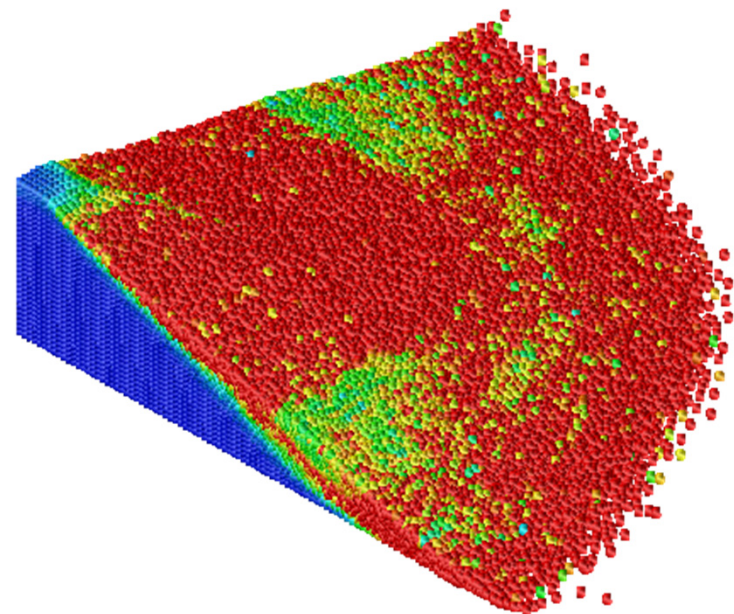
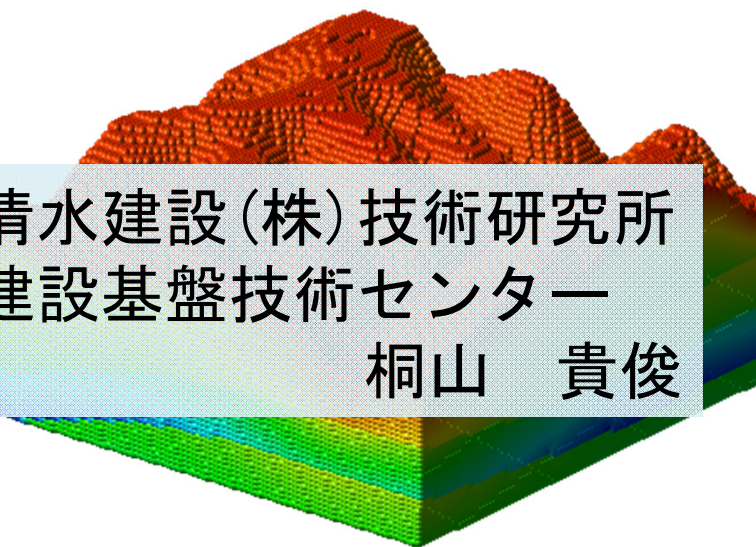


