

III-97 円弧すべり面の生起確率に関する一考察

名古屋大学工学部

正員 松尾 稔

清水建設(株)土木設計部

正員 脇田英治

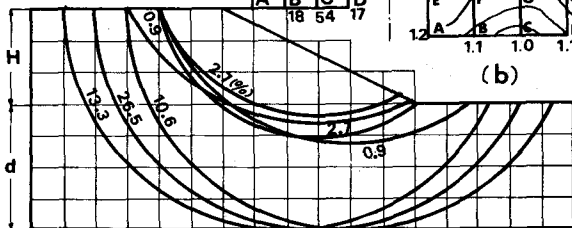
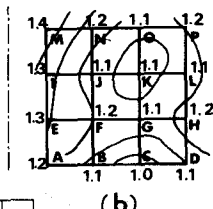
はじめに：実際のすべり面の形状や位置が計算上予想したそれとかけ離れていたという経験を我々はもっている。この相違は、力学的な信頼度と費用関数を結合する場合、重要な問題となる。土質諸係数は種々の原因によってばらつくが、このばらつきの性質はほとんどの場合、正規分布で近似できることが明らかにされている。¹⁾²⁾ここでは、切取りを例にとり、強度の位置的分布と $\phi_u = 0$ 法による円弧すべり面の位置的ばらつきとを結びつけ統計的立場で土構造物の設計法に対する方法論をさぐる。

計算の方法：一様飽和粘性土層内の非排水強度 C_u と単位重量 γ は正規分布に従い、かつ互いに独立となる。そこで C_u , γ を正規確率変数と考え、正規乱数を用いて取出した (C_u, γ) の組を、予め $2m \times 2m$ のメッシュに分割しておいた粘土斜面に割付け、 C_u と γ が位置的に分布するモデル地盤を多数得る。これに円弧すべり面法を適用して、各モデル地盤の最小安全係数 F_s^* とすべり面を求めるのである。

結果と考察³⁾：図-1(a)は200個のモデル地盤に対する計算結果である。各格子点の数字はその位置で $F_s^* < 1$ 、すなわち破壊が生ずる回数を表わしているが、これによると、C, B, D, K点の順に頻度が高い。また一つのモデル地盤に対しても (C_u, γ) が位置的に異なるので F_s の分布は不規則となり、 C_u, γ が一定の一般的なすべり計算のように F_s のコンターを描くことができない。しかし、全試行結果を平均すると、図-1(b)に示す F_s のコンターが描ける。また χ^2 -検定の結果、各格子点毎の F_s は図-1(b)の F_s を母平均値として正規分布していることが明らかとなった。 C_u, γ が一定値($C_u = 2.0 \text{ t/m}^2$, $\gamma = 1.62 \text{ t/m}^3$)をとるとして、慣用法によると、 F_s^* を与える格子点はG点となり、すべり円弧の半径は $R^* = 16m$ となる。しかし、 C_u, γ が確率分布するとすれば、 F_s^* はG点よりむしろC, B, D, K点で生じやすい。(すべり面の生起確率もこの順番に高い)。しかも慣用法ではこの切取り斜面は $F_s^* = 1.05$ で破壊しないことになるが、上記計算の結果、56.5%が $F_s^* < 1$ となる。また $F_s^* < 1$ となるケースの52%が底部破壊となり、その生起確率

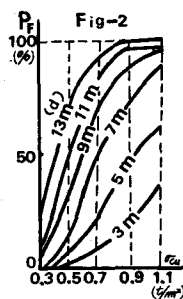
Fig-1
(a)
 $n=2$

M	N	O	P
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20



の高いことがわかるが、22%の破壊は斜面先破壊として生ずる可能性をもつことに注意する必要がある。なおすべり面の生起確率とはある格子点で $F_s^* < 1$ が生ずる確率 P_1 とその点で半径 R^* が出現する確率 P_2 の積 $P = P_1 \times P_2$ の値である。また切取り斜面の破壊確率 P_F はある回数($N \geq 200$)以上の試行を行なった場合には母集団と大きさ N の有限母集団と考えて、事象Eの起きる回数を r とするとその確率を $P(E) = \frac{r}{N}$ としてよいとされているので、ここではこのようにして破壊確率を定義した。

