

III-441

非排水強度の圧密強度増加に関する統計的考察と安定解析

岡山大学農学部 正会員 ○西村伸一
同 上 正会員 藤井弘章

1. はじめに

軟弱地盤における盛土荷重などに対する安定性を考える場合、圧密による強度増加を問題とする場合がある。本研究では、干拓地軟弱地盤におけるプレロード盛土を対象に、圧密による非排水強度の増加を考慮し、確率論的手法による円弧滑り安定解析を行った。対象地盤は層厚12mの正規圧密aged粘土であり、サンドドレーンによって圧密を促進し、地盤改良がなされている。今回は、一軸圧縮強度と圧密降伏応力を確率変数として取り扱い、それぞれの自己相関特性とパラメータ間の相互相関特性を考慮したモンテカルロシミュレーション法を安定解析に適用し、プレロードの効果を評価した。地盤の安定性は、信頼性指標 β により評価し、非排水強度、圧密降伏応力の自己相関特性、相互相関特性が安定解析結果に与える影響について考察を行った。但し、盛土による載荷重は確定的に得られるものとし、また、地盤の単位体積重量にはほとんどばらつきがないため、地盤内初期応力は確定値として取り扱った。

2. 非排水強度と圧密降伏応力の統計モデル

本研究では、一軸圧縮強度から求めた非排水強度 C_u と圧密降伏応力 P_c を確率変数として取り扱っているが、その分布と統計量をFig.1(a), Fig.1(b)に示す。ここで、自己相関関数と相互相関関数の一般形を(1), (2)式のように与えた。(2)式において B_x は、深さ方向に対する平均値関数を $\mu(z)$ 、標準偏差関数を $\sigma(z)$ とした場合、 $(C_u(z) - \mu_{Cu}(z)) / \sigma_{Cu}(z)$ と $(P_c(z) - \mu_{Pc}(z)) / \sigma_{Pc}(z)$ の共分散を表している。このパラメータについて、岡山の海岸地域4地区について調べた結果をTable 1に示す。なお、2つのパラメータはサンプリング間隔だけ隔たると（サンプリング間隔は1m~3m）顕著な相関性は認められなかった。従って、相互相関距離は、サンプリング間隔より比較的に短いと仮定できる。解析の基本的な値として、 $\delta_{xy} = 0.5$ mを仮定した。また、2つのパラメータの分布形としては、従来から報告されているように正規分布を仮定した。¹⁾

3. 非排水強度の圧密に伴う遷移過程²⁾

非排水強度の K_0 条件下の圧密に伴う遷移過程を推定した。Fig.2(a), Fig.2(b)に圧密度が45%, 96%の場合の非排水強度の推定結果を示した。また、図

自己相関関数

$$r(\Delta Z) = \exp(-\Delta Z / \delta) \quad (1)$$

δ : 自己相関距離

非排水強度と圧密降伏応力の相互相関関数

$$r_{xy}(\Delta Z) = B_x \cdot \exp(-\Delta Z / \delta_{xy}) \quad (2)$$

B_x : $\Delta Z=0$ のときの基準化された q_u, P_c の共分散

δ_{xy} : 相互相関距離

強度増加の関係式

$$\frac{C_u}{\sigma_v} = \frac{C_u + \Delta C_u}{\sigma_v + \Delta \sigma_v} \quad (\sigma_v \geq P_c) \quad (3)$$

$$\Delta C_u = 0 \quad (\sigma_v < P_c)$$

C_u : 圧密前の非排水強度 P_c : 圧密降伏応力

ΔC_u : 圧密による増加強度

ΔP : 増加圧密応力

σ_v : 鉛直有効応力

信頼性指標

$$\beta = \frac{E[Fs] - 1}{\sqrt{\text{Var}[Fs]}} \quad (4)$$

Fs : 安全率

Table 1 基準化された非排水強度と圧密降伏応力の相関係数

地区	相関係数
笠岡	0.507
鹿沼港	0.561
牛窓港	0.480
大多府	0.370

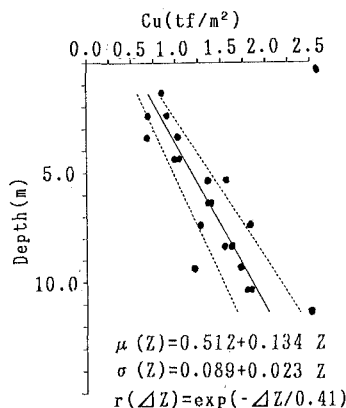


Fig.1(b) 圧密降伏応力の分布

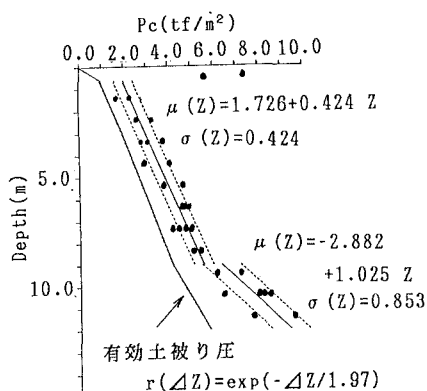


Fig.1(a) 非排水強度の分布

には沈下実測値から推定される圧密度が45%,96%の場合のチェックボーリング結果が示されている。地盤の圧密度の正確な推定が困難な圧密度45%の場合は実測値が大きな値を与える傾向にある。圧密が終了時点で近い96%では、比較的圧密度の推定が正確であると考えられるが、この場合は推定値は実測値と比較して妥当であると言える。

