

斐伊川放水路の洪水流分派機能と分派点付近の本川河床変動に関する研究

Study on the flood diversion facility and flood flows and bed variations
in the upstream and downstream of the diversion channel in the Hii River

土木工学専攻 7号 岡田 裕之介

Yunosuke OKADA

1. はじめに

島根県を流れる斐伊川は、斐伊川河道の流下能力が計画高水流量を流すことが出来ないため、中流部の14.4km地点に斐伊川放水路が建設された。これにより斐伊川洪水流量の一部を放水路へと分派させ、斐伊川下流部への流量が安全に流下されることになる。しかし、斐伊川は河床構成材料が2mmと小さいことに加え、粒径がほぼ均一な砂からなるために、放水路への分派に伴う本川流量減少は、分派点付近の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と推定され、これらの影響を明らかにする必要がある。これまでに著者は、放水路竣工前の2洪水を対象として、洪水中の放水路建設予定区間での河床変動、河床波抵抗特性の変化について検討してきた¹⁾。また、既往検討で対象とした平成23年洪水を外力条件とし、放水路竣工後の河道縦横断面形を用いることで、放水路への分派による分派点付近の本川河床変動の予測検討を行ってきた。しかし、放水路への分派が生じることで本川河床がどのように変動し、河床波がどのような発達過程をとるか不明であることから、既往検討で得られた粗度係数値¹⁾を用いており、得られた分派流量や河床変動の大きさ等には課題を残している。このことから、実際に放水路への分派が生じた洪水を対象として河床変動及び河床波の抵抗特性を見積もる必要があった。

本研究では、斐伊川放水路へ初めて分派した平成25年9月洪水を対象に、斐伊川放水路の洪水流分派機能と分派点付近の本川河床変動、河床波の抵抗変化を明らかにすることを目的とする。

2. 検討対象区間の概要

図-1に検討対象区間の平面図を示す。対象区間内では上島(18.6km)、大津(12.4km)、灘分(4.0km)の計3地点で洪水水位及び浮子による流量観測が行われている。また、丸で示す位置に簡易圧力水位計が設置されており、これらを用いて縦断的な水位観測が行われている。斐伊川河道内では、写真-1に示すように大きな網状砂州が発達しており、対象区間内では0.5m~1.0m程度の波高を有する河床波が確認されている。それに対して本洪水のピーク水深は分派点上流部で3.0m程度、分派点下流部で1.5m程度と浅く、洪水中の河床波の変形・発達による抵抗変化が流れと土砂移動に大きな影響を与えることが考えら



図-1 対象区間平面図

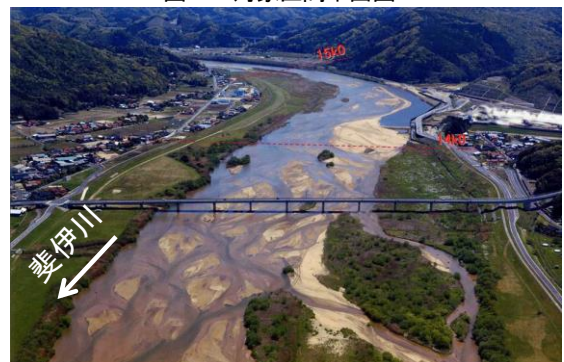


写真-1 斐伊川の河床形状 (平成23年5月撮影)



写真-2 分派点付近の航空写真 (平成24年4月撮影)

れる。斐伊川放水路は湾曲部出口付近の14.4km付近に建設され、斐伊川洪水流量の一部は神戸川に流入する。河川整備基本方針²⁾では、計画高水流量時の斐伊川本川と放水路の流量割合が5:4となるように計画されている。写真-2に放水路分派点付近の航空写真を示す。斐伊川放水路分派堰には、起伏ゲートが5門、制水ゲートが2門それぞれ設けられており、洪水中はこれらのゲート操作

により放水路への流量調節が行われる。本研究で対象とする平成25年9月洪水では、5門の起伏ゲート操作が行われた。放水路分流堰直下流には、本川からの土砂を捕捉するための沈砂池が設けられている。沈砂池は神戸川への土砂流入を減ずる役割を担っている。

