

III-13 細粒分を含む不飽和土の液状化強度に関する研究

愛媛大学工学部 学生会員 ○野口 康平
愛媛大学工学部 正会員 岡村 未対
(株) ウエスコ 正会員 藤原 身江子

1. はじめに

地盤の飽和度が低下すると液状化強度が大きくなることは既往の研究（例えば文献^{1) 2)}）によって明らかにされてきた。しかし、既往の研究では細粒分をあまり含まないきれいな砂が対象とされてきた。そこで、本研究では細粒分を比較的多く含む成田砂（細粒分含有率 $F_c=12\%$ ）を用い、飽和度 S_r 、有効拘束圧 σ'_c 、及び背圧 $B.P.$ を種々変化させ、これらが液状化強度に及ぼす影響を繰返し三軸試験によって調べた。

2. 実験概要

不飽和土の液状化強度は密度や飽和度 S_r だけでなく、有効拘束圧 σ'_c 、背圧 $B.P.$ によっても変化することが報告されている。曾我¹⁾ は、繰返しせん断によって過剰間隙水圧が発生すると、間隙（水と空気）の圧縮性が大きいほど過剰間隙水圧が小さくなり液状化強度が大きくなるということに注目して以下に示す式を用いて体積ひずみと液状化強度の関係をまとめた（図-1）。

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta P}{P_0 + \Delta P} (1 - S_r) \frac{e}{1 + e} \leq \frac{\sigma'_c}{\sigma'_c + P_0} (1 - S_r) \frac{e}{1 + e} = \varepsilon_v^* \quad (1)$$

ただし、式-1において P_0 は絶対圧で気泡の圧力（間隙の水と気泡の圧力は等しいと仮定）である。飽和度が S_r 、有効拘束圧が σ'_c 、気泡の圧力が P_0 の土塊を考え、その土塊の間隙水圧が ΔP だけ上昇する時の体積ひずみが ε_v である。また、 ΔP の最大値は σ'_c であり、この時の ε_v は最大値 ε_v^* となる。また、図-1 より、体積ひずみの値が大きくなるほど液状化抵抗比（液状化強度 R を飽和砂の液状化強度 $R_{(S_r=100\%)}$ で除したもの）も大きくなり、その関係はユニークなものであることが分かる。

本研究では、成田砂を用い、密度（乾燥密度 $\rho_d = 1.51$ または、 1.58 g/cm^3 ）を一定にし、 S_r 、 σ'_c 、 $B.P.$ の条件を変化させ実験を行った。供試体は湿潤状態で突固め法により作成し、二重負圧の下で一定時間脱気水を通水させた。次に、供試体に背圧を加え、その時にビューレットから供試体に流入した水の量、つまり供試体内部の気泡が背圧により圧縮した量を計測し、ボイルの法則により供試体の飽和度を算出した。繰返し非排水三軸試験は、 0.01Hz の正弦波で行った。実験条件を以下の表-1 に、成田砂と豊浦砂の水分特性曲線の比較図を図-2 に示す。

3. 本研究結果

本研究結果のうち、乾燥密度 $\rho_d = 1.51 \text{ g/cm}^3$ での試験から得られたせん断応力比と繰返し载荷回数を図-3 に、また、 $\rho_d = 1.58$

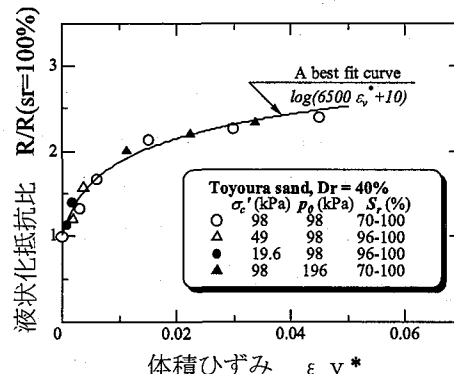


図-1 不飽和砂の液状化強度と体積ひずみの関係

表-1 実験条件

	体積ひずみ ε_v^*	飽和度 S_r	有効拘束圧 σ'_c	背圧 $B.P.$
$\rho_d = 1.51$ (g/cm^3)	0	100	98	196
	0.006	95	73	98
	0.01	95	122	49
	0.017	85	52	196
	0.017	85	73	98
	0.027	80	98	98
$\rho_d = 1.58$ (g/cm^3)	0	100	98	196
	0.005	95	73	98

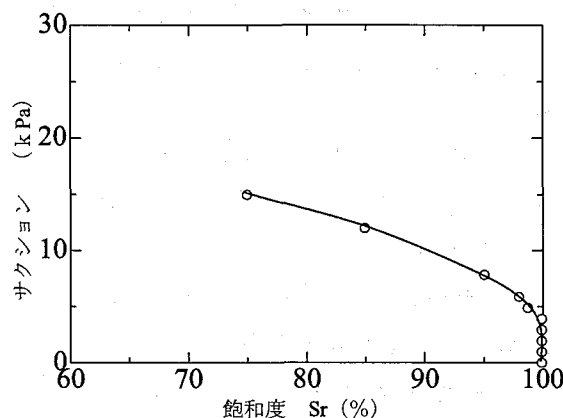


図-2 成田砂水分特性曲線

g/cm³の結果を図-4に示す。

ここで、図-3及び図-4共に、飽和度が低下すると繰返し載荷回数によらず液状化強度も増大しており、このことは密度によらないことが分かる。また、同じ飽和度でも σ'_c 、B.P.の条件が違えばせん断応力比も異なっている。

