

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 4日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560511

研究課題名（和文） 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

研究課題名（英文） Bed Evolution Processes after Falling Works Removal

研究代表者

武藤 裕則（MUTO YASUNORI）

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：40263157

研究成果の概要（和文）：河道横断構造物の撤去に伴う河床変動に関して実験的に検討すると共に、2次元非構造格子河床変動計算モデルによる現象の再現を試み、その適用性を検討した。その結果、砂州・水みちや局所洗掘の発達に与える構造物の設置条件・撤去形状・河床材料特性の影響について明らかにすると共に、実河川への適用にあたっては、構造物撤去後にその周辺に生じる複雑な三次元流況とそれに伴う流砂とその分級過程をより詳細に検討することが特に重要であることを指摘した。

研究成果の概要（英文）：Bed evolution processes in both the upstream and downstream of a falling works after its partial removal were investigated experimentally. Numerical simulation model for bed evolution with a 2-D unstructured mesh was also developed and applied to the datasets obtained in the experiments and the field. Equilibrium bed configurations and their developing processes are influenced by several parameters such as initial setup of the structure, its removal shape and bed material distributions. The results indicate that complex 3-D flow behavior and resultant sediment motions including their sorting induced after the removal are the crucial issues for application to real rivers.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：河川工学，河道横断構造物，河床変動，砂州，生息場基盤，水理実験

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、特に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、それまで多く見られた斜め取水堰の再編と落差工・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、具体的な提案が求められている。

河道の縦断連続性を確保するにあたって、大きな問題となるのが、ダム・堰・落差工などの河道横断構造物である。これらの構造物は、それ自体が水生生物の遡上に対する最大の阻害要因となることに加え、その設置地点において上・下流の河川構造および景観を一変させ生態系に著しく影響を与えることから、連続性の改善を目指す基本的な方向性としては撤去されることが望ましい。しかしながら、これらの構造物は同時に、流域にとって欠かせぬ治水および利水の機能を有しており、撤去によって生じる社会的影響は多大である。河道管理的には、横断構造物により安定していた河道地形が不安定化し、河床変動の激化や土砂の流亡等により、場合によっては我々の生息基盤が危険にさらされる事態も想定される。このように、今後の河道横断構造物のあり方を巡っては、連続性の確保と河道安定との間にコンフリクトが生じている。

このような現状に鑑み、研究代表者は研究分担者と共同して、平成19年度～20年度の2年間に渡り、京都大学防災研究所一般共同研究による研究助成を受けて「河道における安定勾配と連続性のコンフリクトに関する研究」を遂行した。そこでは、対象構造物を落差工とし、撤去（部分撤去を含む）に伴う上流側河床の応答特性について、撤去前の流水景観条件と落差工の撤去規模を変数として、平均年最大洪水に相当する定常流量の条件の下で実験的に検討した。その結果、

(1) 撤去後落差工の天端を上流側河床より高い位置に残す場合、湛水域は完全には解消されず、河床フロントの前進に伴い砂州領域は拡大するものの、河床が動的に活性化される範囲は限定的である。また、縦断方向の河床勾配は、河床フロント周辺部の局所的な変化を除いてはほとんど変化しない

(2) 撤去後落差工の天端を上流側河床と同位置もしくは低くする場合、湛水域は解消され、上流側全領域において砂州が発達する。撤去によって縦断方向の河床勾配は大きく変化し、また撤去規模によって形成される砂州の形状が異なるなど、河道地形の不安定化を誘導する

などの結論が得られている。

しかしながら、これまでの検討では以下に示す点が考慮されておらず、さらなる研究の進展にはこれらを加味することが不可欠で

ある。

(1) 流量の非定常変化に対する河床の応答特性：実河川における地形は、非定常性に変化する流況の結果形成されたものであり、特に横断構造物のように流れの構造を強く規定する条件がある場合、構造物の代表スケールと流況に応じて変化する水理パラメータとの関係が重要である。加えて、生態学の立場からは、低流量時の地形変動が特に生息場の維持に関して重要である。

