

斐伊川における洪水時の流砂量計測の試み

TRIAL OF SEDIMENT DISCHARGE MEASUREMENTS

UNDER FLOODS IN THE HII RIVER

上野鉄男¹・宇民 正²・木下良作³・鈴木 篤⁴・
佐近裕之⁴・山崎隆洋⁴・三加茂利明⁵・奈島光宏⁵

Tetsuo UENO, Tadashi UTAMI, Ryouzaku KINOSHITA, Atsushi SUZUKI,
Hiroyuki SAKON, Takahiro YAMASAKI, Toshiaki MIKAMO and Mitsuhiko NAJIMA

¹ 正会員 工博 京都大学 防災研究所助手 (〒612 京都市伏見区横大路下三栖東の口)

² 正会員 工博 和歌山大学教授 システム工学部 (〒640 和歌山市栄谷 930)

³ 正会員 工博 (〒166 東京都杉並区阿佐ヶ谷北 5-30-11)

⁴ 正会員 建設省中国地方建設局出雲工事事務所 (〒693 島根県出雲市塩冶有原町 5-1)

⁵ 出雲グリーン株式会社 測量部 (〒693 島根県出雲市矢野町 810)

The river-bed configurations were measured by a echo-sounder attached to a cross-type float under floods in the Hii River which is the typical sand-bedded river in Shimane Prefecture. At the same time, time series of photographs were taken of the flow patterns on the flow surface, and the vertical distributions of the velocity and turbidity were also measured.

In this paper, by using the data, moving velocities of dunes were obtained at every stage of the floods, and approximate estimations of discharge rate of bed load and suspended load were tried.

Key Words : field observation, flood flow, sediment discharge, dune, turbidity

1. はじめに

斐伊川は、平水時にはうろこ状の砂州の発達が見られる典型的な砂河川である。著者ら^{1)、2)、3)、4)}は、斐伊川において洪水時の河床変動と洪水流況の同時観測を1993年から5年間続けてきた。本研究においては、1997年の6月28～29日の洪水時(大津水位観測地点ピーク流量983.5 m³/sec)と7月12～13日の洪水時(同じく1168.8 m³/sec)について、流砂量を評価することを試みた結果について、6月の洪水を中心として述べる。

2. 観測方法

(1) 洪水観測および観測地点の概況

洪水観測は河口から13.5 kmに位置する南神立橋において行われた。観測地点の河道全幅は約500 m、低水路幅は約300 mであり、その上流側約1 kmのところでは河道は湾曲している。観測地点周辺の河床砂の平均粒径は約2 mmである。

