

大阪府河川周辺地域の環境保全等審議会
第8回 安威川ダム環境改善放流検討部会
貯水池の水質予測及び水質保全方策について

令和元年9月2日(月)

大 阪 府

■本日の部会での審議内容

最新のデータをもとに水質予測計算を実施し、これまで検討した水質保全方策の効果を検証し必要な見直しを実施



今回審議事項	具体的な内容
○水質予測条件の更新および更新した条件における貯水池の水質予測結果について	○貯水池の水質予測条件の更新について ○更新した条件における貯水池水質予測結果 (case0) ○選択取水設備、深層曝気、浅層曝気による貯水池水質予測結果 (case1) ○今後の水質予測ケース案について

■目 次

1. 貯水池水質予測の見直し.....	1
1.1. 安威川ダムの予測条件.....	1
1.2. 対策の目安となる水質、水温の設定.....	10
1.3. 水質保全方策案.....	11
1.4. 水質予測の見直し結果.....	12
1.5. 予測結果の評価.....	22
2. 今後の水質予測検討ケース（水質保全方策）.....	23
3. 参考資料：貯水池内水質シミュレーションモデル式.....	24
3.1. 流動に関する基礎式.....	24
3.2. 生態系モデルの基礎式.....	25

1. 貯水池水質予測の見直し

1.1. 安威川ダムの子測条件

●貯水池内の地形条件の変更及び流入水質等の更新を行うために、貯水池水質予測の見直しを行った。

表 1-1 安威川ダムの水質予測条件

	安威川ダムの予測条件	考え方
流量条件	<ul style="list-style-type: none"> 平成7年～平成16年の10年間とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 水質予測にあたっては、さまざまな条件下で水温や水質の変化を評価するため、10ヵ年程度の長期的な予測を行う。 10年間の流量条件は、流量が比較的大きい年（平成11年等）から小さい年（平成12年、14年等）まで幅広く含んでいる。
貯水池形状	<ul style="list-style-type: none"> 貯水池内を水深方向及び流下方向（上下流方向）に分割した鉛直二次元メッシュを用いる。 貯水池の形状は平成28年の測量データを用いた。 	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向に比べて流下方向が長い形状を持ち、また鉛直方向に水質・水温変化が想定されることから、貯水池内を流下方向（100m間隔）および鉛直方向（深さ方向）（1m間隔）に分割し、鉛直二次元モデルで表現する。
放流条件	<ul style="list-style-type: none"> 不特定利水分を選択取水設備（取水範囲 EL.85.0m～EL.99.4m）より放流し、余剰分を洪水吐（EL.99.4m）より越流放流する。 選択取水設備の最大放流量は 1.088m³/s。 フラッシュ放流は、全量、専用管（EL.85.0m）にて放流する。 	<ul style="list-style-type: none"> 放流水のSS、水温、水質予測結果は、各取水・放流設備に対応する放流水質を、取水・放流量に応じて加重平均して算出する。
流入水質	<ul style="list-style-type: none"> 平常時および出水時の水質調査に基づき、流量と負荷量の関係式（LQ式）により与える。平成6年～平成31年3月までのデータを用いる。 平成6年～平成31年3月までのデータを使用。ただし、窒素、リンは形態別にLQ式を作成するため、形態別の実測データのある平成18年4月～平成31年3月とする。 さらに、ダム上流域での開発として、新名神高速（8.8ha）およびあさご谷（4.5ha）の路面からの負荷量を見込む。 	<ul style="list-style-type: none"> LQ式はデータ数が重要であること、および、水質レベルの大きな経年変化はみられないことから、平成6年～平成31年3月までのデータを用いる。 LQ式は、平常時、出水時を通して1本の相関式で表現する。 LQ式で得られる負荷量に、新名神高速およびあさご谷の路面からの排水負荷量として、COD、TN、TPの原単位から得た負荷量を加えた。
流入濁水の粒度分布	<ul style="list-style-type: none"> 安威川ダムの出水時の濁水中の粒度分布データに基づき、流量により変化する粒径別割合を5段階に区分して考慮する。調査を実施した平成18年以降の結果を使用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 平成18年以降の出水時の採水試料による濁水中の粒度分布（沈降筒による沈降試験から算出）を採水時の流量と関係づけて、流量により変化する粒径別割合を考慮した。 貯水池内における濁質は、粒径毎にStokesの式により沈降するものとする（ただし、Stokes式は濁質を球形と仮定したものであるため、再現計算を通じて沈降速度等を調整している（第7回環境改善放流部会（H28.12.26）））。
流入水温	<ul style="list-style-type: none"> 大阪管区気象台の3日平均気温（高槻市役所観測データにより補正）と平常時の流入水温の関係式を作成し、これをもとに与える。 関係式作成にあたり、大岩川は現状の河道となった平成28年度以降のデータのみを使用した。 	<ul style="list-style-type: none"> 流入水温は、当日を含めた前3日間の平均気温と関連性が高いと考え、これらの関係式とした。
気象条件	<ul style="list-style-type: none"> 大阪管区気象台データに基づき、気温、風速、湿度、日射量、雲量を与える。気温は近傍の高槻市役所観測データにより補正を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 予測に必要な項目が揃っている地点として大阪管区気象台データを基本とした。
水質保全対策	<ul style="list-style-type: none"> 水質予測計算の結果に応じて、選択取水設備の運用検討、濁水防止フェンス、浅層曝気装置、深層曝気装置の設置・運用検討を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 選択取水設備、濁水防止フェンス、浅層曝気、深層曝気は鉛直二次元モデルでその効果を定量的に予測可能である。

※赤字が見直しを行った条件

- 放流条件は、不特定利水分を選択取水設備（取水範囲 EL.85.0m～EL.99.4m）より放流し、余剰分を洪水吐（EL.99.4m）より越流放流するものとした。
- 選択取水設備の最大放流量は 1.088m³/s であり、フラッシュ放流は、全量、専用管（EL.85.0m）にて放流する。

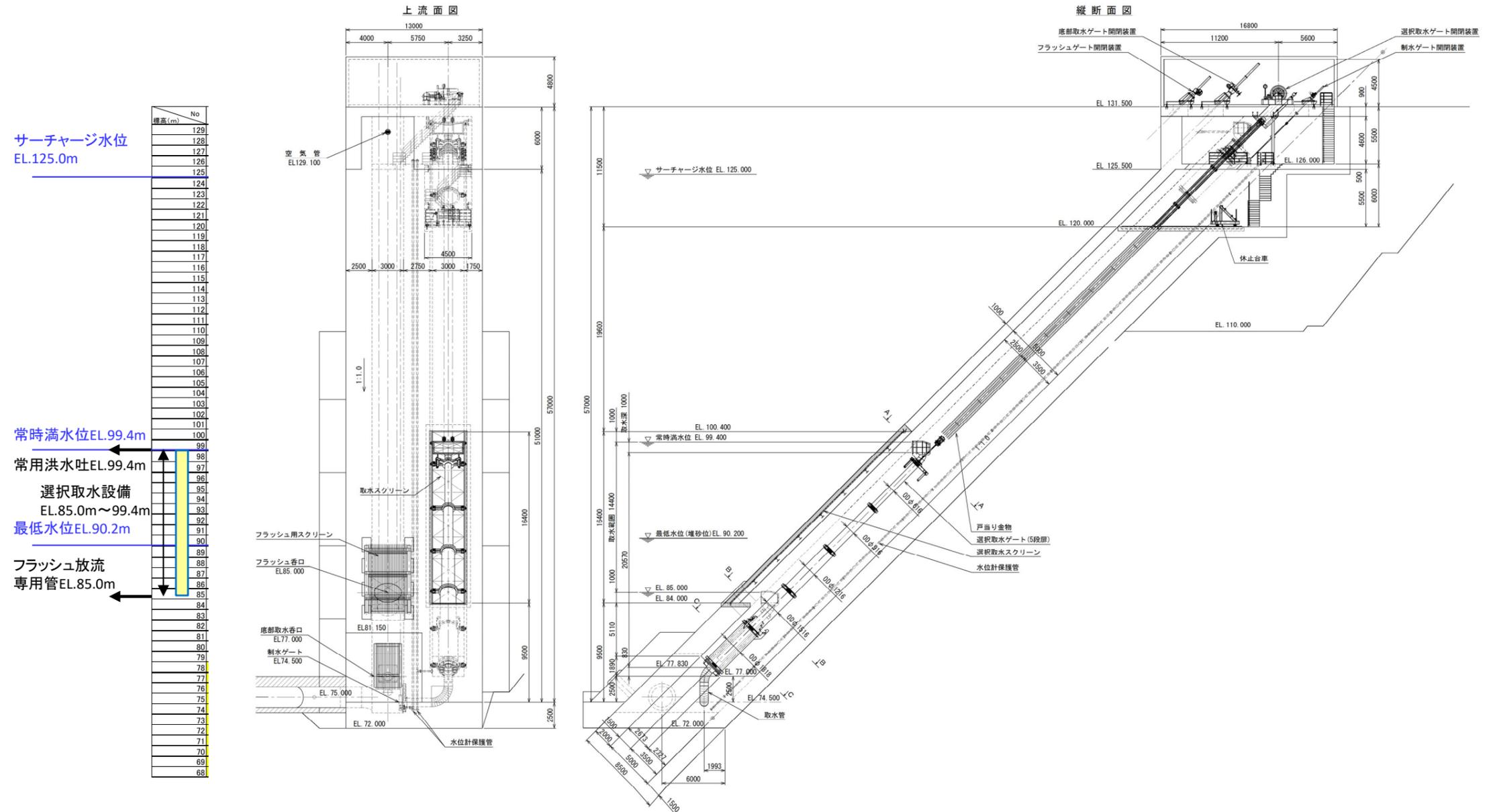


図 1-1 安威川ダム予測計算における放流設備の位置

- 貯水池内を水深方向（1m 間隔）及び流下方向（上下流方向）（100m 間隔）に分割した鉛直二次元モデルで貯水池内形状を表した。
- なお、前回からの地形条件の変更は、ダム直上 200m 区間である。

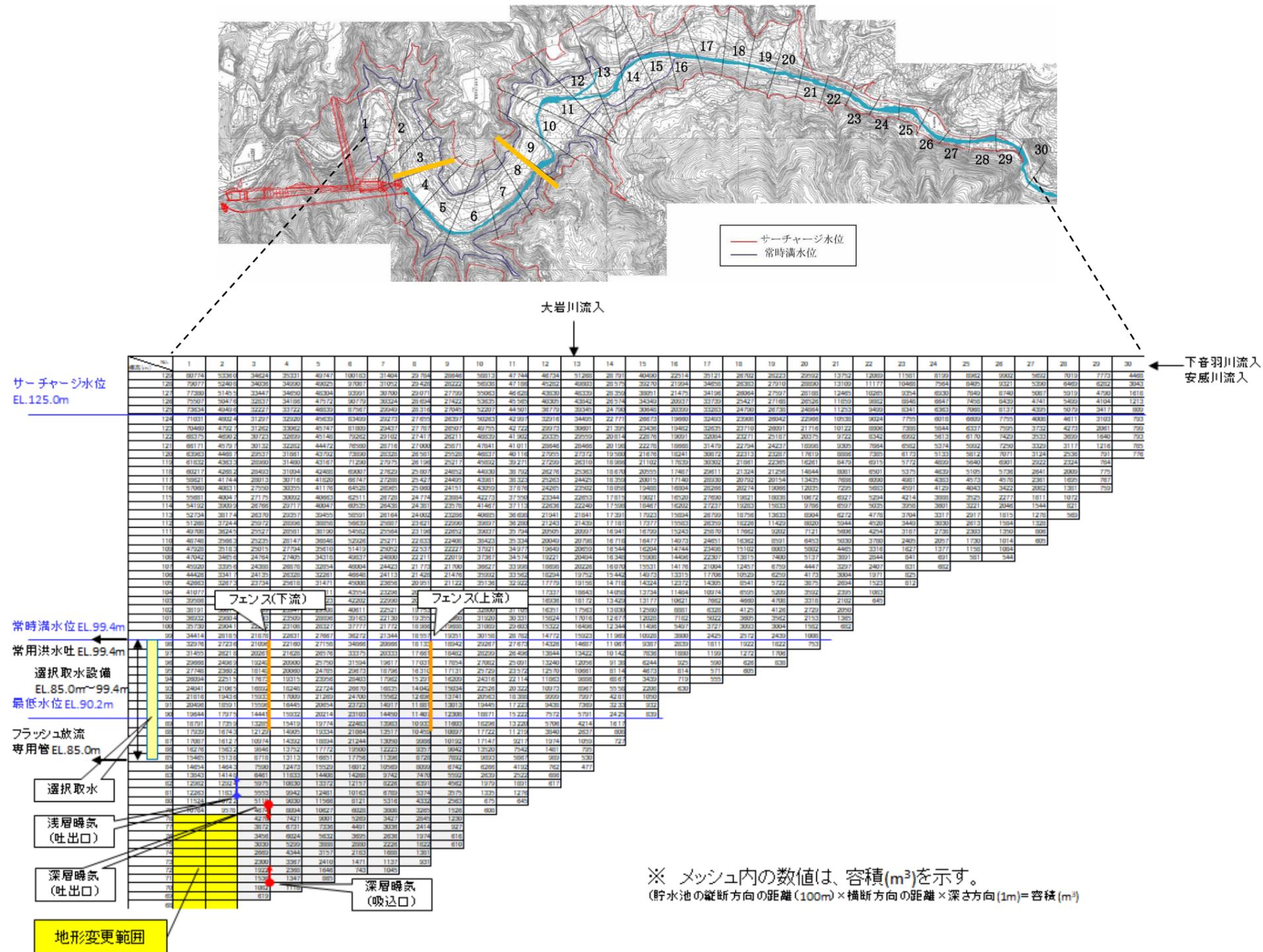


図 1-2 安威川ダム予測計算における鉛直二次元メッシュと水質保全施設(案)の位置

「本鉛直二次元モデルで使用する、貯水池内水質シミュレーションモデル式については p.4-24 の参考資料を参照」

- 水質予測にあたっては、さまざまな条件下で水温や水質の変化を評価するため、10カ年程度の長期的な予測を行った。
- 安威川ダムにおいて利水計算を実施している昭和60年～平成22年における流況に、直近の流況を整理した結果、流量が比較的大きい年（平成11年等）から小さい年（平成12年、14年等）まで幅広く含む期間として、平成7年～平成16年の10年間を予測対象期間として選定した。

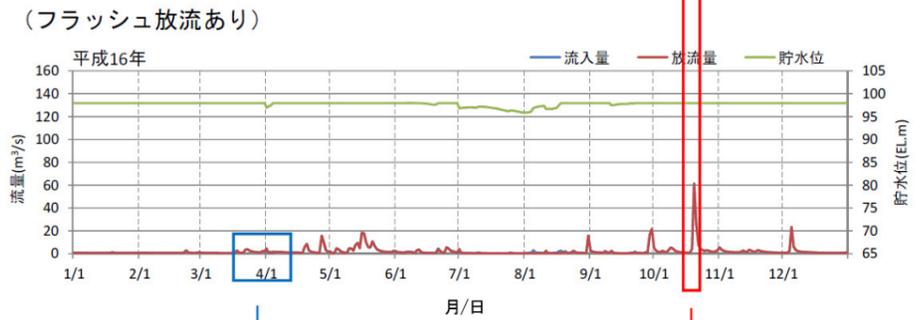
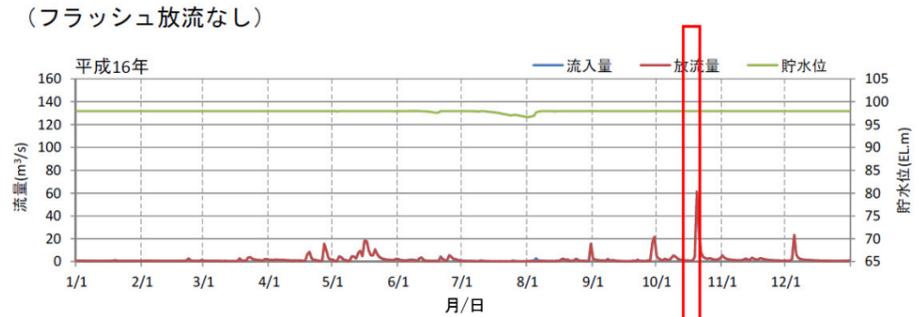
表 1-2 安威川ダム 予測対象年の選定

年	最大流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最小流量	年平均流量							
S60	13	40.64	10	1.67	14	0.82	16	0.49	15	0.27	10	0.27	12	1.90
S61	4	84.69	15	1.50	24	0.51	25	0.31	10	0.31	7	0.31	16	1.71
S62	24	16.52	19	1.34	18	0.78	13	0.56	12	0.28	16	0.19	20	1.46
S63	11	44.36	28	0.69	29	0.32	29	0.20	24	0.16	18	0.16	23	1.28
H1	10	52.06	4	2.27	3	1.24	1	0.95	18	0.24	18	0.16	3	2.39
H2	22	18.73	8	1.75	9	0.99	9	0.61	24	0.16	24	0.11	13	1.89
H3	18	26.87	5	2.05	7	1.02	14	0.54	17	0.25	18	0.16	8	2.11
H4	21	20.28	11	1.56	13	0.83	8	0.63	4	0.51	1	0.44	19	1.50
H5	3	105.32	1	2.81	1	1.47	2	0.90	5	0.47	6	0.33	1	3.89
H6	27	10.17	23	1.01	20	0.66	17	0.45	22	0.18	22	0.12	27	0.85
H7	5	66.43	21	1.25	16	0.79	15	0.50	8	0.39	4	0.38	14	1.88
H8	23	17.32	17	1.40	14	0.82	18	0.43	18	0.24	12	0.24	21	1.32
H9	8	58.04	16	1.42	10	0.88	7	0.64	2	0.53	3	0.39	10	2.02
H10	6	65.03	2	2.43	2	1.36	3	0.88	1	0.54	9	0.28	2	2.92
H11	1	146.89	22	1.04	22	0.55	24	0.33	22	0.18	26	0.06	9	2.08
H12	12	42.50	24	0.86	21	0.56	21	0.40	27	0.13	25	0.08	24	1.07
H13	16	28.79	13	1.53	8	1.01	9	0.61	11	0.29	16	0.19	17	1.69
H14	28	8.38	27	0.72	27	0.39	26	0.30	20	0.21	26	0.06	28	0.82
H15	17	27.98	3	2.28	4	1.23	5	0.80	9	0.34	11	0.26	4	2.36
H16	7	61.48	7	1.85	6	1.05	6	0.71	7	0.42	7	0.31	7	2.16
H17	29	7.68	29	0.61	26	0.45	22	0.38	12	0.28	13	0.23	29	0.59
H18	9	53.78	20	1.32	23	0.54	28	0.26	24	0.16	18	0.16	15	1.74
H19	25	15.82	26	0.83	25	0.46	23	0.36	15	0.27	15	0.21	26	0.98
H20	26	11.89	18	1.35	12	0.84	12	0.58	6	0.46	5	0.36	22	1.31
H21	19	25.34	24	0.86	27	0.39	27	0.28	28	0.11	26	0.06	25	1.05
H22	15	34.82	9	1.69	16	0.79	18	0.43	12	0.28	13	0.23	11	1.91
H28(参考)	20	25.20	6	2.01	5	1.13	4	0.83	3	0.52	2	0.40	5	2.34
H29	14	36.83	14	1.53	11	0.84	11	0.60	21	0.21	23	0.11	18	1.63
H30	2	120.89	12	1.56	19	0.74	20	0.42	29	0.07	29	0.03	6	2.26
S60-H30最大		146.89		2.81		1.47		0.95		0.54		0.44		3.89
S60-H30最小		7.68		0.61		0.32		0.20		0.07		0.03		0.59
S60-H30平均		43.96		1.49		0.81		0.53		0.29		0.22		1.76

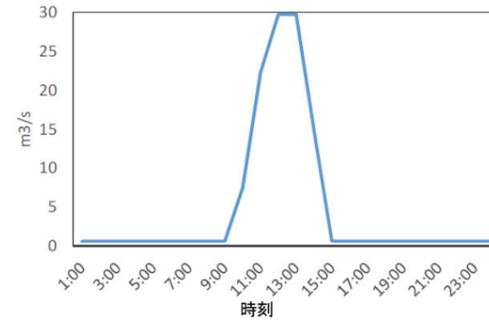
：S60～H30における上位1位～3位
 ：S60～H30における下位1位～3位
 H28は5/25～のため参考扱い。
 ：「安威川ダム 計画修正検討業務(その2) 報告書 平成23年3月」表9.2.2(1) より

