

洪水減水期における水みち形成に関する実験

Experimental study on channel formation at low flow on bars created at high flow

益本 孝彦¹・渡邊 康玄²・佐々木 章允¹
Takahiko MASUMOTO, Yasuharu WATANABE, Akiyoshi SASAKI

¹ 学生員 北見工業大学大学院工学研究科土木開発工学専攻 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

² 正会員 博 (工) 北見工業大学 社会環境工学科 教授 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

In recent years, floods caused by short-term freshets due to localized torrential rain have inflicted enormous damage on areas of human habitation, including a huge flood in the Atsubetsu river basin area of Hokkaido, Japan. Double-row bars had formed on the floodplain as a result of previous major floods, and the damaged area was located in the lower part of the floodplain that had formed as double-row bars. A channel consisting of constructed embankments formed a water course in normal or medium-scale flood conditions. It is very important to understand the process of channel formation during normal or medium-scale discharge for river disaster prevention and river environment.

The purpose of this study was to examine the channel formation process (the scouring of thalweg process) in low flow conditions on bars created in high flow conditions. Two types of hydrograph were used, which differed only in the discharge reduction process (high flow to low flow). One of the hydrograph is a convex form and another is a concave form. It was found that the channel formation process was influenced by the form of hydrograph at discharge reduction period. In addition, the relationship between discharge and flow width should be clarified for understanding the channel formation process.

Key Words : *medium-scale, river environment, bars, water course, hydraulic experiment*

1. はじめに

近年、集中豪雨に伴う短時間の出水により発生する洪水が、人間の生活圏内に大きな被害を及ぼしている。平成 15 年 8 月に台風によって発生した洪水では厚別川が氾濫し、土地利用されている居住地や畑、道路に多大な被害をもたらした。

図-1 は、北海道日高地方の厚別川の洪水被害の状況を撮影したものである。洪水被害が集中した日高町のような生活圏内が狭大な谷底平野においては、生活するための土地が制限されているため、居住や農業においては氾濫原が有効活用されていた。このことから、谷幅いっぱいには流下したこの洪水では、深刻な洪水被害を受けている。渡邊ら²⁾によるこの洪水に関する研究により、洪水被害が集中した堤内地の氾濫原と河川地形との関係が明確になった。この事例のように、治水安全度の観点から、河川地形と河道形成との因果関係を明確にすることは、極めて重要である。また、砂州上の生態系の基盤として自然生態系保全の観点からも、河道内の砂州と小さな流量で形成される水みちとの関係を究明することは必須である。かつて谷底平野では、過去の大規模出水により形成された 8 の字状の流路は地



図-1 厚別川の洪水被害の写真 (平成 15 年)¹⁾

形解析の結果、複列砂州に酷似していると渡邊ら²⁾は指摘している。また水みちの形成に関する土砂供給の視点では三輪ら³⁾が、砂州と平水時流量との関係は寺本ら⁴⁾が、また砂州の形状変化の観点では渡邊ら⁵⁾が実験、理論解析及び数値計算等で検討を行っている。大規模出水後の水みち形成要因を究明する研究も行われており、水みちの形成には砂州形成時の流量から水みち形成時の流量への減水時間が重要であり、流量の減水時間を長くすると水みちが形成されやすいことを工藤ら⁶⁾が明らかにしている。その一方で流量の減水の仕方や

