

# 生産基盤を支える土の物理 ～農業水利施設マネジメントと「土と水」の力学～

京都大学大学院農学研究科地域環境科学専攻  
施設機能工学研究室

## 研究者紹介



村上 章 (教授)

1978年 京都大学農学部 卒業  
1982年 京都大学農学部 助手  
1999年 岡山大学環境理工学部 教授  
2009年 京都大学農学研究科 教授



藤澤和謙 (准教授)

2003年 京都大学農学部 卒業  
2008年 岡山大学大学院環境学研究科 助教  
2012年 京都大学農学研究科 講師  
2014年 京都大学農学研究科 准教授

## 代表的な研究費

科学研究費・基盤研究A(一般), 代表:村上 章, 平成30～32年度  
「豪雨/地震災害リスク予測・評価による農業水利施設(群)の動的マネジメント」

科学研究費・基盤研究A(海外学術), 代表:村上 章, 平成28～31年度  
「インドにおける灌漑システムの調査・診断・評価」

科学研究費・基盤研究B(一般), 代表:藤澤和謙, 平成29～32年度  
「土-水境界面における土質力学と水理学の接続による内部侵食現象の解明と予測」

科学研究費・挑戦的研究(萌芽), 代表:藤澤和謙, 平成31～33年度  
「Darcy/Navier-Stokes連成流れの解明とベンチマーク実験」

## さて、質問です。 **土ってなに？**

土は、土粒子、水(間隙水)、空気(間隙空気)が集まったもの(混合体)です。これらを土の三相と呼び、三相の割合が土の力学的性質に影響を与えます。土の密度は、だいたい $1.5 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ です。土粒子の密度は、どの土においても、 $2.6 \text{ g/cm}^3$ 程度になります。

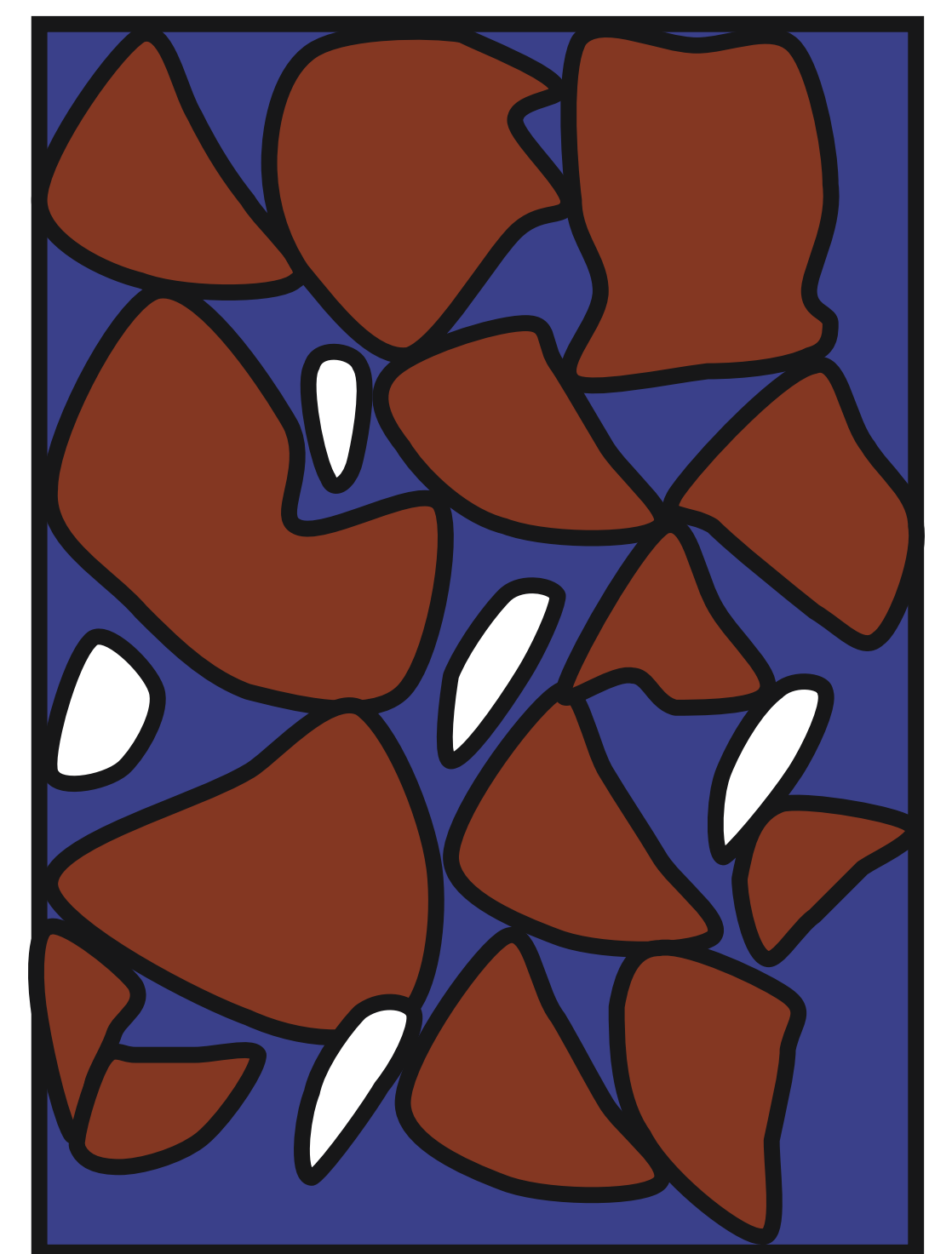


図1 土の三相

## 粘土と砂の違いとは？



図2 粘土 (Wikipediaより引用)



図3 鳥取砂丘 (鳥取県のWEBサイトより引用)

粘土と砂を分けるものは、土粒子の大きさ(粒径)です。粒径の小さいものをシルト( $0.005 \sim 0.074 \text{ mm}$ )や粘土( $0.005 \text{ mm}$ 以下)と呼び、粒径の大きい( $0.074 \sim 2 \text{ mm}$ )ものを砂と呼びます。また、粒径が $2 \text{ mm}$ 以上のものはレキ(礫)を言います。土は粒径の大きさによって、その性質を大きく変化させます。

さて、問題です。 **水に浮く石(軽石)** について考えてみましょう。

問題: 水に浮く軽石の間隙(土粒子以外の部分)の割合はどのくらいになるのでしょうか？(土粒子の密度は $2.6 \text{ g/cm}^3$ としましょう。)

