Barton の破壊包絡線を用いた不連続性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，　岩﨑　夏美
（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起きている．流れ盤構造を持つ斜面においては崩壊の危険性が高く，具体的な設計，施工の本質的な改善または工学的，管理面からの対策が必要とされている．掘削勾配は過去の事故事例を踏まえて定められており，力学的な根拠が乏しいのが現状である．本報告では，平岡ら [1)]の実施した人工軟岩を用いた遠心模型実験に新たなモデルを追加し，崩壊に至る遠心加速度を測定後，室内土質試験から得られた地盤強度を用いて，簡易的な方法で斜面安定性を評価できるか検証した．

２．遠心模型実験

遠心模型実験では最大 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崩壊を発生させる．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．平岡ら [1)]が実施した勾配 45°の不連続面を持つ斜面を 60°で掘削したシンプルな形の模型（図 1）を Case1 とし，本研究では Case1 の斜面をさらに斜面高さの半分まで 75°で掘削した形の模型（図 2）を Case2 として実施した．不連続面は，別々に基盤層と表層を打設することにより再現した．表層と基盤層の境界には，表層打設前に斜面崩壊挙動を可視化しやすくするために朱液を塗り，その上に白色ワセリンを薄く塗布することで，セメント材の水分を基盤層へ染み込みづらくした．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．斜面に近い方から ch1 とし，ch5 まで設置した．

遠心模型実験の結果を図 3，4 に示す．遠心加速度を徐々に上昇させたところ Case1 の実験では 28.9G（斜面高さ約 8.12m 相当）で崩壊し，Case2 の実験では 23.1G（斜面高さ約 6.49m 相当）で崩壊した．Case1，Case2 共に崩壊前に天端部分にクラックが生じ，崩壊直前から表層の沈下量が加速度的に増加し，不連続面を滑るように崩壊に至った．

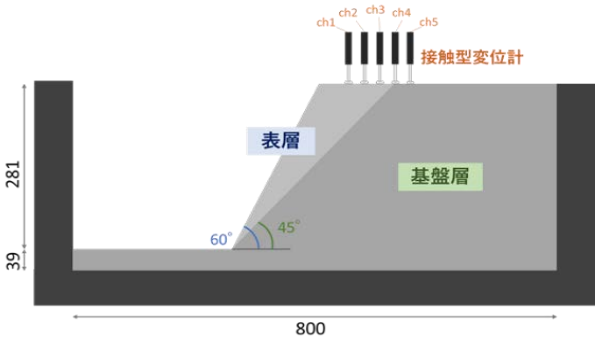

図 1 模型概略図（Case1）

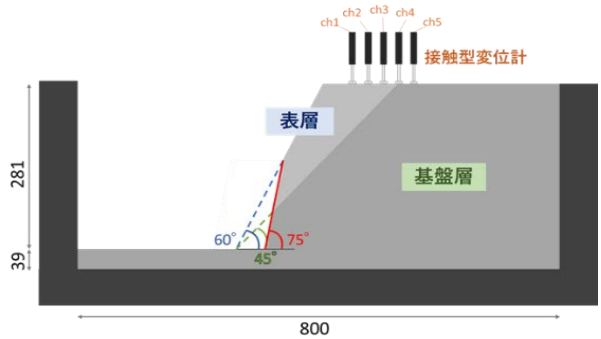

図 2 模型概略図（Case2）

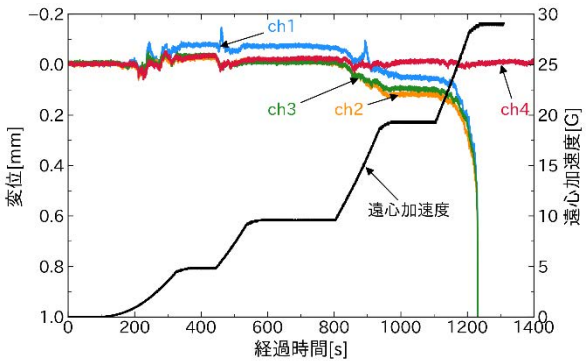

図 3 実験結果（Case1）

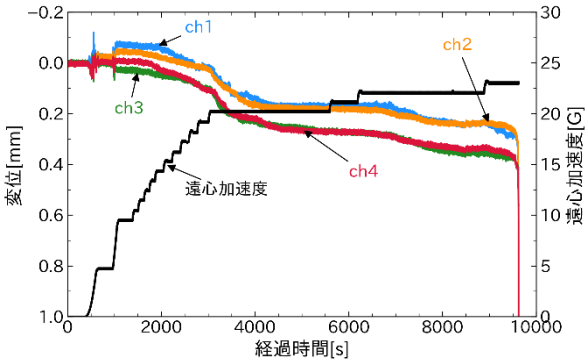

図 4 実験結果（Case2）

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

© Japan Society of Civil Engineers

3. 極限平衡法による斜面安定性評価

表層と基盤層の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極限平衡法を用いて斜面安定性評価を行う．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．以下に式を示す．

