

感潮河川・堀川近傍における不圧地下水挙動と水交換過程

名城大学大学院 学生会員 ○ 沼津晃洋
 名城大学工学部 正会員 原田守博
 名城大学工学部 新井啓史
 名城大学工学部 小川裕太

1. はじめに

都市河川の流況を改善する一方策として、浅層地下水の活用が提案されている。地盤沈下等を生じることなく地下水を活用するためには、河川周辺の不圧地下水状態を把握する必要がある。潮汐の影響を受ける感潮河川の場合、河川水位と地下水位の間に動的な相互作用が生じるが、水交換の実態やメカニズムは十分に検討されていない。そこで本研究では、名古屋市の堀川を対象として、河川周辺の不圧地下水挙動と河床中の水頭を観測するとともに、水理解析によって河川と地下水の水交換過程を明らかにする。

2. 感潮河川周辺の地下水挙動に関する現地調査の概要

都市河川である堀川は、コンクリート護岸をもつものの河床は自然状態であるため、河床を通じて地下水との水交換が生じていると推察される。河川水と地下水の水理的連続性や、河川水位の潮汐変動に対する地下水位応答を検討するために、図-1 に示す2本の井戸 A, B を用いて河川周辺の地下水位観測を実施した。観測は2009年5月より実施し、現在も継続中である。観測井の構造は図-2 のようであり、水位測定にはロガー内蔵式水圧センサーを使用した。

3. 不圧地下水位の変動特性の検討

無降雨期間における河川水位と地下水位の時間変化を図-3 に示す。河川水位の潮汐変動に対して、井戸 A の地下水位に周期的な変動が見られ、これは河川の潮位変動の影響である可能性がある。そこで、地下水位の変動周期を検討することによって、地下水位の変動要因について考察する。

地下水位の変動周期を求めるのに先立ち、地下水位変化のピーク時刻を明確にするために、水位の10分間変化率をとったものが図-4 である。水位変化率は細かく振動しているため、その移動平均値も併せて示した。この図と図-3 の河川水位を比較すると、水位変化率は河川水位と類似した変動をしており、小潮時においては図-3 で判読できなかった短い周期が確認できた。図-4 における移動平均値の各ピークまたはボトムとその前のピーク・ボトムとの時間差をとったものが図-5 である。図のように時間差は12時間または24時間周辺に分布していることから、地下水位は河川の潮位変動の影響を受けていることが明らかである。



図-1 観測井の配置

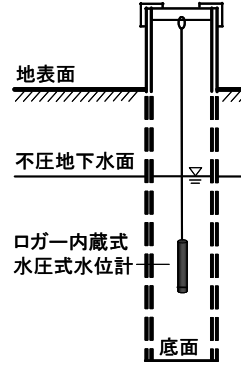


図-2 観測井の構造

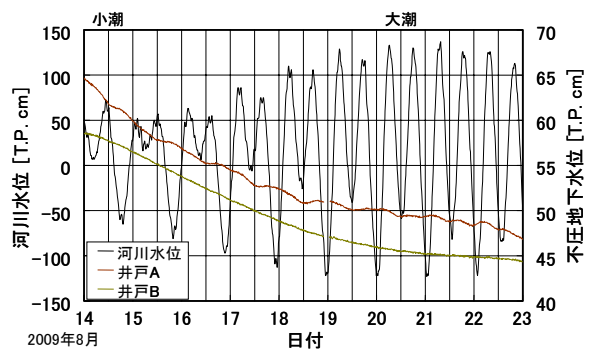


図-3 河川水位と地下水位の観測結果

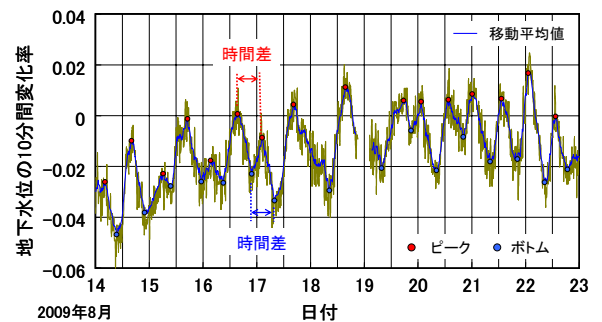


図-4 地下水位の無降雨期間の水位変化率

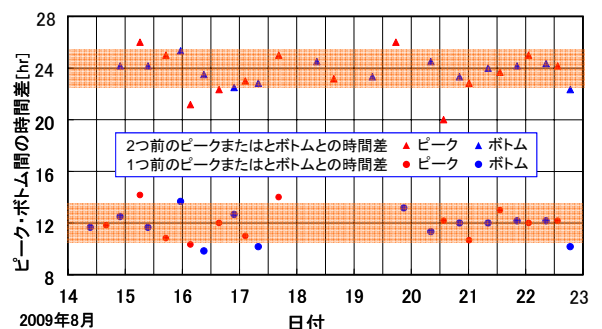


図-5 地下水位変動の周期

4. 水理モデルによる不圧地下水位の変動特性の評価

上述のように不圧地下水位の変動要因が河川の潮位変動であることを検証するために、水理モデルを用いた解析を試みる。モデルの仮定として、①等方均質な帯水層、②平面かつ水平な不透水基盤、③流速はダルシー則、④流速に関する Dupuit の仮定、⑤流下方向に流れ無し、⑥水位変化は水深に比べ微小と考えると、地下水位分布は次の方程式によって解くことができる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = D \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{r_e}{S_y}, \quad D = \frac{Kh_0}{S_y} \quad (1)$$

