

1. はじめに

自己形成流路を有する河道は、瀬と淵の形成に代表されるように、多様な水辺空間を形成し、動植物が生息し易い環境を形成する。一方、自己形成流路が形成されるような河道は、側岸部に水衝部を形成し、局所洗掘を発生させるなど治水上の問題点も併せ持つ。そのため、治水機能を保持し、さらに多様な生態系を保全・創生するような河川整備を行う上で、自己形成流路の動態に関する知見が不可欠である。本論文では、川幅/水深をパラメータとして、平坦な初期河床上に定常的に給水と給砂を行う条件で形成される自己形成流路の時空間的な変動特性について、水路実験と数値解析により検討する。

2. 実験方法と数値解析法

実験に用いた水路は、長さ 14 m の直線矩形水路である。河床および給砂に用いた砂は、粒径がほぼ均一な一様砂である。実験では、初期河床を平坦河床とし、上流からの給水と給砂を定常的に与えることにより、自己形成流路を形成させた。数値解析では、水路実験と同様の場を想定した。流れの計算は、水深平均された平面二次元流れの支配方程式を用いる。河床近傍の流速は、水深平均流速の流線の曲率より予測した¹⁾。流砂量は芦田・道上式²⁾により算出し、芦田・江頭・劉³⁾と同様に、河床の局所的な勾配が流砂ベクトルに及ぼす影響を考慮している。

実験と数値解析に用いた水理条件を表 1 に示す。Case 1～Case 3 のうち、水路実験を行ったのは、Case 1 と Case 2 である。Case 1～Case 3 は、無次元掃流力が等しく、川幅/水深が大きく異なる。これらの水理条件は、村本・藤田⁴⁾の砂州の形成領域区分図によると、複列砂州の形成水理条件にある。

3. 自己形成流路の形状特性

図 1 は、Case 1～Case 3 の水深平均流速のベクトル図である。ベクトル表示の無い領域は、浮州となっている領域である。これより、川幅/水深が大きくなるにつれ、流路本数が多くなることがわかる。また、川幅/水深が大きくなるにつれ、様々なスケールの流路と浮州が形成され、非常に複雑な河床形状となっており、フラクタル的な様相を呈している。ここで、流路網のフラクタル性を検討するため、浮州の面積と各面積を有する浮州の頻度分布を調べる。図 2 は、Case 2 の実験と数値解析から得られた、浮州の面積と各面積を有する浮州の出現頻度分布を示している。図中には、以下のベキ

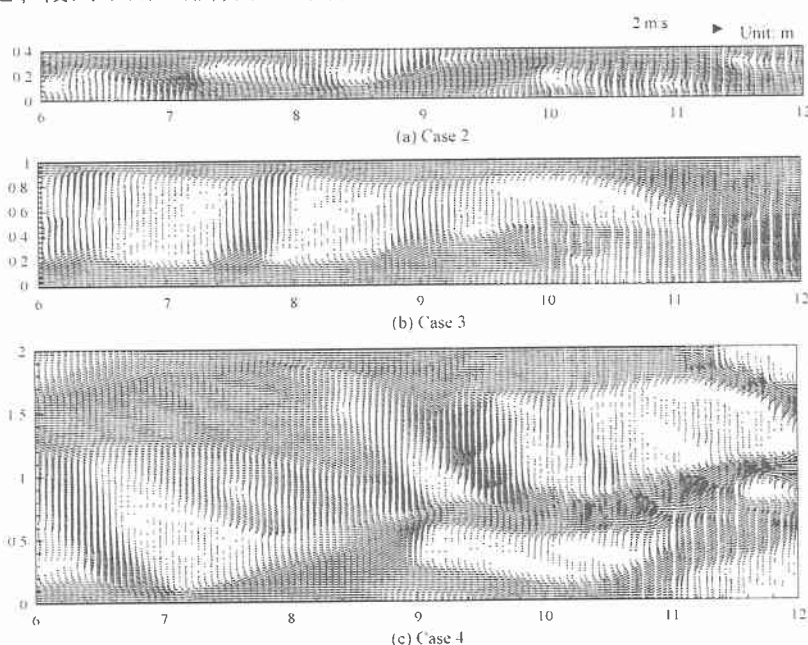


図 1 水深平均流速ベクトル (10hr., Case 1～Case 3, 数値解析)

表 1 水路実験と数値解析に用いた条件

		流量 (m ³ /s)	水路幅 (m)	河床勾配	無次元掃流力	川幅/水深 (B/h)
Case 1	実験, 数値解析	0.00076	0.4	1/100	0.041	62
Case 2	実験, 数値解析	0.00190	1.0	1/100	0.041	155
Case 3	数値解析	0.00380	2.0	1/100	0.041	310

乗則により得られる分布も示している。

$$P(A)=C/A^{\alpha} \tag{1}$$

ここに、 $P(A)$ は各浮州面積の出現頻度、 A は浮州の面積、 C と α ($\alpha=0.65$)は定数である。実験及び数値解析の両結果は、 $A<0.5\text{ m}^2$ の領域に対して、式(1)のべき乗則に従っていることがわかる。式(1)によって記述される現象は、特徴的なスケールを有していないことが分かっており、形成された浮州がフラクタルとなっていることを示す。一方、 $A>0.5\text{ m}^2$ の浮州については、水路幅が1mであることを考えると、側壁により横断方向の発達が抑制され、発生頻度が低くなっていると考えられる。

