

の形で求められ、それぞれ

$$\begin{aligned} T &= T_1 - T_2 + T_3 \\ &= \int_{-\theta_y}^{\theta_y} dW \cdot \sin(\alpha + \rho) - \int_{-(\theta_x + \delta)}^{(\theta_x - \delta)} dW \cdot \sin(\alpha + \rho) + W_3 \cdot \sin \beta \quad \dots (2.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= N_1 - N_2 + N_3 \\ &= \int_{-\theta_y}^{\theta_y} dW \cdot \cos(\alpha + \rho) - \int_{-(\theta_x + \delta)}^{(\theta_x - \delta)} dW \cdot \cos(\alpha + \rho) + W_3 \cdot \cos \beta \quad \dots (2.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= L_1 - L_2 + L_3 \\ &= 2r(\theta_y - \theta_x + \sin \theta_x) \quad \dots (2.3) \end{aligned}$$

$\therefore dW$: すべり面に載る微少スライスの重さ, W_3 : 台形 $A'B'B''$ の土塊の重さと表すことができる。

2. 2 臨界すべり面の条件式

臨界すべり面の条件は基岩面条件により異なるため、これらの取扱いを簡便にすべく諸数値をできるだけ無次元化した。サフィックス 0 を伴うものがこれである。

なおここでは断面全体について r_u が一定の場合のみを考える。いま, r_u 一定対応の修正フェレニウス式の分子分母を $\omega r^2 / \cos \alpha$ で除し、右辺分子の $(1 - r_u) \tan \phi'$ を外にくくり出して

$$\begin{aligned} F &= \frac{c' L + (1 - r_u) \tan \phi' \cdot N}{T} \\ &= \frac{\frac{c' \cos \alpha}{\omega (1 - r_u) \tan \phi'} \cdot \frac{L}{r^2} + N / \frac{\omega r^2}{\cos \alpha}}{T / \frac{\omega r^2}{\cos \alpha}} \quad \dots (2.4) \end{aligned}$$

ここで、無次元値 K_0, M_0, N_0, T_0

$$K_0 = \frac{c' \cos \alpha}{\omega \lambda (1 - r_u) \tan \phi'} \quad , \quad K_0: \text{臨界安定数 (= 定数)} \quad \dots (2.5)$$

$$M_0 = \lambda \frac{L}{r^2} \quad , \quad M_0: \text{すべり面の規模に関する無次元値}$$

$$N_0 = N / \frac{\omega r^2}{\cos \alpha} \quad , \quad N_0: \text{法線分力の和の無次元値}$$

$$T_0 = T / \frac{\omega r^2}{\cos \alpha} \quad , \quad T_0: \text{接線分力の和の無次元値}$$

を導入すると、(2.4)式は

$$\begin{aligned} F &= (1 - r_u) \tan \phi' \cdot \frac{K_0 M_0 + N_0}{T_0} \\ &= (1 - r_u) \tan \phi' \cdot F_0 \quad \dots (2.6) \\ \therefore F_0 &= \frac{K_0 M_0 + N_0}{T_0} \end{aligned}$$

で示される。(1 - r_u) tan φ' = 定数であり, F_{0min} で F_{min} となることから, F₀ を θ_x または θ_y で偏微分して F_{0min} の条件が定まる.

$$F_0' = \frac{(K_0 M_0' + N_0') T_0 - T_0' (K_0 M_0 + N_0)}{T_0^2} = 0$$

$$\therefore K_0 = \frac{T_0' \cdot N_0 - T_0 \cdot N_0'}{M_0' \cdot T_0 - M_0 \cdot T_0'} \dots \dots \dots (2.7)$$

ここで M₀', N₀', T₀' を

$$\frac{d}{d\theta_x} M_0 = (M_0)_x, \quad \frac{d}{d\theta_y} M_0 = (M_0)_y$$

のように表すものとすれば,

$$\begin{aligned} K_0 &= \frac{(T_0)_x \cdot N_0 - T_0 \cdot (N_0)_x}{(M_0)_x \cdot T_0 - M_0 \cdot (T_0)_x} \\ K_0 &= \frac{(T_0)_y \cdot N_0 - T_0 \cdot (N_0)_y}{(M_0)_y \cdot T_0 - M_0 \cdot (T_0)_y} \end{aligned} \dots \dots \dots (2.8)$$

の2式を同時に満たす θ_x と θ_y の組が求める臨界円の解である. なお, 上式を解析学的に解くことは不可能であり, 本報ではNewton-Raphson近似解法によって解を得た.

3. 円弧すべりと比較

与えられた K₀ 値から算出された θ_x, θ_y の組について, θ_x = 0 であれば臨界すべり面は基岩面によって切り取られない, すなわち基岩面に接する円弧すべりが最も危険となる. 逆に, θ_x > 0 であれば複合すべりの方が危険ということである.