3. 斐伊川放水路への洪水流分派と本川河床変動の解析法及び解析条件

(1) 浅水流の仮定を用いない底面流速解析法

本研究では、大きな河床波の存在による底面付近の静水圧からの偏差圧力の発生や河床の縦横断的な凹凸により生じる流れの三次元性を適切に考慮する必要があるため、流れ場の解析には内田・福岡³⁾により開発された一般底面流速解析法(一般BVC法)を用いる。以下にその概要を示す。

一般BVC法では、河床からわずかに上の面を底面と仮定し、渦度の定義式を水深積分することで得られる式(1)より底面流速 u_{bi} を算出する。

$$u_{bi} = u_{si} - \varepsilon_{ij3} \Omega_j h - \left(\frac{\partial W h}{\partial x_i} - w_s \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + w_b \frac{\partial z_b}{\partial x_i} \right) \quad (1)$$

ここに、 $i, j=1, 2(x, y)$ 方向、 ε_{ij3} :エディトンのイプシロン、 u_s :水表面流速、 Ω_j :水深平均渦度、 h :水深、 W :水深平均鉛直方向流速、 z_s :水位、 z_b :河床高、 w_s 、 w_b :水面、底面の鉛直方向流速である。なお、流速鉛直分布は三次多項式より近似している。式(1)の底面流速は、水深積分連続式、水深積分運動方程式、水深積分渦度方程式、水表面流速の方程式、底面の静水圧からの偏差圧力の方程式、水深積分鉛直方向流速の方程式から計算する。河床変動解析は式(1)より得られた底面流速を用いて、掃流砂は芦田・道上の式、浮遊砂の浮上量は板倉・岸の式より算出する。また、浮遊砂濃度の計算には、鉛直方向の流速分布と底面近傍の移流拡散を適切に評価するために、三次元移流拡散方程式を用いている。河床変動量は流砂の連続式より計算される。

(2) 河床波の抵抗変化と分派点付近の河床変動の検討方法

本研究では、河床波付近の流れと河床の三次元的構造の変化を高精度に計算可能な一般BVC法で計算し、抵抗パラメータであるマンギの粗度係数を観測水面形の時間変化を用いて推定し、これらより複雑な網状流路の流れと土砂移動機構を明らかにする。解析手順として、初めに準定常一般BVC・河床変動解析を用いて各時間の粗度係数を推定する。準定常流解析を用いる理由は、非定常流解析では流量変化、河床変動、粗度係数の変化等が相互に影響し合うことから、粗度係数値の推定が容易でないためである。上下流端境界条件には、上島(18.6km)、宍道湖(-1.0km)、大井谷橋(10.9km)の水位観測データを用いる。上流端境界条件として、図-2に示すようにA~Gの時間帯の実線で示す各時間の水位を与え、下流端境界

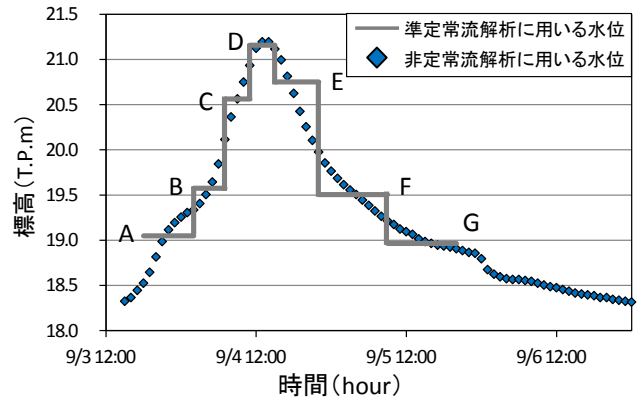


図-2 上流端境界条件に用いた水位ハイドログラフ

表-1 ゲート操作記録

| | |
|-----------|--------------------------|
| 9月4日 6:50 | 1号ゲート倒伏開始 |
| 9月4日 7:50 | 2・3号ゲート倒伏開始, 1号ゲート倒伏完了 |
| 9月4日 8:50 | 4・5号ゲート倒伏開始, 2・3号ゲート倒伏完了 |
| 9月4日 9:50 | 4・5号ゲート倒伏完了 |
| 9月5日 3:20 | 全ゲート起伏開始 |
| 9月5日 4:07 | 全ゲート起伏完了 |

