

第1回 大阪府河川周辺地域の環境保全等審議会

安威川ダム自然環境保全対策について

平成25年2月27日(水)

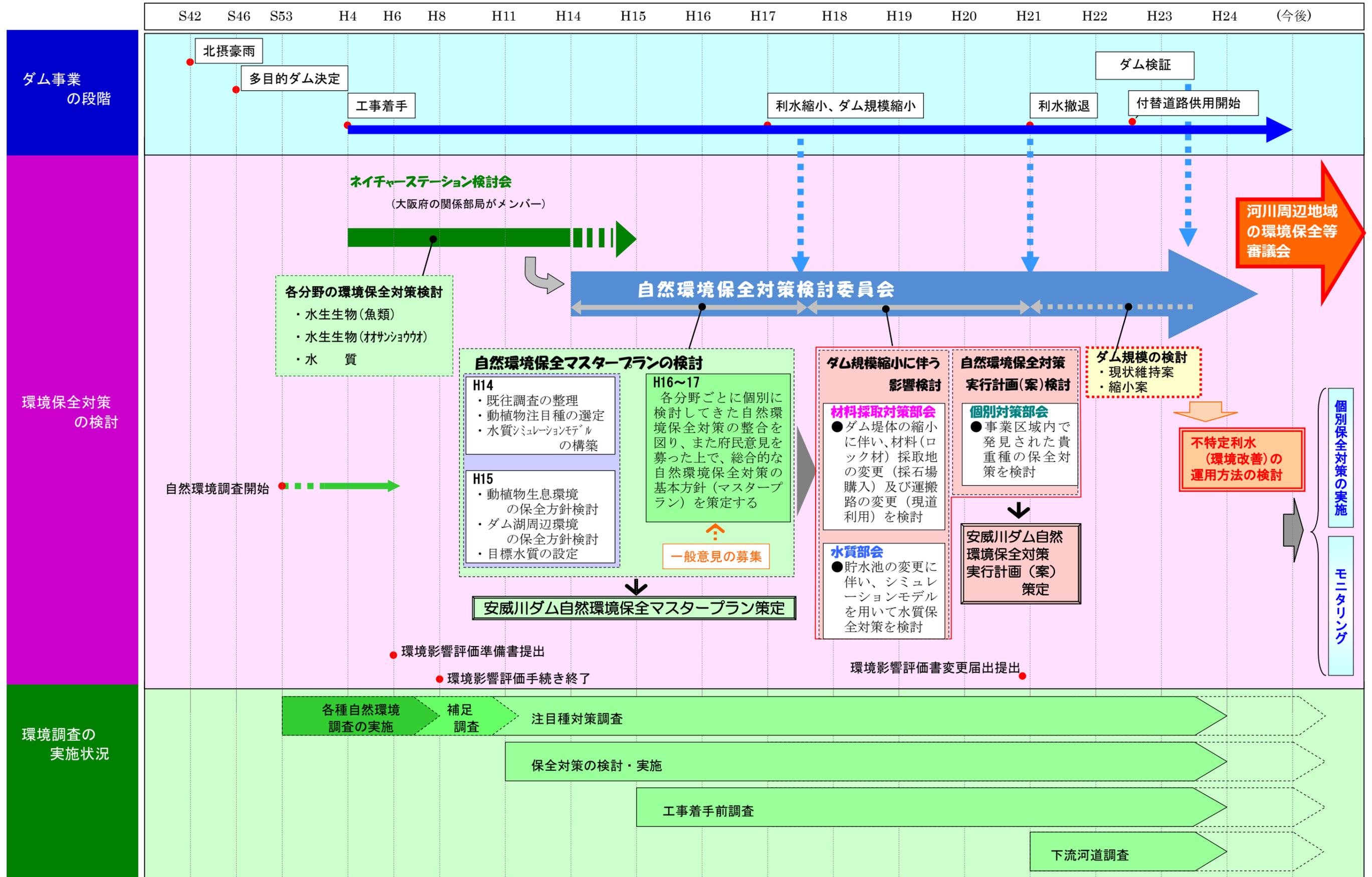
大 阪 府

## 目 次

1. 審議の目的と検討の流れ	1
2. ダムによる河川環境(水質・水温)への影響と保全の考え方	2
2-1. 水質・水温への影響と保全対策	2
1) 水質・水温保全対策	2
2) 水質・水温の変化	3
①安威川の水温変動(現況)	3
②安威川の水温変動(ダム建設後の予測値)	4
3) BOD増加の要因	5
2-2 生物相への影響と保全の考え方	6
1) 生物相への影響	6
2) 保全方針の設定	7
3. 安威川ダムの環境改善容量の活用案の検討	8
3-1. 付着藻類の剥離更新と摩擦速度、掃流土砂粒径の関係	8
3-2. 安全面からの放流量の検討	9
3-3. 環境面からの放流量の検討	11
1) 他河川の事例	11
①土木研究所自然共生研究センター研究事例	12
②寒河江ダムにおけるフラッシュ放流事例	13
③三国川ダムにおけるフラッシュ放流事例	14
④河川美化・緑化調査研究論文集事例	15
⑤宮ヶ瀬ダムにおける放流事例	15
2) 他河川の事例による掃流効果のまとめ	16

3) 安威川におけるフラッシュ放流量と藻類剥離効果等の関係	17
①安威川の付着藻類の生育状況	17
②フラッシュ放流量と摩擦速度の関係	18
③限界移動粒径の算定	19
④過年度調査における桑原橋地点での河床材料の変化	20
⑤現地調査による河床材料移動の確認	21
4) 安威川におけるフラッシュ放流効果の推定	22
4. フラッシュ放流時の放流水の水質	23
1) 取水施設の規模・形式	23
2) 取水口の設置位置	24
5. フラッシュ放流の放流計画の策定に向けた論点	25
1) 放流継続時間	25
2) 放流頻度	26
3) 放流時期	27
参考資料	
1) その他検討項目（土砂還元）	28

# ○ 安威川ダムの自然環境保全対策検討の主な経過



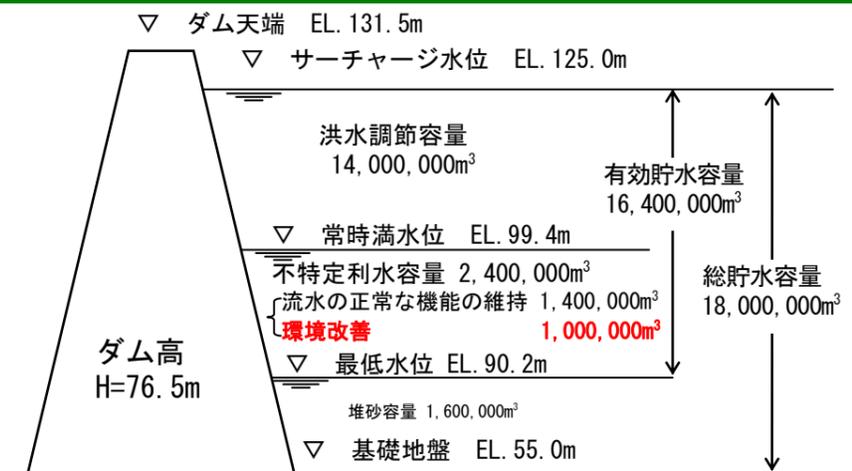
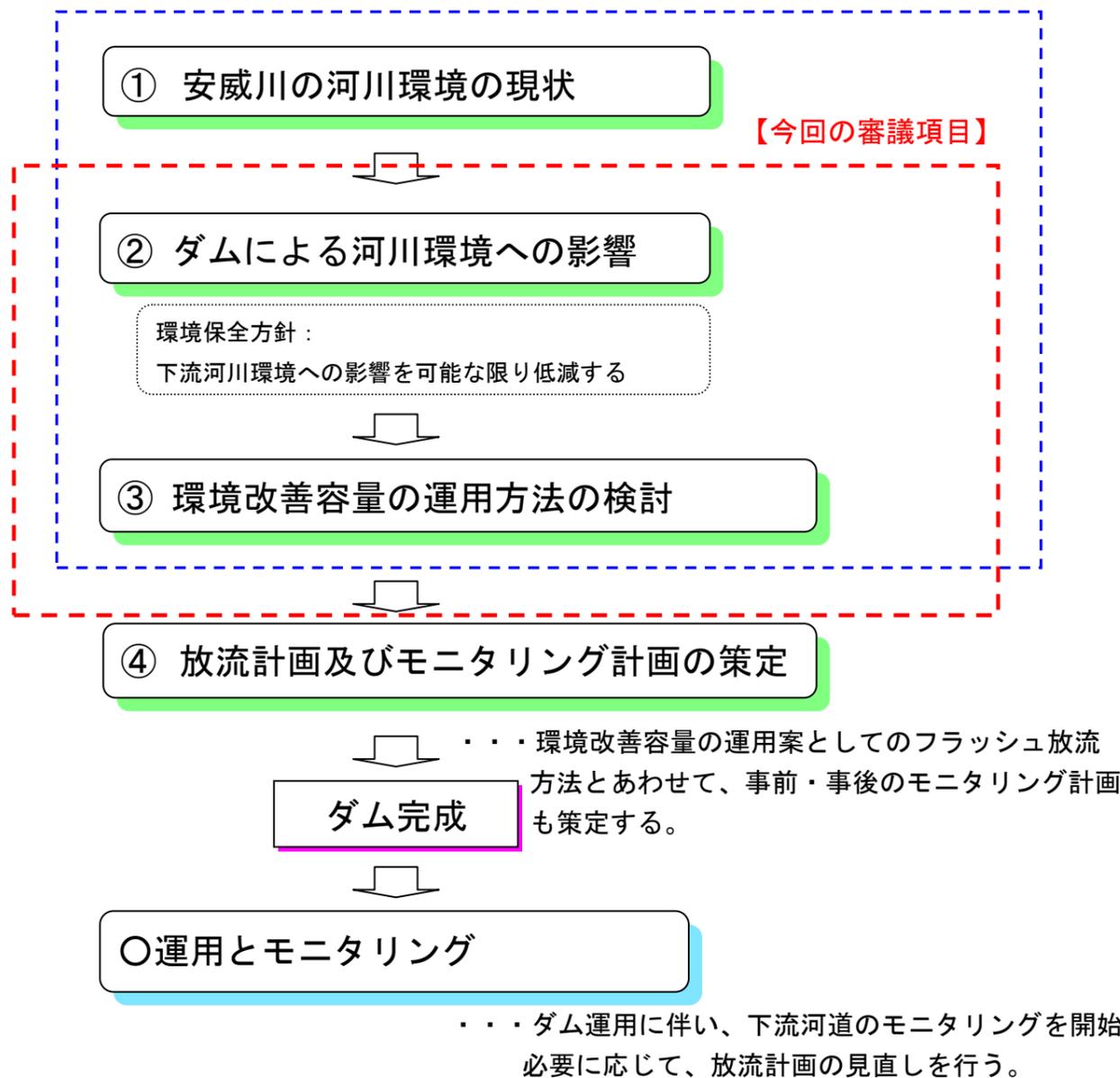
1. 審議の目的と検討の流れ

【目的】

第14回安威川ダム自然環境保全対策検討委員会（以下「前委員会」）では、有効活用容量 100 万 m<sup>3</sup> について下流の河川環境維持に活用することが承認された。第1回審議会では、前委員会での検討結果を踏まえ、「有効活用容量」を「環境改善容量」と表記することとし、その運用に関し、以下について審議いただく。

- ① 河川環境（水質・水温）の変化と生物相への影響に関する再整理 (2章)
- ② フラッシュ放流に関するピーク放流量 (3章)
- ③ フラッシュ放流時の放流水の水質 (4章)
- ④ フラッシュ放流の放流計画の策定に向けた論点の整理 (5章)

【第14回安威川ダム自然環境保全対策検討委員会での審議項目】



【安威川ダム貯水池容量配分図】

【第14回安威川ダム自然環境保全対策検討委員検討結果（概要）】

〈まとめ〉：利水撤退に伴う有効活用容量 100 万 m<sup>3</sup> の活用策として下流河川への環境面での影響を軽減するためにフラッシュ放流に使用することはダム下流域の環境改善に一定の効果があると考えられる。

〈主な指摘事項〉

- 水温の変化が生物に及ぼす影響について。
- 下流の方が BOD 等の数値が高い原因。

2章

- 付着藻類の剥離について、流量と流速、掃流力の関係整理。
- 放流時の河川管理上（特に安全面）の課題整理。

（高水敷を利用している現状では、高水敷が冠水するようなフラッシュ放流は、安全上、選択肢としてありえない。）

□取水設備からの放流量の検討

（現計画での選択取水設備の放水量は最大 20m<sup>3</sup>/s とのことだが、高水敷が冠水しない範囲で放水できる設備にすべき。）

3章

■放流量が増える場合の放流水の水質についての検討。

4章

2. ダムによる河川環境（水質・水温）への影響と保全の考え方

・本章では、前委員会でのご指摘を踏まえ、ダム建設後の河川水質及び水温変化に関する生物相への影響について再整理を行った。

2-1. 水質・水温への影響と保全対策

1) 水質・水温保全対策

・ダム建設による下流河川への水質・水温の影響を緩和するため、以下の保全措置を行う予定としている。

i) 選択取水

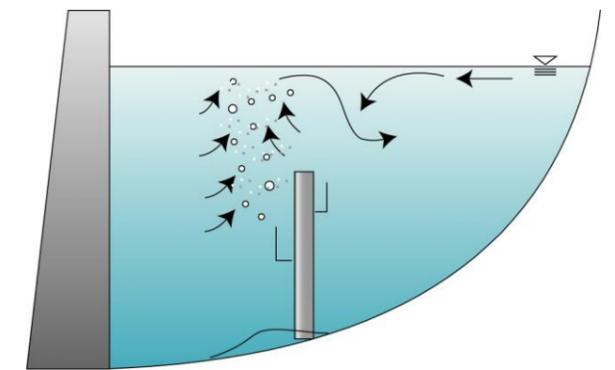
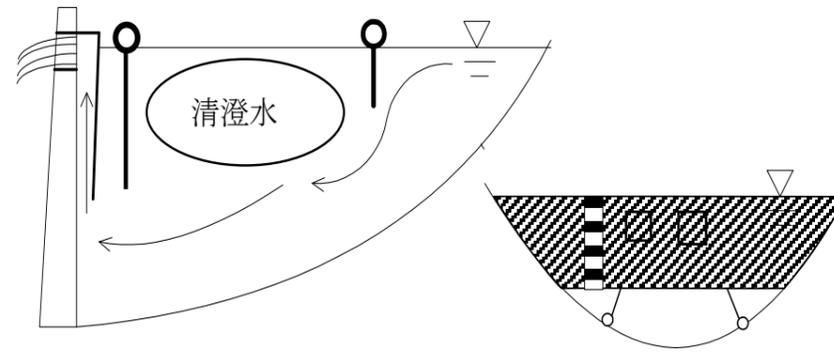
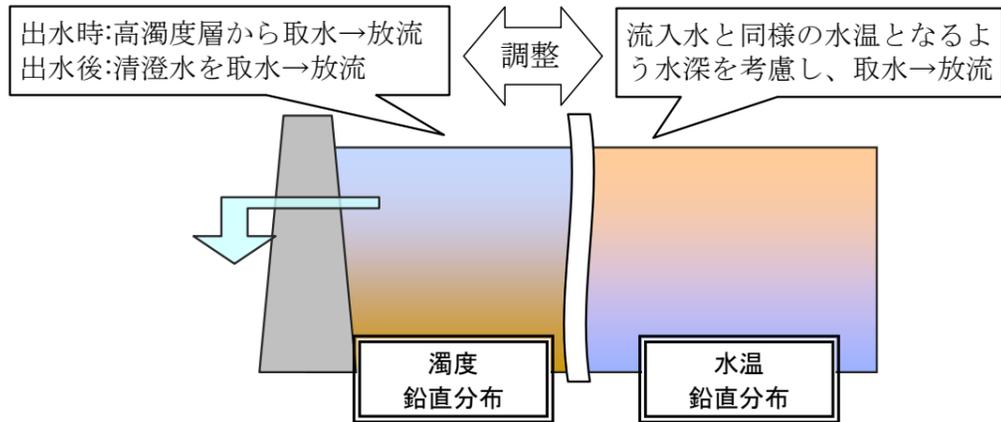
平常時や出水後、ダム湖や下流の水質への影響が小さくなるよう、濁度や水温等を考慮した水深を選択して取水し、放流する。

ii) フェンス

貯水池内にフェンスを2枚設置し、流入濁質を下層へ人為的に導くとともに、フェンス間に清澄水を温存し、出水後フェンスを開放し、清澄水を放流する。

iii) 浅層曝気循環施設

比較的浅層部分を曝気し湖内に循環混合層を形成することにより、表層に生息する藻類の異常増殖抑制を図る。



選択取水模式図

フェンス模式図

浅層曝気循環施設模式図

110	47104	34578	24585	27316	34908	50535	24821	22150	21845	37269	34376	19311	20304	18260	15925	14491	23094	14842	7865	5702	4388	3259
109	46096	33959	24266	26854	33628	48835	24301	21764	21576	36616	33879	18835	20082	16019	15588	14205	21859	13537	7251	5034	3813	2787
108	45089	33344	23677	26266	33041	48042	23981	21379	21307	35964	33382	18359	19860	15779	15250	13919	20624	12231	6637	4366	3237	2363
107	43530	32330	23086	25675	32426	47243	23627	20996	21043	35260	32885	17925	19354	15130	14671	13046	17349	10317	6133	4089	2943	1931
106	41972	31320	22587	25186	31927	46440	23273	20612	20780	34567	32389	17491	18848	14480	14092	12172	14073	8403	5620	3812	2650	1498
105	39201	29201	21807	24396	31000	45637	22232	19622	19901	32853	30936	16545	17792	13415	13107	10960	10473	6294	4971	3428	2286	1034
104	37301	28301	21307	23896	30500	44834	21663	19052	19443	31844	30441	15958	17123	12654	12445	10008	7220	4391	4436	3126	1981	608
103	35417	26300	20803	23392	30096	44031	20885	18318	18791	30418	28846	15163	16287	12084	11666	8236	5868	3825	3826	2531	1901	
102	33581	27100	21376	23761	30610	45101	20122	17599	18149	29024	27579	14388	15472	11527	10937	6530	4566	3278	3239	1958	1241	
101	31792	25840	20773	23261	29526	44101	19372	16893	17518						420	4891	3316	2752	2673	1408	607	
100	30049	24610	19103	19761	24138	31671	18637	16203	16897						442	3318	2117	2246	2130	880		
99	28306	23377	18362	19020	23400	29800	17873	15599	16250						400	2770	1524	1500	1047	436	1507	445
98	26563	22138	17613	18272	22610	28782	17033	15231	15939	24403	22850	11939	11575	8740	6758	1621	1034	1097	1471			
97	24820	20899	16873	18322	22570	27667	17197	14930	15633	23741	21990	11687	10569	8011	5471	811	517	549	743			
96	23077	19158	16278	17992	22220	26613	16858	14628	15365	23076	21141	11274	9562	7277	4191	730	512	543				
95	21334	17419	15723	17437	21870	25560	16417	13976	14815	22225	20212	10843	9036	6276	3143	657	507					
94	19591	15842	17114	21313	25013	15789	13169	14100	21126	19059	10291	8410	5213	2071	591							
93	17848	151719	16780	20983	24368	15353	12525	13556	20286	18141	9864	7889	4293	1036								
92	16105	15596	16445	20654	23723	14917	11881	13013	19445	17223	9438	7369	3233	932								
91	14362	14441	15933	20214	23103	14450	11407	12308	18871	15223	7572	5791	2423	838								
90	12619	13285	15419	19774	22483	13983	10933	11603	18296	13220	5766	4214	1617									
89	10876	12129	14905	19244	21881	13517	10459	10897	17722	11219	3840	2637	808									
88	9133	10974	14141	18500	21211	10050	9986	10192	17147	9217	1974	1059	727									
87	7390	15632	9846	13000	16000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
86	5647	15138	8718	11000	14000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
85	3904	14654	14643	7590	10000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
84	2161	13843	14143	6490	8000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
83	478	12982	12924	5973	7000	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
82	313	12263	11837	5553	6000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
81	157	11524	10722	5119	5000	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
80	101	10764	9578	4674	4000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
79	51	10164	9172	4278	3500	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750
78	26	9518	8765	3872	3000	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
77	13	8918	8326	3456	2500	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
76	7	8267	7886	3030	2000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
75	4	7502	7342	2669	1500	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
74	2	6719	6785	2300	1000	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
73	1	5918	6214	1922	500	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
72	0	5098	5630	1536	1347	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673	673
71	0	3705	4660	1082	1118	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559	559
70	0	2282	2682	618	618	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309	309
69	0	1153	2172	543	543	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271	271

