

京都大学工学部地球工学科 学生会員 ○山本 和久
 京都大学大学院工学研究科 正会員 後藤 仁志
 京都大学大学院工学研究科 学生会員 五十里 洋行
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 酒井 哲郎

1. はじめに

近年、台風や集中豪雨などにより、洪水の発生ポテンシャルが高まっている。特に、河川堤防においては、計画高水位を超えるような事態において、その脆弱性が問題視されている。そこで、本研究では、粒子法のひとつである MPS 法¹⁾を用いて堤防越流水のシミュレーションを実施する。

2. MPS 法の概要

2.1 概説

MPS 法とは粒子法の一つであり、自由表面流解析手法である。連続体は有限個の粒子の集合体として定義され、粒子は移動計算点として、Lagrange 的に流体運動が扱われる。基礎式中の微分演算は粒子間相互作用モデルを通じて行われる。

2.2 水底摩擦抵抗の表現

本計算では底面壁粒子に凹凸を配置して底面粗度を与えるのではなく、底面付近に存在する水粒子に付加的抗力を与えることで壁面の粗度の効果を再現する。

まず、摩擦抵抗抗力を次のように定義する。

$$\mathbf{F}_{bf} = -\delta_{bf} \cdot \frac{C_D}{d_0} |\bar{\mathbf{u}}_i| \bar{\mathbf{u}}_i : \bar{\mathbf{u}}_i = \sum \mathbf{u}_j w_u(|\mathbf{r}_{ij}|) \quad (1)$$

$$w_u(r) = \begin{cases} \frac{1}{\sum w_u(r)} & \text{for } r \leq \alpha d_0 \\ 0 & \text{for } r > \alpha d_0 \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 C_D :抗力係数、 d_0 :粒径、 $\bar{\mathbf{u}}_i$:粒子近傍の局所平均流速ベクトルであり、 $\alpha=2.0$ 、 $C_D=0.010$ に設定した。

付加的抗力が与えられる粒子を示すフラグについては、

$$\delta_{bf} = \begin{cases} 1 & \text{for } r_b \leq 3.1d_0 \\ 0 & \text{for } r_b > 3.1d_0 \end{cases} \quad (3)$$

とした。ここに、 r_b :底面壁粒子との距離である。

3. 堤防越流の数値シミュレーション

3.1 概要

ここでは、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーで行われた水理模型実験と数値シミュレーションとの結果を比較することにより、その有効性を検証する。

3.2 計算条件

本研究で用いた堤体モデルを図-1 に示す。粒径は 5.0mm と 10.0mm の 2 ケース、堤体形状、流量は水理実験と同一であり、単位幅流量は越流水深 10.0cm、20.0cm、30.0cm に対して 0.053m²/s、0.1525m²/s、0.283m²/s を与える。計算では、右側水路床に設置した幅 0.30m の可溶性移動壁²⁾の上昇速度を変化させることで所与の越流水深に応じた流量を供給した。これは、堤体右側に滞留する水粒子を越流水に影響しない範囲でできるだけ少なくし、計算負荷を軽減するためである。また、下流端は自由流出とし、付加的抗力の作用範囲は裏法面上のみとした。

初期配列は粒径 5.0mm の場合、壁粒子 4232 個、水粒子 240 個の合計 4472 個で構成され、粒径 10.0mm の場合は壁粒子 2132 個、水粒子 120 個の合計 2252 個で構成されている。実時間で 20 秒の計算を行う場合に必要な計算時間は粒径 5.0mm の場合は粒径 10.0mm の場合と比較して約 4 倍の時間を要する。圧力と水深は左側水平面端を起点として 5.0cm の等間隔で合計 80 箇所の測定点の直近傍に存在する壁粒子において Euler 観測した。流れが定常となったと確認できる 10.0 秒以降を対象に水理データの処理を行った。

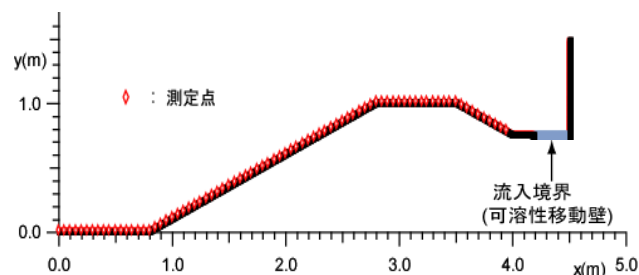


図-1 初期配列図

3.3 計算結果

まず、粒径 10.0mm の場合における越水の挙動を図-2 に示す。右端の可溶性移動壁から水粒子が供給され、約 4.0 秒で定常状態となっている。また、図-3 に圧力分布、図-4 に水深についての比較を示す。天端上から法肩への流入時に圧力が急激に低下し、法尻においては、勾配変化によって圧力のピーク値を示す、これらの特性について計算は実験値と良好な一致を示している。一方、水深については、計算値において、天端上から法肩への流入時に若干の水深増加が確認できるが、その他の範囲では良好な一致を示していることがわかる。最後に、裏法面上での断面流速分布を図-5 に示す。底面近傍流速は最大流速の 60%程度に抑制されている。

