

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

Issues that need to be dealt with flood controls of the sandy Hiikawa River



ふくおかしょうじ
福岡捷二*
Shoji Fukuoka

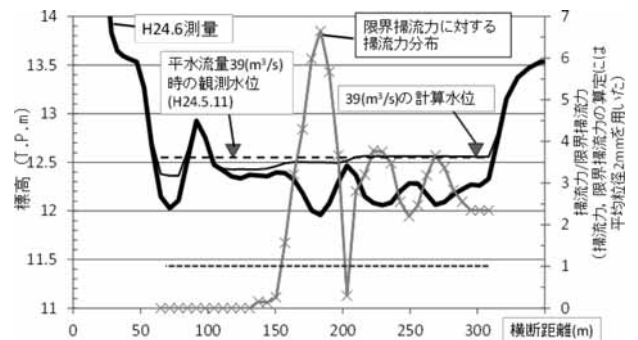
1. まえがき

斐伊川は、河口に宍道湖があり、大橋川を介して中海とつながり、境水道を経て日本海へと流れ出る。大洪水が発生すると宍道湖、大橋川、中海周辺では長期間にわたり水位上昇が生じ、大規模な浸水被害が起こることから、斐伊川流域の治水安全度の向上は、長年にわたる懸案であった。そのための対策として、斐伊川と神戸川上流部のダム建設と斐伊川下流部の斐伊川放水路の建設が行われた。現在、大橋川の改修が進められており、斐伊川改修の3点セットと言われる治水の器が完成しつつある。斐伊川の治水は管理の時代に入ったと言えよう。

斐伊川下流部は〈写真—1〉に示すように、低水路内に砂州が発達し、その上に縦横断的に大きな河床波が重なった特異な網状流路を形成している。〈図—1〉は、大津地点12.4km断面における平水流量時（ $39\text{m}^3/\text{s}$ ）の



〈写真—1〉 平水時の斐伊川下流部の状況

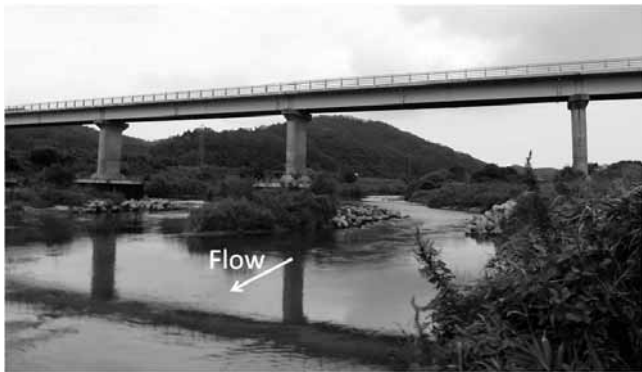


〈図—1〉 斐伊川大津地点（12.4km）の平水時の水位・河床形状と無次元掃流力分布

観測河床横断形状（平成24年6月測量）と観測水深分布を示す。河床は粒径が $1\text{mm}\sim 2\text{mm}$ のほぼ均一な砂からなり、平水時の流れにおいても河床波と河床波の間的水深が 0.3m 以上の部分では、河床面に作用する掃流力と砂の限界掃流力の比（無次元掃流力比）は $6.5\sim 2.5$ 倍の大きさとなり、砂は活発に移動している。洪水時のピーク水深は、河床波波高の $3\sim 6$ 倍程度と相対的に浅い流れであり、他の沖積河川に比して、洪水時の河床波の発達、変形が流れと土砂移動に大きな影響を与える。〈写真—2〉は、斐伊川下流部の河床低下による森坂大橋（ 21.0km 付近）の橋脚周りの著しい洗掘と高水敷の樹木繁茂状況を示しており、砂河川に特有の土砂移動を把握し、インパクト—レスポンス関係を見極めて対応することが斐伊川の河道管理に当たっては特に重要である。

福岡¹⁾は、わが国の多くの河川において、洪水時の流れと河床変化の機構解明には、洪水時の観測水面形の時間変化を用いる洪水流・河床変動解析が有効であり、これを用いることにより必要な精度で河道の管理を行え

