

河川高水敷での揚水データに基づく河畔帯水層の水理特性の評価

名城大学理工学部 学生会員 ○ 森田将也

名城大学理工学部 正会員 原田守博

1. はじめに

一般に河川と地下水は水理学的に係わりをもちつつ、相互に水交換を行なっている。そのため、河川近傍の事業所による大規模な地下水利用が河川の低水流量に影響を及ぼし、河川環境の悪化、時には河道の枯渇を招くことも報告されている。こうした事例から、近年、河川水と地下水を水資源として統合的に管理・活用することが求められつつある。河川－地下水間の水交換量の評価には、河畔帯水層の水理特性を知る必要があるが、その実態は十分に分かっていない。本研究では、庄内川中流域を対象に、高水敷での地下水揚水データをもとに透水量係数を逆推定し、河畔帯水層の水理特性を評価することを試みる。

2. 対象地域および帯水層のモデル化

本研究では、橋梁の補強工事に伴う地下水揚水が行われた庄内川の勝川橋付近の高水敷を検討対象とする。解析領域は、図-1 に示す縦 600m 横 600m の範囲であり、図中の南北線を切断面とした河畔帯水層のモデル断面を図-2 に示す。河川水位と河岸から 128m 離れた掘削地点の地下水位を測量した結果、河川水位に対する掘削地点の地下水位の比高は -1.259m であった。すなわち、河川水位を 10m と仮定すると、掘削地下水位は 8.741m となる。現地観測により求められた揚水強度 Q (m³/s)、掘削地下水位 h (m)、河川水位 H (m) を既知のデータとし、水理解析により河畔帯水層の透水量係数 $T=kh_0$ を逆算する。ここに k : 透水係数、 h_0 : 帯水層の厚さである。



図-1 対象地域

3. 解析手法

解析には、線形近似された地下水方程式を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{T}{S_y} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + \frac{Q}{S_y} \quad (1)$$

ここに T : 透水量係数、 S_y : 比産出率 (=0.2) である。境界条件として、北側は河川水位、東側と西側は動水勾配ゼロ（交流なし）と見なし、南側は不透水条件と仮定する。計算には差分法を用い、Prickette and Lonquist¹⁾ のコードを使用した。解析によって地下水位の観測値を再現する透水量係数を同定する。

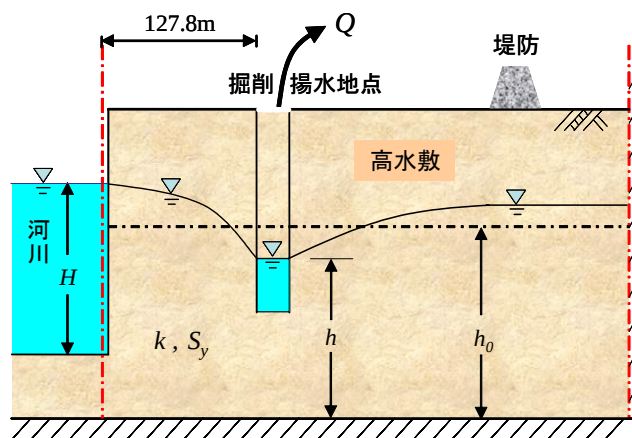


図-2 帯水層のモデル断面

4. 高水敷における透水量係数の逆推定

図-3 は、図-2 の境界条件のもと、透水量係数を $T=15000\text{m}^2/\text{day}$ と仮定した時の地下水位分布である。水位変化を明瞭に示すため、図では東西 600m 南北 300m の範囲を歪めて描いている。図中の地下水位の最も低い地点が揚水箇所であり、この場合の掘削地下水位は河川水位 10m に対し 8.840m である。このような計算水位を透水量係数の値を変えて求め、掘削地点の地下水位を再現する透水量係数を逆推定することにする。

図-4 は、透水量係数の値を種々変化させた場合における、掘削地下水位の計算値と観測値の差を示したものである。この図によると、観測水位を最も再現する透水量係数の最適値は $T=10530\text{m}^2/\text{day}$ であることが

