粒子法による土石流モデルの流速解析

防衛大学校　○別府万寿博　砂防鋼構造物研究会　石川信隆
九州大学　園田佳巨　（財）建設技術研究所　長谷川祐治
京都大学大学院　水山高久

１．緒言

石礫型土石流の先頭部は，土石流の粒度組成や地形条件に応じて段波を形成するため，砂防えん堤に対して衝撃的な流体力が作用する可能性がある．一般に，段波は，①土石流内部での相互作用により礫が土石流表面へ移動する，②礫が先頭部に輸送され落下する，③礫と河床の摩擦が流れへ抵抗を与える，ことにより形成されると言われている[1)]．本研究は，段波土石流の形成メカニズムを解明するため，段波を形成した土石流モデルの実験データに対する流速分析，および粒子法による流速解析を行ったものである．

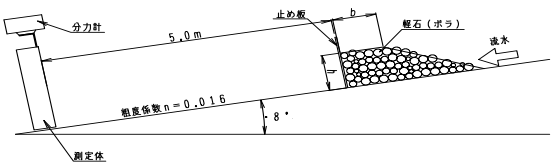

図-1　実験概要図

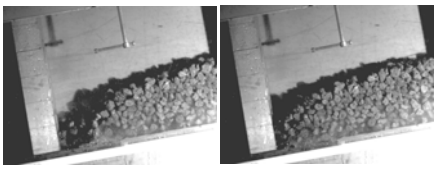

図-2　土石流モデルの先頭部形状

２．実験の概要

図-1 に示すように勾配 8 度の水路(幅 10*cm*)において，清水および桜島産軽石（ボラ，湿潤密度 1.14g/cm^3）を用いた土石流モデルを流下させ，下流側壁面に分力計を設置して荷重～時間関係を計測した[2)]．土砂は止め板で天然ダム形状に堆積させ，流水の越水と共に止め板をはずして流下させた．図-2 に荷重計測板に衝突する直前の土石流モデルの先頭部形状を示す．図から，先頭部に段波が形成されていることがわかる．

図-3　流速解析領域の設定

３．実験データの流速分析

3.1　流速分析の概要

高速度ビデオの画像から土石流内部の速度分布を求めるため，濃度相関法（PIV 法）による画像解析を行った．まず，図-3 に示すように，高速度ビデオカメラの映像に，画像解析を行う領域を設定する．設定した領域に流入した土石流に対して，設定領域の格子点周囲の濃淡を分析することにより画像間隔（1/1000 秒）における速度を求めた．

3.2　分析結果

図-4 に，初期堆積高さ 15cm の実験結果に対して行った流速解析の結果を示す．図中の凡例および速度ベクトルは，速度 2.5m/s までを 10 区間に分けて示している．図より，土石流モデルの先端に明瞭な段波が形成されていることがわかる．分力計に衝突する直前では，土石流先端部が最も流速が大きく，約 2.0～2.5m/s の速度に達していることがわかる．深さ方向の速度分布をみると，底面では約 1.0m/s 前後の流速であるのに対し，表面に近づくにしたがって流速は大きくなり，表面では約 2.0m/s 前後の速度になっている．これは，底面ではボラと水路床との摩擦が生じるため流速が小さくなるためと考えられる．土石流モデルが分力計に衝突した後は，土石流モデルが上方向へと速度を変化させていることがわかる．この際，分力計下部に堆積したボラは速度がほぼゼロに

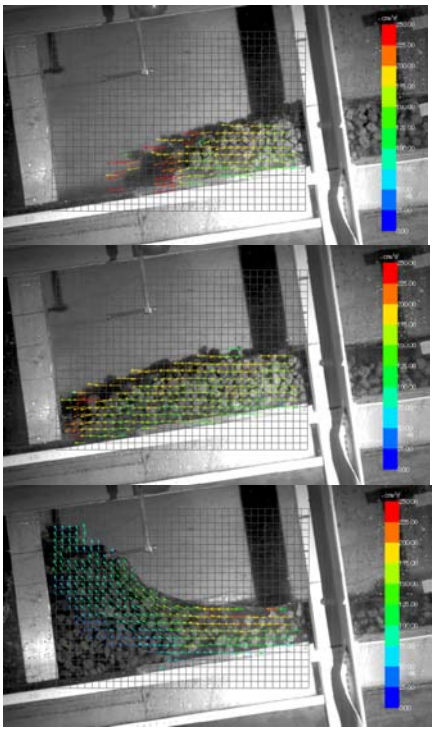

図-4　流速分布

なる特徴がある．

４．粒子法による流速解析

4.1　粒子法の概要

本研究では，粒子法として MPS 法[3)]を用いた．MPS 法では，微分演算子に対応する粒子間相互作用モデルを用いて，連続の式とナビエーストークス方程式を解く．本解析は，ボラと水の混相流であるため，ボラを剛体粒子として取り扱った．なお，剛体と水粒子の直径は 0.7cm とした．ボラについては，図-5 に示すように剛体粒子 5 個を組合せて 1 個のボラを構成した．解析モデルを図-6 に示す．解析は，剛体 80 個を清水内にランダムに配置した状態から 5m 流下させた．剛体同士の接触・摩擦を考慮するために，剛体同士が接触していると判定された場合には，粒子間に法線および接線方向バネを設定して，反発力や摩擦力を考慮した[4)]．また，水路床に接した剛体粒子に対して摩擦力を考慮した[4)]．

