

不連続性岩盤斜面の逆算法における安定解析に関する研究

東京都市大学大学院 学生会員 ○中根 良太

(独) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所 正会員 平岡 伸隆, 吉川 直孝

東京都市大学 正会員 伊藤 和也

1. はじめに

流れ盤構造を有する軟岩斜面の掘削工事中において斜面崩壊により、作業員が死亡する労働災害が発生している。実務の現状では、不連続面を有する岩盤斜面の掘削工事を行う場合に、斜面安定性評価を行い掘削勾配を決定している。本報告では、不連続性岩盤斜面において斜面安定性を検討するため、人工軟岩を用いて不連続性岩盤斜面モデルを3ケース作製し、遠心場にて崩壊実験を実施した。斜面安定性評価手法の1つである現状の斜面形状から地すべりの逆算法による不連続性岩盤斜面の設計方法が妥当であるか検証した。

2. 遠心模型実験

遠心模型実験は、模型を載せたプラットフォームを高速回転させ、遠心力を載荷し実験を行う。本実験では最大50Gまで遠心加速度を段階的に上昇させ、遠心力の単調増加により自重を増加させ斜面の限界高さを求めた。実験を行うにあたって、再現性の高い軟岩は入手困難なため、既往研究¹⁾の人工軟岩材料を参考に表1に示されている配合比で作製した。本実験は遠心模型実験を3ケース行った。Case1では、勾配45°(1割勾配)の不連続面を持つ斜面を75°で掘削した形の模型(図1)、Case2では、勾配48°(9分勾配)の不連続面を持つ斜面を72°で掘削した形の模型(図2)、Case3では、勾配51°(8分勾配)の不連続面を持つ斜面を73°で掘削した形の模型(図3)を用い実験を行った。Case2(勾配48°)とCase3(勾配51°)の模型では、Case1(勾配45°)の斜面と表層の体積と不連続面の面積を合わせることで掘削角を決定した。模型地盤の作成方法は、まず基盤層を整形後、可視化しやすくするために不連続面に朱液を塗る。基盤層を3日間浸水させ、水を抜いた後にセメント材の水分が不連続面に浸水するのを防ぐために白色ワセリンを薄く塗布し、表層を打設する。最後に表層を整形し、モデル斜面とした。崩壊した遠心加速度を測定し、斜面の天端部分の変位を計測するために、接触型変位計を5基設置した。遠心加速度を徐々に上昇させたところ、Case1(勾配45°)の斜面では23.1Gで崩壊、Case2(勾配48°)の斜面では35.9Gで崩壊、Case3(勾配51°)の斜面では7.7Gで崩壊した。

3. 逆算法における安定解析

一般に、すべり面のせん断強度を決定する方法には、逆算法と土質試験による方法があるが、実務において、不連続性岩盤斜面の設計に道路土工²⁾に記載されている「地すべりの逆算法」が用

表1 模型材料の配合比

単位置量(kg/m ³)		
早強ポルトランドセメント	石灰石砕石	石灰石微粉末
52	825	825
水	混和剤	合計
373	1	1650

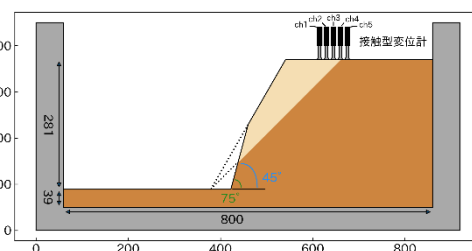


図1 模型概略図(1割勾配)

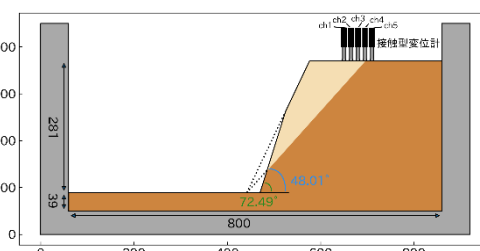


図2 模型概略図(9分勾配)

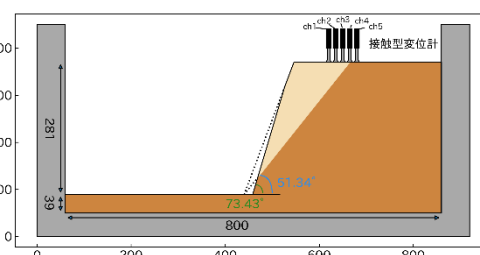


図3 模型概略図(8分勾配)

キーワード 岩盤斜面, 遠心模型実験, 不連続面, 流れ盤, 労働災害

連絡先 〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1丁目28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104

