

## MPS 法による衝撃的流体力の評価に関する基礎的検討

防衛大学校 学生会員 ○金子 鉄兵  
正会員 別府万寿博

## 1. 緒言

砂防堰堤に作用する土石流流体力は、定常な流れを仮定した噴流の理論式に基づいて規定されている<sup>1),2)</sup>。しかし、土石流は複雑な地形等によって非定常な流れや衝撃的流体力が生じる可能性がある<sup>3)</sup>。著者らは、MPS 法<sup>4)</sup>を用いて急勾配水路実験で得られた衝撃的流体力について流水の先頭部のみをモデル化した再現解析を行ったが実験の再現性は不十分であった<sup>5)</sup>。本研究は、実験の水路全体をモデル化した衝撃的流体力のシミュレーション解析を行ったものである。

## 2. 実験の概要

実験装置は、図-1に示す長さ約4m、幅0.3m、高さ0.5mの勾配可変の直線水路である。なお、底面はステンレス製であり、側面はガラス製である。貯水槽内の水量は5.5lとし、三角形に貯留した後、ゲートを開放して流下させた。図-1に示すように、ゲートから下流側へ3.7mの位置に水平方向の荷重を測定できるロードセルを垂直に設置して荷重を測定した。また、流水の流速および水深を高速ビデオカメラで計測した。図-2に、実験で使用した荷重計測板を示す。荷重計測板は、高さ40cm、幅30cm、厚さ3mmのアルミ製である。実験では、水路勾配を5°から20°まで5°刻みで変化させ、各ケース3回、合計12回の実験を行った。

## 3. 解析の概要

解析はMPS法を用いて検討を行った。本研究では、直径2mmの粒子でモデル化をした。解析に用いた解析モデルの例を図-3に示す。水の動粘性係数、水と床間および壁間の動粘性係数は $4.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{ms}$ として解析を行った(以後、解析ケース1とする)。また、荷重が最大値を示した後に激しく乱れる時刻 $t=0.4\text{s}$ 以降において、水の動粘性係数、水と床間および壁間の動

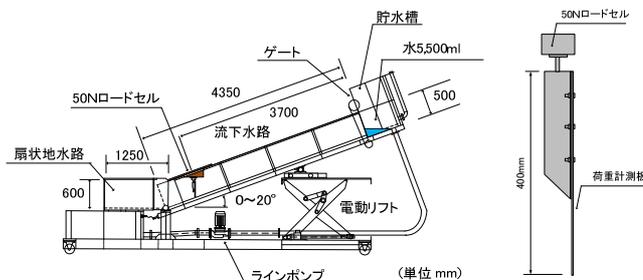


図-1 実験装置 図-2 荷重計測板



図-3 解析モデル (勾配 15°)

粘性係数を解析ケース1の2倍とした解析を行った(以後、解析ケース2とする)。

## 4. 解析結果および考察

## 4.1 荷重～時間関係

図-4は、水路勾配15°における解析で得られた荷重～時間関係を実験結果と比較したものである。実験結果では、 $t=0.09\text{s}$ で最大荷重(以後、最大衝撃荷重という)は31.5Nを示している。解析ケース1および解析ケース2ともに最大衝撃荷重は実験結果と同時刻( $t=0.09\text{s}$ )に27.5Nを示し、約10%小さい程度一致した。最大衝撃荷重以降において荷重が減少している領域では、 $t=1.5\text{s}$ 付近まではどちらのケースも実験結果を定性的に再現できている。その後、解析ケース1では、 $t=1.62\text{s}$ で再び荷重が26Nまで増加しているが、解析ケース2は $t=1.55\text{s}$ で17.5Nまでしか増加しておらず、解析ケース2の方が実験結果をよく再現できている。すなわち、実験で生じたエネルギー損失を解析ケース1は再現できていないと考えられる。これより、解析での再現性を高めるためには、壁衝突後の渦や気泡等によるエネルギー損失を考慮する必要があると言

キーワード MPS法, 衝撃的流体力, 砂防堰堤

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 TEL046-841-3810

える。なお  $t=2.0s$  では、実験結果は荷重が一定値を示すが、解析では荷重の増減を繰り返している。

#### 4. 2 流水の挙動

図-5は水路勾配  $15^\circ$ における水の流動状況を示している。実験結果では最大衝撃荷重時( $t=0.09s$ )の挙動は水が荷重計測板の上方に向きを変えているが、解析結果ケース1、解析ケース2においても同様の挙動を示している。最大衝撃荷重後に荷重が下降する時刻( $t=0.7s$ )では、実験は荷重計測板に衝突した水飛沫が落下しているが、解析結果ケース1では水の流れに遅れが生じている。また、解析ケース2では、実験結果よりも早く水飛沫が落下したため、実験を再現できていない。荷重が一定値を示す時刻( $t=2.0s$ )では、実験は三角形形状に貯留している。解析結果ケース1、解析ケース2ともに同様な挙動を示しているが、静止していないことがわかる。