(2) 河床材料の分級過程：実際の河川では、落差工に近い箇所等、流速の小さい場所には細かい砂が堆積するなど、河床材料の構成が場所的に非一様であり、このことが生息場の形成に関して重要なパラメータとなっている。これを加味するためには混合砂による検討が必要である。

(3) 環境上必要な河床の動的活性度／不安定性の定量化：横断構造物周辺の環境改善には、連続性の確保に加えて、河川が本来有する動的な流水および地形の変動特性が再生されなければならないが、このことは治水上必要な安定性とコンフリクトの関係にある。したがって、構造物の撤去に伴う動的変動を前提とするならば、許容される不安定性の基準を示す必要がある。

2. 研究の目的

河道横断構造物の撤去に伴う河床変動に関連して、以下の事項に焦点を絞り検討する。

(1) 構造物上流側河道の地形変化特性の把握、特に上流側砂州の発達プロセスの解明と、撤去規模に対する河床地形の不安定性の関係整理

(2) 構造物周辺の三次元的な流況と、それに伴う局所洗掘、および砂州形状とその非定常変化を予測可能な高精度数値モデルの開発

(3) 河床地形の安定・不安定と環境特性との関連把握、特に環境保全上必要な河床地形の不安定度の領域把握と、必要な不安定度を実現する横断構造物の改善指針の提示

(4) 構造物より流出する流砂量と条件とした下流側砂州の変形特性の把握

3. 研究の方法

本研究では、他の研究経費により実施した紀の川を対象とした現地観測的検討において得られた知見をベースとして、河道横断構造物の撤去に伴う河床変動について、実験的検討・数値解析的検討を並行して行った。実験的検討においては、水路内に設置された構造物模型の撤去を様々な条件で行い、水面形状・流速分布・河床形状計測を実施することで、変化予測のための基本情報を得た。数値解析的検討においては、河道横断構造物周辺の流れと河床変動を再現可能な3次元流況および2次元河床変動モデルの開発を行い、

実験結果に基づきモデルの検証と課題の整理を実施した。

(1) 実験的方法

先行検討の結果、構造物の部分撤去後に生じるその周辺の3次元流況および局所洗掘とそれらの変動プロセスが、上流側河道の数リーチ～セグメント・スケールに及ぶ中規模河床形態の形状特性に影響を与えることがわかっている。そこでまず、研究目的(1)および(3)に関連し、構造物撤去後の流況の変化プロセスおよび河床の変動プロセスをできるだけ詳細に追跡することを目的に実験を行った。すなわち、直線水路中間点に構造物モデルを設置し、上流側に移動条件により適切に選択・混合された河床材料を充填し、混合砂移動床水路として実験を行った。次に研究目的(4)に関連し、構造物の撤去に伴う下流側河床への影響について検討した。ここでは、流積アスペクト比を実河川により近い条件に設定すると共に、構造物上・下流を共に移動床とし、定常状態で通水し平衡河床を形成した後、構造物撤去に伴う流砂量の急激な上昇を模擬した実験を実施し、下流側河床および流況の変化を計測した。

実験条件として、①定常流条件下における構造物撤去後の流況の変化プロセスおよび河床の変動プロセスの追跡、②流量の非定常性に着目した平衡河床形成プロセスに関する検討、を行った。前者については、構造物の撤去形状により形成される砂州の形状が異なることに注目し、撤去後の流況および河床変動を詳細に計測することで、砂州の形成に関連する要因分析を水理構造的側面から行った。また、後者については、複数の異なる流量条件を連続して与え、(1)洪水に先行する低流量により形成される地形が洪水時の流況と地形変動に及ぼす初期依存性に関する検討、(2)時間スケールを考慮した洪水流量による先行形成地形の破壊プロセスに関する検討、および(3)洪水後の低流量による水みちの下刻を伴う砂州地形の変形に関する検討、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超音波水位計による水面形状計測を随時行った。同時に、構造物直上流に形成される局所洗掘周辺の変化プロセスを捉えるために、設備備品費で要求した超音波流速計による流速および超音波河床計による河床変動の連続計測を行った。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変位計による河床形状計測を行った。

