

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360188

研究課題名(和文) 浚渫埋立て砂質地盤の液状化挙動に及ぼす堆積構造の影響とその改質方法に関する研究

研究課題名(英文) Study on effect of depositional structure on liquefaction behavior of reclaimed ground using dredged sands and procedures for improving liquefaction properties

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：2011年東日本大震災では東北から関東地方にかけて広域で多数の液状化が生じ、道路・住宅・産業施設や下水管路などのライフラインが甚大な被害を受けた。これらの液状化被害は、埋立て地盤のなかでも特に浚渫土砂をポンプ輸送して造成した砂質地盤で著しい一方で、自然堆積した砂質地盤での被害は限定的であった。そこで本研究では、浚渫埋立てにより造成した砂質地盤の特殊な堆積構造に着目した実験的検討を系統的に実施した。その結果、分級構造を有する砂質土の液状化特性とこれに影響を及ぼす要因、および効果的な改質方法を明らかにするとともに、これらを精度良く評価するための各種の実験・計測手法を確立させた。

研究成果の概要(英文)：The 2011 East Japan Earthquake Disaster caused widely-spread and extensive liquefaction in Tohoku and Kanto districts, which induced severe damage to roads, houses, industrial facilities and lifeline systems such as sewer pipes. In particular, the extent of damage was significantly larger in the reclaimed sandy soil deposits, which were constructed by transporting a mixture of dredged sands and water using pumps. By focusing on the special soil particle structure of such deposits, a series of laboratory tests was conducted in this study. As a result, liquefaction properties of specimens having the special soil particle structure could be revealed, which were compared to those having a uniform structure. Effectiveness of the procedures for improving the liquefaction properties was also confirmed. In addition, several new or modified experimental procedures were also established for conducting such test series.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤工学 液状化 埋立て 堆積構造

1. 研究開始当初の背景

2011年東日本大震災では東北地方から関東地方にかけての広域で多数の液状化が生じた。これにより道路・住宅・産業施設や下水管路などのライフラインが甚大な被害を受け、いまだに復興の見通しが立っていない地域もある。これらの液状化被害は、埋立て地盤のなかでも特に浚渫土砂をポンプ輸送して造成した砂質地盤で著しい一方で、自然堆積した砂質地盤での被害は限定的であった。

2. 研究の目的

本研究では浚渫埋立てにより造成した砂質地盤の特殊な堆積構造に着目した検討を実施する。浚渫埋立てにより造成した砂質地盤の液状化挙動に及ぼす、その特殊な堆積構造の影響を明らかにし、この堆積構造を改質させて液状化強度を増大させるうえで、多数の排水繰返しせん断履歴を与える手法が有効となる載荷条件等を定量的に明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 特殊な堆積構造を有する室内土質試験用の供試体作成手法と、その変形状況の評価手法の開発を行った。

(2) 一次元モールド内に作成した分級供試体を液状化させる試験を実施し、堆積構造が液状化挙動に及ぼす影響を明らかにした。

(3) 分級構造を有する中空円筒供試体を作成し、同一の供試体に対して複数回の非排水繰返しねじりせん断試験を実施し、液状化特性の変化を計測した。また、同じ材料と平均密度で分級構造がない場合の試験も行い、試験結果を比較することで堆積構造の違いの影響を明らかにした。

