

DynamicSGS モデルを用いた傾斜サーマルの 3 次元流動解析

長岡工業高等専門学校 浅井 柾人
長岡工業高等専門学校 正会員 衛藤 俊彦

1. はじめに

福嶋ら¹⁾は広い斜面上の傾斜サーマルの運動を明らかにする目的で、淡水中に塩水による傾斜サーマルを形成させ、その横断方向への広がりなどを室内実験により調べた。衛藤ら²⁾は福嶋らの実験について Dynamic SGS モデルを用いた数値解析が行われ、実験結果と良い一致を得ている。これらの研究は塩水による傾斜サーマルを対象としており、泥水流のような粒子による傾斜サーマルでは、粒子の沈降性がその流動特性に大きく影響を与えるものと考えられる。そこで本研究では 3 次元粒子サーマルを解析対象として Dynamic SGS モデルを用いた数値解析を行い、得られた結果を塩水サーマルの結果と比較することにより、粒子がサーマルの流動に及ぼす影響や、3 次元粒子サーマルの流動特性を調べることを目的とする。

2. 方法

解析は福嶋らの実験条件を基に、初期の流入流体を塩水から粒子の混合流体に変え、その他は同一条件で数値解析を行った。また、粒子は平均粒形が 26 μm で密度 4370 kg/m^3 のものを使用した。福嶋らの実験条件を表 1 に示す。実験装置は、水槽(長さ 297cm, 深さ 100cm, 幅 95cm)に、傾斜板(長さ 265cm, 幅 95cm)が取り付けられており、 0° から 20° までの傾斜角に設定することができる。傾斜板の上端の奥行方向中央に長さ 14cm, 幅 15cm の放流ゲート付きタンクが設置してある。ゲートを開放することにより、水路に粒子サーマルを形成させた。

この条件で Open FOAM を用いて流動解析を行った。計算領域は、流下方向に x 軸、その垂直方向に y 軸、奥行き方向に z 軸を取り、x 軸方向に 240cm, y 軸方向は傾斜角に応じてそれぞれ設定、z 軸方向に 95cm とした。格子間隔は x, y 軸方向 1cm 刻み, z 軸方向には 2cm 刻みに分割し解析を行った。乱流場の

表 1 実験条件

case No.	angle θ (deg)	saline water			fresh water	
		C(%)	t($^\circ\text{C}$)	ρ (g/ml)	t($^\circ\text{C}$)	ρ (g/ml)
1	5	2.11	4.2	1.01840	6.0	0.99997
2		6.06	12.0	1.05146	11.2	0.99961
3		10.02	13.2	1.08867	12.2	0.99950
4	10	2.11	3.5	1.01845	5.8	0.99997
5		6.06	12.0	1.05146	11.2	0.99961
6		10.02	12.8	1.08880	12.0	0.99953
7	15	2.11	4.5	1.01838	5.5	0.99998
8		6.02	12.4	1.05100	11.8	0.99953
9		10.02	12.8	1.08880	12.0	0.99955
10	20	2.11	3.5	1.01845	5.5	0.99998
11		6.02	12.4	1.05100	11.8	0.99948
12		10.16	13.5	1.08999	12.4	0.99955

解析モデルには Dynamic SGS モデルを、解析手法に有限体積法を用いた。傾斜サーマルの先端位置は最大濃度の 1%, 最大厚さは 10%, 最大広がり幅は条件に応じて 5~30% を判定境界と定義した。解析結果から傾斜サーマルが 1 秒流下するごとのサーマルフロントの最大厚さ, 最大広がり幅を読み取った。またフロントの流下速度は、フロントの x 軸方向位置と経過時間より計算した。

