

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420498

研究課題名(和文)攪乱環境の持続的な維持に資する河道管理技術に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Effects of Natural and Artificial Impacts on a Stability of Alternating Bars in Rivers - towards Sustainable River Environment Management by Sediment Control

研究代表者

武藤 裕則 (MUTO, Yasunori)

徳島大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号：40263157

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：河道の環境保全・再生を目的とした攪乱環境の維持に資する技術開発を念頭に、本研究では特に砂州地形に着目し、様々な自然的・人為的要因がその安定性に及ぼす影響評価を河川調査資料の解析および水路実験により試みた。その結果、ダムや護岸整備などの河川改修に伴い河道を流下する流砂量やその構成が変化することが、砂州地形の形状やその安定性に一定程度の影響を与えていることが明らかとなった。一方で、近年の洪水頻度の変化が土砂生産や河道内樹林帯の消長に影響を及ぼし、このことが砂州地形の極度な安定化に大きく寄与していることが示された。

研究成果の概要(英文)：Effects of natural and artificial impacts on a stability of sand bars in rivers were studied utilizing field survey data and laboratory experiments. The results show that artificial impacts such as dam construction and/or bank protection affect to some extent sand bar formation and its stability through changing not only sediment discharge but also its grain size constitution. In addition, flood frequency trend in recent years also changes both sediment yields and riverine vegetation growth/decay. This is deemed to cause extreme stabilization of sand bar, especially its bipolarization. The research outputs can be used as a fundamental information for developing a sediment control technique towards sustainable river environment restoration.

研究分野：水工学

キーワード：河道砂州 流砂 河床変動 河床表層土砂 洪水 河道整正 低水護岸 河道横断構造物

1. 研究開始当初の背景

わが国では、大戦後の荒廃した国土を襲った大型台風や前線性降雨等により頻発した水害を教訓に、昭和 30～40 年代にかけてダム・堰の新設や河道整備など様々な方策により治水安全度の向上が図られてきた。都市域を貫流する中・下流域においては、上流部でのダムによる流況調節に加えて、河道の疎通能の増大と安定化が進められてきた。具体的には、低水路の拡幅・浚渫による深化・直線化、低水路と高水敷との地形的かつ機能的分離、護岸の整備に伴う水際地形の単純化、旧式の取水堰の再編・統合と落差工・帯工の整備などである。これらの河川整備は、しかしながら、同時に河川環境の劇的な変化をもたらした。すなわち、生物の生息場所の大幅な改変や消失、遡上・降下の阻害、位況・流況の安定化に伴う環境の極相化が顕在し、川らしい環境の変質・喪失をもたらすこととなった。近年、そのような現状に対する反省から、河川環境の保全・回復・創出に対する問題意識は著しい高まりを見せ、河川管理技術開発に対するこの方面への貢献の期待も非常に大きい。特に、河道の縦・横断形状の改善、すなわち連続性の確保や水陸移行帯の形成に関して、具体的な技術提案が求められている。

可児(1944)は、自然状態の河川には流路の蛇行スケールに基づく瀬・淵構造が存在し、河川生態系を特徴づける基本スケールとして、水生動物は自らの適性に基づいて生息場所を選好することを指摘した。また、桜井(2003)は、さまざまなスケールを持つ生息場が階層構造をなして存在することを指摘した。以上のことから、1つのスケールを不可逆的もしくはそれに近い状態で改変した場合、そのスケールの生息場を利用する生物への直接的な影響のみならず、他のスケールの構造とそこを利用する生物種へも連鎖的に影響が生じ、生態系全体が変質することが想定される。すなわち、上述した高度経済成長期以降の河川に対する働きかけは、河川における様々なスケールに対する改変圧力となり、それらが複合して今日の生態系の劣化に繋がった可能性が指摘される。

