

矢作ダム堰堤改良技術検討委員会

〔委員会資料〕

Ⅲ. 事前放流設備基本計画検討編

平成17年12月27日

目 次

1. はじめに	1
2. 既存放流設備使用の可能性検討	2
2.1 既存選択取水施設の改良による放流能力増大の可能性	2
2.2 既設コンジットによる開度調整放流の可能性	11
3. 既存放流設備使用の可能性検討	13
3.1 新規事前放流設備の考え方	13
3.2 新規放流設備の概略イメージ	14
4. 冷濁水予測シミュレーションによる新規事前放流設備の設置位置の検討	16
4.1 事前放流設備の水質面からの検討の基本的な考え方	16
4.2 事前放流による冷水・濁水軽減効果の検討	19

1. はじめに

矢作ダムにおいては、制限水位以下の貯水容量を有効利用して事前放流を行い、治水機能の向上を図ることが検討されている。そのためには、事前放流に使用する放流管等の能力の見直しや、ダム貯水池の水質、下流河川の水質、周辺自然環境等への影響を確認し、経済性、施工性、安全性、操作性、維持管理面等における問題等について検討し、総合的な観点から最も現実的で可能な方式案を選定する必要がある。

ここでは、特に放流設備の放流能力と冷濁水現象などの水質面について比較検討する。



写真-1.1 矢作ダムの全景
(矢作ダム管理所 HP より)

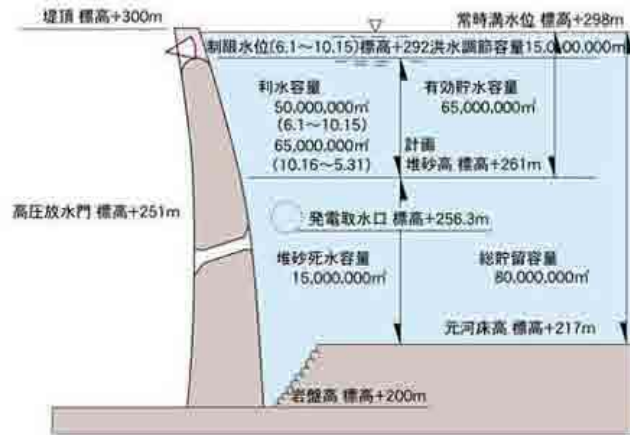


図-1.1 矢作ダムの貯水池容量配分図

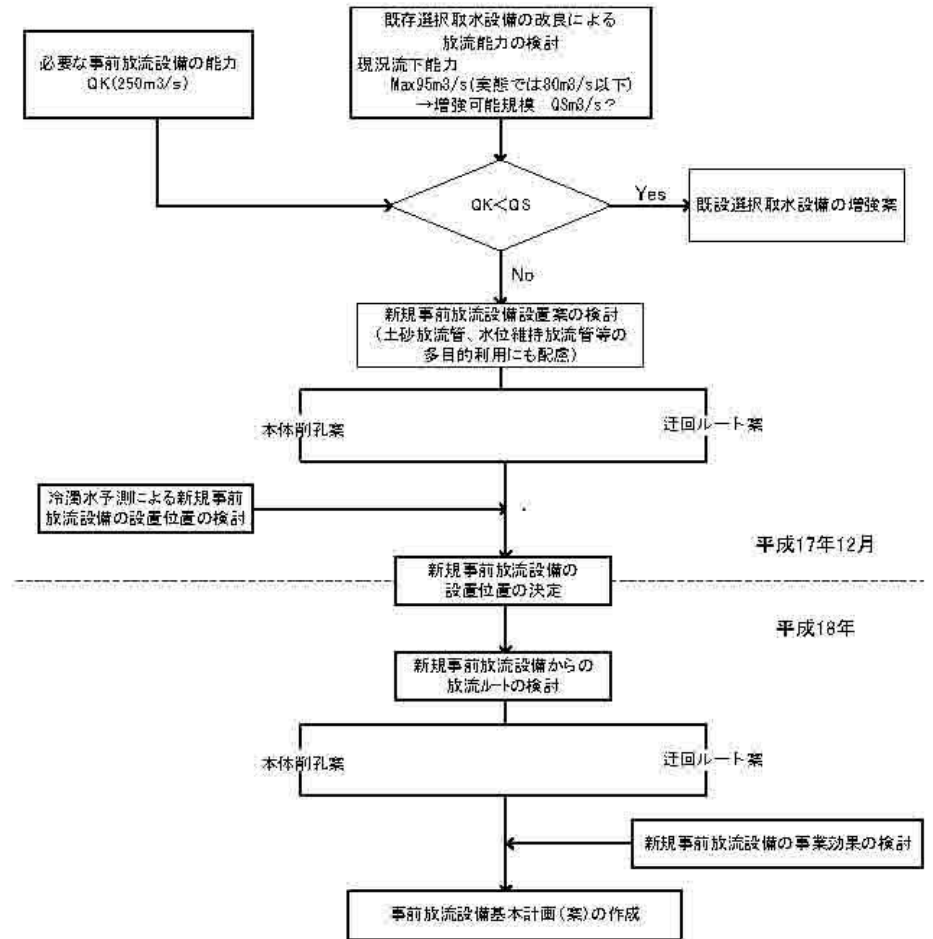


図-1.2 事前放流設備検討のフロー

2 既存放流設備使用の可能性検討

矢作ダムの事前放流に既存の放流設備を使用する方法として、下記の2つの方法の可能性について検討する。

- ① 既設選択取水設備の改良による放流能力の増大
- ② 既設コンジットによる開度調整放流

2.1 既存選択取水施設の改良による放流能力増大の可能性

(1) 選択取水設備の概要

1) 設備の概要

矢作ダムの建設に伴って、ダム直下流に矢作第一発電所、下流約3km地点に第二発電所が中部電力㈱により建設された。

現選択取水設備は、矢作第一発電放流水の下流に対する冷濁水対策として中部電力㈱により設置されたもので、ダム貯水池からの利水補給も発電放流により行うものである。

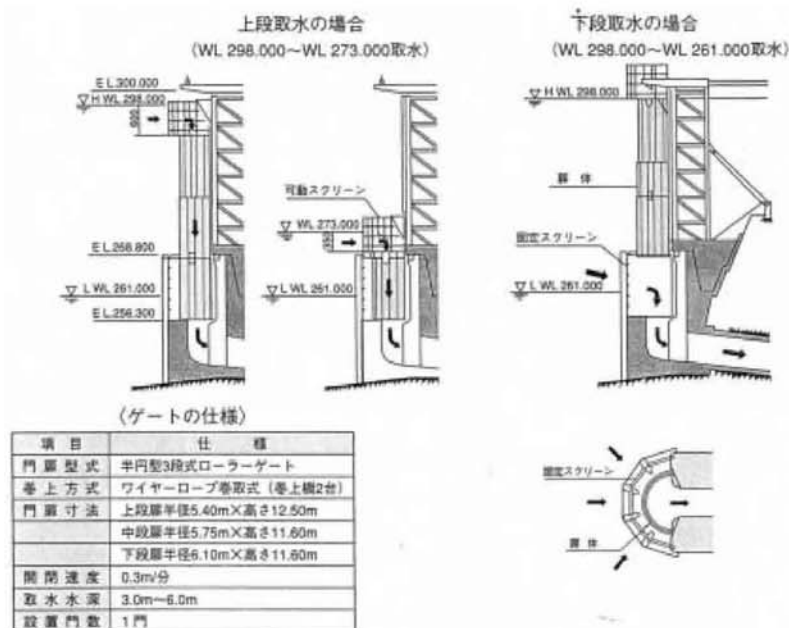


図-2.1 矢作ダム選択取水設備概要図

2) 運用状況

平成11年~16年の6年間の貯水池運用記録をもとに、発電放流量と貯水位の関係を、発電単独放流時とコンジット放流時に分け、さらに、洪水期(6/1~10/15)と非洪水期に分けて整理した結果を図-2.3に示す。

事前放流を行うのは、洪水発生前の時点において、今後一定規模以上の洪水が予測される状態であるので、貯水池の運用状況としては、発電単独放流時(青系プロット)がこの時期に該当する。そこで、発電単独放流時の運用を見ると、貯水位がEL.285m付近で最大使用水量(94.7m³/s)とし、これ以外の貯水位では発電使用水量を絞った操作が行われ、事前放流が想定される洪水期の夏期制限水位では86m³/s以下、非洪水時のWL.295m付近では80m³/s以下で運用されていることがわかる。

