

令和 3 年度水資源機構 関西・吉野川支社
淀川本部管内技術研究発表会

資 料 集

令和 3 年 9 月

独立行政法人水資源機構
関西・吉野川支社 淀川本部

令和3年度(第24回)関西・吉野川支社
淀川本部管内技術研究発表会プログラム

令和3年9月9日(木)

No.	時 間	論 文 名	発 表 者 所 属	発 表 者 等	ページ
	10:00 ~ 10:05	開 会 の 挨 拶		支 社 長	
	10:05 ~ 10:10	発 表 方 法 説 明 ・ 準 備		事 務 局	
1	10:10 ~ 10:25	川上ダム管理棟新築工事について	川上ダム建設所 工務課	山田 聖	1 ~ 4
2	10:25 ~ 10:40	タブレット端末を用いた巡視支援システムの利活用について	琵琶湖開発総合管理所 管理課	門富 千歳	5 ~ 8
3	10:40 ~ 10:55	直線多段式ローラゲートの止水性改善への取組	川上ダム建設所 機械課	高橋 慶太	9 ~ 12
	10:55 ~ 11:05	【 休 憩 (午前①) 】			
4	11:05 ~ 11:20	室生ダムの水質保全施設の運用状況と課題	木津川ダム総合管理所 室生ダム管理所	丹羽 祐也	13 ~ 16
5	11:20 ~ 11:35	川上ダム本体建設工事における高速施工の実施	川上ダム建設所 工事課	松尾 昂祐	17 ~ 22
6	11:35 ~ 11:50	青蓮寺ダム取水塔付近の油浮遊対応と関係機関への情報伝達	木津川ダム総合管理所 青蓮寺ダム管理所	櫻井 彩人	23 ~ 28
7	11:50 ~ 12:05	オオサンショウウオ遡上路的利用実態と改良	川上ダム建設所 環境課	戒谷 大和	29 ~ 32
	12:05 ~ 13:00	【 休 憩 ・ 昼 食 】			
8	13:00 ~ 13:15	令和2年度の一庫ダム冬季渇水の対応	一庫ダム管理所	川上 貴宏	33 ~ 36
9	13:15 ~ 13:30	高度なダム管理を目指したケーブル配線計画	川上ダム建設所 機械課	後 雄貴	37 ~ 40
10	13:30 ~ 13:45	環境 DNAを用いた一庫ダム湖陸封化アユの調査について	一庫ダム管理所	滝本 雅之	41 ~ 44
11	13:45 ~ 14:00	川上ダムの試験湛水計画(案)について	川上ダム建設所 管理課	前田 博美	45 ~ 50
	14:00 ~ 14:10	【 休 憩 (午後①) 】			
12	14:10 ~ 14:25	管理ダム下流河川の変遷と将来予測 ～今後の土砂還元と河床変動の将来を見据えて～	木津川ダム総合管理所 比奈知ダム管理所	長 博毅	51 ~ 54
13	14:25 ~ 14:40	ICTを活用した骨材運搬路の路面性状調査について	川上ダム建設所 調査設計課	北爪 皓	55 ~ 58
14	14:40 ~ 14:55	アンサンブル予測を活用した木津川ダム群の貯水池管理	木津川ダム総合管理所 管理課	駒井 諒哉	59 ~ 62
	14:55 ~ 15:10	【 休 憩 (午後②) 】			
	15:10 ~ 16:10	【特別講演】 大口径管路の地震被害とその被害要因に関する分析 【講師】 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 鎌田 泰子 准教授			
		【 審 査 結 果 集 計 】			
	16:40 ~ 16:55	審 査 結 果 発 表 ・ 講 評		次 長	
	16:55 ~ 17:00	閉 会 の 挨 拶		本 部 長	

○1題当たり15分〔発表12分、質問2分、準備1分〕

川上ダム管理棟新築工事について

○山田 聖¹・豊地伸得²

概要：

川上ダム建設事業における管理施設の設計では、景観コンセプトを設定して周辺環境との調和、各施設の統一性などの景観バランスに配慮することで、地域に親しまれる施設をめざしているところである。

将来にわたりダム堤体と一体となって景観を構成する施設となる管理棟においては、経済性、安全性、機能性を確保した上で堤体のもつ壮大なスケール感や周辺環境等に調和するとともに、伊賀の歴史・文化や風土・地理的条件をコンセプトとした意匠の統一を計る設計を行った。

本稿では、今年6月に完成した川上ダム管理棟において、主に景観面で配慮した点について報告を行うものである。

キーワード：管理棟、景観設計、実施設計、景観コンセプト、自然環境との調和

1. はじめに

三重県伊賀市に建設中の川上ダムでは令和4年度完成に向けて事業を進めているところであり、管理設備についても順次設計、工事を進めていく段階で川上ダム管理棟は令和3年6月に完成した。

管理所の設計にあたっては、単に経済性や安全性、機能性のみならず、将来にわたって地域に親しまれる管理所となるよう景観にも配慮し、伊賀市の新たな景観資産として親しまれるよう、周辺環境に調和し、かつ伊賀市の歴史・文化等を踏まえたダム管理棟をめざした。

2. 伊賀市で醸成されている景観コンセプト

川上ダム建設地である三重県伊賀市は、四方を山々に囲まれた伊賀盆地に位置し、市域には2つの国定公園の区域があるなど自然に恵まれたまちである。また、中世から江戸時代に至る城下町・宿場町としての発展に伴う歴史的な社寺建築や伝統的な武家屋敷や町屋などが今も町並みとして見られ、歴史や伝統に根ざした文化資産を今に伝える地域である。

伊賀市の伊賀市景観計画においても、「ふるさと伊賀」を愛すべき郷土として築き上げ、魅力ある個性豊かなものにしていくためには、先人が培ってきた「伊賀らしさ」を受け継ぎ、更に発展させ、「誇りあるまち」を次の世代へしっかりと手渡す作業が不可欠であり、固有の自然、歴史、文化等を生かした個性豊かな伊賀らしい景観まちづくりを市民、事業者及び行政の協働で進め、もっと愛着と、誇りを持てる「ふるさと伊賀」の実現に寄与することを目的としている。^{1) 出典}

また、「伊賀市の適正な土地利用に関する条例」^{2) 出典}、「伊賀市ふるさと景観づくり条例」^{3) 出典}等の条例を整備することで、土地利用の適正化と建築物や工作物の配置・規模、外観、色彩等の統一を図っていることから、本建設地域が景観に対する意識の高い地域であることがうかがえる。

3. 川上ダム管理棟の設計コンセプト

3.1 伊賀市の景観資産として

近年、インフラは管理者の主催する現場見学のみならず、民間主催のツアーも多数開催されている。

1. 川上ダム建設所 工務課

2. 川上ダム建設所 工務課 主査

ダムにおいても、観光放流、マラソン、サイクリング等からコスプレイベントまで幅広く活用されるほか、ダムカードやダムカレーなどにより、観光を通じた地域振興に資するものとして地域固有の財産ととらえられている。そのため、川上ダム建設所では、伊賀市の個性及び特色を尊び、周辺の自然環境や周辺の集落・町並みに十分調和することを景観コンセプトのテーマに、施設整備を進めていくことにした。

3.2 デザインテーマ

これらの背景をもとに、管理棟のデザインテーマを以下のように考えた。

○自然との調和

ダム周辺の豊かな緑となじむように、イベントスペース等のスペースを積極的に緑化する。具体的には、建築物が周辺の景観を阻害しないような形状やボリュームとする。

○地域に開かれた施設

視点場からの構造物の外観が、周辺環境と調和し、違和感を与えないものとする。管理棟や外構計画などが相互に関係をもつことにより、地域に開かれた施設とする。

○素材、配色の統一

管理棟や堤体建屋、さらに周辺の整備において共通の素材、色彩を採用し統一を図る。また、地元の素材である伊賀瓦等の落ち着いた色彩を念頭に周辺の景観との調和に配慮した色彩とする。

4. 川上ダム管理棟の設計

4.1 諸室の配置計画

諸室の配置は、ダム操作の機能性を優先に考え、2階に事務室などの執務スペースを配置し、1階に一般見学者など来訪者の利用が想定されるスペース（説明会場となる多目的室や多目的トイレ）を配置した。

管理棟の屋上には、ダム湖、堤体、堤体建屋を見渡すことができるように、ダム湖側に展望スペースを配置した。多目的室や展望スペースが屋外の屋外広場やイベントスペースと連続性を持たせた。（図1、写真1）

4.2 建物の形状

建物の形状は、四角に近い平面系で、諸室の配置なども考慮し地上2階+ペントハウス（屋上に突出した塔屋）とした。ダムと一体となった景観となるよう直線を基本としたデザインとし、周辺の豊かな自然環境との調和を

保つために、ダム堤体上や対岸の左岸側広場等の視点場から管理棟を見た際に、高さや壁面積を抑えたシンプルな形状とした。

立面は、建物の正面となる北側立面とダム堤体からの景観となる西側立面は水平に連続した窓開口を多く設け、来訪者に対して建物の内外両方の視点から開放的なイメージを与えるようにしている。（写真2）

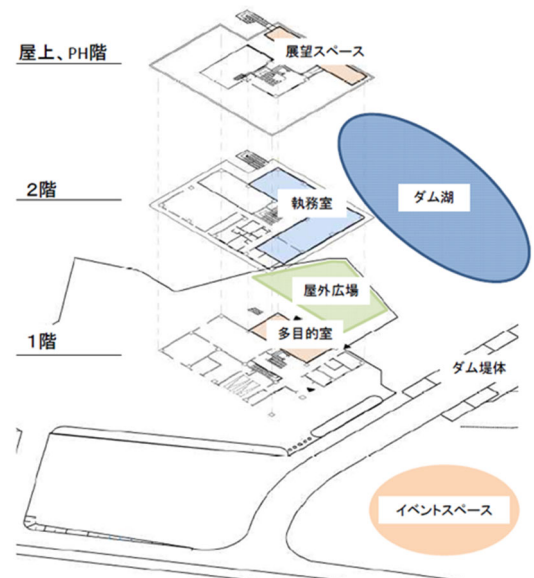


図1 全体配置計画図



写真1 展望スペースからの視点



写真2 管理棟北面、西面

4.3 建物の色調

外壁の色調は、管理棟 1 階部分をダム本体とのつながりからコンクリート打ち放し仕上げとし、2 階及びペントハウスは伊賀の町並みに多く見られる濃いグレーの仕上げとした。(写真 3)

また、内外部で使用しているステンレス手摺りなどの金属類は、光沢を抑えた仕上げで統一した。(写真 4)

色調や形状により 2 階外壁を目立たせることでダム堤体と連続した水平ラインを強調したデザインとし、周囲の景観になじむよう配慮した。(写真 5)

アクセントとして伊賀焼の色調をエントランスに取り入れることにより、来訪者は伊賀市の趣と親しみを感じられるような空間とした。(写真 6)

内装の色調は、床材を 1 階外壁コンクリート打ち放し仕上げと同色系とし、壁や天井は白系で統一した。(写真 7)

さらに、玄関ポーチとホールは天井高さをそろえ、床材を同一の仕上げ材とし統一性や連続性を図り、風除室の自動ドアを全面ガラス張りにすることで、屋内外のつながりや一体感が感じられる明るい空間とした。(写真 8)



写真 3 北側立面

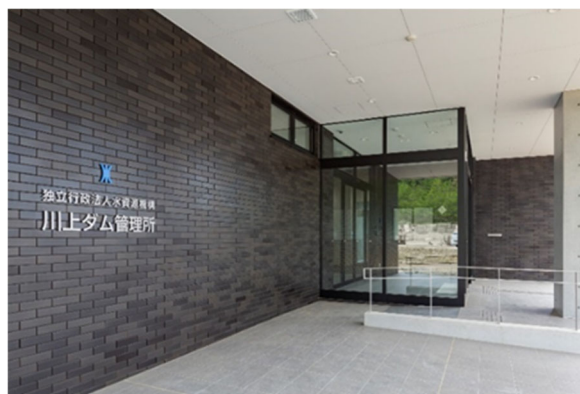


写真 6 エントランス



写真 4 ステンレス手摺り

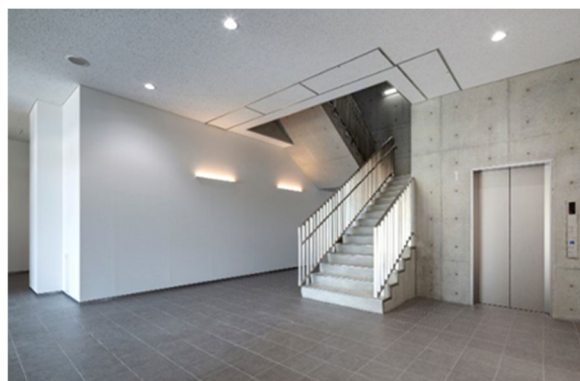


写真 7 ホール



写真 5 下流側からの視点



写真 8 玄関ポーチとホールの連続性

4.4 木材の使用

近年公共建築物において、木造化・木質化が促進されている。これは、気候変動や自然災害などの課題が深刻になる中、SDGs「持続可能な開発目標」への関心が高まっている背景で、木材の利用を推進することにより森林の循環につながるためである。

三重県・伊賀市でも、それぞれ木材の利用方針が定められ、^{4、5)} 出典 地場産木材の使用を推進している。

本管理棟の設計時においても、伊賀市長から管理棟の地場産部材使用の検討などについて提案をいただき、多目的室には伊賀市産の杉フローリング材を使用した。

また、外壁のコンクリートは打ち放し仕上げや濃いグレーの塗り材などの無機質な素材で、落ち着いた印象を感じられるように仕上げた。来訪者の訪れる頻度の高い多目的室には地場産の木材を使用することで、木材の有機的なあたたかみを感じられるようにした。

これらによって、屋外スペースに面した開口からは、ダム湖の背景に見える豊かな風景とともに伊賀の自然を感じられる空間となるようにした。（写真9）



写真9 多目的室

4.5 まとめ

管理棟のボリュームバランスを周辺の地形・樹木に合わせることで自然との調和を図り、ダムの持つ直線や水平性を意識させるシンプルな形状とし、ダム本体と建物の統一感を持たせることにより景観に配慮した。

また、共通の素材、色彩で統一性を図った上で、地域の特色や素地を生かした色調とすることにより、地域にとけこむような印象とした。

今回の管理棟の設計内容や工事状況を川上ダム建設所で発行している広報紙、川上ダム通信で紹介したところ、管理棟の完成を楽しみにしているといった反響があったことから地域の方々に関心や期待されていることがうかがえる。

公共建築物は、多くの市民に利用され地域のランドマークとなる景観要素である。管理棟とダム本体、その他の屋外施設に関係性、連続性を持たせ、周辺の環境になじむように外観を計画することにより良好な景観形成ができ、公共施設として地域に親しまれるような管理所となるよう目指した。（写真10）



写真10 管理棟外観

5. 終わりに

川上ダム全体の景観を形成していくものとして、執筆時点で川上ダム堤体、管理棟、発電設備建屋の施工が終了している。今後はダム堤体上にダム管理設備建屋や左岸側に曝気設備建屋の施工を予定しており、これらの建物は管理棟と同様のコンセプトで設計している。

今回の管理棟の設計や施工で検討した事項を踏まえ、すでに完成したダム堤体や管理棟等の構造物と共に、訪れる人々が楽しくなるような空間となり、伊賀市の新たな景観資産として親しまれることを期待する。

参考文献

- 1) 伊賀市. 2016. 伊賀市景観計画. 序章 背景と目的
- 2) 伊賀市. 2017. 伊賀市の適正な土地利用に関する条例
- 3) 伊賀市. 2016. 伊賀市ふるさと景観づくり条例
- 4) 三重県. 2019. みえ公共建築物等木材利用方針
- 5) 伊賀市. 2013. 伊賀市公共建築物等木材利用方針

タブレット端末を用いた 巡視支援システムの利活用について

○門富 千歳¹ ・ 奥原 康雄² ・ 中嶋 聡³

概要：

琵琶湖開発総合管理所の管理区域は広大であり、所有の施設は琵琶湖沿岸に点在している。施設の効率的な管理のため、H29 年度に巡視支援システム(以下「システム」という。)の開発を行い、H30 年度より試行運用を開始し、運用開始後約 3 年が経過した現在、システムにおいて課題等が見受けられた。

本稿では、タブレット端末で実施する巡視内容、及び施設維持管理データベース(以下「データベース」という。)での異常情報の管理方法の利点・課題・改善の方向性について報告するものである。

キーワード： 巡視支援システム、データベース、タブレット、効率化

1. はじめに

琵琶湖開発総合管理所(以下「琵琶湖総管」という。)は、琵琶湖開発事業により整備した琵琶湖開発施設の操作・維持または修繕などの管理を行っている。また、管理区域が広大であり、その中に湖岸堤・管理用道路 50.4km や水門・樋門等 158 箇所が琵琶湖沿岸に点在している(図-1)ことで、日常的な管理にかなりの労力を必要としていた。

H29 年度に、点在する琵琶湖開発施設の効率的な管理のため、タブレット端末を用いた巡視支援システムの開発を行い、H30 年度より試行運用を開始した。

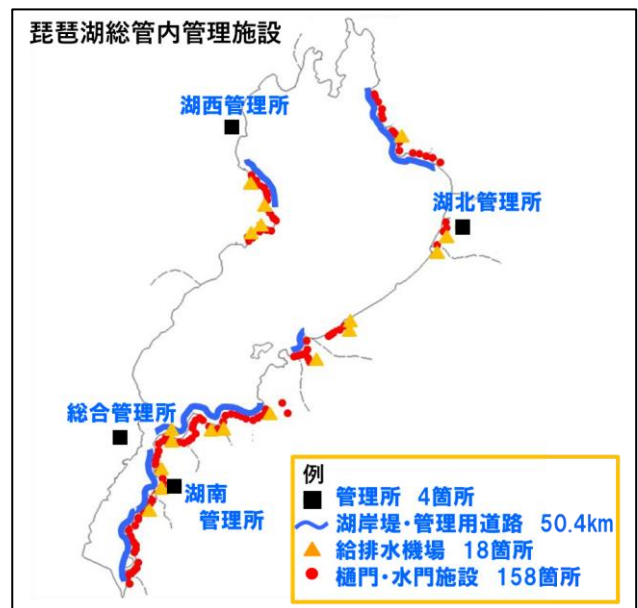


図-1 琵琶湖総管管理区域内における施設

2. 運用中の巡視支援システム等の概要

本項では車両巡視及び徒歩巡視の補助を行う巡視支援システムについて簡易的な概要を述べる。なお、巡視にはタブレット端末を使用し、外付けの USB 型 GPS にて位置情報を連動させている。

2.1 既存のデータベースとの連携

琵琶湖総管では、巡視支援システムの運用以前に、

各施設のデータ閲覧のためのデータベースとして、既に施設維持管理データベースが整備されていた。このシステムは地図上で管理施設が表示されるようになっており、「施設異常登録機能」と組み合わせ、収集された異常を表示することが可能である(図-2)。また、施設維持管理データベースには、管理施設の情

1. 琵琶湖開発総合管理所 管理課 職員

2. 琵琶湖開発総合管理所 管理課長

3. 琵琶湖開発総合管理所 管理課 主査

報が随時アップデートされているので、車両・徒歩巡視によって収集された管理施設の写真等を保存することで常に新しいデータ閲覧を可能としている（図-3）。



図-2 施設異常登録機能と施設維持管理データベースの連携

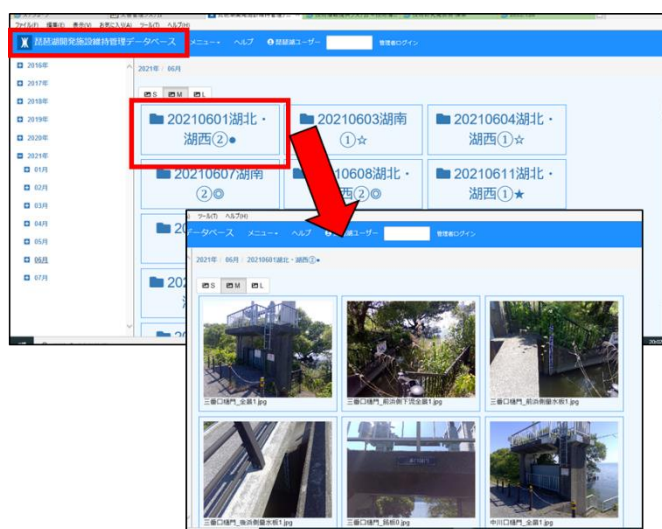


図-3 定点写真ガイダンス機能により収集したデータと施設維持管理データベースの連携

2.2 車両巡視

現在、琵琶湖総管では巡視車にて湖岸堤・管理用道路を走行し、水門・樋門等の各施設の写真を定点撮影しながら、異常の有無を確認する車両巡視を200回/年程度行っている。

2.2.1 定点写真ガイダンス機能

本機能は、日によって巡視ルートが異なるため、巡視ルート毎にルートや施設などの撮影地点を案内し（図-4）、撮影ポイントで撮影する際の補助を行うものである。

2.2.2 施設異常登録機能

本機能は巡視中に施設損傷や不法投棄等の不法行

為を発見した際、状況写真を撮影して異常を登録するものである（図-5）。異常撮影時にはタブレットに外付けされたGPSから位置情報を取得し、その異常の発生場所として自動で登録する。



図-4 巡視ルートの案内機能

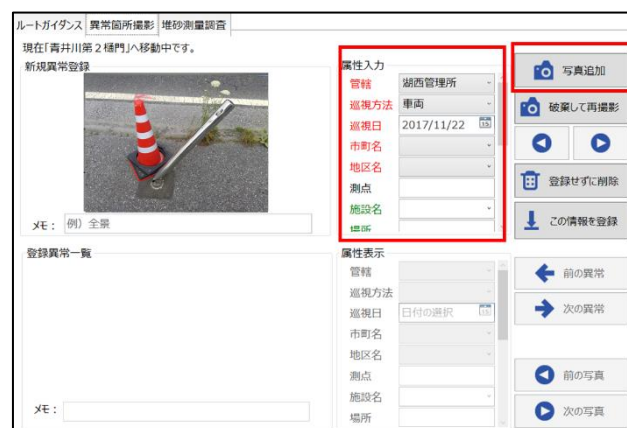


図-5 施設異常登録機能

2.2.3 帳票出力

車両巡視結果については、日報（チェックリスト）と月報を出力することが可能である。チェックリスト（図-6）には定点写真の撮影時間から各施設への到着時刻が記入され、異常が確認された場合には場所、異常内容等が記入される。月報については1ヶ月分の異常情報がとりまとめられ、自動的に帳票が作成される。

2.3 徒歩巡視

琵琶湖総管では2回/年（出水期前、出水期後）、車両巡視で目視できない場所や入ることの出来ない

場所の巡視を、徒歩により実施する徒歩巡視を行っている。例年、異常発見数は経過観察の物や軽微な物を含め 200-300 件になる。

車両調査チェックリスト									
湖北・湖南	令和3年6月22日（火）	天候：	晴れ/曇り						
場所	時刻	場所	時刻	場所	時刻	場所	時刻		
総合管理所	8:55	●新江		大浜橋門		東山山道管理所			
青井川橋門	9:49	五条橋門	11:24	老松橋門		東山山道管理所			
青井川橋門	9:54	新江大橋門	11:26	大川橋門		大川橋門			
新江大橋門	10:00	横川橋門	11:43	川道橋門		大川橋門			
●新江		馬場橋門	11:46	大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:04	田井川橋門	11:49	北出川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:07	湖岸管理所	11:53	新江橋門		大川橋門			
●新江		横川橋門	13:48	新江橋門		大川橋門			
新江橋門	10:07	中川橋門	13:56	大川橋門	15:04	大川橋門			
新江橋門	10:11	清水口橋門	13:58	大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:13	北浜橋門	14:01	大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:18	南浜橋門	14:23	大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:21	新江橋門	14:27	大川橋門	15:04	大川橋門			
新江橋門	10:23	新江橋門	14:34	大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:25	新江橋門	14:35	大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:34	新江橋門		大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:43	新江橋門		大川橋門	15:12	大川橋門			
新江橋門	10:47	新江橋門		大川橋門		大川橋門			
新江橋門		新江橋門	14:39	大川橋門		大川橋門			
新江橋門	10:55	新江橋門		大川橋門		大川橋門			
新江橋門	11:01	新江橋門		大川橋門		大川橋門			
新江橋門	11:05	新江橋門		大川橋門		大川橋門			
新江橋門	11:12	新江橋門		大川橋門		大川橋門			
新江橋門	11:15	新江橋門		大川橋門		大川橋門			
新江橋門	11:19	新江橋門		大川橋門		大川橋門			

図-6 システムにより自動作成された
チェックリスト

2.3.1 施設異常登録機能

本システムでは徒歩巡視中の未対応異常一覧が常時確認でき、新規異常の写真撮影時に取得した位置情報より現場付近にて過去に確認されている未対応異常をリストアップし、警告文が表示されることで、過去に確認された異常かどうか判断することが可能である。

2.3.2 要監視項目の設定

巡視において確認されたクラック等の経年劣化による損傷について、経過観察の判定をした場合、要監視項目を設定し、年に 2 回の徒歩巡視にあわせての確認が可能である。要監視項目の測定時には過去結果を参照できるため、異常の進行状況を確認することができる(図-7)。

2.3.3 帳票出力

徒歩巡視結果についても車両巡視と同じく、異常情報が自動的にとりまとめられ、帳票が作成される。

3. 現在の利用状況・効果

現在、琵琶湖総管では、定期的な巡視を外部発注により行っている。



図-7 要監視項目の設定画面

巡視業務を行う受注者が変わった際に、指示に従えば必ず全ての地点を不備なく回ることが出来るため、巡視ルートや業務の記録において引き継ぎがスムーズであった。

車両巡視では、施設数や距離の関係上、週に 4 回に分けて巡視を実施することで全施設を巡視する。その際にその日のルートの案内や、時間情報・場所情報が自動登録のため、巡視の効率化に貢献している。そして、巡視結果のとりまとめの効率化及び高度化に伴い、現在の状況をいち早く把握出来ることにより、素早い巡視結果の対応が可能となっている。

また、月に一度の巡視報告会では、帳票出力による月報の自動作成機能を利用して巡視情報をまとめることで作成に要する時間はなくなり、作業時間はゼロとなった。

徒歩巡視では、複数のタブレットを活用し湖岸堤道路の湖側・陸地側の 2 ルートを並行して巡視を行っている。その際にデータベースとの併用で、保存するだけで同日のデータのまとめを完了することが可能である。また、徒歩巡視においては、1 回の巡視で多くの異常が報告され、異常の登録やまとめに膨大な労力が必要であったが、現在では、大量の異常登録作業の時間削減に繋がっている。

4. 巡視システムの課題

3. 現在の利用状況・効果にて、運用開始後約 3 年で本システムが有用であったことについて述べたが、同時に約 3 年で本システムを利用していく上での問題点も認められた。

4.1 システム上の課題

本システムは琵琶湖総管の巡視補助を行うために H29 年度に作られたものであり操作上の不具合解消の更新しか行っていないことから、いくつか使いづらい部分が見受けられる。

例えば、一度入力をした部分について誤字脱字が存在した場合に登録データへ遡っての一部訂正及び異常箇所の削除が不可能な点があげられる。

また、データ登録を行う際に、データベースはアクアネット回線（専用回線）を利用したもののため、登録を事務所で行わなければならない、職員等が対応を行った方がいいケースの場合に、職員等が詳細を知ることが出来るのは、巡視者による電話連絡が事務所に戻りデータが登録された後となり、より早期の確認が不可能である。

4.2 使用機器の課題

本システム運用においてタブレットと外付け GPS の存在は必須であり、少しでも不調があればシステムの利用が出来なくなるものである。そして精密機器の常として、読み込みやデータの保存時に異常が発生することがままある。場合によっては、データの欠損や喪失につながり、巡視業務における作業時間の延長に繋がることにもなり得る。

タブレットは精密機械で外付けの機器もある故に水に弱く、雨天時における保護具や取り回しの注意が必要である。また、過去には雨天時に保護具をつけた状態で操作することで、保護具内部に結露が発生し操作がままならない事例も幾度か存在した。

外付け GPS を利用する場合、タブレットに自発通信機能の必要がなく、コストが安くなるという利点が存在する。しかし、外付け GPS は USB 端子での接続が行われているので、摩耗や接触不良が起こりやすいという問題がある。

4.3 使用者の課題

本システムは業務の補助を行い、効率化を進めるものであるが、その恩恵を十分に受けるにはシステム自体への十分な習熟が必要である。しかし、こういった機器類は個人の習熟度における差が大きい。特にシステムの利用が簡易な分、システム以外で起こりうる精密機械特有のトラブルには注意が必要であ

る。

5. 今後の展望

巡視支援システムの課題を上記でいくつか述べたものの、巡視業務システムの導入による業務量の減少や巡視の効率化については明らかである。その上で課題解決を行うことで、今後の巡視業務における更なる効率化が見込まれる。

5.1 システム上の課題

現状、システム上の課題の解決には開発者との協力が不可欠であるため、使用者の意見等のとりまとめを行い、開発者と十分に協議を行うことでよりよいシステムの完成を目指していきたい。また、施設維持管理データベースへのアクアネット経由以外での登録・閲覧も可能になれば、Wi-Fi を組み合わせることで、データ移動の手間が減るだけでなく、事務所に戻らずとも随時施設情報や異常情報について大勢の職員がリアルタイムにより確認できるようになり、早期の対応が可能となる。

5.2 使用機器上の課題

タブレットの防水機能やタブレット自体での位置情報取得についても、機器の更新を行うなどすれば、先述した問題の解決が期待できる。また、更新を行えば、同様にタブレットや位置情報システムが必要な防災時巡視での供用も可能である。しかし、こういった機器は高価な物が多いため、慎重な検討が必要である。

5.3 使用者の課題

現在も引き継ぎやマニュアルでトラブルの対策を行っているが、マニュアルの詳細化や開発者を交えての講習会を行うなどして更なるサポート態勢を築いていきたい。

琵琶湖総管において巡視支援システムの運用をはじめ約 3 年が経過したが、未だ問題点が存在している。今後の維持管理を万全にするためにも、課題解決に努めていきたい。

参考文献

1) タブレット端末を用いた巡視支援システムの開発について. 春名 聡志

直線多段式ローラゲートの止水性改善への取組

○高橋 慶太¹・村崎 雅之²・岩井 敬治³

概要：

現在建設中の川上ダムでは、選択取水設備の形式として直線多段式ローラゲートを採用した。

直線多段式ローラゲートの特徴としては、維持管理性、施工性及び経済性に利点があるが、構造上戸溝部や扉間部でのクリアランスが広くなってしまうことから、円形多段式等の他の形式に比べ、全取水量に占める漏水量の割合が大きくなることが課題とされている。

川上ダムでは、この課題に着目し漏水量の割合を抑える対策として、戸溝部内の水密ゴムを補助するためのブラシを付加することとした。

本対策は、機構初の試みであり既存ダムの直線多段式ローラゲートへも利用できるものである。

本稿では、戸溝部内の隙間の見直し及びブラシを選定した結果と、今後実施する放流試験における止水性の改善効果を検証する方法について報告するものである。

キーワード：直線多段式ローラゲート、戸溝部、漏水量、ブラシ、放流水温

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の左支川である前深瀬川が伊賀市川上地先で川上川と合流した直下に建設する堤高 84m の重力式コンクリートダムで、洪水調節、流水の正常な機能の維持（既設ダムの堆砂除去のための代替補給を含む）及び水道用水の供給を目的とした多目的ダムである。

選択取水設備の形式は、9 形式の中から取水量等を考慮し、直線多段式、直線多重式及び連続サイフォン式の 3 形式に絞込み、①取水性能（水密性）、②維持管理性、③施工性、④経済性を総合的に比較した結果、川上ダムに最も適した直線多段式を採用している。

2. 直線多段式の課題

2.1 水密部構造

直線多段式ローラゲートとは、複数のローラゲートをすだれ状に配し、これを伸縮させることで取水するゲートである。

特徴としては、ダム・堰施設技術基準(案)によると「直線多段式や半円形多段式は、他の形式に比べて、戸溝部や扉間部でのクリアランスが大きくなるため、特に、取

水量の小さい設備や取水量の大きい設備での最小取水時には、全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるように、水密ゴム等で止水処理を行う必要がある。」¹⁾とあり、また、水密部構造の解説には「戸溝内部の止水は全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるように、かつ、ゲートの操作上支障とならない大きさの遮水板等を取付ける。」²⁾と記載されている（図-1 参照）。

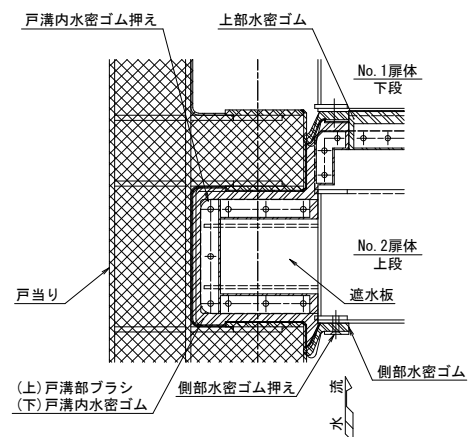


図-1 直線多段式の水密構造平面図（右岸側）

2.2 他ダムの形式

機構内の特定施設のダム 24 施設、利水ダム及び高さ 15m 以上の調整池 24 施設、計 48 施設において、選択取水設備（表面取水含む）に採用されている形式は表-1 に

