

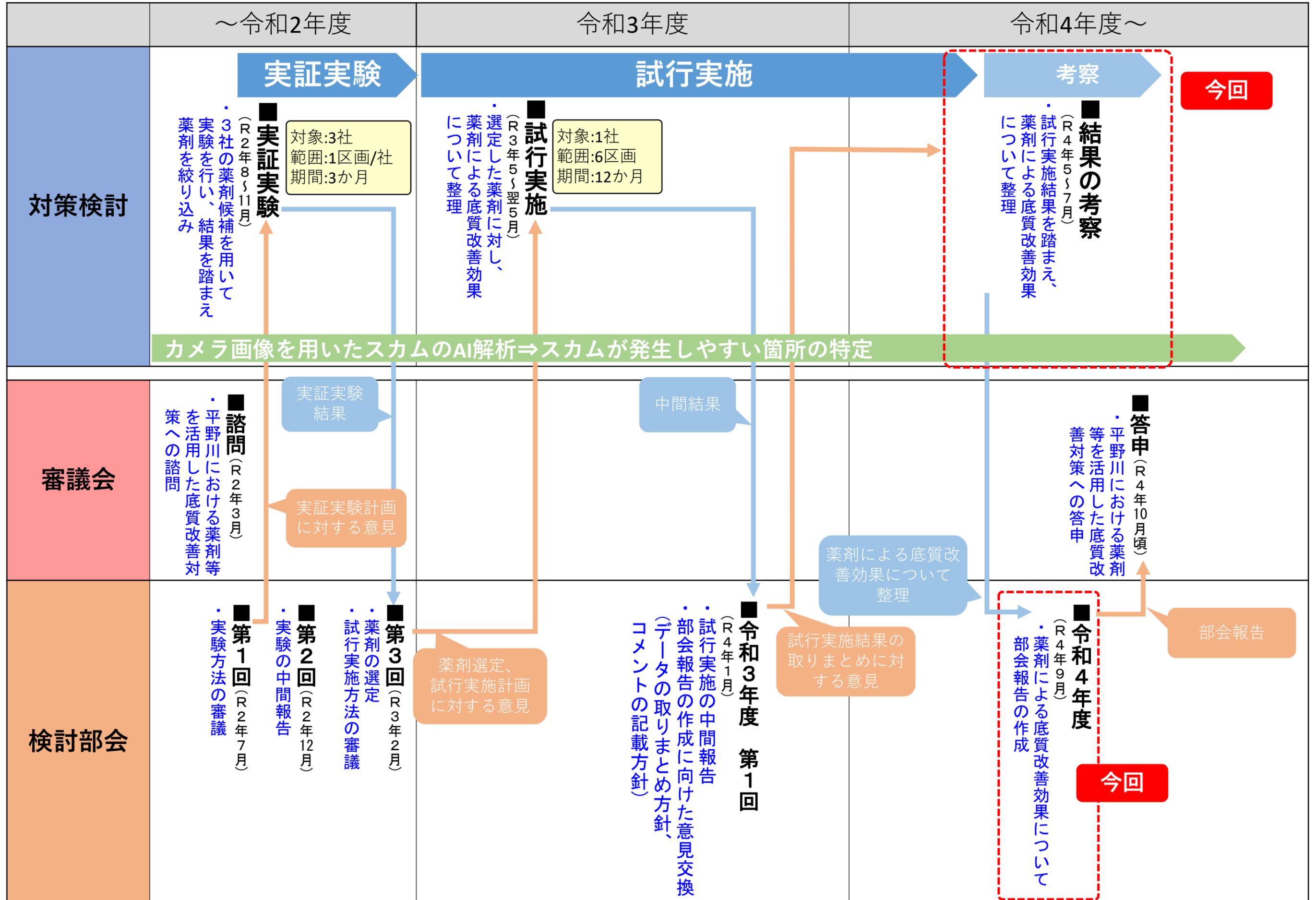
平野川における薬剤を活用した底質改善対策の試行実施について

目次

1.	薬剤による底質改善対策のロードマップ	p. 1
2.	薬剤散布による底質改善試行実施概要	p. 2
3.	前回 (R4. 1/7) 部会の意見と対応	p. 8
4.	試行実施結果	
4. 1	水質	p. 9
4. 2	地盤高	p. 10
4. 3	底質	p. 11
5.	試行実施結果の検証	
5. 1	1年間を通じた改善効果について	p. 18
5. 2	検証結果に対する原因の考察	p. 20
6.	試行実施結果のまとめ	p. 25

1. 薬剤による底質改善対策のロードマップ

◆平野川のスカムに対して「浄化浚渫」や「マイクロバブル」などと合わせた底質改善対策の選択肢の一つとして、「薬剤による底質改善」の検討を実施



今回

今回

2. 薬剤散布による底質改善試行実施概要

目的

- 平野川では年間を通じて断続的にスカム発生が確認されている。この対策案として、令和2年度の現地実験で選定された薬剤による底質改善効果を検証する。
- 薬剤散布量や散布頻度を変化させ、効果的・効率的な散布方法を検証する。

実施エリア

- 平野川において3つの実験エリア(万才橋・千歳橋・南弁天橋)を設定。
- 注) エリアは、平野川において底質の強熱減量が比較的高い箇所のうち、試行実施場所としてなじまない箇所を除いて選定



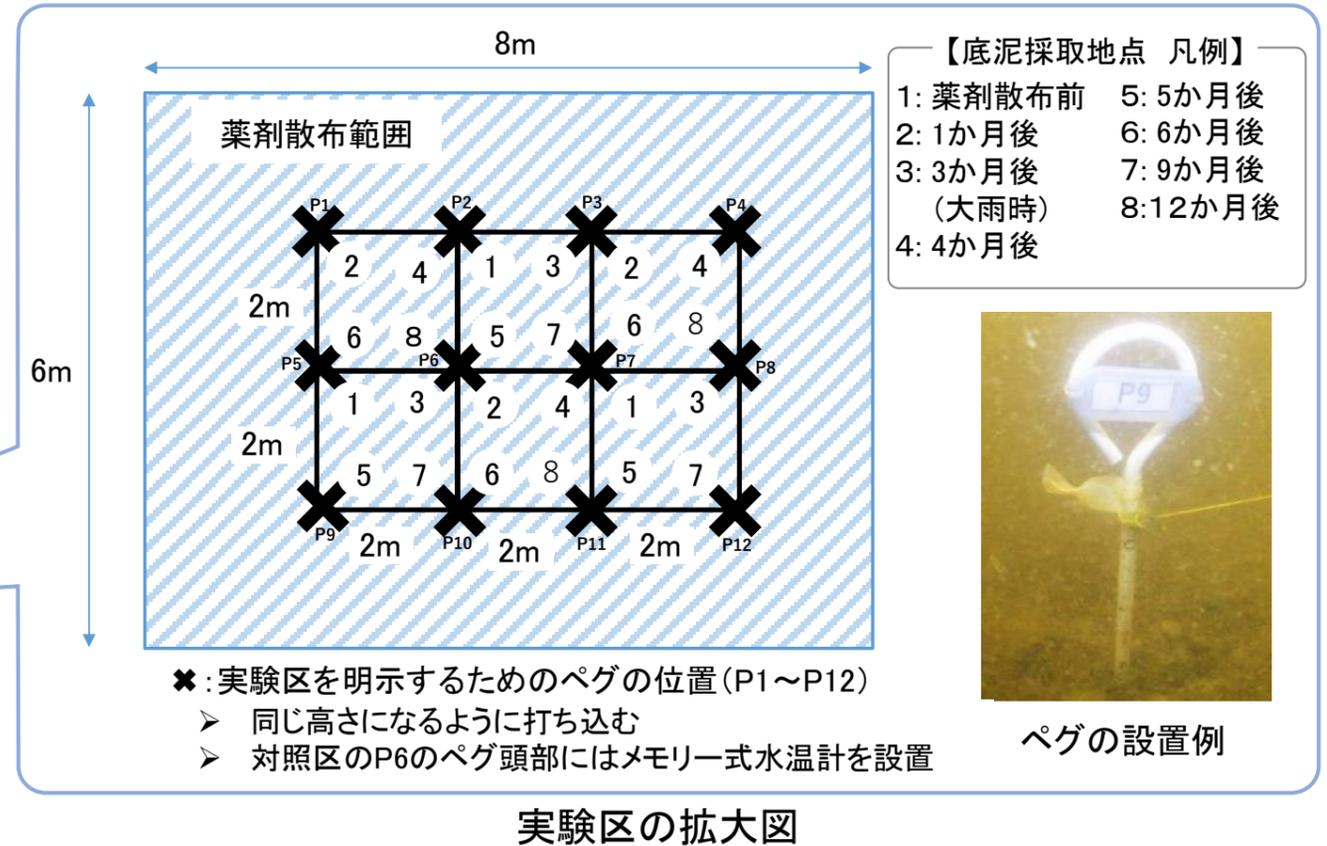
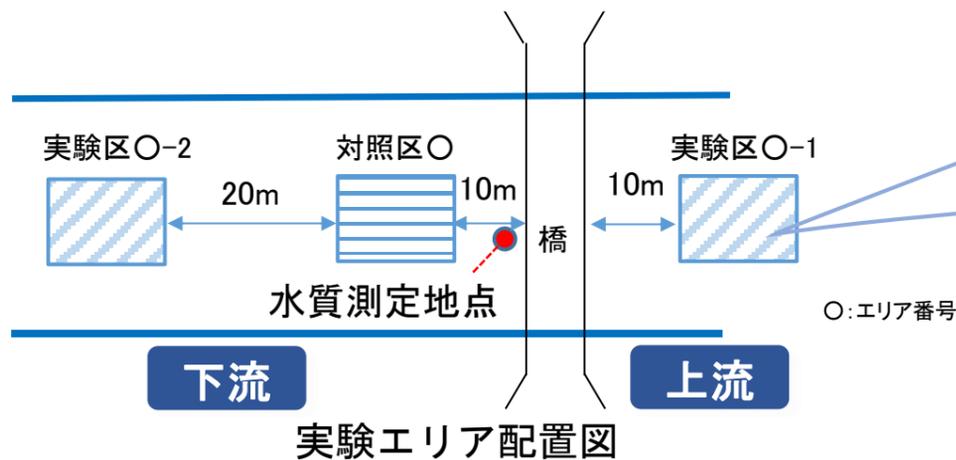
各実験区の詳細

地点	実験区	薬剤散布諸元			備考
		散布回数 (回/年)	散布単位量 (kg/m ²)	散布総量 (kg)	
エリア1 万才橋 (3.7k)	実験区1-1	1	0.9	43.2	※R2(実証実験)と同条件
	実験区1-2	1	1.8	86.4	
	対照区1	-	-	-	
エリア2 千歳橋 (2.9k)	実験区2-1	4	0.6	115.2	メーカー推奨条件(基準)
	実験区2-2	4	0.9	172.8	
	対照区2	-	-	-	
エリア3 南弁天橋 (2.6k)	実験区3-1	6	0.6	172.8	
	実験区3-2	6	0.9	259.2	
	対照区3	-	-	-	

セルの色… ■:基準より少ない ■:基準と同じ ■:基準より多い

実験区、対照区の設定

- 各エリアにおいて、“実験区”2箇所及び“対照区”1箇所を設定。
- 実験区⇒ 薬剤の散布量や散布回数を2箇所を変えて実験を実施
- 対照区⇒ 実験期間中の平野川の底泥の状態変化を把握(薬剤散布なし)
- 各実験区、対照区の大きさは4m×6m、薬剤散布範囲は6m×8m



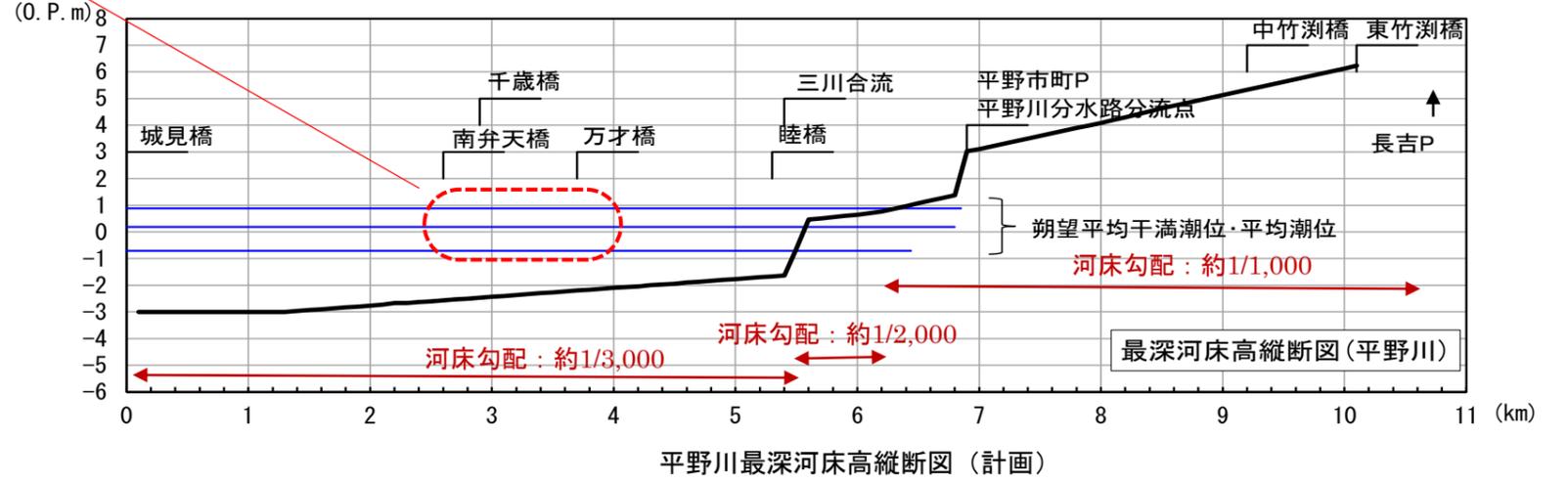
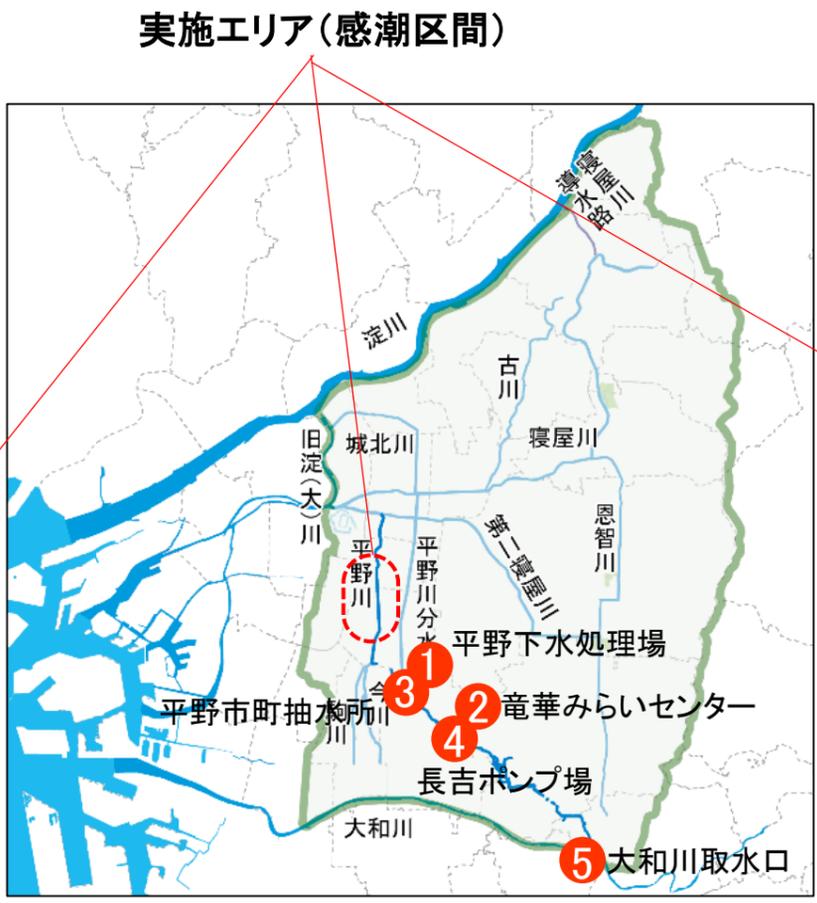
2. 薬剤散布による底質改善試行実施概要

◆調査地点の南弁天橋(2.6k)～万才橋(3.7k)は勾配が1/3,000と緩く感潮区間であり、大阪湾と水位がほとんど同じである。
 ◆雨天時には上流(1/1,000区間)で合流式下水道越流水が放流される。また、1/3,000区間でスカムが確認されている

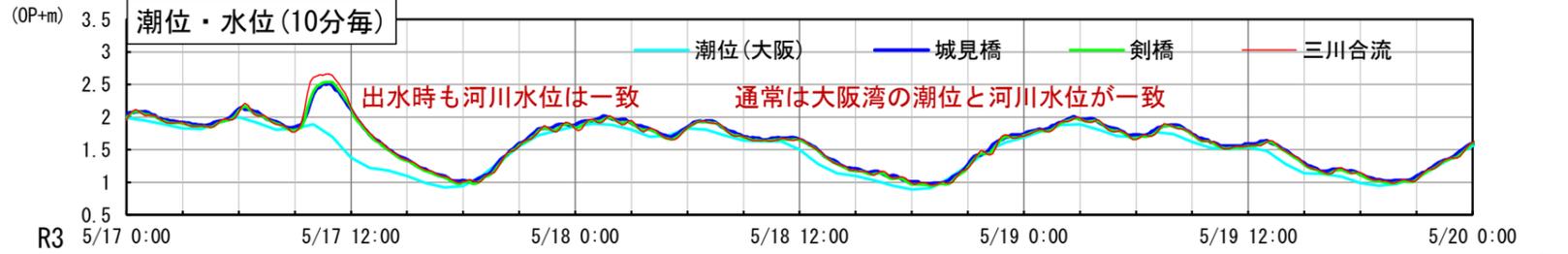
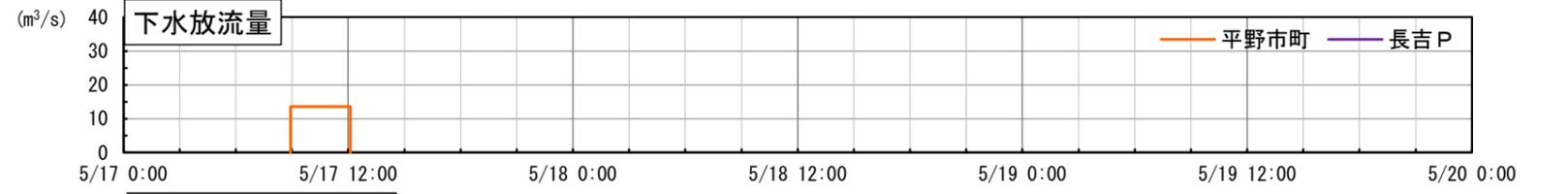
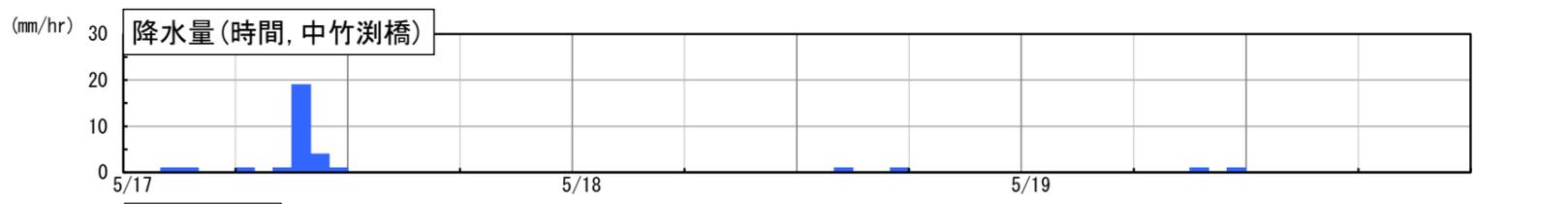
流況 (H30)

平常時	平野川 大池橋(4.0k)	高度処理水		農業用利水
		① 平野下水処理場	② 竜華みらいセンター	⑤ 大和川取水口(17.3k)
	6m ³ /s	2.75m ³ /s	0.3m ³ /s	かんがい期 : 1.7m ³ /s 非かんがい期 : 0.5m ³ /s
雨天時	合流式下水道越流水			
	③ 平野市町抽水所(7.0k)		④ 長吉ポンプ場(10.5k)	
	年間吐出货量 : 約808万t/年 年間稼働日数 : 65日 かんがい期(7/6) : 9.83m ³ /s 非かんがい期(2/16) : 6.32m ³ /s	年間吐出货量 : 約528万t/年 年間稼働日数 : 36日 かんがい期(7/6) : 20.3m ³ /s 非かんがい期(2/19) : 8.0m ³ /s		

出典: R2 第1回検討部会資料



平野川に発生したスカム
(南弁天橋: 令和元年8月21日)
(2.6k)



2. 薬剤散布による底質改善試行実施概要

- ◆ 今回の報告では、令和4年1月以降の結果を追加して通年の試行の結果を評価している。
- ◆ 令和4年1月以降、千歳橋で1回、南弁天橋で2回の薬剤散布を行った。

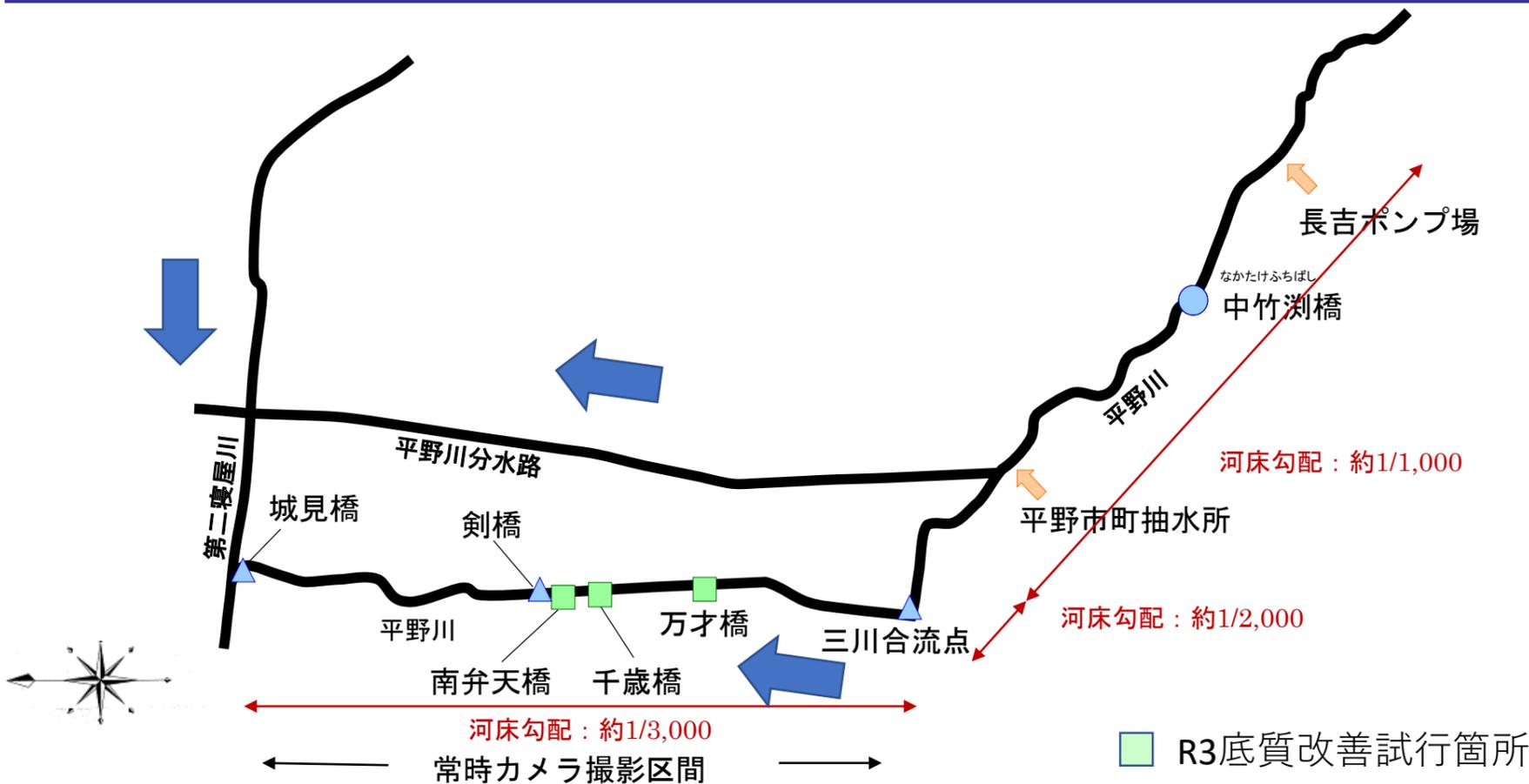
試行実施の実績

※5/12: 水質測定 5/13: 底質試料採取

R3試行実施	令和3年								令和4年				
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
底質試料採取・水質測定	散布前 (5/12・13)	1か月後 (6/25)		3か月後 (大雨後) (8/23)	4か月後 (9/27)	5か月後 (10/25)	6か月後 (11/22)			9か月後 (2/13)			12か月後 (5/17)
エリア1(万才橋)2.6k 〈1回散布〉	散布 (5/24)												
エリア2(千歳橋)2.9k 〈4回散布〉	散布 (5/24)			散布 (8/26)			散布 (11/24)			散布 (2/21)			
エリア3(南弁天橋)3.7k 〈6回散布〉	散布 (5/24)		散布 (7/20)		散布 (9/28)		散布 (11/24)		散布 (1/18)		散布 (3/23)		

(参考) R2実証実験	令和2年							
	5月	6月	7月	8月	9月中旬	9月下旬	10月	11月
底質試料採取・水質測定				散布前 (8/25)	2週間後 (9/10)	1か月後 (9/29)	2か月後 (10/29)	3ヶ月後 (11/26)
万才橋(下流左岸側)				散布 (8/26)				

今回追加報告



河川水

5cm 上層

5cm 下層

薬剤は河川から直接散布するため、効果が期待される範囲を表層から10cm程度と推定した。そこで表層から深さ5cmまでを上層、さらに5cm下までを下層とし、それぞれ採泥し、調査した。

調査項目

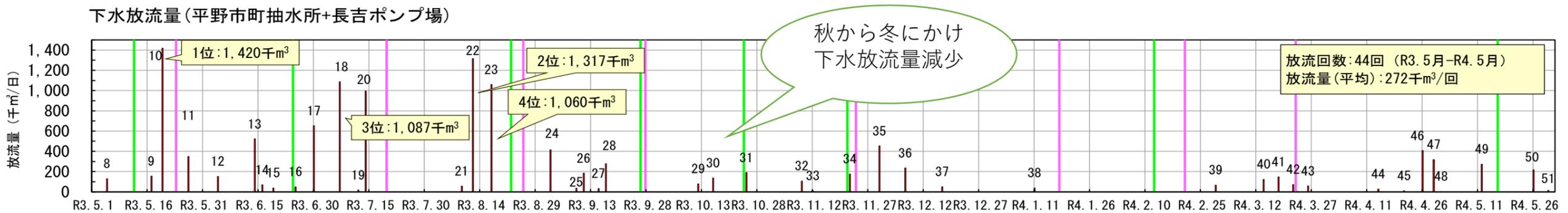
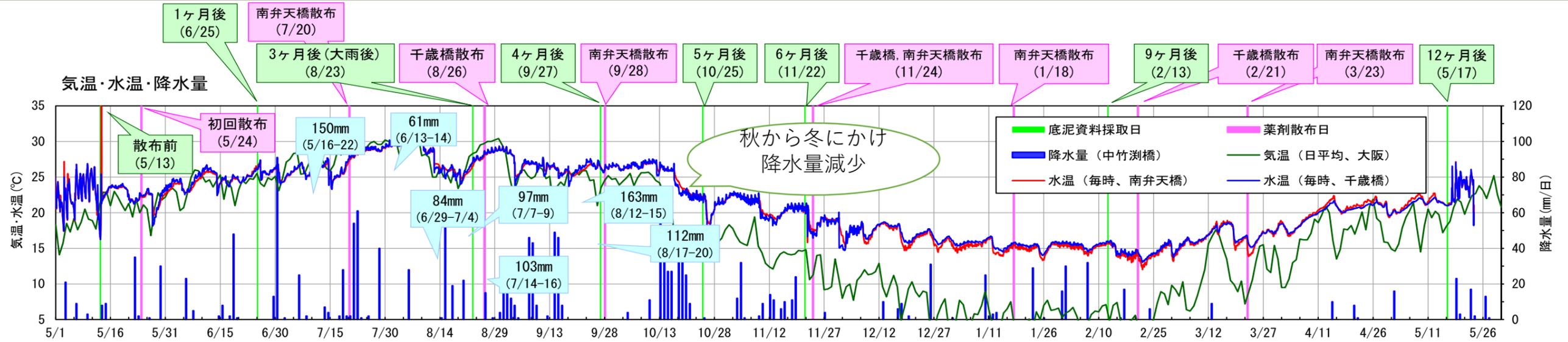
- 水質
水温(°C)・塩分(psu)・pH・DO(mg/L)・ORP(mV)
- 底質
ORP(mV)・全硫化物(mg/g)・TOC(mg/g)・強熱減量(%)・n-ヘキサン抽出物質(%)

■ R3底質改善試行箇所

2. 薬剤散布による底質改善試行実施概要

気温・水温、降水量、下水放流量の状況

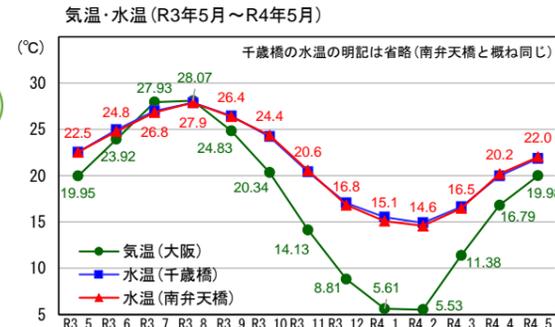
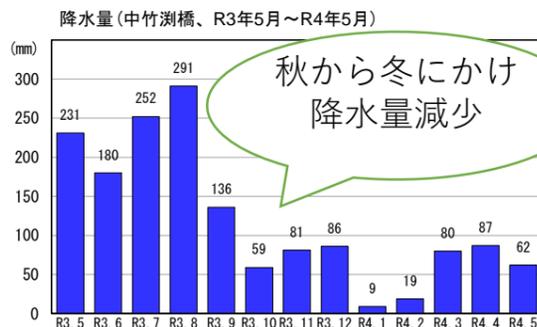
- ・降水量: 降水量が多い期間は春～夏に集中しており、秋～冬にかけては降水量が少なかった。
- ・下水放流量: 試行実施中に平野市町抽水所及び長吉ポンプ場からの下水放流は44回発生し、秋～冬にかけては放流量が減少する傾向にあった。



下水放流量 (出水毎)

No.	R3																	R4																	平均										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41		42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
月日	5/5	5/17	5/20-21	5/27	6/4	6/14	6/16	6/19	6/25	6/30-7/3	7/7-9	7/12	7/14-16	8/9	8/12-15	8/17-20	9/2-3	9/9	9/11-12	9/15	9/17-18	10/12	10/16-17	10/25	11/9	11/12	11/22	11/30-12/1	12/7	12/17	1/11	3/1	3/14	3/18	3/22-23	3/26	4/14	4/21	4/26-27	4/29	5/1	5/12-14	5/26-27	5/30	
平野市町抽水所	130	156	●1,026	219	116	351	69	39	50	422	●678	4	●666	45	●1,034	●731	305	36	121	33	194	34	90	134	106	11	123	264	212	51	28	51	75	112	65	48	15	11	246	201	4	145	148	15	191
長吉ポンプ場	-	-	393	131	37	172	-	-	-	232	409	14	330	12	283	329	110	-	65	-	84	45	48	57	-	-	52	191	23	-	11	16	48	36	13	11	13	-	162	117	-	128	70	-	117
平野市町+長吉P	130	156	●1,420 (1)	350	153	●523	69	39	50	●653	●1,087 (3)	18	●996 (5)	58	●1,317 (2)	●1,060 (4)	415	36	186	33	278	79	137	191	106	11	175	454	236	51	39	67	123	148	77	59	27	11	408	318	4	272	217	15	272
月合計	2,056			834				2,754				2,435				948			407		285			287		39		475			765			509											

