

地下水利用が盛んな扇状地における地下水位変動因子分析

株式会社建設技術研究所 ○安富達就, 南部卓也

1. はじめに

持続的な地下水利用や将来的な地下水位を予測する際には、地域における地下水位変動の特徴を適切に評価することが重要である。本稿では、地下水利用の盛んな扇状地における地下水位変動の特徴を理解するため、対象地の水文地質環境を整理し地下水位変動因子を抽出した後、重回帰分析によって各因子の影響度を考察した。

2. 水文地質環境の整理

(1) 地形地質概要

調査地は、濃尾平野北端に位置する岐阜市域の低地部である(図-1)。地形は、長良川起源の扇状地が広がり、上位に長良川・木曾川等による氾濫平野が形成されている。地質は、第四紀更新世後期および完新世に堆積した砂礫層が50m以上の厚さで分布し、その上位を粘性土層が数m~10m程度の厚さで覆う。砂礫層は不圧帯水層を形成し、透水係数は $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{m/s}$ オーダーと大きい。

(2) 地下水利用状況

調査地は、金華山から忠節観測所の上に長良川から豊富な河川表流水が地下へ浸透する地域であり¹⁾、行政届出義務のある大規模な井戸のみでも岐阜市内に1,000箇所近く分布し、年間1億 m^3 近くの地下水が利用されている。荒田川より南側の低地部では、農業井戸等の大規模揚水施設が夏期に稼働する影響で6~9月の揚水量が多い²⁾。



図-1 調査地周辺の治水地形分類と主要な観測地点

(国土院 治水地形分類図に加筆)

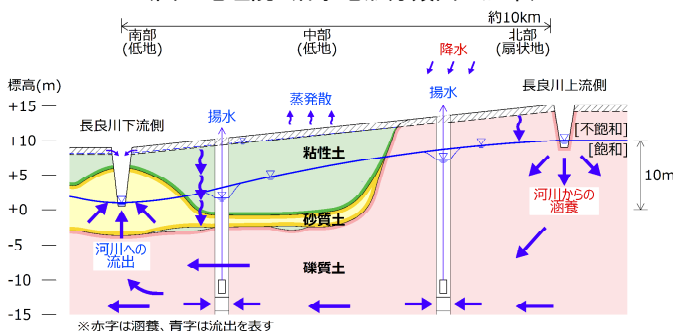


図-2 調査地の水循環機構概念図

(3) 地下水位変動因子の選定

地形地質や地下水利用状況から想定される扇状地内の水循環機構の概念図を図-2に示す。この循環系の中で地下水位変動に影響を与える主要事象として、降水・揚水・河川水位の3つを因子分析で取り扱う対象データとした。

3. 検討対象地点および期間

検討対象は、岐阜市の地下水位連続観測地点のうち、扇状部に位置する「明德」・扇端部に位置する「天満」・低地部に位置する「華陽」の3地点を対象とした(図-1)。検討対象期間は10年間を基本とし、各地点の観測開始時期を考慮して決定した。

4. 検討方法

(1) 収集データ整理

収集データは、データ間で測定間隔が異なるが(河川水位・降水量:1時間間隔、揚水量:1ヶ月間隔)、本検討では中~長期的な地下水位変動に着目し、全データを日単位間隔に整理した。揚水量は使用者申告に基づくため年によっては情報の欠落を含む可能性があるが、集計結果より揚水量の変動特徴は年によって大きく変わらないと判断し、集計期間の平均的な月間変動パターンを揚水量の時系列データとして取り扱った。

(2) 解析手法

地下水位変動因子の分析には、線形重回帰分析を用いた。ある時間 n (日)の観測地下水位 y_n (m)は降水量の影響 R_n 、揚水量の影響 P_n 、河川水位の影響 L_n 、定数 C 、ランダムホワイトノイズ ε_n の和で表現できると仮定する。

$$y_n = R_n + P_n + L_n + C + \varepsilon_n \quad (1)$$

ここで、降水量、揚水量、河川水位は、時間遅れを伴いながら一定の期間地下水位に影響を及ぼすと考えられる。この時間遅れを考慮すると式(1)は次式となる。

$$y_n = \sum_{i=1}^{M_1} a_i r_{n-i} + \sum_{i=1}^{M_2} b_i p_{n-i} + \sum_{i=1}^{M_3} c_i l_{n-i} + C + \varepsilon_n \quad (2)$$

ここで、 r_n :降水量($\text{mm}/\text{日}$)、 p_n :揚水量($\text{m}^3/\text{日}$)、 l_n :河川水位(m)、 a_i, b_i, c_i :偏回帰係数、 M_{1-3} :各因子が地下水位に影響を及ぼす期間(日)である。

式(2)を地下水位の時系列変動の実測値(実測地下水位)に近づくよう最小二乗法により各説明変数(因子)の偏回帰係数を求め、降水量 r_n 、揚水量 p_n 、河川水位 l_n と偏回帰係数の積から、降水量の影響 R_n 、揚水量の影響 P_n 、河川水位の影響 L_n を求めた。

(3) 地下水位変動への各因子の影響度評価方法

降水量、揚水量、河川水位の3つを説明変数として重回

帰分析を実施する場合、多重共線性の影響により、降水量の影響と河川水位の影響は正確に分離できない。一方で、揚水量は、人為的な行為に依存し、降水量や河川水位との間に相関関係のない説明変数であることから、揚水量の影響は他の説明変数の与える影響から独立した変動とみなせる。そこで、本検討では降水量の影響と河川水位の影響を合成し、その時系列変化の標準偏差を「自然的影響度」、揚水量の影響の時系列変化の標準偏差を「人為的影響度」として評価した。

