

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360221

研究課題名（和文） 広範囲な応力・ひずみ条件下における砂質土の液状化特性の高精度計測と統一的モデル化

研究課題名（英文） Accurate measurement and modeling of properties of liquefied sandy soils under a wide range of stress and strain conditions

研究代表者

古関 潤一（KOSEKI JUNICHI）

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：30272511

研究成果の概要（和文）：初期せん断を与えた飽和豊浦砂の非排水繰返し中空ねじりせん断試験を実施し、初期せん断が液状化時の大変形特性に及ぼす影響を明らかにした。また、これらの試験結果を合理的に再現できるように、これまでに開発してきた液状化1要素モデルを拡張した。さらに、リング単純せん断試験装置を新規に製作し、等体積繰返し載荷試験を同一の供試体に対して複数回実施することで、再液状化特性に及ぼす液状化履歴の影響を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A series of undrained hollow cylindrical cyclic torsional shear tests with initial shear were conducted on saturated Toyoura sand to reveal the effects of initial shear on large deformation properties of liquefied sand. By extending a numerical model that had been developed to simulate the liquefaction behavior without initial shear, the test results with initial shear could be reasonably simulated. In addition, a stacked-ring simple shear test apparatus was newly constructed, and it was employed to reveal the effects of liquefaction history on re-liquefaction properties.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	11,900,000	3,570,000	15,470,000

研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：土質力学・液状化

1. 研究開始当初の背景

地震時の砂地盤の液状化により、道路・鉄道・河川・各種ライフライン施設や建築物などのさまざまな構造物が多大な被害を受けてきた。しかしながら、各種の要因が本質的にどのようなメカニズムにより液状化特性に影響を及ぼしているかについては、十分な知見が得られていない。さらに、液状化した地盤が側方流動をおこすと極めて大きなひ

ずみレベルまで変形する可能性があることが、既往の事例調査や模型実験により示されているが、通常室内土質試験において、このような大きなひずみレベルまでのデータを得ることは、技術的に数多くの困難を伴う。

2. 研究の目的

砂質土の液状化特性に及ぼす諸要因の影響を統一的かつ合理的に考慮できるモデル

化を行うとともに、その適用範囲を大ひずみレベルおよび広範囲な応力状態まで拡張することを目的とした検討を実施した。

3. 研究の方法

初期せん断を与えた飽和豊浦砂の非排水繰返し中空ねじりせん断試験を実施し、初期せん断が液状化時の大変形特性に及ぼす影響について検討した。また、これらの試験結果を合理的に再現できるように、これまでに開発してきた液状化1要素モデルの拡張を行った。さらに、リング単純せん断試験装置を新規に製作し、等体積繰返し載荷試験を同一の供試体に対して複数回実施することで、再液状化特性に及ぼす液状化履歴の影響について検討した。

4. 研究成果

(1) 飽和した豊浦砂の非排水繰返し中空ねじり試験

傾斜地盤に相当する応力状態として排水条件下で初期せん断を与えた飽和豊浦砂の非排水繰返しねじりせん断試験を実施した。初期せん断の有無とその大きさが液状化時の大変形特性に及ぼす影響を明らかにした。試験結果の例を図1に示す。また、大変形の途中でひずみが局所化する条件についての検討を行い、初期せん断の有無によらず概ね同程度の大きさの片振幅ひずみで局所化が生じることを明らかにした。

