



液状化を引き起こす主要因は何か : 砂の物理特性に基づく砂・ガラスビーズ比較実験

吉田, 智哉

(Citation)

課題研究優秀ポスター, 2026:31

(Issue Date)

2026

(Resource Type)

conference poster

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100505010>



背景

- ・日本は地震が多い国であり、液状化被害も各地で発生している
- ・液状化とは、地震時に地盤が急激に強度を失う現象である
- ・発生要因として粒径、粒子形状、含水状態、透水性などが挙げられている
- ・しかし、どの要因が決定的なのかは明確でない
- ・そのため、砂の物理特性に注目し、主要因を明らかにする必要がある

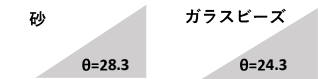
実験

A. 安息角の測定

粒子形状による摩擦や安定性の違いを測定



1. トレーに敷いた紙の中央に紐を通し、角を5mm切った袋に試料を入れる
2. 紐の10cm上から試料を静かに落とし、円錐状に積み上げる
3. できた円錐の半径(r)と高さ(h)を測定し、角度を算出する

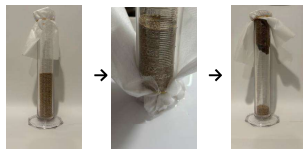


砂 (28.3°) > ビーズ (24.3°)

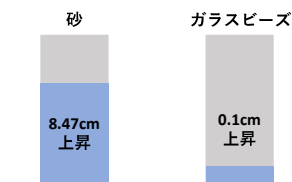
- ・不規則な形の砂は「粒子の噛み合い」により、外力に強い
- ・球形のビーズは摩擦が小さく、わずかな振動で崩れやすい

C. 毛管力の測定

毛管力による安定化効果を測定



1. 筒に100cm³の試料を入れ、上端に吸水性のフィルターを被せて固定する
2. 筒を逆さまにしてフィルター部を水に3分間浸し、水を吸い上げさせる
3. 筒を元に戻し、落下した「含水していない試料」の体積から上昇した水の高さを算出



砂: 8.47cm / ビーズ: 0.1cm

- ・砂は毛管力で粒子を引き寄せ、「不飽和状態での粘り」を持つ
- ・ビーズにはこの安定化効果がほぼ存在しない

B. 飽和状態の測定

水量による流動性の変化を観察

1. ビーカーに250cm³の試料を入れる
2. メスリンダーを使って10cm³ずつ段階的に水を加える
3. ビーカーを45°傾け、水が流れ出すか（飽和したか）を記録する

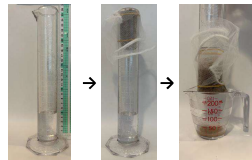
水量	砂	ガラスビーズ
0~60	不飽和	不飽和
60~70		飽和
70~80	飽和	水中砂
80~90	水中砂	

飽和に達する水量: 砂 (約80cm³) > ビーズ (約70cm³)

- ・水が増えるほど、粒子間の水が「潤滑剤」となり、地盤を支える摩擦が低下する
- ・どちらの試料も、間隙が水で満たされる（飽和する）ことで急激に不安定化する

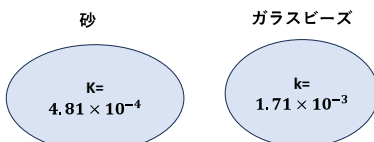
D. 透水性の測定

ダルシー則に基づき、水の通りやすさを算出



1. 筒の下に水を入れ、上部にネットで固定した飽和試料を詰める
2. 試料がこぼれないようネットで蓋をし、筒を素早く逆さまにする
3. 30秒間に流れ出た水の量を測り、透水係数を算出する

$$\text{ダルシー則} \quad k = \frac{QL}{A\Delta h t}$$



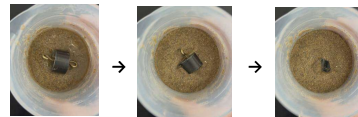
ビーズの透水性は砂の「3.5倍」

- ・本来、水が抜けやすいビーズは液状化しにくいはずである
- ・しかし、実際の結果は正反対となった

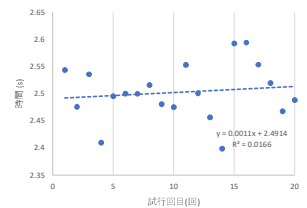
アプローチ

- ・先行研究整理
- ・実験Eで液状化現象を再現
- ・実験A~Dで説明変数を検証（実験の項目参照）
- ・砂とガラスビーズを比較対象に設定
- ・結果を総合的に考察

