

スタジアム建設に係る地下水等のモニタリング調査状況について
 ~地下水のモニタリング調査について~

京都スタジアム建設工事に伴う地下水水質への影響を把握するため、ボーリング 6 孔において連続的なモニタリングを実施してきた。これまでのモニタリングで観測孔により水質変動傾向が異なることが分かっている。第 36 回環境保全専門家会議では「観測孔毎に降雨等の水位・水質の変化パターンが異なることから、基準値とは別に水質の変化パターンで評価すること」という意見をいただいた。現在、各孔の水質変化パターンを踏まえ、モニタリングを継続・評価している。

1. モニタリング調査

1.1 目的

地下水については、詳細解析の結果、地下水の流向からスタジアムの基礎杭施工時に桂川への影響が考えられるため、その変化が把握できるようモニタリング調査を行う。

スタジアムに近い図 2 に示す観測孔 3 箇所(BV1-1,BV1-2,BV1-3)のいずれかで、工事中に工事前と大きく異なる数値の変化が観測されるなど、予期せぬ調査結果が出た場合には、工事を一時中断するとともに、環境保全専門家会議に報告し、スタジアムから遠い観測孔 3 箇所(BV2-1,BV2-2,BV2-3)のモニタリング調査の結果を確認のうえ、指導・助言を踏まえ、対策を検討し実施することを目的とする【平成 29 年度公共事業評価調書 p.53】。

1.2 調査

水質モニタリングは、杭施工に伴う濁り等を把握するため、水温、PH、濁度、電気伝導度、酸化還元電位、溶存酸素について行う。

水質モニタリングは平成 29 年 12 月 8 日から開始し、杭工事は平成 30 年 2 月 27 日から行っている。

1.3 地下水の到達時間予測

平成 29 年 12 月 26 日に観測対象 6 孔において流速を計測したところ、BV1-2 孔が最大で流速 $V=9.86\text{m/day}$ であったため、この流速からスタジアムに近い観測孔 3 箇所から桂川等への地下水到達時間を予測した。

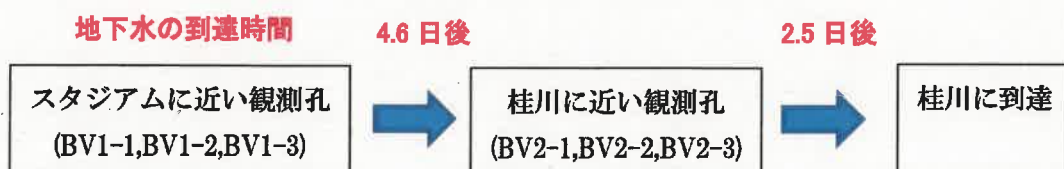
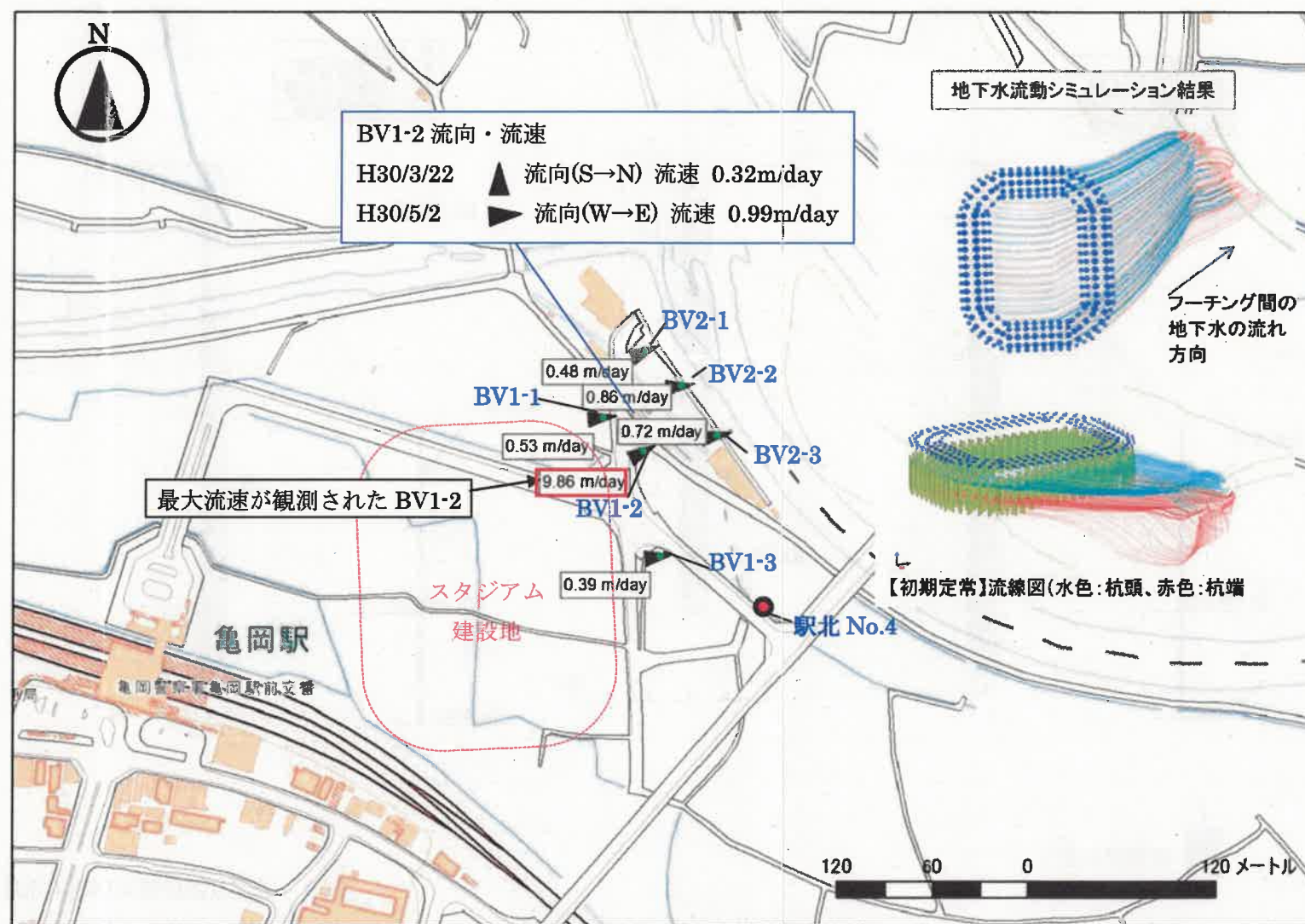


図 1 地下水の流到達予測



1.4 各観測孔と地質

各観測孔の計器の設置位置、地下水位（平成 30 年 1 月 8 日 AM3:00 測定、地質は図 3 のとおりである。なお、地下水位は全体的に低い状況であった。

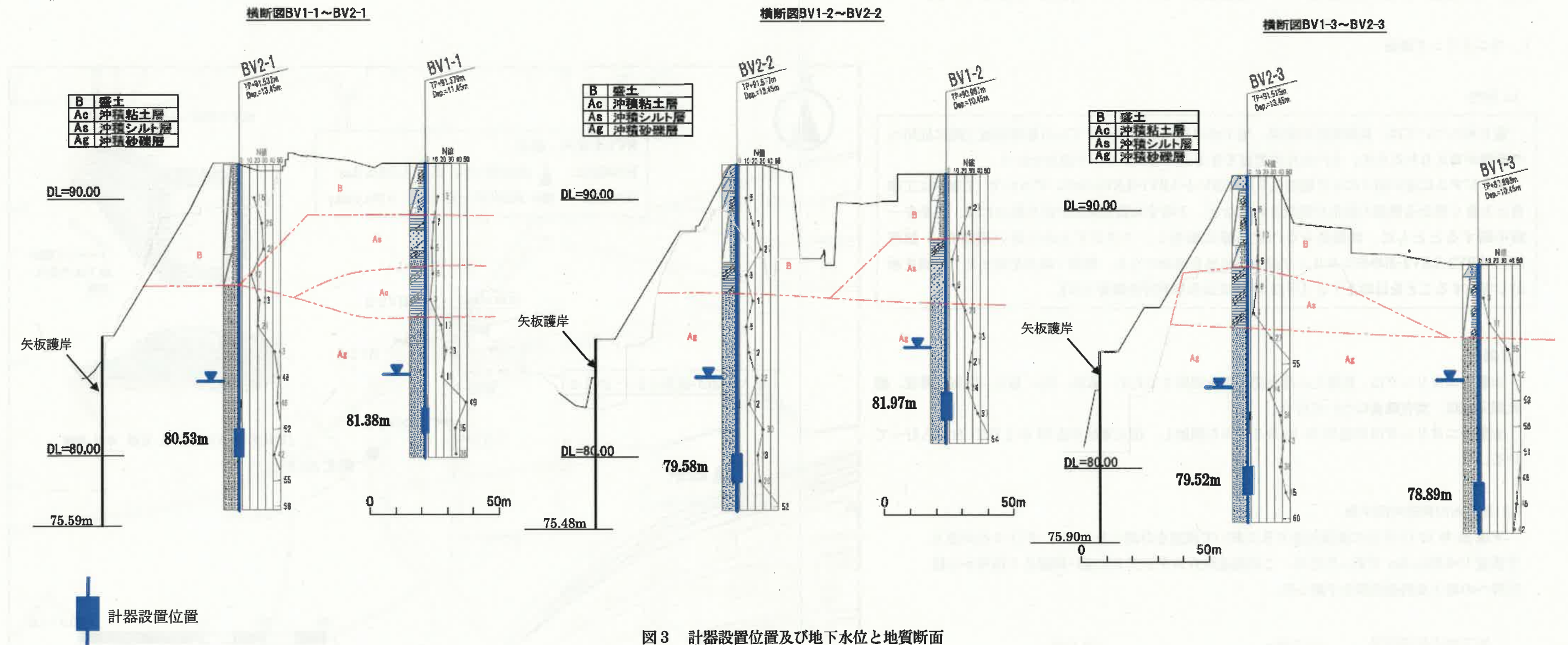


図 3 計器設置位置及び地下水位と地質断面

2. 管理方法

モニタリングによる管理は次のとおりとする。

2.1 モニタリング管理にあたって注意事項

これまでのモニタリング結果の分析を踏まえて、以下の事項に注意する。

- 地下水質は、降雨による河川水位の上昇に伴い変動するとともに、観測孔や水質によって変化パターンが異なるので、一律にみなすことができない。
- 降雨や河川水位の影響は、降雨後、1週間程度に及ぶことから、変動があっても即座に工事による影響として警戒段階とせず、地下水位・河川水位と水質の関係を確認して丁寧にデータを評価する。なお、この際、孔ごとに水質の変化パターンを模式化し、これを逸脱する変化がないか確認する。
- 今後も季節変動などが考えられることから、基準値を1か月ごとに見直す。

2.2 管理の基本方針

- ① 連続観測システムに基準値を設け、通常値からデータが逸脱した場合、**【注意喚起メール】**を自動送信することにより、異常状況を早期把握する。
- ② 計器異常、降雨や河川水位の変動など工事以外の原因により基準値を超える値を検出する可能性があるため、この時点で**【注意段階】**とし連続観測システムで各データの「計器異常の有無」や「水質変化パターンからの逸脱の有無」を確認する。
⇒計器異常の有無は、**【注意喚起メール】**到着後1日以内(夜間の場合翌日)に確認を行う
孔ごとの水質変化パターンと照らし合わせ、逸脱していないか確認する。
- ③ ②で計器が正常で降雨等がおさまっても、基準値を超え「連続性や増大傾向」がみられたり、「近隣他孔の拡散」がみられた場合、**【警戒段階】**とし、「工事中断」「WGへの報告」を行う。
⇒データの連続性を確認するため、**【注意喚起メール】**到着後3日以内に確認を行う