* 中央大学研究開発機構教授
Professor, Research and Development Initiative, Chuo University



〈写真—2〉 森坂大橋の洗掘による橋台露出と高水敷の樹木繁茂

ることを示して来た。洪水時の観測水面形を用いた解析が有効な理由は、水面形の時間変化には、河床変動や河川構造物を含む河道の断面形変化、河床波の変形や樹木群等による流れの抵抗変化等、洪水に伴う水理現象をほぼすべて反映しており、この観測水面形を既知量として解析に用いることにより、洪水に伴う水理現象を説明できるという考えに基づいている。岡田ら²⁾はこの考えを適用し、斐伊川の2洪水を対象に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)³⁾により、それまで十分説明できなかった網状砂河川斐伊川の洪水流と河床変動について、河川工学上、河川管理上重要で興味ある多くの結果を得ている。

本文では、出雲河川事務所での斐伊川河道検討会(座長、福岡捷二中央大学研究開発機構教授)の結果と中大福岡研究室の研究結果^{2),3),4)}を中心に、洪水流と土砂移動がもたらす砂河川斐伊川の治水上の問題をあげ、問題解決に向けて斐伊川の新しい総合的な土砂管理の考え方や確立の必要性を示す。具体的には、斐伊川本川の経年的な河床低下、低水路幅の縮小化とその原因となる河床変動の実態を示す。次に、本川と斐伊川放水路の分派点の河床変動、斐伊川放水路への分派流量や土砂流入機構を明らかにする。最後に、放水路への洪水流入に伴う土砂流入が、本川下流河道と放水路下流河道に与える影響を評価し、その影響を小さくする方策として、治水上の個々の問題解決を図りながら河道の複雑な水理システムの相互関係を考慮し、特異な土砂移動特性を持つ斐伊川の総合的な土砂管理のあり方について言及する。

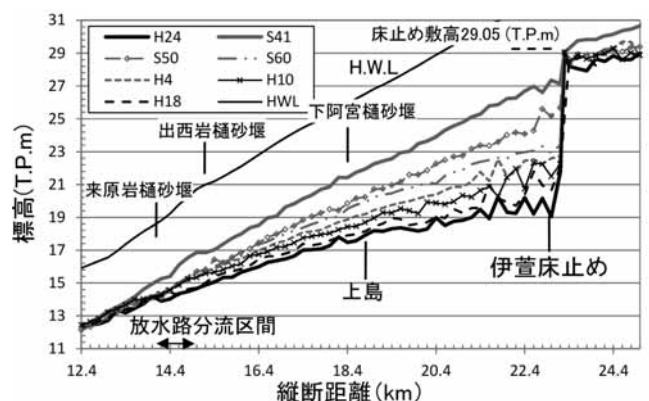
2. 伊萱床止め下流低水路の河床低下、河幅の縮小化と河口での土砂堆積

斐伊川下流域は、江戸時代山肌を削り土砂を川に流し、砂鉄分を採取する鉄穴流しが大規模に行われたために、下流域に多量の土砂が堆積し、河床を構成する沖積層は20mにも達する天井川となっている。しかし、今では、上流域からの流送土砂はほとんど期待できず、23.4

km地点にある伊萱床止め(写真—3)から下流の河床は著しく低下し、河川構造物、取水樋の管理を困難にしている。斐伊川低水路の平均河床高の経年変化を(図—2)に示す。伊萱床止めは、昭和35年に建設された。昭和40年代までの河床低下の主要な原因は、砂利採取によるものであるが、昭和47年の洪水により伊萱床止めが大きな災害を受ける等によって、昭和49年以降砂利採取が全面的に禁止された。にもかかわらず河床低下が進行し、伊萱床止めはたびたび災害を受けてきた。(図—3)に示すように昭和54年、平成11年には大掛かりな改修を行い、床止め裏のり面を斜面化して延伸し、床止め天端と河床との間に生じた大きな落差に対応してきたが、床止め下流の河床低下が進み、今や床止め天端から直下の平均河床までの落差は10mにも達している。伊萱床止め直上流の河床高は、床止め天端高より1m程度低いいため、平水時に床止め天端を越える砂はほとんど存在しない。一方、天端から裏法面に沿う平水時の流れは、大き



