

# ダムによる流況の変化と それに伴う砂床河川の砂州地形の変質

## INFLUENCE OF MULTI-PURPOSE DAM ON FLOW REGIME AND TRANSFORMATION OF SAND-BARS AT THE DOWNSTREAM REACH

溝口 敦子

Atsuko MIZOGUCHI

正会員 博(工) 名城大学准教授 理工学部社会基盤デザイン工学科  
(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

As one of the impacts of dam construction, the change of flow regime at the downstream reach of dams will be focused on. It is presumed that decreasing of annual maximum discharge makes riparian vegetation increase. Furthermore, in order to keep water level of the dam reservoir below the summer limit water level, water release to the downstream reach during the latter half of flood period.

In this paper, the influences of flood control above and the change of river channel condition were investigated. Furthermore, field observations have been done in order to grasp the characteristics of bar formation at Yahagi River. Conducting the numerical simulation including the above information, the characteristics of bar transformation at a sandy river has been indicated.

**Key Words :** Alternate bars, bar transformation, impacts of dams, flow regime

### 1. はじめに



図1 矢作川流域図と主な本川ダム

これまで、河床低下やそれに伴う植生の侵入などダム下流河道における環境の変質を考える際、下流河道への土砂供給量の減少のほかに年最大流量の減少に代表される出水規模と出水頻度の減少が着目されてきた<sup>1)</sup>。ただし、植生域の拡大等物理環境の変化は砂州地形の変化も伴って起こっている。ここで、砂州地形の変化に着目すると、土砂供給量の減少と出水時のピーク流量の変化の

ほかに流量時系列の変化が大きく関わっている可能性が高い。しかし、砂州の変化は河床低下に伴う現象として説明されがちで、ダムによる流量ハイドログラフ自体の変化が及ぼす影響についてはこれまで調べられてこなかった。また、ダムが及ぼす河道への影響については礫床河川における粗粒化、砂州の固定化等に関するものが多く、砂床河川における河道の変化について論じた例はほとんどない。

そこで、本研究では、矢作川を対象に多目的ダムによる流況の変化の特徴を調べ、その変化により引き起こされる砂床区間の砂州地形の挙動について検討する。

### 2. 矢作川の特徴と流況の変化

#### (1) 矢作川概要

本研究で対象とした矢作川は、長野県下伊那郡平谷村の大川入山（標高1,908m）に源を発して三河湾に流れ込む、岐阜県、長野県、愛知県にまたがった流域を持つ一級河川である。流域面積1,830km<sup>2</sup>、幹川流路延長117kmを持ち、図1のように多数のダムが建設されている。本川には1926年竣工の百月ダム（堤高14.41m）、1929年竣工の越戸ダム、1934年竣工の阿摺ダム、1970年竣工の矢

作ダム・矢作第二ダム、1985年竣工の笹戸ダムに加え1901年竣工の明治用水頭首工も存在する。上記施設のほとんどが発電用ダムであるが、他には発電以外の用途を持つ洪水調節機能を持った多目的ダムとして矢作ダムが、農業用水用利水施設として明治用水頭首工がある。

矢作川の河道は、上流部の多数のダム建設にともなう土砂供給量の減少と現在は禁止されている砂利採取の影響を受け、河床低下とともにアーマールコート化が進んでいる。特に上流域の礫床区間ではそれに伴う珪藻類の繁茂など環境の変質が問題となり、これまでダムによる土砂供給の減少が及ぼす影響として研究対象となってきた<sup>2)</sup>。なお、砂利採取は1960年代から活発に行われたために河床低下が顕在化し、護岸基礎等河川構造物にも影響が生じたため、1974年から徐々に規制され、1988年には完全に中止されている。しかし、今もなおダムによる土砂供給の減少、特に砂分の流失が様々な問題を引き起こしているため、土砂の連続性にかかわる問題を解決すべく、矢作川水系総合土砂管理検討委員会が設置され、土砂の連続性の確保に向け検討を行おうとしているところである。