●: 500千m³超、()は放流量の順位
No. は28ページの2021年3月からのデータと連番

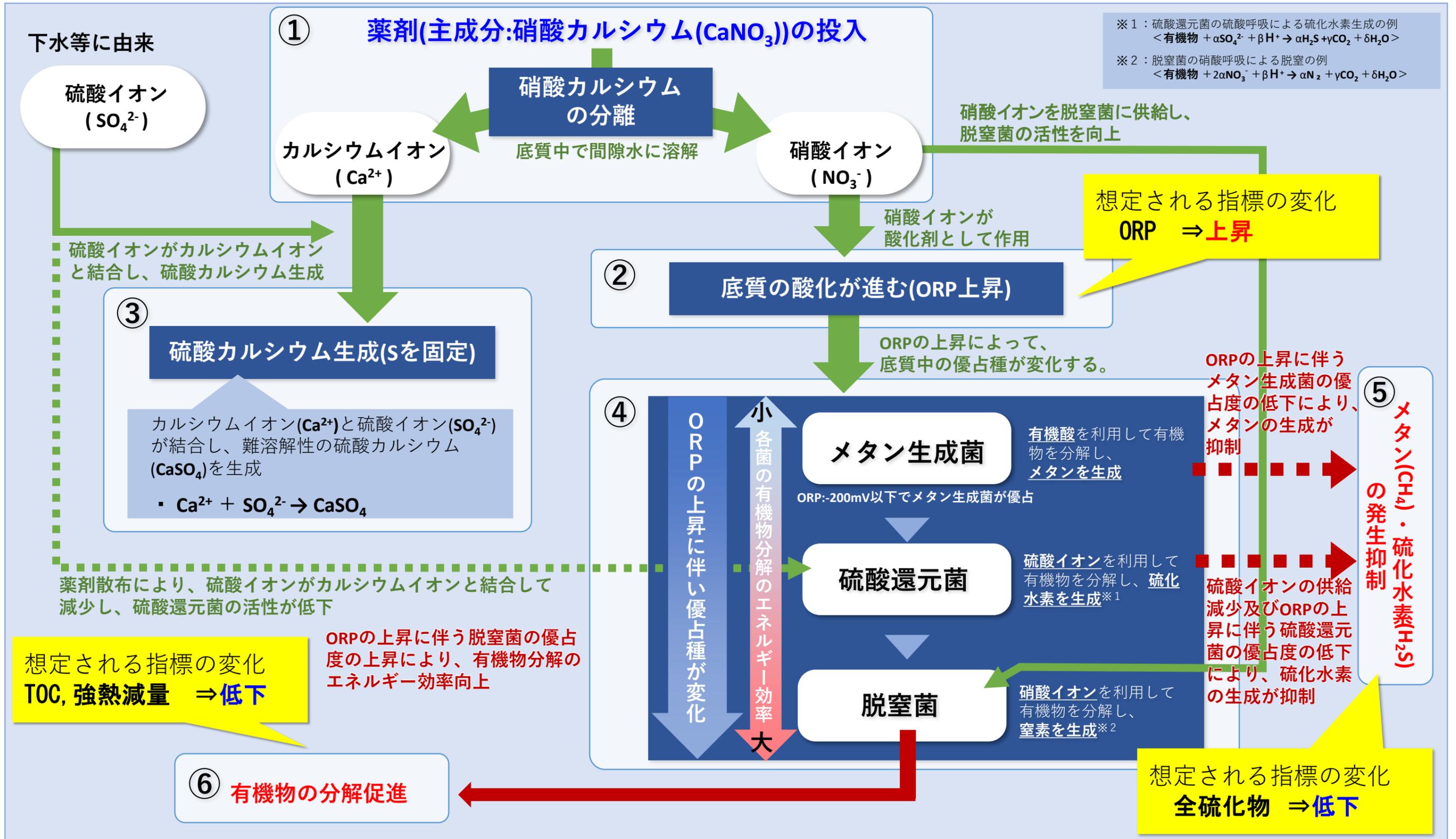


注) データ整理期間 気温: R3. 5/1～R4. 5/31 水温: R3. 5/1～R4. 5/23
降水量: R3. 5/1～R4. 5/24 下水放流量: R3. 5/1～R4. 5/31

2. 薬剤散布による底質改善試行実施概要

- ・底質改善の最終的な目標は下図「⑤メタン・硫化水素の発生抑制」「⑥有機物の分解促進」である。
- ・推定メカニズムに則って底質が改善する場合、「ORPの上昇」「TOCの低下」「強熱減量の低下」が連動して起きると考えられる。
- ・TOCと強熱減量は有機物に係る指標であるため、同じ傾向を示すと考えられる。
- ・全硫化物は他の項目と連動しない可能性がある。

薬剤による底質改善メカニズムの推定



2. 薬剤散布による底質改善試行実施概要

本試行実施の目的

- ・平野川では年間を通じて断続的にスカム発生が確認されている。この対策案として、令和2年度の現地実験で選定された薬剤による底質改善効果を検証する。
- ・薬剤散布量や散布頻度を変化させ、効果的・効率的な散布方法を検証する。

調査結果の検証・解析の進め方

①底質調査による1年間を通じた底質改善効果の検証

- ・底質調査結果より、対象区と実験区を比較した1年間を通じた改善効果を整理し、薬剤散布により平野川で期待されるような底質の改善効果を検証する。
- ・散布量、散布頻度の違いによる改善効果の比較を行い、効果的・効率的な散布方法を検証する。

②検証結果に対する原因の考察

● 調査期間ごとの底質改善効果の検証

年間を通じた底質改善効果の検証結果の考察のため、調査期間ごとの底質改善効果を確認し、効果が現れた期間とそうでない期間の違いを考察する。

● 地盤高変化と薬剤散布効果の関係性の検証

河床は上流からの底質の供給などにより、浸食・堆積が常に生じている。このような河床の攪乱が薬剤散布効果に与える影響を調べるため、地盤高変化と薬剤散布効果の関係性について考察する。

● 主成分分析による結果の可視化

本試行実施では評価項目が多く、底質の改善効果が項目によって異なる可能性がある。そこで、主成分分析によって結果を2次元データとして可視化し、期間ごとの底質環境の変動傾向やその要因、エリア間の違いについて考察を行った。

③試行実施全体の評価

- ①②を総合し、今回の実証試験の結果と、今後の運用について総括する。

3. 前回(R4.1/7)部会の意見と対応

前回 (R4.1/7) の意見と対応

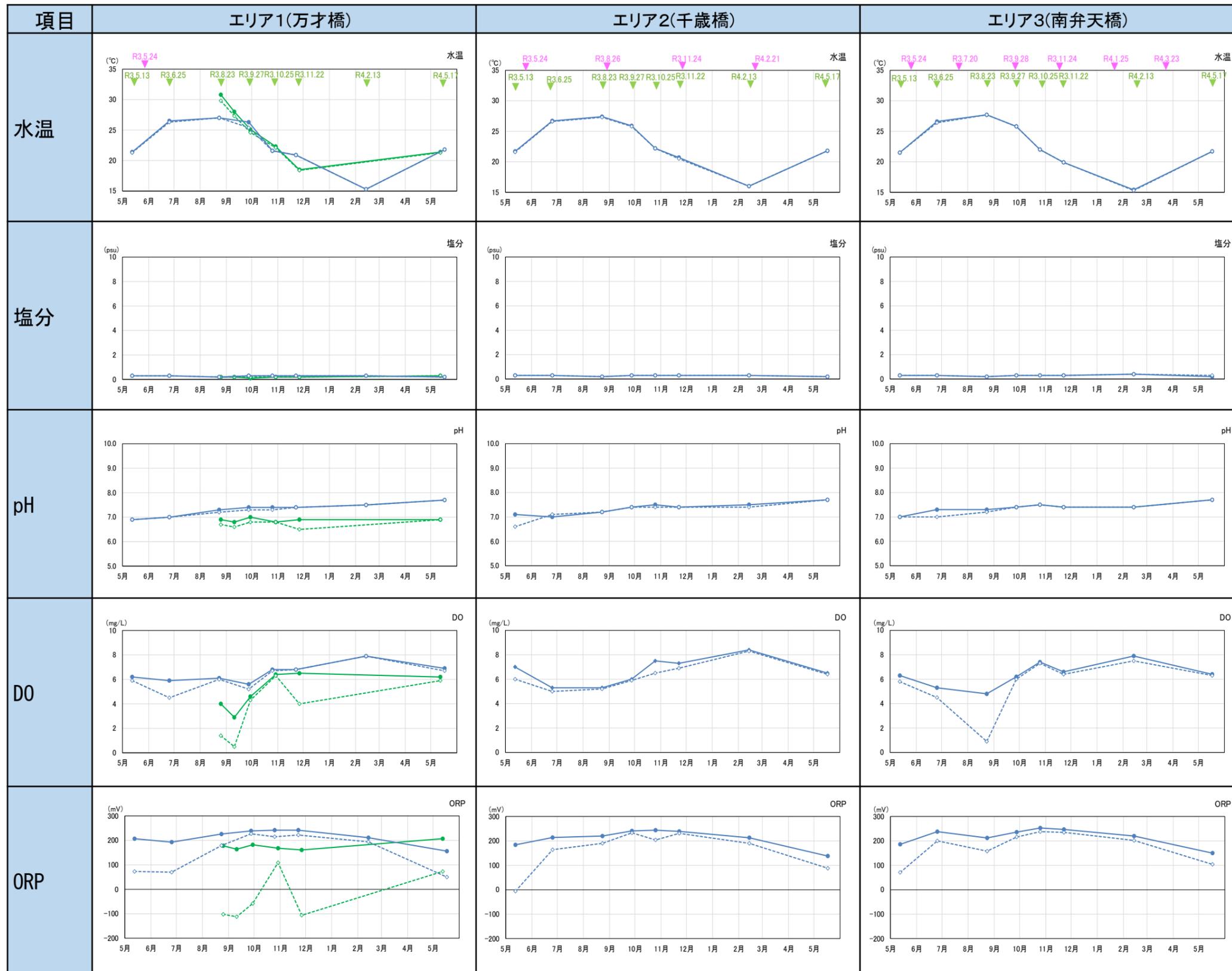
・前回の部会でいただいたご意見について、本資料では以下のように対応している。

No.	意見	当日の回答	本資料での対応 (案)
1	万才橋の3か月以降は評価対象外とすることの意見	—	記載は存置するが、凡例や文字の色で区別できるようにする。
2	底質変化傾向についての「改善」、「緩和」の表現の使い分けに関する意見	誤解の無いよう表現を改善する。	「改善」・「緩和」に分類し、資料に反映する。
3	「まとめイメージ」一覧表において「散布回数」や「散布量」ごとに比較・評価することについての意見	「まとめイメージ」一覧表について、頂いた意見を踏まえ、複数のパターンを作成する。	・各種視点ごとに列をグルーピングしたケースも作成し、比較・評価を行う。
4	「まとめイメージ」一覧表において底質変化傾向についての「改善」、「緩和」毎に整理する必要性についての質問	その上で、評価しやすいパターンについて改めて相談させてもらいたい。	・「改善傾向が大きい」場合（改善）と「悪化傾向が小さい」場合（緩和）は凡例を分けて示す。
5	実験区と対照区で初期値が異なる場合の整理についての意見		
6	堆積・洗堀の状況により、対象底質試料が異なる可能性についての意見	「まとめイメージ」一覧表について、地盤高の変化に応じて凡例を変えて整理する。	「まとめイメージ」一覧表について、地盤高の変化状況に応じて凡例を変えて整理する。
7	答申に向けての「まとめイメージ」一覧表の最終的なまとめ方への質問	グルーピングなど見せ方は工夫していきたい。	「まとめイメージ」一覧表について、「散布量」ごとにグルーピングしたケースも作成し、比較・評価を行う。
8	底質項目について主成分分析等により指標の単純化を検討することへの意見	—	主成分分析を試行し、指標の合成を検討する。
9	スカムの流下する範囲についての質問	おそらく第二寝屋川程度まで流下し、沈降するが、再浮上の有無は不明である。	(当日に回答済み)
10	AIを活用したスカム発生予測に関する意見	今後可能な範囲で進めたい。	(当日に回答済み)
11	スカム検知の際の苦情等の有無に関する質問	スカムアラートと苦情の相関性はまだ不明確である。	(当日に回答済み)

4. 試行実施結果 4.1 水質

水質の状況

底質を採取した各地点の表層と底層の水質を計測した。



【水温】
 ・最高が8月で約28℃、最低が2月に約15℃である。
 ・各地点間に差は見られない。

【塩分】
 ・0.2～0.3psuと一定であり、海水の影響は見られない。

【pH】
 ・7前後で一定であるが、やや上昇傾向であった。
 ・各地点間に差は見られない。

【DO】
 ・令和2年9月を除き、表層は6～8mg/Lで概ね一定であり、各地点間に差は見られない。
 ・底泥直上は、万才橋、南弁天橋において8月～9月に1mg/L程度まで低下している。

【ORP】
 ・表層は150～250mVで変動し、概ね一定である。
 ・底泥直上は表層よりも低く、万才橋の令和2年の8,9,11月と千歳橋の令和3年5月はマイナス値になっている。

▼ 薬剤散布時期 ● R3 表層(水面から0.5m) ● R2(万才橋) 表層(水面から0.5m) ◇ R3 底泥直上(底泥から0.2m) ◇ R2(万才橋) 底泥直上(底泥から0.2m)
 注) R2は万才橋でのみ測定

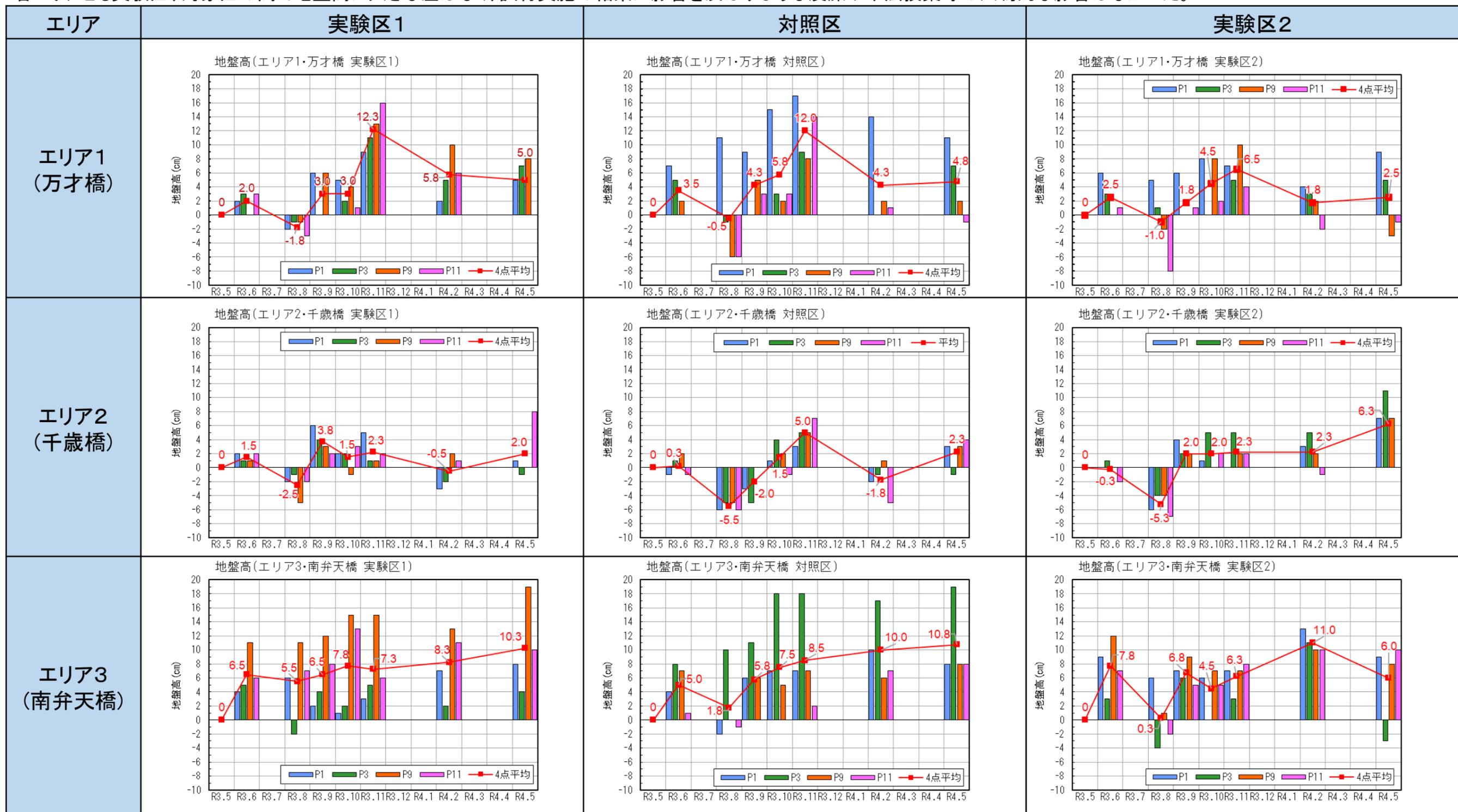
4. 試行実施結果 4.2 地盤高

地盤高の変化

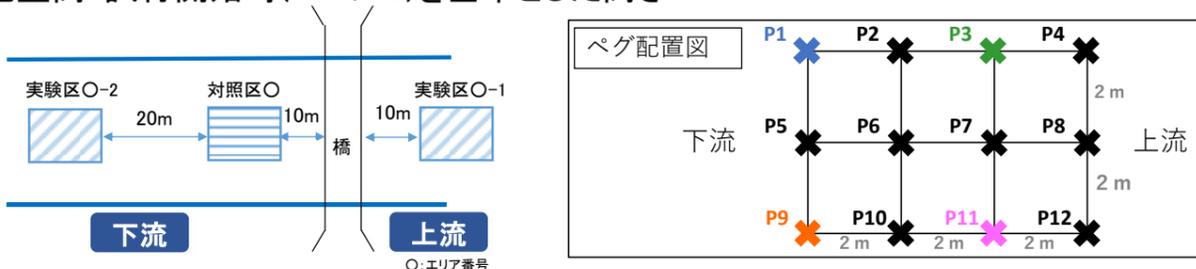
各地区の4地点(P1,P3,P9,P11)における試行開始時からの地盤高の変化を計測した。

各エリアとも実験区、対象区の間で地盤高に大きな差はなく、試行実施の結果に影響を及ぼすような浚渫や不法投棄等の人為的な影響はなかった。

■ P1 ■ P3 ■ P9 ■ P11 ● 4点平均



地盤高: 試行開始時(R3.5/13)を基準とした高さ



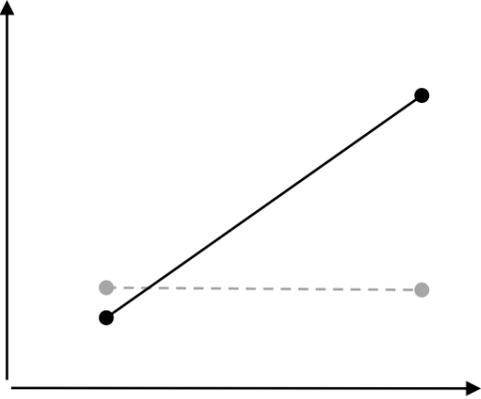
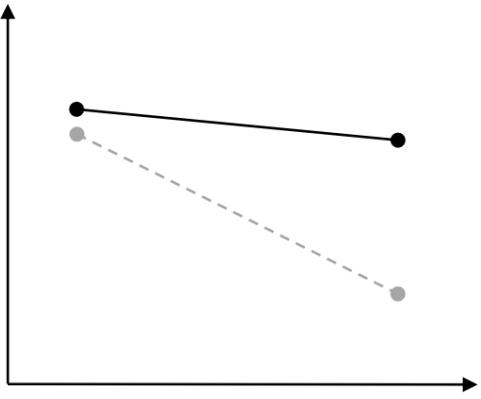
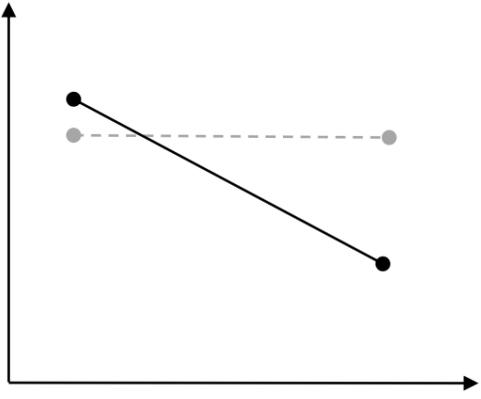
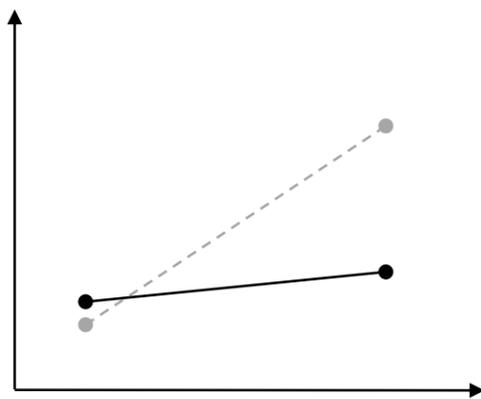
- ・4点の地盤高の平均値は4地点の浸食・堆積傾向と同じ傾向を示した。
- ・各地区における平均地盤高の堆積・洗堀傾向は、以下のとおりであった。

第1回 (R3. 6/25) : 概ね堆積傾向	第5回 (R3. 11/22) : 概ね堆積傾向
第2回 (R3. 8/23) : 概ね浸食傾向	第6回 (R4. 2/13) : 概ね堆積傾向
第3回 (R3. 9/27) : 概ね堆積傾向	第7回 (R4. 5/17) : 概ね堆積傾向
第4回 (R3. 10/25) : 概ね堆積傾向	
- ・エリア1(万才橋)、エリア3(南弁天橋)で堆積傾向が大きい。

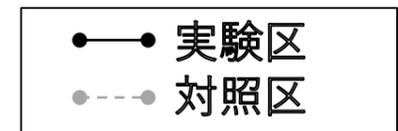
4. 試行実施結果 4.3 底質

評価方法について

- ・本資料では調査前後の底泥の評価指標について、20%以上の減少を「低下傾向」、-20%未満の減少～+20%未満の上昇を「横ばい傾向」、20%以上の上昇を「増加傾向」の3区分に分類した※。
- ・1年間の変動については最小二乗法により変動傾向を直線化し、試行前後の変動を上記指標により区分した。期間ごとの変動は、期間前後の数値を直接比較により区分した。
- ・本資料では実験区を対照区と比較して、下記に示す通りに改善・緩和で分けて効果を分析した。

評価項目	改善	緩和
<p>ORP</p> <p>数値が高いほど底質環境が良好</p> 	 <p>対照区に比べ実験区の上昇が大きい(対象区が低下傾向、横ばい傾向のときに実験区が増加傾向)</p>	 <p>対照区に比べ実験区の低下が小さい(対象区が低下傾向のときに、実験区が横ばい傾向)</p>
<p>全硫化物 TOC 強熱減量</p> <p>数値が低いほど底質環境が良好</p> 	 <p>対照区に比べ、実験区の低下が大きい(対象区が横ばい傾向、増加傾向のときに実験区が低下傾向)</p>	 <p>対照区に比べ、実験区の上昇が小さい(対象区が低下傾向のときに、実験区が横ばい傾向)</p>

※分析等による誤差を考慮し、本資料では、前後の差が20%以上見られた場合に変動があると評価した。



4. 試行実施結果 4.3 底質

試行実施結果・底質 エリア1(万才橋) 実験区 1-1(1/2)

- ・万才橋・実験区1では全項目において年間を通じた傾向に对照区と比較して改善・緩和傾向は見られず、年間を通じた薬剤散布効果は確認できなかった。
- ・下層では薬剤散布後9か月後に全硫化物、TOC、強熱減量で改善傾向が見られたが、メーカーの薬剤効果継続期間(3か月)よりかなり遅れたものであった。

下水放流量

地盤高

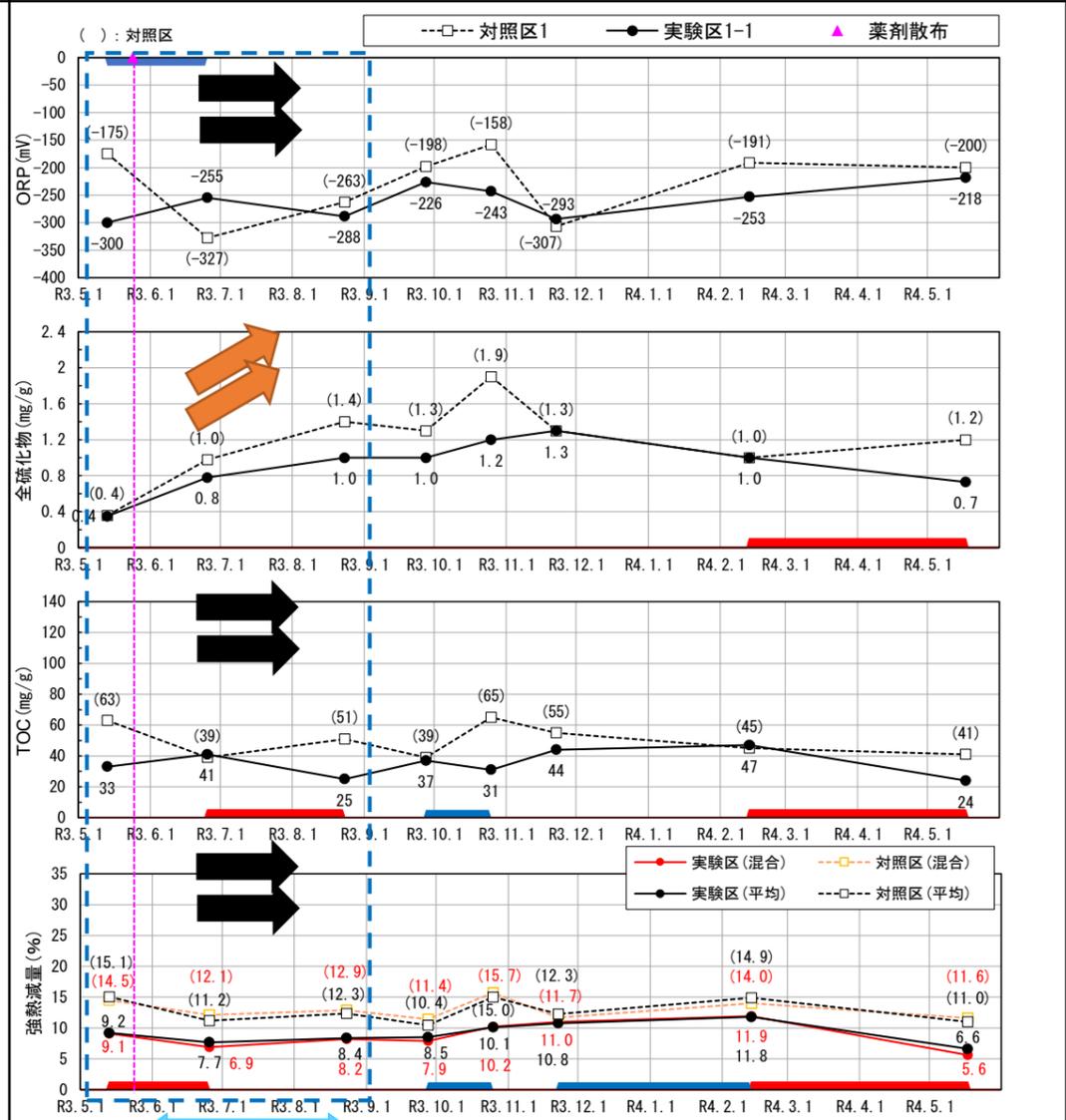
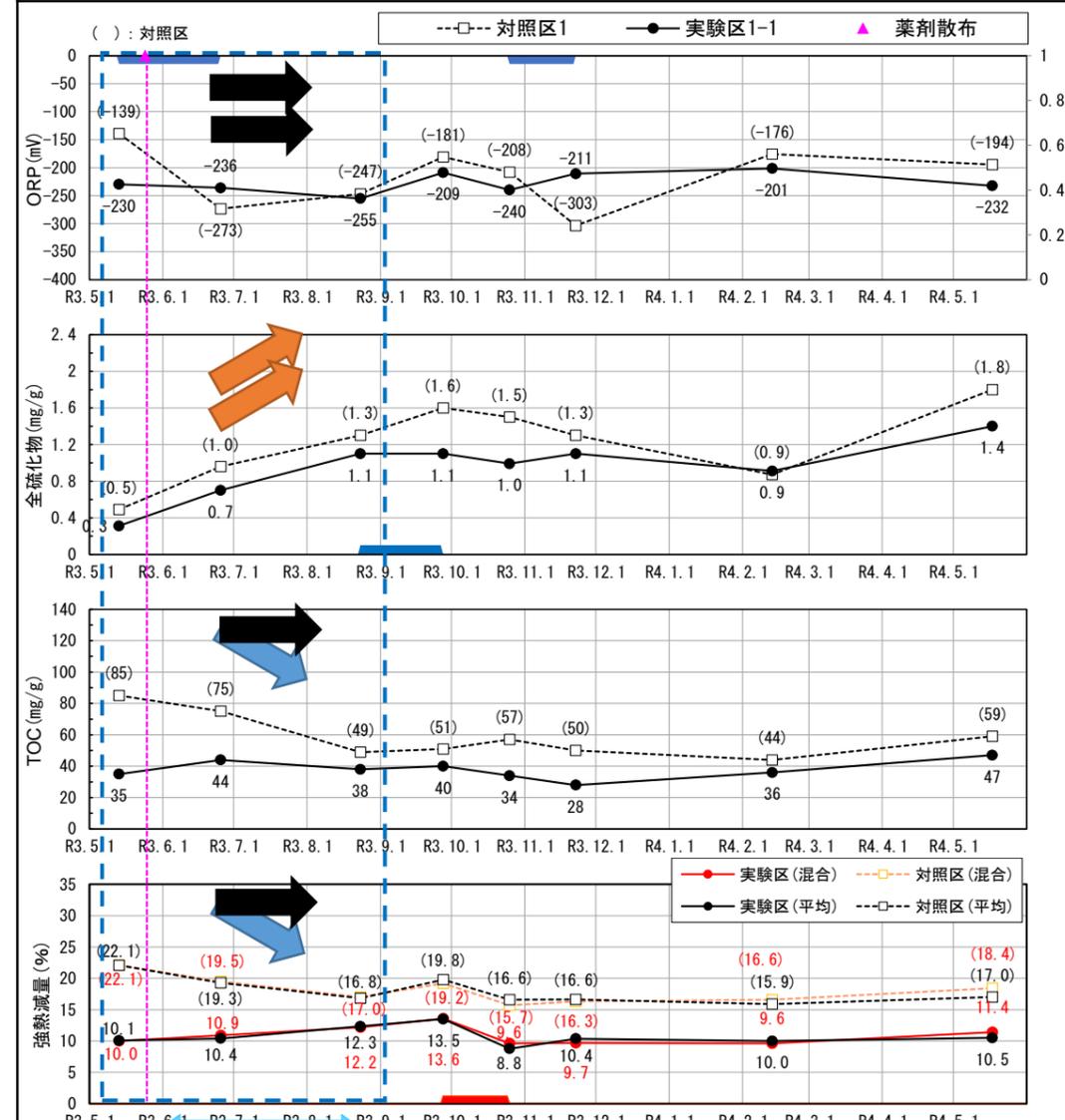
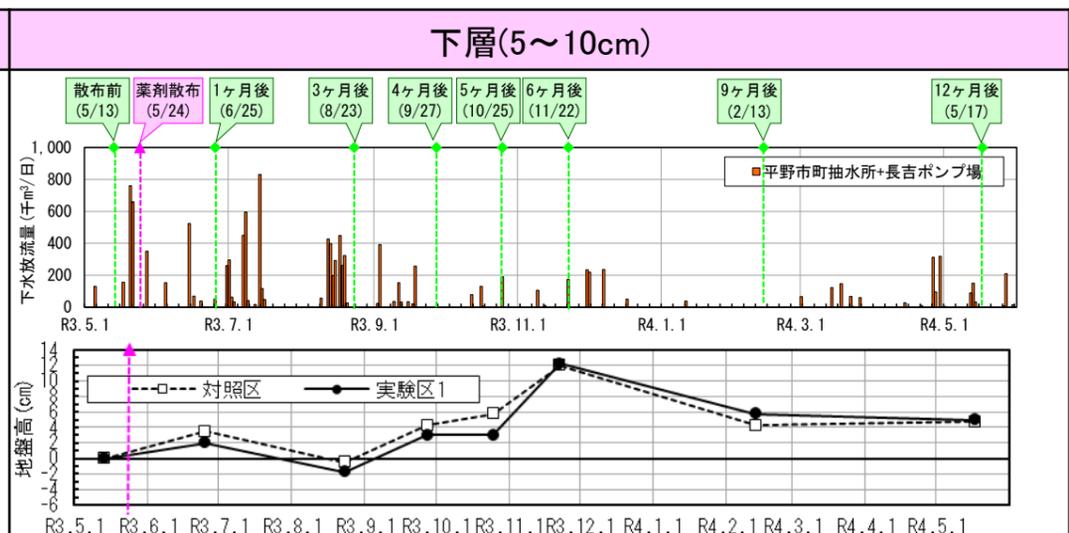
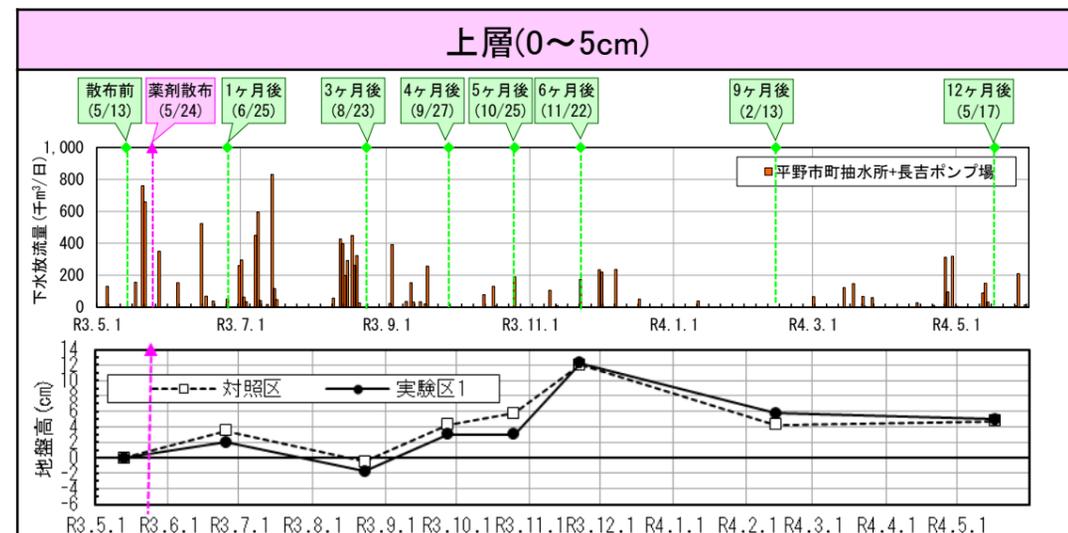
ORP

