

1-1-2. 地下水流向・流速調査

1 調査目的

比較的浅い沖積層の地下水の流向と流速を把握する目的で地下水の流向流速測定を実施した。

2 調査概要

(1) 調査項目

地下水の流向・流速を調査した。

(2) 調査位置

地下水流向・流速調査の調査位置は、基礎杭工事前については新規観測井のBV1-1～BV1-3、BV2-1～BV2-3 並びに既存観測井（H28-No. 04）の7箇所で調査を実施した。基礎杭工事中については、工事前の調査結果をもとに、新規観測井の中から代表的な観測井としてBV1-2で調査を実施した(図 1-2-1)。また、基礎杭工事後については、BV1-1～BV1-3 で調査を実施した。

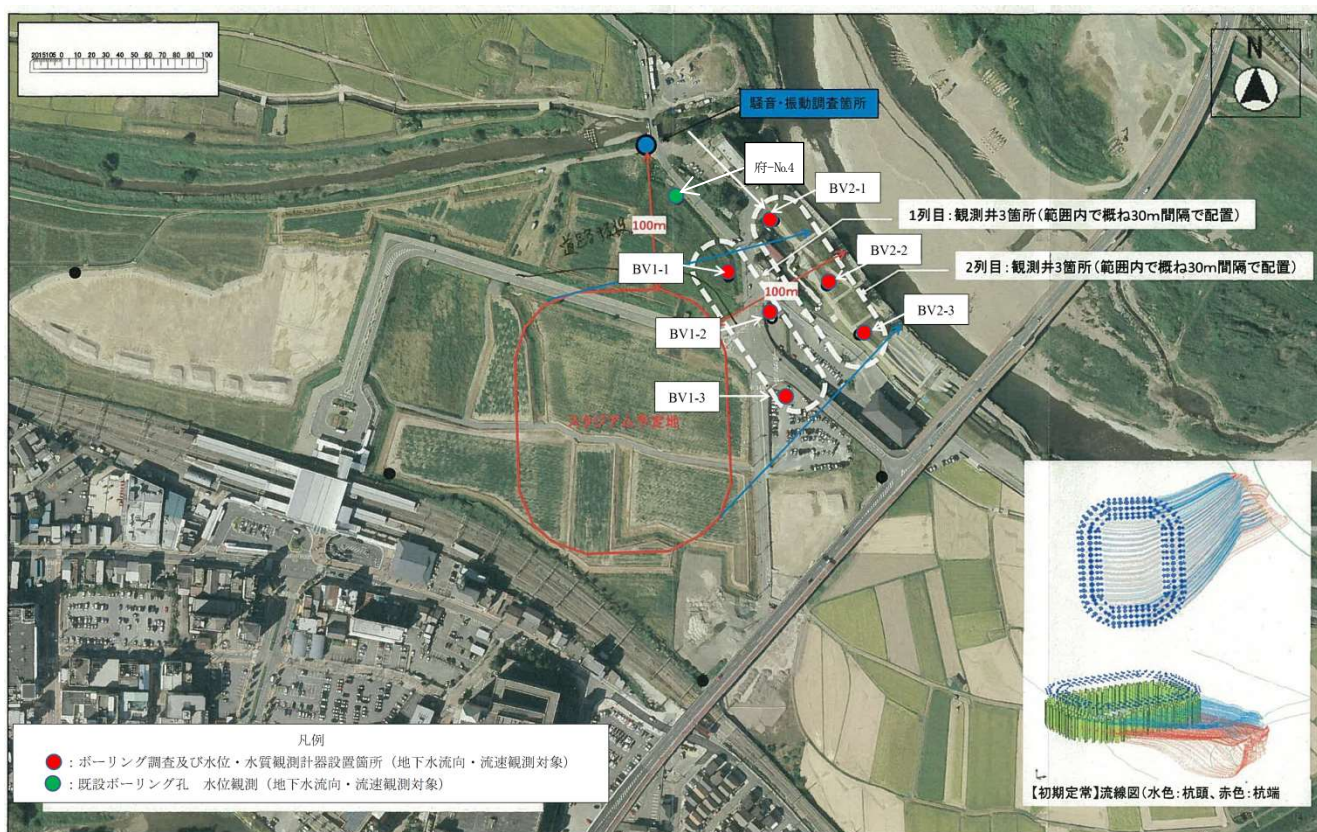


図 1-2-1 調査位置図 (撮影日 H26. 9. 27 京都府 GIS より)

(3) 調査日

調査日を以下に示す。

(工事前)

平成 29 年 12 月 25 日 (月)

(工事中 1 回目)

平成 30 年 3 月 22 日 (木)

(工事中 2 回目)

平成 30 年 5 月 2 日 (水)

(工事後)

平成 30 年 9 月 27 日 (木)

(4) 調査内容

地下水流向・流速計を用いて、地下水観測井の流向・流速を観測した。用いた流速計の仕様を、表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 流速計の仕様

使用機器	製造元	流速	流向
MODEL GFD3A	アレック電子株	0.01~1.0cm/min	0~360°

a) 測定原理

測定原理を以下に示す。

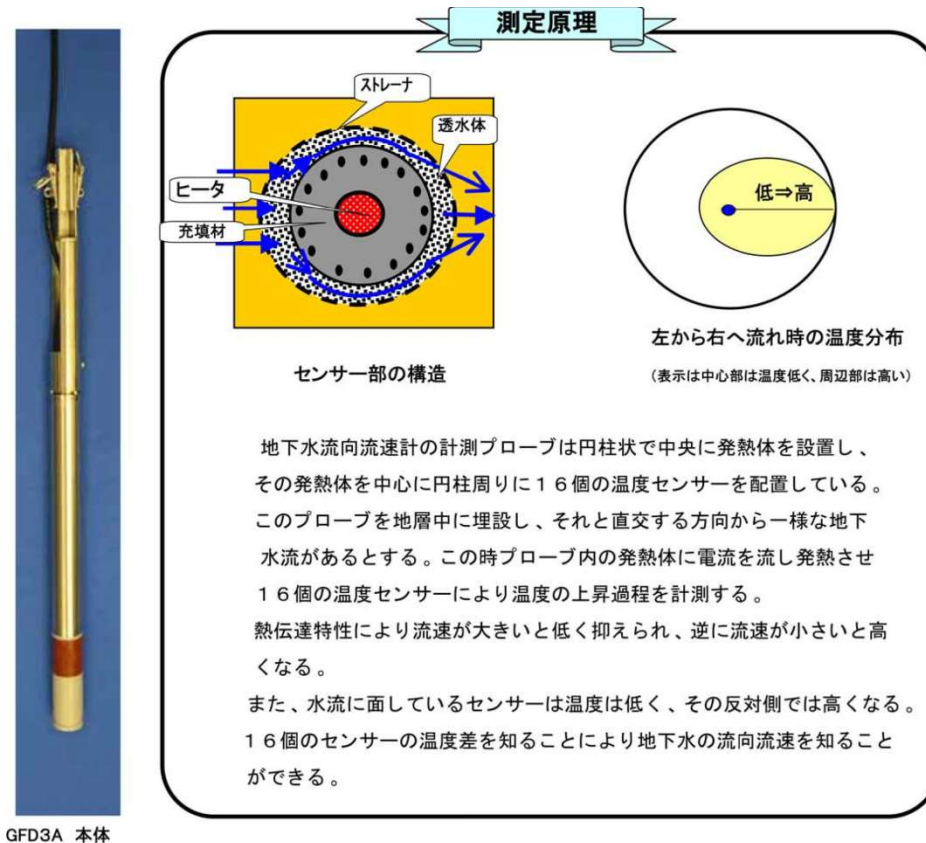
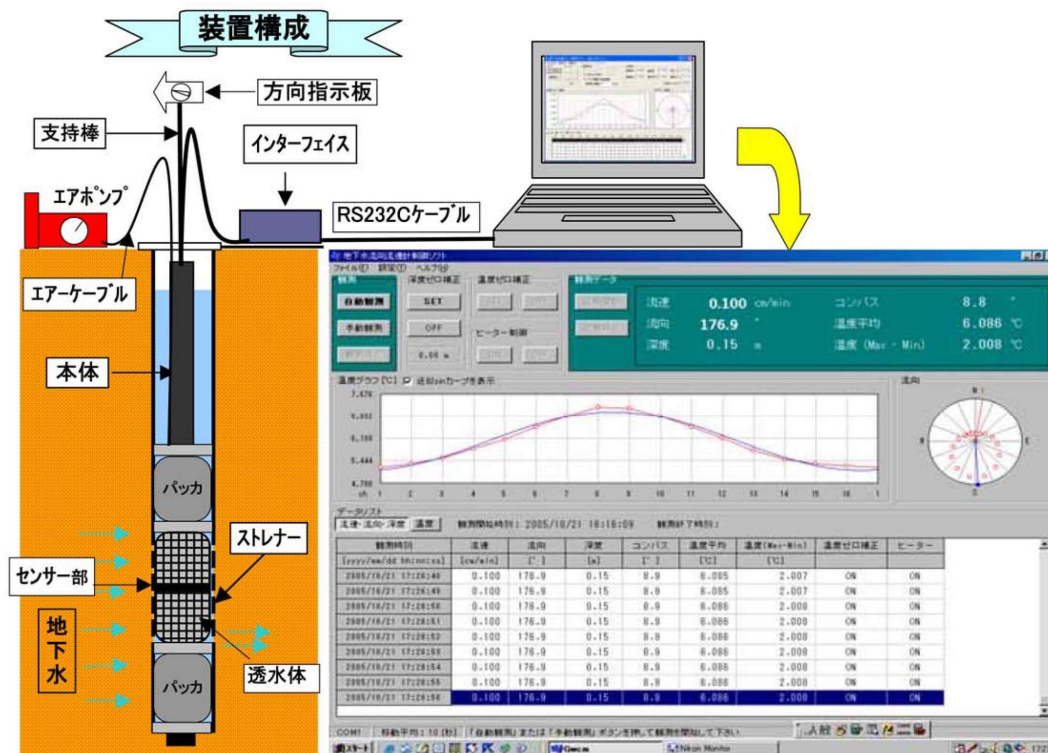


図 1-2-2 測定原図

b) 装置構成

測定装置の構成を以下に示す。



* パッカーはオプションです。

仕様

測定範囲	
流速	0.01~1.0cm/分
流向	0 ~ 360度
精度	
流速	±30%
流向	±10度
表示機能	パーソナルコンピュータ画面
流速	デジタル表示
流向	360度円形,デジタル表示
出力	RS232C
電源	AC 100V
消費電力	ヒータ OFF時1.7W ヒータ ON時4.5W
ケーブル長	30m
本体形状	φ34×250mm
測定可能深度	30m
* パッカー	上下ダブルエア方式 (オプション)

図 1-2-3 測定装置の構成図

3 調査結果

地下水の流向流速試験の結果を表 1-2-2 に示す。

表 1-2-2 地下水流向・流速結果一覧表

流速 (m/day)	基礎杭工事前	基礎杭工事中		基礎杭工事後
	H29/12/25、26	H30/3/22*	H30/5/2	H30/9/27
BV1-1	0.53	—	—	0.32
BV1-2	9.86	0.32	0.99	0.6
BV1-3	0.39	—	—	0.24
方向	H29/12/25、26	H30/3/22*	H30/5/2	H30/9/27
BV1-1	W⇒E ▶	—	—	W⇒E ▶
BV1-2	WSW⇒ENE ▼	S⇒N ▲	W⇒E ▶	W⇒E ▶
BV1-3	W⇒E ▶	—	—	WSW⇒ENE ▶

4 考察

基礎杭工事前、工事中、工事後の地下水の流向については、平成 30 年 3 月 22 日調査時を除き、西から東へと流れており、ほとんど変化は見られなかった。

平成 30 年 3 月 22 日の地下水流向は、南から北に流れ、地下水流速は 0.32 (m/day) と他の調査日に比べて最も遅かった。これは BV1-2 の地下水位と河川水位の水位差が 1.0m と最も小さいことから、地下水の流向・流速は流出先である桂川水位に左右される可能性があると考えられる。

