地盤の過剰間隙水圧上昇と消散に伴う変形の評価

小委員会（R４～R6）

R４年度活動報告

2023年5月30日

小委員会の概要　設立趣旨（背景）

- 耐震性能設計の普及に伴い，動的解析を用いた地盤の変形量照査を実務で導入
- 砂質地盤の照査では，繰返しせん断による過剰間隙水圧の発生を考慮した有効応力解析が普及
- 過剰間隙水圧上昇とその後の水圧消散に伴う地盤沈下や流動変形といった変形量の評価方法については課題が残る
- 地盤材料は砂質土のみならず礫質土、岩ずり、及び固結した土（洪積土）等といった多種多様な材料を含み，それらの材料特性や解析パラメータの設定に関する知見は蓄積が不足

小委員会の概要　設立趣旨（目的と特徴）

- 地盤の過剰間隙水圧上昇と消散に伴う変形量照査に必要な地盤調査および室内力学試験方法を調査技術者・室内試験技術者・解析技術者・設計者の枠を超えて議論し，合理的な評価のプロセスを明らかにし，その評価事例と合わせて示す
- 礫質土、固結土については，原子力土木委員会液状化の影響評価WGと合同で議論・検討を実施

小委員会　メンバー（22名）

氏名	所属	氏名	所属
仙頭 紀明	◎日本大学	金氏 智也	伊藤忠テクノソリューションズ
三上 武子	○地域 地盤 環境 研究所	金田 一広	千葉工業大学
家田 浩之	エイト日本技術開発	久木留 貴裕	オリエンタルコンサルタンツ
石川 敬祐	東京電機大学	佐藤 誠一	日本工営
一井 康二	関西大学	塩見 忠彦	株式会社マインド
上田 恭平	京都大学防災研究所	冨澤 幸一	北武コンサルタント
植村 一瑛	応用地質	兵頭 順一	東電設計
渦岡 良介	京都大学防災研究所	伊吹 竜一	鉄道総合技術研究所
海野 寿康	宇都宮大学	吉田 望	関東学院大学
大矢 陽介	海上・港湾・航空技術研究所	和田 昌大	基礎地盤コンサルタンツ
加藤 一紀	大林組	栗間 淳	東京大学生産技術研究所
中村　晋	△日本大学	石丸　真	△電力中央研究所

◎委員長、○幹事　着色：コアメンバー
△オブザーバー：原子力土木委員会　液状化の影響評価WG

令和4年度の活動

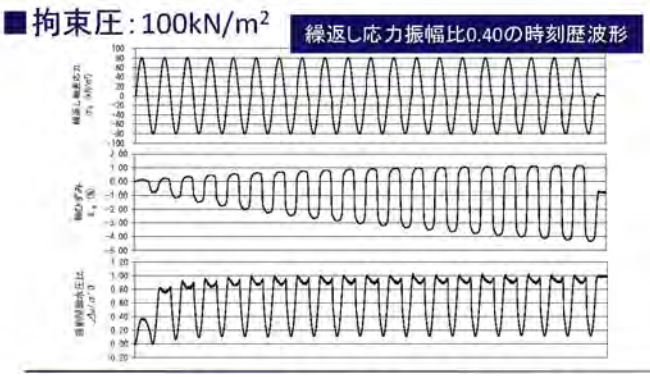
- 地盤の過剰間隙水圧の上昇および消散に伴う変形についての試験事例，解析事例の収集
- 砂質土，礫質土等の地盤を対象とした地盤調査・土質試験の現状の把握

