

岩盤斜面の安定性評価法

Stability Assessment of Rock Slope

八 嶋 厚 (やしま あつし)

岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科

1. はじめに

岩盤斜面は安定性が亀裂や断層などの不連続面に左右される場合が多く、崩壊形態も不連続面の幾何条件とそれに作用する力学条件によって変化する(図-1)。このため、土質斜面に用いられている安定性評価手法をそのまま適用することができない。

岩盤斜面の安定性評価手法には、経験的方法と解析的方法がある。経験的方法は、斜面の目視観察による点検結果や周辺斜面の崩壊履歴などを専門技術者が総合的に判断して安定性を評価するもので、多くの機関でマニュアルや指針が作成され運用されている¹⁾。この手法は評価作業が簡便で迅速に行えるが、得られる結果が定性的で技術者の経験に左右されるという欠点が指摘されてきた。この指摘に対して、最近では数量化理論や確率論を用いた評価手法²⁾が提案されているが、実用化に至っていない。一方、解析的方法は、斜面の安定性を安全率や崩壊確率などを用いて定量的に表すことができる。

2. 岩盤斜面の解析的安定性評価手法

岩盤斜面の解析的安定性評価手法は、極限平衡法と数値解析法に大別される。極限平衡法は、不連続面と自由面(岩盤表面)で囲まれたブロックを剛体と見なし、ブロックに作用する力のバランスを極限平衡論に基づき評価する方法である³⁾。主にすべり破壊の解析に用いられ、対策に必要な抑止力を簡単に得られることから、設計用途としての実績も多い。ただし、岩盤ブロックの安定性を力学的に評価するものであり、ブロックが幾何的に移動可能か否かの判断や移動方向の判定はステレオ解析やキーブロック解析などを用いて行う必要がある。

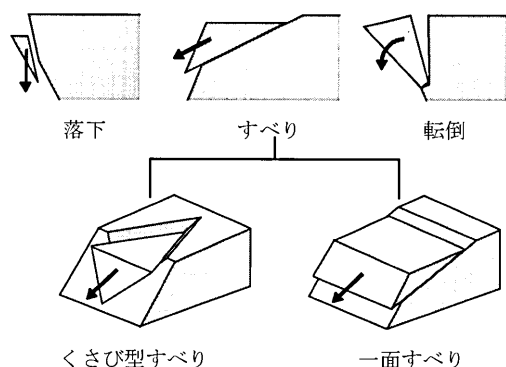


図-1 不連続面に規制された岩盤の崩壊形態

ステレオ解析⁴⁾は、不連続面と自由面の方向をステレオネット上に投影し、ブロックの移動可能な方向を簡易に探索するものである。移動可能と判断されたブロックに対しては、極限平衡論に基づきベクトル図などを用いて力学的な安定性を個々に評価する。この方法は、亀裂面と自由面の幾何的關係が3次元イメージとして直感的に理解でき、複雑な計算を必要としないことから、現場での概略的安定性評価に有効である。しかし、ステレオネット上では不連続面や自由面の位置を表現することができず、ベクトル図の作成に必要な岩盤ブロックの形状や大きさについては別途検討しなければならない。しかも、図式解法であることから、多数の不連続面を持つ岩盤斜面を対象とする場合には評価作業が煩雑となる。

一方、キーブロック解析⁵⁾は、不連続面と自由面で囲まれた岩盤ブロックの集合体の中から、位相幾何学の概念を用いて移動可能な多面体ブロックを探索する手法である。移動可能と判断されたブロックに対しては、極限平衡法により力学的な安定性を個々に評価する。この手法は、トンネルや地下空洞など自由面の形状が比較的単純な岩盤掘削における情報化施工の一環として広く利用されている。しかし、ブロックの回転を伴うような移動は想定しておらず、転倒に対する安定性を評価することができない。また、水圧や地震力を考慮する場合には、前処理としてそれらの大きさと作用方向を決定し、自重の作用方向を補正しておく必要がある。

数値解析法には連続体解析と不連続体解析がある。前者は、不連続面を含む岩盤を連続体として解析する手法で、代表的な解法に有限要素法や差分法、境界要素法などがあり、不連続面の影響は要素の物性パラメータに反映させる。一方、不連続体解析は、岩盤を不連続面で区切られたブロックの集合体と見なし、ブロック群の力学的挙動を相互の接触を通じて解析する方法である。代表的な解法に剛体バネモデルや個別要素法、不連続変形法などがあり、ブロックの分離や回転を伴うような挙動も追跡できる。これらの数値解析法は、崩壊挙動をアニメーションで見せることができ、崩壊現象の説明や予測に多用されている。しかし、多数の不連続面を有する岩盤斜面に対して3次元解析を実施する場合には斜面モデルの作成に多大な労力を要する。また、極限平衡法に比べて多くの入力定数を必要とし、これらを設定する上で種々の試験や解析技術者の経験的な判断が要求される。

3. 簡易安定性評価手法の概要

ここでは、複数の崩壊形態を簡易に評価する手法⁶⁾(以下、簡易安定性評価手法と記す)を紹介する。

3.1 岩盤斜面のモデル化と安定性評価単位

岩盤斜面の3次元形状計測に、デジタルカメラを用いた写真測量がある。現地作業が写真撮影に限られ、撮影機器に普及型デジタルカメラを使えることから作業性と経済性に優れ、岩盤斜面形状や不連続面の計測に実用化されている。これにより、安定性評価に必要な斜面の3次元形状を比較的容易に取得することが可能となった。

