

砂河川斐伊川の河床低下, 低水路幅の縮小化と 是正のための今後の対応

RIVER MANAGEMENT FOR MITIGATING BED DEGRADATION AND CHANNEL WIDTHS REDUCTION IN THE SANDY HII RIVER

廣野 太志¹・柴田 亮²・福岡 捷二³・後藤 岳久⁴

Futoshi HIRONO, Ryo SHIBATA, Shoji FUKUOKA and Takahisa GOTOH

¹国土交通省 中国地方整備局 河川部河川計画課計画第二係長 (〒730-8530 広島市中区上八丁堀6-30)

²正会員 国土交通省 中国地方整備局 出雲河川事務所長 (〒693-0023 出雲市塩冶有原町5-1)

³フェロー 中央大学研究開発機構 機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

⁴正会員 中央大学研究開発機構 機構助教 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

In the sandy Hii River, sediment supplies from the upper basin have been decreasing due to constructions of check dams. The sediment transport in the Hii River occurs during not only the flood but also the ordinary discharge because of small and uniform sand composing the river bed. Therefore, river bed degradation and channel widths reduction downstream from the Igaya groundsill have developed due to non-equilibrium sediment transports at the groundsill during the ordinary discharges and small scale floods. We proposed proper shapes of the groundsill and river cross-section for mitigating the river bed degradations and channel widths reductions by using the numerical simulation model for long-term bed topographic changes in the river.

Key Words : sandy river, river bed degradation, channel widths reduction, river improvement technique

1. 背景

斐伊川流域では江戸時代から「たたら製鉄」が盛んであり, 山肌を削り土砂を川に流し, 原料となる砂鉄を採取する「鉄穴流し」が大規模に行われたため, 下流域に多量の土砂が堆積し, 河床を構成する砂層厚は約20mにも達する天井川となった. 斐伊川の河床材料は1~2mm程度のほぼ均一な砂で構成され, 下流部の河道は網状の流路を形成しており, 平水時でも滯筋部で土砂移動が生じやすい¹⁾ (写真-1). 図-1は, 斐伊川12.4kにおける限界掃流力に対する掃流力の比と河床高, 平水流量相当時(39m³/s)の水位を示しており, 斐伊川では平水時においても滯筋付近で土砂が移動していることが分かる.

過去から斐伊川下流域の土砂堆積による河道の流下能力不足は慢性的な課題であり, 昭和25年から貯砂のための堰堤が上流域に建設された. その後, 上流域からの流送土砂は「鉄穴流し」の衰退と相まって劇的に減少し, 現在の斐伊川は著しい河床低下の河川に一変している.

特に, 斐伊川23.3k付近に位置する伊萱床止から下流では河床低下とそれに伴う低水路幅の縮小化が顕著に見られ, 高水敷化した砂州には植生が繁茂し, 14.2k付近