(2) 数値解析の方法

研究目的(3)に関連して、先行研究および現地観測により得られた結果に対して、2次元

非構造格子河床変動計算モデルを適用し、モデル精度の検証を行うと共に、必要なモデルの調整を行った。加えて、混合粒径砂を取り扱うことが可能なモデルへの拡張を試みた。

4. 研究成果

(1) 構造物撤去後の河床変動プロセスについて

構造物の部分撤去に伴う上流側河床の変化特性、およびその変動プロセスについて検討した結果、横断構造物の撤去規模がある範囲においてのみ、本来交互砂州が発達する水理条件にありながら、複列砂州となることがわかった。また、河床変動プロセスとしては、撤去直後に堰直上流に局所洗掘が生じると共に上流からは交互砂州が発達・移動し、砂州の先端が局所洗掘領域に到達した段階で砂州が分裂し、複列状態となることがわかった。しかしながら、複列砂州状態となる堰撤去条件の特性が不明なこと、砂州の分裂の鍵となる局所洗掘と堰撤去規模との関係、特に堰周辺の三次元流況が未解明であることなどが課題として挙げられた。

(2) 河床形状に及ぼす粒径分布特性の影響について

密度および平均粒径は同一であるが粒度分布の異なる3種の河床材料を用い、構造物の部分撤去に伴う上流側河床の変化特性、特に構造物直上流に形成される局所洗掘と平衡状態の砂州形状について、一様砂を使用した場合との差異に着目して検討した結果、河床材料を混合砂とした場合においても、撤去後の横断構造物直上流に形成される局所洗掘の形状はいずれのケースも、一様砂の場合とほぼ同様であることが示された。このことは、構造物直上流においては流れの3次元性に起因する水深～洗掘深規模の渦が支配的な要因であり、洗掘孔の形状や規模は粒度に依らないことを示している。にもかかわらず、上流部では縦横断方向に分級が生じるとともに、粒径に応じて砂州フロントの形成位置や発達までのプロセスが異なるため、平衡状態の砂州は一様砂の場合とかなり異なったものとなることが示された。特に、混合砂の場合には、粒度の小さい粒子によるフロント形成と進行が先行し、次いでより大きな粒子によるフロント形成と進行が起り、先行するフロントに追いつき巻き込みながら発達するという過程を繰り返す。この結果、平衡状態で形成されるフロントは、一様砂の場合に比べて構造物に近接した位置にあり、その比高は一様砂の場合ほど大きくない。このことはまた、幅広い粒度分布を有する実河川においては、十分に発達したフロント地形が形成されにくいこととの関連を伺わせている。すなわち、河道の不安定性を評価するにあたっては、従来の平均粒径粒子の移動・停止に

関する限界状態のみで議論を行うことが必ずしも十分ではないことが示唆された。

(3) 流積アスペクト比が河床形状に与える影響について

流積アスペクト比を実河川により近くなるよう大きく取った場合、構造物の撤去前に上流側に形成される砂州は単列と複列の混合形態となった。この状態から構造物を一部撤去した場合、その影響はこれまでと異なり水路全幅には及ばず、撤去幅に応じた河床低下が水路状に上流へ発達し、そこに新たな複列砂州が形成されるなどより複雑かつ不安定な地形となった。また、構造物を流下方向に対し斜め45°に設置した場合には、部分撤去の横断方向位置によって上流側河床の応答がかなり異なり、基本モードと考えられる砂州が形成されない場合も観察された。以上のことから、より実河川に近い条件での部分撤去に伴う河床の応答特性を示すと共に、撤去前後の砂州スケールの変化が生じたことで同一の流量変動特性に対しても河床地形の不安定性が変化する可能性のあることが示唆された。

