

## シールド工事用水確保のための鑿泉工事

千葉エンジニアリング㈱ ○佐々木 大, 城谷 直之, 小山田 忠央, 相馬 清, 和田 優作, 浅野 滋之

### 1. はじめに

シールド工事（立坑掘削工事・シールド推進工事）において、工事用水の確保は不可欠である。しかし、工事現場の立地条件や費用面等の制約から、地下水に水源を求めざるを得ない場合もあり、水源の周辺環境への配慮や必要水量の確保が問題となることが多くある。本稿は、シールド工事用水確保のための鑿泉工事について、周辺の既設井戸の確認と利用上の対策内容および、安全かつ安定的に必要な工事用水を確保するために実施した調査（電気検層、揚水試験、水質分析）の内容について報告する。

### 2. 工法の選定

当該工事では、「パーカッション工法」を選定した。

#### (1) 選定理由

当該地域は、粘性土・砂質土・礫質土・玉石から構成される地層で、その全ての地層に対応できる工法として選定した。また、削孔設備の設置が早く少人数での作業が可能であり、費用の面も考慮した。

#### (2) パーカッション工法

図-1にパーカッション工法の全景を示す。



図-1 パーカッション工法全景

パーカッション工法は、ワイヤーロープの先端にビット（φ350mm）を吊るし、これを所定の高さから自由落下させてその衝撃により、孔底の地層を突き崩しながら掘り進む。掘り屑が溜って進行が低下するとビットを地上に引揚げ、代わりにベラー（サンドポンプ）を孔底にワイヤーで降ろし掘り屑を浚い取る（ベリング）。掘進とともに、あるいは掘り屑の汲み出しの都度、孔内に補泥して孔壁の崩壊を抑える。以上の手順を繰り返しながら掘り進むのが工法である。図-2は、ベリング作業の流れを示したものである。

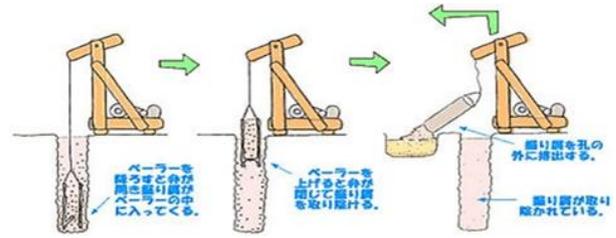


図-2 ベリング作業の流れ

当該工事の井戸仕上げは、

削孔径：φ350mm

削孔深度：GL-116.0m

仕上径：φ200mm (VP-200仕様)

仕上形式：水中モーターポンプ型

汲上水量：450ℓ/min

### 3. 削孔

削孔時に最も留意した点は、孔壁の崩壊である。孔壁の崩壊を防止するため、泥水の比重は泥水ミキサー作成毎に測定し、比重「1.10」以上を確保した。

また、削孔に際して大量の水が必要となるため、水槽90.0 m<sup>3</sup> (20.0 m<sup>3</sup>×3、10.0 m<sup>3</sup>×3) をあらかじめ用意し、さらにコンダクターパイプを設置し、フロートで給水機を簡易に作成し逸水対策とした。

### 4. 電気検層

当初の計画では、掘削GL-100.0mで100.0m仕上げの井戸を計画していたが、GL-100.0m付近まで削孔した時点で、十分な帯水層が確保できないと判断し、GL-116.0mまでの掘削を行った。

GL-116.0mまで掘削が完了し、電気検層を行った。電気検層結果を図-3に示す。

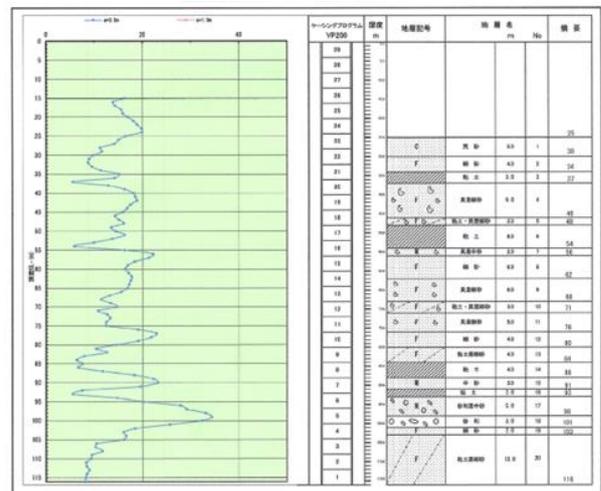


図-3 電気検層結果

有孔管の配置条件は、周辺の住宅や施設がおおむねGL-50.0m以浅から採水しており、最初のストレーナー設置位置はGL-60.0mからという制限の中、GL-64.0m～80.0m、GL-88.0m～108.0mの2層から採水するものとした。また、GL-50.0m以浅の地下水を引いてしまう事がないように、GL-52.0m～GL-54.0mにベントナイトペレットを配置し遮水を行った。井戸構造図を図-4に示す。

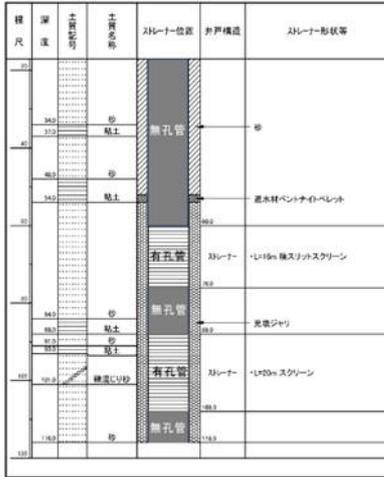


図-4 井戸構造図

### 5. 揚水試験

揚水量確認のための揚水試験は下記要領で行った。

- ① 5段階（各段階60分）
- ② 水位確認
- ③ 目視にて濁度・揚砂の有無
- ④ 流量は「三角堰流量法」にて測定

揚水試験結果を図-5、図-6に示す。

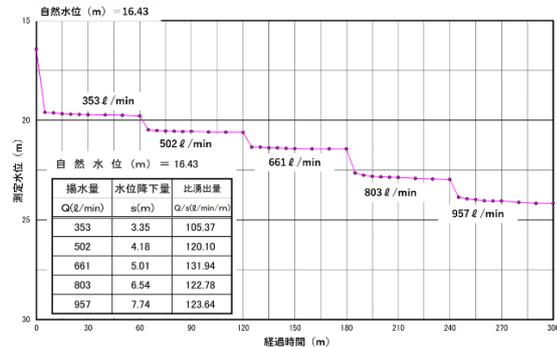


図-5 揚水試験結果①

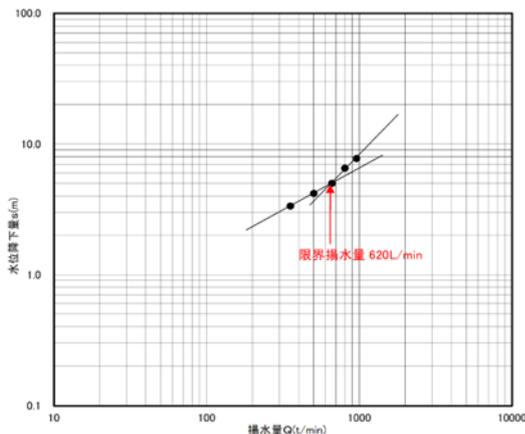


図-6 揚水試験結果②

揚水試験の揚水管の長さは、自然水位がGL-16.43mより、ポンプ下端をGL-27.50mに設定し試験を行った。

### (1) 試験結果

試験結果は、目標値4500/minに対して6200/min（限界揚水量）という結果を得た。通常、適正用水量として「限界揚水量の8割程度」とされていることから、

$$620 (\text{l/min}) \times 0.8 = 496 (\text{l/min})$$

となり、用水量約5000/minの工事用水用井戸を設置することができた。

### (2) 揚水水質について

水質については、公的機関にて「一般飲料水水質検査」を行った。数値化できる項目については、すべて基準値以内の結果を得たが、「臭気」の項目で硫化水素臭が認められたことで、飲料水には適さないが、工事用水としては十分な結果を得た。実際に採水した地下水の様子を図-7に示す。



