

京都大学大学院 正 員 瀬津家久

京都大学大学院 正 員 鬼束幸樹

(株)タクマ 正 員 倉田昌明

京都大学大学院 学生員 江崎慶治

1. はじめに 移動床現象では、掃流砂の運動が乱流構造に影響を与えるため、同じく底面付近から発生するbursting現象に少なからず影響を与えるものと考えられる。本研究は、平坦な移動床上の流れをレーザ流速計により計測し、さらに四象限区分法による条件付サンプリング手法を用いた解析を行うことによって、掃流砂がburstingの規模や発生周期などに及ぼす影響について検討したものである。

2. 実験方法および条件 表-1に

実験条件を示す。ここに、 U_m は断面平均流速、 U^* は摩擦速度、 q_s/U^*d_{50} ($d_{50}=1.80\text{mm}$:中央粒径)は無次元平均掃流砂量である。移動床実験については、水路に珪砂を平坦に敷き詰め移動床とし、掃流砂の存在しないケースNMBと、掃流砂量のそれぞれ異なるケースMB1からMB4の合わせて5通りについて、レーザ流速計を用いた流速計測が行われた。また、同じ珪砂を鉄板に貼り付けることにより行われた固定床実験については、移動床実験における掃流砂の存在する4ケースの水力条件にそれぞれ対応して、FB1からFB4の4ケースの計測を行った。

3. 実験結果および考察 条件付サンプリング手法を用いてbursting現象を捉えた結果を以下に示す。なお解析には、しきい値の定義に半値しきい値法を、また判別関数の定義として、Lu & Willmarth¹⁾、Nakagawa & Nezu²⁾によって開発された流速変動の四象限区分しきい値法をそれぞれ採用した。図-1は、四象限区分法により定義され

表-1 実験条件(上:移動床, 下:固定床)

Case	h (cm)	U_m (cm/s)	U^* (cm/s)	Q (liter/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	S_b	q_s/U^*d_{50}	τ^+_{*c}	τ^+_{*}
NMB	7.0	40.6	2.6	14.2	2.8	0.49	1/1000	-	0.023	
MB1	7.0	50.0	3.2	17.5	3.5	0.60	1/700	2.4×10^{-4}	0.035	
MB2	7.0	54.7	3.5	19.1	3.8	0.66	1/600	7.1×10^{-4}	0.043	0.027
MB3	7.0	57.8	3.7	20.2	4.0	0.70	1/500	5.6×10^{-4}	0.046	
MB4	7.0	64.0	4.1	22.4	4.5	0.77	1/400	1.9×10^{-3}	0.058	

Case	h (cm)	U_m (cm/s)	U^* (cm/s)	Q (liter/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	S_b
FB1	7.0	40.6	2.6	14.2	2.8	0.49	1/800
FB2	7.0	50.0	3.1	17.5	3.5	0.60	1/700
FB3	7.0	57.8	3.7	20.2	4.0	0.70	1/500
FB4	7.0	64.0	4.5	22.4	4.5	0.77	1/400

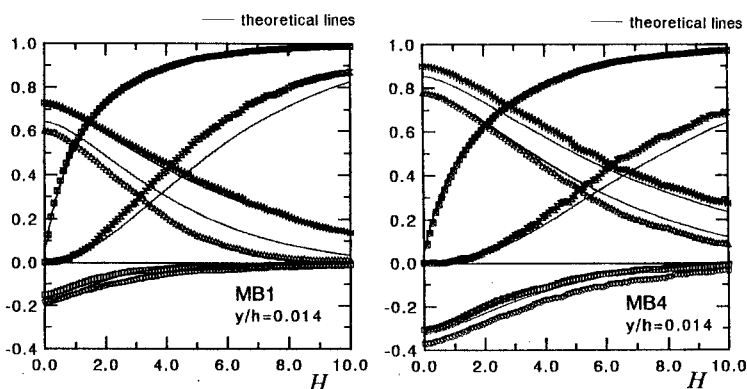
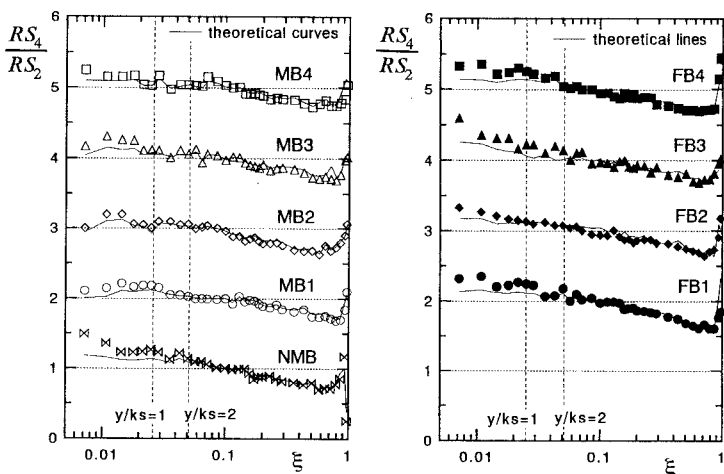


図-1 Reynolds応力に対する各象限の寄与率

図-2 寄与率の比 RS_4/RS_2 (左図:移動床, 右図:固定床)

