

砂連モデルのクレスト下流に発生した渦のStrouhal 数に関する研究

八戸高専 正 員 田中 博通
八戸高専 学生員 加藤 久男
八戸高専 学生員 久保田隆之
八戸高専 学生員 ○ 藤原 広和

1. はじめに

移動床に関する問題は防災上やダムの堆砂防止上重要であり今まで多くの研究がなされているが、その基本的メカニズムに関する研究は少ない。不規則な流れにおいて、ある種の規則性がある河床波形状に関して、流れの構造の統計的な特性値を見出すことは河床波の発生、発達を解明する上でも重要である。本研究はクレスト下流に発生した渦に着目し、可視化手法を用いて渦の発生周期、渦の間隔と渦の移動速度を求めたものである。

2. 実験方法

実験水路は長さ8.0m、幅39.4cmの可傾式水路であり、下流端から4m上流まで図1に示すような塩ビ製の砂連モデルを敷き詰めた。この河床波モデルは、モデルのスケールや実験条件から砂連の領域に属するものと考えられる。可視化はアルミ粉を用いたトレーサー注入法で行い、撮影断面の一波長上流のモデル底面から一定量を注入した。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、光源としてスリット光源を用いた。尚、シャッタースピードとコマ送り速度は検定した値を用いた。

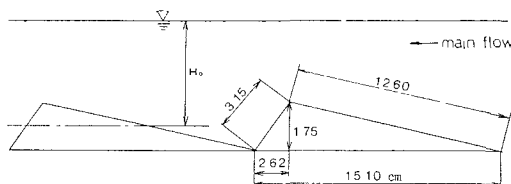


図1 砂連モデル

表1 実験条件

CASE	H ₀ (cm)	U (cm/sec)	U _* (cm/sec)	Fr	Re	R (cm)	Is	Ib	SP (mmsec)
1	5.18	13.7	2.21	0.192	5.720	4.10	1/826	0	62.85
2	5.68	30.2	4.20	0.405	13.800	4.41	1/245	0	31.58
3	1.18	15.8	3.21	0.189	915	5.26	1/500	0	62.85
4	7.48	37.1	2.30	0.433	22.400	5.42	1/1000	0	31.58
5	9.38	17.6	2.43	0.184	13.300	6.35	1/1000	0	62.85
6	9.58	42.9	5.99	0.443	33.100	6.45	1/176	0	31.58
7	7.00	16.6	3.05	0.200	9.370	5.16	1/545	0	62.85
8	7.00	33.1	3.90	0.400	18.700	5.16	1/333	0	31.58
9	7.00	16.6	2.25	0.200	9.370	5.16	1/1000	1/50	62.85
10	7.00	33.1	4.50	0.400	18.700	5.16	1/250	1/50	31.58
11	7.00	16.6	4.11	0.200	9.370	5.16	1/300	1/30	62.85
12	7.00	33.1	7.11	0.400	18.700	5.16	1/100	1/30	31.58
13-1	7.00	16.6	3.05	0.200	9.370	5.16	1/545	0	62.85
13-2	7.00	16.6	3.05	0.200	9.370	5.16	1/545	0	62.85
13-3	7.00	16.6	3.05	0.200	9.370	5.16	1/545	0	62.85
13-4	7.00	16.6	3.05	0.200	9.370	5.16	1/545	0	62.85
14-1	7.00	33.1	3.90	0.400	18.700	5.16	1/333	0	31.58
14-2	7.00	33.1	3.90	0.400	18.700	5.16	1/333	0	31.58
14-3	7.00	33.1	3.90	0.400	18.700	5.16	1/333	0	31.58
14-4	7.00	33.1	3.90	0.400	18.700	5.16	1/333	0	31.58
15	7.00	6.0	1.16	0.072	3.680	5.16	1/2750	0	126.00
16	7.00	10.2	2.54	0.121	6.250	5.16	1/786	0	126.00
17	7.00	22.0	2.19	0.266	13.500	5.16	1/1050	0	62.85
18	7.00	26.0	2.84	0.314	16.000	5.16	1/629	0	31.58
19	7.00	34.5	4.04	0.416	21.200	5.16	1/310	0	31.58
20	7.00	46.7	7.04	0.563	28.600	5.16	1/102	0	31.58
21	7.00	50.7	6.69	0.612	31.100	5.16	1/113	0	15.80
22	7.00	55.0	8.21	0.664	33.800	5.16	1/75	0	15.80
23	8.02	61.0	8.57	0.688	42.900	5.70	1/76	0	15.80

表1は実験条件である。今回は水深、Reynolds数、Froude数、水路床勾配、撮影断面などにより29ケース(1ケース当り撮影写真枚数は100~250枚)について実験を行なった。ここで用いた記号は既報^{1),2)}と同様である。

3. 実験結果及び考察

図2はCASE 19の流況である。流況に関する研究は既に報告済みである。^{1),2)}

図3はReynolds数と渦の発生周期との関係である。Reが増加するにつれて周期が減少していくことがわかる。

図4はReynolds数とStrouhal数(St)の関係である。尚、Stは次式で定義した。

$$St = f \cdot \Delta / \bar{u} \quad f: \text{渦の発生周波数} \quad \Delta: \text{河床波波高}$$

