

立命館大学理工学部 学生員 ○山口博人
立命館大学理工学部 正会員 伊藤隆郭
立命館大学大学院 学生員 小沢和也

立命館大学理工学部 正会員 江頭進治
立命館大学大学院 学生員 松葉信征

1. はじめに 礪床河川においては、表面流の浸透が大きく、平水時に瀬切れおよびたまりが形成するなど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、河川環境や水質を議論する上で、河道内地下水の挙動をも取り扱う必要があることを示している。そこで、本研究では、十津川を対象とし、現地調査および数値解析により表面流と伏流水の交換現象について検討する。

2. 地域特性 十津川は奈良県北部大峰山脈に源を発し、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。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、およびダム流入量より算出した流況曲線である。同図には、後に示す現地調査の領域（区間長 2.25km）も示している。十津川流域は、周知の通り、明治 22 年に大規模な洪水・土砂災害が発生している。その後も、図-2 や図-3 に示すように全国有数の豪雨地帯であることから、河道内には植生が見られず、河床変動が活発である。

3. 現地調査 図-1 の四角で囲まれた本宮町周辺において、表面流と伏流水に関する現地調査を行った。調査項目は河床材料・水位・河床位および流速である。河床材料の平均粒径は 37.3mm。図-4 は、水位、河床位、流量の調査結果である。図中の①～⑮は測線番号である。水位、河床位は流路の水みち中央部で測定し、流速は①～⑮の測線上で流速の鉛直分布を測定し、これと水みち幅と水深の横断分布を用いて流量を求めている。図に示すように、表面流の流量が全体的に増加し、約 0.7m³/s 増加していることが分かる。測線⑩～⑥に着目すると、測線⑩～⑨および測線⑧～⑦では流量が減少し、測線⑨～⑧および測線⑦～⑥では増加していることがわかる。つまり、淵の区間では表面流の浸透、瀬の区間では伏流水の湧き出しが活発であることが分かる。

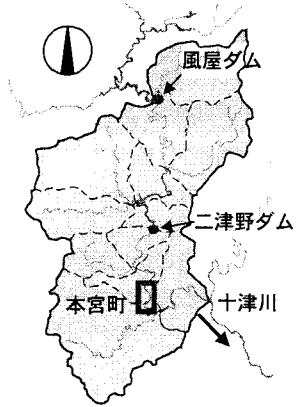


図-1 十津川流域

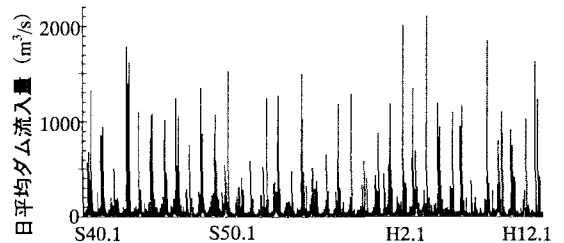


図-2 日平均ダム流入量時系列（二津野ダム）

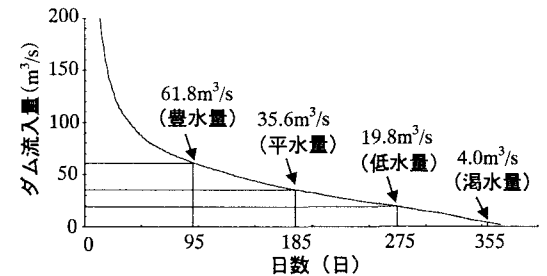


図-3 流況曲線（二津野ダム）

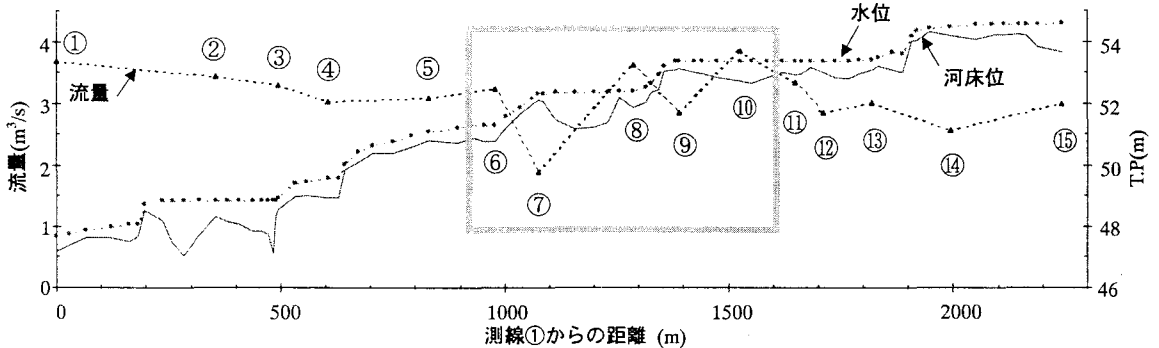


図-4 実測流量と縦断形

Hiroyo YAMAGUCHI, Shinji EGASHIRA, Takahiro ITOH, Nobuyuki MATSUBA and Kazuya OZAWA

