

川辺川の流水型ダムに関する 環境影響評価準備レポート

－参考資料Ⅱ－

令和5年11月

国土交通省 九州地方整備局

※本参考資料は、環境影響評価において検討を実施した内容のうち、特に流水型ダムの
特長を活かした検討の着眼点やプロセスを記録するとともに、環境影響評価や保全措置
の実施に関わらず今後継続して行われる技術的検討の参考として整理したものであり、
さらなる環境への影響の最小化、技術の向上・発展に資するものである。

目次

ページ

参考資料Ⅱ－１ 流水型ダムの特長を活かした検討の着眼点や検討プロセス等

第1章 取組の背景と着眼点	参考Ⅱ-1- 1
1.1 準備レポートと参考資料の位置付け（取組の概要と背景）	参考Ⅱ-1- 1
1.2 環境への影響回避・軽減の視点（検討の着眼点）	参考Ⅱ-1- 2
第2章 流水型ダムの施設等設計（構造）の工夫	参考Ⅱ-1- 3
2.1 放流設備等の施設設計の着眼点	参考Ⅱ-1- 3
2.2 流水型ダムの特長	参考Ⅱ-1- 3
2.3 環境影響の最小化に向けた施設等設計の着眼点	参考Ⅱ-1- 4
2.4 施設設計の検討プロセス	参考Ⅱ-1- 5
2.4.1 洪水調節機能と河川環境の連続性確保を両立するダム構造の基本的な 考え方	参考Ⅱ-1- 5
2.4.2 各放流設備の配置と構造の考え方	参考Ⅱ-1- 5
2.4.3 河川環境の連続性確保に必要な機能	参考Ⅱ-1- 8
2.4.4 河川環境の連続性を確保する施設設計（構造）の考え方	参考Ⅱ-1- 9
2.4.5 水理模型実験及び数値計算による構造の検証	参考Ⅱ-1-10
2.4.6 水理模型実験による流砂環境（土砂移動）の連続性の検証	参考Ⅱ-1-19
2.4.7 河川環境の連続性を確保する施設設計（構造）のまとめ	参考Ⅱ-1-22
第3章 試験湛水手法の工夫	参考Ⅱ-1-26
3.1 試験湛水による影響の着眼点	参考Ⅱ-1-26
3.1.1 試験湛水の目的と必要性	参考Ⅱ-1-26
3.1.2 流水型ダムの特長と試験湛水による流況の変化	参考Ⅱ-1-27
3.1.3 環境影響の最小化に向けた試験湛水手法の基本的な考え方	参考Ⅱ-1-28
3.1.3.1 流水型ダムの特長を踏まえた環境影響の最小化	参考Ⅱ-1-28
3.1.3.2 環境影響評価に先立って検討した試験湛水手法の考え方	参考Ⅱ-1-29
3.2 試験湛水手法の工夫	参考Ⅱ-1-29
3.2.1 貯水位下降速度の比較検討	参考Ⅱ-1-29
3.2.2 試験湛水開始時期の比較検討	参考Ⅱ-1-30
3.2.3 試験湛水開始時期の違いによる環境影響の回避・軽減の 可能性と着眼点	参考Ⅱ-1-31

3.3 試験湛水手法の工夫の着眼点と試験湛水開始時期の検討結果	参考Ⅱ-1-36
3.3.1 試験湛水手法の工夫の着眼点と影響の整理結果	参考Ⅱ-1-36
3.3.1.1 アユへの影響	参考Ⅱ-1-36
3.3.1.2 九折瀬洞の生態系への影響	参考Ⅱ-1-40
3.3.1.3 ダム洪水調節地内の樹木への影響	参考Ⅱ-1-43
3.3.1.4 ダム洪水調節地内の土砂の堆積	参考Ⅱ-1-45
3.3.1.5 試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度試験湛水を行うことによる影響の回避	参考Ⅱ-1-46
3.3.2 環境影響評価に先立って検討した試験湛水手法のまとめ	参考Ⅱ-1-47
3.4 供用後に想定される影響への備え	参考Ⅱ-1-49
3.4.1 供用後に想定される影響	参考Ⅱ-1-49
3.4.2 供用後に備えた保全の場の創出	参考Ⅱ-1-50
第4章 流水型ダムの運用等の工夫	参考Ⅱ-1-51
4.1 運用等の工夫の着眼点	参考Ⅱ-1-51
4.2 洪水調節操作の工夫による河川環境への影響と効果	参考Ⅱ-1-51
4.2.1 洪水流量と河川環境の関係	参考Ⅱ-1-51
4.2.2 洪水調節操作の考え方 (洪水調節操作による流量変動の影響と効果)	参考Ⅱ-1-53
4.2.3 洪水調節操作の工夫による河川環境への影響と効果のまとめ	参考Ⅱ-1-56
4.3 洪水調節操作ルール of 工夫によるダム洪水調節地内への影響と効果	参考Ⅱ-1-58
4.3.1 洪水調節操作ルール of 工夫によるダム洪水調節地内の冠水頻度の低減	参考Ⅱ-1-58
4.3.2 洪水調節操作ルール of 工夫による土砂堆積と濁水の抑制	参考Ⅱ-1-60
第5章 地域住民に理解を深めて頂くための取組	参考Ⅱ-1-63
5.1 地域住民に理解を深めて頂くための取組	参考Ⅱ-1-63

参考資料Ⅱ－２ 今後の技術的展望 ー環境への影響の最小化に向けてー

第1章 流水型ダムの特長を活かした工夫に関する今後の技術的展望	参考Ⅱ-2- 1
1.1 流水型ダムの施設等設計（構造）及び河道設計等の工夫	参考Ⅱ-2- 1
1.1.1 流木捕捉施設	参考Ⅱ-2- 2
1.1.2 河床部放流設備内の照明	参考Ⅱ-2- 2
1.1.3 仮排水路トンネル	参考Ⅱ-2- 2
1.2 試験湛水手法等の工夫	参考Ⅱ-2- 4
第2章 ダムの運用に伴う濁りの影響と対策	参考Ⅱ-2- 5
2.1 微細な粒径の土砂移動による濁りの総合的な抑制に向けて	参考Ⅱ-2- 5
2.2 アユの餌となる付着藻類に対する無機物の影響把握	参考Ⅱ-2- 6
2.3 薄濁りに関する実験（人工降雨装置）と予測計算等を用いた検討	参考Ⅱ-2-10
2.4 水平透明度を用いた水質評価の試み	参考Ⅱ-2-17
第3章 河床の物理環境に関する更なる検討	参考Ⅱ-2-22
3.1 礫河床上への砂堆積による物理環境変化	参考Ⅱ-2-22
3.2 河床変動解析の技術的課題と展望	参考Ⅱ-2-40

参考資料Ⅱ－１

流水型ダムの特長を活かした検討の着眼点や
検討プロセス等

第1章 取組の背景と着眼点

1.1 準備レポートと参考資料の位置付け（取組の概要と背景）

環境影響評価に先立って検討したダム施設の設計（構造）、試験湛水手法、洪水調節操作ルールの検討成果については、専門家の助言もいただきながら模型実験や数値解析などの科学的な検討を重ねた現時点の技術レベルを反映したものである。

一方、今後の事業進捗に伴い、気候変動による気象等の周辺環境の変化や調査・観測データの蓄積、並びに調査・観測機器や計算機的能力向上、これらを踏まえた解析技術の精度向上等も見込まれる。

こうした情報の蓄積や技術の向上を踏まえ、今後、環境への影響の最小化に向けて更なる追求を行っていくために、基礎情報として、環境影響評価において検討を実施した内容のうち、特に検討の着眼点やプロセスを記録しておくことは重要である。

また、環境影響評価の結果、実施する環境保全措置の具体化においては、それらモニタリングも必要となり、調査検討の効率化や精度向上の観点からも有用な情報となると考えられる。

本参考資料は、これら検討プロセスに加え、今後実施される技術的な検討に資するよう現時点で考えられる技術的展望も記録しておくことにより、事業者において「技術的検討レポート（仮称）」として継承するとともに、引き続き専門家の助言も踏まえながら、さらなる環境への影響の最小化、技術の向上・発展に資するものである。

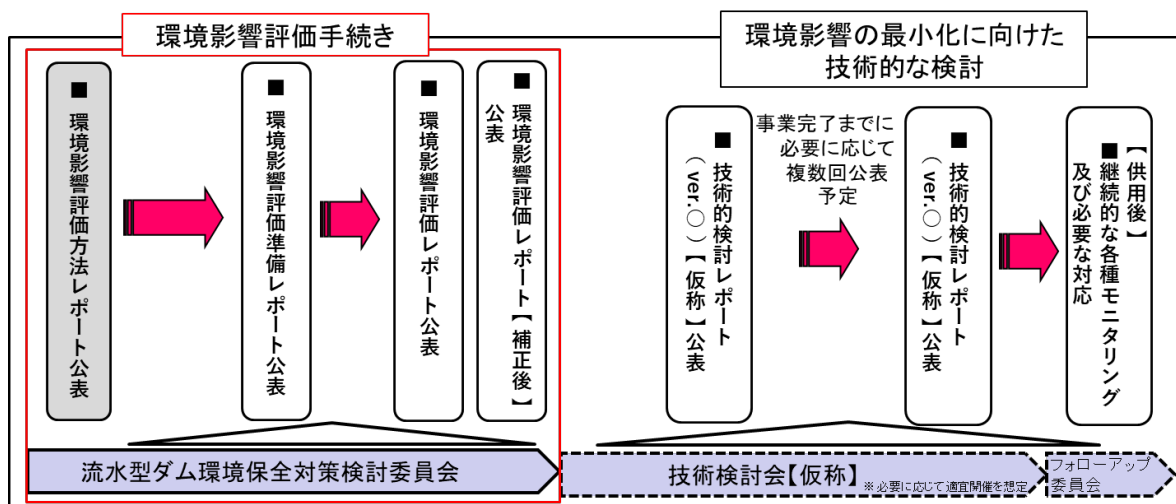


図 1-1 準備レポート参考資料の位置付け

1.2 環境への影響回避・軽減の視点（検討の着眼点）

環境への影響の最小化に向けて行われた今回の検討においては、従来の貯留型ダム为建设・維持管理において蓄積された技術を適切に反映させる一方で、流水型ダムの特長として貯留型ダムとは前提条件や運用方法が大きく異なる点を踏まえた検討が行われている。

本参考資料では、特に流水型ダムの特長を踏まえた検討について重点的に記載しているが、それらに共通する主な着眼点については、主に以下のとおりである。

- ・河川環境の成り立ち（河川の特徴（山地河川、溪谷など）や生物の生育生息状況）と物理環境（主に河床材料）を把握する。
- ・ダム建設前の川辺川の特徴（瀬、淵の存在、河床材料（石礫）の存在）を把握し、これらの環境をできるだけ残す、または復元し生物の移動経路を確保する。
また、試験湛水及び運用後の洪水調節時において、一時的な避難場所等を確保する。
- ・河川環境のうち、特に地域の関心が高いアユの生息・生育・繁殖環境から、河床材料（土砂・石礫）の移動及び付着藻類の剥離更新に着目し、影響の緩和または攪乱を促す。
- ・濁りの発生・長期化の観点から、山腹斜面や河岸、河床に存在する細かな粒径の土砂移動に着目し、洪水調節操作等の運用の工夫により影響の緩和を促す。
- ・これらの検討にあたっては、これまでのダム整備で蓄積された技術を参考にしつつ、水理模型実験や数値解析を用いて、再現・予測を行う。

なお、これら共通する着眼点以外の施設等設計（構造）、試験湛水、運用（洪水調節操作）それぞれの段階個別の着眼点については、以降の各章ごとに記載している。

また、環境影響評価に先だつての検討として、現時点での技術レベルで一定の成果に達したものは「参考資料Ⅱ－1 流水型ダムの特長を活かした検討の着眼点や検討プロセス等」に、今後も情報の蓄積や技術の向上を踏まえて、影響の最小化に向けて更なる追求を行っていくものを「参考資料Ⅱ－2 今後の技術的展望－環境への影響の最小化に向けて－」に記載している。

第2章 流水型ダムの施設等設計（構造）の工夫

2.1 放流設備等の施設設計の着眼点

本章では、放流設備等の施設設計について記載しているが、それらに共通する着眼点については、主に以下のとおりである。

- ・洪水調節機能の確保（放流設備、減勢工、副ダムの配置）
- ・生物の移動経路の確保（水面や水深、流速の連続性確保）
- ・石礫の疎通機能の確保
- ・現況の河川にできるだけ合わせる（川幅、水深、流速など）

2.2 流水型ダムの特長

流水型ダムの水や土砂の流れの特長について図 2-1～2 に示す。

流水型ダムは、洪水調節専用のダムで、常時水を貯める必要のないダムの一形態であり、河床に配置された放流設備（河床部放流設備）にて平常時や一定規模の洪水まで河川の水や土砂を流すこととしており、また、河床部放流設備の高位標高部に配置する放流設備（常用洪水吐き）にて一定規模を超える洪水時に洪水調節を行う。

この流水型ダムの放流設備の配置を踏まえ、水や土砂の流れの特長として、平常時はダムへの貯水がないため、河川の水や土砂は下流に流れ、一定規模を超える洪水時に河川の水や土砂はダムで一時的に貯め、平常時に戻る過程で下流へ流下することとなる。

ダムが存在することで、ダムサイトの環境は少なくとも変化するが、流水型ダムの平常時は水を貯めない特長を踏まえ、放流設備等の工夫によっては、上下流の河川の連続性は保たれる可能性がある。

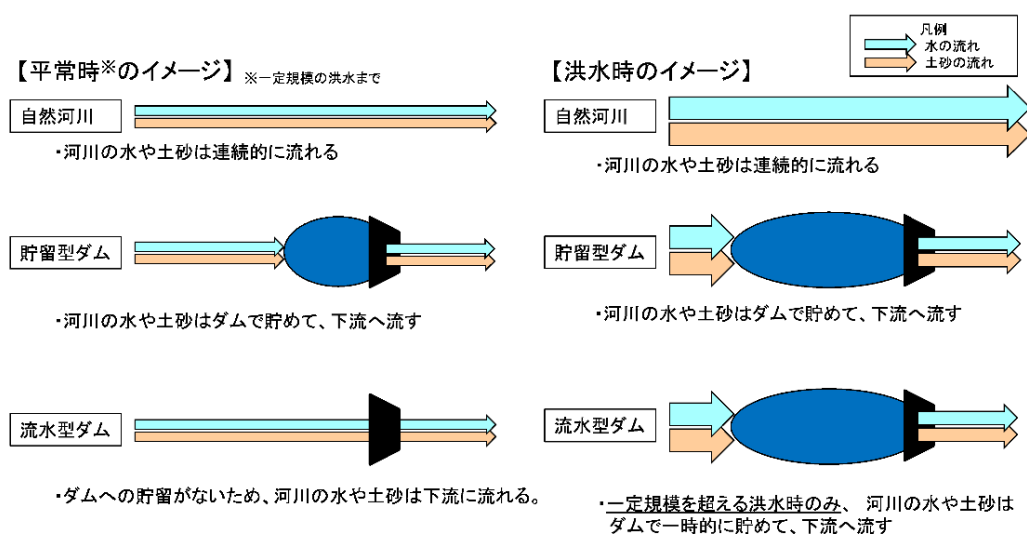


図 2-1 自然（ダム建設前）状態、貯留型ダム、流水型ダムの水及び土砂の流れ

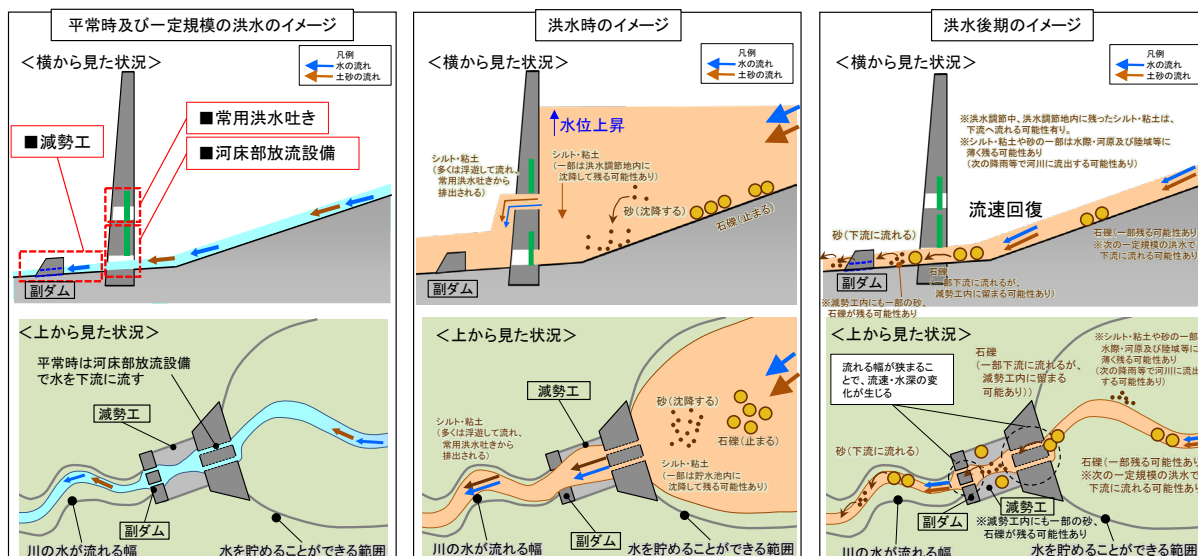


図 2-2 流水型ダムの水及び土砂の流れ

2.3 環境影響の最小化に向けた施設等設計の着眼点

川辺川の流水型ダムの設計にあたっては、環境影響の最小化に向け、流水型ダムの特長を最大限活かせるようダムの設計の初期段階から以下の着眼点を踏まえた検討を進めていくこととした。

(1) 生物の移動経路の確保

平常時は河川環境を確保できるようにする。すなわち、上下流の川の流れを分断せず、ダムができることにより流れの環境（流速や水深）をできる限り維持する。

(2) 流砂環境の保持

自然河川の場合、洪水時には洪水と一緒に土砂も流下することで、河川全体の河川内環境が維持される。

しかし、流水型ダムによって洪水調節を行うと、ダム洪水調節地内に一時的に貯水することによって土砂がダム洪水調節地内から下流へ流下するタイミング等が変化し、ダム洪水調節地内に石礫が残る可能性がある。これにより、下流への石礫の供給が減少すると、下流河川の河床低下や河床の岩盤がむき出しになる（アーマーカーコート化）可能性がある。また、後期放流による砂の流下に伴い下流河道に砂が留まることによる砂床化する可能性がある。これらの影響により、水生生物の生息環境の悪化を招く可能性がある。

そのため、ダム上流のダム洪水調節地からダム下流河道まで、河床形状（瀬淵）や河床材料など現在の自然な状況をできる限り維持する。

(3) 景観への影響の最小化

ダム建設では、構造物を堅硬な基礎岩盤に着岩させる必要があるため、基礎掘削により周辺の地形を改変する。この基礎掘削範囲を可能な限り抑え、豊かな自然環境や景観への影響を最小化する。

一方、球磨川水系の治水安全度向上を図るためには、ダムで洪水調節を行い、洪水量を低減させる必要がある。

このように、平常時は自然状況をできる限り維持し、洪水時には洪水を確実に調節するとともに、その施設については改変を可能な限り抑える施設を計画する必要がある。

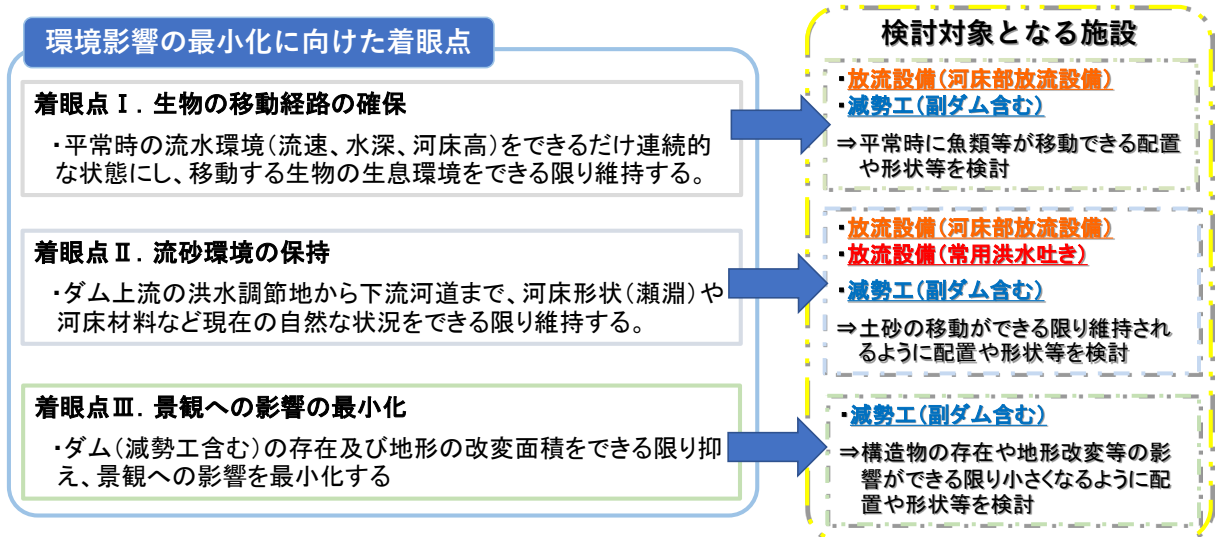


図 2-3 ダム施設等設計を検討する上での着眼点

2.4 施設設計の検討プロセス

2.4.1 洪水調節機能と河川環境の連続性確保を両立するダム構造の基本的な考え方

(1) 洪水調節機能を満足する放流設備の配置

前記したダム構造を検討する上での着眼点を踏まえ、ダム構造の基本的な考え方としては次のとおりとした。

- ・平常時の河川環境維持、洪水時の土砂移動、それぞれの機能を最大限確保するため、現在の河床レベルに『河床部放流設備』を配置する。
- ・洪水調節機能を確実に発揮するため、河床部放流設備とは別に『常用洪水吐き』を配置する。

2.4.2 各放流設備の配置と構造の考え方

(1) 河床部放流設備

河床部放流設備は、平常時の生物の移動経路や土砂移動の確保の機能を維持できる設備として、現在の河床レベルに配置する。配置条件は次のように考えた。

- ・設置標高：現在の河道の連続性を維持できるようにするため、現河床レベルに配置する。縦断的には、ダムサイトの河床勾配相当として 1/30 程度とする。
- ・設置規模：洪水調節開始である $600\text{m}^3/\text{s}$ までは、開水路状態で流すために河床部放流設備を 3 門（1 門あたり約 $200\text{m}^3/\text{s}$ ）の配置とする。

- ・構造諸元：堤体ブロック幅 15m に対して構造上安全な施設とするため、1 設備当りの幅はブロック幅の 1/3 となる 5m を最大幅とした。

(2) 常用洪水吐き

常用洪水吐きは、洪水調節機能を満足する設備として配置条件を次のように考えた。

- ・設置標高：呑口を推定堆砂面以上として土砂を流下させない標高とし、かつ下流側は減勢工内水位以上としてゲートに背面水圧が生じない標高とし、設置標高を EL. 198m とした。
- ・設置規模：計画最大放流量 1,300m³/s を計画波形全てでカバーできる規模とし、河床部放流設備の外側のブロックに 5m×5m×2 門の配置とする（1 門あたり放流量 650m³/s）。
- ・構造諸元：堤体ブロック幅 15m に対して構造上安全な施設とするため、1 設備当りの幅はブロック幅の 1/3 となる 5m を最大幅とした。主ゲートは高圧でのゲート操作となるため、高圧ラジアルゲートとした。

上記配置条件に基づく基本配置は図 2-4 に示すとおりとした。

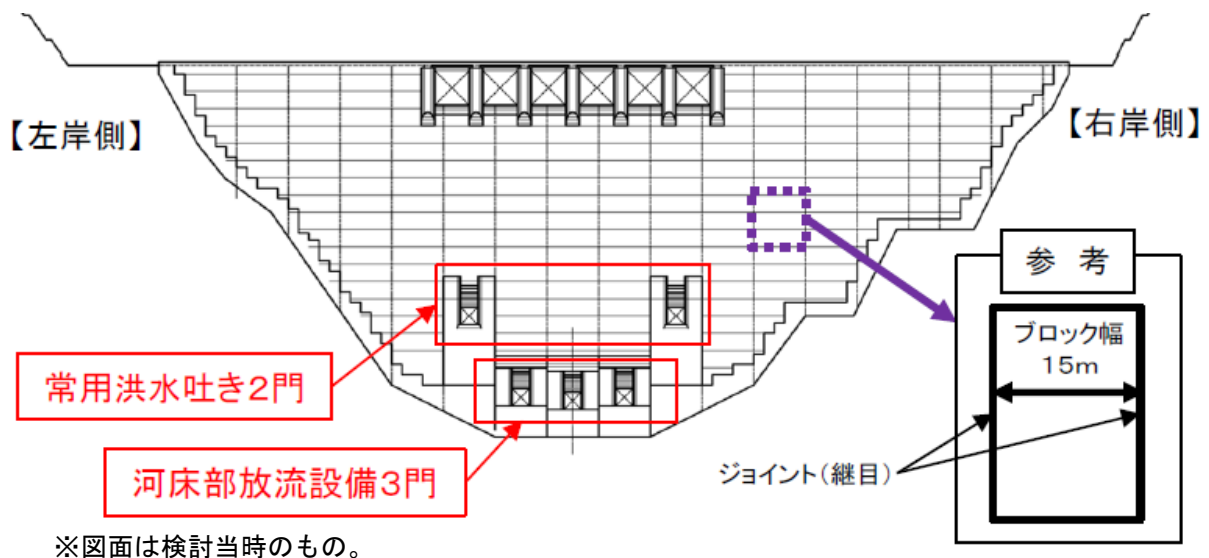


図 2-4 各放流設備の基本配置構造

(3) 減勢工

洪水調節時にはダム上流で貯水により水位が上昇する。このため、水位上昇により大きな位置エネルギーが発生することにより、洪水調節時の常用洪水吐きからの放流水は流速が速い状態で流下することとなる。この状態を通常の河川の流れの状態に戻す必要があり、ダム下流には減勢工が配置される。

減勢機能を確保するためには、下流水位を強制的に上昇させる副ダムを設置する必要がある。しかし、この副ダムによって河川の連続性や土砂移動に影響を及ぼす可能性が考えられる。

そこで、平常時の流量が少ない状態の時には水面の連続性が維持でき、洪水時には土砂移動を確保されるよう、副ダムにスリット（切り欠き）を設けることとした。

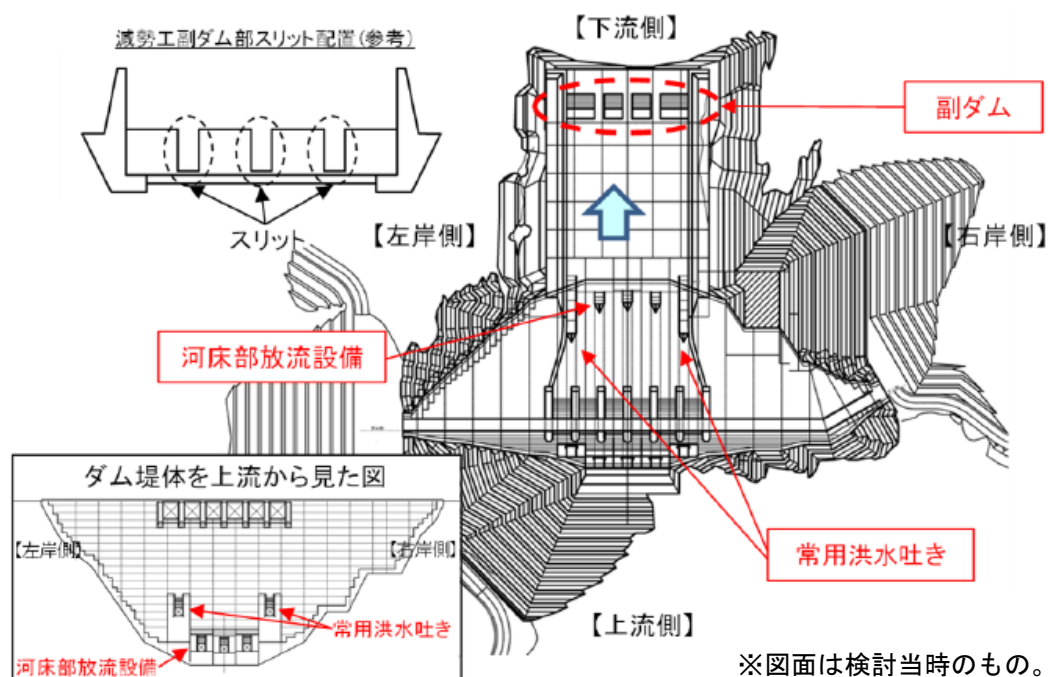


図 2-5 減勢工の基本配置構造

2.4.3 河川環境の連続性確保に必要な機能

(1) 河川環境の連続性の現状

環境影響を最小化する上では、可能な限り自然（ダム建設前）状態の河川環境の連続性を確保し、生物の移動経路と流砂環境を確保する必要がある。

ダムサイト付近の物理環境や生物の生態特性から求められる河川環境は次のとおりである。

表 2-1 自然状態の河川環境

調査から得られたダムサイト付近の物理環境				
区間	水面幅	水深 (m)		流速 (m/s)
18.9k~19.9k ※ダムサイト19.4k	約10m~20m	約0m~5.7m (6月、8月調査時の実測値)		約0m/s~2.0m/s (6月、8月調査時の6割水深の実測値)
調査から得られたダムサイト付近を移動する生物の生態特性				
種	水深 (m)		流速 (m/s)	
	文献調査等	現地調査	文献調査等	現地調査
アユ	0.11m以上	約0.4m~3.4m※2 (アユ確認地点 (6月調査時))	0.2~1.1m/s (遡上期6月頃)	約0.2m/s~1.5m/s※2 (アユ確認地点 (6月調査時))
カワガラス	飛翔高度 (m) ※現地調査			飛翔距離 (m) ※現地調査
	約0m~25m			約3m~708m

※2 内挿から算出

(2) 施設設計に求められる機能

生物の移動経路の確保、流砂環境の保持に向けた河床部放流設備や減勢工に求められる機能は次のとおりである。

1) 河床部放流設備

- ・平常時の水面幅や水深が変化するため、平常時の水面幅および水深が確保できる構造とする必要がある。
- ・ダム上下流と放流設備内において、河床を構成する砂や石礫の存在状態及びこれに対応する水の流れの状態（河床環境）が変化するため、河床環境を確保する必要がある。
- ・砂や石礫が流下するタイミングが変化するため、土砂の疎通能力を確保する必要がある。

2) 減勢工

- ・ダム上下流と減勢工内の河床環境が変化することでみお筋が形成されず、下記の状態が懸念されるため、みお筋が確保できる構造とする必要がある。
 - ・循環流等の発生により遡上しにくくなる可能性
 - ・土砂が過剰に捕捉され伏流することで生物の移動経路が変化する可能性
- ・副ダムを設置した場合、生物や土砂の移動経路が変化する。一方で、減勢工を掘り下げた場合、副ダムが不要となる可能性はあるが、土砂が過剰に捕捉され、下流河道への流砂環境に影響する可能性がある。このため、減勢機能の確保を前提として、減勢工の掘り込む深さと副ダムの形状等のバランスの確保が重要となる。

2.4.4 河川環境の連続性を確保する施設設計（構造）の考え方

(1) 河床部放流設備の構造

1) 設置幅・条数

平常時のダムサイトにおいて、水が流れる水面幅は約10～20m（図2-6）であり、生物の移動経路の確保の観点から河床部放流設備を3門設けることで河床部放流設備の全幅が15m（幅5m×3門）となり、現状と同程度の水面幅となる。

従って、河床部放流設備は、ダム中央部の河床レベルで3門配置することが妥当であることを確認した。

2) 設置敷高

河床部放流設備の敷高の設定にあたっては、放流管内の水深をできる限り確保し、平常時に生物が移動可能な期間を増加させる観点で検討を行った。

ダムサイト予定地の下流側の現況河道形状である早瀬の高さ（EL. 184m）をコントロールポイントにして、河床部放流設備呑口の敷高を設定することで、河川の連続性を確保することとした。

河床部放流設備左岸側の石礫移動の促進及び平常時に放流管間で異なる環境の創出、濁水時にも水面の連続性を確保する観点から、3門のうち中央の1門の設置敷高を1m下げる案で検討を進めることとした（図2-7）。なお、敷高については、開水路模型実験を通じて効果を検証することとした。



図 2-6 ダムサイト周辺の自然河川の水面幅

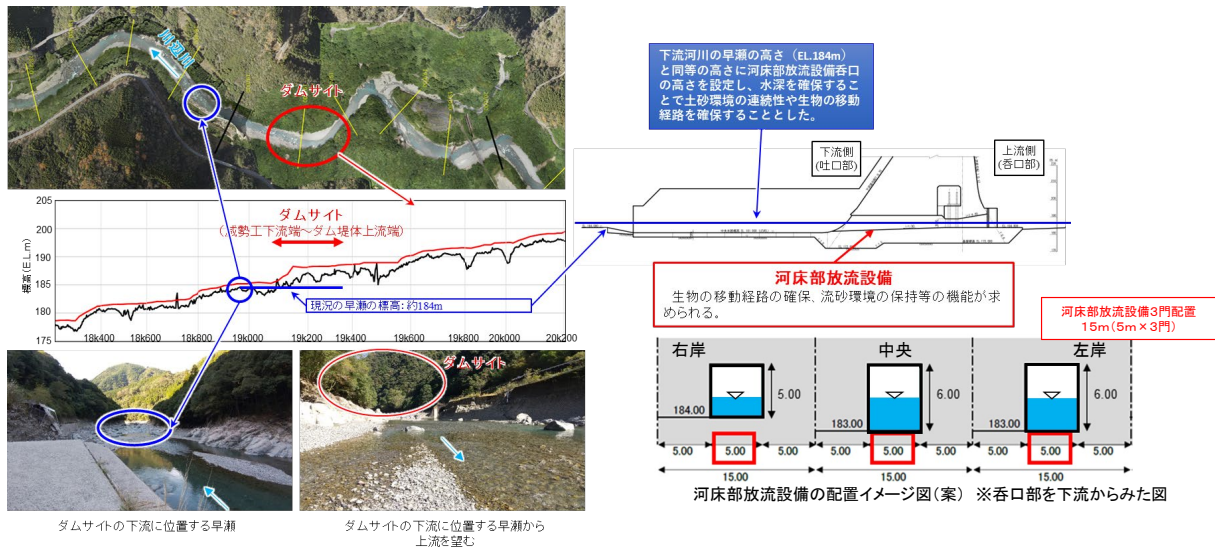


図 2-7 河床部放流設備設置敷高の考え方 説明図

2.4.5 水理模型実験および数値計算による構造の検証

河床部放流設備や常用洪水吐きを設置することによる局所的な流動や水面の連続性、土砂移動の状況を把握するため、水理模型実験および数値計算による検証を行った。

なお、上記検証にあたり、水理模型実験は国立研究開発法人土木研究所にて河道やダム施設等を再現し、技術的な確認を行いながら検討を行った。

また、中央大学研究開発機構福岡ユニットによる準3次元流動解析により河床部放流設備の配置や減勢工の形状、上流河道の形状など、様々な条件で流動や土砂移動を分析し、水理模型実験でも確認しながら、構造の改良を重ねながら検討を進めた。

(1) 実験模型の概要

開水路模型実験では、ダム地点周辺の上下流の連続性を把握する目的から、上流河道から下流河道を含む模型を作成した（図 2-8）。

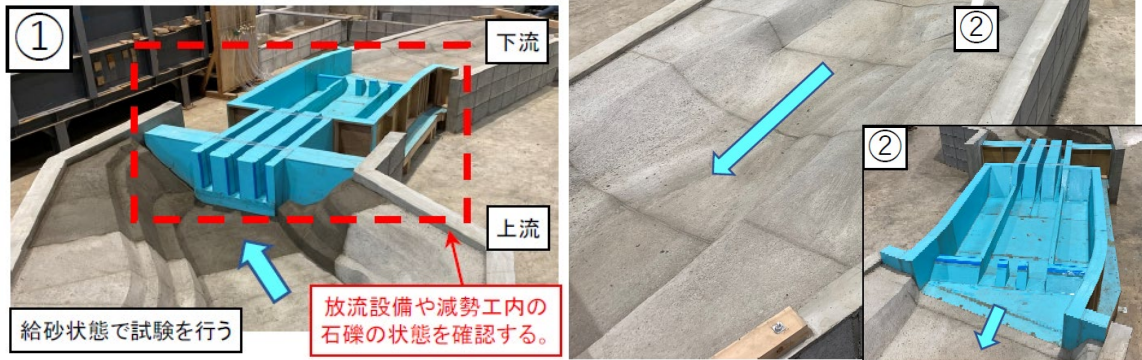


図 2-8 水理模型実験（開水路模型）施設

1) 上流河道の形状

ダム上流は河川が大きく湾曲しており、土砂の流れの状態を考慮した河道形状の形成について検討した。

ダムサイトから上下流区間の河道を、約 1/60 の縮尺で再現した開水路模型実験において、ダム周辺の石礫の侵食・流送・堆積過程を再現し、河床環境や土砂動態に関する確認を行い、河床部放流設備等の配置計画の検討を行った。

実験状況を図 2-9 に示す。上流河道は、蛇行した地形のため、流水は右岸側に偏流するとともに左岸側に逆流域が生じる。このため、河床部放流設備の左岸側の土砂通過機能の確保ができないことと合わせて、逆流域にシルト等が堆積し、濁水発生の要因となる可能性が懸念された。

また、中央大学研究開発機構福岡ユニットによる準 3 次元流動解析（図 2-10 参照）において、河床部放流設備上流の川幅が土砂疎通能力に影響することが把握されており、この課題の解決策として、上流河道幅を 45m から 30m に縮小すること、流れの外側となる右岸側には流向を幅方向に均一となるよう水制を設けることで、流砂環境が改善されることを確認した。

なお、上流河道の形状・水制については、地形改変を伴うため、石礫を疎通する機能を確保するとともに、生物の生息・移動および景観デザイン等を踏まえ、引き続き検討を行っていくこととしている。

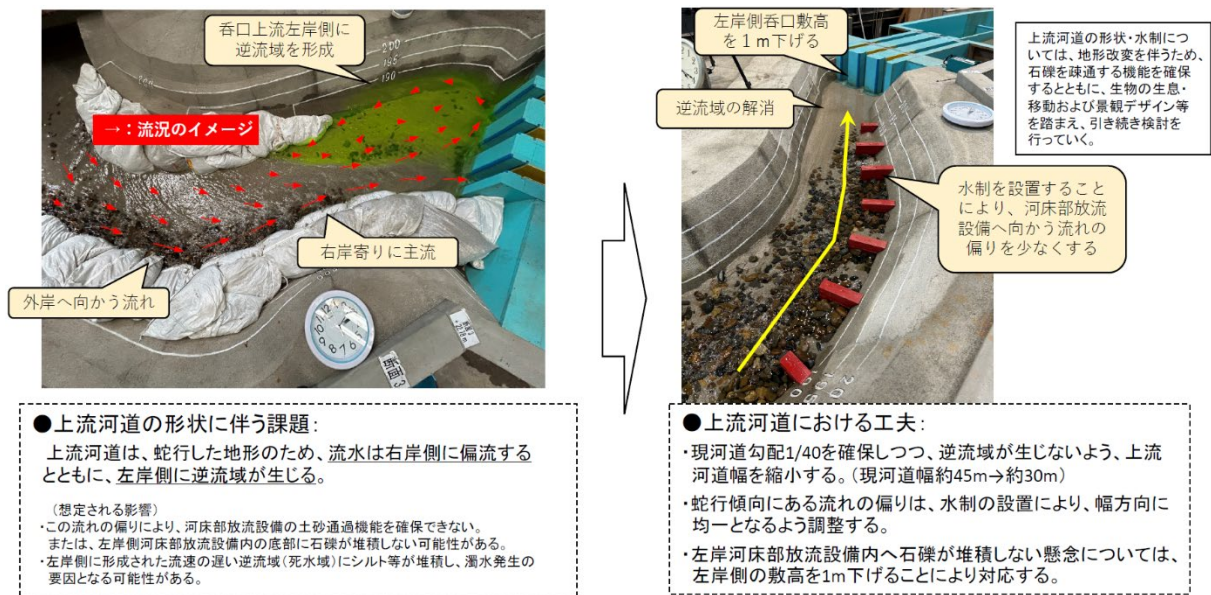


図 2-9 土砂の流下環境に配慮した上流河道の検討状況

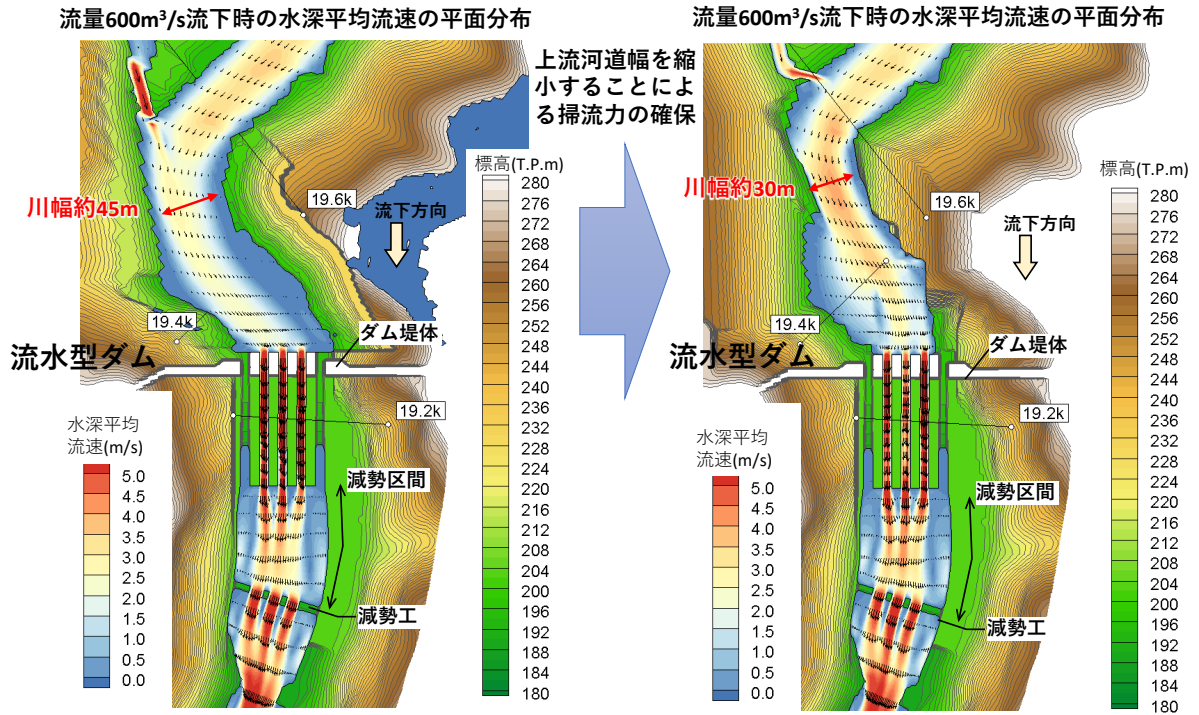


図 2-10 準 3 次元流動解析によるダム上流河道幅の検討（河道幅 左図：45m 右図：30m）

2)河床部放流設備の設置敷高

実験開始時の河床部放流設備の設置敷高は、中央1門のみ1m下げる配置としていたが、この状態の場合には左岸側への土砂流下量が少なくなることが分かった。

そこで、河床部放流設備を左岸・中央の2門を1m下げ、敷高をEL.183.0mとして再度開水路模型実験にて確認を行った結果、3門ともに土砂が供給されることが確認された(図2-11)。

