

オーバーハングを有する岩盤斜面の安定性評価のための 3次元極限平衡解析

(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 日下部祐基
豊橋技術科学大学 正会員 三浦 均也
(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 伊東 佳彦
(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 表 真也

1. はじめに

1996年の一般国道229号豊浜トンネル崩落事故を契機に、筆者らは大規模岩盤崩落のメカニズム解明等を目的に遠心力模型実験を実施してきた。ここでは、遠心力模型実験結果をもとに岩盤斜面の安定度評価法として3次元極限平衡解析のソフト¹⁾を作成したので報告する。

2. 解析対象と実験条件

解析に用いたデータは、北海道の5岩盤斜面の遠心力模型実験データである。表-1に各岩盤斜面の代表的な構成岩石と崩落危険岩体高さ H (最大高さ)および遠心力模型実験で採用した模型縮尺を示す。

遠心力模型実験の実験ケースを表-2に示す。各岩盤斜面において切欠き高さ H_c 、浸食深さ Z および切欠き面交角 χ の異なる全23ケースである。ここで、切欠き高さ H_c とは、斜面背面に想定した既存亀裂の位置を示し、斜面底部に設定した基準面から切欠き先端までの高さを表している。切欠き面交角 χ とは、切欠き面が2面になる場合の交角であり、浸食深さ Z とは、基準面から下部の岩体を表面から任意の厚さ削り取った長さを示す。

3. 検討に用いた3次元極限平衡解析

3.1 極限平行解析の概要

極限平衡解析は、図-1に示すように崩落危険岩体を切欠き面(切欠き面が2面以上の場合は両端を結んだ直線)に垂直に分割して、各ブロックの起動モーメント M_d および抵抗モーメント M_r を累計し、その比(M_r/M_d)を岩盤安全率 F_s とする回転モーメントの釣り合いによる解析法を用いた。起動モーメント M_d と抵抗モーメント M_r を求める式を以下に示す。

$$M_d = W (X_g + \frac{2}{3} L_F \cdot \sin \theta) \quad (1)$$

$$M_r = \frac{L_F^2}{6} \sigma_t \quad (2)$$

ここに、 W : 崩落岩体の重量(N), θ : 進展亀裂の鉛直方向からの角度、時計回りを正とする($^\circ$), X_g : 切欠き先端の点aから崩落岩体の重心までの距離(m)、 σ_t : 岩盤の引張強さ(N/m²)、 L_F : 進展亀裂面の長さ(m)

表-1 対象岩盤斜面

| 斜面名 | 構成岩石 | 崩落危険岩体高さ H (m) | 模型縮尺 $1/n$ |
|-----|------|---------------------|---------------|
| K斜面 | 火砕岩 | 14.7 | 30 |
| H斜面 | 〃 | 6.7 | 15 |
| G斜面 | 〃 | 13.1 | 20 |
| T斜面 | 〃 | 34.7 | 60 |
| S斜面 | 〃 | 32.5 | 60 |

表-2 遠心力模型実験ケース一覧

| No. | 実験No. | 切欠き高さ H_c (m) | 浸食深さ Z (m) | 切欠き面交角 χ ($^\circ$) |
|-------|-------|--------------------|-----------------|-------------------------------|
| 1 | K-1 | 3.90 | 6.00 | 0 |
| 2 | K-2 | 3.00 | 6.00 | 0 |
| 3 | K-3 | 2.10 | 6.00 | 0 |
| 4 | K-4 | 3.00 | 3.60 | 0 |
| 5 | K-5 | 3.00 | 5.10 | 0 |
| 6 | K-6 | 3.00 | 6.00 | 15 |
| 7 | K-7 | 3.00 | 6.00 | 45 |
| ----- | | | | |
| 8 | H-1 | 1.80 | 0.00 | 0 |
| 9 | H-2 | 1.80 | 1.35 | 0 |
| 10 | H-3 | 1.80 | 0.60 | 0 |
| 11 | H-4 | 1.50 | 0.00 | 0 |
| 12 | H-5 | 1.20 | 0.00 | 0 |
| 13 | H-6 | 1.20 | 0.00 | 45 |
| ----- | | | | |
| 14 | G-1 | 3.83 | 3.50 | 0 |
| 15 | G-2 | 2.83 | 3.50 | 0 |
| ----- | | | | |
| 16 | T-1 | 10.39 | 10.00 | 67 |
| 17 | T-2 | 7.39 | 10.00 | 67 |
| 18 | T-3 | 4.39 | 10.00 | 67 |
| 19 | T-4 | 4.39 | 15.00 | 67 |
| 20 | T-5 | 4.39 | 20.00 | 67 |
| ----- | | | | |
| 21 | S-1 | 3.30 | 0.00 | 0 |
| 22 | S-2 | 3.30 | 2.00 | 0 |
| 23 | S-3 | 3.30 | 4.00 | 0 |

キーワード 岩盤、崩落、極限平衡解析、遠心力模型実験

連絡先 〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 (独)土木研究所寒地土木研究所 TEL:011-841-1775

3.2 岩盤安全率算出法

岩盤安全率の最小値を求める方法としては、以下の2種類の方法を用いた。

- (1) 想定亀裂面法：崩落面を切欠き先端の両端と崩落危険岩体表面の任意点を通る面として岩盤安全率を計算し、任意点を変化させて最小になる岩盤安全率を求める方法である。
- (2) 最小亀裂角法：崩落危険岩体を分割したときの分割断面毎に、切欠き先端から発生する亀裂の進展角度 θ を変化させて岩盤安全率を計算して、各分割断面の最小岩盤安全率になる起動モーメントと抵抗モーメントを求めて累計し、最小になる岩盤安全率を求める方法である。

