

手取川における河道変遷と それに伴う河岸侵食の変化

CHANGE OF BAR FORMATION AND BANK EROSION IN THE TEDORI RIVER

寺本敦子¹・中村幸世²・辻本哲郎³

Atsuko TERAMOTO, Sachiyo NAKAMURA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 修(工) 名古屋大学大学院助手 工学研究科地圏環境工学専攻
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町1)

²正会員 修(工) 京都市水道局 (〒601-8004 京都市南区東九条東山王町12)

³正会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科地圏環境工学専攻

Bank erosion is one of the major concerns in river management. Bank erosion is considerably influenced by the local condition of sand bar formation. In order to predict the location of the bank erosion, we investigated the relation between the sand-bar development and the change of bank-erosion point in the Tedor River in Japan. Firstly, we investigated the change of bar formation and migration in the Tedor River from the survey data and the aerial photos. We divided the downstream reach of the Tedor River into the small segments by the characteristics of bar formation and development. Then, we clarified that bank erosion in each small-segments is different in location each other. It is found that bank-erosion become dominant corresponding to the stage of bar development.

Key Words : Bank erosion, bar formation, bar migration, vegetated area

1. はじめに

日本の急峻な地形に由来する急流河川では、その特性から洪水時に河道のあらゆる区間で河岸の侵食・洗掘が確認されている。これまで、侵食や洗掘による堤防、河道内構造物の被災対策として、護岸などの河川整備が進められてきた。しかし、近年河川の環境機能が重視され、護岸された河岸ではなく自然河岸を維持しようとする動きも見られる。そのために河川のあらゆる区間で一律に河岸の整備を行うのではなく、被災に備え必要な時に必要な箇所対策を講じることで、河川環境を保全しながら効率的に治水対策を行うことが望まれる。

砂州を伴う河道での低水路の河岸侵食及び洗掘は、砂州の移動などが起因となっている場合が多く、また砂州の進行、発達状況が河岸侵食と大きく関係することが数値解析により明らかになっている¹⁾。実河川においては、辻本ら²⁾により洪水時の水理特性と河岸侵食特性が明らかにされ、同時に長良川と揖斐川における砂州起因の河岸侵食パターンの違いが指摘されている。しかし、侵食の発生状況を砂州の変遷と同時に詳しく調べられている例は少ない。そこで本研究では、我が国有数の急流河川

である手取川の扇状地区間における砂州の変遷を追い、それに伴う河岸侵食発生状況の変化に着目する。まず、航空写真、横断測量データ、流量データなどを用いて1960年代半ばから1998年に至るまでの河道の変遷を追う。その後、それに伴って変化する侵食・洗掘の問題を整理し、実河川における砂州の状況に伴う侵食傾向の変化を明らかにし、河岸侵食、洗掘の発生予測に対して有用な視点を示すことを目的とする。

2. 手取川における流況特性

手取川は石川県に位置し、日本海に注ぐ典型的な扇状地河川である。現在、0.0~7.0km区間では複列砂州、7.0~15.0km区間は乱れがあるものの安定的な交互砂州を形成している。流域は急斜面で流れが速いため土砂侵食運搬作用が大きく、山間部からの流入や側岸侵食による土砂が扇状地区間に堆積する。かつては、出水時に砂州の移動が激しく河岸の侵食・洗掘が発生し、滞筋の付け替えが起こっており、これまで幾多の洪水や氾濫に見舞われてきた。しかし、1980年に河口から40.0km上流に手取川ダムが建設され、このダムの流量調節によって洪水規

