

斜面変状モニタリングに基づく破壊確率を用いた斜面の危険度判定

フォレスト エンジニアリング 正会員 ○ 林 健二
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 長江 剛志
 東洋建設株式会社 正会員 佐藤 毅
 大成基礎設計株式会社 正会員 西田 博文

1. まえがき

斜面崩壊の要因には、降雨、地震、経年劣化等があり、いずれの要因の場合も、誘因は異なるが、斜面変状を経た後に斜面崩壊に至るプロセスは同様である。現在、危険度が高い斜面に対して、定期的な変状モニタリングが実施されており、モニタリング結果を利用した斜面のリアルタイムの危険度予測方法が望まれている。

本報告では、変状モニタリング結果を用いた斜面の危険度予測手法を提案する。提案手法では、破壊確率を導入することにより、斜面の有する健全度や破壊切迫性をリアルタイムに把握することが可能である。

2. 斜面の破壊確率

従来の斜面の危険度は、斜面の安全率で判定される場合がほとんどである。安全率を計算するための入力データ（土の強度定数、単位体積重量等）は、ばらつきを有するパラメータであるが、一般的には土質調査結果に基づき、平均値で設定される。従って、計算で得られる安全率は平均的な値であり、ばらつきを有するものとなる。従って、計算される安全率が1以下で破壊しない斜面もあれば、その逆の場合もある。

上記の課題を克服するため、斜面の安定度の指標として、従来から用いられている安全率ではなく、破壊確率を用いる手法¹⁾が研究されている。ここでは、破壊確率は安全率の分布が1以下となる確率と定義する。また、安全率の確率分布は、円弧すべり計算やFEM解析等から、計算に用いる入力データ（土の強度定数、単位体積重量等）のばらつきを考慮したサンプリング法により、計算することができる。なお、既往の研究¹⁾により土の強度定数（ c 、 ϕ ）は正規分布と仮定できることが確認されている。

3. 変状モニタリングによる危険度判定

斜面変状把握が破壊予知に重要との観点から、危険度が高いと判断される斜面に対しては、現在、定期的な変状モニタリングが実施されている。モニタリング項目は、法面の法肩・法尻の水平変位・鉛直変位、法面のはらみ出し量、法面の亀裂の幅、地下水位等である。

変状モニタリングに基づく斜面の危険度判定手法のフローを図-1に示す。本手法の流れは以下の通りである。

- ①斜面の地盤定数を設定し、現地の斜面を再現する解析モデルを構築する。
- ②斜面の現況の破壊確率を、ばらつきを考慮した現況の地盤定数を用いて、FEM解析等により計算する。FEM解析による斜面の安全率²⁾は、斜面内部の応力状態から計算する。
- ③斜面が変状した場合の破壊確率を、斜面の地盤定数を低減させることにより、FEM解析等により計算する。この計算でも地盤定数のばらつきを考慮する。
- ④地盤定数を逐次、低減させながら、斜面の破壊確率がある程度大きくなるまで、上記の計算を繰り返す。
- ⑤一連の計算結果から、着目するモニタリング箇所の変状量と斜

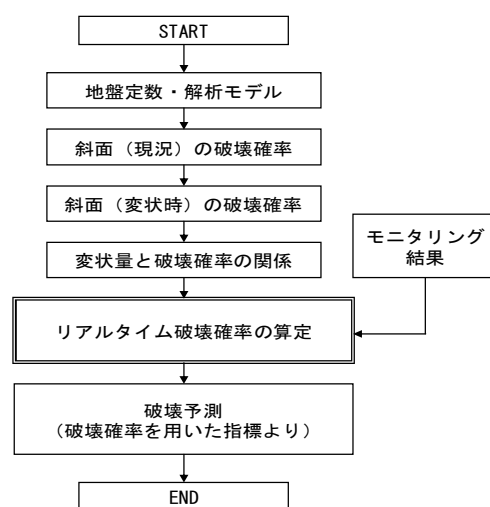


図-1 危険度判定フロー

キーワード：斜面、盛土、信頼性設計、破壊確率、安全率、モニタリング

〒631-0032 奈良市あやめ池北 1-8-59 (フォレスト エンジニアリング 林 健二)

面の破壊確率の関係を求めることができる。

⑥現場より斜面の変状モニタリング結果が得られれば、⑤で得られたモニタリング変状量と斜面破壊確率の関係から、斜面の破壊確率をリアルタイムに知ることができる。斜面破壊の危険予知には、破壊確率を用いた指標が必要となる。指標の一例として、破壊確率の変化速度に着目する方法³⁾がある。

