

不確実性を考慮した盛土の信頼性設計に関する基礎的研究

京都大学 正員 長尾義三

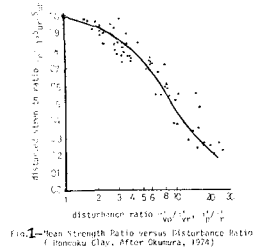
黒田勝彦

学員 ○小竹 望

1. まえがき 土構造物の短期安定を評価する場合、非排水強度が用いられるが、サンプリング・試験等の過程において種々の不確実性が混入するため、我々が入手する測定強度は地盤内の真値から相当かい離している。本研究では、測定強度に関する確率モデルを提案し、それを用いて、サンプリング技術の良否による破壊確率への影響を考察した。

2. 測定非排水強度の確率モデル 測定強度に含まれる不確実性

要因としては、(i)応力解放(ii)サンプリング、運搬、チューブからの押出し及び整形の過程での機械的攪乱(iii)試験時の偶然誤差(iv)原位置強度の位置的変動等が挙げられる。図-1は、完全試料の測定強度 $C_u(x)_p$ に対する攪乱試料の測定強度 $C_u(x)_{dis}$ の比を攪乱比 R に対して示したものである。図中の曲線 $m(R)$ は、この強度比の平均値である。又、試料が採取された地盤中の位置を示すベクトルである。従って、 $E[C_u(x)_{dis}/C_u(x)_p | R] = m(R)$ — ① と書ける。 $m(R)$ の回りのばらつきは、試験時の誤差と考えられるので、この変動係数を $V_m(R)$ とすれば、完全試料と測定強度との関係として、 $C_u(x)_m = m(R) \left[C_u(x)_p + \frac{V_m(R)}{\sqrt{2}} \cdot \mu_c(x)_p \cdot U_1^e \right]$ — ② が導ける。但し、 $C_u(x)_p$



は、完全試料の真の強度、 $\mu_c(x)_p$ は、その位置的平均値、 U_1^e は、攪乱試料の測定値に含まれる試験誤差の標準化確率変数である。ところで、Tang et al (1976)によると、 $C_u(x)_p$ と地盤中の真値 $C_u(x)$ との関係は、 $C_u(x) = N_1 \cdot C_u(x)_p$ — ③ で与えられる。 N_1 は、平均 $\bar{N}_1 = 1.03$ 変動係数 $V_{N_1} = 0.03$ で、応力解放による強度への影響を示すランダム変数である。式②③より、結局 $C_u(x)_m$ として、 $C_u(x)_m = \frac{m(R)}{N_1} \left[C_u(x) + \left(\frac{V_m(R)}{\sqrt{2}} \cdot U_1^e - V_N \cdot U_N \right) \cdot \mu_c(x) \right]$ — ④ が、導ける。

る。但し、 U_N は、 N_1 の標準化確率変数、 $\mu_c(x)$ は、原位置 x での $C_u(x)$ の期待値である。

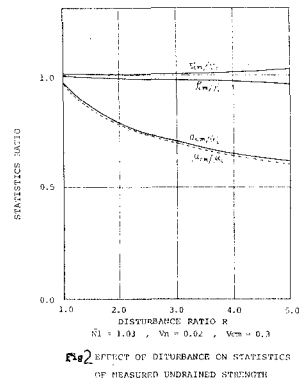
3. モデルの検討 式④から測定強度と原位置強度の統計量の諸関係を求めると式⑤～⑧の如くである。

$$\mu_c(x)_m / \mu_c(x) = m(R) / \bar{N}_1 \quad \text{--- ⑤}$$

$$\sigma_c(x)_m / \sigma_c(x) = \frac{m(R)}{\bar{N}_1} \left[1 - \left(\frac{V_N}{V_c(x)_m} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{V_m(R)}{V_c(x)_m} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad \text{--- ⑥}$$

$$V_c(x)_m / V_c(x) = \left[1 - \left(\frac{V_N}{V_c(x)_m} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{V_m(R)}{V_c(x)_m} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad \text{--- ⑦}$$

$$P_{cm} / P_c = \left[1 - \left(\frac{V_N}{V_{cm}} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{V_m(R)}{V_{cm}} \right)^2 \right] \equiv \left(\frac{V_c}{V_{cm}} \right)^2 \quad \text{--- ⑧}$$



Nagao Yoshimi, Kuroda Katsuhiko, Kotake Nozomu

但し、 ρ は、非排水強度の自己相関関数、 V_c は、 $C_u(x)$ の変動係数。さらに、式⑦⑧より次式が導かれる。

$$\sigma_c(x)_m = \mu_c(x)_m \left[V_c^2(x) + V_n^2 + (V_m(R)/\sqrt{2})^2 \right]^{1/2} \quad \text{--- ⑨}$$