地盤材料へ適用する  
格子・粒子ハイブリッド法の数値解析



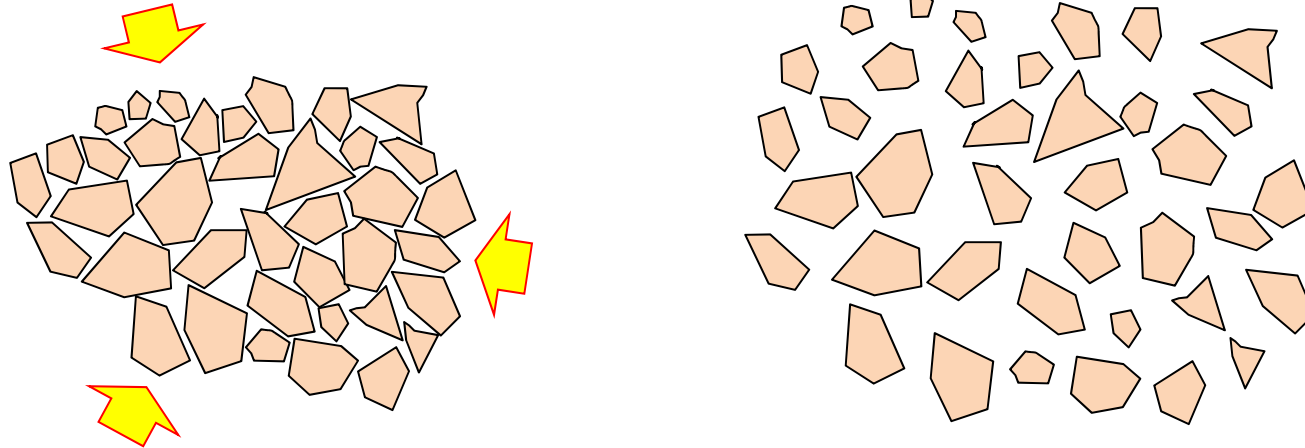
清水建設(株)技術研究所  
建設基盤技術センター  
桐山 貴俊



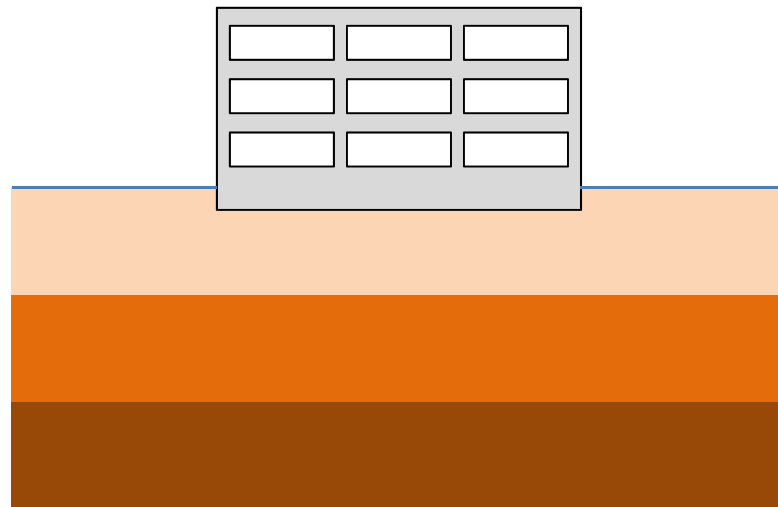
# 地盤材料とは



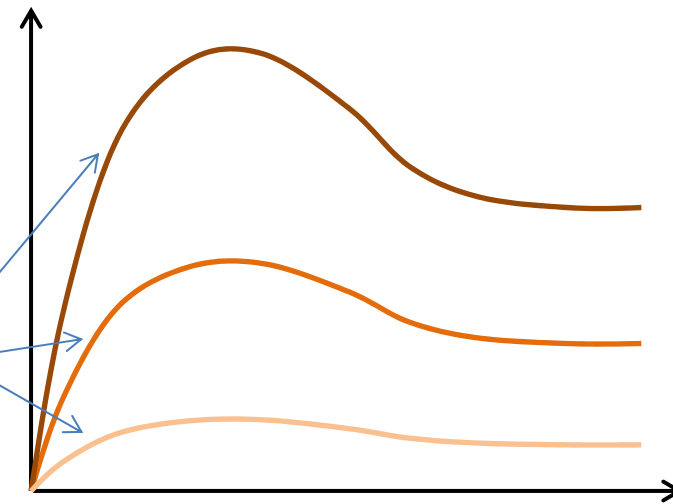
- ・ 粒状体の集合体である



- ・ 摩擦性材料で非線形性が強い

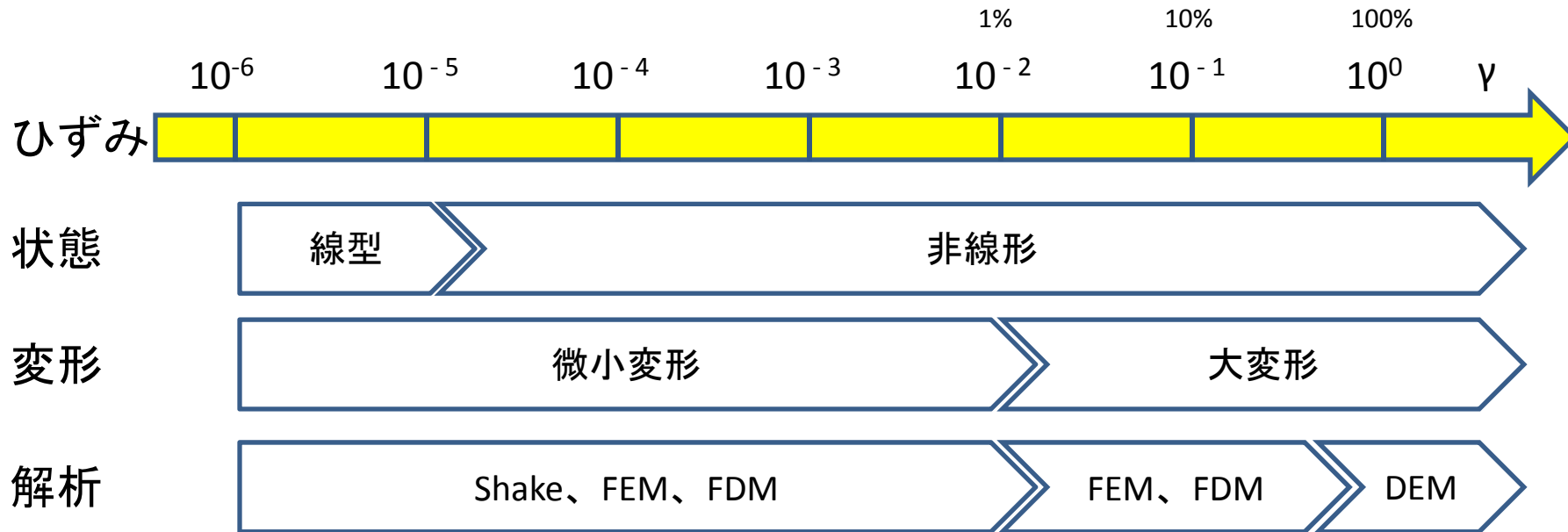


せん断応力  $\tau$



せん断ひずみ  $\gamma$

