

# 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会

## 第10回委員会

日時：2024年1月25日(木) 14:30～16:30

場所：クロステン十日町 中ホール

### 議事次第

#### I 開会

#### II 委員紹介

#### III 委員長挨拶

#### IV 議事

- 魚道の流況対策の改善に向けた検討について（審議事項）
- 魚道モニタリングの継続に向けた取り組みについて（報告事項）
- その他

#### V 閉会

---

#### 資料

資料-1 第10回委員会座席表

資料-2 規約、別紙委員名簿

資料-3 第9回信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会 議事概要

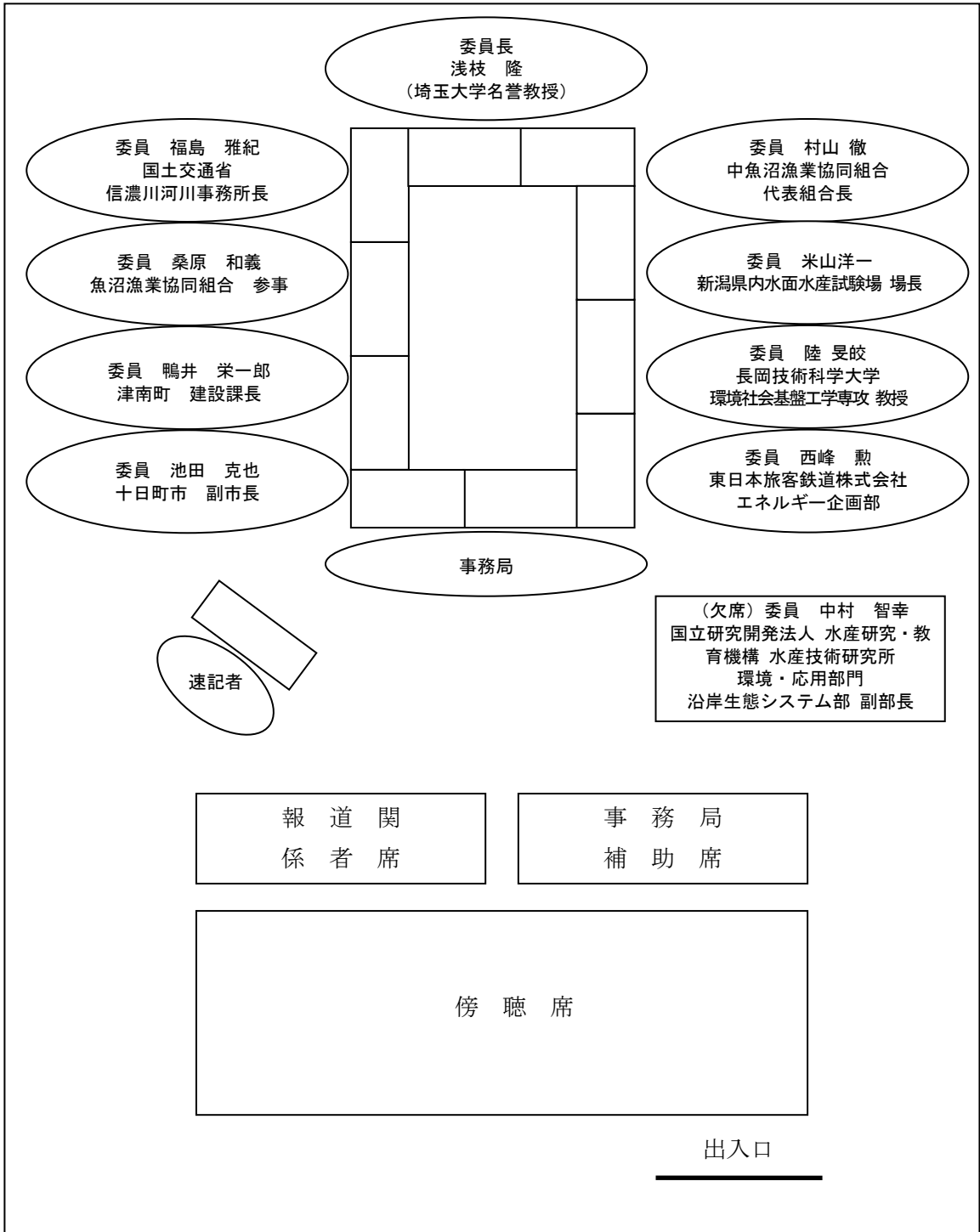
資料-4 第10回委員会資料（魚道の流況対策の改善に向けた検討について）

資料-5 第10回委員会資料（魚道モニタリングの継続に向けた取り組みについて）

### 第10回委員会座席表

日時：令和6年1月25日(木) 14：30～16：30

場所：クロステン十日町 中ホール



# 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会 規約

## (名称)

第1条 本会は「信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会」  
(以下「委員会」という。)と称する。

## (目的)

第2条 本委員会は、信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会にて検討された改善方策を検証し、設計等構造改善実施に向けた取組を行うことを目的とする。

## (委員会)

第3条 委員会には委員長を置き、委員会の構成は別紙のとおりとする。

2 委員長は会務を総括する。

3 委員長は委員会の目的を遂行するために必要と認めた場合には、委員会に委員以外の者の出席を求めることができる。

## (事務局)

第4条 委員会の事務局は、東日本旅客鉄道株式会社エネルギー企画部に置く。

2 事務局は委員会の運営に関して必要な事務を処理する。

## (雑則)

第5条 この規約に定めるもののほか、委員会の運営に必要な事項は、委員長が委員会に諮って定める。

## (附則)

この規約は、平成22年 6月 2日から施行する。

平成30年 1月16日 一部改正

平成30年 6月29日 一部改正

令和 2年10月28日 一部改正

令和 3年12月 1日 一部改正

信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会

委員名簿

(○：委員長)

○浅枝	隆	埼玉大学名誉教授
池田	克也	十日町市 副市長
鴨井	栄一郎	津南町 建設課長
桑原	和義	魚沼漁業協同組合 参事
中村	智幸	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 副部長
福島	雅紀	国土交通省 信濃川河川事務所長
村山	徹	中魚沼漁業協同組合 代表理事組合長
米山	洋一	新潟県内水面水産試験場 場長
陸	旻皎	長岡技術科学大学 教授

(五十音順)

西峰	勲	東日本旅客鉄道株式会社 エネルギー企画部 担当部長 信濃川地域共創統括室長
----	---	--

令和5年5月10日

第9回信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会  
議事概要（2022年12月21日開催）

**1. 魚道の流況対策工の本設化に向けた検討について【審議事項】**

- 「魚道の遡上環境」と「魚道の断水期間を減らすことによる河川環境」の更なる改善を図るための、カゴ詰め玉石工に代替する恒久対策の検討に向けて、水理模型実験の実施ケースの検討方針について了承された
- 委員からは以下のご意見を頂いた
  - ・ 模型実験の検討 CASE については、メンテナンスコストとの関係性も含めて優先順位を計画した方がよい
  - ・ 下流側の魚道入口部の土砂堆積状況を踏まえた改善策など多様な実験ができるとうよい
  - ・ 魚道改善やセイシュ抑制等の成果は、英語の論文にして海外に継続して発信して欲しい

**2. 魚道モニタリング継続に向けた取組みについて【報告事項】**

- 総合的に勘案して魚道の機能は十分維持されていると評価されたこと、魚種の把握により魚類相の変化がないことを継続的に確認するための代替手法として環境 DNA が適用可能か検討を始めること、今後3年間は採捕調査と環境 DNA 調査を併用して実施して「宮中取水ダム魚道における魚類遡上調査マニュアル」を作成することが報告された
- 委員からは以下のご意見を頂いた
  - ・ 環境 DNA 調査は、ダムの上流と下流など、差が出やすい工夫は必要と思われる
  - ・ ウグイの減少はカワウによる食害等が考えられるが、環境 DNA 調査をもっと早い時期に実施することで原因の解明につながるかもしれない
  - ・ 環境 DNA 調査のデータの蓄積により個体数の傾向はわかるようになると考えられる
  - ・ 貴重なデータであるため、信濃川の状況を地域に情報発信してはどうか

# 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会

## ～魚道の流況対策の改善に向けた検討について～

### 目次

1. 大型魚道の流況対策検討（水理模型実験） .....	1
1.1 調査概要 .....	1
1.2 実験内容 .....	3
1.3 現地再現実験 .....	3
1.4 カゴ詰め玉石工の削減の可能性 .....	7
1.5 対策工代替案の調査実験 .....	11
2. 小型魚道の流況対策検討（水理模型実験） .....	19
2.1 調査概要 .....	19
2.2 これまでの魚道流況対策の整理 .....	19
2.3 水理的に想定される課題 .....	22
2.4 実験計画立案 .....	23
3. 今後のスケジュール .....	32

2024年1月

東日本旅客鉄道株式会社 エネルギー企画部



# 1. 大型魚道の流況対策検討（水理模型実験）

## 1.1 調査概要

### 1.1.1 調査目的

宮中取水ダム魚道は、平成24年にアイスハーバー型魚道へ改築したが、試験通水にて図1.1.1に示すような横波（セイシュ）が発生したため、流れの減勢を目的としたカゴ詰め玉石工を当面の対策として設置している。しかし、図1.1.2に示すような中規模出水後の魚道土砂堆積に伴う復旧作業や魚道のメンテナンスにカゴ詰め玉石工が支障すること、カゴの目詰まりや経年劣化による破損の発生等の課題を有している。

大型魚道での横波（セイシュ）の要因として、図1.1.3に示す急拡部が越流流況の不均一性のきっかけの可能性を前回委員会で報告した。

本調査では、魚道流況対策工の本設化に向けて、水理模型実験によりカゴ詰め玉石工に代替する対策を検討し、減勢効果による横波の抑制と、魚の休息場の確保による遡上環境の更なる改善、魚道の断水期間を減らすことによる信濃川中流域の河川環境の更なる改善をはかることを目的とする。



図 1.1.1 流況対策工の有無での流況（横波）の比較



図 1.1.2 中規模出水後の魚道土砂堆積と撤去状況



図 1.1.3 大型魚道の急拡部の状況（プール⑤）

### 1.1.2 調査の流れ

大型魚道模型実験では、図1.1.4に示す流れで実施した。

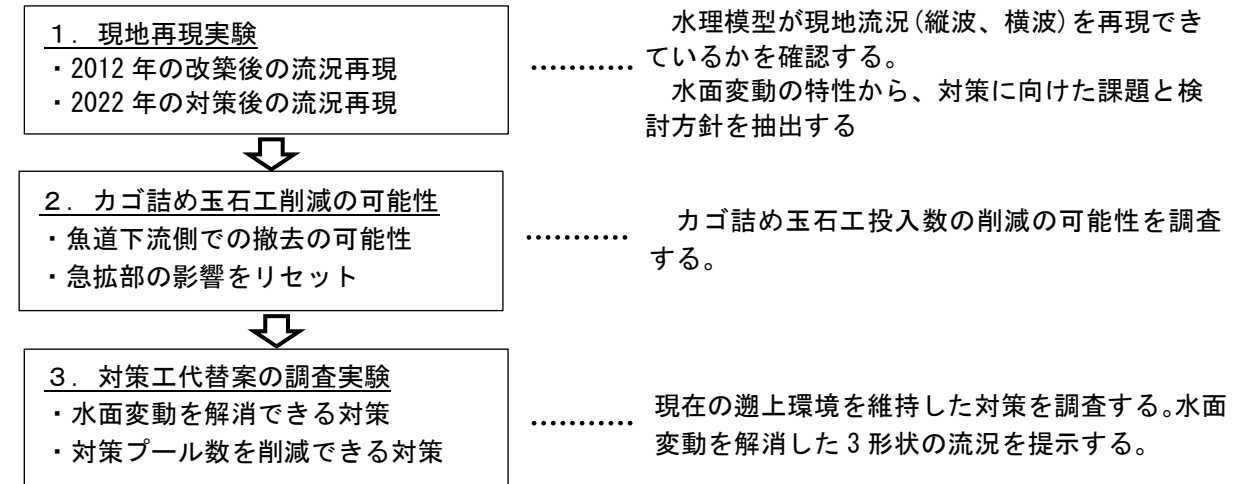


図 1.1.4 本調査のフロー

### 1.1.3 実験概要（前回委員会での報告内容）

セイシュ発生現象再現とセイシュを抑制できる流況対策工調査の実施に向けて、大型魚道での流況（横波、縦波）とその対策工を検討できるような模型諸元（模型範囲、縮尺、製作方法等）を設定した。

- 大型魚道で流況が乱れる要因が不明確なため、流入部から再現することが望ましいと考え、大型魚道の模型再現範囲は「流入部～折返し部」とした。
- 「実験上の越流水深が3cm以上」を満たす制約条件（表1.1.1参照）の中で、縮尺の小さいものを選択し、制約条件を満たす「模型縮尺 S=1/8」を選定した。

以上の実験計画に基づき、図1.1.5に示す水理模型を製作し、後述の実験に用いた。

模型の縮尺は大きい方が望ましいが、一般には実験目的に対する必要精度、実験施設（面積、給排水設備の能力等）および相似性との関係等で決められる。とくに移動床模型の場合、現地の河床材料粒径が非常に重要となる。模型縮尺の決定に当たっては、以上のような項目のほか次のような制約条件を考慮する必要がある。

①水深：重要区間の水深は3cm以上となるようにし、粘性の影響を無視し得、かつ乱流域とする。

出典；河川水理模型実験の手引；土木研究所資料,第2803号1989年10月\_P.5

表 1.1.1 大型魚道の縮尺に応じた模型諸元一覧

	単位	実物大	模型縮尺					制約条件
			1/2	1/4	1/5	1/8	1/10	
流量	m <sup>3</sup> /s	1.800	0.32	0.06	0.03	0.010	0.006	
隔壁1段縦断距離	m	3.750	1.875	0.938	0.750	0.469	0.375	
隔壁26段縦断距離	m	97.500	48.750	24.375	19.500	12.188	9.750	
上流から26段の延長	m	110.000	55.000	27.500	22.000	13.750	11.000	
上流と下流の落差	m	11.000	5.500	2.750	2.200	1.375	1.100	
魚道幅	m	8.000	4.000	2.000	1.600	1.000	0.800	
越流水深	m	0.240	0.120	0.060	0.048	0.030	0.024	越流水深3cm ≤ h
判定			○	○	○	○	×	
理由			制約条件を満たす模型縮尺で、一番小さいS=1/8を選定				越流水深3cmより小さい×	

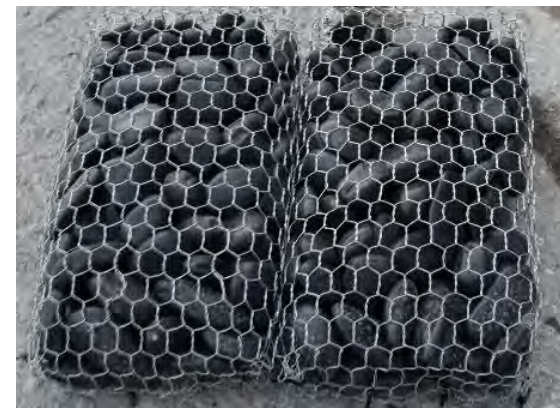




下流側より上流を望む



カゴ詰め玉石工 (模型)



カゴ詰め玉石工設置状況

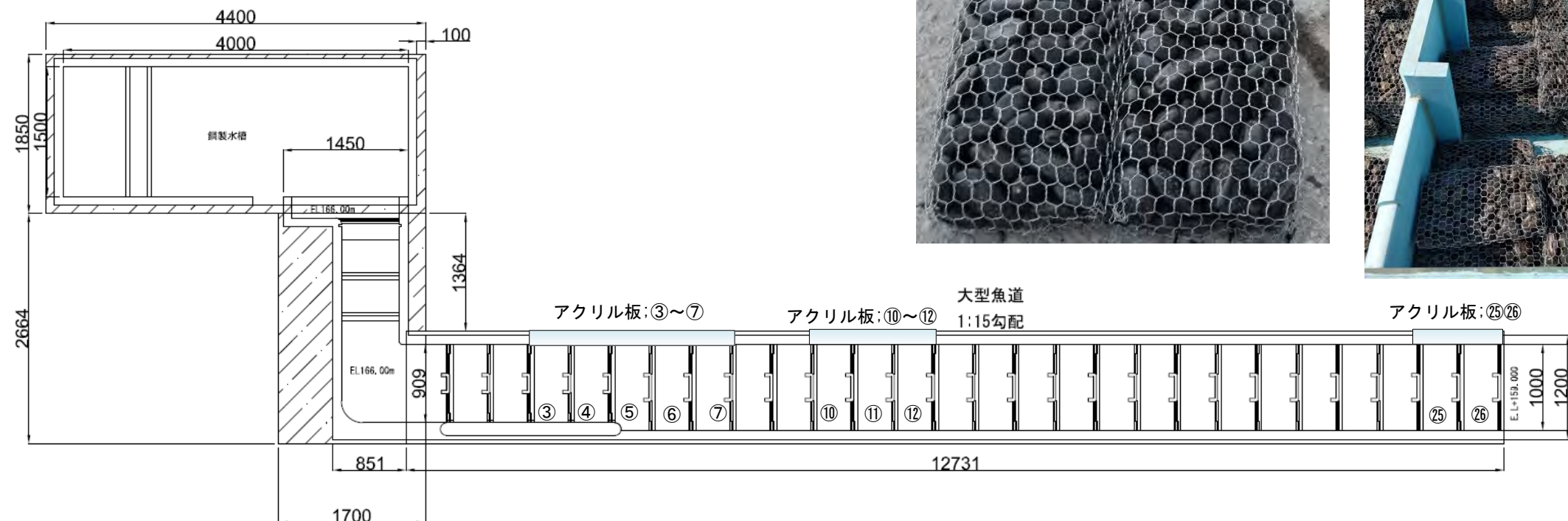


図 1.1.5 使用した水理模型 (S=1/8)

## 1.2 実験内容

水理模型実験での実験ケース一覧を表 1.2.1 に示す。実験の大分類として、①現況再現実験、②対策工調査実験を実施した。

### ①現況再現実験 (Case1 : 2012 年現地再現、Case2 : 2022 年現地再現) ;

#### 【目的】

- ・ 模型で再現した大型魚道の流況、水面変動高を計測し、現地観測結果との比較により、模型の再現性を確認する。
- ・ カゴ詰め玉石工の投入前後での水面変動の特性から、対策に向けた課題と検討方針を抽出する。
- ・ 後述の対策工が現在の遡上環境を維持した流況対策であることを説明するため、基礎データを収集する (鉛直方向流速分布)。

### ②対策工調査実験 (Case3~Case5 対策工案①~③) ;

#### 【目的】

現在の遡上環境を維持した対策を調査する。調査条件として対策工、対策実施プールをそれぞれ組み合わせて、現地に適用可能な対策を選定する。

- ・ 模型で再現した各 Case の大型魚道の流況 (横波、縦波) を計測し、対策工による流況 (横波、縦波) 改善効果を検証し、現状よりも流況が悪化していないこと、中規模出水後の魚道土砂堆積に伴う復旧作業や魚道のメンテナンスへの支障具合などを評価する。
- ・ 3 形状の中で、最適案の選定にあたり、対策工の数、対策工の配置 (魚道土砂堆積しない場所) を総合的にみて判断する。
- ・ また最適案については、現状 (Case2 : 2022 年現況魚道) の遡上環境と同様であることを説明するためのデータを収集する (鉛直方向流速分布)。

表 1.2.1 実験ケース一覧

ケース	対策工条件	
	対策案	対策実施プール
Case1 (2012 年現地再現実験)	対策なし	—
Case2 (2022 年現地再現実験)	カゴ詰め玉石工	現状対策工配置 (プール①①~②⑥)
Case3 (対策工案①)	非越流部への対策	現状対策工配置 (プール①①~②⑥)
Case4 (対策工案②)	分離壁の千鳥状の設置	現状対策工配置 (プール①①~②⑥)
Case5 (対策工案③)	プール内を斜面化	現状対策工配置 (プール①①~②⑥)

## 1.3 現地再現実験

### 1.3.1 現地再現性の確認

図 1.3.1、図 1.3.3 に示すように、2012 年改築直後(対策工設置しない条件)での水面変動は、プール振幅及び流況共に高い再現性を得た。一方、図 1.3.2 に示す 2022 年現況(カゴ詰め玉石工を設置)では、顕著な水面変動がなく安定した流れ場を形成し、現地流況の再現性を確保できた。