解答: 間隙が62%以上を占めると、水に浮く。

→  $(2.6-1.0)/2.6=0.615$  の計算から62%の答えを得ます。少し考えてみるとわかりますよ。

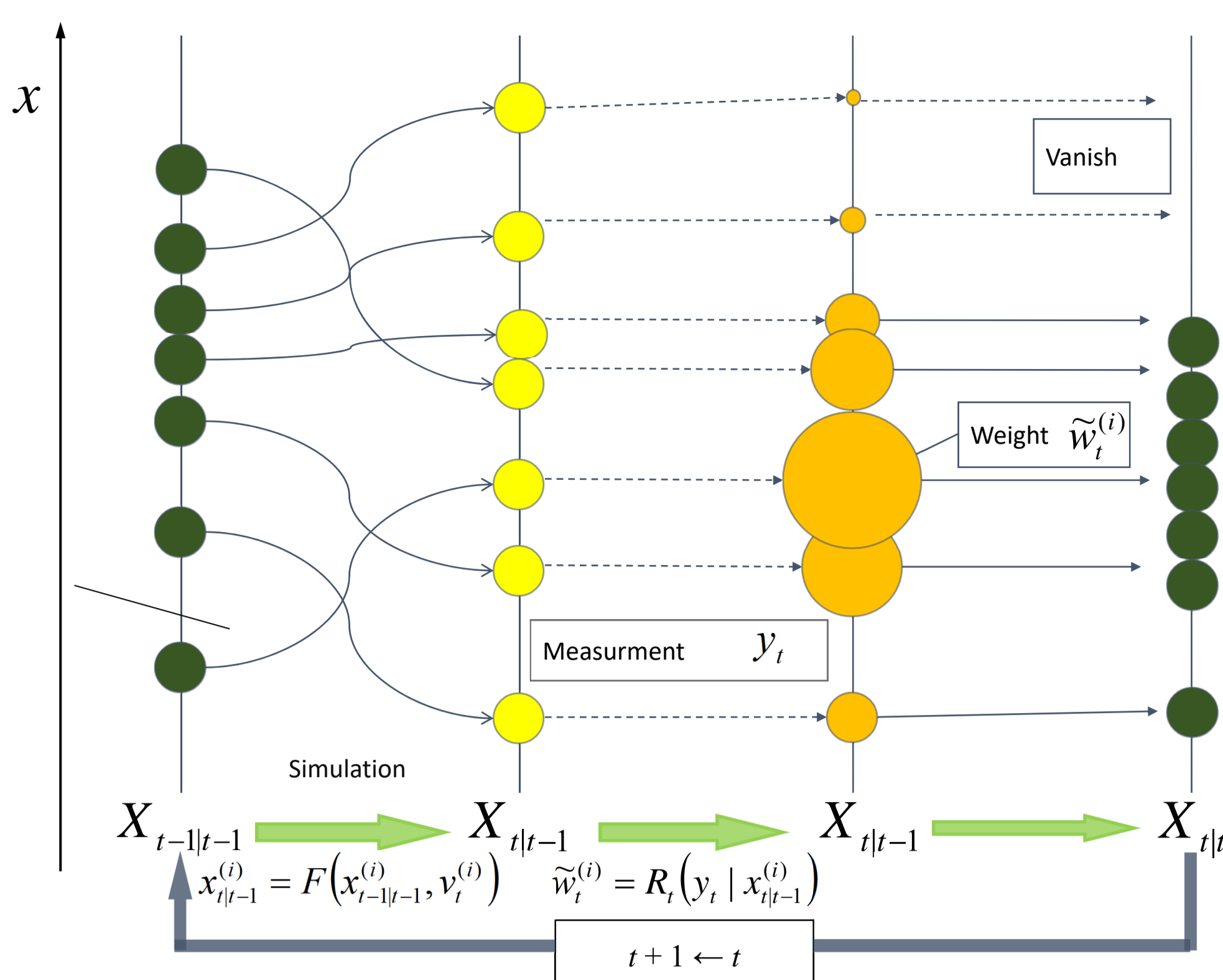


図4 水に浮く軽石

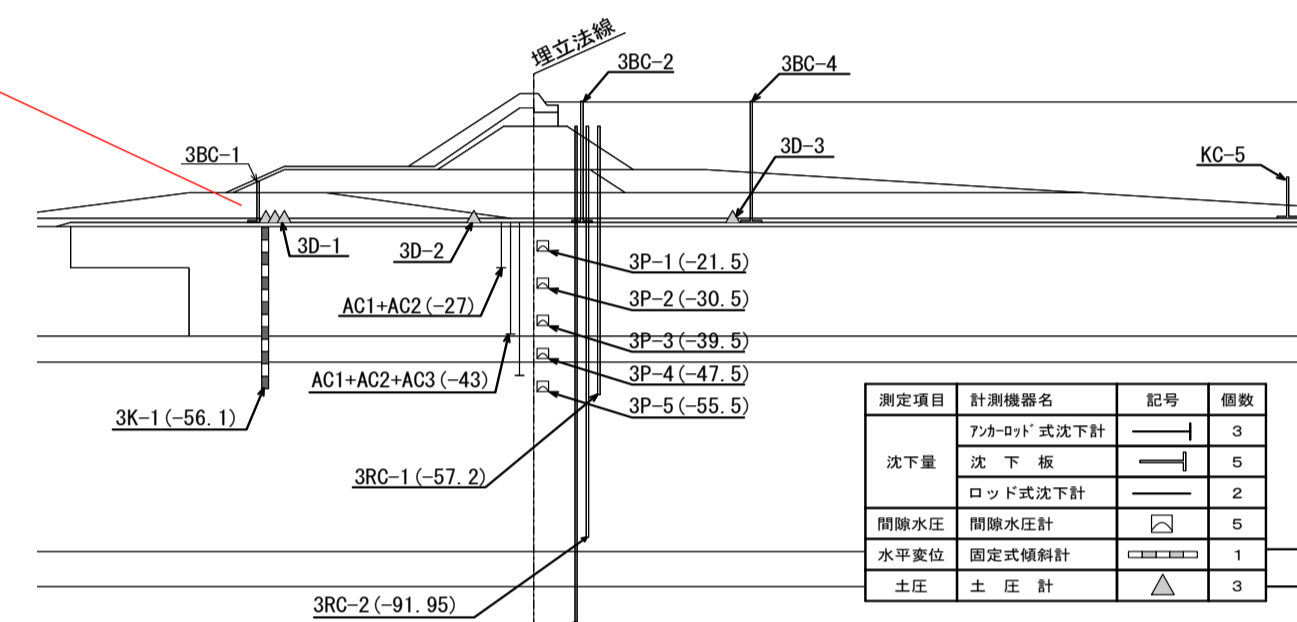
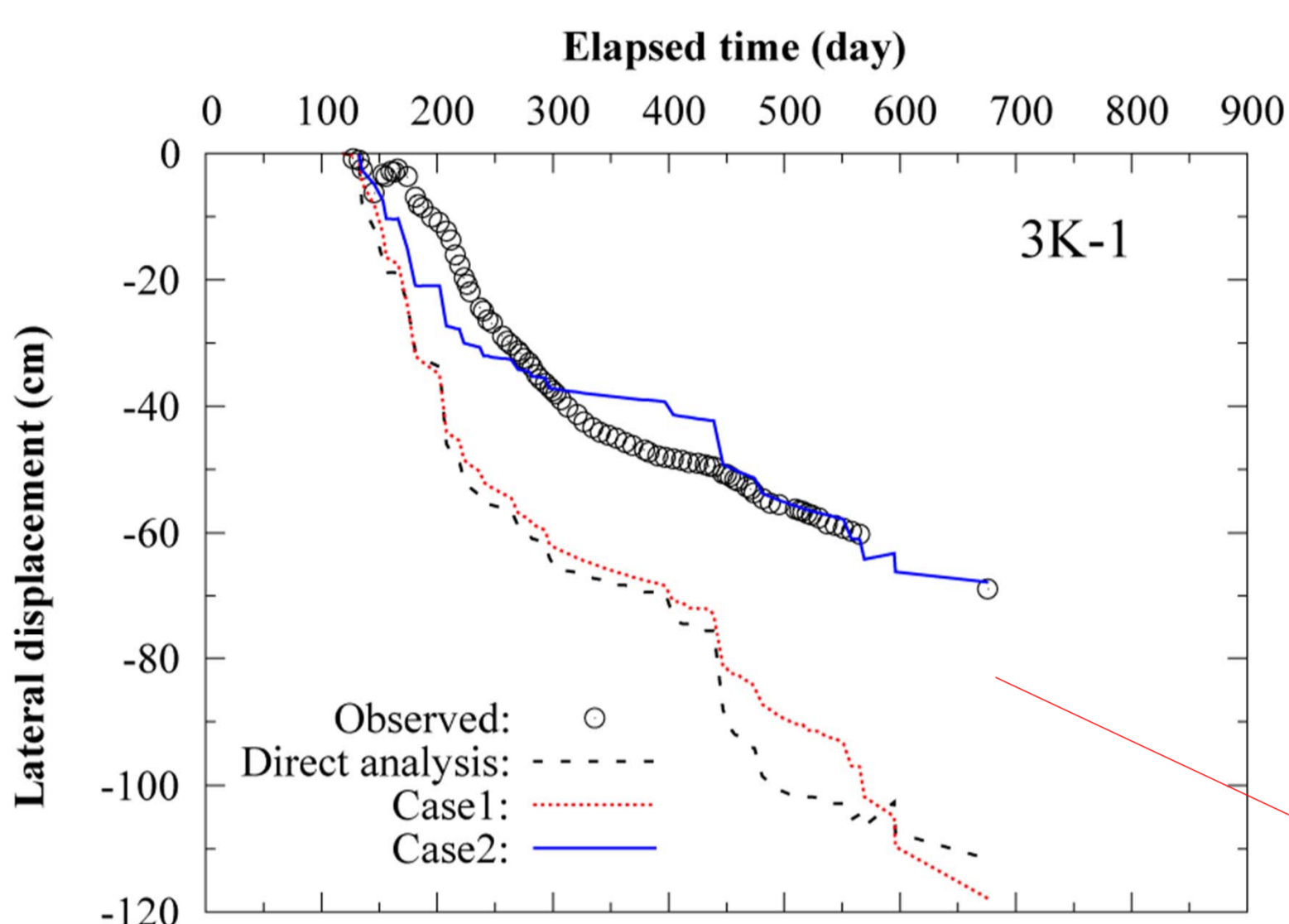
# 研究紹介

## データ同化による土の変形予測

データ同化とは、観測値を用いて数値シミュレーション等から得られる予測を修正する方法を意味します。これにより、初期予測を観測やモニタリングを続けることで、実際の観測値に近づくこと(高精度な予測を実現すること)ができます。例えば、地盤の沈下量が観測値に合致するような数値シミュレーションが可能になります。このような手法は、現在多くの研究分野で注目されています。

