

砂防えん堤工事に伴う井戸水への影響

*植田 敏史 (株) 宇部セントラルコンサルタント

1. はじめに

本調査は測深不可能な井戸が多く分布する地域において、地下水の涵養・流動機構の解明及び工事の影響評価を行う手段として、イオン分析及び自記水位計観測の導入による効果を明らかにした事例として、砂防えん堤工事を取り上げ発表する。

調査対象井戸は11箇所において、井戸構造はボーリング井戸、打ち抜き井戸、掘り抜き井戸であり、測深可能な井戸は「掘り抜き井戸」の2箇所である。

2. 調査内容

本調査は、地下水の涵養・流動機構の解明を行なうと共に、個々の井戸における水量・水質の特徴を明らかにするために、次に示す調査を実施した。

- (1) 自記水位観測 (K-W-2、K-W-4)
- (2) 簡易水質測定 (EC, pH, 水温、濁度) 全井戸
- (3) 水質試験 (イオン分析) 代表井戸・河川
陽イオン : Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺
陰イオン : HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻
溶存珪酸 H₄SiO₄

*測深可能な井戸 : K-W-2、4

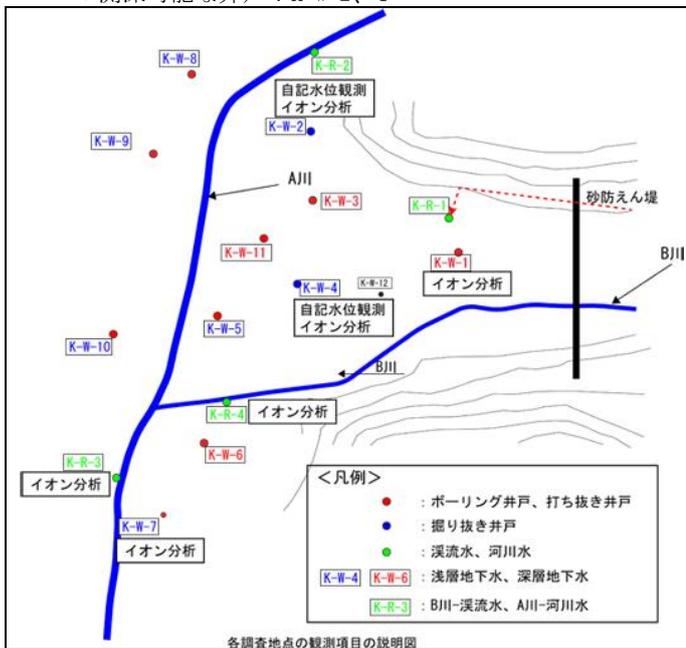


図 2-1 調査地の井戸分布と調査概要

3. 取水層の推定

地下水の涵養・流動機構の解明を行う上で、各井戸の取水層を特定する必要がある。

そこで、調査地の地質構造を把握するためにボーリングデータを収集するとともに、2ヶ月に1回の観測頻度で実施した簡易水質測定において水温変化に着目した。

3-1 調査地の地質構成

調査地の地質構成は、下位より中生代ジュラ紀の付加型堆積岩類であるA層群、新生代第四紀の崖錐堆積物及び河床堆積物となる。

A層群は礫質泥岩であり、岩質は風化作用により粘土状～礫状～岩片状と様々な様相を呈している。

また、岩盤の亀裂面は褐色に変色し、水と接触したことによる化学的風化作用が確認され、地下水の浸透が推察される。

上位層の河床堆積物及び崖錐堆積物は、主に砂や礫を主体としており、土の透水性は、土の粒度構成の状況から、10⁻³~10⁰ (cm/sec) であるものと推定される (表 3-1-1 参照)。

