

交互砂州地形に形成される水みち形成への 流量減水過程の影響

Influence of discharge recession process to channelization

北見工業大学工学研究科土木開発工学専攻 ○学生員 益本 孝彦 (Takahiko Masumoto)
北見工業大学工学部社会環境工学科 正会員 渡邊 康玄 (Yasuharu Watanabe)

1. はじめに

砂州の形成は、流水の蛇行や砂州前縁に形成される洗掘あるいは対岸の堆積を意味することから、治水や利水上、その挙動を解明することが不可欠であった。このため、砂州の形成および発達過程に関して過去から数多くの研究が行われてきている。これらの成果の一部は、土木学会水理委員会「洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究」¹⁾に取りまとめられている。しかし、これらの研究は、砂州の平衡状態を中心に扱っており、流れが大きく変化する実際の河川への適用はある程度限定的なものとなっていた。近年、数値計算技術の発達によって、より複雑な場での砂州の挙動を明らかにするため、数値計算モデルの開発が行われてきた²⁾。その結果、実際の河川における砂州の挙動についての再現や予測が可能となり、河道計画に利用されるようになってきている。さらに、生物等にとっての河川環境における砂州の重要性も認識され、砂州によって形成される瀬・淵構造に関する研究³⁾も進められてきている。平常時に流水が存在する水みちに関しては、砂供給の視点では三輪ら⁴⁾が、砂州と平時時流量との関係は寺本ら⁵⁾が、また砂州の形状変化の観点では渡邊ら⁶⁾が実験、理論解析及び数値計算等で検討を行ってきた。しかしながら、洪水時において水理量の時間変化に伴う砂州の形状変化や砂州と平常時に形成される水みちとの関係、さらには氾濫源と河道との関係は、未だ十分解明されていない。図-1は、標津川の河道に存在する砂州の状況を示したものである。洪水時に形成された砂州に水みちが規定され、水みちが大きく蛇行している様子がわかる。

本研究では洪水の減水期に着目して、洪水時に形成される砂州と平常時に存在する水みちとの因果関係について明らかにしようとするものである。

2. 水理実験の概要

(1) 実験方法および条件

実験に用いる水路は、図-2に示すような、長さ8m、幅0.3mの直線水路である。移動床実験に用いた河床材料は、4号珪砂($d_m=0.765\text{mm}$)と7号珪砂($d_m=0.154\text{mm}$)を5:1に配合した混合砂である。この河床材料を水路に敷きつめ、河床勾配1/80の初期河床を形成した。実験は、洪水減水期のハイドロ形状が、水みち形成に与える影響を調べるため、次の三段階で行った。第一段階は、洪水期に形成される交互砂州を形成させるため、十分発達した交互砂州が形成される流量(以



図-1 標津川の固定砂州と河道(平成20年6月)

【移動床実験水路図】

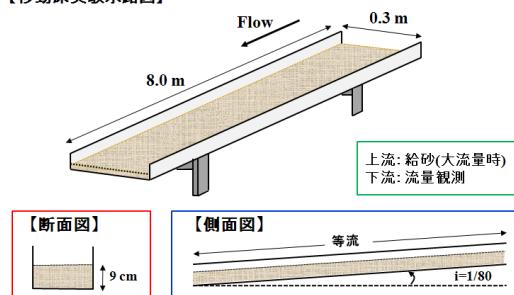


図-2 実験水路の模式図

下大流量と呼ぶこととする)を一定時間、定流で通水する。第二段階は、流量を後述するハイドロ形状で減少させていき、水みちを形成させる。第三段階は、形成された水みちの平常時流量(以下小流量と呼ぶこととする)での変化を確認するため、所定の流量を一定時間、定流で通水する。また本実験の初期水理条件(大流量)は、交互砂州からの水みち形成要因を調べるため、交互砂州が形成されるように、渡邊ら⁷⁾が定常流実験で用いた川幅水深比と中規模河床形態の関係を参考に決定した。

実験に用いたハイドロ形状は、図-3(a)、(b)、表1に示すように、小流量を大流量の1/10として固定し、平坦床から発達した交互砂州の形成に必要とした時間と同じ時間で凹型に減水させる場合(Case 1)および凸型に減水させる場合(Case2)と、その倍の時間で凹型に減水させる場合(Case1')および凸型に減水させる場合(Case2')の4ケース⁸⁾と、さらに図-4(a)、(b)に示すように、減水期間を固定し平常時の流量と洪水時の流量の比が異なる場合として、小流量を大流量の1/10(Case1'-1)、1/6(Case1'-2)、1/4(Case1'-3)、1/2.5(Case1'-4)と

