

日本テトラポッド(株) 正員 〇松本 朗
足利工業大学工学部 正員 岩崎 敏夫
日本電信電話公社 正員 村上 虎一

1 はじめに

移動床に発生する河床波が、種々の水理特性に支配的な影響を与えることは良く知られている。河床波の発生、発達メカニズムや、それらに伴う水理量の変化を解明するためには流れの微細構造を把握する事が不可欠であり、著者らの一部は、河床波高の増大に大きな影響を与えるクレストの後流域に存在する渦や、砂移動現象に関連する再付着点付近の流況について、流れの可視化手法を用いて研究してきている。今回はそれらに引き続き、砂漣モデル上の流速の相互相関や、流速分布形状によって作られる面積変動について検討し、若干の興味ある結果を得たのでここに報告する。

2 実験方法及び実験条件

使用水路については既報を参照されたい。モデルは中央粒径0.36mmの砂で発生させた実際の河床波を模擬したものであり、波長15cm、波高1.5cmのものをアクリル板で作製した。これは、砂粒レイノルズ数、フルード数を合わせて考え河床波と同位相あるいは逆位相の水面波が観察されなかった事を考慮すると、砂漣領域に属することになる。砂漣の三次元性については議論の余地を残すところではあるが、本研究では主流方向の流れの特性量にのみ着目し、二次元的に単純化したモデルを用いた。用いた可視化手法は水素気泡法であり、可視化画像からの流速の読み取りが可能となるよう、白金線を一定ピッチで絶縁した。写真撮影時間間隔は0.1秒、総撮影時間は20秒である。データ処理過程をFig. 1に、実験条件をTable 1に示す。ここに、D:平均水深(水面から河床波高の1/2まで)、LD:白金線を張った位置の水深、I:水面勾配、R:径深、Q:流量、 U_m :断面平均流速、 U_* :摩擦速度、 Fr :フルード数、 Re :レイノルズ数である。また、LINEはFig. 2に示す測線を意味する。測線5は、平均的な再付着点であった。

3 結果及び考察

本研究で用いた手法の最大の長所は、同一時刻に水深方向の複数の点で流速の時系列を測定できる事にある。流速変動の生データの一例をFig. 3に示した。これにより、水深方向での変動の様子がわかる。Fig. 4は、Fig. 3に示したデータから計算したコヒーレンスの時間及び空間的な配置を示すもので、横軸は底面に最も近い測点からのずらし距離、縦軸は周波数である。また、斜線を施した部分はコヒーレンスが0.5を越えていることを意味する。これらを見ると、クレスト頂上であるLINE 1では相関の高い部

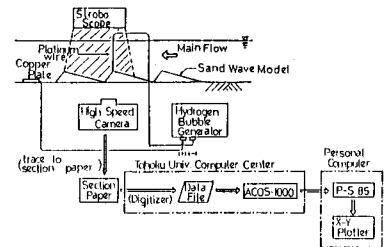


Fig. 1 Schematic Diagram of Analysis Process

LINE	D(cm)	LD(cm)	I($\times 10^{-3}$)	R(cm)	Q(l/min)	U_m (cm/s)	U_* (cm/s)	Fr	Re
1	7.76	7.00	4.00	5.63	8830	27.76	1.49	0.32	16440
1-2	6.83	6.08	7.50	5.12	8740	31.21	1.94	0.38	16270
2	7.76	8.51	4.00	5.63	8770	27.76	1.49	0.32	15980
3	7.85	8.30	4.00	5.68	8770	27.25	1.49	0.31	15870
4	7.91	8.60	4.00	5.71	8600	26.53	1.50	0.30	14670
5	7.76	7.61	3.50	5.63	8770	27.57	1.39	0.32	16330
6	7.87	7.42	4.00	5.89	8740	27.09	1.49	0.31	16270
6-2	6.86	6.44	8.00	5.14	8650	30.75	2.01	0.38	14970
6-3	9.80	9.38	2.50	6.63	8620	21.45	1.27	0.22	15150

Table 1 Experimental Condition

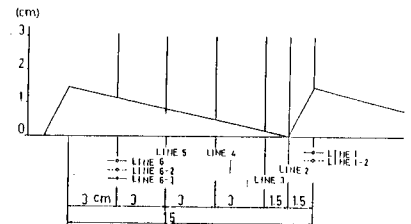


Fig. 2 Measuring Position

分が低周波数側に集中しているのに対し、再付着点直下のLINE 6では広い周波数帯にわたって相関の高い部分が見られ、また空間的にも相関の高いことがわかる。すなわち、クレスト頂上では平均流が支配的であるのに対して、再付着点直下では再付着点からの流体のはね上りによって流れの構造が変化している事が予想される。このことは、砂のまき上げ等に関連し重要である。以上より、空間に固定した一点での計測ではなく、時間、空間の両者の要素を同時に含んだ情報を解析することが重要であると考えた。そこで、以下に示す方法で面積変動の時系列A(t)を求め、スペクトル解析を行った。

