

取水用砂堰の繰返し崩壊による大規模砂州の 形成・河幅縮小軽減策の研究

MITIGATIONS OF RIVER WIDTH REDUCTION AND LARGE SCALE SANDBAR FORMATION BY REPEATEDLY FLUSHING OF SAND INTAKE WEIRS

後藤岳久¹・福岡捷二²・舛田直樹³

Takahisa GOTOH, Shoji FUKUOKA and Naoki MASUDA

¹正会員 博士(工学) 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27-31214)

²フェロー 工博 Ph.D. 中央大学研究開発機構教授 (同上)

³国土交通省 中国地方整備局 出雲河川事務所所長 (〒693-0023 島根県出雲市塩冶有原町5-1)

In the Hii River, there are some intake weirs which are made by river bed materials of sands. Since the sand intake weirs are eroded and scoured by flood flows, flushing of the sand intake weirs by a series of floods and rebuilding them after the floods induces formation of large scale sandbars and reduction of channel widths at downstream of the sand intake weirs. Therefore, first we investigated effects of flushing of the sand intake weirs on channel widths reduction by using observed annual data and the general Bottom Velocity Computation (GBVC) method which was developed by Uchida and Fukuoka. Next, we discussed how to rebuild the sand intake weirs after floods for minimizing effects of the sand intake weirs flushing on channel widths reduction.

Key Words : sand intake weir, channel widths reduction, sandbar, bed variations analysis

1. 序論

斐伊川流域の下流部に位置する出雲平野では、農業用水の多くを斐伊川に依存している。斐伊川の下流河道は網状砂河床の天井川であるため、表流水が河床に浸透しやすく、水寄せと呼ばれる特徴的な取水が行われてきた。この取水方法は、河床の砂を集めて作った砂堰を農業用取水口の前面に設置し、河川水を取水口に導水する方法である(図-1)。過去には砂堰を設置する際に、その堰高を水面より高くしてはならないといった慣行があったが¹⁾、昭和40年ごろには斐伊川本川の河床低下によって、その慣行が守られなくなって来たことが指摘されている²⁾。砂堰は洪水流によって容易に崩壊し、その下流に土砂を堆積させるため、長期に亘る一連の洪水による砂堰の繰返し崩壊は、斐伊川下流河道の砂州発達と高水敷化、低水路幅の縮小を引き起こしているものと考えられる。斐伊川の治水上の要の一つである斐伊川放水路と斐伊川本川の分派点付近では、低水路幅の縮小、砂州の発達と砂州と滞筋の比高差の増大が進行している。斐伊川放水路の分派点付近には常に2基の砂堰が設置されており、近年、砂堰の大型化が顕著になっている。砂堰の大型化

は、砂堰の繰返し崩壊による砂州の発達・低水路幅の縮小をさらに加速させており、砂堰の存在は洪水流を適正に分派させる上で課題となっている。

斐伊川放水路と本川の分派点の洪水流と土砂移動について、岡田・福岡ら³⁾は観測水面形時系列データを用いた非定常一般底面流速解析法(GBVC法)⁴⁾を用い、洪水流による河床波の変形・発達を伴う河床変動、斐伊川放水路への分派流量や土砂流入量を明らかにしている。

本研究では、まず航空写真と横断測量結果の経年データより、低水路幅の経年的な縮小と砂堰の大型化の関係を示す。そして、一連の洪水による砂堰の崩壊と修復の過程を上記解析法に組み込み、砂堰の繰返し崩壊が砂州の経年的な発達や低水路幅の縮小に及ぼす影響を明らかにする。次にその影響の軽減策について検討する。

2. 斐伊川放水路分派区間における経年的な低水路幅の縮小と砂堰の大型化

図-2は、斐伊川における主な砂堰の設置位置を示す。現在、砂堰は統合樋、鯰の尾樋、町上樋、神立樋、来原岩樋、右岸頭首工取水口・出西岩樋、下阿宮樋の計7地点に設置されている。本研究では、斐伊川本川と斐伊川



