

# 先行降雨指数を用いた地下水排水工事の影響判定方法について

東邦地水欄 三好 千春

## 1. はじめに

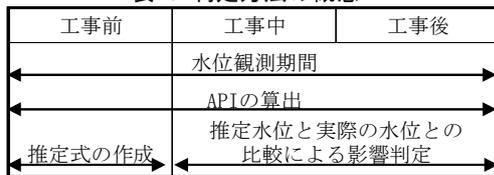
建設工事現場では、地下水の排水に伴う周辺井戸の水位低下が大きな問題となることが少なくない。そして、その原因が本当に排水工事の影響によるものか判定することがある。ただしこの場合、観測井の地下水位の記録や排水量、工事の施工記録等を単純に比較検討するだけでは判定が困難なケースがある。

ここでは、先行降雨指数 (antecedent precipitation index)<sup>1)</sup> (以下 API と表記) を用いて地下水位推定式を作成し、それによって排水工事の影響について判定した方法とその事例を紹介する。

## 2. 影響判定方法

判定の概念を表-1. に示す。降雨データより API を算出し、工事着手前の地下水位との関係より水位推定式を作成する。その式より工事中および工事後の推定水位を求め、実水位と対比することで、工事の影響を判定する。

表-1 判定方法の概念



## 3. 先行降雨指数 (API) による地下水位の推定方法

### (1) API の算出方法

地下水位に最も影響する自然要因は当該地域の雨量である。しかし、たとえ前日の雨量が同じであっても、その3日前に3mm の雨量があった場合と、30mm の雨量があった場合とでは、当日の水位は当然異なるため、単純に当日または前日の雨量を水位と対比してもその違いを表すことはできない。これに対し、API は直近の雨量に重みを大きく、時間が経過した過日の雨量には重みを小さく乗じた加重和であるため、これを水位と対比して相関式を求めることにより、過去の雨量を当日の水位に反映することができる方法である。

API の算出式については、文献によって多少の違いはあるが、ここでは数式の簡素化も考慮して、降水量を降水後の日数で除した値を用い、次式で表す。

$$API(n) = \frac{P_1}{1} + \frac{P_2}{2} + \frac{P_3}{3} + \dots + \frac{P_n}{n}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{i} \quad \dots \text{式-1.}$$

- P : 降水量
- P<sub>i</sub> : i 日前における降水量
- i : 降雨後の任意の日数
- n : さかのぼる日数

表-2に計算例を示す。

表-2 API 参考計算表

日降水量 P (mm)	1/n	P×1/n
5日前	1/5	2.00
4日前	1/4	1.25
3日前	1/3	0.00
2日前	1/2	0.00
1日前	1/1	2.00
Σ (1/n×P)		5.25

### (2) 地下水位と API との関係

API でさかのぼる日数 n は、降水量の影響日数を表すことから、地域条件を考慮するために、n には範囲を持たせてそれぞれ検討する。最終的には最も相関の高い n を採用するが、経験的には、河川に近く透水性の高い地域では10数日～数10日程度、河川から遠いまたは透水性のやや低い地域では100日程度までさかのぼることもあり、地形地質等の地域的な条件を考慮する必要がある。

API と地下水位との相関は、毎日の水位と対応する毎日の API を各 n について対比し、その関係から近似式を求める。その際、近似式は各種の回帰式 (線形・乗累・対数・指数等) について検討し、各 n と各回帰式の中から最も相関の高い式を水位推定式として採用する。

## 4. 事例

### (1) 事例1. ウェルポイントに伴う地下水位低下例

下水道工事に伴う地下水位への影響を監視するために観測を行っていた地区において、工事期間中に周辺の一部の既設井戸で障害が確認された。

このときの調査対象は沖積層を帯水層とする不圧地下水である。

#### I 対象期間中の API の算出

当該地域の最寄の気象庁降雨観測資料を用い、対象期間の API を算出した。

API でさかのぼる日数 n については、対象地域が比較的透水性の高い平野部で河川からそれほど遠くないことを考慮して n=10~70 と設定し、水位観測データが存在する期間と同じ期間の API を各 n についてそれぞれ算出した。