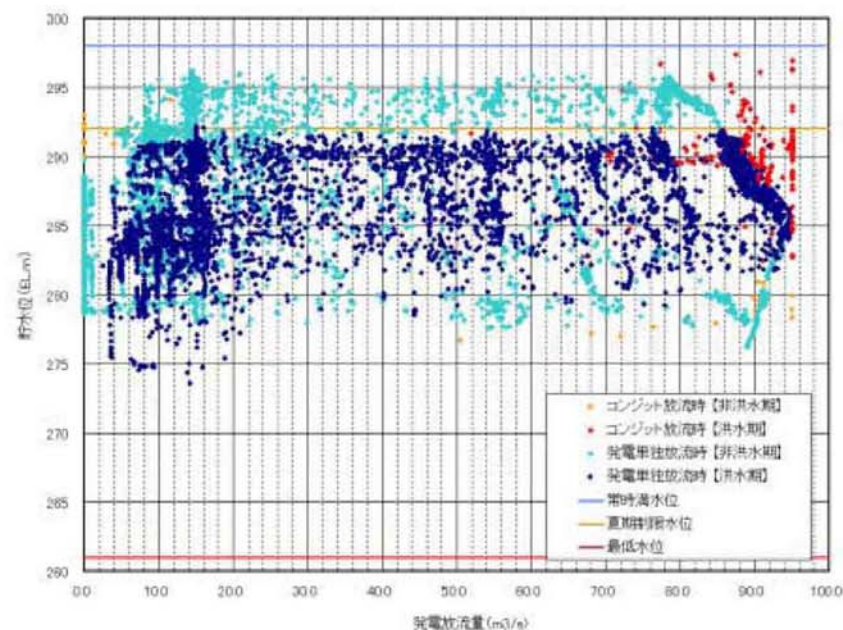
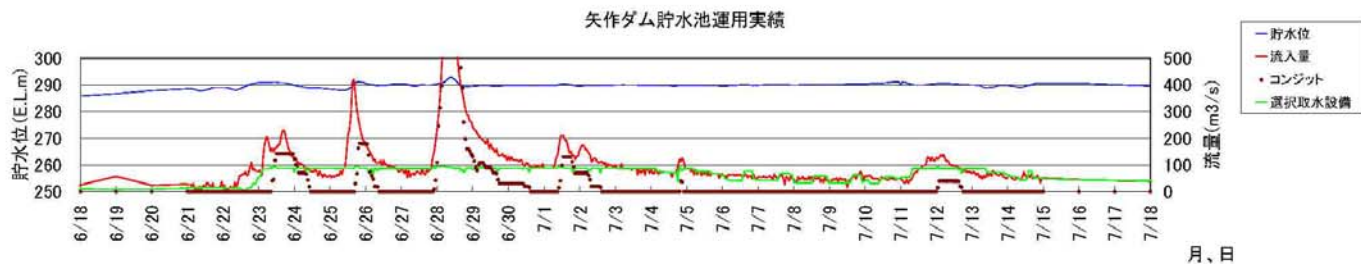
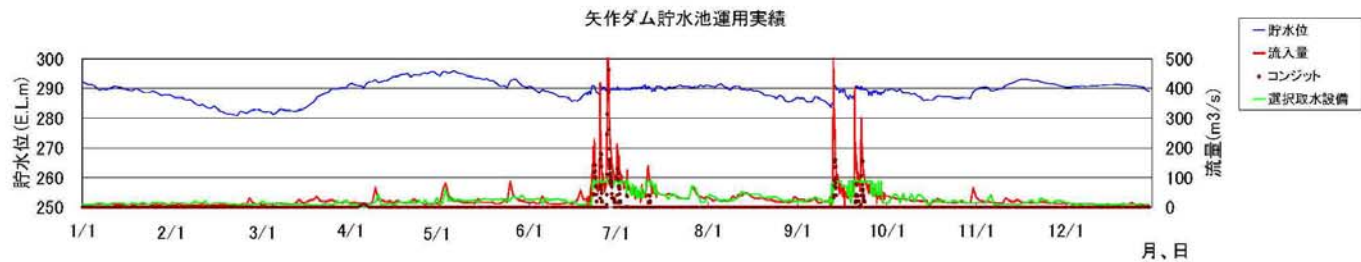


図-2.3 発電放流量の実績分析

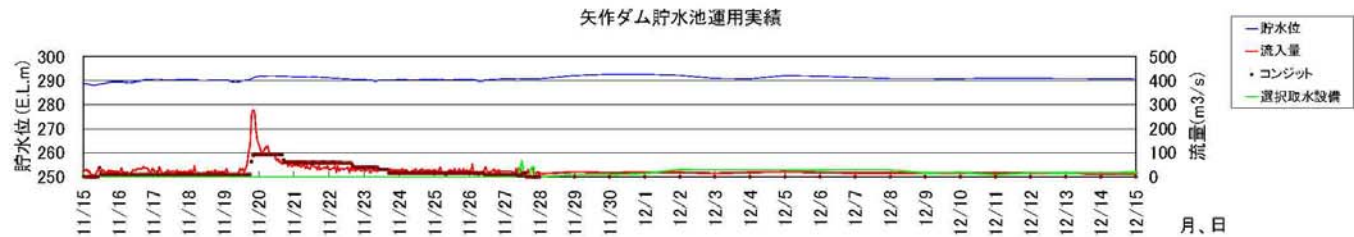
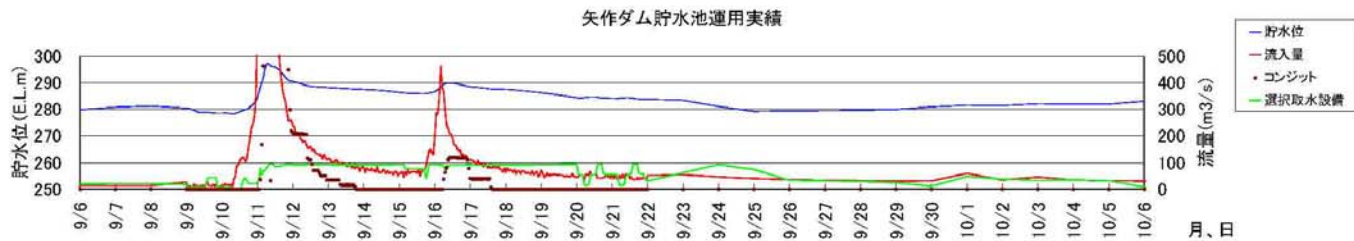
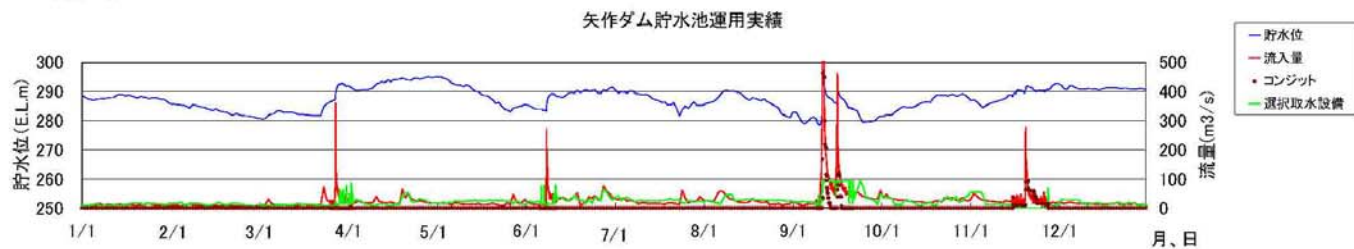
※洪水時には選択取水設備からの放流を優先(概ね最大)し、残りをコンジットで調節して放流している。

