

丸太杭を活用した浅層地盤改良による宅地の
液状化被害軽減メカニズムと対策効果の検証

研究代表者 ○清田 隆 (東京大学生産技術研究所)

共同研究者 栗間 淳 (東京大学生産技術研究所)

沼田淳紀 (ソイルウッド)

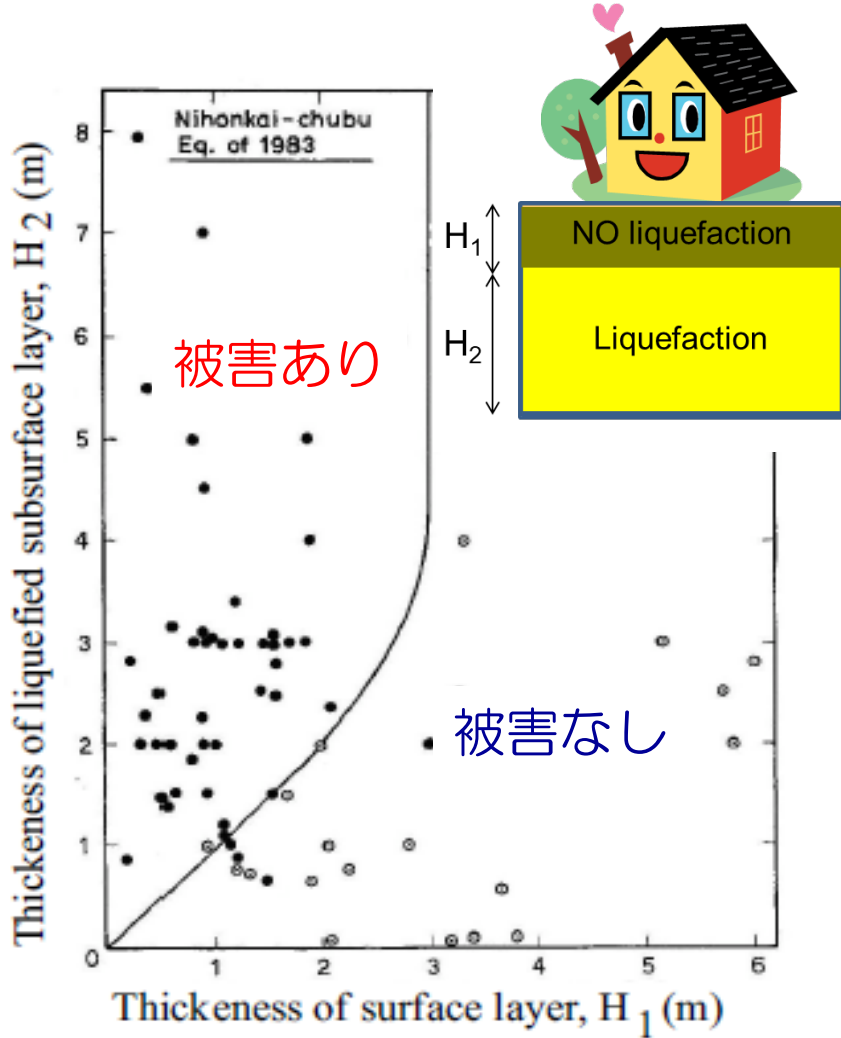
液状化による構造物被害



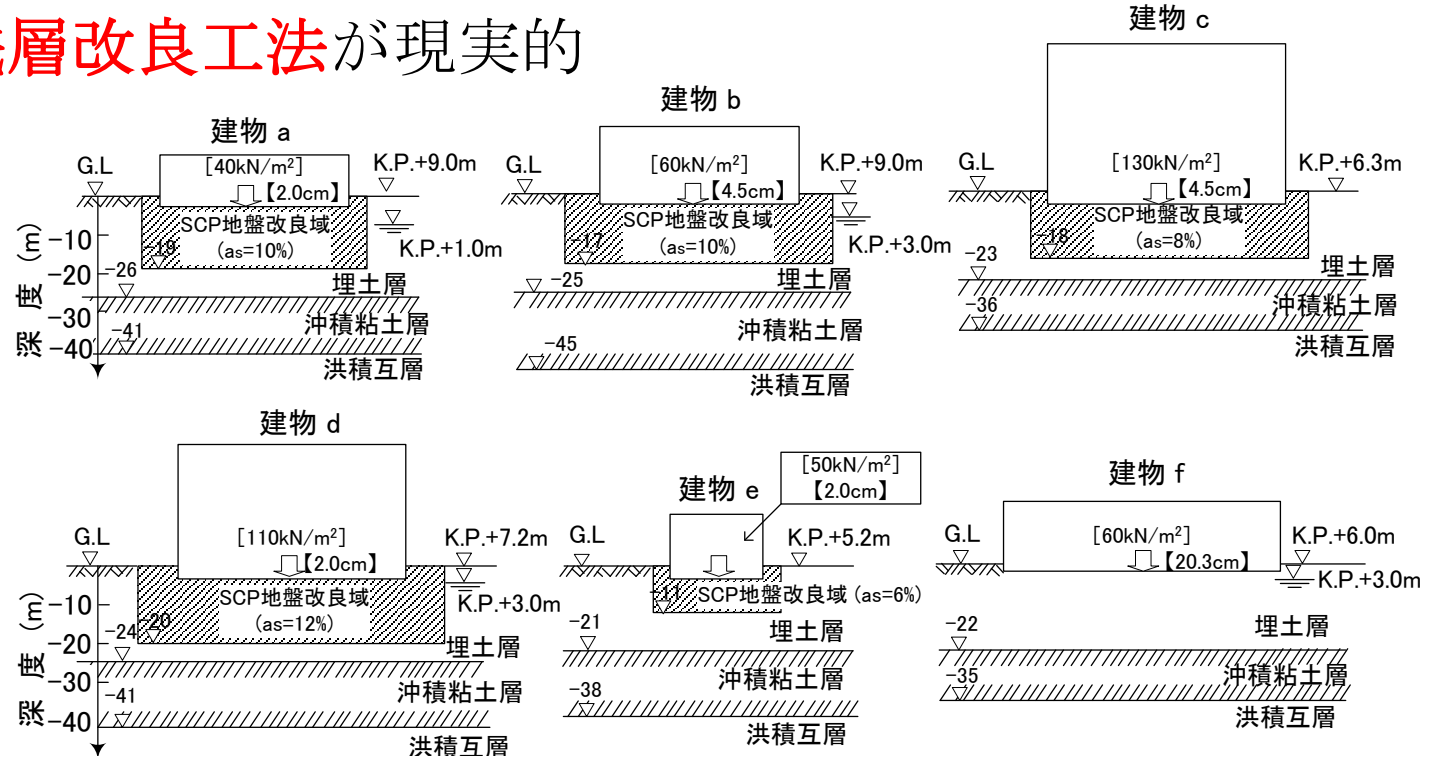
小規模構造物は液状化対策が遅れている。明確な地盤耐震基準の不在・コストに限界

浅層地盤改良の液状化対策効果

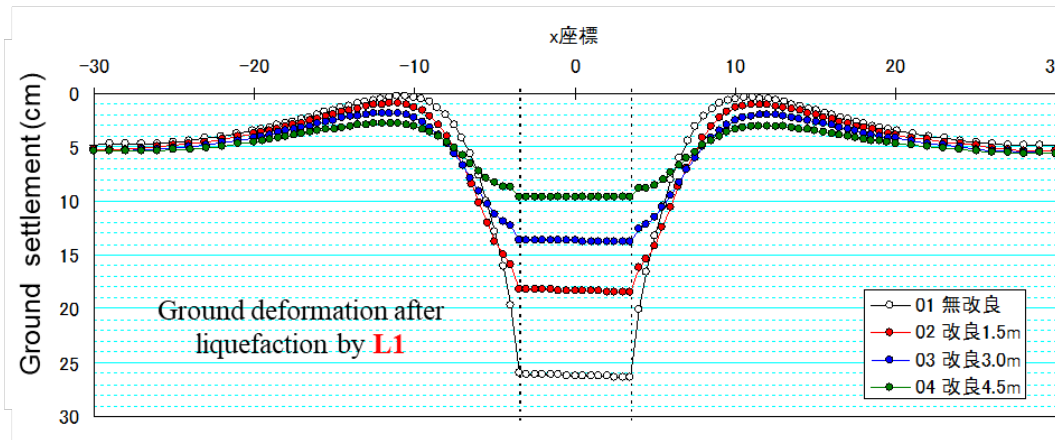
宅地など小規模構造物には**浅層改良工法**が現実的



液状化層厚と表層の非液状化層の厚さと被害の関係 (Ishihara, K., 1985)



1995年兵庫県南部地震の液状化による沈下量とSCP地盤改良厚の関係 (加倉井, 1996)

