

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420502

研究課題名(和文) 荒瀬ダム撤去が流れ、土砂動態および河川環境に与える影響に関する研究

研究課題名(英文) STUDY ON EFFECTS OF ARASE DAM REMOVAL ON RIVER BED, FLOW STRUCTURE AND RIVER ENVIRONMENT

研究代表者

大本 照憲 (OHMOTO, TERUNORI)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授

研究者番号：30150494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：河川横断構造物であるダムが河川下流域の物理環境、具体的には河道形状、河床材料、流砂、流況に与える影響について不明な点が多く、また、礫床上への微細土砂の堆積実態については十分に研究されていない。

本研究では、熊本県南部を流れる球磨川において河口より約20km上流の荒瀬ダム直下流において発生した砂州の特性と砂州によって生じた本流路および副流路を流れる平水時の流れの特性について検討した。更に室内実験では静的平衡河床を対象に、開口部を有する堰において相対越流水深が堰下流の河床変動に与える影響および堰下流域に発達した砂州の基本特性および河床上の流れの三次元構造について検討した。

研究成果の概要(英文)：Focusing on the river channel downstream of the Arase Dam, whose removal began in September, 2012, this study looks at the sandbar behavior over the years before the dam removal began and tries to elucidate the structure of fine sediment deposits. In addition, scouring or depositing downstream of submerged dams or weirs with an opening is a sediment phenomena resulting from the interaction of the three-dimensional turbulent flow field around the structure and the moveable sand bed. This research presents the experimental study on the downstream channel bed due to weir with an opening, paying attention to the effects of relative overflow depth on local scouring around the structure, sand bars and three-dimensional flow patterns. The experimental results show that local scouring and sand bar development downstream of the submerged weirs decrease with relative overflow depth and turn out strongly paired cellular secondary currents.

研究分野：工学

キーワード：ダム撤去 河床変動 土砂水理学 流れの三次元構造 砂州 超音波流速計 河川環境 二次流

1. 研究開始当初の背景

ダムや堰などの河川横断構造物は川が本来有する連続性を遮断、物理・生物環境の多様性を消失、さらに自然攪乱を抑制する傾向を持つことが指摘されている。米国では堰を含めたダムの老朽化や河川環境の劣化を改善するために既に500以上の堰やダムが撤去されている¹⁾。2011年には、西部ワシントン州エルワ川のダム撤去が行われ、固有種が川に戻ってくるなど、健全な自然生態系を取り戻しつつあることが報告されている²⁾。礫床河川においては適度な土砂供給は礫と礫のすき間に土砂が入りこみ河床を安定させる。特に、河床勾配が急で、淵と瀬が連続して流れるような場所での淵への適度な土砂の流入は淵底の基盤表面を更新し、新たな附着藻類の着生を促すことが報告されている^{3,4)}。

日本では熊本県南部を流れる一級河川・球磨川において河口より約20km上流の八代市坂本町地先にある発電用の荒瀬ダムは、2012年度より段階的な部分撤去法が適用された。そのため熊本県企業局⁵⁾ではダム撤去が河床変動、河川環境に与える影響を検討している。なお、荒瀬ダムにおいては2010年3月31日よりゲートが開放され、河床からダムクレスト部までの高さが約11.3mであることから、実質的には堰撤去の領域に入る。Dawei Guanらは、堰下流における河床の洗掘形状、流れのパターンおよび乱流特性について議論し、堰が横断方向に様な形状であっても堰下流には二次流が発生し、流れの三次元構造が顕著に表れることを指摘した。類似の局所流現象として橋脚や橋台、水制の局所洗掘がある。Melvilleは、橋脚や橋台に関する既往研究を取り纏め、極大洗掘深の経験式を提示している。

大本・平川は、水制の向きが二次流、主流速および河床変動に与える影響を明らかにした。石垣・馬場は、台座付平板周りの流れと局所洗掘との関係について検討し、台座付平板周りの局所洗掘は台座前面に発達する馬蹄型渦ではなく、台座先端から発生する強い二次流であるらせん流によって支配されていることを明らかにしている。既往研究において堰の部分撤去が河床変動に与える影響について検討された事例は少ない。

