

# 乱流水槽を用いた浮遊粒子の鉛直速度に関する研究

広島大学大学院工学研究科 学生会員 益岡仁志  
広島大学大学院工学研究科 正会員 川西 澄

## 1. はじめに

微粒子や水滴、気泡などは、多くの自然現象や工学分野の発展において基本的で重要な要素の一つである。大気汚染物質、海洋や河川における土砂輸送や堆積など流体と微粒子の関係が重要な現象は様々な分野に亘り、多く存在する。そのため粒子の挙動を考える事は非常に重要であり、沈降速度および上昇速度は大きな要素である。静止した流体中において粒子の鉛直速度を見積もる事は容易であるが、実際に対象となる場において流体は流れており、そのほとんどが乱流場である。

そこで海底や河川における土砂輸送・堆積などの評価精度を上げるためには、流体内の浮遊粒子の平均沈降・上昇速度に乱流がどのような影響を与えるのか明らかにする必要がある。既往の研究では比重が1より小さな浮上粒子に関しては、あまり研究されていない。本研究では主に比重が1より小さな粒子に着目し、乱流水槽を用いて、浮遊粒子の鉛直速度に乱流がどのような影響を与えるのか明らかにすることを目的とする。

## 2. 実験方法

図-1 に実験装置の概略図を示す。乱流水槽は、幅 50 cm × 奥行 50 cm × 高さ 60 cm の水槽内に 2 枚の格子板を設置し、格子板を上下に振動させることで乱流を発生させた。格子板の孔の径は 5.2 cm、振動幅は 5.2 cm で、流れを変化させるため振動周期を 4 段階(0.5,0.65,0.8,1.0[sec])で変化させた。粒子を水槽底部中央から投入し、粒子の運動を 2 台のデジタルビデオカメラで撮影し、DLT(Direct Linear Transformation)法により 3 次元座標を求めた。

## 3. 実験に用いた粒子

実験には、発泡ポリスチレン粒子(P0～P8)と気泡(P9)を用いた。発泡ポリスチレン粒子は発泡率を調整し、比重・粒径の違う 9 種類の粒子を用いた。比重は 0.65～1.03、粒径は 0.94～3.31 mm の範囲であり、さらに、

表-1 粒子の特性量

粒子名	粒径 [mm]	比重	静水中鉛直速度 [cm/s]
P0	1.10	1.01	-0.537
P1	1.00	0.95	1.204
P2	0.94	0.82	4.301
P3	0.98	0.99	0.765
P4	1.08	0.80	4.885
P5	1.25	0.65	8.075
P6	1.24	0.67	7.984
P7	3.31	0.91	7.552
P8	1.02	1.03	-1.287
P9	2.00	0.25	18.79
	3.00	0.33	23.17

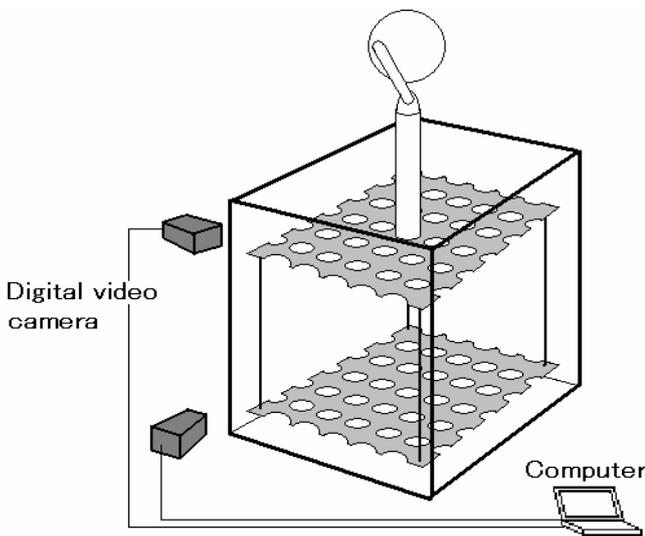


図 - 1 実験装置の概略図

水に近い粒子として、P0 粒子(比重 1.01, 粒径 1.10 mm)の測定も行った。また、気泡粒子は、投入する体積を調整し 2 種類の気泡を用いた。気泡粒子は抵抗を受けることで変形するが、形状が球であると仮定したときの粒径を示す。比重に関しては、粒径と静水中鉛直速度、水温から算出した理論値である。

