

砂のダイラタンシーとチキソトロピー的性質

中川康一（大阪公立大学）

1. はじめに

近年, わが国では震度 5 以上の地震が頻繁に発生しており, それに伴って液状化被害が多く発生している. 均等係数の小さなあるいは曲率係数の大きい砂などは粒度分布が悪いとされ, たやすく液状化する特性がある. 前回の発表では地下水位と液状化ポテンシャルの関係を室内試験にて検討した (中川, 2025). ここでは, 砂質土特有のダイラタンシー効果と液状化というチキソトロピックな性質について考察する.

2. 砂のダイラタンシーに関する実験

砂試料は市販の珪砂 (silica sand) 6号で, その規格はJISで定められており, 粘土の含有は 2%以下である. この砂は容易に液状化することから粒子の骨格構造の形成とその破壊を検討するためには好都合の材料である. 用いた砂の乾燥密度は 1.855g/cm^3 である. 下図に示すように器具を配置し, 水槽の中央部に木製の杭を挿入し, その貫入量と間隙水位の関係を調べた.

水位計は水槽の外側に配置し, 連通管で内部と連結させた. 水位計は自由に傾斜でき, 上部解放端から排水可能で水位の調整もできるようになっている. 杭貫入により土粒子の配列構造が形成され強度が増大する. そしてその構造が振動によって軟化して液状化に至るが, この一

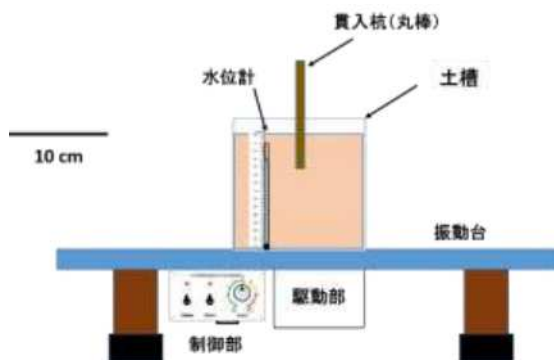


図1 「実験装置」の模式図. 18cm 立方の水槽の中に砂試料と水を入れ, 丸棒の杭を設置する.

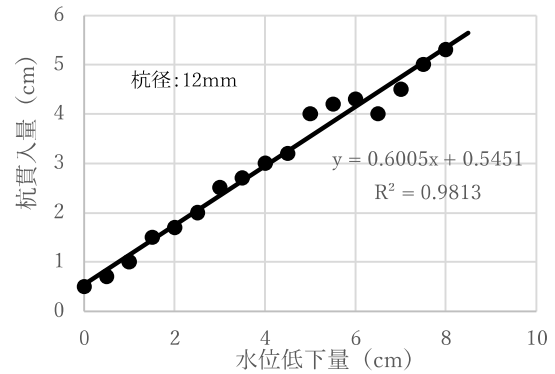


図2 杭 (径 12mm の丸棒) の貫入量と間隙水水位の低下量

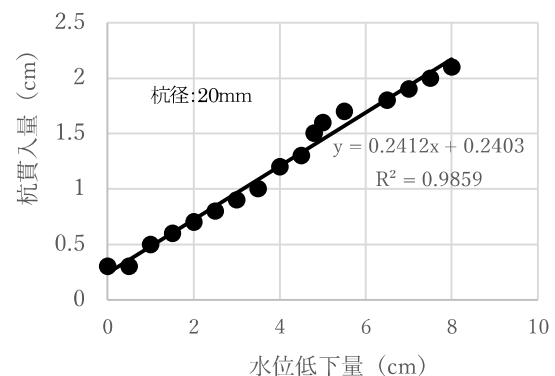


図3 杭 (径 20mm の丸棒) の貫入量と間隙水水位の低下量

連の推移を観測できるように振動台の上に実験土槽を設置した.

3. 実験結果

杭は直径 12mm と 20mm の木製の丸棒 2 本を用意し, 側面に貫入量が変わるようにメジャーを貼付させた. まず, 飽和した模擬地盤を作成し, 振動を加えて完全に液状化させてから地下水位レベルを砂層表面にセットした. 中央部に杭を立て鉛直に貫入させながらその貫入量と水位計の読みを記録した. 杭径の違いによる水位変化も観測した. それ

らの計測結果を図 2 と図 3 に示す。

図に示されるように, 杭の貫入と共に間隙水の水位がはっきりと下降してゆく様子が観測された。杭の貫入量よりも水位の低下量の方が明らかに大きい変化を示した。その様子を次の写真(図 4)に示す。