以上より、水理模型は現地流況の再現性を得ることができた。

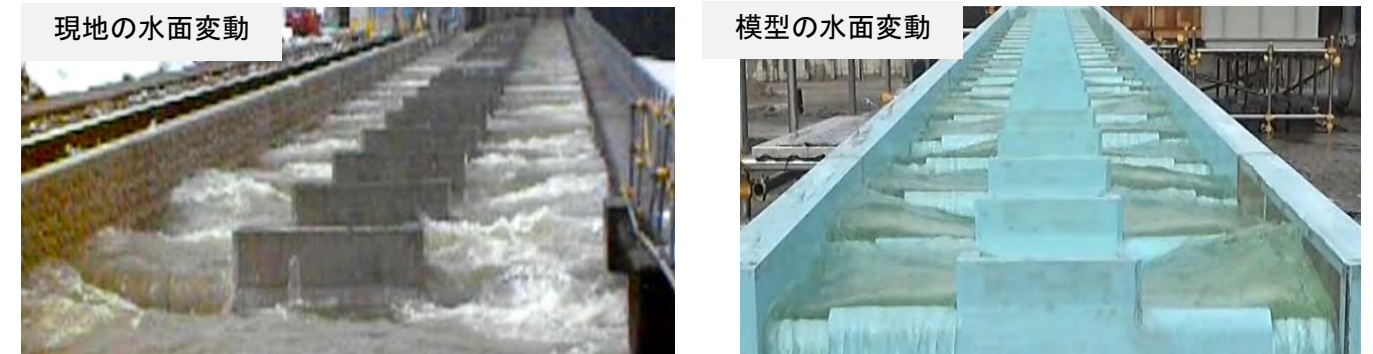


図 1.3.1 2012 年改築直後の現地流況写真と実験流況写真の比較

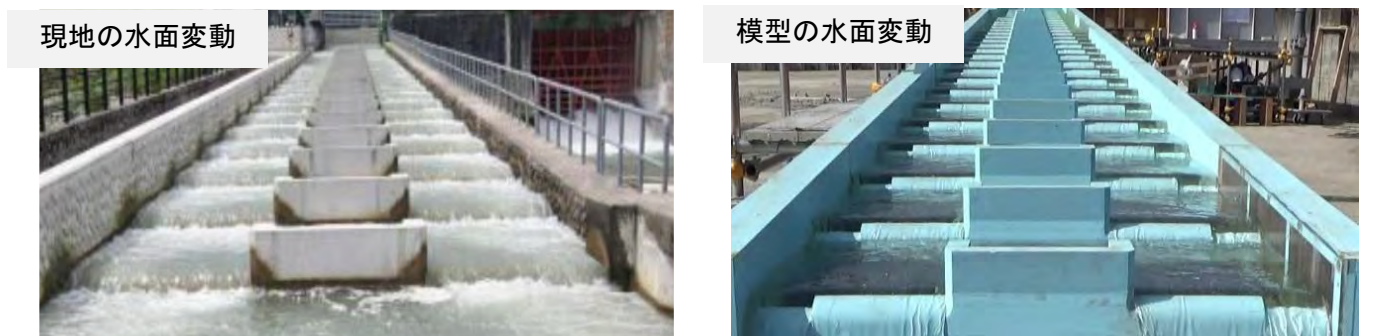


図 1.3.2 2022 年流況対策後の現地流況写真と実験流況写真の比較

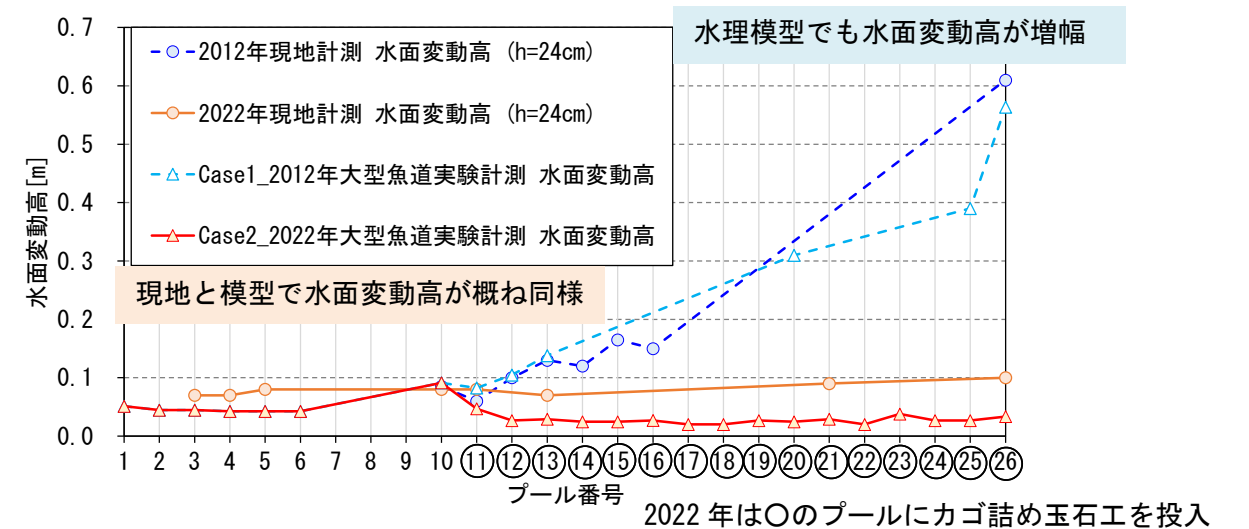


図 1.3.3 現地と模型の水面変動高の比較 (左岸側)

### 1.3.2 <参考>大型魚道での水面変動特性の分析

魚道改築直後の水面変動計測結果を用いて、水面変動特性を分析した結果を以下に示す。

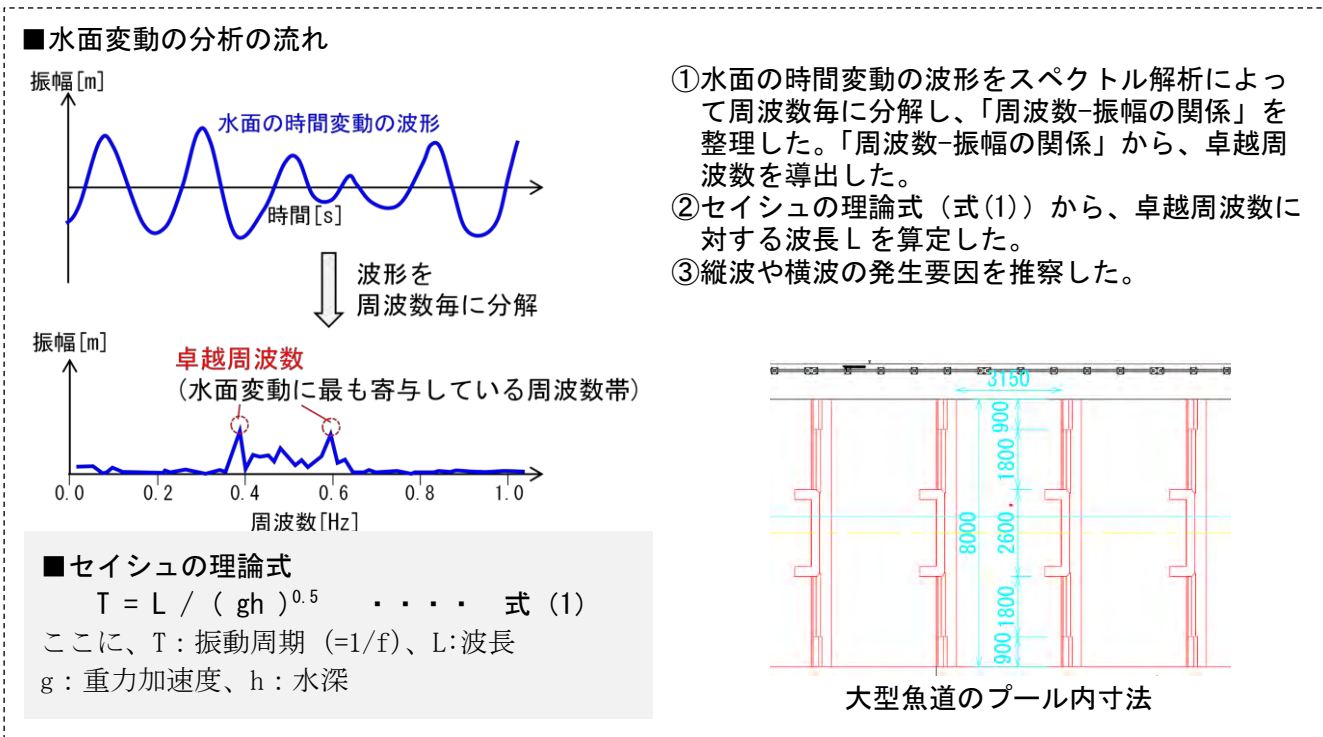
①水理模型でプール内（左岸、中央、右岸）の水面変動を計測し、スペクトル解析により周波数毎に波形を分解した結果を図 1.3.4 に示す。以下に区間別の卓越周波数の状況を示す。

- ・ 拡幅部より上流となるプール①～④の区間では、左右岸、中央ともに卓越周波数を示す水面変動や左右岸、中央での相関もみられない。
- ・ 拡幅部の直下流となるプール⑥では、振幅は微小であるが、右岸側及び中央において約 0.5Hz が卓越した変動が発生する。一方、左岸側は、顕著な周波数特性を示さない。
- ・ プール⑩では、左右岸中央で約 0.4～0.6Hz の範囲で卓越した変動が発生する。
- ・ プール⑩より下流での縦断的な周波数特性は、流下につれて左右岸(越流部)での 0.4Hz と約 0.54Hz がより支配的となり、中央(非越流部)は約 0.4Hz のみが卓越（振幅は左右岸の 0.4Hz の振幅の約 2 倍）する。

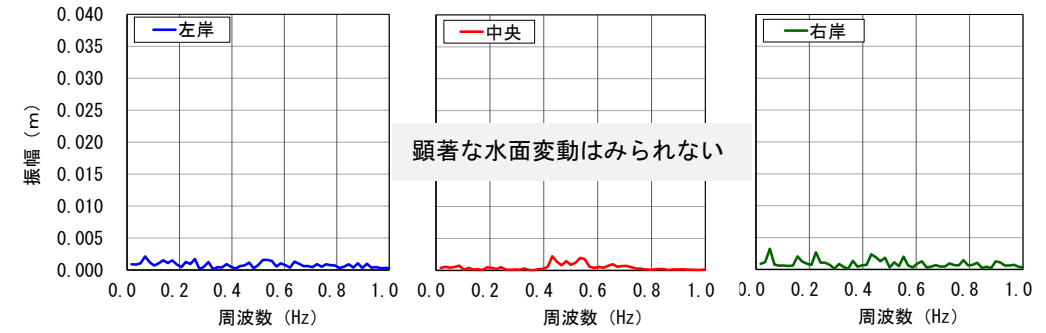
②①に示すように、プール⑩の増幅後の卓越周波数である約 0.54Hz と約 0.4Hz は、プール延長とプール幅が要因となることが予測できた。セイシュの理論式（式(1)）から、卓越周波数 0.54Hz と 0.4Hz に対応する波長 L を算定し、その結果を以下に示す。

- ・ 卓越周波数  $f=0.54\text{Hz}$  は、 $L=$  約 7.48m（半波長  $(L/2)=3.74\text{m}$ ）となり、越流部縦断方向の水面距離 3.75m（プール延長は、3.15m）とほぼ合致する。
- ・ 図 1.3.1 に示す流況写真より、プールで発生する横波の水面変動の 1 波長は、プール幅 8m の約 2/3 より若干短い値（約 5.0m）となる。卓越周波数  $f=0.414\text{Hz}$  について、式(1)を用いると  $L=$  約 9.67m（半波長 4.8m）となり、実現象の約 2 倍の値でほぼ合致する。

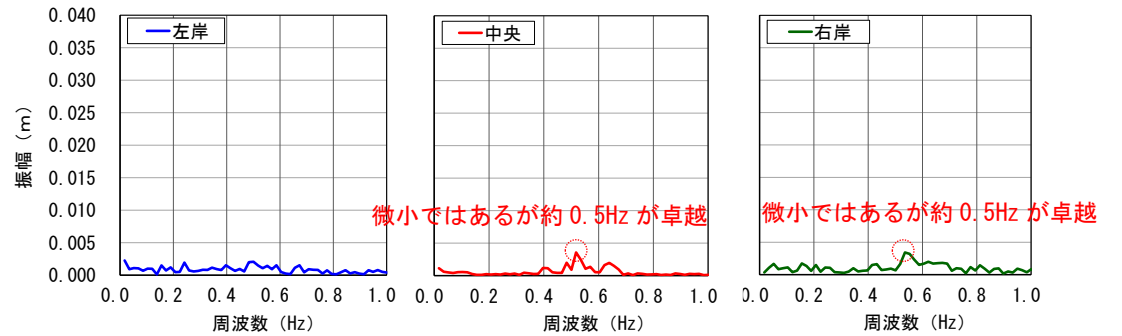
③②の結果から、卓越周波数  $f=0.54\text{Hz}$  は縦断距離に支配される縦波、卓越周波数  $f=0.4\text{Hz}$  は横断距離に支配される横波であり、上流から下流で水面変動の特性が異なることが予測できた。つまり、プール⑤～⑩付近では縦波が支配的であるが、流下につれて左右岸の縦波の位相差が生じるため、非越流部で水面変動が増幅し、これが横波（セイシュ）の発生要因であると推察できた。



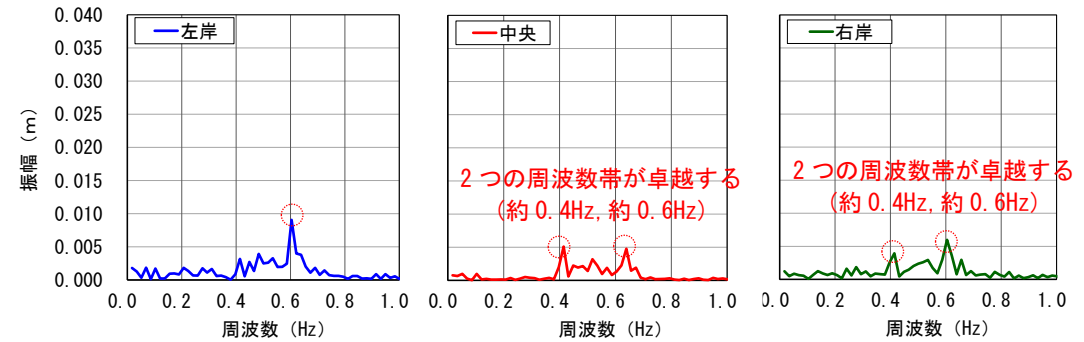
#### ■プール③



#### ■プール⑥(急拡部の下流)



#### ■プール⑩



#### ■プール⑫

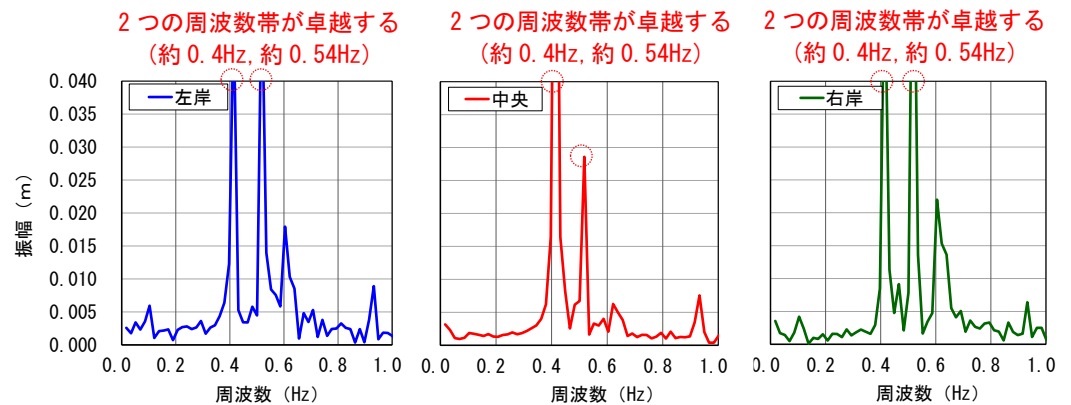


図 1.3.4 模型実験での左右岸中央の周波数分析結果 (Case1\_2012 年改築直後)

### 1.3.3 水面変動の発生場所の予測

前回の委員会で報告したように、水面変動の発生場所は、図 1.3.5 に示す急拡部（プール⑤）での流況の乱れが要因であると予測した。

前述の水理模型実験の結果にて、急拡部付近の左右岸の水面変動高の差分を図 1.3.6 に示す。プール⑤急拡部から右岸側で水面変動高に明確な差が生じ、その下流も差が生じている。

以上より、急拡部（プール⑤）をきっかけとした左右岸の越流量が時間変動（不均一）となることが水面変動発生要因の1つと考えられた。

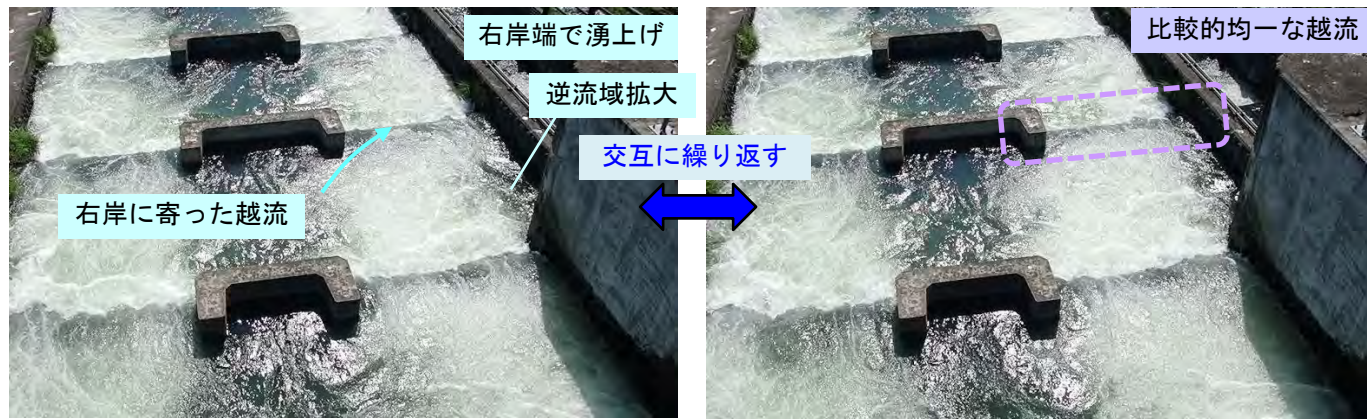


図 1.3.5 現在の大型魚道の急拡部での流況（プール⑤）

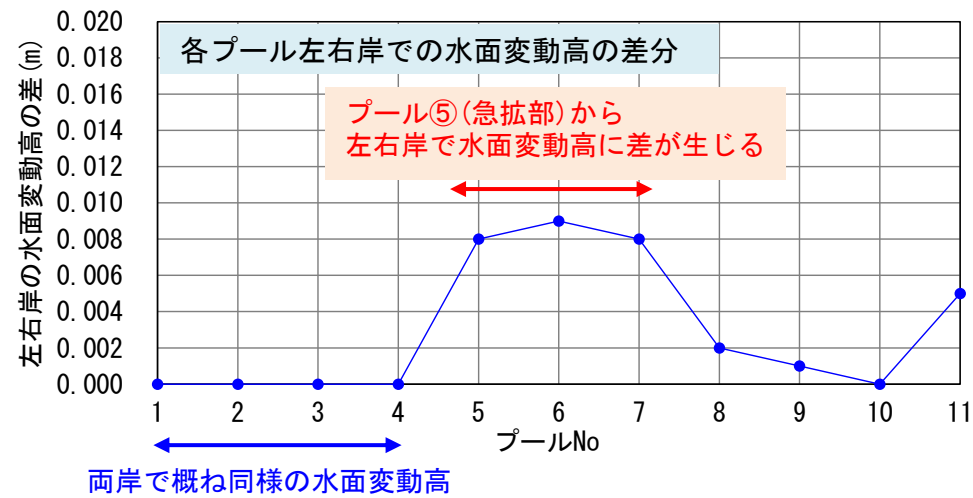


図 1.3.6 左右岸振幅の縦断変化図（Case1\_2012年改築直後の模型実験結果）

### 1.3.4 カゴ詰め玉石工の減勢効果（Case2\_2022年流況対策後）

カゴ詰め玉石工による水面変動特性を分析するために、現在のカゴ詰め玉石工配置（図 1.3.7 参照）での実験結果を整理した。「カゴ詰め玉石工投入前のプール⑩」と「最下流端のプール⑳」の水面変動高の比較を図 1.3.9 に示し、カゴ詰め玉石工の有無での鉛直方向流速分布を図 1.3.10 に示す。

なお、水面変動はサーボ式水位計を用いて水面の時間変化を詳細に計測し、流速分布は電磁流速計を用いてプール内の流速値、流向をメッシュ状（縦断方向：0.4m、深さ方向：0.16m）に計測した。

- ・ 最下流のプール⑳では、目視レベルで顕著な水面変動は発生せず、振幅は約 0.08m である。
- ・ カゴ詰め玉石工の設置により、隔壁直上流での上昇流がやや流下方向に流向が傾き、表面流の逆流が解消される。隔壁直上流では、カゴ詰め玉石工が無かった場合に比べて、流速の減勢効果が確認できる。

以上より、カゴ詰め玉石工は、水面変動の発生要因となる落下流の流速減勢やプール下流端で発生する上昇流の流速減勢等の「プール内の整流効果および横波の減勢効果があるものと考えられた。」