〈写真—3〉 伊萱床止め



〈図—2〉 伊萱床止め下流部の低水路平均河床高の経年変化

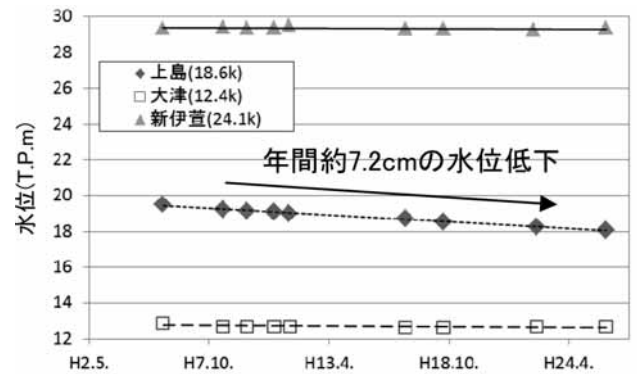


〈図—3〉 伊萱床止めの改修履歴

な落差のために床止め直下流の狭い滞筋内に滝壺のような深い池を作り、そこから洗掘された土砂は下流へと流送されて行く。そのために、床止めの上・下流では流砂のバランスが極端に崩れ、下流河川の著しい河床低下の原因となっている。洪水時には、大量の砂が伊萱床止めを越えてくるため、流砂の場所的非平衡性は小さくなり、洪水後の河床高は洪水前に比して回復するが、平水時の低下量が大きいため河床低下の進行は止まらないのが実情である。〈図—4〉は、伊萱床止め上流の新伊萱地点(24.1km)と下流の上島地点(18.6km)、大津地点(12.4km)における斐伊川河道の低水位の経年変化を示す。低水位の経年変化は、河床高の経年変化を反映することが明らかにされている⁵⁾。図より伊萱床止上流の新伊萱では河床低下は生じていないこと、伊萱床止下流の上島では低水位が毎年7.2cm程度低下しており、平均河床もこの程度の低下が起こっていること、一方、大津では、現段階では河床低下は及んでいないことが分る。

〈図—2〉、〈図—4〉から明らかかなように伊萱床止め下流の河床低下は徐々に下流へと伝播し、また裏のり斜面下の裏込め材の流出により床止めの空洞化も進行しており、早急に対策を講じなければならない状況にある。

このような斐伊川伊萱床止め下流の河床低下の機構は、他の多くの河川で見られる河床低下の機構とは大きく異なっている⁶⁾。一般的には、平水時の河川では土砂移動量は極めて小さいために河床低下は起こらず、洪水時の大きな土砂移動によって河床高の変化が起こる。しかし、斐伊川は、ほぼ均一の砂からなる網状河川であるために、平水時にも土砂が活発に動いており、年間あ