写真-1 平水時の斐伊川下流部

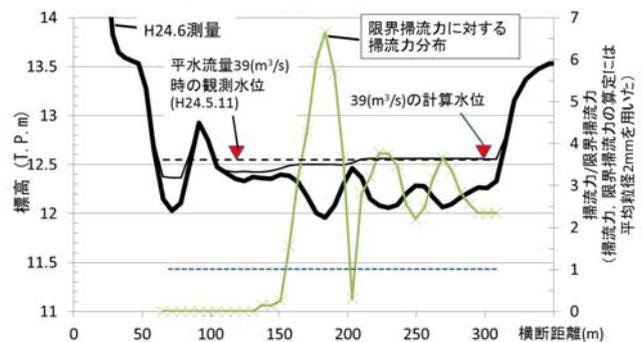


図-1 斐伊川12.4kの平水位と無次元掃流力分布

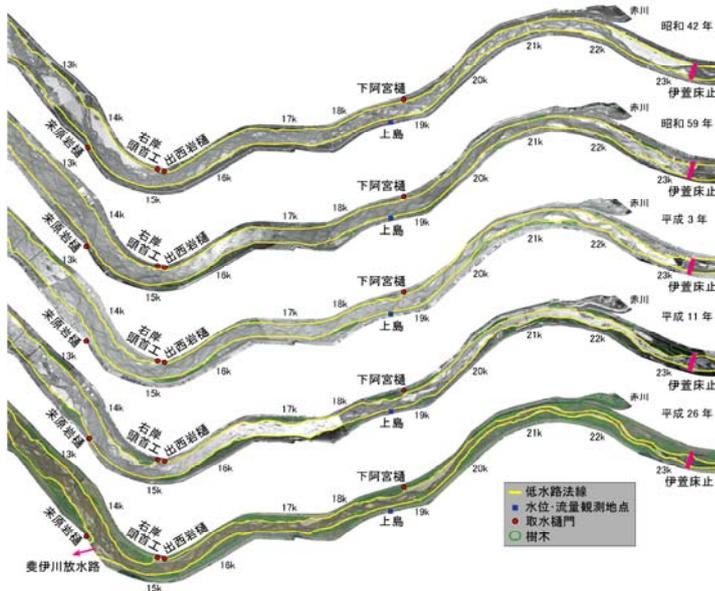


図-2 伊萱床止付近から斐伊川放水路分流部の低水路幅の経年変化



図-4 斐伊川上流域の堰堤群の位置

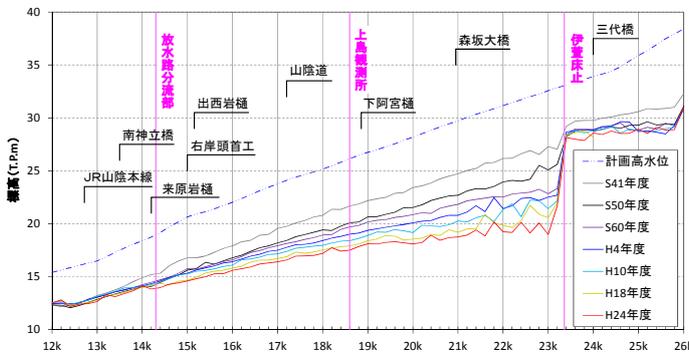


図-3 伊萱床止下流の低水路平均河床高の経年変化

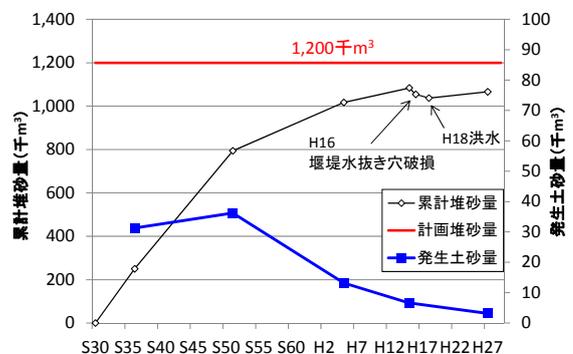


図-5 日登堰堤の堆砂状況

に位置する斐伊川放水路の分流部まで河床低下が進行しつつある(図-2, 図-3)。斐伊川放水路は斐伊川の洪水を神戸川へ分流し、斐伊川下流域の宍道湖・大橋川・中海の浸水被害を解消するために平成25年に完成した重要な治水施設であるが、河床低下が進行すると適切な分流に支障をきたす恐れがある。また、伊萱床止下流には、地域社会的に重要な農業用取水樋門や橋梁が点在しており、河床低下による取水障害や橋脚基礎の露出が発生している。

本報告では、測量や観測等の実測データにより、斐伊川の伊萱床止下流から進行している河床低下と低水路幅の縮小化の実態を説明し、実測データと長期河床変動計算を踏まえ、将来にわたって安定した河道を維持するための技術的検討を示す。

2. 実測データに基づく斐伊川流域の土砂移動及び河床低下と低水路幅縮小化の実態

図-4は、斐伊川上流域からの流送土砂量を減少させる目的で建設された堰堤群の位置を示す。上流の土砂供給域の最下流に位置する日登堰堤は、昭和30年に完成している。図-5は日登堰堤の堆砂測量結果から算定した累積