河川の環境を復元しさらには良好な状態で維持するためには、その劣化の要因となった河川整備事業を見直し、河川の構造を可能な限り旧来の状態に復することが求められるが、それは容易なことではない。なぜなら、上述のようにこれら整備事業の影響は複合的な上に、なにより我々自身の生活が既にこれらの事業の進捗・完工を織り込んだ前提条件に深く根ざしているからである。したがって、各整備事業のうち何が本質的に環境の改変に関わっているのかを詳細に見極めた上で、その影響を現実的な選択範囲で慎重に除去ないしは回避することが求められている。以上の問題意識に基づき、研究代表者は、平成 19 年度～20 年度に京都大学防災研究所一

般共同研究、さらに平成 22 年度～24 年度に科学研究費補助金(基盤研究(C))による研究助成を受けて「河道横断構造物の撤去に伴う河床変動プロセスに関する研究」を遂行した。その結果、河川が本来有する動的な流水および地形の変動特性の再生に対して落差工の改変が資する可能性は見いだされたが、上に示した構図に挙げられた他の要因がもたらす瀬・淵構造に与える影響や、それらが複合的に作用することによる現象については未だ検討されていない。

2. 研究の目的

上述の河川整備事業と河川環境改変との関係性を示した構図において、これまでの河川整備事業とそれに付随する河道の応答がいずれも、砂州の自由な変形を拘束する方向へ作用していることに鑑み、本研究では砂州の変形拘束条件の解明とその解消策を中心課題とし、具体的には以下の事項について検討した。

(1) 河川整備事業が砂州構造とその安定性に与える影響の解明: 整備状況の異なる 3 つの河川を対象として、昭和 30 年代以降の河川整備事業や顕著な出水履歴と河床地形の変遷の関係を時系列的に追跡し、各種河川整備事業とその規模が砂州の波長・波高などの構造特性とその変形・移動速度に与える影響を解明することを試みた。

(2) 砂州の変形拘束条件の変化が河道地形の変化に与える影響の解明: 砂州の変形拘束条件として流砂量・低落差横断構造物・樹木群および低水護岸を選定し、それら条件の変化が砂州の構造特性および変形特性に与える影響について、単一および複合要件の下で基礎的な検討を行った。

(3) 河床地形の安定・不安定と生息場の成立・維持条件との関連把握: 代表的な淡水魚類としてアユについて、生息場評価手法で扱われる砂州の構造および変形特性に関する指標を整理し、生息場の成立・維持に関する必要条件としての河床地形の攪乱程度を領域同定した。

以上の検討を通して、治水上許容されかつ環境管理上望ましい瀬・淵構造を外的なエネルギーに頼らず自己完結的かつ持続可能な方法で維持する流況・流砂量管理指針を提示することを目標とした。

3. 研究の方法

(1) 現地河川資料の整理と解析

昭和 30 年代以降の河川整備事業や顕著な出水履歴が河床地形に与えた影響について、既存の水文観測および河道地形測量資料を活用して整理し、各種事業内容とその規模が砂州の変形拘束に与える影響度合いを評価し、変形の拘束条件に関する基本的な枠組みを解明することを試みた。なお、河川整備事業による河道への影響は事業の完工に遅行して進行し、さらには様々な事業が並行・連

続して実施されることから、単一の河川における歴史的変遷をたどるだけでは、各事業の影響を評価することが困難と考えられる。この観点から、本研究では、類似の気候条件・地質条件・河道規模を有しながら整備状況の異なる3つの河川を選び、各種河川整備事業と砂州の変形拘束をできるだけ直接的に関係づけることに努めた。対象河川とその特徴は以下のとおりである。

A. 吉野川・第十堰周辺区間：第十堰は建造から250年余りが経過しており、上流部には砂州が発達している。早明浦ダム(1975年竣工)以降、供給流砂量が減少していると考えられ、砂州上へ樹木群が侵入している。また継続的に護岸工事がなされている。

B. 富田川・中流部(鮎川新橋～郵便橋)：富田川にはダムはなく、当該区間には一部を除き護岸も未整備であることから自然状態に近い河川と見なせるが、2011年に発生した紀伊半島豪雨に伴う山腹崩壊等により河道内に大量の土砂が流入・堆積し、それらの流送過程を踏まえた今後の河道管理のあり方が模索されている。