1997年の6月28～29日の洪水時の各水位観測所

における洪水のハイドログラフと観測時刻(あるいは時間帯)を図-1に示す。南神立橋観測地点は大津水位観測所より約1 km上流にある。

(2) 十字浮体による河床形状の計測

十字浮体^{5)、6)}に測深機(タマヤ計測システム社製

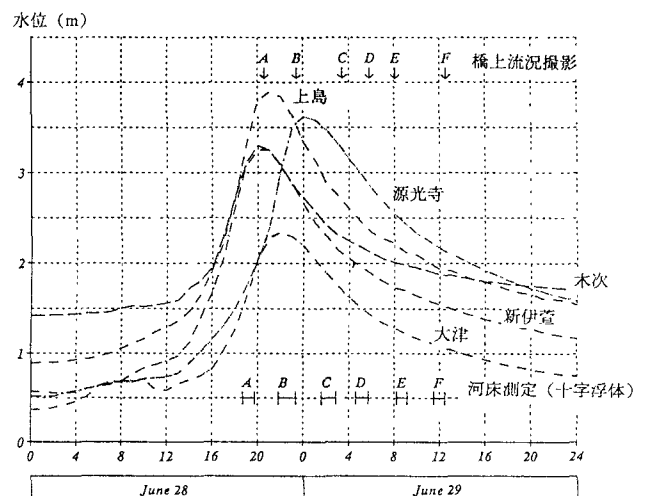


図-1 洪水のハイドログラフと観測時刻

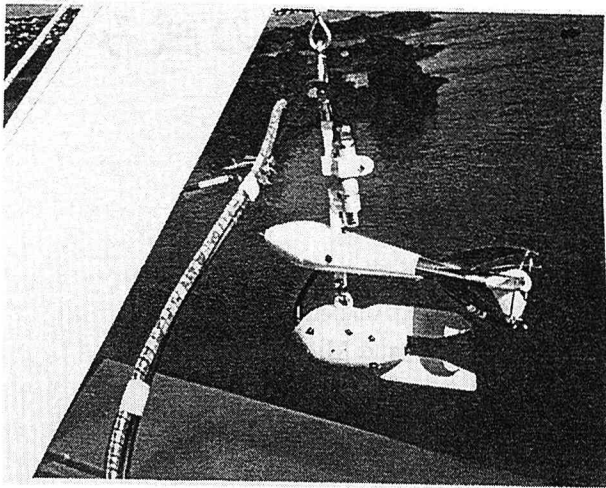


写真-1 水位計、流速計および濁度計の配置

TDM-9000) を装着し、南神立橋の橋下流の水面上を約 46 ~ 47 m 自然流下させ、その流跡に沿う水深変化を橋上で記録した。このような計測を河道横断方向に 2 m 間隔で 40 m にわたって 21 測線について繰返し行い、河床の三次元形状を把握した。

また、河床波の移動と変形の特性を捉えるために、計測範囲の中央の測線上で河床形状を 5 分間隔で繰り返して 10 回計測した。

(3) 濁度および流速の測定

南神立橋の橋上の欄干に長さ約 2.4 m の角材を斜めに設置し、手動式のウインチ（富士精工社製ポータブルウインチ PNW-300）を用いて角材の頂部から、水位計（グラント社製ピエゾ抵抗式圧力トランスミッター ED550）、プロペラ式流速計（東邦電探社製 CM-1AX 型電流速計）および濁度計（北斗理研社製 MA-212D 製デジタル濁度計）を水中に下ろすことにより、水位計の鉛直方向の位置、流速および濁度の同時計測をした。各計測器からの出力は 0.1 秒毎にパソコンに取り込んだが、一点の計測時間を約 1 分とした。

水位計、流速計および濁度計の配置は写真-1 に示すようであり、濁度計は下端のスズを混入した鉛の錘（約 10 kg）の中に埋め込まれている。各計測器の受感部間の距離は水位計と流速計の間が 5 cm、流速計と濁度計の間が 14.5 cm である。

また、長さ 4 m のアルミニウム製の脚立の一方を南神立橋の中央付近の欄干に沿わせてほぼ鉛直に立て、その頂部に高性能のビデオカメラを斜め下向きに設置し、水面流況を洪水の各段階で 2 ~ 3 分間撮影した。

