

2000年9月出水が矢作川古峯地区周辺河道に与えたインパクト ——洪水時の地形変化ならびに洪水後の濁水——

Impact of the flood on September 2000 on river geomorphology around Fusso
in the middle reach of the Yahagi River

—— Sediment deposition during the flood and muddy water after the flood ——

田代 喬・北村 忠紀・辻本 哲郎

Takashi TASHIRO, Tadanori KITAMURA and Tetsuro TSUJIMOTO

はじめに

矢作川流域では、2000年9月11日未明から降り始めた雨は夜になって非常に激しくなり、12日の朝まで続いた。上流部の槍ヶ入観測所では、最大時間雨量80mm、累計雨量595mmと強い降雨を記録した（建設省豊橋工事事務所、2000）。また、12日0時頃と3時頃の2つの時刻にピークを持つ降雨であった。ピーク流量は岩津水位観測所（河口から約30km地点）において約4,300m³/sと推定され、既往最大級の流量を記録した（建設省豊橋工事事務所、2000）。

矢作ダムへの流入量は12日2時から4時にかけて急激に増加し、ピーク時には計画高水流量2,300m³/sを大きく上回る約3,200m³/sを記録し、異常洪水時の操作を行い（操作規定でいうところの但し書き放流）、結果として、矢作ダムのピーク流量カットは約800m³/sであった（建設省豊橋工事事務所、2000）。さらに、上流の矢作ダム集水域では「沢ぬけ」と呼ばれる谷部の土砂崩落が多

発し、ダム貯水池に多量の流木・土砂が流入し、下流河道では長時間濁水が続き、河岸には大量の土砂が堆積した。こうした河川の攪乱作用は、人間生活に大きな支障をきたす一方で、河川の生物の生育・生息場に様々な影響を与え、場合によってはその形成・維持にとって重要となる場合もあると考えられる。

洪水時の矢作川古峯地区におけるピーク流量（時間平均流量）も、12日午前10時、既往最大級の2,400m³/sに達し（中部電力越戸ダム管理所提供、図1）、周辺河道地形を変化させた。本報では、1）現地調査ならびに数値解析による洪水流況の再現から洪水時の河道地形変化に関する考察を行うとともに、2）出水後の濁水継続状況に関する現地調査結果について報告する。