また、中央大学研究開発機構福岡ユニットによる準3次元流動解析による、ある条件下(540m³/s洪水の2波後)での計算結果にて右岸側に土砂堆積が進行することにより平常時において、左岸側の河床部放流設備内しか、流れが発生しないケースも確認されている。

こうした場合では、左岸側の河床部放流設備の敷高をEL.184.0mからEL183.0mに下げることによって管内の流速を抑制する効果もある。

したがって、河床部放流設備の設置敷高は、左岸・中央の2門をEL.183m、右岸をEL.184mとすることが適切であると評価した。

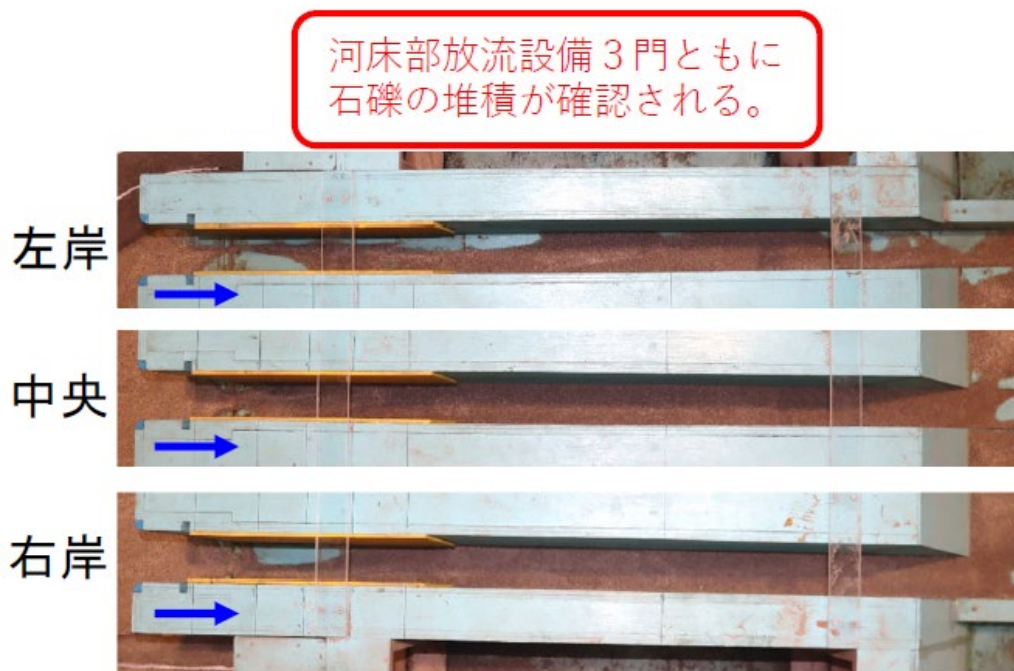


図2-11 左岸・中央2門の敷高を下げたときの石礫の堆積状況

3) 減勢工内の形状

ダム放流施設としては、ダム中央部に3条の河床部放流設備を配置し、その両側に常用洪水吐きが配置される。また、その上部には非常用洪水吐きが配置される。

常用・非常用洪水吐きからの放流は、減勢工にて確実に減勢させる必要があり、副ダムが必要となる。一方で、河床部放流設備は平常時の河川機能を維持することが目的であることから、副ダムの必要性やみお筋の形成のしやすさなどを考慮した工夫が必要であった。

そこで、河床部放流設備と常用洪水吐きの間に隔壁を設けて、平常時と洪水時の流れを分離させ、河床部放流設備を用いて流水を流下させる洪水調節時以外(流量; 平常時～600m³/s までの出水時)に求められる機能(例えば、平常時の水面の連続性、石礫の疎通等)と、常用洪水吐きを用いて洪水を調節し減勢させる機能の両方が確保されるよう設計を進めた。

その分離方法として、河床部放流設備と常用洪水吐きの配置について、左岸側に河床部放流設備を3門、右岸側に常用洪水吐き2門を配置する案がある。こうした案は、中央大学の準3次元流動解析(図2-12)において、600m³/s 流下時に減勢工区間の流路幅が狭くなることで減勢機能に課題があることが確認されている。

こうした課題も踏まえ、図2-13に示すように平常時から600m³/s までの出水時に活用する河床部放流設備は、中央に配置させ、極力、現行の河道線形を変えないよう設計することとし、隔壁設置の効果と副ダム構造については、数値計算及び水理模型実験で検証することとした。

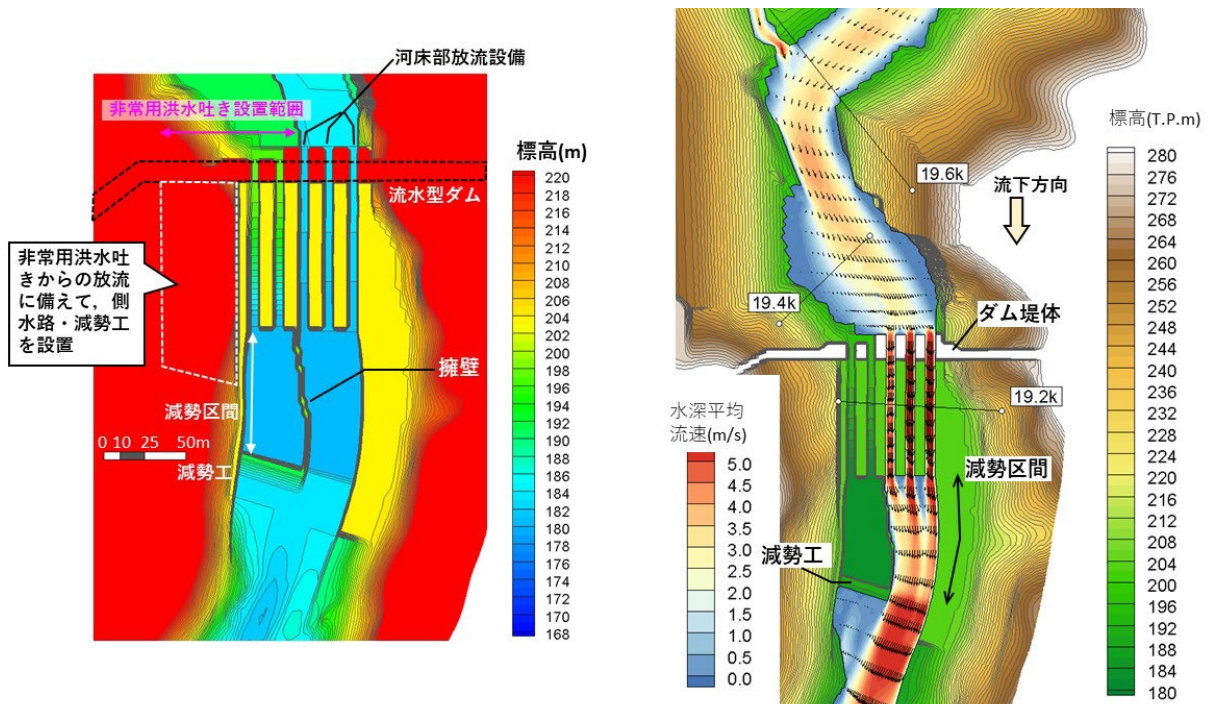


図2-12 準3次元流動解析による減勢工形状の検討
(左図: モデル設定、 右図: 600m³/s 時の流速分布)

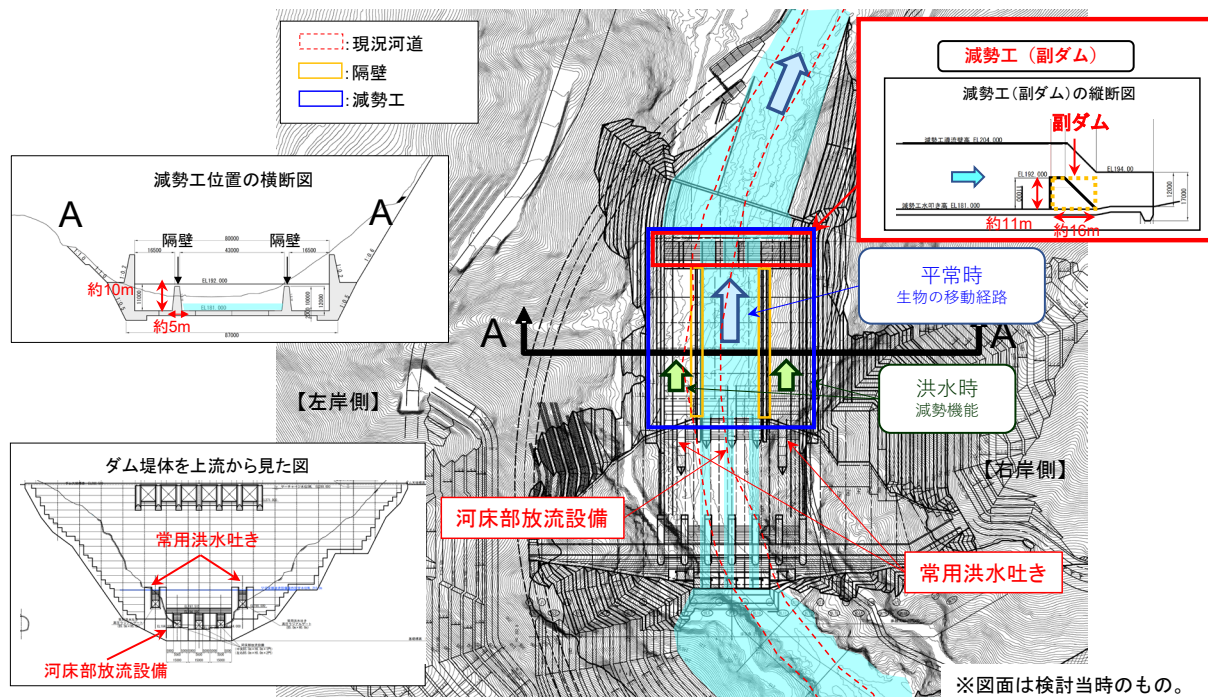


図 2-13 減勢工内の形状

(a) 隔壁の設置

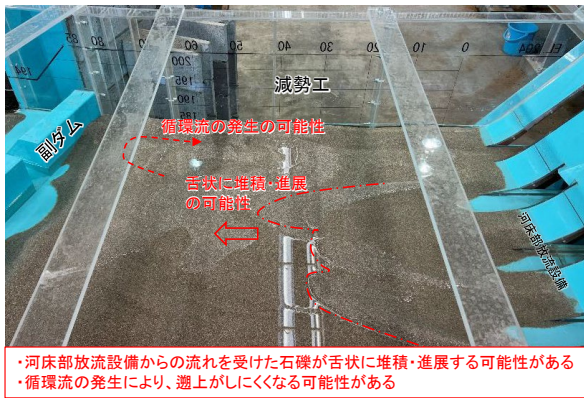
水理模型実験の結果を以下に示す。

減勢工内を分離しない場合、減勢工の幅が広く、減勢工内に堆積する石礫が水の流
れにより舌状に堆積・進展し、みお筋が形成されないおそれがある。さらに、減勢工
内において循環流等が発生する可能性があり、生物が遡上しにくくなるおそれがある
ことが確認された(図 2-14 左)。

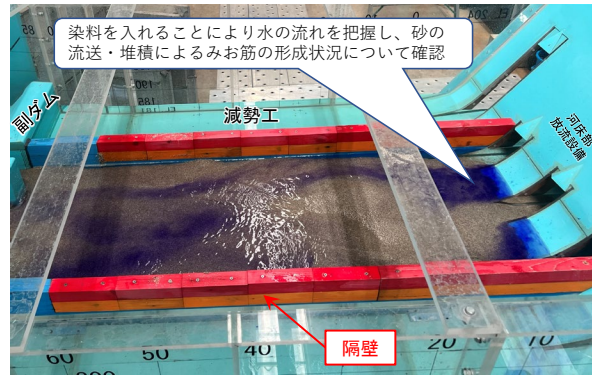
このため、減勢工内に隔壁を設け(図 2-13)、平常時(生物の移動経路として利用
される河床部放流設備)と洪水調節時(洪水調節に利用する常用洪水吐き)におけ
る主な流路を分離することで、平常時における減勢工内の水や土砂の流れを分散させ
ず、みお筋を形成しやすくするとともに循環流等の発生を抑制することとした(図
2-14 右)。

また、図 2-15 に示すように常用洪水吐きから放流される洪水調節時においても、
中央大学の準 3 次元流動解析により、水平方向の大規模渦の発生の抑制や減勢機能を
確認している。

従って、減勢工内は河床部放流設備と常用洪水吐きの分離する隔壁を設けることが
適切であると評価した。



写真－減勢工内の幅が広い場合の実験の様子



写真－減勢工内に隔壁を設置した場合の実験の様子

図 2-14 減勢工内隔壁に係る水理模型実験の状況

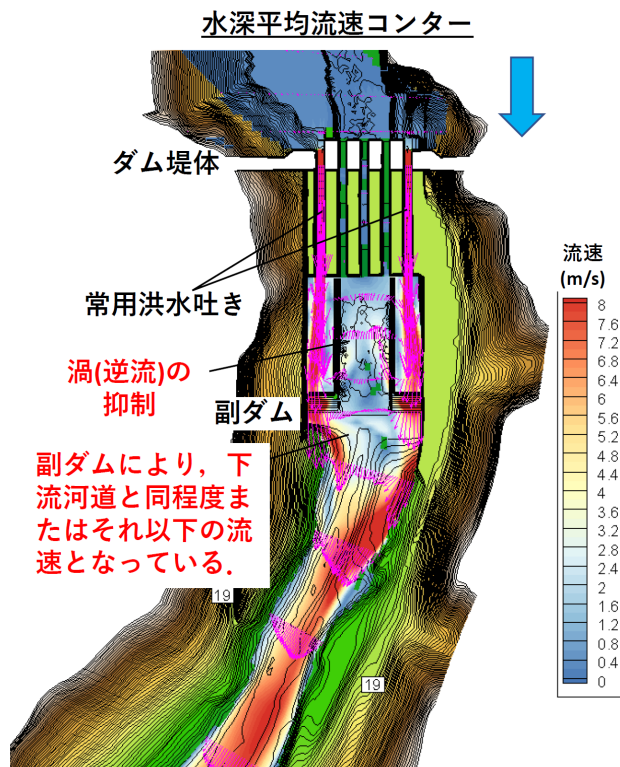


図 2-15 準 3 次元流動解析による河床部放流設備下流の副ダムなしの流速計算結果 (1, 200m³/s 放流時)

(b) 副ダム構造

水理模型実験の結果（図 2-16～18）を以下に示す。

実験にあたっては、河床部放流設備の下流副ダムのスリット幅を拡幅するなど、複数のケースで洪水時の放流水の流速の確認を行った。

その結果、河床部放流設備下流の副ダムを配置しない場合においても、放流水の流速に明確な差はなく、減勢機能が確認された。この減勢機能発現の一要因として、ダムサイト下流河道の一部が狭窄部となっており、減勢工下流の水位が上昇することで減勢機能をもたらすと推測している。

また、副ダムにスリットを設けた場合には、土砂が不均等に堆積することや、副ダム近辺では洗掘されるような状況が確認されたが、副ダムを配置しないことにより、これらの状況が解消され、減勢工から下流河道への流砂環境が改善されることが確認された。

従って、当該部の副ダムは配置しない方針が適切であると評価した。

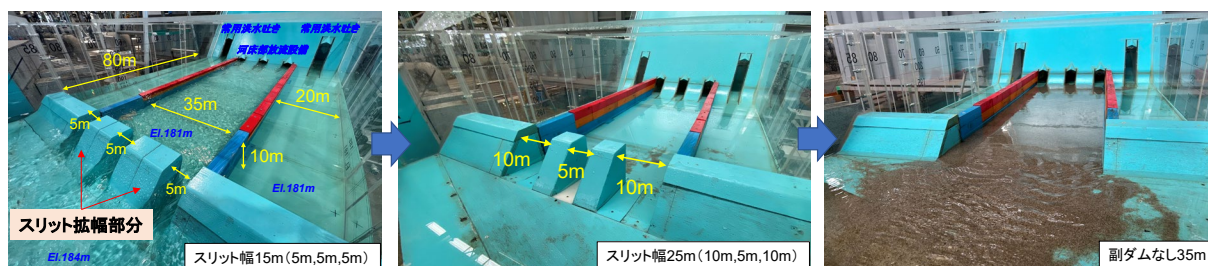


図 2-16 水理模型実験による副ダムの検討状況

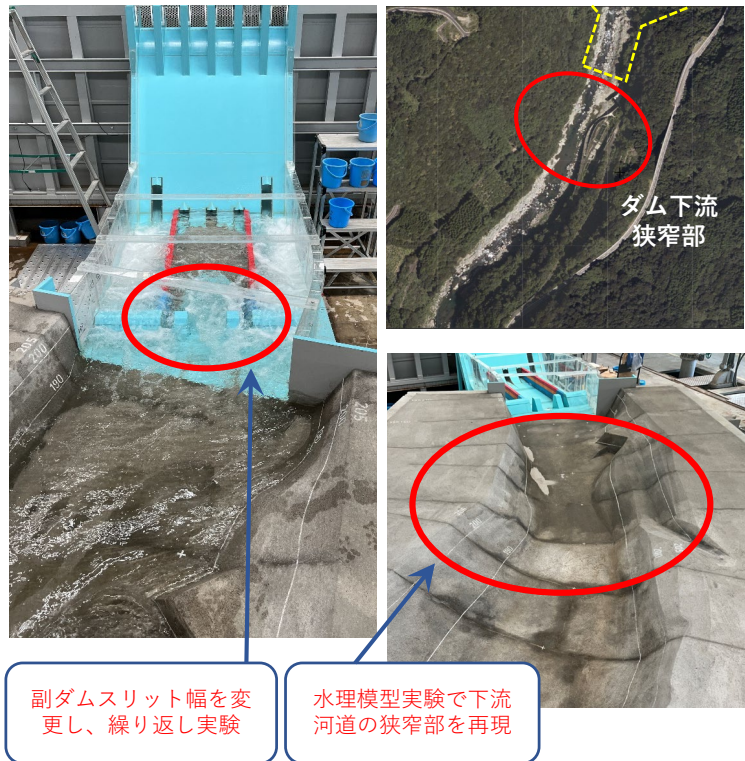


図 2-17 水力模型実験を用いた減勢機能の確認状況

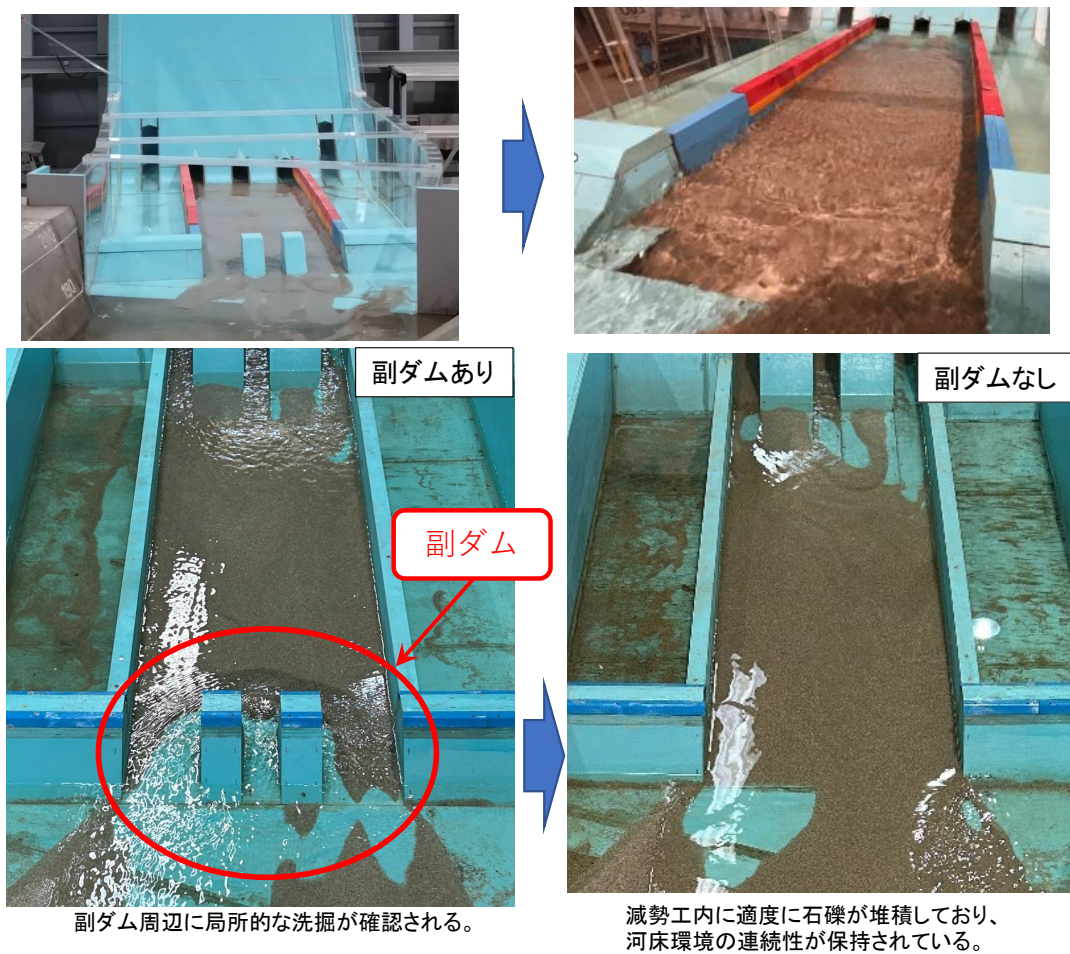


図 2-18 副ダムの有無による流砂環境の違い

2.4.6 水理模型実験による流砂環境（土砂移動）の連続性の検証

これまでの水理模型実験を踏まえ、平常時から出水を経て平常状態に戻る環境を再現した実験を行った（図 2-19）。

その結果、河床部放流設備の底部や減勢工内に石礫が堆積していることや、上流河道～河床部放流設備～減勢工～下流河道にかけて、水面（みお筋に相当）が維持されていることが確認された。また、減勢工内の全幅にわたる循環流は形成されず、下流に向かう流れとなる状況が確認された。

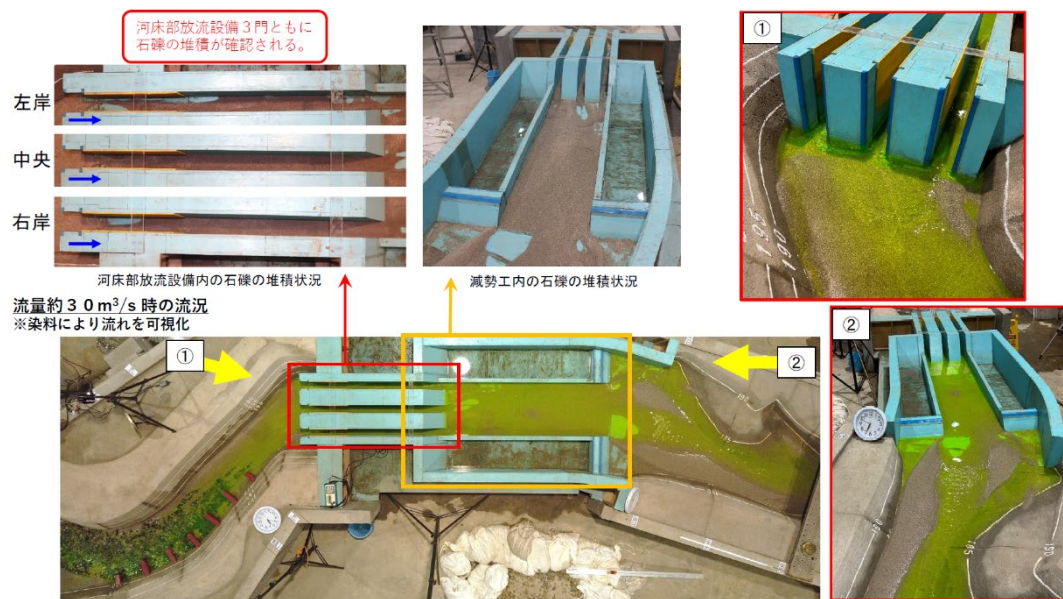


図 2-19 流砂環境の上下流の連続性検証実験状況

(1) 水理模型実験および数値計算で確認された河床環境

河床部放流設備から減勢工の施設構造についての検討と水理模型実験による検証の結果をもとに、数値計算によりダム地点での豊水流量程度の 30m³/s、また、流量が低い場合を想定し、10m³/s および 5m³/s 流下時の河川環境を整理した（表 2-2）。

その結果、どの流量規模においても、河床部放流設備 3 門で異なる河床環境となっており、ダムサイト付近で確認されている魚類において、河床部放流設備内の移動が可能な河床環境が確保されることが確認された。

なお、5m³/s 流下時など流量が低い場合は、左岸・中央のみに水面が確保されるが、現況においても流量が低い場合には川幅は狭くなるため問題ないと考えられる。

表 2-2 水理模型実験結果を踏まえた数値計算によるダム地点で確保できる河川環境

調査から得られたダムサイト付近の河床環境				
区間	水面幅	水深	流速	
18.9k~19.9k ※ダムサイト19.4k	約10m~20m	約0m~5.7m (6月、8月調査時の実測値)	約0m/s~2.0m/s (6月、8月調査時の6割水深の実測値)	
河床部放流設備管内の物理環境 ※開水路模型実験による河床部放流設備内の土砂堆積状況を踏まえた数値計算結果				
流量	位置	水深	流速	遡上可能な魚類 (ダムサイト付近に生息している魚類の巡航速度を参考に選定)
30m ³ /s	左岸(敷高EL.183m)	約2.1m~3.7m	約0.9m/s~1.7m/s	アユ、ニホンウナギ、オイカワ、カワムツ、 タカハヤ、ウグイ、カマツカ、サクラマス(ヤマメ)、ドンコ ⇒ これらは、ダムサイト付近で確認されている魚類である
	中央(敷高EL.183m)	約1.7m~2.9m	約0.8m/s~1.3m/s	
	右岸(敷高EL.184m)	約1.1m~1.3m	約0.3m/s~0.4m/s	
10m ³ /s	左岸(敷高EL.183m)	約1.0m~2.7m	約0.6m/s~1.6m/s	アユ、ニホンウナギ、オイカワ、カワムツ、 タカハヤ、ウグイ、カマツカ、サクラマス(ヤマメ)、ドンコ ⇒ これらは、ダムサイト付近で確認されている魚類である
	中央(敷高EL.183m)	約0.7m~1.9m	約0.2m/s~0.6m/s	
	右岸(敷高EL.184m)	約0.03m~0.3m	約0.11m/s以下	
5m ³ /s	左岸(敷高EL.183m)	約0.6m~2.3m	約0.4m/s~1.4m/s	アユ、ニホンウナギ、オイカワ、カワムツ、 タカハヤ、ウグイ、カマツカ、サクラマス(ヤマメ)、ドンコ ⇒ これらは、ダムサイト付近で確認されている魚類である
	中央(敷高EL.183m)	約0.3m~1.5m	約0.1m/s~0.6m/s	
	右岸(敷高EL.184m)	流下しない	流下しない	

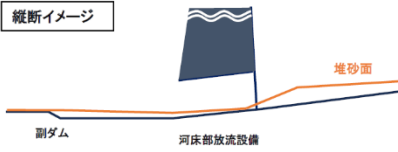
※水面幅は、河床部放流設備を3条配置することにより15mとなる。
 ※上記の水深、流速は数値計算による算出結果であり、今後、計算手法等で変更になる可能性がある。
 なお、流速は断面平均流速であり、河床部放流設備管内には石礫が堆積することから、底層流速は更に低下すると想定される。

(参考) 水理模型実験による流砂（土砂移動）の連続性に関する検証

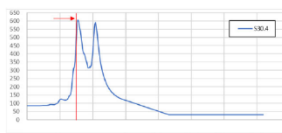
●実験概要

- 実績洪水データを用いて、①河床部放流設備内がフラッシュされ、且つ水位低下段階において河床部放流設備へ流入することになるダム直上の土砂堆積量が少なくなる流量増加の早い波形を抽出、②土砂流入量が少なくなる流量低下の早い波形を抽出
- ①と②を組み合わせた波形により、平常時から洪水時、再度平常時に戻る一連のサイクルで河床部放流設備や減勢工の土砂動態について確認を行った。

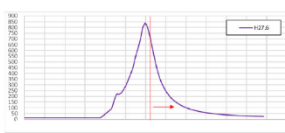
縦断イメージ



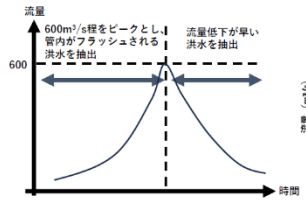
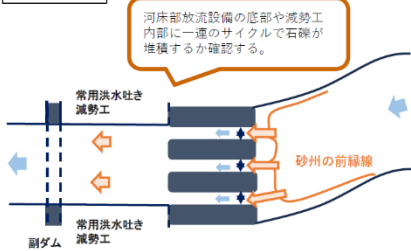
河床部放流設備内がフラッシュされ、かつ土砂堆積も少なくなる流量増加の早い波形



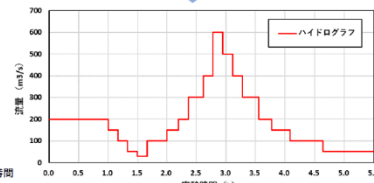
土砂流入量が少なくなる流量低下の早い波形



平面イメージ

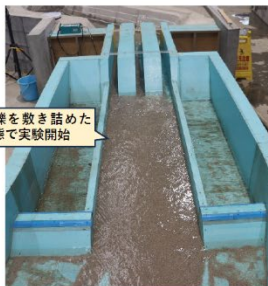
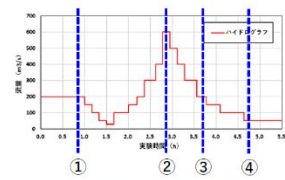


河床部放流設備管内の堆積厚確保が困難となることが懸念される波形作成のイメージ



開水路模型実験で用いる波形

試験における給砂量は計算値（平衡流砂量より求まる値より少なめ）で設定し、均一粒径で試験を実施する。



① 200m³/s時

全ての放流管内において、石礫がフラッシュされる



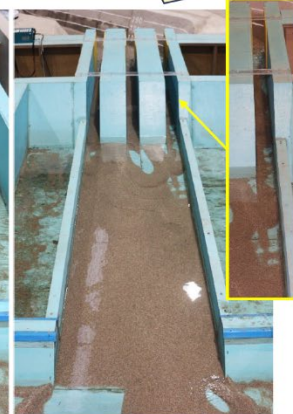
② 600m³/s時

右岸・中央管内において、400m³/s頃から石礫が堆積しはじめ、200m³/sにおいて明確に堆積を確認



③ 200m³/s時

右岸・中央は、呑口付近まで堆積100m³/s頃から左岸も堆積開始

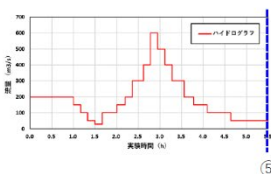


④ 50m³/s時

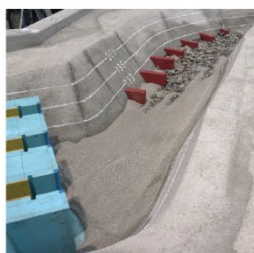
石礫のフラッシュ

石礫の堆積

河床部放流設備3門ともに石礫の堆積が確認される



⑤



⑤ 通水後 上流側



⑤ 通水後 減勢工



⑤ 通水後 河床部放流設備内



⑤ 通水後 下流側

2.4.7 河川環境の連続性を確保する施設設計（構造）のまとめ

(1) 施設構造

これまでの検討から得られた知見から、川辺川の流水型ダム環境影響の最小化に向け、環境影響評価に先立って検討するダム施設等設計案を以下に示す（図 2-20～24）。

- ・減勢工は、平常時と洪水時の流水を分離した中央分離案で配置する。
（河床部放流設備 3 門、常用洪水吐き 2 門を隔壁で分離）
- ・河床部放流設備は、河川の連続性を確保するため、ダムサイト予定地の下流側の現況河道形状である早瀬の高さ（EL. 184m）をコントロールポイントとして、河床部放流設備の呑口敷高を EL. 184m とする。
- ・河床部放流設備は、管内の石礫堆積の促進、3 門で多様な自然環境を創出するため、2 門の敷高を 1m 下げて配置する。
- ・ダム直上流の河道は、右岸側への偏流を解消するため、河道幅の縮小、水制を設置する。
- ・河床部放流設備下流の副ダムは、副ダムがない場合でも減勢機能を確保できたことから、水生生物や石礫の移動の阻害ともなりうるため配置しない。

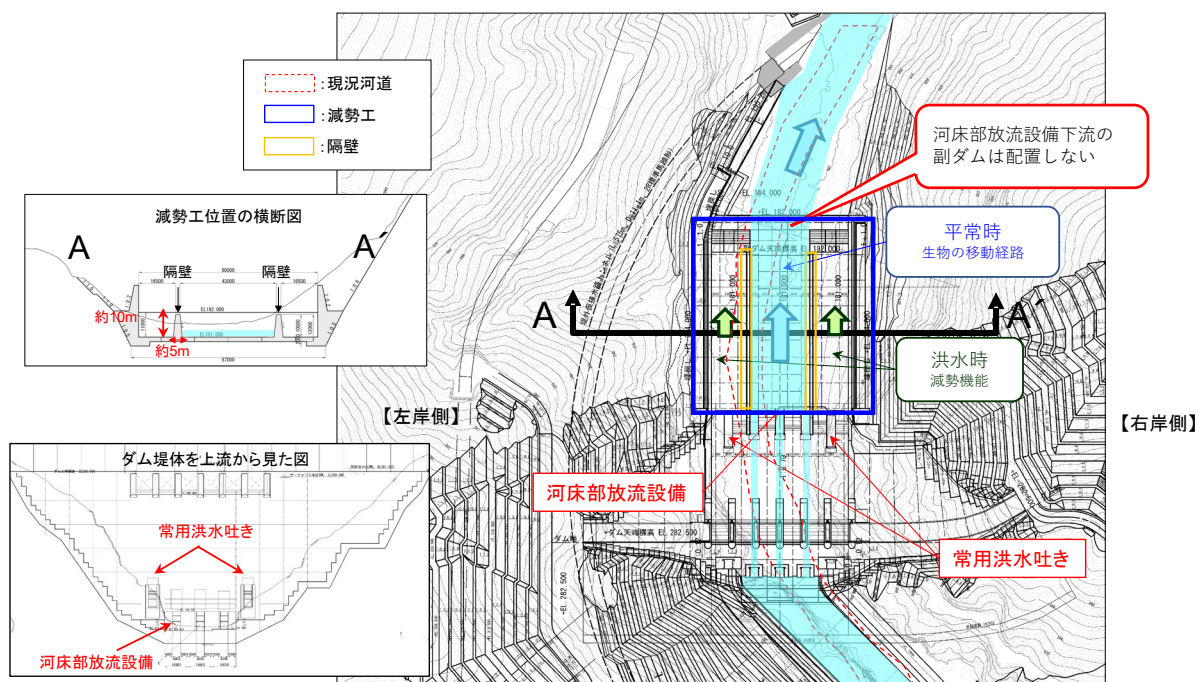


図 2-20 ダム施設等設計案

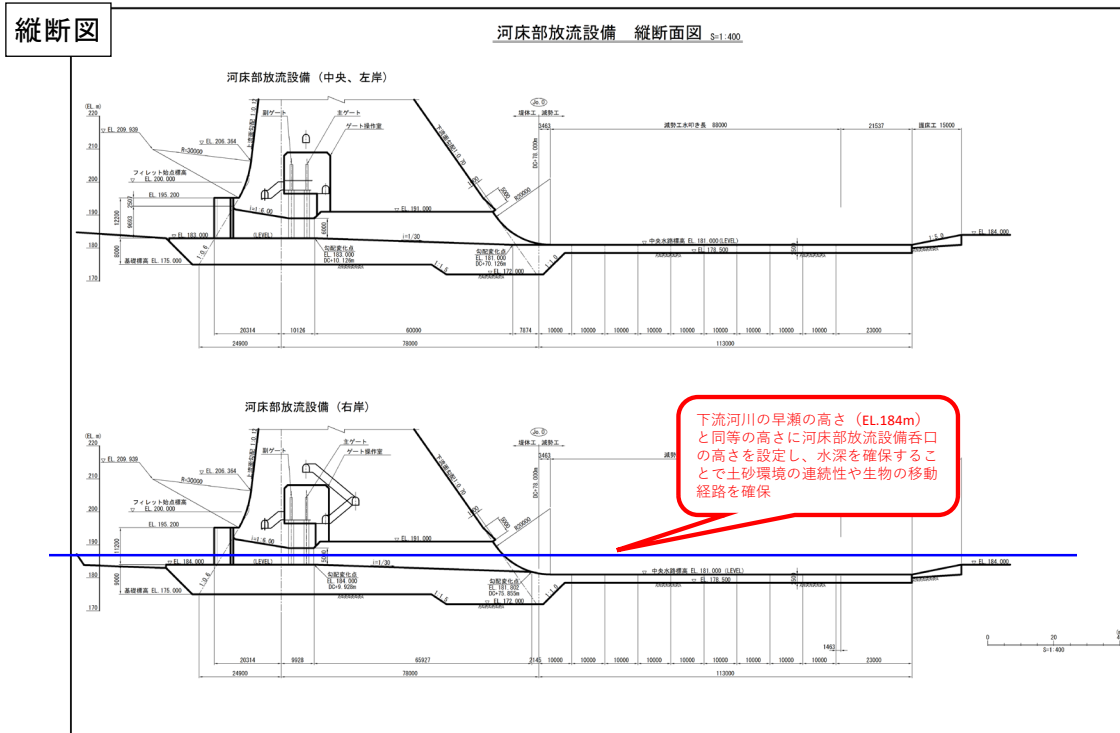
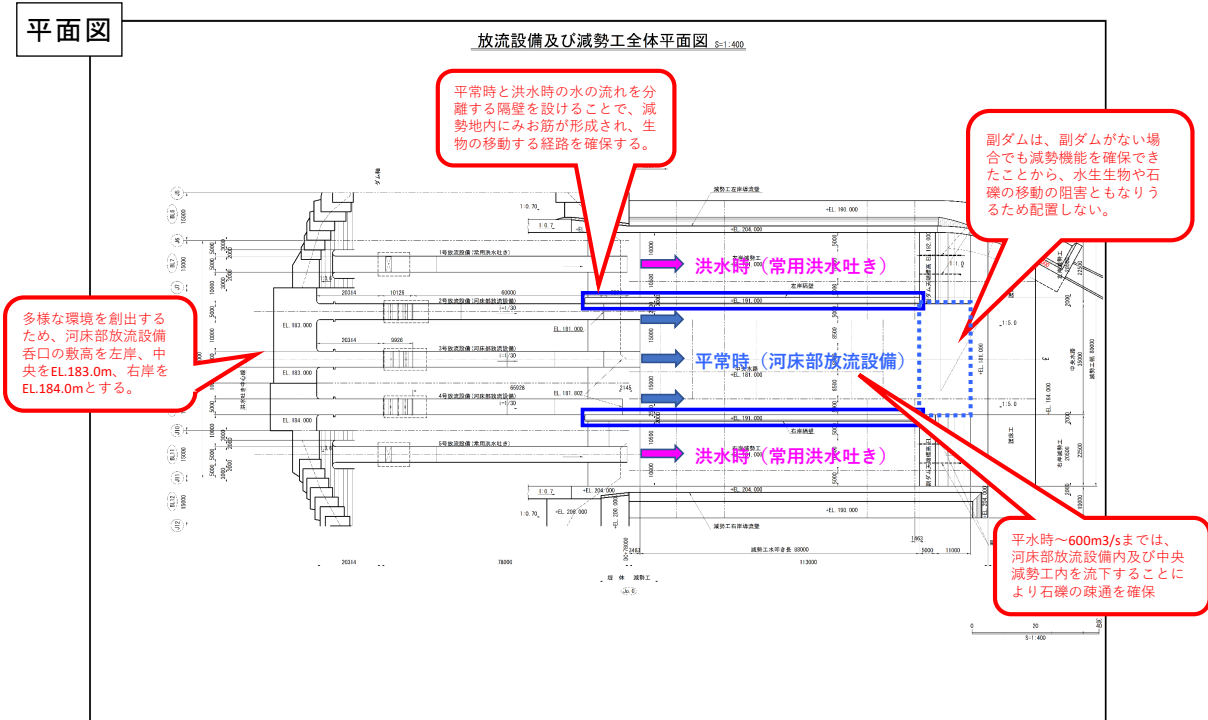


