

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02240

研究課題名（和文）年代効果を有する地盤の広範なひずみレベルにおける液状化特性とその評価手法の開発

研究課題名（英文）Liquefaction characteristics of soils with aging effects at a wide range of strain levels and development of its evaluation method

研究代表者

清田 隆（Kiyota, Takashi）

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：70431814

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、土粒子構造の影響を考慮できる新しい液状化強度比の推定法を示し、その高い現場適用性を確認した。一方、同手法は破碎性の高い火山灰土やセメンテーションを有する地盤への適用性は明確でないため、これらの液状化強度・変形特性とせん断波速度の関係を検討した。その結果、火山灰土については、粒子破碎強度を指標とすることで、上記評価手法の枠組みを利用して液状化強度比を推定できる可能性を示した。また、液状化地盤の大変形挙動を数値解析により適切に表現できる手法を、液状化に伴うせん断抵抗角の損傷の観点から見出し、これを考慮した解析により実験結果の再現に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、従来その評価が困難であった液状化強度に及ぼす地盤の年代効果（土粒子構造の影響）の影響が定量的に可能となった。これにより、従来大幅に過小評価されていた液状化強度が適切に求められ、地盤耐震設計の合理化とコスト削減が期待できる。特に近年の大地震の経験を背景に、従来の設計地震荷重よりも著しく大きいレベル2地震動に対する設計も行われるようになってきた昨今、たとえ建設対象が重要構造物であれ、高額な費用をかけて地盤の液状化対策を実施することが妥当かどうかを判断することが求められているが、本研究成果はそのような検討に非常に有効である。

研究成果の概要（英文）：This study showed a new method for estimating liquefaction resistance that can consider the influence of soil fabric and confirmed its high applicability in the field. However, the applicability of the method to volcanic soils and to soils with cementation is not clear. In this study, volcanic soils and reconstructed samples mixed with a small amount of cement to simulate cementation in natural conditions were used to investigate the relationship between their liquefaction resistance and deformation characteristics and  $V_s$ . The results showed that for volcanic soils, the liquefaction resistance could be estimated using the framework of the above method using the particle strength as an indicator. In addition, a method that can represent the large deformation behaviour of liquefied soils by numerical simulation was found in terms of the damage to the friction angle associated with liquefaction, and a simulation that considered this successfully reproduced the experimental results.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化 年代効果 土粒子構造 セメンテーション 大ひずみ シミュレーション 三軸試験 中空ねじり試験

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

将来想定されている地震に対する液状化アセスメントについて、その精度向上の障壁となっている要因の一つに、現状の液状化強度評価において地盤の「年代効果」を適切に表現できないことが挙げられる。液状化特性に影響を及ぼす年代効果は、長期圧密や地震履歴等による地盤の密度化、土粒子構造の変化、および経時的なセメンテーション効果に起因すると考えられており、特に古い地盤では相互の関係が液状化強度に影響を及ぼすが、その詳細は未解明な点が多い。

また、液状化変形問題を扱う数値解析では、従来の室内試験の限界を超える 20~50% 以上の大ひずみ領域に対しては適切な構成モデル・パラメータ設定は困難であった。大ひずみ領域に至るまでのひずみの進展挙動を再現できるモデルを、適切な実験による実証を得た上で構築していく必要がある。

2. 研究の目的

地震時に砂質地盤で発生する液状化現象について、その強度変形特性に影響を及ぼす地盤の年代効果は、地盤の密度化、土粒子構造の変化、およびセメンテーション効果に起因すると考えられている。本研究では、火山灰土を含む地盤の年代効果を考慮した液状化強度の推定法、および大変形挙動を記述するモデルを、実験・解析的アプローチにより構築することを目的とする。

3. 研究の方法

これまでの研究代表者らの研究により、密度が一定で土粒子構造の異なる地盤の液状化強度比の違いは、地盤を伝搬するせん断波速度(もしくはせん断剛性率)で表現できることが示されている(図1)。本研究ではまず、この知見を利用した原位置液状化強度比の推定手法の現場適用性を検証する。また、上記手法は所謂一般的な砂質土を対象に構築されたものであるが、破砕性の高い火山灰土やセメンテーションを有する地盤への適用可能性については明確でない。このため、本研究では北海道で採取した火山灰土、および自然状態のセメンテーションを模擬するために少量のセメントを混入させた再構成試料を用いて、これらの液状化強度・変形特性とせん断波速度の関係を検討する。

