

仙台市役所 正員 鈴木敏充

東北学院大学 正員 新田 讓

東北学院大学 正員 阿部泰夫

まとめがき： 一般に斜面安定計算は、試算によって最小安全率  $F_{s\min}$  を求めている。しかし、多様な要因をもつ斜面の  $F_{s\min}$  を適確に求める作業は、時間を要し困難である。こゝでは、参考として仮定を与え、単純な円形滑動における特性の析出を試みた。

計算仮定 計算仮定を次のように定めた。

- 1) 斜面は、一定勾配で単一土質から構成されているものとする。従って、強度定数( $c$ ,  $\phi$ )、湿潤密度 $\gamma$ を一定と考える。
- 2) 滑動は、円形滑動とする。また、滑動の始点と終点が斜面上に位置すると考える。(図-1参照のこと)
- 3) 間ゲキ水压、地震力は無視する。

計算方法 計算は、図-1に示す様に $ds$ の積分により求める。こゝで滑動中心 $O$  点の位置は滑動中心位置 $\beta$ で示す。 $\beta$ は滑動始点と $O$  点及び $O$  点から斜面に平行に引いた直線の夾角である。

このでは、 $F_s$ を粘着力 $C$ による安全率 $F_{sc}$ とせん断抵抗角 $\phi$ による安全率 $F_{s\phi}$ とに分けて式を示す。

$$F_S = F_{Sc} + F_{S\phi}$$

$$F_{sc} = \frac{\sum C l}{\sum W \sin \theta} = \frac{C R \int_0^{\pi-2\beta} d\epsilon}{\frac{\frac{1}{2} R^2}{\cos \alpha} \int_0^{\pi-2\beta} \cos \theta \sin \theta \{ \sin(\theta + \epsilon) - \sin \theta \} d\epsilon}$$

$$F_{s\phi} = \frac{\sum W \cos \alpha \tan \phi}{\sum W \sin \theta} = \frac{\frac{1}{2} R^2 \tan \phi}{\cos \alpha} \int_0^{\pi-2\beta} \cos^2 \theta \{ \sin(\theta + \epsilon) - \sin \theta \} d\epsilon$$

これを解いて

$$F_S = F_{SC} + F_{S\phi}$$

$$F_{SC} = \frac{3C(\pi - 2\beta)}{2R r_x \cos^3 \beta \sin \alpha}$$

$$F_{3\phi} = \tan \phi \cdot \frac{2(\cos^2 \alpha + 1) \cos \beta - \cos 2\alpha \cos \beta \sin^2 \beta - 3\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \sin \beta}{\cos^3 \beta \sin 2\alpha}$$

左の式で

C: 粘着力      R: 滑動半径

 $\phi$ : セン断抵抗角 $\rho$  : 濕潤密度 $\alpha$  : 斜面の傾斜角

$\beta$  : 滑動中心位置 ( $\beta/\frac{\pi}{2} > \beta \geq 0$ )

$\theta$  : 滑動面の法線と重力ベクトルとの夾角

$$\varepsilon: d\varepsilon \text{ の位置 } (\varepsilon/\pi - 2\theta \geq \varepsilon \geq 0)$$
 $d\varepsilon$  : 積分微小角度

単純な円形滑動の特性 以上の式から、粘着力とせん断抵抗角によるそれぞれの滑動特性をみる。

a)  $F_{sc}$  について、図-2は、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\frac{C}{R_{1/2}}$ の三軸上に  $F_{sc} = 1.0$  及び  $2.0$  の Contour Plate を描いたものである。

この図から  $\beta$  の影響の大きさが理解できる。Center Plate は、 $\beta = 15^\circ$  付近で極値をとり  $\beta \rightarrow 0$  の時に最大の作用をもたらすことを示している。つまり、C が最層の滑動に對して有効に作用することを示している。

また、 $\alpha$  が小さいほど安全であり、 $\frac{C}{R_N}$  が大きいほど安全となる。但し、 $R$  は  $\infty > R > 0$  の領域をもつため、

現実的な  $R$  の値域が必要となる。

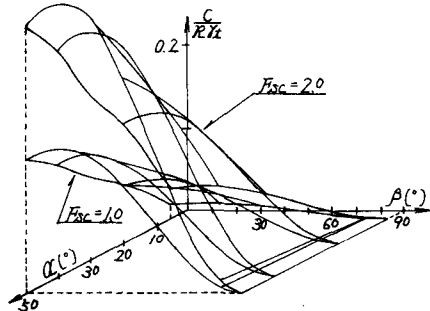


図-2 FSC の Counter Plate

b)  $F_{\text{sp}}$  について、図 7  
3 は、 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\phi$  の  
三軸上に  $F_{\text{sp}} = 1.0$   
及び 2.0 の Contour  
Plate を描いたもの  
である。この図から  
 $\phi$  が  $\beta$  の小さな滑動

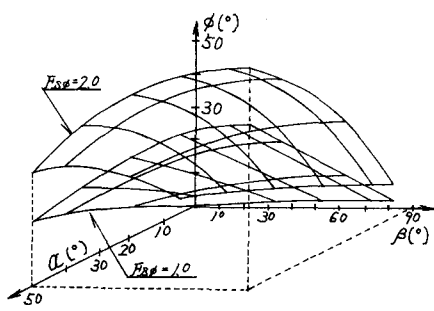


圖-3  $F_{50}$  of Center Plate

に対して有効であることが理解できる。また、当然ながら $\alpha$ が小さいほど安全であり、 $\phi$ が大きいほど安全となっている。

具体的な計算例： 計算値を次のように仮定する。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{斜面の傾斜角} & \alpha = 25^\circ \\ \text{土の単位体積重量} & \gamma = 1.85 \text{ t/m}^3 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{ll} \text{粘着力} & C = 0.05 \text{ t/m}^2 \\ \text{せん断抵抗力} & \phi = 24^\circ \end{array} \right.$$

