

東京大学工学部 ○専攻員 赤松 茂
正員 松尾 友矩

1 はじめに

閉水路固液混相流の乱れ特性については、これまでかなりの研究が成されてきているが、浮遊固体粒子としては密度の大きいものが主である。本報告は、閉水路中立浮遊粒子流の乱れ特性の研究の第一歩として、平均粒径1.19 mm,比重1.05のポリスチロール粒子を浮遊させた水流の乱れ特性について実験的に検討したものである。

2 実験方法および実験条件

実験に使用した閉水路は長さ8m, 幅80cmの塩ビ樹脂製滑面可傾式循環型水路である。流速計測にはコニカル型プローブ(TSI製1231W)を用いた。実験条件を表-1に示す。スペクトル解析にあたっては総データ数4096個, サンプリング周波数を清水・粒子流についてそれぞれ1kHz, 2kHz としFFT法により計算した。平滑化には三角形フィルタ($W=16, H=8$)を用いている。

表-1 計測水理量

No	水深 h cm	幅水深比 B/h	平均流速 U_m cm/s	摩擦速度 U_* cm/s	$Re = \frac{U_m h}{\nu} \times 10^4$	$Fr = \frac{U_m}{\sqrt{gh}}$	体積濃度 %	記号
1	2.10	14.29	64.6	3.85	1.08	1.42	清水	○
2	2.15	13.15	62.9	3.89	1.12	1.37	1	●
3	2.20	13.16	61.5	3.94	1.12	1.32	4	⊙

3 結果

(1)乱れ強度 図-1に乱れ強度 u' の分布を示す。横

軸は相対水深であり、各水深での u' の相対的な大きさがわかるよう摩擦速度で無次元化してある。また清水の場合の u' のレベルを見定めるために、 $Re=13,900$ $Fr=1.44$ (□) $Re=5,340$ $Fr=1.32$ (△) の場合も併示した。この図を見ると粒子の存在により、乱れ強度は濃度の増加とともに増大することがわかる。また、増加の割合は相対水深0.2から0.5付近で特に著しく、壁近傍または水面に近づくにつれ、小さくなるようである。

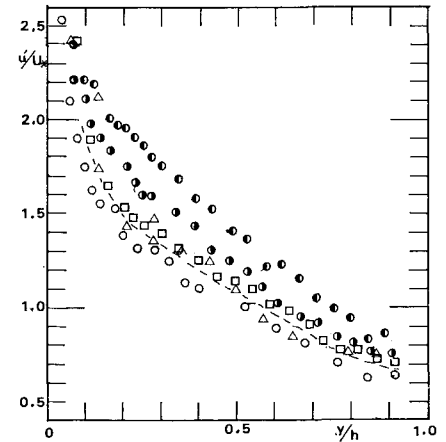


図-1 乱れ強度

(2)エネルギースペクトル 図-2にほぼ同一水深($y/h=0.3$)でのエネルギースペクトルの一例を示す。清水については慣性小領域から粘性小領域まで窺われるが、粒子流の場合には、高周波数側の部分が清水の場合とは別の曲線に乗るようになり、傾きが緩くなって、濃度の増加に伴って全体のエネルギーレベルが上がる傾向がうかがえ、乱れ強度の増大に対応している。ところで滑面管路粒子流では、粒径に対応した波数でスペクトルにピークが表れることが知られているが、本実験では全計測域において明確にピークを見出すことはできなかった。

管路の場合、スペクトルのピークが顕著に表れているのは管中心という平均流速勾配が零である特殊な部分であり、閉水路の場合、管中心に対応する部分がないために明確には表れず、高周波数側で上記のような現象になるものと思われ、清水の曲線から逸脱を始める周波数を、管路でのスペクトルのピークの出現波数に対応するものだと推察される。

(3)エネルギー散逸率 図-3にエネルギー散逸率 ε の分布を示す。図中○●⊙はスペクトルの慣性小領域に相対し、 $\varepsilon = (2\pi/U) [\int_0^\infty P(f) df / C]^{3/2}$ (ここに $C=0.5$ とした)を適用して求めたものであり、○-●-⊙はマイクロスケール λ を、 $1/\lambda^2 = 4\pi^2 \int_0^\infty f^2 P(f) df$ より求め、等方性の仮定より $\tilde{\varepsilon} = 15 U^2 / \lambda^2$ から計算したものである。

