

河川水位変動による 堤体の経年劣化メカニズムの解明

@第22回JICE研究開発助成成果報告会

May 31st, 2022

河井 克之

近畿大学理工学部社会環境工学科

中島 晃司

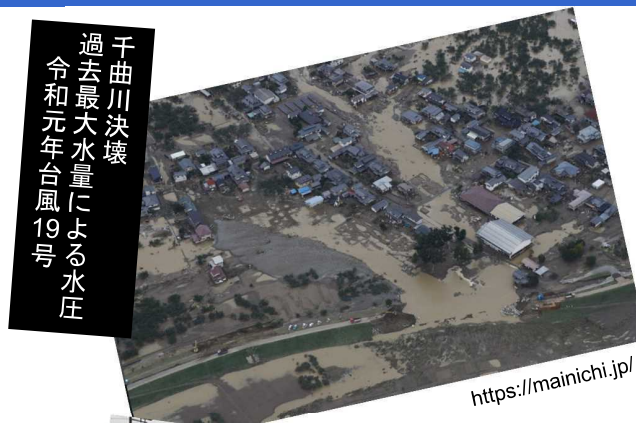
近畿大学理工学部社会環境工学科

頻発する氾濫被害



球磨川氾濫
人吉市で3千戸以上浸水
令和2年7月豪雨

<https://www.sankei.com/>



千曲川決壊
過去最大水量による水圧
令和元年台風19号

<https://mainichi.jp/>



小田川決壊
真備町の27%が浸水
平成30年西日本豪雨

<https://www.bousai-nippon.com/>



佐賀、広島、島根で河川氾濫
令和3年8月集中豪雨

<https://mainichi.jp/>

エアブロー・漏水・噴砂・変状

エアブロー



常呂川(2018年)

噴砂



江の川(2020年)

陥没

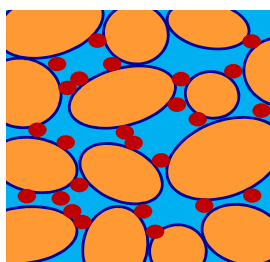


最上川(2020年)

長期的な外水位変動繰り返りで、水みち形成？

内部浸食による材料特性の変化

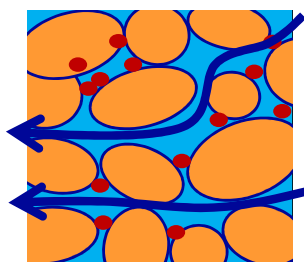
Gap graded soil



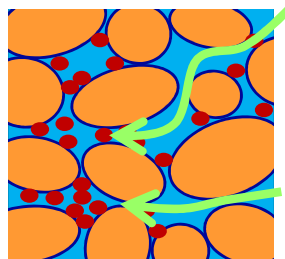
Coarse grain

Fine grain

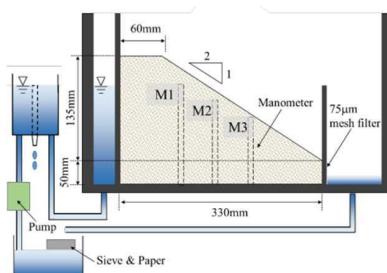
Seepage



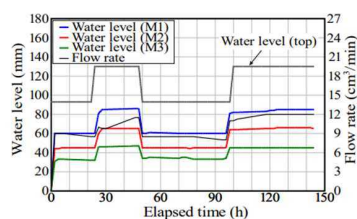
Voids increasing
✓ Flow localization
✓ Collapse



Clogging
✓ Lower permeability
✓ Water pressure increase



水位変動履歴で
浸透特性が変化

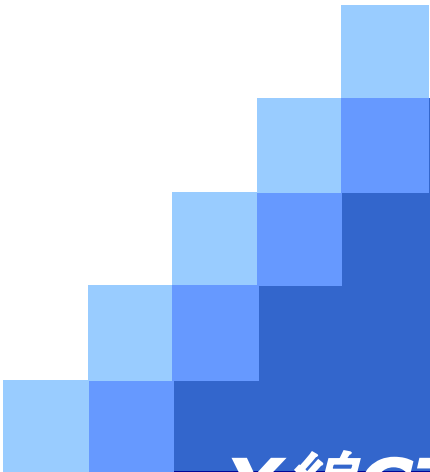




研究内容

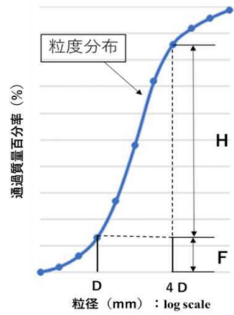
外水位変動時の細粒分挙動を明らかにし，堤体の安定性に及ぼす影響を検討する

- 1 X線CT撮影を伴うカラム透水試験
- 2 透過土を用いた透水試験
- 3 材料の水理特性変化を考慮した土/水/空気連成浸透シミュレーション
- 4 電気比抵抗探査による外水位変動時の浸潤線挙動把握