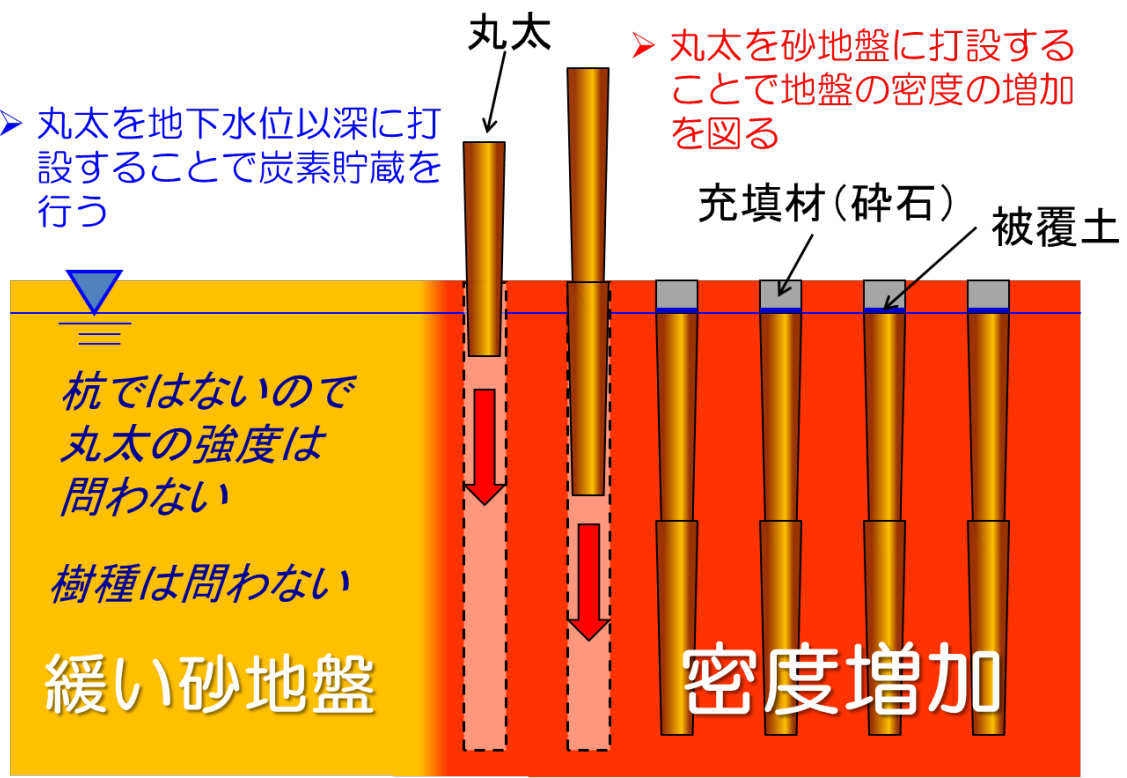
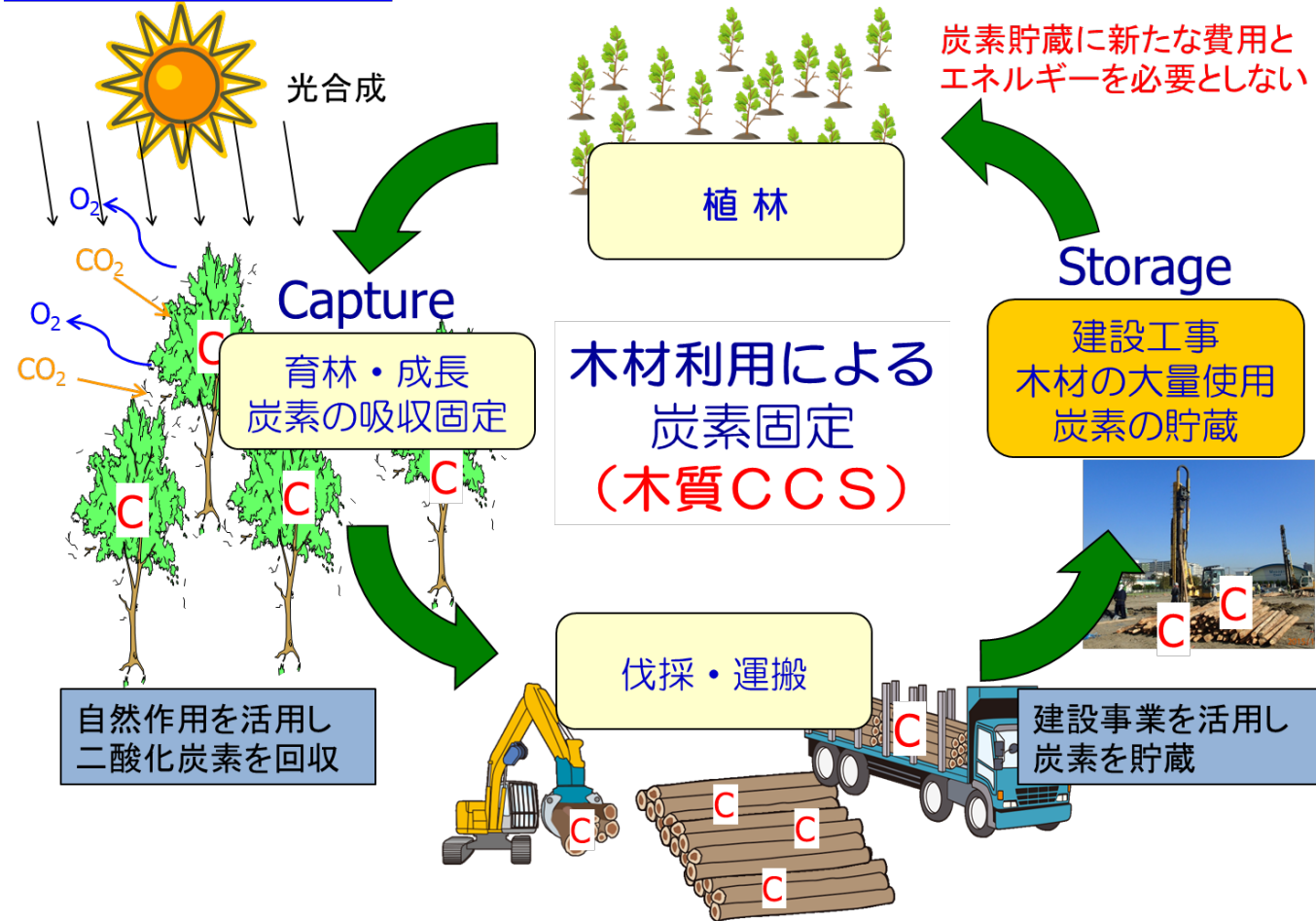


数値解析によるセメント固化改良厚と液状化による沈下量の関係 (谷ら, 2012)

