

## 飽和砂斜面のせん断ひずみ発達特性に及ぼす余震の影響

日本大学工学部 正会員 ○仙頭紀明

日本大学工学部 学生会員 嶋崎彰則

はじめに 東北地方太平洋沖地震では砂質土の盛土が液状化してすべりやはらみだし等の変状が見られた<sup>1)</sup>。このような地震時の盛土の変形量を予測するためには、有効応力解析が行われるが、斜面等の一方方向にひずみが蓄積するような変形量の定量評価の精度には課題がある。この原因のひとつとして、初期せん断応力作用下の非排水繰返しせん断試験結果を用いた構成則のパフォーマンスの検証が十分でないためと思われる。また、今回の地震の特徴は、継続時間が長く強い本震に加え、その後の余震が頻繁に発生したことである。すなわち本震で地盤が液状化してからも後続の比較的小さい振幅の繰返しせん断が作用したことになるが、この時のひずみの発達特性は明らかになっていない。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、様々な初期せん断応力および本震・余震の载荷パターンを供試体に与え、せん断ひずみ発達特性を明らかにするとともに構成モデルのパフォーマンス検証のための基礎データを得ることを目的とする。

**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。試料には豊浦砂を用いた。試料の物理特性を図-1に示す。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 载荷した。なお、供試体の  $B$  値は 93%以上であった。供試体の有効拘束圧 $\sigma'_c$ を 100kPa の等方圧密し、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( $\tau_{static}$ )までひずみ速度 0.5(%/min)で载荷した。その後、非排水条件にて繰返しせん断を行った。繰返しせん断中のひずみ速度も 0.5(%/min)とした。本実験の载荷パターンは本震を模擬した 1 回目の载荷、余震を模擬した 2,3 回目の载荷を連続して与えた。ここで、各回のせん断応力振幅は  $\tau_{cyc1}$ ,  $\tau_{cyc2}$  ( $=0.5\tau_{cyc1}$ ),  $\tau_{cyc3}$  ( $=0.5\tau_{cyc2}$ )とした。各回の载荷の終了条件は 1 回目の载荷では $\gamma_{SA}$  が 3.75%に達するまでとし、引続き 2 回目の载荷では $\gamma_{SA}$ が 7.5%, 3 回目の载荷で $\gamma_{SA}$ が 10.0%とした。ここで、 $\gamma_{SA}$ は片振幅せん断ひずみである。なお、相当数の回数を载荷しても、所定の振幅にならない場合は試験を終了した。実験ケースを表-1 に示す。相対密度  $Dr$ 、初期せん断応力比  $\alpha(=\tau_{static}/\sigma'_c)$ 、繰返しせん断応力比  $CSR(=\tau_{cyc1}/\sigma'_c)$ をパラメータとして実験を行った。