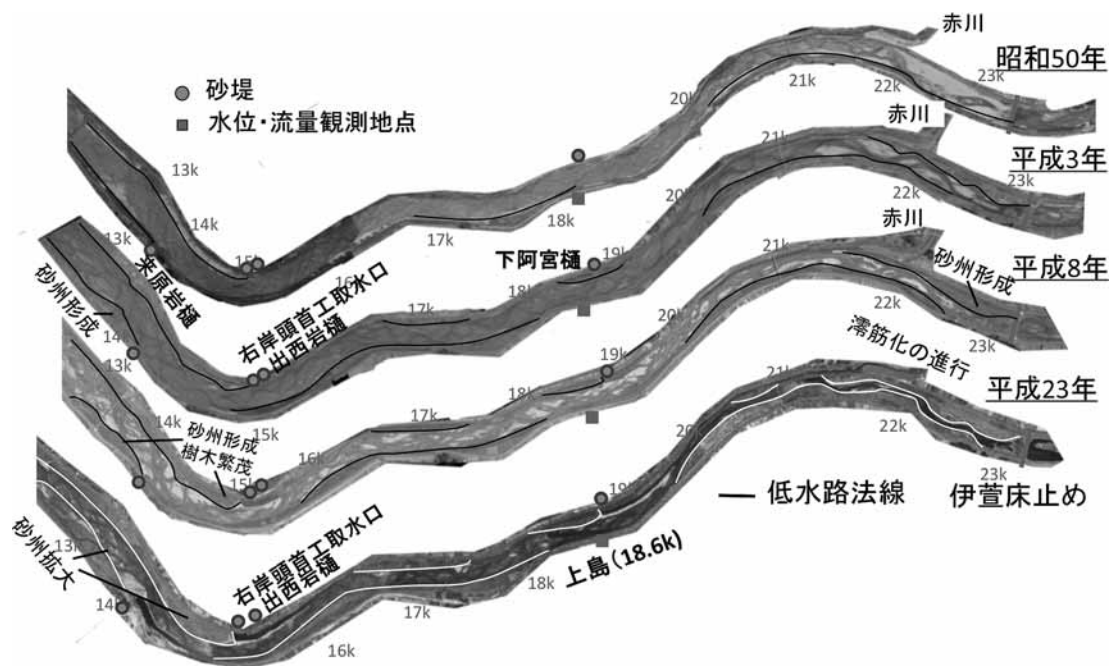


〈図—4〉 斐伊川本川観測低水位の経年変化

たりの平水の継続期間は洪水の発生時間に比して著しく長いために伊萱床止め上下流の土砂移動量のバランスが崩れ、平水時に大きな河床低下が生じている。

斐伊川下流では、山地地域の土砂生産量が減じたこと、砂利採取と伊萱床止めの大きな落差の発生による河床洗掘が引き金となって河床低下が生じ、これと一体的に低水路の河幅縮小が起こっている。〈図—5〉に示すように昭和50年には比較的広い低水路幅を有していたが、伊萱床止め直下の局所洗掘の影響が下流への河床低下となって伝播し、これに平水時の水流の滞筋への集中によって河床洗掘が進行し、低水路川幅の縮小化、高水敷化が生じ、高水敷化した部分の樹木の繁茂がより大きな河床低下を引き起こしている。

このように深刻な河床低下が起こっている一方で、斐伊川河口の宍道湖には、土砂が流入堆積し、河口から—1kmの湖内、河口から上流5km区間に土砂が堆積し、



〈図—5〉 斐伊川下流河道の低水路幅の経年変化

水位を上昇させ洪水氾濫の危険性を高めている。このため、河口域の堆積土砂の維持浚渫が長年にわたって実施されており、近年では河口域の河床高はほとんど変化していない。しかし、浚渫費用は相当な額に達しており、宍道湖への流入土砂対策は長年の課題である。

砂河川に築造された伊萱床止めの被災とその修復の結果明らかになったことは、土砂の生産量の少ない河床低下が顕著な砂河川において、河道の被災箇所のみでの対策では、適切な対策とはなり得ず、むしろ河道全体としては長期にわたって河床低下の問題を起し続けるということである。砂河川は礫河川と違い、河道の水理現象の変化が速く、その影響が広い範囲に及びやすい特徴を持つ。例えば、伊萱床止下流の深掘れによって強い偏流が生じ河岸に水流が当たったために、対策として水制群を設置し水流を撥ねることが行われた。しかし上流からの砂の供給がほとんどないために、却って、水制前面が深掘れし、河床低下と低水路幅の縮小につながり、その影響は下流に伝播することになった。ここで明らかになったことは、河川を構成する河道システム間の相互の力学関係を十分調べ、河川全体を見て悪影響を及ぼさない対応をとることが肝要であることである。砂河川では、水制や護岸といった堅い構造物によって河岸を守るよりも、本来河道に存在する砂州を河岸際に再生し、砂州前面に最低限の侵食対策を施し、流れを河岸から中央に誘導しながら河床の低下、河幅の縮小を軽減するなどを実施すべきであろう⁷⁾。

現在の伊萱床止めは老朽化が激しく、構造的には上下流の土砂輸送バランスを失わせていることから、伊萱床止めを適切な構造に改築し、合わせて下流河道の低水路幅の拡大による平水時の土砂輸送の緩和、宍道湖河口の堆積土砂の河床低下区間への還元も視野に入れ、出来る限り河道の土砂輸送のバランスが崩れないような方策が図られなければならない。本川河道に築造されている幾つかの砂防ダムの今日的役割についても、河道全体として検討することが必要である。

