

地すべり地におけるコスト縮減を目的とした三次元安定解析

中央復建コンサルタンツ(株) ○間宮 恵理佳
國眼 定
上田 大輔

論文要旨

ある地すべり地において、過去に設計された対策工(グラウンドアンカー工等)のコスト縮減を目的として、必要抑止力および対策工法の再検討を行った。必要抑止力の再検討としては、地すべり地の左右非対称性を踏まえるために三次元安定解析を実施し、算出し直した必要抑止力に対して必要なグラウンドアンカー工の本数を検討した。既往設計のグラウンドアンカー工の本数 275 本から 93 本減少させた場合においても、補強後の安全率は計画安全率 1.20 以上となった。その場合の事業費総額は当初設計に比べ 18%の削減が可能となった。一方、対策工法の再検討として、既往設計時に比較案とされていた排土工併用グラウンドアンカー工についても三次元安定解析を実施した。排土工併用グラウンドアンカー工は、グラウンドアンカー工のみに比べ経済性に劣る結果となった。

キーワード：地すべり、三次元安定解析、グラウンドアンカー工、排土工、コスト縮減

まえがき

地すべりの安定解析で一般的に用いられるのは二次元安定解析である。二次元安定解析では、層厚が最大と想定した主測線において安定解析を行うため、地すべり端部の層厚が薄くなる場合は、算出される必要抑止力が過大となる。また、主測線の断面形状が同じであれば、地すべりの平面形状に関わらず、同じ解析結果になる。一方、三次元安定解析では、地すべり土塊の体積を解析結果に精度良く反映することができるため、二次元安定解析に比べ必要抑止力が小さくなる傾向がある。これまでも二次元安定解析と三次元安定解析の安全率の比較や、三次元安定解析方法の検証等が実施されてきた。しかし、実際に二次元安定解析結果を基に設計された対策工を三次元安定解析で見直した事例は少ない。

対策工設計は実施済みであるが、工事が未着手の地すべり地において、コスト縮減を目的として、三次元安定解析を実施した。

1. 地すべり地の概要

当該地すべり地は、図-1に示すように道路に面した標高 100~200m の北側に突出した尾根型斜面に位置する。地すべり地は、幅 120m、長さ(平面距離) 90m、層厚 13m の規模であり、風化した泥岩および礫混じり土砂で構成されている。地すべり頭部および向かって左側の側部には明瞭な滑落崖(最大比高 7m)が認められ、向かって右側の側部はガリーが見られる。地すべり地内には、複数の開口亀裂や段差地形が分布する。

当地すべり地では、約 10 年前に地質調査及び地下水検層が実施された。さらに、地すべり観測機器(パイプ式歪計、地下水位計、地盤伸縮計)を設置し、これらの観測箇所において、現在まで地すべり観測を実施している。