【前回シミュレーションと同条件】

- 流入量および放流量は、利水計算における安威川ダムの日データを用いた。ただし、出水時（日流入量 20m³/s 以上とする）は時間データを作成した。
- 出水時の流入量は、利水計算値における日合計流入量を、桑原橋地点の時間流量観測データの変動率を用いて時間配分して作成した。
- 出水時の放流量は、不特定利水容量については一定放流とし、余剰分については桑原橋地点の時間流量観測データの変動率を用いて時間配分して作成した。
- フラッシュ放流の実施日は、フラッシュ放流計画を反映した利水計算結果に基づいた。
- フラッシュ放流時の時間放流量は、環境改善放流波形に基づき作成した。フラッシュ放流期間中の流量の割り振りは、フラッシュ放流時は、全量専用管 (EL.85.0m) とした。



フラッシュ放流時は時間データを与える
 (H16.4.1の放流量の例)



出水時は時間データを与える
 (H16.10.20～22の放流量の例)

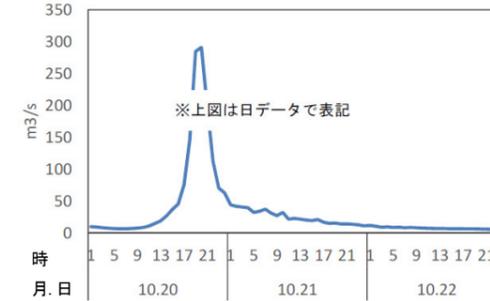
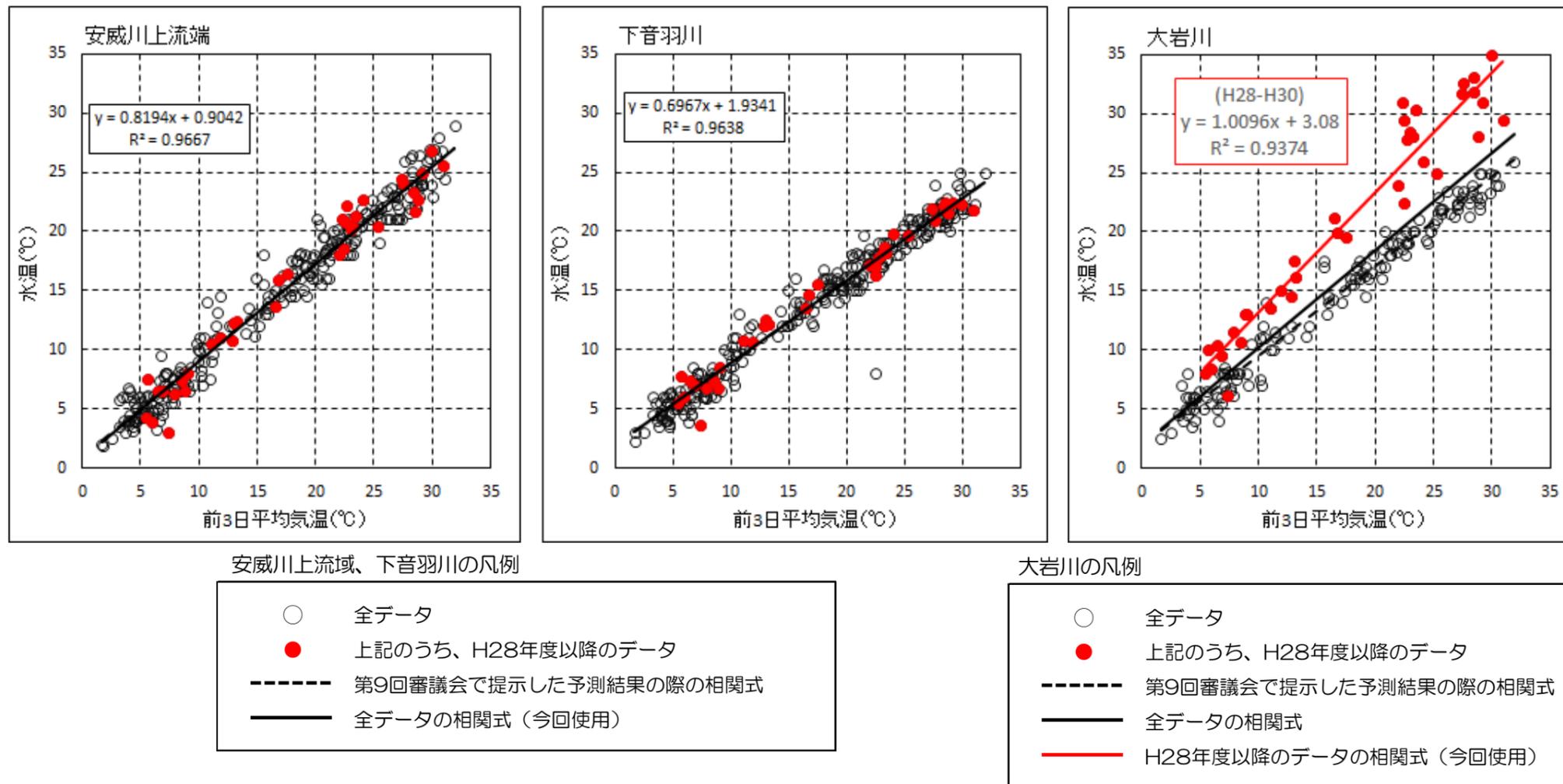


図 1-3 出水時およびフラッシュ放流時の時間データの作成（平成16年の例）

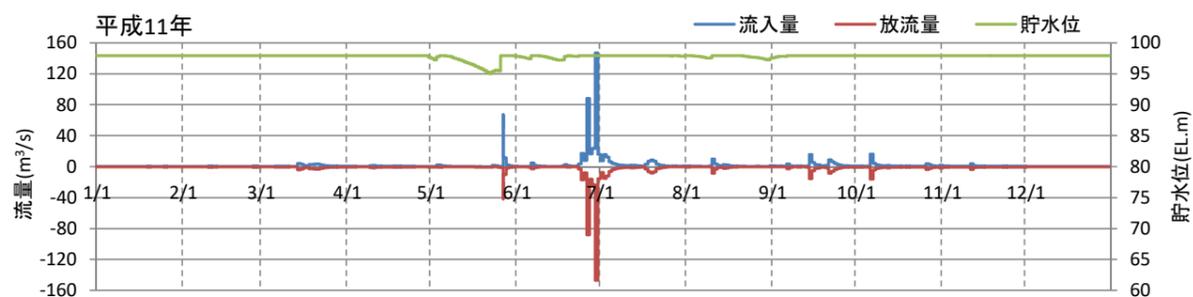
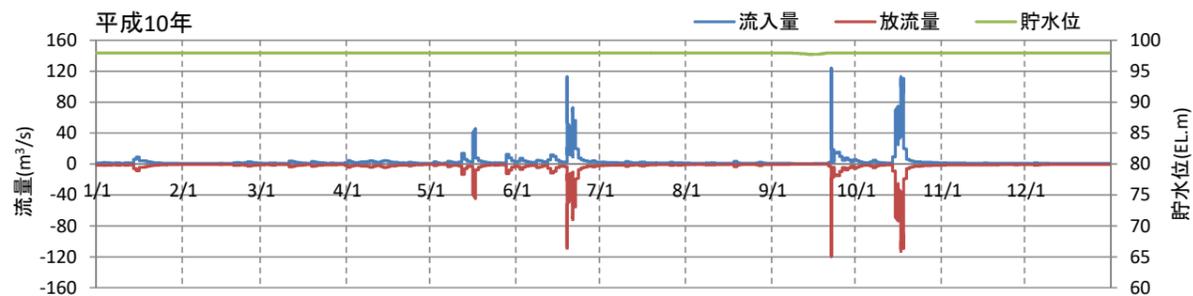
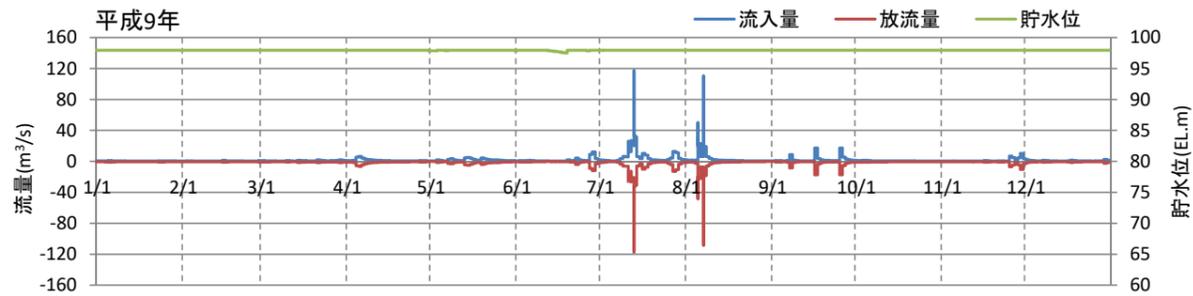
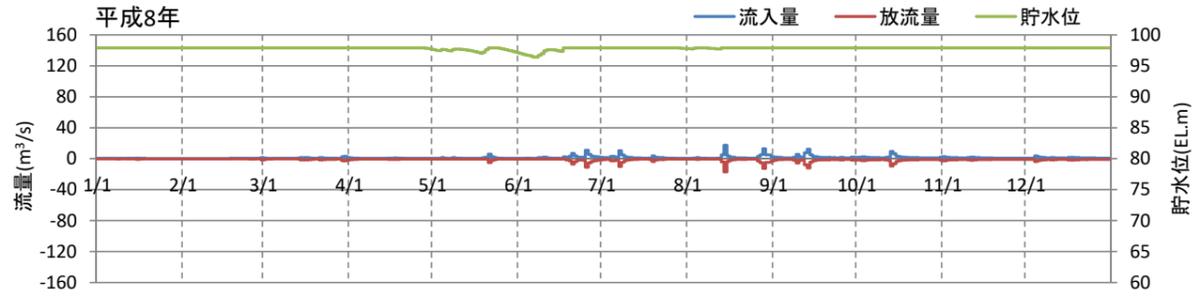
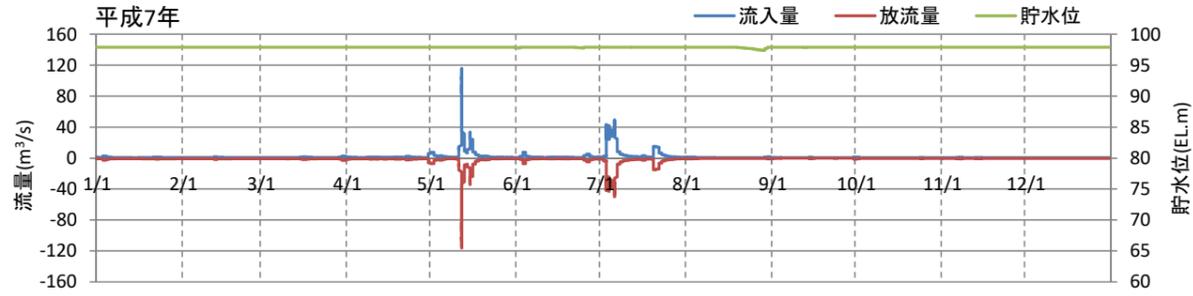
- 流入水温は、3日間平均気温とダム流入河川の観測水温との関係より設定し、流入河川別に与えた。
- ダム流入河川の観測水温は平成6年5月～平成31年3月の定期調査結果を使用した。大岩川は付替工事等により現在の河道状況となった平成28年度以降の観測水温と3日間平均気温との関係式が異なる傾向を示したことから、平成28年度以降のデータから設定した水温とした。



※平成28年度以降のデータを赤色で示している。

図 1-4 安威川ダム予測計算における流入水温算出式

(フラッシュなし)



(フラッシュあり)

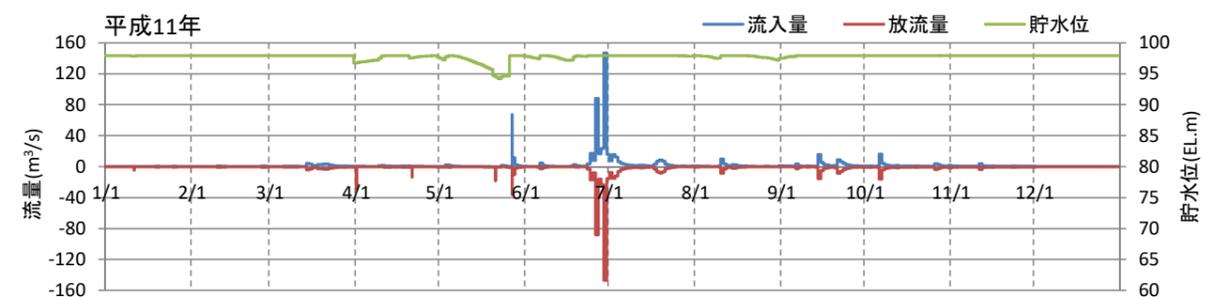
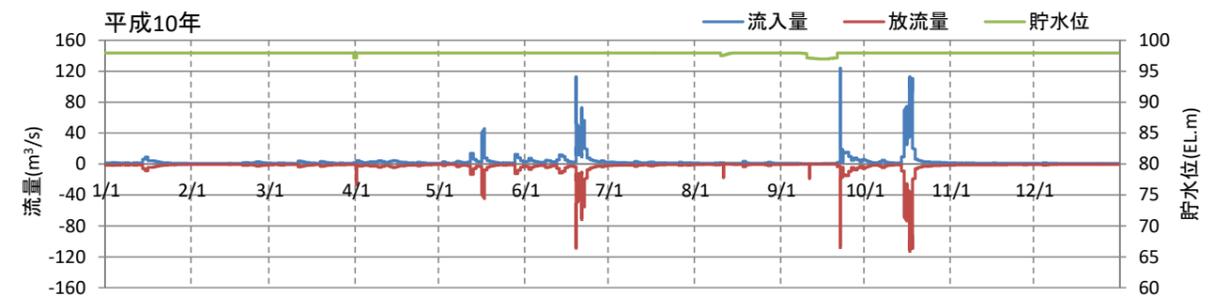
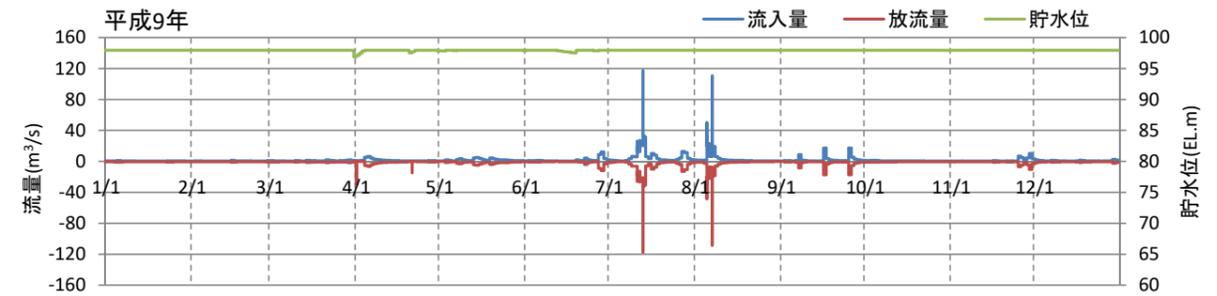
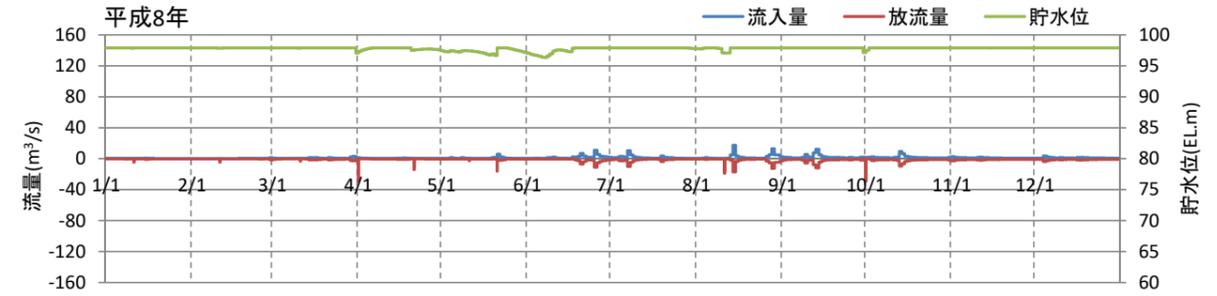
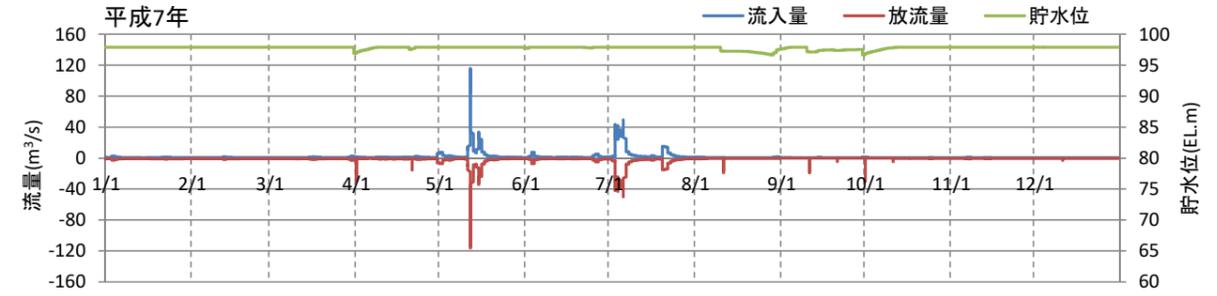


図 1-5(1) 安威川ダム利水計算結果による流入量・放流量・貯水位 (時間データ) (平成 7 年～平成 11 年)