間伐材の丸太を液状化対策に利用する

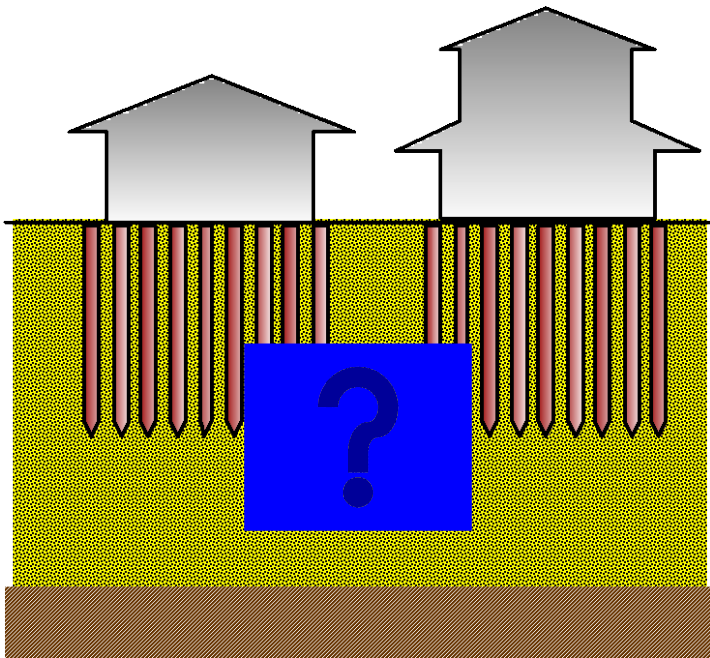
炭素貯蔵効果

地盤改良を用いた木質CCS



研究の目的

- ◆丸太杭による浅層地盤改良の液状化対策効果の検討
- ◆液状化対策効果に及ぼす支配要因を検討
- ◆対策工設計・施工に有益な情報の取得と反映

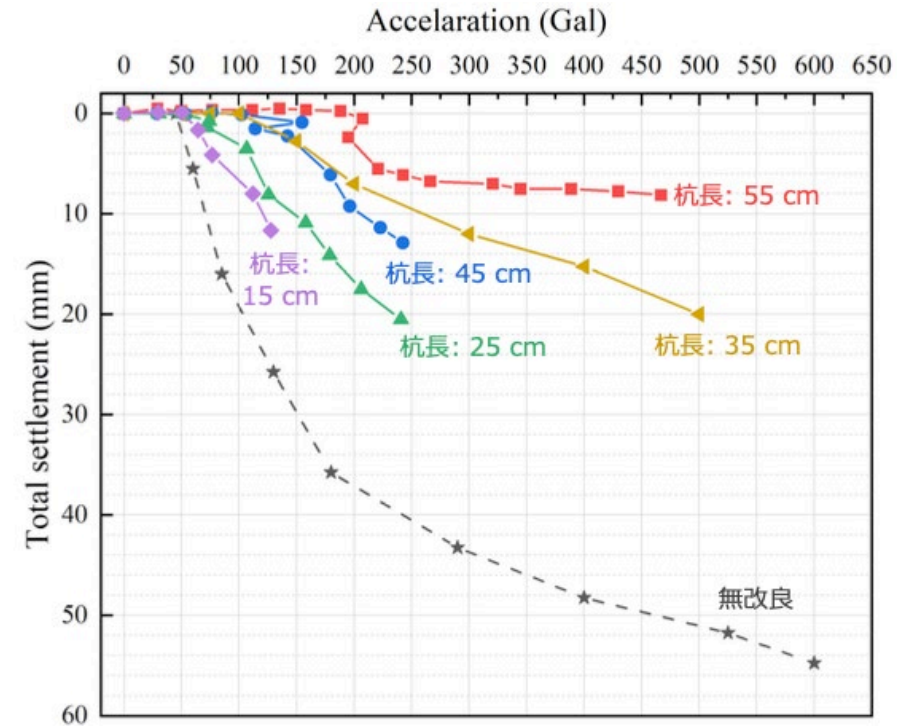


着目点

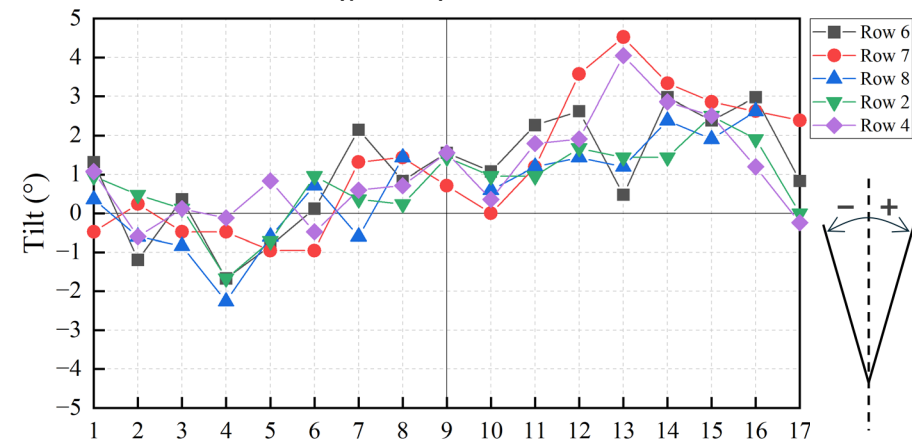
- 杭貫入部の改良効果（密度増加）のプロセス
- 改良効果に及ぼすと想定される杭の様々な条件
（先端形状・表面摩擦・施工順序・杭頭条件）

昨年度の主な知見と課題

- 知見: 杭長が長いほど効果大
 - **地盤密度:** 杭長が長いほど、貫入抵抗が広範囲で増加
 - **液状化抵抗:** 杭長が長いほど、過剰間隙水圧の上昇を抑制
 - **沈下抑制:** 杭長が長いほど、構造物の沈下を大きく抑制
- 昨年度の課題
 - 杭貫入による密度化のプロセス
 - 加振後の杭の変状 (逆ハの字) が確認された
 - 沈下は地盤の鉛直圧縮だけでなく、杭の水平変位も主な原因である可能性が示唆された



構造物沈下量



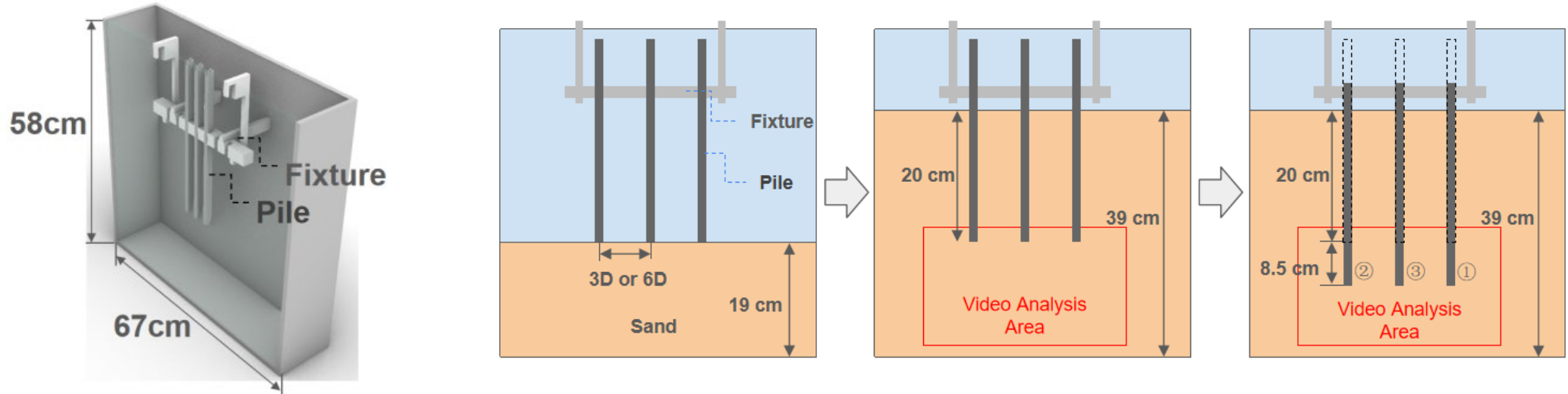
加振後の杭の変状 (傾き)

目次

- 前年度のまとめ
- 今年度の実施内容
- 動画解析結果
- 振動台実験結果
- まとめ

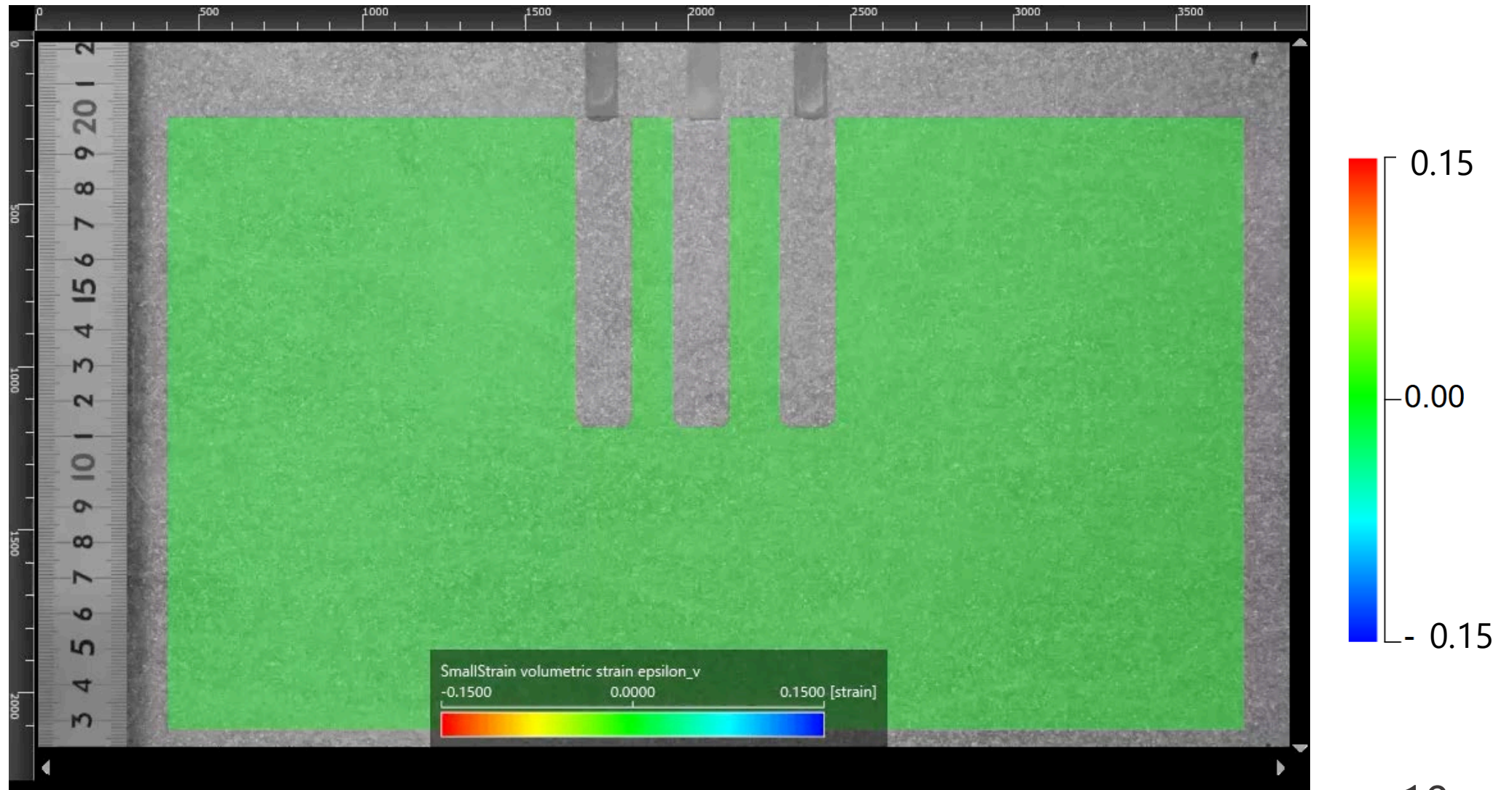
画像解析による密度化プロセスの検討

平面二次元を模した土槽



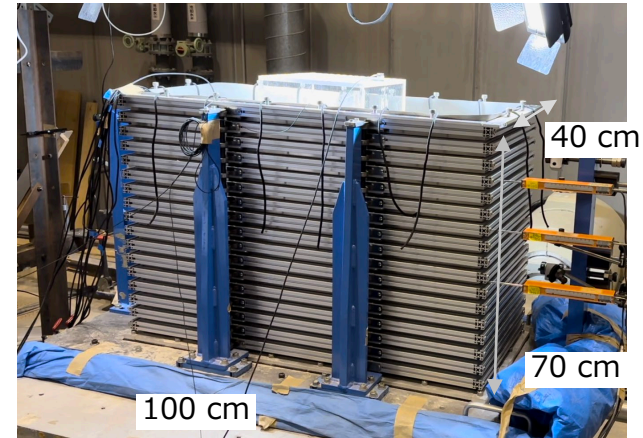
- 体積ひずみを動画から計測し、杭貫入時の地盤内部の挙動を把握
- 杭条件の違いによるひずみの差を検討