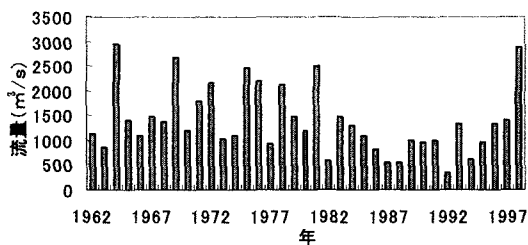


図-1 年最大流量時系列

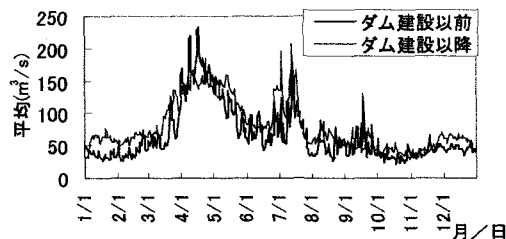


図-2 日平均流量の各日の平均

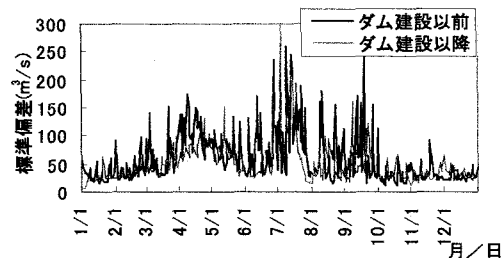


図-3 日平均流量の各日の標準偏差

模の減少が見られる。図-1は、1962年から1998年までの年最大流量時系列を示す。1980年の手取川ダム完成を境として、年最大流量の平均は、ダム建設前（1962～1980）の $1607.43\text{m}^3/\text{s}$ からダム建設後（1981～1998） $1152.02\text{m}^3/\text{s}$ に減少している。辻本³⁾により、手取川において高水敷が冠水して砂州上の植生が破壊される流量規模は $1500\text{m}^3/\text{s}$ 、アーマーコートの破壊限界は $2000\text{m}^3/\text{s}$ 程度であることが明らかにされており、ダム建設後このような大規模な出水の発生回数は大幅に減少している。

次に、ダム建設前後での日平均流量の約20年間の平均、標準偏差を図-2、3に示す。手取川では、融雪期の4月から6月前半、台風や雨が多い8月半ばを除いた7月後半から9月にかけて出水が多い。ダム建設後に流量観測所が14.0km付近の鶴来から18.0km中島へ移動しており、その区間で取水が行われているため、ダム建設後は全体的に流量が多く観測されている。それにも関わらず4月から6月にかけての日平均流量は減少している。また、7月後半から9月にかけて日平均の平均流量はダム完成後もほぼ変わらず、標準偏差が小さくなっていることから、出水規模と頻度の減少が起こっていることが分かる。

上述した流量規模および大出水の頻度の減少などに代表される流況の変化は、砂州内の植生繁茂を促し砂州地形を変化させるため、砂州の変遷に大きな影響を与えている。

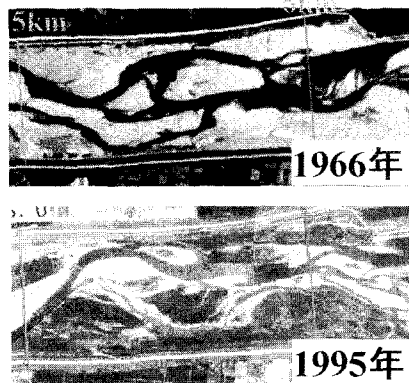


図-4 ダム建設前後の手取川の様子(5km付近)

3. 河道の変遷

(1) 砂州の変遷の概要

航空写真を用いると、図-4の例に示すように1980年代までの河道は区間全域で網状流路を形成していることが分かる。ダム建設前は $1000\sim 2500\text{m}^3/\text{s}$ 程度の出水が毎年発生しており、砂州の変化が著しく特定の砂州の動きを追うことは困難である。平水時の流路は川幅一杯に蛇行し、大出水後には流路が大きく変動していた。しかし、1980年のダム建設後、次第に砂州の動きは鈍くなり河道の固定化が進み、網状から複列・単列砂州に移行している。縦断方向への砂州の進行はほぼ止まり、隣り合う砂州が合体して横断方向へ張り出し、流路が河岸に寄せられる様子も確認できる。また、1989年の写真では河道のあらゆる箇所に植生が侵入し、これ以降砂州全面を覆うように植生が定着している。1998年に $2500\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水が発生した後も、河岸沿いや砂州中心部に繁茂していた植生はほとんど破壊されていない区間が上流側に多く存在する。以上のような変化は、洪水規模及び頻度が減少したことによる植生の繁茂及び拡大、地形の変化の相互作用的な影響と考えられる。そこで、植被率、高低差などのデータからこのような砂州の変遷を詳しく調べていく。

