

Barton の式を用いた異なる不連続面勾配を持つ岩盤斜面の安定性に関する研究

東京都市大学 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。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、人工軟岩を用いて異なる不連続面勾配を持つ岩盤斜面モデルを2ケース作製し、遠心場にて崩壊実験を実施した。さらに実験モデルの安全率をモール・クーロン則と不連続面の破壊基準の手法の中から比較的必要なパラメータの少ない Barton¹⁾の式をそれぞれ計算し、室内土質試験から得られた地盤強度を用いて、破壊基準の違いによる安定性の違いについて検証した。

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、遠心力を载荷し実験を行う。重力の n 倍の遠心加速度が模型に掛かると、重力場での n 倍の応力状態を再現したことになる。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²⁾の人工軟岩材料を参考に早強ポルトランドセメント、石灰石を混合し作製した。本実験は勾配 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 1)と勾配 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)を用い実験を行った。掘削角の決定方法に関しては、2 つの斜面ケースの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、勾配 51°の斜面では 7.7G で崩壊し、勾配 48°の斜面では 35.9G で崩壊した。

3. 極限平衡法による斜面安定性評価

不連続面における平面ひずみ状態を仮定し、滑動力と抵抗力から安全率を算出する。滑動力は自重によるものとし、抵抗力はせん断強度と不連続面の面積の積から算出した。破壊基準を設定する方法として、一般的なモール・クーロン則と不連続面の破壊基

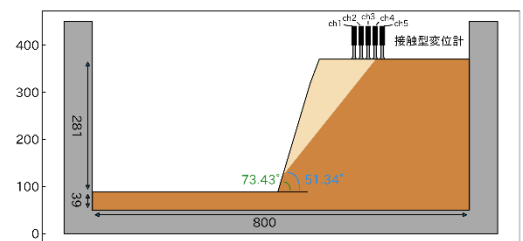


図 1 模型概略図(8分勾配)

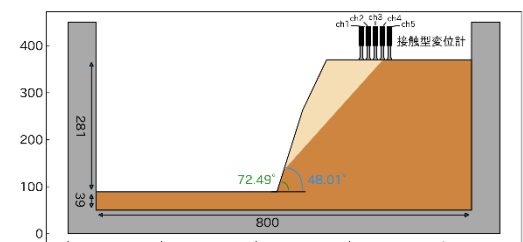


図 2 模型概略図(9分勾配)

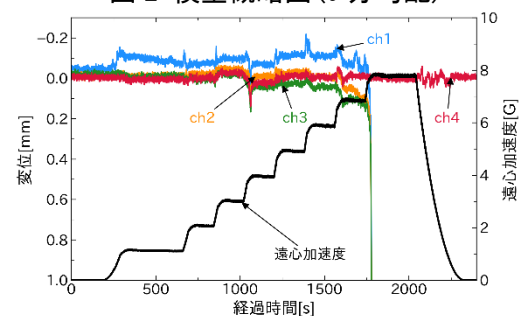


図 3 実験結果(8分勾配)

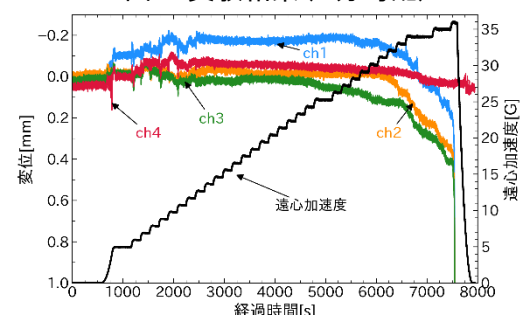


図 4 実験結果(9分勾配)

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 TEL 03-5707-0104

準の手法の中から比較的必要なパラメータの少ない Barton の式¹⁾を比較した。なお、地盤強度は一面せん断試験から、粘着力 $c=8.49\text{kPa}$ 、内部摩擦角 $\phi=43.35^\circ$ 、残留摩擦角 $\phi_r=41.77^\circ$ を用いた。Barton らの経験的なせん断強度基準を式(1)に示す。

$$\tau = \sigma \cdot \tan \left\{ JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma} \right) + \phi_b \right\} \quad (1)$$