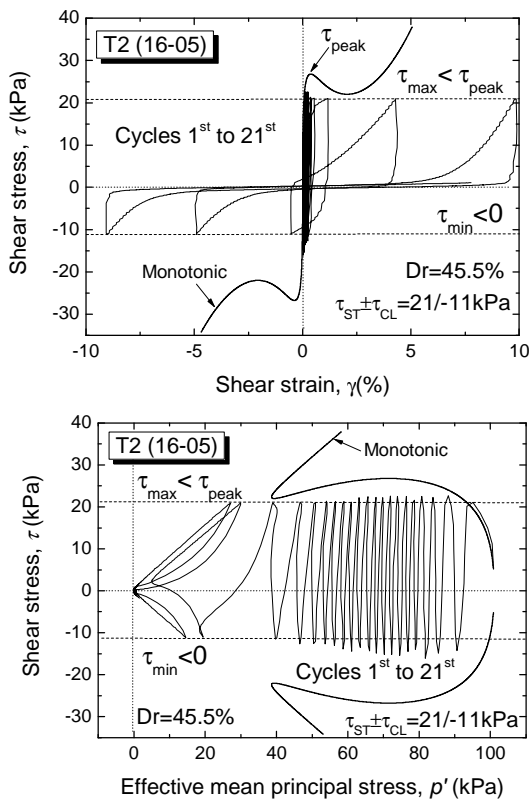


図1 大変形非排水繰返しねじり試験の例

(2) 液状化モデルの拡張

これまでに開発してきた液状化特性を表現する1要素モデルでは、初期せん断の影響を考慮することができない。また、両振幅せん断ひずみが数%程度までの比較的小さい変形範囲までしか液状化挙動を良好に再現できない。そこで、これらの点を改善するためのモデルの拡張を行い、初期せん断の影響に関して(1)で実施した試験結果を妥当に再現できることを明らかにした。試験結果と解析結果の比較の例を図2に示す。また、この液状化モデルを三次元状態に適用するための一般化の検討と、応力レベルや密度依存性を統一的に表現する手法についても実施した。

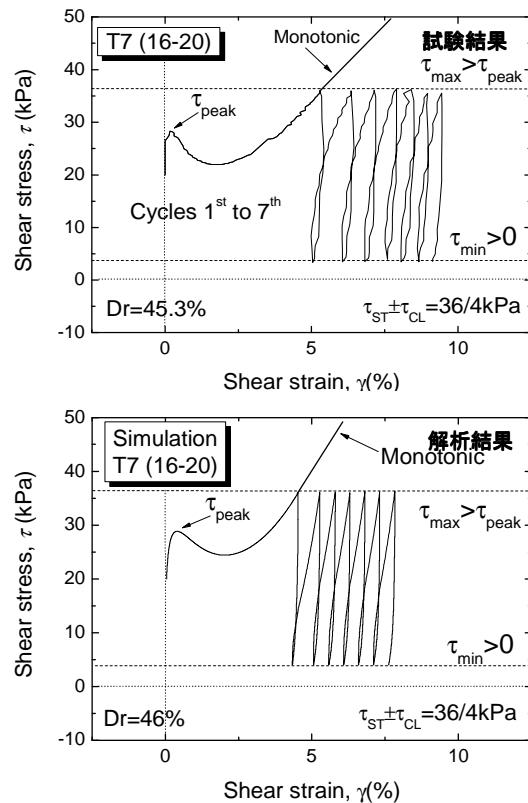


図2 試験結果と解析結果の比較例

(3) 大変位リング単純せん断試験装置の製作

外径15cm、内径9cm、高さ15cmの中空円筒供試体の両側を図3に示すような積層リングで拘束し、変形が不均一にならないようにした状態で、大変位のねじりせん断試験が行える装置を新規に設計・製作した。载荷中に供試体高さを一定に保つことにより定体積条件を維持して液状化状態を再現できる。また、各リングにターゲットを設置し、その変位量をデジタル写真の画像解析により求めることにより、せん断ひずみの高さ方向の分布を計測できる。

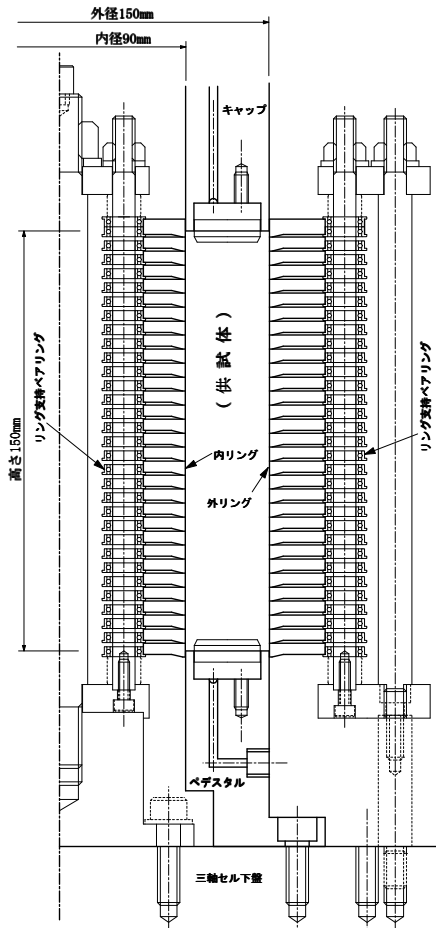


図3 積層リングの側面図

(4) 繰返しリング単純せん断試験

(3)で製作した装置と用いた等体積繰返しリング単純せん断試験を、同一の供試体に対して図4に示すように複数回実施し、液状化履歴を受けた後の再液状化特性が、同一密度で初めて液状化する場合とは異なることを明らかにした。また、このような特性変化は、液状化履歴を受けた際のせん断ひずみ振幅の違いの影響も受けることを明らかにした。