いられることがある。そこで今回の実験で得られた実験データを用いて計算を行い、地すべりの逆算法の妥当性を検討する。地すべりの逆算法は、掘削前の形状で安全率を仮定して逆算法により地盤強度定数を算出する。そして、算出された地盤強度定数を用いて掘削後の安全率を算出する。安全率の仮定方法は、地すべりが滑動しているなら安全率を 0.95~1.00, 滑動していないなら 1.05~1.15 の範囲で設定し、すべり面の平均的な強度定数 c , ϕ を求める。以下に抵抗力と滑動力から安全率を算出する式を示す。

$$F_s = \frac{cld + W \cdot \cos\alpha \cdot \tan\phi}{W \sin\alpha} \quad (1)$$

c は粘着力 [kN/m^2], l は不連続斜面長 [m], d は奥行き [m], W は表層の土塊重量 [kN], α は不連続面傾斜角 [deg] である。崩壊時の遠心加速度からそれぞれの斜面を実スケールに換算すると、Case1 は高さ約 6.49m, Case2 は高さ約 10.09m, Case3 は高さ約 2.16m である。本報告の検証では、斜面が掘削前で滑動していないと仮定して、掘削前の斜面の平均的な強度定数を求め、得られた値を用いて掘削後の斜面の安全率を算出した。今回の検証では、設定できる範囲の中で安全率が最も 1.0 に近い値である安全率 1.05 を設定した。設定した安全率に対して、 $c=0$ の場合の $\tan\phi$, $\tan\phi=0$ の場合の c をそれぞれ算出し、図 4 の関係図を作成する。以下に式を示す。

$$F_s = \frac{\tan\phi}{\tan\alpha} \quad (c=0 \text{ の場合}) \quad (2)$$

$$F_s = \frac{cld}{W \sin\alpha} \quad (\tan\phi=0 \text{ の場合}) \quad (3)$$

導出した c - $\tan\phi$ 関係図から安全率を算出するために c , $\tan\phi$ を決定する。また、 c - $\tan\phi$ 関係図から、 c , $\tan\phi$ を決定する場合、すべり面の平均鉛直層厚より経験値から粘着力 c を仮定し、 $\tan\phi$ を決定することができる。平均鉛直層厚は図 5 を参考に算出した。表層の面積、不連続面の斜面長より平均鉛直層厚を算出し、この値を粘着力 c と仮定し、 c - $\tan\phi$ 関係図より $\tan\phi$ を算出する。

それぞれのケースで得られた c , $\tan\phi$ を用いて掘削後の安全率を算出した。遠心模型実験で実際に斜面崩壊した遠心加速度で安全率を算出すると、Case1 の安全率は 1.038, Case2 の安全率は 1.043, Case3 の安全率は 1.047 という値が得られた。すべてのケースにおいて崩壊時の安全率が 1 を超えており、危険側の評価であることが確認できた。逆算法という斜面安定性評価方法は、懸念される点がある。掘削前の斜面に対する安全率の設定根拠が曖昧であること、すべり面の平均鉛直層厚が粘着力と等しいとする力学的根拠がないこと、文献によって最大鉛直層厚やすべり垂直軸最大層厚が粘着力と等しいと仮定し、算出方法に違いが生じていることがある。このような特徴をもつ手法かつ安全率が 1 を超えていることから、利用にあたっては、危険側に評価してしまう可能性があることに留意する必要がある。

4. まとめ

人工軟岩を用いた遠心模型実験を行い、逆算法の安定性評価が妥当であるか検証を行った。本実験条件では、不連続性岩盤斜面の安定計算は危険側の評価となる可能性があることが確認できた。地盤強度の推定方法や不連続面のせん断強度について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 関口陽, 石丸真, 小早川博亮, 谷口友規, 平賀健史: 人工軟岩と不連続性岩盤斜面模型の作製方法に関する検討, 2017.
- 2) 道路土工-切土工・斜面安定工指針, 公益社団法人日本道路協会, p.397-403, 2009.

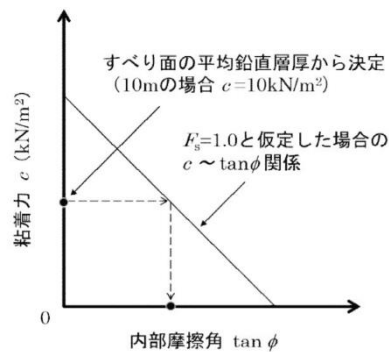


図 4 c - $\tan\phi$ 関係図

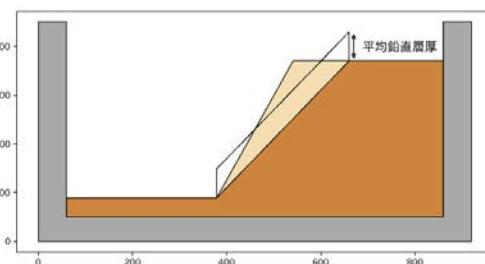


図 5 平均鉛直層厚