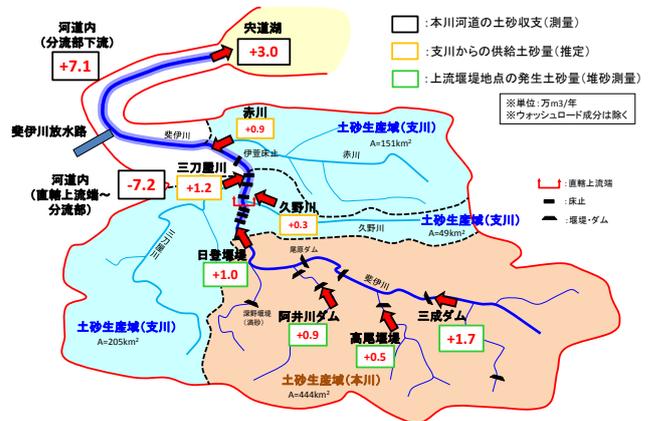


図-6 斐伊川流域の年間土砂収支

堆砂量と、各年の堆砂量の差分から算定した日登堰堤地点の発生土砂量(ウォッシュロードは除く)を示す。日登堰堤地点での発生土砂量は経年的に減少しており、最近40年間(昭和51年～平成27年)で平均すると約10,000m³/年程度となっている。また、堰堤の計画堆砂量に対して未だ満砂状態となっていないため、平水時において、下流河道域への土砂供給はほとんど期待できないことが明らかになった。ここで、平成16年及び平成18年の堆砂量の減少は、平成16年の堰堤の水抜き穴の破損に



写真-2 伊萱床止

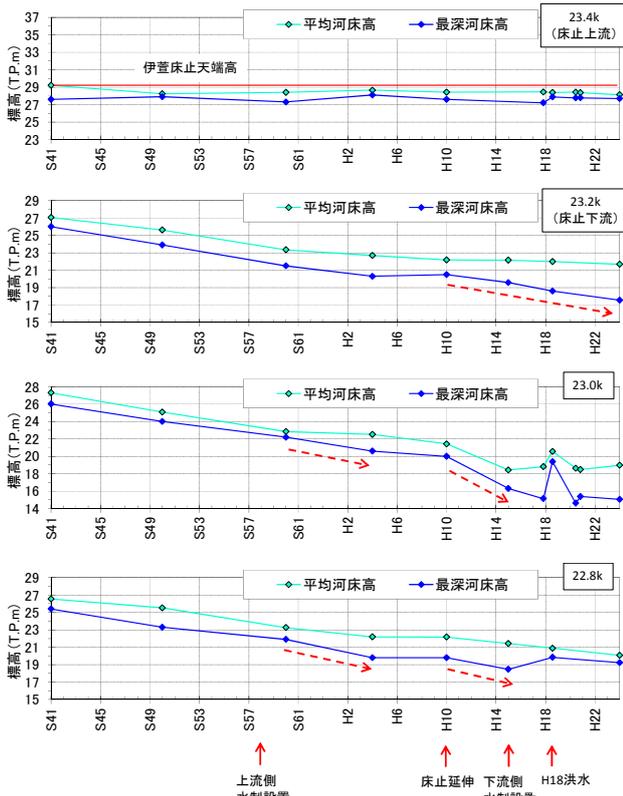


図-7 伊萱床止上下流の低水路河床高の経年変化

よる堆砂の流出と、近年最大の出水となった平成18年洪水による堆砂の巻き上がりが要因と考えられる。

図-6は、上流の堰堤群の堆砂測量（昭和51年以降）及び斐伊川直轄区間の横断測量（昭和60年以降）の経年変化から推定した流域の年間土砂収支を示す。年間の土砂量は測量データが存在する年ごとの差分を経過年数で割り、それを平均化した。支川からの供給土砂量は、日登堰堤地点における単位流域面積当たりの発生土砂量（昭和51年以降）に支川の流域面積を乗じて推定した。斐伊川直轄上流端から放水路分流部までの河道から約70,000m³/年土砂が流出し、分流部下流に約70,000m³/年堆積している。伊萱床止上流から日登堰堤までの河道には床止群が設置されているため河床は比較的安定しているが、伊萱床止下流は河床低下と低水路幅の縮小により土砂が流出しやすく、上流域からの土砂供給も期待で

