

砂の液状化に関する基礎的研究

京都大学 正員 長尾義三

京都大学 正員 黒田勝彦

大本組 正員 ○田野脩司

2. まえがき 地震時の飽和砂の液状化は構造物等に大きな被害をもたらしてきた。したがって、ある地盤に対して事前に液状化危険度を評価することは耐震防災計画および耐震設計にとって必要不可欠なものである。近年、多くの研究者によってこの危険度を確率的に評価しようという試みがなされている。そこで本研究においては、それらの中から「Haldarの方法」、「Yegianの方法」、「龍岡の方法」をとりあげ、それらを比較検討した。

2. 各方法の概説 ① Haldarの方法¹⁾ この方法における液状化危険度の評価は地盤のせん断抵抗を振動三軸試験から推定し、地震力によるせん断応力との比較によって評価が下される。つまり、せん断抵抗 T_c は(1)式でせん断応力は(2)式で表される。

$$T_c = C_r (N_{eq}) \cdot D_r (\sigma'_v, N) \cdot R_T (d_{50}, N_{eq}) \cdot \sigma'_v \cdots (1) \quad C_r: \text{振動三軸試験補正値} \quad N_{eq}: \text{せん断応力のくり返し回数} \quad D_r: \text{相対密度} \quad \sigma'_v: \text{有効土かぶり圧} \quad N: \text{標準貫入試験値} \quad R_T: \text{相対密度} D_r = 0.5 \text{ 時の振動三軸試験値} \quad d_{50}: \text{平均粒径}$$

$$T_a = S_L \cdot R_d (R) \cdot T_{max} \cdots (2) \quad S_L: \text{応力レベル換算係数} (=0.75) \quad R_d: \text{応力減衰係数} \quad R: \text{深さ} \quad T_{max}: \text{土を剛体と仮定したときの最大せん断応力}$$

ii) Yegianの方法²⁾ この方法は強度パラメーターとして S_c を(3)式のように定義し、過去のデータの液状化の有無によって平均強度パラメーター S_c^* を推定し、実際の地震の S_c と比較する方法である。

$$S_c = k_i \cdot R \cdot a_{max} / \sigma'_v \cdots (3) \quad k_i: \text{定数} \quad a_{max}: \text{地表面最大加速度}$$

iii) 龍岡の方法³⁾ この方法はHaldarの方法と同じように地盤のせん断抵抗 R を振動三軸試験から推定し、地震作用荷重 L との比較によって評価を下す方法で、 R , L はそれぞれ(4), (5)式によって推定される。

$$R = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot R_T (d_{50}, \sigma'_v, N) \cdots (4) \quad C_1 \sim C_5: \text{補正値} (=1.0) \quad R_T: \text{振動三軸試験値}$$

$$L = R_d (R) \cdot T_{max} / \sigma'_v \cdots (5) \quad R_d: \text{応力減衰係数}$$

3. 中央安全率の観点からの比較 それぞれの方法の液状化に対する中央安全率 $\bar{F}_s$ は次のようになる。

$$\text{Haldarの方法: } \bar{F}_s = \frac{\bar{T}_c}{\bar{T}_a} = \frac{\bar{C}_r (N_{eq}) \cdot \bar{D}_r (\sigma'_v, N) \cdot \bar{R}_T (d_{50}, N_{eq}) \cdot \bar{\sigma}'_v}{S_L \cdot \bar{R}_d (R) \cdot \bar{T}_{max}} = \frac{\bar{C}_r (N_{eq}) \cdot \bar{D}_r (\sigma'_v, N) \cdot \bar{R}_T (d_{50}, N_{eq})}{S_L \cdot \bar{R}_d (R)} \cdot \frac{\bar{\sigma}'_v}{\bar{T}_{max} / \sigma'_v} \cdots (6)$$

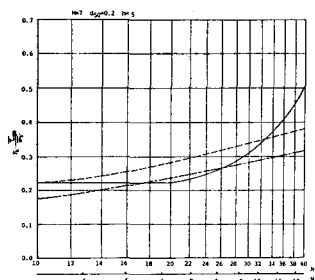
$$\text{Yegianの方法: } \bar{F}_s = \frac{S_c^*}{S_c} = \frac{\bar{\sigma}'_v \cdot S_c^*}{k_i \cdot R \cdot a_{max}} = \frac{\bar{\sigma}'_v \cdot S_c^*}{k_i \cdot g} \cdot \frac{1}{\bar{T}_{max} / \sigma'_v} \cdots (7)$$

$$\text{龍岡の方法: } \bar{F}_s = \frac{\bar{R}}{L} = \frac{\bar{C}_1 \cdot \bar{C}_2 \cdot \bar{C}_3 \cdot \bar{C}_4 \cdot \bar{C}_5 \cdot \bar{R}_T (d_{50}, \sigma'_v, N)}{\bar{R}_d (R) \cdot \bar{T}_{max} / \sigma'_v} = \frac{\bar{C}_1 \cdot \bar{C}_2 \cdot \bar{C}_3 \cdot \bar{C}_4 \cdot \bar{C}_5 \cdot \bar{R}_T (d_{50}, \sigma'_v, N)}{\bar{R}_d (R)} \cdot \frac{\sigma'_v}{\bar{T}_{max}} \cdots (8)$$

