

タンクモデルによる井の頭池周辺の地下水位推定

東京都土木技術支援・人材育成センター 正会員 ○高崎 忠勝
 明星大学理工学部 正会員 藤村 和正

1. はじめに

東京の三鷹市に位置し神田川の水源地である井の頭池では透明度の低下が問題となっており、井の頭恩賜公園が 2017 年に開園 100 周年を迎えることから水質改善に向けた様々な取り組みが行われている¹⁾。かつて井の頭池周辺には豊富な湧水があったが、現在では湧水量が減少しているため地下水の導水によって池の水量・水質保全が図られている。2004 年 10 月下旬から 11 月上旬にかけての度重なる大雨により井の頭池周辺では地下水位の上昇や湧水量の回復が確認され、井の頭池では透明度の大幅な改善がみられた²⁾。地下水位の変化は井の頭池の湧水量や水質に大きく影響を及ぼすことから水質改善に取り組む上でその把握は重要である。そこで当研究ではタンクモデルを用いて井の頭池周辺の地下水位の変化について推定を試みた。

2. 対象箇所および使用モデル

対象箇所である井の頭池周辺を図 1 に示す。井の頭池付近では地下水位や神田川への流出量のモニタリングが行われている。図中に示した地下水位 A³⁾ と B 地点の地下水位 B⁴⁾ について 2006 年～2011 年における同期間の地下水位の関係を図 2 に示す。地下水位 B の値は各月について 1 日～10 日、11 日～20 日、21 日～月末の平均値となっており、地下水位 A についても同様に平均値を求めて地下水位 B と比較を行っている。地下水位 A は地下水位 B より低い。地下水位 A と地下水位 B の関係は概ね一次式で表すことができる。

図 3 に示す 4 段タンクモデルを用いて井の頭池周辺の地下水位を推定する。タンクモデルの計算は次の手順で行う。1) 井の頭池への日導水量 3600m³ と府中（気象庁）日降水量の合計値を最上段タンクに入力する。2) 府中（気象庁）の日平均気温を参照して Hamon 式で日蒸発散量を算定する。日降水量が 0 より大きい場合には日蒸発散量を 0 とする。日蒸発散量を最上段タンクから差し引く。3) 4 つのタンク側方からの流出量の合計を井の頭池からの日流出量とする。4) タンク貯留高 H2～H4 の合計値（以下、貯留

