

論文の内容の要旨

論文題目 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

氏名 阿部 慶太

本研究は、斜面崩壊、浸透破壊、液状化、土石流等の地盤の大変形・流動現象に対するリスク低減に向けた対策のうち、特にソフト面からの対策として解析ツールを用いた地盤の挙動予測に着目し、地盤の大変形・流動現象の挙動を把握するための解析手法の開発を目的としたものである。開発に向けベースとする解析法としてメッシュフリー法の一種である、MPM (Material Point Method) に焦点を絞り、地盤の大変形・流動解析手法の開発、当該手法の地盤の大変形・流動現象への適用性について検討を行った。

本論文では、はじめに解析手法のベースに用いた MPM の特長を示した後、目的とする解析手法の開発に向け、地盤の大変形・流動現象を扱う上で新しく提案した内容について示した。その後、地盤の大変形・流動現象の代表例である、斜面崩壊、盛土の浸透破壊、開削トンネルの液状化による浮き上がり、土石流に関する模型実験の再現解析、実際発生した災害のシミュレーションを行い、開発した解析手法の適用性を示した。

第一章、序論では、研究の背景、研究の目的と実施内容を示した。近年の巨大地震、豪雨の発生に伴い地盤の大変形・流動現象が頻発しており、当該現象を有効に扱える解析手法の開発が重要であることを示した。一方、現行において地盤の変形解析手法として主流の有限要素解析や個別要素解析では、地盤の大変形・流動現象を解析的に取り扱う上で多くの困難があることを示した上で、近年研究開発が進められているメッシュフリー法では地盤の大変形・流動現象の解析的取扱が容易であり、特に大変形・流動時考慮すべき地盤の幾何学的非線形性、不連続体的挙動を解析的に表現する上で有効であることを示した。

第二章、既往の研究では、メッシュフリー法を地盤の変形問題へ適用した研究事例について示した。そして、地盤の変形問題への適用例が多いという観点からも、数値解析上の問題からも、メッシュフリー法の中で MPM が地盤の大変形・流動現象を解析的に取り扱う上で最も有効な解析法であることを示した。

第三章、MPM を用いた地盤の大変形、崩壊解析手法の提案では、MPM で地盤の大変形・崩壊解析を行う上で必要な以下の事項について示した。

- ① MPM へ適用すべき地盤の構成則
- ② MPM の動的解析対応への拡張
- ③ MPM の固液二相系への拡張

構成則においては、Drucker-Prager モデル、Mohr-Coulomb モデル、SYS-Cam clay モデル、砂の繰返しモデルについて示した。動的解析対応への拡張においては、レーリー減衰に基づいた減衰の表現式を新たに提案した。固液二相系への拡張においては、固相、液相粒子

を用いた手法を新たに提案し、一次元圧密問題における Terzaghi 理論解との比較 (図 1), ボイリング, ヒービングのシミュレーションを行い提案手法の有効性を示した。