(2) 植生の拡大と高低差の増大

まず、砂州の特徴として砂州の高低差および砂州域に対する植生の占める割合の変化をみる。

図-5に各区間における高低差の経年変化を示す。ここでの高低差は、人工的な高水敷を除いた低水路内における最高点と最低点の差としている。下流の2.4及び5.4kmにおける高低差は相対的に小さい値をとり、増加していない。航空写真からこの区間では現在も砂州が変化し河道が変動していることが確認されており、これにより高低差つまり砂州波高は発達していない。これに対し、8.8及び10.0kmでは経年的に高低差が拡大しており、特に10.0kmでの発達が著しい。また、13.0kmは1979年時点

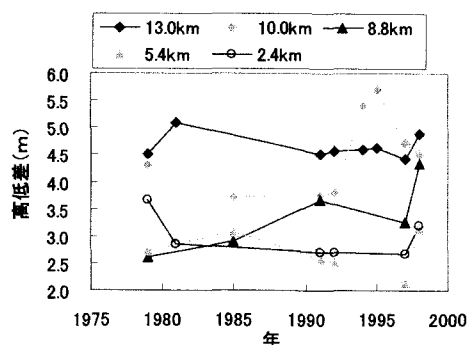


図-5 各区分における高低差の経年変化

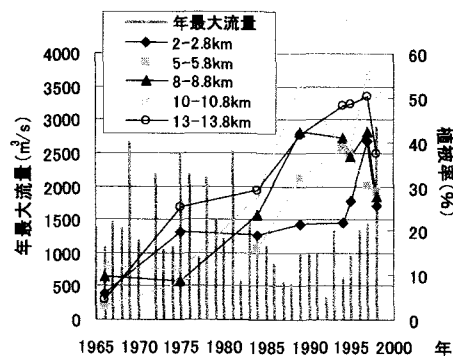


図-6 植比率と年最大流量の経年変化

で高低差が大きい値を示しており、1998年までほぼ一定値を保っている。これらの結果から上流側から高低差の値は変化しており徐々に大きな値を示してきていることがわかる。現在では、中流の8.0km付近まで高低差が増加傾向にある。

図-6に河道内の植比率及び年最大流量の経年変化を示す。なお、植比率は、スキャナーを用いて航空写真を取り入れデジタル画像化したものから、河道区間全体に植生が占める割合を各年度について求めた。図-6より各区分ともダム建設後、植比率は増加傾向にある。これは、出水の規模と頻度が減少したためであり(辻本²⁾、1500m³/s以上の出水がない1983年から1993年に植比率が全区間で同様に増加している。特に上流側で植比率の増加が著しい。1998年に流量2500m³/sを超える出水があり下流域で植比率の減少がみられるが上流側の減少は下流域と比べ抑えられている。

植比率と高低差の経年変化は、上下流で傾向が変化している。高低差は上流から増加が見られ、植比率は全区間で同様に増加し特に上流域で出水による減少が少なくなっている。図-7に1979年、1998年における10.6km、4.2km断面の横断地形と平面二次元流れの数値解析結果から算出した無次元掃流力の分布を示す。10.6km断面では、高低差が拡大することにより1998年には掃流力が集中して大きくなる傾向にあり、砂州上では掃流力が小さくなっている。それに対し4.2km断面では、明確な高低差の拡大がないために流量1800m³/s時には1979年から1998年にかけてわずかな高低差の拡大に伴い掃流力が水

