

ブロックすべりを考慮した斜面の安定解析法

愛媛大学工学部 正 榎明潔・矢田部龍一 学○矢野雅教

1 まえがき

一般に斜面の安定解析法は、不静定問題であり静定化するため何らかの仮定を設けている。その仮定の違いによって様々な方法が考えられており、考案者の名前を付して示されている。ここでは忠実に安定解析の本質に添う、より合理的な斜面の安定解析法をブロックすべりを考慮することによって検討し、その立場から従来の各種安定解析法のスライス側面力の意味を考え直し、各方法間の比較を行う。

2 従来の斜面安定解析法と問題点

従来の斜面安定解析法の問題は次の2点である。

(1) スライス側面力が適切である条件として、側面力の鉛直、水平成分の間に次式のような摩擦体としての妥当な関係があること $|X_i| \leq E_i \tan \phi + c l_i$ (Whitman の側面力に関する条件)

(2) 数値解析の方法

Fellenius法では左右の側面力の合力 Q_i がスライス底面に平行と仮定しているが、たとえば、右端の三角形スライスでは右側の側面力がないので結局左側の側面力がスライス底面に平行と仮定していることになる。端部ではスライス底面の傾斜が急なので、たとえば $c=0$ 、 $\phi=30^\circ$ の場合には、Fellenius法ではWhitmanの側面力に関する条件を満たせないことになる。すなわち、Fellenius法のような側面力についての強引な仮定は、力学的に矛盾をきたすことになる。

3 内部摩擦面を考慮した斜面安定解析法の原理

すべり土塊がいくつかのブロックに分かれており、すべり土塊の外部だけでなくブロック間にも内部摩擦面がある場合についての斜面安定解析法を考える。

外部摩擦面および内部摩擦面がそれぞれ平面の集合であり、すべり面は上に凹とする。ひとつのすべり面 i には垂直力 P_i 、せん断力 T_i 、クーロン規準で表わされるせん断強度 S_i があるが、このすべり面での安全率を $F_{s,i}$ とすると次の式が成立する。

$$T_i = S_i / F_{s,i} = (P_i \tan \phi_i + c_i l_i) / F_{s,i}$$

もし、全すべり面の安全率が等しく $F_{s,i} \equiv F_s$ 、すなわち、全すべり面の安全率に関する未知数を1個に減ずることができるなら、ブロック数を n 、すべり面数を m とすると $2n = m + 1$ なら釣り合い式のみで P_i 、 T_i 、 $F_{s,i}$ を求めることが可能である。ところで、ブロックが地表面に対し平行に1列に並んでいるような場合(図1)には偶然にも上記の静定条件は満たされる。

ここで主要な式を示す。図3に示した第 i ブロックの水平方向の釣り合い式は右側の内部すべり面の番号を $j-1$ 、左側の内部すべり面の番号を j 、底部の外部すべり面の番号を k 、すべり面が水平面となす角を反時計回りに計って θ 、すべり面の長さを1として次式の通りである。

$$P_{j-1} \sin \theta_{j-1} + \text{sign}(R_{j-1}) \cdot T_{j-1} \cos \theta_{j-1} - P_j \sin \theta_j - \text{sign}(R_j) \cdot T_j \cos \theta_j + P_k \sin \theta_k - T_k \cos \theta_k = 0$$

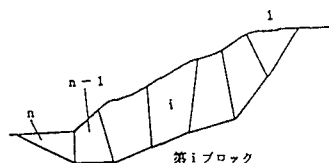


図1 1列に並んだブロック

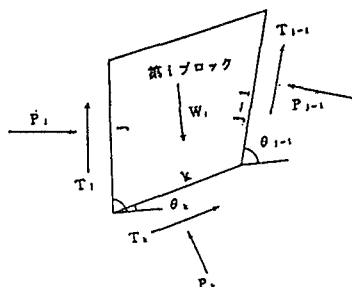


図2 ブロックに働く力

鉛直方向の釣り合い式も同様である。

全ブロックについて得られた式を書き下すと未知数が $P_1 \sim P_{2n-1}$ と F_s である $2n$ 元連立方程式を得る。これは $P_1 \sim P_{2n-1}$ に関しては線形である。実際の数値解析にあたってはまず F_s を仮定し、 $2n-1$ 個の連立方程式から $P_1 \sim P_{2n-1}$ を求め、この解を残った $2n$ 番めの方程式に代入して F_s を求める。そして、仮定した F_s が求められた F_s に等しくなるまでトライアルに F_s の値を変えて繰り返す。ここでは、平均20回程度の繰り返しで仮定した F_s と求めた F_s を0.001以下の精度で一致させている。