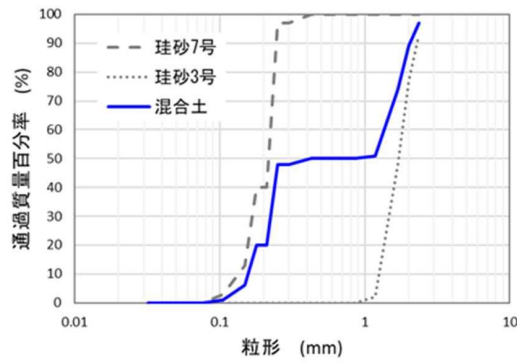


X線CT撮影を伴うカラム透水試験

試験条件

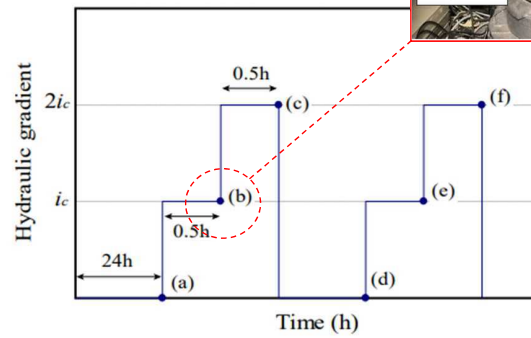
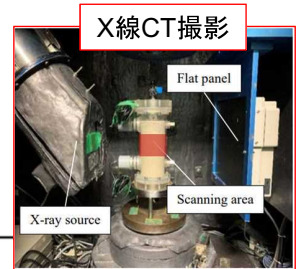
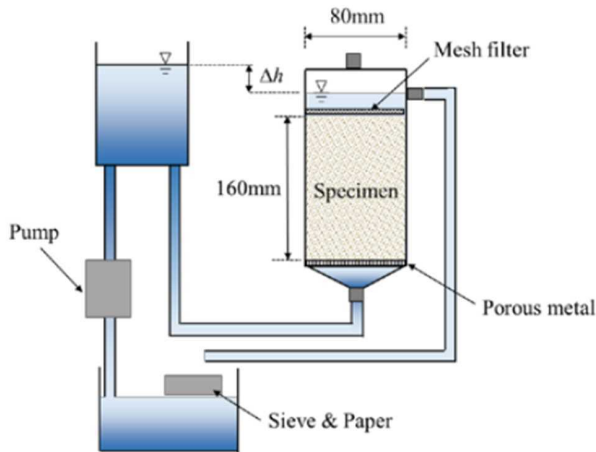


$H > F$: 安定
 $H < F$: 不安定

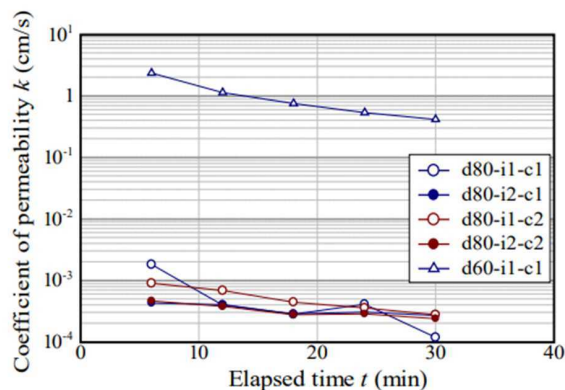
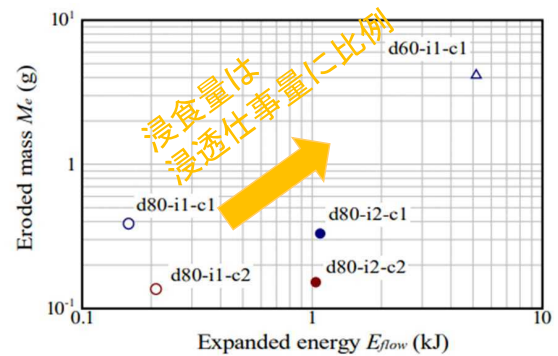
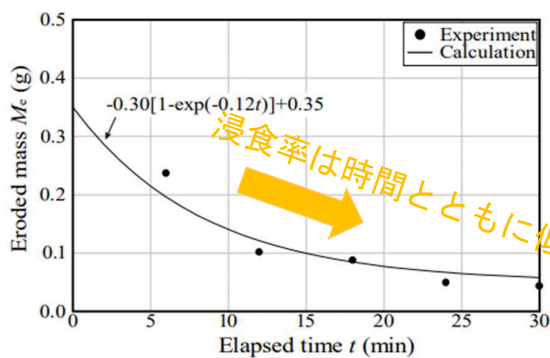