図-7 実際に採水した地下水

実際に採水した地下水は目視ではSS（浮遊物質）が全く確認されず、臭気についても違和感を覚えることはなかった。したがって本井戸は、工事用水確保の目的は十分に果たせるものと判断できた。

### 6. 井戸設置における他の留意点

今回の工事用水用井戸の計画から施工を行う中で、他に以下のような知見が得られた。

- ① 工法の選定において費用や工期も重要であるが、その地域の地層に適した工法を選定することも重要である。
- ② 採水層が確保できない場合は掘削深度が深くなり、今回のように仕上げφ200mmの井戸は特殊なためフレキシブルな判断・材料調達が求められる。
- ③ 採水可能な地層の判断は、既存の柱状図だけに頼るのではなく、泥水と共に上がってくるスライムの状況やオペレーターの感覚、逸水状況等全てを総合的に判断し、決定する必要がある。

# 現場透水試験の平衡水位の推定方法について

伸光エンジニアリング株式会社 ○井元 辰哉, 中村 智則

## 1. はじめに

地盤調査の方法と解説では、現場透水試験(単孔を利用した透水試験方法)の平衡水位について、「試験実施後に平衡水位を測定する場合、試験による孔内の水位変化がなくなったと判断できるとき、あるいは1日程度経過した時点の平衡水位とする。」<sup>1)</sup>とされている。

平衡水位は試験結果を整理する際に基準となる水位であり、正確に測定する必要があるが、現場工程上、どうしても翌朝水位が測定できない場合、あるいは透水係数の概略値を速報として提出する場合など、平衡水位を推定する必要がある。

本発表では、現場透水試験の測定結果から平衡水位を推定する方法について検討を試みた。

## 2. 試験概要

現場透水試験を行った地点の概略の地層断面を図-1に示す。今回の調査では、2箇所ではボーリング調査を実施して、各地点ごとにAs、Ds1、Ds2層の3層で現場透水試験を行った。

現場透水試験は、試験孔からベラーを用いて水をくみ上げた後の孔内水位の回復過程をロブ式水位計で手動測定した(非定常法・回復法)。孔内水位の測定間隔は、0、15、30、45秒、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、15、20、25、30分で計測を行った。

測定結果より、調査地点の透水係数および平衡水位(翌朝水位)は表-1に示すとおりである。

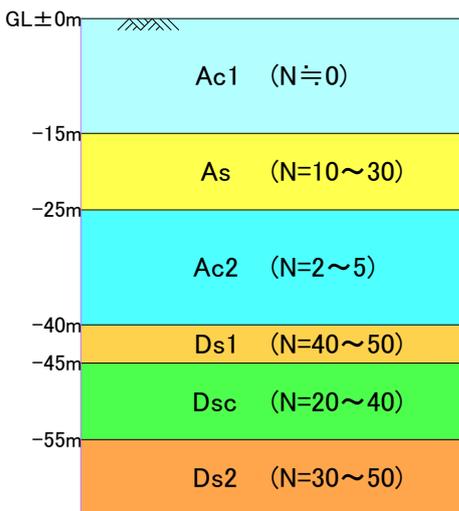


図-1 地層断面(概略)

表-1 現場透水試験結果

測定番号	測定深度 (GL- m)	土質名	地層	試験開始水位 $h_0$ (GL- m)	平衡水位 $h$ (GL- m)	透水係数 $k$ (m/s)
1-1	22.0~22.5	細砂	As	4.48	2.98	3.25E-05
1-2	42.5~43.0	シルト混じり細砂	Ds1	6.71	3.29	2.09E-05
1-3	57.5~58.0	シルト混じり細砂	Ds2	10.84	3.26	7.99E-06
2-1	23.5~24.0	細砂	As	7.32	2.69	2.21E-06
2-2	44.5~45.0	シルト混じり細砂	Ds1	5.03	3.09	1.35E-05
2-3	57.5~58.0	シルト混じり細砂	Ds2	8.57	2.93	1.53E-05

## 3. 平衡水位の推定方法

盛土の沈下予測手法を参考<sup>2)</sup>に双曲線法および浅岡の方法( $\Delta t$ 法)を用いて、平衡水位の推定を行った。推定方法を以下に示す。

### (1) 双曲線法

- くみ上げ後の1回目の計測を起点( $t=0$ )として、 $t/(h_t - h_0)$ を計算する。(図-2)
- $t$ と $t/(h_t - h_0)$ の関係をプロットし、直線式の係数 $\alpha$ 、 $\beta$ を決定する。
- 式-1、式-2を用いて水位を推定する。

$$h_f = h_0 + 1/\beta \dots\dots\dots \text{式-1}$$

$$h_t = h_0 + t/(\alpha + \beta \cdot t) \dots\dots\dots \text{式-2}$$

ここで、 $h_f$ : 双曲線法より求める平衡水位(m)、 $h_t$ : 時間 $t$ における水位(m)、 $h_0$ : 試験開始時の水位(m)、 $t$ : 経過時間(s)、 $\alpha$ 、 $\beta$ : 係数

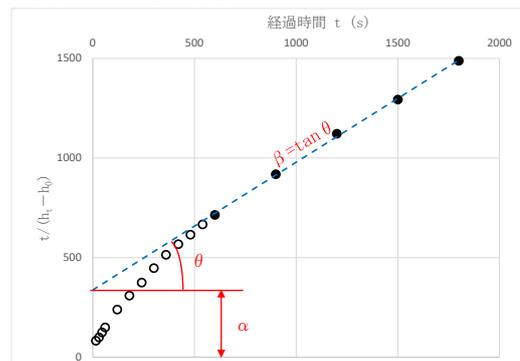


図-2 双曲線法によるデータ整理方法

### (2) 浅岡の方法( $\Delta t$ 法)

- 一定の時間間隔( $\Delta t$ )で測定したデータを抽出し、水位差 $s (=h_t - h_0)$ を計算する。
- Y軸に $t=i$ の時の水位差 $s_i$ 、X軸に $t=i-1$ の時の水位差 $s_{i-1}$ をプロットし、係数 $\alpha$ 、 $\beta$ を決定する。(図-3)
- 式-3を用いて平衡水位を推定する。

$$h_f = h_0 + \alpha/(1 - \beta) \dots\dots\dots \text{式-3}$$

ここで、 $h_f$ : 浅岡法より求める平衡水位(m)、 $h_0$ : 試験開始時の水位(m)、 $\alpha$ 、 $\beta$ : 係数

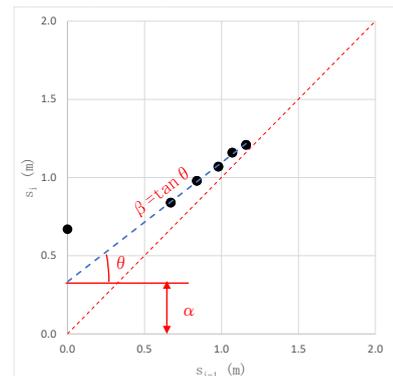


図-3  $\Delta t$ 法によるデータ整理方法

4. 検討結果

現場透水試験で測定した翌朝水位と平衡水位の推定値を比較した。浅岡法( $\Delta t$ 法)は $\Delta t=60s$ と $\Delta t=300s$ のふたつのケースについて整理した。結果は図-4、表-2のとおりである。