2.3 対応の流れ

逸脱データが計測された場合の対応の流れは次のとおりである。

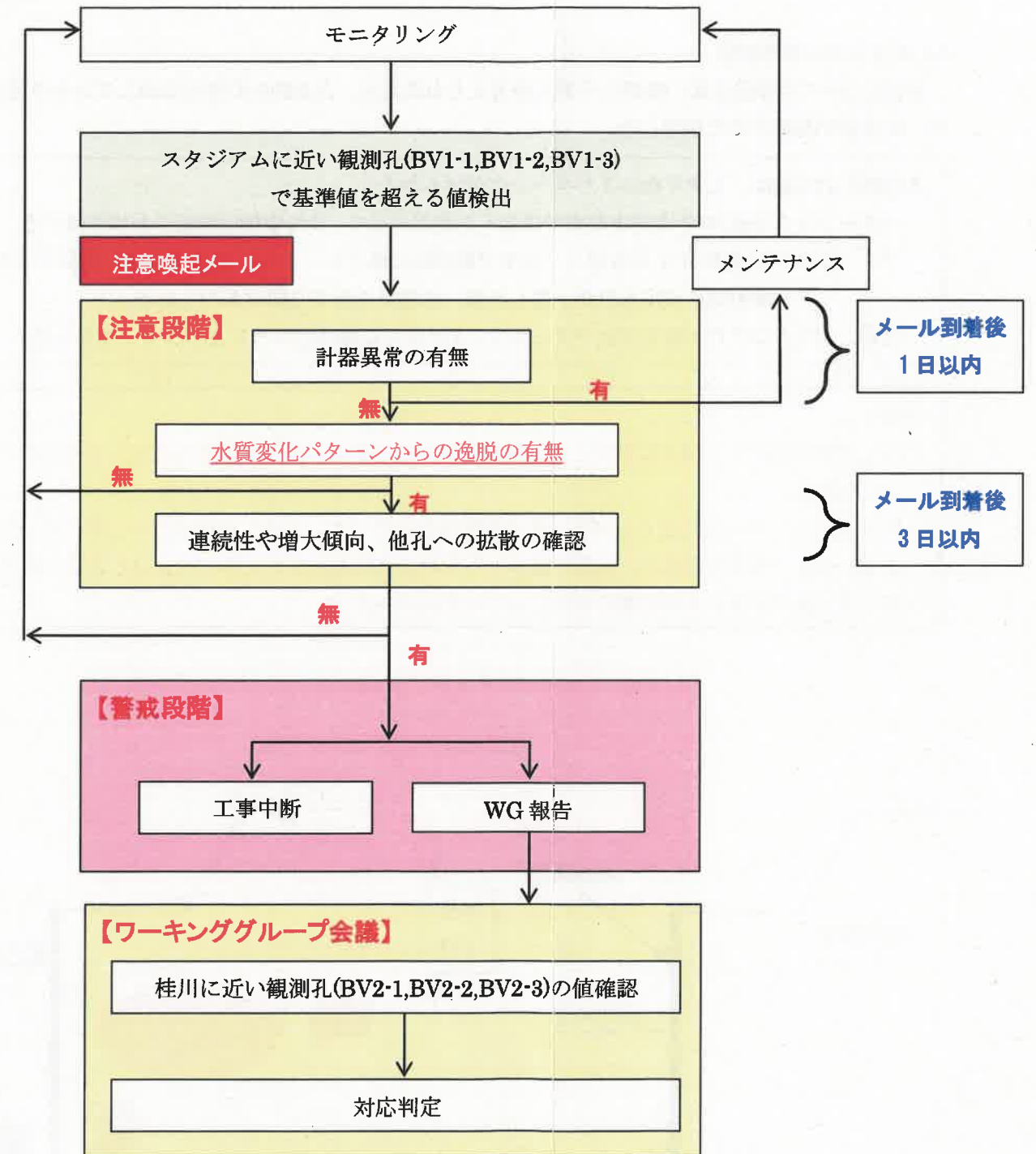


図4 異常値が発生した場合の対応フロー(案)

3. これまでのモニタリング結果の分析

モニタリングの中で水質変化が認められたため、その原因等の分析を行った。

3.1 地下水の季節変動

水温については季節変動の影響の可能性が考えられたため、日変動の影響を排除して分かり易くするため、24時間の移動平均で整理した。

各観測孔の水温は、大きく次の2パターンに分けられる。

パターン1：平成30年2月中旬まではほとんど変化がなく、2月中旬以降緩やかに下降する。

パターン2：平成30年2月中旬～下旬まで継続的に低下し、これ以降は上下動の変位が大きい。

降雨時に河川水位が上昇した後、水温が上昇する傾向がみられる。

なお、BV1-3は2月中旬まではパターン1、2月中旬以降はパターン2のタイプであった。

考察

- BV1-1, BV1-2, BV2-2 は水温がほとんど変化しないことから、気温の影響をほとんど受けない地下水と思われる。
- BV2-1, BV2-3 は河川に近く、河川水温の影響を受けやすく、また、河川水位の上昇に伴い地下水位と差が生じ、周辺や深層から水温の高い地下水が流れ込み水温が上昇したものと考えられる。
- BV1-3 は両方の地下水の影響を受けている可能性がある。

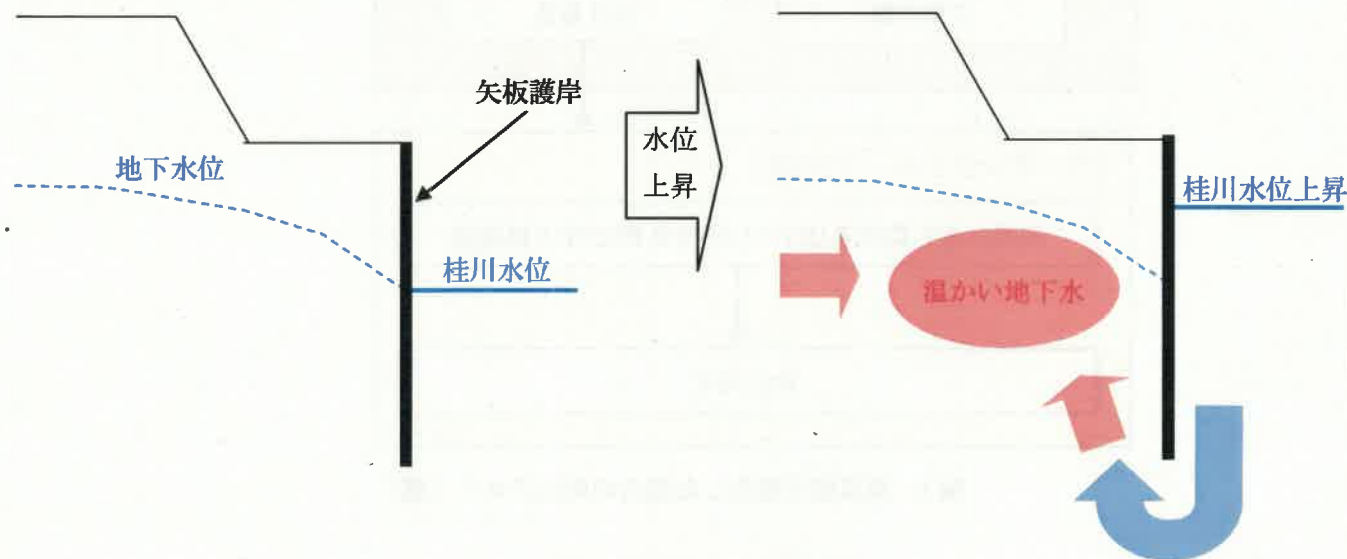


図5 河川水位と水温上昇

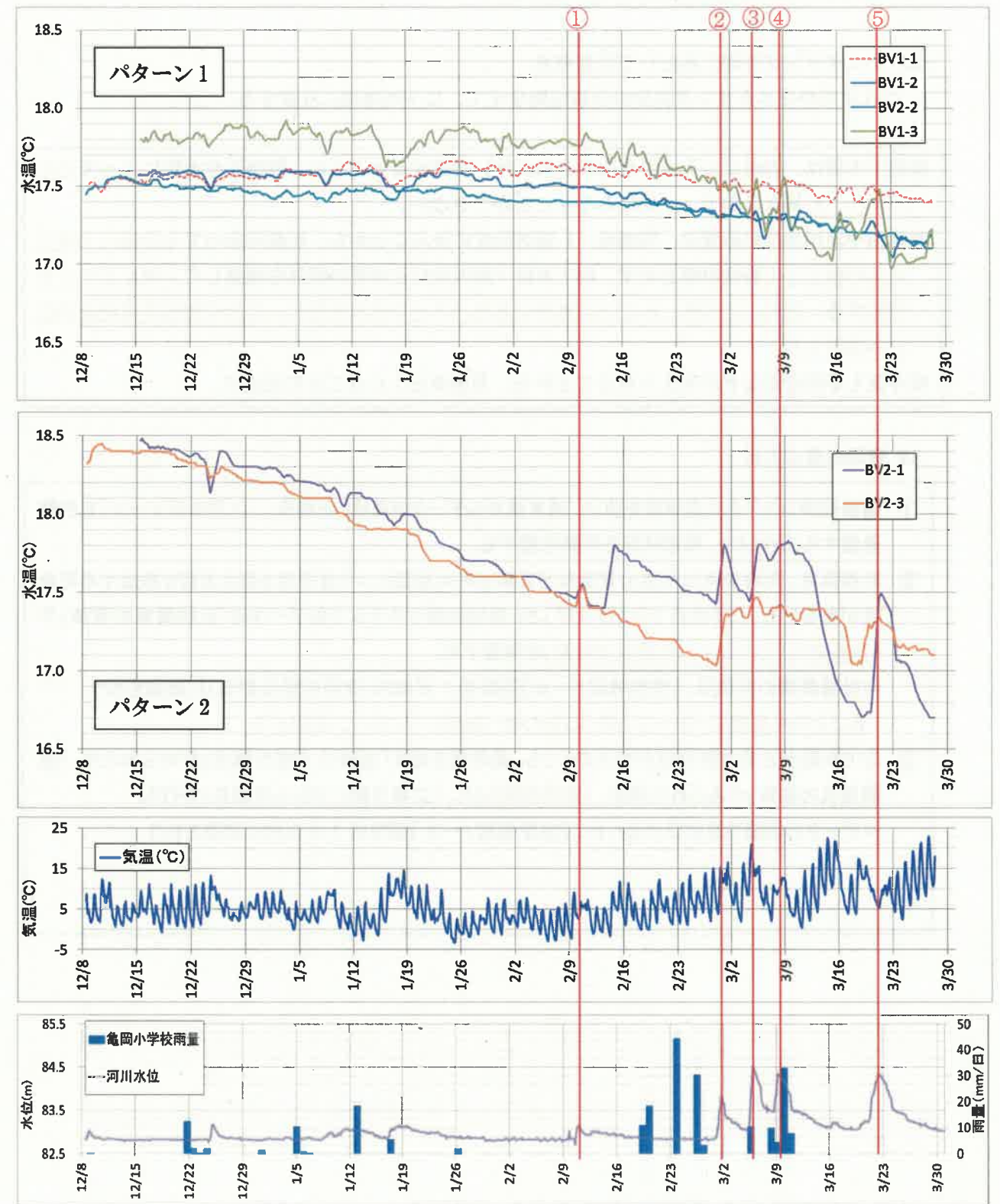


図6 各孔の24時間移動平均水温

3.2 地下水温の日変動

BV1-3 などでは水温が日変動を示しており、気温等の影響が想定される。水温と気温の関係について確認した。

水温と気温の関係は次のとおり整理される。

- ① 雨が多い日は夜間の水温が上昇しない。(図7)。
- ② BV1-3 は明瞭な日変動がみられ、BV1-1, BV1-2 は若干の日変動がみられる(図8)。
- ③ BV1-3 は14時ごろに最低を示し、早朝に最高を示す。気温とは逆の変動をしている(図8)。

考察

- ・ BV1-3 のアスファルトに設置され周囲もコンクリート、BV-1-1 と BV1-2 は砂利地に設置、その他は芝地に設置されているため、日照による周辺気温の上昇が影響を及ぼしていると思われる。
- ・ 以上のことから、BV1-3 はその他の孔より気温の影響を受けやすいと思われる。