表 1-2-3 基礎杭工事前・工事中・工事後の地下水流向・流速結果

流速 (m/day)	基礎杭工事前	基礎杭工事中		基礎杭工事後
	H29/12/25、26	H30/3/22	H30/5/2	H30/9/27
BV1-1	0.53	—	—	0.32
BV1-2	9.86	0.32	0.99	0.60
BV1-3	0.39	—	—	0.24
方向	H29/12/25、26	H30/3/22	H30/5/2	H30/9/27
BV1-1	W⇒E ▶	—	—	W⇒E ▶
BV1-2	WSW⇒ENE ▼	S⇒N ▲	W⇒E ▶	W⇒E ▶
BV1-3	W⇒E ▶	—	—	WSW⇒ENE ▶
水位 (m)	H29/12/25、26	H30/3/22	H30/5/2	H30/9/27
BV1-2 の日平均地下水位	84.5	85.3	84.6	85.0
日平均河川水位	82.9	84.3	83.2	83.3
BV1-2 と河川水位の水位差	1.6	1.0	1.4	1.7

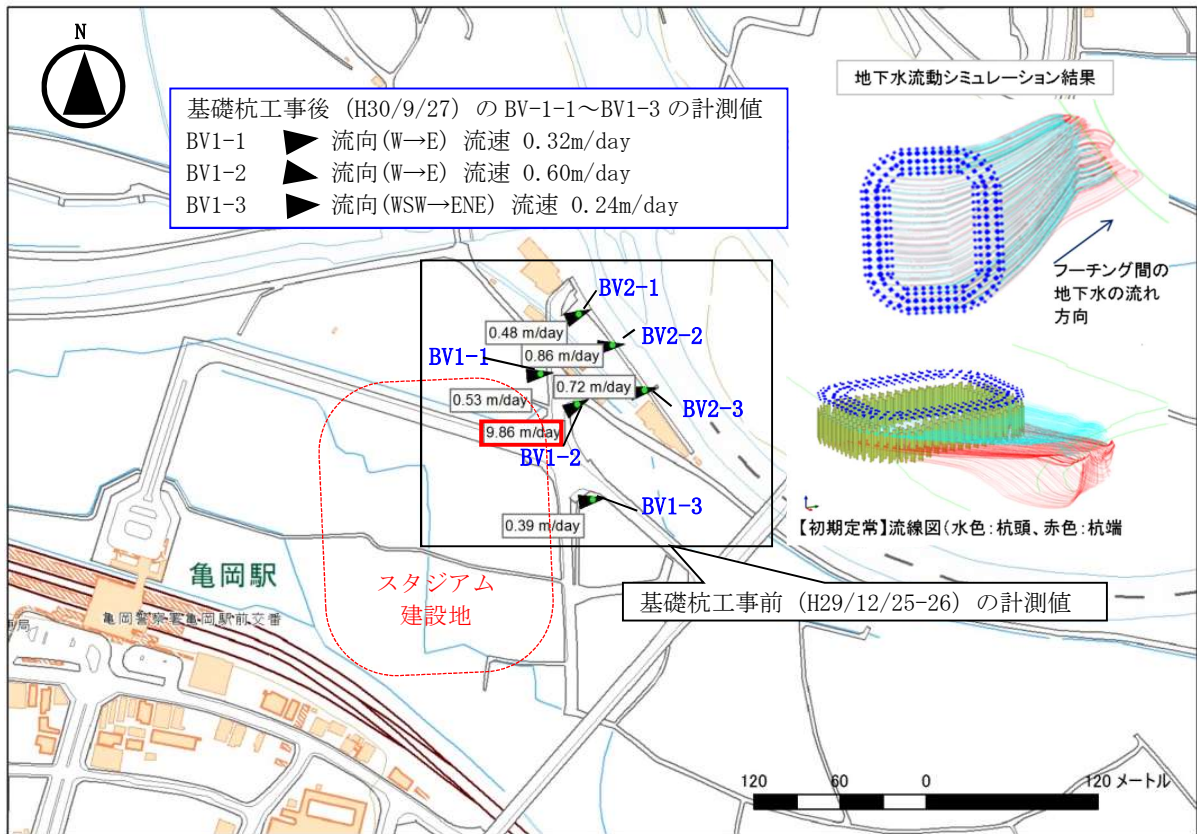


図 1-2-4 基礎杭工事前・中・後の地下水流向と流速

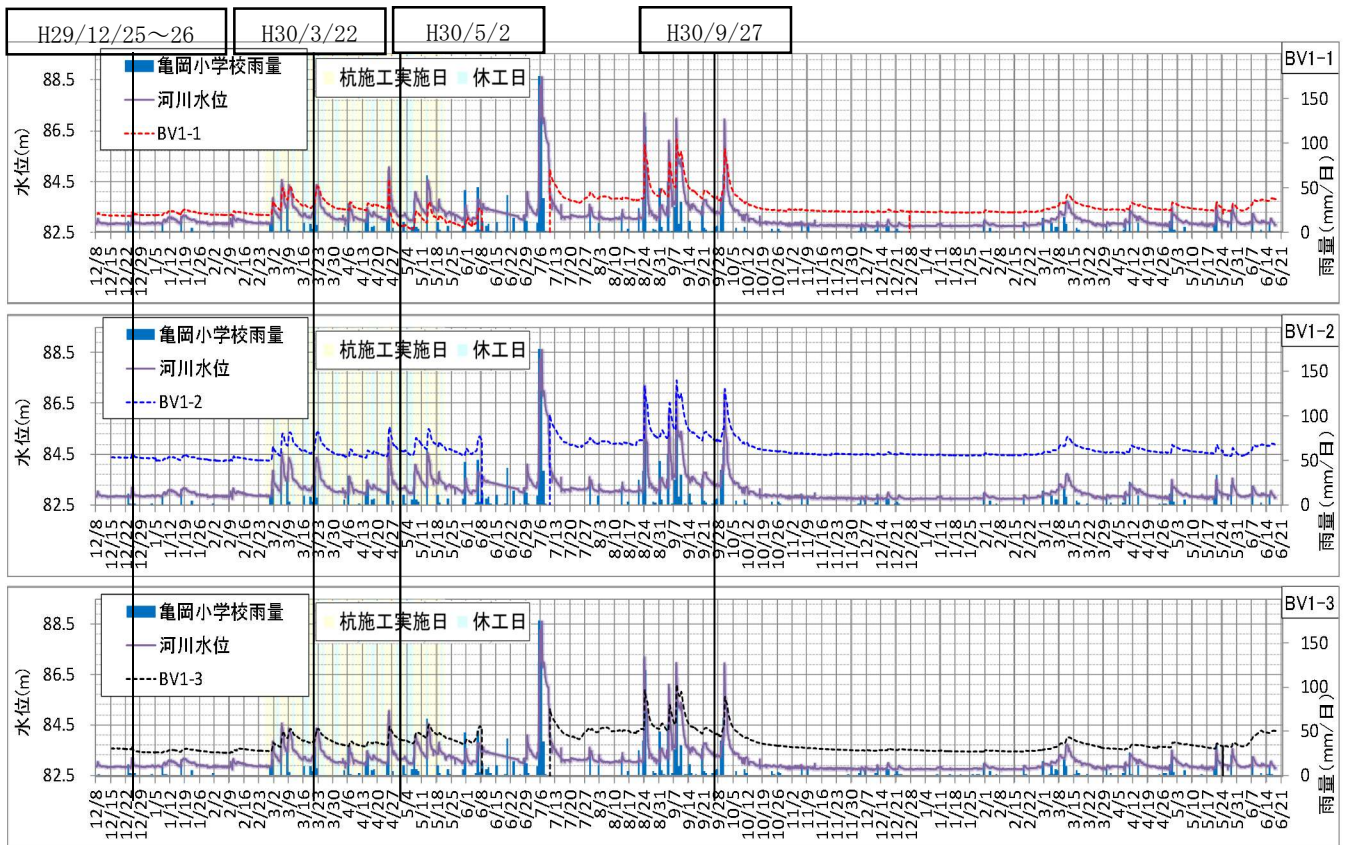


図 1-2-5 基礎杭工事前・中・後の流向・流速測定時の河川水位と地下水

1-1-3. 水質(有害物質)調査

1 調査目的

工事影響モニタリング調査のため、地下水の有害物質の基礎杭工事前、工事中及び工事後の状況を把握することを目的とした。

2 調査概要

(1) 調査場所

京都府亀岡市保津町上中島 京都スタジアム(仮称) 予定地周辺地域

(2) 調査項目

・水産用水基準及び溶解性鉄

(3) 調査位置

測定点 1点

地下水モニタリング地点のうち代表点として、1列目中央のBV1-2にて地下水を採水した。調査地点を、図1-3-1に示した。

(4) 調査日

採水日を、下記に示す。

(工事前)

平成30年1月5日(金)

(工事中1回目)

平成30年3月22日(木)

(工事中2回目)

平成30年5月2日(水)

(工事後)

平成30年9月28日(金)

(5) 調査内容

調査内容を以下に示す。

水質調査・・・水質調査 1 箇所 (BV 1-2) ×3 回

また、調査方法を表 1-3-1 に、使用機器を表 1-3-2、分析方法を表 1-3-3 に示す。

表 1-3-1 調査方法

手順	作業内容
<p><u>手順 1</u> 水位測定</p>	<p>孔内に水位計を挿入し、孔内水位および孔底深度を確認した。 孔底深度及び孔径から、孔内水の量を算出した。</p>
<p><u>手順 2</u> パージ</p>	<p>孔内にパージ用ポンプを静かに挿入し、算出した孔内水の量の 3 倍の水量を 20L ポリタンクに汲み上げた。(写真 1) 汲み上げの際、水質の変動状況として、温度を測定し、安定したのを確かめた。(写真 2)</p>
<p><u>手順 3</u> 採水</p>	<p>孔内に採水用ポンプを静かに挿入し、孔内に土が巻き上がらないよう、ポンプの出力を可能な限り落とし、ステンレスバケツに採水を行った。 採水後、各試料容器に採取した。(写真 3, 4)</p>
<p>写真 1</p> 	<p>写真 2</p> 
<p>写真 3</p> 	<p>写真 4</p> 

表 1-3-2 使用機器

項目	製造メーカー	型番
パージ用ポンプ	GRUNDFOS 社	MP1
採水用ポンプ	大起理化工業(株)	DIK-662B-B1

表 1-3-3 分析方法

項目	分析方法
水温	ガラス棒温度計（値が安定するまで挿入した）
生物化学的酸素要求量 (BOD)	隔膜電極法
化学的酸素要求量 (COD)	100°C過マンガン酸カリウムによる酸素消費量
全窒素	流れ分析法(銅・カドミウムカラム還元法)
全リン	流れ分析法
浮遊物質質量 (SS)	懸濁物質ろ過-質量測定法
溶解性鉄	No5C ろ液-ICP 質量分析法
色度(着色)	透過光測定法
大腸菌群数	最確数による定量法
油分(n-ヘキサン抽出物質)	抽出分離重量法
有害物質	
カドミウム	ICP 質量分析法
全シアン	流れ分析法
鉛	ICP 質量分析法
六価クロム	ジフェニルカルバジド吸光光度法
砒素	ICP 質量分析法
総水銀	還元気化原子吸光法
アルキル水銀	ガスクロマトグラフ法
PCB	ガスクロマトグラフ法
ジクロロメタン	ヘッドスペース-GC/MS 法
四塩化炭素	ヘッドスペース-GC/MS 法
1, 2-ジクロロエタン	ヘッドスペース-GC/MS 法
1, 1-ジクロロエチレン	ヘッドスペース-GC/MS 法
シス-1, 2-ジクロロエチレン	ヘッドスペース-GC/MS 法
1, 1, 1-トリクロロエタン	ヘッドスペース-GC/MS 法
1, 1, 2-トリクロロエタン	ヘッドスペース-GC/MS 法
トリクロロエチレン	ヘッドスペース-GC/MS 法
テトラクロロエチレン	ヘッドスペース-GC/MS 法
1, 3-ジクロロプロペン	ヘッドスペース-GC/MS 法
ベンゼン	ヘッドスペース-GC/MS 法
チラウム	個相抽出-HPLC 法
シマジン	個相抽出-GC/MS 法
チオベンカルブ	個相抽出-GC/MS 法
セレン	ICP 質量分析法
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	流れ分析法
ふっ素	流れ分析法
ほう素	ICP 質量分析法
1, 4-ジオキサン	ヘッドスペース-GC/MS 法