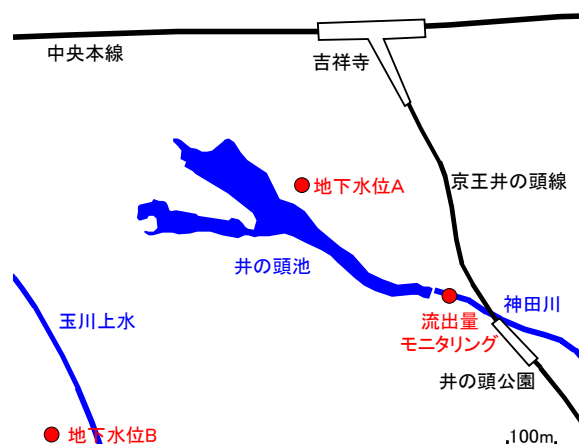


図 1 対象箇所

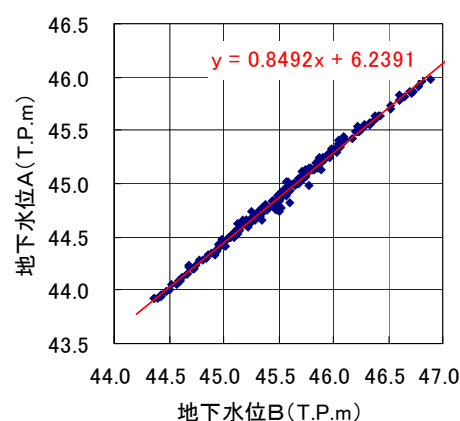


図 2 地下水位 A と B の関係

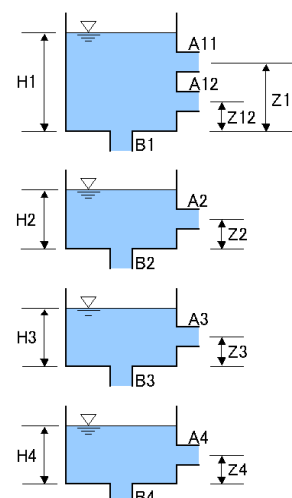


図 3 使用タンクモデル

キーワード 地下水位, タンクモデル

高合計値) の変化が地下水位の変化を表すものとする。

モデルパラメータの同定は式(1)の r (貯留高合計値と地下水位の相関係数) および式(2)の NS (日流出量計算値と観測値の Nash-Sutcliffe 係数) の合計値を最大とする組み合わせを大域的探索法である SCE-UA 法⁵⁾によって求める。 NS の計算は長期的な特性把握を目的として立方根変換した流出量によって評価する。

$$r = \frac{\sum (H_{cal} - \overline{H_{cal}})(H_{obs} - \overline{H_{obs}})}{\sqrt{\sum (H_{cal} - \overline{H_{cal}})^2} \sqrt{\sum (H_{obs} - \overline{H_{obs}})^2}} \quad \dots (1)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum (Q_{obs}^{1/3} - Q_{cal}^{1/3})^2}{\sum (Q_{obs}^{1/3} - \overline{Q_{obs}^{1/3}})^2} \quad \dots (2)$$

ここに、 H_{cal} : 貯留高合計値, H_{obs} : 地下水位観測値, Q_{cal} : 日流出量計算値, Q_{obs} : 日流出量観測値

モデルパラメータの同定に用いる観測データは 1999 年～2012 年までの流出量および 1999 年～2009 年までの地下水位である。大きな地下水位の上昇がみられた 2004 年のデータがある地下水位 B をパラメータ同定に使用する。また、2010 年～2011 年の地下水位 B は検証に用いる。

同定パラメータによる計算結果を図 4 に示す。日流出量の再現性についてみると、パラメータ同定時の NS は 0.18 であり流出量の日変化は十分には再現できていない。井の頭池と神田川の間に位置する堰において人為的な流出量の制御が行われているが、本計算では考慮されていないことが再現性が低い要因だと考えられる。日流出量の平均値についてみると観測値の平均が 2770m^3 であるのに対して同期間の計算値の平均は 2208m^3 であり、計算は若干過小ではあるものの概ねの流出量は再現していると判断した。計算期間を通じた日流出量計算値の平均は 2235m^3 であり日導水量 3600m^3 の 62% となった。