画像解析による密度化プロセスの検討



振動台模型実験

せん断土槽を用いた振動台模型実験
所定の液状化層厚 (60cm)と改良層厚(45cm)
で、杭の特性を変化させた5ケースの実験を実施。
加振実験後、杭の変形パターンの計測

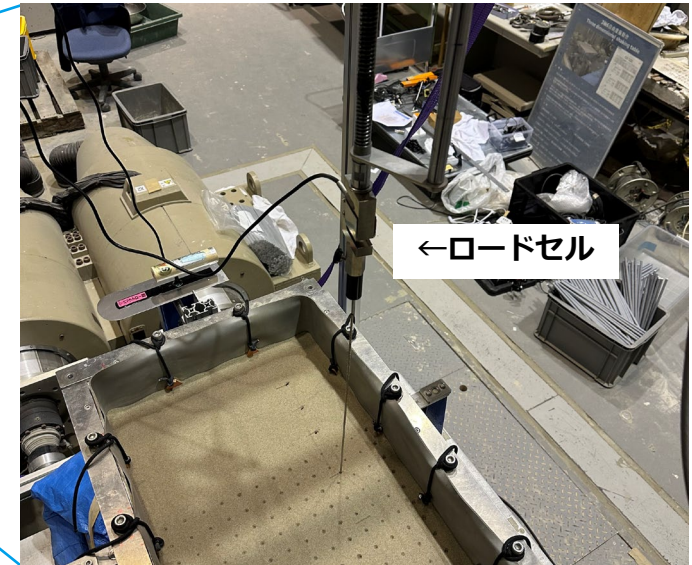


針貫入試験の概要

- 杭の貫入による模型地盤の貫入抵抗を計測し、杭の特性の影響を相対的に比較
- ロードセルの先端についた直径 3mmのステンレス棒を1 cm/sで貫入し貫入抵抗を測定



針貫入試験機

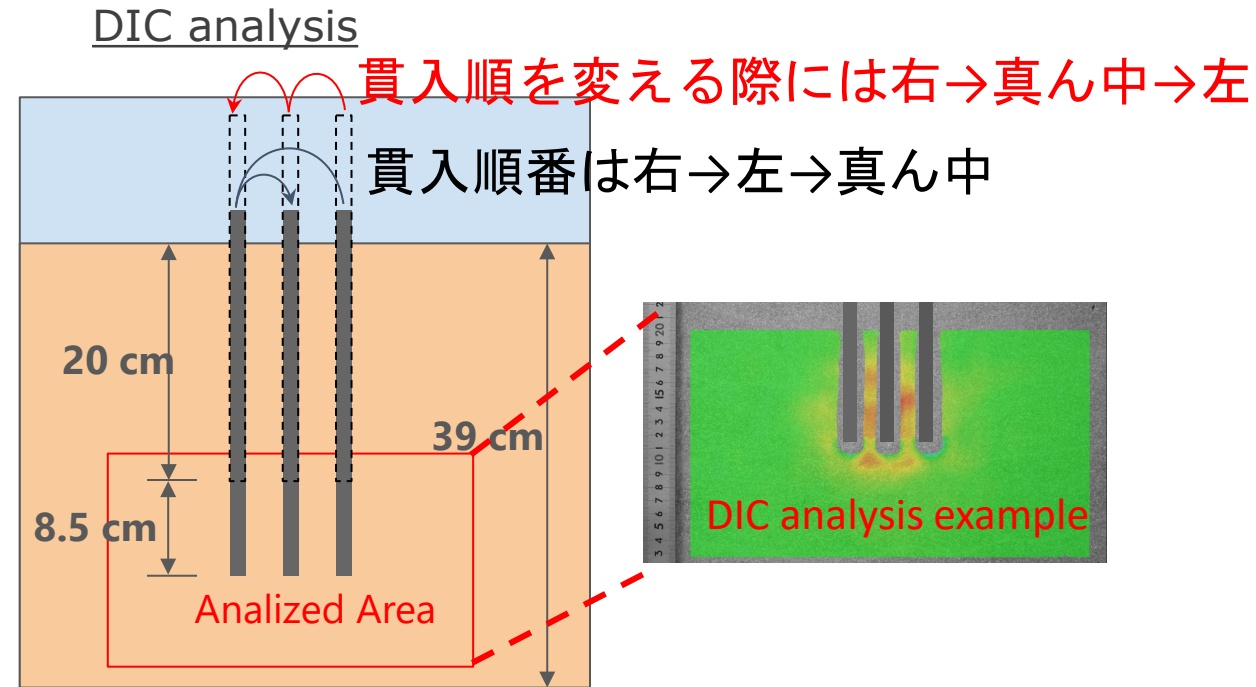


針貫入試験実施時の様子

目次

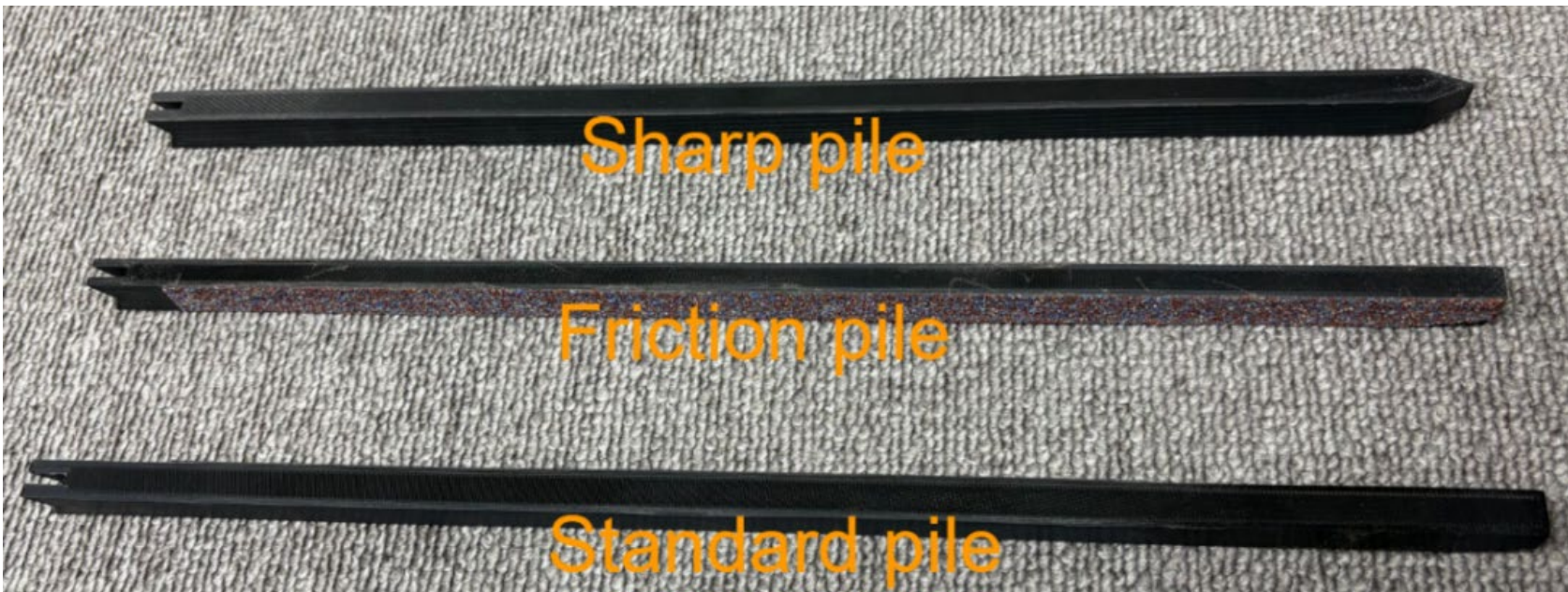
- 前年度のまとめ
- 今年度の実施内容
- 動画解析結果
- 振動台実験結果
- まとめ

画像解析による貫入プロセス可視化



- 杭をボックスの中で固定（深さ20cm）し、39cmの高さまで着色した珪砂5号（Dr50%）を充填する。
- 1.2mm/sの速度で杭を8.5cm貫入する
- 動画撮影条件：4K,24fps