Zhangらは、粒径や比重の異なる各種の路床材料を敷きならした水路に開口部を有する種々の堰を設置し、越流状態における堰上流域における河床の洗掘特性や堰周辺の局所流を検討した。また、住田らは、アスペクト比の比較的大きい実験水路を用い、堰開口部の形状や大きさが堰上流の河床変動に与える影響、洗掘に伴う流路の形成を検討している。しかし、開口部を有する堰が堰下流域の河床変動に与える影響については研究例が少なく、部分撤去された堰下流域の河床の洗掘・堆積特性や流れについての研究事例は

皆無に等しい。

2. 研究の目的

本研究では、荒瀬ダム直下流において発生した砂州の特性と砂州によって生じた本流路および副流路を流れる平水時の流れの特性について検討する。

さらに室内実験では動的河床の前に静的平衡河床を対象に、開口部を有する堰において相対越流水深が堰下流の河床変動に与える影響および堰下流域に発達した砂州の基本特性および河床上の流れの三次元構造について検討する。

3. 研究の方法

3.1 現地観測装置および方法

図-3は2016年8月に撮影された荒瀬ダム直下流の観測対象地を示す。ダムから下流300m~700mの区間に左岸側に沿って主流路、右岸側には副流路が形成、河道右岸側から中央部に伸びる砂州の発達認められる。

図-4は、ダム下流100m~900m区間における、ダム右岸近傍開口直後の2015年2月における河床高³⁾から出水直後2015年8月の河床高³⁾との差分より得られた河床高変化を示す。部分撤去でダムに開口部が生じたことにより、2015年においては、ダムから下流700mの区間で約13万m³の土砂堆積が生じ、ダム下流300m~700m区間の河道右岸側から中央部にかけて顕著な砂州を形成した。出水後の土砂浚渫工事により砂州は消失したが、2016年出水によりほぼ同位置に類似の形状の砂州が認められた。

主流路における流速の計測は、2016年11月15日平水時に、主流路では図-1中のL2~L6を計測線上でRiver Boat-ADCPを用いた。計測はRiver Boat-ADCPを計測線の右岸と左岸の両方からロープで引っ張り、計測線に対して平行に移動させ曳航計測した。副流路では表面流速の計測を2016年12月19日平水時に、図-1中のL1~L7の各測線間を計測区間として計測された。表面流の計測は副流路上流に2cmの緩衝材を粒子として投入し、UAVを用いて上空44mより静止した状態で動画を撮影し、PTV(Particle Tracking Velocimetry)法を用いて表面流速を解析した。

2016年11月13日平水時に、縦断方向約330mの砂州地上部の計26カ所において表層河床材をデジカメで撮影した。面格子法に基づき、河床材料の短径長さを測定し、粒径値から各地点ごとに粒度曲線を作成した。各地点ごとの粒度曲線よりD90を読み取り砂州上における河床粒径分布を作成した。

3.2 室内実験における装置および方法

実験は全長10m、幅B=40cm、高さ20cmのアクリル樹脂からなる循環式可変勾配水路を用いて行った。水路上流端から下流5mの水路中央部に幅10cmの開口部を有する堰を設置し、堰上流4.5m区間および下流側

4.5m 区間には相対越流水深に応じて移動床厚を一樣な大きさ(3cm から 10.5cm の範囲)で平均粒径 1.7mm,均等係数 1.50 の珪砂を敷き均した。開口部の底面は珪砂で構成され洗掘を許容している。なお、堰上流側の河床高は、下流側の河床高に較べて 1cm 高く設定した。堰の向きは側岸の法線を基準にして側岸に直角(=0°),上向き(=10°)および下向き(=-10°)の 3 種である。

本研究では、静的平衡河床を対象としているために堰の影響が及ばない上流域および下流域で平均粒径の河床材料が掃流されない限界掃流力以下の流量に設定した。なお、相対越流水深は、越流水深を堰高で除した値である。

実験は、相対越流水深に応じた河床高に砂を敷き均し、一定の流量 および水路勾配 の基で下流端の堰操作を行い、何れのケースにおいても 24 時間以上通水の後に、河床が平衡状態に達したことを確認の上、河床高を計測した。なお、堰の局所洗掘の影響が及ばない地点で断面平均流速が約 10cm/s および 20cm/s において相対越流水深を系統的に変化させた。表中の U は堰より上流 3m 位置における断面平均流速、H は越流水深、DW は堰高である。KI は断面平均流速 U に対する河床材料の移動限界流速 U_{cr} で Melville⁷⁾ によって提示された K ファクターの中の流れの強さに相当する。

