

東急建設株式会社

○越智 健三

東京大学生産技術研究所

龍岡 文夫

佐藤工業株式会社

藤井 信二

1. はじめに

浅間山砂の非排水繰返しせん断強度は、同一の密度に対して、4つの異なる試料作成法により非常に異なることが示されている¹⁾²⁾(図1)。そこで本研究では、修正余裕固隙比を用い、異なる試料作成法による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のでその結果を報告する。

2. 実験条件および試料作成法

内径6cm外径10cm高さ10cmの中空円筒供試体を用い、 $\sigma'_c = 2 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma'_v = 1 \text{ kgf/cm}^2$ の異方圧密後、軸方向の変位を拘束(平面ひずみ状態)して、繰返しせん断試験を行った。(詳細は文献1)2)参照。)

試料作成法は、AIR-PLUVIATED(空中落下法)、WET-TAMPED(湿潤固め法)、WET-VIBRATED(湿潤振動締固め法)、WATER-VIBRATED(水中落下振動締固め法)の4種類である。(詳細は文献2)参照。)

3. 結果および考察

図1は繰返し回数20回でせん断ひずみ15%を生じるときの応力比と相対密度の関係である。図1より各種試料作成法による差は大きく、 $SR=0.3$ の時、相対密度の差は、 $\Delta D_r = \pm 15\%$ にも及ぶ。また、AIR-PLUVIATED、WET-TAMPEDでは、 $D_r \geq 100\%$ が存在する。そこで、相対密度という密度パラメータの物理的意味について検討してみる。相対密度 D_r は次式により求めている。

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

ここで、 $e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ は土質工学会基準案により、 $e_{\max} = 0.918$ 、

$e_{\min} = 0.564$ としている。ところが、(1)式における e_c は、異なる試料作成法の中

中空供試体を所定の圧密拘束圧($\sigma'_c = 1.333 \text{ kgf/cm}^2$)まで圧密した時の供試体内平均固隙比であり、 $e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ を測定した時とは、試料作成法による砂内部の構造(粒子の並び方、接触の仕方)および応力状態(σ'_c)が異なっている。更に、 e_c の値には、いわゆるMembrane Penetrationによる誤差も含まれている。このように砂そのものの $e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ を用いた相対密度(1)式は、 γ_e 、 ρ_d と同様に単なる砂の密度Indexにしかすぎないと言えよう。したがって

e_c と同一の粒子構造および応力状態に対する $e_{\max}^*$ および $e_{\min}^*$ なるものが決定できれば、(1)式を用いることで、試料作成法および拘束状態の影響が除外された表示が可能となるかもしれない。そこで、今、中空供試体を用い、 e_c と同一の粒子構造および応力状態に対する $e_{\min}^*$ なるものを求めてみた。図2はWATER-VIBRATEDで作成した e_c とモールド打撃回数の関係である。図2から e_c はある回数から定値に収束してくる。このことは他の作成法でも同様に見られる。そこで、この定値にここで打撃1000回の時の

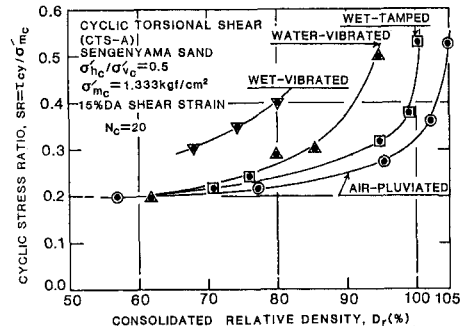


図1. 応力比と相対密度の関係

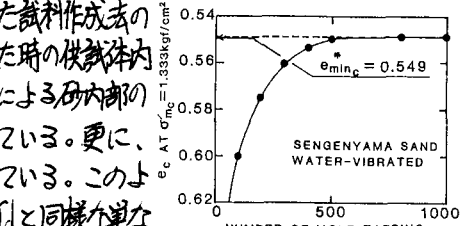
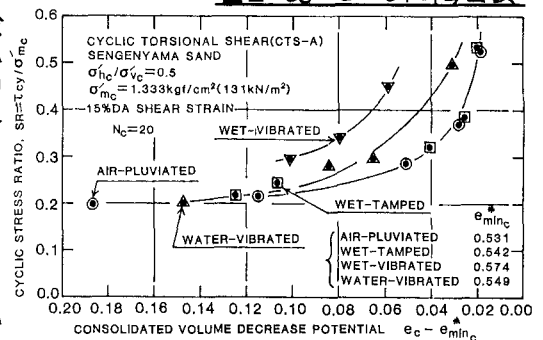
図2. e_c とモールド打撃回数