内部浸食に対して不安定な試料

$D_c = 60\%, 80\%$

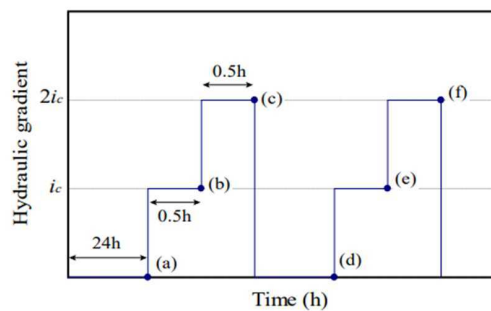


試験結果



土槽全体の平均透水係数は漸減

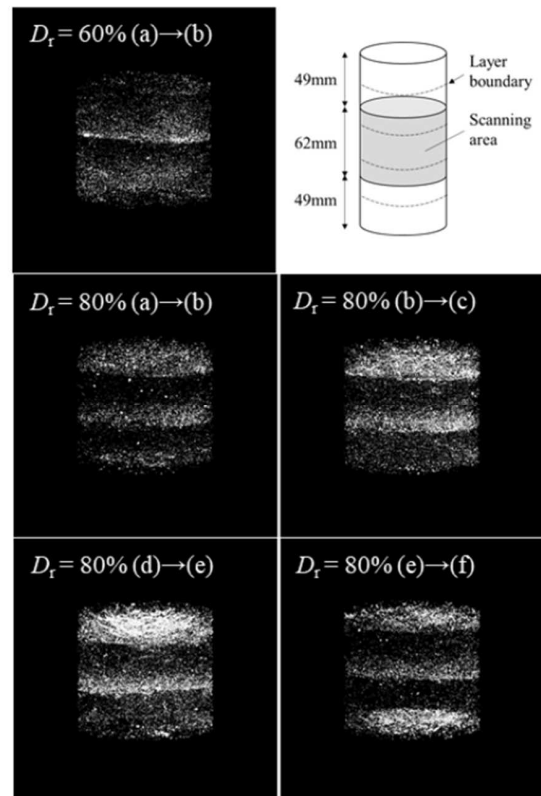
X線CT差分画像



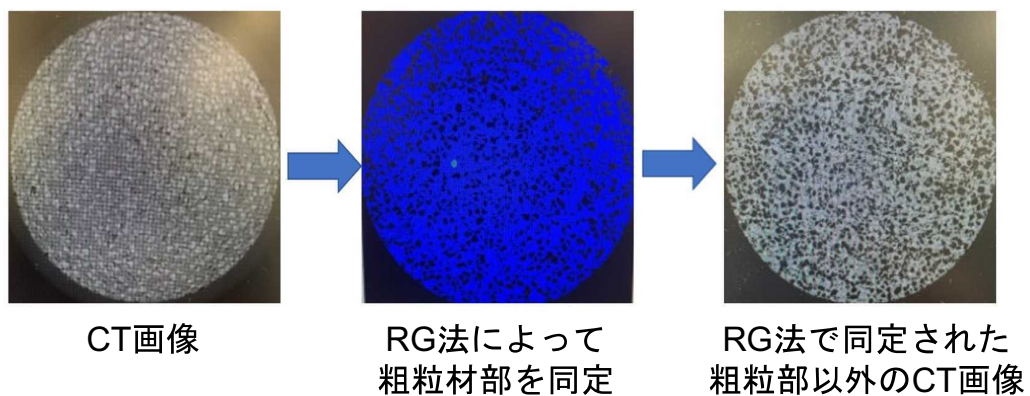
締固め面で密度変化が不連続
になっている

- ✓ 締固め面に細粒分が多く
あった→移動？
- ✓ 締固め面に細粒分が集積→
滞留？

体積圧縮(間隙比減少)の影響も

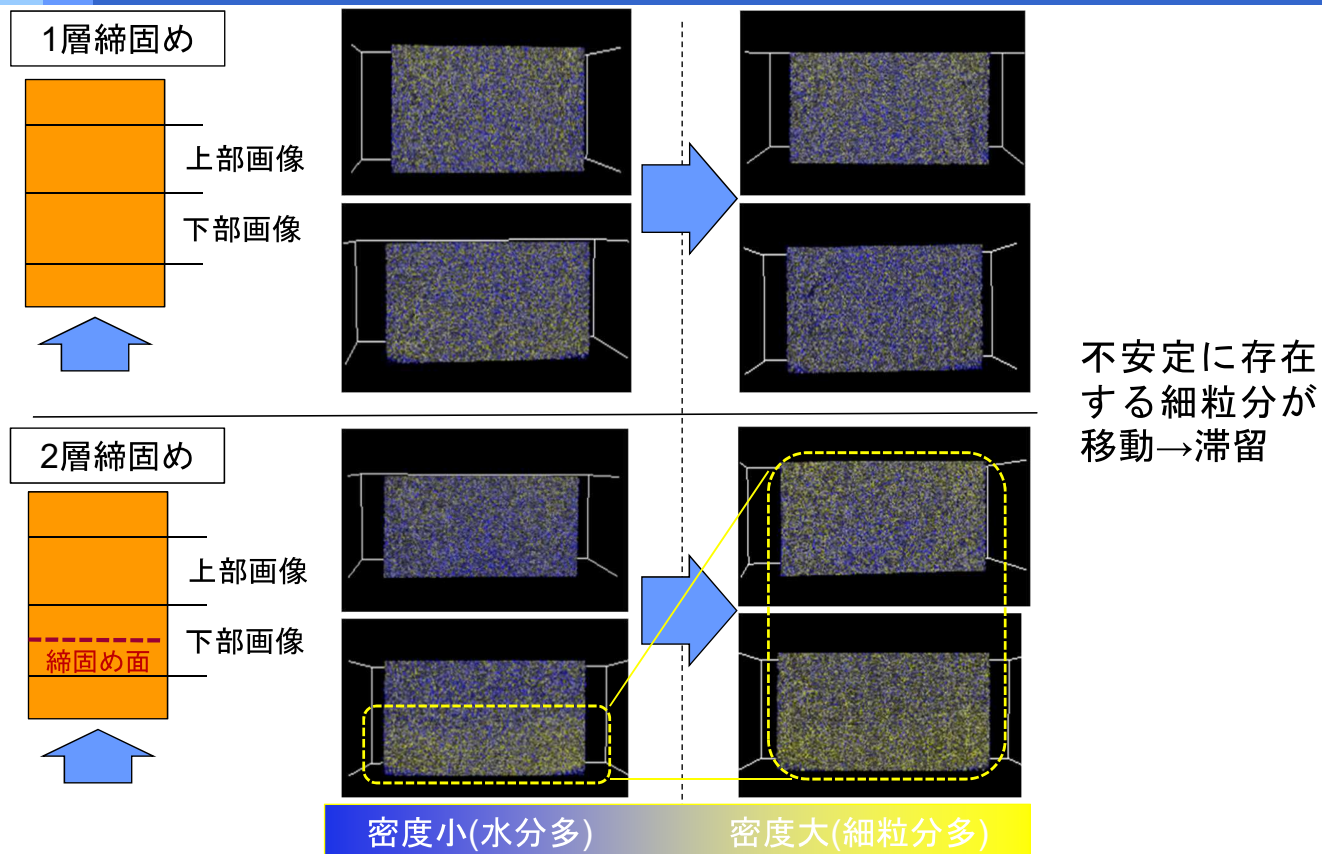


Region Growing法の適用



粗粒材が形成する骨格間の
水, 細粒分

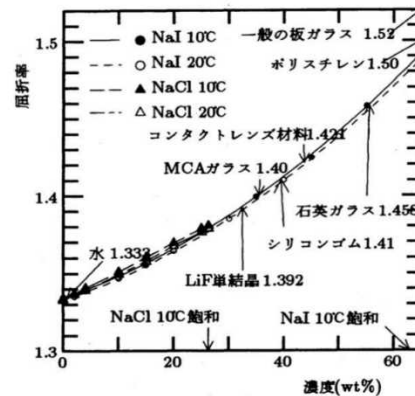
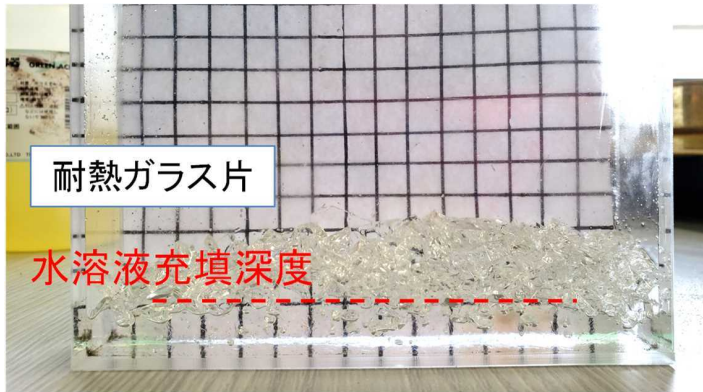
RG法適用後のCT画像



