

ホブランド法による斜面の三次元安定解析プログラムの作成と計算

香川高等専門学校専攻科 学生会員 ○河野祐斗
香川高等専門学校 正会員 土居正信

1. はじめに

日本の国土は山地が多く、古くから斜面崩壊が頻発し、周辺の地域は多くの被害を受けてきた。この斜面崩壊の発生メカニズムを明確にすることは、被害の軽減や斜面安定に繋がり、現在の安定解析の課題となっている。

これまでの斜面安定解析は、実際の斜面形状をモデル化した二次元解析が主流であった。しかし実際に発生する地すべりは三次元の挙動を示すため、二次元解析では不十分となる場合がある。

そこで本研究では、ホブランド法による三次元斜面安定解析を行う。また、その結果と二次元斜面安定解析の結果を比較、検討する。

三次元安定解析の概念図¹⁾を図-1に示す。

2. ホブランド法の概要

ホブランド法は、二次元簡便法を三次元に拡張した解析手法である。一般に二次元解析では、不静定内力に仮定を設けて解析を単純化している。しかしこの理論を三次元解析に適用して不静定力を考えると、未知数が非常に多くなり単純化が難しい。そこでホブランド法では、二次元解析において、簡便法と厳密法で求めた安全率にあまり差が生じないことから、三次元解析でも不静定内力を考慮しない簡便法で解析を行うことを前提としている。

二次元解析のスライスに相当する計算の単位として、地すべり土塊の柱（要素柱）を用いる。こうした要素柱で地すべり土塊を表現することで、地表面およびすべり面の三次元的形状を計算に反映することができる。これによる利点として、地形やすべり面形状、地下水位が大きく変化する地すべりの安全率を評価できること、地すべりの三次元性状に応じた合理的な土工設計ができることなどがある。しかしホブランド法で解析をするためには、地形・地質・地下水位およびすべり面の分布など十分な情報量が必要となる。

3. 解析手順

1) 安定計算ブロックの指定

斜面安定計算を行う範囲を地すべりブロックとし

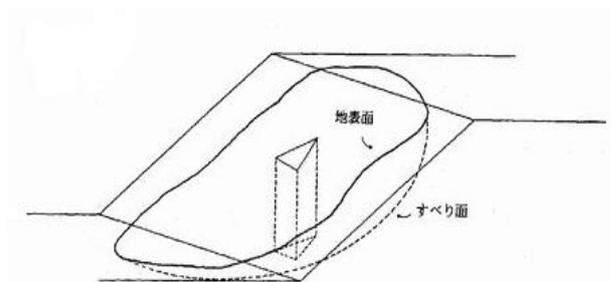


図-1 三次元斜面安定解析の概念図

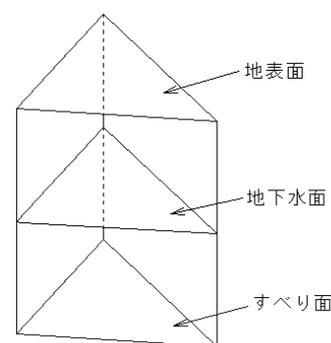


図-2 三角柱要素

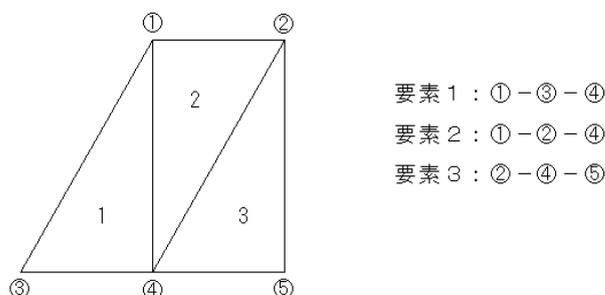


図-3 要素の定義

て指定する。

2) 地すべりブロックの分割

地すべりブロックを 100～3000 個程度の三角形に分割し、図-2 のような地表面・地下水面・すべり面で構成される三角柱の要素とする²⁾。

3) 三角柱要素の定義

分割された三角形要素と、それを構成する節点に番号を付け、それらを図-3 のように定義する。

4) 要素の形状計算

三角柱要素の体積と間隙水の体積を求める。体積を求める際の底面積はすべり面の正射影面積を用いる。

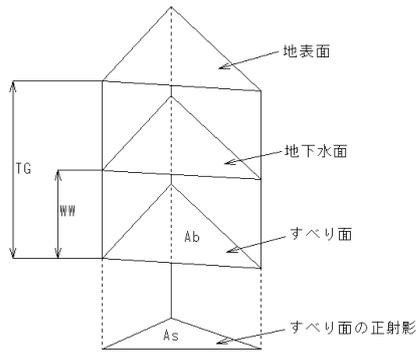


図-4 三角柱要素の諸量

この概念図を図-4に示す。すべり面の面積 A_b 、すべり面の正射影面積 A_s 、三角柱の平均高さ TG 、地下水位の平均高さ WW を計算し、以下の式で三角柱要素と間隙水の体積を求める。