3. 解析結果

解析結果から塩水サーマルと粒子サーマルの先端移動速度, 最大厚さ, 最大広がり幅の比較を行った。

(1) 先端移動速度

図 1, 2 には傾斜角 5° , 20° の先端移動速度の流下距離変化を示す。濃度が大きいもの、傾斜角が急なものほど速度は大きく、すべての case で塩水サーマルのほうが常に速度が上回る結果となった。また、速度のピークで塩水と粒子の間で速度差が生じ、それ以降はその速度差をほぼ一定に保つような関係が見られた。そのため減速域の変移の仕方は似ていると考えられる。

(2) 最大厚さ

図 3, 4 に傾斜角 5° , 20° の最大厚さの結果を示す。いずれも流下距離に対して線形的に増加している。傾斜角 15° , 20° では粒子と塩水の結果に大きな差は見られない。傾斜角 5° では流下するにつれ粒子の結果が塩水の結果よりやや大きくなっている。

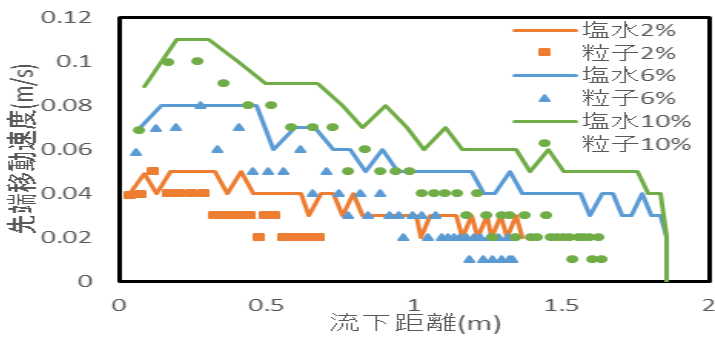


図1 先端移動速度の流下距離変化(傾斜角 5°)

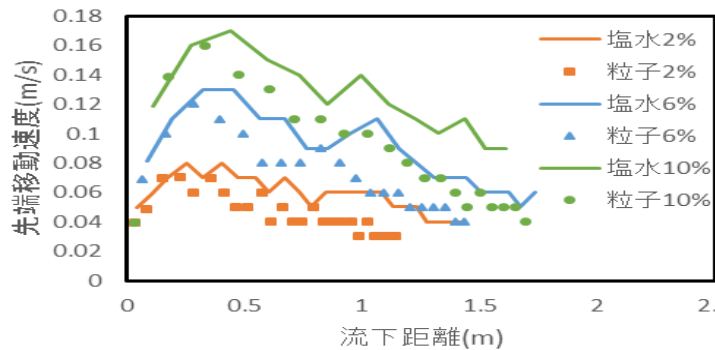


図2 先端移動速度の流下距離変化(傾斜角 20°)

(3) 最大広がり幅

図5, 6に傾斜角 5°, 20°の最大広がり幅の結果を示す。塩水の結果はいずれも流下距離に対して線形的に増加しており、同一の傾斜角における差は見られない。粒子の結果は流動初期は塩水と同様の幅の増加を示すが、その後は粒子サーマルの方が幅の増加が小さい結果となった。また傾斜角が小さいほど塩水との違いが顕著であった。

4. まとめ

3次元傾斜粒子サーマルについて流動解析ツール Open FOAM を用いて数値解析を行った。解析結果からサーマルの流下速度、最大厚さおよび最大広がり幅を求め、衛藤らの行った塩水サーマルの3次元流動解析結果と比較し、粒子サーマルと塩水サーマルの流動特性の違いを検証した。その結果、流下速度はすべての case で粒子サーマルが塩水サーマルよりも遅く移動する結果となった。これは粒子の沈降によりサーマルの質量が減少したことが要因だと考えられる。最大厚さに関しては塩水と粒子の間で傾斜角が大きな case では顕著な差は見られなかった。最大広がり幅は傾斜角が小さい case ほど塩水と粒子の結果が大きくなった。また傾斜角が 20° の結果においては最大厚さおよび最大広がり幅の流下距離変化に大

