	1.12 (-63)	2.19 (1452)
30	1.32 (175)	2.62 (1969)

※表中の括弧内は $F_s=1.2$ に対する必要抑止力 (負値: kN/m) および余裕抑止力 (正値: kN/m) を示す。

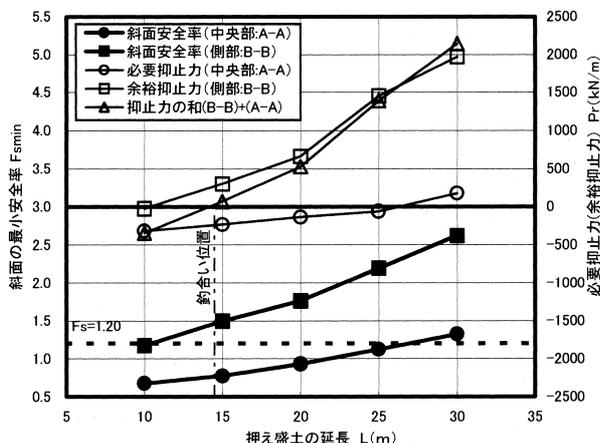
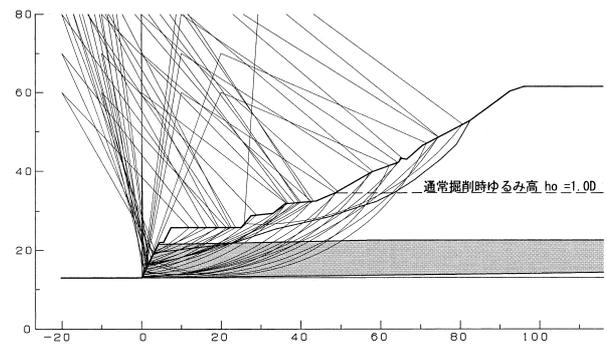
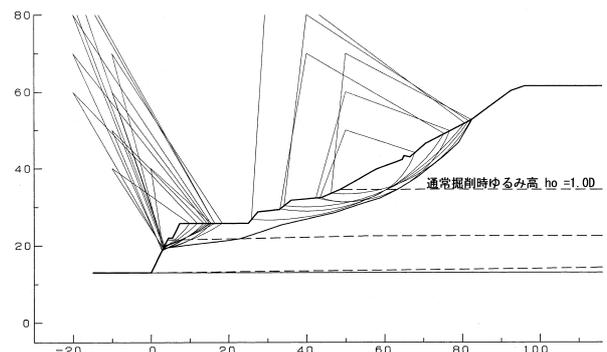
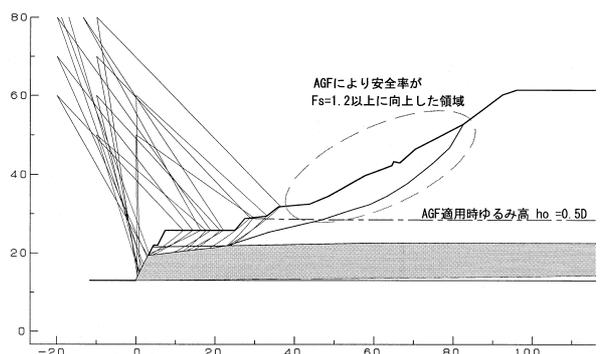


図-6 押え盛土の延長と安全率・抑止力との関係

図-3 通常掘削で $F_s=1.2$ を下回る円弧すべり (A-A)図-4 通常掘削で $F_s=1.2$ を下回る円弧すべり (B-B)図-5 AGFを用いた場合で $F_s=1.2$ を下回る円弧すべり (A-A)

4. まとめ

地すべりを想定した仮想トンネルの坑口部において、押え盛土の効果を3次元的に評価したことで、施工延長を従来の2次元評価方法よりも約 12m (約 44%) 短縮できる結果を得た。本手法は、比較的簡便な考え方により、コスト削減が大きく期待できる。今後は現場への適用を試みて、本手法の妥当性を確認する予定である。

参考文献

- 1) 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，1996。
- 2) 日本道路公団：設計要領第一集，第3章切土，pp. 参3.27-3.28，1998。
- 3) 日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針，pp. 265-277，1993。