保全措置の実施による影響緩和の予測結果

図 安威川ダムにおける対策イメージ

下流河川	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ダム建設による温水放流ならびに冷水放流の影響は、下流河川でも若干予想されるが、その程度はダムサイトから 6.6km 下流の千歳橋地点より下流側では軽微と予測される。保全対策(選択取水+曝気+フェンス)導入により、温水放流の抑制効果は下流河川でも期待できると予測された。</li> <li>●SS濃度は、ダム建設前よりも低下している。また、環境基準 25mg/L を上回る日数は、年間で 10 日前後である。予測対象期間内の出水のうち、環境基準 25mg/L 以上のレベルでの濁水長期化は一部の年の出水で発生する。</li> <li>●BOD濃度は、ダム建設前よりも最大値では低下するが、平均値、最小値、75%値はほぼ一致する。なお、75%値は環境基準(桑原橋、千歳橋：A類型 / 宮島橋、大正川合流直前：B類型)を基本的に満足する</li> </ul>
------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2) 水質・水温の変化

① 安威川の水温変動（現況）

● 安威川（桑原橋）における水温変化の現況（H21～23の実測データ）

- ・ 桑原橋における河川水温の日間変動は1.1～6.0℃の間であった。
- ・ 河川水温の年間変化は、最低値が3.0度、最高値で29.8℃であり、この間で変動していた。

■ 桑原橋における河川水温の変化（平成21年度～平成23年度）

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
H21最高水温	17.5	21.1	20.8	23.7	26.8	24.3	17.3	15.3	10.7	5.4	7.9	10.1
H21最低水温	13.4	17.2	17.1	22.3	23.1	21.1	15.2	14.1	8.8	4.1	4.8	7.5
H22最高水温	13.8	16.1	19.5	24.9	27.3	26.9	19.9	12.9	9.8	4.1	6.8	8.0
H22最低水温	12.6	14.2	16.1	21.7	24.7	24.9	17.0	10.9	8.4	3.0	4.0	5.6
H23最高水温	14.6	18.2	19.7	26.3	29.8	26.3	18.6	15.5	8.5	5.5	5.6	7.5
H23最低水温	8.6	13.1	18.1	23.5	25.1	23.4	16.5	12.5	6.8	3.8	4.3	4.5

注：表中の赤い網掛けは計測値の最高値、水色の網掛けは計測値の最低値を示す。

水温の年間変化

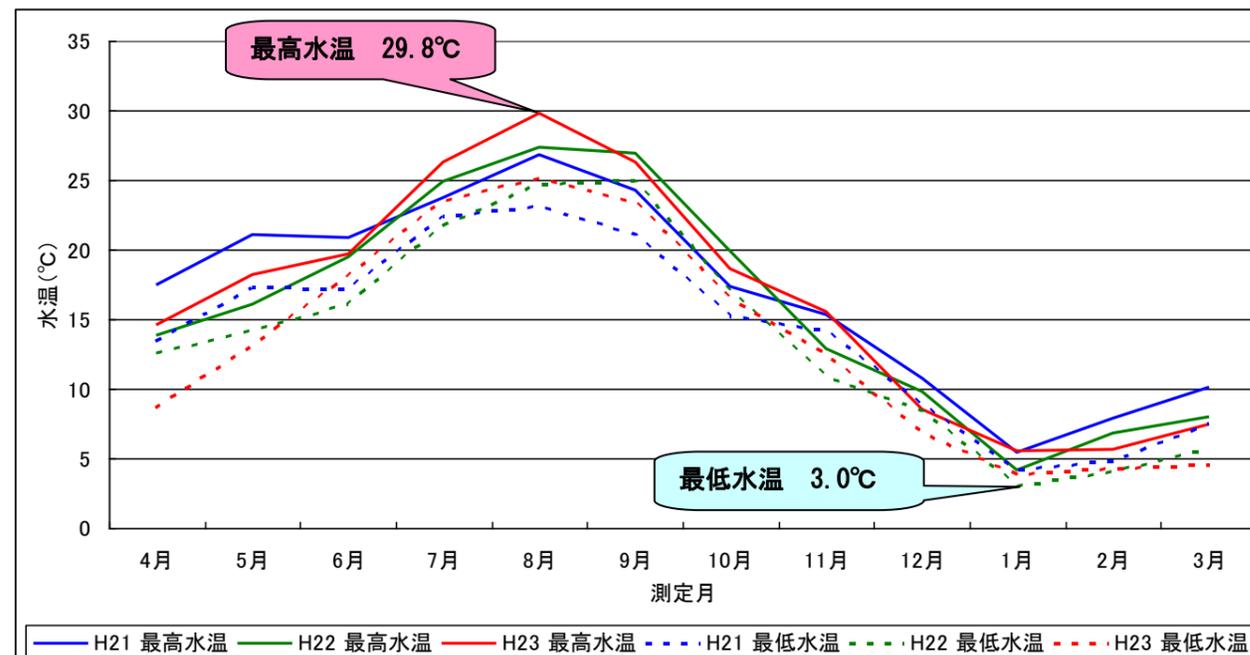
- ・ 3.0～29.8℃の間で変化

水温の日間変動幅

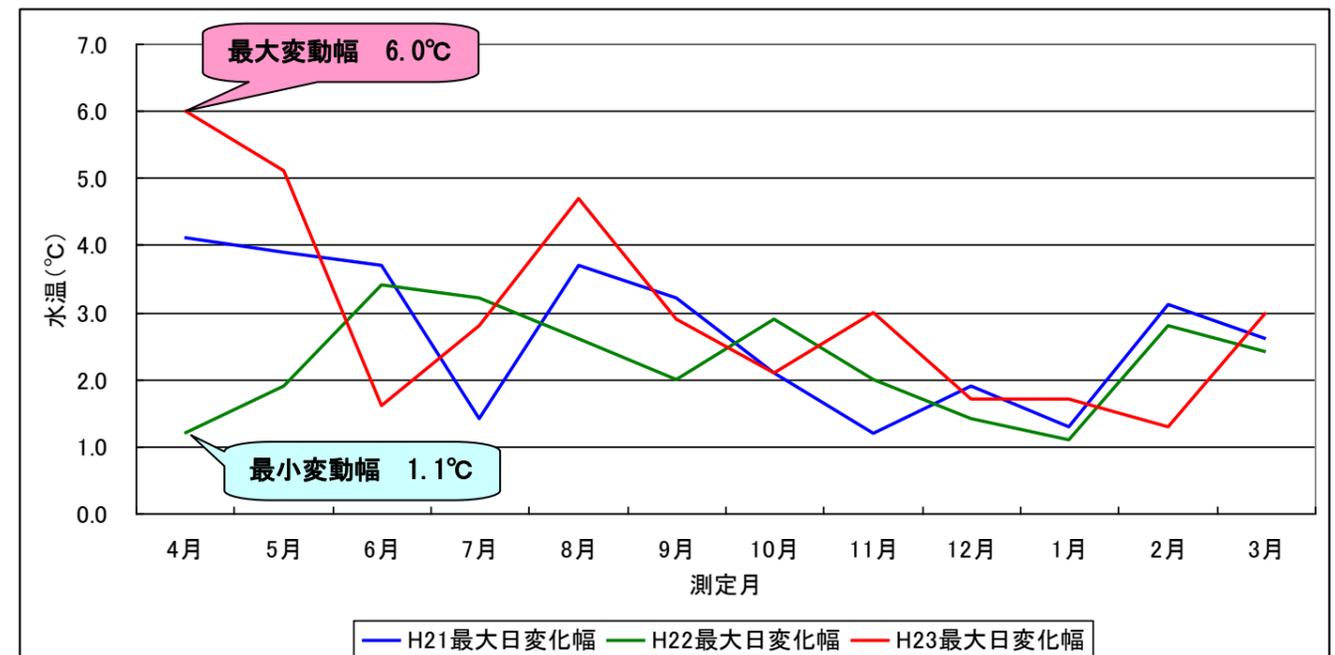
- ・ 1.1～6.0℃の変動幅

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
H21最大日数変化幅	4.1	3.9	3.7	1.4	3.7	3.2	2.1	1.2	1.9	1.3	3.1	2.6
H22最大日数変化幅	1.2	1.9	3.4	3.2	2.6	2.0	2.9	2.0	1.4	1.1	2.8	2.4
H23最大日数変化幅	6.0	5.1	1.6	2.8	4.7	2.9	2.1	3.0	1.7	1.7	1.3	3.0

注：表中の赤い網掛けは計測値の最高値、水色の網掛けは計測値の最低値を示す。



■ 桑原橋における河川水温の変化（平成21年度～平成23年度）

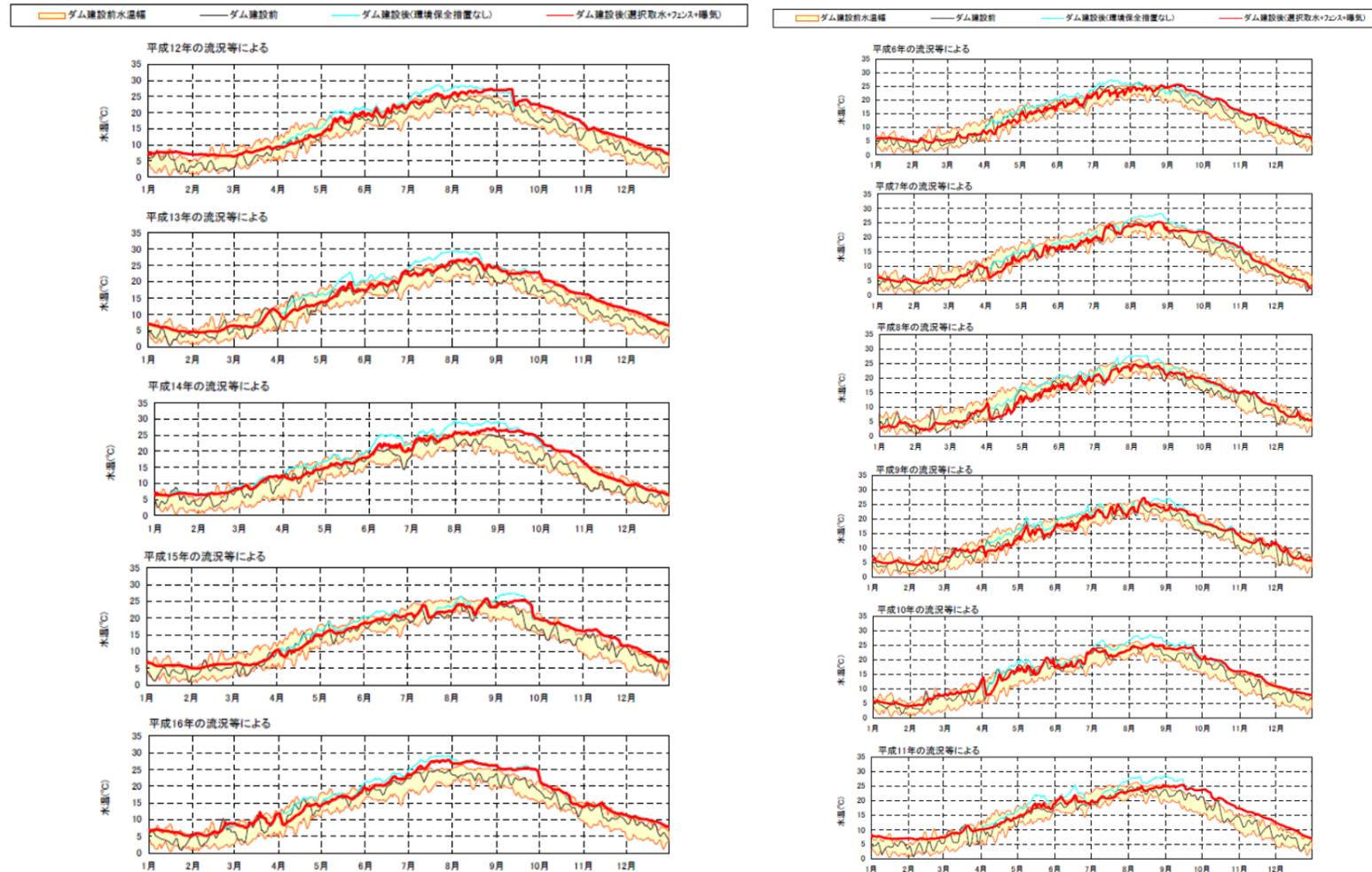


■ 桑原橋における河川水温の日間変動幅の変化（平成21年度～平成23年度）

②安威川の水温変動（ダム建設後の予測値）

●水温の変化

- ・ 生物に与える水温上昇の影響が大きいと考えられる夏季の河川水温の日間変動は、ダム建設前では概ね5℃前後にあると判断される。
- ・ ダム放流水温を11ヵ年平均値でみると、ダム建設前13.5℃に対し、ダム建設後（選択取水+フェンス+曝気）では14.9℃となり、ダム建設前との差は+1.4℃となる。



放流水温予測結果

放流水温予測結果

単位：℃

	ダム建設前			ダム建設後 (環境保全措置なし)			ダム建設後(環境保全措置あり : 選択取水+フェンス+曝気)		
	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
平成6年	26.5	1.4	14.0	27.5	4.4	15.4	25.7	4.4	14.7
平成7年	25.5	1.2	13.0	28.1	2.3	14.5	25.4	2.3	13.8
平成8年	24.9	0.9	12.8	27.8	2.1	14.4	24.9	2.1	13.3
平成9年	24.8	1.8	13.2	27.1	4.1	14.9	27.2	4.1	14.0
平成10年	25.4	1.5	14.1	28.6	4.1	16.0	25.7	4.0	15.2
平成11年	24.9	0.7	13.6	28.7	6.7	16.7	25.5	6.8	15.7
平成12年	25.1	1.4	13.5	28.7	6.5	16.5	27.5	6.5	15.9
平成13年	25.7	0.5	13.4	29.5	4.5	16.2	27.1	4.5	15.1
平成14年	25.0	2.5	13.6	29.4	6.3	17.0	27.2	6.2	15.9
平成15年	24.8	0.9	13.2	27.4	5.0	15.3	25.9	5.0	14.8
平成16年	24.9	0.9	14.1	29.1	5.6	16.5	27.9	5.2	16.0
11ヵ年最大値	26.5	2.5	14.1	29.5	6.7	17.0	27.9	6.8	16.0
11ヵ年最小値	24.8	0.5	12.8	27.1	2.1	14.4	24.9	2.1	13.3
11ヵ年平均値	25.2	1.2	13.5	28.4	4.7	15.8	26.4	4.6	14.9

ダム建設前  
最大値：24.8℃～26.5℃、最小値：0.5℃～2.5℃、平均値：13.5℃

↓  
ダム建設後（対策あり）  
最大値：24.9℃～27.9℃、最小値：2.1℃～6.8℃、平均値：14.9℃

ダム建設前後を比較すると、平均値で1.4℃の差であり、かつ建設前と比べて建設後に極端な温水放流、冷水放流が発生することはないと予測されているが、生物に及ぼす影響の有無についてはモニタリングにより確認する。

3) BOD増加の要因

安威川における下水処理場及び排水ポンプ場について整理した。

- ダムサイトから大正川合流直前の区間における安威川への排水施設として、4系統が存在する。
- 中央水みらいセンターからの放流水のBODのH23年度年平均値は、<1.0mg/Lであった。また、最大値は2.3mg/Lであった。
- 安威川流域の下水道普及率は、99.0%であった。
- 安威川（桑原橋）における測定結果と中央水みらいセンターからの放流水の測定結果を比較すると、栄養塩関係の項目はいずれも放流水のほうが高い値を呈した。

■安威川への排水概要(平成22年度末大阪府下水道統計、大阪府)

番号	排水名	排水地点(km)	計画排水量(m <sup>3</sup> /S)	施設管理者
1	安威ポンプ場	茨木市三咲町(12.3)	17.9	茨木市
2	大池ポンプ場	茨木市野々宮2丁目(7.4)	38.6	茨木市
3	摂津ポンプ場	摂津市鳥飼本町(6.4)	81.5	大阪府
4	中央水みらいセンター	茨木市宮島3丁目(5.5)	49.6	大阪府

■安威川流域下水道普及率(平成22年度末大阪府下水道統計、大阪府)

流域名	都市名	全体計画区域		整備区域			面積普及率 c/a	人口普及率 d/b	水洗化率 e/d
		面積	現在人口	面積	整備人口	水洗化人口			
		a(ha)	b(人)	c(ha)	d(人)	e(人)			
安威川	茨木市	4,132	223,946	2,217	222,622	219,610	53.7	99.4	98.6
	吹田市	1,762	142,662	1,669	142,245	140,374	94.7	99.7	98.7
	高槻市	422	14,561	111	13,565	12,194	26.3	93.2	89.9
	摂津市	1,261	83,962	1,070	81,731	77,776	84.9	97.3	95.2
	箕面市	705	36,331	503	36,325	36,242	71.3	99.9	99.8
	豊中市	12	2,803	12	2,803	2,786	100.0	100.0	99.4
	計	8,294	504,265	5,582	499,291	488,982	67.3	99.0	97.9

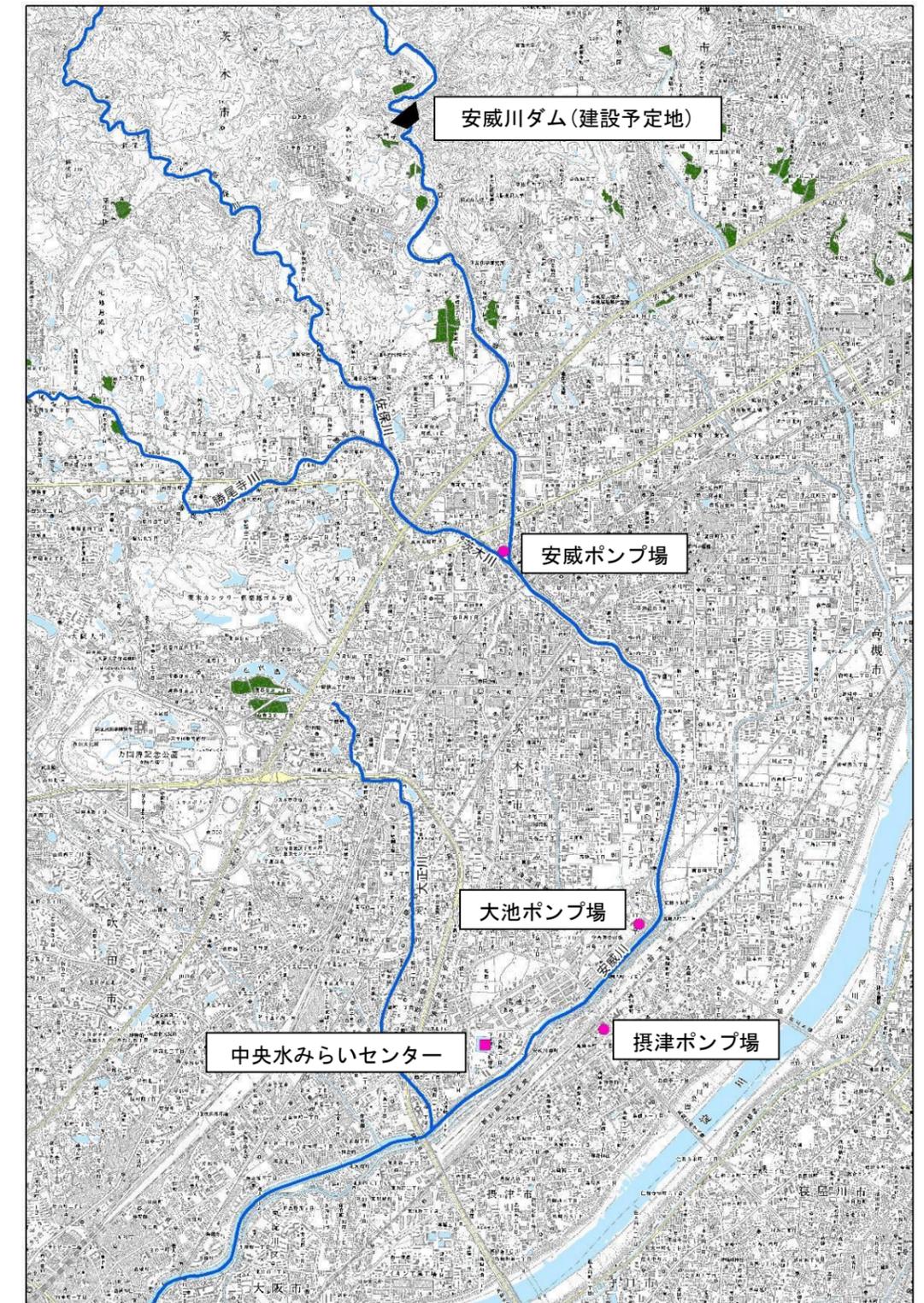
■H23年度 中央水みらいセンター放流水水質調査結果(大阪府 HP)