この条件より、せん断抵抗力及び粘着力による安全率をみてみる。

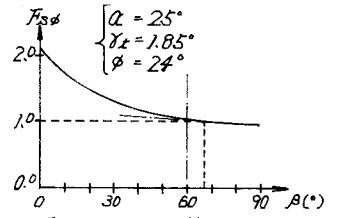


図-4  $F_{sd}$ 曲線

a)  $\phi$ による安全率 図-4は、 $\phi$ の値に対する $F_{sd}$ を描いたものである。この図から、 $F_{sd}$ が $\phi$ の値が大きくなるに従って小さくなることが理解できる。つまり、 $\phi$ は深層的な滑動（ここでは、 $60 \geq \beta \geq 0$ ）に対して有効であることを示している。今回の仮定（ $\alpha = 25^\circ$ 、 $\phi = 24^\circ$ ）で $\beta \geq 6^\circ$ 以上で $F_{sd} = 1.0$ 以下を示している。

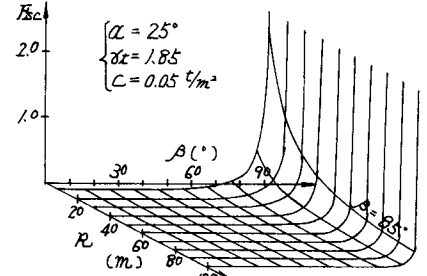


図-5  $F_{sc}$ 曲面

b)  $C$ による安全率 図-5は、 $F_{sc}$ 、 $\beta$ 、 $R$ を三軸として $F_{sc}$ を描いたものである。この図で $C$ は、 $\beta = 60^\circ$ 付近から作用を始め、 $\beta = 80^\circ$ 以上で急激な作用を起している。また、 $R$ が大きくなるに従って $F_{sc}$ が小さくなる。特に、 $C = 0.005 \text{ t/m}^2$ と小さい値でも、 $C$ が表層的な滑動（ここでは、 $\beta \geq 80^\circ$ ）に対して有効であることを理解できる。

c)  $C$ 、 $\phi$ の合成による安全率 図-6は、 $C$ と $\phi$ の安全率も合成したものである。この図からも $C$ と $\phi$ による特性の違いが出ている。 $C$ は、 $\beta = 80^\circ$ 程度以上の滑動抵抗力を有効に発揮する。 $\phi$ は、 $\beta = 60^\circ$ 程度以下の滑動抵抗力を有効に発揮する。従って、 $C$ 、 $\phi$ を合成すると $\beta = 70^\circ$ 付近で最小値を示している。また、合成の結果として、図-4の $\beta \geq 6^\circ$ 以上で $F_{sd} = 1.0$ 以下を示す部分が $C$ に補われて安全を保っている。つまり、 $C$ と $\phi$ は互に危険な部分を補い合って斜面の安定を保つ特徴がある。

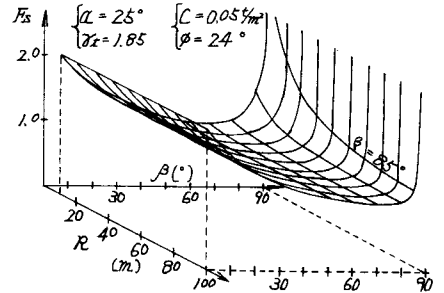


図-6  $F_s$ 曲面

考察：今回の結果から、次のような特性を持つことが理解できた。

- 1)  $C$ は、表層的な滑動に対する滑動抵抗力を発揮する。
- 2)  $\phi$ は、深層的な滑動に対する滑動抵抗力を発揮する。
- 3) 斜面の安定は、 $C$ 及び $\phi$ の相互作用によって保っている。今回の仮定では、 $\beta = 70^\circ$ 付近で最小値を示している。

土の強度定数は、密度、飽和度、構造等により変化する。特に、土質構造物は、飽和度が高くなると $C$ が低下する。また、斜面崩壊時の土の強度定数は、一般に $C \rightarrow 0$ となることが知られている。つまり、長期降雨、強度の降雨等により表層的な滑動崩壊が生じやすいことが考えられる。発展として、向ヶき水圧、地震力等の多様な要素を含めて考える必要がある。また強度定数について、飽和度特性の必要性が生じてきているのではないだろうか。最後に、一定条件下の法面の影響を図-7、8に示しておく。（条件： $C = 0.2 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi = 6^\circ$ 、 $R = 50 \text{ m}$ 、 $\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ ）

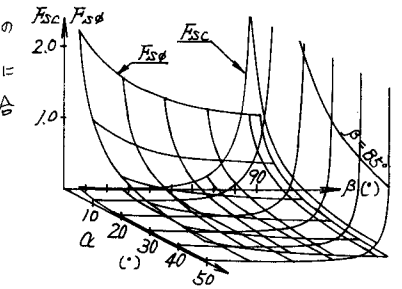


図-7 斜面の傾斜角による影響

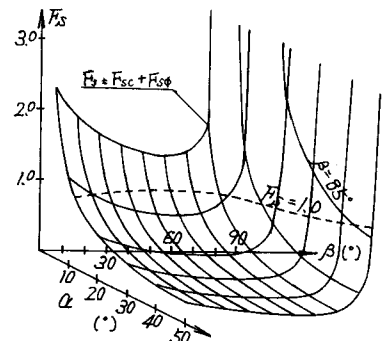


図-8 斜面の傾斜角による影響