

急流河川における砂州変動状況の把握

Trend of bar migration and channel silt in alluvial river

溝口敦子¹・鈴木洋之²・黒田勇一³・辻本哲郎⁴

Atsuko MIZOGUCHI, Hiroyuki SUZUKI, Yuichi KURODA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 博(工) 名城大学理工学部 講師 建設システム工学科
(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

²正会員 博(工) 石川工業高等専門学校 講師 環境都市工学科
(〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ1)

³正会員 国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所 工務第一課長
(〒930-8537 富山市石金3-2-37)

⁴正会員 工博 名古屋大学大学院工学研究科 教授 社会基盤工学専攻
(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

Bank erosion is one of most important problems for river managements. Bank erosion is considerably influenced by the local condition of sand bar formation. There is the relation between the sand-bar migration and the change of bank-erosion point according to previous study. Therefore, we need grasp the characteristics of the change of bar formation and migration. In this paper, we investigated it in the Jintsu and the Sho River from the survey data and the aerial photos. Firstly, we divided the downstream reach of both rivers into the small segments by the characteristics of channel width and bed slope and physical conditions. And we showed the scenario of changing bar formation and vegetated area. Then, we investigated the relation between the ratio of vegetated area and annual maximum discharge. And we also investigated the discharge influenced by the changing bar morphology.

Key Words : Bar migration, water discharge, alluvial river, aerial photos, bank erosion

1. はじめに

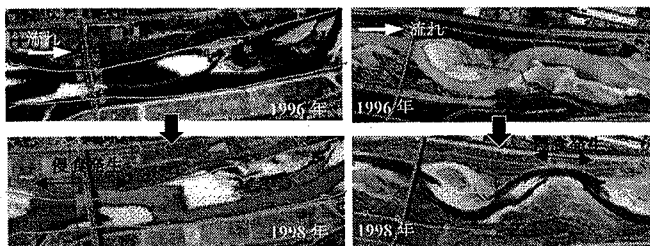


写真-1 砂州の動きと河岸侵食発生例
(右: 神通川9km地点付近, 左: 庄川21km地点付近)

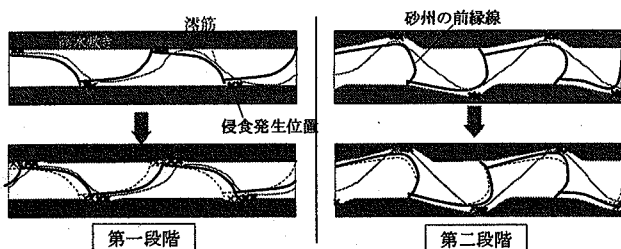


図-1 砂州の移動に伴う河岸侵食の段階

河岸侵食は、護岸の欠壊、堤防の破壊などを引き起こすため、対策を必要とする深刻な問題である。また、最近の公共事業費削減の流れから、対策を講じる際には、余分な手間、費用を省き、簡便かつ有効な対策を講じることがより必要とされている。写真-1のように、河岸侵食災害には、砂州の移動と結びつけられる例が多いため、砂州の進行と河岸侵食位置の関係を明らかにし、かつ、砂州の動態を予測できるようになることが、有効な河岸侵食対策に結びつくと考えられる。

藤田・村本¹⁾などにより砂州の発達に伴う蛇行流路形成過程がまとめられているが、流路が蛇行を始める際には、河岸侵食が各所で発生していると考えられ、蛇行流路の初期の過程を低水路内での砂州の発達、進行と河岸侵食発生という視点で見直すことができる。著者ら²⁾が、低水路内に形成される砂州の発達、進行と河岸侵食発生位置について詳しく調べた結果、その現象の特徴によって、砂州の発達、進行過程が図-1に示す二段階に分けられることがわかった。図-1に示すように、第一段階では、砂州前縁線下流端直下の深掘れ部が砂州とともに著しく進行することにより河岸侵食発生位置も下流へ著しく流

下していく傾向にあり、第二段階では、横方向へ砂州が発達していくことにより河岸侵食発生位置はほぼ固定される。写真-1に示すように、実際の河川においても、異なる砂州の移動状況と河岸侵食の発生例が確認される。