3. 斐伊川放水路への土砂流入とその抑制策

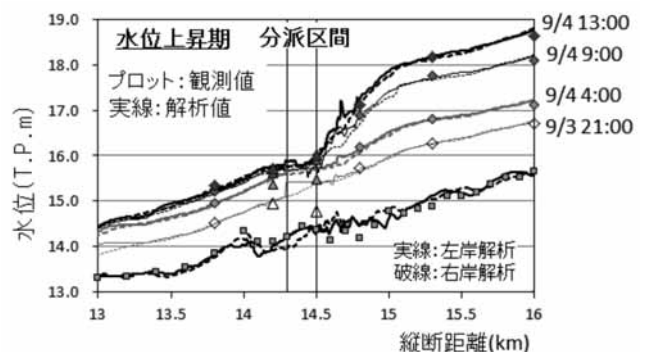
斐伊川放水路は、斐伊川洪水流量を分流させ、斐伊川下流部の水位・流量を低減させる重要な役割を有している。〈図—2〉の平均河床高縦断分布が示すように放水路の分派点(14.3km)付近は、長年にわたって平均河床高がほとんど変化していない地点である。しかし、近年分派点付近に徐々にではあるが河床低下の兆候が顕れつつある。放水路への洪水流の分流に伴う本川洪水流量の減少は、分派点付近に河床変動をもたらし、それらが放水路への分派流量及び土砂流入量に影響を与える懸念がある。これらの影響度合いを知って、また分派地点周辺

の河床変動の影響を出来る限り小さくする方策を講じながら河川管理を行わなければならない。

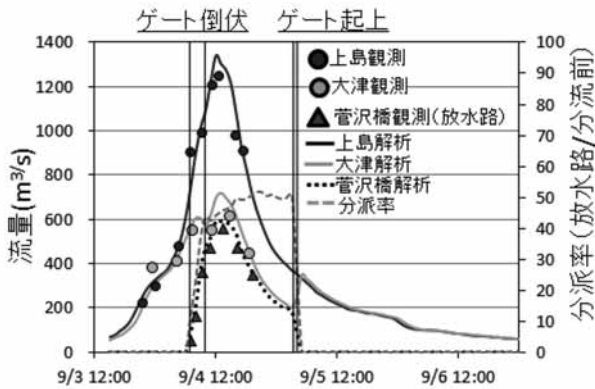
平成25年6月放水路の完成後、平成25年9月4日にピーク流量、約1,300m³/sの洪水が発生し、600m³/sが始めて放水路に分水された。放水路を適切に機能させるためには、洪水観測を実施し、洪水流と土砂移動の分流特性を理解することが不可欠である。斐伊川では、本川および放水路の洪水観測の体制がよく整備されており、〈図—6〉に示すように分派地点の上下流に多くの水位計が配置され、洪水時の水面形の時間変化が観測された。分派地点を挟む本川13km~16km区間の洪水水位上昇期の水面形の時間変化と河床変動の観測結果を〈図—7〉に、本川と放水路の浮子による流量観測結果を〈図—8〉に、それぞれプロットして示している。放水路への分流により、分派区間上流の本川水面形が急になり、本川下流の水位が著しく低下している。〈図—7〉、〈図—8〉の実線は、初期河床高を与えて、実測水面形の時間変化を解とるように一般底面流速解析法³⁾と二次元河床変動解析法を組み合わせることで求めた本川の水位縦断形、洪水後の本川の縦断的な河床変動および本川と放水