3 調査結果

調査結果を、表 1-3-4 に示す。

全窒素、全リン、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素を除くと、概ね検出限界値以下（ND）又は検出限界値に近い値であった。また、基礎杭工事前（平成 30 年 1 月 5 日）と基礎杭工事中（平成 30 年 3 月 22 日、5 月 2 日）、基礎杭工事後（平成 30 年 9 月 28 日）を比較しても、特に差異は見られなかった。

表 1-3-4 水質(有害物質)分析結果

採水日	工事前		工事中		工事後		単位	検出限界値
	H30/1/5 BV1-2	H30/3/22 BV1-2	H30/5/2 BV1-2	H30/9/28 BV1-2				
水温	15.8	15.2	16	17.7				
生物化学的酸素要求量(BOD)	0.6	0.8	ND	1.0	mg/L	0.5		
化学的酸素要求量(COD)	ND	0.7	ND	1.1	mg/L	0.5		
全窒素	0.34	0.33	0.4	0.83	mg/L	0.01		
全リン	0.017	0.043	0.013	0.021	mg/L	0.005		
浮遊物質(SS)	2	12	ND	ND	mg/L	1		
溶解性鉄	0.01	0.03	ND	ND	mg/L	0.01		
色度(着色)	ND	0.6	1.2	ND	度	0.5		
大腸菌群数	13	70	2	ND	MPN/100mL	2		
油分(n-ヘキサン抽出物質)	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.5		
有害物質								
カドミウム	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0003		
全シアン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.1		
鉛	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001		
六価クロム	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.02		
砒素	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001		
総水銀	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0005		
アルキル水銀	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0005		
PCB	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0005		
ジクロロメタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.002		
四塩化炭素	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0002		
1,2-ジクロロエタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0004		
1,1-ジクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.002		
シス-1,2-ジクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.004		
1,1,1-トリクロロエタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001		
1,1,2-トリクロロエタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0006		
トリクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001		
テトラクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001		
1,3-ジクロロプロペン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0002		
ベンゼン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001		
チウラム	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0006		
シマジン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0003		
チオベンカルブ	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.002		
セレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001		
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	0.28	0.29	0.33	0.72	mg/L	0.01		
ふっ素	ND	0.1	ND	0.17	mg/L	0.08		
ほう素	0.03	0.02	0.02	0.03	mg/L	0.02		
1, 4-ジオキサン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.005		

※：ND は検出限界以下を示す。

※：網掛けは水産用水基準を超えた項目

4 考察

評価基準については、アユモドキ等の生物への影響を軽減するため、水産用水基準としている。既往結果を含めた水質(有害物質)分析結果と水産用水基準等の比較を表1-3-5に示す。

全窒素と全リンを除く水質項目は、既往調査も含めた計4回の調査で水産用水基準以下であった。工事後も全窒素と全リンの計測値は引き続き水産用水基準以上であり、平成28年12月20日に既存の観測孔で計測された全窒素も比較的值が高かった(表1-3-6、図1-3-2)。この理由として、当該地域が元々農地だったことから、全窒素と全リンが水産用水基準以上であったと考えられる。

BV1-2では、工事中の色度(着色)が若干上昇傾向であったが、工事後は検出限界値以下となったため、通常の変動範囲内である可能性が高いと考えられた。

色度(着色)を除く水質項目は、工事前・工事中・工事後で顕著な傾向がみられなかった。

表 1-3-5 水質(有害物質)分析の水質基準等との比較

採水日	工事前				工事中				工事後				単位	検出限界値	水質基準等	
	H30/1/5 BV1-2	H30/3/22 BV1-2	H30/5/2 BV1-2	H30/9/28 BV1-2	H30/1/5 BV1-2	H30/3/22 BV1-2	H30/5/2 BV1-2	H30/9/28 BV1-2	H30/1/5 BV1-2	H30/3/22 BV1-2	H30/5/2 BV1-2	H30/9/28 BV1-2			基準値等	基準名
水温	15.8	15.2	16	17.7											水産生物に悪影響を及ぼすほどの水温の変化がないこと	水産用水基準
生物化学的酸素要求量(BOD)	0.6	0.8	ND	1.0	mg/L	0.5	2mg/L以下	水産用水基準(河川、自然繁殖)								
化学的酸素要求量(COD)	ND	0.7	ND	1.1	mg/L	0.5	2mg/L以下	水産用水基準(湖沼、自然繁殖)								
全窒素	0.34	0.33	0.4	0.83	mg/L	0.01	0.2mg/L以下	水産用水基準(湖沼、サケ・アユ)								
全リン	0.017	0.043	0.013	0.021	mg/L	0.005	0.01mg/L以下	水産用水基準(湖沼、サケ・アユ)								
浮遊物質(SS)	2	12	ND	ND	mg/L	1	5mg/L以下	水産用水基準(河川、人為的)								
溶解性鉄	0.01	0.03	ND	ND	mg/L	0.01	10mg/L(許容限度)	一律排水基準(その他の項目)								
色度(着色)	ND	0.6	1.2	ND	度	0.5	光合成に必要な光の通過が妨げられないこと。避避行動の原因とならないこと。	水産用水基準								
							5度以下	水道水質基準								
大腸菌群数	13	70	2	ND	MPN/100mL	2	1,000MPN/100mL以下	水産用水基準(河川)								
油分(n-ヘキサン抽出物質)	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.5	水中には油分が検出されないこと。水面に油膜が認められないこと。	水産用水基準								
有害物質								水産用水基準(人の健康の保護に関する環境基準)								
カドミウム	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0003	0.003mg/L以下									
金シアン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.1	検出されないこと									
鉛	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001	0.01mg/L以下									
六価クロム	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.02	0.05mg/L以下									
砒素	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001	0.01mg/L以下									
総水銀	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0005	0.0005mg/L以下									
アルキル水銀	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0005	検出されないこと									
PCB	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0005	検出されないこと									
ジクロロメタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.002	0.02mg/L以下									
四塩化炭素	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0002	0.002mg/L以下									
1,2-ジクロロエタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0004	0.004mg/L以下									
1,1-ジクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.002	0.1mg/L以下									
シス-1,2-ジクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.004	0.04mg/L以下									
1,1,1-トリクロロエタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001	1mg/L以下									
1,1,2-トリクロロエタン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0006	0.006mg/L以下									
トリクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001	0.01mg/L以下									
テトラクロロエチレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001	0.01mg/L以下									
1,3-ジクロロプロペン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0002	0.002mg/L以下									
ベンゼン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001	0.01mg/L以下									
チウラム	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0006	0.006mg/L以下									
シマジン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.0003	0.003mg/L以下									
チオベンカルブ	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.002	0.02mg/L以下									
セレン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.001	0.01mg/L以下									
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	0.28	0.29	0.33	0.72	mg/L	0.01	10mg/L以下									
ふっ素	ND	0.1	ND	0.17	mg/L	0.08	0.8mg/L以下									
ほう素	0.03	0.02	0.02	0.03	mg/L	0.02	1mg/L以下									
1,4-ジオキサン	ND	ND	ND	ND	mg/L	0.005	0.05mg/L以下									

※：NDは検出限界以下を示す。

※：網掛けは水産用水基準を超えた項目

表 1-3-6 既存観測孔(駅北シリーズ)の全窒素計測値(計測日:H28.12.20)

孔名	駅北府No.1	駅北府No.2	駅北府No.3	駅北府No.4	駅北No.1	駅北No.2	駅北No.2'	駅北No.3	駅北No.4
全窒素 mg/L	0.2	0.3	1.1	1.6	<1	<1	<1	<1	<1

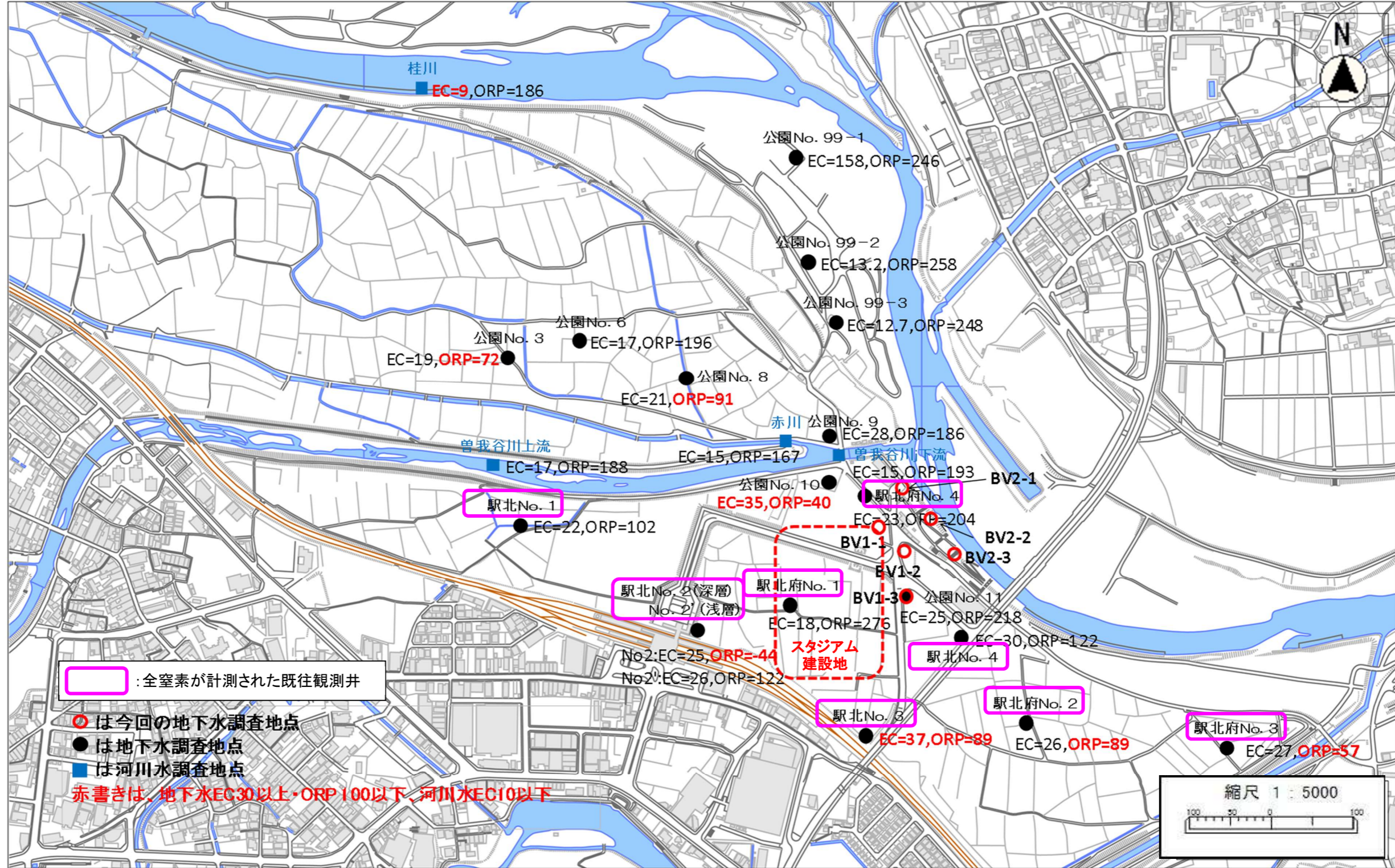


図 1-3-2 駅北観測孔の位置図

1-1-4. 桂川流量観測

1 調査目的

基礎杭による地下水流出量の変化を把握するため、桂川及び支川の流量調査を実施した。

2 調査概要

(1) 調査位置

流量観測側線位置図を図 1-4-1 に示す。調査範囲は、雑水川から七谷川までの桂川本川区間とし、途中流入する支川として、桂川本川の外、曾我谷川、愛宕谷川、北谷川、七谷川の 4 支川について観測を行った。

