

I - A151 SCP液状化対策工を適用した干拓堤防の信頼性設計

岐阜大学農学部 正会員 清水英良
岡山大学環境理工学部 正会員 西村伸一

1. はじめに 干拓堤防は砂質材料で構成される平坦な構造物であり、水位も高く地震時液状化の問題を検討しなければならない。岩崎・龍岡らは、 N 値を基本とした簡易液状化解析において液状化指数 P_L を提案し、実際の事象とよく一致していると報告している¹⁾。本研究では、土質定数の空間変動性・相関性を考慮し、また地表水平最大加速度に歴史地震資料より求められる年最大加速度分布を用いて、液状化確率を計算している。さらに、SCP改良工を想定し、総費用最小化の規準により、最適な砂置換率とその場合の液状化確率を決定した。

2. 液状化指数 液状化指数 P_L は、深さ z 方向の液状化安全率 $F_L(z)$ を用いて次式で定義される。

$$P_L = \int_0^{20} (10 - 0.5z) F(z) dz, \quad F(z) = \begin{cases} 1 - F_L(z) & [F_L(z) < 1] \\ 0 & [F_L(z) \geq 1] \end{cases} \quad (1)$$

液状化の判定は文献1)に倣い、 $P_L \geq 5$ で生じるものとした。

3. 動的せん断強度比 簡易液状化解析に用いられる $F_L(z)$ は、動的せん断強度比 R_L を地震時せん断応力比 L で除すことにより求められる。 R_L は、 N 値、平均粒径 D_{50} 、細粒含有率 F_c 、有効土被り圧 σ_v' の土質パラメータの関数として与えられる。

$$R_L = R_L(N, D_{50}, F_c, \sigma_v') \quad (2)$$

解析対象地点における R_L と、同地点の不攪乱試料を用いて振動三軸試験から求めた動的せん断強度比 R_{20} における関係より、次式で表される回帰式の誤差を考慮した動的せん断強度比 R を用いることとした²⁾。

$$R = R_{20} = 0.62R_L + 0.1 + \varepsilon_R \quad \varepsilon_R : N(0, 0.036) \text{ の正規確率変数} \quad (3)$$

土質定数のさまざまな調査地点の深度分布を Figs. 1 ~ 3 に示す。図中には、平均値、 σ 限界値をそれぞれ実線と点線で示している。空間的な変動を表すモデルとしては、次の高次多項式を仮定した。

$$y_i = \sum_{j=0}^n a_j z_i^j + \varepsilon_i \quad \varepsilon_i : N(0, \sigma) \text{ の正規確率変数} \quad (4)$$

但し、 y_i : 深さ z_i における土質定数值、 a_i ($i=0, 1, \dots, n$) : 回帰係数さらに、パラメータ間の空間的相関特性として、次式を仮定した。

$$r_{ij}(\Delta z) = B_{ij} \exp(-\Delta z / \delta_{ij}) \quad (5)$$

ここに、 Δz : 深さ z 方向の2点間距離、 B_{ij} : $\Delta z = 0$ におけるパラメータ i, j 間の相関係数、 δ_{ij} : パラメータ i, j 間の相関距離関数は、AIC を最小化することによって決定した (Table 参照)。

4. 地震時せん断応力比 地震時せん断応力比 L は、次式で表される。

$$L = \frac{\alpha_{max} \sigma_v'}{980 \sigma_v'} r_d, \quad r_d = 1 - 0.015z \text{ (m)} \quad (6)$$

