

## まえがき

砂質地盤の地震時液状化の判定解析を行うにあたり、標準貫入試験のN値と物理試験による試料の粒度分布等の情報しか入手できない場合が多い。本報告は、筆者らがこれまでに実施してきた研究成果を再整理したものであり、液状化強度の推定にあたってはN値のみでなく、有効上載圧( $\sigma_v'$ )および粒径( $D_{50}$ )に対する補正を行うのが適切であることを示す。

## 液状化強度推定式

図-1はN値を用いて原位置の非排水繰返し強度(または液状化強度)  $R_L$  を推定する主要なる方法を示している。ここでは、3方法とも繰返し回数  $N_c = 20$  回、両振幅軸歪  $DA = 5$  または  $6(\%)$  に対する非排水繰返し三軸試験での強度  $R_L = \sigma_{dp}/20$  でも、比較検討する。

【A法】Seed and Idriss<sup>1)</sup> の提案による  $R_L$  の算定法を要約すると次のようになる。

$$R_L = \alpha \cdot f(D_{50}) \cdot D_r \cdots (1), \quad D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 \cdots (2)$$

$$D_r = D_r^* \cdots (3) \quad D_r^* = 21 \sqrt{\frac{N}{\sigma_v' + 0.7}} \quad (\sigma_v': \text{kg/cm}^2) \cdots (4)$$

$f(D_{50})$  は Martin 等(1978) によると  $f(D_{50}) = 1.0$  とし、 $\alpha$  は平均的に 0.0042 である。結局、(1)~(4)式から次式が得られる。

$$R_L = R_{LA} = 0.0882 \sqrt{N/(\sigma_v' + 0.7)} \cdots (5)$$

この方法では、(1)、(3)式の中で有効・土中履歴、長時間圧密等の影響を考慮しないと厳密なものとはならない。

【B法】Castro (1975)<sup>2)</sup>, Ishihara (1977)<sup>3)</sup> 等がこの方法を用いているが、筆者等<sup>5)</sup>は次式を提案した。

$0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}$  に対して

$$R_L = R_{LB} = 0.0882 \left\{ \sqrt{N/(\sigma_v' + 0.7)} - 2.55 \log_{10} (D_{50}/0.35) \right\}$$

$0.6 \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm}$  に対して

$$R_L = R_{LB} = 0.0882 \left\{ \sqrt{N/(\sigma_v' + 0.7)} - 0.567 \right\} \cdots (6)$$

これは(5)式において  $D_{50}$  がN値に与える影響をとり入れ、(5)式を修正したものである。

【C法(1)】Seed (1979)<sup>4)</sup> はこれまでの液状化と非液状化の履歴の解析から、地震マグニチュード  $M = 7\frac{1}{2}$  に対して(7)式を提案している。

$$(\tau_{av}/\sigma_v')_L \doteq N_1/90 \cdots (7), \quad N_1 = \{1 - 1.25 \log_{10} (\sigma_v'/1.076)\} \cdot N \doteq (D_r^*/15.9)^2 = 1.74 N/(\sigma_v' + 0.7) \cdots (8)$$

ここで、Seed (1979) の示したデータに従うと

$$(\tau_{av}/\sigma_v')_L = C_r (\sigma_{dp}/20c) \text{ Neg} \cdots (9), \quad C_r = 0.63 \text{ for } K_0 = 0.5 \cdots (10), \quad \text{Neg} = 15 \text{ for } M = 7\frac{1}{2} \cdots (11)$$

一方、近似的に次式が成り立つ。

$$R_L = (\sigma_{dp}/20c) N_c = 20 = 0.944 (\sigma_{dp}/20c) N_c = 15 \cdots (12)$$

以上をまとめると(13)式のようになる。

$$R_L = R_{LC1} = 0.029 N/(\sigma_v' + 0.7) \cdots (13)$$

ここで、(7)式は新潟地震の経験(きれいな砂が主)に負う所が大きい。従って、細砂、シルト質砂に対して、そのままではまるかたう疑問が多い。Pyke 等(1978)<sup>6)</sup> は、(7)式が細砂、シルト質砂に対して強度を過少評