一方, 複合すべりと円弧すべりの安全率 F の式を比較すると²⁾

$$\begin{aligned} \text{複合: } F &= (1 - r_u) \tan \phi' \cdot F_0 \\ \text{円弧: } F &= (1 - r_u) \tan \phi' \cdot F_\alpha \quad \therefore F_\alpha = \frac{F_0 + 1 + \cos 2\alpha}{\sin 2\alpha} \end{aligned}$$

である. 一般に (1 - r_u) tan φ' ≠ 0 であるから,

$$\text{複合: } F_0 \rightarrow \text{大} \text{ で } F \rightarrow \text{大}$$

同様に

$$\text{円弧: } F_\alpha \rightarrow \text{大} \text{ で } F \rightarrow \text{大}$$

となり, r_u と tan φ' が等しければ, 同一の K₀ に対応する複合すべりの F₀ と, 円弧すべりの F_α とを比較して, 値の小さいすべりの方が危険であると論じてよい.

種々の α, β で計算した結果, 得られた解すべてが θ_x > 0, かつ F₀ < F_α であった. このことから, 単斜基岩面において, 同一の基岩面条件と K₀, すなわち(2.5)式のパラメータ α, λ, c', φ', ω, r_u が同一のもとでは, 複合すべりの方がより危険ということであり, 今後, 最危険時対応の安定問題を扱う場合には, 複合すべりに関する検討が必要であることが明らかになった.

4. 計算図表の作成と利用

計算結果の一例を, K₀, F₀, θ_x, θ_y について図表にまとめて示し, 利用方法を解説する.

4. 1 K_0 既知の場合

$r_u, c', \phi', \lambda, \omega$ が既知であれば(2.5)式から K_0 が定まる。図表を用いて、 K_0 を通る横軸平行線が $\theta_x - K_0$ 曲線および $\theta_y - K_0$ 曲線と交わる点の座標から θ_x, θ_y が、続いて θ を通る縦軸平行線が $\theta_y - F_0$ 曲線と交わる点の座標から F_0 が、それぞれ求められる。

4. 2 F_0 既知の場合

安全率 F, r_u, ϕ' 既知であれば(2.6)式から F_0 が定まる。この場合前節と逆の方法で、 $\theta_y - F_0$ 曲線から F_0 対応の θ_y 、 $\theta_y - K_0$ 曲線および $\theta_x - K_0$ 曲線から θ 対応の K_0 および θ_x が求められる。

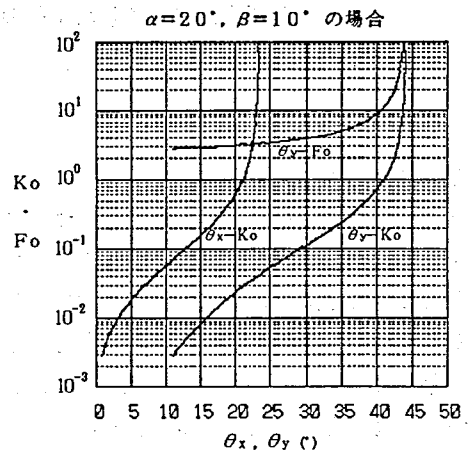


Fig. 2

4. 3 利用例

(1) 崩壊規模の推定

$\alpha = 20^\circ, \beta = 10^\circ$ の斜面で、 $c' = 0.5 \text{ t/m}^2, \phi' = 10^\circ$ 、間隙水圧比 $r_u = 0.56, \lambda = 4.0 \text{ m}$ 、 $\omega = 1.8 \text{ t/m}^3$ として、異常豪雨時の崩壊規模を推定する。

(2.5)式より $K_0 = 0.83$ 、Fig. 2より $K_0 = 0.83$ 対応の $\theta_x = 21^\circ, \theta_y = 40.5^\circ$ の複合すべりが最も危険であることがわかり、さらに θ 対応の $F_0 = 9.5$ を(2.6)式に代入して、この斜面の安全率 $F = 0.74$ が容易に得られる。

(2) c', ϕ' の推定

$\alpha = 20^\circ, \beta = 10^\circ$ の斜面で、 $\lambda = 4.0 \text{ m}$ 、弦長 $S = 20 \text{ m}$ の複合すべりが発生した場合の c', ϕ' を推定する。ただし $\omega = 1.8 \text{ t/m}^3$ とする。

弦長の式 $S = 2r \cdot \sin \theta_y, r = \lambda / \{\cos \theta_x - \cos(\theta_y + \delta)\}$ より、臨界複合すべりに対応する値を算出すると $\theta_x = 10.6^\circ, \theta_y = 26.4^\circ, r = 24.6 \text{ m}$ 、Fig. 2 より $K_0 = 0.065, F_0 = 3.5$ を得る。臨界時 $F = 1.0$ としてこれらを(2.5)、(2.6)式に代入し、 $c' = 0.14 \text{ t/m}^2, \phi' = 32.7^\circ$ が求められる。本法では土質定数が一義的に定まり、 $c' - \tan \phi'$ 図逆算法の欠点を補うものである。

5. まとめ

単斜基岩面においては、基岩面条件および K_0 のパラメータが等しい条件下では、 α, β の大小と無関係に、複合すべりが円弧すべりより危険であることが判明した。また計算図表を用いることで、本法を崩壊規模の推定、逆算法を補う土質定数 c', ϕ' の推定等に容易に応用できることが示された。

参考文献

- 1) 土屋智・申潤植・荻原貞夫：基岩面条件と斜地の安定，新砂防，124，pp. 19～30，1982年
- 2) 申潤植：地すべり工学－理論と実践－，山海堂，pp. 677～719，1989年