

個別要素法を応用した擬水滴要素による堰堤衝撃力推定法に関する適用性の検討

防衛大学校 学生会員 ○堀口俊行 正会員 香月 智

1 緒言

広島県広島市や長野県南木曽のような土石流災害を軽減させるために砂防堰堤の整備は急務であり、中でも土石流の衝撃力推定法は重要である。現在の設計法では、固体理論を基にした衝撃力と流体力の密度増分を考慮することで設計されている^{1), 2)}。研究面では、土石流における礫と水の相互作用をモデル化するために、MPS や SPH を用いた流体解析手法と個別要素法で連成解析する Lagrange - Lagrange 手法による研究が多くなされている³⁾。

本研究は、個別要素法を応用した擬水滴要素について、基礎的な問題を用いて適用限界を検討する。また、実験で行った鋼製枠堰堤に作用した衝撃荷重～時間関係をシミュレーションし、その適用性を検討する。

2 擬水滴要素の適用性

2.1 提案手法の概要

提案手法は、土石流における混相流モデルを再現するために擬水滴要素と固体要素を混合したものである。基本展開式は、文献4)に掲載させているため省略する。

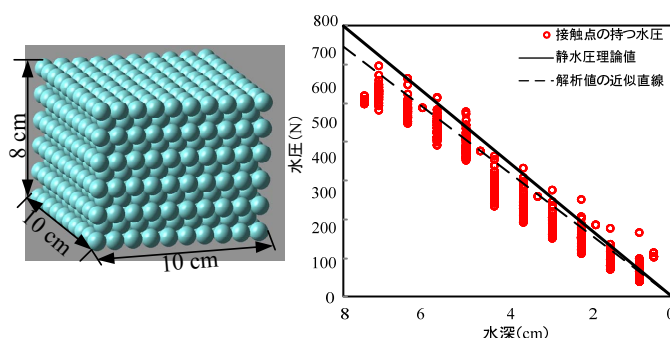
2.2 擬水滴要素による静水圧評価

図-1(a)に、直径 1 cm の擬水滴要素を六方最密構造で配置させた要素数 1005 個により水深 8 cm、横 10 cm、縦 10 cm とした静水圧解析モデルである。図-1(b)に、解析的に安定している状態において得られた水圧を示す。黒線は、理論的な静水圧である。一方、点線は、解析結果から得られた回帰分析の直線であり、静水圧の近い結果となっている。要素間における間隙や球形で行うことによる影響もみられるが、静水圧状態を表現できている。

2.3 ダムブレイクからの浸透解析

図-2 に、10 l の水を貯めた状態から、ダムブレイクさせることで、隣接する礫要素を詰めたポーラス層に

浸透する解析モデルを示す。ここでは、間隙率の異なるポーラス層への浸透問題として間隙率の変化 ($e_1 = 0.80$ と $e_2 = 1.00$ の場合) によって水の流れ方の違いを検証する。図-3, 4 に、それぞれの実形状表記と速度ベクトル表記を示す。その際、速度ベクトル図内では、要素の大きさを 1/5 で示しており、速度を青線で表記している。いずれの解析においても抗力係数は同じものを用いている。これにより間隙率が異なることで、擬水滴要素の浸透する速度が変化している。図-3 の e_1



