

岡山大学環境理工学部 正会員 ○西村伸一 藤井弘章 島田 清
 岐阜大学農学部 清水英良
 中国四国農政局児島湾周辺土地改良建設事務所 西川克彦

1. はじめに

本研究では、動的土質定数の変動性と地震動の確率特性を考慮した液状化確率の算定を行っている。液状化の簡易な判定法としては、道路橋示方書による方法がよく用いられる。この方法によると動的せん断強度比 R が N 値、平均粒径 D_{50} 、細粒分含有率 F_c などの簡易なパラメータによって決定される。特定の最大加速度を仮定することにより、地震時せん断応力比 L が決定され、液状化安全率 F_L を決定することができる。本報告においても基本的にこの方法にしたがい、液状化に対する安定性を検討した。動的せん断強度比を決定する上記の3つのパラメータは空間的に大きな変動性を有しており、ここではこれを重点的に考慮している。また、歴史地震を調べることにより、地震の年最大加速度分布の統計モデルを決定している。最終的に、これらの統計量にモンテカルロシミュレーション法を適用することにより液状化確率を決定している。とくに今回は、岡山県児島湾干拓堤防堤を解析の対象とした。

2. 液状化安全率と地盤液状化指数

液状化安全率と地盤液状化指数 η は、次の式で定義される。

$$F_L = \frac{R}{L} \quad (1)$$

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz \quad (2) \quad z: \text{深度}$$

$$F = 1 - F_L \quad (F_L < 1.0) \quad F = 0 \quad (F_L \geq 1.0) \quad w(z) = 10 - 0.5z$$

一般に $P_L \geq 5.0$ のとき、液状化の可能性が高くなるとされており、今回の解析ではこれを液状化の発生条件とした。

3. 動的せん断強度比

道路橋示方書によると動的せん断強度比 R_i は N 値、平均粒径 D_{50} 、細粒分含有率 F_c 、鉛直有効応力 σ_v' の関数として与えられる。

$$R_i = f(N, D_{50}, F_c, \sigma_v') \quad (3)$$

不攪乱試料の振動三軸試験から求めた動的せん断強度比を R_{20} とするとき、解析対象における地盤において R_i との間に関係式を得ることができた。Fig.1にこの関係が示されている。最終的に、次の式から動的せん断強度比を求める。

$$R = 0.62R_i + 0.1 + \varepsilon_R \quad (4)$$

ε_R は平均値 0、標準偏差 0.036 にしたがう正規確率変数である。土質定数 (N 値、平均粒径、細粒分含有率) のうち N 値の深さ方向の分布を Fig.2 に示す。 N 値と細粒分含有率は対数正規分布に、平均粒径は正規分布に適合し、図には、パラメータの分布と平均値、 σ 限界値をそれぞれ実線と点線で示している。各土質定数は、互いに相関性を有しており、解析ではこの特性が解析に取り込ま

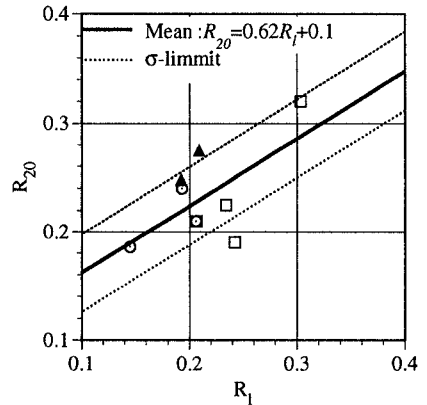


Fig.1 R_i と R_{20} の関係

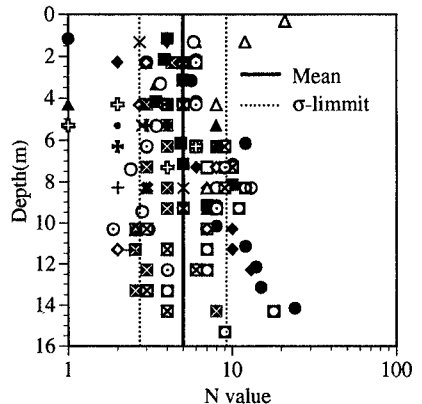


Fig.2 深度方向の N 値の分布

れることになる。相関係数は、 N 値の対数と平均粒径について0.474 N 値の対数と細粒分含有率の対数について-0.499 細粒分含有率の対数と平均粒径について-0.891 である。細粒分含有率と平均粒径は特に相関性が強く、ほぼ同じ情報を与えていることがわかる。