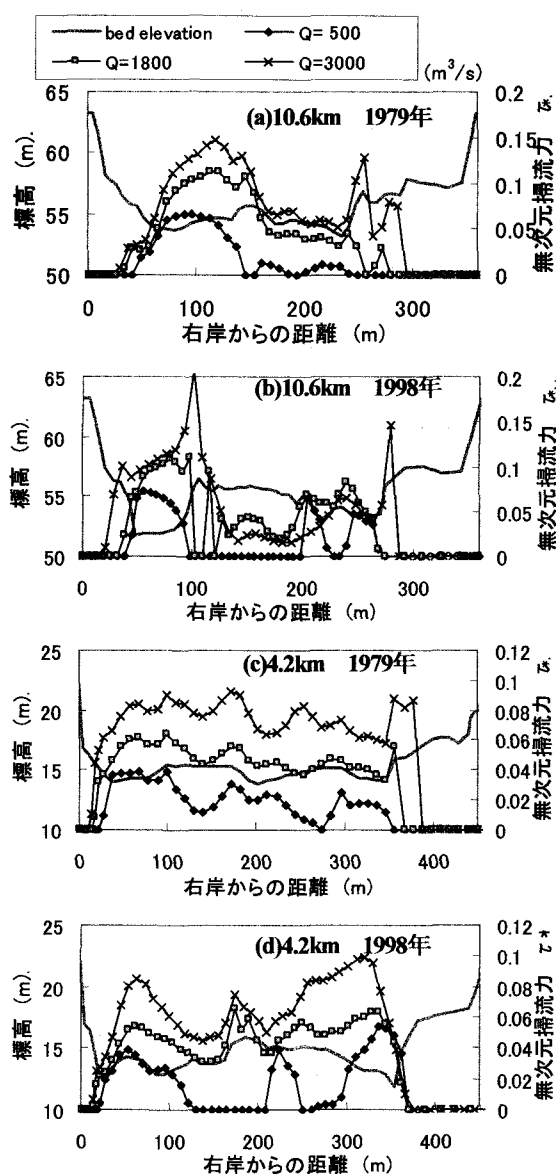


図-7 横断地形と無次元掃流力分布

路で高くなってはいるが、砂州上でも高い値を示している。このことから植生域は扇状地全区間で同様に繁茂、拡大しているにも関わらず上下流で砂州上の植生の破壊に差がでていと言え、高低差の変化が一因となっていると考えられる。高低差の拡大は砂州域の増大つまり植生の繁茂可能領域を大きくするだけでなく、出水時の植生の破壊機会を減らし破壊領域を縮小させる。このため、高低差が拡大している上流区間では植生が破壊されずに残り、下流区間では植生が破壊されたと言える。

(3) 滞筋の固定化

図-8に各区分における最深点の横断方向への変化量と日平均流量が500m³/sを越える日の発生回数を示す。なお、ダム建設以前、流量500m³/sの時にはほぼ全区間で低水路内の砂州が冠水していた。図-8によると、1980年のダム建設以前は日平均流量が500m³/sを越える出水が年に数回は発生していたが、ダム建設後発生回数が減少

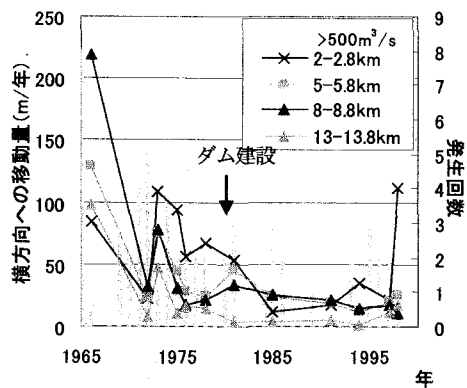


図-8 最深点の横断方向への変化量及び日平均流量が $500\text{m}^3/\text{s}$ を越える日の発生回数

表-1 小セグメントの分類

小セグメント	—	S3	S2	S1
河口からの距離 (km)	0.0-2.0	2.0-7.0	7.0-13.0	13.0-16.7
川幅 (m)	350	358	289	146
河床勾配	1/365	1/190	1/140	1/130
平均粒径 (mm)	67	77.20	166.00	187
モード数 ($1500\text{m}^3/\text{s}$)	—	5	—	2
モード数 ($3000\text{m}^3/\text{s}$)	2-4	3-4	3-4	1