(4) 構造物撤去に伴う下流河床への影響について

構造物撤去後の下流側河床の応答については、撤去部に集中する流れによって構造物の軸方向に対し直角方向に新たな局所洗掘が発生するが、その範囲は最大でも撤去幅（横断方向）×水路幅（流下方向）程度に収まり、それ以外の部分では撤去前の河床位からあまり変化しないことが確認された。以上のことから、下流側河床から見た構造物撤去の可能性とその問題点を示すと共に、河岸との位置関係によって撤去位置を検討することの重要性を示すことができた。

(5) 二次元河床変動シミュレーションによる構造物撤去後の河床変動の再現について

上述の実験結果を対象とした二次元河床変動シミュレーションを行い、モデルの精緻化を試みた結果、堰の撤去規模が小さい、もしくは単純に全域が河床低下となるような条件については良好な再現結果が得られたが、堰直上流に大きな局所洗掘が生じ、三次元的な流況が発生するケースについては必ずしも良好に再現できなかった。一方、改良されたモデルを用いた実河川（紀の川）を対象としたシミュレーションの結果では、平常時の流況および河床変動、ならびに洪水時の流況については概ね良好な結果が得られたが、洪水時の河床変動については、代表粒径の取り方によって結果が大きく異なり、幅広い粒度分布を有する河床のモデル化が課題であることが示された。

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3件）

- ① Zhang, H., Muto, Y., Nakagawa, H. and Nakanishi, S., Weir removal and its influence on hydro-morphological features of upstream channel, *Journal of JSCE, Ser.A2 (Applied Mechanics)*, 査読有, Vol.68, No.2, 2012, pp.591-599, DOI: 10.2208/jscejam.68.I_591
- ② Zhang, H., Muto, Y., Nakagawa, H. and Nakanishi, S., Upstream channel responses due to partial removal of a weir, *Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, 査読無, No.55B, 2012, pp.437-451
- ③ Zhang, H., Muto, Y., Nakagawa, H., Impact of weir removal on channel dynamics in non-uniform sediment beds, *Journal of JSCE, Ser.A2 (Applied Mechanics)*, 査読有, Vol.67, 2011, pp.625-634

〔学会発表〕（計7件）

- ① Muto, Y., An experimental study on bed evolution around partially removed falling works, *IAHR World Congress 2013, 2013.9.8~13*, 成都センチュリーホテル（中国成都）
- ② Zhang, H., Effects of low head dam removal on channel morphology and process, *IAHR World Congress 2013, 2013.9.8~13*, 成都センチュリーホテル（中国成都）
- ③ 住田英之, 固定堰の部分撤去に伴う流路変動について, 2013.5.11, 土木学会四国支部技術研究発表会（松山市）
- ④ Zhang, H., Upstream bed evolution after partial removal of a low head dam, *Japan-China Symposium on Advances in Water and Sediment Research, 2012.7.30~8.1*, 京都テルサ（京都府）
- ⑤ Zhang, H., Upstream channel responses due to partial removal of a weir, 2012.2.22, 京都大学防災研究所研究発表講演会（宇治市）
- ⑥ 武藤裕則, 取水堰上流部における堆積河床地形の詳細計測, 2011.5.14, 土木学会四国支部技術研究発表会（高松市）
- ⑦ Muto, Y., Bed evolution process after dam removal in the upstream reach, *International Symposium on River Sedimentation, 2010.9.9*, ステレンボシユ大学（南アフリカステレンボシユ）

〔その他〕

ホームページ等

<http://hydrology-lab.sakura.ne.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武藤 裕則 (MUTO YASUNORI)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・教授
研究者番号：40263157

(2) 研究分担者

張 浩 (ZHANG HAO)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：90452325

(3) 連携研究者

()

研究者番号：