この図からReが増加するとStは減少し、Reが大きな所ではほぼ0.5となる。

図4に円柱後流のKarman渦のStrouhal数を併記した。³⁾ Karman渦の場合はほぼSt=0.2と言われているが砂連モデルの場合はかなり傾向が異なる。クレストから発生した渦は谷の部分まで成長し、前の渦と主流の影響を受けながら再付着点まで減衰しながら下流に進む。その過程で合体、崩壊などの複雑な現象が発生する。渦は

クレストから前の渦とある間隔で発生することから渦の発生周期は谷部での渦の存在のしかたによる。

図5はReynolds数と谷部での渦の間隔(b)との関係である。渦の間隔は Re に関係なくほぼ一定であり、谷部における成長した渦の流下方向の長さと同程度となった。

渦が連続的に発生するものとするとき次式が成り立つ。

$$f \cdot b = \bar{U} - U_r = V_r$$

U_r : $\bar{U}$ に対する渦の相対的速度
 V_r : 渦の速度

図6はReynolds数と $V_r/\bar{U}$ との関係である。これは実験より得られた f と b から求めたものである。図6より Re が増すと $V_r/\bar{U}$ は減少することがわかる。さらに、写真から渦の移動距離を求め、コマ送り速度を用いて求めた渦の実際の速度($V_r/\bar{U}$)を図6に併記してある。 V_r と $V_r/\bar{U}$ との一致は良好である。Karman渦の場合、 $V_r/\bar{U}$ はほぼ0.86とされ、砂漣モデルにおける値はかなり小さい。これは境界のないKarman渦の場合、渦は下流に進みやすいが、主流で閉ざされた砂漣モデル上の流れのような場合、渦はかなり進みにくいからである。このように渦の滞在時間が長い場合、渦の循環による揚力などを含めて砂の移動を考えなければならない。

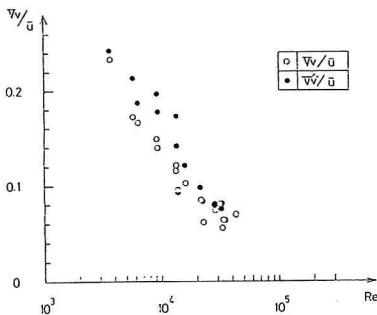


図6 Reynolds数と $V_r/\bar{U}$ の関係

4. おわりに

今回は数多くの写真からクレスト下流に発生した渦の周期や移動速度を求めた。現象として砂漣モデルに限定されるが、この結果は各種構造物に参考になると思われる。

<参考文献>

- 1) 岩崎敏雄, 田中博通; 砂漣モデル上のクレスト下流に発生した渦に関する研究, 流れの可視化, Vol.13, No. 10, 1983, pp. 253 ~ 258
- 2) T. Iwasaki and H. Tanaka; On the Flow Visualization and Turbulent Measurement on the Ripple Models, Third International Symposium on Flow Visualization, 1983, pp. 168 ~ 172
- 3) H. Schlichting; Boundary-Layer Theory, 7th edition

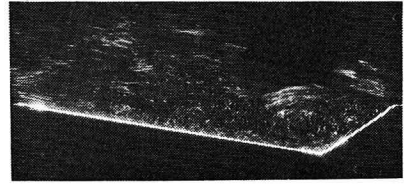


図2 流況

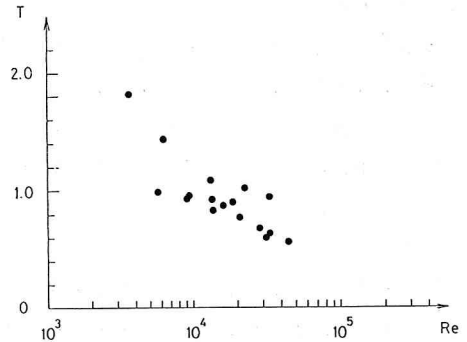


図3 Reynolds数と周期の関係

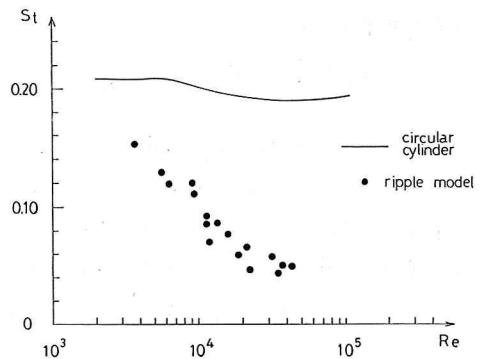


図4 Reynolds数とStrouhal数の関係

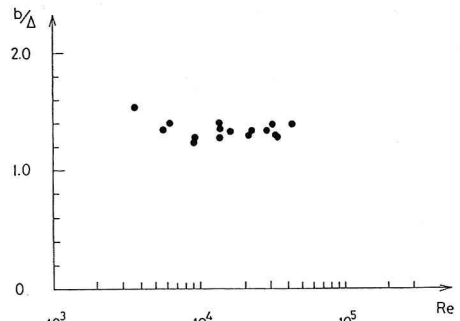


図5 Reynolds数と渦の間隔との関係