項目	H23年度 測定:2回/月	平均	最大	最小
水温	°C	23.0	29.9	16.6
透視度	度	100	100	100
pH		6.8	7.0	6.7
生物学的酸素要求量(BOD)	mg/L	<1.0	2.3	<1.0
化学的酸素要求量(COD)	mg/L	6.7	8.6	5.4
全窒素(T-N)	mg/L	8.0	10	6.2
有機性窒素	mg/L	0.88	2.0	0
アンモニア性窒素(NH <sub>4</sub> -N)	mg/L	0.25	1.4	<0.20
亜硝酸性窒素(NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.049	0.16	<0.010
硝酸性窒素(NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	6.8	9.2	4.9
アンモニア性窒素等	mg/L	6.9	9.3	5.1
全燐(T-P)	mg/L	1.0	1.6	0.31
塩化物イオン	mg/L	300	470	150

■H23年度 桑原橋水質調査結果

項目	平均	最大	最小
水温(°C)	14.8	29.8	3.8
透視度	—	—	—
pH	8.0	8.8	7.6
BOD(mg/L)	0.6	1.1	<0.5
COD(mg/L)	1.7	3.7	1.2
全窒素(mg/L)	0.78	1.30	0.37
有機性窒素(mg/L)	—	—	—
アンモニア性窒素(mg/L)	0.10	0.15	<0.04
亜硝酸性窒素(mg/L)	<0.04	<0.04	<0.04
硝酸性窒素(mg/L)	0.43	0.72	0.13
アンモニア性窒素等(mg/L)	—	—	—
全燐(mg/L)	0.041	0.063	0.024
塩化物イオン(mg/L)	—	—	—

■安威川における排水施設位置



安威川下流域のBOD値増加要因

- ・ 下流域のBOD値の増加要因の一つとして、雨水排水の流入等によるものが考えられる。

## 2-2. 生物相への影響と保全の考え方

### 1) 生物相への影響

#### ①ダム建設後の下流域へのインパクト

ダム建設後に想定される下流域へのインパクトを示す。

#### ●ダム建設後の下流域へのインパクト(物理環境の変化)

- ・ 流況：出水規模の縮小、出水頻度の減少が予測される。
- ・ 水質：保全対策を実施することにより下流桑原橋地点でのBOD75%値の差は0.1mg/Lと予測される。
- ・ 水温：温水放流ならびに冷水放流の影響は保全対策の実施により軽減され、放流水の平均値の差が1.4℃程度と予測される。
- ・ 河床材料：土砂供給量の減少、河床のアーマーコート化(粗粒化)が予測される。
- ・ 河床高：山地区間では部分的な低下が予測されている。茨木川合流部より下流では、堆積傾向は変わらないと考えられる。

#### ②生物相への影響

ダム建設後のインパクトによる河川生物相への影響の有無を示すとともに、想定される具体的な影響を整理した。

要素	附着藻類	底生動物	魚類	陸上植物												
					要因											
流況の変化 * ( ) 内は差、倍率 出水規模の縮小、出水頻度の減少 ・ 最大流量：434m <sup>3</sup> /s→141m <sup>3</sup> /s (293m <sup>3</sup> /s、32.5%) ・ 平均年最大流量：116m <sup>3</sup> /s→47m <sup>3</sup> /s (69m <sup>3</sup> /s、40.5%) ・ 出水頻度 (9年平均) <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>1~5m<sup>3</sup>/s</td> <td>: 15回→13回 (-2回, 87%)</td> </tr> <tr> <td>5~10m<sup>3</sup>/s</td> <td>: 8回→3回 (-5回, 38%)</td> </tr> <tr> <td>10~20m<sup>3</sup>/s</td> <td>: 5回→3回 (-2回, 60%)</td> </tr> <tr> <td>20~30m<sup>3</sup>/s</td> <td>: 2回→1回 (-1回, 50%)</td> </tr> <tr> <td>30~40m<sup>3</sup>/s</td> <td>: 1回→1回 (0回, 100%)</td> </tr> <tr> <td>40m<sup>3</sup>/s以上</td> <td>: 2回→0回 (-2回, 0%)</td> </tr> </table>	1~5m <sup>3</sup> /s	: 15回→13回 (-2回, 87%)	5~10m <sup>3</sup> /s	: 8回→3回 (-5回, 38%)	10~20m <sup>3</sup> /s	: 5回→3回 (-2回, 60%)	20~30m <sup>3</sup> /s	: 2回→1回 (-1回, 50%)	30~40m <sup>3</sup> /s	: 1回→1回 (0回, 100%)	40m <sup>3</sup> /s以上	: 2回→0回 (-2回, 0%)	○	○	○	○
1~5m <sup>3</sup> /s	: 15回→13回 (-2回, 87%)															
5~10m <sup>3</sup> /s	: 8回→3回 (-5回, 38%)															
10~20m <sup>3</sup> /s	: 5回→3回 (-2回, 60%)															
20~30m <sup>3</sup> /s	: 2回→1回 (-1回, 50%)															
30~40m <sup>3</sup> /s	: 1回→1回 (0回, 100%)															
40m <sup>3</sup> /s以上	: 2回→0回 (-2回, 0%)															
水質 ・ SS 25mg/L 超過日数 (桑原橋) : 28.9日→9.9日 (-19日) ・ BOD 75%値 (桑原橋) : 1.3mg/L→1.4mg/L (0.1mg/L)																
水温 生物への影響はモニタリング調査により確認する。 ・ 温水年平均上昇幅 (保全対策有) : 0.47℃(千歳橋)~1.05℃(桑原橋) ・ 冷水年平均低下幅 (保全対策有) : -0.52℃(同上)~-0.31℃(同上)	△	△	△	△												
河床材料 土砂供給量の減少、アーマーコート化 ・ 長ヶ橋~安威川ダム地点：ダム建設後は粗粒化の傾向 ・ 長ヶ橋~茨木川合流点下流：ダムにより流量が低減するため、ダム建設前より粗粒化しにくい。	○	○	○	○												
河床高 部分的な低下 ・ 14.4k~14.7kにおける河床低下：最大約1.6m		○	○	○												

#### ●生物相への想定される影響

##### <流況の変化(出水規模の縮小、出水頻度の減少)による影響>

- ・ 出水頻度の減少に伴う掃流力の低下や河床の攪乱頻度の低下により、河床の固定化、瀬淵構造の単調化の可能性がある。
- ・ 附着藻類の剥離更新の頻度が低下することにより藻類食の底生動物や魚類に影響を及ぼし、水生生物の多様性が損なわれる可能性がある。
- ・ 河床攪乱頻度の低下により、糸状藻類(アオミドロ属、カワシオグサ等)の異常繁殖とそれに伴う水生生物生息環境の悪化等の可能性がある。
- ・ 平均年最大流量が、桑原橋で約6割低下することから、みお筋、中洲の固定化、河道内の樹林化の進行の可能性がある。

##### <河床材料の変化による影響>

- ・ 河床材料の粗粒化により、砂礫底を棲家とする底生動物や産卵環境とする魚類に影響を及ぼす可能性がある。
- ・ アーマーコート化により底生動物相に影響を及ぼすことが考えられる。
- ・ 下流側では、上流側から流失した砂泥の堆積が予測され、現在の砂礫裸地からなる洲にタコノアシをはじめとする湿生植物群落が形成される可能性がある。

##### <河床高の変化による影響>

- ・ 河床高の部分的な低下により底生動物、魚類の生息環境に影響を及ぼすことが考えられる。
- ・ 洲等の上部が乾地化する可能性があり、在来種主体の湿生植物群落から外来種主体の乾性植物群落へと遷移が進むことが考えられる。

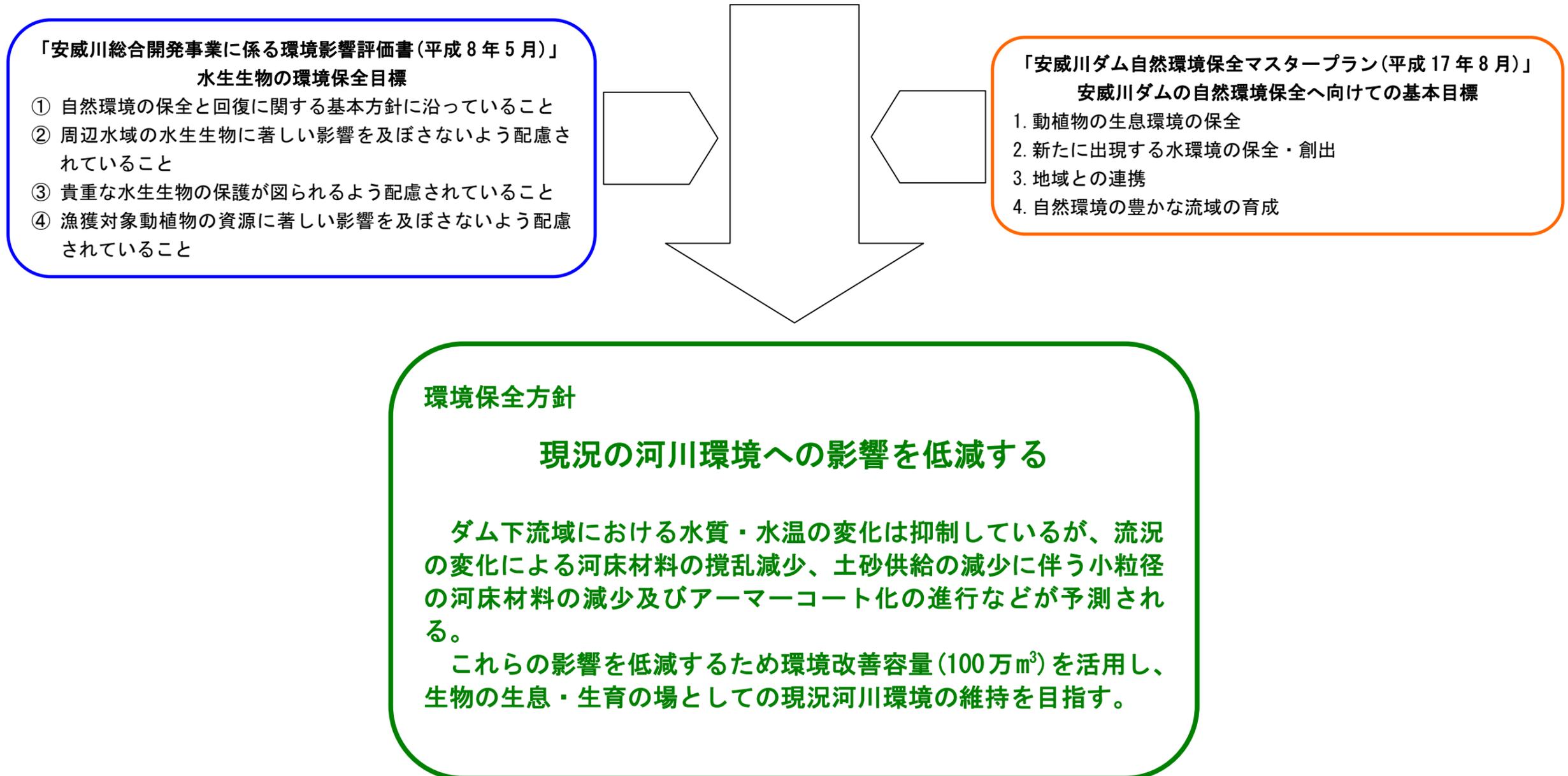
2) 保全方針の設定

河川環境の現況及びダム建設後に想定される下流域の環境予測結果をもとに下流域の河川環境の保全方針を設定した。

安威川の付着藻類は、アユ等の重要な餌料生物となっている藍藻類、珪藻類の種が安威川では優占的に生育している状況が経年的に連続しており、アオミドロやカワシオグサなどの糸状藻類はほとんど見られない。底生動物は、種数としては経年的に大きな変化はなく、生活型別にみても匍匐型の種（流水環境の指標）が優占しており、固着型、造網型の種類（沈石環境の指標）は全体的に少なく経年的に大きな変化は認められなかった。陸上植物は、河床高低下及び乾地化に伴う河道内の樹林化が予測される。

これらのことは、安威川には多様な河床環境があり、適度な河床攪乱があることを示唆しており、このようなことが長年継続されてきたことにより現在の安威川の生物相が維持されてきたものと推察される。

ダム建設後の下流環境について、ダム湖から放流される水温・水質は保全対策を講じることにより変化は抑制されるが、流況の変化による河床攪乱頻度の低下、河床の固定化、瀬淵構造の単調化の可能性が予測される。それに伴い付着藻類相、底生動物相、魚類相の多様性の低下、下流域の乾地化による外来種の拡大、河道内の樹林化が考えられる。



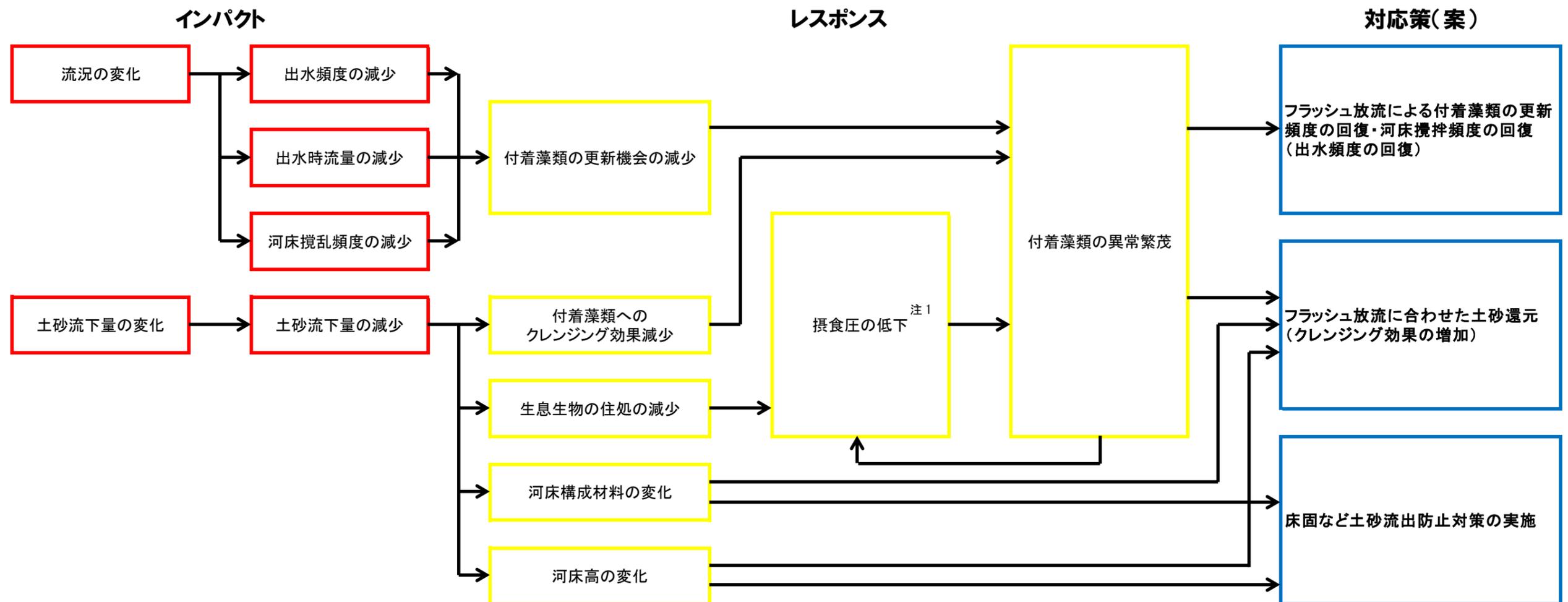
### 3. 安威川ダムの環境改善容量の活用案の検討

- ・本章では、環境改善容量の具体的な活用方策として、フラッシュ放流の最大放流量について提案する。
- ・そのため、流量や摩擦速度など環境改善に必要な要素について他の事例・文献等から把握し、安威川での効果について推測する。

#### 3-1. 付着藻類の剥離更新と摩擦速度、掃流土砂粒径の関係

##### 1) インパクトと対応策

●付着藻類の剥離更新と摩擦速度、掃流土砂粒径の関係の検討に先立ち、ダム建設による流況や土砂流下量の変化に伴う、付着藻類等の生物への影響とその対応策について整理した。



注1：摂食圧とは、捕食者の採餌行動によって、被食者が受ける影響のことである。  
 一般的には捕食者が増加すると捕食量も増加するため摂食圧は上昇し、逆に捕食者が減少すると摂食圧は低下する。

3-2. 安全面からの放流量の検討

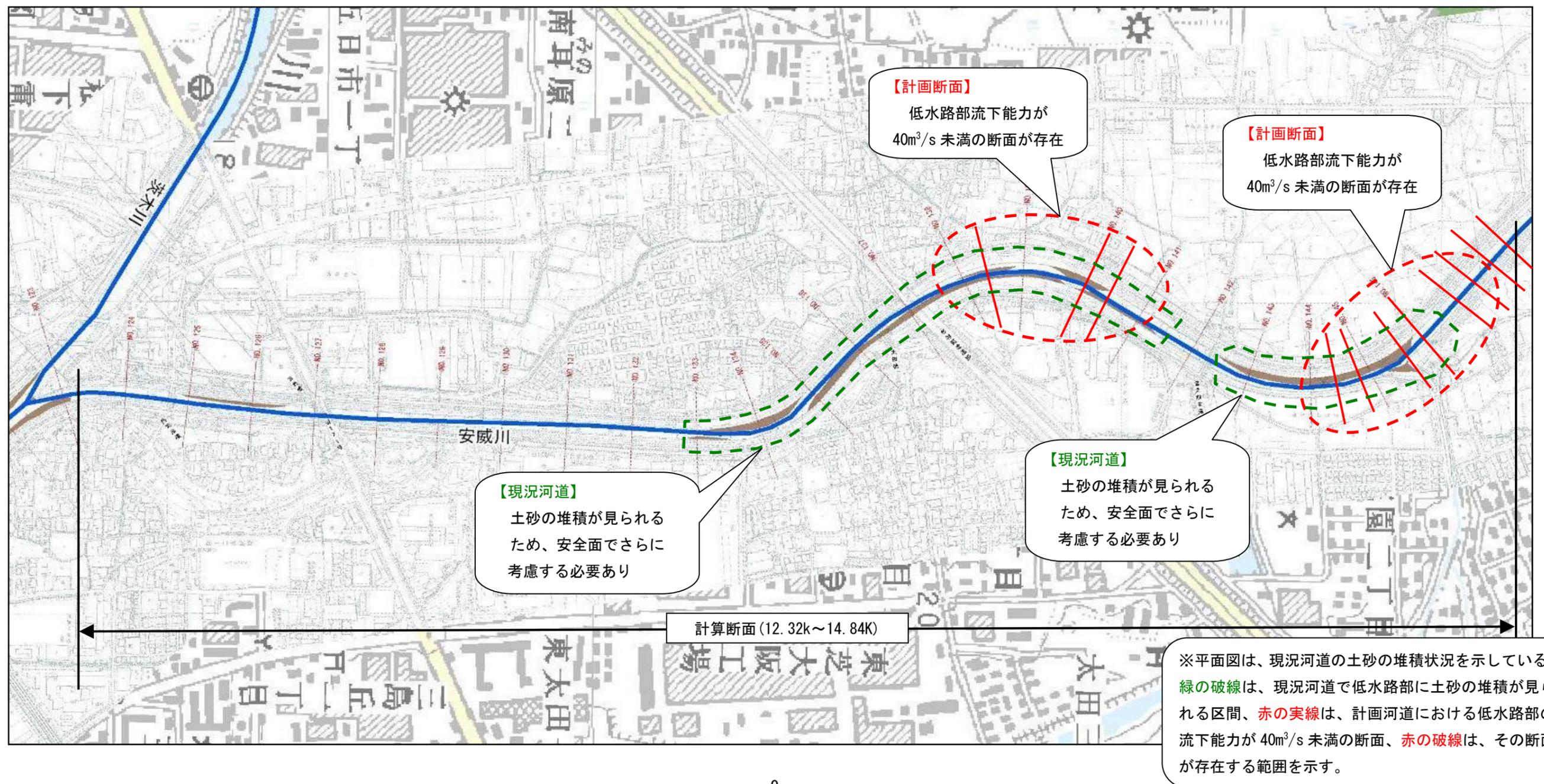
1) フラッシュ放流時の水位

- 安威川の下流区間は、高水敷を遊歩道として整備済で、多くの府民等が散策等に利用しているため、安全確保の観点からフラッシュ放流時に高水敷が冠水しない流量とする必要がある。
- 前委員会では、40m<sup>3</sup>/sの放流により高水敷の一部区間が冠水する恐れがあることを提案した。
- 本項では、安威川ダムの高水敷整備区間の流下能力について改めて整理した。
- その結果、土砂堆積を考慮すると流下能力が40m<sup>3</sup>/s未満の区間が広い範囲に渡ることが判明した。