$$Fs = \frac{\tau A}{W sin\alpha} \qquad (1)$$

τ はせん断強さ[kN/m²]，A は不連続面積[m²]，W は表層の土塊重量[kN]，α は不連続面傾斜角[deg]である．このうち，せん断強さ τ が必要となるが，不連続面のせん断強さのモデル化について様々な研究が成されている．本報告では，最も一般的な Mohr-Coulomb の破壊基準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ーの少ない Barton and Choubey[2)]の式を適用し，それぞれの結果を比較した．なお，地盤強度は一面せん断試験から，粘着力 c=8.49kPa，内部摩擦角 φ=43.35°，残留摩擦角 φ_r=41.77°を用いた．

Barton and Choubey の式：Barton らの経験的なせん断強度基準を式(2)に示す．

$$\tau = \sigma \cdot tan\left\{JRC \cdot log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma}\right) + \varphi_b\right\} \qquad (2)$$

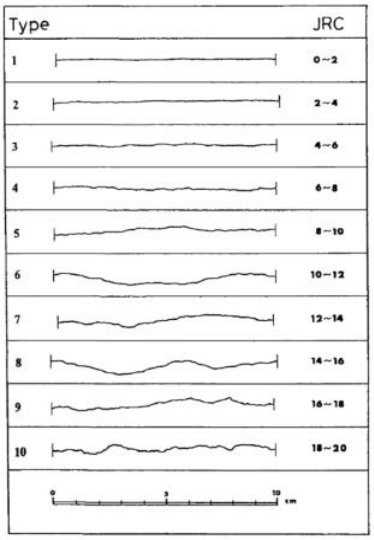

図 5 Barton の粗さの断面図例

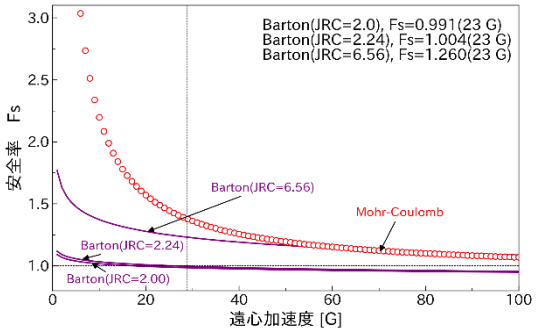

図 6 斜面安定性評価(Case2)

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．JRC 値は，Barton の粗さの断面図例(図 5)から視覚的に比較し値を決定する．遠心模型実験の不連続面を目視で決めると JRC=2.0 であり，また，一面せん断試験の結果を最小二乗法すると JRC＝6.56 という値が得られる．今回はこの 2 つの JRC 値を用いて検証を行う．

Barton の式から Case1 の遠心模型実験で崩壊した遠心加速度 28.9G で安全率が 1 を下回るように JRC 値を逆算すると，JRC=2.24 という結果が得られた．次にこの値も用いて Case2 のモデル斜面で斜面安定性評価を行った(図 6)．その結果，JRC=2.0 の時 17G，JRC=2.24 の時 25G，JRC=6.56 の時 229G で崩壊するという算出結果となった．Case2 の遠心模型実験結果では 23.1G で崩壊しているため，JRC=2.24 の時の算出結果と近い値となり Barton の式の有効性が確認された．

4. まとめ

人工軟岩を用いた遠心模型実験および室内土質試験の結果をもとに Mohr-Coulomb と Barton and Choubey の式の破壊基準から極限平衡法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) Mohr-Coulomb の破壊基準は，せん断強度を過大評価し危険側の評価となることがわかった．
2) Barton の式を適用した場合は，一面せん断試験結果から逆算した JRC 値では，遠心模型実験結果を正しく評価することはできなかったが，Case1 の遠心模型実験結果から逆算した JRC 値を用いて Case2 のモデル斜面を検証したところ，Case2 の遠心模型実験結果と近い値となった．JRC 値のわずかな差で崩壊が予想される遠心加速度が大きく変わるため，JRC 値の定量的な決定方法について，さらなる検証が必要である．

参考文献

1) 平岡伸隆ら：岩盤不連続面のせん断強度による斜面安定性の検討，土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会，III-40, 2020.
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.
3) Barton and Choubey : The shear strength of rock joints in theory and practice，Rock Mechanics，Vol. 10，No. 1-2，pp. 1-54，1977.

© Japan Society of Civil Engineers