

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月15日現在

機関番号：13701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760353

研究課題名（和文）

土粒子と間隙水の直接表現に基づく数値計算ツールの高度化

研究課題名（英文）

Development of a numerical tool for soil-water direct simulation

研究代表者

森口 周二（MORIGUCHI SHUJI）

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：20447527

研究成果の概要（和文）：

離散体モデルと流体解析の連成解析を用いて、地盤材料の直接計算のための数値計算ツールの高度化を行った。多数の複雑形状粒子を含む流体解析のための計算の枠組みを高度化し、飽和地盤中の間隙水の流れを表現した。また、これまでに提案されている経験式を用いて得られた結果の有効性を確認した。不飽和土に関する定量的な数値解析までには到達しなかったものの、地盤材料の直接計算の可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：

A numerical method was developed based on discrete modeling and computational fluid dynamics for direct numerical simulation of soils. A numerical framework for the fluid simulation including many particles with complex shape was developed. Then, the numerical framework was applied to a permeability simulation of saturated soil, and obtained results were validated using empirical equations proposed in the past. Although this study didn't reach to quantitative numerical simulations of unsaturated soils, potential of the direct numerical simulation was confirmed.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 2011年度 | 900,000   | 270,000 | 1,170,000 |
| 2012年度 | 900,000   | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤材料・直接計算・数値解析・透水

## 1. 研究開始当初の背景

これまで、地盤の変形解析では、連続体力学と土水2相混合体理論、および高度化された構成式を用いる枠組みが広く用いられてきた。しかし、大変形問題などの従来の枠組みでは、対応が難しい問題も残されている。

また、不飽和地盤や液状化地盤の挙動、地盤材料のミクロ挙動とマクロ挙動の関係など、未解明部分を多く含む問題も残されている。これらの問題に対応するためには、異分野で高度化された数値解析技術を導入し、これまでの枠組みとは異なるアプローチで地盤の

変形解析手法を開発する必要がある。

## 2. 研究の目的

離散体モデルと流体解析の連成解析による地盤材料の直接計算のための数値計算ツールを高度化する。粒子-流体連成解析手法を拡張し、地盤工学分野の問題に適用することにより、直接計算の有用性を示す。

## 3. 研究の方法

研究代表者がこれまでに開発してきた個別要素法 (DEM) と数値流体力学 (CFD) の連成解析プログラムを改良し、地盤工学分野の問題に適用し、解析結果を地盤工学的な知見から分析する。

## 4. 研究成果

### (1) 解析手法の改良と3次元への拡張

個別要素法 (DEM) と数値流体力学 (CFD) の連成解析プログラムの改良を行った。これにより、図1に示すような複雑形状粒子と自由表面を含む流体の挙動を同時に解くことが可能になった。また、解析手法を3次元に拡張し、図2に示すような3次元状態での固体と流体の相互作用が可能となった。また、非球形粒子の接触問題の検証として、過去に実施されている砂の流動実験を対象として、3次元個別要素法による再現解析を実施した。これにより、解析プログラムの現実の問題に対する再現精度が十分にあることを確認するとともに、地盤材料の流動問題に対する粒子形状表現の重要性を示した。また、本研究の中では、連続体モデルによる再現解析も実施しており、離散体モデルと連続体モデルの解析上の留意点についても同時に整理した。

### (2) 地盤材料内部の透水挙動の表現

砂の粒径範囲の一部 (0.1~2mm) を対象として、透水シミュレーションを実施した。解析の中で地盤材料の粒径や間隙比を変化させて、既存の透水係数の推定式を用いて解析結果を検証した。まず、ダルシー則が精度よく成立することを確認した上で、粒子の粒径や間隙比を変化させて解析を行った。図5は、解析結果から得られた内部の断面における流速ベクトルを示しており、間隙が大きい断面では速度が小さく、間隙の小さい断面では流速が大きくなっていることが確認できる。間隙比が非常に小さい状態については、解析精度に課題が残ったものの、透水係数の粒径や間隙比に依存する効果を精度よく表現できることを確認した。また、導水勾配を変化させて流速を増加させていくと、ダルシー則が成立しない領域に達するという実験的事実についても

表現可能であることを確認した (図6)。このことは、経験的には知られていたものの、従来のシミュレーションの枠組みでは表現できない現象であり、粒子-流体連成解析に基づく直接計算の優位性を示している。

### (3) 不飽和土の挙動再現

不飽和土の挙動再現については、水の表面張力の効果を導入する必要があるため、数値流体解析の分野で広く用いられている表面張力モデル (CFSモデル) を導入した。その上で、不飽和状態の粒状体内部の水の挙動の再現に取り組んだ。3次元状態において、粒子間に水滴が付着した際のメニスカスの形状 (図7) など、定性的な挙動については再現可能であることを確認した。ただし、流体の体積保存の精度に問題があり、不飽和土の挙動の定量的な再現にまでは至らなかった。