河道横断面形状の変化

今回の洪水の後、古峯地区周辺河道の状況（図2）はそれ以前から一変し、河岸に大量の砂が堆積し、中州の

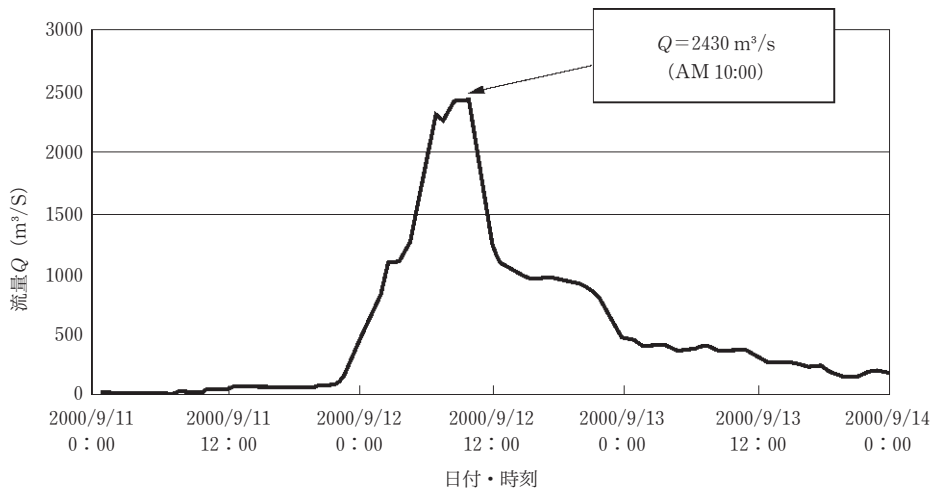


図1 洪水時の時間平均流量の変化

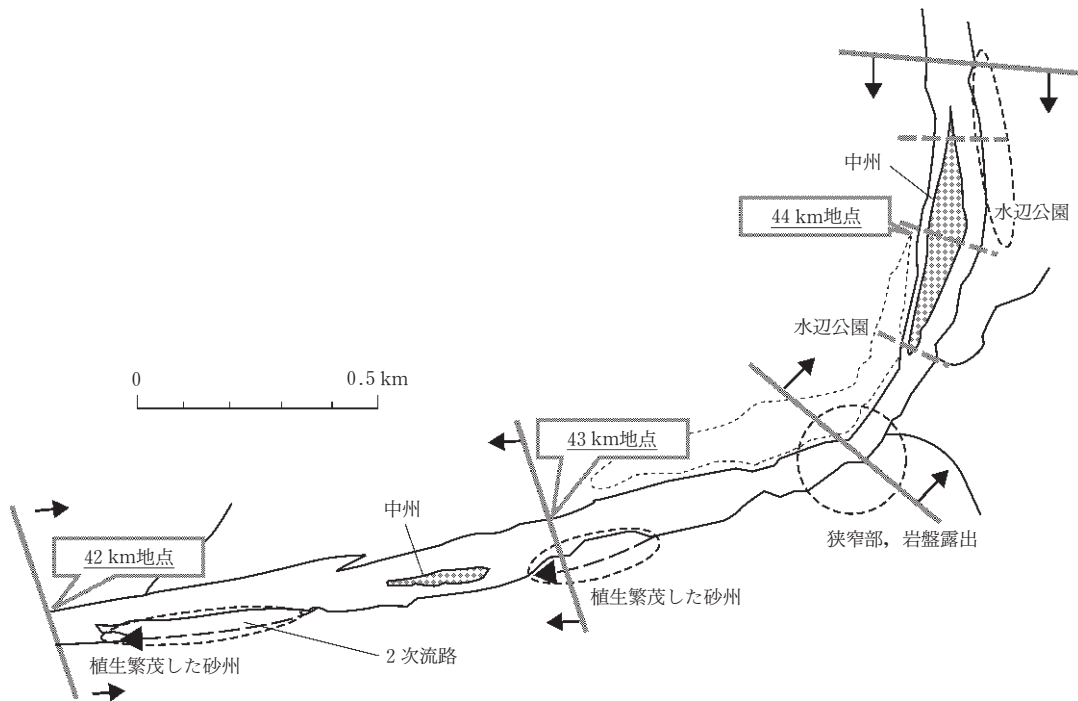


図2 古巣周辺河道の状況 (破線は図3の横断面の位置, 矢印で示した区間は図5の範囲)

植生は破壊された。図3に、河口から43.8km, 44.0km, 44.2km地点における、洪水前後(洪水直後ならびに1999年10月)の河道横断地形の変化状況を示す。図中には、1999年の地形を用いた流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ に対する等流計算によって得られた水位、洪水痕跡による洪水ピーク時の推定水位も付記した。なお、44.0km地点の横断面において、「2000a」、「2000b」とあるが、通常通り地表部分の標高をとった測量結果が前者で、洪水による堆積層の底面をとった測量結果が後者である。堆積層の判断は、ポールを差し入れた際の感触によった。また、堆積した土砂の成分を調べるため、堆積土砂の表層のサンプリング(図3中にサンプリング地点を番号で表記)も併せて行った。表層土砂の粒度分布、強熱減量について、図4に示す。なお、強熱減量の測定は、地盤工学会(1991)の手法によって行った。

図3～4を見ると、両岸の高水敷部分に顕著な堆積が認められる。特に、左岸側高水敷では、堆積層厚が1mに達する場所もある。これは、周辺が植生に覆われており、めざましい流速の低下が生じたためと推定される。この堆積土砂の多くは粒径の小さい砂やシルトであり、標高が高いほど細かい材料や有機物の占める割合が大きい。

本川の滞筋では河床が低下し、河岸寄りでは河床が上昇しているが、変化は微量であり、多量の土砂堆積によって一変した高水敷外観ほど、洪水が横断形状に与えた影

響は大きくないようである。このことから、河床のアーマー化が進行してしまっている現状では、たとえ既往最大級の洪水が作用したとしても、河床形態自体をそれほど大きく変えることはないといえる。

瀬・淵構造の変化

矢作川古巣地区周辺の河道は、河川形態で言うところのBb型に区分される(建設省河川局治水課, 1995)。水野・御勢(1993)によれば、河川形態は河川生態学の分野で使われる川の形態区分であり、Bb型については、一つの蛇行区間において瀬と淵が一つずつあり(B型)、瀬から淵に落ち込む際に白波が立つ(b型)とされる。このような瀬・淵の空間分布構造は、魚類を始め、様々な生物の生育・生息場として、重要な役割を担っている。

現在は、当該地区では河床のアーマー化が進行しているが、既往最大級という大規模洪水によって、どの程度の河床形態(瀬・淵構造)の改変がなされたかを把握することは重要である。こうした認識に基づき、ここでは、洪水前(2000年8月2日)と洪水後(2000年12月12日)に行った調査の比較から、瀬・淵構造の分布の変化を把握する(図5)。なお、瀬・淵構造はその形態の性格上、流量、水位に依存するところが大きいので、調査時の流量も付記した。

