

名古屋大学工学部 正会員 松尾 稔
名古屋大学工学部 正会員 ○鈴木 壽

1. はじめに これまでに、飽和粘土地盤を対象とした単純斜面および盛土の奥務の信頼性設計法を示してきた。しかし、その中では、斜面勾配変化、押え盛土工、サンドドレーン施工地盤上の2段階載荷工の最適化に関する方法論と各種図表、設計例を提示するにとどまった。ところが、軟弱地盤の対策工法として他に重要なものに締固め砂杭による地盤改良工法がある。本研究では、工学的な観点に立ち、地盤改良の奥務の信頼性設計がきわめて容易に実施できるような簡便法を提案する。

2. 安定解析法 締固め砂杭工法では密度の高い大口径の砂杭が打設されるので、砂杭への応力集中と砂杭自体のせん断抵抗を考慮した安定解析が必要となる。図-1(b)のように複合地盤上に平均応力 P が載荷されたとき、砂杭、粘土地盤に生じる応力をそれぞれ P_s, P_c とすると、次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} P_s &= \frac{nP}{1+(n-1)a_s} & P_c &= \frac{P}{1+(n-1)a_s} \\ PA &= P_s A_s + P_c A_c \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

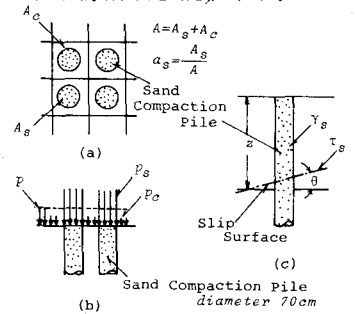


図-1

また、深さ z における粘土地盤の平均せん断応力は $\bar{c}_u(z) = (1-a_s)(\bar{c}_0 + kz)$ で表わされるので、図-1(c)のように水平面と θ の角をなすせん断面上で、 P_s, P_c が同時にせん断抵抗として発揮すると考えると、複合地盤の平均せん断抵抗 $\bar{c}_{sc}$ は次式となる。

$$\bar{c}_{sc} = (1-a_s)(\bar{c}_0 + kz) + \left\{ \frac{nP}{1+(n-1)a_s} + a_s z \right\} \tan \phi_s \cos^2 \theta \text{----- (2)}$$

ここに、 a_s : 砂置換率、 $\bar{c}_0$: $z=0$ における非排水強度の平均値、 a_s, ϕ_s :

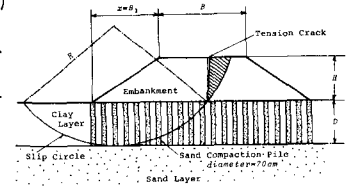


図-2

砂杭の単位体積重量と内部摩擦角、 n : 応力分担比 ($n=3$) で、安定解析は図-2に示すような Tension Crack を仮定して、式(2)を用いた通常の円弧すべり法でおこなった。表-1

3. 重回帰分析による中央安全率 $\bar{G}$ の推定式

上述の安

定解析を実際に計算するには非常に労力を要するので、多数の安定計算結果に基づいた重回帰分析から $\bar{G}$ の推定式を求め、それに対応するすべり円の位置は文献2)の図表を用

H (m)	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
5.0	-0.030	0.205	0.064	0.144	1.768	-0.025
6.0	0.048	0.277	0.053	0.136	1.412	-0.035
7.0	0.038	0.287	0.044	0.159	1.424	-0.034
8.0	-0.122	0.274	0.040	0.176	1.408	-0.008
9.0	-0.119	0.263	0.033	0.200	1.695	-0.013
10.0	-0.007	0.289	0.032	0.149	1.511	-0.023

いる簡便法を提案する。図-2のように基盤が存在する場合の $\bar{G}$ の推定式は $x_1 \sim x_5$ を独立変数とすると次式で表わされる。 $\bar{G} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 \dots \dots (3)$ ここに、 $x_1 = z/H, x_2 = \bar{c}_0, x_3 = k, x_4 = a_s, x_5 = d$ である。表-1は、各々の盛土高さ H に対応する重回帰分析の結果から得られた偏回帰係数 $\beta_0 \sim \beta_5$ を示しており、これらの値を式(3)に代入すれば容易に $\bar{G}$ は算定できる。式(3)の精度を検討するために、 $H=9m$ の場合の残差を図-3に示した。図から、ほとんどの残差は ± 0.05 の範囲にあることが分る。すなわち、締固め砂杭を打設した非常に複雑な地盤の解析でこれ以上の精度を要求するのはむしろ合理的でないことから、推定式の精度は十分であると考えられる。

4. 簡便法と厳密解によるすべり線と破壊確率 P_F の比較

算定上、すべり線の位置を決定することは不可欠である。簡便法〔Method (1)〕では砂杭の影響を無視して均一粘土層としているので、当然、すべり線は複合地盤を simulation した厳密解〔Method (2)〕とは異なる。しかし、信頼性設計で重要な点は両者の解析法の違いによる P_F の差であり、表-2にそれらを示した。ただし、添字の 1 は簡便法、2 は厳密解を意味している。この表で円弧すべり線の形状から得られるパラメータは δ であるが、 δ_1 も δ_2 も共に 4.5 の一定値を示しているのは

