

砂質土の間隙水浸透による吸水膨張後のせん断変形に及ぼす細粒分の影響

電力中央研究所 正会員 ○石丸 真
東北大学大学院 正会員 風間基樹, 河井 正

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震における液状化被害は、継続時間が長い地震動や余震の影響により、被害規模が拡大した可能性が指摘されている。長継続時間の地震動や大きな余震を受ける地盤の挙動を予測する場合、過剰間隙水圧の消散による間隙水の移動の影響を考慮することが重要と考えられる。著者ら¹⁾は、大きな余震が発生する場合の難透水層直下の土層の挙動に着目し、本震後の消散過程で間隙水が流入した状態で、再び余震の繰返しせん断を受ける場合を想定した中空ねじりせん断試験を行っている。本報ではさらにデータを追加するとともに、細粒分の影響について検討を行った。

2. 試験条件

中空ねじりせん断試験に用いた試料は、豊浦砂（土粒子密度 2.64g/cm³，最小間隙比 0.604，最大間隙比 0.982）と、豊浦砂に重量比でカオリンを 5%混合した試料（土粒子密度 2.63g/cm³，最小間隙比 0.545，最大間隙比 1.078）である。中空円筒供試体のサイズは外径 200mm，内径 100mm，高さ 200mm であり，高さ方向に分割して突固めにより所定の密度の供試体を作成した。表-1 に試験ケース一覧を示す。本試験においては，非排水繰返し載荷後に間隙水を注水することにより，吸水膨張後のせん断変形特性を調べた。また，非排水繰返し載荷履歴の種類や間隙水の注水量を変えた試験を行い，それらが吸水膨張後のせん断変形特性に及ぼす影響を把握した。

具体的な試験条件を以下に示す。

- (1) 圧密：繰返し載荷前の圧密については，全てのケースで有効拘束圧 100kPa の等方圧密とした。
- (2) 非排水繰返し載荷：非排水繰返し載荷については，表-1 に示す 4 種類のせん断ひずみ履歴を与えた。
- (3) 注水：非排水繰返し載荷後の状態を保ったまま，供試体に所定の量の間隙水を注水した。注水量は，供試体の圧密後体積の約 0.15% (7ml)，約 0.3% (14ml)，約 0.5% (24ml)，約 0.7% (33ml)，約 1.0% (48ml)，約 1.5% (72ml) である。なお，注水は供試体内に均一に間隙水が分配されるように留意して，非常に遅い速度で行った。
- (4) 注水後の非排水繰返し載荷：注水後，せん断応力比 0.18 の定応力振幅の非排水繰返し載荷を行った。

表-1 試験ケース一覧

ケース	試料	圧密後		非排水繰返し載荷履歴	注水量 (ml)
		相対密度 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)		
A1-0	豊浦砂	60.2	1.505	1	0
A1-7		59.8	1.503	1	7
A1-14a		60.2	1.505	1	14
A1-14b		60.2	1.505	1	14
A1-14c		59.7	1.503	1	14
A1-24		60.4	1.506	1	24
A1-33		60.3	1.505	1	33
A1-48		58.9	1.501	1	48
A2-14		61.1	1.508	2	14
A3-14		59.6	1.503	3	14
A4-14		59.9	1.504	4	14
B1-48		63.9	1.517	1	48
B1-72		63.6	1.516	1	72
C1-0	豊浦砂 + カオリン 5%	65.2	1.520	1	0
C1-7a		65.1	1.520	1	7
C1-7b		65.0	1.520	1	7
C1-24a		65.6	1.522	1	24
C1-24b		65.7	1.523	1	24

非排水繰返し載荷パターン（両振りの三角波）

- 1：せん断ひずみ片振幅 0.2% (20波)
- 2：せん断ひずみ片振幅 0.2%, 0.5% (各5波)
- 3：せん断ひずみ片振幅 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% (各5波)
- 4：せん断ひずみ片振幅 0.5% (10波)

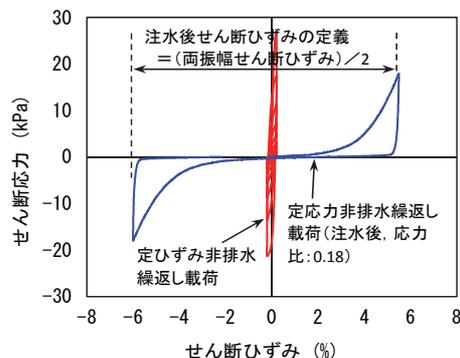
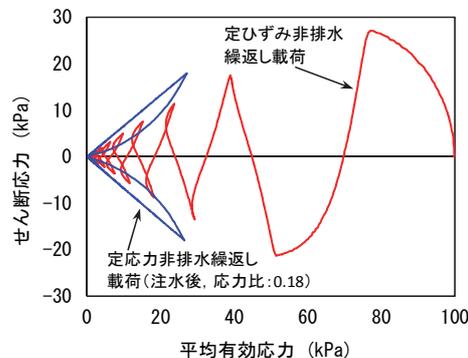


図-1 試験結果 (ケース A1-14a)