調査断面は既往調査報告書（亀岡市の地下水）を参考に検討した。

桂川本川については、①七谷川・北谷川合流部の上流、②七谷川・北谷川合流部の下流、③曾我谷川合流部の下流、④遊船船着き場（湧水箇所）の下流の 4 断面で調査を行うことで、特に、遊船船着き場付近の湧水量について把握できる断面配置とした。

また、支川について、既往調査当時は、北谷川と七谷川は合流した後で桂川に合流していたため、支川合流後の断面で調査が行われていたが、現在は桂川に伸びる砂州が消失し、それぞれ直接桂川に合流している状況が観察されたことから（写真 1-4-1）、当初想定されていた 7 断面に、北谷川の 1 断面を追加して観測を行うこととした。

以上の検討の結果、桂川本川で 4 測線、各支川で 1 測線ずつ（計 4 測線）の合計 8 側線で調査を実施した。

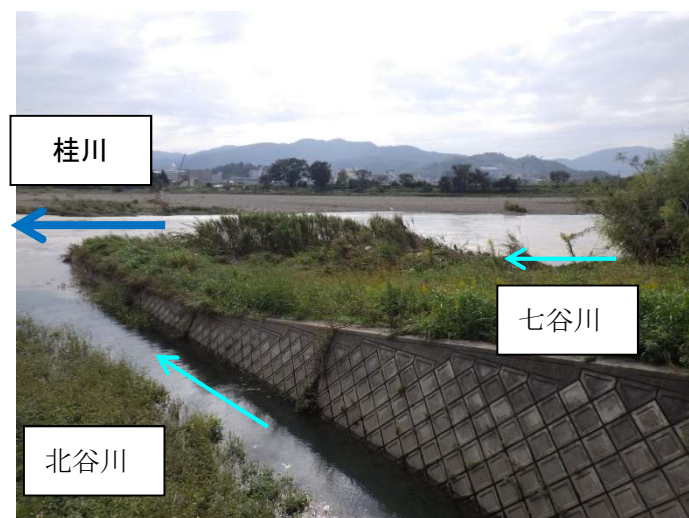


図 1-4-1 七谷川・北谷川合流状況（撮影日 H29. 12. 22 成果品より）

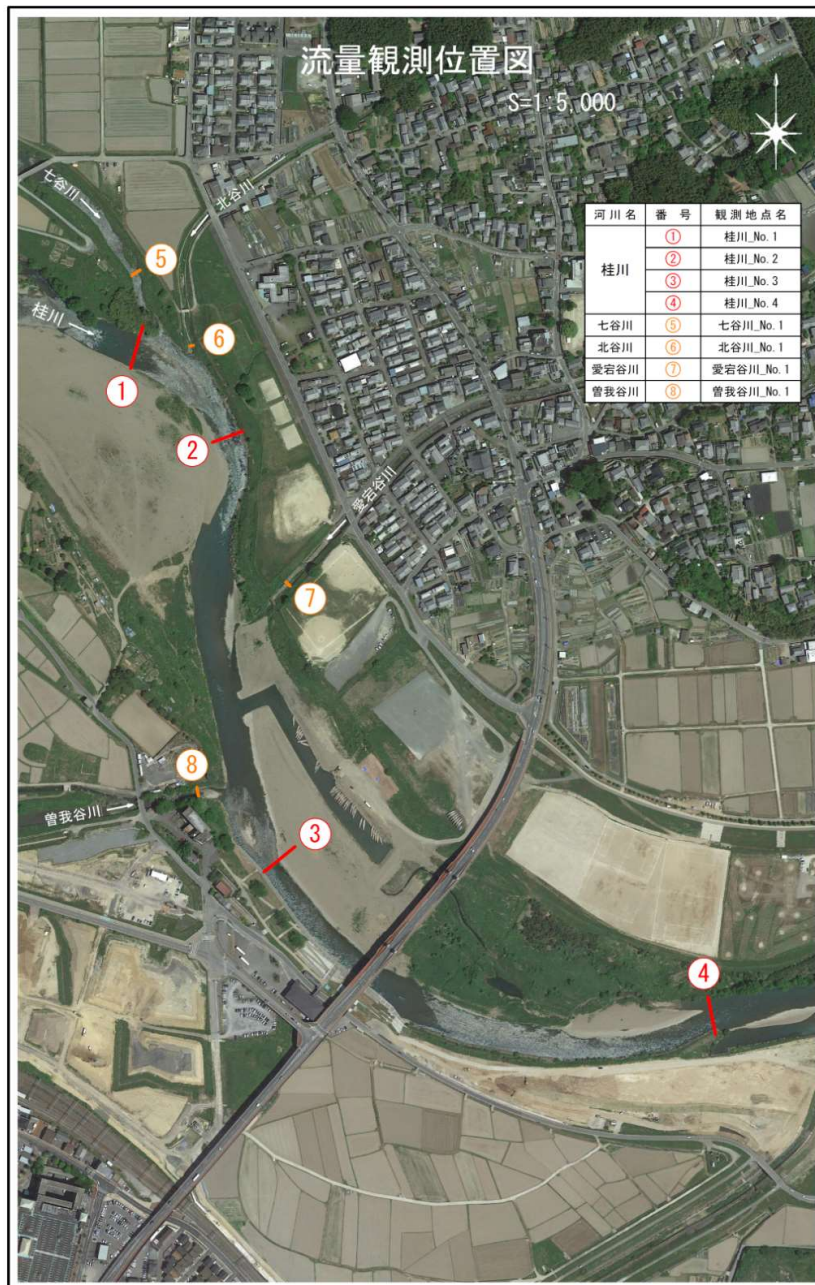


図 1-4-2 流量観測位置図 (撮影日 H29. 5. 19 成果品より)

(2) 調査日

調査日を、下記に示す。

(工事前)

平成 29 年 12 月 22 日 (金)

(工事中 1 回目)

平成 30 年 4 月 4 日 (水)

(工事中 2 回目)

平成 30 年 5 月 22 日 (火)

(工事後)

平成 30 年 9 月 28 日 (金)

(3) 調査方法

「亀岡市の地下水」「河川砂防技術基準（案）」に準拠し、以下の方法で観測を実施した。

観測方法は、河川砂防技術基準（案）における流量観測法に準拠し、以下に示す間隔で河川横断線を水深測線と流速測線に分割した。

- ・水深測線間隔 : 基本として水面幅の 10%
- ・流速測線間隔 : 基本として水面幅の 20%

水深測線上で水深、流速測線で流速を測定した。測定回数は以下の通りとした。

- ・水深測定回数 : 往復して同一横断測線上を 2 回
- ・流速測定回数 : 各測点において続けて 2 回

流速に、測定した水深から求めた断面積をかけることによって、河川流量とした。

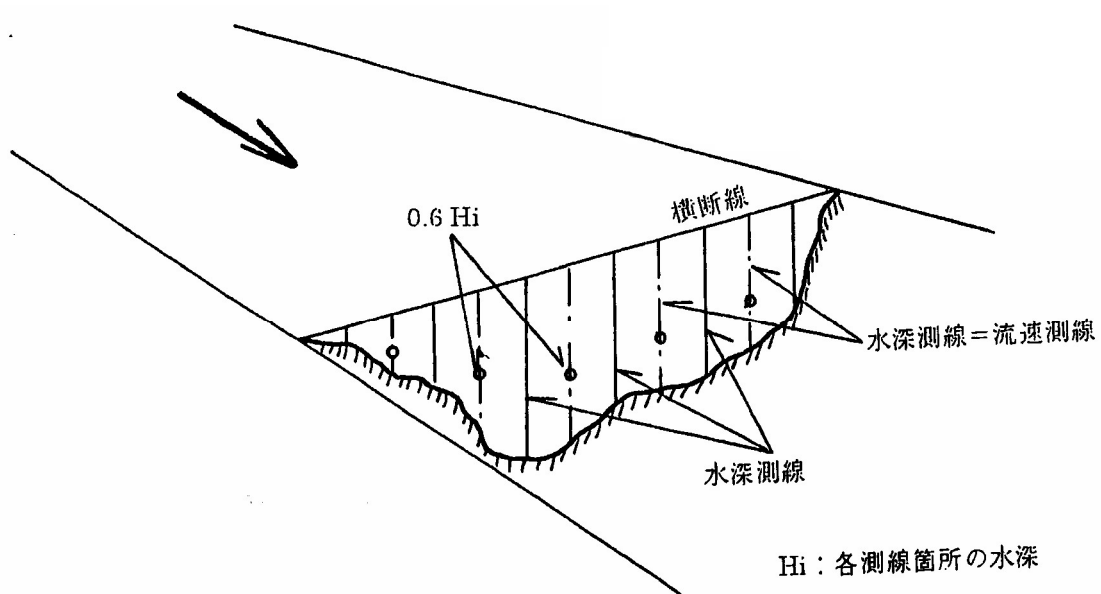


図 1-4-3 水深測線と流速測線の配置（建設省水文研究会、2002）

3 流量観測結果

(1) 観測結果

観測結果を表 1-4-1、図 1-4-3 に示す。観測の結果、12 月調査時には、本川の流量はほぼ一定であったが、4 月調査及び 5 月調査時は、地点③で流量が減少し、地点④で流量が回復する傾向がみられた。

表 1-4-1 既存調査結果及び今回調査の流量観測結果

調査日	流量 (m ³ /s)							
	①	②	③	④	七谷川	北谷川	愛宕谷川	曾我谷川
H29/12/22	7.22	7.65	8.33	7.41	1.38	0.01	0.02	0.23
H30/4/4	10.04	11.82	8.59	10.72	0.77	0.04	0.09	0.27
H30/5/22	15.33	19.99	13.97	18.81	3.85	0.18	0.16	0.43
H30/9/28	21.59	26.60	26.46	24.40	1.37	0.09	0.19	0.60