1. 川上ダム建設所 機械課
2. 川上ダム建設所 機械課 機械課長
3. 川上ダム建設所 機械課 主査

示すとおり、川上ダムで採用した直線多段式が機構内で最も採用されている形式であることがわかる。

表-1 機構における選択取水設備の形式

形 式	数 量	施 設 名
直線多段式 (鉛直)	11	浦山、宇連、大島、岩屋、 阿木川、味噌川、徳山、 室生、布目、比奈知、江川
円形多段式	5	一庫、日吉、富郷、大山、 小石原川
半円形多段式	3	下久保、草木、早明浦
直線多段式 (傾斜)	3	奈良俣、青蓮寺、寺内
多重式	1	滝沢
多孔式	10	
無し	15	
計	48	

2.3 他ダムの止水対策

(1) 遮水板の有無

Aダムでは、表層から取水しているにも拘わらず、ダム下流の放流水温と、貯水池表層の取水口水温との温度差が約10℃違う冷水放流となった事例がある。

扉体段数が多くなるとクリアランス（隙間）が広い戸溝部も多くなり、隙間面積が増えることで結果的に漏水量が多くなってしまう傾向にある。

Aダム以外で冷水放流となった事例はないが、他ダムにおける戸溝部の止水（遮水）対策について調査した。

表-1で示した直線多段式（鉛直）11基のうち、6基を対象に調査したところ、全ての戸溝に遮水板を設けているのはAダムを含めた2基であった。

図-2で示すように、Bダム（3段扉構成のうち）では、No.2 扉体の戸溝部のみに遮水板と水密ゴムが設置されているが最下部のNo.3 扉体には設置されていない。

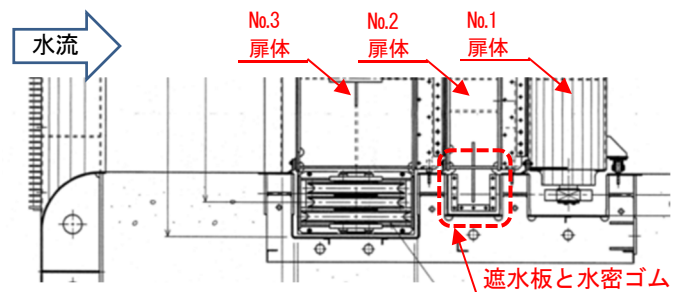


図-2 直線多段式（鉛直）の戸溝部平面図

(2) 戸溝部内の隙間

戸溝部内にある戸当りと水密ゴムの隙間は、ゲート動作時（上昇・下降）の揺れによる扉体と戸当りの接触を避けるため10～30mmとしている実績が多い。

3. 対策

冷水放流の事例のあったAダムでは、隙間面積が広いことが要因と考えられたため、止水性の改善を図る目的で戸溝部内の構造に着目し検討した。

3.1 隙間の見直し

川上ダムでは、戸当りと水密ゴムの隙間を実績の多い10～30mmに対し、戸当りの据付精度に考慮できる可能な範囲の5mmにすることとした（図-3参照）。

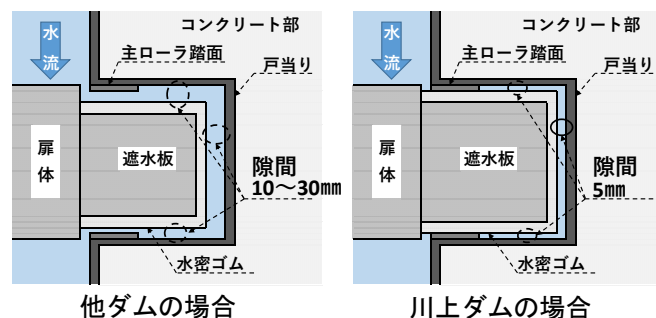


図-3 戸溝部内の隙間（平面図）

(1) 左右岸（径間）方向の隙間

左右岸方向は、サイドローラと戸溝の隙間10mmとなるよう遮水板を設け、水密ゴムを取付けて5mmとした。

(2) 上下流方向の隙間

上下流方向は、水圧方向を考慮して下流側を狭く（25mm）し、上流側が広く（45mm）なるよう遮水板を設け、左右岸方向と同様に水密ゴムによって5mmとした。

3.2 ブラシの検討

戸溝部内の隙間を5mmとすることで止水性の改善を図ったが、さらにゲートの動きにも追従可能で水密ゴムを補助することができるブラシについて検討した。

ブラシとは、写真-1のようにペンキを塗るハケのような細い繊維を密集させたものである。検討にあたっては、止水性及び柔軟性の2点について評価することとした。

ブラシの素材は、市場性の高い「ナイロン66」を選定し、サンプルとして6種類を用意し、しなり具合や密集度等の質感から線径0.2mm、0.3mm及び0.6mmの3種類を選定し実験することとした。



写真-1 ブラシ（コーナー部）

(1) 止水性

止水性を評価するため、ブラシを通過する流量を計測した。計測にあたっては、中壁を設けた水槽を用意した。その中壁の一部（底部）を切欠き、そこにブラシを取付け、中壁で仕切られた片側の水を水中ポンプによって片側に送り、強制的に中壁両側の水槽に水位差を付けることとした。水槽水位差が 150mm に到達した時点で水中ポンプを停止し、水槽水位差が解消（0 mm）するまでに要した時間を計測した。

表-2 ブラシ線径毎による水槽水位差解消時間

水槽 水位差	時間（秒）			
	ブラシ 無	φ 0.2mm	φ 0.3mm	φ 0.6mm
150 mm	0	0	0	0
125 mm	1	18	14	6
100 mm	2	38	31	14
75 mm	4	62	48	21
50 mm	6	94	71	31
25 mm	8	138	102	44
0 mm	13	304	193	88

計測結果は表-2 に示すとおり、ブラシ無では 150mm の水槽水位差を 13 秒で解消することに対し、線径 0.2mm では 304 秒を要した。

よって、線径 0.2mm が最も水が流れにくい結果となったことから止水性に優れていると評価した。

(2) 柔軟性

ブラシを設けることにより開閉荷重の増大が懸念されるため、開閉荷重相当の抵抗値（反発力）を求めるための押付力を計測した。

計測にあたっては、ブラシを固定するための治具を用意し、ブラシを 1mm 毎に垂直方向に押付けその荷重（押付力）を台はかりによって計測した。

3 種類とも押付け量が 2mm 以上になるとブラシの線自体が撓むことで押付力は低下する傾向となった。

表-3 ブラシ線径毎による押付力

ブラシ線径 押付け量	押付力（kgf）		
	φ 0.2mm	φ 0.3mm	φ 0.6mm
1 mm	2.41	4.80	7.48
2 mm	2.98	5.35	7.89
3 mm	2.85	5.03	6.50
4 mm	2.93	4.93	7.07
5 mm	1.90	4.23	6.02
6 mm	1.12	3.47	5.34
7 mm	0.79	2.77	5.64
8 mm	0.80	2.28	5.04
9 mm	0.68	2.01	5.18
10 mm	0.64	1.75	5.14
低下した押付力	1.77	3.05	2.34

計測結果は表-3 に示すとおり、押付け量 1mm の押付力から 10mm 時点の押付力を比較し、低下した押付力が最も少ない 1.77kgf（2.41kgf - 0.64kgf）だった線径 0.2mm が最も抵抗値（反発力）が少ないため柔軟性に優れていると評価した。

以上の結果から、止水性及び柔軟性ともに評価が高い線径 0.2mm を採用することとした。

3.3 ブラシの配置

ブラシは図-4 のとおり、遮水板に取付ける戸溝部ゴム上に押え板によって固定し、構造上ブラシ量（密度）が少ない接合部（半割同士の）とコーナー部には重ねるよう配置した。ブラシは、ボルト接合することによって脱着可能な構造とした。

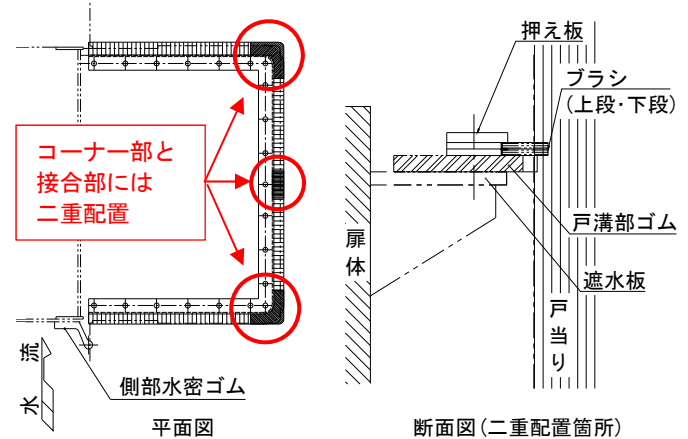


図-4 戸溝部ブラシ一般図

4. 今後の課題

4.1 漏水量による放流水への影響

止水性改善への取組を評価するため、放流水温がどの程度低下するか事前に算出した。

はじめに、扉体隙間からの漏水量による放流水への影響を算出するため、以下の式³⁾により算出する。

$$Q_2 = C \cdot a \sqrt{2gh_2 (1 - \rho_1 / \rho_2) + 1/\alpha \cdot Q_1^2 / A^2 \cdot \rho_1 / \rho_2}$$

C : 間隙の流量係数

→ 0.6

a : 間隙の断面積 (m²)

h₂ : 密度境界面からの
間隙までの深さ (m)

ρ₁ : 表層水の密度 (g/cm³)

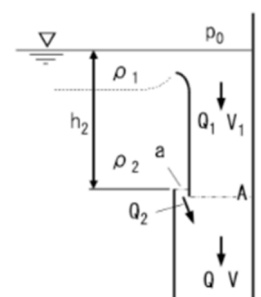
ρ₂ : 低層水の密度 (g/cm³)

α : 損失係数

→ (取水塔内) 0.8

Q₁ : 表層取水量 (m³/s)

A : 取水塔断面積 (m²)



算出にあたっては、計画最大取水量 25.0 m³/s、利水最大取水量 8.0 m³/s、最低維持流量 0.28 m³/s の 3 パターンについて算出する。

表-4 取水量 3 パターン時の想定漏水量

表層取水量 Q ₁	想定漏水量 Q ₂	全体取水量 Q (Q ₁ + Q ₂)
※ 24.800	0.151	24.951
※ 7.900	0.074	7.974
0.220	0.060	0.280

※表層取水量は、全体取水量が最大取水量以内とする。

表-4の結果に、シミュレーションデータ (H6.7.1) の表層水の温度 T_s、低層水の温度 T_b から想定放流水温 T₀ を以下の式³⁾により算出する。

$$T_0 = (T_s \cdot Q_1 + T_b \cdot Q_2) / Q$$

結果は**表-5**に示すとおり、全体取水量 Q が少なくなるに伴い、水温差 (T_s-T₀) が大きくなることわかる。

表-5 取水量 3 パターン時の想定放流水温と水温差

全体取水量 Q	T _s	T _b	想定放流水温 T ₀	水温差 T _s -T ₀
24.951	19.287	5.923	19.206	0.081
7.974	〃	〃	19.163	0.124
0.280	〃	〃	16.423	2.864

4.2 全取水量に占める漏水量の割合

表-4で算出した想定漏水量 Q₂ を基に、課題とされる全取水量に占める漏水量の割合を算出した。

結果は**表-6**に示すとおり、川上ダム (予想) は 21.4% となり、冷水放流の事例のある A ダム (32.8%) と比較すると約 10% 改善できることから、A ダムの事例のような冷水放流には至らないと想定できる。

なお、この漏水量の割合 21.4% はブラシを付加していない隙間面積 (0.1096 m²) による数値のため、更に良い結果に繋がることが期待される。

表-6 全取水量に占める漏水量の割合

項 目	A ダム	川上ダム (予想)
全体取水量 (m ³ /s) Q	0.70	0.280
表層取水量 (m ³ /s) Q ₁	0.47	0.220
想定漏水量 (m ³ /s) Q ₂	0.23	0.060
漏水量の割合 (%) Q ₂ /Q	32.8	21.4
隙間面積 (m ²)	0.884	0.1096

4.3 放流試験

川上ダムでは令和 3 年度より試験湛水を開始する予定である。試験湛水中には、放流試験として当該設備による放流水温と開閉荷重の計測を行う計画である。

放流水温の計測では、これまでに述べた対策を検証す

るため、最低維持流量 0.28 m³/s 時における放流口と表層の水温を計測し、**表-5**で示した想定される水温差 (T_s-T₀) が 2.864℃ 以内であれば有効であると評価できる。

開閉荷重の計測では、ブラシを付加したことによって電流値が定格値を超えることにつながっていないことを確認する。仮に、定格値を超える結果であればブラシ量の密集度を低減させるなどの調整を行う予定である。

5. まとめ

本稿では、直線多段式における漏水量の割合が大きくなる課題に対し、他ダムの実績を参考に戸溝部内の隙間を遮水板と水密ゴムによって 5mm とし、また、通過流量及び押付力を計測する実験を行うことで、止水性と柔軟性に優れた線径 0.2mm のブラシを選定することができた。

結果、漏水量の割合は、冷水放流の事例のある A ダムに比べ約 10% 改善できることから、冷水放流には至らないと想定することができた。

さらに、想定漏水量及び想定放流水温を事前に算出することで、止水性改善への取組を評価する指標も示すことができた。

今回のブラシを付加する対策は、機構初の試みでありボルト接合による脱着可能な構造としたことで、既存ダムの直線多段式ローラゲートへの利用も可能と判断できる。

今後は、想定した放流水温と開閉荷重を放流試験によって検証し、更なる改善に繋がるよう取り組んでいく予定である。

さいごに、本稿をとりまとめるにあたり、施工者である西田鉄工株式会社はじめ、多数の方々にご協力頂いたことに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人ダム・堰施設技術協会. 令和 3 年 1 月. ーダム・堰施設技術基準 (案) (マニュアル編) ー. p. 441.
- 2) 社団法人ダム・堰施設技術協会. 令和 3 年 1 月. ーダム・堰施設技術基準 (案) (マニュアル編) ー. p. 452.
- 3) 一般財団法人ダム技術センター. 1984. ーダム技術 Vol. 2-4 選択取水設備の水理設計ー. p. 14.

室生ダム水質保全施設の運用状況と課題

○丹羽 祐也¹・上ノ町 勝志²・伊藤 祐美³・村田 裕⁴

概要：

室生ダムでは、昭和 50 年以降、藻類の発生に伴う異臭味障害発生、貯水池内ではアオコ現象による景観障害が生じていたが、「室生ダム貯水池及び宇陀川流域清流ルネッサンス 21」において、流域における下水道の整備、合併浄化槽の設置がなされ、室生ダム貯水池では、貯水池水質保全事業、水環境改善事業が実施され、水質・景観改善の取り組みがなされてきた。

その結果、近年、大規模なアオコ発生などの現象は発生していないが、令和 2 年には藍藻類に起因する異臭味障害が発生し、栄養塩負荷除去を目的として実施している水質保全ダムの放水時において、魚の斃死が発生したことから、水質保全施設の運用見直しと課題対応策について検討を行った。

本論文は、これまでの水質保全施設の運用による効果並びに令和 3 年度から取り組んでいる水質保全施設の運用状況と課題対応策について報告するものである。

キーワード：水質保全施設、水質保全ダム、曝気設備、藻類、異臭味障害、景観障害

1. はじめに

室生ダムは、木津川水系宇陀川中流部に建設された重力式コンクリートダムで、下流の洪水被害の軽減と、奈良県営水道用水の供給を目的とし、昭和 49 年 4 月から管理を開始し、令和 3 年度で 47 年が経過している。

室生ダムは管理開始直後から、貯水池の富栄養化が進行し、藻類発生に伴う異臭味障害、景観障害が発生し、昭和 50 年代には社会問題化していた。平成 5 年度からは「室生ダム貯水池および宇陀川流域清流ルネッサンス 21 協議会」により、流域下水道、公共下水道の整備、合併浄化槽の設置、室生ダム貯水池水質保全事業、室生ダム水環境改善事業など国、県、流域自治体が一体となって取り組んだ結果、近年、藻類の異常発生による景観障害は減少している。

しかし、令和 2 年度には、異臭味障害の発生や水質保全ダムの機能維持に伴う魚の斃死が発生したことから、本論文では、水質保全施設の運用見直し及び課題対応策について報告する。

2. 水質保全施設の概要

室生ダムの水質保全施設は、室生ダム貯水池水質保全事業（平成 2 年度から平成 16 年度）において水質保全ダム、室生ダム水環境改善事業（平成 19 年度から平成 22 年度）において曝気設備が設置されている。図-1 に水質保全施設の位置図、表-2 に水質保全施設の諸元を示す。

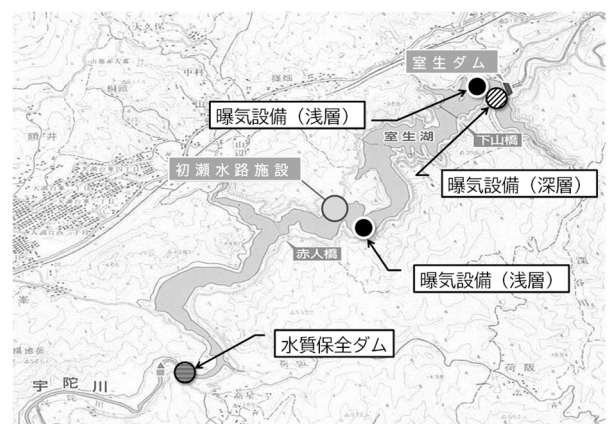


図-1 水質保全施設の位置図

1. 木津川ダム総合管理所 室生ダム管理所
2. 木津川ダム総合管理所 室生ダム管理所 所長代理
3. 木津川ダム総合管理所 管理課

4. 木津川ダム総合管理所 管理課長

表-1 水質保全施設の諸元

水質保全ダム（副ダム）	
型 式	重力式コンクリートダム
堤 高／堤頂長	14.50m／114.00m
越流頂標高	EL. 294.50m
集水面積／湛水面積	105 km ² ／0.08 km ²
貯水容量	245,000 m ³
付帯設備	ゴム引布製起伏堰ほか
ダムサイト浅層曝気設備	
設置位置／基数	ダムサイト／1基
形 式	水面設置散気管昇降式
吐出空気量／出力	毎分 6.1 m ³ ／37kW
吐出標高	EL. 258.00m
初瀬浅層曝気設備	
設置位置／基数	初瀬／1基
形 式	湖底設置式
吐出空気量／出力	毎分 6.1 m ³ ／37kW
吐出標高	EL. 267.50m
ダムサイト深層曝気設備	
設置位置／基数	ダムサイト／1基
形 式	水没エアリフト方式
吐出空気量／出力	毎分 2.3 m ³ ／15kW
吸込標高／吐出標高	EL. 251.00m／EL. 255.00m

3. 水質保全施設の運用と貯水池水質状況

水質保全施設の運用前後の室生ダム貯水池の藻類等発生状況は、表-2のとおりである。水質保全ダム設置後、平成17年度から実施している堆積土砂の浚渫により、貯水池に流入するリンは削減されているものの、アオコが発生している。その後、平成21年にダムサイトの浅層・深層曝気設備を設置し、平成22年に初瀬の浅層曝気設備を設置している。平成24年度からの本格稼働により、底層の貧酸素化によるリン、窒素などの溶出が抑制され、近年、アオコの発生は少なくなっている。

表-2 貯水池の藻類等発生状況

	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56
異臭味・景観障害		□	□	□	□	□	□	□
	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1
異臭味・景観障害	□	□	□	□	●	●	●	●
	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
異臭味・景観障害	●	●	○	●	○		○	
	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
異臭味・景観障害	●	●	○●	●	○●	●	○●	●
	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25
異臭味・景観障害	●	●	●	●	●	○●	○	○
	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3
異臭味・景観障害			●	●	○	○	□	

凡例 □：異臭味障害、○：淡水赤潮、●：アオコ

H17：水質保全ダム管理開始、H24：曝気設備管理開始

図-2に流域における下水道整備率（普及率）と水質保全ダム負荷削減量、図-3に流入河川水質の経年変化図（年平均）を示す。流域の下水道整備率は進んでいるが、流入水質の経年変化については、窒素は宇陀川において減少傾向であるが、リンとBODについては、平成11年以降横ばい傾向である。

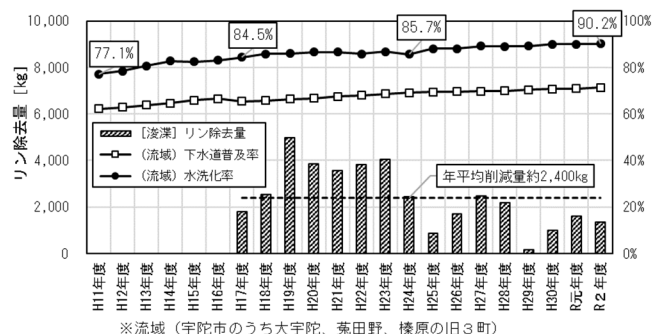


図-2 流域の下水道整備率、水質保全ダム負荷削減量

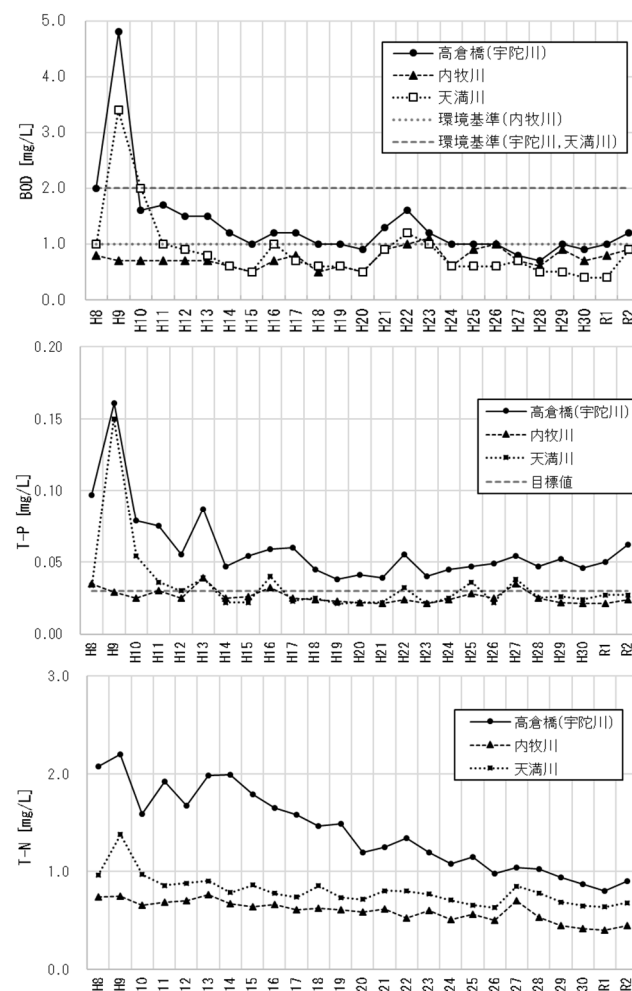


図-3 流入河川水質経年変化図（年平均）

次に、水質保全施設の運用に伴う貯水池状況について、それぞれの設備毎に整理した。「曝気循環設備及び選択取水設備の運用マニュアル(案)」(平成17年10月版 国土交通省河川局河川環境課)では、水温勾配 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上でミクロキスティスが発生しやすいとされている。そこで、平成17年から令和2年における7月から10月末までの水深5mまでの水温から、水温勾配 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上となった日数の合計を整理したものを図-4に示す。曝気設備の本格運用を開始した平成24年以降、水温勾配 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上の日数が減少していることから、曝気設備によりアオコの原因となるミクロキスティスの発生を抑えていることが分かる。

ダムサイト EL.253~257m、初瀬 EL.272~274m での7月から10月末までのD0の平均値を図-5に示す。初瀬の底層D0の状況については平成20~21年でD0は高い状態であるが、平成17年のD0と比較すると、D0は改善されたことが分かる。ダムサイトについては、平成24年の本格運用開始以降、底層D0が大きく改善されていることが分かる。

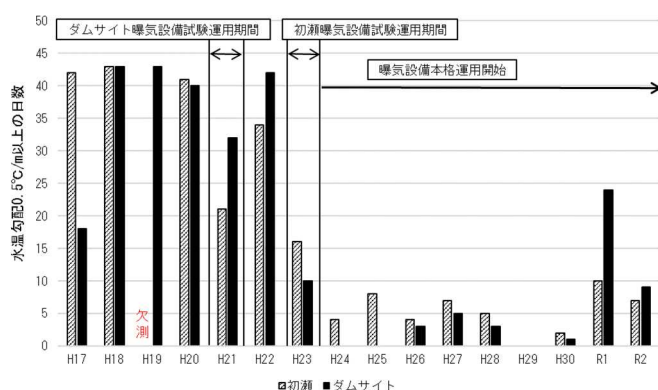


図-4 曝気設備による水温勾配改善状況図

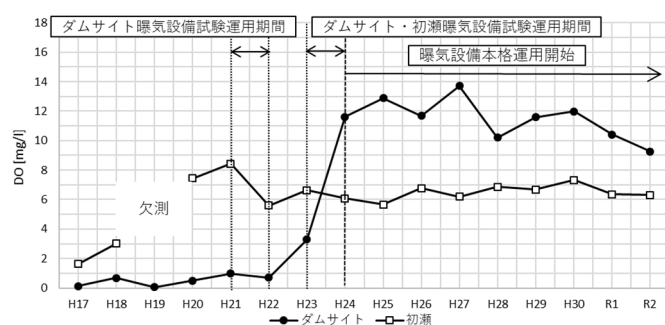


図-5 曝気設備による底層 D0 改善状況図

ダムサイト地点での全リン、オルトリン酸態リン、鉄、マンガンの年平均を図-6に示す。深層曝気設備の本格運用を開始した平成24年以降、リン、鉄、マンガンの値が大きく減少していることから、リン、鉄、マンガンの溶出を抑えられていることが分かる。

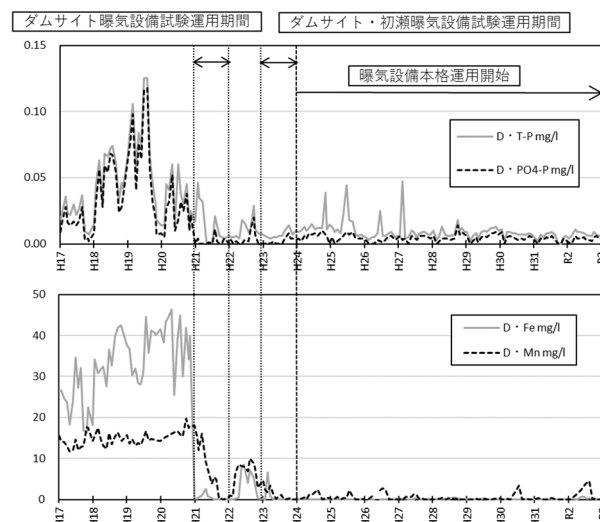


図-6 深層曝気設備によるリン、鉄、Mn 溶出状況改善図

4. 水質保全施設の運用見直しと課題対応策

水質保全施設の運用により景観障害は少なくなったが、令和2年6月に異臭味障害が発生し、取水への影響が懸念されたため初瀬の曝気設備を停止した。また、同年10月には、水質保全ダムの堆積土砂除去のため、ラバーゲートを手動倒伏(抜水)した際に魚が斃死したことから、水質保全施設の運用見直し及び課題対応策(想定されるリスクに対する対策)について検討を行った。

令和2年度の異臭味障害(カビ臭)は、初瀬水路施設付近で発生した藍藻類アナベナによるジェオスミンに起因するものであった。これは、5月上旬頃に形成された水温躍層により、初瀬付近の底層の酸素が消費され、底層D0が低下したことにより発生したと考えられる。そのため、令和3年度は、浅層曝気設備の運転開始期間について見直しを行った。図-7より、令和3年度では、初瀬付近の底層のD0が7mg/L以下(5mg/L以下の範囲拡大)を目安に、浅層曝気の運転について関係機関(奈良県桜井浄水場)と協議し、早期運転を開始したところ、7月中旬時点での景観障害、異臭味障害は発生していない。

令和3年度のダムサイトの深層曝気設備運用については、底質の嫌気化、それに伴うリン、鉄、マンガンなどの溶出を抑制するため、4月の定期水質調査(現地測定結果)において、網場地点の底層(底上1m)のDOが3mg/Lを観測した時点で、深層曝気の運転を開始している。深層曝気の早期運転を実施したことから図-8より、4月中旬から底層DOは改善されていることが分かる。また、図-9より、底層のリン、鉄の溶出が減少(抑制)されたものと推察される。なお、マンガンにつ

いては、溶出の減少（抑制）には至っていない。この現象は図-6より、平成30年、令和2年の曝気設備運用開始後も起きているため、引き続き貯水池の監視並びに調査を行っていく。

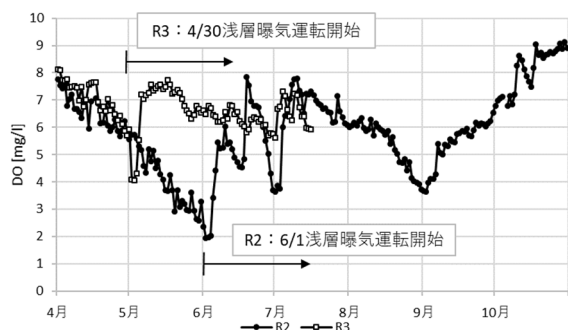


図-7 R2とR3の比較図（初瀬底層DO）

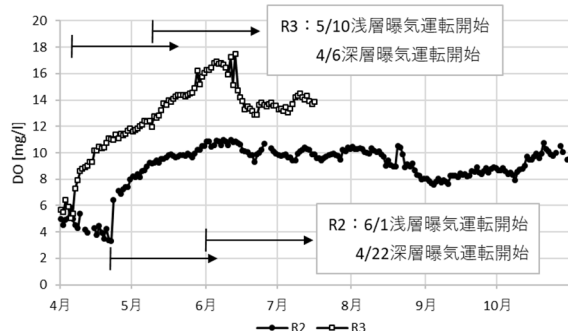


図-8 R2とR3の比較図（ダムサイト底層DO）

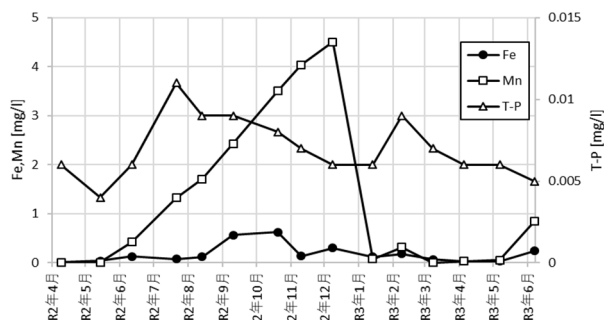


図-9 鉄とマンガンの溶出状況図

令和2年度の副ダム倒伏は、洪水期に台風などの出水による自動倒伏（140 m³/s以上の出水で倒伏）が無かったため、ほぼ1年間、中小出水による栄養塩を副ダムで捕捉（堆積）している状態となっていた。そのような状態の副ダムを平水時（流入量約2 m³/s程度）に手動倒伏させたため、副ダムからの越流水が増加するにつれ、流速の増加による副ダム貯水池内の（底質を巻き上げた）濁水により貧酸素帯状態となったことから、魚が斃死したものと推察される。なお、貯水池より直接取水している利水者への影響はなかった。

このため、令和3年度から6月以降の1回目の倒伏

は100 m³/s程度で手動倒伏を行い、それ以降は、自動倒伏とする運用を行っている。ただし、出水が前提となるため、台風等による出水がなく、自動倒伏しない場合もあるため、過去の手動倒伏実績と前回倒伏からの期間より、貯水池の生物環境並びに利水者への影響を与えないよう、手動倒伏を行うこととした。図-10は副ダムの倒伏時の流量と副ダムが起立してから倒伏するまでの期間と副ダム倒伏で確認された魚の斃死状況を表した図である。これら過去11回の手動倒伏実績から、起立期間200日間未満の場合は流量5 m³/s、起立期間200日間以上の場合は流量15 m³/sで魚斃死のリスクが高くなることが分かる。したがって、令和3年度では流量15 m³/s以上で手動倒伏を行うこととした。

副ダムの運用については、副ダム倒伏時における濁水対策のほか、副ダム貯水池内の水質状況（主はDO）を把握するため、令和3年度より水質計を設置し、観測を開始している。

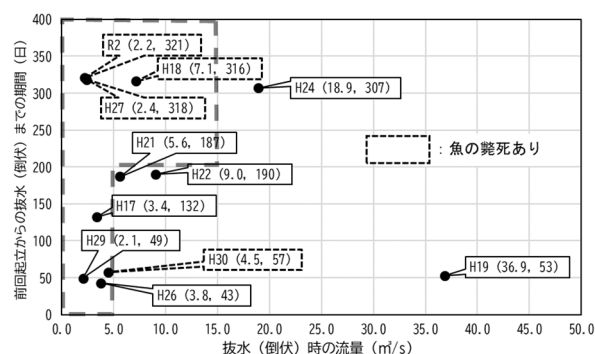


図-10 副ダム放水（倒伏）時流量と副ダム滞留時間と副ダム倒伏で確認された魚の斃死状況

5. 今後の水質保全施設の運用について

曝気設備による貯水池水質状況の改善について、平成24年から運用を開始した初瀬とダムサイトの浅層曝気設備により、アオコの発生が抑制できていることが分かった。また、ダムサイトの深層曝気設備の運用により、底層からのリン、鉄、マンガンの溶出を抑えていることが分かった。副ダムについては、令和2年度の副ダム倒伏による魚の斃死を踏まえ、副ダム倒伏条件の見直しを行ったところ、令和3年7月の副ダム倒伏時には魚の斃死が確認されなかった。今後の副ダムの運用にあたっては、堆積土砂除去の実施時期を含め、関係機関と協議の上、より適切かつ効率的な運用を検討し実施していく。水質保全施設の運用により、貯水池水質状況は改善されているが、流入河川の水質に大きな変化は認められないため、引き続き貯水池の水質保全に努めていく。

