

III-317 盛土の破壊確率算定のための図表化

名古屋大学 大学院 学生員 ○井ヶ瀬良則
 名古屋大学 工学部 正会員 鈴木 壽
 名古屋大学 工学部 正会員 松尾 稔

1. はじめに

これまでに軟弱地盤上の盛土、 $c-\phi$ 系土質材料からなる盛土および切土、さらに斜面上に建設される盛土の信頼性設計が実施され、その妥当性も示された^{1), 2)}。しかし、この手法で用いる破壊確率の算定は非常に複雑であり、一般には容易に計算できない。そこで、破壊確率の算定を容易にするための図表化が必要であり、今回水平地盤上に建設される $c-\phi$ 系土質材料の盛土についてこの図表化を試みた。

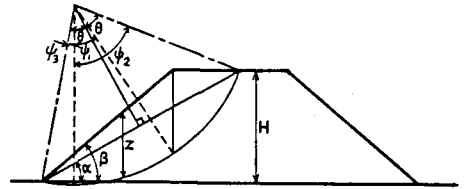


図1 盛土の断面形状と諸元

2. 安全率の定式化

図1は盛土の断面形状と諸元を示している。斜面の破壊メカニズムは、円弧すべりとし、その円弧は斜面先を通るとする。このとき安全率 G は次式となる。

$$G = \frac{24(\psi_2 + \psi_3) \sin \alpha \sin \theta}{\gamma f(\alpha, \theta)} \frac{c}{H} + \frac{g(\alpha, \theta)}{f(\alpha, \theta)} \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 c ；粘着力 ϕ ；内部摩擦角 γ ；単位体積重量

$$f(\alpha, \theta) = \cos 3\psi_3 - \cos 3\psi_2 + 3\cos \psi_3(1 + \cos 2\psi_1 - \cos 2\psi_3) - 3\cos \psi_2(1 + \cos 2\psi_1 - \cos 2\psi_2) \\ - \tan \beta \{ \sin 3\psi_1 + \sin 3\psi_3 - 3\sin \psi_1 - 3\sin \psi_3(1 - \cos 2\psi_1 + \cos 2\psi_3) \}$$

$$g(\alpha, \theta) = \sin 3\psi_2 + \sin 3\psi_3 + 9\sin \psi_2 + 9\sin \psi_3 + 3\cos \psi_2(2\psi_1 - 2\psi_2 + \sin 2\psi_1 - \sin 2\psi_2) \\ - 3\cos \psi_3(2\psi_1 + 2\psi_3 + \sin 2\psi_1 + \sin 2\psi_3)$$

$$- \tan \beta \{ \cos 3\psi_1 - \cos 3\psi_3 + 3\cos \psi_1 + 3\cos \psi_3 - 3\sin \psi_3(2\psi_1 + 2\psi_3 + \sin 2\psi_1 + \sin 2\psi_3) \}$$

式(1)の安全率 G が最小となるような (α, θ) の組 (α^*, θ^*) を求め、そのときの値 G_{min} を盛土の安全率とする。

3 破壊確率の定式化

単位体積重量 γ は、非常ばらつきが小さいことが確かめられているので、確率変数は c と ϕ のみであるしたがって、 $c, \tan \phi$ の位置的なばらつきを考慮するために、自己相関関数を次式のように仮定する。

$$\gamma_c = \exp(-A_c |z - z'|) \quad \gamma_{\tan \phi} = \exp(-A_{\tan \phi} |z - z'|) \quad (2)$$

図1に示すように、 z, z' は、最小安全率に対する臨界円までの深さであり、式(2)を用いて G に関する $c, \tan \phi$ の共分散 $\sigma_{Gc}^2, \sigma_{G \tan \phi}^2$ を求めると次式となる。

$$\sigma_{Gc}^2 = \sigma_c^2 C_1 = \sigma_c^2 \int_{-\psi_3}^{\psi_2} \int_{-\psi_3}^{\psi_2} \exp(-A_c |z - z'|) d\psi d\psi' \\ \sigma_{G \tan \phi}^2 = \sigma_{\tan \phi}^2 C_2 = \sigma_{\tan \phi}^2 \int_{-\psi_3}^{\psi_2} \int_{-\psi_3}^{\psi_2} \exp(-A_{\tan \phi} |z - z'|) z z' \cos \psi \cos \psi' d\psi d\psi' \quad (3)$$

ここに、 $\sigma_c^2, \sigma_{\tan \phi}^2$ は、実際の土質調査のデータから求められる $c, \tan \phi$ の分散である。 c と $\tan \phi$ の間の相関がないとすれば、 G の共分散は次式で与えられる。

$$\sigma_G^2 = \left(\frac{K_1}{\gamma H} \right)^2 \sigma_{Gc}^2 + \left(\frac{K_2}{\gamma H} \right)^2 \sigma_{G \tan \phi}^2 - \left\{ \frac{24 \sin \alpha \sin \theta}{f(\alpha, \theta)} \right\}^2 \sigma_{Gc}^2 + \left\{ \frac{12}{f(\alpha, \theta)} \right\}^2 \sigma_{G \tan \phi}^2 \quad (4)$$