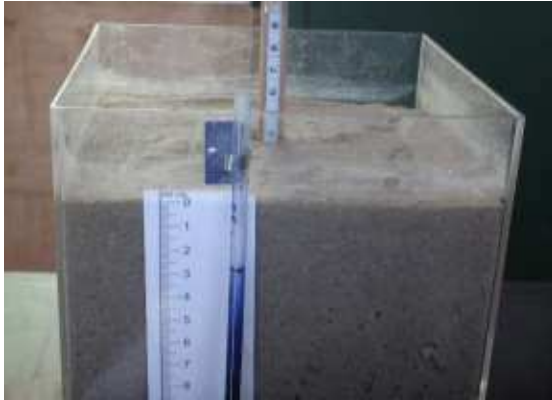


図 4 杭の貫入量と水位を示す写真。中央上部に目盛付き杭が, 手前に水位計がある。

4. 考察

杭の貫入によって間隙水位が下降する現象は砂のダイラタンシーとして説明できる。杭の貫入は著しいせん断変形を引き起こし, これに伴い砂の体積が膨張するために, 間隙水圧の減少と共に強度が増大する。このダイラタンシーという現象は土のような粒状物集合体特有の特性である。また一方では, このような構造は繰り返しせん断を受



図5 液状化過程における土粒子の結合構造の概念図

(a) 液状化前:構成している粒子は, 液状化前では互いにかみ合い, その摩擦で強度を保っている。

(b) 液状化(土の構造破壊),地震などの振動により, 粒子間の咬み合いが外れ, 水中に漂遊することになり, 全く強度を失う。

(c) 懸濁した粒子は時間と共に沈殿・堆積して, 再び構造を作る。

けると容易に構造軟化に転ずる。粘土の例では,



図 6 クイッククレイのチキソトロピックな流動性。練り返す前は強度を持った円柱試料(左)。練り返すと流動性液体に変わる(右)。(Mitchell ; 1976 より)

クイッククレイが典型的で, しっかりした強度を持っている土であっても練り返しのような繰り返しせん断を受けると容易に流動する。このような現象はチキソトロピーと呼ばれるが, 粘土とか溶かした片栗粉のような高分子コロイドなどの物質について呼称されている。砂の液状化に関してはこの言葉はあまり使われる例は見かけないが, 物理的には繰り返しせん断によって強度を失うことは共通しているので, 広い意味で液状化はチキソトロピーの範疇に入ると考えられる。

5. おわりに

一般の土はせん断を受けるとダイラタンシーに伴って強度が増し, 繰り返しせん断によって強度を失い流動するという特性がある。またダイラタンシーの指標は液状化と密接な関係にあることから液状化の予測に有用とみられる。

文献:

Mitchell, James K. (1976), "Fundamentals of Soil Behavior", John Wiley & Sons, Inc.422p.

中川康一(2025), 液状化に影響する地下水位効果を見るための教材の開発, 令和 7 年度研究発

浅層地下水の利用

浅井戸を掘り、浅い深度の地下水を利用することは、資源活用・経費節減と共に環境対策・減災に繋がります。

浅い深度の井戸水は次の利用法があり、環境対策等にも貢献します。

①資源活用

★池やビオトープ用： 魚やホタル生育用等の水として。

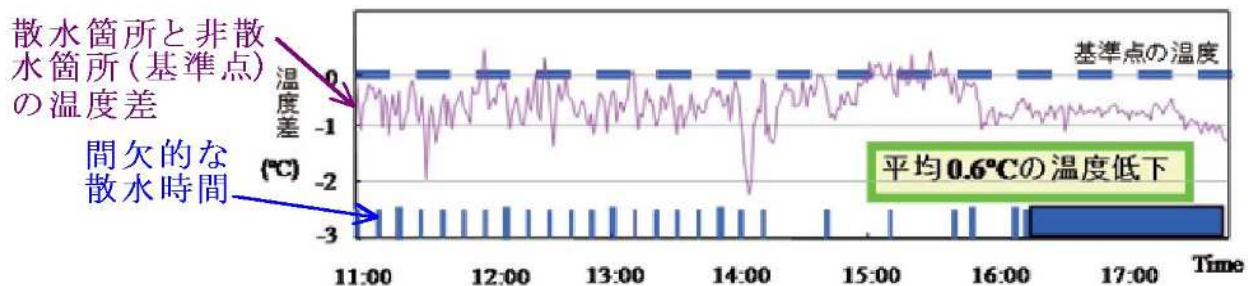
★植木等の散水用や農業用水としての利用： 使い易い場所で、いつでも用水を取ることができます。



