

斜面安定解析に関する一考察

鹿児島大学工学部 学生員 山田満秀
鹿児島大学工学部 正 員 北村良介

1. まえがき

1993年夏の鹿児島豪雨の際には、断続的に繰り返された集中豪雨によって多数の斜面崩壊が発生した。従来から地盤工学の分野では種々の斜面安定解析手法が提案されてきているが、これらの手法は極限平衡法の範疇に属するものであり、不静定問題となっている¹⁾。これらの手法はしらす斜面の安定解析には適用が困難であることが指摘されており^{2), 3)}、1993年鹿児島豪雨災害でもほとんどの斜面崩壊が従来の斜面安定解析の適用が困難な崩壊であった。

本報告では、従来の斜面安定解析を不静定問題とみなし、しらす斜面の安定解析に適用することが可能かどうかについて若干の考察を加えている。

2. 従来の斜面安定解析⁴⁾

以下の議論で用いる強度パラメータ、 C' 、 ϕ' はすべて有効応力表示である。

①無限斜面法：図-1に示すようにすべり面の形が斜面表面と平行になっている場合の解析法である。この場合は水平方向と鉛直方向の力のつり合いを考えると未知数と条件式の数が一致し、静定問題として解が得られ、安全率は次式で定義される。

$$F_1 = \frac{S}{T} = \frac{C' + (W \cos \alpha - U - U_f) \tan \phi'}{W \sin \alpha} \quad (1)$$

ここに、 S ：すべり面で発揮されるせん断抵抗力、
 T ：滑動を抑制するために必要なせん断抵抗力、
 C' ：粘着力、
 ϕ' ：内部摩擦角、
 U ：スライス底面に働く中立間隙水圧の合力、
 U_f ：せん断によってスライス底面に生ずる破壊時の間隙水圧の合力。

②スウェーデン法：円弧すべり面を仮定し、円弧土塊をスライスに分け（分割数 n ）、スライス面間の力については次式が成り立つと仮定している（図-2参照）。

$$H_n - H_{n+1} = 0 \quad (2), \quad V_n - V_{n+1} = 0 \quad (3)$$

そして、安全率を次式で示すように円弧の中心に関する全スライスの滑動モーメントと抵抗モーメントの比として定義している。

$$F_s = \frac{M_R}{M_D} = \frac{\sum \{C' * l + (W \cos \alpha - \Delta E \sin \alpha - U - U_f) \tan \phi'\}}{\sum (W \sin \alpha + \Delta E \cos \alpha)} \quad (4)$$

ここに、 M_R ：全スライスの抵抗モーメント、
 M_D ：全スライスの滑動モーメント。

この手法では未知量 $(5n - 1)$ 個、条件式 $(3n + 1)$ 個であり、不静定次数は $(2n - 2)$ となる。

③ビショップ法：この手法はスウェーデン法で仮定した(2)、(3)式を次式で示すように修正した解析法である。

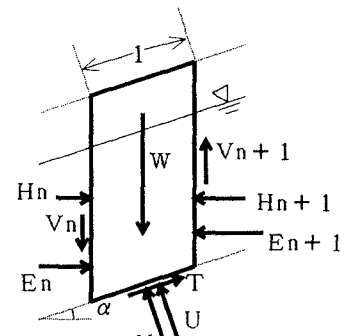


図-1 スライスに働く力（無限斜面法）

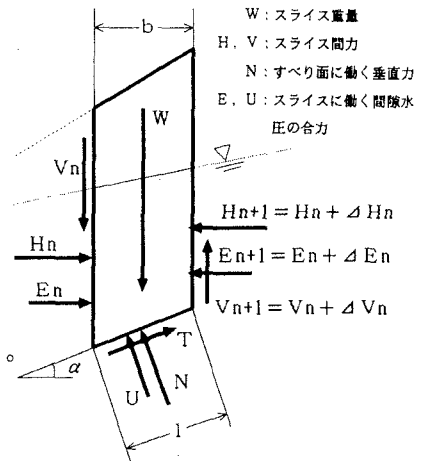


図-2 スライスに働く力（スウェーデン法・ビショップ法）

$$\sum (H_{n+1} - H_n) = \sum \Delta H = 0 \quad (5) \quad , \quad \sum (V_{n+1} - V_n) = \sum \Delta V = 0 \quad (6)$$