# 歪レベルと地盤解析法の関係

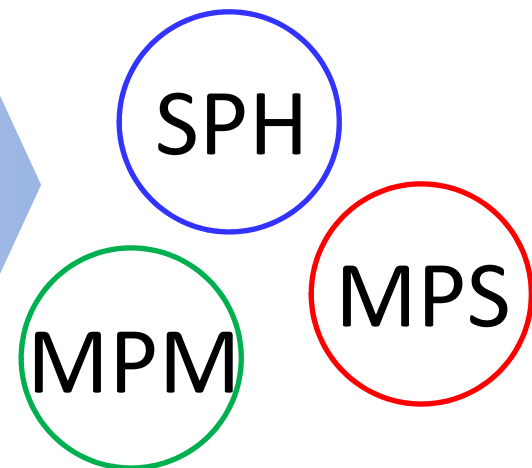


- 格子法 (FEM、FDM、etc)  
連続体と見なせる変形領域では実績が豊富。  
大変形時はリメッシュにより計算負荷が増大

- 個別要素法 (DEM)  
離散体の挙動解析で実績が豊富。  
物性値に客観性がない点が課題とされる。

リメッシュを回避し、客観性のある物性値  
で大変形領域の解析ができないか？

連続体ベースの粒子法



- 格子・粒子ハイブリッド法  
Material Point Method
  
- 地盤材料への適用
  1. 浅い基礎の支持力問題
  2. 要素試験再現シミュレーション
  3. 土水連成解析
  
- AVS 使用環境

# 格子・粒子ハイブリッド法

## Material Point Method

---