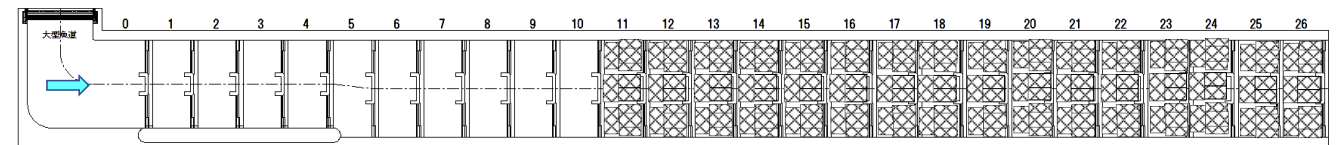


図 1.3.7 現在のカゴ詰め玉石工の投入位置（Case2\_2022年流況対策後）

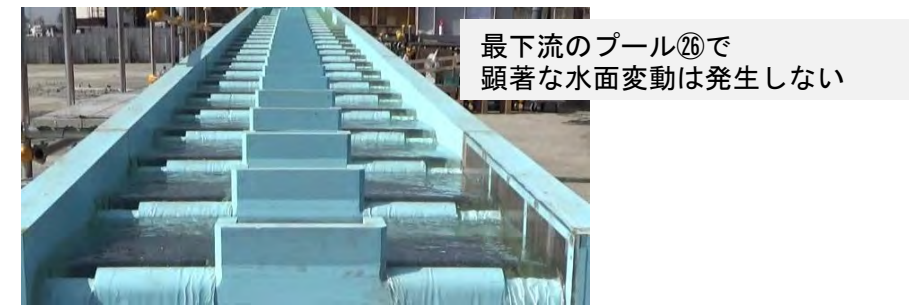


図 1.3.8 プール内の水面状況（Case2\_2022年流況対策後）

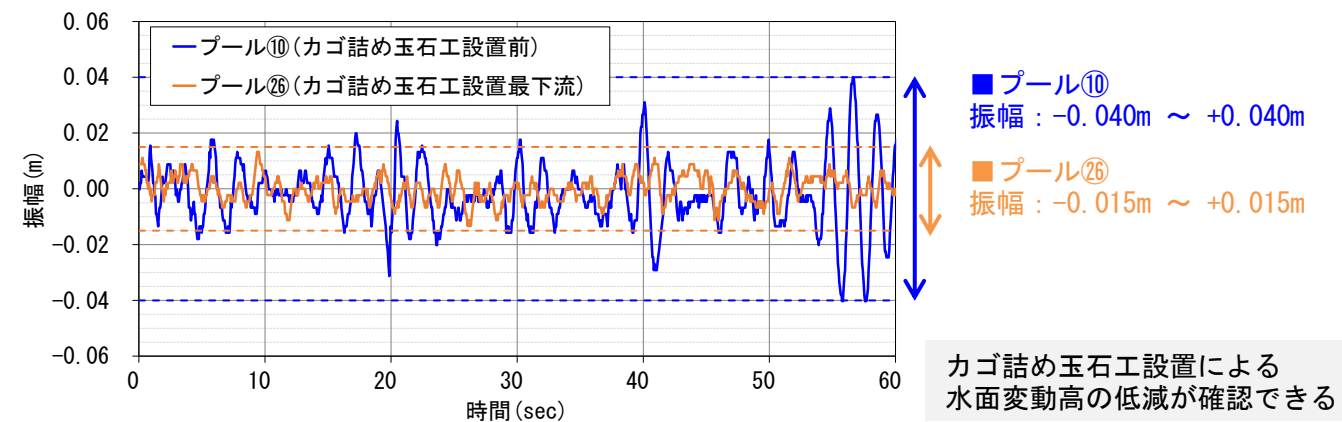
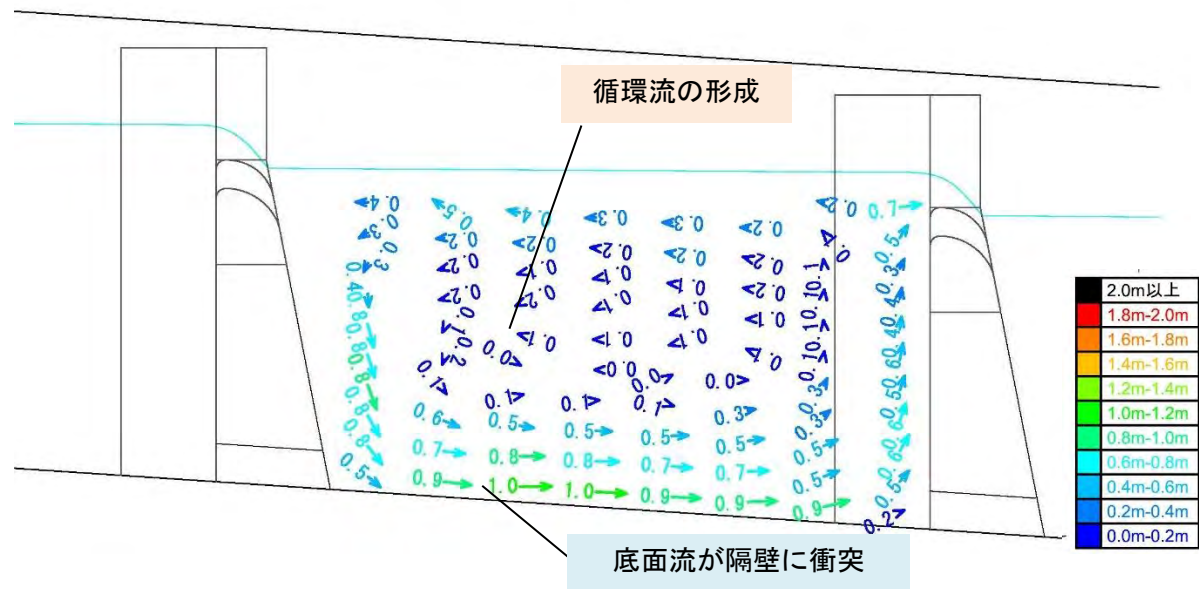


図 1.3.9 模型実験でのプール⑩とプール⑳での水面変動の比較（Case2\_2022年流況対策後）

■カゴ詰め玉石工未設置 (Case1\_2012年改築直後)



■カゴ詰め玉石工設置時 (Case2\_2022年流況対策後)

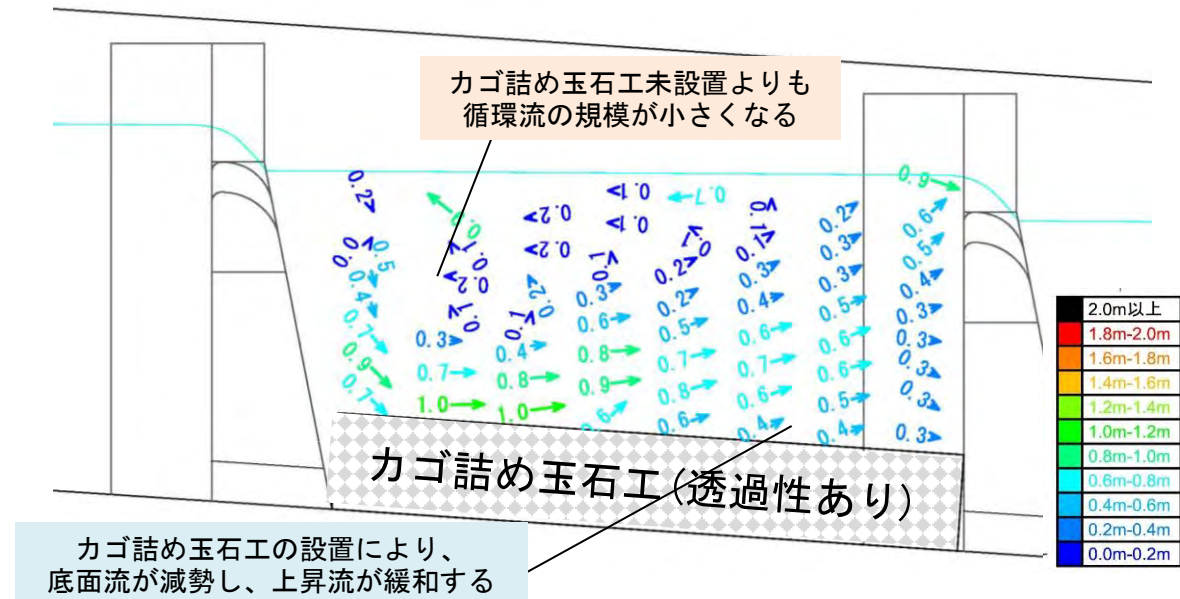


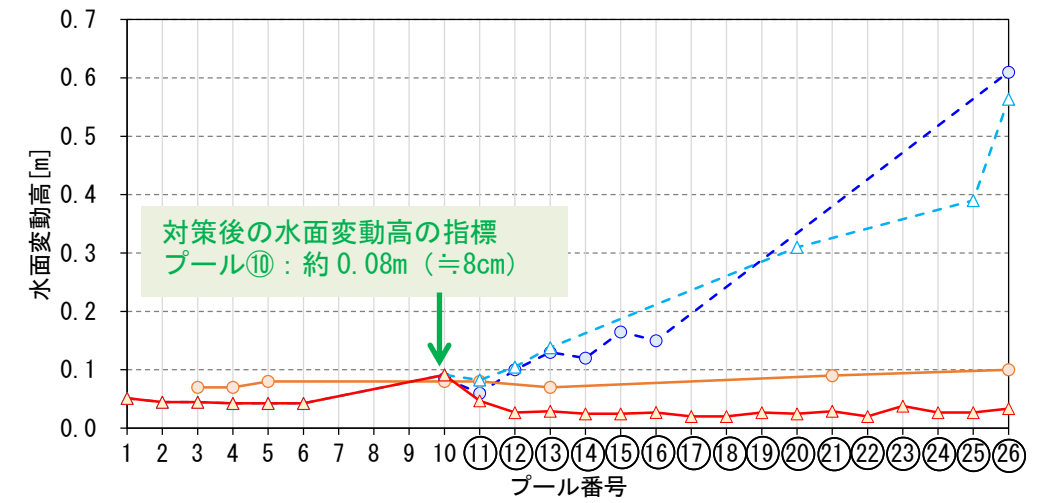
図 1.3.10 模型実験でのカゴ詰め玉石工設置有無の鉛直方向の流速分布

1.3.5 水面変動の目標値の設定

前述の「Case2\_2022年流況対策後」の結果より、流況対策工を配置した条件での水面変動の目標値を設定する。

- ・ プール⑩での水面変動高：約 0.08m (≒8cm) 現状の対策で一番大きい水面変動高
- ・ プール⑳での水面変動高：約 0.03m (≒3cm) 現状の対策での流況抑制後の水面変動高

以上より、現状では、プール⑩までの流況(水面変動)は許容できていることから、流況対策の指標として、水面変動高が約 0.08m (≒8cm) を用いる。ただし、現状対策での水面変動高；約 0.03m まで抑制されているため、出来る限り近づけられるような対策を目標とする。



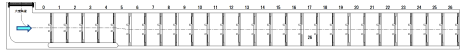
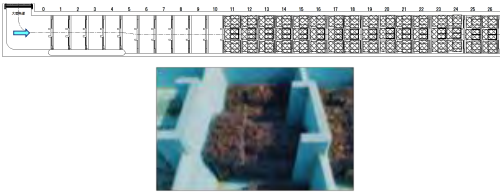



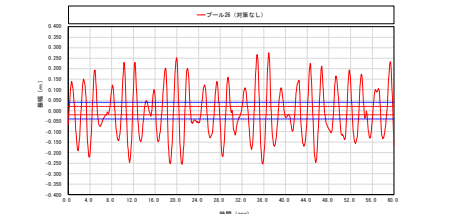
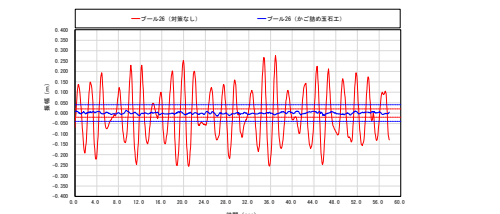
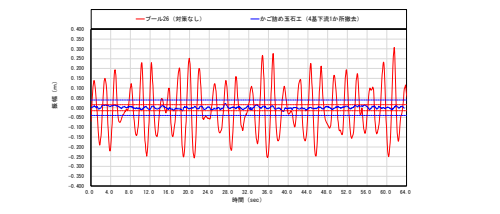
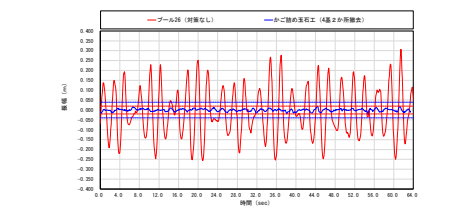
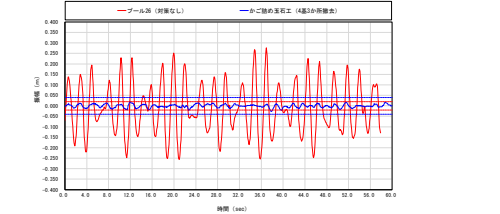
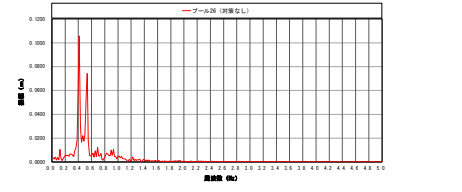
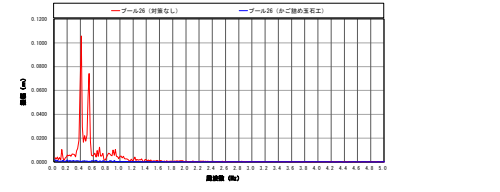
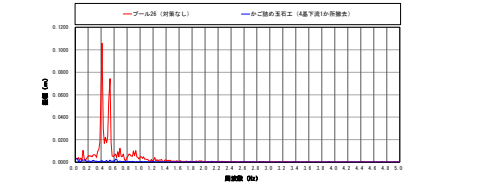
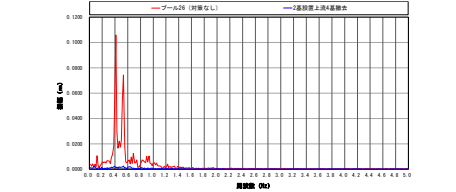
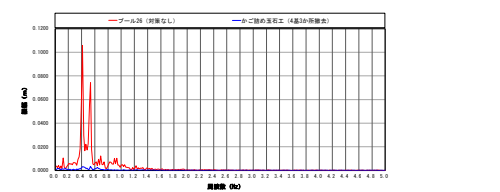

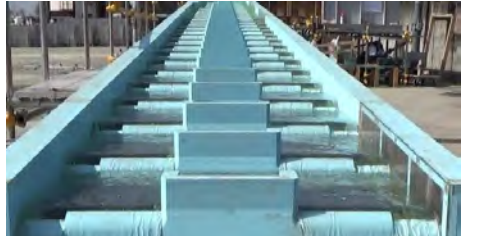


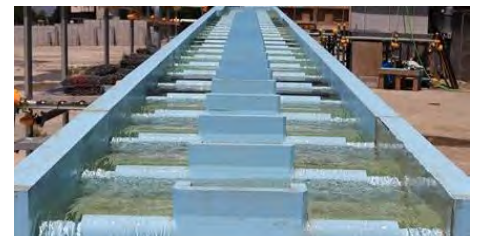
2022年は○のプールにカゴ詰め玉石工を投入

図 1.3.11 <再掲>現地と模型の水面変動高の比較 (対策の指標)

### 1.4 カゴ詰め玉石工の削減の可能性

カゴ詰め玉石工の削減の可能性では、プール⑪～⑳からの配置数削減を目的として、表 1.4.1 に示すケースで予備実験を実施し、水面変動の抑制効果を確認した。

表 1.4.1 カゴ詰め玉石工の削減の可能性の実験ケース

対策	2012年現況再現（改築後） （対策なし）	2022年現況再現 かご詰め玉石工（プール11～26に設置）	予備実験①-1 かご詰め玉石工（4プール最下流1か所撤去）	予備実験①-2 かご詰め玉石工（4プール2か所撤去）	予備実験①-3 かご詰め玉石工（4プール3か所撤去）
対策形状					
振幅（m）	0.5m	0.03m	0.04m	0.04m	0.06m
卓越周波数 （Hz）	f = 0.41Hz 0.54Hz	なし	なし	なし	なし
最下流 プールの 水面 変動					
周波数 特性					
流況写真					

### 1.4.1 検討概要

カゴ詰め玉石工の代替策となる対策工検討に先立ち、現在対策であるカゴ詰め玉石工の投入数の削減の可能性を検討した。本検討では、中規模洪水後での土砂撤去作業の省力化による早期復旧に向けて、プール下流側の「カゴ詰め玉石工」を未配置可能となるプール数の調査、設定することを目的とする。

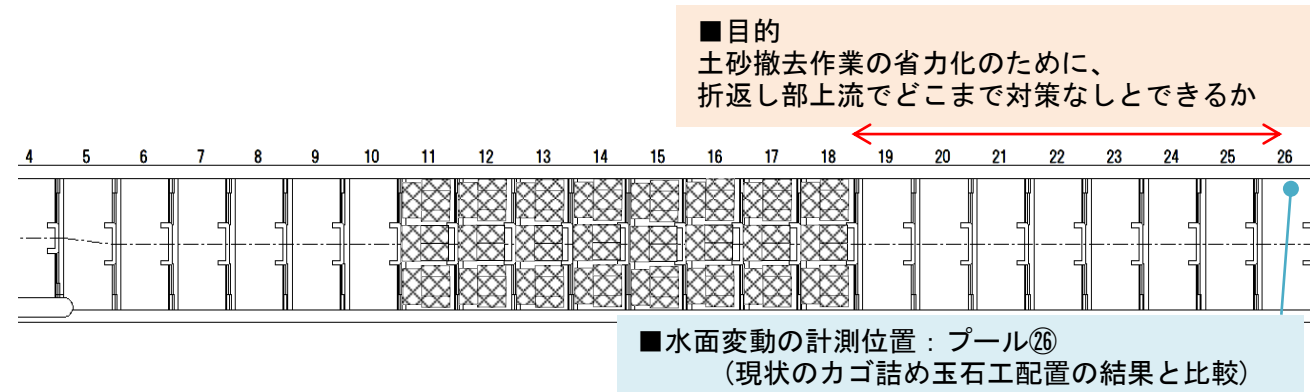


図 1.4.1 魚道下流での撤去可能調査の実験イメージ

### 1.4.2 カゴ詰め玉石工の削減調査

プールの下流側より順に「カゴ詰め玉石工」を撤去し、下流端となるプール⑳の水面変動を調査した。以下に結果の概要を示し、最後に結論を示す。

- 図 1.4.2 に示すように水面変動は、下流より「カゴ詰め玉石工」を 6 プール撤去した場合でも平均的な振幅は 8 cm 以下となる。  
プール⑳～㉓ (4 プール) 撤去した場合：平均的な振幅が約 2.5cm (最大振幅は約 4cm)  
プール㉒～㉓ (5 プール) 撤去した場合：平均的な振幅が約 3cm (最大振幅は約 4cm)  
プール㉑～㉓ (6 プール) 撤去した場合：平均的な振幅が約 3cm (最大振幅は約 6cm)
- 下流より 6 プール撤去した場合は、現状のカゴ詰め玉石工配置でのプール㉓の振幅 6 cm を超過する回数が多い。  
 以上より、模型実験による「かご詰め玉石工」の下流側の撤去可能プールは、プール㉒～㉓ (5 プール)と判断した。

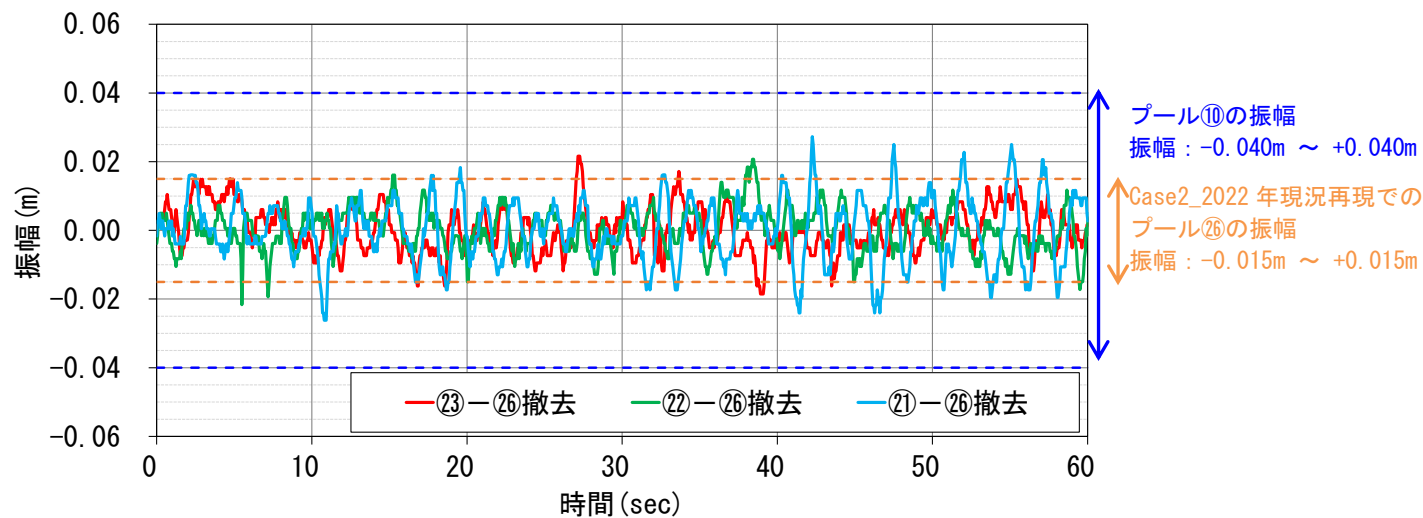


図 1.4.2 下流側を撤去した状態でのプール㉓での水面の時間変動

### 1.4.3 カゴ詰め玉石工を用いた対策でのまとめ

カゴ詰め玉石工を用いた対策の実験結果から得られたまとめを以下に示す。

- 中規模洪水後での土砂撤去作業の省力化として、模型実験結果では折返し部より上流の下流側 5 プール (プール㉑～㉓) 撤去することは可能と考えられる。
- 一方、現地では貯水池から流入の不均一性や風波等による水面変動の増幅要因が増えることから、模型実験よりも水面変動高が大きくなる可能性があることを考慮する必要がある。  
 以上より、本検討では、図 1.4.3 に示すプール㉑～㉓の 4 プール撤去した配置が現実的に望ましい撤去数と判断し、現地での試験通水調査で水面変動状況の確認により、カゴ詰め玉石工設置の削減の可能性を評価するものとする。

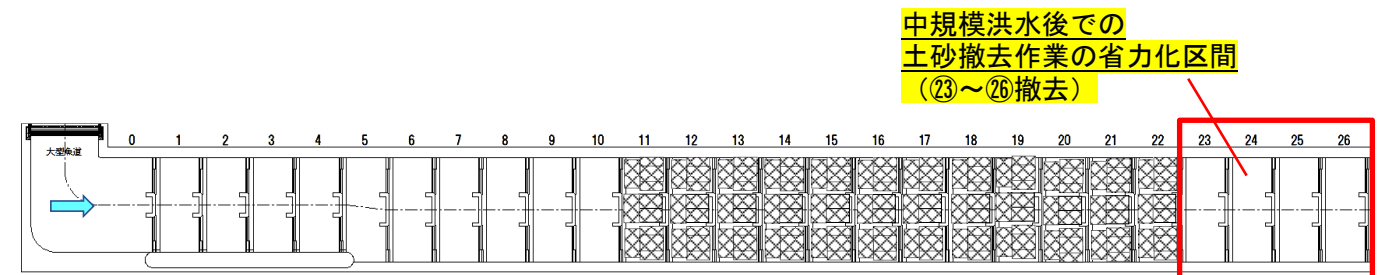


図 1.4.3 模型実験から得られたカゴ詰め玉石工の投入配置

1.4.4 現地水面変動試験調査

(1) 調査条件

前述の水理模型実験で導出したカゴ詰め玉石工配置を現地で試験調査し、現状の流況と水面変動を比較した。調査条件を表 1.4.2 に示す。

表 1.4.2 1.1.1 現地水面変動試験の調査条件

調査① 現状のカゴ詰め玉石工配置	
<p>■調査日時 2022/9/16 10:30~12:00</p> <p>■カゴ詰め玉石工の配置</p> 	
<p>■水面変動の計測方法</p> <p>プール26のピンク色の点（左岸壁沿い）にて、スタッフにより水面を動画判別した結果で計測</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">スタッフによる 動画判別</p>	
調査② 下流4プールのカゴ詰め玉石工を撤去	
<p>■調査日時 2023/11/24 10:30~12:00</p> <p>■カゴ詰め玉石工の配置</p> <div style="text-align: center;"> <p>中規模洪水後での 土砂撤去作業の省力化区間 (23~26撤去)</p>  </div>	
<p>■水面変動の計測方法</p> <p>プール26のピンク色の点（左岸切欠きの中心線上流）にて、サーボ式水位計で計測</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">サーボ式水位計</p>	