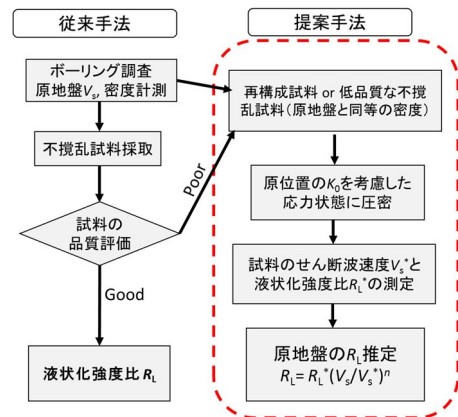


図1 提案液状化強度比推定法

また本研究では、液状化地盤の大変形挙動を記述する解析モデルの構築を目的としている。そのため、まずは液状化地盤の大ひずみレベルにおける強度特性について検討する。その後、液状化中の強度の低下傾向を考慮して、大ひずみ液状化挙動のモデルの構築と解析を実施する。

4. 研究成果

(1) 土粒子構造の影響を考慮した液状化強度比推定法の適用事例

検討対象地の内、浦安と千葉市美浜区の調査地では顕著な液状化が確認されたが、液状化は主に埋立地盤で生じたことが多くの文献で報告されている。ここで、N値を用いた簡易判定結果によると、浦安市と千葉市美浜区の埋立地盤では実状と整合した結果となっている。一方、川崎市川崎区、江戸川河川敷、美幌町では、液状化安全率は1.0を下回るにもかかわらず、当該地震による液状化発生は確認されていない。

本研究では、液状化検討対象層から不攪乱試料(TS: トリプル, GP: GP サンプル)または攪乱試料を採取し室内土質試験(三軸液状化試験)を実施した。室内土質試験では、図1のフローに従い、原位置密度(密度検層結果等)と同等の密度を有する不攪乱供試体、または攪乱試料を利用した再構成供試体を三軸セルにセットし飽和を行った。次に、 $K_0=0.5$ を仮定した原位置有効拘束圧下においてせん断波速度 $V_s^*$ を加速度計またはベンダーエレメントにより計測した。その後、所定の応力条件下で応力振幅一定の非排水繰り返し載荷試験を実施して $R_L$ を得た。原位置PS検層による検討対象地盤のせん断波速度 $V_s$ 、室内試験によるせん断波速度 $V_s^*$ および室内液状化試験による液状化強度比 $R_L^*$ を用い、原位置液状化強度比 $R_L$ を推定した。

図2にN値による簡易判定と本研究が提案する手法による液状化強度比 $R_L$ と、当該地盤の地震時繰り返しせん断応力比Lの関係を示す。簡易判定では千

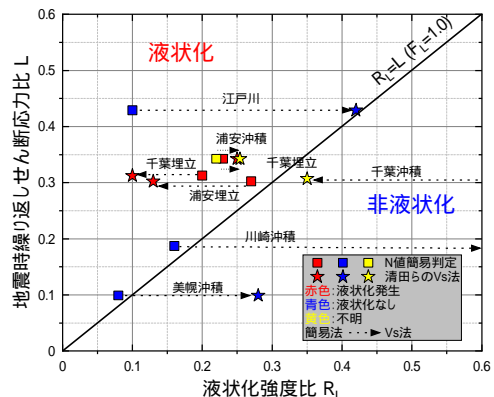


図2 N値による簡易判定と提案手法による $R_L$

葉市美浜区の沖積層を除くすべての地点試料で  $F_L < 1$  となっており、浦安と千葉市美浜区の埋立地盤以外については所謂「空振り」の様相を呈する。しかし、原位置と室内試験の  $V_s$  を利用した提案手法による液状化強度比は、対象地震による「液状化 / 非液状化」の事実を適切に評価できる結果となった。

## (2) $V_s$ を利用した液状化強度比推定法の火山灰土への適用

(1) では、粒子破碎性の無い一般的な砂質土・火山灰土を対象とし、土粒子構造の影響を考慮した液状化強度比推定手法の有用性を示したが、ここでは破碎性を有する火山性地盤に対する適用性を検討した。

### 実験試料と試験方法

検討対象とした試料は、2018年胆振東部地震で液状化した札幌市清田区美しが丘試料、1993年北海道南西沖地震で液状化した森町試料、2003年で液状化が生じなかった美幌町試料、および比較用の珪砂5号である。