条件も同様に水位を与え、準定常流解析を行っている。各時間の粗度係数は各時間の観測水面形及び上島地点の観測流量を概ね説明することが出来た時の値を採用している。この理由として、観測水面形の時間変化には、洪水中における河床波の変形による抵抗変化や放水路への流量分派による水位変化の影響が現れているためである。次に、準定常流解析より得られた各時間の粗度係数値を反映させ、観測水面形の時間変化を用いる非定常一般BVC・河床変動解析法を適用し、斐伊川放水路の洪水流分派機能と分派点付近の本川河床変動について検討を行う。上下流端境界条件には、上島、宍道湖、大井谷橋の水位時系列データをそれぞれ与えている。

(3) 解析条件

河床の初期地形は平成24年12月に行われた定期横断測量データに基づき作成した。放水路分派点区間(14.0km~16.0km)については、平成25年6月に10m~50m間隔で実施された詳細な横断測量データを基にしている。表-1は放水路分流堰起伏ゲートの操作記録である。本洪水に対しては、全ての起伏ゲートの操作が行われ、水位上昇期には上島地点(18.6km)でのH.Q.換算洪水流量が $500\text{m}^3/\text{s}$ となる時間から各ゲートを1時間毎に倒伏させている。また、水位下降期でも水位上昇期と同様な条件となった時間より全ゲートを同時に起伏させている。解析では、ゲート操作による倒伏・起伏条件を考慮し、ゲート前面の水位がゲート高よりも低い時間帯は、ゲート断面を通過する運動量フラックスをゼロとしている。

