

II-8

滑面浮遊砂流の乱流構造とGore, Croweモデル

北海道大学大学院 今井 一郎

北海道大学工学部 正員 森 明 巨

北海道大学工学部 正員 板 倉 忠 興

1. はじめに

清水流に粒子を混入したときの乱れ強度の変化は、粒子の流体への追従性に依存するとされてきた。追従性がよい場合は、渦のエネルギーが抗力を通して粒子に輸送され、粒子の運動エネルギーは増加し、乱れは減少する。一方、粒子の慣性が大きく流体への追従性が悪くなると、剥離による渦の生成によって乱れが増加する。

Hetsroniら¹⁾は、その増減を区分するパラメータとして、粒子径、相対速度差および相対密度差に基づいた粒子レイノルズ数 $Re_p = \frac{(u_f - u_p)d(\rho_p - \rho_f)}{\mu_f}$ (または $\widetilde{Re_p} = \frac{(u_f - u_p)d}{\nu_f}$) を考え、限界 $\widetilde{Re_p}$ として $\widetilde{Re_p} = 400$ を与えた。図-1, 2は、これらの関係をみたものである。ただし、乱れ強度の変化率 $= \frac{\sigma_P - \sigma_F}{\sigma_F} \times 100$ (%) で、 $\sigma = \sqrt{u'^2}$ 、添え字のP, Fはそれぞれ粒子あり、粒子なしを意味する。 $\widetilde{Re_p}$

>400では確かに乱れは増加しているが、それ以下については、これだけではうまく説明できない。

Gore, Crowe²⁾は、粒子径が乱れ強度に及ぼす影響を示した多くの実験データが、粒子径と乱れの空間的スケールとの比 d/l によってうまく整理できることを示した。本研究は、Gore, Croweモデル(以後GCモデルと呼ぶ)に従って、乱れの増減の機構について一つのアイデアを示したものである。

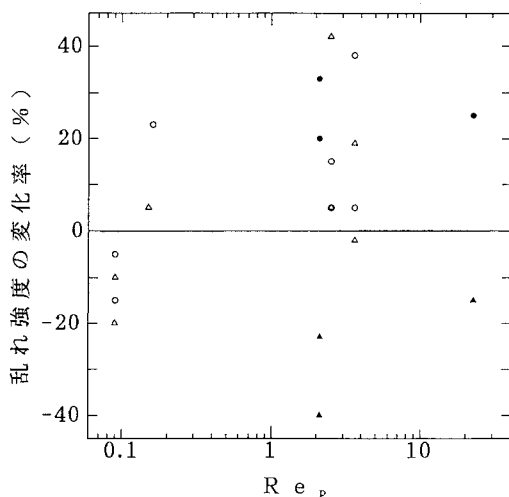


図 - 1

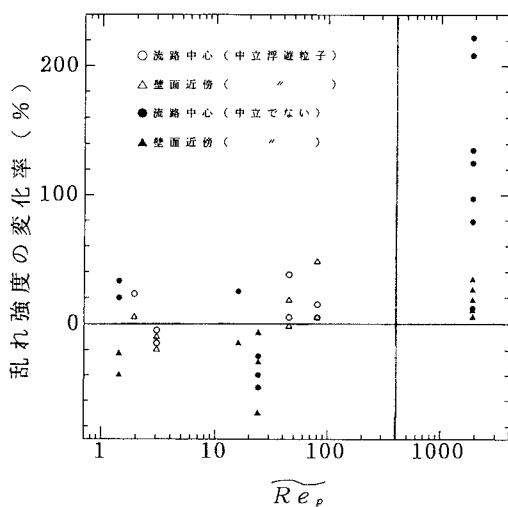


図 - 2

2. GCモデル

図-3は、GCモデルに従って、粒子の存在による流体の乱れの変化（ただし流路の中心）を整理したものである。○印はGore, Croweの示したもので、固-気、液-気、固-液の水平および鉛直管路とjetの15の流れが含まれている。これらに新たに管路流3つと開水路流2つ（いずれも液相は水であり、粒子は、▲印^{3) 4) 5) 6)}が比重1.03~1.08でほぼ中立浮遊粒子、■印^{6) 7)}が比重2.5~2.6である。）を加えた。lは、管路の場合 $l = 0.2 R$ （Rは管路半径）、開水路の場合 $l = 0.5 h$ （hは水深）を与えた。図からわかるように、Gore, Croweが示した $d/l = 0.07$ でおおよそが区分できる。