実験は、試料の液状化特性を調べるために三軸非排水繰返し载荷試験を、粒子破碎性を定量化するために単粒子破碎試験を実施した。三軸試験は、美しが丘と森試料について、現地で採取した攪乱試料のうち 4.75mm ふるい通過分を用い、直径 50mm、高さ 100mm の供試体を複数の方法で作成して行った。乾燥締固め法(DT)、湿潤締固め法(WT)および過圧密比 3 まで過圧密履歴を与えた供試体(OC3)を用意したが、これは液状化強度に及ぼす土粒子構造と  $V_s$  の影響を検討するためである。作成した供試体を当該地盤の平均有効主応力相当である 30kPa まで等方圧密し、その後飽和した。圧密・飽和後、各供試体の  $V_s$  をベンダーエレメントにより計測した。その後、所定の繰返しせん断応力比で両振幅軸ひずみが 5% となるまで非排水繰返しせん断を行った。

単粒子破碎試験では、各試料において 0.425~0.85mm の粒子をふるい分けて用い、粒子を 1 個ずつ一軸状態で圧縮破壊させ、その際の荷重と変位を計測した。各試料に対し 20 粒子ずつ試験を実施した。

### 三軸試験・単粒子破碎試験結果と考察

本研究で実施した三軸試験において、液状化強度曲線と各試験シリーズにおける  $V_s$  の計測結果(複数回の試験における平均値)を図 3 に示す。同等の密度で供試体作成方法や OCR を変化させた各試験シリーズにおいて、両試料とも液状化強度に差が出ており、液状化強度が  $V_s$  と正の相関を持つことが分かる。

ここで、本試験で得られた美しが丘、森町、美幌試料の  $V_s$  と  $R_L$  を基に、その関係を Kiyota et al. (2019) が示した非破碎性試料から得られた関係のグラフ上にプロットすると図 4 のようになる。森町および美幌の試料が非破碎性の試料とほぼ同様の  $V_s$  と  $R_L$  の関係を示しているのに対し、美しが丘試料では  $V_s$  の上昇に対して  $R_L$  の上昇が鈍い関係となっており、非破碎性砂に対して検討した  $V_s$  と  $R_L$  の関係を直接利用することは難しいことが分かる。

火山性地盤は粒子破碎性を有することが知られているが、これが液状化特性ならびに  $V_s$  と  $R_L$  の相関にどのような影響を与えるかについて考察するため、単粒子破碎試験を実施した。図 5 に試験結果を示す。各試料について 20 粒子ずつ実施した試験に対してピーク荷重を示した。火山性の 3 種類の試料はいずれも珪砂と比べて低い強度を有していることが分かる。特に美しが丘試料に関しては、森町や美幌と比較しても測定値は小さく、本試験の条件ではピーク荷重 5N、剛性が 100N/m を超える粒子がほぼ存在しておらず、試料全体が破碎性の高い粒子で構成されていることが定量的に判断できる。また、破碎形態の観察からも、珪砂が脆性的な割裂をするのに対し、火山性試料は圧縮されて徐々に延性的破壊をするといった違いが見られた。