$$A(t) = (AT(t) - AM) / AM$$

ここに、AM：平均流速分布を水深方向に積分することによって計算される図形の面積（L²）、AT(t)：任意の時刻の流速分布形状を積分して計算される図形の面積（L²）である。従来、砂連では河床近傍の物理量が支配的であるといった報告がなされているため、積分範囲は水深方向に河床波高とコンパラブルな領域ということとで、測線間で多少のばらつきはあるが底面から2cm前後とした。計算された面積変動の一例をFig.5に示す。Fig.6は測線1～6のパワースペクトルのグラフである。測線1から下流方向に隔たるにつれて、全般的にパワーが増加するのがわかる。特に、流れが最も安定している測線1と、再付着点近傍の測線5,6を比較すると差が明瞭である。また、測線1と2、3と4、5と6がほぼ同レベルの値を示しており、形状も類似していることからそれぞれ類似した流れの構造を持っていると考えられる。測線3と4では2 Hz 付近にピークが見られるが、これは次のように考えられる。すなわち、一様流中に円柱を置いた時に背後から発生する渦対の発生周波数fを、代表長さを直径d、代表流速を一様接近流速Uとしたストローハル数で表現すると、 $St = fd/U = 0.2$ となる。本研究の場合、底面が固定境界であることを考慮し、 $d = 2 \times (\text{河床波高})$ 、 $U = U_m \approx 30 \text{ cm/s}$ とすると $f = St U/d = 0.2 \times 30/3 = 2 \text{ (Hz)}$ となる。これは先述の2 Hz に一致する。

4 おわりに

可視化手法の長所を生かし、空間的な広がりの中で流れの場の特性を論じることができた。

〈参考文献〉 岩崎、松本 オ38 四年講

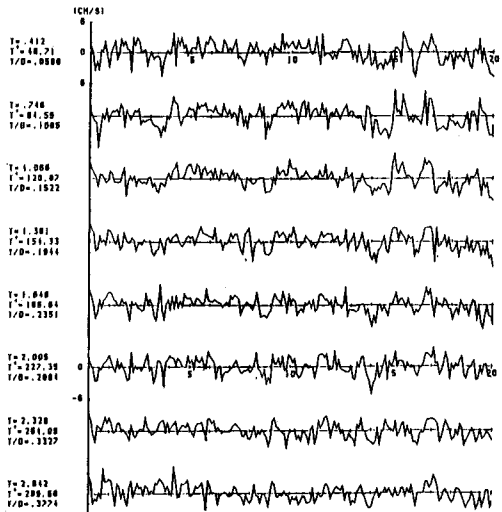


Fig. 3 Velocity Fluctuation (LINE 1)

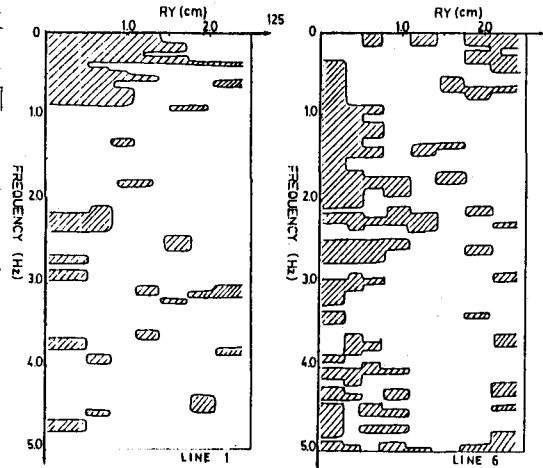


Fig. 4 Coherence Function

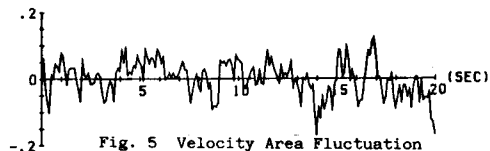


Fig. 5 Velocity Area Fluctuation

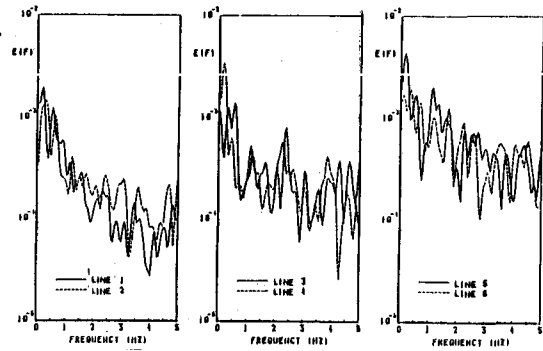


Fig. 6 Power Spectra of Velocity Area Fluctuation