#### 4. 結果

図-2 より、相対乱流強度が小さい範囲で粒子速度は静水中に比べ増加・減少し、相対乱流強度が大きい範囲では増加することがわかる。これは油滴を用いた Friedman の結果と同様である。P0 粒子(比重 1.01)に関しては、相対乱流強度が大きいにもかかわらず相対鉛直速度が 1 に近い値を示していることから P0 粒子の速度は、水粒子の速度に近いと考えられる。さらに相対乱流強度が大きい範囲では  $\overline{w_p} \approx 0.45\sigma_p$  の

関係がみられる。一方、相対乱流強度が中程度の範囲をみると、相対鉛直速度の値は大きくばらついている。

そこで、図-3 に同程度の相対乱流強度のデータに関して Stokes 数と相対鉛直速度の関係を示した。これより、Stokes 数が増加するとともに相対鉛直速度が減少する傾向にあることがわかる。

図-4 より相対乱流強度が小さい弱い乱れにおいて相対分散は 1 より大きい値を示し、相対乱流強度と相対分散には負の相関がみられる。つまり、乱れが大きくなるのに従い粒子が流体から受ける影響が大きくなり、流速の分散に近づいていくと考えられる。

図-3,4 より、中程度の相対乱流強度の範囲では、鉛直速度が増加するとき、相対分散は 1 より小さく、粒子速度が減少するとき、相対分散は 1 より大きくなることわかる。P9(気泡)に関しては、鉛直速度が増加する時も相対分散は 1 より大きな値を示しているが、気泡は、抵抗により形状が変化し静水中においても粒子の周囲に発生する渦の影響により軌道にふらつきがみられるため、弱い乱れにおいても相対分散が大きな値を示したと考えられる。

