

斜面変状時の対策工選定システム

Development of Countermeasure Construction Selection System for Deformed Slopes

松元 和伸^{*1}

Kazunobu Matsumoto

松田 浩朗^{*1}

Hiroaki Matsuda

阿保 寿郎^{*1}

Toshiro Abo

小林 薫^{*2}

Kaoru Kobayashi

【要旨】

斜面の施工管理では、変位やひずみ、地下水位などの現場計測結果を基に、設定した管理基準値によって斜面の安定性を評価・監視することが一般的な方法である。そして変位などがある管理基準値を超え、対策工を検討・選定する場合には、地中内部のすべり面が必要となる。しかし、強度定数が得られていない地盤では十分な精度の検討が出来ないのが現状である。

斜面の地表面変位ベクトルを利用した地中内部のすべり面の推定方法を提案し、その妥当性を、地盤の強度定数(C、 ϕ)をパラメータとした数値シミュレーションによって検討した。その結果、地中内部のすべり面の推定には強度定数の影響を顕著に受けないという結論を得た。このことから、強度定数が事前に得られていない場合でも、斜面の地表面変位データを用いてすべり面を推定できることを示した。

本稿は、斜面の地表面変位データのみを用いて、地中内部のすべり面を推定し、これまで蓄積してきた斜面変状崩壊データベースを活用して、最適な対策工の種類・規模などの立案を実施可能な対策工選定システムの概要について述べる。

【キーワード】 変位計測 すべり面 データベース 対策工

1. はじめに

斜面の施工時における管理では、変位やひずみ、地下水位などの現場計測結果と、設定した管理基準値によって斜面の安定性を評価・監視することが一般的な方法として用いられている。管理基準値の設定方法には、経験的な値を適用する方法や、数値解析を用いた櫻井らの方法¹⁾があるが、前者は現地状況を十分に反映できない、後者はすべり面を事前に設定しないと適用できないという課題がある。

筆者らは、これまで遠隔地にある斜面やトンネルなどの変状をリアルタイムに監視できる Web 計測監視システムを開発し、ダム現場の切土斜面やトンネル変状の長期監視などに適用してきている^{1,2)}。今回、この Web 計測監視システムなどで得られる各種現場計測データのうち、斜面の地表面変位データを用いて、地中内部のすべり面を推定し、当社の斜面現場で得られた変状や計測工・対策工などのデータを蓄積した斜面変状崩壊データベースを参考にしながら、対策工の種類・規模などの立案に反映できるシステムを開発した。

本稿では、本システムの概要について紹介するとともに、提案するすべり面の推定方法について、地盤の強度定数の相違によるすべり面推定結果の感度を、数値シ

ミュレーションによって分析した結果について詳述する。

2. システムの概要

本システムが対象とする斜面は、地すべり地帯などの自然斜面や建設工事に直接的に関連する盛土や切土でできた人工的な斜面など、変形が起り得る全ての斜面である。図-1に本システムのシステムフロー図を示す。

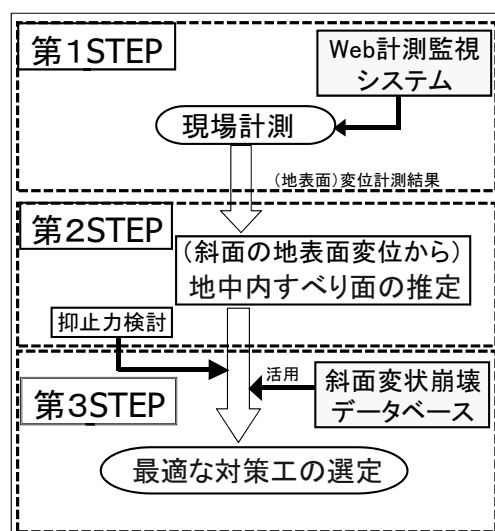


図-1 システムフロー図

本システムは、Web計測監視システムなどを活用した現場計測データの収集、地中内すべり面の推定、斜面変状崩壊データベースを活用した対策工の選定の3つのステップから構成される。

対策工を決定するためにすべり面を決める必要があり、そのためには、従来の方法では、地盤の強度定数が必要であった。本システムの特徴の一つは、強度定数が得られていない場合でもすべり面を推定することができるということであり、その具体的な方法などは4章で示す。以下に各ステップの概要を示す。