# MPM解析例：衝突、貫入

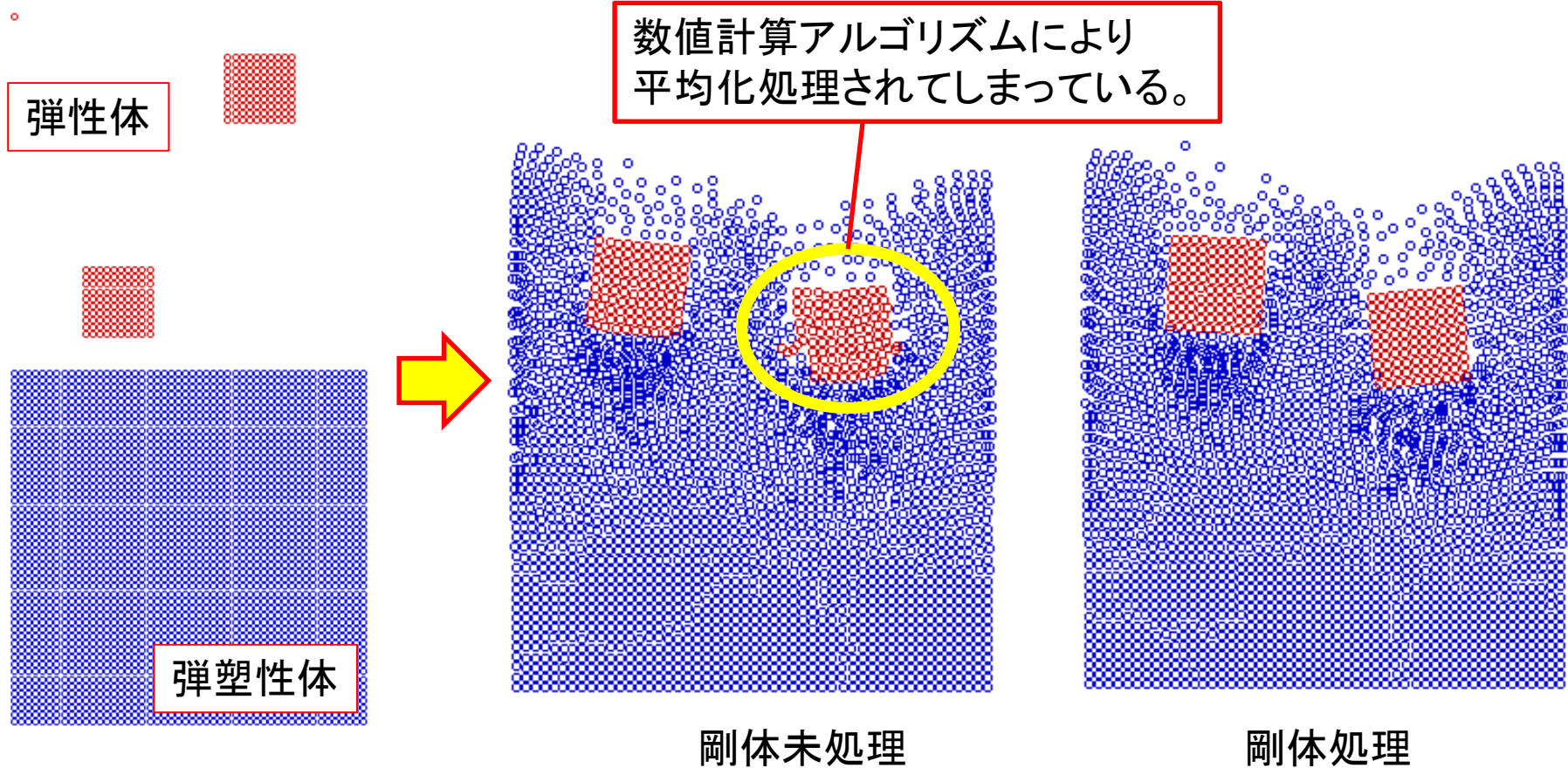


## ・粒状体との衝突

構成則 : 弾塑性モールクーロン

落下物密度 :  $15(\text{g}/\text{cm}^2)$  粒状体の10倍

粒状体密度 :  $1.5(\text{g}/\text{cm}^2)$



# MPM解析例：杭基礎の貫入

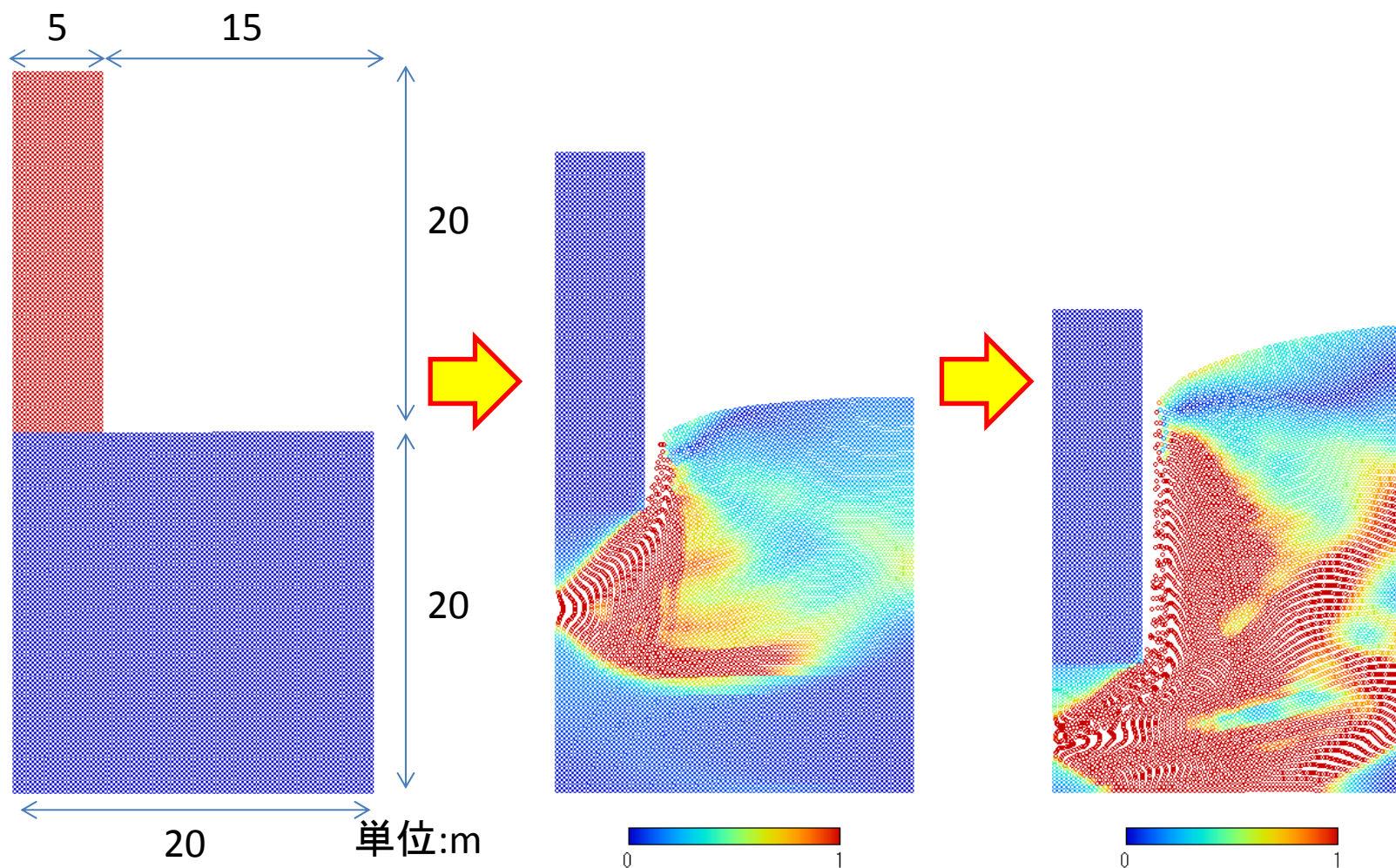


## ・粒状体との衝突

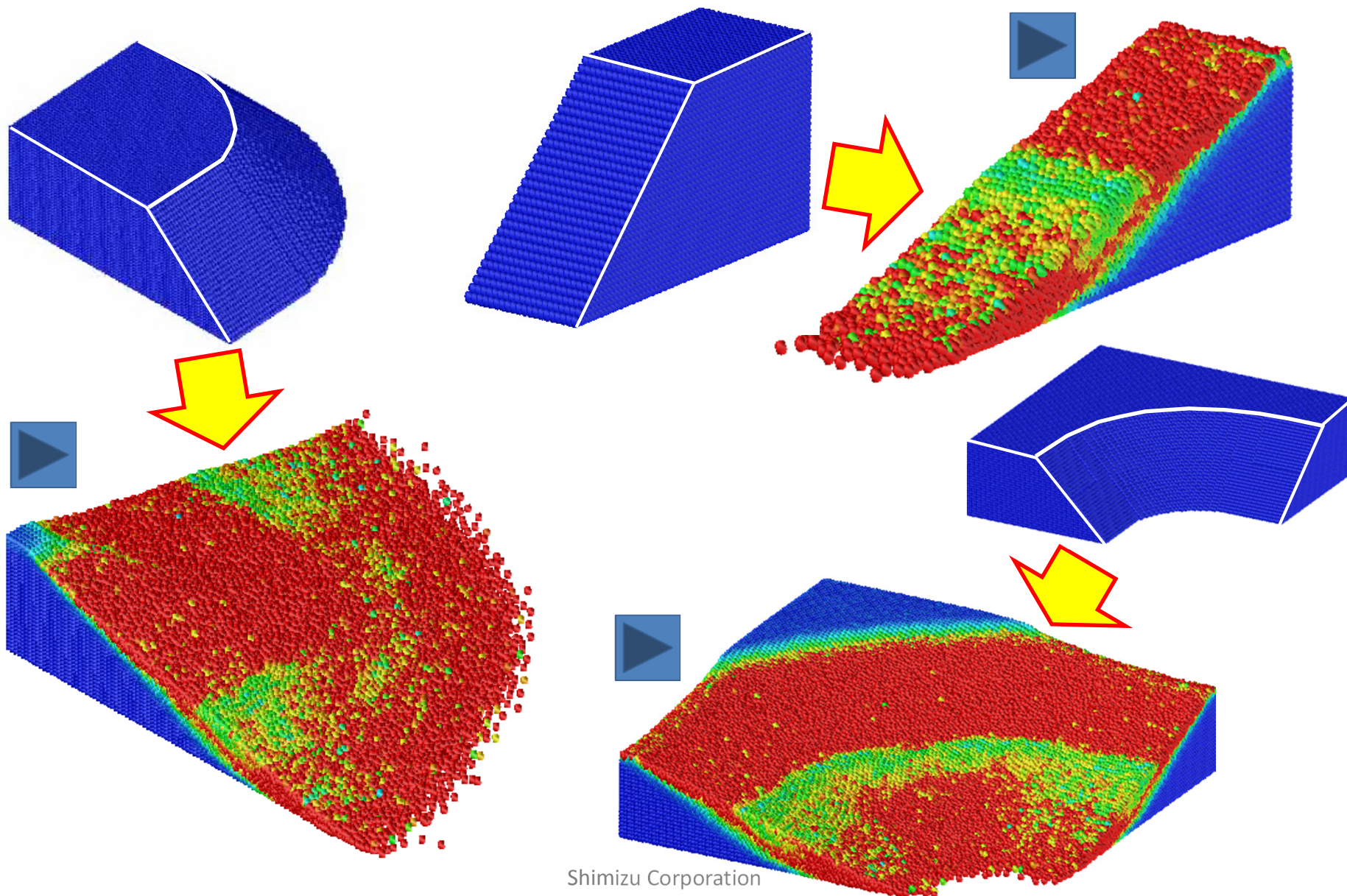
構成則：弾塑性モールクーロン( $\phi=30^\circ$ )