しかし、実河川のように様々な流量の出水が起こる場合には、出水規模により砂州の進行、発達状況が異なると考えられ、河岸侵食の発生状況も異なる可能性がある。庄川、神通川では、2004年秋に既往最大流量の出水が発生し、これまでとは異なる砂州の変動状況が見られ、深刻な災害にいたらなかったものの護岸の欠損など河岸侵食を起因とする災害が発生した。このことを踏まえると、出水時の各流量規模によって起こる砂州の動態および河岸侵食発生傾向を調べ、その対策方法を講じておく必要があると言える。

そこで、流量ごとの砂州の動態とそれに応じた河岸侵食の発生傾向を明確にして河岸侵食対策に有効な知見を得るため、まず、航空写真や横断河床河床を用いて小セグメント区分を行い、小セグメントの物理的特徴を把握した上で、これまでの河道変遷を調べた。特に本論文では、小セグメントごとに流量と砂州の動態の関係について検討した結果について取り扱う。

2. 神通川、庄川の概要と出水流量の特徴

庄川と神通川は、両河川とも岐阜県から富山県を経て日本海へと注ぐ日本有数の急流河川である。本研究で対象とする区間は、両河川の富山県にある国土交通省直轄区間のうち、砂州の変動が著しい扇状地区間（神通川：10.2-24.2km、庄川：7.8-26.0km）とした。

本研究を進めるにあたり、最初に平均河床高から算出した河床勾配、砂州形成川幅、河床材料平均粒径などの縦断方向変化を参考に対象とする各河川の扇状地区間を小セグメントに区分する。扇状地区間といっても、勾配、川幅、粒径が縦断方向に変化し、それらの特徴が変化することによって形成される砂州形状、進行状況なども場所によって異なるため、本論文における河道動態の検討は、小セグメント単位で行う。

小セグメントに区分した結果、神通川、庄川の扇状地区間は表-1のように分けられ、表に示すような特徴を持つことがわかった。黒木・岸³⁾の中規模河床形態領域区分図に、神通川、庄川の小セグメントの該当値をプロットすると図-2のようになり、同じ河川でも区間によってそれらの値も異なることがわかる。ただし、図-2上にプロットした値は各小セグメントの砂州形成川幅、平均粒径、平均河床勾配の値と流量を用いて水理量を算出している。

庄川と神通川における出水規模を年最大流量に代表させて見てみると、図-3のようになる。2004年の秋の出水では、庄川で3396m³/s、神通川で6413m³/sを記録し、両

河川ともに既往最大流量となっている。また、平均年最大流量は庄川で964m³/s、神通川で2457m³/sであるため、既往最大流量は平均値の約3倍程度となっている。

図-2より平均年最大流量、既往最大流量程度の出水時に形成されるであろう中規模河床形態は、神通川では、既往最大流量程度の出水で交互砂州、平均年最大流量程度で複列砂州、庄川では、既往最大流量程度の出水で交互砂州領域に近い複列砂州、平均年最大流量程度の出水で複列砂州または移動限界を超さず全幅では砂が動かな

表-1 小セグメント区分
(神通川)

小セグメントNo.	S1	S2		
区間(km)	24.2-18.0	18.0-10.2	10.2-4.0	4.0-
平均粒径(mm)	166	63	31	7
河床勾配	1/200	1/250-1/200	1/800	1/2000
平均川幅(砂州形成域)(m)	200	280	300	300
初期卓越砂州モード(2500m ³ /s時)	3-6	2-3	2-4	1
初期卓越砂州モード(6000m ³ /s時)	1	1	1	1

(庄川)

小セグメントNo.	S1	S2	S3	
区間(km)	26.0-18.6	18.6-14.0	14.0-7.8	7.8-
平均粒径(mm)	124	74	43	1
河床勾配	1/180	1/200	1/350	1/2500
平均川幅(砂州形成域)(m)	250-300	400	350-300	100
初期卓越砂州モード(1000m ³ /s時)	.*	.*	4-7	1
初期卓越砂州モード(3000m ³ /s時)	1-2	3-5	2-3	-