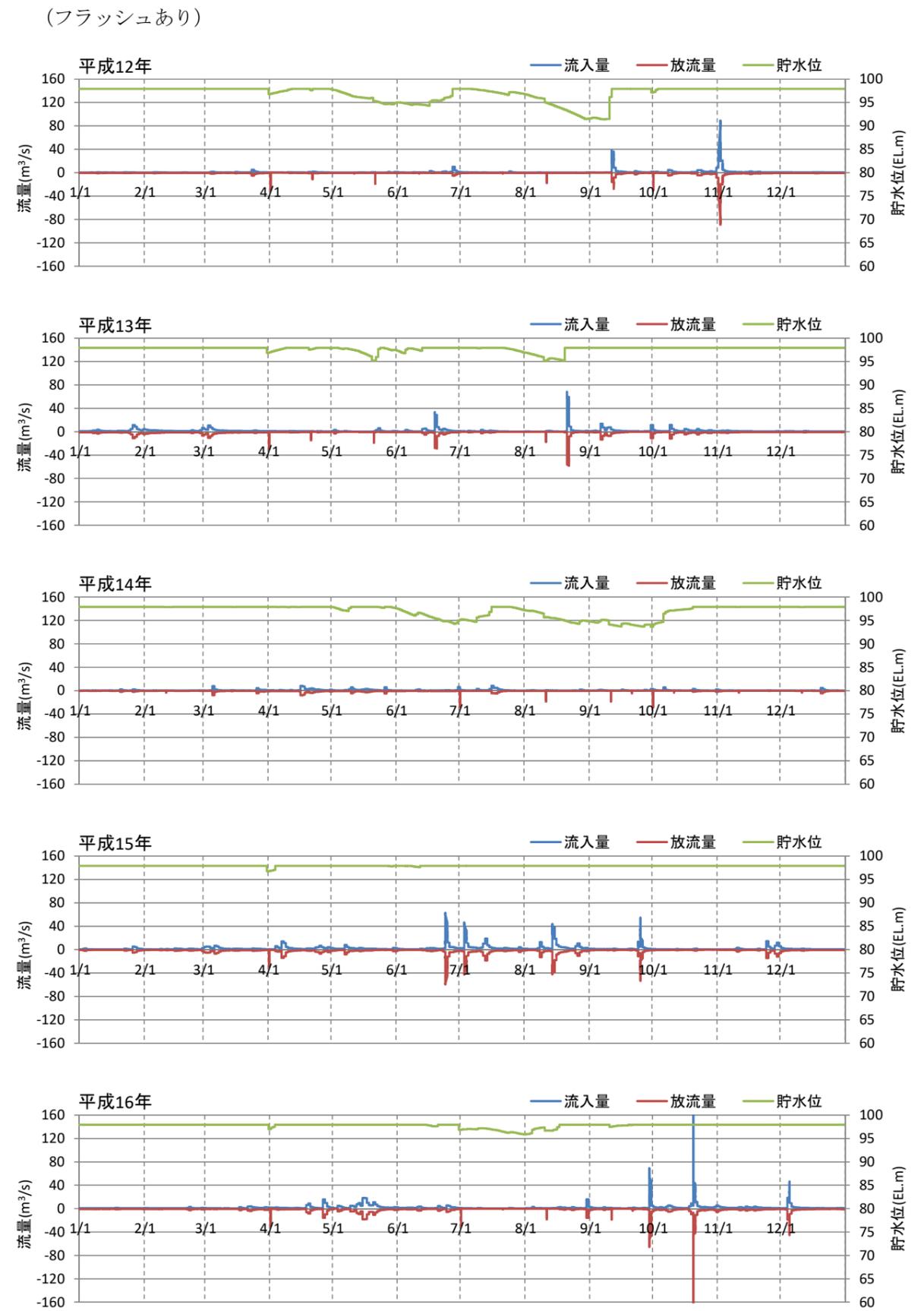
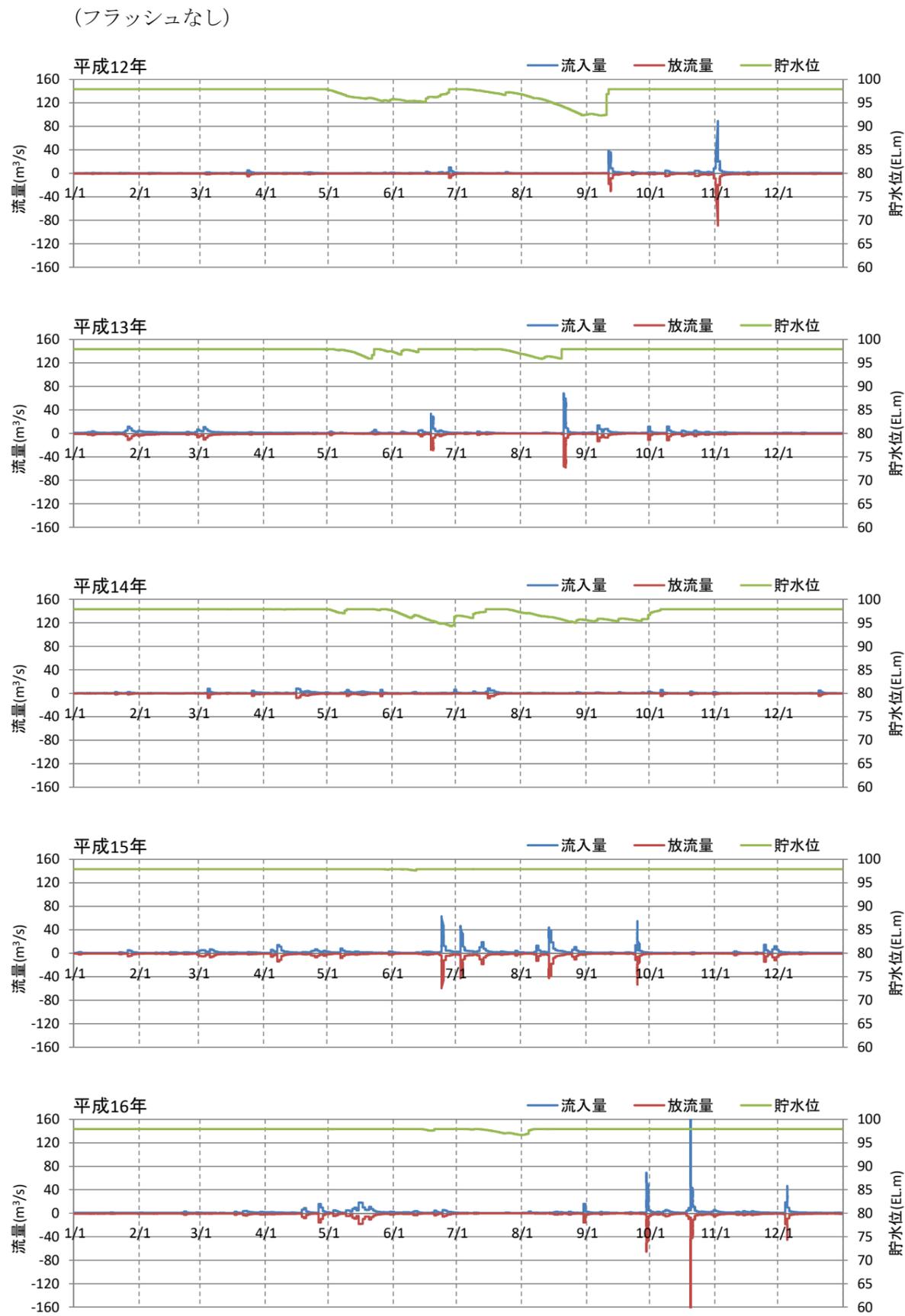


図 1-5(2) 安威川ダム利水計算結果による流入量・放流量・貯水位 (時間データ) (平成8年～平成16年)

- 安威川ダム流入水質は、ダム流入河川の定期調査および出水時調査における観測水質と流量の関係を示し、これにより設定した。なお、L-Q式は直近の観測値を加えて更新した。
- L-Q式作成に使用する観測データは、L-Q式は物理的モデルではなく統計的モデルであるためデータ数が重要であること、および、水質レベルの大きな変化はみられないことから、平成6年5月～平成31年3月の25年間とした。

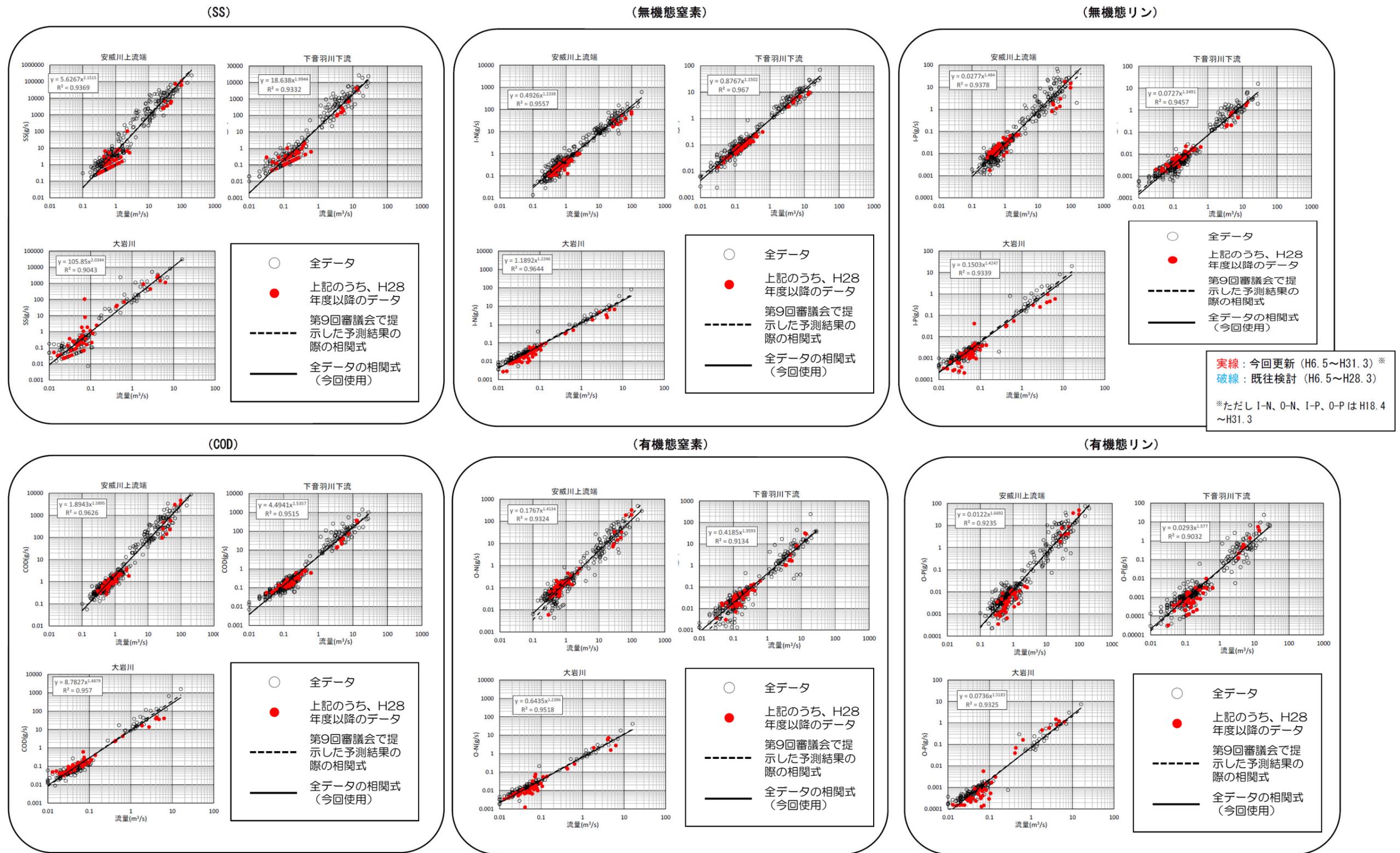


図 1-6 安威川ダム予測計算における流入水質 (LQ 式)

・安威川上流端、下音羽川下流では、出水時調査の採水試料を用いて、レーザー法(平成18年度～平成20年度、平成26年度～平成29年度)とコールターカウンター法(平成21年度～平成25年度)で粒度分布の計測を行っている。レーザー法の方がより幅広い粒径でのデータを取得できており、その結果を以下に示す。

・また、安威川上流端および下音羽川下流では、平成18年度以降に出水時調査の採水試料を用いた沈降試験による沈降試験が実施されており、粒度分布を逆算することができる。

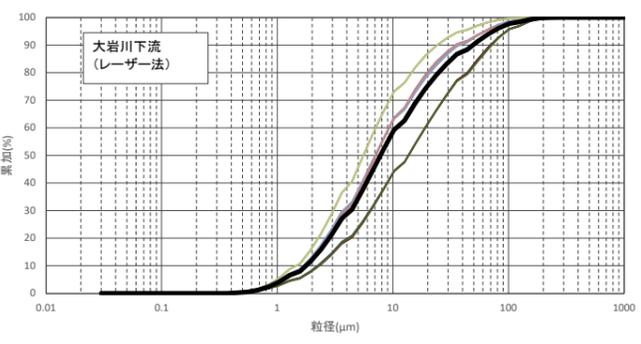
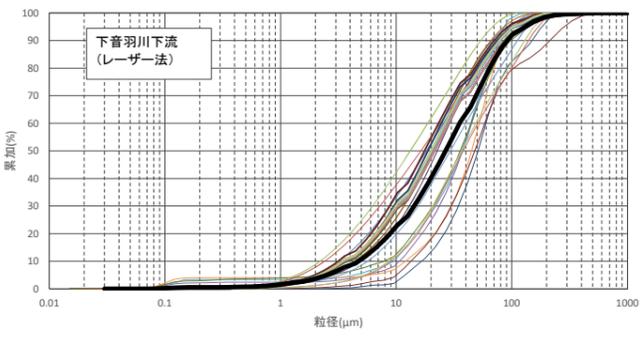
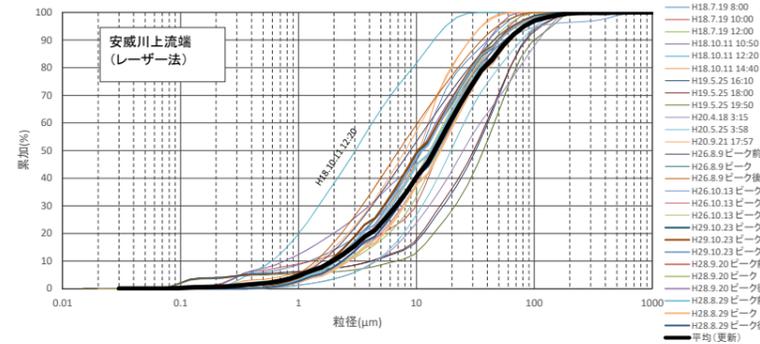
・沈降試験結果から算出した粒度分布とレーザー法による粒度分布では、平均でみて差があるものの、レーザー法による粒度分布よりもサンプル数が確保できることから、沈降試験結果から算出した粒度分布を使用することを基本とする。

・予測モデルでは、粒径を5つの代表粒径で与える必要がある。沈降試験から逆算した粒度分布の平均を参考に5つの代表粒径(下図の赤丸)を設定した。

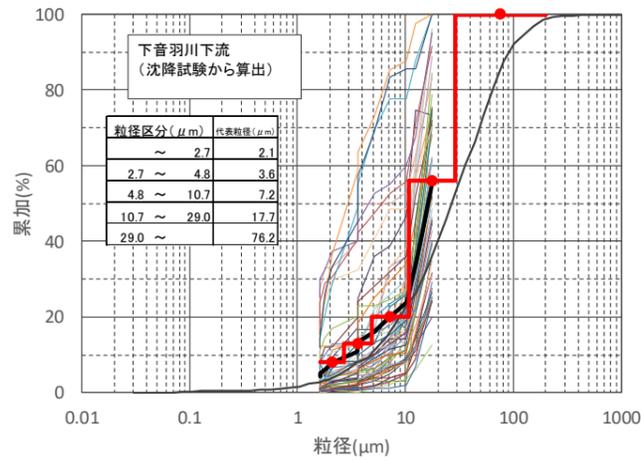
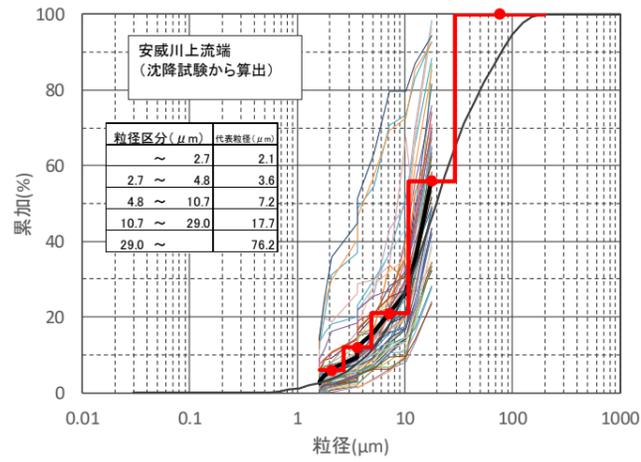
・さらに、粒度分布は出水規模により変化する(流量増にともない大きな粒径の占める割合が高くなる)ため、代表粒径ごとの存在割合と流量との関係式を作成し、流量により割合を変えるものとした。

・これにより、5つの代表粒径の存在割合を流量に応じて変化させて与えた。

(レーザー法による粒度分布)



(平成18～29年度の出水時に実施した沈降試験結果から算出した粒度分布)



(流量に応じた割合の変化を考慮)

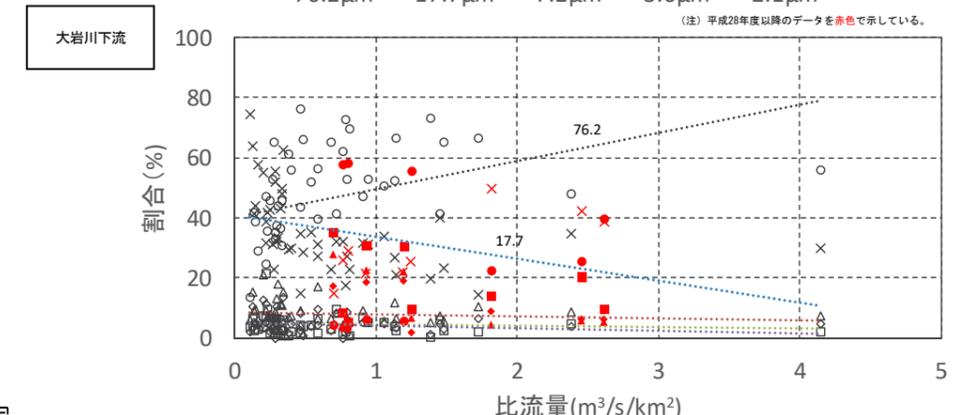
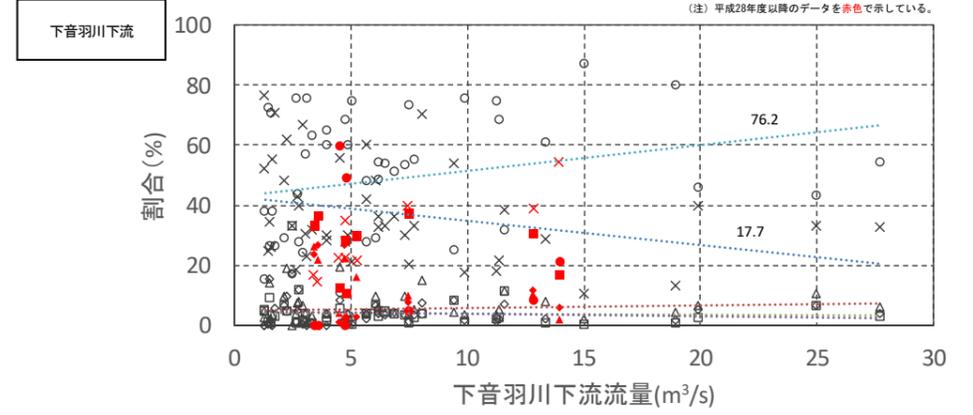
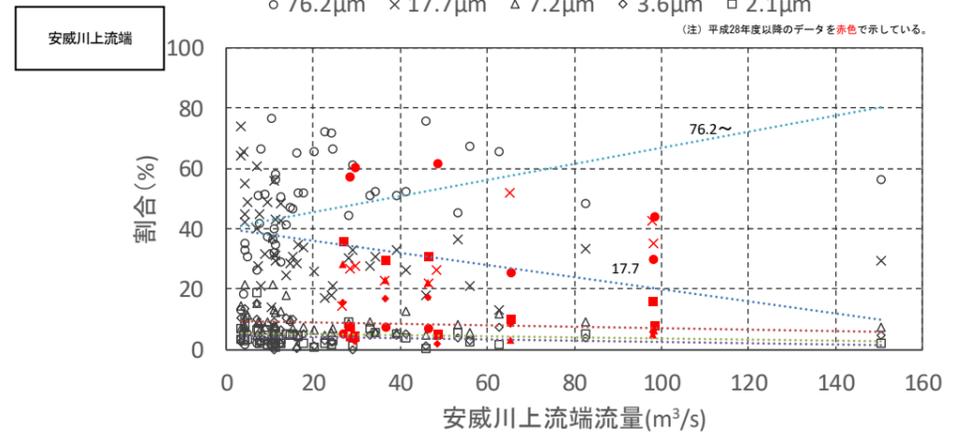


図 1-7 安威川ダム予測計算における流入SS中の粒度分布の設定

(注) 大岩川は、安威川上流端と下音羽川下流の流域面積按分によりあわせて関係式を作成した。

1.2. 対策の目安となる水質、水温の設定

- 安威川ダム自然環境保全マスタープランでは、貯水池及びダム下流河川の水質予測計算により、ダム建設による環境の変化を踏まえ、環境保全対策を検討することとしている。
- ダム建設による影響を緩和するため、下表に示す考え方により保全対策を検討することとし、各々の対策が他の水質項目に与える影響に留意しながら検討を進めた。

表 1-3 対策の目安となる水質、水温の設定（第 9 回大阪府河川周辺地域の環境保全等審議会（H29.3.24））

項目	対策の目安となる水質、水温の考え方	留意点															
濁水長期化	<p><u>下流河川の濁水長期化日数を可能な限り軽減する</u></p> <p>【選択取水設備及びフェンスの仕様、運用を決定するための目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ダムからの放流 SS が、同じ流況でのダムの無い状態における SS を連続して超過する日数 	<ul style="list-style-type: none"> ・濁水対策を優先して選択取水設備を運用した場合、温水現象を発生させる場合がある。 															
水温	<p><u>放流水温を可能な限り流入水温の変動幅内に収める</u></p> <p>【選択取水設備の運用を決定するための目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既往 10 ヶ年の最大、最小水温と近年の水温変動 	<ul style="list-style-type: none"> ・水温対策を優先して選択取水設備を運用した場合、濁水長期化を助長する場合がある。 ・フラッシュ放流時の一時的な水温の変化 															
富栄養化	<p><u>貯水池内（貯水池表層）におけるアオコ等の水質障害の発生を抑制する</u></p> <p>【浅層曝気循環規模を決定するための目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クロロフィル a：最大 25 µg/L 以下（OECD の富栄養化目安） <table border="1" data-bbox="569 1245 1596 1407"> <thead> <tr> <th rowspan="2">指標</th> <th colspan="3">階級</th> </tr> <tr> <th>貧栄養</th> <th>中栄養</th> <th>富栄養</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>年平均クロロフィル a</td> <td><2.5</td> <td>2.5~8</td> <td>8~25</td> </tr> <tr> <td>年最大クロロフィル a</td> <td><8.0</td> <td>8~25</td> <td>25~75</td> </tr> </tbody> </table> <p>※：OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters. Vollenweider, R.A. & Kerekes, Synthesis Report (1980)</p>	指標	階級			貧栄養	中栄養	富栄養	年平均クロロフィル a	<2.5	2.5~8	8~25	年最大クロロフィル a	<8.0	8~25	25~75	<ul style="list-style-type: none"> ・曝気循環の導入により、ダム湖内に熱量が蓄積しやすくなるため、温水放流の可能性が増加する。 ・また、温度躍層の表層側が厚くなることによって、濁水の規模によっては濁水長期化を助長する場合がある。
指標	階級																
	貧栄養	中栄養	富栄養														
年平均クロロフィル a	<2.5	2.5~8	8~25														
年最大クロロフィル a	<8.0	8~25	25~75														
溶存酸素	<p><u>底層からのりんの溶出等を抑えるため、底層 DO の低下を抑制する。</u></p> <p>【深層曝気規模を決定するための目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・底層 DO を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・深層曝気と浅層曝気を組み合わせて運用した場合、浅層曝気の効果で躍層位置が深い位置まで下がり、躍層以深のボリュームが小さくなり、深層曝気単独よりも効果が弱くなる可能性がある (同じ DO 消費速度なら、ボリュームが小さい方が DO が下がりやすいと考えられるため)。 															