川上ダム本体建設工事における高速施工の実施

○松尾 昂祐¹・富 行穂²・徳永 倫一³

概要：

建設業界では将来の担い手確保や熟練技能労働者の減少が深刻な課題となっており、型枠作業においては、複雑な構造部の施工のスピードが熟練工に依存してしまうため、工程遅延を引き起こすリスクがある。川上ダム本体建設工事では、前述した型枠作業における工程遅延のリスク解消と各種施工の平準化が課題としてあげられるが、施工 CIM の構築によるプレキャスト部材の積極的な採用や DX の本格導入によりこれらの課題を解決し、品質を確保しながら、約 19 ヶ月という非常に短い期間で堤高 84m、堤体積約 45.5 万 m³の本体コンクリート打設を完了させることができた。

本稿は、川上ダム本体建設工事において実施された高速施工の実現に向けた工夫や DX の本格導入に関する取り組みについて報告するものである。

キーワード：コンクリートダム、プレキャスト、CIM、高速施工、DX

1. はじめに

建設業界では将来の担い手確保や熟練技能労働者の減少が課題となっている一方、気象災害の激甚化に伴い、ダム事業をはじめとした治水対策の早期実現が求められており、施工の効率化・省力化の推進が喫緊の課題となっている。このような背景を踏まえ、川上ダム本体建設工事では、土木工事の CIM に機械・電気設備工事の CIM を統合した高詳細度の CIM（以下、施工 CIM という。）を構築することで、プレキャスト（以下、PCa という。）部材の積極的な採用をはじめとした様々な工夫を行うとともに、DX の本格採用による施工管理の省力化を実現し、品質を確保しながら、約 19 ヶ月という非常に短い期間で堤高 84m、堤体積約 45.5 万 m³の本体コンクリート打設を完了させることができた。

本稿では、川上ダム本体建設工事における高速施工実現に向けた工夫や本現場で本格導入された DX の取り組みについて報告する。

2. 本工事における課題

本工事の施工においては以下の 2 点の課題が挙げられる。

2.1 型枠作業の効率化・省力化

川上ダム本体建設工事では、以下に示す部分の構造が複雑であり、型枠作業において工程遅延を引き起こすリスクがあることから、作業の効率化・省力化が必要である。

○下位標高部では、基礎通廊や上流面、バケットカーブの型枠作業がそれぞれ同時期に発生する構造となっている。

○上流面の張出部分や下流面の勾配変化部では、通常使用しているスライド型枠が使用できない。

○各種堤頂建屋の基礎部分や導流壁の上位標高部、取水設備、常用洪水吐及びその開閉操作室において、複雑な型枠作業が複数で発生する。これらは作業スペースが狭隘となることに加え、堤体外からの型枠の脱型作業が必要となるため、作業スペースの確保や転落防止も施工の課題となる。

-
1. 川上ダム建設所 工事課
 2. 川上ダム建設所 工事課 課長
 3. 木津川ダム総合管理所 管理課 主査

2.2 工事の平準化

本工事のコンクリートには購入骨材が用いられており、運搬車両台数には1日最大180台の制約があるため、コンクリートの打設量が購入骨材の運搬量に依存しないように工事を平準化する必要がある。

3. 施工における工夫

3.1 CIMの活用

ダム工事では、本体工事と並行して複数の機械設備工事が施工される。施工管理を円滑に行うためには、各種工事の図面を集約し、干渉する部分については調整を行いながら進捗を図る必要がある。本工事では、詳細度500(表-1)の施工CIMを活用することで、土木・機械・電気の業種の垣根を越えた施工管理を行っている。施工CIMは複数の設計業務の成果品を統合して運用しているが、設計で使用しているソフトウェアは業種により異なる。詳細度を500に保ったままそれぞれのモデルを一つのソフトウェアに統合することは難しいため、複数のモデルを統合するソフトウェアを使用して施工CIMを作成した。このソフトウェアを使用した場合、閲覧に特化した施工CIMとなるものの、詳細度を保ちながら各モデルを統合することができるため、構造が複雑な部分のチェックが容易となった。本工事では、このような部分を対象として、施工CIMを用いたPCa部材の適用検討を行った。施工の難しい部分においてPCa部材を適用することで構造を簡略化し、品質を確保したまま施工を効率化・省力化することができた。

表-1

土木分野における各工種統一的な詳細度の定義(案)

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。
200	対象の構造形式がわかる程度のモデル。 標準横断で切土・盛土を表現、または各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスワイプさせて作成する程度の表現。
300	付帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。
400	詳細度300に加えて、付帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確に表現したモデル。
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル。

出典：土木分野におけるモデル詳細度標準(案)¹⁾

3.2 プレキャスト部材の全面的な活用

3.2.1 施工CIMによるPCa部材の適用検討

PCa部材の適用検討において施工CIMを活用したことで、施工が困難となる部分の特定が容易になった。他工事との干渉や他工種の作業との連続性を考慮する必要がある部分を対象として、これらの課題を解決できるようなPCa部材の適用検討を行った。

○施工CIMにより特定された選択取水設備のアンカー部材とPCa部材との干渉部において、PCa部材にアンカー部材を先行埋設した部材(以下、複合構造部材という。)を採用した。アンカー部材をPCa部材と一体化したことにより、引抜き強度を確保しつつ、施工部の構造を単純化することができた。複合構造部材の検討例を図-1に示す。

○施工CIMを活用して、天端高欄の設置時に使用するインサートの先行埋設を検討した。先行埋設するインサートは、鋼材で製作した架台に溶接する。打設完了後に高欄と接続させるため、打設時にインサートの溶接がずれたり外れたりした場合、高欄の設置作業に支障を来す。インサートと架台との溶接作業を工場で行うことで、現場作業を省力化するとともに、溶接の精度と強度を向上することができたため、品質の確保や手戻りの防止につながった。PCa高欄の据付状況を図-2に示す。

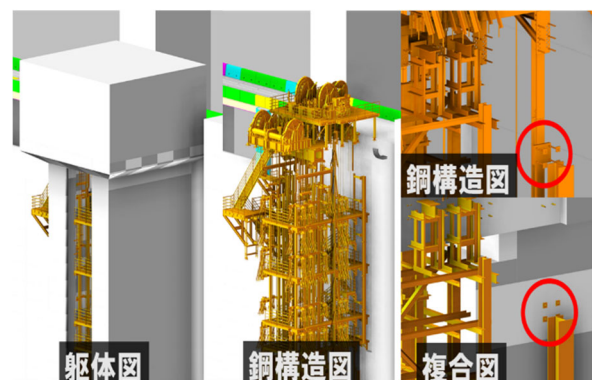


図-1 複合構造部材の検討例



図-2 天端高欄の設置状況

3.2.2 監査廊のフルプレキャスト化

監査廊をフルPCa化することで、型枠作業の労務軽減を図った。前述のとおり、下位標高部では基礎通廊や上流面型枠、バケットカーブの型枠が同時に発生するため、型枠作業の労務量が増加する。特に、基礎通廊では拡幅形状となる排水ピット部やエレベーター部、プラムライン部などの複雑な形状となる異型部分が連続し、型枠作業の施工速度は熟練度に依存することが予想されるため、監査廊の型枠の作成・設置作業をPCa化することにより、大幅な労務軽減が期待できる。

PCa部材の据付速度は架台の精度に依存する。据付架台には溝形鋼をPCa部材の設置方向に対してレール状に配置することで、位置や高さを調整しながら据付架台を設置した。PCa部材の据付・設置状況を図-3に示す。このような据付架台を使用した場合、PCa下部へのコンクリートの充填が課題となる。ブリーディングが最小となるような現場示方配合の高流動コンクリートを打設して、狭隘な据付架台周辺も確実に充填した。

これらの取り組みにより、監査廊の施工においても品質を損なうことなく施工を効率化・省力化した。

3.2.3 プレキャスト型枠の活用

通常、ダム上下流面ではスライド型枠を使用しているが、導流壁の構造変更部や本体の勾配変化部、上位標高部の張出部分や橋脚部（以下、特殊構造部という。）では、現場に応じたバラ型枠を作成・組立して施工する必要がある。特殊構造部では、PCa部材を型枠の代わりに活用することで、バラ型枠の製作をはじめとした型枠作業の労務を軽減し、施工の効率化・省力化を図った。また、PCa部材の採用により、堤体より外側における脱型作業等を削減できるため、作業の安全性も向上した。PCa型枠の活用状況の一例を図-4に示す。

3.2.4 PCa部材の管理

PCa部材を全面展開したことにより、膨大な数となったPCa部材の管理が必要となった。特に、監査廊に設置するPCa部材においては、同一形状の部材であっても、排水孔やジョイント目地を設けている部材が多数あるため、設置する部材と位置を正確に把握することが重要となる。PCa部材の管理には施工CIMを用いて、各部材に番号を設定し、施工CIM上で割り付けることでPCa部材の設置作業を管理した。また、各PCa部材に製造時や施工時のデータを施工CIMに紐付けることで、各部材のトレーサビリティを詳細に管理することが可能となった。図-5に施工CIMを用いたPCa部材管理の一例を示す。

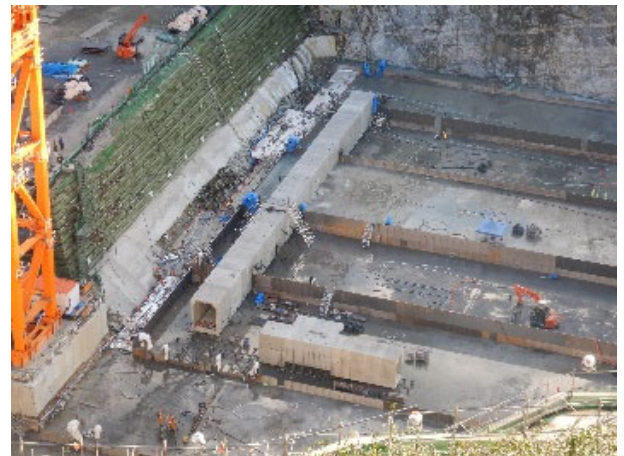


図-3 PCa部材の据付・設置状況



図-4 PCa型枠（下流面勾配変化点）の設置状況

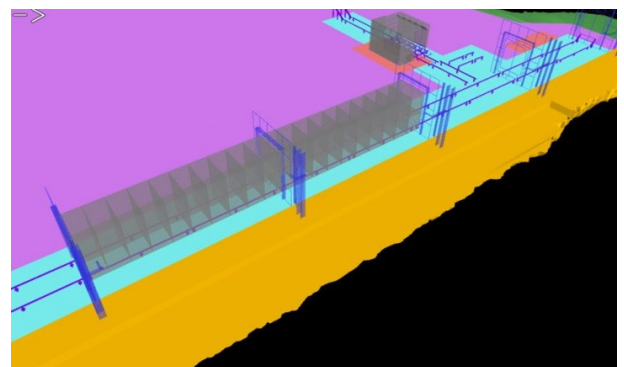


図-5 施工CIMによるPCa部材管理（基礎通廊）

PCa 部材の運用にあたり、PCa 部材の仮置きや地組を行うためのストックヤード(図-6)をタワークレーンのサービスエリア内に整備した。ストックヤードはアスファルトで舗装することにより、PCa 部材の組立精度の確保と汚損防止を図った。

PCa 部材の運搬に使用するタワークレーンの能力は25t 吊を選定した。これにより、大断面のPCa 部材を地組してから運搬・設置することが可能となり、PCa 部材の組み立て精度を確保したまま、運搬回数や据付時間を大幅に削減することができた。なお、一般にタワークレーンは自立高さに応じて支持金具を取り付ける作業が必要となるが、自立構台を用いることで支持金具による設備の補強作業を省略し、タワークレーンの休止時間を削減している。

3.3 DX への取り組み

本工事では、DX に関して以下の取り組みを行い、施工管理の省力化に寄与した。

○基礎掘削において、ドローンによる空中写真測量の結果を取り込んだ施工 CIM を基にして、ICT 建機による丁張りレス施工を実施した。

○基礎処理工において、グラウト管理システムを活用した。このシステムには、基礎処理のリアルタイムでの施工状況や過去の施工データの閲覧機能、Web カメラを用いた遠隔臨場機能が一元的に集約されている。図-7 に遠隔臨場での立会・段階確認の実施状況を示す。

○堤体工において、ダムコンクリート打設管理システムを構築して品質管理を行った。このシステムでは、コンクリートの製造データやコンクリートの運搬・荷卸し、コンクリートの締固めに関する情報をクラウドで一元管理するものである。クラウドに集約したデータを施工 CIM に取り込むことで、ダムコンクリートのトレーサビリティを、時間や場所にとらわれることなく、詳細にかつ視覚的に確認することが可能となった。

○堤体工において、施工 CIM を基にしてタワークレーン自動運転の施工モデルを作成した。このモデルでは、熟練技能労働者による定点間の運搬をシステムに記憶させ、各設備に設置したセンサーにより、バケット位置や荷振れの検知・確認し、バケットの位置が目標に収まるように自動で運転制御するものである。

○堤体工において、パイバック締固め判定装置を導入した。この装置では、これまで熟練技能労働者の経験に依存していたコンクリートの締固め判定を、加速度センサーを用いることで定量的に判断し、締固め判定結果を音声や回転灯によりオペレーターに通知するものである。

○上流面型枠の一部に自動スライド型枠を活用した。自動スライド型枠は固定ユニットと型枠足場ユニットからなり、それぞれを油圧ジャッキで交互にクライミングアップすることにより、作業の省力化を図るものである。

○自立飛行 UAV を用いた監査廊点検の自動化に取り組んでいる。



図-6 PCa 部材ストックヤード

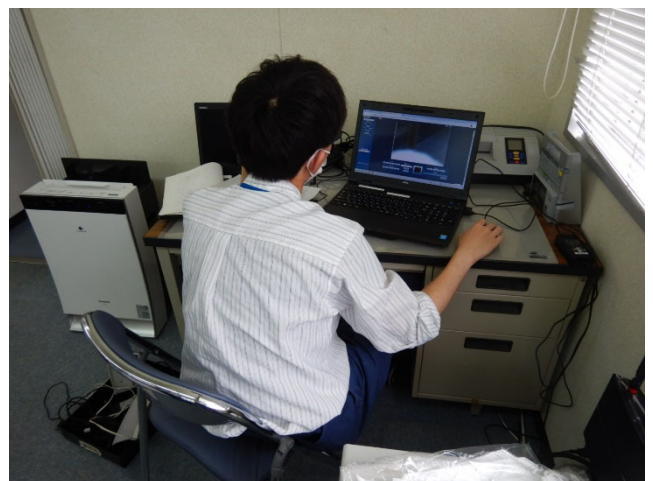


図-7 遠隔臨場の実施状況

○堤体工において、グリーンカットマシン自動運転システムを構築した（図-8）。このシステムでは、グリーンカットマシンに姿勢制御用センサーを取付けるとともに、ブラシの押付け力や回転数、トルクを測定可能な応力センサーを搭載することで、オペレーターの熟練度に依存せずに施工するものである。

○骨材運搬の車両走行管理において、車両管理システム（図-9）を活用した。車両管理システムでは、GPS 機能付きタブレット端末を全車両に搭載することで、走行場所や速度などの情報を一元的に管理するものであり、車両の走行情報をリアルタイムで確認することができる。

○5G 回線を使用した重機の遠隔操縦に関する取り組みについて試験ヤードを提供した。

○ダンプトラックの自動運転に関する取り組みについて試験ヤードを提供した。

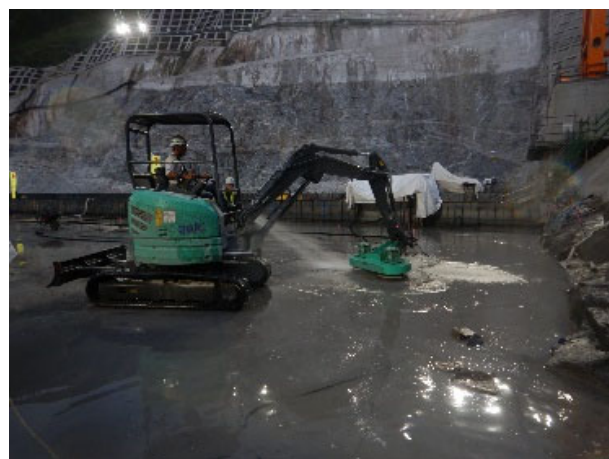


図-8 グリーンカットマシンの活用状況

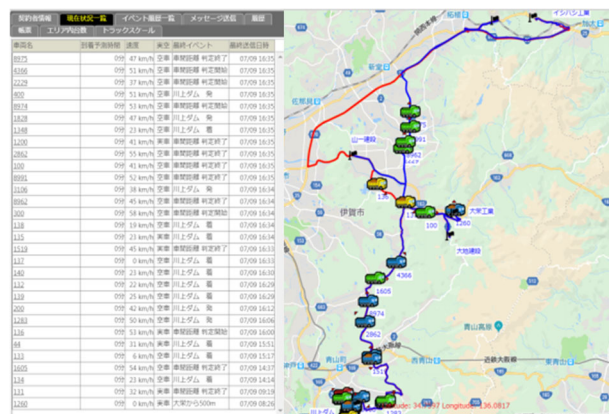


図-9 車両管理システム

4. 結果

本工事では、①型枠作業をはじめとした施工の効率化・省力化と②工事の平準化という二つ課題を、PCa 部材の全面的な活用等の様々な工夫を施工に反映することで解決した。ここにこれらの取り組みによって得られた結果をまとめる。

4.1 工事の平準化

同規模のダムを対象として、月間打設量の比較を行い、本工事における工事の平準化を評価する。比較対象とするダムは、水資源機構で管理するダムから選定し、ELCM で施工された同規模の重力式コンクリートダムの中で最も竣工の新しい大山ダム（堤高 94.0m、堤頂長 370m、堤体積約 58 万 m^3 、打設期間約 28 ヶ月）とした。川上ダムの月間打設量を図-10に、大山ダムの月間打設量を図-11（大山ダム）にそれぞれ示す。工事の平準化について、各図から読み取れることを以下にまとめる。

○打設のトップスピードに至るまでに、大山ダムで約 14 ヶ月、川上ダムで約 3 ヶ月の期間を要しており、川上ダムの方が圧倒的に短い。

○トップスピードで施工できた期間は、川上ダムの施工では打設期間の約 2/3 を占めていたのに対し、大山ダムで約 1/4 の期間に限られた。

以上のことから、川上ダムは大山ダムに比べて、コンクリート打設の開始後、速やかにトップスピードでの施工に移行し、施工速度を維持することに成功したことがわかる。施工の平準化に成功した要因に関する川上ダムでの取り組みとその考察について以下に示す。

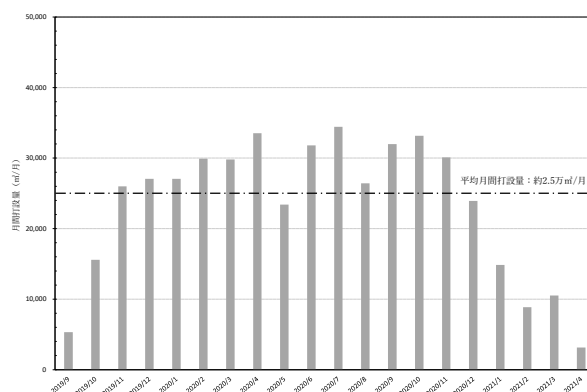
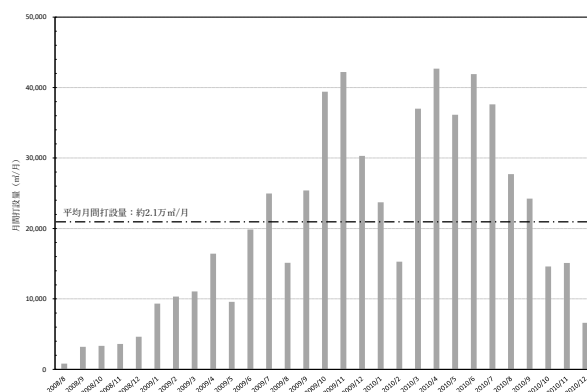


図-10 月間打設量（川上ダム）



○型枠作業の労務量が増加する下位標高部において、監査廊をフルPCa化したことで型枠作業による打設の遅れを解消し、施工のトップスピードに至るまでの期間を短縮できた。

○ダム下流の勾配変化部をはじめとした特殊構造部へのPCa部材の使用や、他工事との干渉が想定される部分での複合構造部材の使用により、複雑な型枠作業の工場化に成功した。これにより打設以外の作業に従事する時間の削減につながり、ハイペースを維持したまま施工することができた。

4.2 施工の効率化・省力化

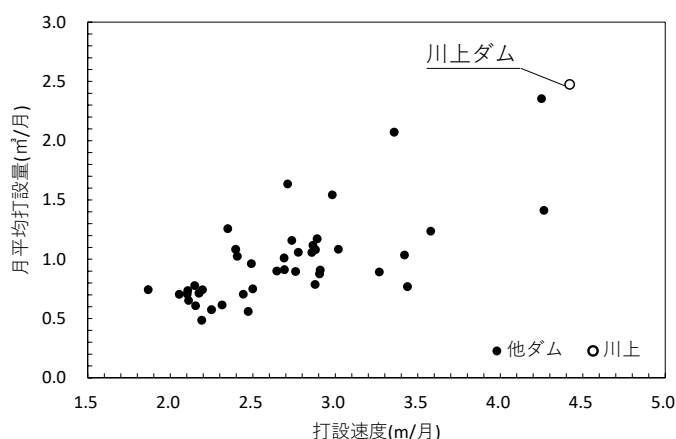
本工事における施工の効率化・省力化を、①工程短縮効果の算出、②他ダムとの施工速度の比較により評価する。

4.2.1 工程短縮効果

本工事では、減勢工を含むコンクリートの打設量が当初の約45.6万m³から約47.2万m³まで、約1.6万m³増加した。一方で、打設工程は当初の約19ヶ月から遅延すること無く打設を完了している。本工事における月平均打設量は約2.5万m³/月を記録していたことから、本工事における工程短縮効果は1.6(万m³)/2.5(万m³/月)≒0.64ヶ月であった。

4.2.2 施工速度の比較

ELCMで施工されたダムを対象に、1ヶ月当たりのコンクリート打設量（以下、月平均打設量という。）及び1ヶ月当たりの打ち上がり高さ（以下、打設速度という。）の比較を行った。川上ダムにおいては、打設速度が約4.4m/月、月平均打設量が約2.5万m³/月を記録した。川上ダムは、ELCMで施工したダムでは月平均打設量・打設速度（以下、施工速度という。）ともに、最も優れた結果を示した。図-12にELCMで施工したダムの施工速度を示す。



出典：コンクリートダムの施工（平成27年3月）²⁾

図-12 各ダム（ELCM施工）の施工速度

5. おわりに

本工事において実施された取り組みとその結果について、以下のようにとりまとめる。

- 土木・機械・電気の各分野の設計データを統合した施工CIMを構築し、PCa部材の適用検討に活用することで、品質を維持したまま、PCa部材を施工の各所に全面展開した。
- 労務量の増大が懸念されていた下位標高部において、監査廊をフルPCa化することで、型枠作業の負担を大幅に軽減することができた。
- 複雑な型枠作業を必要とする特殊構造部において、PCa型枠を採用することで、作業の安全性を向上させつつ型枠作業の労務を軽減した。
- 複数の工事・工種の作業が干渉する部分において、複合構造部材を採用することで、複雑な施工部の構造を単純化することができた。
- 全面展開によって膨大な数となったPCa部材の管理において、施工CIMを活用することで緻密に管理することができた。
- グラウト管理システムやコンクリート打設管理システムをはじめとしたDXを現場に本格導入することで、施工管理の省力化に寄与した。
- 施工の各所においてPCa部材を全面展開することにより、複雑な型枠作業を工場化したため、堤体の打設開始後、速やかにトップスピードでの施工に移行し、その後もハイペースを維持したまま施工することができた。
- これらの取り組みにより施工を効率化・省力化・平準化することで、ELCMで施工された国内のダムにおいて、月平均打設量・打設速度ともに日本最速を記録した。

川上ダム本体建設工事では、施工CIMの構築によるプレキャスト部材の積極的な採用やDXの施工現場への本格導入により、課題であった施工の効率化・省力化や工事の平準化に成功した。本工事における実績が、労働力の確保が課題である建設業において、働き方改革促進の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 社会基盤情報標準化委員会特別委員会. 2017. 土木分野におけるモデル詳細度標準（案）. p5.
- 2) 一般財団法人日本ダム協会. 2015. コンクリートダムの施工. p50.

青蓮寺ダム取水塔付近の油浮遊対応と 関係機関への情報伝達

○櫻井 彩人¹・鍵田 和彦²

概要：

令和3年3月18日に、青蓮寺ダム貯水池内の取水設備付近で油の浮き上がりが確認された。直ちにオイルフェンス等で流出防止対策を行うとともに、発生源について水中ドローンを用いた直営調査により、湖底にドラム缶らしきものが沈んでいることを確認した。続いて水中3D スキャナ等を用いて実施した詳細調査の情報を基に、発生源であるドラム缶の位置を特定し、最終的に潜水作業により速やかにドラム缶を引き上げることができた。また、関係機関に対して、日々の作業進捗状況や油の拡散状況について情報共有を図りながら対応に当たり、被害の拡大や苦情等はなくスムーズに解決に至った。

本論文は、青蓮寺ダムでの油浮遊の対応と関係機関への情報伝達について、発生から発生源回収までの44日間の対応を報告するものである。

キーワード：油浮遊対応、情報伝達、水中ドローン、水中3D スキャナー、大深度潜水

1. はじめに

青蓮寺ダムは、令和3年度に管理開始51年目を迎えている。青蓮寺ダムの目的は、洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水、農業用水及び発電である。水道用水の供給エリアは阪神地区(2.3m³/s)、名張市(0.19m³/s)である。農業用水は名張地区及び伊賀地区の農地(1.60m³/s)へ供給しており、青蓮寺ダムは下流の用水補給に対して重要な役割を担っている。

令和3年3月18日に、湖面巡視中の職員が青蓮寺ダム取水設備付近に油が浮き上がっていることを確認した。直ちにオイルフェンス展張及び吸着マットで拡散防止対応を行い、その後の調査により発生原因を特定し、速やかな大深度潜水作業にて4月30日には油発生源の完全撤去を完了した。

本報告は、青蓮寺ダムで発生した油浮遊に対する油流出防止対応と油発生源撤去及び関係機関への情報伝達に関する44日間について報告するものである。

2. 油浮遊発生

2.1 油浮遊発生時の状況

令和3年3月18日11時頃、職員が湖面巡視中に、取水設備付近(図-1)から油の浮き上がりを確認した。油は、

黒く斑点状に次々と水中から浮き上がり、水面上で油膜となって広がっていった。

2.2 油浮遊発生に対する関係機関への情報伝達

3月18日の油浮遊発生の確認後、直ちに名張市上下水道部(以下「名張市水道」)、木津川上流河川事務所(以下「木津上」)へ第一報を入れた。同日、木津川ダム総合管理所と淀川水質汚濁防止連絡協議会通報センター(木津上)との連名で、青蓮寺ダム貯水池内において油の浮遊の記者発表を行った。

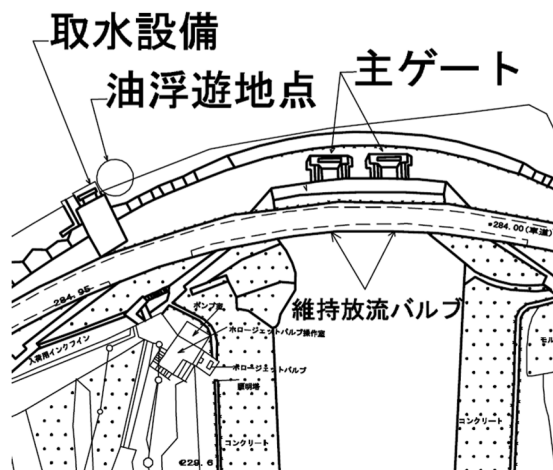


図-1 油浮遊地点

3. 油浮遊の対応

3.1 職員による対応

(1) オイルフェンス展張・オイルマットによる油回収

油を確認した直後、職員がオイルフェンス展張及びオイルマットによる油回収を実施した。油膜は網場の内側で、クレストゲート付近からインクラインにかけて広がっていたため、オイルフェンスで取水設備を囲むように1条、油浮き上がり地点を囲むように1条設置した（写真-1）。また、オイルフェンスの内側及び外側に万国旗型の吸着マットを配置し、波浪によるオイルフェンス外への油拡散を防止した。

油の浮き上がりは、日を追うごとに少なくなっていくものの継続して確認されており、オイルマット交換作業及びオイルフェンスの位置調整は、油発生源撤去作業開始まで適宜継続して実施した。オイルマットの回収に当たっては、青蓮寺ダムの職員のほか木津川ダム総合管理所（以下「総管」）の職員も参加して実施し、最終的に油回収作業でオイルマットは約900枚を使用した。油の浮遊範囲や流れの方向を確認するため、職員操縦のドローンを使用して空撮も行い、状況の把握に努めた。

(2) 水中ドローン調査

3月19日から職員操縦の水中ドローン（写真-2）を用いて油発生源の捜索を開始した。捜索初日は、油発生源の発見はできなかったが、湖底には、シルト状の堆積物が多く沈殿していることを確認した。水中ドローンは、空中で使用するドローンと異なり、水中における自機の位置（距離）を認識することが困難である。そのため、目印として湖面の油滴浮き上がり地点からコンクリートブロックにトラロープを結んだ錘を落とすこととした。これにより捜索開始5日目の3月23日に、油発生源を確認した。油発生源は、目印として沈めた錘の近くの水深約55m地点に沈んでおり、水中ドローンの映像からドラム缶と推定され、縁から油が漏れ出して浮き上がる様子を確認した（写真-3）。ドラム缶の様子は写真及び動画で記録し、その後の引き上げ作業の検討に使用した。また、目印の錘ロープは存置し、その後の潜水作業においても速やかにドラム缶まで到達することができた。



写真-1 オイルフェンス設置状況：油浮き上がり地点

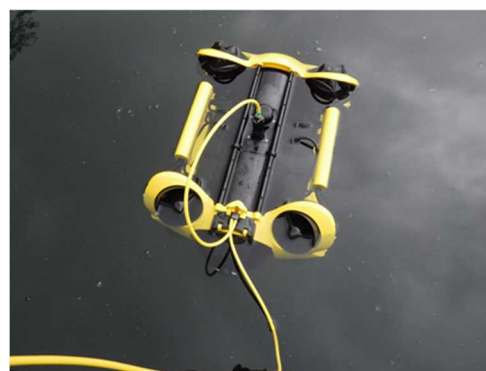


写真-2 水中ドローン

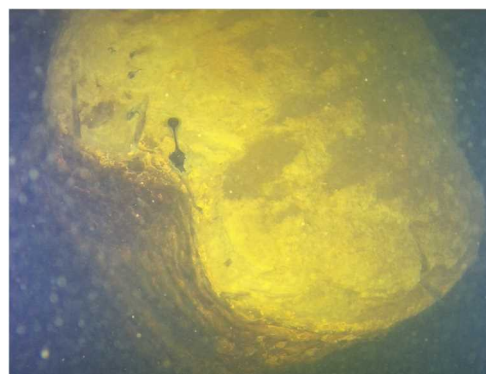


写真-3 油発生源及び油浮き上がり状況

(3) 臭気確認

油浮遊対応の間、青蓮寺ダムの職員による臭気確認を実施した。発生当初は毎日朝夕の2回、放水口で採水を行い、検体を湯煎し匂いを嗅いで油臭の有無について判定を行った。その後、油の浮き上がりが少なくなり、継続して油臭もないことから、朝1回の確認とした（写真-4）。臭気確認の結果は、毎日、名張市水道に報告し、情報共有を図った。

-
1. 木津川ダム総合管理所 青蓮寺ダム管理所
 2. 木津川ダム総合管理所 青蓮寺ダム管理所 所長代理



写真-4 臭気確認状況

3.2 水質調査の実施

油発見直後の3月18日に、下流河川への油流出の有無の確認及び油種の特定のため、取水設備付近、油浮上地点（オイルフェンス内）、放水口の3地点において、採水を行いノルマルヘキサン抽出物質、TPHの項目を分析した。ノルマルヘキサン抽出物質の分析の結果、取水設備付近で43mg/L、油浮上地点で1,748mg/Lと、排水基準5mg/Lを大きく超過したが、放水口からは検出されず、下流河川への油流出は確認されなかった。TPHの分析結果から、油の種類は潤滑油に近いもので、わずかに重油成分を含む可能性も考えられ、微細な黒色系の粒子を含んでいたことから、汚れた潤滑油と想定された。