双曲線法、浅岡法( $\Delta t$ 法)ともに、ある程度の誤差で平衡水位を推定することができた。双曲線法は翌朝水位より平衡水位を高く推定する傾向にあった。一方で浅岡法( $\Delta t$ 法)は平衡水位を低く推定する傾向にあった。

この結果のうち、“2-1”については実測値と推定値の間に大きな差がある結果となった。これは図-5に示すように、初期の水位回復が極めて遅いことから、ボーリング孔内の洗浄が十分ではなかったことなどが原因ではないかと推察される。

“2-1”を除いた平衡水位の推定値のばらつきについて、翌朝水位に対する偏差( $h-h_f$ )の分散 $\sigma^2(=\sum(h-h_f)^2/n)$ と標準偏差 $\sigma(=\sqrt{\sigma^2})$ を求めて比較した。(表-3)

双曲線法、浅岡法( $\Delta t$ 法)の標準偏差 $\sigma$ には、そこまで大きな差異はみられなかった。

浅岡法( $\Delta t$ 法)の $\Delta t=60s$ と $\Delta t=300s$ のケースを比較した場合、 $\Delta t=300s$ のほうがわずかに $\sigma$ が小さい値を示している。ただし、測定間隔の関係から $\Delta t=60s$ は1~10分、 $\Delta t=300s$ は5~30分の範囲をプロットしているため、

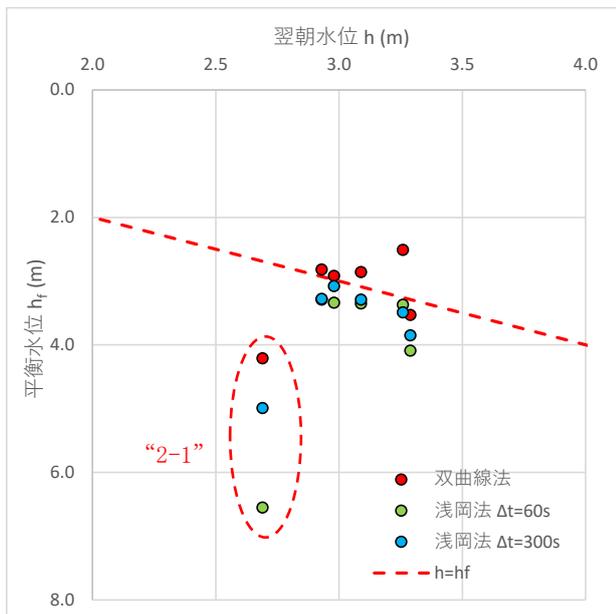


図-4 平衡水位の実測値と推定値の比較

表-2 比較結果一覧表

測定番号	測定深度 (GL- m)	翌朝水位 h (GL- m)	双曲線法			浅岡法 $\Delta t=60s$			浅岡法 $\Delta t=300s$		
			平衡水位 $h_f$ (GL- m)	水位差 $h-h_f$		平衡水位 $h_f$ (GL- m)	水位差 $h-h_f$		平衡水位 $h_f$ (GL- m)	水位差 $h-h_f$	
				(m)	(%)		(m)	(%)		(m)	(%)
1-1	22.0~22.5	2.98	2.92	0.06	2.0	3.34	-0.36	-12.1	3.08	-0.10	-3.4
1-2	42.5~43.0	3.29	3.53	-0.24	-7.3	4.09	-0.80	-24.3	3.85	-0.56	-17.0
1-3	57.5~58.0	3.26	2.51	0.75	23.0	3.37	-0.11	-3.4	3.49	-0.23	-7.1
2-1	23.5~24.0	2.69	4.20	-1.51	-56.1	6.56	-3.87	-143.9	4.99	-2.30	-85.5
2-2	44.5~45.0	3.09	2.86	0.23	7.4	3.35	-0.26	-8.4	3.29	-0.20	-6.5
2-3	57.5~58.0	2.93	2.82	0.11	3.8	3.29	-0.36	-12.3	3.28	-0.35	-11.9

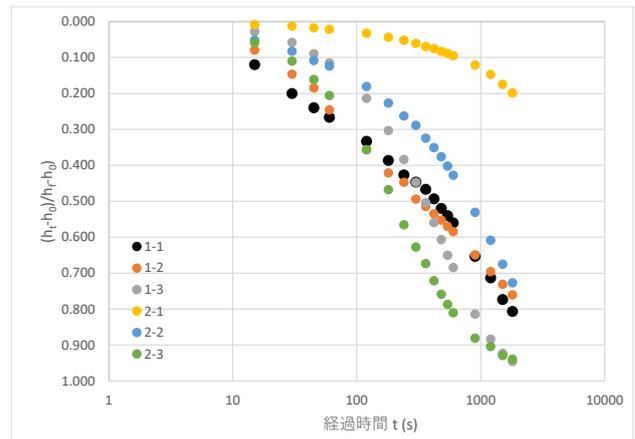


図-5 水位変位と経過時間の関係

表-3 推定値のばらつき

平衡水位推定方法	翌朝水位との水位差 $h-h_f$					翌朝水位との誤差	
	1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	分散 $\sigma^2$	標準偏差 $\sigma$
双曲線法	0.06	-0.24	0.75	0.23	0.11	0.14	0.37
浅岡法 $\Delta t=60s$	-0.36	-0.80	-0.11	-0.26	-0.36	0.20	0.44
浅岡法 $\Delta t=300s$	-0.10	-0.56	-0.23	-0.20	-0.35	0.11	0.33

一概に優劣を決められない。圧力式水位計などを用いて連続した記録を取り、同じデータ範囲で比較してみることが今後の課題として挙げられる。

5. まとめ

現場透水試験(単孔を利用した透水試験方法)の平衡水位について推定を試みた結果、双曲線法および浅岡法( $\Delta t$ 法)ともに、ある程度の予測が可能であることが確認された。ただし、基本的に平衡水位は正確に測定する必要がある事は言うまでもない。

測定した翌朝水位と推定した平衡水位に差異が生じていた場合、1時間程度の時間をおいてから水位変化を測定して平衡状態にあるか確認する。あるいは、再度、水をくみ上げて初期の水位変化を確認するなどデータを見直すことも重要である。

今回の“2-1”のケースのように初期の水位回復が遅い場合があるため、水位変位と時間経過の関係をグラフに示して確認し、測定時間を長く取ることで推定精度はさらに上がるものと考えられる。

《引用・参考文献》

- 公益社団法人地盤工学会(2013)：地盤調査の方法と解説, p. 521
- 松尾稔, 柴田徹(1979)：建設技術者のための現場計測工法, p. 44-47, 日刊工業新聞社

# イオン分析と通年観測による地下水の分類事例

株式会社日さく ○橋本 拓弥, 伊藤 健二, 岡部 顕, 伊藤 悠太, 野澤 玲奈

## 1. はじめに

本報告は調査地における地下水の流動状況の把握に向けて、地下水の水質に着目し、調査地にある複数の観測井から観測される地下水を分類した事例の紹介である。

## 2. 調査の手順

調査地は、2021年4月に堤体の打設が完了し、同年12月より試験湛水が行われているダムサイトである。地質は傾家帯の花崗岩および花崗閃緑岩が分布する。

今回、実施したイオン分析は2023年12月に図-1の3地点で採水した。経年観測は図-1の地点で試験湛水が開始した2021年12月より週1回の頻度で観測を行っている。