この結果と図 4 をはじめとする三軸液状化試験の結果から、火山

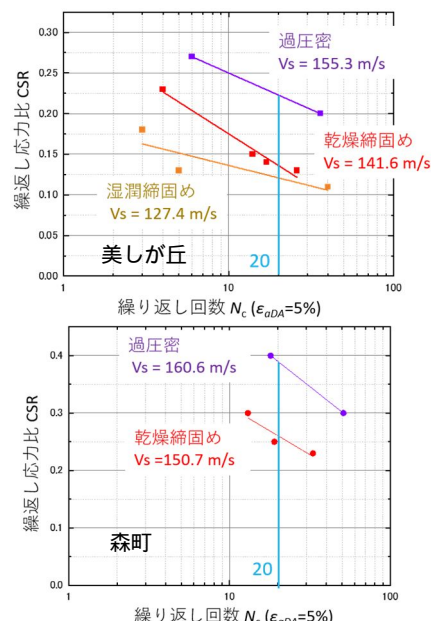


図 3 液状化強度曲線と  $V_s$

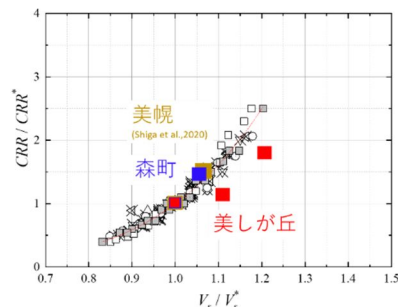


図 4 正規化した  $V_s$  と  $R_L$  の関係

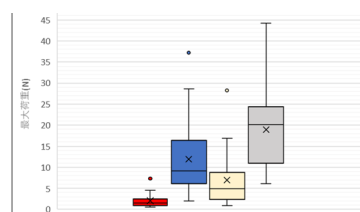


図 5 単粒子破碎試験結果

性地盤に対しても本研究が提案する液状化強度推定法の枠組みが適用できると言える。特に、単粒子強度が一定以上であれば、非破砕性地盤と同じパラメータで検討が可能である。しかし、美しが丘試料のような極端に破砕性の大きな試料については、 $V_s$  を用いて  $R_L$  を推定する際に補正が必要になる。

### (3) 液状化特性に及ぼすセメンテーション効果の影響

(1)(2)の検討により、本研究が提案した新しい液状化強度比の推定方法の枠組みが、通常の砂質土だけでなく、粒子破砕性を有する火山灰土にも適用できることを示した。一方、洪積地盤等については、せん断波速度は土粒子構造だけでなくセメンテーションによる粒子間の固着の程度にも影響されると考えられる。ここでは、セメンテーション効果の液状化特性への影響を議論する。

#### 供試体と試験条件

供試体は珪砂7号(土粒子密度 $\rho_s=2.617\text{g/cm}^3$ )と早強ポルトランドセメントを混ぜ合わせて作製した。重量比での珪砂に対するセメント添加率  $C$  は 0, 1, 2, 3 並びに 5%とした。また相対密度 $D_r$  は  $C=0\%$ の供試体については 40, 50, 60%とし、 $C=1, 2, 3, 5\%$ の供試体については 65%とした。

三軸試験装置を用い、30kPaの初期拘束圧 $\sigma'_c$ において二重負圧法により通水後、背圧を200kPaまで上昇させ  $B$  値 0.9 以上を確認した。その後、等方圧密により拘束圧を100kPaまで上昇させた。圧密後は繰り返し偏差応力を一定の値として、非排水繰り返し載荷試験を実施した。試験は両振幅軸ひずみが5%に達するか、供試体のメンブレンがキャップから外れるまで実施した。

#### セメント添加による液状化特性の変化

図7(a), (b)は  $C=1\%$ ,  $3\%$ の有効応力経路である。繰り返し載荷1サイクル目圧縮側での有効応力の低下は、両者においても差は小さいものの、引張側において  $C=1\%$ の供試体に顕著な過剰間隙水圧の蓄積が見られる。一方  $C=3\%$ の供試体では、過剰間隙水圧の蓄積は緩やかである。また引張側の変相点を結んだ線(図7中赤点線)は  $C=1\%$ の供試体ではほぼ直線であるが、 $C=3\%$ の供試体では有効応力の低下に伴ってより緩い勾配を持つ曲線的な形状をしていることが見て取れる。

図7の結果から、液状化現象を過剰間隙水圧の上昇とひずみの増大という二つに大きく分類した場合、セメント添加率が上昇するほど全体の回数に占める後者の割合が大きくなり、より靱性に富む破壊形態に移行した。

図8は供試体ごとの正規化された累積損失エネルギーと過剰間隙水圧の関係を示したものである。

国生(2013)によれば、相対密度とCSRの異なる富津砂であっても、正規化累積損失エネルギーが0.02程度に達すると過剰間隙水圧比が1.0になることが確認されている。本試験においても、過剰間隙水圧比が0.99となる $E^N$ の値は0.003から0.017の間に収まり、既往研究の結果では $E^N$ の値が0.009から0.034の間であったことから、今回使用した珪砂7号と早強ポルトランドセメントの混合土であっても、密度やCSR、あるいはセメント添加率は過剰間隙水圧比を1.0までに上昇させるエネルギー量には大きな変化をもたらさないと考えられる。

### (4) 液状化地盤の大ひずみ挙動と数値解析への反映

従来の有効応力解析では、液状化試験で得られた液状化強度曲線、応力ひずみ関係および有効応力経路等が再現できるように、液状化特性に関わるパラメータを設定する。しかし、実務における液状化試験で得られる液状化特性は、最大でもせん断ひずみ7.5%までであることから、地盤パラメータ設定においても大ひずみ領域