4. 自己形成流路の時間的な変動特性

図3は、Case 1における水深平均流速ベクトルの時間的な変化を示している。図に示すように、上流からの給水と給砂が定常的に行われているにもかかわらず、自己形成流路は時間的に変動していることがわかる。また、流路の分岐、合流、消滅が発生しており、変動過程は間欠的である。Case 1で形成されている自己形成流路は、対岸から対岸への蛇行流路が形成されているため、交互砂州とよく混同される。しかし、平衡状態の交互砂州は、ある一定の速度で伝播するため、両者が異なる河床形態であることがわかる。また、交互砂州は、ある一定の伝播速度を有しているため、ある時点での河床形状と伝播速度の情報があれば、将来の河床形状は現在の河床形状を伝播距離だけシフトさせることにより簡単に得られる。一方、自己形成流路の変動過程は間欠的であり、流路形状の将来予測は、交互砂州のように単純ではない。これは、浮州がフラクタル性を有していることを考えると、流路の変動過程がカオティックな現象となっているためと考えられる。

5. おわりに

平坦な初期河床上に定常的に給水と給砂を行う条件で形成される自己形成流路の時空間的な変動特性について、水路実験と数値解析により検討した。本研究で得られた結果をまとめると以下ようになる。(1) 川幅/水深が大きくなるにつれ、流路本数は増加する。(2) 自己形成流路を有する河道に形成される浮州はフラクタル性を有している。(3) 自己形成流路の時間的な変動は間欠的であり、カオティックな現象と考えられる。

上記のように、自己形成流路を有する河道は、時空間的に様々なスケールを有した現象によって形成されており、多様な水辺空間を形成する。そのため、自己形成流路を有する河道は、多様な生態系を保存・創生することが期待される。

参考文献 1) Engelund, F. : Jour. of Hy. Div. ASCE, Vol. 100, No. HY11 1974. 2) 芦田・道上：土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972. 3) 芦田・江頭・劉：水工学論文集第35巻, pp.383-390, 1991. 4) 村本・藤田：第22回水理講演会論文集, pp.275-282, 1978.

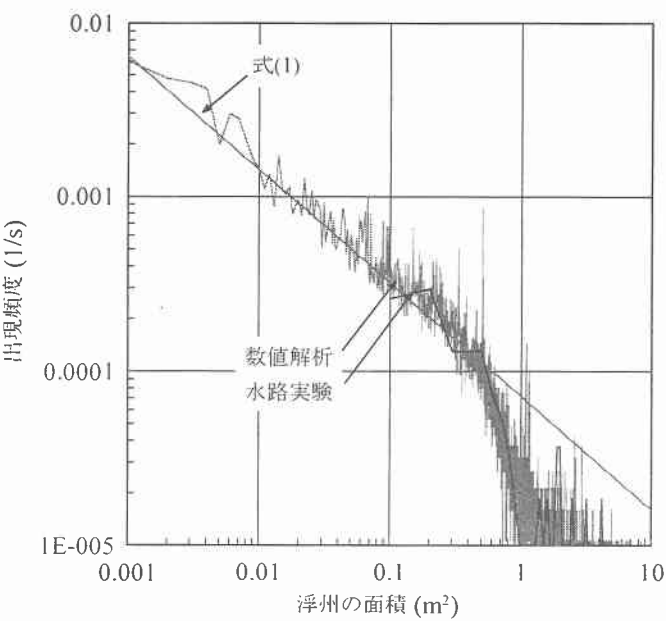


図2 浮州の面積と各面積を有する浮州の出現頻度との関係 (Case 2)

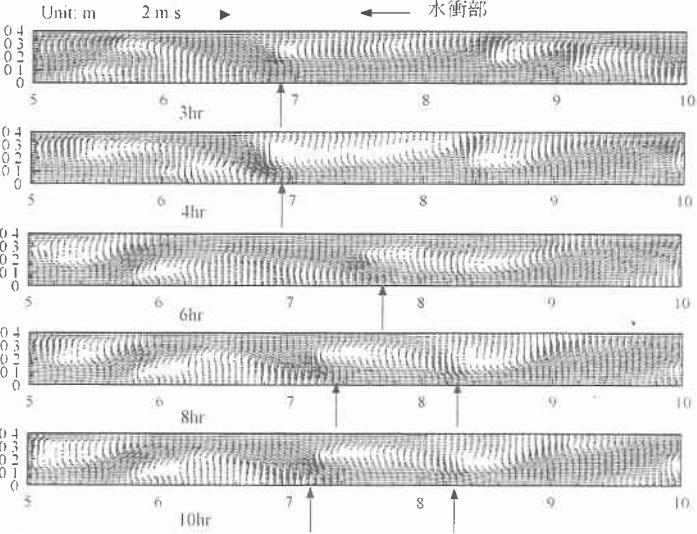


図3 水深平均流速ベクトルの時間変化 (Case 1, 数値解析)