

東北大学工学部 正員 岩崎 敏夫
東北大学大学院の学生員 半沢 稔
東北大学工学部 学生員 長谷川 順行

1 はじめに

著者らは以前より移動床流れにおける乱流特性を主として鉛直分布の面から研究してきた。今回は更に乱れの空間的把握及び乱れの移流過程把握のために時空相関を計測したのでここに結果を報告する。

2 実験装置及び実験方法

実験水路は幅79.5cm、長さ16mの可傾式水路である。砂は粒径が一様な砂(中央粒径 d_{50} :0.36mm 均等係数1.50 比重2.67)を用いて水路底に約5cmの厚さに敷きつめた。流速測定は熱膜流速計のセンサーを2本用いて流下方向及び鉛直方向に配置して時空相関を測定した。Table-1に実験条件を示す。表中、 H_0 :平均水深、 H :基準センサーの位置の水深、 y_0 :基準センサーの河床面からの距離、 $\bar{u}_m$:断面平均流速、 u_τ :摩擦速度、 $Fr = \bar{u}_m / \sqrt{gH_0}$ 、 $Re = \bar{u}_m H_0 / \nu$ 、 I :水面勾配である。シリーズIは砂が動かず河床は平坦な場合、シリーズIIは砂が平坦河床土を掃流状態で動く場合、シリーズIIIは河床波のある場合で基準センサーは山部分にある。河床波の規模についてはTable-2に示す。センサーの位置関係を特にシリーズIIIについて模式的にFig-1に示す。流下方向については上流側、鉛直方向については河床に近い方のセンサーを基準センサーとし、センサーの存在による影響が少なくなるようにL型センサーを用いた。また、Table-1からわかるように流下方向については3つの相対水深について、鉛直方向については河床近くの1つのケースについて実験をした。データの処理は、データ総数2000個、サンプリング間隔0.01秒、最大ラグ数100で行なった。

3. 実験結果及び考察

流下方向のずらし距離を x 、それと垂直な2方向へのずらし距離を y 、 z 、ずらし時間を τ とすると一樣な場における時空相関は次式で表わされる。

$$R_{uu}(x, y, z, \tau) = \frac{\overline{u'(x_0, y_0, z_0, t) u'(x_0 + x, y_0 + y, z_0 + z, t + \tau)}}{\overline{u'^2}} \quad (1)$$

Fig-2は x をパラメータとした流下方向の時空相関の

Table 1

Case No.	H_0 (cm)	H (cm)	y_0 (cm)	$\frac{H}{H_0}$	$\frac{y_0}{H_0}$	$\bar{u}_m$ (cm/s)	u_τ (cm/s)	Fr	$Re \times 10^3$	$I \times 10^3$	Bed Form	Longitudinal Series
U10	6.1	6.1	5.1	0.84	0.84	14.9	10.3	0.200	0.681	0.179	Initial	
M10	6.1	6.1	2.7	0.44	0.44	15.1	11.2	0.195	0.685	0.211	Flat	Series I
L10	6.2	6.2	0.6	0.097	0.097	13.2	1.10	0.169	0.739	0.200		
U20	7.3	7.3	5.8	0.79	0.79	23.3	15.2	0.275	1.57	0.321	Move	Series II
M20	7.2	7.2	3.2	0.44	0.44	22.7	15.1	0.270	1.49	0.321		
L20	7.2	7.2	0.7	0.097	0.097	22.7	15.7	0.270	1.49	0.350		Series III
U30	9.0	7.7	6.2	0.81	0.81	22.4	3.32	0.238	1.80	1.25	Replen	
M30	9.0	8.3	3.3	0.40	0.40	21.7	3.37	0.231	1.76	1.29	Dunes	Series I
L30	9.0	7.3	0.8	0.11	0.11	23.8	3.37	0.253	1.94	1.29		
V10	6.4	6.4	0.6	0.094	0.094	14.7	1.08	0.186	0.850	0.186	Series I	Series I
V20	7.2	7.2	0.7	0.097	0.097	24.9	1.51	0.296	1.58	0.321	Series II	
V30	9.0	7.0	0.8	0.11	0.11	23.1	3.27	0.246	1.85	1.21	Series III	Series III

Table-2

Case No.	U30	M30	L30	V30
波長 (cm)	19	16	22	15
波高 (cm)	2.6	1.4	3.4	3.4

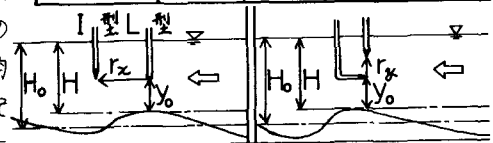


Fig-1 センサー配置模式図

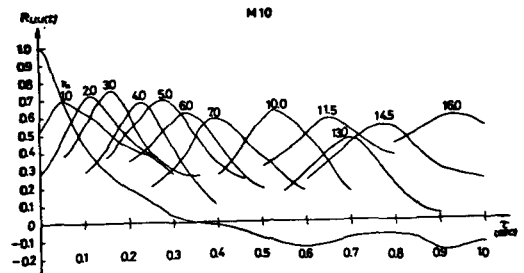


Fig-2 時空相関 (流下方向)

