固気二相流における粒子の違いが乱流構造に与える影響

福島工業高等専門学校　建設環境工学科　学生会員　○田地　秀光
福島工業高等専門学校　建設環境工学科　正 会 員　　菊地　卓郎

１．はじめに

自然界では空気の流れによって，固体粒子が輸送される固気二相流と呼ばれる現象がたびたび観測される．海岸における飛砂や冬季における吹雪はその代表的な現象である．これらは固体粒子が砂粒子と雪粒子であるという違いはあるものの数多くの共通項がみられる．本研究では，乱流拡散方程式を用いた$k-\varepsilon$乱流モデルを適用し，固気二相流における固体粒子の違いが乱流構造に与える影響を評価し，そのメカニズムについて考察を行った．

２．数値解析モデル

数値解析モデルは，乱流運動エネルギーkと分子粘性逸散率εを用いた$k-\varepsilon$乱流モデルを採用した．基礎方程式は連続式，レイノルズ方程式，乱流運動エネルギーk，分子粘性逸散率ε，乱流拡散方程式についての方程式である．

３．飛砂と吹雪

飛砂と吹雪は固体粒子が空気流に輸送される問題として捉えた場合に，数多くの共通項があり，同様の方程式を用いて記述することができる．一方，輸送される固体粒子が砂粒子と雪粒子であるために，沈降速度や流体中における相対比重といった両者の違いを考慮しつつ，解析を進めた．

４．数値モデルの検証

飛砂における数値解析との比較には久保田ら[1)]の幅 1.0m，高さ 1.1m，長さ 20m の吹出型風洞で行われた実験データを用いた．

解析手順は最初に風速分布の数値解析値と実験値が最も一致するような無次元圧力勾配と相当粗度を同定した．そして，飛砂量の実験値と風速，砂粒子の密度から砂の体積濃度を推定し，底面近傍の濃度を求め，飛砂量分布を計算した．計算領域は対数則が成立している 30cm から底面の基準点高さまでの範囲とし，計算の刻み幅は全領域を 100 分割した値とした．ここで底面の基準点高さは全領域の 5%を与えている．乱流拡散方程式を用いた場合には底面もしくはごく近傍における固体粒子の転動，跳躍を取り扱うことは困難なためにこの基準点高さをどのように設定するかは重要である．今回は固体粒子の状態を浮遊か跳躍かを区別せずに，浮き上がった粒子の運動に対して底面近傍を基準点高さと考えた．

図 1, 2 は砂粒子の中央粒径が 0.15mm の場合の風速分布と飛砂量分布について実験値と解析値を比較したものである．風速分布，飛砂量分布ともに分布形の一致は良好であるといえる．底面付近では解析値が若干大きくなる傾向があり，この点は底面の濃