## (2) 流況の変化

河道では、土砂の不連続の問題だけでなく流況の変化もまた環境を変化させる要因となりうる。矢作川で流況を変化させる構造物としては矢作ダムが挙げられる。矢作ダムは治水機能と発電、工業・農業用水、飲料水としての利水機能を有し、河道変遷の要因として着目される洪水調節による大出水時のピーク流量低減だけでなく、貯水容量確保のための洪水後の放流に加え、利水施設としての役割を果たすべく渇水時には貯水量を確保する必要がある。そこで、矢作ダムでの取水状況と下流河道における流況の変化を具体的に調べることを目的として、水文水質データベースで公開されている2003年度～2013年度の時間流量データを利用し、矢作ダムの流入、放流量、ダム群下流の高橋、岩津、米津流量観測所の流量を比較した。その結果、以下のことが分かった。

### a) 利水容量確保のための影響

どの年も3月から4月にかけて利水容量確保のため、その時期の小規模出水はほとんどカットされている。ただし、例えば、図2の例に示すようにある程度容量が確保された後は貯水量を増やしすぎないように、洪水の減水期に多く放流され、流量ハイドログラフを大きく変化させていることが確認された。また、2008年度など渇水傾向の夏期に出水が少ない年であれば利水容量の確保が困難になるため、9月の出水はダムで貯水される。そのため、渇水傾向の年における下流部での出水はさらに減少すると言える。

### b) 洪水調整機能のための影響

大出水時には、下流河道の治水を目的として洪水調整が行われる。以前からの指摘通り、矢作川でも出水の規

模が減少している。ただし、出水ピーク後の減水期には次の出水に備え貯水容量を確保するため、例えば夏期制限水位に戻すように一定量の放流が行われていることが確認された。具体的には、図3、4の例に示すように出水時のピーク流量は小さくなるがその後の減水期はある程度の流量が保たれた状態で継続する傾向にある。ただし、こうした操作は少雨傾向の年、つまり貯水量の確保が心配される年には若干の放流で夏期制限水位に達することから通常と異なり、例えば2007年の図5のように、洪水調節後の放流はすぐに停止され、ダムへの流入量をそのまま下流へ放流する操作が行われる傾向にあった。

### c) ダムによる流況変化のまとめ

ダムのゲート操作は利水のための水量と洪水調節容量、操作上相反する両者の確保のために複雑になっている。そのため、実際の流況を確認すると同様な規模の出水でも貯水位や季節によって特に減水期の下流への放流状況は異なっていた。ただし渇水傾向の年以外は基本的にダムの運用により流量ハイドログラフを変形して下流へ伝播されており、矢作川の基準点岩津観測所においては、大出水時にはピーク流量はカットされるがその後500～1000m<sup>3</sup>/sの流量が継続したり、中小出水だとダム地点でのピークはほとんど吸収され、その後100～200m<sup>3</sup>/s程度の流量を1日以上継続したりすることが見られた。

## 3. 矢作川における河道変遷概要

ここでは、河口より35km付近にある明治用水頭首工の下流にある砂床区間30～14km付近を対象として河道条件とその経年変化、形成されている砂州と特徴をとらえていく。

対象とする砂床区間の河床材料粒径は2mm程度であり、河床勾配は1/1250、川幅は300m程度である。ただし、図6に示すように1980年代前半まで砂利採取の影響とみられる河床低下が進み、さらには、砂利採取禁止後も図7のように明治用水頭首工やダムの影響と見られる粗粒化が上流から徐々に進行している。

こうした河道条件の変化に伴い、河道に形成される中規模河床形態にも変化が見られている。対象区間では図8を例に示すように、1980年代までは網状流路的な流路が形成されていたものの、1991年には明確な交互砂州が現れる。そのころから高水敷き植生が発達しはじめ、一部区間ではこれまでに低水路幅が200～150m程度まで縮小している。現在、対象区間の一部には複列砂州上の網状流路が確認されるが、蛇行部を中心に明確な交互砂州も形成されており、顕著な流路の固定化は表れていない。

ここで、対象区間における河道条件を用いて、岩津観測所における既往最大流量4300m<sup>3</sup>/s（2002年）および水文水質データベースから取得可能であった2005年～2012年における年最大流量の最大値と平均値程度にあたる