*一様粒径では移動限界を超さない

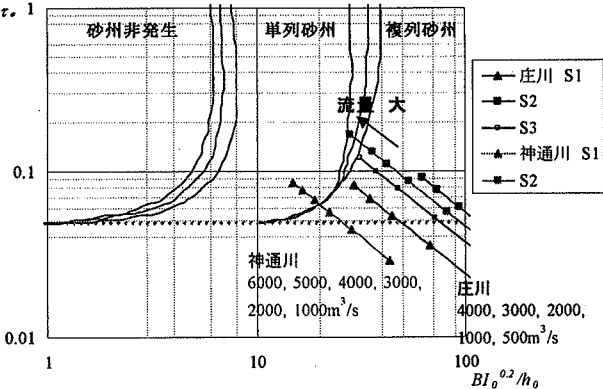


図-2 中規模河床形態領域区分図³⁾へのプロット

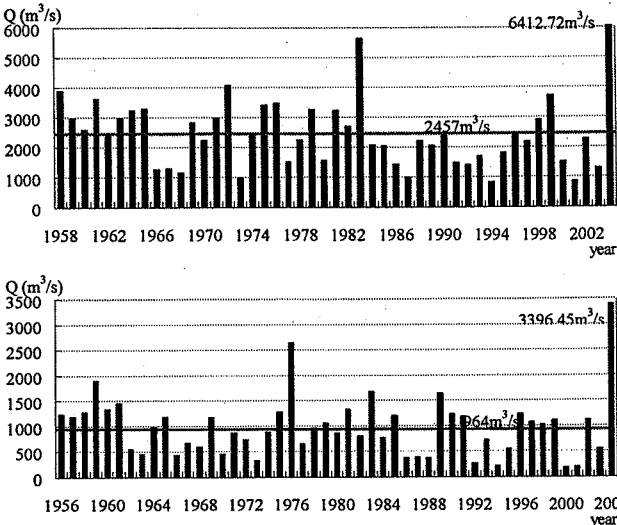


図-3 年最大流量の経年変化(上図：神通川、下図：庄川)

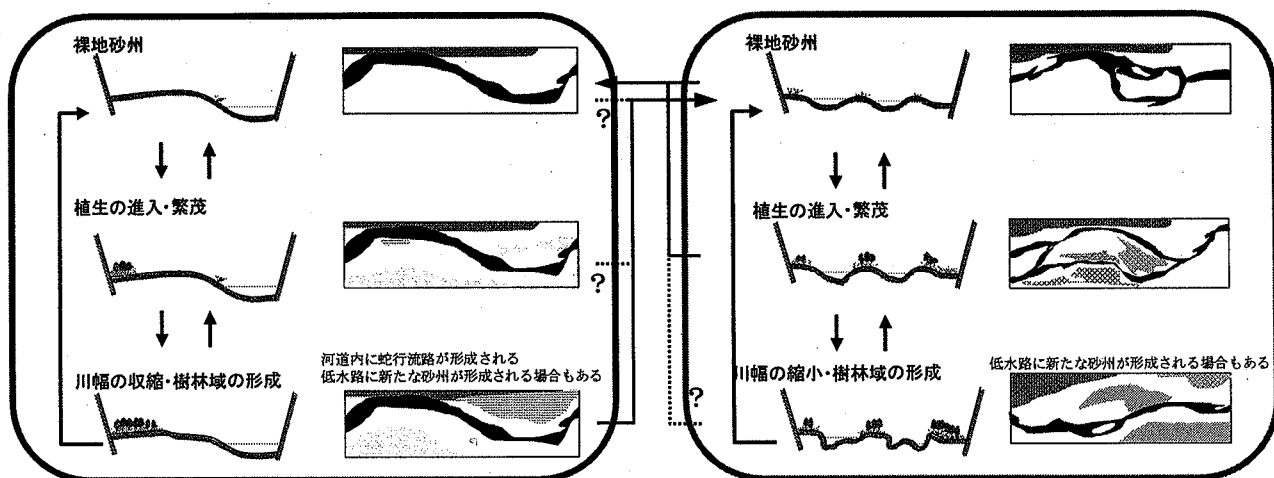


図-4 急流河川で見られる河道の変遷 (左図：単列砂州形成河道，右図：複列砂州形成河道)