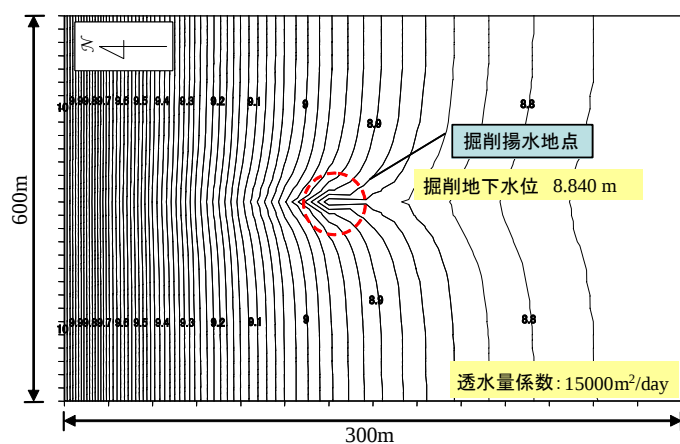


図-3 地下水位分布の解析例

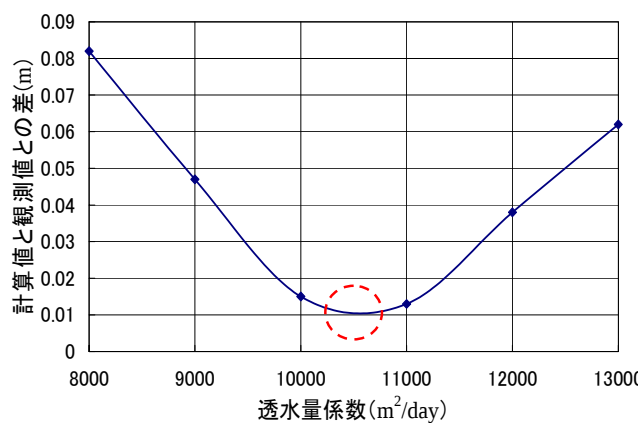


図-4 透水量係数の同定

分かる. この場合, 帯水層の層厚 (地下水の平均水深) を $h_0=10\text{m}$ と仮定すると, 透水係数は $k = 44 \text{ m/hr} = 1.2 \text{ cm/s}$ となる. 河畔の地盤が砂礫層であることが多いことから, この透水係数はほぼ妥当な値と思われる.

5. 河川水位変動に対する帯水層の応答特性

河畔帯水層の透水性について得られた情報を用いて, 河川と帯水層の結合系 (図-5) において, 河道流量の変動を周辺帯水層が吸収する現象, いわゆる河岸貯留効果の評価を試みる. 基礎方程式は次式である²⁾.

$$\frac{dS(t)}{dt} = I(t) - O(t) + Q_r(t), \quad S(t) = BL \cdot f(t) = KO(t)^p, \quad Q_r(t) = -2L \sqrt{\frac{S_y k h_0}{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \frac{\partial f(\tau)}{\partial \tau} d\tau \quad (2)$$

ここに $K = n^{0.6} B^{0.4} I_0^{-0.3} L$, $p=0.6$, n : Manning の粗度係数, I_0 : 河床勾配である. いま中小河川を想定して, $B = 20 \text{ m}$, $L = 4 \text{ km}$, $n = 0.03$, $I_0 = 1/1000$ すなわち $K = 100$, 帯水層については $S_y = 0.2$, $h_0 = 10 \text{ m}$, 透水係数は $k = 0, 10, 44, 100 \text{ m/hr}$ の 4 ケースを設定し, 帯水層の存在が河道の流況変化に及ぼす影響を解析する.

図-6 は, 河道の上流端からの流入量 $I(t)$ が図中左の細線のように変化したときの末端からの流出量 $O(t)$ を, 帯水層の透水係数を変えて求めたものである. 今回得られた透水係数 $k = 44 \text{ m/hr}$ の場合, 河岸の貯留効果によって, 末端での河道流量の最大値が 7 割ほどに抑えられ, 緩やかな流量変化となることが分かる.

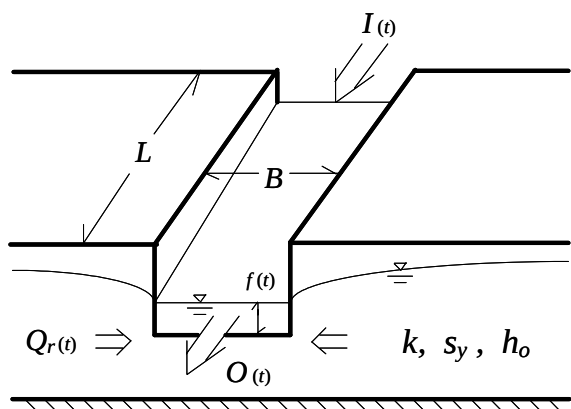


図-5 河川と帯水層の結合系の模式図

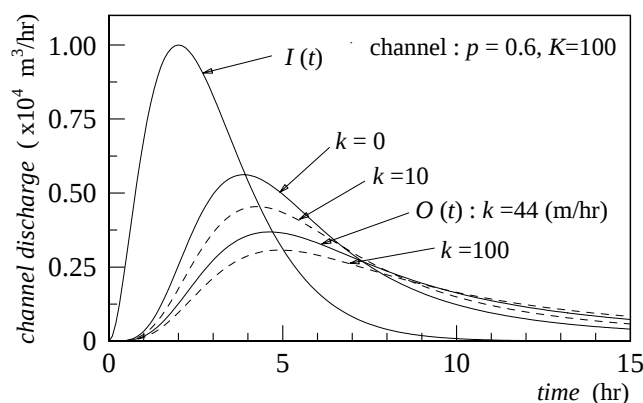


図-6 帯水層の透水係数河道流出量の差異

6. おわりに

河畔帯水層の水利特性を明らかにするため, 高水敷での揚水事例をもとに透水量係数の逆推定を行った. 推定結果を用いて河川の水位変動に対する地下水位応答を解析し, 河岸貯留効果の評価を試みた. こうした検討を重ねることにより, 河川と地下水の水交換過程の理解と把握につなげていくことが必要である.

参考文献 1) Prickett, T.A.: *Advances in HYDROSCIENCE*, Vol.10, pp.91-105, Academic Press, 1975.

2) 原田守博: 土木学会論文集, No.628/II-48, pp.189-194, 1999.