

中国福建標準砂の三軸試験による液状化強度III

— 限界繰返し回数・余裕間隙比による検討 —

Liquefaction Strength of Fujian Standard Test Sand, China,

— Analyses Using Critical Number of Loading Cycles and Volume Decrease Potential —

越智健三*・龍岡文夫**・王中正***

Kenzo OCHI, Fumio TATSUOKA and Zhongzheng WANG

1. はじめに

本号では、3つの砂(福建砂・豊浦砂・浅間山砂)の液状化強度に見られる共通的法則性について検討した結果について報告する。

2. 限界繰返し載荷回数 (N_c)_{cr}

前号⁴⁾で、3つの砂(福建砂・豊浦砂・浅間山砂)の液状化強度は、従来の相対密度を用いた整理法によると、異なってくることを示した。しかし、図-10(a), (b), (c)⁴⁾に示す3種の砂の液状化強度曲線は全て形が非常によく似ており、これらの液状化強度曲線を水平に移動すれば、全て1つの曲線に合致してしまうことを示唆している。そこで、曲線の変曲点を応力比=0.23とし、このときの N_c の値を限界繰返し回数 (N_c)_{cr} (Critical number of loading cycles) と定義することにする。^{1),2)} $N_c < (N_c)_{cr}$ では強度曲線の勾配は大きく、 $N_c > (N_c)_{cr}$ ではその勾配は小さい。図-12は、(a) $DA=2\%$ 、(b) $DA=5\%$ 、(c) $DA=10\%$ のときの3つの砂の $SR \sim N_c / (N_c)_{cr}$ 関係を示したもので、それぞれの DA の値に対して砂の種類によらないほぼ一義的な関係があることが分かる。すなわち、それぞれの DA で (N_c)_{cr} の値を与えれば、 $SR \sim N_c$ 関係を求めることができる。このことは、パラメータ (N_c)_{cr} が砂の液状化強度の1つのよい指標になりうることを示唆している。

3. 相対密度 D_r の検討

これまで用いてきた相対密度 D_r はつぎの方法で求めている。

$$D_r = \frac{e_{max} - e_c}{e_{max} - e_{min}} \times 100(\%) \quad (1)$$

* 東急建設技術研究所(元東京大学生産技術研究所受託研究員)

** 東京大学生産技術研究所 第5部

*** 中国大連工学院水利系, 副教授(元東京大学生産技術研究所外国人招へい研究者)

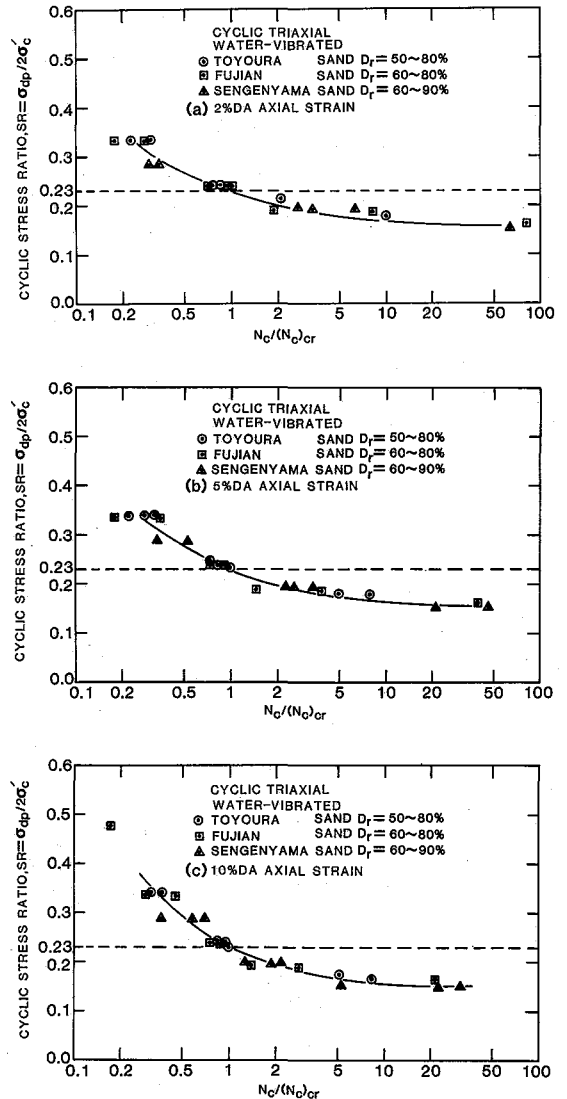


図12 (a) $DA=2\%$ 、(b) $DA=5\%$ 、(c) $DA=10\%$ に対する繰返し応力比 $SR \sim N_c / (N_c)_{cr}$ 関係