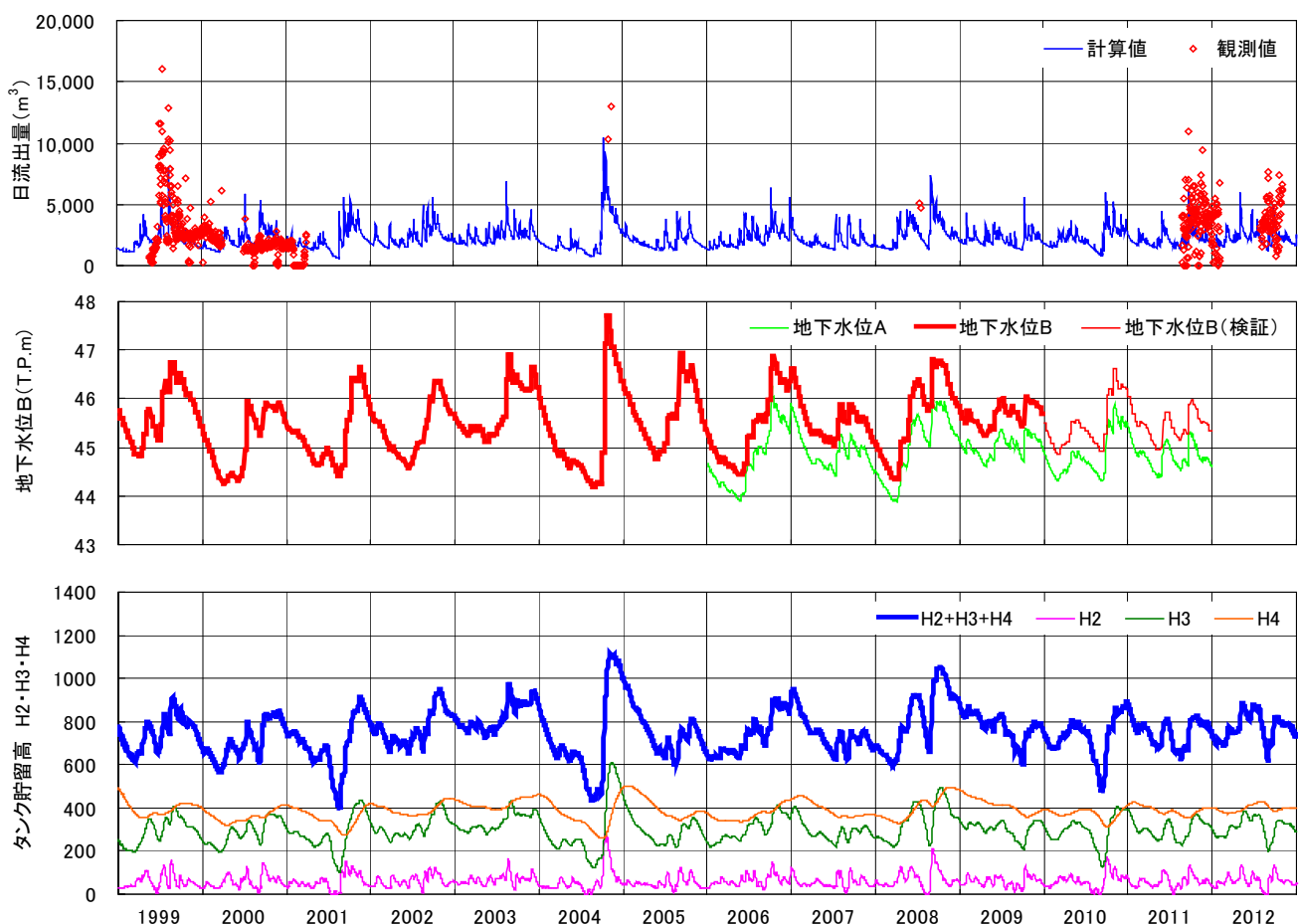


図 4 同定パラメータによる計算結果

3. 地下水位の推定

図 4 の地下水位についてみると全体的に貯留高合計値が地下水位と同じような変化をしており、地下水位最大値が観測・計算共に 2004 年に発生し、パラメータ同定時の r が 0.84 であることからタンク貯留高は地下水位の変化を表していると判断した。各年の最大値・最小値から最小二乗法により貯留高合計値 H_{cal} と地下水位の関係式を求め、地下水位 A について式(3)、地下水位 B について式(4)を得た。

$$H_A = 0.0047H_{cal} + 41.35 \quad \dots (3)$$

$$H_B = 0.0053H_{cal} + 41.57 \quad \dots (4)$$

ここに、 H_A ：地下水位 A 推定値 (T.P.m)、 H_B ：地下水位 A 推定値 (T.P.m)

式(3)・式(4)によって計算した 1999 年～2012 年の地下水位を図 5 に示す。地下水位 A、B の計算値は計算期間を通じて観測値を概ね再現できており、降水量と蒸発散量を本モデルに入力することで井の頭池周辺の地下水位を予測できると判断した。

2013 年の地下水位 A の推定を目的として、タンク貯留高 H1～H4 を図 4 の 2012 年末の値とし、1977 年～2012 年の各年の降水量・蒸発散量を参照し、これを本モデルに入力して 36 個の年間地下水位を得る。

36 個の年間地下水位について年最大値、年平均値、年最小値を図 6 に示す。年最大値についてみると最大は 1991 年参照時の T.P.47.07m であり、最小は 1984 年参照時の T.P.44.86m である。湧水の回復がみられた 2004 年を参照時の年最大値は T.P.46.56m であり、図 4 のタンク貯留高から計算した 2004 年の最大値 T.P.46.59m と