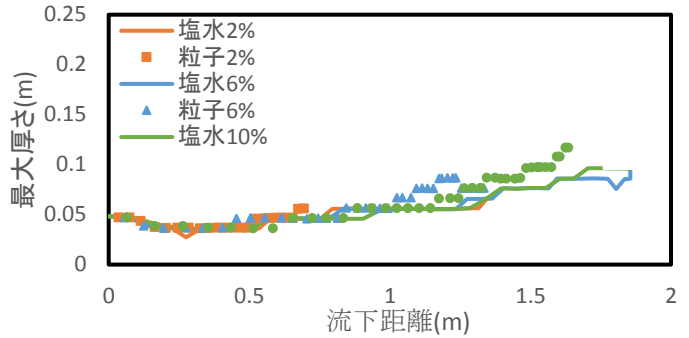


図3 最大厚さの流下距離変化(傾斜角 5°)

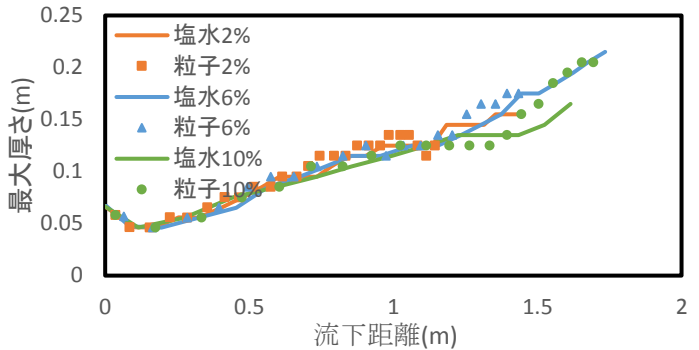


図4 最大厚さの流下距離変化(傾斜角 20°)

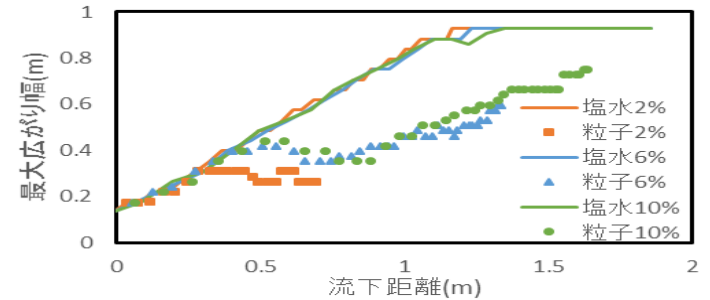


図5 最大広がり幅の流下距離変化(傾斜角 5°)

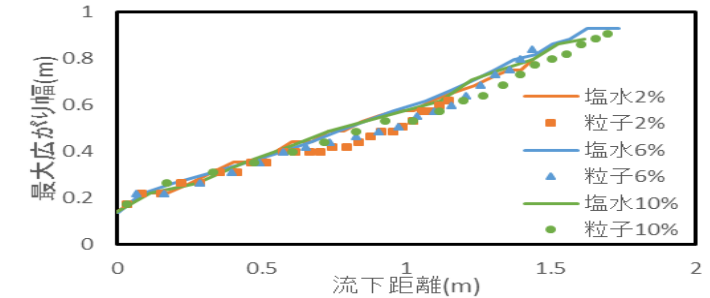


図6 最大広がり幅の流下距離変化(傾斜角 20°)

きな差は見られず、傾斜角が小さくなるほど両者の結果の差が顕著になることから、傾斜角が大きくなるにつれ粒子の沈降性がサーマル形状に及ぼす影響が小さくなるものと考えられる。

参考文献：

- 1) 福嶋ら, 3次元傾斜サーマルの流動特性, 土木学会論文集, 第473号, 1993.
- 2) 衛藤ら, Dynamic SGS モデルを用いた 3次元傾斜サーマルの数値解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol. 73, No. 2, 2017.