図-1に示すように左側ほど地すべりブロックの斜面長が長い。

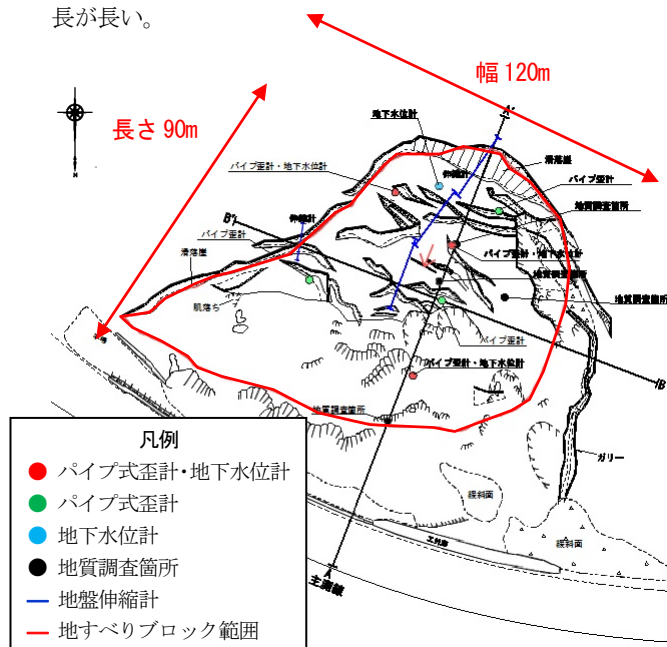


図-1 地すべりブロック平面図

また、地質調査結果から作成した土層区分横断面図に、地下水位観測結果から作成した最高水位線と最低水位線を重ねると、図-2に示すように向かって右側は崩積土層厚が厚くなり、向かって左側ほど地下水位が高くなる。この

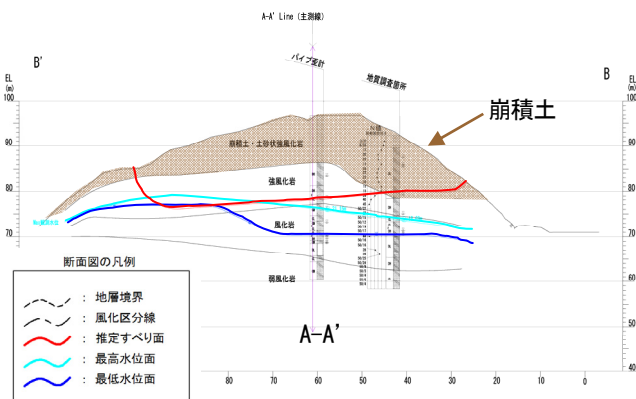


図-2 地すべり B-B' 横断面

ように当該地すべり地には左右非対称の特性が認められる。

2. 既往地すべり対策工設計の概要

図-3に示すように約10年前の既往設計では、二次元安定解析を実施した上で、地すべり対策工設計としてグラウンドアンカー工、鉄筋挿入工、横ボーリング工等が設計された。約10年前の単価で全体事業費は約8億円であり、その後の人件費等の高騰により工事費はさらに増えると思込まれる。

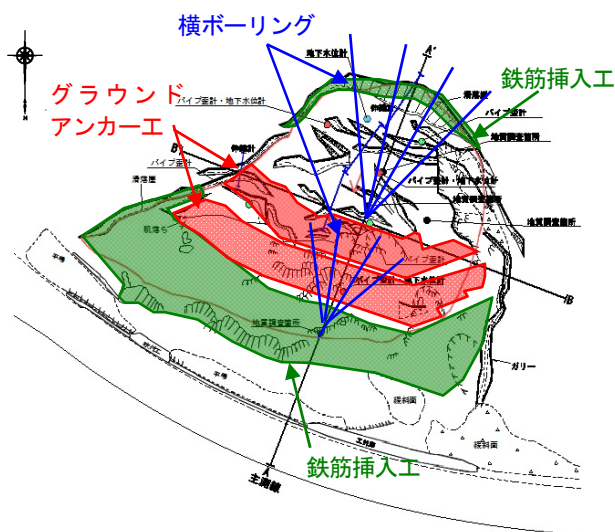


図-3 既往の地すべり対策工設計

3. 既往地すべり対策工設計の見直し

1章に示すように、当該地すべり地形は左右非対称であり、主測線で算出された必要抑止力による設計では、局所的に抑止力が過小となるおそれがあった。また、対策工着工に向けて、コスト縮減を検討する必要が生じた。

以上を踏まえた対策工の見直し項目として、以下の3点を抽出した。

- 見直し項目①：地盤定数等の解析条件
- 見直し項目②：必要抑止力の算出方法
- 見直し項目③：対策工法の比較結果

見直し項目①については、既往の対策工設計検討内容を確認したところ、当時の解析条件は地質調査および地すべり調査結果から設定された妥当なものであり、変更すべき点は認められなかった。