い領域に入ることがわかる。これは、小セグメントにより若干異なる領域にプロットされており、この差が小セグメントごとの河道動態の差を生み出すと言える。

3. 砂州地形と植生域の変動

2004年出水後に撮影された航空写真によると、神通川ではS1, S2ともに単列砂州が、庄川のS1～S2では複列砂州が形成されている。しかし、それ以前の航空写真を見ると、形成されている砂州の様子は必ずしもそれと同じものではなく、砂州だけでなく植生の繁茂状況も年ごとに様々な様相を見せる。航空写真を用いて庄川と神通川の様子を見てみると、単列砂州と複列砂州で図-4のような変遷が見られる。ただし、図中の実線の矢印は、航空写真やこれまでの知見から確認されている変遷であり、点線の矢印は、起こりうるか否か確認されていない過程となっている。また、単列砂州と複列砂州河道では、砂州形態が異なるため樹林化したときの様子は異なり、変遷が起こるスピードなどは異なると考えられるが、植生の繁茂状況などの観点から変遷を見ると、ほぼ同じステージが見られる。

図-4の変遷について考えると、下向き矢印の変遷は、植物の進入に時間を要するため必ず前段階を踏まないと起こり得ないが、植物の破壊は一回の出水でも可能なため裸地砂州の状態へは、どのステージからも遷移しうる。また、横向きの変遷、つまり単列砂州形成河道から複列砂州形成河道へまたは単列から複列砂州形成河道への変遷は、植物の破壊を伴って砂州が大きく変化するために、変化した後には、裸地砂州の状態となる。

河岸侵食の予測には、1章で述べたように、出水時の砂州の進行状況を知ることが、重要となるが、こういった図-4中の矢印の変遷が起こる条件を知り、河道が現在どのステージにあり、出水流量によってどのように河道が変化するか、河岸侵食がどこで発生しうるかを知っておくことが非常に重要となる。

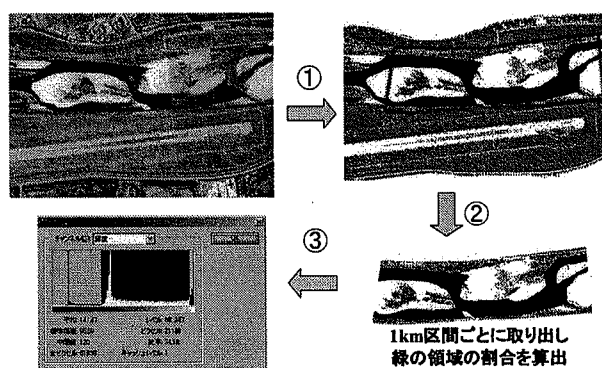


図-5 植被率算出方法

4. 河道内植生の変動状況の把握

本章では、2章で示した小セグメントごとに植生の動態を検討する。河道内の植生は、平水時の河道内への進入と拡大、出水時の破壊を繰り返す、繁茂したり消滅したりしている。植生域の進入、破壊には河道内地形が大きく関わるし、植生がある程度の塊になれば、地形へも影響を与えるようになる。こうした相互作用のもと図-4のような変遷が起きており、河道内地形によって植生の変動状況が異なるならば、砂州地形の変動が異なる小セグメントごとに植生の変動状況はある程度決まる可能性があると考えられる。

庄川、神通川の植生域の変動状況を調べるにあたり辻本ら⁴⁾の方法を採用し、航空写真を画像処理ソフトPhotoshop(Adobe社製)を用いて解析することで把握した。図-5に示すように、まず、航空写真を堤防線で切り取り河道内を植生域、水域、裸地域に塗り分ける(①)。その後、人工的洪水敷き等を除いて砂州変動領域を決定し(②)、輝度のヒストグラムを用いてその領域内の植生の占める割合(植被率)を算出する(③)。最近では、ダム建設などにより出水の規模と頻度が減少したのに伴い河