【計算条件】

- ・安威川ダム下流域における地域住民による高水敷の利用が考えられる12.32k付近～14.84k付近間の各断面において不等流計算により放流量ごとの水深を算出した。
- ・算出した水深と低水路部の高さを比較し、水深が低水路部の高さを超える放流量の最小値を安威川の低水路部最小流量とした。

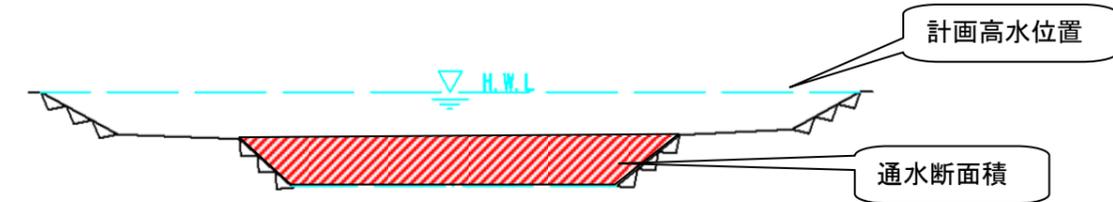
■安威川ダム下流域における流量が小さい区間



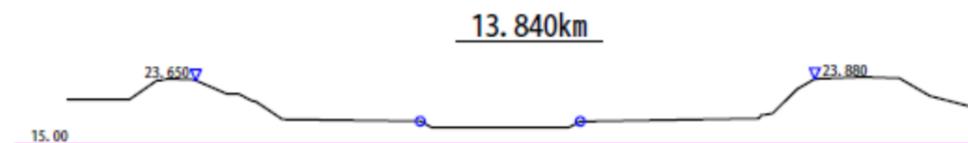
■河川断面位置



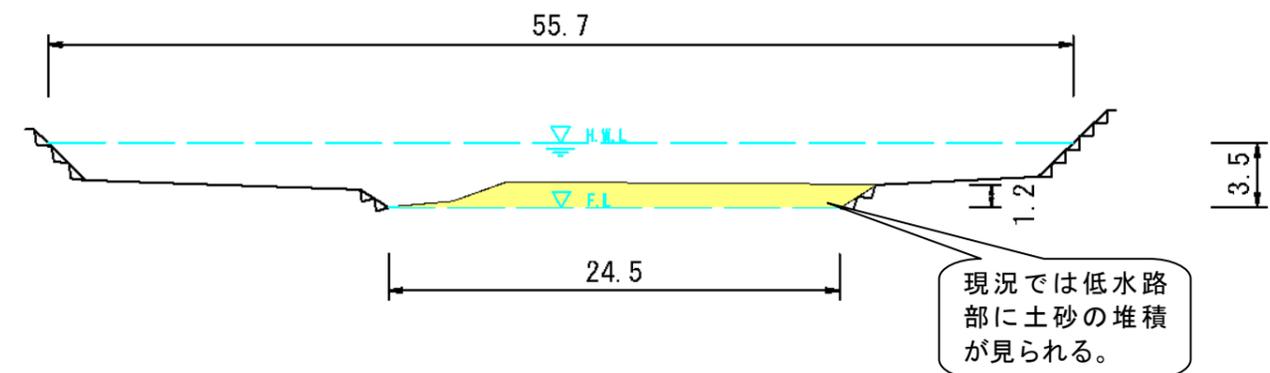
■低水路部満流流量計算模式図【計画断面】



■最小流量地点断面図【計画断面】



■(14.0k 地点) 低水路部断面図【現況断面】



安威川下流域の低水路部最小流量

- ・ 安威川下流の低水路部における最小流量は、13.84km 地点の  $31\text{m}^3/\text{s}$  未満。

【計画断面：堆積土砂を考慮しない断面】

⇒ 最大放流量を  $30\text{m}^3/\text{s}$  以下とすることが望ましい。

※現状では河道内に堆積土砂があるため、実際の放流時には堆積土砂を考慮した流量（現況最小流下能力  $5\text{m}^3/\text{s}$  程度）とする、もしくは堆積土砂を撤去する等、安全面でさらに考慮する必要がある。

⇒ 放流計画、モニタリング計画策定時に検討。

3-3. 環境面からの放流量の検討

1) 他河川の事例

- 他河川でのフラッシュ放流事例や藻類の剥離効果に関する実験等の事例を収集した。
- ここでは、それらの事例について、主に摩擦速度に着目して藻類の剥離効果との関係について整理した。

【 他河川事例による藻類剥離効果と摩擦速度の関係の整理 】

	文献名	発表機関名	掲載データ					
			摩擦速度	放流時間	移動土砂粒径	投入土砂粒径	対象付着藻類	評価方法
①	ARRC NEWS No. 5	土木研究所自然共生研究センター	1 地点 3 種類	3 種類 (継続 3 時間、6 時間、24 時間)	—	—	非糸状藻類	藻類量
②	寒河江ダムにおける放流事例	最上川ダム統合管理事務所	1 地点 3 種類	1 種類 (ピーク継続時間 0.5 時間)	計算値	—	非糸状藻類、糸状藻類	細胞数
③	三国川ダムにおける放流事例	三国川ダム管理所	2 地点 1 種類	1 種類 (ピーク継続時間 1 時間)	実測値(6 分類)	—	非糸状藻類、糸状藻類	細胞数
④	ダム下流河床の付着藻類の剥離・更新機構に関する調査・研究	河川美化・緑化調査研究論文集	1 地点(室内試験) 3 種類	2 種類 (1.5 時間、2 時間)	—	4 種類 (5.2mm, 10.4mm, 17.5mm, 31.8mm)	糸状藻類	藻類量
⑤	宮ヶ瀬ダムにおける放流事例	土木学会論文集	1 地点 1 種類	1 種類 (ピーク継続時間 2 時間)	計算値	—	糸状藻類	藻類量

○摩擦速度

河底に作用する力で、付着藻類の剥離、土砂移動の評価に使用する。

$$u_* = \sqrt{gRI} \quad (\sqrt{ghI})$$

$u_*$  = 摩擦速度 ( m/s )  
 $g$  = 重力加速度 ( m/s<sup>2</sup> )  
 $R$  = 径深 ( m ) ( もしくは  $h$  = 水深 ( m ) )  
 $I$  = 河床勾配 ( エネルギー勾配 )

○限界移動粒径

岩垣の式

$$d_m \geq 0.303cm \quad ; \quad u_{*c}^2 = 80.9d_m$$

$d_m$  : 限界移動粒径

$$0.118 \leq d_m \leq 0.303 \quad ; \quad u_{*c}^2 = 134.6d_m^{3/2}$$

$u_{*c}$  : 摩擦速度

$$0.0565 \leq d_m \leq 0.118 \quad ; \quad u_{*c}^2 = 55.0d_m$$

$$0.0065 \leq d_m \leq 0.0565 \quad ; \quad u_{*c}^2 = 8.41d_m^{1/32}$$

$$d_m \leq 0.0065 \quad ; \quad u_{*c}^2 = 226d_m$$

① 土木研究所自然共生研究センター研究事例(ニュースレターにおける付着物の掃流効果研究事例(皆川(2002)ARRC NEWS No.5))

- 土木研究所自然共生研究センターがニュースレター上で公開しているデータでは、石表面の付着物(付着藻類や細粒土砂等により形成された層)の剥離・掃流に関する実験による付着物の掃流効果は以下のとおりである。
  - ・ 摩擦速度 0.053m/s では、乾燥重量及び無機物量は増減し、明瞭な減少はみられず、付着物は掃流していない。
  - ・ 摩擦速度 0.063m/s では、3 時間後に減少を示すが、この減少は、摩擦速度 0.053m/s 時に堆積したものと考えられており、その後 24 時間後においても減少はみられなかった。
  - ・ 摩擦速度 0.071m/s では、時間の経過と共に乾燥重量、無機物量、クロロフィル a が減少する傾向を示した。
- 以上の結果から、付着物を減少させるためには、少なくとも**摩擦速度 0.071m/s 以上が有効で、継続時間を長くするほど剥離効果が高い**ことが示されている。

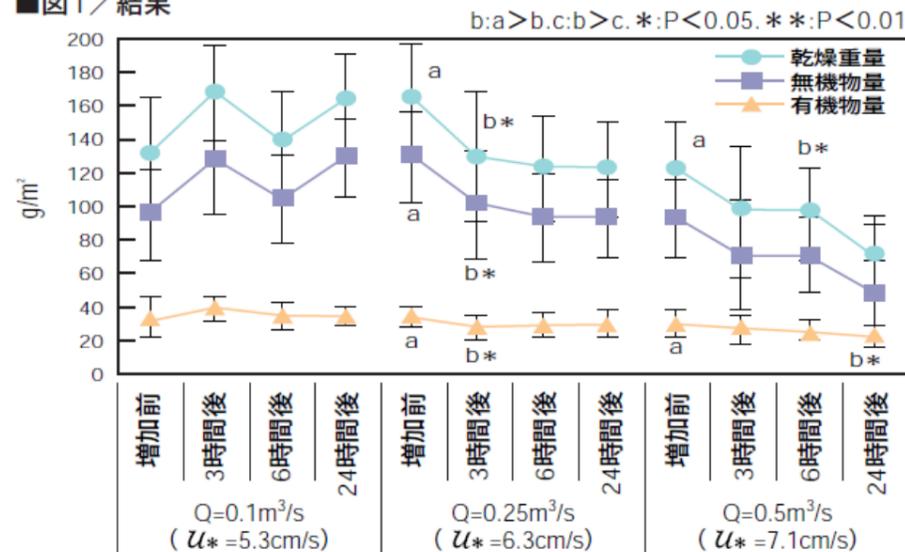
■実験条件

流量(m <sup>3</sup> /s)	0.05	0.1	0.25	0.5
水深(cm)	6	14.3	20.4	25.9
流速(6割水深)(cm/s)	12.7	32.4	48.8	73.9
摩擦速度(cm/s)	3.4	5.3	6.3	7.1
摩擦力(N)	0.0012	0.0028	0.0040	0.0051

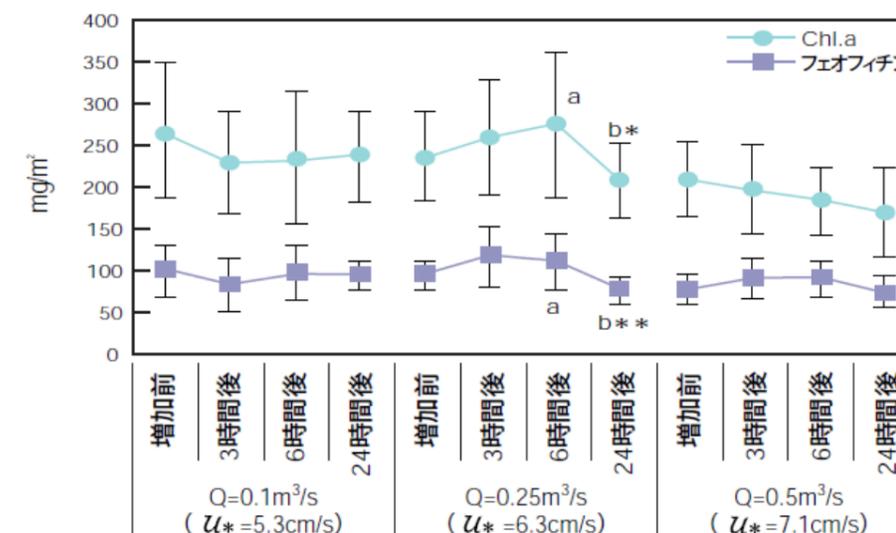
出典：皆川(2002)ARRC NEWS No.5

■上記条件に基づく実験結果

■図1/結果



■図2/結果

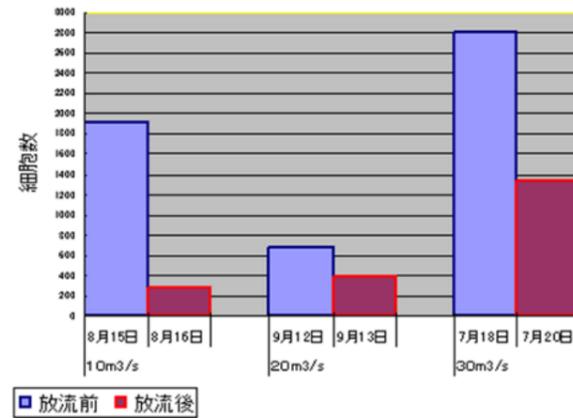


出典：皆川(2002)ARRC NEWS No.5

② 寒河江ダムにおけるフラッシュ放流事例（最上川ダム統合管理事務所提供データ）

- 最上川ダム統合管理事務所提供データによると、**10m<sup>3</sup>/s～30m<sup>3</sup>/sのいずれの放流でも付着藻類の掃流効果が確認**された。
  - ・ 付着藻類の細胞数について、フラッシュ放流前後を比較すると、フラッシュ放流後減少する傾向を示している。
  - ・ 30m<sup>3</sup>/s 放流で浮遊する藻類や付着泥の掃流効果が大きいことが確認された。
  - ・ 10m<sup>3</sup>/s 放流時の摩擦速度は0.143m/s、20m<sup>3</sup>/s 放流時の摩擦速度は0.185m/s、30m<sup>3</sup>/s 放流時の摩擦速度は0.214m/sであった。（計算値）
  - ・ フラッシュ放流は、剥離浮遊する緑藻類の堆積腐敗防止と景観保持のために有効である。（H21 東北地方ダム管理フォローアップ委員会 寒河江ダム定期報告書）

■フラッシュ放流前後の付着藻類細胞数の変化（月岡橋地点）



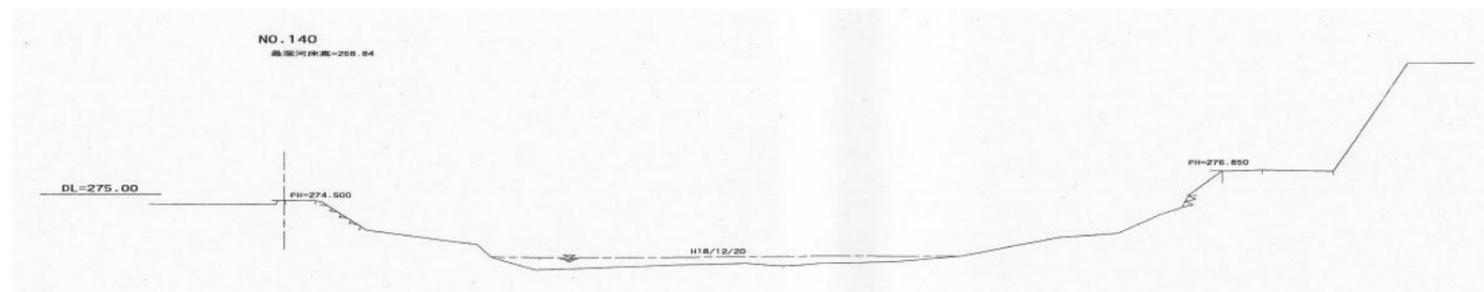
網名	パターン1(10m <sup>3</sup> /s)		パターン2(20m <sup>3</sup> /s)		パターン3(30m <sup>3</sup> /s)	
	8月15日	8月16日	9月12日	9月13日	7月18日	7月20日
藍藻	174	0	218	0	0	0
珪藻	1596	278	397	264	2732	1302
緑藻	153	0	51	124	72	36
合計	1923	278	666	388	2804	1338

■放流量に対する摩擦速度・限界移動粒径の計算値（月岡橋地点）

調査地点	放流量 (m <sup>3</sup> /s)	河床勾配	粗度係数	水深 (m)	平均流速 (m/s)	流積 m <sup>2</sup>	河床せん断力 (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	摩擦速度 (m/s)	限界移動粒径 (mm)
月岡橋	10	1/225	0.03	0.47	1.34	7.44	0.020	0.143	25.30
	20	1/225		0.79	1.90	10.53	0.034	0.185	42.53
	30	1/225		1.05	2.30	13.07	0.046	0.214	56.53

※縦断面、横断面からの読み取り値による計算

■月岡橋付近の横断面



③ 三国川ダムにおけるフラッシュ放流事例

- フラッシュ放流のピーク流量 30m<sup>3</sup>/s 時の各地点における摩擦速度は、わらび野橋で 0.469m/s、芋川合流後で 0.356m/s と算出された。→河床勾配が大きいため摩擦速度も大きくなったと考えられる。
- その時の各地点の移動限界粒径は、わらび野橋で 271.63mm、芋川合流後で 156.97mm であった。
- 三国川ダムの事例では、ピーク流量 30m<sup>3</sup>/s、放流時間 60 分のフラッシュ放流において、糸状藻類がほとんど生育していない場合（第1回）、高い掃流効果が得られているが、糸状藻類が生育する（第2回）と、この糸状藻類により剥離した粒子や細胞が捕獲されるため、掃流効果が低下することが示唆された。
- 粒径の小さい河床材料に生育した糸状藻類は河床材料ごと掃流されていたことが確認されており、フラッシュ放流に伴う河床の攪乱と河床材料の移動が、糸状藻類の剥離更新に対して有効であることが示唆された。
- 一方、糸状藻類が大型の河床材料に生育してしまうと、水の力だけでは掃流効果が小さいことも示唆された。

■フラッシュ放流前後の付着藻類細胞数の変化

単位:細胞数/mm<sup>2</sup>

調査地点	第1回フラッシュ放流		第2回フラッシュ放流	
	放流前	放流後	放流前	放流後
わらび野橋下流	273	33	5,664	1,185
芋川合流後	1,539	43	10,050	5,280

<第1回フラッシュ放流>

- ・シルト分は概ね掃流していた。
- ・付着藻類は目視では確認できなかったため、掃流効果は確認できなかったが、一部に糸状藻類の生育が見られ、これらはすべて剥離していた。

<第2回フラッシュ放流>

- ・シルト分の掃流効果は第1回フラッシュ放流時に比べると小さかった。
- ・付着藻類（糸状藻類）の剥離効果は、小さい河床材料に生育したものは河床材料ごと掃流されていたが、大型の河床材料に生育した糸状藻類は一部の掃流効果しか確認できなかった。