4. 研究成果

(1) 水中落下法を用いて図1に示すように分級構造を有する中空円筒供試体を作成する手法を新たに開発した。作成手順の模式図を図2に示す。

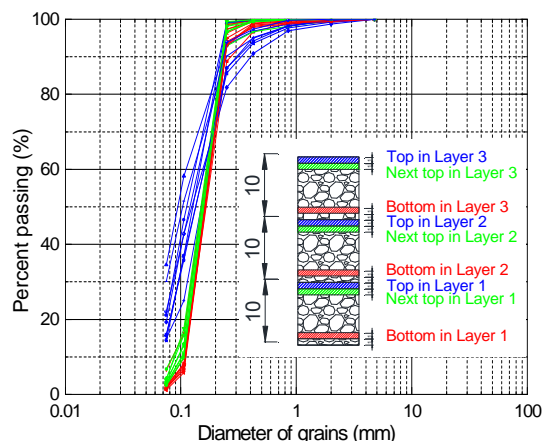


図1 水中落下で作成した供試体各部の粒度

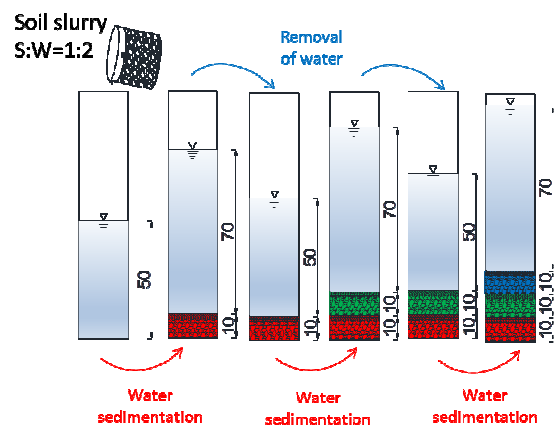


図2 分級構造を有する供試体の作成手順

(2) 分級構造を有するために一様にはならない供試体の変形状況を画像解析により評価する手法も従来手法を発展させて確立した。図3に示すように供試体の外側面を覆うメンブレン上に一定間隔で多数の標点を設置し、その位置が試験中にどのように変化するかをデジタル画像として記録し解析することで、供試体の局所的な変形状況を評価する。解析に際しては供試体の曲率やレンズのゆがみの影響を補正する必要があるが、これらの補正作業を効率良く行うために、本研究では可能な限り自動化した手法を確立させている点に特色がある。画像解析結果の例を図4に示す。

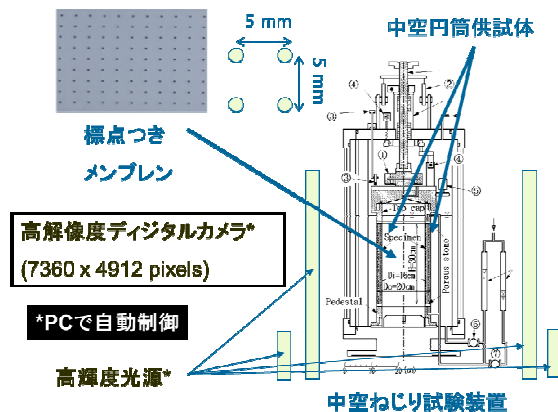


図3 中空ねじり試験における局所変形評価のための画像撮影システムの概要

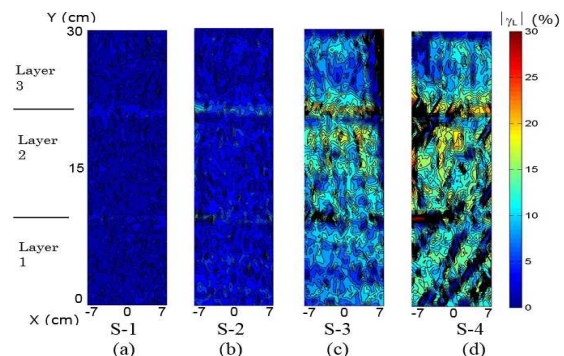


図4 画像解析結果の例 (せん断ひずみ分布)

(3) 一次元モールド内に作成した分級供試体に衝撃を与えて液状化させる試験を行い、細粒分で構成される薄層の直下に、図5に示すように水膜が形成される状況を確認した。さらに、各種の供試体の非排水繰返しねじりせん断試験の前後で透水係数を計測し、この細粒薄層の透水係数は砂層の1/100程度であることを明らかにした。

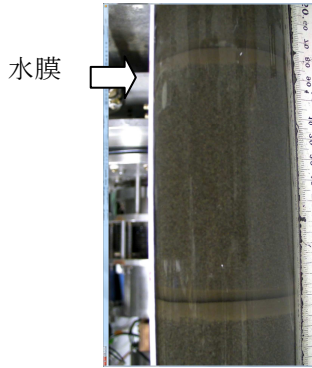


図5 一次元モールド内に作成した分級供試体内での水膜形成状況

(4) 非排水繰返しねじりせん断試験を系統的に実施した。初回液状化時の特性に関して、図6に示すように分級構造を有する場合の液状化強度が、同じ材料およびほぼ同一の平均密度で分級構造がない場合よりも大きいことを示し、その理由として土粒子構造の違いによるダイレタンシー特性の変化が、液状化強度特性に影響を及ぼしていると考えられることを見出した。

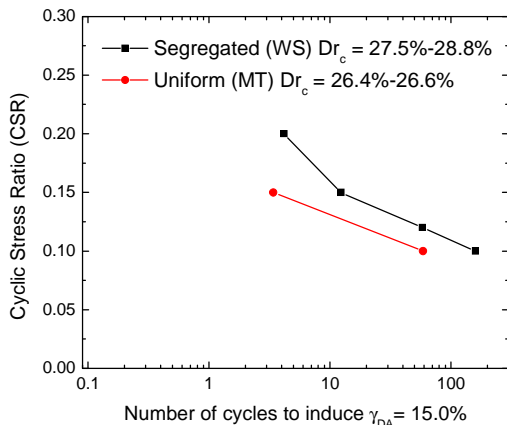


図6 分級供試体 (WS) と均質供試体 (MT) の液状化強度曲線の比較

一方で、(3)で述べた一次元モールド試験で確認した細粒薄層直下での水膜の形成は、非排水繰返しねじりせん断試験では観察されなかった。この原因として、細粒薄層の圧密時の体積圧縮量が砂層よりも大きいために生じるメンブレン貫入と、液状化の進行とともにメンブレンに発生する斜め方向の皺の影響が考えられたため、それぞれの影響を低減させた図7のような比較試験を行うことで、これらの要因が液状化強度にも影響を及ぼしていることを明らかにした。さらに、細粒