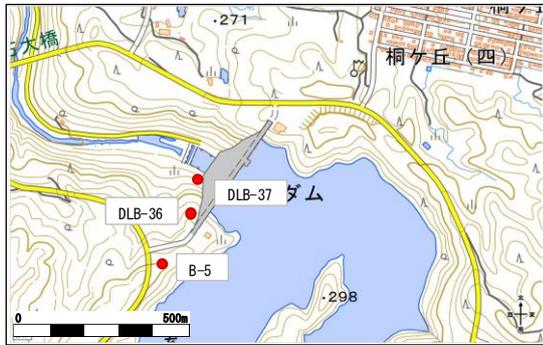


図-1 調査地の平面図<sup>1)</sup>

実施したイオン分析の結果はシュテフダイアグラム(図-2)に示した。分析項目を表-1に示す。

経年観測では地下水位、水温、pH、ECの測定を行った。

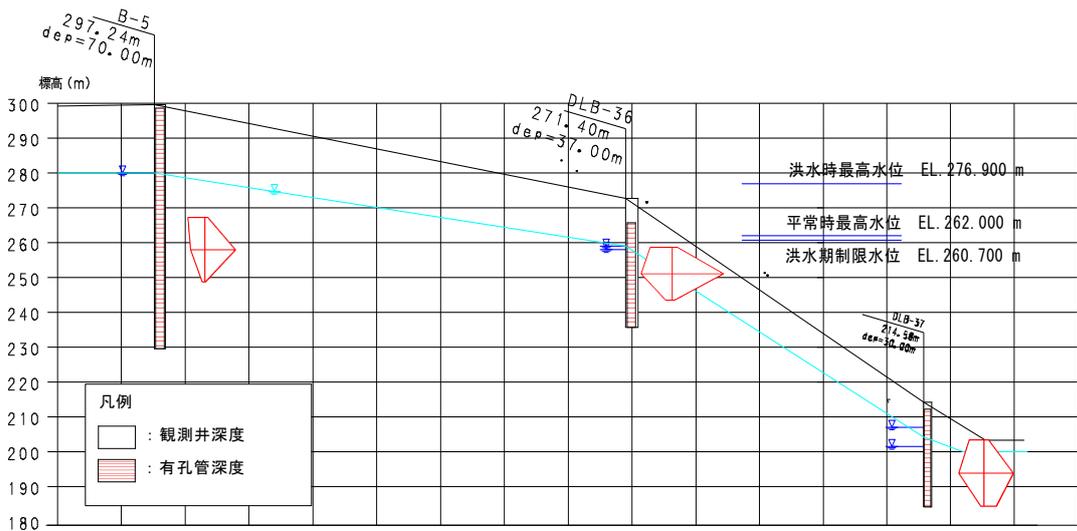


図-2 各地点の分布状況とシュテフダイアグラム

表-1 イオン分析項目

	分析項目
陽イオン	Na <sup>+</sup> ・K <sup>+</sup> ・Ca <sup>2+</sup> ・Mg <sup>2+</sup>
陰イオン	Cl <sup>-</sup> ・SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ・HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
非解離成分	SiO <sub>2</sub>

## 3. 結果

### 3-1. イオン分析結果

イオン分析で得られたシュテフダイアグラムから地下水を以下の2種に分類した。(表-2)

1. Ca<sup>2+</sup>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の溶存量が多い算盤型
2. Ca<sup>2+</sup>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の溶存量が少なく、算盤を横からつぶしたような型

表-2 各地点のイオン分析の分類結果

地点	イオン分析による分類
DLB-36	1 算盤型
DLB-37	1 算盤型
B-5	2 算盤を横からつぶした形

### 3-2. 経年観測結果

経年観測の結果を図-3に示す。観測データの期間は2021年12月1日～2023年8月1日であり、ダムの試験湛水は2021年12月中旬より開始している。

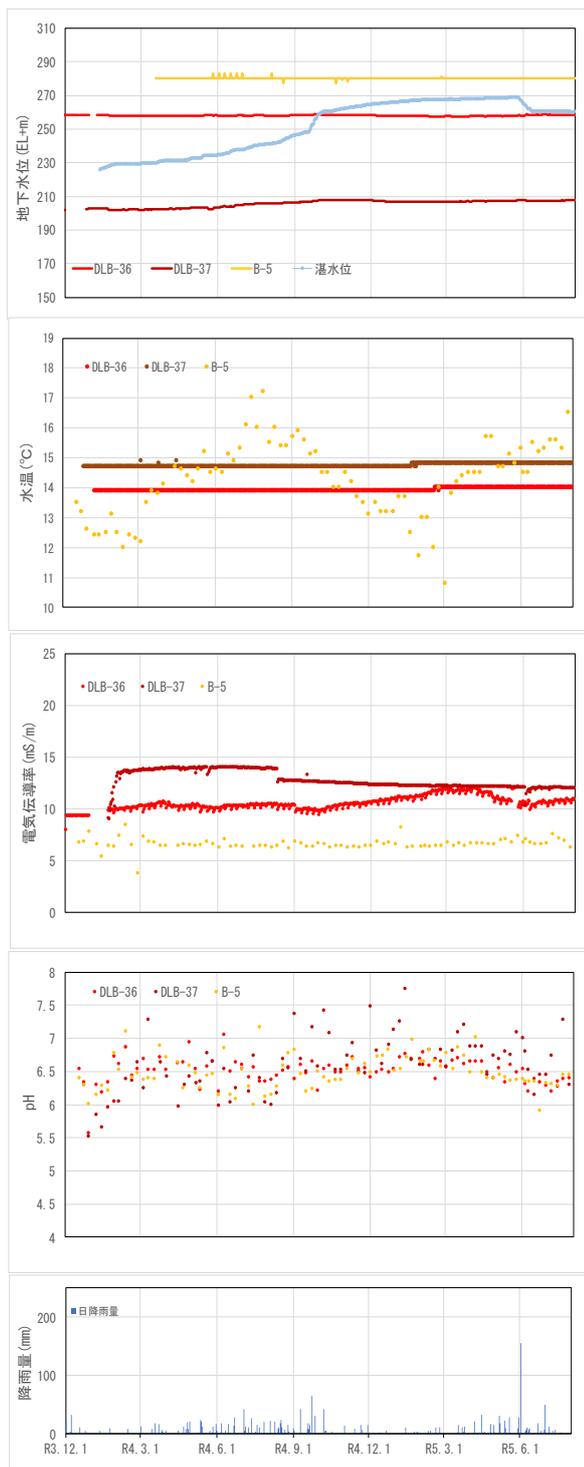


図-3 各観測井の地下水位・水質とダム湛水位・降雨量<sup>2)</sup>

図-3より確認された各観測井の特徴を以下に示す。

DLB-36 :

- ・変動はほとんどみられない。

DLB-37 :

- ・変動はほとんどみられない。

B-5 :

- ・水温には周期性がある。

以上の結果より経年観測の分類を表-3に示す。

表-3 各地点の経年観測の分類結果

地点	経年観測による分類
DLB-36	A 経年を通してほぼ一定
DLB-37	A 経年を通してほぼ一定
B-5	B 水温に季節変動あり

#### 4. 考察

以下、イオン分析と経年観測の結果について、図-2の各地点の分布状況と地質の情報を合わせて地下水の分類を検討した。

DLB-36 :

