

堀川における地下水投入に伴う河道流況および周辺地下水への影響評価

名城大学理工学部 正 会 員 原 田 守 博
 名城大学大学院 学生会員 ○ 小笠原孝行
 名城大学理工学部 小 川 将 司
 名城大学理工学部 中 山 英 一

1. はじめに

名古屋市の代表的な都市河川である堀川は、水源に乏しいうえ、周辺からの汚水流入による水質の悪化が問題となっている。それは、流域の大半が合流式下水道で、中下流部が感潮区間であることに起因している。最近、上流部において河川近傍で浅層地下水を揚水して河道に投入することにより、一定の流量確保と水質改善を目的とした試みが行なわれているが、現状では投入量が少ないために、堀川の流況を明確に改善するには至っていない。そこで本研究では、今後地下水投入を多地点で行なう場合を想定して、地下水の活用によって堀川の流況改善が可能かどうかについて検討する。具体的には、河川と地下水の相互作用を考慮した数値シミュレーションによって河道の流況変化と揚水に伴う地下水位の低下範囲を解析している。

2. 河川が存在を考慮した広域地下水モデルの構築

沖積平野における河川は周辺の地下水と水理学的な連続性をもち、河床を通じて湧出や伏流が生じている。本研究では堀川の流れと周辺での地下水揚水を対象とするため、河川と地下水の両者を統合したモデルを用いて解析する必要がある。さらに堀川は上述のように感潮河川であるため、ここでは原田らによって開発された河川・地下水相互作用モデル¹⁾を拡張することとする。

(1) 水理モデルの基礎方程式

河道上流端での流量を Q_0 、流下距離 s における帯水層との水交換強度を $q^*(s)$ で表すと、河道流量 $Q(s)$ は連続式(1)で与えられる。ここでは伏流の場合を $q^*(s) > 0$ としている。各地点での河道水深 $h(s)$ は、Manning 則を用いた水面形方程式(2)に従う。伏流によって河道が枯渇する場合や、流れを等流とみなすことができる場合には、等流近似式(3)を用いて $Q(s)$ から水深 $h(s)$ を求めることができる。一方、地下水位分布 $\phi(x, y)$ は Dupuit の仮定に基づく二次元定常地下水方程式(4)によって解かれる。河川水と地下水の水交換強度 $q^*(s)$ は、河床下の地下水位 $\phi(s)$ 、河道水深 $h(s)$ 、河床高 $z_r(s)$ をもとに式(5)から求められる。新しい $q^*(s)$ を用いて、式(1)から河道流量 $Q(s)$ 、式(4)から地下水位 $\phi(x, y)$ が更新される。上記の計算過程を反復・収束させることにより、相互作用の結果として河道流量と地下水位の分布が確定する。

(2) 解析領域と計算条件

解析の対象領域は、図-1 に示すように堀川上流～中流域を中心とする名古屋市北部地域であり、領域全体を 100×100 m の差分格子に分割した。地下水解析の境界条件は、地下水位の実測値をもとに水位指定によって設定した。帯水層は等方均質な不圧層とし、透水係数を $K = 2.0 \times 10^{-4}$ m/s、不透水基盤の分布は最新名古屋地盤図をもとに設定した。また揚水量には事業所の実測データを与えた。

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

$$\frac{dh(s)}{dx} = \frac{S_0 - \frac{n^2 Q(s)^2}{R(s)^{4/3} h(s)^2 B^2} + \frac{\alpha q^*(s) Q(s)}{gh(s)^2 B^2} \beta}{1 - \frac{\alpha Q(s)^2}{gh(s)^3 B^2}} \quad (2)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(KH \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(KH \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + r = 0 \quad (4)$$

$$q^*(s) = \frac{k}{d} \{ (h(s) + z_r(s)) - \phi(s) \} \cdot B \quad (5)$$

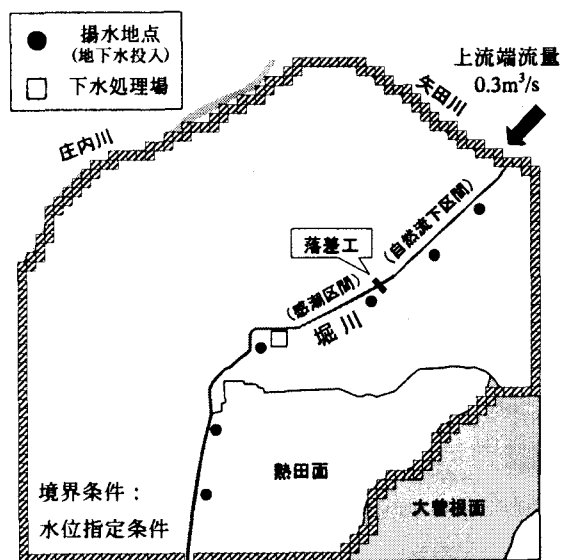


図-1 解析領域

河道部の解析では、落差工より下流の感潮区間に式(2)を、上流の自然流下区間には式(3)を適用した。河道特性としては、平均河道幅 $B = 18 \text{ m}$ 、Manning の粗度係数 $n = 0.05$ 、河床堆積層の漏水係数 $k/d = 1.0 \times 10^{-7} \text{ 1/sec}$ とした。河道の境界条件は、上流端で庄内川からの暫定導水流量 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ を、下流端では河口である名古屋港の水位を与えた。また河道への側方からの流入量として、上流域における2箇所地下水投入量 $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ と、中流部の下水処理場からの排水量 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ を与えた。

