

立命館大学理工学部 学生員 ○三浦 千加
徳島大学工学部 正会員 竹林 洋史

立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治
立命館大学大学院 学生員 松葉 信征

1. はじめに 従来、川幅水深比が大きい水理条件では、複列砂州が形成されるとされている¹⁾。しかし、竹林ら²⁾によると、このような水理条件では、複列砂州は発生するものの、時間とともにモードが減少し、浮州が形成される。このことは、無次元掃流力が限界掃流力に近い条件のところでは検討されているものの、無次元掃流力の大きい条件においては、複列砂州の動態は明らかになっていない。一方で、黒木³⁾らの非線形解析では、無次元掃流力が0.1を超える複列砂州の発生水理条件において、無次元平衡波高(=平衡波高/等流水深)の低い領域が存在する。このことは、平衡波高に到達する複列砂州が形成される可能性を示すものである。このような観点に基づき、本研究では平衡波高に到達する複列砂州の有無に関して、無次元掃流力をパラメータとし、数値解析および実験により検討する。

2. 実験方法と数値解析法 実験に用いた水路は、長さ15 m、幅40 cmの可変勾配式矩形断面水路である。河床材料および給砂に用いた砂は、平均粒径1.1 mmのほぼ一様砂である。初期河床形状は、砂を10 cm厚に敷き詰め、平坦河床とした。給水は、表-1に示す流量を定常的に与えた。給砂は、上流端の河床位を初期河床位から変化させないように留意し、ほぼ定常的に与えた。実験中は、流況を把握するため水路上から写真撮影を行った。数値解析は、実験と同様に、直線矩形の水路を想定し、上流から定常的に給水・給砂する条件で計算した。流れの支配方程式に二次元浅水流モデルを適用し、流砂量式に芦田らの式⁴⁾を用いた。砂州上の流れは、条件により、常流と射流が混在するため、TVD-MacCormack schemeにより流れの支配方程式を差分化した。実験および数値解析に用いた水理条件を表-1に示す。いずれの条件も川幅水深比をほぼ等しくし、無次元掃流力を変化させている。表-1に示す全ての水理条件は、黒木らの砂州の領域区分図⁵⁾によると複列砂州の形成水理条件である。

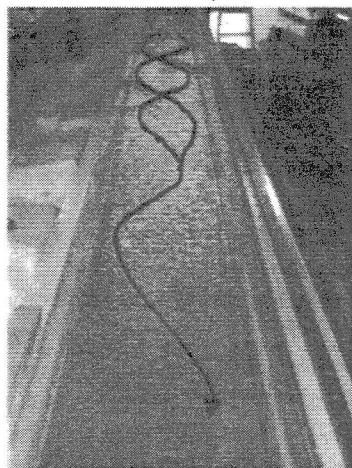
3. 結果と考察 図-1は、Case4の実験における河床形態の時間変化である。図中の矢印は主流路を、円は浮州を示す。図に示すように、通水開始後4分で複列砂州が形成されていることがわかる。形成された複列砂州は平衡状態に到達せず、時間とともに横断方向のモードが減少し、通水後10分で交互砂州へと変化した。通水後12分で最初の浮州が発生するが、非常に小さく、十分に発達する前に消滅した。その後も浮州は発生と消滅を繰り返すものの、大きく発達することはなかった。このような河床形態の変化は、いずれのケースにおいても確認できた。図-2および図-3は、Case4の数値解析における河床形態の時間変化である。図-2は水路長15 m、図-3は水路長60 mである。図中の線で囲まれた領域は浮州を示している。図に示すように、水路長15 mでは、通水15分後頃には複列砂州が形成されたが、モードの減少は発生せず、十分に発達する前に水路下流端へ伝播していった。一方、水路長60 mでは、通水6分後に、比較的明確な複列砂州が形成され、時間とともに横断方向のモードが減少し、交互砂州が形成され、ついには浮州が形成された。これらのことから、無次元掃流力が0.1付近であっても複列砂州は平衡波高には到達せず、浮州が形成されることがわかる。実験と同一の条件である水路長15 mの数値解析で、浮州が形成されなかったのは、上流から与えられる擾乱の違いによるものと考えられる。つまり、水路実験では、給水や給砂などにより、常に大きな擾乱が上流から与えられているが、数値解析ではこのような擾乱が再現されておらず、初期の砂州の発達を遅らせたため、十分に砂州が発達する前に水路下流端から流出していくものと考えられる。

次に、浮州の規模や変動の速さに及ぼす無次元掃流力の影響について検討する。図-4は、Case1とCase4において形成された浮州の規模の比較である。図中の円は浮州を示す。形成された浮州の規模は、Case1ではCase2~4と比較するとかなり大きく、通水後45分で浮州が発生してから通水後12時間まで浮州が完全に消滅することはなかった。

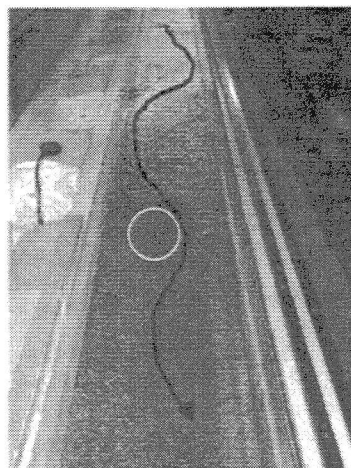
一方、Case2~4では発生する浮州の規模は小さく、発生してもすぐに消滅することが多かった。これは、分岐流路のスケールや砂州の変動特性が無次元掃流力に強く依存するためと考えられる。一般に、無次元掃流力が小さい条件では、小