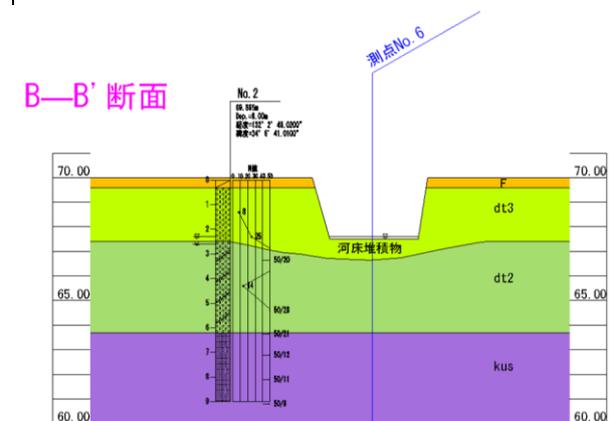
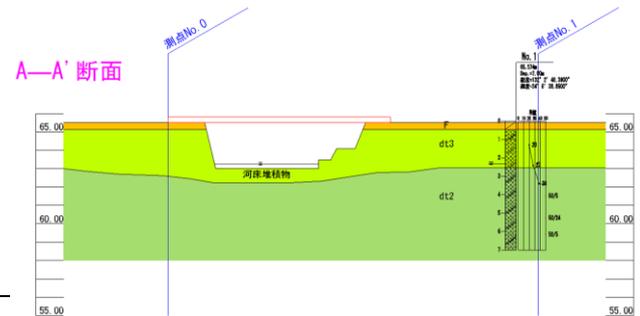


図 3-1-1 地質構造と地質断面図

表 3-1-1 透水性と土質区分一覧表

透水性	透水係数 k (cm/s)				
	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵
透水性	実質上不透水	非常に低い	低い	中位	高い
対応する土の種類	粘性土 (C)	微細砂, シルト, 砂-シルト-粘土混合土 (SP) [S-F] (M)	砂及び礫 (GW) (GP) (SW) (SP) (G-M)	砂及び礫 (GW) (GP) (SW) (SP) (G-M)	清浄な礫 (GW) (GP)
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水性試験	変水位透水性試験	定水位透水性試験	特殊な変水位透水性試験	
透水係数を間接的に推定する方法	圧密試験結果から計算	なし	清浄な砂と礫の粒度と間隙比から計算		

出典: 地盤調査の方法と解説【地盤工学会】

3-2 水温の変化

年間を通じた水温変化の動向を図 3-2-1 に示す。

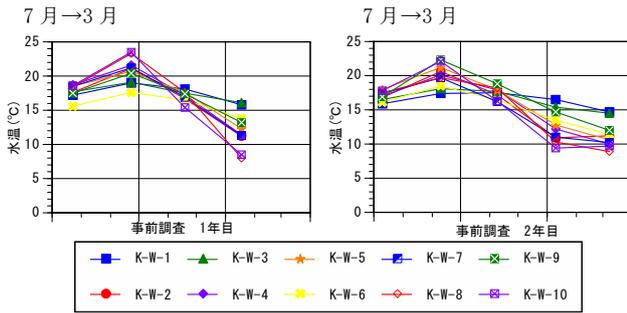


図 3-2-1 各井戸の年間を通じた水温変化

年間を通じた水温変化から、調査地の井戸水は3つのタイプに分けられ、地質構造図を踏まえると取水層は表 3-2-1 が考えられた。

表 3-2-1 本調査地の井戸地点における取水層の推定

取水層	井戸地点	概要
浅層地下水	K-W-2, 4, 5, 7 (えん堤側)	水温の年較差は 10℃を超えており、地表部から浸透する地下水の影響が大きい。また、節毎観測における水温の変化が 2℃を超えることがある。
dt3	K-W-8, 9, 10 (A 側右岸側)	
中間	K-W-6	浅層地下水と深層地下水の中間的なタイプであり、水温の年較差が 7℃前後を示している。
dt3 dt2		
深層地下水	K-W-1, 3	水温の年較差は 5℃以下であり、深層部の地下水を取水しているものと考えられる。節毎観測における水温の変化が 2℃を超えることはない。
dt2 kus		

4. 地下水の涵養・流動機構の解明 (事前調査)

4-1 代表井戸の選定 (イオン分析)

地下水中の化学物質は、土質や岩盤の違いや地層内での滞留時間、また、土地利用などにおける人為的な影響等を反映して組成が異なっている。

イオン分析の結果は、調査地の地質により形成された水質組成や複数地点の分析結果を用いることにより地下水の供給源や地下水の経路の推定などの情報に役立てることが可能である。

そこで、「表 3-2-1 本調査地の井戸地点における取水層の推定」を踏まえ、浅層地下水と深層地下水の水質組成を把握するとともに、浅層地下水については、複数地点の調査により、地下水の経路の推定を行った。

