

京都大学大学院 学生会員 ○金子 泰洸ポール
 京都大学 正会員 山上 路生
 京都大学 正会員 戸田 圭一

1. はじめに

平成9年に河川法が改正されてから、河道に多様性が求められるようになった。そのような社会的要請の中で、豊かな生態系や貴重な親水空間の創造を期待して多くの人工ワンドが設置されてきた。一方、ワンド内での土砂の堆積や洗掘は深刻で、ワンドの埋没や変形、開口部の閉塞による水質の悪化を招いている。本研究では主流からの土砂流入が無い条件に焦点を絞って、ワンド内の路床変動特性を計測する。また同時に流速の計測も行い、路床形状の変化が流れ構造と乱流構造に与える影響も検討する。

2. 実験方法

図-1に本移動床実験に用いた装置図を示す。乱流計測は、全長9m、全幅150cmの循環式大型水路で行った。水路には内部に錘を入れた中空の亚克力ボックス(60×20×30cm)を敷き詰めてあり、さらに上段の左岸側に一列だけ重ねて並べ、上流から約6mの位置に隙間(30×30cm)を設けることによって長方形ワンドを再現した。ワンド部分には砂を設置できるボックスがはめ込まれている。また、しきり板(30cm×20cm×5cm)をワンド内に挿入することで、ワンドのアスペクト比(開口部長/奥行)を変化させることができる。本計測では珪砂6号(粒径0.2~0.4mm)をワンド内の路床として用いた。この粒径は限界掃流力を元に決定した。

表-1に水理条件を示す。断面平均流速 $U_m=36\text{cm/s}$,

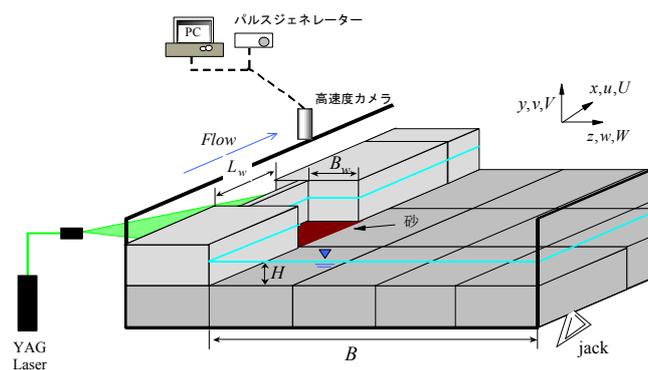


図-1 実験装置と座標系

表-1 実験条件

ケース	路床	U_m (cm/s)	H (cm)	B (cm)	B_w (cm)	L_w (cm)	L_w/B_w	勾配	F_r
U36A1000F	固定床	36	5.3	120	30	30	1	1/10000	0.5
U36A2000F					15		2		
U36A3000F					10		3		
U36A1000N	移動床	36	5.3	120	30	30	1	1/10000	0.5
U36A2000N					15		2		
U36A3000N					10		3		

主流路幅 $B=120\text{cm}$, ワンド幅 $B_w=10, 15, 30\text{cm}$, ワンド長さ $L_w=30\text{cm}$ である。アスペクト比は $L_w/B_w=1, 2, 3$ の3パターンとした。さらに比較のために、移動床実験の他に同じ水理条件でワンド内を固定床にしたケースも実施した。また河床形状計測に加えて、PIVによる乱流計測も行った。

計測の手順は次の通りである。ボックス内に主流部の底面高さまで珪砂を敷き詰めた後、ワンド/主流部境界部にスプリッタープレートを設置して水路に水を流す。これは、通水直後に河床の砂が移動することを防ぐためである。主流部の流れが安定したらスプリッタープレートを取り除き、この瞬間を通水開始時刻とした。そして、通水開始後から2時間後に水平面のPIV計測を行った。計測面は半水深($y/H=0.47$)である。PIV計測後に通水を止めて、ポイントゲージで路床高さを計測した。