(a) 解析モデル (b) 解析結果

図-1 静水圧の検討

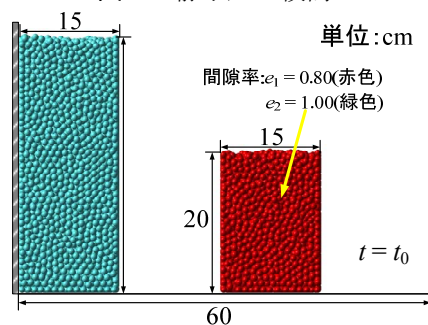
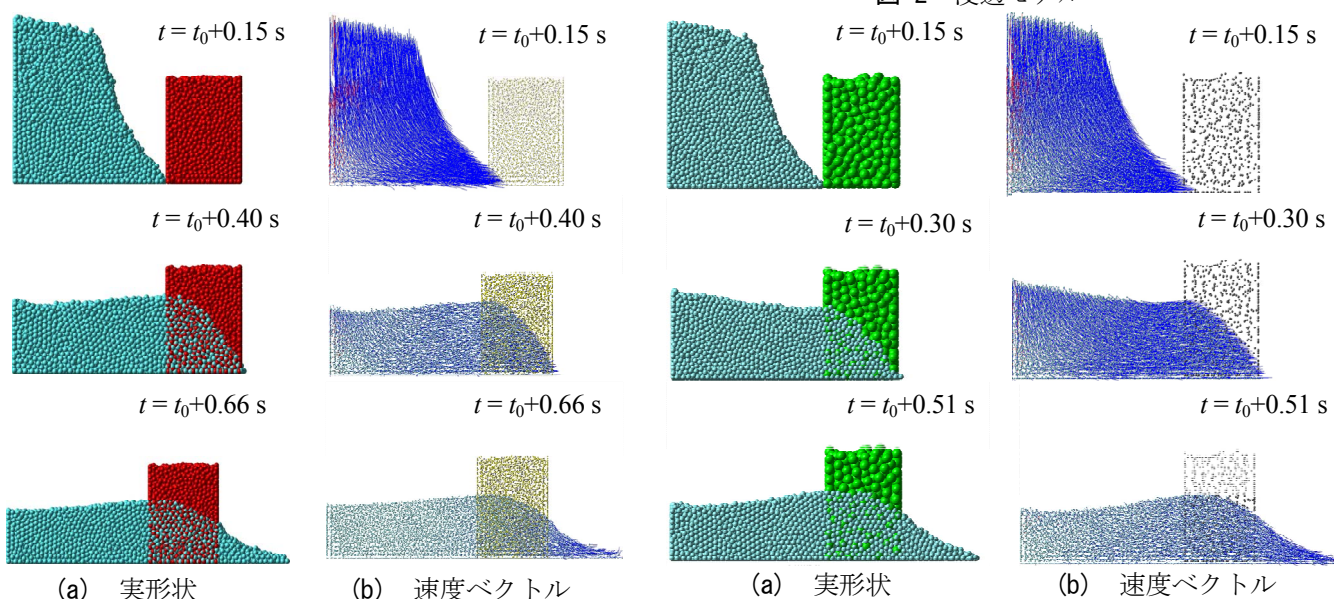


図-2 浸透モデル

図-3 浸透解析時系列比較 (間隙率 $e_1 = 0.80$)図-4 浸透解析時系列比較 (間隙率 $e_2 = 1.00$)

キーワード 鋼製枠堰堤, 土石流衝撃力, 個別要素法, 擬水滴要素

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL:046-841-3810 FAX:046-844-5913

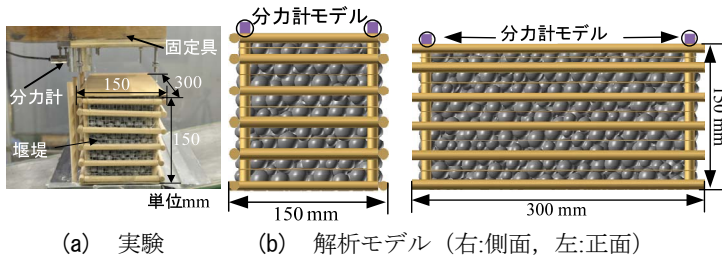


図-5 鋼製杵堰堤

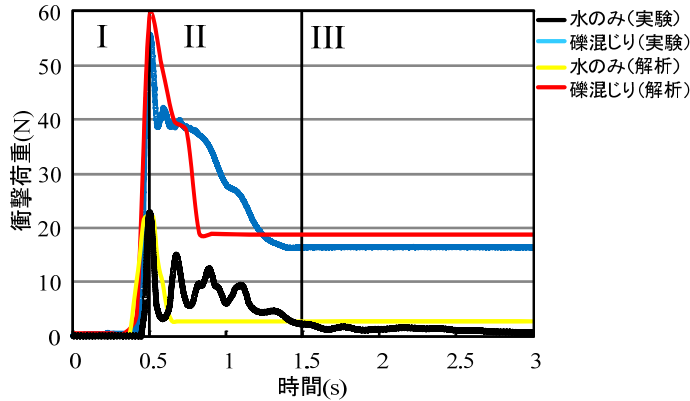


図-6 衝撃力～時間関係

=0.80 では、擬水滴要素が流入してから流出するまでに 0.25 s かかっている。一方、図-4 の $e_2=1.00$ では、0.15 s であり間隙率の変化で擬水滴要素における透水の影響が変化することがわかる。また、いずれの速度ベクトル図も流出後の流速がポーラス層内より増していることがわかる。すなわち、擬水滴要素と礫要素が浸透した構造の透水性について浸透から通過する過程を再現可能であることがわかる。