3. 解析モデルによる地下水状態の再現性

上述した計算条件のもとで、堀川周辺の地下水状態の再現を試みた。対象地域には最近の地下水位記録がほとんど無いため、地下水位の実測値として過去のデータ（1976～1986）を用いざるを得ない。そこで、解析モデルに1975年度の事業所揚水量を与えることによって当時の状況の再現を試みた。図-2は、こうして計算した地下水位の解析値と実測値を比較したものである。プロットにバラつきはあるものの両者には対応が見られ、全体の概況は再現できているといえる。

4. 揚水井群による河道流況と周辺地下水位への影響

解析精度を向上させるために、モデルには改善の余地があるが、ここでは試算として、現段階のモデルを用いて、多地点に揚水井を設置して地下水投入を行なった場合の影響評価の解析を行なった。揚水井の設定は、図-1に示したように河川近傍に仮定の6地点とした。各揚水井で $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ の揚水を行なった場合の地下水位低下量の分布を図-3に示す。これによると、地下水位の低下は揚水地点周辺だけでなく、対象地域の広い範囲に及ぶことが示されている。

地下水投入および周辺地下水との水交換による河道流量の変化を図-4に示す。この図から分かるように、揚水井を多数設置することによって河道流量を現状よりも段階的に増加させることができる。また落差工より下流においては、河床からの地下水湧出により、河道流量が徐々に増加する結果となった。これらの解析結果はあくまで試算であり、今後モデルの改良を行なうことによって、精度を高める必要がある。

5. おわりに

名古屋市を流れる堀川を対象に、流況改善のための地下水投入を多地点で行なった場合について、河道の流況変化と地下水位の低下範囲を数値シミュレーションにより予測を行った。今回の試算では、河道流況は現在よりも改善されるものの、揚水による地下水位の低下が広範囲に及ぶことが分かった。今後は解析モデルの改善を進め、地下水投入の実施に向けて具体的な揚水地点、および揚水量等を検討する予定である。

最後に、本研究を実施するにあたりご協力を頂いた名古屋市環境局および緑政土木局堀川総合整備室、さらに名古屋市の地盤状況について基礎的な情報を頂いた大同工業大学大東研究室の関係各位に謝意を表する。

参考文献 1) Harada, M., Yamada, T. and Hantush, M. M.: Interaction Process between Stream and Aquifer in Alluvial Fan of the Yasu River, J. Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.23, No.1, pp.27-41, 2005.

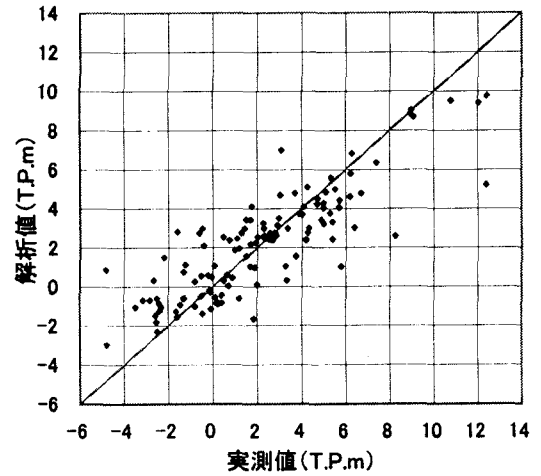


図-2 実測値と解析値の比較

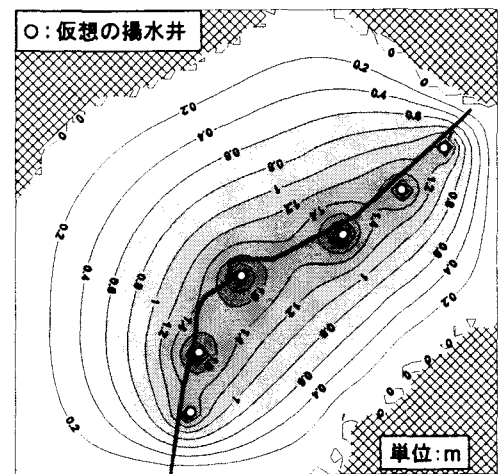


図-3 地下水位低下量の分布

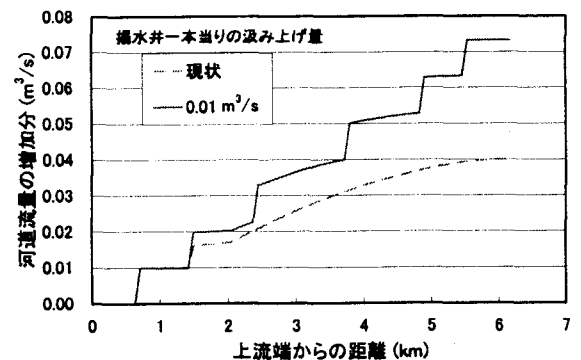


図-4 河道流量の縦断変化