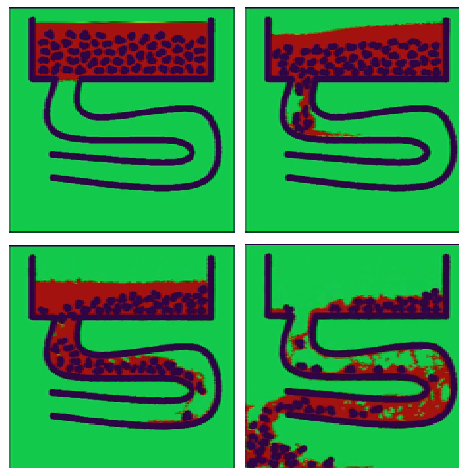


図1 複雑形状粒子と流体の相互作用

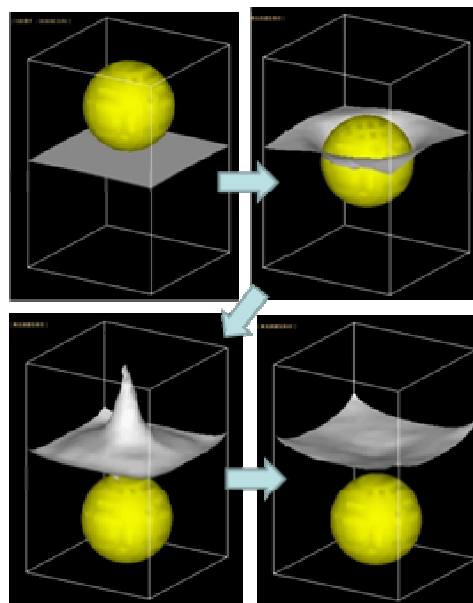


図2 剛体球の空気中から水中への落下

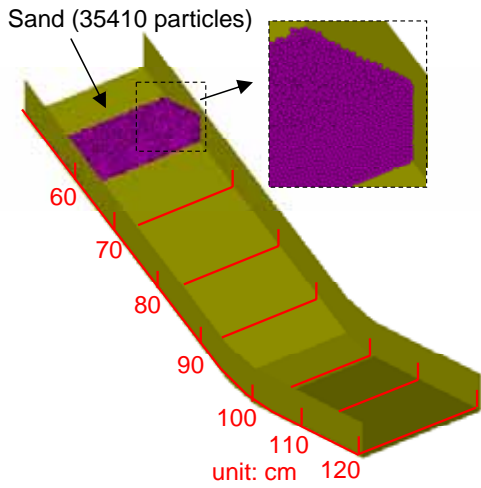


図3 流動シミュレーションの解析モデル

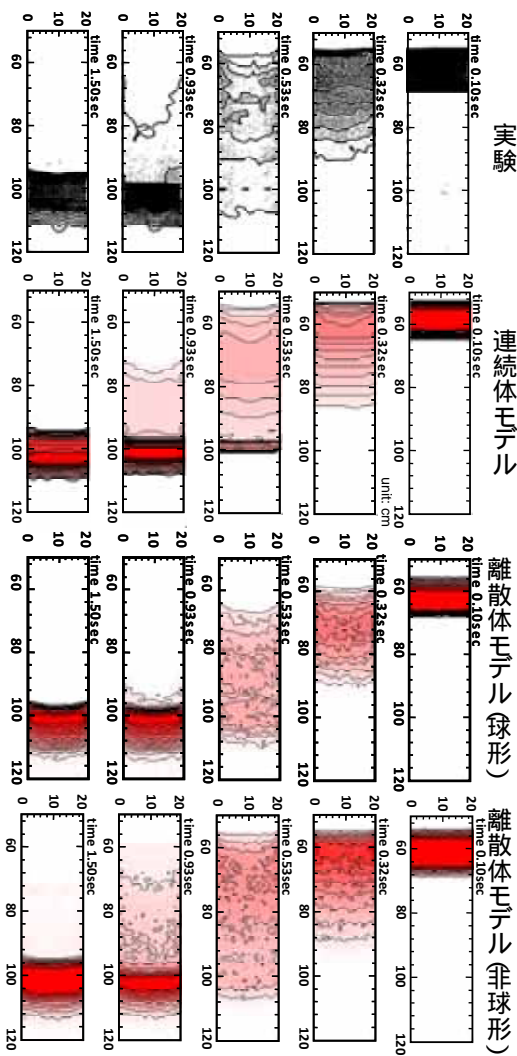


図4 流動シミュレーションの解析結果

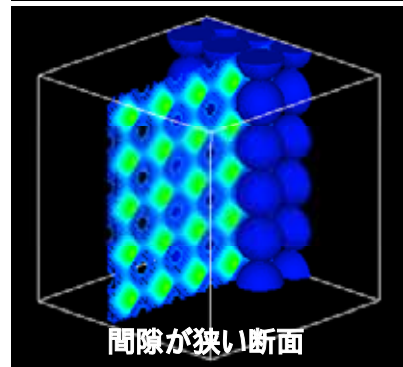
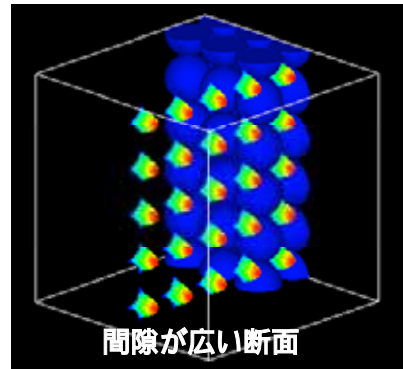
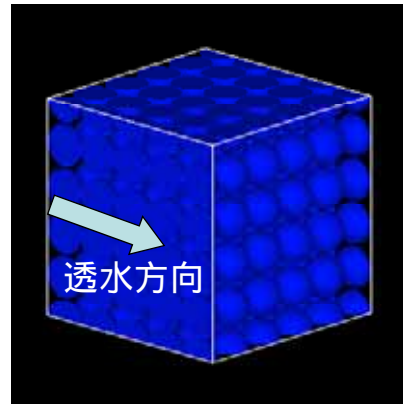


図5 流速ベクトル図

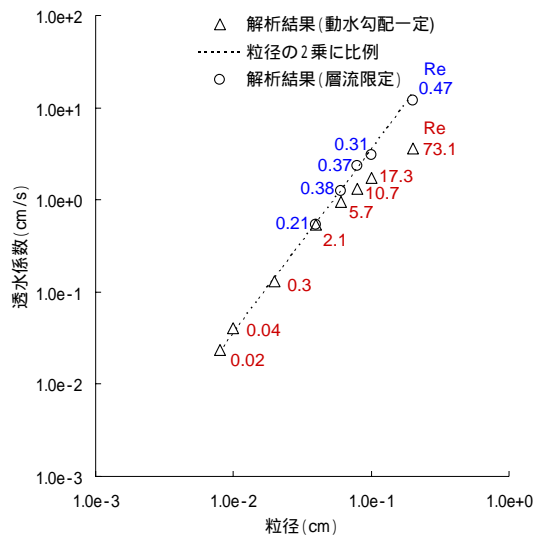


図6 流速ベクトル図

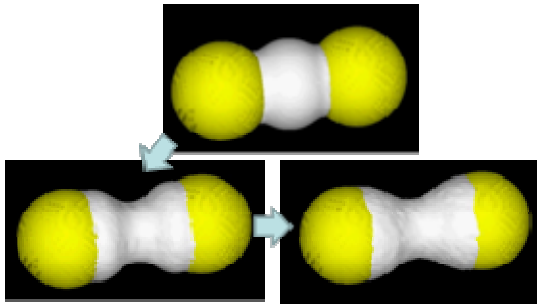


図7 液架橋の表現

本研究で行ったシミュレーションは、地盤工学分野の一部の問題に関するものであり、不飽和土に関しては、定量的な数値解析まで到達しなかったものの、先述の各種計算結果地盤材料の直接計算の大きな可能性を確認した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

Moriguchi S., and Sawada K., Permeability simulation of geomaterial using microscopic modeling, Proc. of 5th International Workshop on New frontiers in computational Geotechnics, 査読無, pp.87-92, ISBN 978-4-87797-177-9, 2012.

Yashima A., Moriguchi S., Uzuoka R., Nonoyama H. and Sawada K., Large deformation analysis for costal geodisasters using continuum and discrete modeling, Proc. of International Symposium on Coastal Engineering Geology, 査読有, pp.13-29, ISBN978-3-642-31670-8, 2012.