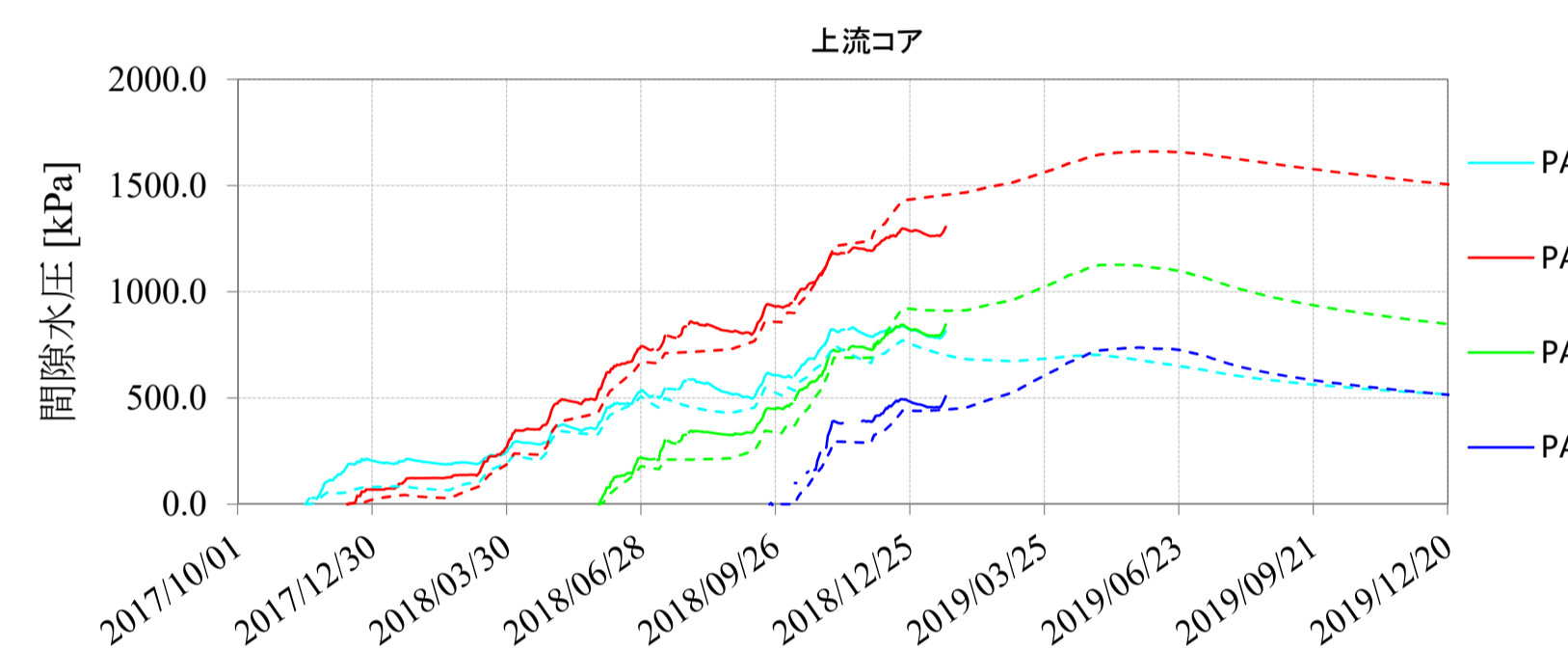


### 神戸空港島



T. Shibata, T. Shuku, A. Murakami, K. Fujisawa, N. Hasegawa and S. Nonami: Prediction of long-term settlement and evaluation of pore water pressure using particle filter, *Soils and Foundations*, Vol.59, No.1 pp.67-83, 2019.

### 小石原川ダム (鹿島建設との共同研究)



小石原川ダム (引用元: <https://www.water.go.jp>)

間隙水圧の計算結果と観測値 (提供元: 水資源機構)

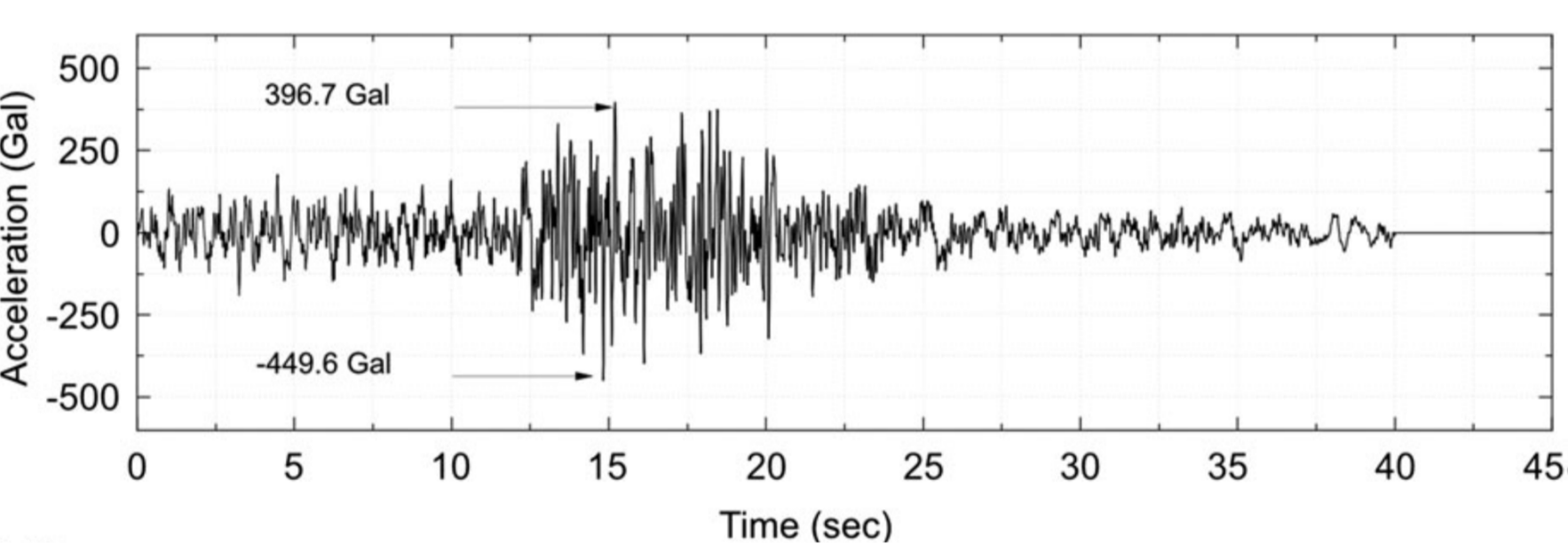
## 数値解析(構造物、地盤、水)