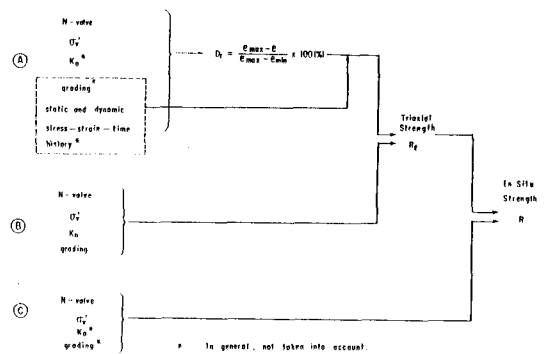


図-1 N値を用いる液状化静的強度推定法の主要方法

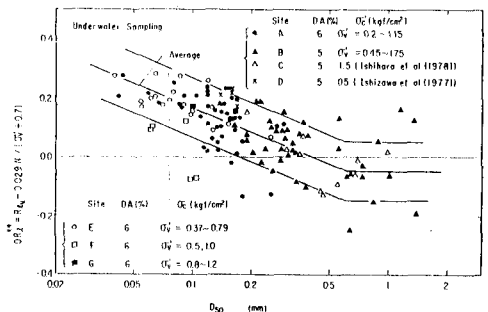


図-2  $D_{50}$  と  $DR_L^* = R_{LB} = 0.029 N/(\sigma_v' + 0.7)$  の関係

価する例を報告している。

《C法(2)》(6)式を導いたのと同レーダを用いた不攪乱試料の  $R_L$  の測定値  $R_{EM}$  と(13)式による  $R_L$  の差と  $D_{50}$  の関係を示したのが、図-2である。図中の平均曲線は

$$\left. \begin{aligned} 0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm} \text{ に対し} \\ R_{EM} - 0.029N / (0.6 + 0.7) = 0.275 \log_{10}(D_{50}/0.4) \\ 0.6 \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm} \text{ に対し} \\ R_{EM} - 0.029N / (0.6 + 0.7) = -0.05 \end{aligned} \right\} \dots (14)$$

となる。(14)式で  $R_{EM} = R_L$  とすると(15)式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} 0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm} \text{ に対し} \\ R_L = R_{LC2} = 0.029N / (0.6 + 0.7) - 0.275 \log_{10}(D_{50}/0.4) \\ 0.6 \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm} \text{ に対し} \\ R_L = R_{LC2} = 0.029N / (0.6 + 0.7) - 0.05 \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

### まとめ

以上をまとめたのが表-1である。表中の  $R_L$  のうち、 $N$  値から出発しているのは  $R_{LA}$ 、 $R_{LB}$ 、 $R_{LC1}$ 、 $R_{LC2}$  である。これらの方法を実際の埋立地の沖積細砂層および中砂層に適用した例を、各々図-3および図-4に示す。

細砂層では測定値  $R_{EM}$  に比べると、 $R_{LA}$ 、 $R_{LC1}$  は著しく小さいが、 $R_{LB}$  と  $R_{LC2}$  は  $R_{EM}$  と近い値を示している。少なくとも  $N$  値に対する  $D_{50}$  の補正が含まれていない  $R_{LA}$ 、 $R_{LC1}$  は細砂層に対して極めて小さい値を与えることがわかる。中砂層では  $R_{LA} \sim R_{LC2}$  間の開きは少ないが、 $R_{LB}$  が  $R_{EM}$  と一番近い値を示している。なお、紙面の都合上詳しく述べないが、過去の液状化、非液状化の履歴を検討した結果によると  $N$  値から  $0.6$  に対する補正だけで液状化強度を求めるのは不十分であり、 $D_{50}$  に対する補正が必要なことが指摘される。

### 結論

将来の研究により、より改善されることは言うまでもないが、非排水線返し強度を  $N$  値から推定する際、少なくとも  $0.6$  と  $D_{50}$  に対する補正が必要であり、現在の所(6)式を提案できる。

