

個別要素法を用いた不連続性岩盤斜面の安定解析と崩壊による周辺への環境影響

長崎大学工学部 正会員 棚橋 由彦

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静

長崎大学大学院○学生員 神蘭 大介

1. 研究の背景と目的

近年、土地造成、ダム、発電所などの大規模な土木構造物が岩盤斜面に接して立地したり、高速道路や鉄道の路線が山間部を通るなど、長大な切り取り斜面が形成される事例が増加している。

一方、不連続性岩盤斜面の崩壊形態には、絶壁などで発生する分離・崩落、斜面の形状や岩盤と不連続面の力学的特性に支配されるすべり崩壊、および岩塊の回転を含む動力学的な崩壊様式である転倒崩壊がある。このうち、転倒崩壊(トップリング)は、垂直に近い節理の卓越した岩盤斜面などでしばしば発生しており、斜面付近の物件や住民の生活に多大な影響を及ぼしている。そのために、トップリングに注目した崩壊機構の解明は、岩盤斜面の安定性評価において重要な課題となっている。本研究は、主に岩盤斜面に生じるトップリングのメカニズムと発生条件を、個別要素法を用いた数値シミュレーションにより解明し、合理的補強対策を求めることを目的としている。

2. 解析モデルの設定

岩盤斜面のトップリングは、岩盤内の不連続面の幾何学的分布状態や物性値など、多くのパラメータに影響され、また、現象が複雑で進行的であるため、その崩壊機構が十分に解明されているとは言えない。ここでは、まず基礎研究として、規則的に配列された不連続面が含まれる岩盤斜面を想定する。

道路造成などに伴う掘削により形成された切り取り斜面としては、安定した初期状態に比べて、のり面角の大きな斜面が形成され、掘削による応力の開放により、斜面が不安定となることが予想される。

解析の一例として、図-1に示すように、斜面の高さ(H)を15m、掘削前の斜面傾斜角(β_0)を 135° 、掘削後の斜面の傾斜角(β)を 100° とする。不連続面の配列は、貫通したものと、これに垂直に、貫通せず千鳥状に配列した2セットの不連続面を考慮した。図中の塗りつぶされた部分が、掘削範囲を表している。ブロックと不連続面の力学的特性は室内試験結果に基づいて表-1のように設定した。

3. トップリングの影響要素と解析パターン¹⁾

岩盤斜面において、トップリングの発生を支配するパラメータとして以下のようなものが考えられる。

- (1) 斜面の外形: 高さ(H)、斜面の傾斜角(β)、斜面の上面の傾斜角(α)、等
- (2) 不連続面の幾何学的分布特性: 不連続面の密度(H/t)、ブロックの縦横比(b/t)、ブロックの配列(p)、不連続面の傾斜

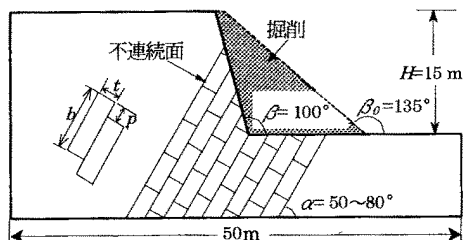


図-1 解析モデル

表-1 力学的特性値

	Item	Value (unit)
Block	単位体積重量	25.0 (kN/m ³)
	せん断剛性	1.6 (MPa/m)
Joint	垂直剛性	22.9 (MPa/m)
	摩擦角	34.8 (°)
	粘着力	0.0 (MPa)

表-2 解析パターン

Case	H/b	変動パラメータ	固定パラメータ
1	2.143	$\alpha=50\sim80^\circ$ $b/t=1.5, 3$	$\beta=100^\circ$ $p/b=0.25$
2	2.500	$\alpha=50\sim80^\circ$ $b/t=1.5, 3$	
3	3.000	$\alpha=50\sim80^\circ$ $b/t=1.5, 3$	
4	3.750	$\alpha=50\sim80^\circ$ $b/t=1.5, 3$	
5	4.286	$\alpha=50\sim80^\circ$ $b/t=1.5, 3$	
6	5.000	$\alpha=50\sim80^\circ$ $b/t=1.5, 3$	

角(α)と間隔(t)、等

(3) 材料特性:密度、不連続面の摩擦角と粘着力、せん断剛性、等

(4) 地下水:水位分布、岩盤の透水係数

以上のようにトップリングに対しては、多くのパラメータが影響し、すべてを明らかにするのは相当の計算を必要とするが、本研究では、まず表・2 に示したケースで解析を行った。