3 鋼製杵堰堤の衝撃力評価

ここからは、擬水滴要素が動的な衝撃力において、土石流モデルが鋼製杵堰堤で受け止める衝撃荷重実験を用いて、その適用性を検討する。

3.1 実験の概要

実験は、図-5(a)に示す鋼製杵堰堤モデルを水路下端に設置し、水もしくは土石流モデルを流すことで堰堤に生じる衝撃荷重を計測するものである。なお、図-5(b)は、解析モデルを示している。直線水路は、長さ 4.50 m、幅 30 cm、高さ 50 cm であり、それぞれの流下位置は堰堤モデルから流水が 2.0 m、礫材が 1.0 m の位置を配置した。なお、流量は、5.5 l とする。その際、清水のみの衝撃力と水と礫を混ぜた土石流モデルの衝撃力について分圧計により計測した。水路の勾配は、15°である。

3.2 解析基本値

礫同士のばね剛性は、使用した供試体の強度を基に $K_n = 1.0 \times 10^6$ N/m とした。概ね $Re = 1.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^5$ の範囲で得られていることから、水と礫の抗力係数は、 $C_D=1.0$ とした。擬水滴要素の減衰管理は、安定解析が可能なものを使用した。そのため、時間刻みは $\Delta t = 1.0 \times 10^{-7}$ s とした。

3.2 清水のみの衝撃力解析

図-6 には、清水のみの実験と解析の衝撃荷重～時間関係を示したものである。荷重が瞬間的に生じる衝突力が実験に対して時間的な遅れが僅かに生じているが、最大衝撃荷重とそのまま流水し、荷重が小さくなる過

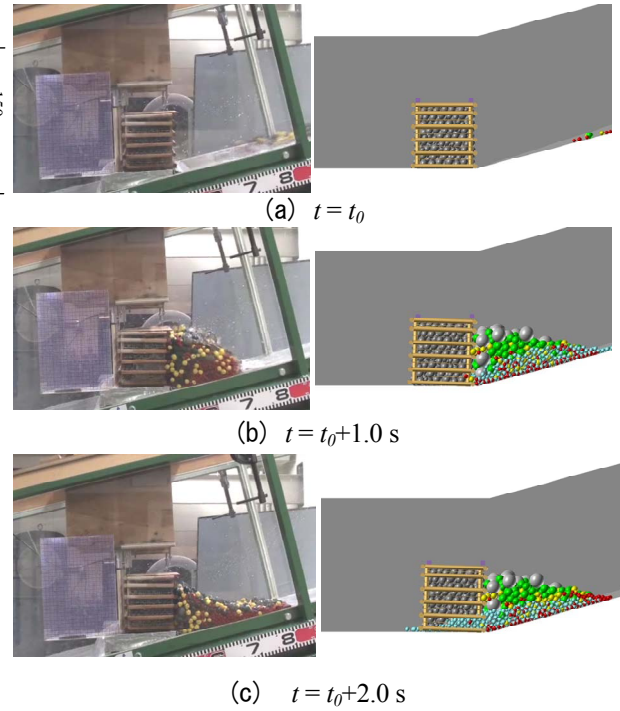


図-7 実験と解析の比較（礫混じり）

程を再現できている。

3.3 土石流の衝撃力解析

図-6 に、礫混じりの実験と解析の衝撃荷重～時間関係を示す。図-7 に示すように固体要素が塊の前面に出ていることで、固体間の衝突を表現していることや衝突までの荷重の立ち上がりは再現できているが、水が透過している間の荷重の変化や衝撃時の流体的な振舞いは、再現できていない。しかし、設計時に必要な最大衝撃力を再現できていることや、残された礫の堆砂圧の荷重は、実験と近いものとなっている。

4 結言

本研究は、擬水滴要素を用いて水と礫の基礎的な問題における適用性を検討した。次に砂防堰堤における衝撃力を推定するために実験で得られた衝撃荷重～時間関係をシミュレーションし、その適用性を検討した。

- 1) 擬水滴要素を用いて静水圧の妥当性を検討したのち、礫層における浸透解析を行うことで、間隙率における影響で擬水滴要素の流れが変化することを示した。
- 2) 清水のみの衝撃荷重の最大衝撃荷重を推定することができた。
- 3) 土石流モデルにおける最大衝撃荷重と透水後に堆積した礫圧も再現することができた。

参考文献

- 1) 水山高久：砂防ダムに対する土石流衝撃力算定とその問題点，新砂防，Vol.112，pp.40-43，1979.8.
- 2) 大同淳之，吉栖雅人，中嶋健太：土石流による衝撃力，水工学論文集，第 38 巻，pp.557-562，1994.2.
- 3) 別府万寿博，井上隆太，石川信隆，長谷川祐治，水山高久：修正 MPS による土石流段波モデルのシミュレーション解析，砂防学会誌，Vol.63，No.6，pp.32-42，2011.3.
- 4) 堀口俊行，香月智：底面水抜きスクリーン実験に対する水と礫の分離挙動シミュレーション，土木学会論文集 A2 分冊(応用力学) 特集号，Vol.17，2015.2.