4. 安定解析結果

Fig.3に示す3.3m盛土荷重を圧密前、圧密完了後に地盤に載荷した場合の安定解析を行った。これは、剪断破壊に対するプレロードの効果を求めることになる。ただし、4段目の盛土は比較的奥行き小さい盛土であるので、問題を簡単にするために強度増加には考慮せず、荷重としてのみ取り扱った。強度増加は、(4)式を用いて求め、これに必要な地盤内応力は有限要素法による線形解析で求めている。有限要素法と剪断抵抗力の計算のための要素分割は、安全率の二次までの統計量（平均、分散）の収束を考慮して、深さ方向に対しては20層の等分割を行った。また、厳密ではないが、圧密には盛土による鉛直応力のみを考慮した。Table 2には解析Caseが示されている。Fig.3, Table 3に解析結果を示しているが、（固定）と示したものはすべり面を非排水強度の平均値を用いた場合に最小安全率を与える円弧に固定した場合であり、（変動）はすべり面を非排水強度の変動に応じて変動させたものである。安定解析の結果をまとめると次のようになる。(1)すべり面を固定すると若干危険側の結果を与える。(2)非排水強度、圧密降伏応力の自己相関距離が長いほど β は小さくなる。(3)非排水強度、圧密降伏応力の相関性が強いほど強度増加後の β は大きくなる。(4)強度増加率は、 $qu/(2Pc)$ を用いた結果と、CU三軸圧縮試験から求めたものを用いた結果とでは中央安全率に大きな差は生じなかった。(Fig.3)

参考文献 1)土質工学会：土質基礎の信頼性設計(1985) 2)松尾、浅岡：土木論集，240,1974

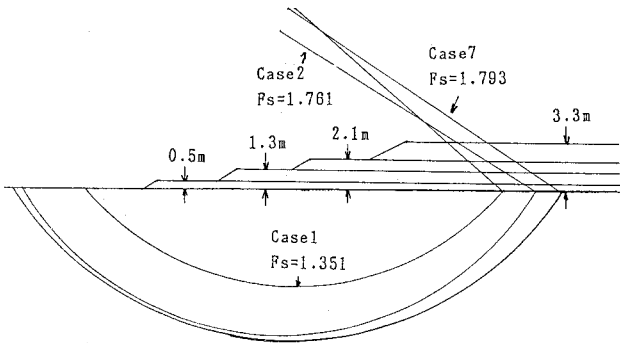


Fig.4 盛土の形状とすべり面

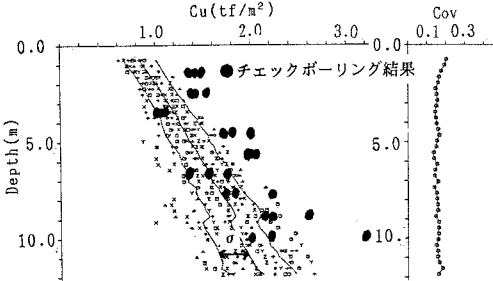


Fig.2(a)Cuの分布の推定（圧密度45%）

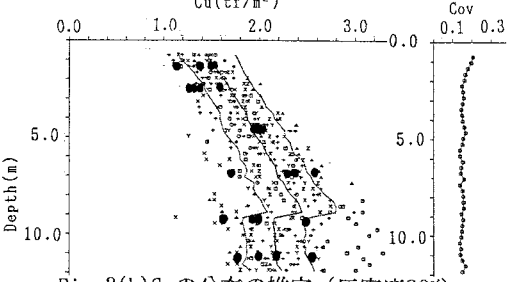


Fig.2(b)Cuの分布の推定（圧密度96%）

Table 2 解析Case

Case	相関パラメータ	圧密度
(1)	$\delta_{cu}=0.41, \delta_{pc}=1.97, \delta_{xy}=0.50, Bx=0.51$	0%
(2)	$\delta_{cu}=0.41, \delta_{pc}=1.97, \delta_{xy}=0.50, Bx=0.51$	100%
(3)	$\delta_{cu}=1.00, \delta_{pc}=1.97, \delta_{xy}=0.50, Bx=0.51$	0%
(4)	$\delta_{cu}=0.41, \delta_{pc}=1.00, \delta_{xy}=0.50, Bx=0.51$	100%
(5)	$\delta_{cu}=0.41, \delta_{pc}=1.97, \delta_{xy}=1.00, Bx=0.51$	100%
(6)	$\delta_{cu}=0.41, \delta_{pc}=1.97, \delta_{xy}=0.50, Bx=0.00$	100%
(7) *	$\delta_{cu}=0.41, \delta_{pc}=1.97, \delta_{xy}=0.50, Bx=0.51$	100%

*CU三軸圧縮試験結果より求めた強度増加率を用いる。

安定解析の結果をまとめると次のようになる。(1)すべり面を固定すると若干危険側の結果を与える。(2)非排水強度、圧密降伏応力の自己相関距離が長いほど β は小さくなる。(3)非排水強度、圧密降伏応力の相関性が強いほど強度増加後の β は大きくなる。(4)強度増加率は、 $qu/(2Pc)$ を用いた結果と、CU三軸圧縮試験から求めたものを用いた結果とでは中央安全率に大きな差は生じなかった。(Fig.3)

Table 3 安定解析結果

Case	安全率の 平均値	安全率の 変動係数	信頼性指標 β
(1)（変動）	1.285	0.068	3.360
(1)（固定）	1.384	0.068	3.922
(2)（変動）	1.697	0.057	7.259
(2)（固定）	1.779	0.055	8.025
(3)（変動）	1.292	0.090	2.506
(4)（変動）	1.712	0.048	8.736
(5)（変動）	1.705	0.048	8.700
(6)（変動）	1.694	0.068	6.051
(7)（変動）	1.740	0.044	9.670