図 2-21 放流設備の機能説明図

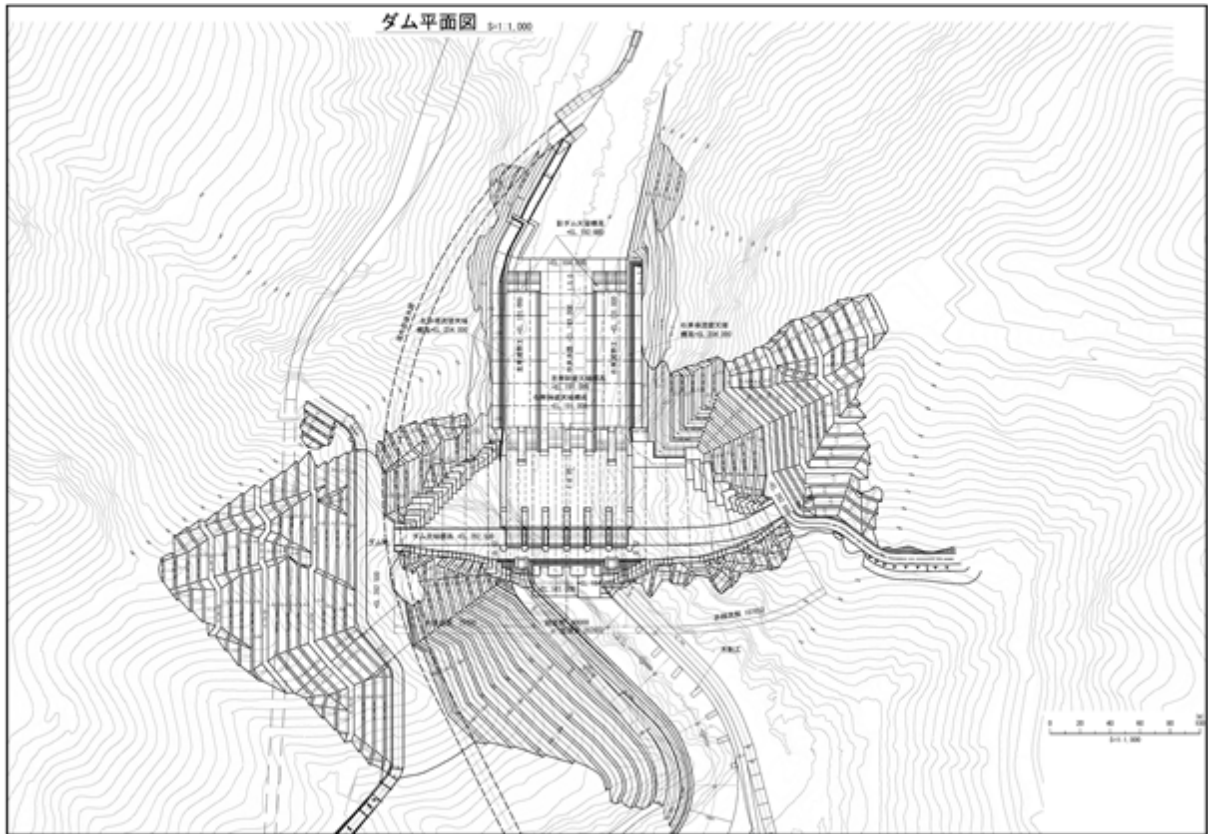


图 2-22 堤体平面图

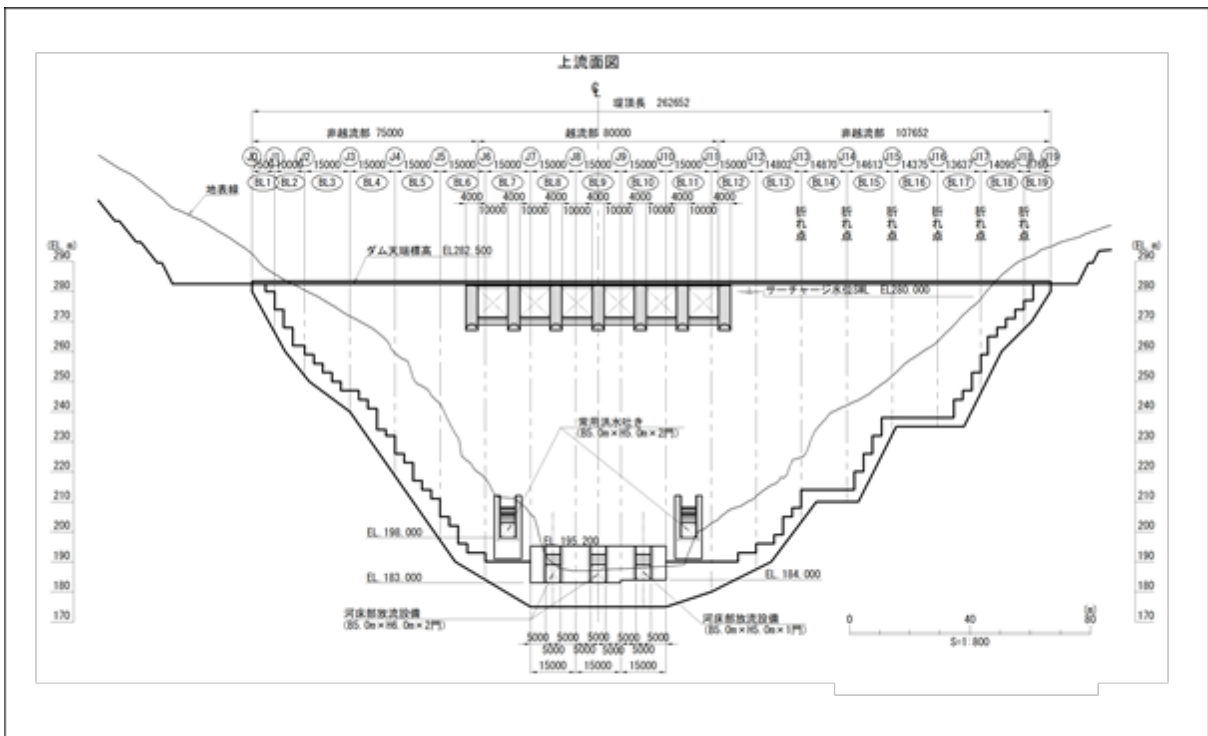


图 2-23 堤体上流面图

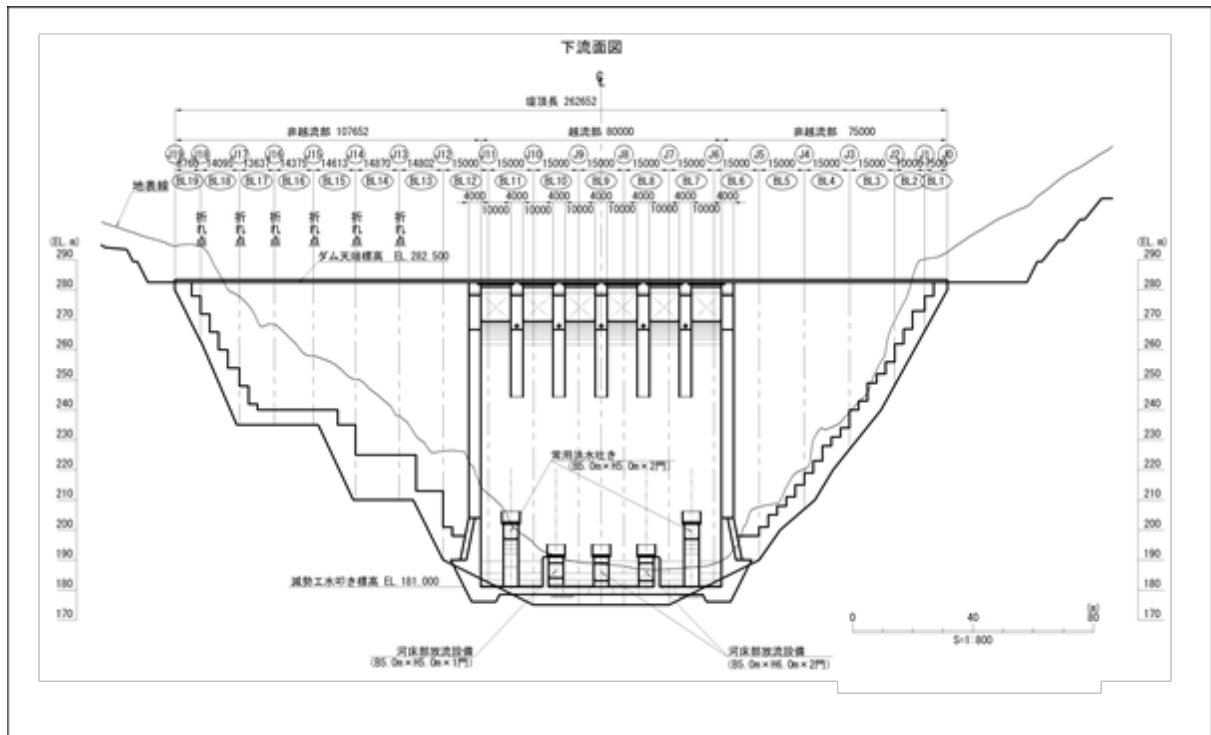


图 2-24 坝体下流面图

第3章 試験湛水手法の工夫

3.1 試験湛水による影響の着眼点

本章では、特に試験湛水について記載しているが、それらに共通する主な着眼点については、以下のとおりである。

- ・ダム堤体・基礎地盤及び洪水調節地内周辺地山の安全性確認を確実にを行う
- ・試験湛水による影響期間を最小限にする（開始時期の比較検討、下降速度の検討）
- ・重要な場所を事前に保全する（九折瀬洞の対策）
- ・供用後に想定される課題に備える（生物の避難場所となる湿地の整備など）

3.1.1 試験湛水の目的と必要性

必要な技術事項について定めている河川砂防技術基準では、「試験湛水は試験湛水実施要領（案）に基づき実施する」とされており、試験湛水実施要領（案）には、「ダムは大規模な土木構造物であり、その安全性が社会に及ぼす影響は極めて大きい。したがって、入念な地質調査結果に基づいて十分な安全性が確保されるように設計、施工されているが、通常の管理に移行する前にその安全性を確認するため、初めて湛水を行う場合には綿密な計測、監視を行わなければならない」とされている。

試験湛水の目的である「ダム堤体・基礎地盤及び洪水調節地内周辺地山の安全性の確認」は、ダム運用上の最高水位まで上昇させ、また下降させる過程で綿密な計測・監視を行った上で確認されるものである。このため、運用上の最高水位であるサーチャージ水位まで上昇させ、試験湛水を実施する必要がある。

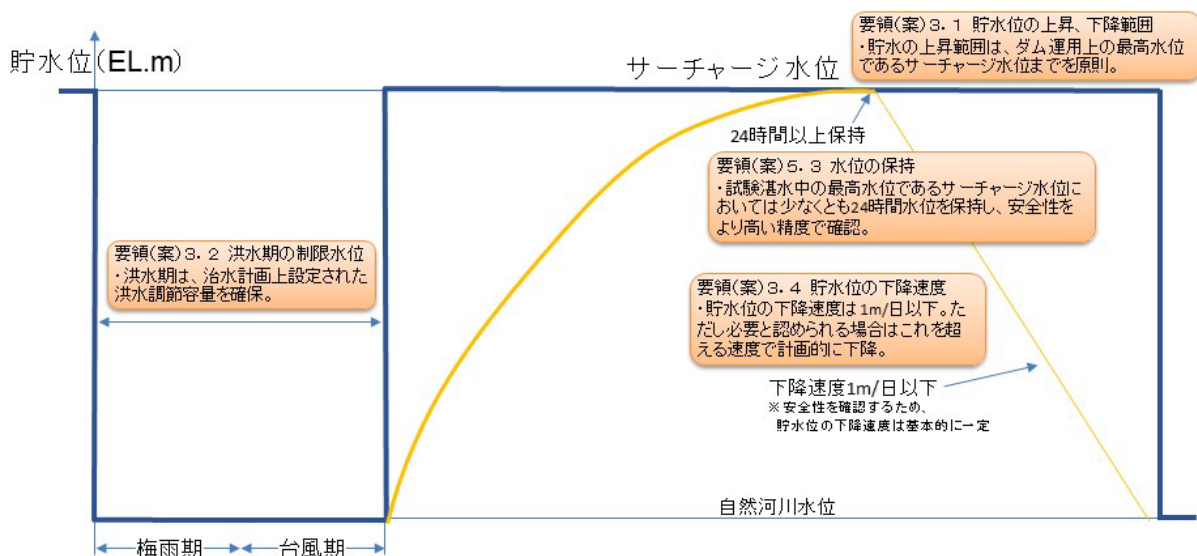


図 3-1 試験湛水実施要領（案）に基づく試験湛水イメージ図

3.1.2 流水型ダムの特長と試験湛水による流況の変化

流水型ダムは、洪水調節を行う際にのみダムに水を一時的に貯め、平常時は水を貯めないことから、ダム供用時においては貯留型ダムとは異なる状況となる。但し、現時点においては、流水型ダムの特長を踏まえた試験湛水手法が確立されておらず、他の流水型ダムでは、そのダムの背景や特長を一部考慮した試験湛水手法の工夫が行われているものの、ほとんどの流水型ダムがこれまでの貯留型ダムの試験湛水のやり方を踏襲して行われている。

一般的なダムにおける試験湛水時の流況の変化や貯水の変化に川辺川の流水型ダムの流水の条件にあてはめて作成したイメージ図を以下に示す。

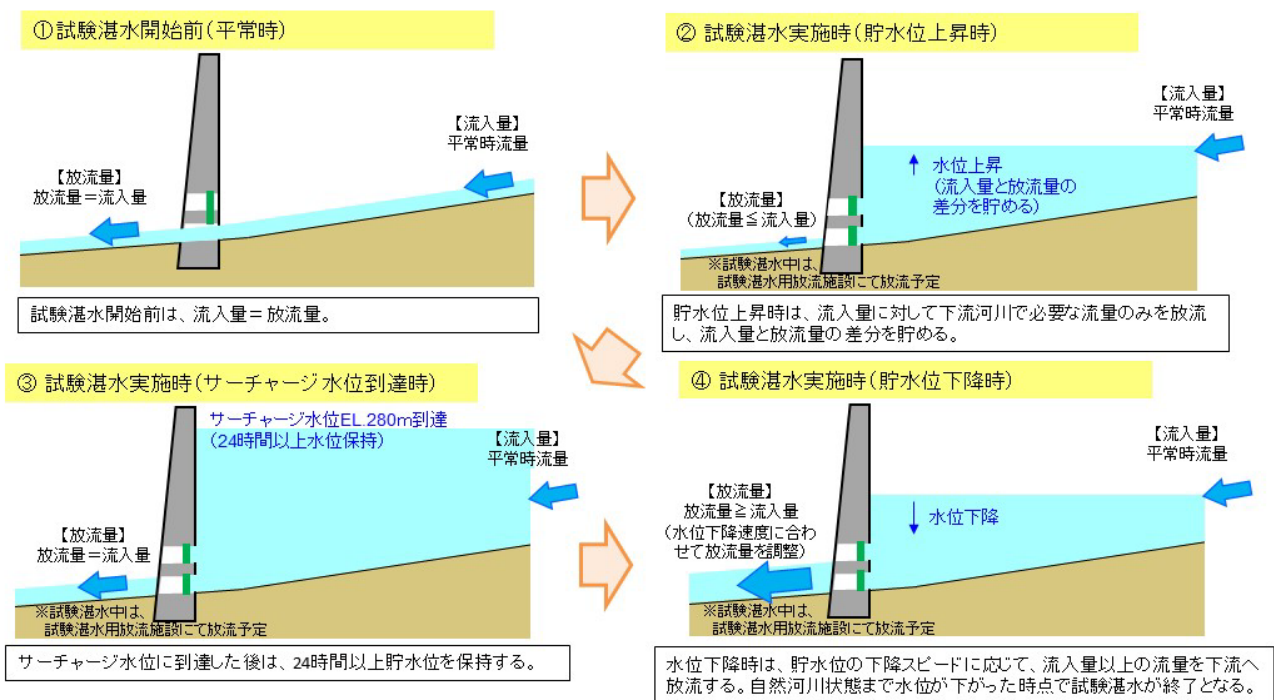


図 3-2 試験湛水時における流況や貯水の変化イメージ図

ダム本体や管理設備等の工事が完成した後、ダム堤体・基礎地盤及び洪水調節地内周辺地山の安全性の確認するための試験湛水を行うが、試験湛水を実施するまでは①試験湛水開始前(平常時)のように、上流から流入してくる川の水をダムに貯水せずそのまま下流に流し(流入量=放流量)、試験湛水開始時期を迎えるまでこの状態を維持する。

試験湛水を開始する際は、②試験湛水実施時(貯水位上昇時)のように、ゲートを閉めて、試験湛水用放流設備から下流河川に必要な流量を放流しながら水を貯める(流入量-放流量=貯水量)ことで貯水位を上昇させる。

貯水の上昇範囲は、ダム運用上の最高水位であるサーチャージ水位まで上昇させ、サーチャージ水位に到達した時点で、③試験湛水時(サーチャージ水位到達時)のように、24時間以上の水位保持を行う。

24時間以上の水位保持が完了した後は、④試験湛水実施時（貯水位下降時）のように、試験湛水用放流施設で放流量を調整しながら流入量以上の流量を下流に放流（放流量 \geq 流入量）し、貯水位を降下させ貯水位が自然河川状態まで下がった時点で試験湛水が終了となる。

3.1.3 環境影響の最小化に向けた試験湛水手法の基本的な考え方

3.1.3.1 流水型ダムの特長を踏まえた環境影響の最小化

流水型ダムは、貯留型ダムと異なり、ダムの存在・供用時点において常時貯水されないことから、ダム洪水調節地内の冠水頻度や下流河川の攪乱頻度に応じた河川生態系が形成されるが、平常時に水を貯めないため、対策によっては、より自然状態に近づけることが可能と考えられる。

一方で、試験湛水は、運用上の最高水位まで水を貯め、かつ、水位の高い状態が一定程度の期間継続するため、ダム洪水調節地内及びダム下流域の環境に対して特に影響があると考えられる。このため、試験湛水の工夫や環境保全措置等の実施により、その環境影響の軽減を図り生態系が回復可能な状態にできる限り近づけるとともに、試験湛水後において生態系の回復の促進を図る。

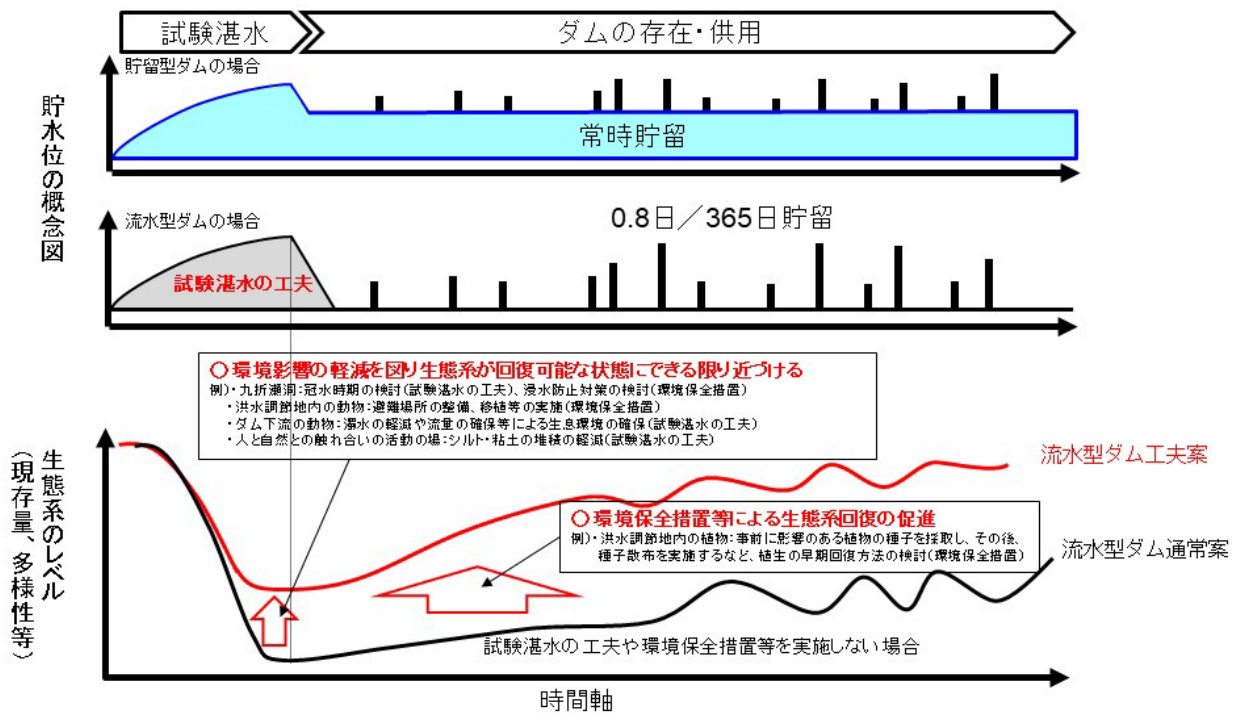


図 3-3 環境影響の最小化の考え方のイメージ

3.1.3.2 環境影響評価に先立って検討した試験湛水手法の考え方

環境影響評価に先立って検討した試験湛水手法においては、試験湛水の実施による環境への影響を鑑みると、湛水期間を短くすること、湛水時期による環境への影響を確認することが重要である。

試験湛水期間を短くするためには、治水上の安全性を考慮し、治水計画上必要な容量を確保した上で、降雨が多い時に貯水することやサーチャージ水位到達後は、貯水位下降速度を速めることが望ましい。ただし、貯水位下降速度については、ダム堤体・基礎地盤及び洪水調節地内周辺地山の安全性を確認するための計測・監視の強化を最大限図ること、貯水位下降時における流量増に伴う下流河川への影響を考慮する必要があり、それらの観点を踏まえ、貯水位下降速度を検討することとする。

また、湛水時期による環境への影響を確認するためには、開始時期が環境影響に大きく関わる着眼点を選定し、比較検討を行うこととする。

なお、試験湛水の期間は、その年の流況によって大きく異なり、雨が多い豊水年では早く水を貯めることが出来るが、逆に雨が少なく渇水年では水を貯めるのに時間がかかってしまうが、この流況に関しては人為的にコントロールできないところであるため、今回の検討の中では対象としていない。

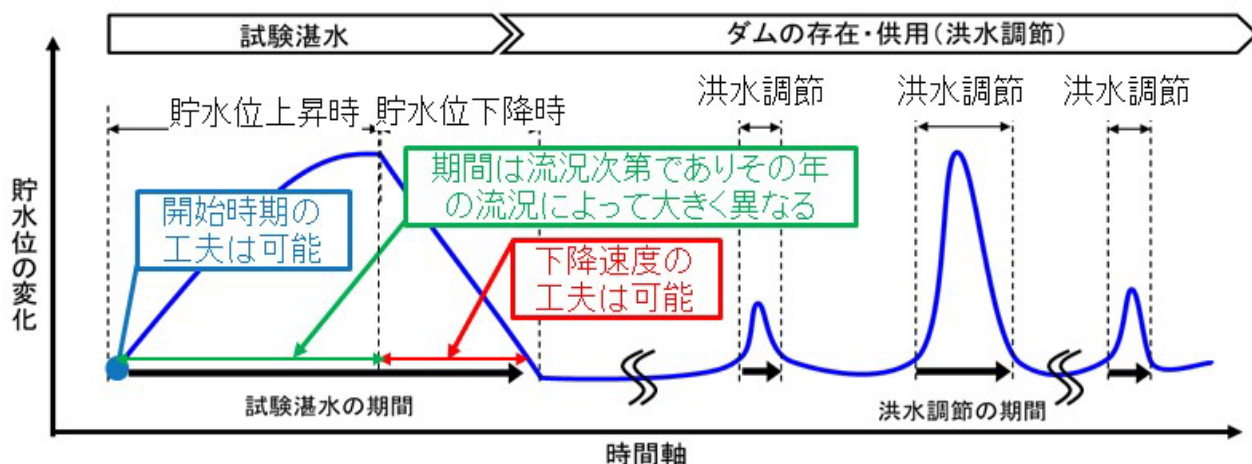


図 3-4 ダム洪水調節地内の貯水位変化のイメージ

3.2 試験湛水手法の工夫

3.2.1 貯水位下降速度の比較検討

試験湛水実施要領(案)において、貯水位の下降速度は「試験湛水中の貯水位の下降速度は、洪水処理後の水位低下等はやむを得ない場合を除いて1m/日以下とする。」とされているものの「ただし、必要があると認められる場合には、一定期間の範囲内でこれを超える速度で計画的に降下させるものとする。」と記載されている。

同じ流水型ダムである立野ダムでは、第2回立野ダム試験湛水検討委員会にて、貯水位下降速度を下流河川へ影響が無い範囲内で可能な限り速くし、試験湛水の長期化を回避す

る検討を行っており、その際に堤体・基礎及び貯水地周辺地山の安全性を確実に確認するよう計測体制を確保することとしている。

立野ダムの事例を踏まえて、川辺川の流水型ダムにおいても貯水位下降速度の検討を行った結果、ダム堤体・基礎地盤及び洪水調節地内周辺地山の安全性を確認するための計測・監視の強化を最大限図ることで、現時点では貯水位下降速度を最大 5m/日に設定できると判断し、試験湛水による影響検討を行う際の基本条件とした。

これにより、一般的な貯水位下降速度である 1m/日の場合、サーチャージ水位から試験湛水終了までは約 90 日間要するが、貯水位下降速度を最大 5m/日とすることで、サーチャージ水位から試験湛水終了までは約 20 日間となり、試験湛水期間を約 70 日間短縮できることを確認した。

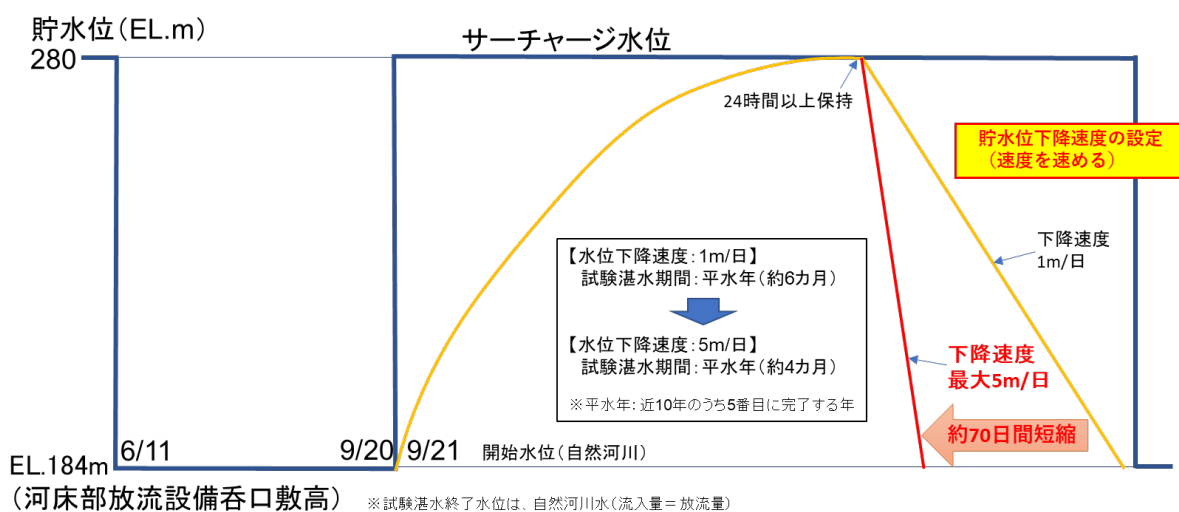


図 3-5 貯水位降下速度を速めた場合の試験湛水の期間・貯水位イメージ図

3.2.2 試験湛水開始時期の比較検討

試験湛水期間をできる限り短くするためには、河川の流量が比較的多い時期から開始した方が良いが、開始時期の違いにより影響する事柄も変わってくることから、試験湛水時に想定される事象と影響を踏まえて、試験湛水開始時期の違いにより特に影響があると考えられる着眼点を整理し、比較検討を行った。

試験湛水の時期を決める前に、試験湛水実施要領(案)では、「洪水期は、治水計画上設定された洪水調節容量を確保するため、オールサーチャージ方式を採用したダムにおいては常時満水位、その他のダムにおいては洪水期制限水位を超える常時貯留を行ってはならない。」とされており、洪水期は治水計画上設定された洪水調節容量を確保する必要がある。

球磨川の洪水期には、大きく分けて梅雨期及び台風期があるが、梅雨期については、過去の出水から考えると計画規模と同規模の出水が記録されており、治水計画上設定された洪水調節容量を確保するためには、全ての洪水調節容量を開けておく必要がある。

一方、台風期については、全ての治水容量を必要とするような出水は、過去の出水においても無いこと、台風については近年の気象予測でかなり精度の良い予測が可能となっていることなどを考えると必要容量の確保は可能であるため、台風期である9月1日から20日までは、台風時に必要な容量を確保することを前提に試験湛水の開始時期の検討を行った。

なお、この場合の貯水では、台風時に必要な容量を確保するため制限水位を設け、一定量貯まった段階でその水位を保持する操作となる。

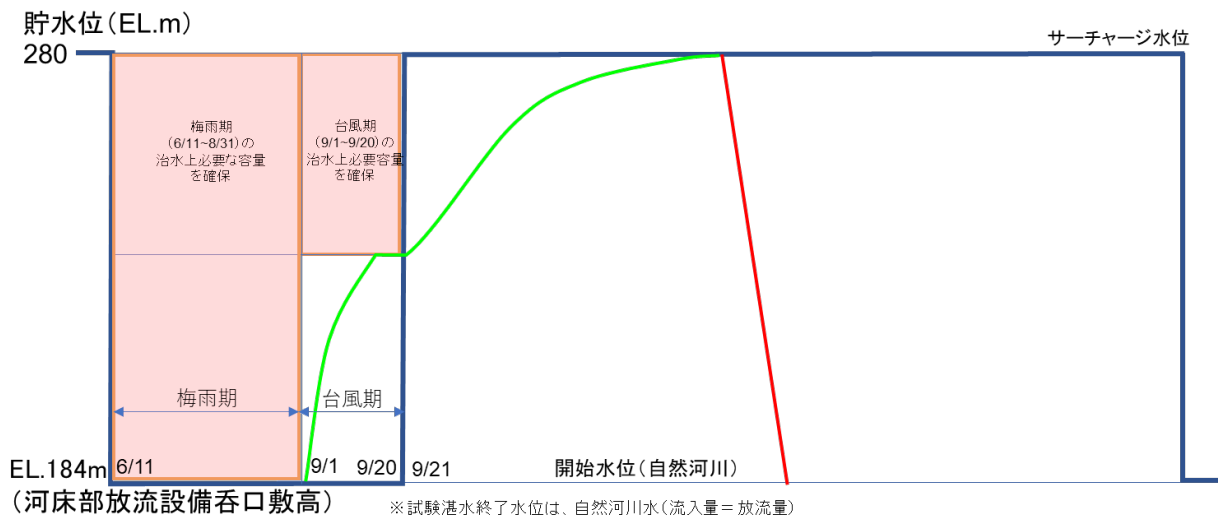


図 3-6 洪水期に必要な容量を確保して行った場合の試験湛水イメージ図

3.2.3 試験湛水開始時期の違いによる環境影響の回避・軽減の可能性と着眼点

試験湛水開始時期の検討にあたっては、開始時期の違いにより特に影響があると考えられる事項をダム洪水調節地内とダム下流河川に分けて整理した。

また、試験湛水開始時期の設定における着眼点として、ダム洪水調節地内においては、貯水による冠水時期(季節)、貯水による冠水期間、貯水する河川水(土砂による濁り)、ダム下流河川においては、貯水位上昇時・下降時の流量・水温、放流する河川水(土砂による濁り)を確認事項として整理した。

(1) ダム洪水調節地内の確認事項

1) 貯水による冠水時期(季節)

試験湛水開始時期の違いにより、動物・植物・生態系の着眼点から活動期・繁殖期等の時期(生活史等)を踏まえ、影響を回避・軽減することが可能か。

2) 貯水による冠水期間

試験湛水開始時期の違いにより、試験湛水による冠水期間を短くすることが可能か。

3) 貯水する河川水(土砂による濁り)、土砂堆積の程度

試験湛水開始時期の違いにより、ダム洪水調節地内の土砂堆積の程度を回避・低減す

ることが可能か。

(2) ダム下流河川の確認事項

1) 貯水位上昇時・下降時の流量・水温

試験湛水開始時期の違いにより、流量減・流量増による影響や水温の変化を回避・軽減することが可能か。

2) 放流する河川水の濁り（土砂による濁り）

試験湛水開始時期の違いにより、土砂による濁りの発生の程度を回避・軽減することは可能か。

(3) ダム洪水調節地における事象と影響

試験湛水時に想定される事象と影響について、開始時期により影響が異なるものと試験湛水により影響はあるが開始時期による影響は大きく変わらないものについて整理を行った。

表 3-1 ダム洪水調節地における試験湛水時に想定される事象と影響

時 点		試験湛水開始時～試験湛水終了後最初の洪水調節までの平常時
想定される事象 (河川水)		<ul style="list-style-type: none"> ○湛水に伴い、徐々に水深が増加するとともに水面が拡大する。山腹の一部や河原は冠水し、また、流路は流速が減少し止水的な環境に変化する。 ○一定期間湛水後、放流に伴い徐々に水深が浅くなるとともに水面が縮小する。山腹の一部及び河原が水上に現れ、流路では流速が回復し湛水前の流況に戻る。 ○一定期間に渡る継続的な湛水に伴う水質(濁り、水温、富栄養化等)が変化する。
想定される事象 (土砂)		<ul style="list-style-type: none"> ○掃流力が低下し、流入するシルト・粘土の一部と砂・石礫が堆積する。 ○試験湛水の放流期では、流路の流速が回復するとともに沈降したシルト・粘土や砂の巻き上げが発生。シルト・粘土や砂の多くは下流へ流れるが石礫の多くは留まる。 ※シルト・粘土や砂の一部が残る可能性。 ○流路及び山腹・河畔等に残ったシルト・粘土や砂が降雨時に流出し、濁り・河床への砂堆積が生じる。
想定される影響 (植生及び植物相)		<ul style="list-style-type: none"> (1)冠水に伴い植生及び植物相が影響を受ける。⇒冠水期間により影響は異なる (2)試験湛水終了後から植物が生育し、植生及び植物相が変化し始める。⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討)
動物及び生態系	想定される影響	<ul style="list-style-type: none"> (3)流水環境が一定期間止水的な環境に変化することで、水域に生息する重要な種の生息環境(採餌場等)や繁殖環境が変化する可能性。⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討) (4)湛水した範囲に生息している移動能力の低い動物(陸産貝類等)の生息環境等が影響を受ける可能性。⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討) (5)水質(濁り、水温、富栄養化等)の変化により、水域に生息する動物の生息環境(採餌場等)が変化する可能性。⇒冠水時期(季節)や貯水する河川水(土砂による水の濁り)により影響は異なる (6)一部の植生が影響を受けるに伴う、生息環境(山腹の樹林等の場)の変化や有機物供給が変化する可能性。⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討)
植物及び生態系	想定される影響	<ul style="list-style-type: none"> (7)冠水に伴い重要な種や植生が影響を受ける可能性。⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討) (8)水質(濁り、水温、富栄養化、溶存酸素量)の変化により、水域に生育する植物(付着藻類等)の生育環境が変化する可能性。⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討)
(瀨洞)生態系	想定される影響	<ul style="list-style-type: none"> (9)ダム洪水調節地の貯水により、九折瀬洞内が一時的に浸水し、洞内に生息する動物の生息環境が変換し、洞内に生息している個体が影響を受ける可能性。⇒閉塞時期(季節)や閉塞期間により影響は異なる

また、試験湛水時に想定される事象と影響により、試験湛水開始時期の違いにより、特に影響があると考えられる着眼点を整理した。

表 3-2 試験湛水開始時期の違いにより、特に影響があると考えられる着眼点
(ダム洪水調節地)

番号	項目	項目に対する 予測手法等	着眼点
(1)	植生、植物の重要な種	ダム洪水調節地の環境の変化で影響を予測	○ (植生)
(2)	植生、植物の重要な種	ダム洪水調節地の環境の変化で影響を予測	—※1
(3)	魚類、底生動物、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類の重要な種及び生態系の注目種(アユ・カワガラス)	・直接改変で影響を予測 ・重要な種及び生態系の注目種の生活史を確認	—※2
(4)	哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、陸上昆虫類、陸産貝類の重要な種	・直接改変で影響を予測 ・重要な種の生活史を確認	—※2
(5)	魚類、底生動物、付着藻類、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類の重要な種及び生態系の注目種(アユ、ヤマセミ、カワセミ、カワガラス)	・水質の変化で影響を予測 ・ダム洪水調節地のシルト・粘土の堆積	○ (アユ、土砂の堆積)
(6)	哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、陸上昆虫類、クモ類、陸産貝類の重要な種及び生態系の注目種	ダム洪水調節地の環境の変化で影響を予測	—※1
(7)	植物の重要な種	直接改変で影響を予測	—※3
(8)	付着藻類等の重要な種	直接改変で影響を予測	—※3
(9)	九折瀬洞	直接改変で影響を予測	○ (九折瀬洞)

○：試験湛水開始時期の違いにより特に影響があると考えられる着眼点

—：試験湛水の開始時期により影響は大きく変わらないため、今後の予測結果を踏まえて環境保全措置等の検討を行う項目

(※1：植樹等を検討、※2：移植や湿地整備等を検討、※3：移植等を検討)

(4) ダム下流河川における事象と影響

ダム下流河川においてもダム洪水調節地内と同様に試験湛水時に想定される事象と影響について整理を行った。

また、試験湛水時に想定される事象と影響により、試験湛水開始時期の違いにより、特に影響があると考えられる着眼点を整理した。

表 3-3 ダム下流河川における試験湛水時に想定される事象と影響

時 点		試験湛水開始時～試験湛水終了後最初の洪水調節までの平常時
想定される事象 (河川水)		<ul style="list-style-type: none"> ○湛水期は一定期間に渡り流量・流速等が減少する。 ○放流期は一定期間に渡り流量・流速が増加する。 ○貯水した河川水の放流に伴い水質(濁り、水質、富栄養化等)が変化する。 ※攪乱頻度や攪乱規模が変化。
想定される事象 (土砂)		<ul style="list-style-type: none"> ○放流期は洪水調節地内に堆積したシルト・粘土の砂の巻き上げが発生することにより、巻き上げられた土砂が流下する。 ○平常時に洪水調節地内からのシルト・粘土や砂の流下による濁りや砂堆積が生じる。
生態系 動物及び	想定される 影響	<ul style="list-style-type: none"> (5) 貯水した河川水を放流することにより流下する水質(濁り、水温、富栄養化)が変化する可能性。 (5) 水質や攪乱頻度等(湛水期の流量の減少・放流期の増加を含む)の変化により、水域に生息する動物(魚食性(ヤマセミ・カワセミ等)、水生昆虫食性(カワガラス等)、藻類食性(アユ等))などの種の生息環境(採餌場等)、繁殖環境が変化する可能性。 ⇒貯水位上昇時・下降時の流量・水温や放流する河川水(土砂による水の濁り)により影響は異なる
生態系 植物及び	想定される 影響	<ul style="list-style-type: none"> (7) 貯水した河川水を放流することにより流下する水質(濁り、水温、富栄養化)の変化。 ⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討) (8) 水質や攪乱頻度等(湛水期の流量の減少・放流期の増加を含む)の変化により水域に生育する植物(付着藻類等)等の生育環境が変化。 ⇒開始時期は影響に大きく関わらない(今後の予測結果を踏まえ環境保全措置等を検討)

また、試験湛水時に想定される事象と影響により、試験湛水開始時期の違いにより、特に影響があると考えられる着眼点を整理した。

表 3-4 試験湛水開始時期の違いにより、特に影響があると考えられる着眼点
(ダム下流河川)

番号	項目	項目に対する 予測手法等	着眼点
(1)	植生、植物の重要な種	ダム洪水調節地の環境の変化で影響を予測	
(2)	植生、植物の重要な種	ダム洪水調節地の環境の変化で影響を予測	
(3)	魚類、底生動物、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類の重要な種及び生態系の注目種(アユ・カワガラス)	・直接改変で影響を予測 ・重要な種及び生態系の注目種の生活史を確認	
(4)	哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、陸上昆虫類、陸産貝類の重要な種	・直接改変で影響を予測 ・重要な種の生活史を確認	
(5)	魚類、底生動物、付着藻類、哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類の重要な種及び生態系の注目種(アユ、ヤマセミ、カワセミ、カワガラス)	・水質の変化で影響を予測 ・ダム洪水調節地のシルト・粘土の堆積	○ (アユ)
(6)	哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、陸上昆虫類、クモ類、陸産貝類の重要な種及び生態系の注目種	ダム洪水調節地の環境の変化で影響を予測	
(7)	植物の重要な種	直接改変で影響を予測	—※3
(8)	付着藻類等の重要な種	直接改変で影響を予測	—※3
(9)	九折瀬洞	直接改変で影響を予測	

○: 試験湛水開始時期の違いにより特に影響があると考えられる着眼点

—: 試験湛水の開始時期により影響は大きく変わらないため、今後の予測結果を踏まえて環境保全措置等の検討を行う項目

(※1: 植樹等を検討、※2: 移植や湿地整備等を検討、※3: 移植等を検討)

3.3 試験湛水手法の工夫の着眼点と試験湛水開始時期の検討結果

3.3.1 試験湛水手法の工夫の着眼点と影響の整理結果

試験湛水手法の工夫の検討の着眼点としては、試験湛水開始時期の違いによる環境影響の回避・軽減の可能性の整理を踏まえ、検討の着眼点の4項目（アユへの影響、九折瀬洞の生態系への影響、ダム洪水調節地内の樹木への影響、ダム洪水調節地内の土砂の堆積）に整理した。

また試験湛水では、翌梅雨期までに試験湛水が完了しないことが分かった時点で試験湛水を中止し、試験湛水のために貯めておいた貯水を全て放流し、治水上必要な容量を確保して次の出水に備えることとなる。この場合は、再度試験湛水を最初から行うこととなり、特に環境への影響があると考えられるため、試験湛水開始時期の違いによる試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度試験湛水を行うことによる影響の回避も着眼点に追加した。

表 3-5 試験湛水手法の工夫の検討の着眼点

試験湛水手法の工夫の検討の着眼点
I. アユへの影響 ・地域の典型的な魚類として注目されているアユに対して、試験湛水に伴う影響をできる限り抑える。
II. 九折瀬洞の生態系への影響 ・試験湛水による一定期間の洞口閉塞に伴うコウモリの移動等への影響をできる限り抑える。
III. 洪水調節地内の樹木への影響 ・試験湛水による一定期間の貯水に伴う樹木への影響をできる限り抑える。
IV. 洪水調節地内の土砂の堆積 ・試験湛水後における洪水調節地内の土砂の堆積をできる限り抑える。
V. 試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度、試験湛水を行うことによる影響の回避 ・試験湛水が完了しない(サーチャージ水位未到達)の場合における再度の試験湛水実施の回避。