見直し項目②については、既往の対策工設計時には二次元の安定解析によって必要抑止力が算出されていた。当該地すべり地形は左右非対称であり、主測線で算出された必要抑止力による設計では、局所的に抑止力が不足するおそれがあった。そこで、局所的な地形状況を反映させることが可能な三次元安定解析を実施することで必要抑止力を見直し、地すべりの滑動を抑止するためのグラウンドアンカー工の本数を再検討することとした。

また、見直し項目③については、既往の対策工設計時に排土工併用グラウンドアンカー工とグラウンドアンカー工の比較検討により、排土工併用グラウンドアンカー工は経済性が劣るとの結果となっていた。そこで、排土工併用グラウンドアンカー工についても三次元安定解析を実施し、経済性が逆転しないかを検証することとした。

4. 三次元安定解析の手法

現地状況を解析へ詳細に反映させるために、三次元安定解析を実施した。三次元安定解析法としては、修正 Hovland 法を用いることとした。修正 Hovland 法では、地すべり土塊を三角柱で分け、各三角柱に対して、最小の斜面安全率を示す測線方向を運動方向とみなして、土塊全体の安全率を算出することができる(図-4参照)。

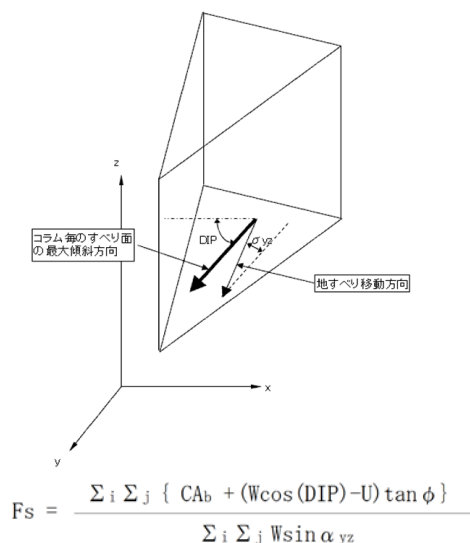


図-4 修正 Hovland 法の計算イメージ図¹⁾

5. 三次元モデルの作成

三次元安定解析にあたって、解析用の三次元モデルを作成した。モデル作成の中で、地形モデル、地すべり面、地下水位面が重要であるため、以下にその設定方法を示す。

(1) 地形モデル

既往の対策工計画平面図の地形等高線より、縦 2m×横 2mのメッシュごとの数値標高モデル (DEM) を作成し、そのデータから図-5 に示すような三次元地形モデルを作成した。

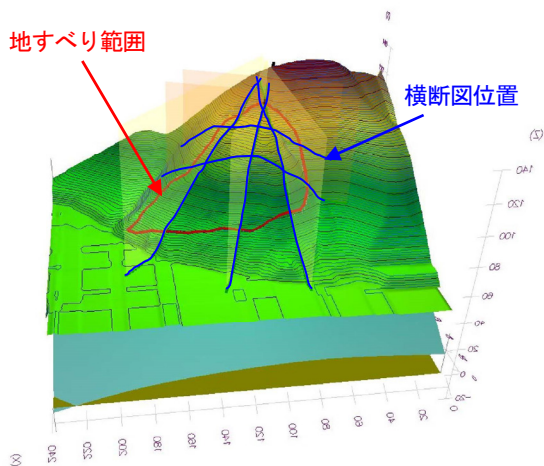


図-5 三次元モデル図

(2) 地すべり範囲、地すべり面

既往の対策工平面図および、図-5 に示す 5 本の青色線位置の対策工横断図に記載された地すべり範囲および想定すべり線から、三次元モデル上の地すべり範囲と想定すべり面を設定した。

