砂の液状化後の体積変化に及ぼす部分排水の影響

| 東京電機大学大学院 | 学生会員 | ○及川 | 晃介 |
|-----------|------|-----|----|
| | | | |

- 東京電機大学 正会員 石川 敬祐
- 東京電機大学 名誉会員 安田 進

1. はじめに

液状化後の地盤挙動は、地盤のせん断変形と発生した過剰間隙水圧が消散することによる体積収縮に大別できる. 液状化後の体積収縮について、石原らは相対密度が小さくなると体積ひずみは大きくなり、最大せん断ひずみが大 きくなると体積ひずみも大きくなり、相対密度に依存する最大値があることを示している¹⁾.また海野らは、豊浦 砂を用いて飽和した試料と乾燥した試料に同じせん断ひずみ履歴を与えると発生する体積ひずみは同じであること を示した²⁾.しかし、大きな地震では過剰間隙水圧がある程度生じ、その過剰間隙水圧が消散している過程で再び 大きな地震が作用して液状化に至ることも考えられる.このような部分排水を受けた砂地盤が液状化した際の体積 ひずみの変化特性については検討が行われていない.そこで本研究では、豊浦砂を用いて過剰間隙水圧の部分排水 の有無により、液状化後の過剰間隙水圧の消散による体積ひずみの変化特性の検討を行った.

2. 実験概要

液状化試験は、繰返し中空ねじりせん断試験とした.試料には 豊浦砂を用い、土粒子の密度 $\rho_s=2.640 \text{ Mg/m}^3$ 、最大・最小間隙比 はそれぞれ $e_{max}=0.973$, $e_{min}=0.604$ である.供試体の寸法は外径 10 cm,内径 6 cm,高さ 10 cmの中空円筒形である.供試体は、空 中落下法により相対密度 Dr=70%となるように作製した.その 後、二酸化炭素と脱気水を用いて飽和させ、背圧を 200 kN/m²加 え、間隙水圧係数 B 値にて 0.95 以上であることを確認した.有 効拘束圧(σ_c)を 100 kN/m²の等方応力状態にて 30 分間の圧密を 行った.せん断応力の載荷方法は、載荷速度 0.05Hz の正弦波の 応力制御とした.本研究では液状化後の過剰間隙水圧の消散過程 に応じた体積変化を精緻に求める必要があるため、体積変化の測 定には鋼製のシリンダー内にピストンを有し、スクリュージャッ



キを介してピストンが移動することで過剰間隙水圧と体積変化を一体としてコントロールしている. 図1は,各ケ ースの試験過程の概念図である. Case2-1 は,両振幅せん断ひずみ かん=10% に至るまで一定のせん断応力振幅を与 えた後に段階的に過剰間隙水圧を消散させ,その際の体積変化測定を実施した. Case2-2 は,事前載荷として過剰間 隙水圧を 70 kN/m² まで上昇させた後,35kN/m² まで部分排水させ,その後は Case2-1 と同様の試験を実施した. Case2-3 は,過剰間隙水圧を 35 kN/m²まで上昇させた後に段階的に過剰間隙水圧を消散させた際の体積変化測定を 実施した.なお,各ケースについて2回ずつ実施している.

3. 実験結果

図2は、各ケースの代表的な試験結果例としてせん断ひずみーせん断応力、有効応力経路をそれぞれ示す. Case2-1(図2左)の試験結果は中密砂の液状化挙動を示し、有効拘束圧が 50 kN/m²付近にて有効応力経路が変相線に達して体積収縮と変相線到達後の体積膨張過程となり、その後に有効応力を喪失し破壊線上を移動する軌跡を経てかみ =10%に至る. Case2-2(図2中)では、事前載荷時は繰返し載荷とともに有効拘束圧が減少し、Case2-1と同様に有 効拘束圧が 50 kN/m²付近にて有効応力経路が変相線に達し、事前載荷終了時点のかa=1.6%であった. この状態か

キーワード 液状化,部分排水,体積ひずみ 連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学大学院理工学研究科 TEL049-296-3289



図2 各ケースの代表的な繰返し載荷試験結果

ら部分排水を行い,事前載荷と同じ繰返しせん断応力を与えた結 果を同図中の赤線で示している.部分排水後の繰返し載荷では,載 荷直後に有効拘束圧の低下が大きく事前載荷時の有効応力経路と 異なった軌跡を示し,有効拘束圧が 50 kN/m²付近で有効応力経路 が変相線に達し,その後は Case2-1 と同様な軌跡を経てかみ=10% に至る. Case2-3 (図 2 右)は,繰返し載荷とともに有効拘束圧が 減少し,過剰間隙水圧が 35kN/m² に達した際のかA=0.17%であっ た.図3には,各供試体の過剰間隙水圧の消散による有効拘束圧 の変化とその際の間隙比の関係を示す.なお各ケースのプロット は2回試験しているので2本ずつの曲線がある.Case2-1のかA= 10%を与えた後の過剰間隙水圧の消散による間隙比の変化は の2019-0.021と供試体間の違いはほぼなく,またその際の間隙比の 変化の挙動もほぼ同じとなる.一方,Case2-2の部分排水後にかA=





排水により供試体の密度が微増したが 0.020-0.023 と Case2-1 と同等か若干ではあるが大きくなる. 事前載荷後の部 分排水過程 (ΔU 70→35kN/m²) 時の間隙比の変化と完全に液状化した後の同程度の有効拘束圧時の間隙比の変化を 比較すると,完全に液状化した後の間隙比の変化は増していることがわかる. さらに,液状化に至っていない Case2-3 での排水過程 (ΔU 35→0kN/m²) 時の間隙比の変化と Case2-1 や Case2-2 において完全に液状化した後の同程度の 有効拘束圧時の間隙比の変化を比較すると, Case2-2 ≒ Case2-1>Case2-3 と液状化した供試体の間隙比の変化が大 きい.

4. まとめ

事前載荷による過剰間隙水圧の部分排水を受けた供試体の液状化後の体積変化は、事前載荷を受けていない状態 でのそれに比べて大きくなる.これは載荷履歴や液状化程度によって粒子間の骨格構造の変化が生じ過剰間隙水圧 の排水過程時の体積変化特性が変化することを示唆する.

[参考文献] 1) Ishihara & Yoshimine: Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, S&F, Vo. 32, pp. 173-188, 1992. 2) 海野ら:同一繰返しせん断履歴における乾燥砂と飽和砂の体積収縮量, JSCE 論文集, No. 764/III-67, pp. 307-317, 2004.