話題提供①　礫質土の液状化影響評価（石丸オブザーバー）

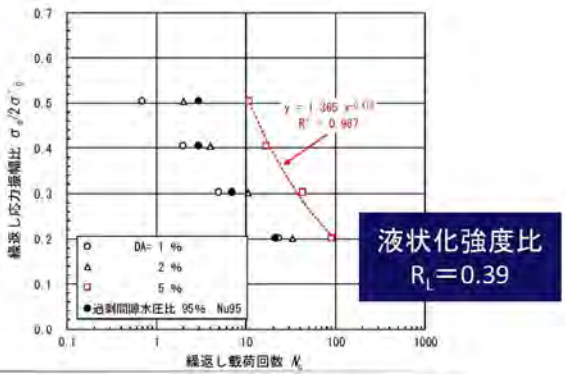
室内繰返しせん断試験（液状化試験）

大型三軸
（ϕ300mm）
非排水条件

液状化試験結果の例

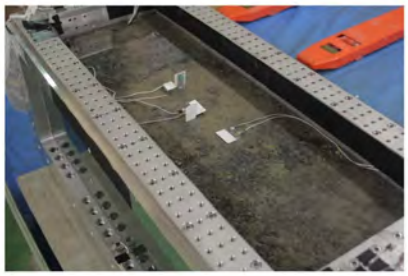


液状化強度試験結果



話題提供①　礫質土の液状化影響評価

遠心載荷実験



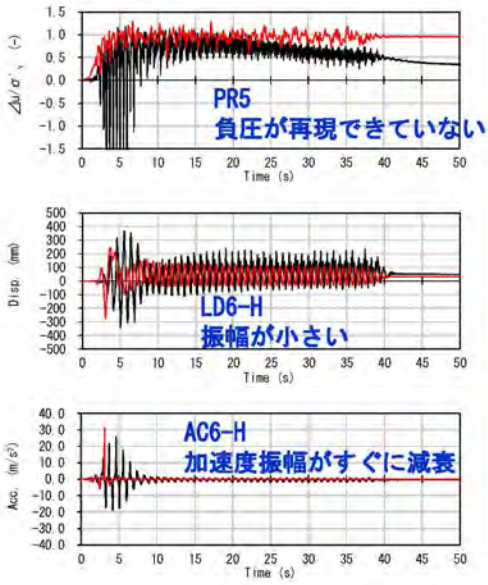
礫質土は透水性が高く、加振中に過剰間隙水圧が消散

話題提供①　礫質土の液状化影響評価

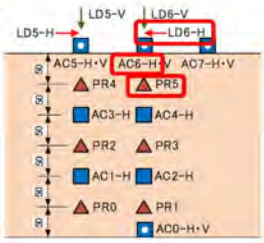
密な岩ずりの水平地盤の解析結果

FLIPマルチスプリングモデルでは，過剰間隙水圧と地表面変位の両立が困難

A: 要素試験フィッティング

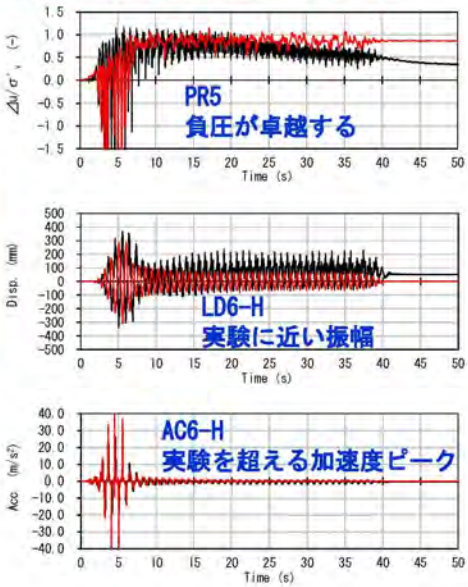


FLIPは非排水条件の有効応力解析

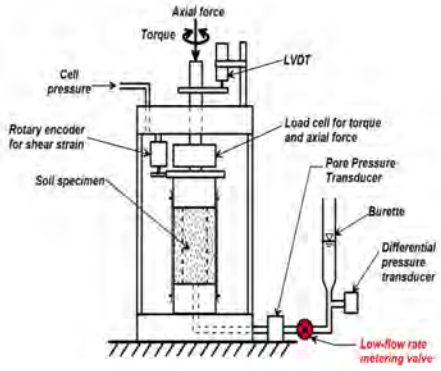


黒：実験結果
赤：解析結果

B: 模型実験フィッティング
（地表面水平変位をターゲット）

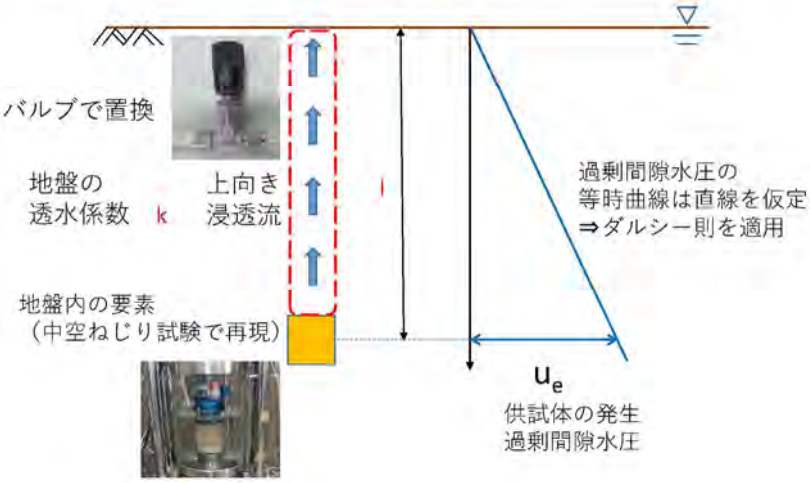