C. 海部川・中下流部：海部川にはダムはなく、当該区間には一部を除き護岸も未整備である。元来流域における土砂生産が活発であり、近年は河床上昇が顕在化している。本研究では自然状態に近い河川と見なして取り上げる。

資料整理の方法としては、昭和30年代以降の航空写真および河道地形測量資料を用い、河道地形の変遷、とりわけ砂州地形の波長・波高の歴史的変遷を明らかにした。また、護岸等の構造物の新設・改築の経緯を航空写真から読み取ると共に、工事記録等からも確認した。これらの作業過程で河道地形に顕著な変化が見られた時期については、それに先行する関連工事や直前の出水事象を確認し、それらによる影響度合いを流砂量変化や地形変動などの推定値を用いて推測し、前後の地形測量資料から計算される値と照査した。以上の作業を通じて、昭和30年代と比較した現在の砂州の拘束条件の現状評価と、そこに至った原因の考察を行った。

(2) 実験による検討

実験には、徳島大学工学部建設工学科水理実験室に設置された、長さ18m、幅1mの側面ガラス・底面鋼製長方形断面水路、ならびに長さ8m、幅1mの鋼製長方形断面水路を用いた。水路には、移動条件により適切に選択された河床材料を充填し、移動床水路として実験を行った。砂州の拘束に関わる影響因子の中から、環境改善を目標とした調節パラメータとして現実的な選択肢となり得る可能性が高いと思われる、流砂量とその粒度構成・横断構造物および低水護岸を選び、それらの条件を変化させた時の流況および平衡河床形状の変化を計測し、各因子と砂州の波長・波高およびそれらの変形速度との関係を検討した。なお、前者の水路では流砂条件およ

び低水護岸を、後者の水路では横断構造物をそれぞれ検討対象とした。

定常流条件下において流砂量とその粒度構成、横断構造物および低水護岸の設置条件を系統的に変化させ、疑似平衡状態となるまでの水面形・流速分布および河床地形の計測を行った。計測方法としては、まず全体の流況変化を追跡するために、流況可視化とPIV解析による表面流速計測およびポイント・ゲージによる水面形計測を随時行った。また、砂州全体の変動プロセスを捉えるために、初期および平衡状態を含む適当な段階においてレーザ河床計測システムによる河床形状計測を行った。さらに、横断構造物を対象とした実験では、構造物上流側に発生する局所洗掘の形成・発達過程に關与すると考えられる三次元的な流況を捉えるために、設備備品費で要求した3次元電磁流速計による平均流計測を疑似平衡状態の河床地形を対象に行った。

4. 研究成果

(1) 現地河川における砂州地形の変遷とその要因分析

吉野川

吉野川の中・下流域を対象として、昭和初期以降の航空写真および河道測量資料を用い、河道地形、とりわけ砂州地形の変遷を明らかにすると共に、洪水・砂利採取・ダム建設および護岸設置による影響評価を試みた。その結果、吉野川中・下流域においては、一部の区間を除いて研究対象期間を通じて砂州地形は概ね安定しており、その傾向は1980年代以降について特に顕著であった。一方で、それまでの期間の河床低下は著しく、その主たる要因は砂利採取であることが明らかとなったが、それ以降の期間についてはダムによる堆砂が進行しているにもかかわらず、河床高は安定している。これらのことより、砂州の粒度構成が継続的に変化していることが推測されるが、河床材料の調査結果からはこのことを明確に導き出すことはできなかった。さらに、検討対象期間・区間を絞って低水護岸の影響のみが顕在化していると思定される地点を抽出して検討した結果、新たに低水護岸を設置した区間では、その前面で洗掘が発生するため水衝部が移動し、一方発生した土砂が下流側の砂州上へ堆積することにより砂州比高を拡大することが資料からも明確に読み取れた。