全硫化物

TOC

強熱減量

矢印: 改善方向



【散布回数・散布量】

エリア	散布回数(年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量(kg)	単位量(kg/m ²)	総量(kg)	単位量(kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)
 ■ 基準より少ない ■ 基準と同じ ■ 基準より多い

【万才橋・実験区1-1】
 ・単位散布量は基準どおり
 ・散布回数が少なく、総散布量が少ない

【1年間の底質改善・緩和】

- ➡ 年間通して横ばい
- ➡ 年間通して増加傾向
- ➡ 年間通して減少傾向
- 上段は実験区
- 下段は对照区

※最小二乗法により、1年間で平均的に20%以上の変化があった場合に改善ありとした。

【期間ごとの底質改善・緩和】

- ➡ 改善傾向が見られた範囲
- ➡ 緩和傾向が見られた範囲

散布後3ヶ月間 メーカー推奨条件から想定される薬剤効果継続期間

4. 試行実施結果 4.3 底質

試行実施結果・底質 エリア1(万才橋) 実験区 1-2(2/2)

・万才橋・実験区2では全項目において年間を通じた傾向には対照区と比較して改善・緩和は見られず、薬剤散布効果は確認できなかった。
 ・全硫化物、TOC、強熱減量の一部期間に改善傾向が見られたが、薬剤散布後3か月経過後も改善・緩和が断続的に続いており、薬剤散布による効果かは不明瞭。

下水放流量

地盤高

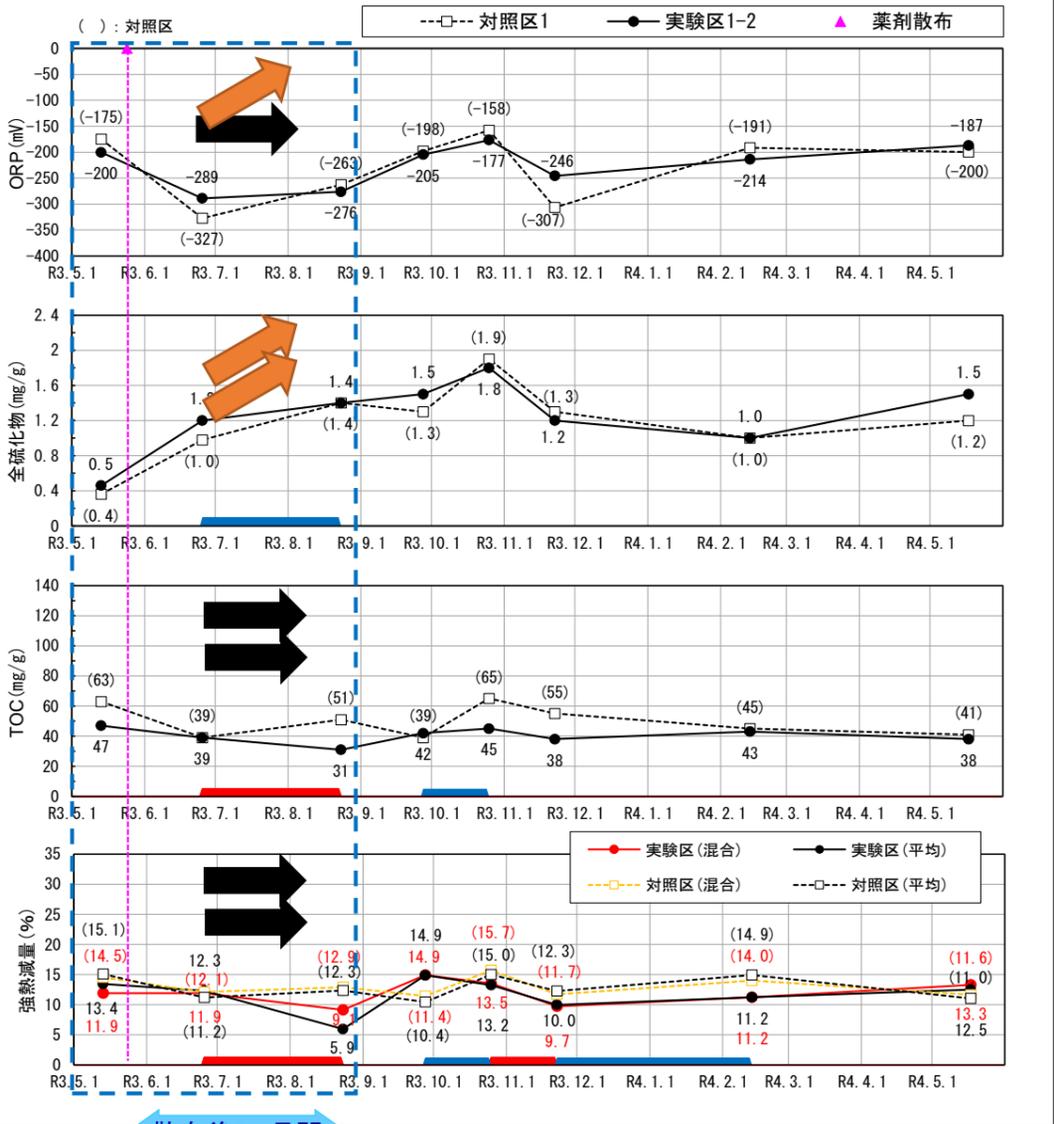
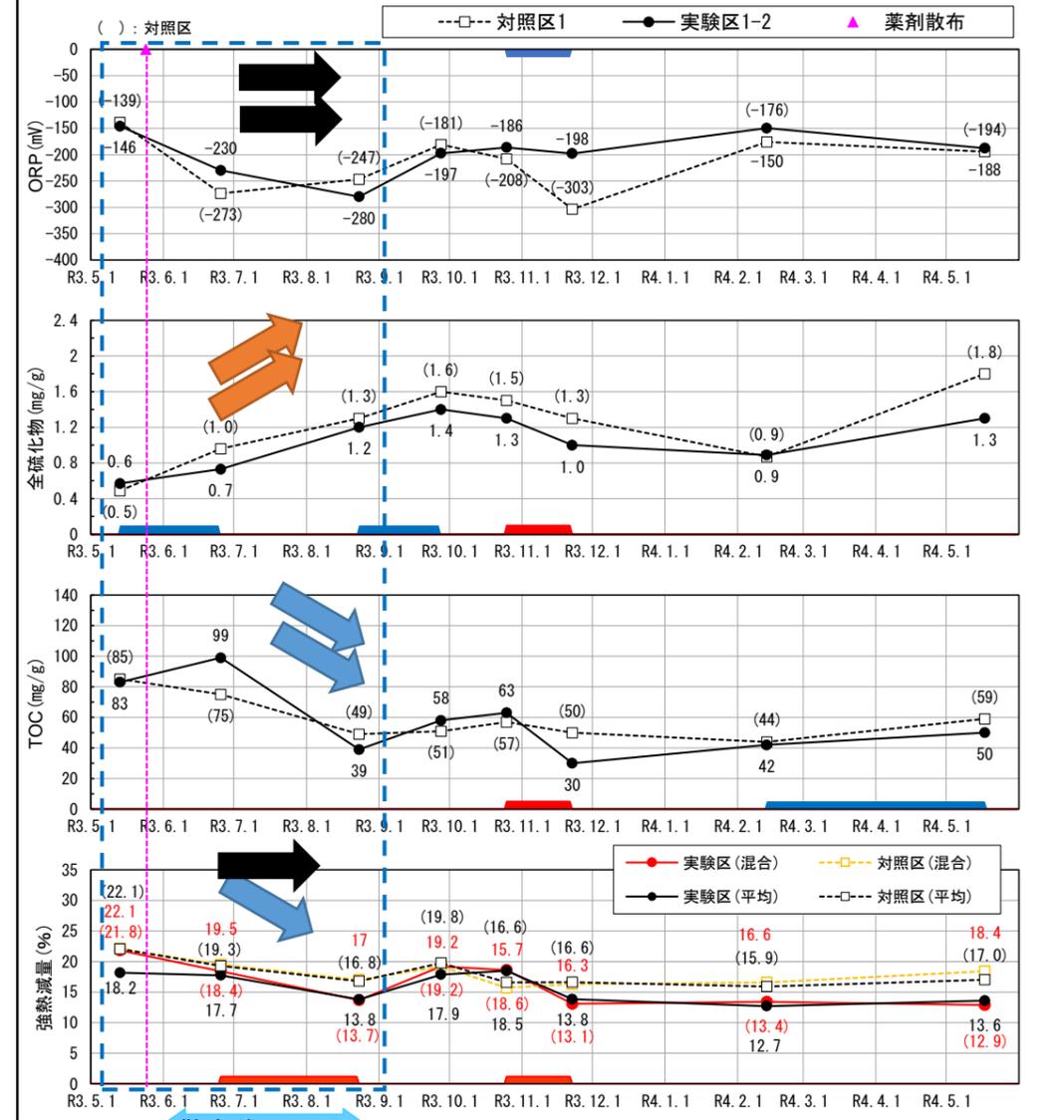
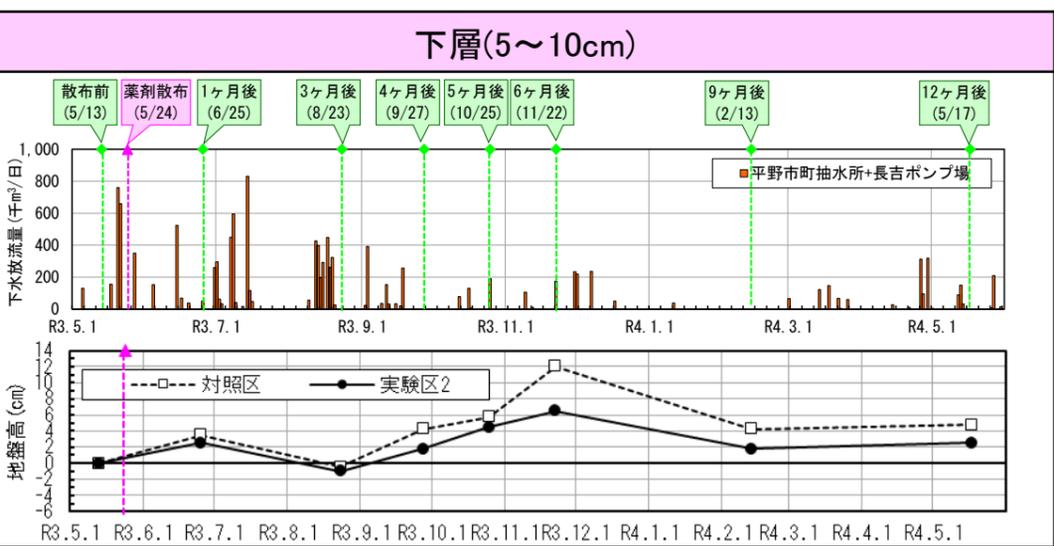
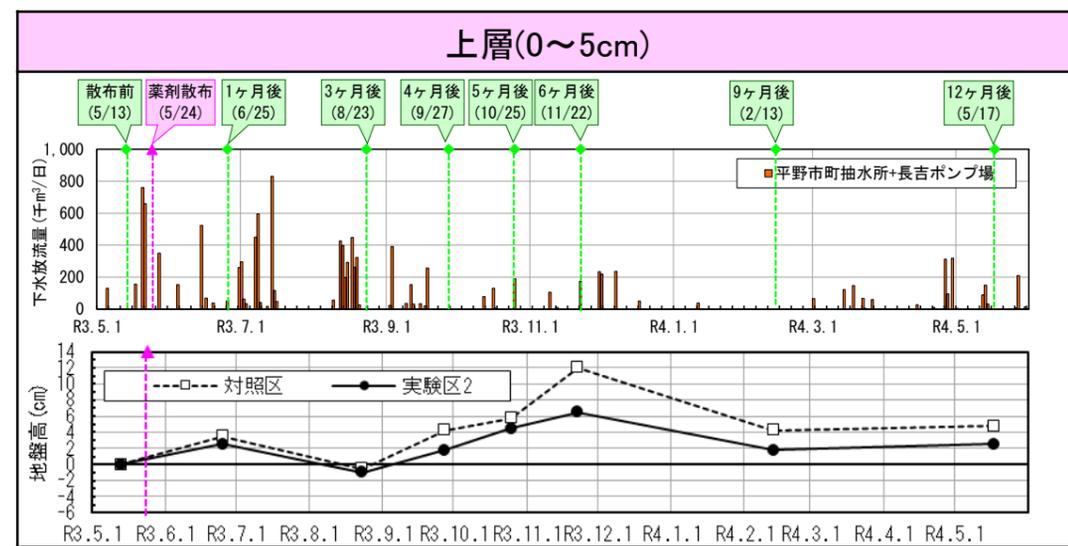
ORP

全硫化物

TOC

強熱減量

矢印:改善方向



【散布回数・散布量】

エリア	散布回数(年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量(kg)	単位数(kg/m ²)	総量(kg)	単位数(kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)
 ■ 基準より少ない ■ 基準と同じ ■ 基準より多い

【万才橋・実験区1-2】

・単位散布量は基準より多い
 ・散布回数が少なく、総散布量が少ない

【1年間の底質改善・緩和】

➡ 年間通して横ばい
 ➡ 年間通して増加傾向
 ➡ 年間通して減少傾向
 上段は実験区
 下段は対照区

※最小二乗法により、1年間で平均的に20%以上の変化があった場合に変化ありとした。

【期間ごとの底質改善・緩和】

➡ 改善傾向が見られた範囲
 ➡ 緩和傾向が見られた範囲

4. 試行実施結果 4.3 底質

試行実施結果・底質 エリア2 (千歳橋) 実験区 2-1 (1/2)

・千歳橋・実験区1では、全項目において年間を通じた傾向には対照区と比較して改善・緩和は見られず、薬剤散布効果は確認できなかった。
 ・全硫化物、強熱減量の一部期間で改善・緩和傾向が見られた。ORPでも改善効果が見られる期間があるものの、全体的に対照区と同じ動きであり、観測のばらつきである可能性もある。

下水放流量

地盤高

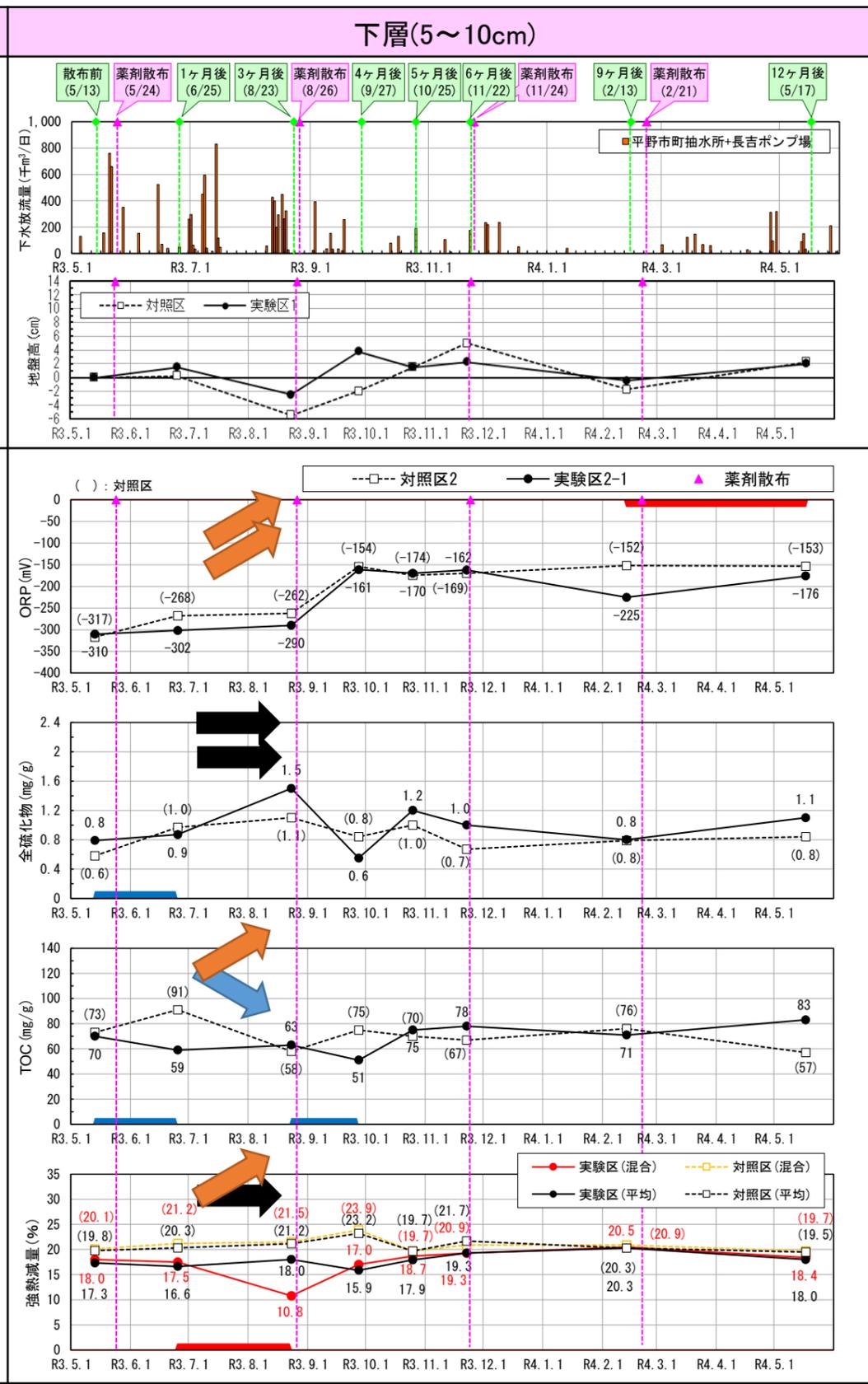
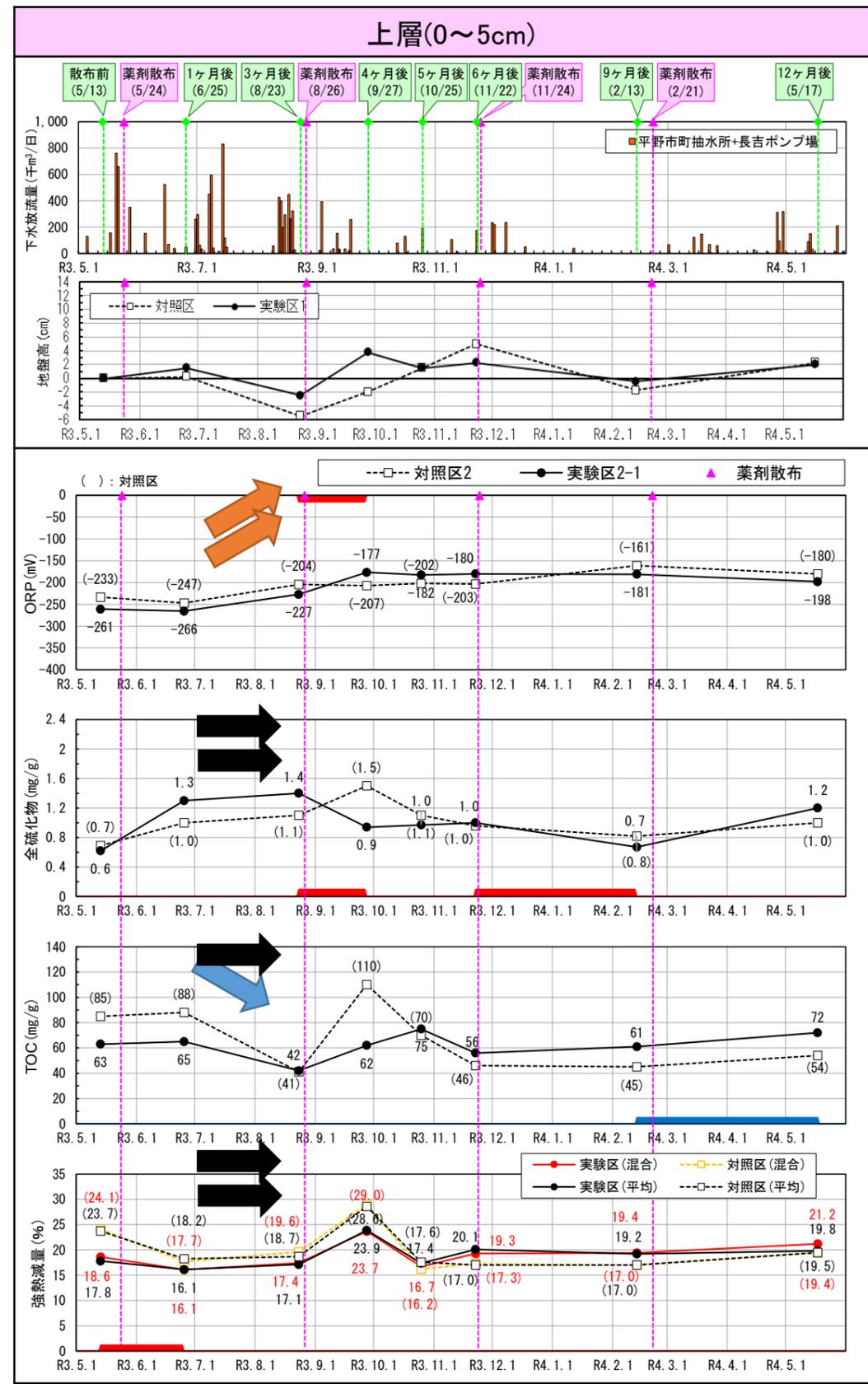
ORP

全硫化物

TOC

強熱減量

矢印: 改善方向



【散布回数・散布量】

エリア	散布回数(年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量(kg)	単位量(kg/m ²)	総量(kg)	単位量(kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)
 ■ 基準より少ない ■ 基準と同じ ■ 基準より多い
 【千歳橋・実験区2-1】
 ・単位散布量は基準より少ない
 ・散布回数は基準どおり、総散布量が少ない

【1年間の底質改善・緩和】

年間通して横ばい
 年間通して増加傾向
 年間通して減少傾向
 上段は実験区
 下段は対照区

※最小二乗法により、1年間で平均的に20%以上の変化があった場合に変化ありとした。

【期間ごとの底質改善・緩和】

改善傾向が見られた範囲
 緩和傾向が見られた範囲

4. 試行実施結果 4.3 底質

試行実施結果・底質 エリア2 (千歳橋) 実験区 2-2 (2/2)

・千歳橋・実験区2では、全硫化物と強熱減量で年間を通じて対照区に比べ減少傾向が見られ、薬剤散布による底質改善効果が示唆された。
 ・非出水期を中心に全硫化物、TOC、強熱減量の一部期間に改善傾向が見られた。特に下層ではR3.11-R4.5月の期間で3項目で改善傾向が見られた。

下水放流量

地盤高

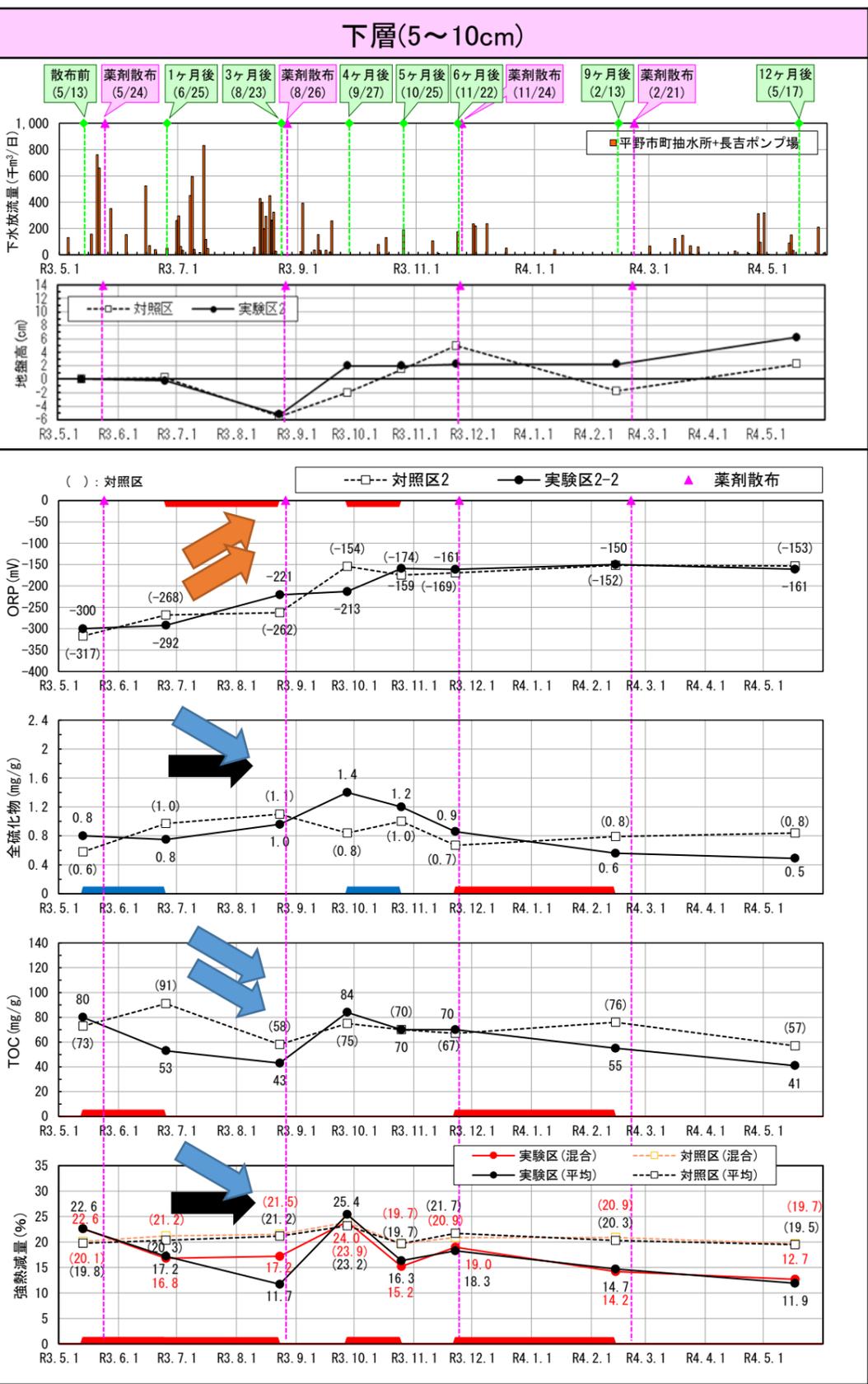
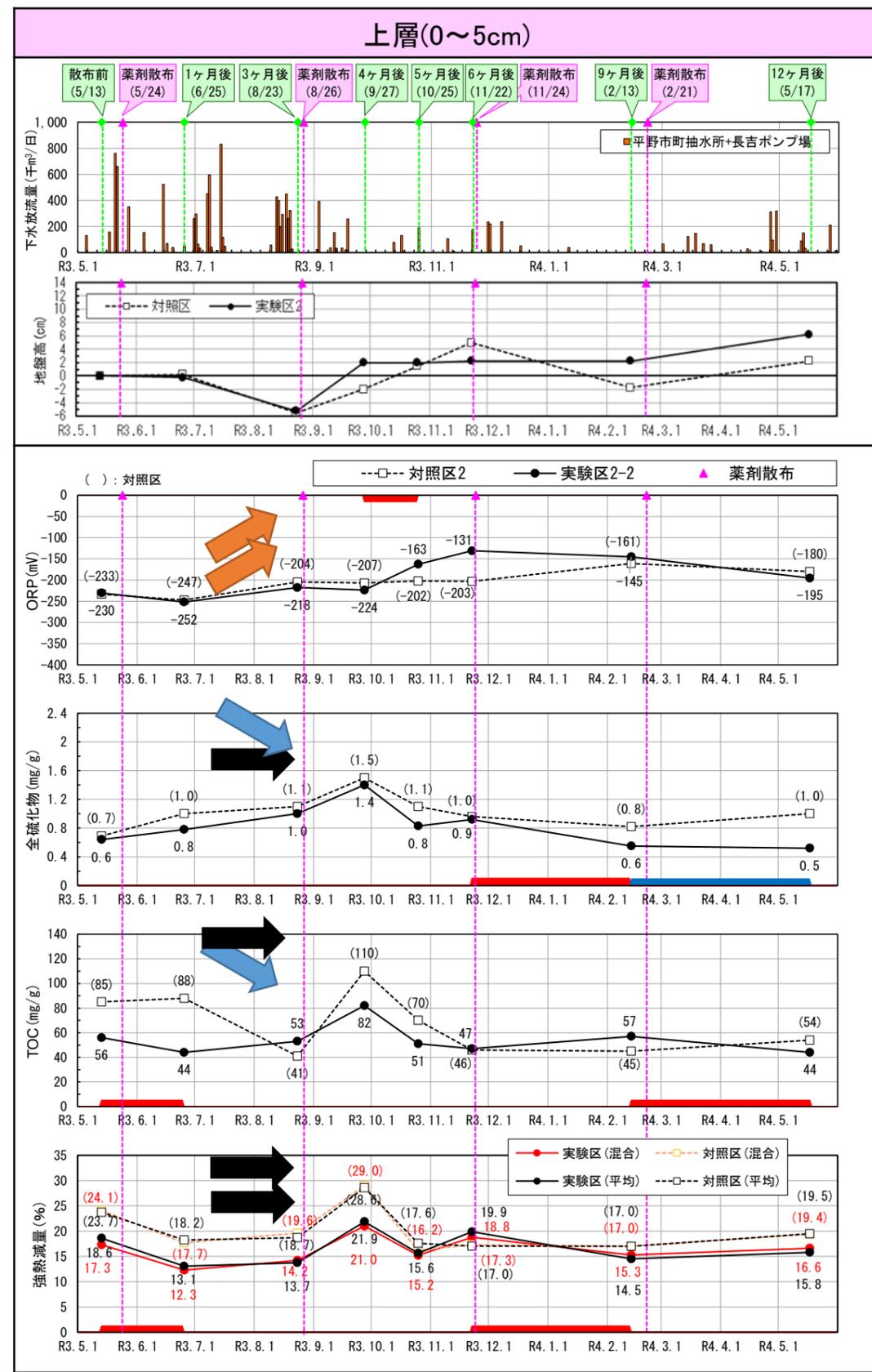
ORP

全硫化物

TOC

強熱減量

矢印: 改善方向



【散布回数・散布量】

エリア	散布回数 (年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量 (kg)	単位数 (kg/m ²)	総量 (kg)	単位数 (kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)
 □ 基準より少ない □ 基準と同じ □ 基準より多い
 【千歳橋・実験区2-2】
 ・単位散布量は基準どおり
 ・散布回数、総散布量とも基準どおり
 ⇒メーカー推奨条件

【1年間の底質改善・緩和】

年間通して横ばい
 年間通して増加傾向
 年間通して減少傾向
 上段は実験区
 下段は対照区

※最小二乗法により、1年間で平均的に20%以上の変化があった場合に改善ありとした。

【期間ごとの底質改善・緩和】

改善傾向が見られた範囲
 緩和傾向が見られた範囲

4. 試行実施結果 4.3 底質

試行実施結果・底質 エリア3 (南弁天橋) 実験区 3-1(1/2)

・南弁天橋・実験区1では、対照区の全硫化物で年間を通じて増加傾向が見られたのに対し、実験区は横ばい傾向で、薬剤散布による底質改善効果が示唆された。
 ・全硫化物、TOC、強熱減量共に、上層ではR3.11-R4.2月、下層ではR3.10-11月と堆積が少ない期間で連動して改善傾向が見られた。