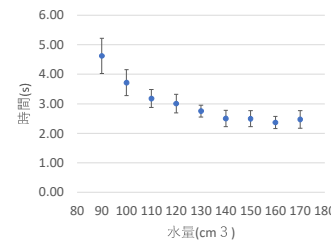
E. 振動沈下実験



1. ビーカーに試料を入れ、その上に100gの錘を置く
2. ボルテックスミキサーにビーカーを乗せ、最大強度で振動を与える
3. 振動開始から、錘が完全に砂に埋まって見えなくなるまでの時間を計る



振動に対して実験回数によって生じる傾きは小さいことが分かった



- ・すべての試行において、ガラスビーズは砂に比べて錘が沈み込むまでの時間が一貫して短く、液状化が生じやすい挙動を示した
- ・砂・ガラスビーズともに、含水量が増加するに従って錘が沈み込むまでの時間は短縮される傾向にある
- ・砂、ビーズともに、粒子の状態によって沈み込む時間が大きく異なることが分かった

全ての実験から

液状化の起こりやすさを決定づける最大の要因候補は、粒子形状に起因する「粒子再配列のしやすさ」です。粒子が角張っている（砂のような）ほど再配列に抵抗が生まれ、液状化を抑制する

地盤が液状化するかどうかは、「水のはけやすさ（透水性）」と「粒子の崩れやすさ（再配列）」のスピード競争によって決まると結論付けられる

参考文献

- [1] 気象庁 令和7年（2025年）の日本の地震活動 <https://www.jma.go.jp/jma/press/2601/13a/2512jishin2025.pdf>
- [2] 自治体が整備する液状化ハザードマップの現状と課題 <4D6963726F736F667420576F7264202D20926E979D8A7789EF323031378F7488EA94CA94AD955C89468DAA>
- [3] State of the Art and Practice in the Assessment of Earthquake-Induced Soil Liquefaction and Its Consequences (2021)nationalacademies.org/read/23474/chapter/4?utm_source=chatgpt.com
- [4] 地震調査調査推進本部 https://www.jishin.go.jp/resource/terms/rm_liquefaction/?utm_source=chatgpt.com
- [5] Effects of Properties of Fines on the Pore Water Generation Characteristics of Sand-Silt-Clay Mixtures During Cyclic Loadings Effects of the Properties of Fines on the Pore Water Pressure Generation Characteristics of Sand-Silt-Clay Mixtures during Cyclic Loading
- [6] 開閉水圧発生モデルを用いた砂の液状化強度と部分排水効果の評価 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaee/24/4/24_4_109/_pdf/-char/ja
- [7] 液状化の発生メカニズムを考える https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsce/1984/1997/568/1997_568_13/_pdf/-char/ja
- [8] ガラスビーズについて https://www.jstage.jst.go.jp/article/sf/1954/13/7/13_7_9/_pdf/-char/ja
- [9] 不飽和砂質土の浸透特性に関する実験的研究 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsce/1969/1981/307/1981_307_59/_article
- [10] 砂の粒子形状と粒度構成が液状化に及ぼす影響 https://www.jstage.jst.go.jp/article/sand/1995/37/4/37_4_149/_article/-char/ja/
- [11] 液状化に伴う地盤の透水性の変化 https://www.jstage.jst.go.jp/article/proee/1997/24/0/24_0_549/_article/-char/ja/
- [12] 安息角：定義と測定法にまつわる諸問題 https://www.led.tsukuba.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/pdf_papers/erchub13/1327.pdf
- [13] 透水係数の単位変換のご通知 https://www.geiachubu.com/upload/pdf_info/1270540529.pdf

研究のキーワード

液状化
ガラスビーズ・砂
安息角・不飽和水、
飽和水・毛管力・
透水性

2026年3月提出

結果・考察・課題

粒子形状の違いにより、振動時の粒子再配列の起こりやすさが異なると考えられる
球形粒子は空隙構造が崩れやすく、強度低下につながる
一方で透水性や水分量のみでは液状化を説明しきれなかった
以上より、粒子形状が主要因候補である可能性が示唆された

液状化の主要因候補は、粒子形状に起因する再配列の起こりやすさである可能性が高い
単一要因ではなく、複数要因の相互作用が重要である

粒子再配列の定量評価手法の確立
粒径分布や振動条件を変えた追加実験の実施