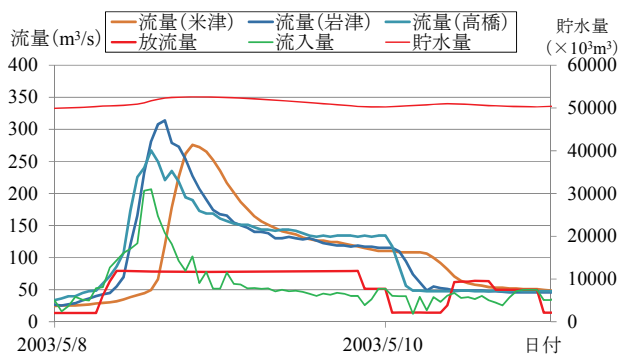


図2 中小出水時の流況の変化例

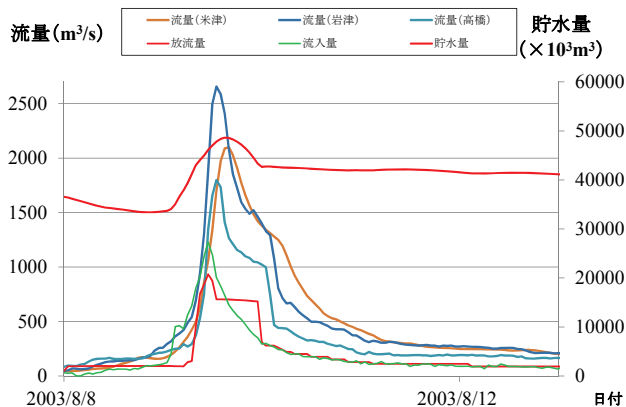


図3 年最大流量出水時の流量時系列変化例①

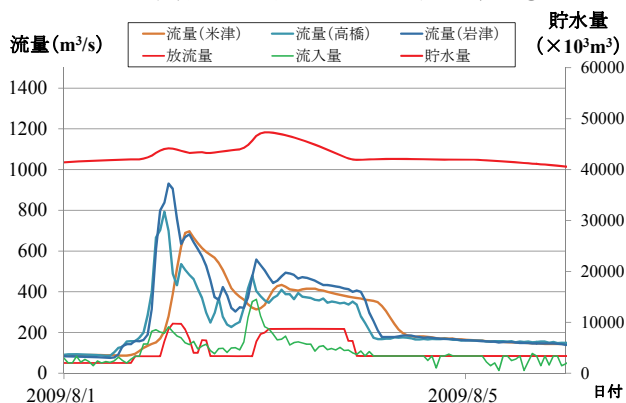


図4 年最大流量出水時の流量時系列変化例②

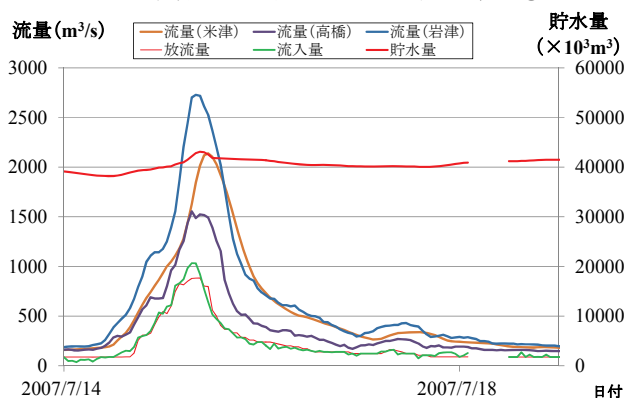


図5 年最大流量出水時の流量時系列変化例③

2800, 1300m³/s通水時の砂州の形成条件を黒木・岸の領域区分図上で確認する。その結果を図9に示す。これによると、川幅の300mから200m以下への縮小と河床材料平均粒径の2mmから2cmへの粗粒化に伴い、より交互砂