画像解析に用いる杭条件



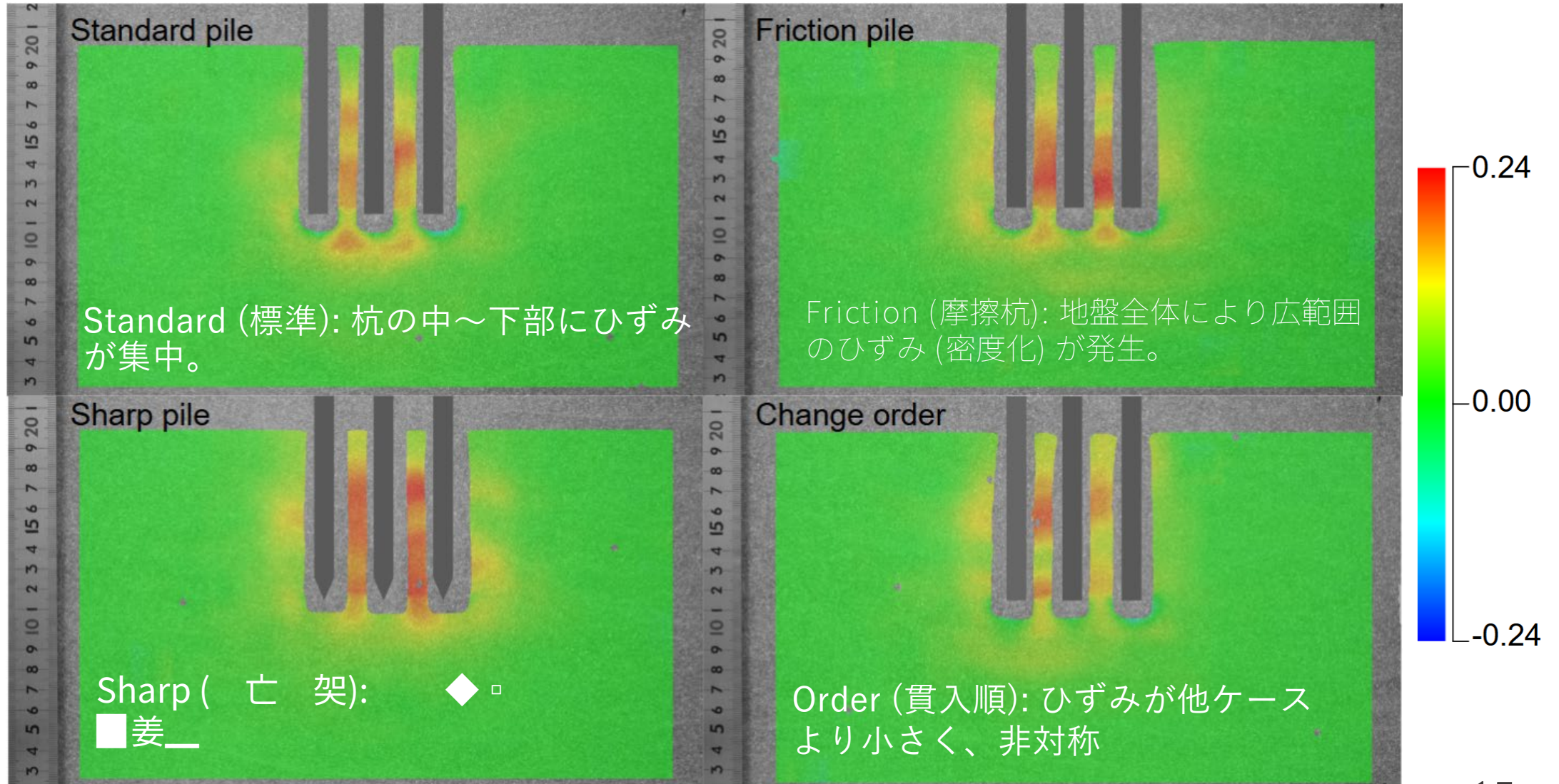
先端を45度に尖らせた杭

杭に砂をまぶした摩擦杭

先端が平坦な幅9.8mmの杭
(標準)

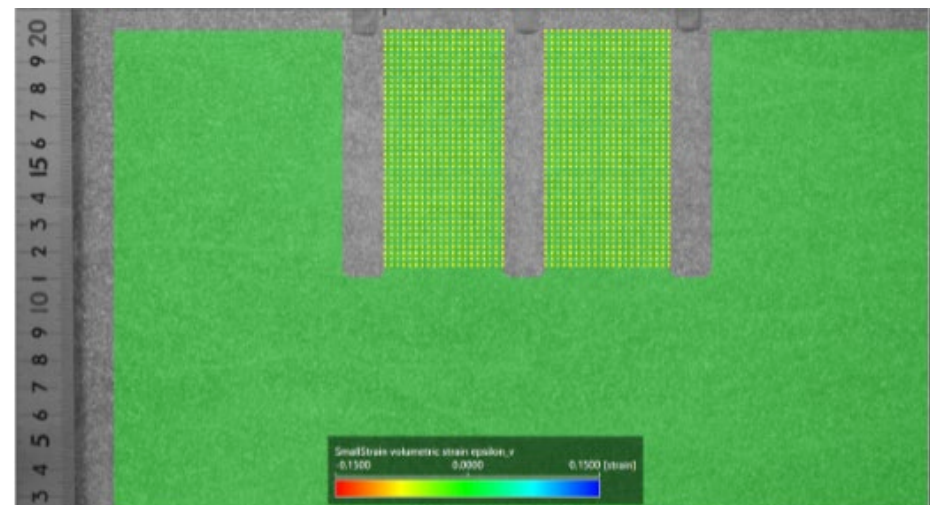
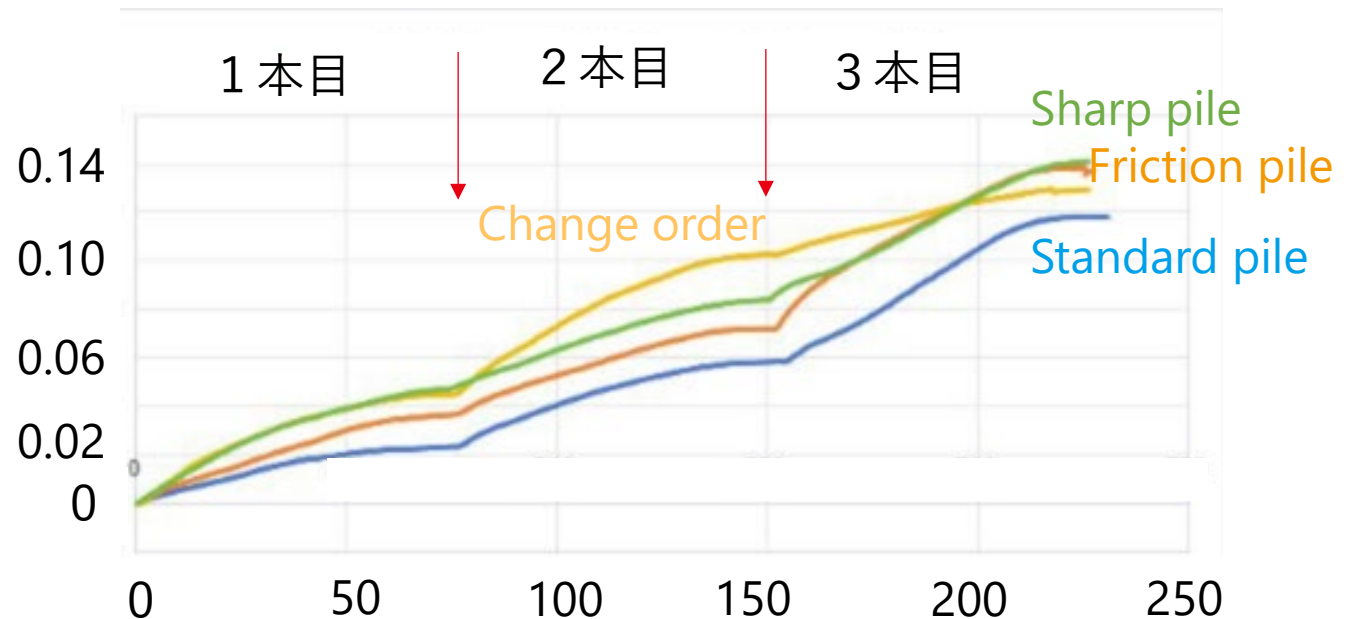
Case name	Piles used	Insertion order used
Standard pile	先端が平坦な杭	右→左→真ん中
Friction pile	杭周辺に砂をまぶす	右→左→真ん中
Sharp pile	先端が45°の杭	右→左→真ん中
Change order	先端が平坦な杭	右→真ん中→左

画像解析結果 (杭間：3D)



体積ひずみの杭間平均値

- 先端を尖らせた杭と摩擦を付加した杭の結果が最も密度化効果が高いという結果になった。
- 一方で効果が低くなると考えていた圧入順番を変更した結果が標準的な結果よりも良くなった