下水放流量

地盤高

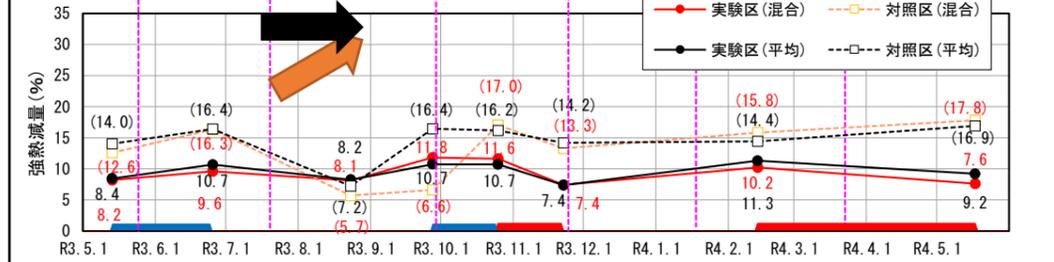
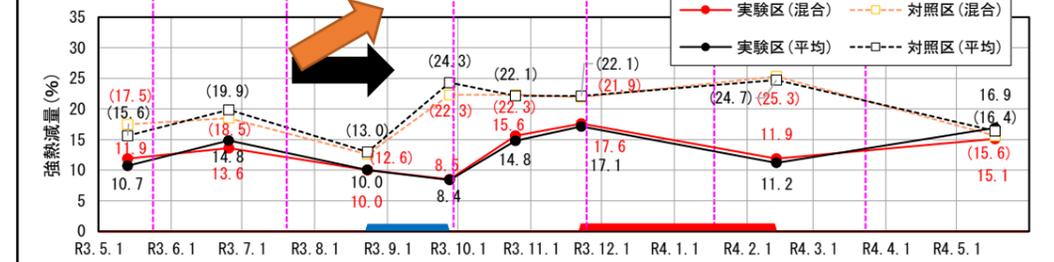
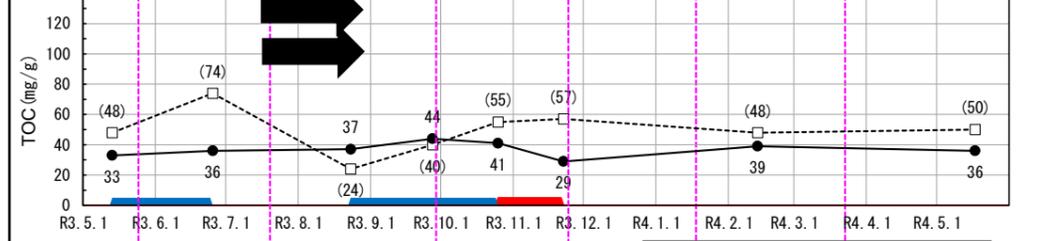
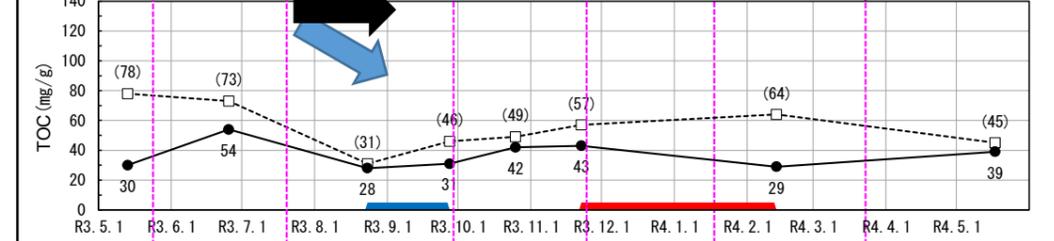
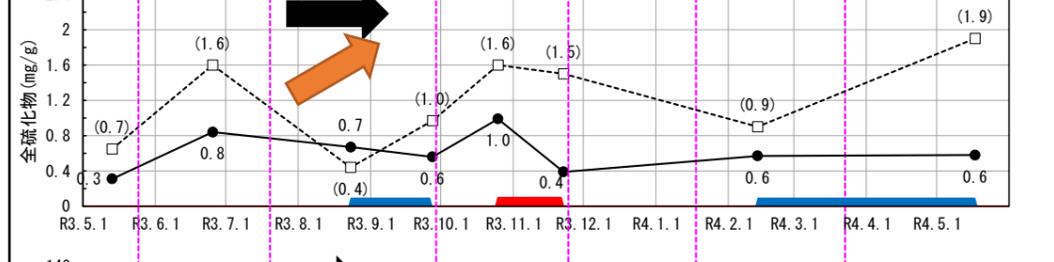
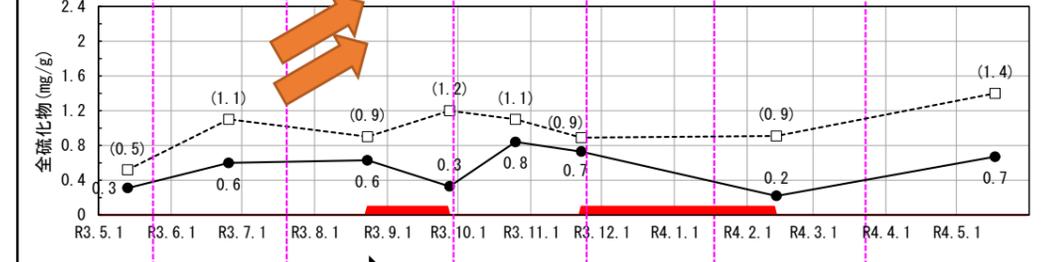
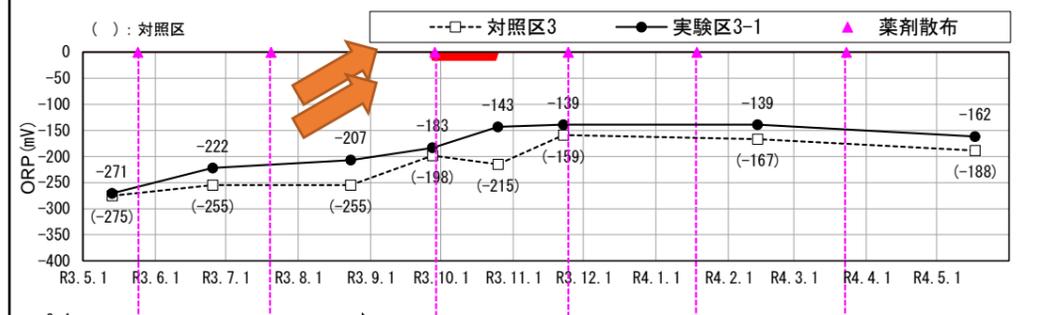
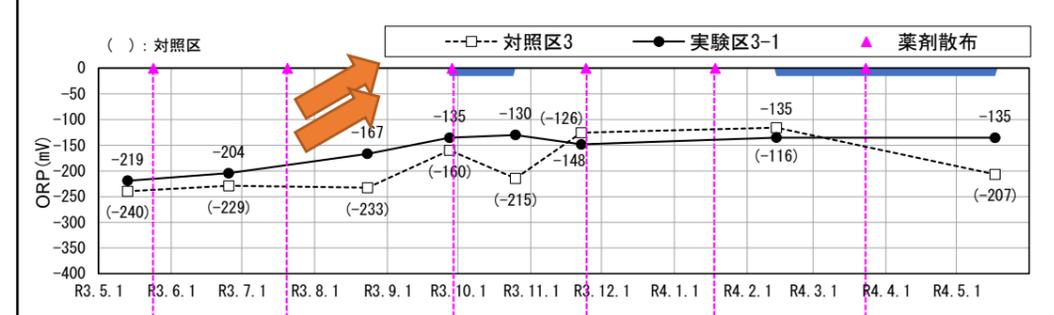
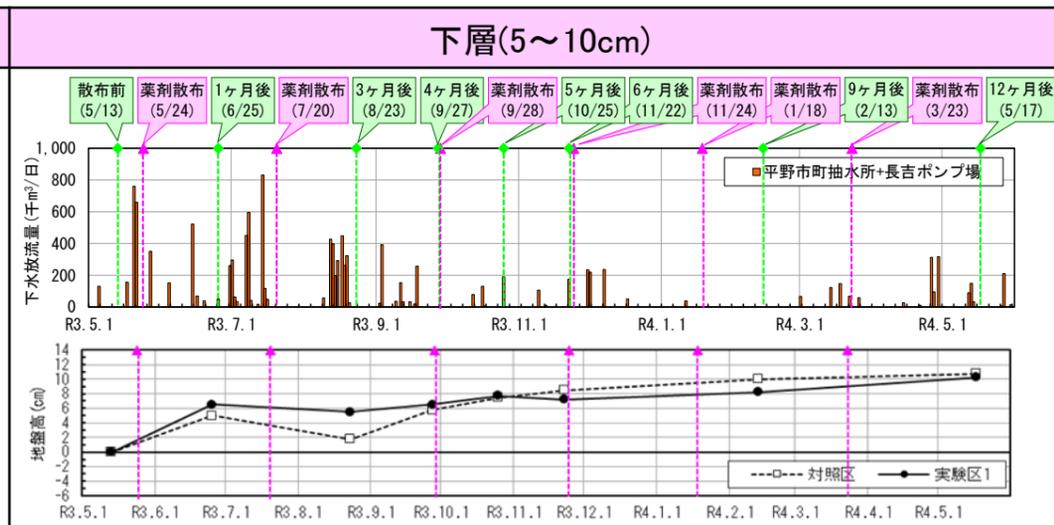
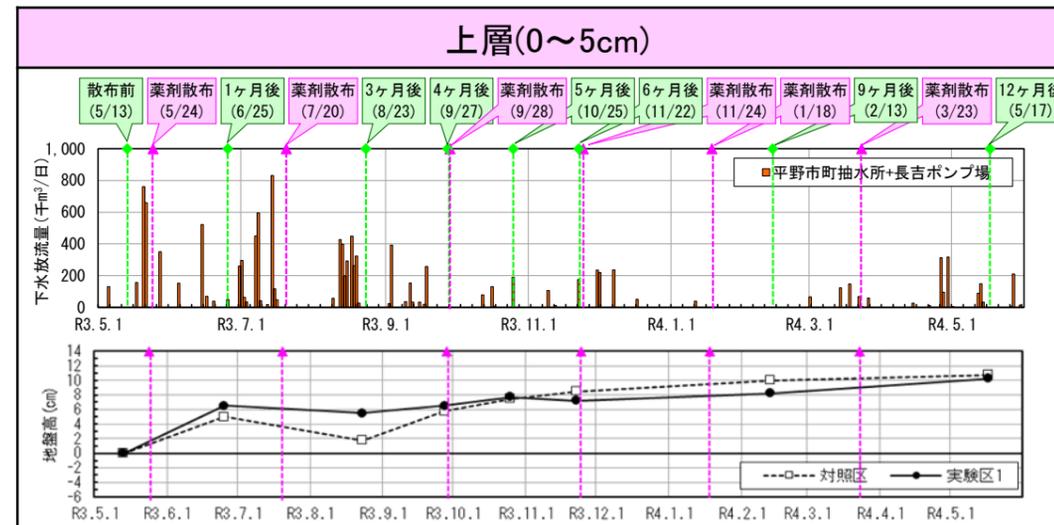
ORP

全硫化物

TOC

強熱減量

矢印:改善方向



【散布回数・散布量】

エリア	散布回数 (年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量 (kg)	単位量 (kg/m ²)	総量 (kg)	単位量 (kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)
 □ 基準より少ない □ 基準と同じ □ 基準より多い

【南弁天橋・実験区3-1】
 ・単位散布量は基準より少ない
 ・散布回数が多く、総散布量が多い

【1年間の底質改善・緩和】

年間通して横ばい
 年間通して増加傾向
 年間通して減少傾向
 上段は実験区
 下段は対照区
 ※最小二乗法により、1年間で平均的に20%以上の変化があった場合に変化ありとした。

【期間ごとの底質改善・緩和】

改善傾向が見られた範囲
 緩和傾向が見られた範囲

4. 試行実施結果 4.3 底質

試行実施結果・底質 エリア3 (南弁天橋) 実験区 3-2 (2/2)

- ・南弁天橋・実験区2では、上層の全硫化物、下層のTOC、強熱減量で年間を通じた改善傾向が見られ、薬剤散布による底質改善効果が示唆された。
- ・全硫化物、TOC、強熱減量で上層・下層ともR3.9-R4.2月に2または3項目で連動した改善傾向が見られた。

【散布回数・散布量】

エリア	散布回数 (年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量 (kg)	単位数 (kg/m ²)	総量 (kg)	単位数 (kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)
 □ 基準より少ない ■ 基準と同じ ▲ 基準より多い

【南弁天橋・実験区3-2】
 ・単位散布量は基準どおり
 ・散布回数が多く、総散布量が多い

下水放流量

地盤高

ORP

全硫化物

TOC

強熱減量

矢印: 改善方向

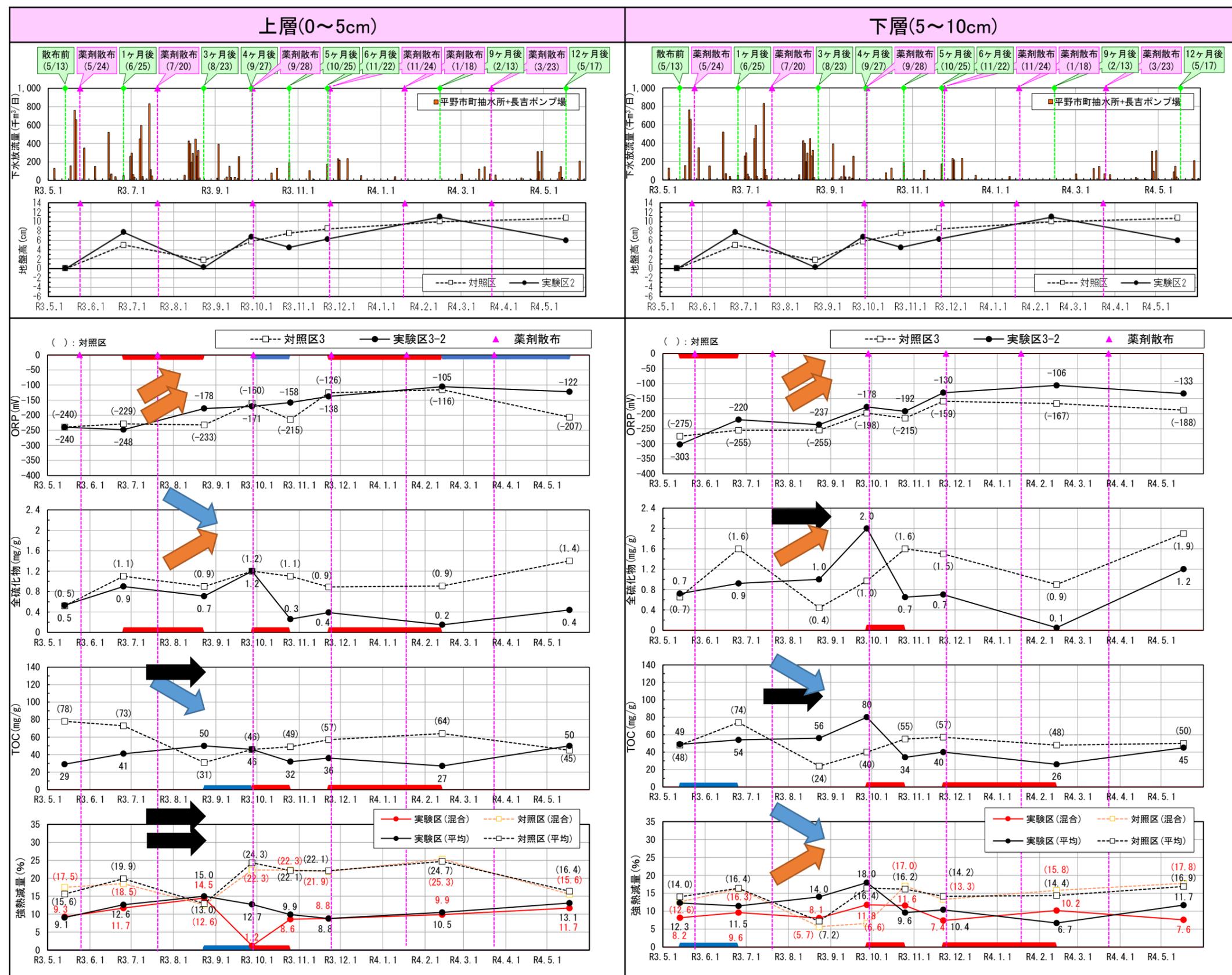
【1年間の底質改善・緩和】

- ➡ 年間通して横ばい
- ➡ 年間通して増加傾向
- ➡ 年間通して減少傾向
- 上段は実験区
- 下段は対照区

※最小二乗法により、1年間で平均的に20%以上の変化があった場合に改善ありとした。

【期間ごとの底質改善・緩和】

- ➡ 改善傾向が見られた範囲
- ➡ 緩和傾向が見られた範囲



5. 試行実施結果の検証 5.1 1年間を通じた改善効果について

薬剤散布後の底質変化（1年間通した評価）

- ・1年間の変動を最小二乗法により平均化し、20%以上の増減を基準に項目ごとに傾向を整理した。上段矢印は傾向、下段数値は1年間の変化割合を示す。
- ・1年間通した評価では、主にメーカー推奨以上の散布を行ったエリア2千歳橋、エリア3-1、3-2南弁天橋の下層で、全硫化物・TOC・強熱減量の改善・緩和傾向が見られた。また、上層では全硫化物にのみ改善傾向が見られた。
- ・エリア2千歳橋、エリア3南弁天橋ではORPは対象区を含め全体的に上昇傾向であった。エリア3-2では対象区と比較してより大きな増加が見られるが、一時的に大きな改善があったことによるものであり、年間を通しては対照区と実験区の間には大きな違いが見られないと判断した。

エリア		1年間通した変化	エリア1 万才橋			エリア2 千歳橋			エリア3 南弁天橋		
実験区			1-1	1-2	対照区	2-1	2-2	対照区	3-1	3-2	対照区
薬剤散布条件	散布回数		1	1	-	4	4	-	6	6	-
	散布単位量(kg/m ²)	0.9	1.8	-	0.6	0.9	-	0.6	0.9	-	
ORP ↑	上層	<ul style="list-style-type: none"> ● エリア1万才橋では横ばい ● 他は対照区も含めて上昇傾向 	→	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗
	下層		→	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗
全硫化物 ↓	上層	<ul style="list-style-type: none"> ● エリア1万才橋では上昇傾向 ● エリア2千歳橋では実験区2上層下層で改善傾向 ● エリア3南弁天橋では実験区1下層実験区2上層下層で改善・緩和傾向 	↗	↗	↗	→	↘	→	↘	↗	↗
	下層		↗	↗	↗	→	↘	→	→	→	→
TOC ↓	上層	<ul style="list-style-type: none"> ● 全体では横ばいあるいは低下傾向 ● エリア3南弁天橋では実験区2下層で改善傾向 	→	↘	↘	→	→	↘	→	→	↘
	下層		→	→	→	↗	↘	↘	→	↘	→
強熱減量 ↓	上層	<ul style="list-style-type: none"> ● エリア2千歳橋では実験区2下層で改善傾向 ● エリア3南弁天橋では実験区1下層緩和、実験区2下層で改善傾向 	→	→	↘	→	→	→	↗	→	→
	下層		→	→	→	↗	↘	→	→	↘	↗

矢印: 改善方向

- ↗ : 1年間で20%以上の上昇が見られた箇所・期間
- ↘ : 1年間で20%以上の低下が見られた箇所・期間
- : 1年間で20%以上の上昇・低下が見られなかった箇所・期間

- ◻ (赤枠) : 改善傾向が見られた箇所・期間
- ◻ (点線) : 緩和傾向が見られた箇所・期間

エリア	散布回数(年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量(kg)	単位量(kg/m ²)	総量(kg)	単位量(kg/m ²)
エリア1万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)
 ◻ 基準より少ない ◻ 基準と同じ ◻ 基準より多い
 【南弁天橋・実験区3-2】
 ・単位散布量は基準どおり
 ・散布回数が多く、総散布量が多い

メーカー推奨期間は3か月

5. 試行実施結果の検証 5.1 1年間を通じた改善効果について

薬剤散布後の底質変化（1年間通じた評価）

- ・1年間を通じた改善効果について、1年間を通じた実験区全体(上層・下層)で薬剤の改善メカニズムから期待される薬剤による底質改善効果があったかどうかを検証した。
- ・散布量・頻度による結果の違いについては、1回あたりの散布量・散布頻度のみが異なる実験区どうしで比較を行い、改善・緩和効果が見られた項目の多少により評価したうえで、効果的な散布方法について検討した。

項目	試行実施の結果	評価
底質調査による1年間を通じた底質改善効果の検証	<ul style="list-style-type: none"> ● 上層・下層とも改善・緩和が確認されたのはエリア2-2と3-2の全硫化物のみであった。 ● 改善メカニズムを踏まえると、ORP,TOC,強熱減量は連動して改善するものと考えられる。下層ではエリア3-2のみTOC,強熱減量とも改善が確認されたが、上層では改善・緩和は確認されなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 年間を通して実験区全体で改善・緩和が確認されたのは全硫化物のみであり、平野川において期待する底質改善効果(底質上層・下層双方でのTOCや強熱減量の改善緩和)は確認されなかった。
薬剤散布量の違いによる結果の評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 実験区1-1と1-2の比較では、実験区1-2の下層でORPについて改善効果が見られたのみであり、薬剤散布量の違いによる差は確認されなかった。 ● 実験区2-1と2-2の比較では、実験区2-1ではいずれの項目も改善・緩和が見られなかったが、実験区2-2では全硫化物及び強熱減量で改善がみられた。 ● 実験区3-1と3-2の比較では、実験区3-1では下層の全硫化物、強熱減量の緩和が見られた。実験区3-2では上層・下層での全硫化物及び下層でのTOC,強熱減量で改善・緩和がみられた。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 試行実施の結果、1回あたりの散布量はメーカー推奨条件である0.9kg/m²のほうが、より薬剤による改善が確認された。 ● 一方で散布量を変化させた場合でも、期待する底質改善効果は確認されず、効率的・効果的な散布量の検証には至らなかった。
薬剤散布頻度の違いによる結果の評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 実験区1では年間を通じた改善は確認されなかった。 ● 実験区2-2と実験区3-2の比較では、実験区2-2では上層・下層の全硫化物及び下層の強熱減量で改善がみられた。実験区3-2では上層・下層での全硫化物及び下層でのTOC,強熱減量で改善・緩和がみられた。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 年1回の散布では年間を通じた改善効果を得るには不十分である。 ● 薬剤散布頻度の高い実験区3のほうが改善・緩和された項目が多く、メーカー推奨より多い頻度で薬剤を散布したほうが高い底質改善効果が確認された。 ● 一方で散布頻度を変化させた場合でも期待する底質改善効果は確認されず、効率的・効果的な散布頻度の検証には至らなかった。

5. 試行実施結果の検証

5.2 検証結果に対する原因の考察

地盤高変化と薬剤散布効果の関係性の検証

- ・底質は上層(0~5cm)と下層(5~10cm)を採取して調査している。しかし、堆積・浸食が大きいと薬剤散布した底質を採取していない可能性がある。
- ・底泥の堆積、浸食の状況と底質改善効果の関係性を分析するため、薬剤散布後から採泥日までの地盤高変化から、薬剤散布した底質※1,2が残っている量で採泥結果を分類して考察を行った。
- ・上層・下層の厚さを5cmとしていることから、1cm(20%)を指標とし、薬剤散布した底泥が80%以上残っている(○)、20%以上80%未満残っている(△)、20%未満しか残っていない(×)と3段階に底泥を分類した。

堆積				浸食			
堆積・浸食状況	堆積厚9cm以上	堆積厚4~9cm	堆積厚1~4cm	堆積・浸食が1cm以内	浸食深1~4cm	浸食深4~9cm	浸食深9cm以上
イメージ図							
薬剤散布効果の検証可否	上層: × 下層: ×	上層: × 下層: △	上層: △ 下層: ○	上層: ○ 下層: ○	上層: ○ 下層: △	上層: △ 下層: ×	上層: × 下層: ×

上層・下層ともに薬剤散布を行った底質をほぼ採取していない。(20%未満)

上層は薬剤散布を行った底質を採取していない。(20%未満)

下層は一部薬剤散布を行っていない底質を採取している。(20%以上80%未満)

上層は一部薬剤散布を行っていない底質を採取している。(20%以上80%未満)

下層は薬剤散布を行った底質を採取している。(80%以上)

上層・下層ともに薬剤散布を行った底質を採取している。(80%以上)

上層は薬剤散布を行った底質を採取している。(80%以上)

下層は一部薬剤散布を行っていない底質を採取している。(20%以上80%未満)

上層は一部薬剤散布を行っていない底質を採取している。(20%以上80%未満)

下層は薬剤散布を行った底質を採取していない。(20%未満)

上層・下層ともに薬剤散布を行った底質をほとんど採取していない。(20%未満)

※1 薬剤はその散布方法から、散布時の表層(今回の調査範囲である概ね10cm程度)に大きな効果を発現すると考えられることから、本頁では便宜上薬剤散布時の底泥の表層から10cmを「薬剤散布範囲」と表現している。

※2 本試行実施では浸食後の堆積は考慮していないため、例えば2cmの浸食でも、10cm浸食した後8cm堆積した場合薬剤散布底質は残っていないが、このようなケースは考慮していない。

5. 試行実施結果の検証

5.2 検証結果に対する原因の考察

地盤高変化と薬剤散布効果の関係性の検証

- ・浸食・堆積状況を分類した結果、薬剤を散布した底質が採泥できた場合(○、△:計67)には、最低1項目の改善・緩和であれば67%(計45)で見られた期間があった。
- ・特に薬剤散布底質が80%以上残っている(○)場合、3項目は20.0%、2項目で22.9%に改善・緩和が見られ、堆積や浸食の少ない状況では底質改善効果がよく確認された。
- ・散布総量は同じだが、千歳橋2-2よりも頻繁に薬剤散布を行った南弁天橋3-1の方が、長い期間底質改善効果が見られた。

地盤高変化状況と改善・緩和傾向の関係(一覧)

地点		万才橋							千歳橋							南弁天橋						
採泥期間No.		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
直近の薬剤散布から3か月以内		←→							←→							←→						
実験区1	上層	△	○	△	△	×	×	×	△	○	×	△	×	○	△	×	○	○	△	○	○	△
	下層	○	△	○	○	×	△	△	○	△	△	○	△	△	○	△	○	○	○	○	○	○
実験区2	上層	△	○	△	×	×	△	△	○	△	×	×	×	○	△	×	△	○	○	○	×	△
	下層	○	○	○	△	△	○	○	○	×	△	△	△	○	○	△	×	○	△	○	△	×

下水放流量が多い期間 :R3.5月~8月
 下水放流量が少ない期間 :R3.9月~R4.5月

地盤高変化状況と改善・緩和傾向の項目比率

総数		4項目で改善・緩和	3項目で改善・緩和	2項目で改善・緩和	1項目で改善・緩和	平均改善項目数
○	35	1(2.9%)	7(20.0%)	8(22.9%)	4(11.4%)	1.29
△	32	0(0.0%)	4(12.5%)	5(15.6%)	16(50.0%)	1.18
×	17	1(5.9%)	1(5.9%)	2(11.8%)	2(11.8%)	0.76

※()は総数に対する割合を示す。 ※期間あたりの平均改善項目数は地盤高変化(○△×)の改善項目合計を総数で割ったもの。

- : ORP、全硫化物、TOC、強熱減量の4項目とも改善・緩和傾向
- : ORP、全硫化物、TOC、強熱減量の3項目とも改善・緩和傾向
- : ORP、全硫化物、TOC、強熱減量のうち2項目で改善・緩和傾向
- : ORP、全硫化物、TOC、強熱減量のうち1項目で改善・緩和傾向
- : 薬剤散布を行った底質が80%以上残っている可能性がある
- △: 薬剤散布を行った底質が20%~80%残っている可能性がある
- ×: 薬剤散布を行った底質は20%未満しか残っていない

採泥期間No.と底質改善・緩和期間の対応

期間No.	1	2	3	4	5	6	7
実際の期間	R3.5-6月	R3.6-8月	R3.8-9月	R3.9-10月	R3.10-11月	R3.11-R4.2月	R4.2-5月

■: 下水放流量が多い期間 □: 下水放流量が減少していく期間 □: 下水放流量が少ない期間

採泥期間No.と比較している採泥日の対応

期間No.	1	2	3	4	5	6	7
万才橋	R3.5-6月	R3.5-8月	R3.5-9月	R3.5-10月	R3.5-11月	R3.5-R4.2月	R3.5-R4.5月
千歳橋	R3.5-6月	R3.5-8月	R3.8-9月	R3.8-10月	R3.8-11月	R3.11-R4.2月	R4.2-5月
南弁天橋	R3.5-6月	R3.6-8月	R3.6-9月	R3.9-10月	R3.9-11月	R3.11-R4.2月	R4.2-5月

各採泥日の地盤高と、直近の薬剤散布日の直前で行われた採泥日の地盤高を比較している

例: 千歳橋R3.10/25の地盤高は直近の薬剤散布日がR3.8/26なので、その直前の採泥日のR3.8/23の採泥日と地盤高を比較している

■: 薬剤散布から3か月以上経過している期間

エリア	散布回数(年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量(kg)	単位数(kg/m ²)	総量(kg)	単位数(kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)

■ 基準より少ない ■ 基準と同じ ■ 基準より多い

【南弁天橋・実験区3-2】

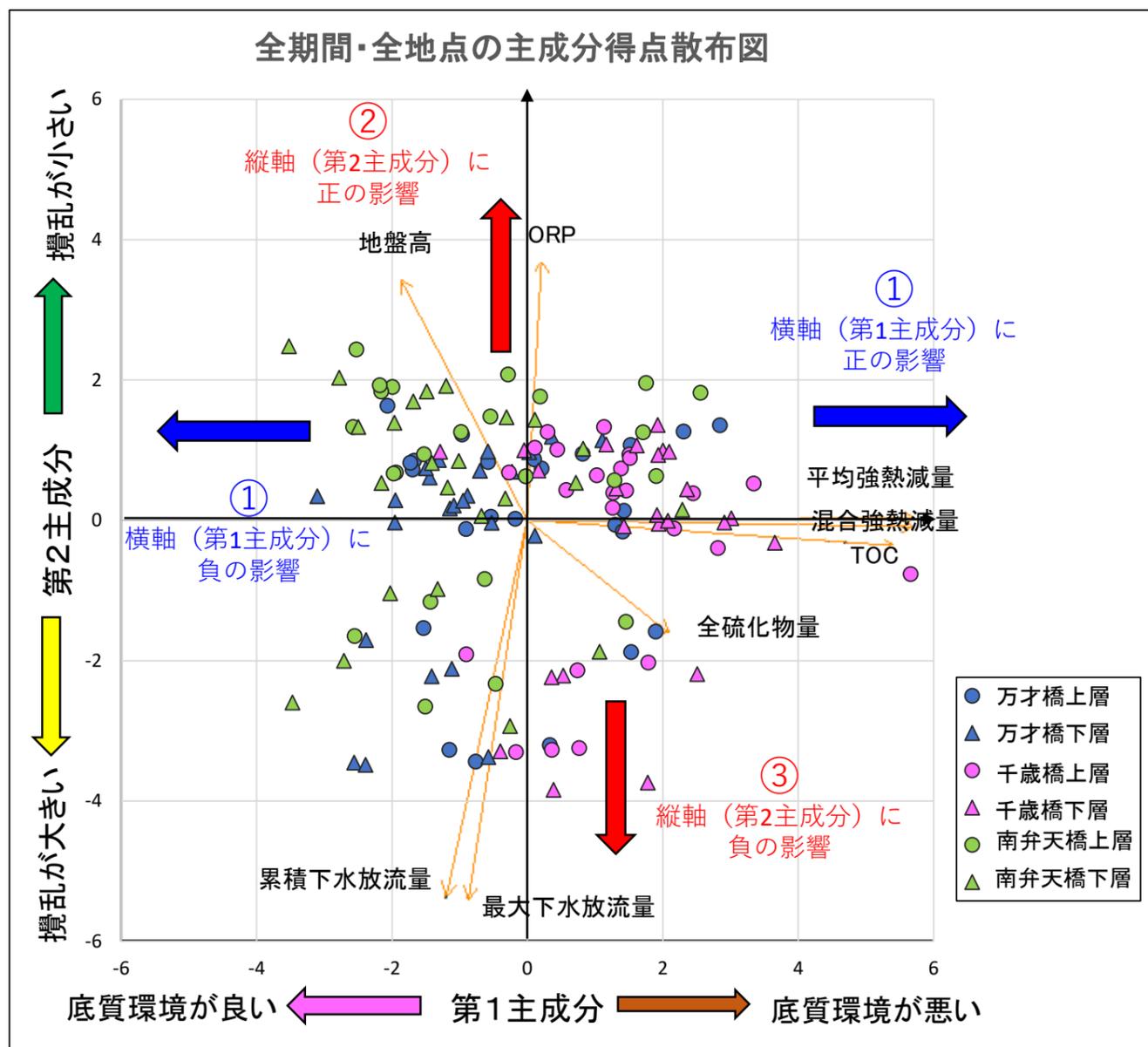
・単位散布量は基準どおり
 ・散布回数が多く、総散布量が多い

5. 試行実施結果の検証

5.2 検証結果に対する原因の考察

主成分分析による結果の可視化

- ・薬剤散布後の底質改善効果について、主成分分析によりx軸、y軸にまとめ、プロット図の平面位置から薬剤散布効果を可視化した。
- ・全期間、全地点の採泥データを用いて主成分分析を行い、第1主成分、第2主成分の軸を作成して各データの主成分得点をプロットした。そして各月の得点の変化を確認した。
- ・第1主成分はTOC、強熱減量から正の影響を受けていた(①)。このため、第1主成分は底質の化学的な良否を表現していると考えられ、x軸方向でマイナス側(左側)ほど底質環境が良いといえる。
- ・第2主成分はORPと地盤高から正の影響を(②)、下水放流量から負の影響を受けていた(③)。よって第2主成分は河床攪乱の大きさを表現している。



- 第1主成分
- : TOC、強熱減量が低く底質環境は良い (有機物が少ない)
 - : TOC、強熱減量が高く底質環境は悪い (有機物が多い)
- 第2主成分
- ↑ : 下水放流が少なく地盤高が高いため底質環境の攪乱が小さい
 - ↓ : 下水放流が多く地盤高が低いため底質環境の攪乱が大きい

第1・第2主成分までの寄与率

	第1主成分	第2主成分
標準偏差	1.70	1.56
寄与率	0.36	0.30
累積寄与率	0.36	0.66

寄与率

全期間、全地点の採泥データに含まれるORP～強熱減量、及び地盤高と下水放流量の数値を、各主成分がどれだけ説明できるかを示す。

累積寄与率

1～n番目の主成分までが、全データをどれだけ説明できるかを示す。合計は1になる。

第2主成分までの累積寄与率は0.66

→ 全観測データに含まれる底質の情報の2/3を第1・第2主成分で説明可能

評価項目と各主成分の構成

評価項目	主成分の構成		各主成分に与える影響	
	第1	第2	第1	第2
ORP	0.02	0.40		+
全硫化物	0.21	-0.17		
TOC	0.53	-0.04	+	
平均強熱減量	0.56	0.00	+	
混合強熱減量	0.56	-0.01	+	
地盤高※1	-0.18	0.37		+
累積下水放流量※1・2	-0.12	-0.58		-
最大下水放流量※1・3	-0.08	-0.58		-