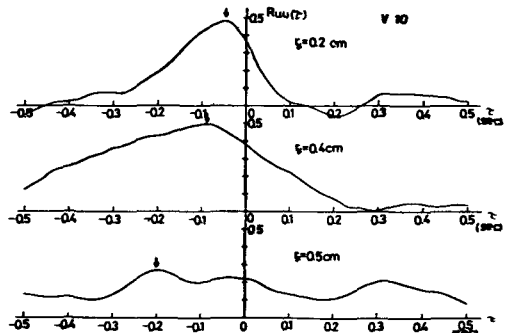


Fig-3 時空相関 (鉛直方向)

例である。ある遅れ時間にピークが生じており、乱れが急激には変化せずある程度形を保ちつつ流下方向に移流されていることがわかる。

Fig-3は h_g をパラメータとした鉛直方向の時空相関を表わしている。相関のピークが負の方に生じており、河床近くの乱れはその上の乱れに比べて遅れていることがわかる。これは一様流と異なった剪断流の大きな特徴である。

さて、流下方向の時空相関のピークの発生遅れ時間を距離 x を割って得られる移流速度 u_c と平均流速 $\bar{u}$ の比を反についてプロットしたのがFig-4である。これより全ケースについて $\bar{u}$ よりわずかに大きな値となっておりがおおまかには $\bar{u}$ と考えると良く、剪断流、移動床流れにおいて、Taylorの凍結乱流の仮定が成り立つと考えると良い。L20、L30でバラツキが大きいのは河床近くで砂の動きや河床波の影響によりBurstingが強まり主流と不安定にしていることが考えられる。

Fig-5は鉛直方向の時空相関に現われるピークの発生遅れ時間を y に対してプロットしたものである。どの河床状態でも先に述べた剪断流の特徴である $\tau_{peak} < 0$ の傾向は出ており、その大きさは y が 1.5 cm においてほぼ y に比例している。また移動床の場合には清水中に比べて小さくされており鉛直方向についての位相差が小さくなることを示している。特に河床波の山部分では乱れが一体となって流れていくことがわかる。

Fig-6は流下方向、鉛直方向での時空相関で $\tau = 0$ として得られる空間相関から描かれる等相関曲線である。これより清水中ではかなり偏平な渦が移動床となり河床波が形成されると全体的に丸味を帯びてくることが推察される。これは流下方向についての渦径の縮小と鉛直方向の渦径の増大によると見ることができ、Fig-5と関連して考えれば移動床となり、砂が動き、河床波が生成されると、鉛直方向の混合が助長されると推察される。著者らは、平均流速分布について、移動床になった場合に河床近くでは対数よりはずれ一様化する、流下方向の渦径が若干縮小することを報告しているが今回の結果はそれらに対応するものと考えられる。特に平均流速分布については、Fig-5、Fig-6を考察したように混合距離の増加という面からの説明の可能性が見出される。

4. 結 論

今回の時空相関に関する測定より、剪断流、流砂を含む移動床流においてTaylorの凍結乱流の仮定はほぼ成立することがわかった。また、移動床、特に河床波の存在する場合に乱れは河床付近ではかなり一様性を帯びる。これは鉛直方向の混合の増加ということと結びつき、平均流速分布で得られた結果と対応することがわかった。

< 参考文献 >

1) 岩崎、半沢、三宅：三次元河床波付近の乱れ計測，昭和53年度東北支部技術研究発表会講演概要 P.69-70

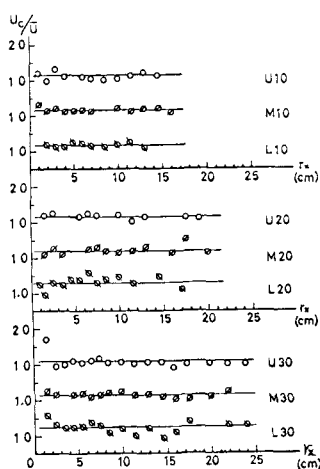


Fig-4 平均流速と移流速度の比

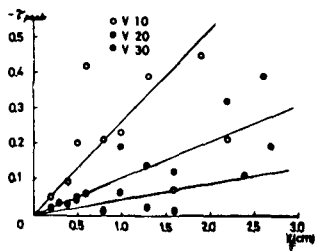


Fig-5 τ_{peak} と y の関係

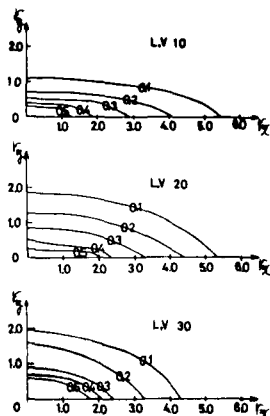


Fig-6 等相関曲線