水位および河床高の計測には、それぞれ、ポイントゲージおよび超音波水位計を用いた。流動機構の検討は、水面形、流速の点計測および多点同時計測を行った。表面流の計測には流速の多点同時計測が可能なビデオカメラを用いた PIV(Particle Image Velocimetry)法を、流速の点計測には I 型および L 型の電磁流速計を用いた。PIV 法による流速の計測においては水路真上から表面流の撮影を行い、流速の計測時間は 20 秒、トレーサーとして粒径 100 μm 、比重 1.02 のナイロン粒子を使用した。可視化画像はフレームレート 59.94fp(frame per second)、1920 \times 1080 (pixel) のモノクロビデオ画像としてパーソナルコンピュータのハードディスクに記録し、PIV 法によって処理された。また、電磁流速計の出力信号は 100Hz で、AD 変換した後 1 測点 4,096 個のデータに関して統計処理が施された

4. 研究成果

本研究では、2012 年 9 月より撤去が開始されている荒瀬ダム下流域における、砂州動態の経年変化の解析、微細土砂の堆積および流れとの関係を検討した。その結果、以下の様な結論が得られた。

1) 荒瀬ダム直下流における砂州面積は、ダム年間最大放流量との相関は弱く、ダム湖に堆積した土砂の除去量からの影響が強いことが明らかとなった。

2) 直線河道の水際部における礫上の微細土

砂の堆積は、河川敷端部から急激に水深が深くなる境界部において極大値 20mg/cm² を示し、河道中央部に向かって急減していることが認められた。

3) 直線河道の水際部における礫上の微細土砂はシルトが大半を占めており、その中央粒径 d_{50} についても横断方向に変化が見られ、河川敷端部から急激に水深が深くなる境界部において極小値 357 μm を示し、河道中央部に向かって若干増大することが認められた。

4) 直線河道の水際部における流れは、顕著な流れの三次元構造を有していた。すなわち河川敷端部から急激に水深が深くなる境界部において主流速は極小値を示し、鉛直方向流速成分から上昇流が発生することが見出された。これらのことから、この領域における二次流セル群によって微細土砂の堆積が規定されていることを明らかにした。

現在の荒瀬ダム直下流では、みお筋が形成された右岸近傍に開口部を設けることで荒瀬ダムの直上流および直下流部においては急激な河床変動が生じると共に、下流には大規模な砂州が形成され河床形状、河床材料、流れの変化等の物理環境の多様性から生物環境の改善が認められた。

静的平衡河床を対象に開口部を有する堰が下流の河床変動に与える影響および堰下流域に発達した砂州上の流れの三次元性について検討した。得られた主要な結果は以下の通りである。

1) 開口部を有する堰周辺の洗掘は、開口部周辺に集中し、洗掘の面的広がりおよび深さは相対越流水深の増加に従って小さくなる。

2) 最大洗掘深および最大堆積厚は、静的平衡河床においては相対越流水深の増大に伴って指数関数的に減少する。

3) 堰直上流における洗掘の横断形状は、W 形状で類似し、堰先端で極大洗掘深を示し、開口部中央で盛り上がり、相対越流水深の増大に伴い洗掘傾向は弱まっている。

4) 堰下流において最大堆積厚が発生した位置の横断形状は、相対越流水深 0.22-0.83 の範囲では、 $y=0\text{cm}$ 、 $y=\pm 12\text{cm}$ の 3 力所の近傍で峰部が見られ、 $y=\pm 6\text{cm}$ 近傍では谷部に当たることが分かる。

5) 堰上流域では堰開口部近傍において強い下降流が現れ、堰下流域では砂州との位置関係が強く、砂州上では上昇流、砂州間の谷部において収束する下降流が認められた。

6) 堰前面で発生した横断方向に軸を持つ馬蹄形渦は堰開口部を流下するに従って流下方向に軸を持つ縦渦に向きを変え、その外側には逆回転の縦渦が形成された。

さらに静的平衡河床を対象に上向き堰において開口部を有する堰が下流の河床変動に与える影響および堰下流域に発達した砂州上の流れの三次元性について検討した。得られた主要な結果は以下の通りである。