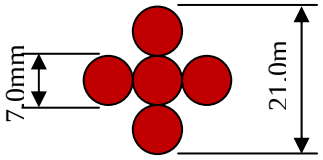

図-5　ボラ 1 個の構成

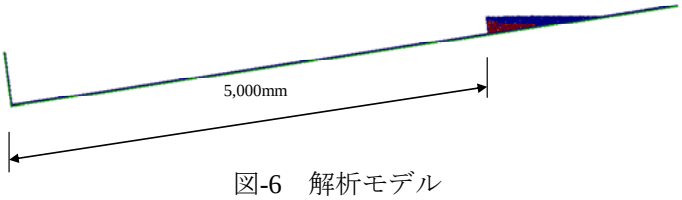

図-6　解析モデル

4.2　解析結果

図-7 に，解析で得られた流速分布を実験と比較して示す．図より，解析結果は実験と同様の段波を形成するとともに，剛体と水路床との摩擦によって水路床近傍の速度が小さいこと，土石流モデルの先端および表面部の速度が大きいことが確認できる．土石流モデルが分力計に衝突した後に，分力計下部に堆積したボラは速度がほぼゼロになる挙動も再現できた．図-8 は，解析による荷重～時間関係を実験と比較したものである．これより，本手法により荷重～時間関係も比較的良好に再現できることがわかる．

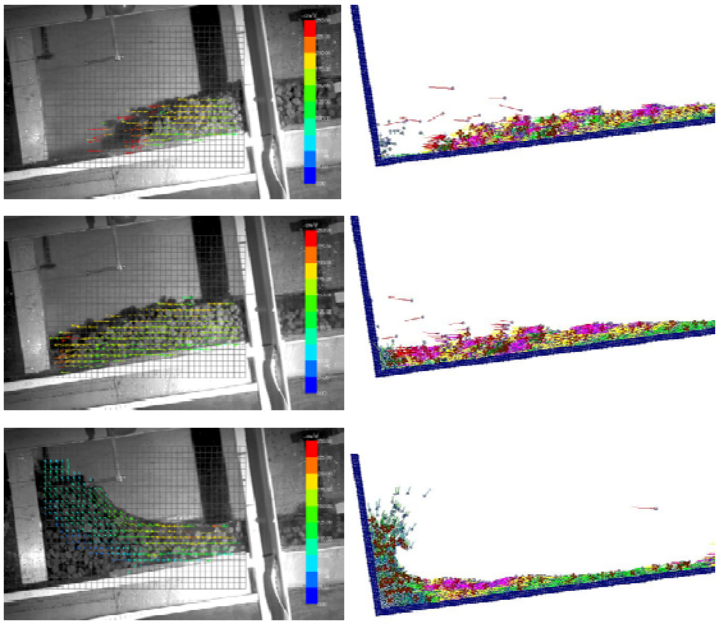
図-7　解析結果と実験結果の比較

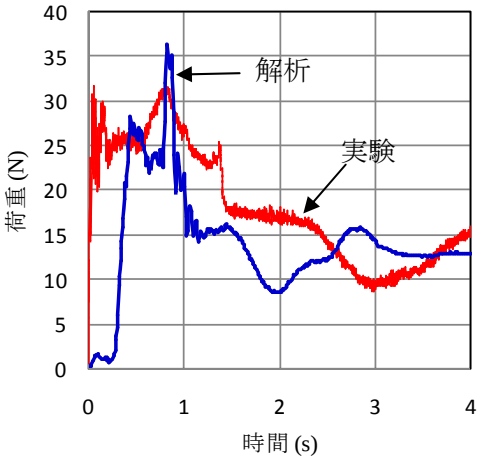

図-8　解析と実験の比較
（荷重～時間関係）

５．結言

ボラ混じりの土石流モデルの画像解析を行い，段波土石流内の速度分布を可視化することができた．また，剛体および流体粒子を用いた粒子法により，土石流モデルの速度分布や荷重～時間関係を比較的良好に再現することができた．これらの結果より，段波土石流の形成には，礫と水路床との摩擦や礫間の衝突が大きな影響を与えることがわかった．

参考文献

1)高橋保：土石流の機構と対策，近未来社，2004 年．　2）井上隆太，石川信隆，別府万寿博，長谷川祐治，水山高久：土石流段波モデルによる砂防えん堤モデルの荷重・変位計測と堆積状況の可視化実験，平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.290-291，平成 20 年 5 月．　3）越塚誠一：粒子法，丸善，2005 年．　4）別府万寿博，石川信隆，園田佳巨，長谷川祐治，水山高久：剛体・流体粒子による土石流モデルのシミュレーション解析，平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.96-97，平成 21 年 5 月．