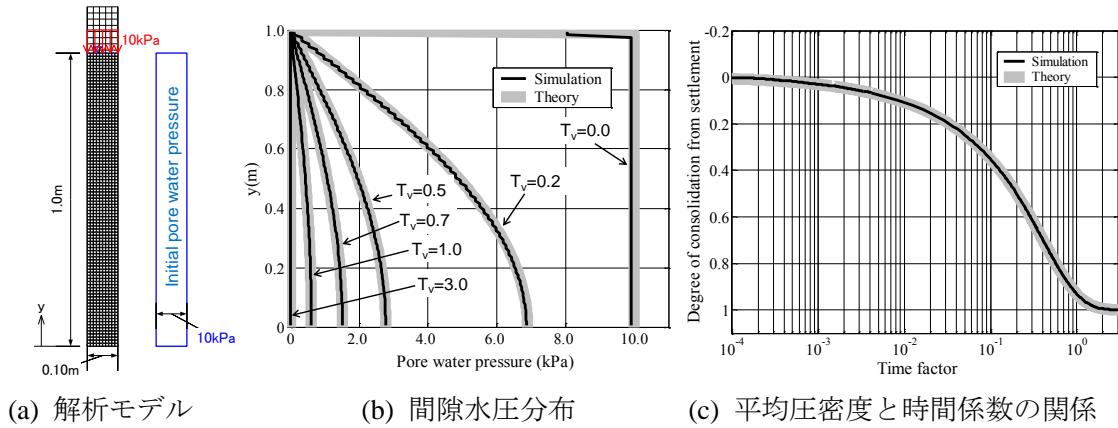


図 1 一次元圧密問題のシミュレーション結果

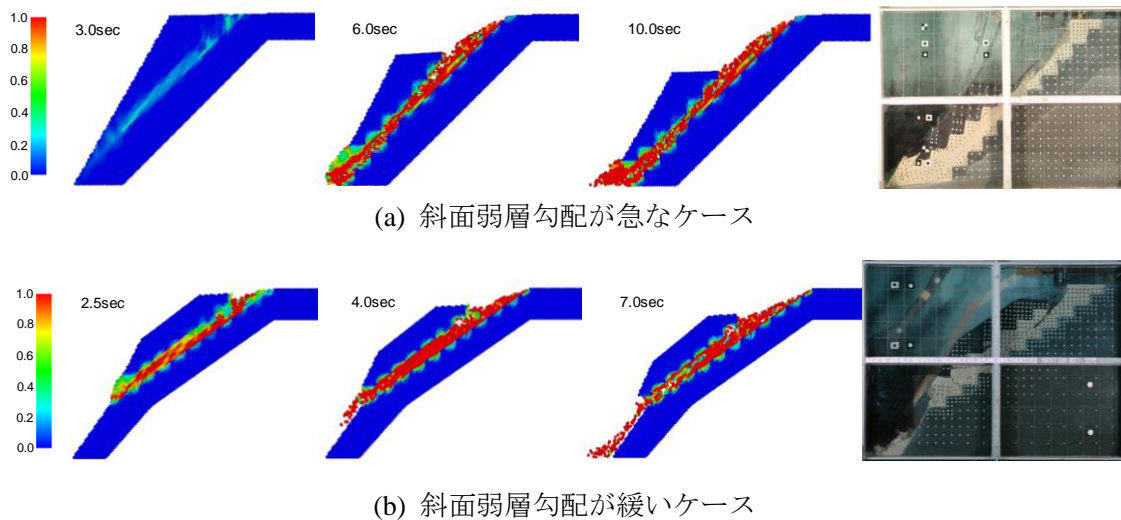


図 2 斜面模型の振動台実験の再現解析結果 (カラーバー: 最大せん断ひずみ)

第四章, 提案手法を用いた地盤の大変形, 崩壊現象への適用では, 第三章で示した解析手法を用いて以下の地盤の大変形・流動現象に対する適用性について示した。

- ① 地震時の斜面崩壊に対する適用性
- ② 盛土の浸透破壊に対する適用性
- ③ 地震時の液状化による浮き上がり現象に対する適用性

地震時の斜面崩壊に対する適用性では, 弱層を有した斜面模型の振動台実験の再現解析を行った。その結果, 開発した解析手法により, 弱層勾配に応じた斜面模型の動的挙動お

よび崩壊時の変形パターンを適切に再現できることを示した。(図2)

盛土の浸透破壊に対する適用性では、砂質盛土模型の浸透破壊実験の再現解析を行った。その結果、盛土背面から地下水が浸透し、のり先に地下水面が達した段階で崩壊が発生する浸透破壊の一連の現象を再現できることを示した。(図3)

地震時の液状化による浮き上がり現象に対する適用性では、飽和地盤中に埋設された開削トンネル模型の振動台実験の再現解析を行った。その結果、加振に伴う飽和地盤の過剰間隙水圧の上昇、有効応力の低下によりトンネル模型が浮き上がる現象を浮き上がり量に左右されず再現できることを示した。