(a) 右岸頭首工取水口・出西岩樋



(b) 来原岩樋

図-1 砂堰の設置状況と砂州形成

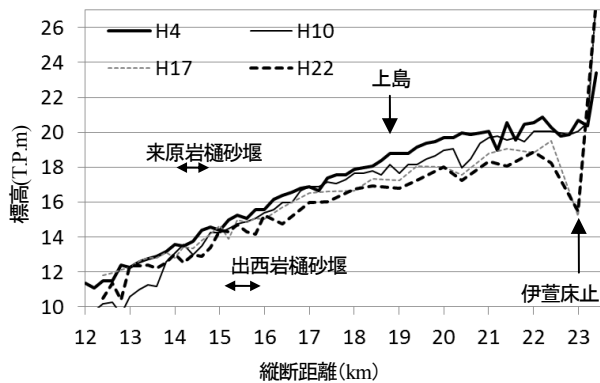


図-3 実測の最深河床縦断面図の経年変化

放水路の分派区間の砂堰に着目して検討する。斐伊川放水路は平成25年に竣工し、同年9月に上島地点のピーク流量約1,300(m³/s)の洪水が、初めて斐伊川放水路へ分流した。分派点上流の内岸(右岸)には、右岸頭首工取水口と出西岩樋の取水口があり、これらの取水口に導水するように砂堰が設置されている(図-1(a))。分派点下流の外岸(左岸)には来原岩樋の取水口があり、同様に砂堰が設置されている(図-1(b))。図-3は、分派点区間の最深河床高の経年変化を示す。斐伊川は、伊萱床止(写真-1)の下流から経年的に河床が低下しており、2基の砂堰が設置されている放水路分派区間も河床低下の影響を受けている。図-4は対象区間の低水位(50m³/s時)の経年変化を示し、図-5は平成4年以降に発生した1,000(m³/s)以上の洪水の実績流量ハイドログラフを示す。対象区間では、平成5年から平成10年の間に1,000(m³/s)以上の洪水が6波発生し、平成11年から平成17年の間に2波発生し、平成18年には戦後2番目に大きい洪水が発生している。このような洪水頻度や流量規模の違いにも関わらず、伊萱床止の約5km下流に位置する上島地点(18.6k)では低水位が一定の割合で低下しており、河床も同様の割合で低下しているものと考えられる。図-6, 7は伊萱床止直上下流の横断形状を示す。伊萱床止直下流では、1,000(m³/s)以上の洪水が発生していない平成

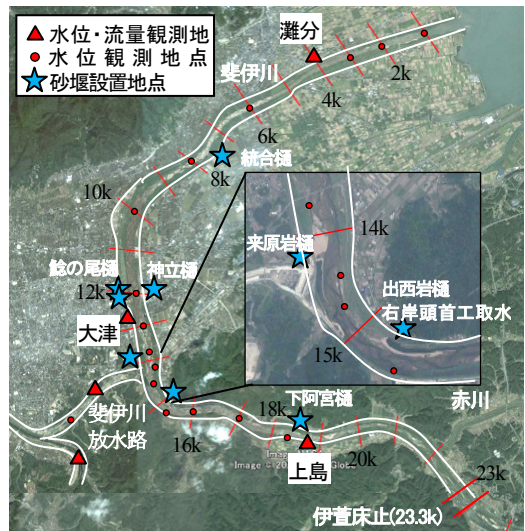


図-2 斐伊川の洪水観測体制と砂堰設置状況



写真-1 伊萱床止め(平成23年撮影), 23.3k

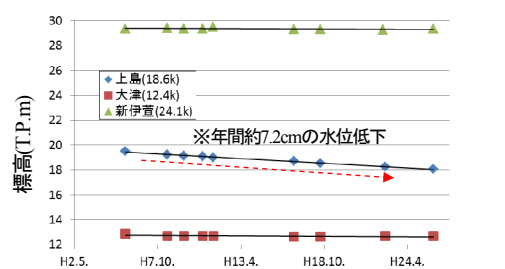


図-4 低水位(約50m³/s時)の経年変化

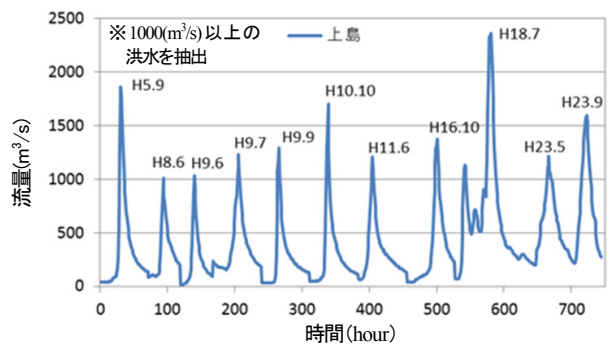


図-5 平成4年以降の実績洪水の流量ハイドログラフ

18年から平成22年でも河床低下が進行している(図-6)。伊萱床止上流(23.4k)の河床高は床止の敷高より低く、土砂が通過しにくい状態である(図-7)。これらのことから、対象区間では小規模洪水や平水の流れて土砂移動が生じ、図-3に示したような河床低下が伊萱床止から下流に向かって徐々に進行しているものと考えられる。