表-1 水路実験における各通水ケースと減水方法

通水ケース	減水時間 (分)	減水方法 (流量比)
Case1	20	凹型 (1/10)
Case2	20	凸型 (1/10)
Case1'(Case1'-1)	40	凹型 (1/10)
Case2'	40	凸型 (1/10)
Case1'-2	40	凹型 (1/6)
Case1'-3	40	凹型 (1/4)
Case1'-4	40	凹型 (1/2.5)
Case3'-1	40	直線 (1/10)
Case3'-2	40	直線 (1/6)
Case3'-3	40	直線 (1/4)
Case3'-4	40	直線 (1/2.5)

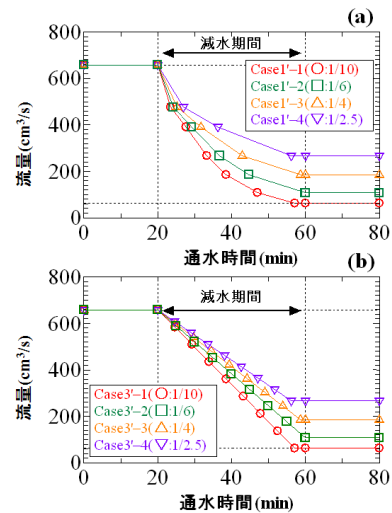


図-4 流量比が異なるハイドログラフ

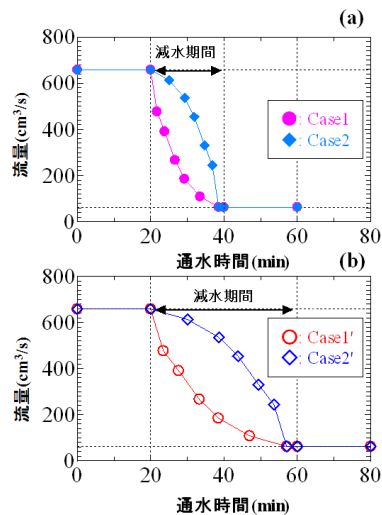


図-3 ハイドロ形状と減水期間の異なるハイドログラフ

した条件で時間的に減水速度が異なる場合と小流量を大流量の1/10(Case3'-1)、1/6(Case3'-2)、1/4(Case3'-3)、1/2.5(Case3'-4)とし、時間的に減水速度を一定にした場合での実験も行った。

(2) 測定項目

実験での測定項目は、河床高、流量、浮き州形成時刻および位置、流水幅である。河床高の測定は、実験の各段階で、砂州一波長分の河床を基準に、砂州の移動を考慮した予備区間を設けて、縦断方向に10cm、横断方向に1cm間隔で砂面計を用いて測定した。流量観測は、流量が想定したハイドロ形状を満たしているかを確認するため、流量バルブを操作する度に行った。バルブ操作のタイミングは、上流端の給水タンクにおける貯留効果を考慮して決定した。浮き州形成時刻および場所は、水みちが形成される契機となるため、通水開始から浮き州形成までの時間と発生位置を把握することとした。