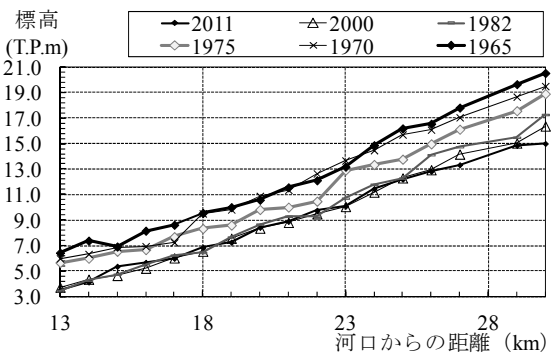


図6 平均河床の経年変化

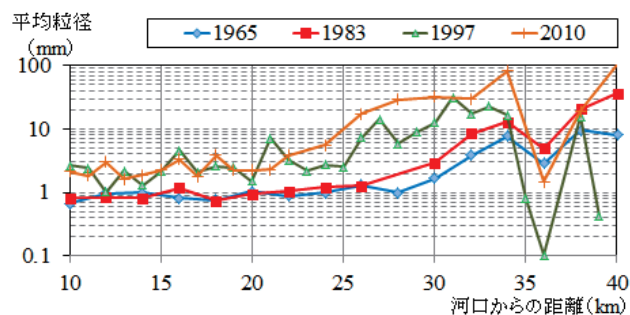


図7 河床材料の経年変化

州が形成されやすい条件へと遷移していることが確認される。また、流量と掃流力の関係を抵抗則にManning-Strickler式を用いて見積もると図10のようになり、砂床区間であるが故に流量が少なくなっても河床材料は動きやすいことがわかる。併せて、交互砂州の形成領域となる流路幅200mにおける各流量通水条件下で、池田の波高予測式<sup>4)</sup>を用いて平衡波高を予測すると図11となり、粗粒化が進んでいない平均粒径2mmの区間であれば、出水時に形成される砂州の波高が小さいことがわかる。

#### 4. 砂床河川特有の地形変化

##### (1) 砂州形状の特徴

著者は、これまで砂州形状の特徴や決定要因について実験や数値解析、現地観測を用いて研究しており、実河川の砂州としては同様な砂床区間を持つ矢田川において低水路幅が異なる河道を対象に形状を調べてきた(図12)<sup>4), 5)</sup>。例えば、低水路が異なる場合砂州波高に大きく異なり、幅の広い宮前橋区間では明確な交互砂州が形成されている。この区間では、砂州上に切り込んでいる平水時の流路に明確な瀬淵構造が見られ、流路際は切り立った形状を持っていた。これに対し、矢作川の場合、図13, 14に示すように砂州水際での河床横断勾配は緩やかであった。その違いを生み出す要因の一つとしては、複列砂州が形成されるような砂床区間であるため、砂州形成流量以下でも十分砂が動く状況であり砂が動きながら流路を形成したことが考えられる。