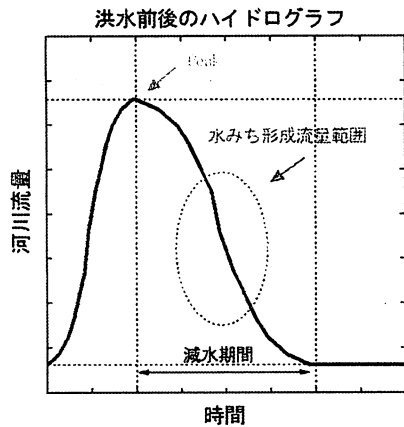


図-2 一般的な河川の洪水前後のハイドログラフ

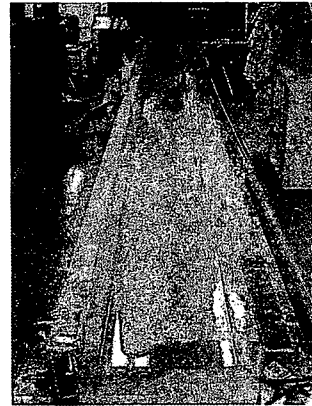


図-4 大流量時に形成された単列砂州の様子

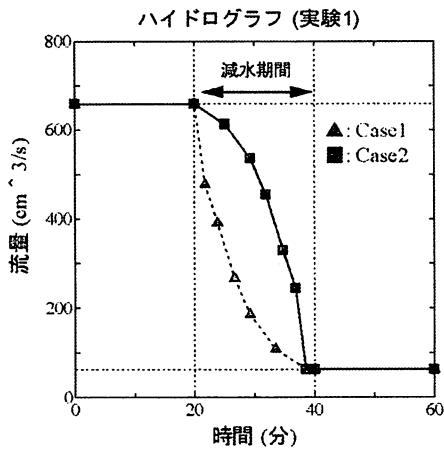


図-3 減水期間 20 分のハイドログラフ

水みち形成時の流量と水みち幅の関係については不明のままである。

そこで本研究では、図-2 に示すように、洪水時流量の減水期間に水みちが形成されることを想定して、その形成に起因する諸因子を模型実験で明確にすることを目的とした。

2. 水路実験概要

(1) 実験方法および条件

実験に用いる水路は、長さが 8m、幅が 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。なお、河床勾配と河床材料の混合比は、比較が可能となるように工藤ら⁶⁾の実験と同条件とした。

本実験は、単列砂州からの水みち形成要因を調べる

ため、初期水理条件が単列砂州形成区分になるように設定した。図-3 に示すように、最初に出水時を想定した流量 (以下大流量) を定常で通水し、平坦床から単列砂州を形成させる。その後は減水ハイドロの差異による水みち形成要因を調べるため、2 パターンのハイドロ (Case1, Case2) で、大流量の 1/10 まで減水させることとした。Case1 は、実際の洪水の減水後期に相当する、初期に減水が進み後に比較的小さな流量が長く続く凹型のハイドロ形状とまた、Case2 は、実際の洪水の減水初期に相当する、比較的大きな流量が長く続き後に急激に減水が進行するような凸型のハイドロである。ハイドロでの通水後、平常時の流量 (以下小流量) を想定し、定常流で水みちの変化を観察することとした。

単列砂州を形成する上で使用する大流量は、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し、単列砂州形成区分の川幅水深比から算出した。なお、大流量時のみ乾燥砂を上流端から常時供給した。通水時間は、大流量、減水期間、小流量ともに 20 分とした。

(2) 測定項目

測定項目は、河床変動、流量、浮き州形成時刻である。河床高の測定では、大流量、減水期間、小流量通水後に一旦水を止めて、砂面計を用いて計測した。測定範囲は、砂州一対 (左岸に形成される深掘れ部分から左岸に形成される次の深掘れ箇所) に上下流それぞれ 50cm の余裕を考慮した範囲とした。河床高の測定間隔は、縦断、横断方向にそれぞれ 10cm、1cm とした。流量観測は、想定した流量が流れているかを把握するために、流量バルブを調節するたびにチェックを行い、その許容範囲は想定流量の $\pm 10\%$ とした。また、流量バルブの調節により流量を変化させるが、上流端の給水タンクにおける貯留効果も考慮して、想定通りのハイ