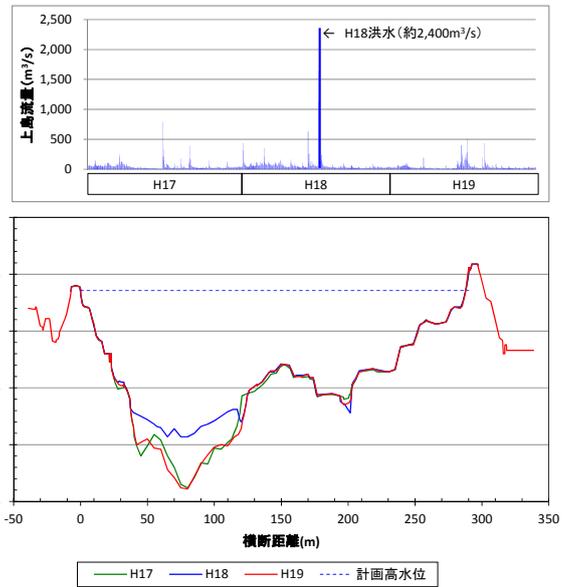


図-8 伊萱床止下流（23.0k）の横断変化と上島地点の時刻流量

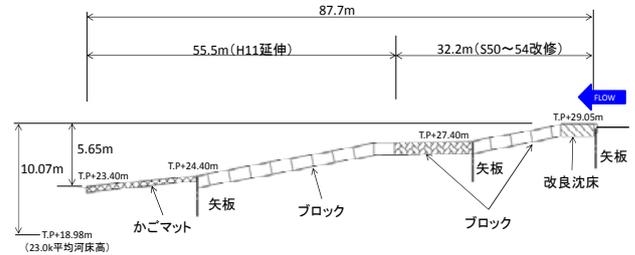


図-9 伊萱床止の改修履歴（縦断面図）

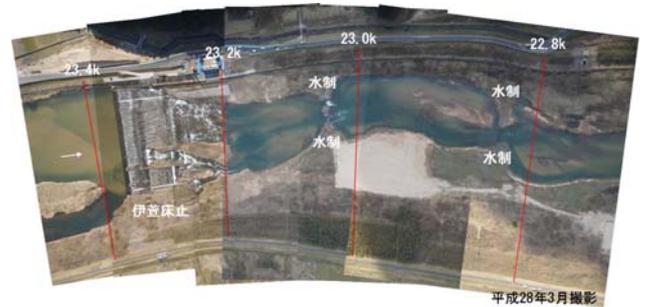


写真-3 伊萱床止下流の水制群

きないため、河床低下が著しくなっている。

次に、伊萱床止下流の著しい河床低下に着目し、床止周辺の測量データ等から土砂移動と河床変動の実態を整理した。伊萱床止は昭和35年に完成した横断工作物である（写真-2）。図-7は床止上下流における低水路河床高の経年変化を示しているが、床止上流23.4kの低水路平均河床高は床止の天端より低く安定しており、平水時や小規模な洪水では土砂が床止下流に供給されにくいことが分かる。

図-8は床止下流23.0kの横断形状の変化と斐伊川上島地点の流量時系列を示す。上島地点で約2,400m³/sを記録した平成18年洪水後では河床が上昇しており、大規模な洪水が発生すると床止上流の土砂が床止天端を超えて下流に供給されているものの、その後は大規模な洪水が生

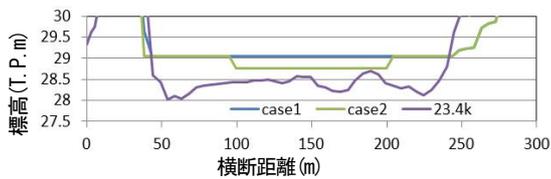
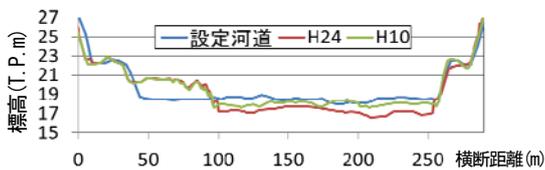


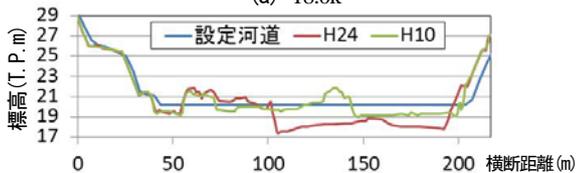
図-10 伊萱床止切り下げ高・幅の設定



写真-4 床止上流の網状砂州 (昭和50年)



(a) 18.0k



(b) 20.0k

図-12 設定河道の横断面形

じていないにも関わらず、滞筋の河床が低下していることが分かる。これは、斐伊川は平水時においても滞筋部で土砂が活発に移動し、その継続時間が洪水の継続時間に比べて著しく長いから、伊萱床止上下流で平水時の土砂移動の非平衡性が大きくなり、床止下流で経年的な河床低下を進行させてきたことを示す。