◆BV2-1, BV2-3, BV1-3 は、河川水温、河川水位の影響を受ける。

◆BV1-3 は、日照による気温の影響を受ける。

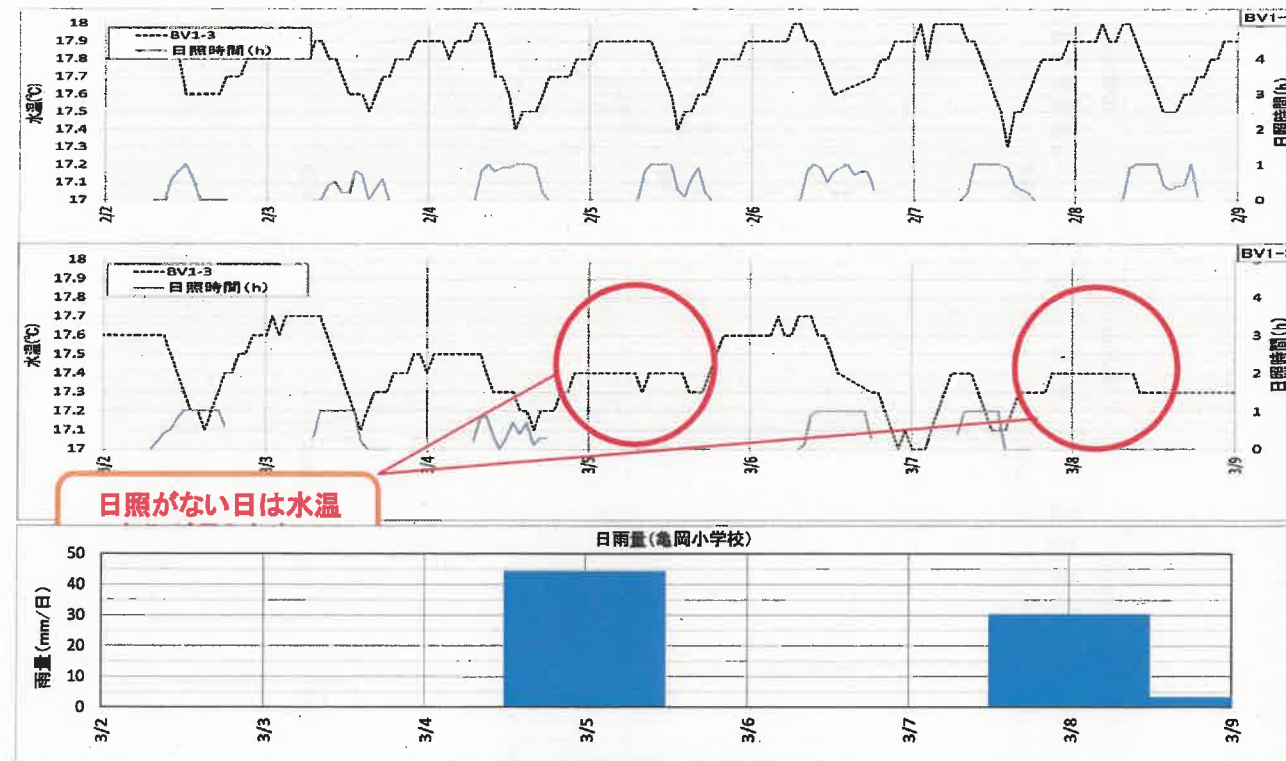


図7 日照時間と水温の関係

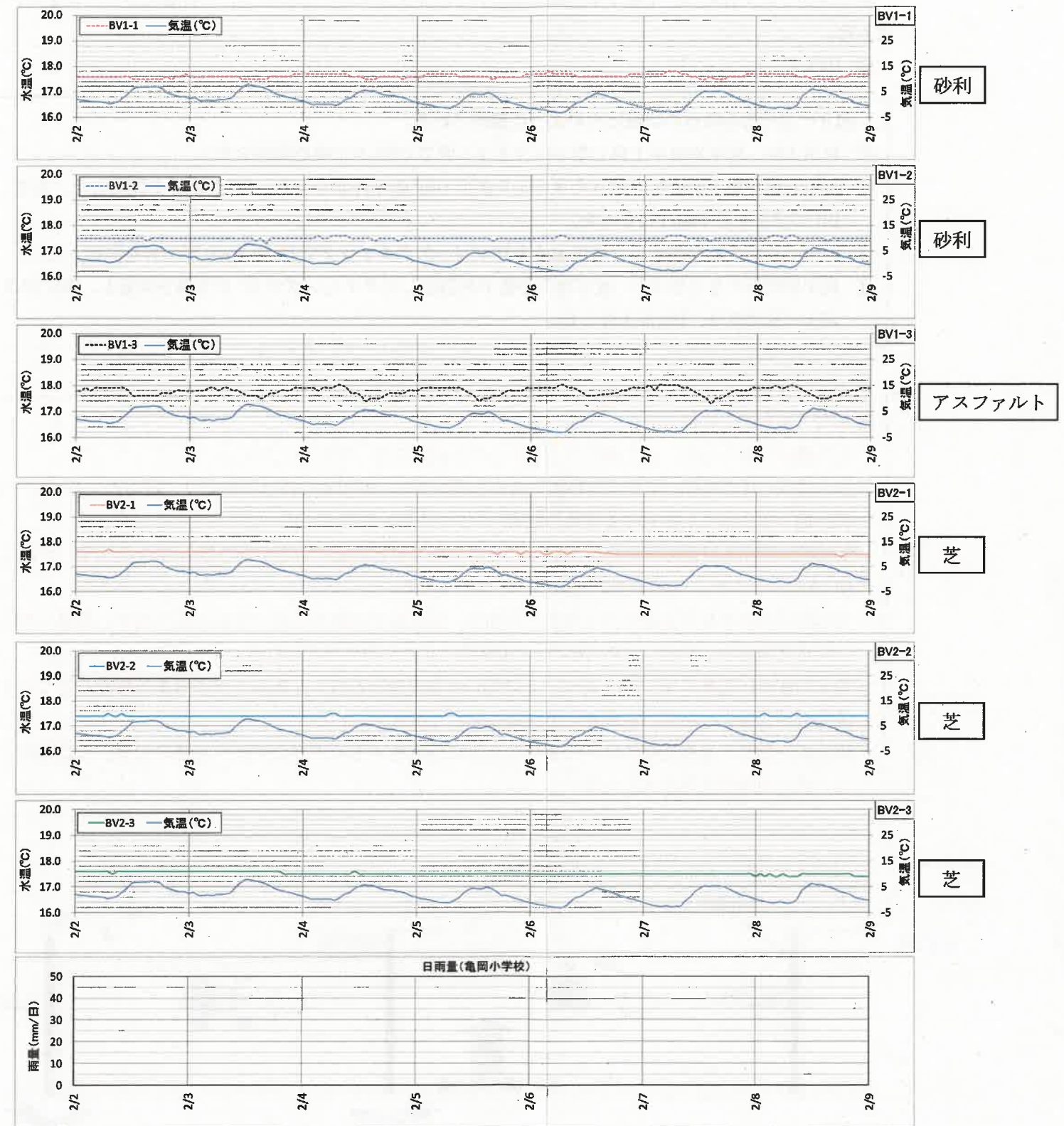


図8 各孔の水温と気温の関係 (2月2日~2月9日雨がない期間)

3.3 水質観測結果及び水質変化パターン解析

各モニタリング孔について地下水位変化等に伴う各水質変化特性を解析し、その変化パターンをモデル化した。

(1) BV1-3

図9における各時点の状況は次のように整理される。

- ① 河川水位、地下水位が上昇したタイミングでORPが下降を開始した。
- ② 河川水位が地下水位を上回ったタイミングでORPの下降が止まり、ECが上昇を開始した。また、DOがほとんど0mg/lになった。
- ③ 河川水位が下降を開始し、地下水位より下回ったタイミングでECとORPが上昇を開始した。
- ④ 河川水位が大きく低下し、地下水位が低下を開始したタイミングでECが下降を開始し、ORPはほぼ元の値に戻り、DOが上昇した。

■考察（水質変化特性解析）

- ・ 矢板護岸があるため、河川水位の上昇から少し遅れて地下水位が上昇する。
- ・ ①②間は、河川水位の上昇に伴い地下水位と差が生じ、地下水の流れが変わり、①周辺からORPの低い地下水が流入したものと考えられる。
- ・ ②③間は河川水位が地下水位を上回ったため、②水位差が更に大きくなり①とは異なるECが高くDOが低い（≒0）の地下水が流入したと考えられる。
- ・ ③④間は河川水位が急激に低下することから、逆に地下水位より河川水位が低くなり、水位上昇前と同様に周辺からORPの高い低い地下水が流入したものと考えられる。
- ・ 動水勾配が回復後のDOの上昇は、この間の雨水浸透が継続し、遅れて地下水まで到達したことや②③の時に流入した河水が遅れて到達したことが考えられる。
- ・ 以上のとおり、水質変化には河川水位の変動に伴う地下水流の変化や雨水浸透の影響、更には河水の流入の可能性が考えられる。

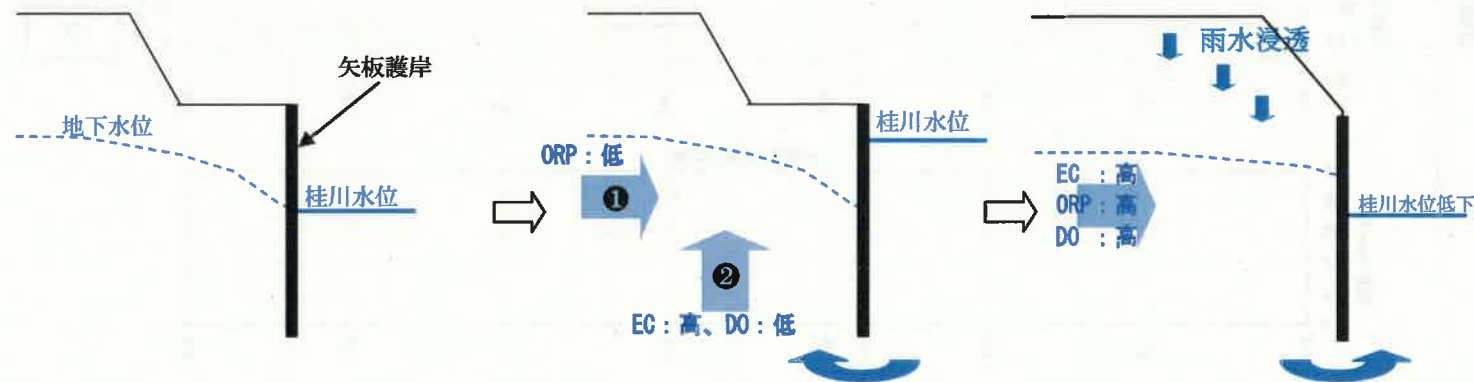


図9 水位上昇と水質の関係

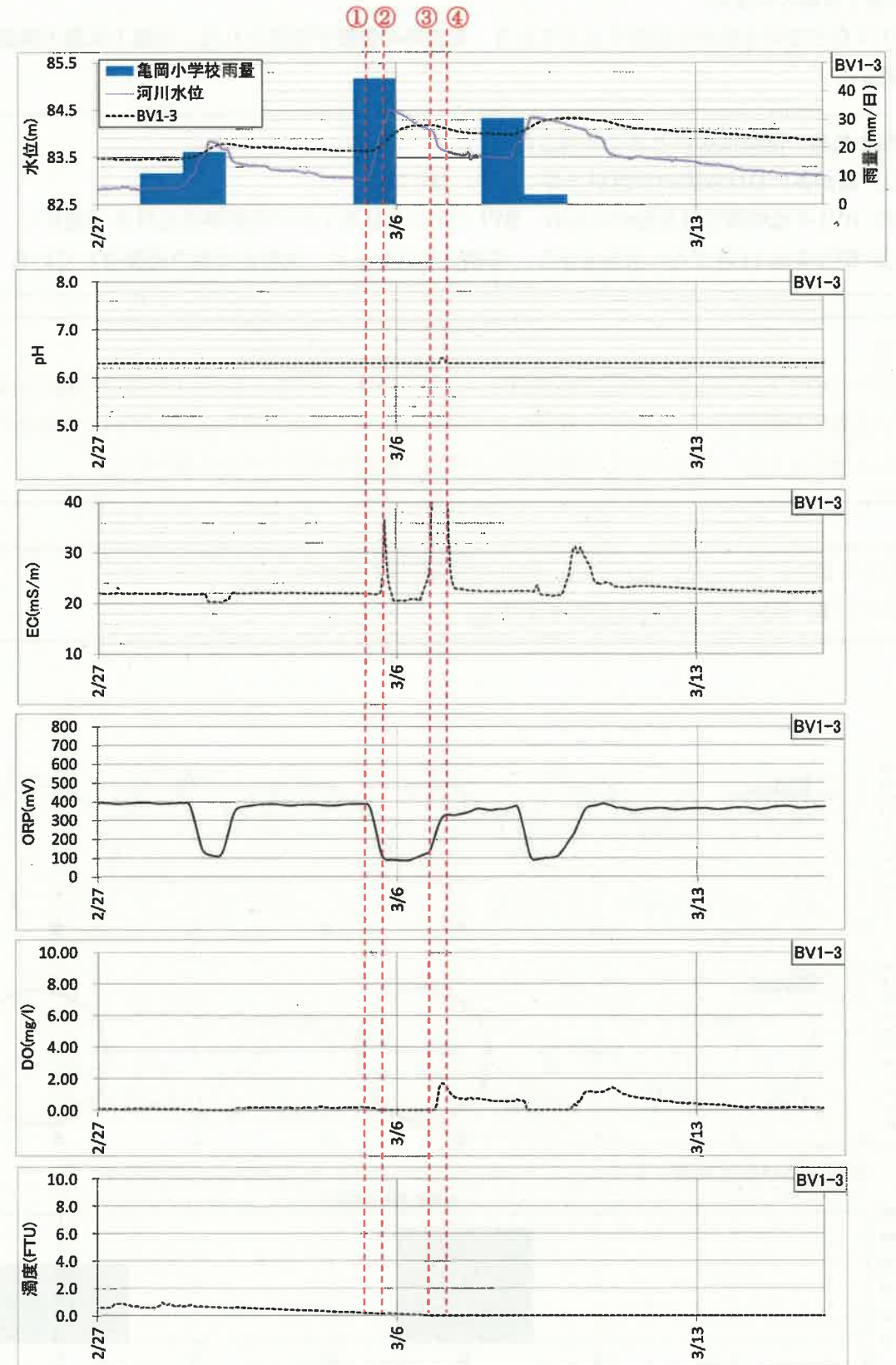


図10 降雨等との連動性整理 (BV1-3)