透過土を用いた透水試験

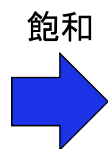
インデックスマッチング法

透明の固体に屈折率の等しい溶液に浸すと
物質境界が透過される

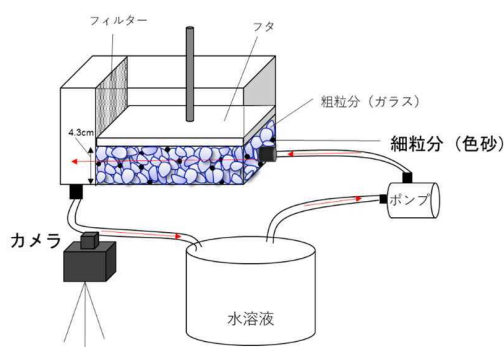


試験方法

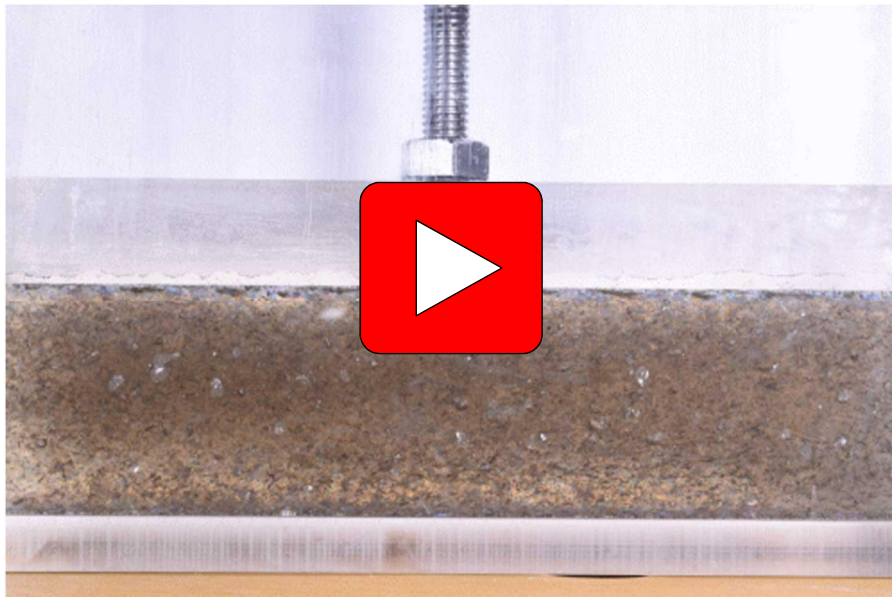
- ・ 粉碎したホウケイ酸ガラス(粗粒分)と色砂(細粒分)の混合材料
- ・ ホウケイ酸ガラスと同じ屈折率を持つ流体を使用
⇒飽和時には，ホウケイ酸ガラスが透過



細粒分の流出挙動を可視化



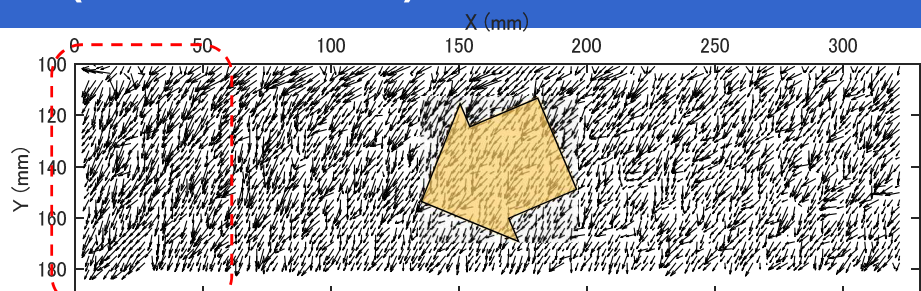
実験の様子



PIV解析結果(細粒分の動き)