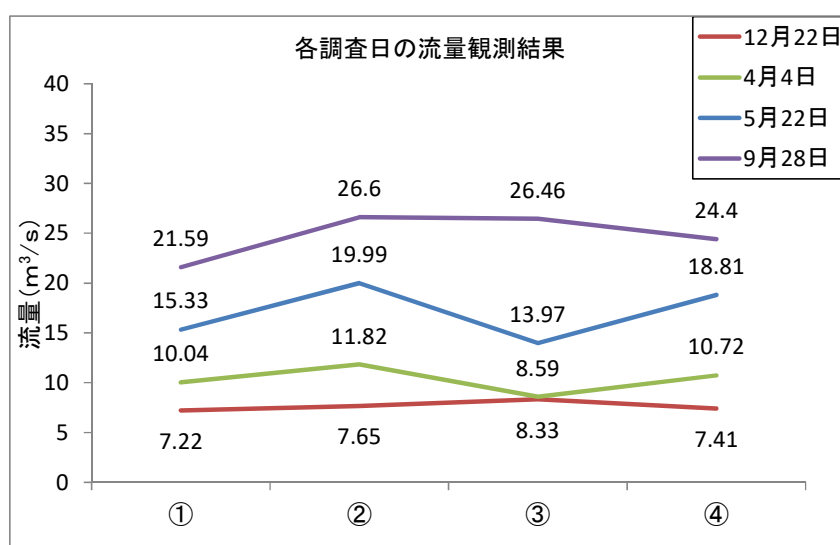


図 1-4-4 桂川本川の流量観測結果

(1) 地下水寄与分の算出

河川水が地下に浸透している地点では、河川流量は減少する。逆に地下水が河川に湧出している地点では、河川流量は増加する。この原理を用いて、桂川本川への地下水寄与分の湧出量を求めた。地下水寄与分の計算は、以下の式により求めた。地下水寄与率が正であれば地下水の湧出量が河川の涵養量より多いことを示し、負であれば河川から地下への涵養量が多いことを示す。

$$\text{地下水寄与分 (X+1)} = \text{本川流量 (X+1)} - \text{本川流量 (X)} - \text{支川流量}$$

※X は地点番号を示す。X+1 は X の 1 つ下流側の地点である。

計算の結果、平成 29 年 12 月調査時は①-②間で河川からの涵養量が多く、②-③間で地下水の湧出量が若干多かった。また、③-④間の涵養量が多かった。

一方、平成 30 年 4 月、5 月調査時には、①-②間および③-④間の地下水の湧出量が多く、平成 30 年 9 月調査時は、①-②間で地下水の湧出量が多く、②-③間および③-④間では涵養量が多かった。

表 1-4-2 各調査地点間の地下水寄与分の結果

調査日	地下水寄与分(m ³ /s)		
	①-②間	②-③間	③-④間
H29/12/22	-0.96	0.43	-0.92
H30/4/4	0.97	-3.59	2.13
H30/5/22	0.63	-6.61	4.84
H30/9/28	3.55	-0.93	-2.06

※赤セル：湧出を示す、青セル：涵養を示す

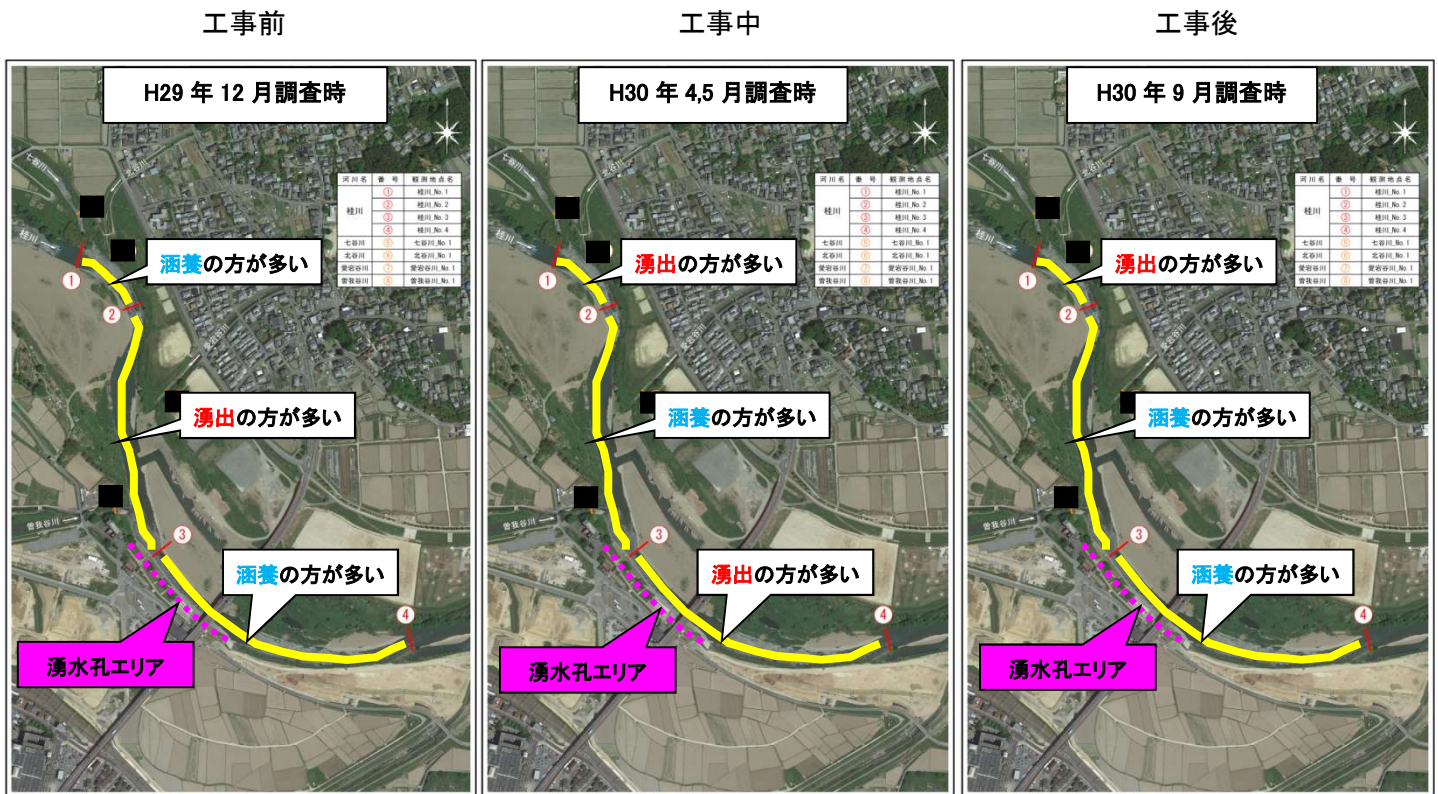


図 1-4-5 各調査地点間の地下水寄与分の季節別変化（撮影日 H29. 5. 19 成果品より）

4 考察

河川流量調査と矢板護岸湧水量の関係を確認するため、河川流量、矢板護岸推定総湧水量、日平均河川水位、日平均地下水位を表 1-4-3 において、整理を行った。

矢板護岸湧水孔からの湧水量が含まれる③-④間について、河川流量と矢板護岸推定総湧水量を比較した場合、工事中の H30/4/4 は、湧出状態となっており、その時の矢板護岸推定総湧水量は、7,436ml/s、工事後の H30/9/28 は、涵養状態となっており、その時の矢板護岸推定総湧水量は、9,553ml/s となっていた。

また、その時の河川水位と地下水位の水位差を見ると工事中の H30/4/4 は、0.86m、工事後の H30/9/28 は、1.05m となっていた。一般的に河川水位より地下水位の方が高くその水位差が大きいほど動水勾配が大きくなり、地下水の湧出量が増加するとされているが、河川流量調査結果と比較した場合、水位差が小さい時に湧出、水位差が大きい時に涵養となっており、逆転現象が生じていた。

調査結果から、矢板護岸湧水量は、河川流量との関係は低いと考えられる。

表 1-4-3 河川流量、矢板護岸推定総湧水量、日平均河川水位と日平均地下水位の関係

項目	工事前	工事中	工事後				
	H29/12/22	H30/4/4	H30/5/22	H30/9/28	H30/11/20	H31/2/28	
③-④間の 地下水寄与分	涵養 (-0.92)	湧出 (2.13)	湧出 (4.84)	涵養 (-2.06)	-	-	
矢板護岸の 推定総湧水量	-	7,436ml/s	-	9,553ml/s (9/27 値)	11,666ml/s	8,218ml/s	
日平均河川水位	82.82m	82.97m	83.17m	83.28m (9/27 値)	82.77m	82.91m	
日平均 地下水位	BV1-1	83.2m	83.4m	82.9m	83.8m (9/27 値)	83.3m	83.4m
	BV1-2	84.4m	84.4m	84.7m	85.1m (9/27 値)	84.5m	84.5m
	BV1-3	83.5m	83.7m	84.0m	84.1m (9/27 値)	83.5m	83.5m
平均水位差	0.88m	0.86m	0.67m	1.05m (9/27 値)	1.00m	0.89m	

1-1-5. 桂川護岸矢板湧水調査

1 調査目的

桂川(保津工区)の河川改修一期工事及び二期工事箇所の矢板護岸に空けた水通孔からの湧水について、アユモドキ越冬環境の評価のための基礎資料として、湧水量及び水質の調査を実施した。

2 調査概要

(1) 調査日程及び調査範囲

現地調査項目と現地調査日を表 1-5-1 に示す。図 1-5-1 に示す範囲で、定性調査は全 427 箇所を実施し、定量調査は 427 箇所のうち過年度から継続的に実施されている孔を 14 箇所選定し実施した。水質調査は定量調査箇所と同じ 14 箇所で行った。

また、湧水の流速を連続観測するために、矢板の湧水孔のうち、過年度から湧出量が多く、今回の事前調査でも湧出量が多かった上流側の矢板 I 湧水孔(1 箇所)で湧水観測装置を設置し観測を行った。

表 1-5-1 調査項目と実施日

調査項目		工事前	工事中	工事後
湧水調査	定性調査(427 箇所)	平成 29 年 11 月 14 日	平成 30 年 4 月 4 日	平成 30 年 9 月 27 日
	定量調査(14 箇所)			11 月 20 日
	水質調査(14 箇所)			平成 31 年 2 月 28 日
	湧水流速観測(1 箇所)	観測期間 平成 29 年 11 月 30 日～平成 30 年 6 月 8 日		