〈図—6〉平成25年9月洪水時の観測体制



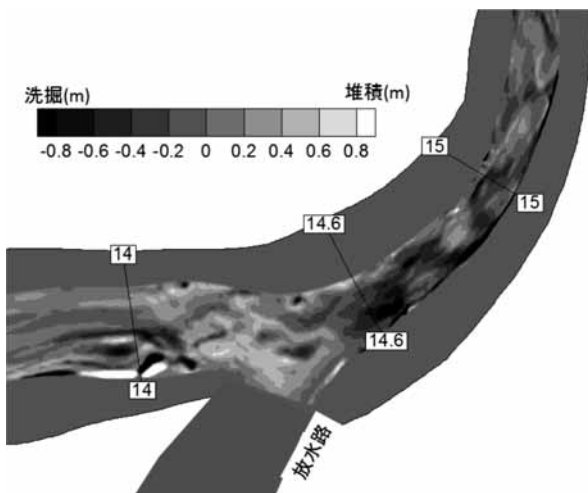
〈図—7〉水面形時系列の観測結果と解析結果



〈図—8〉流量ハイドログラフの観測結果と解析結果

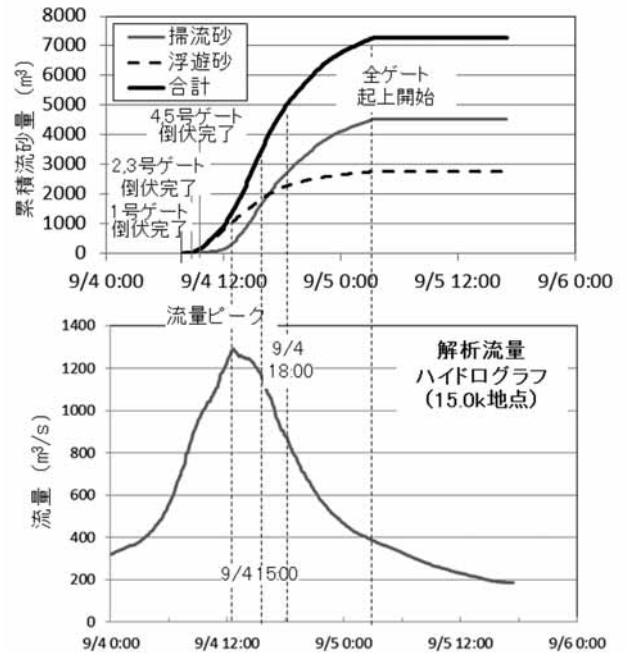
路の流量ハイドログラフの解析結果を示す。水面形と流量の解析結果は、観測結果をよく説明している。また河床変動結果についても、ほぼ対応している。

次に、〈図—9〉は、放水路への分流によって分派地点上流と下流の本川河床高が、どのように変化したかを観測値を用いて示している。これより、分派地点下流では本川河床高は上昇し、上流では低下している。この実測結果は、洪水流の水面形の時間変化に反映されており、これを一般底面流速解析法と二次元河床変動解析モデルに取り入れることによって適切に説明できている。この結果、解析モデルは、放水路への洪水流、流送土砂の流入量の推算に用いることが可能であることが明らかになった。



〈図—9〉平成25年9月洪水前後の実測河床変動コンター

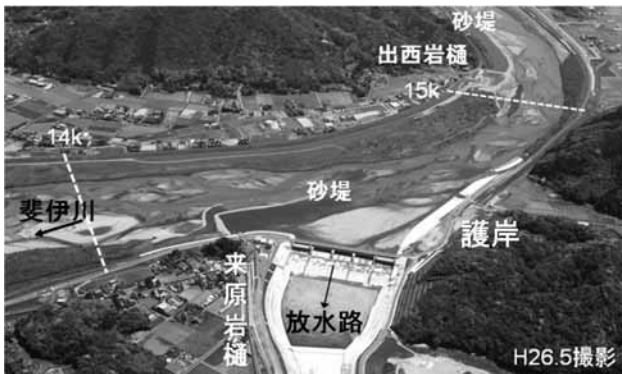
〈図—10〉は、15km地点の本川解析流量ハイドログラフとゲート操作に伴う放水路への掃流土砂と浮遊土砂の流入量の累積値の時間変化を示す。放水路は、本川流量が $400\text{m}^3/\text{s}$ を超えると洪水流はゲートを超えて分流が始まり、 $500\text{m}^3/\text{s}$ を超えるとゲートを倒伏させ、また $400\text{m}^3/\text{s}$ を下回るとゲートを起上させる操作で管理されて



〈図—10〉放水路への流入流砂量の累積値の時間変化と解析流量ハイドログラフ

いる。平成25年洪水では、〈図—10〉に示す時間帯でゲート操作を行われた結果、放水路への大量の掃流土砂が流入していることがわかる。浮遊土砂量は、斐伊川本川で測定された浮遊砂濃度を参考に解析された。流入土砂量の累積値は、沈砂池に堆積した量に比して少なく計算されているが、この差異についてはさらに検討が必要である。

放水路への土砂流入は、沈砂池内の土砂堆積とその処分、放水路が接続する神戸川での土砂堆積など管理上の問題が生じる。放水路への累積流砂量を見ると、本川の洪水流量低減時に掃流土砂量が増え続けている。この理由は次のように考えられる。斐伊川本川では、ピーク流量時付近までは河床波が発達、変形することにより流れの抵抗が大きくなり、放水路への流入土砂量はそれほど多くない。流量ピークを過ぎ低減時になると河床波はほぼ発達し、放水路が位置する直上流湾曲部外岸の左岸に設置されている延長200mのコンクリート護岸〈写真—4〉に沿って流速が高まり護岸前面の河床の深掘れが生じ、ここに流水と土砂が集まり、放水路に掃流砂が流入しやすい状況が生じる。したがって、放水路への土砂流入量を減じるためには、本川流量が $400\text{m}^3/\text{s}$ に減じる前に起伏ゲートを閉じることと、放水路入口直上流のコンクリート護岸前面での流れと土砂の集中を抑えるために、河道の砂州と高さ、大きさが同程度で、水流があたる前面の洗掘対策を施した砂州を護岸前面に造成⁷⁾し、主流を護岸から離し土砂の流入量を抑制することが検討されるべきである。これらの二つの対策は、分流に伴う