Moriguchi S., Borja R. I., Yashima A., Sawada K. and Oda K., Discrete and continuum modeling of sand flow experiment, Geomechanics and Geotechnics: From Micro to Macro, 査読有, Vol.1, pp.531-536, ISBN 978-0-415-61295-1, 2010.

森口周二, 沢田和秀, 八嶋厚, 花北誠, 地盤材料の直接的モデル化に基づく透水シミュレーション, 第22回中部地盤工学シンポジウム論文集, 査読無, pp.53-57, 2010.

小田憲一, 森口周二, 沢田和秀, 八嶋厚, 連続体モデルと離散体モデルを用いた砂の流動実験の再現解析, 第22回中部地盤工学シンポジウム論文集, 査読無, pp.9-14, 2010.

[学会発表](計4件)

森口周二, 個別要素法を用いた微細構造視点の力学計算, 積雪モデルに関するワークショップ, 2012年2月29日, 雪水防災研究センター(新潟県).

森口周二, 水との連成と関連手法, 地盤に関する解析技術(個別要素法)講習会, 2012年12月11日, 地盤工学会(東京都)

花北誠, 森口周二, 八嶋厚, 沢田和秀, 間隙水の直接表現による透水試験のシミュレーション, 第45回地盤工学研究発表会, 2010年8月19日, 愛媛大学城北キャンパス(愛媛県)

Moriguchi S., Aoki T. and Yashima A., CFD-DEM coupled numerical simulation for geomaterial, The 9th world congress on computational mechanics and 4th Asian pacific congress on computational mechanics, 2010年7月20日, Sydney (Australia).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

森口 周二 (MORIGUCHI SHUJI)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号: 20447527