(3) 地下水位面

既往の対策工平面図および、図-5 に示す 5 本の青色線位置の対策工横断図に記載された地下水位線より、地下水位面を設定した。なお、道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成 21 年度版)²⁾ によると、地下排水工 (横ボーリング工) 設置による地下水位低下高は 3.0m とすると記載されているため、地下排水工 (横ボーリング工) 配置を想定した解析モデルでは、地下水位面を 3.0m 下げることとした。

6. 三次元安定解析方法および解析結果

二次元安定解析と同様に、すべり面の内部摩擦角 ϕ を逆算し、逆算結果を用いて安全率を算出した。

(1) 内部摩擦角 ϕ の逆算

既往の対策工設計で用いられた地盤定数 (表-1 参照)、現況安全率 1.00、計画安全率 1.20、地すべり層厚 13m を用いて、修正 Hovland 法で地すべり面の内部摩擦角を逆算

した。内部摩擦角は $\tan \phi = 0.5347$ ($\phi = 28.1^\circ$) になった。

表-1 地盤定数

地層	単位体積重量 (kN/m ³)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 ($^\circ$)
崩積土	18.0	0.0	27.0
強風化岩	18.0	68.0	31.0
風化岩	19.0	86.0	34.0
弱風化岩	23.0	100.0	37.0

(2) 既往の対策工設計再現モデルの安全率

①現況地形からグラウンドアンカー配置法面を切土したモデル、②グラウンドアンカー配置法面を切土し、横ボーリング工施工を想定して地下水位を 3.0m 低下させたモデル、③さらに既往の対策工設計のグラウンドアンカー工を配置したモデル (図-6、7 参照) の 3 パターンにおいて、逆算した内部摩擦角を用いて、修正 Hovland 法で算出した安全率を表-2 に示す。既往の対策工設計のグラウンドアンカー工 (本数 275 本、総アンカー力 167793.4kN) を配置したときの安全率は 1.307 となった。

表-2 既往対策工設計再現モデルの安全率

検討パターン	安全率	必要抑止力 (kN)
①グラウンドアンカー工配置法面切土	0.998	102189.5
②横ボーリング工施工	1.016	92918.8
③グラウンドアンカー工配置	1.307	—

↓ 滑動力方向線の凡例

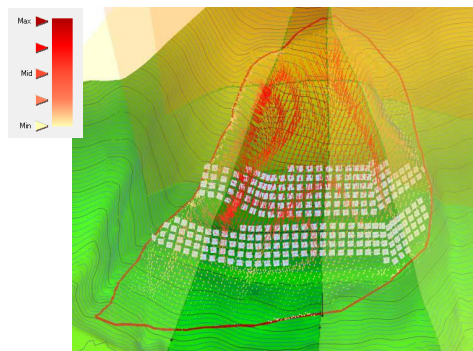


図-6 既往の対策工設計再現モデル

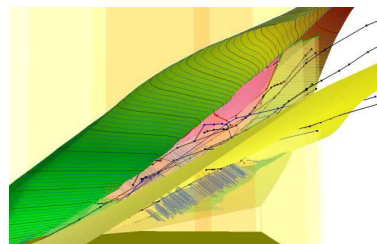


図-7 モデルを横から見た図(黄色の面が風化岩層と弱風化岩層の境界。アンカーは弱風化岩層に定着させる。)

(3) グラウンドアンカー工本数削減時の安全率

既往の対策工設計のグラウンドアンカー工を配置したモデルについて、安全率 1.20 以上となる範囲で、滑動力方向線の小さい矢印が分布する部分からアンカー工を減じた。図-8に示すようにグラウンドアンカー工を 93 本減らした 182 本の場合、グラウンドアンカー工配置後の安全率は 1.220 となった。