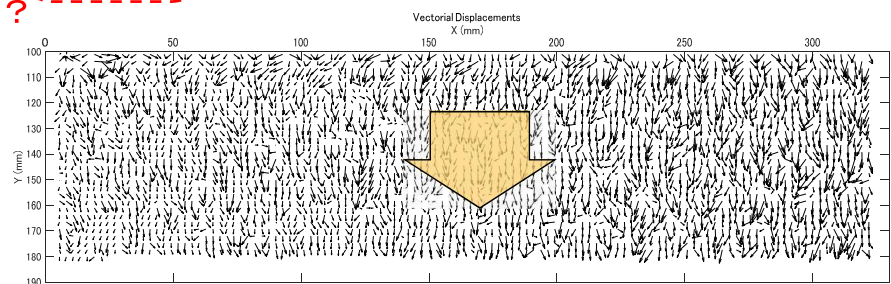
通水開始～2分後

排水孔の影響？



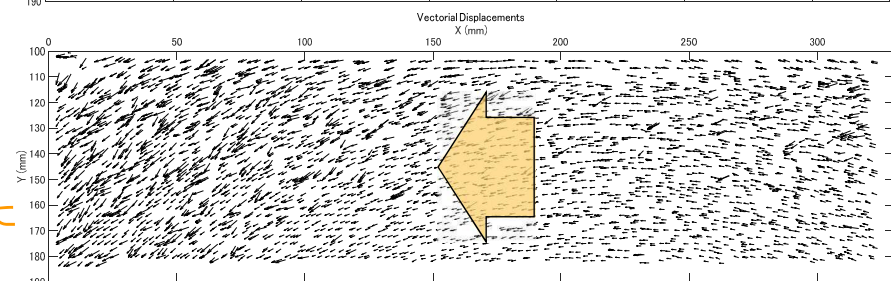
通水開始～1分後

重力の影響

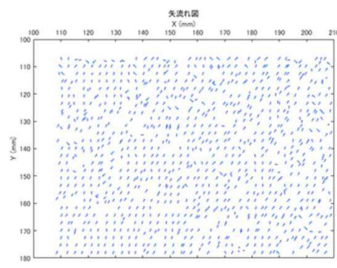


1分後～2分後

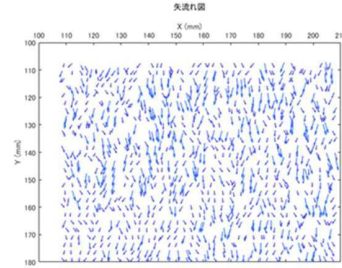
流れ方向に
移動



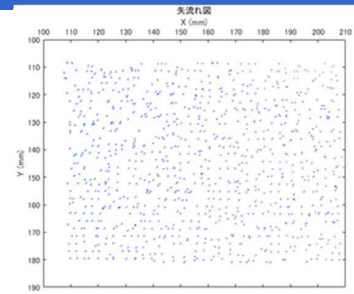
土槽中央部の細粒部移動



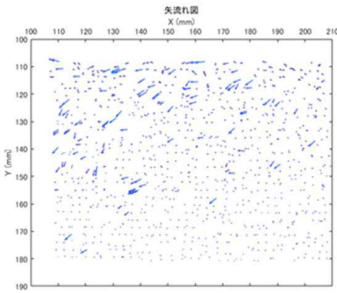
0~0.7(sec)



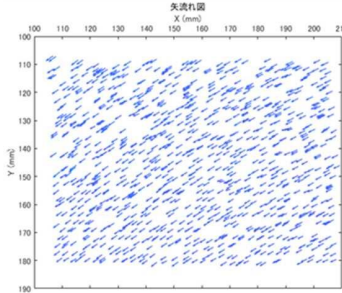
0.8~11.8(sec)



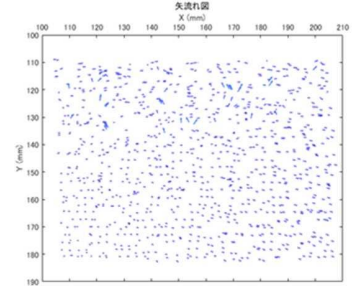
11.9~37(sec)



38~48(sec)



49~99(sec)

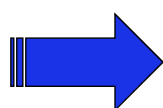


100~500(sec)

