

1. はじめに

乱流研究に対する計測手法の開発により、河床波現象も様々な手法で研究されている。著者等はトレーサー注入法による可視化手法を用いて砂漣モデル上の流れの特性値として再付着点の長さとその分布、後流域に発生した渦の大きさや渦の移動速度及び渦の発生周期、後流域における渦の発散・渦度・循環などを求めてきた。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ その結果、それ等の値は統計的に規則性があることがわかり、それが不規則な流れにおいてある種の規則性を生ずる河床波形状の生成の要因でもあると考えられる。移動床流れの研究の基礎的な段階として本研究のような砂漣モデル上の流れの特性を把握することは、河床波の発生・発達には流れの構造によるという観点に立てば意義あるものといえる。本研究は、2つのスケールの砂漣モデル上の流れについて可視化写真をパソコンで処理し、特に後流域に発生した渦の循環について考察したものである。

2. 実験方法

実験水路は長さ8m、幅39.4cmの可傾式の開水路を用い、下流端から4m上流までFig.1, Fig.2に示した塩ビ製の砂漣モデルを敷き詰めた。この河床波モデルは従来の研究から砂漣の領域であるとみなせる。トレーサーとしてアルミ粉を界面活性剤で分離したものをを用い、撮影断面の1波長上流の砂漣モデル底面から一定量を緩やかに注入した。スリットにはスライドプロジェクタを用い、トレーサーの軌跡から流速やトルを求めることを考慮してスリット幅は水路床で7mmになるようにした。撮影はモータードライブ付きカメラ(NIKON F3)で水路側面から連続撮影した。現像はISO3200まで増感した。Table 1は実験条件であり、Case 1 から Case 23まではType 1のモデル、Case 24からCase 26はType 2のモデルで実験を行なった。この表において、 H_0 は

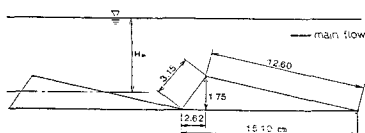


Fig.1 砂漣モデル (Type 1)

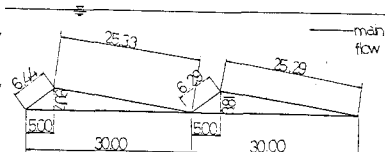


Fig.2 砂漣モデル (Type 2)

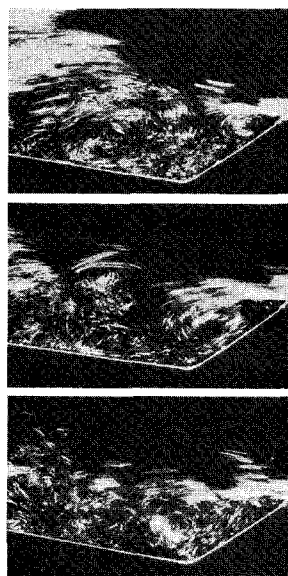


Fig.3 流況 (Case 3)

Table 1 実験条件

CASE	H_0 (cm)	Q (cm³/sec)	U_m (cm/sec)	Fr	Re	R (cm)	I_s	I_b	S.P. (mmsec)
1	5.18	13.7	2.21	10.1921	9.720	4.70	1/826	0	162.85
2	5.68	30.2	4.20	10.4051	13.800	4.41	1/245	0	31.58
3	7.18	15.8	3.21	10.1891	9.150	5.25	1/500	0	62.85
4	7.48	37.1	2.30	10.4331	22.400	5.42	1/1000	0	31.58
5	9.38	17.5	2.49	10.1841	13.300	6.35	1/1000	0	62.85
6	9.58	42.9	5.99	10.4431	33.100	6.45	1/76	0	31.58
7	10.01	16.6	3.05	10.2001	9.370	5.16	1/545	0	162.85
8	7.00	33.1	3.90	10.4001	18.700	5.16	1/333	0	31.58
9	7.00	16.6	2.25	10.2001	9.370	5.16	1/1000	1/50	162.85
10	7.00	33.1	4.50	10.4001	18.700	5.16	1/250	1/50	31.58
11	7.00	16.6	4.11	10.2001	9.370	5.16	1/300	1/30	162.85
12	7.00	33.1	7.11	10.4001	18.700	5.16	1/100	1/30	31.58
13-1	7.00	16.6	3.05	10.2001	9.370	5.16	1/545	0	162.85
13-2	7.00	16.6	3.05	10.2001	9.370	5.16	1/545	0	162.85
13-3	7.00	16.6	3.05	10.2001	9.370	5.16	1/545	0	162.85
14-1	7.00	16.6	3.05	10.2001	9.370	5.16	1/545	0	162.85
14-2	7.00	33.1	3.90	10.4001	18.700	5.16	1/333	0	31.58
14-3	7.00	33.1	3.90	10.4001	18.700	5.16	1/333	0	31.58
14-4	7.00	33.1	3.90	10.4001	18.700	5.16	1/333	0	31.58
15	7.00	6.0	1.35	10.0721	3.680	5.16	1/2750	0	126.00
16	7.00	10.2	1.54	10.1231	6.280	5.16	1/786	0	126.00
17	7.00	22.0	2.19	10.2651	13.500	5.16	1/1050	0	162.85
18	7.00	25.0	2.84	10.3141	16.000	5.16	1/629	0	31.58
19	7.00	34.5	4.04	10.4161	21.200	5.16	1/310	0	31.58
20	7.00	46.7	7.04	10.5631	28.600	5.16	1/102	0	31.58
21	7.00	50.7	6.69	10.6121	31.100	5.16	1/113	0	15.80
22	7.00	55.0	8.21	10.6541	33.800	5.16	1/75	0	15.80
23	8.02	61.0	8.57	10.6881	4.290	5.70	1/75	0	15.80
24	15.24	10.0	1.84	10.0821	1.600	8.59	1/2500	0	126.00
25	15.24	20.0	3.18	10.1621	2.330	8.59	1/833	0	62.85
26	15.24	30.0	4.49	10.2521	2.590	8.59	1/417	0	31.58