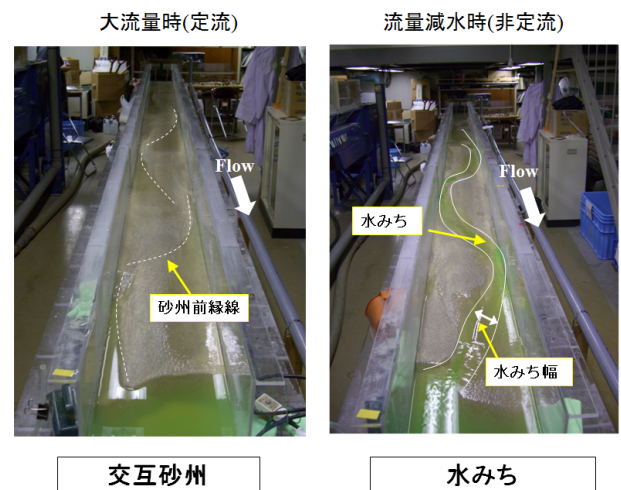


図-5 形成された砂州と水みちの様子

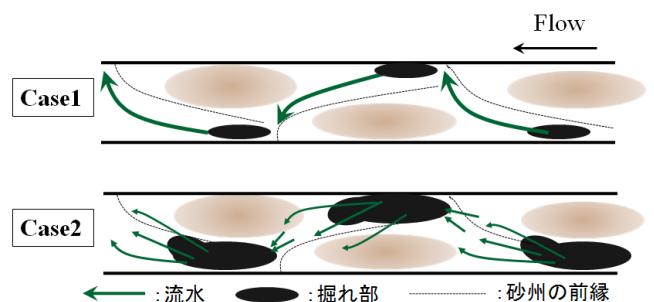


図-6 Case1 と Case2 での水みち形成機構の比較

3. 実験結果と考察

(1) ハイドロ形状の比較⁸⁾

図-5は、実験時に形成された交互砂州と水みちの様子である。図-3(a)より減水期間を20分に固定して、2パターンのハイドロ(Case1、Case2)で実験を行ったところ、減水ハイドロの差異による水みち形成機構に差異が確認された。その形成機構の違いを示した模式図を、

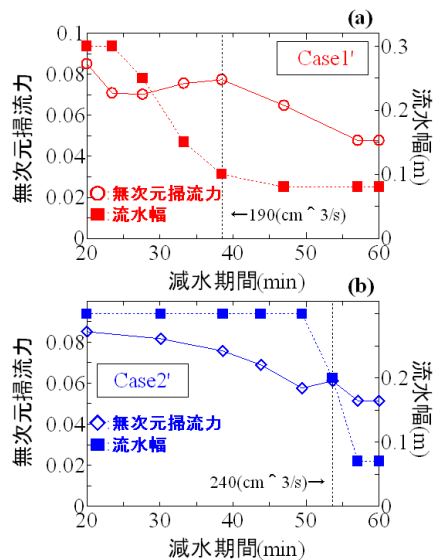


図-7 Case1'、Case2'での通水時間と無次元掃流力との関係

図-6に示す。凹型の減水ハイドロ形状である Case1 では、初期の減水によって、形成された砂州の前縁線に沿って、減水とともに水みちが形成されていくのに対し、凸型の減水ハイドロ形状である Case2 では、砂州を発達させるような流量が比較的長期に続いたことによる影響で、砂州が形状を保ちながら、下流側に移動し、両岸に形成される深掘れが進行・拡大しながら、流水によって水みちが形成されていた。また、Case1 では、流水幅が急激に縮小し、水みちが明瞭に形成される時間帯を目視観察で確認し、特に流量を $190(\text{cm}^3/\text{s})$ に調整したときに、顕著に水みちが発達していた。しかし、その流量での通水継続時間が十分でなく、水みちの形成が十分進行しなかったものと推測される。そのため、より詳細な水みち形成要因を調べるために、減水期間を2倍の40分に設定して実験を行った。

(2) ハイドロの継続時間の違い⁸⁾

図-3(b)より、減水期間を2倍にして2パターンのハイドロ (Case1'、Case2') で実験を行ったところ、両ケースとも水みち形成機構は基本的に、Case1、Case2 とほぼ同等であった。図-7(a)、(b)に時間と無次元掃流力との関係を示す。なお本実験では、流量の減水過程で、無次元掃流力が最大になる時の流量が、目視観察において、水みち形成・発達時の流量と一致していたため、その流量を、水みち形成流量とした。グラフより、Case1' では流量 $190(\text{cm}^3/\text{s})$ の時、流水幅が縮小し、無次元掃流力が増加していることが確認できる。流水幅が通水初期から変化しなければ掃流力は減少していくが、減水期間において、実際には流水幅は縮小変化し、掃流力は増大する。つまり、流水幅が急激に縮小変化し、掃流力が増大する際の流量が水みちの形成・発達に大きく寄与していることが示されている。そのため Case1 に比較して、水みち形成流量の通水継続時間がより長期である Case1' が、より明瞭に水みち形成したものであると考えられる。

