

Ⅲ－39

液状化後の体積圧縮特性に及ぼすせん断履歴の影響

東北大学工学部土木工学科 学生員 ○松谷明洋

東北大学大学院工学研究科 正会員 仙頭紀明・渦岡良介・風間基樹

1. はじめに

液状化した地盤は、地震後に過剰間隙水圧を消散する過程において間隙水を絞り出して体積収縮する。この地震後の収縮特性は沈下や流動せん断変形などの地盤変形に大きく寄与する。今までの液状化後の排水特性に関する研究では、主に排水量のみに着目し、最大せん断ひずみ γ_{max} や、 F_L 値によって説明されてきた^{1)～3)}。本研究では、地震中の履歴の影響を合理的に評価し、液状化後の沈下量予測の精度を向上させるため、加震によるせん断履歴を累積損失エネルギーの観点から整理し体積圧縮特性を評価した。なお、せん断試験はひずみ制御非排水繰返し载荷とし、消散過程では、従来の二重管による排水量の測定ではなく、体積ひずみ速度一定で排水できる流量制御装置を用いて精度良く体積ひずみを測定した。

2. 実験方法

実験に用いた試料は豊浦砂とまさ土である。豊浦砂は空中落下法によって、まさ土は振動締め固め法によって目標相対密度にあわせた。試験は19.6kPaで予備圧密後、CO₂、脱気水を供試体に循環させ、背圧を98kPaかけて飽和させた後、所定の圧力まで等方圧密した。せん断履歴などの実験パラメータを表-1にまとめた。(1)ひずみ制御非排水繰返し载荷はひずみ漸増の段階载荷とし、各段階で軸ひずみ片振幅0.5, 1.0, 2.5, 3.5, 5.0%をそれぞれ5回ずつ与えた。(2)繰返し回数を変化させる場合は、軸ひずみ片振幅5.0%の一定ひずみ振幅を1, 2, 5, 10, 20回与えた。(3)拘束圧を変化させる場合は、背圧载荷後49, 98, 196kPaまで等方圧密した後に、(1)の方法により軸ひずみを2.5%まで与えた。

非排水繰返しせん断後の消散過程は、等方状態を保ちながら体積ひずみ速度を一定にして排水させた。

表-1 実験条件

実験ケース	砂	相対密度 (%)	せん断ひずみ振幅 (%)	繰返し回数 (回)
1	豊浦砂	65	0.75	5
			0.75～1.50	
			0.75～3.75	
			0.75～5.25	
			0.75～7.50	
2	豊浦砂	65	7.5	1
				2
				5
				10
				20
3	まさ土	90	1.50	10
			0.75～3.75	5
			0.75～5.25	
			0.75～7.50	
4	まさ土	90	7.5	1
				2
				5
				10
				20

(せん断ひずみ振幅) = 1.5 × (軸ひずみ振幅)

3. 実験結果と考察

図-1に消散過程における豊浦砂とまさ土の $e_v - \sigma'_m$ 関係を示す。繰返しせん断後に供試体を目視によって観察した結果、豊浦砂はいずれのせん断履歴の場合も上ペDESTALと粒子の間に水膜が観察されたが、まさ土は観察されなかった。なお、著者らは水膜の有無は基本的には体積収縮特性には無関係と考えている。収縮の傾向はいずれの砂の場合も平均有効応力がゼロに近い領域において体積ひずみが急増する。ただし有効応力の回復パターンは細粒分の多いまさ土のほうがなだらかで連続的に変化することが分かった。

図-2, 3に豊浦砂とまさ土の最大体積ひずみの結果を示す。

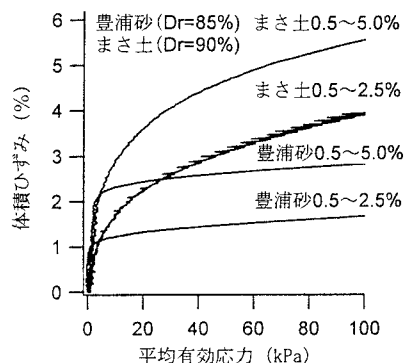


図-1 $e_v - \sigma'_m$ 関係

最大せん断ひずみ振幅で整理すると、繰返し回数を変えた場合の液状化の程度を明確に表現できていないのは明らかである。一方で累積損失エネルギーによって整理すると、液状化の程度はいずれの砂の場合も明確に表現できた。ただし、砂の種類によらず累積エネルギーによって最大体積ひずみ量を一義的に規定することは、まさ土のように粒度のよい砂の場合はできたが、豊浦砂のように粒径のそろった砂の場合ではできなかった。