している。この減少に伴って、各区分とも横断方向における最深点の発生位置の移動量が減少している。1972年、1998年は年最大流量が $2500\text{m}^3/\text{s}$ 程度で同規模の出水が発生しているが、図-8における移動量は下流の2.0～2.8km区間を除いて1972年より1998年の方が小さい。特に、13.0～13.8km区間は大規模な出水を経験したにも関わらずほとんど変動していない。また、13.0～13.8km、8.0～8.8km区間で顕著に移動量が小さくなっており、ダム建設後、上流側から滞筋の固定化が進行しており、下流では現在もまだ動く状態にあると言える。

ダム建設以前は砂州の進行、変動とともに滞筋も移動していた。しかし、砂州が植生の繁茂や高低差の拡大により動きにくくなれば、滞筋の固定化が起これと考えられる。植生の繁茂と高低差の増大により上述した滞筋の移動傾向の変化は、(2)で示した高低差の拡大し植生が破壊されなくなることと同時に起こっており、高低差の拡大、植被率の増加は滞筋の固定化を引き起こすと言える。

4. 各小セグメントにおける砂州の変動状況と河岸侵食

(1) 小セグメントの分類

手取川の河口から16.7kmまでの扇状地区間は、川幅、勾配、平均粒径などの河道特性から明確に表-1のように小セグメントに分類できる。黒木・岸らによる中規模河床形態の領域区分によると、小セグメントごとに発生する中規模河床波の初期卓越モードは異なる。ダム建設以前、手取川では河道の全区間で網状流路が形成され、砂州の進行が激しく、地形が大きく変化していた。しかし、ダム建設後、砂州の動きは鈍化し、網状から単列・複列に移行した。現在、小セグメントごとに砂州の変動状況に変化がみられる。第1章で述べたように砂州の進行状況は河岸侵食に深く関わっており、現地における河岸侵食の発生状況を知るためには、各小セグメントの砂州の変動状況を検討することが重要となる。そこで、各小セグメントにおける砂州の変動状況を示し、砂州の変動状況に関わる被災事例の特徴を把握する。なお、河口より0.0～2.0km区間は感潮域となり他区間と大きく性質が異なるため、本研究ではこれより上流の扇状地区間について検討する。

(2) 砂州の変動特性

a) 小セグメント1 (S1)

図-9に13.0kmにおける横断地形の経年変化を示す。これによると、対象とする期間(1979～1998年)では横断地形がほとんど変化していない。滞筋で深掘れが進行し、河床低下が発生している。図-10からも分かるように滞筋は平面的に固定され、砂州の動きは全く見られない。しかし、図-8の最深点の横断方向への変化量において13～13.8km区間に着目すると、1965年には100.0m近くも移動しており、以前は滞筋が変動していたことが分かる。

よって、以前は砂州が変動していたが、現在では滞筋は固定化し、滞筋で河床低下が起きている区間と言える。

b) 小セグメント2 (S2)

図-9に示す8.0km付近では、1979年には河道の中央に比高の高い部分は見られない。しかし1992年以降、滞筋は変動しているが中州が維持されているのが分かる。小セグメント2においては、中州の発達と高水敷化が多く見られる。図-9より中州は堆積傾向にあり、中州に土砂

