

扇状地における河川の低水流況に及ぼす周辺地下水の影響

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の流量が減少し、水質や生態系・景観等に悪影響が及ぶことがある。とくに河川が扇状地のように透水性が高い地域を流れる場合、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、低水流況を現地観測するとともに、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、頭首工によって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、流水がすべて地下へ伏没して河道の一部が枯渇することもある。

頭首工下流において河道流量がどのように変化するかを明らかにするために、図-1に示す A～F の6地点において同日流量観測を行った。測定精度を検定するため、表-1のように同じ河道断面において反復測定を行い、流量の測定精度を検討した。表に示すように、すべての測定において相対誤差は非常に小さいことから、流量測定の信頼性は高いものであるといえる。

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 D-E 区間では支川である大山川が合流するため流量が増加するが、地点 B-D 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。したがって、野洲川の流量は河道周辺の地下水との水交換によって支配されていると考えられるため、維持流量の検討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た仮想帯水層を対象として、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。広域地下水の解析では境界条件の設定が基本的な課題となる。ここでは帯水層の境界条件が河道の流況に及ぼす影響を解析するとともに、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、解析には両者の支配方程式を同時に解く必要がある。

キーワード：低水流況，河川と地下水の相互作用，地下水解析，境界条件

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



図-1 野洲川扇状地

表-1 河道流量の測定精度

	流量 (m ³ /sec)	相対誤差 (%)
1回目	3.12	3.9
2回目	3.19	1.8
3回目	3.26	0.4
4回目	3.28	4.4
5回目	3.39	1.0
平均	3.25	

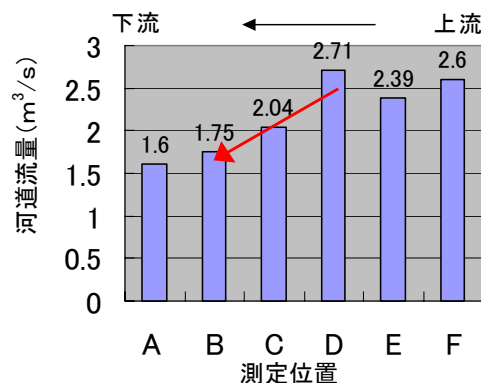


図-2 流量観測結果 (2002/09/03)

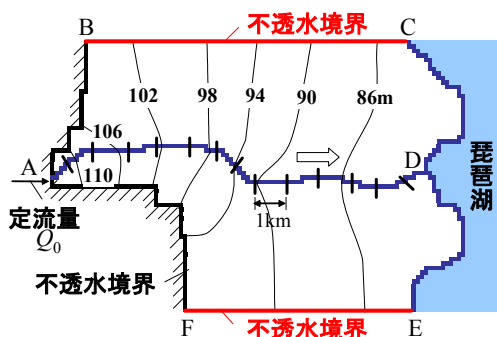
河道上流端での流量を Q_0 、流下距離 s における帯水層への伏流強度を $q^*(s)$ で表すと、河道流量 $Q(s)$ は連続式(1)で与えられる。地下水位 $\phi(x,y)$ は Dupuit の仮定により式(2)に従い、境界条件を与えることにより計算できる。河道近傍の地下水位から $q^*(s)$ が計算され、式(1)により流量 $Q(s)$ が求められる。河道水深 $h(s)$ は Manning 則を用いた等流近似の式(3)を用いて $Q(s)$ から逆算できる。得られた $h(s)$ を帯水層の境界水位に用いて地下水位の計算を反復することにより、相互作用の結果としての河道水面形が確定する。

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

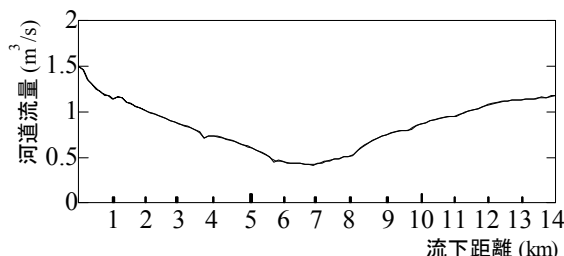
$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

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

帯水層の境界条件は、扇状地が山地に接する境界では不透水条件、湖面および河川沿いでは水位指定条件とするが、扇状地中央の帯水層両端（下図の B-C、E-F 区間）では、①不透水条件を用いた場合と②水位指定条件（地下水面深度を 2 m、4 m と仮定する 2 ケース）を用いた場合の合計 3 ケースを扱った。また、モデルパラメータとして河床の透水係数 $k=5.0 \times 10^{-3}$ m/s、不圧地下水の平均水深 $H_0=40$ m、上流端流量 $Q_0=1.5$ m³/s、河道幅 $B=30$ m、Manning の粗度係数 $n=0.04$ とし、河床勾配 I は実測データを与えて数値解析を行った。

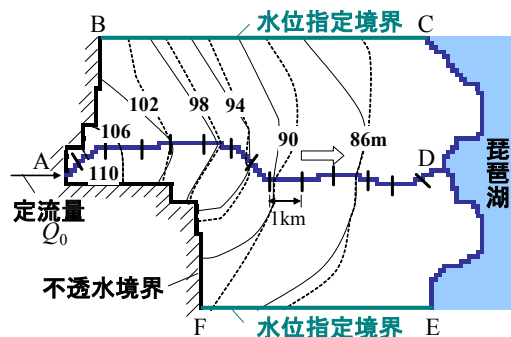


(a) 地下水位平面分布

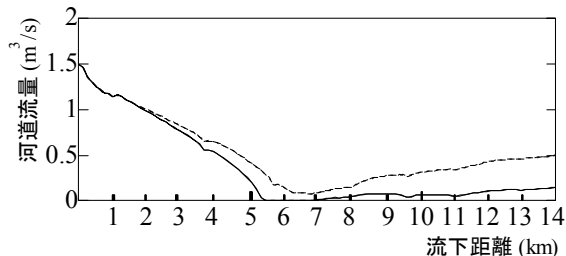


(b) 河道の流量変化

図－3 境界条件①：不透水境界の場合



(a) 地下水位平面分布



(b) 河道の流量変化

図－4 境界条件②：水位指定境界の場合
(—：地下水面深度 4 m，---：地下水面深度 2 m)

4. 解析結果

本モデルによる地下水位分布と河道流量の解析結果について、境界条件①の場合を図－3に、②の場合を図－4に示す。どちらの図においても、流下距離 7 km 付近までは伏流によって河道流量が減少し、その後、湧出によって流量が回復する傾向が認められる。しかし、②の場合の方が流量の減少は激しく回復が小さい。また、②の場合について、図中の 2 つの解析結果を比較すると、境界における地下水面を深く指定するほど、流量の減少が激しく回復が小さくなる傾向が認められる。すなわち、境界条件の差異は地下水位分布のみならず河道の流況にも大きな影響を与えており、維持流量の評価には帯水層の境界条件を適切に設定する必要がある。したがって、他の指定地下水面深度の場合についても解析を行い、詳細な検討を進める必要がある。

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。実際の現象は扇状地の地下構造だけでなく、地表の土地利用状況や河道近辺での地下水揚水にも起因すると考えられる。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。