3.3.1.1 アユへの影響

地域の典型的な魚類として注目されているアユに関して、アユの生活史を踏まえ、試験湛水の開始時期によるアユへの影響を整理した上で、試験湛水に伴う影響を確認した。

(1) 試験湛水開始による降下への影響

アユは、9月頃から産卵のために下流へ移動するが、試験湛水の開始により、下流へ降下するはずのアユが、ダム上流側に取り残される可能性があることから、試験湛水開始時期に着目し、アユの降下期（9月上旬～10月中旬）への影響について確認した。

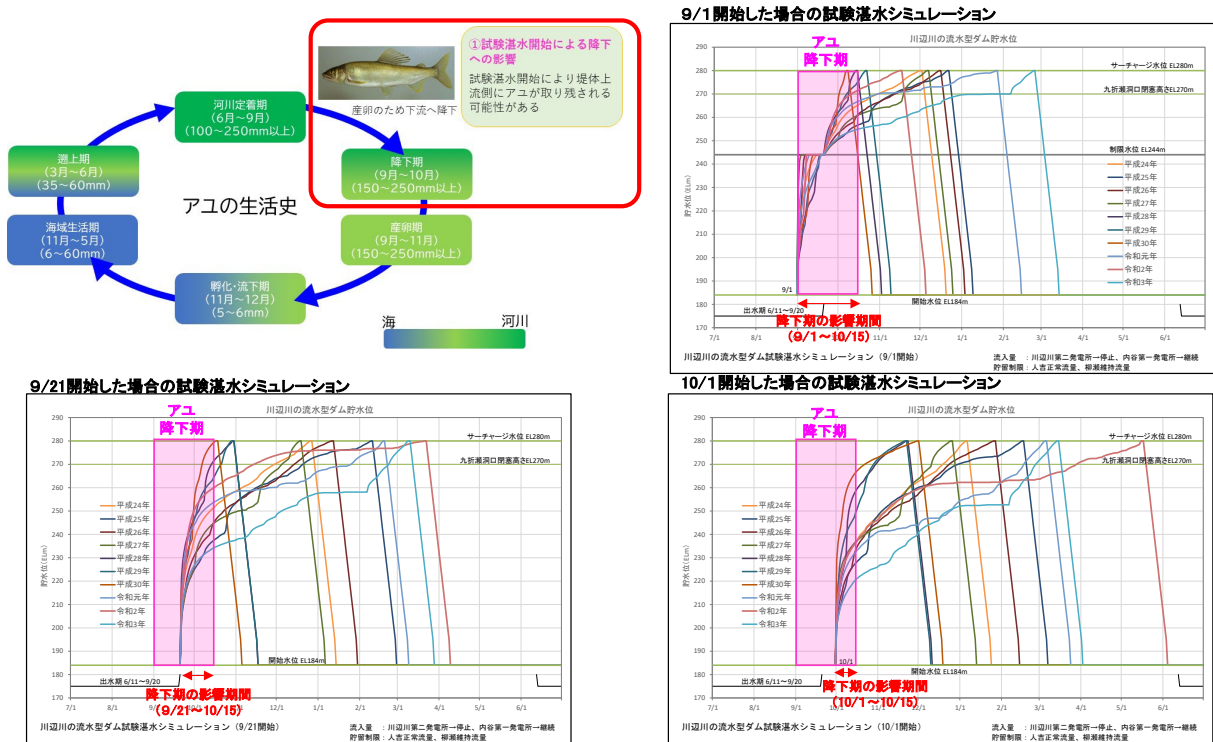


図 3-7 アユの生活史（左上）と試験湛水開始時期による降下期の影響期間（右上、下）

9/1 開始の場合、降下期の影響期間と被り、降雨に伴う出水等が発生しなくなるため、降下行動に影響がある可能性があるとともに、物理的に堤体上流側に取り残され川辺川下流の産卵場へ降下できない可能性があるため、試験湛水開始時期は遅い方が影響は小さいと考えられる。

(2) 貯水位上昇時の産卵への影響（水温、産卵場の環境）

アユの産卵行動は、水温が低下することで活発になるため、試験湛水期間中の水温上昇による産卵行動への影響の可能性が考えられる。また、流量低下による産卵場面積の縮小の可能性も考えられる。

1) 試験湛水期間中の水温上昇による産卵行動への影響

試験湛水に伴う水温の上昇により、アユの産卵行動への影響が懸念されることから、近 10 か年（平成 24 年～令和 3 年）の試験湛水状況シミュレーションを踏まえ、試験湛水開始時期の違いによる水温変化の予測計算を行い、開始時期毎の「ダム地点」及び川辺川下流側の「柳瀬地点」の水温結果の中央値を図 3-8 のとおり整理した。

試験湛水により、水温が、近 10 か年（平成 24 年～令和 3 年）と比較して上昇する傾向がみられ、ダム建設前と比べると 9/1 開始の場合は水温が最も高くなり、10/1 開始の場合がダム建設前の水温に最も近づく。なお、9/21 開始の場合は、10/1 開始と比べて水温は高いが大きな差はないと考えられる。

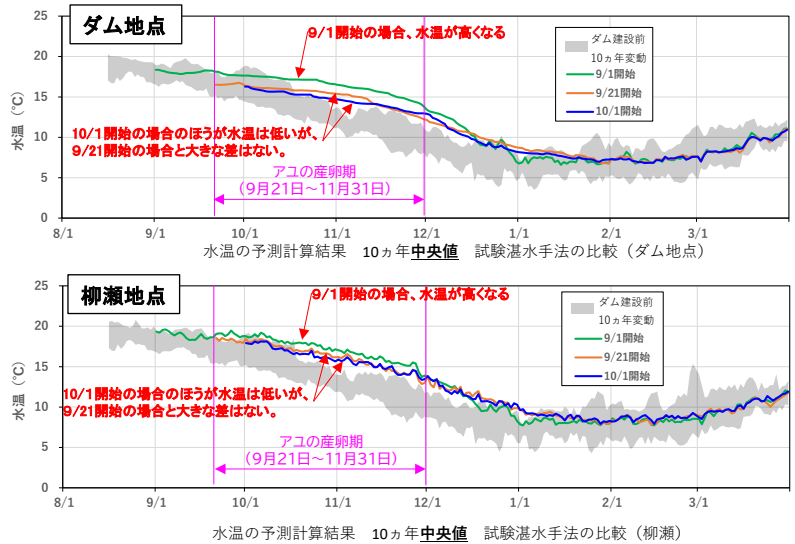
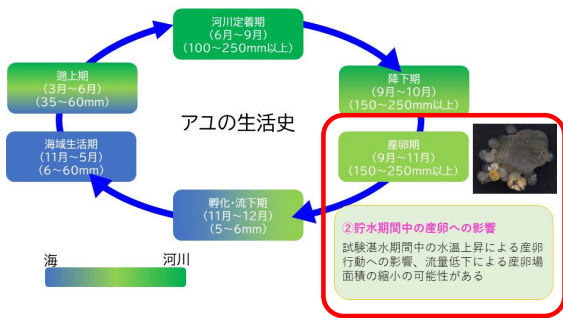


図 3-8 アユの生活史 (左) と貯水位上昇時の産卵への影響 (水温) (右)

2) 貯水位上昇時のダム下流流量低下による産卵場への影響 (面積)

試験湛水の貯水位上昇時において下流の流量が減少することによる、アユの産卵場への影響について整理した。

平常時を想定した $20\text{m}^3/\text{s}$ 時と、貯水位上昇時のダム放流量を想定した $7\text{m}^3/\text{s}$ で計算した結果、現況で自然産卵を確認しており、瀬付け場にもなっている柳瀬橋上流 2k700 付近の平瀬の面積は多少の変化はあるものの、平瀬は残ることを確認した。



図 3-9 河川流量の減少によるアユ産卵場の環境変化 (左: $20\text{m}^3/\text{s}$ 時、右: $7\text{m}^3/\text{s}$ 時)

(3) 貯水位下降時の遡上稚魚、河川定着アユへの影響

試験湛水時の貯水位を下げるため貯水した水を放流した場合、下流の流量が増えることによる遡上稚魚、河川定着アユへの影響が考えられることから、試験湛水開始時期に着目し、アユの遡上稚魚、河川定着（稚魚放流時期：3月上旬～5月中旬）への影響について確認した。

9/1開始の場合、放流量が増加する期間（貯水位下降時）がアユ遡上期に概ね被らないため、開始時期が早いほど良いと考えられる。ただし、漁協により毎年3月上旬から5月中旬にかけて、球磨川河口産（令和5年実績：約120万匹（球磨川での放流量全体の約53%））のアユを中心として球磨川・川辺川の各地点でアユが放流されている。

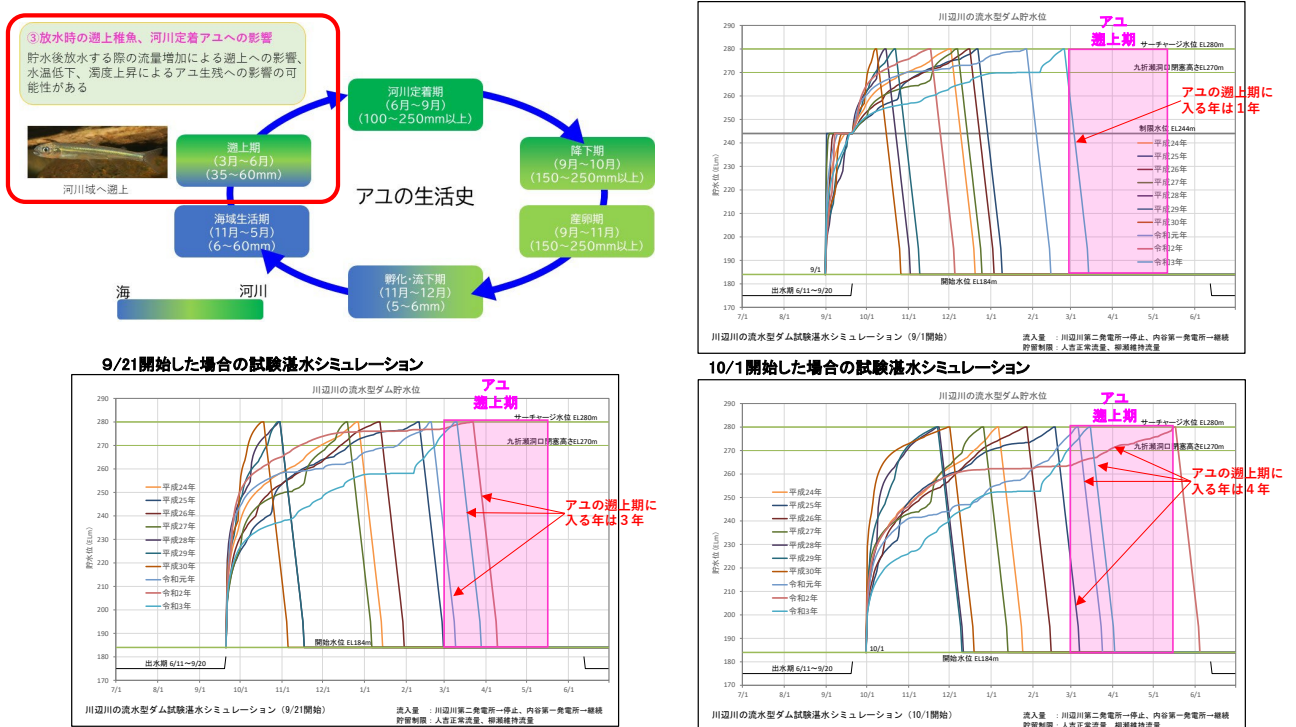


図 3-10 アユの生活史（左上） 貯水位下降時の遡上期への影響（右上、下）

(4) 試験湛水開始時期の違いによるアユへの影響検討結果

試験湛水開始による降下への影響については、湛水開始により物理的に堤体上流側に取り残され、川辺川下流の産卵場へ降下できない可能性があるため、試験湛水開始時期は遅い方が影響は小さいと考えられる。

試験湛水期間中の水温上昇による産卵行動への影響については、9/1開始の場合は水温が最も高くなり、10/1開始の場合がダム建設前の水温に最も近づく。なお、9/21開始の場合は、10/1開始と比べて水温は高いが大きな差はないと考えられる。また、貯水位上昇時のダム下流流量低下による産卵場への影響（面積）については、瀬付け場にもなって

いる柳瀬橋上流 2k700 付近の平瀬の面積は、多少の変化はあるものの、平瀬は残ることを確認しており、開始時期による違いに大きな差はないと考えられる。

貯水位下降時の遡上稚魚、河川定着アユへの影響について、9/1 開始の場合、放流量が増加する期間（貯水位下降時）がアユ遡上期に概ね被らないため、開始時期が早いほど良いと考えられる。但し漁協により毎年 3 月上旬から 5 月中旬にかけて、球磨川河口産（令和 5 年実績：約 120 万匹（球磨川での放流量全体の約 53%））のアユを中心として球磨川・川辺川の各地点でアユが放流されている。

以上のことから、アユへの影響は、総合的にみると開始時期が遅い方が比較的良いと考えられる。

3.3.1.2 九折瀬洞の生態系への影響

九折瀬洞は、洞窟という局所的な環境の中で生態系が形成されており、コウモリ類が利用し、そのコウモリ類の糞や外部から流入する腐植土などの有機物を栄養源とする菌類や細菌、それらを餌とするトビムシ類が生息し、さらにはそれらを餌とするツヅラセメクラチビゴミムシやヒゴツヤムネハネカクシといった昆虫類が生息しており、これらの動物は、イツキメナシナミハグモなどのクモ類の餌となっている。

このように、局所的な洞窟という環境の中で生態系が形成されている九折瀬洞の特殊性を踏まえ、コウモリ類への影響と陸上昆虫類等への影響について、試験湛水の開始時期による影響の差異を確認した。

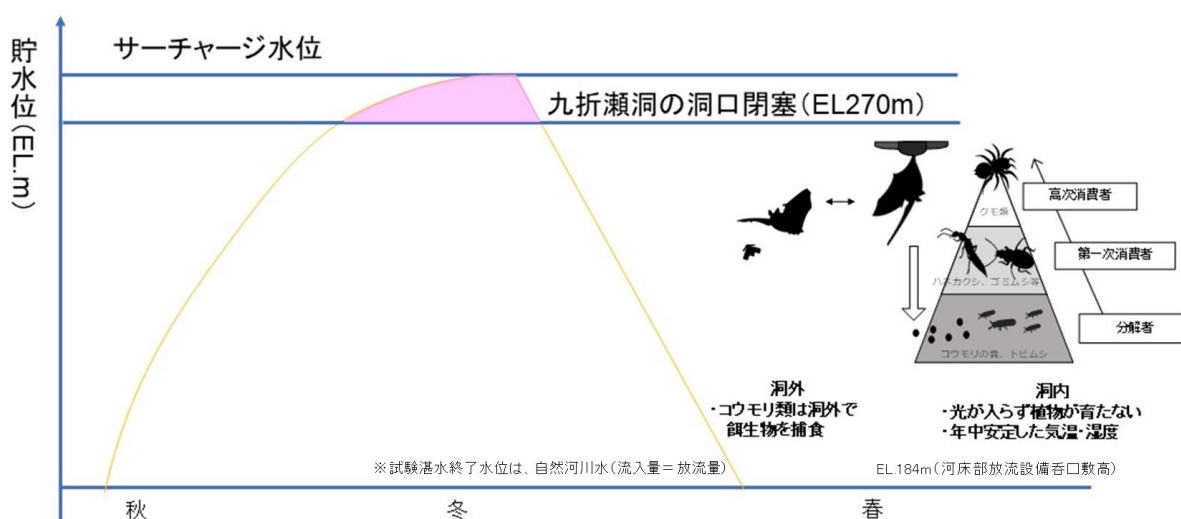


図 3-11 試験湛水による九折瀬洞に生息する生物への影響イメージ

(1) コウモリ類への影響

令和 3、4 年度調査の結果、ニホンコキクガシラコウモリ、キクガシラコウモリ、モモジロコウモリ、ユビナガコウモリ及びテングコウモリの 2 科 5 種を確認した。

最も多く確認された種はユビナガコウモリであり、全個体数の約 9 割を占めた。

ユビナガコウモリは、活動期（5月～10月）に多く利用されており、冬眠期（11月下旬以降）には利用は少なかった。また、季節別に利用する種の割合に変化はあるものの、九折瀬洞は活動期に主にユビナガコウモリに利用されていることが確認されており、活動場所は東ホールが中心となっている。

九折瀬洞のコウモリ類の利用が多い時期である3月～11月に洞口閉塞の水位（EL. 270～280m）となる流況年は、9/1開始の場合、多くの年が主な利用期に被る。また、9/21開始及び10/1開始でコウモリの主な利用期への影響について大きな差は見られなかった。

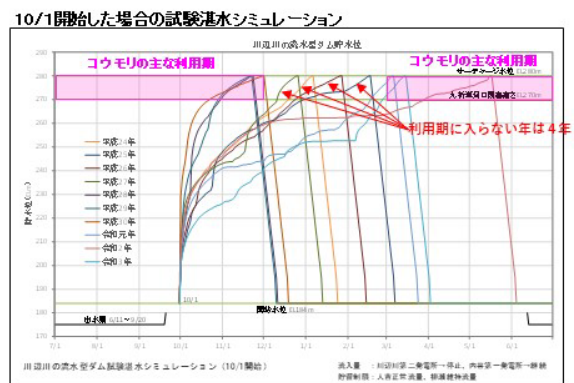
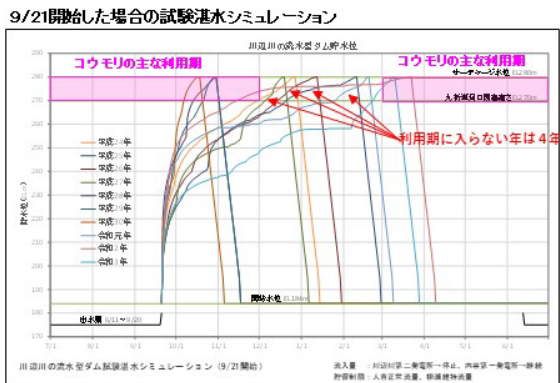
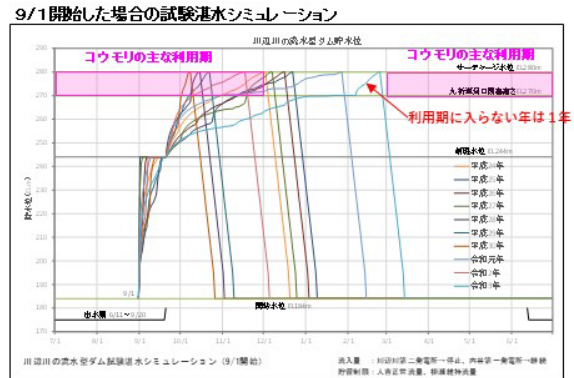
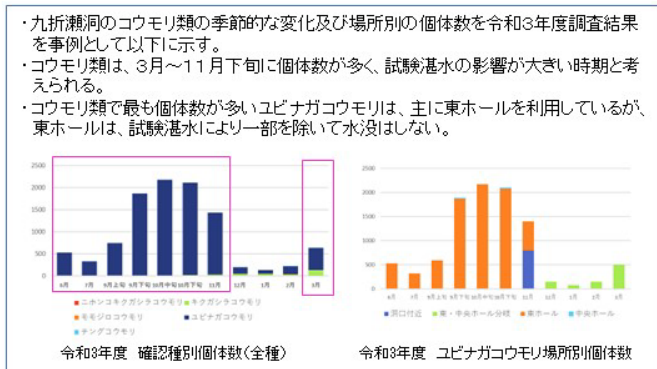


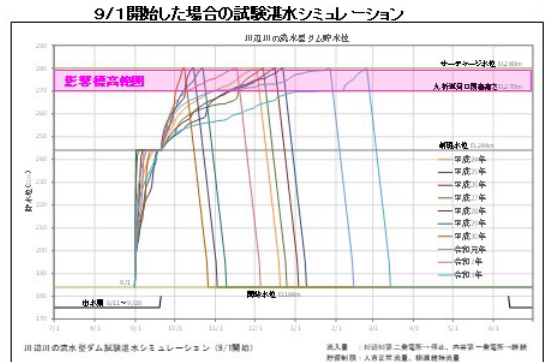
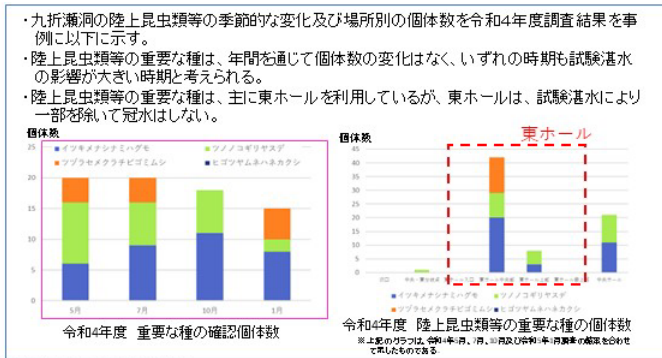
図 3-12 九折瀬洞のコウモリ類の確認種別個体数（左上）、
 開始時期の違いによる影響（右上、下）

(2) 陸上昆虫類等への影響

令和 3、4 年度調査の結果、重要な種として、イツキメナシナミハグモ、ツツノコギリヤスデ、ツヅラセメクラチビゴミムシ、ヒゴツヤムネハネカクシの 4 種を確認した。また、東ホールで最も多くの種数及び重要な種の個体数が確認された。

陸上昆虫類等への影響について、重要な種は年間を通じて生息していることから、洞口閉塞（九折瀬洞内の各ホールは一部から全部冠水する状態）期間を確認した。

九折瀬洞の閉塞期間については、貯水位上昇時の EL. 270～280m 間の河川流況に支配されることから、年ごとに閉塞期間が大きく異なることを確認した。このことから、試験湛水の開始時期による影響について大きな差は見られなかった。



10年間(H24~R3)の洞口閉塞期間

項目	9/1 開始	9/21 開始	10/1 開始
平均値	34	35	32
中央値	36	23	27
最小値	9	12	18
最大値	91	131	52

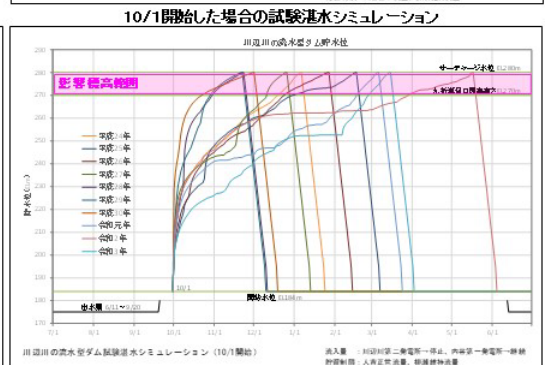
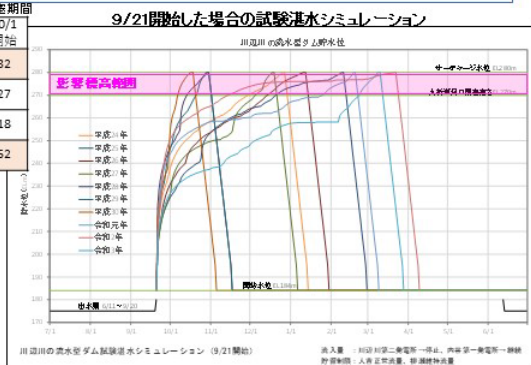


図 3-13 九折瀬洞の陸上昆虫類等の確認種別個体数（左上）、開始時期の違いによる影響（右上、下）

(3) 試験湛水開始時期の違いによる九折瀬洞の生態系への影響検討結果

九折瀬洞口の閉塞期間について試験湛水の開始時期ごとに比較を行った。平常時の流況データで整理可能な昭和45年から令和4年の53年間で試験湛水流況シミュレーションを行い、九折瀬洞口が閉塞する EL. 270m~280m 間に水位がある期間を整理した。

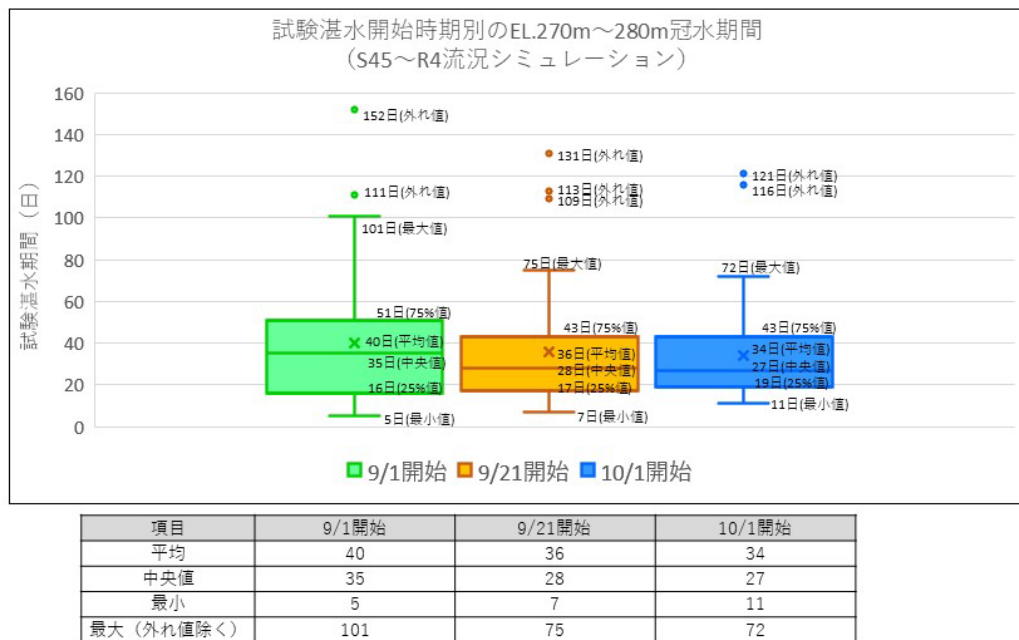


図 3-14 試験湛水開始時期別による洞口閉塞期間の違い

その結果、平均値及び中央値で大きな差は見られなかった。75%最大値では9/1開始の場合が101日でもっとも長く、9/21開始と10/1開始ではほぼ同期間となった。そのため、53年間の統計データで確認した結果においても、開始時期の違いによる閉塞期間の違いは見受けられなかった。

以上のことから、九折瀬洞の生態系への影響は、九折瀬洞の生態系への影響は、開始時期の違いによる大きな差は無いと考えられる。

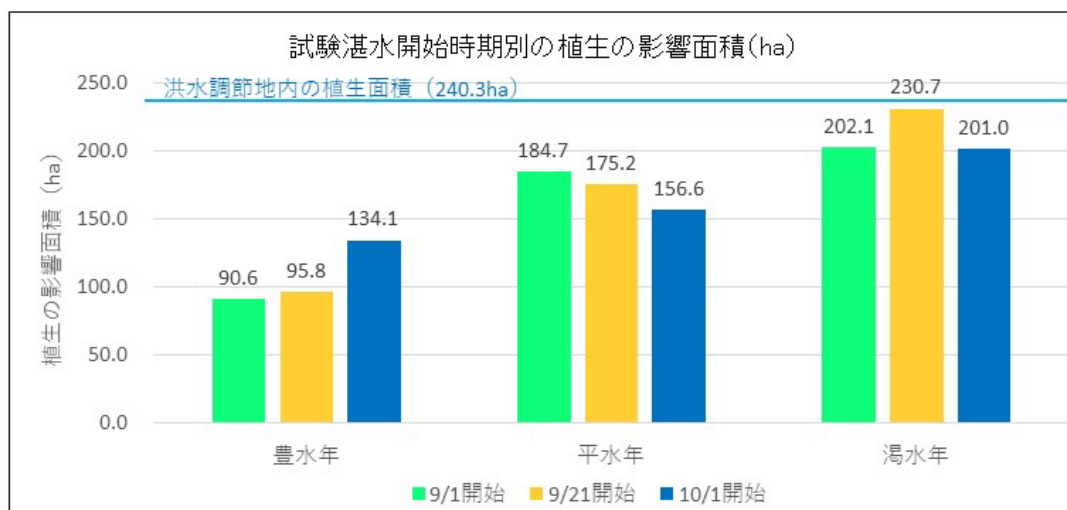
3.3.1.3 ダム洪水調節地内の樹木への影響

ダム洪水調節地内の植生面積は約309haであり、面積の大きい植生はアラカシ群落及びスルデアカメガシワ群落で、全体の約6割を占める。

ダム洪水調節地内の植生面積は大きく、植物の主な生育期の冠水期間が長くなることより、生育中の植物への影響が大きくなるため、植物の冠水期間による影響と冠水時期による生育への影響の差異を確認した。

(1) 植物の冠水期間による影響

植物について、試験湛水開始時期毎に、耐冠水性を踏まえた植生の影響面積の比較を行い、試験湛水開始時期の違いによる影響を確認した。



項目	豊水年	平水年	渇水年
9月1日開始	90.6ha	184.7ha	202.1ha
9月21日開始	95.8ha	175.2ha	230.7ha
10月1日開始	134.1ha	156.6ha	201.0ha

※豊水年: 10年のうち、試験湛水期間が最も短い年
 ※平水年: 10年のうち、試験湛水期間が中間の年
 ※渇水年: 10年のうち、試験湛水期間が最も長い年

※ダム洪水調節地に分布する植生を対象に、各群落の優占種の耐冠水日数をその群落の耐冠水日数として設定し、試験湛水シミュレーション結果をもとに算出した標高ごとの冠水期間と比較することで、植生の変化の可能性がある面積を算出

図 3-15 試験湛水開始時期別による植生への影響面積の違い

豊水年の場合は、9/1 開始とした場合が最も影響面積が小さく、平水年及び渇水年の場合は 10/1 に開始した場合が最も影響面積が小さい。流況の違いによる試験湛水による植生への影響は、その年の流況に支配されるため、試験湛水開始時期による湛水面積について大きく変わらないと考えられる。

(2) 植物の冠水時期による生育への影響

主な生育期（4 月～11 月）に着目して、試験湛水開始時期の違いによる影響に差異が生まれる可能性を確認した。

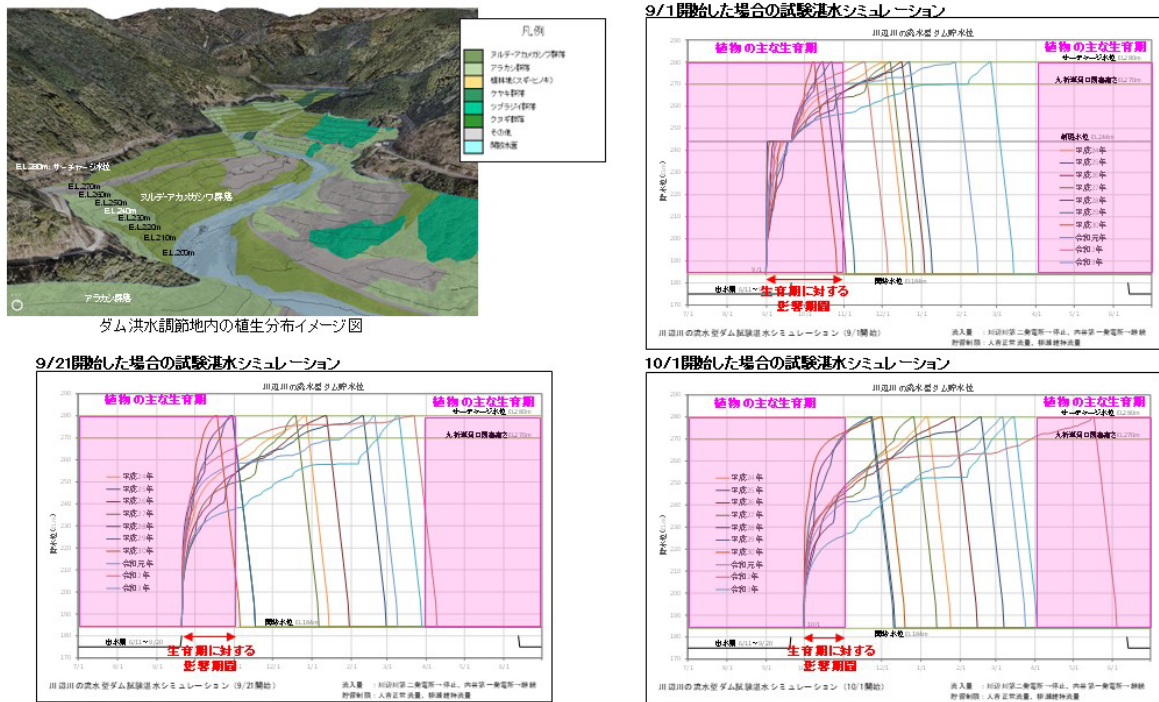


図 3-16 ダム洪水調節地内の植生分布イメージ図（左上）、試験湛水開始時期別による植生の生育期への影響期間の違い（右上、下）

9/1 開始の場合など、試験湛水開始時期が早いほうが、植物の主な生育期の冠水期間が長くなることから、生育中の植物への影響が大きくなるため、試験湛水の開始時期は遅い方が比較的良いと考えられる。

(3) 試験湛水開始時期の違いによるダム洪水調節地内の樹木への影響検討結果

ダム洪水調節地内の樹木への影響は、開始時期による試験湛水期間の大きな差は無いが、生育期を考慮すると、開始時期が遅い方が比較的良いと考えられる。

3.3.1.4 ダム洪水調節地内の土砂の堆積

試験湛水を始めるタイミングによっては、濁りの高い河川水を長期間・大量に貯めることにより、シルト・粘土の沈降・堆積が発生するとともに、長期間にわたり下流河川の濁りが継続する可能性が高くなる。

(1) 他ダムにおける試験湛水状況

玉来ダム（管理者：大分県）では、令和4年9月12日より試験湛水を開始し、台風14号の影響により発生した洪水を貯めたことで、約1週間でサーチャージ水位まで到達した後、1m/日で水位下降させ、令和4年10月31日に試験湛水が終了している。

嘉瀬川ダム（管理者：国土交通省 九州地方整備局）では、平成22年10月19日より試験湛水を開始し、平成23年11月19日にサーチャージ水位まで到達した後、0.1m/日で水位下降させ、平成24年2月13日に試験湛水が終了している。

9/1開始の場合、台風期であることから台風の影響による洪水の発生の頻度が高いと想定され、濁水を貯める可能性が高いと考えられる。そのため、台風の発生頻度を踏まえて、試験湛水開始時期が遅いほうが比較的良好と考えられる。

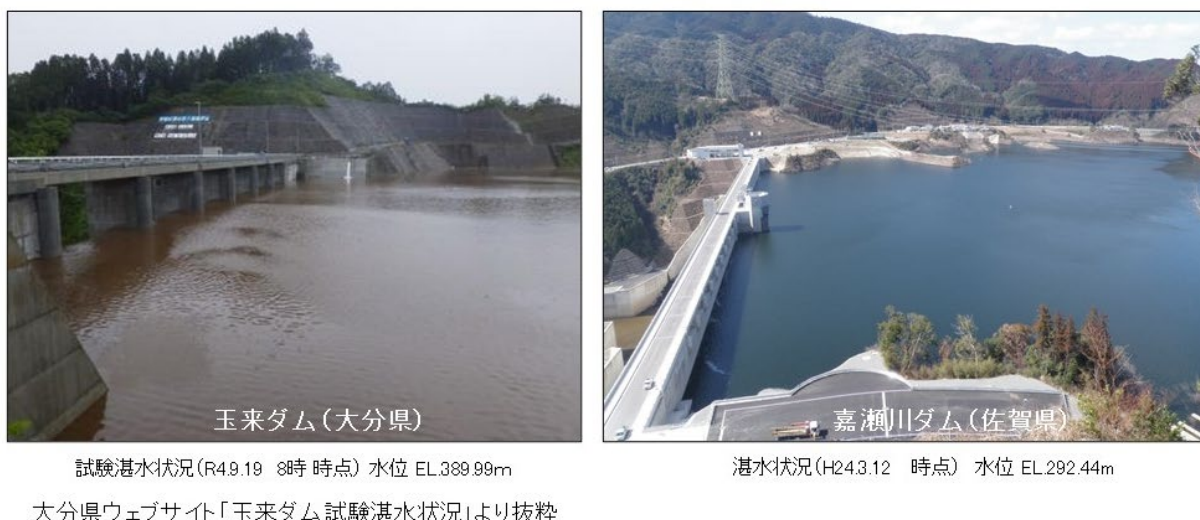


図 3-17 他ダムにおける湛水状況

(2) 試験湛水開始時期の違いによるダム洪水調節地内の土砂の堆積の影響検討結果

9/1開始の場合、台風期であることから台風の影響による洪水の発生の頻度が高いと想定され、濁水を貯める可能性が高いと考えられることから、ダム洪水調節地内の土砂の堆積は、洪水を貯め込まないという観点から、開始時期が遅い方が比較的良好と考えられる。

3.3.1.5 試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度試験湛水を行うことによる影響の回避

河川砂防技術基準では、「試験湛水は試験湛水実施要領（案）に基づき実施する」とされており、試験湛水の目的である「ダム堤体・基礎地盤及び洪水調節地内周辺地山の安全性の確認」は、ダム運用上の最高水位まで上昇させ、また下降させる過程で綿密な計測・監視を行った上で確認されるものであり、このため、運用上の最高水位であるサーチャージ水位まで上昇させ、試験湛水を実施する必要があるが、水位を上昇させるための流氷は、自然流況に左右され、渇水など流況が少ない場合には、実施期間中にサーチャージ水位まで貯まらずに翌梅雨期までに試験湛水が完了しないことが想定される。

このような場合には、試験湛水の途中であっても翌梅雨期に入るまでに水位を下げて、治水計画上設定された洪水調節容量を確保する必要があるため、最低水位まで下げることとなる。その際は試験湛水を再度実施することとなるが、再度の試験湛水の実施が特に環境への影響があると考えられるため、試験湛水開始時期の違いにより試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度、試験湛水を行うことによる影響の回避も着眼点に追加した

(1) 試験湛水が翌梅雨期までに完了するかの可能性検討

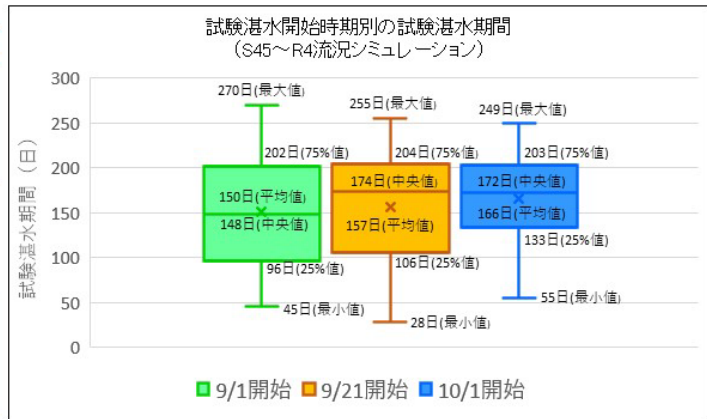
試験湛水の開始時期ごとに、試験湛水が翌梅雨期までに完了するかの可能性検討及び試験湛水期間の比較検討を行った。なお、平常時の流況データで整理可能な昭和45年から令和4年の53年間で試験湛水流況シミュレーション結果を基に整理した。

10/1開始の場合、53年間で47年間（約89%の確率）で試験湛水が翌梅雨期までに完了可能であった。9/1開始及び9/21開始の場合、53年間で51年間（約96%の確率）で試験湛水が翌梅雨期までに完了可能であった。このため、9/1開始及び9/21開始とした場合の方が、試験湛水が翌梅雨期までに完了する可能性が高い。なお、試験湛水時にサーチャージ水位まで到達しない場合は、貯水を一度放流して、次年度に試験湛水を再度実施する必要がある、環境への影響は大きくなると考えられる。

また、試験湛水期間は、9/1開始の場合は中央値で148日間と他案と比べて期間が短くなるが、最大値は270日と最も長期間となる。9/21開始及び10/1開始の場合は、中央値でも大きな差は見られなかった。

S45～R4(53年間)流況での
試験湛水シミュレーション結果

	9/1 開始	9/21 開始	10/1 開始
試験湛水完了年数	51年間	51年間	47年間
試験湛水未完了年数	2年間 (H10,H22)	2年間 (H10,H22)	6年間 (S45,S48, H10,H11, H19,H22)
完了達成率	約96%	約96%	約89%



※ 球磨川水系では6/11から出水期であるため、6/10までに平常時の河川水位まで下げる条件とした場合、サーチャージ水位まで到達できなかった年を試験湛水未完了としている。

項目	9/1開始	9/21開始	10/1開始
平均	150	157	166
中央値	148	174	172
最大(外れ値除く)	270	255	249
最小	45	28	55

図 3-18 過去の 53 年間の流況での試験湛水シミュレーション結果

(2) 試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度試験湛水を行うことによる影響の回避検討結果

試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度、試験湛水を行うことによる影響の回避は、開始時期が早い方が比較的良いと考えられるが、9/1 開始及び 9/21 開始では大きな差は無いと考えられる。

3.3.2 環境影響評価に先立って検討した試験湛水手法のまとめ

着眼点ごとに考えられる試験湛水の事象と影響について、試験湛水の開始時期における相対的な評価を下記のとおり整理した。

- ・ アユへの影響は、総合的にみると開始時期が遅い方が比較的良いと考えられる。
- ・ 九折瀬洞の生態系への影響は、開始時期の違いによる大きな差は無いと考えられる。
- ・ ダム洪水調節地内の樹木への影響は、開始時期による試験湛水期間の大きな差は無いが、生育期を考慮すると、開始時期が遅い方が比較的良いと考えられる。なお、ダム洪水調節地内の樹木への影響は、生態系に係る陸域と河川域の連関性として、森林と河川間の食物連鎖にも関わってくる。
- ・ ダム洪水調節地内の土砂の堆積は、洪水を貯め込まないという観点から、開始時期が遅い方が比較的良いと考えられる。
- ・ 試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度、試験湛水を行うことによる影響の回避は、開始時期が早い方が比較的良いと考えられるが、9/1 開始及び 9/21 開始では大きな差は無いと考えられる。

表 3-6 試験湛水開始時期の検討結果のまとめ

項目・検討内容		9月1日開始	9月21日開始	10月1日開始
I. アユへの影響	降下期への影響		遅いほど良い	
	産卵期への影響	遅いほど良い(9/21と10/1は大きな差は無い)		
	稚魚遡上への影響		早いほど良い	
II. 九折瀬洞の生態系への影響	コウモリへの影響	遅いほど良い(9/21と10/1は大きな差は無い)		
	陸上昆虫類への影響	大きな差は無い		
III. 洪水調節地内の樹木への影響	植物の冠水期間による影響	大きな差は無い		
	植物の冠水時期による生育への影響		遅いほど良い	
IV. 洪水調節地内の土砂の堆積		遅いほど良い		
V. 試験湛水が翌梅雨期までに完了せず、再度、試験湛水を行うことによる影響の回避		早いほど良い(9/1と9/21は大きな差は無い)		