油対応中、ノルマルヘキサン抽出物質の流出の有無を確認するため、週1回下流の放水口で採水し分析を行った。分析結果から、下流への流出は無いことが確認された。

3.3 油発生源の詳細調査

この時点ではドラム缶と“推定”されているにすぎなかった発生源の詳細な状況と位置を把握し、その後の潜水作業による撤去作業の計画を立案するため湖底の状況について、詳細調査を実施することとした。また、事前に令和2年度に実施した貯水池堆砂測量¹⁾の点群データの処理を行ったところ、取水設備付近に3ヶ所の異物反応が確認されたため、あわせて確認を行うこととした。

詳細調査は、水中3Dスキャナー(写真-5)及び水中ドローン(写真-6)による調査を実施した。水中3Dスキャナーによる調査は、分解能1.5cmの音響ソナーを水平方向に360°回転させ、詳細な地形を計測するものである。

調査は機構の作業船にて、取水設備付近まで接近し、三脚のついた水中3Dスキャナーを水中に垂下し、水中部の3次元測量を実施した。調査した観測データのノイズを除去し3次元モデルを構築し、油発生源等の位置を解析した。観測された3次元モデルの画像、位置情報を

表-1、図-2に示す。



写真-5 水中3Dスキャナー



写真-6 水中ドローン

表-1 3Dスキャナー計測結果

	大きさなど	緯度	経度	水深
ドラム缶	直径0.61m、 高さ0.96m	34° 36'15.09867"	136° 07'13.72352"	52.5m
鉄筋	高さ0.95m	34° 36'15.04356"	136° 07'13.66182"	52.9m
木の枝	高さ1.2m	34° 36'15.15017"	136° 07'13.82722"	51.5m

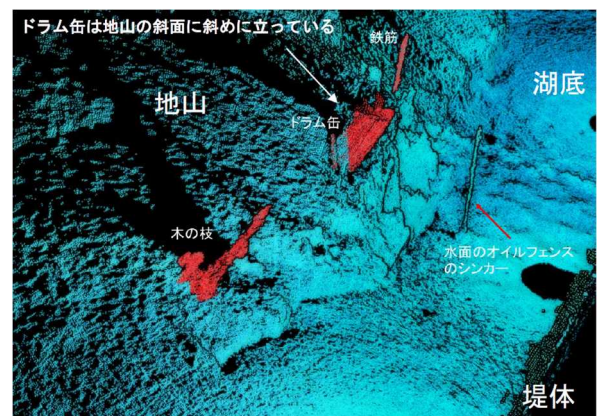


図-2 3次元画像：取水設備から湖底を望む

3Dスキャナーでの調査・解析後に水中ドローンを潜行させ、詳細な調査を実施したところ、ドラム缶の他は鉄筋、木の枝であり、油の発生源は1個のドラム缶のみと断定した。ドラム缶の水面上における位置関係は、堤体から9.4m、取水設備に付属している主水位計の保護管

から 10.4m の位置に沈んでいることが確認された(図-3)。

詳細調査から、ドラム缶は、相当古いものであること、斜面部に斜めに立っている状況であることについては確認されたが、本調査では固着の有無は不明であった。

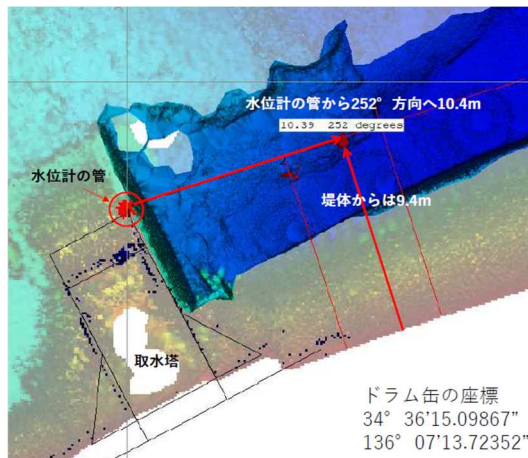


図-3 ドラム缶位置図

3.4 貯水池運用による対応

(1) 取水深の変更

油を確認した直後に、取水設備から湖面に広がった油の吸い込みを防ぐため、水温・濁度・DO の鉛直分布に留意しつつ、取水深を 6.78m から 9m に変更した。

3 月 21 日には降雨が予想され、放流量増操作時の取水設備からの油引込みをおさえるため、水温・濁度・DO の鉛直分布に留意しつつ、さらに取水深を 9m から 25m に下げたが、気温の上昇により流入水温が上がってきて冷水放流となってきたことから下流での臭気確認を実施しつつ、4 月 2 日には取水深を 15m に変更した。

(2) 貯水位管理

油発生源の撤去が完了するまでは、取水設備へ油の引込みが懸念されたため、できる限り放流量を抑える方針とし、降雨が予想された際には早めの放流操作を行った。

なお、油浮遊対応中の最大放流量は 7.9m³/s であり、利水バルブからの放流も行ったが、放水口の臭気確認においても油臭は確認されなかった。

(3) 放流の切替

水中ドローン及び水中 3D スキャナーの調査中は、取水設備への引込みを防止するため、呑口が少し離れた場所にある維持放流バルブ(最大 1.0m³/s)に切替え、取水設備付近の流速をおさえる対応を行った。

最初の調査時には、安全確保のため農業用水の取水についても一時停止の協力を頂いた。その後、油や水中ドローンの引込みがないことが確認されたことから、農水の取水停止は行わずに調査を実施することとした。

また、引上げ時の潜水作業中も維持放流バルブでの代

替放流を行った(図-4、5)。

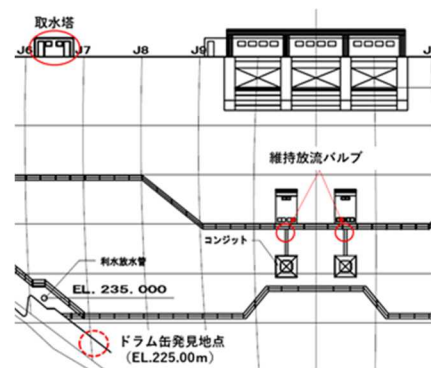


図-4 維持放流バルブ配置図

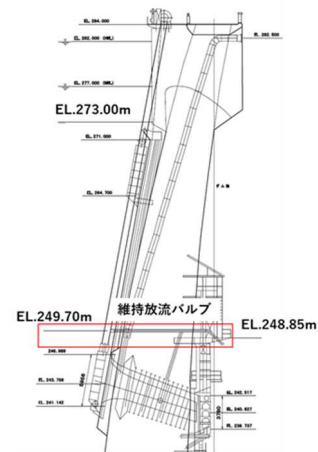


図-5 維持放流バルブ位置図

4. 油浮発生源の撤去

4.1 潜水による撤去作業

(1) 引上げ方法の検討

湖底調査の結果から、ドラム缶撤去時に考えられるリスクのうち重大な項目は以下のとおりである。

○ドラム缶が湖底に埋まっている、またはコンクリート等で固着している場合、作業期間が長くなり費用も増となる。

○ドラム缶が腐食していた場合、作業中に破損し缶内の油が漏れる恐れがある。

ドラム缶が沈んでいる地点は、水深約 50m の大深度であるため、潜水士の作業時間は 15 分程度に限られ、浮上する際も 1 時間程度の時間を要する。1 回の潜水は 1 人で行うため、1 日あたり 4 回の潜水が限度とされた。

所内及び施工業者との WEB 打合せで、ドラム缶が固着している可能性も考え、水中で油を抜き取り、湖底に残置する案や引上げ途中で破損の可能性があるので、水中でドラム缶を包み込んだ後に引上げを実施する等の案を検討した。

最終的には、大深度の水中で可能な作業性を考慮し、漏

油箇所をパテ埋めした上で、ドラム缶をビニール袋で包み、フレコンバックに入れて台船上のウインチで吊り上げる計画とした(図-6)。

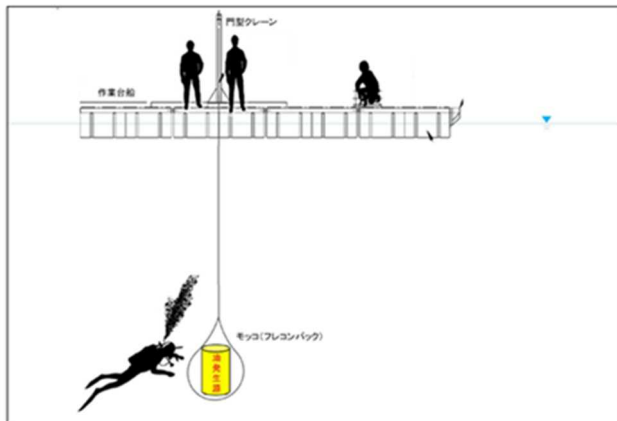


図-6 ドラム缶回収方法

(2) 引上げ作業

① 台船組立

4月26日に青蓮寺ダム左岸の流木処理場にて、作業台船の組立てを行った(写真-7)。組立後に門型クレーン、減圧室等の艀装を行った。

② 台船曳航・据付

4月27日に台船を取水設備付近まで曳航した。台船は網場と堤体に係留ロープを張り固定した。また、引上げ作業中に油が漏れても外側に漏れ出さないよう、台船の周囲にはオイルフェンスを設置した(写真-8)。

③ 潜水（事前調査）

4月27日、ドラム缶引上げ作業前の状況確認調査として、潜水調査を実施した(写真-9)。潜水調査の結果、ドラム缶は、底面が上の状態で地山斜面に立っており固着しておらず、シルト分が堆積し埋まっているだけであった。油漏れ箇所にパテを詰めて油漏れを止めた。またドラム缶の状態は、錆はあるものの缶はしっかりしており、引上げ時に潰れたりすることはないことが確認されたため、計画どおり湖面まで引き上げることが可能と判断した。なお、状況確認中に斜面からドラム缶が3m程度、湖底に滑落し、横倒しの状態となったものの油漏れがないことを確認し、翌日の引上げ作業に支障は無いと判断した。

④ 潜水による引上げ作業

4月28日、前日の潜水でドラム缶を湖面まで引き上げることが可能であることが分かったことから、計画どおりフレコンバックに詰め、湖面まで引き上げることとした。

潜水前に、引上げに必要なドラム缶吊り具、ビニールシート、フレコンバックをワイヤロープで先に沈めてお

いた。

その後、潜水士が目印の錘ロープに沿って潜水し、ドラム缶まで到達し、作業を開始した。

まず、ドラム缶吊り具でドラム缶を立てた後、吊り上げ、地切り（底を浮かす）し、ビニールシートでドラム缶を包み、最後にフレコンバックに入れ、チェーンブロックに吊してウインチで水面まで引き上げた(写真-10)。回収したドラム缶は、プラスチック容器に入れ陸揚げした。

⑤ 湖面清掃

4月29日、オイルフェンス内に残った油等の湖面清掃(写真-11)を行い、オイルフェンス、オイルマットを台船上に回収した。湖面清掃後、台船を流木処理場まで曳航した。

⑥ ドラム缶処分、台船撤去

4月30日、引き上げたドラム缶等は産業廃棄物処理した。回収されたドラム缶(写真-12)からは、プラスチック容器内に3cm程度の溢れた油と水、引き上げたビニールシート内に少量の油が確認された程度であり、ドラム缶内の油は多量ではなかったと思われる。また、ドラム缶の状態は、全体的に錆で劣化しており、腐食により底面には小さな穴が確認された。なお、ドラム缶からは不法投棄等を特定できるような情報は得られなかった。最後に台船を解体・撤去し、現地作業を全て終えた。



写真-7 作業台船組立状況

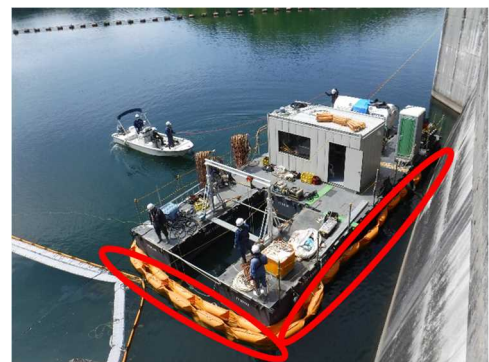


写真-8 油流出対策

4.2 撤去における関係機関への情報伝達

関係機関(木津上、名張市水道、本社、支社)には、4月26日からドラム缶の撤去作業を行うことを事前に連絡し、万が一の体制を整えた。4月28日にドラム缶を湖面の作業台船へ引き上げることに成功し、4月30日の全作業終了が見えたことから、同日、木津上と淀川水質汚濁防止連絡協議会への連絡方法を確認し、作業終了のお知らせを事前に作成した。4月30日14時45分に現場での作業が無事に終了したことを総管に報告し、総管から木津上、名張市水道、名張市危機管理室、本社、支社へ作業終了のお知らせを報告した。同日15時には木津上から淀川水質汚濁防止連絡協議会へ撤去の作業終了と本報告が終報であることを連絡した。

5. まとめ

青蓮寺ダム取水設備付近からの油発生対応は、事象発生から44日で完了し、下流への影響もなく関係機関への情報伝達もスムーズかつ正確であり、問題を早期に解決することができた。また、過去からまれに微量の油膜が確認されており、毎日監視が引き継がれていたため、油浮遊リスクが認識されていたことも速やかな対応に繋がったと考えている。

WEB会議で毎日、進捗を情報共有することで、課題の明確化とその対応について、その場で対応方針を確認することができた。また、総管と現場の役割分担が確認され、手戻りも少なく対応に当たることができたと考える。

今回の事象では、水中ドローンやWEB会議といった近年、有効活用されている機器や打合せ形式を有効活用することで、現場の少人数でも速やかに対応することができた。また、事前に発生源の位置を詳細に特定することにより、潜水作業時間が大幅に短縮できたことで、工期とコストの縮減に繋がった。

事前にオイルフェンス展張訓練を実施していたことも速やかに対応できた要因と考えている。

なお、なぜドラム缶がこの位置に沈んでいたのか、建設当時の写真を確認したが残置された様子は確認できず、出水時に流れ着いて沈んだもの、あるいは堤頂から不法投棄されたなどが推定されるが、経緯は不明であった。

今後も、問題が生じた際に適切な対応がとれるよう日々の訓練と速やかな情報伝達に努めていく。

9参考文献

1) 令和2年度木津川ダム群堆砂測量報告書



写真-9 状況確認のための潜水作業



写真-10 ドラム缶引上げ状況

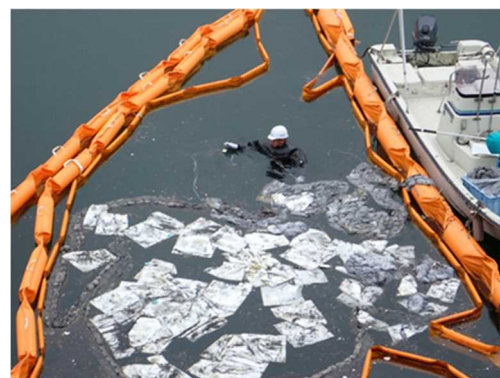


写真-11 湖面清掃状況



写真-12 回収されたドラム缶

オオサンショウウオ遡上路的利用実態と改良

○戒谷 大和¹・松浦 旬²

概要：

川上ダム建設所では文化庁の許可のもと、平成 28 年より、湛水予定区域に生息しているオオサンショウウオについて調査し、確認した個体を湛水予定域上流に移転している。また、併せて、移転先の生息環境改善のため人工巢穴の設置及び遡上が困難な堰等の構造物へ遡上路的設置を行っている。

移転先環境のモニタリングとして、上流域個体の確認調査や遡上路的の定点撮影等を行っており、これまでの調査結果から遡上に難のある遡上路的について問題点を抽出し改良を行った。一方で、過去調査からの移動履歴より、遡上路的を設置した全ての横断構造物地点を遡上していることが確認された。

キーワード：遡上路的、環境保全措置、モニタリング調査、特別天然記念物、オオサンショウウオ

1. はじめに

木津川上流域には、特別天然記念物であるオオサンショウウオが生息しているが、川上ダムにより生息環境が減少する。このため、有識者の指導のもと、オオサンショウウオの保全対策実施計画を定め(図-1)、文化財保護法に基づくオオサンショウウオの移転等に関する現状変更の許可を得て、堤体・湛水域に生息する個体を湛水予定区域の上流に移転させるとともに保全対策として人工巢穴と遡上路的の設置を行った。人工巢穴は、天然の繁殖巣穴の密度が少ない区間に計 32 箇所設置し、遡上路的は横断構造物 11 箇所に設置し、利用実態等のモニタリングも行っている。以降では、遡上路的の設置及びモニタリングの状況を述べる。

2. 遡上路的の設置

オオサンショウウオは繁殖期前に上流に移動し繁殖行動を行う¹⁾が、湛水予定区域の上流にはオオサンショウウオが遡上困難な堰などの横断構造物が多数存在し、カップリング機会の減少や、下流に流された個体が上流に戻ることに阻害が生じているものと考えられ、過去の調査において遡上困難な横断構造物による生活環境の分断が確認されている²⁾。そのため、移転にともなう個体密度増加の対策として生息環境の改善を実施することとし、平成 28 年から平成 29 年にかけて、オオサンショウウオの生息数が比較的少なく保全対策の効果が少ないと考えられる区間以外に設置されている堰などの横断構造物 52 箇所のうち遡上困難な 11 箇所に対して、遡上路的を設置した。

なお、遡上困難な横断構造物とは、オオサンショウウオは「45°以上の急な傾斜を遡上することは困難」、「堰高 25cm 以下の堰下では、個体の発見数が少ない」との報告があることから³⁾、「高低差 30cm 以上かつ勾配 45°以上」に加え、遡上できそうな迂回路が存在しないものであることとした。そのほか、調査時に確認された堰直下流における個体のたまり状況から遡上が困難と判断した箇所にも設置した。

また、遡上路的形式は 2 種類あり、方形柵にプラスチックネットで包んだ栗石を詰め、ブロック状にしたものを積み重ねた階段式遡上路的と、平鋼や金網で作成したスロープ状の柵に栗石を詰めた斜路式遡上路的がある。

具体的な取付位置については、過去に行った遡上路的試験

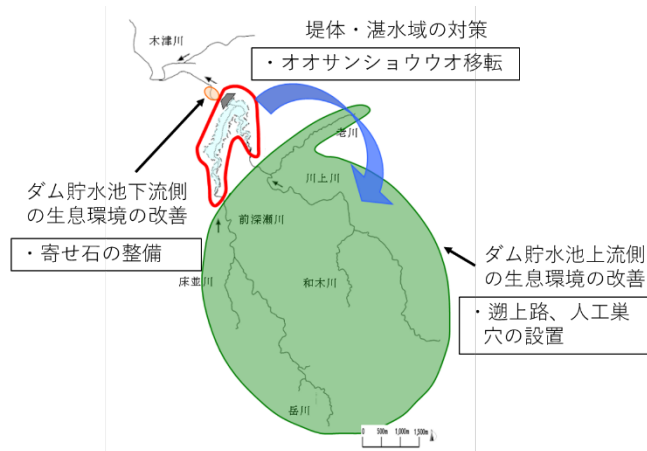


図-1 保全対策実施計画による主な対策の概要

1. 川上ダム建設所 環境課
2. 川上ダム建設所 環境課長

にて、オオサンショウウオは遡上路上に流水がある場合や側壁がある遡上路を好んで利用するという結果があり⁴⁾、可能な範囲でこれらの条件を考慮した。

3. 利用実態のモニタリング

設置した遡上路の利用実態を把握するため、平成 28 年度より遡上が始まる時期の 6 月下旬から 8 月下旬までの間の 7 週間（うち平日の 19 時から 5 時の間）にかけて、各横断構造物に設置した遡上路を定点カメラにて 1 分間隔で撮影する調査（以下、定点撮影調査とする。）を行った。調査結果を表-1 に示す。令和 2 年度までに 11 箇所のうち、7 箇所にて遡上を確認した。

図-2 に示す D 井堰の例では流水に向かって移動してきた個体が堰で岸方向に向きを変え、遡上路の登り口を見つけて遡上していく状況が確認されている。その他の A 井堰や B 井堰、G 井堰の遡上路においても同様の状況が確認されており、遡上実績がある箇所は、遡上路が流水に近いこと、かつ、登り口が岸寄りであることが共通しており、遡上路試験時と同様の結果が示されている。

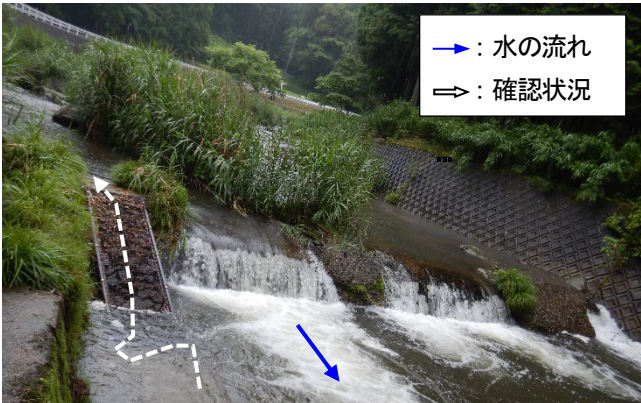


図-2 D 井堰に設置した遡上路

4. 遡上路の問題点及び改良

定点撮影調査にて遡上が確認されていない C 井堰、F 井堰、I 井堰のほか、本調査及び後述するマイクロチップの移動履歴において確認個体数が少ない E 井堰、これまでの調査で堰下に停滞する個体が散見された B 井堰の計 5 箇所について、以降に述べるとおりオオサンショウウオの確認状況を踏まえ、令和 2 年度に改良を行った。

B 井堰における確認状況を図-3 に示す。B 井堰では遡上路と擁壁の間に滞留し、遡上まで至らない個体が多く確認されたほか、この間に流水が挟まった時にそれを利用した遡上が 5 回確認された。これらのことから擁壁と遡上路の間の隙を埋める改良を行った。（写真-1）

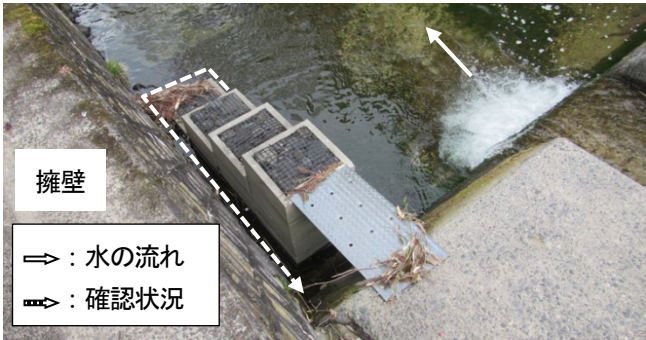


図-3 B 井堰のオオサンショウウオ確認状況



写真-1 改良後の B 井堰

表-1 定点撮影調査結果

河川名	横断構造物	遡上路形式	H28	H29	H30	R01	R02	遡上路の特徴及び遡上状況	R2 改良 対象
前深瀬川	A井堰	階段式	○	○	○	●	○	川岸に方形柵1個のみ設置。遡上路を利用しない遡上を確認。延べ17個体遡上。	
	B井堰	階段式	○		●			川岸に設置。横断構造物との間に滞留する個体が多い。延べ8個体遡上。	○
	C井堰	階段式						途中までの利用を確認。約150m下流に高さ5m程度の滝がある。	○
川上川	D井堰	斜路式	—	○	○	○	○	流水が近く、川岸に設置。延べ6個体遡上。	
	E井堰	斜路式	—			○		川岸に設置。擁壁との間に滞留する個体が多い。1個体のみ遡上確認。	○
	F井堰	階段式 斜路式	—	△	△	△	△	川岸に設置。階段式のみ遡上を延べ27個体確認。	○
	G井堰	階段式	○				○	川岸に設置。遡上路を利用しない遡上を確認。延べ6個体遡上。	
	H井堰	斜路式	—	○	○			流水が近い。延べ3個体遡上確認。	
	I井堰	斜路式	—					堰付近の個体数が少ない。遡上路の右側に滞留する個体が多い。	○
老川川	横断構造物J	階段式	—		●		●	流水が近い。遡上路を利用しない遡上のみ確認（延べ15個体）。	
床並川	横断構造物K	斜路式	—					遡上路の側に滞留する個体が多い。	

○：遡上確認 △：一部遡上（階段式のみ利用確認）●：遡上路以外での遡上を確認 —：遡上路未設置

C井堰における確認状況を図-4に示す。C井堰では堰に沿って移動し、途中まで階段を遡上する個体は度々確認されているが、堰を越える完全な遡上は確認されていない。一因としてC井堰の遡上路は4段積みの階段式で、階段の最上段と堰の間は鉄板で接続されているが下の段では隙間があり堰までアクセス出来ないことがあると想定し、B井堰と同様に堰と遡上路の間隙を埋める改良を行った。

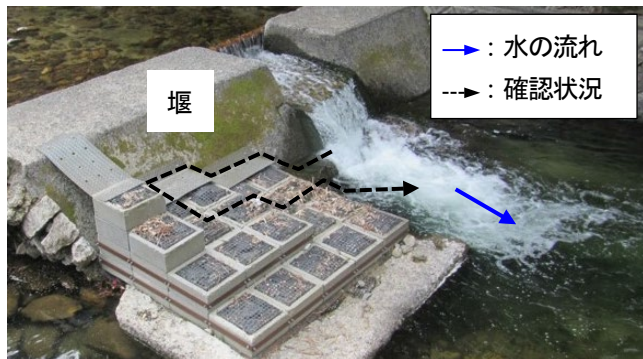


図-4 C井堰のオオサンショウウオ確認状況

E井堰における確認状況を図-5に示す。E井堰では遡上路の側方及び擁壁との間隙に停滞している個体が確認されている。このことから、B井堰等と同様に擁壁と遡上路の間隙を埋める改良を行った。

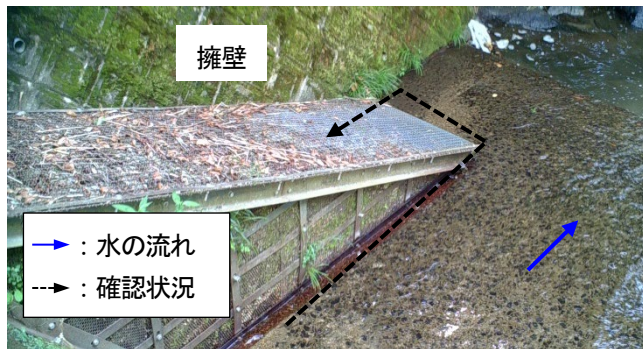


図-5 E井堰でのオオサンショウウオ確認状況

F井堰における確認状況を図-6に示す。F井堰は河川から水叩部へのアクセスに階段式、堰には斜路式を設置している。階段式の利用は各年の定点撮影調査で確認されているが、その後、斜路式の遡上路は利用せず対岸側に移動する様子が確認されている。このことから階段式遡上路から斜路式遡上路に向かうよう誘導するための障害物を設置した。また、遡上路と側壁にある間隙について、間隙を埋める改良を行った。(写真-2)

なお、F井堰では設置以降の流況の変化で流心が対岸側

に離れてしまった。しかし遡上路の再設置まではせず、現状の遡上路を活用し遡上を促すためこのような改良とした。

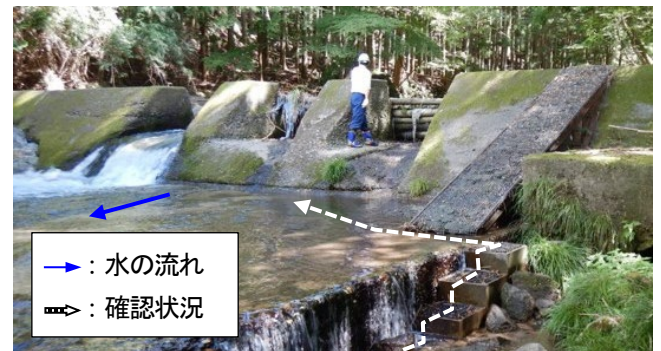


図-6 F井堰でのオオサンショウウオ確認状況



写真-2 改良したF井堰

I井堰における確認状況を図-7に示す。I井堰では右岸方向から堰に沿って移動し、遡上路の側面に停滞している個体が度々確認されている。このことから右岸方向から遡上路側方へのアクセスが容易になるような改良を行った。

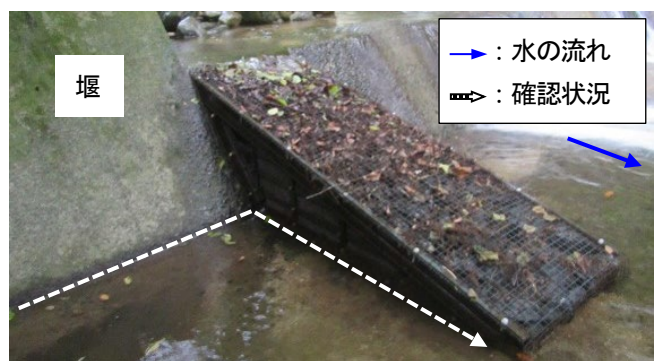


図-7 I井堰でのオオサンショウウオ確認状況

令和3年6月に改良後の遡上路において定点撮影調査を行ったところ、B井堰の遡上路において埋めた隙間箇所を利用して遡上する様子が確認され(写真-3)、改良の妥当性が確認された。その他の井堰については調査中であるが、現時点(令和3年7月)では遡上する個体は確認できていない。



写真-3 改良部を利用し遡上するオオサンショウウオ

5. マイクロチップの移動履歴による遡上の確認

オオサンショウウオ調査において確認された個体は、個体識別のためマイクロチップを挿入していることから、湛水予定区域上流における生息確認調査で複数回確認された個体は前回の確認位置から移動履歴が確認出来る。これにより各横断構造物地点の下流側から上流側への移動実態を表-2のとおり整理すると、令和2年度にて11箇所全ての横断構造物地点の移動を確認出来た。これについては、遡上路を使用したものかどうかは判断出来ないが、定点撮影調査を行っていない荒天時や、降雨時の日中または、堰の迂回等にて遡上を行っている可能性が考えられる。

表-2 マイクロチップによる移動履歴

(単位: 個体数)

河川名	横断構造物	遡上路形式	H28	H29	H30	R01	R02
前深瀬川	A井堰	階段式	1	1	2	5	3
	B井堰	階段式		1	1	4	3
	C井堰	階段式					1
川上川	D井堰	斜路式	—		1	1	2
	E井堰	斜路式	—			1	2
	F井堰	階段式 斜路式	—				2
	G井堰	階段式	1	5	3	6	8
	H井堰	斜路式	—	1	1	1	1
	I井堰	斜路式	—				1
老川川	横断構造物	階段式	—	3	4	3	5
床並川	横断構造物	斜路式	—	3	2	3	6

—: 遡上路未設置 空欄: 移動履歴なし

6. まとめ

これまで上流域に11箇所の横断構造物に遡上路を設置し、現在まで定点撮影調査を行い、その結果では、付近に流水があり、川岸に設置した遡上路については高頻度で利用が確認されている。利用されていない箇所については、オオサンショウウオの確認状況を考慮し横断構造物との間隙等を埋める等の改良を行った。改良後の定点撮影調査

では、B井堰の遡上路についてオオサンショウウオの利用が確認され、適切な改良であることが確認できた。しかし、未だ遡上が確認出来ていない遡上路も存在するため、引き続き定点撮影調査を行い、移動状況や問題点を把握していく。

一方で、マイクロチップによる移動履歴では、全ての横断構造物地点にて下流から上流への移動が確認されており、湛水予定区域上流におけるオオサンショウウオの生息域は完全に分断されているものではないと言える。また、移動履歴には写真-4に示す落差5m程度の滝地点を含むことから、オオサンショウウオの遡上能力は当初の想定よりも高いことが予想される。



写真-4 上流への移動が確認された滝（落差約5m）

7. おわりに

川上ダム建設事業は令和4年度に完了し、管理に移行する予定であるが、オオサンショウウオのモニタリングは継続的に実施する予定であり、併せて生息環境改善のための遡上路等の維持管理も必要である。管理以降後においても効果的にこれらが実施出来るよう、これまでの知見を踏まえ、有識者のご意見を伺いつつ具体的な方針を定めて行きたい。

参考文献

- 1) 田口勇輝. 2009. オオサンショウウオの季節的な移動—流水に棲む両生類による繁殖移動の可能性—. 日本成体学会誌 vol. 59, no. 2. p117-p128
- 2) 廣瀬真由, 竹澤秀史: オオサンショウウオの保全対策に関する検討, 平成28年度(第50回)水資源機構技術研究発表会資料集, pp93-96.
- 3) 田口勇輝・夏原由博. 2008. オオサンショウウオが遡上可能な堰の条件. 保全生態学研究 vol. 14, no. 2. p165-p172
- 4) 磯野正典・大村朋広・古賀勝之. 2008. 川上ダムのオオサンショウウオ道遡上試験について. 平成20年度(第42回)水資源機構技術研究発表会

令和2年度の一庫ダム冬季渇水の対応

○川上 貴宏¹・内藤 信二²

概要：

一庫ダムがある猪名川流域では、令和2年8月以降少雨傾向となり、12月21日からは6年ぶりに取水制限10%が開始され、翌年1月8日には20%に強化された。令和3年4月5日に取水制限が解除されるまで、取水制限期間は106日間に達し、管理開始以降3位の長さとなった。

今回の渇水では、社会生活への大きな影響が無かったものの、一庫ダムでは関係機関や利水者と緊密に連絡・情報共有を図ったほか、きめ細やかな低水管理操作や年度途中での利水基準点のH-Q曲線見直し等により貯水量を温存させた。本稿ではこれらの渇水対応について報告する。