透水後のごく早期に重力の影響を受けて移動,
その後流れ方向に移動, 滞留

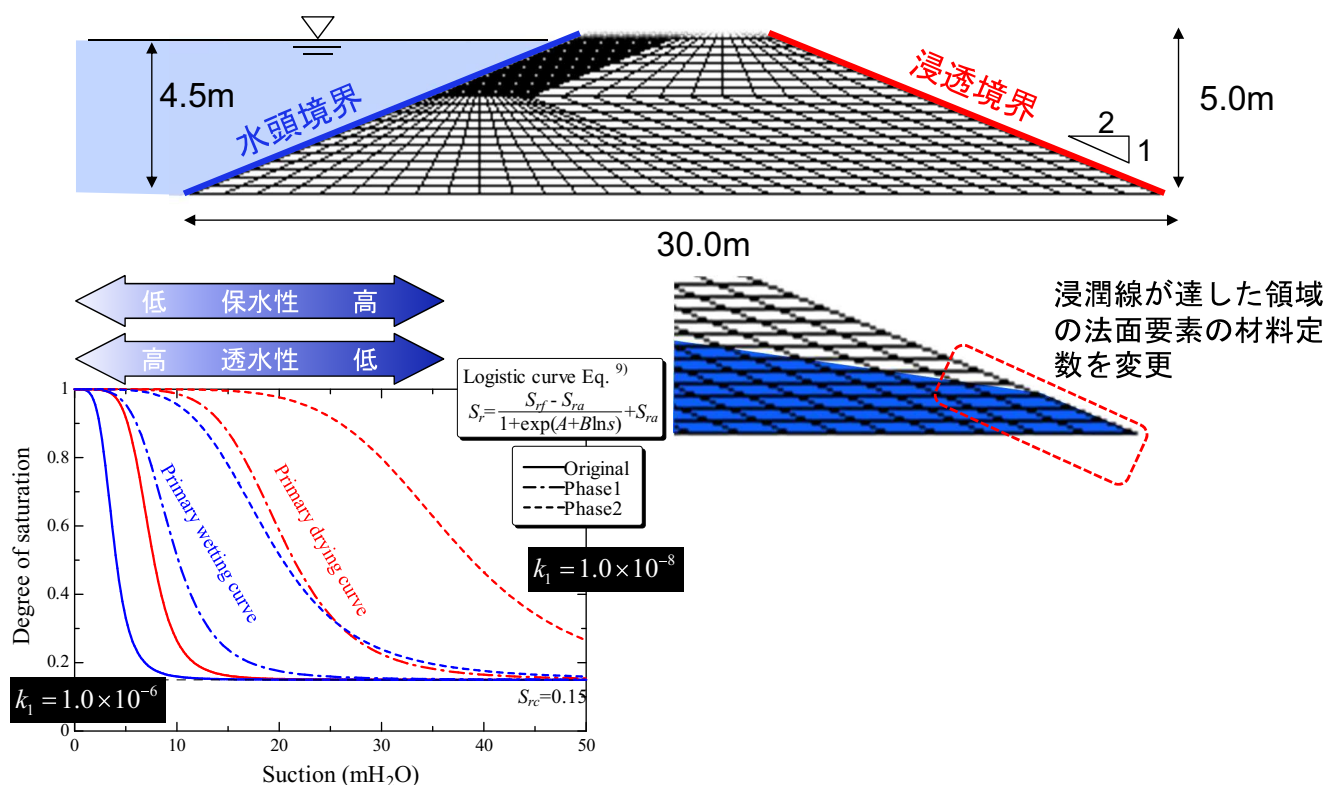
材料の水理特性変化を考慮した
土/水/空気連成浸透シミュレーション

不飽和土/水/空気連成 初期値・境界値問題



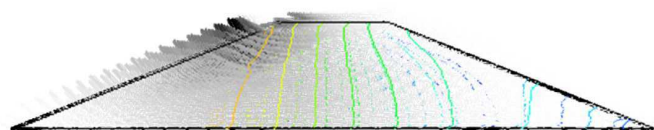
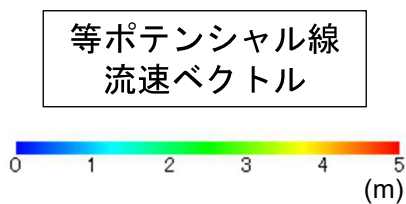
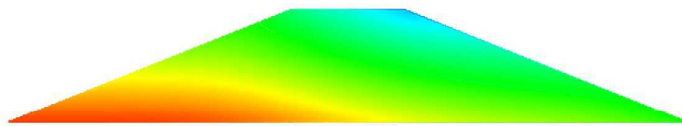
土/水/空気連成有限要素シミュレータ
DACSAR-MP

細粒分の移動⇒目詰まりを考慮した浸透解析

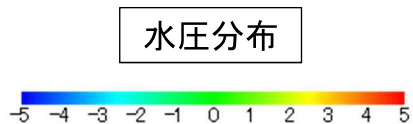


浸透に伴う水圧分布および流速ベクトル(目詰まり無)