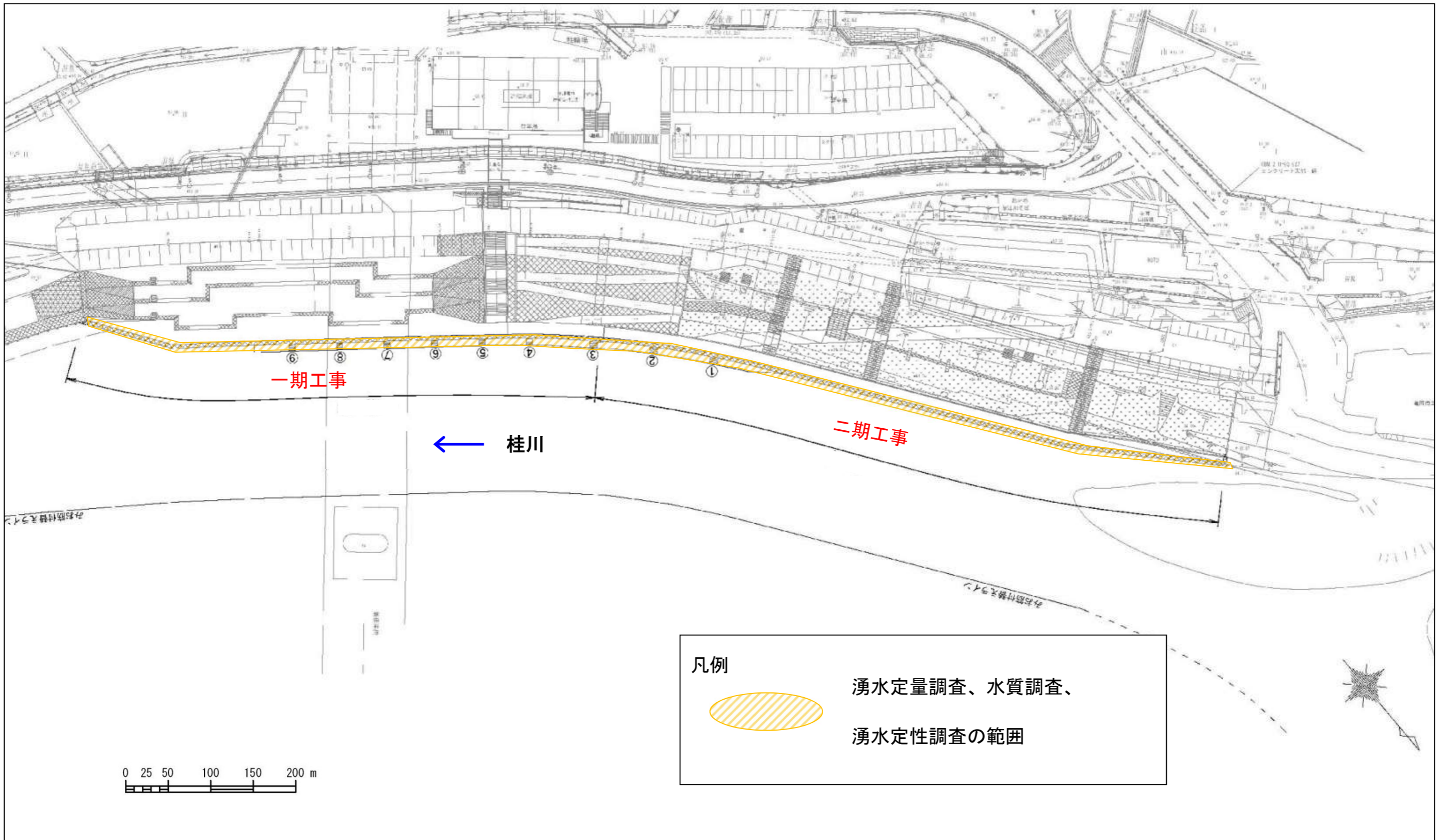


図 1-5-1 湧水調査範囲図

(2) 調査方法

1) 湧水定性調査

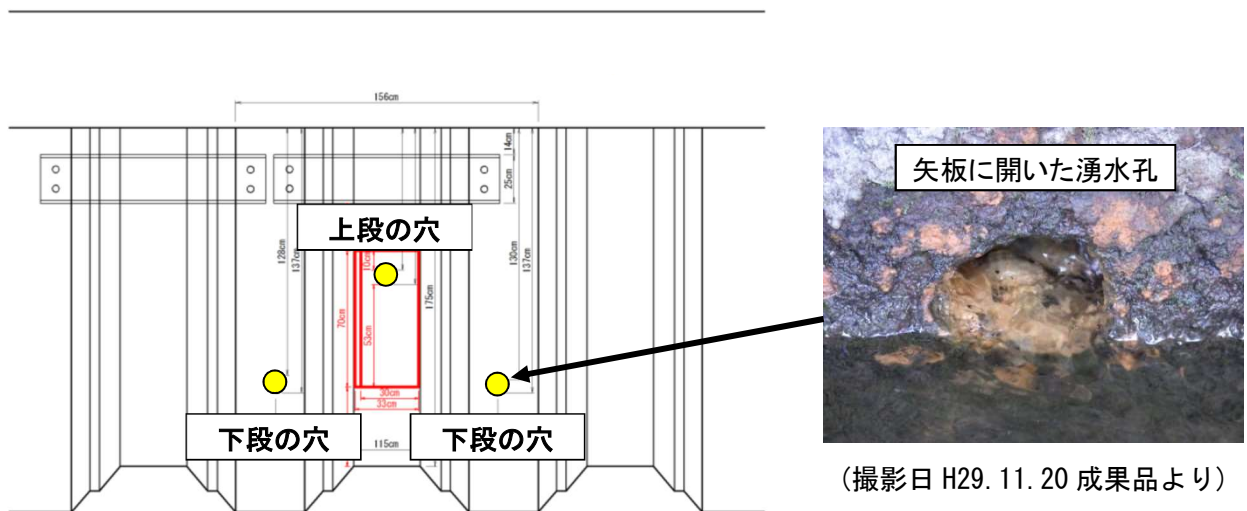
矢板水通孔の湧水流量を感覚的に5段階で記録すると同時に、水通孔の開口閉塞の状況(吸出し防止材の破れ等)も記録した。

表 1-5-2 湧水定性調査内容

調査項目	確認項目	概要
定性調査	①デッキの有無	有/無
	②袋石根固めの有無	1-2段/1段/2段/無
	③矢板No	矢板a~ar
	④孔の位置	上/下
	⑤吸出防止材	通/塞/不明
	⑥湧出状況	ない/少ない/やや少ない/やや多い/多い 埋没(流量不明)/埋没(流量多い)/袋裏(流量不明)



図 1-5-2 湧水定性調査の様子 (撮影日 H29. 11. 14 成果品より)



(撮影日 H29. 11. 20 成果品より)

図 1-5-3 矢板に開いた湧水孔の模式図

2) 湧水定量調査

代表となる湧水流量の水通孔（14 箇所）について、湧水量を簡易的に測定した。測定はビニール袋を用いて、袋に一定量の水が溜まるまでの秒数を測定し、溜まった水の容量を測定することで毎秒の流量を算出した。値は3回程度測定した結果を平均した。なお、経年比較するために代表孔は過年度調査地点と同様の孔を選定した。

表 1-5-3 湧水定量調査内容

調査項目	確認項目	概要
定量調査	湧水量の測定	各孔3回程度測定



図 1-5-4 湧水定量調査の様子（左：採水、右：計測）（撮影日 H29. 11. 14 成果品より）

3) 湧水水質調査

矢板水通孔の代表箇所（14 箇所）、及び近傍の河川水、根固め終端部の湧水箇所及び近傍の河川水について、水温、溶存酸素量、酸化還元電位、電気伝導度を携帯型多項目水質計により計測した。

表 1-5-4 湧水定量調査内容

調査項目	確認項目	概要
水質調査	水質の測定	水温、溶存酸素濃度、酸化還元電位、電気伝導度



図 1-5-5 湧水水質調査の様子

4) 湧水流量観測

矢板の湧水孔のうち、過年度から湧出量が多く、今回の事前調査でも湧出量が多かった上流側の矢板 I 湧水孔で湧水観測装置を設置し観測を行った。湧水観測装置では、湧水孔から出た湧水を周辺に漏れないよう観測管に導き、その流速を、流速センサーを用いて常時観測することで、湧水量を図る構造となっている。流速センサーのデータは、河川堤防に養生・埋設し、堤防上に設置した双方向監視システムから通信により常時監視できる状況とした。



図 1-5-6 湧水観測装置の様子（左：矢板 I 湧水孔、中央：設置した観測装置、右：観測管）
（撮影日 左：H29. 11. 20、中央・右：H29. 11. 14 成果品より）