3. 現場計測データの収集

図-1に示すシステムフローの中で、最初のステップとなるのが現場計測データの収集システムである。図-2には現場計測システムのイメージ図を示すが、様々な計測機器によって得られる斜面変形などの計測データを現地計測室に収集し、電話・無線などの通信回線を經由して当社技術研究所に設けた防災監視ルーム(写真-1)にデータを集積することができる。その中でもWeb計測監視システムは、計測データおよび一次処理したデータをインターネットを通じてWeb上に表示することができ、リアルタイムの計測データは、迅速な対応が必要な変状分析に有効なものである。本システムで必要となる変状データは、地表面の3次元変位データである。

4. 地中内すべり面の推定

4.1 すべり面推定条件

2番目のステップは地中内すべり面の推定である。すべり面の推定は、図-3～図-5に示す以下の①～④の条件によるものとする。

①すべり面の形状

図-3に示すように斜面上に発生するすべりの形状は円弧すべりと仮定し、3次元変位より変位主断面を選定する。直線状のすべりも、すべり中心を遠方とすることによって、近似的な円弧すべりとみなす。さらに、同一断面内で、3次元変位を複数点で計測することとする。理論的には、円弧すべりの中心を求めるために最低限2点以上の計測を必要とする。ただし、後述する③に示す条件により、3点以上とするが、計測誤差の影響を考えると、多くの変位データがあった方がより精度の高い推定が可能となる。