3. 実験結果と考察

(1) 路床堆積高の特性

図-2はしきり板を除去してから2時間経過後の、ワンド内の路床堆積高 y_b の分布をコンターで表したものである。正値が堆積を負値が洗掘を表す。これから、いずれのケースにおいても主流とワンド境界部に沿って洗掘が発生するが、ワンド下流端で特に大きな洗掘が確認できる。さらにそのサイドに大きな堆積がみられる。 $L_w/B_w=1, 2$ では類似の路床分布になっているが、 $L_w/B_w=3$ では堆積特性が異なる。これは、 $L_w/B_w=3$ では堆積部分が側壁に到達するため、本来 $L_w/B_w=1, 2$ と同様の形状になるはずであるが側壁の影響によってこのような差異を生んだものと思われる。目視で観察すると、ワンドと主流部境界部ではせん断渦の発生により砂が巻き上げられているのが確認できた。またワンド下流端では、周期的で間欠的な砂の巻き上がりがみられた。さらに山上ら¹⁾は、滑面状態の長方形ワンド

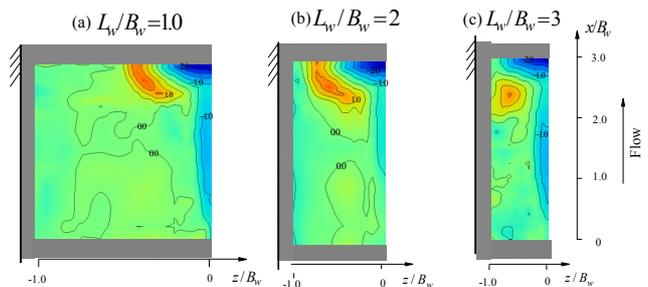


図-2 移動床ケースにおけるキャビティ路床高の分布

においてワンド下流端に下降流が生じることを明らかにしている。したがって、周期的な大規模せん断渦と下降流が洗掘促進の主要な要因であるといえる。

(2) 水平面の時間平均流速ベクトル分布

図-3 は移動床と固定床における時間平均流速(U, W)をベクトル表示で表したものである。これをみると、移動床と固定床で流れ構造が大きく異なっていることが分かる。特に $L_w/B_w=1, 2$ では顕著となっている。これは洗掘と堆積によってできた凹凸が流れに対する抵抗となって影響を与えているためと考えられる。

$L_w/B_w=2$ では Primary Gyre(PG)とは別の循環流が堆積位置周辺で発生している。これは堆積が弧形状になるため、このような循環流構造になると考えられる。また固定床でみられる Secondary Gyre(SG)は見られない。

