

開水路浮遊中立粒子流の乱れ特性について

京都大学防災研究所 正員 今 本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 大 年 邦 雄
 山 口 県 正員 ○ 二 官 純

1. はじめに

著者らは、従来より砂粒子（比重2.65）を浮遊した開水路流れの乱れ特性について実験的検討を加えてきたが¹⁾、固体浮遊粒子の比重の効果を明らかにすることを目的として、本研究では、比重1.05のアクリルスチレン樹脂の球形粒子（平均粒径0.033cm）を浮遊した開水路流れを取上げ、その乱れ特性を実験的に検討した。ホットフィルム流速計による速度計測は、表-1に示されているように、滑面、不完全粗面および完全粗面上の常流と射流で粒子を含む場合と含まない場合の計12ケースについて行われたが、各ケースとも2次元等流の条件が満足されている。

2. スペクトル特性

図-1は、流れ方向の乱れ速度 u に関する1次元波数エネルギースペクトル $S(k)$ の一例を示したものであって、同一水理条件下の清水流と粒子流に対し、種の相対水深におけるものが表示されている。なお、スペクトル計算は、データ数 $N=100$ 個、サンプリング周波数 $f_s=25, 100, 500\text{ Hz}$ 、それぞれに対する繰返し数 $N_r=2, 4, 8$ の3段階に分けて行われている。図より、粒子流の $S(k)$ の値は、清水流のものと顕著な差異はないが、いずれの相対水深においても清水流よりも若干大きい値を示している。このような傾向は、他の水理条件における計算結果にも共通している。

松尾ら²⁾は、中立浮遊粒子を含む管路流れの速度計測を行い、粒子流のエネルギースペクトルはそれぞれの粒子径に対応した特定の波数で“こぶ”を生じると報告しているが、本実験結果からは見出せない。

表-1 水理条件表

Exp.No.	Q(l/s)	H(cm)	l/I	Re($\times 10^4$)	Fr	k+	Cm(%)
NV-1	6.684	2.467	187.5	1.51	1.38	≈ 0	0
NV-2	6.107	2.415	187.5	1.40	1.30	≈ 0	2.42
NV-3	6.684	2.416	147.4	1.52	1.42	11	0
NV-4	6.684	2.427	147.4	1.52	1.41	11	2.42
NV-5	6.832	2.503	59.5	1.53	1.38	224	0
NV-6	6.832	2.501	59.5	1.57	1.38	230	2.62
NV-7	6.684	3.429	475.7	1.50	0.84	≈ 0	0
NV-8	6.684	3.461	475.7	1.54	0.83	≈ 0	2.42
NV-9	6.684	3.391	441.2	1.53	0.85	8	0
NV-10	6.684	3.453	441.2	1.51	0.83	8	2.42
NV-11	6.832	3.640	200.0	1.54	0.79	148	0
NV-12	6.832	3.660	200.0	1.55	0.78	150	2.62

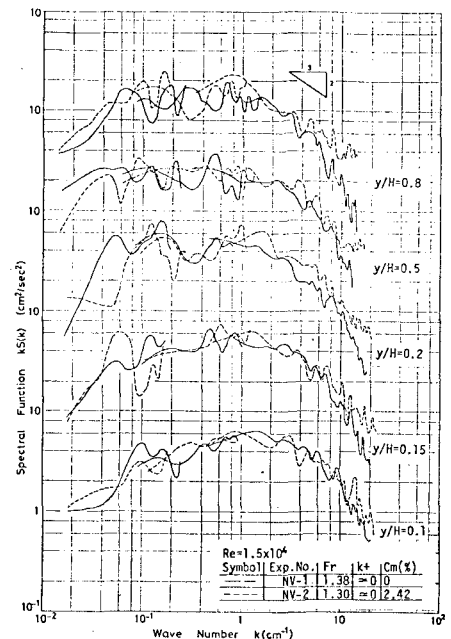


図-1 エネルギースペクトルの一例

3. 乱れ特性量の鉛直分布

基本的な乱れ特性量として、乱れの強さ u' 、時間的平均スケール T_E およびエネルギー逸散率 ϵ を取上げ、清水流と粒子流におけるこれらの鉛直分布を比較する。なお、 u' は u の r. m. s., T_E は自己相関係数における second mild maximum の発生遅れ時間、 ϵ はスペクトルの慣性領域に相似則 $S(k) = S_e \epsilon^{2/3} k^{-5/3}$ を適用して評価されている。