■水質変化パターン解析

- 河川水位等の影響を受けやすい。
- 地下水水位上昇開始とともに EC が上昇し、すぐにピークを迎えたのち上昇前の値より低下する。EC が上昇せず、低下する場合もある。また、ORP が低下し、停止後一定値を継続する。
- 地下水水位低下とともに EC,DO が上昇し、ORP が上昇して元の値に戻る。

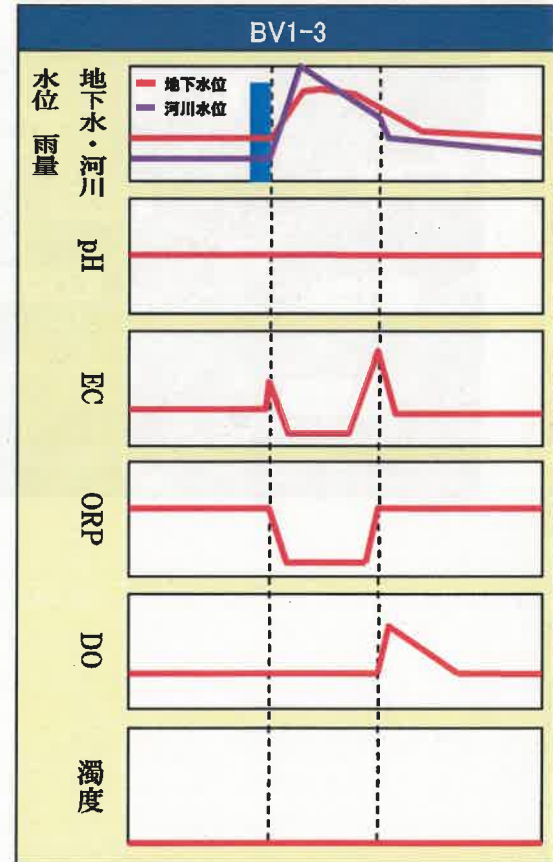
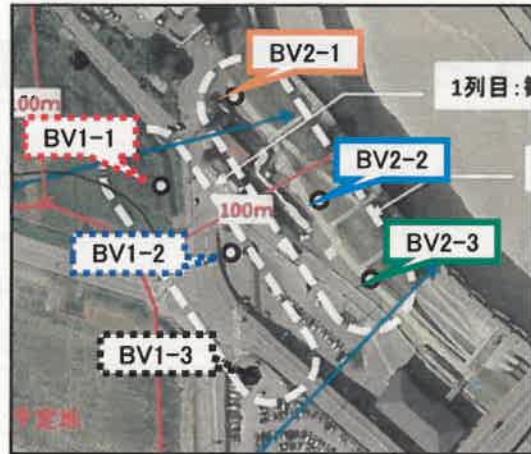


図 11. 水質変化パターンモデル図(BV1-3)

(2) BV1-1

BV1-1 については河川水位、地下水位の上昇下降に伴う水質変化がほとんど見られない。

■考察（水質変化特性解析）

- ・季節変動、降雨や河川水位の影響をほとんど受けないと考えられる。

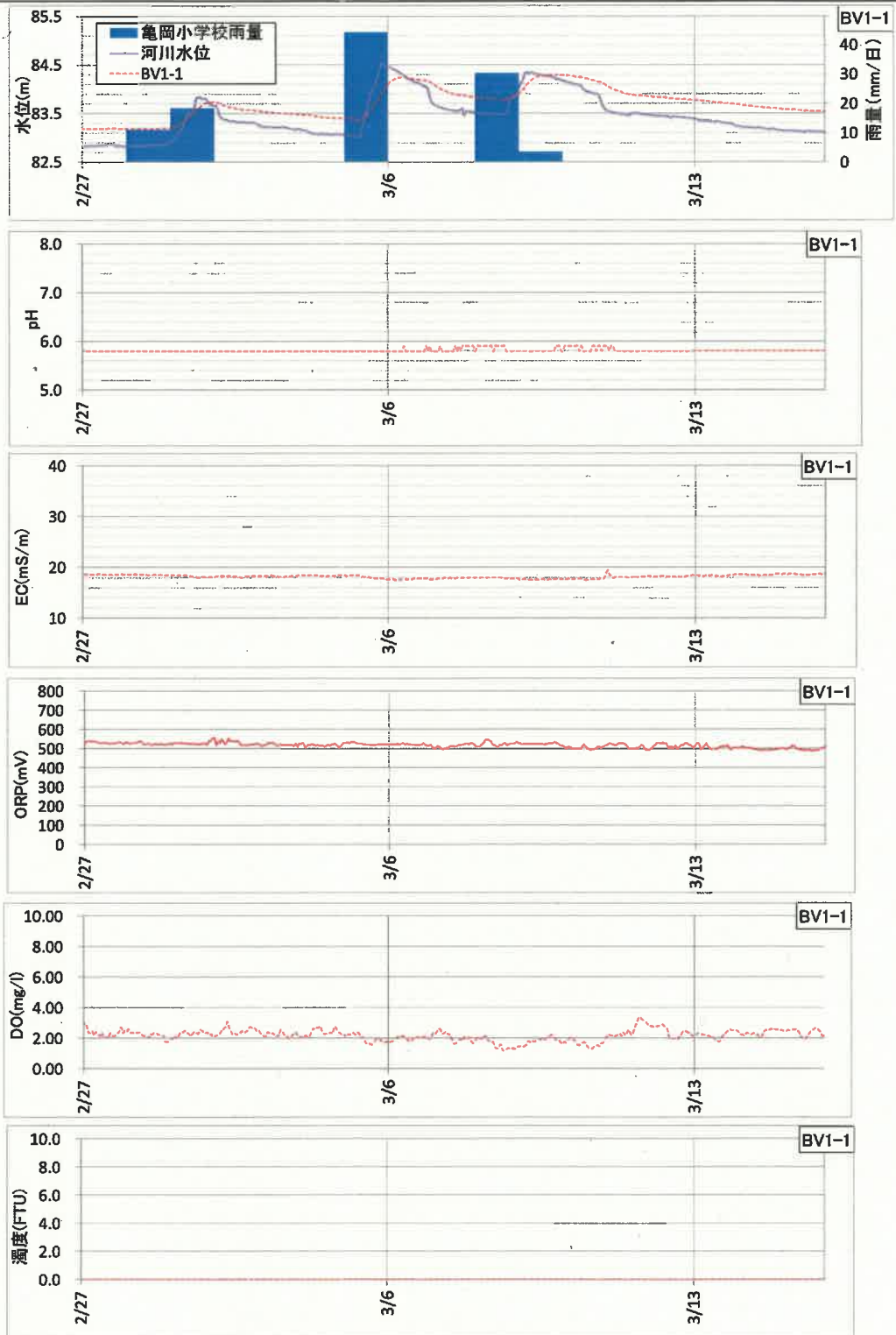


図12 降雨等との連動性整理 (BV1-1)

■水質変化パターン解析

- ・河川水位等の影響を受けにくい。
- ・いずれの水質も目立った変化は認められない。
- ・DOは2mg/l付近で若干の変動しながら一定している。

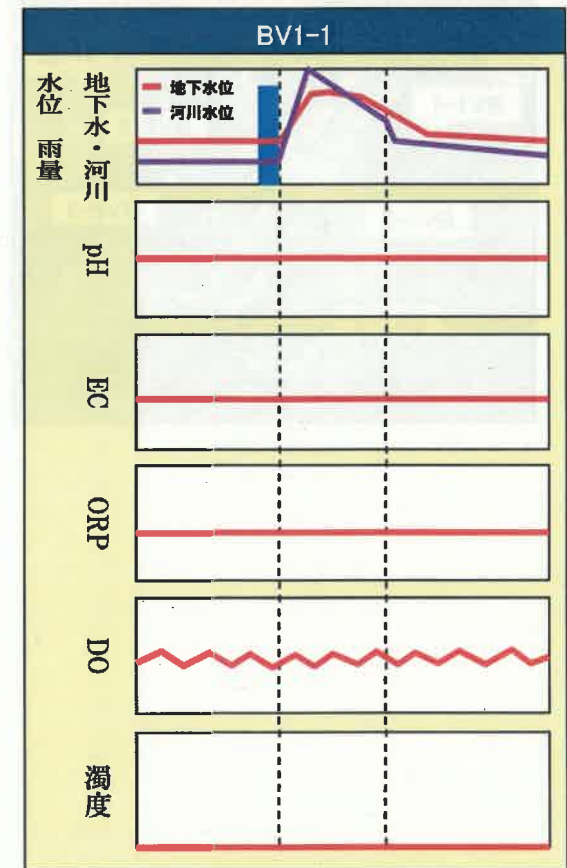
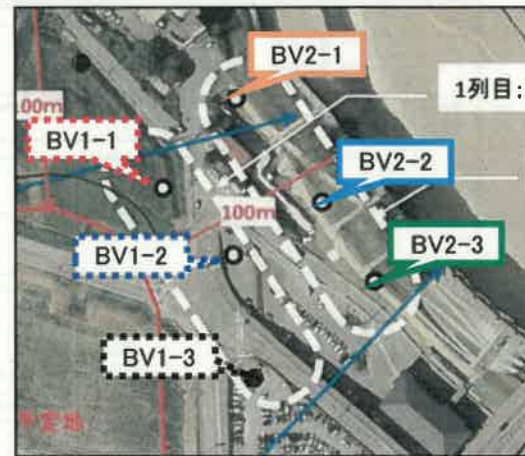


図13 水質変化パターンモデル図(BV1-1)

(3) BV1-2

- ① 河川水位、地下水位が上昇を開始したと同じタイミングで ORP が下降を開始した。
- ② 地下水位が低下を開始したと同じタイミングで DO が上昇し、やや遅れて EC が上昇を開始した。
- ③ 地下水位が低下を開始したと同じタイミングで DO 及び EC が上昇を開始した。

■考察（水質変化特性解析）

・BV1-3 のパターンと同じであるが、河川から距離があり河川の影響を受けにくいことから、EC と DO の上昇が遅れるとともに、長時間の変化が生じたものと考えられる。

■水質変化パターン解析

- ・河川水位等の影響を受けにくい。
- ・地下水位上昇開始とともに ORP が若干低下する。
- ・地下水位低下とともに EC, DO が若干上昇し、ORP が若干低下する。
- ・濁度は 1~2FTU 付近の値で一定している。