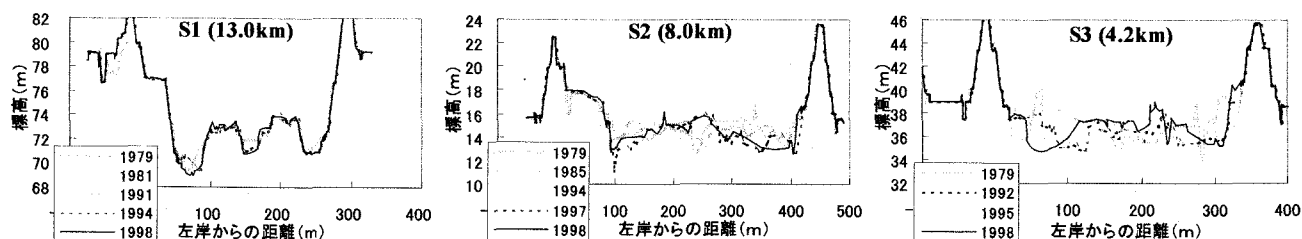


図-9 各セグメントにおける河床高の経年変化

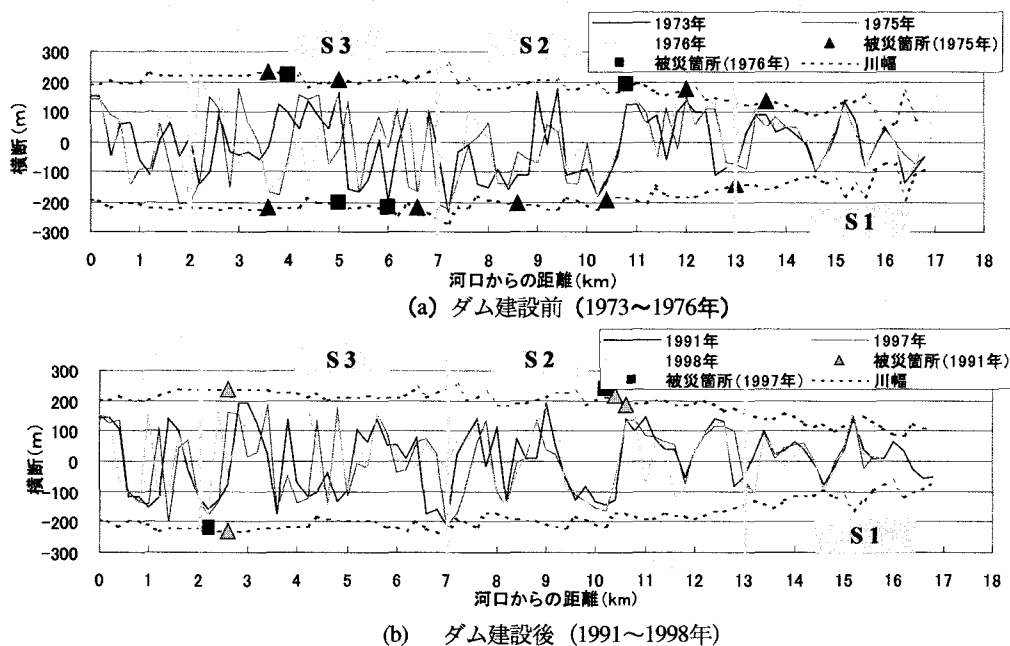


図-10 侵食・洗掘による護岸・堤防の被災発生箇所と滞筋の変遷

が堆積することによって図-5のように高低差がついてきていると言える。航空写真から、1975年から1984年の間は河道が大きく変動しており一度繁茂した植生も破壊されているが、1984年以降中州の形成が確認され、1989年にはこれを覆うほどに植生が拡大しているのがわかる。この植生によって土砂が中州にトラップされ、高低差の拡大を促進しているものと推測できる。

