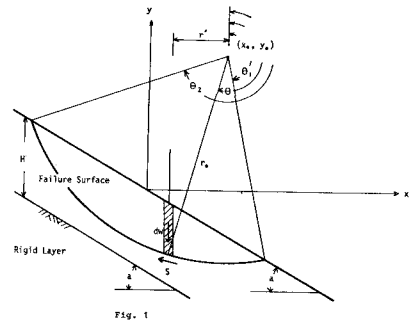


不規則関数論を用いた斜面の信頼性解析

鳥取大学大学院 学生員 ○ 内田 徹
鳥取大学工学部 正会員 白木 渡
鳥取大学工学部 正会員 高岡 宣善

1. はじめに. 今日, 斜面の信頼性解析は, 盛土の急速施工のような一部の対象に対しては, 土の非排水せん断強度を正規不規則変数と考える解析法により, ほぼ, 完成されたとされている. しかしながら, これらの解析法においては, 斜面内に存在するすべり面のうち, 最小の安全率を有するものの破壊確率をも, てその斜面全体の破壊確率としており, 本来, 斜面はその内部に無数の潜在的すべり面を有する一つの系であることを考慮するならば, それらの解析法により求められる破壊確率は, 真の破壊確率に対する下限値でしかあり得ない. そこで本研究では, 無数のすべり面間の相関性を考慮したコーネルによる解析法を用い, さらに, 将来, 間隙水圧の変動性をも考慮に入れた信頼性解析にまで発展させる必要性からも, 土のせん断強度をモール・クーロンの破壊基準式によ, て規定される不規則関数と考へ, 不規則関数の相関理論から斜面の破壊確率を決定する.

2. 斜面の破壊確率. Fig. 1に示す斜面を考へ, すべり面をその中心座標 (x_0, y_0) , および半径 r_0 で規定される円弧とし, そのすべり面に沿, て働くせん断抵抗力による抵抗モーメントを R , すべり面上の土塊のすべりモーメントを M とすれば破壊確率 P_f は次式で与えられる. なお, 後述するように, 本研究では R のみを不規則量と考へることとする.



$$P_f = P[R < M] = P[\bar{R} - R > \bar{R} - M] \quad (1)$$

ここに, $\bar{R}$ は R の期待値 $E[R]$ である. ここで, $\bar{R} - R = \gamma$, $\bar{R} - M = z$ とすれば, γ , z は各々すべり面の位置 (x_0, y_0, t_0) を独立変数とする関数であり, 結局, 斜面の破壊確率の決定問題は, 不規則関数 γ によるレベル z の超過, すなわち, 閾値横断の問題となる. そこで, γ によるレベル z の超過をポアソン事象と仮定するならば, 求める破壊確率は次式で与えられる.

$$P_f = P[N_z \geq 1] = 1 - \exp(-E[N_z]) \simeq E[N_z] \quad (2)$$

ここに, N_z は γ によるレベル z の超過回数である. さらに, N_z をレベル z 以上における γ の極大値の個数 M_z に近似させれば, 同様に, 破壊確率 P_f は次のようになる.

$$P_f = P[M_z \geq 1] = 1 - \exp(-E[M_z]) \simeq E[M_z] \quad (3)$$

したが, て, 3次元不規則関数 $\gamma(x_0, y_0, t_0)$ を正規定常であるとするれば, 斜面の破壊確率 P_f は最終的に,

$$P_f = E[M_z] \simeq \frac{|A|^{1/2}}{(2\pi)^2 \sigma_\gamma^3} \iiint_V \left(\frac{\bar{R} - M}{\sigma_\gamma} \right)^2 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\bar{R} - M}{\sigma_\gamma} \right)^2 \right] dx_0 dy_0 dt_0 \quad (4)$$

となる. ここに, A は γ の1次導関数の相関マトリックス, σ_γ は γ の標準偏差, V は γ の積分領域である.

R はすべり面に沿って働らくせん断抵抗力 S によるモーメント, M は土塊の自重によるモーメントであるから, 各々, 次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} R &= \int_0^{\theta_2} S(\theta) d\theta = \int_0^{\theta_2} \left\{ C(\theta) + \sigma(\theta) \tan \phi(\theta) \right\} d\theta, \\ M &= \iint \gamma z dV \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

上式中, $C(\theta)$, $\tan \phi(\theta)$ のみを不規則量として解析を進める。

次に, $\gamma(\mathbf{t})$, $\mathbf{t} = (x_0, y_0, t_0)$, の相関関数 $K_\gamma(\mathbf{t}', \mathbf{t}'')$ は, $E[\gamma] = 0$ であることを考慮すれば, $K_\gamma(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') = K_R(\mathbf{t}', \mathbf{t}'')$ であるから,

$$K_\gamma(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') = (t_0' t_0'')^2 \int_{\theta_1'}^{\theta_2'} \int_{\theta_1''}^{\theta_2''} \left\{ K_c(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') + [\sigma(\theta') + \sigma(\theta'')] K_{ct}(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') \right. \\ \left. + \sigma(\theta') \sigma(\theta'') K_t(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') \right\} d\theta' d\theta'' \quad (6)$$