話題提供②振動中に排水が生ずる砂の繰返しせん断挙動（仙頭委員）



低流量メータリングバルブ
Swagelock社製　SS-SS2-HV

想定される現場の条件

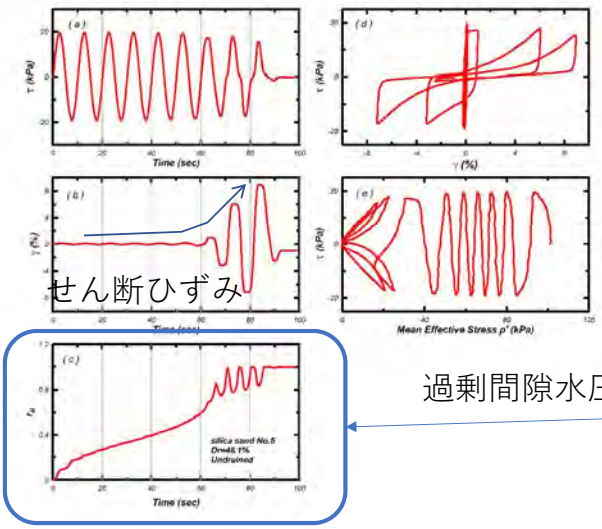


話題提供②振動中に排水が生ずる砂の繰返しせん断挙動

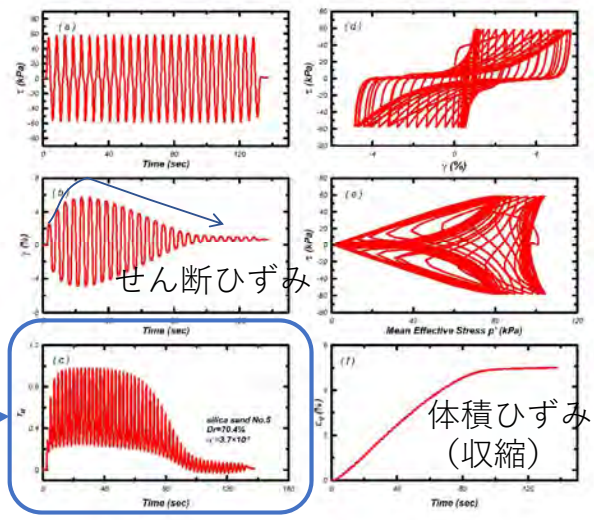
非排水条件

部分排水条件
（排水と非排水の中間）

試験結果の例（ケース1-3）



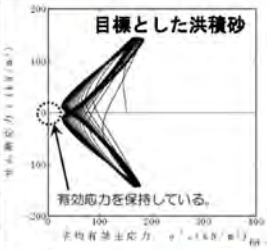
試験結果の例（ケース6-4）



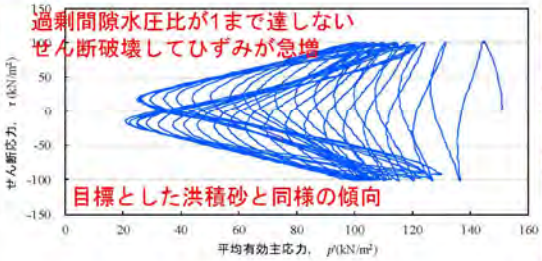
話題提供③固結した砂地盤における過剰間隙水圧上昇の影響（石丸オブザーバー）

模擬洪積砂の室内要素試験のまとめ

項　目	模擬洪積砂	目標とした電力サイトの洪積砂
乾燥密度	1.497Mg/m³	1.46～1.49Mg/m³
土粒子密度	2.677Mg/m³	2.66～2.68Mg/m³
細粒分含有率	10.2%	9.9%
透水係数	3.46×10⁻⁴m/s	-
ピーク強度	c_d=48.2kN/m², ϕ_d=44.2° 【CD中空ねじり試験より】	c_d=30.0～44.3kN/m² ϕ_d=30.5～32.2° 【CD三軸試験より】