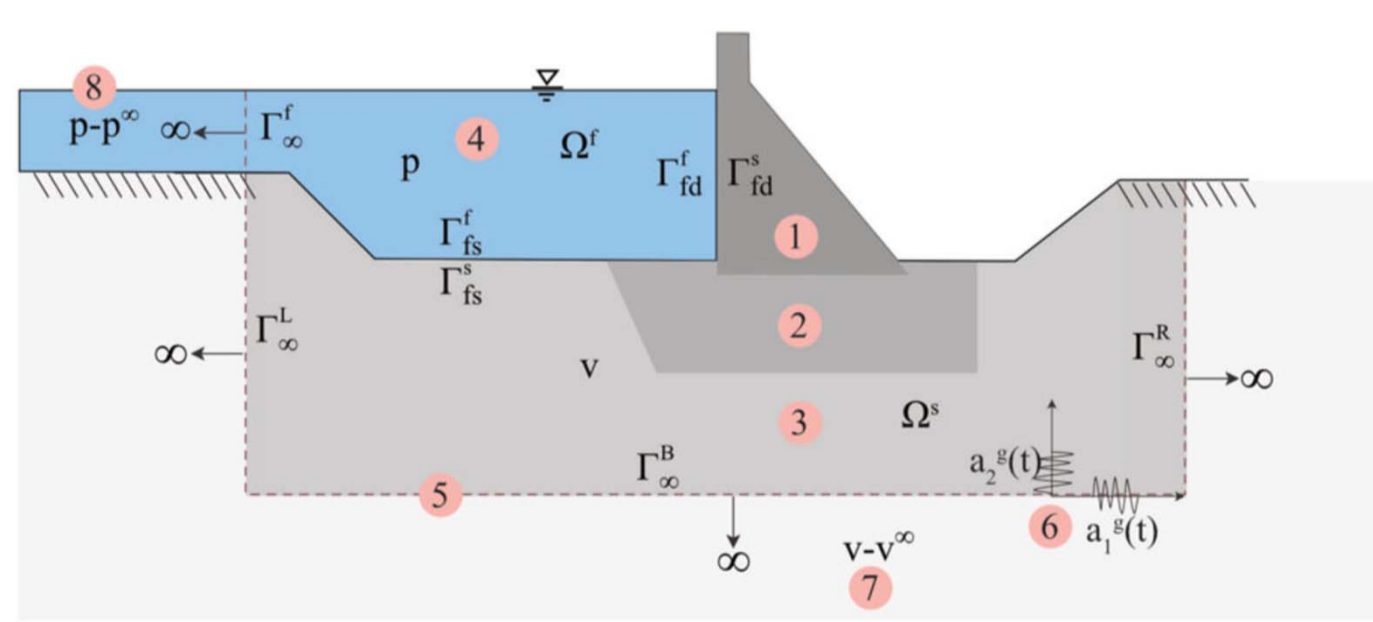
真喜屋ダム(沖縄県)

農業用ダムなど水利施設の大地震に対する複雑な挙動を正確に予測するため、独自に開発した「速度型Space-Time有限要素法」を利用して高精度動的応答解析を実現しています。

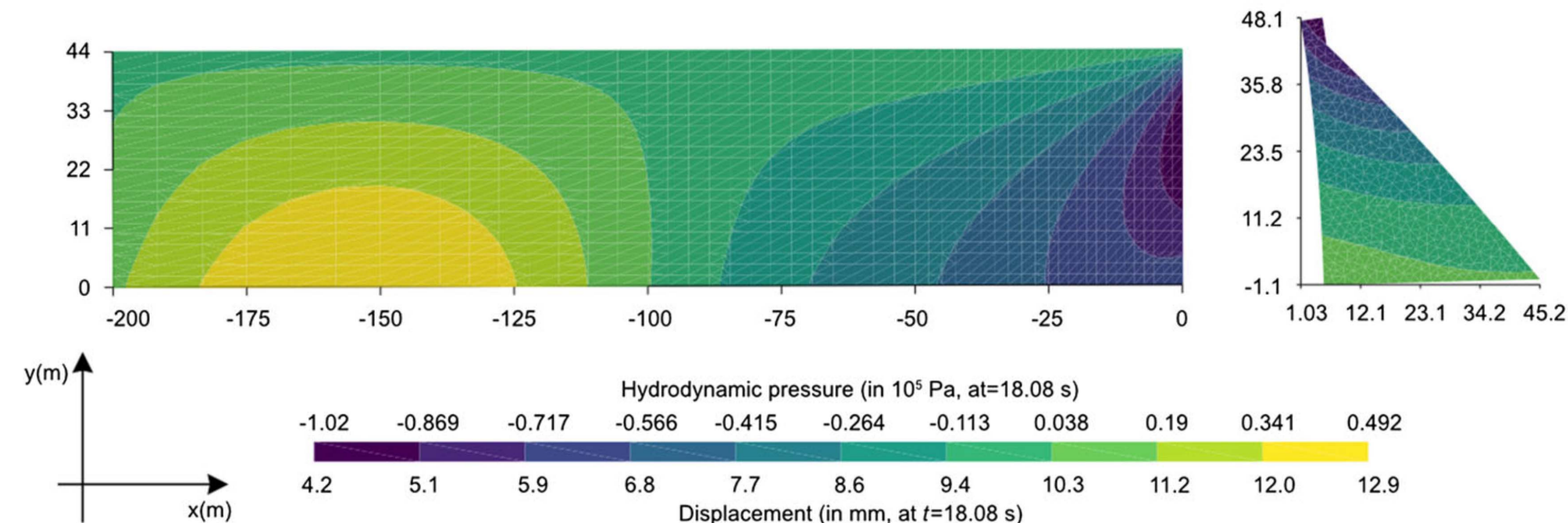
本手法は、従来法は不可能であった時間方向の計算精度調節を可能にするだけでなく、幅広い応力~ひずみ関係に対応することから、広範な材料の動的応答解析に適用できる実用的な計算スキームを提供します。現在、大地震に対する社会基盤/農業水利施設の強靱化が求められており、これら施設の安全性評価に直結する実用的な成果として注目されています。



入力地震加速度



ダム・貯水・地盤



貯水の動水圧分布とダム堤体の水平変位

V. Sharma, K. Fujisawa and A. Murakami: Velocity based time-discontinuous Galerkin space-time finite element method for elastodynamics, *Soils and Foundations*, Vol.58, No.2, pp.491-510, 2018.  
 V. Sharma, K. Fujisawa and A. Murakami: Space-time finite element procedure with block-iterative algorithm for dam-reservoir-soil interaction during earthquake loading, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, pp.1-20, 2019. DOI: 10.1002/nme.6134

