

豪雨災害の被害予測に向けた土粒子-流体-構造の大規模連成解析の国際標準V&V例題の確立



研究拠点: 京都大学, 研究分野: 超大規模数値計算系応用分野

構成メンバー: 九州大学(浅井), 京都大学(牛島, 鳥生), 東北大学(寺田, 森口), 海洋研究開発機構(西浦), 八戸工大(高瀬)

研究目的

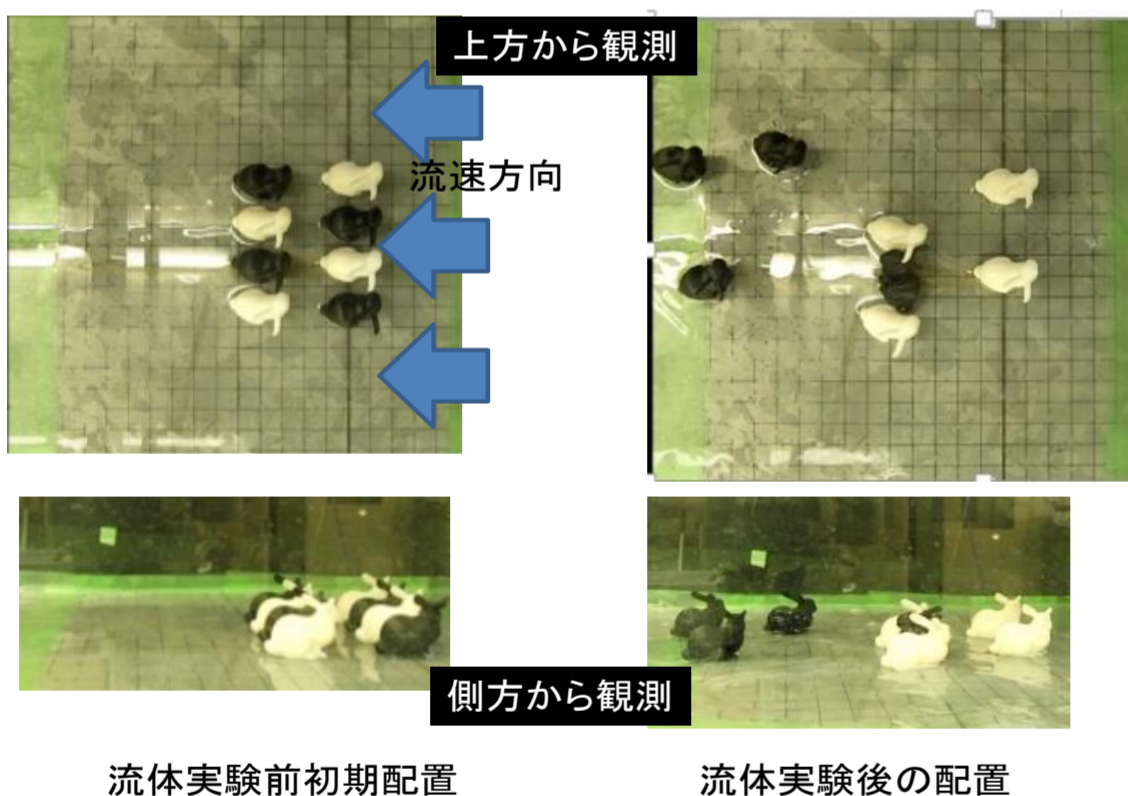
平成27年9月関東・東北豪雨災害, 平成29年7月九州北部豪雨など, 豪雨に伴う甚大な災害は毎年のように発生しており, これまでは被害の少なかった地域での被害も目立つようになってきた。豪雨災害時には, たとえば, 河川堤防の決壊, あるいは急峻な山地での斜面災害など, 降雨に伴う流体だけでなく, 地盤の破壊が密接に絡んだ複雑な物理現象となり, その被害予測は困難を極める。災害外力だけでなく, 初期値・境界値が確定的に決められないことが特に予測を困難としている。そこで複数の仮想シナリオを設定した被害予測が可能な数値解析への期待が高まっている。一方で, 近年の計算機能力の著しい発展により, 粒子と流体の連成解析による直接的な現象の表現が可能となりつつあり, その有用性は学術レベルで確認されている。しかしながら, 先の防災・減災に重要な知見を提供する道具の域には達しているとは言い難い。各計算コードのV&V<精度検証(Verification)および妥当性確認(Validation)>のうち, 特にValidationのためのベンチマーク問題を意識した実験との比較検討を実施する。こうした防災・減災に向けたマルチフィジックス解析とその大規模シミュレーションは日本がリードしている分野であり, その地位をさらに強固に確立するためにも, 国際標準となり得るV&V例題を本課題にて計画し, その実験データと解析データの両者を公開する。