ここで, 相関関数 K_c, K_{ct}, K_t を次式のように仮定する。

$$\left. \begin{aligned} K_c(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') &= D_c \exp \left(-\frac{\alpha_x^2}{\delta_{xc}^2} - \frac{\alpha_y^2}{\delta_{yc}^2} \right) \\ K_t(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') &= D_t \exp \left(-\frac{\alpha_x^2}{\delta_{xt}^2} - \frac{\alpha_y^2}{\delta_{yt}^2} \right) \\ K_{ct}(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') &= \rho_{ct} \sqrt{D_c D_t} \exp \left(-\frac{\alpha_x^2}{\delta_{xct}^2} - \frac{\alpha_y^2}{\delta_{yct}^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

なお, D_i は分散, α_x, α_y は 2 点間の距離の x, y 方向成分, δ_{xi}, δ_{yi} は相関距離の x, y 方向成分, ρ_{ct} は同一地点における C と $\tan \phi$ の相互相関係数で定数とする。添字 c, t は各々 $C, \tan \phi$ に関する量であることを示す。次に, γ の 1 次偏導関数の相関関数は γ の相関関数 K_γ より次式で与えられる。ここで γ_{x_i} は $\partial \gamma(\mathbf{t}) / \partial x_i$ を表わし, $\mathbf{t} = (t_1, t_2, t_3) = (x_0, y_0, t_0)$ である。

$$K_{\gamma_{x_i} \gamma_{x_j}}(\mathbf{t}, \mathbf{t}) = \frac{\partial^2}{\partial t_i \partial t_j} K_\gamma(\mathbf{t}', \mathbf{t}'') \Big|_{\mathbf{t}' = \mathbf{t}'' = \mathbf{t}} \quad (8)$$

3. 数値計算結果. D_c, D_t (変動係数 v_c, v_t), ρ_{ct} , δ および傾斜角 α をパラメータとし, Soil-1 ($E[C(\theta)] = 1.4 \text{ t/m}^2$, $E[\tan \phi(\theta)] = 0.6$, $\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$), Soil-2 ($E[C(\theta)] = 1.5 \text{ t/m}^2$, $E[\tan \phi(\theta)] = 0.25$, $\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$) の 2 種類の土に対して行なつた数値計算結果の一部を Fig. 2 ~ Fig. 4 に示す。これらから, 粘着力 C , 内部摩擦角 $\tan \phi$ の変動性が破壊確率に及ぼす影響が大きく, 一方, C と $\tan \phi$ の相互相関性の影響は無視できる程度と考えられる。さらに δ が小さいほど (土の相関性が低いほど), また, 斜面の傾斜が急になるほど破壊確率が増加することも確かめられた。これらに関する報告も含め, 発表時にさらに詳しい報告を行なう。

参考文献

- 1) J. M. Catalán, C. A. Cornell: Earth Slope Reliability by a Level Crossing Method, Journal of the GM, No. GT6, ASCE, 1976, pp. 591 ~ 604. 2) 松尾, 黒田: 不飽和土の土質諸係数と破壊確率に関する一考察, 土木学会論文報告集, No. 208, pp. 65 ~ 75.

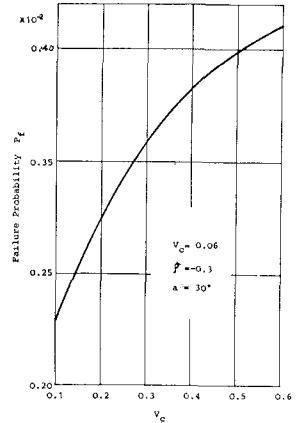


Fig. 2

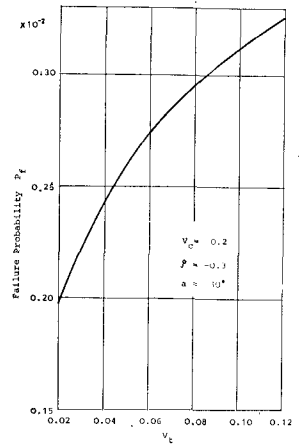


Fig. 3

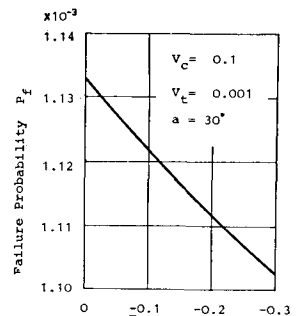


Fig. 4