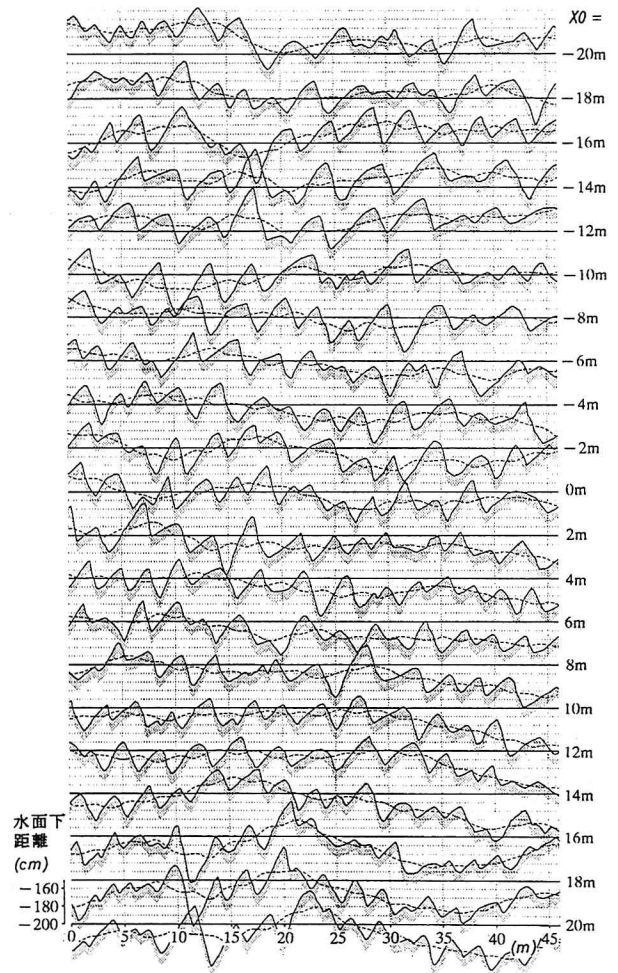


図-2 各測線上の水深の変化（時間帯 B）

3. 砂堆の移動速度と掃流砂量

(1) 砂堆の波高

測深機に記録された計測結果の波形をディジタイザを用いて計算機に入力した。各測線上の水深の変化の一例を図-2 に示す。本図において、測線は測定範囲の中央を基準にして、右岸に近い側から X0 = 20 m（第 1 測線）、18 m、---、-20 m（第 21 測線）と表されており、破線は移動平均された河床形状である。

これらを用いて計算された河床の三次元形状の等高線図の一例を図-3 に示す。本図において、横軸は橋の欄干に平行に、縦軸は主流流下方向に設定されている。また、破線は十字浮体の流下方向を示している。本図から、河床に砂堆が形成されていることがわかる。

砂堆の波高を、河床の局所的な最高点からその直下流の局所的最低点までの垂直距離で定義することにして、図-2 に示されている各測線に沿う砂堆の波高を求めた。得られた波高の分布を砂粒の粒径加積曲線と同じ考え方に基いて整理すると、図-4 に示されるようになる。本図における A、B、--- は図-1

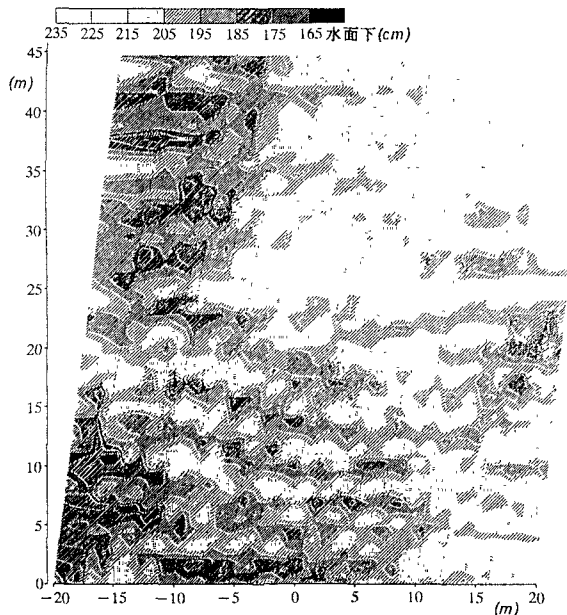


図-3 河床の三次元形状の等高線図（時間帯 B）

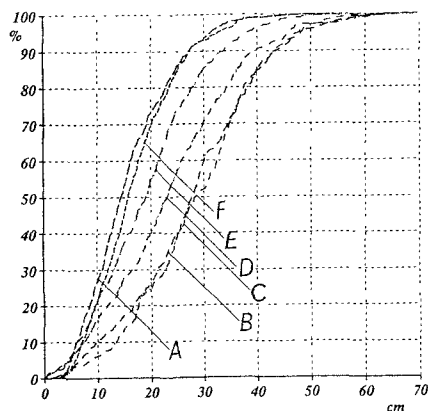


図-4 砂堆の波高の加積曲線の時間変化

に示されている河床形状の観測時間帯である。以下の検討においては、砂堆の波高として 80 % 波高を用いることにした。各観測時間帯の砂堆の波高を表-1 に示す。

(2) 砂堆の移動速度

十字浮体で河床形状を 5 分間隔で繰り返して 10 回計測した場合の各観測時間の測線上の河床形状の変化の一例を図-5 に示す。5 分間隔の各計測結果間に河床波の移動を示す対応が認められる。これらの対応関係を調べるために、各計測時間帯毎に 5 分間隔の 10 回の計測結果の間の相互相関係数を計算した。図-6 は第 5 回目の計測とその他の計測との間の相互相関係数の一例を示したものである。これらの図において、相互相関係数のピークのずれが一定時間内の河床波の移動距離を示すが、必ずしも整合性のある結果が得られているとは言い難い。これは、十字浮体による計測開始時間や計測開始位置の微妙なずれによるものと考えられる。しかし、正確な結果も

