

# Development and verification of a soil–water coupled finite deformation analysis based on u–w–p formulation with fluid convective nonlinearity

Noda, T. and **Toyoda, T.**, *Soils and Foundations*, 59(4), 888-904, 2019.



名古屋大学

豊田智大



## 概要

**u–w–p formulation**に基づく水～土骨格連成有限変形解析手法を開発

## 特徴

- **間隙水の運動方程式を直接解く** 水～土骨格連成解析手法
  - u-p formulationにおける近似（間隙水の静的浸透の仮定）を廃止
  - 間隙水の「慣性」および土骨格に対する「**相対移流**」を厳格に考慮
  - **移動流量境界**を直接離散化し、制約条件式として支配方程式に陽に連立

## 成果

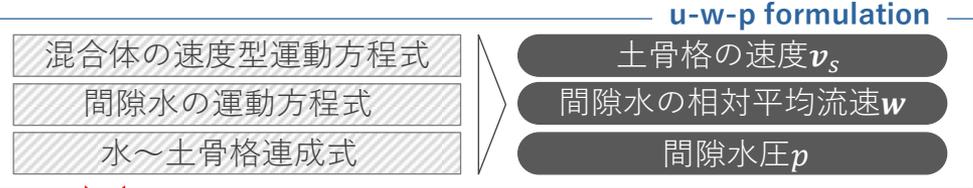
- **高透水性土の水～土骨格連成問題**への適用可能性の確認
  - u-p formulationの適用限界の克服
- 高透水性に起因した**間隙水の動的応答**とそれに起因する諸現象を解明
  - 高透水性供試体内での間隙水の動的応答と供試体のみかけの経路への影響など

# 解析手法の概要

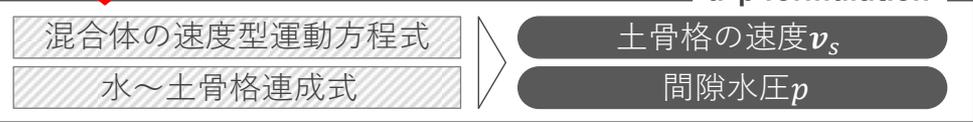
水～土骨格連成解析においては、**間隙水の静的浸透**を仮定して方程式系を縮約した **u-p formulation** がしばしば採用される



この仮定を排し、元の方程式系を直接解く **u-w-p formulation** に基づく解析手法を開発し、**間隙水の動的浸透を伴う高透水性土の連成問題への適用可能性**を示した



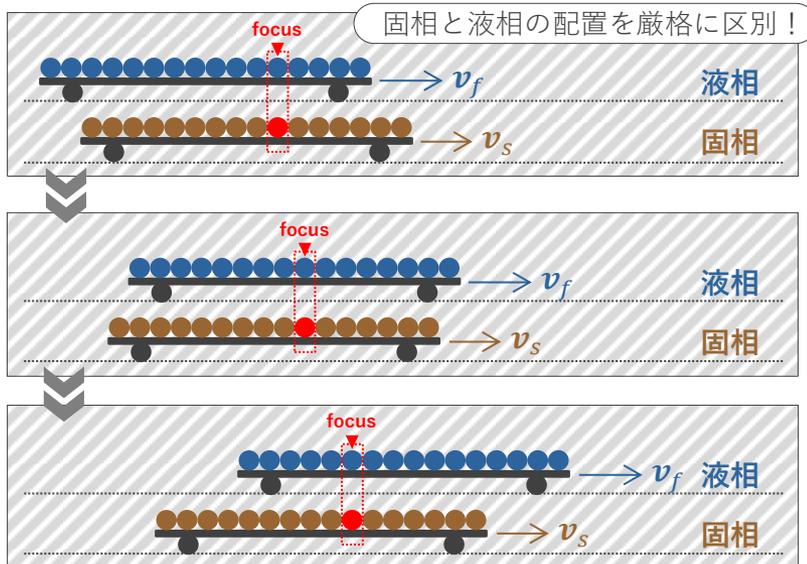
**間隙水の静的浸透を仮定**



## ➤ 間隙水の相対移流項の導入

Lagrange的に観測される土骨格に乗って間隙水の相対的な運動をEuler的に観測

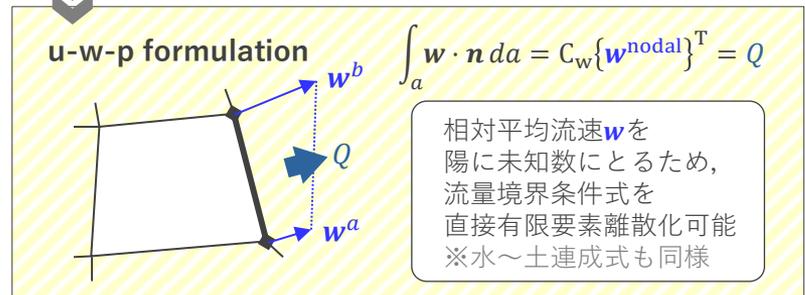
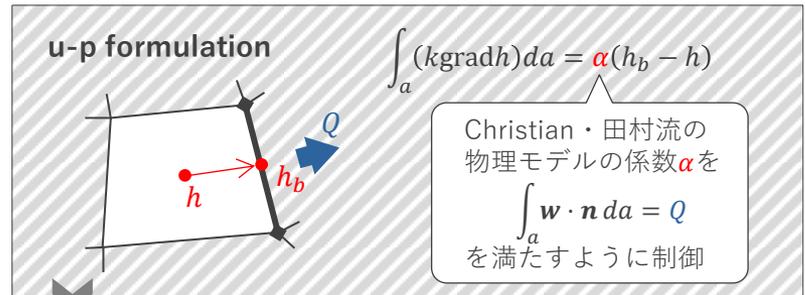
$$\text{相対移流項} : (D_f - D_s)v_f = (\nabla v_f)(v_f - v_s)$$