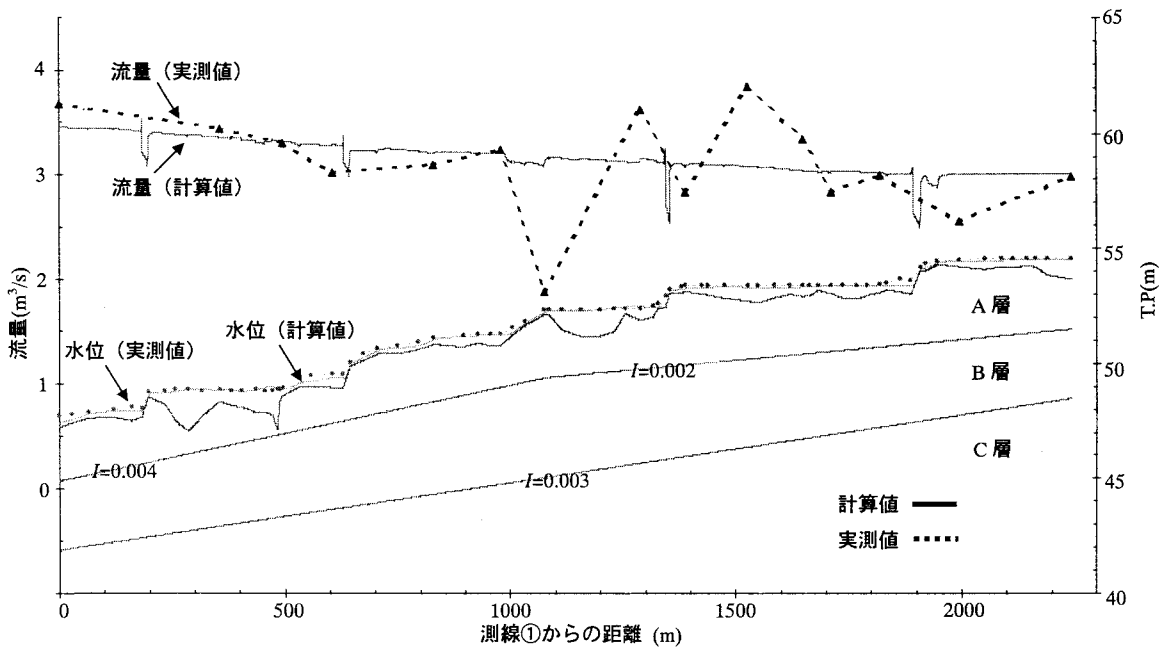


図-5 解析結果

4. 数値解析 現地調査によって得られた結果を、数値解析により再現することを試みる。計算に用いた支配方程式は次のようである。

$$\text{表面流} \quad \frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial (q_s B)}{\partial x} = f_A' - f_A \quad (1) \quad \frac{\partial q_s}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial (\bar{u} q_s B)}{\partial x} = -gh_s \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} gh_s^2 B \right) - \tau_b \quad (2)$$

$$\text{伏流水} \quad \lambda \frac{\partial h_g}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial (q_g B)}{\partial x} = f_A - f_A' + f_B' - f_B \quad (3) \quad q_g = k \frac{\partial H D_i}{\partial x} \quad (4) \quad f_A' = f_A - \frac{1}{B} \frac{\partial (q_g B)}{\partial x} + f_B' - f_B \quad (5)$$

ここに、 q_s :流量フラックス(= uh_s)、 q_g :伏流水の単位幅流量、 h_s :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、 λ :空隙率(=0.4)、 k :透水系数、 f_A :地表からA層への浸透能、 f_A' :A層から地表への湧き出し速度、 f_B :A層からB層への浸透能、 f_B' :B層からA層への湧き出し速度、 D_i :A・Bの土層厚で、 $i=A$ のときには、A層の土層厚 D_A を表す。計算においては、河床せん断力 τ_b のエネルギー勾配にはマンニングの式を用い、粗度係数は0.03[m・s]としている。地下構造は上層からA層(比較的浸透の早い層)、B層(浸透の遅い層)、C層(浸透しない岩盤の層)の3層とする。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。上流端境界条件は、表面流に対しては、3.0 m³/sの定常給水を行い、A層・B層においては、土層が満水と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ッガートスキームによるリーブフロッグ法を用いた。図-5は表面流の流量と水位の実測および解析結果である。表面流と伏流水の交換が大きい部分においては、実測値と計算値の間のズレが大きいものの、表面流量の計算値は、下流端に進むにつれ増加しており、実測値と同様の傾向を示している。

5. おわりに 本研究では、表面流と伏流水の交換現象を把握することを目的に、現地調査および数値解析を行った。現地調査では、対象区間の下流端の流量は上流端と比較すると増加する傾向が見られ、浸透は淵から瀬、湧き出しは瀬から淵の区間で顕著に見られることが示された。数値解析と調査結果を比較すると全体的な流量の増加を再現することができたが、表面流と伏流水の出入りが大きい部分においては、実測データと大きいズレを生じている。これについては、地層構造の設定法など幾つかの原因が考えられるが、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。