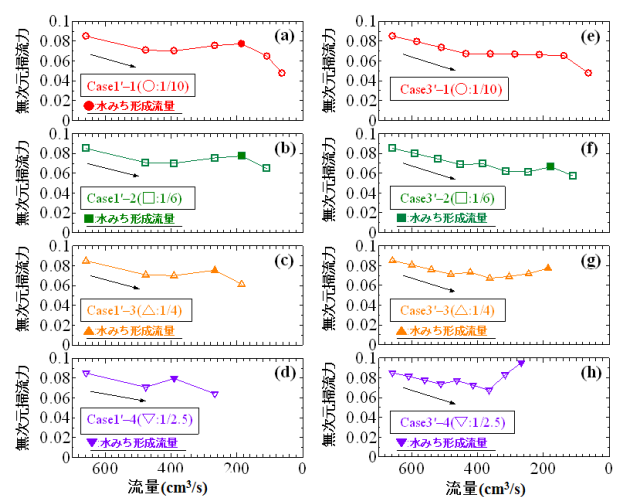


図-8 減水速度が異なる場合と一定の場合における無次元掃流力と流量の関係

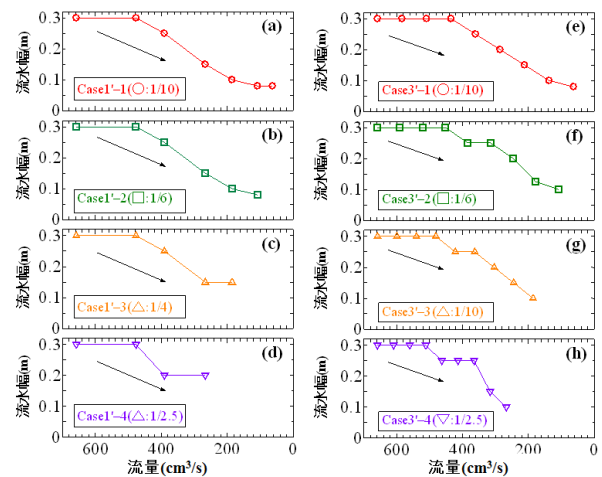


図-9 減水速度が異なる場合と一定の場合における流水幅と流量の関係

一方、Case2'の水みち形成流量に着目すると、Case1'と同様に流水幅が急激に縮小変化する際に、掃流力が増大していることがわかる。しかしながら、掃流力が最大となる流量が $240(\text{cm}^3/\text{s})$ と Case1' での水みち形成流量 $190(\text{cm}^3/\text{s})$ に比較して大きいものの、水みち形成流量での通水継続時間が短く、明瞭な水みちは形成されなかったものと考えられる。さらに Case2' は Case1' に比較して、砂州が下流側に移動していたが、グラフより掃流力が減水初期より大きいためであると考えられる。

(3) ハイドロの減水勾配の比較

図-4(a)に示すように、時間的に減水速度の異なる凹型のハイドロ形状で、小流量を大流量の $1/10$ (Case1'-1)、 $1/6$ (Case1'-2)、 $1/4$ (Case1'-3)、 $1/2.5$ (Case1'-4) となるような条件と、図-4(b)の、時間的に減水速度を一定にした条件で、小流量を大流量の $1/10$ (Case3'-1)、 $1/6$ (Case3'-2)、 $1/4$ (Case3'-3)、 $1/2.5$ (Case3'-4) となるような条件で実験を行った。図-8、図-9に、無次元掃流力と流量、流水幅と流量の関係をそれぞれ示す。時

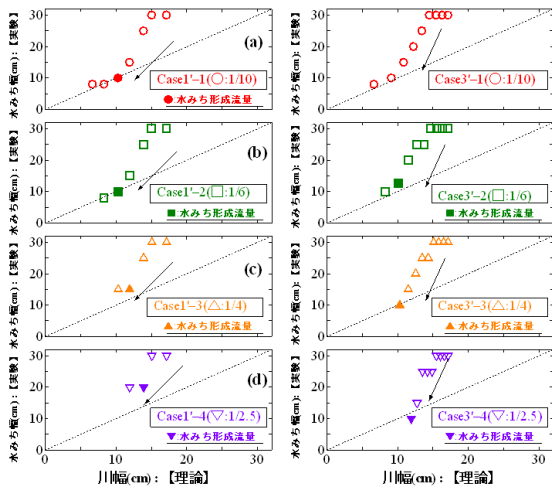


図-10 実験で得られた水みち幅と理論的な川幅の関係

間的に減水速度が一定の場合および減水速度が異なる場合と流量比が $1/10 \rightarrow 1/6 \rightarrow 1/4 \rightarrow 1/2.5$ と大きくなるにつれ、水みち形成流量が大きくなっていることが確認できる。また流水幅に着目すると、時間的に減水速度が一定の場合では、流量比が $1/10 \rightarrow 1/6 \rightarrow 1/4 \rightarrow 1/2.5$ と大きくなるにつれ、最終的な流水幅がそれぞれ $8\text{cm} \rightarrow 10\text{cm} \rightarrow 10\text{cm} \rightarrow 10\text{cm}$ とどの流量比でも $8 \sim 10\text{cm}$ に収束している。一方、減水速度が時間的に異なる場合では、流量比が $1/10 \rightarrow 1/6 \rightarrow 1/4 \rightarrow 1/2.5$ と大きくなるにつれ、最終的な流水幅がそれぞれ $8\text{cm} \rightarrow 8\text{cm} \rightarrow 15\text{cm} \rightarrow 20\text{cm}$ と特定の流水幅に収束していない。水みち形成流量について考察を行うことを目的として、水みち形成流量で形成された流水幅と理論的に導かれた川幅を比較することとした。

