

野洲川扇状地における河川水と地下水の相互作用解析

名城大学理工学部 正 員 原田 守博
 名城大学大学院 学生員 ○ 山田 達也
 名城大学理工学部 門脇 直也

1. はじめに

河川水は水資源としてダムや頭首工において取水されるが、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、河川環境を保全するためには、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. 野洲川下流部における河道の流況

野洲川は図-1 のように、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設けられ、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見られ、「水無し川」となる場合もある。

頭首工の下流で流量がどのように変化するかを明らかにするため、図-1 に示すA～Fの6地点で同日流量観測を実施した。図-2 は、流量観測結果の一例を示したものである。図からわかるように、地点E→D区間では支川である大山川の合流により流量が増加するが、地点D→B区間では流量が減少する。この区間では支川の分岐がないため、この流量減少は河床への伏流浸透に起因する可能性がある。このように、野洲川の流量は河道周辺における地下水との水交換によって支配されると考えられるため、維持流量を検討する場合には、扇状地の地下水流動も考慮する必要がある。

3. 扇状地における河道-地下水結合モデルの構築

野洲川扇状地を想定して、河川の流れと地下水との水交換を考慮した河川-帯水層の結合系に関する水理解析モデルを作成した。ここでは、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。

河道の上流端流量を Q_0 、流下距離 s における帯水層への伏流強度を $q^*(s)$ で表すと、河道流量 $Q(s)$ は連続式(1)で与えられる。地下水位 $\phi(x, y)$ は Dupuit の仮定により式(2)に従い、境界条件を与えることで計算できる。河川水位と周辺地下水位から $q^*(s)$ が計算され、式(1)により流量 $Q(s)$ が求められる。河道水深 $h(s)$ は Manning の式(3)を用いて $Q(s)$ から逆算できる。得られた $h(s)$ を用いて $q^*(s)$ の計算を反復することにより、相互作用の結果としての河道流況が確定される。

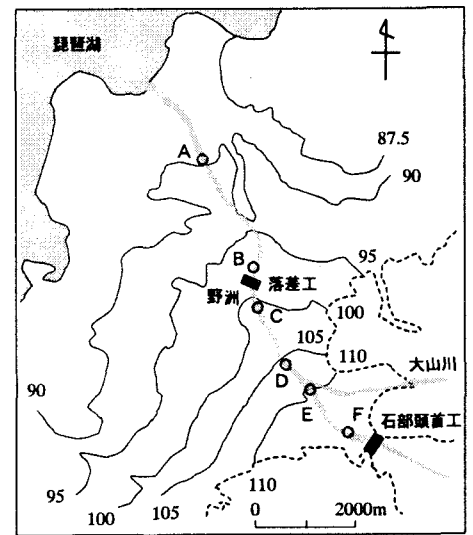


図-1 野洲川扇状地

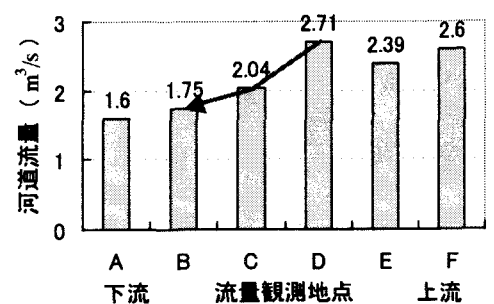


図-2 流量観測の結果 (2002/09/03)

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

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(KH \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(KH \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + r = 0 \quad (2)$$

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

図-3は、解析領域の平面図を示したものである。まず、対象領域を $250\text{m} \times 250\text{m}$ の差分格子に分割し、帯水層の境界条件として、扇状地が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。モデルパラメータとして、帯水層の透水係数 $K=3.0 \times 10^{-2}\text{m/s}$ 、河床の透水係数 $k=3.0 \times 10^{-3}\text{m/s}$ 、河道の上流端流量 $Q_0=2.75\text{m}^3/\text{s}$ 、河道幅 $B=20\text{m}$ 、Manning の粗度係数 $n=0.055$ とした。また、地下水涵養量については、地表の土地利用を考慮して、水田域で 7mm/day 、裸地域で 1mm/day 、市街地では 0mm/day に設定した¹⁾。河床勾配 I および井戸揚水量については実測データを与えた。ちなみに、図中の×印は地下水揚水井の位置を示している。なお、これらの条件は2002年9月3日における状況を想定したものである。