キーワード 砂質土，吸水膨張，せん断変形，中空ねじりせん断試験

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電力中央研究所 地球工学研究所 地震工学領域

3. 試験結果

(1) 豊浦砂の結果 図-1に、ケース A1-14a における有効応力経路と、せん断応力-せん断ひずみ関係を示す。間隙水注水前では、繰返し载荷数回で平均有効応力がほぼ 0 に減少し(過剰間隙水圧が有効拘束圧に達し)、液状化に至っていることがわかる。また、注水後のせん断では、繰返し载荷および注水により低下したせん断剛性が回復しないまません断ひずみが発達する微小抵抗領域²⁾が現れていることが確認できる。図-2に、豊浦砂を用いた場合の注水量と注水後せん断ひずみ(本稿では図-1に示すように、せん断応力が 18kPa と -18kPa に達したときの各せん断ひずみの絶対値の平均値で定義)の関係をまとめて示す。図より、注水量が多くなると発生する注水後せん断ひずみの値も大きくなり、注水量と注水後せん断ひずみの関係はほぼ線形で近似できることが確認できる。

図-3には、注水後の体積から算出した供試体の乾燥密度と、注水後せん断ひずみの関係を示す。なお、図-2および図-3では、圧密後の相対密度が 60%程度と 64%程度の二つの供試体種類の結果を示している。これより、注水後の乾燥密度と注水後せん断ひずみの間には高い相関が認められるが、初期密度が異なる供試体では、注水後の乾燥密度が同程度でも発生する注水後せん断ひずみの値は異なることがわかる。ただし、ケース B1-72 の結果より、注水量が多くなると初期密度の影響が小さくなる傾向が推測される。これには、注水量と砂の骨格構造の喪失に関係があると考えられるが、今後より詳細に検討する必要がある。

図-4には、供試体の条件と注水量が同じで、注水前の非排水繰返し载荷パターンが異なるケースの結果をまとめて示す。各ケースでは繰返し载荷履歴だけでなく液状化程度も異なると推測されるが、この場合でも注水後せん断ひずみはほとんど同じ大きさになることが確認できる。

(2) 細粒分の影響 図-5に、豊浦砂とカオリンを混合した試料(混合試料)の結果を豊浦砂の場合とあわせて示す。図より、混合試料の方が豊浦砂よりも初期密度が若干大きい、注水しない場合でもせん断ひずみが大きくなっていることがわかる。また、混合試料の方が注水後の乾燥密度に対する注水後せん断ひずみの傾きが大きく、わずかな注水量でもその後のせん断変形が大きくなることが確認できる。

4. まとめ

中空ねじりせん断試験から、細粒分の影響により注水後のせん断変形の発達が増大される結果が得られた。今後、より詳細に検討するとともに、数値シミュレーションで用いる構成則の検証等を行う予定である。

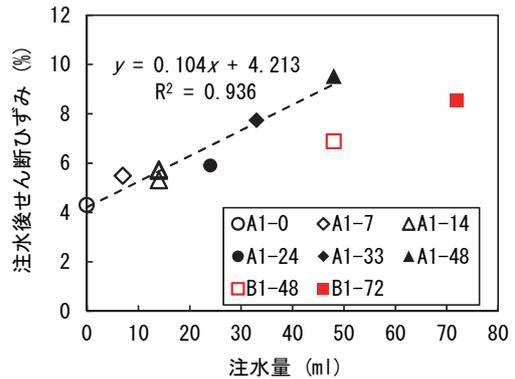


図-2 注水量と注水後せん断ひずみの関係(豊浦砂)

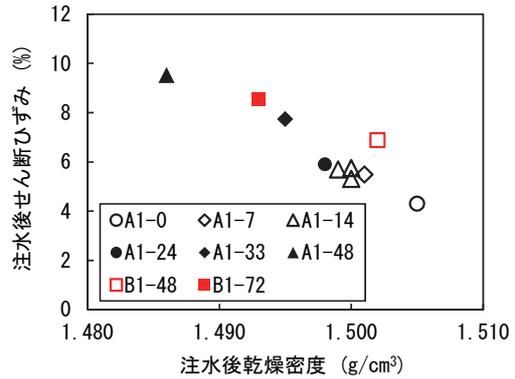


図-3 注水後乾燥密度とせん断ひずみの関係(豊浦砂)

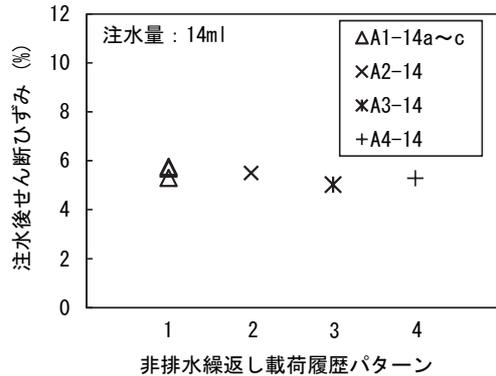


図-4 非排水繰返し载荷履歴の違いの影響(豊浦砂)

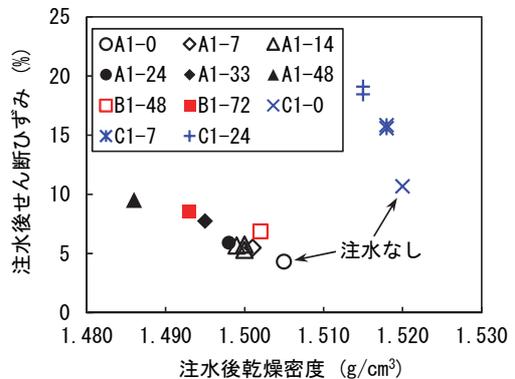


図-5 注水後乾燥密度とせん断ひずみの関係

参考文献

- 1) 石丸 真ほか: 砂質土の間隙水浸透による吸水膨張後のせん断変形特性, 第47回地盤工学研究発表会発表講演集, (投稿中), 2012.
- 2) 安田 進ほか: 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文集, No. 638/III-49, pp. 71-89, 1999.