地盤密度： $15(\text{g}/\text{cm}^3)$

基礎密度： $200(\text{g}/\text{cm}^2) \rightarrow 20000(\text{g}/\text{cm}^3)$ まで漸増



# 3次元解析：斜面の崩壊



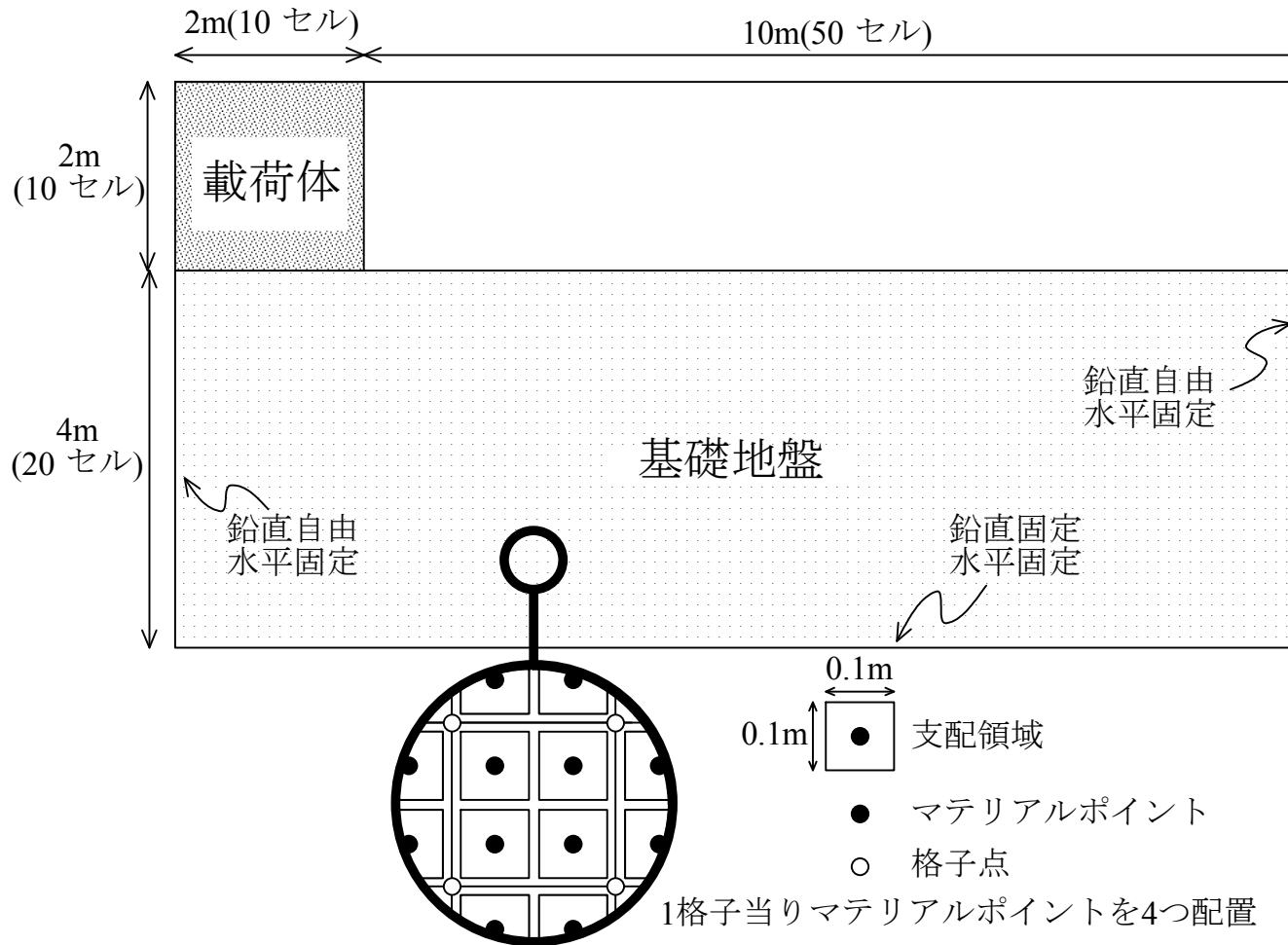


# 地盤材料への適用

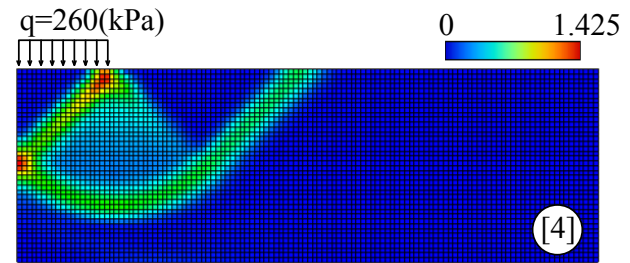
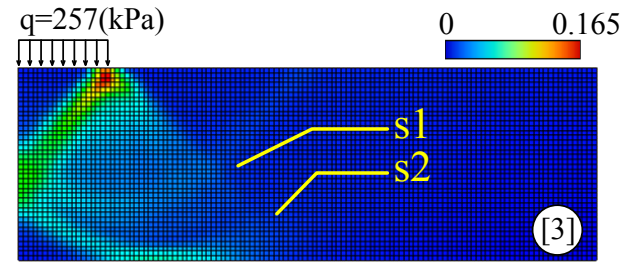
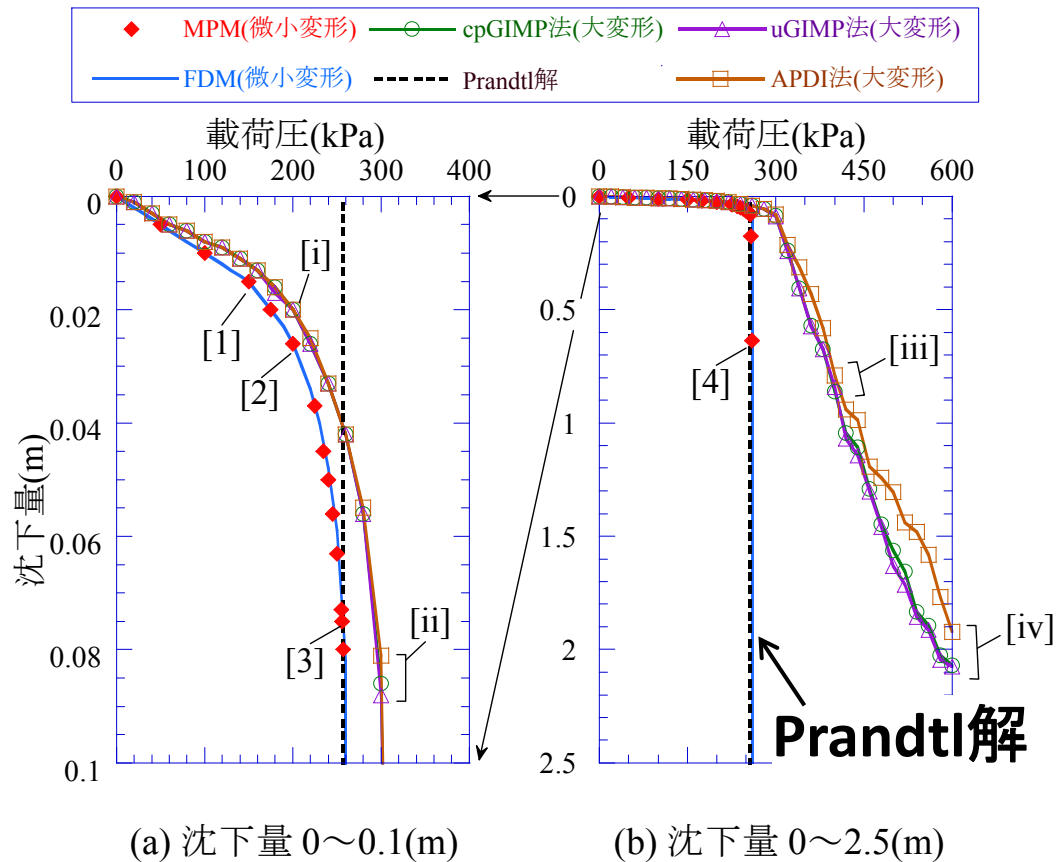
浅い基礎の支持力問題