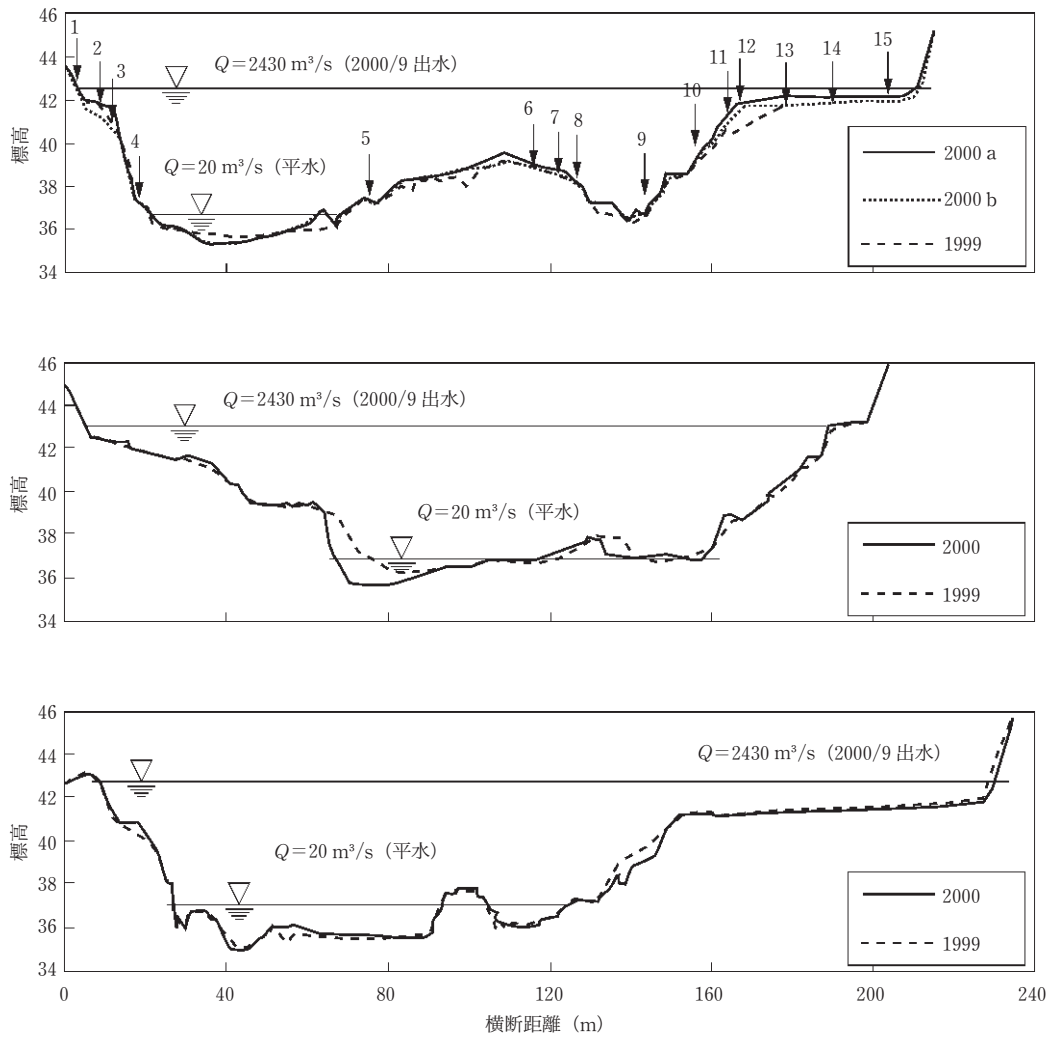


図3 出水による河道横断面の変化 (上: 44.0 km 地点, 中: 44.2 km 地点, 下: 43.8 km 地点)

図5を見ると、洪水前後では調査時の流量が若干違う上、地形も変化しているが、瀬・淵分布についての基本的な構造は、大きく変化していない様子が分かる。しかし、洪水時に水衝部になったと思われる水制工や砂州域の周辺では、側岸部の侵食、砂州域縮小に伴い、瀬・淵分布が変化し、その結果、洪水によって多様な流れ場が形成されたと考えられる。

数値シミュレーションによる洪水時流況の再現と考察

2. で示したように、高水敷では砂やシルトの堆積が生じ、それが植生の存在によって助長されていることが推定された。そこで、植生の存在も考慮できる平面2次元流れの解析を行うことにより洪水時の流況を再現し