出典：平成 21 年度三国川ダムフラッシュ放流報告書

■放流量に対する摩擦速度・限界移動粒径の計算値

調査地点	放流量 (m <sup>3</sup> /s)	河床勾配	粗度係数	水深 (m)	平均流速 (m/s)	流積 m <sup>2</sup>	河床せん断力 (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	摩擦速度 (m/s)	限界移動粒径 (mm)
わらび野橋	30	1/37	0.035	0.83	4.15	7.23	0.220	0.469	271.63
芋川合流後		1/71		0.92	3.21	9.35	0.127	0.356	156.97

※縦断面図、横断面図からの読み取り値による計算

■河床構成材料の変化（コドラート 1m<sup>2</sup>）での面積割合

		わらび野橋下流 平瀬		わらび野橋下流 流心		芋川合流後 平瀬		芋川合流後 流心	
		フラッシュ前	フラッシュ後	フラッシュ前	フラッシュ後	フラッシュ前	フラッシュ後	フラッシュ前	フラッシュ後
長径 (mm)	250-	26.4 %	12.1 %	18.8 %	18.0 %	21.2 %	14.6 %	27.4 %	23.7 %
	200-250	4.3 %	5.8 %	10.2 %	15.4 %	15.4 %	12.9 %	11.8 %	10.6 %
	150-200	4.6 %	2.4 %	20.2 %	17.0 %	13.8 %	10.8 %	16.8 %	14.0 %
	100-150	22.8 %	13.8 %	26.2 %	26.0 %	18.0 %	16.1 %	10.0 %	11.0 %
	50-100	34.5 %	24.7 %	12.4 %	15.4 %	12.4 %	17.7 %	9.4 %	11.9 %
	50-250total	92.7 %	58.8 %	87.7 %	91.8 %	80.8 %	72.0 %	75.3 %	71.3 %
50mm未満		7.3 %	41.2 %	12.3 %	8.2 %	19.2 %	28.0 %	24.7 %	28.7 %

④ 河川美化・緑化調査研究論文集事例（ダム下流河床の付着藻類の剥離・更新機構に関する調査・研究（大澤 他(東京工業大学) 平成16年度河川美化・緑化調査研究論文集;(財)河川環境管理財団 HP)）

- 掃流砂による糸状藻類の強制剥離に関する水路実験のデータである。
- 礫河床における糸状藻類の剥離実験が行われている。
- **摩擦速度 0.072m/s~0.092m/s で土砂粒径 5.2~10.4mm の場合に糸状藻類の減少率が高くなっていた。**

■実験条件

	ケース I-1	ケース I-2	ケース II-1	ケース II-2	ケース III-1	ケース III-2	ケース IV-1
$Q$ ( $10^{-3} \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ )	6.8	16.8	16.8	23.9	16.8	23.9	16.8
$U$ ( $\text{ms}^{-1}$ )	1.00	1.22	1.22	1.58	1.22	1.58	1.22
$h$ (m)	0.035	0.071	0.071	0.078	0.071	0.078	0.071
$u_*$ ( $\text{ms}^{-1}$ ) 摩擦速度	0.052	0.072	0.072	0.092	0.072	0.092	0.072
$\tau_0$ ( $\text{Nm}^{-2}$ )	2.7	5.2	5.2	8.5	5.2	8.5	5.2
$I$	0.010	0.013	0.013	0.020	0.013	0.02	0.013
$d_i$ (mm) 土砂粒径	5.2	5.2	10.4	10.4	17.5	17.5	31.8
$\tau_*$	0.03	0.06	0.03	0.05	0.02	0.03	0.01
$q_{Bi}$ ( $10^{-5} \text{ m}^3\text{s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ )	2.45	7.57	7.25	7.53	5.81	7.25	7.53

出典：大澤他（2004）ダム下流の河床付着藻類の剥離・更新機構に関する調査・研究

■左記条件に基づく実験結果

	ケース I-1	ケース I-2	ケース II-1	ケース II-2	ケース III-1	ケース III-2	ケース IV-1
初期藻類量 $m_0$ ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ )	3.7	4.5	4.0	6.0	8.6	3.0	4.7
収束藻類量 $m_s$ ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ )	3.7	0	0	0	1.0	0.9	0.5
減少率 $p_i$	0	0.99	1.00	1.00	0.88	0.71	0.90
継続時間 $t_s$ (min)	120	120	120	90	120	90	120
時間減少率 $p_{st}$ ( $10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )	0	1.4	1.4	1.9	1.2	1.3	1.3

出典：大澤他（2004）ダム下流の河床付着藻類の剥離・更新機構に関する調査・研究

⑤ 宮ヶ瀬ダムにおける放流事例（赤松 他（2009）ダム下流における糸状藻類の強制剥離に関する研究. 土木学会論文集 65(4)：285-295）

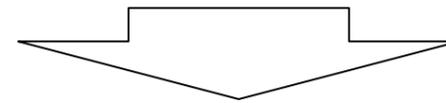
- 宮ヶ瀬ダムの事例では、流量や流速が大きくても、**5~10mm 程度の粒径の砂礫がほとんど存在しない場合、掃流効果は非常に小さいことが示唆**されている。  
→ 安威川における、これらの河床材料の存在と移動状況の確認が必須と考えられる。

■宮ヶ瀬ダムにおける放流量と糸状藻類の残存率

調査地点	放流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	ピーク継続時間	ピーク時の最大流量	摩擦速度（平時）	摩擦速度（ピーク時）	限界移動粒径 (mm)	フラッシュ放流後の糸状藻類残存率	考察結果
愛川大橋付近	100	2時間	2.0m/s	0.03m/s	0.18m/s	40.05	77%	河床中に糸状藻類剥離に有効な5~10mm程度の粒径の砂礫がほとんど存在していなかったため、掃流効果が不十分と判断。

## 2) 他河川の事例による掃流効果のまとめ

- 土木研究所の実験結果では、付着藻類を減少させるためには、少なくとも摩擦速度 0.071m/s 以上で有効であり、継続時間を長くするほど剥離効果が高いことが示されている。
- 寒河江ダムでは、月岡橋地点で摩擦速度が 0.143m/s (10m<sup>3</sup>/s)、0.185m/s (20m<sup>3</sup>/s)、0.214m/s (30m<sup>3</sup>/s) の全てで付着藻類の細胞数減少を確認できた。
- 三国川ダムでは、ピーク流量 30m<sup>3</sup>/s で摩擦速度が 0.356 m/s (芋川合流後)、0.469m/s (わらび野橋地点) と算出された。糸状藻類に関しては、小さい河床材料に生育したものは河床材料ごと掃流されていたが、大型の河床材料に生育したものは一部の掃流効果しか確認できなかった。
- 宮ヶ瀬ダムでは、摩擦速度が 0.18m/s あったが、5~10mm 程度の粒径の砂礫がほとんど存在しなかったため、糸状藻類の掃流効果は非常に小さかった。
- 東工大のデータでは摩擦速度 0.072m/s~0.092m/s で土砂粒径 5.2~10.4mm の場合に糸状藻類の減少率が高くなっていた。



## 【まとめ】

- 非糸状藻類の剥離には少なくとも摩擦速度 0.071m/s 以上で有効である。
- 糸状藻類の剥離には水流だけでは効果が発揮できない。
- 糸状藻類の剥離には 0.072m/s 以上の摩擦速度で、5~10mm 程度の粒径の土砂を混合させると有効である。
- 放流継続時間は付着藻類の剥離効果に影響を与える。

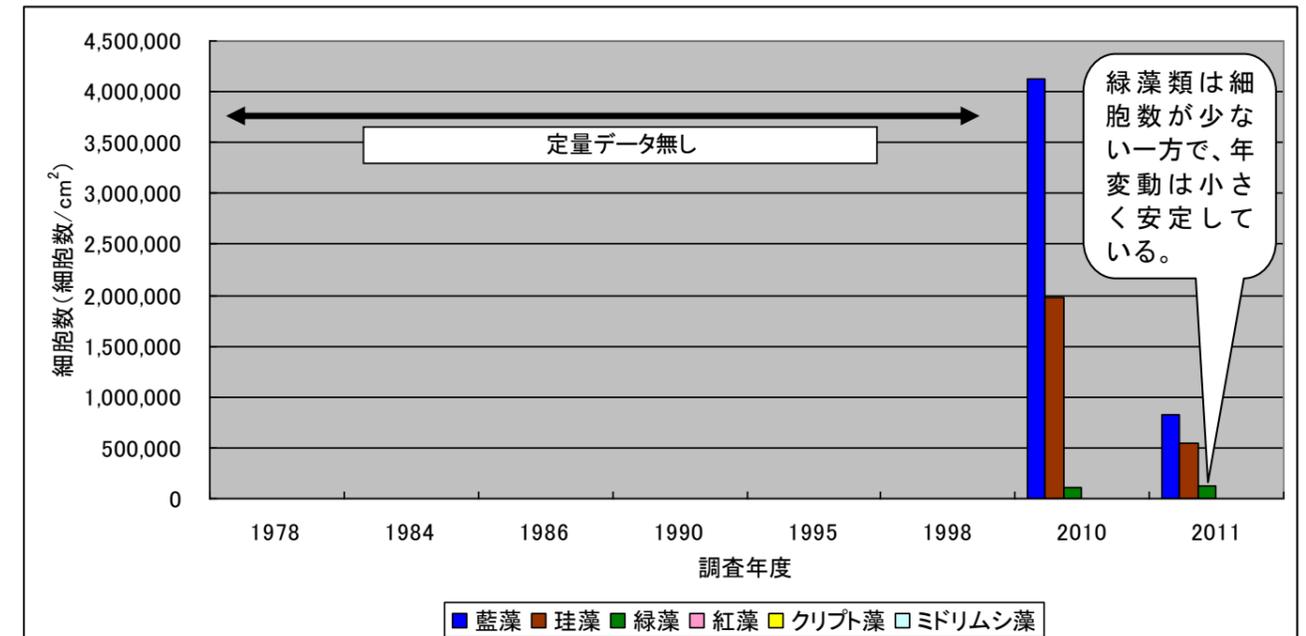
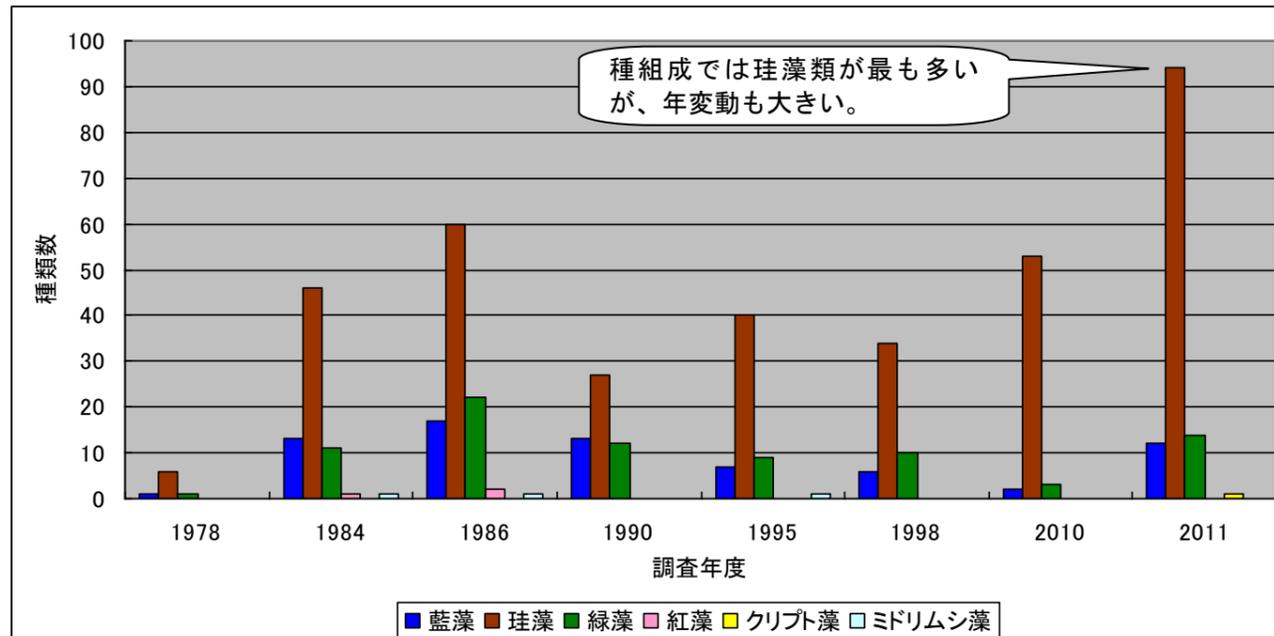
3) 安威川におけるフラッシュ放流量と藻類剥離効果等の関係

①安威川の付着藻類の生育状況

付着藻類の生育状況の現況について整理した。

●経年の状況

- ・ 安威川における付着藻類の種組成は、珪藻類が最も多いが、年変動が大きい。
- ・ 藍藻と緑藻は種数は概ね 10 種前後と少ない。
- ・ 細胞数では藍藻が最も多く、ついで珪藻類が多いが、年変動が比較的大きい。
- ・ 緑藻類の細胞数は藻類全体としては非常に少ないが、年変動はほとんど認められないことから、安定性が高く、侵入・増殖すると自然減少する可能性は小さいと推察される。
- ・ 優占種は藍藻類の *Entophysalis lemaniae* (エントフィサリス レマニアエ) や *Homoeothrix janthina* (ホモエオスリックス ヤンティナ)、*Myxosarcina* sp. (ミクソサルキナ属の 1 種)、珪藻類の *Melosira varians* (メロシラ バリアンス)、*Navicula minima* (ナビクラ ミニマ) 等で、アユの餌生物として重要な種が多い。
- ・ 生育すると除去が困難である糸状藻類のアオミドロやカワシオグサについては、安威川ではほとんど確認されていない。



付着藻類出現種類数経年変化 (左: 種類数 右: 細胞数)

②フラッシュ放流量と摩擦速度の関係

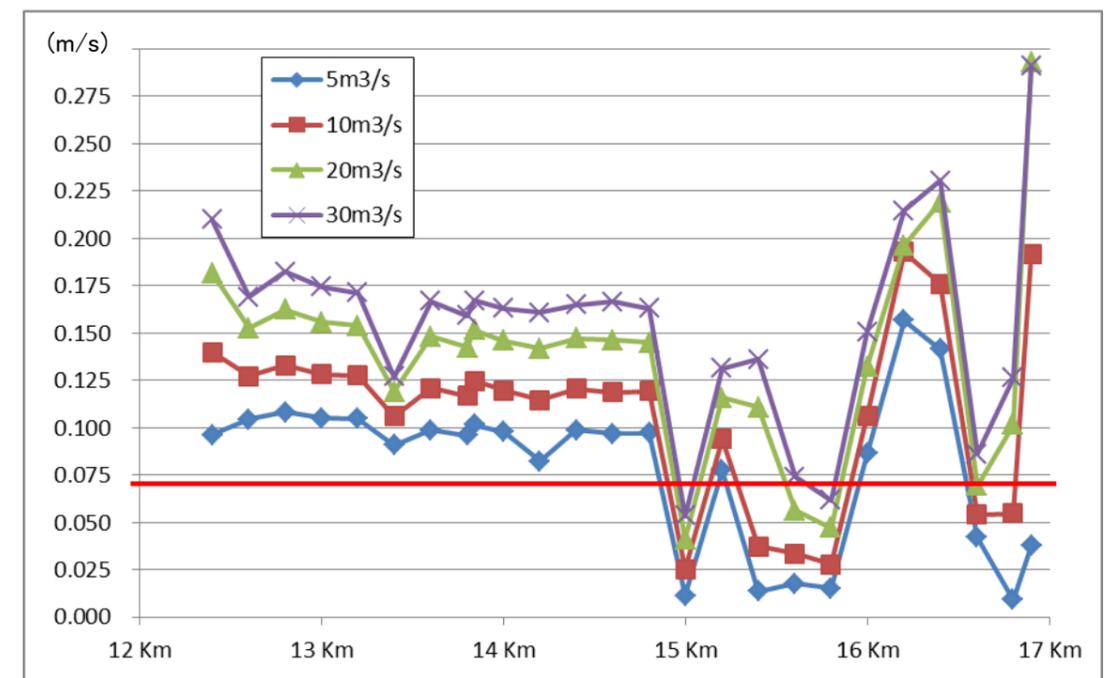
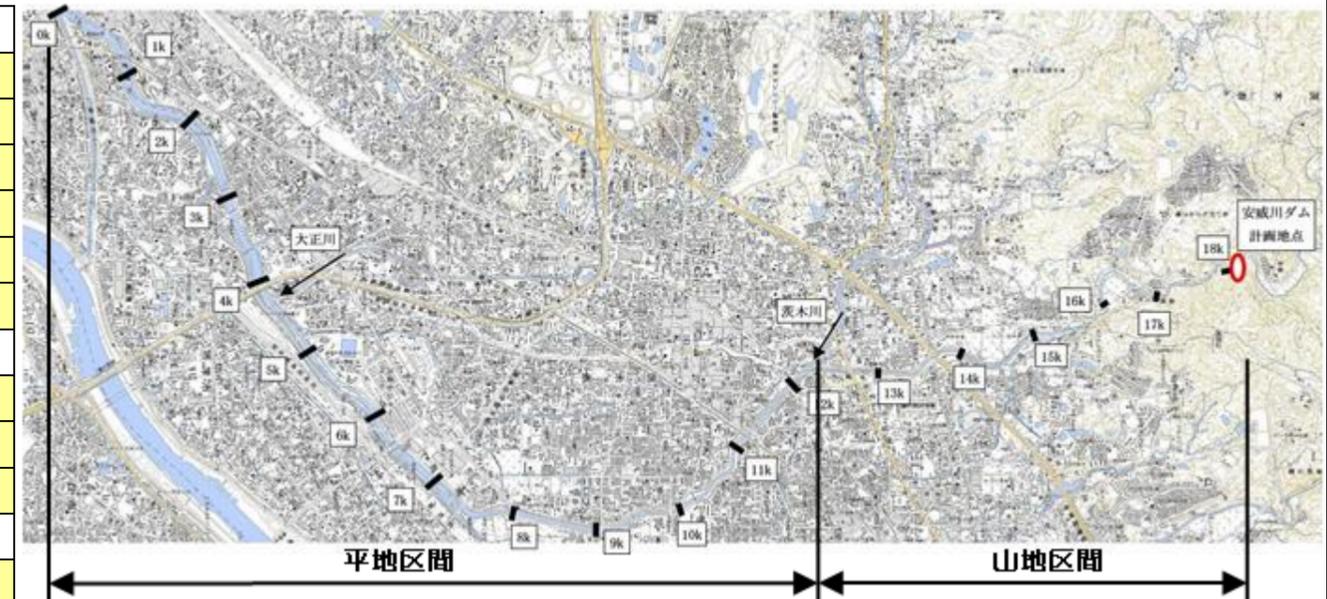
安威川ダム下流域における不等流計算により茨木川合流点～安威川ダム間のフラッシュ放流量毎の摩擦速度を算出した。

- 放流量 5m<sup>3</sup>/s : 摩擦速度は、0.009～0.157m/s の範囲であった。
- 放流量 10m<sup>3</sup>/s : 摩擦速度は、0.025～0.193m/s の範囲であった。
- 放流量 20m<sup>3</sup>/s : 摩擦速度は、0.041～0.293m/s の範囲であった。
- 放流量 30m<sup>3</sup>/s : 摩擦速度は、0.054～0.291m/s の範囲であった。
- 平水時 0.9m<sup>3</sup>/s : 摩擦速度は、0.003～0.100m/s の範囲であった。