薄層と砂層のそれぞれで発生する異なった大きさの過剰間隙水圧が繰返し载荷中に再配分される現象について考察を行い、この影響で細粒薄層の密度が低下して局所的に大きなせん断変形が生じることを、実際の試験結果でも検証した。

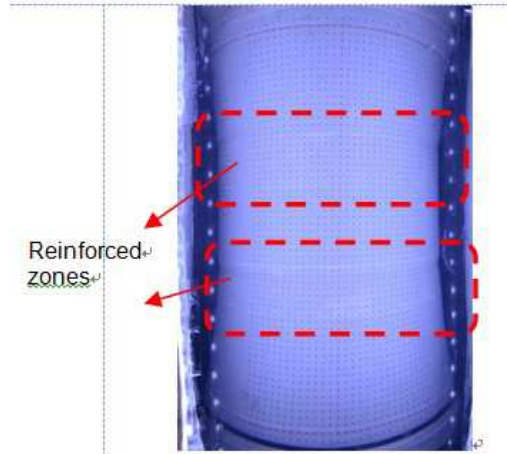


図7 メンブレン貫入を低減させるために補強メンブレンを使った供試体の例

(5) 複数回液状化時の特性変化に着目した非排水繰返しねじりせん断試験結果の分析を行った。各液状化試験の後にせん断ひずみをゼロに戻した場合と、これをゼロに戻さずに実際の地震時の状況を再現した場合とでは、図8に示すようにその後の再液状化時の強度特性が大きく異なることを示し、既往の関連研究において分級構造を有しない供試体に対して観察されていた特性変化が、分級構造を有する場合にも生じることを確認した。また、排水状態で0.01%程度のひずみ振幅での繰返しせん断履歴を与えることで、密度をあまり変化させないままに図9に示すように液状化強度を著しく改善できる効果が得られることを、分級構造を有する供試体で確認する一方で、このような改善効果は必ずしも永続的ではなく、液状化履歴を受けるとほぼ消滅してしまうことを見出した。

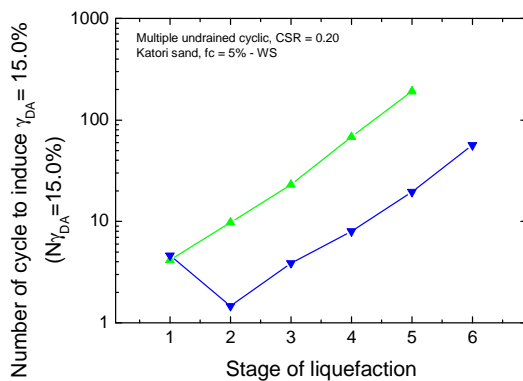


図8 液状化試験後にせん断ひずみをゼロに戻した場合と戻さずに実際の地震時の状況を再現した場合の再液状化特性の比較

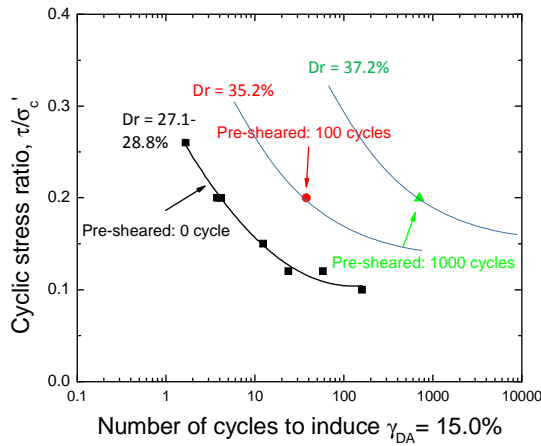


図 9 排水繰返しせん断履歴を与えることによる液状化強度特性の改善効果

(6) 複数回液状化時の特性変化を、液状化履歴時の消散エネルギーに着目してモデル化する手法について検討した。図 10 に示すような応力ひずみ曲線の履歴面積から消散エネルギーを算定し、せん断ひずみの時刻歴からその絶対値の累積値を算定した場合、これらの関係が図 11 に示すようなトリリニアタイプとなり、その 2 箇所折れ点はダイレタンシー特性の変化が顕著になる時点と、有効応力がゼロとなって初期液状化状態に至る時点に相当することを明らかにした。

