

保存性傾斜サーマルの流動特性に及ぼすスケールの影響

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○衛藤俊彦
長岡技術科学大学環境・建設系 正会員 福嶋祐介

1. はじめに

周囲流体より密度の大きい流体が、斜面上を壁面を沿って流下する現象を傾斜壁面密度流と呼ぶ。これは上流から流体の供給のある傾斜壁面ブルームと、供給のない傾斜壁面サーマルとに分類される。海底や大規模な湖沼で発生する泥水流や、山岳地帯で発生する煙型雪崩や火砕流はその代表例である。筆者らは小スケールのサーマル現象に対し $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて数値解析を行い、流動特性、内部特性を明らかにしてきた。しかしながら実際のサーマル現象は大スケールであり、小スケールの場合との流動特性の違いについて明らかにする必要がある。

図 - 1 は傾斜サーマルの模式図である。上流部より流入した流体が全体として非定常なフロント部を形成しながら流下する。このときフロント部では大規模な渦運動を伴うため、傾斜サーマルの解析には乱流構造を考慮したモデルを用いる必要がある。

本研究では保存性傾斜サーマルについて、スケールの違いによる流動特性の違いを明らかにするため、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて数値解析を行った。基礎方程式の離散化には S.V.Patankar による SIMPLE 法を採用した。大スケールと小スケールで系統的に傾斜角を変化させ計算を行い、連行係数を求めた。さらに流速ベクトル場、等濃度線を求めることにより、スケールの違いによる保存性傾斜サーマルの流動特性の特徴を明らかにする。またサーマルの流下速度、最大厚さなどの諸量の流下距離による変化を求め、流下特性の違いについても明らかにする。

2. 計算条件

計算は淡水が満たされた水路内に上流端から塩水を流入させ塩水サーマルを発生させるものとする。計算は大スケールと小スケールの条件で行った。それぞれの計算条件を表 - 1 に示す。計算した水路の傾斜角は大スケール、小スケールともに 10° 、 20° 、 30° 、 40° であり、流入させる初期塩水面積は傾斜角 10° で $54\text{m}^2(\text{cm}^2)$ 、 40° で $74\text{m}^2(\text{cm}^2)$ である。

キーワード：保存性サーマル、 $k-\varepsilon$ 乱流モデル、スケール、SIMPLE 法、数値解析
連絡先：〒 940-2188 長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学
Tel 0258-46-6000

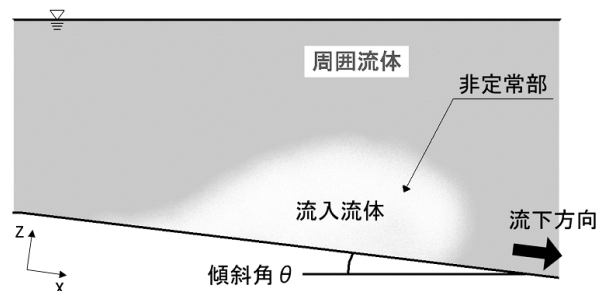


図 - 1 傾斜サーマルの模式図

表 1: 計算条件

case	距離	初期水深	塩水面積	塩分濃度
小スケール	200cm	45cm	$54 \sim 74\text{cm}^2$	5%
大スケール	200m	45m	$54 \sim 74\text{m}^2$	5%

3. 解析モデル

数値解析に用いた基礎方程式は、連続式、 x 、 z 方向のレイノルズ方程式、塩分の輸送方程式、乱流運動エネルギー k の方程式、分子粘性逸散率 ε の方程式である。これらの方程式は衛藤・福嶋¹⁾の研究と同様のものを用いた。

4. 数値解析結果の検討

図 - 2 はそれぞれの条件での塩水サーマルの連行係数を傾斜角に対して示したものである。ここで連行係数は以下のように示される。

$$E_w = (h - h_0) \frac{2\xi_A}{\xi_i x} \quad (1)$$

ここで ξ_A 、 ξ_i は形状係数であり、次のように定められる。

$$\xi_A = \frac{A}{h^2} \quad (2)$$

$$\xi_i = \frac{P_i}{h} \quad (3)$$

h はサーマルの厚さ、 h_0 はサーマルの初期高さ、 A はサーマルの面積、 P_i は界面長である。この結果よりスケールの違いによる連行係数の大きな違いは見られなく、いずれのスケールでも傾斜角に対し同様の傾向で連行係数は増加している。図 - 3 はサーマル内の最大塩分濃度の流下方向変化のグラフである。実線で示したものは傾斜角 10° 、破線は傾斜角 40° であり、点のないものは小スケール、点のあるものは大スケールの計算結果である。 x 軸は流下距離を初期塩水面積の平方根で無次元化したものであり、 y 軸は最大塩分濃度を

初期塩分濃度で無次元化したものである。塩分濃度の流下方向変化は傾斜角によって若干異なるがスケールによる大きな差は見られない。このことから塩水サーマルの周囲水との希釈は、スケールによらずほぼ同程度になっていると考えられる。