斜面の高さ(H)と不連続面によって区切られたブロックの長さ(b)で除して無次元化した(H/b)を 2~5 と変化させた。斜面の高さに対して、不連続面によって区切られたブロックが長いほど H/b が小さな値をとることになる。

4. 解析結果と考察

解析では、掘削のプロセスを再現するために、15mの高さの斜面を3段に分けて掘削解析を行った。図-2(a)~(c)はその掘削ステップと斜面の安定性との関係を示している。この図からステップ1、ステップ2では、トップリングを生じていないが、ステップ3では斜面ののり肩付近からトップリングが発生している。

解析結果の一例として、トップリングを生じるときの H/b と α の関係を図-3 に示す。 $b/t=3.0$ の場合、 $\alpha=70^\circ$ 付近で H/b が最小値 2.3~2.5 ととる。また $\alpha>80^\circ$ ではほとんど、トップリングを起こさない。 $b/t=1.5$ の場合でも $\alpha=70^\circ$ 付近で H/b が最小値 3.0~3.2 ととる。また、 $b/t=3.0$ と同様に $\alpha>80^\circ$ ではトップリングを起こさない。

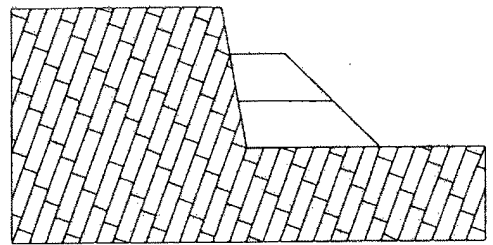
以上の結果に基づくと、図-2 に現れたトップリングの発生メカニズムは次のように解釈できる。ステップ1とステップ2では、掘削により形成された斜面の高さ(H)が5m、10mで、 $H/b=1$ 、2 となり、図-3 の安定ゾーンに入るのに対し、ステップ3は $H/b=3$ と大きくなり、トップリングゾーンに位置した。これより、掘削は数段に分け、それと平行して吹付けコンクリートなどの対策を行えば、安全に岩盤斜面の造成が行えると考えられる。

5. おわりに

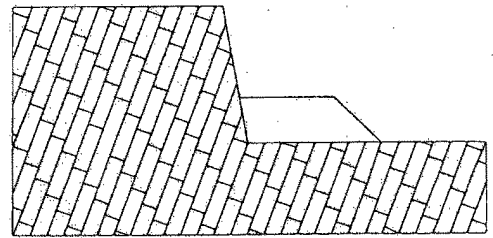
ブロックの長さ(b)と斜面の高さ(H)、 H/b と斜面の傾斜角(α)にはトップリングを引き起こす範囲が存在することが明らかになった。今後は、各々のパラメータの影響度合を評価し、また、ロックボルトやロックアンカーなどによる安定効果やトップリングによる周辺環境への影響評価についても研究を進めていく予定である。

参考文献

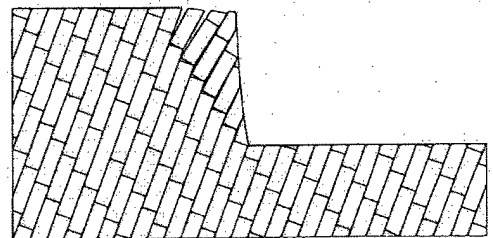
- 1) 江崎哲郎、蔣宇静、他:不連続性岩盤斜面に生じる転倒崩壊機構に関する基礎的研究、資源と素材、Vol.113, pp. 233-240, 1997



(a) ステップ 1



(b) ステップ 2



(c) ステップ 3 (全掘削)

図-2 掘削に伴う斜面の崩壊プロセス

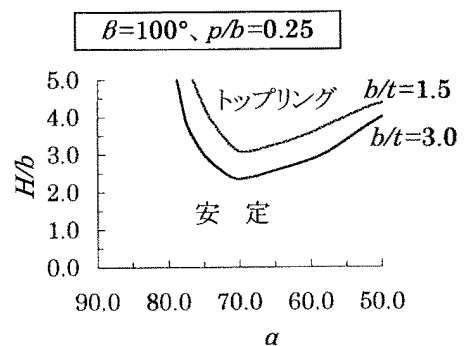


図-3 H/b と α の関係