$$\text{三角柱の体積} = A_s \times TG$$

$$\text{間隙水の体積} = A_s \times WW$$

5) すべり方向の計算

二次元安定解析では、あらかじめすべり方向が一方向に規定されているが、三次元安定解析では各要素によってすべり方向は異なる。そこでホブランド法では各要素のすべり面の最大傾斜方向をすべり方向として計算を行う。

6) 各要素の滑動力と抵抗力の計算

土柱重量、間隙水圧による垂直力、すべり面の傾斜角などから、各要素の滑動力、抵抗力をそれぞれ X 、 Y 方向成分で求める。

7) 安全率の計算

抵抗力の合力 T_f を滑動力の合力 T で除して安全率 F_s を算出する。

$$F_s = T_f / T$$

4. 二次元安定解析との比較

本研究ではヤンプ法を用いた二次元解析を行う。ただし不静定内力は考慮していない。よって安全率計算式は以下ようになる。

$$F_s = \frac{1}{\sum W \tan \alpha} \sum \frac{\left\{ c + \left(\frac{W}{\Delta X} - u \right) \tan \phi \right\} \Delta X (1 + \tan^2 \alpha)}{1 + (\tan \alpha \tan \phi / F_s)}$$

ここで、 W : 各要素の自重、 u : 間隙水圧、 c : 粘着力、 ϕ : 内部摩擦角、 ΔX : 各要素の幅、 α : 各要素のすべり面の傾斜角である。

この式には両辺に F_s が存在し、直接解くことができ

表-1 ホブランド法

$C(\text{kN/m}^2) \setminus \phi(^{\circ})$	5	10	15	20	25	30
5	0.21	0.37	0.54	0.71	0.90	1.10
10	0.26	0.42	0.59	0.77	0.95	1.15
15	0.31	0.48	0.64	0.82	1.00	1.21
20	0.37	0.53	0.69	0.87	1.05	1.26

表-2 ヤンプ法

$C(\text{kN/m}^2) \setminus \phi(^{\circ})$	5	10	15	20	25	30
5	0.18	0.34	0.50	0.67	0.85	1.05
10	0.21	0.37	0.53	0.70	0.88	1.08
15	0.24	0.40	0.56	0.73	0.91	1.10
20	0.27	0.42	0.59	0.76	0.94	1.13

ない。よって収束計算を行って安全率 F_s を求める。

5. 解析結果と考察

地表面とすべり面を一定、地下水面を無しとして解析を行った結果を表-1、表-2に示す。表-1はホブランド法による三次元解析結果、表-2はヤンプ法による二次元解析結果である。

両解析結果を比較すると、ホブランド法による安全率はヤンプ法による安全率に比べて約 1.1 倍大きい値となった。解析結果の誤差は、地下水位を考慮した場合に特に大きくなった。これは、二次元解析では水圧の大きさを正確に考慮できていないことが原因と考えられる。さらに地下水位が高くなった場合、二次元解析では不確定な安全率しか得られない可能性が高い。また、すべり面を下げ、すべり土塊を大きくした場合も両解析結果には大きな誤差が生じた。これは両解析の奥行き考え方が異なることが原因と考えられる。

6. まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 地盤の粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ は斜面安定に大きく影響している。
- 2) 地下水位を考慮して解析を行う場合、二次元解析では不十分となる。
- 3) 水圧、土圧を正確に考慮できるため、三次元解析を行う必要がある。

今後は、地震動を考慮した二次元解析手法であるニューマーク法と組み合わせることで、地震動を考慮できる三次元解析プログラムを作成する。

参考文献:

- 1) 土木研究所: Hovland 法による地すべり三次元安定解析手法, 1985
- 2) 太田ジオリサーチ: 地すべりの三次元安定解析, 1999