

【CO103】

地下水位と気象データを用いた重回帰分析による地下水位予測の事例

明治コンサルタント株式会社 ○黒郷 純子, 高橋 宏文, 奈良 杏子

1. はじめに

建設工事においては、地下水や河川などの水環境への影響を監視するために水文調査が行われる。この調査では、水量、水位、水質などを工事前、工事中、工事後にわたり測定し、工事による影響を監視・評価する。

工事が地下水位に与える影響を評価する方法の一つとして、多変量解析（重回帰分析）を用いる方法がある。この方法は、施工前の地下水位と降雨量などのデータから相関式を導き出し、その相関式から得られた予測水位と実測水位と比較することで施工の影響を判断するものである（図-1 概念図）。

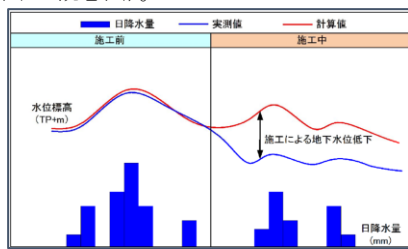


図-1 多変量解析による影響評価の概念図

一般的に、降雨量と地下水の変動には強い相関が見られる。多変量解析を用いる手法は一般的となっており、筆者らも様々な現場で採用しているが、今回の報告では、①相関式を作成する際の構成要素として降雨量と潮位を用いた事例、②異なる地形条件においては有効な降雨量変数は大きく異なることが確認された事例について説明する。

2. 降雨量と潮位を用いた事例

(1) 井戸設置条件

海岸線より約200m 内陸にある山麓部
沖積低地上に設置された約 GL-4m の掘抜き井戸



図-2 地形条件¹⁾

(2) 使用データ

- ◆ 自記水位計での観測値（1時間毎）
- ◆ 1時間毎降雨量²⁾
- ◆ 1時間毎実測潮位²⁾

(3) 予測水位算出方法

予測水位を目的変数 [y] とし、降雨量及び潮位を説明変数とし、表計算ソフトのデータ分析（重回帰分析）の機能を使用し、解析を行った。

解析により算出された係数及び切片を用いて相関式

(式-1) を作成し、予測水位を決定した。

$$y = (A_1 \times r_1 + A_2 \times r_2 + \dots) + C \dots \text{(式-1)}$$

y: 予測水位、A×r : 説明変数

A₁、A₂...: 各変数の係数、r₁、r₂...: 各変数データ、C: 切片

(4) 重回帰分析における変数の評価方法

回帰式による予測値の精度を測る指標として、以下のデータを用いる。

補正 R² : 予測値の良さ。0 ≤ R² < 1 で表され、1 に近いほど、よい予測値。

t 値 : 変数の影響度。絶対値2以上で影響あり。

P-値 : 有意水準。0.05未満を有効とする。

(5) 解析結果

重回帰分析を用いて行った水位予測結果を示す。

表-1に示す説明変数を用いて予測を行った結果を図-3に示す。変数の影響度 t 値によると、1日前累計雨量の影響が最大となった後、日数を経ることに次第に影響が弱くなる傾向が認められた。回帰式での補正 R²は0.81と実測値と予測水位に強い相関があるが、降雨量の少ない時期に大きな誤差が生じることが認められた。

表-1 回帰分析結果 ■: 変数の諸元(雨量)

変数	係数	t	P-値
切片	0.266335	158.162	0
1日前累計雨量	0.005483	121.5812	0
2日前累計雨量	0.004048	89.18131	0
3日前累計雨量	0.00318	69.9343	0
4日前累計雨量	0.002667	58.69133	0
5日前累計雨量	0.00238	52.35313	0
6日前累計雨量	0.002082	45.87442	0
7日前累計雨量	0.001796	39.86612	0
8-10日前累計雨量	0.0014	60.03288	0
11-13日前累計雨量	0.00101	43.47025	0
14-16日前累計雨量	0.000708	30.20977	2.9E-195
17-20日前累計雨量	0.000489	24.24066	1.3E-127
21-25日前累計雨量	0.000417	23.57024	7.1E-121
26-30日前累計雨量	0.000472	26.88334	6.8E-156
2か月前累計雨量	0.000338	52.79286	0
3か月前累計雨量	0.000201	32.13243	6.8E-220