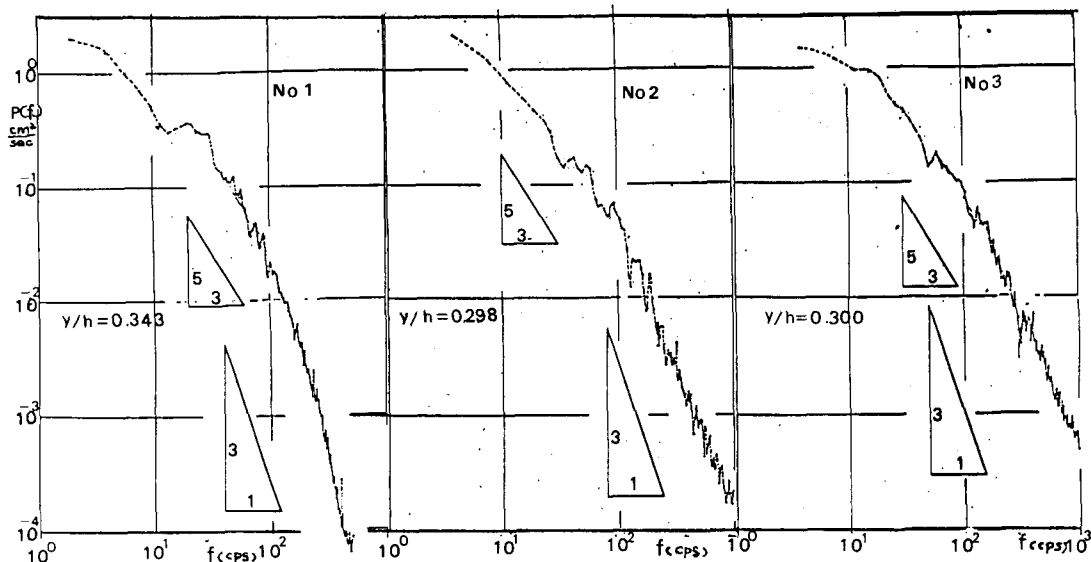


図-2 エネルギースペクトル

①の中の塗潰しの仕方表-1の記号のと同じである。清水においては、 ε と $\tilde{\varepsilon}$ は $y/h > 0.4$ の領域ではほぼ一致し、壁面近くでは $\tilde{\varepsilon}$ の値は ε に比べて過小評価され、中リ等の結果とよく合っている。それに対して粒子流の場合は水深全体にわたり $\tilde{\varepsilon}$ の方が著しく大きめに評価されている。 $\tilde{\varepsilon}$ は $E(h)$ に y の重みがかかった評価法であり、高周波散乱に重点を置いたものであるから、スペクトル形状にみられるような粒子の高周波数成分に対する影響を直接反映したものとと思われる。しかし、いずれの評価方法を使っても清水に比べ粒子流の方がエネルギー収散率は増加し、粒子濃度が高いほど大きくなる傾向にある。また特にスペクトル相似則から求めた ε は、乱れ強度に対応して水面に近づくにつれ清水の場合のものに近づくようである。最後に図-4にマイクロスケールの分布を示す。清水の場合は、ほぼ $1/3$ 乗則に従って水面に近づくにつれ増大してゆき、従来の結果と一致しているのに対し、³⁾粒子流の場合は濃度が低いほど増大し、しかもその値は全水深にわたって一定であり、壁面からの距離の影響を受けていないことが認められる。

4 おわりに

本実験では、粒子流においては、乱れ強度が増大し、エネルギー収散率は増加することが認められた。また粒子の影響はスペクトルの高周波数側に特に影響をおよびることが認められ、マイクロスケールに関しては濃度の増加とともに増大し、その大きさは壁面からの距離によらないことが認められた。

<参考文献>

- 1) 丸石 国男, 丸石 昭: 大気力学研究内報, 第37号 pp78~104 (1973)
- 2) 三村 修男, 松尾 互矩: 土木学会論文報告集, 第284号 pp49~58 (1979)
- 3) 中川 博次, 藤澤 敏久, 湯沢 長雄: 土木学会30周年誌, pp402~pp403 (1975)

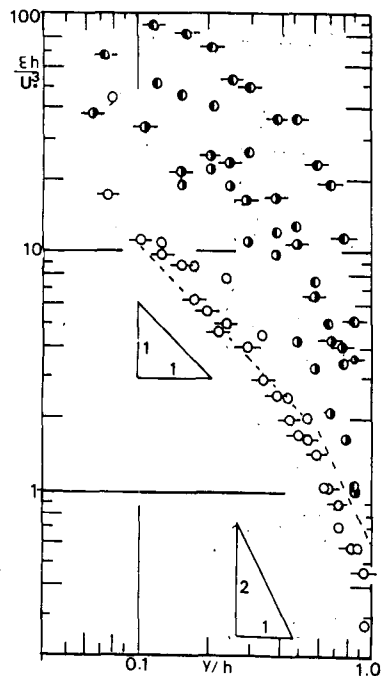


図-3 エネルギー収散率

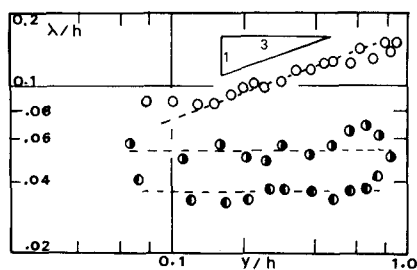


図-4 マイクロスケール