キーワード：冬季渇水、取水制限、確保流量、利水補給

1. 令和2年冬季渇水の概況

令和2年のダム流域の年間降水量は1,730mmで、平年値1,498mmを上回ったものの、時期に偏りが見られ、7月までは平年の約1.5倍に達したが、8月以降は一転して少雨傾向となり、8～12月の雨量は平年の約0.7倍と非常に少なく、これが今回の冬季渇水の原因となった。

少雨により河川流量が減少すると、ダムが無い自然流況では下流にて満足に取水できないため、一庫ダムから不足分を補給する結果、貯水量が減少していく。8月以降この状態が続いた結果、ダム貯水率は9月25日に57.3%まで低下した。その後、10月にかけては降雨に恵まれダム貯水量が回復傾向にあったが、11月以降再び少雨となり、貯水率30%（洪水期換算60%）を下回ったことから、12月21日10時から農業用水・水道用水ともに取水制限10%を開始、同日に一庫ダム渇水対策本部を設置した。取水制限は平成26年以来6年ぶり、冬季に取水制限が実施されたのは平成14～15年以来である（表-1）。

表-1 猪名川流域の取水制限実績

開始	解除	日数	最低貯水位
S61.12.10 ～ S62.2.10		63日間	119.06m
H6.8.8 ～ H7.5.12		278日間	116.61m
H12.8.14 ～ H12.9.12		30日間	120.49m
H13.8.17 ～ H13.8.22		6日間	126.45m
H14.8.12 ～ H15.2.28		201日間	115.06m
H16.8.3 ～ H16.9.1		30日間	126.63m
H26.8.1 ～ H26.8.14		14日間	125.58m
R2.12.21 ～ R3.4.5		106日間	123.25m

翌年1月8日には取水制限20%に強化された。1月23日に貯水率20.9%と底を打った後は、取水制限の効果と、その後の周期的な降雨によって貯水量が回復し、4月5日に取水制限は解除された（写真-1、図-1）。取水制限期間は106日間と、管理開始以降3番目の長さとなった。



写真-1 貯水率21.3%の一庫ダム(令和3年1月21日)

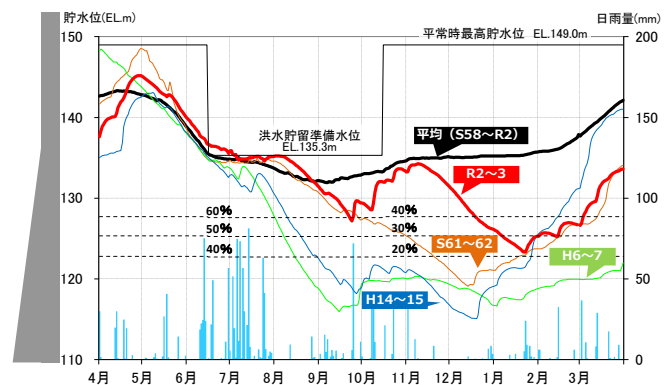


図-1 主な渇水年の一庫ダム貯水位曲線

2. 一庫ダムの低水管理の特徴

2.1 一庫ダムの利水

一庫ダムは、阪神都市圏を抱える都市型ダムであり、兵庫県（尼崎市・西宮市・伊丹市・宝塚市・川西市・猪名川町の5市1町）、池田市、川西市、豊能町（大阪広域水道企業団）の水道用水として供給されている（図-2）。また、一庫ダムの不特定用水の補給には、既得農業用水に加えて、既得の水道用水（川西市、池田市、伊丹市、豊中市）の補給も行っており、水道用水は新規・既得含めおよそ45万人が一庫ダムの恩恵を受けている。特に、池田市・川西市・猪名川町は一庫ダムへの依存度が80%を超えており（図-3）、過去より渇水を少しでも軽減できるダム運用を行ってきたところである。

一庫ダムでは、上記の水利用に対し、下流の利水基準点（虫生地点）にて新規利水と機能維持を加えた水量（確保流量）を満足するよう補給を行う。なお、流水の正常な機能維持のための確保量は、農業用水等確保量に期別変化を持たせ、上水道確保水量は一定として加え合わせた水量となる（図-4）。

虫生地点の確保流量のうち、新規利水の開発水量は最

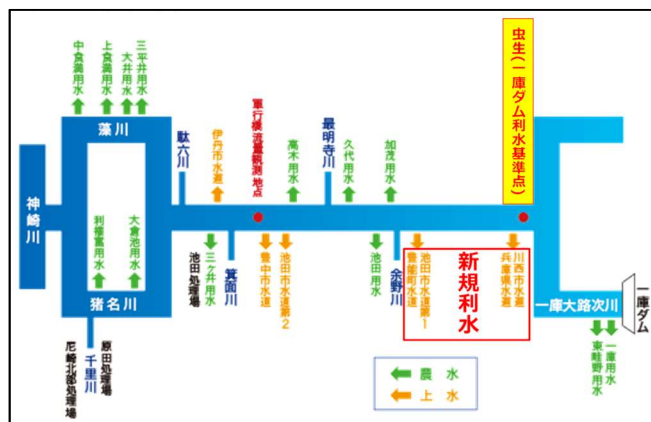


図-2 猪名川流域取水口位置図
（猪名川河川事務所 HP より。一部加筆）

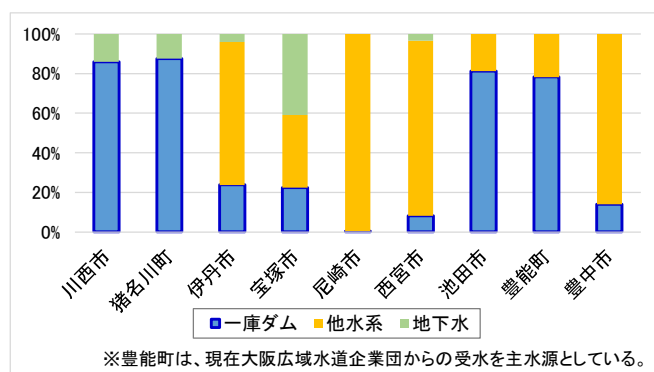


図-3 水道水源の一庫ダムの依存度（平成28年）

		(m³/s)					
虫生地点確保流量 (直近下位水位流量)		2.795 (2.76)	3.125 (2.96)	4.419 (4.26)	3.972 (3.80)	3.244 (3.16)	2.795 (2.76)
流水の正常な機能 の維持		1.100	1.430	2.724	2.277	1.549	1.100
新規利水		1.117 兵庫県	0.116 川西市	0.365 池田市	0.097 豊能町		
		1.695					
		4/1~	6/1~	6/21~	7/16~	8/16~	10/1~

図-4 利水基準点（虫生）取水計画量（令和2年度）

大2.5m³/sである。令和2年度の新規利水分は1.695m³/sであり、農業用水等を加えた2.795m³/sが取水制限前（令和2年12月時点）の確保流量である。

2.2 低い利水安全度

ダムの利水計画は、原則として1/10渇水相当の計画基準年において所定の流量を確保するための必要補給容量により決定される。一庫ダムは、昭和30年～39年の10年間を対象に最大開発流量の検討がされており、昭和39年が計画基準年になっている。

管理開始以降の38年間で8回の取水制限を行っていることから、一庫ダムの利水安全度は1/5相当であり、利水安全度の低いダムとなっている。

2.3 利水基準点の確保量を満足させる操作

通常時の基本運用としては、ダム下流の利水基準点（虫生地点）の流量を24時間常時監視し、確保量を下回ったら補給量を増、上がったら補給量減という操作を行い、できるだけダムの水を温存する運用を行う。基準点の流量は、H-Qより決定されるため、1cm単位の水位変動により、操作を実施することとなる。

また、運用上の確保量は、直近下位の水位での確保を目指す。これは、平成14年渇水を受けて、ダム貯水量を少しでも温存できるよう、全利水者及び河川管理者の了解を得て、平成15年度より実施しているものである。ダムからの補給が虫生地点に到達する時間はおおよそ3～4時間程度が目安となる。

低水管理操作体制について、勤務時間内（平日）は主に低水管理当番職員が対応し、休日夜間はダム職員2名の当番制（一般職員1、管理職1）にて対応している。

3. 一庫ダムの渇水対応と貯水量温存策

冬季渇水は、夏季のように前線や台風による大雨が望めず、長期にわたり継続することが懸念されたことから、関係機関や利水者と密な情報共有を図るとともに、少しでも貯水量を温存させる方策を検討し、実行した。

3.1 関係機関、利水者との渇水調整

貯水率が40%（洪水期換算80%）を下回った11月29日以降、ダム所長より利水者幹部（水道事業管理者、部長級）に適宜情報提供を行った。その時点で、取水制限前に少しでも貯水量の温存を図るべく、水道事業者が自主節水の調整に乗りだしたものの、日程的に困難であり実施できなかった。

並行して、河川管理者より猪名川渇水調整協議会開催に向けた調整がなされた。協議会事務局である猪名川河川事務所による利水者への聞き取りで一部利水者から20%取水制限までなら市民生活への直接的影響は回避可能として、第1次取水制限から20%で進めて欲しいとの意見があったが、調整の結果、貯水率の低下に応じて段階的に強化していくことで10%制限から開始することとなった。

また、協議会にて20%制限の開始時期も明記されたが、その間に降雨があり貯水量の減少が緩やかになったため、事務局から取水制限20%の開始延期の意見聴取を行ったところ、今後の貯水位回復の見込みがないことから、貯水量の温存のために、予定通り取水制限20%を開始するべきとの意見が多く寄せられ、延期の調整は実施しないこととなった。特に、一庫ダムの水道依存度が高い2市1町からは、少しでも長くダムの水量を確保して欲しいという切実な声が聞かれた。

3.2 取水制限の基礎となる水量の精査

取水制限を行うにあたり、水道用水（新規、既得）に関しては、各取水団体の11月1日～12月20日の最高取水実績（日）を採用し、 $2.484\text{m}^3/\text{s}$ （計画量との差 $\Delta 0.311\text{m}^3/\text{s}$ ）を「基礎となる水量」と定め、その水量から10%及び20%の制限をかけている（図-5）。つまり、取水制限10%、20%時の取水制限前からの削減水量は、計画量に対しそれぞれ18.4%、28.9%に達し、貯水量温存効果が格段に高まることとなった。さらに、虫生地点の確保流量は、直近下位水位で設定することから、より温存効果が発揮される。

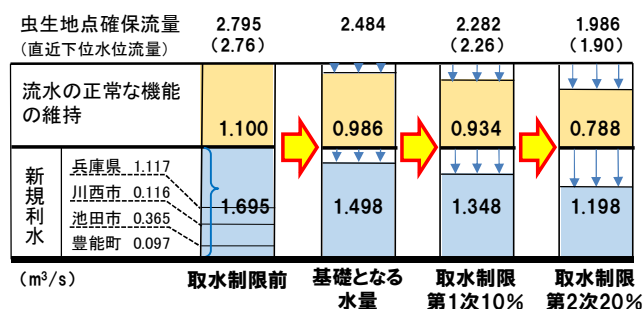


図-5 取水制限時の確保流量

3.3 きめ細かい低水管理操作

利水基準点の確保水量を満足させるため、令和2年8月から令和3年4月5日の取水制限解除までの間に計345回（前年の1.7倍）の補給操作を行うなど、きめ細やかなダム操作に努めた。

この間のダムからの補給日数は159日に及び、総補給量（図-6の黄色部分）は京セラドーム大阪12杯分に相当する14,356千 m^3 に達した。

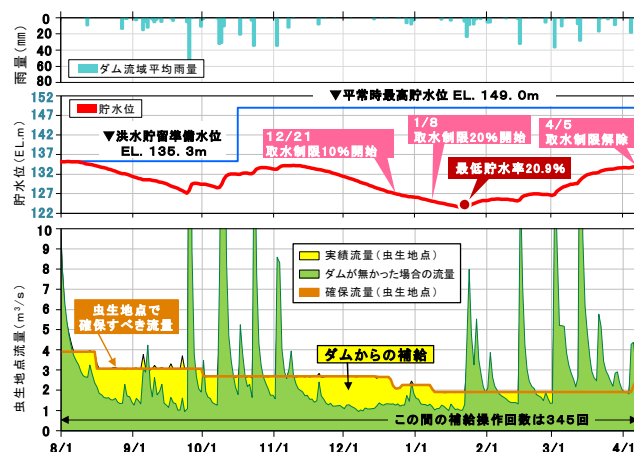


図-6 利水基準点の河川流量とダムからの補給状況

3.4 利水基準点（虫生地点）のH-Q式見直し

令和2年11月中旬以降、同様の流況であった前年よりも貯水位の下がり方が急であったため、流域流況データを整理分析したところ、ダム流入量は前年と同程度であることから、虫生地点のH-Qの誤差の可能性が考えられた。この状況を水位局を管理している河川管理者に伝えるとともに協議を行い、年度途中ではあるが、12月15日にH-Q式の変更を行った。その結果、 $0.3\text{m}^3/\text{s}$ 程度の補給量低減効果が認められ、その分ダム放流量が少なくなり、貯水量の温存が図られることとなった。

4. 広報活動

取水制限は、市民生活に直ちに重大な影響が及ぶものではないことから、統一的な節水キャンペーンは実施せず、各取水者の判断により行うこととされた。一庫ダムでは、ダムの役割を理解していただく貴重な機会と捉え、積極的なツイッターへの投稿や、職員手作りのバーチャルダム見学の YouTube 動画にダムの利水の役割と渇水情報を盛り込み、自治体やケーブルテレビ等にホットライン営業を展開した。また、今回の渇水の振り返り動画(図-7)を掲載する等、攻めの広報活動を行った。



図-7 渇水対応をとりまとめた YouTube 動画
(QR コードは動画へのリンク)

5. 異常渇水への備え

5.1 補助取水ゲート

一庫ダムは、異常渇水時にも堆砂容量内に貯まった水の取水が可能となるよう最低水位 (EL. 108.0m) より低標高部の EL. 92.0m に補助取水ゲートを設置している。渇水が長期化・深刻化する事態に備え、確実な開閉操作ができるよう、危機管理対応訓練の一環として毎年操作訓練を実施している(写真-2)。また、操作訓練前にはダム貯水池の堆砂測量時にマルチビーム測深機を用いて補助取水ゲート付近の状況調査を行い、沈木等の異物がないことを確認することとしている(図-8)。



写真-2 補助取水ゲート操作訓練



図-8 マルチビーム測深機による計測

5.2 補助取水ゲート試験放流時の水質監視

補助取水ゲートからの放流訓練は、循環期である冬季に実施しているが、ダムの底部に貯まった水であることから、貯留水の循環混合の程度によっては、貯水池底層の濁水等による下流河川への魚類等への影響が懸念される。

令和2年度は、事前に補助取水ゲート付近で採水し、健康項目や鉄・マンガン等の水質項目、2-MIB、ジオスミンといったカビ臭物質濃度に問題ないことを確認し、放流試験を行った。これにより、実際に補助取水ゲートが開閉でき水を取水・放流できること、放流水質に異常が無いことを確認することができた。

6. まとめ

令和2年の冬季渇水は、一庫ダムでの久しぶりの渇水だったこともあり、慣れない渇水対応の中、できる限り先手を打って貯水量の温存につながるような対応をしてきた。渇水期間中、関係利水者への迅速な情報提供やきめ細やかな放流操作を行うことで、大きな問題なく渇水を乗り切ることができた。一方で、利水者間の自主節水が間に合わなかったことや、利水基準点の H-Q 見直し調整に難航したこと等、事前準備が不足していた部分もあった。

気候変動等の影響により、異常降雨や異常渇水といった極端現象の顕在化が懸念され、今後ますます関係者間の連携や地域が一体となった異常渇水等への対応が重要となってくる。令和3年4月より試行運用を開始した「淀川水系(猪名川渇水調整協議会)渇水対応タイムライン」も踏まえ、次期渇水時には、関係機関と協力し、素早く対応できるよう備えたい。

高度なダム管理を目指したケーブル配線計画

○後 雄貴¹・伊藤 大²・村崎 雅之³

概要：

川上ダムでは新規ダム建設に伴い、ダム管理に必要な不可欠な動力ケーブル、通信ケーブル、光ケーブルなど各種ケーブル配線の計画策定にあたり、これまでの機構内管理施設における電気通信担当者の経験を取込むことにより高度なダム管理を目指し、従来よりも安全で職員が快適なダム管理が行える設備設計に取り組んだ。

昨今のタブレット端末を利用した管理システムに対応するため監査廊内へは漏洩同軸ケーブルによる Wi-Fi 環境の構築、流入水バイパス取水堰のゲート制御や CCTV 映像伝送用に用いる全長約 2km 超の水中光ケーブルの採用、ダム管理上重要なゲート設備の動力電源ルートの 2 重化、全長約 13km 超に及ぶ架空配線による自営光ケーブルの構築に向けた施工を行っている。

本論文では、管理を意識したケーブル配線計画の考え方、現地条件を考慮した適切なケーブルの選定など川上ダムにおける総合的なケーブル配線計画及び関係各所と実施した調整事項について取り纏めたので、報告するものである。

キーワード：2 重化ルート、水中光ケーブル、漏洩同軸ケーブル

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の左支川である前深瀬川と伊賀市布引峠に源を発する川上川の合流地点に建設される重力式コンクリートダムである。

ダムの堤体内には、各管理設備とダム管理所とを接続する非常に多くの様々なケーブルが長距離に渡り配線されており、その種類は動力ケーブル、通信ケーブル、光ケーブルなどがある。新設ダムの建設に伴い今回全てのケーブルについて配線ルート計画の作成から必要な電線管路やケーブルラックの設計を実施した。また近年映像伝送などの大容量通信、Wi-Fi 環境がどこでも利用できることから、川上ダムにおいても光ケーブル、漏洩同軸ケーブルを積極的に採用し整備を行った。

2. ダム本体における配線

2.1 動力ケーブルの2重化

ダムの管理設備で特に重要なゲート設備の「動力ケーブルは原則として二重化を図る」ことが、ダム・堰施設

技術基準（案）に明示されている。

ダムにおいて、配電線路に障害が発生するとケーブル長が長く、復旧のため長時間の電源断によりゲート操作が行えず、ダム管理の運用を阻害することとなる。動力ケーブルは通常 20 年以上使用するが、経年劣化による絶縁不良や水トリ現象による短絡事故や地絡事故が発生することがある。川上ダムの場合、洪水吐ゲートが 1 門のみであるため、動力ケーブル障害による電源断でゲート操作ができない状態になることがないように動力ケーブルの二重化を図り、配線系統の切替を行うための電源切替盤を設置した。そのため、動力ケーブルに障害が発生した場合でも即座にバックアップ用の配線系統への切替が行える作りとしている。利水ゲートについても同様に動力ケーブルの二重化と電源切替盤を採用している。

図-1 に川上ダム動力ケーブル配線図を示す。

機側操作盤の制御電源は、動力電源に異常が生じた場合でも状態の監視を可能にするため、動力電源とは別ケーブルによる配線としている。

-
1. 川上ダム建設所 機械課 後 雄貴
 2. 川上ダム建設所 機械課 伊藤 大
 3. 川上ダム建設所 機械課長 村崎 雅之

2.2 通信ケーブルの光化による効率化

通信ケーブルには光ケーブルを採用する。光ケーブルは、光に変換した信号を非常に細い光ファイバーの中を通して通信するため、光ファイバーを増やすことで同時に多数の通信を行うことができる。ダムコンの機側伝送装置で集約した制御・監視信号やCCTVカメラ映像等を1本の光ケーブルでダム管理所内まで伝送できるため、設備毎に敷設する複数のメタルケーブルを集約し、少ないケーブル本数で効率的な通信を行える。また構造上雷害に強い特徴もある。

3. 管理しやすい機能的な配線経路の構築

3.1 堤頂道路部配管の工夫

川上ダムは重力式コンクリートダムであるため、堤頂に敷設する埋設配管は本体コンクリートにより周囲を固めるため、将来的にケーブル配管が不足した場合や配管内の詰まりにより使用できなくなったとしても増設することが不可能である。そのため、管理移行後数十年が経過しても支障なくケーブルの通線や更新作業が行えるよう余裕を持った設計とする必要があり、当初計画が非常に重要となる箇所である。

機構内の既設コンクリートダムにおける堤頂道路配管に関する留意点を他ダム担当者に聞き取った結果、管理年数の経過と共に建設当初より付帯設備が追加されケーブル本数が増え、配管本数が足りなくなるという意見が多かった。

川上ダムでは堤頂道路に歩道部がないこともあり、堤

頂道路部に埋設するしかない構造である。右岸管理所側から堤頂道路へ配管ルートを敷設するため、もっとも配管本数が多い右岸側で動力電源用の配管φ100×12条（予備管4条）、通信制御用の配管φ80×15条（予備管5条）の敷設を行った。

配線用ハンドホールは堤頂道路に7個設置し、配管本数が多い箇所については、ハンドホール内での通線作業時の施工性を考慮し、角蓋タイプの大型のハンドホールを採用した。角蓋タイプは上部開口が丸蓋に比較し大きく開くため、通線作業がやりやすい特徴がある。

堤頂配管は本体工事で施工したが、採用する配管種類、詳細なハンドホール位置の決定、堤体建屋へのケーブル引込み方法の検討、鉄筋や止水板との干渉、プレキャストの開口調整など最終的な施工図を作成するにあたり、数ヶ月に渡る調整を重ねる必要があった。

本体コンクリートに埋設することから、通常の地中埋設であればFEP管または角型エフレックス管の採用となるが、次に示す問題を解決する必要があった。

○配管本数が多くコンクリートが管路の隙間に入らない。
○バイバックによる締め固め時に配管が動き蛇行してしまう。

○骨材により配管が潰れるもしくは損傷し内部にコンクリートが流れ込む恐れがある。

コンクリート打設と必要な配管本数を考慮した結果、川上ダムではFEP管を合成樹脂製のユニットで固定した「合成樹脂製多孔管」による敷設が最適であると判断した。合成樹脂製多孔管であれば、複数の配管を一つのユ

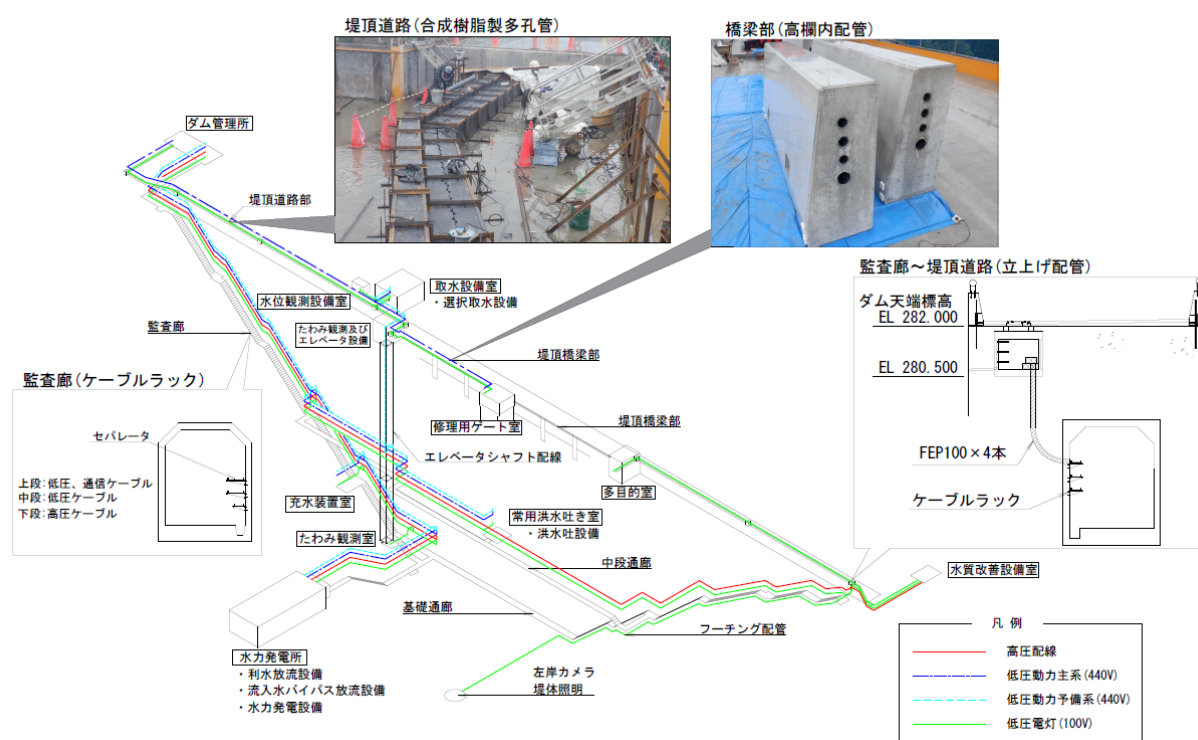


図-1 川上ダム動力ケーブル配線図

ニットとして扱えるため、管路隙間へのコンクリート充填不足や締め固め時のずれなどを心配する必要がなく、安心して本体打設を実施することが出来る設計とした。

3.2 堤頂橋梁部配管の見直し

川上ダムは非常用洪水吐きがゲートレスの自然越流堤となっていて、ダム中央部は橋梁による構造となっている。堤頂の中央にある修理用ゲート室へ動力や通信線を敷設するためには、橋梁部への配管ルートを検討する必要がある。

当初設計では橋梁下部に厚鋼電線管 G82×4 条を吊る形で設計されていたが、このまま施工した場合、管理移行後の電線管のメンテナンス、ケーブル張り替え時の作業が非常に難しい形となるため、新しい配管ルートの敷設方法の検討を行った。

堤頂高欄の外側に露出配管による敷設が一つの案として考えられたが、電線管が露出することによる景観上の問題があることに加え、高欄外側であるためメンテナンスのためには橋梁点検車などが必要になり容易にメンテナンスができるとは言えない構造となる。そのため、プレキャストで製作する高欄の内部に予めケーブル用の配管（φ50×3 条、φ80×1 条）をセットした高欄を製作した。高欄の堤頂道路側にケーブルを引き出せる開口部を設けることにより、堤頂道路から容易にケーブル敷設が可能な構造とした。

3.3 監査廊内配線経路の設計

ダム監査廊内は、ケーブルラックによる配線を行う。ケーブルラックの材質としてステンレス製、アルミニウム製、鋼製（めっきの違いにより ZAM 製、ガルバリウム鋼板製、スーパーダイマ製などがある）など複数の種類がある。ダム監査廊内は非常に湿気水気が多いことから、錆に強い耐環境性を考えるとステンレス製が最も優れているが、価格がほかの製品の 1.5 倍～2 倍と高価である。また監査廊内は急な階段へのケーブルラック取付や敷設延長距離が長いこと、耐環境性と価格に加え施工性も重要となる。自重が軽く施工しやすく、耐環境性に優れ、ステンレス製よりも価格が有利であるアルミニウム製のケーブルラックを採用した。

ケーブルラックは、高圧、低圧、通信でケーブルを分ける 3 段構成を基本とした。ケーブル本数が少ない箇所については、ラックの 1 段をセパレータで分割しとめることで、2 段もしくは 1 段構成とすることで、コストを抑えた経済的な設計としている。

左岸監査廊上部から水質改善設備室までのケーブルル

ートは当初計画では、監査廊から一度下流側フーチング部へ出て左岸端部処理工のコンクリート部分を迂回する計画となっていたが、今回本体工事と調整することで、監査廊から直接堤頂道路ハンドホールへ接続する配線ルートへ見直しを行った。その結果、約 40m ケーブルルートを短縮することができ、電線管敷設数量の縮減、配線工事の省力化を図ることができた。

4. 自営光ケーブル配線計画

4.1 水中光ケーブルの採用

川上ダムの上流約 2.2km 地点にある流入水バイパス取水堰とダム管理所を接続する光ケーブルルートとして、隣接する県道沿いのルートを調査した結果、途中から約 1.4km に渡り無電柱区間となることがわかった。電柱共架による架空配線ルートを選定した場合、無電柱区間に自営の電柱を建柱してルートを確認しなければいけないため現実的ではないことから、今回ダム湖内となる旧県道沿いに水中光ケーブルを敷設することで必要な通信路を確保する計画とした。

水中光ケーブルには、海底ケーブルを主に製作しているメーカーの光ケーブルを採用した。通常の光ケーブルと違い、ケーブル中心の光ファイバーを水密溶接ステンレスパイプで保護し、その周りを更に鉄線外装で保護する構造の光ケーブル（図-2）となっている。耐水・防水特性、耐側圧特性に優れたケーブルであるが、細径・軽量のため、曲げやすく工事施工が容易である特徴を持っている。

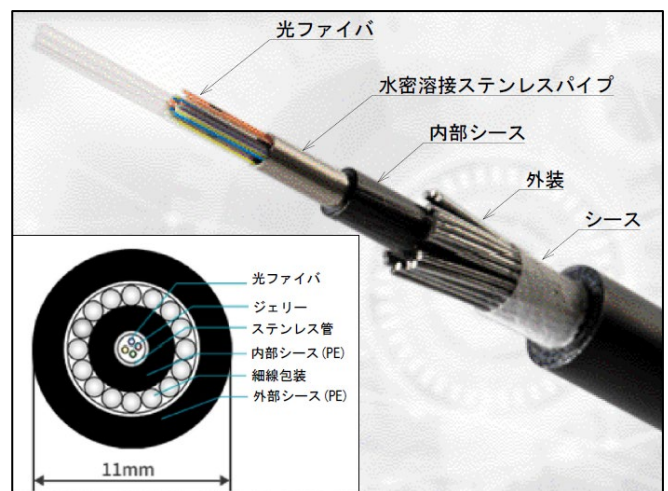


図-2 水中光ケーブル構造図

機構内における水中光ケーブルの実績として、徳山ダム、室生ダムのダム湖への水中光ケーブルの敷設、木曾川用水水路内への水中光ケーブルなどの施工事例があり、施工から 10 年以上経過しても通信障害や断線などの不具合はなく、十分な信頼性があることが確認されている。

川上ダムでは試験湛水開始前に施工するため水がない

ドライな状態で効率良く施工することが可能である。取水堰ゲートの監視制御、水質、水位、CCTV 映像の通信、将来の設備増設時の予備を含め、SM-20C（20 芯）の光ケーブルを選定した。

4.2 架空光ケーブル

川上ダムから木津川ダム総合管理までの約 11.3km の区間にダム諸量、CCTV 映像伝送及びアクアネット等の通信を行うための幹線光ケーブル（SM-40C（40 芯））の敷設を実施する。図-3 に光ケーブル系統図を示す。

光ケーブルの敷設方法として、中部電力柱・NTT 柱への共架による架空配線により施工する。中部電力柱が 305 本、NTT 柱が 40 本と数が多く膨大な共架申請書類が必要となる。また道路占用、河川占用、鉄道会社との調整、国交省ケーブルとの一束線化箇所、地元ケーブルテレビとの一束線化箇所、民地に立つ電柱や途中の支障樹木枝払いのため、94 人（法人含む）の地権者へ対して電柱共架工事の説明及び樹木枝払いの承諾を用地課の協力を得ながら職員の直営作業で対応した。これらの各種手続き完了後ようやく現地工事が着手可能となる。必要な手続きは多いが、自営ケーブルのため災害等でも他社の影響を受けず、確実な通信回線の確保が行える。

また幹線光ケーブルに加え、川上ダム下流河川沿いに支線光ケーブル（SM-12C（12 芯））約 2.3km を整備し、下流河川の CCTV 映像を伝送する計画とした。ダム下流には 3 箇所の CCTV カメラを設置する。①下流河川合流点、②潜水橋地点、③水防基準点のダムからの放流を行う上で重要な地点の河川状況の監視が可能となる。

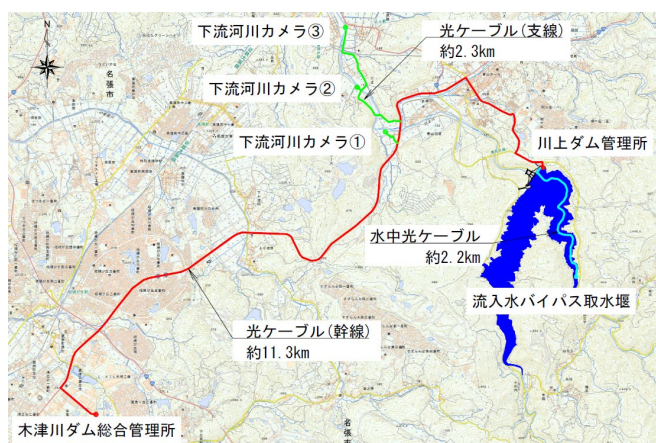


図-3 光ケーブル系統図

5. 監査廊内無線通信環境の整備

監査廊内には、全線にわたり漏洩同軸ケーブル（以下 LCX という）の敷設を行った。LCX はスロットと呼ばれる隙間から電波を漏らすことでアンテナとして利用できる

ように設計されたケーブルで、通常の無線 AP（アクセスポイント）よりも電波が届く範囲は狭いが、トンネル内など外部から電波が届きにくい閉鎖空間や障害物の多い屈曲した空間でも無線通信が行える特徴があり、ダムの監査廊での無線通信方法として適したケーブルである。LCX 構造と無線エリア比較を図-4 に示す。