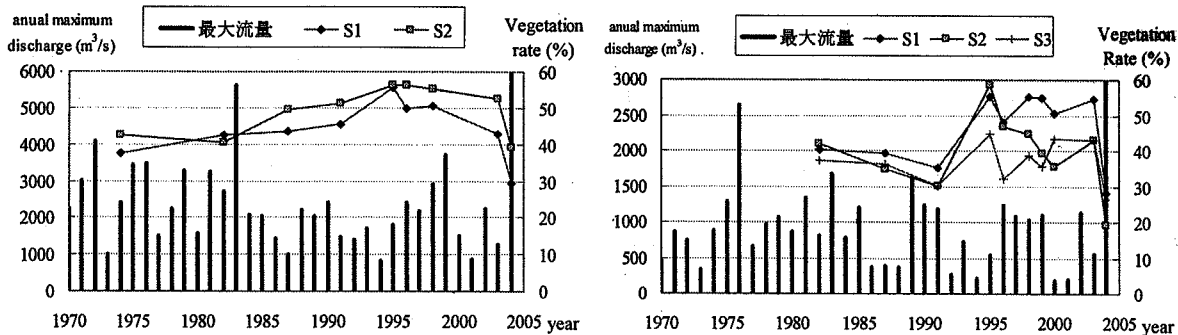


図-6 年最大流量と植被率の変化 (左図：神通川, 右図：庄川)

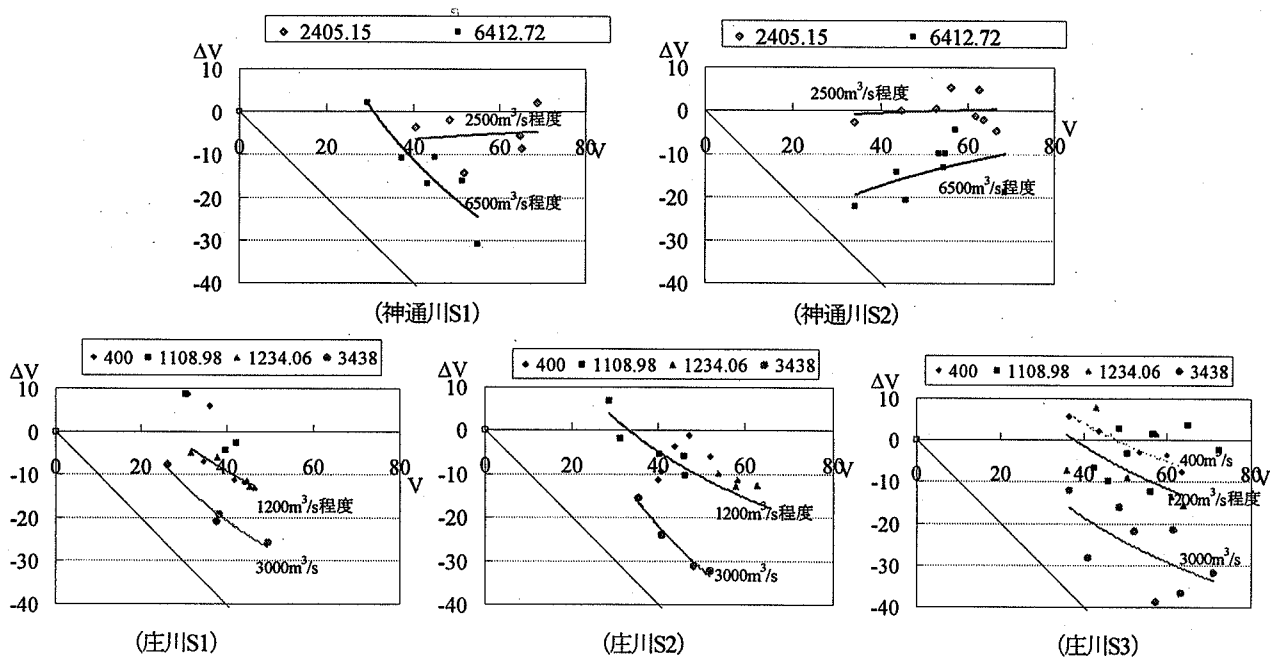


図-7 初期植被率と植被率変化量の関係

道内樹林化が深刻な問題となっている河川が多く存在するが、急流河川の樹林化はその特性から年最大流量の減少で説明できることが辻本⁴⁾の手取川における検討結果からわかっている。そこで、同じ北陸の急流河川である神通川、庄川においても上述した方法で算出した植被率と年最大流量時系列と比較することにより、樹林化傾向について調べた。なお、対象区間は、砂州の変動が著しい区間であるため、植被率の算出区間は1km毎に行っており、この区間は少なくとも一個の砂州は含まれる長さとなっている。