また、2002年の既往最大流量の出水時に明確な交互砂

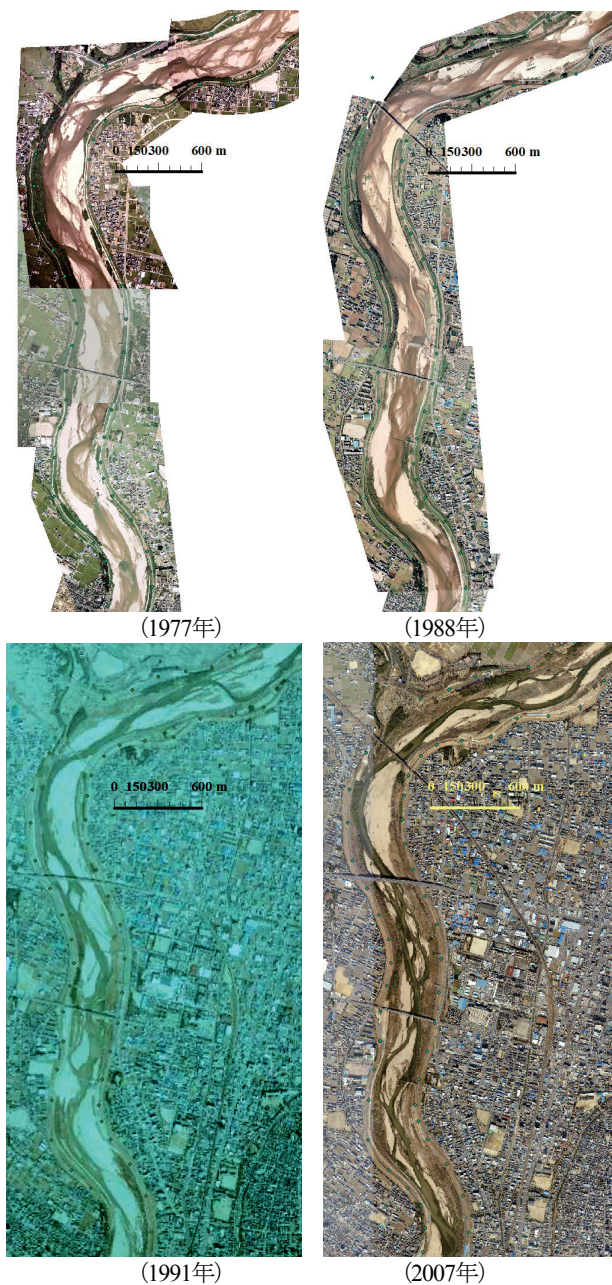


図8 砂床区間における変遷

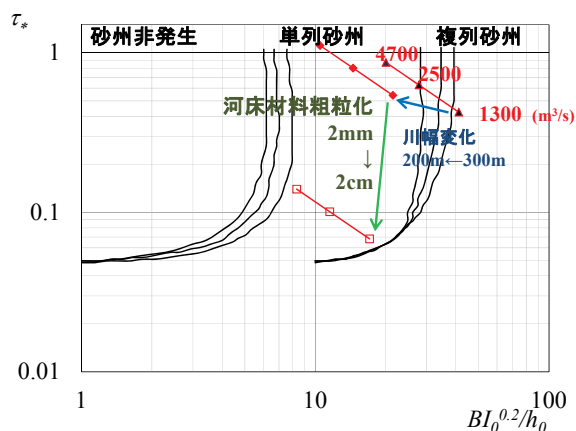


図9 領域区分図へのプロット (黒木・岸の図を再描写)