↓滑動力方向線の凡例

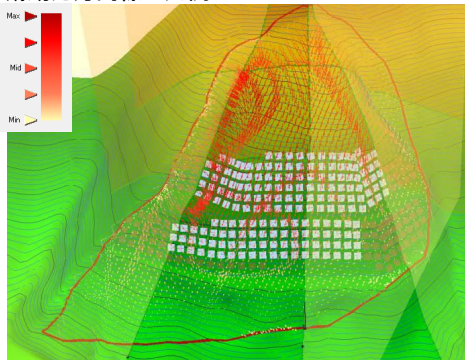


図-8 グラウンドアンカー本数を削減した場合のモデル

(4) 既往の対策工設計の比較案(排土工併用)の安全率

①既往の対策工設計の比較案とされた排土工併用グラウンドアンカー工の排土形状を再現した排土後のモデル、②排土後に横ボーリング工施工を想定して地下水位を 3.0 m 低下させたモデル、③さらに既往の対策工設計の排土工併用グラウンドアンカー工同様にグラウンドアンカー工 5 段を配置したモデル(図-9 参照)において、修正 Hovland 法で算出した安全率を表-3に示す。

表-3 既往対策工設計の比較案(排土工併用)の安全率

検討パターン	安全率
①排土後	1.111
②横ボーリング工施工	1.134
③グラウンドアンカー工配置	1.239

↓滑動力方向線の凡例

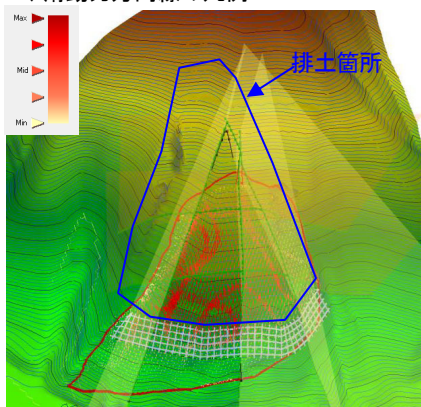


図-9 排土工併用グラウンドアンカー工の検討モデル

排土工併用グラウンドアンカー工の三次元安定解析での安全率は 1.239 となり、計画安全率 1.20 に近づいたため、グラウンドアンカー本数は減らすことはできないと判断した。以上より、既往の対策工設計時の比較検討同様に、三次元安定解析においても排土工併用グラウンドアンカー工はグラウンドアンカー工のみに比べ経済性に劣る結果となった。

7. 三次元安定解析結果による経済性検討

6章より、地すべりブロック全体の土塊について三次元安定解析を行った結果、既往設計のグラウンドアンカー工設計から、グラウンドアンカー本数を 93 本減らした 182 本でも計画安全率 1.20 以上となることがわかった。

既往の対策工設計の場合(平成 28 年度単価)と、グラウンドアンカー本数を 93 本減らした場合(平成 28 年度単価)について、グラウンドアンカー工のみの工事費と全体事業費を表-4に示す。平成 28 年単価では既往対策工設計数量に比べグラウンドアンカー工の本数削減時に、グラウンドアンカー工のみで 31%、全体事業費で 18%のコスト削減が可能となった。

表-4 既往設計とグラウンドアンカー削減案の費用比較

項目	既往対策工設計の場合	グラウンドアンカー工削減の場合
グラウンドアンカー工	333.7 百万円 (100%)	229.0 百万円 (69%、-31%減)
全体事業費	936.9 百万円 (100%)	763.3 百万円 (82%、-18%減)

あとがき

三次元安定解析は、地すべり地形を精緻に反映した解析結果が得られる点で有効である。本解析では地すべり面や地下水位面を地すべり観測結果等から設定したが、観測機器の劣化等によって、地すべり変位や地下水位を正確に把握できていない可能性がある。今後は地すべり観測の追加調査を行い、その結果をふまえ、再度解析を実施して設計の見直しを行う予定である。

最後に発注者および社内関係各位へ、情報提供ならびにご指導いただいたことを感謝したい。

参考文献

- 1) 3次元斜面安定計算システム(SSA_3D) 安定解析計算書, 五大開発(株)
- 2) 道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成 21 年度版), (社)日本道路協会, H.21.6.30. 413 p.