

不連続性岩盤斜面のたわみ性トッピング破壊のメカニズム

九州大学工学部 学生会員 ○今村 氏郎 九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎

九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩 九州電力(株) 正会員 香月 理

九州大学大学院 非会員 久留須 靖

1. はじめに

岩盤斜面では、平面破壊、くさび破壊、円形破壊、トッピング(転倒破壊)など様々な破壊形式が考えられる。このような破壊様式の違いは、岩盤内部に存在する不連続面に支配的である。一般に、斜面に対して流れ目状の不連続面を有する岩盤斜面では、平面すべりなどのすべり破壊が問題となるのに対し、斜面に対して差し目状の不連続面を有する岩盤斜面では、斜面を構成する岩柱あるいは岩塊が斜面前方へ倒れこむように崩壊するトッピング破壊を起こす場合がある。このようなトッピング破壊に関して、岩塊ブロックのトッピング挙動に関する研究事例¹⁾はあるが、斜面前方移動に曲げ回転成分を伴い不連続面がずれを起こして、塊状に崩壊するトッピング、いわゆるたわみ性トッピング破壊についてはその破壊の詳細なメカニズムの解明がなされていない。

本研究では、たわみ性トッピング崩壊について数値解析を用い、法面勾配、不連続面の傾斜角をパラメータとしてそのメカニズムについて検討を行う。

2. 数値解析

不連続体としての解析は、各ブロックを変形体として考慮でき、岩盤斜面の形状および不連続面の幾何学的状況を比較的忠実にモデル化できる解析手法のうち、個別要素法(解析コード: UDEC, Itasca 社製)を用いる。

2.1 岩盤斜面のモデル化

解析では、ある現場での状況をもとに、規則的な差し目状の不連続面が岩盤斜面全体に分布する 2 次元化した斜面を想定する。

Fig.1 に示すように、斜面高さを 20m とし、解析モデルの左右境界は、岩盤の変形がモデル境界の影響を受けない位置となるように十分に長く設定する。また、下部境界も同様に斜面高さ以上となるように設定する。斜面全体の形状は、パラメータを簡略化

するため、法肩から奥方向は緩傾斜ではなく水平面とする。

不連続面は斜面に対して差し目状となるように規則的に配置し、不連続面の間隔を 0.5m とする。

基質部の力学的特性値については、斜面の崩壊が顕著に再現できるように、一軸圧縮強度 σ_c を基準として、その他の物性値を参考文献²⁾を参考に設定する。また、不連続面の力学的特性値については、過去に実施した頁岩の一面せん断試験結果³⁾の値を採用する。岩盤基質部および不連続面の力学的特性値を Table 1, Table 2 に示す。

2.2 解析手順および解析ケース

解析手順としては自重のみの解析を行う。解析パラメータは、法面勾配 θ を水平面から時計回りに 40° 50° 60° 70° 80° 90° 、不連続面の傾斜角 α を水平面から反時計回りに 30° 40° 50° 60° 70° 80° とする。解析ケースを Table 3 に示す。

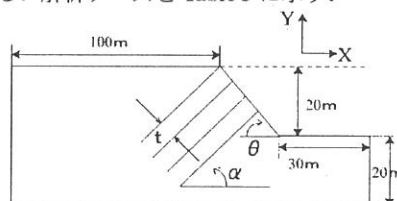


Fig.1 Simplified of analysis model.

Table 1 Mechanical properties of model material.²⁾

σ_c [MPa]	σ_t [MPa]	c [MPa]	ϕ [°]	E [MPa]	ν [-]	ρ [kg/m ³]
1.00	0.072	0.132	60	500	0.3	2645

σ_c : Compressive strength ; σ_t : Tensile strength;

c: Cohesion ; ϕ : Friction ; E: Young's modulus ;

ν : Poisson's ratio ; ρ : Unit weight

Table 2 Mechanical properties of model joint.³⁾

K_n [MPa/m]	K_s [MPa/m]	c_j [MPa]	ϕ_j [°]	$\sigma_{t,j}$ [MPa]
1.833×10^4	0.088×10^4	0	30	0

K_n : Normal stiffness ; K_s : Shear stiffness ;

c_j : Cohesion of joint ; ϕ_j : Friction of joint ;