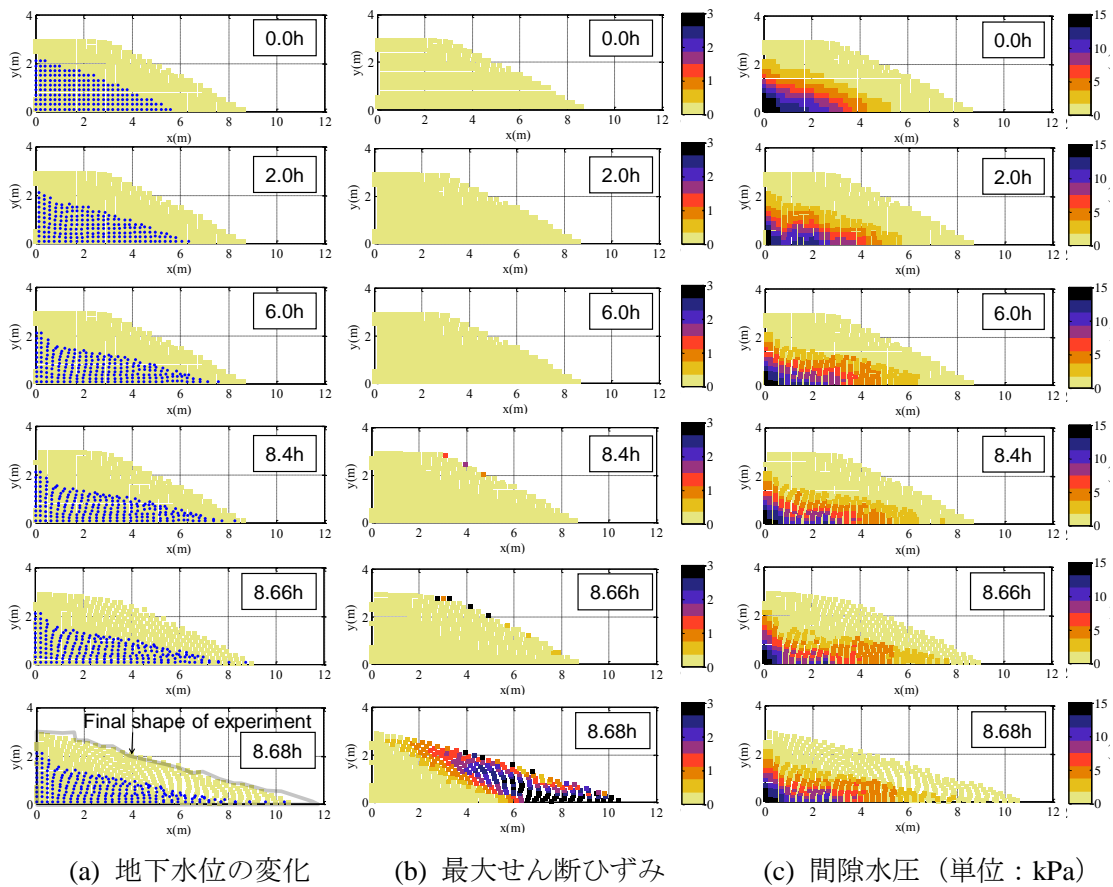


図3 砂質盛土模型の浸透破壊実験の再現解析結果

第五章、DAMPMを用いた土石流の流動解析手法の提案では、浅水流方程式をMPMに適した手法であるDAMPM (Depth Average Material Point Method) による土石流のモデル化手法を新たに提案し、乾燥砂と液状化砂の流動実験の再現解析を通じて、提案手法の土石流の流動解析への適用性を示した。さらに、再現解析結果に基づいて解析パラメータを決定し、過去発生した高速長距離土砂流動と土石流のシミュレーションを行った。その結果、当該手法を用いることでこれらの挙動を再現できることを示した。(図4)