※1: 下水放流量、地盤高変化は採泥日が同じ場合同一のデータを利用している

※2: 前回採泥日から採泥日前日までの累積下水放流量

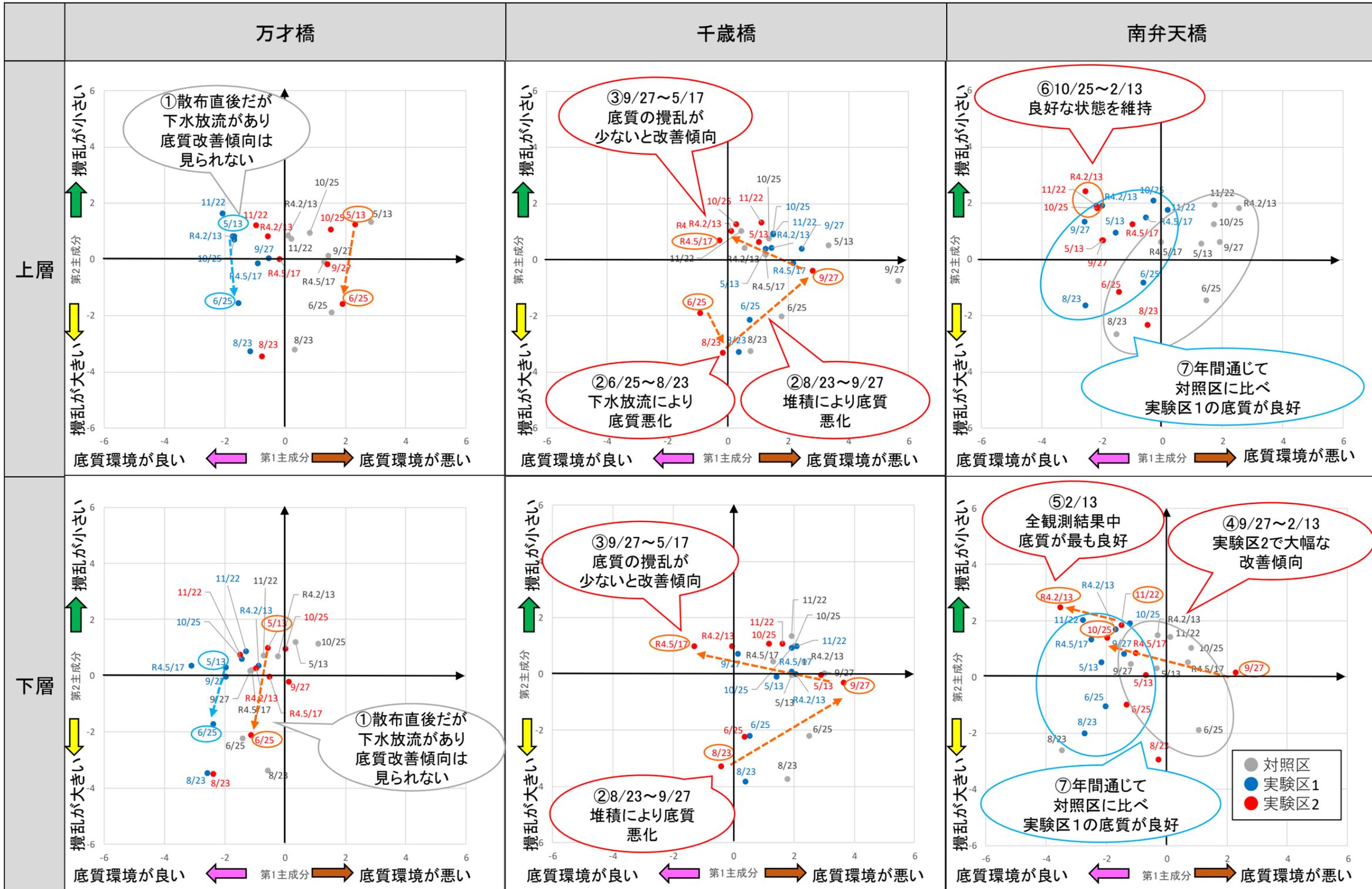
※3: 前回採泥日から採泥日前日までの日最大下水放流量

5. 試行実施結果の検証

5.2 検証結果に対する原因の考察

主成分分析による結果の可視化

- ・万才橋では薬剤散布後のx軸方向の動きはほぼ見られず、薬剤散布による底質改善の傾向は見られない(①)。薬剤散布後すぐの下水放流量が多かったことが要因と考えられる。
- ・千歳橋では出水期に底質が悪化した(②)、非出水期のR3.9/22~R4.5/17には底質環境の改善傾向が見られた(③)。
- ・南弁天橋では、9月以降実験区2で大幅な底質改善傾向が見られた(④)。特に下層の2/14では全期間・全地点で最も底質が良好な状態であった(x軸で-3付近まで) (⑤)。また上層も同時期にこれに近い値を維持している(⑥)。よって高頻度で薬剤散布を行った方が底質改善効果が高いことが示唆された。
- ・千歳橋、南弁天橋ともに改善傾向が顕著に見られたのは攪乱が小さくY軸方向の変動が小さい期間であった。
- ・南弁天橋では実験区1でも対照区に比べ底質は良好な傾向が見られた(⑦)。



第1主成分

- ➡ (purple) : 底質環境が良い
- ➡ (brown) : 底質環境が悪い

第2主成分

- ➡ (green) : 底質の攪乱が小さい
- ➡ (yellow) : 底質の攪乱が大きい

薬剤散布に関連する主成分得点の変動

- (grey) : 対照区
- (blue) : 実験区1
- (orange) : 実験区2

【散布回数・散布量】

エリア	散布回数(年間)	散布量			
		実験区1		実験区2	
		総量(kg)	単位量(kg/m ²)	総量(kg)	単位量(kg/m ²)
エリア1 万才橋	1回	43.2	0.9	86.4	1.8
エリア2 千歳橋	4回	115.2	0.6	172.8	0.9
エリア3 南弁天橋	6回	172.8	0.6	259.2	0.9

千歳橋・実験区2-2がメーカー推奨条件(基準)

- 基準より少ない
- 基準と同じ
- 基準より多い

【南弁天橋・実験区3-2】

- ・単位散布量は基準どおり
- ・散布回数が多く、総散布量が多い

6. 試行実施結果のまとめ

試行実施結果のまとめ

本試行実施の目的

- ・平野川では年間を通じて断続的にスカム発生が確認されている。この対策案として、令和2年度の現地実験で選定された薬剤による底質改善効果を検証する。
- ・薬剤散布量や散布頻度を変化させ、効果的・効率的な散布方法を検証する。

項目	検証結果	評価
底質調査による1年間を通じた底質改善効果の検証 (p18,19)	<ul style="list-style-type: none"> ● 上層・下層とも改善・緩和が確認されたのはエリア2-2と3-2の全硫化物のみであった。 ● 改善メカニズムを踏まえると、ORP,TOC,強熱減量は連動して改善するものと考えられる。下層ではエリア3-2でのみTOC,強熱減量とも改善が確認されたが、上層では改善・緩和は確認されなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 年間を通して実験区全体で改善・緩和が確認されたのはエリア2-2と3-2の全硫化物のみであり、平野川において薬剤の改善メカニズムから期待される底質改善効果(底質上層・下層双方でのTOC,強熱減量の改善緩和)は確認されなかった。
薬剤散布量、散布頻度の違いによる底質改善効果の違い(p18,19)	<ul style="list-style-type: none"> ● 今回の実証試験では、1回あたりの散布量はメーカー推奨通り、散布頻度はメーカー推奨より高い頻度で散布すると、より多くの評価指標で改善・緩和効果が見られたが、いずれのパターンでも期待する効果は確認されなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 薬剤散布量、頻度の違いによる底質改善効果の違いは確認されたが、いずれのパターンでも期待される効果は得られず、効果的・効率的な散布方法の検証はできなかった。
検証結果に対する原因の考察 (p20~24)	<ul style="list-style-type: none"> ● 期間ごとの変化を確認すると、比較的降雨の少ないR3年9月~R4年2月にかけて底質改善効果がよく確認された(p.20)。 ● 底泥の堆積や浸食の状況と底質改善効果を比較すると、堆積や浸食の少ない状況では底質改善効果が比較的多く確認されている(p.22)。 ● 主成分分析の結果、薬剤散布~試料採取間に河床攪乱の小さい(下水放流量や底泥の堆積が少ない)ときに底泥の有機物指標が小さくなる(底泥がきれいになる)ことや、散布頻度が高いほど底泥の有機物指標が小さくなる傾向が確認された(p.24)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 本実証試験において期待される効果が確認されなかった理由として、平野川では降雨等による河床変動が大きく、薬剤散布後に堆積する底泥には効果が限定的であることが考えられる。

試行実施全体の評価

- 今回の試行実施では平野川において確認された年間を通じた底質改善効果は限定的であり、期待された効果は見られなかった。薬剤を散布した底泥には薬剤の改善効果が生じると考えられるが、平野川では降雨等による河床変動が大きく、散布後に新たに堆積する底泥に対しては薬剤の効果に限定的であることが要因と推察される。
- 一方で河床変動の少ない条件であれば、特に散布回数を増やすことで薬剤による底質改善が確認された。河床変動の少ない場所で薬剤散布による底質改善を実証するには、薬剤の多量散布による水質への影響(環境基準の達成状況)や水生生物への影響について考慮する必要がある。

報告事項

AIを活用したスカムの解析について

【目的】平野川沿川に設置したカメラの画像解析を行い、スカムが発生しやすい場所の推定やスカムの挙動を把握する。

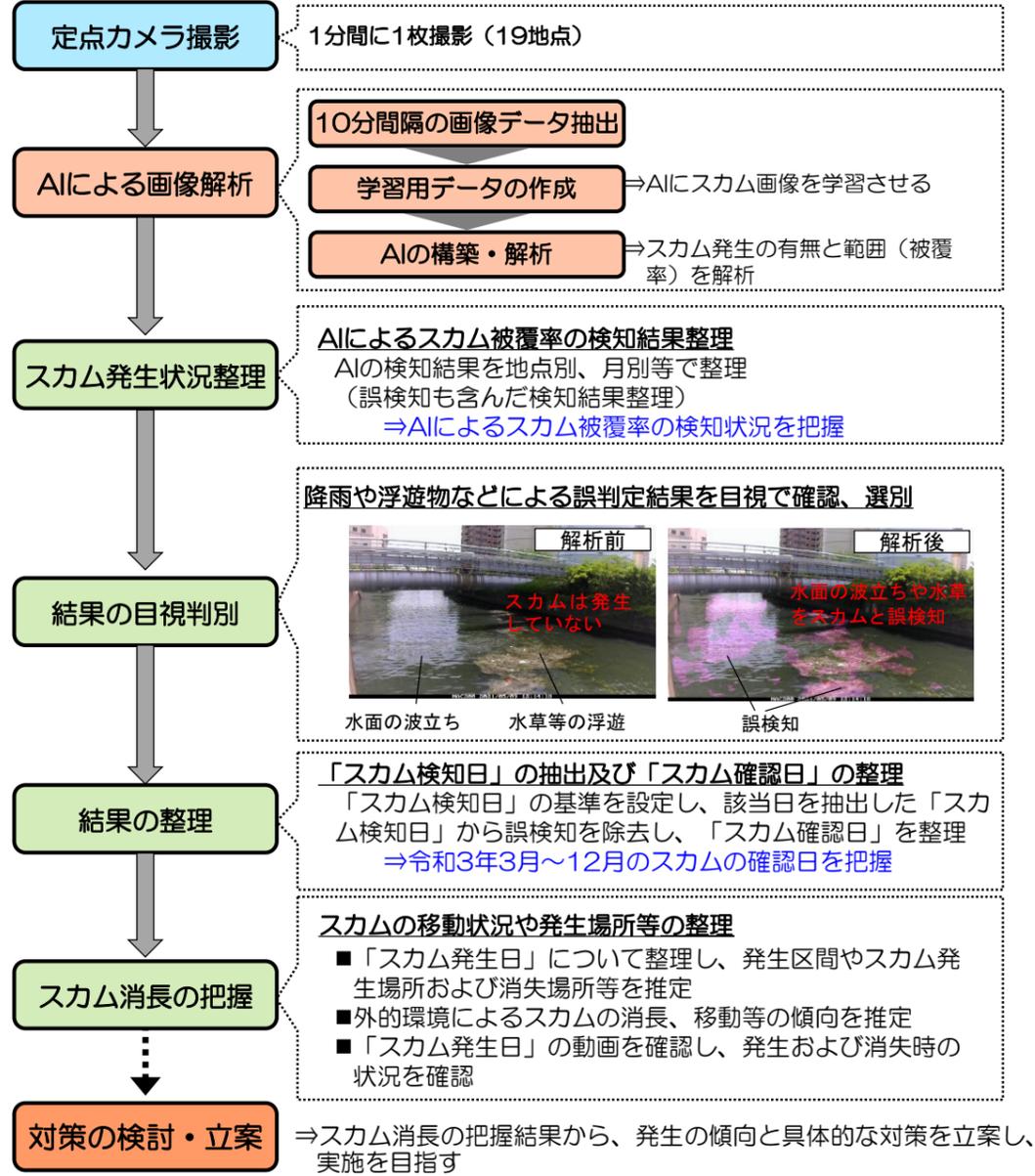
カメラ設置位置図

➡ : カメラ位置(矢印は撮影方向)



平野川17台（大阪府河川カメラを含む）、第二寝屋川2台の計19台のカメラを設置。

検討の流れ



スカム発生・消失の定義

次のように被覆率30%を境として、スカム発生および消失とした。

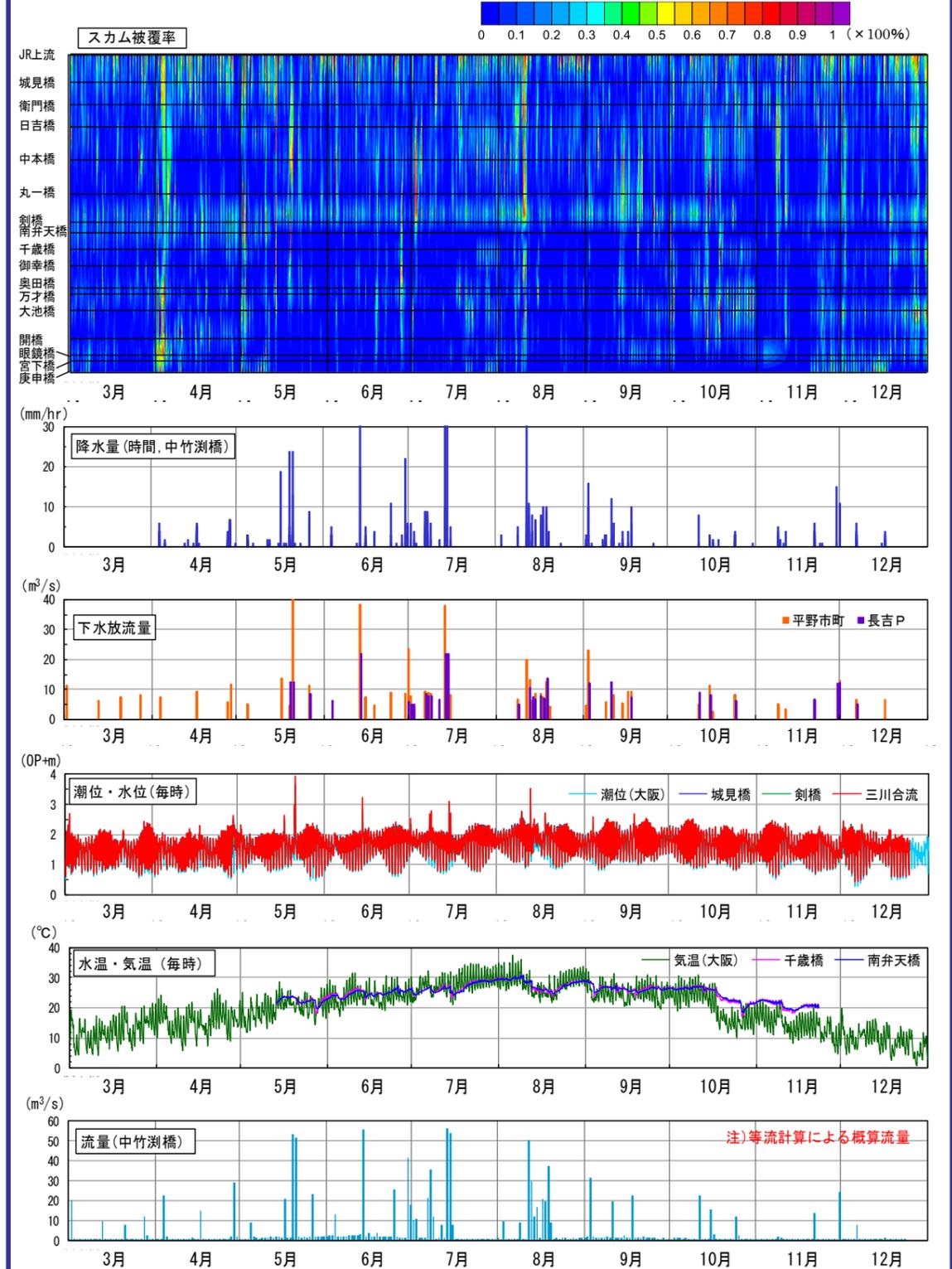
スカム発生：AI解析において、スカムの水面被覆率が30%を超えた時点
スカム消失：スカム発生後、スカムの水面被覆が30%を下回った時点

例)H08千歳橋の「スカム発生」の出力例



スカム被覆率と外的環境

スカム発生状況(被覆率)の縦断分布を時系列コンター図で表し、気象状況(降水量等)、潮汐、下水処理水の放流実績等の時系列変化と比較できるように整理し、スカムの消長と外力の関係を整理した。

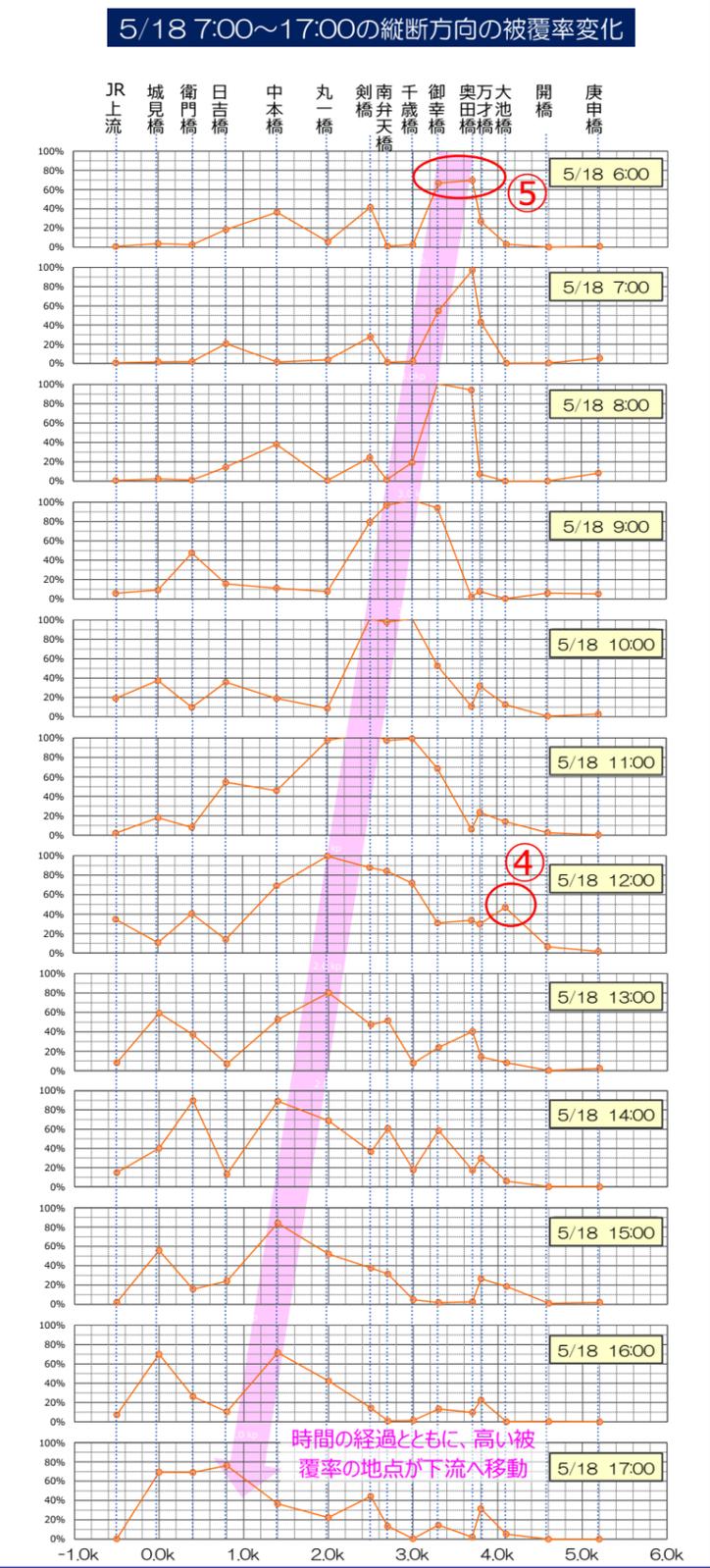
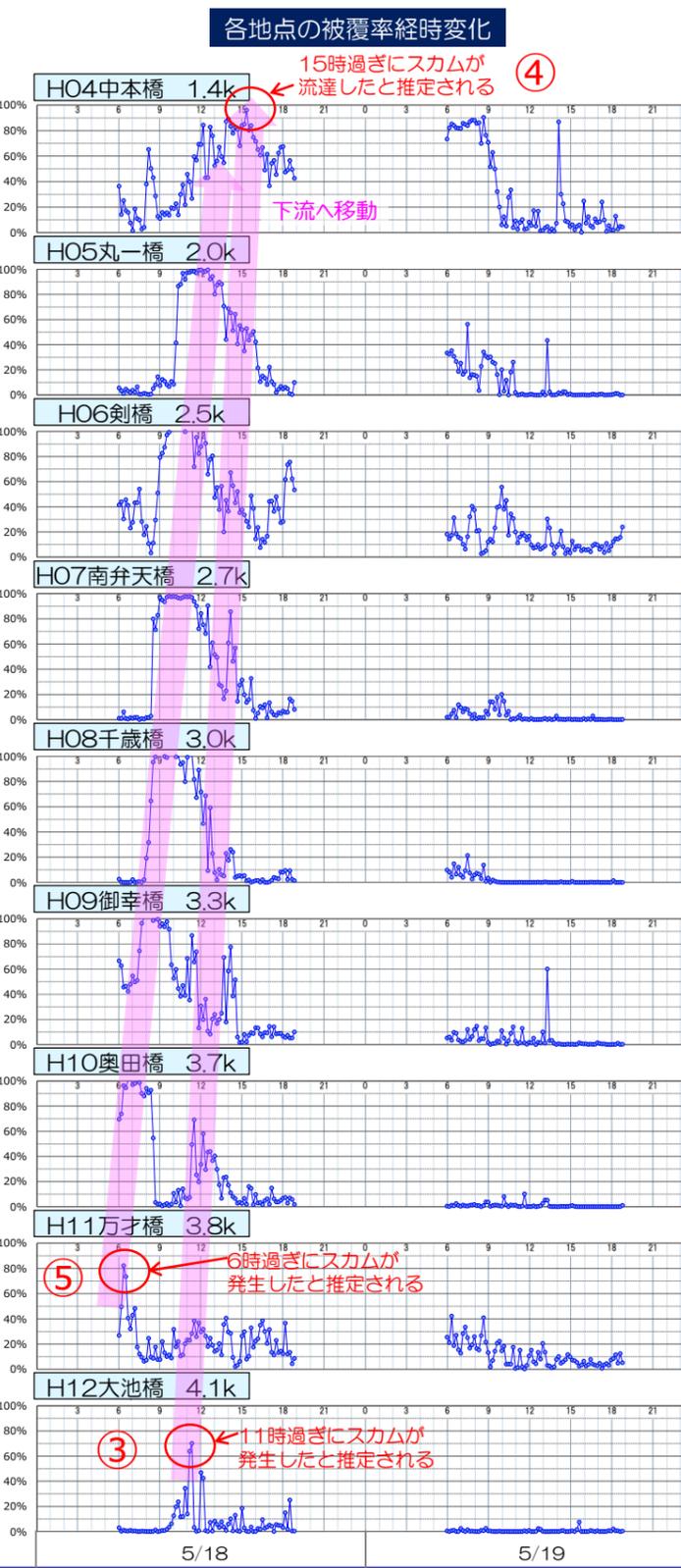
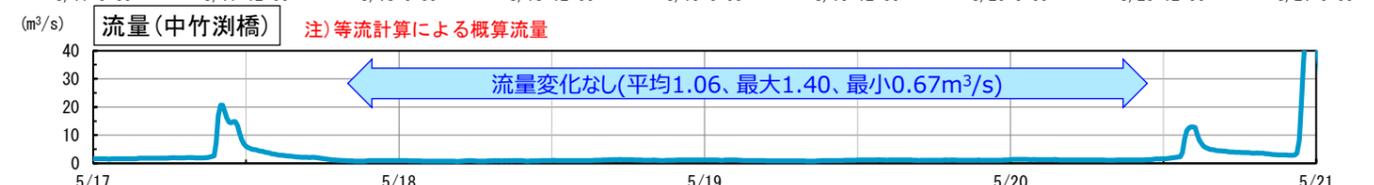
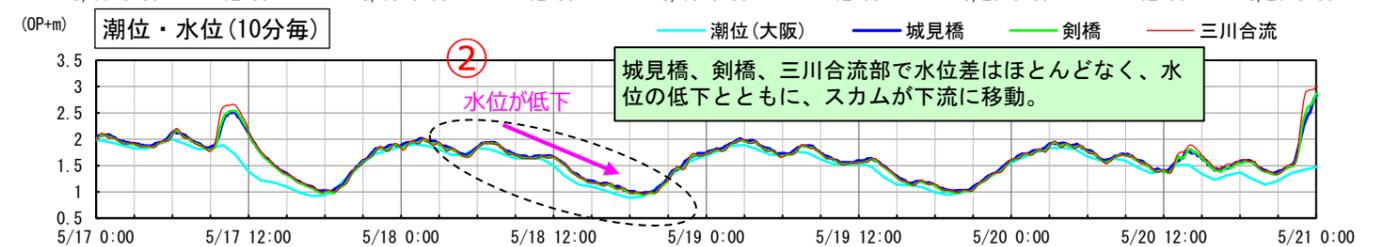
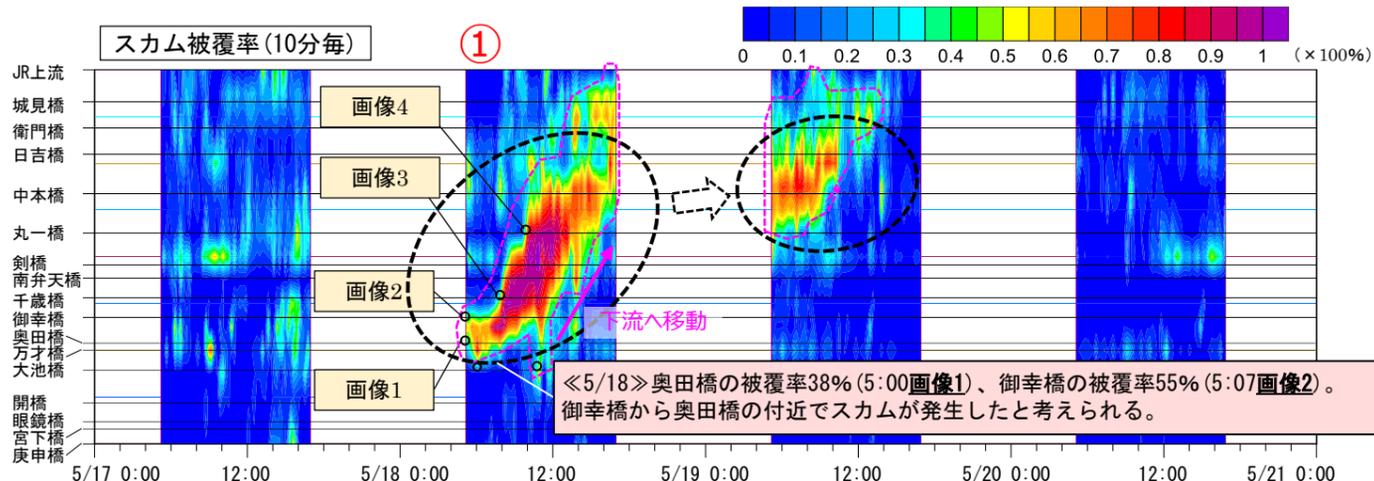


【報告事項】スカム解析 解析結果の整理②

■分析① | 4日間(2021/5/17~2021/5/20)のスカム被覆率

■AI解析によるスカム被覆率について、地点ごとの経時変化、縦断方向の変化を分析することにより、スカム発生および流下または拡散の状況を推定した。

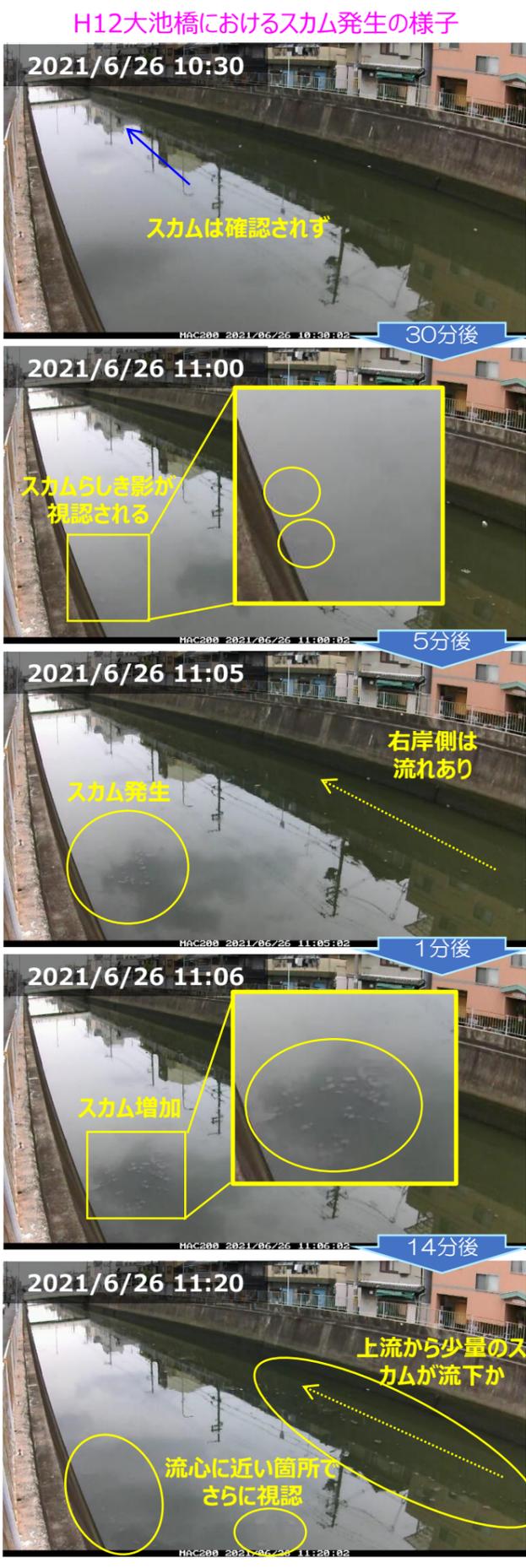
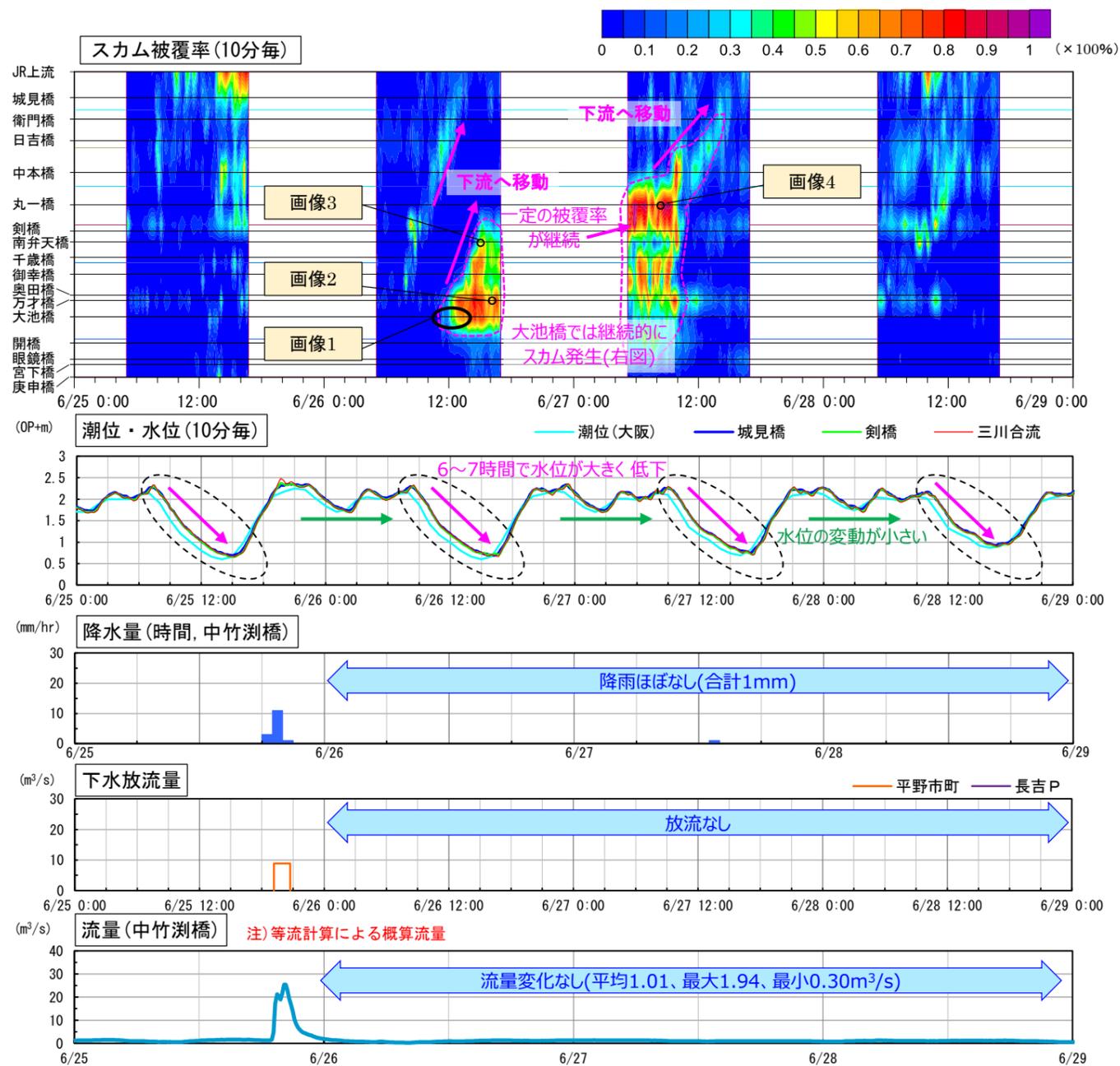
- スカム被覆率(10分毎)の分布では、5/18 6時頃に御幸橋～奥田橋付近のスカム(図中①)が、水位の低下に伴い(②)下流方向へ流下している。
- スカム被覆率の時系列変化を地点ごとに抽出すると、5/18 11時頃に大池橋付近で発生したと推定されるスカム(③)が15時過ぎに中本橋へ流達した(④)と推定された。
- また、5/18 6時頃に万才橋で発生したと推定されるスカム(⑤)も下流へ流下し、丸一橋～中本橋付近に流下したと推定された。