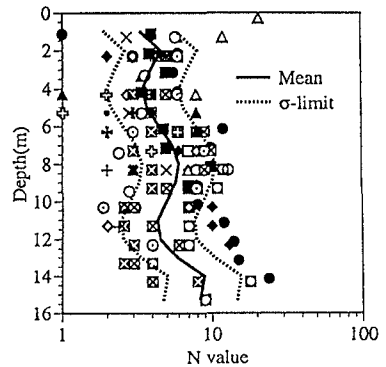


Fig. 1 深度方向の N 値分布

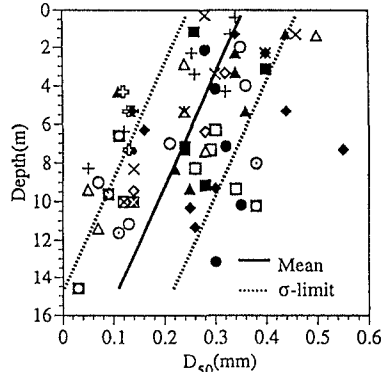


Fig. 2 深度方向の平均粒径分布

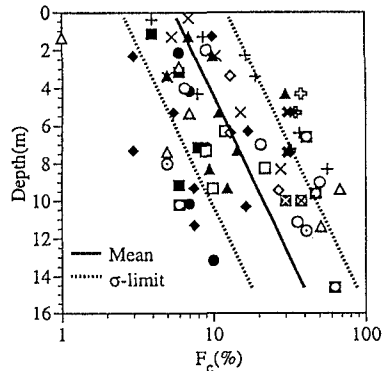


Fig. 3 深度方向の細粒含有率分布

キーワード：液状化、地震危険度解析、SCP、最適設計、モンテカルロ法

連絡先：〒501-11 岐阜市柳戸1-1

TEL/FAX : 058-293-2881

ここに、 a_{max} :地表最大加速度(gal), σ_v :全土被り圧(kgf/cm²)
 平均値 \bar{a}_{max} は、Fukushimaら³⁾の距離減衰式を用いることとした。

$$\log_{10} \bar{a}_{max} = 0.52M - 1.87 \log_{10}(\Delta + 30) + 2.09 \quad (7)$$

但し、 M :マグニチュード、 Δ :震央距離(km)

年最大加速度分布の算定には、次式の極値Ⅲ型の対数分布を当てはめた⁴⁾。

$$F_{\bar{a}_{max}} = \exp[-\{c \ln(a_w/a)\}^k] \quad a \leq a_w; c, k: 正の定数 \quad (8)$$

上限加速度 a_w の決定に、1600年以降の歴史地震資料を用いた。すなわち、1926~1993年の気象庁データからパラメータ c, k を決定し、1600年以降のデータを用いて a_w を最小自乗法により求めている (Fig. 4 参照)。

5. 地盤改良効果の定式化 SCPによる改良効果は水野ら⁵⁾の方法によった。この場合、地盤改良後の N 値 \bar{N}_i は以下の関数となる。

$$\bar{N}_i = \bar{N}_i(N_0, \sigma_v', F_c, A_s) \quad (9)$$

ここに、 N_0 :改良前 N 値、 A_s :砂置換率

上式の誤差 ε_N を考慮することにより、 N_i は以下ようになる。

$$N_i = \bar{N}_i(1 + \varepsilon_N) \quad \varepsilon_N: N(0, 0.248) \text{ の正規確率変数} \quad (10)$$

6. モンテカルロシミュレーション 液状化確率を計算するため、確率変数 $\log_{10}N, \log_{10}F_c, D_{50}, \varepsilon_R, \varepsilon_a, \varepsilon_N$ に正規分布を当てはめた。なお、密度は変動が小さいため土被り圧は確定値とした。

7. 地盤改良に伴う最適設計 信頼性理論に基づき、耐用年 t 年における期待総費用 C_T を最小化することによって、最適地盤改良率と液状化確率を求めた。ここで、 C_T は地震生起がポアソン過程に従うものとする、以下のようになる。

$$C_T = C_i + P_f \cdot t \cdot C_f = C_0(1 + \mu A_s)(1 + \lambda \cdot P_f \cdot t) \quad (11)$$

但し、 P_f :年液状化確率、 C_i :初期コスト(SCP経費も含む)