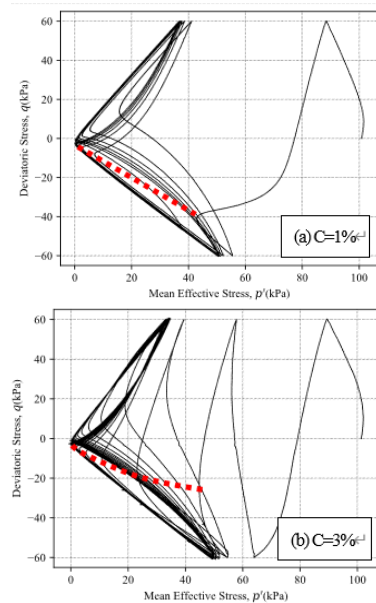


図7 有効応力経路

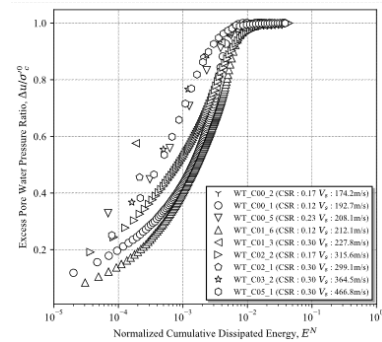


図8 正規化消散エネルギーと過剰間隙水圧比の関係

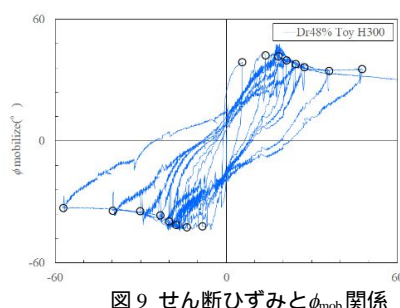


図9 せん断ひずみと $\phi_{mob}$ 関係

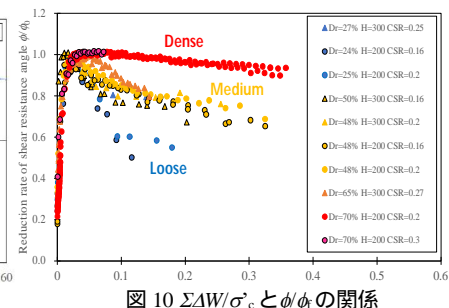


図10  $\Sigma \Delta W / \sigma'_c$  と  $\phi / \phi_m$  の関係

の特性は反映できていないのが現状である。ここでは、大ひずみ領域まで実施した液状化試験結果をベースとし、重要な地盤パラメータであるせん断抵抗角 $\phi$ の値に及ぼす影響を検討した。

珪砂7号を対象に実施した中空ねじり液状化試験結果を図9に示す。せん断ひずみの進展に伴い、 $\phi_{mob}$ の低下傾向が見取れるが、これは液状化に伴う地盤構造の劣化と捉えることができる。ここで、累積損傷エネルギー $\Sigma\Delta W/\sigma'_c$ に応じた $\phi/\phi_r$ の関係を図10に示すが、密度に応じて $\phi_{mob}$ の低下傾向が変化することが示されている。この関係を用い、要素シミュレーションを実施した結果を図11に示す。 $\phi$ の低下を考慮しない従来法では、せん断ひずみが10%程度以上発生しなかったのに対し、累積損傷エネルギー $\Sigma\Delta W/\sigma'_c$ に応じた $\phi/\phi_0$ の低下を考慮した場合は液状化試験結果と同レベルのせん断ひずみが表現されている。

また、セメンテーション効果を有する砂質土の液状化挙動を有効応力解析により表現するには、セメント添加率等に応じてひずみ空間多重せん断モデルにおけるパラメータの調整が必要であることが示された。具体的には、土の体積弾性係数の拘束圧依存性に関するモデルパラメータと、膨張的および収縮的ダイレイタンスに係るパラメータを調整することで、軽度なセメンテーション効果を有する砂質土の液状化挙動を適切に表現できることがわかった。