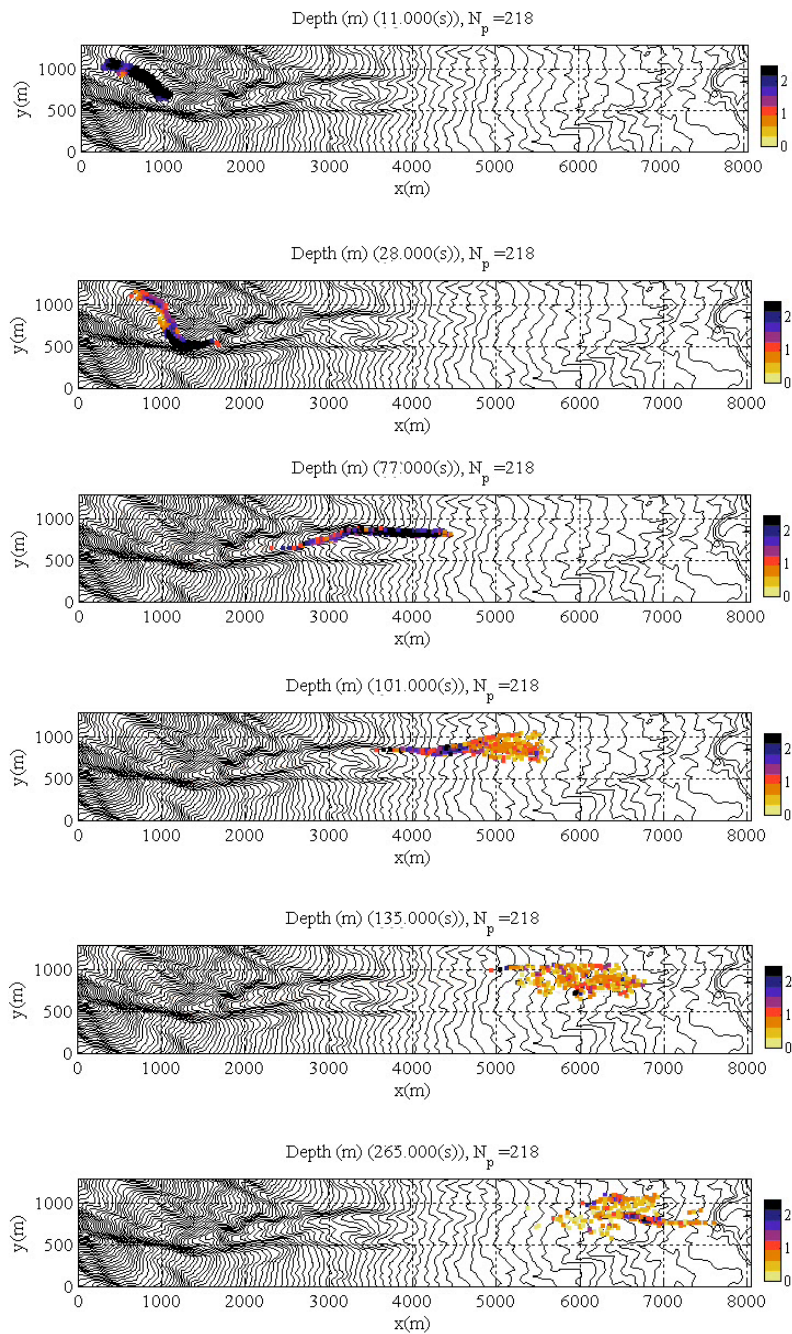


図4 土石流のシミュレーション結果

第六章，結論では，本研究のまとめと今後の課題について示した。今後の課題として，地盤の大変形・不連続体域の挙動のメカニズム解明，パイピング，地盤陥没等，局所的な地盤変形のモデル化手法の開発の重要性を示した。また，実用化に向けた課題として，解析パラメータの設定方法の確立，実際の地盤におけるシミュレーション実績の向上の重要性について示した。