液状化強度	1.67（拘束圧 50kPa） 1.01（拘束圧100kPa） 0.71（拘束圧150kPa） 【CU繰返し中空ねじり試験より】	0.67～0.78（拘束圧150kPa） 【CU繰返し中空ねじり試験より】



模擬洪積砂の配合（単位量kg/m³）	
ジェットセメント	68.0
水	244.9
砂	1730.1
トチクレー	213.8
凝結遅延剤	4.1

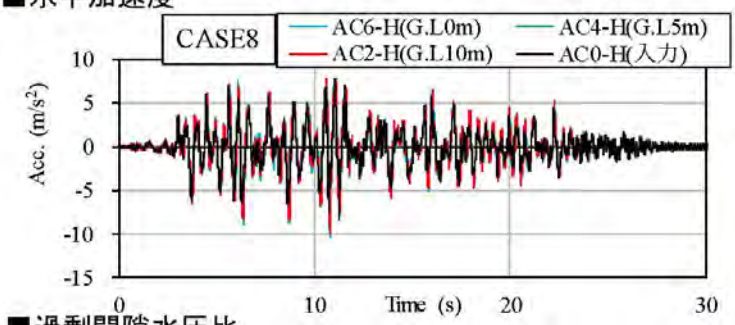


9

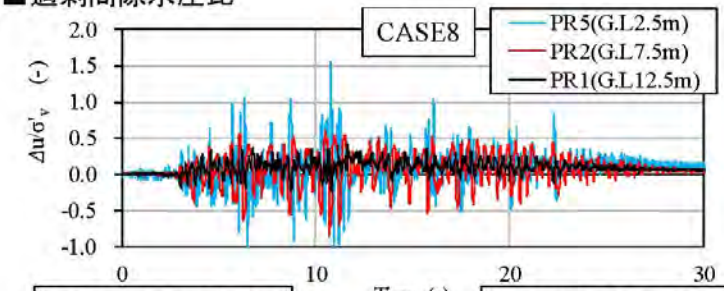
話題提供③固結した砂地盤における過剰間隙水圧上昇の影響

遠心載荷実験結果の例

■水平加速度



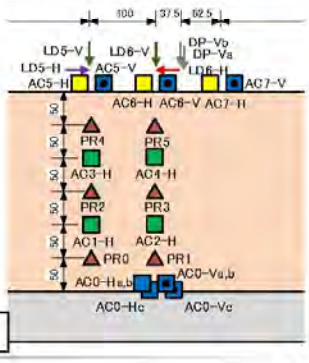
■過剰間隙水圧比



いずれも実物換算済み

注：PR3欠測のためPR2を使用

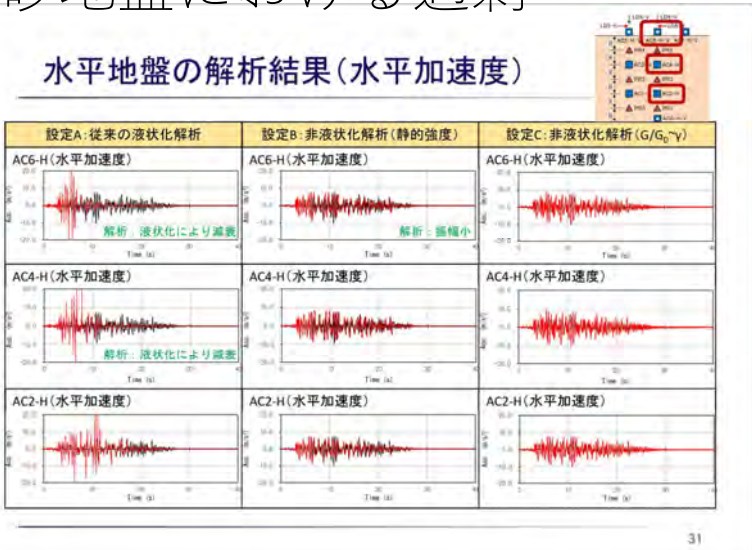
- ✓ 水平加速度は地表面に向かって減衰せずにわずかに増幅しており，位相も変化していない
- ✓ 過剰間隙水圧比は，最浅部のPR5を除くと0.5以下に留まり，負圧の発生が顕著である