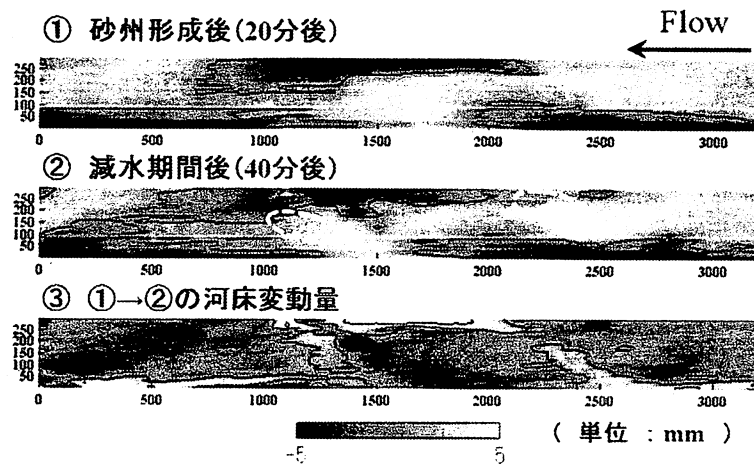


図-5 Case1における河床コンター図

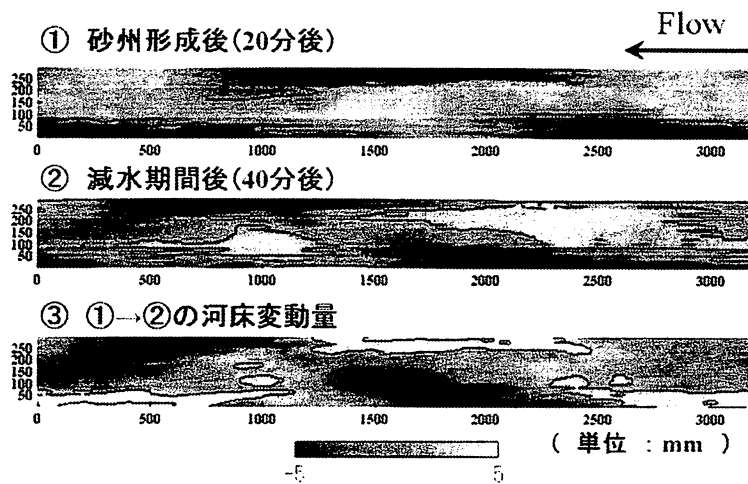


図-6 Case2における河床コンター図

ドロとなるよう調節するタイミングを決定した。なお、流量調節のバルブ操作時刻は、図-3にプロットされている時刻である。浮き州形成時間は、水みちが形成される契機となる時刻であるため、時刻と発生位置を把握することとした。

3. 実験結果

図-5、図-6に、それぞれ Case1 と Case2 の初期河床からの河床変動コンター図を、また図-4に、大流量通水直後の単列交互砂州を撮影したものを示す。なお、コンター図における白点線は、浮き州の発生し始めた箇所である。水みち形成に関して、視覚的な観察では、減水期間終了後の河床形状は、Case1 と Case2 とでは大きな差異はなかった。しかし、Case2 では、相対的に大きな流量が長期化したことによって、砂州が形状を保ったままやや下流側に移動している。それに伴って砂州前縁線の下流において明確な深掘れが生じて、そ

の深掘れが拡大する形で水みちも形成されていることが確認できる。Case2における水みち形成機構は、浮き州が形成され始める時間が減水させ始めてから12分後（縦断方向位置2240mm地点）であり、浮き州発生前の深掘れの進行する流量が比較的長く続いたため、岸の深掘れが波及し、水みち形成の契機となっているものと考えられる。一方 Case1 は、減水期間を通して砂州の移動がなく、河床変動に関して、両岸に形成される砂州の深掘れが Case2 に比較して進行していない。また、水みちも若干ではあるが、Case2 に比較して幅は狭いものの明確に形成されているのが確認できる。Case1 では浮き州発生時間が、減水させ始めてから5分後（縦断方向位置1140,2360mm地点）であり、砂州全面を覆う流れの状態が相対的に短時間であったため、Case2 に比較し両岸に形成される砂州の深掘れが進行しなかったものと考えられる。そのため、流水が減水とともに砂州の深掘れに強く影響を受けることなく、両岸に近い場所から水路中央部に向かってヘッドカット的な現