川上ダムでは監査廊内の LCX を使用して、Wi-Fi 環境の整備を行った。また SSID を分けることで同じ 1 本の LCX で 2 つの無線 LAN ネットワークの構築を行い、スマートフォンを用いた内線電話の通信回線の構築を行う設計としている。LCX の敷設により、電波の届きにくい監査廊内のどこでもインターネットへ接続できる Wi-Fi 環境と監査廊内のどこでもスマートフォンによる内線通話が可能な通信環境の構築を実現した。監査廊内であっても圏外などの通信制限無く連絡ができる環境が確保されたことで、漏水等不具合があった場合の現地状況をテレビ電話で接続しながらダム管理所と連絡し、設計図や建設時の施工状況を現地にてオンラインで確認するなど、従来のダムと比較して非常に効率的な管理が行えるインフラが整ったと言える。ダム監査廊に LCX を整備したのは、水資源機構のダムでは川上ダムが初めてとなる。

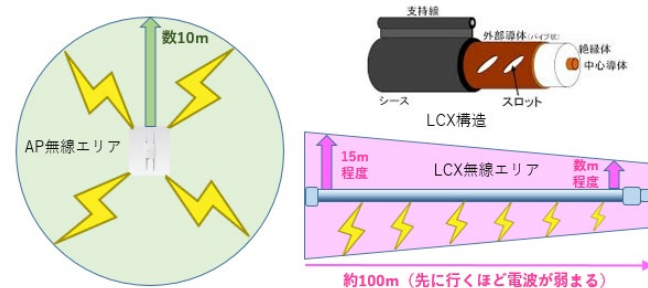


図-4 LCX 構造と無線エリア比較

6. おわりに

ダムの管理設備における配管配線設備は、もっとも目立たない設備の一つであるが、各ゲートへ動力電源を送り、ゲート制御や状態監視信号の伝送を行うダム管理上欠かせない重要な設備である。設備が常に正常に稼働するよう安全性・信頼性を確保することは当然であるが、今回計画する上で、管理のしやすさと将来的なケーブル更新・増設に対応可能な余裕を持った設備設計ということを強く意識して考えた。また通信環境のインフラが整うことは、従来よりも高度なダム管理へ繋がる。監査廊内の Wi-Fi として無線 AP を導入し、一部エリアのみカバーすることがこれまで多かったが、川上ダムで採用した LCX を使用すれば監査廊全域を効率良くカバーできるため、今後他ダムでも有効な技術である。

環境 DNA を用いた一庫ダム湖陸封化アユの調査について

○滝本 雅之¹・内藤 信二²

概要：

一庫ダムでは、以前よりダム湖を海の代わりにしてダム湖と流入河川との間で生活史を完結する陸封化アユの存在が確認されている。近年では、水産資源を保護する漁業協同組合がアユ仔稚魚の放流を取りやめるほど、ダム湖から遡上するアユは多くなっている。

今回、ダム湖の環境資源としての有効性や、今後のより環境に配慮したダム管理のための基礎資料を得るため、近年研究が進んでいる環境 DNA を用いてダム湖内における陸封化アユの生息実態を把握する調査を、国立大学法人山口大学と共同研究することとしたため、その調査の実施状況について報告するものである。

キーワード：環境 DNA、陸封化アユ、生息実態

1. はじめに

一庫ダムは、淀川水系猪名川の左支川一庫大路次川に位置するダムで、洪水調節、水道用水の供給、流水の正常な機能維持を目的とし、令和3年4月に管理開始38年を迎えた多目的ダムである。

一庫大路次川は、ダム建設前は、アユの友釣場として賑わっていたが、ダム完成後アユの姿を見かけることがなくなった。このため、平成14年度に地元からかつてのようにアユが多く棲める河川への復元が強く要望されたこともあり、平成15年度からダム下流では、フラッシュ放流や土砂還元、弾力的管理試験の実施による下流河川の環境改善に努めるとともに、ダム上流においても、水位低下式定置網の設置、外来魚釣り大会(主催：猪名川漁業協同組合)、アユの産卵床造成(通称：川の耕し隊)などの取り組みにより、生物の生息環境の改善を図っている。この結果、近年では、ダム湖から遡上するアユが非常に

多い状況が確認されている(写真-1)。

そこで、今回ダム湖の環境資源としての有効性や、今後のより環境に配慮したダム管理のための基礎資料を得るため、近年研究が進んでいる環境 DNA を用いたダム湖内における陸封化アユの生息実態を把握する調査を実施することとしたものである。

2. 調査方法

2.1 環境 DNA 調査とは²⁾

環境 DNA 調査とは、環境中に含まれる「生物由来の DNA」を分析・検出する技術を用いた生物調査である。

日本国内では、平成30年に設立された環境 DNA 学会が中心となり、「環境 DNA 調査・実験マニュアル ver. 2.2」(2020年4月3日発行)が公表されるなど、環境 DNA 分析を用いた生物調査の実用化に向けた取り組みが進められている調査手法である。

なお、環境 DNA 調査は、陸上の堆積物や、水中の堆積物、水等を調査サンプルとして取り扱うことが出来るが、今回の調査は、アユが対象であることから、水をサンプルとして調査を行った。

2.2 従来調査との違い²⁾

環境 DNA 調査と、定置網や投網など主に捕獲を主体していた従来調査との違いを表-1に示す。

調査にかかる労力として、従来調査では、①漁具等の取り扱いに労力・専門的な知識が必要なこと、②使用する



写真-1 流入河川(一庫大路次川)を遡上するアユ

表-1 環境 DNA 調査と従来調査との違い

比較項目		環境DNA調査	従来調査
事前準備	調査の実施、生物捕獲にかかる許可申請等	不要	必要に応じて申請等
	調査機材	採水キット	漁具等
現地調査	調査手法	採水 (サンプルの郵送)	定置網・投網・タモ網による捕獲
	調査にかかる労力	1名×10～20分程度 ※1 (1地点1回当たり)	3名×2日※2 (1湖沼3回地点当)
	調査者による精度のばらつき	小さい	大きい
分析作業	生物・生息環境への影響	ほとんどない	あり (漁具による殺傷、立ち入りによる生息環境の踏み荒らし)
	捕獲個体からの情報	なし	あり (体長・体重等)
	サンプル処理等	MiFish法 種特異的検出	メタバーコーディング分析等 リアルタイムPCR分析等 種の同定等

※1 試行調査(環境省業務)を参照

※2 モニタリングサイト1000 湖沼：淡水魚類調査マニュアル参照

漁具等の種類により確認できる種にバイアスがかかること、③捕獲した魚類の同定に知識が必要となり、広域を短期間に調査することが困難であるが、環境 DNA 調査では、人為的な汚染や水質異常(赤潮、アオコなど)等に留意が必要であるものの、基本的には採水作業のみであるので、広域を短期間に調査することが可能である。また、生物・生息環境への影響として、従来調査では、漁具による殺傷、立ち入りによる生息環境の踏み荒らしにより影響を与えてしまうが、環境 DNA では、採水のための最小限の立ち入りとなるので、影響はほとんどない。ただし、体長や体重等は捕獲個体の情報は、環境 DNA 調査では得ることが出来ない。

今回の調査では、貯水池及び流入河川におけるアユの生息実態を把握するため定期的に多くの地点での調査が必要となることから、環境 DNA 調査は従来調査に比べ、効果的な調査であると考えられる。

2.3 環境 DNA 分析の種類^{2) 3)}

環境 DNA の分析は、調査サンプルに含まれる調査対象の DNA を、ポリメラーゼ連鎖反応(以下、「PCR」という。)で分析可能な量に増幅して検出・定量する技術であるが、魚類の生物種の検出には、PCR によって増幅される DNA 断片の両端に結合する短い人工の一本鎖 DNA (以下「プライマー」という。)の特徴により、以下の2つの手法に分けられる。

・Mifish 法・・・水中に漂う DNA に対して網羅的に種を増幅・検出する手法。調査範囲内で生息の可能性がある種が分かる。

・種特異的検出・・・水中の漂う対象種(単一種)の DNA のみを増幅・検出させる方法。

今回の調査においては、アユのみを対象とした調査であることから、種特異的検出による環境 DNA の分析を行うこととし、サンプル中の調査対象種の DNA や RNA 量を高い精度で定量することができるリアルタイム PCR 法による環境 DNA の分析を行った。

2.4 調査内容

今回の調査の目的は、ダム湖内における陸封化アユの生息実態の把握であることから、アユの生活史を考慮して、環境 DNA 調査の試料採水位置、試料採取時期を決定する。

・試料採水位置

試料採水位置を図-1 に示す。

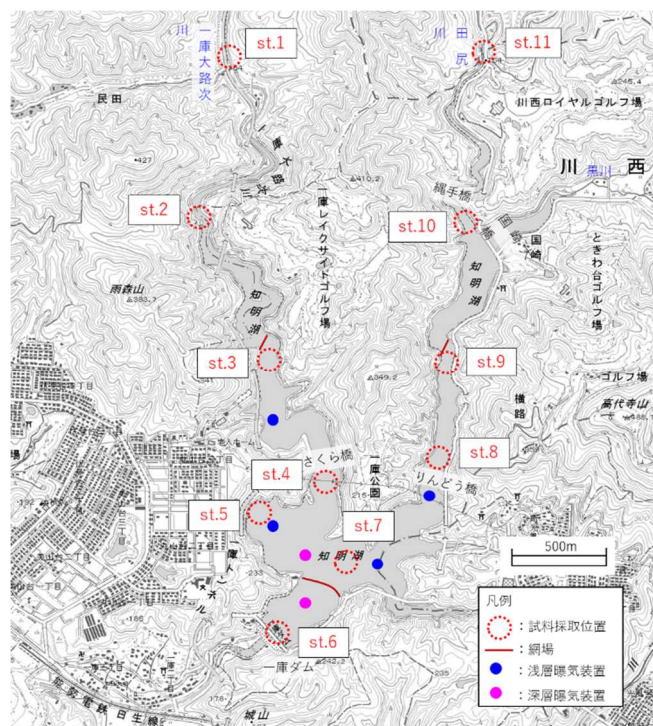


図-1 試料採水位置図

アユはその生活史の中で流入河川から貯水池内を移動しながら生息することから、流入河川(一庫大路次川、田尻川)における代表地点と過去にアユの産卵が確認されている地点の直下流、及び貯水池内をほぼ等間隔に7地点の計11地点を選定している。

・試料採水時期

アユの寿命は概ね1年程度であることから、令和2年

8月から令和3年8月までの13カ月間において、月1回調査するものとする。

2.5 調査手順

調査手順は、①現地調査、②採水試料の輸送、③環境DNAの分析、④分析結果の整理解析となる。今回の調査では、①、②を一庫ダムで行い、③、④を山口大学で行う。なお、ここでは、一庫ダムの作業部分である、手順①、②での注意点のみ記載する。

①現地調査では、各採水地点において採水とフィールドデータを記録する(写真-2)。採水を行う際は、環境DNA分析の支障となる濁度の上昇や水質異常(赤潮、アオコなど)等がないか確認するとともに、採水場所以外からの環境DNA混入などの人為的な汚染を防ぐため、採水作業中のゴム手袋着用及び調査地点毎の交換、採水容器の交換、採水地点の水の攪拌を防ぐなど注意が必要である。また、採水した水を分析場所である山口大学まで輸送する必要があることから、環境DNAを固定するため、塩化ベンザルコニウム液(劣化防止剤)を入れる必要がある。フィールドデータとしては、pH、水温、電気伝導率を測定した。



写真-2 現地作業状況(採水とフィールドデータ測定)

②採水試料の輸送では、保冷剤などで保冷して、クール便で輸送する。なお、輸送時の汚染の有無を確認するため、天然水を採水試料として塩化ベンザルコニウム液を入れたものを、他の採水試料と共に輸送した。

3 調査結果(令和2年度分) ⁴⁾

令和2年8月から令和3年3月までに行った環境DNA調査の結果を、図-1に示す。

・8月から9月においては、河川のみでアユの環境DNAが検出されており、河川の採水地点よりも上流部分での

みアユの生息が確認された。また、9月には環境DNA濃度が増加していることから、採水地点周辺へ産卵のためにアユが降下してきたものと考えられる。

・産卵期と思われる10月では、アユの環境DNA濃度がほとんど確認されなかった。また、この時期にはアユの魚影がみられなかったことも目視観察で確認されており、採水時期前後ではすでにアユの産卵が終了していたことが考えられる。

・11月から12月にかけて、河川から貯水池でアユの環境DNAが検出されており、これは、孵化仔魚が貯水池へと降下している様子を捉えたと考えられる。

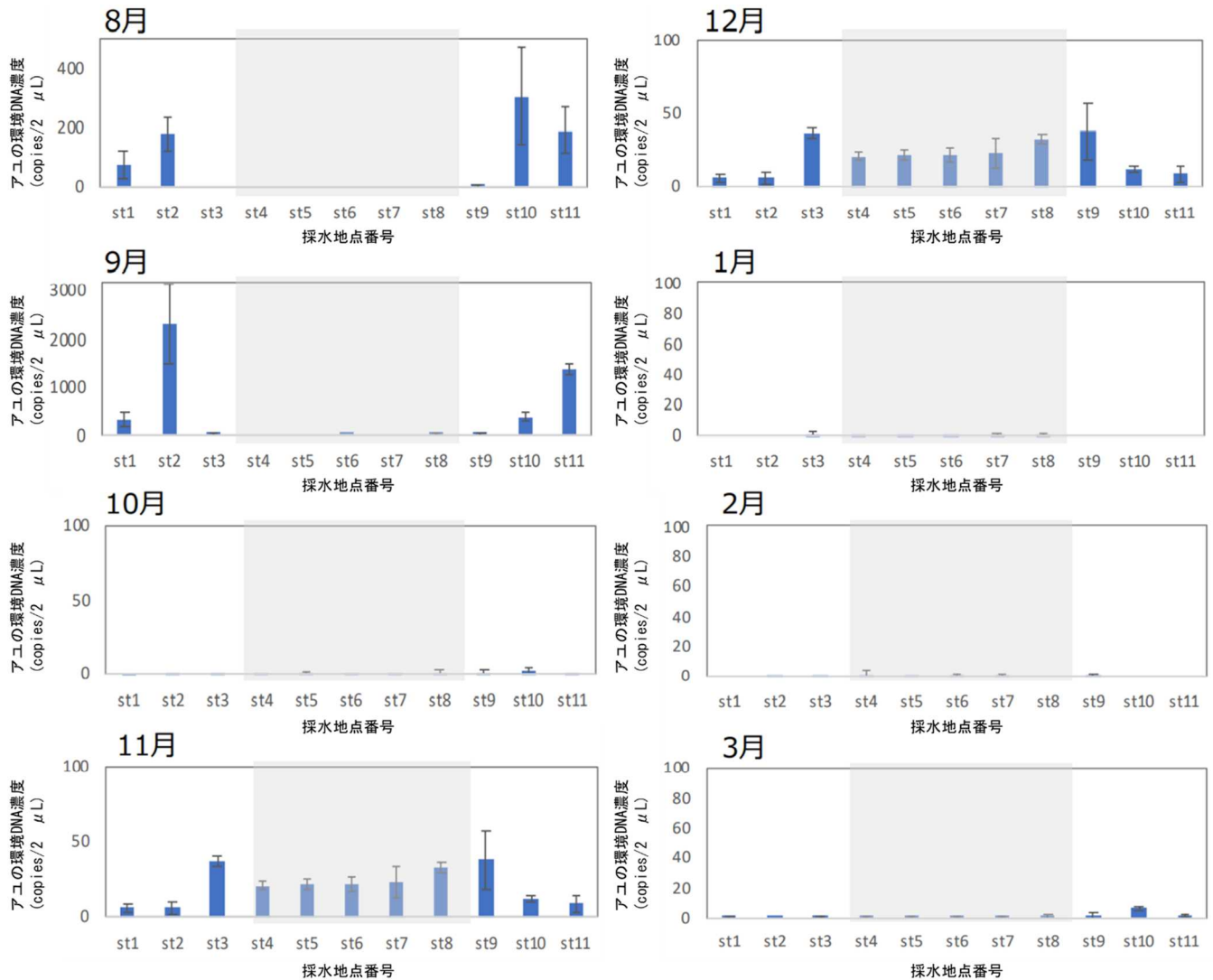
・1月から3月にかけてはアユの環境DNAは全地点でほとんど検出されなかった。この時期は、図-3に示すように、水温が急激に下がっており、低水温を嫌うアユ仔魚が表層を避けて、貯水池の深場にもぐってしまっていたため、表層水からでは環境DNAを検出できなかったと考えられる。

4 おわりに

令和2年度の調査では、アユが河川から降下してから産卵を経て、仔稚魚が海の代わりである貯水池に到達し、貯水池全体に分散していることが判明した。令和3年度の調査は、アユが貯水池から流入河川へ遡上していく時期に調査を行うので、その時期の生息実態を把握できることが期待される。

謝辞

本調査に当たりまして、技術的なご指導、ご助言いただきました国立大学法人山口大学 赤松教授を始めとした関係者に皆様に、この場をお借りして感謝申し上げます。



※灰色の網掛部分は貯水池内の調査地点、棒グラフ中のエラーバーは標準偏差を示す。

図-2 各調査月における環境 DNA 濃度の推移

参考文献

- 1) 独立行政法人水資源機構一庫ダム管理所 HP
- 2) 環境省自然環境局生物多様性センター(2020)：環境 DNA 分析技術を用いた淡水魚類調査手法の手引き 第 1 版
- 3) 一般社団法人環境 DNA 学会(2020)：環境 DNA 調査・実験マニュアル ver. 2.2
- 4) 山口大学 環境 DNA 研究センター 中尾遼平：受託研究 実績報告書 研究題目 環境 DNA によるダム湖陸封化アユに関する研究

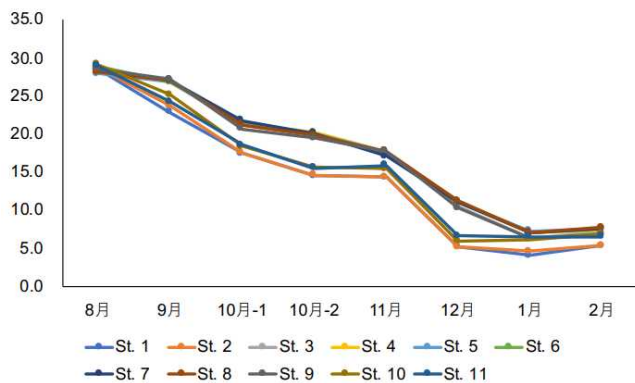


図-3 各地点における水温の月変化

川上ダムの試験湛水計画(案)について

○前田博美¹・大高英澄²

概要：

川上ダムでは令和5年4月からの管理移行に向けて、令和3年度から試験湛水を開始する方向で検討している。ダムが通常の管理に移行する前、初めて湛水させるときに、水位を上昇及び下降させ、ダム堤体、基礎地盤及び貯水池斜面の安全性等を確認することを試験湛水と呼んでいる。

本稿では、現在検討している試験湛水計画、計測・監視計画、人員配置計画の概要について報告するものである。

キーワード：試験湛水、シミュレーション、計測計画、監視計画

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の左支川前深瀬川に建設される重力式コンクリートダムで、洪水調節、新規利水、流水の正常な機能の維持を目的とした多目的ダムである。ダム諸元を図-1、貯水池容量配分図を図-2、ダム貯水池平面図を図-3に示す。

ダム工事は平成30年4月に転流工事に着手して、令和3年4月にダム本体のコンクリート打設が完了し、現在は主に放流設備や電気通信設備などの管理設備工事を行っている。川上ダムは令和3年度に試験湛水を開始し、令和5年度から管理を開始する予定である。

2. 試験湛水の目的

ダムは大規模な構造物であり、その安全性が社会に及ぼす影響が極めて大きいことから、建設においてはダムの安全性が確保されるよう調査、設計及び施工を行い、安全性やダムの重要な技術的課題について検討を行う基本設計会議やコンクリートの打設前にダム基礎の強度や形状を検査する基礎地盤検査などにおいて技術的な確認を受けながら建設事業が進められる。

入念に調査・設計・施工が行われているが、初めて水を貯める試験湛水では水位を上昇及び下降させ、ダム及び貯水池斜面の計測及び現地観察(巡視)を行うことで、湛水に伴うダム、基礎岩盤、貯水池斜面の安全性を確認

するとともに、放流設備やそれを制御する設備の機能確認を行う。

ダム形式	重力式コンクリートダム
堤高	84m
堤頂長	334m
堤体積	約45万m ³
集水面積	54.7km ²

図-1 ダム諸元

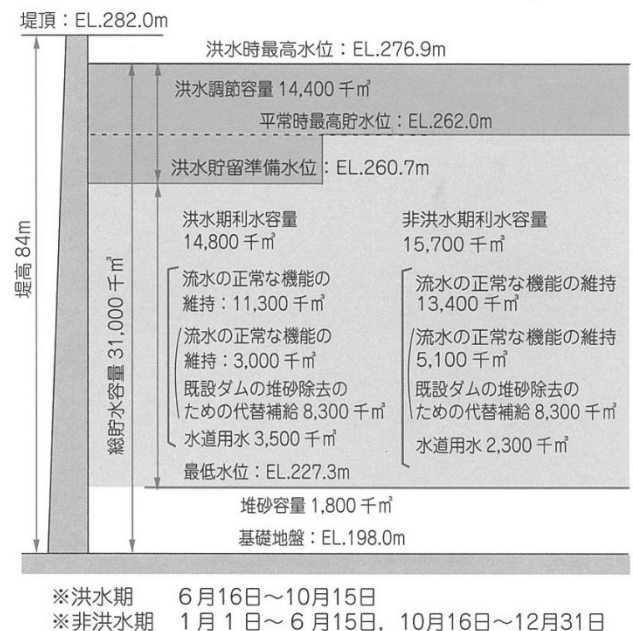


図-2 貯水池容量配分図

1. 川上ダム建設所 管理課 前田博美
2. 川上ダム建設所 管理課長 大高英澄

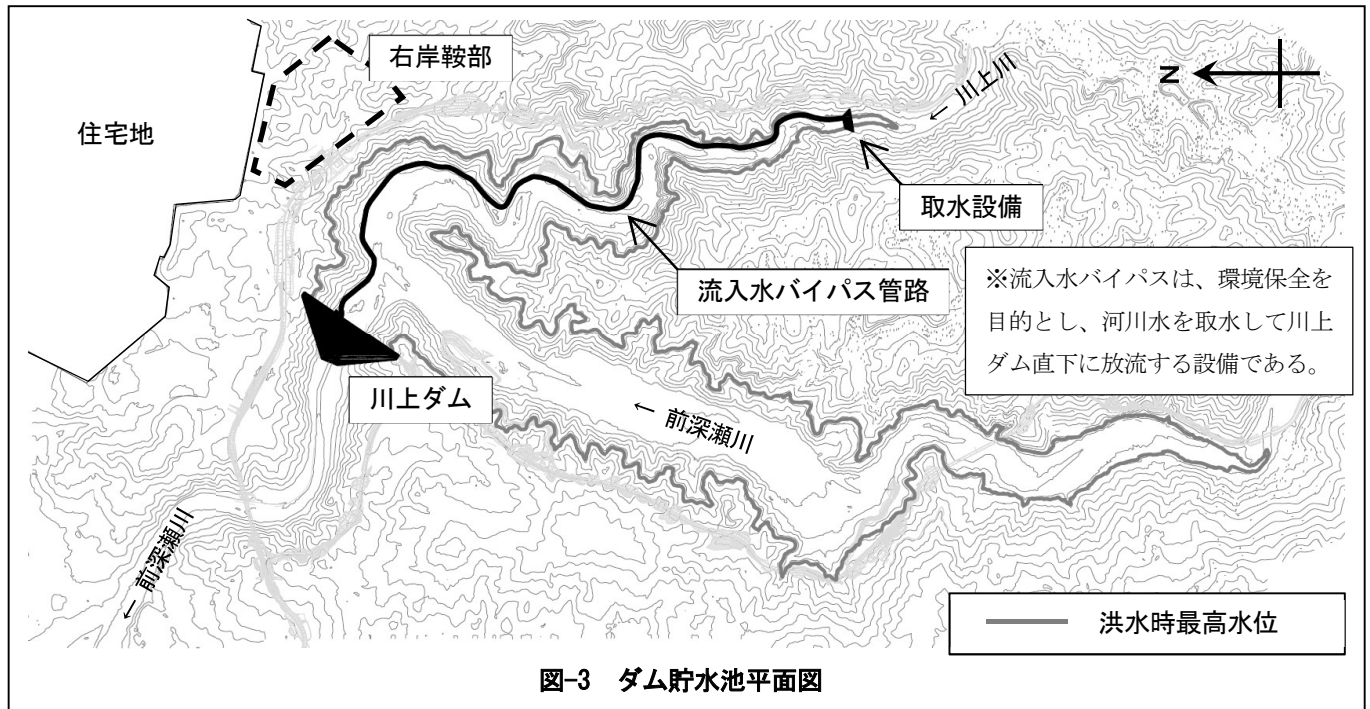


図-3 ダム貯水池平面図

試験湛水を開始するにあたっては、湛水前までのダム施工状況の他、試験湛水の方法（水位上昇・下降の範囲及び速度、下流への流量確保、洪水処理）、湛水中の計測・監視計画、監視体制について基本設計会議で確認を受けることとなっている。

また、試験湛水ではダムの貯留及び放流を行うためダム操作方法について下流沿川住民への説明が必要となる。

3. 試験湛水計画

3.1 基本方針

国土交通省所管ダムの試験湛水にあたり遵守すべき事項は試験湛水実施要領(案)¹⁾（以下、要領(案)という。）に定められており、これにより試験湛水計画を検討する。

3.2 水位の上昇範囲、上昇速度及び水位の保持

要領(案)により、水位の上昇は堤外仮排水路を閉塞した時点の水位からダム運用上の最高水位である洪水時最高水位(EL. 276.9m)までとする。洪水時最高水位においては、少なくとも24時間水位を保持する。

水位の上昇速度については要領(案)に定めはないため、後述する下流への放流義務を遵守しながら、試験湛水を円滑に進めるため水位上昇に努めるものとする。

3.3 水位の下降範囲及び下降速度

要領(案)ではコンクリートダムの場合、洪水時最高水位から原則として通常管理運用を開始する平常時最高貯

水位(EL. 262.0m)までとし、貯水池内に対策を行った斜面、又は計測を行って監視する地すべりや不安定化が懸念される斜面がある場合は、安全性が確認される水位までを降下範囲に含めるものとされている。

川上ダム貯水池には地すべりと判定された斜面は無いが、貯水位を急低下させる場合に不安定化が懸念される小規模の崖錐・崩積土斜面が3箇所存在する。これら3箇所については、対策工を完了し、現在は試験湛水前の挙動を把握すべく計測監視を実施している。試験湛水では、これら3箇所の末端標高のうち最低の EL. 245.0mまで水位を下降させ、その際の計測及び監視結果によって安全性を確認する計画である。

水位の下降速度については、要領(案)では1日あたり原則1m以下とされるので、試験湛水中はこれを採用する。

3.4 洪水期の貯留制限及び洪水処理計画

要領(案)により、洪水期(6/16～10/15)は川上ダムの洪水調節容量を確保するため、出水初期にダム流入量とダム放流量の差から生じる一時的な貯留を除いて、洪水貯留準備水位(EL. 260.7m)を超える常時貯留を行ってはならない。

試験湛水における洪水時のダム放流操作については、本来ダムが竣工しておらずダム運用時の洪水調節方式をそのまま適用する必要はないが²⁾、要領(案)では、下流河道の急激な水位上昇を避けることを基本として、貯水池斜面の安全性に配慮した方法で洪水処理を行うものと

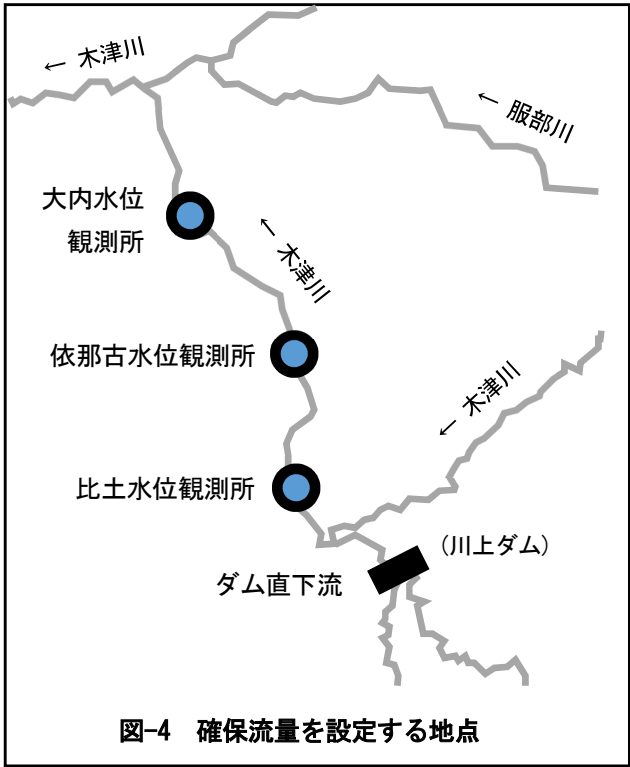
し、「工事中の操作要領」を別途定めて、これに従って行うものとされている。

川上ダム運用時の洪水調節計画は、洪水調節容量を利用し、常用洪水吐きゲートなどから最大 70m³/s を放流するものである。前述 3.3 の対策工斜面は水位上昇の制限を要しない小規模なものであることから、試験湛水中の洪水処理は、洪水期においては洪水調節計画に準じた洪水処理を行うよう「工事中の操作要領」に定めて運用するものとする。

3.5 下流への放流義務

実際のダム運用においては、流水の正常な機能の維持のための水量をダム流入量及び貯水量から補給すべくダムから放流する。これに対して試験湛水中は、要領(案)では、ダム下流の必要流量を下回るような場合には河川環境や既得の水利使用に支障を与えないようダム流入量の範囲内で放流を行うものとされている。

川上ダムでは試験湛水にあたり、図-4 に示すダム直下及び木津川のテレメータ水位観測所において確保流量を設定し、河川流量を監視しながらダムに貯留を行うが、いずれかの地点で確保流量を下回った場合にはダム流入量に等しい放流(貯留制限)を行うものとする。



また、要領(案)では、湛水初期において水位が利水放流設備等の放流可能水位に達するまでの間においては、貯水池からのポンプアップ等による放流を実施するもの

とされている。

川上ダムの湛水初期の放流においてはダムサイトにポンプを設置する方法も考えられるが、貯水池の濁水発生懸念及び経済性から、流入水バイパス(図-3 参照)を運用することによりダム下流の必要流量を放流する。

4. 試験湛水中の計測及び監視体制

試験湛水中における①ダムと貯水池斜面の安全性を確認するための計測及び巡視、②計測及び巡視結果を総合的に判断して監視体制を強化するときの体制の検討を行った。

4.1 監視対象別の条件整理

監視対象別に必要事項を整理した。

4.1.1 ダム堤体の計測

川上ダム堤体の計測設備は表-1 のとおりであり、河川管理施設等構造令³⁾(以下、構造令という。)によりダムの構造上の安全を監視するために設置が義務づけられている項目の他に、ダムコンクリートに関する解析を行うためのデータを得るための項目を対象としている。図-5 に安全監視のための計測設備の位置を示す。

これら計測設備のうち自動計測機器はダム管理所で計測結果を確認できるが、手動計測機器は現場で計測・記録を行うため、人員配置を必要とする。

表-1 計測設備

計測項目	計測機器	計測方法	箇所数	目的
漏水量	基礎排水孔	手動	62	安全監視
	継目排水孔	手動	21	〃
	三角堰	自動	3	〃
揚圧力	ブルドン管式圧力計	手動	64	〃
堤体の変形量	ノーマルプラムライン	自動	1	〃
地震動	加速度型地震計	自動	2	臨時点検の判断
貯水位	水位計	自動	2	ダム貯水位の把握
堤体内部ひずみ等	ひずみ計(測温付)	自動	7	解析に使用する
	応力計(測温付)	自動	3	〃
	温度計	自動	26	〃

