

野洲川扇状地における河川水の伏流過程に関する考察

名城大学理工学部 正員 原田 守博, 内藤 貴斤
名城大学理工学部 ○ 山田 達也, 野村 国弘

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・景観等に悪影響が出ることもある。とくに河川が扇状地のように透水性が高い地盤を流れる場合、流水は河床から伏流し河道流量は一層乏しいものとなる。したがって河川環境を保全する上では、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、河道の一部が枯渇する滋賀県の野洲川を対象に、河道流量の伏流現象を現地観測するとともに、その原因について考察を加えたものである。

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。下流の基準地点・野洲における流量データによると、流量が3 m³/sを下回る日数は平均して年間約100日である。さらに、流水がすべて地下へ伏没して河道が枯渇する区間が見られ、「水無し川」となる場合もある¹⁾。

頭首工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。観測には東邦電探(株)製プロペラ流速計を使用した。測定精度を検定するために、表-1のように同じ河道断面を反復測定し、流量の測定精度を検討した。表に示すように相対誤差は5%以内に収まっており、流量測定の信頼性は高いものであるといえる。

図-2は、過去3回における6地点の流量観測結果をもとに測定地点間の流量変化率を求めたものである。図から分かるように、地点D-E間に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-C-D区間は常に流量が減少している。この区間では支川の分岐はないため、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。このように考えると、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ことになり、維持流量の検討には扇状地の地下水流動を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単純な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をどのように設定するか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伏没現象の再現を試みた。

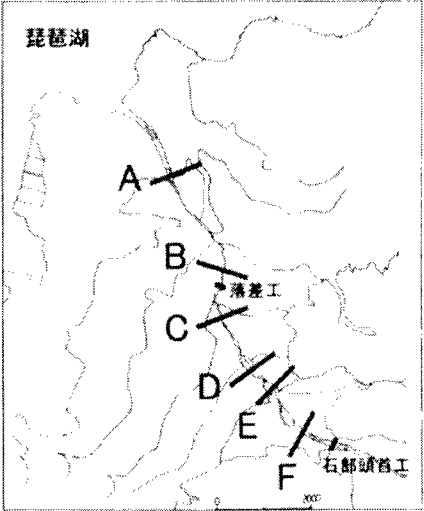


図-1 野洲川扇状地

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	

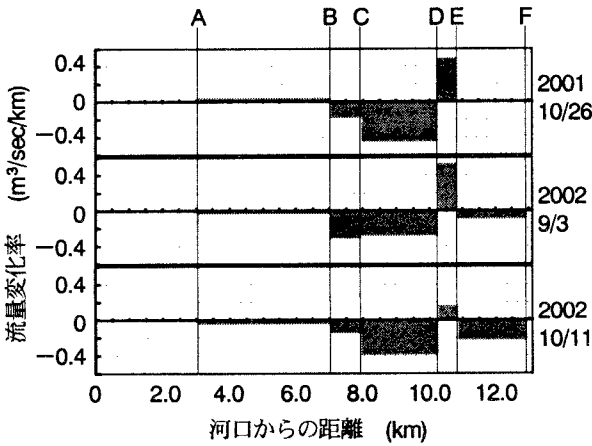


図-2 河道の流量変化率の分布

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。いま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流速を $q^*(s)$ 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。

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

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

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

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される。

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、琵琶湖および野洲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では①不透水条件と②水位指定条件(地表面下 5m に地下水位)の 2 種類を設定した。モデルパラメータとして透水係数 $k=5.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 、不圧地下水の平均水深 $H_0=40\text{m}$ 、上流端流量 $Q_0=2.0 \text{m}^3/\text{s}$ 、河道幅 $B=30\text{m}$ 、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た。

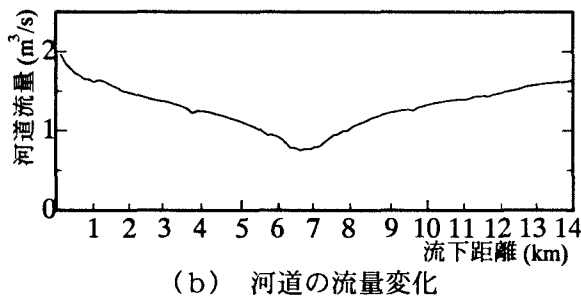
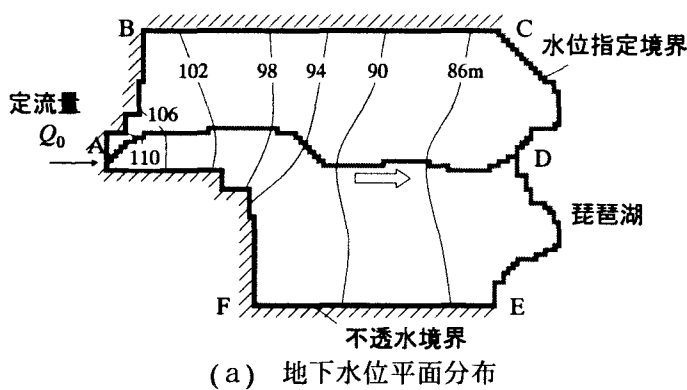


図-3 境界条件①：不透水境界の場合

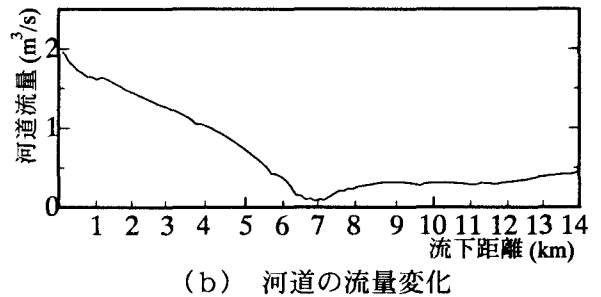
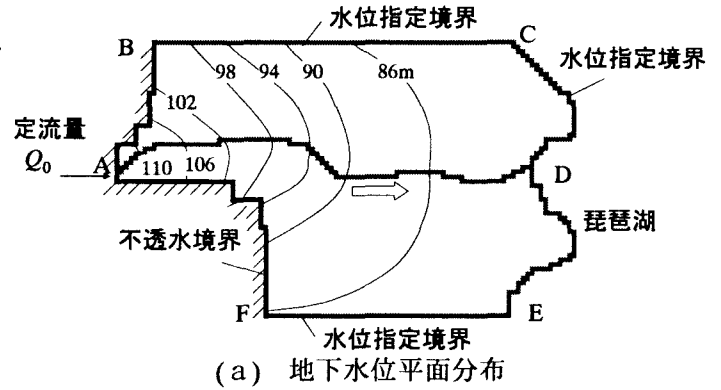


図-4 境界条件②：水位指定境界の場合

4. 解析結果

本モデルによる地下水位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 7km 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、後者の方が流量の減少は激しく回復が小さい。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。ただし、今回は水位指定条件として一例を検討したにすぎないので、他の設定水位についても解析を行い、詳細な検討を進めることが今後の課題である。

5. おわりに

野洲川扇状地における河道の伏没現象について、現地観測と数値解析の両面から検討した。河道の伏没は扇状地の地下構造だけでなく、地表の土地利用や河道近辺での地下水揚水にも起因すると考えられるので、今後、種々の要因を解析モデルに組み込むことにより、伏没現象の実態の解明を試みる予定である。

参考文献 1) 原田・岡嶋・中島・木村：平成 13 年度土木学会中部支部研究発表会概要集，II-46，2002。