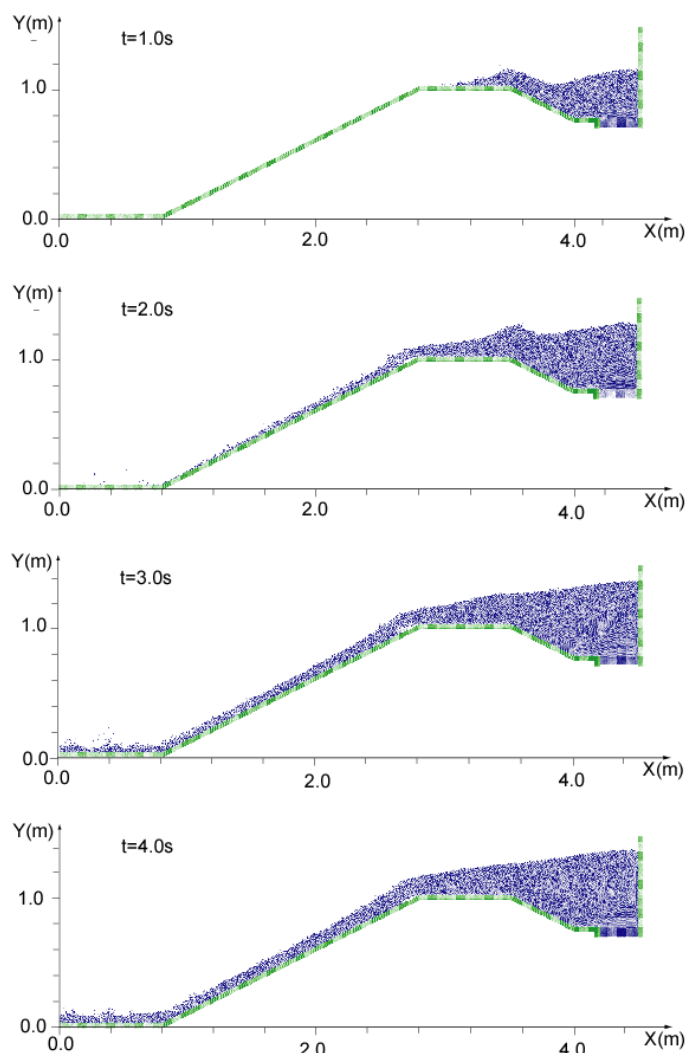


図-2 越水の挙動

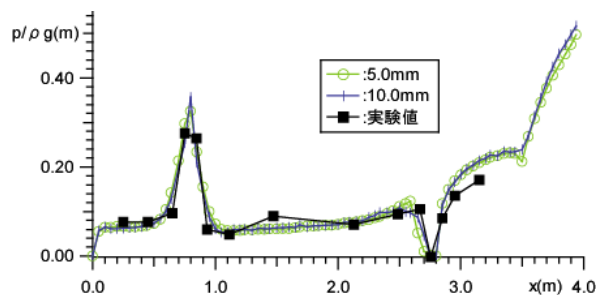


図-3 圧力値比較

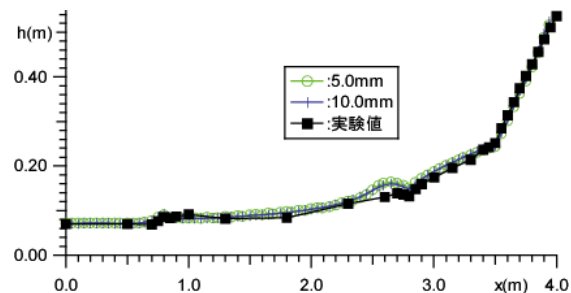


図-4 水深比較

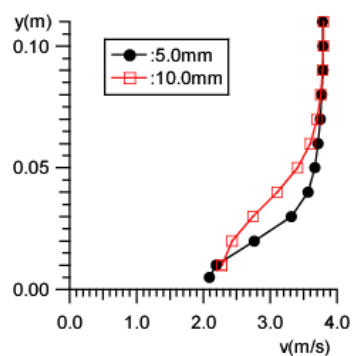


図-5 裏法面上での断面流速分布

4. おわりに

今回の計算では圧力値と水深において良好な再現性が確認できた。今後は圧力値、水深だけでなく、流速についても実験と比較検討する必要がある。

また、粒径による挙動の差異は圧力値、水深ともに小さく、計算負荷軽減のために粒径 10.0mm を用いて計算を行っても充分、信頼性が高い結果が得られることが確認できた。今後の課題として、移動床や実スケールでの計算を行いその有効性を示したい。

参考文献

- 1) Koshizuka, S., Tamako, H. and Oka, Y. (1995) : A Particle method for incompressible viscous flow with fluid fragmentation, Computational Fluid Dynamics J., Vol.4, No.1, P29-46,
- 2) Gotoh, H., Shibahara, T. and Sakai, T. (2000) : Sub-Particle-Scale Turbulence Model for Hydraulic Engineering-, Computational Fluid Dynamics Jour., Vol.9 No.4, P339-347