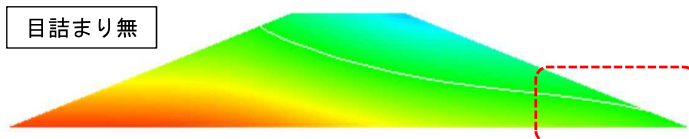
0.000000



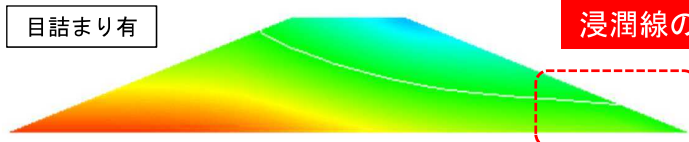
目詰まり考慮の有無による内部状態の違い



目詰まり無



目詰まり有

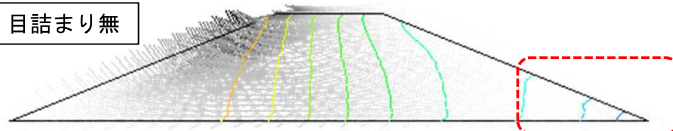


浸潤線の上昇

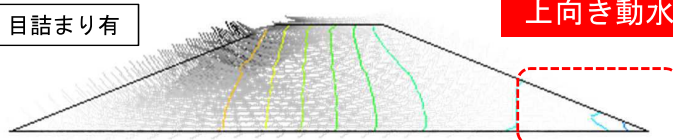
等ポテンシャル線
流速ベクトル



目詰まり無



目詰まり有



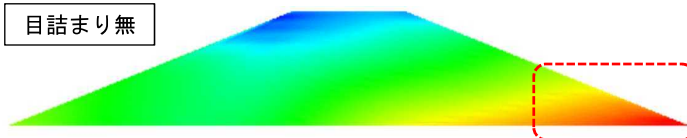
上向き動水勾配

応力分布，ひずみ分布

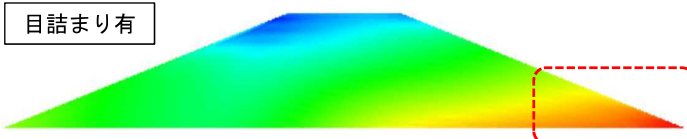
主応力差分布



目詰まり無



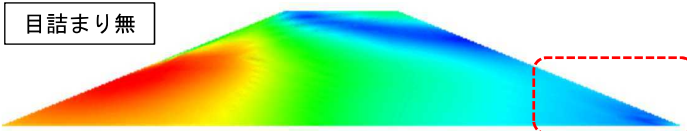
目詰まり有



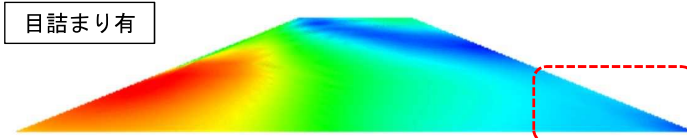
せん断ひずみ分布



目詰まり無



目詰まり有

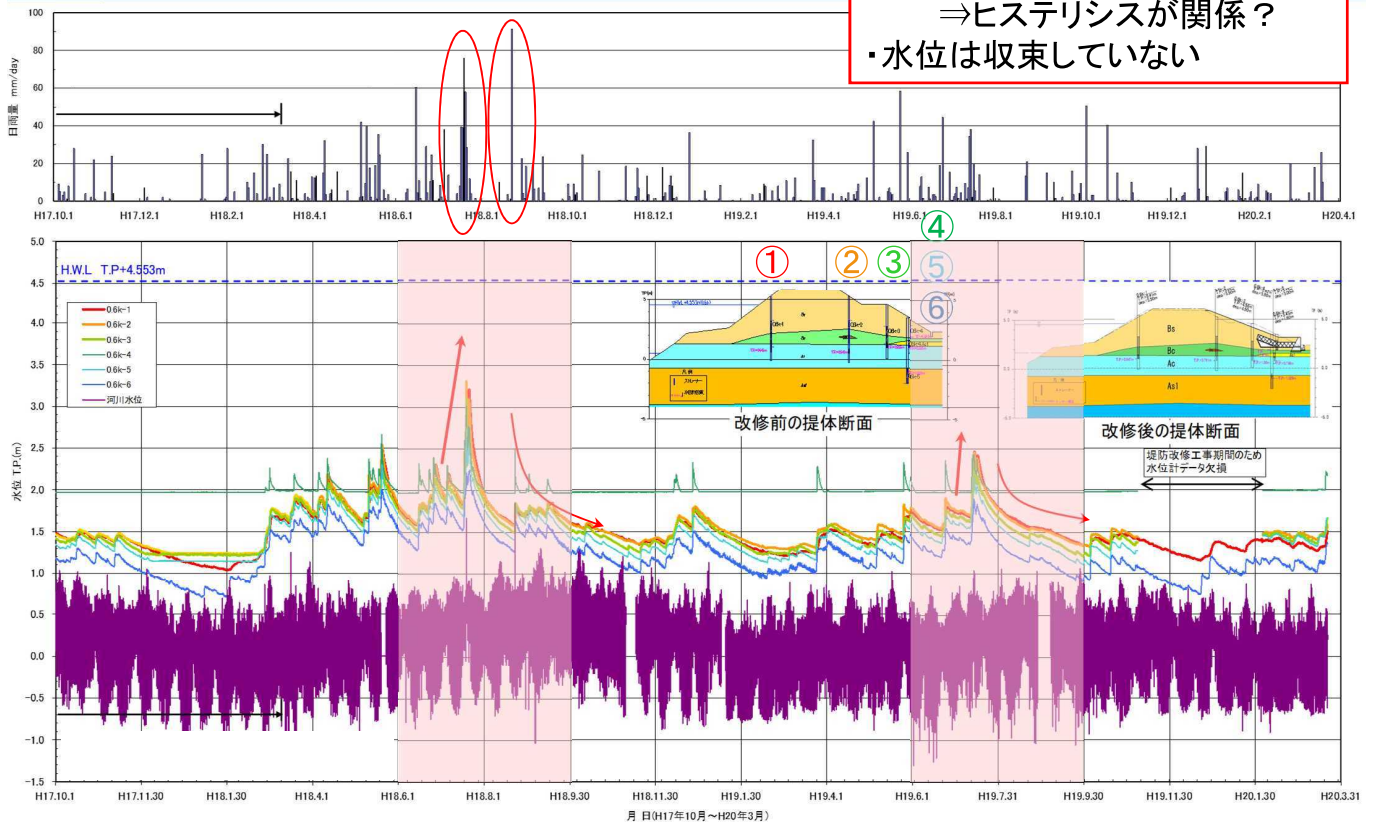


大きな差異は見られない。材料定数を見直した検討が必要

電気比抵抗探査による
外水位変動時の浸潤線挙動把握

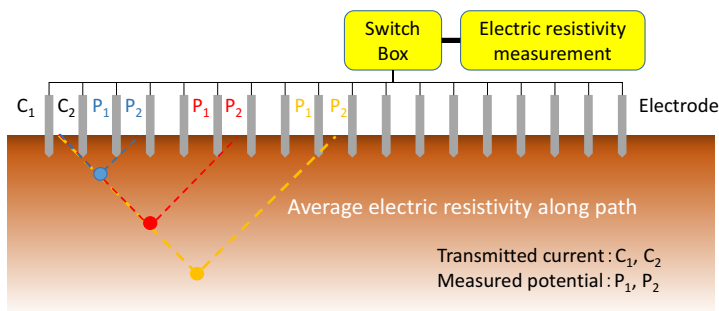
ある河川堤防での水位計測

- ・河川水位よりも常に高い
- ・上昇よりも下降に時間がかかる
⇒ヒステリシスが関係？
- ・水位は収束していない



電気比抵抗探査

非破壊で地盤内の電気比抵抗分布を計測し、**間接的に**土質変数を知る



低い	比抵抗	高
大	間隙率（飽和状態）	小
大	水飽和度	小
低	間隙水比抵抗	高
大	粘土鉱物含有量	小
大	導電性鉱物含有量	小
高	温度	低

同一の土質であれば

探査状況



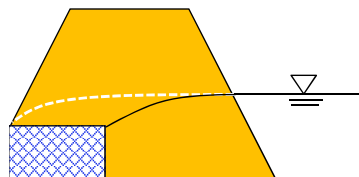
揖保川河口



2020.2

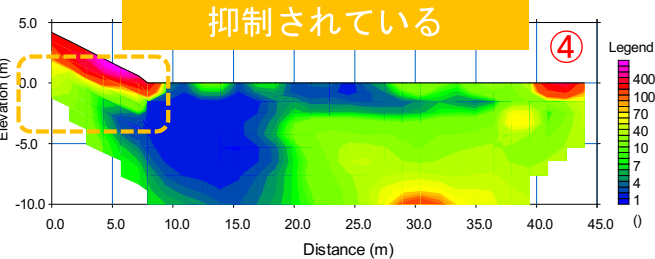
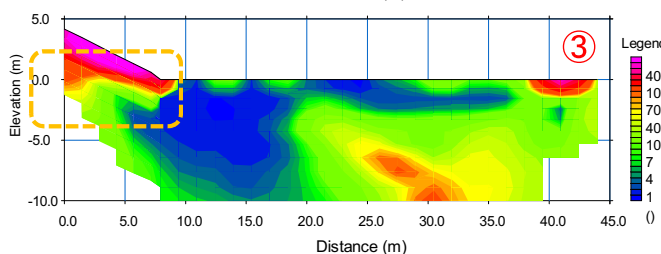
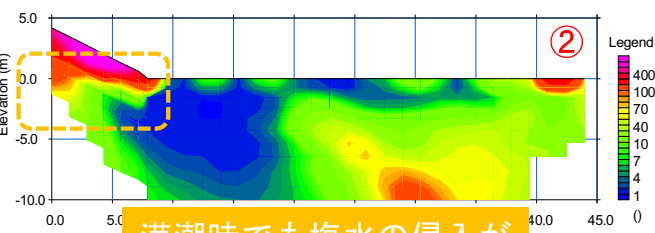
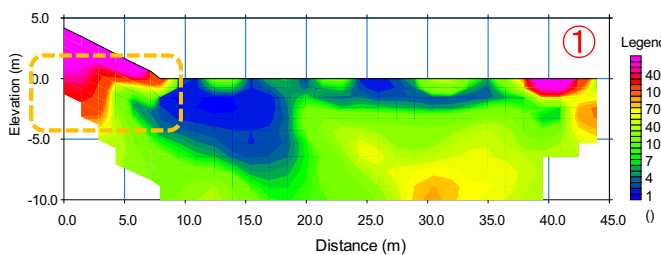


2021.10



法尻に排水工(2021.3)