小セグメント2では一様に中州の発達が見られるが高低差の変化に違いが見られる。高低差は、上流側9.0~13.0km区間では1997年までに増加しているのに対し、下流側7.0~9.0km区間ではあまり変化しておらず、1997年から1998年に上昇が見られる程度である。上流側で全体的に高低差が大きく、大きな砂州の変動は見られなくなっている(図-10)。上流側では、岸沿いに流路が形成されており、河道の中央を水が流れることはない。徐々に植生が拡大しており、1994年には高水敷化した部分の全面を覆うほどになり、1998年の2500m³/s以上の出水でもほとんどが破壊されていない。これに対し、下流側は砂州の進行は見られないが、砂州の合体や横断方向への拡大など、経年的に砂州が変化し滞筋も変動している。植生域は中州部分に一旦拡大しているが、1998年の出水で破壊されている。この区間では上流から高低差の拡大が徐々に進んでおり、下流側の7.0~9.0km区間では現在上流側と比べ高低差が小さく滞筋の変動や植生の破壊が見られるが、中州の発達や高水敷化が進行すると上流側と同様に植生が破壊され滞筋も固定化すると考えられる。

c) 小セグメント3 (S3)

小セグメント3では一部高水敷化した部分が見られるが、図-9のように地形が大きく変化しており、現在も流路が河道の全幅で変動している場所が多い。1995年から1997年の間は1500m³/sを越える出水が無かったにも関わ

らず、3.0~4.0km付近で流路の変動が航空写真から確認できる。図-8、10からこの区間では500m³/s程度の出水でも以前と同様に流路が変動していることが確認できる。この区間では未だ高低差が小さく、砂州が動き、流路が変動しやすい状況にある。

(3) 河岸侵食による被災事例

図-10に急流河川対策検討委員会(国土交通省北陸地方整備局)資料より1976~1981年と1991~1998年の侵食・洗掘による護岸・堤防の被災発生箇所を滞筋の変遷とともに示す。被災発生年度には1500m³/s程度の出水が発生しており、この影響による被災とされている。以前は河道のあらゆる箇所でも被災が発生していたが、1993~1998年のデータによると、近年被災発生が2.0~3.0km地点と10.0~11.0km地点の2箇所に限られ、被災が減少している。これは、それまでに行われてきた護岸整備による効果と考えられるが、横断測量データを確認すると、構造物の倒壊などに至らず被災として表面化していない侵食・洗掘が見られる場合もあり、侵食及び洗掘が発生していないわけではない。

まず、ダム建設前の事例として1976~1981年の被災事例を図-10(a)に示している。この時期、手取川扇状地区間では上流側に少し変化が起きているものの明確な小セグメント毎の相違がでていない。そのため滞筋が急に移動することによって起きる被災が3.6km左岸、6.0km左岸、4.0km右岸で見られる。また、滞筋が固定化され始めた10.4km左岸、11.0km右岸、12.0km右岸などでは一部に集中して流れることによる洗掘の被災が報告されている。

次にダム建設以後について、図-10(b)に示す1991年~1998年の被災事例を見る。このとき、上下流に大きく分かれて被災が起きているが、両者の特徴は異なる。写

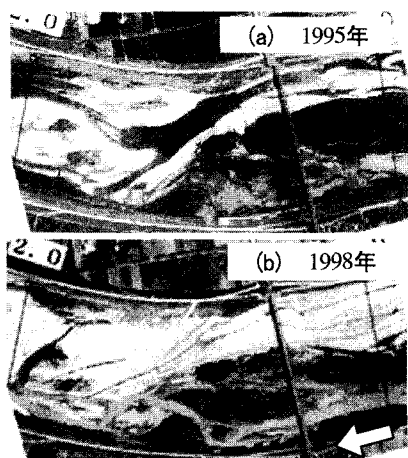


写真-1 航空写真 (2.0-3.0km)