本研究結果を図-1と同様な液状化抵抗比と体積ひずみのグラフにプロットしたものが図-5である。既往の研究と同様に体積ひずみが大きくなると液状化抵抗比も大きくなることが確認できる。

4. 不飽和土の応力-ひずみ関係の特徴

液状化による被害は、液状化後の地盤の変形特性に強く依存しており、液状化してもひずみが急増しない、いわゆる粘り強い砂では被害も小さくなると考えられる。そこで、中密な飽和土と緩い不飽和土の液状化後の変形特性を比較した

(図-6)。この図に示す飽和土と不飽和土は、ほぼ同じせん断応力比の下で、ほぼ同じ繰返し載荷回数で液状化したものであり、不飽和土はSrが95%、 $\rho_d=1.51$ g/cm³、せん断応力比0.26、繰返し載荷回数4回である。また、飽和土は $\rho_d=1.58$ g/cm³、せん断応力比0.26、繰返し載荷回数8回である。

この図を見ると、不飽和土は液状化した300~400秒以降は軸ひずみが急激に大きくなっている。また、飽和土は液状化してからも徐々に軸ひずみが大きくなっていることが分かる。量は不飽和土の方が大きくなっていることがよく分かる。

つまり、飽和度を低下させることによって液状化強度は高まるが液状化後の変形特性を改善することにはならないと言える。

5. まとめ

本研究により明らかになったことを以下に示す。

- ①液状化抵抗比と体積ひずみの関係は細粒分を含んだ砂においても有効であり、体積ひずみが大きくなると液状化抵抗比の増大が確認できた
- ②不飽和土の液状化強度は飽和土のそれに比べて大きくなるが、液状化後の変形特性については、飽和土よりもむしろ不飽和土の方が大きな変形をおこし、不飽和化が液状化後の変形特性の改善にはならない。

参考文献

- 1) Yoshiaki Yoshimi, Keizo Tanaka and Kohji Tokimatsu : Liquefaction Resistance of A Partially Saturated Sand, SOIL AND FOUNDATIONS Vol.29, No.3, pp.157-162 1989
- 2) 曾我 泰匡 : 不飽和土の液状化強度に及ぼす空気圧縮性の影響、第40回地盤工学研究発表会, pp.511-512 2005

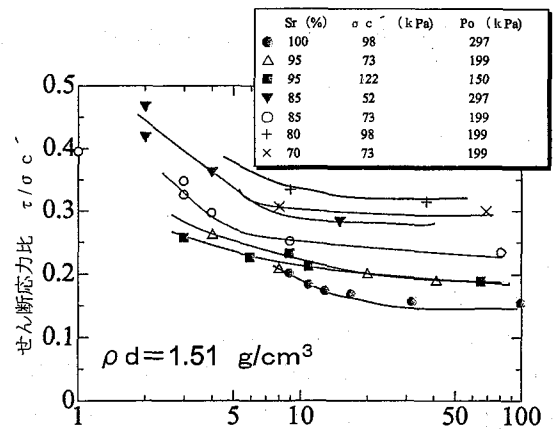


図-3 液状化強度試験結果

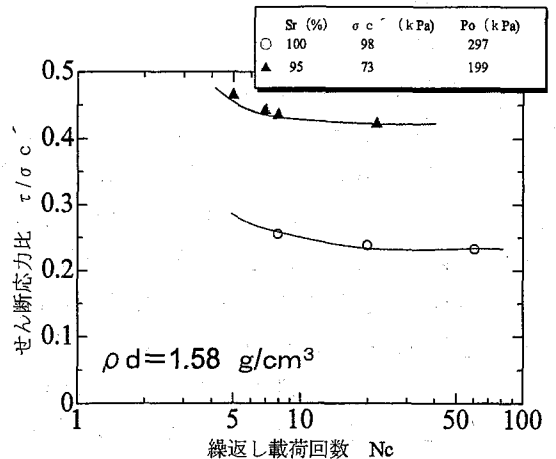


図-4 液状化強度試験結果

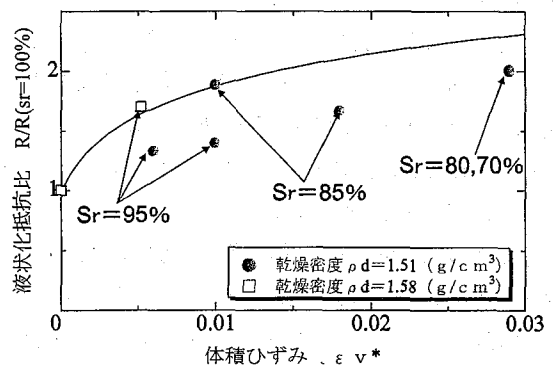


図-5 液状化抵抗比と体積ひずみの関係

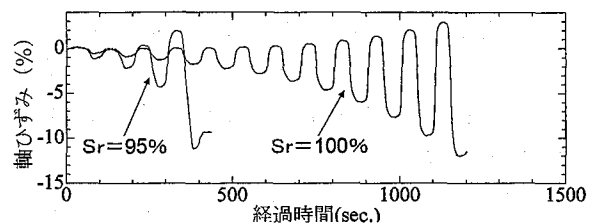


図-6 液状化後の変形特性比較図