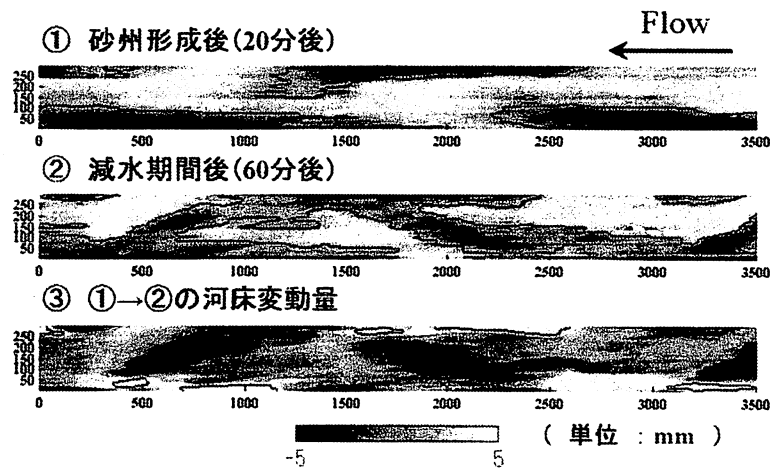


図-7 Case1'における河床コンター図

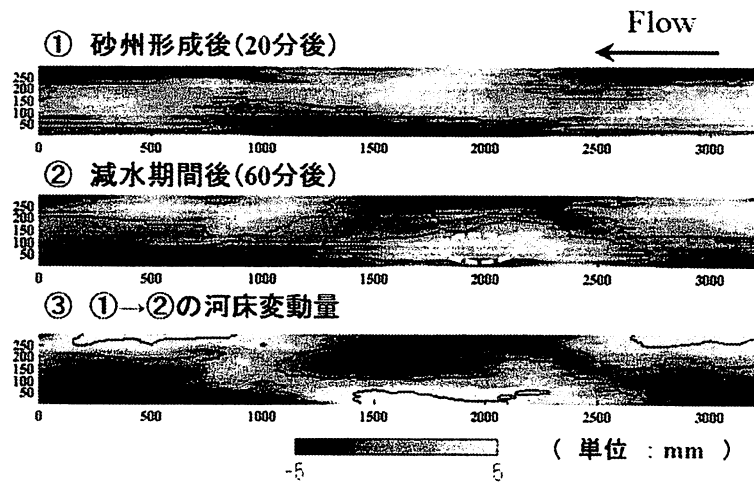


図-8 Case2'における河床コンター図

象が生じて、水みちを形成していった。

結果的に、Case1 と Case2 は両者とも水みちが形成されたが、そのメカニズムが異なっていたことが明らかになった。また、水みちの幅に着目すると、Case1 の方が若干ではあるが全体的に狭かった。一方、水みちの位置と砂州前縁線との位置関係に着目すると、Case1 は減水によって形成された砂州の前縁線に沿って水みちが形成されていくのに対し、Case2 は減水によって、深掘れ部分に水が集中し、その流水で水みちを形成している。

両ケースとも水みちの発達という点においては、十分であるとは言えないが、目視での観察では、Case1 においては減水期間の流量 $270(\text{cm}^3/\text{s})$ 付近に調節したとき、水みちが顕著に発達していた。しかし、その流量での通水時間が十分でなく、水みちの形成が十分進行しなかったことも推測される。