$\sigma_{t,j}$: Tensile strength of joint

3. 解析結果および考察

本解析では最終的に収束した変位量に注目して、その結果から変位が 1m 以上のもの、10cm 以上 1m 未満のもの、10cm 未満のもの（以降変形大、変形中、変形小と称す）に分類した。Table 3 にその結果を示す。

変形が大のケースと中程度のケースでの、基質部における引張領域によって破壊が生じる点を結んだ線を Fig. 2 に示す。Case A（法面勾配 60°，不連続面の傾斜角 70°）と Case B（法面勾配 60°，不連続面の傾斜角 60°）を例にとると、Case A では法尻から水平方向に -51.8m、鉛直方向に 20m の地表の地点まで、Case B では法尻から水平方向に -30.8m 鉛直方向に 20m の地表の地点まで伸びている。このことから岩盤基質部の変位の違いには引張領域の大きさが影響を与えていることがわかる。

次に、たわみ性トップリング破壊が起こるきっかけである不連続面のずれが基質部の変位に及ぼす影響を見るため、例として Case A、Case B に加えて Case C（法面勾配 60°，不連続面の傾斜角 50°）の不連続面のずれの変位分布に着目した。Fig. 3 に Case A の不連続面のずれの変位分布を示す。Case A、Case B においては、斜面から離れた場所でのずれの変位はそれぞれ 1mm から数 cm、1mm 以下となっているが、斜面付近になるにつれ、ずれの変位が増大し、それぞれ 10cm から 30cm、1cm から 5cm の値が集中していた。Case C においては斜面付近にかかわらず、1mm 以下の値のほぼ一様な分布となっていた。不連続面のずれの変位の増大は、基質部の曲げの進行が原因と考えられる。不連続面のずれの変位が不均一に分布することで岩盤基質部が浮き上がり、岩盤ブロックのたわみが増大し、大きな斜面の変位を生じる。このことから、たわみ性トップリングにおいて、不連続面のずれの変位分布は岩盤基質部の変位を知る指標となるといえる。

最後に、たわみ性トップリング破壊における基質部の変位に影響を及ぼす因子として、法面勾配と不連続面の角度に注目する。Table 3 の分類において、法面勾配および不連続面の傾斜角は双方 10° 間隔で変化させており、法面勾配 70° 不連続面の傾斜角 60° の分類結果、法面勾配 60° 不連続面の傾斜角

50° の分類結果を軸にほぼ対称性が見られる。

4. 結論

本研究ではたわみ性トップリング現象に及ぼす法面勾配および不連続面の傾斜角の違いをもとに変位に注目して結果を整理した。その結果、たわみ性トップリングの破壊では、引張の発生領域の大きさ、および不連続面のずれの変位分布が岩盤基質部の変位に影響を与えていること、また法面勾配と不連続面の傾斜角はたわみ性トップリングに対し、同等に重要なパラメータであることがわかった。

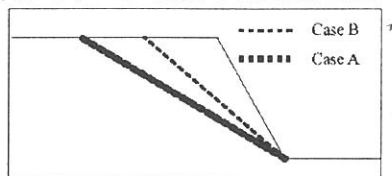


Fig. 2 Points of tensile failure.

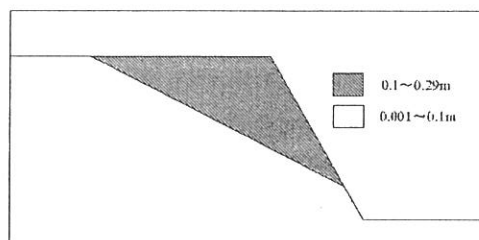


Fig. 3 Distribution of joint slip.

Table 3 Case of DEM analysis.

		Angle of joint(°)					
		80°	70°	60°	50°	40°	30°
Angle of slope (°)	90°					×	○
	80°				×	○	○
	70°		×	×	△	○	
	60°		×	△	○		
	50°	×	△	○	○		
	40°	△	○				

×：最大変位 1m 以上

△：最大変位 10cm 以上 1m 未満

○：最大変位 10cm 未満

参考文献

- 1) 例えば, R.E.Goodman & J.W.Bray: Toppling of Rock Slope, Rock Engineering for Foundations and Slopes, Vol.2, pp.201-234.
- 2) 九州電力株式会社総合研究所: 岩石及び岩盤の工学的諸性質, 研究報告, 1986.
- 3) T.Esaki: Modeling jointed rock masses and prediction of slope stabilities by DEM, The 37th U.S. Rock Mechanics Symposium, pp.83-90, 1999.