伊萱床止周辺は床止設置後、河岸洗掘や床止本体の被災を繰返し、昭和50年洪水では床止本体が流出する大規模な災害が発生している。その後も床止下流の局所洗掘による偏流が発生したため、昭和58年頃から水制群を床止下流の両岸に設置し、洪水流の水勿ねと減勢による偏流の是正が試みられた(写真-3)。しかし、図-7の水制設置箇所下流22.8k及び23.0kの低水路河床高を見ると、水制設置以降、平均河床高に対し最深河床高の低下量がやや大きくなっていることが分かる。このように、両岸に水制群を設置したことにより、水制群周辺で流れの集中と深掘れが生じ、明瞭な滞筋が形成された。斐伊川では平水流量でも深掘れ部で土砂が移動することから、形成された滞筋が固定化し、平水時には床止上流からの土砂供給が殆どないことから、低水路幅の縮小化と河床低下が下流に向かって進行している。

平成11年には床止直下の局所洗掘に対応するため、床

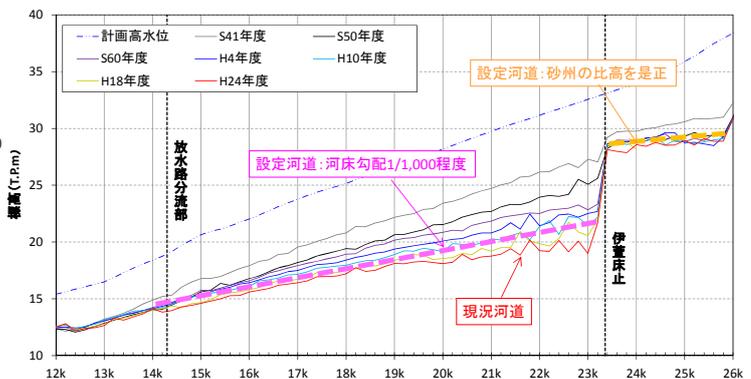


図-11 設定河道の低水路平均河床高

表-1 検討ケース

	床止下流河道	伊萱床止	床止上流河道
Case1	低水路幅拡幅	現況	現況
Case2	Case1と同じ	床止中央部 切り下げ(30cm)	砂州の比高差是正

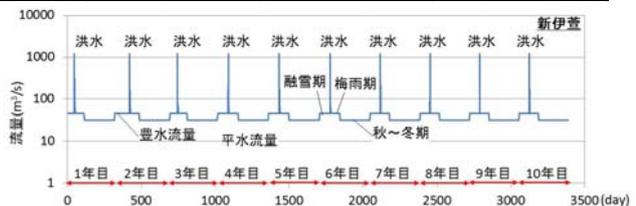


図-13 計算に用いた流量時系列

止下流側法面を延伸した。その結果、現在では床止天端から下流側法尻までの直高は6m近くになっている(図-9)。床止直下23.0kの平均河床高と床止天端の落差でみると10mにも達している。床止直下23.2kより下流の最深河床高は、床止下流側法面の延伸後に急激に低下しており、床止天端からの大きな落差によって生じた流れが滞筋に集中し、さらに局所洗掘が進行していることを示している(図-7)。

滞筋の河床低下により砂州との比高差が拡大するため、砂州上には植生が繁茂し、滞筋の固定化と低水路幅の縮小を下流に進行させており、河道管理を困難にしている。また、床止下流の経年的な河床低下により、床止下流側法面(かごマット)の一部崩壊と土砂の吸い出しによる下流側法面下の空洞化が確認された。床止上流河床には水道用水の取水埋設管が設置され、他にも床止本体は農業用取水口を兼ねているため、今後も床止の機能を維持する必要があるが、下流の河床低下に対する悪影響を踏まえると抜本的な対応が必要な状況にある。

3. 斐伊川の河床低下と低水路幅の縮小化の是正に向けた河道縦横断面形と伊萱床止構造の検討

経年的な実測データより、伊萱床止上下流での土砂移動の不連続性および床止下流への水制設置による滞筋の固定化を契機として、下流河道の低水路幅の縮小化や低水路の河床低下が進行していたことが明らかとなった。そこで本研究では、床止上下流での土砂移動の不連続性を緩和する伊萱床止形状や床止下流河道の縦横断面形につ