※冬季において選択取水設備を用いず、コンジットから放流している場合がある。

平成11年

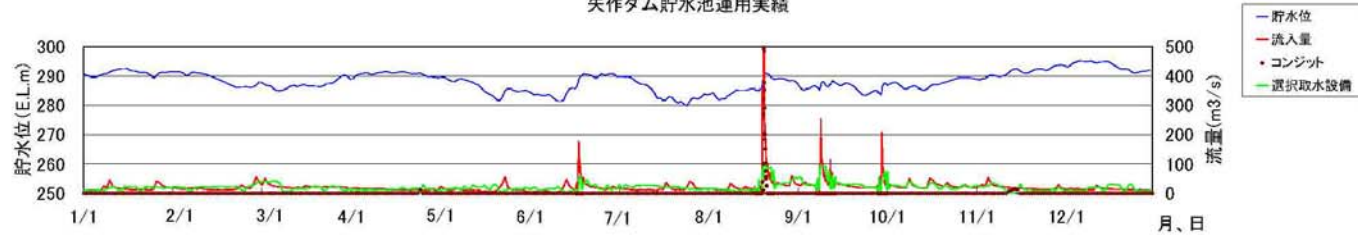


平成12年

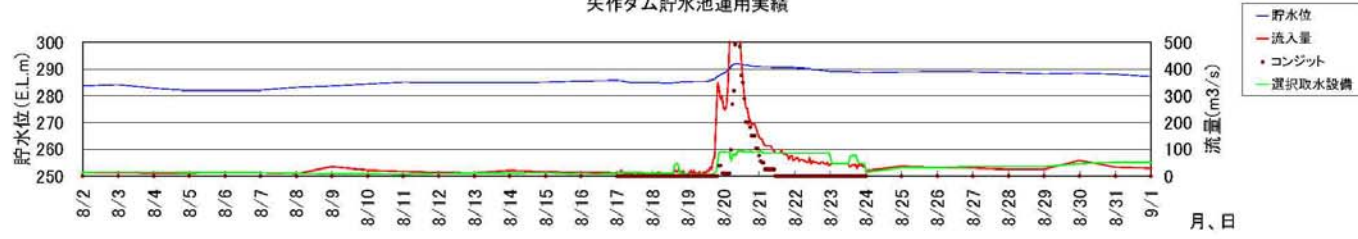


平成13年

矢作ダム貯水池運用実績

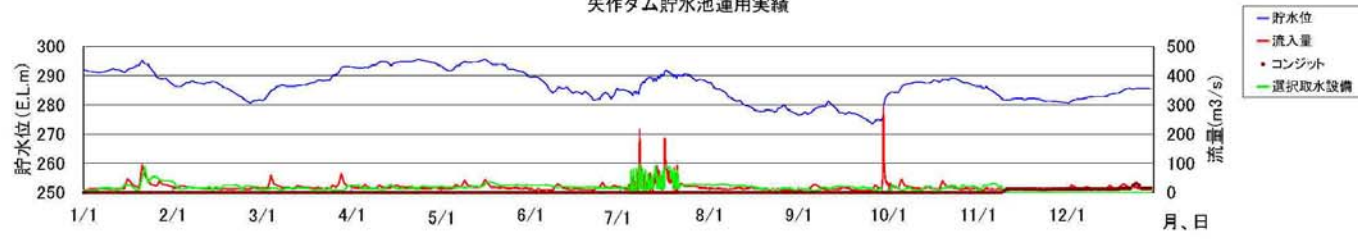


矢作ダム貯水池運用実績

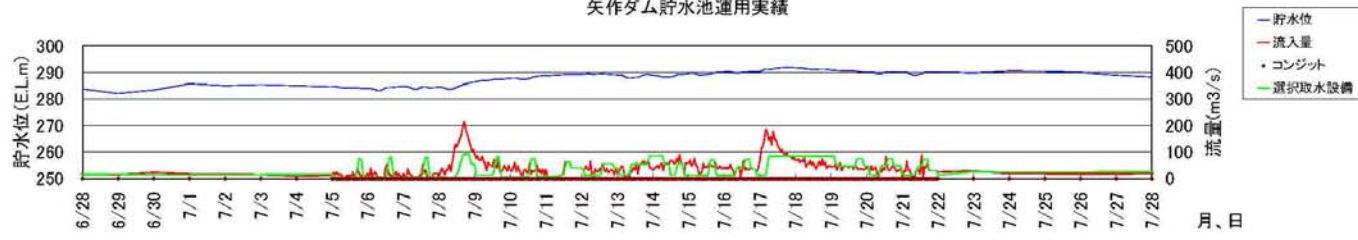


平成14年

矢作ダム貯水池運用実績

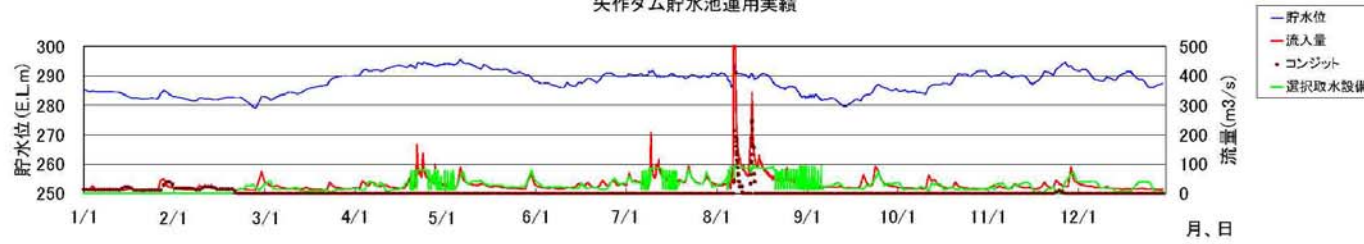


矢作ダム貯水池運用実績

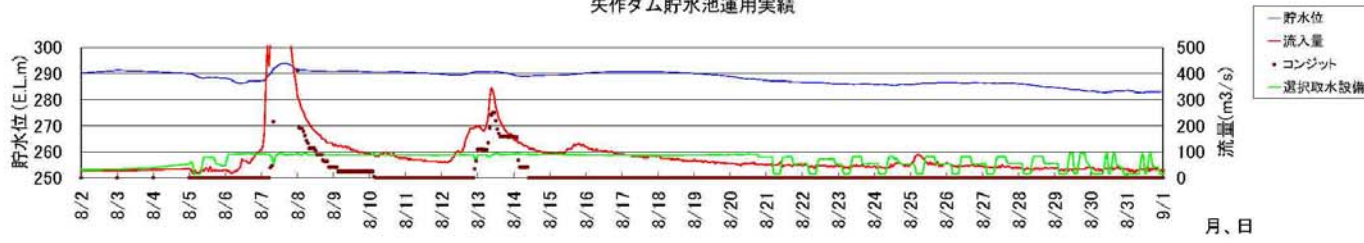


平成15年

矢作ダム貯水池運用実績

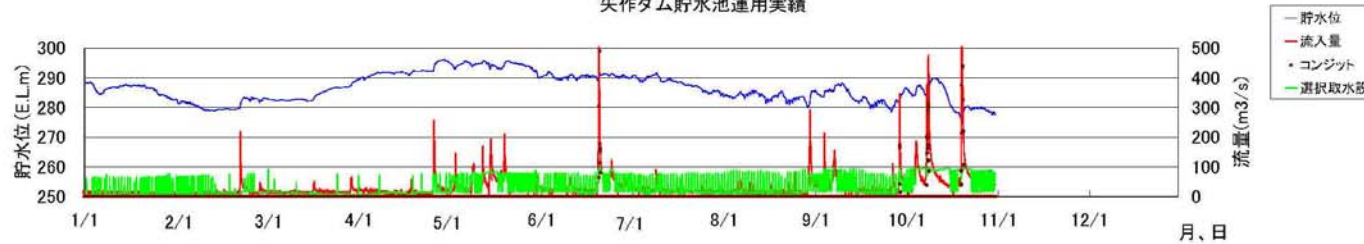


矢作ダム貯水池運用実績

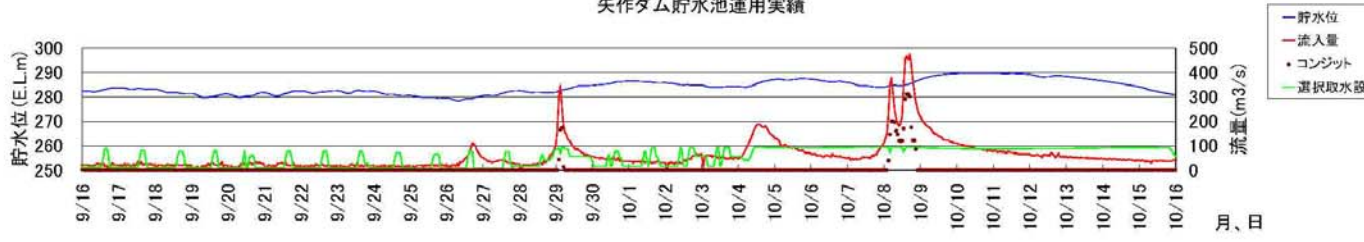


平成16年

矢作ダム貯水池運用実績



矢作ダム貯水池運用実績



(2) 既存選択取水施設の改良による放流能力増大の可能性検討

現発電放流設備の能力増大については、次の諸点から検討を行い、可能性を評価する。

- ① 取水部の取水能力が増強できるか
- ② 導流部の放流能力が十分か
- ③ 放流設備が増設できるか

以下、これらの項目について検討を行い、可能性を評価する。

1) 取水部の取水能力増強の可能性検討

取水部は半円型多段式ゲートであるため、現設備を用いた取水能力増大の可能性について以下の点から検討する。

検討項目	基準値等
塔内流速	コンクリート部：2.0m/s以下、鋼製部：4.0m/s以下
スクリーン通過流速	スクリーンの振動防止などの条件から1.0m/s程度以下にする
設計水位差	保安ゲートを設置した場合において、設計水位差3.0m
呑口形状	吸込み渦や空気の巻き込みを生じないこと

a) 塔内流速

塔内流速は負圧、振動の発生防止のため、コンクリート製取水塔で2m/s以下、鋼製取水塔で4m/s以下にする必要がある。(ダム堰施設技術基準)

当取水設備は、上段扉下限標高であるEL.269.3mから上が鋼製、下がコンクリート製である。

塔内流速が最大となる最上段扉部の塔内流速を求めると $v = 2.06 \text{ m/s}$ となる。

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{94.7}{45.8} = 2.06 \text{ m/s}$$

ここに、

v : 塔内流速

Q : 発電最大使用水量

A : 取水塔内断面積

$$A = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{1}{2} \pi 5.40^2 = 45.8 \text{ m}^2$$

以上より、取水塔の鋼製部については余裕があるが、コンクリート部は許容値に対する余裕がない。

b) スクリーン通過流速

スクリーンの通過流速は振動防止などの条件から1.0m/s程度以下にする必要がある。(ダム堰施設技術基準)

当ダムのスクリーン部の通過流速を求めると $v = 0.79 \text{ m/s}$ となる。

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{94.7}{120.6} = 0.79 \text{ m/s}$$

ここに、

v : スクリーン通過流速

Q : 発電最大使用水量

A : スクリーン面積

$$A = \pi r h = \pi 6.40 \times 6.0 = 120.6 \text{ m}^2$$

以上より、当設備のスクリーンの通過流速は基準値に対して3割弱の余裕があるが、対象流量を増大させる場合には、スクリーン振動に対する安全性の確認が必要である。

c) 設計水位差

取水ゲートが動作不能になり、塔内水位が異常低下した場合に対する安全策として、保安ゲートを設置するとともに、扉体内外の設計水位差を3.0mとした扉体設計を行う必要がある。(ダム堰施設技術基準)

本取水設備は、保安ゲートがないことに加え、扉体設計上の設計水位差も2.0mとして設計されているので、現行基準を満足していない。

取水対象流量の増大は設計水位差を増大させる危険性を増すことにつながるため、現在の扉体構造のままで、対象流量を増大することは難しい。

d) 呑口形状

最上段扉体の呑口は、扉体の振動や取水性能の低下を避けるため、吸込み渦や空気の巻き込みが発生しない適切な形状とする必要がある。(ダム堰施設技術基準)

本設備は取水量が 100m³/s に近く、国内最大級であることから、水理模型実験により呑口形状が決定されている。したがって、取水量を増加させると、吸込み渦や空気の巻き込みなどが発生する可能性が高まるため、呑み口形状や整流板の改造が必要となる可能性がある。

e) 取水部の取水能力増強の可能性評価

以上の検討結果より、スクリーン通過流速以外の全ての評価項目において余裕がないので、既存設備をそのまま流用した取水量増加は困難と評価される。

2) 導流部の放流能力検討

※未検討であるが、概略次のとおりと考えられる。

発電用導水管は、有効落差を最大化するため、導流部の設計流速を 3~4m/s 程度に制限するのが一般的であり、当設備の設計流速も同程度と推察される。

ここで、トンネル水路の許容流速はコンクリート部で 8m/s 程度まで許容できるので、導流部の流速条件からは、現在倍程度(≒200m³/s)の流量まで許容できそうである。ただし、導流部の損失水頭の増大により有効落差が減じるので、事前放流時の減電補償を求められる可能性がある。