【報告事項】スカム解析 解析結果の整理③

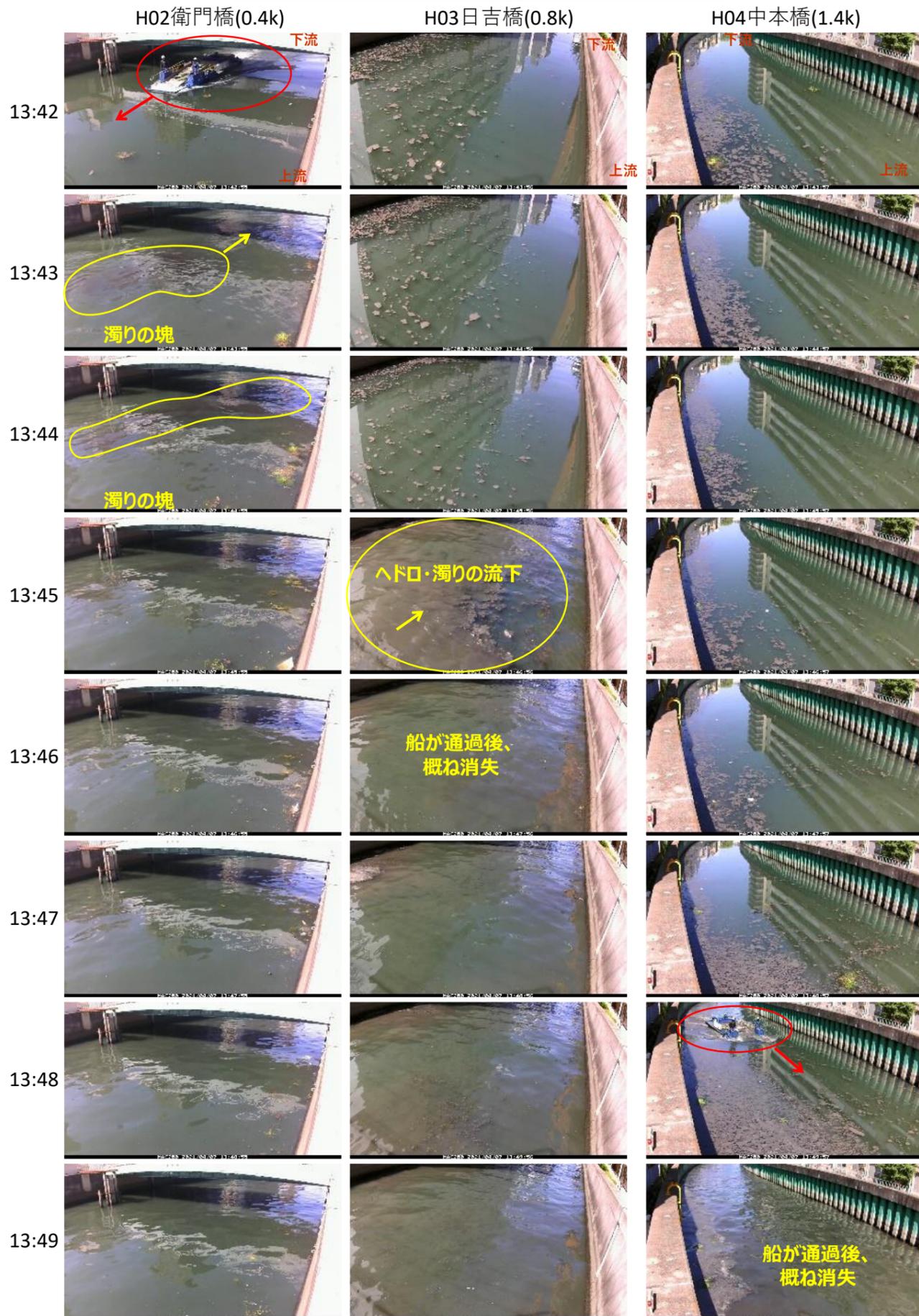
■分析② | 4日間(2021/6/25~2021/6/28)のスカム被覆率

■6/26 12時前後にスカムが発生したと推定される動画を確認した結果、水表面が黒く変色した箇所の水中からスカムが浮上し、発生していると推察された。



【報告事項】スカム解析 解析結果の整理④

2021/4/7 船が通過後にスカムが消失した状況



- AI解析によるスカム被覆率の推移を参考に、スカムが消失したケースを確認した結果、次の状況であることが確認された。
 - 巡視船、スカム対策船等が通過した場合
 - 降雨やさざ波などが生じた場合
 - 水位変動により流下した場合
- 上記条件より、水表面に波動などの衝撃を与えることで、スカムが消失または減少する可能性が推察されることから、今後の対策の1つとして検討する。
- なお、スカムが消失した後、沈降あるいは分解したかについては、今後、継続して観察が必要である。

2021/9/4 HO2衛門橋 水位上昇に伴いスカムが消失した状況



2021/10/13 H14眼鏡橋 さざ波によりスカムが消失した状況



【報告事項】スカム解析 解析結果の整理⑤

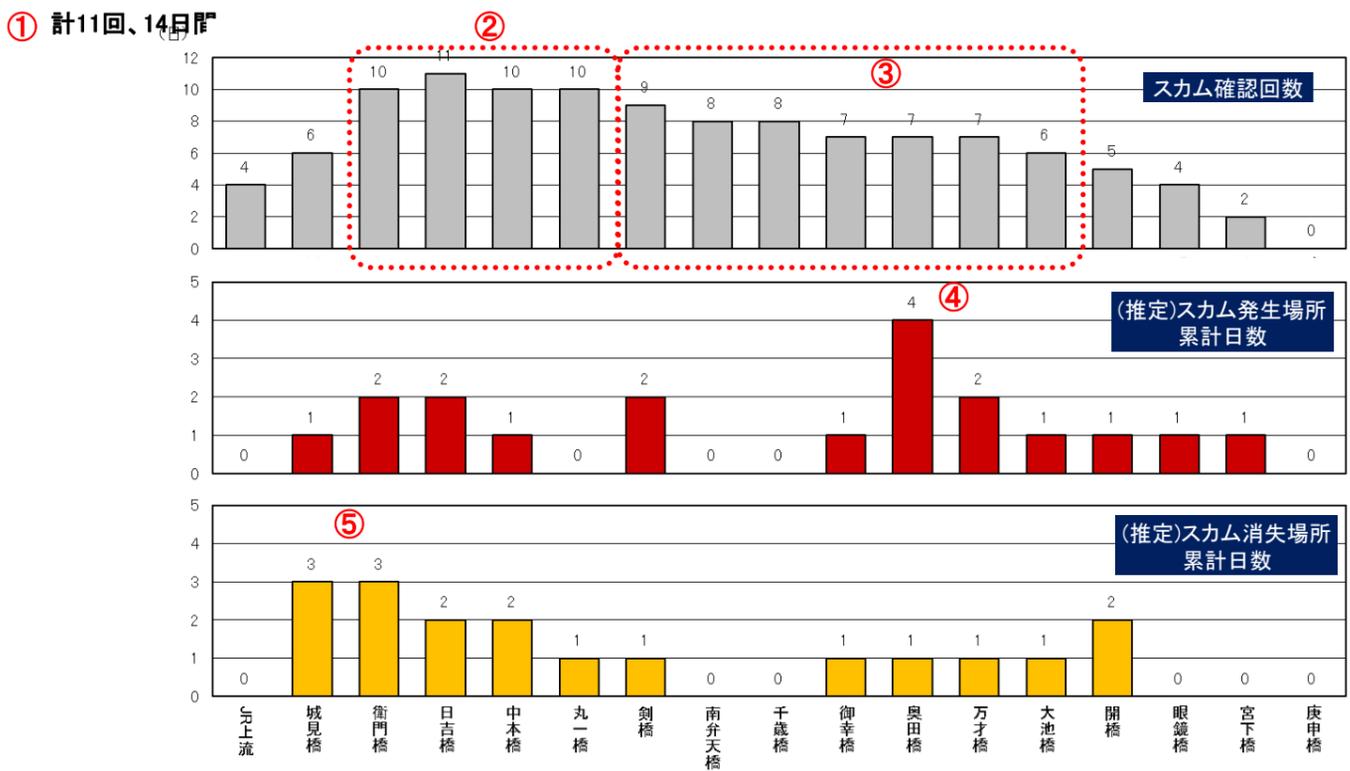
- 令和3年3月～12月のスカムの消長を整理した結果、スカムが発生したのは合計11回、14日間(図中①)で、発生後、1日または2日で消失していることを確認した。
- 10回以上確認されたのは衛門橋～丸一橋付近(②)で、次いで多かったのは剣橋～大池橋付近(③)であった。
- スカムが発生したと推定された日数が最も多いのは奥田橋の4日(④)で、消失は城見橋～衛門橋の3日(⑤)であった。
- 放流量が最も多かった下水放流の直後にはスカム発生は確認されず、放流量とスカム発生に相関は見られなかった(次ページ⑥)。

スカム発生・消失の定義
 スカム発生: AI解析において、スカムの水面被覆率が30%を超えた時点
 スカム消失: スカム発生後、スカムの水面被覆率が30%を下回った時点

※曜日は消失日

■ : スカム確認区間 ⇄ : (推定)スカム発生場所 ⇄ : (推定)スカム消失場所

No.	発生日※	JR上流	城見橋	衛門橋	日吉橋	中本橋	丸一橋	剣橋	南弁天橋	千歳橋	御幸橋	奥田橋	万才橋	大池橋	開橋	眼鏡橋	宮下橋	庚申橋
1	2021/3/31～4/1																	
2	2021/4/7																	
3	2021/5/18～5/19																	
4	2021/6/18																	
5	2021/6/26～6/27																	
6	2021/7/2																	
7	2021/7/9																	
8	2021/9/4																	
9	2021/9/13																	
10	2021/10/13																	
11	2021/10/18																	



令和3年3月～12月のスカム確認日

平野川のスカム発生特性

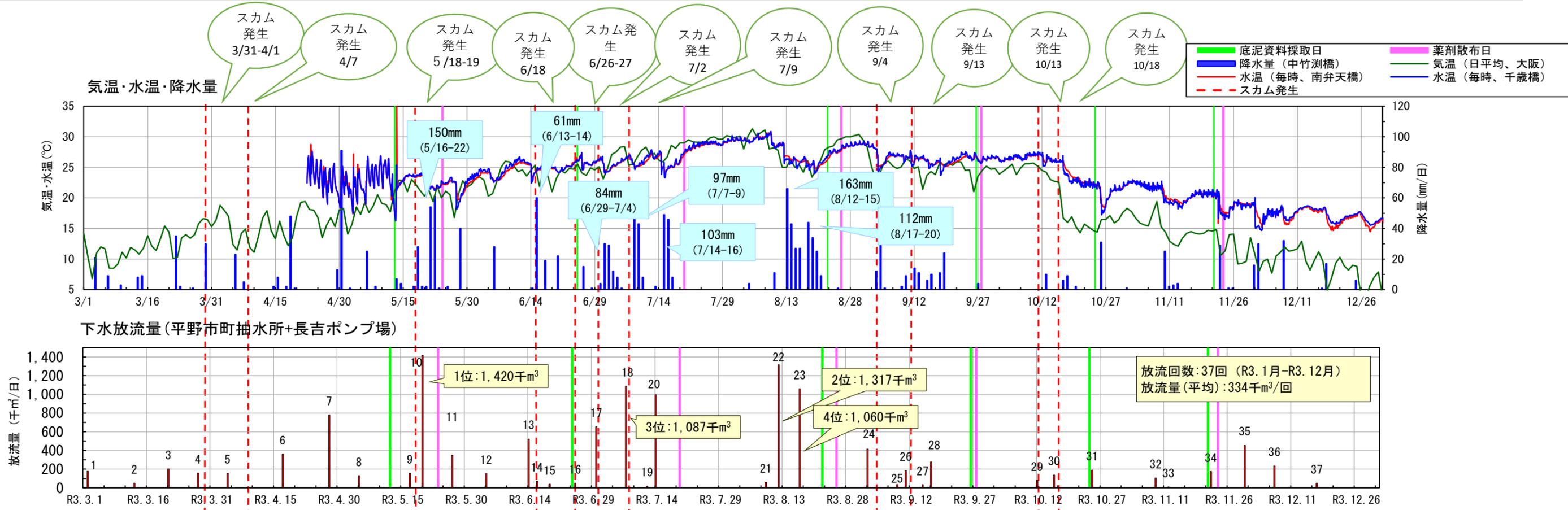
- 発生回数
 - AI解析によるスカム発生回数は11回(14日間)
 - 2回以上発生したのは万才橋～奥田橋、剣橋、日吉橋～衛門橋
 - 最も発生回数が多かったのは4回の奥田橋
- 発生時期・発生のタイミング
 - 確認された時期 : R3は4～7月、9～10月で2日以上
確認されなかった時期 : 8月、11月、12月
 - R3年8月は約2週間にわたり降雨が継続し、スカムが発生(確認)しにくい気象条件であったことを踏まえると、スカムは主に春～秋に発生し、冬季は発生頻度が低くなると考えられる。
 - R3は9回/11回が下水放流翌日にスカムが発生しており、降雨翌日にスカムが発生する頻度が高い(次ページ⑥)。
- 発生場所
 - 最も多く抽出されたのは奥田橋(4回/11回)
 - 奥田橋がスカム発生場所となった4回のうち3回は、スカムが下流に移動しており、奥田橋もしくは奥田橋より上流の区間でスカムが発生していると推測される。
- 移動状況
 - スカムは宮下橋からJR上流地点の平野川の広い範囲で発生し、下流区間において発生頻度が高い。
 - 平野川のスカムは潮汐による水位変動が小さい場合、スカムは上下流に移動せず、スカム発生箇所での一定の被覆率が継続し、下げ潮による水位低下のタイミングで下流に移動する。

今後の課題

- AIによるスカム解析のさらなる精度向上
 - 課題
 - AIの構築に使用した学習用データの地点ごとの枚数や多様さ(撮影時期、時間帯、スカムの規模等)による解析精度のばらつき
 - 肉眼でもスカムとそれ以外の区別が難しいケースの解析精度低下
 - 対策
 - 高解像度カメラの活用
 - 誤検知事象とスカムの混在画像の学習
- 河川管理での活用
 - 河川管理に活用するには、スカムが発生していると推定された区間とその他区間の底質特性や水理特性を分析・比較し、スカムの発生メカニズムを明らかにする必要がある。
 - スカムの発生メカニズムや発生条件、主な発生場所等を踏まえ、底泥浚渫や薬剤散布等の底質改善対策を効果的・効率的に実施する方法を検討し、対策を推進する必要がある。

【報告事項】スカム解析 解析結果の整理⑥

気温・水温、降水量、下水放流量状況とスカム発生状況（令和3年3月～R3年12月）

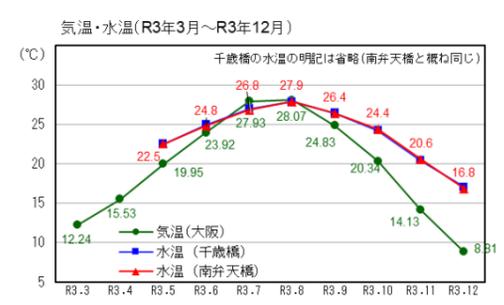
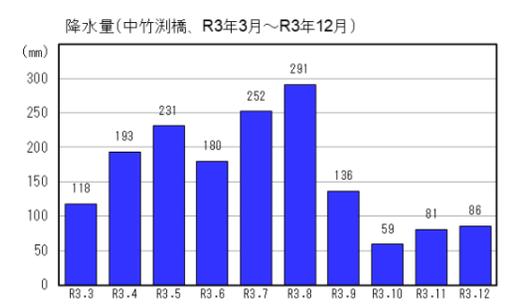


下水放流量 (出水毎)

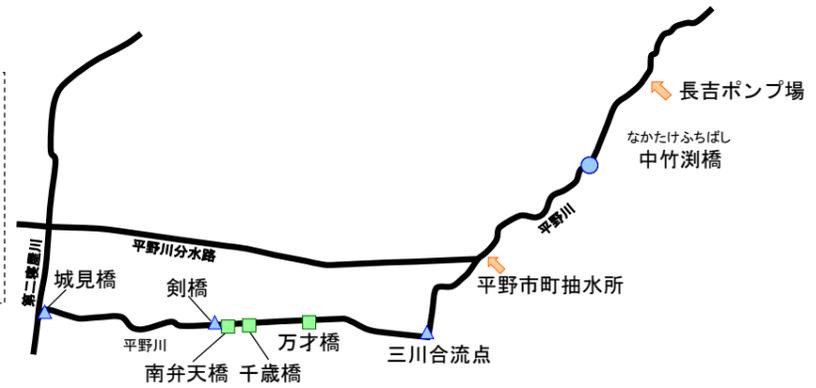
⑥ 下水放流翌日にスカムが発生

No.	R3																																					平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
月日	3/1	3/12	3/20	3/27	4/3	4/16	4/27-28	5/5	5/17	5/20-21	5/27	6/4	6/14	6/16	6/19	6/25	6/30-7/3	7/7-9	7/12	7/14-16	8/9	8/12-15	8/17-20	9/2-3	9/9	9/11-12	9/15	9/17-18	10/12	10/16-17	10/25	11/9	11/12	11/22	11/30-12/1	12/7	12/17	
平野市町抽水所	177	51	202	158	154	363	●780	130	156	●1,026	219	116	351	69	39	50	422	●678	4	●666	45	●1,034	●731	305	36	121	33	194	34	90	134	106	11	123	264	212	51	246
長吉ポンプ場	-	-	-	-	-	-	-	-	-	393	131	37	172	-	-	-	232	409	14	330	12	283	329	110	-	65	-	84	45	48	57	-	-	52	191	23	-	151
平野市町+長吉P	177	51	202	158	154	363	●780	130	156	●1,420 (1)	350	153	●523	69	39	50	●653	●1,087 (3)	18	●996 (5)	58	●1,317 (2)	●1,060 (4)	415	36	186	33	278	79	137	191	106	11	175	454	236	51	334
月合計	3月			4月			5月					6月				7月				8月			9月			10月			11月		12月							
	589			518			2,056					834				2,754				2,435			948			407			285		287							

●:500千m3超、平野市町+長吉Pのカッコ数値は順位



データ整理期間
 気温: R3.3/1～R3.12/31
 水温: R3.5/1～R3.12/31
 降水量: R3.3/1～R3.12/31
 下水放流量: R3.3/1～R3.12/31



下水放流との関係の整理

放流後日数	回数
1日	3回
2日	6回
4日	2回

3~4月の気温が低いときの事例
(ガス発生までの日数が関係?)

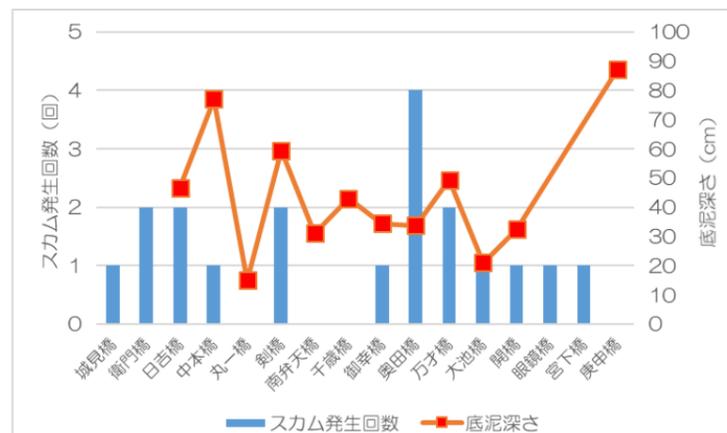
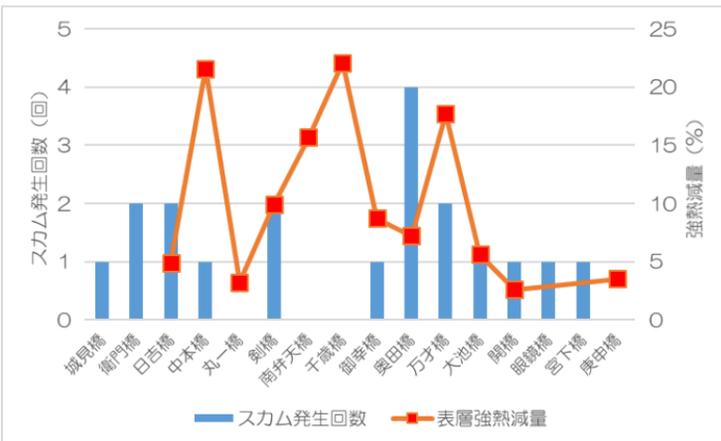
- 下水放流後1~2日で発生することが多い (全下水放流中スカムが発生した割合は約30%)。
- 下水放流量が多いときはスカム発生が少ないような傾向はありそうだが、統計学的にいうのであればもっと事例収集が必要
- 実際には前回スカム発生からの全負荷量や放流スピード (短時間で放流するかなど) が影響するだろうから流量だけでスカム発生の関連を言及するのは現時点では困難かと思われる (下水放流量と汚濁物質負荷量は比例しない)。
- 一方で長期的にはデータ収集等により発生条件の推定が可能になると考えられるため、そのための基礎データの収集を行うことは必要。

放流量 (平野市町)	スカム発生	
	○	×
~100千m ³	4回	8回
100千~200千m ³	4回	7回
200千~500千m ³	2回	6回
500千m ³ 超	1回	5回

放流量 (平野市町+長吉 P)	スカム発生	
	○	×
~100千m ³	3回(1回)	8回(2回)
100千~200千m ³	5回(2回)	7回(3回)
200千~500千m ³	1回(1回)	5回(3回)
500千m ³ 超	2回(2回)	6回(6回)

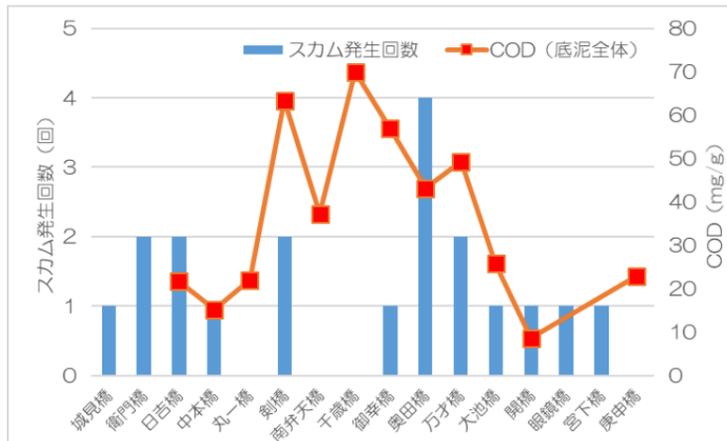
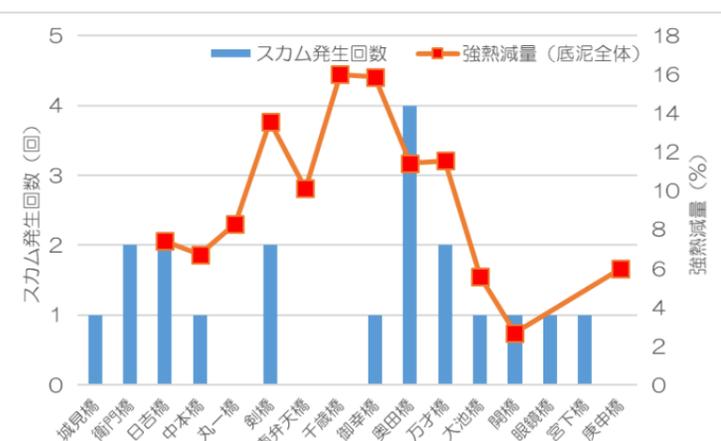
※括弧内は長吉Pの放流があった回数

底質の汚濁状態との関係の整理



底泥の分析結果はR2底質調査業務報告書より (底泥全体の数値は右岸、流心、左岸の計画河床上下の堆積量と各測定結果の加重平均により算出)

- スカムが複数回発生している場所は底泥全体の有機含有量が高い。
- 一方で、底泥全体の有機含有量が高い場所でスカムが発生していない場所もある。
⇒底泥の汚さはスカム発生に寄与しているが、それだけで決まるわけではない。
⇒ (恐らく) 底泥の汚さは嫌気性ガスの発生に関与?
- 底泥の汚さと降雨時の堆積との関係は不明
⇒降雨時の堆積状況を調べることで、スカム発生しやすい場所の特定はできるかもしれない。



現状と課題

- ・ 定点カメラのAI解析により、平野川でのスカム発生状況の把握は進みつつある。
- ・ 一方でスカム発生と底泥の化学的性状、堆積状況との関係性は不明



〈今後の調査予定〉

○平野川でのスカム発生状況の把握

- ・ R4年1月以降のカメラ画像解析によるスカム発生箇所・スカム発生状況の把握を引き続き実施する。

○スカム発生と底泥の化学的性状、堆積状況等

（調査事項の候補）

- ・ 降雨時に懸濁物質が堆積しやすい場所を把握し、スカム発生場所との関係を把握
- ✓ 降雨時による底泥の堆積状況の把握（マルチビームの活用などによる）
- ✓ 降雨時の地点ごとの水質や流速
- ・ 底泥の状態の違いにより、スカム浮上に関与すると考えられている嫌気性ガス発生の多寡を把握
- ✓ 底泥の状態の違いによる、出水時の底層DO,ORPの変動

※調査事項は学術的な観点や実施にあたっての課題を踏まえたうえで今後決定



- ・ カメラ画像解析によるスカム発生状況と、調査データとの関係性からスカム発生場所や要因を検証

参考資料

目次

1. 試行実施結果・底質	p. 37
2. 浄化導水	p. 38
3. 主要な下水放流の状況	p. 39
4. n-ヘキサン抽出物質	p. 41
5. 流量計算結果	p. 42
6. 薬剤によるスカム改善メカニズム	p. 43
7. リング法による浸食堆積観測	p. 44
8. ペグ設置箇所 時系列変化	p. 45
9. 用語集	p. 46

試行実施結果・底質 対照区(試行実施中の平野川の底質状況)