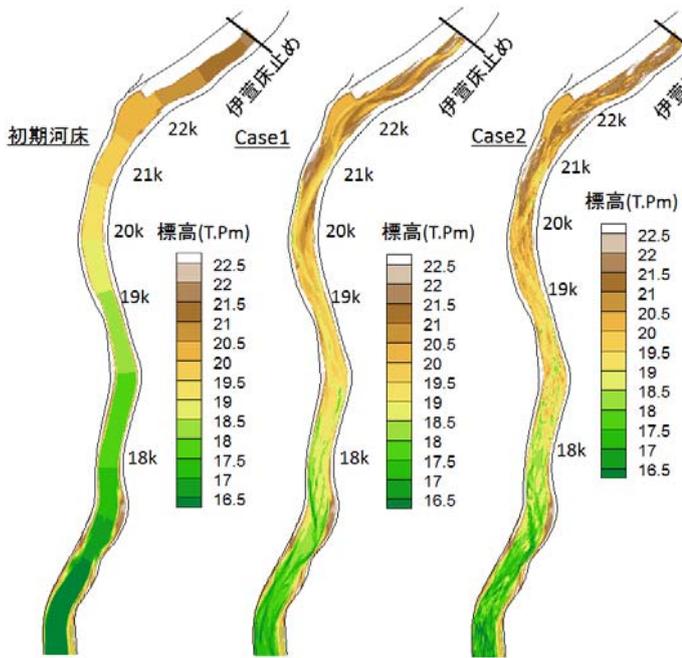


図-14 通水10年後の解析河床高コンター

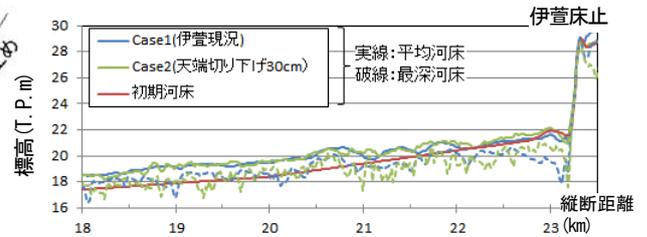
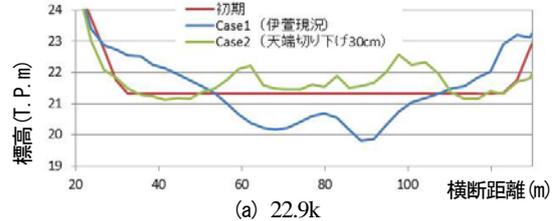
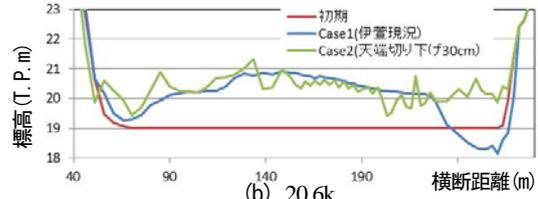


図-15 通水10年目の河床高の縦断形状(計算)



(a) 22.9k



(b) 20.6k

図-16 通水10年目の横断形状(計算)

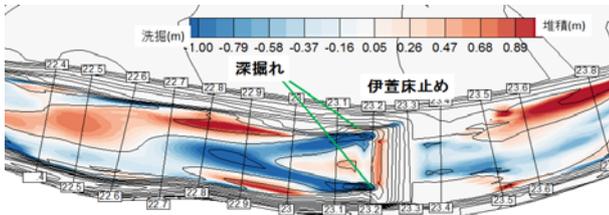


図-17 通水6年後の伊萱床止周辺の解析河床変動コンター

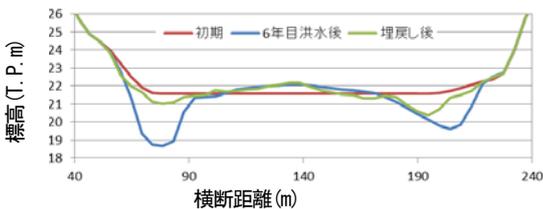
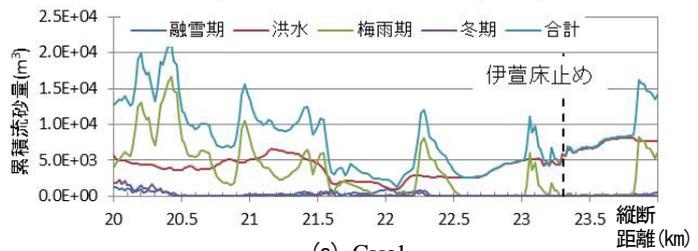
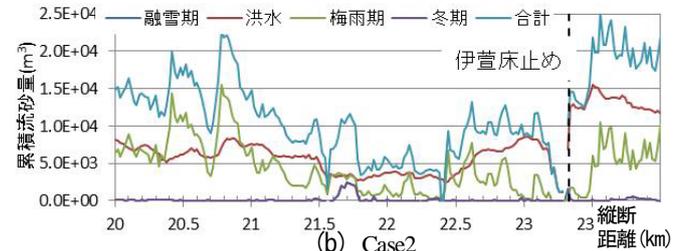