図3. 修正余裕固隙比と応力比の関係

e_c ）をもって e_{min}^* と定義した。一方、 e_{min}^* に対する e_{max}^* の値は、図2では、打撃回数0回の時の e_c となるが、この値は供試体毎のばらつきが大きく ($\Delta e = \pm 0.05$)、同一の作成法でも微妙な違いに大きく変化する不安定な値であることが分かった。更に、理論状態の作成法ではますます定義が困難である。そこで、(1)式による表示にかわり、石原³⁾の提案した余裕間隙比と粒子構造の相違を直接表示した修正余裕間隙比として次式を定義した。

$$V_d^* = e_c - e_{min}^* \text{----- (2)}$$

図3は、図1の相対密度と(2)式の修正余裕間隙比におきかえて表示したものである。図3より、試料作成法の差は $SR=0.3$ で $\Delta e = \pm 0.03$ と小さくはなっているが、必ずしも満足できるものではない。

一方、試料作成法が及ぼす変形特性に注目してみたものが図4、図5である。図4は、 $SR=0.3$ の時のせん断ひずみが3%から15%に至るまでの載荷回数 ($N_{15}-N_3$) と砂そのものの密度の関係である。図5は、砂そのものの相対密度 $D_r=70\%$ の時に、3%から15%のせん断ひずみが生じる回数 $N_{15}-N_3$ とその時の応力比の関係である。これらの図から、同一の密度に対して試料作成法によるひずみの生じ方 (変形特性) には差がないことがわかる。すなわち、図4から、 $DA=3\%$ (いわゆる初期液状化) に至った時点で、供試体のもつ作成法の相違という記憶は打ち消され、それ以後のひずみの生じ方は砂のもつ密度そのものにのみ依存しているということが言える。更に、図5からひずみの生じ方 $N_{15}-N_3$ と応力比は、

$$SR \times (N_{15} - N_3) = 0.9 \sim 1.0 \text{--- (3)}$$

という簡単な反比例法則で表現されるようだ。

以上のことから考えると、図3に示したせん断ひずみ15%における整理法では、試料作成法の影響がある部分とない部分を混同して表示していたことになる。そこで、試料作成法の影響がある $DA=3\%$ までは図3と同様に(2式で定義した修正余裕間隙比を用いて整理したものが図6である。この図より、試料作成法の差は $SR=0.3$ で $\Delta e \leq \pm 0.015$ と相当小さくなっており、 $DA=3\%$ (いわゆる初期液状化) までは(2式で定義した修正余裕間隙比を用いることで、試料作成法の共通の支配性ある程度説明できる。

4. 結論

- (1). 大略3%以下のひずみの生じ方は、同一の $e_c - e_{min}^*$ に対して試料作成法の影響が少ない。
- (2). 大略3%以上のひずみの生じ方は、砂の密度そのものに支配され試料作成法の影響はない。

<謝辞> 本研究は東京大学生産技術研究所で行ったものです。試作工場の方々、佐藤技官・山田助平・島光技官はじめ研究室の方々には大変お世話になりました。末筆ながら感謝の意を表します。

<参考文献> 1) Tatsuoka, Fujii, Yamada (1982) "Cyclic Undrained Simple Shear Strength of Sands Affected by Specimen Preparation Methods" Bull. ERS, Vol. 15, Univ. of Tokyo 2) Tatsuoka, Ochi, Fujii (1984) "Effect of Sample Preparation Method on Cyclic Undrained Strength in Triaxial and Torsional Shear Tests" Bull. ERS, Vol. 17, Univ. of Tokyo 3) Ishihara, Watanabe (1976) "Sand Liquefaction Through Volume Decrease Potential" Soils and Foundations, Vol. 16, No. 4, 4) Tatsuoka, Fujii, Yamada (1982) "Undrained Stress-Strain Behavior of Sand under Cyclic Uniform and Random Loading" International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, September, 1982

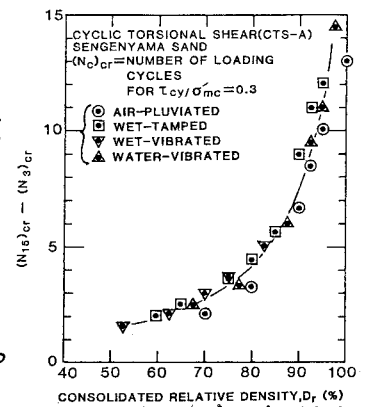


図4. $(N_{15})_{cr} - (N_3)_{cr}$ と相対密度

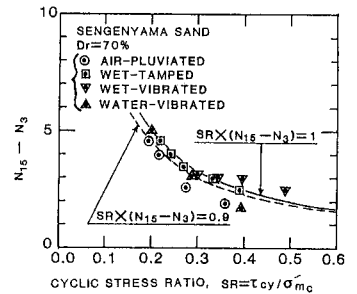


図5. $D_r=70\%$ における $N_{15}-N_3$ と応力比

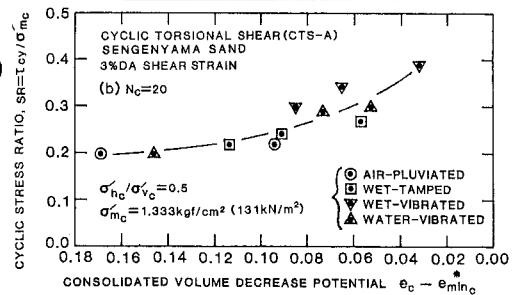


図6. $DA=3\%$ における修正余裕間隙比と応力比