#### 4. 3 圧力分布

図-6に、最大衝撃荷重時の圧力分布を静水圧と比較して示す。なお、静水圧算定時の水深は  $50mm$  とした。図-6より、この時刻で上方に跳ね上がった水の高さは  $200mm$  であったが、圧力が荷重計測板の下端  $50mm$  に集中していることがわかる。また、最大衝撃荷重時の圧力の最大値 ( $0.0039N/mm^2$ )は静水圧の最大値 ( $0.0005N/mm^2$ )の約8倍となった。

#### 5. 結言

本研究は、MPS法を用いて、水路全体をモデル化した衝撃的流体力のシミュレーションを行ったものである。解析の結果、最大衝撃荷重以降において、流水挙動の再現性が低いが、水が壁に衝突した後に動粘性係数を上げることで荷重をある程度良好に表現できることがわかった。また、最大衝撃荷重時の圧力分布は、荷重計測板の下端に集中していることがわかった。

今後、衝突後のエネルギー損失を考慮するため、乱流モデルを導入する必要がある。

#### 謝辞

本研究の一部は、科研費(24560594)の助成を受けて行われたものである。

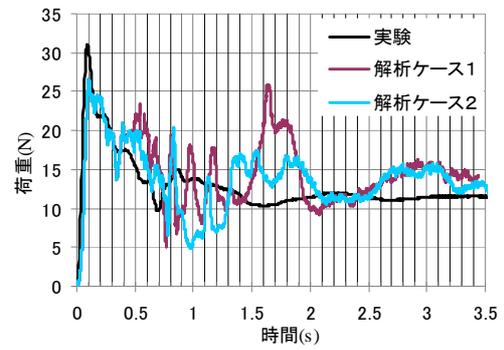


図-4 荷重～時間関係の比較(勾配  $15^\circ$ )

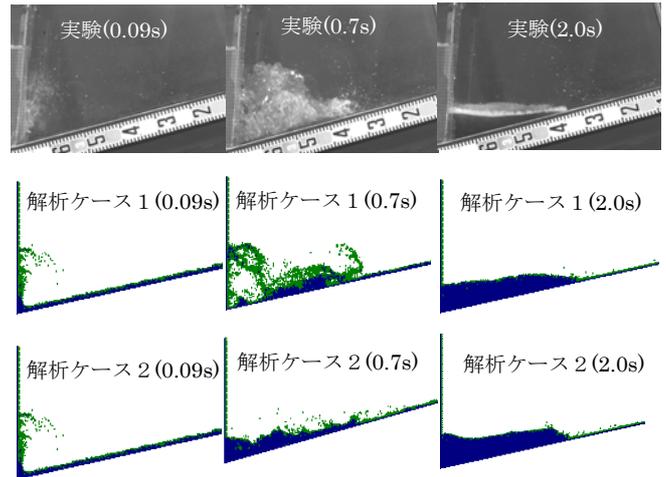


図-5 水の挙動の比較

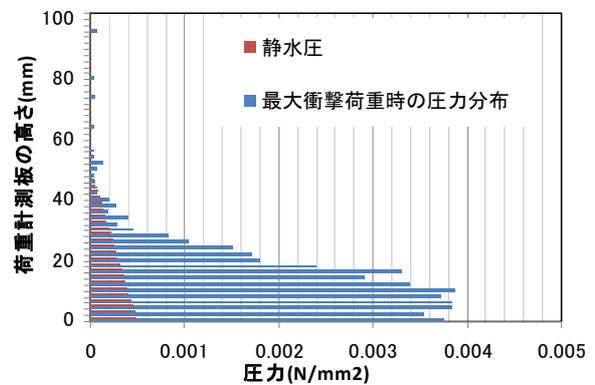


図-6 圧力分布

#### 参考文献

- 1)国土交通省砂防部, 国土交通省国土技術政策総合研究所: 土石流・流木対策設計技術指針及び同解説, 2007.11
- 2)土木学会: 土木構造物共通示方書(作用・荷重)丸善, 2010.
- 3)高橋保: 土石流の機構と対策, 近未来社, 2004.
- 4)越塚誠一: 粒子法, 丸善, 2005.2
- 5)金子鉄兵, 別府万寿博, 香月智: 急勾配水路実験による流体衝撃力特性に関する基礎的研究, 構造工学論文集, vol.59A, pp.1056-1064, 2013.3