

十津川における表面流と伏流水の交換現象に関する研究

岡山県	正会員	○松葉信征*	立命館大学工学部	正会員	江頭進治**
立命館大学工学部	正会員	伊藤隆郭**	立命館大学大学院	学生員	小沢和也**
立命館大学大学院	学生員	山口博人**			

1.はじめに 礫床河川においては平水時に瀬切れなどが形成され、表面流が不連続に流動する現象が見られる。これは、表面流と伏流水の交換が活発であることを示し、河川における植生、水質および生物の連続性を創造・保全する上で、河道内の表面流と伏流水の挙動に関する知見も考慮する必要があることを示している。ところで、河道内の表面流については、多くの研究者によって検討されているものの、表面流と伏流水の交換を明らかにするまでには至っていない。本研究では、十津川を対象とし、表面流と伏流水の交換について現地調査および数値解析により検討する。

2.地域特性 十津川は流域面積 801 km²、年平均降水量は約 2800mm の新宮川水系の 1 級河川である。当該水系は、我が国の年平均降水量よりも約 1000mm 上回っており全国有数の多雨地帯である。図 1 は十津川の流域図である。図 2 および 図 3 は、それぞれ本宮町上流の二津野ダムにおける日平均ダム流入量とダム流入量より算出した流況曲線である。十津川流域は、明治 22 年の大災害によって大量の土砂が河床に厚く堆積しており、流域における土砂生産は活発である。

3.現地調査 現地調査は図 1 に示す二津野ダム下流約 16km から 18km の区間で行い、流量測定のため 15 測線を設定した。調査項目は、表面流の平面形状、河床材料、流心の水位・水深および河床位の縦断形状、測線における横断形状と流速分布である。図 4 は、水位・河床位の横断形状および流量の縦断分布である。図中の①から⑮は測線番号である。ここで、流量は各測線における流速分布、流路幅、水深より算定したものである。河道の蛇行波長に起因するような砂州スケールと瀬と淵による河床波スケールが混在した河床上での流水の挙動であることを念頭において、表面流と伏流水の交換をみる。まず、河床縦断形状と流量の縦断分布を巨視的にみると、河床は測線⑦を境に下流の方が急勾配になっており、流量は下流側で増加していることから、測線⑦よりも上流側で浸透、下流側で湧き出しが卓越していると考えられる。次に、同図の枠内に