ここで、河川水と地下水との相互作用を把握するために、A 川、B 川の水位組成も合わせて調査した。

イオン分析の対象範囲は A 川を境に、砂防えん堤側とし、また、コストを考慮して、代表井戸で実施するようにした。

イオン分析を実施する代表井戸及び河川の調査地点と選定理由を表 4-2-1 に示す。

表 4-2-1 代表井戸及び河川の調査地点と選定理由

取水層	井戸地点	概要
浅層地下水	K-W-2 K-W-4 K-W-7	K-W-2→K-W-7 への地下水の浸透及び A 川 K-R-3 との相互作用を確認する。 K-W-4→K-W-7 への地下水の浸透及び B 川 K-R-1 との相互作用を確認する。 地形の形状から、砂防えん堤の築造に伴う影響は、K-W-2 と K-W-4 を比較した場合、K-W-2 は井戸水利用障害のリスクは小さいものと考えられ、双方の比較が定量化できるようにする。
深層地下水	K-W-1	深層地下水の中で K-W-1 は、砂防えん堤に最も近接した井戸であり、この地点の地下水を調査することで、下流域への影響を予測する。 また、B 川 K-R-1 と A 川 K-R-3 との相互作用を確認する。
B 川 渓流水	K-R-1 (K-R-4)	K-R-1 を測定し、浅層地下水及び深層地下水との相互作用を確認しておく。
A 川 河川水	K-R-3	K-R-3 を測定し、浅層地下水及び深層地下水との相互作用を確認しておく。

4-2 ヘキサダイアグラムによる地下水経路の推定

地下水はヘキサダイアグラムの図形形状及び地形勾配から、砂防えん堤側から K-W-4、K-W-7 に向けての浸透と、北側に位置する K-W-2 の上流の谷からの浸透が考えられる。

K-W-2 の水質組成は、A 川から浸透した地下水の影響が大きく現れている。

K-W-4 の水質組成は、7 月に K-R-3 の A 川からの浸透、1 月は K-R-1 の B 川からの浸透の影響が大きく現れている。

K-W-7 の水質組成は、K-W-2 及び K-W-4 から浸透した地下水が混合した水質となっている。K-W-7 も同様に、7 月は K-R-3 の A 川、1 月は K-R-1 の B 川からの浸透の影響が大きいものと推察される。