経年の観測結果に変動がみられない。地下水位・水温に季節変動が認められない点から流動が比較的速い表層の地下水の可能性はある。

DLB-37 :

DLB-36と同じ傾向がみられる。同じく流動の比較的速い表層の地下水だと考えられる。

B-5 :

水温が季節変動を受けていることから気温による影響を受けていると判断できる。イオン分析では分類2となる点、図-2では深部まで有孔管が設置されている点から、表層からの地下水と深部からの地下水が合わさったものだと考えられる。

以上の考察より各地点にみられる地下水の系統の分類を表-4の右に示す。

表-4 各地点の地下水の系統の分類

地点	イオン分析による分類	経年観測による分類	地下水の系統の分類
DLB-36	1	A	① 表層の地下水
DLB-37	1	A	① 表層の地下水
B-5	2	B	② 表層の地下水 + 深部の地下水

#### 5. まとめ

本調査ではダムサイト周辺でイオン分析を実施した結果、2種の地下水に分類でき、経年の水質データでは同じく2種の地下水に分類できた。両者について総合的に判断すると、①表層の地下水、②表層の地下水+深部の地下水の2種に分類できると判断した。

#### 6. 謝辞

本報告を進めるにあたり、独立行政法人水資源機構木津川ダム総合管理所川上ダム管理所には、調査の際に資料の提供をはじめ大変協力していただいた。ここにお礼を申し上げる。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院(に加筆)(最終閲覧日2023.6.2)
- 2) 気象庁アメダス：観測地点「名張」(最終閲覧日2023.6.2)

# 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）。

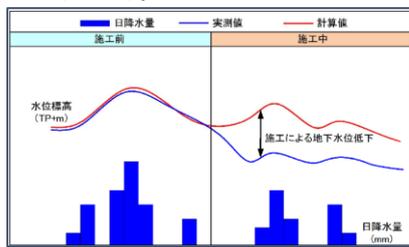


図-1 多変量解析による影響評価の概念図

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

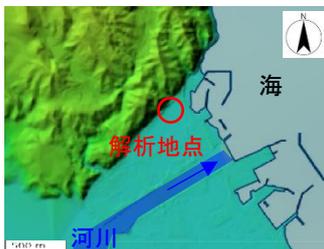


図-2 地形条件<sup>1)</sup>

### (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<sup>2)</sup>
- ◆ 1時間毎実測潮位<sup>2)</sup>

### (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

A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>...: 各変数の係数、r<sub>1</sub>、r<sub>2</sub>...: 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 R<sup>2</sup>** : 予測値の良さ。0 ≤ R<sup>2</sup> < 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 R<sup>2</sup>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 (注: 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 R <sup>2</sup>	0.815465
補正 R <sup>2</sup>	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。

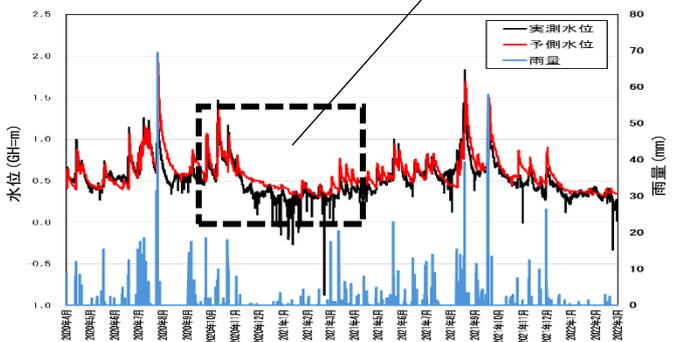


図-3 実測水位と予測水位の比較図(変数:雨量のみ)

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 R<sup>2</sup>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 <sup>2</sup>	0.919314	1日前累計雨量	0.00488	150.78	0		
補正 R <sup>2</sup>	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 R<sup>2</sup>=0.92 と非常に高い相関性が認められた。

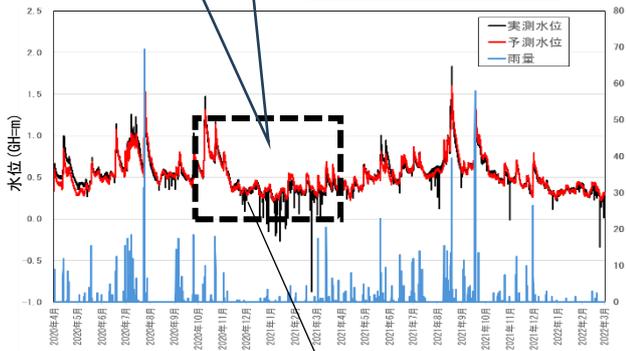


図-4 実測水位と予測水位の比較図(変数:雨量・潮位)

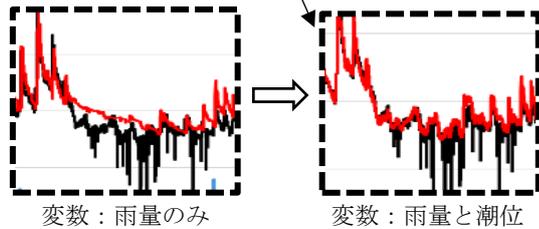


図-5 <変数>雨量のみ、雨量と潮位の場合の比較

### 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。

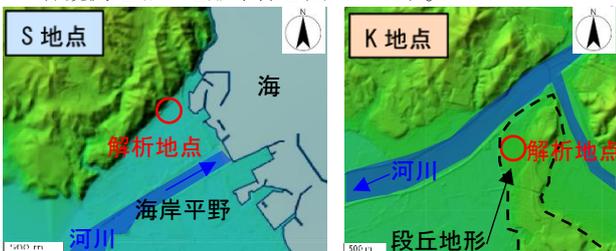


図-6 観測地点の地形区分<sup>1)</sup>

#### (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<sup>2) 3)</sup>

#### (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 R<sup>2</sup>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		係数			t	P-値	回帰統計		係数			t	P-値
重相関 R	0.913339	切片	0.254709	30.49117	1.1E-123	切片	3.2943	235.3198	0	重相関 R	0.930303		
重決定 R <sup>2</sup>	0.834188	当日雨量	0.005125	21.05004	6.1E-74	当日雨量	-0.00064	-0.91814	0.358917	重決定 R <sup>2</sup>	0.865464		
補正 R <sup>2</sup>	0.830565	1日前雨量	0.003896	15.33381	5.76E-45	1日前雨量	-0.00344	-4.80246	1.99E-06	補正 R <sup>2</sup>	0.862525		
標準誤差	0.083893	2日前雨量	0.003007	11.8196	4.19E-29	2日前雨量	-0.00399	-5.61059	3.09E-08	標準誤差	0.16394		
観測数	609	3日前雨量	0.002539	9.987061	8.09E-22	3日前雨量	-0.00411	-5.77577	1.24E-08	観測数	609		
		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/>

【CO104】

地下水流向流速測定を用いた洪積台地における地下水流動状況の推定

株式会社日さく ○ニムマヴォン ヌッサカ、長谷川 智史、高松 泉歩

1. はじめに

建設工事による地下水への影響を考える上で、地下水の流動方向の把握は重要である。地下水の流動状況を推定する手法は、一斉測水や地下水流向流速測定などが知られている。

今回、洪積台地に位置する調査地において、観測井戸を設置し、一斉測水を実施するとともに地下水流向流速測定を実施した。地下水流向流速測定の結果、洪積台地において想定される大局的な流動傾向とは一部異なる流動方向が推定された。この違いについて、地形状況に基づき解釈を行った事例について報告する。