表-1 実験条件および計算条件

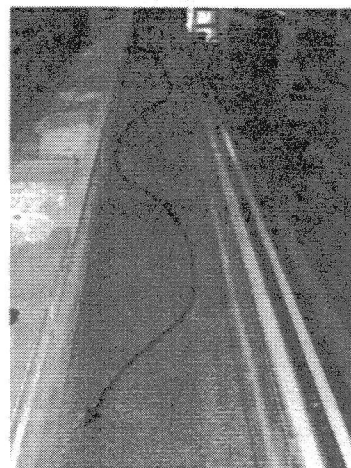
		流量 (l/s)	河床勾配	川幅水深比 B/h	無次元掃流力
Case1	実験・数値解析	1.0	1/50	58	0.078
Case2	実験	1.2	1/40	56	0.102
Case3	実験・数値解析	1.4	1/40	51	0.112
Case4	実験・数値解析	1.5	1/33	54	0.128



4 min



12 min



6 hr 15 min

図-1 河床形態の時間変化(Case4 実験)

さいスケールの流路は掃流力も小さく、新しい分岐流路は形成されにくい。一方、無次元掃流力が大きい条件では、分岐した流路のスケールが小さくても、掃流力が大きいため、新しい分岐流路を形成できる。そのため、無次元掃流力が大きいと形成される浮州は小さくなると考えられる。また、浮州の時間的な変動特性は、河岸浸食や流量と流砂量の時空間的な変化に依存する。そのため、砂州や流路形状の変化が速い無次元掃流力の大きい水理条件では、浮州の時間的な変動特性は当然速くなる。

4. おわりに 無次元掃流力が0.1を越える水理条件における平衡状態の複列砂州の有無に関して、無次元掃流力をパラメータとして水路実験および数値解析により検討を行った。本研究で得られた結果をまとめると以下ようになる。

(1) 無次元掃流力の大小に関わらず、複列砂州は平衡波高に到達しない。(2) 無次元掃流力が大きくなると、形成される浮州の規模は小さく、時間的な変動が速い。

(3) 浮州が形成されるまでの過程は、複列砂州が形成され、時間とともに横断方向のモードが減少し、浮州が形成される。

参考文献 1) 村本・藤田：第22回水理講演会論文集，pp. 275-282, 1978. 2) 竹林・江頭：土木学会論文集 No. 677, II-55, pp. 75-86, 2001. 3) 黒木・石井・板倉：水工学論文集第36巻，pp. 1-6, 1992. 4) 芦田・道上：水工学論文集第35巻，pp. 383-390, 1991. 5) 黒木・岸：土木学会論文集，第342号，pp. 87-96, 1984.

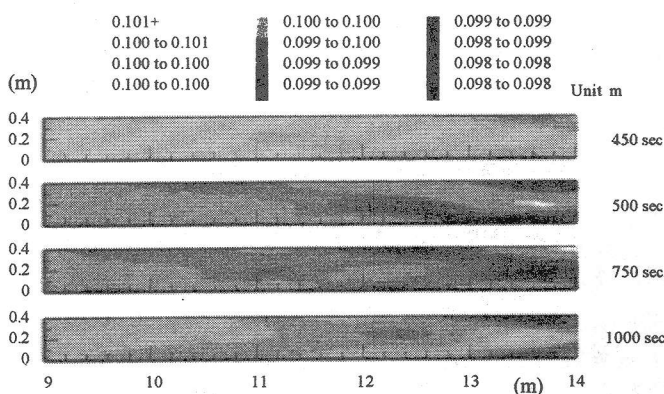


図-2 河床形態の時間変化(Case4 水路長15 m 解析)

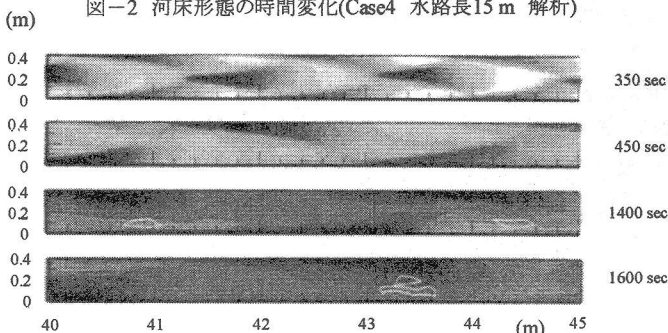
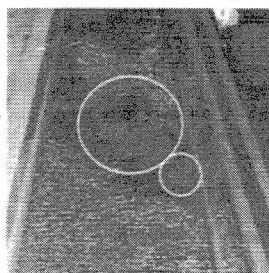
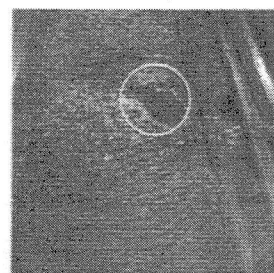


図-3 河床形態の時間変化(Case4 水路長60 m 解析)



Case1, 8 hr



Case4, 25 min

図-4 形成された浮州の規模の比較