

三次元河床波付近の乱れ計測

東北大学工学部 正会員 岩崎 敏夫
 東北大学大学院 ○学生員 半沢 稔
 東北大学工学部 学生員 三宅 研治

1)はじめに……著者らが以前行なった実験に引き続き今回大型水路において河床波付近の乱流計測を行なったのでここに結果を報告する。

2実験方法及び条件……実験に使用した水路は幅80cm、長さ16mの可傾式水路である。砂は中央粒径 d_{50} が0.36mm

均等係数1.50、比重2.67のものを、約5cmの厚さに敷いた。流速測定はHot-film(ユニカルプローブ)を用い、超小型プロベラ流速計によりキャリブレーションを行った。Table 1に実験条件を示す。図中、 H_0 :平均水深、 H :測定点の水深、 B/H_0 :幅水深比、 $\bar{U}_m$:断面平均流速、 U_τ :摩擦速度($=\sqrt{gHI}$)、 Fr :フルード数、 Re :レイノルズ数、 I :水面勾配である。Case 1は砂が全く動かない清水の状態、Case 2は砂は動くが河床波は形成されていない状態、Case 3はDune(波長19cm高さ2.7cm)が、Case 4はRipple(波長14cm高さ1.7cm)が形成されている状態である。乱流計測は水路上流端より9mの水路中央部の測線で行った。なおCase 3ではDuneの谷、Case 4ではRippleの山が測線の下端となっている。データの解析にあたり、データ総数2000個、サンプリング間隔0.01秒、最大ラゲ数100である。

3結果……Fig. 1は断面平均流速で無次元化した局所的平均流速 U/U_τ の分布である。清水の場合には水面付近で流速が最大となるのに対し、砂が移動すると最大流速は $U/H=0.6$ 付近で生じ、 $U/H<0.3$ で流速が一様化する傾向がある。Fig. 2は U/U_τ と U_τ/K_s (K_s :粗度高)の関係を見たものである。 K_s としては d_{50} をとっている。Case 1は清水であるので対数則に良く合っており、最小自乗法により分布形は $U/U_\tau=2.24 \ln U_\tau/K_s + 4.46$ となる。砂が移動するCase 2・3・4では U_τ/K_s は50付近までは清水時に比べて勾配が急で浮遊砂流におけるカルマン定数の減少に対応しているようだが、 $U_\tau/K_s<50$ では流速が一様化する傾向があり対数則から大きくはずれる。図中の一点鎖線は浮

遊砂流に対して岸らが求めた対数直線則 $U/U_\tau = K_s \cdot (\ln U_\tau/K_s + \phi U_\tau/K_s) + A$ [K :カルマン定数、 $\phi = \alpha K_s/L$ 、 $\alpha \approx 7$ 、 L : Monin-Obukhov 長、 A :定数]をCase 2の $U_\tau/K_s=50$ 付近の実験値に合わせて求めた式である。対数則と同様、河床付近で実験値と大きく異なる。河床付近で流速が一様化することが移動床流れの一つの特徴と考えられる。Fig. 3は相対乱れ強さの分布である。Case 1・2は同様の分布であるが、Case 3・4は1・2に比べて全体的に大きく、 $U/H<0.3$ で特に大きい。浮遊砂流では砂を浮遊させるためエネルギーが消費されるので乱れは小さくなると考えられているが、移動床流れにおいては、河床波による後流の影響のため乱れが大きくなっていると考えられる。Fig. 4は自己相関が0.6となる時間の2倍をとったタイムスケールの分布である。砂が動くCase 2・3・4ではCase 1に比べて全水深にわたりタイムスケールが概少し半程度になっている。Case 2においてもこの傾向が見られることから、

Table 1

Case No	H_0 (cm)	H (cm)	B/H_0	$\bar{U}_m$ (cm/sec)	U_τ (cm/sec)	Fr	$Re \times 10^4$	$I \times 10^{-3}$	河床形態
1	6.80	6.80	11.69	13.87	1.080	0.17	0.87	0.175	Initial Flat
2	8.45	8.45	9.41	26.05	2.155	0.29	2.02	0.561	Move
3	9.05	10.40	8.78	28.49	3.483	0.30	2.43	1.19	Dune
4	8.87	8.00	8.96	23.40	2.162	0.25	1.92	0.596	Ripple