#### II 近似式の作成

調査対象地域には小規模な既設井戸が多数あったことから、井戸の使用による人工的な水位変動の影響を最小に抑えるために、使用する観測井の水位データは毎時データの中から午前5時の値を抽出して採用した。

近似式作成の対象期間は観測開始から工事着手前までとし、この間の各 n の API と地下水位の関係求めた結果、最も高い相関が得られたのは n=59 とした累乗回帰式であった。このときの API と地下水位の関係は図-1. となり、近似式と相関係数は以下ようになる。

$$y = 4.8372 \times \text{API}(59)^{0.0294} \quad \dots \text{式-2.}$$

相関係数  $R = 0.9069$

$y$  : 地下水位

相関係数は $R=0.9$ とかなり高く、APIと地下水位の相関は良好であることから、近似式を水位推定式として採用した。

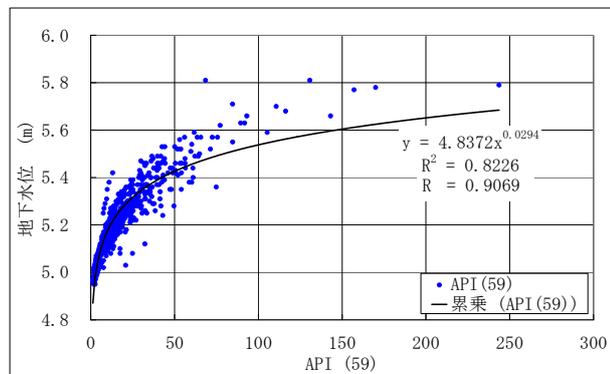


図-1 API と地下水位の相関

### Ⅲ 実水位と近似式による推定水位の比較

式-2.により求めた推定水位は、工事の影響がない状態において降雨のみの要因で変動する水位を表すものである。この推定水位と実水位を比較することで、降雨以外の変動要因が加わった場合には、実水位が推定水位と異なる変動傾向を示すことになる。

図-2.に実水位と近似式による推定水位の比較を示す。

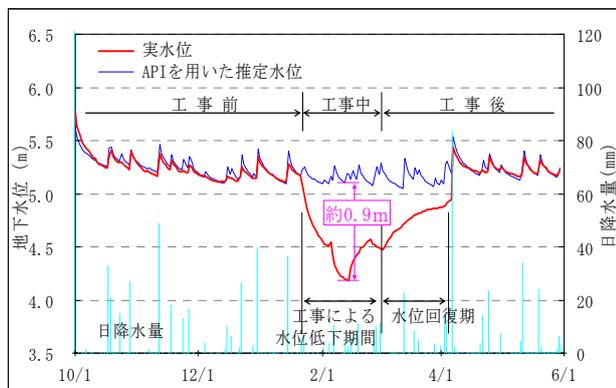


図-2 実水位と推定水位の比較

工事開始前の実水位と推定水位は、推定式の相関係数が高いこともあり、ほぼ同様の動きを示す。しかし、工事開始直後からは実水位の低下傾向が確認され、工事中はその施工状況によって水位が変動し、工事終了と同時に水位の回復傾向がみられた。水位が元の値に回復するまでに約1ヶ月間を要したが、その後は工事前の変動状況と同様の動きとなり、恒久的な影響が残ることはなかったと判断した。なお、参考値ではあるが、この観測地点での最大水位低下量は実測値と推定値の差から約0.9mと推定された。