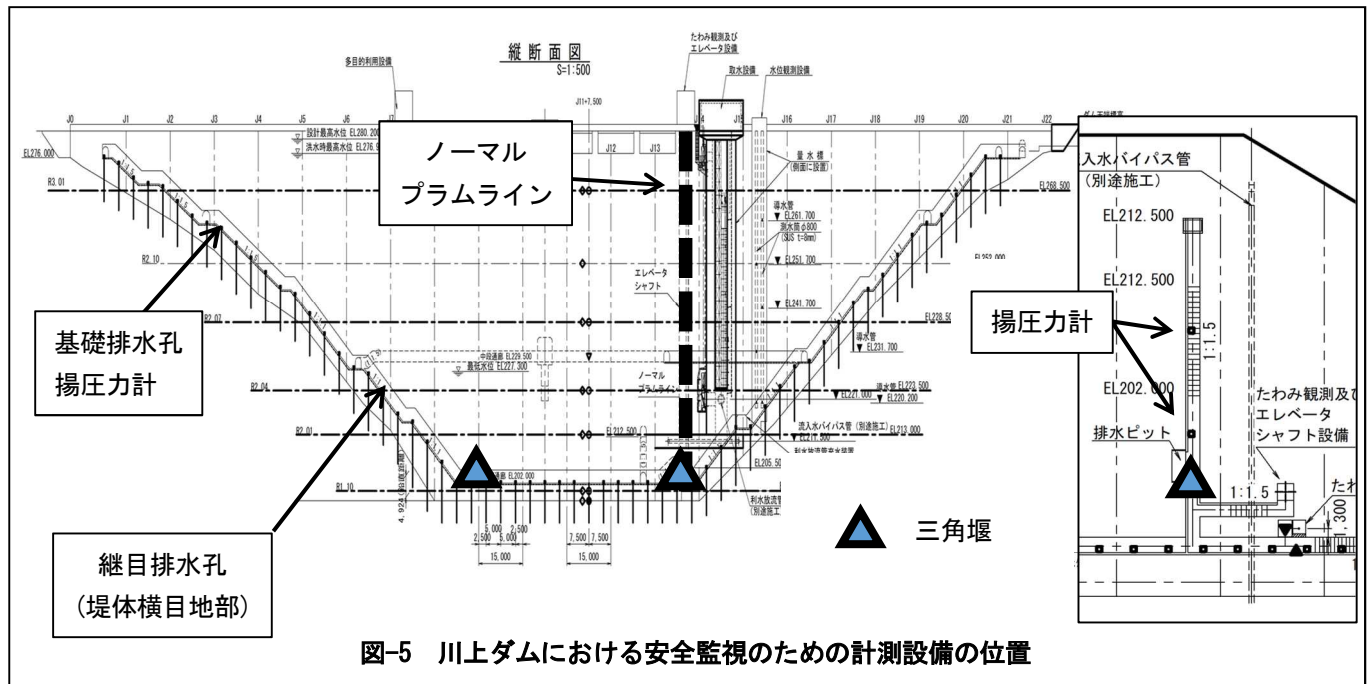


図-5 川上ダムにおける安全監視のための計測設備の位置

4.1.2 ダム堤体の巡視

ダムの安全性を確認するためには、自動計測及び手動計測によって一定間隔で定量的なデータを取得・評価するほか、臨場での目視によって状態変化の有無を確認及び記録する巡視が必要である。

ダム堤体内部の巡視では、監査廊内のコンクリート面の点検、漏水状態の確認、自動計測装置の作動状態確認などを行う。また、ダム堤体外部の巡視では、ダム堤体のコンクリート面の点検、ダム堤趾部の漏水の有無の確認等を行う。

このような巡視は、十分な知識と経験を持つ技術者を専属で当てるのが現実的には難しいため、巡視におけるポイントや確認事項を定めることにより経験が少ない技術者でも対応可能となるとともに、必要とする巡視の水準を確保する。

4.1.3 貯水池斜面の計測と巡視

川上ダムの貯水池斜面のうち、13箇所が不安定化懸念斜面とされる崖錐・崩積土斜面であり、そのうち3箇所には通信機能を持った自動計測機器（パイプ歪計、孔内傾斜計、アンカー荷重計）を設置しており、インターネット経由でダム管理所及び外部から計測結果の確認が可能である。

ただし、試験湛水は、すべての斜面が初めて湛水の影響を受けるものであり、波浪による浸食、安全確認のための水位降下の影響を受けるため、上記13箇所を含むすべての斜面について巡視による監視を行う。

貯水池斜面の巡視方法には、巡視経路及び移動手段の

違いから、貯水池周辺道路からの巡視と船舶による湖面からの巡視がある。

川上ダムにおいては、道路と貯水池との間は林地を挟むことが多いため、道路から斜面を目視できる箇所は少ない。そのため、湛水開始の早い段階から船舶による湖面からの巡視も検討する必要もある。

人員体制においては、前述4.1.2ダム堤体の巡視と同様の体制を考えるものとする。

4.1.4 ダム周辺地下水の計測と巡視

川上ダムのダムサイト下流地山では、貯留水の浸透状況及び基礎処理工の効果を確認するため、ボーリング孔による地下水位観測、湧水量調査及び沢地形沿いの巡視を行う。

また、ダム貯水池右岸の尾根が低くくぼみ（「右岸鞍部」と呼んでいる。図-3 参照。）背後に住宅地を控えているため、そこでの貯留水の浸透状況が湛水に伴い大きく変化しないことを確認するため、ボーリング孔地下水位観測、湧水量調査及び沢地形沿いの巡視を行う。

人員体制においては、前述4.1.2ダム堤体の巡視と同様の体制を考えるものとする。

4.1.5 施設監視

試験湛水中における施設監視は、管理中のダムと大きな差はない。具体的には、放流設備や自動計測設備などの管理設備の故障表示、観測設備の計測値異常表示、大雨に関する気象情報、下流の水利利用や自然低減による河川流量の低下に伴うダム放流量の変更、外部からの問合

せに対する対応等が必要である。

川上ダムでは、平日の夜及び休日の施設監視について、管理ダムで一般に行われているものと同様、連絡員の配置とした。

4.2 異状時における監視体制の強化

要領(案)では、ダム等に異状が認められた場合は、関係機関への報告、異状の原因を調査、速やかに必要な処置を講ずることが規定されている。この趣旨にそって、**表-2**のとおり通常体制、注意体制、警戒体制の3つを設定し、別途定める各体制移行・解除基準に従い体制を変更することとする。

表-2 監視体制の段階

段階	状 況
通常体制	ダム及び貯水池斜面が正常な状態で挙動しているとき。通常の体制である。
注意体制	計測や巡視の結果に異状または異状の前兆が認められたときの体制。計測等の頻度を増やし、異状の原因を調査しながら、試験湛水を継続する。
警戒体制	異状の進行が認められたとき、または、一般道など外部に影響が及ぶときの体制。計測や巡視の結果、異状発生原因、応急対策検討、その他の状況を総合的に検討し、水位操作の判断を行う。

4.3 監視体制の人員配置

前述 4.1～4.2 の条件整理を基に監視体制の人員配置を検討し、**表-3**のとおり整理した。ただし、人員配置は、試験湛水中の状況に応じて見直しを行っていく。

以下に、検討結果を示す。

(1) 手動計測及び巡視

手動計測及び巡視は、単純かつ定型的な業務であるため、外部委託を方針とする。

なお、川上ダム建設所では管理C I M（C I M：Construction Information Modeling）を構築中であり、管理開始以降の管理データの蓄積に先駆けて、手動計測及び巡視結果を含む試験湛水中の記録を、現場に携帯するタブレットを介して、クラウド上に構築する管理C I Mに蓄積する予定である。これを運用することで、複数の機構職員が同時にクラウド上の蓄積されたデータを確認できるメリットがある。

(2) データ確認

前述(1)手動計測及び巡視の結果のほか、ダム堤体及び貯水池斜面の自動計測結果については、基本は1時間間隔で計測を行っており、毎日多くの情報がクラウド上に蓄積される。その中で、計測値の急激な増加が確認された際には、貯水位との相関性を確認して、巡視結果との総合的な判断により監視体制を強化する必要がある。

表-3 監視体制の人員配置(案)

監視対象	区 分	通常体制			注意体制(※3)			警戒体制(※3)		
		平日昼	平日夜間	休日	平日昼	平日夜間	休日	平日昼	平日夜間	休日
全 般		1 人	当番者 1 人 (※1)	当番者 1 人 (※1)	2 人	2 人	2 人	2 人	2 人	2 人
施設監視 ・設備故障 ・計測値異常 ・気象情報 ・水文情報			外部委託 (連絡員) 管理所 1 人	外部委託 (連絡員) 管理所 1 人		外部委託 (連絡員) 管理所 1 人	外部委託 (連絡員) 管理所 1 人		外部委託 (連絡員) 管理所 1 人	外部委託 (連絡員) 管理所 1 人
ダム堤体	データ確認 (自動計測含む)	管理所 1 人 (※2)			応援要員	応援要員	応援要員	応援要員	応援要員	応援要員
	手動計測 巡視	外部委託			外部委託			外部委託		
貯水池斜面	データ確認 (自動計測含む)	管理所 1 人 (※2)			応援要員	応援要員	応援要員	応援要員	応援要員	応援要員
	巡視	外部委託			外部委託			外部委託		
ダム周辺地下水	手動計測 巡視	外部委託			外部委託			外部委託		

※1 通常体制（水位上昇期）では在宅を基本とし、連絡員からの連絡により職員（当番者）出勤等の対応を執る。水位降下時は管理所での常駐監視とする。

※2 貯水池斜面のデータ確認は、ダム堤体のデータ確認と兼ねる。

※3 必要に応じて人数を配置する。

このため、普段からダムの安全性に関する評価の作業に繋がる日々のデータ確認とデータに対する所見を積み上げていくことが必要である。

データの評価にあたっては、定型である貯水位と計測値の相関図、複雑で時間のかかる図表作成（異なる項目同士のデータから関係性を見いだすなど）は管理C I Mに構築するグラフ作成の自動化を予定し、**表-3**のとおりダム堤体及び貯水池斜面のデータ確認のための人員を配置した。

(3) 平日夜間及び休日の監視体制

平常時、堤体や貯水池斜面の挙動に問題がなければ、前述 4.1.5 の連絡員による施設監視を行うものとするが、不測の事態が発生する場合に備え、当番制で職員を連絡待機とし、異常時は出動して対応する。

一方、洪水時最高水位に到達してから1日あたり1mの水位降下を行う時期は、貯水池斜面の挙動に十分な注意を要するため、職員が昼夜管理所にて常駐監視を行うことを想定している。

5. おわりに

設計及び施工に関して特段の課題等は今のところ見当たらないが、高い安全性が求められるダムの試験湛水は、今回の計画策定を通じて、安全性を確認するための計測及び監視体制に多くの人員を要することが再認識された。

現時点で人員配置を整理したが、試験湛水中の状況に応じて見直しを行っていくこととしている。

今後、試験湛水を適切に行うために、計測・監視方法、洪水処理や下流への維持放流に関する要領書作成に加えて、放流設備やダム管理用制御処理設備などの管理設備に関する習熟を図る予定である。

参考文献

- 1) 建設省河川局開発課. 1999. 試験湛水実施要領(案)
- 2) 財団法人ダム技術センター. 2005. 多目的ダムの建設—平成17年版第7巻管理編—, p. 2.
- 3) 財団法人国土開発技術研究センター. 河川管理施設等構造令. 2002. 改定 解説・河川管理施設等構造令

管理ダム下流河川の変遷と将来予測 ～今後の土砂還元と河床変動の将来を見据えて～

○長 博毅¹・松永 徹²・松本 剣³・西津 英治⁴

概要：

ダムは、河川の治水・利水の役割を担う一方、ダム下流河川の流況が平滑化することで河床の攪乱頻度が減少するとともに、ダムによる土砂移動の遮断による下流河川の河床材料の粗粒化および河床低下等のマイナスの要因も持ち合わせている。

比奈知ダム管理所では、ダム下流河川環境改善を目的として、平成 20 年から現在に至るまで継続的にフラッシュ放流および土砂還元を行い、下流河川環境のモニタリングを実施してきた。

比奈知ダムにおけるこれまでのフラッシュ放流・土砂還元の取り組みについて整理し、今後の下流物理環境の改善等の観点とともに既設河川横断工作物への影響を踏まえた適切な土砂還元量を把握するため、一次元河床変動解析を実施し、効果的な土砂還元方法の検討を行った。

本稿は、下流河川の河床変動モデル構築から下流土砂還元の将来予測についての一考察を報告するものである。

キーワード：ダム下流河川、土砂還元、河床変動、将来予測

1. はじめに

比奈知ダムは、木津川支川名張川に建設された重力式コンクリートダムで、平成 9 年にダム本体コンクリート打設を完了させ、同年 10 月から試験湛水を実施し、平成 11 年 4 月から管理を開始した多目的ダムである。

比奈知ダムでは、ダムによる土砂供給の遮断による影響や環境の変化を確認するため、試験湛水を開始した平成 9 年から現在に至るまで継続的に底質粒度組成調査および底生動物調査等を実施し、下流河川環境のモニタリングを実施している。

また、ダム下流河川環境改善を目的として、平成 20 年からダム貯水池内から採取した土砂をダム直下に置土し、フラッシュ放流に併せてダム下流河川への土砂還元を実施してきたところである。

2. ダム下流河川への土砂還元

2.1 フラッシュ放流および土砂還元の目的

一般にダムができると、ダムの下流域では水が安定的に供給される反面、河川の流れが平滑化して川本来の水位変動や攪乱が減少したり、上流からの土砂供給が遮断され、その結果、ダム下流の河川環境に変化が生じていることが指摘されている。

そのため、比奈知ダムでは、フラッシュ放流の実施により、河床の石に付着した藻類等の剥離更新効果を向上させるとともに、ダム下流河川への土砂還元を実施することで水生生物の生育生息環境の保全を主な目的とした。

2.2 土砂還元の取り組み状況

平成 16 年からダム下流河川の環境改善を目的としたフラッシュ放流を実施しており、平成 20 年からは、貯水池内から採取した土砂をダム直下に置土し下流に還元する取り組みを実施している。

比奈知ダムにおけるフラッシュ放流、置土の実施状況は、表-1 に示すとおりである。

-
- 1. 木津川ダム総合管理所 比奈知ダム管理所 主査
 - 2. 木津川ダム総合管理所 比奈知ダム管理所 所長
 - 3. 木津川ダム総合管理所 調整課 課長
 - 4. 木津川ダム総合管理所 調整課 主査

表-1 フラッシュ放流、置土の実施状況

年度	流出時期・方法	置土量 (m³)	置土粒径	日最大流量 (m³/s)	流出量 (m³)
H20	5月8日(フラッシュ放流)	100	砂分:43~44%	44.13	40
	5月16日(フラッシュ放流)		砂分:27~42%	45.1	0
	9月19日(自然出水)		中央粒径:2.5~4.3mm	61.03	60
H21	5月8日(自然出水)	30	(※H20と同じ)	31.8	30
H22	5月14日(フラッシュ放流)	65	砂分:82~84%	33.13	0
	5月17日(フラッシュ放流)		砂分:47~51%	32.14	65
H23	3月7日(自然出水)	200	平均48.5%	427	30
	5月17日(フラッシュ放流)		中央粒径:1.9~2.6mm	48.04	150
	7月18日~21日(自然出水)		中央粒径:1.9~2.6mm	298.17	20
H24	5月2日(自然出水)	100	砂分:43~54%	40.87	20
	5月9日、16日(フラッシュ放流)		平均49.6%	40.87	60
	6月19日(自然流出)		中央粒径:1.3~2.3mm	252.6	20
H25	5月9日、16日(フラッシュ放流)	20	(※H24と同じ)	42.42	0
	9月15日~17日(自然流出)			269.98	20
H26	5月9日、16日(フラッシュ放流)	150	(※H24と同じ)	42.42	50
	8月8日~11日(自然流出)			289.97	100
H27	5月14日(フラッシュ放流)	140	(※H24と同じ)	43.99	50
	7月16日~18日(自然流出)			200.52	90
H28	5月10日(フラッシュ放流)	115	砂分:56%	45.59	115
H29	5月11日(フラッシュ放流)	130	砂分:62%	30.26	130
			中央粒径:1.3mm		
			(※H27に採取したもの)		
H30	5月11日(フラッシュ放流)	250	砂分:47%	30.52	40
	7月29日(自然出水、台風12号)		シルト・粘土分:4.2%	128.75	210
H31	7月24日(自然流出)	280	中央粒径:1.8mm	5.00	280
	8月23日(自然流出)		(※H29に採取したもの)		
	8月23日(自然流出)		シルト・粘土分:4.2%		
R2	5月11日(フラッシュ放流)	250	砂分:46%	29.88	70
	9月6日(自然流出)		シルト・粘土分:1.5%	11.29	180
累積		1,830	—	—	1,830

3. 河床変動実態の把握

3.1 調査地点および置土位置

比奈知ダム下流河川における環境調査地点および置土位置を図-1に示す。

ダム下流河川環境調査の調査地点は、ダムによる土砂供給遮断の影響把握のため①ダム直下（ダムサイトから約0.8km）、②大昭橋（ダムサイトから約1.3km）、③四間橋（ダムサイトから約2.8km）の計3地点とした。また、土砂還元の置土位置は、ダムサイトから約0.2kmとした。

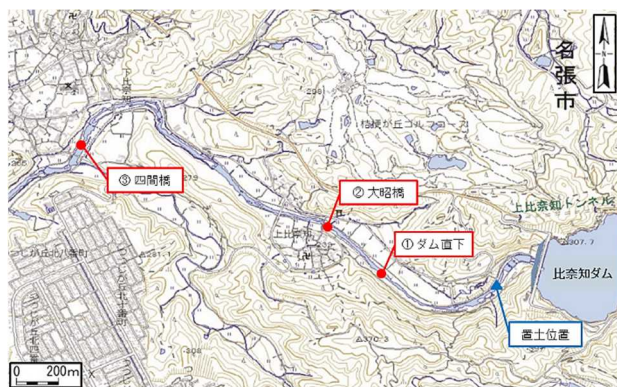


図-1 ダム下流河川環境調査地点および置土位置

3.2 河床高の変化

図-1に示す環境調査地点において、河道の横断形状の経年変化を把握するため河川横断測量を実施しており、平成10年河道データおよび平成30年河道データの平均

河床高・最深河床高縦断図を図-2に示す。

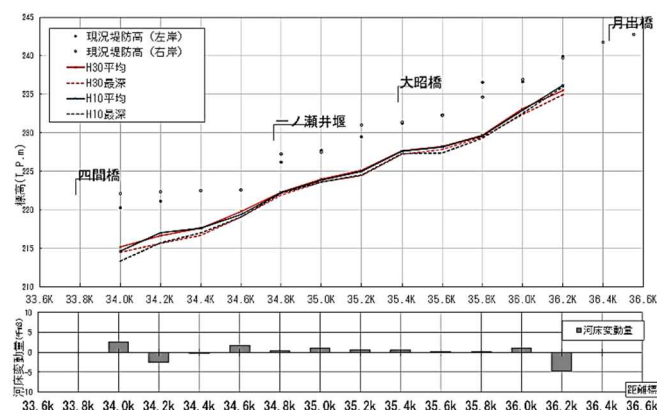


図-2 平均河床高・最深河床高縦断図

現在までの河床高の変遷を整理した結果、以下のことがいえる。

- ダム直下は置土実施直後において約10~20cmの河床低下がみられるが、これはダム管理開始直後からの傾向であり、置土による影響とは言い難い。
 - 四間橋付近は堆積傾向、ダム直下は洗掘傾向がみられ、その他の区間は大きな変化がみられない。
- 以上より、置土による明瞭な河床変動傾向はみられない。

3.3 河床材料の変化

図-1に示す環境調査地点における河床材料(75mm未満)の粒度組成を整理し、経年変化を図-3に示す。

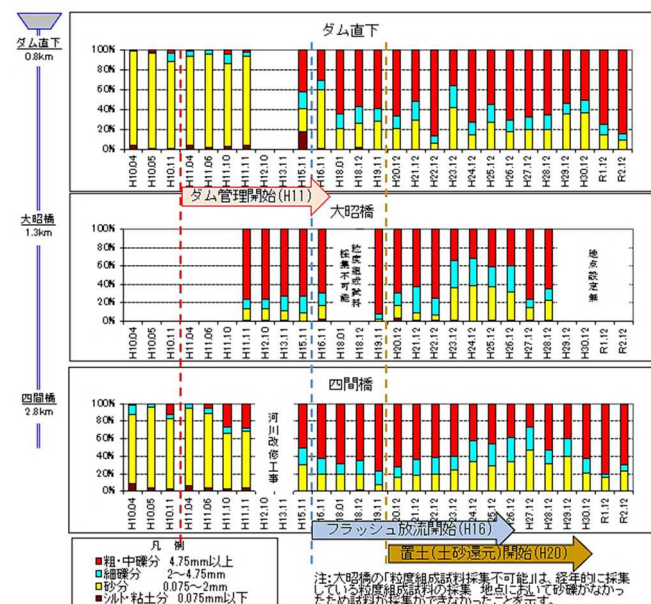


図-3 粒度組成の経年変化

現在までの河床状況の変遷を整理した結果、以下のことがいえる。

- ダム直下では、ダム管理開始直後の平成11年~平成19年にかけて粗粒化、置土実施後の平成20年~令和2年に至るまで、河床材料の変化傾向はほとんどみら

れない。

○大昭橋では、ダム管理開始直後の平成 11 年～置土開始した平成 20 年、そして当該調査を完了した平成 28 年に至るまで、河床材料の変化傾向はほとんどみられない。

○四間橋では、ダム管理開始直後の平成 11 年～置土開始した平成 20 年、そして令和 2 年現在に至るまで、経年的に粗粒化が進行している。ただし、置土による明瞭な変化傾向はみられない。

以上より、「ダム直下」のみ置土による明瞭な変化が確認できることから、置土による影響区間はおよそ 600m 下流までと推定した。

4. 一次元河床変動モデルの構築

4.1 モデル構築区間

一次元河床変動モデルの構築対象区間は、図-4 に示すとおり、32.0k～36.4k までとした。

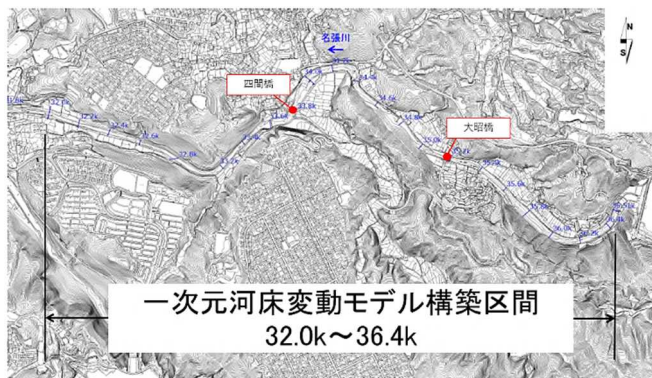


図-4 一次元河床変動モデル構築区間

4.2 河床変動計算条件の検討

これまでの調査により把握できた河床変動実態を踏まえて、一次元河床変動モデル構築に向けて、河床材料の粒径分布や粗度係数、境界条件となる下流端水位ハイドロや上流端流量ハイドロといった河床変動計算条件を整理した結果、モデルの概要を図-5、およびモデル構築に係る各種条件を以下の表-2 に示す。

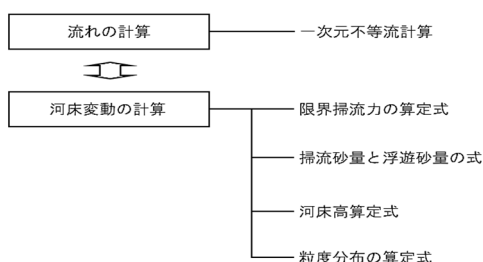


図-5 一次元河床変動計算の流れ

表-2 モデル概要および各種条件

項目	内容
モデル概要	・ 河川における流速や水位（水深）を一次元不等流により下流側から計算し、これから得られた水理量を用いて各断面の流砂量を算出し、上流側から河床の連続式により河床の変動量を算出する。 ・ 河床変動する土砂は混合粒径とする。
対象区間	名張川32.0k～36.4k
対象河道	初期河道：H10測量 検証河道：H30測量（32.0k～33.8kはH28測量）
上流端流量	比奈知ダム実績放流量
下流端水位	下流端断面：32.0kの等流水位（ $I=1/157$ 、 $n=0.040$ ）
粗度係数	$n=0.040$ （H28痕跡水位の逆算粗度係数）
粒度分布	設定区分は、河床材料調査地点をベースに区分
上流端からの供給土砂量	与えない
砂利採取のモデル化	行わない
置土のモデル化	実績の置土量を流入土砂として与える
交換層厚	最大粒径もしくは90%粒径程度
非洗掘河床高	33.8k付近の中川原井堰、34.0k下流の床固工、34.8k付近の一ノ瀬井堰で設定
掃流力係数	$\alpha=1.0$ を基本とし、実績河床に合うように調整

4.3 一次元河床変動モデルの構築

一次元河床変動モデルの構築手順を図-6、ならびにモデル同定にあたっての検証方法を表-3 に示す。

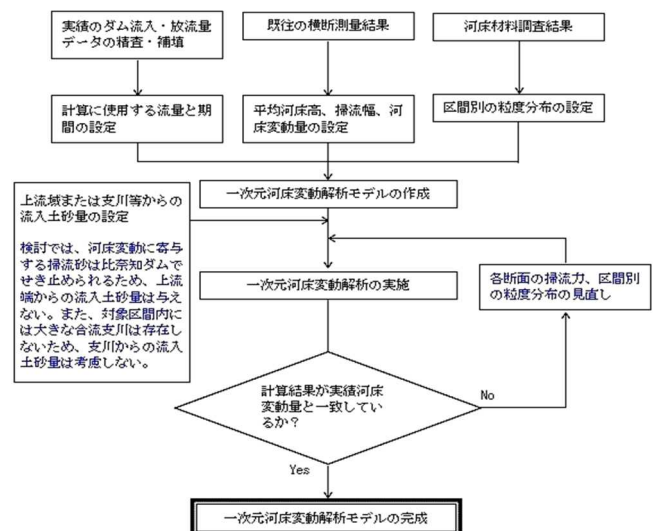


図-6 一次元河床変動解析モデルの構築手順

表-3 検証方法一覧

項目	内容
検証対象区間	名張川32.0k～36.2k（平成10年度測量の存在区間）
検証期間	平成10年～平成30年
検証時点	平成30年末時点
検証項目 （モデル同定のポイント）	河床変動量の再現 河床変動計算による河床変動量、実績の河床変動量（H30-H10）と概ね合致させることを考える。 また、ダム直下の河床低下を再現できるモデルを構築する。 粒度分布の再現 河床変動計算後の粒度分布が実績の粒度分布の変化傾向と概ね合致させることを考える。 また、ダム直下の粗粒化（～H18）、細粒化（H20～）傾向や四間橋付近の経年的な粗粒化傾向を再現できるモデルを構築する。
解析条件 （モデル同定に向けて変更するパラメータ）	モデル構築に当たり変更するパラメータは主に以下とする。 ・ 上流端供給土砂量 ・ 掃流力係数 ・ 河道の粒度分布

4.4 モデルの検証

計算条件のもと検証計算を実施した結果、図-7 に示すとおり、実績の河床変動傾向や河床変動量を概ね再現することができた。

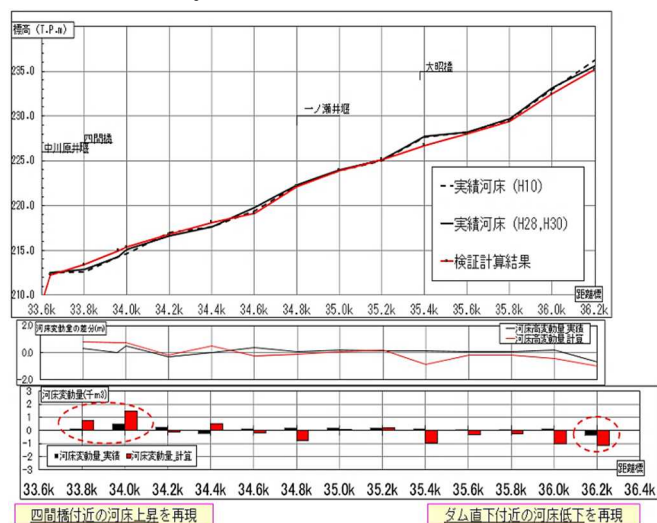


図-7 検証計算結果（河床変動量の再現）

また、検証計算結果を用いて、ダム直下等の代表地点の粒度分布の粗粒化の再現が行われているかの確認を行った結果、図-8 に示すとおり、粗粒化傾向を再現できた。

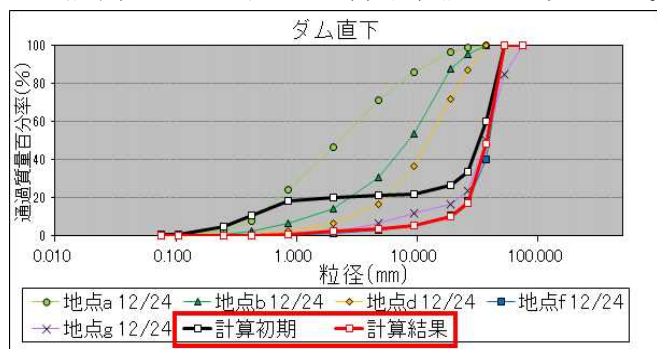


図-8 検証計算結果（粒度分布の再現）

5. 下流土砂還元の将来予測

5.1 下流土砂還元を実施した場合の将来予測

土砂還元の最終的な目的は、河川環境を維持（河床低下の抑制、粗粒化の抑制）することであり、それに向けて次元河床変動モデルで適切な置土量、質を検討した。なお、流量は H10～H30 のダム放流量を 2 回与え、40 年後までを計算した。

5.2 下流土砂還元の効果検討

将来予測計算結果をもとに、現状の河床高や河床材料粒径の維持・改善のために必要な量・質を検討した。

5.2.1 河床高への効果

置土量を 500 m³～5,000 m³まで変更した場合の長期計算結果より、河床高への効果を検証した（図-9）。

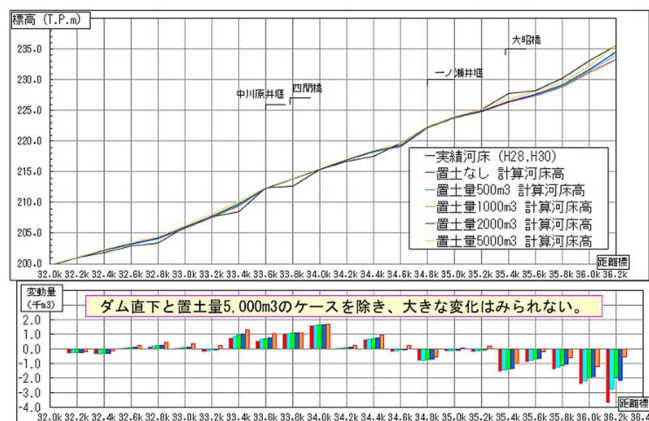


図-9 河床高縦断面図（40 年計算後）

概ね 1,000 m³程度までであれば既設井堰を含めた河床高への影響はなかった。これは、現在の置土の粒径が非常に細かく、7～8 割近くの置土がモデル下流端（32k 地点）を通過するためであると考えられる。

5.2.2 粒度分布への効果

置土の質を変更した場合（D₆₀:2mm→6mm）の長期計算結果より、ダム直下の粗粒分が増加する一方で、それより下流区間は細粒分が占める割合が増加する（図-10）。

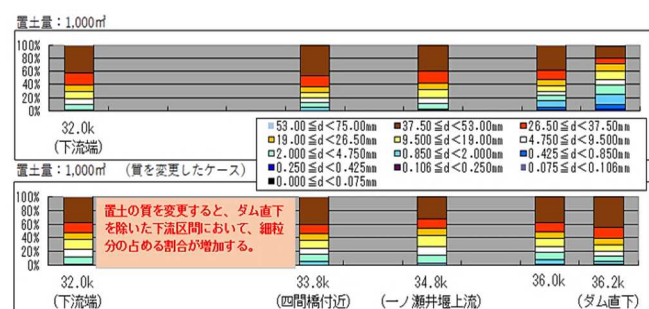


図-10 粒度分布への効果（40 年計算後）

つまり、ダム直下を除く下流河川に対して、モデル下流端（32k 地点）の通過を抑制し、モデル構築区間内の粗粒化抑制効果を確認することができたと考える。

6. まとめ

- 置土の量を変更することで下流に対してある一定の効果（粗粒化の抑制）が確認でき、効果的な置土量は、1,500 m³（1,000 m³以上 2,000 m³未満）程度であった。
- 置土の質を変更することによって、ダム下流河川の粒度分布への効果（粗粒化抑制）やモデル区間より下流への流出土砂量抑制効果など、ある一定の効果を確認することができた。
- 更なる検討として、置土の粒度分布をさらに粗くすることや、置土の位置を変更することによって、『モデル下流端（32k 地点）を通過させる土砂』と『ダム下流に堆積させたい土砂』を明確にし、河川環境に配慮した最適な置土計画を実施するのが望ましいと考える。

ICT を活用した骨材運搬路の路面性状調査について

○北爪 皓¹・大島 伸介²

概要：

近年、人口減少や高齢化を背景に、公共事業における ICT 等の新技術の活用や DX が推進され生産性の向上が急務とされている。これらの社会情勢を鑑み、川上ダム建設所においても施工・維持管理の高度化・省力化を目的に、Web カメラを活用した基礎処理の遠隔臨場や、施工情報に加え将来の維持管理を見据えて各種観測データを一元管理できる管理 CIM の構築など新技術の活用を積極的に推進している。

川上ダムではダムコンクリートの骨材を全量購入しており、その運搬に多くの車両を要した。運搬車両の通行の増大に伴い道路補修が必要となり、補修箇所の把握が必要となった。運搬路は最長で片道約 45km であり調査には大きな労力を要するため、当建設所では ICT や DX 推進の一環として、NETIS に登録されているラインセンサカメラ等を搭載した路面性状測定車を採用し、骨材運搬路の路面性状をデジタル技術により効率的に調査することとした。

本稿は、当建設所で実施している ICT を活用した骨材運搬路の路面性状調査について、その調査概要と結果について報告するものである。

キーワード：路面性状調査、ICT、DX、路面性状測定車、点検補修

1. はじめに

川上ダムは三重県伊賀市に建設中であり、4月に堤体打設を終え現在は堤頂設備等の工事を行っている。当建設所では、施工及びダム完成後の維持管理の高度化・省力化を目的に新技術を積極的に採用している。例えば、Web カメラを利用した基礎処理の遠隔臨場の実施や、施工情報に加えて将来の維持管理見据えて各種観測データを一元管理できる管理 CIM システムの構築に取り組んでいる。