②すべり中心の推定

計測点はすべり中心から同心円状を移動するものとし、図-4に示すように変位計測結果から最小二乗法を用いてすべり中心位置を求める。

③すべり面の位置の限定

図-5に示すようにすべり面をはさむ条件で計測点が配置されているものとする。すべり中心からすべり面ま

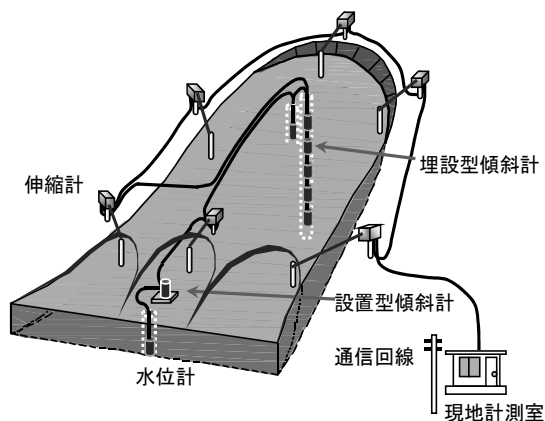


図-2 現場計測システムのイメージ図



写真-1 防災監視ルームの全景

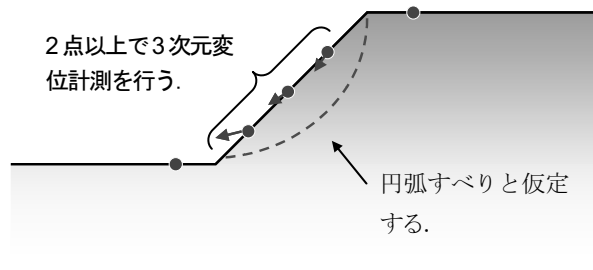


図-3 地表面の変位計測

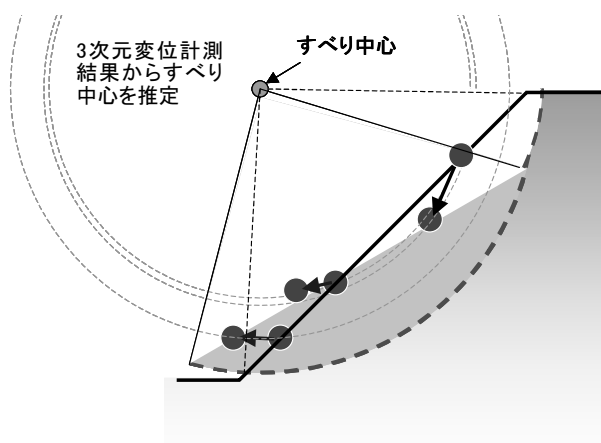


図-4 円弧すべりのすべり中心の推定

での半径(以下、すべり半径と呼ぶ)をこの条件により限定する。つまり、すべり面外に計測点を1点設けるので計測点は合計3点以上となる。

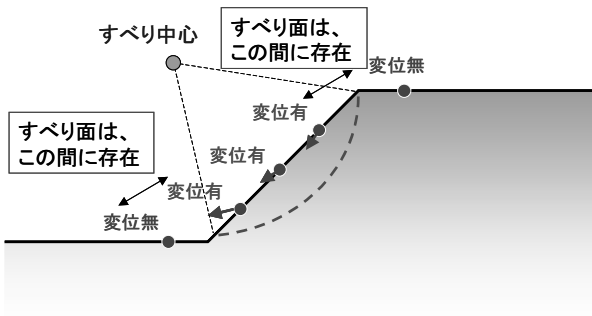


図-5 円弧すべり面の位置

④すべり面の推定計算

すべり中心を固定した安定解析(極限平衡法)により、すべり面を推定する。

変位計測結果から、すべり面とその手法を数値シミュレーションによって検討した結果を次節で考察する。

4.2 数値シミュレーションによるすべり面推定

実際の現場では、コスト面から事前調査が十分にできず、強度定数(粘着力と内部摩擦角)が得られないことが多い。その場合、一般的に経験値や既存資料を参考にして強度定数を設定することになる。原位置の試験データがない場合を想定し、経験値などを用いて設定した強度定数が、すべり面推定に与える影響を数値シミュレーションによって調べた。本手法を用いて、3次元変位データからすべり中心の位置を得た後、強度定数を広範囲に変化させて解析し、それに応じてすべり半径がどの程度変化するかを比較した。

まず、想定する斜面の高低差を5.0m、傾斜角を45°とし、強度定数を粘着力 $C=5 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=20^\circ$ として安定解析によりすべり中心を求めた。表-1に検討ケースと解析によって得られたすべり半径の一覧を示す。得られたすべり中心を用いて Case1 ($C=20 \text{ kN/m}^2$, $\phi=30^\circ$), Case2 ($C=2 \text{ kN/m}^2$, $\phi=5^\circ$) の2つのケースにおいて極限平衡法による安定計算を行い、すべり面の推定を行った。その結果を図-6に示す。Case1, Case2の両者ともすべり半径は 6.6mとなり、粘着力や内部摩擦角が著しく異なっても両者のすべり半径に顕著な違いは見られなかった。同様に、高低差 5.0m、傾斜角 30° 、粘着力 $C=5 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=20^\circ$ とした斜面Case3 ($C=20 \text{ kN/m}^2$, $\phi=30^\circ$), Case4 ($C=2 \text{ kN/m}^2$, $\phi=5^\circ$) においてもすべり半径は 9.6mとなり、両者のすべり半径に顕著な違いは見られなかった(図-7参照)。これらの結果によって、本手法では、強度定数が得られていない場合でも、その地盤の一般的な強度定数を用いた推定を行うことですべり面を推定することが可能であることが示された。

表-1 検討ケースおよび結果一覧

ケース	高低差 (m)	斜面傾斜角 ($^\circ$)	粘着力C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)	すべり半径 (m)
CASE1	5	45	20	30	6.6
CASE2	5	45	2	5	6.6
CASE3	5	30	20	30	9.6
CASE4	5	30	2	5	9.6

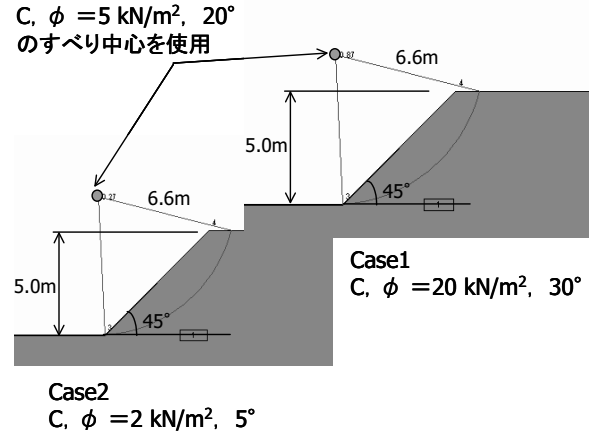


図-6 傾斜角45°の斜面におけるすべり半径

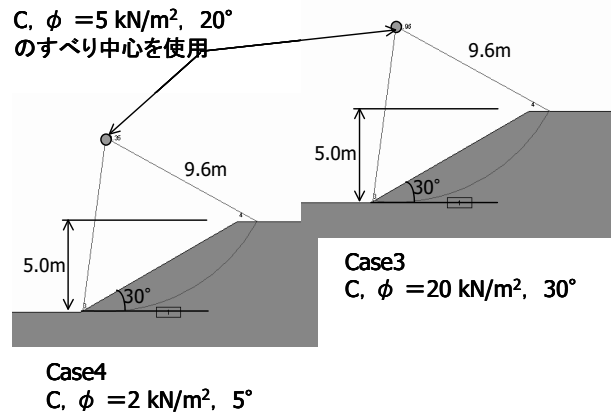


図-7 傾斜角30°の斜面におけるすべり半径

5. 斜面変状崩壊データベースを活用した対策工の選定

3番目のステップは斜面変状崩壊データベースを活用した対策工の選定である。斜面の安定に必要な抑止力を算定し、斜面変状崩壊データベースを参考にして類似事例での対策工を確認しながら、最適な対策工を選定することができる。