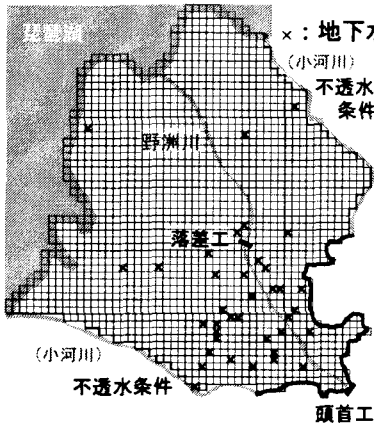


図-3 解析領域の平面図

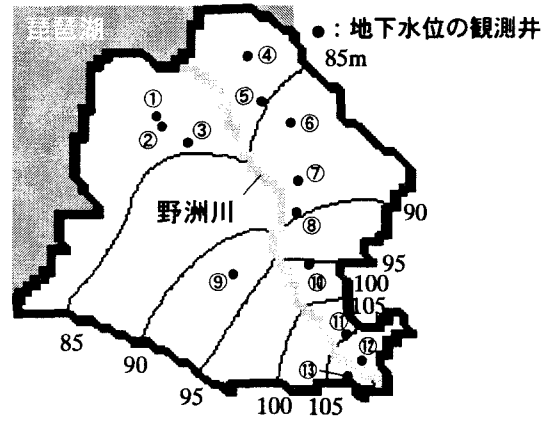


図-5 地下水位の空間分布

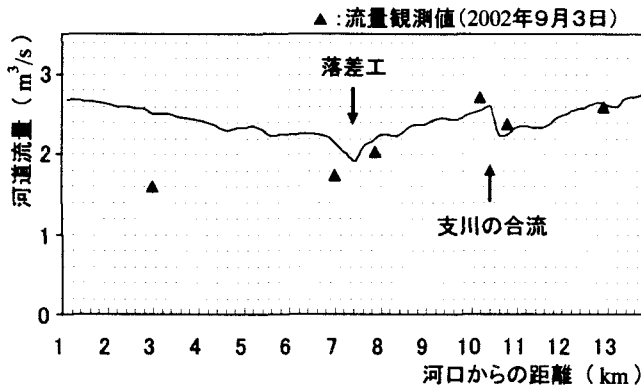


図-4 河道の流量変化

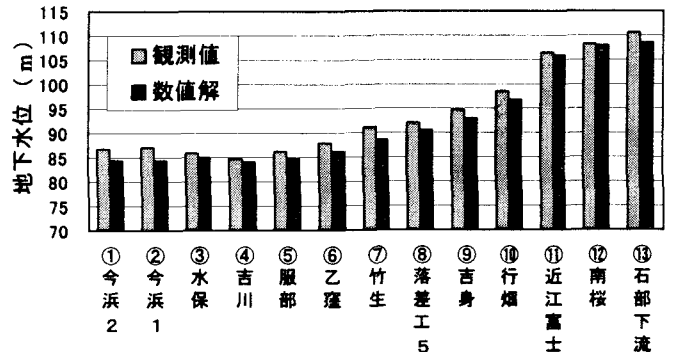


図-6 地下水位の観測値と解析結果の比較

4. 解析結果

図-4は、河道の流量変化を示したものである。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、落差工より下流部においては流量が回復するという結果が得られた。また、図中の▲印は現地における流量観測の結果を表している。河道流量の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が、下流部では誤差が生じている。この理由については、詳細な検討が必要である。

図-5は、地下水位の空間分布についての解析結果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。また、図中の●印は野洲川扇状地内に設置された地下水位の観測井を示している。図-6は、この観測井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、概ね適合していると考えられる。

5. 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。さらに解析の精度を高めるために、扇状地の地下構造の分析や、地下への涵養機構などについて検討する必要がある。今後、種々の要因を解析モデルに組み込むことにより、低水流況の実態の解明を試みる予定である。