表-1 砂堆の波高、移動速度および流砂量

観 測	砂堆の波高 (m)	移動速度 (m/hr)	流砂量 (m^2/hr)
A	0.34	10.0	3.42
B	0.38	9.3	3.61
C	0.36	8.9	3.16
D	0.32	7.6	2.45
E	0.26	7.1	1.87
F	0.23	4.7	1.06

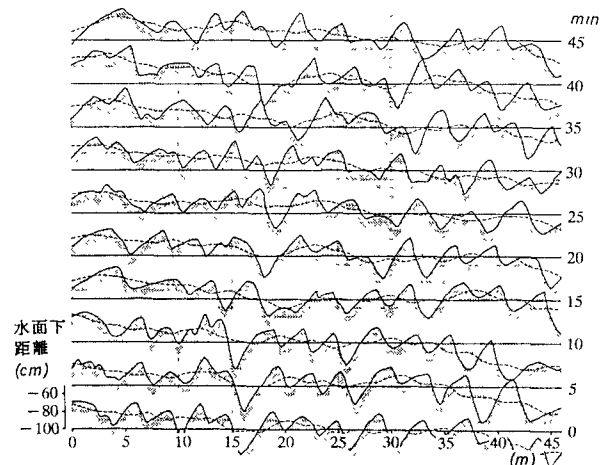


図-5 各観測時間の測線上の河床形状の変化（時間帯 D）

含まれていると考えられるので、全体の図を総合的に判断して、砂堆の移動速度を求めた。

図-7 は相互相関係数のピークのずれと、第 5 回目の計測との間の相互相関係数を計算する際に対象とされた他の計測 No. との関係を示したものである。各観測時間帯の結果に平均的な直線を描くと、その傾きから砂堆の移動速度を求めることができる。その結果は表-1 に示されている。表-1 と図-1 より、洪水のピーク付近では砂堆の移動速度は非常に大きく、流量が減少して水深が小さくなるとその移動速度が小さくなることがわかる。

(3) 砂堆の流下に伴う流砂量

得られた砂堆の移動速度を用いると、砂堆の流下に伴う単位幅当りの流砂量は（砂堆の波高）×（砂堆の移動速度）として算出される。その結果は表-1 に示されている。

砂堆の流下に伴う単位幅当りの流砂量の値に観測地点の河道幅 300 m を掛け、1 秒当りの流砂量（実質容量）に換算した結果を図-8 および図-9 に示す。図においては、この場合の流砂量は掃流砂量と表現されている。図より、洪水のピーク付近では砂堆の流下に伴う流砂量は非常に大きく、流量が減少して水深が小さくなるに従って砂堆の流下に伴う流砂量は小さくなることがわかる。