て、考察を行った。

流れの基礎式は、非定常3次元流れの運動方程式、連続式を水深方向に積分することにより得られる平面2次元流れの保存形で記述された基礎式を用いた。水平方向の渦動粘性係数は、局所水深と摩擦速度に比例するモデルによって与えた(比例定数は0.1とした)。植生が存在する効果については、運動方程式中に形状抵抗項を付加することで表現した(例えば、北村, 1997)。河川の境界に適合する境界適合格子において、有限体積法によって基礎式を離散化した。離散化式は、次のアルゴリズムによって解かれるものとした。すなわち、1) 運動量の輸送方程式中の水面勾配項を除く項を時間積分して仮の線流量を得て、2) これを連続式に代入して得られる水位に関するポアソン方程式を解くことにより水位を求め、3) これをもとに線流量を補正した。これにより各

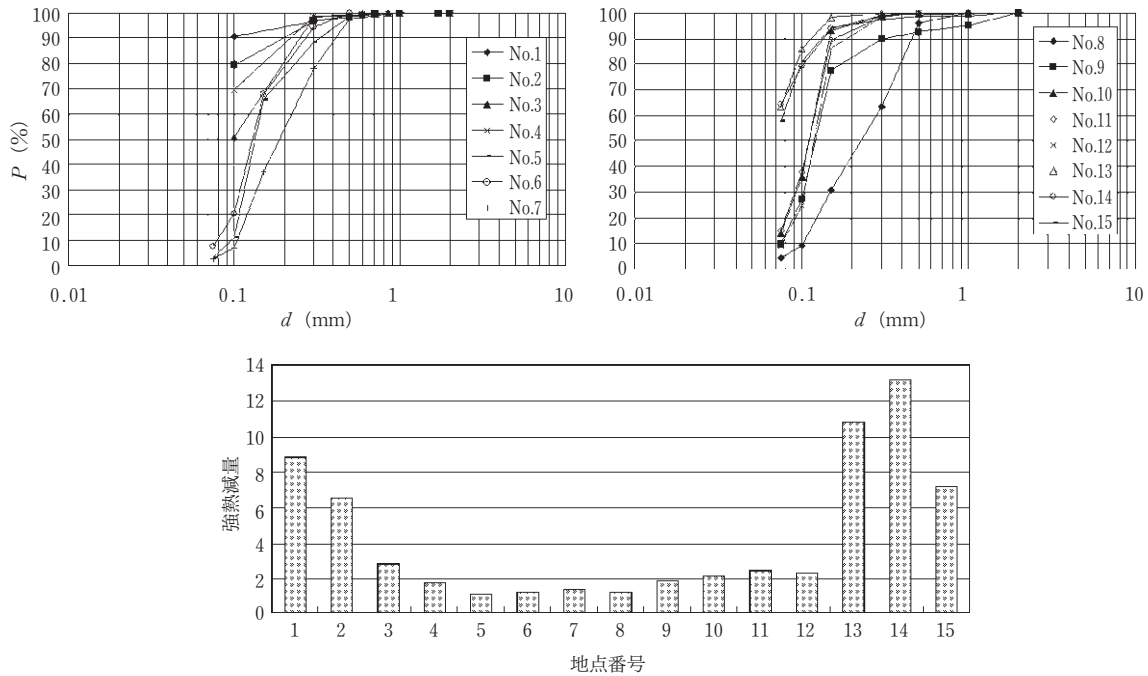


図4 堆積土砂（表層）の粒度分布（上）と強熱減量（下）

時間ステップで運動量の輸送方程式と連続式を同時に満たしながら時間発展させることにより解を得た。流れ場の時間変化がほぼなくなった時点で定常解が得られたものとみなした。

計算は 42.0km 地点から 44.4km 地点間の 2.4km 区間にわたって行ったが、この区間の詳細な地形情報に関しては 1978 年当時の 200m ピッチの横断測量結果が存在するのみであり、ここでは便宜的にこれを使用した(国土交通省豊橋工事事務所提供)。なお、44.0km 地点における現時点での地形と当時の地形を比較してもそれほど大きな違いが見られないため、特に水深が大きくなる大洪水時の流れにはそれほど大きな違いはないものと判断した。

植生に関しては、洪水時に流れに大きく影響を及ぼすと考えられる竹林及び広葉樹林帯の分布状況を、1995 年における航空写真ならびに洲崎 (2001) による調査結果を参考にして設定した。設定した植生域においては、直径 5cm の円柱が 1m^2 において 1 本存在するのと等価な抵抗を与えた。なお、草本類に関しては今回は無視した。