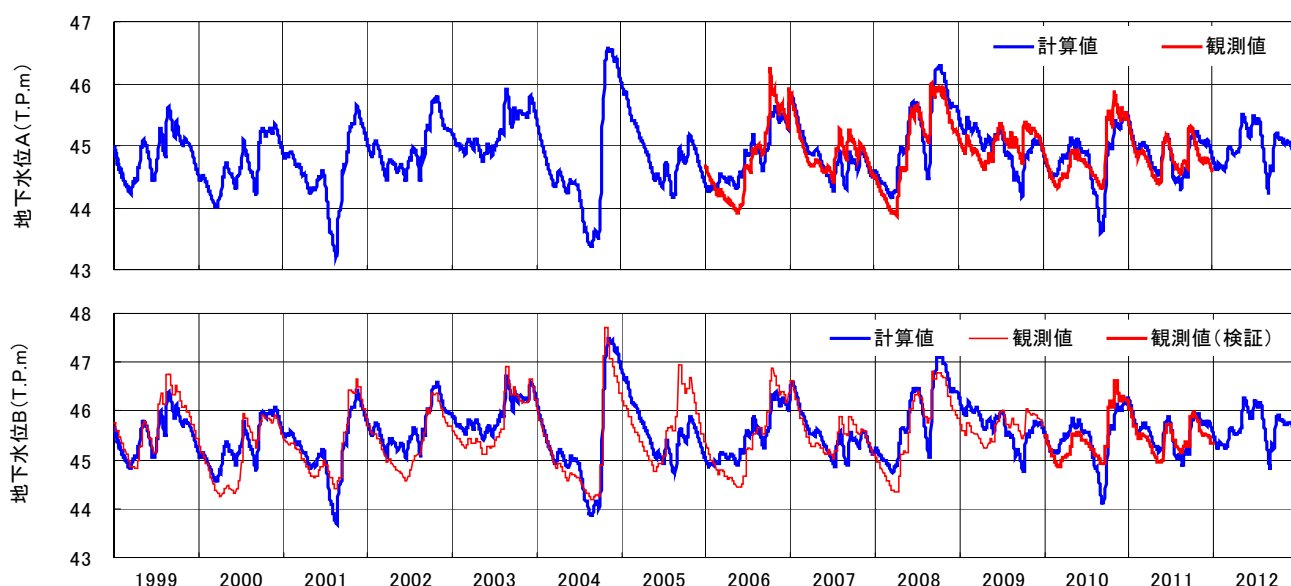


図 5 地下水位の推定計算

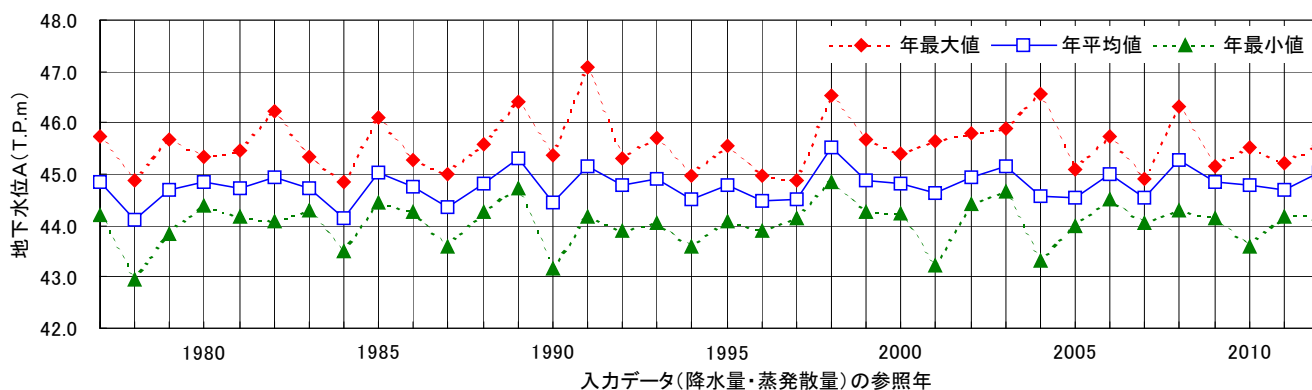


図 6 年間地下水位の最大値、平均値、最小値

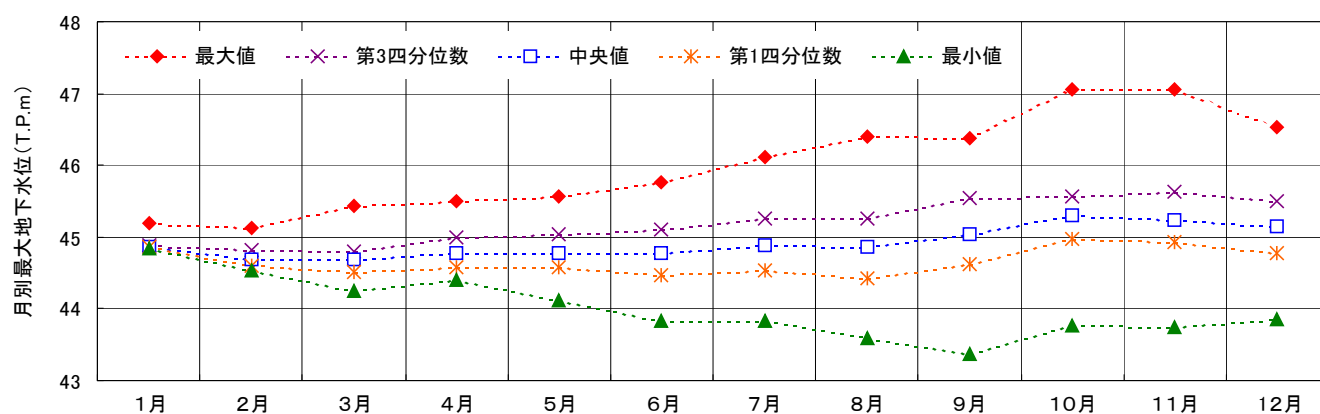


図 7 地下水位の月変化（月最大値）

ほとんど変わらない。また、これより大きな地下水位は 1991 年参照時のみに生じている。地下水位と池底高の関係をみると 36 個の年最大値のうち 29 個が池底高 T.P.45.0m より高くなっている。年平均値については 8 個が池底高より高くなっており、年最小値については全てが池底高より低くなっている。また、年平均値 36 個の平均は T.P.44.78m であり池底高より低くなっている。

1 年間の地下水位の変化を把握するため、月別に最大水位の最小値、第 1 四分位数、中央値、第 3 四分位数、最大値を求め図 7 に示す。中間値から 1 年間の変化をみると 1 月から 3 月にかけて低下し、3 月から 10 月まで上昇し、10 月以降は低下する傾向がみられる。最大値をみると T.P.47.0m を上回るのが 10 月～11 月であり、T.P.46.0m を上回るのが 7 月～12 月である。地下水位が池底高より大きくなるのは、最大値が 1 月～12 月、第 3 四分位数が 5 月～12 月、中間値が 5 月～12 月である。第 3 四分位数の最大値は T.P.44.97m であり池底高を下回る。

