

感潮河川近傍における被圧帯水層の水頭挙動に関する理論解析

名城大学理工学部 原田守博
 ○ 名城大学理工学部 野上卓也
 名城大学理工学部 山本成行

1. はじめに

名古屋市を流れる堀川は、人工的に開削された運河のため水源がなく、また、名古屋港から貧酸素水塊が遡上する感潮河川であるうえ、雨天時には周辺の合流式下水道から汚水が流入することにより、水質の悪化が問題となってきた。近年、堀川の水質を浄化するために木曾川等からの導水も行われているが、可能であれば、僅かであっても流域内の水を用いることが望ましい。そこで名古屋市は、堀川周辺の余裕のある地下水を水質浄化に役立てようと揚水井を掘削してきている。3本目として北清水親水公園に設けた井戸では地下水の自噴が見られたが、井戸の水頭や湧出量の変動への影響要因は明確でない。本研究では、地下水頭変動の水理学的要因を現地観測によって明らかにし、湧出量を増やすためには何をすべきかを考察することを目的とする。

2. 現地の概要と観測データ

対象地点は、図-1 に示すように堀川上流域に位置し、河口（名古屋港）から 13.2km の地点である。写真-1 から分かるように、自噴井は堀川上流部（通称：黒川）左岸の親水公園に設けられ、井戸からは豊かな水量の地下水が常時湧出している。図-2 は井戸付近の地質断面図である。井戸のストレーナ深度は約 20~30m の砂礫層 Dm に開口しているが、その上部に難透水層である D3c 層が存在することから、帯水層はこの難透水層によって被圧されていると考えられる。

現地では、堀川の水位と自噴井に立てたパイプ内の水頭をロガー内蔵式水位計（応用地質(株)製 S&DL mini）によって1分毎に測定した。図-3 はその測定データの一例を示している。これは堀川の水位変動幅がもっとも大きい大潮前後（2008年7月4日~5日）の時のもので、名古屋港の潮位も併記してある。図を見ると、堀川の水位は名古屋港の潮位変動とよく連動しており、変動幅はほぼ同一で、時間遅れはほとんど無いといってよい。しかしながら、自噴井の水頭変動は堀川水位の変動幅の 1/20~1/40 である。また、両者の水位のピーク時における時間遅れは 30~90 分である。このような自噴井水頭の河川水位に対する応答特性がどのようなメカニズムによるものか、以下では水理モデルを構築して検討を進めることにする。

3. 河川と帯水層系の相互作用に関する水理モデル

図-2 に示した地質構造に基づき、現地における堀川と地下水との関係を図-4 のような河川と漏水性帯水層系の組み合わせとしてモデル化した。このモデルによると、例えば堀川水位が上昇する場合、河川に接する不圧地下水位 H が遅れて上昇する。地下水位は空間的に分布するが、ここでは便宜的に河岸から一定範囲 (10m)

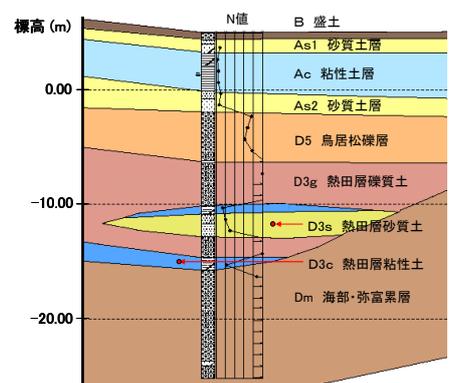


図-1 堀川上流に位置する自噴井

写真-1 堀川と自噴井の位置関係

図-2 自噴井周辺の地質構造

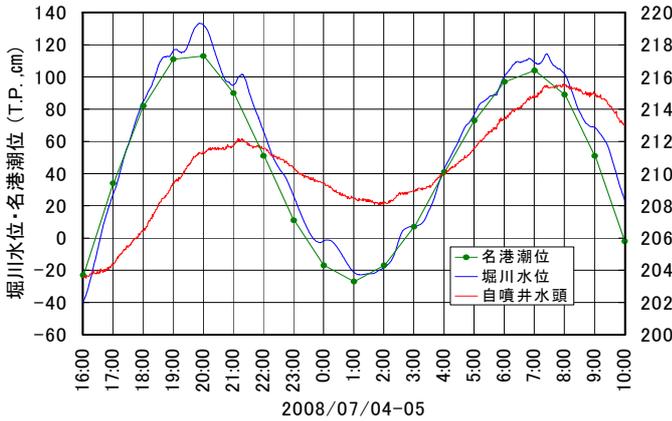


図-3 堀川水位・名港潮位・自噴井水頭の時間的変化

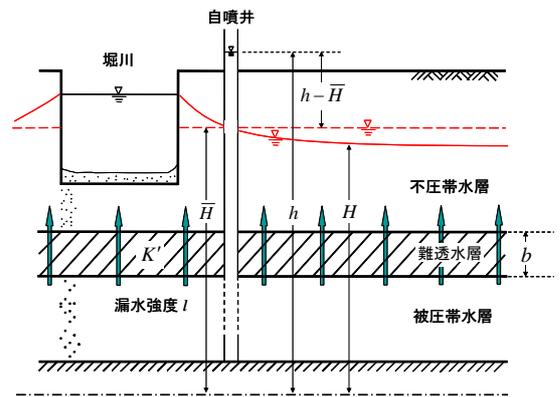


図-4 河川一帯水層系の水理モデル

で平均した値 \bar{H} で表わしている. 不圧地下水水位の上昇に伴い被圧地下水頭との水頭差 $h - \bar{H}$ が縮小する. その結果, 難透水層を通じた被圧層から不圧層への漏水量 l が減少し, 被圧地下水頭が遅れて上昇することが想定される. この仮説によって, 前述した現象の特性を果たして説明できるか否か, 数値解析によって検討する.