3) 放流設備増設の可能性

※未検討であるが、概略次のとおりと考えられる

導流部から事前放流設備を分岐させて、減勢工の脇に放流設備を設けることはレイアウト上可能である。ただし、分岐部の工事が難しいことに加え、工事期間中の発電停止や分岐構造による損失増大に対する減電補償を要す。

4) 既存選択取水施設の改良による放流能力増大の可能性評価

以上 1)~3)までの検討結果をまとめると次のとおりである。

- ① 取水部(半円形多段ゲート部)は、現在の運用状況下においても現行基準に対する余裕がないので、既存設備をそのまま流用した取水量の増大は難しい。
- ② そこで、取水部を全面改造することを前提とすれば、導流部、放流部の対応は可能であるが、その場合にも、下記のような課題がある。
 - ・導流部はほぼ倍程度の流量まで対応可能であることが期待できるが、事前放流時の損失増大に対する減電補償を要す。
 - ・発電導水管から分岐させた放流設備も配置レイアウト可能であるが、濁水等が近年頻発している矢作川では、工事のために貯水位を下げにくく、分岐部の工事は難しい。また、工事期間中の発電停止や分岐構造による損失増大に対する減電補償を要す。
 - ・既設導流部、放流設備の一部等の活用は、既にダム完成後 40 年以上が経って老朽化が進んでおり、活用するに当たっては再度の点検補強が今後の詳細調査において生じる可能性がある。

以上のことから、現選択取水設備の放流能力増強による事前放流機能の付加は困難と評価する。

◆矢作川水系における濁水（節水）対策

年次	取水制限期間	制限日数	最大取水制限率(%)			矢作ダム最低貯水率%	備考
			農水	工水	上水		
S48	6/10 ~ 8/27	79	30	50	10	9.6	
S53	6/11 ~ 6/23	13	50	50	20	18.0	
	9/2 ~ 9/11	10	55	50	25	18.4	
S54	6/21 ~ 6/29	9	30	30	15	20.2	
S56	6/17 ~ 6/26	10	20	20	10	38.8	自主節水
S57	7/1 ~ 7/27	27	55	55	28	17.2	
S59	6/6 ~ 6/26	21	55	50	25	26.0	
S61	3/7 ~ 3/15	9	5	5	5	12.8	自主節水
S62	9/4 ~ 9/17	14	30	30	10	23.8	
H 2	8/20 ~ 8/31	12	30	30	10	47.0	
H 5	6/1 ~ 6/22	22	65	65	30	15.0	
H 6	5/30 ~ 9/19	113	65	65	33	13.8	
H 7	8/29 ~ 9/18	21	30	30	15	32.6	
H 8	5/27 ~ 6/28	33	50	40	20	31.4	
	8/15 ~ 8/16	2	20	30	10	63.6	
H12	8/1 ~ 8/8	8	20	30	10	68.0	
H13	5/23 ~ 6/21	30	20	30	10	37.4	
	7/19 ~ 8/22	35	50	50	30	13.8	
H14	8/12 ~ 9/10	30	50	40	20	33.6	

出典：第1回矢作川流域委員会 配布資料（国土交通省 豊橋河川国道事務所 HPより）



「ダム、堰施設技術基準(案)」抜粋

とが望ましい。ただし、ダム天端と常時満水位の間に十分なスペースが取れず、取水塔をダム天端以上に突出させる必要が生じた場合は、ダム全体の景観に対して留意しなければならない。なお、景観上の配慮などで点検時水位が常時満水位以下となる場合は、点検・整備できるダム水位を必要期間確保する必要がある。設備計画にあたっては、事前にダムの運用計画を用いて、これに合った点検・整備計画を立て、点検・整備作業に支障がないような構造とし、点検・整備場所と設備を確保する。

- 扉体等の点検・整備を容易にするために、階段、踏場、梯子等を設ける。また、扉体が閉鎖した後はステンレス鋼等保守管理の容易な材質を使用する。
- 選択取水ゲートは、濁水により放流水の水质が悪化しない速度な止水性を確保する。
- 塩内流道は、負圧・振動等の発生防止や放流による損失水頭を考慮して、一般にコンクリート製取水塔で3m以下、鋼製取水塔で4m以下（最大でも5m以下）にすることが望ましい。
- 多段式ゲートの扉体段数は、取水断面、扉体間の重ね代、扉体の点検・整備位置等を考慮し、最適な段数を決定する。
- 水位差設計をする選択取水ゲートには、必要に応じて異常な水位差が発生した場合、無動力で扉体に閉鎖する保安ゲートを設ける。

2-8-3 選択取水設備の構成

選択取水設備は、取水塔、スクリーン、選択取水ゲート、保安ゲート、格別取水門扉、底部取水ゲート、制御設備、付属設備および下流側には放流設備を組合せて構成する。

【解説】

- 選択取水設備の構成は図2.8.3-1のとおりであり、ゲート形式別の組合せは、表2.8.3-1に示すものを標準とする。

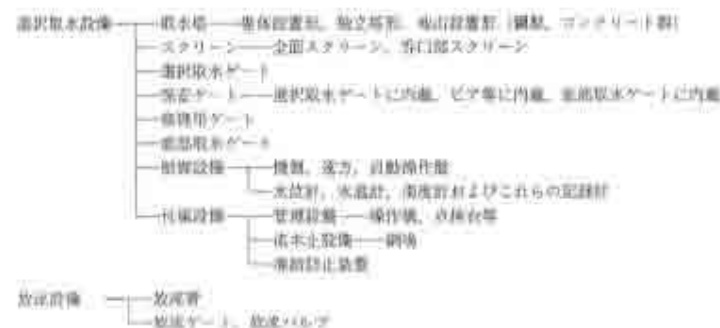


図 2.8.3-1 取水設備の構成

- ② 円形多段式ゲートの取水塔は鋼製にするのが一般的であり、他のゲート形式に比べて土木工事費が少ない。
- ③ 円形多段式ゲートの場合は、構造上、費内定額で全圧設計してもそれほど不経済にならないので保安ゲートは設置しないのが一般的であるが、直線多段式ゲートや半円形多段式ゲートの場合は、通常水位を設計を行うため、躯体またはびやに保安ゲートを設置する必要がある。したがって、土木形法はこの設置を考慮した設計をする。

14) 保守点検

取水ゲートの点検・整備を行う位置、時期および作業可能期間等は、ダムの運用規定に関係するので、一般的に取水ゲート形式間の優劣はつけにくい。特に、多段式ゲートに関しては、運用上点検・整備できるダム水位が必要期間確保できない場合は、躯体を常時満水位以上に引き上げて補修等ができる設置と構造を確保する必要がある。また、円形多段式ゲートの場合は、水波部およびガイド部を躯体から取り出す必要があるため、他の形式のゲートに比べて点検・整備時の必要高さが大きくなる。

2-8-5 荷重および組合せ

1. 選択取水ゲートの設計に考慮する荷重の組合せは、技術基準2-1-9による。
2. 躯体に作用する平時の静水圧の大きさは、保安ゲートを設ける場合には平時の波浪高を含み3mの水位高、また設けない場合には、ゲート上流部の当該部分の水圧を考慮する。
3. 水撃圧を考慮する場合の静水圧は、当該部分に作用する水撃圧に取水条件から計算される水位高を加算する。
4. 地震時動水圧は、ゲート内外に作用する荷重をその方向も考慮して組合せる。
5. 開閉荷重を併用する場合に用いる操作時の水位高は、1.0mを標準とする。

【解説】

1) 本項に示す各荷重の計算は、次による。

(1) 静水圧

$$P = W_w \cdot h_w \quad \text{----- (2.8.5-1)}$$

ここに、 P : 静水圧 (kN/m)

W_w : 水の単体体積重量 (kN/m³)

h_w : 当該部分の水深 (m)

ここで、選択取水ゲートの設計に用いる h_w の値は、次のとおりとする。

1) 保安ゲート（またはこれに代わる設備）を設ける場合

$$h_w = 3.0\text{m}$$

ただし、地震時の補修を行う場合の静水圧は、当該設計取水条件から計算によって求められる損失水頭および管内流速水頭に見合った静水圧を考慮すればよい。

なお、選択取水ゲートの構造計算に用いる波浪高はダムの設計に関係なく平時の波浪高を

2. 呑口流速

呑口流速は、吸込み渦の発生防止、あるいはスクリーンの振動防止などの条件から1.0m/s程度以下とする。直線形状の取水ゲートで、式(2.8.7)により呑口幅を決定した場合、スクリーン通過流速が1.0m/sを超えることがあるので、スクリーンの振動に対して検討しておく必要がある。詳細については、「スクリーン」に述べる。

3. 有効開口角

有効開口角は、貯水池内を軸対称流とする場合の取水角であり、呑口形状のみならず、ゲートの設置位置や周辺土木構造物の形状によって大きく変化する。

一般に、呑口が半円形状の場合には α 〔ラジアン〕、円形状の場合には 2α 〔ラジアン〕程度であるが、円形状であっても、懸立塔形に対して塔体設置形や堤山設置形の場合には、設置位置によって 2α 〔ラジアン〕を下回ることがあるため注意する。一方、呑口が直線形状の場合には、半円形状と同様に α 〔ラジアン〕となるが、一般にはびや形状や呑口位置からびや先端までの距離等の関係から α 〔ラジアン〕を下回るので注意する。

