

融雪量を考慮した実効雨量解析による工事影響評価

株式会社エイト日本技術開発 ○沖田 孝行, 原 伸匡, 風見 健太郎

1. はじめに

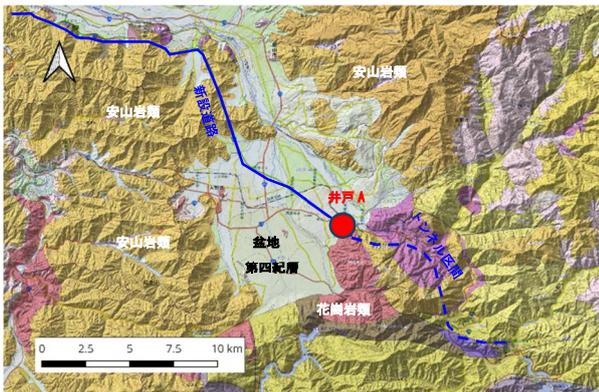
本検討は、福井県における新設道路工事に伴う周辺井戸への地下水影響を評価した事例である。施工による地下水への影響を評価する手法として、従来から実効雨量解析がよく用いられている。本業務で対象とした井戸 A における解析では、多雪による予測水位と実測水位との乖離が見られた。また、工事影響の判断指標がないため、水位変動と工事影響との関連性を評価することが難しいという課題があった。上記課題に対し、本業務では「①現地の気象条件（多雪地域）を考慮した実効雨量解析」、「②統計学的手法による客観的な指標を基にした工事影響評価」を実施した。以下より検討事例を紹介する。

2. 業務地の概要

本業務地は、周辺を山地に囲まれた盆地地形をなしており、中世代ジュラ紀の花崗岩類、新生代新第三紀の安山岩等を基盤とし、表層を第四紀層が被覆している。

降水量は例年2500mm 程度を記録する地域となっており、冬季は積雪も多く、周辺山地からの地下水涵養が盛んであり、盆地内では井戸水を主体とした水利用がなされている。新設道路は盆地中心部を縦断する形で施工されており、観測対象の井戸付近では盛土や掘削切土、橋梁掘削、トンネル掘削が実施された。

井戸 A は盆地と山地の境界部に位置しており、付近では盛土、橋梁掘削が施工された。工事開始1年前から自記水位計による水位観測を実施している。

図-1 業務地位置図¹⁾

3. 解析方法

(1) 実効雨量解析

1) 実効雨量の算定

実効雨量とは、過去の降水量を考慮した指標で、土中の水分量を表現したものである。本検討では以下の算定式²⁾により実効雨量を求めた(式-1)。

$$E_0 = \alpha \cdot R_0 + \alpha^2 \cdot R_1 + \dots + \alpha^{n+1} \cdot R_n$$

$$\alpha = 0.5^{\frac{1}{M}} \quad \dots \text{(式-1)}$$

ここで、 E_0 ：実効雨量
 R_0 ：当日雨量 R_n ：n 日前の日雨量
 α ：1 日単位の減少係数 ($0 < \alpha < 1$)
 M ：半減期

実効雨量の算定時に採用する半減期 M （降雨の減少度合が半減する時期を示すパラメータ）は、工事前期間の水位データと最も相関の高い値とした。その後、実効雨量と水位データの回帰分析を行い、予測式（回帰式）を導いた。

2) 融雪量の考慮

適切な工事影響判断のためには観測値を再現できる精度の良い予測が重要である。業務地は冬季の積雪が多く、井戸 A では融雪量が地下水位に与える影響は大きい可能性が考えられた。そのため、融雪が見込まれる観測箇所については以下の式³⁾より量を見積もり、降雨量に加算した（最低気温が 0°C を下回る場合は融雪は起きないものとし、降雨量には加算していない）(式-2)。

$$1 \text{ 日のおよその融雪量} = \Delta H \cdot \rho_s (\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}) \quad \dots \text{(式-2)}$$