■安威川(ダム地点～茨木川合流点)におけるフラッシュ放流の放流量と摩擦速度の関係 単位: m/s

距離標	平水(0.9m <sup>3</sup> /s)	5m <sup>3</sup> /s	10m <sup>3</sup> /s	20m <sup>3</sup> /s	30m <sup>3</sup> /s
16.90	0.009	0.038	0.192	0.293	0.291
16.80	0.002	0.009	0.055	0.102	0.126
16.60	0.007	0.042	0.054	0.069	0.086
16.40	0.100	0.141	0.176	0.219	0.230
16.20	0.092	0.157	0.193	0.196	0.215
16.00	0.046	0.086	0.106	0.132	0.151
15.80	0.003	0.015	0.028	0.047	0.062
15.60	0.004	0.018	0.033	0.056	0.074
15.40	0.016	0.014	0.037	0.111	0.136
15.20	0.049	0.077	0.094	0.116	0.131
15.00	0.003	0.011	0.025	0.041	0.054
14.80	0.057	0.097	0.119	0.145	0.163
14.60	0.059	0.097	0.119	0.146	0.167
14.40	0.058	0.099	0.121	0.147	0.165
14.20	0.022	0.082	0.114	0.142	0.161
14.00	0.058	0.098	0.120	0.146	0.163
13.84	0.059	0.102	0.125	0.152	0.167
13.80	0.057	0.096	0.117	0.142	0.159
13.60	0.059	0.099	0.121	0.148	0.167
13.40	0.055	0.091	0.106	0.119	0.127
13.20	0.063	0.105	0.127	0.154	0.171
13.00	0.063	0.105	0.128	0.156	0.174
12.80	0.064	0.108	0.133	0.162	0.182
12.60	0.061	0.105	0.127	0.152	0.169
12.40	0.014	0.096	0.140	0.182	0.210
カバー率	2/25 (8%)	18/25 (72%)	19/25 (76%)	21/25 (84%)	23/25 (92%)

※ 赤文字は、各放流量における最大値、最小値を示す。  
 ※ 黄色の網掛けは、非糸状藻類の剥離に必要と考えられる摩擦速度(0.071m/s)以上の数値を示す。  
 ※ 摩擦速度は、不等流計算による径深、エネルギー勾配から算出した。



③限界移動粒径の算定

摩擦速度は、不等流計算結果により算出した。

限界移動粒径については、岩垣の式による。(岩垣の式： $u_{*c}^2=80.9d$ ； $u_{*c}$ (移動限界摩擦速度：cm/s)、 $d$ (粒径：cm))

- 放流量 5m<sup>3</sup>/s：限界移動粒径は、0.10～30.39mm の範囲であった。
- 放流量 10m<sup>3</sup>/s：限界移動粒径は、0.79～45.86mm の範囲であった。
- 放流量 20m<sup>3</sup>/s：限界移動粒径は、2.08～106.16mm の範囲であった。
- 放流量 30m<sup>3</sup>/s：限界移動粒径は、3.54～104.53mm の範囲であった。
- 平水時 0.9m<sup>3</sup>/s：限界移動粒径は、0.006～12.32mm の範囲であった。

■安威川(桑原橋)におけるフラッシュ放流による限界移動粒径の推定

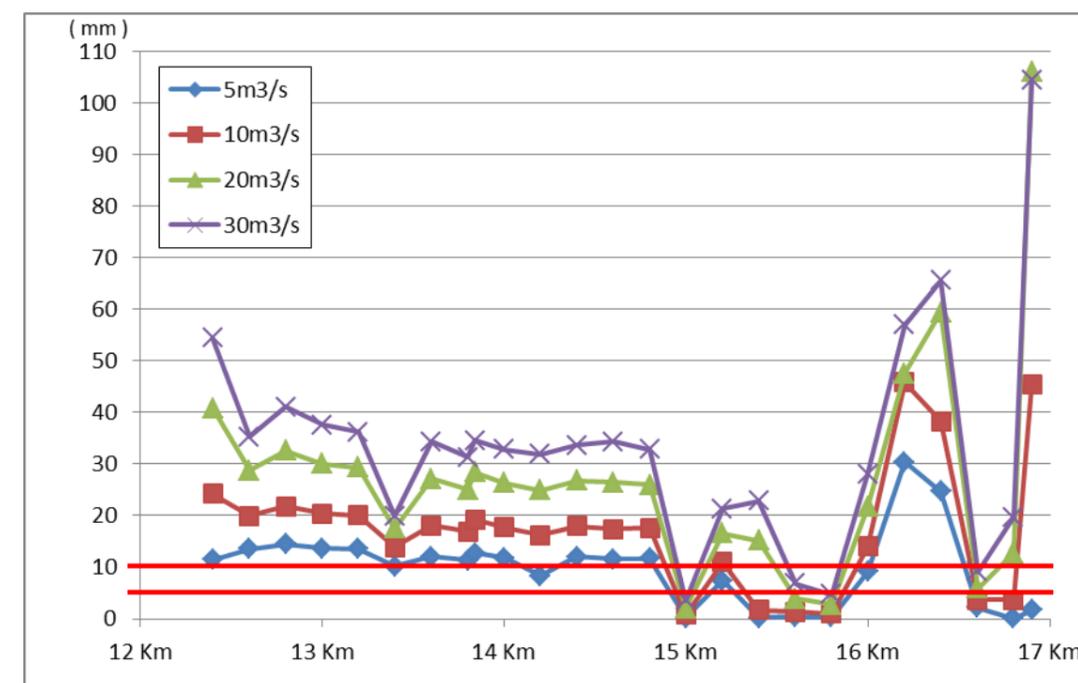
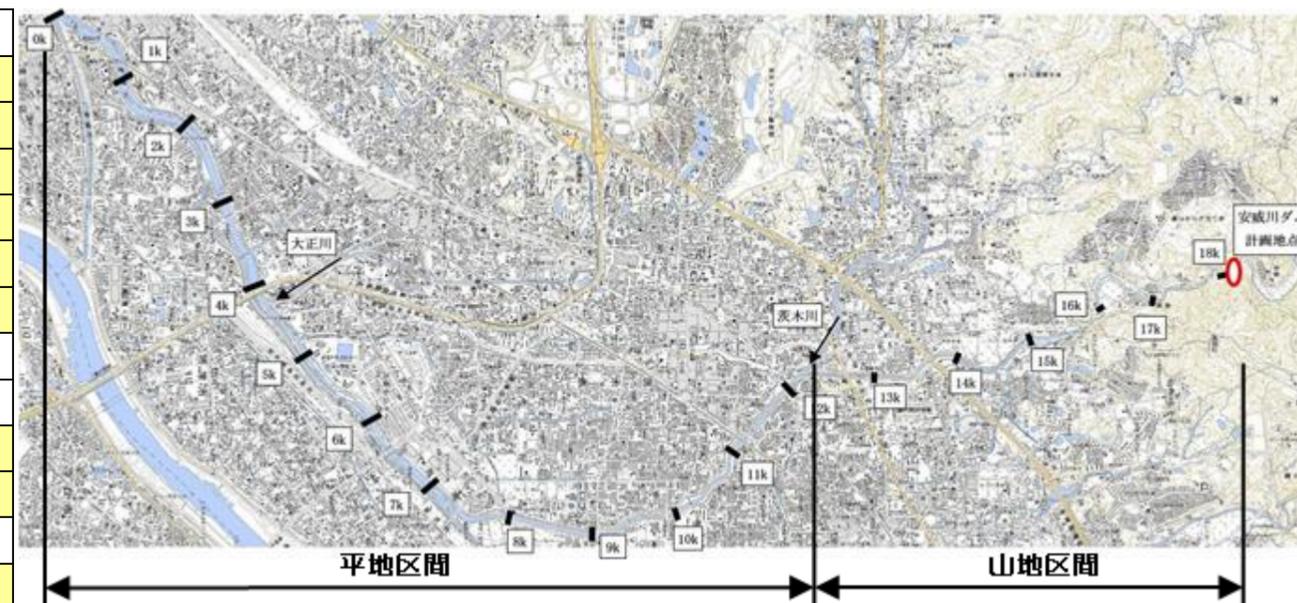
単位：mm

距離標	平水(0.9m/s)	5m <sup>3</sup> /s	10m <sup>3</sup> /s	20m <sup>3</sup> /s	30m <sup>3</sup> /s
16.90	0.11	1.75	45.46	106.16	104.53
16.80	0.006	0.10	3.68	12.75	19.72
16.60	0.056	2.20	3.63	5.91	9.16
16.40	12.32	24.70	38.31	59.37	65.63
16.20	10.46	30.39	45.86	47.61	56.96
16.00	2.66	9.19	13.97	21.63	28.06
15.80	0.011	0.29	0.96	2.73	4.68
15.60	0.017	0.38	1.38	3.92	6.76
15.40	0.32	0.23	1.70	15.20	22.88
15.20	2.99	7.41	10.94	16.58	21.37
15.00	0.014	0.15	0.79	2.08	3.54
14.80	3.10	11.64	17.56	26.02	32.78
14.60	4.37	11.61	17.39	26.43	34.32
14.40	4.15	12.05	18.00	26.75	33.64
14.20	0.59	8.35	16.18	24.88	31.91
14.00	4.18	11.83	17.73	26.27	32.86
13.84	4.38	12.79	19.21	28.41	34.55
13.80	3.99	11.37	16.87	25.04	31.33
13.60	4.30	12.06	18.08	27.16	34.34
13.40	3.69	10.22	13.85	17.54	19.94
13.20	4.84	13.53	20.06	29.28	36.19
13.00	4.85	13.67	20.34	29.99	37.60
12.80	5.04	14.49	21.82	32.55	41.02
12.60	4.64	13.50	19.96	28.73	35.28
12.40	0.23	11.41	24.17	40.84	54.47
カバー率	2/25(8%)	17/25(68%)	19/25(76%)	21/25(84%)	22/25(88%)

※ 赤文字は、各放流量における最大値、最小値を示す。

※ 黄色の網掛けは、糸状藻類の剥離に有効と考えられる限界移動粒径 5～10mm の平均 7.5mm 以上の数値を示す。

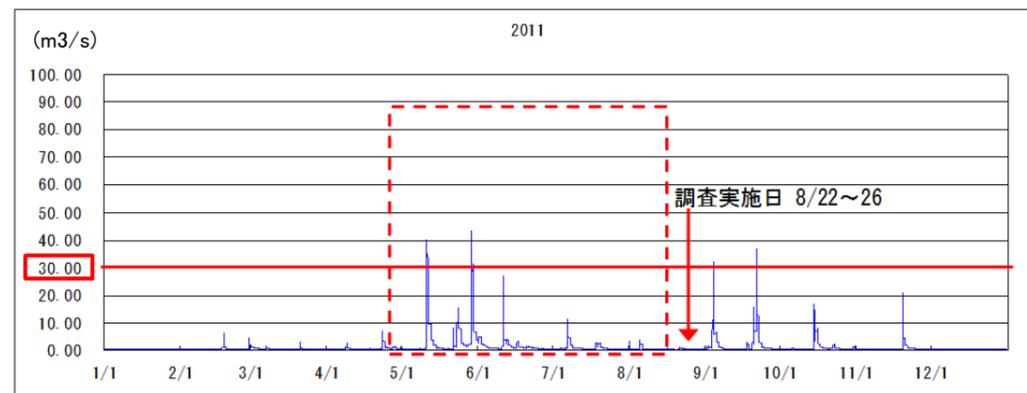
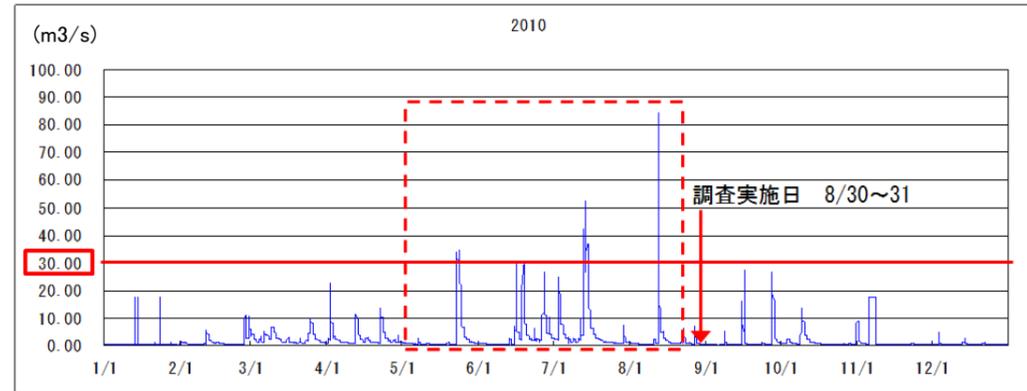
※ 限界移動粒径は、岩垣の式による。



④過年度調査における桑原橋地点での河床材料の変化

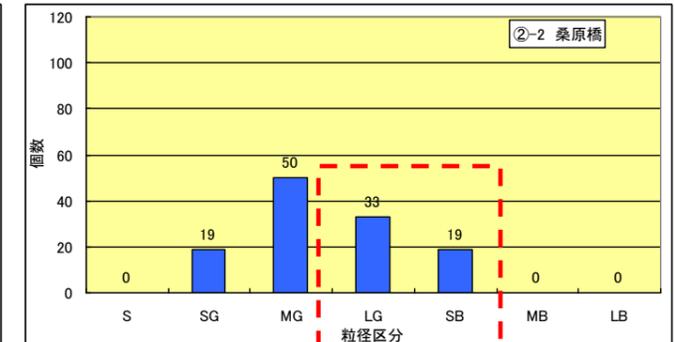
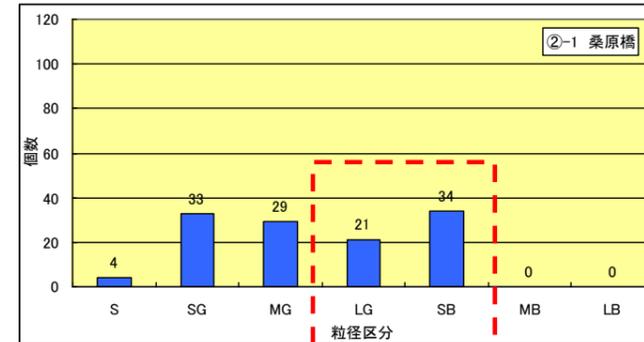
● 2010年、2011年の河床材料調査の結果より、桑原橋地点においてはLG(50~100mm)~SB(100~200mm)を含む河床材料が移動したことが推測される。

■桑原橋における2010年(実測値)及び2011年(推定値)の流量

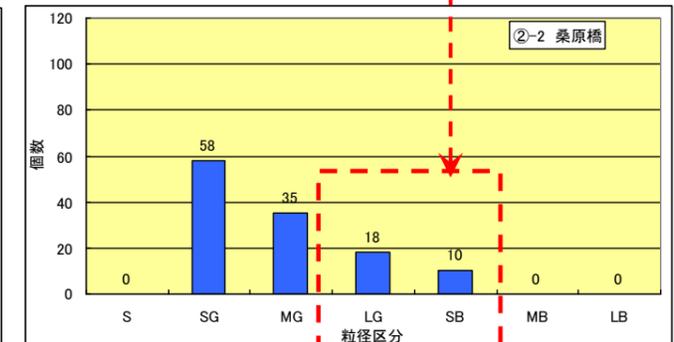
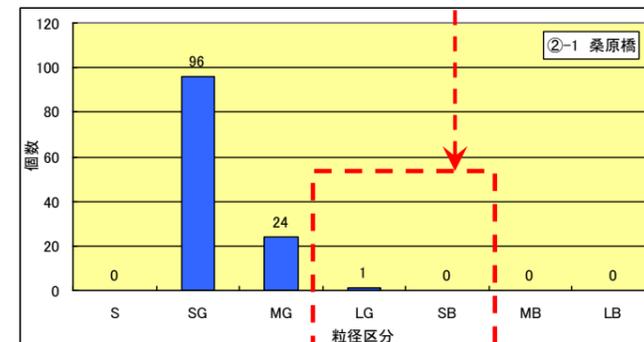


■桑原橋における2010年及び2011年の河床材料調査結果

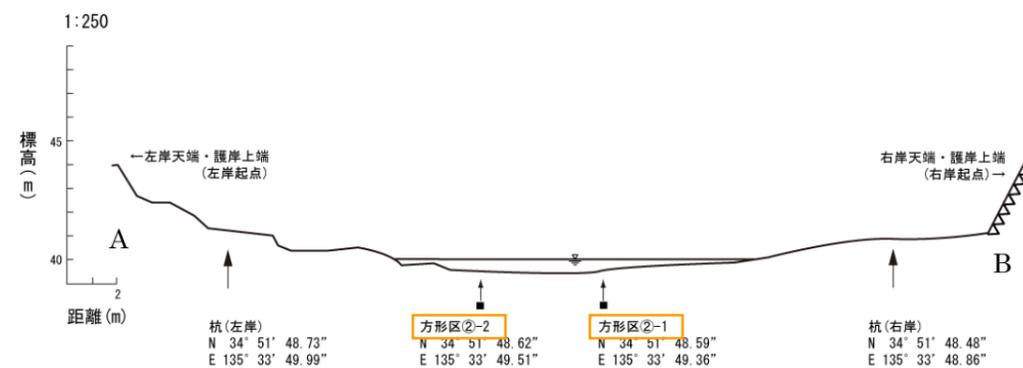
調査日: 2010年8月30~31日



調査日: 2011年8月22~26日



■桑原橋の横断面図



■粒径区分

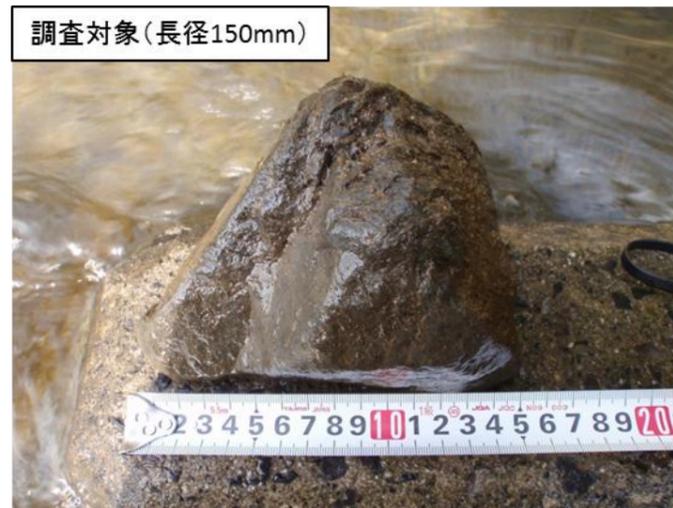
記号	名称	粒径
M	泥	<0.074mm
S	砂	0.074~2mm
SG	細礫	2~20mm
MG	中礫	20~50mm
LG	粗礫	50~100mm
SB	小石	100~200mm
MB	中石	200~500mm
LB	大石	≥500mm
R	岩盤	岩盤またはコンクリート

※粒径区分は、「平成18年度河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル[河川版]、国土交通省河川局河川環境調査 財団法人リバーフロントセンターに従った。

⑤現地調査による河床材料移動の確認

- 限界移動粒径（計算値）よりも大きな粒径が移動していた。  
→下流河川各地点でも調査を実施する。

■調査対象



■経過

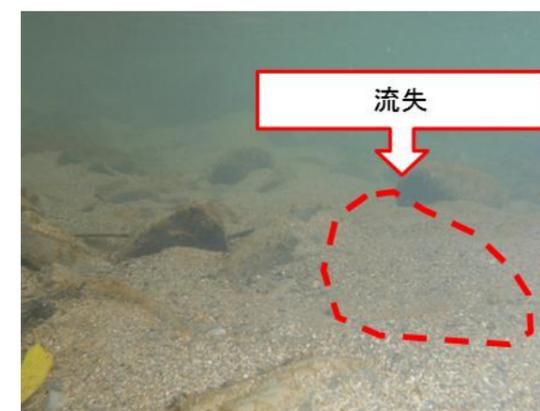
2012年11月9日



2012年11月16日



2012年11月22日



11月17日に起きた出水（最大流量 約15m<sup>3</sup>/s）により大礫が移動したと推測される。移動した大礫については約50cm下流まで流されていた。

■調査地点の計算上の移動粒径

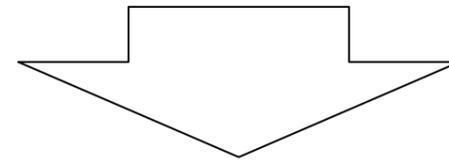
単位：mm

距離標	5m <sup>3</sup> /s	10m <sup>3</sup> /s	15m <sup>3</sup> /s	20m <sup>3</sup> /s	30m <sup>3</sup> /s	平水
16.9	1.7	45.5	82.6	106.2	104.5	0.1