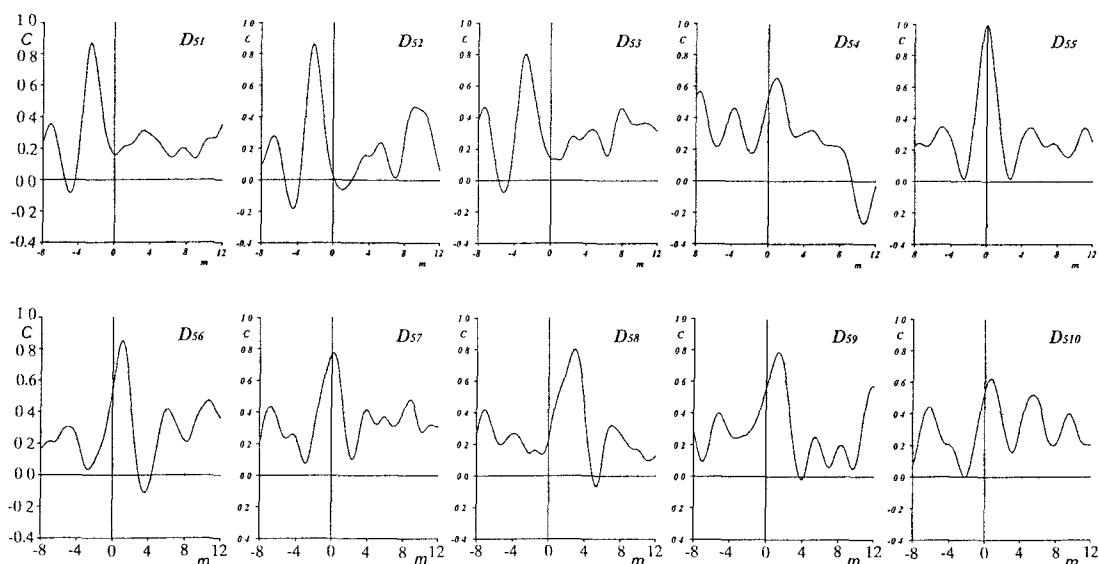


図-6 第5回目の計測とその他の計測との間の相互相関係数（時間帯D）

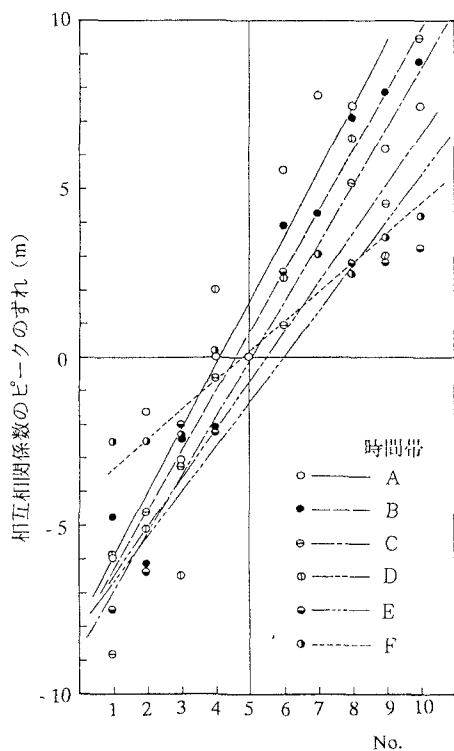


図-7 相互相関係数のピークのずれと、相互相関係数の計算の対象計測 No. との関係

4. 浮遊砂に関する検討

(1) 濁度と流速の計測結果

浮遊砂の流砂量を検討するために、6月と7月の両洪水において、洪水のピークの約2時間前から10数回の濁度と流速の同時計測が行われた。これらの計測に関して計測器の鉛直方向の位置計測も行われた。濁度、流速および水位計の鉛直方向の位置の計測結果の一例を図-10に示す。また、洪水のピーク前後の各計測時刻の濁度と流速の鉛直分布を示すと図-11のようになる。