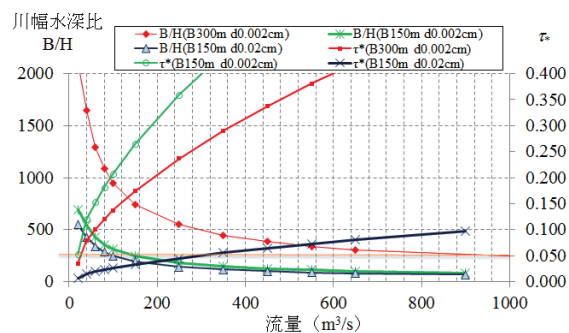


図10 河道条件ごとの砂の動きやすさ

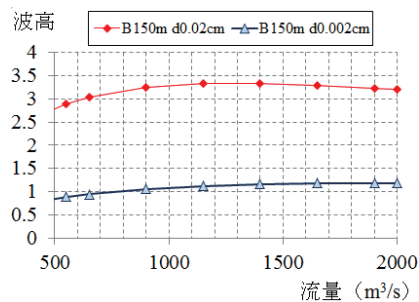


図11 池田の予測式による予測波高

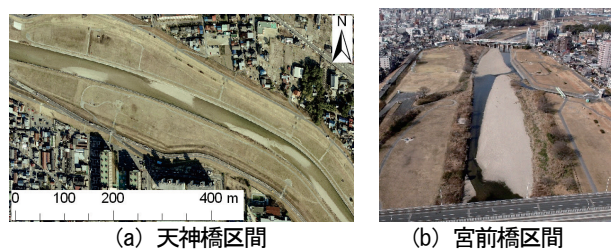


図12 矢田川の砂州の様子

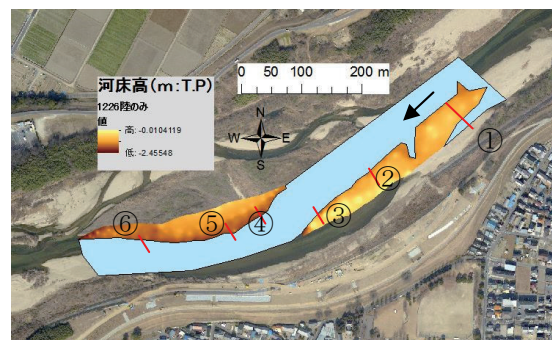


図13 矢作川の砂州

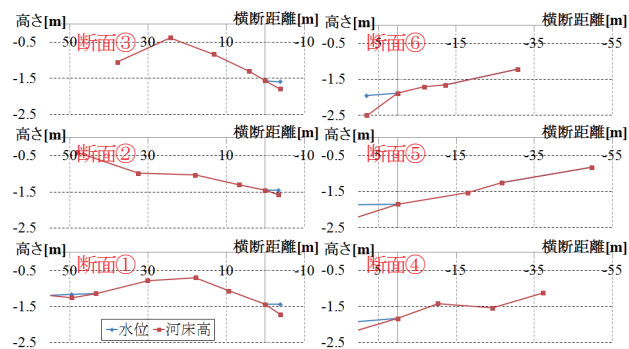


図14 砂州周縁の水際形状

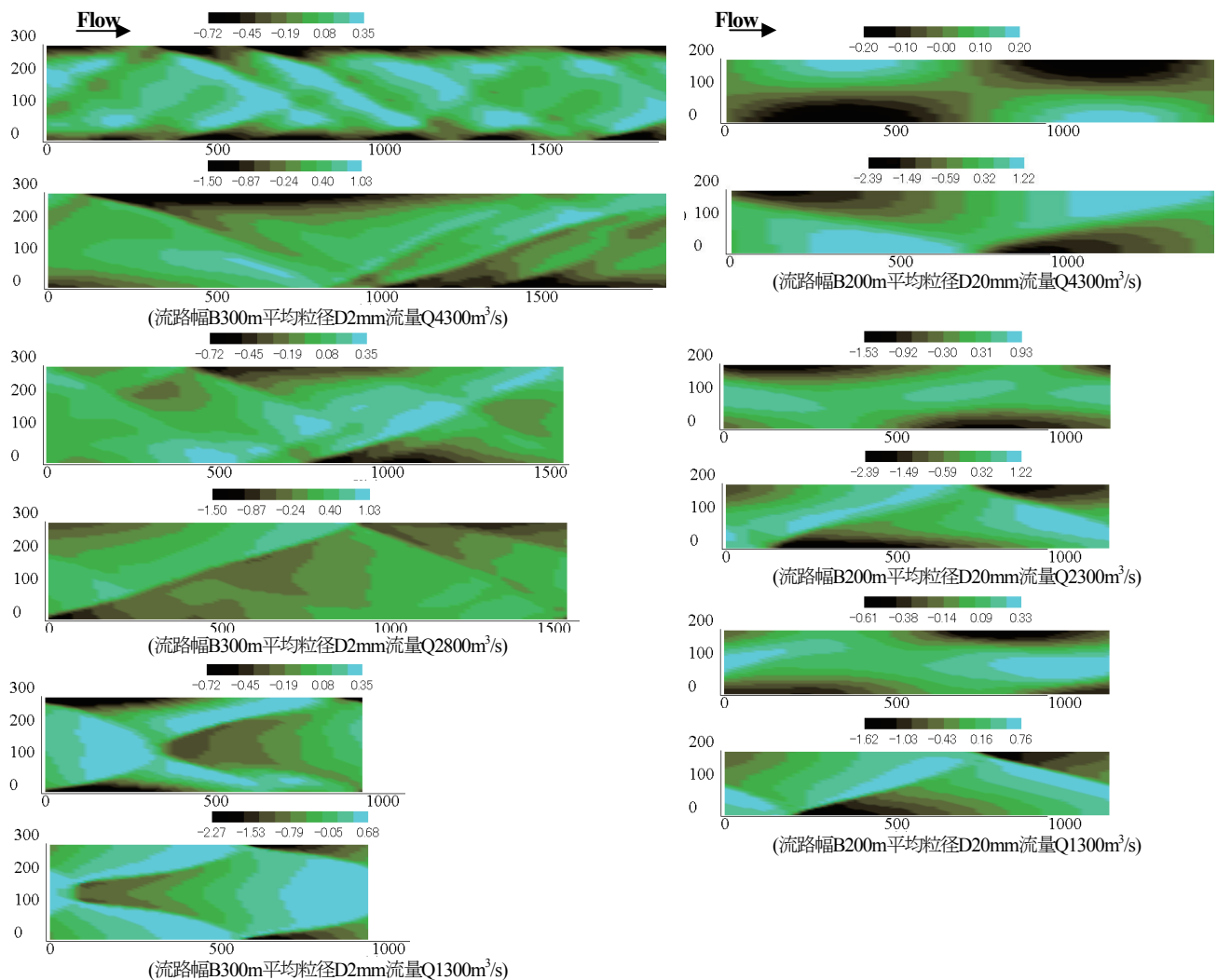


図15 各一定流量時の砂州の発達途中段階（上）と平衡状態（下）（unit:m）

州が表れたが、その後河岸付近への樹木の侵入により川幅が縮小しながらも一部には複列砂州が形成するなど流路の固定化などは起こらず現在に至っている。

## （2）矢作川における減水期の影響の検討

### a) 矢作川の砂州の基本特性に関する数値解析的検討

（1）で見られた傾向を確認するため、NH2D<sup>7</sup> モデルを用いて、まず、基盤となるだろう大流量で形成される砂州を数値解析によって描写し、その後、減水期に長時間続く流量の役割について検討する。ここでは、時間短縮のため周期境界条件を用いた計算を行い、計算領域は現地の状況と理論解析結果を参考に流量ごとに決定した。

矢作川の河道条件として、勾配1/1250、粒径2mm、川幅300mという1990年代までの河道条件、および粒径が2mm、川幅200mに変化した条件を扱う。流量としては、既往最大流量程度、近年10年間での年最大流量最大値、平均値程度として4300、2800、1300m<sup>3</sup>/sを採用し検討した。