図-6に示した神通川の小セグメントS1とS2における平均植被率の変化によると、神通川では1983年以降の流量 $3000\text{m}^3/\text{s}$ が頻度が少なくなったあたりを境に徐々に植生が繁茂し始めるが、その後1999年に $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水が発生し、かつ2004年の既往最大流量の出水が発生したら1970年代の植被率に回復していることがわかる。一方、庄川における小セグメントS1～S3における平均植被率の変化を見ると、庄川においては1992年以降の $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水が発生しなくなると全体的に植生が繁茂し始めるが、 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水が発生すると徐々に植生が破

壊されていくのがわかる。

ここで、植被率の年間の変動について考える。植生繁茂領域は平水時の状況など様々な条件で拡大し、出水時には破壊され減少して、年々変化していくがその変動を大まかにでも把握するため、次の検討を行う。まず、初期植生繁茂領域によって一年後の拡大領域(植物の増殖を含める)がほぼ決まっていると仮定する。また、出水前の植被率により出水で破壊される植被率が決定されるとし、特に年最大流量でその年の破壊領域も決定されると仮定する。この二つの仮定が正しいとすると、初期植被率と年最大流量が決まれば、次年度までの変化量が決定され、次の年の植被率が決定されることになる。この仮定のもと、航空写真が隔年で撮影されているデータを使用して、年最大流量規模ごとの初期植被率 V と年間植被率変化量 ΔV の関係を調べた。その結果を図-7に示す。なお、植被率の算出は1km区間で行っているため、図-7におけるプロットは、各1km区間のデータとなっている。

これらの図より、全ての小セグメントで年最大流量が大きいほど植生が破壊されやすいことがわかり、ほとんどの小セグメントで初期植被率が高いほど破壊される植

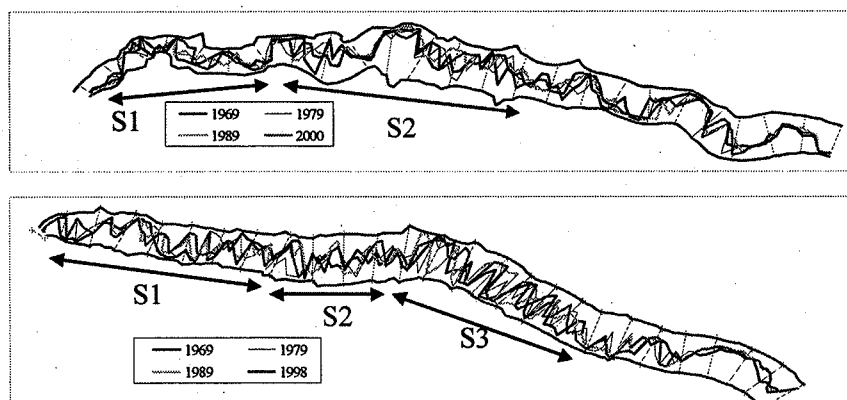


図-8 最深点の変動状況(上図：神通川，下図：庄川)

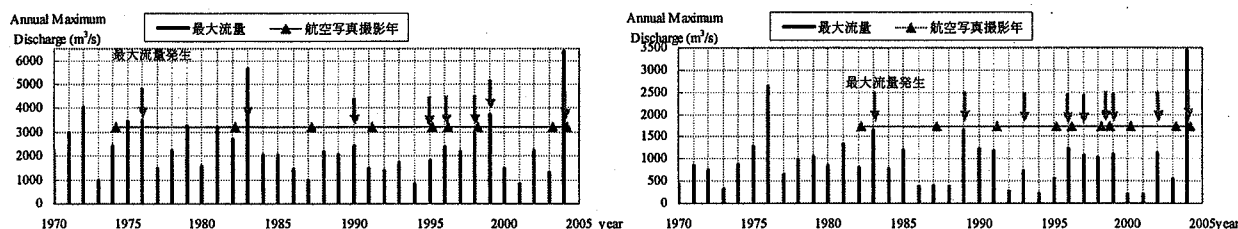


図-9 航空写真の撮影年と年最大流量 (左図：神通川，右図：庄川)