1) 上向き堰および下向き堰における洗掘は、

堰開口部周辺に集中し、洗掘の面的広がりおよび深さは相対越流水深の増加に従って小さくなる。また、上向き堰と下向き堰との比較では洗掘の面的広がりには上向き堰の方が大きい。

2) 最大洗掘深および最大堆積厚は、静的平衡河床においては上向き堰、下向き堰および直角堰の三者において相対越流水深の増大に伴って指数関数的に減少する。三者の比較では最大堆積厚は類似しているが、上向き堰において若干、堆積厚が大きくなる傾向がある。最大洗掘深は、上向き堰、下向き堰および直角堰の順で小さくなる。

3) 上向き堰の下流域では砂州との位置関係が強く、砂州上では上昇流、砂州間の谷部において収束する下降流が認められた。

4) 上向き堰前面で発生した横断方向に軸を持つ馬蹄形渦は堰開口部を流下するに従って流下方向に軸を持つ縦渦に向きを変え、その外側には逆回転の縦渦が形成された。

5) 連続式を用いた表面流の解析による上昇・下降流の発生領域について同定することが可能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 10 件)

1) 大本照憲・宇根拓孝: 開口部を有する上向越流堰が河床変動および流れの構造に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.73, No.4, I_703-I_708, 2017.2 .査読有

2) 田中貴幸・大本照憲・内藤良介: 越流状態における透過性および不透過性の側岸凹部を有する開水路流の抵抗特性と流動機構, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.73, No.4, I_745-I_750, 2017.2 .査読有

3) Terunori OHMOTO and Hiroataka UNE: EFFECTS OF WEIR WITH AN OPENING ON RIVER BED AND FLOW STRUCTURE, 12th International Conference on Hydroscience & Engineering, Hydro-Science & Engineering for Environmental Resilience, File No.3-0003, November 6-10, 2016, Tainan, Taiwan .査読有

4) 大本照憲・吉田樹宏・宇根拓孝: 越流堰の部分撤去が河床変動および流れの構造に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.72, No.4, I_661-I_666, 2016.2 .査読有

5) Takayuki Tanaka & Terunori Ohmoto: Turbulent structure in open channel with permeable and impermeable side cavities, Journal of Applied Water Engineering and Research, Vol.3, Issue2, DOI: 10.1080/23249676. 2015.1090354, Oct 2015 .査読有

6) Terunori Ohmoto, Ryuichi Hirakawa:

INVESTIGATION ON STREAMBED SEDIMENT AND FLOW STRUCTURE IN THE ARASE DAM, Paper No.81777, E-proceedings of the 36th IAHR World Congress 28 June - 3 July, 2015, The Hague, the Netherlands .査読有

7) Takayuki Tanaka, Terunori Ohmoto: FLOW RESISTANCE AND TURBULENT STRUCTURE IN AN OPEN CHANNEL WITH LONGITUDINALLY CONTINUOUS SIDE CAVITIES, Paper No.81217, E-proceedings of the 36th IAHR World Congress 28 June - 3 July, 2015, The Hague, the Netherlands .査読有

8) 田中貴幸・大本照憲・古川和樹: 側岸凹部を有する種々の植生配置条件における開水路流れの抵抗特性と乱流構造 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.71, No.4, I_1045-I_1050, 2015.2 .査読有

9) Takayuki Tanaka, Terunori Ohmoto: FLOW RESISTANCE AND TURBULENT STRUCTURE IN OPEN CHANNEL WITH PERMEABLE AND IMPERMEABLE SIDE-CAVITIES, Paper No. 37, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, June 23rd-27th, 10th International Symposium on Ecohydraulics 2014. 6 .査読有

10) Terunori Ohmoto, Ryuichi Hirakawa: INTERACTION BETWEEN STREAMBED SEDIMENT AND FLOW CONFIGURATION ON DOWNSTREAM OF ARASE DAM, Paper No.210, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, June 23rd-27th, 10th International Symposium on Ecohydraulics 2014. 6 .査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大本照憲 (OHMOTO TERUNORI)

熊本大学・大学院先端科学研究部・教授
研究者番号: 30150494