次に、より詳細な水みち形成要因を調べるため、Case1 の減水期間を2倍にしたもの (Case1') と、Case2 の減

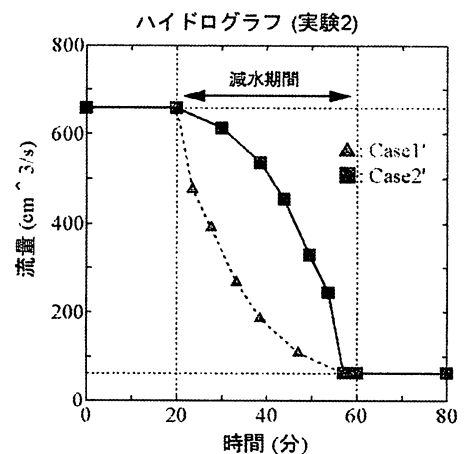


図-9 減水期間 40 分のハイドログラフ

水期間を2倍にしたもの (Case2') とで実験を行い、比較・検証した。図-9 にハイドログラフを、図-7、図-8

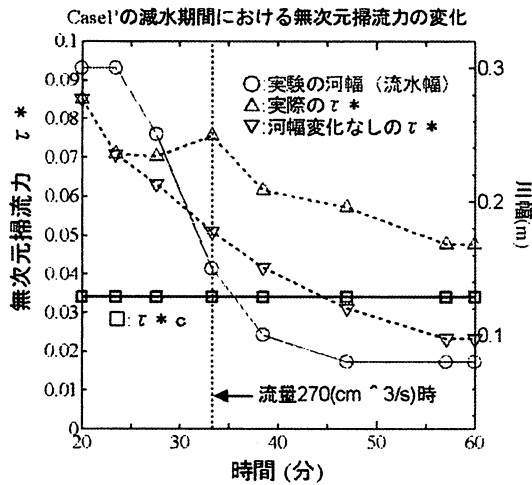


図-10 時間と無次元掃流力との関係

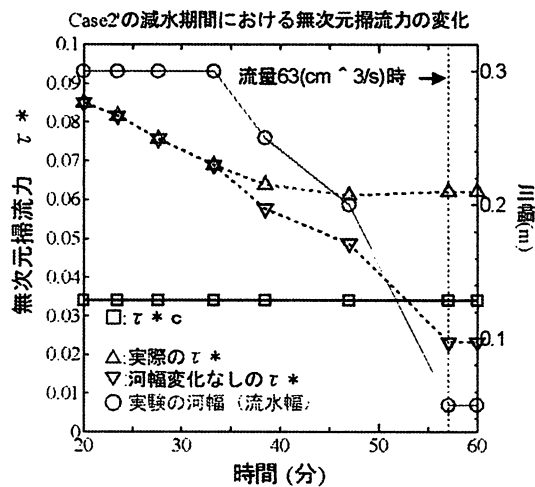


図-11 時間と無次元掃流力との関係

に Case1'、Case2' のそれぞれのハイドロで行った実験結果のコンター図を示す。減水期間終了後の河床に着目すると、Case1' が Case1 に比べ極めて明確に水みちが発達していることが確認できた。また Case1' の浮州形成時間は、減水させ始めてから 4 分後（縦断方向位置 305mm 地点）であり、Case1 とほぼ同じであった。目視観察では、流量が 270~110(cm³/s) 付近で、水みちが少しずつ発達し始めていた。特に、Case1 と同様、流量を 270(cm³/s) に調整したときに、顕著に水みちが発達していた。そのときの時間と無次元掃流力との関係を図-10 に示す。図-10 より、流量 270(cm³/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。これは目視観察で、水みちが最もよく発達していた時の流量と一致する。Case1' の水理条件で流量が減少すると、図-10 に示すように、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。しかし減水期間において、流量の減少とともに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、その発達時間が長期である Case1' がより明瞭に水みち形成したものと考えられる。一方 Case2' では、浮き州は、減水させ始めてから 19 分後（縦断方向位置 195mm 地点）と、Case2 に比較しやや遅れて出現し、砂州が形状を保ったまま半波長分、下流側に移動している。水みち形成に関しては、Case2 に比較して若干明確に水みち形状を示したものの、Case1' の水路状ような明瞭な水みち形状ではなかった。Case1' と Case2' の水みち形状の違いを図-13、図-14 に示す。写真と河床変動コンター図とで併せて比較すると、Case1' と Case2' で形成された水みち形状

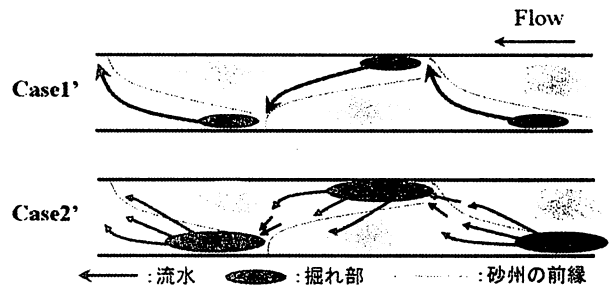
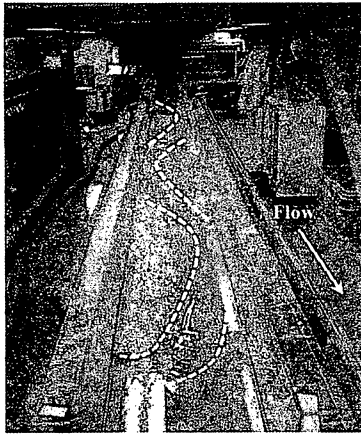