そして、安全率は土が発揮可能なせん断力抵抗 S と斜面の安定に必要なせん断抵抗力 T の比であるということをも前提として、すべり円弧の中心に関する全スライスの滑動モーメントと抵抗モーメントがつり合っていると仮定し、次式で定義している。

$$F_s = \frac{S}{T} = \frac{\sum [C' * b + (W - \Delta V - (U + U_r) \cos \alpha) \tan \phi'] / ma}{\sum (W * \sin \alpha + \Delta E * \cos \alpha)} \quad (7)$$

$$ma = \cos \alpha (1 + \tan \phi' * \tan \alpha / F_s) \quad (8) \quad , \quad S / F_s = (W - \Delta V) \sin \alpha + (\Delta H + \Delta E) \cos \alpha \quad (9)$$

上式において、安全率は陽な形では求められていないので、試行錯誤法によって求めることになる。この手法では未知量 $6n$ 個、条件式 $5n$ 個で不静定次数は n である。

④ヤンプー法：ビショップ法と同様に安全率が土が発揮可能なせん断力抵抗 S と斜面の安定に必要なせん断抵抗力 T との比であるとし、水平方向の力のつり合いを考え、水平方向のスライス間力の和がゼロになる（図-3 参照）ことより、安全率は次式のように定義される。

$$F_j = \frac{S}{T} = \frac{\sum [C' * b + (W - \Delta V - (U + U_r) \cos \alpha) \tan \phi'] / mb}{\sum \{\Delta E + (W - \Delta V) \tan \alpha\}} \quad (10)$$

$$mb = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha * \tan \phi' / F_j) \quad (11)$$

図-3 において底面に作用する N の作用点 m に関するモーメントのつり合いを考えると次式が導かれる。

$$\begin{aligned} V = & -H * \tan \beta_1 - \Delta H * h_1 / b + E \{ (h_1 - h_r) / b - \tan \alpha \} \\ & - \Delta E \{ h_r / b + (1 - \zeta) \tan \alpha \} + U (\zeta - \xi) / \cos \alpha \\ & - \Delta V (1 - \zeta) + \Delta H (\zeta * \tan \alpha - \tan \beta_1) \end{aligned} \quad (12)$$

アンダーラインの部分を見直し、さらに次式で示される境界条件を仮定した。

$$V_l = V_{n+1} = 0 \quad (13) \quad , \quad H_l = H_{n+1} = 0 \quad (14)$$

$$h_t l = h_{t n+1} = 0 \quad (15) \quad , \quad E_l = E_{n+1} = 0 \quad (16)$$

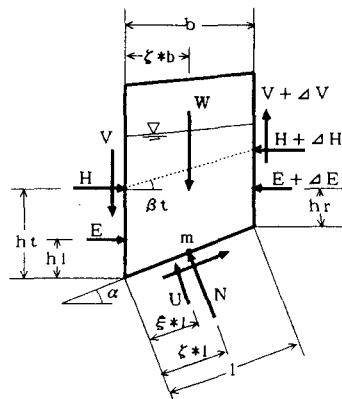


図-3 スライスに働く力（ヤンプー法）

この手法では未知量 $(7n - 1)$ 個、条件式 $6n$ 個で不静定次数は $(n - 1)$ となる。

以上のように、従来の斜面安定解析では無限斜面法を除いて不静定問題となり、何らかの仮定を更に付け加えることによって解を求めることになる。しらす斜面崩壊は平面すべりの場合が多いことを考慮すると、従来の斜面安定解析手法の中では無限斜面法が合理的である。しかし、そこで用いられている強度パラメータ C' 、 ϕ' の求め方が次の問題となる⁵⁾。

3. あとがき

従来の斜面安定解析をレビューすることにより、しらす斜面崩壊への適用について若干の考察を加えた。しらす斜面の安定問題を考える時、不飽和浸透の問題、風化の問題が重要であり、従来の地盤工学の成果を援用しながら、別の発想によるアプローチが必要であると考える。

【参考文献】

- 1) 榎：各種スライス法の妥当性に関する議論の終焉のために、建設省土木研究所講演資料、1994。
- 2) 村田、山内、後藤：引張強度に着目したしらす切土斜面の安定性について、土木学会論文集、第343号、pp. 15-24、1984。
- 3) 山内：しらす切土斜面に関する工学的問題点、斜面安定協会九州支部技術講演会資料、1994。
- 4) 土木学会編、斜面安定解析入門、pp. 27~65、1989。
- 5) 北村、山田：一面せん断試験と不飽和三軸試験の比較、「直接型せん断試験の方法と適用」に関するシンポジウム、1995（投稿中）。