1.3. 水質保全方策案

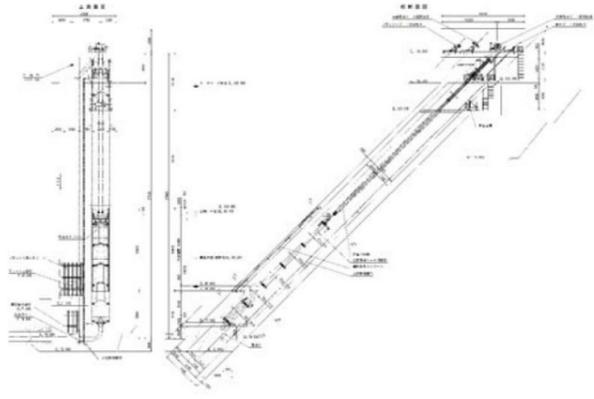
- 既往の検討結果から、選択取水設備の運用の他、富栄養化並びにフラッシュ放流時の冷水放流が懸念されるため、浅層曝気による水質保全が必要である。また、底層 DO の低下が懸念されることから、深層曝気を加え、複合的に運用することで水質保全を図ることとする。
- 水質予測の検討ケースは、ケース 0（表層取水）、ケース 1（選択取水＋浅層曝気＋深層曝気）で予測の見直しを行い、今後、濁水防止フェンスを加えたシミュレーションを行うものとする。

選択取水

■目的
水温対策（温水）・濁水対策のための成層期における流入水との等水温取水

■設置条件
取水範囲 EL:85.0m～EL.99.4m
取水口の幅（高さ） 1m

■運用条件
平常時：
流入水温と等しい層（等しい層がない場合は最も近い層）より取水
ただし、その層が SS25mg/L 以上であれば表層取水
出水時（日流入量 20m³/s 以上を出水時とした）：
SS ピーク層から取水し、流入 SS が 25mg/L を下回った時点で平常時の運用に戻る。

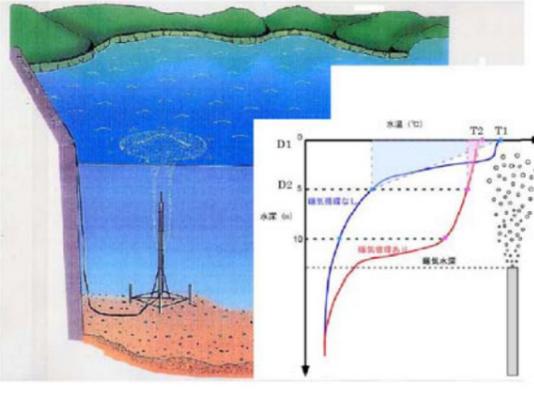


浅層曝気

■目的
成層より上部の循環混合による富栄養化対策・水温対策（フラッシュ放流による一時的な冷水への対策）

■設置条件
基数：1 基
設置箇所：ダムサイトより 200m 上流
吐き出し口標高：EL.81m
空気量：3,700L/分

■運用条件
運転期間：
3月21日～8月31日（出水時は停止）
（日流入量 20m³/s 以上を出水時とした）

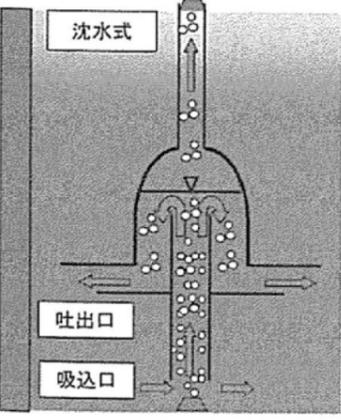


深層曝気

■目的
底層への DO 補給

■設置条件
基数：1 基
設置箇所：ダムサイトより 300m 上流
吸込口標高：EL. 71m
吐出口標高：EL. 80m

■運用条件
底層 DO が 4mg/l 以下の期間に運転

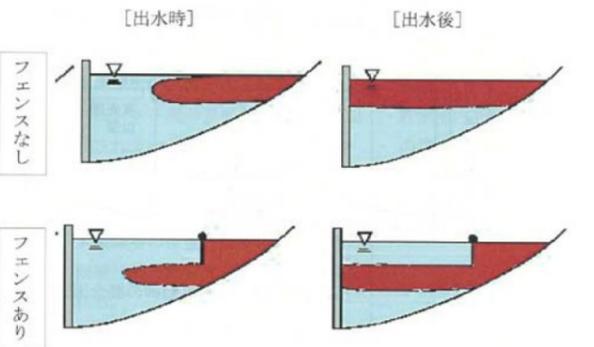


濁水防止フェンス（今後検討）

■目的
出水中は濁水を早期に排出
出水後は清澄水を放流

■設置条件（今後検討）
浮沈式フェンスを 2 枚設置
ダムサイトより 300m 上流、幅(深さ)10m
ダムサイトより 800m 上流、幅(深さ)10m

■運用条件
出水時（日流入量 20m³/s 以上を出水時とした）：
フェンスを浮上し、選択取水を SS ピーク層からの取水に切り替え
出水後：
流入 SS が 25mg/L を下回った段階で、フェンスを沈降し、選択取水を表層取水に切り替え
（フェンスは次の出水時に浮上）



対策を組み合わせる実施

図 1-8 安威川ダムにおける水質保全対策案

表 1-4 水質予測検討ケース

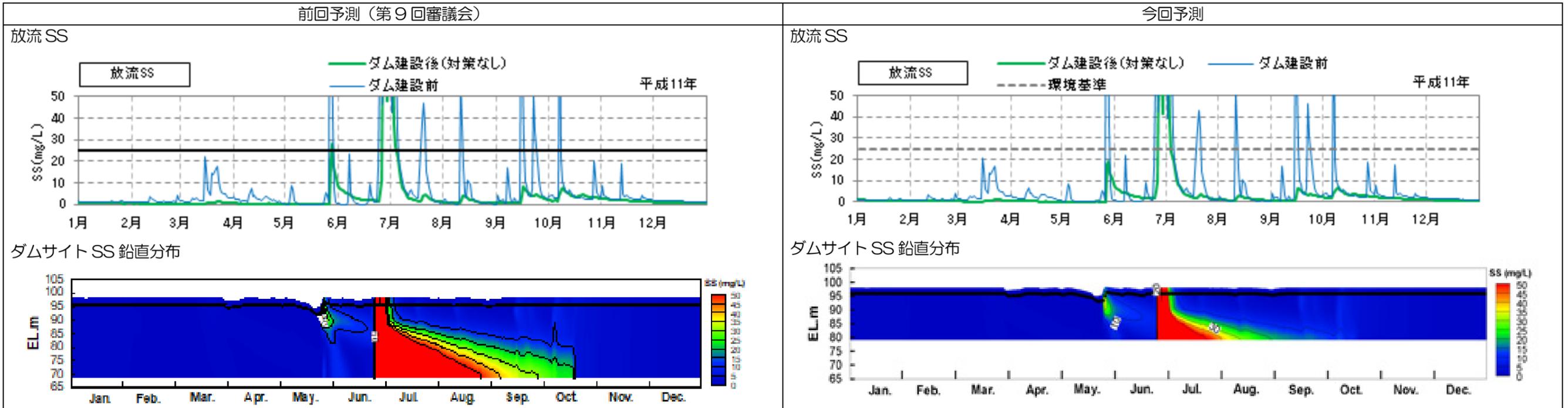
検討ケース	水質保全施設					備考
	選択取水	浅層曝気	深層曝気	濁水防止フェンス 下流 10m	濁水防止フェンス 上流 10m	
ケース 0						常時表層取水
ケース 1	●	●	●			

1.4. 水質予測の見直し結果

1.4.1. 前回予測結果との比較（ケース0：対策なし）

- 第9回審議会（H29.3.24）で提示した予測結果と比較を行った。
- 放流SSは、今回の方がSSが低い予測値となる傾向があり、濁水長期化日数もSS25mg/L超過日数も第9回審議会での予測結果より少なくなった。
- 放流水温については、温水放流が今回予測のほうが緩和され、冷水放流は今回放流のほうがダム建設前との差が大きくなった。
- 富栄養化項目のうち、表層クロロフィルa量についてはやや減少傾向である。表層DOはやや減少、底層DOはやや増加した。

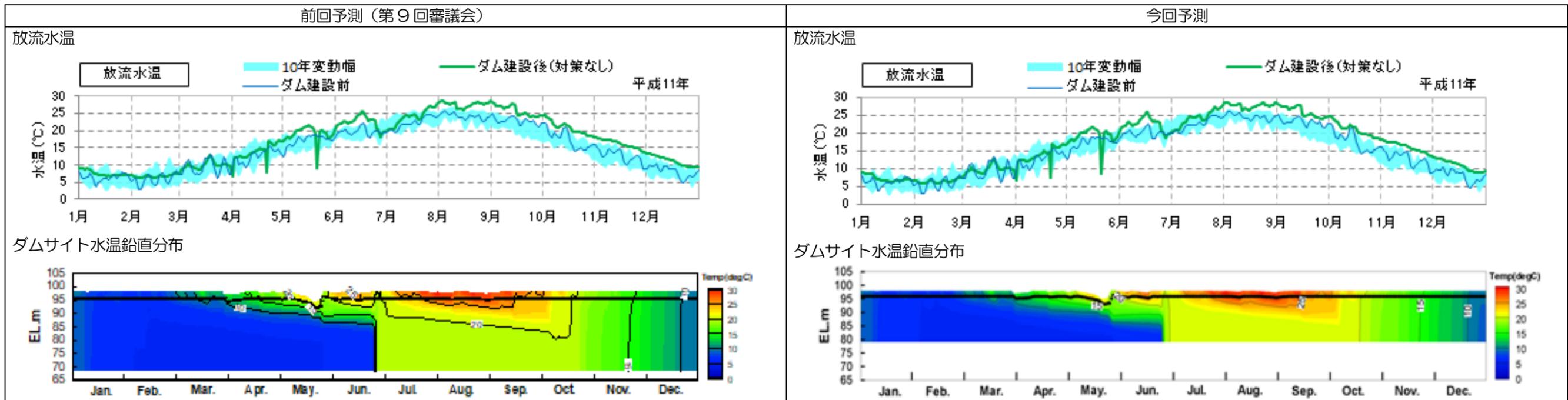
(1) 放流SS予測結果の比較



予測年	放流SS濃度 (mg/L)									濁水長期化日数 (日)		SS25mg/L超過日数 (日)			①濁水長期化日数 (ダム建設後 (対策なし))				②濁水長期化最大連続日数 (ダム建設後 (対策なし))				③①のうち放流SS10mg/L以上日数 (ダム建設後 (対策なし))		④①のうち放流SS25mg/L以上日数 (ダム建設後 (対策なし))	
	ダム建設前			ダム建設後 (対策なし)						第9回審議会	今回予測	ダム建設前	第9回審議会	今回予測	第9回審議会	今回予測	第9回審議会	今回予測	第9回審議会	今回予測	第9回審議会	今回予測				
	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7年	519.4	0.2	10.1	113.3	0.2	2.6	93.7	0.1	2.3	12	14	20	10	9	12	14	4	4	4	3	1	0				
平成8年	108.0	0.0	5.9	8.6	0.1	1.0	8.0	0.1	0.9	13	11	13	0	0	13	11	9	9	9	0	0	0				
平成9年	445.8	0.8	10.6	100.7	0.1	2.9	84.5	0.1	2.6	38	25	27	6	5	38	25	13	6	13	0	0	0				
平成10年	502.8	0.0	16.2	128.6	0.3	4.9	107.0	0.2	4.3	31	30	37	15	13	31	30	26	26	26	12	3	3				
平成11年	1,259.3	0.0	12.4	281.4	0.1	4.2	232.8	0.1	3.6	74	74	22	9	7	74	74	13	10	13	4	2	2				
平成12年	310.6	0.0	5.0	65.3	0.1	1.9	52.5	0.1	1.7	106	105	9	3	2	106	105	29	27	29	3	0	0				
平成13年	201.0	0.0	8.1	50.3	0.2	1.9	39.4	0.1	1.7	35	33	22	2	1	35	33	7	7	7	2	0	0				
平成14年	47.1	0.0	3.3	4.1	0.1	0.6	3.4	0.1	0.5	65	59	9	0	0	65	59	10	9	10	0	0	0				
平成15年	190.5	0.9	12.1	37.1	0.3	2.8	29.9	0.2	2.5	33	34	36	4	2	33	34	11	15	11	0	0	0				
平成16年	523.4	0.0	11.3	100.2	0.2	3.9	83.7	0.2	3.4	60	58	26	9	7	60	58	20	20	20	12	6	4				
10ヵ年最大値	1,259.3	0.9	16.2	281.4	0.3	4.9	232.8	0.2	4.3	106	105	37	15	13	106	105	29	27	29	12	6	4				
10ヵ年最小値	47.1	0.0	3.3	4.1	0.1	0.6	3.4	0.1	0.5	12	11	9	0	0	12	11	4	4	4	0	0	0				
10ヵ年平均値	410.8	0.2	9.5	88.9	0.2	2.7	73.5	0.1	2.4	47	44	22	6	5	47	44	14	13	14	4	1	1				

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

(2) 放流水温予測結果の比較



予測年	放流水温 (°C)								
	ダム建設前			ダム建設後 (対策なし)					
	最大値	最小値	平均値	第9回審議会			今回予測		
平成7年	26.1	3.4	14.4	29.0	5.2	15.6	29.1	5.1	15.7
平成8年	25.5	3.0	14.1	29.4	4.2	15.3	29.6	3.7	15.4
平成9年	25.3	3.7	14.5	27.3	5.5	16.1	27.5	5.3	16.2
平成10年	25.9	3.6	15.4	28.7	5.6	16.8	28.9	5.7	17.0
平成11年	25.5	3.0	14.9	28.6	6.2	17.1	28.7	6.0	17.3
平成12年	25.7	3.5	14.9	29.2	6.1	17.0	29.4	6.0	17.2
平成13年	26.3	2.5	14.8	30.0	5.3	16.8	30.3	5.2	17.0
平成14年	25.9	4.6	14.9	30.1	6.7	17.3	30.2	6.6	17.5
平成15年	25.4	3.0	14.6	27.9	5.7	16.3	28.2	5.7	16.5
平成16年	25.5	3.1	15.4	29.6	6.1	17.3	29.7	6.0	17.5
10ヵ年最大値	26.3	4.6	15.4	30.1	6.7	17.3	30.3	6.6	17.5
10ヵ年最小値	25.3	2.5	14.1	27.3	4.2	15.3	27.5	3.7	15.4
10ヵ年平均値	25.7	3.3	14.8	29.0	5.7	16.6	29.2	5.5	16.7

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

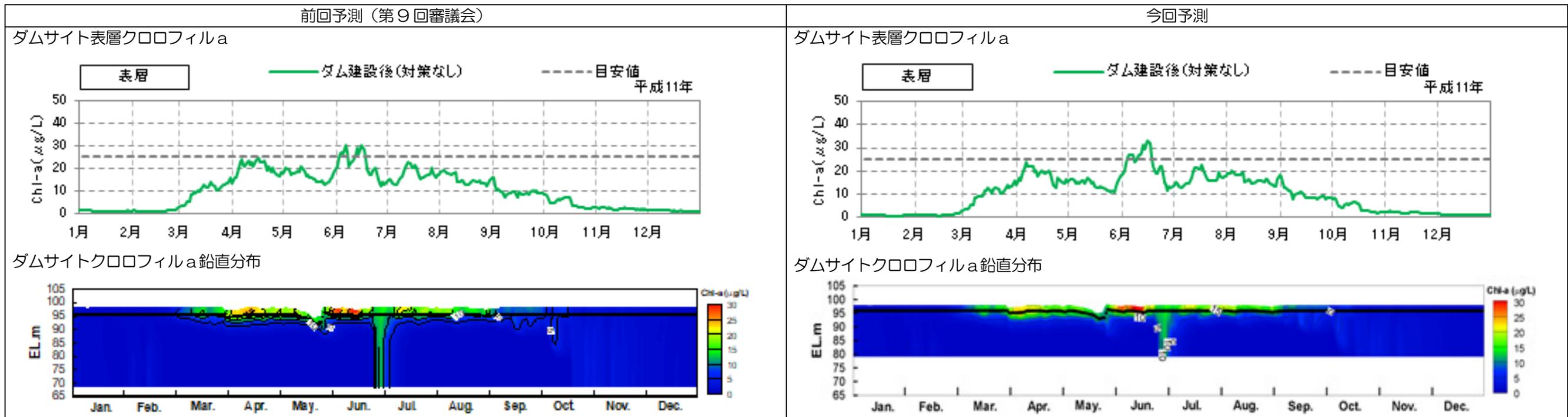
予測年	温水放流日数					
	ダム建設後 (対策なし)					
	第9回審議会			今回予測		
平成7年	78	3.3	1.3	68	2.8	1.2
平成8年	62	3.9	1.2	61	3.5	1.1
平成9年	101	2.2	0.8	98	2.0	0.6
平成10年	148	3.2	1.1	148	2.9	1.0
平成11年	193	3.8	1.6	196	3.7	1.5
平成12年	206	3.5	1.3	208	3.3	1.2
平成13年	143	4.2	1.6	143	3.8	1.5
平成14年	183	4.7	1.5	180	4.3	1.5
平成15年	110	3.7	1.3	113	3.5	1.2
平成16年	194	4.2	1.6	198	4.0	1.5
10ヵ年最大値	206	4.7	1.6	208	4.3	1.5
10ヵ年最小値	62	2.2	0.8	61	2.0	0.6
10ヵ年平均値	142	3.7	1.3	141	3.4	1.2

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

予測年	冷水放流日数					
	ダム建設後 (対策なし)					
	第9回審議会			今回予測		
平成7年	3	-2.6	-2.1	3	-3.0	-2.4
平成8年	8	-9.8	-3.7	15	-10.9	-2.3
平成9年	4	-2.4	-1.3	4	-2.8	-1.4
平成10年	2	-2.9	-1.7	2	-3.3	-2.0
平成11年	3	-6.0	-2.8	3	-6.5	-3.2
平成12年	7	-7.3	-4.9	7	-8.5	-5.6
平成13年	4	-7.5	-4.0	4	-8.6	-4.6
平成14年	3	-7.5	-5.0	3	-8.4	-6.2
平成15年	1	-0.7	-0.7	1	-0.9	-0.9
平成16年	4	-5.6	-3.8	5	-6.6	-3.8
10ヵ年最大値	8	-0.7	-0.7	15	-0.9	-0.9
10ヵ年最小値	1	-9.8	-5.0	1	-10.9	-6.2
10ヵ年平均値	4	-5.2	-3.0	5	-5.9	-3.3