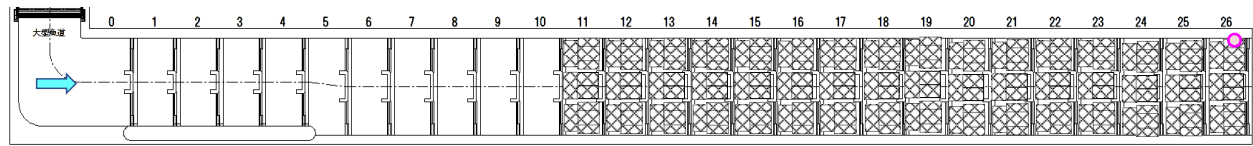
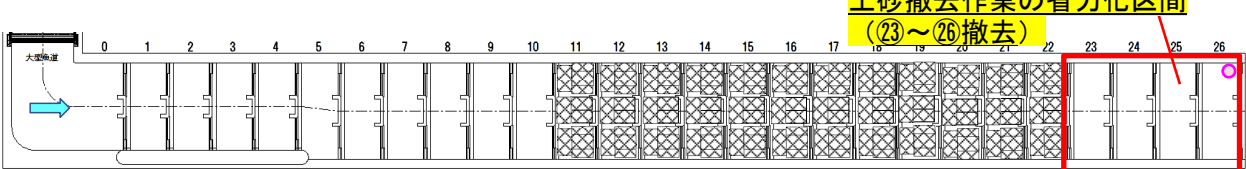

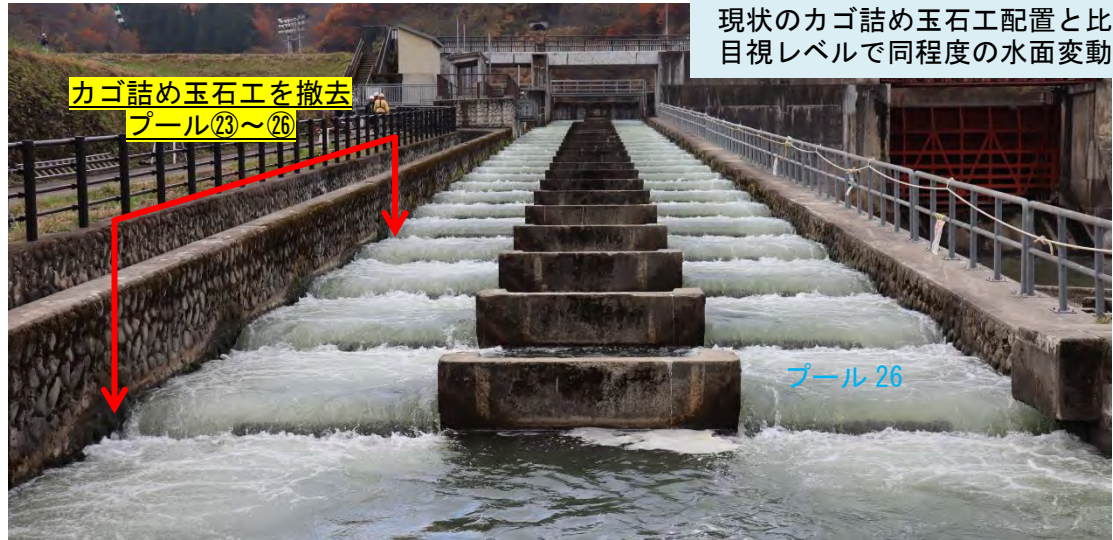
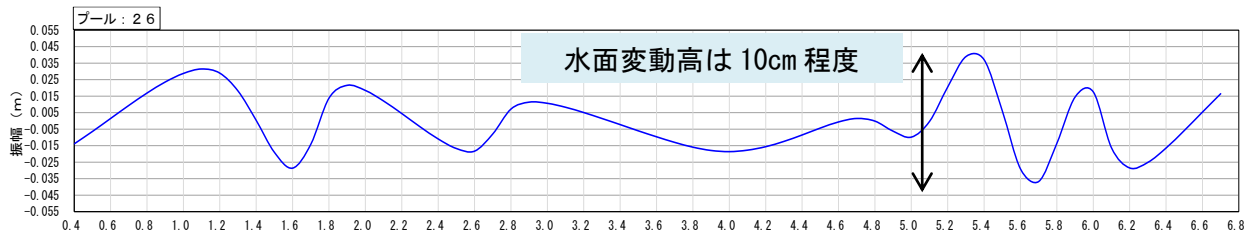
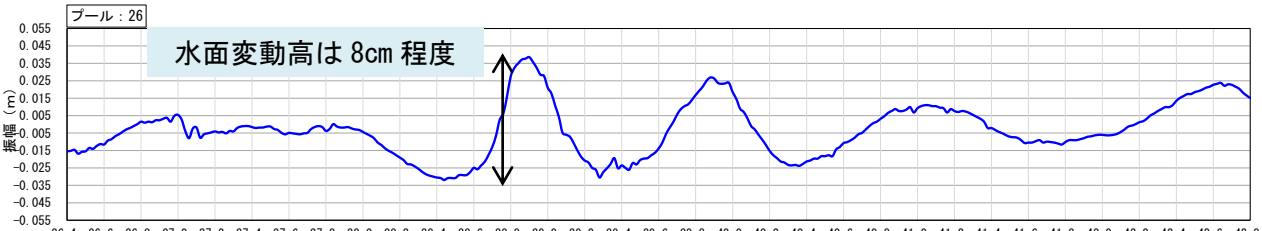


(2) 調査結果

現状のカゴ詰め玉石工と下流4プールのカゴ詰め玉石工を撤去の場合での流況と水面変動の比較結果を表 1.4.3 に示す。以下に結果の概要を示す。

- ・ 下流4プールのカゴ詰め玉石工を撤去した条件において、目視レベルでは、顕著な水面変動、セイシュの発生は確認できなかった。
  - ・ 現状のカゴ詰め玉石工配置条件と比較すると、目視レベルでは概ね同程度の水面変動状況となった。
  - ・ 下流4プールのカゴ詰め玉石工を取り外した条件において、最も危険側の流況となるプール26での水面変動の最大振幅高と最小振幅高の差分は約8cm程度となる。
  - ・ これは現状のカゴ詰め玉石工配置(11~26)と比較すると、2cm程度低い結果となっているが、計測方法や計測位置の違いによるものと推察されるため、誤差の範囲内と考えられる。
- 以上より、下流4プールのカゴ詰め玉石工を取り除くことは、流況・水面変動の観点から問題がないことを確認した。

表 1.4.3 現地水面変動試験の調査結果

調査① 現状のカゴ詰め玉石工配置	調査② 下流4プールのカゴ詰め玉石工を撤去
<p>■カゴ詰め玉石工の配置</p> 	<p>■カゴ詰め玉石工の配置</p> 
<p>■流況 (2023/10/16 10:30~12:00 撮影)</p> 	<p>■流況 (2023/11/24 10:30~12:00 撮影)</p> 
<p>■水面変動結果 (スタッフにより水面を動画判別した結果)</p> <p>プール26のピンク色の点 (左岸壁沿い) にて、水面変動高は10cm程度である。</p> 	<p>■水面変動結果 (サーボ式水位計で計測)</p> <p>プール26のピンク色の点 (左岸切欠きの中心線上流) にて、水面変動高は8cm程度である。</p> 

## 1.5 対策工代替案の調査実験

カゴ詰め玉石工に代替できる対策工として、水面変動の抑制効果が期待でき、かつ現地施工も可能と考えられるものを模型実験により選定した。

### ■本実験3案の選定の流れ

- ①予備実験にて、プール⑪～⑳に対策工を配置した流況を調査
- ②良好な効果を発揮した対策工3案を選定
- ③②で選定した対策工は、本実験を実施し、プール⑪～⑳からの配置数削減の可能性を調査し、詳細計測を実施

### 1.5.1 予備実験の概要

対策工の代替案調査に先んじて、表 1.5.1 に示す対策工で予備実験を実施し、水面変動の抑制効果を確認し、良好な水面変動抑制効果を発揮した3案を選定した。選定した対策は、表 1.5.1 に赤枠で示す。

表 1.5.1(1) 対策工の代替案の一覧

対策	予備実験② ブロック (ホロスケーヤ)	予備実験③ 上昇流防止板	予備実験④ 格子型の防止板
対策形状			
振幅 (m)	0.25m	0.4m	0.025m
卓越周波数 (Hz)	f=0.5Hz 0.64Hz	f=0.41Hz	なし
最下流プールの水面変動			
周波数特性			
流況写真			

表 1.5.1(2) 対策工の代替案の一覧

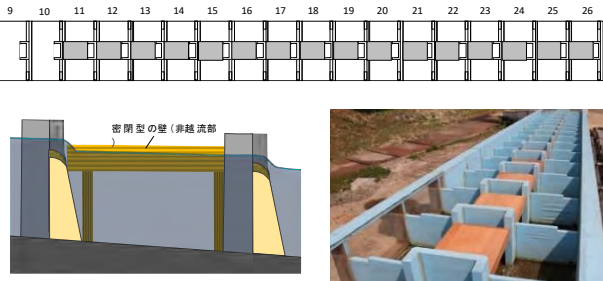
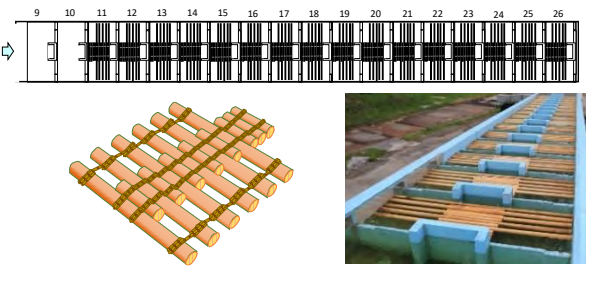
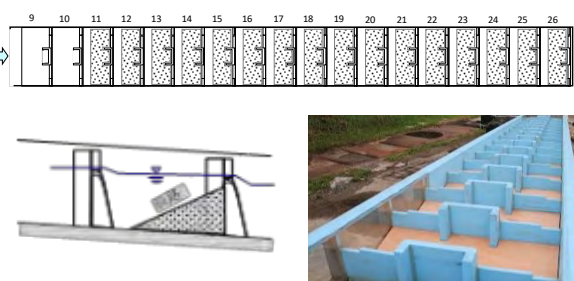
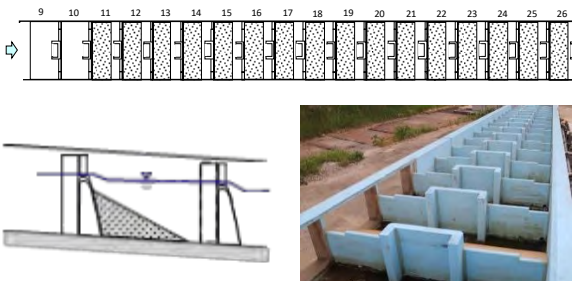
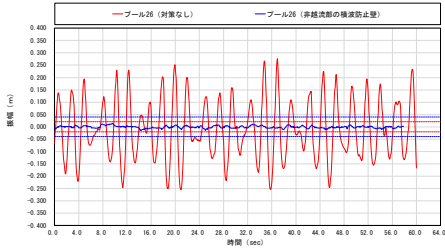
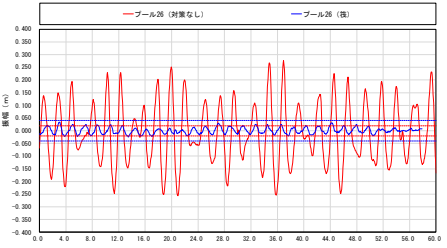
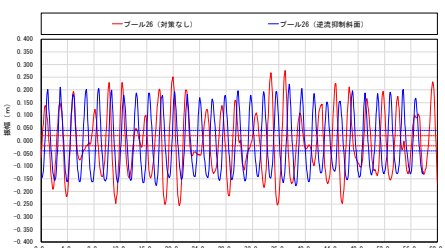
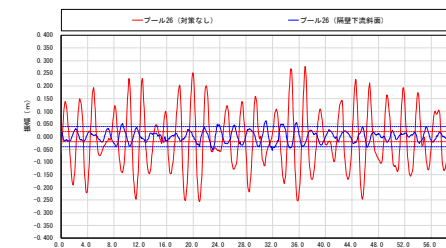
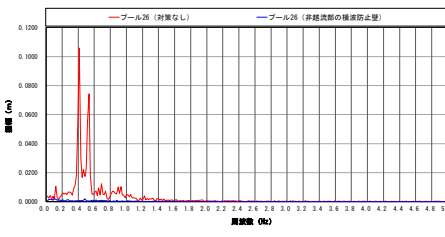
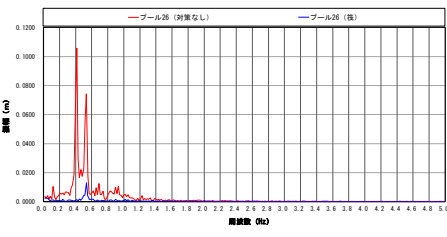
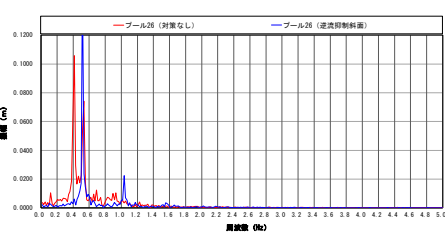
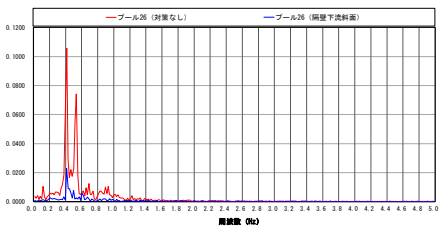




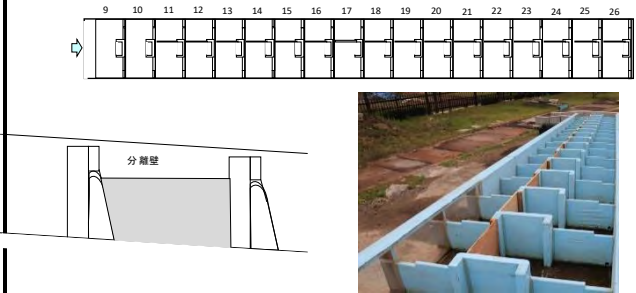
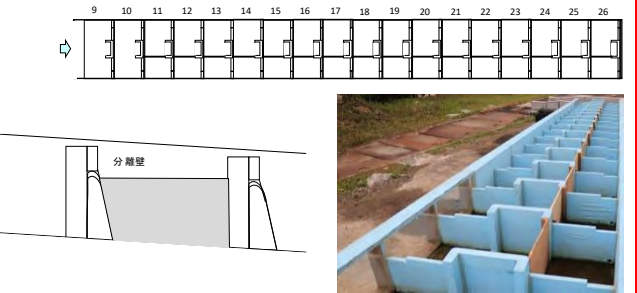
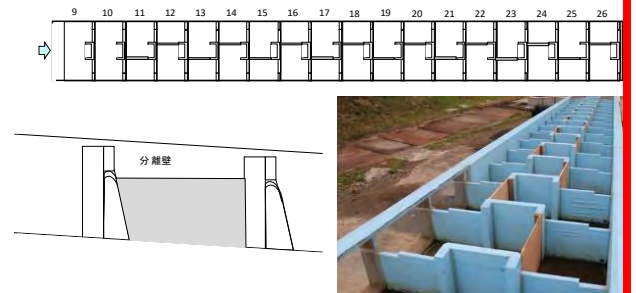
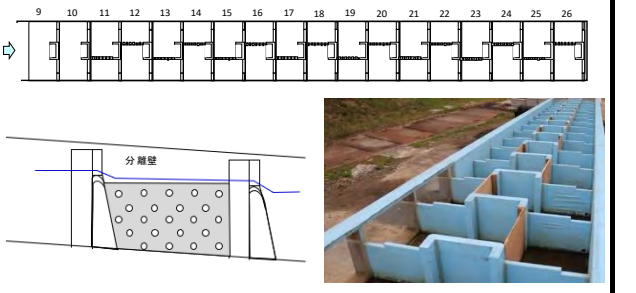
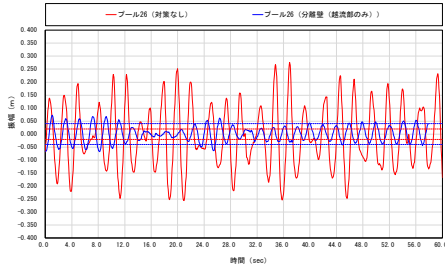
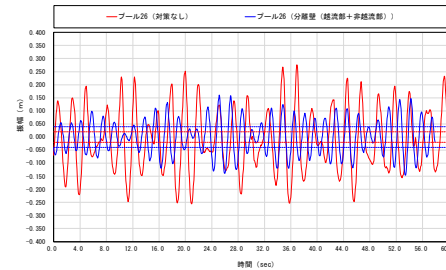
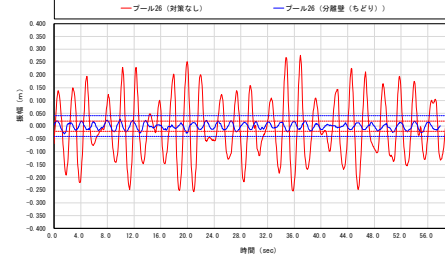
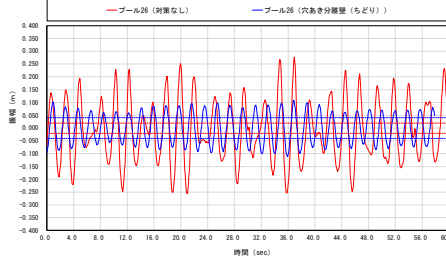
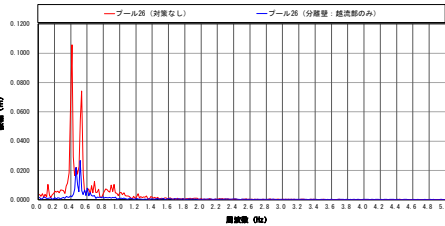
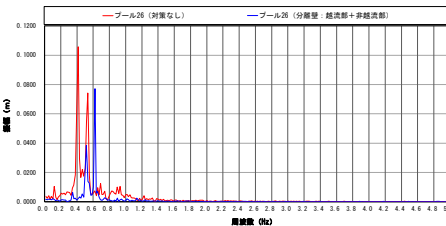
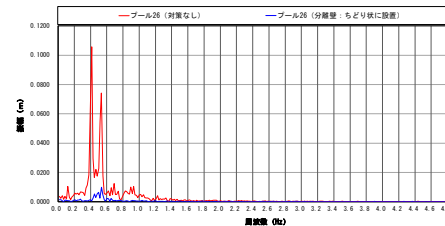
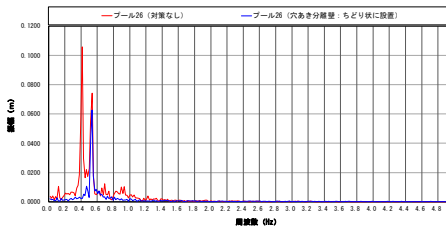




対策	予備実験⑤ 非越流部の横波防止板	予備実験⑥ 筏	予備実験⑦ 床板下流を斜面上に嵩上げ	予備実験⑧ 隔壁下流の斜面化
対策形状				
振幅 (m)	0.025m	0.05m	0.35m	0.12m
卓越周波数 (Hz)	なし	$f = 0.54\text{Hz}$	$f = 0.52\text{Hz}$	$f = 0.41\text{Hz}$
最下流プールの水面変動				
周波数特性				
流況写真				







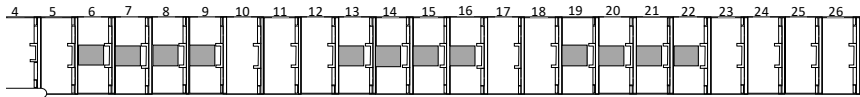
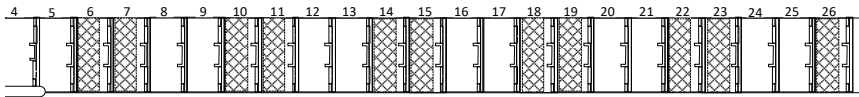
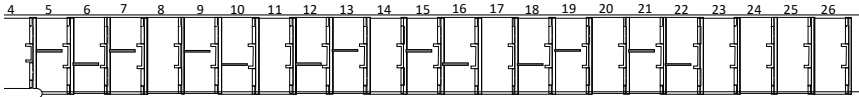
表 1.5.1(3) 対策工の代替案の一覧

対策	予備実験⑨-1 分離壁（越流部のみ）	予備実験⑨-2 分離壁（越流部+非越流部）	予備実験⑩ 分離壁（ちどり状設置）	予備実験⑪ 穴あき分離壁（ちどり状設置）
対策形状				
振幅 (m)	0.05m	0.2m	0.14m	0.3m
卓越周波数 (Hz)	$f = 0.54\text{Hz}$	$f = 0.54\text{Hz}$	$f = 0.52\text{Hz}$ $0.47\text{Hz}$	$f = 0.52\text{Hz}$ $0.62\text{Hz}$
最下流プールの水面変動				
周波数特性				
流況写真				