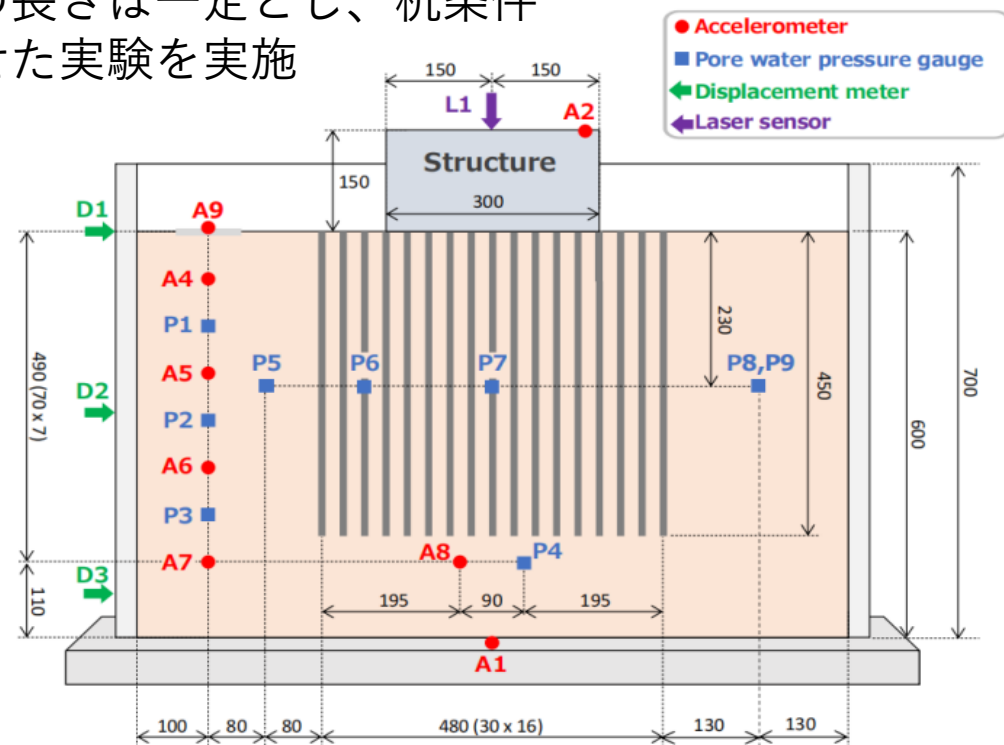


目次

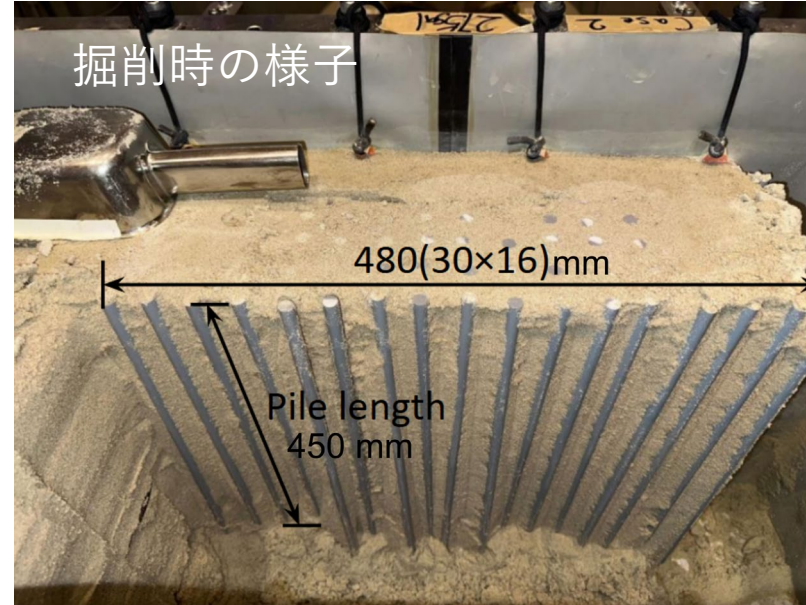
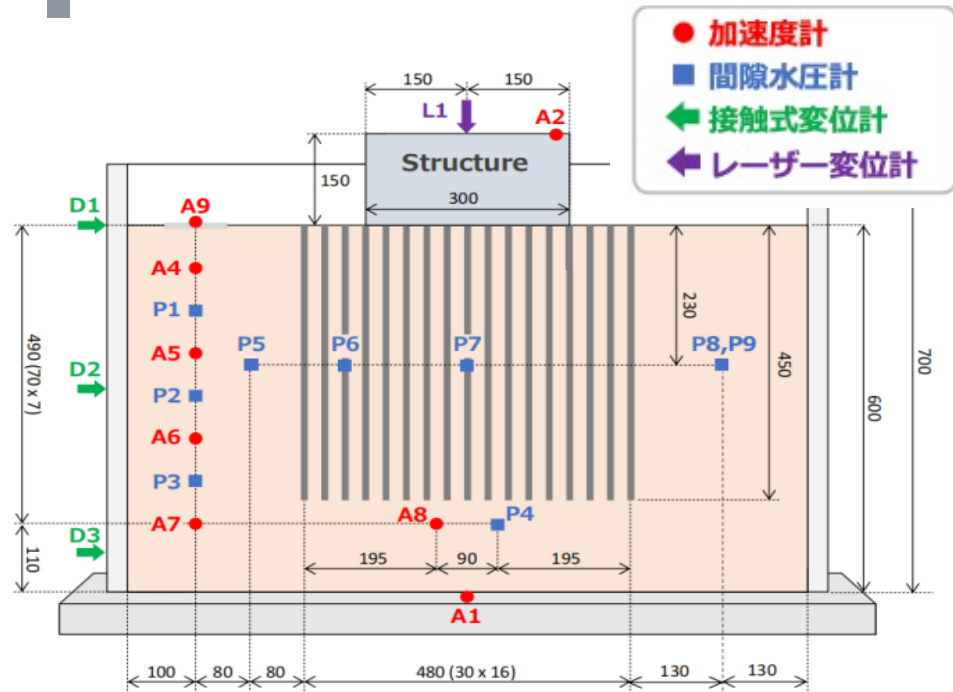
- 前年度のまとめ
- 今年度の実施内容
- 動画解析結果
- 振動台実験結果
- まとめ



今年は杭の長さは一定とし、杭条件を変化させた実験を実施



せん断土槽を用いた振動台模型実験 1/20



- 模型地盤では入手が容易なPVC硬質（塩ビ）を標準使用
- 実地盤における木造二階建ての構造物の底面圧力15 kPa、に相当する0.75 kPaの構造物模型を使用
- 目標加速度を25 Gal (0.25 m/s^2) ずつ増やす加振方法で、各加振ステップ後に構造物模型や地盤の沈下量を計測

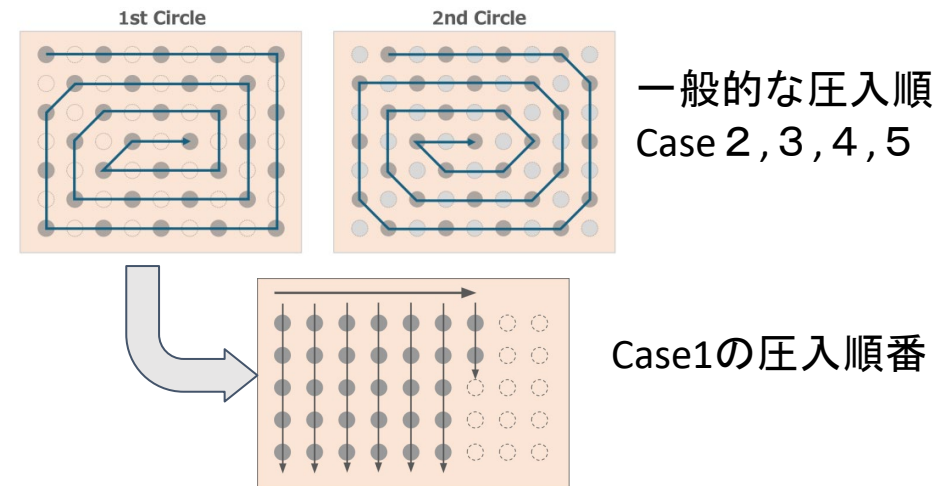
- 液状化層厚60cmに対し、杭長45cmの不完全支持状態（浅層改良）
- 画像解析に合わせて、杭条件を変化させた実験を実施

振動台実験のケース (杭長 45 cm)

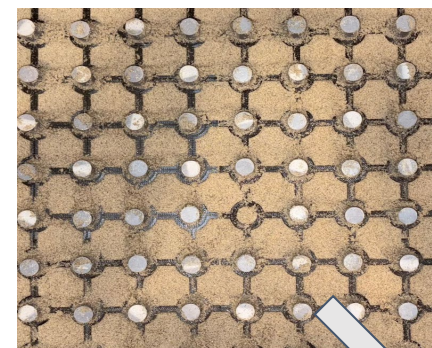
Case1: 圧入順序

- Case 0 標準 (昨年度の結果)
- Case 1 圧入順番
- Case 2 杭頭固定
- Case 3 先端を尖らせる
- Case 4 摩擦杭として木杭
- Case 5 杭頭固定 + 先端形状

