

野洲川扇状地における河川水と地下水の相互作用に関する考察

名城大学大学院 学生員 ○ 山田 達也

名城大学理工学部 正 員 原田 守博

1. はじめに

河川水がダムや頭首工において取水される場合、その下流部では河道流量が減少し、水質や生態系・景観等に悪影響が及ぶことがある。とくに扇状地のように透水性が高い地域を流れる河川の場合、流水は河床から伏流し河道流量は一層乏しくなる。したがって、扇状地における河川環境を保全するには、周辺の地下水との水交換も考慮しつつ維持流量を評価する必要がある。本研究は滋賀県の野洲川を対象として、現地データの分析や河川流況の現地観測を行うとともに、周辺地下水が低水流況に及ぼす影響を考察したものである。

2. 野洲川扇状地における河川水－地下水結合モデルの構築

(1) 対象地域の概要：野洲川は湖東平野に扇状地を形成しつつ琵琶湖に流入する流域面積 387km² の一級河川である。扇頂部には自然越流型の堰があり、頭首工で農業用水が取水されるため、とくに灌漑期において河道の流量が減少する。さらに、地盤の透水性が高いために河川水が河床から地下へ伏流しやすく、流水がすべて伏没して河道の一部が枯渇する区間が生じ、「水無し川」となる場合もある。そのため、野洲川の低水流況は周辺地下水との水交換によって影響を受けているものと考えられる。

(2) 河道の低水流況と地下水位の現地観測：扇頂部から河口までの約 14km 区間に、図－1 に示す 6 箇所の流量観測地点を設定し、4 回にわたって低水流況の同日観測を行った。測定にはプロペラ式微流速計を用い流量の測定精度は 4 % 程度である。一方、地下水位については、13 箇所の浅層地下水観測井による日水位データを解析に使用した。

(3) 河川と地下水の相互作用の解析手法：河川水と地下水との水交換を考慮しつつ、河道の流量変化および地下水位の空間分布を求めることにより、河川水と地下水の相互作用に伴う河道の低水流況の再現を試みた。本題は河川水と地下水の連成問題であるため、解析を行う際には両者の支配方程式を同時に解く必要がある。

上流端からの流下距離 s における河道流量 $Q(s)$ は、河道の上流端流量を Q_0 、河道幅を B 、帯水層への伏流強度を $q^*(s)$ とすると、連続式(1)によって表される。ただし、 $q^*(s)$ は河川水が帯水層へ浸入する場合を正とする。河道水深 $h(s)$ は、Manning による等流近似式(2)に $Q(s)$ を代入することにより求められる。一方、地下水位分布 $\phi(x,y)$ は Dupuit の仮定に基づく二次元定常地下水方程式(3)によって解かれる。河川と地下水の水交換に相当する伏流強度 $q^*(s)$ を、河床下の地下水位 $\phi(s)$ 、河道水深 $h(s)$ 、河床高 $z_r(s)$ をもとに式(4)から求めることにすれば、式(1)(2)によって河道流量と水深が、式(3)によって地下水位分布が更新される。更新された $h(s)$ と $\phi(x,y)$ を用いて $q^*(s)$ の計算を反復させることにより、相互作用の結果としての河道流況と地下水状態が確定する。

(4) 解析領域と境界条件：図－1 は解析領域の平面図である。対象領域を 250m×250m の差分格子に分割した。帯水層の境界条件として、

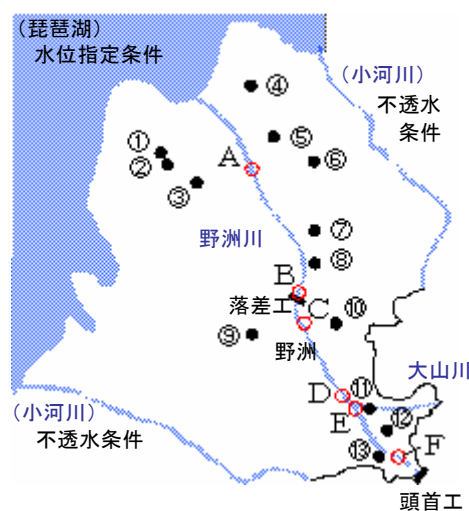
山地および小河川に接する境界で不透水条件、琵琶湖に接する境界で水位指定条件を用いた。帯水層は透水

$$Q(s) = Q_0 - B \int_0^s q^*(s) ds \quad (1)$$

$$h(s) = \left(\frac{nQ(s)}{BI^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(KH \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(KH \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + r = 0 \quad (3)$$

$$q^*(s) = \frac{k}{d} \{ h(s) + z_r(s) - \phi(s) \} \quad (4)$$



図－1 野洲川扇状地

連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1丁目501番地 Tel.052-832-1151 Fax.052-832-1178