4. 数値解析とその結果

いま, 帯水層を等方均質と仮定し, 降雨や井戸揚水のない状況を考えると, 図-4 における不圧帯水層と漏水性被圧帯水層の基礎方程式は式(1)(2)で表わされる. ただし, 量的に僅かな漏水現象が不圧地下水挙動に及ぼす影響は小さいものとして省略している. また, 被圧層から不圧層への漏水量 l は式(3)で表わされる.

$$S_y \frac{\partial H}{\partial t} = KH_0 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \quad \dots \quad (1) \quad S \frac{\partial h}{\partial t} = T \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - l \quad \dots \quad (2) \quad l = K' \frac{(h - \bar{H})}{b} \quad \dots \quad (3)$$

ここに, KH_0 : 不圧帯水層の透水係数と平均地下水深の積, S_y : 比算出率, T : 被圧帯水層の透水量係数, S : 貯留係数, K'/b : 難透水層の透水係数と層厚の比である. これらのパラメータと境界・初期条件は, $KH_0=10 \text{ cm}^2/\text{s}$, $S_y=0.3$, $T=115 \text{ cm}^2/\text{s}$, $S=0.01$, $K'=2.3 \times 10^3 \text{ cm/s}$, $b=300 \text{ cm}$, $h_{BC} = h_{IC} = 230 \text{ cm (T. P.)}$ と設定した.

上式の数値計算は差分法によって行った. 解析結果のうち, 不圧地下水水位の空間平均の時間変動を図-5 に示す. 図を見ると, 不圧地下水水位は堀川水位の変化に比べて1時間余り遅れて変動していることが分かる. さらに, この不圧水位の変動に伴う自噴井水頭の解析結果と観測データの比較を図-6 に示す. 図から分かるように, 解析結果は実測値を完全には再現していないが, 水頭変化の時間的タイミングが一致する上, 変動幅もほぼ合っており, 本モデルが河川水位と被圧水頭の変動幅の違いや時間遅れを説明しようと言うことができる.

5. おわりに

本研究では, 堀川の水位変動に対する自噴井水頭の応答特性を水理モデルによって表現できることを示した. 今後, 自噴井の湧出量を測定することによってパラメータ値の妥当性を検討し, 解析の精度を高めていきたいと考えている. 最後に, 貴重な観測資料を提供頂いた名古屋市環境局地域環境対策課に謝意を表します.

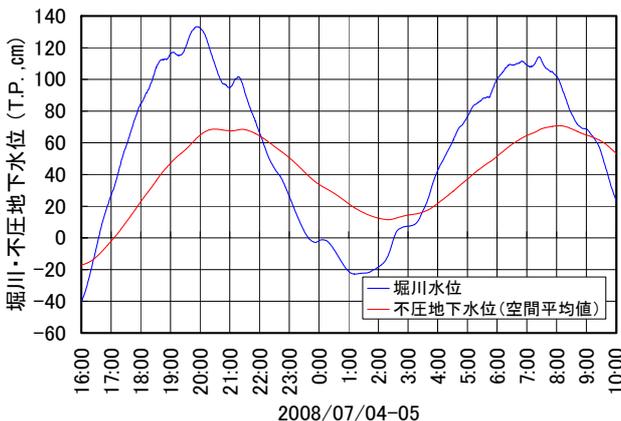


図-5 不圧地下水水位 (平均値) の解析結果

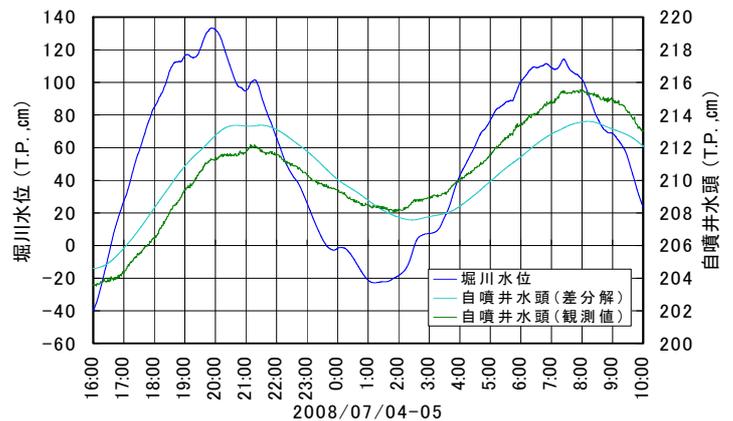


図-6 被圧地下水頭の解析結果と観測値の比較