ここに、 h : 不圧地下水位、 h_0 : 不圧帯水層厚、 S_y : 比産出率、 K : 透水係数、 r_e : 降雨強度、 D : 水頭拡散係数である。境界条件として、河川に接する境界では河川水位、河川から 500m の地点を $h = 0$ とした。なお、無降雨時を対象として降雨強度は $r_e = 0$ と設定した。

図-6 は、図-3 の地下水位の低減部を解析した結果である。図において実測値の変化傾向は数値解によってよく再現されており、水位の解析結果にも周期的な変動が認められる。このことから、無降雨期間で見られた地下水位の周期変動は水理モデルからも実証された。

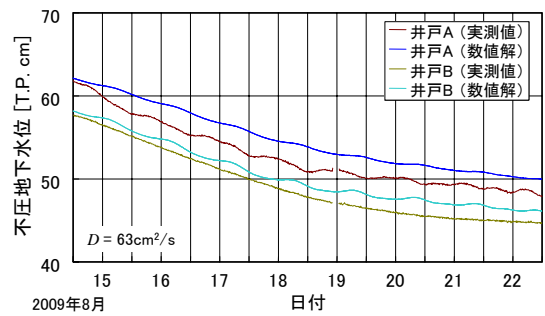


図-6 不圧地下水位の低減過程の再現結果

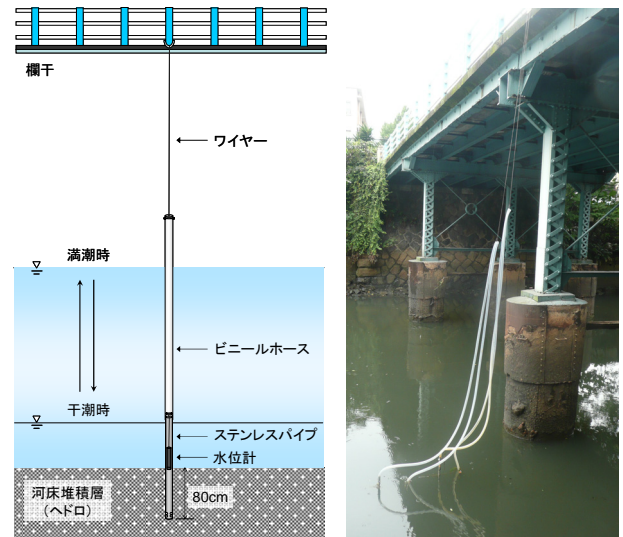


図-7 河床中の水頭の測定手法 写真-1 現地の測定風景

5. 河床を通じた河川と地下水の水交換現象の検証

河川周辺域における不圧地下水位の現地観測と数値解析の結果、河川と周辺地下水との連続性が実証された。そこで、河川と地下水の水交換過程について検討するため、図-1 の堀川・中橋付近において、河床下のピエゾ水頭の直接測定を実施し、河川の水位変動に伴う河床堆積層内の圧力変化について検討した。

河床下のピエゾ水頭の測定は、図-7 に示すようにピエゾメータを4ヶ所に埋設し、数日間の測定を3回反復した。測定風景を写真-1 に示す。図-8 は観測結果の一例であり、この他の3回の測定ともに、河川水位と河床中のピエゾ水頭の間には水頭差が発生し、動的に変動することが観測できた。図中には河川水位と河床中のピエゾ水頭の差から求めた動水勾配を示している。図のように、ピエゾ水頭は河川水位にやや遅れるものの連動した応答をしていることが見て取れる。動水勾配は正と負の値を周期的に繰り返しており、河川水の伏流と地下水の湧出が交互に発生していることが分かる。水交換速度を表す動水勾配の値を時間的に積分したところ、この期間における湧水量は伏流量の約7倍に当たると推察される。すなわち、堀川と周辺地下水との間に動的な水交換が生じているものの、結果的に周辺の地下水は堀川を涵養していることになる。

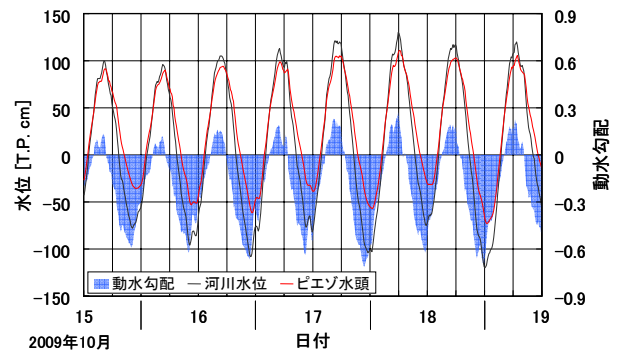


図-8 河川水位と河床中の水頭及び動水勾配の測定結果

6. おわりに

本研究では、感潮河川周辺域における不圧地下水状態について現地観測と数値解析の両面から検討した。その結果、潮汐の影響による地下水位変動を確認し、河川と周辺地下水との連続性が実証された。また、河床下のピエゾ水頭の直接測定に基づいて河川と地下水の水交換現象を検証したところ、河川水位の変動に連動して河川水の伏流と地下水の湧出が繰り返されていることが実証された。