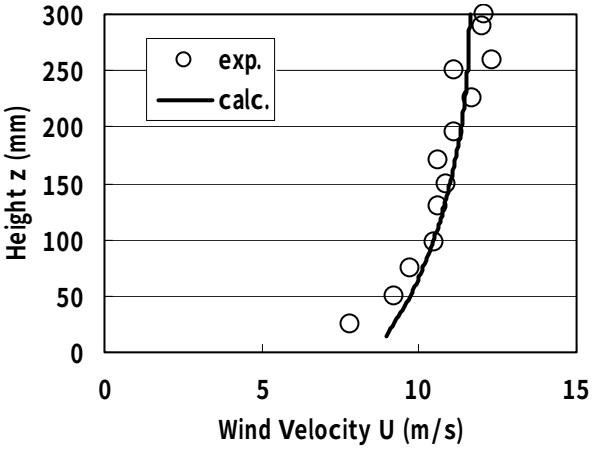

図 1　飛砂における風速分布

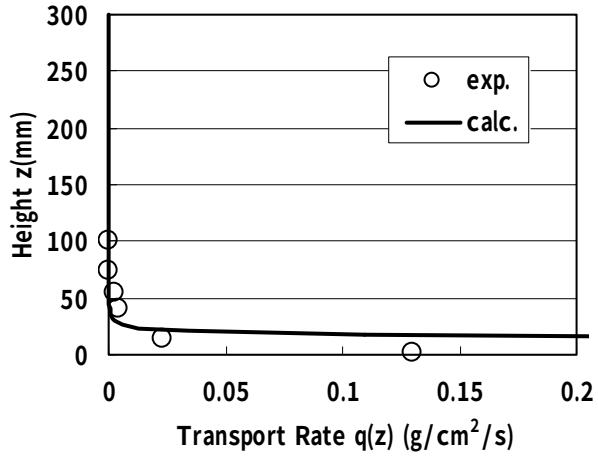

図 2　飛砂における飛砂量分布

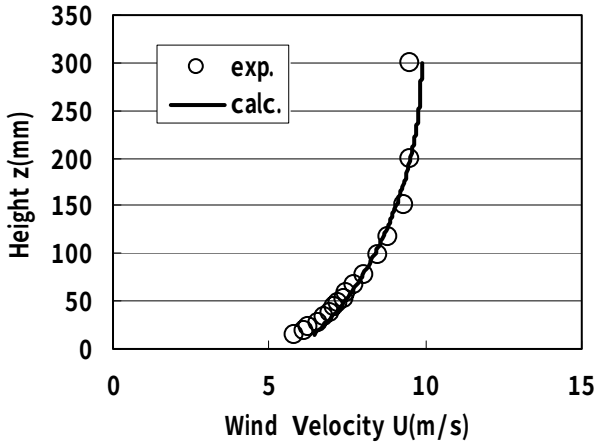

図 3　吹雪における風速分布

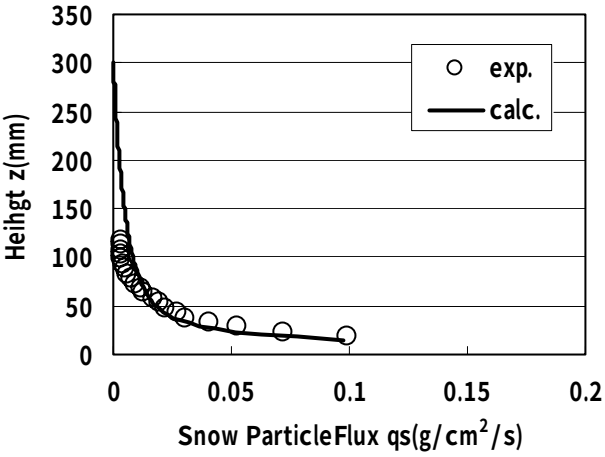

図 4　吹雪における飛雪流量分布

度の境界条件の設定など改善の余地があると考えられる．

吹雪においては，菊地・福嶋 [2)]によって報告された幅 1.0m，高さ 1.0m，長さ 14.0m の低温風洞実験で行われたデータを用いた．

解析手順は飛砂の解析と同様であり，計算領域は上端を風速の測定範囲の上限値である 30cm とし，下端は飛砂の解析と同様な考えに基づき，5%を設定した．

図 3，4 は雪粒子の粒径が 0.17mm と図 1，2 に示した飛砂の場合と同程度の粒径の大きさを持った吹雪の風速分布と飛雪流量分布について実験値と解析値を比較したものである．風速分布と飛雪流量分布ともに飛砂と同様に分布形の一致は良好であるといえる．

以上より，今回提案したモデルが飛砂，吹雪ともに流動特性の再現性があることが確認された．

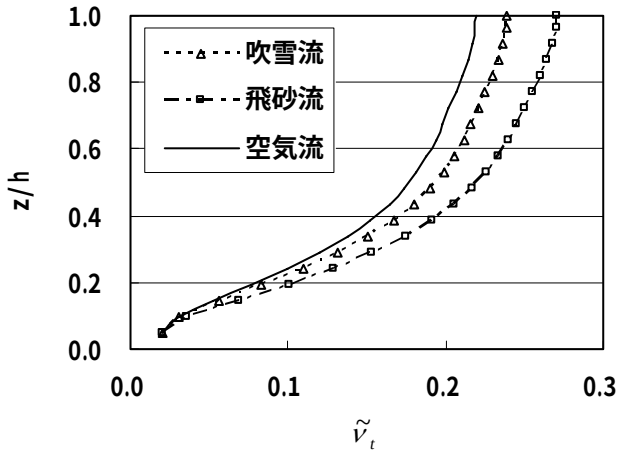

図 5　無次元渦動粘性係数

5．乱流構造の評価

図 5 に数値解析により得られた飛砂と吹雪の渦動粘性係数を空気流に対して比較したものを示す．渦動粘性係数ν_tは，乱流運動エネルギーkと分子粘性逸散率εで表現される乱流構造の変化を評価する値である．

今回の解析では，流体中に固体粒子が存在することによって，渦動粘性係数の値が大きくなり，それは同程度の粒径に対して，飛砂の方が大きくなることが分かった．この違いが両者の輸送運動の違いに関係してくるものと考えられる．

6．結論

今回提案した乱流拡散方程式を用いたモデルが自然界における固気二相流の代表である飛砂，吹雪の流動を再現できることが確認できた．さらに，乱流構造の変化について，渦動粘性係数を比較することによって，吹雪に比べて，飛砂の方が全域にわたって，乱流構造の変化が大きいことが確認された．

今後は飛砂，吹雪ともに，比較に用いたデータが少ないので，データ数を増やし，解析を進める必要がある．

参考文献

1）久保田進，保坂幸一，鵜飼正志，堀田新太郎：平成 18 年度土木学会海岸工学論文集，No.53，pp.431-435，2006

2）菊地卓郎, 福嶋祐介：日本混相流学会誌混相流，Vol.21，No.2，pp.177-184，2007