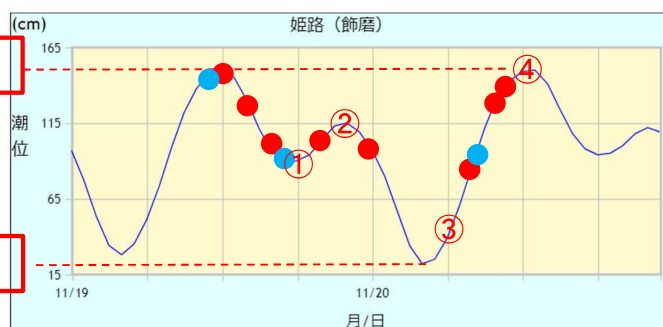
排水工施工後(2021.11)



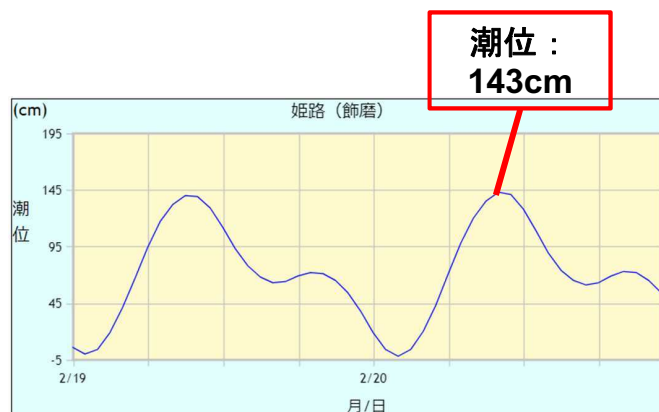
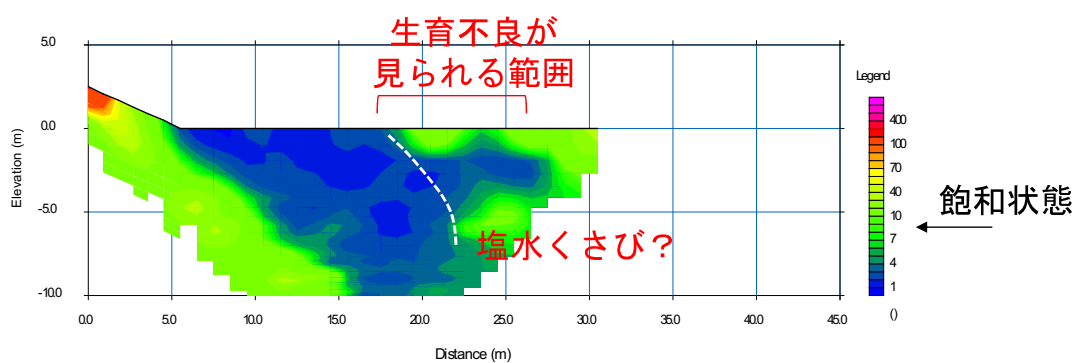
満潮時でも塩水の侵入が抑制されている

最高潮位 : 150cm

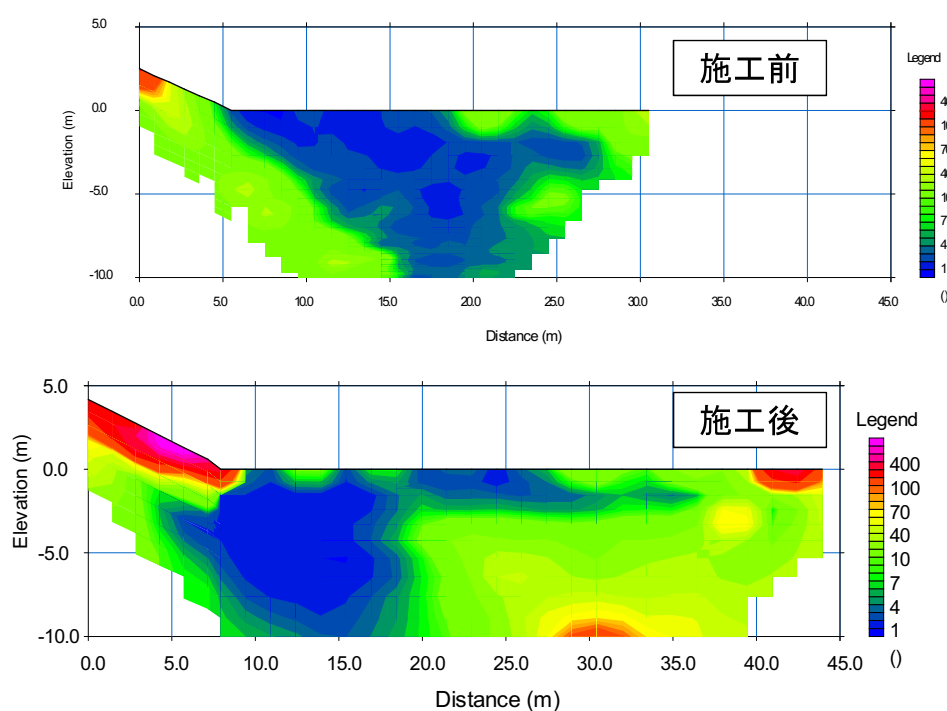
最低潮位 : 22cm



排水工施工前(2020.2)



排水工施工前後の比較



排水工設置によって堤体内の水位が下がり、塩水侵入長も抑えられている



まとめ

- ❖ カラム浸透試験のX線CT撮影および透過土模型試験によって、通水時の細粒分動態を可視化する手法を確立した。
- ❖ 細粒分、間隙での存在状態によって移動の可否が決まるため、通水履歴や間隙状態が大きく影響する。また、重力による影響を受けるため、特に不安定状態にある細粒分は移動初期に鉛直下向きに移動しやすい。最終的には、安定状態で滞留。
- ❖ 内部浸食によって材料定数変化が生じるシミュレーション手法を提案した。移動→滞留によって水理材料特性の変化(目詰まり)が生じる場合、局所的な圧力水頭の上昇が生じる。ただし、パラメータセットに関してはより詳細な検討が必要となる。



Thank You !