これらの結果から、環境面では一部開始時期が遅い方が比較的良いがあるものの、大きな差は無いもしくは開始時期が遅い方が良いとの結果である。一方、特に環境に対する影響がある試験湛水を行うことによる影響の回避は、開始時期が早い方が比較的良いと考えられる。これらのことを総合的に判断し、試験湛水開始時期は9/21 開始を条件として環境影響評価を実施することとする。

なお、本条件は環境影響評価を行うためのものであり、環境影響評価後においても流況等のデータを蓄積していき、試験湛水実施前までに、更なる環境への負荷軽減に向けて引き続き試験湛水手法の工夫について検討を進める。

3.4 供用後に想定される影響への備え

3.4.1 供用後に想定される影響

ダム洪水調節地では、試験湛水により標高約 280m まで冠水させるが、その期間は河川の流況に左右させるが、数ヶ月単位で冠水するため、その影響は大きく、耐冠水性があるものはその耐冠水性に応じた保全措置を行い、耐冠水性がないもしくは分からないものは冠水範囲まで影響があるものとして保全措置を行う。

試験湛水完了後のダムによる湛水は、その洪水規模により湛水範囲は異なり、1年に1回程度の洪水で標高約 207m、5年に1回程度の洪水で標高約 240m、10年に1回程度の洪水で標高約 256m まで湛水する。但し洪水調節を行う時間は、過去の実績洪水のシミュレーション結果の平均で概ね 1日程度であり、試験湛水の影響と大きく異なる。(両生類の産卵場位置と貯水頻度の関係図を図 3-19 に示す)

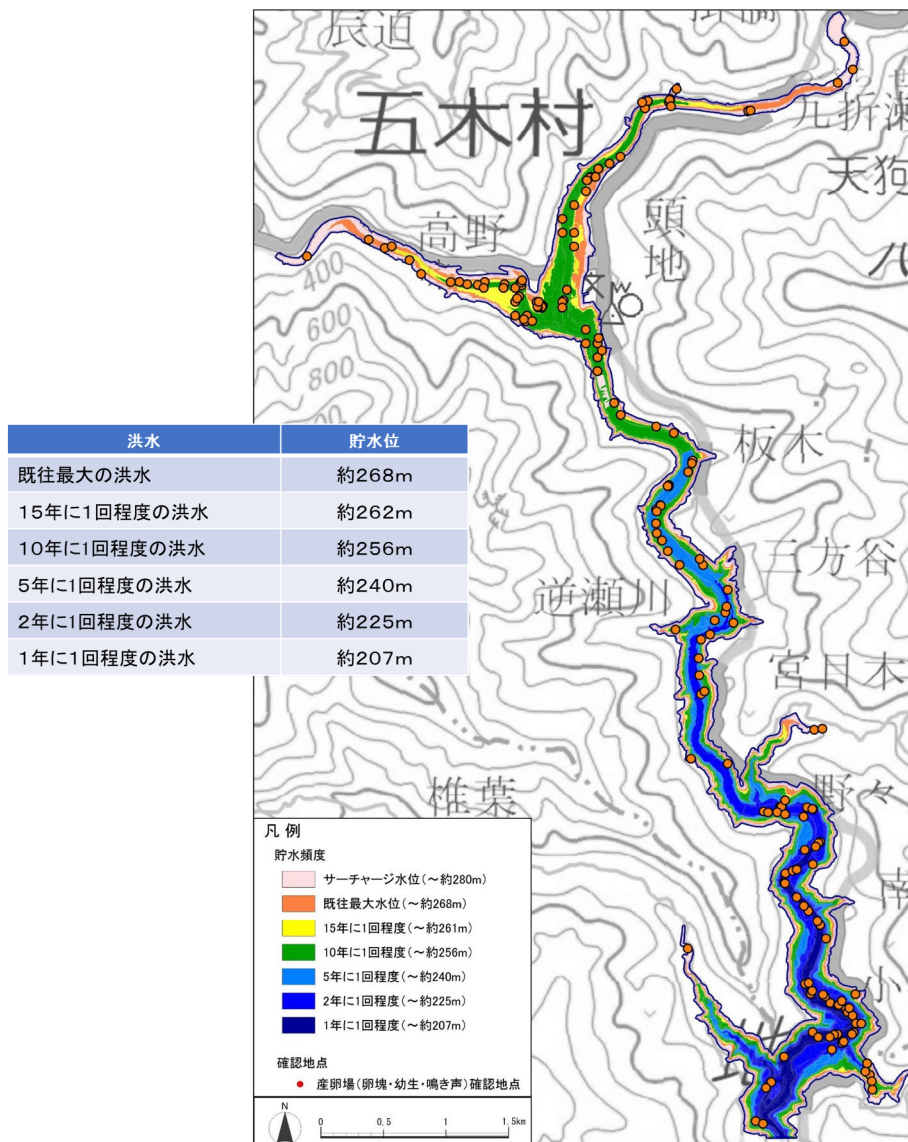


図 3-19 ダム洪水調節による貯水頻度と両生類の産卵場

供用後の運用を考えた場合、保全措置として最大限の影響を考えた場合は、ダム洪水調節地外での対応となるため、その保全措置だけではダム洪水調節地内の繁殖場の早期回復に対して十分対応できないところも出てくることが考えられる。特にダム洪水調節地内の河川域は洪水調節によって、河川域を繁殖場として利用する魚類や両生類などの繁殖場が冠水すると考えられ、繁殖期に洪水が発生した場合、一時的に繁殖場として適さなくなると考えられることから、様々な標高に対して縦断的に避難できる場所の創出が必要となってくる。

3.4.2 供用後に備えた保全の場の創出

例えば両生類の産卵場は、図 3-22 のように様々な標高に分散しており、供用後のダムの運用を考えると保全の場を様々な標高に行うことにより、ダム湛水後の回復も速やかに行われることが考えられる。

なお、洪水調節を行う時間は、過去の実績洪水のシミュレーション結果の平均で概ね 1 日程度であるため、洪水調節後には河川の状態に戻ると考えられるため、再び繁殖場として利用される可能性が考えられる。

河川の連続性を考えると、ダム洪水調節地内の流入支川を利用した縦断的な生息場の確保が良いと考えられることから、整備の可能性等今後も引き続き検討していく。(椎葉谷川の事例を図 3-20 に示す)

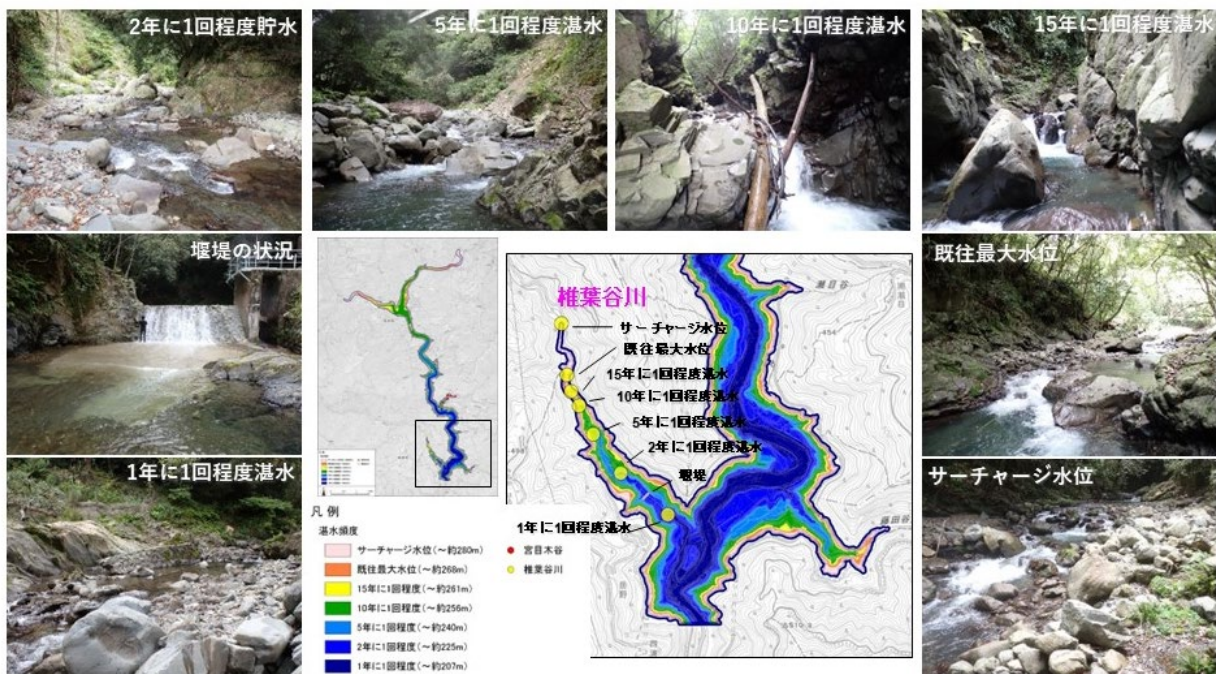


図 3-20 貯水頻度別の川辺川への流入支川の状況

第4章 流水型ダムの運用等の工夫

4.1 運用等の工夫の着眼点

本章では、特にダム完成後の運用、洪水調節操作について記載しているが、それらに共通する主な着眼点については、以下のとおりである。

- ・洪水調節効果の確実な発揮
- ・治水機能に影響を及ぼさない範囲における洪水調節操作による流量変動
- ・流量変動により下流河川の河床を攪乱させる（洪水末期に放流量を増やし、自然の状態に近づける）
- ・ダム洪水調節地内の貯水面積・冠水頻度を減らす
- ・ダム洪水調節地内に濁水を貯めない、速やかに流す

4.2 洪水調節操作の工夫による河川環境への影響と効果

4.2.1 洪水流量と河川環境の関係

川辺川は、地域の典型的な魚類として注目されているアユの生息環境を確保することが重要であるが、洪水調節の時期は、主に洪水期（6月～9月）であり、アユの河川定着期と重なる。

このため、流水型ダム供用後においても、アユの生息環境として重要な餌場（はみ跡の多い場所）の環境の確保が重要となり、アユの餌資源である付着藻類の剥離・更新に必要な攪乱により、質の良い付着藻類を確保することによって、アユの良好な生息・生育環境の確保を図ることが求められる。

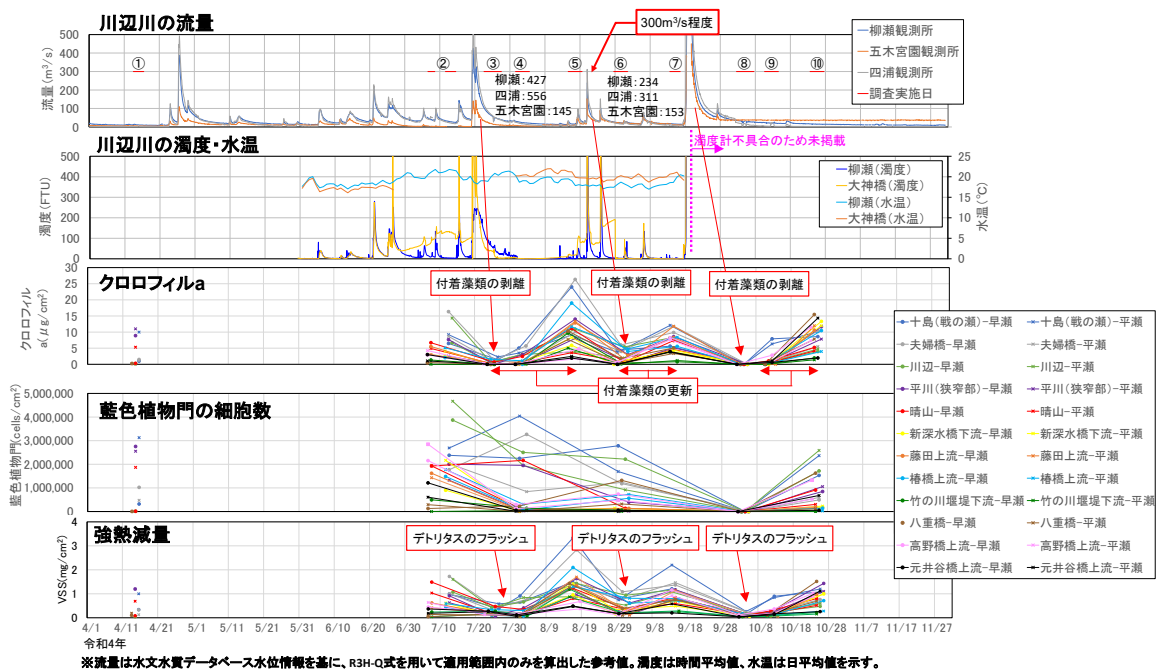


図 4-1 川辺川のアユのはみ跡とアユの生活史

令和4年から2週間に1回程度の間隔で、川辺川（ダム上流～球磨川合流点）及び球磨川（川辺川合流点～渡地点）の12箇所の瀬において、25cm～30cm程度の石3個を採取し、アユの餌資源である付着膜の調査を実施した。

その結果、川辺川の流量と付着藻類（クロロフィル a）の経時変化をみると、300m³/s程度以上の出水で付着藻類の剥離が確認された。また、付着藻類と同様の傾向で強熱減量（有機物量）も増減しており、300m³/s程度以上の出水でデトリタスもフラッシュされていると考えられる。

以上より、300m³/s程度以上の出水があれば、付着藻類の剥離更新の維持、及び、河床に堆積した有機物が剥離する機能は確保され、アユの良好な生息・生育環境の確保されることが想定される。



※流量は水文水質データベース水位情報に基づき、R3H-Q式を用いて適用範囲内のみを算出した参考値。濁度は時間平均値、水温は日平均値を示す。

※デトリタス: 生物体の破片・死骸・排出物並びにそれらの分解産物一般のことを指す
 ※クロロフィルa: 植物プランクトン等に含まれる葉緑素系色素の一つ
 ※強熱減量: 試料を高温に熱した際に減少する質量であり、水中の有機物量の目安

図 4-2 川辺川の流量、濁度・水温、付着藻類（クロロフィル a、藍色植物門の細胞数）、強熱減量の経時変化

4.2.2 洪水調節操作の考え方（洪水調節操作による流量変動の影響と効果）

川辺川の流水型ダムの洪水調節ルールについては図 4-3 のとおり設定されている。これらの考え方については次のとおり示す。

(1) 川辺川の流水型ダムの洪水調節ルール

1) 洪水調節開始流量 $600\text{m}^3/\text{s}$

令和 2 年 7 月洪水のような立ち上がりの早い洪水に対応するため、「 $600\text{m}^3/\text{s}$ 」として設定。

2) 不定率操作時放流量 $200\text{m}^3/\text{s}$

人吉地点の流量を計画高水流量（ $4,000\text{m}^3/\text{s}$ ）以下になるように、流水型ダム地点及び球磨川本川（川辺川合流点上流）の流量に応じて、「 $600\text{m}^3/\text{s}$ 」から更に放流量を「 $200\text{m}^3/\text{s}$ 」まで低減。

3) 後期放流時の最大放流量 $1,300\text{m}^3/\text{s}$

下流河道の整備を考慮し、「 $1,300\text{m}^3/\text{s}$ 」として設定。球磨川本川（川辺川合流点上流）及び流水型ダム地点の流入量減少時（直前ピーク流量から $50\text{m}^3/\text{s}$ 減少した流量）に、不定率操作を解除。

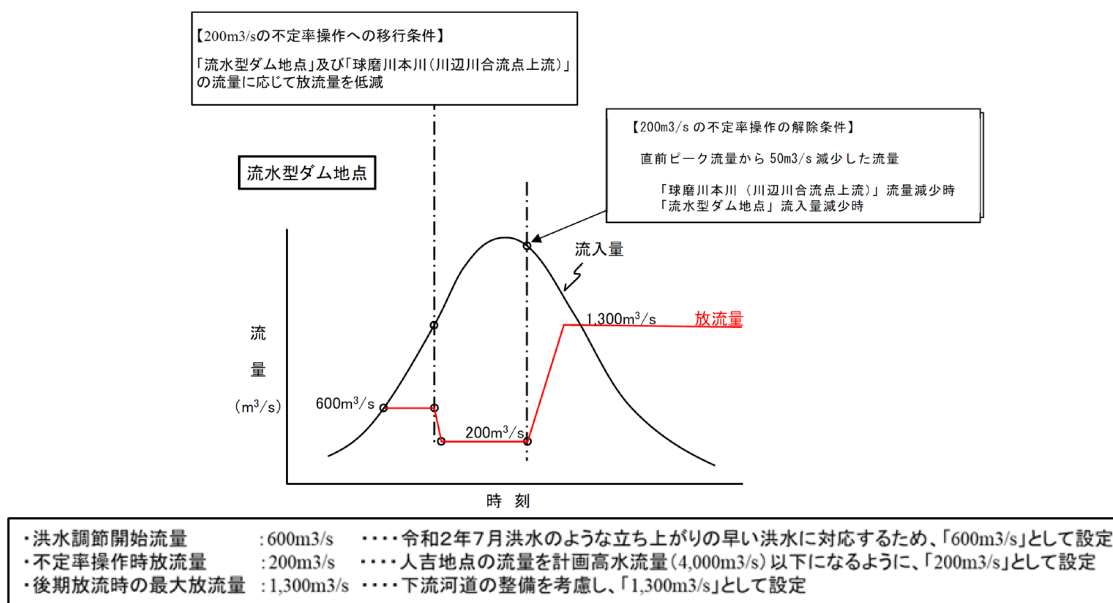


図 4-3 川辺川の流水型ダムの洪水調節操作ルール

(2) 洪水調節による流量変動が河川環境へ与える影響と効果

流水型ダムの存在・供用により、ダム洪水調節地内の冠水頻度や下流河川の攪乱頻度に応じた河川生態系が形成されるが、平常時に水を貯めないため、相対的に貯留型ダムと比較して、対策によっては、自然（ダム建設前）状態に近づけることは可能と考えられる。

その一方で、一定規模を超える洪水時にダム地点で河川の水を一時的に貯めることにより、ダム洪水調節地内及びダム下流域の環境影響が発生すると想定される。

以上を踏まえ、様々な洪水に対して下流域の方々の生命や財産、社会生活や機能を守るための治水機能を確保しつつ、

- ・ダム洪水調節地内においては、貯水に伴う水位上昇頻度をできる限り抑える
- ・ダム下流においては、河川生態系に必要な流量変動による攪乱を確保することを目標に、洪水調節操作ルールの工夫を検討した。

(3) 洪水調節操作の工夫の可能性（洪水調節開始流量 $600\text{m}^3/\text{s}$ の引き上げ）

川辺川の流水型ダムは、川辺川や球磨川本川の洪水時における水位を低下させる効果のみならず、本川と比較し洪水の流出が比較的早い山田川や万江川などの球磨川に合流する支川に対して、球磨川合流付近の区間において水位を低下させる効果もある。

令和2年7月豪雨では、人吉市内を流れる支川の山田川周辺のカメラ映像の分析等から7月4日の5:30~7:00頃に球磨川との合流点に近い山田川の堤防が低い箇所から氾濫が発生し、その後、球磨川からの氾濫が加わったことが確認されている。

氾濫の要因について、山田川と球磨川本川の合流点付近の水位を分析したところ、球磨川本川の水位上昇に伴い、支川からの水が本川へ流下しにくくなり、行き場を失った水で支川の水位が上昇するバックウォーター現象の影響により、山田川や万江川の合流点付近は水面勾配がほとんどない状態で水位が上昇し、氾濫が発生したものと推定されている。

仮に、令和2年7月豪雨が発生した際に、川辺川の流水型ダムが存在していた場合の効果を試算したところ、ダムの効果が発揮されることで、本川の水位が低下し、それに連動する山田川の水位も抑えられ、山田川については球磨川合流付近で堤防からの越水は発生しなくなることを確認している。

その試算において、流水型ダム流入量が $600\text{m}^3/\text{s}$ を超えた時点で、流水型ダムによる洪水調節を開始する条件で実施している。図に示すとおり、7月4日3時頃に洪水調節を開始することになり、洪水の流下時間の関係から、山田川合流点において、流水型ダムの効果が徐々に発揮されるのは4時~5時頃と推定される。仮に、洪水調節開始流量を引き上げた場合、水位低下効果が発現する時間が遅れ、山田川からの氾濫が発生したと確認されている5:30~7:00頃の時間帯では、流水型ダムの洪水調節により水位低下効果が発揮しないと考えられる（図4-4）。

以上、治水機能の確保の観点から、現時点では洪水調節開始流量の引き上げは困難である。

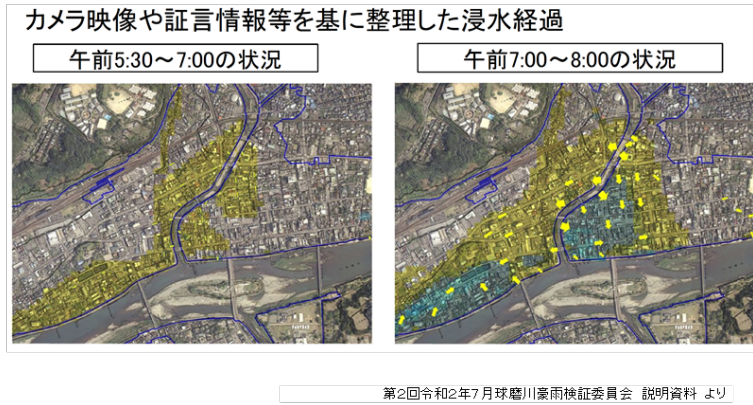
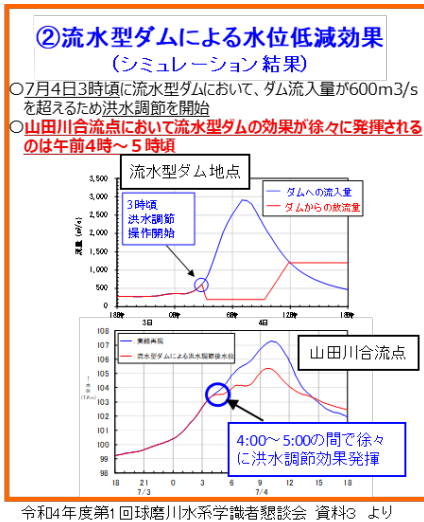


図 4-4 令和 2 年 7 月洪水における球磨川と山田川が合流する地点での流水ダムの洪水調節による水位低下効果（左）、令和 2 年 7 月豪雨における山田川の浸水経過（右）

(4) 洪水調節操作ルール工夫による攪乱の必要性（洪水調節開始流量 600m³/s 以上の流量変動の必要性）

次に、現在の川辺川に形成されている礫河原や瀬淵構造の維持の観点から、600m³/s 以上の攪乱規模の重要性を確認する。

川辺川の水位計算の結果から求めた流量規模ごとの河床を構成する石礫の移動限界粒径のデータを図 4-5 に示す。ダムサイト付近(19k400 付近)では、600m³/s の移動限界粒径が概ね 20cm 程度となっているが、17k000 を境に、河床勾配が緩やかになり、掃流力が低下することにより、移動限界粒径が小さくなっている。

ダムの運用として、600m³/s までは、洪水調節を行わず、河床部放流設備を洪水流が通過するので、掃流状態で、概ね 20cm 程度までの粒形の石礫は、ダムの底部を通過することが見込まれる。一方、600m³/s 以上の流量規模を川辺川の流水型ダムの洪水調節により減少させた場合、ダムサイトを通過した石礫が、17k000 付近において、下流に流掃されず、17k000 下流の河床材料が長期的に変化するため、瀬淵構造への影響、礫河原の減少等が懸念される。

よって、17k000 下流に対し、600m³/s 以上の流量規模の攪乱を保持するために、ダムの洪水調節操作ルール工夫が求められる。

なお、ダム下流の川辺川は、洪水を安全に流下させる流量（計画高水位以下で流れる流量）として、河川整備計画の目標では、1,500m³/s であることを踏まえ、ダム下流の降雨による残流域からの流出等を考慮して、流水型ダムの最大放流量は 1,300m³/s を上限と設定し、600m³/s～1,300m³/s までの攪乱を保持させるための洪水調節操作ルール工夫を実施した。

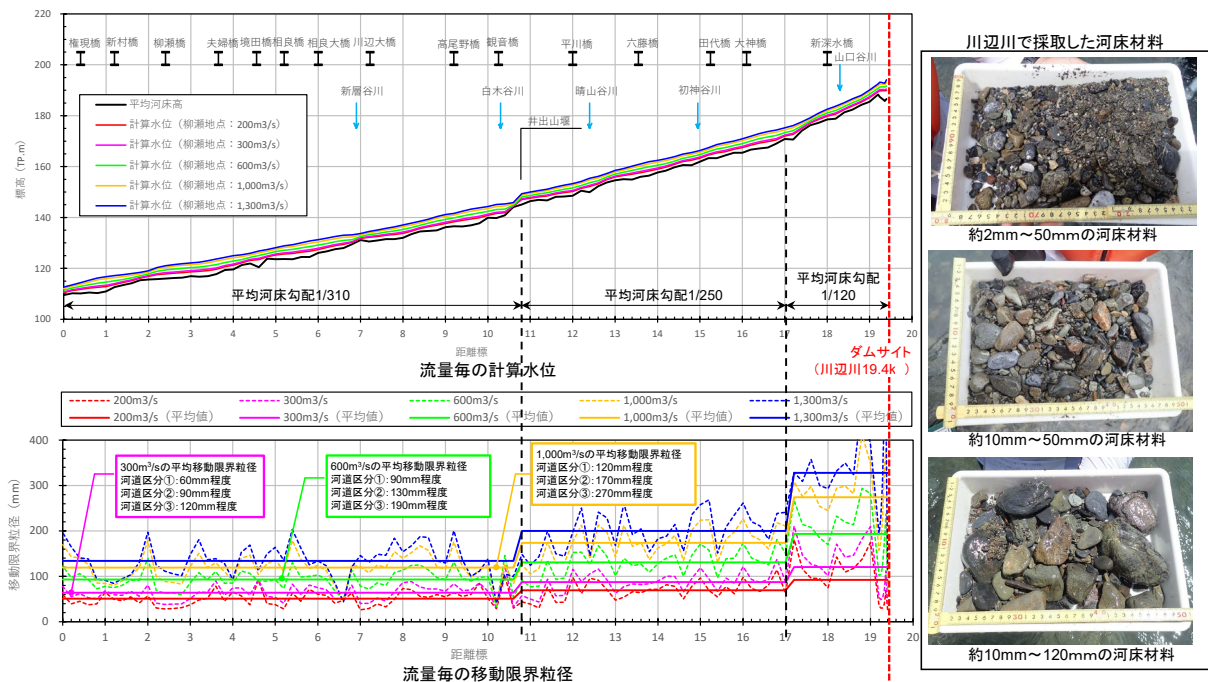


図 4-5 流水型ダムのダムサイトから下流域の流量規模ごとの計算水位と移動限界粒径

4.2.3 洪水調節操作の工夫による河川環境への影響と効果のまとめ

(1) 中小洪水時における洪水調節操作の工夫（後期放流量の増加）

過去 70 年間（S28～R4）の 224 洪水中 20 洪水（約 9%）の大洪水時においては、操作ルールの変更は、治水機能を低下させる可能性があると考え、このような大洪水時の操作ルールの変更は実施しないこととした。

一方、高頻度の洪水（氾濫の可能性がない）に対し、自然の流況にできる限り近づけるため、上記の 20 洪水以外の約 9 割を占める中小規模の出水においては、洪水のピークが過ぎ、下流の安全が確認できれば、後期放流量を増やすことが可能である。この後期放流量を増やす工夫案を、環境影響の予測・評価を行うにあたって前提となる洪水調節操作ルールとして設定した（図 4-6）。

なお、今後の降雨予測技術の進展や、気候変動による降雨-流出特性の変化等も踏まえ、周辺技術の情報収集に努め、調査研究等を継続的に実施し、環境影響評価後においても環境影響の最小化に向けた検討を進める。

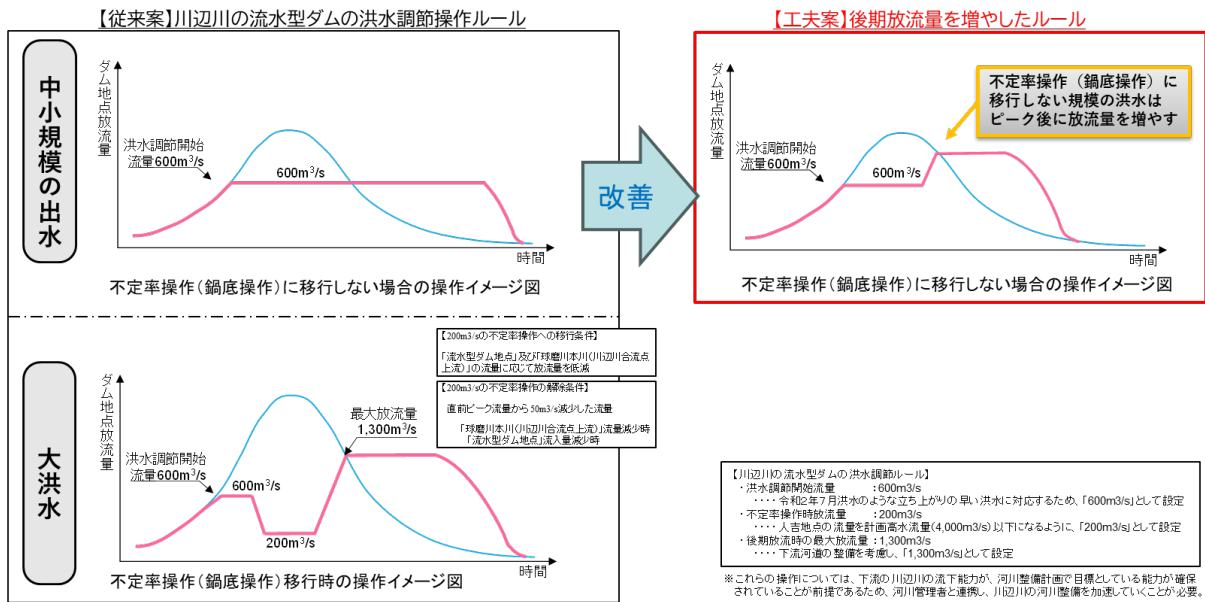


図 4-6 洪水調節操作ルールの工夫

(2) 洪水調節操作ルールの工夫（後期放流量の増加）による攪乱頻度の検討

過去の洪水時の流況を基に、ダム建設前の下流域の攪乱頻度と、ダム建設後の従来案および工夫案の攪乱頻度との比較を実施し、比較した結果を図 4-7 に示す。

対象洪水は、昭和 28 年～令和 4 年の 70 年間で 224 洪水（五木・人吉・八代雨量観測所のいずれかで日雨量が概ね 100 mm 程度を観測している代表洪水）を抽出し、対象洪水として設定。抽出した実績洪水におけるダムへの流入量を設定した。

ダム地点流入量が 600m³/s 未満の洪水は、洪水調節を行わないため、ダム建設前・建設後による下流への流量変化はない。

過去 70 年間の洪水で約 9 割を占める中小規模の出水においては、ダム地点ではダム建設後（従来案）の場合、ダム地点流入量が 600m³/s 以上から洪水調節を開始し、600m³/s 一定量放流となるため、下流への放流量は 600m³/s が主体（78 洪水（約 35%））であり、ダム地点流量が 600m³/s を超える洪水は、20 洪水（約 9%）となる。

ダム建設後（工夫案）の場合、後期放流量を増やすため、ダム地点流量が 600m³/s を超える洪水は、64 洪水（約 29%）となる。

また、図 4-8 に示すとおり、川辺川と球磨川合流後の球磨川人吉地点では、氾濫の可能性がある流量規模以上を除いては、ほぼ現況の攪乱頻度と変化がない状況を構築できる。

このことから、洪水調節操作ルールの工夫案を設定することにより、治水機能を確保しつつ、自然（ダム建設前）状態の河川の攪乱に近づけられることを確認した。

ダム建設前・建設後(従来案)・建設後(工夫案)の流量変化の比較【ダム地点】
 ※既往実績洪水:224洪水の計算結果

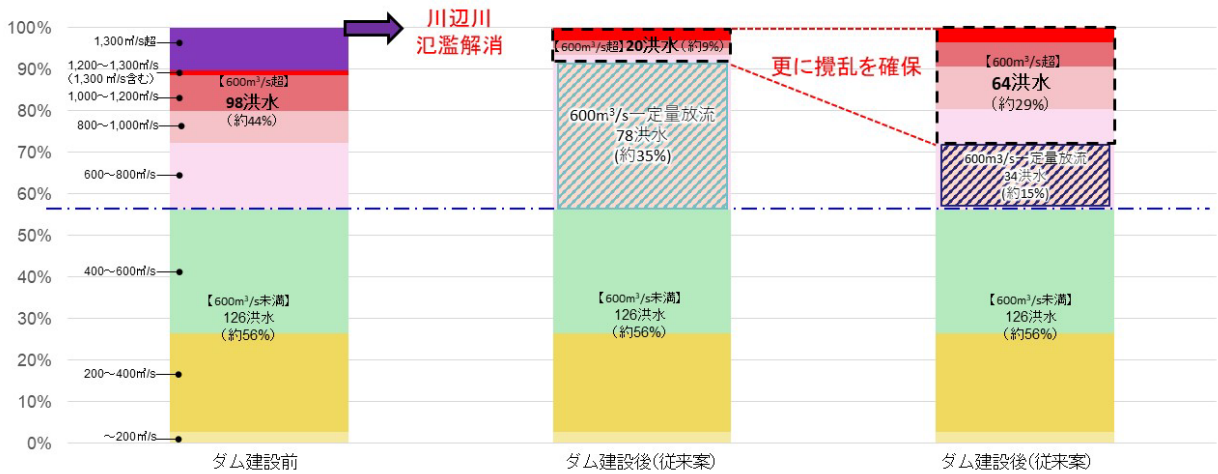


図 4-7 ダム建設前・建設後(従来案)・建設後(工夫案)の流量変化の比較【ダム地点】
 ※既往実績洪水:224洪水の計算結果

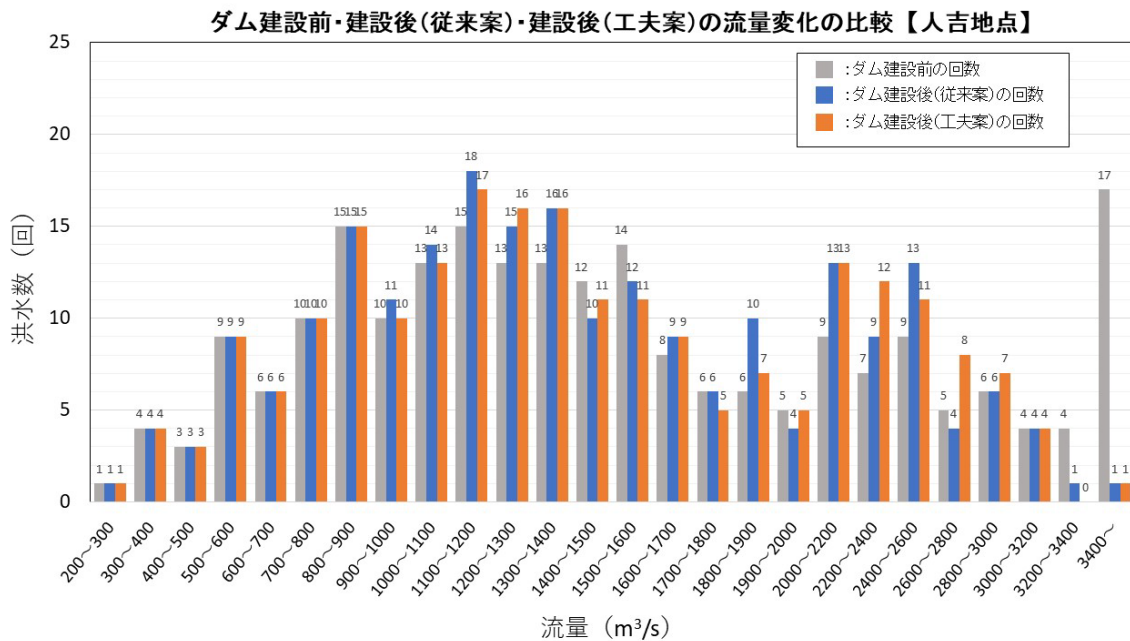


図 4-8 ダム建設前・建設後(従来案)・建設後(工夫案)の流量変化の比較【人吉地点】
 ※既往実績洪水:224洪水の計算結果

4.3 洪水調節操作ルールの工夫によるダム洪水調節地内への影響と効果

4.3.1 洪水調節操作ルールの工夫によるダム洪水調節地内の冠水頻度の低減

ダム洪水調節地内における洪水調節操作ルールの工夫による整理として、過去の実績洪水(224洪水)にて川辺川の流水型ダム地点における水位シミュレーション結果を図4-9、図4-10に示す。

貯水時間については、従来案と比較して、工夫案とすることで最大で約1日12時間短縮（S38.8.16洪水）でき、平均で約4時間30分短縮が可能となることを確認した。

また、貯水ピーク水位については、従来案と比較して、工夫案とすることで最大で約24m低下（S54.6洪水）でき、平均で約3m低下可能となることを確認した。

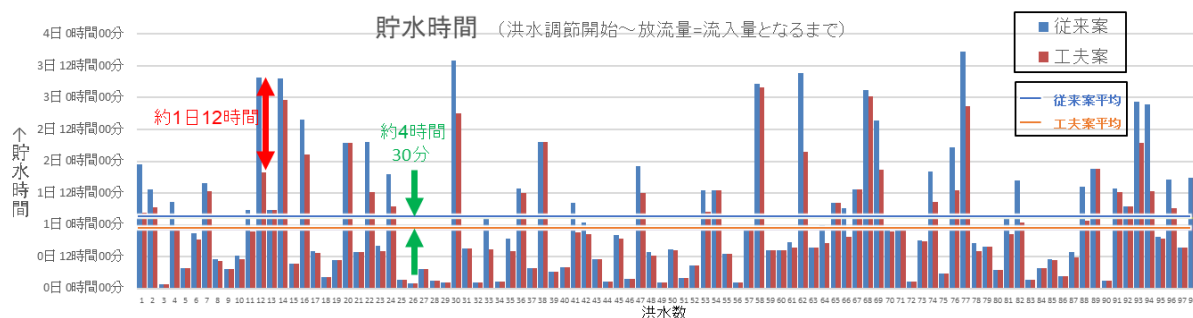


図 4-9 洪水調節操作ルールの従来案・工夫案の貯水時間比較

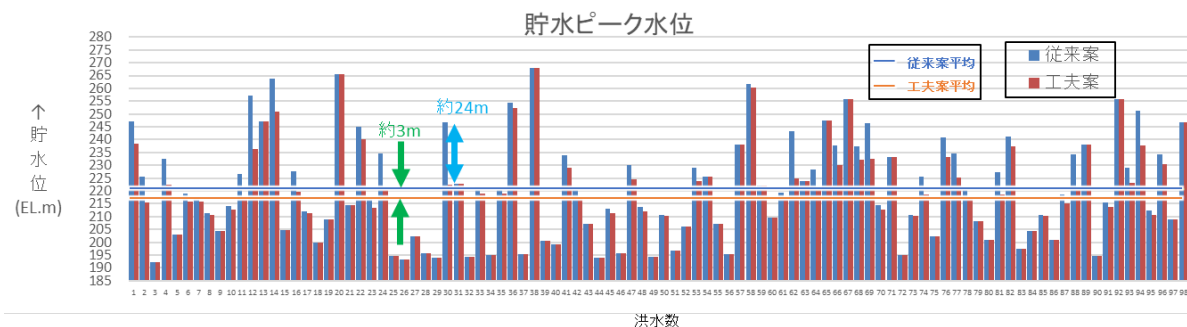


図 4-10 洪水調節操作ルールの従来案・工夫案の貯水ピーク水位比較

次に、ダム洪水調節地内の冠水頻度別の整理として、10年に1回程度の大洪水時では、洪水調節操作ルールの工夫による差は無いものの、5年に1回程度の洪水ではピーク水位は約7m低減し、2年に1回程度の洪水ではピーク水位は約3m低減するなどの効果を確認した。以下、効果が確認された5年に1回程度の最大浸水範囲を図4-11、12に示す。

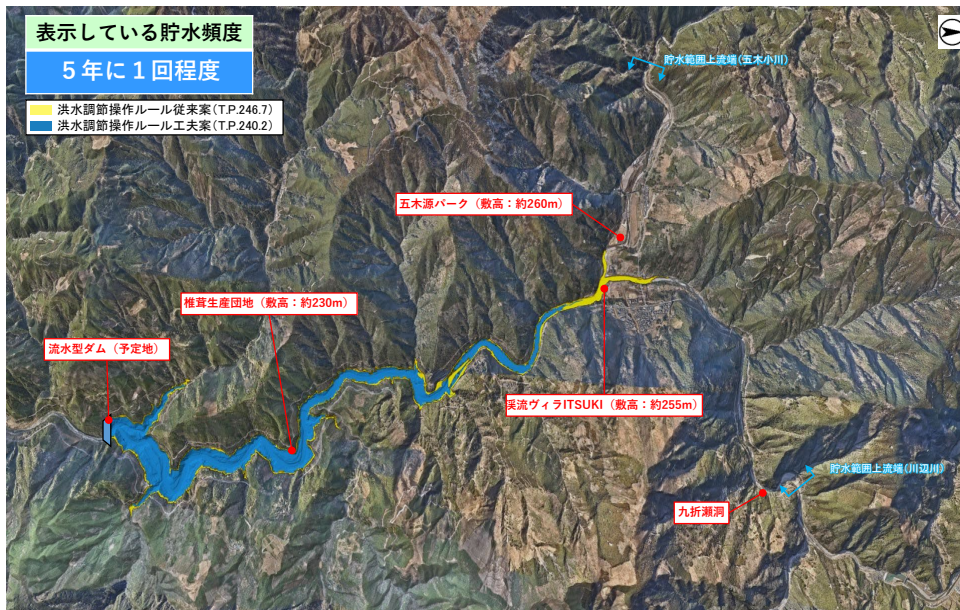


図 4-11 5年に1回程度の貯水範囲の従来案・工夫案の比較図（ダム洪水調節地内全景）



図 4-12 5年に1回程度の貯水範囲の従来案・工夫案の比較図（頭地地区付近）

4.3.2 洪水調節操作ルールの工夫による土砂堆積と濁水の抑制

過去70年間（S28～R4）の224洪水のうち、約9割を占めている中小規模の出水において、川辺川の流水型ダムに流入する洪水のピークが過ぎ去った後は、後期放流量を増やす操作ルールに変更している。