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

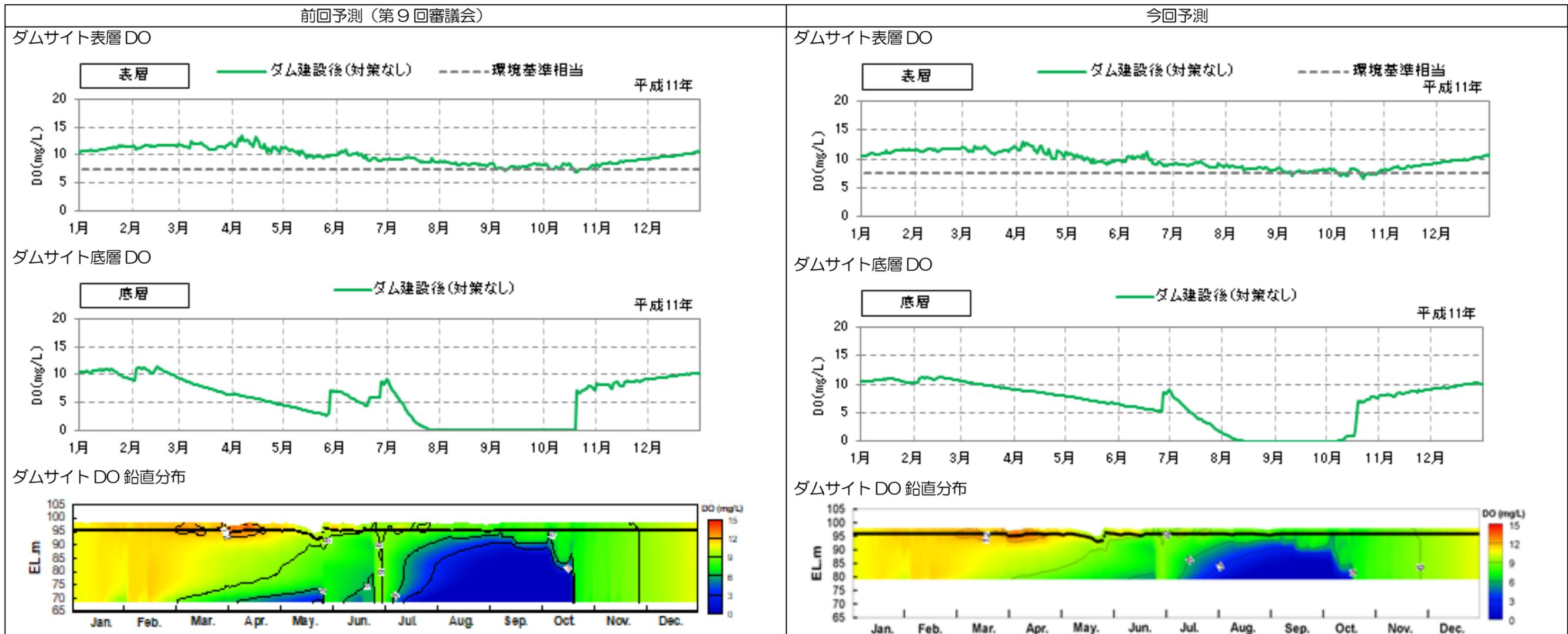
(3) 表層クロロフィルa予測結果の比較



予測年	表層クロロフィルa量 (μg/L)					
	ダム建設後 (対策なし)					
	第9回審議会			今回予測		
	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
平成7年	28.2	0.7	10.1	29.0	0.6	10.0
平成8年	25.3	0.4	10.2	23.9	0.4	9.5
平成9年	29.7	0.9	10.4	27.4	0.7	10.0
平成10年	27.7	1.1	10.6	27.5	1.0	10.7
平成11年	30.2	0.4	10.0	33.3	0.6	9.9
平成12年	23.5	0.4	9.2	24.0	0.5	8.7
平成13年	23.7	1.2	10.5	22.3	1.2	10.0
平成14年	28.8	0.4	10.8	28.0	0.4	10.4
平成15年	28.1	0.7	10.8	28.5	0.7	10.7
平成16年	27.7	1.2	10.9	25.9	1.3	10.9
10ヵ年最大値	30.2	1.2	10.9	33.3	1.3	10.9
10ヵ年最小値	23.5	0.4	9.2	22.3	0.4	8.7
10ヵ年平均値	27.3	0.7	10.4	27.0	0.7	10.1

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

(4) DO 予測結果の比較



予測年	表層DO濃度 (mg/L)								
	ダム建設前			ダム建設後 (対策なし)					
	最大値	最小値	平均値	第9回審議会			今回予測		
平成7年	13.7	8.2	10.6	13.3	6.4	10.0	13.2	6.4	10.0
平成8年	13.8	8.3	10.7	13.5	7.5	10.3	13.4	7.6	10.2
平成9年	13.5	8.4	10.6	13.6	6.3	10.1	13.1	6.5	10.0
平成10年	13.6	8.3	10.4	13.3	7.0	9.9	13.6	6.9	9.9
平成11年	13.9	8.3	10.5	13.5	6.9	9.8	13.0	6.5	9.8
平成12年	13.6	8.3	10.5	13.1	7.5	9.8	13.1	7.3	9.7
平成13年	13.9	8.2	10.5	12.5	7.2	10.0	12.5	7.0	9.9
平成14年	13.2	8.3	10.5	14.0	7.4	9.8	13.3	7.2	9.8
平成15年	13.8	8.4	10.6	12.9	6.8	10.0	13.0	6.6	10.0
平成16年	13.8	8.3	10.4	13.0	7.3	9.9	13.0	7.2	9.8
10ヵ年最大値	13.9	8.4	10.7	14.0	7.5	10.3	13.6	7.6	10.2
10ヵ年最小値	13.2	8.2	10.4	12.5	6.3	9.8	12.5	6.4	9.7
10ヵ年平均値	13.7	8.3	10.5	13.3	7.0	10.0	13.1	6.9	9.9

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

予測年	表層DO7.5mg/L以下の日数	
	ダム建設後 (対策なし)	
	第9回審議会	今回予測
平成7年	38	40
平成8年	0	0
平成9年	5	7
平成10年	12	13
平成11年	12	16
平成12年	0	7
平成13年	3	3
平成14年	3	7
平成15年	5	5
平成16年	2	6
10ヵ年最大値	38	40
10ヵ年最小値	0	0
10ヵ年平均値	8	10

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

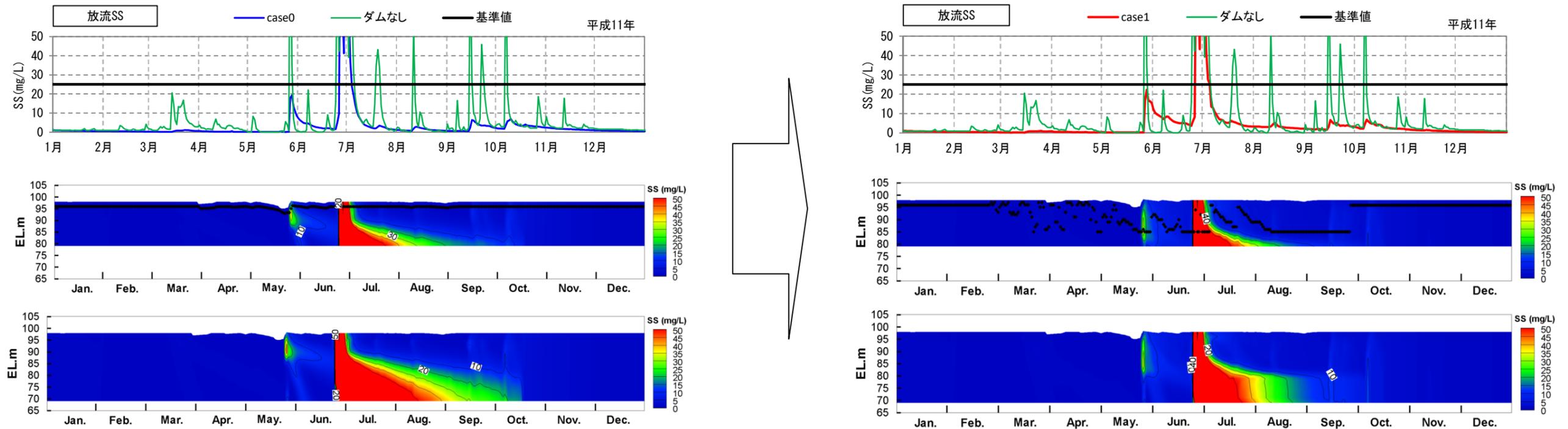
予測年	ダムサイト底層DO濃度 (mg/L)					
	ダム建設後 (対策なし)					
	第9回審議会			今回予測		
平成7年	11.93	0.00	5.40	11.93	0.00	7.04
平成8年	11.70	0.00	3.88	11.84	0.00	6.67
平成9年	11.72	0.00	5.62	11.70	0.38	7.77
平成10年	11.91	0.00	5.74	11.80	0.00	7.22
平成11年	11.52	0.00	5.64	11.31	0.00	6.63
平成12年	11.54	0.00	5.04	11.57	0.01	7.14
平成13年	11.84	0.00	3.18	11.77	0.00	5.50
平成14年	11.25	0.00	3.00	11.19	0.00	5.61
平成15年	11.93	0.00	3.76	11.81	0.00	5.86
平成16年	11.69	0.00	5.74	11.41	0.00	6.72
10ヵ年最大値	11.93	0.00	5.74	11.93	0.38	7.77
10ヵ年最小値	11.25	0.00	3.00	11.19	0.00	5.50
10ヵ年平均値	11.70	0.00	4.70	11.63	0.04	6.61

青字：第9回審議会より値が増加
赤字：第9回審議会より値が減少

1.4.2. 保全対策の効果

- 予測計算は、貯水池内（表層・中層・底層）について行った。
- 安威川ダムにおける平成7年～平成16年の10年間の流量条件による水質予測の結果、case0（選択取水設備のみ（常時表層取水））では、濁水長期化、温水放流、富栄養化による環境影響が懸念される。また、フラッシュ放流による一時的な冷水放流による環境影響が懸念される。
- case1（水質保全対策あり：選択取水、浅層曝気、深層曝気の組み合わせ）の予測の結果、平成11年の例でみると、冷水放流および富栄養化現象の解消、温水放流の軽減（最大3.7℃→3.1℃）、底層DOの改善について、効果が確認された。これらは、平成28年度に提示した予測結果と同程度である。

○上段：放流SS予測結果、中段：No.1メッシュ地点、下段：No.3メッシュ地点SSコンター図（平成11年の例）



放流SS

	ダム建設前			ダム建設後					
	最大値	最小値	平均値	case0			case1		
				最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
平成7年	467.6	0.2	9.3	93.7	0.1	2.3	93.5	0.1	2.9
平成8年	98.6	0.0	5.5	8.0	0.1	0.9	7.2	0.1	1.1
平成9年	401.8	0.8	9.7	84.5	0.1	2.6	82.9	0.1	3.2
平成10年	453.0	0.0	14.9	107.0	0.2	4.3	107.2	0.4	4.7
平成11年	1127.5	0.0	11.3	232.8	0.1	3.6	232.3	0.2	4.4
平成12年	280.7	0.0	4.6	52.5	0.1	1.7	52.0	0.1	2.0
平成13年	182.2	0.0	7.5	39.4	0.1	1.7	41.3	0.3	2.3
平成14年	43.4	0.0	3.1	3.4	0.1	0.5	2.6	0.1	0.7
平成15年	173.0	0.9	11.2	29.9	0.2	2.5	30.3	0.2	3.1
平成16年	468.7	0.0	10.4	83.7	0.2	3.4	85.7	0.2	3.6
10ヵ年最大値	1127.5	0.9	14.9	232.8	0.2	4.3	232.3	0.4	4.7
10ヵ年最小値	43.4	0.0	3.1	3.4	0.1	0.5	2.6	0.1	0.7
10ヵ年平均値	369.6	0.2	8.8	73.5	0.1	2.4	73.5	0.2	2.8

単位:mg/L

SS25mg/L超過日数	ダム建設前			ダム建設後	
	最大値	最小値	平均値	case0	case1
				平成7年	18
平成8年	13	0	0		
平成9年	25	5	6		
平成10年	34	13	13		
平成11年	22	7	9		
平成12年	7	2	2		
平成13年	18	1	1		
平成14年	8	0	0		
平成15年	32	2	3		
平成16年	24	7	7		
10ヵ年最大値	34	13	13		
10ヵ年最小値	7	0	0		
10ヵ年平均値	20.1	4.6	5.1		

単位:日

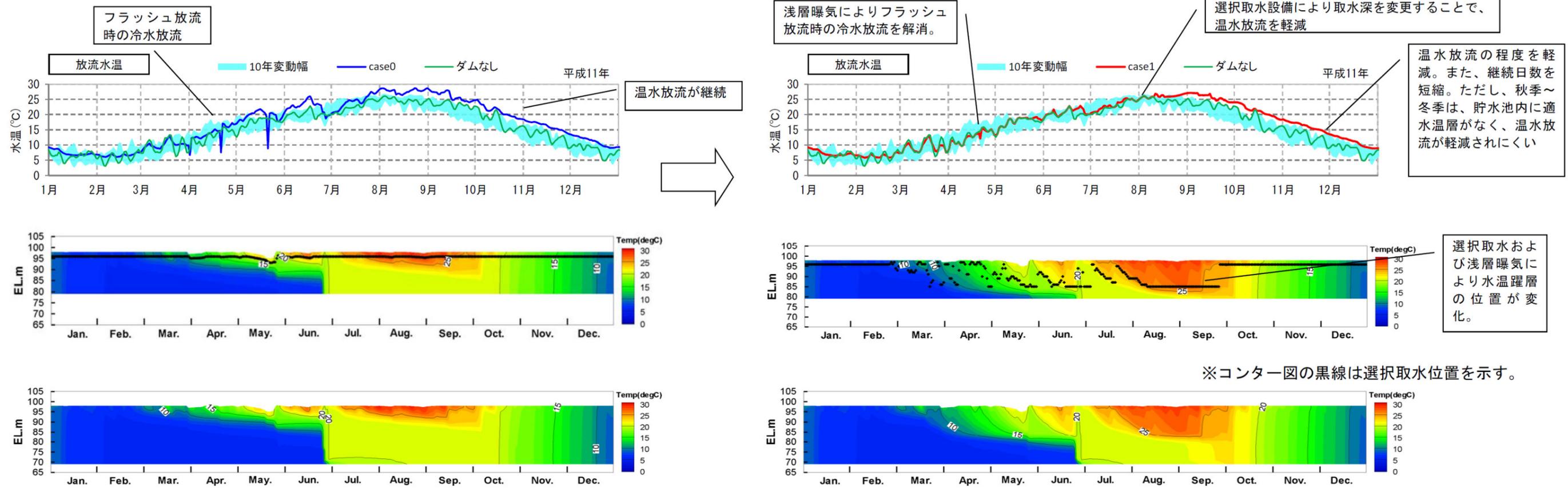
	ダム建設後											
	①濁水長期化日数		②濁水長期化最大連続日数		③①のうち放流SS10mg/L以上日数		④①のうち放流SS25mg/L以上日数		⑤①のうちダムなしからのSS最大上昇幅		⑥①のうちダムなしからのSS平均上昇幅	
	case0	case1	case0	case1	case0	case1	case0	case1	case0	case1	case0	case1
平成7年	14	68	4	18	3	2	0	0	4.3	4.9	0.0	0.2
平成8年	11	22	9	9	0	0	0	0	2.1	2.7	0.0	0.1
平成9年	25	67	6	27	0	4	0	1	3.3	6.2	0.1	0.4
平成10年	30	33	26	26	12	14	3	3	9.3	9.3	0.2	0.3
平成11年	74	104	10	17	4	9	2	2	26.3	34.3	0.4	0.9
平成12年	105	119	27	19	3	9	0	0	7.3	10.9	0.3	0.4
平成13年	33	86	7	23	2	9	0	0	8.1	14.0	0.1	0.5
平成14年	59	72	9	11	0	0	0	0	0.9	1.4	0.1	0.1
平成15年	34	48	15	18	0	4	0	0	2.2	7.1	0.1	0.2
平成16年	58	80	20	20	12	12	4	4	22.4	19.2	0.5	0.5
10ヵ年最大値	105	119	27	27	12	14	4	4	26.3	34.3	0.5	0.9
10ヵ年最小値	11	22	4	9	0	0	0	0	0.9	1.4	0.0	0.1
10ヵ年平均値	44.3	69.9	13.3	18.8	3.6	6.3	0.9	1.0	8.6	11.0	0.2	0.4

単位:日

凡例
 上段：放流SS予測結果、中段：No.1メッシュ地点、下段：No.3メッシュ地点SSコンター図
 case0（選択取水設備のみ（常時表層取水））
 case1（水質保全対策あり：選択取水、浅層曝気、深層曝気の組み合わせ）

図 1-9 安威川ダム予測結果（ダム建設後の対策なし・対策ありの比較）（1/4）

○上段：放流水温予測結果、中段：No. 1メッシュ地点、下段：No. 3メッシュ地点水温コンター図（平成11年の例）



※コンター図の黒線は選択取水位置を示す。

放流水温

	ダム建設前			ダム建設後					
	最大値	最小値	平均値	case0			case1		
				最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
平成7年	26.6	3.5	14.7	29.1	5.1	15.7	27.4	5.1	15.3
平成8年	26.1	3.0	14.4	29.6	3.7	15.4	27.3	4.1	15.0
平成9年	25.9	3.8	14.8	27.5	5.3	16.2	26.1	5.3	15.7
平成10年	26.5	3.6	15.7	28.9	5.7	17.0	28.4	5.5	16.6
平成11年	26.1	3.1	15.3	28.7	6.0	17.3	27.1	5.9	16.5
平成12年	26.3	3.6	15.2	29.4	6.0	17.2	28.5	5.9	16.6
平成13年	26.9	2.6	15.1	30.3	5.2	17.0	29.1	5.3	16.4
平成14年	26.4	4.7	15.3	30.2	6.6	17.5	28.7	6.6	17.0
平成15年	26.0	3.0	14.9	28.2	5.7	16.5	26.5	5.5	15.9
平成16年	26.1	3.2	15.7	29.7	6.0	17.5	28.2	5.9	17.0
10ヵ年最大値	26.9	4.7	15.7	30.3	6.6	17.5	29.1	6.6	17.0
10ヵ年最小値	25.9	2.6	14.4	27.5	3.7	15.4	26.1	4.1	15.0
10ヵ年平均値	26.3	3.4	15.1	29.2	5.5	16.7	27.7	5.5	16.2