図-4は、壁面のごく近傍（壁面からの距離 $y < 0.1R$ もしくは $y < 0.1h$ ）のデータについて同様な整理を行ったものであるが、この場合にはうまく区分されない。しかし、壁面近傍では $l \propto y$ であることから $l = y$ とすると、図-5に示すように管路、開水路流ともにGCモデルが適用できることがわかった。

以上に示したように、GCモデルは、今回データに加えたほぼ中立の浮遊粒子についても適用できることから、現象の本質をとらえているものと思われる。中立浮遊粒子は追随性がよいから、Hetsroniらの考えでは、ほとんどのデータで乱れが減少すると考えられるが、実際にも一部のデータを除いて乱れが増加している。

流路中心 $l = 0.2 R, l = 0.5 h$

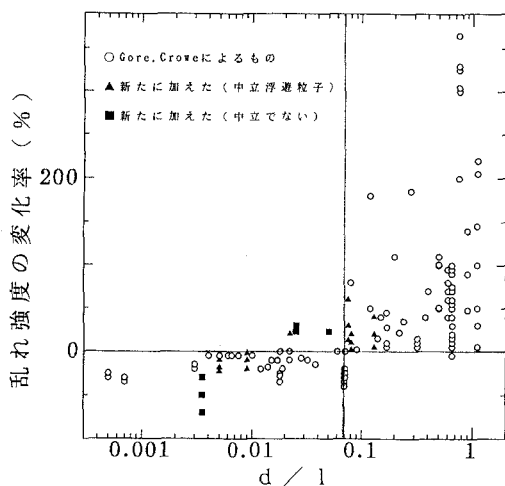


図-3

壁面近傍 $l = 0.2 R$

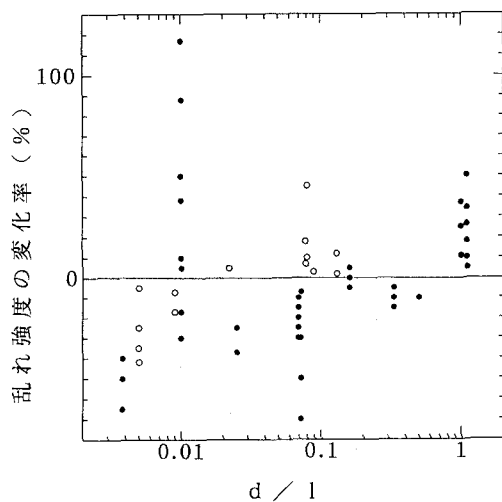


図-4

壁面近傍 $l = y$

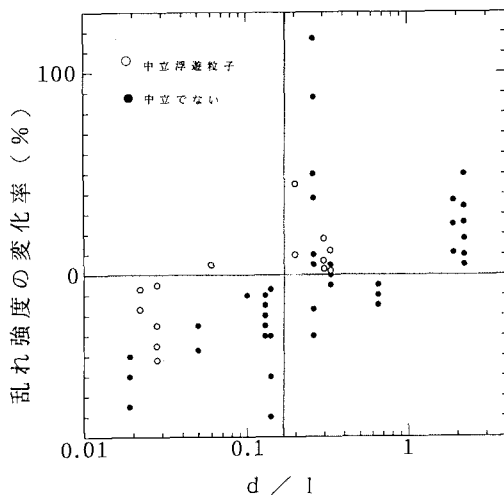


図-5

3. 乱れの増減の機構

乱れ強度は、乱れの生成、逸散、輸送などに依存するが、壁面近傍では、主としてejectionによる乱れの生成が乱れ強度を支配すると考えられるから、ejectionに与える粒子の効果を考える。

ejectionの発生機構には、図-6⁵⁾に示すように、壁面付近に形成された互いに逆向きに回転している一対の渦列からの低速流体塊の上昇によるものと、変曲点をもつ流速分布から発生する横断方向を軸とした渦が発生させるものとがある。

Rashidi⁵⁾らは、流れの可視化により粒子の混入が前者に影響し、粒径が大きい場合にはejection頻度が増加することを見出し、また乱れの測定から、その場合に乱れ強度が増加することを示した。逆に粒径が小さい場合には、ejection頻度が減少し、乱れ強度も減少することも示している。

壁面付近の乱れの変化については、粒子が流れに追従して乱れが減少する場合と、粒子の回転によって周辺の流体が引っ張られることにより流れの不安定性が助長され、ejectionを誘発して乱れが増加する場合とが考えられる。これが粒径と粒子を囲む流体塊のスケールとの相対的な大小関係に依存するとして、 d/l がそれを区分するパラメータとなると考えると、この場合は l を y とすればよい。この考えは、 l を乱れの空間的スケールとすれば、壁面からある程度離れた場合についても適応できるであろう。またこれは、中立浮遊粒子の場合の方が有効であると思われる。