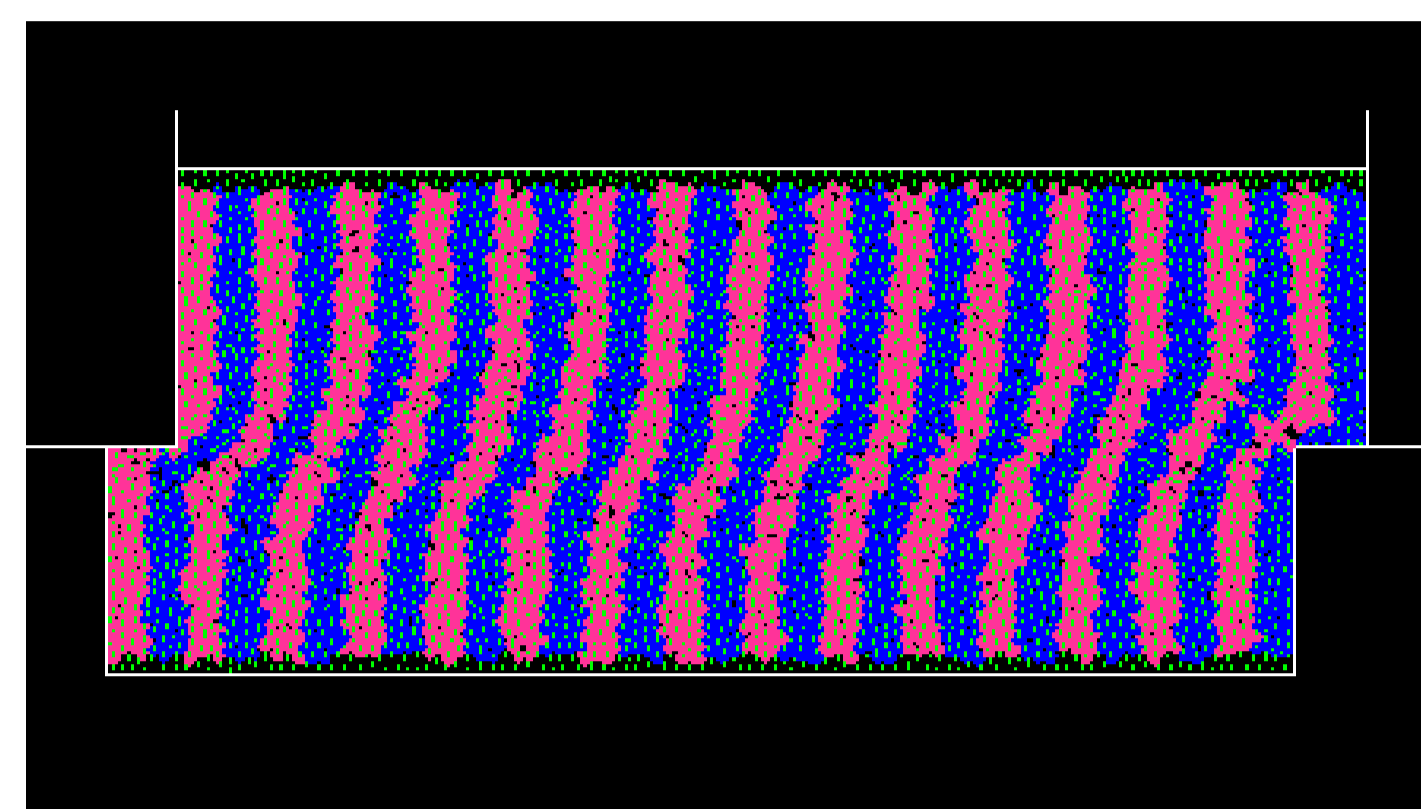
## DEM(個別要素法)による土の変形・破壊メカニズム解析

### Direct shear test

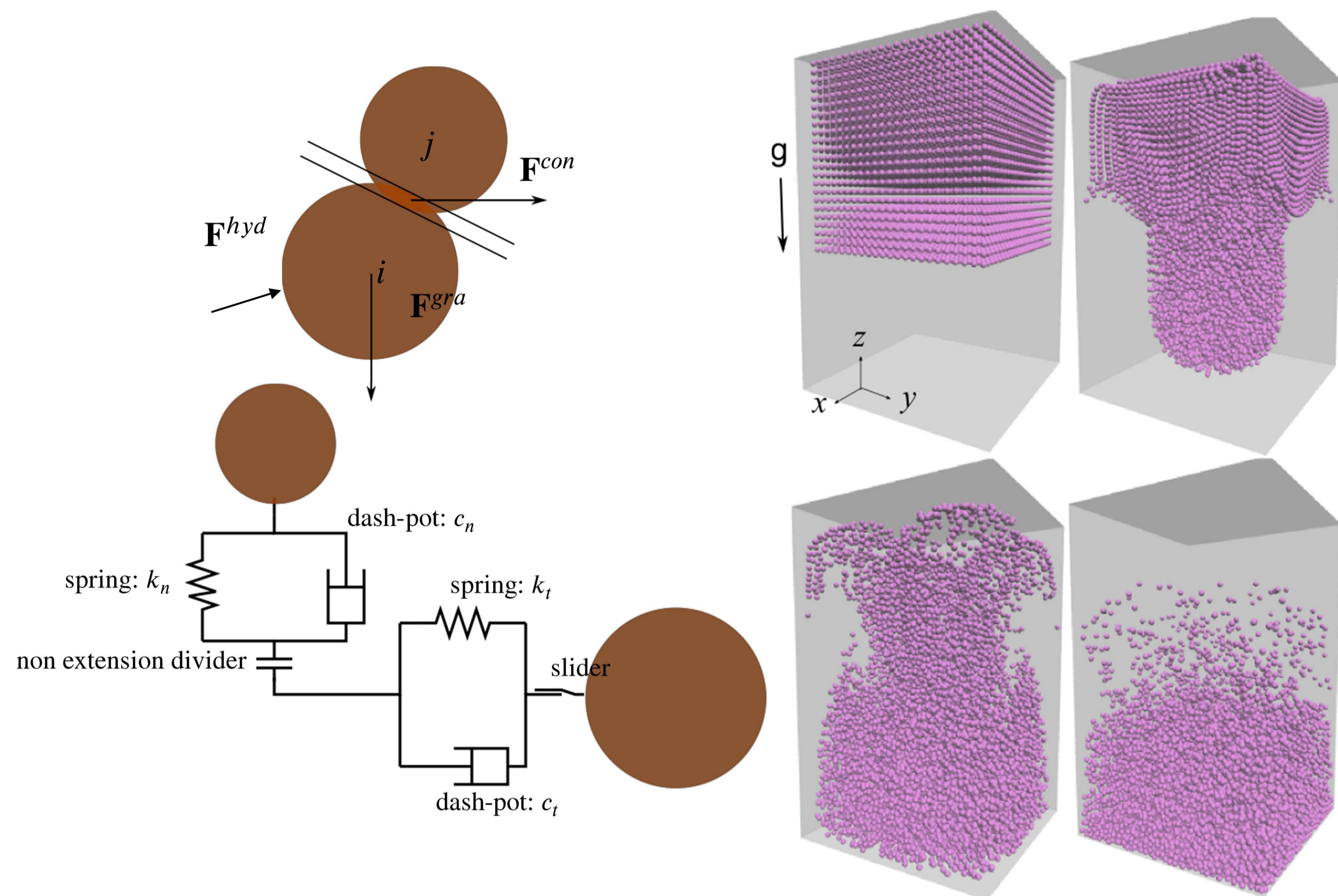
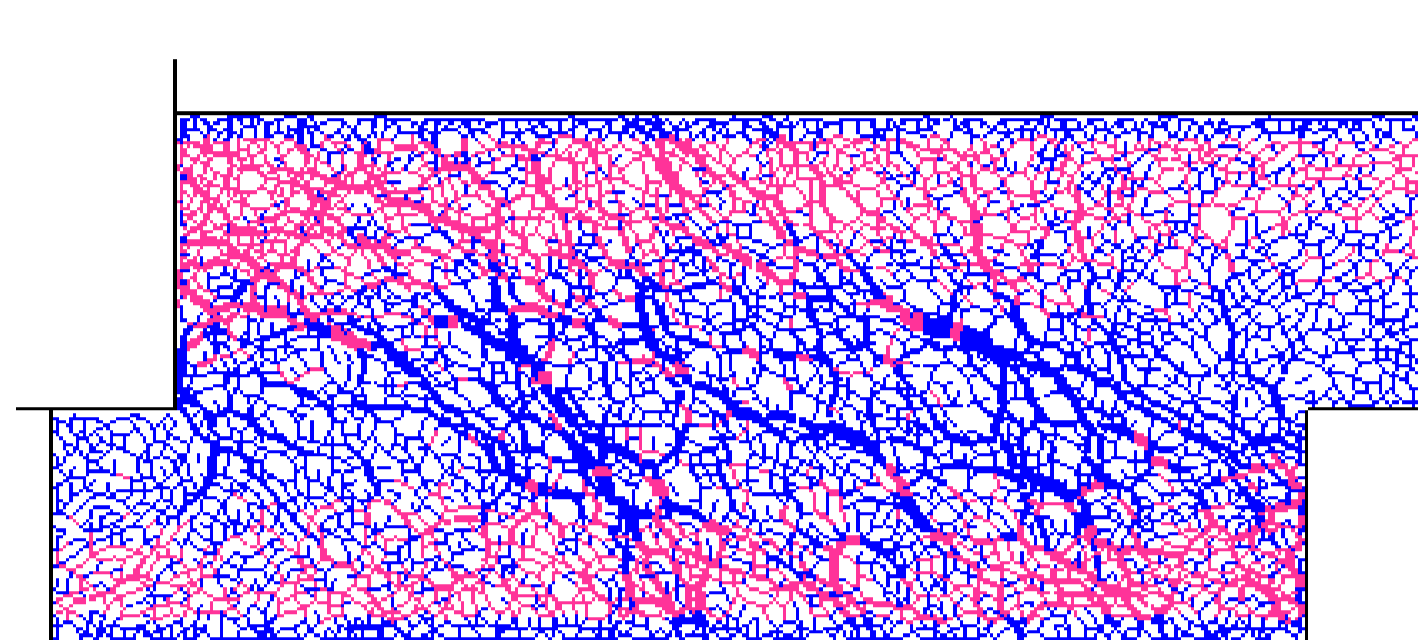