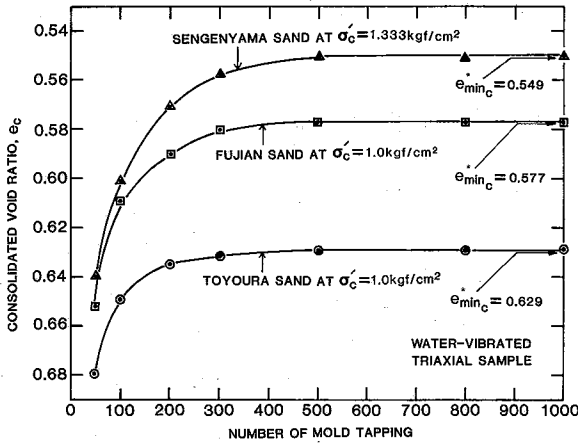


図13 3種の砂の水中振動法で作成した三軸供試体の圧密後間隙比 e_c とモールド連打数との関係

表-1 e_{min} と e_{min}^* の比較

	福建砂	豊浦砂	浅間山砂
e_{min}	0.572	0.605	0.564
e_{min}^*	0.577	0.629	0.549

ここで、 e_{max} 、 e_{min} はそれぞれ、空気乾燥状態の砂を用いて、上載圧ゼロの状態内で径 6 cm、内高さ 4 cm のステンレススチール製のモールド内に静かに注ぎこんだときの間隙比、およびモールドを合計 1000 回連打したときの間隙比である。これに対して、 e_c は水中落下振動法で作成した三軸供試体を所定の圧密拘束圧まで圧密したときの供試体の平均間隙比であり、 e_{max} 、 e_{min} を測定したときの状況とは異なっている。さらに、 e_c の値にはいわゆる Membrane penetration による誤差も含まれている。すなわち、(1)式による D_r の値で異なる砂の圧密後の三軸供試体の密度状態を統一的にあらわすことは合理的ではないことは明らかであろう。

そこで、まず圧密された三軸供試体に対する最小間隙比 e_{min}^* を求めて見ることにする。非排水繰返し三軸試験を行った供試体に対してモールド連打数と圧密後の供試体平均間隙比の関係を求めてみた(図-13)。すると、大略モールド連打数 500 以上で e_c はモールド連打数によらなくなってくる。そこで、今、モールド連打数 1000 回に対する e_c を e_{min}^* と定義することにする。これらの値と図-1 に示す e_{min} の値は必ずしも一致していない(表-1)。浅間山では $e_{min}^* < e_{min}$ であるのに対して、福建砂、豊浦砂ではその逆になっている。

一方、 e_{min}^* に対応する e_{max}^* の値は、モールド連打数ゼロに対応する e_c の値である。この値を実際に求めて

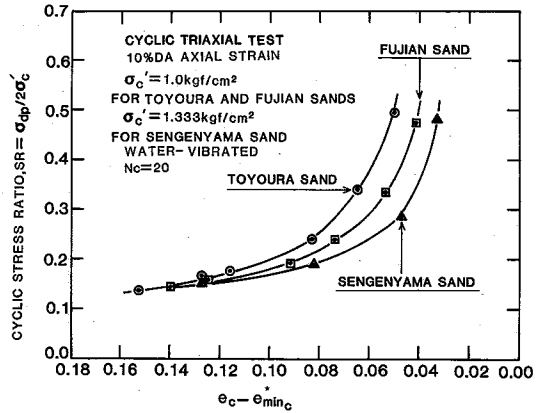


図14 3種の砂の圧密後の修正余裕間隙比 $e_c - e_{min}^*$ と液状化強度関係の比較

みたが、供試体ごとでのばらつきが大きく ($\Delta e = \pm 0.05$ 程度)、かつ、砂の水中落下のしかたによってきわめて微妙に変化する不安定な値であることが判明した。さらに、他の試料作成法(不飽和突き固め法など)では e_{max}^* の定義はますます困難になる。そこで、石原ら⁵⁾が提案した余裕間隙比を用いて整理してみた(図-14)。この場合、余裕間隙比は $e_c - e_{min}^*$ で定義した。すると、3つの砂の強度曲線は間隙比の幅 ± 0.01 の幅の中に収まった。これはこの3種の砂に対して相対密度で約 $\pm 3\%$ の幅であり、図-11(b)に示す結果に比べると、差ははるかに小さくなっていることを示している。すなわち、少なくともこの3つの砂の液状化強度を統一的にあらわそうとするとき、(1)式で定義した D_r の値よりも $e_c - e_{min}^*$ の方がより適切であると言える。

4. ま と め

従来の相対密度という密度パラメータを用いると、異なった砂の液状化強度は非常に異なって見えることがある。しかし、今回の研究では、異なった砂の液状化強度にある程度の共通の法則性があることが分かった。特に、限界繰返し回数 $(N_c)_{cr}$ は、一様正弦波荷重に対する密な砂の液状化強度の指標として、ランダム波に対する液状化の解析に大変有効である。このことは別途詳しく報告する予定である。(1984年3月21日受理)

参 考 文 献

- 1) 王中正・龍岡文夫・越智健三(1984)、“中国福建標準砂の三軸試験による液状化強度II——日本の砂との比較——”，生産研究，36巻，7号，14～16頁
- 2) Ishihara, K. and Watanabe, T.(1976), “Sand liquefaction through volume decrease potential,” Soils and Foundations, Vol. 16, No. 4, pp. 61-70.