図 1 十津川流域

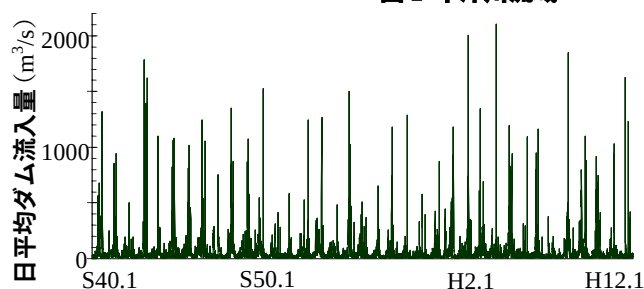


図 2 日平均ダム流入量時系列（二津野ダム）

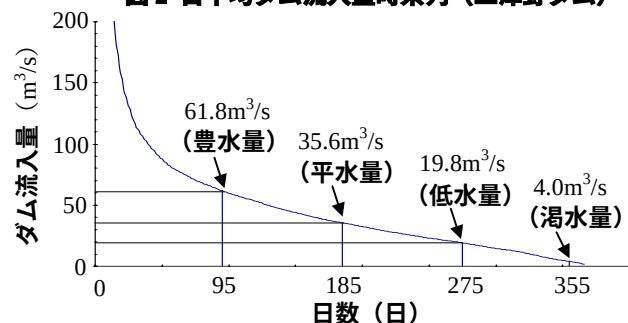


図 3 流況曲線（二津野ダム）

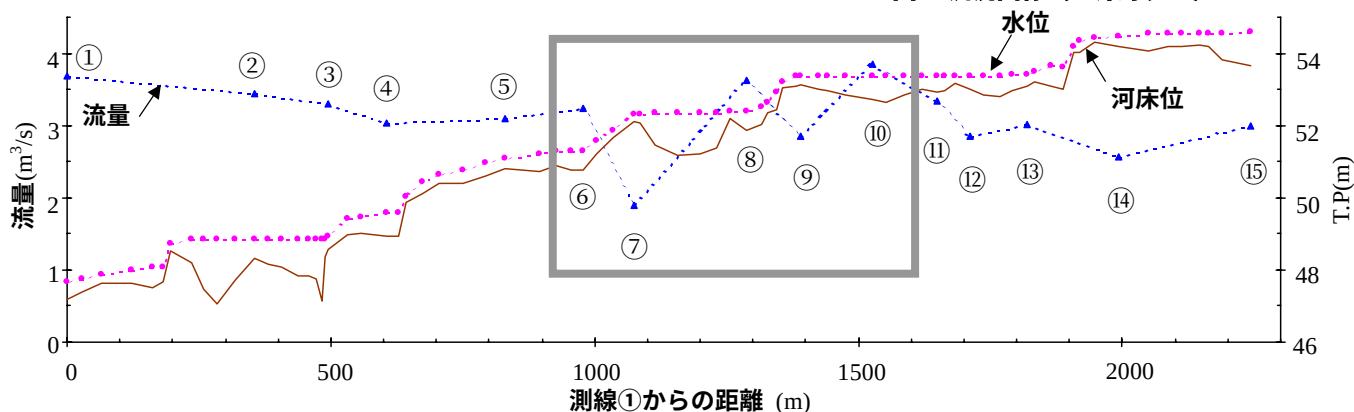


図 4 調査結果

Key words 十津川, 砂礫河川, 表面流, 伏流水

* 〒700-8570 岡山県岡山市内山下 2-4-6 TEL 086-224-2111 FAX 086-224-2111

** 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL 077-561-2732 FAX 077-561-2667

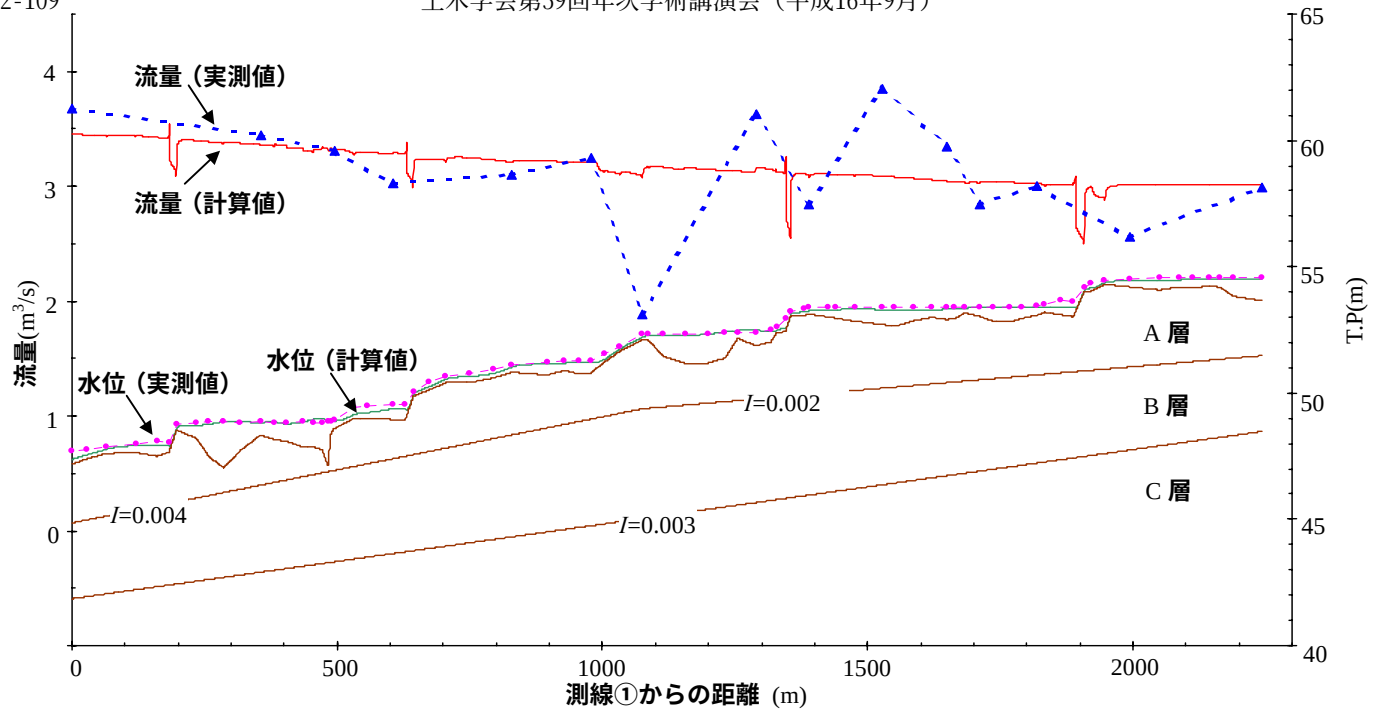


図5 計算結果

着目すると、瀬の上流端近傍で流量が減少し、瀬の下流端において流量が増加していることがわかる。このことは、瀬と淵が形成されている領域において、表面流と伏流水の交換が活発であることを示している。

4.数値解析 数値解析は1次元解析法によって行う。用いる支配方程式は、表面流および伏流水に関する連続式と運動方程式である。これらを以下に示す。

$$\text{表面流: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial (qB)}{\partial x} = f'_A - f_A \quad (1), \quad \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial (\bar{u}qB)}{\partial x} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} gh^2 B \right) - \frac{\tau_b}{\rho} \quad (2)$$

$$\text{伏流水: } \lambda \frac{\partial h_g}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial (q_g B)}{\partial x} = f_A - f'_A + f'_B - f_B \quad (3), \quad q_g = kh_g i_g \quad (4), \quad f'_A = f_A - \frac{1}{B} \frac{\partial q_g B}{\partial x} + f'_B - f_B \quad (5)$$