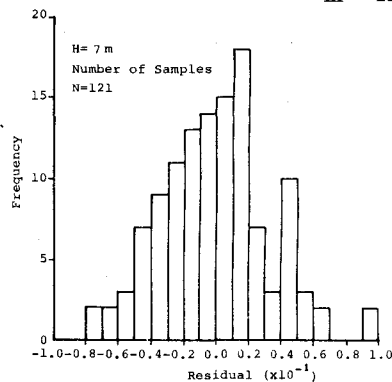
表-2

Method (1) と (2) のすべり

線の差はあまり P_F に影響しないことを示している。表-2は $\bar{c}_u$ (2) が Type

H (m)	D (m)	x/H	$\bar{\sigma}_o$ (kN/m ²)	α_s	V_{cu}	A	δ_1	$\bar{c}_1$	P_{F1} (%)	δ_2	$\bar{c}_2$	P_{F2} (%)	$ P_{F1} - P_{F2} $ (%)
8.0	8.0	1.57	18.0	0.10	0.2	1.2	4.5	1.096	19.1	4.5	1.036	36.0	16.9
				0.16			4.5	1.180	7.1	4.5	1.153	9.8	2.7
				0.22			4.5	1.265	2.3	4.5	1.245	3.1	0.8
8.0	8.0	1.57	25.0	0.10	0.2	1.2	4.5	1.373	0.2	4.5	1.313	1.1	0.9
				0.12			4.5	1.401	0.1	4.5	1.352	0.4	0.3

図-3



I (平均と標準偏差が深さに対して不変) のみの結果であるが、他の分布特性の場合にも同様な傾向にあることが確かめられている。

5. 信頼性設計の数値計算例

図-4に設計条件を示した。損失

関数は $C_T = C_c + P_F C_F$ とし、期待総費用 C_T の最小化によって最適設計をおこなう。また、各費用関数は図-4のパラメータを用いた次

$$\left. \begin{aligned} C_c &= (B + 2B_s)C_a + H(B + B_s)C_b + C_{cp} \\ C_F &= C'_c + C_R \end{aligned} \right\} \text{----- (4)}$$

ここに、 C_c : 初期建設費、 C_T : 破壊損失費、 C_{cp} : Sand Compaction Pile の費用 (3.45 万円/m)、 C'_c : 再建費 (= C_c)、 C_R : 補償費 (4000 万円/m)、 C_a : 用地費、 C_b : 土工費である。図-5は $C_T \sim P_F$ 関係、表-3は各 $\bar{c}_o$ に対応する最適設計案をまとめたものであり、Method (1) と (2) の差は砂置換率 α_s で 2% 程度であることから簡便法の有用性は実証された。

6. おわりに 今まで、安定解析法が複雑であるという理由から、信頼性設計の代替案として評価することが困難であった掃面砂杭工法を簡便法の導入により、その評価を可能とした。

また、厳密解との比較を通して簡便法の工学的意義を明確にした。なお、ここでは、図-2に示すような基盤がある場合について述べたが、基盤が存在しない場合についても同様な結果が得られている。

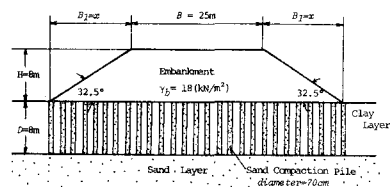


図-4

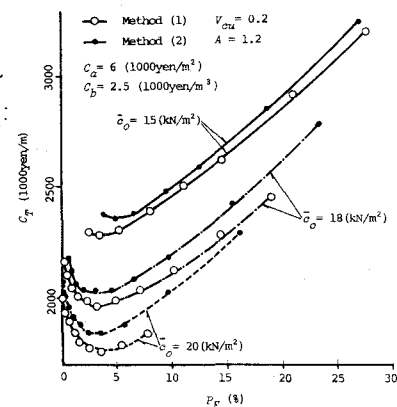


図-5

表-3

$\bar{\sigma}_o$ (kN/m ²)	$\bar{c}_{1opt.}$	$P_{F1opt.}$	α_s Optimum Design	$\bar{c}_{2opt.}$	$P_{F2opt.}$	α_s Optimum Design
15.0	1.231	3.5	0.28	1.210	4.8	0.28
18.0	1.237	3.2	0.20	1.245	3.1	0.22
20.0	1.232	3.6	0.14	1.231	3.6	0.16

参考文献 1) 松尾 稔, 鈴木 壽: 粘着カのみからなる土の単純斜面の信頼性設計 土と基礎, Vol. 30, No. 12 1982.

2) Matsuo, M. and Suzuki, H.: "Study on charts for Reliability-based design of embankments on saturated clay layer," S. and F. (to appear)

3) Matsuo, M. and Suzuki, H.: "Study on Reliability-based design of improvement of clay layer by sand compaction piles," S. and F. (to appear)