本調査地の地下水は、全体的に A 川から浸透する地下水の影響が多きものと考えられる。

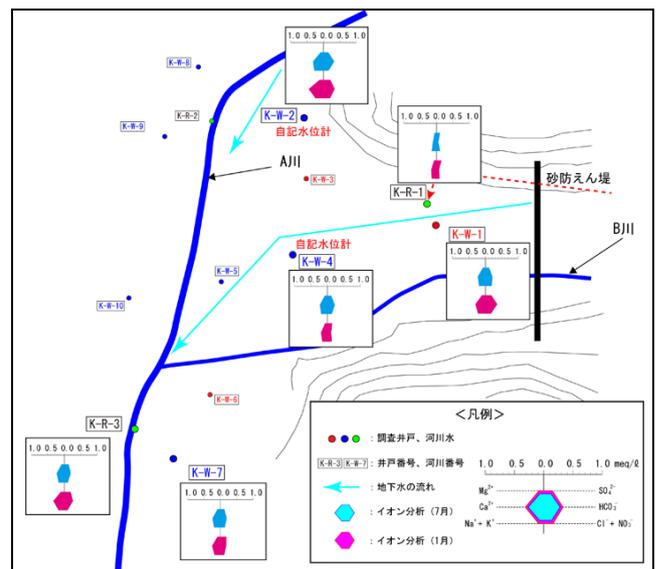


図 4-1-1 ヘキサダイアグラムによる地下水の流れの予測

4-3 自記水位観測の結果

各井戸における自記水位観測の結果を日降水量と合わせて図4-3-1、図4-3-2に示す。

ここで、井戸水深は20分間隔で取得した自記水位のデータを1日の平均値として算出している。

【K-W-2：調査地の北側】（事前調査2年目）

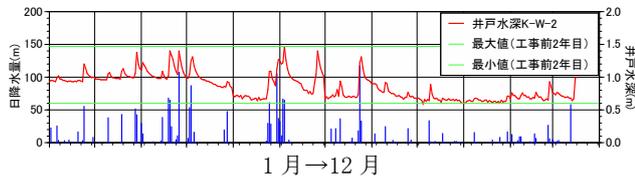


図4-3-1 日降水量と自記水位（井戸水深）の変動図

【K-W-4：えん堤工事の下流側】（事前調査1年目、2年目）

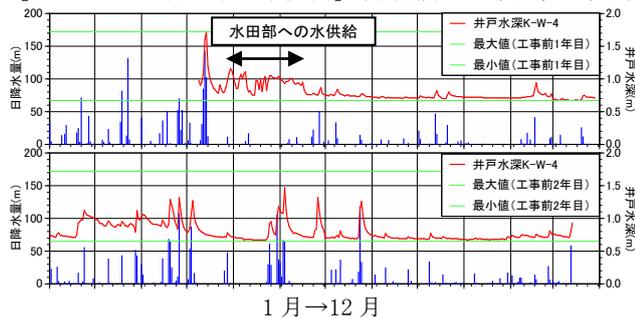


図4-3-2 日降水量と自記水位（井戸水深）の変動図

降雨に対する井戸水深の昇降は、K-W-2で顕著に現われており、両者ともに降水量が少なくなると、井戸水深がある一定レベルにおちついている。

K-W-4は、2010年に実施した自記水位観測データも合わせてみると、通常は井戸水深が約0.7mを示すことが多く、大雨が観測されると顕著な上昇が生じている。

K-W-4は、「図3-1-1 地質構造と地質断面図（A-A断面）」をみると、地下水位標高はA川の河川水位とほぼ同じ位置に分布しており、K-W-4の井戸水深は、A川の河川水位や流量にコントロールされているものと考えられる。

4-4 工事の影響予測

A川沿いに分布する井戸は、A川から浸透する地下水の影響が大きいことが考えられ、水量枯渇の影響は比較的小さいものとする。

一方、水質はイオン分析の結果から、本井戸は河川水の浸透が考えられるため、特に、工事排水が流下するB川沿いに分布している井戸は、水質汚濁のリスクが大きくなるものとする（K-W-4、5、6、7）。

また、K-W-1は工事場所に直近しており、えん堤基礎部の岩盤掘削の際は、水質汚濁のリスクが大きくなる。

5. 地下水の涵養・流動機構の解明（工事中）

5-1 工事概要

本工事は砂防えん堤2基（上流側：透過型、下流側：不透過型）を対象としたものである。

工事の影響評価として、ここでは、民家に最も近い位置で工事が実施された、工事5年目、6年目の下流側えん堤の流路工を対象に概説する。

5-2 地下水の涵養・流動機構の解明

工事前と工事中における豊水期の7月と渇水期の1月を対象としたヘキサダイアグラムの比較図を図5-2-1、2に示す。

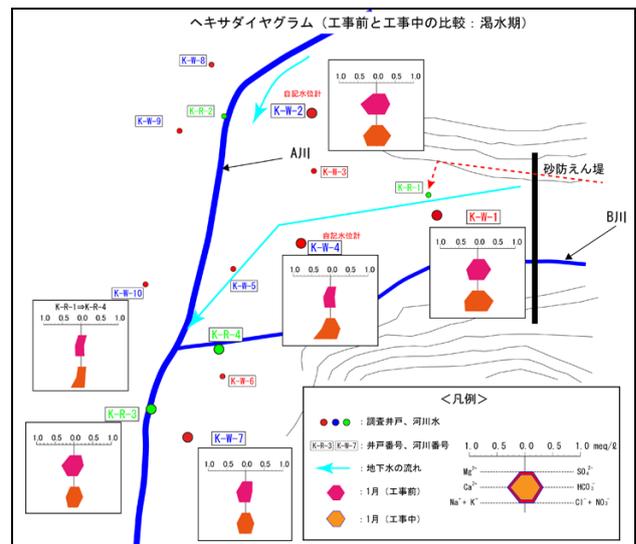


図5-2-1 ヘキサダイアグラムの比較図（渇水期）

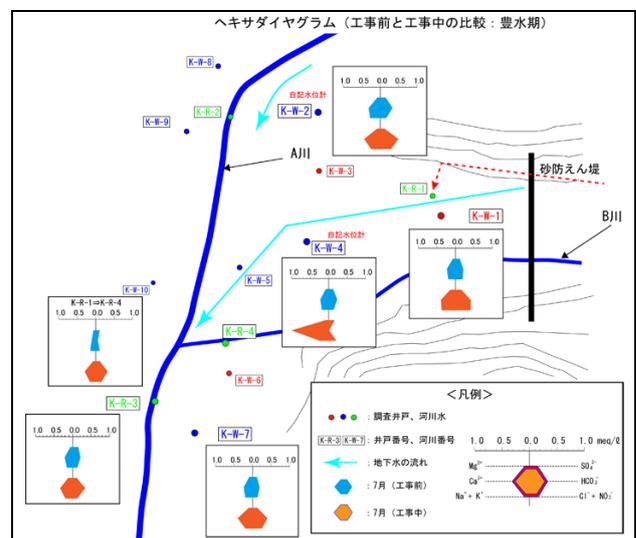


図5-2-2 ヘキサダイアグラムの比較図（豊水期）

工事前(1月)と工事後(1月)を比較すると、K-W-1、4ではトータルのイオン当量がやや増加している。

K-W-4、K-R-1はナトリウムイオンとカリウムイオンが増加しており、工事前と比較してヘキサダイアグラムの図形の形状が変化し、K-W-4は重炭酸ナトリウム型、K-R-1は硫酸ナトリウム型となっている（図5-2-1参照）。