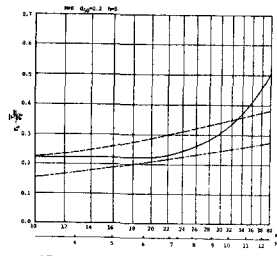
いま補正 N 値 N' を(4)式で定義し、 N' に対して $\bar{F}_s$ ($\bar{T}_{max} / \sigma'_v$) の値をプロットしたものが図(1) ~ 図(4)である。ここに M はマグニチュードである。

Yoshimi Nagao, Katsuhiko Kutode, Shyuzi Tano

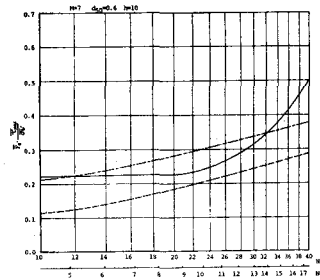
$$N' = \frac{50 N}{1.422 \sigma_v' + 10} \quad (\sigma_v' : t/m^2) \quad \cdots (9)$$



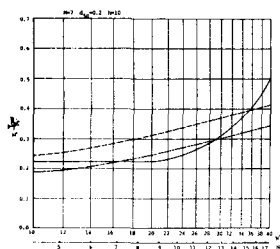
図(11)



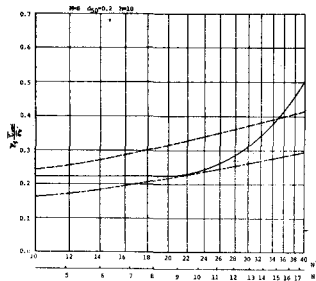
図(13)



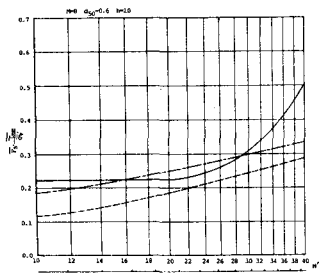
図(15)



図(17)



図(19)



図(21)

これらの図から次のことが言える。i) M について: Haldar の方法においては M が大きくなると $\bar{P}_s \cdot (\bar{\tau}_{max}/\sigma_v')$ は小さくなるが、他の 2 つの方法は M と無関係である。ii) d_{50} について: d_{50} が大きくなると $\bar{P}_s \cdot (\bar{\tau}_{max}/\sigma_v')$ は Haldar の方法においては大きくなるが 龍岡の方法においては逆に小さくなる。Yegian の方法は d_{50} に無関係である。iii) N について: N が大きくなると $\bar{P}_s \cdot (\bar{\tau}_{max}/\sigma_v')$ は Haldar の方法、龍岡の方法ともに大きくなるが、その増加率は Haldar の方法のほうが大きい。iv) N' について: 片対数紙上で Haldar の方法および 龍岡の方法はほぼ直線の傾向を呈す。そして Yegian の方法では $N=20$ ぐらいまで一定で、それから急激に増加する。

4. 液状化確率の比較 紙数の都合上、分散の算定式は省略する

が $P_f = \text{Probability}[\tau_{max} > \tau_{cr}]$ を三者で比較したものが図(14)である。

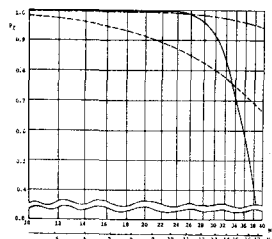
5. おまけ 各方法の安全率の評価は M, d_{50} , N 等のパラメータの差異によってたいへん異なる。これは地盤のせん断抵抗の評価方法の違いに起因するものと思われる。したがって液状化危険度の確率的評価は地盤のせん断抵抗のより正確な把握に依存するであろう。

参考文献 1) Haldar, A. (1976) "Probabilistic Evaluation of Liquefaction of

Sand Under Earthquake Motions" Department of Civil Engineering University of Illinois at Urbana - Champaign

2) Yegian, H.K. (1976) "Risk Analysis for Earthquake-Induced Ground Failure by Liquefaction" Massachusetts Institute of Technology Department of Civil Engineering Constructed Facilities Division Cambridge Massachusetts 02139 Report No. 26 3) 龍岡文夫 (1980) "地震時における地盤の液状化の激しさの程度の

予測" 生産研究, 東京大学 Vol. 32 No. 1



図(14)