図-18 23.2k付近の6年通水後の埋戻し状況(計算)



(a) Case1



(b) Case2

図-19 通水10年目の流砂量縦断図

いて、長期河床変動計算を用いて検討する。以下では、長期河床変動計算の条件とした是正河道の縦横断面形および伊萱床止の形状について説明する。

まず、伊萱床止上下流における土砂移動の不連続性を緩和するため、床止の中央の一部の天端を切り下げる。切り下げ高は、床止上流に埋設された取水管に影響を及ぼさないように30cmとした(図-10)。切り下げ幅については、床止上流の砂州が床止下流に流下出来る幅として、土砂移動が比較的健全であった昭和50年の砂州幅程度(写真-4)の幅とし、概ね堤間幅の半分程度である。床止下流河道の横断面形については、低水路幅の縮小化が小さかった平成4年頃の低水路幅とした(図-2)。設定河道の平均河床高については、掘削土砂量と埋戻し土砂量が各断面でほぼ同程度となるように縦横断面形を設定しており、概ね平成10年頃の平均河床高で河床勾配が約1/1,000である。また、伊萱床止上流河道についても、

砂州と滯筋の比高差を是正して河道断面形を設定した。図-11は本検討において設定した低水路平均河床高を示し、図-12は計算で設定した河道の横断面形を示す。表-1は、計算の検討ケースを示す。計算では上記のような河道是正を実施した場合(Case2)と、床止形状は現況のままとし下流河道是正のみを行った場合(Case1)の2ケースの条件で長期河床変動計算を行い、河道の安定性について比較検討した。計算区間は、29km~宍道湖である。ここで、本検討では洪水時の斐伊川放水路への分流を考慮しておらず、伊萱床止から放水路分流部の上流河道の縦横断面形について議論することとしている。放水路分流部の河道の是正方法や維持管理方法²⁾³⁾も含めた検討については、今後の課題とする。

図-13は、計算で与えた流量時系列を示す。斐伊川は平水時でも土砂移動が生じることから平水流量から洪水流量までの年間の流量変化を与え、10年間分に相当する

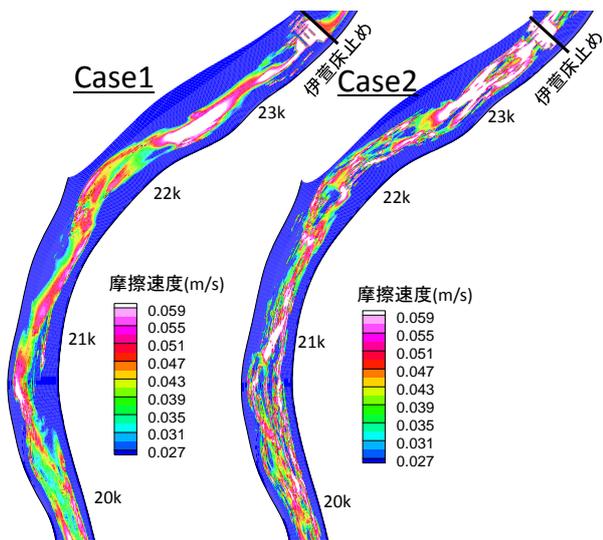


図-20 230m³/s時の摩擦速度（通水10年後）

期間を対象として計算した。流れの解析法には、内田・福岡の一般底面流速解析法⁴⁾を用いており、長期計算のため静水圧を仮定して適用し、低水路粗度係数は既往研究³⁾で用いた平均的な値として0.027m^{-1/3}sを与えている。