回帰統計
重相関 R 0.903031
補正 R² 0.815465
補正 R² 0.8153

雨量の変動が少ない時期でも実測水位には変動が認められる。

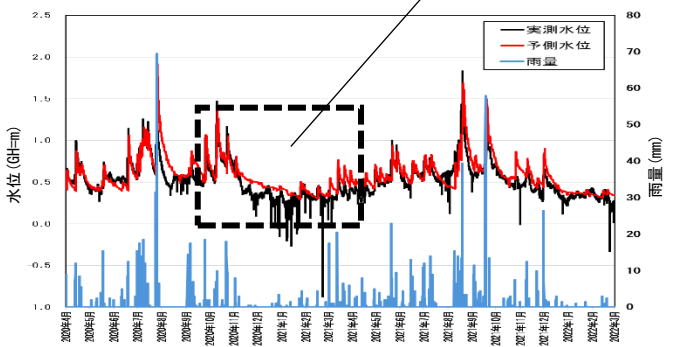


図-3 実測水位と予測水位の比較図(変数:雨量のみ)

ここで、現地が海岸線に近いこと、また、降雨量が長期間にわたって大きな変動がない時期に水位が規則的に変動していることを考慮し、実測潮位を変数として加えて解析を行った。解析結果を表-2、図-4に示す。潮位を考慮した相関式では、補正 R²は0.92と非常に強い相関性が認められ、降雨量の少ない時期にみられた、規則的な変動も反映させることができた。

表-2 回帰分析結果

回帰統計		係数				t	P-値
重相関 R	0.958808	切片	-1.20217	-107.328	0		
重決定 R ²	0.919314	1日前累計雨量	0.00488	150.78	0		
補正 R ²	0.919237	2日前累計雨量	0.003298	100.9371	0		
		3日前累計雨量	0.002275	73.05768	0		
		4日前累計雨量	0.002039	66.48885	0		
		5日前累計雨量	0.001953	64.4339	0		
		6日前累計雨量	0.001723	56.94474	0		
		7日前累計雨量	0.001535	51.29421	0		
		8-10日前累計雨量	0.001181	75.90778	0		
		11-13日前累計雨量	0.000754	48.82463	0		
		14-16日前累計雨量	0.000495	30.33476	8E-197		
		2か月前累計雨量	6.07E-05	12.57217	4.37E-36		
		3か月前累計雨量	-0.00011	-24.4298	1.9E-129		
		1日前平均潮位	0.282645	29.3081	3.5E-184		
		2日前平均潮位	0.208264	15.66655	6.28E-55		
		3日前平均潮位	0.315674	32.49311	1.2E-224		
		14-16日前平均潮位	-0.03805	-6.65568	2.91E-11		

潮位を変数に加えた結果、補正 R²=0.92 と非常に高い相関性が認められた。

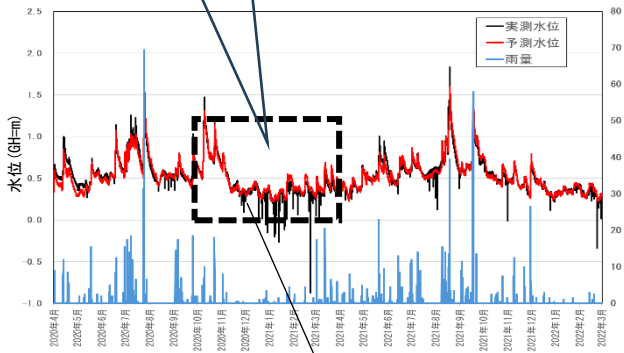


図-4 実測水位と予測水位の比較図(変数:雨量・潮位)

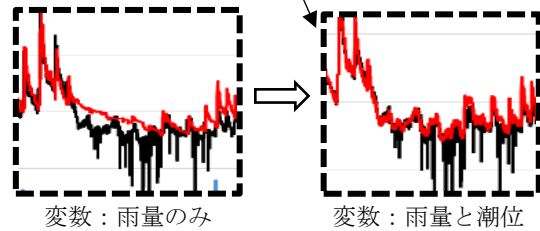


図-5 <変数>雨量のみ、雨量と潮位の場合の比較

3.地形の違いによる有効な変数の違い

相関性の強い回帰式を作成するためには、どの期間の降雨量を用いるかが重要である。地形の違いによって有効な降雨条件が異なることが想定されることから、説明変数は雨量のみとし、前述した海岸沿いの平野部と内陸の河川沿いの段丘上の地点で、様々な期間の雨量を用いて回帰式を作成した。予測水位の算出方法及び数値の評価法については、前述2章(3)、2章(4)に準ずる。