〈写真—4〉分流区間における砂堤による取水口への水寄せと崩壊土砂の堆積

本川への土砂輸送量の減少を抑制し、本川河床の低下を緩和するうえからも有効な方法であると考えられる。

4. 洪水による取水用砂堤（水寄せ）の崩壊・堆積による低水路幅縮小への対策

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古くから取水に苦勞しており、河床の砂を集めて砂堤をつくり農業用取水口に水を導く「水寄せ」と呼ばれる方法が用いられてきた。過去には砂堤を設置する際に、その高さ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、昭和40年頃から斐伊川本川の河床低下によって次第に砂堤が巨大化し慣行が守られなくなって来た。平成23年時点での砂堤の設置位置を〈図—5〉に示している。砂堤は洪水流によって容易に崩壊し、崩壊土砂は砂堤下流に集中的に堆積する。長期に及ぶ砂堤の繰返し崩壊と堆積は、低水路の高水敷化、低水路幅の縮小を引き起こして来た。特に、斐伊川放水路の分派点付近には2つの重要な取水口（出西岩樋、来原岩樋）があるために、取水目的で常に2基の大規模な砂堤が設置されている〈写真—4〉。写真が示すように洪水による砂堤の繰返し崩壊による砂堤直下流での人為的堆砂により高水敷化が進行し、その上に樹木等が見られるようになった。これにより放水路流入口付近の河道縦横断面形が変化し、放水路への洪水流の分派への影響と大量の土砂流入が懸念される。短期的には、高水敷化を軽減する砂堤設置方法⁴⁾を採用しながら取水を行うにしても、斐伊川の治水の要である放水路の機能が阻害されないような治水と利水の共存が可能な取水方式を早急に検討しなければならない。

5. まとめ—総合的な土砂管理の必要性

斐伊川は日本有数の天井川であり、洪水氾濫に対する

長い闘いの中で治水事業が実施されてきた。斐伊川流域では、施設整備を進めながら頻発する水災害への対応が行われ、さまざまな目的と規模の治水事業によって、流域の安全性は徐々に高まり、豊かな地域社会が形成されてきた。

しかし、山地からの土砂流送が期待出来ない中で、斐伊川下流部の著しい河床低下は今後も続くことになる。100年後の斐伊川流域を考えると、砂河川特有の土砂移動が引き起こす河床低下によって河川管理の複雑な問題に直面することになる。現在の斐伊川は、土砂移動に関わる維持管理が特に重要な河川となっており、これを的確に行えないと大きな災害につながる可能性は高い。河川管理者は、これまでの河道管理技術の蓄積をベースに、いかにして河床低下を緩和しながら安全な河道を維持していくかという重要な課題に対し、常に河道と対話をしながら河道の変化に注意を配り、中・長期的な展望とそれに向かって砂河川の土砂管理の創造的技術が求められる。斐伊川河道の個々の治水施設の機能発揮とともに、河道を水理システムとして捉え、これらが総合的、一体的にかつ長期にわたって河道の機能維持ができるような総合的な土砂管理が不可欠である。

謝辞：本文の執筆に当たって後藤岳久博士（中央大学研究開発機構 助教）との議論は有意義なものであった。記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 福岡捷二：河道設計のための基本は何か—水面形時系列観測値と洪水流—土砂流の解析を組み合わせた河道水理システムとその見える化、河川技術論文集、第17巻、2011。
- 2) 岡田祐之介、大吉雄人、福岡捷二：斐伊川放水路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、2014。
- 3) 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の小規模河床形態の統一的解析法の構築、土木学会論文集B 1（水工学）、Vol.69, No.4, 2013。
- 4) 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・川幅縮小軽減策の研究、河川技術論文集、第21巻、2015。
- 5) 吉川秀夫：改訂河川工学、森北出版、1966。
- 6) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法、森北出版、2005。
- 7) 北陸地方整備局河川部：治水と環境の調和した新たな河川防護技術の手引き、2013。