4. 解析結果

(1) 斐伊川放水路の洪水流分派機能と分派点付近の河床変動

図-3は非定常流解析より得られた解析水面形と観測水位の比較を示している。解析水面形は観測水面形の時間変化を概ね再現出来ており、15.0km付近から放水路へ

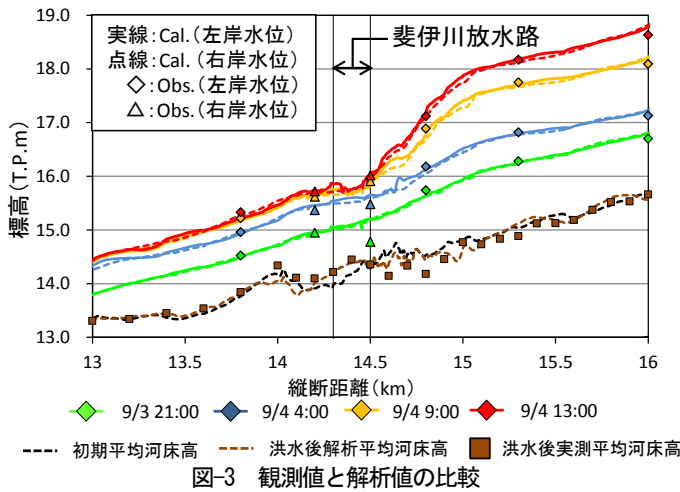


図-3 観測値と解析値の比較

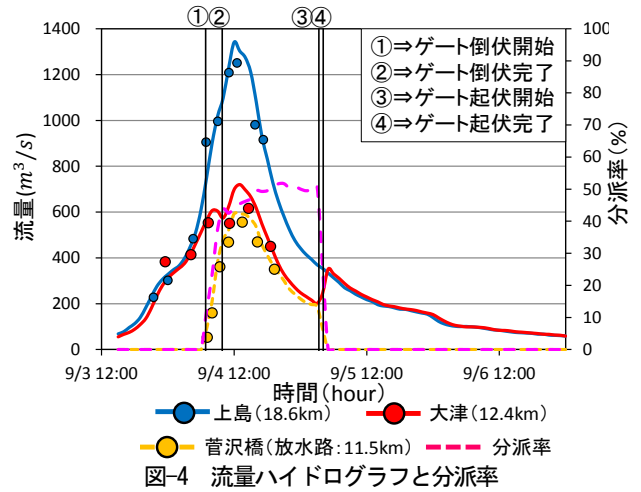


図-4 流量ハイドログラフと分派率

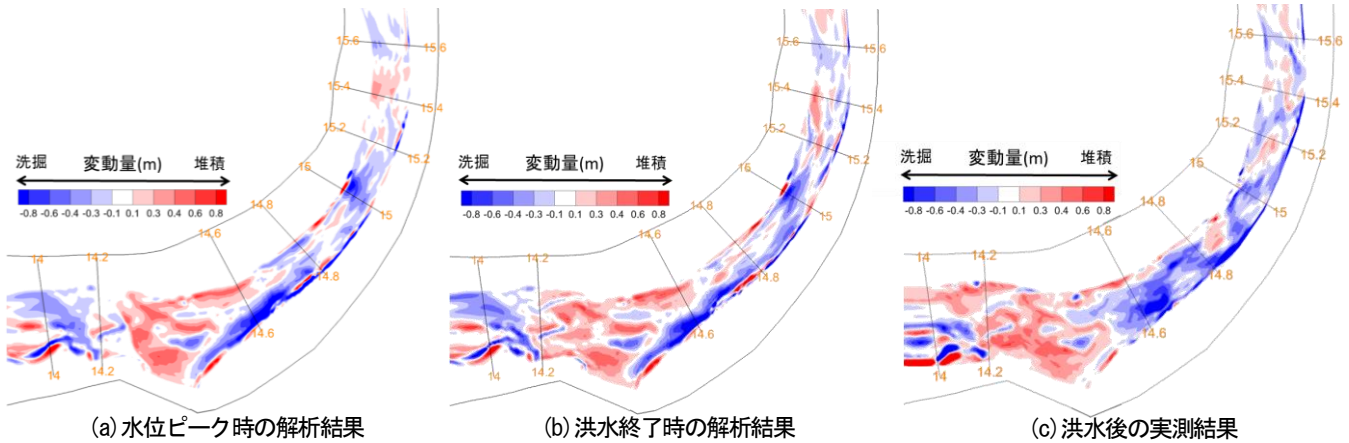


図-5 分派点付近の河床変動量カウンター図

表-2 各時間の粗度係数 ($m^{-1/3} \cdot s$)

| | 0.0~10.0km | 10.0~15.0km | 15.0~19.0km | 放水路 |
|---|------------|-------------|-------------|-------|
| A | 0.018 | 0.033 | 0.031 | 0.027 |
| B | 0.030 | 0.031 | 0.027 | |
| C | 0.031 | 0.030 | 0.028 | |
| D | 0.025 | 0.025 | 0.032 | |
| E | 0.033 | 0.028 | 0.034 | |
| F | 0.029 | 0.030 | 0.030 | |
| G | 0.030 | 0.030 | 0.029 | |

※分派が生じている時間帯(C~F)は粗度係数の分布を19.0~14.6km, 14.6~10.0km, 10.0~0.0kmとしている。

の分流の影響が現れ、分派点下流部の水位上昇量は分派点上流部に比べて著しく減じていることが分かる。また、黒の点線で示す初期平均河床高と茶色のプロットで示す実測の洪水後平均河床高の比較より、放水路直上流の14.6km~15.0km付近では洪水後に0.5m程度平均河床が低下する。一方、放水路分派前面部となる14.3km~14.5kmでは0.3m程度上昇している。茶色の点線で示す洪水後平均河床高解析値はその変化の傾向を概ね再現出来ている。図-4は本川及び放水路の各観測所における流量ハイドログラフと分派率を示している。ここで分派率は、本川の上島地点(18.6km)の流量に対する放水路の菅沢橋地点(11.5km)流量の比で表している。本川及び放水路の解析流量ハイドログラフは観測流量ハイドログラフを説明している。分派点下流の天津地点(12.4km)の流量ハイドログラフには分流堰のゲート操作の影響が現れており、①~②のゲート倒伏時は約100m³/sの流量減少、③~④のゲート起伏時は約200m³/sの流量増大が生じている。ま