スケールの違いによるサーマルの内部特性の変化を調べるため計算結果から塩分濃度コンターと流速ベクトルを求めた。比較は流下距離を初期塩水面積で無次元化した値が同一となる位置で行った。図 - 4 は小スケールの場合での、傾斜角は 40° 、流下距離 140cm 、無次元距離 $x/\sqrt{A} = 16.182$ での塩分濃度コンターと流速ベクトルの図である。サーマルは半楕円形の形状をしており、サーマルの周囲には流速ベクトルによる循環流が形成されている。塩分濃度はサーマル中心部において最も高濃度になっている。図 - 5 は大スケールの場合であり、傾斜角は 40° 、流下距離は 140m 、無次元距離 $x/\sqrt{A} = 16.182$ での塩分濃度コンターと流速ベクトルの図である。小スケールの結果と同様に形状は半楕円形であり、周囲には循環流が形成されている。図 - 4、5 より塩水サーマルの形状、内部特性はほぼ相似であり、スケールによる差は小さいことがわかる。

6. おわりに

保存性傾斜サーマルである塩水サーマルについて、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて SIMPLE 法による離散化を行い、数値解析を行った。特にスケールの違いによる流動特性の変化を調べた。計算結果からサーマルの連行係数を求め、スケールの違いによる連行係数の差は小さいことを確かめた。両スケールでのサーマルの最大塩分濃度の流下方向変化を比較し、サーマルの周囲水との希釈はスケールによらず同程度であることがわかった。また数値解析結果から、二つのスケールでの同じ無次元距離における塩分濃度コンター、流速ベクトル図を求め、両者の内部特性はほぼ相似であることを確認した。

参考文献

- 1) 衛藤俊彦・福嶋祐介： $k-\varepsilon$ 乱流モデルによる保存性傾斜サーマルの数値解析、水工学論文集、第 46 巻、pp.1043～1048、2002。

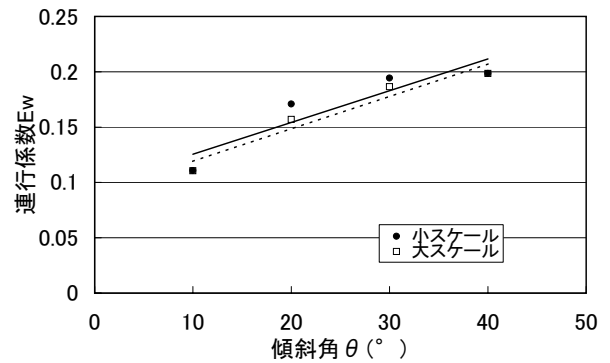


図 - 2 サーマルの連行係数

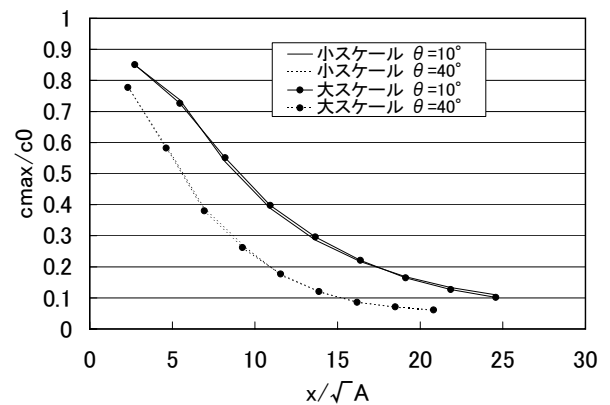


図 - 3 サーマルの最大濃度の流下距離に対する変化

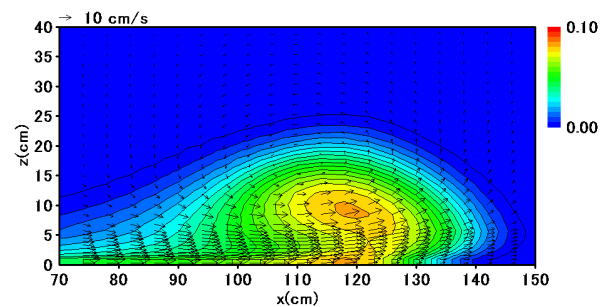


図 - 4 塩分濃度コンター、流速ベクトル図
(小スケール、 $\theta = 40^\circ$ 、 $x = 140\text{cm}$)

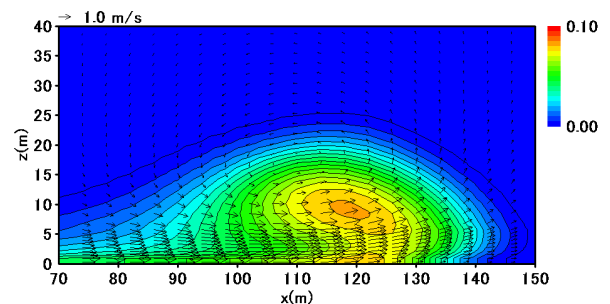


図 - 5 塩分濃度コンター、流速ベクトル図
(大スケール、 $\theta = 40^\circ$ 、 $x = 140\text{m}$)