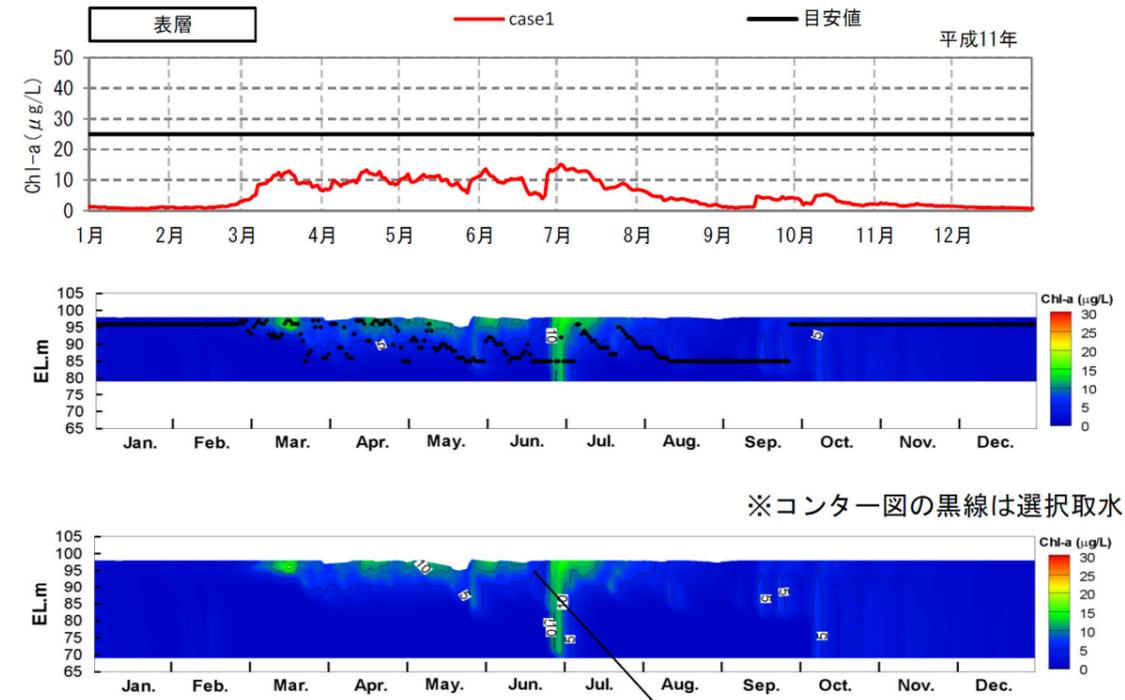
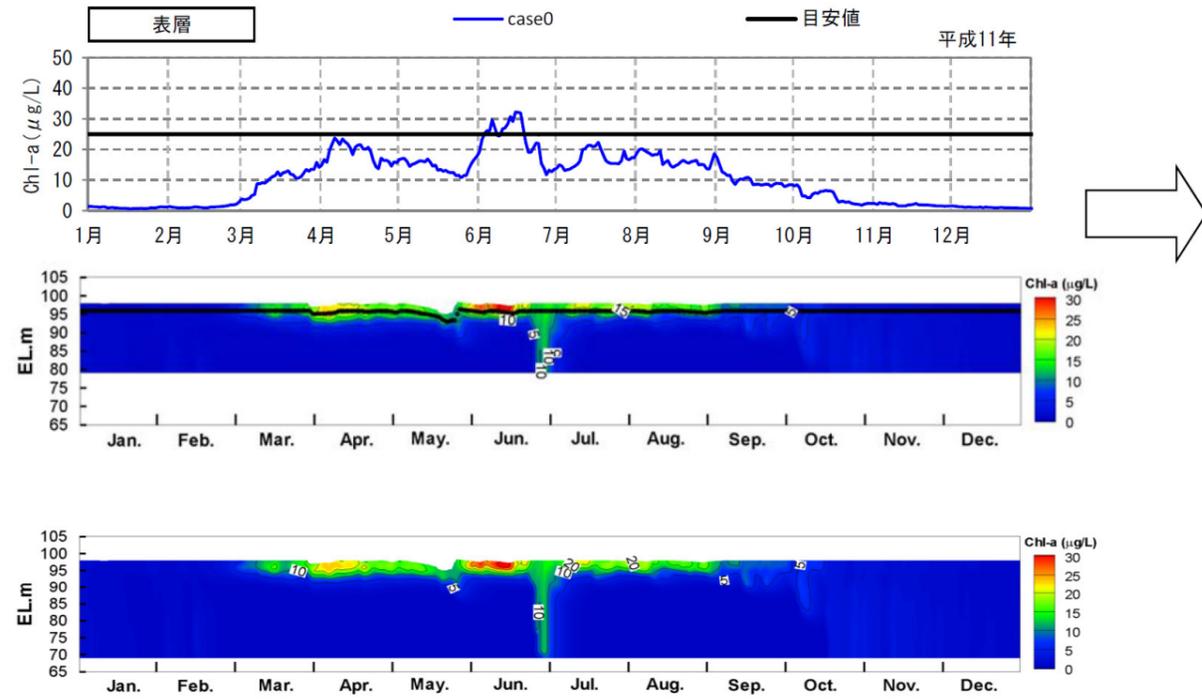
温水放流日数	ダム建設後					
	case0			case1		
	日数	差(最大)	差(平均)	日数	差(最大)	差(平均)
平成7年	68	2.8	1.2	58	2.6	0.8
平成8年	61	3.5	1.1	24	1.6	0.6
平成9年	98	2.0	0.6	49	2.0	0.4
平成10年	148	2.9	1.0	117	2.0	0.8
平成11年	196	3.7	1.5	132	3.1	1.3
平成12年	208	3.3	1.2	143	3.5	1.1
平成13年	143	3.8	1.5	90	3.2	1.0
平成14年	180	4.3	1.5	134	3.3	1.1
平成15年	113	3.5	1.2	77	3.7	0.8
平成16年	198	4.0	1.5	157	3.2	0.9
10ヵ年最大値	208	4.3	1.5	157	3.7	1.3
10ヵ年最小値	61	2.0	0.6	24	1.6	0.4
10ヵ年平均値	141.3	3.4	1.2	98.1	2.8	0.9

冷水放流日数	ダム建設後					
	case0			case1		
	日数	差(最大)	差(平均)	日数	差(最大)	差(平均)
平成7年	3	-3.0	-2.4	5	-0.3	-0.2
平成8年	15	-10.9	-2.3	19	-0.9	-0.2
平成9年	4	-2.8	-1.4	3	-0.1	0.0
平成10年	2	-3.3	-2.0	0	0.0	0.0
平成11年	3	-6.5	-3.2	2	-0.1	0.0
平成12年	7	-8.5	-5.6	2	-0.1	-0.1
平成13年	4	-8.6	-4.6	0	0.0	0.0
平成14年	3	-8.4	-6.2	0	0.0	0.0
平成15年	1	-0.9	-0.9	0	0.0	0.0
平成16年	5	-6.6	-3.8	0	0.0	0.0
10ヵ年最大値	15	-0.9	-0.9	19	0.0	0.0
10ヵ年最小値	1	-10.9	-6.2	0	-0.9	-0.2
10ヵ年平均値	4.7	-5.9	-3.3	3.1	-0.1	-0.1

凡例
 上段：放流水温予測結果、中段：No. 1メッシュ地点、下段：No. 3メッシュ地点水温コンター図
 case0(選択取水設備のみ(常時表層取水))
 case1(水質保全対策あり:選択取水、浅層曝気、深層曝気の組み合わせ)

図 1-9 安威川ダム予測結果(ダム建設後の対策なし・対策ありの比較) (2/4)

○上段：No. 1 メッシュ地点表層クロロフィル a 予測結果、中段：No. 1 メッシュ地点、下段：No. 3 メッシュ地点クロロフィル a コンター図（平成 11 年の例）



※コンター図の黒線は選択取水位置を示す。

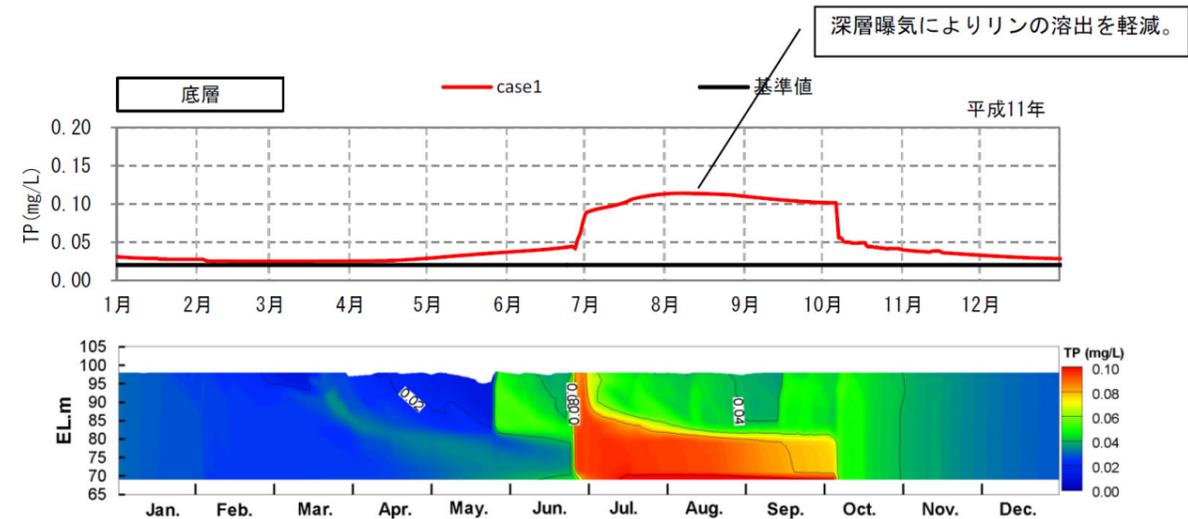
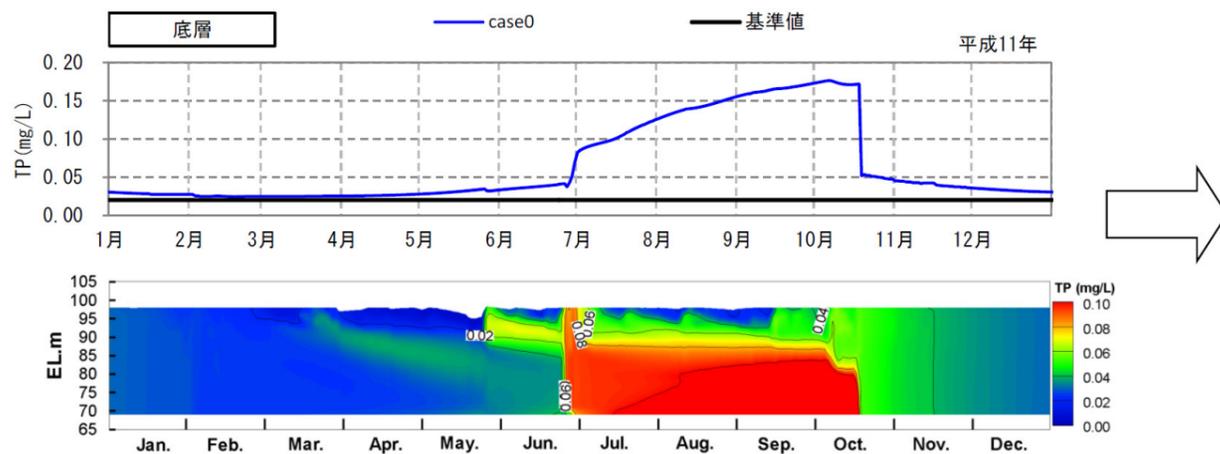
浅層曝気 (3/21~8/31 運転) により富栄養化を解消

単位: $\mu\text{g/L}$

	ダム建設前			ダム建設後					
	最大値	最小値	平均値	case0		case1			
				最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
平成7年	—	—	—	29.0	0.6	10.0	15.6	0.5	6.0
平成8年	—	—	—	23.9	0.4	9.5	15.8	0.5	5.3
平成9年	—	—	—	27.4	0.7	10.0	16.9	0.6	6.0
平成10年	—	—	—	27.9	1.0	10.7	19.5	0.7	6.6
平成11年	—	—	—	33.3	0.6	9.9	15.3	0.6	5.1
平成12年	—	—	—	24.0	0.5	8.7	14.6	0.4	4.5
平成13年	—	—	—	22.3	1.2	10.0	13.5	0.8	5.4
平成14年	—	—	—	28.0	0.4	10.4	20.4	0.4	4.4
平成15年	—	—	—	28.5	0.7	10.7	16.8	0.8	6.4
平成16年	—	—	—	25.9	1.3	10.9	18.4	1.3	6.3
10年最大値	—	—	—	33.3	1.3	10.9	20.4	1.3	6.6
10年最小値	—	—	—	22.3	0.4	8.7	13.5	0.4	4.4
10年平均値	—	—	—	27.0	0.7	10.1	16.7	0.7	5.6

凡例
 上段:No. 1 メッシュ地点表層クロロフィル a 予測結果、中段:No. 1 メッシュ地点、下段:No. 3 メッシュ地点クロロフィル a コンター図
 case0(選択取水設備のみ(常時表層取水))
 case1(水質保全対策あり:選択取水、浅層曝気、深層曝気の組み合わせ)

○上段：No. 3 メッシュ地点底層 TP 予測結果、下段：No. 3 メッシュ地点 TP コンター図（平成 11 年の例）

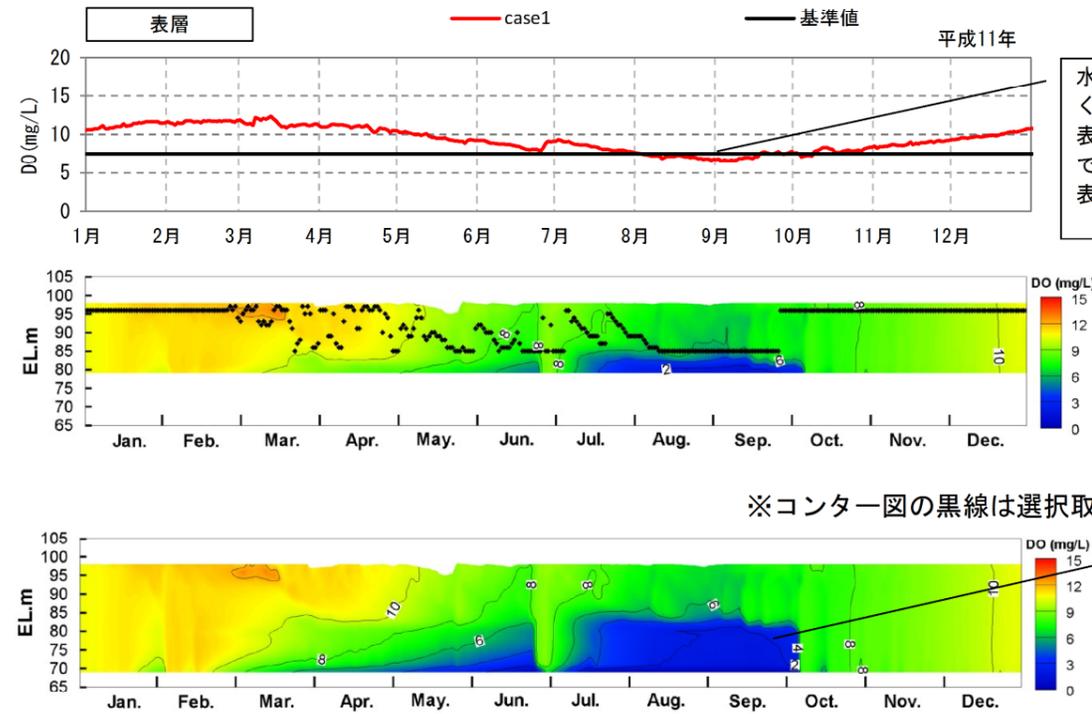
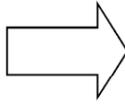
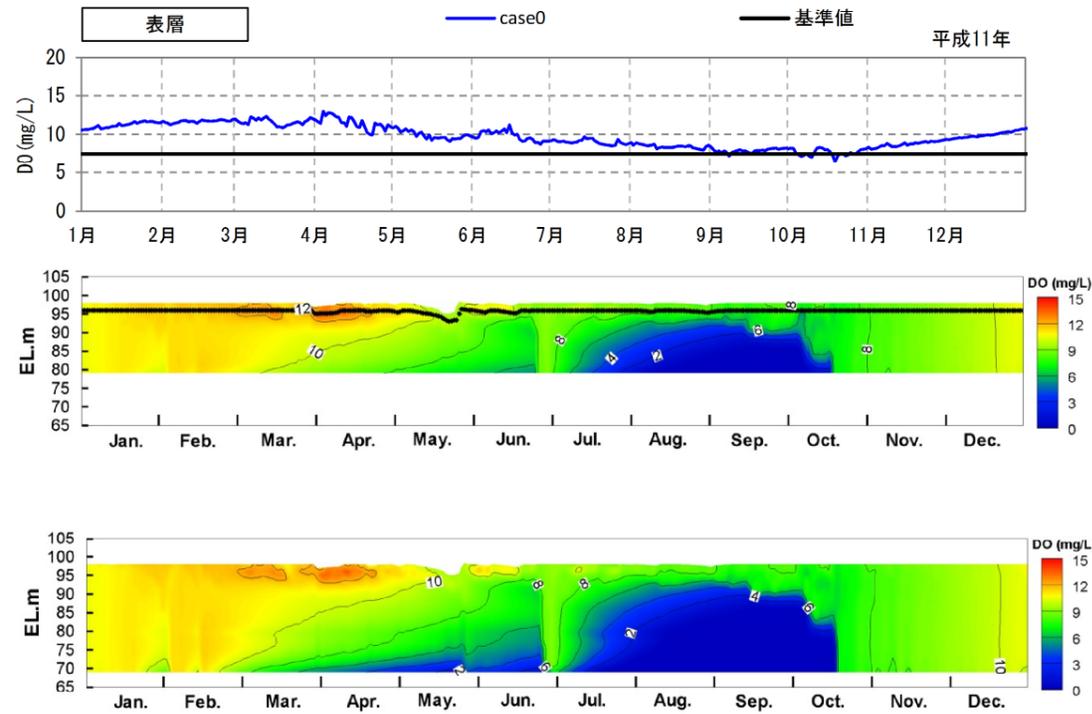


深層曝気によりリンの溶出を軽減。

図 1-9 安威川ダム予測結果 (ダム建設後の対策なし・対策ありの比較) (3/4)

凡例
 上段:No. 3 メッシュ地点底層 TP 予測結果、下段:No. 3 メッシュ地点 TP コンター図
 case0(選択取水設備のみ(常時表層取水))
 case1(水質保全対策あり:選択取水、浅層曝気、深層曝気の組み合わせ)

○上段：No. 1メッシュ地点表層DO予測結果、中段：No. 1メッシュ地点、下段：No. 3メッシュ地点DOコンター図（平成11年の例）



水温躍層の位置が深くなったことにより、表層水がやや深くまで混ざりようになり、表層DOがやや低下

※コンター図の黒線は選択取水位置を示す。

深層曝気（底層DOが低い期間に運転）により低DO水塊が減少

表層DO

	ダム建設前			ダム建設後					
	最大値	最小値	平均値	case0			case1		
				最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
平成7年	13.7	8.2	10.6	13.2	6.4	10.0	13.4	6.4	9.7
平成8年	13.8	8.3	10.7	13.4	7.6	10.2	12.9	6.8	9.9
平成9年	13.5	8.4	10.6	13.1	6.5	10.0	12.8	6.7	9.7
平成10年	13.6	8.3	10.4	13.6	6.9	9.9	12.9	6.7	9.5
平成11年	13.9	8.3	10.5	13.0	6.5	9.8	12.3	6.5	9.4
平成12年	13.6	8.3	10.5	13.1	7.3	9.7	12.7	6.3	9.4
平成13年	13.9	8.2	10.5	12.5	7.0	9.9	12.6	6.1	9.5
平成14年	13.2	8.3	10.5	13.3	7.2	9.8	12.5	6.2	9.2
平成15年	13.8	8.4	10.6	13.0	6.6	10.0	13.0	6.9	9.7
平成16年	13.8	8.3	10.4	13.0	7.2	9.8	12.6	6.4	9.4
10カ年最大値	13.9	8.4	10.7	13.6	7.6	10.2	13.4	6.9	9.9
10カ年最小値	13.2	8.2	10.4	12.5	6.4	9.7	12.3	6.1	9.2
10カ年平均値	13.7	8.3	10.5	13.1	6.9	9.9	12.8	6.5	9.5

参考 DOの環境基準値

表層

表-3.1.6 生活環境項目の環境基準値(2/2)

項目	pH	COD	SS	DO	大腸菌群数
湖沼 ア)					
類型		mg/L	mg/L	mg/L	MPN/100mL
AA	6.5以上 8.5以下	1以下	1以下	7.5以上	50以下
A	6.5以上 8.5以下	3以下	5以下	7.5以上	1000以下
B	6.5以上 8.5以下	5以下	15以下	5以上	-
C	6.5以上 8.5以下	8以下	ごみ等の浮遊が認められないこと	2以上	-

太枠を安威川ダム貯水池内水質に対する参考値として用いる。

底層

項目	全窒素	全リン
類型	mg/L	mg/L
I	0.1以下	0.005以下
II	0.2以下	0.01以下
III	0.4以下	0.03以下
IV	0.6以下	0.05以下
V	1.0以下	0.1以下

太枠を安威川ダム貯水池内水質に対する参考値として用いる。

底層

項目	水生生物が生息・再生産する場の適応性	基準値	該当水域
生物1	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が生息できる場を保全・再生産する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が再生産できる場を保全・再生産する水域	4.0mg/L以上	第1の2の(2)により水域類型ごとに指定する水域
生物2	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生産する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生産する水域	3.0mg/L以上	
生物3	生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が生息できる場を保全・再生産する水域、再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が再生産できる場を保全・再生産する水域又は無生物域を解消する水域	2.0mg/L以上	
測定方法		規格32に定める方法又は付表13に掲げる方法	

備考
1 基準値は、日間平均値とする。
2 底面近傍で溶存酸素量の変化が大きいことが想定される場合の採水には、横型のバンドン採水器を用いる。

凡例

上段：No. 1メッシュ地点表層DO予測結果、中段：No. 1メッシュ地点、下段：No. 3メッシュ地点DOコンター図
case0(選択取水設備のみ(常時表層取水))
case1(水質保全対策あり:選択取水、浅層曝気、深層曝気の組み合わせ)

図 1-9 安威川ダム予測結果(ダム建設後の対策なし・対策ありの比較) (4/4)