1.5.2 検討概要

模型実験により流況調査した対策工3案とその対策の考え方を表 1.5.2 に示す。

表 1.5.2 対策工の代替案の条件一覧

対策	本実験① 非越流部の横波防止板	本実験② 隔壁下流の斜面化	本実験③ 分離壁による横波防止壁
対策形状	<p>非越流部に密閉型の板を配置し、横波を抑制</p>  	  <p>「隔壁下流を斜面化」することで、縦断方向の波速を変化させ、卓越周波数を打ち消す</p>	<p>「分離壁」をちどり状に設置し、水路幅を変化させ、横波の増幅を抑制</p>   <p>魚の行き来の観点から「分離壁」上流面に約0.1mの隙間ができる構造とした</p>
対策プール			
対策の考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>横波を増幅させるエリアは、非越流部となることが確認できたため、非越流部エリア全体を「密閉型の板」でフタをすることで横波による水面変動を抑制するものとした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水面変動周期は、水深（波速）に支配されるため、縦断方向で水深が変化した場合、縦断方向で波速が変化（卓越周波数が変化）するため、共鳴しなくなると考えた。</li> <li>縦断方向で異なる水深を形成できるように、隔壁下流を斜面化させるものとした（斜路式魚道と同様の発想）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プールの横断方向に「分離壁」をちどり状に設置し、プール毎に水路幅を変更することで、プールを流下する際の横波の増幅を抑制するものとした。</li> <li>また、プール横断方向への魚の行き来の観点から、分離壁は非越流部上流面に約0.1mの隙間ができる構造とした。</li> </ul>

### 1.5.3 実験結果と流況評価

対策工調査実験の結果として、流況結果とその評価を表 1.5.3 に示す。結果の概要を以下に示す。

#### ■本実験①：非越流部の横波防止板

- ・ 最下流プール②の周波数特性および振幅は、約 6 cm となり、若干ではあるが卓越周波数帯 0.54Hz の変動を示す。
- ・ 2012 年の水面変動の支配的周波数は、0.4Hz の横波と予測できるため、本対策では魚道中央の非越流部での水面変動を制御に寄与していると考えられるが、卓越周波数帯 0.54Hz（縦波）は抑制することはできない。

#### ■本実験②：隔壁下流の斜面化

- ・ 最下流プール②の周波数特性および振幅は、約 5 cm となり、卓越する周波数はみられない。
- ・ 水深を縦断方向に均一に変化させたことで、水面変動周期が共鳴しにくくなったため、卓越した周波数帯を示さず、振幅を抑制することができたと考えられる。

#### ■本実験③：分離壁による横波防止壁

- ・ 最下流プール②の周波数特性および振幅は、約 5 cm となり、若干ではあるが卓越周波数帯 0.48Hz の変動を示す。

以上より、本実験①～③の対策工案は、2022 年流況対策後と同程度の流況・水面変動であり、水面変動抑制対策として有効であると判断できる。

表 1.5.3 対策工の代替案での流況結果一覧

対策	本実験① 非越流部の横波防止板	本実験② 隔壁下流の斜面化	本実験③ 分離壁による横波防止壁	
対策 プール				
流況	写真 (折返し 部から上 流を望 む)			
	写真 (横から 望む)			
	最下流 プール②⑥ の振幅	<p>本実験①対策後 …振幅: 0.06m</p> <p>&lt;参考&gt; 2012年改築直後 …振幅: 0.50m 2022年流況対策後…振幅: 0.04m</p>	<p>本実験②対策後 …振幅: 0.05m</p> <p>&lt;参考&gt; 2012年改築直後 …振幅: 0.50m 2022年流況対策後…振幅: 0.04m</p>	<p>本実験③対策後 …振幅: 0.05m</p> <p>&lt;参考&gt; 2012年改築直後 …振幅: 0.50m 2022年流況対策後…振幅: 0.04m</p>
	最下流 プール②⑥ の卓越 周波数	<p>本実験①対策後 …卓越周波数: 0.54Hz</p> <p>&lt;参考&gt; 2012年改築直後 …卓越周波数: 0.41Hz、0.54Hz 2022年流況対策後…卓越周波数: なし</p>	<p>本実験②対策後 …卓越周波数: なし</p> <p>&lt;参考&gt; 2012年改築直後 …卓越周波数: 0.41Hz、0.54Hz 2022年流況対策後…卓越周波数: なし</p>	<p>本実験③対策後 …卓越周波数: 0.48Hz</p> <p>&lt;参考&gt; 2012年改築直後 …卓越周波数: 0.41Hz、0.54Hz 2022年流況対策後…卓越周波数: なし</p>
流況評価	○ 水面変動を現在の変動高相当まで抑制	○ 水面変動を現在の変動高相当まで抑制	○ 水面変動を現在の変動高相当まで抑制	

### 1.5.4 総合評価

実験結果を踏まえた総合評価を表 1.5.4 に示す。評価指標として、「流況」、「魚道機能」、「施工性」、「維持管理」で評価した。

#### ■本実験①：非越流部の横波防止板

- ・ 流況として、水面変動を現在の変動高相当まで抑制している。
- ・ 越流部への対策をしておらず、現状の魚の遡上環境を維持できる。魚道内の横断方向の移動については、非越流部の水面下で移動空間を確保しているため、問題にならないと考えられる。
- ・ 土砂撤去作業のために、取り外しできるような構造の工夫が必要がある。
- ・ 土砂堆積した際に、横波防止板を取り外す必要がある。
- ・ 構造的な安定性の検討が必要である。

#### ■本実験②：隔壁下流の斜面化

- ・ 流況として、水面変動を現在の変動高相当まで抑制している。
- ・ 隔壁下流の斜面化では、越流部からの流れが連続性を確保できているため、魚の遡上環境を維持できている。また、他魚道での適用実績がある斜路式魚道と類似した形状であるため、このことから遡上環境を維持できていると考えられる。
- ・ 模型実験の流速分布では、斜面上流端で局所的に 1.6m/s の流速が発生しているが、「現地の切欠き部での流速は 1.56m/s」であり、「アユとウグイの突進速度は 1.6m/s 程度でサケはそれ以上」であることから、遡上環境について問題にならないと考えられる。また、斜面表面の加工（玉石張）等により、遊泳能力の低い魚種（カジカ等）に対しても遡上環境向上が可能である。
- ・ 現隔壁と一体となった恒久的な構造物とすることができるが、一体型として改築する場合、基礎地盤の耐久性の確認が必要である。また、隔壁の斜面化による始端形状の検討が必要となる。
- ・ 土砂堆積した際に、バックホウ使用策の工夫が必要である。
- ・ 魚道底板の検査方法を精査する必要がある。

#### ■本実験③：分離壁による横波防止壁

- ・ 流況として、水面変動を現在の変動高相当まで抑制している。
- ・ 越流部への対策をしておらず、現状の魚の遡上環境を維持できる。魚道内の横断方向の移動については、非越流部で隙間を設けているため、問題にならないと考えられる。
- ・ 魚道内に存置される恒久的な構造物にするか、土砂撤去作業のために取り外し可能な構造にするかの検討が必要となる。
- ・ 分離壁を取り外し可能な構造とした場合には、土砂堆積した場合には取り外すことができない。また、魚道へ土砂堆積した際に、分離壁を損傷する可能性があるため、バックホウの使用が難しい。

以上より、本実験②：隔壁下流の斜面化が最も適用可能な対策であると考えられる。

### 1.5.5 今後の展開

今後、大型魚道の隔壁下流の斜面化にあたり、以下の課題が挙げられるため、引き続き詳細を検討していく。

#### ■構造的な課題

- ・ 現隔壁と斜面の擦付け位置
- ・ 斜面の表面の材質（玉石張）
- ・ 構造物としての安全性
- ・ 基礎地盤の安全性

#### ■施工の課題

- ・ 魚道改築にあたる施工計画

#### ■改築後の課題

- ・ 維持管理計画
- ・ 土砂堆積時のメンテナンス方法検討

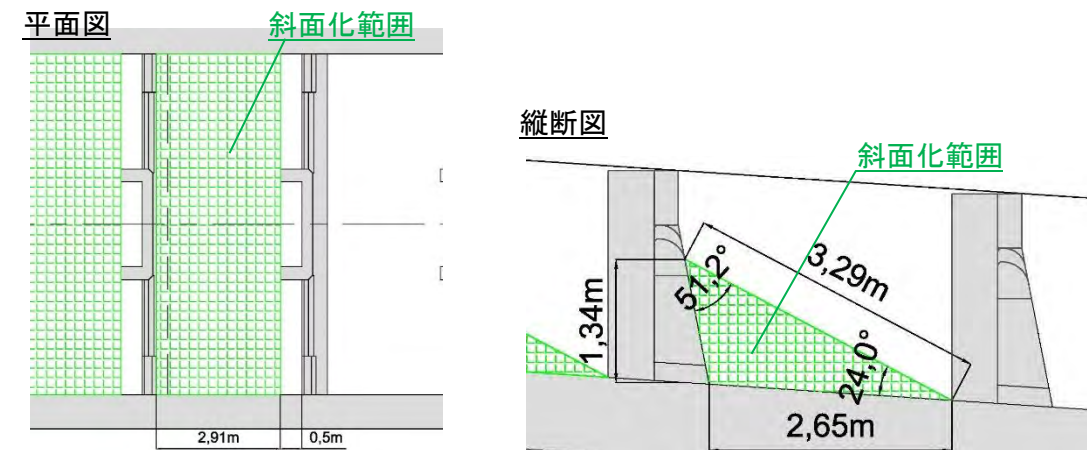


図 1.5.1 本実験②での隔壁下流斜面化の寸法



図 1.5.2 粗石付き斜路式魚道の事例（富士川支川の大武川(山梨県)）



表 1.5.4 総合評価

	本実験① 非越流部の横波防止板	本実験② 隔壁下流の斜面化<採用案>	本実験③ 分離壁(ちどり状設置:隙間あり)による横波防止壁
対策工形状			
対策プール			
流況	<ul style="list-style-type: none"> <li>水面変動を現在の変動高相当まで抑制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水面変動を現在の変動高相当まで抑制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水面変動を現在の変動高相当まで抑制</li> </ul>
魚道機能(鉛直方向の流速分布)	<p>■非越流部の横波防止板</p> <p>逆流域の流速は約 0.2m/s 以下</p> <p>隔壁下流で落下流を形成(流れの連続性を確保)</p> <p>最大流速は約 1.0m/s (上流隔壁の下流面・底面)</p> <p>&lt;参考&gt;現況(プール⑥)魚道改築後-未対策の流速分布</p>	<p>■隔壁下流の斜面化</p> <p>逆流域の流速は約 0.2m/s 以下</p> <p>隔壁下流で斜面流を形成(流れの連続性を確保)</p> <p>斜面</p> <p>斜面上の流速は約 1.0m/s(上流端の最大流速 1.6m/s は、サケ・アユ・ウグイ等の突進速度よりも小さい)</p> <p>&lt;参考&gt;現況(プール②⑥)魚道改築後-流況対策後の流速分布</p>	<p>■分離壁</p> <p>隔壁下流で落下流を形成(流れの連続性を確保)</p> <p>分離壁</p> <p>逆流域の流速は約 0.2m/s 以下</p> <p>最大流速は約 1.0m/s(上流隔壁の下流面・底面)</p> <p>カゴ詰め玉石工(透過性あり)</p>
施工性	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>土砂撤去作業のために、取り外し可能な構造の工夫が必要</li> <li>構造的な安定性の検討が必要</li> </ul>	<p>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>現隔壁と一体となった恒久的な構造物</li> <li>採用する場合は、斜面の始端形状、斜面表面の加工等の検討が必要</li> <li>一体型として改築する場合、基礎地盤の耐久性の確認が必要</li> </ul>	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>魚道内に存置される恒久的な構造物にするか、土砂撤去作業のために取り外し可能な構造にするかの検討が必要</li> <li>構造的な安定性の検討が必要</li> </ul>
維持管理	<p>×</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>土砂堆積した際に、横波防止板を取り外す必要あり</li> </ul>	<p>△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>土砂堆積した際に、バックホウ使用策の工夫が必要</li> <li>魚道底板の検査方法の精査が必要</li> </ul>	<p>×</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>分離壁を取り外し可能な構造とした場合には、土砂堆積した際に取り外すことが不可</li> <li>土砂堆積した際に、設置した分離壁をバックホウで損傷する可能性あり</li> </ul>
総合評価	△	○	△
今後の方針		斜面部の詳細の精査: 斜面の擦付け位置、表面材質 施工計画、土砂堆積時の維持管理方法等の検討	

## 2. 小型魚道の流況対策検討（水理模型実験）

### 2.1 調査概要

#### 2.1.1 調査目的

宮中取水ダム小型魚道は、平成23年、平成24年の改築後の試験通水にて図2.1.1に示すような縦波が発生したため、流れの減勢を目的としたカゴ詰め玉石工を設置している。小型魚道では、大型魚道と同様に、中規模出水後の魚道土砂堆積に伴う復旧作業や魚道メンテナンス時にカゴ詰め玉石工への支障があり、カゴの目詰まりや経年劣化による破損の発生等の課題を有している。

本調査では、大型魚道の水理模型実験結果の知見を活かして魚道流況対策工の本設化に向けたカゴ詰め玉石工に代替する対策を検討し、縦波の抑制及び魚の遡上環境の更なる改善、魚道の断水期間の削減を図り、信濃川中流域の河川環境の維持を目的とする。

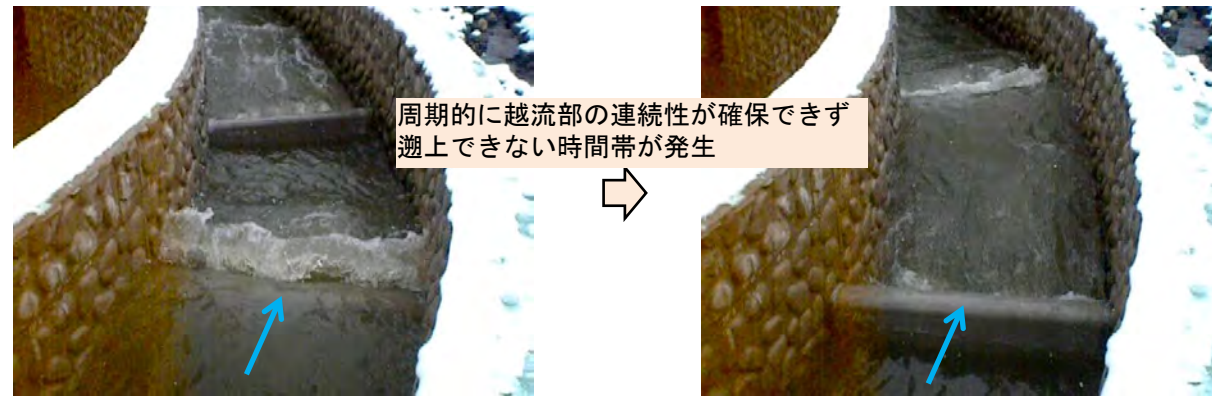


図 2.1.1 流況対策工の有無での流況（縦波）の比較

#### 2.1.2 調査の流れ

小型魚道流況対策工実験では、図2.1.2に示す流れで実施する。

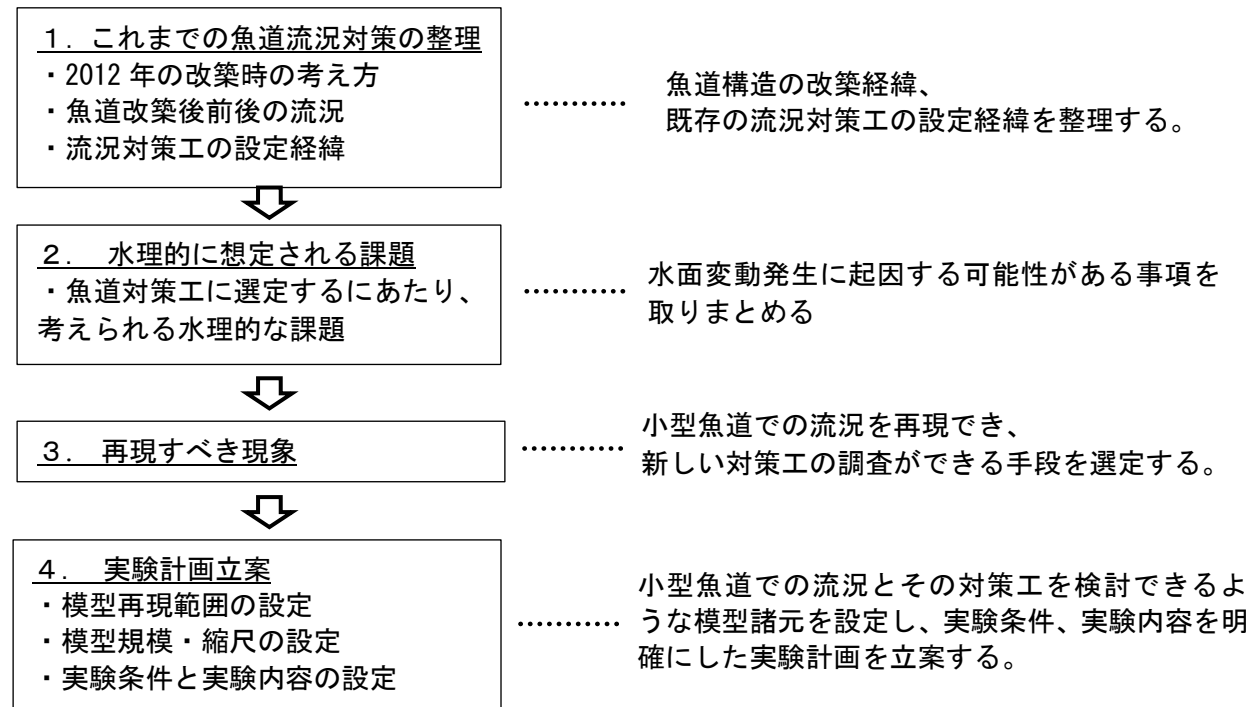


図 2.1.2 検討フロー

### 2.2 これまでの魚道流況対策の整理

#### 2.2.1 2012年の改築時の考え方

小型魚道の改築時の考え方は、次ページ表2.2.2に示す「第4回信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会」にてまとめられている。

- ・ 小型魚道の改築にあたり、魚の遡上の観点から、最大流速と最小水深を規定する「越流水深」と「隔壁間落差（隔壁天端の標高）」を最重要視して構造設計を実施した。
- ・ 大型魚道、小型魚道ともに、改築前には流況で大きな問題や課題がなかったため、同様の構造にて場所を移動して改築した。
- ・ 小型魚道の改築後は、底面勾配（1:15）、隔壁天端勾配（1:16.667）は改築前と同様とし、折返し部の構造も改築前と同様とした。

#### 2.2.2 魚道改築後の流況

魚道改築後には、越流水深13cm、15cmの条件にて、魚道観察室付近から下流で水面変動が発生した。水面変動は、周期的に隔壁が露出するような大きな縦波が発達する状況であった。（表2.2.1、図2.2.1）

表 2.2.1 魚道完成直後（対策なし）の小型魚道の流況

越流水深	流況の概要	備考
13cm	縦波発生	最小
15cm	縦波発生。折返しプールで隔壁が露出する。	最大

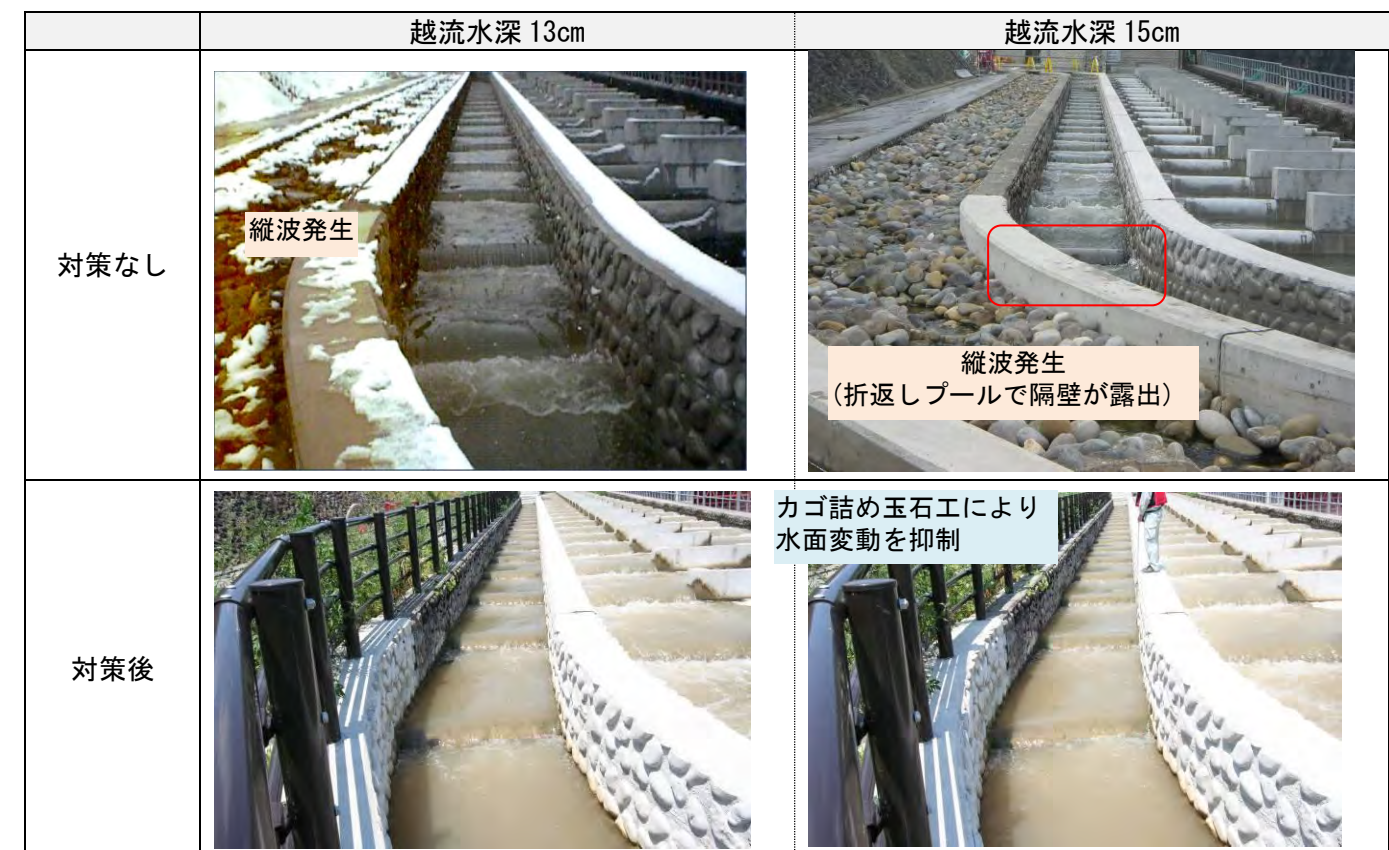


図 2.2.1 対策前後の小型魚道の流況

表 2.2.2 小型魚道の考え方

【改善案の目的】

- 階段式魚道は多様な魚種への対応が可能と考えられる形式である。
- 年間を通して河川内移動を行う可能性のある魚種（遊泳力はそれほど高くない）にも対応可能なものとする。