13

話題提供③固結した砂地盤における過剰間隙水圧上昇の影響

実験結果と解析結果の比較



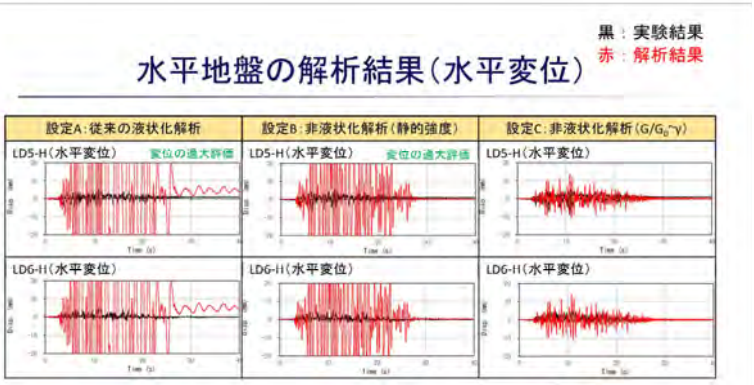
有効応力解析（左）

全応力解析①　（中）

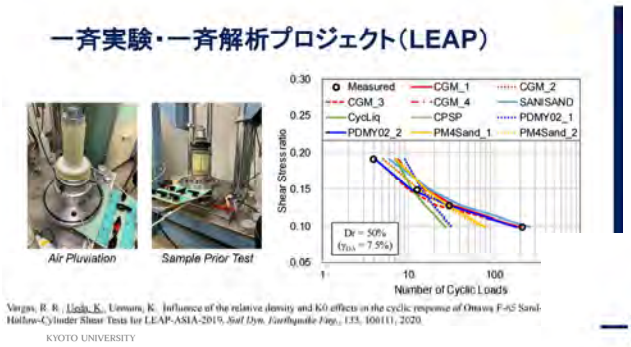
静的強度でフィッティング

全応力解析②　（右）

動的変形特性でフィッティング



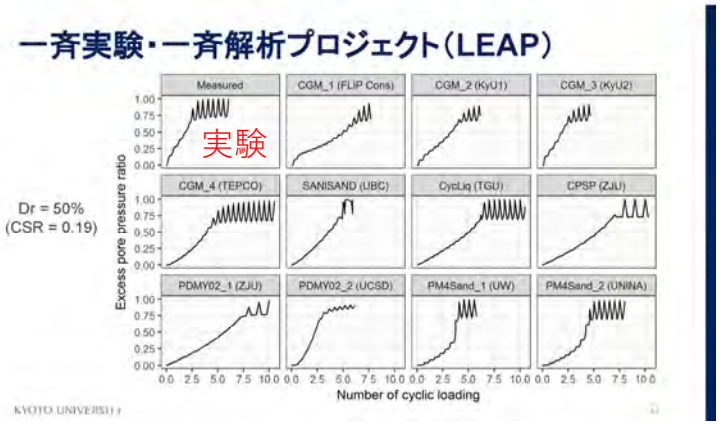
話題提供④LEAP-ASIA-2019の紹介（上田委員）



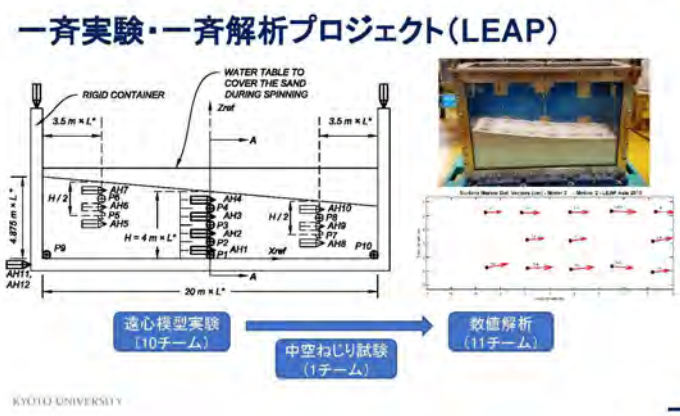
試験状況と液状化強度曲線

要素試験（中空ねじり試験）のブラインド解析

過剰間隙水圧の再現状況



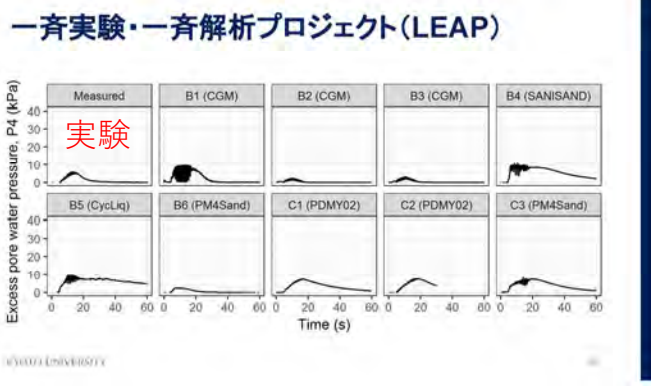
話題提供④LEAP-ASIA-2019の紹介（上田委員）



実験の概要（緩い傾斜地盤）