(1) 井戸設置条件

各観測地点の地形条件を図-6に示す。

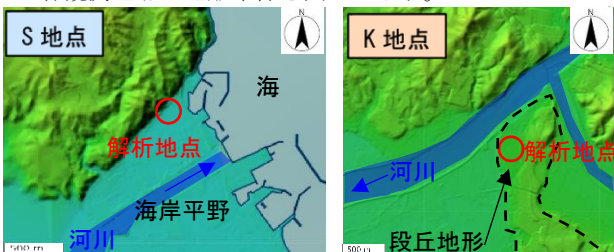


図-6 観測地点の地形区分¹⁾

(2) 使用データ

- ◆自記水位計での観測値 (1日毎)
- ◆1日毎降雨量^{2) 3)}

(3) 解析条件

変数として、0~7日前の各日、2週間前、3週間前、4週間前、1~2か月前、2~3か月前の累積雨量を用いた。

(4) 解析結果

解析結果を表-3に示す。回帰式での補正 R²は0.83~0.86といずれも実測値と予測水位に強い相関が認められる。ここで、変数の影響度 t 値から見ると、海岸に近い平野部にある S 地点は1~2週間前までの累積降雨量が水位変動に大きく影響している一方で、段丘地形上の K 地点では2週間前~2か月前の累積降雨量が影響していることが認められた。地形条件の違いで、地下水水位が影響を受ける降雨時期が大きく異なることが確認できた。

表-3 解析結果 □: t 値 > 10 となる項目

S 地点 結果					K 地点 結果				
回帰統計					回帰統計				
重相関 R	0.913339				重相関 R	0.930303			
重決定 R ²	0.834188				重決定 R ²	0.865464			
補正 R ²	0.830565				補正 R ²	0.862525			
標準誤差	0.083893				標準誤差	0.16394			
観測数	609				観測数	609			
切片	係数	t	P-値		切片	係数	t	P-値	
当日雨量	0.005125	21.05004	6.1E-74		当日雨量	-0.00064	-0.91814	0.358917	
1日前雨量	0.003896	15.33381	5.76E-45		1日前雨量	-0.00344	-4.80246	1.99E-06	
2日前雨量	0.003007	11.8196	4.19E-29		2日前雨量	-0.00399	-5.61059	3.09E-08	
3日前雨量	0.002539	9.987061	8.09E-22		3日前雨量	-0.00411	-5.77577	1.24E-08	
4日前雨量	0.002308	9.077133	1.62E-18		4日前雨量	-0.00408	-5.71595	1.73E-08	
5日前雨量	0.002003	7.874418	1.63E-14		5日前雨量	-0.00426	-5.96778	4.13E-09	
6日前雨量	0.001644	6.475612	1.98E-10		6日前雨量	-0.00409	-5.71526	1.73E-08	
7日前雨量	0.001436	5.871718	7.17E-09		7日前雨量	-0.00402	-5.67495	2.17E-08	
8-14日前累計雨量	0.001007	14.56736	2.47E-41		8-14日前累計雨量	-0.00385	-19.2455	1.55E-64	
15-21日前累計雨量	6.54E-05	0.723563	0.469618		15-21日前累計雨量	-0.0031	-16.0608	1.75E-48	
21-30日前累計雨量	0.000464	7.39051	4.98E-13		21-30日前累計雨量	-0.00264	-16.0632	1.7E-48	
2か月前の累計雨量	0.000329	11.7036	1.28E-28		2か月前の累計雨量	-0.00173	-22.0819	2.24E-79	
3か月前の累計雨量	0.000247	8.171993	1.83E-15		3か月前の累計雨量	-0.00092	-11.7957	5.28E-29	

4. まとめ

多変量解析を用いて工事の影響評価を行うためには、工事前の水位変動傾向の相関式を精度よく作成することが重要となる。

地下水水位変動に関わる条件として降雨量と潮位を加えた事例、また、地形条件の違いによって地下水水位に強く影響を与える降雨量の時期が明らかに異なる事例を示した。本報告では、降雨量や潮位などの自然条件のみで予測を行ったが、実際は代掻き、揚水などの人為的な行為が水環境に影響を与えることも多い。精度の高い水位予測を行うためには、地形や地質条件や周辺環境について十分把握することが重要と考える。

5. 感想

有効な説明変数を見つける方法として、まず雨量のみを変数とした回帰式で予測した水位と実測水位を比較する。次に、両者の差が大きい期間の実測水位の挙動を観察することで、有効な説明変数を特定する手掛かりを得ることができ、解析作業を効率的に進めることができたと感じられた。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院地形図 (最終閲覧日 2024. 5. 13)
<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>
- 2) 気象庁各種データ・資料 (最終閲覧日 2024. 5. 7)
<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
- 3) 国交省 水文水質データベース (最終閲覧日 2024. 5. 18)
<http://www1.river.go.jp/>