4. 多孔式・多管式の取水孔の位置

- ① 貯水池運用計画における、調査対象年（10年間）の水位変動と取水孔の位置の関係から決定する。
- ② 取水孔の最低もぐり（かぶり）深さは、取水管中心から取水管径の2D以上とする。
- ③ 水櫃を主たる対象とする混水取水にあっては、既設類似ダムの水温資料から、水温分布を想定して、十分な配慮を行う。
- ④ 既設類似ダムの選定にあたっては、ダム湖の規模・性状、気象環境・貯水池標高等に留意する。
- ⑤ 直線ダムの貯水池運用計画による水位相度との関係において、水櫃の成育に水温が大きく影響する6月～9月上旬についても検討する。
- ⑥ 成層型および混合型のダムにおいては、水質対策を考慮する。表層のプランクトンの成育環境は、表層から2～3mの範囲に集中すると報告されておりこれらも考慮する。
- ⑦ 濁水が長期滞留することが予想されるダムにあっては、これらの対策も考慮する。
- ⑧ 最低水位（LWL）以下の貯留水は、ダム計画上からは庫容容量に含まれており、従来は使用されなかったが、最近では異常高水時の生活用水等への活用が図られるよう、設備計画でも考慮されることがある。
- ⑨ 底部取水位置は、このため、緊急水位低下と取水活用水位のいずれが低い位置から取水が可能となるよう配慮する。

4. 取水量

取水量は成層形特性と所要の取水性能を考慮して決定しなければならないが、式(2.8.7)で示される流動層厚の1/3から1/2を標準とし、一般には1～2mが多い。

$$\delta = \left(\frac{Q_e}{C \cdot g \cdot \sqrt{2 \cdot z}} \right)^{1/3} \quad \text{----- (2.8.7-6)}$$

ここに、 δ : 流動層厚 (m)

2.2 既設コンジットによる開度調整放流の可能性

(1) 既設コンジットの概要

1) 設備の概要

矢作ダムの主放流設備（コンジット）は、ダム地点における 1/80 年確率の基本高水ピーク流量 $2,300\text{m}^3/\text{s}$ のうち $1,000\text{m}^3/\text{s}$ を調節して、ダムからの最大放流量を $1,300\text{m}^3/\text{s}$ とする洪水調節計画に基づき規模決定された。主放流設備の諸元を表 2.1 に、主放流設備一般図を図 2.4 に示す。主放流設備の放流能力は、縮尺 1/30 の水理模型実験により確認され、図 2.5 に示す貯水位～放流量の関係曲線が得られている。

表 2.1 矢作ダムコンジットゲートの諸元

型 式	バーチカルリフトタイプ鋼製ローラーゲート
設 置 数	3門
取 扱 可 流	(扉体高) × (扉体幅) $4,650 \times 7,020\text{mm}$ (水密高) × (水密幅) $4,341 \times 4,200\text{mm}$
設計水深および全水深	EL.299.00 - 49.199m... (ゲート中心) 1.075m... (20%増)
洪水調節最大放流量	$1,300\text{m}^3/\text{s}$... 3門 (EL.299.00において)
閉 鎖 速 度	$0.3\text{m}/\text{min}$
水 密 方 式	四方ゴム圧着 (放水管地口面にゴム取付け) キヤードモーター駆動による偏心レバー式
圧着量および圧着時間	約 20mm 、 1min
ア ン カー	方 式 PC鋼筋アンカー 埋設径および埋設本数 $7\phi \times 04\#2 = 24\text{本}$... (3門分) 挿入可量 $61.1\text{t}/1\text{本}$ 、 $61.1 \times 24\text{本} = 1,466\text{t}$... (1門)
開 閉 機 関	型 式 油圧シリンダー式 機 用 ボ ン プ 1段ヘーンポンプ $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 出力および電圧 16.1kW 、 440V 駆 動 電 量 89.6t
施 工 内 容	鋼 構 47.9 × 3門 = 143.7 アンカーの埋設 $70.3 \times 3 = 210.9$ 開閉装置 $14.9 \times 3 = 44.7$ 圧着装置 $7.0 \times 3 = 21.0$ 機 作 業 $23.2 \times 3 = 69.6$ 合 計 $183.5 \times 3\text{門} = 489.9\text{t}$

矢作ダム建設局

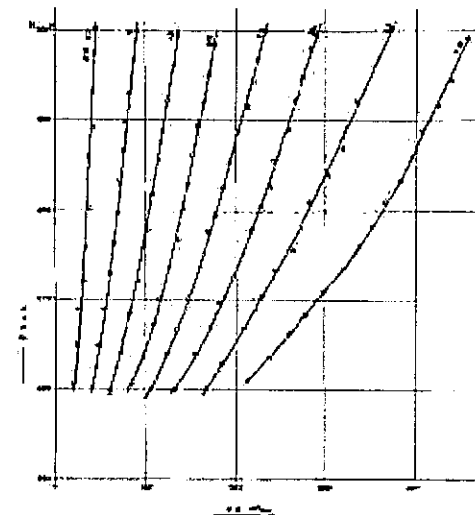


図 2.5 主放流設備の貯水位～流量関係曲線

2) 運用状況

平成11年～16年の6年間の貯水池運用記録をもとに、コンジット放流量と貯水位の関係を整理した結果を図-2.6に示す。同図には、水理模型実験によるコンジット1門当たりの放流能力（緑線）も併せて示した。

※ コンジットの放流記録のうち、日平均流量として整理されたデータは、1日のうちに断続放流した平均値である可能性があるため、時刻流量記録のみを抽出して整理した。

コンジットゲートで放流可能な最小開度は不明であるが、10%開度（開度量40cm）時における放流量は約40m³/sである。また、同図に示した放流実績の最小値はWL289.79mにおいて1.28m³/sである。

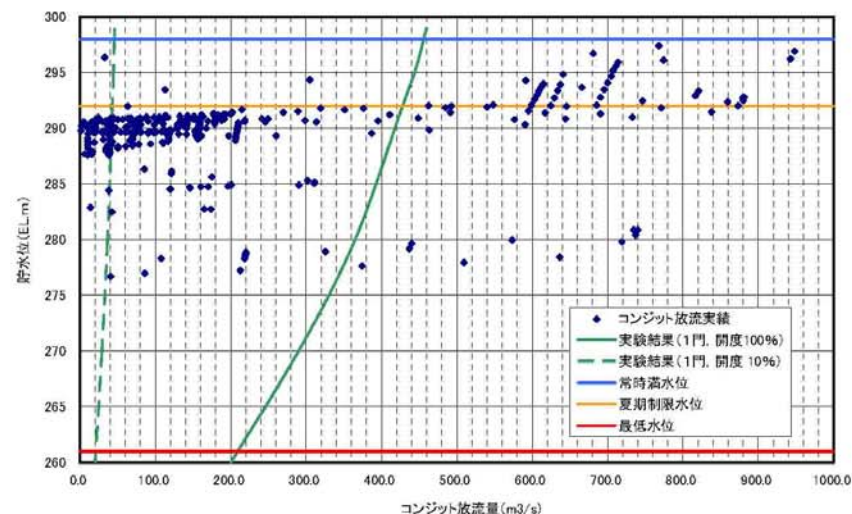


図-2.6 コンジット放流量の実績分析（洪水時）

(2) 既設コンジットによる開度調整放流の可能性検討

事前放流量が200m³/s級であり、発電経由の95m³/sを差し引いたとしても、コンジットの分担流量が100m³/s級であることを考えると、既設コンジットは事前放流操作に要求される流量レンジと流量制御精度に十分に対応可能である。

また、コンジットは夏期制限水位から最低水位までの範囲で放流可能なため、事前放流の操作水位条件も満足する。

したがって、放流能力・流量制御および取水レンジの点からは、既設コンジットを事前放流に使用することが構造上可能である。ただし、水質対策上はコンジットゲートの標高が低いために、事前放流時に冷濁水を放流するという問題が生じる。このため、選択取水機能の付加が求められるが、現コンジットにそのような機能を付加することは施設設計、工事の施工計画非常に難しい。

さらに、濁水頻度の多い矢作川においては工事中といえども貯水容量を無効に放流して水位を下げることは濁水対策上も許されないと考えられる。

3. 新規事前放流設備の提案

3.1 新規事前放流設備の考え方

事前放流に必要な最大放流能力を Q (仮に $250 \text{ m}^3/\text{s}$ とする) とすると、事前放流設備の方式としては、次の2案が考えられる。

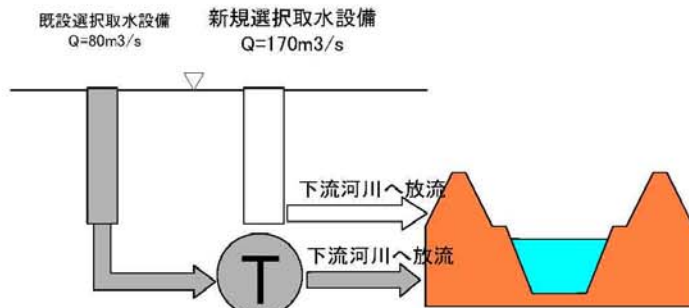
①既設放流設備の放流能力の不足分を新設する案

既設選択取水設備の放流能力は最大 $95 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、運用実績によると、夏期制限水位では $86 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下、非洪水期の+295m付近では $80 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、既設の能力としては $80 \text{ m}^3/\text{s}$ と考えることが望ましい。したがって、必要規模 $250 \text{ m}^3/\text{s} - \text{既設能力 } 80 \text{ m}^3/\text{s} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$ の施設を新設し、2施設で運用する。