計算結果として、図15に平衡波高の半分まで発達した途中段階と平衡状態に達した段階の砂州形状を示す。川

幅を300mとしたケースにおいては、流量1300 m<sup>3</sup>/sでMode2の複列砂州、それ以外の流量では前縁線形状が直線に近いシャープな交互砂州、川幅200mで粒径2cmとした場合には、どのケースも前縁線形状がやや丸みを帯びた交互砂州を形成した。ただし、交互砂州の発達過程として図16に示す波高の変化からわかるように、砂州の発達には長い時間を要する。“波高の増加が初期段階から始まらず発達時間から除外される時間帯が存在する”という河床に擾乱を用いて砂州形成を数値解析で描写する上の特性を考慮し<sup>8)</sup>、図16における波高が急速に発達し始める時間からおおよそ平衡波高となるまでの時間を見積もると、どのケースも100時間以上は必要になる。

### b) 減水期の影響としての小流量通水による効果の検討

上述したように矢作川では、出水の減水期に流量100～500m<sup>3</sup>/sが一日以上継続することが多くなっている。これを踏まえ、a)で検討した複列砂州が発達したケースと交互砂州が発達したケースの河床を用いて、流量100、200、500m<sup>3</sup>/s通水時の河床の変化を数値解析を用いて確認する。

河道が複列砂州河床または複列砂州河床の形成途中で

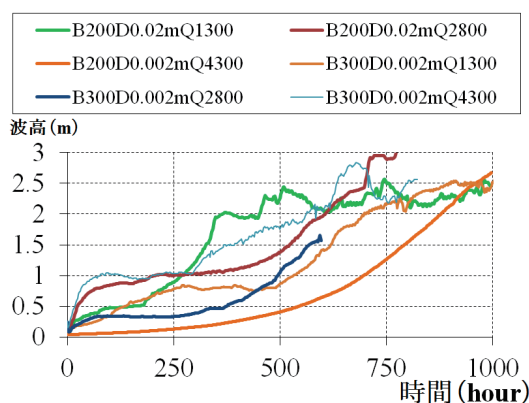


図16 砂州波高時間変化

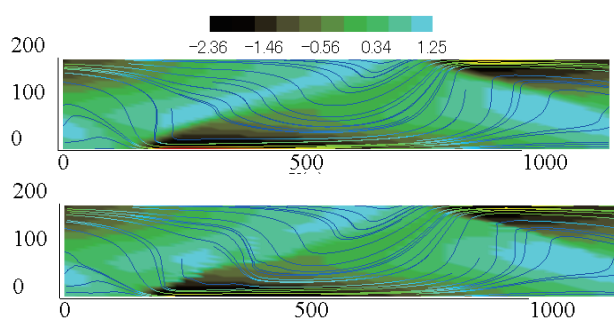


図17 平均粒径2cmの河道における交互砂州上での流量200m³/s通水時の流線と河床の変化  
(上図：初期河床，下図：200時間後)