## ➤ 移動流量境界条件の直接考慮

間隙水の相対平均流速を用いて記述された移動流量境界条件式をそのまま離散化

→ 制約条件式として支配方程式に連立

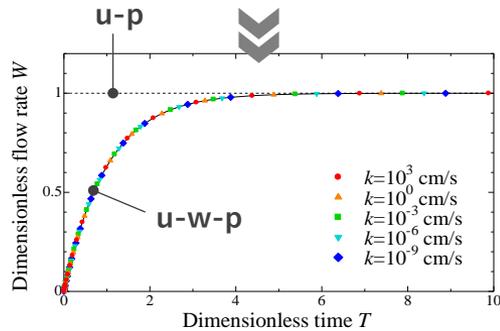


# 主要な解析結果の紹介

## ➤ 間隙水の動的浸透問題

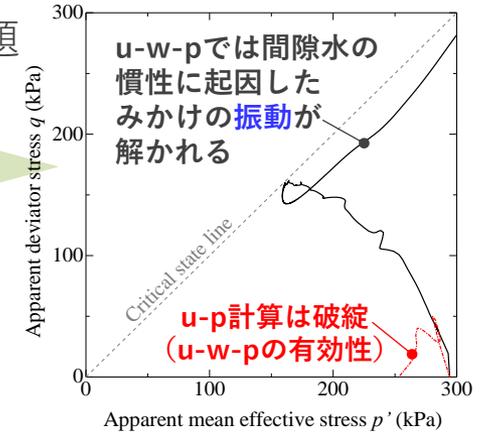
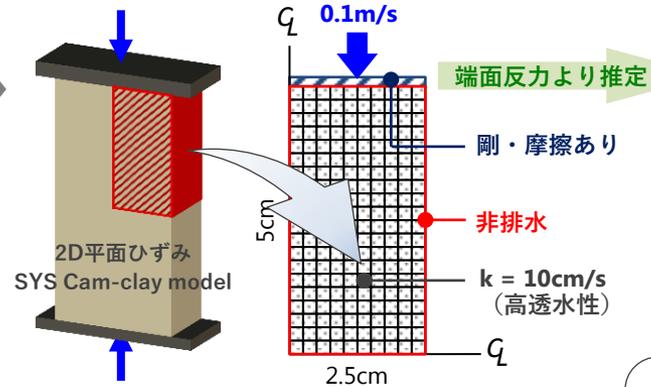


動水勾配を瞬間的に与えた直後の流速変動をu-pとu-w-pで解く

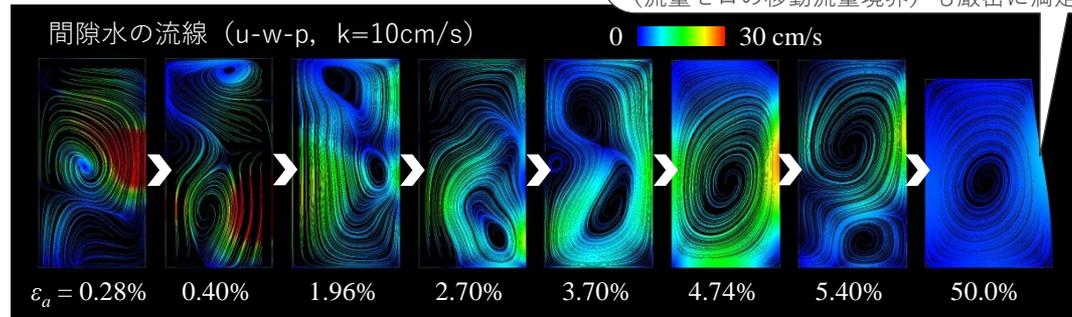


動水勾配作用後、u-pでは直ちに定常流量に達するのに対し、**間隙水の慣性を考慮可能なu-w-pでは加速流（非定常流）が初期値境界値問題の解として求まる**

## ➤ 高透水性供試体の急速変形問題



伸縮・傾斜してゆく面上での非排水条件（流量ゼロの移動流量境界）も厳密に満足



高透水性・急速载荷に起因した**間隙水の動的migration**が解かれる

渦：静的Darcy則（ポテンシャル流）からは決して解かれ得ない現象

今後

- ・ 実問題への適用（高透水性地盤の地震応答解析，グラベルドレーンの性能検証，etc.）
- ・ モデルの更なる高度化（Darcy流，Darcy-Brinkman方程式，乱流の考慮，etc.）など

★ u-w-p計算に基づく動的変形問題にみられる慣性由来の諸現象の発見とその減衰波動方程式の理論解に基づく理解はこちら  
 Toyoda, T., Noda, T., Numerical simulation based heuristic investigation of inertia-induced phenomena and theoretical solution based verification by the damped wave equation..., *Soils and Foundations*, 61(2), 352-370, 2021.