図-8は、斐伊川放水路分派区間の航空写真と主要洪水の発生年月を示す。ここで、図中の白線は、植生・樹木等がまとまった面積で繁茂する内縁で、かつ横断測量結果から河床が大きく変動していない場所を読み取り、こ

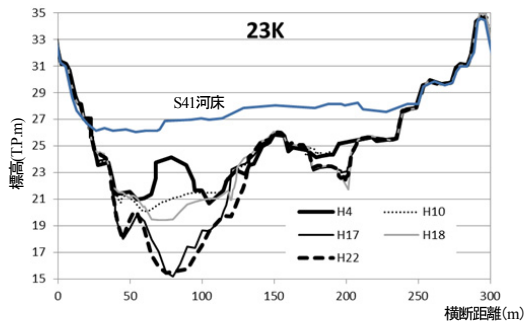


図-6 伊萱床止め下流の河道横断形状(23k)

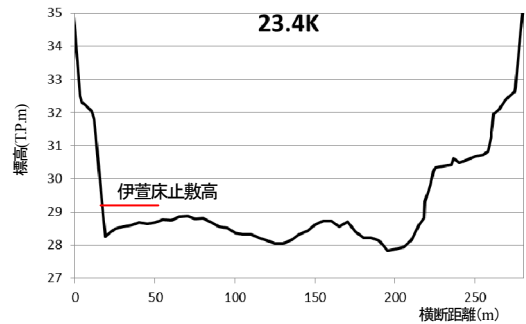


図-7 伊萱床止め上流の河道横断形状(23.4k)

