

MPS 法による流体衝撃力の評価に関する基礎的研究

防衛大学校 学生会員 ○金子 鉄兵 正会員 別府 万寿博 香月 智

1 緒 言

土石流から人命や財産を守るために、砂防堰堤が設置されている。砂防堰堤を安全かつ合理的に設計する上で、土石流荷重を適切に評価する手法が不可欠である。砂防堰堤に作用する土石流荷重は、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¹⁾²⁾。しかし、土石流は複雑な地形等によって非定常な流れとなる可能性がある³⁾。本研究は、急勾配水路実験を行い、流体衝撃力を計測するとともに、MPS 法を用いたシミュレーション解析を行ったものである。

2 実験および解析手法の概要

2.1 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、三角形形状に貯留した後、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計測した。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° に 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。

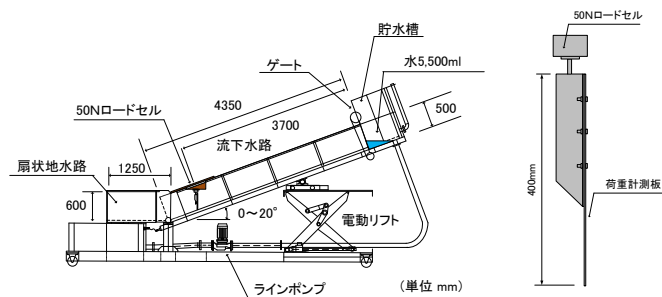


図-1 実験装置

図-2 荷重計測板

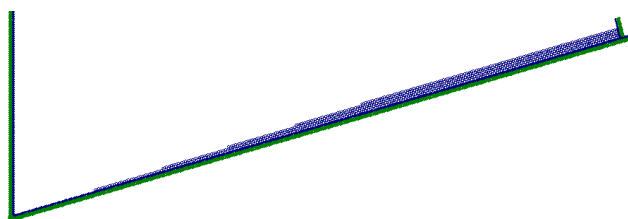


図-4 解析モデル

2.2 解析の概要

解析では、MPS 法を用いて検討を行った。実験では流水の先頭部が数 mm 以下の水深となるため、粒子数が多くなり計算時間が非常に長くなる問題が生じた。そこで、本研究では、実験から得られた先頭部 70cm の形状を、直径 2mm の粒子でモデル化した。先頭部に続いて上流側から流下する水の流れについては、図-3 に示す流入条件⁴⁾を用いて粒子を流入させた。図-4 に本解析で用いた解析モデルを示す。解析モデルの流速については、実験で得られた荷重計測板の上流側 70cm から荷重計測板に到達するまでの平均流速を与えた。形状については、高速度ビデオの映像に基づいてモデル化した。水の動粘性係数、水と床間の動粘性係数および水と壁間の動粘性係数は、それぞれ $1.0 \times 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{ms}$, $5.0 \times 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{ms}$ および $5.0 \times 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{ms}$ として解析を行った。

3 解析結果および考察

3.1 荷重～時間関係

解析結果の一例として、水路勾配 15° の場合について考察を行う。

図-5 は、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。図中の緑色の粒子は自由表面と判定された粒子を表している。図より実験結果で

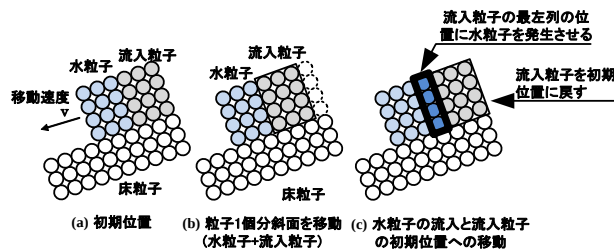


図-3 流入条件

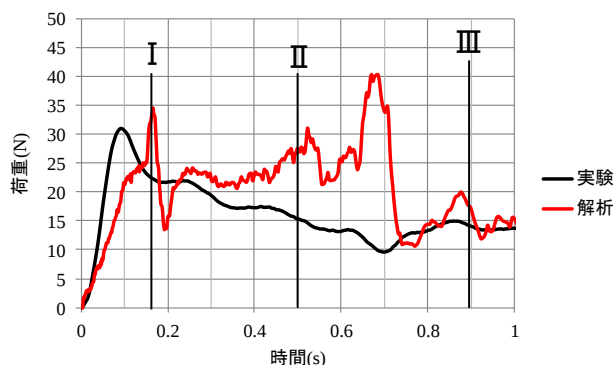


図-5 荷重～時間関係

キーワード 粒子法, 流水, 流体衝撃力, 砂防堰堤

連絡先 〒239-8686 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

E-mail : em51065@nda.ac.jp

は、荷重が 0.09s で最大荷重(以後、最大衝撃荷重という)を示しており、その時刻での最大衝撃荷重は 31.5N である。解析結果をみると、最大衝撃荷重は 0.017s において 34.4N であった。その後、荷重は減少しているが、0.3s を過ぎると再び荷重は増加している。この理由は、先頭部の形状や流速が実験と異なっていることや乱流を考慮していないためと考えられる。