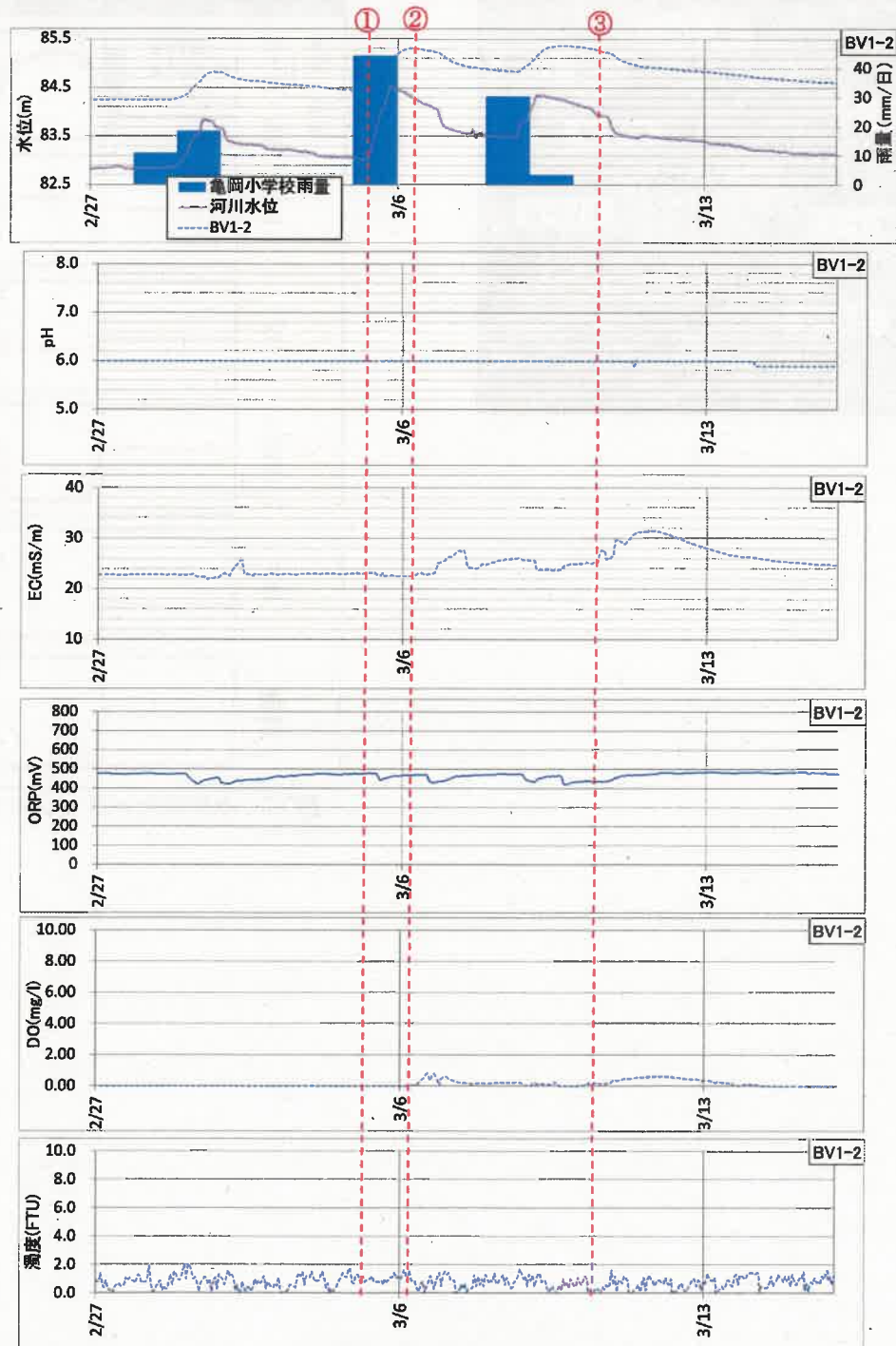


図14 降雨等との連動性整理 (BV1-2)

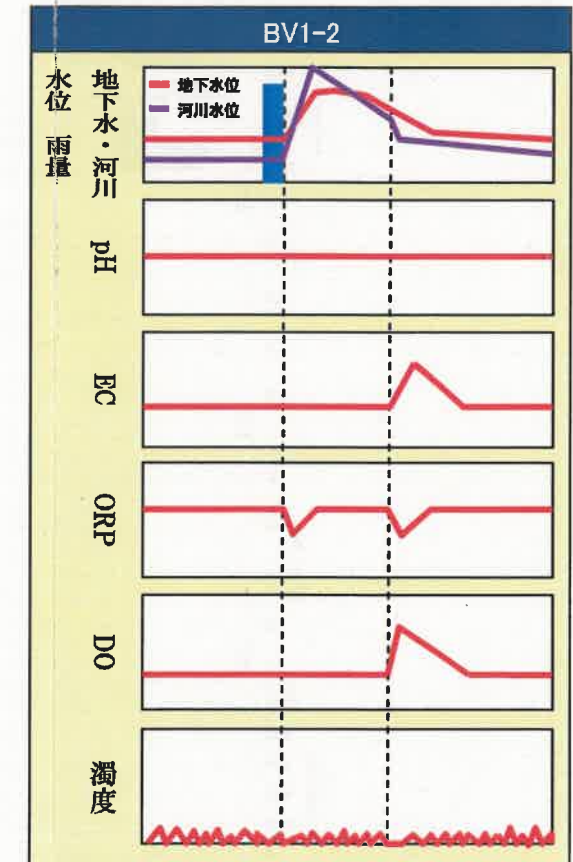
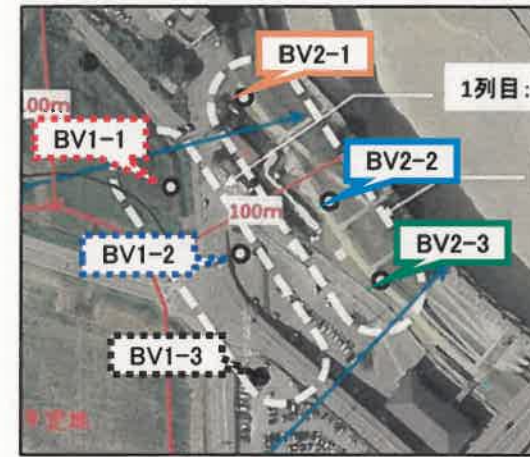


図15 水質変化パターンモデル図(BV1-2)

(4) BV2-1

- ① 河川水位、地下水水位が上昇し、河川水位が地下水水位を上回ったタイミングで EC, ORP, DO が下降した。
- ② 河川水位が大きく低下したタイミングで EC, ORP が回復し、DO が上昇した。

■考察（水質変化特性解析）

- ・旧河道であり、河川周辺地下水の EC は低いことから、河川水位の上昇により EC が低下した。
- ・DO は値が高いことから、ORP、EC が回復した段階で河川水が流入した可能性が考えられる。

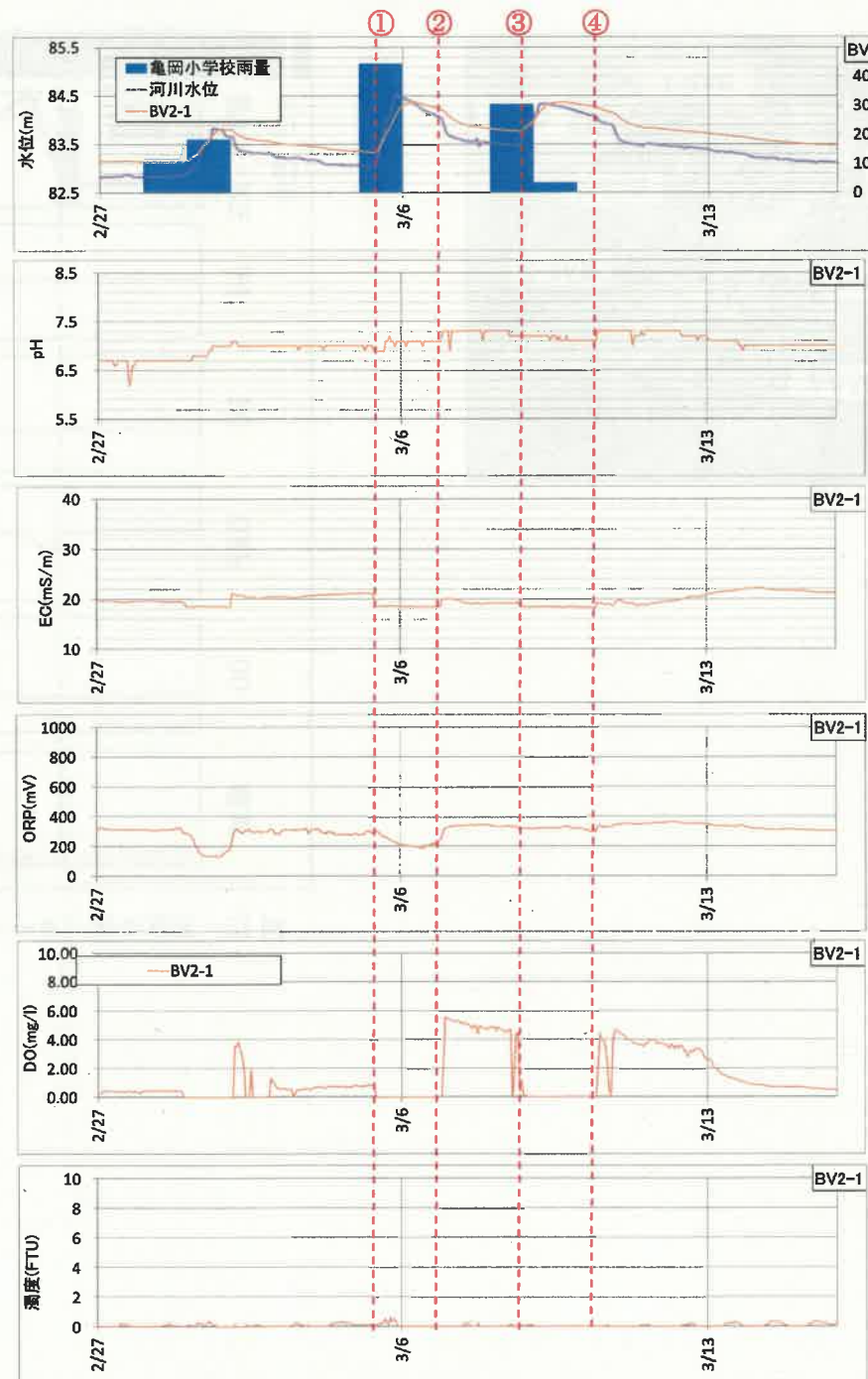


図 16 降雨等との連動性整理 (BV2-1)

■水質変化パターン解析

- ・河川水位等の影響を受けやすい。
- ・地下水水位上昇開始とともに EC, ORP, DO が低下する。
- ・地下水水位低下とともに DO が上昇し、EC, ORP が上昇して元の値に戻る。
- ・濁度は 1FTU 以下で一定している。

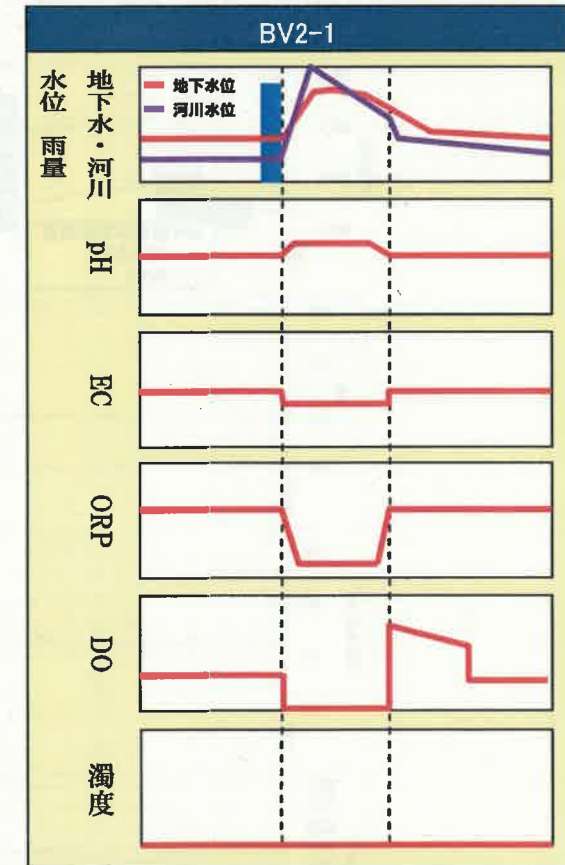
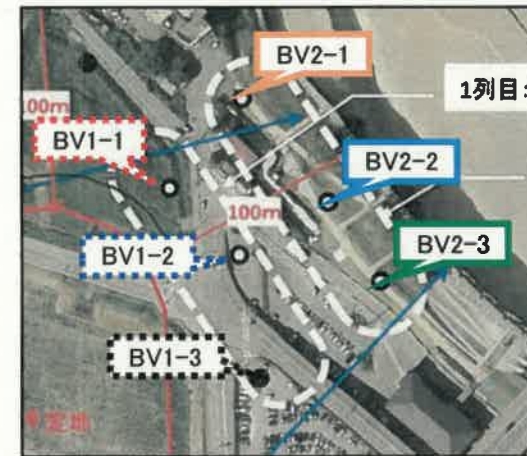