1

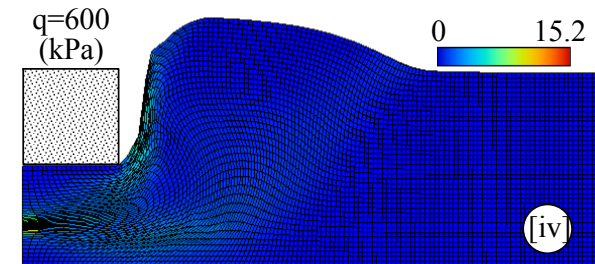
# 地盤の大変形



# 浅い基礎の支持力：微小～大変形



剛塑性破壊モード



極限状態では、極限支持力、  
剛塑性破壊モード、は共にPrandtl解と一致。

# 地盤材料への適用

## 要素試験再現シミュレーション

2

# 地盤材料を用いた室内要素試験

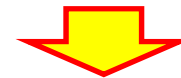


圧縮

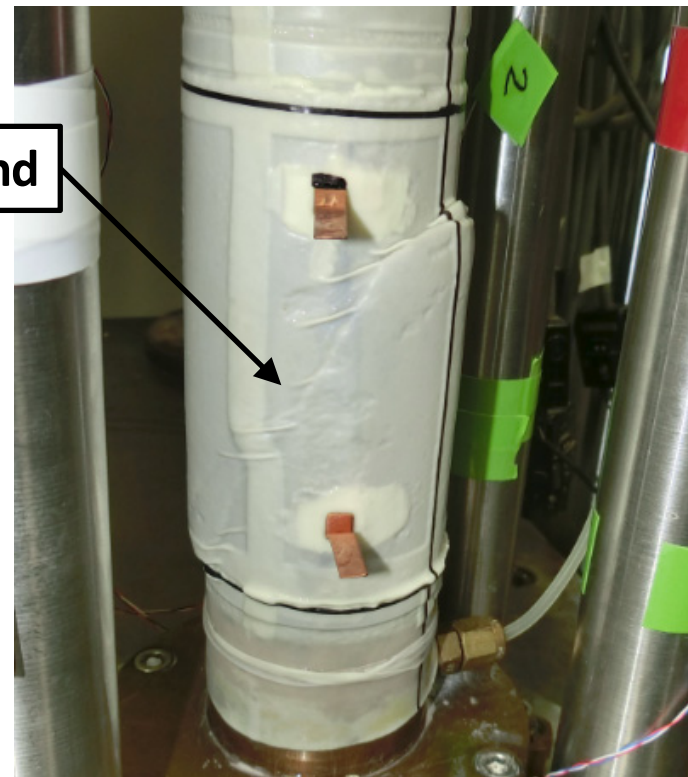


X型

圧縮



Shear Band



たすき型

# せん断帯の形成過程

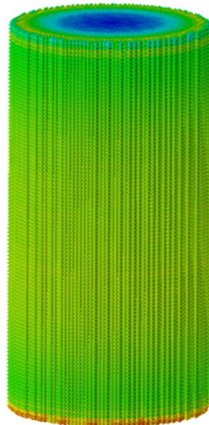


せん断ひずみ

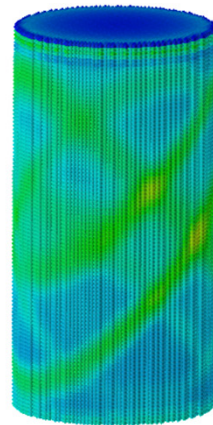
1%-

10%-

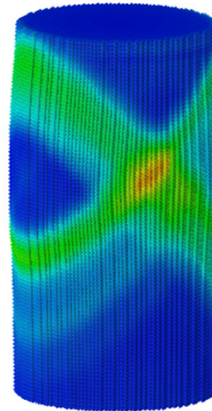
100%-



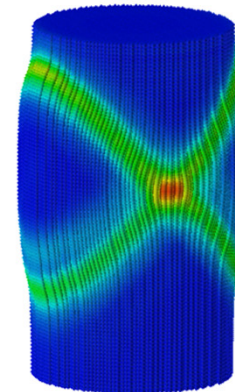
$\varepsilon_a=1\%$



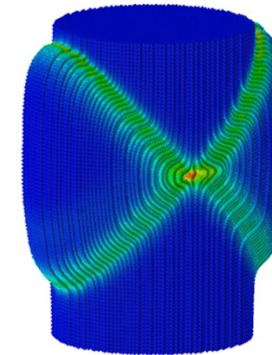
$\varepsilon_a=2\%$



$\varepsilon_a=5\%$

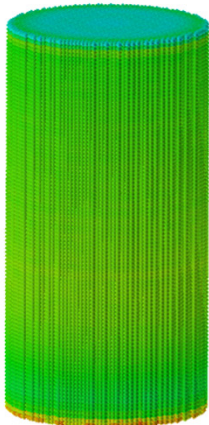


$\varepsilon_a=10\%$

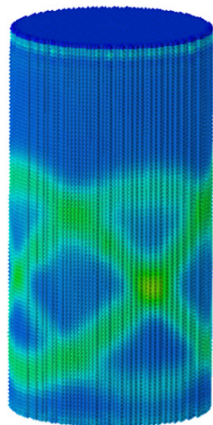


$\varepsilon_a=20\%$

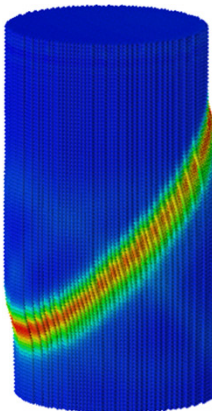
水平固定 → X型



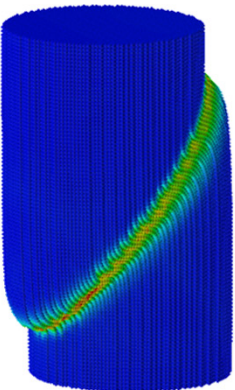
$\varepsilon_a=1\%$



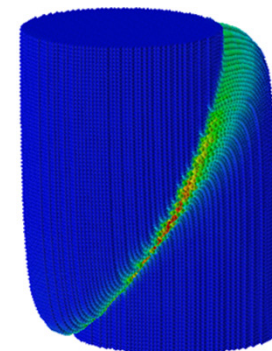
$\varepsilon_a=2\%$



$\varepsilon_a=5\%$



$\varepsilon_a=10\%$

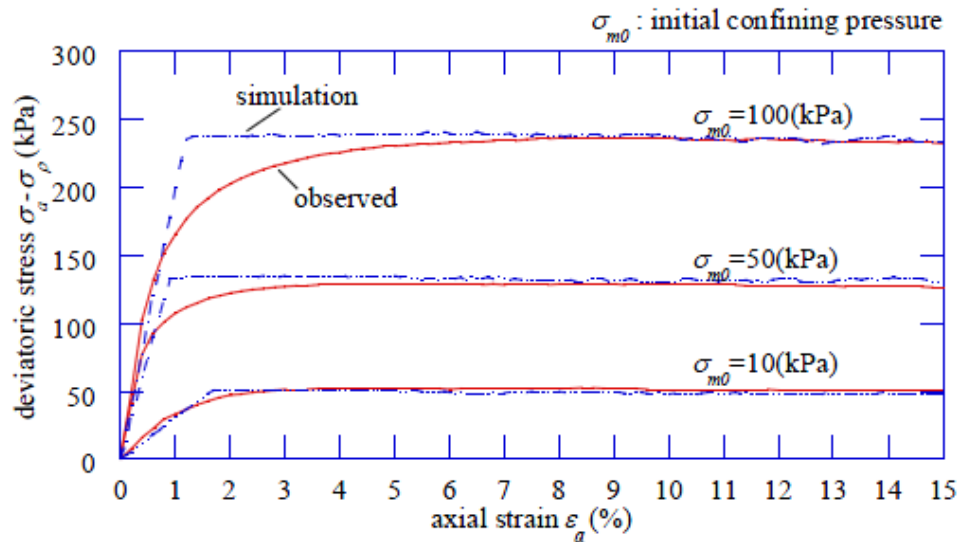


$\varepsilon_a=20\%$

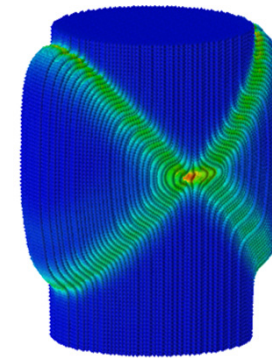
水平自由 → たすき型

最大せん断ひずみ

# 応力ひずみ関係

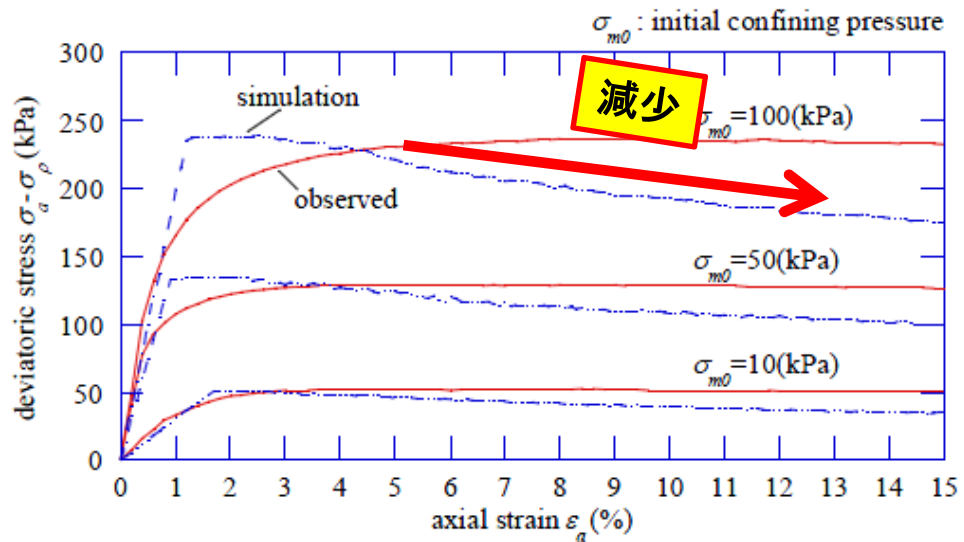


(a) Fixed-cap condition.

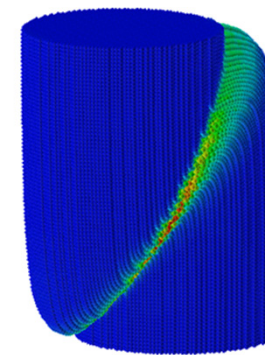


$\varepsilon_a = 20\%$

水平固定



(b) Free-cap condition.