富田川

富田川を対象として、昭和初期以降の航空写真および河道測量資料を用い、砂州地形の変遷を明らかにすることを試みた。その結果、富田川では2011年の大出水に伴う河道への大量の土砂流入により河道地形が大きく変化したことがわかった。これにより、河道内に堆積した土砂の今後の変遷に焦点を当てることが、洪水および河道整正(土砂の一部除去)による河道地形へのインパクト評価の

格好の例となることから、現状の把握と今後の予測を企図して新たに、1) 支流域からの土砂流入観測、2) 河床変動計算を研究に組み入れることとした。その結果、前者については降水量と土砂流入量の間に相関関係を見だし、定式化が行えた。また後者については、2015年に発生した洪水を対象として新たに改良した河床変動計算モデルを中流域の一部区間に適用し、ある程度の再現性を得た。

海部川

海部川を対象として、昭和初期以降の航空写真および河道測量資料を用い、砂州地形の変遷を明らかにすることを試みた。その結果、海部川では特徴的な大規模蛇行が連続する線形により、湾曲部に形成される固定砂州が全川の砂州形成に大きく影響していることが示された。加えて、大規模出水の有無と植生の侵入・拡大とがある程度明確に対比づけられ、特に出水のなかった1982~87年の間に樹林化が進行し、その後の出水によっても破壊されず、大規模な砂州の攪乱も生じていないことがわかった。

以上、本研究で検討対象とした3河川ではいずれも、砂州形成と自然的・人為的インパクトの関係を整理した結果、砂利採取やダム建設に代表される人為的インパクトが砂州の形成過程に大規模に影響していることを示す証左は得られなかった。むしろ、いずれの河川においても昭和後期の大規模出水がなかった時期に植生が侵入・拡大している点は共通しており、このことがその後も砂州地形を大きく規定していることが示された。加えて、むしろ砂利採取の停止(吉野川)や豪雨による大規模崩落(富田川)など、前世紀とは異なる土砂収支バランスの前提条件の影響が顕在化し、新たな河床変動トレンドを呈しつつあることが明らかとなった。

(2) 給砂量の変化が砂州地形に与える影響

平衡流砂量を基準として、給砂量を増減させた場合の砂州地形の応答特性について、実験的に検討した。なお、用いた河床材料は、3種の粒径からなる混合砂である。その結果、砂州波長に関しては、従来から指摘されているように平衡流砂量より給砂量が多い場合には短くなり、少ない場合には長くなる傾向が見られた。また、砂州比高に関しても、従来と同様に、平衡流砂量より給砂量が多い場合には小さくなり、少ない場合には大きくなる傾向が見られた。なお、3粒径を混合した結果、小粒径材料が河床に全体的に堆積するのに対し、中・大粒径材料は河床に留まりにくいことがわかった。さらに、給砂における細粒分構成比の増加は見かけ上流砂量の減少と同様の効果をもたらすことを示した。

(3) 供給土砂の粒度構成の変化が砂州地形に与える影響

3種の粒径からなる混合砂を用い、給砂の粒度構成を系統的に変化させた場合の砂州地形に与える影響について実験的に検討した。その結果、河床構成材料より細粒分の構

成比を増加させて給砂した場合、完全に給砂を停止した場合よりも河床低下が著しいことが見いだされた。小粒径材料のみを給砂した場合、河床低下は当初著しいもののある程度の段階で停止し、その後は河床表面が小粒径材料で覆われると共に河床上昇に転じ、その粒径に応じた河床波が形成されることが示された。一方中粒径材料と小粒径材料を混合した場合、河床低下の進行速度は小粒径材料単独の場合と比べて若干緩慢であるものの、今回の実験時間内では停止せず、河床表面は小粒径材料が筋状に堆積する、いわゆるサンドリボンが顕著となった。さらに、大・中・小粒径成分それぞれが砂州地形の発達どの部分に關与するのかを解明することを試みた。その結果、大粒径成分は砂州部分を上昇させると同時に澆筋を低下させ、砂州比高を増大させる方向に寄与することが示唆された。中粒径成分は基本的に大粒径成分と同様の働きをするが、小粒径成分と共存することで澆筋の低下が抑えられることが示された。小粒径成分は澆筋の低下抑制に不可欠ではあるが、単独では全体的な河床低下を引き起こすことが示された。また、アユの産卵床に必要とされる地形および粒度構成条件を整理した上で、それらを実現可能な給砂条件について、先述の各粒径成分ごとの役割と堆積時の空間分布に基づき提案した。