②資源活用・経費節減・環境対策

★ヒートアイランド対策： 井戸水を真夏の昼間に散水すれば、下図[吉岡・中川・登坂、2008]のように気温が低下してエアコン利用を抑えられます。

★冷房費用の節減： 御自宅やマンションで井戸水を真夏の昼間に散水すれば、冷房費用の節減が期待できます。



③減災への貢献

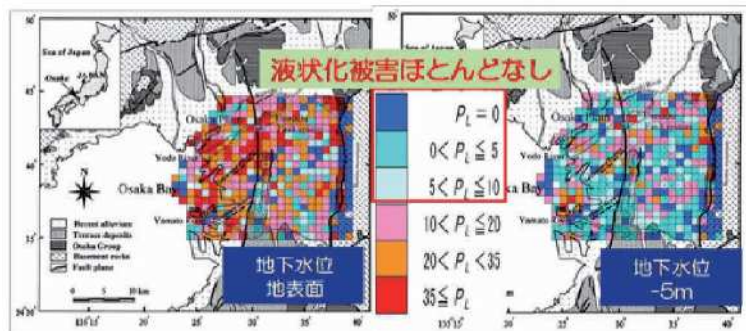
★防災用消防用： プール等を井戸水で満たし、消防用や地震被災時の雑用水として利用。

★液状化の対策： 井戸水利用で地下水位を下げれば、液状化が発生しにくくなります。

地下水レベルによる液状化危険度(PL)の違いは右図の通りです。

液状化被害が少ない PL 値 ≤ 10 の範囲は、右図のように地下水位を 5m 下げれば大きく増加します。

[中迎・中川、2005]



地盤・地下水環境 NET

〒599-8123 大阪府堺市東区北野田 575-1

TEL/FAX) 072-235-3555

E-mail: info@jck-net.org

HP: <http://www.jck-net.org/>

浅井戸について、地盤・地下水環境 NET は様々な情報提供や井戸利用のサポートができます。

浅井戸を計画中の方へ、次の情報提供とサポートを行います。

(1) 情報提供(その 1): 資源活用・経費節減

- ①必要なパワーを再生可能エネルギーで賄います。
ソーラー発電、蓄電・ポンプ制御等を省力化・自動運転化します。
- ②気温・水温・水位・揚水流量・発電量のほか pH・電導度等の水質に関するモニター値を表示します。
- ③浅層地下水を浅井戸から揚水し、植物栽培・冷却散水・防災用水・雑用水等に有効利用します。
- ④ミスト発生・散水・ファームへの定時水やりといった水利用の拡張性を高めます。
- ⑤井戸から揚水する浅層地下水の利用により、水道料金の節減に寄与します

(2) 情報提供(その 2): 環境対策・減災・教育

- ⑥液状化の懸念があるごく表層の地下水の水位低下に寄与し、地域の液状化のリスクを軽減化します。
 - ⑦環境・防災についての啓発・教育実地解説・掲示板(ポスター)の設置等を行います。
 - ⑧基地局まで無線で井戸情報を送受信し、スマホ・タブレット・PC 等で情報を受信または制御指令するシステムを構築します。
- なお、井戸情報とは、上記②の項目と運転状況(電流値)・電動弁(電磁弁)の開閉等です。

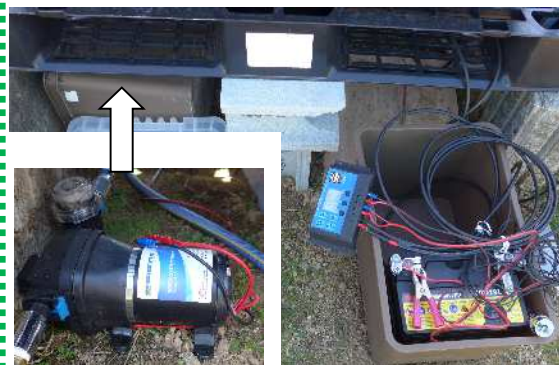
(3) サポート内容

- ⑨「井戸をどこに設置すればよいか」を検討します。
★公開されている文献(ボーリングデータベース)を、井戸水を取る視点から説明します。
- ⑩井戸設置をサポートします。
★当 NPO の賛助会社を介して工費等を検討し、井戸掘削・設置をサポートします。
★当 NPO は井戸掘削工事に対し、技術的サポートを行います。