このように、頻繁に発生する中小規模の洪水時に、後期放流量を増やすことにより、洪水を一時的に貯水する時間や貯水量を減少させることができ、ダム洪水調節地内での土砂堆積の抑制や、下流河川への濃度の高い濁水を放流する頻度を抑制させることが可能となる。

(1) ダム洪水調節地内の土砂堆積と濁水の抑制

五木村の川辺川と五木小川の合流点付近は、平常時には村民や村外から様々なレクリエーション等の活動の場となっている。この区間は、ダム洪水調節地上流端付近にあり、洪水調節の際に、頻繁に貯水位を当該区間の標高まで上昇させた場合は、上流から掃流状態で流入してくる土砂が、掃流力の低下により、当該区間で堆積し、河床を上昇させることが想定される。

これに対し、洪水調節操作ルールの工夫により、高頻度（5年に1回程度）の降雨規模では、川辺川と五木小川の合流点付近まで貯水位が上昇しないため、人と触れ合いの場である当該区間の長期的な土砂堆積は図4-13に示すとおり抑制される。

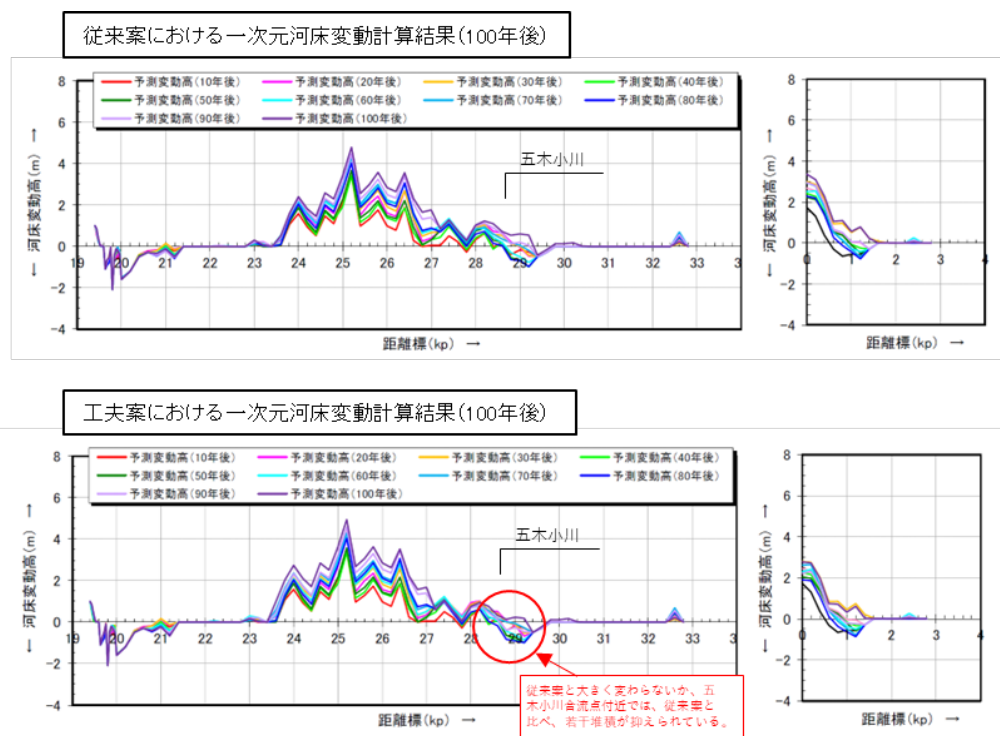


図4-13 従来案（河川整備基本方針検討時点）と工夫案とにおける河床の土砂堆積の比較
（一次元河床変動計算：100年後）

(2) ダム下流における濁水の抑制

洪水調節操作ルールの工夫により、頻繁に発生する洪水時において、洪水調節の貯水時間や貯水位の減少により、ダムから放流されるSS濃度（水質の濁りに関する指標。浮遊物質または懸濁物質ともいい、粒径2mm以下の、水に溶けない懸濁性の物質をいう。）が、ダム建設前のダムが無い状態に近づくことを、水質シミュレーションの結果で確認している（図4-14）。

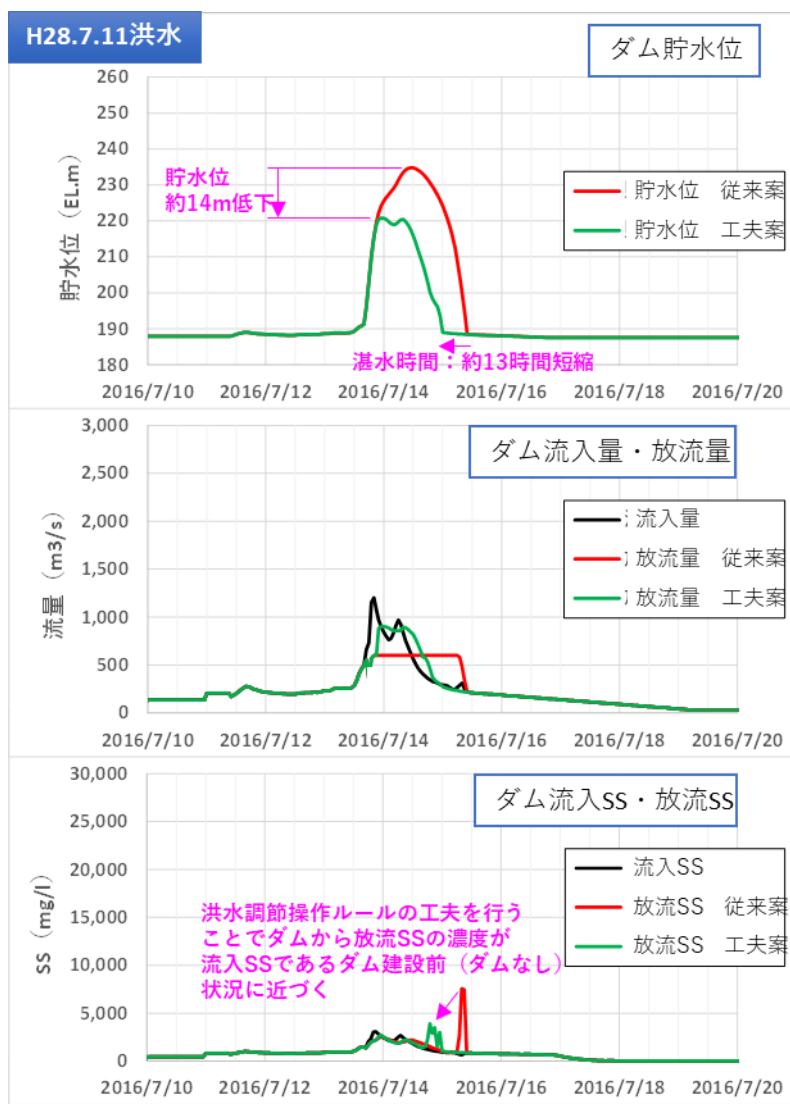


図4-14 従来案と工夫案とにおける洪水調節末期の濃い濁りの排出を抑制した事例
(流水型ダムの洪水調節に伴うSS予測計算結果)

なお、ダム下流河川及びダム洪水調節地内の瀬淵構造については、平面二次元河床変動計算による長期計算を用いて、ダム建設前（ダムなし）の状態から大きな変化はなく、現況の地形を保持することができ、生物の生息・生育・繁殖環境を将来にわたり維持できると推定される。

第5章 地域住民に理解を深めて頂くための取組

5.1 地域住民に理解を深めて頂くための取組

令和4年8月に策定した球磨川水系河川整備計画に「河川整備等の事業の実施にあたっては、事業実施前に地元へ丁寧な説明を行い、合意形成を図りながら事業を実施します」と記載しているとおり、事業実施者は地域住民に事業内容や取組を伝える努力を行っていかなければならない。

一方で、治水機能の確保と環境への影響の最小化の両立を目指した新たな流水型ダムに関する計画は、球磨川流域で初めての取組であることもさることながら、全国的にも先駆的な検討を実施している。

このため、地域住民に対して技術的検討結果やデータのみを用いた専門的な説明では、課題に対する認識や対策の意図が伝わらない可能性も懸念される。

川辺川の流水型ダムは、川辺川流域を含む球磨川の持続的な発展に寄与するものであり、事業者としては地域の資産となる存在に昇華させたいと考えている。

よって、流水型ダムの特長や治水機能、環境影響の最小化、更には環境創造に資するため、地域に住む方々がイメージしやすく、かつその存在に共通認識を持てるよう様々なツールを活用して丁寧に説明しながら、将来に向かって歩んでいく必要がある。

このため、ダム洪水調節地内に約50m×50mの大型模型実験施設（縮尺約1/60 川辺川28k000～29k600 付近、五木小川0k000～1k800 付近を再現）を設置し、ダム洪水調節地内における洪水調節時の水や土砂、流木の流れ方、貯水位が変化する様子等を見える化するとともに、川辺川水面及び周辺の利活用など、地域振興の検討にも活用していくこととしている。

また、ダム供用後における平常時や洪水調節時の下流河川の様子について、VRやメタバース等の最新技術を活用し、仮想空間で起きる現象として可視化する等、災害発生時の避難行動などソフト対策にも資する取組を実施していくこととしている。

当該事業は、昭和38年8月、昭和39年8月、昭和40年7月と3年連続で発生した豪雨により、川辺川を含む球磨川流域で甚大な洪水被害が発生したことを踏まえ、熊本県知事や熊本県議会からの要望を受け、昭和41年7月に「川辺川ダム計画」として発表されて以降、時代の要請とともに計画も見直してきており、これまで様々な環境調査や各種検討を積み重ねてきた。

今後このような経緯さらには気候変動の進展や関連技術の向上などを想定し、これらの最新情報を絶え間なく取り入れ、かつ過去の検討結果や計画を川辺川流域の自然環境に

馴染むよう技術の進展に応じて深化させていくとともに、これまでの検討プロセスを追検証できるよう記録を整理し、次世代に継承していくことが必要である。

そのためには、これら記録整理した資料を事業者のみが保有しておけば足りるものではなく、球磨川流域の新たな財産として地域に住む方々と共有可能な知見とする必要がある。

以上より、検討結果を整理した資料は広く公表するとともに、引き続き地域の方々に向けて分かりやすく発信していく。

参考資料Ⅱ－２

今後の技術的展望

－環境への影響の最小化に向けて－

第1章 流水型ダムの特長を活かした工夫に関する今後の技術的展望

1.1 流水型ダムの施設等設計（構造）及び河道設計等の工夫

川辺川の流水型ダムの施設等設計においては、数値計算や水理模型実験より、河床部放流設備や減勢工、上流河道の配置や形状について環境影響評価に先立って検討したダム施設等設計案を提示している。

更なる環境影響の最小化を追求するために、現在の約 1/60 の縮尺で再現した開水路模型実験よりも大きな縮尺となる約 1/30 のダム洪水調節地模型を用い、ダム堤体を含むダム上下流河道の細部における土砂動態の影響把握と改善を行っていくこととしている。

表 1-1 水理模型実験、実験別項目

実験別項目	全体模型実験	開水路模型実験	洪水調節地模型実験
検討項目	<ul style="list-style-type: none"> ●流況および減勢機能の確認 ●河床部放流設備の放流能力の確認 ●減勢工内の土砂動態の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ●上流河道、河床部放流設備、減勢工、下流河道の河床環境（河川の連続性、土砂動態）の把握 ●上流河道形状の流況等の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ●上流河道、河床部放流設備、減勢工、下流河道の河床環境（河川の連続性、土砂動態）の把握 ●上流河道形状の流況等の把握
縮尺	約1/60	約1/60	約1/30
再現範囲	流入部～下流18k600付近	上流19k600～下流18k900付近	上流24k200～下流18k000付近
再現土砂	均一粒径	均一粒径	混合粒径

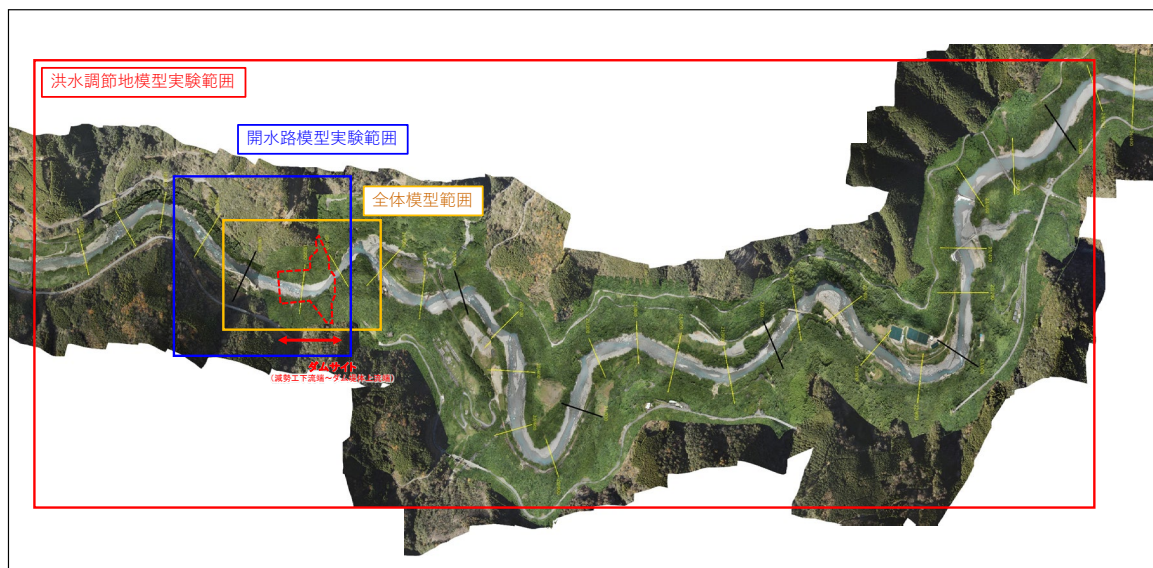


図 1-1 水理模型実験、再現範囲

ダム洪水調節地模型実験では、ダムサイトを含む上下流区間約 8km もの広範囲を再現することや、模型縮尺が大きいことにより河川の粒度分布を踏まえた混合粒径を用いた実験が行えること等、より実現象に近い土砂動態や河川の連続性について確認が可能となる。

また、数値計算を用い、流水型ダムの運用を想定し洪水調節の状況を再現して流水環境や一時的な貯水環境から河床形状や河床材料の変化を把握し、動植物の生息・生育・繁殖環境の保持の観点からダム洪水調節地の河道形状の検討を実施する。

なお、ダム完成後に想定と異なる現象が生じた場合、平常時は貯水しない流水型ダムの特長や河床部放流設備 3 門配置を活かし（2 門通水、1 門締め切り等）、維持管理にて対応を行い、生物の移動経路の確保や流砂環境の保持に努める。

1.1.1 流木捕捉施設

ダム洪水調節地の面積が 391ha と広く、ダム洪水調節地内において、本川に複数の支川が流入すること、さらに、頭地周辺のダム洪水調節地内の平地は平常時に利活用等がされることも想定されるため、流木捕捉施設は、ダム洪水調節地上流端に設置するとともに、ダム本体上流にも設置するなど、流木に対し多重的に防御するよう配置や構造を検討する。

なお、配置や構造の検討にあたっては、平常時における生物の移動の阻害とならないようなものとする。

1.1.2 河床部放流設備内の照明

河床部放流設備は約 100m の暗渠となり、回遊性魚類等の移動に影響が及ぶおそれがあることが想定されるため、暗渠部の遡上を促進するための工夫について検討することとしている。

魚道暗渠部で実績のある照明施設を参考とし、河床部放流設備内において照明設置を検討する。なお、運用の際には、魚類遡上のモニタリングを実施し、照明の効果等を検証し、運用の改善に努める。

1.1.3 仮排水路トンネル

ダム本体施工中は、仮排水路トンネル（既設）を用いて河川の連続性を確保することとしているが、仮排水路トンネル内の流速が速いため、アユやニホンウナギ、サクラマス（ヤマメ）等の移動が困難と考えられる。

このため、トンネル内部は、ダムサイト付近の河床環境を参考に、底面の凹凸を部分的に設ける等トンネル内部の河床を改良し、多様な河床環境を再現することで生物の移動経路をできる限り確保することとしている。

一方、トンネル内部を高速で流下する土砂に伴うコンクリート底面の摩耗損傷が課題となるため、土砂を捕捉することで底面を保護する「セルフライニング」手法について検討

を行うこととする。また、土砂を捕捉することにより生物の移動経路となる河床環境へ寄与するものと考えられる。

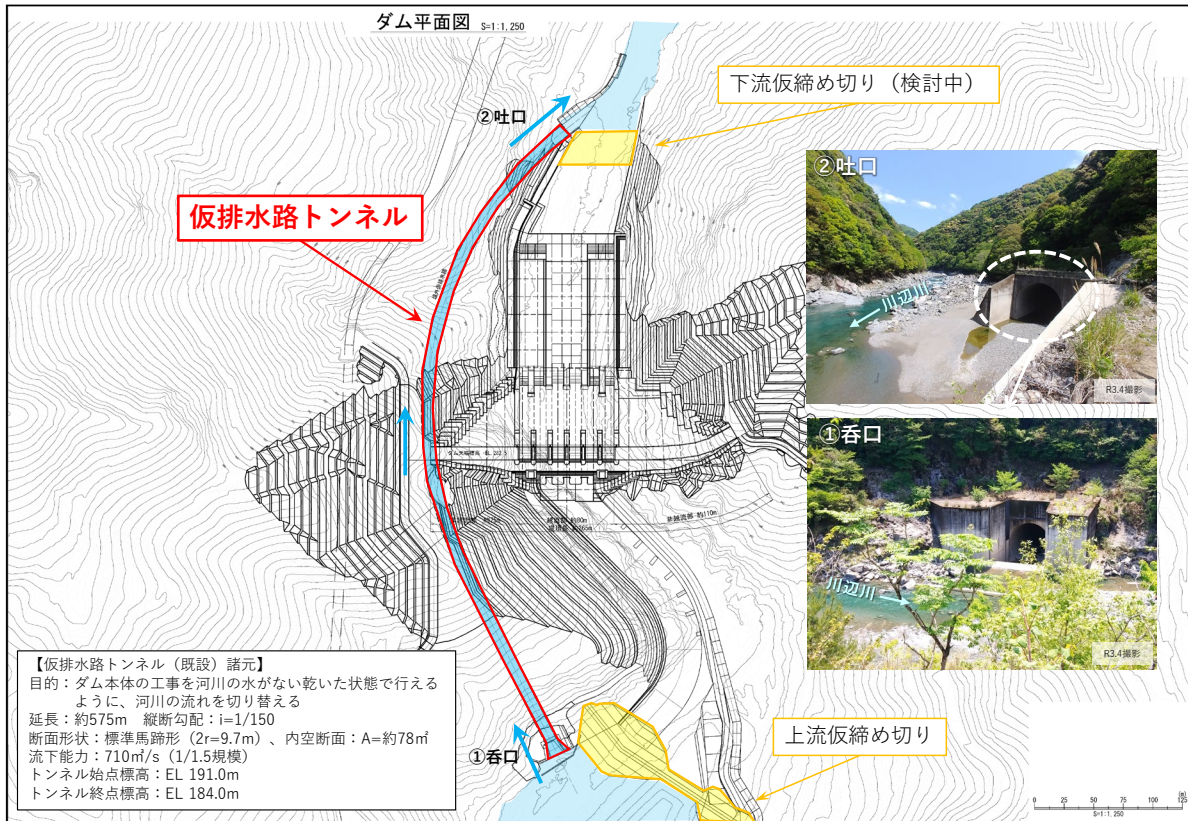


図 1-2 仮排水路トンネル位置図



ダムサイト付近の河床環境を参考に、トンネル内部の河床を改良し、多様な河床環境を再現することで、生物の移動経路をできる限り確保する。
 一方、コンクリート底面の摩耗対策を含めて、「セルライニング」手法について検討を行っていく。

図 1-3 仮排水路トンネル内

1.2 試験湛水手法等の工夫

試験湛水については、試験湛水は試験湛水実施要領（案）に基づき実施することとされており、試験湛水の目的である「ダム堤体・基礎地盤及び洪水調節地内周辺地山の安全性の確認」は、ダム運用上の最高水位まで上昇させ、また下降させる過程で綿密な計測・監視を行った上で確認されるものであるが、流水型ダムの特長を踏まえた試験湛水手法が確立されておらず、他の流水型ダムでは、そのダムの背景や特長を一部考慮した試験湛水手法の工夫が行われているものの、ほとんどの流水型ダムがこれまでの貯留型ダムの試験湛水のやり方を踏襲して行われている。

これらのことを踏まえると、流水型ダムの試験湛水に関しては、今後も検討の余地があること、また試験湛水実施までは、十分な検討時間があることから、現在行っている環境影響評価手続き完了後においても、試験湛水による環境影響の最小化に向けて、流水型ダムの試験湛水実績事例検討による知見の進展、基礎地盤及びダム洪水調節地周辺地山の安全性を確認する新たな手法や5Gなどの最新通信技術を活用した観測体制の強化、降雨などの気象予測精度の向上、流況等のデータ蓄積など試験湛水開始まで引き続き検討を進めることとする。

また試験湛水による環境への負荷軽減のため、九折瀬洞内への水の流入を防ぐ洞口閉塞対策の具体的手法の検討や冠水範囲に生息する生物の移植計画検討、ダム洪水調節地内の流入支川を利用した縦断的な生息場確保などの保全整備の可能性や試験湛水後の植生や生物生息環境の早期回復検討なども今後も引き続き行っていく。

第2章 ダムの運用に伴う濁りの影響と対策

2.1 微細な粒径の土砂移動による濁りの総合的な抑制に向けて

流水型ダムによる洪水調節を行った場合、ダム建設前の自然河川と比較し、水や土砂の流れ（タイミング等）が変化するため、水の濁りの流れも変化する。高頻度の洪水（氾濫の可能性がない）に対し、自然の流況にできる限り近づける洪水調節操作ルール（参考資料Ⅱ第4章に掲載）を行うことにより、洪水調節時間を短くし、貯水ピーク水位を下げることが可能であるため、洪水調節に伴う濁りの発生を低減できると考えられる。しかし、低頻度の洪水（氾濫の可能性がある）や高頻度の洪水であっても、自然河川と比較し、洪水調節末期に濃度の高い濁りが発生する可能性があり、濁り成分（微細な粒径の土砂）が高濃度で流れる際の流量や継続時間により、ダム下流河川への微細な粒径の土砂堆積状況等に影響があると考えられる。

参考資料Ⅰ第1章に、SS（懸濁物質）予測計算結果による流量とSS負荷量の関係図を示しており、確認した洪水（抽出3洪水および近10か年洪水）では、後期放流のSS負荷量が最も高くなる時は、流量 $300\text{m}^3/\text{s}$ 以上あり、また継続時間も数時間と短いため、ダム下流河川への変化は小さいと考えられる。代表事例として、既往洪水のうち貯水ピーク水位が最大となる昭和57年7月洪水の予測計算結果を図2-1に示す。

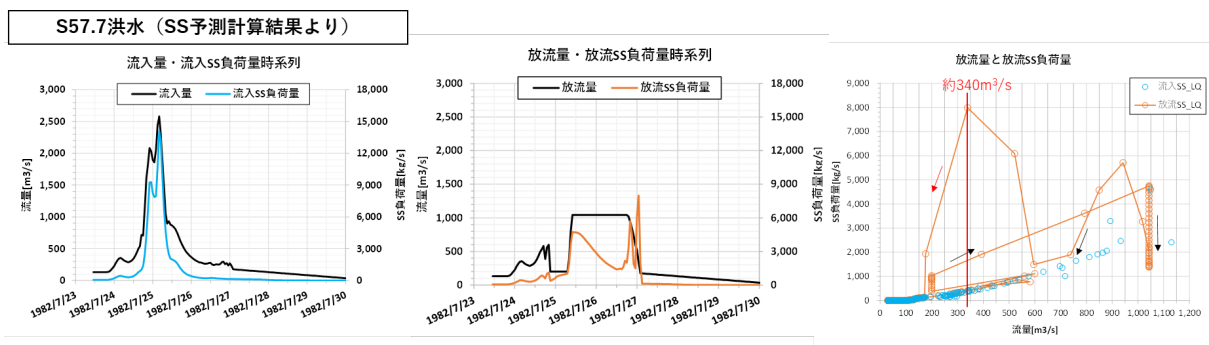


図 2-1 昭和 57 年 7 月洪水の SS 予測計算結果

（左：流入量・流入 SS 負荷量時系列グラフ、中央：放流量・放流 SS 負荷量時系列グラフ、
右：放流量と放流 SS 負荷量関係グラフ）

但し、本予測計算では、ダム洪水調節地内に堆積した SS 成分量やその後の雨による濁りの発生の可能性検討、またその濁りの発生に伴う生態系への影響（主にアユの餌資源である付着藻類への影響）等について継続検討を行う必要がある。それらの検討手法・方針については後述しているとおりであるが、流水型ダムの運用開始まで降雨量・流量・濁度の計測を整理した上で予測計算精度を上げる必要があり、ダム洪水調節地内やダム下流河川に SS 成分が留まる場合を想定した維持管理手法の検討など、ダム運用も含めた濁りに関して多角的な観点から検討を進める。

2.2 アユの餌となる付着藻類に対する無機物の影響把握

(1) 検討経緯

球磨川水系における地域の典型的な魚類として注目されるアユに関して、方法レポートの一般意見において「経済基盤としての価値判断が可能な調査を行うべき」との意見を頂き、アユに関する調査としては、瀬淵などの物理環境調査、アユの餌資源である付着藻類に関する調査、産卵場の環境調査を実施している。調査結果より予測・評価した結果、本準備レポートに記載しているとおり、川辺川の流水型ダム建設後においても、瀬淵などの物理環境や産卵場は維持されると考えられる。

アユの餌資源である付着藻類については、現状での剥離・更新状況を把握し、川辺川の流水型ダムの洪水調節による影響を確認する必要があった。そのため、アユが生育・生息する6月から10月の期間に2週間に1回程度調査を行い、流量と付着藻類等の調査を行った。その結果は図2-2、2-3のとおりであり、300m³/s程度の出水で付着藻類の剥離を確認し、約2週間後の調査で更新していることを確認した。また強熱減量やデトリタスもフラッシュされており、調査した対象の石に付着していた無機物量（土粒子）の減少も確認できた。

川辺川の流水型ダムの洪水調節は、ダム地点流入量が600 m³/sまでは洪水調節を行わず自然状態であるため、付着藻類の剥離・更新には影響は小さいと考えられ、アユの餌資源は維持されると考えられる。

ただし、川辺川において付着藻類が更新した後に無機物量（土粒子）がどの程度含まれることでアユの餌資源として問題になるのか、また本準備レポートの水環境における予測・評価では土砂による水の濁りは環境基準超過日数からも流水型ダムによる影響は小さいとしているが、例えば河川水の薄濁りが長期間発生した場合に更新した付着藻類にどの程度の無機物量（土粒子）が付着するのかなどの知見は確立されていない。

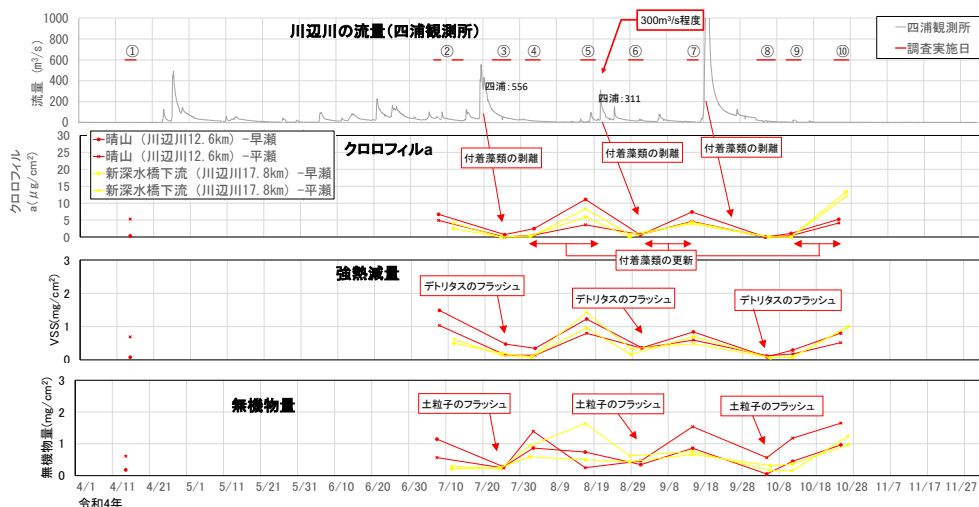


図2-2 付着藻類調査結果（流量、近傍地点の付着藻類、強熱減量、無機物量の比較）

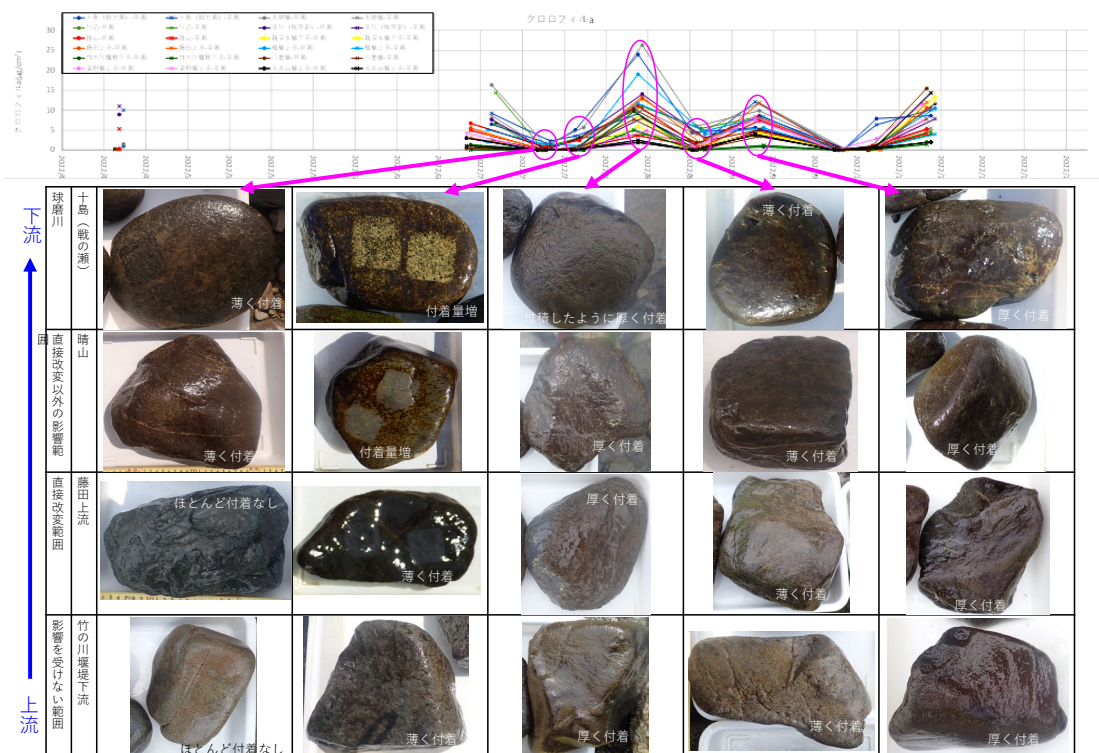


図 2-3 付着藻類調査結果（付着藻類採取の礫の状況（早瀬））

そのため、準備レポート作成時点で取得したデータを基に、次項以降に付着藻類量 (Chl-a) 及び無機物量に対する流量及び濁度の影響について検討を行った。

(2) 川辺川（現況）における付着藻類と無機物の関連性把握

付着藻類調査結果を用いて、調査した石ごとに Chl-a 量に対する無機物量を図 2-4 のとおり整理し、現況の川辺川におけるアユの餌資源である付着藻類の特性を把握した。

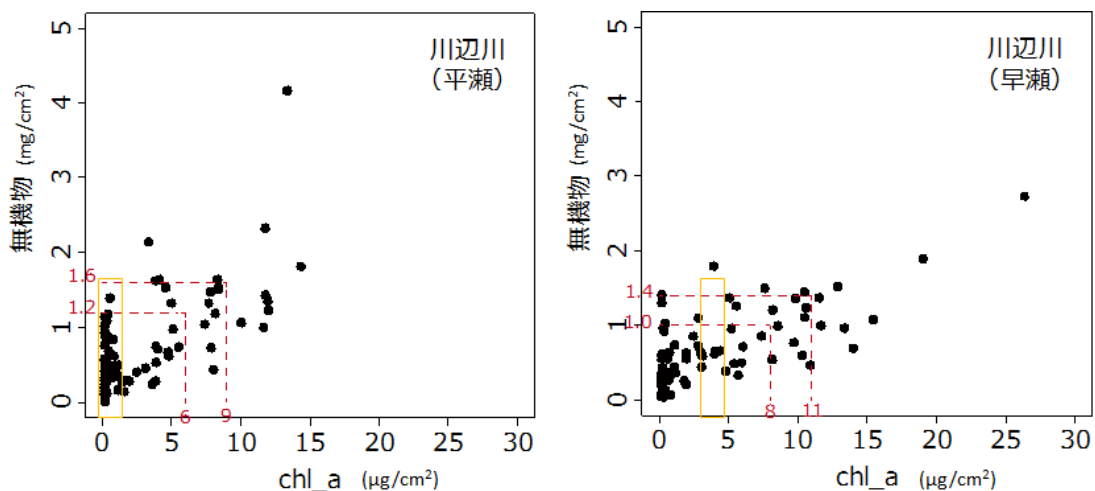


図 2-4 川辺川における Chl-a 量と無機物量の関係（左：平瀬、右：早瀬）

Chl-a量は、平瀬では $6\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (80%範囲) もしくは $9\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (90%範囲) 以下、早瀬では $8\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (80%範囲) もしくは $11\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (90%範囲) 以下が基本となり、無機物量は、平瀬では $1.2\text{mg}/\text{cm}^2$ (80%範囲) もしくは $1.6\text{mg}/\text{cm}^2$ (90%範囲) 以下、早瀬では $1.0\text{mg}/\text{cm}^2$ (80%範囲) もしくは $1.4\text{mg}/\text{cm}^2$ (90%範囲) 以下が基本となることが分かった。

この基本データを基に、付着藻類量 (Chl-a) 及び無機物量に対する流量及び濁度の影響に関する検討を行う。

(3) 付着藻類量と無機物量の動態把握モデルのイメージ

付着藻類量 (Chl-a) 及び無機物量の動態を把握するための計算モデルを構築し、図 2-5 のイメージのとおり、流量に応じた付着藻類量の変化、また平均濁度及び流量に応じた無機物量の残存量を明らかにするよう検討を進めていく。

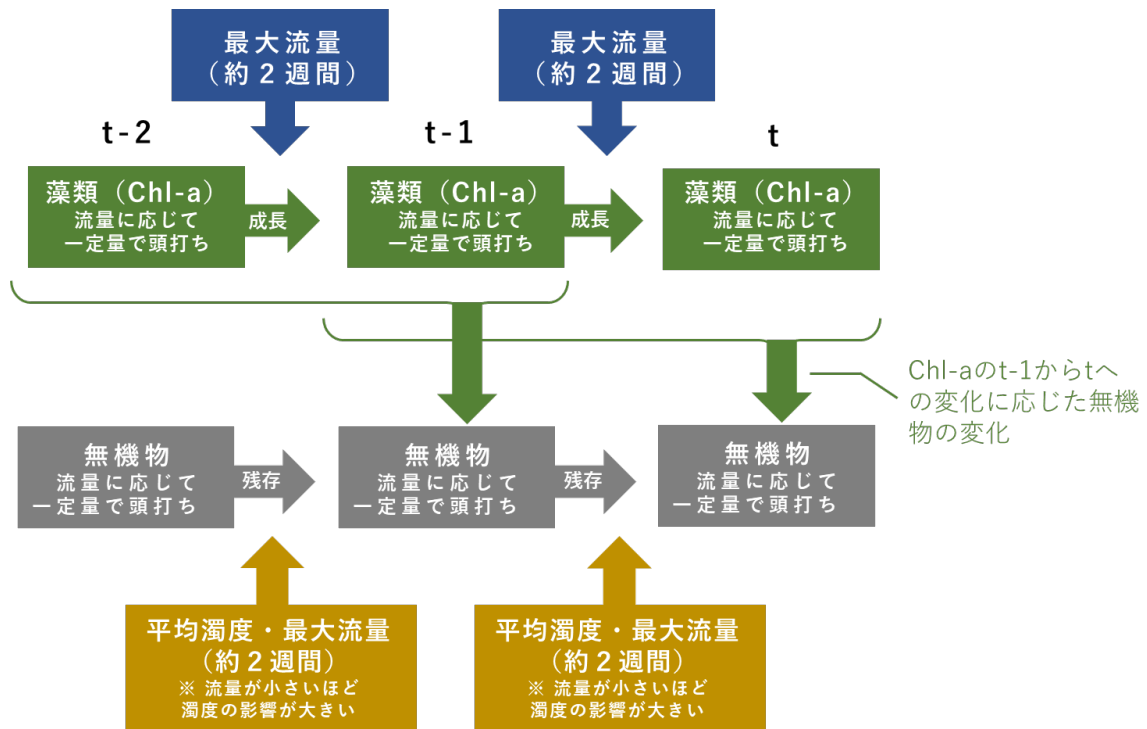


図 2-5 付着藻類量 (Chl-a) と無機物量の動態把握モデルイメージ図

(4) 今後の方針

計算モデルを構築し計算を進めるにあたっては、現況の平常時～洪水時～平常時の流量と濁度の変化を連続的に捉える必要がある。また、流水型ダム of 洪水調節に伴う流量と濁度の変化を予測した上で流水型ダムの影響を比較検討する必要があるため、濁度予測計算 (SS 動態予測計算：鉛直二次元モデル (ダム洪水調節地内) + 物質収支モデル (下流河川)) にて、低濃度時の予測の精度を向上させる必要がある。

令和 4 年度より、川辺川に濁度自動観測機器を 2 基 (柳瀬地点、大神橋地点) 設置し、濁度データの蓄積を行っているが、データ数がまだ少なく、洪水時には濁度計を設置して

いる保護箱内部に土砂が侵入したり機器が破損したりと課題があるため、信頼度の高いデータの蓄積に励む必要がある。今後、濁度自動観測機器による観測データおよび定期・高水採水による取得データを踏まえて、更に濁度予測計算モデルの精度向上に努め、ダム建設前（ダムなし）・ダム建設後（ダムあり）における流量に応じた付着藻類量（Ch1-a）の変化及び無機物量の残存量を、付着藻類量（Ch1-a）と無機物量の動態把握計算モデルにて予測・比較を行っていく。その予測結果を踏まえて、アユの餌資源へ影響を及ぼすかの検討を行っていくものとする。

2.3 薄濁りに関する実験（人工降雨装置）と予測計算等を用いた検討

(1) 検討経緯

準備レポートにおける水質一土砂による水の濁りに関する予測・評価は、専門家から助言を頂きながら科学的な検討を積み重ね、現時点での技術レベルによる解析技術にて予測・評価を行ったものである。ただし、これまでの流水型ダム環境保全対策検討委員会内の議論では、試験湛水終了後及び存在供用時の洪水調節終了後に、流路及び山腹・河畔等に堆積したシルト成分がその後の降雨時に河川に流出することによって濁り（いわゆる薄濁り）が発生する可能性があるとしている。既往流水型ダム（辰巳ダム）においても、令和4年に発生した洪水による洪水調節後にシルト成分が平場部や斜面部に堆積している現象を確認した。そのため、川辺川の流水型ダムにおいても同様に、試験湛水終了後及び存在供用時の洪水調節終了後にシルト成分がダム洪水調節地内に堆積する可能性があるため、対応策としては顕著に堆積する可能性がある平地部等において、その後の降雨によりシルト成分の河川への流出を抑制する排水路等を整備する、また堆積したシルト成分は撤去するなど適切に維持管理することとしている（準備レポート7.2.4 水質のとおり）。

また、洪水調節に伴いどの程度堆積する可能性があるかを、ダム洪水調節地水質予測計算（鉛直二次元モデル）にて算出することとしており、辰巳ダムの堆積実績を踏まえて斜面の傾斜角に応じてシルト成分等が堆積する条件を設定し、算出することとした。

さらに、川辺川のダム洪水調節地内に堆積したSS成分が、どの程度の降雨で、どの程度流出する可能性があるかを、川辺川の流水型ダムにおけるダム洪水調節地内斜面の土砂や、地形・地質が類似している近傍ダムの上椎葉ダムの貯水池内に堆積していたシルトを用いて、人工降雨装置により雨量強度とシルトなどの斜面からの流出量（単位面積・単位時間あたり）との関係を把握するための実験を行うこととした。

(2) 既往流水型ダム（辰巳ダム（石川県））の洪水調節後調査

令和4年8月4日に発生した洪水により、石川県金沢市にある辰巳ダム（流水型ダム）では洪水調節を行い、ダム洪水調節と河道掘削により下流河川の地点で約1.7m水位低減させ、計画高水位の超過を回避する治水効果があったと推定されている。その際、辰巳ダムはサーチャージ水位 EL. 132m に対し、最大貯水位 EL. 約 127m に到達した（図 2-6）。



図 2-6 既往流水型ダム（辰巳ダム）の平常時（左）と洪水調節時（右）の写真

洪水調節後、ダム洪水調節地内の堆積状況を確認（洪水から約8日後）したところ、洪水直後はダム洪水調節地内の下流部（ダム堤体直上）や中流部の平地部等で土砂堆積が確認された。しかし、上流部は貯水した箇所においても顕著な土砂堆積は見られなかった。また、洪水から約4か月後の令和4年12月に再度確認した結果、平地部等に堆積した箇所においても草本群落などの植生が繁茂している状況を確認した。（図2-7）



図2-7 既往流水型ダム（辰巳ダム）の洪水直後（左）と洪水から約4か月後（右）のダム洪水調節地内土砂堆積状況写真

洪水による濁質成分が一時的にダム洪水調節地内の平地部等に堆積し、その後時間の経過とともに植生が繁茂している状況は確認できたが、平地部等に堆積した土砂がその後の降雨で河川に流下し、濁りが発生したかは確認できていない。