図 17 水質変化パターンモデル図(BV2-1)

(5) BV2-2

- ① 河川水位、地下水位が上昇を開始したと同じタイミングで EC が下降を開始した。
- ② 河川水位と地下水位がほぼ同じ高さになったタイミングで ORP が下降しはじめ、DO が上昇した。
- ③ 河川水位が大きく低下したタイミングで EC, ORP, DO の値が元に戻った。

■ 考察 (水質変化特性解析)

・旧河道であり、BV2-1 と同様に河川水位の上昇により EC が低い地下水が流入したと考えられる。

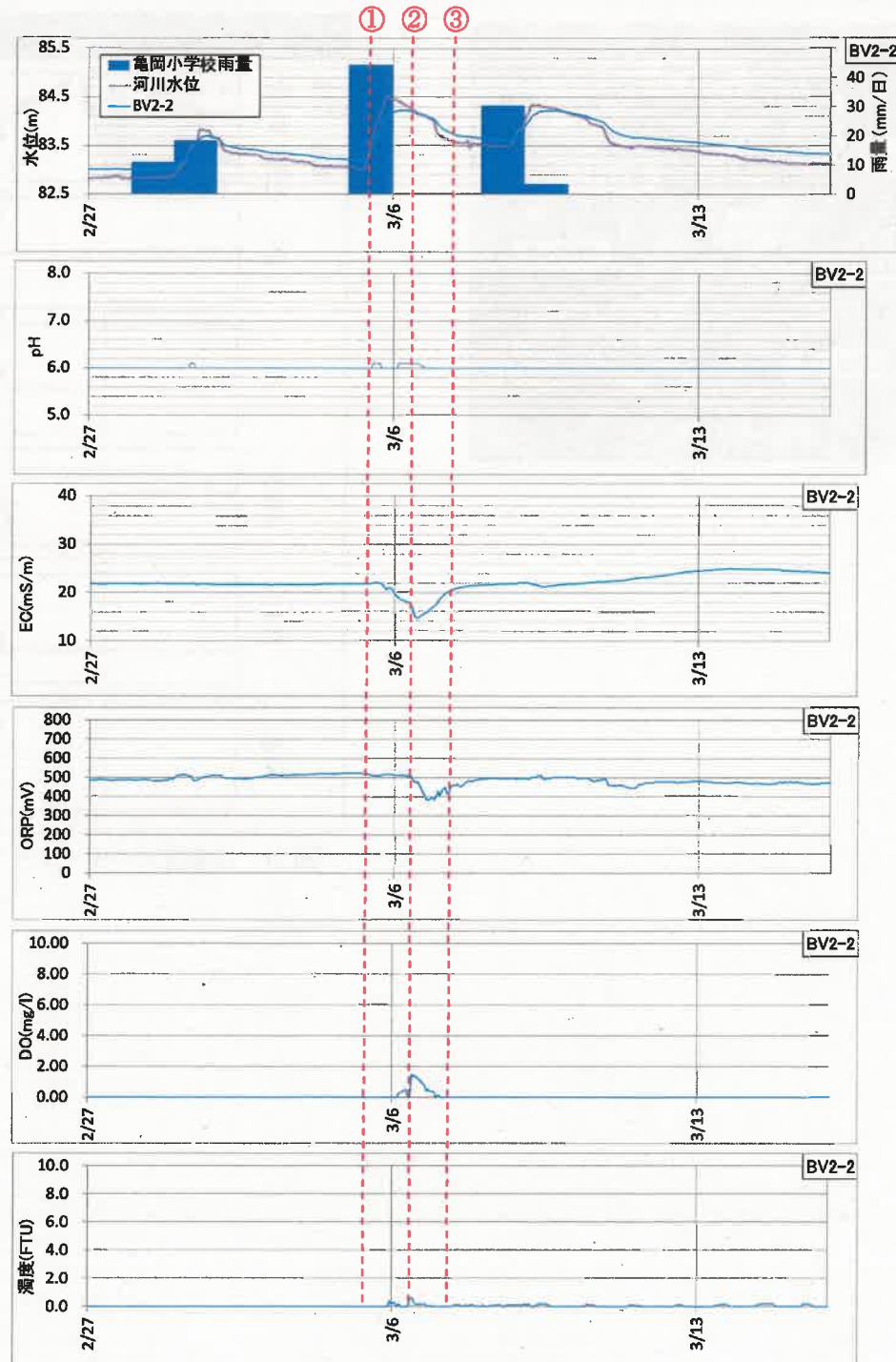


図 18 降雨等との連動性整理 (BV2-2)

■ 水質変化パターン解析

- ・河川水位等の影響を受けにくい。
- ・地下水位低下とともに EC, ORP が低下し、DO が上昇する。
- ・濁度は 1FTU 以下で一定している。

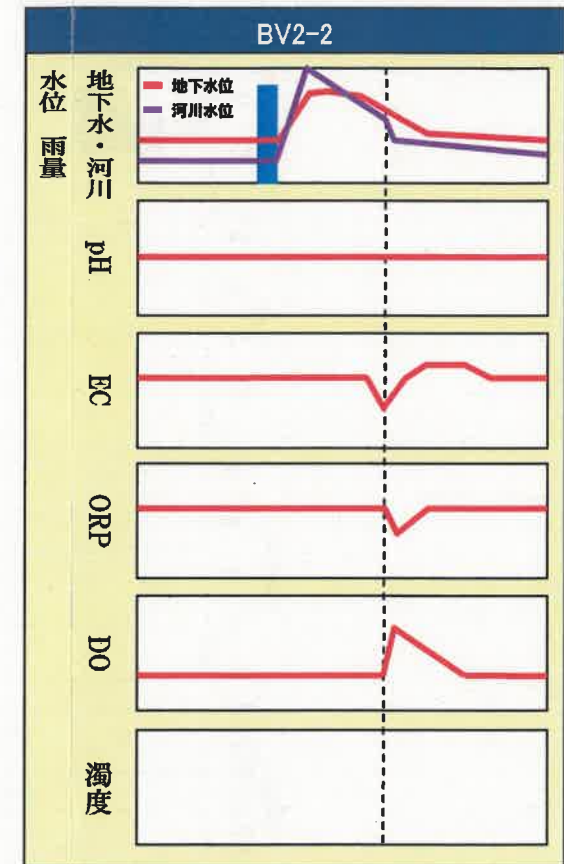
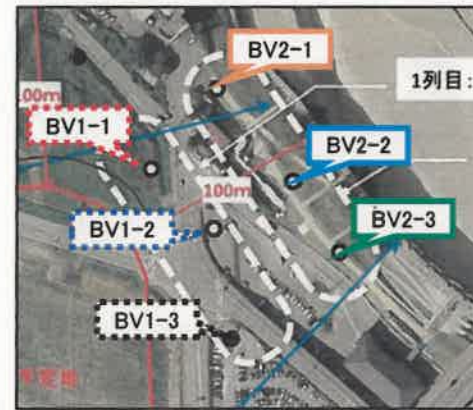


図 19 水質変化パターンモデル図(BV2-2)

(6) BV2-3

- ① 河川水位、地下水水位が上昇を開始したと同じタイミングで ORP が下降を開始した。
- ② 河川水位が大きく低下したタイミングで EC, ORP, DO が上昇した。
- ④ ④以降一端回復した ORP が低下し回復しない。

■考察（水質変化特性解析）

・BV1-3と同じパターンである。④以降の ORP 低下はセンサー異常のため、計器を清掃した。

■水質変化パターン解析

- ・河川水位等の影響を受けやすい。
- ・地下水水位上昇開始とともに ORP が低下する。
- ・地下水水位低下とともに EC, DO が若干上昇し、ORP が上昇して元の値に戻る。

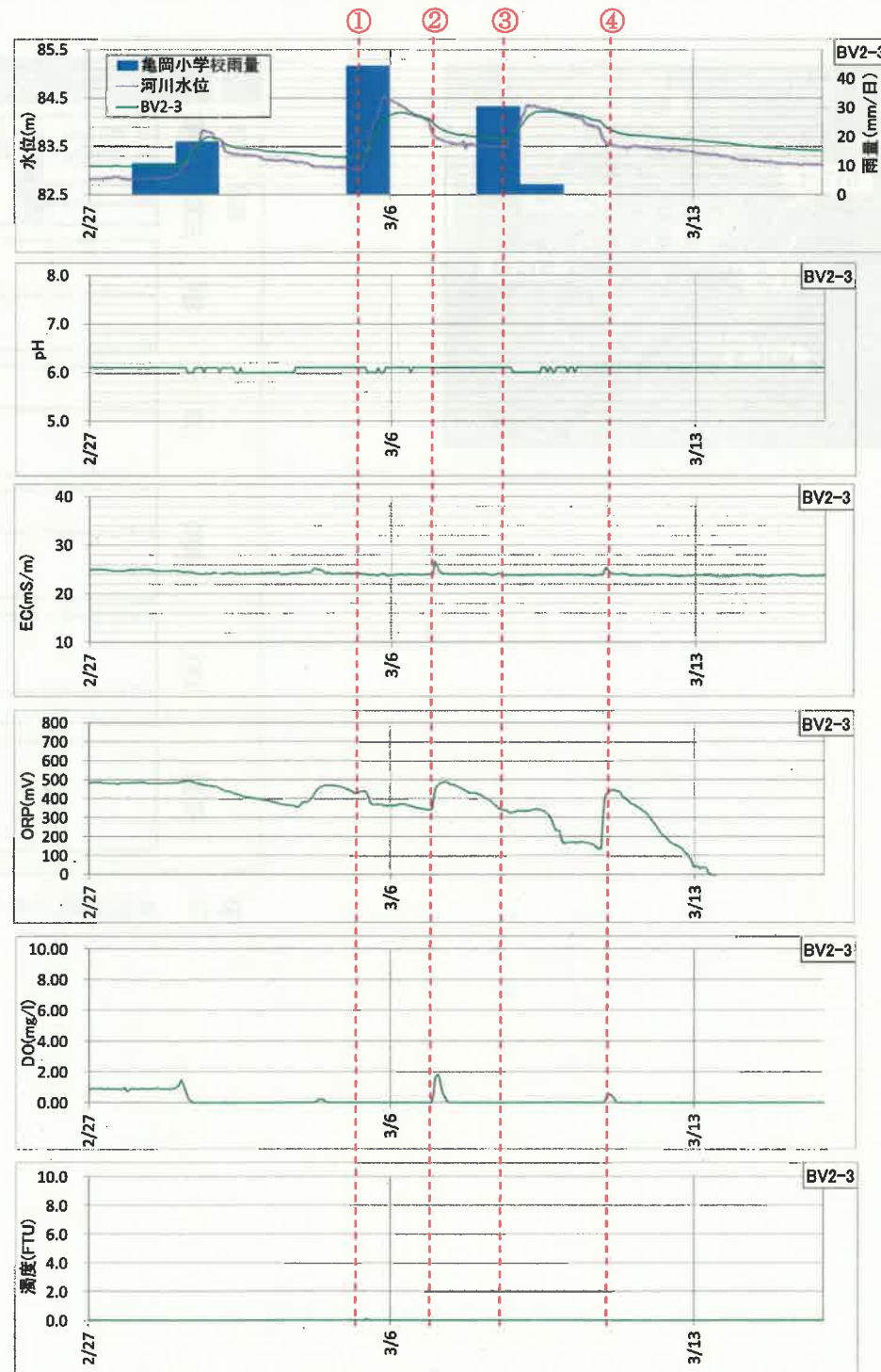


図20 降雨等との連動性整理 (BV2-3)