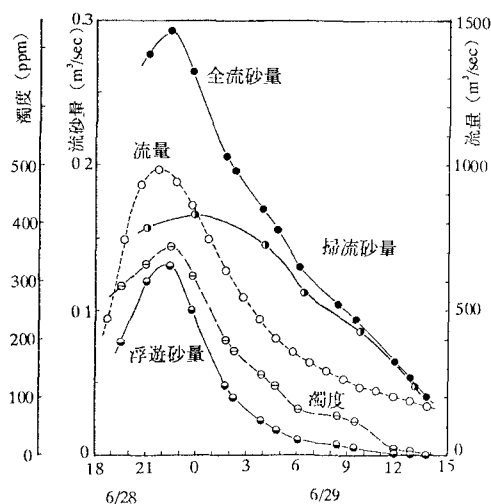


図-8 濁度、流量および各流砂量の時間変化（6月28～29日洪水）

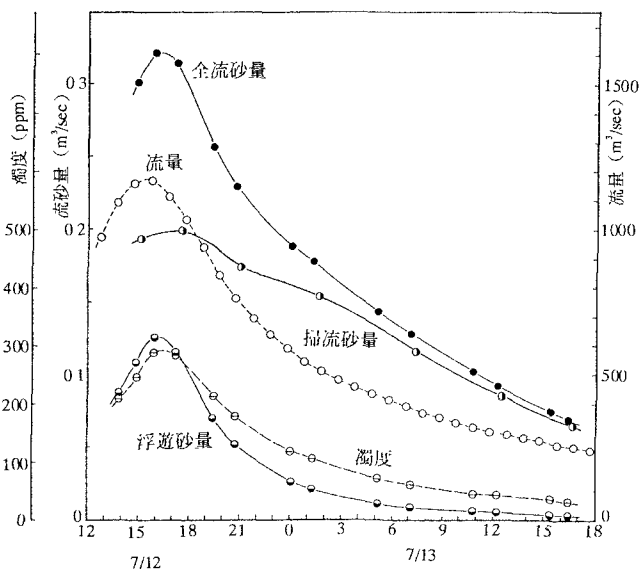


図-9 濁度、流量および各流砂量の時間変化（7月12～13日洪水）

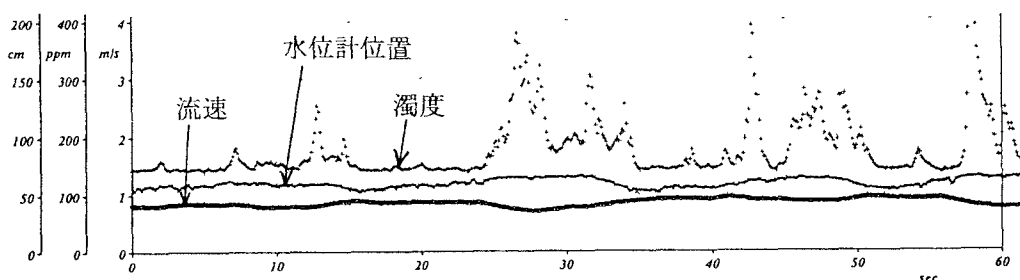


図-10 濁度、流速および水位計の鉛直方向の位置の計測結果（6月29日3:52）

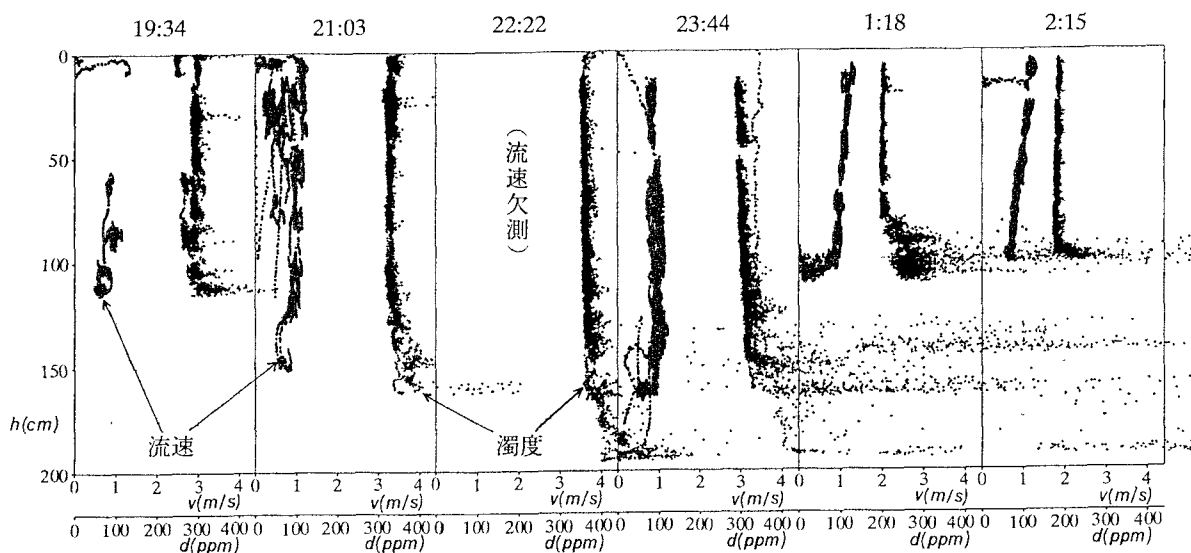


図-11 各計測時刻の濁度と流速の鉛直分布（6月28～29日洪水）

濁度の計測は比較的安定的に行われた。洪水のピーク付近の時間帯に濁度は最も大きく、洪水の減水に伴って濁度は小さくなっている。濁度の鉛直分布に関しては、水面から河床近くまでは濁度はほぼ一定であり、洪水のピーク時には濁度の平均的な値は最大値 360 ppm に達している。河床近くでは、濁度が急激に大きくなっている。また、河床波の波高が最大になる 23 時 44 分の濁度が水面からの距離が大きくなるにつれて増加していることが注目される。斐伊川の場合には木下⁶⁾が石狩川で計測した（一般に濁度が水深方向に大きくなって一様な部分がほとんどないなどの）結果とは異なる面をもつが、これは観測地点の水深や河床勾配と河床材料などが異なっていることによると考えられる。

流速の計測は不安定であった。これは主として洪水中的ごみの影響と考えられる。計測された流速値は全般にビデオ撮影結果を画像解析して求めた水面流速より小さくでており、総合的に判断して洪水時にプロペラ流速計による計測では十分な精度を出せないと言える。

(2) 浮遊砂量の評価

濁度の鉛直分布が水面から河床にかなり近いところまでほぼ一定になっているので、計測時刻ごとの

一定な部分の濁度の値を図-11 から求めることができる。斐伊川の場合の濁度と浮遊砂量との関係は明らかではないが、ここではこのようにして求めた一定の部分の濁度に各計測時刻の河道の全流量を掛けることにより計測地点の河道全体にわたる浮遊砂量を評価することとした。得られた濁度、浮遊砂量（実質容量で示す）および流量の時間変化は図-8 および図-9 に示されている。図において、流量に関しては、洪水の流下時間を考慮して大津水位観測所の観測結果の 14 分前の値が用いられている。