次に、工事前(7月)と工事後(7月)を比較すると、K-W-4はカルシウムイオン Ca^{2+} の著しい濃度増加により、陽イオンと陰イオンとのバランスが崩れ、重炭酸イオンはカルシウムイオン Ca^{2+} の増加に追従出来なくなっている（図5-2-2参照）。

本井戸はセメント由来と考えられるカルシウムイオン Ca^{2+} 及び硫酸イオン SO_4^{2-} の濃度の増加、また、表面水の浸透の影響を示す塩化物イオン Cl^- 、硝酸イオン NO_3^- の増加もみられた。

本井戸は自記水質計（電気伝導度）を設置しており、水質変化が生じた時期は、工事6年目の6月初旬と考えられる。

電気伝導度のピークは通常の $3mS/m$ 以下に対して、 $17mS/m$ まで上昇していた（図5-2-3参照）。

この時期は、後の「5-3 自記水位観測の結果」で概説するが、砂防えん堤下流側の流路工がおおむね完了し、掘削場所が生じていた地下水の排水処理が上流側に移動した時期となっている。

(工事5年目、6年目)

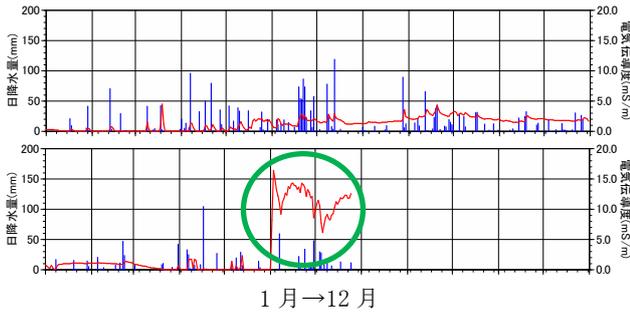
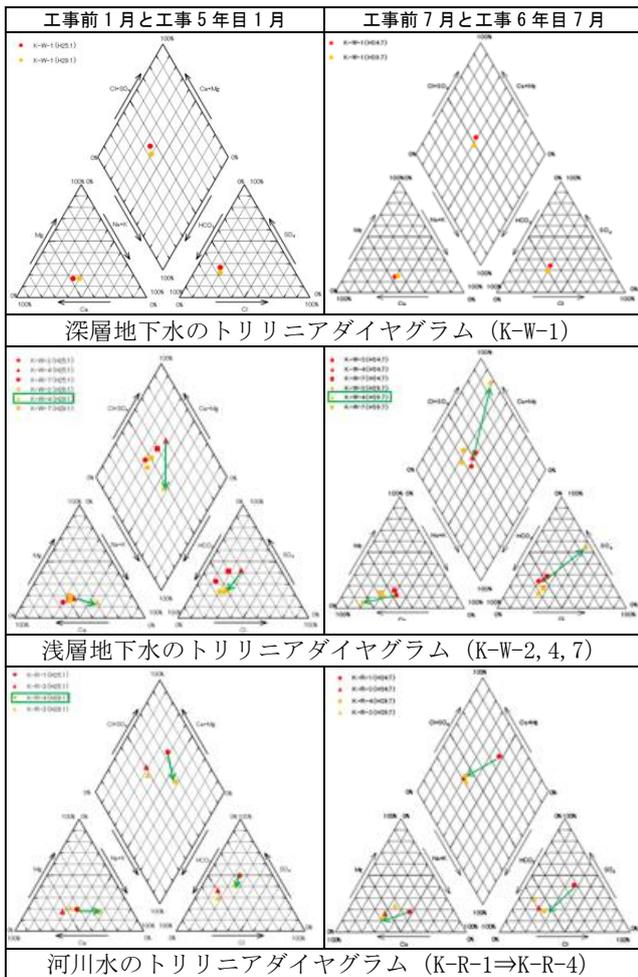