生の割合が多くなっているが、神通川のS2のように植生が繁茂すればするほど破壊されにくくなっている区間もあることがわかる。また、こうした傾向の中、それぞれの小セグメントで初期植被率 V と年間植被率変化量 ΔV の間に近似曲線を引くことが可能であったように、関係式が得られる可能性があり、大まかな予測をするために上記の仮定をおくことが可能であると言える。今後、さらにこのような植生繁茂領域の隔年データを収集できれば、 V - ΔV の関係を明確にでき、図-4における上向き、下向きの変遷が、どのような流量が何年続けば起こりうるかを知ることができるなど、植生域の変動状況を予測できる可能性があることがわかった。

5. 航空写真を用いた砂州変動傾向の把握

次に、図-4における地形の変化がどのような条件で起こりうるかの検討を行う。河道の地形の変動状況を把握するにあたり、横断地形から砂州の進行等を読み取るのは非常に難しい。特に複列砂州においては波長が短いため、さらに困難となる。図-8は、試しに横断地形データから最深点を読み取り、流路上にプロットしたものであるが、これから中規模河床形態、特に複列砂州の進行、変動状況を読み取るのは非常に困難である。そこで、航空写真を利用して河道動態を読み取ることにした。

図-9に解析した航空写真の撮影年を年最大流量時系列とともに示す。これらの航空写真から見て取れる河道の状況を調べる。航空写真撮影間に起こる変化は、その期

間の出水で徐々に起こることも考えられるが、大きな変化はその期間の最大出水時に大きく関係していると考えられ、砂州の変動状況と図-9中に矢印で示した最大流量を照らし合わせて、流量規模に対する変動状況の検討を行うことにした。検討は、小セグメントごとに行うが、各河川の 小セグメントS1の砂州の変動状況は、ダム直下の区間とそれより下流部分で異なり同様に扱えなかったため、それぞれSlupとSldownとして、ここでは分けて検討した。

砂州の変動状況を大まかに把握するに当たり、簡単なパラメータを設定した。砂州の状況を示すパラメータとして以下のように M を設定した。図-10の例に示すように、砂州が単列砂州、すなわち砂州が交互に明確に形成されているならば $M=1$ 、それ以外の流路が複雑になっていたり複列砂州が見られるなら $M=2$ とした。次に、変動状況を示すパラメータとして D を設定する。 D は、次のように決定する。 $M=1$ または2の状況が見られた場所で、次に撮影された航空写真では M が変化せず $M=1$ または2であり、かつ、流路位置も変化しない場合、砂州の変動状況は $D=0$ とし、 M は変化していないが流路が移動している場合は $D=1$ とする。また、図-10の例に示すように、 $M=2$ から $M=1$ に変化している場合は、 $D=2$ とし、 $M=1$ から $M=2$ へ変化している場合は $D=3$ とした。

この変動パラメータ D と変動期間中の年最大流量最大値の関係を各セグメントで調べると、図-11の関係が表れた。この図から、砂州が進行または変化するために必要な流量が各セグメントで予測することができる。その結果を示したのが、表-2となる。