4. 実験結果と考察

図-2に遠心力模型実験結果から求めた岩盤斜面安全率 F_{sm} (以下、実測安全率と呼ぶ：崩落加速度 n_f と模型縮尺の分母 n との比、 $F_{sm}=n_f/n$) と3次元極限平衡解析による想定亀裂面法および最小亀裂角法から求めた計算安全率の関係を示す。全体的な傾向としては、想定亀裂面法よりも最小亀裂角法により相関がみられ、想定亀裂面法の岩盤安全率が大きく算出されている。最小亀裂角法により相関がみられた理由としては、1例を図-3に示すように遠心力模型実験で生じた岩盤模型の崩落面が、最小亀裂角法の計算条件に近似したことが考えられた。最小亀裂角法による計算安全率との相関係数が0.746の高い相関性を示し、同法を用いた3次元極限平衡解析は、岩盤斜面の安定度評価法として有効であることが示唆される。ただし、実用的には両方の計算安全率を求めて小さい方の安全率を採用することが妥当と考える。

なお、本解析のプログラムソフトは、現在マニュアルと一緒に当研究所防災地質チームの下記ホームページで公開中である。

<http://chishitsu.ceri.go.jp/>

5. まとめ

- ・岩盤斜面崩落の3次元極限平衡解析と遠心力模型実験結果とに相関がみられ、特に分割断面毎に最小安全率を求めて計算する最小亀裂角法に良い相関が認められた。

参考文献：1) 日下部祐基，伊東佳彦，表真也，三浦均也：オーバーハングを有する岩盤斜面の安定度評価のための3次元極限平衡解析ソフトの開発，寒地土木研究所月報，No.681，pp21-32，2010。

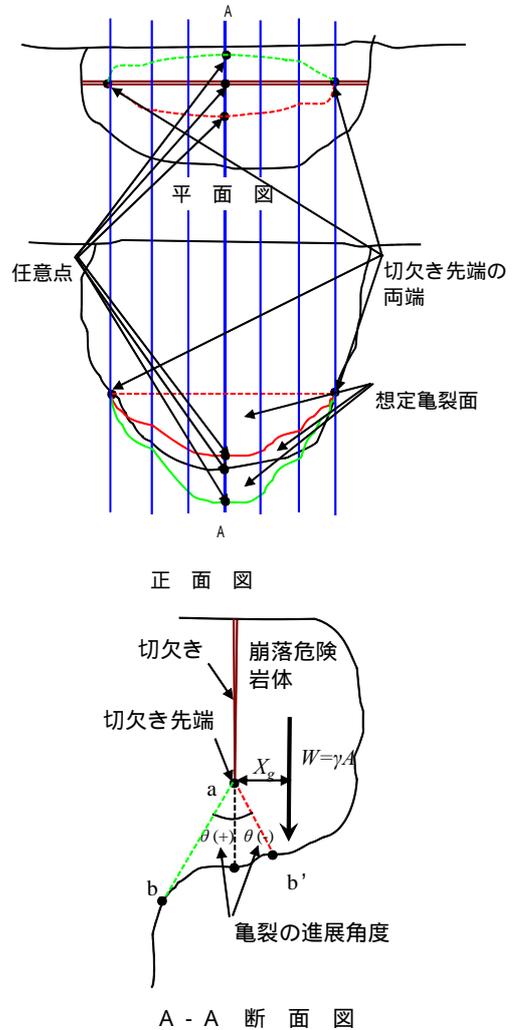


図-1 3次元極限平衡解析概念図

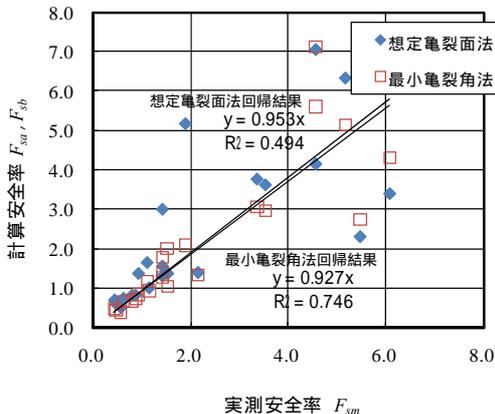


図-2 岩盤の実測安全率と計算安全率

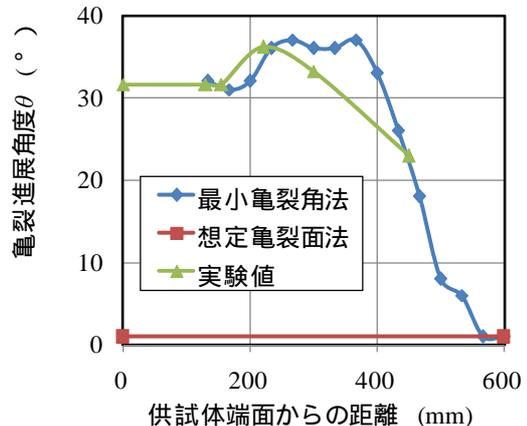


図-3 亀裂進展角の分布比較例(実験 No.K-1)