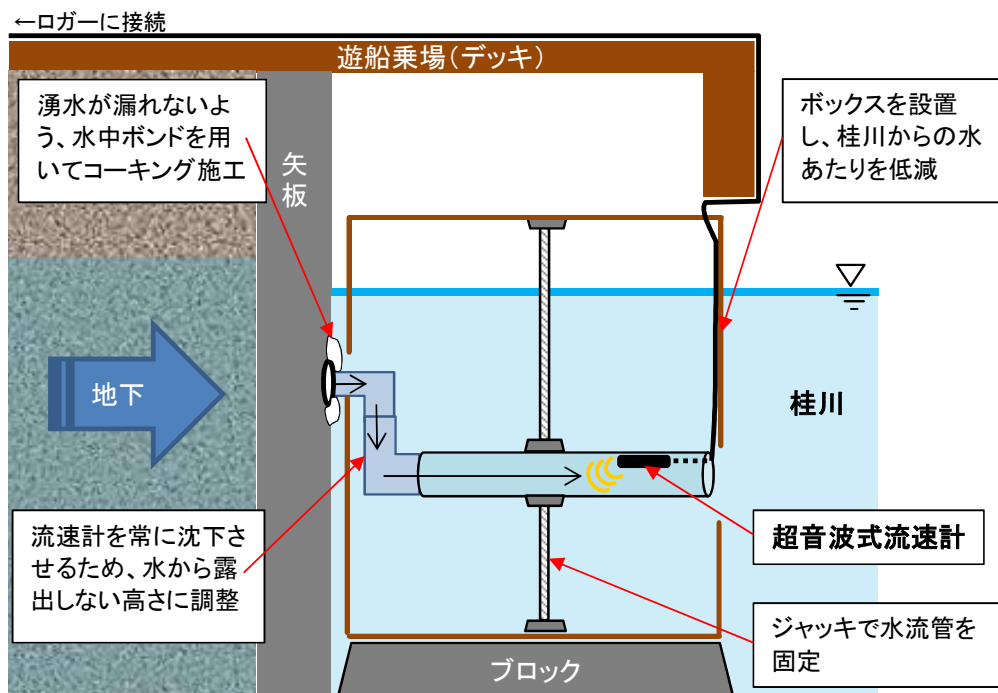


図 1-5-7 装置の模式図

表 1-5-5 流速計の仕様

型式	RT720F-1V 型 通信型流速計
項目	浸透流流速
測定方式	ドップラーシフト周波数計測方式
測定範囲	0.005~3.0m/s
電源	DC12V



図 1-5-8 流速計写真

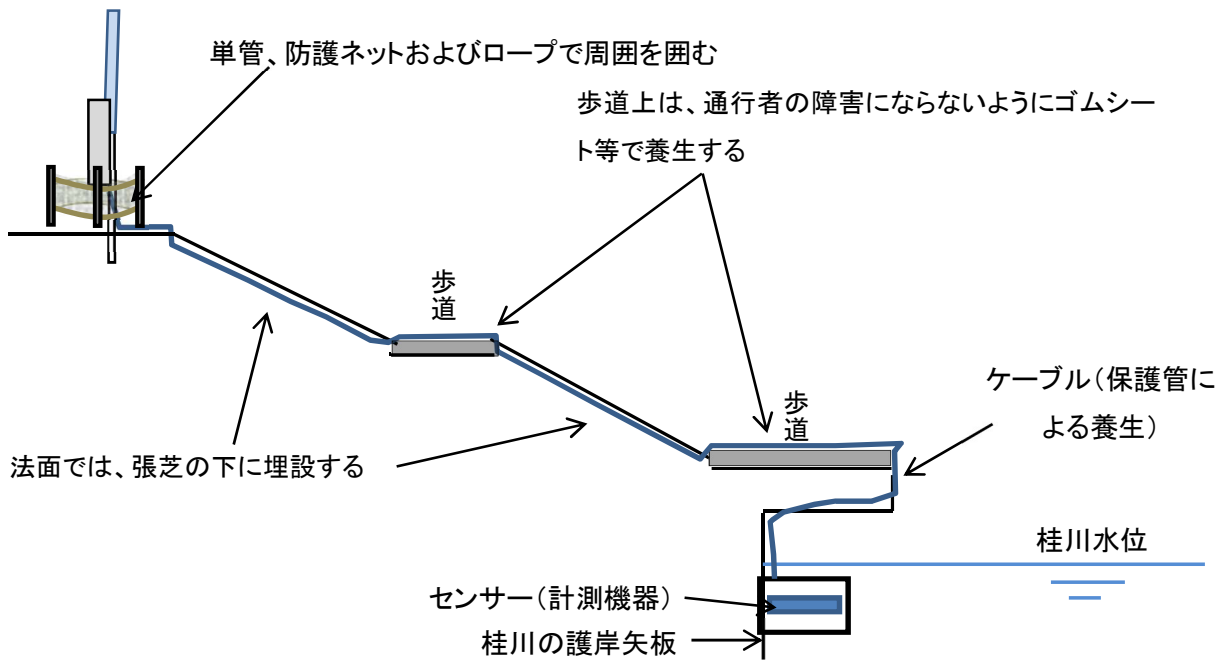


図 1-5-9 湧水観測装置設置側面図

3 モニタリング調査結果

(1) 湧水定性調査

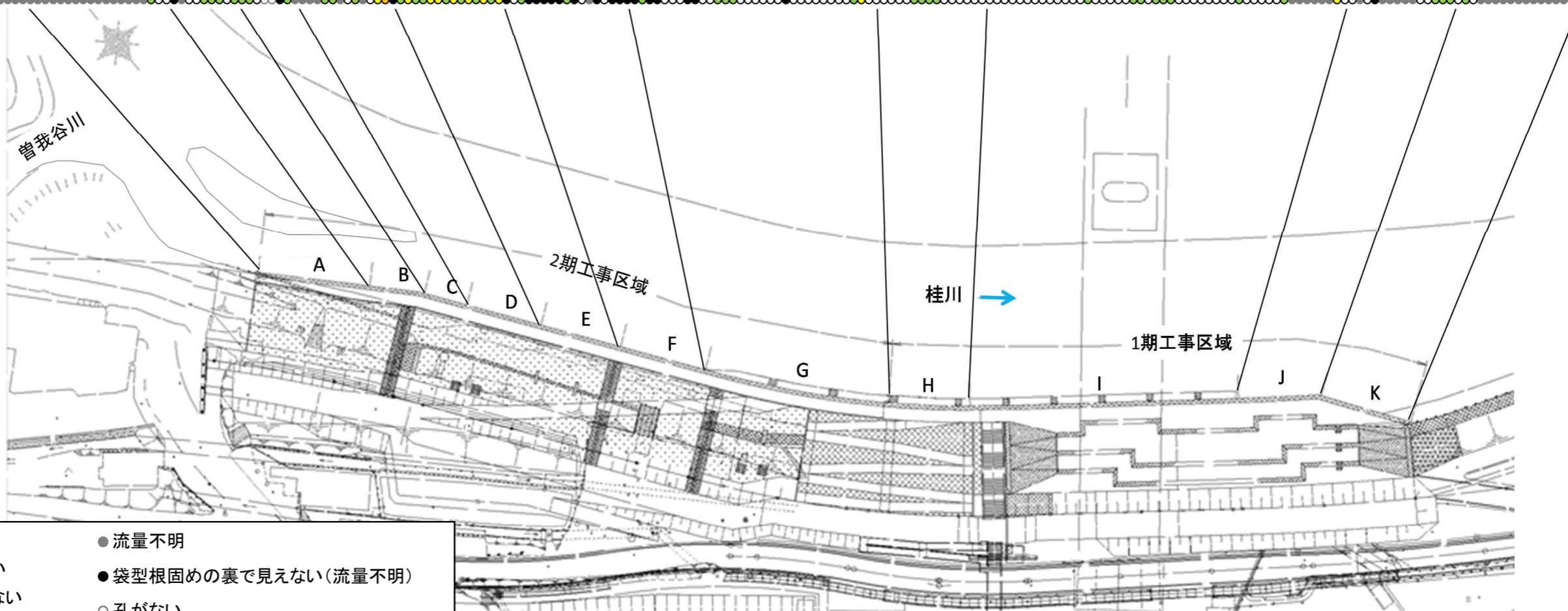
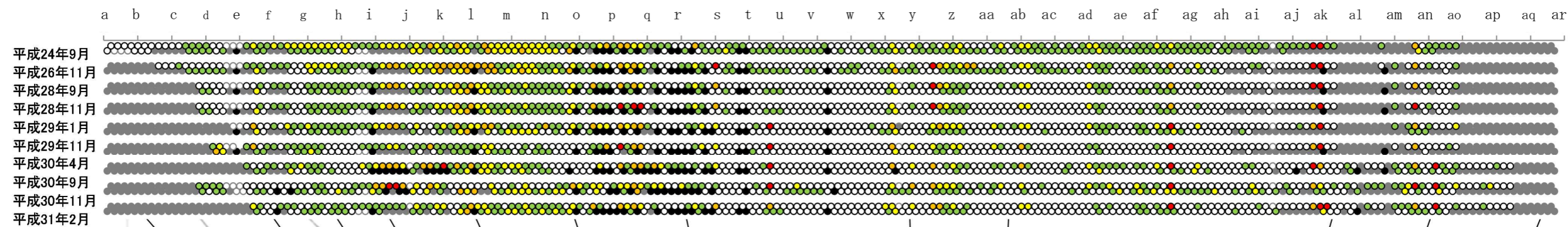
湧水量について工事直前の平成 29 年 11 月 14 日の調査結果と工事後の調査結果を比較すると、「流量多い～流量やや多い」が、工事前 20 箇所に対して工事後が 15～21 箇所、流量やや少ない～流量少ないが、工事前 107 箇所に対して工事後が 111～146 箇所、流量ないが、工事前 158 箇所に対して工事後が 167～194 箇所であり、工事前と工事後の流出箇所数は同程度であった。

図 1-5-10 湧水定性調査経年変化より、上流側矢板 e 付近～矢板 o 付近の区間は、経年的な変化はあまりないが、下流側の矢板 x 付近～矢板 ak 付近の区間では、平成 31 年 2 月調査時に流出している箇所数の若干の低下が見受けられた。

全体的に湧水は、工事前の状態が維持されているものと考えられた。

表 1-5-6 定性調査結果の経年変化

判定	工事前						工事中	工事後				
	H24		H26		H28			H29		H30		H31
	9/13, 9/14	11/17, 11/18	9/12	11/21	1/13	11/14		4/4	9/27	11/20	2/28	
流量多い	4	2	4	3	6	4	4	5	6	4		
流量やや多い	10	11	27	12	10	16	10	16	12	11		
流量やや少ない	54	64	37	25	23	35	16	24	51	27		
流量少ない	119	168	111	88	84	72	62	77	95	89		
流量ない	111	72	121	166	171	158	196	194	167	183		
流量不明	99	87	100	106	106	119	113	76	67	87		
袋型根固めの裏で見えない (流量不明)	24	14	20	20	20	18	19	33	20	21		
孔がない	6	9	7	7	7	5	7	2	9	5		
計	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427		



- | | |
|-----------|----------------------|
| ● 流量多い | ● 流量不明 |
| ● 流量やや多い | ● 袋型根固めの裏で見えない(流量不明) |
| ● 流量やや少ない | ○ 孔がない |
| ● 流量少ない | |
| ○ 流量ない | |

図 1-5-10 湧水定性調査経年変化

(2) 湧水定量調査

工事後のモニタリング調査の結果を表 1-5-7 に示す。

矢板 C、矢板 J、矢板 K、矢板 M、矢板 S では湧水量が工事前より減少傾向であり、矢板 O、矢板 T では湧水量が増加傾向であった。

湧水量は、調査年度によってバラツキがあり、今回の調査でも同様の結果となっている。湧水量の増減はあるものの、湧水環境は維持されているものと考えられた。

表 1-5-7 定量調査結果の経年変化

調査日 矢板番号	工事前		工事中				工事後		H31	
	H24	H26	H28		H29		H30			
	9/13, 9/14	11/17, 11/18	9/12	11/21	1/13	11/14	4/4	9/27	11/20	2/28
A	17.0									
B	61.8									
C	18.6		24.8	- ※	- ※	122.6	373.4	- ※	- ※	98.9
D	7.8									
E	15.4									
F	45.7									
G	53.0									
H		167.0	171.5	157.3	103.4	54.5	118.8	- ※	- ※	- ※
I			1174.6	687	682.7	255.8	444.2	178.8	44.0	279.6
J			578	455.9	460.3	303.3	350.6	306.1	170.1	124.1
K	186.0		266.7	397.3	422	178.1	254.8	155.1	74.1	47.1
L	91.8									
M	445.7	94.0	226	241.8	211.4	104.6	162.2	122.1	71.6	70.5
N	506.4									
O		47.0	28.7	- ※	19.2	- ※	24.0	27.8	159.3	81.9
P		3.0								
Q			547.6	171.6	445.2	575.5	89.9	282.5	286.9	283.5
R			89.1	101	57.5	55.7	49.3	37.9	26.6	37.5
S	194.5		124.6	24	13.1	34.0	45.8	17.1	15.7	- ※
T	38.6	44.0	267.5	337.2	345.2	502.7	733.5	1060.0	1134.7	715.5
U	39.0									
V	601.4	547.0	1010.5	935.4	100	239.1	306.8	497.8	281.0	166.1
W	1,567.4	546.0	904.3	423.6	354.8	701.4	977.5	140.8	50.1	492.5
X	6.9									
Y	177.4	191.0	306.2	457.6	514.7	293.8	177.8	368.7	453.5	154.7
Z		9.0								

- : 流量多い (400mL/s~)
- : 流量やや多い (100mL/s~399.9mL/s)
- : 流量やや少ない (20mL/s~99.9mL/s)
- : 流量少ない (~19.9mL/s)

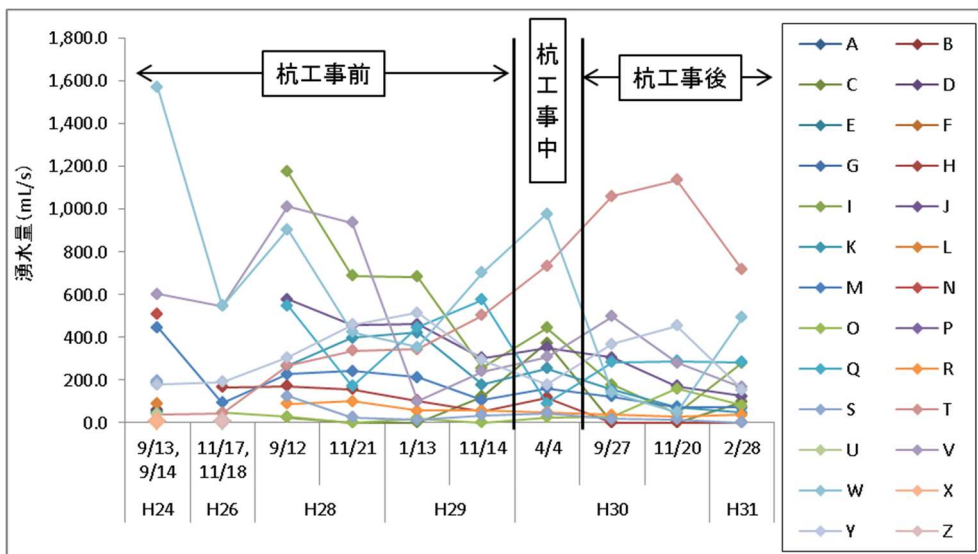


図 1-5-11 定量調査結果の経年変化

(3) 湧水水質調査

工事後モニタリング調査の結果、工事前・工事中と比べると全体的に溶存酸素の値が低い結果であった。一般的に地下水の溶存酸素の値は低いことが知られ、別途実施している地下水観測孔モニタリング結果でも、当地域の地下水の溶存酸素は河川水よりも低い値であった。

H29年度に実施されたBV1-1～BV2-3の6孔の地下水モニタリングでは、降雨後1週間の期間に河川水位の変化とともに地下水の水質が変化していた。湧水の水質調査日から1週間前の日積算降雨量と河川水位(図1-5-12)をみると、最も河川水の影響を受けていると想定された平成30年9月調査時の溶存酸素は低く、降雨と河川水の変化がほとんどない平成30年11月や平成31年2月も溶存酸素が低い結果であった。また、工事前・工事中の平成29年11と平成30年4月は、降雨量と河川水位の変化がそれほどないにもかかわらず、溶存酸素の値が高かった。これらのことから、湧出している湧水の水質と河川水の関係は不明であった。