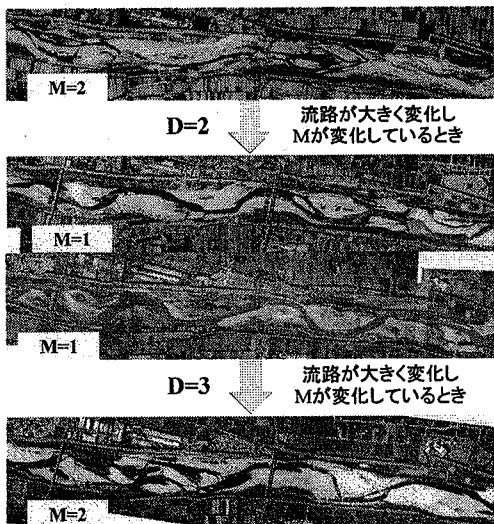


図-10 パラメータM, Dの決定方法の例

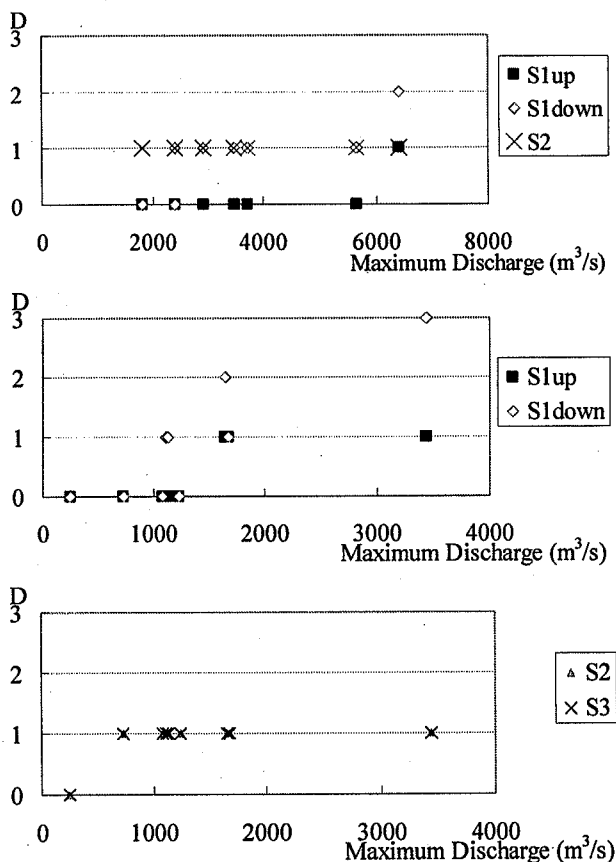


図-11 河道変動パラメータと年最大流量最大値との関係
(上図：神通川，中，下図：庄川)

表-2a 砂州の変動に関わる限界流量（神通川）

	S1up	S1down	S2
砂州の移動限界	6000	2500	2000
モードの移行(複列から単列)	-	6000	(6000以上)

表-2b 砂州の変動に関わる限界流量（庄川）

	S1up	S1down	S2	S3
砂州の移動限界	1650	1200	250-700	250-700
モードの移行(複列から単列)	(3500以上)	1650	(3500以上)	(3500以上)
モードの移行(単列から複列)	-	3500		

表-2によると、流量が大きくなるにつれ、砂州が移動し、中規模河床形態の変化が起こり、M=2から1への変化よりもM=1から2へ変化するのに大きな流量が必要となることがわかる。ただし、小セグメントにより、これまでの出水流量の範囲では砂州は移動しても中規模河床形態は変化しない場所もあり、それぞれ砂州の変動にセグメントごとの特徴が出ていることがわかる。このことから、有効な河岸侵食対策には、小セグメントの特徴を十分理解しておき、砂州の変動状況ごとにとるべき対策を把握しておく必要がある。

また、今回の検討から、各小セグメントにおいて、植被率を考慮せずに砂州の変動に関わる流量が決定されたため、これまでの状況では砂州の変動にかかわる流量を大きく変化させる程度まで植生が繁茂していなかったか、または、砂州の変動に影響する流量下では植生がすぐに破壊されてしまうまたは植生の変動も合わせて砂州の変動状況が決まる傾向があると考えられる。

4. おわりに

本論文では、河岸侵食対策に有効な知見を得るための一環として、急流河川である庄川と神通川を対象にこれまでの河道動態を航空写真、横断地形測量データを用いて詳しく調べた。その結果、砂州動態のパターンがわかり、それに関連する流量を明らかにすることができた。

今後は、図-1の各段階が砂州の状態と流量でどのように決まり、河岸侵食がどのように発生するか、また、砂州形態が大きく変化するときには、河岸侵食がどのような特徴を持って発生するかを調べ、河岸侵食対策の有効な知見を得る予定である。

謝辞：本研究は、土木学会河川懇談会H17年度課題「急勾配河川における洪水流量と河道動態の評価およびその河川計画への反映」（代表者：鈴木洋之）の一環として行われ、助成をいただいた。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 例えば、藤田裕一郎、村本嘉雄：蛇行流路の形成過程に関する実験的研究、京都大学防災研究所年報、第18号B、pp.551-564、1975。
- 例えば、寺本敦子、辻本哲郎：砂州を伴う河道の低水路河岸侵食に関する数値解析による研究、水工学論文集第47巻、土木学会、pp.649-654、2003。
- 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。
- 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、第45巻、pp.1105-1110、2001。

(2006. 4. 6 受付)