②250 m^3/s の施設を管理施設として新設する案

必要な規模の $250 \text{ m}^3/\text{s}$ をすべてを新設する。

①既設放流設備の放流能力の不足分を新設する案



②250 m^3/s の施設を管理施設として新設する案

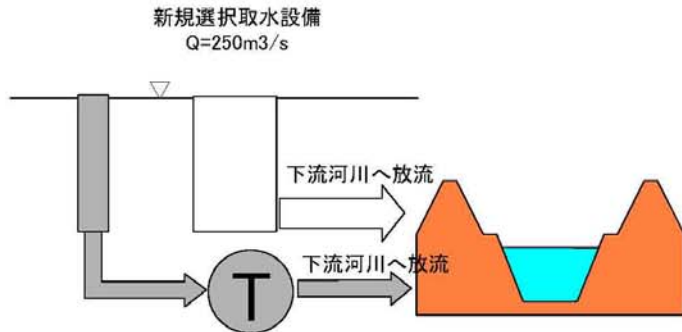


図-3.1 新規事前放流設備の方式案の概念図

上記2案のメリット、デメリットの特徴を整理すると以下のとおりである。

表-3.1 新規放流設備の放流方式案の比較表

方式案	①既設放流設備の放流能力の不足分 $170 \text{ m}^3/\text{s}$ を新設する案	② $250 \text{ m}^3/\text{s}$ の施設を新設する案
建設費	施設規模が小さく②案に比較して建設費は安い。	施設規模が大きくなる分建設費は高い。ただし、迂回ルート案の場合にはトンネルの経済断面があるので、管径によって両案の差はさほどないことも考えられる。
維持管理費	新規放流設備の維持管理に加え、既設の事前放流 $95 \text{ m}^3/\text{s}$ 使用分の経費が残る。	施設規模が大きくなるため、①に比べて新規設備の維持管理費が増える。
操作性	2箇所の選択取水設備の操作が必要となり、2施設の流量コントロールや取水位置切り替えなどの操作が複雑となる。事前放流操作に協定に基づく利水者との協議が必要となる。	発電利水者の都合にかかわらず、ダム管理者の判断で事前放流ができる。
危機管理	現状よりも1基放流設備が増えて2箇所となるために、危機管理上有利になる。	放流能力が大きいので①と比較してさらに②の方が危機管理上有利である。
洪水管理	—	水位維持放流管としての活用も可能であり、洪水警戒体制の頻度が少なくなり、労苦負担が軽減される。
考察	<ul style="list-style-type: none"> ・建設コストからは、放流能力の不足分 $170 \text{ m}^3/\text{s}$ を新設する①案が有利と想定される。 ・ダム管理上は、$250 \text{ m}^3/\text{s}$ を新設する②案が望ましい。 ・ただし、具体的なルートを設定し、建設コスト、施工性、操作性などの検討を行った上で、新規事前放流設備の方式案を決定する必要がある。 	

3.2 新規放流設備の概略イメージ

矢作ダムの事前放流に要求される放流量と放流水質を満足するためには、新たな放流設備を、堤体あるいは近隣の地山に増設する必要がある。ここでは、事前放流機能を満足する新規放流設備の概略について検討する。

1) 堤体削孔案

a) 概略イメージ

堤体削孔案は、事前放流機能を満足する放流設備を既設堤体内に新設する案である。本案の概略イメージは次図のとおりである。

なお、事前放流設備の設置位置は、放流水質条件を満足することと併せて、堤体削孔による応力影響についても配慮する必要があるが、この課題については後述する。

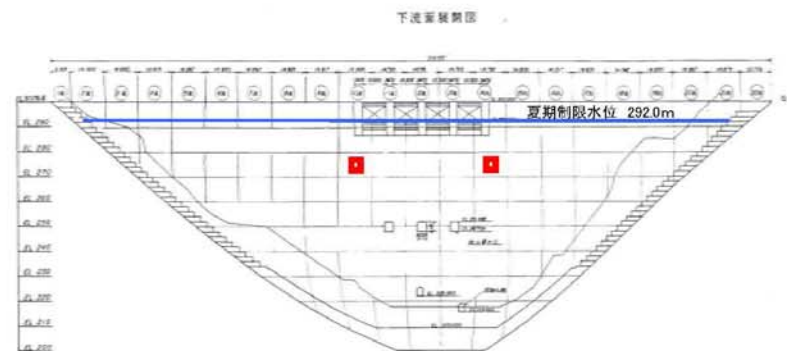


図- 3.2.1 堤体削孔案イメージ図

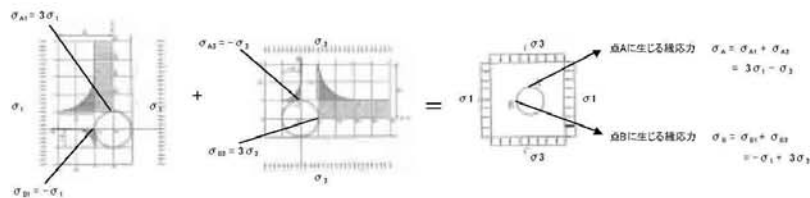
b) 今後の検討課題

既設堤体への放流設備増設は、重力式コンクリートダムにおいて多くの実績を有しているが、アーチ式コンクリートダムにおいてはこれまで実績は存在していない。

高応力下の堤体に削孔することの課題は次のとおりである。

① 削孔部周辺への応力集中

σ_x の応力場のコンクリートに円孔を設けたとき、円孔の円周沿いには、X方向の圧縮とX直角方向の引張りが発生する。この応力集中の状態は有孔無限板の理論により次のように求められ、複数の方向の応力場による開口周辺応力は、上記の理論解を三軸応力に集計して合成することにより求めることができる。



矢作ダムが三次元構造のアーチ式コンクリートダムであること、および堤高 100mのハイダムであることから、既設堤体内に放流設備を増設する場合には次のような事項が課題となる。

① 既設堤体削孔時の構造的安全性の確保

増設放流管よりひとまわり大きい寸法の開口を堤体に削孔するため、削孔部周辺の堤体コンクリートは、薄肉アーチ堤体の高い応力場における応力集中に対して脆弱な状態となる。堤体削孔時点では開口補強がないため、削孔周辺応力を既設堤体コンクリートの許容応力内に収めることが前提となる。施工時の開口周辺応力を制御する方法としては、施工時の貯水位を低下させる方法しかない。

② 供用後の構造的安全性確保

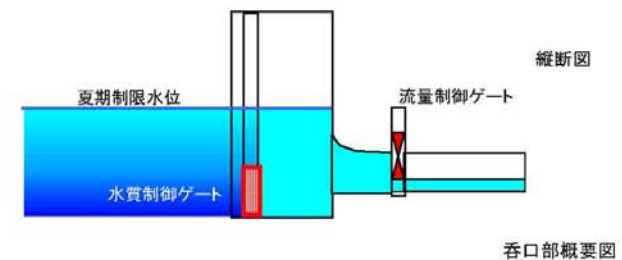
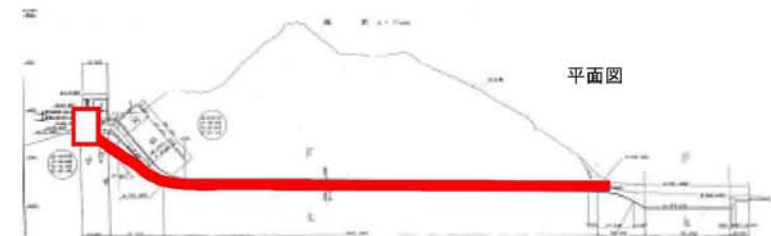
堤体削孔後は増設放流管と既設堤体の間に、供用後の増加応力に抵抗できる鉄筋を配置してコンクリートで充填する。しかし、増設した鉄筋と充填コンクリートが分担できる応力は、施工時から供用後に増加する応力増分の一部であり、既設堤体の開口部周辺応力の増分の全てを分担することはできない。したがって、開口周辺の既設堤体コンクリートが、供用後の応力集中に対しても安全であることが前提となる。

以上の課題については、今後詳細な検討を要す。

2) 迂回ルート案

a) 概略イメージ

迂回ルート案は、事前放流機能を満足する放流設備を地山内に新設する案である。本案の概略イメージは次図のとおりである。



図一 3.2.2 迂回ルート案イメージ図

4. 冷濁水予測シミュレーションによる新規事前放流設備の設置位置の検討

冷濁水予測シミュレーションにより新規事前放流設備の設置位置の検討を行う。

4.1 事前放流設備の水質面からの検討の基本的な考え方

(1) 事前放流の効果の予想

事前放流設備の水質面からの検討に当たっての基本的な考え方は以下のとおりである。

① 検討の目的

- ・従来のコンジット放流に対し、新規事前放流設備を使って事前放流を行うことにより、ダム下流への冷濁水現象の影響を軽減する。その効果的な新規事前放流設備の放流位置を検討する。

② 検討方法

- ・冷濁水現象予測シミュレーションによる（フェンス及び選択取水設備の運用を前提とする）。
- ・代表的な出水について予測を行い、放流水温、放流濁度に対する効果を明らかにする。

③ 効果の予想

- ・事前放流は、出水前に清水を大量に放流し、貯水池に出水中の濁水をため込むため、相対的には、出水後貯水池内濁度は高くなり、放流濁度も高くなると考えられる。
- ・そのため、事前放流設備からの放流後、コンジット放流を行う洪水についての水質改善効果はあまり見込めないものと考えられる。
- ・事前放流設備からの放流のみで対応可能な出水（事前放流設備がない場合にコンジット放流となる出水）については、効果が期待できるものと考えられる。