図-12 Case1' と Case2' の水みち形成機構の違い

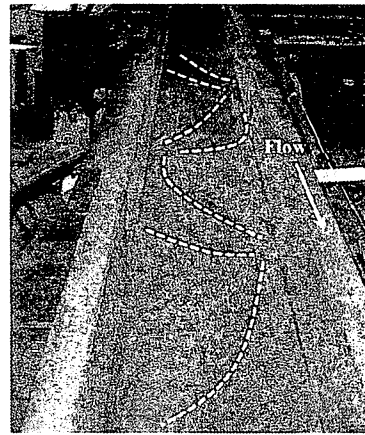
(流水幅) に明瞭な違いが見られた。Case1' では、流水幅が縦断的にほぼ一様であるのに対して、Case2' では、縦断的に変化している様子が確認できる。図-12 に示すように、Case1 と Case2 との違いと同様、Case1' では初期の減水によって形成された砂州の前縁線に沿うように水みちが形成されるのに対し、Case2' では砂州を発達させるような流量が比較的長期に続いたことで、兩岸の深掘れが進行し、そこに集中する流水によって水みちを形成していった。図-11 に Case2' の時間と無次元掃流力との関係を示す。Case2' の水みち形成流量に着目すると、Case1' と同様に、流水幅が急激に縮小変化する際に、掃流力が増大しているものの、その時の流量が 63(cm³/s) と小さく通水時間も短い。そのため、Case1' に比較して、明瞭な水みちは形成されなかったものと考えられる。

以上の事より、本実験では図-12 に示すように、減水ハイドロの差異によって水みち形成機構が異なり、水みちの形成においては、急激に縮小変化する際の流水幅と掃流力が最大になるときの流量との関係が重要となることが明らかになった。流水幅が任意の流量で縮



Case1'での水みち (通水60分後)

図-13 Case1'の水みち形状



Case2'での水みち (通水60分後)

図-14 Case2'の水みち形状

小するメカニズムは、今回の実験結果のみでは不明であるが、渡邊ら⁸⁾の行っている川幅の自律形成機構等との関連性を踏まえて、検証する必要がある。

4. 結論

本研究の結論は以下の通りである。

(1) Case1 と Case2 とでは、両ケースとも水みちは形成されるが、その形成メカニズムが異なることが明らかになり、河川管理上、減水期のハイドロ形状が、治水および河川環境を考える上で重要な位置づけにあることが判明した。

(2) 水みち形成に関しては、流水幅が縮小する際の流量範囲で、流水幅が急激に縮小変化して、掃流力が最大になるときの流量が存在し、またその時の流水幅、流量とその関係が水みち形成において重要であるといえる。また、工藤らの行った実験と同様に、水みち形成に起因する流量の通水時間が長期であるほど、水みちは形成されやすい。減水期間の大小によって、形成される河川地形や砂州にも影響を与えるため、将来の河川管理においても減水期間は十分考慮されるべき指標の1つになりうると考えられる。

なお上記でも述べたように、水みち形成流量と流水幅縮小との関係は本研究の範囲では不明であるが、川幅の自律形成との因果関係を明らかにし、水みち形成流量と流水幅縮小との関係を、実験等を通じて調べる必要がある。また、減水期間での大流量から小流量に至るハイドロの違いで、水みち形成流量が異なっていた点や、減水期間の長さの違いによる水みち形成機構や流水幅の変化についてより詳しく調べる必要がある。

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) 土木学会北海道豪雨災害調査団の HP(<http://ws3-er.eng.hokudai.ac.jp/flood2003/index.htm>).
- 2) 渡邊康玄、野上毅、安田浩保、長谷川和義: 谷底平野における氾濫流の挙動を規定する地形の成因、河川技術論文集第 12 巻、2006.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 工藤拓也、渡邊康玄、清水康行: 流量変化を伴う砂州形成後の水みちの形成過程に関する実験、土木学会北海道支部 論文報告集 第 64 号、pp.59-74、2007.
- 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) 渡邊康玄、早川博、清治真人: 安定解析に基づく川幅の自律形成機構、水工学論文集、第 53 巻、2009.

(2009. 4. 9受付)