障害が発生した既設井戸は、水位測定ができない構造であった。所有者によると、工事中には取水量が非常に少なくなったが、工事後には回復したとのことであり、

この既設井戸は観測地点と同様に、工事による水位低下の影響を受けた結論を検証できた。

### (2) 事例2. 別工事による地下水位低下例

道路工事に伴う地下水位への影響を監視するために水位観測を継続していた地区で、工事期間の初期に一部の既設井戸で障害が報告され、最寄の観測地点での水位低下が確認された。調査対象は沖積層を帯水層とする不圧地下水である。

このとき、工事はまだ水替工の実施前であり、他の観測地点では水位低下がみられなかったため、観測地点周辺の状況を調査したところ、近隣で基礎工事に伴うウェルポイントの実施が確認された。

図-3.に実水位と近似式による推定水位の比較を示す。

水位低下期間がこのウェルポイント工の期間に一致したこと、および水位低下がこの地点に限られたものであったことから、ウェルポイント工による局所的な影響であり、本工事との関連はないと判断した。なおこの観測地点では、観測期間中を通して、本工事による影響は確認されなかった。

このときの推定式と相関係数は以下のとおりである。

$$y = 10.6572 \times \text{API}(74)^{0.0191} \quad \dots \text{式-3.}$$

相関係数  $R = 0.9239$

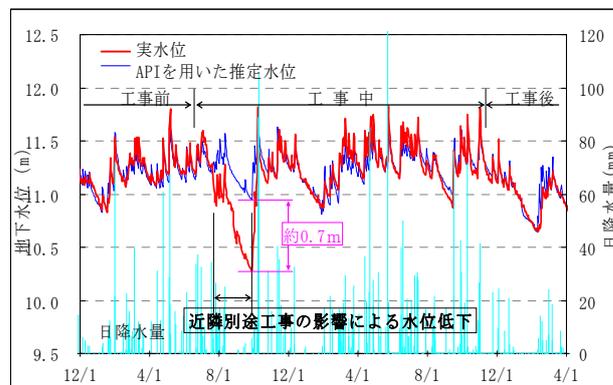


図-3 実水位と推定水位の比較

### (3) 事例3. 降雨以外の要因が含まれるケース

既設水源井等、人工的な水位変動要因が大きく含まれる地域に設置されている観測井では、降水の要素だけで相関を求めても、良好な近似式は得られない場合が多い。

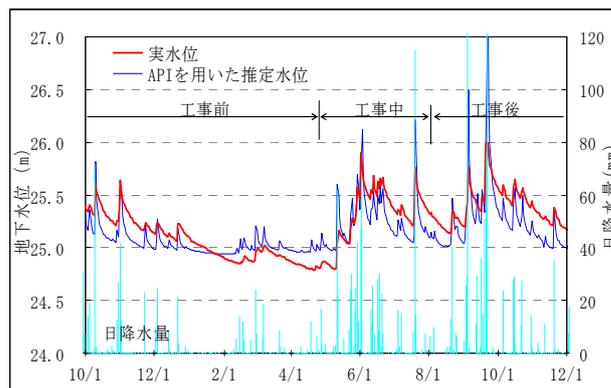


図-4 実水位と推定水位の比較

$$y = 24.9309 + 0.0100(\text{API}(50)) \quad \dots \text{式-4.}$$

相関係数  $R = 0.7119$

図-4. は、沖積層を帯水層とする不圧地下水を対象に大規模な取水が行われている既設井戸がある地域の水位比較結果である。工事開始前の水位は降雨と既設井戸の取水状況により変動していると考えられたが、既設井戸の影響があるため、降水要因だけによる推定式では相関係数が低めとなった。

そこで、水位推定式に人工的な水位変動要因を取り込む方法を試みた。既設井戸の水位データを降水と共に要素に含めて重回帰式を作成する方法である。

図-4. のデータより既設井戸の水位変動を要素に含めて得られた推定式が式-5. である。

$$y = 14.7919 + 0.4199(\text{既設井戸水位}) + 0.0065(\text{API}(50)) \quad \text{式-5.}$$