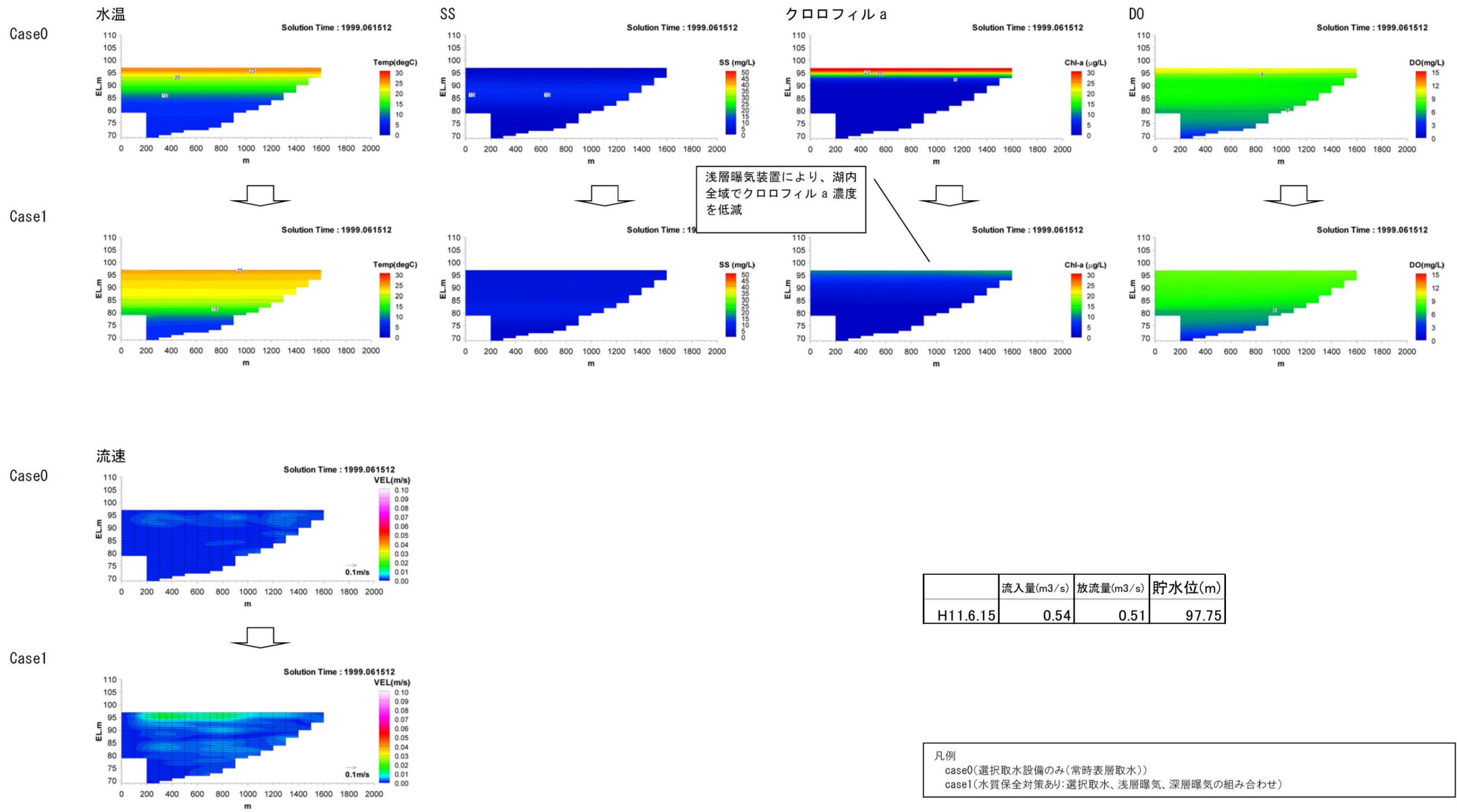
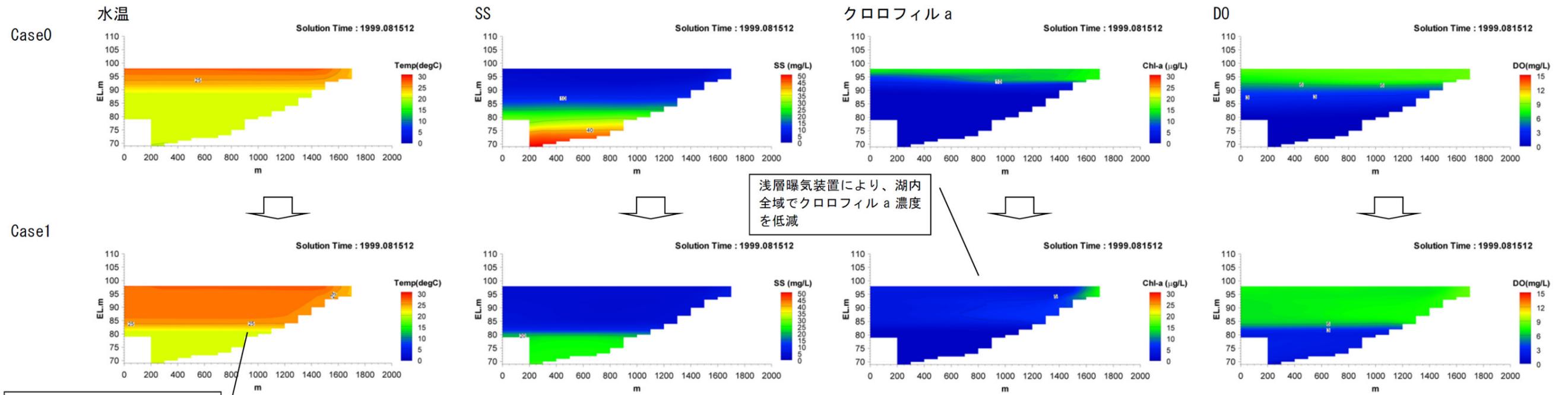
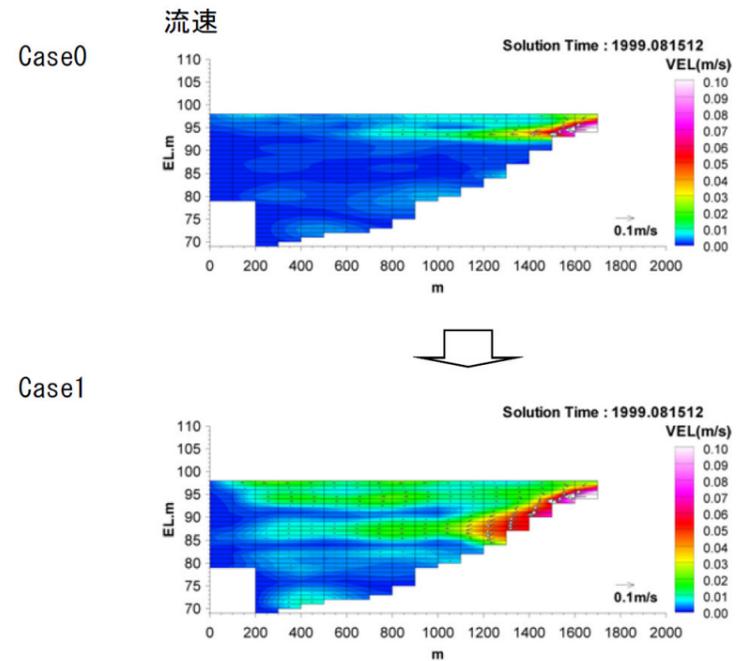


図 1-10(1) 安威川ダム予測結果 (ダム建設後の対策なし・対策ありの鉛直分布の比較) (出力: 平成 11 年 6 月 15 日)



対策により、湖内全域で、水温躍層が低下し、より深部まで循環（堤体付近の選択取水および浅層曝気の効果貯水池全体におよんでいる）。

浅層曝気装置により、湖内全域でクロロフィル a 濃度を低減



	流入量(m ³ /s)	放流量(m ³ /s)	貯水位(m)
H11.8.15	1.50	1.21	97.92

凡例
 case0(選択取水設備のみ(常時表層取水))
 case1(水質保全対策あり:選択取水、浅層曝気、深層曝気の組み合わせ)

図 1-10(2) 安威川ダム予測結果 (ダム建設後の対策なし・対策ありの鉛直分布の比較) (出力:平成 11 年 8 月 15 日)

1.5. 予測結果の評価

- 水温、濁り、富栄養化、溶存酸素の各水質問題に対応するためには、選択取水（水温、濁り）、浅層曝気（水温、富栄養化）、深層曝気（溶存酸素）を導入し、組み合わせて運用することが必要であり、シミュレーションにより一定の効果が確認できた。今後、濁水防止フェンスの効果について検証する。
- 水温、富栄養化は選択取水、浅層曝気の運用による効果がある一方、濁りは選択取水（常時表層取水）のみの場合と比較すると長期化する傾向である。しかし、長期化する期間において、放流 SS が環境基準河川 A 類型相当 SS25mg/L 以上となる日数はケース 0,1 とともに年間で約 1 日であり、ほとんど差はない。

表 1-5 基本的な施設運用によるダム建設後の予測結果

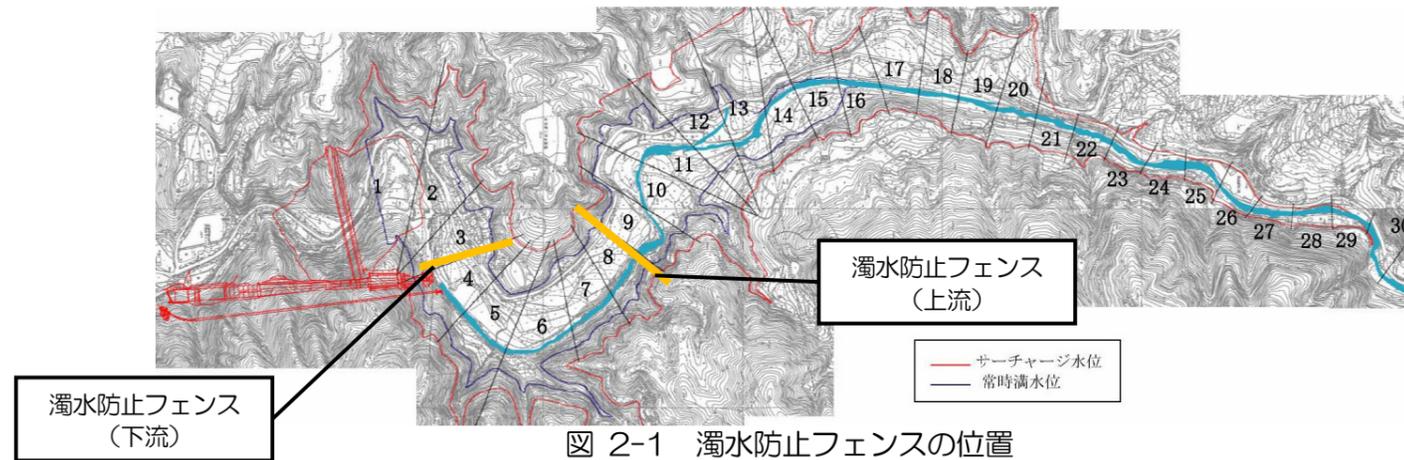
項目	予測結果（10年間の予測結果）			評価・課題
	Case0 選択取水設備のみ（常時表層取水）		Case1 水質保全対策あり：選択取水、浅層曝気、深層曝気 の組み合わせ（今回予測）	
	前回予測（第9回審議会）	今回予測		
濁水長期化	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設前と比較し、47日、濁水が長期化。 ※濁水放流の定義：流入 SS より放流 SS が高い ・ダム建設前と比較し、濁水長期化連続日数が最大で14日間発生。 ※濁水長期化連続日数の定義：流入 SS より放流 SS が高い日が連続する日数 ・ただし、47日中、SS25mg/L 以上となるのは1日程度。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設前と比較し、44日、濁水が長期化。 →前回予測よりも3日減少 ・ダム建設前と比較し、濁水長期化連続日数が最大で13日間発生。 →前回予測よりも1日減少 ・ただし、44日中、SS25mg/L 以上となるのは1日程度。 →前回予測とほぼ同じ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設前と比較し、70日、濁水が長期化。 →対策しない場合よりも26日増加 ・ダム建設前と比較し、濁水長期化連続日数が最大で19日間発生。 →対策しない場合よりも6日間長期化 ・ただし、70日中、SS25mg/L 以上となるのは1日程度。 	<ul style="list-style-type: none"> ●選択取水の水温優先運用と、浅層曝気の運転により、ダム建設後（対策なし）よりも SS が上昇。 ●今後、濁水防止フェンスの設置・運用した場合の検証を行う。
水温	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設前（10年変動幅）と比較し、最大 4.7℃ の温水放流、最大 9.8℃ の冷水放流となる。 ※温水・冷水放流の定義：10年変動幅をはずれる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設前（10年変動幅）と比較し、最大 4.3℃ の温水放流、最大 10.9℃ の冷水放流となる。 →前回予測と比較して、温水放流は 0.4℃ 下降、冷水放流は 1.1℃ 下降 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設前（10年変動幅）と比較し、最大 3.7℃ の温水放流、最大 0.9℃ の冷水放流となる。 →対策しない場合よりも温水放流がやや緩和、冷水放流はほぼ解消 	<ul style="list-style-type: none"> ●選択取水設備により取水深を変更することで、温水放流を軽減できるが、解消しない。 ●浅層曝気によりフラッシュ放流時の冷水放流を解消した。 ・秋季～冬季は、貯水池内の水温が深さ方向に一樣となるため、選択取水設備の取水深に係わらず放流水温は概ね同じとなる。
富栄養化	<ul style="list-style-type: none"> ・ダムサイト地点表層クロロフィル a 濃度が最大で 30.2 μg/L となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダムサイト地点表層クロロフィル a 濃度が最大で 33.3 μg/L となる。 →前回予測と比較して、表層クロロフィル a 濃度の最大値が 3.1 μg/L 上昇 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダムサイト地点表層クロロフィル a 濃度が最大で 20.4 μg/L となる。 →対策しない場合よりも表層クロロフィル a 濃度の最大値が 12.9 μg/L 減少 	<ul style="list-style-type: none"> ●浅層曝気（3/21～8/31 運転）により、日射、水温等が増殖に適さない深さまで藻類を循環させることができ、アオコ発生の懸念を解消。
溶存酸素	<ul style="list-style-type: none"> ・表層 DO が環境基準相当（7.5mg/L）以下となる日数が、平均 8 日ある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・表層 DO が環境基準相当（7.5mg/L）以下となる日数が、平均 10 日ある。 →前回予測と比較して、表層 DO が環境基準相当より低くなる日数が 2 日増加 	<ul style="list-style-type: none"> ・表層 DO が環境基準相当（7.5mg/L）以下となる日数が、平均 49 日ある。 →対策しない場合よりも表層 DO が環境基準相当より低くなる日数が平均 39 日増加 	<ul style="list-style-type: none"> ●浅層曝気により循環する層が深くなることから、表層 DO が低下。 ●底層 DO は、深層曝気により、夏季から秋季の低下が改善。

2. 今後の水質予測検討ケース（水質保全方策）

- 選択取水設備、浅層曝気、深層曝気で、温水放流・冷水放流の緩和、富栄養化の軽減の効果が確認された。
- 今後、濁水防止フェンスによる濁水長期化の軽減について、シミュレーションを実施する。

表 2-1 今後の水質予測検討ケース

検討ケース	水質保全施設					備考
	選択取水	浅層曝気	深層曝気	濁水防止フェンス 下流 10m	濁水防止フェンス 上流 10m	
ケース0						検討済み
ケース1	●	●	●			今後検討
ケース2	●	●	●	●		
ケース3	●	●	●	●	●	



3. 参考資料：貯水池内水質シミュレーションモデル式

- 鉛直二次元モデルは貯水池内部を水平方向と鉛直方向の二次元に分割し、この水平要素をコントロールボリュームとして基礎原理を適用する。
- 本モデルは、貯水池内の流動を精度良く再現する為に、動圧をHSMAC法により解析するとともに、乱流モデルとしてk-εモデルを導入している。また、生態系モデルについては、従来の一般的なモデルよりもより詳細な検討に対応できるように、無機態窒素についてはアンモニア態、亜硝酸態、硝酸態の3態窒素を予測可能なモデルとし、植物プランクトンの予測における細胞内の栄養素を考慮している。

3.1. 流動に関する基礎式

本モデルで用いる基礎式を次に記す。

■水の連続式：

$$\frac{\partial}{\partial x}(uB) + \frac{\partial}{\partial y}(vB) = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

■水平・鉛直方向の運動方程式：

$$\left. \begin{aligned} \frac{D(Bu)}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x}\left(v_L B \frac{\partial u}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(v_{all} B \frac{\partial u}{\partial y}\right) &= -\frac{B}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau_x}{(n_s \cdot n_n)} \\ \frac{D(Bv)}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x}\left(v_L B \frac{\partial v}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(v_{all} B \frac{\partial v}{\partial y}\right) &= -\frac{B}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + Bg\delta + \frac{\tau_y}{(n_s \cdot n_n)} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

■乱流エネルギーkの輸送方程式：

$$\frac{D(Bk)}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x}\left(v_L B \frac{\partial k}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(v_{all} B \frac{\partial k}{\partial y}\right) = B P_r - B g \frac{v_{all}}{\sigma_k} \frac{\partial \delta}{\partial y} - B \epsilon \quad \dots\dots(3)$$

■乱流エネルギー散逸率εの輸送方程式：

$$\frac{D(B\epsilon)}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x}\left(v_L B \frac{\partial \epsilon}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(v_{all} B \frac{\partial \epsilon}{\partial y}\right) = C_1 B \frac{\epsilon}{k} P_r - C_2 B \frac{\epsilon^2}{k} \quad \dots\dots(4)$$

■水温の輸送方程式：

$$\frac{D(BT)}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x}\left(v_L B \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(v_{all} B \frac{\partial T}{\partial y}\right) = \frac{1}{(\delta \cdot C_w)} \cdot \frac{\partial(B\Phi)}{\partial y} \quad \dots\dots(5)$$

■浮遊物質濃度の輸送方程式：

$$\frac{\partial(BC)}{\partial t} + \frac{\partial(BuC)}{\partial x} + \frac{\partial(B(v-v_s)C)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x}\left(v_L B \frac{\partial C}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(v_{all} B \frac{\partial C}{\partial y}\right) = 0 \quad \dots\dots(6)$$

ここに、 $\delta = \frac{\rho}{\rho_0}$

$$P_r = v_t \left[2 \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]$$

$v_{all} = v + v_t = v + C_\mu \frac{k}{\epsilon}$, $v_L = 0.01(\Delta x)^{4/3}$: リチャードソンの4/3乗則

$C_\mu = 0.09, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, \sigma_\tau = 0.8, \sigma_c = 0.8$: k-εモデルのモデル定数

x, yは流れの方向及び鉛直方向の座標, Bは川幅, u, vはそれぞれx, y方向における流速, Tは水温, τ_x, τ_y はそれぞれx, y方向に働く河床面(潤辺)のせん断応力, $(n_s \cdot n_n)$ は側岸部に垂直な単位ベクトルと横断方向の単位ベクトルの内積, ν は水の分子粘性係数, ν_t は渦動粘性係数, δ は水の相対密度, ρ_0 は水の基準密度, C_w は水の比熱, Φ は水面における熱フラックス, v_s は浮遊物質の沈降速度である。

また、密度ρは水温及び濃度の関数として、

$$\rho = f(T, C) \quad \dots\dots\dots(7)$$

で定められる。ここでは、以下に示すKundsenの式を使う：

$$\begin{aligned} \rho(T) &= \frac{\sigma_t}{1000} + 1 \\ \sigma_t &= \Sigma_t + (\sigma_0 + 0.1344)\{1 - A_t + B_t(\sigma_0 - 0.1324)\} \\ \sigma_0 &= -0.069 + 1.4708 \times Cl - 0.001570 \times Cl^2 + 0.0000398 \times Cl^3 \\ \Sigma_t &= -\frac{(T - 3.9)^2 T + 283.0}{503.570 T + 67.26} \\ A_t &= T(4.7869 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3} \\ B_t &= T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6} \end{aligned}$$

ここに、Clは塩分濃度(%), Tは水温(°C)である。ただし、ここでは淡水のみを取り扱う為、Cl=0.0としている。

また、濁質による密度の影響を計算する。計算式は以下の通りである。

$$\rho = \rho(T) + (1 - \rho(T)/\rho_s) \times C_{ss} \times 10^{-6}$$

ここに、 C_{ss} は濁質濃度(mg/l), ρ_s は土砂粒子の密度($\rho_s = 2.65g/cm^3$), $\rho(T)$ は純水の密度である。18°Cの純水の密度($\rho(T) = 0.9986g/cm^3$)と土砂粒子の密度を上式に代入すると次の式になる。

$$\rho = \rho(T) + 0.623 \times SS \times 10^6$$

3.2. 生態系モデルの基礎式

生態系モデルにおける各水質項目の基礎方程式を次式に示す。

$$\frac{\partial(Bf)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Buf) + \frac{\partial}{\partial y}(Bvf) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v_L}{\sigma_f} B \frac{\partial f}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{v_{all}}{\sigma_f} B \frac{\partial f}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial(Bf)}{\partial t}\right)^* \dots\dots\dots (8)$$