ここに、 q ：表面流の単位幅流量(= $\bar{u}h$)、 q_g ：伏流水の単位幅流量、 h ：表面流の水深、 h_g ：伏流水の水深、 z_b ：河床位、 $\bar{u}$ ：平均流速、 B ：川幅、 τ_b ：河床せん断力、 ρ ：水の密度、 λ ：土砂の空隙率、 k ：透水係数、 i_g ：伏流水の動水勾配、 f_A ：地表からA層への浸透率、 f'_A ：A層から地表への湧き出し率、 f_B ：A層からB層への浸透率、 f'_B ：B層からA層への湧き出し率である。河床せん断力のエネルギー勾配はマンニングの式で評価し、粗度係数は0.03[m-s]としている。また、式(1)、(3)および(5)の浸透率や伏流水の湧き出し率の計算においては、土層内の飽和度に応じて各項を消去して計算を行っている。地下構造は図5に示すように、上からA層(浸透の速い層)、B層(浸透の遅い層)、C層(浸透しない岩盤層)の3層としている。A層とB層の境界の縦断形は、河床形状を参考に2つの折れ線で近似し、B層とC層は河床の平均勾配をもつように、単純な形状を仮定している。上流端における境界条件は、表面流については実測流量 3.0m³/s を定常給水し、伏流水についてはA層およびB層が満水になるような流量を定常的に与えている。支配方程式の差分化には、スタグガードスキームによるリープフロッグ法を用いている。図5は、表面流の水位および流量の縦断分布に関する計算結果である。同図には比較のため実測値も示している。図に示すように、計算値においても実測値と同様に上流端流量に対し下流側で増加していることから、対象範囲における表面流と伏流水の交換が再現されているといえる。また、一對の瀬と淵の流量の縦断分布に着目すると、瀬の上流端近傍での流量の減少、瀬の下流端での流量の増加も再現されている。しかしながら、実測において表面流と伏流水の交換が大きい領域においては実測値と計算値に若干のズレがある。これについては、側方からの流入や地層構造の設定など幾つかの原因が考えられるが、今後の課題としたい。

5.おわりに 本研究では、十津川を対象に表面流と伏流水の交換に着目し、現地調査および数値解析により検討を行った。巨視的な流量の交換現象については概ね評価されたが、一對の瀬と淵においてみられるような流量の交換現象については、実測値と計算値に若干のズレがみられた。これについては、今後の検討課題としたい。

謝辞：本研究は、本宮町の助成金を用いて推進している。ここに記して感謝いたします。