これらの図より、浮遊砂量のピークは流量のピークとよく対応しており、斐伊川の場合、流量が減少すると浮遊砂量も急激に減少することがわかる。

なお、以上の流砂量の計算においては、砂粒の比重を 2.65、砂の空隙率を 0.45 とした。

(3) 河床近傍の濁度分布について

図-10 および図-11 においては、河床近傍の濁度が大きくなっている部分があることが注目される。濁度が大きくなっている部分では、濁度の時間的変動が大きいので、これから確かな流砂量を推定するのは困難であるが、そのうちの濁度が最も大きい 23 時 44 分の計測結果について、流砂量の評価を試みた。すなわち、濁度と浮遊砂量との関係は明らかではな

いが、河床近傍において水深方向の一定値より大きい部分の濁度を積分した量に、河床近傍の平均流速を乗じることによってこの場合の流砂量を概算することにした。先述のように、流速の計測には問題があったため、河床近傍の平均流速としては、過去の洪水観測における流速の鉛直分布⁸⁾ならびに実河川の平水時の流れにおける流速の計測結果⁹⁾を参考にして、ビデオ撮影結果を画像解析して求めた水面流速の値を0.65倍した値を用いた。23時44分ごろには、図-8に見られるように掃流砂量も最大になっているが、このときの上記のようにして算出した概算の流砂量の掃流砂量に対する割合は約10%である。

先に砂堆の前縁に取り込まれる流砂量について検討したが、洪水時には跳躍して砂堆の峰を飛び越える砂粒が多く、しかも、両者の割合は洪水の各段階で大きく変化すると考えられる。木下⁷⁾は、砂礫堆に関する定常流実験から全流砂量に対する砂礫堆の前縁に取り込まれる掃流砂量の割合が、勾配や流量を変えることによって大きく変化することを示した。上記の河床近傍の濁度が大きくなっている部分は跳躍して砂堆の峰を飛び越える砂粒によるものではないかと考えられる。今後河床近傍の土砂を含む流れについて詳しく検討することが重要である。