3.2 流水の挙動の比較

図-6 は水路勾配 15°における流水の挙動を比較したものである、なお、図中の I ~ III は図-5 の I ~ III と対応している。状態 I は最大衝撃荷重を示す時刻であるが、実験結果では水は荷重計測板の上方へ向きを変えている。解析においても同様の挙動を示しており、実験結果を良好に再現できている。最大衝撃荷重から荷重が減少している領域(状態 II)の時刻において、実験では荷重計測板に衝突した水が落下し、水路底面上の水を乱れさせている。解析では、水の挙動は荷重計測板粒子に衝突した後、上方に跳ね上がった先端部が落下しているが、その水量は実験結果より少ないことが確認できる。これより、状態 II では、水の挙動の再現性が低いことがわかる。また、状態 III では、実験は気泡や渦を含む非常に複雑な挙動を示しているが、解析では気泡や渦を含む非常に複雑な挙動を再現できていない。

3.3 最大衝撃荷重時の水の挙動

図-7 に解析における各勾配の最大衝撃荷重時の水の挙動を実験と比較して示す。図からも各勾配においても最大衝撃荷重時の水の挙動については良好に再現できることがわかる。ただし、状態 II 以降についてはあまり再現できなかった。

4 結 言

本研究は、急勾配水路実験を行い、流体衝撃力を計測するとともに、MPS 法を用いたシミュレーション解析を行ったものである。最大衝撃荷重までの到達時間に遅れはあるが、最大衝撃荷重は良好に再現できた。また、水の挙動について、実験と解析を比較すると、最大荷重までの水の挙動について良好に再現できた。しかし、流水が荷重計測板に衝突した後、気泡や渦を含んだ非常に複雑な流れを示している領域以降では、流れの再現性が低いため今後検討する必要がある。

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。

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

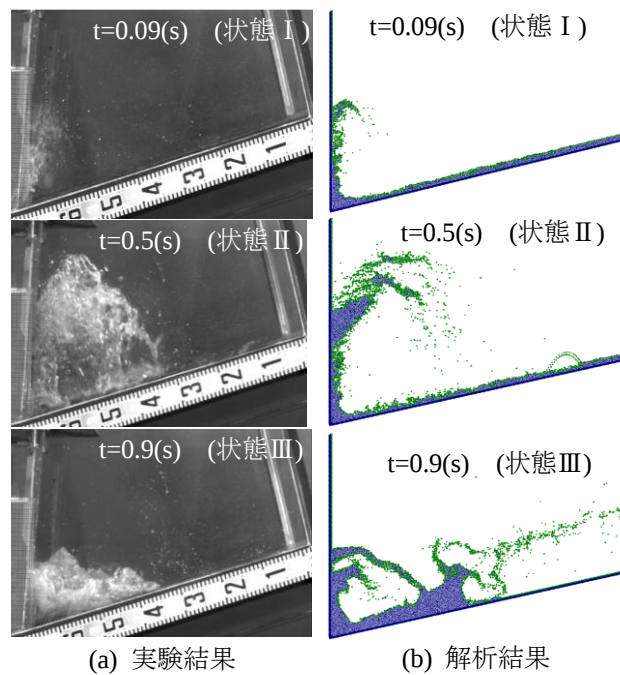


図-6 流水の挙動

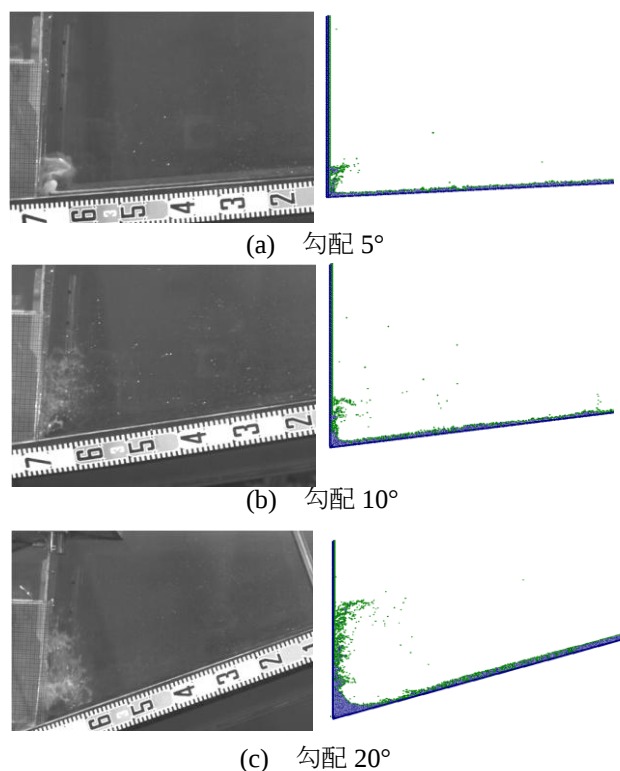


図-7 各勾配における最大衝撃荷重時の水の挙動

善, 2010.

- 3)高橋保：土石流の機構と対策，近未来社，2004.
- 4)井上隆太，別府万寿博，石川信隆，長谷川祐治，水山高久：粒子法による砂礫を含む土石流モデルの段波形成に関する一考察，平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.498-499，2012.5