ISSN 2186-5647

P-18

SPH 法によるダム崩壊流れシミュレーション

日大生産工(学部)　〇日下部智亮　　日大生産工(院)　　林　侑希
日大生産工　　角田和彦

1　はじめに

粒子法は流体の数値解析を行う上で用いる手法である。流体は小さな粒子の集合から構成されていると考え、粒子の挙動を解析することで流体全体の挙動を近似する。格子の分割を基にした、メッシュ法では解けないような大変形を伴う問題で扱われる。

SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法[1)]は各々の粒子に変数を与え、kernel 積分を行うことで流体の動きを近似的に解く、粒子法の離散化手法である。kernel 関数の種類によって流体の挙動は変わってくる。また、kernel 関数は演算が容易かつ流体の動きが安定したものが望まれる。

粒子法の代表的手法のひとつであるMPS法において双曲型重み関数を用いた流体の数値解析が行われてきた[2)]。双曲型重み関数は、神経回路網ニューロンをモデルとしたニューラルネットの入出力関係から提案された特性関数である[3)]。

本研究では双曲線型重み関数をSPH法に適用する。そして、双曲型kernel 関数が及ぼす流体への影響を検討することを目的とする。また、ダム崩壊流れをモデルにして双曲型kernel 関数を使用した数値解析の精度を実験値と比較する。

2　SPH法

kernel 関数$W(r-r',h)$により平均化する操作を行う。評価点 r において任意の物理量を$f(r)$とする。

$$f(\mathrm{r}) \cong \int f(r')W(r-r',h)dr' \qquad (1)$$

式(1)において、$r-r'$は粒子間距離を表す。kernel 関数 Wは物理量の分布を意味する。

$$f(\mathrm{r}) = \sum_j m_j \frac{f_j}{\rho_j} W(r_j - r, h) \qquad (2)$$

式(2)に離散化式を示す。m_jは粒子j における質量である。SPH法では評価点rに対する近傍粒子r_jとの距離に応じて平均化を施す。そのときの物理量の総和が評価点rにおける物理量となる。

次に流体の支配方程式を示す。式(3)はナビエストークス方程式を表す。

$$\frac{\mathrm{Du}}{\mathrm{Dt}} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2\mathrm{u} + g \qquad (3)$$

uは流体速度、νは動粘性係数、ρは密度、pは圧力、gは重力である。

3　kernel 関数

SPH法はkernel 積分による平均化の影響を受ける範囲を定め、範囲外の粒子は無視する必要がある。そのために範囲外ではkernel 関数をゼロとする。この操作をコンパクト化という。また、どの程度平均化するかはhの値によって決まる。平均化する際のkernel 関数はどのような形でもいいわけではない。次式(4)ように規格化されている必要がある。

$$\int W\,dr = 1 \qquad (4)$$

双曲型kernel 関数も影響を及ぼす範囲の半径を2hとしてコンパクト化を行う。図１に平均化の影響半径とkernel 関数の分布を示す。

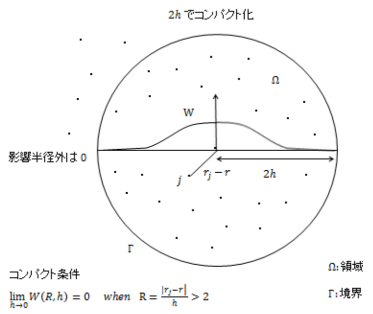


図１．影響半径と物理量の分布

Dam-Breaking Flow Simulation by SPH Method

Tomohiro KUSAKABE, Yuki HAYASHI, Kazuhiko KAKUDA

式(5)は双曲型kernel 関数である。式(6)は２次元におけるコンパクト化のための適当な定数である。

$$W(R,h) = \frac{a_d\kappa}{2h}\{\mathrm{sech}^2(\kappa R) - \mathrm{sech}^2(2\kappa)\} \quad (0 \le R < 2) \qquad (5)$$

$$a_d = \frac{1}{\pi h[\frac{1}{\kappa}\{2\kappa\tanh(2\kappa) - \ln(\cosh(2\kappa))\}2\kappa\,\mathrm{sech}^2(2\kappa)]} \qquad (6)$$