今本ら³⁾は、清水流におけるこれらの乱れ特性量の普遍関数表示として次式を提案している。

$$0.1 < y/H \leq 0.6$$

$$\frac{u'}{U_f (U/U_f)^{1/3}} = 0.42 \left(\frac{y}{H} \right)^{-1/3}$$

$$\frac{T_E}{H/U_f} = 0.115$$

$$\frac{\epsilon}{U_f^3/H} = 1.1 \left(\frac{y}{H} \right)^{-1}$$

$$0.6 < y/H < 0.9$$

$$\frac{u'}{U_f (U/U_f)^{1/3}} = 0.35 \left(\frac{y}{H} \right)^{-2/3}$$

$$\frac{T_E}{H/U_f} = 0.115$$

$$\frac{\epsilon}{U_f^3/H} = 0.63 \left(\frac{y}{H} \right)^{-2}$$

この普遍関数表示に従ってそれぞれの計測結果を整理すると図-2, 3 および 4 のようになる。

図-2 に示す無次元化された u' はいずれも2本の直線よく近似され、粒子流にも清水流の普遍関数表示が適用できることがわかる。また、粒子流の乱れの強さの方が大きい傾向もうかがえるが、変化量は非常に小さい。

図-3 は T_E の普遍関数表示であるが、いずれの計測値もばらついてはいるものの上式の0.115に近い値となっている。清水流と粒子流における差異は見出せない。

図-4 より、無次元化された ϵ は u' と同様に2本の直線よく近似されるが、粒子流の方が全水深にわたってやや大きな ϵ を示し、 ϵ がわずかながら増加することがわかる。上式の比例定数は計測値に必ずしも一致していないが、これは摩擦速度等の評価に含まれる誤差によるものと考えられる。

以上のように、浮遊砂流の場合¹⁾よりも粒子濃度がはるかに大きいにもかかわらず、浮遊中立粒子流の乱れ特性には顕著な変化が見出せない。このことより、断面平均粒子濃度よりも濃度勾配の方が、流れの乱れ特性に影響を及ぼす主要な要因であると考えられる。

参考文献

1) 大年・今本・西園：土木学会第34回年講，II-154，1979。

2) 三村・松尾：土木学会第33回年講，II-286，1978。

3) 今本・浅野：第19回水理講演会論文集，pp.161-166，1974。

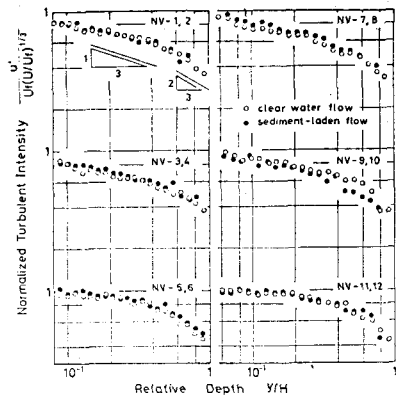


図-2 u' の普遍関数表示

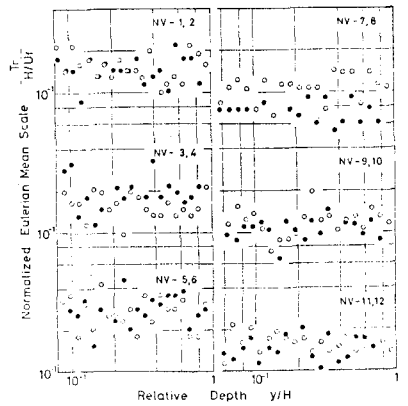


図-3 T_E の普遍関数表示

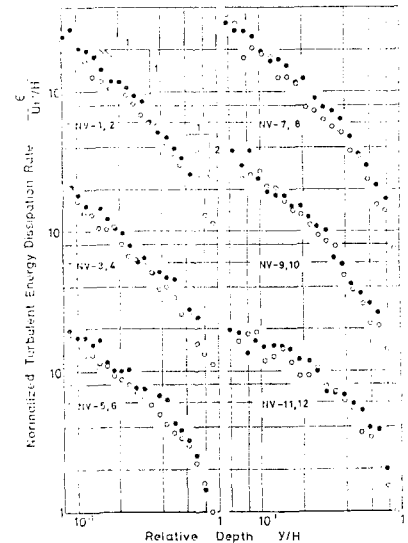


図-4 ϵ の普遍関数表示