## 4) 安威川におけるフラッシュ放流効果の推定

## ■安威川での現状と放流効果の推定

- 安威川では、現況ではアオミドロやカワシオグサ等の糸状藻類の群體は確認されていない。
- 摩擦速度は、ダム地点～茨木川合流部間において、放流量  $5\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.011\sim 0.157\text{m/s}$ 、放流量  $10\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.025\sim 0.193\text{m/s}$ 、放流量  $20\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.041\sim 0.293\text{m/s}$ 、放流量  $30\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.054\sim 0.291\text{m/s}$ 、平水時  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.003\sim 0.100\text{m/s}$  の範囲であった。
- 付着藻類の剥離効果が見込める  $0.071\text{m/s}$  以上の摩擦速度のカバー率は、放流量  $5\text{m}^3/\text{s}$  で 72%、放流量  $10\text{m}^3/\text{s}$  で 76%、放流量  $20\text{m}^3/\text{s}$  で 84%、放流量  $30\text{m}^3/\text{s}$  で 92%であった。
- 移動限界粒径は、ダム地点～茨木川合流部間において、放流量  $5\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.103\sim 30.394\text{mm}$ 、放流量  $10\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.787\sim 45.864\text{mm}$ 、放流量  $20\text{m}^3/\text{s}$  で  $2.080\sim 106.157\text{mm}$ 、放流量  $30\text{m}^3/\text{s}$  で  $3.542\sim 104.534\text{mm}$ 、平水時  $0.9\text{m}^3/\text{s}$  で  $0.006\sim 12.315\text{mm}$  の範囲であった。
- 糸状藻類の剥離に有効と考えられる  $5\sim 10\text{mm}$  の平均値  $7.5\text{mm}$  以上の移動限界粒径のカバー率は、放流量  $5\text{m}^3/\text{s}$  で 68%、放流量  $10\text{m}^3/\text{s}$  で 76%、放流量  $20\text{m}^3/\text{s}$  で 84%、放流量  $30\text{m}^3/\text{s}$  で 88%であった。
- 放流量が増加するに従い、カバー率は上昇する。



## ■フラッシュ放流時のピーク放流量等まとめ

- ・ 付着藻類の剥離・更新を目的としたフラッシュ放流量としては、一部区間を除き(カバー率を70%以上で設定)、放流量  $5\text{m}^3/\text{s}$  以上で効果が見込めると考えられる。
- ・ 糸状藻類の付着抑制・剥離を目的としたフラッシュ放流量としては、一部区間を除き(カバー率を70%以上で設定)、放流量  $10\text{m}^3/\text{s}$  以上で効果が見込めると考えられる。
- ・ 安全面の観点からフラッシュ放流時の最大放流量は、高水敷が冠水しない  $30\text{m}^3/\text{s}$  以下とすることが望ましい。

餌資源としての付着藻類の維持、付着藻類の異常繁茂の抑制のためのフラッシュ放流時のピーク放流量は、安全面からの観点も考慮して、 $5\sim 30\text{m}^3/\text{s}$  の範囲で効果が期待できる。

※低水路部の土砂堆積状況を考慮したピーク放流量を設定する必要がある。

※各地点でのアーマーコート化や河床低下についてはモニタリングにより確認していく必要がある。

※15k 付近では土砂の堆積が予想されるため、樹林化などの副次的な現象もあわせて今後の検討課題である。

以上より、フラッシュ放流時の最大放流量は、  $30\text{m}^3/\text{s}$  とする。

#### 4. フラッシュ放流時の放流水の水質

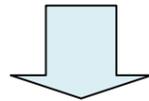
・本章では、フラッシュ放流時の取水施設の規模・形式、取水口の設置位置について提案し、その時の放流水の水質について検討する。

##### ○フラッシュ放流時の放流水の水質（水温・濁水）検討

- 維持用水の取水は冷水放流、貧酸素水放流を避けるため、EL85m～EL99mの14m間で選択取水（φ700mm）することとしている。
- 最大 30m<sup>3</sup>/s のフラッシュ放流を行うためには、取水口はφ2000mmの直径が必要となり、流動層厚も約10m程度に拡がることから、深層水からの取水を避ける範囲（EL85～EL99）で選択取水を行う効果はなく、固定取水方式とする。
- 濁水放流については、水質保全対策としてフェンスを設置する計画であり、濁水はフェンスにより下層に導くことから、可能性が非常に低いと考えられる。

##### 1) 取水施設の規模・形式

- ・取水する層の厚さは、呑口の管径よりも広く、図1のようになる。  
フラッシュ放流をしない場合、取水管径が700mm、流動層厚が約3.1～3.9mとしていたが、30m<sup>3</sup>/sのフラッシュ放流を実施する場合には、取水管径が2,000mmとなり、流動層厚も非常に広くなり、最適な層に加え、その上下の層からも取水することとなる。



- ・維持用水の放流では、最適な水温・水質の層から取水することを目的として、選択取水方式を採用。
- ・フラッシュ放流を行う場合、取水層厚が大きいため選択取水を採用する効果がなくなることから、固定取水方式を採用する。

##### 【参考】

・取水口の形状・寸法（放流量 30m<sup>3</sup>/s の場合）

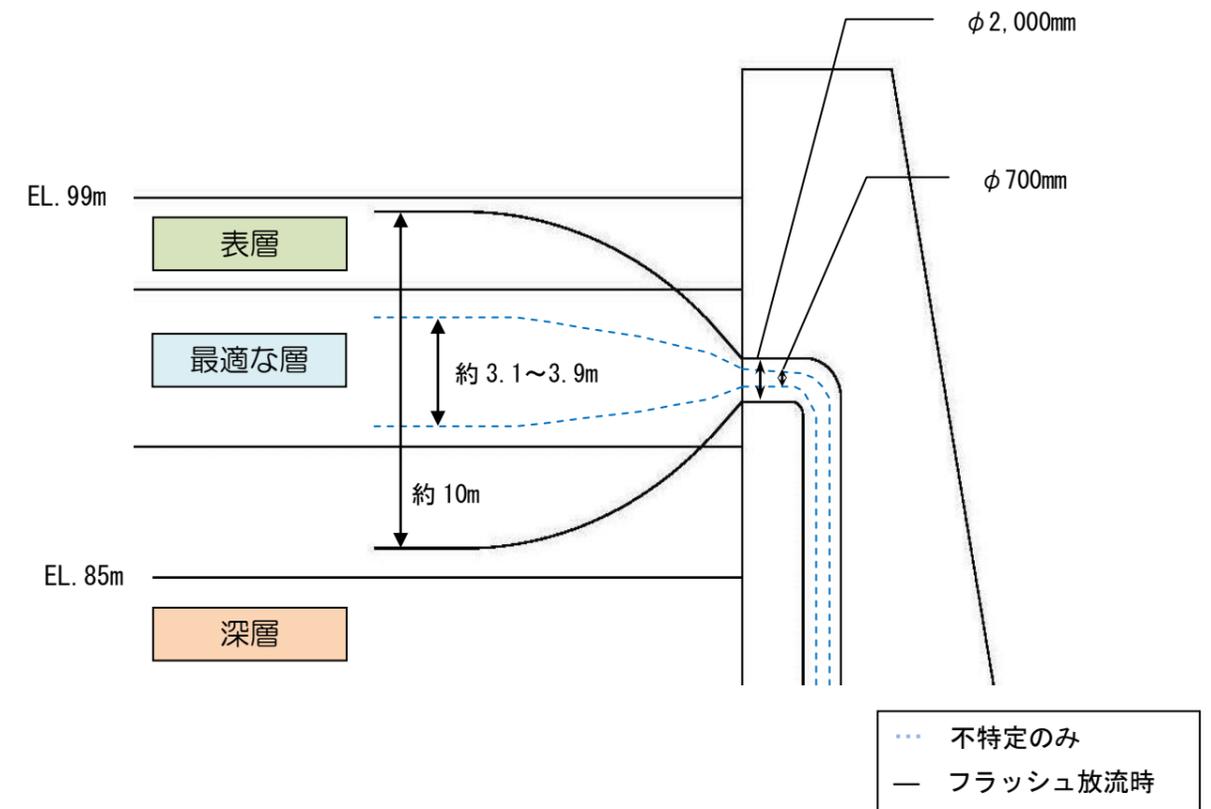
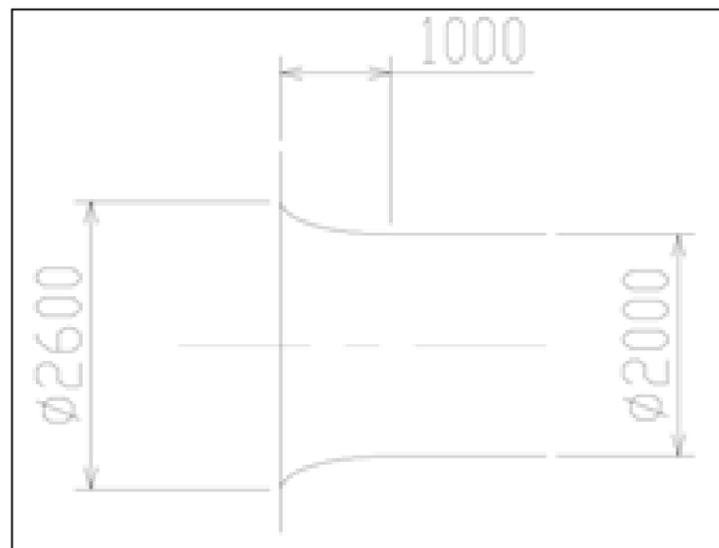


図1 取水する層厚のイメージ

2) 取水口の設置位置

・ 深層から取水すると「冷水放流」、「貧酸素水の放流」の可能性が大きくなるため、表層に近いEL85m~EL99mの間で、冷水放流のない範囲に取水口を設定する。

標高 (m)

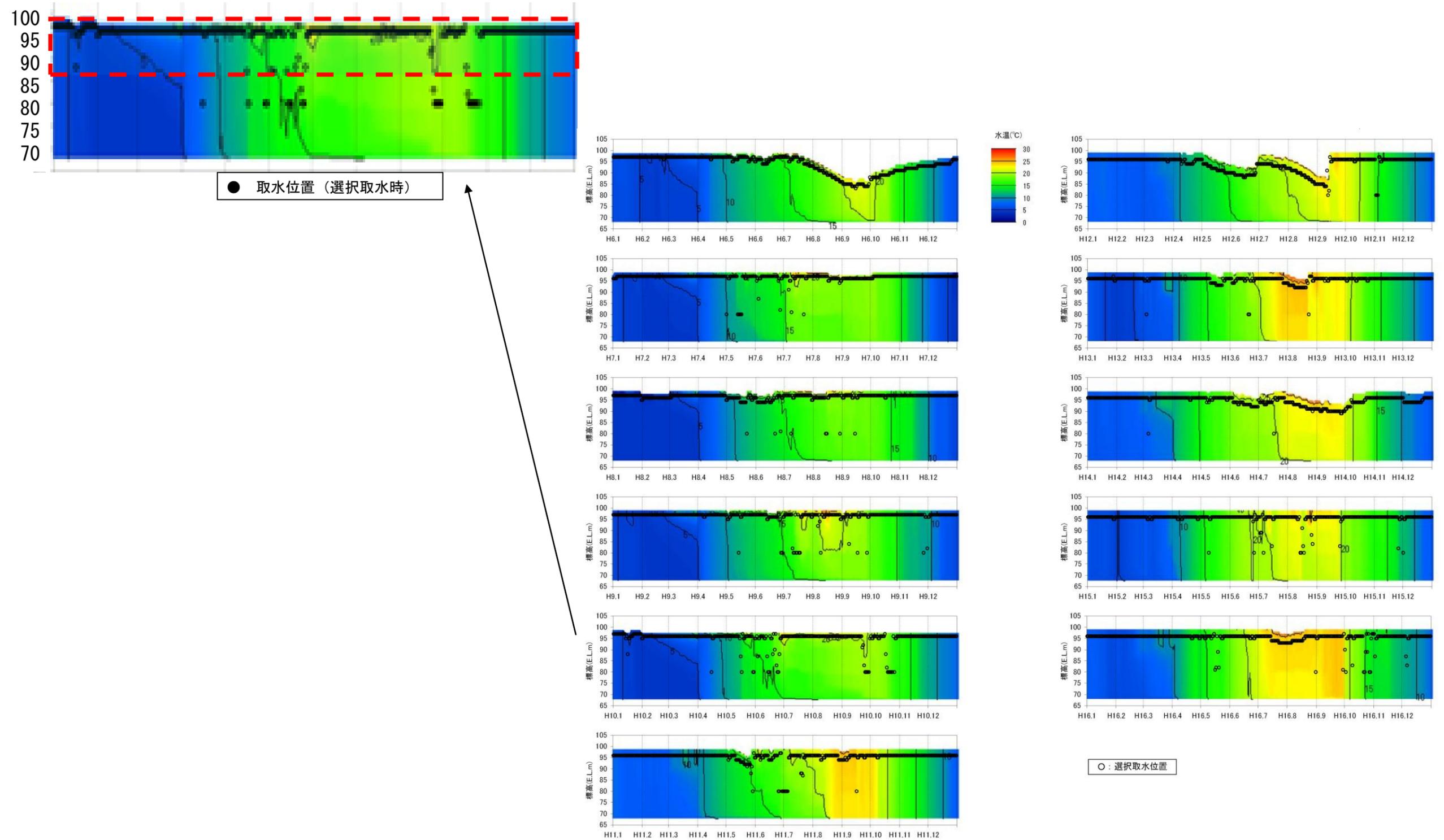


図2 貯水池内水温鉛直分布 (選択取水+フェンス+曝気)

## 5. フラッシュ放流の放流計画の策定に向けた論点

本章では、今後、具体的なフラッシュ放流計画を策定する上で必要となる検討項目について、現時点での検討状況を踏まえた論点について整理した。

主な検討項目は、放流継続時間・放流頻度・放流時期が考えられる。

※フラッシュ放流は、降雨状況、貯水池の水位等を総合的に判断し実施する。

※フラッシュ放流により、下流河川のアーマーコート化を促進させてしまう可能性があるため、モニタリングの実施とともに土砂還元の手法も検討しておく必要がある。

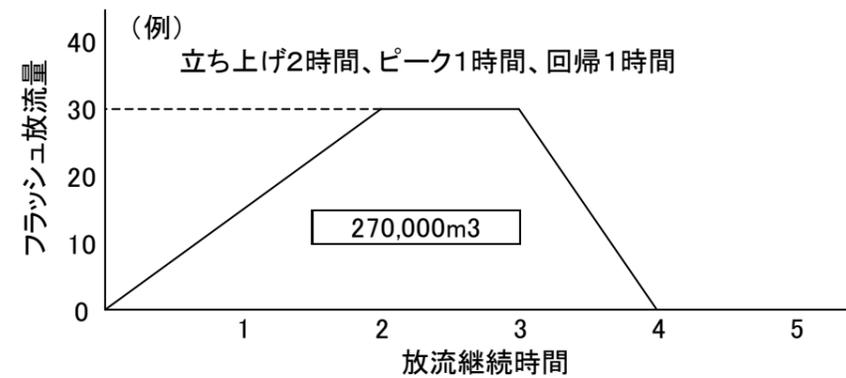
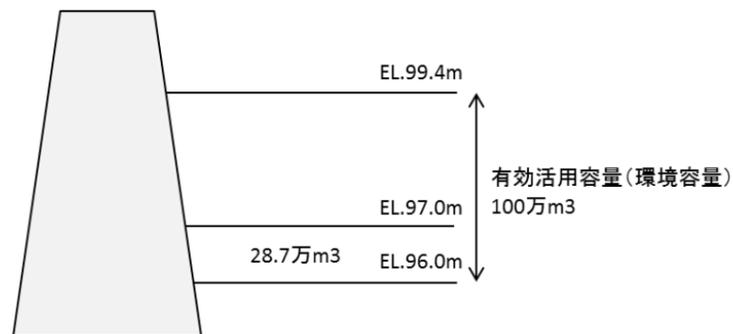
### 1) 放流継続時間

- 1 放流に使用できる容量から放流可能時間を検討
- 河川利用者の安全を確保するため急激な水上昇を発生させない（＝段波を発生させない）立ち上げ時間の検討

#### ■ フラッシュ放流 1 回当りの使用可能容量と放流頻度

環境改善容量はおおよそ EL. 96m～EL. 99.4m の 3.4m の範囲である。

ピーク放流時間を長く取るのか、放流頻度を多くとるかわりに放流時間を短くするのか、使用可能容量内で検討が必要となる。



段波とは、一定の流量で流れる水路などで、上流の堰を開放して水を放流すると、水面が段状の流れとなって下流に伝わること。

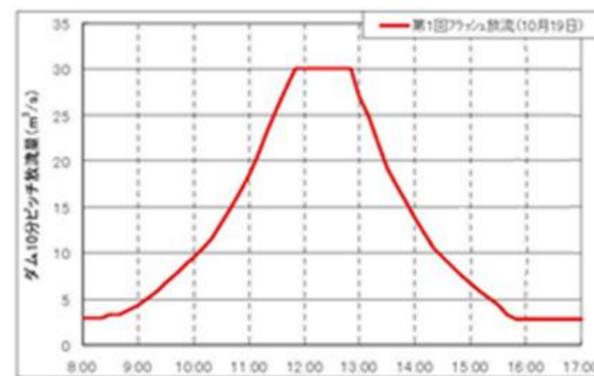
水量が少ないほど発生しやすいことが実験等で明らかとなっている。

#### ■ 段波を発生させない立ち上げ時間の検討

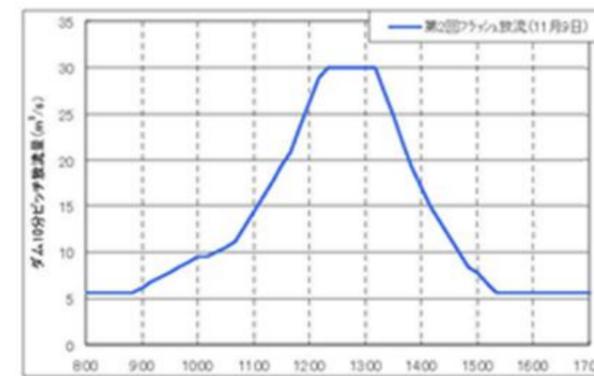
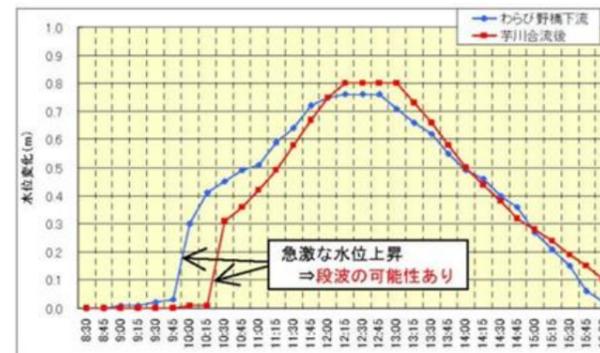
三国川ダムではピーク流量 30m³/s、立ち上げ時間 200 分で放流を行った際、段波とみられる急激な水位上昇が観測された。

段波は水量が少ないほど発生しやすいとされており、三国川ダムの事例でもフラッシュ放流前の流量が多い場合には、ピーク流量、立ち上げ時間が同じでも段波は発生しなかった。

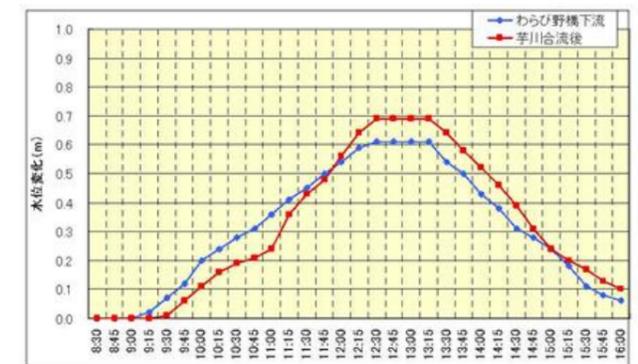
また、ダム下流の水位変動の許容限度は 30 分で 30cm であることも考慮する必要がある。