(4) 低水護岸の配置条件が砂州地形に与える影響

低水護岸の設置位置および長さが砂州地形に与える影響について実験的に検討した。構造物を設置しない状態で十分に発達した砂州地形を形成し、その後蛇行流路(澆筋)に沿って所要の形状の低水護岸を配置した。その結果、砂州波長の1/4~1/2の長さの低水護岸を片岸にのみ設置した場合、護岸背後部の堆積がやや顕著となり砂州地形の固定化と変形が見られたが、澆筋に関しては護岸なしの場合と大差なかった。護岸を両岸に配置した場合、澆筋の発達により顕著になったが、今回の検討範囲では護岸の配置・長さと砂州の固定化や水みちの発達の間を定量的に評価するには至らず、護岸長さの延長や両岸配置等さらなる検討が必要なが示唆された。

(5) 横断構造物の部分撤去が上流側河道地形に与える影響

横断構造物の部分撤去条件が構造物上流側の砂州地形に与える影響について実験的に検討した。その結果、構造物の撤去条件と河床低下量や砂州の形状係数との関係を定式化した。さらに、構造物近傍に形成される局所洗掘の上流への発達程度がその上流側の砂州の形状特性に大きく影響を及ぼすことを指摘し、構造物への接近流の3次元構造と洗掘地形との関係性について詳細な流速分布計測結果からある程度明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

住田英之・武藤裕則・田村隆雄：堰の部分撤去に伴い上流側へ発達する流路の形状について，水工学論文集，査読有，第59巻，pp.1_925-930，2015.

DOI: 10.2208/jscejhe.71.1_925

野村一至・武藤裕則・田村隆雄：吉野川中流域における砂州地形の長期的変化に及ぼす要因分析，水工学論文集，査読有，第59巻，pp.1_1141-1146，2015.

DOI: 10.2208/jscejhe.71.1_1141

[学会発表](計7件)

Sasao, A., Muto, Y. and Tamura, T.: Riverbed Morphology Change by Dam Sediment Removal and its Supply to Downstream, Proc 3rd International Forum on Advanced Technologies, Taroko, Hualien, Taiwan, 2017.3.10. (Invited papers)

Koi, N., Muto, Y. and Tamura, T.: An Observational Research on Hydrological Data and Sediment Transport in the Nishidani River Basin, Proc. IAHR-APD2016, Colombo, Sri Lanka, 2016.8.30.

Mizutani, H. and Muto, Y.: Numerical Simulation of Riverbed Variation in Tonda River Using Simplified Lagrangian Bedload Model, Proc. IAHR-APD2016, Colombo, Sri Lanka, 2016.8.29.

Sasao, A., Muto, Y., Tamura, T. and Nomura, T.: Impacts of Sediment Discharge and its Particle Size Composition on Channel Transition and Sandbar Formation, Proc. IAHR-APD2016, Colombo, Sri Lanka, 2016.8.29.

Sumida, H., Muto, Y. and Tamura, T.: Flow Structure and Bed Evolution after Weir Removal, Proc. IAHR2015, The Hague, the Netherland, 2015.6.29.

Sumida, H., Muto, Y. and Tamura, T.: Impact on Bed Morphology due to Partially Removed Weir, Proc. IAHR-APD 2014, Hanoi, Vietnam, 2014.9.23.

Nomura, K., Muto, Y. and Tamura, T.: Channel Transition Processes by Natural and Artificial Impacts in the Middle Yoshino River, Proc. IAHR-APD 2014, Hanoi, Vietnam, 2014.9.23.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/215034/profile-ja.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武藤 裕則 (MUTO, Yasunori)

徳島大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号：40263157

(2) 研究分担者

水谷 英朗 (MIZUTANI, Hideaki)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：00636756