た、放水路への分派率は水位ピーク時において45%であり、計画上の本川と放水路の流量割合とよく対応している。図-5は(a)水位ピーク時の解析、(b)洪水後の解析、(c)洪水後の実測の分派点付近の河床変動量カウンター図を示している。水位ピーク時には放水路上流部で0.8m程度の河床洗掘、分派点前面で0.8m程度の河床堆積が生じている。また、洪水後には分派点前面部で堆積範囲が拡大している。実測と解析の比較より、放水路分派点付近の河床変動の傾向を良好に捉えることが出来ており、変動量も概ね一致している。これは、詳細な地形データを基に初期地形を作成したことと洪水流・河床変動を高精度な解析法を用いて計算したことにより、河床の凹凸を的確に表現出来たためと考えている。

(2) 河床波の抵抗変化と発達・減衰過程

表-2は本解析に用いた各時間の粗度係数を示している。放水路分派点上流部(15.0km~19.0km)では水位の上昇・下降に伴い粗度係数も増大・減少しているが、分派点下流部では水位の上昇・下降により粗度係数はそれぞれ減少・増大の傾向を示している。図-6は表-2の値を用い、非定常流解析より得られた分派点上流(16.0km付近)の河床高カウンター図であり、(a)初期河床高、(b)水位ピーク時の解析河床高、(c)洪水終了時の解析河床高をそれぞれ立体的に示している。図-6(a)、(b)の比較より、河床波の波高の増大や滯筋と河床波の比高差の増大が確認出来、水位上昇期では河床波が発達し、抵抗は増大する。