ダムコンクリートに用いる骨材は、原石山で現場生産される場合が多いが、川上ダムの原石山予定地は図-1のように桐ヶ丘団地より約 500m と近接しており、骨材生産時の発破等による騒音問題の懸念があったため骨材の全量購入を検討し、経済的にも有利となることから購入骨材を採用することとした。川上ダム建設に使用する骨材総量は約 100 万 t と多量であることから、運搬による沿線への影響を低減するため、日当り台数の制限(最大片道 180 台/日)や、大積載の 12t ダンプトラックを用い、

運搬台数の削減を実施した。一方、運搬車両が一般道路を通行することから、道路管理者と道路維持管理に関する協定書を締結し、運搬車両に起因する損傷が生じた場合には適宜路面補修を行ってきた。これまでの補修については、目視で容易に認識できるわだちやひび割れの進行によるアスファルトの欠損等、通行の支障となる箇所を応急的に補修してきた。令和 3 年 3 月に骨材運搬が完了し、今後は道路管理者の要請により補修箇所の協議を行うことから、その基礎資料として骨材運搬路の性状を定量的に把握することとした。

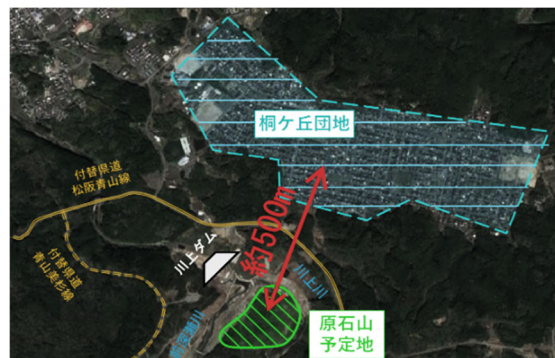


図-1 川上ダム周辺環境

1. 川上ダム建設所 調査設計課
2. 川上ダム建設所 調査設計課長

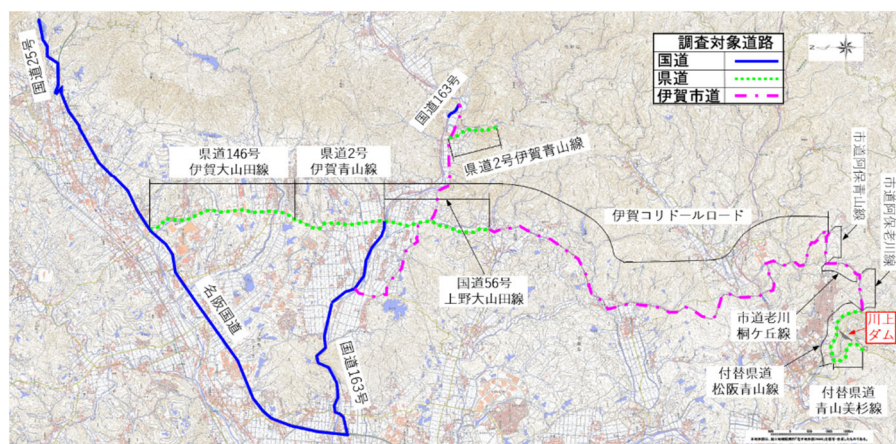


図-2 骨材運搬路位置図



図-3 路面性状測定車のイメージ

骨材運搬路は最長で片道約 45km(図-2)であり、目視等人力では調査に大きな労力を要する。そのため、当建設所では ICT や DX 推進の一環として、NETIS に登録されているラインセンサカメラ等を搭載した路面性状測定車を採用し、デジタルデータ解析により骨材運搬路の路面性状を効率的かつ定量的に計測することとした。本稿は、約 45km の全線調査に先立って、令和 3 年 2 月に実施した路面性状調査について、その概要と結果を報告するものである。

2. 調査方法

2.1 調査概要

骨材運搬路の道路管理者の内、伊賀市においては舗装管理基準がないことから、測定項目は図-3 に示す路面性状自動測定装置を搭載した車両で測定可能なひび割れ、わだち掘れ、縦断凹凸とした。測定は往路と復路で各 1 回行い、調査路線が片側 2 車線の場合は外側車線、3 車線以上の場合は外側から 2 番目の車線を代表的に測定することとした。測定した各種データから、舗装調査・試験法便覧¹⁾に示される方法によりひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性、及び維持管理指数(MCI)を算出し、20m 及び 100m を評価単位として対象路線の路面性状を評価するものとした。

2.2 ひび割れ測定方法及び評価指標

ひび割れ測定は、GNSS と同期したラインセンサカメラを用いて連続的に路面形状を自動計測して行い、クラック幅 1mm 以上が検出可能な精度で測定した。

ひび割れの評価はひび割れ率を算出して行う。アスファルト舗装の場合、ひび割れ率は式(1)より算出される。

$$\text{ひび割れ率(\%)} = \frac{\text{総ひび割れ面積(m}^2\text{)}}{\text{調査対象区画面積(m}^2\text{)}} \times 100 \quad (1)$$

2.3 わだち掘れ測定方法及び評価指標

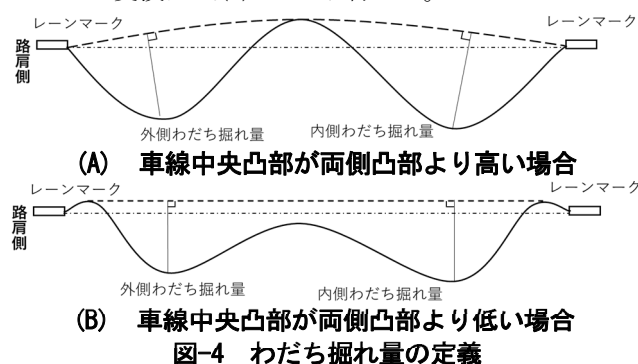
わだち掘れ測定は、ラインセンサカメラを用いて横断方向の凹凸データ(横断プロファイル)を自動計測して行った。測定は 20m ピッチで実施し、横断プロファイルメータ(横断方向の凹凸計測機器)の測定値に比較して、±3mm 以内の精度を確保した。

わだち掘れの評価はわだち掘れ量により行った。20m ごとに取得した横断プロファイルから、図-4 のようにレーンマーク間で外側わだち掘れ量及び内側わだち掘れ量を計算機で読み取り、大きい方の値をその地点におけるわだち掘れ量とした。わだち掘れは 20m ごとに評価を行った。

2.4 縦断凹凸測定方法及び評価指標

縦断凹凸の測定は、レーザースキャナ用いて 3 次元点群データを自動取得して行った。

縦断凹凸の評価は平坦性を算出し、国際ラフネス指標(IRI)へ変換して行った。平坦性は、取得した 3 次元点群データより縦断凹凸量を 1.5m 間隔で求め、100m の区間ごとに式(2)より標準偏差を算出して求めた。平坦性の IRI への変換は式(3)²⁾により行った。



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n-1}} \quad (2)$$

$$IRI = 1.33\sigma + 0.24 \quad (3)$$

ここに、 σ ：平坦性(mm)、 d ：縦断凹凸量(mm)、 n ：データ数

2.5 維持管理指数(MCI)

維持管理指数(MCI)はひび割れ率、わだち掘れ量、及び平坦性の複合指標であり、式(4)～(7)のうち、最も小さい値を採用する。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \quad (4)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.3D^{0.7} \quad (5)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \quad (6)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \quad (7)$$

ここに、 C ：ひび割れ率(%)、 D ：わだち掘れ量(mm)、 σ ：平坦性(mm)

3. 路面性状の評価

3.1 調査区間及び評価方法

これまでの応急補修においては、同一箇所でも2回補修を実施した実績があることから、調査区間については、補修時期が異なる区間が含まれる範囲を設定した。調査区間は図-5に示す往復約2kmの区間である。

評価時には、骨材調達先に近い方を起点(No. 0)とし、20mごとに番号を割り当てて整理する。終点はNo. 49+10mである。判定の境界値は、舗装点検要領³⁾に記載のある損傷評価例を参考に設定した。

3.2 各指標による評価結果

ひび割れ率を20mごとに算出した結果を図-6(A)に示す。なお、L側車線及びR側車線とは、始点(No. 0)より終点(No. 49+10m)へ向かって、センターラインより左側及

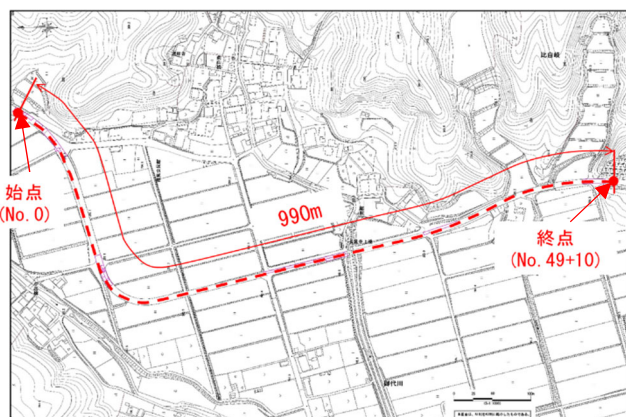


図-5 調査区間

び右側の車線を示す。また、枠で囲まれた範囲は、骨材運搬期間中に適宜補修を実施した箇所である。図-6(A)より、全体的に、補修を行った箇所では比較的ひび割れによる損傷度が小さく、一部区間を除き、未補修箇所では大きくなる傾向が読み取れる。これは、以前実施した補修が、現状においても再劣化していないためと考えられる。しかし、補修実施箇所において、R側車線No. 2～3やNo. 47～49のように補修より約1年経過した場所では、損傷レベル大となる部分も確認された。また、補修より約半年経過した箇所において、L側車線No. 0～1やNo. 36～37のように一部損傷レベル中となっている。No. 0～1は道路幅員減少地点、No. 36～37は交差点侵入部であり、ブレーキポイントになっているためと考えられる。ひび割れ率による評価では、補修実施区間の約16%に損傷レベル大の再劣化が生じていた。

わだち掘れ量を20mごとに算出した結果を図-6(B)に示す。わだち掘れ量においても、補修済み箇所の損傷レベルは比較的小さくなった。しかし、交差点により骨材を積載した車両のブレーキポイントとなっていると予想されるL側車線No. 36～37及びNo. 47～48では、補修より約1年経過した時点で損傷レベル中のわだち掘れを生じている。未補修箇所においては小程度から大程度の損傷が見られ、大きな損傷は主にL側車線に分布していた。これは、骨材を積載し重量の増した運搬車がL側車線を走行するためであると思われる。ひび割れ率と異なり、調査区間全体で損傷レベル大の測点は少なかった。補修実施区間に損傷レベル大の再劣化を生じた区間はなかった。道路管理者の内、三重県ではわだち掘れについて管理基準を設けており、30mm以上のわだち掘れが補修対象となっている。三重県の基準では、補修実施区間の約7%に補修対象の再劣化を生じていた。

平坦性を100mごとに算出し、IRIへ換算した結果を図-6(C)に示す。平坦性において、補修実施箇所では中程度の損傷が生じ、未補修箇所では小から大までの損傷が見られた。補修の有無によらず、傾向のない結果となった。20mごとに評価を行った指標では、図-6(A)の測点No. 4からNo. 5のように、隣接する区間の評価が大きく異なるケースが見られる。このことから、評価単位100mでは局所的な損傷を捉えられていない可能性が考えられる。

MCIを20mごとに算出した結果を図-6(D)に示す。MCIはひび割れ率、わだち掘れ量、及び平坦性の複合指標であるが、式(4)～(7)の最小値を採用することから、顕著な損傷をより強く反映する指標といえる。当該調査区間ではひび割れによる損傷が大きいいため、MCIの評価結果はひび割れ率による評価と同傾向を示した。

(A) ひび割れ率

L側車線	26.0	10.2	17.3	7.2	0.0	61.8	53.8	76.8	73.4	53.3	87.3	93.2	12.6	3.7
R側車線	45.7	93.9	47.9	0.0	0.0	83.6	82.0	73.7	56.1	49.6	73.0	54.2	10.3	9.6
測点	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13
L側車線	0.5	1.4	0.5	4.8	1.2	8.0	10.6	10.6	7.7	2.4	1.6	8.4	0.3	0.0
R側車線	5.3	0.7	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8	1.8	0.0	56.6	84.5	80.8
測点	No. 14	No. 15	No. 16	No. 17	No. 18	No. 19	No. 20	No. 21	No. 22	No. 23	No. 24	No. 25	No. 26	No. 27
L側車線	0.0	0.0	0.0	56.0	100.0	96.1	97.9	95.7	25.1	0.0	14.5	99.8	0.0	56.0
R側車線	80.3	44.9	16.8	61.8	80.6	72.2	80.1	70.9	67.9	78.7	72.7	87.5	91.2	79.6
測点	No. 28	No. 29	No. 30	No. 31	No. 32	No. 33	No. 34	No. 35	No. 36	No. 37	No. 38	No. 39	No. 40	No. 41
L側車線	100.0	96.1	97.9	95.7	25.1	0.0	14.5	99.8						
R側車線	82.5	90.5	84.5	88.4	84.4	76.3	51.3	65.9						
測点	No. 42	No. 43	No. 44	No. 45	No. 46	No. 47	No. 48	No. 49	No. 49+10					

ひび割れ率	判定
20 %以下	損傷レベル 小
20 %～40 %	損傷レベル 中
40 %以上	損傷レベル 大

(B) わだち掘れ量

L側車線	7.5	15.0	8.3	4.8	3.1	3.5	17.4	19.3	7.7	8.9	19.5	15.7	13.7	4.8
R側車線	20.6	10.2	5.7	2.8	2.9	10.4	7.5	6.9	7.3	12.5	17.8	6.4	8.8	7.7
測点	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13
L側車線	5.9	9.0	2.5	6.9	4.1	3.7	4.0	4.0	2.7	11.3	4.5	17.3	4.5	2.7
R側車線	6.6	4.0	4.2	10.1	4.9	2.4	5.6	5.1	3.8	5.7	2.6	2.6	20.3	20.7
測点	No. 14	No. 15	No. 16	No. 17	No. 18	No. 19	No. 20	No. 21	No. 22	No. 23	No. 24	No. 25	No. 26	No. 27
L側車線	2.8	3.6	5.2	12.2	33.3	21.3	26.9	23.0	32.3	4.5	4.3	16.7	17.6	10.5
R側車線	16.7	11.2	2.7	4.1	11.3	7.4	8.4	6.8	11.2	17.4	11.3	3.7	7.9	6.9
測点	No. 28	No. 29	No. 30	No. 31	No. 32	No. 33	No. 34	No. 35	No. 36	No. 37	No. 38	No. 39	No. 40	No. 41
L側車線	21.7	50.7	71.9	38.1	48.1	33.7	3.3	4.4						
R側車線	15.5	10.3	11.1	11.3	5.4	9.3	2.0	4.7						
測点	No. 42	No. 43	No. 44	No. 45	No. 46	No. 47	No. 48	No. 49	No. 49+10					

わだち掘れ量	判定
20 mm以下	損傷レベル 小
20 mm～40 mm	損傷レベル 中
40 mm以上	損傷レベル 大

(C) 平坦性

L側車線	7.85					5.51				5.51				
R側車線		5.29					4.39				5.01			
測点	No. 0				No. 5				No. 10					
L側車線	5.51			3.86				2.34			4.35			
R側車線	5.01			2.51				2.65			5.61			
測点	No. 15				No. 20				No. 25					
L側車線	4.35				7.70				6.34			7.82		
R側車線	5.61				5.03				10.76			4.87		
測点	No. 30					No. 35				No. 40				
L側車線	7.82					7.77								
R側車線	4.87					4.87								
測点	No. 45						No. 49+10							

換算IRI	判定
0 ≤ IRI < 3	損傷レベル 小
3 ≤ IRI < 8	損傷レベル 中
IRI ≥ 8	損傷レベル 大

(D) MCI

L側車線	4.1	4.4	4.6	5.8	8.7	2.3	2.3	1.6	1.9	2.6	1.4	1.3	4.4	6.3
R側車線	2.8	1.3	2.9	8.9	8.9	1.6	1.6	1.9	2.5	2.8	1.9	2.6	5.5	5.6
測点	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13
L側車線	7.2	6.4	7.7	5.9	7.1	5.8	5.5	5.5	5.9	6.0	7.0	4.5	7.6	8.8
R側車線	6.3	7.8	8.5	7.3	7.9	9.0	8.2	8.3	7.8	7.2	8.9	2.5	1.6	1.7
測点	No. 14	No. 15	No. 16	No. 17	No. 18	No. 19	No. 20	No. 21	No. 22	No. 23	No. 24	No. 25	No. 26	No. 27
L側車線	8.8	8.7	8.3	2.5	0.1	1.0	0.6	0.9	2.2	8.5	5.0	1.1	1.2	1.5
R側車線	1.7	3.0	4.8	2.3	1.7	1.9	1.7	2.0	2.1	1.7	1.9	1.5	1.4	1.7
測点	No. 28	No. 29	No. 30	No. 31	No. 32	No. 33	No. 34	No. 35	No. 36	No. 37	No. 38	No. 39	No. 40	No. 41
L側車線	0.9	-1.1	-2.3	-0.3	-0.9	0.4	3.1	2.6						
R側車線	1.6	1.4	1.6	1.4	1.6	1.8	2.7	2.2						
測点	No. 42	No. 43	No. 44	No. 45	No. 46	No. 47	No. 48	No. 49	No. 49+10					

MCI値	判定
MCI ≥ 5	望ましい管理水準
4 < MCI < 5	修繕することが望ましい
3 < MCI < 4	修繕が必要
MCI ≤ 3	早急に修繕が必要

□ : 路面補修範囲

図-6 路面性状評価結果

4. まとめ

本稿では、川上ダムで実施した新技術を用いた路面性状調査の結果について報告した。4つの評価指標により路面性状を評価した結果、以下のことが明らかとなった。

○20m ごとの性状評価では、適宜補修を実施した箇所については損傷レベルが低くなる傾向にあった。これは、経過年数によらず補修箇所が再劣化しておらず、健全度を保っているためであると考えられる。ただし、骨材を積載した車両のブレーキポイントとなる区間では、補修より約半年から1年で損傷レベル中となった。

○わだち掘れ量は、骨材を積載し重量の増した運搬車両が通行するL側車線で損傷が顕著であり、実情を捉えている評価指標と考えられる。

○100m ごとに評価を行った平坦性においては傾向が

かめず、局所的な損傷を捉えられていない可能性が示唆された。

○MCIは複合指標であるが、顕著な損傷をより強く反映する指標であるため、損傷程度が大きいと判定されたひび割れ率の評価結果と同様の傾向を示している。ただし、ひび割れは凍結融解や日射等の環境変化により経年劣化を生じやすい評価項目であり、取り扱い時にはその点に留意する必要がある。

参考文献

- 1) 公益財団法人日本道路協会. 2019. 舗装調査・試験法便覧. p. [1]-197-[1]-251.
- 2) 国土交通省道路局. 2013. 総点検実施要領(案)【舗装編】(参考資料). p. 13.
- 3) 国土交通省道路局. 2016. 舗装点検要領. p. 9-20.

アンサンブル予測を活用した木津川ダム群の 貯水池管理

○駒井 諒哉¹・徳永 倫一²・村田 裕³

概要：

アンサンブル長期降雨予測は、ECMWF（ヨーロッパ中期予報センター）による全球モデルをベースに、AIによりダウンスケーリングされた初期値の異なる51本の定量的な降雨予測が15日先まで得られる。さらに、予測された51本の降雨予測それぞれに対して流出予測を行うことができるシステムを、現在開発中である。

木津川ダム総合管理所の5ダム（高山、青蓮寺、室生、布目、比奈知）では、令和2年8月から本システムを導入し、より効率的な貯水池管理を目指して試行しているところである。

本稿は、アンサンブル長期降雨予測システムを活用し、貯水位の柔軟な運用（低水管理）、異常洪水時防災操作の可能性の早期把握や河川管理者等への情報提供（高水管理）など、現在の試行状況を報告するものである。

キーワード：アンサンブル長期降雨予測、貯水池管理、低水管理、高水管理、事前放流

1. はじめに

近年、前線や台風による想定を超える降雨が多数発生している。

平成30年7月には、国土交通省所管ダム558ダムのうち213ダムで洪水調節が実施され、ダム下流河川の水位低減により被害の軽減・防止効果が発揮される一方で、計画以上の洪水となりダムの洪水調節容量を使い切り、ダムへの流入量と同程度の放流量とする異常洪水時防災操作が全国8ダムで実施された。

これらを受けて、令和元年12月に政府は「既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本方針」を策定し、これを基に令和2年4月には国土交通省所管ダム等を対象とした「事前放流ガイドライン」が定められた。

こうした状況の中、令和2年8月から木津川ダム総合管理所で管理している5ダム（以下、「木津川5ダム」という。）において、事前放流の高度化（早期判断、放流量の合理的設定等）を目指し、アンサンブル長期降雨予測（以下、「アンサンブル予測」という。）を試行的に活用している。

2. アンサンブル予測とは

降雨の数値予報を行う際、従来の1本の予測では時間経過とともにその誤差が拡大し、想定した降雨がなく事前放流した利水容量が回復しないことや、想定した以上の降雨があり異常洪水時防災操作となるなど、予測の不確実性がありダム操作の判断に苦慮する場合がある。

アンサンブル（集団）予測は、わずかに異なった複数の初期値を用いて多数の予測を行い、平均やばらつきの程度といった統計的な情報を用いて不確実な現象を確率的に予測することである。

木津川5ダムでは、日本気象協会のアンサンブル予測データを活用している。日本気象協会はECMWF（ヨーロッパ中期予報センター）の予報データを使用しており、このデータは格子解像度が全球モデル（約25km）である。データの出力時間は6日先までは3時間、7日先以降は6時間間隔であり、日本気象協会はこのデータを独自のAI技術により、1時間雨量かつ解像度が1km格子のデータにダウンスケーリングを行い、51メンバーの予測を立てている。

-
1. 木津川ダム総合管理所 管理課
 2. 木津川ダム総合管理所 管理課 主査
 3. 木津川ダム総合管理所 管理課 課長

51 メンバーの予測データのままで利用が難しいため、木津川5ダムではそこから3本のシナリオ（上位予測・中位予測・下位予測）を作成し、活用している。上位予測・中位予測・下位予測の決定方法は、SIP 研究等の中で決定した標準的な計算手法を用いると、以下のようになる。

○上位予測：総雨量の大きい順「1～5位」

○中位予測：総雨量の大きい順「6～15位」

○下位予測：総雨量の大きい順「37～46位」

これを木津川5ダムの流域にあわせて調整し、実際に使用しているのは以下の通りになる。（図-1）

○上位予測：総雨量の大きい順「1～3位」

○中位予測：総雨量の大きい順「6～15位」

○下位予測：総雨量の大きい順「47～51位」

上位予測は大雨のリスクを見逃さないための安全側の予測、中位予測は最も精度が高いと思われる予測、下位予測は最低でも見込まれる雨を把握するための予測であり、定量的に確認している。また、これらの降雨予測結果から、流出予測を行っている。アンサンブル予測は、事前放流の高度化を目的として導入したが、15日先までの降雨予測が得られることから、低水管理においても活用することとした。

3. 事前放流への活用

事前放流は、治水の計画規模や河川（河道）・ダム等の施設能力を上回る洪水の発生時に、ダム下流河川の沿川における洪水被害の防止・軽減を図るため、予め利水容量の水を放流することにより洪水調節に利用可能な容量を確保するものである。

3.1 事前放流ガイドライン

木津川5ダムの事前放流は、事前放流ガイドラインに

基づき、気象庁のGSMガイダンス及びMSMガイダンスの降雨予測により3日前から実施判断することとなっている。

しかし、GSMガイダンスは84時間先（3.5日先）まで予測可能であること、MSMガイダンスは39時間先（1.5日先）までの予測であることから、十分な事前放流時間が確保できるかが懸念される。

さらに、設備能力的あるいは物理的には放流できても、降雨前に大量に放流することによる下流の河川利用者等への影響や発電に与える無効放流の増大といった問題を鑑みれば、事前放流においても最適化を目指していく必要があり、その為にもより高度で長期的な降雨予測が求められる。

3.2 アンサンブル予測の活用

図-1に示すアンサンブル予測結果をより効果的に把握するため、図-2に示す概略表示画面を構築した。これにより、事前放流のほか、洪水調節や緊急放流などの可能性が予測51メンバー中にどのくらいの割合で予測されているかが一目で分かるようになり、日々確認している。

アンサンブル予測により事前放流の早期把握ができると、以下の利点がある。

- ①早めの関係機関との情報共有
- ②早めの防災態勢確保と放流設備等の点検
- ③貯留水の有効活用

特に③は、事前放流時間が短い場合、早急に容量を確保する必要があるため、利水放流設備や洪水吐き設備での放流を実施しなければならず、貯留水の無効放流となってしまう。しかし、事前放流時間を長く確保できれば、発電の最大放流を長くした水位低下が可能となり、貯留水の有効活用が考えられる。また、長時間での放流は最大放流量の抑制が可能となり、ダム下流河川の水位上昇を抑制することが期待出来る。

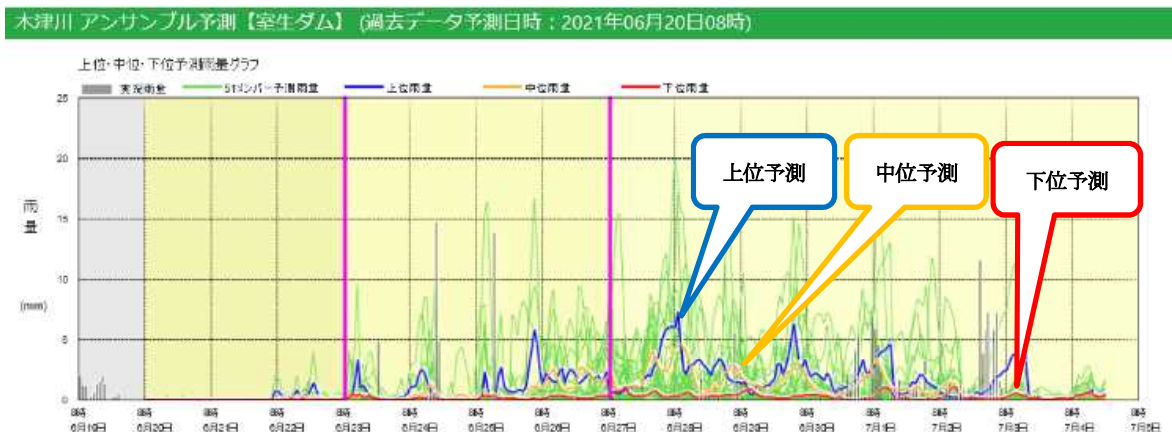


図-1 アンサンブル予測画面（グラフ）の例

木津川 概略【布目ダム】

布目ダム 降雨流出予測

布目ダム		～3日先						4日～7日先			8日先～		
		アンサンブル予測			ガイダンス予測	micos72h予測	アンサンブル予測			アンサンブル予測			
		上位	中位	下位			上位	中位	下位	上位	中位	下位	
予測発表時刻		07月21日08時			07月21日17時	07月21日17時	07月21日08時			07月21日08時			
雨量	最大48時間雨量	5.1mm	0.4mm	0.0mm	0.3mm	2.9mm	26.0mm	11.4mm	2.4mm	141.0mm	34.5mm	4.9mm	
	120mm/48h超過	0 (0%)			0	0	0 (0%)			4 (8%)			
	310mm/48h超過	0 (0%)			0	0	0 (0%)			0 (0%)			
流入量	最大流入量	2.6m³/s	1.5m³/s	1.5m³/s	1.5m³/s	1.8m³/s	9.1m³/s	3.5m³/s	1.5m³/s	85.3m³/s	8.9m³/s	2.3m³/s	
	20m³/s超過	0 (0%)			0	0	0 (0%)			6 (12%)			
	100m³/s超過	0 (0%)			0	0	0 (0%)			2 (4%)			
下流	---	---			---	---	---			---			
貯水位	287.3m超過(ただし書き開始)	0 (0%)			0	0	0 (0%)			0 (0%)			
	回復量(制限水位-0.2m)	0 (0%)			0	0	13 (25%)			39 (76%)			
	回復量(制限水位-0.5m)	0 (0%)			0	0	6 (12%)			32 (63%)			
	回復量(制限水位-0.8m)	0 (0%)			0	0	5 (10%)			29 (57%)			
	回復量(洪水調節容量)	0 (0%)			0	0	0 (0%)			2 (4%)			

51 メンバー中、いくつが該当するか？

- a. 事前放流
- b. ゲート放流
- c. 洪水調節
- d. ただし書き操作

図-2 アンサンブル予測画面（概略）（布目ダムの例）

4. 低水管理への活用

事前放流は、先述のとおり利水容量の水を放流し洪水調節に利用可能な容量を確保するもので、治水上の安全を考慮したものである。一方で、事前放流を実施したものの、低下させた水位が回復せず、ダムからの補給による水利用が困難となる恐れもあり、利水者への負担増となる一面も持っている。

アンサンブル予測では、“降雨が予測されない”ことも確認できる。これを利用して、令和3年洪水期において、既設の管理水位を高く設定することで、利水者への還元を意識したダム操作を実施している。

4.1 従前の低水管理

木津川5ダムでは、突発的な降雨や利水放流設備及び洪水吐き設備の動作に要する時間の遅れ等により、洪水調節を行う前に洪水貯留準備水位を超過しないように管理水位を設けている。

洪水期の管理水位は、各ダムとも制限水位から50cm下がり（高山ダムは100cm下がり）であり、通常時はこの水位でダム管理を行っている。（図-3）

青蓮寺ダム

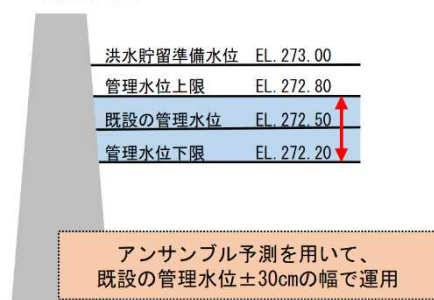


図-3 管理水位（青蓮寺ダムの例）

4.2 アンサンブル予測の活用

令和3年洪水期の取り組みとして、アンサンブル予測を活用して、青蓮寺ダム及び比奈知ダム、布目ダムについては従前の管理水位よりも高めのダム貯水位管理を行っている。

高めの貯水位管理を行うことで、発電放流における水頭差の確保に有効なほか、アンサンブル予測で数日先に出水が確認された場合の従前の管理水位までの水位低下に発電の最大放流をより長く活用することが可能となる。

具体的なアンサンブル予測の活用とダム操作は、下記のとおりである。

(1) アンサンブル予測の確認

長期的に降雨が予測されない時は、高めの貯水位管理を行うこととしている。

アンサンブル予測は、毎日8時（及び20時）に更新されたため、各ダムは毎朝、①3日先まで（STEP1）、②4日～8日先まで（STEP2）の流出予測を確認する。（図-4）

(2) 3日先までの流出予測確認（STEP1）

アンサンブル予測において、3日先までに洪水吐きゲート放流となるような出水が確認されたら、従前の管理水位まで水位低下させる。出水が確認されなかったらSTEP2へ進む。

(3) 4日～8日先までの流出予測確認（STEP2）

アンサンブル予測において、4日～8日先までに洪水吐きゲート放流となるような出水が確認されたら、従前の管理水位まで水位低下させる。出水が確認されなかったら高めの貯水位を維持する。

(4) 水位低下は発電放流（最大）+利水放流設備で実施

STEP1 または STEP2 において、洪水吐きゲートからの放流となるような出水が確認された場合は、従前の管理

木津川ダムの貯水位運用

■ダム操作方法：青蓮寺ダム、布目ダム、比奈知ダム

確認の流れ：はじめにSTEP1を確認する。ゲート放流の予測があれば水位低下、なければSTEP2の確認へ移行する。
STEP2も同様に、ゲート放流の予測があれば水位低下、なければ管理水位上限へ水位回復させる。
STEP3は渇水の可能性を把握する。



図-4 低水管理（貯水位運用）の方法

水位へ水位低下させる。水位低下は、発電放流を優先し、不足する場合は利水放流設備による放流を実施する。なお、水位低下は流入量の立ち上がりが到達するまでに完了するように努める。

5. 今後の目標

アンサンブル予測を活用した早期の事前放流の把握は多くのメリットが考えられており、木津川5ダムにおいては、日々事前放流の確認を行っている。事前放流の早期把握に努めた。今後、利水者や河川管理者とアンサンブル予測について情報共有を行い、アンサンブル予測を活用した事前放流について理解が得られるよう努めていきたいと考えている。

低水管理においては、アンサンブル予測に基づいて、大きな降雨が予測されない場合は、洪水貯留準備水位より高い水位での低水管理も目指し、利水安全度の向上、発電量の増大につながるよう関係者との議論を深めていきたい。

6. まとめ

木津川5ダムでは、令和2年8月よりアンサンブル予測を活用してきた。

アンサンブル予測により長期的な降雨予測が確認できることは、高水管理や低水管理に有効であると考えており、より有効に活用できるように予測グラフや統計情報の見せ方などのシステム改良も行っている。

また、一方で予測結果の検証も必要である。令和2年度の出事例検証の結果からは、流域や事例毎に傾向がばらつくなど、現時点でのアンサンブル予測のデータの適用性を明確に打ち出すことは難しいと感じているところもある。今後も予測情報の表示方法も含め、試行を行う中で得られた知見を踏まえて、活用方法の改善を図っていきたいと考えている。