**実験結果と考察** 図-3 は実験結果の一例(case1-3-1)を示す。(b)の有

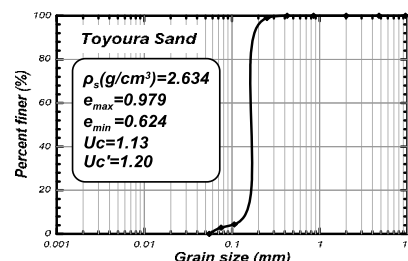


図-1 試料の粒度分布と物理特性

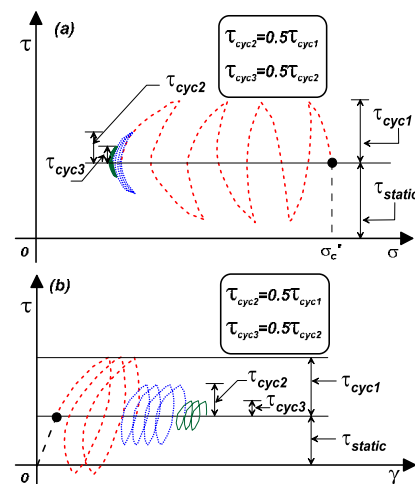


図-2 実験の载荷方法

表-1 実験ケース

| case  | $\alpha$ | $Dr(\%)$ | CSR   |
|-------|----------|----------|-------|
| 1-1-1 | 0        | 74.7     | 0.25  |
| 1-1-2 |          | 64.9     | 0.18  |
| 1-1-3 |          | 69.8     | 0.15  |
| 1-2-1 | 0.1      | 71.2     | 0.25  |
| 1-2-2 |          | 68.8     | 0.20  |
| 1-2-3 |          | 67.1     | 0.15  |
| 1-3-1 | 0.2      | 71.6     | 0.25  |
| 1-3-2 |          | 72.9     | 0.20  |
| 1-3-3 |          | 74.3     | 0.15  |
| 1-4-1 | 0.3      | 68.8     | 0.40  |
| 1-4-2 |          | 67.8     | 0.20  |
| 1-4-3 |          | 71.8     | 0.15  |
| 2-1-1 | 0        | 37.0     | 0.20  |
| 2-1-2 |          | 40.5     | 0.15  |
| 2-1-3 |          | 41.6     | 0.13  |
| 2-1-4 |          | 35.9     | 0.10  |
| 2-2-1 | 0.1      | 44.6     | 0.14  |
| 2-2-2 |          | 40.9     | 0.10  |
| 2-2-3 |          | 41.0     | 0.085 |
| 2-3-1 | 0.2      | 36.2     | 0.12  |
| 2-3-2 |          | 41.9     | 0.07  |
| 2-3-3 |          | 38.6     | 0.06  |
| 2-3-4 |          | 43.9     | 0.05  |
| 2-4-1 | 0.3      | 39.2     | 0.035 |
| 2-4-2 |          | 44.5     | 0.02  |

キーワード：液状化，初期せん断，せん断ひずみ，余震

連絡先（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）

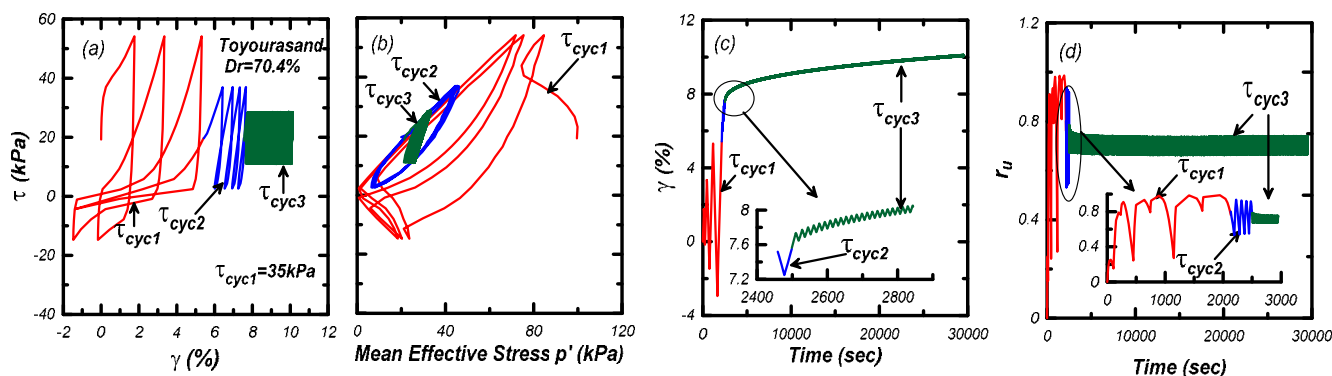


図-3 実験結果の一例 (ケース 1-3-1)

効応力経路より, 1 回目の载荷により, 有効応力がゼロに達した液状化していることがわかる. また有効応力経路が定常状態になってからの各応力振幅のループの形状も異なっている. その結果, (a)のせん断応力-せん断ひずみおよび(c)のせん断ひずみの時刻歴より,  $\gamma$  は初期せん断応力が加えられた方向に蓄積しているが, 応力振幅が小さくなるにつれて, 1 サイクルあたりに発生するひずみ増分が小さくなっている. また, (d)の過剰間隙水圧比の時刻歴( $r_u$ )は, せん断応力振幅が小さくなるにつれて  $r_u$  の振幅も小さくなっている.