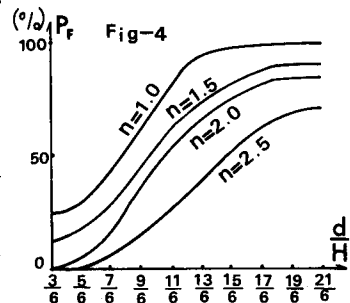
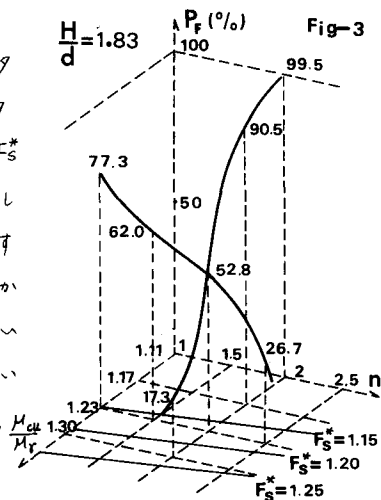
次に、 C_u の標準偏差 σ_{C_u} の一般的な範囲 $0.15 \sim 1.3 \text{ (t/m}^2\text{)}$ に対し、 $\sigma_{C_u} - P_F$ 関係を調べ



た。図-2はその結果である。一方、 $\sigma_r = 0.03 \sim 0.06 (t/m^2)$ として σ_r についても同様の検討を行なった。これらの結果から C_u のばらつきは P_F を決定する重要因子となるが、 σ_r のばらつきはそれほど重要性をもたないことがわかった。さて、図-2は σ_{cu} のみを変化(他の条件は固定)させて求めたものであるが、もう少し一般的な要因のもとでの P_F を調べる必要がある。たとえば、 P_F に直接影響する因子としては H や d をとるよりも d/H をとる方がよい。結局、 P_F を決定する要因として、 M_{cu} 、 σ_{cu} 、 M_r 、 σ_r 、 H 、 n 、 d などがあるが、主たる要因としては M_{cu}/M_r 、 n 、 d/H を考慮すればよい。そこで、 d/H を一定とし、 n 、 M_{cu}/M_r 、 P_F を各直交軸にとって P_F の変化を調べてみる。一方、 F_S^* は図-1の表示に従えば、 F_S^* は

$$F_S^* = \{1/4(R^*, H, d, n)\} (M_{cu}/M_r) = \{1/4(d/H, n)\} (M_{cu}/M_r)$$

と書けるので、 d/H 一定のとき、 $(n, M_{cu}/M_r)$ 平面上に F_S^* のコンターを描くことができる。図-3は $d/H = 1.83$ 、 $\sigma_{cu}/M_{cu} = 0.3$ 、 $\sigma_r/M_r = 0.0247$ として描いた P_F 曲面と F_S^* のコンターである。この図から(i)同一の F_S^* 線上でも P_F は一定にならないこと、(ii) F_S^* の変化が P_F の変化に比例していないことなどが明らかである。これからも F_S^* が安全性を評価する尺度としては不適当であり、力学的尺度としては信頼度、いいかえると、 P_F を用いるべきであると考ええる。図-4は d/H - P_F 関係を描いたものである。試行数が充分大きくないので、各点は多少ばらついてはいるが、これから次のことがわかる。(i) d/H が2以下になると、 $n=1$ 、 1.5 の場合には底部破壊にかわって斜面先破壊の割合が増加するので、 $n \geq 2$ の場合に比べて P_F はかなり大きい。(ii) d/H が3.5～5.0以上になると、それ以上 d/H が大きくなっても P_F は増加しない。(iii)各曲線間の幅は様にならない。すべり面の生起確率についても、多くの貴重な資料を得たが、紙数の都合でここでは概略的に述べるだけにとどめる。破壊の生ずるすべり円弧の中心の分布は斜面の中点を通る鉛直線上で最も頻度が高く、その位置から水平方向に離れた位置ほど頻度は減少する。また、すべり円弧の中心は斜面の天端面から上方へ $H/3$ までの間で最も頻度が高いが、その位置は d/H が大きくなると次第に上方へ移る傾向がある。



おすび：安全性の問題も損失の確率という形で合理性に帰着させれば、最適設計の一つの考え方は最小の費用で最大の効果をあげるため総費用が最小となる計画を見つけておくことであろう。しかし、費用関数には破壊確率に関する項が含まれるので、従来、土構造物の設計に費用関数の概念を取り入れることは困難であった。しかし、土構造物に関して、その破壊確率、およびすべり面の生起確率などが定量的に明らかにできれば、費用関数を用いた最適設計法が可能になると考えられる。

参考文献：(1)松尾・黒田：盛土建設のための土質調査と盛土の安定性に関する研究：土木学会論文報告集第196号(1971年12月)

(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第208号(1972年12月)

(3)松尾・黒田：円弧すべり面の位置的生起確率について：第27回土木学会年次学術講演会講演概要集(1972年10月)