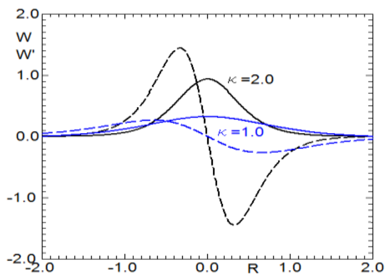


図２． κ の値による分布

図２は双曲型kernel 関数の κ の値を変化させた時の関数の分布である。 κ = 1.0 に比べて κ = 2.0 の方が一般的に用いられるkernel 関数（Gaussian kernel 等）の分布に近い形状となる。

４ 数値解析

双曲型kernel 関数を用いたSPH法によるダム崩壊流れの数値解析を可視化したものを示す。本解析では κ = 2.6として解析を行った。

図３は粒子の初期配置である。図４に各時刻での粒子の挙動を示す。

また､図５はSPH法の代表的なkernel 関数、そして双曲型（Hyperbolic）kernel 関数を用いた場合の粒子の先端比較である。図４を基に各時刻t(s)における最も右に位置する粒子の座標をプロットした。双曲型kernel 関数を使用した場合のダム崩壊流れの挙動は他のkernel 関数を使用した場合に比べ､時間経過に伴い実験値に近いものとなっている。

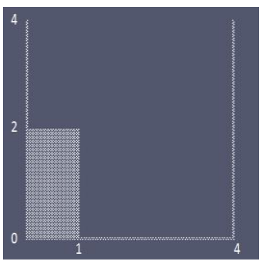
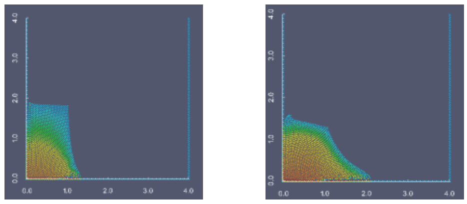
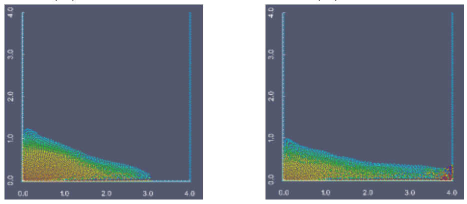


図３．粒子初期配置



(a)t=0.2s　(b)t=0.4s



(c)t=0.6s　(d)t=0.8s

図４．ダム崩壊流れシミュレーション

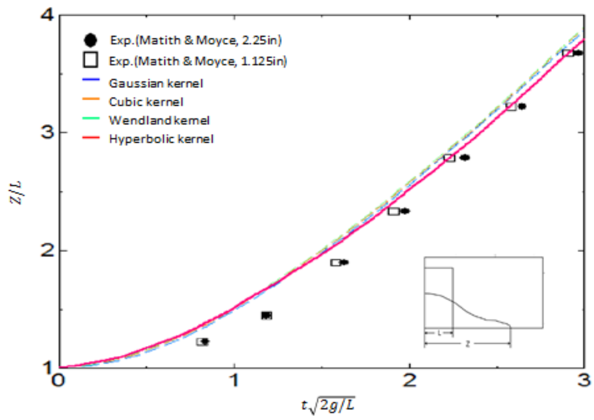


図５． kernel 関数と実験値の比較

５ おわりに

双曲型kernel 関数により平均化を施し、ダム崩壊流れの挙動を他のkernel 関数及び実験値と比較した。今回は２次元解析であったが良好な結果が得られた。

演算の容易さについて言及すると、双曲型kernel 関数は他のkernel 関数に比べて複雑な形をしている。しかし、２次元解析においてそれほどの解析時間の違いは見られなかった。

今後は３次元解析に取り組み、数値解析の精度の向上を目指す。

参考文献

1)G.R.Liu,M.B.Liu, Smoothed Particle Hydrodynamics,World Scientific,2003

2)椎名秀昌,「ニューラルネットに基づく双曲線重み関数を用いた粒子法シミュレーション」, 第 46 回日本大学生産工学部学術講演会,2014

3)角田和彦,「ニューラルネットの特性関数とその近似関数」,情報処理学会第 67 回全国大会,1-239~1-240.