薬剤散布を行っていない地点の底質状況の変化を示す。

下水放流量

地盤高

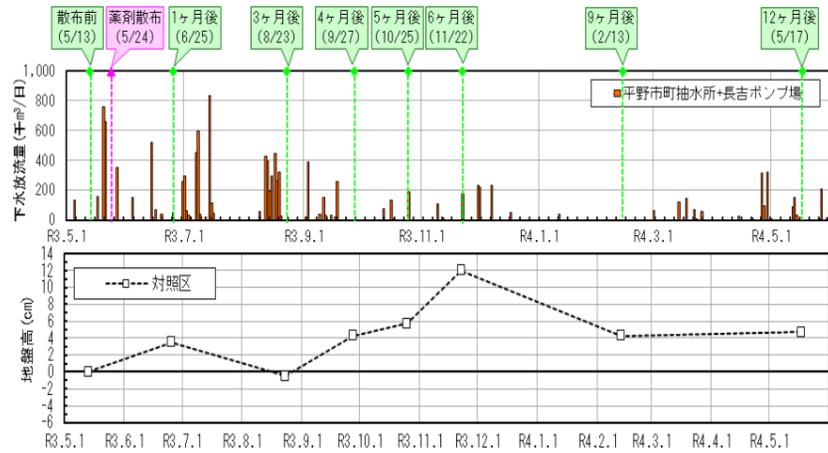
ORP

全硫化物

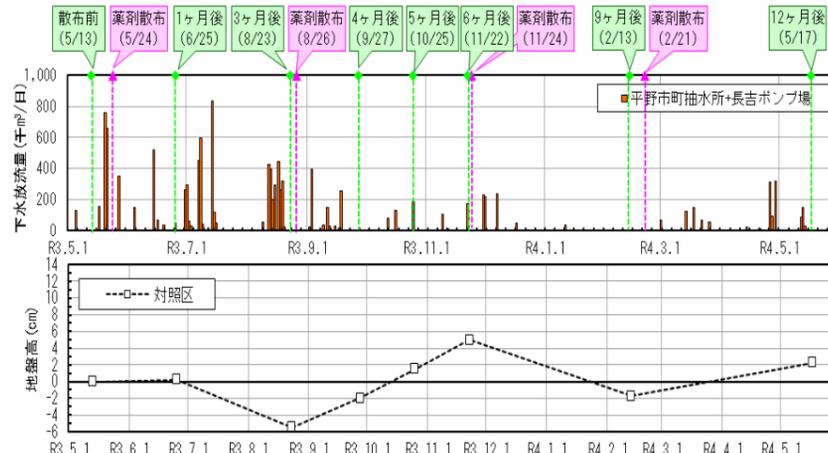
TOC

強熱減量

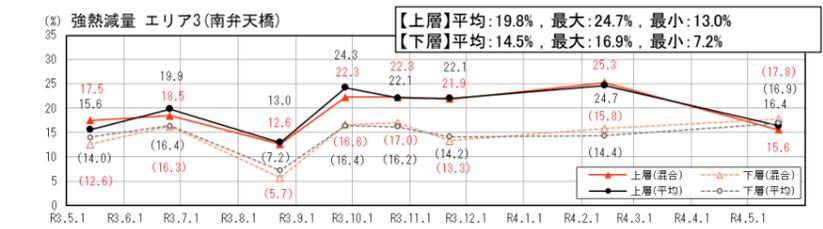
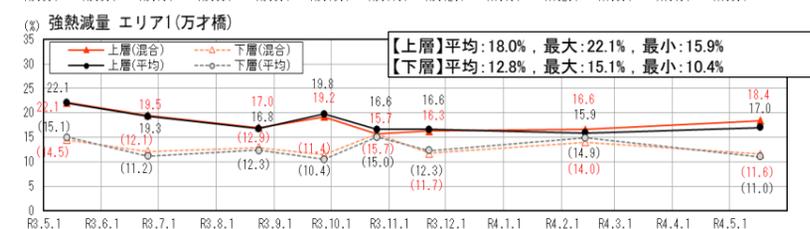
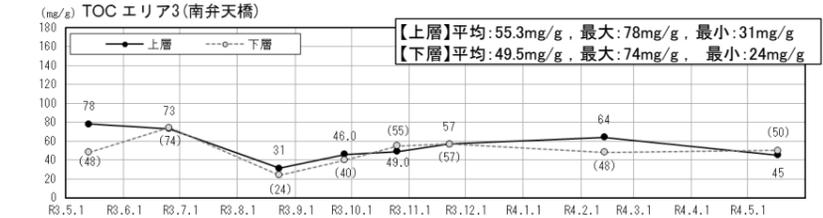
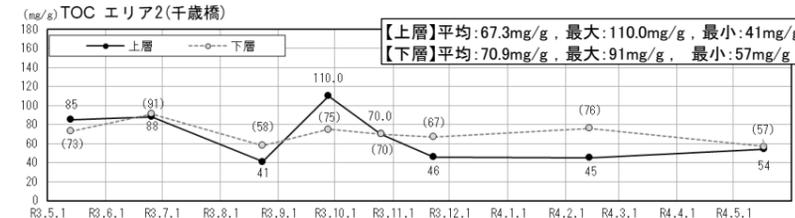
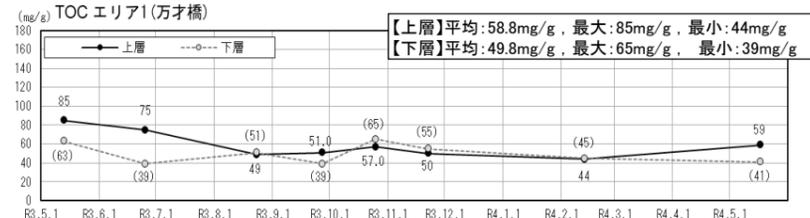
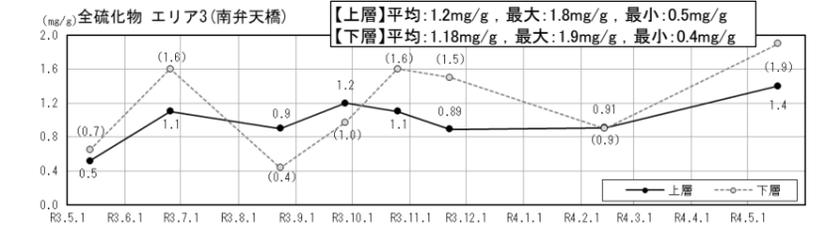
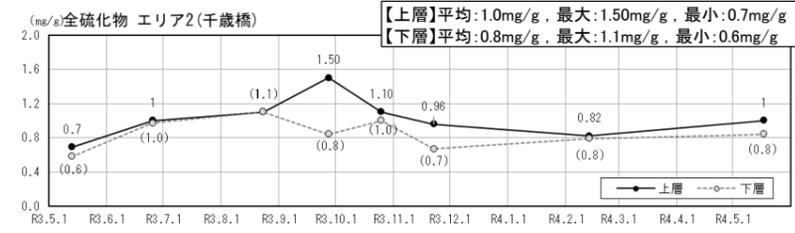
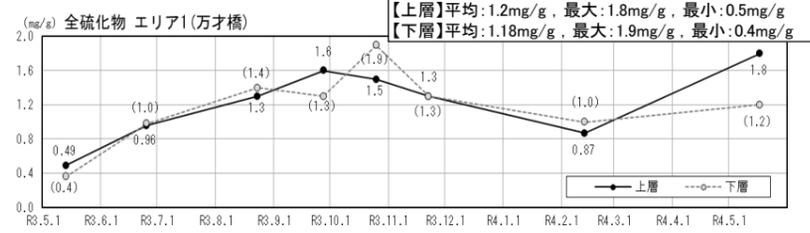
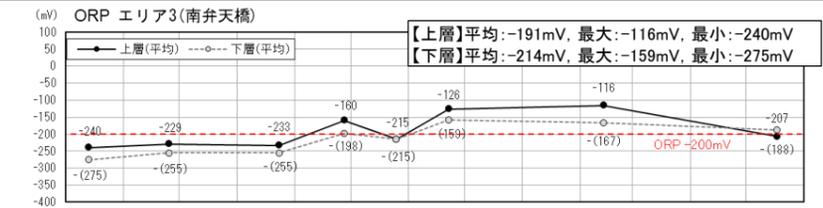
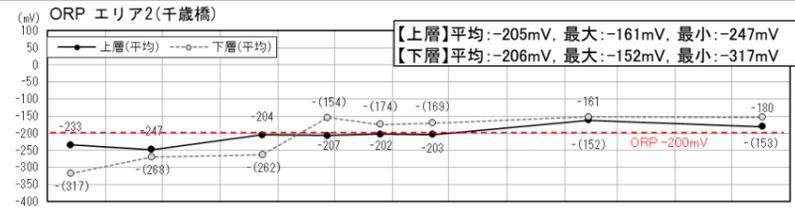
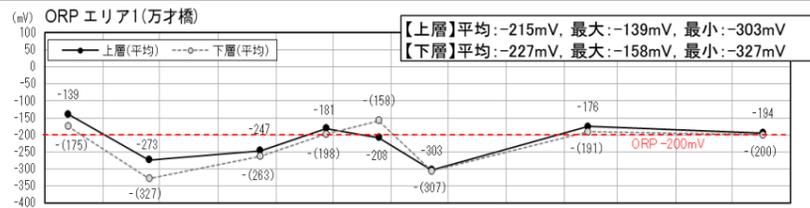
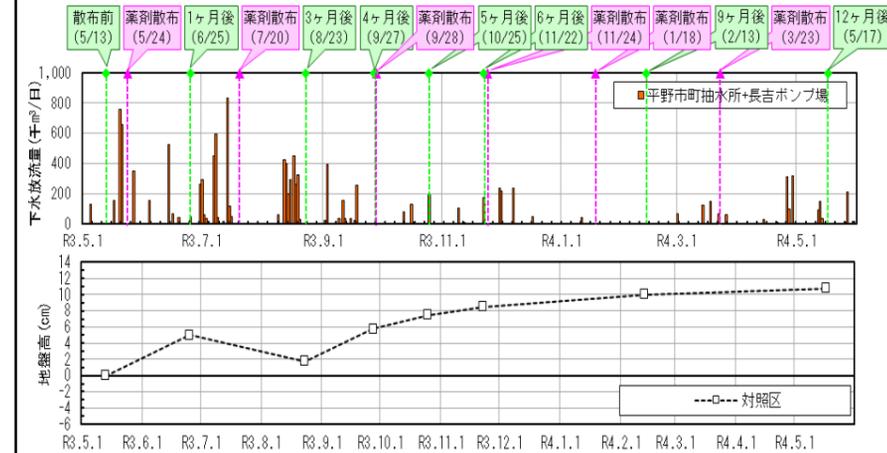
エリア1(万才橋)



エリア2(千歳橋)



エリア3(南弁天橋)

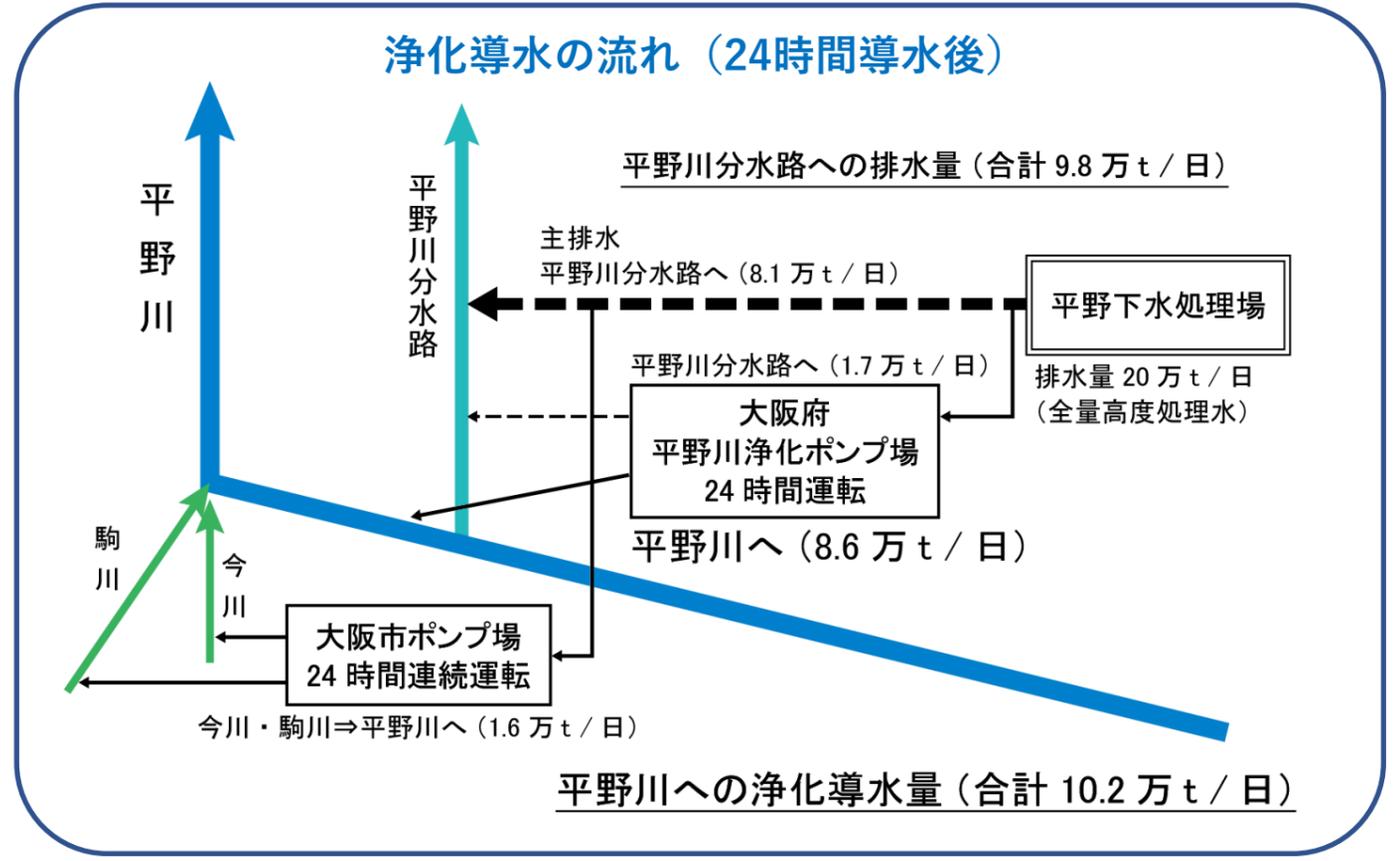


注) 「混合」: 採取した3検体を混合した上で分析したもの
「平均」: 採取した3検体の個別の分析値を平均したもの

◎処理水を導水し水質改善

平野川浄化ポンプ場の運転時間の見直しにより
 平野川への高度処理水の導水量を増加(R1.7~)
 10時間(8時~18時)運転 ⇒ 24時間運転
 (5.2万t/日、1.4m³/sec) (10.2万t/日、1.2m³/sec)

DOの改善⇒悪臭、スカム発生抑制

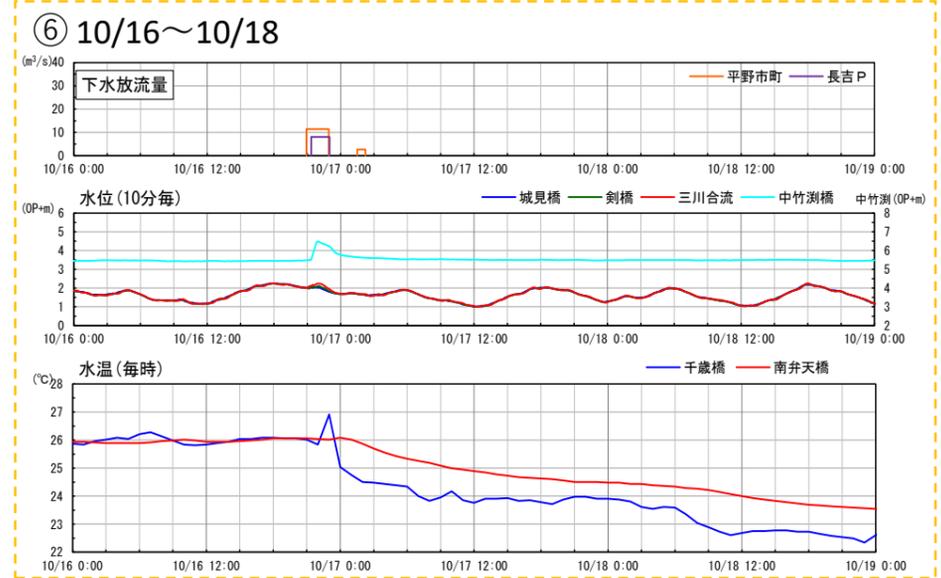
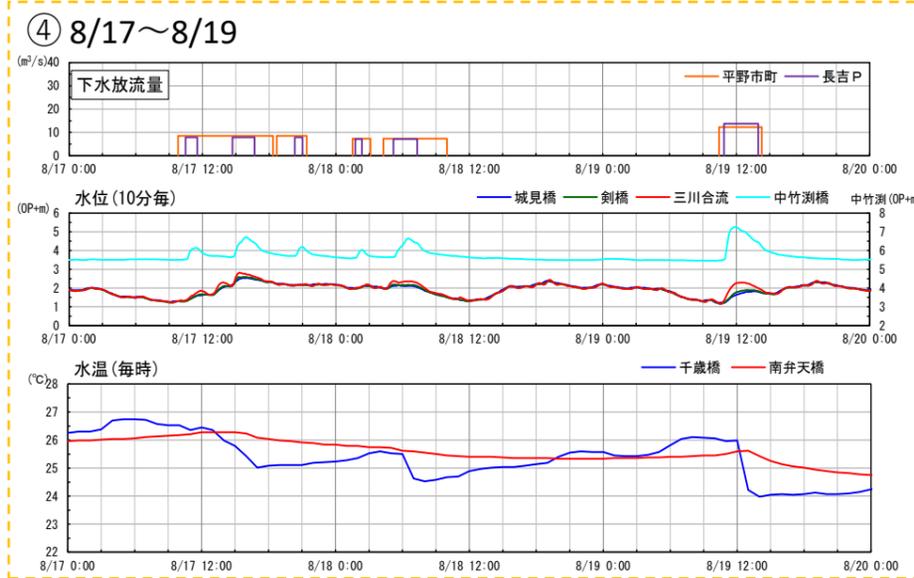
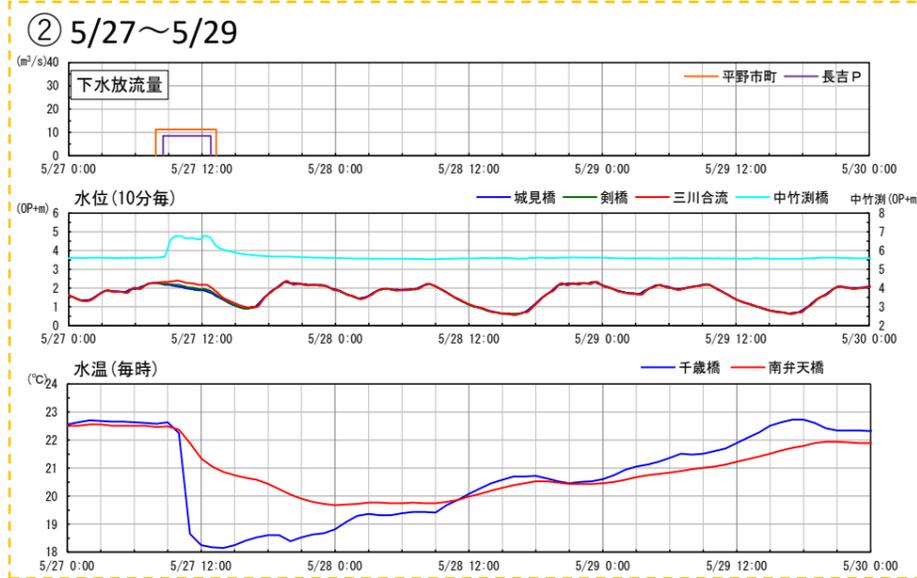
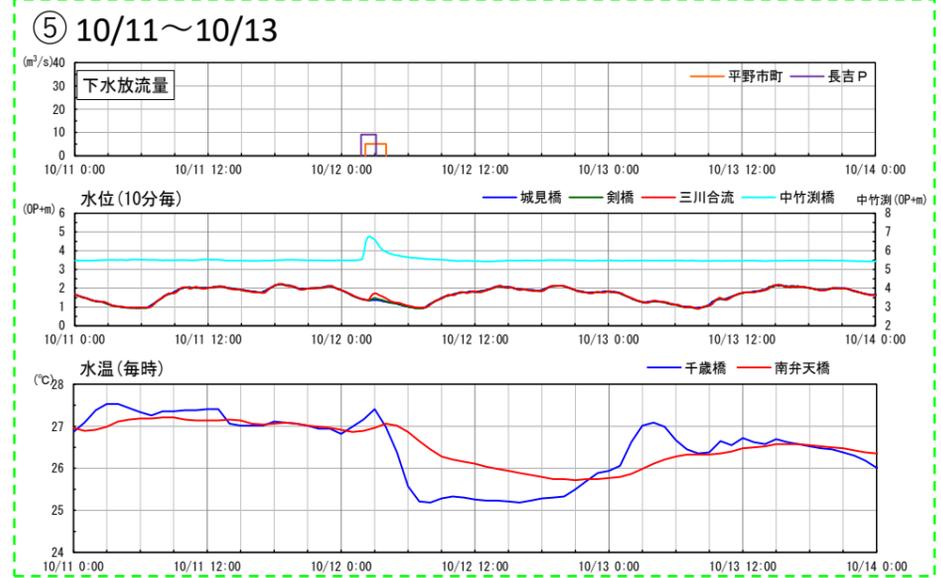
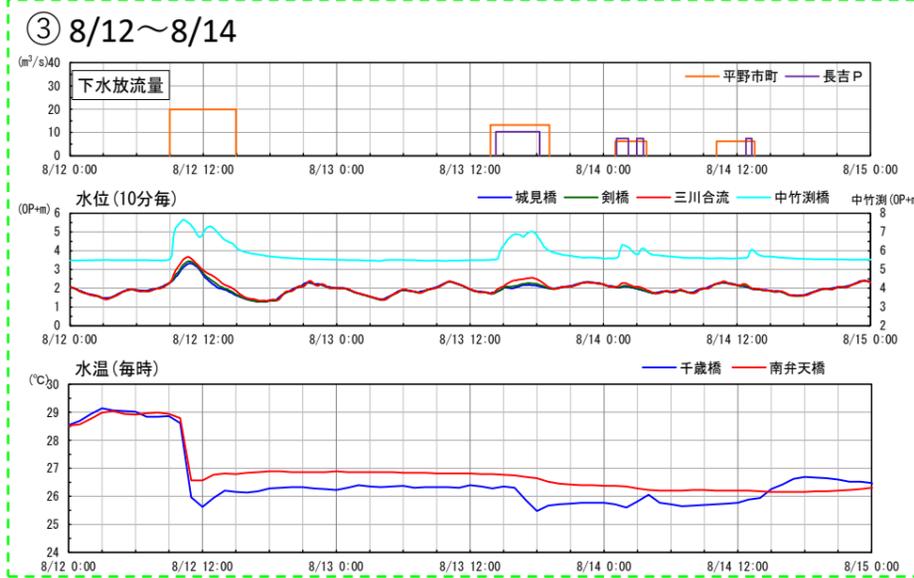
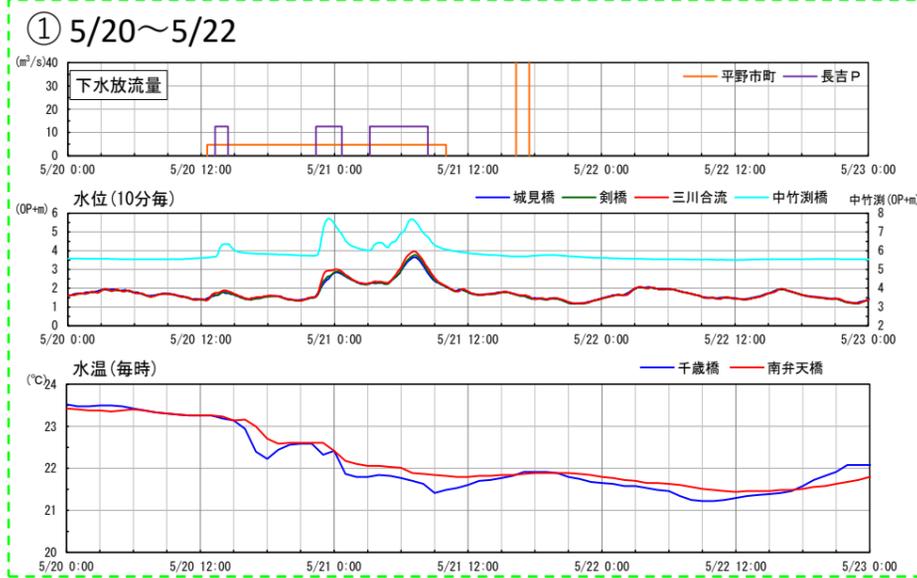
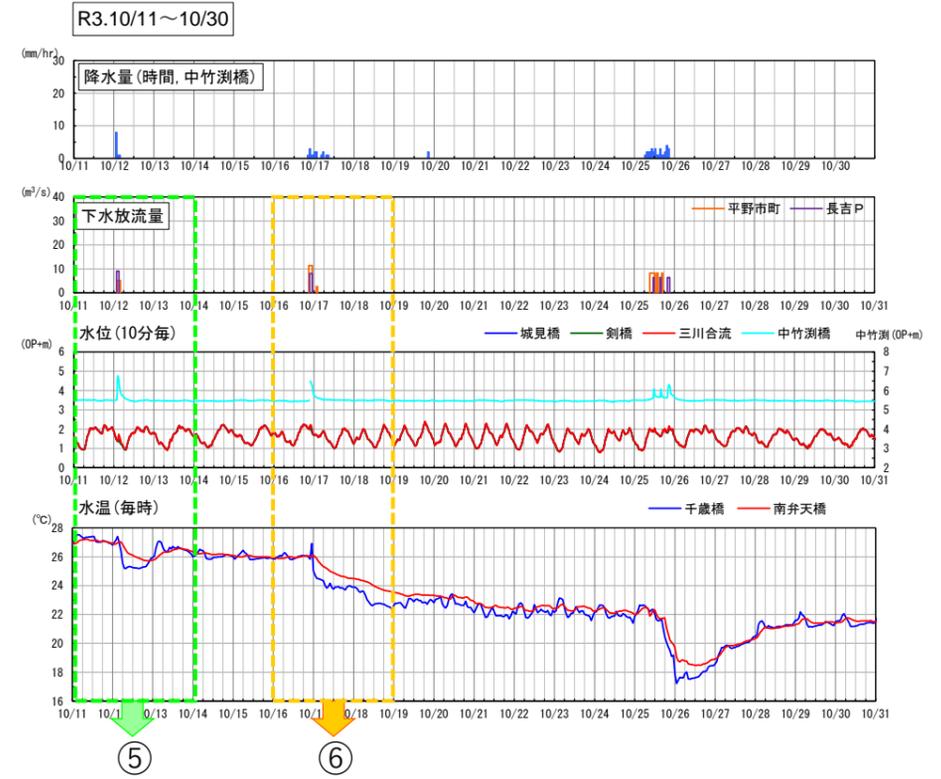
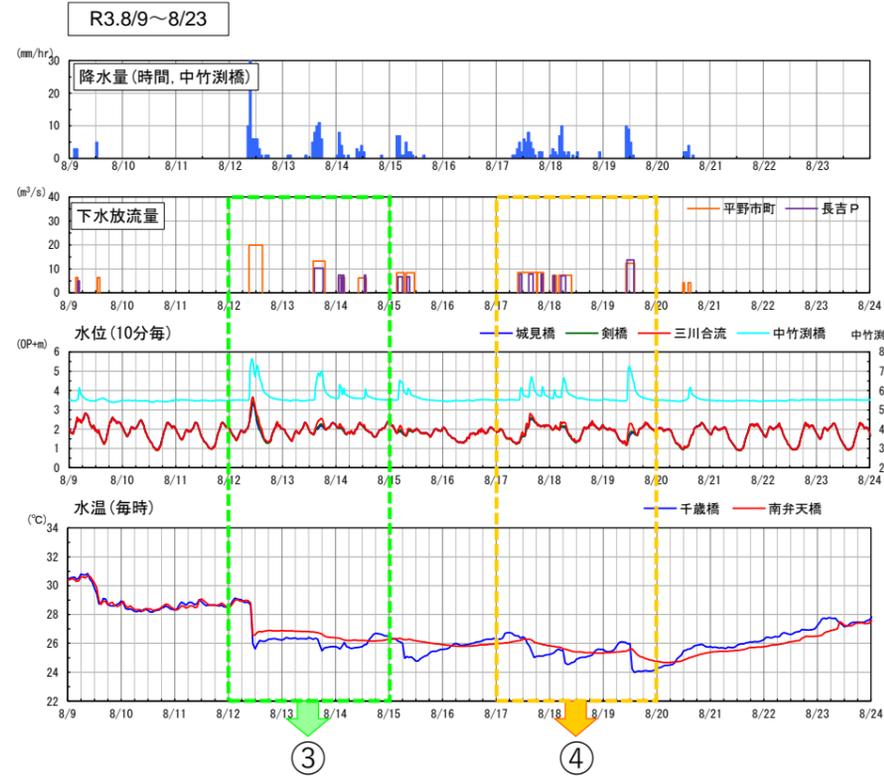
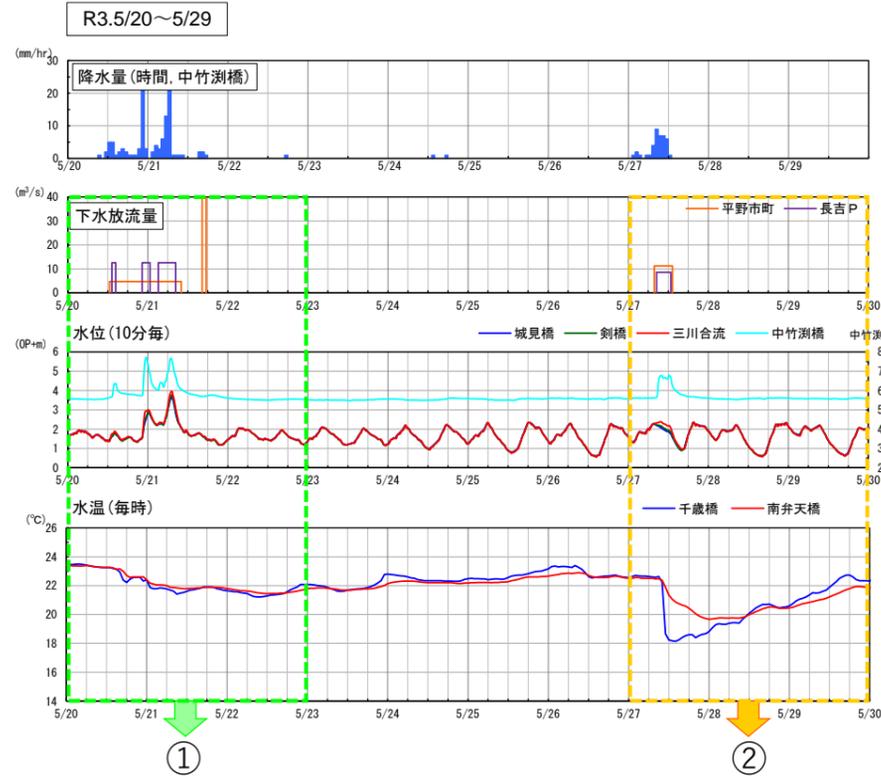


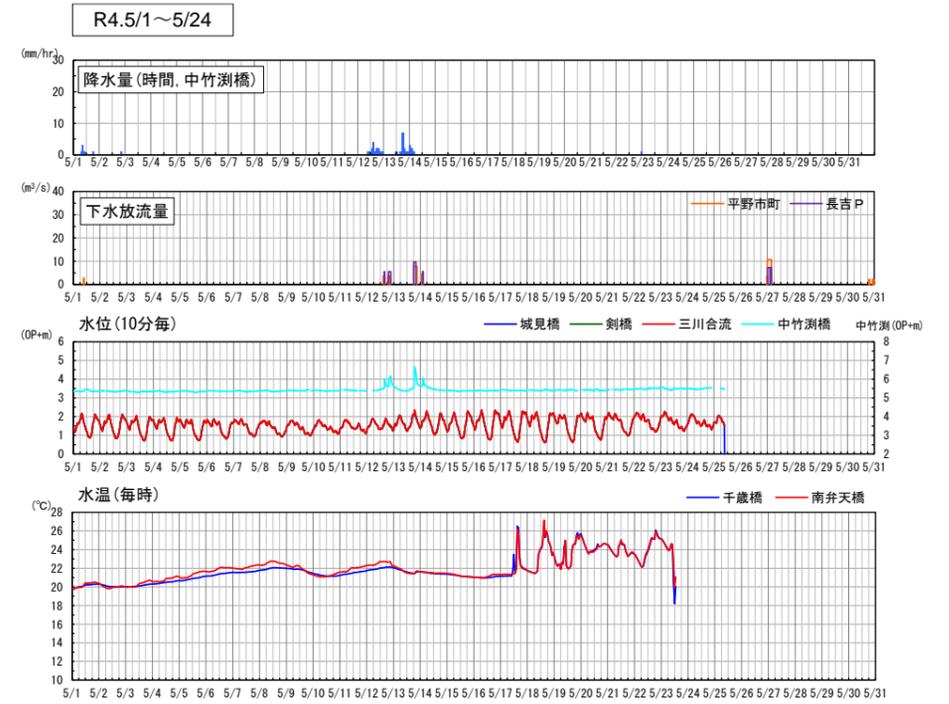
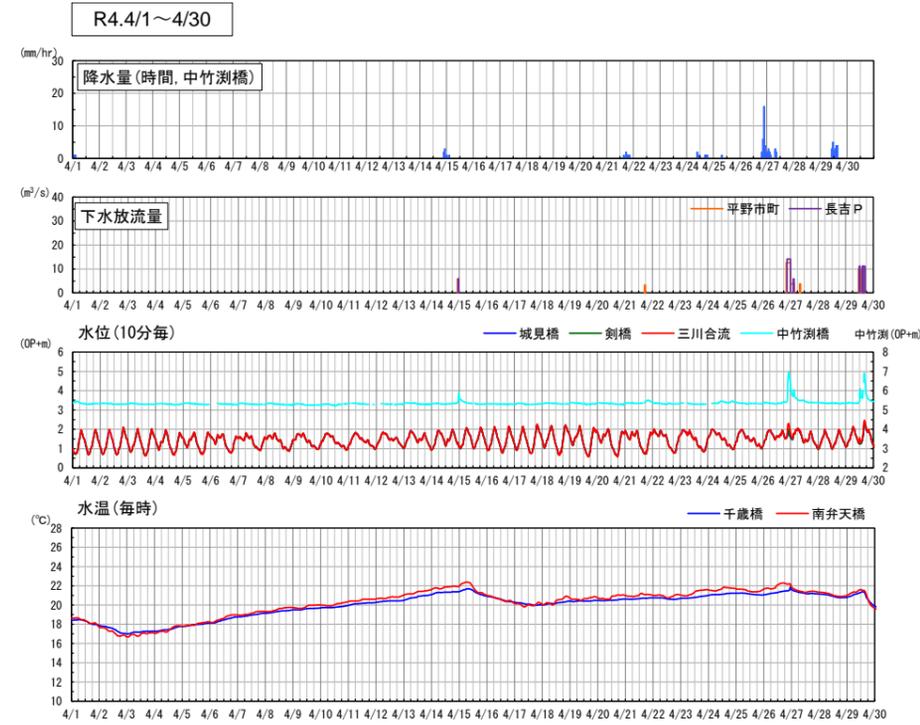
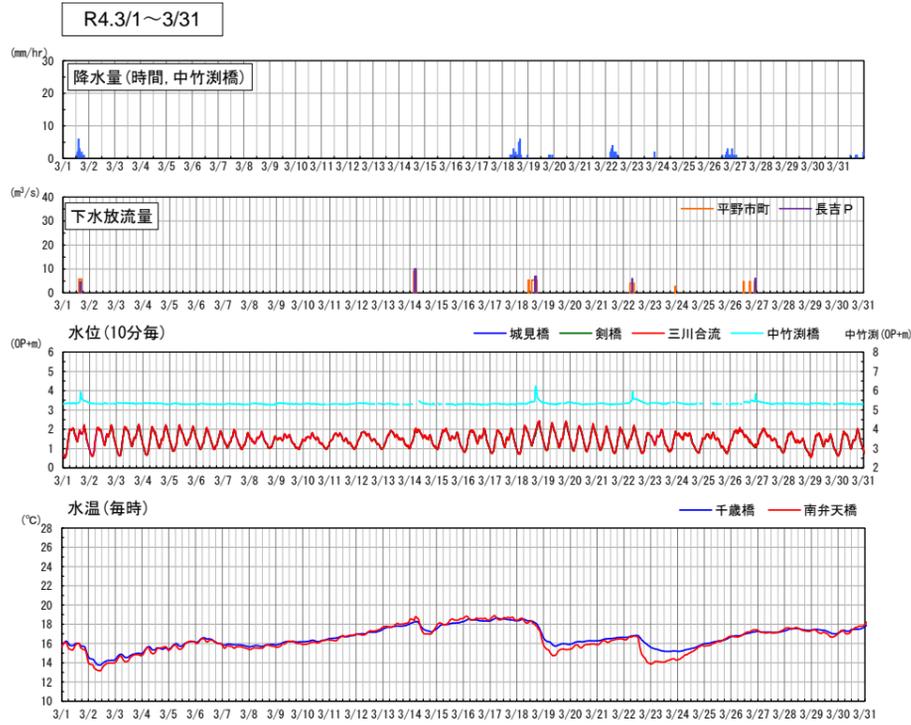
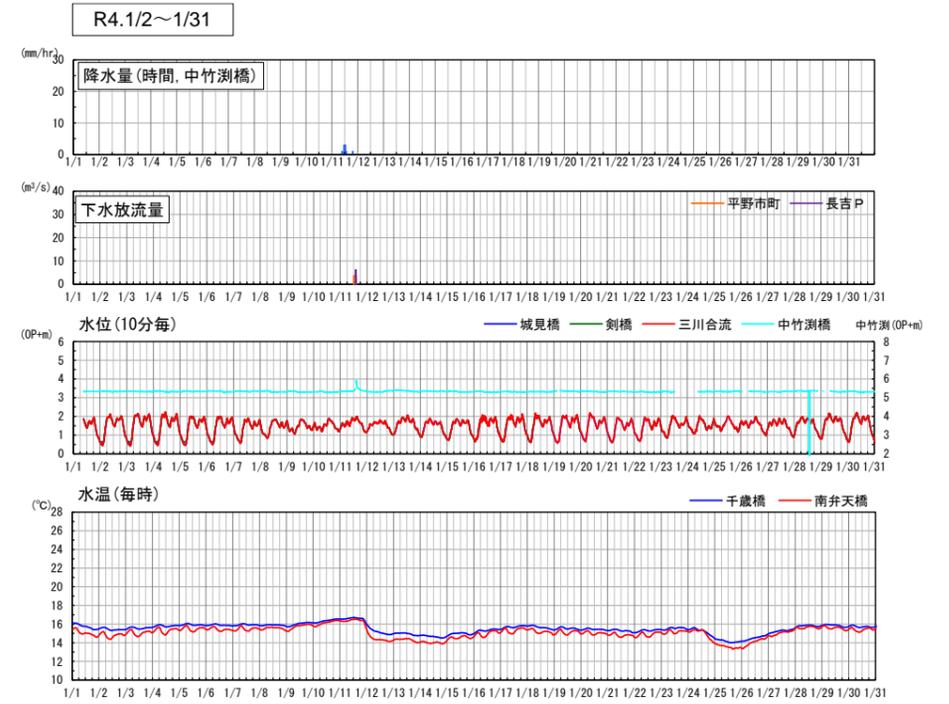
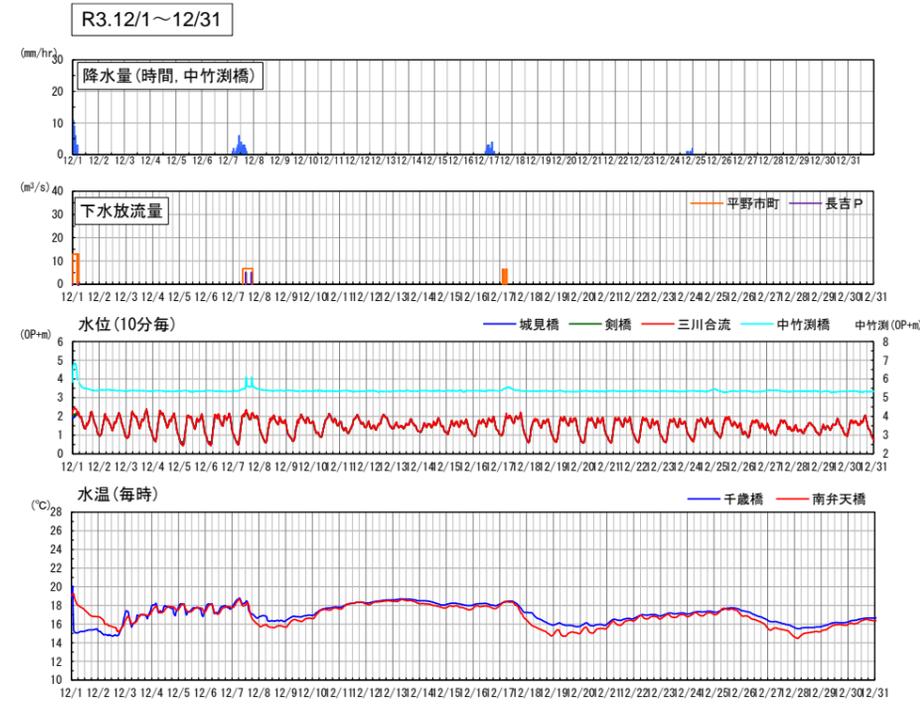
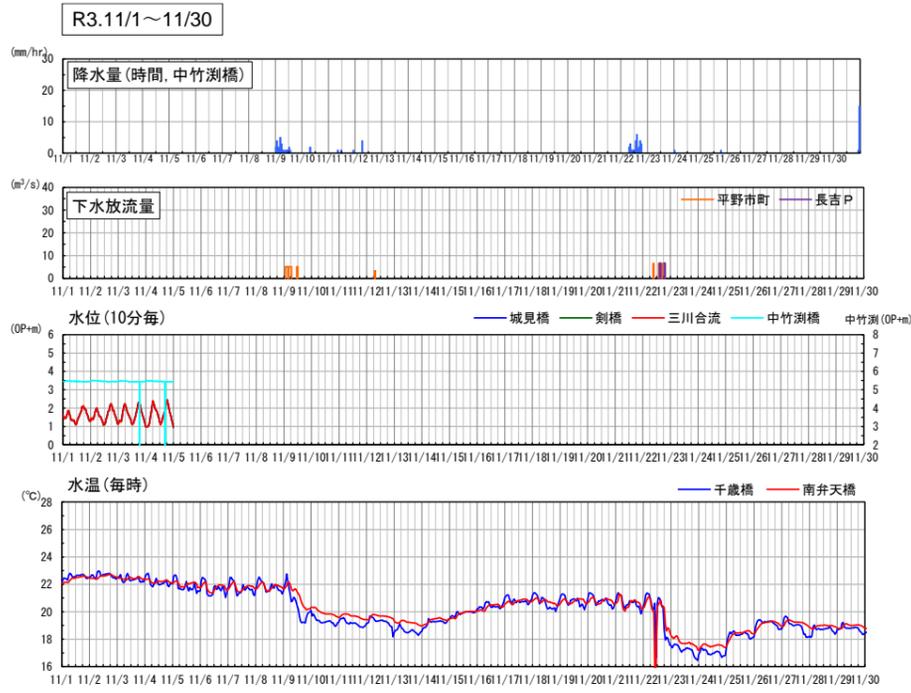
導水位置 (6.8k)