4. まとめ

4 段タンクモデルを用いて井の頭池周辺の地下水位の年間変化の推定を試みた。井の頭池周辺の地下水位については流出量と地下水位の観測値を用いたパラメータ同定を行うことによりタンク貯留高から地下水位の推定が可能である。井の頭池周辺の地下水位は年間を平均すると池底高より低く、10 月に地下水位が最大になる傾向があることを確認した。

参考文献

- 1) 井の頭恩賜公園 100 年実行委員会：よみがえれ！！井の頭池！かいぼりシンポジウム開催結果概要，2012.
- 2) 国分邦紀：大雨により復活した大地の湧水・地下水についての水文学的考察，平成 17 年東京都土木技術研究所年報，pp.201-208，2005.
- 3) 川島眞一，川合将文，石原成幸，高橋賢一：地盤沈下と地下水位の観測記録（平成 23 年），平成 24 年東京都土木技術支援・人材育成センター年報，pp.191-226，2012.
- 4) 高橋賢一，川合将文，石原成幸，国分邦紀：浅層地下水の観測記録（平成 23 年），平成 24 年東京都土木技術支援・人材育成センター年報，pp.181-190，2012.
- 5) Duan Q, Sorooshian S, Gupta VK. : Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models, Water Resources Research, 28-4: 1015-1031, 1992.