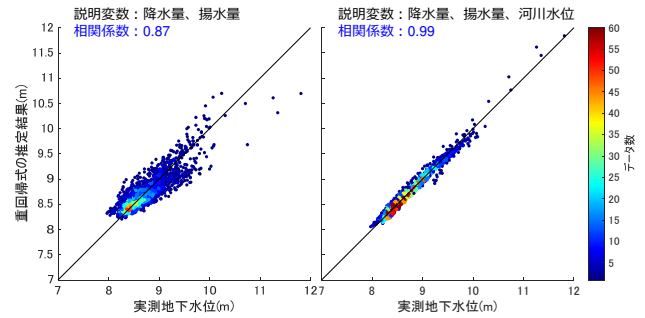


図-5 実測値と再現値の相関図比較(明德)

5. 検討結果

自然的影響および人為的影響の時系列変動の例を図-3に、影響度(式(1)各項の標準偏差)を図-4に示す。

(1) 自然的影響度(降水量+河川水位)

自然的影響度は、全3地点で人為的影響度よりも大きく、特に扇中央部に位置する「明德」では他の地点に比べて自然的影響度が大きかった。

(2) 人為的影響度(揚水量)

人為的影響度は、自然的影響度と比較して小さく、地点毎の差が大きい。扇中央部から低地部へ向かう方向に大きくなる傾向を示した。

まず、最も自然的影響度の大きい「明德」は、既往文献¹⁾にて長良川の失水区間(涵養区間)に隣接し、多量の河川水が地下浸透することが示されていた扇中央部に位置する。さらに「明德」の地下水水位観測データを重回帰式で再現する場合、説明変数に河川水位を加えることで再現性が飛躍的に向上した(図-5)。これらのことから長良川扇中央部付近の地下水水位変動は涵養源である河川水位の影響を強く受けていると想定される。

次に、降水量と河川水位変動を境界条件とした断面2次元非定常浸透流解析により降水量と河川水位の影響を定性的に分離した結果、長良川から2km以上離れると河川水位の影響が減少し、降水量の影響が支配的となった。このことから、自然的影響度は河川との距離に左右されるが、河川から離れても降水量の影響を受け一定程度の影響度を有すると考えられる。

(2) 人為的影響度の変動要因

人為的影響度は、地下水利用に伴う地下水位の低下として現れ、その大きさは地下水水位観測箇所周辺の地下水利用形態(揚水状況)に依存すると考えられる。人為的影響度の小さい「明德」の位置する扇中央部には上水道水源井戸等があり、年間を通して揚水量の絶対量は多いものの季節変動は小さい。一方、人為的影響度の大きい「華陽」の位置する低地部では、農業井戸等の大規模揚水施設が夏期に稼動する影響で、揚水量の季節変動が大きい。これらのことから、人為的影響度は、地下水水位観測箇所周辺における揚水量の季節変動幅に依存すると考えられる。

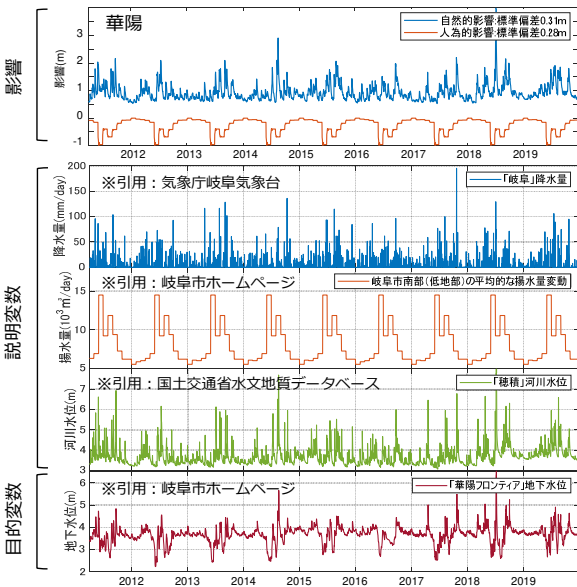


図-3 各因子と地下水水位への影響の時系列変動(華陽)

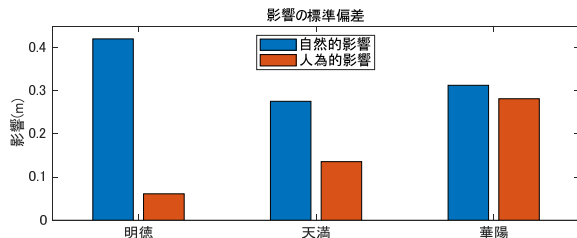


図-4 地下水水位変動における各因子の影響度

6. 検討結果に対する考察

(1) 自然的影響度の変動要因

降水量と河川水位の影響の合成である自然的影響度を決定づける要因について考察した。

6. まとめ

地下水利用の盛んな岐阜市域の扇状地における地下水水位は、河川に近い扇中央部では河川水位の影響を強く受ける一方、低地部では揚水による人為的な水利用の季節変動の影響を強く受けていることがわかった。

《引用・参考文献》

- 1) 大橋他(2018):扇状地河道における失水現象に着目した表流水および地下水の統合解析,土木学会論文集 B1, Vol.74, No.5, pp.1325-1330, 2018.
- 2) 神谷他(2014):溶存イオンデータの多変量解析に基づいた広域地下水流動系の評価,地盤工学ジャーナル, Vol.9, No.2, pp.219-231.