**謝辞:** この研究を進めるに当り、基礎地盤コンサルタンツ(株)安田達氏、東亜建設(株)広瀬誠氏、(株)応用地質調査事務所今井常雄氏、今野政志氏らの他、関係諸機関の協力を得ている。本筆ながら謝意を表します。

- (参考文献) ① Seed, H.B. and Idris, I.M. (1971), "A Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential," J. of SMER, ASCE, Vol. 97, SM 9  
② Martin, et al. (1978), "Effects of System Compliance of Liquefaction Tests," A.S.C.E. Vol. 104, G.T. 4  
③ Castro, G. (1975), "Liquefaction and Cyclic Mobility of Saturated Sand," A.S.C.E., Vol. 101, G.T. 6  
④ Ishihara, K. (1978), "Simple Method of Analysis for Liquefaction of Sand Deposits during Earthquakes," Vol. 17, ch. 3  
⑤ Tatsuoka, et al. (1978), "A Method for Estimating Undrained Cyclic Strength of Sandy Soils Using Standard Penetration Test," Sand & S. 2  
⑥ Byka, R.M. et al. (1978), "Liquefaction Potential of Hydraulic Fills," A.S.C.E. Vol. 104, G.T. 11

表-1. 液状化強度( $R_L$ )の算定法の要約

| 記号 | 算定方法                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ●  | $R_{EM}$ = Measured by Cyclic Undrained Triaxial Tests on Undisturbed Samples                                                                                                                                                                                           |
| □  | $R_{LB} = 0.0042 D_r$ ( $D_r = \frac{e_{max}-e}{e_{max}-e_{min}} \times 100$ ;<br>e is from $P_d$ in the liner of Sand Sampler)                                                                                                                                         |
| x  | $R_{LA} = 0.0042 D_r = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{0.6+0.7}}$                                                                                                                                                                                                                 |
| ○  | $R_{LB} = 0.0882 \left\{ \sqrt{\frac{N}{0.6+0.7}} - 2.55 \log_{10} \left( \frac{D_{50}}{0.4} \right) \right\}$<br>for $0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}$<br>$0.0882 \left\{ \sqrt{\frac{N}{0.6+0.7}} - 0.567 \right\}$<br>for $0.6 \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm}$ |
| △  | $R_{LC1} = \frac{0.029N}{0.6+0.7}$                                                                                                                                                                                                                                      |
| ▽  | $R_{LC2} = \frac{0.029N}{0.6+0.7} - 0.275 \log_{10} \left( \frac{D_{50}}{0.4} \right)$<br>for $0.04 \leq D_{50} \leq 0.6 \text{ mm}$<br>$\frac{0.029N}{0.6+0.7} - 0.05$<br>for $0.6 \leq D_{50} \leq 1.5 \text{ mm}$                                                    |

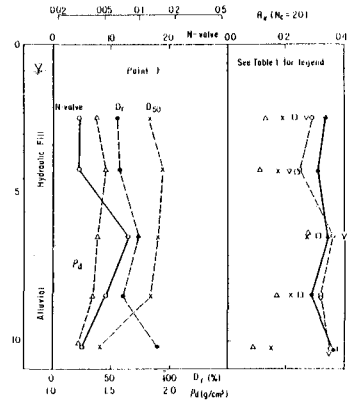


図-3 各種方法による液状化強度比較(1)(細砂地)

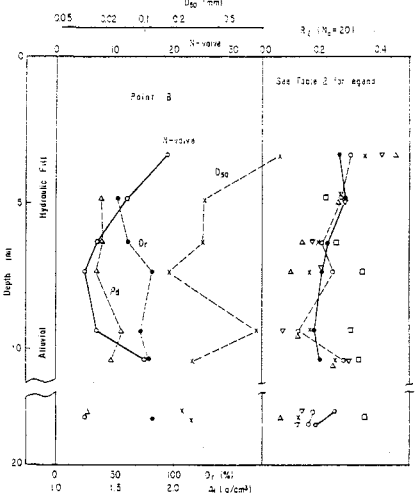


図-4 各種方法による液状化強度比較(2)(中砂地点)