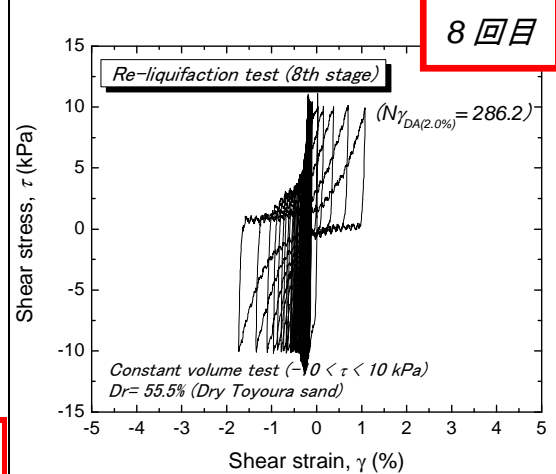
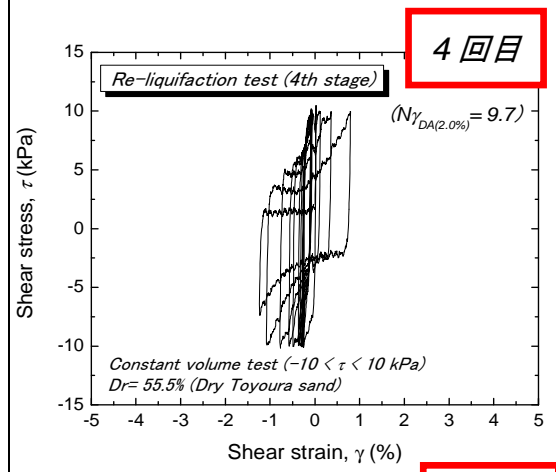
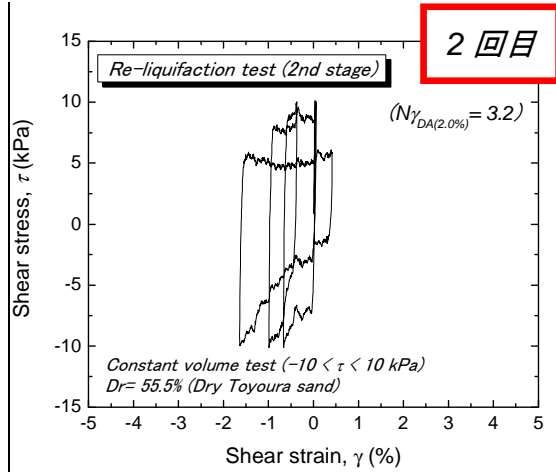
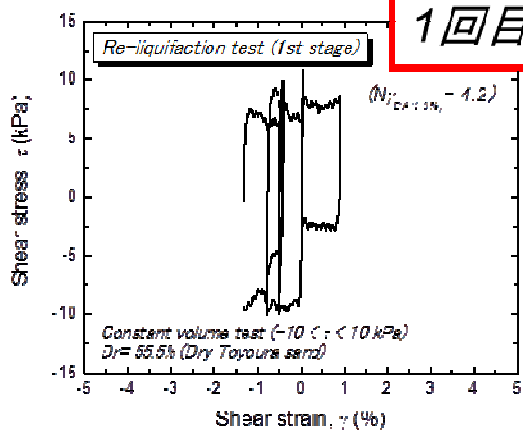


図4 複数回の液状化試験結果の例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ①Chiaro, G., Kiyota, T. and Koseki, J.: Strain localization characteristics of loose saturated Toyoura sand in undrained cyclic torsional shear tests with initial static shear, *Soils and Foundations*, Vol. 53, No. 1, pp. 23-34, 2013.2 (査読有)

② Chiaro, G., Koseki, J. and Sato, T.: Effects of initial static shear on liquefaction and large deformation properties of loose saturated Toyoura sand in undrained cyclic torsional shear tests, *Soils and Foundations*, Vol.52, No.3, pp.498-510, 2012.6 (査読有)