表 1-5-8 湧水水質調査結果の経年変化

矢板 番号	水温(°C)					溶存酸素 DO(mg/L)					酸化還元電位 ORP(mV)					電気伝導度 EC(mS/m)				
	工事前	工事中	工事後			工事前	工事中	工事後			工事前	工事中	工事後			工事前	工事中	工事後		
	H29	H30	H31	H31	H29	H30	H31	H31	H29	H30	H31	H31	H29	H30	H31	H31	H29	H30	H31	H31
	11/14	4/4	9/27	11/20	2/28	11/14	4/4	9/27	11/20	2/28	11/14	4/4	9/27	11/20	2/28	11/14	4/4	9/27	11/20	2/28
C	17.5	12.5	—	—	12.6	7.5	6.2	—	—	4.8	205	287	—	—	309	18.2	22.0	—	—	16.2
H	18.2	11.2	—	—	—	7.3	5.9	—	—	—	197	174	—	—	—	17.9	25.0	—	—	—
I	18.5	11.3	19.8	16.1	15.5	6.4	5.2	2.7	3.5	2.0	203	200	215	240	350	22.0	25.0	31.0	13.1	24.2
J	19.0	11.5	19.0	18.4	15.7	6.6	5.5	2.5	1.1	2.4	205	238	300	240	366	21.0	25.0	29.0	28.2	25.1
K	19.1	12.1	20.1	18.2	13.5	7.0	4.4	1.7	1.5	3.3	193	148	110	200	294	21.0	26.0	27.0	27.4	23.3
M	19.0	11.0	20.4	17.5	13.6	8.3	7.0	1.3	2.8	2.2	191	153	180	220	200	14.8	26.0	24.0	24.0	26.3
O	—	11.5	20.5	19.3	16.4	—	9.1	1.7	0.8	0.9	—	194	250	210	276	—	11.6	23.0	25.3	31.0
Q	20.0	11.2	21.4	20.3	17.0	6.3	7.9	1.1	0.5	1.0	196	219	180	100	303	21.0	30.0	21.0	25.3	32.9
R	20.5	12.1	20.6	17.7	11.2	8.2	5.6	1.8	2.5	6.2	201	238	260	240	311	13.8	30.0	20.0	18.7	16.7
S	18.6	12.2	21.1	16.8	—	8.4	6.1	1.9	4.0	—	195	164	210	250	—	10.6	23.0	19.8	11.0	—
T	21.2	13.5	22.8	20.9	17.4	7.3	5.1	0.6	0.5	0.8	169	159	180	180	275	16.4	27.0	17.2	16.0	23.8
V	20.1	17.0	22.9	20.3	17.4	7.2	3.6	0.2	0.4	1.3	168	202	200	190	263	17.2	26.0	17.6	17.0	23.3
W	18.8	18.1	21.8	17.8	18.1	8.7	1.7	0.8	5.1	0.8	143	161	180	250	264	18.3	27.0	16.7	7.8	21.8
Y	18.5	18.0	21.9	19.6	17.2	8.9	2.6	0.6	0.6	0.7	102	74	100	120	252	21.0	27.0	16.7	16.1	23.6
河川水	14.3	11.2	20.2	14.4	8.5	8.7	9.1	8.7	10.1	9.5	340	368	339	323	300	9.6	9.3	9.1	6.8	9.5

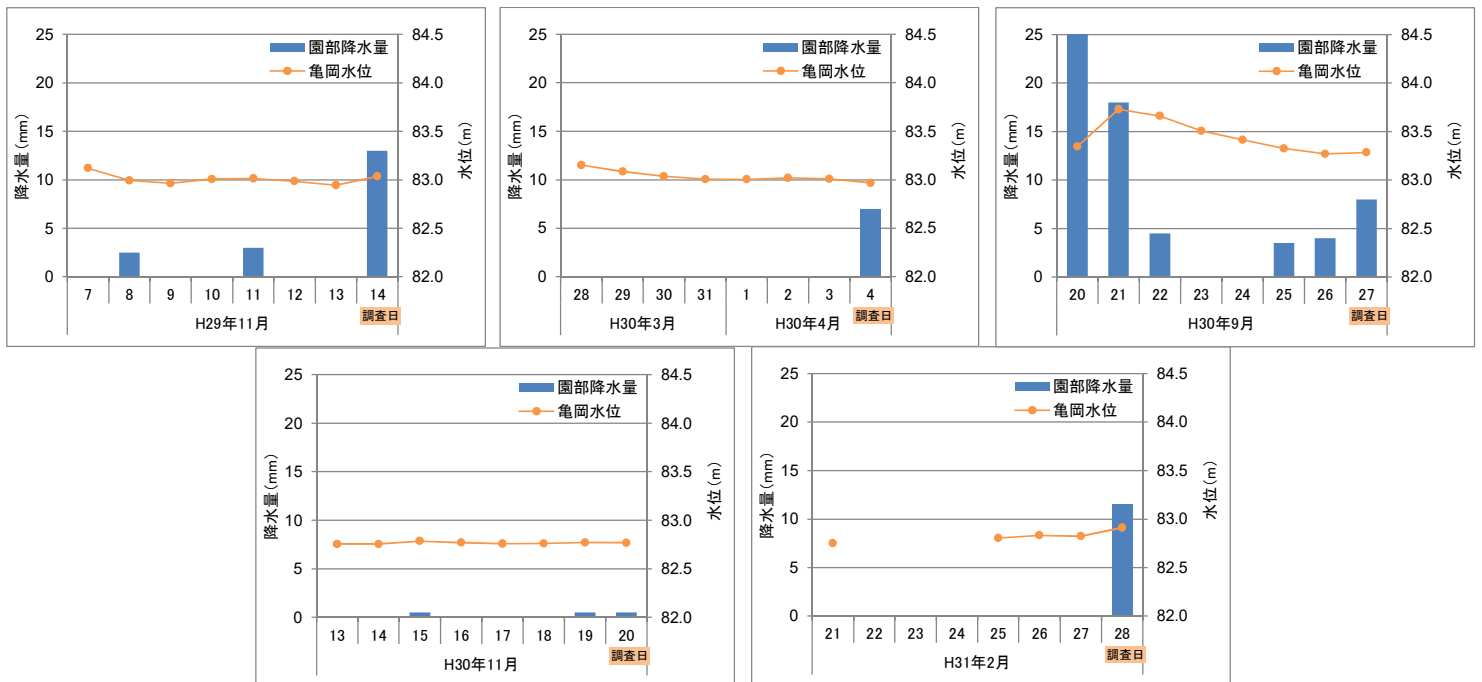


図 1-5-12 湧水調査時の1週間前からの日積算雨量と河川水の変化

(4) アユモドキの生息に好適な湧水の分布状況

第116回WGにおいて、委員より「どの湧水孔がアユモドキの越冬環境に適しているのか、水温が18℃以上かつDO値が3mg/l以上の湧水孔を選定し整理すること」との意見を頂いたため、上記条件に合うアユモドキの生息に好適な水質条件の孔の分布について考察した。

表1-5-9より、上記条件を1回以上満たした孔は、矢板C以外の13箇所であった。計4回条件を満たした孔は、矢板Q、矢板Tであり、計3回条件を満たした孔は、矢板J、矢板R、矢板V、矢板W、矢板Yであった。計2回条件を満たした孔は、矢板H、矢板I、矢板K、矢板M、矢板O、矢板Sであった。各孔とも水質は変動しており、常に条件を満たす孔は無かった。なお、工事後にこの条件を満たしている孔はなかった。

季節別でみると、平成26年の11月を除くと工事前の11月に大部分の孔で満たされているが、その他の季節では、条件を満たさない孔が多く、季節変化がみられた。

表 1-5-9 湧水の水温および溶存酸素の経年変化 (H26~H31)

矢板 番号	工事前								工事中				工事後					
	H26		H28		H28		H29		H30		H30		H31					
	11/17-18	9/12	11/21	1/13	11/14	4/4	9/27	11/20	2/28									
	水温(°C)	DO(mg/L)	水温(°C)	DO(mg/L)	水温(°C)	DO(mg/L)	水温(°C)	DO(mg/L)	水温(°C)	DO(mg/L)	水温(°C)	DO(mg/L)	水温(°C)	DO(mg/L)				
C	-	-	21.9	2.6	-	-	-	-	17.5	7.5	12.5	6.2	-	-	-	-	12.6	4.8
H	-	-	19.6	2.2	19.6	4.9	17.0	5.4	18.2	7.3	11.2	5.9	-	-	-	-	-	-
I	-	-	19.6	2.4	19.5	3.9	17.5	5.1	18.5	6.4	11.3	5.2	19.8	2.7	16.1	3.5	15.5	2.0
J	-	-	20.3	1.6	19.3	4.2	18.0	4.0	19.0	6.6	11.5	5.5	19.0	2.5	18.4	1.1	15.7	2.4
K	17.2	2.2	19.6	1.4	19.5	7.2	17.2	5.1	19.1	7.0	12.1	4.4	20.1	1.7	18.2	1.5	13.5	3.3
M	-	-	21.3	2.4	19.2	3.9	17.0	4.4	19.0	8.3	11.0	7.0	20.4	1.3	17.5	2.8	13.6	2.2
O	20.2	4.8	22.1	4.8	-	-	13.0	5.4	-	-	11.5	9.1	20.5	1.7	19.3	0.8	16.4	0.9
Q	-	-	21.0	3.0	21.3	5.2	18.3	4.4	20.0	6.3	11.2	7.9	21.4	1.1	20.3	0.5	17.0	1.0
R	-	-	22.6	3.1	20.4	7.2	17.4	5.1	20.5	8.2	12.1	5.6	20.6	1.8	17.7	2.5	11.2	6.2
S	-	-	22.5	2.2	18.9	8.0	12.0	5.8	18.6	8.4	12.2	6.1	21.1	1.9	16.8	4.0	-	-
T	19.8	4.8	22.1	1.5	22.2	5.2	18.7	5.5	21.2	7.3	13.5	5.1	22.8	0.6	20.9	0.5	17.4	0.8
V	20.7	1.9	22.3	1.8	23.2	6.4	20.5	4.0	20.1	7.2	17.0	3.6	22.9	0.2	20.3	0.4	17.4	1.3
W	-	-	22.2	1.8	22.3	4.3	20.5	6.6	18.8	8.7	18.1	1.7	21.8	0.8	17.8	5.1	18.1	0.8
Y	-	-	20.5	1.5	22.1	8.7	20.3	4.6	18.5	8.9	18.0	2.6	21.9	0.6	19.6	0.6	17.2	0.7
河川水	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	8.7	11.2	9.1	20.2	8.7	14.4	10.1	8.5	9.54
調査時河川水位(m)	83.0		82.9		82.9		83.0		83.0		83.0		83.3		82.8		82.9	
	「水温18℃以上」かつ「DO値3以上」																	

4 考察

矢板護岸の推定総湧水量の増減について、河川水位と地下水位の水位差との関係を確認したところ、水位差が大きければ、推定総湧水量が多くなっていることが分かった。このことから、矢板護岸の湧水量は、河川水位と地下水位の水位差に左右される可能性が高いと考えられた。

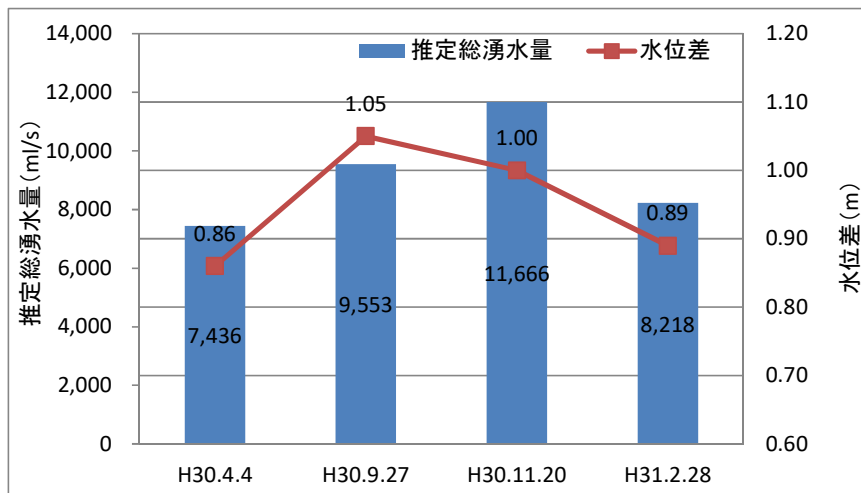


図 1-5-13 推定総湧水量と水位差(地下水位と河川水位)の関係