係数 $K=5.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ の等方均質層とした．地下水涵養量は土地利用を考慮して裸地域で 1 mm/day ，市街地で 0 mm/day とし，水田域では，灌漑期に 7 mm/day ，非灌漑期に 1 mm/day とした¹⁾．揚水量は実測データを与えた．河道については，河床の透水係数 $k=3.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ ，河道幅 $B=125 \text{ m}$ ，Manning の粗度係数 $n=0.05$ とした．

3. 現地観測結果に対する解析モデルの再現性

まずはじめに，現地観測を行なった2002年9月3日の状況を想定した地下水位と河道流量の解析結果について観測値との適合性を検討する．図-2は計算された地下水位分布を示したものである．上流部では河道水位が周辺地下水位よりも高く，河川水が地下へ伏流することを示している．一方，下流部では周辺地下水位が河道水位よりも高くなるため，地下水が河道へ湧出することを表している．図-3は，図-2中の地下水位観測井(●印)における地下水位の観測値と解析結果を比較したものである．観測値よりも解析結果がやや低くなっているが，両者は全体的なおおむね適合していると考えられる．

図-4は，河道の流量変化を比較したものである．図中の▲印は図-1に示すA～Fの6地点における流量観測値，実線は解析結果である．まず解析結果をみると，上流部では支川の合流部で流量が増加する以外は流量が減少する傾向にある．一方，中流部に位置する落差工より下流部では流量が回復する結果が得られた．観測値と解析結果を比較すると，上流部ではほぼ適合している．しかし，下流部では観測値は減少傾向であるのに対し，数値解は増加傾向が示された．

図-5は，4回実施した河道流量の観測結果に対する数値解析の結果を，比の形で表したものである．図を見ると，上流部のD-E-F区間では，数値解が観測値よりも若干低い値を示すものの，誤差は数%であり，良い精度が得られているといえる．一方，C地点よりも下流部では数値解が観測値を大きく上回っており，適合性が低くなっている．この理由について，今後検討すべきである．

4. おわりに

野洲川扇状地における河川の低水流況について，現地観測と数値解析の両面から検討した．ここで提示した河道と帯水層の相互作用モデルは，実現象に対する一定の再現性を確認したが，解析の精度を高めるためには扇状地の地下構造や，地下水涵養機構等についての情報をもとに水理定数や境界条件を十分に検討する必要がある．将来的には，河川の景観や水質，魚類をはじめとする水棲生物の生息環境といった，河川環境を保全するために必要となる環境維持流量の評価・設定を行う予定である．

参考文献： 1) 堀野治彦：京都大学修士論文，1986．



図-2 地下水位の空間分布

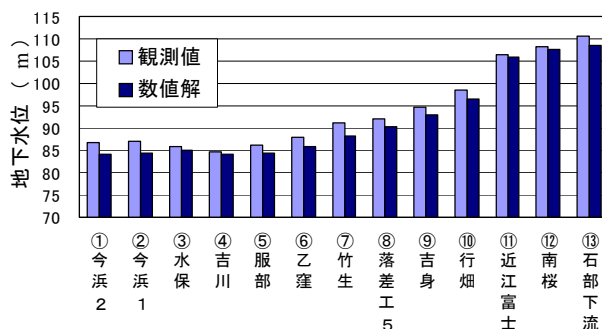


図-3 地下水位観測値と解析結果の比較

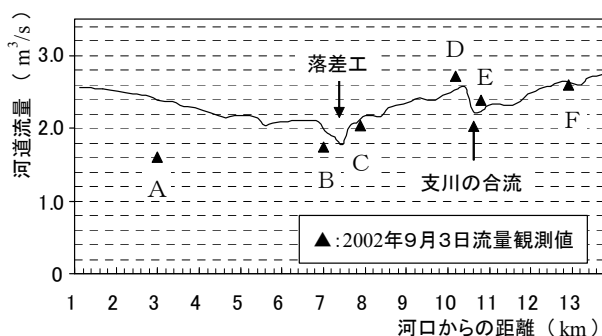


図-4 河道の流量変化

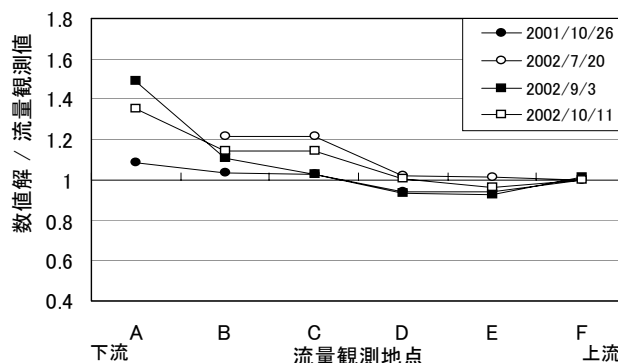


図-5 流量観測値に対する数値解の比率