$L_w/B_w=3$ では移動床と固定床で流れ構造は大きく変わらない。

またワンド境界部での横断方向平均流速 W に注目すると、移動床の方が固定床よりもワンド内への流入が多い傾向がみられ、固定床よりも交換が活発であると予想できる。

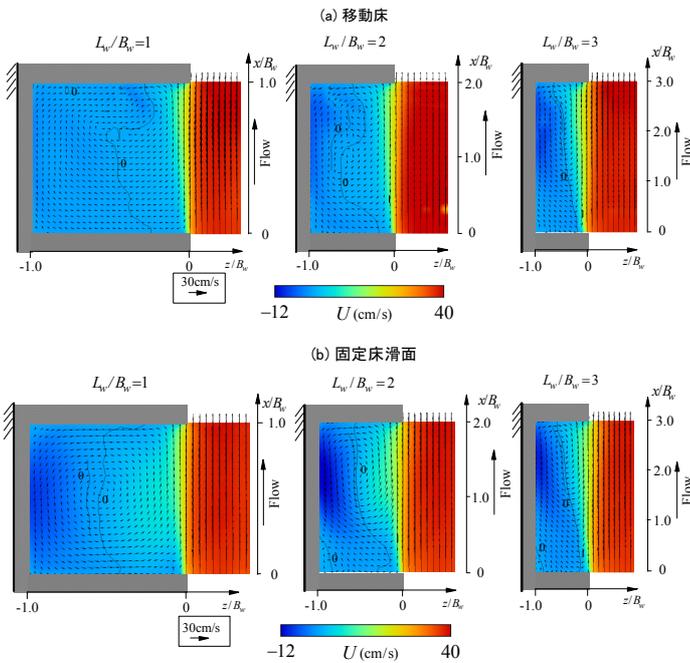


図-3 時間平均流速ベクトル分布

(3) レイノルズ応力の分布

図-4 のように半水深高さ($y/H=0.47$)におけるレイノルズ応力分布を比較したところ、移動床と固定床のどちらのケースでもワンドと主流部境界で、高いレイノルズ応力の値を示す帯状の領域が見られた。 L_w/B_w の増加によってレイノルズ応力の最大値が増加する傾向は移動床と固定床で一致していた。しかし定量的に評価すると、 $L_w/B_w=1$ では移動床のほうが固定床よりも最大値が大きく、 $L_w/B_w=2$ では同程度で、 $L_w/B_w=3$ では移動床の方が小さくなっている。また、最大値をとる場所がいずれのケースでも移動床の方がワンド境界下流側に移動していた。このようなレイノルズ応力分布の相違は、流れ構造の変化によるワンドと主流部の流速差の変化や、ワンド内から主流への流出機構の変化によるものと推測される。

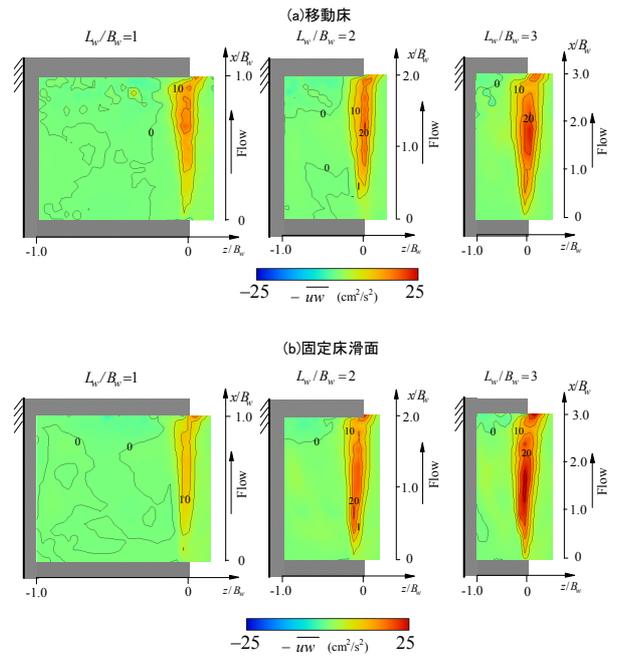


図-4 レイノルズ応力分布

(4) 運動量交換率の評価

池田ら²⁾が定義した運動量交換率 θ を用いて、主流とワンド間での輸送特性を評価した。図-5 に示す結果から、固定床では運動量交換率がアスペクト比の増加とともに単調に増加するのに対し、移動床では $L_w/B_w=2$ で極小をもった。

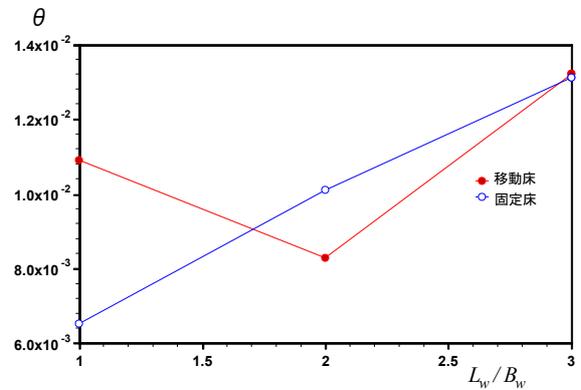


図-5 運動量交換率とアスペクト比の関係

4. まとめ

本研究では、ワンド内のみ珪砂を敷き詰めた移動床条件で乱流計測を行った。アスペクト比によって堆積形状に差異が生じ、また路床形状の変化が流れ構造や乱流特性に変化を与えることが分かった。

参考文献

- 1) 山上路生, 禰津家久, 鈴木壮平, 池内三津喜: ワンド床の勾配が水理特性と乱流物質輸送に与える影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B1, Vol.68, No.2, pp60-102, 2012.
- 2) 池田駿介, 吉池智明, 杉本高: 不透水制群を有する流れの構造に関する実験的研究, 水工学論文集, 第 43 巻, pp.281-286, 1999.