2. 調査概要

(1) 地形地質概要

調査地は、東西に広がる台地に位置しており、調査地の南側には崖線が分布する。図-1によれば、地下水は東南東方向へ流動していることが知られている。

地質構成としては、表層に関東ローム層、その下位に

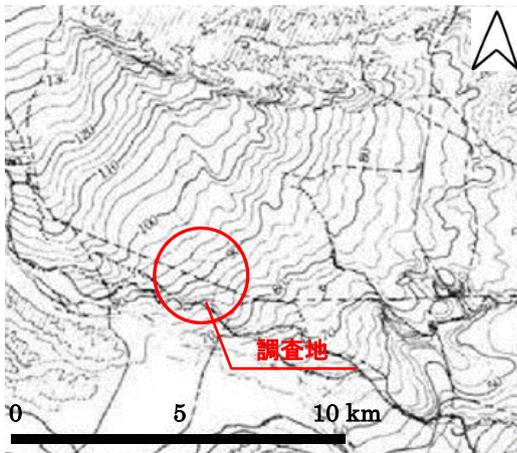


図-1 調査地周辺における不圧地下水面図

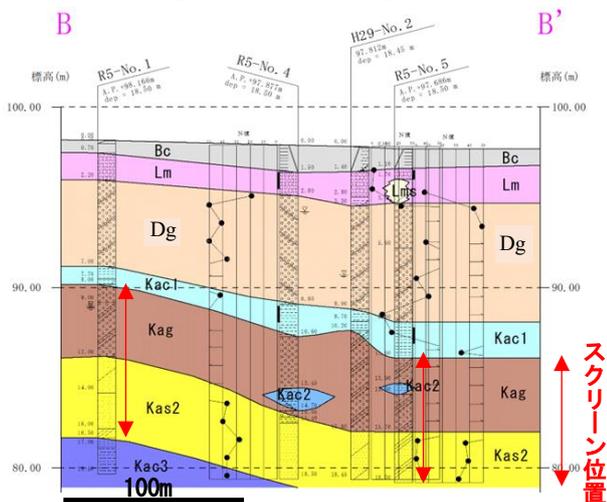


図-2 想定地質断面図

洪積礫層が分布する。洪積礫層の下位には、上総層群の礫層および砂質土層が分布する。

(2) 調査目的

本調査は、洪積台地における地中構造物築造工事の設計に際し、地下水の流動状況を把握するため、観測井戸(6箇所)を設置し、一斉測水および地下水流向流速測定を行った。

(3) 調査方法

①観測井戸設置

オールコアボーリング実施後、口径50mmの観測井戸を6箇所設置した。井戸深度およびスクリーン位置等の井戸構造については、図-2に示したように、上総層群砂礫層(Kag層)および上総層群第2砂質土層(Kas2層)を対象に設置した。

②一斉測水

設置した6箇所の観測井戸において、ロープ式水位計を用いて手測りで地下水位の測定を行った。

③地下水流向流速測定

地下水流向流速測定は、本業務で設置した6箇所の観測井戸を対象とし、GFD型の地下水流向流速測定器を使用し実施した。測定器を測定深度に設置した後、ヒーターを加熱し、16個の温度センサーにより温度上昇過程を計測する。流速が速いと温度が低く抑えられ、流速が遅いと高くなる。また、地下水流動の上流側センサーは温度が上昇せず、その下流側では上昇する。温度センサーの温度差を把握することにより、流向及び流速が求められる。なお、流向流速測定は参考資料<sup>1)</sup>に基づき実施した。

3. 調査結果

(1) 一斉測水結果

一斉測水結果から作図した地下水位等高線図を図-3に示す。調査地周辺の地下水は、大局的には西から東に向かって流動していると想定される。

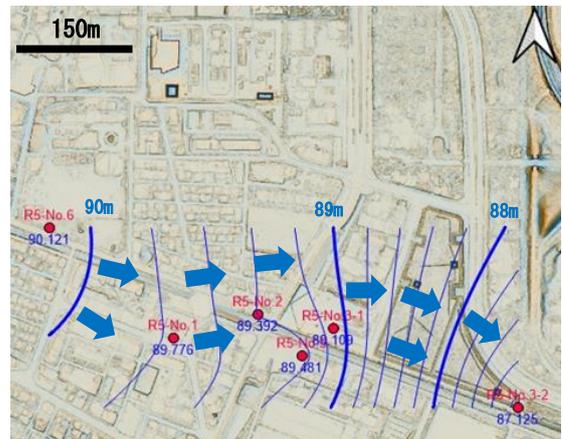


図-3 調査地周辺の地下水位等高線図<sup>2)</sup>

(2) 地下水流向流速測定結果

地下水の流向と流速を表-1および図-4に示す。地下水流向流速測定においては、地下水等高線図(図-3)と同様に、一部の地下水の流れは南方向または東方向に向かう傾向が見られた。ただし、流動方向のばらつきが見られ、主に東側に分布する観測井戸では北東方向への流動が見られた。

表-1 地下水流向流速測定結果

地点名	地下水流向流速測定		
	流速(cm/min)	流向※	測定深度
R5-No.1	0.59	80.9° (東北東)	15m
R5-No.2	0.113	169.5° (南南東)	16m
R5-No.3-1	0.025	42.9° (北東)	15m
R5-No.3-2	0.096	58.4° (北東)	13m
R5-No.5	0.016	26.0° (北北東)	15m
R5-No.6	0.012	173.7° (南)	14m

※磁北から時計回りの角度

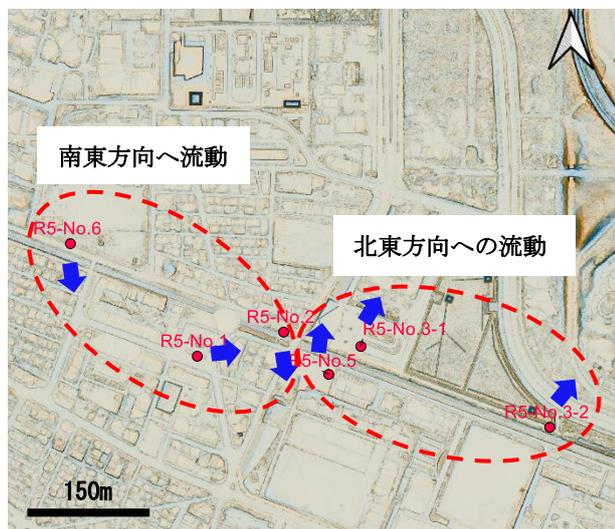


図-4 地下水流向流速測定結果平面図<sup>2)</sup>

4. 考察

参考文献および広域地形に基づけば、調査地周辺の地下水は、大局的に東または南東方向に流動していると想定される。

一斉測水結果から地下水位等高線図を描くと、地下水は、西から東に向かって流動している傾向が見られ、広域的な流動傾向と一致している(図-3)。

地下水流向流速測定では一斉測水とはやや異なり、観測井戸の設置位置により流向の違いが明瞭で、西側では東南方向への流向を示し、東側の観測井戸では北東方向への流向を示した。

図-5に調査地周辺の微地形表現図を示す。図-5によると、調査地中央に微小な尾根があることが分かる。地下水流向はこの尾根を境に東西で異なっていることから、浅層地下水が微地形による地形勾配に沿って流動しているものと解釈できる。