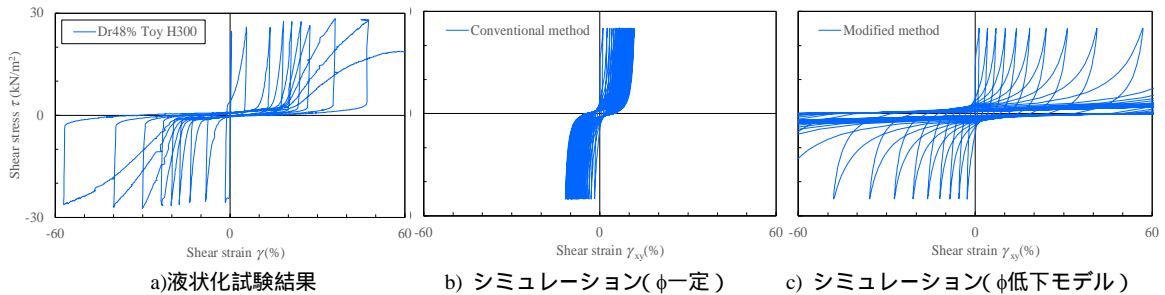


図11 要素シミュレーション結果

## (5) まとめ

本研究では、地盤の年代効果に着目した実験をベースに構築した液状化強度比の推定方法について、その現場適用性、火山灰土などの破砕性地盤材料などへの適用性について検討した。また、液状化地盤の大変形挙動を表現する数値解析に用いる地盤パラメータの設定について、大ひずみ液状化試験結果をベースに検討した。

以下に本研究の成果を示す。

○従来のN値に基づく液状化簡易判定では、液状化の発生が確認されなかった個所でも  $FL < 1$  となり、実際の液状化強度比を過小評価している可能性が指摘されていたが、 $V_s$ を用いた研究代表者による提案手法により、地盤の年代効果を包含する土粒子構造の考慮した液状化強度比が求められ、検討対象ケースの「液状化 / 非液状化」の事実を適切に評価できる結果となった。

○三軸液状化試験と単粒子破碎試験により、火山灰試料の  $V_s$  を用いた液状化強度比推定手法の適用性について検討した。火山灰地盤はその破砕性により非破砕性の砂とは異なる液状化特性を示すが、単粒子強度や剛性を指標とすることで、 $V_s$  を用いた液状化強度比推定法の枠組みを利用できる可能性が高いことが示された。

○セメンテーションを付加した砂地盤について、セメント添加率を上げると非排水繰返しせん断時のひずみの発達が遅れ、靱性の高い破壊形態へと移行した。より強いセメンテーションを持つ供試体は、非排水繰返しせん断中の土粒子構造の劣化が緩やかになるためと考えられる。一方、セメント添加率を変えても正規化消散エネルギーと過剰間隙水圧比の関係は変化しなかった。また、液状化時におけるエネルギーの値も既往研究の値とほぼ整合的であった。

○既往の大ひずみ液状化試験結果を整理した結果、相対密度が小さくなるほど累積損傷エネルギー $\Sigma\Delta W/\sigma'_c$ が小さい段階で $\phi/\phi_r$ の低下が発生する傾向を確認した。また、累積損傷エネルギー $\Sigma\Delta W/\sigma'_c$ に応じた $\phi/\phi_r$ の低下傾向を定式化し、有効応力解析に反映させた。その結果、大ひずみ領域までの実験挙動をある程度の再現できることを確認した。