(4) 全流砂量および各流砂量相互の関係

上述のように、濁度が一様分布より大きい部分による流砂量は比較的小さいと考えられ、またそれは時間的に大きく変化するので、ここでは水深方向にほぼ一様な濁度分布から求められた浮遊砂量と砂堆の流下に伴う掃流砂量を加えたものが概略の全流砂量を与えると考えて、その経時変化を図-8および図-9に示した。

これらの図のもとになった数値はいくつかの仮定を前提としているが、図より全流砂量の経時変化は掃流砂量の変化よりも浮遊砂量の変化の影響が大きくなるため、流量のピークとよく対応することがわかる。また、6月28～29日洪水においては浮遊砂の最大値が掃流砂のその約80%になっており、7月12～13日洪水においては約60%になっていることが注目される。さらに、掃流砂量は洪水の流量の大きさに対応しているが、浮遊砂量の最大値は洪水の流量の小さい6月28～29日洪水の時の方が大きくなっていることがわかる。その理由としては、その年の最初の洪水では河川流域および河道からの浮遊砂の供給が大きく、第二回目の洪水では浮遊砂の供給が相対的に小さくなるためかと考えられる。

図-8および図-9をもとにして、6月28日21時から29日13時までと7月12日15時から13日16時

表-2 観測時間内の流砂量の総量

	6月28日21時から29日13時まで	7月12日15時から13日16時まで
浮遊砂量 (m ³)	2,260	2,970
掃流砂量 (m ³)	7,120	12,500
全流砂量 (m ³)	9,400	15,500
浮遊砂量/全流砂量	0.240	0.192
掃流砂量/全流砂量	0.757	0.806

までの浮遊砂量、掃流砂量および全流砂量の総量と、浮遊砂量および掃流砂量の全流砂量に対する割合を求めると、表-2のようになる。本表より、観測時間内の流砂量の総量に関して浮遊砂量は全流砂量の19～24%、掃流砂量は全流砂量の76～81%となっており、浮遊砂量の全流砂量に対する割合は、6月28～29日洪水の時の方が7月12～13日洪水よりも約5%大きくなっていることがわかる。

参考文献

- 1) 宇民正・上野鉄男・木下良作・松本直也・室元孝之：斐伊川における洪水流況と河床形状の同時計測，水工学論文集，第38巻，1994，pp. 739～746.
- 2) 宇民正・上野鉄男・木下良作・松本直也・盛谷明弘・室元孝之：斐伊川における洪水観測について－水面流況と河床形状の同時計測－，京都大学防災研究所年報，第37号B，1994，pp. 511～528.
- 3) 上野鉄男・宇民正・木下良作・池内幸司・福田洲夫・池田鉄哉・常保雅博：斐伊川における洪水観測について（2）－洪水時の河床形状の変化特性－，京都大学防災研究所年報，第39号B，1996，pp. 527～541.
- 4) 宇民正・上野鉄男・木下良作・鈴木篤・佐近裕之・笠見紀之：斐伊川における砂州の動態観測，水工学論文集，第42巻，1998，pp. 1099～1104.
- 5) 木下良作：洪水時の河床形態の変化，第33回水理講演会論文集，1989，pp. 439～444.
- 6) 木下良作：石狩川下流部における洪水時の濁度鉛直分布と流れの構造について，水工学論文集，第34巻，1990，pp. 463～468.
- 7) 木下良作：石狩川河道変遷調査－参考編－，科学技術庁資源局資料，第36号，1962，pp. 131～138.
- 8) 芦田和男・村本嘉雄・今本博健・田中祐一郎・奈良井修二・上野鉄男：大戸川に関する調査研究，京都大学防災研究所年報，第13号B，1970，pp. 187～197.
- 9) 石原安雄・余越正一郎・上野鉄男：河川におけるレイノルズ応力の分布について，京都大学防災研究所年報，第12号B，1969，pp. 503～514.

(1998. 9. 30 受付)