ϕ_b には残留摩擦角、 σ は垂直応力、JRC はジョイント粗さ係数 (Joint Roughness Coefficient)、JCS はジョイント圧縮係数 (Joint Wall Compressive Strength) には一軸圧縮強度を用いた。パラメータの一つである JRC 値は以下の2つの方法について検証した。まず、図5に示す Barton の粗さの断面図から視覚的に値を決定する方法である。実験の不連続面から目視によって JRC=2 と決定した。次に一面せん断試験の結果から最小二乗法によって JRC を決定する方法である。Python の数値解析ライブラリ scipy から回帰曲線関数を使用すると JRC=3.10 という値が得られた (図6)。遠心加速度と安全率の関係で算出結果を図7と図8に示す。どちらのグラフにも共通し遠心加速度が増加すると安全率は低下している。モール・クーロン則において、崩壊した遠心加速度の時の安全率を算出した。勾配 51° の斜面では崩壊時の遠心加速度 7.7G において安全率が 2.17、勾配 48° の斜面では崩壊時の遠心加速度 35.9G において安全率が 1.18 という結果となった。実験で崩壊した遠心加速度の時の安全率を比較すると、モール・クーロン則による評価は過大評価され、危険の評価になる。Barton の破壊基準では、2つのケースにおいて 1G での安全率が 1 付近であることから、常に崩壊の危険性があるという結果となった。一面せん断試験の結果を最小二乗法して得られた JRC 値を用いた場合の Barton の手法は、モールクーロン則によって求められた安全率より安全側の評価となることが分かった。

4. まとめ

人工軟岩を用いた遠心模型実験および一面せん断試験を行い、得られた地盤強度を用いて斜面安定性評価を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 不連続面が急勾配であるほど、不安定となる。
- 2) 2つのケースの斜面ではモール・クーロン則による評価は過大評価され、危険側の評価になることがわかった。
- 3) Barton の式を適用した場合は、安全側で評価できることがわかった。また、JRC 値の決定方法に関しては、一面せん断試験の結果を最小二乗法して求めた JRC 値が有効であることが確認できた。

参考文献

- 1) Barton, N.: A Relationship Between Joint Roughness and Joint Shear Strength, Proc. Int. Symp. Rock Mech. Rock Fracture, Nancy, Paper I-8, 1971.
- 2) 関口陽ら：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，第52回地盤工学研究発表会，pp.1721-1722, 2017.

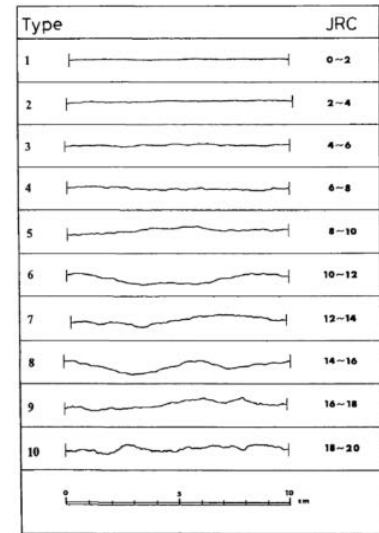


図5 Barton の粗さの断面図例¹⁾

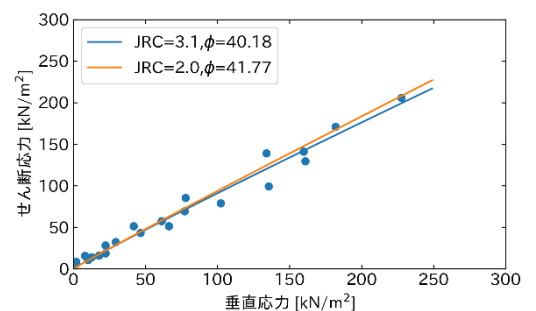


図6 最小二乗法より JRC 値算出

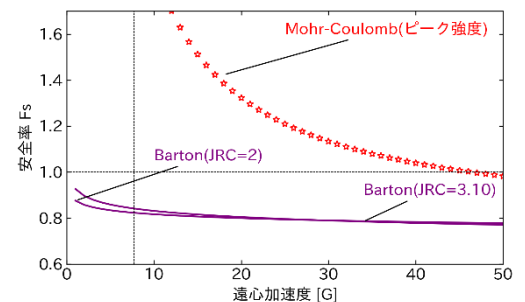


図7 斜面安定性評価 (8 分勾配)

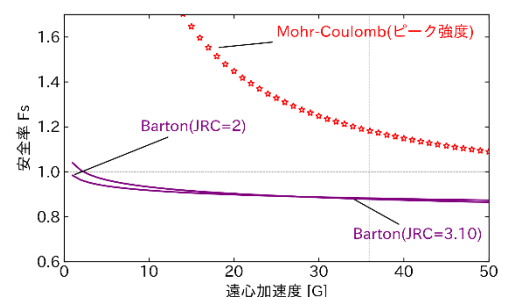


図8 斜面安定性評価 (9 分勾配)