河床粗度については、現状の河床状態を参考にして、等価砂粗度を低水路において 0.10m、高水敷において 0.002m と仮定した。

境界条件として、流入部では最大流量 $2,430\text{m}^3/\text{s}$ を与え、下流端では洪水痕跡を参考に水位を設定した。

図 6 は、植生の存在を考慮した場合としない場合について、計算された流速ベクトル分布の違いを示したものである。植生の存在を考慮した場合、高水敷における流速がめざましく低減されることが分かる。

図 7 は、計算された流速から移動限界となる砂礫粒径（それ以下の粒径の砂礫は移動可能）を計算して、44.0km の横断面における分布を示したものである。図より、左岸側では、植生の存在によって砂が一方向的に堆積できる（砂の巻き上げが生じない）環境であったことが理解される。右岸側高水敷には植生が存在しないが、上流側の植生域の存在が影響して若干流速が低下し、そのため移動限界粒径も小さくなっている。しかし、それでも実際に堆積した砂よりも大きいことから、この領域での砂の堆積を説明するには、例えば、洪水の低減期において一時的に砂の堆積量が巻き上げ量を上回るというような、ここでは考慮しなかった非定常な流れの効果を考慮する必要があると思われる。また、低水路においては、0.1m 程度の礫が移動可能であり、これは、2000 年 9 月の出水において低水路の地形が若干変化したことと対応している。

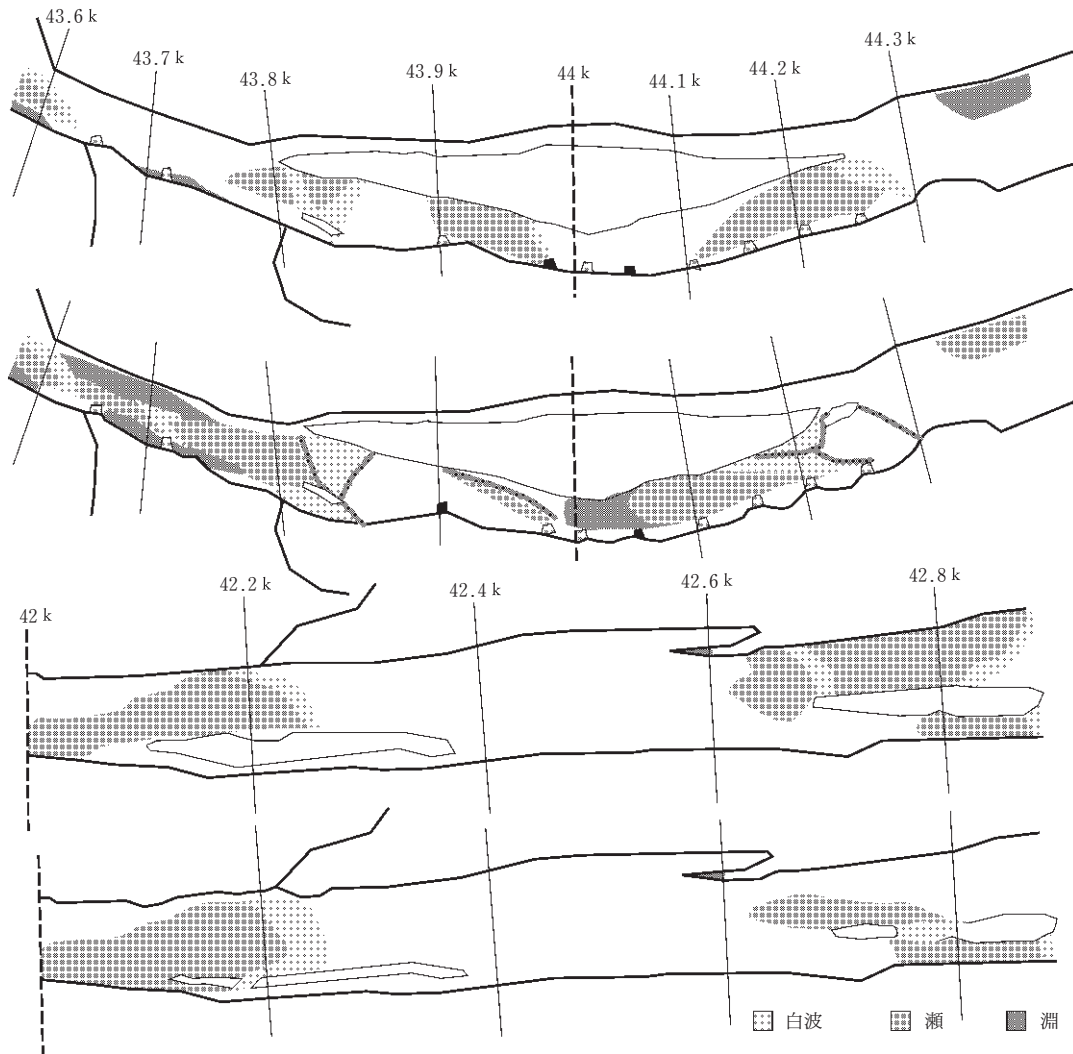


図5 河床形態の区分図 (上: 2000/8/2, $Q=25 \text{ m}^3/\text{s}$, 下: 2000/12/12, $Q=15 \text{ m}^3/\text{s}$)