本調査は、地中構造物による地下水影響を対象としているため、観測井戸の配点は構造物計画エリア周辺に限られる。このため、観測地点が少なく、配点が偏り、面的な広がりを持たないことから、一斉測水結果と流向流速測定結果は必ずしも一致しなかった。図-6には、流向流速測定結果と一斉測水による地下水位等高線図を重ねて示した。一斉測水結果では北東方向への流動傾向は上手く表現できていない。しかし、一斉測水に流向流速測定結果と合わせ、微地形と組み合わせることで、地下水流動状況について妥当な解釈を行うことが出来た。

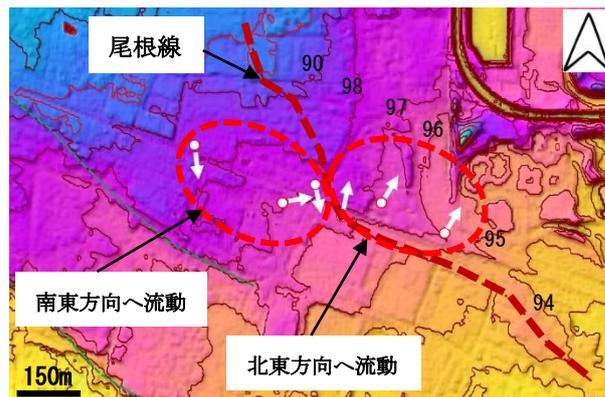


図-5 地下水流向と周辺の微地形 (5m DEM データに基づきカシミールにて作図)

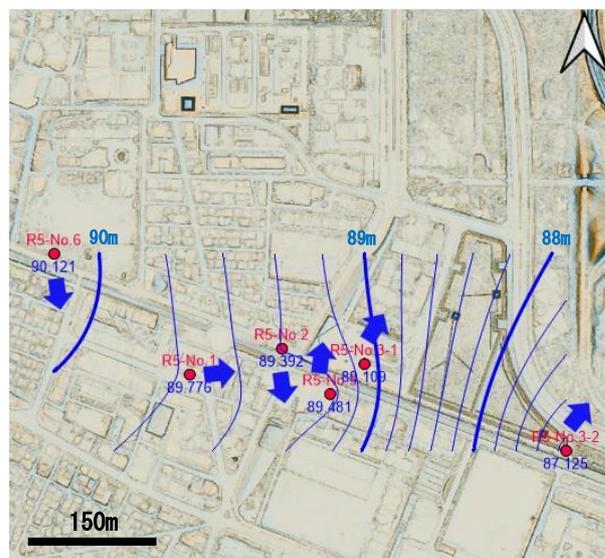


図-6 地下水流向と周辺の地下水等高線<sup>2)</sup>

5. おわりに

このような調査においては、一斉測水の結果だけではなく、地下水流向流速測定を組み合わせることによって、地下水の現況を詳細に把握することができる。今後このような調査方法の組み合わせを実施していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 改訂版現場技術者のための地質調査技術マニュアル: GFD 型地下水流向流速測定器の概要
- 2) 国土地理院地形図(<https://www.gsi.go.jp>)に加筆

# 砂礫地盤を流れる排水路の改修工事に伴う周辺地下水への影響事例

株式会社キタック ○北見 志保, 大淵 貴

## 1. はじめに

砂礫地盤の集落内を流下する排水路の改修工事で、水路の拡幅及び河床の掘削工事により周辺地下水位の低下が懸念された。そこで、改修工事が地下水へ与える影響を把握することを目的に、施工前から施工後の期間にかけて地下水位観測孔を設置して地下水位観測を行った。本稿では改修工事の施工工程ごとの地下水位と降雨量の関係を整理し明らかになった、施工前後の地下水位変動傾向について報告する。

## 2. 排水路改修工事の概要

### (1) 地盤状況

改修工事箇所は山麓の更新世段丘面から氾濫平野に流下する排水路で、氾濫原性堆積物の砂・砂礫が深度10m付近まで分布する。現場透水試験結果より、砂・砂礫層の透水係数は $1 \times 10^{-4} \text{m/sec}$  オーダーで中位の透水性を示す。地下水位はGL-1~3mの範囲で確認されており、上記の砂・砂礫層が当該地の主な帯水層である(図-1)。

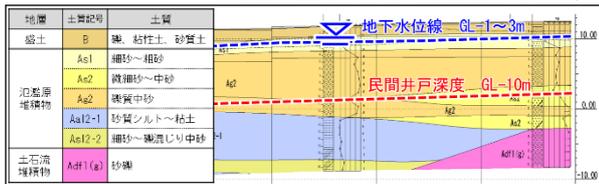


図-1 排水路地質縦断面図

### (2) 地下水利用状況

排水路周辺の集落には民間井戸が多数存在する。井戸深度は浅いものが多く、深度10m以浅の井戸が全体の約7割を占める。民間井戸は主に消雪用、農業・灌漑用として利用されており、灌漑期及び降雪期には井戸利用が活発で、井戸利用箇所では局所的な水位低下が観測される。

### (3) 排水路改修工事の概要

排水路改修区間(総延長約2km)のうち、本稿では改修工事が完了し、地下水観測が終了した約1km間について、施工概要を述べる。

①排水路構造: 改修前の排水路(以降「旧水路」)は幅1m×深さ1mの三面張り水路である。新設排水路(以降「新水路」)は幅4m×深さ1.2mの大型フリーフォーム水路である。新水路は改修により大規模な拡幅・掘下げを行うために、ウェルポイント工法により地下水位を強制的に低下させた状態で掘削が行われた(図-2)。

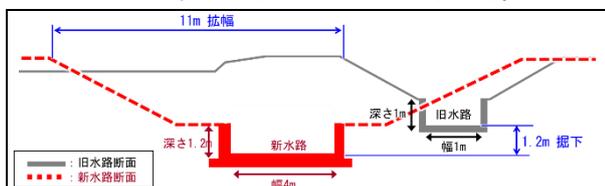


図-2 排水路標準断面図

②施工工程: 本稿で紹介する改修区間は約7年の施工期間を経て新水路の通水が開始された(図-3)。



図-3 施工工程と地下水位観測期間

## 3. 観測方法

改修区間周辺の地下水位変動状況を把握するために自記水位計を用いて地下水位を観測した。

①観測孔の設置位置は「ウェルポイント工法便覧<sup>1)</sup>」による土質ごとの影響半径(表-1)より影響半径を400mと想定し、その中で民間井戸が密集する箇所を選定した。

表-1 土質ごとの影響円の半径

土質区分	影響円の半径	土質区分	影響円の半径
粗れき	1500m以上	中砂	100~400m
れき	500~1500m	細砂	10~100m
粗砂	400~500m	シルト	5~10m

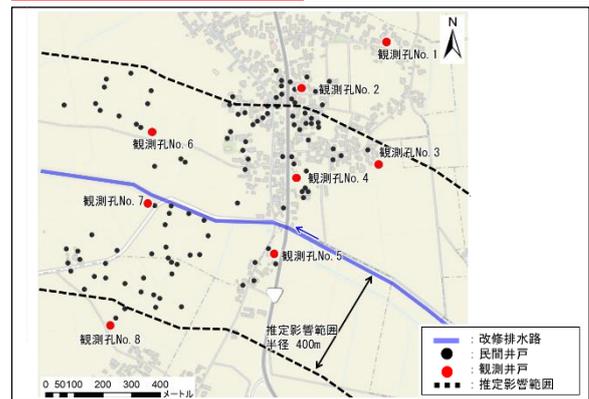


図-4 施工工程と観測孔位置

②観測孔の深度は、民間井戸の設置が最も多く、かつ当該地の主な帯水層(砂・砂礫層)が分布するGL-10mとした。民間井戸と同程度の井戸構造とするために、GL-6~10m間をストレナー区間とした。水位計センサーはGL-9.5m付近に設置した。