(2) 新規事前放流設備に必要な機能

① 事前放流の仕方

- ・最大放流量 200～250 m³/s、10～20 時間前から放流開始
- ・EL.287.5mまで貯水位を下げる。（頻度の高い貯水位 EL.290.0m からは約 500 万 m³となる）
- ・事前放流時は、洪水時ではないと考える。

② 新規事前放流設備に必要な機能

事前放流時は、洪水時ではなく平常時であり、冷水・濁水を放流することなく清水を放流する必要がある。したがって、表層付近の標高の高い位置から放流する必要がある。

ただし、水質保全施設（選択取水設備と分画フェンス）の運用フローにおいては、日平均流入量 50 m³/s 以上の場合、自然河川についても濁ることから濁水放流の運用としている。

そのため、貯水池内に濁水をため込まないようにできるだけ高濁度水を放流することが望まれる。したがって、冷水放流にならない範囲で標高の低い位置から放流する必要がある。

上記より、選択的に放流できることが望ましく、既設選択取水設備と同様の運用となる。

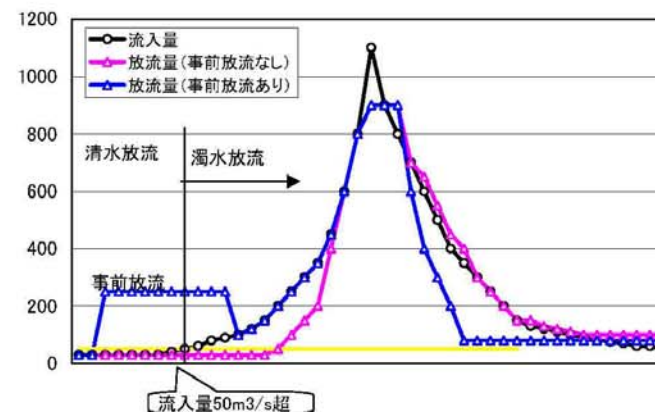


図 - 4.1 事前放流による放流量の変化のイメージ

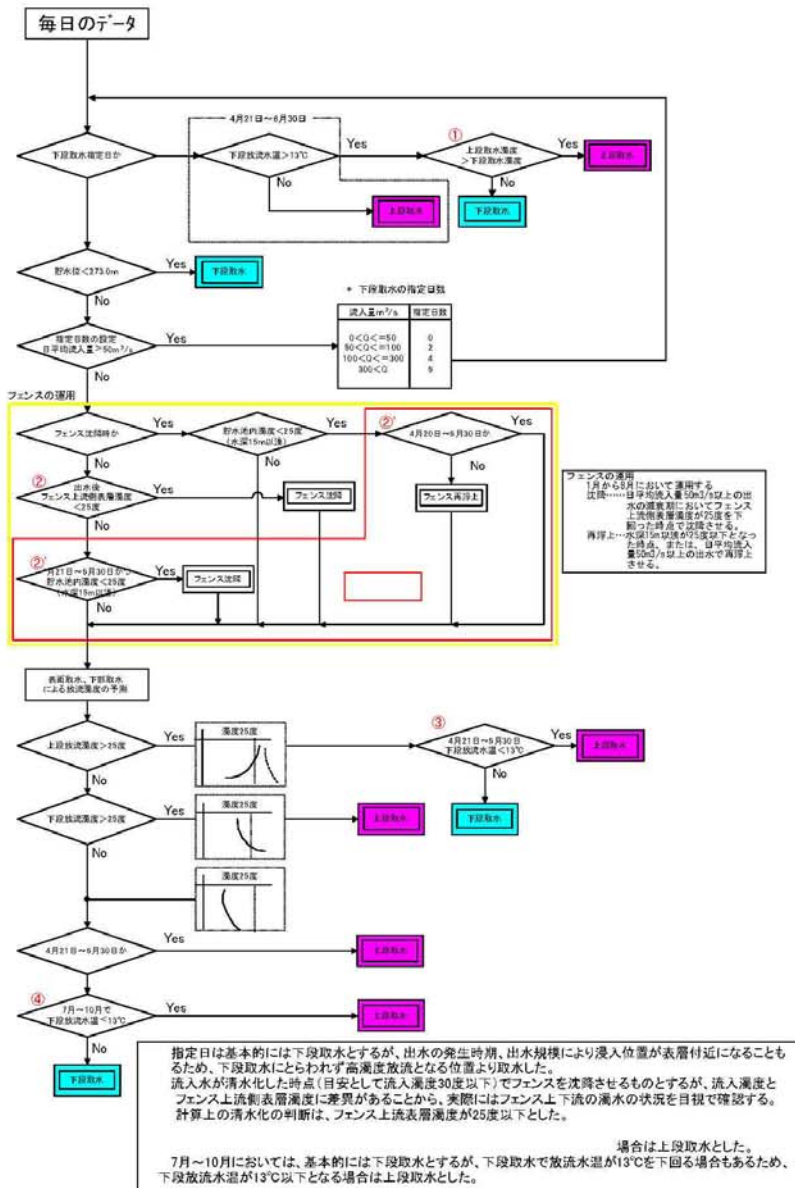


図- 4.2 選択取水設備及びフェンスの運用フロー (フェンス運用②)

(3) 事前放流による水質変化について

①事前放流に伴う大局的な水質変化

事前放流に伴い、出水前に清水を大量に放流し出水中の濁水をため込むこととなるため、相対的には、出水後貯水池内濁度は高くなり、放流濁度も高くなると考えられる。

仮に、出水時の流入量とその継続時間による濁度の上昇を試算すると表- 4.1のとおりである。

表- 4.1 流入量と継続時間による上昇濃度の目安

流入量 (m³/s)	継続時間 (時間)	濁度 (度)	濁質量 (kg)	上昇濁度 (度)
200	10	380	2,736,000	64
300	10	670	7,236,000	168
500	5	1350	12,150,000	283
700	3	2150	16,254,000	378
800	3	2590	22,377,600	520
1000	2	3520	25,344,000	589

濁度は、回帰式により算出: 濁度=0.2514×Q^{1.2822}

濁質量は、濁度=SSとして算出

上昇濁度は、貯水容量 43,000,000m³ と (EL.287.5m) して算出

事前放流のための容量約 9,000,000m³ (EL.287.5～292.0m)

実質的には約 5,000,000m³ (EL.287.5～290.0m)

②出水時の放流設備をコンジットから新規事前放流設備に切り替えることによる水質変化

- ・現状は、コンジット放流に伴い、冷水・濁水の放流となっている。
- ・新規事前放流設備をコンジットよりも標高の高い位置に設置すれば、事前放流によりコンジット放流をしないですむ出水に対しては冷水放流は軽減可能と考えられる。一方、出水後の濁水放流に対しては、表層水と混合しやすくなるため、放流濁度が高くなる可能性が考えられる。

(4) 分画フェンスとの関係

①分画フェンスの諸元

- ・分画フェンスの位置：ダムサイトから 2km 上流
- ・鉛直方向の丈：15m
- ・ダムサイト～フェンス間の容量 (確保される清水の容量)：約 10,000,000 m³

②フェンスの効果を引き出すための事前放流設備の設置位置

- ・事前放流の総量 500 万トン、清水の容量の約半分に相当する。→清水放流は可能である
- ・事前放流の初期においては、清水放流を行う必要があり、水深 15m よりも浅い位置からの放流が望ましい。→EL.287.5mまで下げることから、放流位置は EL.280m付近か？
このときはフェンスを沈降させておくことも有効と考えられる。