土は土粒子の集合体であり、DEMによって、土粒子の一粒一粒の動きを計算することで、土全体の変形や破壊を予測することができます。この方法では、私たちが見るこの出来ない土粒子に作用している力や回転量を知ることができます。そのため、微視的な観点から、土の挙動を考察することが可能になります。

### Deformation (変形)

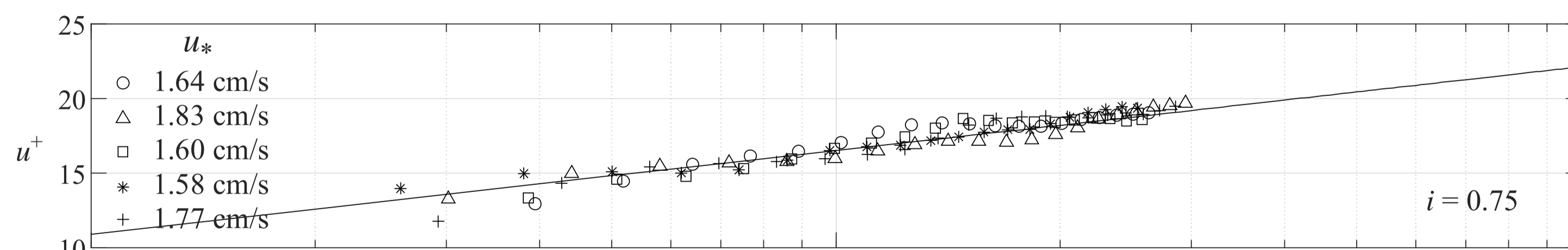
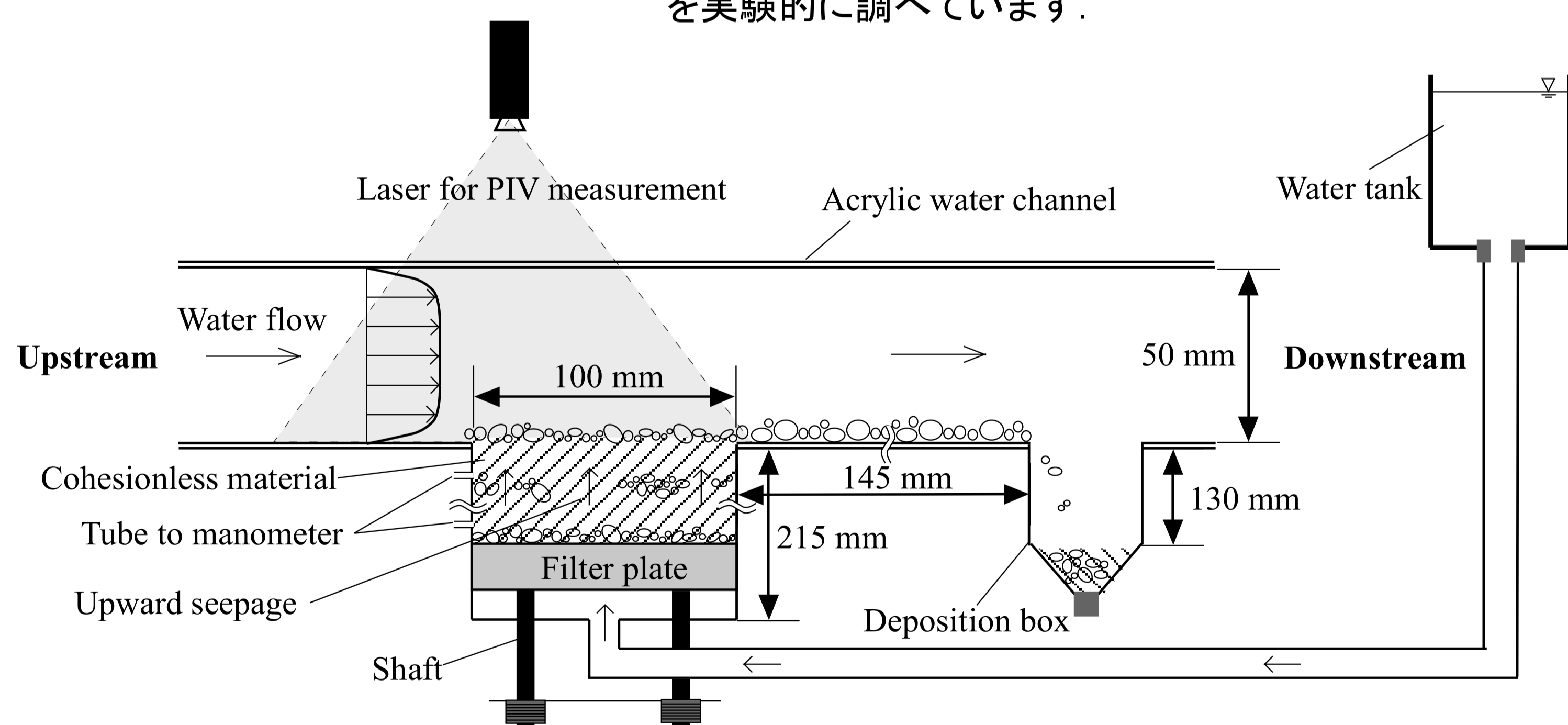