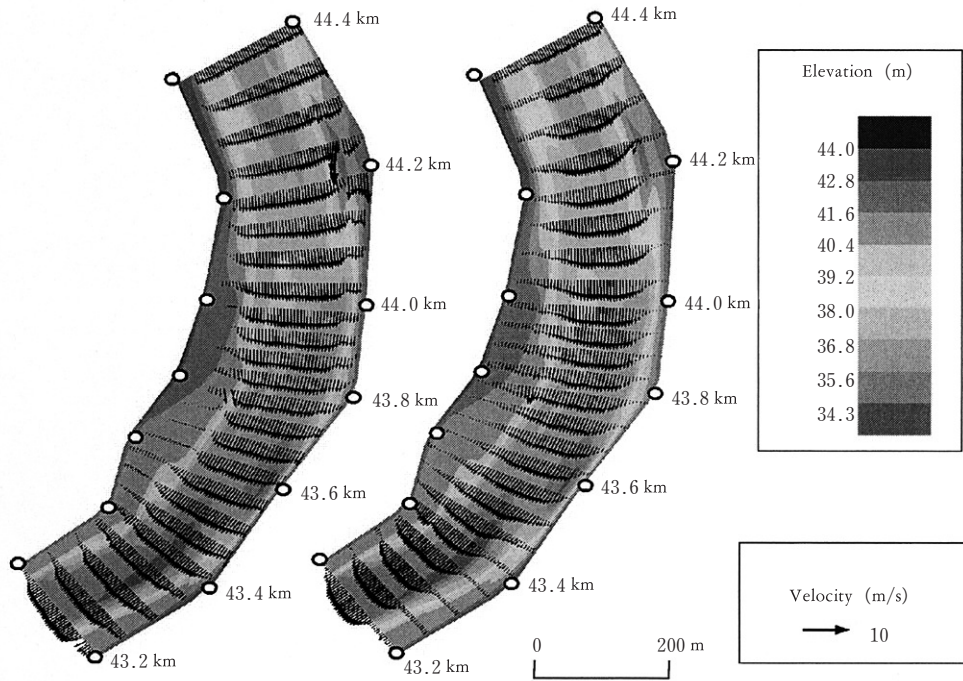


図6 計算された洪水時流況
(左：植生の存在を考慮しない場合，右：植生の存在を考慮した場合)

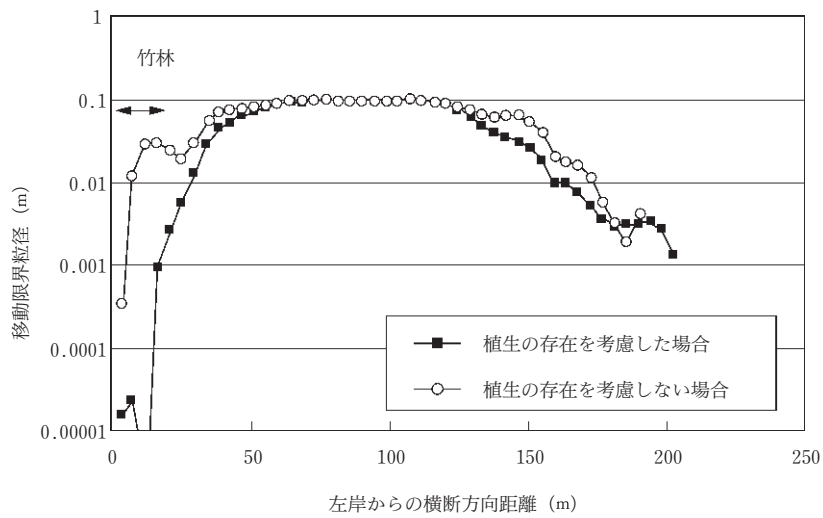


図7 移動限界粒径の横断方向分布 (44.0 km)

出水による“濁り”が続いた河川水の分析とその考察

今回の洪水によって、上流における土砂災害が多発した結果、矢作川本川では、比較的長期にわたって濁水状態が続いた。長期間濁水が生じると、日光が遮られ、付着藻類の生育場や魚類、底生動物の生息場が脅かされる。そこで、ここでは、洪水による濁水の実態を把握することを目的として、河川水中の浮遊物質（SS；suspended sediment）の分析を行った。