C_0 :構造物建設の初期コスト、 C_f :破壊損失

μ, λ はそれぞれ次式で定義される初期コスト係数、破壊損失係数であり、本研究では $\mu = 3.6$ と決定している。

$$\mu = 4C_s / (\pi d_s^2), \quad \lambda = C_f / C_i \quad (12)$$

ここに、 C_s :SCP単位長と盛土単位体積の施工費の比=1.38(松尾⁶⁾)、 d_s :SCPの直径=70cm

A_s は 0~0.2 までの範囲とし、 λ を変化させて計算した。Fig. 5 最適砂置換率と年液状化確率 ($t=20$ 年)

8. 結果および考察 Figs. 5~6に $t=20, 100$ 年における最適砂置換率 A_s と年液状化確率 P_f の図を掲げる。図から、 A_s は λ が増すにつれ 0.2 の上限値に近づき、 $t=100$ 年の方が増加速度が大であることがわかる。例として $\lambda t = 300$ (○印)の場合について、 A_s, P_f ともそれぞれ同じ値が選択されることが分かる。従って最適設計値は λt で表される構造物の重要度指数の値により一意的に決定することができる。

参考文献 1) 岩崎ら、土と基礎 28(4), pp. 23-29, 1980. 2) 西村ら、50 回土木学会年次講演集 III -295, pp. 590-591, 1996. 3) Fukushima et al., BSSA 80(4), pp. 757-783, 1990. 4) 清水ら、農土論集170, pp. 55-61, 1994. 5) 水野ら、土と基礎35(5), pp. 21-26, 1987. 6) 松尾、地盤工学、技報堂出版、1985.

Table 相関パラメータ

Parameters i, j	B_{ij}	δ_{ij}
$\log_{10}N, \log_{10}N$	1.0	1.1
D_{50}, D_{50}	1.0	1.0*
$\log_{10}F_c, \log_{10}F_c$	1.0	1.3
$\log_{10}N, D_{50}$	0.70	1.0*
$\log_{10}N, \log_{10}F_c$	-0.68	1.1*
$D_{50}, \log_{10}F_c$	-0.81	1.0*

* Assumed values

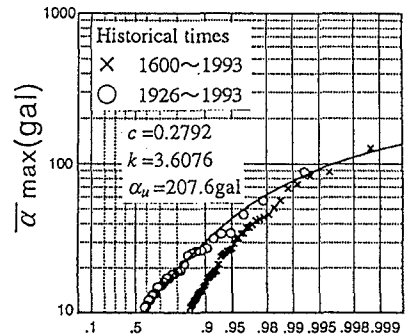


Fig. 4 年最大加速度分布

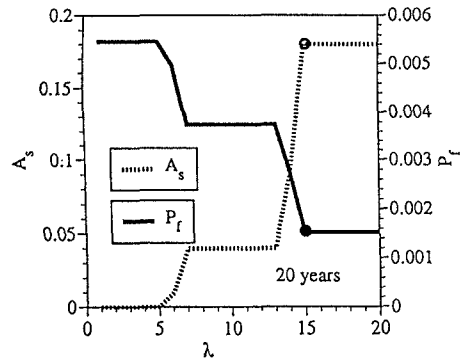


Fig. 5 最適砂置換率と年液状化確率 ($t=20$ 年)

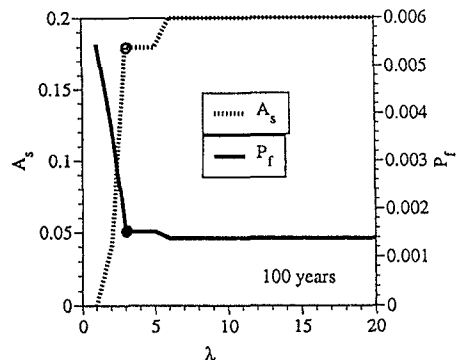


Fig. 6 最適砂置換率と年液状化確率 ($t=100$ 年)