### Stress chain (応力鎖)



## 土の侵食と浸透作用

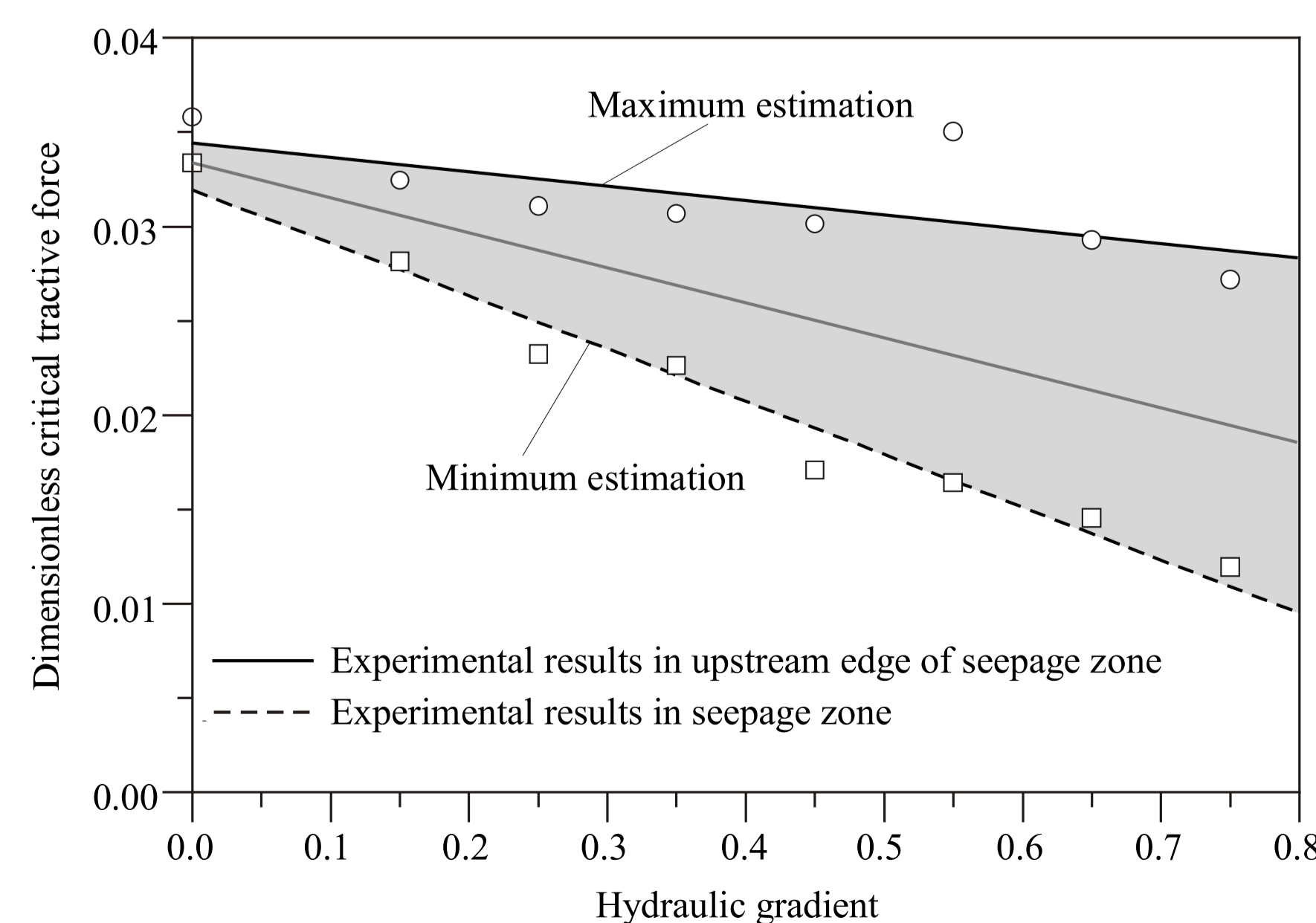
浸透によって、侵食はどのように進みやすくなるのかを実験的に調べています。



実験水路 PIV用カメラ



供試砂ボックス



動水勾配と限界掃流力の関係

藤澤和謙, 杉野光亮, 村上 章: 鉛直上向き浸透流を受ける非粘性性材料の限界掃流力測定, *土木学会論文集B2 (海岸工学)*, Vol.73, No.2, I\_535-I\_540, 2017.  
 A. Jewel, K. Fujisawa and A. Murakami: Effect of seepage flow on the incipient motion of cohesionless soil bed subjected to surface flow, *Journal of Hydrology*. (Under revision)