河川水のサンプリングは、ダム貯水池による背水区間を除き、矢作ダム上流から越戸ダム下流までの3地点で行った。洪水発生以来、継続的に採水し、SS濃度、POM（particulate organic matter）濃度を測定した。ここでは、A：矢作ダム上流の大川橋（82km地点）、E：越戸ダム上流の両枝橋（50km地点）、F：越戸ダム下流の平戸橋（44.8km地点）として、それらの経時変化を図8に示す。測定方法については、佐藤（1987）に従い、直接法の「濾別」によった。すなわち、試水を濾過し、濾紙

に残留した粒子の重量を測定し、SS濃度を算出、さらに、測定後の濾紙の強熱減量を測定し、それらからPOM濃度を算出した。

また、両枝橋では、西広瀬小学校の児童により、河川水の透視度が計測されており（矢作新報社、2000）、これを図9にまとめる。計測は、透視度計を用いて行われ、矢作川のそれは最高100cmまで表示し得る。合田（1979）によれば、透視度は、SSを始めとする一般水質指標に対し、感覚的指標とされ、知覚する人の主観に支配されるところが大きいとされる。しかしながら、矢作川の透視度は、洪水中でも間断なく測定されているので、洪水による濁水の実態を把握する上で有用な情報であると判断し、SS、POM濃度の変化と併せて、考察を行うこととした。

図8を見ると、SS濃度の数値は、総じて上流の大川橋で大きく、下流の両枝橋、平戸橋で小さいが、POM濃度の数値については有意な差が見られない。このことは、上流の大川橋と中流の両枝橋、平戸橋では、浮遊物質の成分が異なることを示している。すなわち、上流部では