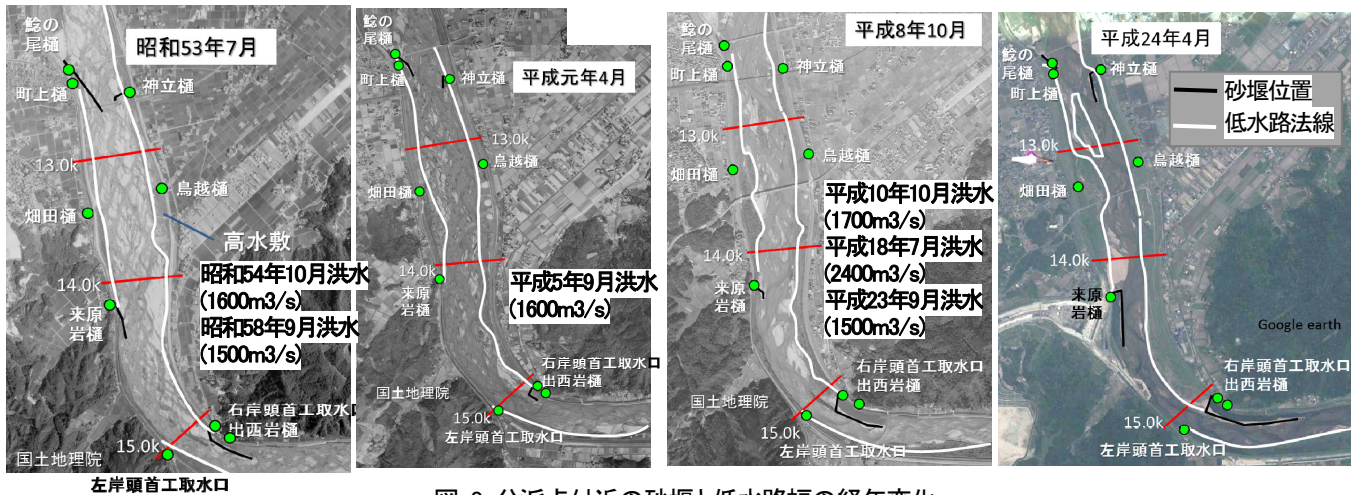


図-8 分派点付近の砂堰と低水路幅の経年変化

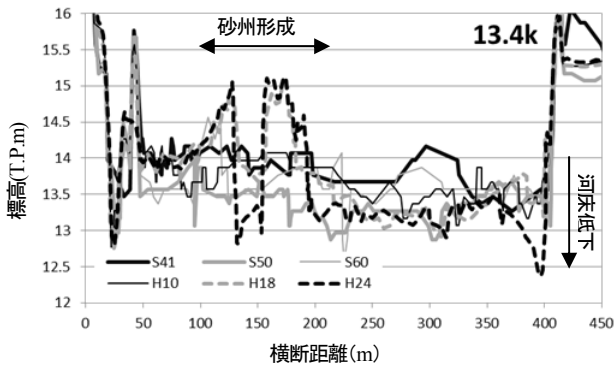


図-9 13.4kの低水路横断形状の経年変化

これを低水路法線として記載したものである。図-9は、13.4k付近の低水路横断形の経年変化を示す。昭和41年から昭和50年にかけて全体的に河床低下しているが、昭和50年から昭和60年では再び河床がやや上昇している。図-8の航空写真より、平成元年以降、14k左岸下流の河幅が広がる区間では、左岸側に砂州が形成し始めている。砂州の上流には(14.2k左岸)、来原岩樋の砂堰が設置されており、砂堰の繰返し崩壊による砂州の形成・発達と考えられる。図-9より、平成18年頃には14k左岸下流の砂州の比高差が大きくなり、低水路幅の縮小化が確認できる。図-10は、右岸頭首工取水口・出西岩樋付近(15k付近)の横断形状の経年変化を示す。この付近では、昭和41年から昭和50年の間に生じた河床低下に伴い内岸砂州が形成され始め、昭和60年には濬筋と砂州の比高差が約2mに達している。平成8年には、内岸砂州(15k付近)に植生が繁茂していることが航空写真より

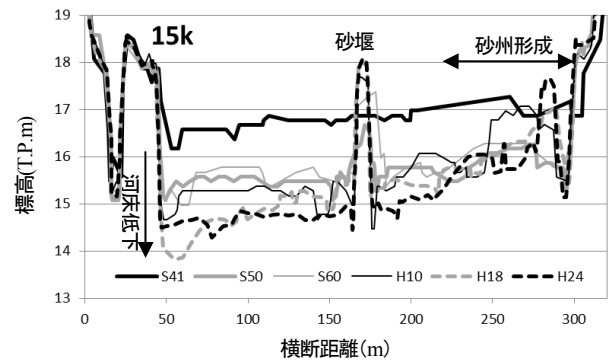


図-10 15kの低水路横断形状の経年変化

確認出来る。平成18年には砂州の高さ・幅が大きくなり、濬筋の河床は低下し、砂州の比高差が増大している。

以上より、放水路分派区間では、伊萱床止から下流に向かって進行している河床低下と砂堰の崩壊による土砂堆積の相乗効果によって低水路幅が縮小して来たことが分かった。このような砂州の比高差の増大、河床低下により、2基の砂堰が大型化せざるを得なくなっている。

3. 砂堰の繰返し崩壊による砂州発達、低水路幅縮小とその軽減策

(1) 解析方法および解析条件

本検討では、砂州と濬筋との比高差が比較的小さかった平成4年河道を初期条件とし、中規模の洪水を繰返し与えることにより、砂堰の繰返し崩壊が低水路幅の縮

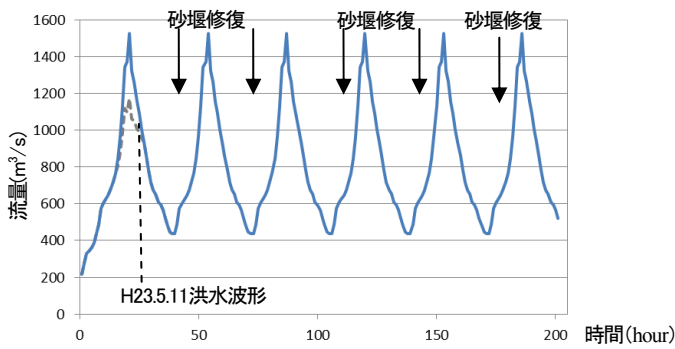


図-11 対象洪水の流量ハイログラフ

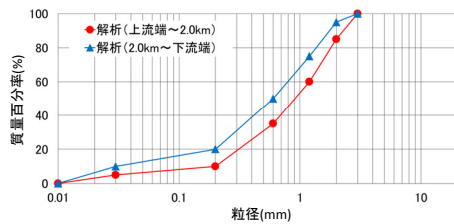
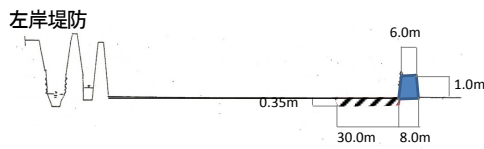


図-12 解析に用いた粒度分布



(a) 来原岩樋砂堰(14.3k付近)