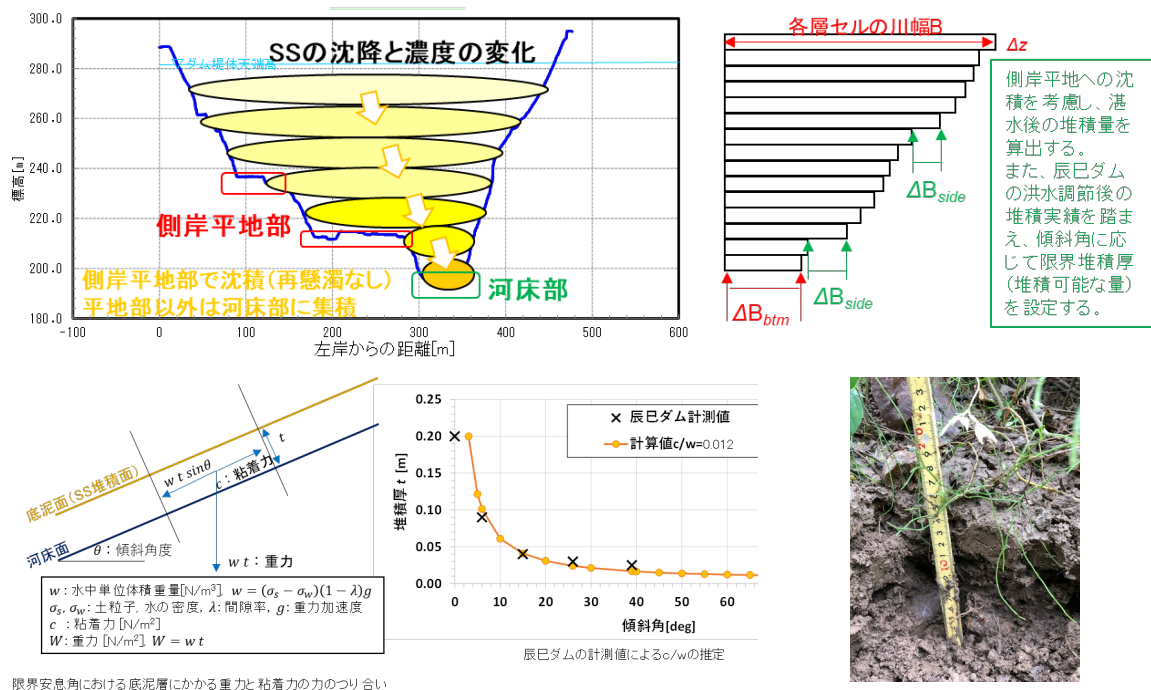
(3) 側岸部への堆積を考慮した計算条件設定

準備レポートでは、環境保全措置以外の事業者による取組みに、薄濁りへの対応にあたって、その後の降雨によりシルト成分が河川に流出しないよう、排水路の整備及び維持管理での堆積土砂撤去を行うことに加えて、冠水頻度を下げることでシルト成分の堆積を抑制させるための平場の嵩上げや形状を検討することを位置付けている。ただし、予測計算にて、現状の側岸部にはどの程度堆積するのかなどは明らかになっていない。

そのため、土砂による水の濁りの予測で使用しているSS動態予測モデルを用い、どの程度、ダム洪水調節地内にシルトなどSS成分が堆積するか予測計算を行うこととした。

ダム洪水調節地内のSS動態予測モデル（鉛直二次元モデル）について、今回、予測した計算条件は、ダム洪水調節地内の平地部や斜面部でのシルトなどSSの沈積・再懸濁は生じず、河床部まで沈降し集積する条件設定としている。この条件は、河床部に全てのシルトなどSSが集積すると下流河川への負荷量としては最も大きな値となることに着目し、下流への濁水放流について生じうる最大側の評価を行うことを目的として設定しているものである。

薄濁りの予測計算の精度向上のため、ダム洪水調節地内のSS動態予測モデル（鉛直二次元モデル）の向上を図っていくこととしている。それらの検討において、辰巳ダムの堆積実績を踏まえ、斜面の傾斜角度に応じてSS成分が堆積する条件を設定し、堆積厚を算出することとして検討を行っている（図2-8）。



限界安息角における底泥層にかかる重力と粘着力の力のつり合い

図 2-8 辰巳ダムの堆積実績を考慮した堆積条件設定

(左上：SS 沈降のイメージ図、右上：モデルの川幅イメージ)

(左下：傾斜角に応じた計算モデルイメージ、中下：傾斜角と堆積厚の条件、右下：堆積厚状況（他事例）)

(4) 人工降雨実験の概要、実験状況

川辺川の流水型ダムのダム洪水調節地内にシルト成分の堆積予測を行った後、そのシルト成分がどの程度の雨でどの程度流出するかを算定することになるそのため、人工降雨装置を用い、雨量強度とシルトなどの斜面からの流出量（単位面積・単位時間あたり）の関係を把握するための室内散水実験を行うこととした。

実験に使用する人工降雨装置は、設定した雨量を一定時間降らせることができ、最大時間雨量 30 mm の降雨を再現できるものである（図 2-9）。装置の下に図 2-10 のようにアクリルマスに土砂を敷き詰めた実験プロットを設置し、SS 成分の流出量を測定し、降雨量と SS 負荷量の関係式を作成する。



図 2-9 人工降雨装置と室内散水実験の概要事例

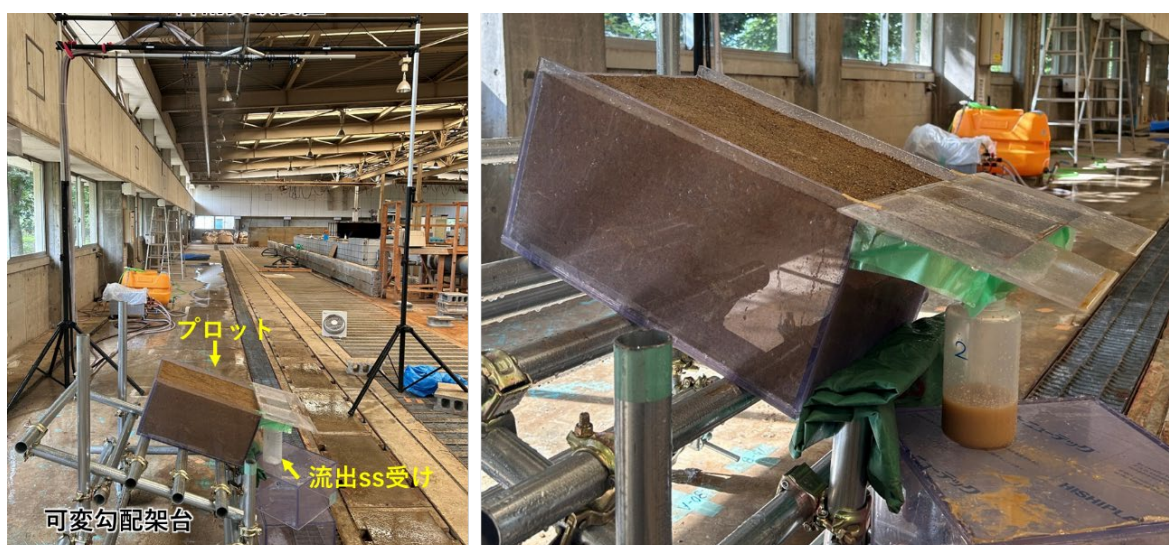


図 2-10 人工降雨装置による室内散水実験の状況

実験に使用する土砂については、川辺川の斜面部（裸地）で採取した試料（図 2-11）を使用することとした。また、洪水調節後にシルト成分が堆積したもの再現するために、川辺川上流域の地質条件が類似し、ダム規模や気象条件等も類似している近傍ダムの上椎葉ダムの貯水池の水面脇に堆積していたシルト成分の土砂を採取した試料（図 2-12）を使用することとした。川辺川の試料及び近傍類似ダムの上椎葉ダムで実際に堆積したシルト成分の試料を使用することで、実現象にあった実験結果が得られると想定している。なお、川辺川では、明確なシルト成分等の堆積箇所が確認できていない。



図 2-11 川辺川の斜面部（裸地）からの試料採取状況



図 2-12 近傍類似ダム（上椎葉ダム）での試料採取状況

室内散水実験は、アクリルマスに土砂を敷き均して人工降雨装置の下に配置する。配置する際は、勾配 1:3 とし、時間雨量 2 mm、5 mm、10 mm、20mm、30 mm を各ケース 2 時間程度降らせることとしている。まずは、川辺川の斜面（裸地）から採取した土砂のみで実験を行い、流出した懸濁物を確認した（図 2-13）。

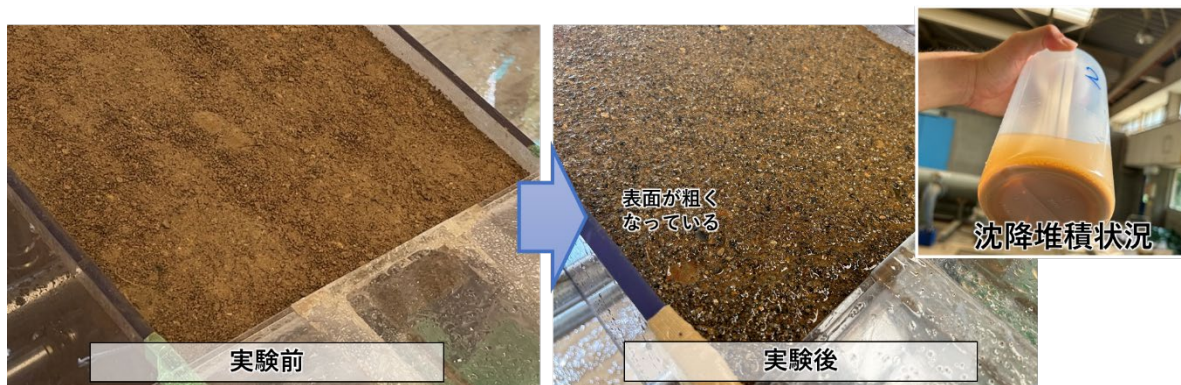


図 2-13 川辺川の斜面（裸地）から採取した土砂での予備実験状況

次に、川辺川の斜面（裸地）から採取した土砂を敷き均した表面に薄く（3 cm程度）、上椎葉ダムから採取したシルト成分の土砂を敷き均し、同様の実験を行うこととしている。実験を行った状況は、図 2-14 のとおりである。

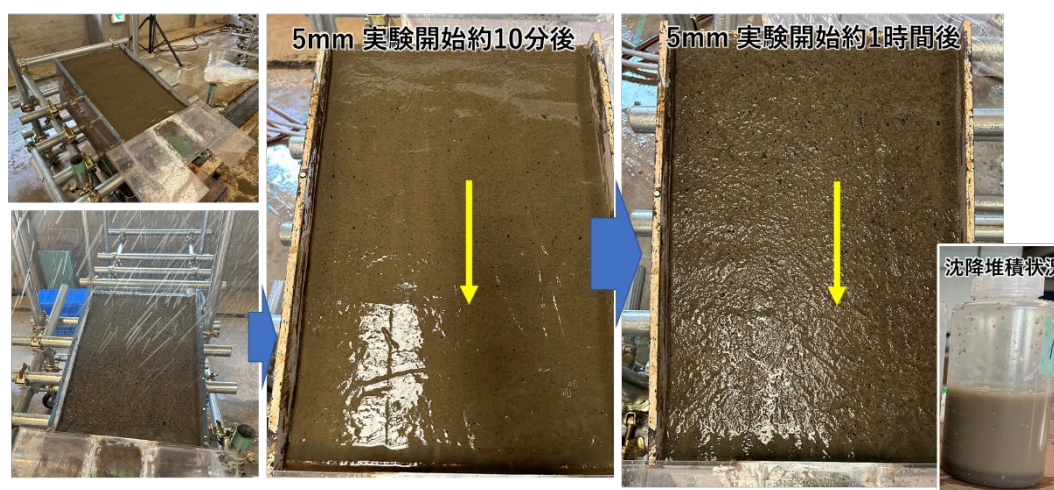


図 2-14 上椎葉ダムから採取したシルト成分の土砂での予備実験状況

(5) 今後の方針

人工降雨装置による室内散水実験は、今後、複数ケースを実施し、データを蓄積した上で、雨量強度と SS 負荷量の関係式を整理し、SS 動態予測モデル（鉛直二次元モデル）に条件として設定して計算を行うことを考えている。

また、実現象としてダム洪水調節地内に堆積したシルト成分がその後の降雨により河川に流出し、濁りが発生するかは確認できていない。そのため、既往流水型ダムである辰巳ダム、玉来ダムにて、ダム洪水調節地より上流、ダム洪水調節地内、ダム地点より下流に濁度計を設置し、実際の洪水調節後の降雨により濁りが発生するか計測を行うこととした。令和 5 年 8～9 月に設置（図 2-15）しており、今後の観測データを蓄積し、検討を進めていく。

また、ダム洪水調節地内に堆積した場合、時間の経過とともに植生が繁茂する可能性があり、その場合、降雨による河川への流出量が変わる可能性が既往文献によって報告されている。この植生の効果を考慮するため、既往文献から植被率と表土流出量との関係性等について整理し、うす濁りの予測に反映するための検討を進めていく。



図 2-15 辰巳ダム（左）、玉来ダム（右）の濁度計設置状況

2.4 水平透明度を用いた水質評価の試み

(1) 水平透明度調査

1) 調査経緯

準備レポートにおける水質評価においては、これまでの各水質項目の調査結果を基にデータ整理し、水質予測計算を行い、予測及び評価を行ったところである。今後、ダム建設前とダム建設後の水質の変化をより精度よく評価できるよう、新たな水質評価の試みとして、他の河川で調査が行われている事例がある「水平透明度調査」を行うこととした。環境影響評価後においても引き続き水平透明度調査・分析を行い、濁度、SS、クロロフィルと水平透明度との関係性を整理し、水質評価の新たな指標とすべく検討を行うこととしている。

これまで、定期採水による水質調査及び出水時による高水採水による水質調査は貯留型ダム時代から実施しているが、水平透明度調査は川辺川では実施したことがなかったため、調査実績がある渡川水系四万十川の調査方法や道具を参考に調査を行うこととした。

2) 調査目的

本調査は、濁度、SS、クロロフィル a、BOD と水平透明度との関連性を把握することを目的として、川辺川・球磨川の定期水質調査地点において、水平方向の透明度調査を実施するものである。

3) 調査地点

調査地点は図 2-16 に示すとおり、定期水質調査地点と同じ「元井谷」、「五木宮園」、「神屋敷」、「五木」、「四浦」、「柳瀬」、「一武」の7地点とする。

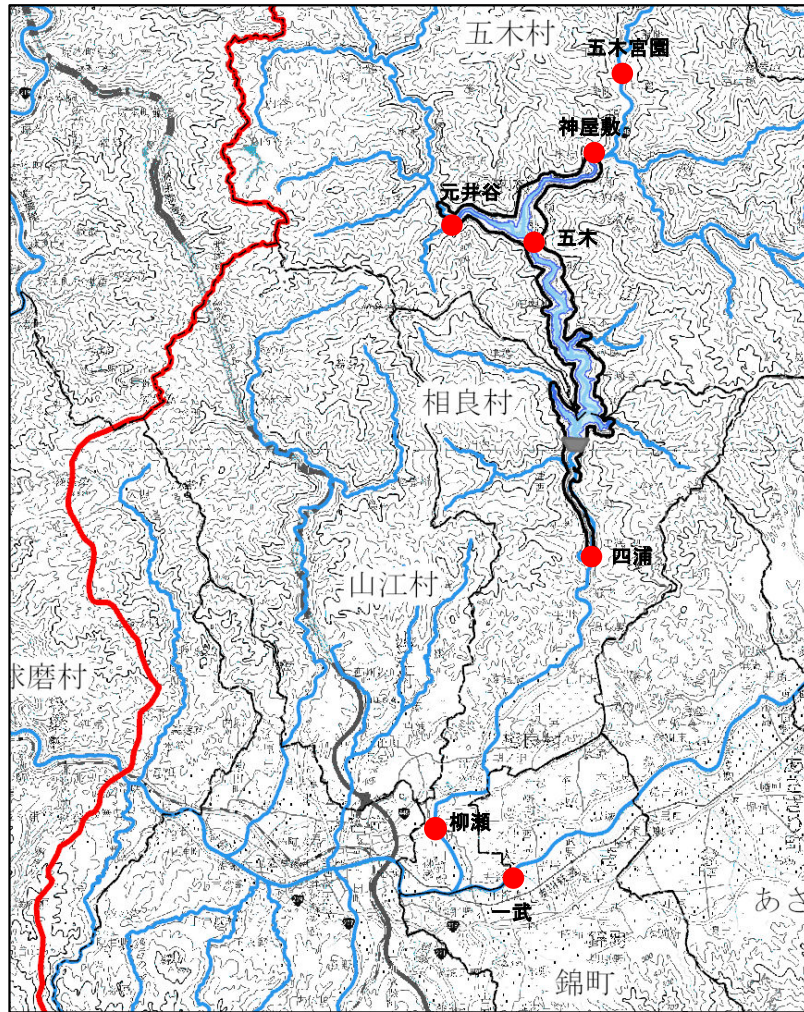


図 2-16 水平透明度調査位置

4) 調査方法

箱眼鏡内に鏡を設置して水平透明度計及び直径 20 cm のブラックディスクを使用し、河川の水平方向の透明度の計測を行う。調査日は、水質調査結果と関連性を整理できるよう定期水質調査日と同日に実施することとし、月に 1 回実施する。なお、調査頻度については、データの蓄積状況を踏まえ、今後見直す可能性がある。調査実施イメージと使用する道具は、図 2-17 に示すとおり。

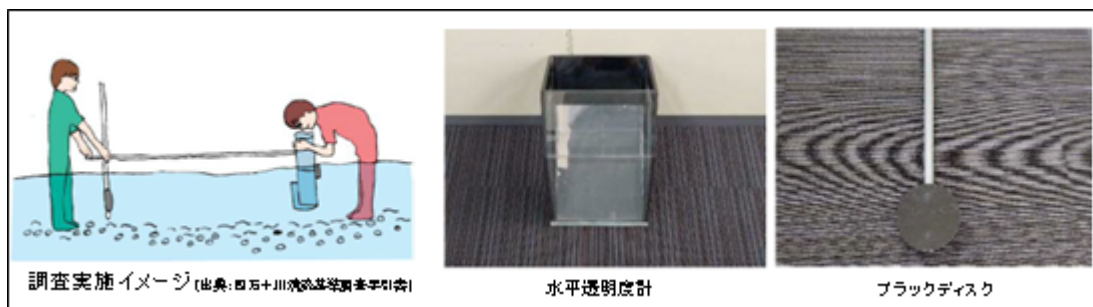
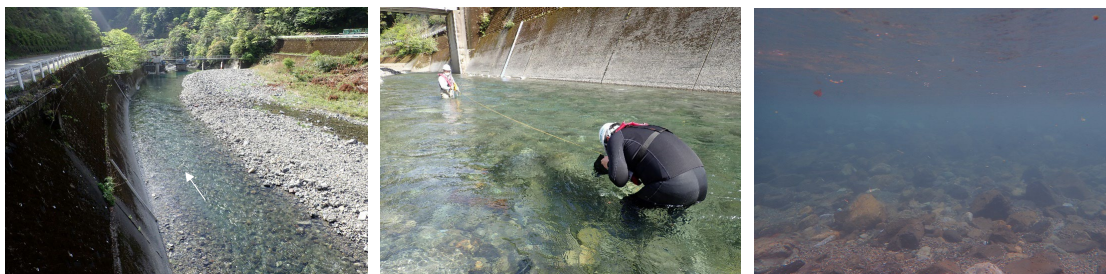


図 2-17 調査実施イメージ、調査道具

5) 調査結果（令和5年10月時点）

水平透明度調査は、令和5年4月より開始した。令和5年4月（調査日：令和5年4月20日、天候：晴れ）の調査状況を図2-18、図2-19に示す。

元井谷地点（五木小川）



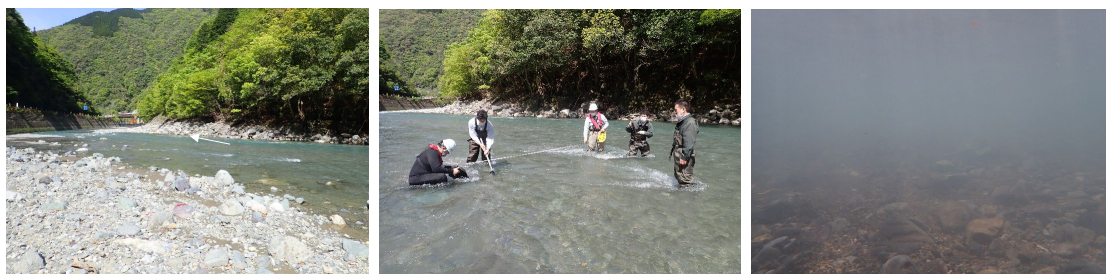
（水温：15.5℃、水深：0.65m、水平透明度調査結果：平均 6.61m）

五木宮園地点（川辺川）



（水温：16.5℃、水深：0.52m、水平透明度調査結果：平均 2.12m）

神屋敷地点（川辺川）



（水温：16.5℃、水深：0.41m、水平透明度調査結果：平均 1.66m）

五木地点（川辺川）



（水温：16.5℃、水深：0.85m、水平透明度調査結果：平均 1.59m）

図2-18 水平透明度調査実施状況（ダムサイトより上流部）

四浦地点（川辺川）



（水温：16.5℃、水深：0.55m、水平透明度調査結果：平均 2.35m）

柳瀬地点（川辺川）



（水温：16.5℃、水深：0.48m、水平透明度調査結果：平均 1.75m）

一武地点（球磨川）



（水温：17.5℃、水深：0.52m、水平透明度調査結果：平均 0.50m）

図 2-19 水平透明度調査実施状況（ダムサイトより下流部）

令和 5 年 4 月～9 月までの水平透明度調査結果と、水質（濁度、SS、クロロフィル a、BOD）との相関図を図 2-20～図 2-23 に示す。なお、相関データ整理方法については、今後、データ数が増えた段階で再度検討を行う。

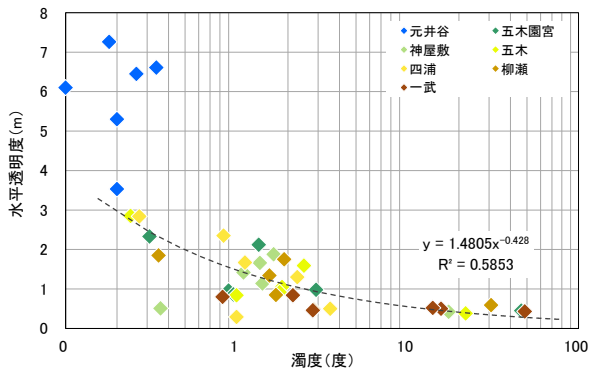


図 2-20 濁度—水平透明度相関図

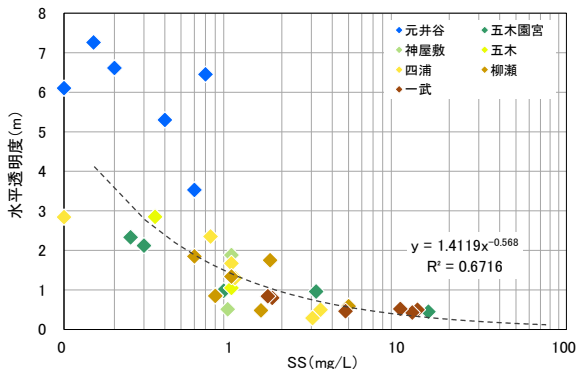


図 2-21 SS—水平透明度相関図

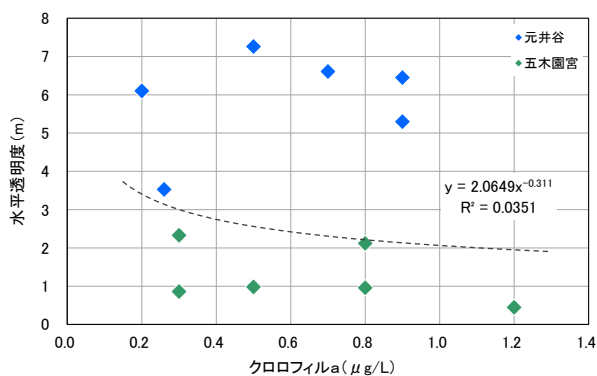


図 2-22 Chl-a—水平透明度相関図

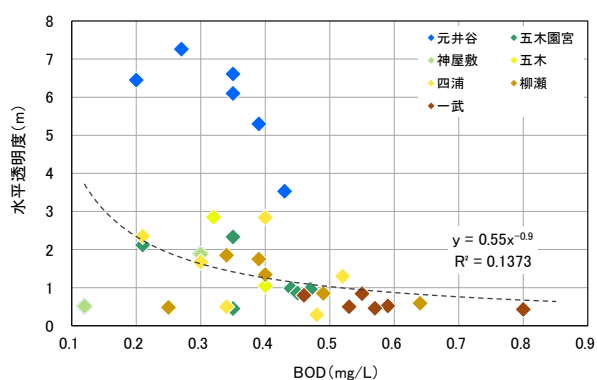


図 2-23 BOD—水平透明度相関図

(2) 今後の方針案

水平透明度調査は、令和 5 年 4 月から調査開始したばかりでデータ数が乏しいため、今後、データ取得に努め、水質調査結果との相関データを整理し、流水型ダム建設前の現況の状態を把握する。ダム建設中及び存在供用後においてもモニタリング調査として引き続き水平透明度調査を実施し、比較整理することにより、流水型ダムの影響を評価していくこととする。

第3章 河床の物理環境に関する更なる検討

3.1 礫河床上への砂堆積による物理環境変化

礫を主材料とする自然河川では、ある規模以上の洪水時に、礫は河床付近を転がるように、また砂は水中に浮遊して流送される。これに伴い河床面に砂礫が堆積または侵食されるため、河道の形状や河床面の材料（粒度分布）が変化する（図 3-1 上段）。

流水型ダムを設置した河道の場合、平常時及びある一定規模以下の洪水時には洪水調節を行わないため、上記の自然河川と同様であるが、一定規模を超える洪水時には洪水調節のため一時的に洪水流を貯水するので、その間に砂礫の多くがダム洪水調節地内に留まる。その後、ダムで貯水した水を放流する過程において、貯水位の低下に伴って河道に流れが戻り、ダム洪水調節地内に留まっていた砂礫が流送されるが、一部ダム上流に残る可能性がある。

このように自然河川と比較して水や砂礫の流れが変化するため、ダム上流のダム洪水調節地からダム下流までのある一定区間において、河道形状や河床材料に明確な変化が生じる可能性がある（図 3-1 下段）。変化の一例として、ダム上流ではダム洪水調節地に堆積した砂の一部が残ること、ダム下流では放流過程では自然河川の場合より砂が多く供給されることによって、礫河床面が砂で覆われるまたは礫の隙間に砂が充填されるなどの砂堆積現象が挙げられる。

このような流水型ダムに特徴的な砂堆積現象の発生の有無や程度について、河床変動解析モデルを用いて予測を行っている。

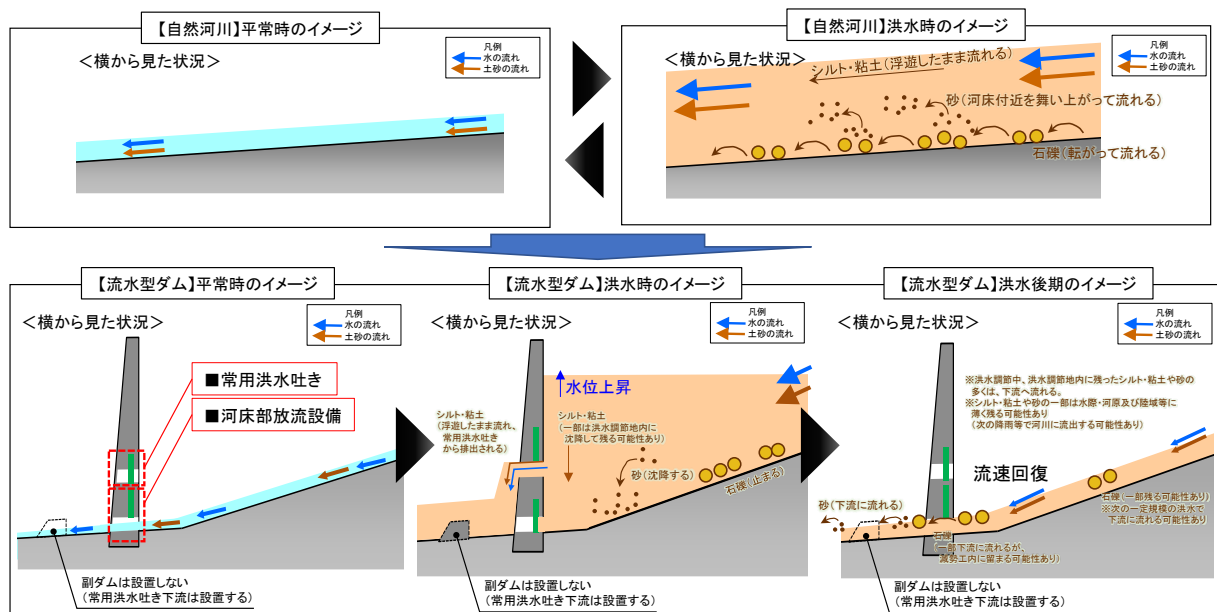


図 3-1 自然河川（上段）及び流水型ダム（下段）における水と土砂の流れ（イメージ）

(1) 河床変動解析モデルの概要

本準備レポートで使用している河床変動解析は、実務で広く用いられている混合粒径モデル（以下、汎用モデル）を使用している。

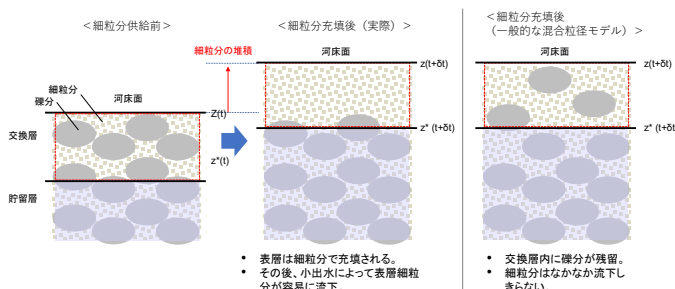
汎用モデルにおいて、河床面（正確には河床表層）の粒度分布変化は、平野の交換層モデルによって算定される。交換層モデルとは、河床表層（交換層）内のある一定量の砂礫が河床面から流出し、また同時に流送されてきた砂礫のうちのある一定量が河床面に堆積し河床表層に流入する、というように河床表層内の砂礫が「交換」される現象に着目し、この交換過程において河床表層内の砂礫が均等に混ざり合うことを想定したモデルである（以下、こうした過程を active な交換と呼ぶ）。

しかし、図 3-2 に示すように、河床面の礫が移動されず砂のみが流送されてきて河床面に堆積する状況下においては、移動しない、すなわち河床表層から流出せずその位置に留まる礫は「交換」されず、そのため堆積する砂と礫が層内で均等に混ざり合うことがない。砂堆積の初期は停止している礫同士の隙間に砂が充填され、その後は砂が礫を覆い隠すように上下 2 層に砂礫が分離して堆積が進行していく（以下、こうした過程を semi-active な交換と呼ぶ）。

このような現象は、以下の状況において生じると想定される。

- ・ダム上流部：洪水調節時に貯水位の上昇に伴って急激に流速が低減し、浮遊砂の沈降が生じる場合
- ・ダム下流部：ダム上流部の河床表面に堆積した砂が、洪水末期に河床部放流設備から排出される場合

しかし、平野モデルでは semi-active な交換の機構が考慮されていないため、河床上昇時に停止している礫があたかも「交換」されているように、具体には交換層内の砂礫を均質に混ぜ合わせてしまうので、2層分離の上層の砂中にあたかも礫が「浮き上がる」ように扱われてしまう。その結果、河床面が完全に砂で覆われるまでに実際より多くの時間（かつ砂の堆積量）を要することになると考えられる。更に、堆積した砂が流送されて河床低下が生じる局面に転じた場合においても、交換層に礫が多く含まれているため、完全に砂が流送されるまでにより多くの時間を要することも考えられる。



細粒分充填過程における交換層内の粒度変化のイメージ

細粒分のみが選択的に流下し堆積する局面：

- ・ 移動限界粒径以上の粒子は交換に寄与しない
- ・ 細粒分（移動材）が礫（停止材）の上に堆積 → semi-active な交換

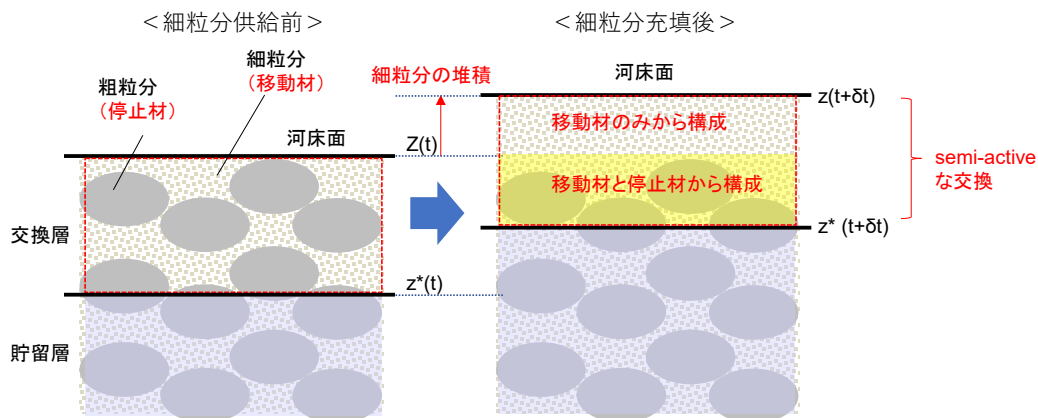
上記局面における平野モデルの課題

- ・ 停止材の「浮かび上がり（交換層内に平均的に分布）」
- ・ 表層が完全に細粒分で覆われるまでに実際より多くの時間（かつ細粒分の堆積量）を要することになる。

図 3-2 平野モデルによる粒度分布変化算定の課題

そこで、平野モデルをベースとして、semi-active な交換となる条件下における礫床への砂（移動材）の堆積過程をより合理的に扱えるように改良を試みた¹⁾。そのモデル（以下、改良境界層モデルと呼ぶ）の基本的考え方を図 3-3 に示す。河床面に砂が堆積していく過程で、その下（交換層下部）には移動せず停止している礫（停止材）がその粒度分布を保ったまま存在すると考える。そのため、河床上昇に伴い交換層内から貯留層へ受け渡される停止材の粒度分布として、交換層下部の値を用いることとした。

交換層下部の粒度分布は、掃流力低下に伴い移動限界粒径が減少していく過程で河床面（交換層）の構成材料の一部が移動しなくなるが、その状況に達したちょうどその時点での移動しない一部材料（移動限界粒径以上の河床材成分）を停止材と見做し、その粒度分布として与えるものとした。また、掃流力が増加し、交換層内の全粒径が移動限界粒径以下となる（移動材となる）場合には、交換層内で平均した粒度分布を与えるものとした（平野モデルと同じ）。



- 交換層下端の粒度分布に、停止材料を考慮（初期河床における移動限界粒径以上の粒度構成比率を記憶させておく）
- 細粒分堆積時に、停止材を切り離していくことで、細粒分が礫の上に堆積する「semi-activeな交換」を表現

図 3-3 改良交換層モデルのイメージ図

細粒分が礫床河川に供給されて河床が細粒化し、その後無供給となって細粒化が解消されていく状況を想定したモデル河川での河床変動を、汎用モデルと改良交換層モデルによって試算し、細粒分流下特性の違いの観点から比較した。

モデル河川として、長さ 20km、幅 30m、勾配 1/250、また平均粒径、最大粒径はそれぞれ 200mm、500mm、砂分含有率は 8%の砂～石分までの広い粒度分布をもつように設定した（図 3-4）。通水流量を 200m³/s とし、移動限界粒径が概ね 75mm となるように粗度係数を調整した。交換層厚は 0.5m とした。細粒化の過程では、上流端から細砂を 6 時間供給した。その後の細砂流出過程では、土砂を供給せずに清水のみを通水した。なお、細砂供給量は、河床全面が細砂で構成されたときの平衡掃砂量および浮遊砂量とした。

図 3-5、3-6 に、各モデルを適用した場合の河床変動高と交換層内の粒度構成比率の縦断変化を示す。供給した細砂が堆積し、徐々に下流へと流送されていく中で、交換層が細粒化されていく過程が確認できる。細粒化した範囲が下流に広がる速度、および細粒化した範囲が元の礫床に概ね回復する速度は、平野モデルよりも改良交換層モデルの方が速いことが確認できる。

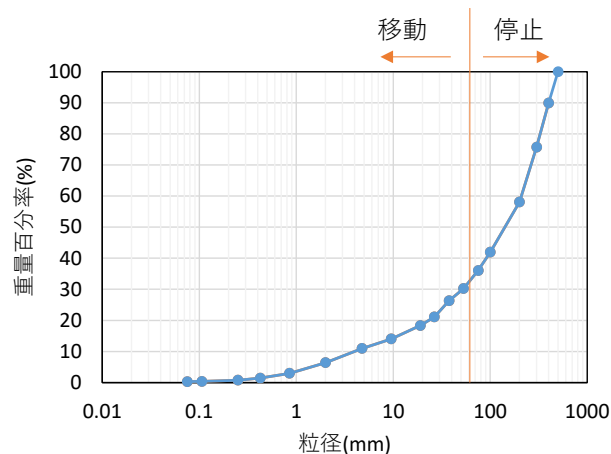
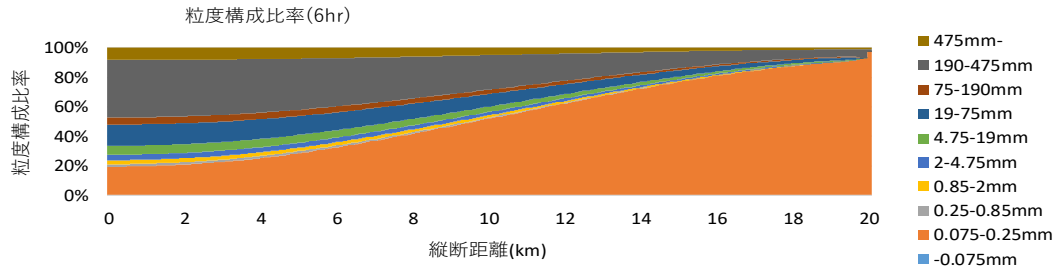
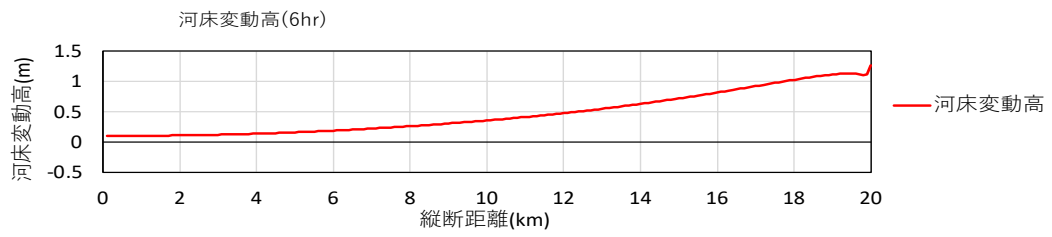
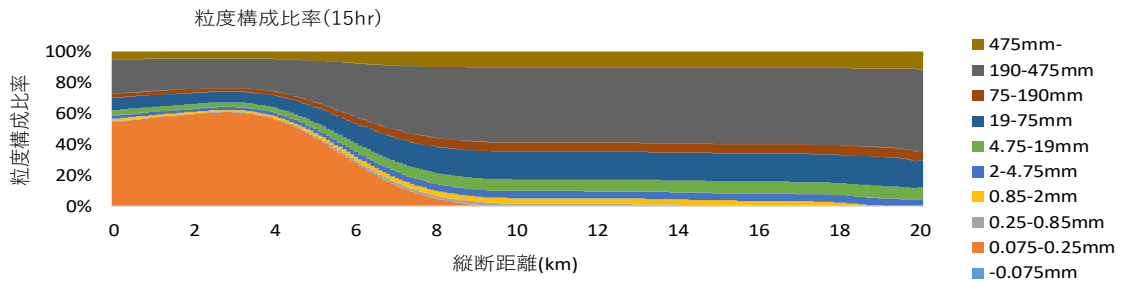
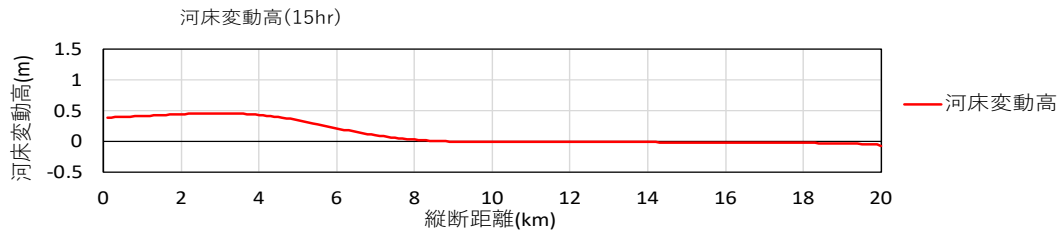


図 3-4 設定した粒度分布

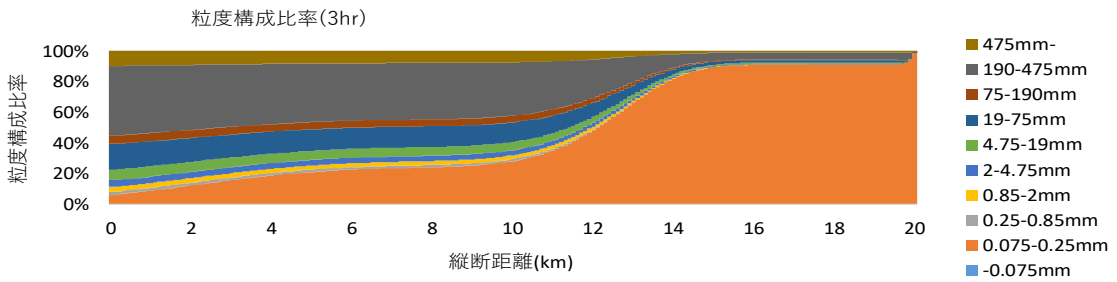
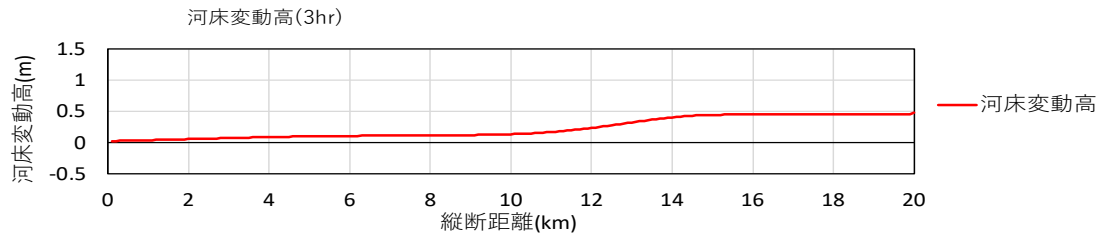