4. 地震時せん断応力比

地震時せん断応力比は次の式で簡便に与えられる。

$$L = \frac{\alpha_{\max} \cdot \sigma_v}{980 \sigma_v'} r_d \quad (5)$$

α_{\max} : 地震時最大加速度 σ_v : 鉛直全応力 (kgf/cm²)

$r_d = 1 - 0.015z$ (z は深度 (m))

ここで、川島ら²⁾が、提案している距離減衰式を用いると、軟弱地盤（道路橋示方書の第3種地盤）に対して最大水平加速度 α_{\max} の平均値を与える式は次のようになる。

$$\bar{\alpha}_{\max} = 403.8 \times 10^{0.265M} \times (\Delta + 30)^{-1.218} \quad (6)$$

$\bar{\alpha}_{\max}$: 平均最大加速度 (gal) M : マグニチュード Δ : 震央距離 (km)

ここで、 ε_α を $N(0, 0.197)$ は従う正規確率変数とすると、 α_{\max} は次の式で与えられる。

$$\alpha_{\max} = 10^{\varepsilon_\alpha} \bar{\alpha}_{\max} \quad (7)$$

(7) の $\log \bar{\alpha}_{\max}$ の分布には次式の極値3型分布³⁾をあてはめることにする。

$$F_{\frac{\alpha}{\alpha_u}}(\alpha) = \exp[-\{c \ln(\alpha_u / \alpha)\}^k] \quad (8)$$

$\alpha \leq \alpha_u$ α_u : 上限加速度 c, k : 定数

α_u, c, k の3つのパラメータは、1,600年以降1,995年兵庫県南部地震までのデータのうち震央距離500km以内で25gal以上のものを用いて決定した。まず、1,926年以降のデータより、パラメータ c, k を確定させ上限加速度 α_u は、1,600年以降のデータより最小二乗法を用いて決定した。Fig.3は、年最大加速度値を対数極値確率紙上にプロットしたものである。

5. モンテカルロシミュレーション法

液状化確率を計算するためにモンテカルロシミュレーション法を用いた。各確率変数には次の分布を当てはめた。なお、湿潤密度は変動が小さいため、 σ_v と σ_v' は確定値として取り扱った。

N 値: 対数正規分布 D_{50} : 正規分布 F_c : 対数正規分布 ε_R : 正規分布 ε_a : 正規分布 $\log \bar{\alpha}_{\max}$: 極値3型

モンテカルロシミュレーションは10000回繰り返した。

4. 解析結果および考察

液状化確率の算定の結果がTable 1である。地盤液状化指数 P_L が5以上の場合に発生すると定義した際の液状化確率である。表には特定の期間50,75,100年における液状化確率を示している。この結果によれば、ある年における液状化確率は約3%である。これはかなり大きな値で、これから50年間で少なくとも1回液状化が生じる確率を求めると約80%と非常に大きな値となった。ただし、今回の解析は土質定数の空間的相関特性を無視しているため、土質定数の変動性が実際よりかなり大きく考慮されており、結果的に安全側の計算となっている。今後さらに、土質定数の詳細な統計モデルの構築が必要である。

参考文献 1) 岩崎ら：土と基礎 28-4 (267), pp.23-29 (1980)

2) 川島ら：土木技術資料 26-2, pp.20-25 (1984)

3) 清水ら：農業土木学会論文集第164号, pp.73-79 (1993)

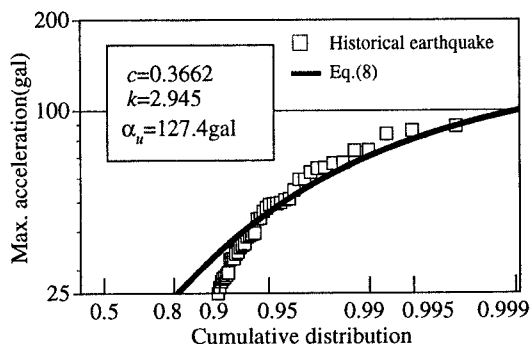


Fig.3 年最大加速度分布

Table 1 特定期間における液状化確率

Period(years)	1	50	75	100
Probability	0.031	0.795	0.907	0.958