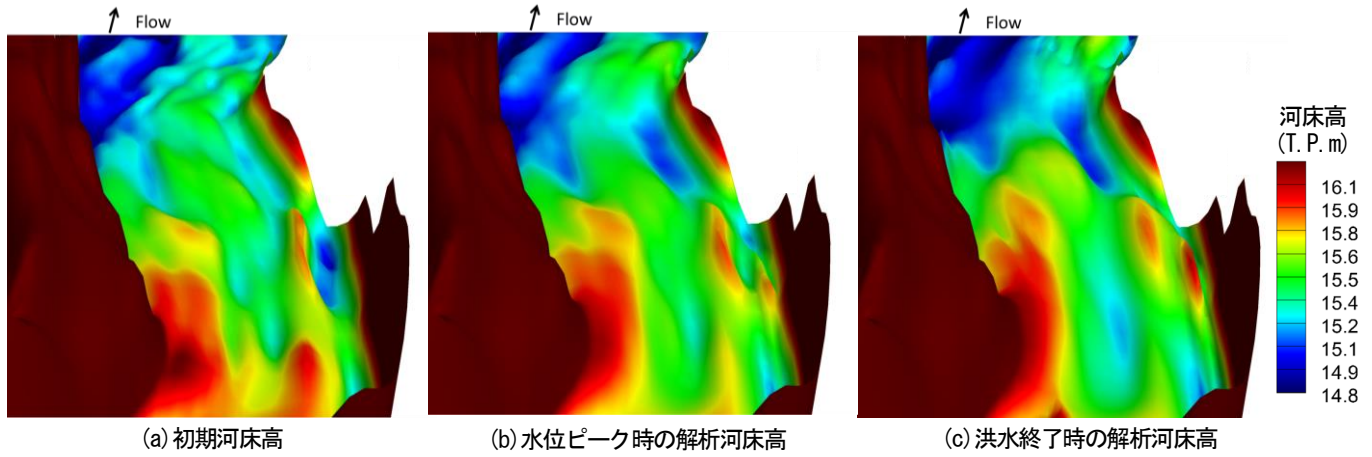


図-6 非定常流解析より得られた分派点上流(16.0km付近)の河床高コンター図

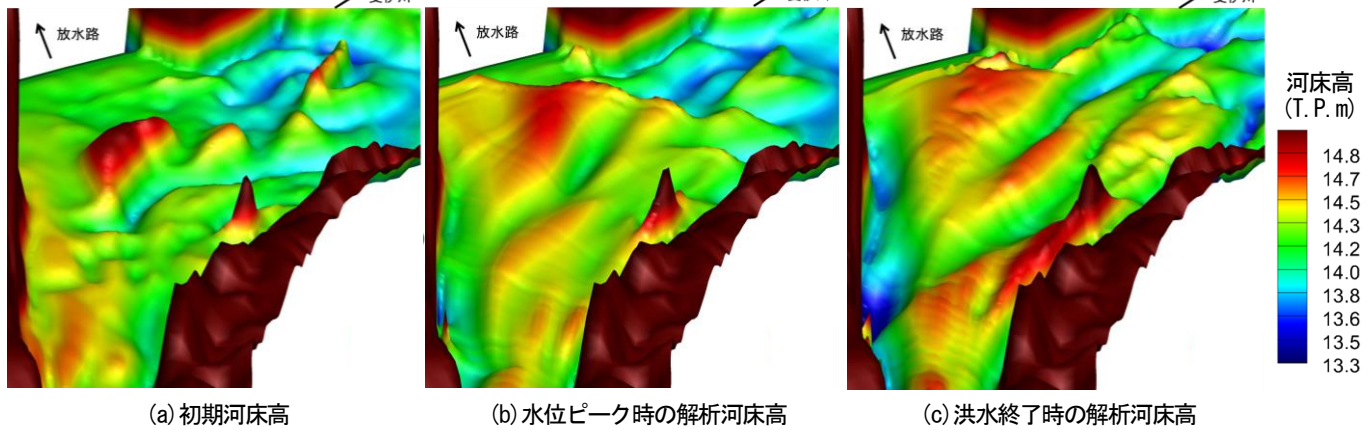


図-7 非定常流解析より得られた分派点付近(14.4km)の河床高コンター図

しかし、洪水終了時の図-6(c)では水位ピーク時よりも河床波が発達しているように見え、分派点上流部における水位下降期での河床波の発達・減衰過程については詳細な検討が必要である。図-7は非定常流解析より得られた分派点付近(14.4km)の河床高コンター図である。洪水初期と水位ピーク時の比較より、河床波の縦横断波長が大きくなっているものの河床波の波高は減少しており、水位上昇期では河床波の減衰により抵抗は小さくなる。水位ピーク時と洪水終了時の比較では、河床波の波高及び河床波と滞筋との比高差が増大し、水位下降期では河床波の発達により抵抗が増大する。これはこの区間での粗度係数の増減とよく対応している。これらのことから、一般 BVC 法と二次元河床変動計算をカップリングさせることにより、定量的な説明が困難であった洪水時の河床変動、河床波の抵抗変化及び発達・減衰過程をかなりの精度で表現出来ることがわかる。その結果として、砂河川斐伊川では、洪水の各段階でとる河床高の変化に伴う粗度係数の値にも十分な意味を持たせることが可能となった。

5. 結論

1) 斐伊川洪水時の観測水面形の時間変化を用い、一般底面流速解析法と河床変動計算をカップリングさせ、準定常流及び非定常流解析の2段階解析を行うことで、高精度に流れと河床変動を解き、本川、放

水路の流量ハイドログラフ、河床洗掘・河床堆積及び河床変動量の実測を良好に再現出来た。本洪水時の流量分派率はピーク時において45%であり、計画上の流量割合と対応している。これらのことから、本手法が砂河川斐伊川の洪水流・河床変動の検討に有効であることが示された。

- 2) 一般底面流速解析法と河床変動解析法を用い、網状流路の河床波上に作用する底面圧力や底面流速を適切に評価することで、洪水時の河床波の抵抗変化及び発達・減衰過程を表現することが出来た。
- 3) 本解析より得られた洪水時の河床波の発達・減衰過程と本解析で導いた粗度係数値の増減関係はよく対応する。このことより、粗度係数値の増減関係という理解しやすい形で河床波の発達・減衰過程を説明することが可能となる。

参考文献

- 1) 岡田裕之介, 大吉雄人, 福岡捷二: 網状砂州河道における大規模洪水時の河床変動, 河川技術論文集, 第19巻, pp.153-158, 2013.
- 2) 国土交通省中国地方整備局出雲河川事務所: 河川整備基本方針, 2009.
- 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底面流速の解析法, 水工学論文集, 第56巻, I_1225-I_1230, 2012.