[学会発表] (計 15 件)

① Chiaro, G. and Koseki, J.: Liquefaction and failure mechanisms of sandy sloped ground during earthquakes: a comparison between laboratory and field observations, Proc. of Australian Earthquake Engineering Society 2012 Conference, Gold Coast, Australia pp.1-7, 2012.12. 8

② Chiaro, G., Koseki, J. and De Silva, L. I. N.: An elasto-plastic model for liquefiable sands subjected to torsional shear loadings, Proc. of 2nd International Symposium on Constitutive Modeling of Geomaterials, Beijing, China, pp.519-526, 2012.10.16

③ DeSilva, L. I. N. and Koseki, J.: Modelling of sand behavior in drained cyclic shear, *Advances in Transportation Geotechnics II*, Miura et al. (eds.), CRC Press, pp.686-691, 2012.9.11, 札幌

④ Wahyudi, S., Miyashita, Y. and Koseki, J.: Observation of shear banding behavior of sand in torsional shear test using image analysis technique, *Advances in Multiphysical Testing of Soils and Shales*, Springer, 2012.9.4, Lausanne, Switzerland

⑤ Chiaro, G., De Silva, L. I. N., Kiyota, T. and Koseki, J.: An elasto-plastic model to describe the undrained cyclic behavior of saturated sand with initial static shear, Proc. International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, Seoul, Korea pp.1026-1033, 2011.9.1

⑥ Wahyudi, S., Miyashita, Y. and Koseki, J.: Shear band behavior of sand in torsional shear tests by means of image analysis, Proc. of 13th International Summer Symposium, International Activities Committee, JSCE, pp.167-170, 2011.8.26, 京都

⑦ 古関潤一, Chiaro, G., 佐藤剛司, 清田隆: 飽和豊浦砂の非排水大ひずみ繰返しねじりせん断特性に及ぼす初期せん断の影響, 第46回地盤工学研究発表会講演概要集, CD-ROM, 2011.7.6, 神戸

⑧ DeSilva, L. I. N. and Koseki, J.: Modelling of drained and undrained cyclic shear behavior of sand, Proc. of 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Hong Kong, China, CD-ROM, 2011.5.25

⑨ Chiaro, G., Kiyota, T. and Koseki, J.: Effects of initial static shear stress on shear strain localization characteristics of sand in undrained cyclic torsional shear tests, Proc. of 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo, pp.531-536, 2011.3.7

⑩ Chiaro, G., Sato, T., Kiyota, T. and Koseki, J.: Effect of initial static shear stress on the undrained cyclic behavior of saturated sand by torsional shear loading, Proc. of 5th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 2011.1.11

⑪ Namikawa, T., Koseki, J. and DeSilva, L. I. N.: Three-dimensional modeling of stress-strain relationship of sand subject to large cyclic loading, Proc. of 5th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 2011.1.11

⑫ Wahyudi, S., Chiaro, G., De Silva, L. I. N. and Koseki, J.: Stress-dilatancy behavior of loose sand during drained cyclic torsional shear loading, Proc. of 12th International Summer Symposium, International Activities Committee, JSCE, pp.183-186, 2010.9.21, 千葉

⑬ Chiaro, G., Sato, T. and Koseki, J.: A method for assessing failure behavior of sand with initial static shear, Proc. of 12th International Summer Symposium, International Activities Committee, JSCE, pp.155-158, 2010.9.18, 千葉

⑭ Chiaro, G., Kiyota, T., De Silva, L. I. N., Sato, T. and Koseki, J.: Extremely large post-liquefaction deformations of saturated sand under cyclic torsional shear loading, *Earthquake Geotechnical*

Engineering Satellite Conference, 17th
International Conference on Soil
Mechanics and Geotechnical Engineering,
Alexandria, Egypt, CD-ROM, 2009.10.3

⑮ Chiaro, G., Sato, T. and Koseki, J. :
Behavior of saturated sand with initial
static shear stress in cyclic torsional
shear tests Proc. of 11th International
Summer Symposium, International
Activities Committee, JSCE, pp.109-112,
2009.9.11, 東京

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古関 潤一 (KOSEKI JUNICHI)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：30272511

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

並河 努 (NAMIKAWA TSUTOMU)

芝浦工業大学・工学部土木工学科・教授

研究者番号：50455151

宮下 千花 (MIYASHITA YUKIKA)

東京大学・生産技術研究所・技術職員

研究者番号：20396914