日本大学工学部	学生会員	○嶋﨑	彰則
日本大学工学部	正会員	仙頭	紀明

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震により、岩手、宮城、福島で砂質土盛土の崩壊が見られ た。これらの変状は、盛土を構成する地盤が緩く地下水位も高かった¹⁾ため、 液状化による流動化が生じたものと考えられる。また、今回の地震の特徴は、本 震に加え、強い余震が頻繁に発生したことである。しかし、余震が盛土変状に与 えた影響はよくわかっていない。一方、飽和砂質土斜面を対象とした液状化強度 に関する非排水繰返しせん断試験が多数行われているが、せん断ひずみの発達特 性に関する研究は不十分である。さらに、余震がひずみの発達特性に及ぼす影響 は未解明である。本研究では、飽和砂斜面の応力状態を模擬した中空ねじりせん 断試験を行い、様々な本震・余震の載荷パターンを試料に与えることで、せん断 ひずみ発達特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

本研究では、中空ねじりせん断試験装置を用いて実験を行った。実験ケースを 表-1に示す。試料は豊浦砂を用いた。試料の物理特性を図-1に示す。豊浦砂は細 粒分を含まない粒径が揃った試料である。供試体は外径 7cm、内径 3cm、高さ 10cmの中空円筒状で、空中落下法で作製し、目標相対密度(Dr)を40%、70%の2 種類とした。供試体を飽和させるため、間隙の空気を二酸化炭素に置換し、脱気 水を通水した後、背圧を100kPa載荷した。なお、供試体のB値は93%以上であ った。供試体の圧密条件は有効拘束圧 σ_c'を 100kPa の等方圧密とする。圧密終了 後、図-2に示すように、排水条件で所定の初期せん断応力(T_{static})まで載荷ひず み速度 0.5(%/min)で載荷する。なお、初期せん断応力の大きさは初期せん断応力 比(α=τ_{static}/σ'_c)で表す。その後非排水条件にて繰返しせん断を行い、繰返しせん断 中の載荷速度は 0.5(%/min)とした。本実験の載荷パターンは図-2 に示す通り本 震を模擬した1回目の載荷、余震を模擬した2,3回目の載荷を連続して与えて実 験を行った。ここで、各回のせん断応力振幅は *τ_{cvc1}、τ_{cvc2}*(=0.5*τ_{cyc1})、<i>τ_{cvc3}*(=0.5*τ_{cyc2}*) とした。有効拘束圧 σ_c'1 回目の載荷では y₈₄= 3.75%に達するまでとし、引続き 2 回目の載荷では ysu=7.5%に達するまでとする。さらに、3回目の載荷で ysu=10.0% に至るまで継続した。ここで、ysaは片振幅せん断ひずみである。なお、相当数の 回数を載荷しても、所定の振幅にならない場合は載荷を終了とした。

3. 実験結果

図-3 は実験結果の一例(case1-3-1)を示す。せん断応力-せん断ひずみ(a)では、

γは初期せん断応力が加えられた方向にひずみが生じている。有効応力経路(b)は、1回目の載荷の時に有効応力が ゼロに達した後サイクリックモビリティーを示しており、2回目、3回目でも示されている。せん断ひずみの時刻 歴(c)は、1回目より2回目、3回目になるにつれて1サイクル当りのひずみ増分が小さくなっている。また、過剰 間隙水圧比の時刻歴(r_u)(d)は、r_uの振幅が1回目、2,3回目になるにつれて小さくなっている。

キーワード:液状化 余震 初期せん断応力 非排水繰返しせん断 中空ねじりせん断試験 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL 024-956-8710 FAX 024-956-8858