フラッシュ放流前の流量が 2.3m³/s の時は段波が発生



フラッシュ放流前の流量が 5.6m³/s の時は段波は発生しなかった



2) 放流頻度

- 付着藻類の回復速度を考慮した頻度の検討
- ダム建設前の出水頻度を再現する頻度の検討

■付着藻類の回復速度

一般的に付着藻類は2～3週間で回復すると言われている。

11月9日と11月16日に桑原橋上流で行った回復速度の目視調査において、1週間でも5割程度は回復していることが確認された。



■ダム建設前後の出水頻度

(月別：2000年～2008年)

流量	発生頻度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1m <sup>3</sup> /sより大きく5m <sup>3</sup> /s以下	ダム無し	11	13	12	9	12	14	9	12	13	13	12	5
	ダム有り	7	8	14	6	14	13	8	4	8	14	8	6
	差	-4	-5	2	-3	2	-1	-1	-8	-5	1	-4	1
5m <sup>3</sup> /sより大きく約10m <sup>3</sup> /s以下	ダム無し	4	2	9	5	6	5	7	8	6	9	3	3
	ダム有り	1	0	6	6	3	2	3	0	1	3	0	0
	差	-3	-2	-3	1	-3	-3	-4	-8	-5	-6	-3	-3
10m <sup>3</sup> /sより大きく20m <sup>3</sup> /s以下	ダム無し	2	1	8	3	6	9	6	0	2	1	1	2
	ダム有り	1	0	1	4	3	2	1	2	2	2	1	1
	差	-1	-1	-7	1	-3	-7	-5	2	0	1	0	-1
20m <sup>3</sup> /sより大きく30m <sup>3</sup> /s以下	ダム無し	0	0	0	2	6	1	2	2	0	1	1	0
	ダム有り	0	0	0	0	1	1	2	0	2	0	0	1
	差	0	0	0	-2	-5	0	0	-2	2	-1	-1	1
30m <sup>3</sup> /sより大きく40m <sup>3</sup> /s以下	ダム無し	0	0	0	1	2	1	1	0	2	2	0	0
	ダム有り	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	0	0
	差	0	0	0	-1	-1	0	0	2	-2	-1	0	0
40m <sup>3</sup> /sより大きい	ダム無し	0	0	0	1	2	2	3	3	2	1	1	1
	ダム有り	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
	差	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-3	-2	0	0	-1

注：正常流量の最大が1m<sup>3</sup>/sであるため、この値より大きい流量のものを対象とした。

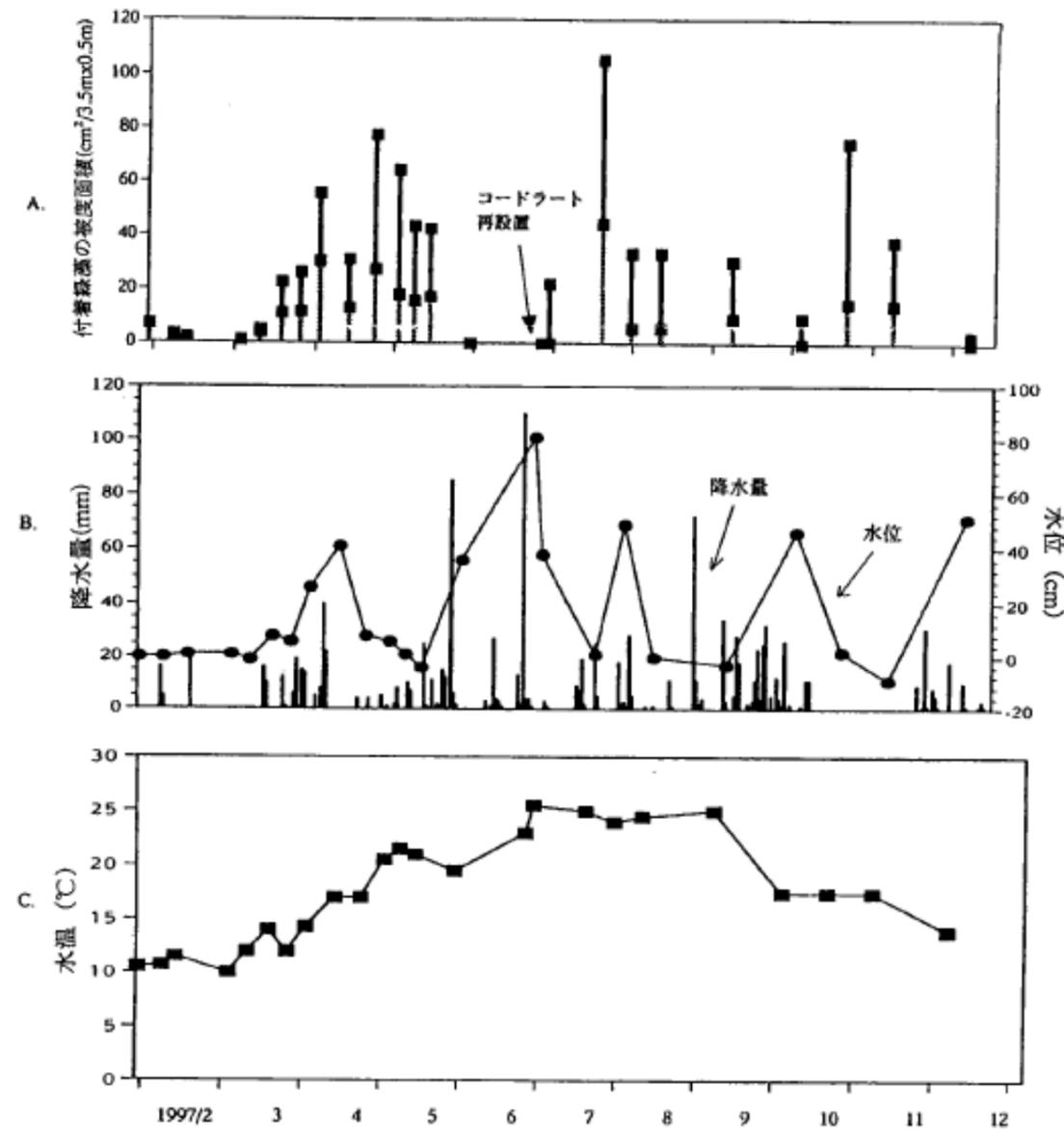
## 3) 放流時期

## ● 付着藻類の生活史から効果的な放流時期を検討

## ■ 付着藻類の生活史

多摩川における藻類季節変化の事例では、糸状藻類の一種であるカワシオグサ (*Gladophora glomerata* (クラドフォラ グロメラータ)) の生育量は5~7月及び10月にピークが認められ、高温となる8月には減少が認められた。本種は春や秋に遊走子を形成することが知られている。一方、12~3月にかけては糸状藻類がほとんど存在しなかった。

このことから、糸状藻類の除去を目的とした放流を行う場合は、糸状藻類の生育がピークに達する前で、遊走子を出し始める時期にフラッシュ放流を行うと効果があるものと推察される。



多摩川における糸状藻類生育量の変化

# 参 考 資 料

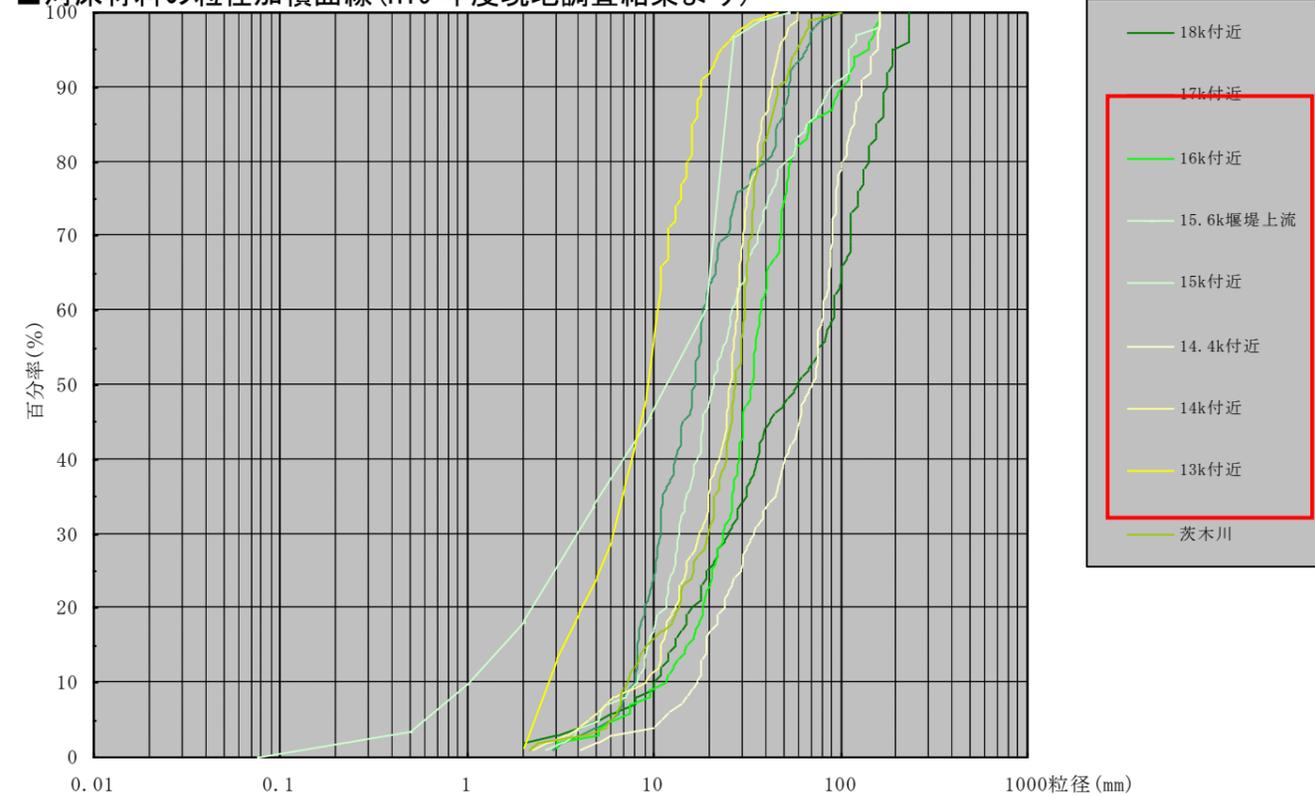
1) その他検討項目 (土砂還元)

■安威川ダム下流における河床材料の変化

安威川ダム下流における河床材料の変化を、ダム建設により土砂供給の変化の影響を受けると考えられる茨木川合流点からダムサイト区間について整理した。

- 安威川ダムサイト～茨木川合流点までの粒度分布は、15.6k 付近の堰堤上流部や 13k 付近で 10mm 以下の砂礫が多くなっているほかは、10mm 以上の砂礫の割合が多くなっていた。
- ダム建設後の年最大流量の平均相当 (50m<sup>3</sup>/s) では、17k 付近では 101.12mm (100% 粒径) 以下の粒径、16k 付近では 39.44mm (64% 粒径) 以下の粒径、15.6k 付近では 13.19mm (55% 粒径) 以下の粒径、15k 付近では 6.56mm (8% 粒径) 以下の粒径、14.4k 付近では 45.07mm (42% 粒径) 以下の粒径、14k 付近では 38.37mm (95% 粒径) 以下の粒径、13k 付近では 49.49mm (100% 粒径) 以下の粒径が動く と予測される。
- アーマーコート粒径は、一般的に 85% から 90% といわれており、安威川ダム下流部における 90% 粒径は、20～200mm であった。
- 17k 付近と 14k 付近、13k 付近では移動限界粒径がアーマーコート粒径である 90% 粒径より大きく、これらの地点付近ではアーマーコート化が予測される。

■河床材料の粒径加積曲線 (H19 年度現地調査結果より)



■安威川ダム建設前後の年最大流量の変化 (m<sup>3</sup>/s)

検討時点	項目	ダム建設前	ダム建設後
安威川ダム～ 茨木川合流点	年最大流量の最大値	434	141
	平均年最大流量	116	47

※第 14 回環境保全対策検討委員会資料より

■各地点における移動限界粒径

(ダム建設後の年最大流量の平均相当 (50m<sup>3</sup>/s))

距離	移動限界粒径	粒径百分率
17k 付近	101.12 mm	100%
16k 付近	39.44 mm	64%
15.6k 付近	13.19 mm	55%
15k 付近	6.56 mm	8%
14.4k 付近	45.07 mm	42%
14k 付近	38.37 mm	95%
13k 付近	49.49 mm	100%

■各地点における平均粒径とアーマーコート粒径

距離	平均粒径 (D60)	アーマーコート粒径 (D90)
17k 付近	約 19mm	約 51mm
16k 付近	約 39mm	約 100mm
15.6k 付近	約 28mm	約 23mm
15k 付近	約 19mm	約 90mm
14.4k 付近	約 80mm	約 110mm
14k 付近	約 29mm	約 41mm
13k 付近	約 10mm	約 18mm

移動限界粒径は、不等流計算による摩擦速度と移動可能粒径の関係 (岩垣式) からみたもの。

※岩垣の式

$$d_m \geq 0.303cm ; u_{*c}^2 = 80.9d_m$$

$$0.118 \leq d_m \leq 0.303 ; u_{*c}^2 = 134.6d_m^{3/22}$$

$$0.0565 \leq d_m \leq 0.118 ; u_{*c}^2 = 55.0d_m$$

$$0.0065 \leq d_m \leq 0.0565 ; u_{*c}^2 = 8.41d_m^{11/32}$$

$$d_m \leq 0.0065 ; u_{*c}^2 = 226d_m$$

$d_m$  : 平均粒径

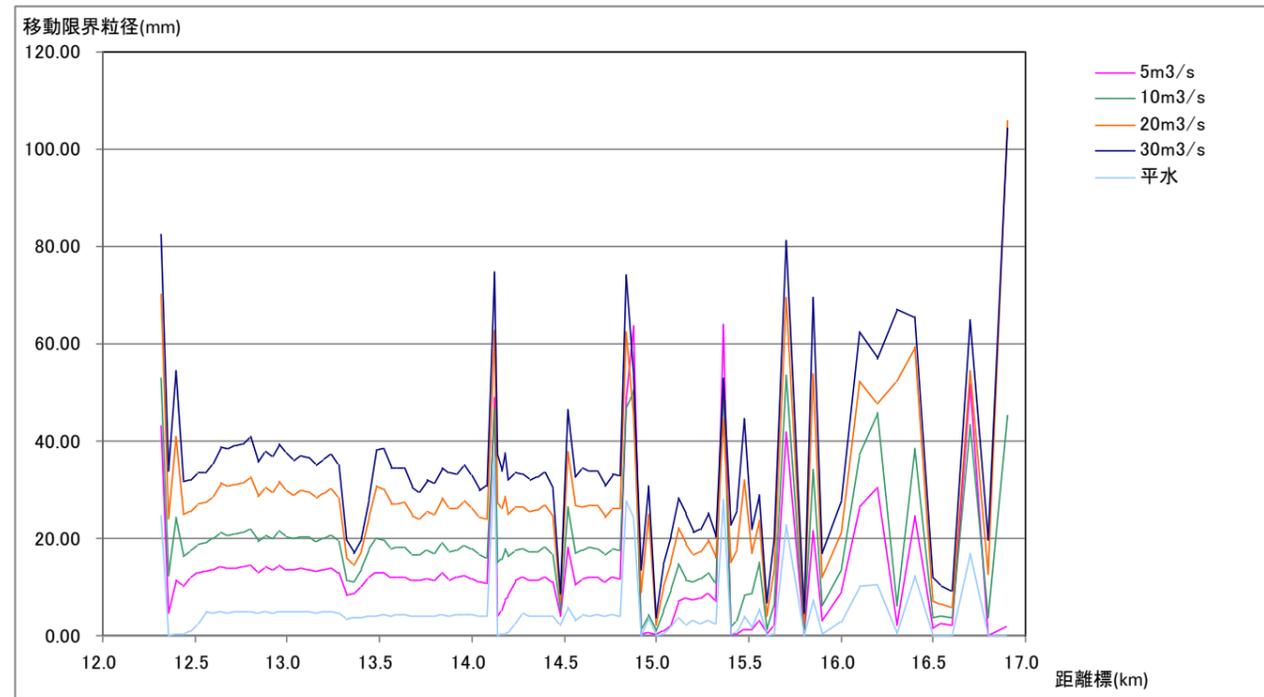
$u_{*c}$  : 限界摩擦速度

■各地点におけるフラッシュ放流による河床材料の移動

安威川ダム下流の各地点におけるフラッシュ放流(主な放流量)による河床材料の移動限界粒径を整理した。  
 移動限界粒径の算出は、不等流計算による摩擦速度と移動可能粒径の関係(岩垣式)から行った。  
 百分率は、算出した移動限界粒径を③の河床材料の粒径加積曲線にプロットして得られた値である。

- ダム下流域における移動限界粒径は、平水時で 0.10~4.85mm(0.0~22.5%粒径)、5m<sup>3</sup>/s で 0.15~13.67mm(0.0~76.0%粒径)、10m<sup>3</sup>/s で 0.79~45.46mm(0.0~92.0%粒径)、20m<sup>3</sup>/s で 2.08~106.16mm(0.0~100.0%粒径)、30m<sup>3</sup>/s で 3.54~104.53mm(2.5~100.0%粒径)であった。
- 17k 付近及び 13k 付近では、10m<sup>3</sup>/s の流量でアーマーコート粒径である 90%粒径程度以下の砂礫が移動し、20m<sup>3</sup>/s 以上でほぼ全ての河床材料が移動する。  
 →これらの地点では、10m<sup>3</sup>/s 以上の流量でアーマーコート化が予測される。
- 15k 付近では、20m<sup>3</sup>/s までのいずれの流量でも河床材料は移動せず、30m<sup>3</sup>/s で 2.5%粒径以下の砂礫が移動する。
- 14.4k 付近、14k 付近、13k 付近については、百分率は場所により異なるが、移動限界粒径は、平水時では 4.2mm 程度、5m<sup>3</sup>/s で 12mm 前後、10m<sup>3</sup>/s で 18.5mm 前後、20m<sup>3</sup>/s で 28mm 前後、30m<sup>3</sup>/s で 35mm 前後とほぼ同様な粒径であった。

■ダム下流区間における移動限界粒径の縦断分布



移動限界粒径と粒径百分率の関係は、その地点の河床材料中に移動限界粒径以下の粒径が含まれる割合である。

■各地点、各放流量における移動限界粒径と粒径百分率の関係

距離	5m <sup>3</sup> /s		10m <sup>3</sup> /s		20m <sup>3</sup> /s		30m <sup>3</sup> /s		平水(0.9m <sup>3</sup> /s)	
	移動限界粒径	百分率	移動限界粒径	百分率	移動限界粒径	百分率	移動限界粒径	百分率	移動限界粒径	百分率
17k 付近	1.74 mm	0.0%	45.46 mm	85.0%	106.16 mm	100.0%	104.53 mm	100.0%	0.10 mm	0.0%
16k 付近	9.19 mm	9.0%	13.97 mm	13.5%	21.63 mm	38.0%	28.06 mm	40.0%	2.66 mm	2.0%
15.6k 付近	0.38 mm	2.5%	1.38 mm	5.0%	3.92 mm	30.0%	6.76 mm	42.0%	0.02 mm	0.0%
15k 付近	0.15 mm	0.0%	0.79 mm	0.0%	2.08 mm	0.0%	3.54 mm	2.5%	0.01 mm	0.0%
14.4k 付近	12.05 mm	7.5%	18.00 mm	10.0%	26.75 mm	23.5%	33.64 mm	31.5%	4.15 mm	2.0%
14k 付近	11.83 mm	20.0%	17.72 mm	28.0%	26.27 mm	48.0%	32.86 mm	78.0%	4.18 mm	3.0%
13k 付近	13.67 mm	76.0%	20.34 mm	92.0%	29.99 mm	97.0%	37.60 mm	100.0%	4.85 mm	22.5%