た各bursting事象のReynolds応力に対する寄与率および時間占有率を示したものである。 $y/h=0.014$ における各事象による寄与率の変化から、底面近傍では掃流砂量の増加に伴って、hole値 $H=0$ における各事象の寄与率の絶対値は大きくなっている。すなわち、burstingのejection事象、sweep事象ともに発生する乱れの規模が非常に大きくなっていることを示唆している。これは、掃流砂の運動によって水流の攪乱が激しく行われたためであると考えられる。図-2に、hole値がゼロのときのejection事象およびsweep事象の寄与率の比 RS_4/RS_2 を、移動床および固定床について示した。ただし、 $\xi=y/h$ である。底面付近に着目すると、固定床と比較して移動床では寄与率の比は小さくなることから、掃流砂の運動によってejectionの効果が增大していることがわかる。これは、掃流砂による水流の攪乱によって、乱れの規模の増大とともに等方化が促進されるため、ejection事象およびsweep事象の寄与率がともに大きくなりつつも、ejection事象の方が掃流砂の影響を顕著に受け、比が1に近づいたためと考えられる。また、固定床では寄与率の大小関係が入れ替わる位置はほとんど変化せず、 $y/h=0.07\sim 0.08$ の付近であると判断できる。それに対して、移動床では掃流砂が通過すると考えられる $y/k_s=2(k_s=d_{50})$ 以下の底面付近で変化点が存在する。これも上述のとおり流砂量の増加に伴い等方化指向が強まったためであると考えられる。図-3は、外部変数表示されたburstingの発生周期をsweep事象およびejection事象それぞれについて示したものである。移動床の各ケースから、Reynolds数が増加すると全体的にわずかではあるが発生周期の増加する傾向が窺える。加えて、sweep事象の発生周期は内層から水面付近までほぼ一定値をとるが、ejection事象は外層に向かうにしたがって、緩やかな増加傾向が見受けられる。これは

burstingによって発生した渦が鉛直方向に上昇するにしたがって崩壊するためであると考えられる。また、移動床についてもほぼ同様の傾向が見られ、大略的には掃流砂の影響は現れない。さらに掃流砂による影響について詳細に検討するために、図-4に固定床と移動床のbursting発生周期の比 T_m/T_f を掃流砂量に対して示した。 $y/h=0.018$ では掃流砂量の増加に伴って、周期比が減少し、1以下となっている。このことから、掃流砂による水流の攪乱によって乱れが増幅され、burstingが頻繁に発生しているものと推測される。

4. おわりに 本研究では、移動床および固定床上の流れについてレーザ流速計を用いた計測を行うことにより、掃流砂の存在によってburstingの規模が増大し、かつ頻繁に発生することが明らかとなった。

参考文献

- 1) Lu, S. S. and Willmarth, W. W. : Measurements of the structure of the Reynolds stress in a turbulent boundary layer, *J. Fluid Mech.*, vol.58, pp.581-593, 1973.
- 2) Nakagawa, H. and Nezu, I. : Prediction of the Contributions to the Reynolds Stress from the Bursting Events in Open Channel Flows, *J. Fluid Mech.*, vol.88, pp.99-128, 1977.

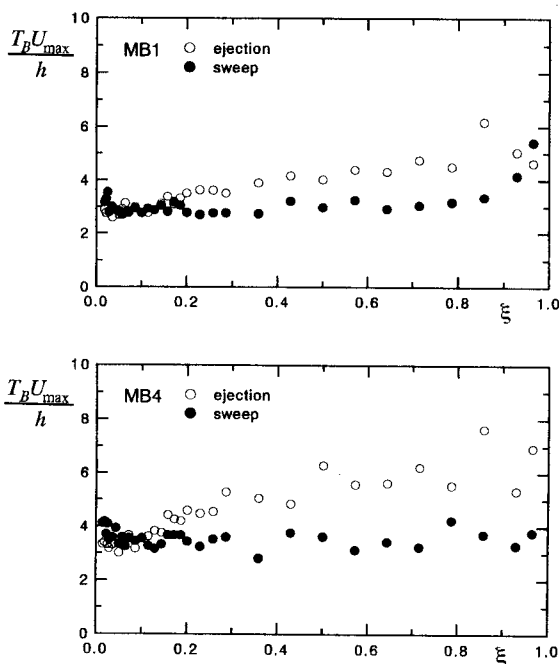


図-3 外部変数表示されたburstingの発生周期

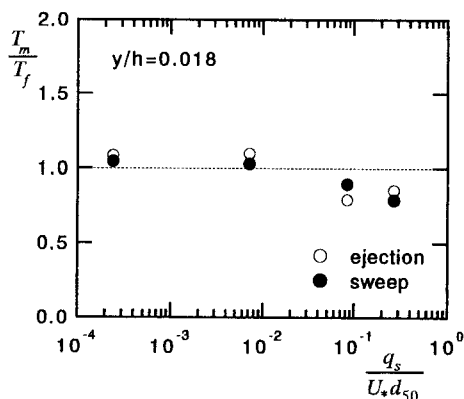


図-4 固定床と移動床のburstingの発生周期の比