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  $\alpha$  の違いにより, 液状化強度に大きな見られなかった. 一方, 相対密度 40%では,  $\alpha$  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, 液状化強度の初期せん断応力比補正係数  $K_\alpha$  ( $CRR_\alpha / CRR_{\alpha=0}$ )<sup>2)</sup> と  $\alpha$  の関係である. ここで  $CRR_\alpha$  は  $\alpha$  のときの液状化強度,  $CRR_{\alpha=0}$  は初期せん断が作用していないときの液状化強度であり,  $CRR$  は繰返し回数が 15 回の時の液状化強度である. 既存の結果<sup>2)</sup>は  $\alpha$  の増加とともに中密な砂は補正係数が 1 付近または増加傾向, 緩い砂は減少傾向であり, 今回の結果と概ね傾向は対応している. 図-6 は相対密度 70%の 2,3 回目の载荷における, 繰返しせん断応力比の初期せん断応力比に対する比率( $CSR/\alpha$ )と( $CSR$ )の関係を示す. 図中の塗りつぶしマーカーは有意なせん断ひずみ増分が発生した変形が発生したケース, 白抜きはせん断ひずみ増分がほとんど発生しなかったケースである. また, 両者のプロットの境界線を図中に示した. また紙面の都合で図には示さないが同様の整理を相対密度 40%についても行った. この境界線は, 相対密度により異なり, 相対密度 70%では  $CSR/\alpha$  が 0.4, 相対密度が 40%の場合,  $CSR/\alpha$  が 0.14 より小さいと液状化後の後続の繰返しせん断载荷ではほとんどせん断ひずみが発生しないことがわかった.

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)Idriss I. M. ・ Boulanger R. W. (2008): Soil liquefaction during earthquakes, pp.31-40.

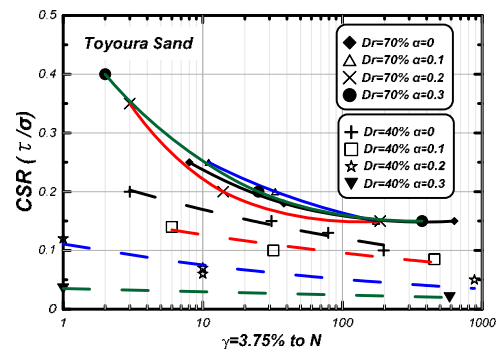
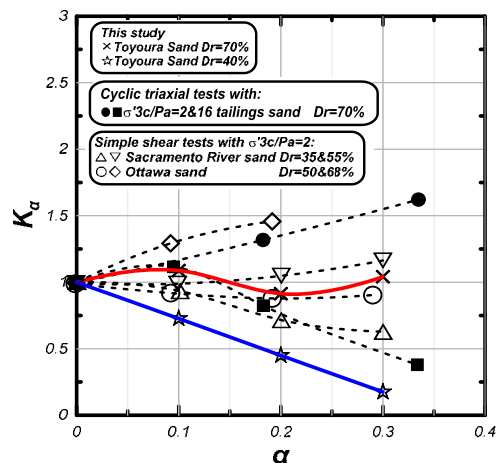
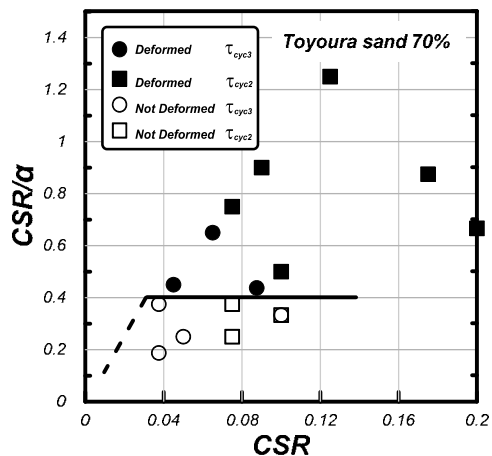


図-4 液状化強度曲線

図-5  $K_\alpha$  と  $\alpha$  の関係図-6  $CSR/\alpha$  と  $\alpha$  の関係