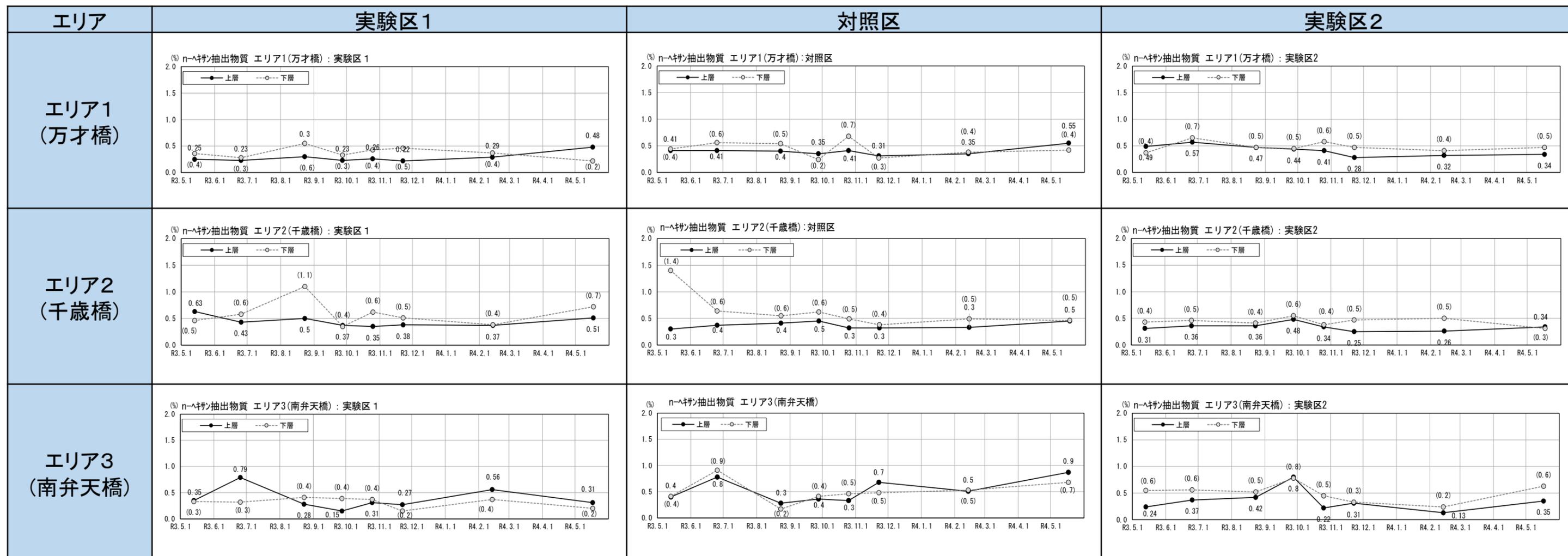
出典: 国土地理院

参考資料





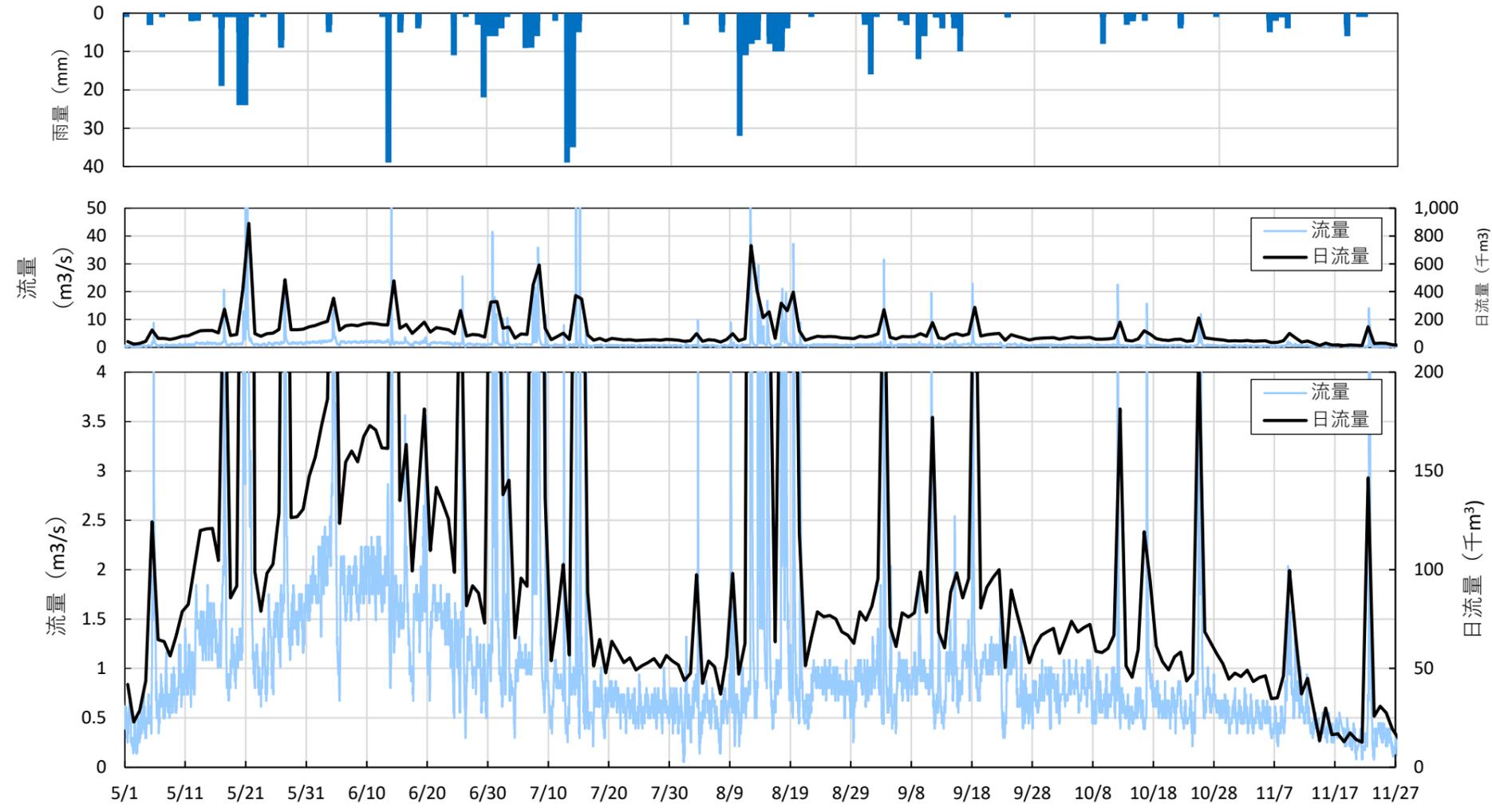
n-ヘキサン抽出物質 (%)



		エリア1(万才橋)	エリア2(千歳橋)	エリア3(南弁天橋)	
対照区	上層	平均値	0.40	0.37	0.53
		最大	0.55	0.45	0.87
		最小	0.31	0.30	0.28
	下層	平均値	0.44	0.63	0.51
		最大	0.68	1.40	0.91
		最小	0.24	0.38	0.17
実験区1	上層	平均値	0.28	0.44	0.38
		最大	0.48	0.63	0.79
		最小	0.22	0.35	0.15
	下層	平均値	0.38	0.59	0.32
		最大	0.55	1.10	0.41
		最小	0.22	0.35	0.15
実験区2	上層	平均値	0.42	0.34	0.36
		最大	0.57	0.48	0.80
		最小	0.28	0.25	0.13
	下層	平均値	0.48	0.44	0.51
		最大	0.65	0.55	0.78
		最小	0.37	0.31	0.24

流量計算結果（中竹測橋）

- ・ 中竹測橋（9.2k）の水位観測データ（10分値）をもとに、等流計算により流量を算出し、さらに日ごとに流量を合計し日流量を整理した。
- ・ 雨量の多い5月～6月には1～2m³/s、雨量の少ない7月～10月には0.5～1m³/sが基底流量と考えられる。



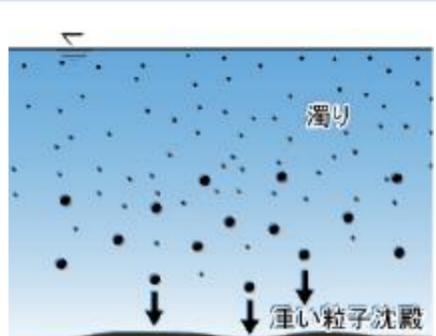
- ・ 粗度係数：n=0.02
- ・ 河床勾配：I=1/1,000

中竹測地点(9.2k)における推定基底流量（平野下水処理場からの放流前）

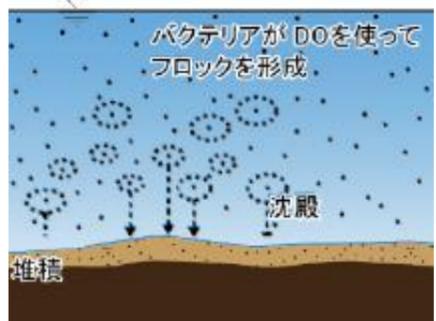
スカム発生メカニズムの推定

・スカム発生のメカニズムの推定は以下のとおりである。

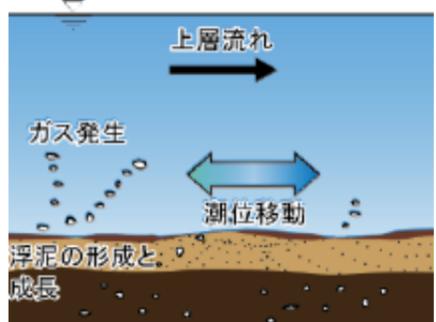
1. 上流から汚濁負荷物が流れ込んで堆積し、下層に嫌気性の底泥層、上層に浮泥層が形成される。



上流から汚濁負荷物が流下・堆積

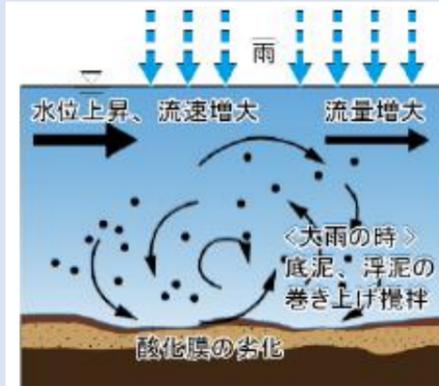


バクテリアによるフロック形成により沈殿・堆積が促進



底質上層で浮泥の形成と成長が進む(下層は嫌気性の底泥層)

2. 降雨によって河川流量が増大し、底泥・浮泥層が攪拌され、細かい粒子に粉碎される。

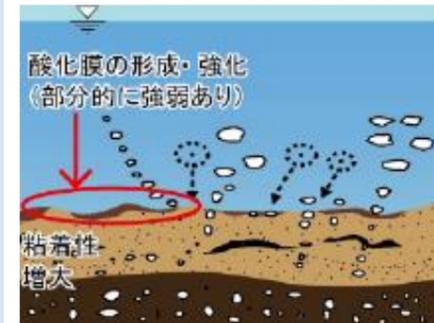


降雨時には、底泥・浮泥が攪拌、粉碎され、細かい粒子になる

3. 細かい粒子同士が衝突・合体し、フロックを形成・沈殿。DOが高い場合、浮泥の表面に酸化膜の形成・成長が生じる。

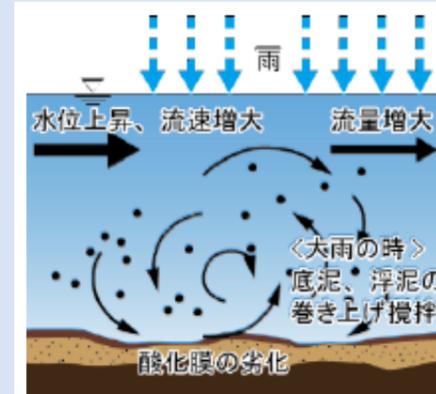


細かい粒子同士の衝突により、フロック形成・沈殿



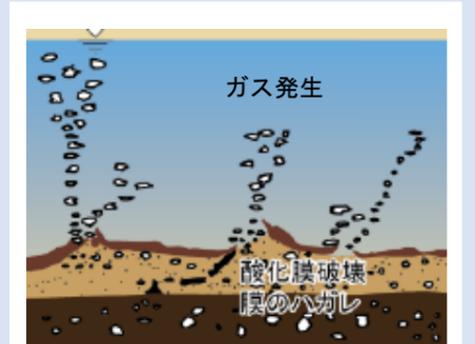
DOが高い場合、浮泥の表面に酸化膜が形成される

4. 降雨によって河川流量が増大すると、底泥・浮泥層が攪拌され、酸化膜も劣化する(剥がれやすくなる)。

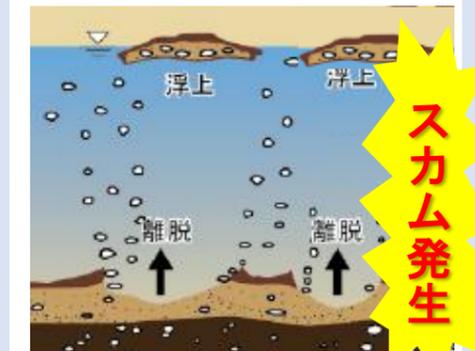


降雨時には、攪拌によって酸化膜が劣化し、剥がれやすくなる

5. 底泥より嫌気性分解に伴うガスが発生し、ガスの圧力によって酸化膜が水面に浮上したものがスカムと想定される。



DOが低い場合、嫌気分解に伴い発生したガスにより、酸化膜が剥がれる

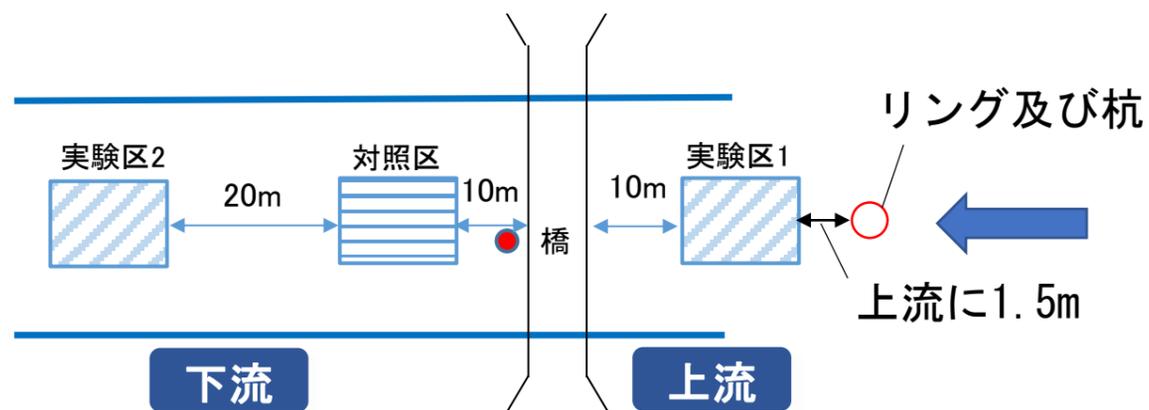


酸化膜がガスとともに水面に浮上し、スカムとなる

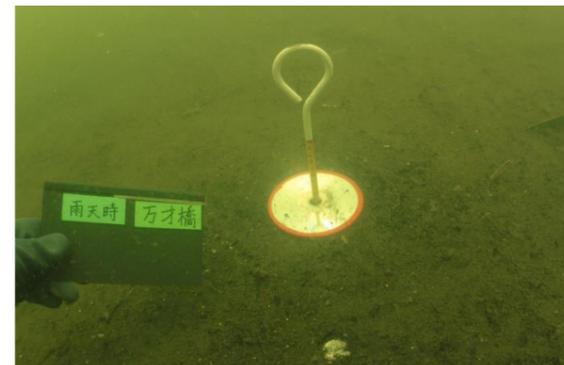
スカム発生

リング法による浸食堆積観測

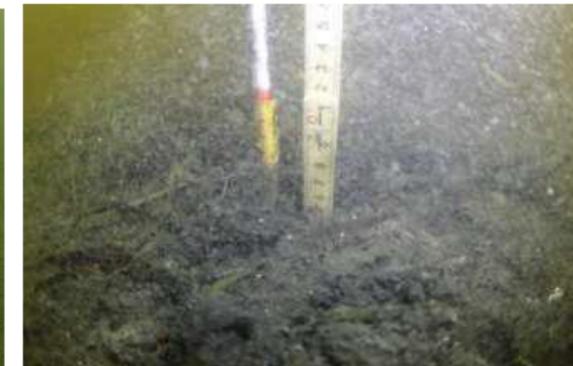
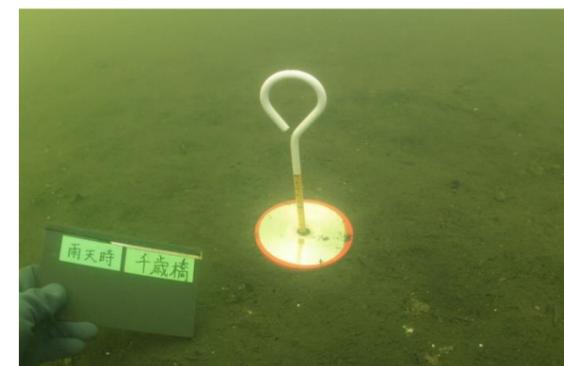
- ・令和3年8月以降、杭とリング(CD)を設置し、河床高の変化だけでなく、浸食・堆積の有無も把握した。
- ・令和3年9月から11月にかけては、表層が10cm以上浸食されたうえで再堆積したものと推定された。



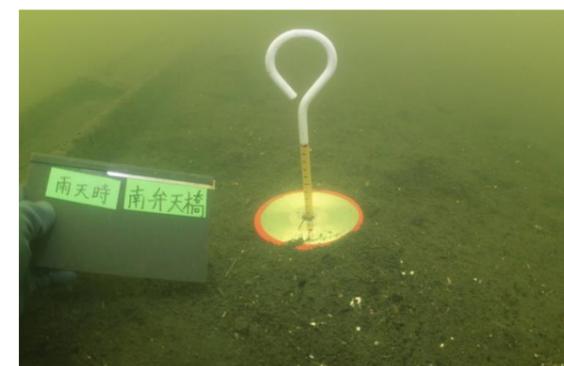
エリア1
万才橋



エリア2
千歳橋



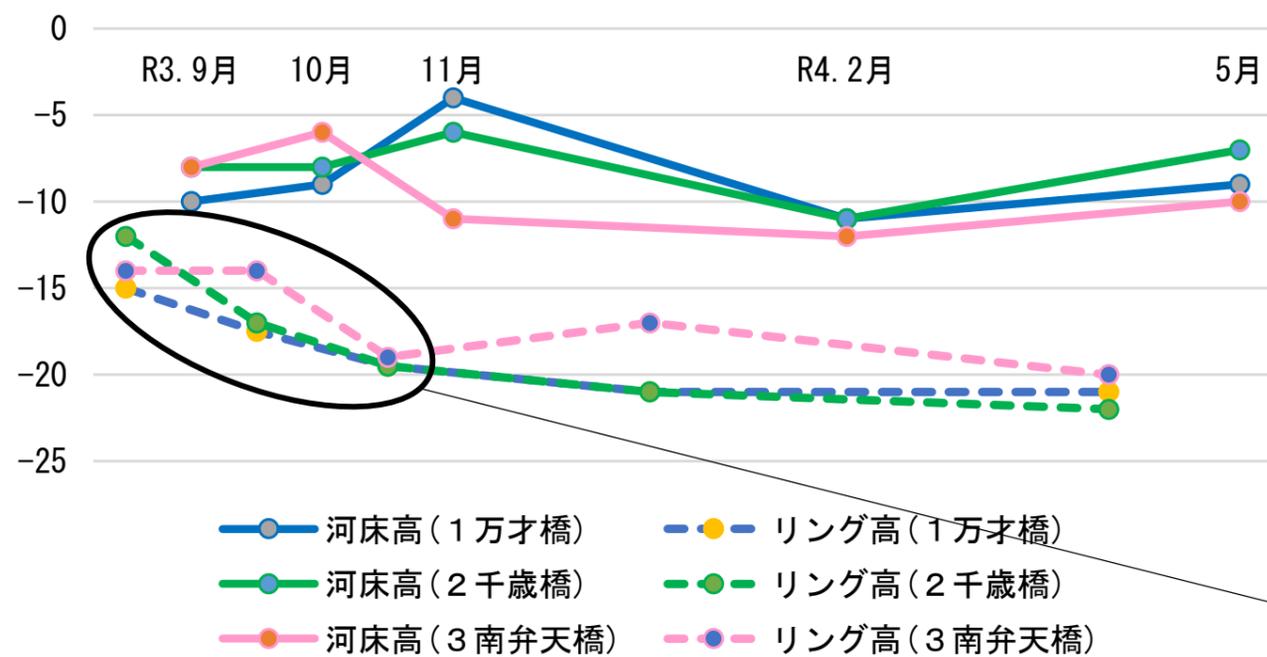
エリア3
南弁天橋



令和3年8月23日

令和4年5月17日

侵食堆積観測結果 (cm)



リングの低下を確認
 →河床高に変化がなくても浸食の上で堆積したことがわかった
 →令和3年9月から11月には底質が大きく入れ替わった可能性がある

ペグ設置箇所 時系列変化 (各地区のペグNo.1)

		散布前 (2021.5.13)	1か月後 (2021.6.25)	3か月後 (2021.8.23)	4か月後 (2021.9.27)	5か月後 (2021.10.25)	6か月後 (2021.11.22)	12か月後 (2022.5.17)
万才橋	実験区1							
	実験区2							
	対照区							
千歳橋	実験区1							
	実験区2							
	対照区							
南弁天橋	実験区1							
	実験区2							
	対照区							

分析項目に関する用語
<p>BOD（生物化学的酸素要求量）※1 水中の微生物が汚濁物等を酸化分解する際に必要とする酸素量で、有機物による水質汚濁の指標として使われる。</p>
<p>COD（化学的酸素要求量）※1 試料に酸化剤を加えて一定の条件下（100℃、30分間）で反応させ、そのとき消費した酸化剤の量を酸素の量に換算したもの。有機物による水質汚濁の指標として使われる。</p>
<p>pH（水素イオン濃度）※1 酸性やアルカリ性の程度を示す指標。水溶液中の水素イオン濃度 [H⁺] の逆数の常用対数をpHとして示すもので、pH 7は中性、7より大きい数値はアルカリ性、小さい数値は酸性を示す。</p>
<p>DO（溶存酸素量）※1 溶存酸素量水中にとけ込んでいる酸素の量。自浄作用や魚類等の水棲生物には不可欠なもので、数値が小さいほど水質汚濁が進んでいることを示す。水中における酸素の飽和量は気圧、水温、塩分等に影響され、水がきれいであるほどその温度における飽和量に近い量が含まれる（水温15度では約9mg/Lで飽和状態）。逆に富栄養化した水域や人為的汚染の進んだ水域では、大量の有機物に分解が追いつかず、DOが低くなる現象が見られる。</p>
<p>ORP（酸化還元電位）※2 酸化還元電位は、試料中の酸化性物質と還元性物質との平衡によって生ずる電位の基準となる電位の差をいう。プラスは酸化の状態、マイナスは還元の状態を示す。</p>
<p>TOC（全有機炭素）※3 水中に含まれる有機物量の指標。BODやCODと比べて水中の共存物質の影響を受けにくい。TOCは排水処理の管理や新たな基準値として注目されている。</p>
<p>全硫化物※2 硫化物は、有機性浮遊物等が底泥上に沈降し、その分解によって酸素が消費されて還元状態になると、硫酸塩還元細菌の増殖によって硫化水素（H₂S）が発生し、これによって底質中に金属等とともに生成される。このため底質が悪変し、底生生物の生息に対して影響をあたえる。さらに状態が悪くなると、底質から上層の水に対して二次的な汚染がおこる場合もある。遊離硫化物と結合硫化物との和を全硫化物としている。</p>
<p>強熱減量※2 強熱減量は、乾燥させた試料を高温で熱したときに消失する量の割合をいう（試料中の有機物が加熱分解され、二酸化炭素などとして大気中に放出されて重量が減少する）。強熱減量の値は、試料中に含まれる有機物等のおよその目安になる。</p>

生物項目に関する用語
<p>細菌叢※1 微生物叢とも言う。ある特定の環境に生息する微生物の集まり、また集合体。</p>
<p>硫酸還元菌※2 硫酸塩還元菌は一般に、低分子の有機酸を電子供与体にそして硫酸塩を電子受容体として異化的硫酸塩還元を行う偏性嫌気性菌である。硫酸塩は還元され硫化水素として排出される。これは自然界での硫黄サイクルの重要な経路の一つである。</p>
<p>メタン生成菌※3 有機物質は最終的にメタン生成菌によりメタンと炭酸ガスになる。一般的に高分子物質は加水分解酵素によって構成単位(糖、アミノ酸など)となり、これらは酸発酵され、アルコール、低級脂肪酸、水素、炭酸ガスを生成(加水分解・酸生成)し、ついでアルコール、低級脂肪酸(C₃以上)などはプロトン還元菌によって、水素および酢酸となる(水素・酢酸生成)。こうして生成したH₂/CO₂および酢酸よりメタン生成菌によってメタン化され(メタン生成)一連の反応は終結する。</p>
<p>脱窒菌※4 脱窒とは、嫌気条件で酸素の代わりに硝酸、亜硝酸を終末電子受容体として利用し、N₂、N₂Oを放出する現象である。このような脱窒を行う菌は多くの属にわたって知られており、いずれも通性嫌気性細菌である。また、<i>Thiobacillus denitrificans</i>を除けば、いずれも従属栄養細菌である。</p>
<p>生物分類体系※5 ドメイン→界→門→綱→目→科→属→種 ヒトの場合、真核生物→動物界→脊椎動物門→哺乳綱→サル（霊長）目→ヒト科→ヒト属→ヒト</p>
<p>古細菌※1 生物の分類の一つ。従来原核生物とされていた生物は真正細菌と古細菌に分けられ、真核生物と合わせて、全生物は大きく三つに分類される。古細菌の多くは極端な環境を好み、塩分濃度が高い環境で生育する好塩菌、高温環境を好む好熱菌、有機物からメタンを作り出してエネルギーを得るメタン生成菌などが知られている。アーキア。アルケア。始原菌。</p>
<p>真正細菌※1 生物の分類の一つ。大腸菌や藍藻などの一般的な細菌、バクテリアを指す。従来原核生物とされていた生物は真正細菌と古細菌に分けられ、真核生物と合わせて、全生物は大きく三つに分類される。</p>
<p>デルタプロテオバクテリア綱※6 プロテオバクテリア門の一種。グラム陰性菌。硫酸還元細菌、硫黄還元細菌等が含まれる。</p>
<p>ガンマプロテオバクテリア綱※6 プロテオバクテリア門の一種。グラム陰性菌。大腸菌やペスト菌などの病原菌、紅色硫黄細菌、硫黄酸化細菌等が含まれる。</p>

出典) ※1：「デジタル大辞泉」小学館 (<https://kotobank.jp/word/>、R2.11.2閲覧)

※2：松井ら.硫酸塩還元菌:環境技術,Vol.18,No.4,1989,p.229

※3：西尾尚道.メタン生成菌の生理と利用:化学と生物,Vol.30,No.8,1992,p.537-538

※4：脱窒光合成細菌:化学と生物,Vol.15,No.8,1977,p.498

※5：BISMaI(国際海洋環境情報センター)HP (<https://www.godac.jamstec.go.jp/bismal/j/index.html>、R2.11.2閲覧)

※6：細菌叢分析結果より

出典) ※1：大阪府環境農林水産部環境管理室環境保全課環境監視グループHP (<http://www.pref.osaka.lg.jp/kankyohozen/osaka-wan/kasen-term.html>、R2.11.2閲覧)

※2：国土交通省港湾局環境整備計画室HP (<https://www.mlit.go.jp/kowan/ecoport/index8.htm>、R2.11.2閲覧)

※3：環境省水・大気環境局水環境課HP (https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/archive/080/080_H27.pdf、R2.11.2閲覧)