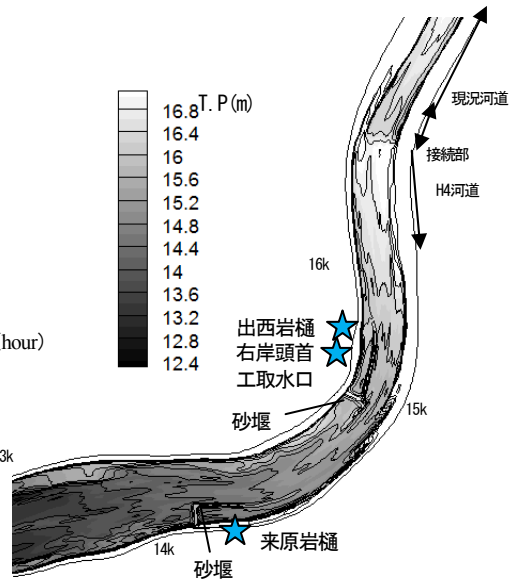
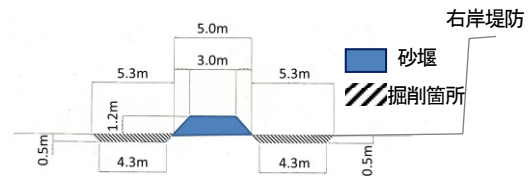


図-13 初期地形と砂堰設定状況



(b) 出西岩樋砂堰(15.2k付近)

図-14 砂堰構築の横断面(H23)

小・砂州の高水敷化を助長していることを示す。

斐伊川の網状砂州の上には河床波が重なっている。洪水のピーク水深は河床波の波高の3~6倍であることから、河床波の変形・発達による流れの抵抗変化は洪水時の土砂移動にも著しい影響を及ぼす。このため、岡田・福岡らは河床変動の状況を反映する観測水面形時系列データを用いた非定常一般底面流速・河床変動解析法により、洪水時の河床波の変形・発達を伴う河床変動や斐伊川放水路への分派流量・土砂流入量等を明らかにした³⁾。本研究では上記解析に砂堰の構築・崩壊を組み込み、これが河道に与える影響を検討する。解析範囲は、20k~宍道湖までとする(図-2)。

2.で示したように経年的な河床低下は、平水や小規模洪水で徐々に進行しているが、平水や小規模洪水も含めた洪水流・河床変動解析には多くの時間を要することから、対象洪水を次のように設定した。観測水面形の時間変化を再現する粗度係数が得られている³⁾平成23年5月洪水(ピーク流量約1,200m³/s)を基本の洪水波形とし、これを6波繰返し与えた(図-11)。そして、平成23年5月洪水のピーク流量を1.3倍に引き伸ばし(ピーク流量約1,500m³/s)、実際より少ない洪水回数で平成4年以降の平均的な洪水のピーク流量に近い流量を与える。移動床解析については、次のように簡易に取り扱う。まず、解析区間の20k-17kは現況河床高を固定床として与え、17kより下流で移動床解析を行う。上流からの給砂量は0とし、17kより下流の河床が徐々に河床低下するようにす

る。これは解析の通水時間を短く設定したため、分派区間に比較的近い場所を移動床解析の境界とすることで、着目している分派点付近(15k付近)の河床低下が説明出来るようにすることを狙ったためである。図-12は、用いた河床材料粒度分布を示す。図-13は解析の初期河床と砂堰の設置状況を示し、図-14は来原岩樋砂堰と出西岩樋砂堰の構築断面を示す。来原岩樋(14.2k)では砂堰の左側河床を30cm程度掘り、出西岩樋砂堰(15k)では砂堰の左右を50cm程度掘り、その掘削土砂を用いて砂堰を構築している。上流端境界条件には上島地点の流量ハイログラフを与え、下流端には平成23年5月洪水の宍道湖湖心の実績水位ハイログラフを与えた。これは宍道湖の面積は大きく、ピーク流量の引き延ばしが宍道湖の水位に及ぼす影響が小さいためである。

(2) 砂堰の繰返し崩壊による砂州発達と低水路幅縮小

図-15は、洪水1波目における来原岩樋砂堰(14.2k)の洪水時の挙動を示す。砂堰は約600(m³/s)程度の流量になると縦断部が崩壊し始め、洪水1波目のピーク時(約1,500m³/s)になると砂堰をオーバーフローし、横断部が崩壊し、その下流に堆積している。図-16は、洪水1波目における出西岩樋砂堰の洪水ピーク時の状況を示す。出西岩樋砂堰は、洪水ピーク時において横断部が流出しているものの、縦断部の多くは残存している。これら洪水時の砂堰の挙動については、今後、詳細な観測水面形の時間変化を把握することで検証する。本解析の洪水後の