研究概要

右図に示すように九州大, 東北大, 京都大の3組織で開発してきた3種類の解析手法により, 下記に示す3つの検証例題を解析する。実験定数を必要とするマクロモデルと実験定数を必要としないマイクロモデルの結果をクロスチェックをすることで, 各手法の特徴, 限界を明確にしていく。

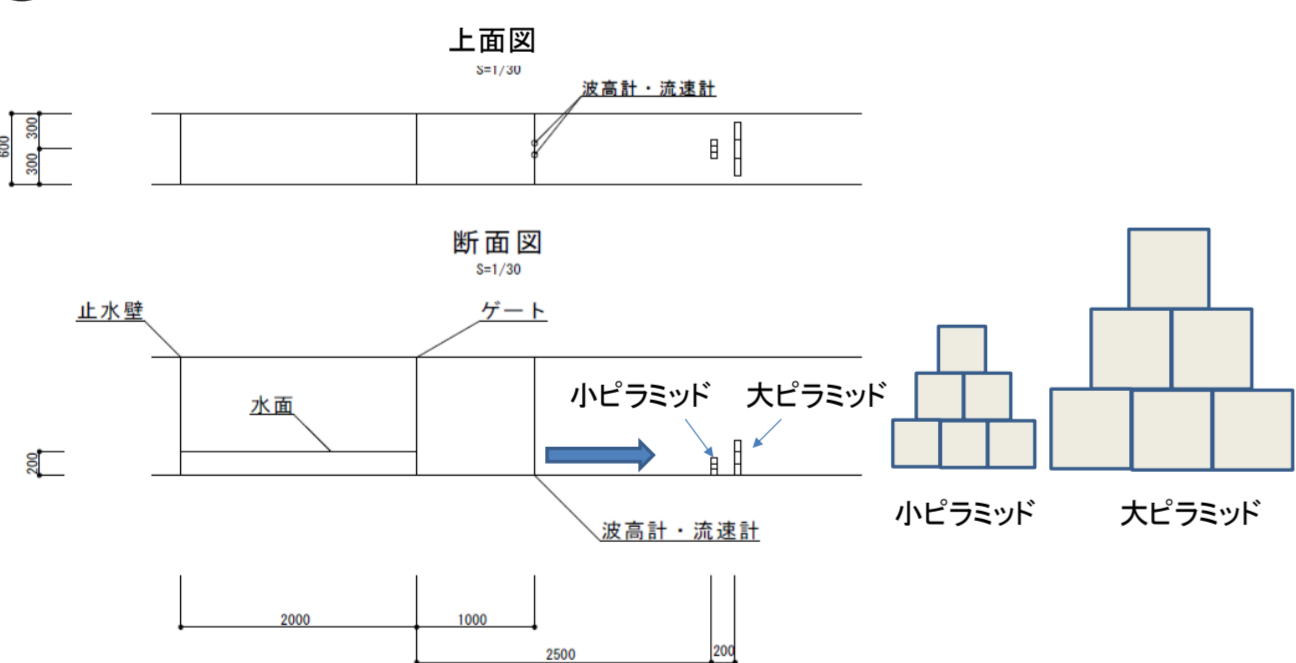
最終的には, 検証例題の実験結果および解析結果を公開することで固体流体, 粒子流体の連成解析に関する国際標準検証例題の構築を目指す。