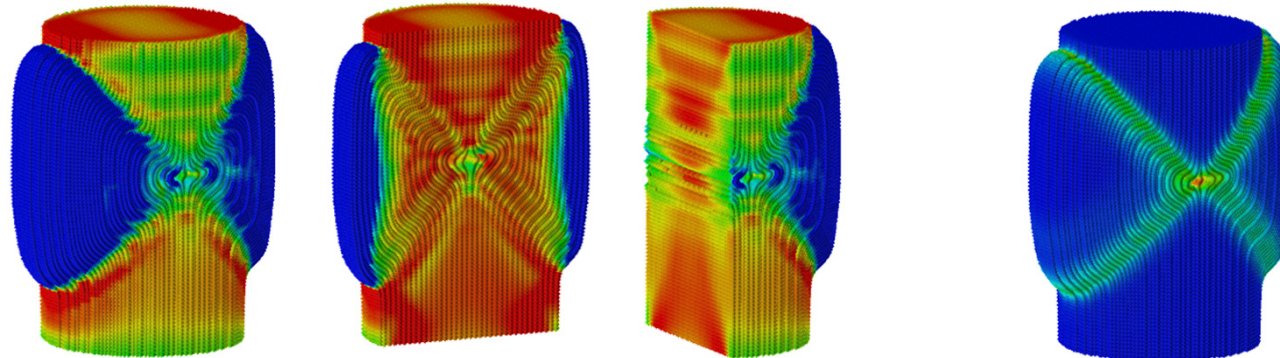
$\varepsilon_a = 20\%$

水平自由

# 応力の伝播状況



圧縮力

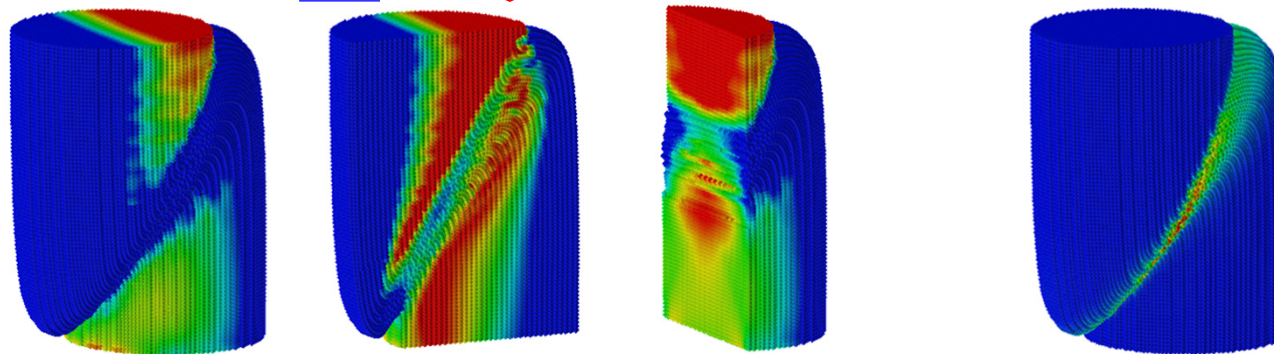


$\varepsilon_a=20\%$

固定

解放

圧縮力



$\varepsilon_a=20\%$

自由

鉛直応力



# 地盤材料への適用

土水連成解析

3

# 土水連成解析(1)



• 2010

Higo, Y., Oka, F., Kimoto, S., Morinaka, Y., Goto, Y. and Zhen, C.

A coupled mpm-fdm analysis method for multi-phase elasto-plastic soils,  
Soils and Foundations, Vol.50, No.4, pp.515-532, 2010.

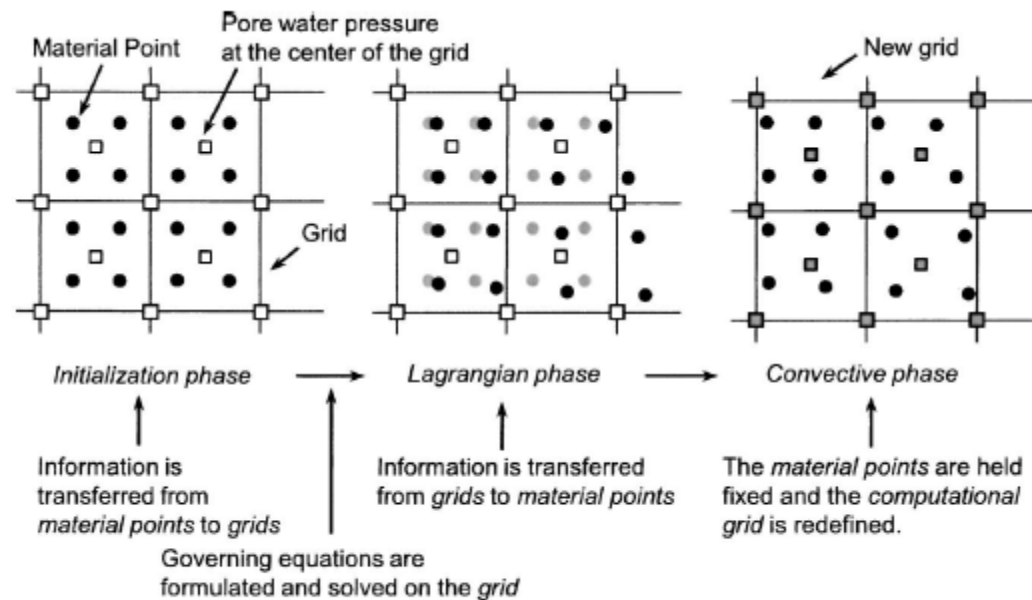


Fig. 3. Schematic figure of the algorithm of MPM-FDM coupled analysis (from step  $k$  to step  $k+1$ )

# 土水連成解析(2)



• 2010

Higo, Y., Oka, F., Kimoto, S., Morinaka, Y., Goto, Y. and Zhen, C.

A coupled mpm-fdm analysis method for multi-phase elasto-plastic soils, Soils and Foundations, Vol.50, No.4, pp.515-532, 2010.

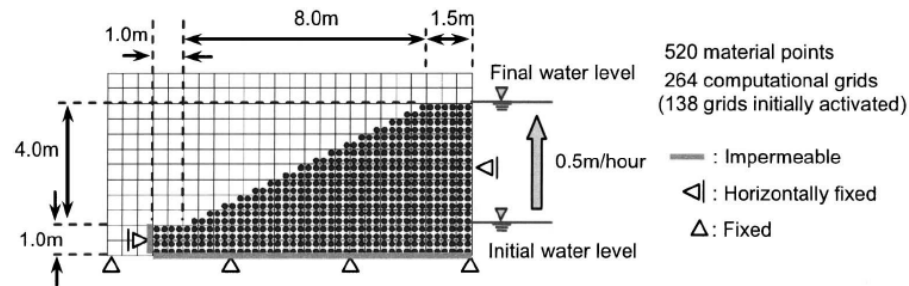


Fig. 20. Model of the river embankment and initial configuration of material points and grid (Toyoura sand)

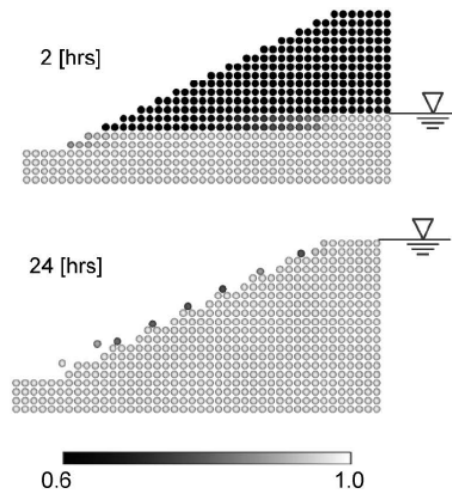


Fig. 21. Distribution of the degree of saturation (Toyoura sand)