#### 5. まとめ

乱流水槽内の粒子の軌跡を 2 台のビデオカメラで測定し、粒子の平均鉛直速度に与える乱流の効果を調べ

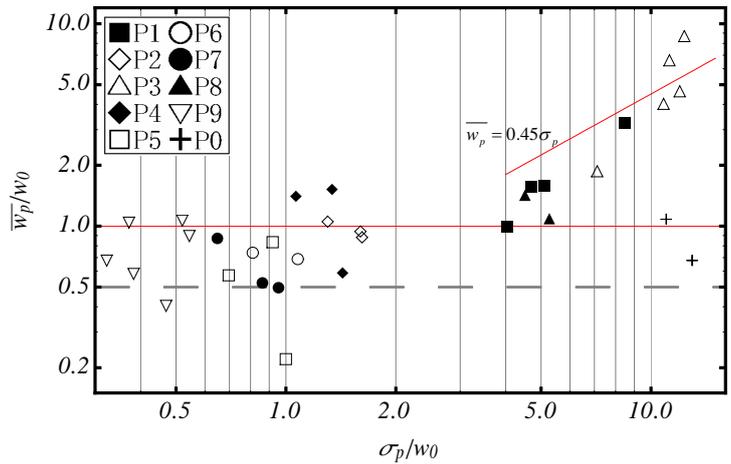


図-2 相対乱流強度と相対鉛直速度

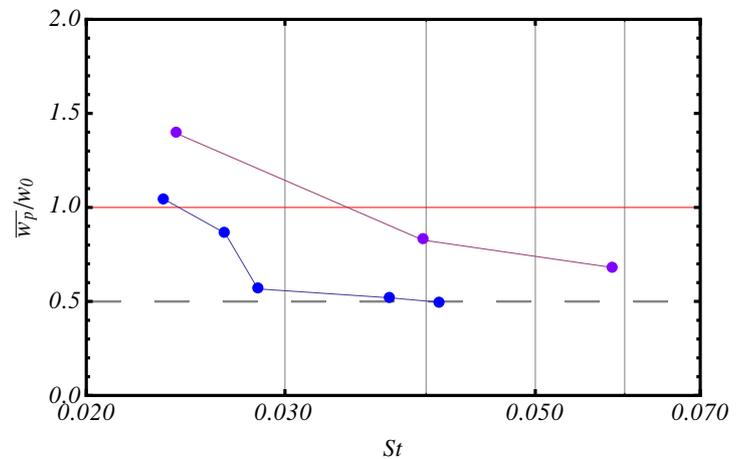


図-3 Stokes 数と相対鉛直速度

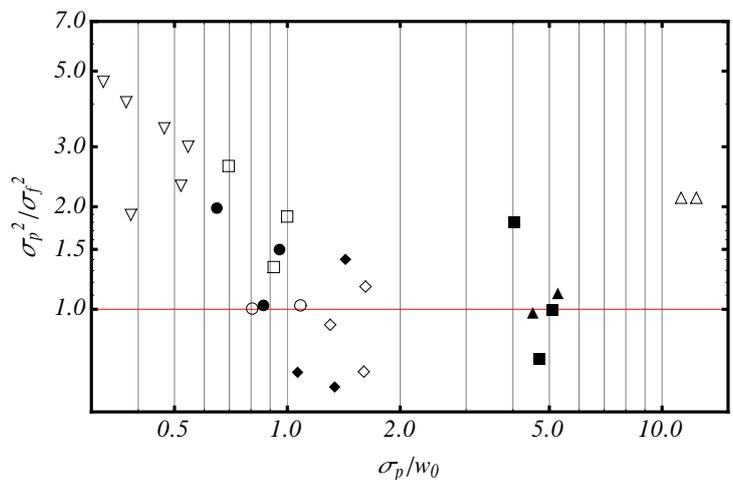


図-4 相対乱流強度と相対分散

た．得られた主な結果は以下の通りである．

粒子の鉛直速度は相対乱流強度が大きくなるのに従い，静水中に比べ減少から増加へと転じることがわかる．しかし，相対乱流強度が中程度の領域では相対鉛直速度はばらついており，粒子速度の増加・減少は Stokes 数に依存する．そして Stokes 数と相対鉛直速度には負の相関があることがわかった．大きな相対乱流強度の範囲においては  $\overline{w_p} \approx 0.45\sigma_p$  の関係がある．Freidman や川西らの結果と比較すると浮上・沈降どちらにおいても同様の結果が得られることがわかった．

中程度の相対乱流強度の範囲において相対分散が 1 より大きいと粒子速度は減少し，相対乱流強度が 1 より小さいと粒子速度は増加することがわかった．

## 6. 参考文献

- (1) 川西澄・塩崎遼平：乱流場における浮上粒子の上昇速度に関する研究，海岸工学論文集，第 54 巻 2007.
- (2) 川西澄・塩崎遼平・Peter Nielsen：Cellular flow における浮遊粒子の運動，水工学論文集，第 51 巻，2006.
- (3) P.D.Fridman, J.Katz：Mean Rise Rate of Droplets in Isotropic Turbulence, Physics of Fluids/American Institute of Physics Vol.14, No.9, pp.3059-3073, 2002.
- (4) Stephen P..Murray：Settling Velocities and Vertical Diffusion of Particles in Turbulent Water, Journal of Geophysical Research.Vol.75, No.9, pp1647-1654, 1970.
- (5) Nielsen, P.：Turbulence Effects on the Settling of Suspended Particles, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 63(5), pp. 835-838, 1993.