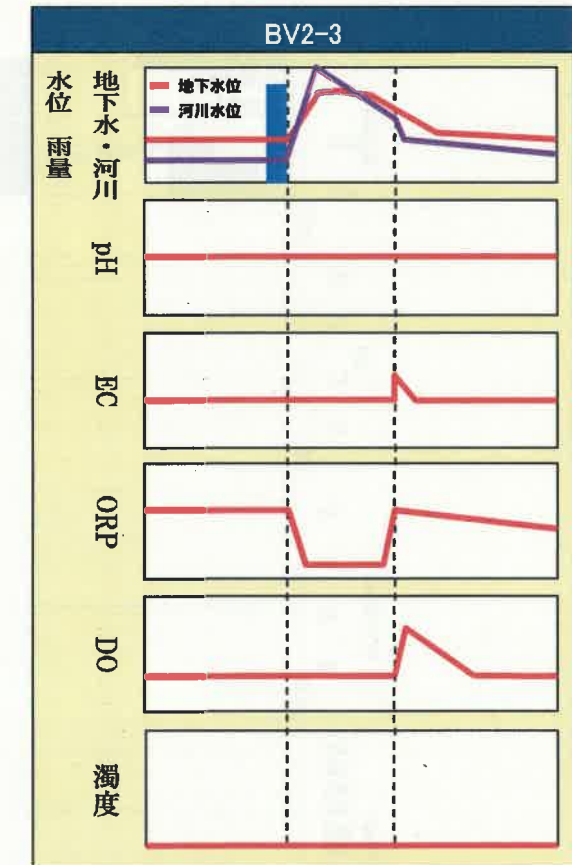
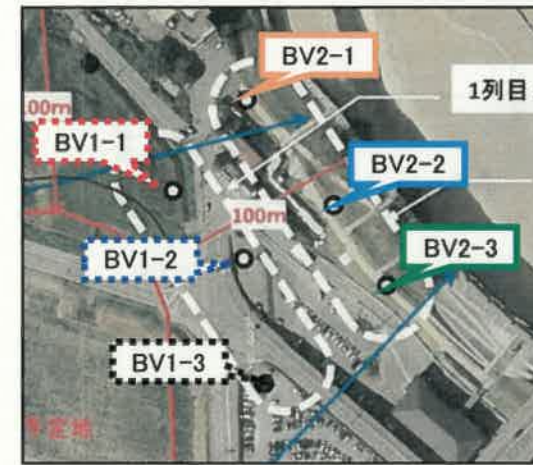


図21 水質変化パターンモデル図(BV2-3)

4. モニタリング結果

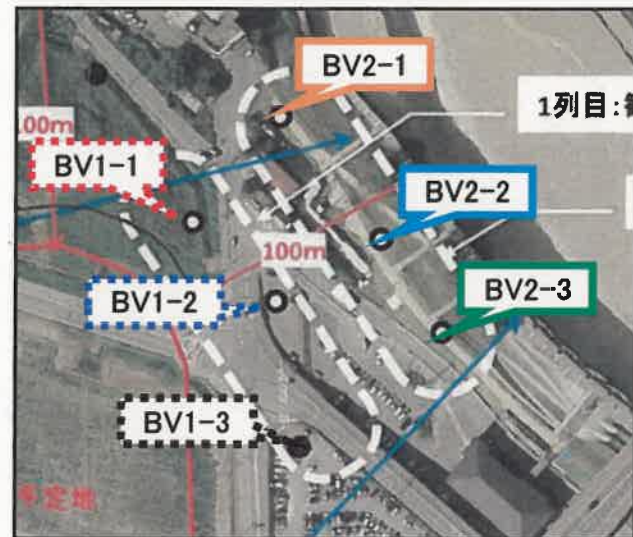
以上の各孔の水質変化パターンを参考にして、モニタリング期間においてこれを逸脱するような水質変化を確認した。

4.1 DO の増加

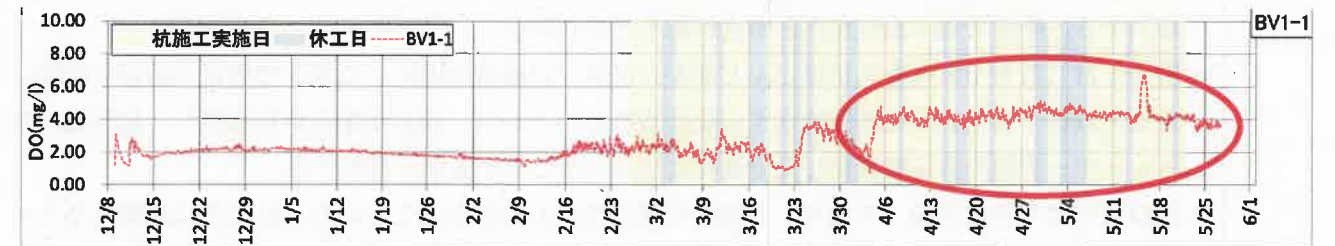
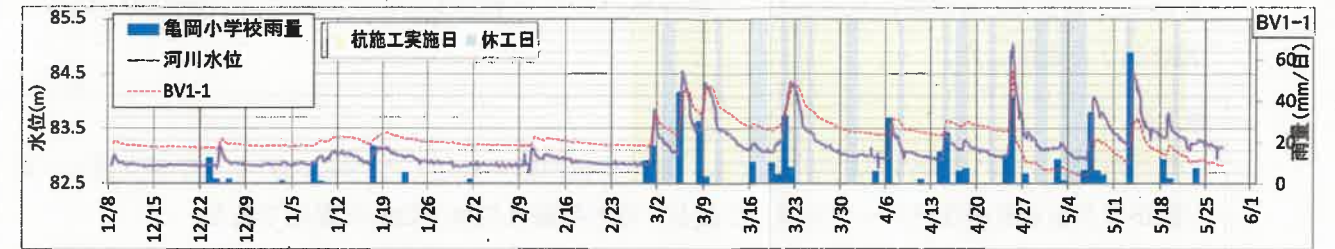
- BV1-1 は元々2mg/l程度であったが、3/24より4mg/l弱まで上昇した。いったん元のレベルまで低下したが、4/4より再度、4mg/lまで上昇し、現在も継続している。
- BV1-2 は元々0mg/l程度であったが、4月中旬より徐々に上昇し、4/30には6mg/l以上まで達した。その後徐々に低下し、5/13には1mg/lを下回ったが、再度上昇し、降雨後すぐに1mg/lを下回った。

■考察

- BV1-1、BV1-2のDOは、降雨が連続している時期に上昇していることから、雨水の浸透により上昇していると思われる。
- BV1-1のDO上昇は、杭工事開始2/26から約1か月後、上昇後ある程度値が一定しているが、施工・休工に対応するような値の変化はみられない。
- BV1-1のDO上昇は、杭工事との関係は不明であるが、桂川方向への連続性は見られない。引き続き丁寧に観測を行っていく。
- BV1-2のDO上昇は、杭工事終了5/21前に下がっており、杭工事に起因するものではないと思われる。



BV1-1



BV1-2

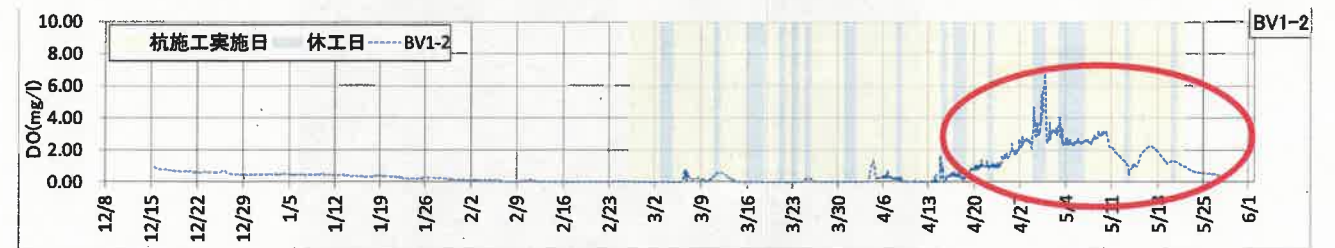
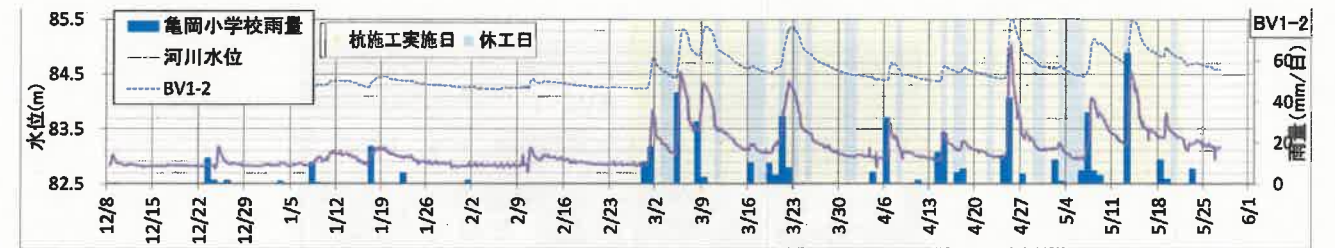


図22 DO 上昇傾向モニタリング孔グラフ

4.2 BV1-1 の水質変化

- BV1-1 は水質が一定しており、前述の DO 以外、観測期間中ほとんど変化がみられなかった。
- 5/13 に日雨量 64mm の降雨を記録し、これ以降の 5/15 に観測開始以来初めて EC, ORP, DO の上昇、水温の低下を記録した。

■考察

- 他の観測孔 (BV1-2, BV1-3, BV2-3) でも、地下水位が低下した時期に EC と DO が上昇し、水温が下がる水質変化パターンを示しており、他の観測孔では一般的な変化である。
- 各水質が変化を開始した時期が一致しており、降雨により地下水が上昇後、低下し始めた時期に相当する。降雨や地下水位変化と関連があると思われる。
- BV1-1 はこれまで水質変化がほとんどなかったが、日雨量 65mm とこれまでの最大雨量を記録したこと及び1日という短期間で水質変化が現れたことから、雨水が地表から浸透し、観測孔のストレーナー周囲の砕石層を通して観測孔に流入したことが原因と思われる。
- 値は直ぐに元の値に戻っており、長期的な連続性がみられないことから、杭工事に起因するものではないと思われる。

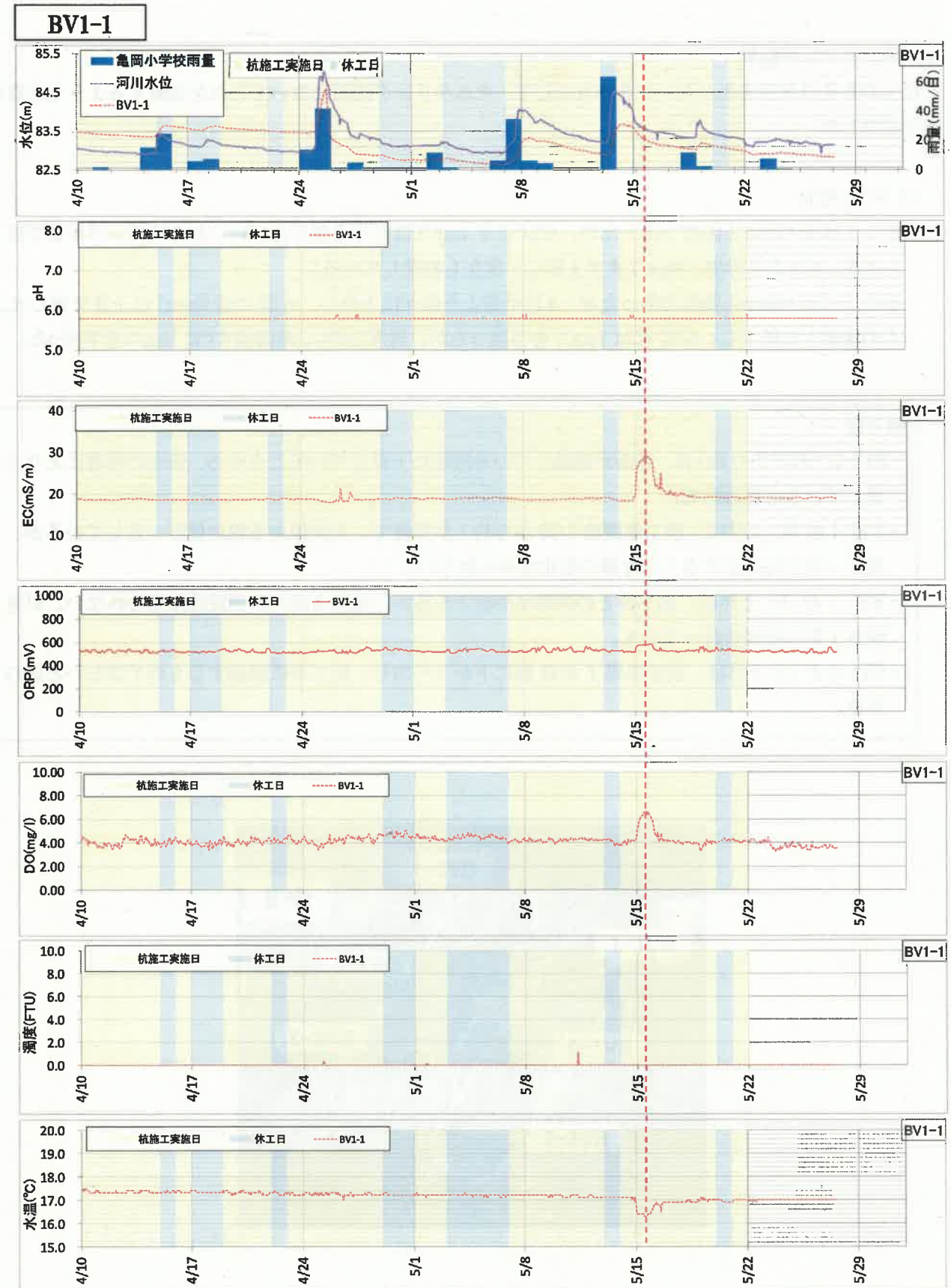
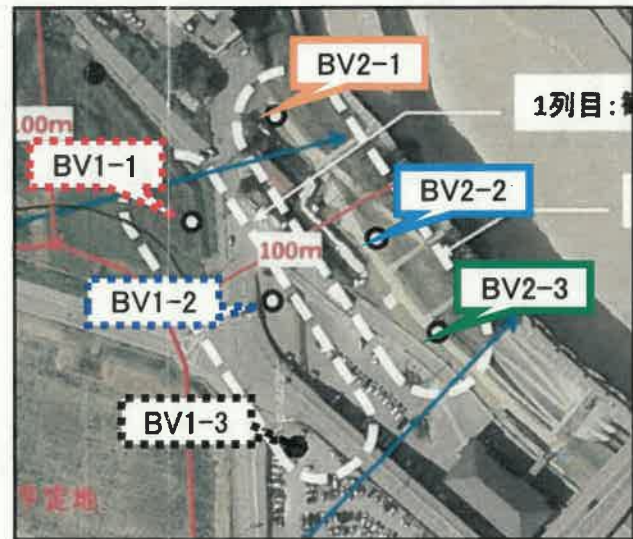