・高濁度水を放流するためには、フェンスの下で放流する。

すなわち、 $287.5\text{m} - 15\text{m} = 272.5\text{m}$ → EL.265~270m付近か？

既設選択取水下段取水（EL.260.0m）からの取水では冷水放流となる場合がある。

既設選択取水上段取水からの取水とのブレンドで冷水放流を緩和する方法も考えられる。

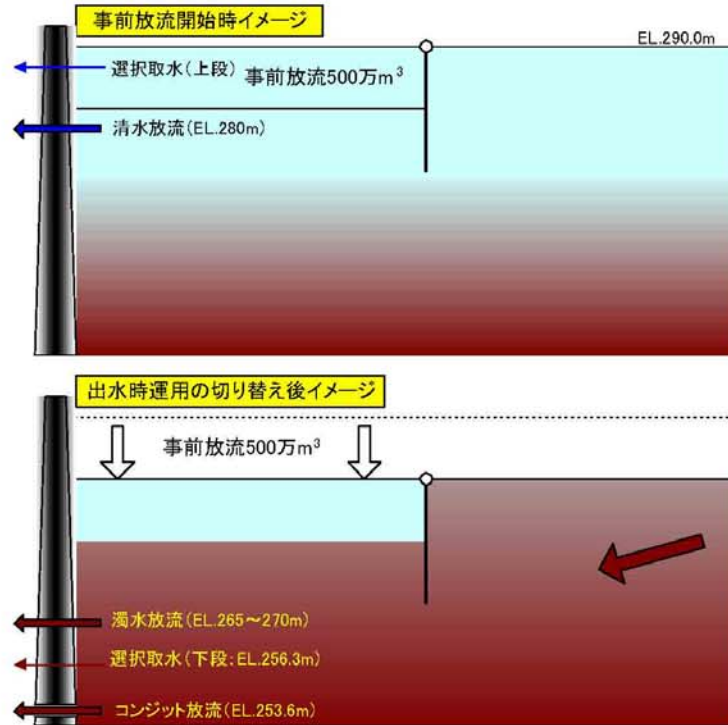


図 - 4.3 新規事前放流設備設置位置と運用方法のイメージ

4.2 事前放流による冷水・濁水軽減効果の検討

実績によるコンジット放流量 500 万 m³ 程度の出水を対象に事前放流を行った場合の放流水質の変化を予測した。

1) 予測条件

①最大放流量

最大放流量 250 m³/s

②放流開始時刻

新規事前放流設備の運用方法は、予測降雨、時期、貯水位の状況等から事前放流を行うこととなる。したがって、一律の基準を設定することは困難である。

そのため、雨の降り始め（出水の始まり）の時刻と事前放流の開始時刻を想定する必要がある。

出水の始まりを流入量 100 m³/s として、これより 10 時間前から放流を開始するものとした。

③放流位置

清水放流時 EL. 280m

濁水放流時 EL. 265m

④予測計算ケース

事前放流なし

事前放流あり、コンジット使用

事前放流設備あり

2) 予測結果

予測計算結果を図 - 4.4 に示す。同図には、貯水池内（ダムサイト付近）の水溫・濁度の鉛直方向の経日変化、放流水溫・濁度の経日変化図を示している。

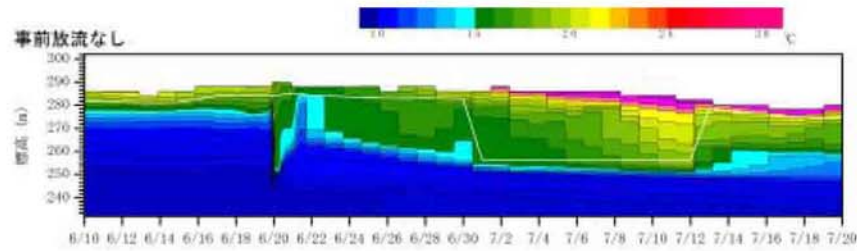
新規事前放流設備を用いた事前放流は、上段からの放流により、冷水が一時的に上昇し、放流水溫も低下するものの、コンジット放流のある他の 2 ケースに比較し、放流水溫の低下が小さくなっている。また、貯水池内の水溫は、他のケースに比較して、躍層付近の深い位置まで水溫が上昇し、しかも水溫躍層（EL. 250m 付近）の強度が強いため、濁水層は躍層の上にとどまっている。

貯水池内の濁度についてみると、6 月 26 日から、選択取水設備の取水位置は、水溫上昇に伴い下段取水に切り替わっている。そのため、濁水が早く排除でき、貯水池内の濁度の低減、放流濁度の低減につながっている。

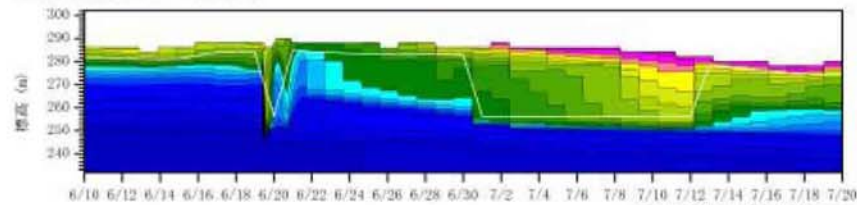
以上のことから、事前設備放流を行った場合の事前放流なし及び事前放流ありコンジット使用に対する効果は以下のとおりである。

・ 一時的な放流水溫の低下はほとんど見られない。

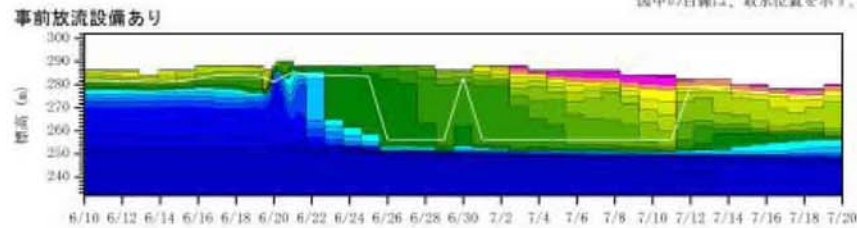
・ 出水後の放流濁度の減衰がやや早くなっており、濁度 25 度の時点で 1 日程度早まっている。



事前放流なし 図中の白線は、取水位置を示す。

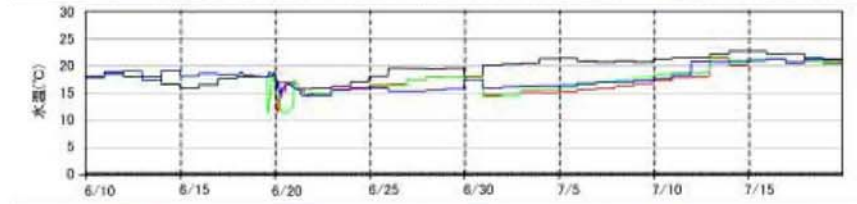


事前放流あり、コンジット使用 図中の白線は、取水位置を示す。

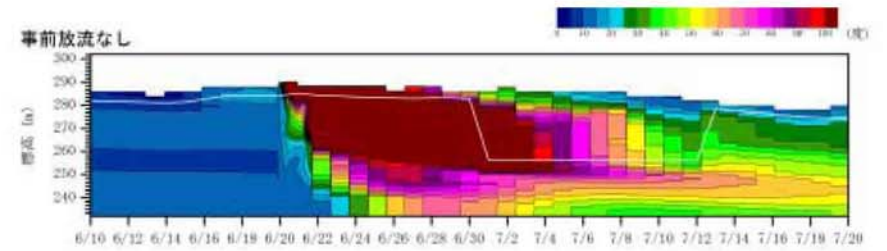
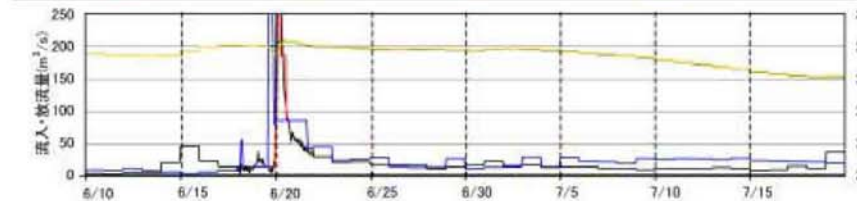


事前放流設備あり 図中の白線は、取水位置を示す。

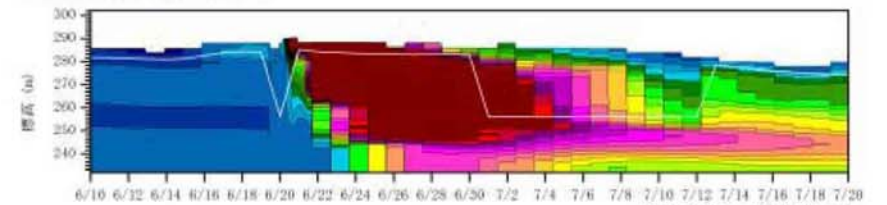
— 流入水温 — 放流水温(事前放流なし) — 放流水温(事前放流あり、コンジット使用) — 放流水温(事前放流設備あり)



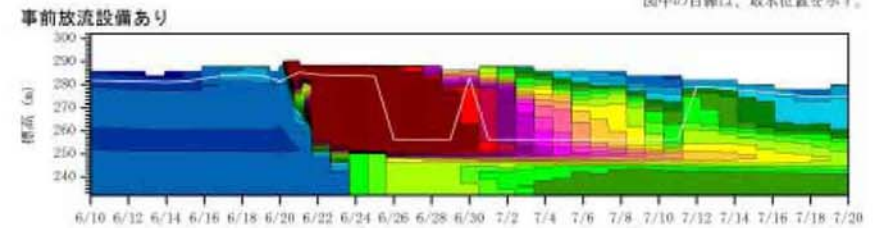
— 流入量 — 放流量(事前放流なし) — 放流量(事前放流あり) — 貯水位(事前放流なし) — 貯水位(事前放流あり)



事前放流なし 図中の白線は、取水位置を示す。

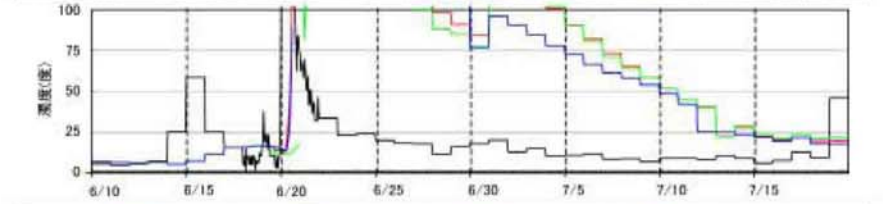


事前放流あり、コンジット使用 図中の白線は、取水位置を示す。



事前放流設備あり 図中の白線は、取水位置を示す。

— 流入濁度 — 放流濁度(事前放流なし) — 放流濁度(事前放流あり、コンジット使用) — 放流濁度(事前放流設備あり)



— 流入量 — 放流量(事前放流なし) — 放流量(事前放流あり) — 貯水位(事前放流なし) — 貯水位(事前放流あり)

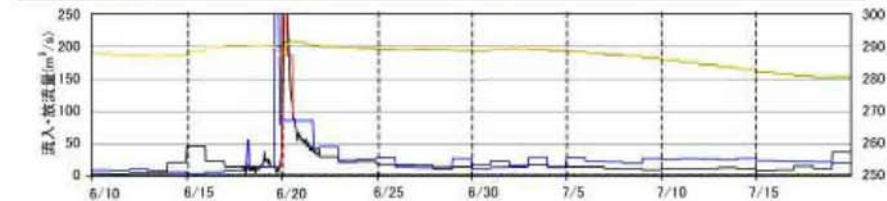


図4.4 予測計算結果 (各ケースの貯水池内水温・濁度、放流水温・濁度の比較)