遠心載荷実験の
ブラインド解析

過剰間隙水圧の再現状況



話題提供⑤　サンプリングの種類と採取試料の品質評価（和田委員）

採取が難しい礫質土の
高品質な採取方法の例

話題提供⑥　ため池の地震被害と耐震設計（家田委員）

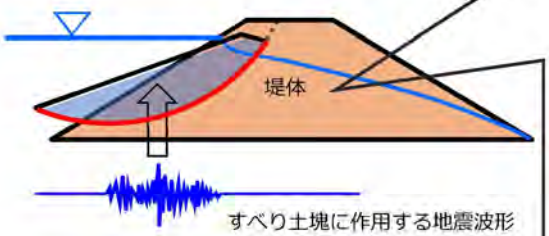
盛土上部のすべりの要因と解析的検討

EJEC

- 上部盛土：砂質性の土質と低い締固め度　⇒　飽和非排水状態で繰り返してせん断されて正の間隙水圧が発生し非排水強度が低下　⇒　すべり崩壊の要因
- この強度低下を考慮して残留すべりを算定できるNewmark-D法を新たに開発

鈴木、渡邊、田中、竜岡、アントワン、三浦：藤沼ダムの決壊メカニズムの解明とその原因、農業土木学会誌、89(12)、 2021、pp.943-948
上野、毛利、田中、龍岡：非排水繰返し載荷を受ける飽和土の非排水せん断強度に対する締固めの効果、農業農村工学論文集、82(6)、2014、pp.383-393