図 23 BV1-1 の 5/15 水質変化グラフ

4.3 BV2-1, BV2-2 の濁度の一時的上昇

- 4/25の未明(1時~4時)に日雨量 42mm を記録し、その後、BV2-1 と BV2-2 の濁度が一時的に上昇した。
- 両孔の上昇時間にズレがあり、BV2-1 は 3時 50分に 1FTU を超えて、7時 10分に下回った。BV2-2 は 13時 20分に 1FTU を超えて、18時 30分に下回った。一時を除き、徐々に上昇してピークを迎えたのち下降している。

■ 考察

- これまで濁度センサーにごみ等が付着し短期的な異常値が確認されている。この場合は著しく大きな値を示し、10分~数時間で元の値に戻る傾向があり、短期的な異常値の可能性はある。
- 4/25の濁度の一時的上昇は降雨後に発生していることや徐々に上昇し、ピークを迎えたのち徐々に低下する傾向を示すことから、河川水位や地下水位の変動に起因する可能性も考えられる。
- BV2-1, BV2-2 以外の観測孔で連続的な濁度上昇が確認されていないことから、杭工事に起因するものではないと思われる。

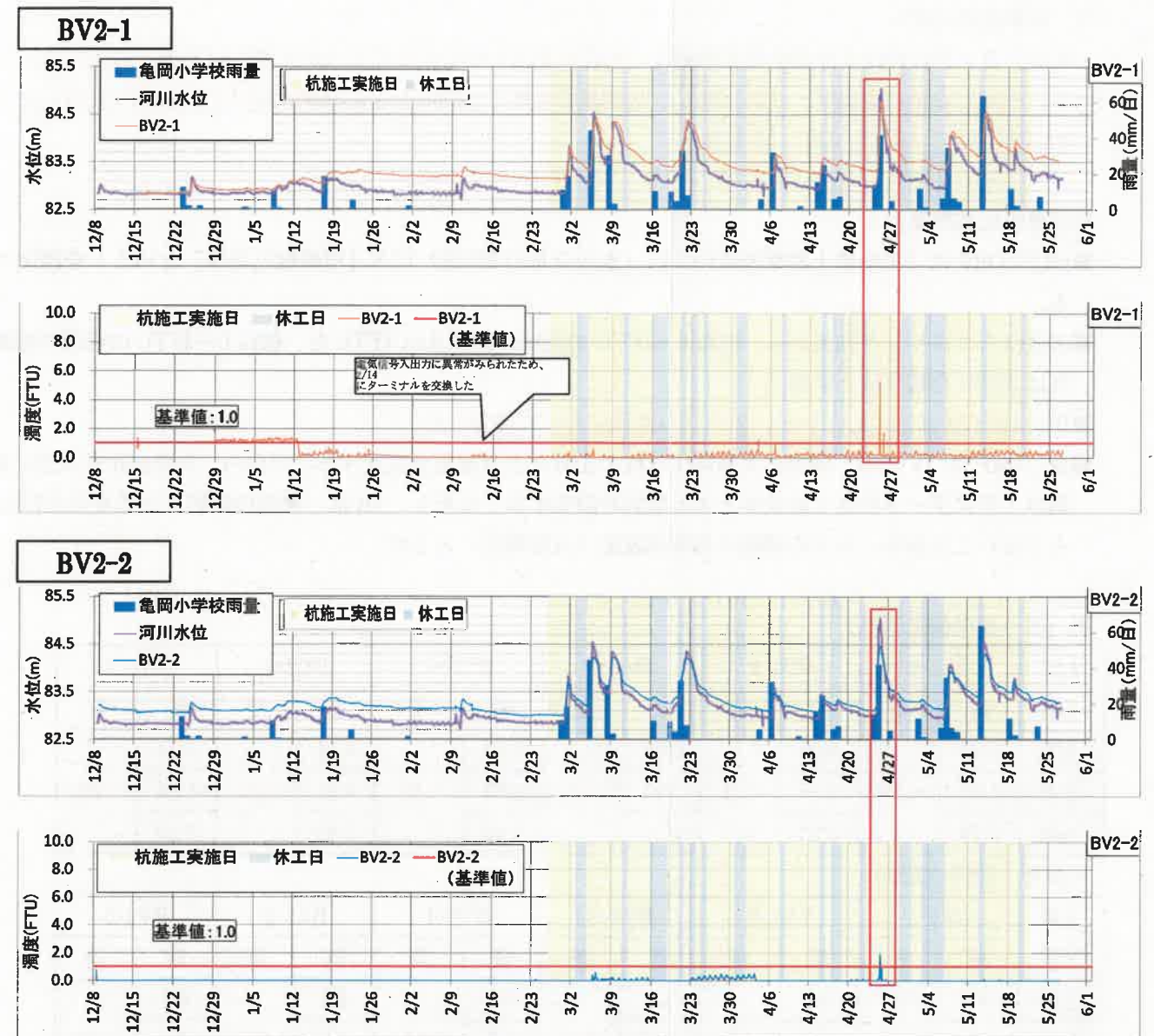
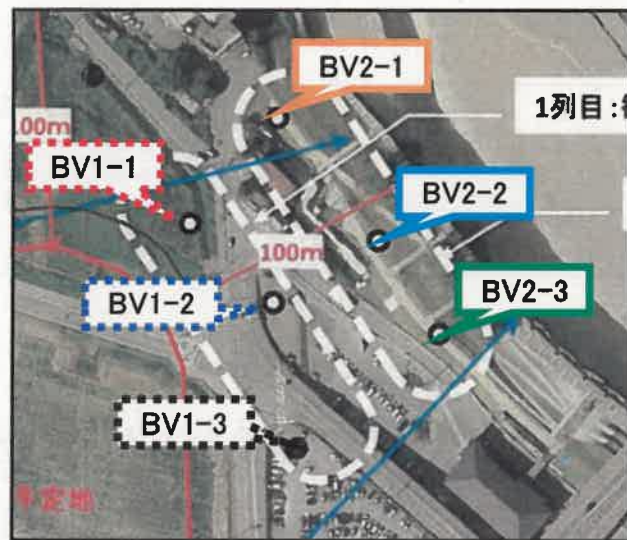


図 24 BV2-1, BV2-2 の濁度変化グラフ

表 1 BV2-1 (4/25) 10 分間濁度(FTU)変化

	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時
0分	0.3	0.8	0.9	4.6	5.3	1.2	0.3
10分	0.5	0.7	0.9	4.6	5	0.9	0.3
20分	0.6	0.9	1.1	6.1	2.9	0.6	0.3
30分	0.5	0.8	1.5	5.5	2.8	0.6	0.2
40分	0.5	0.9	1.9	5.7	2.2	0.6	0.2
50分	0.7	1.1	2.8	6	1.6	0.3	0.2

表 2 BV2-2 (4/25) 10 分間濁度(FTU)変化

	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時
0分	0.4	0.7	1.9	1.9	1.7	1.5	0.8
10分	0.5	0.9	2	2	1.9	1.3	1.3
20分	0.5	1.2	1.7	2.1	1.9	1.2	1.1
30分	0.6	1.1	1.7	2	1.8	1.2	0.8
40分	0.6	1.8	1.4	1.9	1.6	1.6	0.5
50分	0.7	1.9	1.8	1.8	1.4	1.2	0.5

5. 基準値の見直し

モニタリングにおける注意喚起基準値は、水質の季節変動を反映するため定期的に見直すことになっている。今回、最新の観測データを反映し、基準値の見直しを行った。計算期間は前回(12/8~3/31)に対し期間を広げて(12/8~5/27)とした。

<注意喚起基準値>

■pH,EC,ORPは「平均値±標準偏差の2倍(正規分布の95%値)以下【標準偏差基準】という」を採用する。

■濁度はモニタリング結果から、概ね0~1FTUの範囲の観測孔は1FTUを、概ね0~2FTUの範囲の観測孔は2FTUを基準値とする。

■DOは基準値は設定しないが、データの推移について確認する。

■EC、ORPについては、降雨による河川水位の上昇により水質が変化することから、水質変化が大きい期間は丁寧にデータを見て対象外とする期間を設定する。ただし、pHは、降雨の影響による変化がほとんどないことから、全ての期間を基準値設定(計算期間)とした。

(1) pH (標準偏差基準)

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	5.94		6.09		6.35		7.75		6.14		6.14	
下限												
平均	5.84	0.20	5.96	0.26	6.30	0.11	6.85	1.80	6.02	0.25	6.09	0.09
下限	5.74		5.83		6.24		5.95		5.89		6.05	

<参考：前回の基準>

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	6.0		6.1		6.4		7.4		6.1		6.1	
下限												
平均	5.9	0.2	6.0	0.3	6.3	0.2	6.7	1.5	6.0	0.2	6.1	0.1
下限	5.8		5.8		6.2		5.9		5.9		6.0	

※前回の基準値設定の際、下1桁表記の四捨五入だとBV2-3のように上限値(6.1)と平均値(6.1)が同じ数値になる場合があったことから、今回は下2桁表記に変更した。

(2) EC (標準偏差基準)

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	19.1		24.7		23.3		23.6		24.8		25.9	
下限												
平均	18.5	1.2	23.2	3.1	22.4	1.8	21.5	4.2	22.4	4.7	24.3	3.1
下限	17.9		21.6		21.5		19.4		20.1		22.8	

<参考：前回の基準>

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	18.8		23.7		23.3		23.8		22.4		25.6	
下限												
平均	18.4	0.8	22.9	1.6	22.7	1.2	21.7	4.2	21.5	1.7	25.0	1.3
下限	18.0		22.1		22.1		19.6		20.7		24.3	

(3) ORP (標準偏差基準)

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	610.0		481.2		506.2		404.1		539.3		538.5	
下限												
平均	495.0	229.9	454.7	53.0	333.2	346.1	309.4	189.3	477.7	123.2	440.8	195.5
下限	380.1		428.2		160.1		214.8		416.1		343.0	

<参考：前回の基準>

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	606.0		477.7		479.2		369.0		534.7		542.4	
下限												
平均	467.3	277.4	452.4	50.5	285.2	388.0	253.4	231.1	497.1	75.2	447.2	190.5
下限	328.6		427.2		91.2		137.9		459.5		351.9	

(4) 濁度 (1または2FTUで設定)

濁度は各孔で傾向が異なるが、連続的に基準値を超えた場合に杭施工に伴う濁りの影響が想定される。

	BV1-1		BV1-2		BV1-3		BV2-1		BV2-2		BV2-3	
	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差	値	差
上限	1.0		2.0		2.0		1.0		1.0		1.0	
下限												
平均		1.0		2.0		2.0		1.0		1.0		1.0
下限	0		0		0		0		0		0	