図 5-2-3 日降水量と自記水質 (EC) の変動図

その他の井戸地点は、陽イオンと陰イオンのバランスが平衡状態ではあるものの、重炭酸イオン HCO_3^- は K-W-4 を除く全ての地点で増加や、セメント由来の増加と考えられるカルシウムイオン Ca^{2+} 及び硫酸イオン SO_4^{2-} 、表面水の浸透の影響を示す塩化物イオン Cl^- 、硝酸イオン NO_3^- の増加も確認され、流路工の場所が民家側に近づいたことや B 川への排水の影響が推察される。K-R-4 (B 川：工事下流側) は上述の硫酸イオン SO_4^{2-} や硝酸イオン NO_3^- は濃度に大きな変化はなかったものの、カルシウムイオン Ca^{2+} 、重炭酸イオン HCO_3^- 、塩化物イオン Cl^- は濃度が増加している。

以下に、トリリニアダイアグラムにおける工事前と工事後における水質組成の変化を渇水期と豊水期に分けて示す。



5-3 自記水位観測の結果

各井戸における自記水位観測の結果を日降水量と合わせ

て図 5-3-1、図 5-3-2 に示す。

① K-W-2：調査地の北側 (工事5年目、6年目)

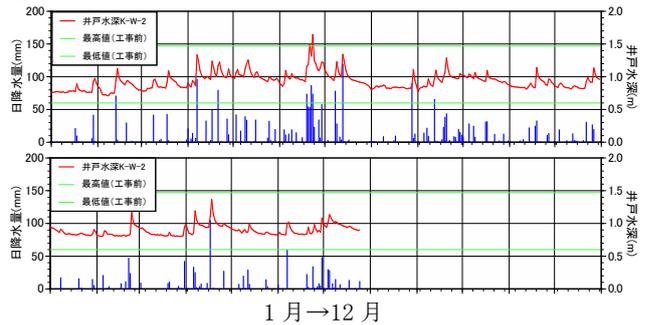


図 5-3-1 日降水量と自記水位 (井戸水深) の変動図

本井戸は A 川に接近した調査地の北側に位置しており、工事中も工事前の井戸水深を下回ることにはなかった。

② K-W-4：工事箇所の下流側 (工事5年目、6年目)

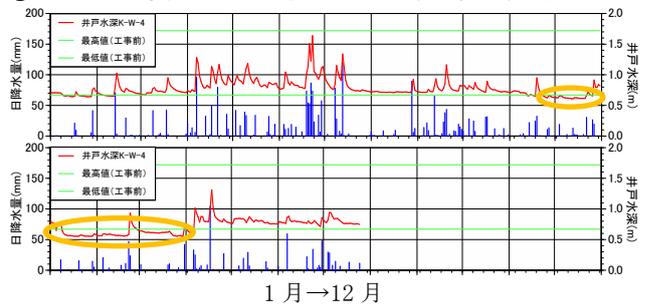


図 5-3-2 日降水量と自記水位 (井戸水深) の変動図

井戸水深は、流路工や橋梁基礎掘削等、最も工事場所が民家側に移動した工事5年目11月頃から、工事前の最小値を下回る状況が生じている。

ただし、本井戸は A 川の河川水位や流量の影響を受けている井戸であり、下回った水位は 0.2~0.3m にとどまっている。

流路工が一段落した工事6年目4月以降は、工事前の井戸水深に回復しており、井戸水深の低下は、掘削場所で発生した地下水の排水処理に起因しているものと考えられる。

5 総括

本調査は、測深不可能な井戸が多い流域での地下水の涵養や流動機構の解明において、イオン分析や自記水位計観測の導入により、地下水の流路系の予測や季節的な地下水の浸透特性を簡易に表現することができた。

ヘキサダイアグラムやトリリニアダイアグラムによる水質組成の図式表現は、河川水と地下水との相互作用の把握や工事の影響予測 (事前調査) に役立ち、工事中における調査の視点を明確にすることに繋がった。

また、工事前と工事中における環境負荷の定量化や汚染発生源、汚染経路などを色覚的に表現することができた。

自記水位計観測の実施は、長期的な地下水水位の動向を把握することに役立ただけでなく、測定間隔を 10 から 20 分にし、井戸水利用時における水位低下量と使用前の水位に回復するまでの時間を調査することで、地下からの湧水量の変化を捉えることも可能となる。

このようなことから、測深ができない井戸が多いエリアにおいて、自記水位計観測を実施できたことは、地下水の涵養に関する情報を得る上で有効な手段であった。