構造細目	採用案
(1) 基本的な考え方	小型魚用魚道については、流況に関しては、現状で特に問題はないことから、 <b>現在の構造でそのまま移動させる</b> ことを基本的な考え方とする。
(2) 配置位置	遡上力の小さい魚に対応するせせらぎ魚道を最も岸側に配置する必要性から、現状の小型魚用魚道の位置にせせらぎ魚道を設けるため、 <b>魚道配置位置を魚道中央側へ移動</b> する。 魚道幅は、天端橋梁ピアより右岸側に小型魚用魚道とせせらぎ魚道を配置することと、下流部への線形を直線として連続性を確保することを踏まえて、 <b>幅 1.5m</b> とした。
(3) 隔壁天端形状	小型魚用魚道は、せせらぎ魚道の設置に伴い、配置箇所を移動することとしたため、新たに隔壁を設置することとなる。したがって、アイスハーバー型魚道の切欠き部と同様に、下記の目的で <b>複合 3 円弧形状を採用</b> することとする。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 天端を越流する水脈を滑らかにする</li> <li>• 隔壁と水脈の間に空洞が発生しないようにする</li> <li>• 隔壁天端の隅角部が遡上する魚の魚体を傷つけないようにする</li> </ul> 具体的な形状は、越流水深が最大（15cm）のときの越流水脈が天端からはく離しないように、標準越流頂形状よりも膨らませた形状とする*。
(4) プール形状	小型魚用魚道では、前回の魚道改築時にセイシュが発生した経緯がある。この原因は、ピアを避けるためにつけられた魚道の平面曲線によるものと推察され、これを抑えるためにカーブ下流のプールに玉石投入等の対策が行われている（写真 2.2.8）。セイシュは、プールの深さ、幅、長さの形状によって決まるため、数プールごとに形状を変更することによって避けることができると考えられる。 しかしながら、今回のレイアウトでは、基本的に <b>直線形状を採用していることからプールごとの形状変更は行わない</b> こととし、魚道完成後の通水確認を行うものとする。
(5) 水抜き孔	大型魚用アイスハーバー型階段式魚道と同様に、メンテナンス性に配慮して、 <b>隔壁端部に VPφ100 (A=0.008m<sup>2</sup>) の水抜き孔</b> を設ける。
(6) プール内粗度	大型魚用アイスハーバー型階段式魚道と同様に、減勢機能を高めるためにプール内粗度として、プール底部は <b>玉石張り</b> とし、プール側壁には <b>石積み模様の化粧型枠</b> を使用する。

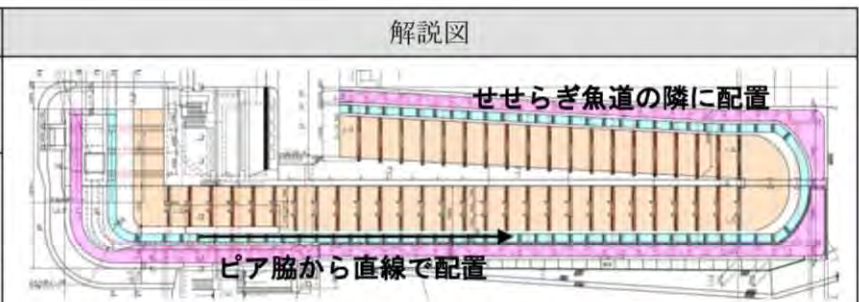


図 2.2.24 小型魚用魚道（階段式）の配置

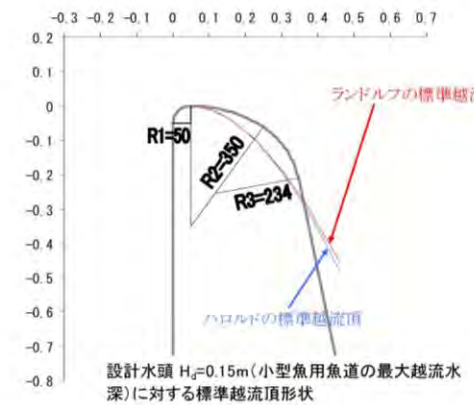


図 2.2.25 隔壁天端形状（複合 3 円弧形状）



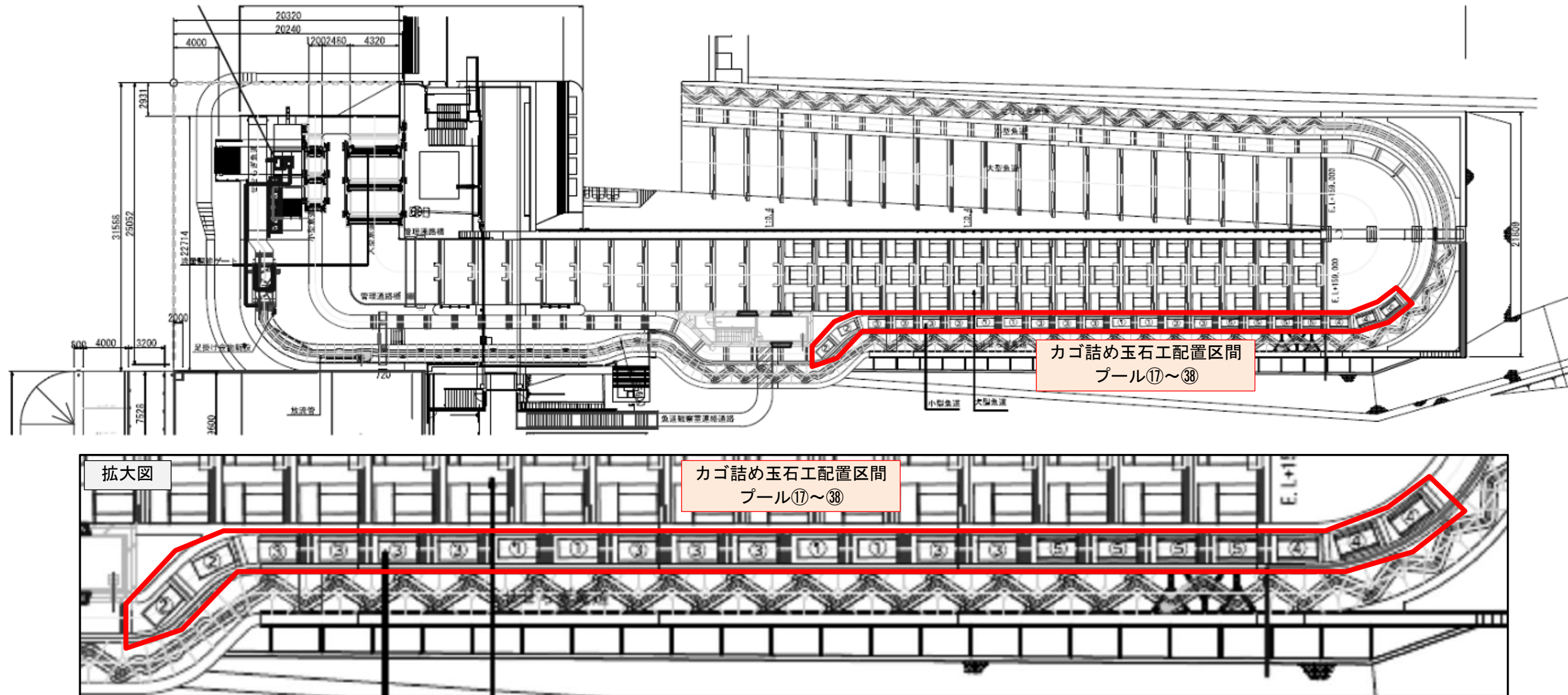
写真 2.2.8 現況の小型魚用魚道のピア部のカーブと投入した玉石

\* 小型魚用魚道の複合 3 円弧形状は、標準越流頂形状に対して大きく膨らんだ形状としている。幾何的には、 $R_3 > R_2$  の円弧を採用することによって、より標準越流頂に沿わせた形状とすることも可能であるが、隔壁天端の厚みが非常に薄くなり流下物による破損の懸念があること、 $R_2 > R_3$  とするのが一般的であること（前出、「ダム・堰施設技術基準(案)」、「階段式魚道の水理特性」参照）から、この形状を採用している。

### 2.2.3 現状の流況対策工（カゴ詰め玉石工）の設定経緯

水面変動に対する流況対策として袋詰玉石工にて流況対策実験を実施し、その後カゴ詰め玉石工を採用し、流況確認調査を実施した。現地実験で決定したカゴ詰め玉石工配置を図 2.2.2 に示す。カゴ詰め玉石工は横波（セイシュ）の発生が顕著なプールから下流（口部）に投入することで、所定の水面変動以内に収める流況対策効果を得た。

#### ■カゴ詰め玉石工設置区間



#### ■カゴ詰め玉石工配置図

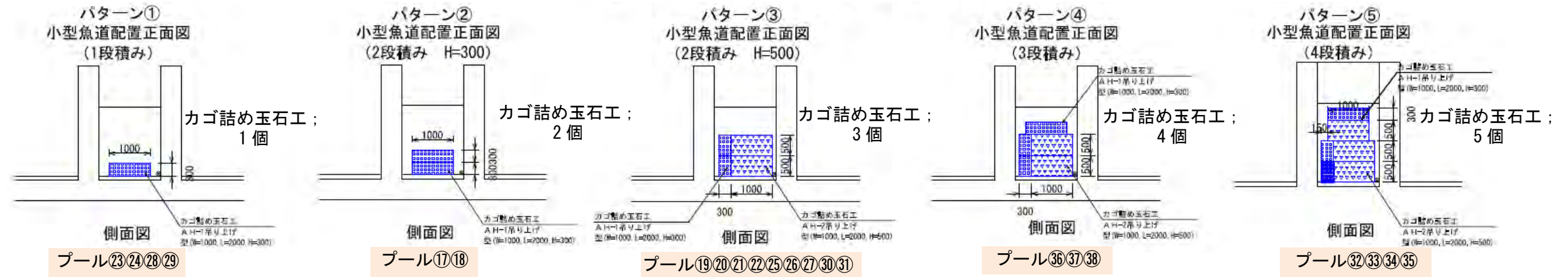


図 2.2.2 小型魚道のカゴ詰め玉石工の最終配置

## 2.3 水理的に想定される課題

小型魚道で発生した水面変動について、魚道形状から想定される課題を以下に示す。

### ①湾曲の魚道平面形状

- 小型魚道の平面形状は、図 2.3.1 に示すように魚道観察室を迂回するような平面形状のため湾曲区間を有している。湾曲形状は、遠心力の二次流形成により左右岸水位差が生じ、水位差を持った状態で越流することが推察されるため、水面変動の要因となる可能性がある。



図 2.3.1 小型魚道の平面形状 (①湾曲の魚道平面形状)

### ②魚道底面勾配と隔壁越流部の縦断勾配の相違

- 小型魚道は、図 2.3.2 に示すように、魚道の隔壁間落差（プール毎の水面高さの差）を一定にするため魚道の底面勾配が 1:15 であり、越流部上端の勾配が 1:16.667 であり異なる。併せて、小型魚道の隔壁高は、縦断方向で 20mm (2cm) ずつ高くなっており、流下につれてプール水深も深くなっている。代表水深  $h$  がプール毎に変わること、支配的となる周波数がプール毎に変化し、水面変動の要因となる可能性がある (式(1))。

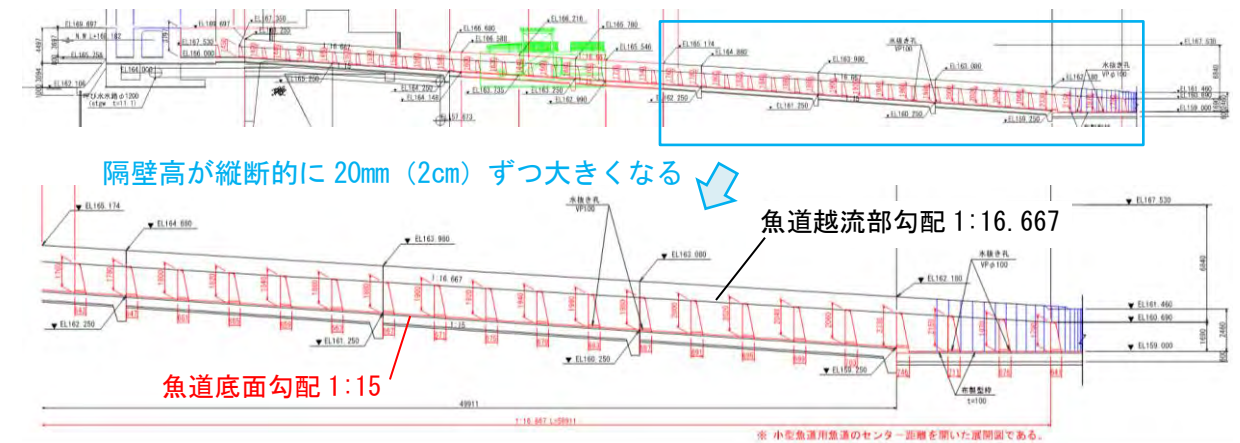


図 2.3.2 小型魚道の縦断図 (②魚道底面勾配と隔壁越流部の縦断勾配の相違)

#### ■セイシュ（水面変動）の固有振動数

$$T=2L/(gh)^{0.5} \quad \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

ここに、 $T$ : 振動周期 ( $=1/f$ )、 $L$ : 代表長、 $g$ : 重力加速度、 $h$ : 水深

### ③底面流が比較的速い状態で隔壁に衝突している可能性 (水理的な推察)

- 図 2.3.3 に示す隔壁高はプール縦断延長とほぼ同様である。プールに流入する流れは、底面流が比較的速い状態で隔壁に衝突している可能性があり (図 2.3.4 参照)、高流速の上昇流を形成するため、水面変動の要因となっている可能性がある。

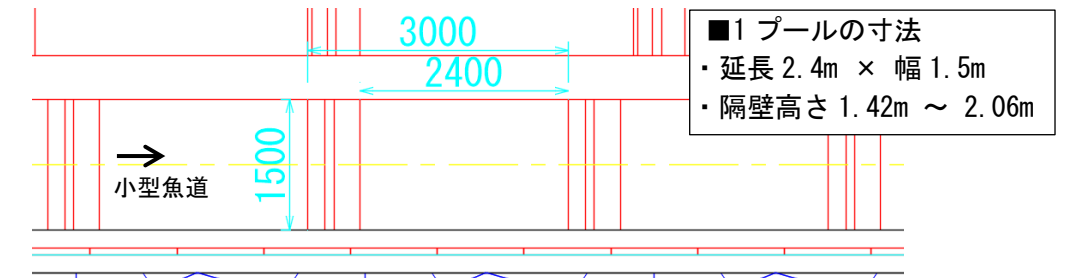


図 2.3.3 小型魚道のプール寸法

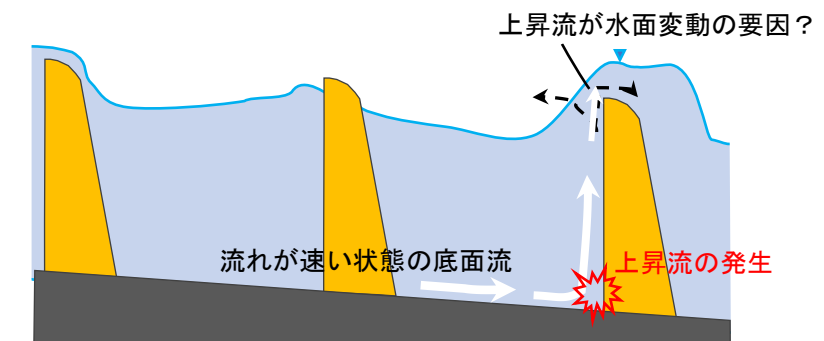


図 2.3.4 小型魚道の流れのイメージ (③底面流が比較的速い状態で隔壁に衝突している可能性)

## 2.4 実験計画立案

セイシュ発生現象再現とセイシュを抑制できる流況対策工調査の実施に向けて、小型魚道での流況（横波、縦波）とその対策工を検討できるような模型諸元（模型範囲、縮尺、製作方法等）を設定し、実験条件、実験内容を明確にした実験計画を立案する。

### 2.4.1 実験の着眼点

本実験では、以下の事項を主目的とし、表 2.4.1 に示す内容について確認する。

- ・ 2012 年時点（魚道改築後+カゴ詰め玉石工設置前）、2023 年時点（魚道改築後+カゴ詰め玉石工設置後）の現地流況（縦波）を模型で再現する。
- ・ 現在のカゴ詰め玉石工の代替案となる水面変動対策を選定する。対策工選定のための予備実験では、大型魚道実験の知見を活かすことにする。

表 2.4.1 本実験で確認する内容

確認項目		確認する内容
① 模型再現性の確認	流況（水面変動）	・ 現地と同等程度の縦波発生の確認 ・ 現地と同等程度の水面変動高の確認
	流速分布	・ 現状の縦断方向の流速場の確認
② 流況対策工の配置決定	流況（水面変動）	■ 現状と比較して、悪化しない流況 ・ 隔壁直下の落下流、遷移流、表面流の確認 ・ プール内で縦波が発生しないことの確認
	流速分布	■ 現状と比較して、悪化しない流速分布 ・ 遡上可能な流速場の連続性の確保 ・ 定位、休息可能な流速場の確保

### 2.4.2 模型諸元の設定

#### (1) 模型再現範囲

小型魚道の形状から想定される課題を踏まえた模型再現範囲の留意点を以下に示す。

- ・ 2012 年の魚道改築後に、「プール⑰～折返し部」で顕著な水面変動が発生し、その場所より下流にカゴ詰め玉石工を配置している。
- ・ 小型魚道流入部は静水であることから、小型魚道の流入部から折返し部までに流況が乱れる何かしらのきっかけが発生し、流下につれて増幅したことが推察される。
- ・ 現地大型魚道と大型魚道水理模型実験の流況から、魚道形状の変曲点である拡幅部をきっかけに、それより下流で不均一な流況が発生している知見がある。小型魚道ではプール⑰～⑲に湾曲区間を有しており、この区間のプール形状は不均一であるため、流況の乱れを起こす可能性が高い。

以上より、流況が乱れるきっかけと想定される魚道形状を包絡する小型魚道流入部から再現することが望ましいと考えた。小型魚道の模型再現範囲は図 2.4.1 に示す「流入部～折返し部」とする。

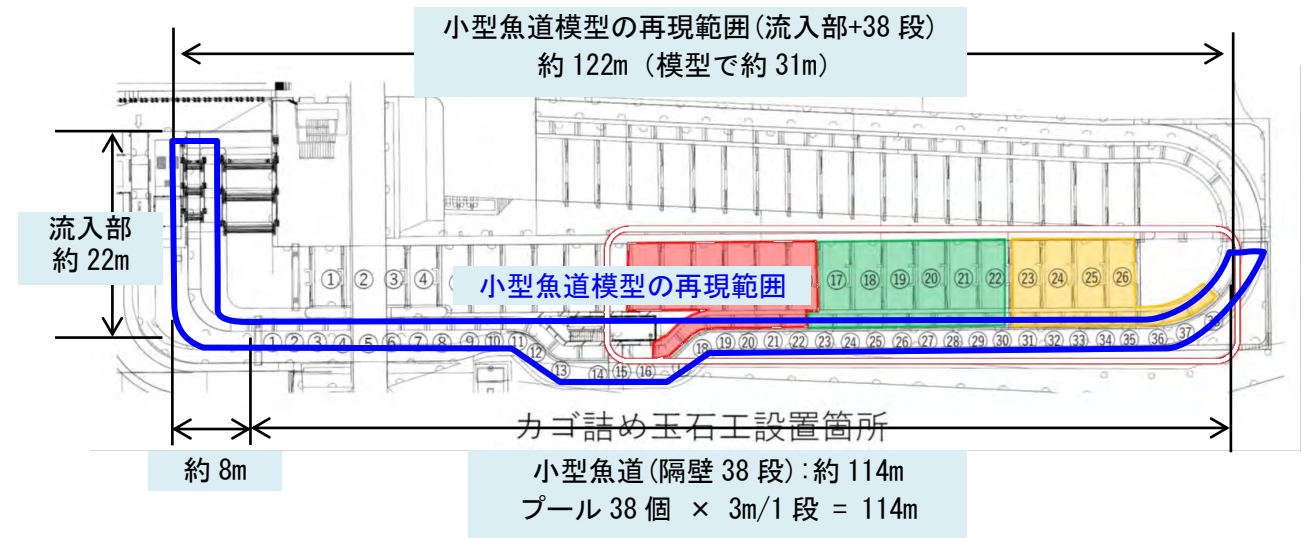


図 2.4.1 小型魚道の模型再現範囲

#### (2) 模型縮尺

##### 1) 相似則

本実験で対象とする水の流れは、水の粘性・表面張力に比較して重力と慣性力が卓越する。このような流れに対しては、実物と模型の慣性力の比を等しくするため、フルード数を用いた「フルードの相似則」に従って実験を行うことが基本である。（フルード数の定義）

$$Fr \text{ 数} = (\text{慣性力}) / (\text{重力}) \Leftrightarrow Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

