

MPM-SPH カップリング粒子法による浸透破壊解析

(株)大林組 正会員 ○中道 洋平

(株)大林組 フェロー 杉江 茂彦
神戸大学 正会員 竹山 智英

1. はじめに

粒子法の1つである Smoothed Particle Hydrodynamics(以下, SPH)は, 地盤の崩壊や大変形解析への適用が期待されている. 筆者らは既往研究¹⁾において, SPH の土/水連成解析の定式化を行い, 砂地盤の浸透破壊現象の再現解析を実施した. しかし, SPH は変位境界条件の表現が難しく, 実務適用を目指す上では課題となることが分かった. そこで, 本研究では粒子法の中でも変位境界条件を容易に表現可能な Material Point Method(以下, MPM)を用い, SPH とカップリングさせた土/水連成解析手法を提案し, 浸透破壊問題への適用性を検証した.

2. 土/水連成解析の定式化

図-1 に土/水連成解析の支配方程式と境界条件・初期条件を示す. 土骨格に関連する運動方程式は MPM を用いて離散化し, 地下水に関連する連続条件式は SPH を用いて離散化した. 本手法では, 共通の粒子を介して運動方程式と連続条件式が離散化されるため, 既往の MPM に関する研究²⁾で指摘される

「有効応力と間隙水圧の積分点が異なるために生じる数値不安定性」を回避することができる.

3. 一次元浸透破壊問題の検証解析

地盤内に浸透流が発生すると, 浸透力によって有効応力に変化が生じる. 浸透破壊は, 浸透力によって有効応力が消失した際に発生する. 提案した手法の浸透破壊への適用性を検証するために, 一次元上昇浸透流問題を対象に理論値との比較を行った. なお, 理論値は文献³⁾を参照した. 図-2 に解析モデルの概念図を示す. 解析モデルは高さ 1.0m とし, 粒子径を 0.025m, 計算格子の長さを 0.025m とした. モデルの上・

下端には排水境界条件

を課した粒子を配置

し, 上下で水頭差をつ

けることで上向きの浸

透流が発生する条件と

した. 図-3 に鉛直有効

応力分布を示す. 上下

の水頭差が大きくなる

につれ, 鉛直有効応力

が減少していく様子が

精度良く再現できてい

ることが確認できる.