図-2 本実験載荷の模式図

表-1 実験ケース

case	α	Dr(%)	CSR	B-value
1-1-1		74.7	0.25	96.0
1-1-2	0	64.9	0.18	98.7
1-1-3		69.8	0.15	98.7
1-2-1		71.2	0.25	99.6
1-2-2	0.1	68.8	0.20	97.8
1-2-3		67.1	0.15	100
1-3-1		71.6	0.25	96.0
1-3-2	0.2	72.9	0.20	93.0
1-3-3		74.3	0.15	93.9
1-4-1	0.3	68.8	0.40	98.8
1-4-2		67.8	0.20	99.2
1-4-3		71.8	0.15	99.3
2-1-1	0	37.0	0.20	100
2-1-2		40.5	0.15	99.6
2-1-3		41.6	0.13	95.1
2-1-4		35.9	0.10	100
2-2-1	0.1	44.6	0.14	99.4
2-2-2		40.9	0.10	100
2-2-3		41.0	0.085	99.0
2-3-1	0.2	36.2	0.12	98.8
2-3-2		41.9	0.07	97.3
2-3-3		38.6	0.06	97.4
2-3-4		43.9	0.05	97.9
2-4-1	0.3	39.2	0.035	99.0
2-4-2		44.5	0.02	99.4





図-4 に液状化強度曲線を示す。相対密度 70%では、初期せん断応力比 α の違いにより、液状化強度にほとんど変化が見られなかった。相対密度 40%では、 α が増加するにつれて、液状化強度が低下する傾向が得られた。図-5 は、各 α における液状化強度(*CRR*)と $\alpha=0$ の液状化強度 (*CRR*_{$\alpha=0})に対する強度比(<math>K_{\alpha}=CRR_{\alpha}/CRR_{\alpha=0}$)²と α の関係で表したものである。ここで、*CRR* は繰返し回数が 15 回の時の繰返しせん断応力比 (*CSR*)である。また、 ζ_{R} は(1)式で定義される²)。</sub>

$$\xi_{R} = D_{R,CS} - D_{R} \qquad (1) \qquad \qquad D_{R,CS} = \frac{1}{Q - In \frac{100(1 + 2K_{0})\sigma'_{VC}}{3P_{a}}} \qquad (2)$$

ここで、Dr,cs は限界状態線のDrであり、(2)式により求められる²⁾。なお、 $Q=10, K_0=1, \sigma'_{vc}=100$ kPa、 $P_a=98$ kPa を用いた。既存の結果²⁾と比較すると、 試験装置や有効拘束圧、試料によって違いが出ることが分かった。図-6 は相対 密度 70%の 2,3 回目の載荷における、繰返しせん断応力比の初期せん断応力比 に対する比率(CSR/α)と(CSR)を表す。また、せん断ひずみ増分が発生する点と ほとんど発生しない点をプロットし、境界線を引いた。この線は、 $CSR/\alpha=0.4$ より小さい場合には、 Δy はほとんど発生しないことを示している。また同 様の整理を行うと、相対密度 40%の場合には、 $CSR/\alpha=0.14$ より小さいと Δy はほとんど発生しなかった。

4. まとめ

飽和砂斜面を模擬し、余震に着目したせん断ひずみの発達に及ぼす影響について、非排水繰返しせん断試験を行って以下のことがわかった。

1)本震を想定した1回目の載荷では、初期せん断応力比が増加していくにつ れて、緩詰の試料では液状化強度の低下が生じたのに対し、密詰の試料での 液状化強度はほとんど変わらなかった。

2)余震を想定した載荷では、Dr=70%の試料は CSR/ α=0.4 より小さい場合、ま

た、*Dr*=40%の試料は *CSR*/*α*=0.14 より小さい場合に、せん断ひずみはほとんど発生しないことがわかった。しかし、それぞれのせん断ひずみが生じる境界線を引くためのプロット点が少ないので、さらに実験ケースを増やす必要がある。

参考文献

1)中村・仙頭・梅村・大塚・豊田(2012): 2011 年東北地方太平洋沖地震による福島県中通りおよびいわき地域にお ける地盤災害 -造成盛土や自然斜面の崩壊と変状、および液状化-地盤工学ジャーナル7巻,1号, pp.91-101 2)I.M.Idriss R.W.Boulanger (2008):Soil Liquefaction During Earthquakes, pp.31-40



図-4 液状化強度曲線



図-6 CSR/α -CSR の関係