①複雑形状の流体-構造連成解析の検証実験



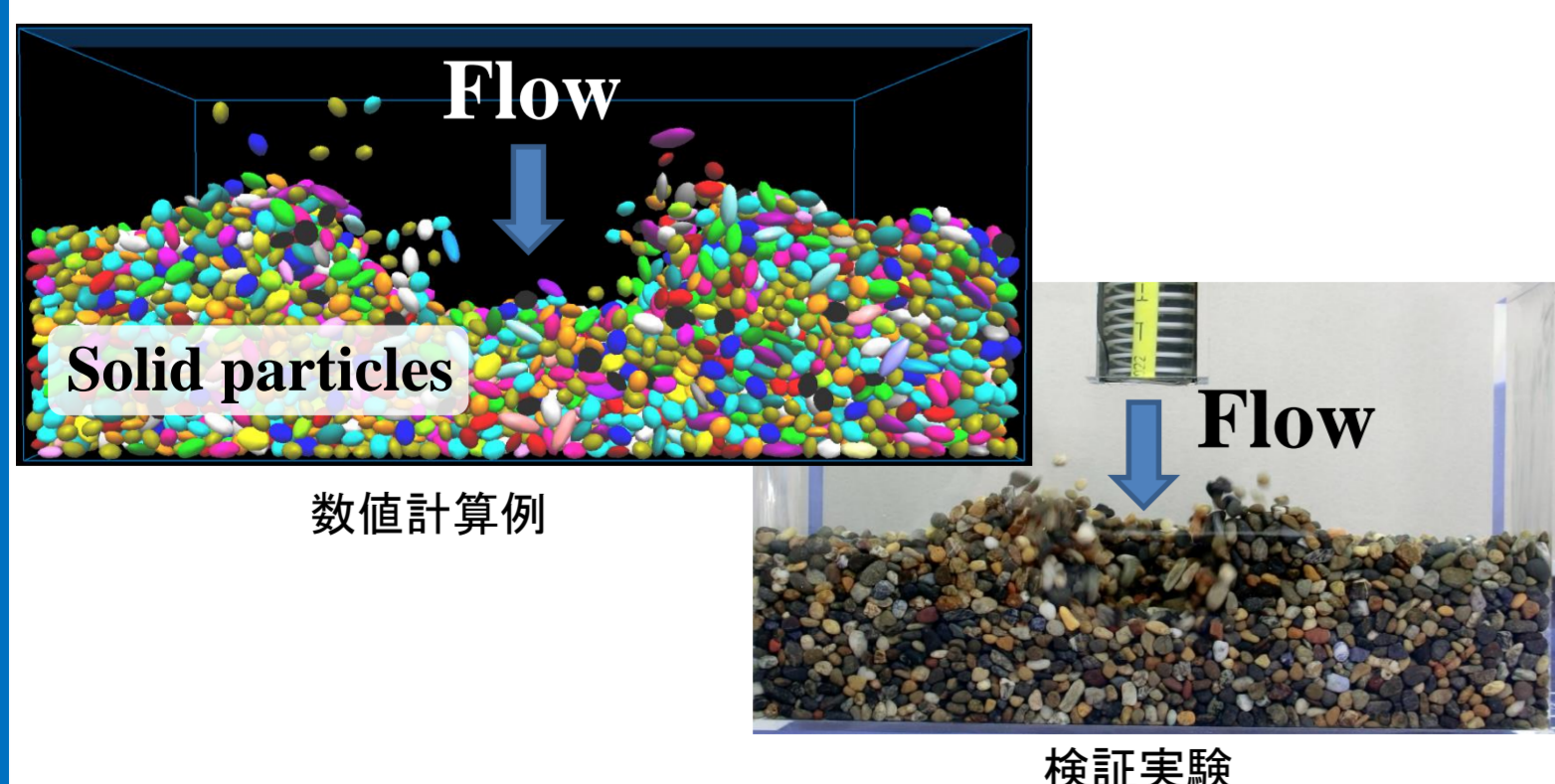
形状の影響を評価する際の計算精度を検証するモデルである。国際標準検証例題との目標設定のため, 他国の研究グループも参加できるように, グラフィックスの分野でも有名なスタンフォードバニー(複雑形状のポリゴンの精度を検証するモデル)を3Dプリンターにて模型を作り, 流体力を受けた際の移動を計測した。図中の白黒の模型はそれぞれ密度を変化させており, 密度の異なる構造物を適切にシミュレーションできるかを同時に評価できる例題である。なお, バニーを解像するためには, 計算規模も必然的に比較的大規模(1千万~数千万節点(DEMの粒子数も節点とカウント))となる。

②多体接触を含む流体-構造連成解析の検証実験



①では形状および密度変化による固体の影響を評価する検証例題であり, 本検証は多体問題としての接触・摩擦解析の精度検証に特化した例題である。矩形のブロックを6つ使い, 右図に示すようなピラミッド状に設置した固体に流体力を与えてその移動を再現する検証である。なお本実験では, 3次元モーションキャプチャーシステムを使い, 6つのブロックの移動量まで計測済みである。また, ブロックサイズの小さなピラミッドと大きなピラミッドの2系統を用意しており, 大きさの影響までも検証できる例題である。解析規模は比較的小さく数百万~1千万節点での解析が可能である。

③多数の礫・砂(土粒子)と流体の連成解析の検証実験



左図に示す鉛直噴流による礫・砂の巻き上げ現象に関する実験である。礫を用いた実験では平均粒径が5~10mmであり, 実験に用いた礫の総数も1万~2万程度であり, 各粒子をそのままDEM粒子としてモデル化することが可能な検証例題である。次のステップとして用意した砂を用いた場合の実験では最大でも1mm程度の粒径の土粒子を用いており, 総粒子数は数百万~数千万になり, 粒子を直接解像した解析は非現実的である。このため, 疎視化計算技術(複数の土粒子を代表したマクロ粒子を計算上定義し, 計算コストを低減する)を導入することで計算に使用する粒子数を最大でも百万粒子程度に抑えることを検討する。

すなわち, 礫を用いた鉛直噴流巻き上げ実験による検証では土粒子をそのままDEM粒子としてモデル化した場合の精度検証例題となり, 砂を用いた場合の実験は疎視化計算技術の妥当性を検証する例題となる。