簡易安定性評価手法では、不規則な岩盤斜面形状を三角形要素の集合体からなる三角形網(TIN)でモデル化する。また、不連続面を半無限平面と仮定し、三つの不連続面と岩盤斜面 TIN で囲まれた三角錐ブロックを安定性評価の基本単位としている。

3.2 安定性評価条件

三角錐ブロックが崩壊するためには、次の2条件を満足する必要がある。

形状条件：岩盤ブロックが三角錐を形成するための幾何的条件。

崩壊条件：岩盤ブロックに落下、すべりあるいは転倒が生ずるための幾何的、力学的条件。

崩壊条件では、三角錐ブロックの傾斜方向と外力の作用方向の関係から崩壊形態を判定し(図-2)、各崩壊形態に対する安全率が1.0より小さいブロックを不安定と評価する。落下、すべりあるいは転倒に対するそれぞれの安全率は、極限平衡論に基づき求める。簡易安定性評価手法では、これらの条件をベクトル式で表現している。

3.3 簡易安定性評価手法の特徴

簡易安定性評価手法の特徴を以下にまとめる。

- 1) 三角錐ブロックを安定性評価の基本単位とする。
- 2) すべりと落下および転倒に対して評価可能。
- 3) 安定解析は極限平衡論に基づく。
- 4) 不連続面のすべり摩擦角と粘着力および引張り強度を考慮できる。
- 5) 水圧と地震力を考慮できる。
- 6) 安定性評価条件をベクトル式で表記できる。

6)の特徴により安定性評価プログラムの作成が比較的簡単であり、また、評価アルゴリズムが単純であることから、多数の不連続面を有する岩盤斜面についても迅速に評価できる。一例として、ランダムに発生させた20条の不連続面(すべり摩擦角 30° 、粘着力と引張り強度ゼロ)が存在する仮想斜面の地震時フラジリティを豪雨時と平常時と比較した。フラジリティは崩壊想定ブロック体積と岩盤内移動可能ブロック総体積の比である。図-3に結果を示すが、亀裂が多く存在する岩盤斜面から崩壊危険度の大きい部分を容易に抽出することができる。

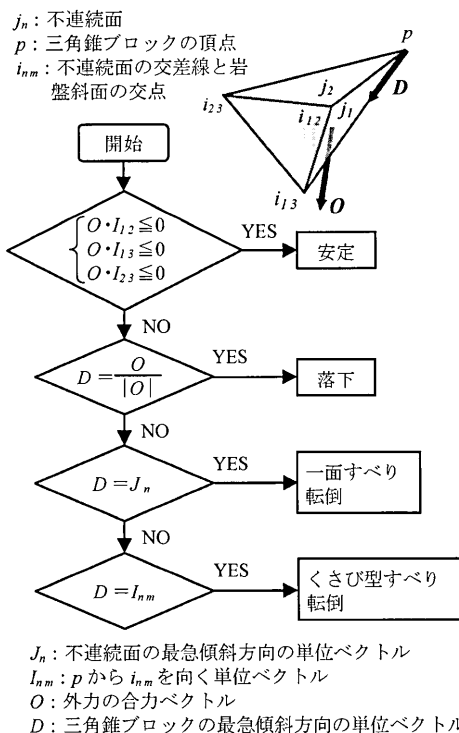


図-2 崩壊形態判定フロー

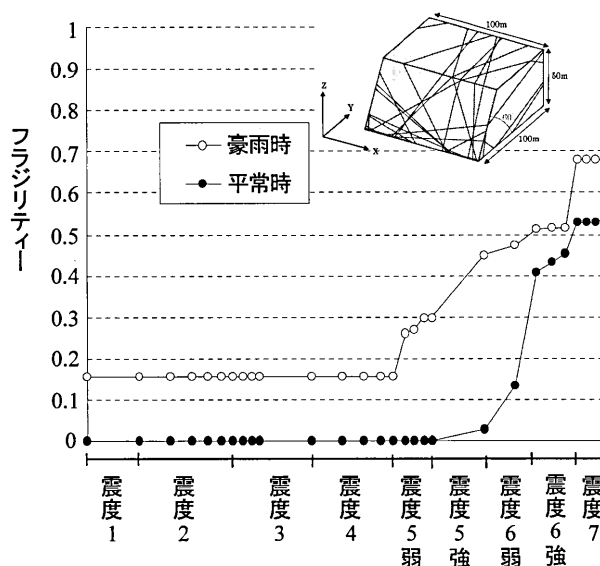


図-3 仮想岩盤斜面のフラジリティー曲線

参考文献

- 1) 土木学会：岩盤斜面の調査と対策，1999。
- 2) 野口達雄・杉山友康・木谷日出男・岡田勝也：鉄道沿線の硬岩斜面の安定性評価手法，土木学会論文集，No. 663/VI-63，pp. 71～86，2004。
- 3) Hoek, E. and Bray, J. W.：岩盤斜面工学，朝倉書店，1979。
- 4) 多田元彦：くさび型岩盤斜面崩壊の簡易安定解析法とその適用例，応用地質，Vol. 34，No. 1，pp. 25～33，1993。
- 5) Shi, G. H. and Goodman, R. E.：ブロック理論と岩盤工学への応用，土木工学社，1992。
- 6) 鷺見武富・八嶋 厚・沢田和秀・森口周二・小嶋正樹：すべり・落下・転倒を対象としたき裂つ性岩盤斜面の簡易安定性評価手法，土木学会オンラインジャーナル，Vol. 63，No. 1 登載予定。

(原稿受理 2007.1.23)