Case2は昨年度の杭の変状モード (逆ハの字) を抑えるため



Case2: 杭頭の固定



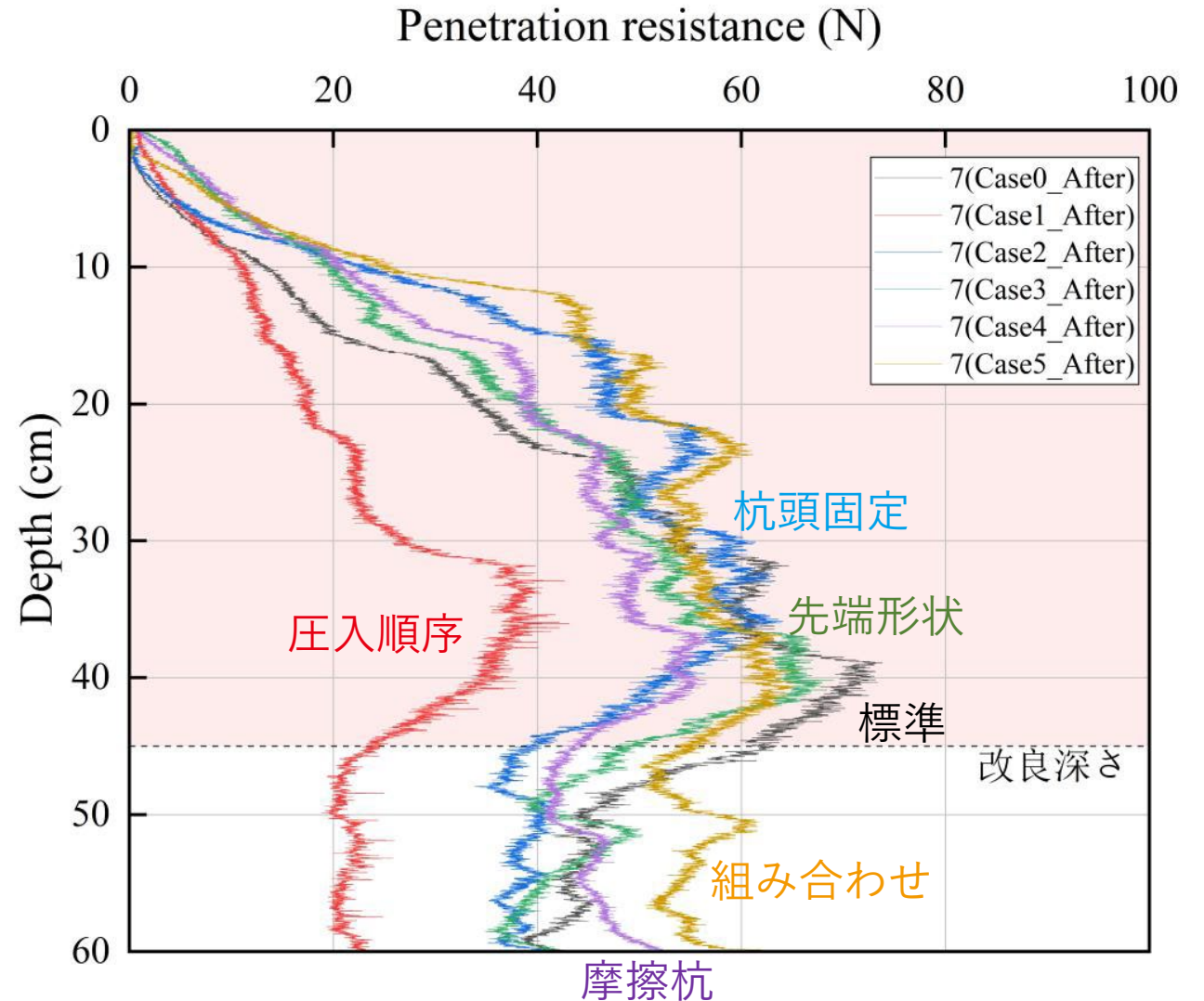
Case3: 先端を尖らせる



Case5: Case2と3を組み合わせる

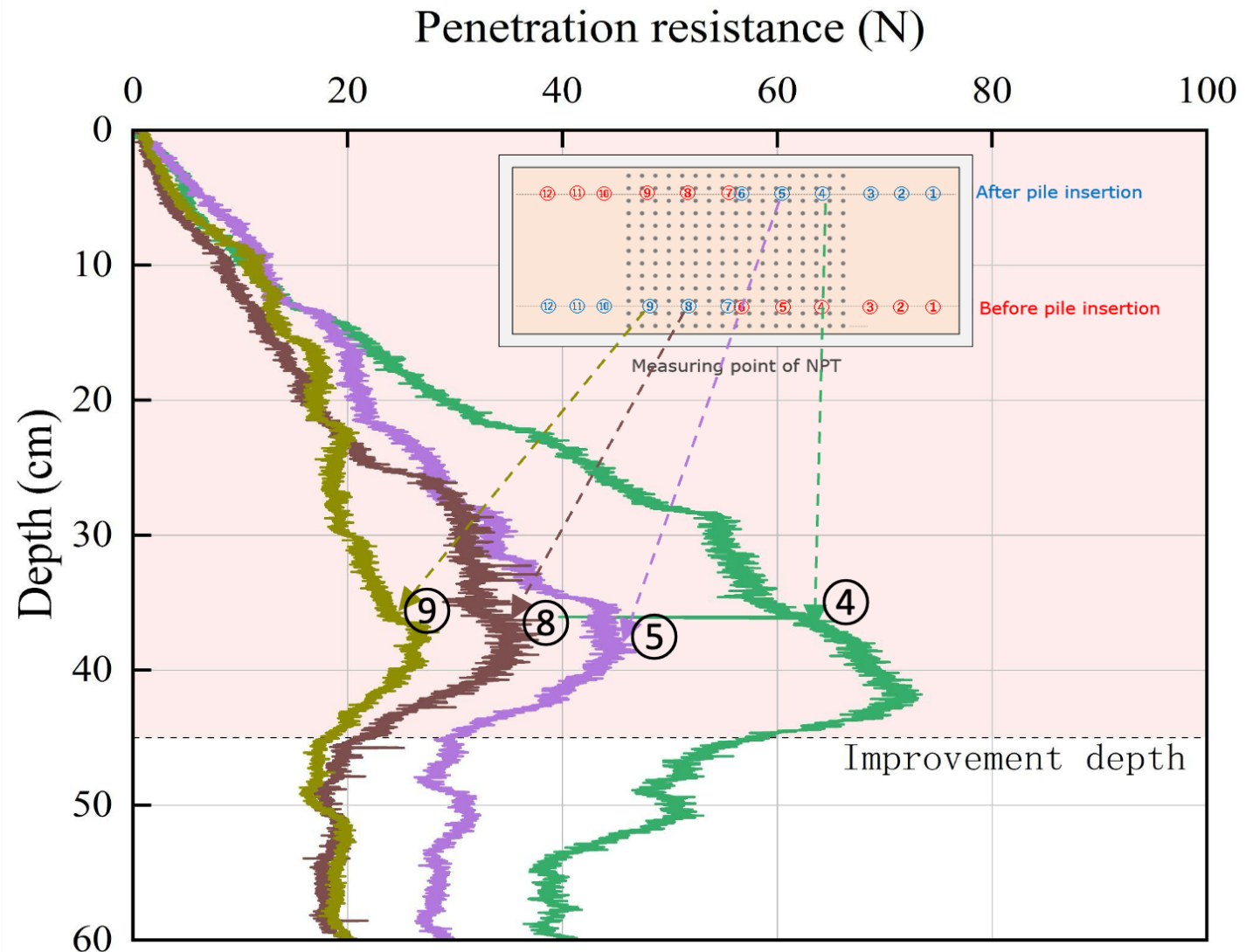
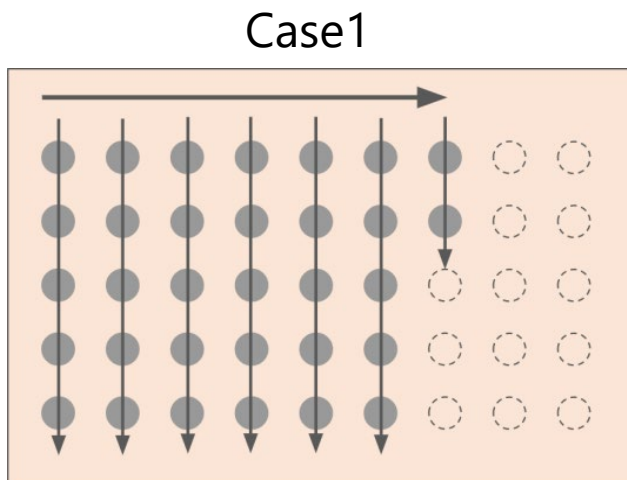
針貫入試験の結果（改良部中心）

- 未改良は5-10N程度であり、杭貫入による改良効果が大きく反映されている。
- **圧入順序**の最大値は、他の杭と比べて低い。
- 杭条件の変化により、20cm以浅の密度化が標準より大きくなる。特に**杭頭固定**・**組み合わせ**で効果が大きい。