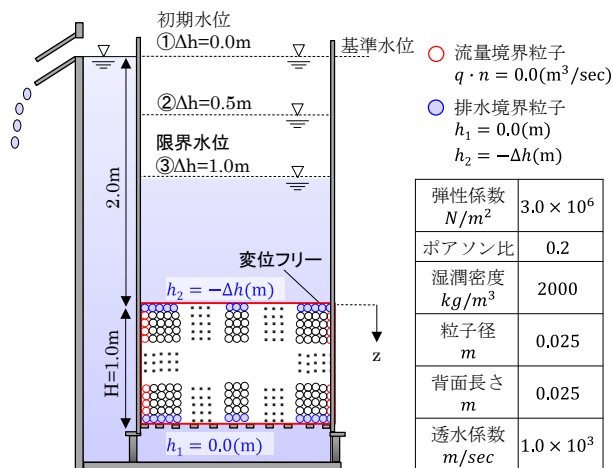


図-2 一次元浸透問題解析模式図

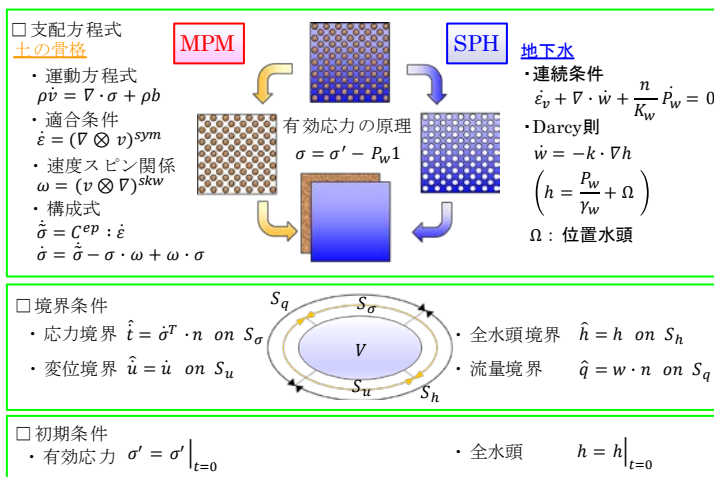


図-1 土/水連成解析の支配方程式と境界条件・初期条件

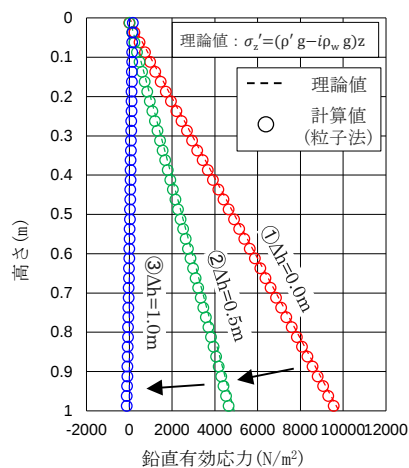


図-3 鉛直有効応力分布

キーワード 浸透破壊, MPM, SPH, 粒子法

連絡先

〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所 TEL042-495-9636

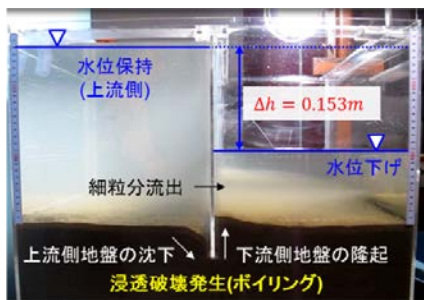


写真-1 実験の様子

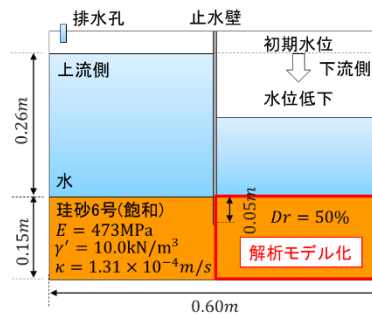


図-4 模型実験の概要

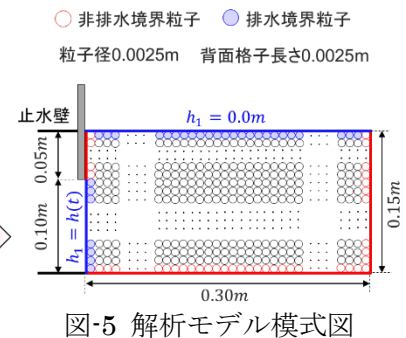


図-5 解析モデル模式図

4. ボイリング模型実験と再現解析

ボイリング模型実験の再現解析を試みた。図-4 に模型実験の概要を示す。地盤材料は土質定数が別途求められている珪砂 6 号を用い、相対密度 50%になるように空中落下法で作製した。地盤の厚さは 0.15m, 止水壁の根入れ長は 0.05m とした。実験は上流側の水位を一定に保ち、排水孔を設置した下流側の水位を下げることで水頭差を与えた。写真-1 に実験の様子を示す。実験では水頭差 0.153m のときにボイリングが発生した。図-5 に解析モデルの模式図を示す。モデル化の範囲は下流側の半断面とした。止水壁および土槽境界は非排水境界条件とし、地表面および止水壁下には全水頭の境界条件を与えた。上・下流側の水頭差は、止水壁下の全水頭を増加させることで表現し、止水壁下の全水頭の 2 倍を仮定した。地盤は線形弾性体とした。図-6 に水頭差 0.05m 時の全水頭コンターを示す。非排水境界とした止水壁および土槽境界に対して等ポテンシャル線が直交しており、境界条件が正しく反映できていることが確認できる。図-7 に鉛直有効応力比(σ'_z/σ'_{z0})コンターを示す。水頭差 0.05m では鉛直有効応力比が負となる状態(以下、クイックサンド)は生じていない。Terzaghi の式により算出されるボイリング発生の水頭差 0.1m では、止水壁の先端付近にクイックサンド領域が分布しているが、地表面付近には達していない。水頭差 0.15m でクイックサンド領域が地表面まで分布し、実験とおおよそ整合する結果となった。

5. おわりに

本研究では、MPM と SPH をカップリングさせた土/水連成解析によって浸透破壊の検証解析を実施し、浸透破壊が発生する応力状態を再現できることを確認した。今後は、地盤の変形についても再現性が得られるよう非線形構成則の導入を行い、検証解析を実施する予定である。

参考文献

- 1) 中道洋平他：粒子法(MLS-SPH 法)を用いた土/水連成解析, 大林組技術研究所報, No.81, 2017.12
- 2) 阿部慶太:MPM を用いた地盤の大変形・流動解析手法の開発に関する研究, 東京大学博士論文, 2013.1
- 3) 沢田敏夫他：一次元一層系砂柱の浸透破壊問題, 農業土木学会論文集,第 88 号, pp.45-50, 1980.8

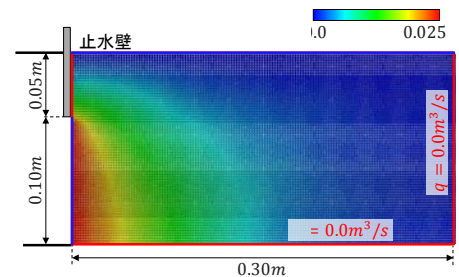
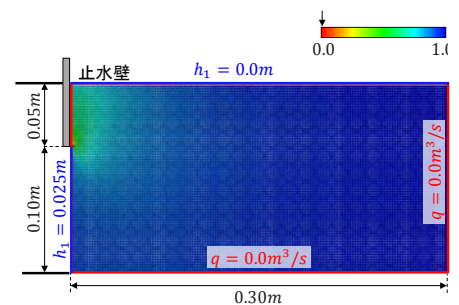
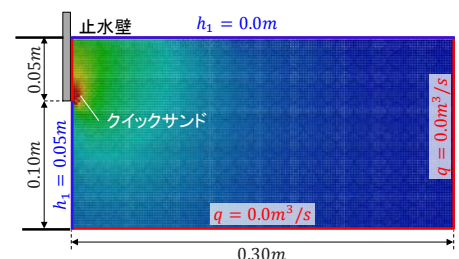
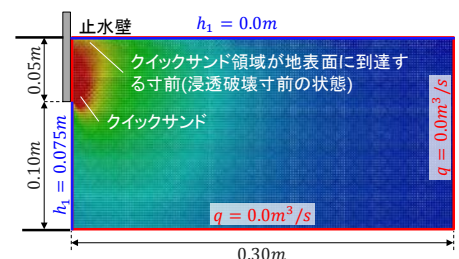
図-6 全水頭コンター($\Delta h = 0.05m$)(1) $\Delta h = 0.05m$ の時(2) $\Delta h = 0.10m$ の時(3) $\Delta h = 0.15m$ の時

図-7 鉛直有効応力比コンター