図-14は各ケースにおける通水10年後の伊萱床止下流河道の河床高コンターを示し、図-15は通水10年目における河床高の縦断面図を示す。図より、伊萱床止の形状を現況のままとしたCase1の解析結果では、床止の約1km下流まで明瞭な滯筋が形成され、これにより最深河床高・平均河床高がCase2よりも低下していることが分かる。図-16は22.9kおよび20.6kにおける通水後の解析横断形状を示す。20.6kのCase1の解析結果では、内岸側である左岸側で堆積傾向にあるものの、右岸外岸側に形成された滯筋の河床は低下傾向にある。一方、伊萱床止の天端の一部を切り下げたCase2の場合では、滯筋の固定化は見られず顕著な河床低下も生じていない。図-17は、Case2における通水6年目の伊萱床止周辺の河床変動コンターを示す。伊萱床止では、切り下げた天端から流下した土砂が床止直下流の河道中央で堆積している。この結果、床止直下流の河岸沿いで深掘れが生じた。本研究では、深掘れが顕著になった通水6年目において、Case2では図-18のように伊萱床止直下流で埋戻しを行った条件で計算している。図-19は、通水10年目における流砂量縦断分布を示す。伊萱床止の天端の一部切り下げに加えて床止上下流河道を是正したCase2は、Case1と比べて床止を通過する通年の流砂量が多くなっている。また、Case2では平水時（梅雨期、豊水流量）においても、流砂量はさほど多くはないものの、土砂が床止を通過していることが分かる。

以上より、伊萱床止の天端の一部を切り下げることにより床止上下流での土砂移動の不連続性を緩和し、床止下流で生じる深掘れの定期的な埋戻しを行うことにより、滯筋の固定化とそれによって加速度的に進行する低水路の河床低下を抑制し得ることを示した。

図-20は、通水10年後の河床形状において、年間に2~5

日程度生じる流量230m³/sを与えた場合の摩擦速度のコンター図を示す。平均粒径1~2mmに対する移動限界摩擦速度は0.028~0.04cm/sであり、Case2ではCase1と比べて広い範囲（23k~20k付近）で河床が攪乱を受けていることが分かる。このようにCase2では、年間に2~5日程度で河床が攪乱を受けるため、植生繁茂が抑制されることが期待できる。今後、長期河床変動計算に植生の侵入・成長を考慮し、適切な河道縦横断面形とその是正頻度・優先順序および維持管理方法について検討する必要がある。

4. 結論

本報告では斐伊川上流域からの流送土砂量の実態や河道の経年変化を整理し、伊萱床止下流の河床低下及び低水路幅の縮小化の要因を明らかにするとともに、長期洪水流・河床変動計算により、河床低下と低水路幅の縮小化を是正する方策を示した。

- 1) 砂河川の斐伊川は、平水時にも土砂が活発に移動している。一方、斐伊川上流域の堰堤群の建設により、上流域から河道への土砂供給は殆ど期待できなくなっている中で、伊萱床止は平水時や小規模出水時での土砂流下を妨げることにより、床止上下流での土砂移動の非平衡性を強め、床止下流で経年的な河床低下を進行させている。また、床止下流に設置された水制群は滯筋に流れを集中させ、下流河道の河床低下を助長している。
- 2) 伊萱床止下流河道の低水路幅の拡幅に加え、床止天端の一部を切り下げて土砂移動の不連続性を緩和し、床止直下流では深掘れを定期的に埋戻すことにより、低水路幅の縮小化とそれに伴う河床低下を抑制し得ることを長期河床変動計算により示した。今後、斐伊川放水路への分流や植生繁茂の影響も含めて、伊萱床止の改良及び適切な河道縦横断面形とその維持管理方法について具体的な検討が必要である。

参考文献

- 1) 福岡捷二：砂河川 斐伊川が抱える治水問題と今後の対応—総合的な土砂管理の必要性、河川、2016年（平成28年）10月号、pp.82-87、2016。
- 2) 後藤岳久、福岡捷二、舛田直樹：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、河川技術論文集、第21巻、pp.271-276、2015。
- 3) 後藤岳久、福岡捷二、柴田 亮：大量の土砂を伴う洪水流の斐伊川放水路への分流と土砂流入抑制に関する研究、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.73, No.4, L_895-L_900、2017。
- 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的解析法の構築、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.69, No.4, L_1135-L_1140、2013。

(2017. 4. 3受付)