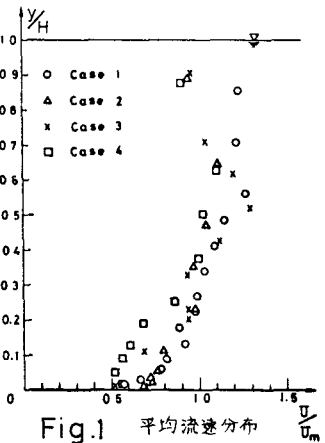


Fig. 1

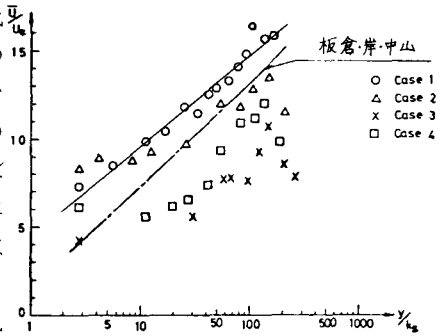


Fig. 2 U/U_τ と U_τ/K_s の関係

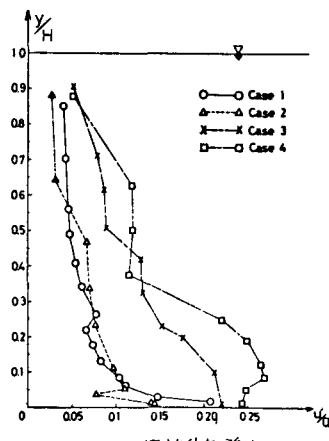


Fig. 3 相対乱れ強さ

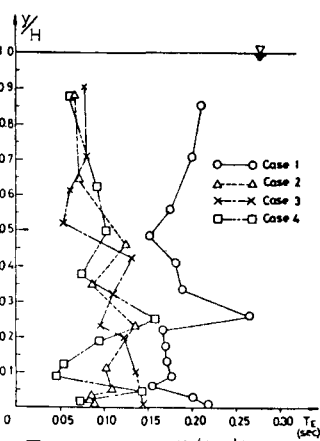


Fig. 4 タイムスケール

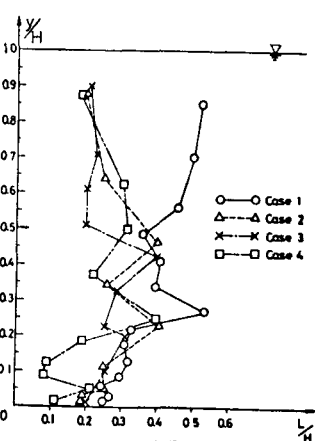


Fig. 5 平均渦径

タイムスケールの縮小は砂の移動の影響が第一に効くと考えられる。Fig. 5は平均渦径の分布である。どのケースも河床から離れるに従い大きくなっている。Case 1では水面付近まで増大しているのに対して、砂の移動があるCase 2・3・4では半水深付近でピークを持つようである。また、砂の移動により渦径は減少する。タイムスケール、渦径の縮小は浮遊砂流の場合と対応している。Fig. 6は各ケースについて相対水深のほぼ等しい点の流速変動のスペクトルを比較したものである。砂が動き河床波が形成されるにつれて、全体的にエネルギーレベルは上がっており、高周波側の勾配が若干緩くなっていることから、高周波成分の全エネルギーに占める割合が大きくなって行く傾向を示している。どのケースでも $-\frac{5}{3}$ 乗則の成り立つ慣性領域の存在が見られ、Case 1・2では粘性領域に相当する -3 乗則に合う部分も見られる。河床波が形成されると慣性領域の範囲が広がるようである。Fig. 7は乱れ強さについて、Fig. 8はエネルギーの逸散率について、椿らがDuneをモデル化した木製三角形粗度を敷いて行なった実験結果と河床波の形成されたCase 3・4の結果とを比較したものである。河床波上の位置の対応は必ずしも良くないが、全体的な傾向は良く合っている。これより、河床波が形成された後は、砂の移動よりは三角形粗度としての影響が強いように考えられるが、今後更に検討が必要と考える。

なおEはDrydenが求めた次の式

$$E = 30 \nu (\pi / U)^2 \int_0^{\infty} f^2 E(f) df \quad [E(f): \text{Two-sided Spectrum}]$$
 により $f_{\infty} = 50$ として計算した。

なお本研究は昭和53年度文部省科学研究費補助金「固液混相流の乱流特性とその計測」(研究代表者 林 泰造教授)に費用の一部の援助を受けた。ここに記して謝意を表する。

<参考文献> 1) 岩崎・田中・半沢・移動床付

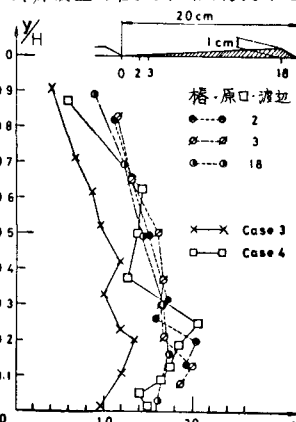


Fig. 7 乱れ強さ

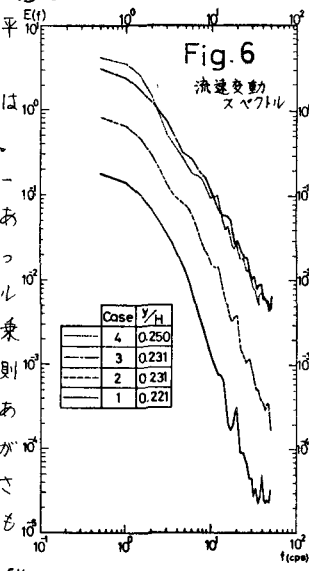


Fig. 6

流速変動
スペクトル

Case	y/H
4	0.250
3	0.231
2	0.231
1	0.221

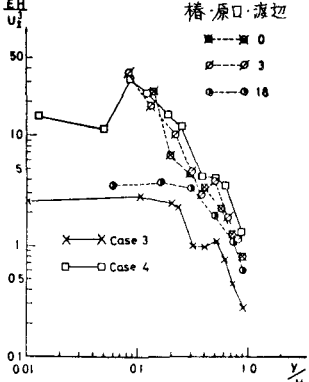


Fig. 8 エネルギー逸散率

近の乱れ計測、第33回年講 pp 553~554 2) 岸 力: 沖積地河川の水理学序説、1975年水工学に関する 夏期研修会 3) 椿・原口・渡辺: Sand wave状の粗度における流れと乱れ、第29回年講 pp 392~393