上式の左辺第一項は時間変化項、左辺第二・第三項は移流項、右辺第一・第二項は拡散項、右辺第三項は生物学的生成項を示している。

ここに、 B は川幅、 f は富栄養化関連水質項目、 u, v はそれぞれ水平および鉛直流速、 v_L, v_{all} はそれぞれ水平および鉛直渦動粘性係数、 σ は定数である。

生物学的生成項について、以下に示す。

3.2.1. 植物プランクトン (C)

植物プランクトンは炭素 C で表示される。

植物プランクトンの生成項を以下に示す。

$$\frac{\partial C_{PP}}{\partial t} = G_{PP} \cdot C_{PP} - D_{PP} \cdot C_{PP} - E_{PP} \cdot C_{PP} - \frac{W_{sPP} \cdot C_{PP}}{\Delta z_k} \dots\dots\dots (9)$$

(植物プランクトンの変化量)

= (成長) - (枯死) - (呼吸) - (下層への沈降)

ここに、
 C_{PP} : 植物プランクトン内の炭素濃度(mg/L)
 G_{PP} : 植物プランクトンの成長速度(1/day)
 D_{PP} : 植物プランクトンの枯死速度(1/day)
 E_{PP} : 植物プランクトンの呼吸速度(1/day)
 W_{sPP} : 植物プランクトンの沈降速度(m/day)
 Δz : 層厚(m)

である。

植物プランクトンの増殖速度に影響する因子としては、日照強度、水温、無機態窒素濃度、無機態リン濃度を考慮する。

日照強度効果は、植物プランクトン増殖に対する強光阻害を考え、Ditoro らの考えを基に以下の式で与える。

$$F_I = \frac{I_y}{I_S} \exp\left(1 - \frac{I_y}{I_S}\right) \dots\dots\dots (10)$$

ここに、
 F_I : 日照強度効果による影響の修正係数
 I_S : 最大増殖速度を与える最適日射量 (cal/m²/day)
 I_y : 日射量 (cal/m²/day)

である。

I_y は水面での日射量 I_0 および消散係数 k を用いて、下式より算出する。

$$I_y = I_0 \exp(-kz)$$

なお、消散係数 k は基底値 k_0 を最小値とし、比例係数を用いてクロロフィル a 濃度に比例させる。

栄養塩類濃度による影響は Michaelis-Menten 型の式で近似し、水温による影響は以下の式を適用する。

$$G_{PP} = R_p \cdot F_t \cdot F_I \cdot \text{MIN}\left[\frac{SQP}{SQP + C_{IP}}, \frac{SQN}{SQN + C_{IN}}\right] \dots\dots\dots (11)$$

$$F_t = \left[\frac{T}{T_s} \exp\left(1 - \frac{T}{T_s}\right)\right]^n$$

ここに、
 G_{PP} : 植物プランクトン増殖速度(1/day)
 R_p : 植物プランクトン最大増殖速度(1/day)
 C_{IN} : 植物プランクトン内に含まれる無機態窒素濃度(mg/L)
 (N/Cp 比により換算)
 C_{IP} : 植物プランクトン内に含まれる無機態リン濃度(mg/L)
 (P/Cp 比により換算)
 SQN : 無機態窒素の保持量
 SQP : 無機態リンの保持量
 F_t : 水温による影響の補正係数
 T_s : 最適水温 (°C)
 T : 水温 (°C)
 n : 光合成温度補正係数

SQN および SQP は、後述するそれぞれの摂取量のうち、成長、枯死および沈降による損失量を除いた量となる。

また、植物プランクトンの枯死速度および呼吸速度は以下のように表される。

$$D_{PP} = D_{PP12} \cdot \theta_{DPP}^{(T-T_2)}$$

$$E_{PP} = E_{PP12} \cdot \theta_{EPP}^{(T-T_2)} \dots\dots\dots (12)$$

ここに、
 D_{PP12} : 参照温度における植物プランクトンの枯死速度(1/day)
 E_{PP12} : 参照温度における植物プランクトンの呼吸速度(1/day)
 θ_{DPP} : 植物プランクトンの枯死速度に関する温度補正係数
 θ_{EPP} : 植物プランクトンの呼吸速度に関する温度補正係数
 T_2 : 植物プランクトンの呼吸速度および枯死速度における参照温度 (°C)

である。

3.2.2. 懸濁態有機炭素 (POC)

懸濁態有機炭素の生物化学的過程を以下に示す。

$$\frac{\partial C_C}{\partial t} = D_{PP} \cdot C_{PP} + E_{PP} \cdot C_{PP} - D_C \cdot C_C - D_C \cdot r \cdot C_C + \frac{W_{sC(k-1)} \cdot C_{C(k-1)}}{\Delta z_{k-1}} - \frac{W_{sC} \cdot C_C}{\Delta z_k} \quad (13)$$

(懸濁態有機炭素の変化量)
 = (植物プランクトンの枯死) + (植物プランクトンの呼吸) - (分解)
 - (DOC への変換) + (上層からの沈降) - (下層への沈降)

ここに、
 C_C : 懸濁態有機炭素(mg/L)
 D_C : 懸濁態有機炭素の分解速度(1/day)
 r : 溶存態有機炭素への変換割合
 W_{sC} : 懸濁態有機炭素の沈降速度(m/day)

である。

懸濁態有機炭素の分解速度は以下の式で表される。

$$D_C = D_{C12} \cdot \theta_{DC}^{(T-T_2)} \frac{C_{DO}}{K_{DO} + C_{DO}} \quad (14)$$

ここに、
 D_{C12} : 参照温度における懸濁態有機炭素の分解速度(1/day)
 θ_{DC} : 懸濁態有機炭素の分解に関する温度補正係数
 K_{DO} : 分解過程における DO の半飽和定数(mg/L)
 T_2 : 懸濁態有機炭素の分解における参照温度(°C)

である。

3.2.3. 溶存態有機炭素 (DOC)

溶存態有機炭素の生物化学的過程を以下に示す。

$$\frac{\partial C_{DOC}}{\partial t} = D_C \cdot r \cdot C_C - D_{DOC} \cdot r \cdot C_{DOC} \quad (15)$$

(溶存態有機炭素の変化量)
 = (分解) - (無機化)

ここに、
 C_{DOC} : 溶存態有機炭素(mg/L)
 D_{DOC} : 溶存態有機炭素の無機化速度(1/day)

である。

溶存態有機炭素の無機化速度は以下の式で表される。

$$D_{DOC} = D_{DOC12} \cdot \theta_{DOC}^{(T-T_2)} \frac{C_{DO}}{K_{DO} + C_{DO}} \quad (16)$$

ここに、
 D_{DOC12} : 参照温度における溶存態有機炭素の無機化速度(1/day)

θ_{DC} : 溶存態有機炭素の無機化に関する温度補正係数
 K_{DO} : 無機化過程における DO の半飽和定数(mg/L)
 T_2 : 溶存態有機炭素の無機化における参照温度(°C)

である。

3.2.4. 懸濁態有機窒素 (PON)

有機窒素については、植物プランクトン内の有機態窒素とデトリタスなどに含まれる懸濁態有機窒素に分けられる。

懸濁態有機窒素の生物化学的過程を以下に示す。なお、底泥からの溶出については有機態窒素としての溶出はないものとする。

$$\frac{\partial C_{ON}}{\partial t} = f_{ON} \cdot f_{NC} \cdot D_{PP} \cdot C_{PP} + f_{ON} \cdot f_{NC} \cdot E_{PP} \cdot C_{PP} - D_{ON} \cdot C_{ON} + \frac{W_{sON(k-1)} \cdot C_{ON(k-1)}}{\Delta z_{k-1}} - \frac{W_{sON} \cdot C_{ON}}{\Delta z_k} \quad (17)$$

(懸濁態有機窒素の変化量)
 = (植物プランクトンの枯死) + (植物プランクトンの呼吸) - (分解)
 + (上層からの沈降) - (下層への沈降)

ここに、
 C_{ON} : 懸濁態有機窒素濃度(mg/L)
 f_{ON} : 植物プランクトンの枯死・呼吸のうち有機態窒素になるものの割合
 f_{NC} : 窒素/炭素換算係数(mgN/mgC)
 D_{ON} : 懸濁態有機窒素の分解速度(1/day)
 W_{sON} : 懸濁態有機窒素の沈降速度(m/day)

である。

懸濁態有機窒素の分解速度は以下の式で表される。

$$D_{ON} = D_{ON12} \cdot \theta_{DON}^{(T-T_2)} \frac{C_{DO}}{K_{DO} + C_{DO}} \quad (18)$$

ここに、
 D_{ON12} : 参照温度における懸濁態有機窒素の分解速度(1/day)
 θ_{DON} : 懸濁態有機窒素の分解に関する温度補正係数
 T_2 : 懸濁態有機窒素の分解における参照温度(°C)

である。

3.2.5. アンモニア態窒素 (NH₄)

本モデルにおいては、無機態窒素は、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の3態に分ける。

アンモニア態窒素の生物化学的過程を以下に示す。

$$\frac{\partial C_{NHN}}{\partial t} = (1 - f_{ON}) \cdot f_{NC} \cdot D_{PP} \cdot C_{PP} + (1 - f_{ON}) \cdot f_{NC} \cdot E_{PP} \cdot C_{PP} + D_{ON} \cdot C_{ON} - f_{NC} \cdot G_{PP} \cdot C_{PP} \cdot p_{NHN} - D_{ni} \cdot C_{NHN} + \frac{W_{rNHN}}{\Delta z_{kb}} \dots \dots \dots (19)$$

(アンモニア態窒素の変化量)

= (植物プランクトンの枯死) + (植物プランクトンの呼吸) + (有機態窒素の分解)
- (植物プランクトンの摂取) - (硝化) + (底泥からの溶出)

ここに、
C_{NHN} : アンモニア態窒素濃度(mg/L)
p_{NHN} : アンモニア態嗜好係数
D_{ni} : 硝化速度(1/day)
W_{rNHN} : アンモニア態窒素の底泥からの溶出速度(g/m²/day)

である。

硝化速度は以下の式で表される。

$$D_{ni} = D_{nit2} \cdot \theta_{Dni}^{(T-T_2)} \frac{C_{DO}}{K_{DOi} + C_{DO}} \dots \dots \dots (20)$$

ここに、
D_{nit2} : 参照温度における硝化速度(1/day)
θ_{Dni} : 硝化速度に関する温度補正係数
K_{DOi} : 硝化におけるDOの半飽和定数(mg/L)
T₂ : 硝化における参照温度(°C)

である。

植物プランクトンによる無機態窒素の摂取量は下記の式で表される。

$$N_{cpin} = N_{cpin\max} \left\{ \frac{C_{NHN}}{(K_{mN} + C_{NHN})} + \frac{C_{NON}}{(K_{n3N} + C_{NO2N})} \exp(-NsC_{NHN}) \right\} \cdot \left\{ SQN_{\max} - \frac{C_{IN} + SQN}{C_{IN}} \right\} / (SQN_{\max} - 1)$$

ここに、
N_{cpin max} : 無機態窒素の最大摂取速度
C_{NON} : 硝酸態窒素濃度(mg/L)
K_{mN} : アンモニア態窒素摂取の際のアンモニア態窒素の半飽和定数(mg/L)
K_{n3N} : 硝酸態窒素摂取の際の硝酸態窒素の半飽和定数(mg/L)
Ns : 硝酸態窒素の摂取に関するアンモニア態窒素による抑制作用
SQN_{max} : 無機態窒素の最大保持量

である。

無機態窒素をアンモニア態と硝酸態に分けた場合、植物プランクトンによる摂取はそれぞれから行われる。

アンモニア態窒素を摂取する割合を示すアンモニア嗜好係数は以下のように表される。

$$p_{NHN} = C_{NHN} \frac{C_{NON}}{(K_{mN} + C_{NHN})(K_{mN} + C_{NON})} + C_{NHN} \frac{K_{mN}}{(C_{NHN} + C_{NON})(K_{mN} + C_{NON})} \dots (21)$$

また、アンモニア態窒素の底泥からの溶出速度は以下の式で表される。

$$W_{rNHN} = W_{rNHNt2} \cdot \theta_{WrNHN}^{(T-T_2)} \dots \dots \dots (22)$$

ここに、
W_{rNHNt2} : 参照温度におけるアンモニア態窒素の底泥からの溶出速度(g/m²/day)
θ_{WrNHN} : アンモニア態窒素の底泥からの溶出に関する温度補正係数
T₂ : アンモニア態窒素の底泥からの溶出における参照温度(°C)
である。

3.2.6. 硝酸態窒素 (NO₃)

硝酸態窒素の生物化学的過程を以下に示す。

$$\frac{\partial C_{NON}}{\partial t} = -f_{NC} \cdot G_{PP} \cdot C_{PP} \cdot (1 - p_{NHN}) + D_{ni} \cdot C_{NO2} - D_{den} \cdot C_{NON} \dots \dots \dots (23)$$

(硝酸態窒素の変化量)

= - (植物プランクトンの摂取) + (硝化) - (脱窒)

ここに、
C_{NO2} : 亜硝酸態窒素濃度(mg/L)
D_{den} : 脱窒速度(1/day)

である。

脱窒速度は以下のように表される。

$$D_{den} = D_{dent2} \cdot \theta_{Dden}^{(T-T_2)} \dots \dots \dots (24)$$

ここに、
D_{dent2} : 参照温度における硝酸態窒素の脱窒速度(1/day)
θ_{Dden} : 脱窒反応に関する温度補正係数
T₂ : 脱窒における参照温度(°C)

である。

なお、脱窒は溶存酸素が境界濃度 DO_{N min} を下回った条件で発生するものとする。

3.2.7. 亜硝酸態窒素 (NO₂)

亜硝酸態窒素の生物化学的過程を以下に示す。

$$\frac{\partial C_{NO2}}{\partial t} = D_{ni} \cdot C_{NHN} - D_{ni} \cdot C_{NO2} \dots \dots \dots (25)$$

(亜硝酸態の変化量)

= (NH₄-Nからの硝化) - (硝化)

ここに、 C_{NO2} : 亜硝酸態窒素濃度 (mg/L)
である。

硝化速度は以下の式で表される。

$$D_{ni} = D_{nit2} \cdot \theta_{Dni}^{(T-T_2)} \frac{C_{DO}}{K_{DOi} + C_{DO}} \dots \dots \dots (26)$$

ここに、 D_{nit2} : 参照温度における硝化速度 (1/day)
 θ_{Dni} : 硝化速度に関する温度補正係数
 K_{DOi} : 硝化における DO の半飽和定数 (mg/L)
 T_2 : 硝化における参照温度 (°C)

である。

3.2.8. 懸濁態有機リン (POP)

懸濁態有機リンの生物化学的過程を以下に示す。なお、底泥からの溶出については有機態リンとしての溶出はないものとする。

$$\frac{\partial C_{OP}}{\partial t} = f_{PC} \cdot D_{PP} \cdot C_{PP} + f_{PC} \cdot E_{PP} \cdot C_{PP} - D_{OP} \cdot C_{OP} + \frac{W_{sOP(k-1)} \cdot C_{OP(k-1)}}{\Delta z_{k-1}} - \frac{W_{sOP} \cdot C_{OP}}{\Delta z_k} \dots \dots \dots (27)$$

(懸濁態有機リンの変化量)
= (植物プランクトンの枯死) + (植物プランクトンの呼吸) - (分解)
+ (上層からの沈降) - (下層への沈降)

ここに、 C_{OP} : 懸濁態有機リン濃度 (mg/L)
 f_{NP} : リン/炭素換算係数 (mgP/mgC)
 D_{OP} : 懸濁態有機リンの分解速度 (1/day)
 W_{sOP} : 懸濁態有機リンの沈降速度 (m/day)

である。

懸濁態有機リンの分解速度は以下の式で表される。

$$D_{OP} = D_{OPt2} \cdot \theta_{DOP}^{(T-T_2)} \frac{C_{DO}}{K_{DO} + C_{DO}} \dots \dots \dots (28)$$

ここに、 D_{OPt2} : 参照温度における懸濁態有機リンの分解速度 (1/day)
 θ_{DOP} : 懸濁態有機リンの分解に関する温度補正係数
 T_2 : 懸濁態有機リンの分解における参照温度 (°C)

である。

3.2.9. 無機態リン (PO₄)

無機態リンの生物化学的過程を以下に示す。

$$\frac{\partial C_{IP}}{\partial t} = D_{OP} \cdot C_{OP} - f_{PC} \cdot G_{PP} \cdot C_{PP} + \frac{W_{rIP}}{\Delta z_{kb}} \dots \dots \dots (29)$$

(無機態リンの変化量)
= (有機態リンの分解) - (植物プランクトンの摂取) + (底泥からの溶出)

ここに、 C_{IP} : 無機態リン濃度 (mg/L)
 W_{rIP} : 無機態リンの溶出速度 (g/m²/day)

である。

無機態リンの底泥からの溶出速度は以下の式で表される。

$$W_{rIP} = W_{rIPt2} \cdot \theta_{WrIP}^{(T-T_2)} \cdot EXP(-\gamma_p \cdot C_{DO}) \dots \dots \dots (30)$$

ここに、 W_{rIPt2} : 参照温度における無機態リンの底泥からの溶出速度 (g/m²/day)
 θ_{WrIP} : 無機態リンの底泥からの溶出に関する温度補正係数
 γ_p : 溶出に対する DO 依存係数 (1/(mg/L))
 C_{DO} : DO 濃度 (mg/L)
 T_2 : 無機態リンの底泥からの溶出における参照温度 (°C)

である。

植物プランクトンによる無機態リンの摂取量は下記の式で表される。

$$P_{cpin} = P_{cpin \max} \left\{ \frac{C_{IP}}{(K_p + C_{IP})} \right\} \cdot \left\{ SQP_{\max} - \frac{C_{IP} + SQP}{C_{IP}} \right\} / (SQP_{\max} - 1)$$

ここに、 $P_{cpin \max}$: 無機態リンの最大摂取速度
 K_p : 無機態リン摂取の際の無機態リンの半飽和定数 (mg/L)
 SQP_{\max} : 無機態リンの最大保持量

3.2.10. 溶存酸素 (DO)

溶存酸素の生物化学的過程を以下に示す。

$$\frac{\partial C_{DO}}{\partial t} = \left(f_{DOC} + \frac{48}{14} \cdot (1 - p_{NHN}) \cdot f_{NC} \right) \cdot G_{PP} \cdot C_{PP} - f_{DOC} \cdot E_{PP} \cdot C_{PP} - f_{DOC} \cdot D_C \cdot C_C - \frac{64}{14} D_{ni} \cdot C_{NHN} - \frac{W_{rDO}}{\Delta z_{kb}} + f_{DOex} \cdot (C_{DOSat} - C_{DO}) \dots \dots \dots (31)$$

(溶存酸素の変化量)
= (光合成による発生) - (植物プランクトンの呼吸による消費)
- (懸濁態有機炭素の分解) - (硝化による消費) - (底泥による消費) + (再曝気)

ここに、 C_{DO} : 溶存酸素濃度 (mg/L)
 f_{DOC} : 酸素/炭素換算係数 (mgO/mgC)
 W_{rDO} : 底泥による酸素消費速度 (g/m²/day)
 f_{DOex} : 再曝気係数
 C_{DOSat} : 飽和酸素濃度 (mg/L)

である。

底泥による酸素消費速度は以下で表される。

$$W_{rDO} = W_{rDOt2} \cdot \theta_{WrDO}^{(T-T_2)} \dots\dots\dots (32)$$

ここに、
 W_{rDOt2} : 参照温度における底泥の酸素消費速度(1/day)
 θ_{WrDO} : 底泥による酸素消費に関する温度補正係数
 T_2 : 底泥による酸素消費における参照温度(°C)

である。

また、再曝気係数は以下で表される。

$$f_{DOex} = f_{DOext2} \cdot \theta_{fDOex}^{(T-T_2)} \dots\dots\dots (33)$$

ここに、
 f_{DOext2} : 参照温度における再曝気係数
 θ_{fDOex} : 再曝気係数の温度補正係数
 T_2 : 再曝気における参照温度(°C)

である。

深層曝気による DO 濃度付加量の算出は、装置内での気泡による再曝気で付加される DO 濃度を下式より算出する。

$$DO_{add} = R_{RA}(C_{so} - C_{DO}) \dots\dots\dots (34)$$

ここで、 DO_{add} :再曝気により付加される DO 濃度(mg/L)、 R_{RA} :再曝気係数(再現性によって調整)、 C_{so} :飽和溶存酸素濃度(mg/L)、 C_{DO} :吸い込んだ水の DO 濃度(mg/L)

DO 以外の水質項目の濃度は、吸込口での濃度から変化させずに、吐出口より放出させる。