式⑤～⑧を撓乱に対して示した例($V_{cm}=0.3$)が、図-2である。通常の沖積粘土では、 $V_{cm} \approx 0.3$ であるから、図より、変動係数、自己相関関数は、真値とほぼ等しく、技術の差($R, N, d(R), V_n$)による結果の影響は、ほとんどないが、標準偏差及び平均強度は、20～40%程、小さくなる。式⑨は、測定値の標準偏差が、平均値にほぼ比例することを意味しているが各種の V_c に対して、 $\sigma_{cm} \sim \mu_{cm}$ の関係をモデルを用いて計算した結果が図-3である。図-4は、ある地域の試験結果を整理したデータである。この地域の測定値の変動係数は、 $V_{cm}=0.35$ 程度であるので、式⑦から V_c を推定すると $V_c=0.346$ となる。図-4は、測定値の σ_{cm} と μ_{cm} の関係をプロットしたものであるが、理論推定線 $V_c=0.35$ とよく一致している。これは、⑨式の妥当性を立証していると言える。

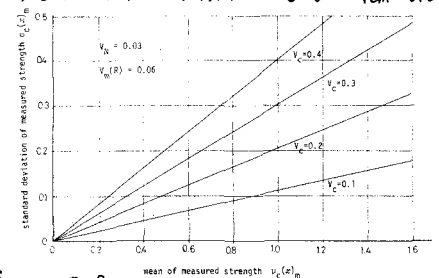


Fig. 3 Standard Deviation versus Mean of Measured Un drained Strength

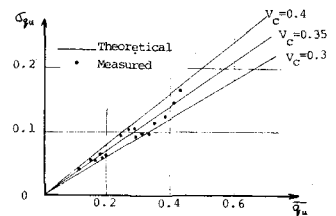
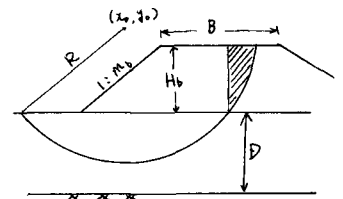


Fig. 4

4. 破壊確率への影響 紙面の都合上、式は省略するが、安全率 $\bar{F}_s$ の平均値 $\bar{F}_s$ は、抵抗モーメントの平均値 $\bar{M}_R$ と起動モーメントの平均値 $\bar{M}_0$ の比で与えられる。また、その分散 $\bar{F}_s^2$ は、測定強度と土の単位体積重量の変動係数及び自己相関関数を用いて表わすことができる。 $\bar{F}_s$ が $\bar{F}_s$ のまわりに正規分布すると仮定して、破壊確率 P_f は、 $\bar{F}_s \leq 1.0$ なる確率として得られる。右に示す盛土を例に P_f と $\bar{G}$ の関係を求めると図-5になる。但し、 $\bar{G}$ は、従来用いられてきた慣用の安全率であり、測定強度の平均値とすべり面に沿った平均せん断応力の比として与えられる。図より、 $\bar{G}=1.2$ と与えられた場合、応力解放及び機械的撓乱を考慮しなければ、破壊確率は、 $P_f=5\%$ 程度である。しかし、 $N_1=1.03$ $m(R)=0.8$ の場合は、 P_f は、ごくわずかである。このように慣用安全率 $\bar{G}$ の不合理性は、明白であり、サンプリング技術の良否を考慮しないと、原位置強度を過小評価することになる。



5. まとめ V_{cm} の値を得ると、確率モデルを用いて、 P_c 、 V_c 、 μ_c 等地盤内の真値を推測できるという結論を導いた。さらに、破壊確率に関して、強度低下の影響は、応力解放と機械的撓乱により表されることを示した。

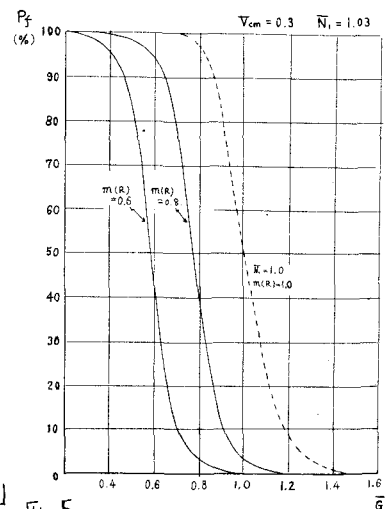


Fig. 5

〈参考文献〉 奥村樹郎(5.49.6)「粘土の撓乱とサンプリング方法の改善に関する研究」
Tang et al (1976) Probability based short term design of soil slopes, Canadian Geotechnical Journal, vol. 13.