相関係数  $R = 0.9742$

式-5. による推定水位は図-5. に示すようになり、降水と既設井戸の両要因が推定式に反映され、精度の向上につながった。また同図より工事による影響はなかったものと判定した。



図-5 既設井戸水位を推定要素に含めた場合の水位比較

#### (4) 事例4. 相関が低いケース

図-6. は、実水位の変動がなだらかであり、ある程度まとまった降水時以外は急激な水位上昇がみられないケースで、対象は沖積層を帯水層とする不圧地下水である。

この観測地点は平野部にあり、近接する既設井戸もないことから、降水以外の要因は考えられない。しかし、降水要因で推定する近似式の相関係数はやや低い値となった。ただし、図-6. からは推定式が大局的に実水位の動きを表していると考えられた。

そこで、工事前から工事後の全体的な水位変動の流れを比較した結果、明瞭な水位低下がなかったことを確認した。

また他の観測地点の推定式も同様に相関係数が低かったため、他の方法として、地下水水位等高線を一定期間および各施工段階ごとに作成してその変化をみることで、総合的に地域の水位変動状況を確認し、工事の影響はなかったものと判定した。

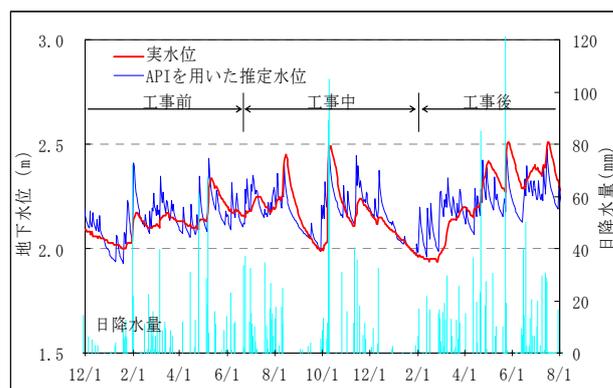


図-6 実水位と推定水位の比較

$$y = 1.7992 \times \text{API}(86)^{0.0669} \quad \dots \text{式-6.}$$

相関係数  $R = 0.7474$

## 5. おわりに

この手法は推定式の精度によって、判定の有効性が左右される。推定式の精度を向上させるためには、ある程度の事前データが必要である。その期間は、大雨あるいは少雨といった降雨のさまざまな状況や季節変動を考慮する観点から、高水位期・低水位期を含めた1年以上のデータを用意することが望ましい。

地下水水位の変動要因が降水による自然要因によってほぼ決定される場合、API を用いた推定水位と実水位の相関は高く、精度の高い推定式が得られる。そこに工事の影響といったその他の変動要因が加わると、かなり明確にその傾向が把握できることから、この評価方法は有効な手法のひとつと考えられる。

ただし、降水を要因とするため、対象は不圧地下水が主であり、降水による変動が小さい被圧地下水では、適用しても相関が低いケースが多い。また既設井戸等、降雨以外の変動要因が存在する場合も相関は低くなる。外部要因が明確な場合は、その影響を小さく抑えることや要因自体を推定式に取り込む等、推定式の精度を高める工夫をすることで、有効な判定方法になると考えられる。

また相関係数が低い場合には、地下水水位等高線の併用等、各種の資料から総合的な観点で工事の影響評価を行うことが重要である。

今後の課題として、API を算出する季節や期間、また地形、地質、帯水層の条件等、判定に有効な適用範囲や条件を明確化していきたいと考える。

### 《引用・参考文献》

- 1) Streamflow Generation in a Forested Watershed, New Zealand : M. Paul Mosley, WATER RESOURCES RESEARCH, pp. 795~806, 1979. 8.
- 2) 水村和正 : 水圏水文学, pp. 82~84, 1998. 12.
- 3) 加治佐隆光 : 先行降雨指数による溪流取水の評価事例, 三重大生物資源紀要第7号 pp. 59~62, 1992. 7.