ここで、 ΔH ：一日の雪面低下量（前日との積雪深との差）

ρ_s ： ΔH までの平均密度（平均密度は 0.4g/cm^3 と仮定）

(2) 予測区間の推定

回帰式のみでは「どれだけ予測と実測の乖離があれば工事影響と判断するのか」という目安がない。そのため、工事前データから「値の取りうる範囲（予測区間）」を設定し、工事後データがこの範囲に含まれるかどうかで工事影響を判定する方法を採用した。

具体的には、有意水準 5% ⁴⁾の考え方を踏襲し、施工前データから 95% 信頼区間を求めた。工事前後で水文環境が変わらなければ、ほとんどの観測値がこの区間の中に含まれることになり、外れた値は 5% 未満の事象（≒偶然ではなく工事影響によるもの）と評価した（図-2）。

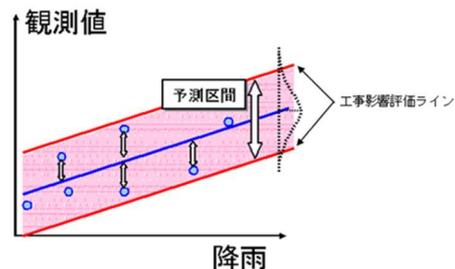


図-2 予測区間の考え方

4. 解析結果

降水量のみの場合と降水量に融雪量を加算した場合の予測水位の変化と、予測区間を基に工事影響を評価した

井戸 A の解析結果を示す。

(1) 融雪量考慮による予測水位の変化

1) 降水量のみ

図-3に解析結果の時系列グラフを示す。地下水位は降水に対して鋭敏に反応している。しかし、冬季(12月～3月)には降雨量に対して実測水位が異常に上昇しており、予測式と大きく乖離していることが確認できる。回帰式と実測値の決定係数は工事前データにおいて $R^2 = 0.32$ である。

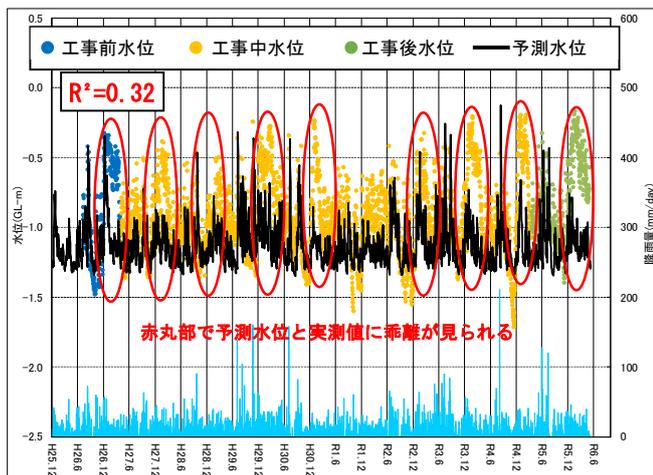


図-3 解析結果(融雪量未考慮時)⁵⁾

2) 融雪量考慮時

1) の予測式と実測値との乖離は、①工事前から確認されること、②毎年同時期(12～3月)にかけて起こっているため、工事影響ではなく融雪による影響と考え、式-2から融雪量を見積もり、降雨量に加算した上で解析を行った(図-4)。再解析の結果、降雨量のみでは再現できない冬季の水位上昇を予測することができ、工事前データにおける決定係数は $R^2 = 0.87$ となり、より実際の水位変動を説明するモデルとすることができた。