③地下水位観測計の観測データは1時間毎に記録した。

④降雨量観測データは施工箇所近傍のアメダス観測データ<sup>2)</sup>を用いた。

## 4. 観測結果と分析

観測データから改修工事に伴う周辺地下水への影響を分析するために、以下の方法で観測結果をとりまとめた。

- (1) 施工段階に分けた地下水位経時変動グラフの作成
- (2) 降雨量と平均地下水位の散布図の作成

### (1) 地下水位経時変動グラフによる分析

地下水位および降雨量の観測データより作成した経時変動グラフを図-5に示す。

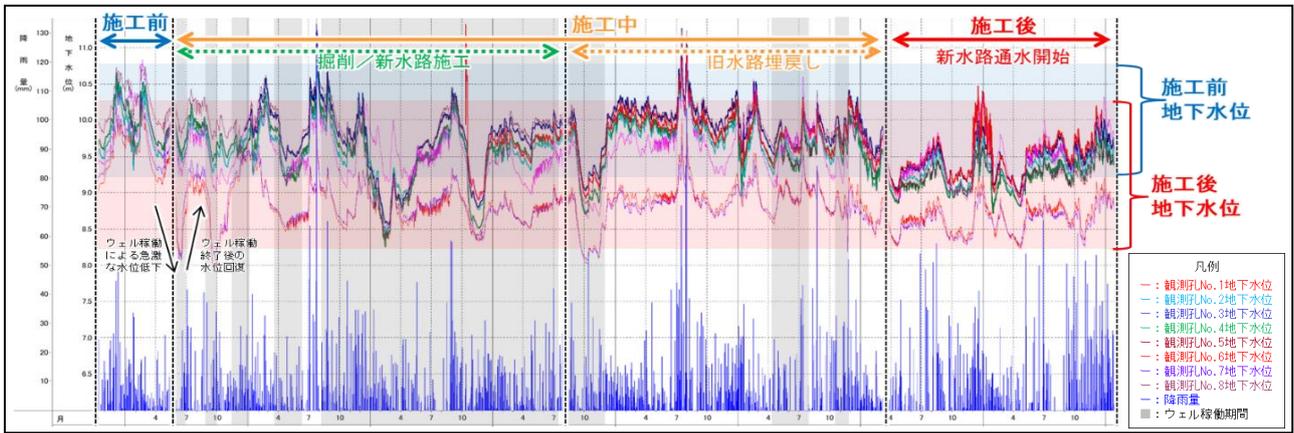


図-5 地下水位経時変動グラフ

① 施工中の地下水位変動：ウェル使用期間には施工地周辺で地下水位の低下が観測されたが、ウェル使用終了後には水位低下前と同程度の水位まで回復した。このことから、ウェルによる水位低下は施工中の一時的な変動であり、ウェル使用終了後に地下水位の回復が見込めるといえる。

② 施工後の地下水位変動：地下水位経時変動状況を施工段階ごとにみると、施工が進むに併せて地下水位が低下していることを観測した。

(2) 降雨量と平均地下水位の散布図による分析

降雨量と地下水位の関係と施工前後の地下水位変動を把握するために、施工前（観測開始）から施工後（新水路通開始後）までの観測データを「1カ月の総降雨量」と「1カ月の平均地下水位」ごとに整理し、降雨量と地下水位の散布図を作成した。散布図は①施工前、②施工中（ウェル稼働なし）、③施工中（ウェル稼働あり）、④施工後の4つの施工段階に区分しとりまとめた。相関係数より、データ点数が少ない①施工前は相関関係が低いものの、④施工後は正の相関関係にあることを確認した（表-2）。

表-2 月総降雨量と平均水位の相関係数

	降雨量と平均水位の相関係数 r								
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	
施工前	未設置	0.21	未設置	0.19	0.12	0.28	0.22	0.05	
施工中	ウェル稼働なし	0.47	0.50	0.53	0.50	0.49	0.54	0.49	0.51
	ウェル稼働あり	-0.08	0.22	0.23	0.15	0.08	0.22	0.18	0.19
施工後		0.67	0.68	0.66	0.70	0.67	0.45	0.41	0.39

観測データの中で月総降雨量100mm 前後のデータが最もサンプル数が多いことから、散布図の累積近似線で月総降雨量100mm の月平均地下水位を比較した結果、④施工後の地下水位は、同じ月降雨量であっても①施工前の地下水位より40～100cm 程低い結果となった（図-6）。施工前後での水位差は排水路から観測孔までの距離が近いほど大きく、反対に離れた地点の観測孔ほど水位差が小さい傾向となった。

(3) 改修工事に伴う地下水位影響範囲の推定

排水路から観測孔までの距離と施工前後の水位低下量から水位低下量コンター図を作成し、改修工事による地下水位への影響範囲を推定した。各観測孔の水位低下量と排水路からの位置関係より、コンターは排水路改修区間に対して概ね平行に描かれ、施工による水位低下は改

修区間からの距離に比例することを確認した。

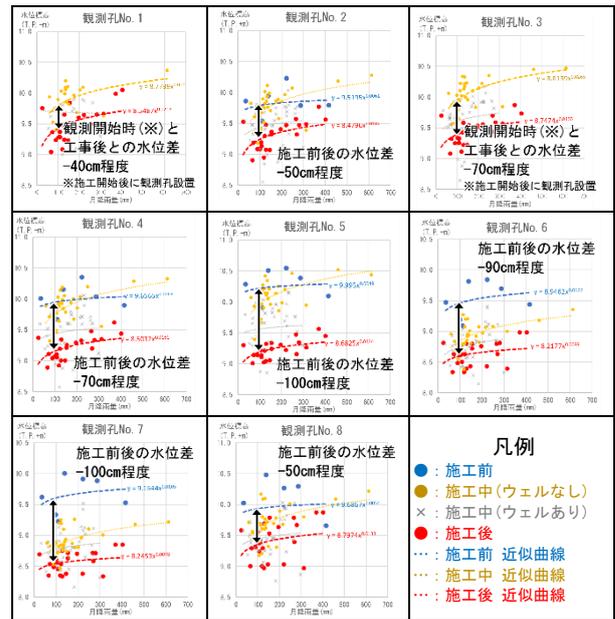


図-6 地下水と降雨量の散布図

5. おわりに

砂礫地盤を流れる排水路の改修工事に伴う周辺地下水への影響事例を紹介した。雨水の涵養によって地下水位が上昇・低下することから、施工前後での地下水位の変動状況を把握するためには降雨量の差異による地下水位変動を考慮する必要がある。降雨量と地下水位の関係と施工前後の地下水位変動を把握するために作成した降雨量と地下水位の散布図は、施工前後の地下水位を定量的に評価することができ、工事影響範囲の推定に有用であった。周辺地下水の低下が懸念される工事で事前に利水状況調査を行うにあたり、施工影響評価を行う際に本稿の事例が参考になれば幸いである。

《引用・参考文献》

- 1) 改訂版-ウェルポイント工法便覧 (1993)：日本ウェルポイント協会
- 2) 気象庁アメダス：観測地点「瓢湖」（最終閲覧日 2024. 5. 24），  
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.