3.1 エネルギーについての検討

求められた安全率にはエネルギーから考えて次に述べる特徴がある。

斜面が崩壊するとき、重力のする仕事を E_g とする。同じ崩壊形態については E_g は同じである。外部摩擦面での摩擦仕事を E_{s0} 、内部摩擦面での摩擦仕事を E_{s1} とすると、

$$E_g = E_{s0} + E_{s1}$$

が常に成り立つ。ところで、内部摩擦面での強度定数を $c=0$ 、 $\phi=0$ （あるいは安全率を無限大）とした解析では $T_1=0$ であるから $E_{s1}=0$ であり、内部摩擦面での安全率を1とした解析では、 T_1 は考えられる最大値となるから E_{s1} は考えられる最大値をとる。したがって、内部摩擦面での強度定数を $c=0$ 、 $\phi=0$ とした解析では全入力エネルギーが外部摩擦面のみに向けられるためそこで定義されている安全率は最小値をとる。一方、内部摩擦面での安全率を1とした解析では、全入力エネルギーが内部摩擦面と外部摩擦面の両方に向けられるため、安全率は最大値をとる。

3.2 計算例

図3に示す通りである。Fellenius法と本方法を最小安全率とその時のすべり面形状と比較した。本方法ではスライス数の増加は10個以上では安全率にほとんど影響せず、スライス角の影響が強いことが他の計算でわかった。また、Janbu法との位置づけも本方法との比較により明確となった。

4 あとがき

本方法は、Whitmanの側面力に関する条件を満たす解を簡単に求める方法であり、他の方法を評価する基準を与えることができる。また本方法でのプログラムは、FORTRAN で書いても簡単に、micro-computer を用いて十分に解ける。

参考文献

- 1) 2つの斜面安定解析法の提案、土木学会論文集、第370号、pp 261~270。
- 2) Whitman, R. V. & Bailey, W. a.: Use of Computer for Slope Stability Analysis, ASCE, SM4, pp475~498, 1967

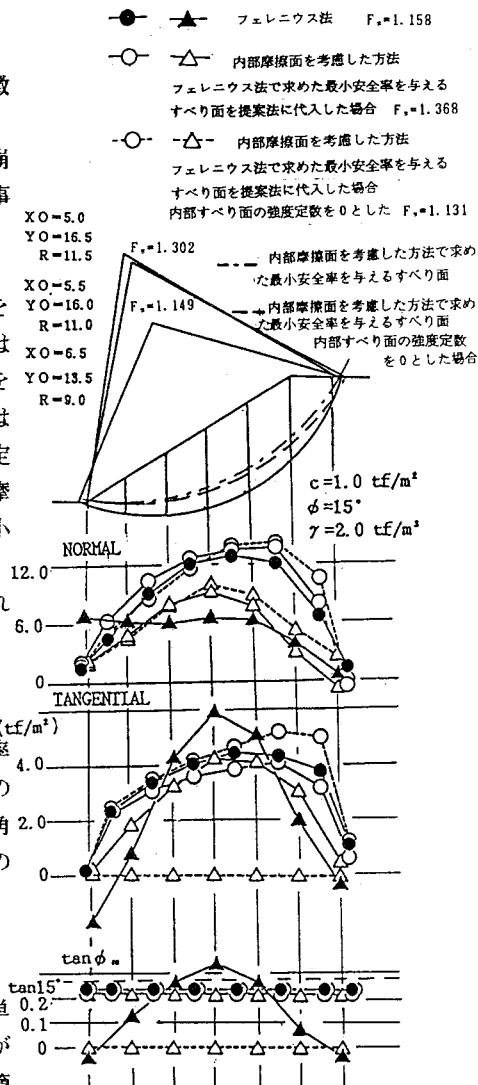


図3 各方法による比較