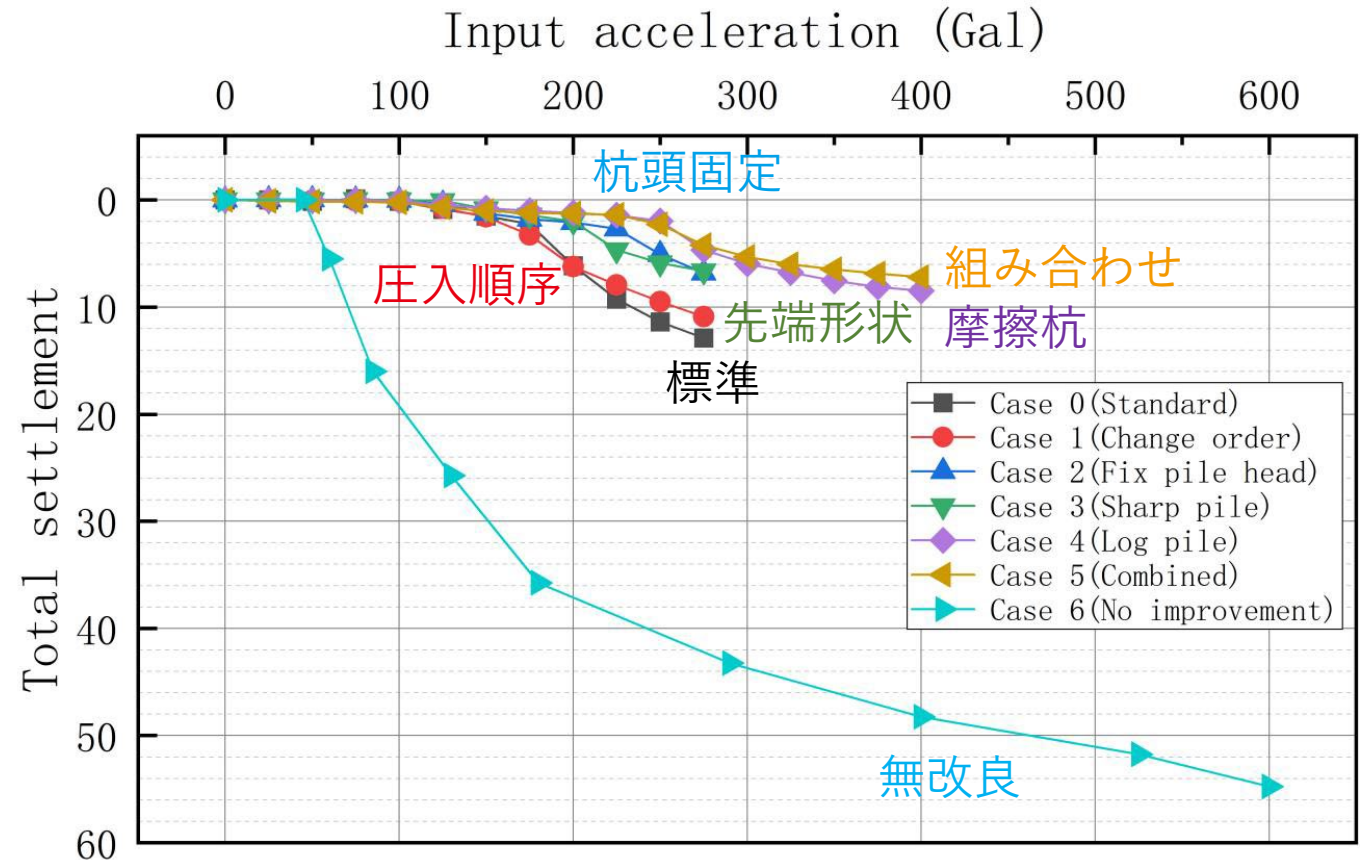
圧密順序（Case 1）の結果

- Case 1 の針貫入試験結果をみると、圧入順である左から右方向へと密度増大化が進展し、地盤強度が非対称になる。

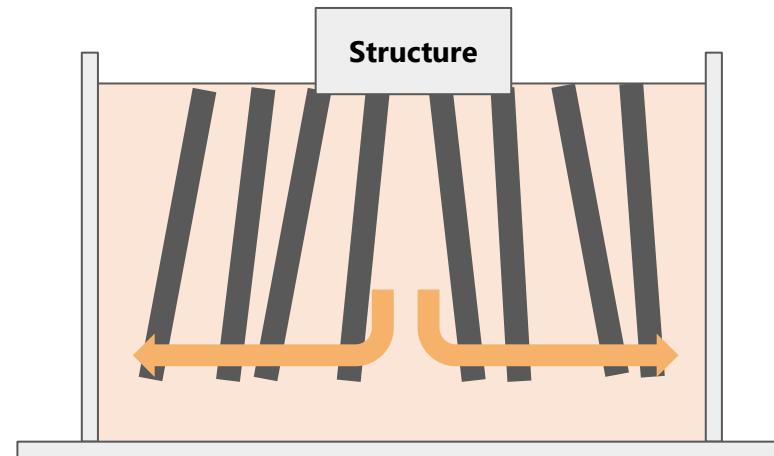
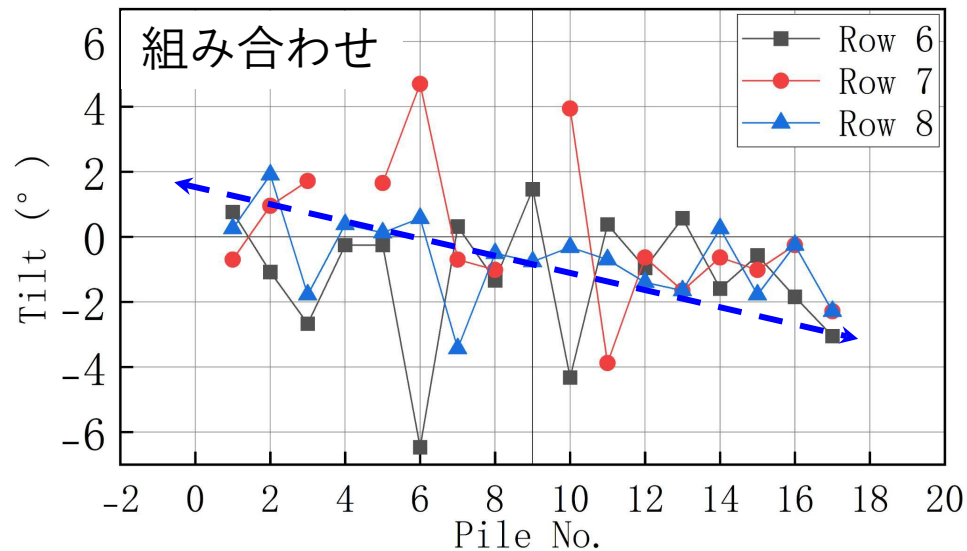
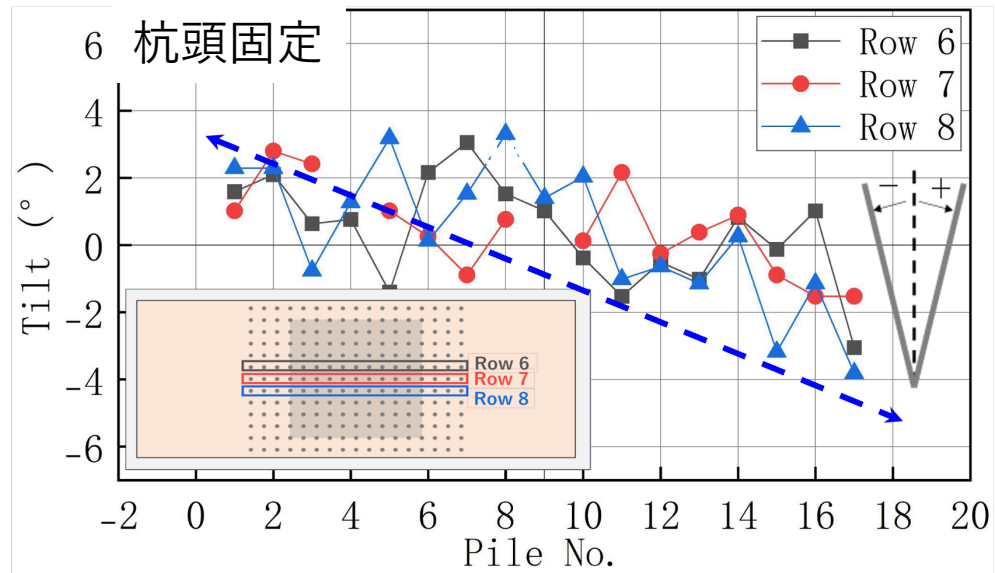


振動台実験結果

- 圧入順序の結果は、標準と大きな差は見られなかった
- 杭頭を固定したケースは、標準の結果よりも半分程度の沈下量
- 先端形状も標準より改良効果が高い。動画解析結果から得られた均一的な密度増大効果が影響した可能性
- 改良効果がもっとも高いのは組み合わせと摩擦杭（木杭）
 - 摩擦の効果は針貫入試験では確認されなかったため、杭自体の剛性が影響した可能性



杭の変状結果



逆ハの字型の変形からハの字型の変形へと挙動が変わったことがわかった。

まとめ

- 動画解析の結果から，杭の条件によって影響範囲や高密度化する範囲が変わることが示唆された．特に，先端形状および摩擦が高密度化に影響する．
- 模型土層の針貫入試験では，圧入順序を変更（片押し）することで密度増大効果が非対称化することがわかった．
- 振動台実験より，杭先端形状の鋭角化と杭頭固定が改良効果の向上に繋がる結果が得られた．特に，杭頭固定では地盤の変状モードを変えられることが重要
- 杭の剛性が改良効果に影響を与える可能性が示唆された．

今後の計画

- 画像解析と室内試験
 - 密度増大のメカニズムやひずみ分布や履歴を明らかにし、同様の履歴を与えた室内実験を実施し、密度増大効果だけでなく構造変化による影響を明らかにする。
- 振動台模型実験：
 - 木杭＋杭頭固定した実験で浅層改良効果を検証する。実際の現場で用いられている複数の杭を鉛直方向に接ぎ木したケースの実施
(15+20cm=35cmなどのケース)
- 最終的にこれまでの成果を統合し、数値解析モデルへと反映し解析を実施する。