(a) 細粒化過程 (6hr 後)

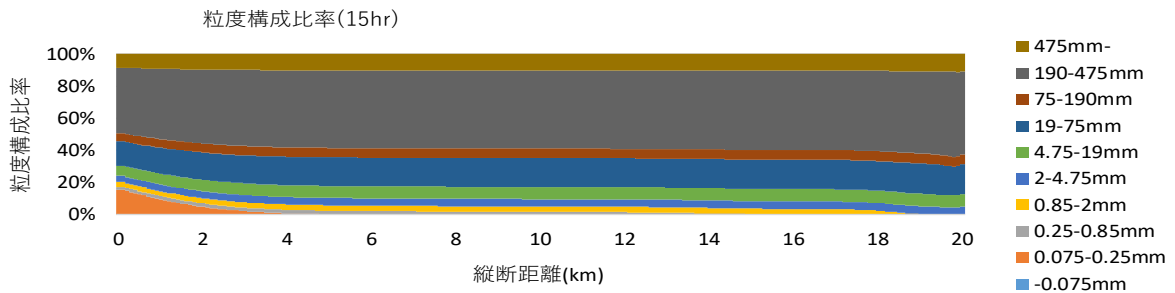
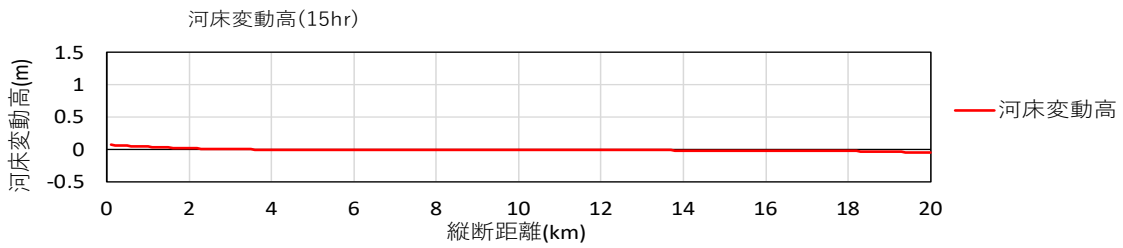


(b) 細粒分流出過程 (15hr 後)

図 3-5 河床変動高と粒度構成比率の試算結果 (汎用モデル)



(a) 細粒化過程 (6hr 後)



(b) 細粒分流出過程 (15hr 後)

図 3-6 河床変動高と粒度構成比率の試算結果 (改良交換層モデル)

(2) 川辺川への適用結果

改良交換層モデルを、川辺川の一次元河床変動計算に適用し、汎用モデルを適用した場合との解析結果の比較を行った。対象波形は、上流域からの砂分の供給が多く、洪水末期に河床部放流設備が開かれる際にダムからの砂流下が顕著となる S57.7 洪水型とした(図 3-7)。交換層の厚さは 0.5m としている。

両モデルの解析結果に顕著な差はなく、いずれもダム下流部では河床材料の砂含有率が増加するものの、河床の礫面を覆うことに相当する状況(交換層がすべて砂となる状況)は見られなかったが、ダム上流部では一部区間において砂含有率がかなり大きくなる状況が見られた。

以下では、解析結果に見られるダム上流、下流の土砂動態の特徴をそれぞれ整理するとともに、両モデルによる計算結果の差異と、差が顕著とならなかった考察についてまとめて示す。

【ダム上流】

図 3-8、3-9 に汎用モデル、改良交換層モデルを用いた場合のダム下流の河床変動高と粒度構成比率(粒度分布図を代表粒径ごとの含有率として棒グラフに表記を換えた図)の時系列変化を示す。時系列変化の各時点 1~6 は、図 3-7(a)の流量ハイドログラフに記した時点と対応している。

図 3-8 の汎用モデルでは、洪水調節時の貯水位上昇に伴う浮遊砂沈降によって、全体的に砂の含有率(細砂、中砂の総構成比率)が増加するが、特に時点 2 から時点 4 にかけて河床変動高が 1m 以上増加する 30~31k 付近では、顕著な砂堆積が生じる。洪水調節が終了して約 1 日後の時点 6 では、図 3-7(d)に示した時点 0 の粒度構成比率と比較すると中砂の比率が増加していることから、この時点ではなお一部が流送されきらずに残存する。一方、細砂は概ね全量が流送される。

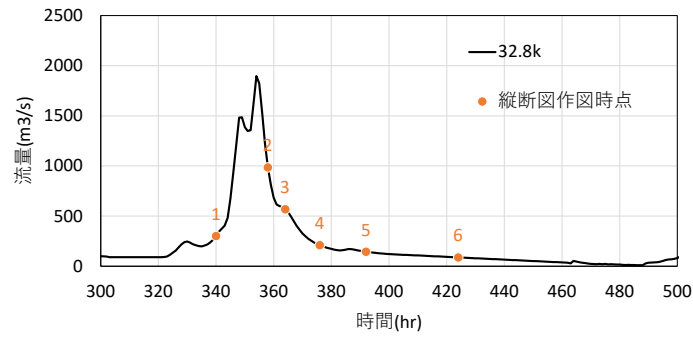
図 3-9 の改良交換層モデルも上記(平野モデル)と同じ傾向であり、大差は見られないが、時点 5 における 26.2k 付近での礫の含有率(粗礫以上の総構成比率)に着目すると、改良交換層モデルのほうが小さめとなる傾向が見られる。この傾向について時系列変化をより詳細に追って理解するため、26.2k における河床変動高、粒径(平均、移動限界)、粒度構成比率の時系列変化について、汎用モデルと改良交換層モデルの比較を行った。

図 3-10 に汎用モデルによる時系列変化を示す。ダム地点で貯水位上昇が開始する 340 時間(時点 1)から 355 時間までの期間で見ると、350 時間までは流量増加の影響で移動限界粒径は 200mm まで増大する。その後の貯水位上昇の継続により 26.2k 地点が湛水する 350~390 時間は、湛水の影響によって最小で 0.1mm 程度まで減少する。以上の時間帯で砂含有率は 20%程度まで増加する。洪水調節が終了となる 390 時間付近(時点 5)では、移動限界粒径は 40mm 程度まで増加し、31k 付近に厚く堆積していた砂が流送される(図

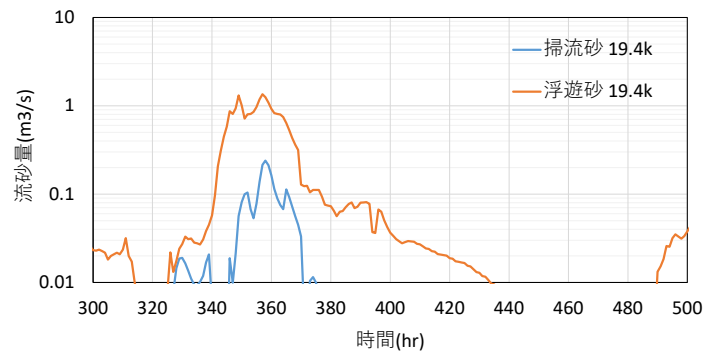
3-8)。この砂が 26.2k を通過する際に一時的に河床変動高が 1m 程度まで急増し、砂含有率も同時に増加している。

図 3-11 に示す改良交換層モデルも上記特徴は同じである。しかし、時点 5 付近の一時的な河床変動高急増のピーク時点に着目すると、移動限界粒径 30mm よりも大きい粒径集団（粗礫（38mm）以上）が汎用モデルに比べて改良交換層モデルでは含有率が減少しており、ほぼゼロとなっている。この差異は、汎用モデルの「停止材の浮き上がり」を改良交換層モデルによって改善できたことを示している。

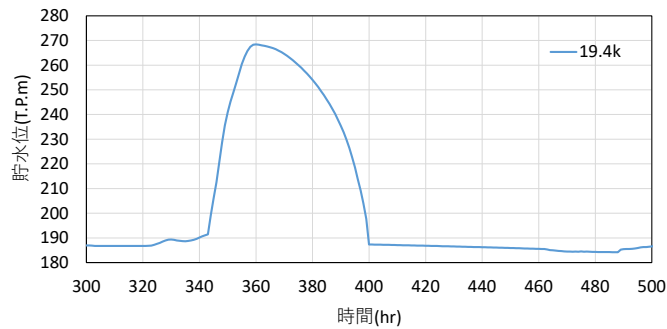
ただし、今回の解析結果では、上記したように砂の堆積・流送過程に有意な差は確認されなかった。これは、貯水位上昇に伴う堆積進行時（340 時間（時点 1）から 355 時間）および洪水調節が終了となる時点以降（時点 5 以降）では、移動限界粒径が 30mm 程度であり、砂とともに細礫・中礫も流送されること、そのため「浮き上がり」が生じる停止材（粗礫以上）の含有率が 40%程度と少ないことが要因と考えられる。



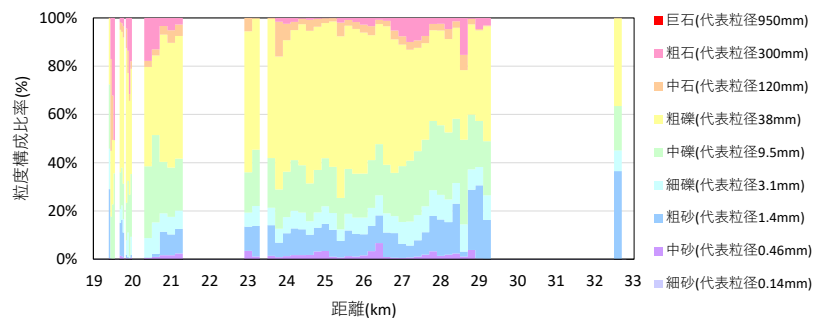
(a) 32.8k 地点の流量の時間変化



(b) 32.8k 地点の流砂量の時間変化



(c) 貯水位 (19.4k 地点) の時間変化



(d) 時点 0(0hr) の粒度構成比率

図 3-7 32.8k 地点の流量、流砂量、貯水位の時間変化 (S57.7 洪水型)、および時点 0 の粒度構成比率

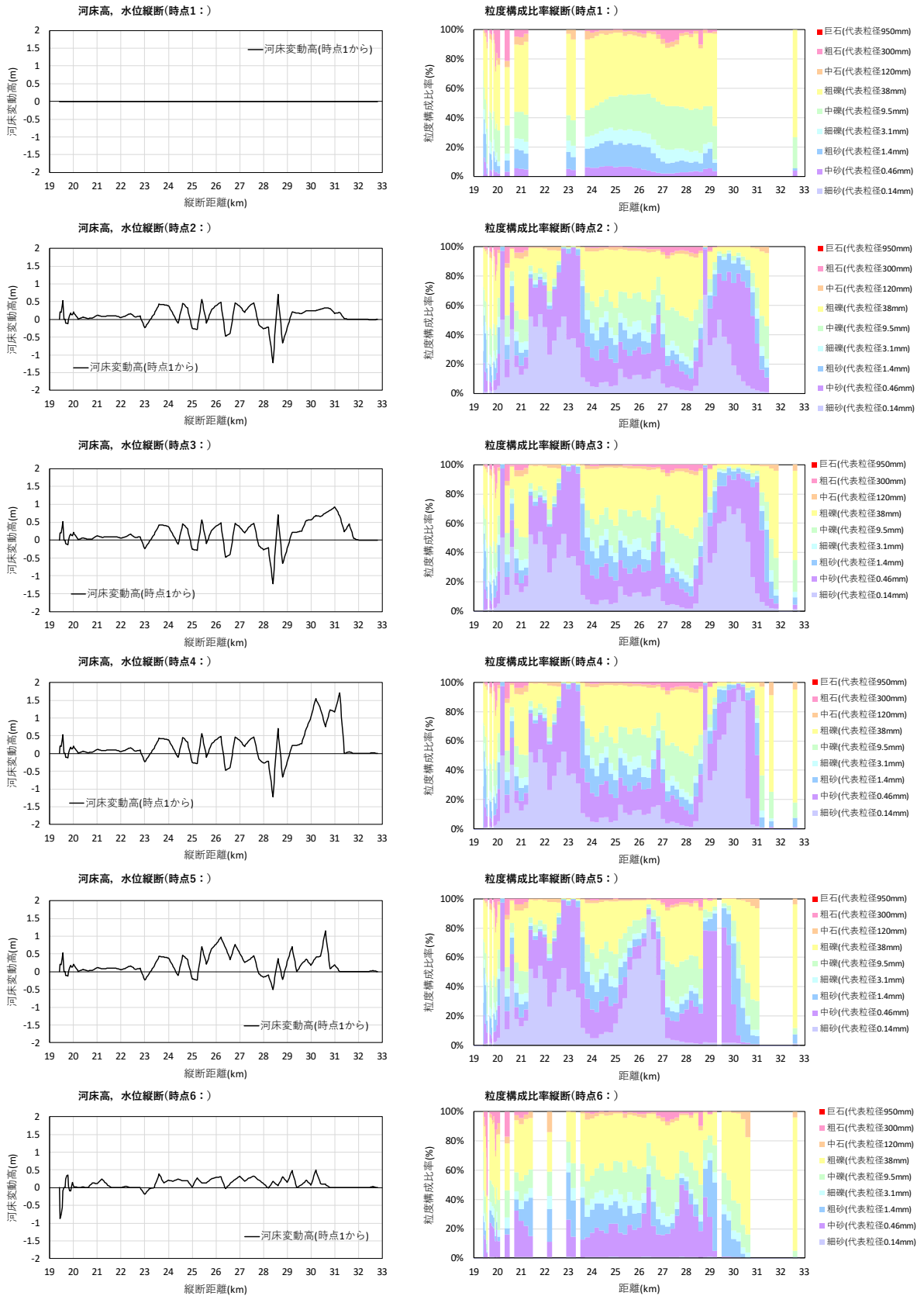


図 3-8 河床変動高 (左)、粒度構成比率 (右) の時系列変化 (平野モデル)

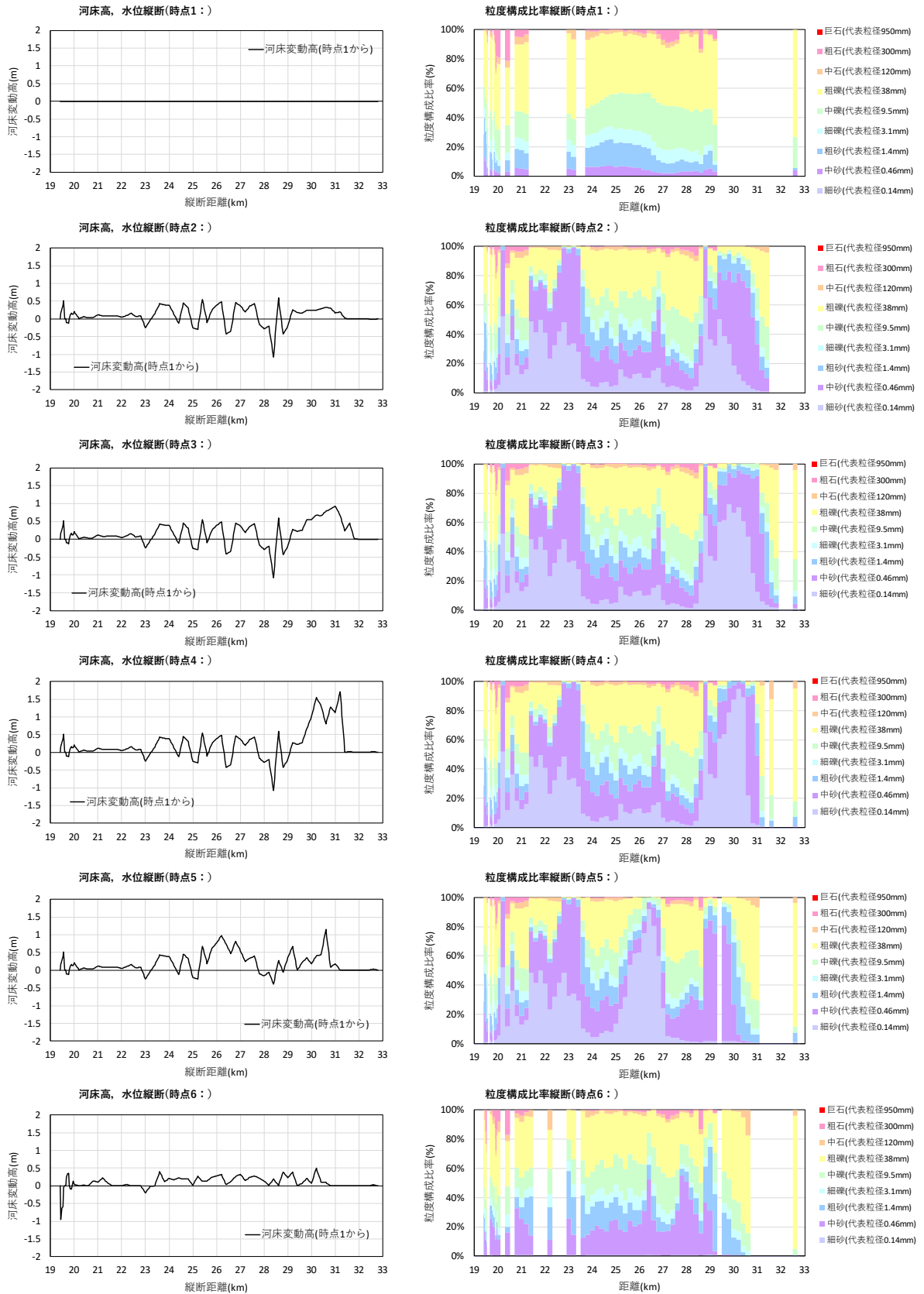


図 3-9 河床変動高（左）、粒度構成比率（右）の時系列変化（改良交換層モデル）

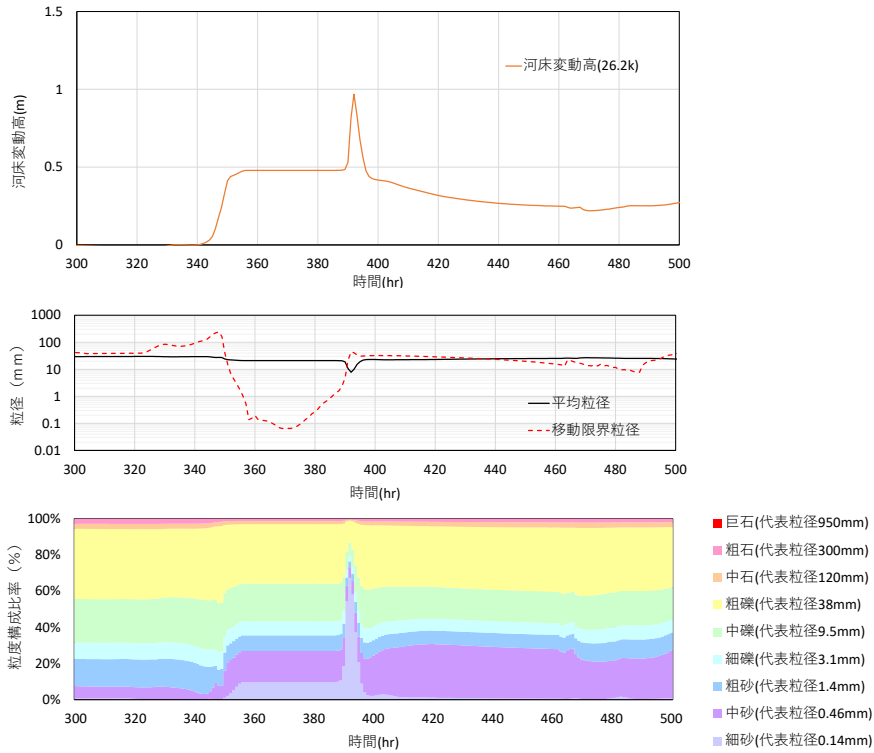


図 3-10 26. 2k の河床変動高（上）、粒径（中）、粒度構成比率（下）の時系列変化（平野モデル）

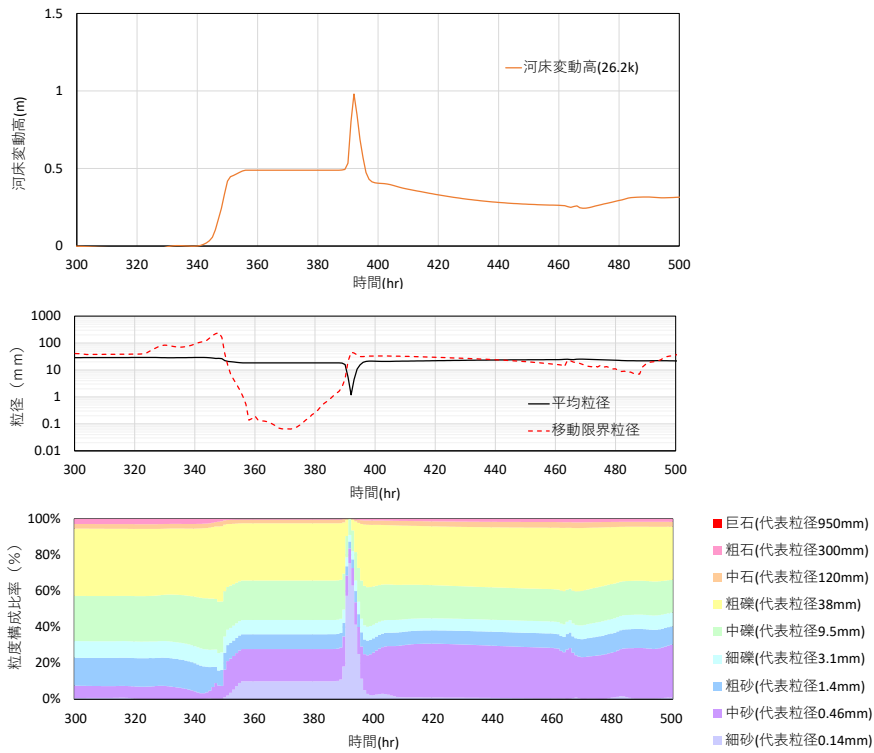


図 3-11 26. 2k の河床変動高（上）、粒径（中）、粒度構成比率（下）の時系列変化（改良交換層モデル）

【ダム下流】

図 3-13、3-14 に汎用モデル、改良交換層モデルを用いた場合のダム下流の河床変動高、粒度構成比率の時系列変化を示す。時系列変化の各時点 1～6 は、図 3-12 の流量ハイドログラフに記した時点と対応している。時点 2 で洪水調節が終了し、河床部放流設備のゲートが開くため、流砂量が急激に大きくなっているが、これを構成する主材料は細砂、中砂である。

図 3-13 の汎用モデルでは、時点 1 から 5 にかけて、流量が徐々に小さくなる中で、細砂（図 3-13 の薄紫色）は時点 2 で含有率が最大 20%程度まで増加する区間（13～17k）が形成され、この区間（図 3-13 に両矢印を付した砂区間）が徐々に下流に流送される様子が見られる。この区間では一時的に 0.2～0.5m 程度河床が上昇している。

図 3-14 の改良交換層モデルでは、上記の汎用モデルを用いた場合とほぼ変わらない結果となった。なお、先に示した礫が停止材となる水理条件での試算結果によると、砂含有率の大きな区間が下流に流送される速度は、汎用モデルに比べて改良交換層モデルが速くなる解析結果を得た。これは、図 3-2、3-3 の機構に基づくと、「浮き上がり」が生じないと河床面の礫含有率が小さくなり、砂の流送量が大きくなるためと説明できる。図 3-13、3-14 は試算とは異なる解析結果となった理由を理解するため、改良交換層モデルの解析結果より、各時点の平均粒径と移動限界粒径、および交換層内の構成材を移動限界未満の粒径として算定される移動材とそれ以上の粒径である停止材に区分してそれら構成比率を求めた結果を図 3-15 のように整理した。

図 3-15 左に示した移動限界粒径（赤破線）は、時点 3 以降において両矢印で示した砂区間において、平均粒径より大きく、また移動限界粒径が概ね 30mm 以上となり、移動材は砂に加えて細礫・中礫まで含まれる結果となった。そのため、図 3-15 右に示した交換層内の移動材・停止材の構成比率は、停止材が概ね 40%以下となり、「浮き上がり」が生じる停止材が少ない（試算では 70%程度）。それに加えて、砂区間のほとんどの箇所では堆積厚（河床変動量）が 0.2～0.3m 程度と交換層厚（0.5m）以下であったため（試算では 0.5m 程度）、改良交換層モデルで「浮き上がり」を回避しても、図 3-13、3-14 に示したように汎用モデルと粒径構成比率に顕著な差が生じなかったことが要因と考えられる。

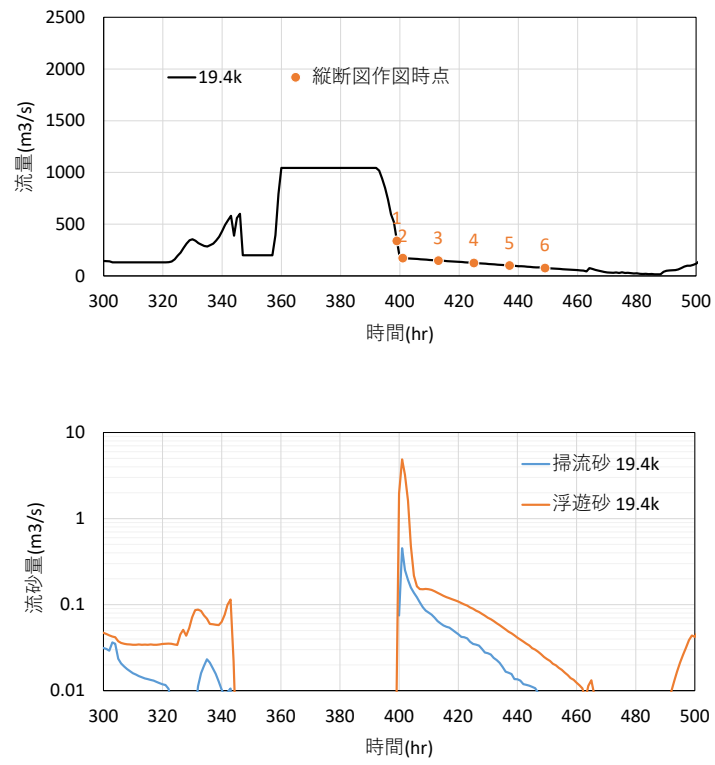


図 3-12 ダム地点の流量（上）と流砂量（下）の時間変化（S57.7 洪水型）

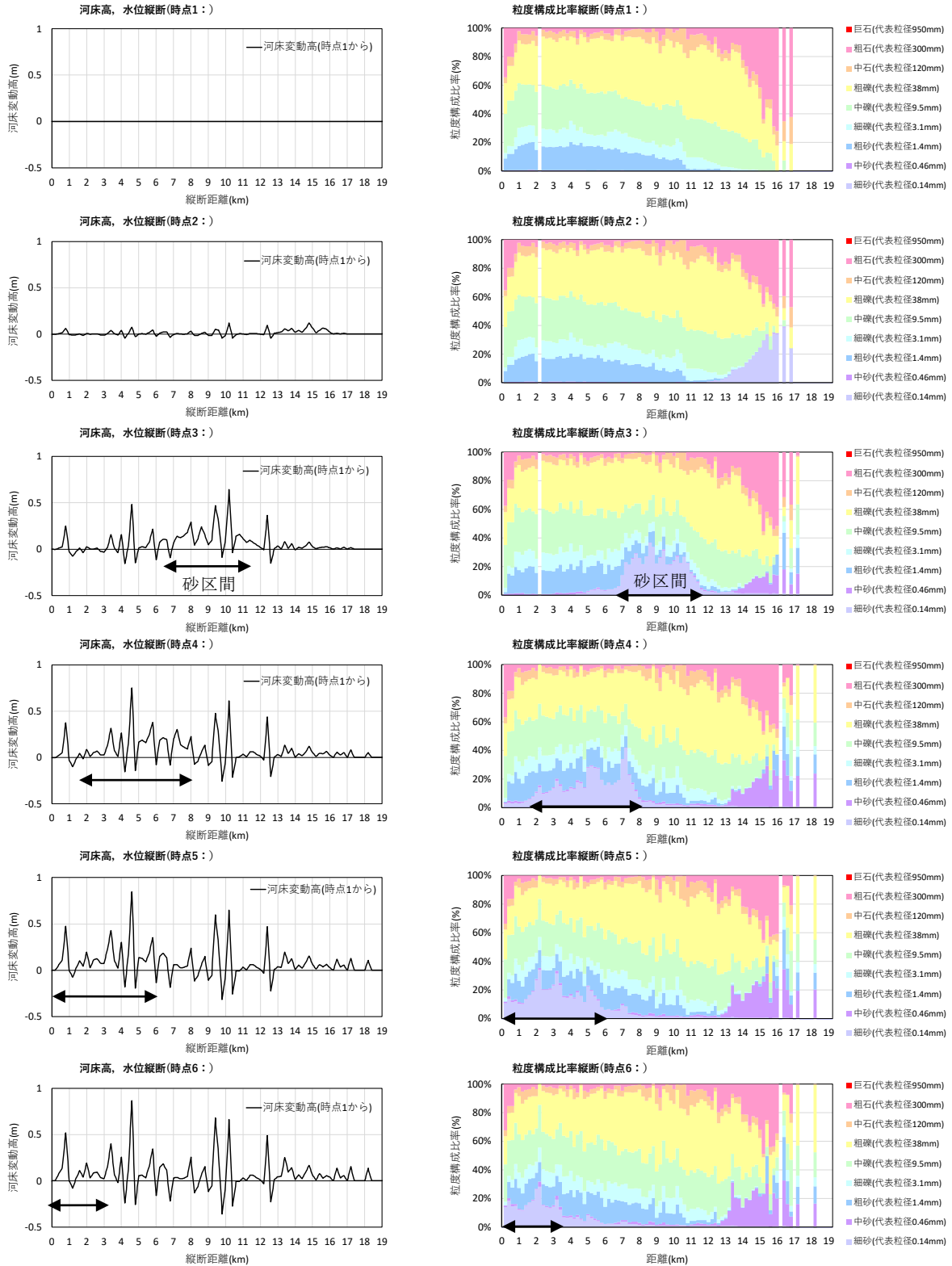


図 3-13 河床変動高 (左)、粒度構成比率 (右) の時系列変化 (平野モデル)

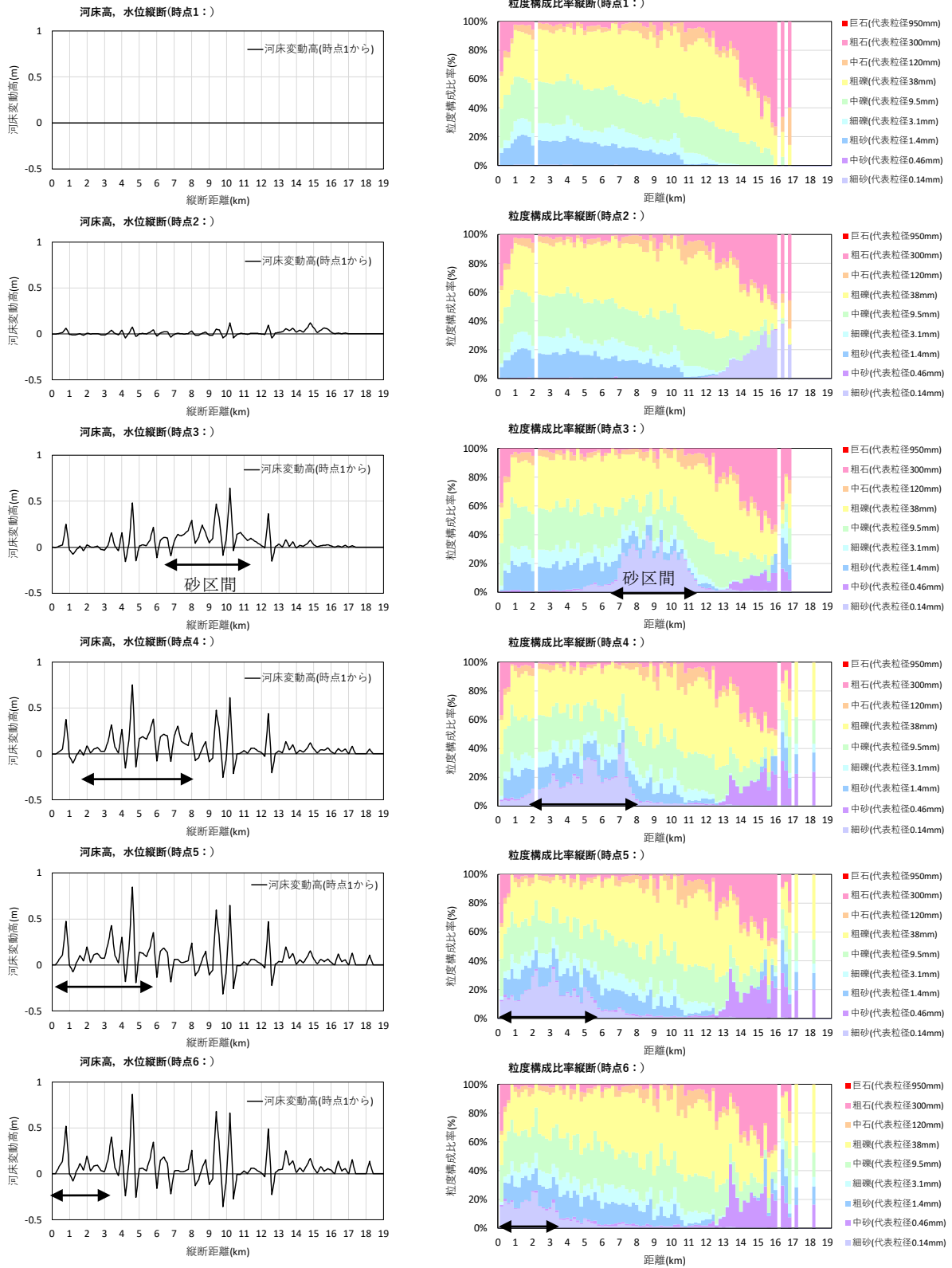


図 3-14 河床変動高（左）、粒度構成比率（右）の時系列変化（改良交換層モデル）

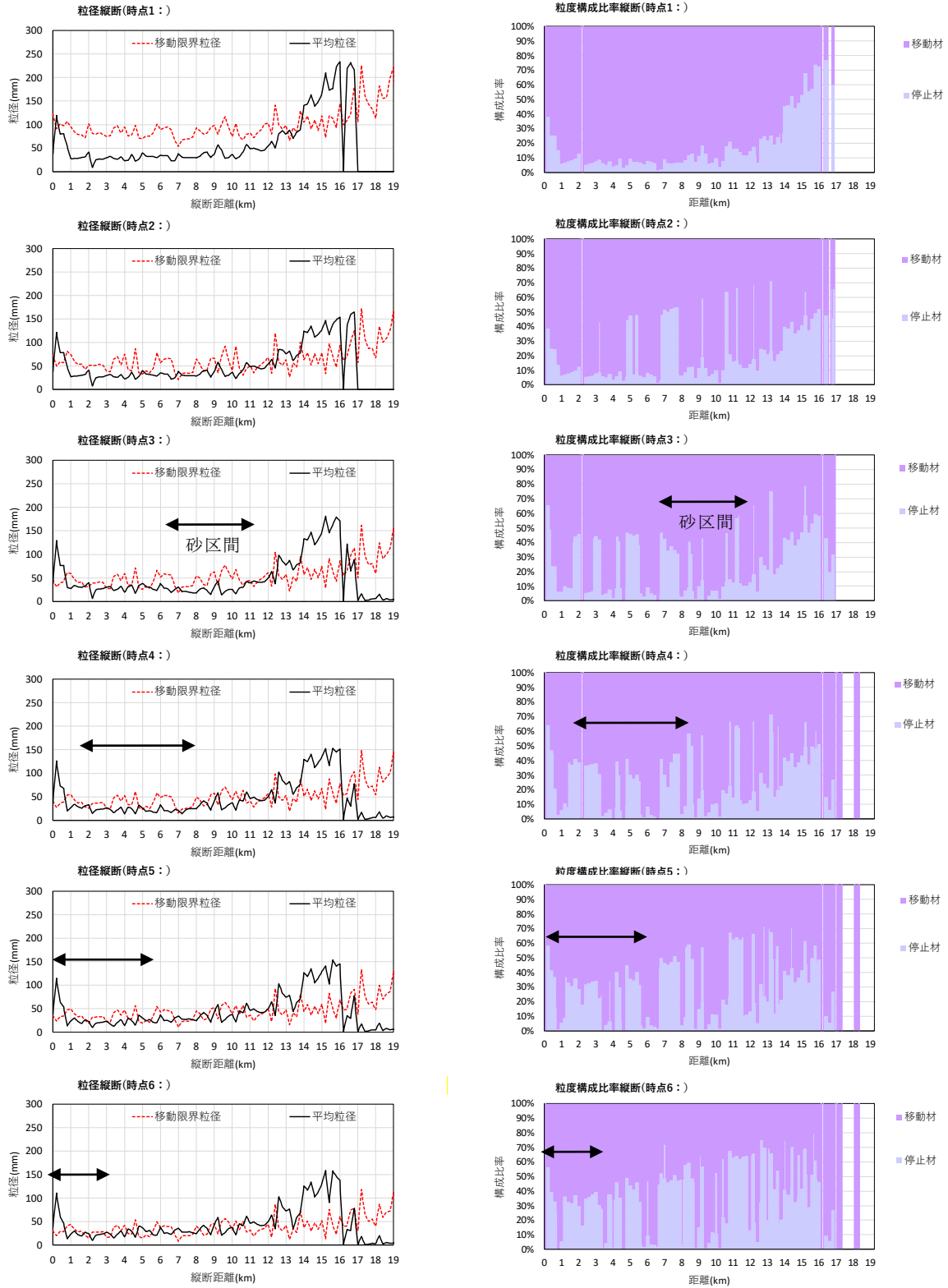


図 3-15 移動限界粒径（左）、交換層内の内訳（右）の時系列変化（改良交換層モデル）

(3) まとめと今後の方針

小さい流量でも水深が大きいことから掃流力が大きくなりやすい特徴を持つ川辺川では、砂のみでなく小礫・中礫までが移動材となる傾向にあり、細砂、中砂が礫の上に貯まるというよりは、砂と礫が混ざり合って流下する可能性があることが示唆された。また、停止材となる粗礫以上の礫含有率が少ないこともあいまって、改良交換層モデルの効果が表れにくいと考えられる。こうした理由のため、改良交換層モデルと汎用モデルの解析結果に顕著な差異が生じず、そのため環境影響予測に及ぼす影響は小さいと考えられたため、準備レポートでは汎用モデルを用いて土砂動態の検討を行うものとした。

ただし、現時点では、巨石が点在する区間は固定床として取り扱っているが、今後、土砂動態をより精度よく再現するためには、巨石の粒径や分布状況をモデルに反映していく必要があると考えられる。その場合、明らかに停止材となる巨石の上を砂礫が移動する状況を適切に表現する必要があるため、改良境界層モデルと汎用モデルとの差異が明確となる可能性がある。

今後は巨石の粒径や、平面的な分布状況、砂礫の堆積厚等について調査を実施し、改良交換層モデルの適用性、有用性の検証を行っていく予定である。

3.2 河床変動解析の技術的課題と展望

本準備レポートにおける河床の変化を予測している手法として、一次元河床変動計算および平面二次元河床変動計算を実施している。

石礫においては、瀬淵等の河床構成の骨格をなす材料であり、中長期的な視点で地形変化傾向を確認する必要がある。そのため、一次元河床変動計算では、長期的な土砂動態の予測として河床高縦断形の変化傾向の確認を行った。また、平面二次元河床変動計算では、アユ摂餌場や産卵場などの調査結果を踏まえた重要な場所を代表地点として中長期における瀬淵変化の予測を実施した。

砂においては、河岸や砂州上にパッチ状に堆積する材料であり、浮遊砂形態で流送されるため1洪水毎の流下・部分的に堆積傾向を確認する必要がある。そのため、一次元河床変動計算では、長期計算中の洪水毎の砂（中砂）堆積程度を確認し、その結果、顕著な砂堆積が確認された洪水波形を抽出し、平面二次元河床変動計算にて抽出した洪水の平面的（横断的）な砂堆積範囲（河岸・砂州上）などの詳細な予測を実施した。

本準備レポートにおいては、上述している検討内容について、専門家の助言を頂きながら科学的な検討を積み重ね、現時点の技術レベルによる解析技術にて予測・評価を行ったものである。ただし、参考資料Ⅱ-2第3章3.1に記載している改良交換層モデルの適用性・有効性の検証、瀬淵予測後の砂床化の可能性検討、礫間空隙内への砂充填・抜け出しを考慮した土砂動態検討など、今後も技術的課題に真摯に向き合い、技術の向上・発展に資するよう検討を進めていく。

また、計算を行う上での初期河床の粒度分布の設定においては、現地における河床材料調査結果を踏まえて、一連区間で粒度分布を平均したものを一律に与えている。しかし、参考資料Ⅰ-2に記載しているとおり、助走計算の有無によるダム地点通過土砂量に明確な差が認められた。これは、各場所の掃流力に見合った粒度分布になっているかどうかによって土砂流送量の算定結果に影響を及ぼすことを示唆しており、初期河床における粒度分布を適切に設定することが重要となる。これまでの河床材料調査は、現地で河床材料を計測、または採取土を粒度試験して粒度分布を作成しているが、現況の河床材料を適切に捉えるために、ドローン撮影等のオルソ画像を活用した機械学習による平面分布区分の推定などの新たな技術を活用しながら検討を進めていく。

【引用・参考文献】

- 1) 田端幸輔，福島雅紀，服部 敦：礫粗粒成分が停止する水理条件下での礫床表層への砂・礫細粒分の充填～流出過程に関する研究，河川技術論文集，28 巻，pp. 283-288，2022.

本書に使用した地図：

- ・電子地形図 200000（国土地理院発行）を加工して作成