ニューマークD法の模式図



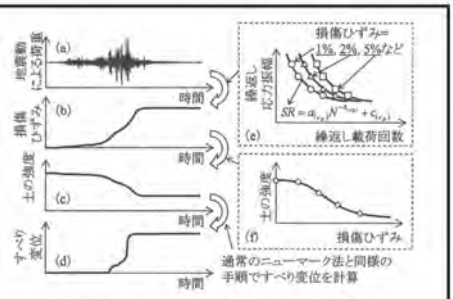


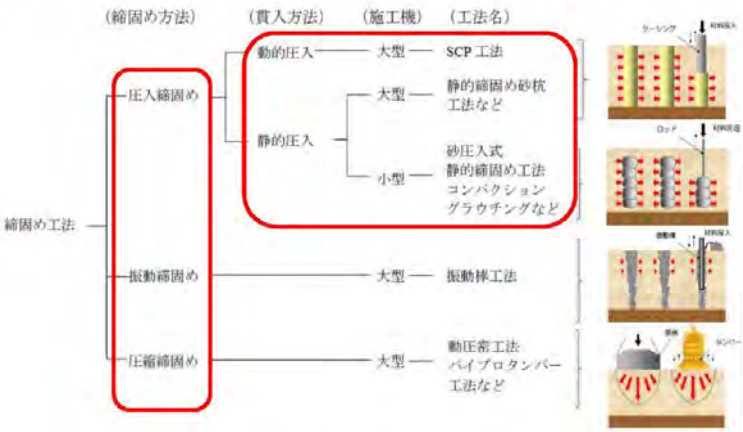
Fig.1　修正ニューマーク-D 法によるすべり変位計算過程
Procedure to calculate slip displacement by Newmark-D method

上野、毛利、田中、龍岡：非排水繰返し載荷を受ける飽和土の非排水せん断強度に対する締固めの効果、農業農村工学論文集、82(6)、2014、pp.383-393

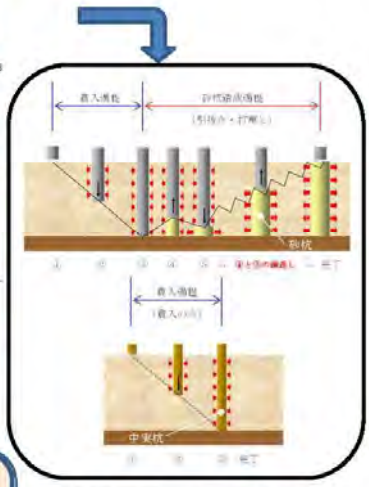
話題提供⑦　液状化対策としてのSCP工法による改良効果の評価事例（不動テトラ　原田氏）

締固め工法

5) 土研 (2016)に追記



締固め工法の分類



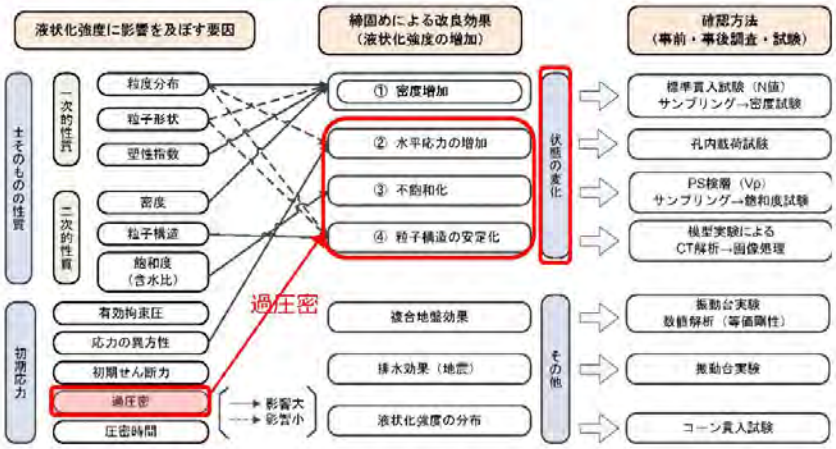
SCP工法と締固め杭工法の施工方法

SCP工法は圧入締固めに分類され、圧入する方法もいろいろとある。
→貫入＋引抜き/打戻しの繰返し（SCPのみ）
→貫入のみ（締固め杭工法：閉塞鋼管杭，木杭）
設計では同じ評価？

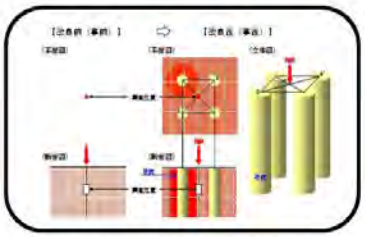
話題提供⑦　液状化対策としてのSCP工法による改良効果の評価事例（不動テトラ　原田氏）

液状化強度の増加との関係

6) 原田 (2021)



液状化強度と改良効果の関係



事前・事後の調査位置

SCP工法の改良効果には設計で考慮されている密度増加以外にもさまざまな効果がある。（水平応力の増加，不飽和化，粒子構造の安定化 etc.）

今後の活動

- 合理的な評価のプロセスの明確化に関する議論（R5～R6）
- 合理的な評価のプロセスを事例とともに、成果物（ガイドライン）にまとめて公表する。（R6）