4. 危険度判定の適用例

以下、提案する危険度判定手法の適用例を示す。

対象斜面は図-2 に示す盛土（盛土高 5.0m、法面勾配 1:1.5）であり、斜面法肩で変状モニタリング（水平変位・鉛直変位）が定期的に行われていると仮定する。

解析手法は、弾塑性 FEM 解析を用い、斜面の安全率は、盛土内の各要素の応力分布とせん断強度から算出する。

盛土の粘着力はサンプリング法によりばらつきを考慮する。（ $c=20\text{kN/m}^2$ （平均値）、正規乱数、変動係数 0.3）また、地盤の内部摩擦角 $\phi=10^\circ$ と単位体積重量 $\gamma=20\text{kN/m}^3$ は確定値と仮定する。

地盤の粘着力を低減させながら、FEM 解析により盛土斜面の破壊確率を計算し、法肩の水平変位と破壊確率の関係を求める。計算結果より得られた安全率の確率分布（盛土法肩水平変位 3 ケース：0cm、0.2cm、1.0cm）を図-3 に示す。法肩の変状（水平変位）が大きくなるほど、安全率の確率分布は左に移動し、安全率の平均値も小さくなるのがわかる。

盛土法肩の水平変位と破壊確率の関係を図-4 に示す。本事例では、法肩の変状（水平変位）が大きくなるほど、斜面の破壊確率は増加する。また、破壊確率の増加速度は変状発現直後が最も大きい。法肩の水平変位を現地で定期的にモニタリングすれば、盛土法肩の水平変位と破壊確率の関係図を用いて、現地の斜面の破壊確率をリアルタイムに把握することが可能となる。

5. あとがき

斜面変状モニタリングに基づく破壊確率を用いた斜面の危険度判定手法のフローを提案した。また、適用事例により、提案手法を用いた斜面の危険度判定が可能であることを示した。しかしながら、適用事例は特殊な条件であるため、提案手法の適用条件や課題について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 松尾稔、上野誠(1978)：斜面崩壊防止のための信頼性設計に関する研究、土木学会論文報告集、第 276 号、pp119-129
- 2) 小林正樹(1984)：有限要素法による地盤の安定解析、港湾技術研究所報告、第 23 巻、第 1 号、pp83-101
- 3) 松尾稔、上野誠(1979)：破壊確率を用いた自然斜面の崩壊予知に関する研究、土木学会論文報告集、第 281 号、pp65-74

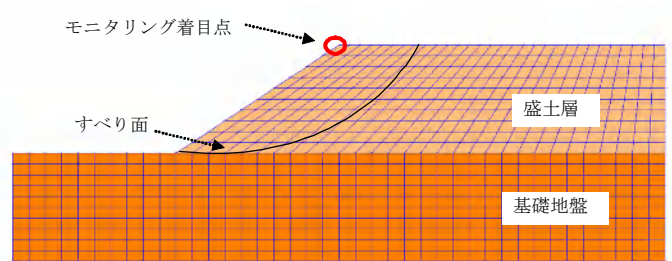


図-2 解析モデル

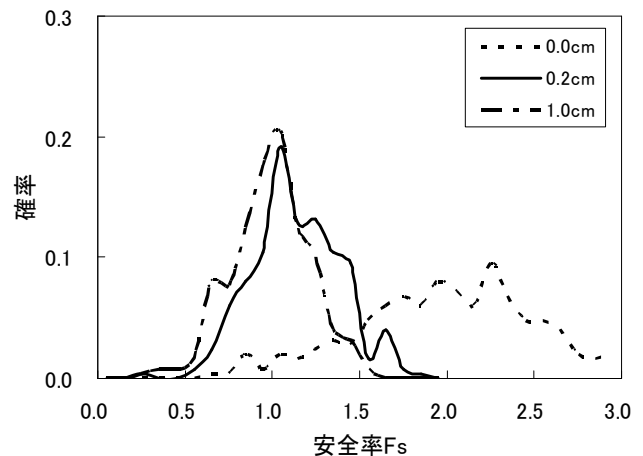


図-3 安全率の確率分布

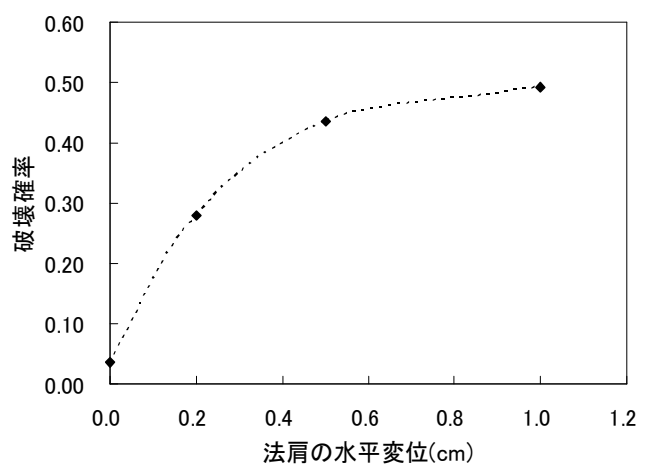


図-4 盛土法肩の水平変位と破壊確率の関係