(4) 実験での水みち幅と理論的な川幅との関係

実験で得られた流水幅(以下、水みち幅とする)と比較する理論的に導かれた川幅は、池田⁹⁾の礫河川の安定横断形状を適用した流路幅と水深の関係式とした。また、河床材料と河床抵抗の関係には、Engelund & Hansen の式を適用した。なお理論川幅は流量、粒径、河床勾配、川幅中央の水深のみで決定される。図-10(a)、(b)に、実験で得られた水みち幅と理論式で得られた川幅の関係を示す。減水速度が一定の場合、流量比に関係なく減水が進行するにつれて水みち形成流量で形成された水みち幅が、池田の理論川幅に収束していることがわかる。また最終的な水みち幅も、理論川幅に収束していることがわかる。減水速度が異なる場合も Case1'-1、Case1'-2 においては、水みち形成流量で形成された水みち幅も最終的な水みち幅も理論川幅に収束した。しかしながら、Case1'-3、Case1'-4 においては理論川幅に完全に収束しなかった。この理由として、Case1'-3、Case1'-4 に関しては、水みちを形成されるような流量の通水時間が短期であったため、水みちが十分に形成されることなく、最終的な水みち幅が形成されたと考えられる。また、水路実験において得られた水みち幅を池田の安定横断形状を適用した理論川幅は、今回の実験で再現可能であることが明らかとなった。

4. 結論

本研究の結論は、以下の通りである。

(1) 異なるハイドロ形状でも水みちは形成されるが、その形成機構が異なっていた。また、水みちが形成される上で、流量が減少する範囲内で流水幅が縮小し、掃流力が增大するときの流量と水みち幅の関係が重要である。

(2) 池田の理論川幅と実験で得られた水みち幅を比較すると、水みち形成流量で形成される水みち幅と最終的な水みち幅は、理論川幅を用いることによって、推定可能となった。

5. おわりに

洪水時の水理量の時間変化に伴う砂州の形状変化や洪水時に形成された砂州と平常時に形成される水みちとの関係において、本研究では洪水時に形成される砂州と平常時に存在する水みちとの因果関係を明らかにしようとした。その結果、洪水減水期間におけるハイドロ形状やその継続時間、ハイドロの減水勾配が、水みち形成に影響していることを明らかにした。今回の結果は、将来の河川・河道管理に対して、治水安全度や自然生態系保全の観点より、重要な指標としての位置づけになりうるものであると考えられる。

謝辞: 本研究は、科学研究費補助金基盤研究 (B)(代表: 渡邊康玄、課題番号:20360224) の助成を受けて行われた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 土木学会水理委員会「洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究」(研究代表者: 芦田和男) 1982年3月..
- 2) 清水康行; 沖積河川における流れと河床変動の予測手法に関する研究、開発土木研究所報告、No.93、pp. 1-197、1991.
- 3) 知花武佳, 佐々木学, 辻本哲郎: 交互砂州が形成された河道に生じる水際環境に関する研究、応用生態工学会第7回研究発表会講演集、pp231-234
- 4) 三輪浩、大同淳之、横川純: 交互砂州における水みち形成過程に及ぼす土砂供給と砂礫の分級の影響、土木学会水工学論文集第49巻、pp949-954、2005.
- 5) 寺本敦子、辻本哲郎: 自己形成流路の形成過程と形成水理条件、土木学会論文集、Vol.667、pp75-86、2001.
- 6) 渡邊康玄、安田浩保、島田友典: 中規模河床波の低流量時における形状変化過程に関する水理実験、土木学会水工学論文集第51巻、
- 7) 渡邊康玄、桑村貴志: 複列砂州のモード減少過程に関する水理実験、水工学論文集、第48巻、2004.
- 8) 益本孝彦、渡邊康玄、佐々木章允; 洪水減水期における水みち形成に関する実験、河川技術論文集、第15巻、pp225-230、2009年6月渡邊康玄・佐藤耕治・大山史晃; 非定常流の下での砂州形成実験、水工学論文集、第46巻、2002年2月
- 9) 池田駿介; 詳述 水理学、技報堂出版、1999年1月、pp400-405