あった場合、100, 200, 500 m³/s通水時すべての流量下において明確な複列砂州の形成が確認された。これは、ダムにより変化した流況下でも複列砂州または網状流路が維持されやすいことを意味しており、1990年までの河道で確認されることと同様な変化である。

これに対し、粗粒化して粒径が2cmで交互砂州が形成されてからのことを考え、粒径2cm、川幅200mでの交互砂州を用いて流量100, 200, 500m³/sを通水すると、どの流量でも複列砂州に戻ることなく交互砂州が変形したりすることが確認された。たとえば、出水流量2800m³/sで形成された交互砂州に流量200m³/sを通水させると図17のように変形し、砂州の前縁線の切り立ちを滑らかにする変化も見られた。この例では、砂州前縁線付近を中心に河床が変形し、ほぼ直線を描いていた砂州の前縁線を丸みが帯びる形で変形させる。こうした変化はさまざまであるが、いったん交互砂州が顕在化すると少なくともその砂州自体は複列砂州に戻りにくいことが分かった。

## 8. おわりに

本研究では、多目的ダムである矢作川を例にダムによる流況の変化が砂床河川における砂州地形に及ぼす影響を調べることを目標として、まず、矢作ダムにおける流入・放流流量および下流河道の流量時系列を調べ、流況変化の特徴について検討した。その結果、2月～3月における中小出水のカット、他の期間における出水のピーク流量のカットとともに渇水年以外で行われる減水期にお

ける放流により岩津観測所において流量が100m³/s～500m³/s程度でほぼ一定となる時間が延長されることが分かった。続いて、矢作川における砂州の変遷とこれらの流量の役割について調べたところ、矢作川における複列砂州形状の維持に低出水の継続時間増大が大きな役割を果たしていた可能性が示された。ただし、河床材料が粗粒化し交互砂州が形成されてからは、複列砂州へは戻らず、シャープな交互砂州をやや変形させ、減水期にある程度の流量が継続しても前縁線を滑らかにしたりする程度の砂州の変形となる。

通常、砂州の変遷について調べる際は、年最大流量で形成される砂州を調べることが河道の基本条件を決めるが、上記検討内容を踏まえると、砂床河川では砂州の地形変化に要する時間が長いために、必ずしも年最大流量で決まってはならず、時間をかけて様々な流量へ応答する特徴が見出された。

今後は他の河川にも応用可能となるように、礫床と砂床に形成される砂州の変化特性について区別しながら、砂州の変形に関する知見をより一般的な議論へ展開していきたい。

**謝辞：**本研究の一部は（財）ダム水源地環境整備センターの助成を受けて実施した。また、矢作川の横断地形等現地データの一部は国土交通省中部地方整備局豊橋河川事務所に提供いただいた。ここに記し、謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 辻本哲郎, 村上陽子, 安井辰弥: 出水による破壊機会の減少による河道内樹林化, 水工学論文集, Vol.45, pp.117-122, 2001.
- 2) 北村忠紀・加藤万貴・田代喬・辻本哲郎 (2000) 砂利投入による付着藻類カワシオグサの剥離除去に関する実験的研究. 河川技術に関する論文集, 6: 125-130.
- 3) 黒木幹男, 岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第342号, pp.87-96, 1984.
- 4) 池田駿介: 単列交互砂州の波長と波高, 水理学講演会論文集, 第27巻, pp. 689-695, 1983.
- 5) 溝口敦子: 低水護岸を有する矢田川低水路における交互砂州の変動特性, 河川技術論文集, Vol. 16, pp. 107-112, 2010.
- 6) 溝口敦子, 青木一展: 矢田川を例にした砂州地形の変動特性に関する検討, 水工学論文集, 第57巻, 土木学会, pp.1159-1164, 2013.
- 7) A. Pomprommin, A. Teramoto, N. Izumi, T. Kitamura, T. Tsujimoto: Numerical simulation of bar formation in straight channels by the NHSED2D model, J. Applied Mech., JSCE, pp.629-938, 2002.
- 8) 寺本敦子, 辻本哲郎: 砂州の形成過程に関する数値計算手法, 応用力学論文集, 第7巻, pp.975-982, 土木学会, 2003.

(2014. 4. 3受付)