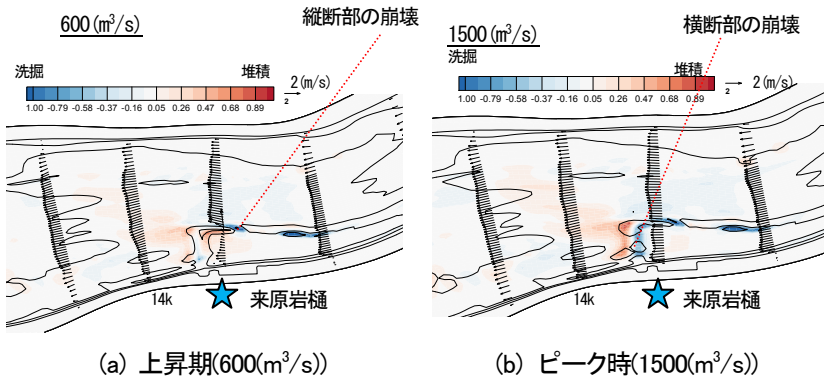


図-15 洪水時の砂堰の挙動(洪水1波目, 来原岩樋)

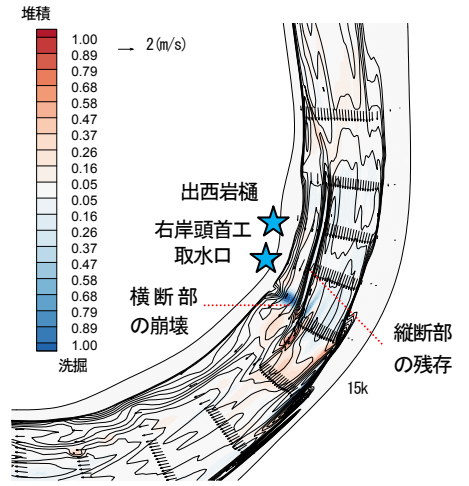


図-16 洪水ピーク時の砂堰の挙動(洪水1波目, 出西岩樋)

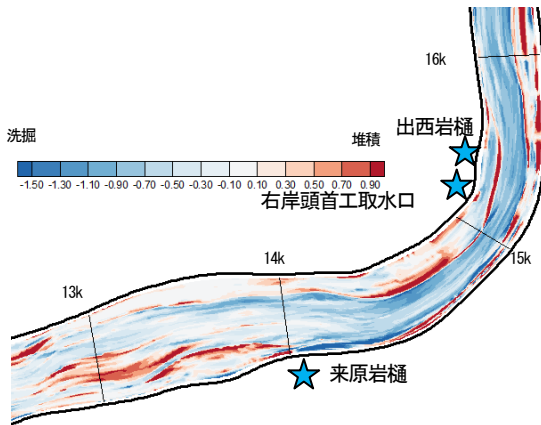


図-17 平成4年から平成22年の過去18年間の実測河床変動

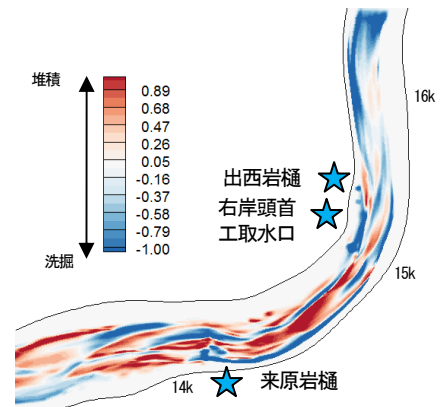


図-18 洪水6波通水後の河床変動カウンター

砂堰復旧は砂堰下流に堆積した土砂をそのまま存置し、**図-14**に示したように砂堰の左右の河床の土砂を用いて復旧させた。これは、現地の砂堰の復旧と同様である。

図-17は、平成4年から平成22年の過去18年間の実測の河床変動カウンターを示し、**図-18**は洪水6波通水後の解析結果の河床変動カウンターを示す。解析結果では15kより上流区間で河床低下しており、河床低下が上流から進行する傾向を示しているが、解析は実測値と比べて洗掘量とその範囲が過小に計算されている。これは、実際には伊萱床止下流では平水時や小規模洪水でも河床洗掘を受け続け、分派区間まで河床が低下しているが、本解析では平水時や小規模洪水を考慮せず、解析の通水時間が短いため河床低下量とその範囲が少なかった。