真-1より2.0～3.0km区間は、滞筋が大きく変動しており、これまでに述べてきたように流路が固定化せずに変動しており、実際左右兩岸で被災が発生している。これに対し10.0～11.0km区間では、写真-2より1998年に2500m³/sを超える出水があったにもかかわらず植生の破壊は少なく、砂州、流路の場所が変化していない。しかし、横断地形の変化を見ると経年的に右岸側の河床が洗掘され低下しており、砂州の横断方向の発達に伴い深掘れが進行し、被災につながったといえる。

(4) 小セグメントと侵食発生予測

侵食、洗掘の発生状況は砂州の変動状況に大きく影響を受けており、上述したように手取川では、現在小セグメントごとに砂州の変動状況が大きく異なっている。こうして点から、小セグメントに分類して河道を見ることは有効であり、それぞれの小セグメントにおいて砂州の状況を把握し侵食等の対策を講じる必要がある。

手取川における小セグメントについて河岸侵食の傾向をまとめると以下ようになる。

小セグメント1：滞筋が固定され砂州の動きはなく河床低下が進む。そのため、決まった場所で河床の洗掘による災害が心配される。しかし、兩岸から離れた位置に滞筋が存在すれば堤防などの被災の危険性は小さいと言える。

小セグメント2：高水敷化や中州の発達などによって砂州の進行がある程度止まり、横方向に拡大している。このとき砂州が横方向に張り出すため河道が河岸に寄る傾向にあり、砂州の対岸で注意が必要である。また、上流より流路が固定化しつつあり、次第に小セグメント1における砂州の状況に近づくと考えられる。

小セグメント3：洪水ごとに砂州が変動し、滞筋も決まった場所に固定しない。ダム完成以前の河道と同様に、大出水による急激な河道の変化、砂州の進行による被災が考えられる。高水敷化している箇所もあるが、高低差が小さいため大出水で冠水し、大きく地形が変形するおそれがあり、被災箇所を予想しにくい。

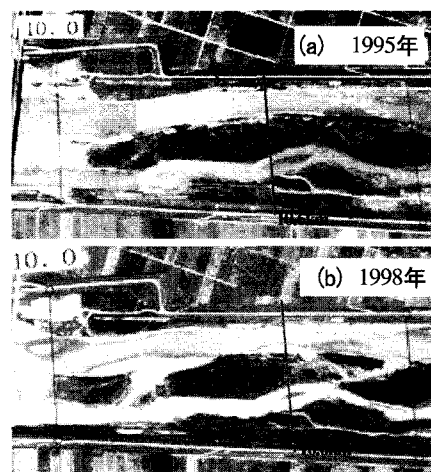


写真-2 航空写真 (10.0-11.0km)

5. 結論

本研究では、手取川におけるダム建設前後の河道変遷を整理することで、砂州の発達状況に伴う河岸侵食の変化を検討した。手取川ではダム建設以後、洪水規模、頻度の減少が見られ、この流況の変化により河道は網状流路から複列・単列砂州に移行していることを確認できた。また、ダム建設以後、高低差の増大、植生域の拡大に伴い河道特性から分けられる小セグメント毎に特徴が別れることが分かった。

小セグメント毎の砂州の変動特性により河岸侵食の発生傾向は変化するため、小セグメントに分類して高低差、植被率、滞筋の変化などから砂州の変動の傾向、現象が向かう方向を知ることが河岸侵食、河床洗掘の予測には重要な役割を果たす。今後こういった小セグメントの分類からどのように侵食の量などの予測をしていくかが重要となる。

謝辞：本研究において、急流河川対策検討委員会(国土交通省北陸地方整備局)資料のほか航空写真、横断測量データなどの貴重なデータをお忙しい中提供して下さった金沢工事事務所の方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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, pp, 2003.
- 2) 辻本哲郎, 長田信寿, 富永晃宏, 関根正人, 清水義彦, 柿崎恒美: 長良川揖斐川における河岸侵食特性に関する研究, 河川技術に関する論文集, Vol5, pp.117-122, 1999.
- 3) 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

(2003. 4. 11受付)