図-4 は豊浦砂とまさ土の相対密度各々65%, 90%で、拘束圧を変えた場合の結果である。これより初期有効拘束圧が変化してもひずみ履歴が変わらなければ最大体積ひずみはほぼ変わらず $\varepsilon_v - \sigma'_m / \sigma'_m$ 関係も拘束圧依存性がほとんど見られないことがわかった。

4. 結論

- ・ $\varepsilon_v - \sigma'_m$ 関係は強い非線形性があり平均有効応力がほぼゼロの領域では体積収縮が大きい傾向がある。ただし、砂によってそのパターンは異なっている。
- ・ まさ土のような粒度のよい砂の場合は累積損失エネルギーによって体積ひずみ量を一義的に規定できたが、豊浦砂のような単一粒径の砂ではできなかった。
- ・ 豊浦砂とまさ土ともに、平均有効応力比関係には初期拘束圧依存性はほとんど見られなかった。

参考文献: 1)Tatsuoka, et.al: Settlement in Saturated Sand Induced by Cyclic Undrained Simple Shear, Proc. 8th World Conf. Earthq. Engrg. San Francisco, Calif, pp.95-102, 1984.

2)ISHIHARA, K and YOSHIMINE, M: Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes, SOILS AND FOUNDATIONS Vol.32, No.1, pp.173-188, 1992.

3) SHAMOTO, et.al: Simplified Estimation of Earthquake-Induced Settlements in Saturated Sand Deposit, SOILS AND FOUNDATIONS Vol.36, No.1, pp.39-50, 1996.

4)風間基樹:ねばりを考慮した地盤の液状化発生予測手法の開発(平成12年度科学研究費補助金 基盤研究(C)(2) 研究成果報告書)

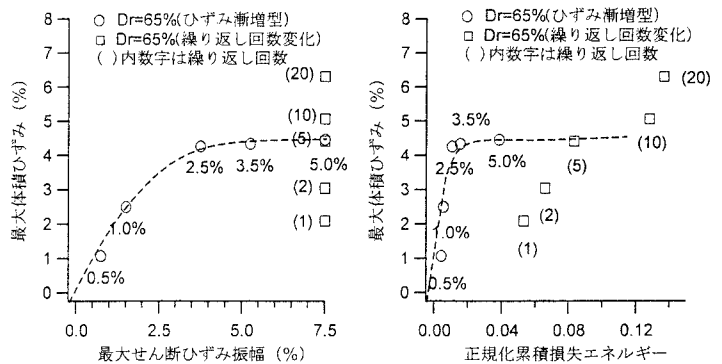


図-2 豊浦砂: $\varepsilon_{vmax} - \gamma_{max}$ 関係及び $\varepsilon_{vmax} - e$ 関係

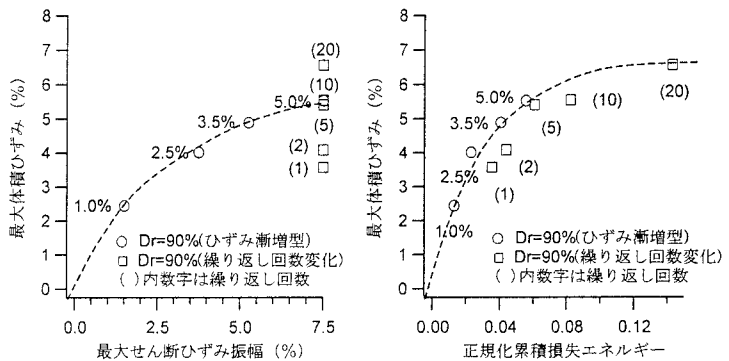


図-3 まさ土: $\varepsilon_{vmax} - \gamma_{max}$ 関係及び $\varepsilon_{vmax} - e$ 関係

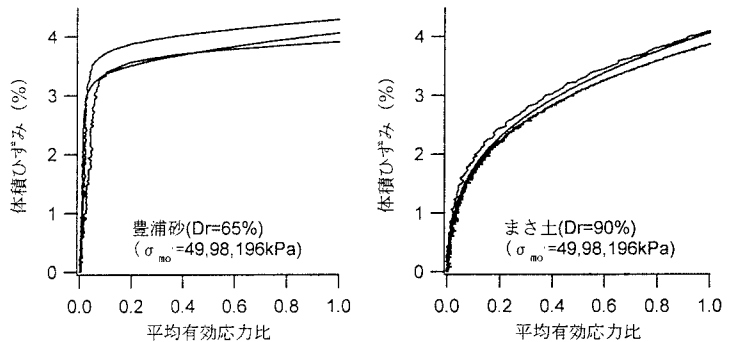


図-4 拘束圧を変えた場合の $\varepsilon_v - \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mo}}$ 関係