ここに、 $V$ ：流速(m/s)、 $g$ ：重力加速度(9.81m/s<sup>2</sup>)、 $h$ ：水深(m)  
模型で計測した諸量を次のような縮尺により実物値に換算することができる。

$$\text{長さの縮尺} : \frac{L_m}{L_p} = \frac{H_m}{H_p} = \frac{1}{S}$$

$$\text{時間の縮尺} : \frac{T_m}{T_p} = \frac{H_m^{1/2}}{H_p^{1/2}} = \frac{1}{S^{1/2}}$$

$$\text{流量の縮尺} : \frac{Q_m}{Q_p} = \frac{L_m H_m V_m^{1/2}}{L_p H_p V_p^{1/2}} = \frac{1}{S^{2.5}}$$

$$\text{流速の縮尺} : \frac{V_m}{V_p} = \frac{L_m / T_m}{L_p / T_p} = \frac{H_m^{1/2}}{H_p^{1/2}} = \frac{1}{S^{1/2}}$$

$$\text{粗度係数の縮尺} : \frac{n_m}{n_p} = \frac{H_m^{2/3} / L_m T_m^{-1}}{H_p^{2/3} / L_p T_p^{-1}} = \frac{H_m^{1/6}}{H_p^{1/6}} = \frac{1}{S^{1/6}}$$

ここに、 $S$ ：縮尺、 $L$ 、 $H$ ：長さ、高さの単位、 $T$ ：時間の単位、 $n$ ：粗度係数、添え字  $m$ ：模型換算、添え字  $p$ ：現地換算を示す。

2) 模型縮尺の検討

「模型再現範囲」を踏まえて、模型の縮尺を検討した結果を表 2.4.2 に示す。

- ・ レイノルズ数の影響を受けないように「実験上の越流水深が 3cm 以上」となる模型縮尺であれば、現地の流況を再現可能であるとされている（出典；河川水理模型実験の手引）。
- ・ 小型魚道の越流部での越流水深は、約 0.13m(=13cm)であるため、上記制約条件を満足するような模型縮尺の選定が必要となる。
- ・ 前節の模型再現範囲の観点から、魚道流入部～魚道折返し部を再現することが望ましい。

以上より、「実験上の越流水深が 3cm 以上」を満たす縮尺の中で、縮尺の小さいものを選択し、制約条件を満たす「**模型縮尺 S=1/4**」を選定した。

**1-3-2 模型縮尺, 模型範囲の選定**

模型の縮尺は大きい方が望ましいが、一般には実験目的に対する必要精度、実験施設（面積、給排水設備の能力等）および相似性との関係等で決められる。とくに移動床模型の場合、現地の河床材料粒径が非常に重要となる。模型縮尺の決定に当たっては、以上のような項目のほか次のような制約条件を考慮する必要がある。

①水深：重要区間の水深は 3 cm 以上 となるようにし、粘性の影響を無視し得、かつ乱流域とする。

出典；河川水理模型実験の手引；土木研究所資料,第 2803 号 1989 年 10 月\_P.5

表 2.4.2 模型縮尺の比較例

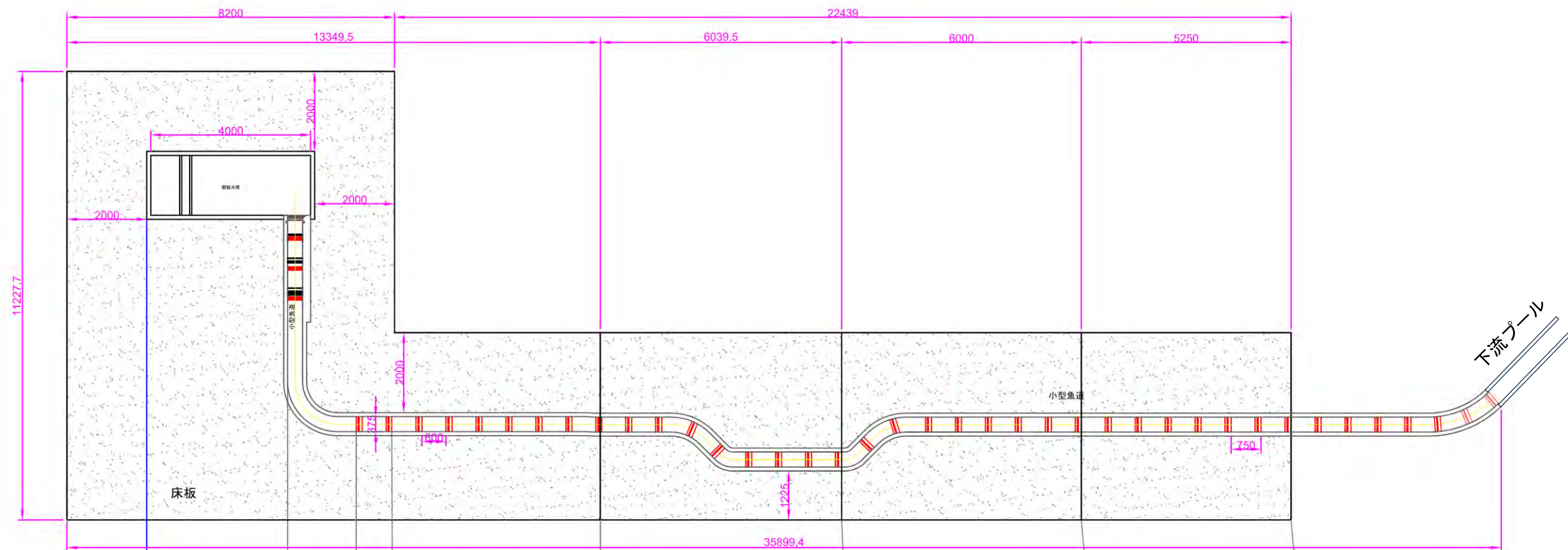
	単位	実物大	模型縮尺						制約条件	
			1/2	1/2.5	1/4	1/5	1/8	1/10		
流量	m <sup>3</sup> /s	0.130	0.023	0.013	0.004	0.002	0.001	0.000	0.4m <sup>3</sup> /s<Q	
小型魚道	隔壁1段縦断距離	m	3.000	1.500	1.200	0.750	0.600	0.375	0.300	
	隔壁38段縦断距離	m	114.000	57.000	45.600	28.500	22.800	14.250	11.400	
	上流から38段の延長	m	122.500	61.250	49.000	30.625	24.500	15.313	12.250	模型設置場所の制約 (縦断方向L≤40m)
	上流と下流の落差	m	11.000	5.500	4.400	2.750	2.200	1.375	1.100	
	魚道幅	m	1.500	0.750	0.600	0.375	0.300	0.188	0.150	
	<b>越流水深</b>	<b>m</b>	<b>0.130</b>	<b>0.065</b>	<b>0.052</b>	<b>0.033</b>	<b>0.026</b>	<b>0.016</b>	<b>0.013</b>	<b>3cm ≤ h</b>
判定			×	×	○	×	×	×		
理由			模型設置場所の制約×		制約条件を満たす模型縮尺	越流水深3cmより小さい×				

### 2.4.3 模型設計

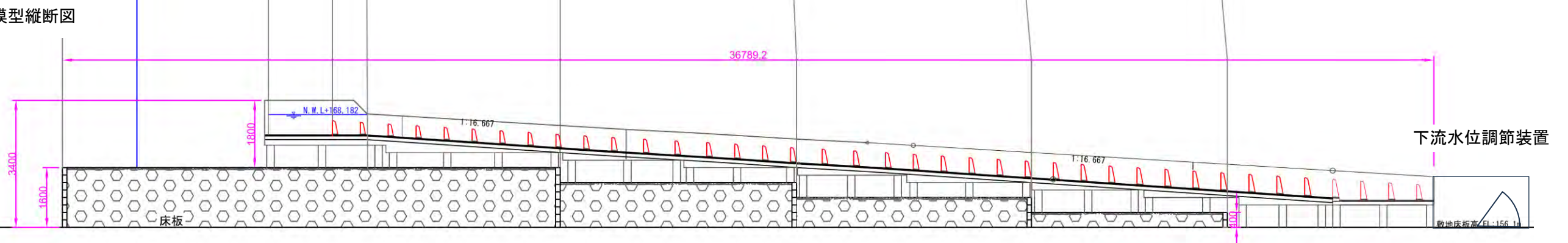
実験計画に基づき、模型を設計した。設計した模型概要図を図 2.4.2 に示す。

本調査では、前述の課題（底面流が比較的速い状態で隔壁に衝突としている可能性）に記載したように、現状よりも隔壁間距離（プール長）を長くする条件で実験できるように、隔壁は取り外し可能な構造を想定する。

#### ■模型平面図



#### ■模型縦断面図



※ 小型魚道用魚道のセンター距離を開いた展開図である。

図 2.4.2 小型魚道模型の概要図



2.4.4 小型魚道実験

(1) 実験ケース一覧

小型魚道の実験は、①模型再現性の確認、②流況対策工の配置決定を目的として、表 2.4.3 に示す 4 ケース（現地再現実験；2 ケース+対策工調査実験；2 ケース）と予備実験 7 ケースを想定している。

表 2.4.3 小型魚道の実験ケース（案）

ケース	目的	実験内容	魚道条件・対策工条件	計測項目
Case1 2012年 現地再現実験	①水理模型が現地流況（縦波）を再現できているかを確認する。 ②縦波の発生要因を予測する。 ③対策工無しの流況から、改築後の課題と対策工の検討方針を抽出する。	・左記の①～③を説明するため、対策工無の状態での流況（縦波）を撮影し、水面変動を計測する。	2012年改築後条件 （対策工なし）	■水面変動 ・縦断方向×38箇所 ・横断方向×1箇所 ■流況写真、動画撮影
Case2 2023年 現地再現実験	①水理模型が2023年現地流況（縦波の抑制）を再現できているかを確認する。 ②現在の遡上環境を維持した流況対策であることを説明するための基礎データを収集する。 ③カゴ詰め玉石工を投入した現在の現地流況から、課題と対策工の検討方針を抽出する。	・2023年の現地流況を把握するため、対策工無の状態での流況（横波、縦波）を撮影し、水面変動を計測する。  ・現状からの遡上環境の非悪化を説明するため、鉛直方向流速分布を計測する。	カゴ詰め玉石工 … プール⑱～⑳ （カゴ詰め玉石工 1個～5個/1プール）	■水面変動 ・縦断方向×22箇所 ・横断方向×1箇所 ■流況写真、動画撮影  ■流速計測（鉛直流速分布の面的詳細計測） ・縦断方向×3プール（最上流・中間地点・最下流） ・横断方向×1側線（プール内）
現況再現実験での対策工配置	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Case1 2012年現地再現実験</p> <p>対策工は設置しない</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Case2 2023年現地再現実験</p> <p>現対策プール ⇒ プール⑱～㉑に設置</p> <p>カゴ詰め玉石工</p> </div> </div>			
対策工調査予備実験	<p>&lt;カゴ詰め玉石工&gt;</p> <p>①カゴ詰め玉石工にて、現状よりも対策プールを減らした状態で、水面変動を抑制できる案を選定する。</p> <p>&lt;新たな対策工&gt;</p> <p>②流況（横波、縦波）改善効果の検討し、対策工形状を評価する。</p> <p>③②の中で適応可能と考えられる2対策条件を選定する。</p>	<p>・対策工案選定のために簡易的な水理量計測（水面変動計測）、流況撮影を実施する。</p> <p>・なお、流況対策工設置時に明らかに望ましくない流況を目視で判断できる場合にはその案を棄却し、流況結果に応じて後述の対策工以外の対策も調査する*。</p>	<p>対策工案 7 条件</p> <p>■対策の視点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・視点①：水面の直接整流</li> <li>・視点②：落下流・上昇流の緩和</li> </ul> <p>■対策配置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現状のカゴ詰め玉石工配置から対策プール数を縮減する配置</li> <li>・流れの変化点（湾曲区間）による影響を軽減させる配置</li> </ul>	<p>■流況写真、動画撮影</p> <p>■水面変動</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・縦断方向×最低4箇所</li> <li>・横断方向×1箇所</li> </ul> <p>【棄却した案で実施*5】</p> <p>■流況写真、動画撮影</p>
Case3 対策工調査 ①	①予備実験で選定した対策案 2 形状より、最適案を選定する。 ②最適案の選定にあたり、 <u>対策工の数、対策工の配置（魚道土砂堆積しない場所）、現状よりも流況が悪化していないこと、中規模出水後の魚道土砂堆積に伴う復旧作業や魚道のメンテナンスへの支障具合などを総合的に評価する。</u>	<p>・予備実験で選定した対策案 2 形状について、流況（横波、縦波）、詳細な水理量計測（水面変動計測）を実施する。</p> <p>・上記計測結果から、対策による流況（横波、縦波）改善効果を検証し対策工形状を評価する。</p>	<p>・予備実験より選定した各 1 条件</p>	<p>■流況写真、動画撮影</p> <p>■縦横断的な水面変動計測</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じて設定</li> </ul>
Case4 対策工調査 ②		<p>・現状からの遡上環境の非悪化を説明するため、鉛直方向流速分布を計測する。</p>	<p>・予備実験より選定した各 1 条件</p>	<p>■流速計測（鉛直流速分布の面的詳細計測）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・縦断方向×3プール（最上流・中間地点・最下流）</li> <li>・横断方向×1側線（プール内）</li> </ul>

\*なお、棄却した案では、流況データの詳細計測は実施しないが、後のバックデータとして、流況写真、動画撮影を簡易的に実施する。

(2) 対策工調査実験の対策条件（予備実験、Case3、Case4）

対策工調査実験では、対策工と対策実施プールの2項目が実験条件として必要になり、対策効果、対策工選定にあたり決定する事項となる。

1) 対策工条件

対策工の対策の視点として、「水面の直接整流」、「落下流・上昇流の緩和」が挙げられる。対策視点と具体的な対策事例として、大型魚道模型実験での知見を表 2.4.4 に示す。

【水面の直接整流】

- ・ 「水面の直接整流」とは、対策工と水面を接触させて、プール内の水面変動を抑える対策である。
- ・ 大型魚道模型実験では、「格子型の板」、「密閉型の板」、「分離壁」、「イカダ」が該当し、各対策はカゴ詰め玉石工と同等以上の水面変動抑制効果を得た。
- ・ 小型魚道は非越流部を持たないため、「格子型の板」、「イカダ」が適用可能と考えられる。

【落下流・上昇流の緩和】

- ・ 「落下流・上昇流の緩和」とは、プール内の流況制御により水面変動を抑える対策である。
- ・ 大型魚道模型実験では、「カゴ詰め玉石工」、「分離壁」、「斜面」が該当し、同等以上の水面変動抑制効果を得た。
- ・ 大型魚道実験にて、二次製品（ブロック）では流れ透過性による水面変動の抑制効果が得られなかったため、「カゴ詰め玉石工」、「分離壁」、「斜面」が適用可能と考えられる。
- ・ 小型魚道特有の対策として、湾曲外湾側での水面上昇抑制を期待する「波返し」が考えられる。なお、直線区間では、その他の対策案と並列した対策で効果が期待できる。
- ・ また、プール内の流況緩和策として、「隔壁の取り外し」が考えられる。

後述には、小型魚道実験で適応可能な対策工事例のイメージ図を示す。なお、2012年時点の流況を確認し、明らかに対策効果を得ることができない場合には、他の対策工案を調査する。

表 2.4.4 大型魚道模型実験での対策案と小型魚道模型実験への適用性

	対策案	対策分類	大型魚道実験 実施有無	小型魚道への適用性
1	カゴ詰め玉石工	落下流・上昇流の緩和	○	○ 現状の対策工
2	二次製品 (ブロック)	落下流・上昇流の緩和	○	× カゴ詰め玉石工よりも対策 効果が弱い
3	上昇流防止板	落下流・上昇流の緩和	○	△ 縦波抑制効果を有した (横波への効果はない)
4	格子型の板	直接整流	○	△ カゴ詰め玉石工よりも効果 を有した メンテナンス面で課題がある
5	密閉型の板	直接整流	○	× 非越流部を持たないため、 対策できない
6	分離壁	直接整流、 落下流・上昇流の緩和	○	△ 水面変動の周波数に 応じて、打ち消す効果がある メンテナンス面で課題がある
7	隔壁下流の 斜面化	落下流・上昇流の緩和	○	○ 大型魚道での採用案である
8	イカダ	直接整流	○	△ カゴ詰め玉石工よりも効果 を有した メンテナンス面で課題がある
9	波返し	直接整流	×	○ 湾曲外湾側での水面を抑制 する効果が期待できる (連続した直線区間での効 果は期待できない)
10	隔壁の取り外し	落下流・上昇流の緩和	×	○ プール長を長くできるた め、底面流や上昇流の流況 緩和が期待できる

<上昇流防止板>

上昇流防止板の設置イメージを図 2.4.3 に示す。隔壁の直上流沿いでの上昇流が水面変動に寄与していることが推察でき、上昇流防止板により縦波の抑制に効果を得た。2012 年の試験通水時の小型魚道では、縦波の発生が確認されているため、効果が得られやすいと考えられる。

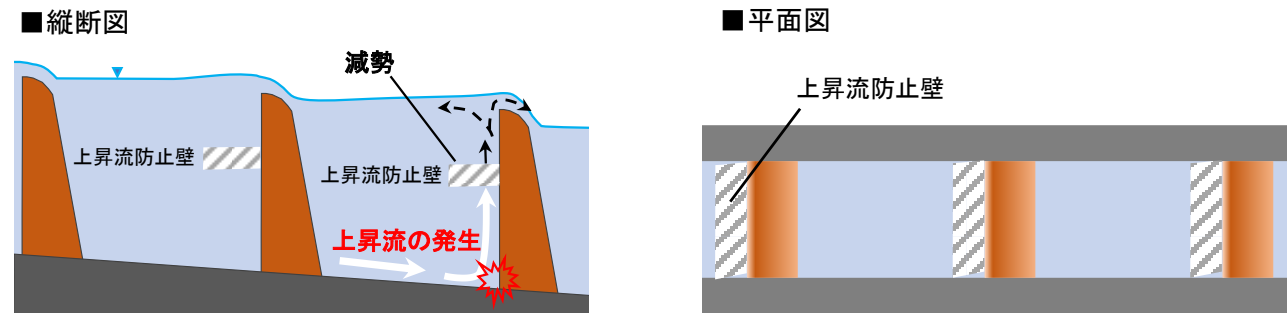


図 2.4.3 上昇流防止板の設置イメージ

<格子型の板>

格子型の板の設置イメージを図 2.4.4 に示す。大型魚道模型実験では、表面流の減勢による水面変動抑制効果を得られており、小型魚道においても適用可能であると推察できる。

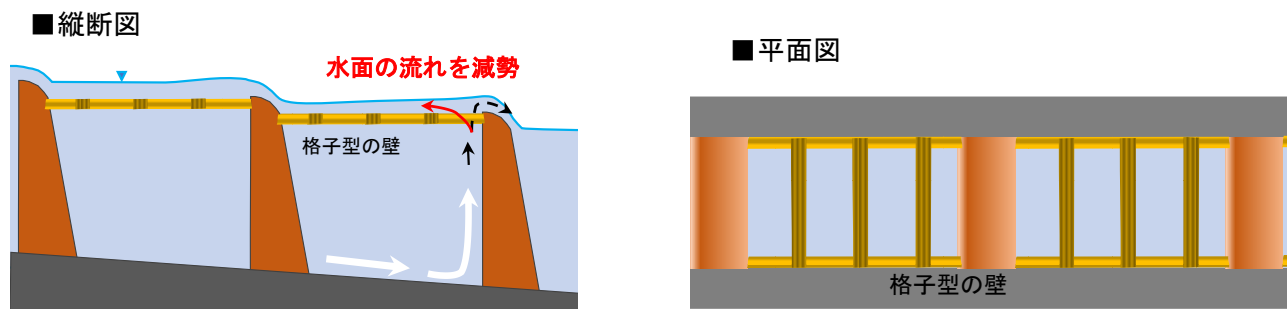


図 2.4.4 格子型の板の設置イメージ

<隔壁下流の斜面化>

斜面の設置イメージを図 2.4.5 に示す。大型魚道模型実験では、隔壁下流の斜面化により水面変動抑制効果を得られており、小型魚道においても適用可能であると推察できる。

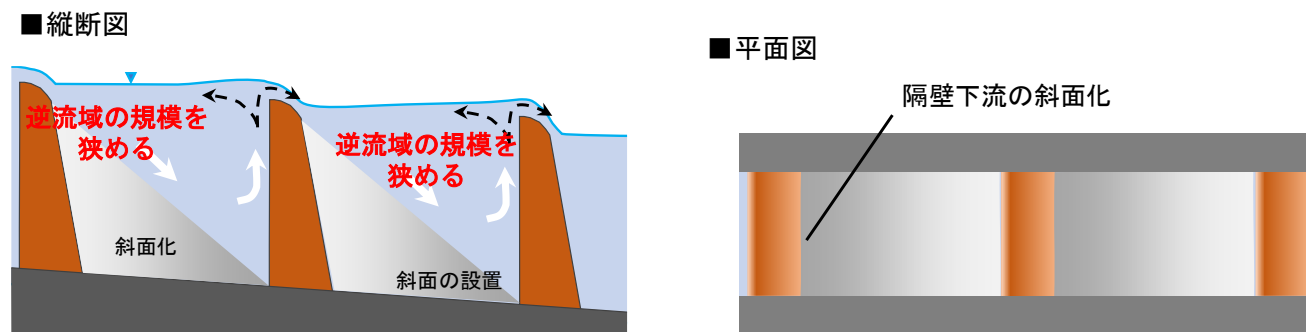


図 2.4.5 斜面の設置イメージ

<イカダ>

イカダの設置イメージを図 2.4.6 に示す。大型魚道模型実験では、イカダが水面を追従するため、表面流の減勢による水面変動抑制効果を得られており、小型魚道においても適用可能であると推察できる。