一方、鮎川⁸⁾は流れの可視化によって、粒子の混入により後者が抑制されると推測している。この計測では、乱れエネルギーの生成が抑制されているにもかかわらず乱れ強度が大きくなっているところがある。これは乱れエネルギーの輸送によるエネルギー獲得が大きいためであると考えられ、この場合については、ejectionによる乱れの生成が主として乱れ強度を支配しているとはいえないであろう。

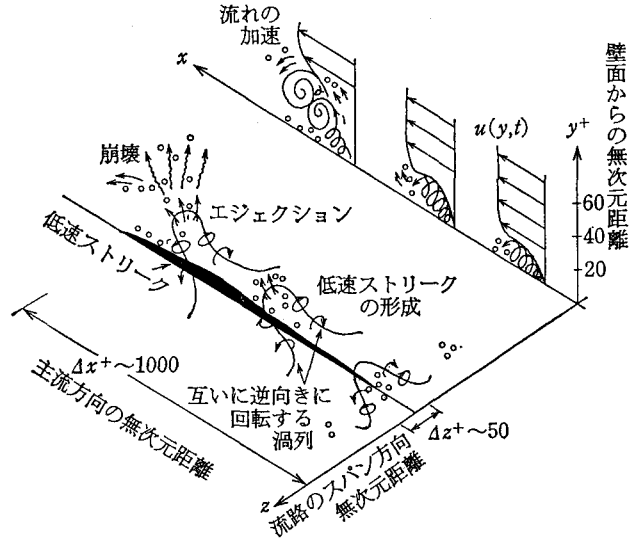


図-6

参考文献

- 1) G. Hetsroni: PARTICLES-TURBULENCE INTERACTION, Int. J. Multiphase Flow Vol. 16, No. 6, pp. 935-949, 1990
- 2) R. A. Gore and C. T. Crowe: EFFECT OF PARTICLE SIZE ON MODULATING TURBULENT INTENSITY, Int. J. Multiphase Flow Vol. 15, No. 2, pp. 279-285, 1989
- 3) 林泰造, 佐藤邦明, 青野利夫: 中立浮遊粒子を含む水流の乱流構造に関する実験的研究, 第30回水理講演会論文集, 1986年2月
- 4) 三村信男, 松尾友矩: 中立粒子浮遊流とカオリンフロク, カオリン浮遊流の乱流特性, 土木学会論文報告集第284号, 1979年4月
- 5) M. Rashidi, G. Hetsroni and S. Banerjee: PARTICLE-TURBULENCE INTERACTION IN A BOUNDARY LAYER, Int. J. Multiphase Flow Vol. 16, No. 6, pp. 935-949, 1990

- 6) Wang Xingkui and Qian Ning: TURBULENCE CHARACTERISTICS OF SEDIMENT-LADEN FLOW, The Journal of Hydranlic Engineering, Vol.115, No.6, June, 1989
- 7) 中島靖, 初井和朗, 神野健二, 上田年比古, 末松健二: 固体粒子と流体の相互運動による2相流の乱れの構造の変化, 第31回水理講演会論文集, 1987年2月
- 8) 鮎川恭三: 固液二相管内流の流動特性と乱れ構造, 第3回混相流シンポジウム講演論文集(日本学会議), 1984
- 9) 森岡茂樹ほか: 混相流体の力学, 日本流体力学会=編集, 1989
- 10) 辻裕, 森川敬信, 高橋誠一, 上地哲男, 潮海弘資: レーザ-流速計による水平管内固気二相流の測定, 日本機学会論文集(B編), 47巻417号, 昭56年5月
- 11) 辻裕, 森川敬信, 上地哲男, 川崎裕仁, 関口伸樹: レーザ-流速計による水平管内固気二相流の測定, 日本機学会論文集(B編), 48巻434号, 昭57年10月
- 12) 辻裕, 森川敬信, 潮海弘資: レーザ-流速計による鉛直管内固気二相流の測定, 日本機学会論文集(B編), 50巻452号, 昭59年4月
- 13) R. Zisselmar and O. Molerus: Investigation of Solid-Liquid Pipe Flow with regard to Turbulence Modification, The Chemical Engineering Journal, 18, pp.233-239, 1979