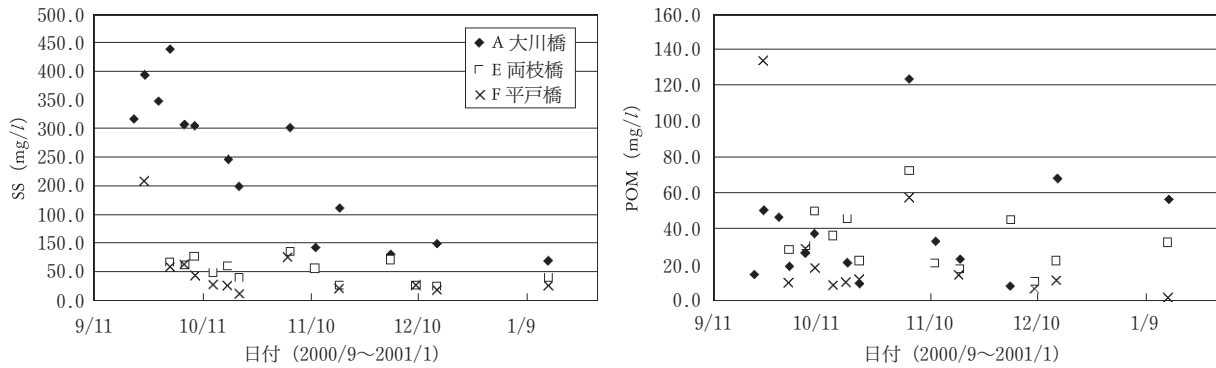


図8 出水時のSS濃度、POM濃度の経時変化

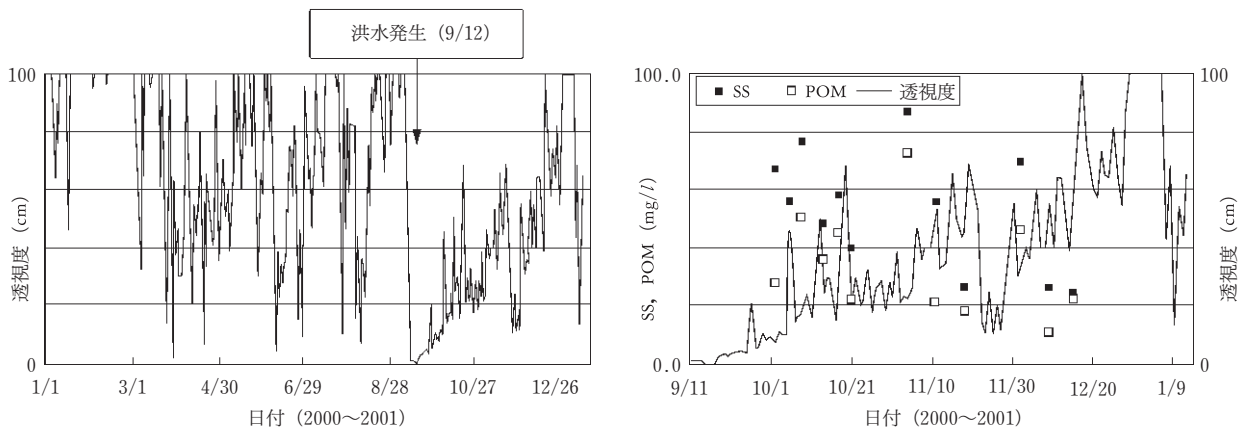


図9 両枝橋（E地点）における透視度の経時変化

無機質が大部分を占めるのに対し、中流部ではダム湖による河川水の滞留、生活排水の流入などの影響により、有機質の割合が多くなっていると考えられる。

SS濃度は、洪水発生後の高水準から低水準に落ち着くまでに2ヶ月ほど要しており、図9と併せて考えると、2000年9月出水による“濁り”の影響は、2ヶ月間継続したと考えられる。一方、その間のPOM濃度は、最下流の平戸橋以外は変動が激しく、出水後に低減されている様子が見られない。これはダム湖による出水時の河川水の滞留、時季的な落葉から大量に供給された「リター(植物体破片)」などによって、本来ならばSS濃度とともに低減された筈のPOM濃度が高水準を保った結果と考えられる。

図9の透視度の年間変動を見ると、2000年9月出水当時と同レベルの透視度を示している日があるが、いずれもその後の透視度数値の回復が早く、今回の出水による“濁り”の影響は甚大であると言える。また、同地点のSS、POM濃度の測定結果を併せてみると、SS濃度の低下に伴って透視度が高くなっている様子が分かる。

要 約

- 1) 2000年9月の既往最大級の出水による矢作川中流域古巣地区周辺河道の地形変化ならびに、洪水後の濁水状況を調べた。
- 2) 植生の繁茂する高水敷に大量の砂が堆積したが、低水路の地形には大きな変化はなかった。
- 3) 洪水時の流況を平面2次元流れの数値解析により再現し、植生の存在が大量の砂の堆積を促進したことを確認した。
- 4) 洪水後の濁水は約2ヶ月間継続した。この間、上流域ほど濁度が高いものの、POMに関しては上流と下流では差がなかった。

謝 辞

国土交通省豊橋工事事務所、中部電力越戸ダム管理所には、貴重な河道横断面形状データ、流量データを提供していただいた。また、43.8km～44.2km地点の河道横断面形状データの一部は「矢作川古巣プロジェクト」(代表：古川彰、関西学院大学)における調査によるものである。現地調査、分析にあたっては、名古屋大学大学院生伊藤壯志、同加藤万貴氏の協力を得た。ここに、記し

て感謝申し上げます。

Summary

- 1) Changes in the river geomorphology around Fusso in the middle reach of the Yahagi River during the flood on September 2000, and the muddy water after the flood were investigated.
- 2) Large amount of fine sand and silt deposited in the flood plain with vegetation during the flood, whereas there was no significant changes in the geomorphology in the main channel.
- 3) Numerical simulation of the plane two-dimensional flow during the flood clarified that the vegetation played a significant role for the sand and silt to be deposited in the flood plain.
- 4) The flow of muddy water continued for almost two months after the flood. The concentration of suspended sediment was higher in the upper reach than in the middle reach. However, there were no clear differences between the concentration of POM in the upper reach and that in the middle reach.

参考文献

- 北村忠紀(1997) 河川植生が流れ及び河道変化に及ぼす影響に関する水文学的研究, 京都大学学位論文。
- 財団法人リバーフロント整備センター(1995) 平成4年度河川水辺の国勢調査年鑑-魚介類調査編, 山海堂, pp. 352-363。
- 建設省豊橋工事事務所(2000) 平成12年9月11日～12日における矢作川水文データ(速報値)。
- 合田健(1979) 水環境指標, 思考社, pp. 144-147。
- 佐藤敦久(1987) 水環境工学 浮遊物質から見た環境保全, 技報堂出版, pp. 9-15。
- 地盤工学会(1991) 土の試験実習書(第二回改訂版), pp. 91-96。
- 洲崎燈子(2001) 矢作川中流域の堤外地における植生と土地利用の変遷, 矢作川研究 No.5, pp. 13-26。
- 水野信彦・御勢久右衛門(1993), 河川の生態学, 増補・新装版, 築地書館。
- 矢作新報社(2000) 「矢作川の見張り番」, 矢作新報(2000, 1～2001, 1)。

〔名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学環境システム工学〕
講座：〒464-8603 名古屋市千種区不老町