○土の体積弾性係数の拘束圧依存性に関するモデルパラメータと、膨張的および収縮的ダイレイタンスに係るパラメータを調整することで、軽度なセメンテーション効果を有する砂質土の液状化挙動を適切に表現できることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Umar, M., Kiyota, T. and Chiaro, G.	4. 巻 61(3)
2. 論文標題 Deformation and cyclic resistance of sand in large-strain undrained torsional shear tests with initial static shear stress	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 765-781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2021.02.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 志賀正崇, 清田隆, 片桐俊彦	4. 巻 77(4)
2. 論文標題 セメンテーションを付加した砂試料の圧密時におけるせん断波速度の変化と液化化特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_557-I_563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.77.4_I_557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Umar, M., Kiyota, T., Chiaro, G. and Duttine, A.	4. 巻 61(5)
2. 論文標題 Post-liquefaction deformation and strength characteristics of sand in torsional shear tests	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 1207-1222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2021.06.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chiaro, G., Umar, M., Kiyota, T. and Koseki, J.	4. 巻 52(4)
2. 論文標題 Deformation and cyclic strength characteristics of loose and medium-dense clean sand under sloping ground conditions: Insights from cyclic undrained torsional shear tests with static shear	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geotechnical Engineering Journal of the SEAGE & AGSSEA	6. 最初と最後の頁 14-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shiga, M., Kiyota, T. and Egawa, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Correlation between liquefaction resistance and shear wave velocity for volcanic coarse-grained soil	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 17th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiga, M. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of cementation on stress-strain and energy behavior of sandy soil during undrained cyclic loading	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the International Conference on Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 541- 546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ullah, N., Umar, M. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of post-liquefaction undrained strength characteristics of two different clean sands using large strain torsional shear apparatus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 1st International Conference on Recent Advances in Civil and Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 清田隆, 志賀正崇, 横山悠, 梅原由貴, 江川拓也, 山田岳峰, 柳浦良行, 千葉久志	4. 巻 -
2. 論文標題 原位置と室内試験で計測されるVsを利用した液状化強度比推定法の適用事例	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第56回地盤工学研究発表会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 志賀正崇, 清田隆	4. 巻 -
2. 論文標題 砂質土の非排水繰り返しせん断時の等エネルギー面に関する考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第56回地盤工学研究発表会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 志賀正崇, 清田隆	4. 巻 -
2. 論文標題 微小せん断剛性率の応力依存性を用いたセメンテーション効果を持つ砂質土の液状化強度の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第76回土木学会年次学術講演会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ullah, N., Umar, M., Shiga, M. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Post-liquefaction behavior of medium dense silica sand in large strain torsional shear apparatus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第76回土木学会年次学術講演会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 小野寺智哉 清田隆, 志賀正崇, 江川拓也	4. 巻 -
2. 論文標題 再構成試料を用いた非排水繰り返し三軸試験による火山灰地盤の液状化評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本地震工学会・大会2021講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Ullah, N., Umar, M., Kiyota, T. and Katagiri, T.	4. 巻 54
2. 論文標題 Effect of undrained cyclic strain history on strength characteristics of clean sand in torsional shear tests	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of Earthquake Resistant Structure, Institute of Industrial Science University of Tokyo	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 志賀正崇, 清田隆, 片桐俊彦	4. 巻 73(5)
2. 論文標題 砂質土の非排水繰り返し載荷における等仕事面に関する基礎的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 生産研究	6. 最初と最後の頁 375-378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11188/seisankenkyu.73.375	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shiga, M. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Change in Shear Wave Velocity during Consolidation and Undrained Cyclic Loading on cemented sand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 1st International Symposium on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 志賀正崇, 清田隆, 片桐俊彦	4. 巻 72(6)
2. 論文標題 セメンテーション効果を有する砂試料の圧密・液状化特性に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生産研究	6. 最初と最後の頁 419-422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11188/seisankenkyu.72.419	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 藤井紀之, 清田隆, 上田恭平	4. 巻 72(6)
2. 論文標題 液状化時の大ひずみ領域の挙動を考慮した数値解析のための基礎的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生産研究	6. 最初と最後の頁 423-426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11188/seisankenkyu.72.423	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chua Matthew Gapuz, Kiyota Takashi, Shiga Masataka, Umar Muhammad, Katagiri Toshihiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of Membrane Penetration on the Undrained Cyclic Behavior of Gravelly Sands in Torsional Shear Tests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 1467 ~ 1474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-11898-2_128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujii Noriyuki, Kiyota Takashi, Umar Muhammad, Ueda Kyohei	4. 巻 -