井戸揚水システムの設置例



👉 タンク内の水位を一定に保つフロート



👉 台座下に設置した電動ポンプ

👉 台座下に設置したソーラー発電制御器と蓄電池

地盤・地下水環境 NET

〒599-8123 大阪府堺市東区北野田 575-1

TEL/FAX) 072-235-3555

E-mail: info@jck-net.org

HP: <http://www.jck-net.org/>

出前講座(授業)_概要

学生に伝えていきたい科学・技術があります。
活断層・地下水・都市環境・をわかり易く説明します。

講師は当 NPO の理事長 中川康一(大阪公立大学名誉教授)などが担当します。

テーマは地盤・地震災害・環境に関する事項です。

①地盤に関しては、地震・活断層のテーマで授業を行います。

- ★上町断層等の関西の活断層に関する話題。
- ★東日本大震災の原因となった日本海溝における連動型地震のメカニズム。
- ★近畿地方に大きな影響を及ぼす東海・東南海・南海地震の最新情報。



湧水や断層を見る遠足も行っています

②地震災害に関しては、津波・液状化・長周期地震動・建物共振のテーマで授業を行います。

- ★津波の原理、海岸近くで起こる事象を、津波実験を通して説明します。
- ★「百聞は一見にしかず」、液状化が目の前で起こります。
- ★東日本大震災で東京の高い建物が何故大きく揺れたのか、巨大地震と直下型地震が建物に与える影響の違いは何なのか、がわかります。

③環境に関しては、都市災害・ビオトープのテーマで授業を行います。

- ★ヒートアイランドの説明と対策： 散水による気温の低下実験を紹介し、井戸水を真夏の昼間に散水する有効性を紹介します。
- ★ホテルが飛び川や池： 井戸水を利用した人工河川に飛びホテルを紹介します。

NPO 地盤・地下水環境 NET

〒599-8123 大阪府堺市東区北野田 575-1

TEL/FAX) 072-235-3555

E-mail: info@jck-net.org

HP: <http://www.jck-net.org/>

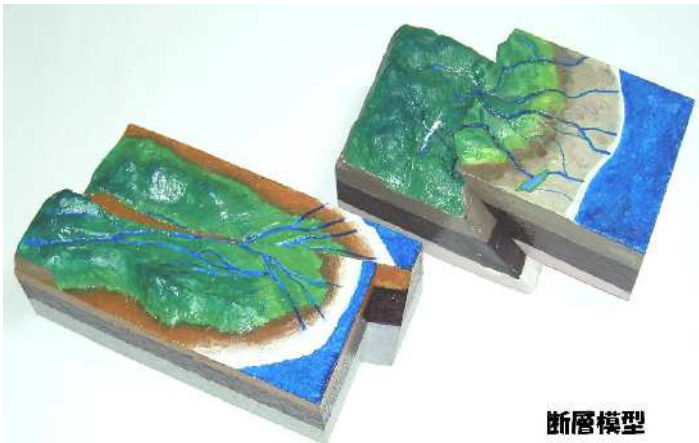
出前講座(授業)_内容

模型を用いた各種実験で、地下深部や地震時の建物挙動を観察できます。

授業では断層模型や共振模型など視聴覚に訴える教材、各種映像を介して解説します。

授業時間は小学校～高校の授業時間 45 分～50 分を想定していますが、延長も可能です。

①断層模型によるアスペリティの概念や地震発生の仕組みの説明。

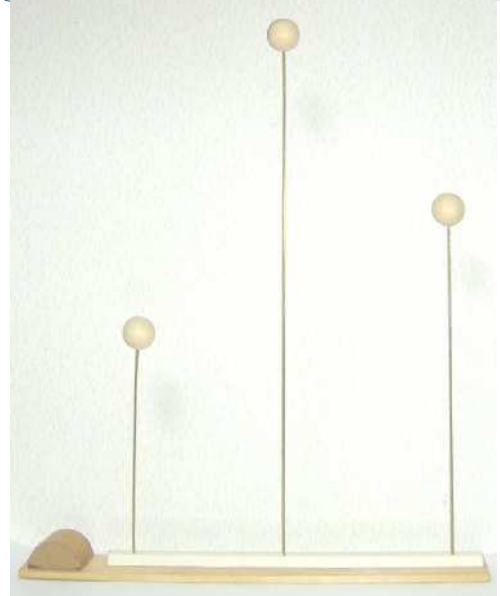


断層模型

②液状化発生を見ることができます。



③倒立振子を用いて建物の共振現象を



④津波はどうして高くなるのでしょうか。⇒

※ 上記の他に、地震を音として聞く実験・・・等を行います。

NPO 地盤・地下水環境 NET

〒599-8123 大阪府堺市東区北野田 575-1

TEL/FAX) 072-235-3555

E-mail: info@jck-net.org

HP: <http://www.jck-net.org/>