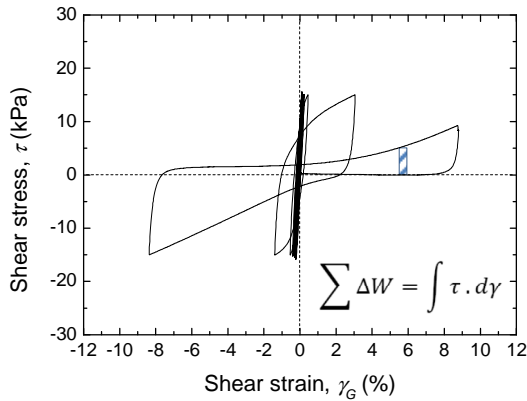


図 10 応力ひずみ関係の例と消散エネルギーの定義

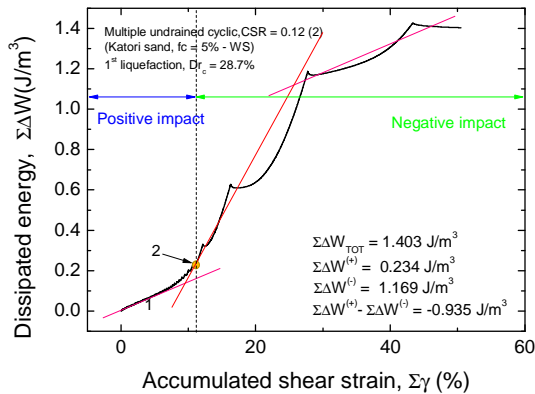


図 11 せん断ひずみの累積値と消散エネルギーの関係の例

さらに、ダイレタンシー特性の変化が顕著になるまでとその後の消散エネルギーを、図 11 中に示したようにそれぞれ正の効果、負の効果として考慮することで、図 12 に示すように次の過程における液状化特性との対応関係を合理的に説明できることを示した。

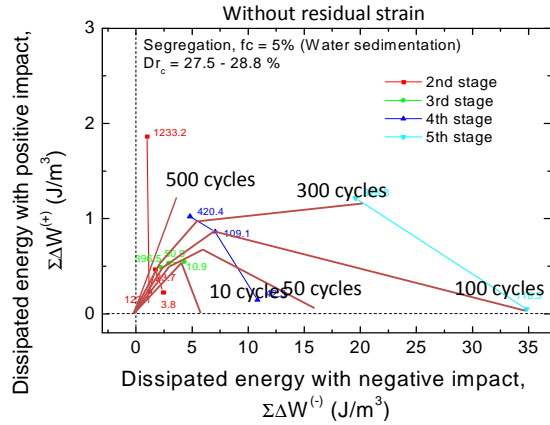


図 12 消散エネルギーの正負の効果と次の過程において液状化が生じる繰返し回数との関係

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 3 件)

- ① Fauzi, U. J., Wahyudi, S., Miyashita, Y. and Koseki, J.: Application of image analysis to sand specimens in hollow cylindrical torsional shear tests, Proc. of 2nd JAEE International Symposium on Earthquake Engineering, 査読なし, pp.95-100, 2013.11
- ② Fauzi, U. J., Wahyudi, S., Miyashita, Y. and Koseki, J.: Image analysis technique for segregated specimen of Katori sand in hollow cylindrical torsional shear test, Proc. of 7th International Joint Symposium on Problematic Soils and Geoenvironment in Asia, Okinawa, 査読なし, pp.163-166, 2013.11
- ③ 古関 潤一, ファウジ ウサマジュニアン シャー, 佐藤 剛司, 宮下 千花: 浚渫土を用いて埋立てた砂質地盤の液状化挙動に関する実験的研究, 生産研究, 査読なし, 66(6), 565-568, 2014.11

[学会発表] (計 4 件)

- ① Fauzi, U. J., and Koseki, J.: Feasibility of segregated sample preparation using water sedimentation, 15th International Summer Symposium, International Activities Committee, JSCE, 習志野, 2013年9月5日
- ② Fauzi, U. J. and Koseki, J.: Effect of

silt layer in segregated specimen on liquefaction behavior of Katori sand, 16th International Summer Symposium, International Activities Committee, JSCE, 大阪, 2014年9月10日

③ Fauzi, U. J. and Koseki, J. : Evaluation of re-liquefaction behavior of segregated and uniform specimens in hollow cylindrical torsional shear tests, Fourth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Brisbane, Australia, 2014年11月19-21日

④ Fauzi, U. J., Koseki, J. and Sato, T. : Liquefaction behavior of uniform and segregated Katori sand specimens, 14th Japan Earthquake Engineering Symposium, Chiba, Japan, 千葉, 2014年12月4-6日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

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

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

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

並河 努 (NAMIKAWA, Tsutomu)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号：50455151