図-19は、解析による来原岩樋下流部(14.2k)の砂州の時系列変化を示す。洪水6波および洪水3波通水後では、砂堰の繰返し崩壊によって下流に堆積した土砂が大規模な砂州を形成している。また、形成された砂州の対岸側では洗掘を受け、砂州の比高差が大きくなっている。**図-20**は、右岸頭首工取水口・出西岩樋(15k)付近の砂州の時系列変化を示す。この付近では洪水毎に内岸側の砂州が拡大し、外岸側の滞筋河床は徐々に低下し砂州の比高差が増大している。このような滞筋河床の低下と砂堰の繰返し崩壊による土砂堆積が生じ、2基の砂堰下流の低水路幅が縮小してきたことが分かる。実際には砂州上の

樹木や植生繁茂は、2基の砂堰下流の低水路幅の縮小を加速している。

(3) 低水路幅縮小を軽減するための砂堰の修復方法

本検討では、砂堰下流に堆積した土砂を用いて砂堰を修復すると、砂堰崩壊による低水路幅の縮小を減らすことが可能かを検討する。対象洪水・初期河床条件や境界条件等は**(1)**に示した通りである。**図-21**は軽減策を実施した場合の来原岩樋(14.2k)付近と右岸頭首工取水口・出西岩樋(15k)付近の洪水6波通水後の解析河床高カウンターを示す。来原岩樋下流では**(図-21(a))**、**図-19**との比較より、軽減策を実施すると砂堰下流の砂州の高さ・範囲が小さくなっていることが分かる。また、右岸頭首工取水口・出西岩樋(15k)下流では**(図-21(b))**、軽減策を実施した場合の方が**図-20**と比べて内岸砂州の高さがやや小さく計算されている。従って、洪水後の堆積土砂を用いて砂堰を修復・設置した対策は、低水路幅の経年的な縮小を軽減するために有効であることが分かる。

一方、低水路幅の縮小化は、砂堰崩壊による土砂堆積と伊萱床止から下流に向かって進行している河床低下の相乗効果の影響であるが、本解析では経年的な河床低下を十分説明できていない。今後、**図-4**に示した上島地点での低水位の年間低下率を河床低下に対する一つの指標として洪水流・河床変動解析を実施し、伊萱床止から下