データベースに蓄積されている主なデータは、現場名、崩壊箇所、崩壊形状、地質特性、崩壊原因、実施した計測工や対策工などである。検索画面において、フリーキーワード入力やデータベース入力項目毎のキーワードボタン選択によって検索が可能となっており、関係する事例を選択することができる。図-8は、データベースに蓄積されている変状に対応して実施した対策工の分布を示す。アンカー工及び切直しが対策工の上位となってい

る。なお、このデータベースは、当社が施工して変状の発生した斜面のデータを中心にして構築しており、当社独自のデータベースとなっている。

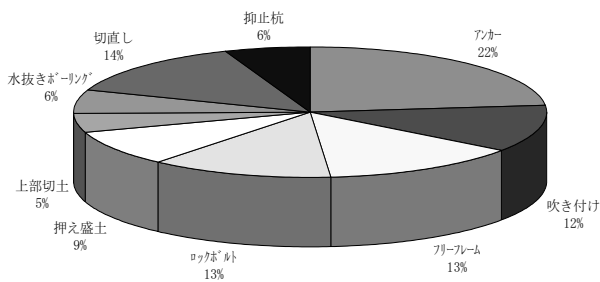


図-8 実施した対策工

6. まとめ

斜面変状時の対策工選定システムを開発した。このシステムは、3つのステップから構成される。

まず、第1ステップの現場計測データ収集のステップでは、Web計測監視システムを中心とした現場計測データの収集システムによって、現場計測データを自動的・リアルタイムに収集できることを示した。本システムに必要なデータは、地表面の3次元変位データである。

次に、第2ステップの地中内すべり面推定のステップでは、前ステップで得られた3次元変位データから地中内のすべり面を推定する方法を示した。変位データよりすべり中心を求め、安定解析によりすべり半径を推定した結果、すべり半径の推定には強度定数の変化による影響を顕著に受けないという結論を得た。このことから、実際の斜面において、強度定数に関する試験データがない場合でも、経験的な値を本手法に用いることで、すべり面の位置を推定できることを示した。

最後に、第3ステップの斜面変状崩壊データベースを活用した対策工の選定のステップでは、そのシステム概要を示した。これまで実施された対策工はアンカー工が最も多いが、最適な対策工の選定のためにもデータベースの拡充が必要である。

現在まで、地表面の3次元変位計測データを有する現場において、対策工を必要とする変形が発生した事例がないため、実際の現場でのモデル検証には至っていない。今後とも、計測データの蓄積によってデータベースの充実させるとともに、現場での検証を図っていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 櫻井春輔, 安達健司, 武石朗: 計測結果を用いた斜面の安定性評価, 土と基礎, Vol.49, No.7, pp.10-12, 2001.
- 2) 松元和伸, 熊谷幸樹, 柏木克之, 加藤一幸, 神谷耕雄, 青木一郎: ダム切土法面の動態監視に Web 常時モニタリングシステムを適用, 第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2249-2250, 2006.
- 3) 松元和伸, 庄司泰章, 柏木克之, 河野尚司, 田雑満孝, 小林薫, 塩谷智基, 熊谷幸樹: 志河川ダムにおける Web 監視モニタリングシステムによる堤体左岸法面の動態監視, とびしま技報, No.56, pp.123-128, 2007.
- 4) 阿保寿郎, 松元和伸, 松田浩朗, 芥川真一: 3次元変位計測結果に基づく斜面すべり面推定法の一考察, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集/III-085, pp.169-170, 2008.

Summary In slope construction management, the typical method is to evaluate and monitor the stability of the slope by a set management standard value, based on site measurement results such as displacement, distortion, and groundwater level. Also, when displacement, etc., exceeds a certain management standard value, the sliding surface of the subterranean area must be determined when considering and selecting countermeasure construction. However, in the current conditions, sufficient accuracy cannot be achieved when considering ground where the strength constant has not been obtained.

We would like to propose an estimation method of the subterranean slope surface using the ground level displacement vector, and consider its validity by numerical simulation with the strength constant (C, ϕ) as a parameter. According to the results, estimation of the subterranean sliding surface is not notably influenced by strength constant. This shows that the sliding surface can be estimated using ground level displacement data of the slope, even if the strength constant has not yet been obtained.

This article provides an outline of the countermeasure construction selection system which can carry out the planning of the type and scale of the most suitable countermeasure construction, and can estimate the subterranean sliding surface using only slope ground level displacement data, and can utilize the database of slope deformation collapse accumulated up to now.

Key Words : Measurement of displacement, Slide, Data Base, Support system