2. 論文標題 A Study on Liquefaction Characteristics of Sandy Soil in Large Strain Levels to Improve the Accuracy of Large Deformation Analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 1491 ~ 1498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-11898-2_131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shiga Masataka, Kiyota Takashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Relationship Between Shear Wave Velocity and Liquefaction Resistance in Silty Sand and Volcanic Sand	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 2131 ~ 2140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-11898-2_196	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 志賀正崇, 清田隆	4. 巻 -
2. 論文標題 せん断波速度と液状化強度の相関に関する一考察(シルト質砂や火山灰質土を対象に)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第57回地盤工学研究発表会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤井紀之, 清田隆, 上田恭平	4. 巻 -
2. 論文標題 液状化時の大ひずみ領域の挙動を考慮した数値解析(室内土質試験編)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第57回地盤工学研究発表会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chua, M. G., 志賀正崇, 清田隆, 片桐俊彦	4. 巻 -
2. 論文標題 Membrane penetration characteristics of gravelly soil in torsional liquefaction tests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第77回土木学会年次学術講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chua, M. G., Shiga, M., Kiyota, T. and Katagiri, T.	4. 巻 55
2. 論文標題 Effect of gravel content on the undrained cyclic behavior of gravelly sands in torsional shear tests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of Earthquake Resistant Structure	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Chua, M. G.
2. 発表標題 Effect of gravel content on the undrained cyclic behavior of gravelly sands in torsional shear tests
3. 学会等名 第77回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井紀之
2. 発表標題 液状化時の大ひずみ領域の挙動を考慮した数値解析(室内土質試験編)
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 志賀正崇
2. 発表標題 せん断波速度と液状化強度の相関に関する一考察(シルト質砂や火山灰質土を対象に)
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shiga Masataka
2. 発表標題 Relationship Between Shear Wave Velocity and Liquefaction Resistance in Silty Sand and Volcanic Sand
3. 学会等名 the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujii Noriyuki
2. 発表標題 A Study on Liquefaction Characteristics of Sandy Soil in Large Strain Levels to Improve the Accuracy of Large Deformation Analysis
3. 学会等名 the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chua Matthew Gapuz
2. 発表標題 Effect of Membrane Penetration on the Undrained Cyclic Behavior of Gravelly Sands in Torsional Shear Tests
3. 学会等名 the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shiga, M.
2. 発表標題 Correlation between liquefaction resistance and shear wave velocity for volcanic coarse-grained soil
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shiga, M.
2. 発表標題 Effect of cementation on stress-strain and energy behavior of sandy soil during undrained cyclic loading
3. 学会等名 International Conference on Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ullah, N.
2. 発表標題 Comparison of post-liquefaction undrained strength characteristics of two different clean sands using large strain torsional shear apparatus
3. 学会等名 1st International Conference on Recent Advances in Civil and Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清田隆
2. 発表標題 原位置と室内試験で計測されるVsを利用した液状化強度比推定法の適用事例
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志賀正宗
2. 発表標題 砂質土の非排水繰り返しせん断時の等エネルギー面に関する考察
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志賀正宗
2. 発表標題 微小せん断剛性率の応力依存性を用いたセメンテーション効果を持つ砂質土の液状化強度の評価
3. 学会等名 第76回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ullah, N.
2. 発表標題 Post-liquefaction behavior of medium dense silica sand in large strain torsional shear apparatus
3. 学会等名 第76回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺智哉
2. 発表標題 再構成試料を用いた非排水繰り返し三軸試験による火山灰地盤の液状化評価
3. 学会等名 日本地震工学会・大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志賀正崇, 清田隆
2. 発表標題 累積損失エネルギーを用いた土粒子構造変化と液状化強度曲線の推定
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大屋茉里奈, 清田隆, 片桐俊彦, 志賀正崇
2. 発表標題 液状化強度に及ぼす土粒子構造とセメンテーション効果の実験的評価
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井紀之, 清田隆, 上田恭平
2. 発表標題 液状化時の大ひずみ領域の挙動を考慮した数値解析 (要素シミュレーション編)
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川村淳, 北山真, 志賀正崇, 清田隆, 山田岳峰
2. 発表標題 Vsを用いた液状化強度比推定法の適用性の検討 - 東北地方太平洋沖地震時の江戸川河川敷を対象として -
3. 学会等名 第75回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 志賀正, 清田隆, 片桐俊彦
2. 発表標題 セメンテーションを付加した砂試料の圧密時におけるせん断波速度の変化と液状化特性
3. 学会等名 第40回土木学会地震工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 志賀正崇, 清田隆
2. 発表標題 セメンテーション効果を有する砂試料の圧密・液状化特性に関する研究
3. 学会等名 第17回地盤工学会関東支部発表会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Ullah, N., Umar, M., Kiyota, T. and Katagiri, T.
2. 発表標題 Effect of undrained cyclic strain history on post-cyclic strength characteristics of sand in torsional shear tests
3. 学会等名 日本地震工学会・大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田岳峰, 清田隆, 志賀正崇, 北山真, 川村淳
2. 発表標題 土粒子構造を考慮した液状化強度比推定手法の建設事業における検討事例
3. 学会等名 日本地震工学会・大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	上田 恭平 (Ueda Kyohei)  (60649490)	京都大学・防災研究所・准教授  (14301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	キアロ ガブリエル (Chiaro Gabriele)		
研究協力者	ウマル ムハマド (Umar Muhammad)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	志賀 正崇  (Shiga Masataka)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関