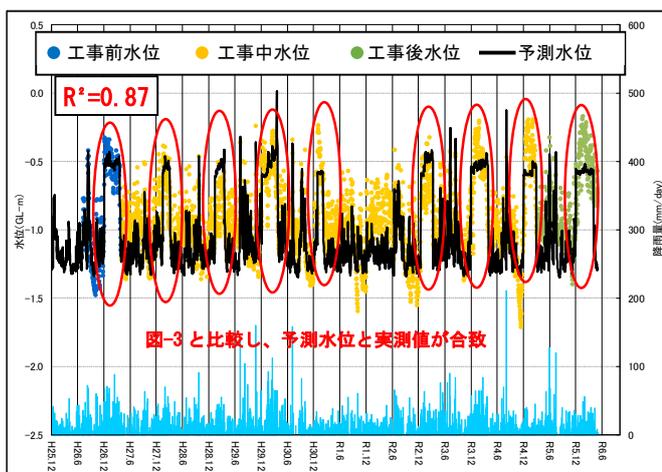


図-4 解析結果(融雪量考慮時)

(2) 予測区間の設定による工事影響評価

図-5に予測区間を記載した時系列グラフを示す。

工事前データから予測区間(濃青線・赤線)を設定し、水文環境が変わらなければこの区間に入ることになる

(≒工事影響が無い)。

結果はほとんどが予測区間内に含まれ、工事期間中～後の顕著な水位低下は無かった。一時的に予測区間を下回る箇所についても、継続的な水位低下が確認されないことから、井戸 A は「工事影響無し」と評価した。予測区間を一時的に下回った要因は、井戸利用のほか、工事前データの期間・水位変動が限定的であり、かつ回帰式は線形近似による一次式であるため、少雨時の水位や複雑な変動を再現できなかったためと考えられる。

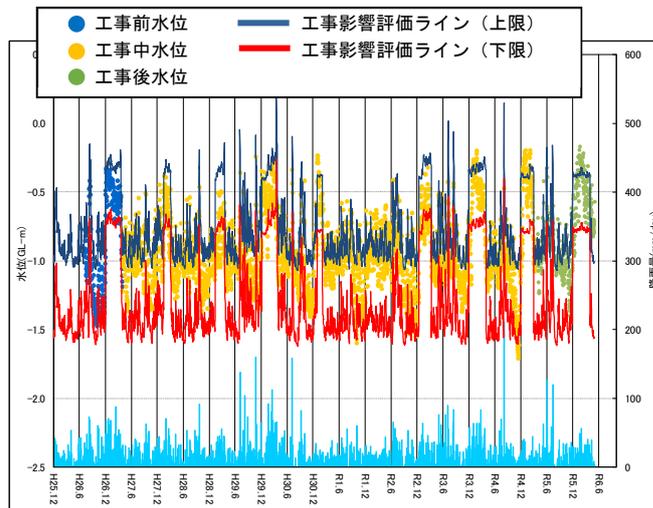


図-5 解析結果(時系列グラフ)

5. まとめと課題

現地の気象条件を考慮した実効雨量解析と、統計学的指標による工事影響評価を実施した事例を紹介した。

井戸 A の解析では、冬季の水位変動の予測が融雪量を考慮することで可能となった。その要因として、井戸 A が平均水位 GL-1.0m 程度と浅く、周囲の地質が透水性の高い砂礫質な地盤であったことで、融雪後の水が時間の遅れを伴わず地下へ浸透し、水位上昇へ反映されるためと考えられる。一方で、令和元年～令和2年の冬季等、融雪量を考慮したにも関わらず水位の変動を再現できていない箇所もあり、値の算出方法や抽出条件など検討が必要な点が課題である。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院地形図(に加筆), (最終閲覧日2025年6月2日). <https://service.gsi.go.jp/geolib/app/address?q=>
- 2) 地すべり観測便覧編集委員会(2012), 地すべり観測便覧, pp. 346-345.
- 3) 小島賢治(1979): 融雪機構と熱収支, 気象研究ノート, 136.
- 4) 国土交通省 水管理・国土保全局編(2016): 河川砂防技術指針調査編, pp. 115.
- 5) 気象庁アメダス: 観測地点「大野」, (最終閲覧日2025年6月2日). <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.