平均水深、 $\bar{u}$ は平均流速、 u_τ は摩擦速度($\sqrt{gR I_s}$)、 Fr はFroude数($\bar{u}/\sqrt{gH_0}$)、 Re はReynolds数($\bar{u}H_0/\nu$)、 R は径深($BH_0/(B+2H_0)$)、 I_s は水面勾配、 I_b は水路床勾配である。

3. 実験結果及び考察

Fig.3はCase 3の連続写真である。クレストから渦が発生し、斜め下流へ行くにつれ成長していく様子がわ

かる。流況は以前報告した通りである¹⁾²⁾。再付着点の長さの平均値を L_r 、砂漣モデルの波高を Δ とするとType 1の場合、谷部からの再付着点の長さ L_r/Δ は2.91から3.48(クレストから4.41~4.98)となり、Type 2の場合、 L_r/Δ は4.62~4.92(クレストから5.93~6.23)となった。

Type 2の方がクレスト下流において連続的に渦が存在し、従って再付着点の長さが大きくなると考えられる。

Fig. 4は渦領域の写真からトレーサーの軌跡をデジタイザで読み取った流速ベクトルである。露出時間が短いことからEuler的な流速とみなすことができる。Fig. 5はFig. 4を補間した流速ベクトルである。この場合、メッシュ間隔は2mmとした。この求めた流速ベクトルから発散、渦度などを求めたが、Type 1, Type 2とも以前報告した様な分布となった。¹⁾³⁾ Fig. 6, Fig. 7は谷部で発達した渦の循環の分布である。Aは渦の水平方向、鉛直方向のスケール D_x, D_y から求めた渦の面積であり、 A' は循環を求めた領域の面積である。これより、循環は渦の中心から A'/A が大きくなるにつれほぼ直線的に増大することがわかる。また、砂漣モデルの波高(Δ)で表現したReynolds数($Re = \bar{u}\Delta/\nu$)に関係し、Reynolds数が大きくなるにつれ循環の値も大きくなる。Fig. 8は Γ/A' から求めた渦の強さの分布である。 Re が大きくなるにつれ渦の強さも大きくなり、また中心からの減少割合も大きくなった。

4. おわりに
可視化した写真をパソコンで処理することにより循環などを求めた。これより揚力が求まることから、今後移動床流れにおける砂の巻き上げやより実的なモデルを考えていきたい。

最後に本研究に協力された大久保俊博氏(北海道大学)、小田島日出美氏(豊橋技術科学大学)、佐々木正剛氏(岩手大学)、杉本洋人氏(森本組)に感謝致します。

<参考文献>

- 1) 岩崎敏夫・田中博通; 流れの可視化, Vol. 3, No. 10, 1983, pp. 253~258
- 2) 田中博通・岩崎敏夫; 流れの可視化, Vol. 4, No. 14, 1984, pp. 213~218
- 3) T. Iwasaki and H. Tanaka; FLOW VISUALIZATION III, HEMISPHERE PUBLISHING CORPORATION, p. 681~685

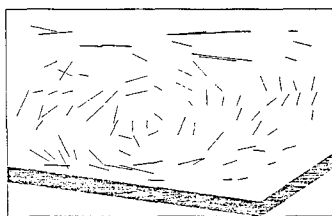


Fig. 4 流速ベクトル(Case 1)

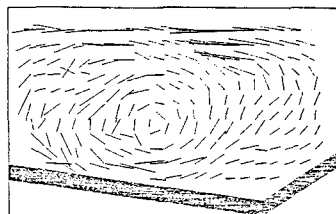


Fig. 5 補間した流速ベクトル(Case 1)

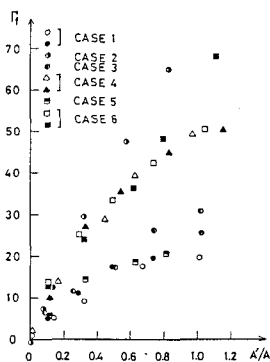


Fig. 6 循環の分布

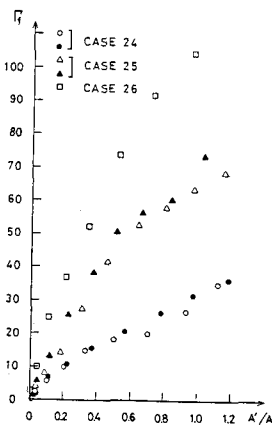


Fig. 7 循環の分布

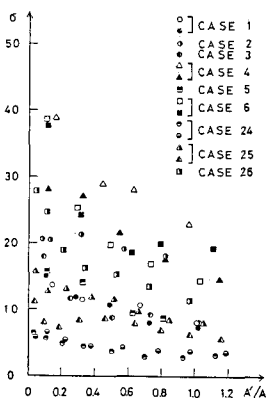


Fig. 8 渦の強さの分布