軟弱地盤上の盛土と同様に、解析誤差が $-0.1 \sim 0.1$ の一様分布であるとする、破壊確率 P_F は次式で表される。

$$P_F = \int_{-0.1}^{0.1} \frac{1}{0.1 - (-0.1)} \int_{-\infty}^{1-\bar{G}-e} \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{G}{2\sigma_G}\right)^2 dG de \quad (5)$$

4. 図表化

中央安全率 $\bar{G}$ は、次式のように表される。

$$\bar{G} = (N_{rc} + \lambda N_r) \frac{C}{\tau H} = N_r \frac{C}{\tau H} \quad (6)$$

$$N_{rc} = \frac{24(\psi_2 + \psi_3) \sin \alpha \sin \theta}{f(\alpha, \theta)}$$

$$N_r = \frac{g(\alpha, \theta)}{f(\alpha, \theta)}$$

$$\lambda = \frac{r H \tan \phi}{C}$$

図3は、式(6)における N_r の値を示しており、図中の β は盛土勾配である。式(3)の C_1 , C_2 は図4, 図5で、式(4)の K_1 , K_2 は図6, 図7で与えられるので式(4)で σ_G^2 が求められる。図8より P_F は、容易に決定される。

5. 計算例

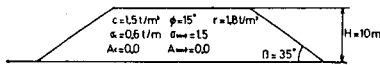


図9 計算例の条件

図9は、計算のための盛土の条件を示している。まず λ を求める。

$$\lambda = \frac{1.8 \times 10 \times \tan 15^\circ}{1.5} = 3.22$$

図より、 $N_r=14.5$ が読みとれるので、 $\bar{G}$ は次式のように計算される。

$$\bar{G} = 14.5 \times \frac{1.5}{1.8 \times 10} = 1.2$$

また、図4～図7より、 $C_1=0.8$, $C_2=2.2$, $K_1=4.8$, $K_2=7.3$ がわかり、 σ_G^2 は式(3)より

$$\sigma_G^2 = \frac{4.8}{1.8 \times 10} \times 0.6^2 \times 0.08 + 7.3^2 \times 0.026^2 \times 2.2 = 0.082$$

となる。したがって、図8から $P_F = 24\%$ である。

6. おわりに

今回図表化を行ったのは、水平地盤上の盛土についてのみであるが、斜面上の盛土や切土に対しても同様に図表化可能である。

(参考文献)

- 1) 松尾稔・鈴木壽・永田誠樹：不飽和土斜面の信頼性設計，第19回土質工学研究発表会発表講演集 pp.1253～1254, 1984
- 2) 松尾稔・鈴木壽・井ヶ瀬良則：切盛土の信頼性設計，第20回土質工学研究発表会発表講演集 pp.1455～1456, 1985

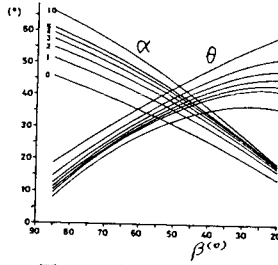


図2 α^*, θ^* を求める図

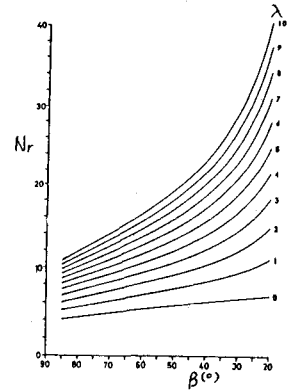


図3 盛土の安定図表

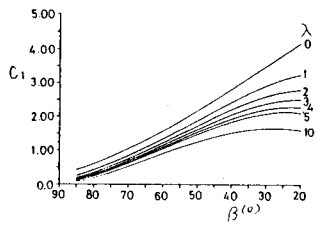


図4 C_1 を求める図

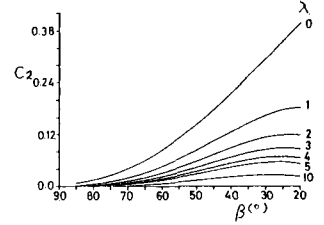


図5 C_2 を求める図

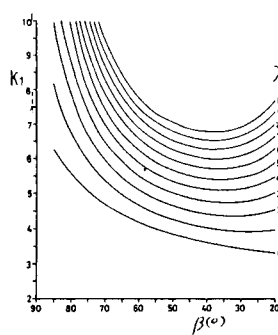


図6 K_1 を求める図

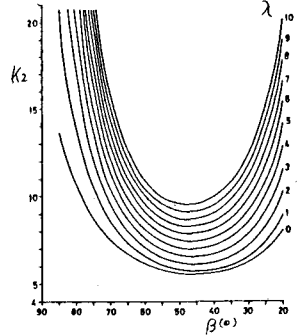


図7 K_2 を求める図

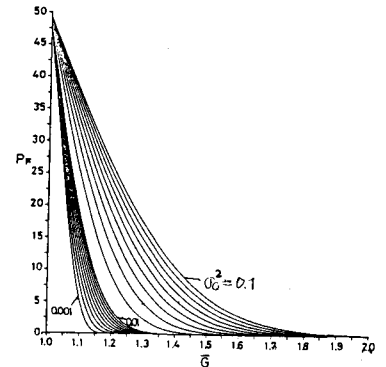


図8 破壊確率を求める図