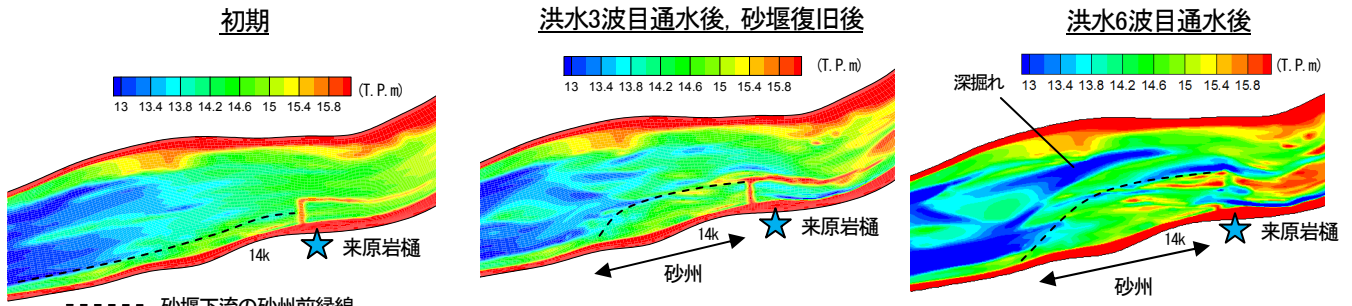


図-19 来原岩樋下流の砂州の時系列変化

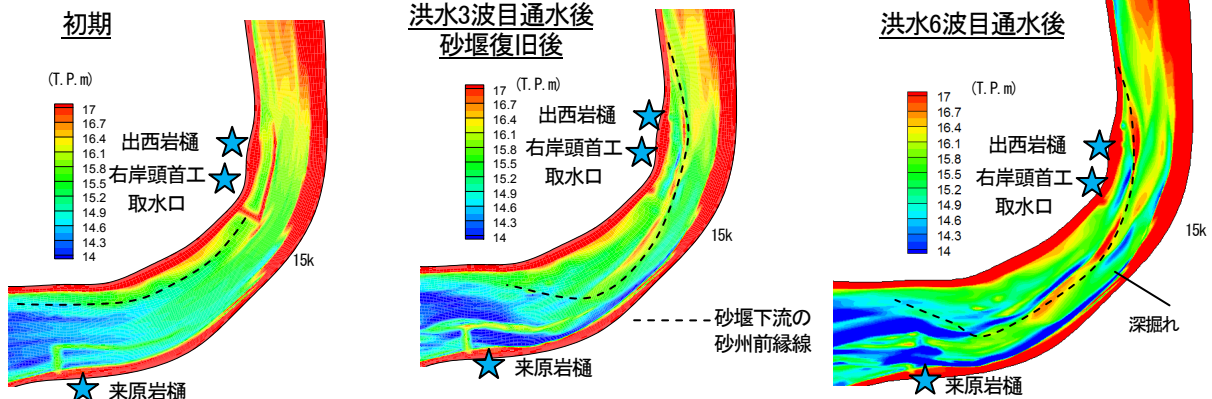


図-20 右岸頭首工取水口・出西岩樋下流の砂州の時系列変化

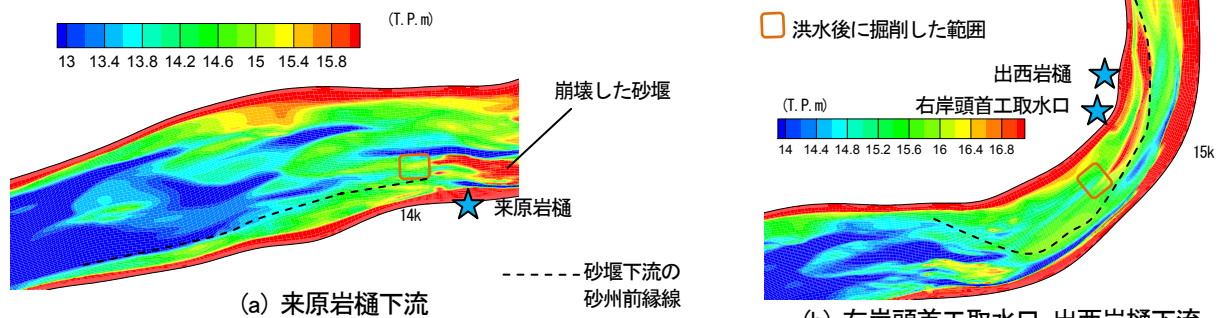


図-21 軽減策を実施した場合における砂州の発達(6波通水後)

流に進行している経年的な河床低下を再現する。そして、河道の高水敷化の軽減，砂堰の修復方法，将来河道の縦横断面形について検討する。

4. 結論

本研究では砂堰の崩壊と修復過程を組み込んだ洪水流・河床変動解析法により，砂堰の繰返し崩壊が低水路幅の縮小に及ぼす影響を明らかにし，その軽減策について検討した。本研究の主な結論を示す。

- 1) 航空写真と横断測定の経年データより，放水路分派区間では，伊萱床止から下流に向かって進行している河床低下と砂堰崩壊による土砂堆積の相乗作用によって低水路幅が縮小して来たことを示した。
- 2) 斐伊川では，伊萱床止下流の経年的な河床低下に伴い，低水位が一定の割合で低下している。今後，実測の経年的な水位低下割合を一つの指標とした洪水流・河床変動解析により，対象区間の経年的な河床低下を説明する。

- 3) 洪水後に砂堰の下流に堆積した土砂を用いて砂堰を復旧すると，低水路幅の縮小化を軽減できることを示した。しかし，低水路幅の縮小は，砂堰の崩壊と相まって伊萱床止下流からの土砂移動も密接に関係していることから，砂堰の崩壊に対する軽減策に加え，河床低下を減ずるための河道縦横断面形についての検討が必要であることを示した。

参考文献

- 1) 斐伊川誌：建設省中国地方建設局出雲工事事務所，建設省中国地方建設局出雲工事事務所，1995。
- 2) 渡部晴基，竹浪重雄：農業水利改良事業の展開と水利慣行一斐伊川下流域における一，島根農科大学研究報告，第14巻A，pp.139-151，1965。
- 3) 岡田裕之介，大吉雄人，福岡捷二：斐伊川放水路への洪水分派に伴う分派点付近の本川河床変動に関する研究，河川技術論文集，第20巻，pp.247-252，2014。
- 4) 内田龍彦，福岡捷二：浅水流の仮定を用いない水深積分モデルによる種々な小規模河床形態の統一解析法の構築，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.69，No.4，I_1135-I_1140，2013。