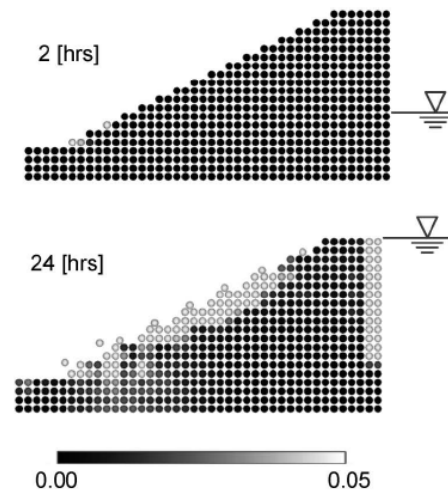
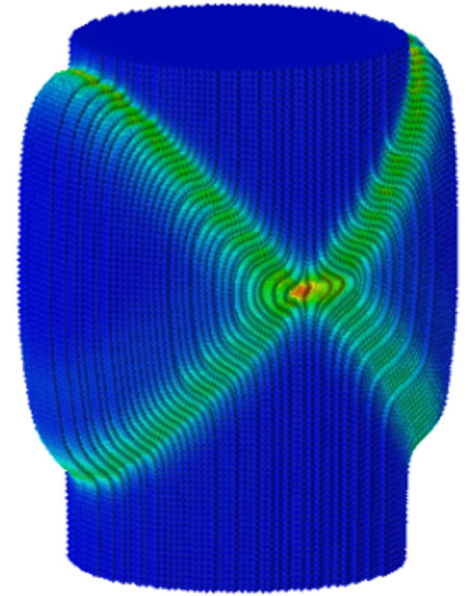
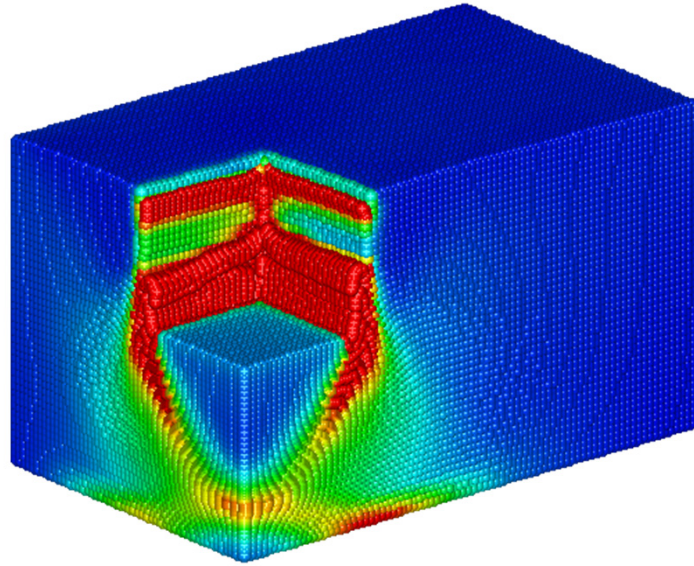
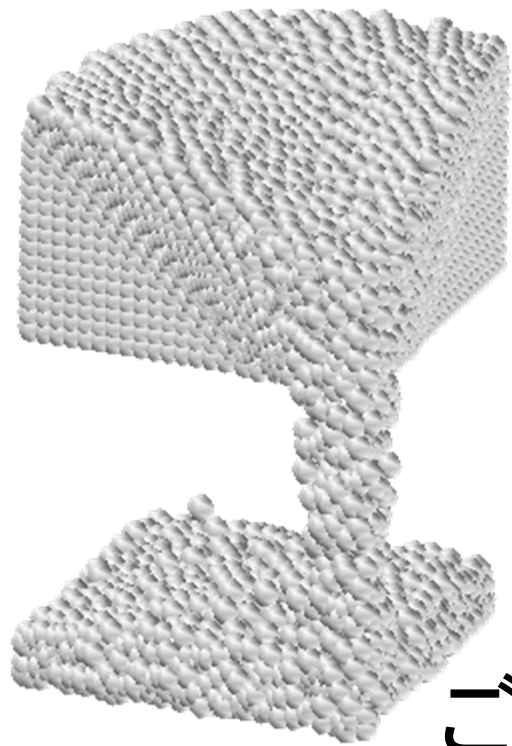


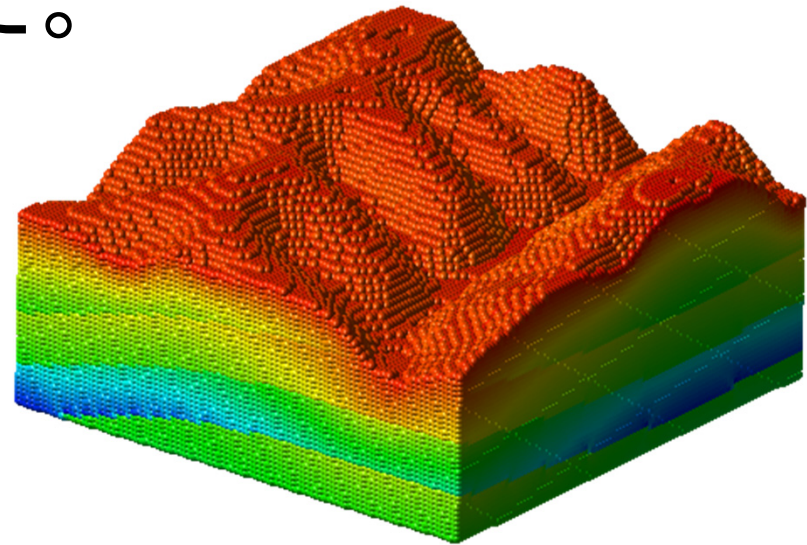
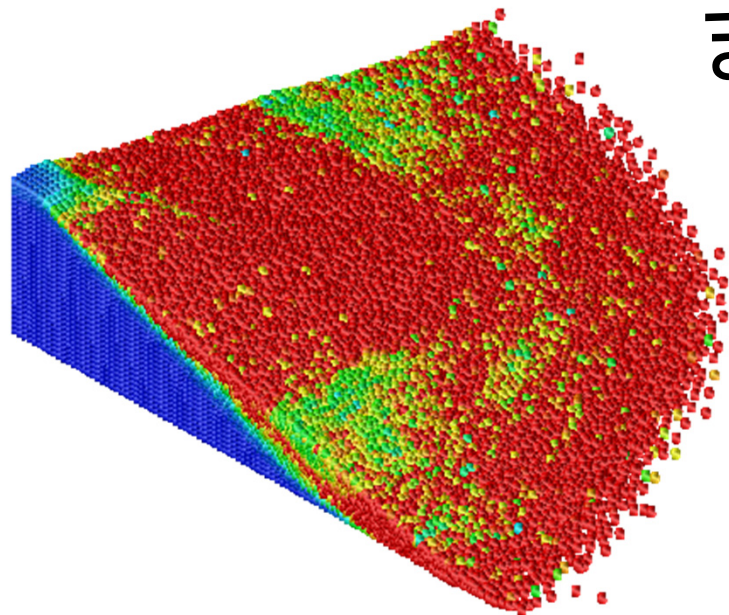
Fig. 22. Distribution of  $\gamma^p$  (Toyoura sand)



肥後陽介准教授(京都大学)提供



ご清聴ありがとうございました。



子どもたちに誇れるしごとを。

SHIMIZU CORPORATION の

清水建設