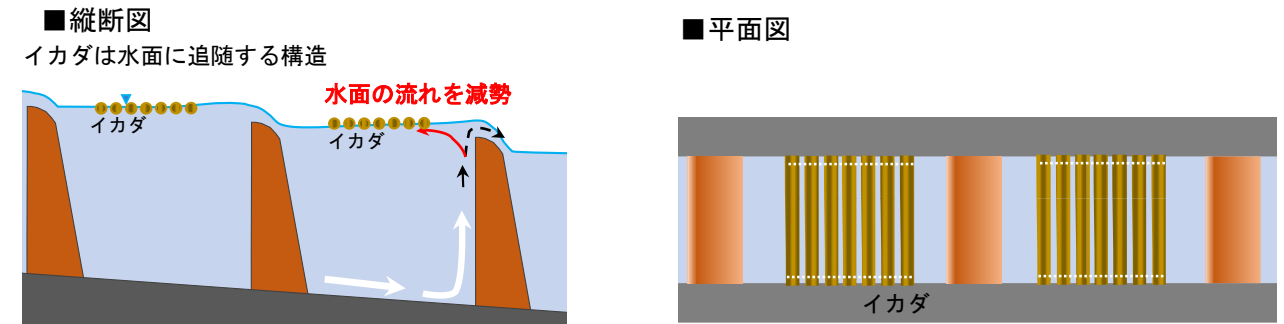


図 2.4.6 イカダの設置イメージ

<波返し>

湾曲区間の外湾への波返し設置により、水面変動の抑制を確認する。波返しの設置イメージを図 2.4.7 に示す。湾曲外湾側では、湾曲の内湾側に比べて水位が高くなる傾向にあるため、波返しにより水面を直接整流する。

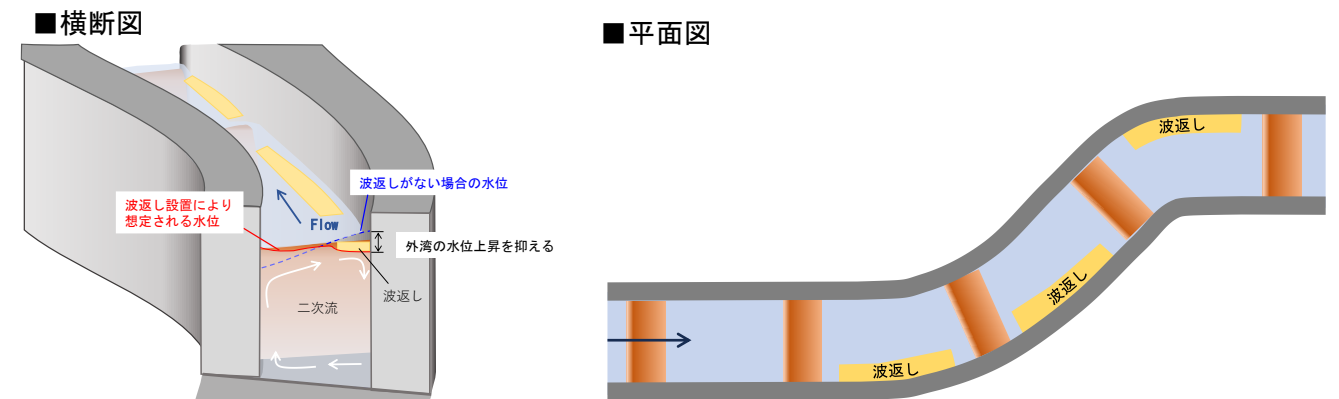


図 2.4.7 波返し設置イメージ

<隔壁の取り外し>

現在の小型魚道のプール長が短いため、隔壁に衝突する流れにより不安定な流況となっている可能性がある。本対策案では、図 2.4.8 に示す隔壁を取り除くことで、流況の安定区間が確保でき、水面変動を抑制することが可能と考えられる。

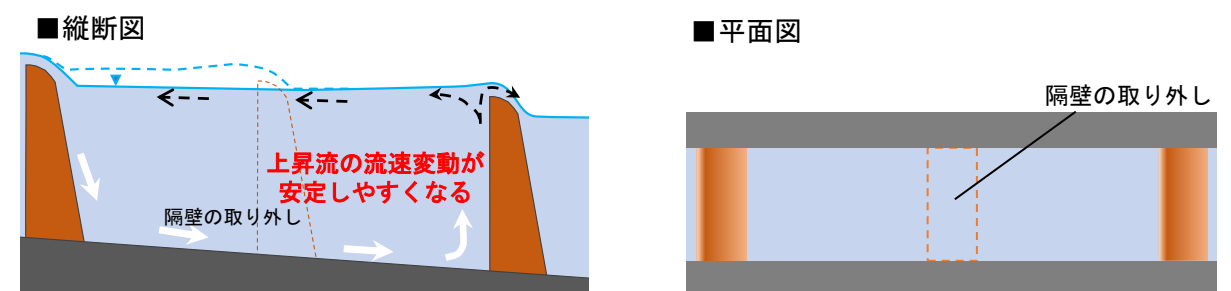


図 2.4.8 隔壁の取り外しイメージ

2) 対策実施プール

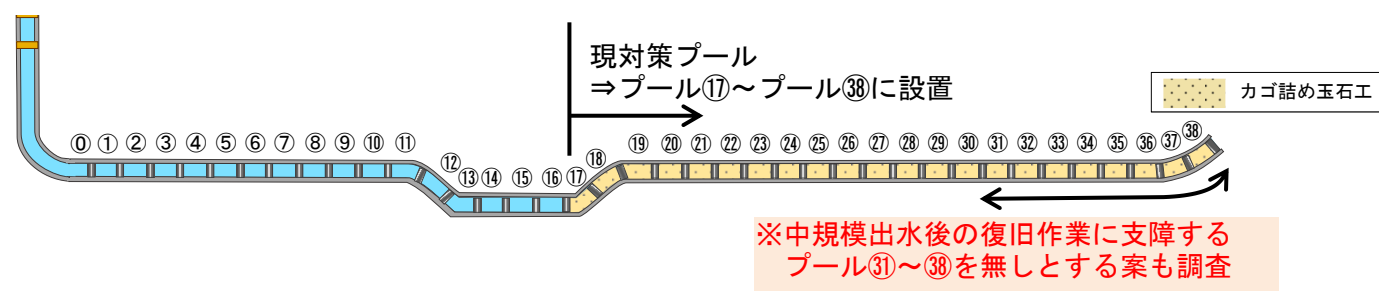
対策工実施プールの配置イメージを図 2.4.9 に示す。対策プール配置は以下の3つの視点で配置する。

- 対策配置の視点 A  
現状の対策工配置（プール⑰～⑳）
- 対策配置の視点 B  
現状対策工配置から対策プール数を縮減する配置
- 対策配置の視点 C  
流れの変化点(湾曲区間)による影響を軽減させる配置

上記の視点 A～C を踏まえ、水面変動を現状レベル（2023 年現況）まで抑制できることを前提として、対策最終案決定に向けて以下の項目を総合的に判断して対策工配置を選定する。

- ・ 魚道のメンテナンスへの支障具合の小さい案を選定する。（可能であれば、中規模出水後の復旧作業に支障する折返し部付近のプール⑳～㉓を未設置とできる案を選定する）
- ・ 対策工投入のプール数を現在よりも減らす案を選定する
- ・ 対策工の投入数をより少ない案を選定する
- ・ より対策による効果の高い対策工を選定する

対策配置の視点 A：現状の対策工配置



対策配置の視点 B：現状対策工配置から対策プール数を縮減する配置イメージ



対策配置の視点 C：流れの変化点(湾曲区間)による影響を軽減させる配置イメージ



図 2.4.9 対策工実験の配置イメージ

(3) 計測項目一覧

模型実験では表 2.4.5 のような計測項目を予定している。各計測項目のアウトプットイメージは後述する。

表 2.4.5 実験の計測項目

ケース	実験条件 対策工	計測項目		
		水面変動	流況	流速
Case1 2012 年 現地再現実験	なし	38 点 ・縦断方向×38 箇所 ・横断方向× 1 箇所	流況写真 流況動画	—
Case2 2023 年 現地再現実験	カゴ詰め玉石工	22 点 ・縦断方向×22 箇所 ・横断方向× 1 箇所	流況写真 流況動画	・縦断方向×3 プール（最上流・中間地点・最下流） ・横断方向×1 側線（プール内）
予備実験	7 条件	最低 4 点 ・縦断方向× 4 箇所 ・横断方向× 1 箇所	流況写真 流況動画	—
Case3 対策工案①	予備実験より選定	最上流の対策プールより下流で、予備実験で計測しなかったプール ・横断方向× 1 箇所	流況写真 流況動画	・縦断方向×3 プール（最上流・中間地点・最下流） ・横断方向×1 側線（プール内）
Case4 対策工案②	予備実験より選定	最上流の対策プールより下流で、予備実験で計測しなかったプール ・横断方向× 1 箇所	流況写真 流況動画	・縦断方向×3 プール（最上流・中間地点・最下流） ・横断方向×1 側線（プール内）

1) 水面変動

水面変動計測地点案を図 2.4.10、図 2.4.11 に示す。なお、本実験前の予備通水時の流況判断や対策工の減勢効果に応じて、記載の計測地点を変更することを想定している。対策工効果の判定は、折返し部の段落ちの影響を受けず、直線区間の終端にあたるプール⑳を想定している。参考値として、プール㉑～㉓も計測する。なお計測には、水位の時間変化を計測するため、図 2.4.12 に示すサーボ式水位計を使用する。

水面変動計測のアウトプットイメージを図 2.4.13、図 2.4.14 に示す。計測結果は、水面変動高縦断面図、スペクトル解析による周波数特性図で整理することを想定している。

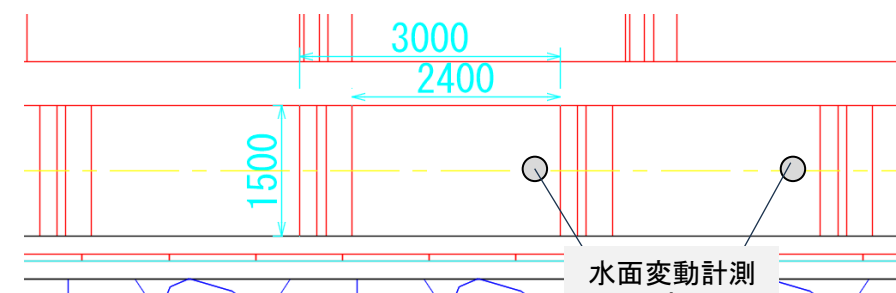
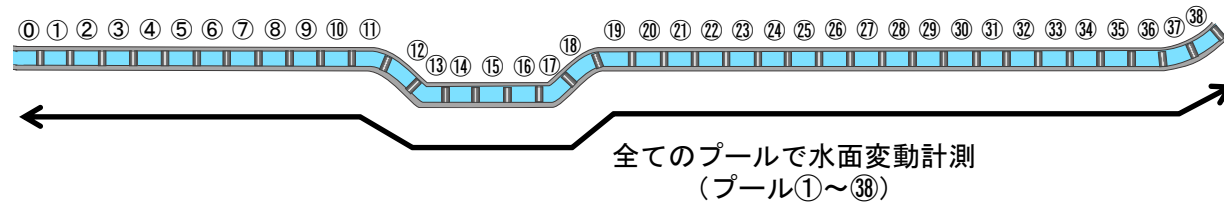
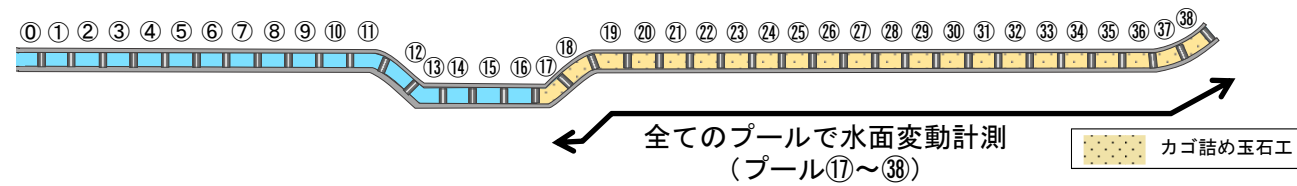


図 2.4.10 プール内での水面変動計測位置（流況を確認して変更する可能性がある）

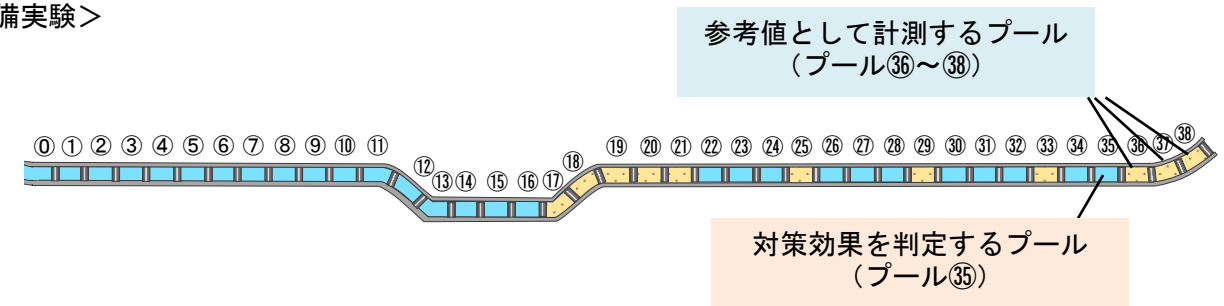
<Case1 2012年改築直後魚道>



<Case2 2023年現況魚道>



<予備実験>



<Case3, 4 対策工本実験>

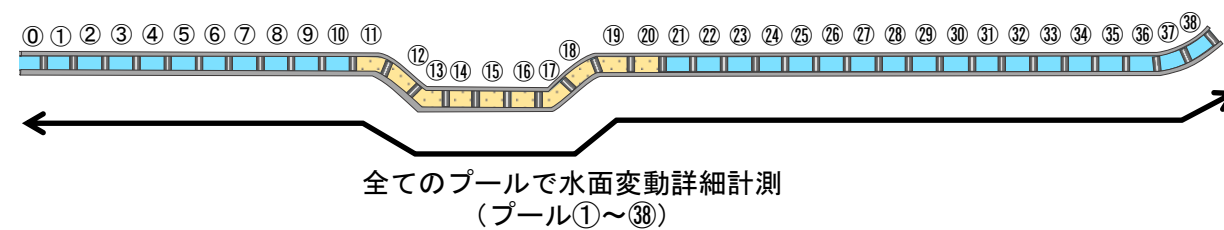


図 2.4.11 水面変動計測位置図 (案)



図 2.4.12 サーボ式水位計での計測イメージ

<模型の再現性の確認>

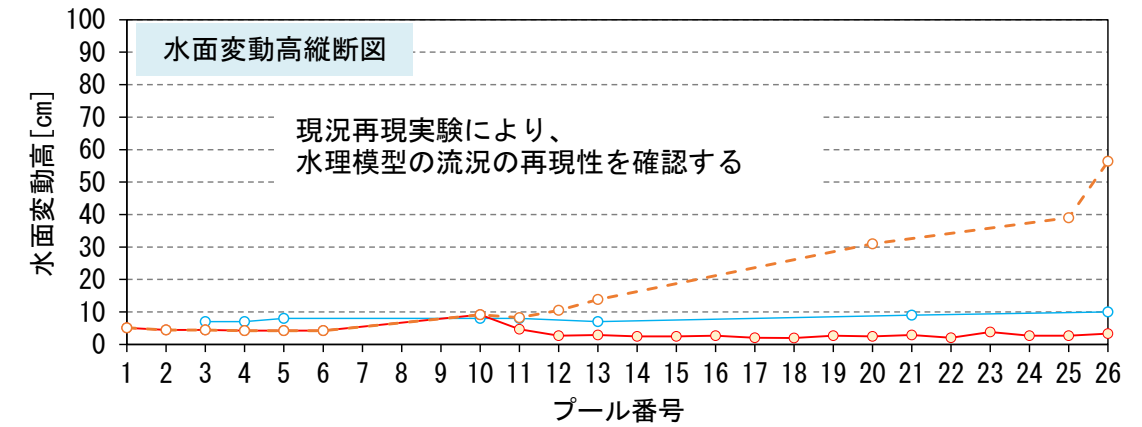


図 2.4.13 水面変動計測結果のアウトプットイメージ(1)

<水面変動特性の分析>

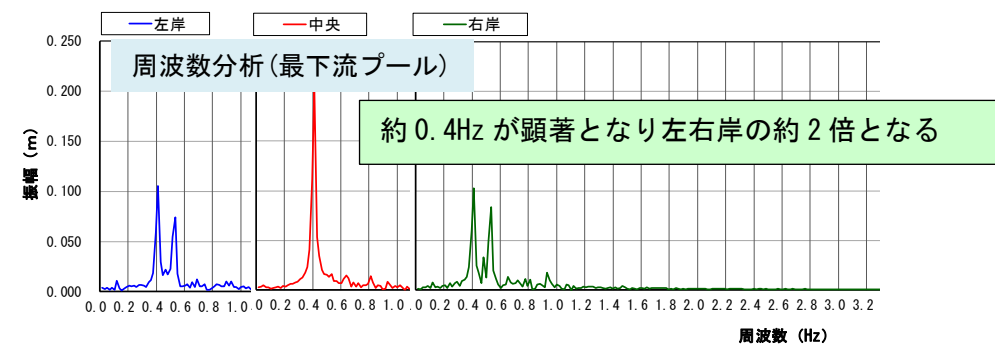
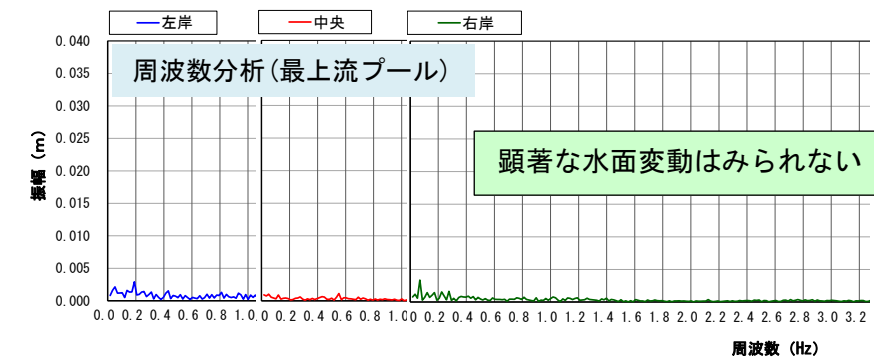


図 2.4.14 水面変動計測結果のアウトプットイメージ(2)

## 2) 流況

各実験（Case1～Case4、予備実験）について、流況写真、流況動画を撮影する。写真、動画は、図 2.4.15 に示すような水面変動や水面変動の伝搬が分かるような画角を基本として、流況に応じて水面変動の開始プール、アクリル板からの水中流況が分かるような画角で撮影する。

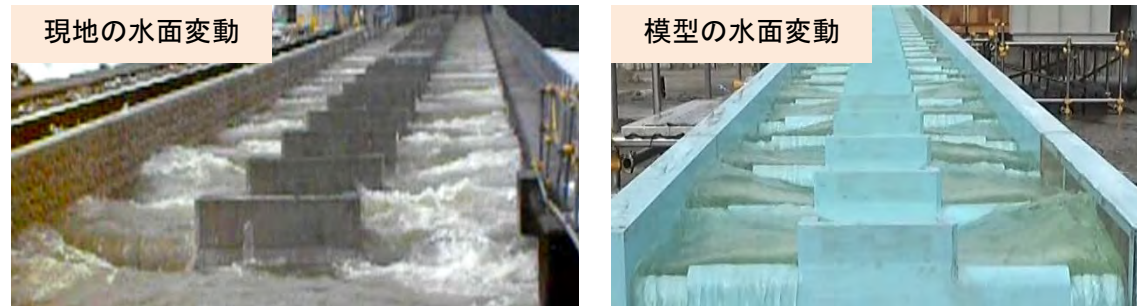


図 2.4.15 現地で撮影された画角での流況比較



図 2.4.16 水中の流況の画角例

## 3) 流速

現状から、魚の遡上環境の非悪化を説明するために、Case2\_2022年現況魚道、Case3,Case4\_対策工実験では鉛直方向流速分布を計測する。流速分布の計測位置例を図 2.4.17 に示し、流速分布の計測結果のイメージを図 2.4.18 に示す。流速分布は図 2.4.19 に示す 3 軸の電磁流速計を用いてプール内の流速値、流向をメッシュ状に計測する予定である。

鉛直方向流速分布はコンター図やベクトル図で示すことを想定しており、水中流況を把握できるピッチで計測点メッシュを分割する。

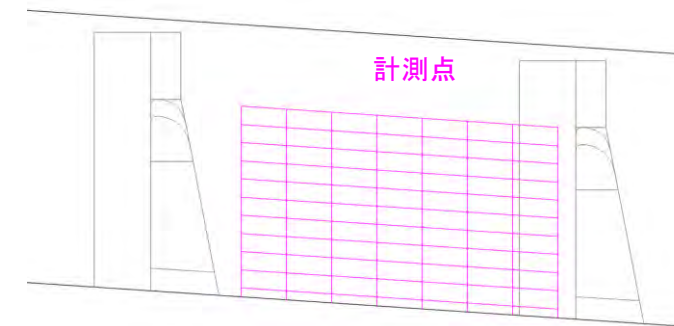


図 2.4.17 流速計測位置図案（大型魚道実験の事例）

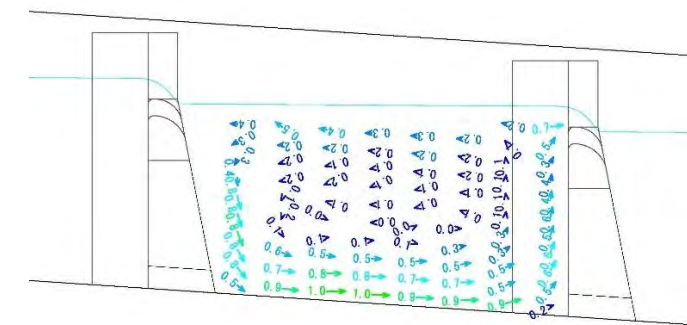


図 2.4.18 流速鉛直分布の面的計測のイメージ（大型魚道実験の事例）



図 2.4.19 電磁流速計による計測イメージ

### 3. 今後のスケジュール

今後の実験スケジュールを以下に示す。

- ・ 大型魚道の対策工に向けた水理模型実験は完了。今後、本設化に向けた設計や施工計画、維持管理手法を検討する。
- ・ 小型魚道の水理模型実験は、本委員会終了後より水理模型製作を着手する予定である。
- ・ 小型魚道の模型実験の結果及びその後の進め方については、2025年度の委員会で審議する予定である

表 2.4.1 実験スケジュール

作業内容	2023年	2024年												2025年												2026年			
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
1. 大型魚道																													
1.1 模型製作																													
1.2 模型実験																													
Case1, 2_現地再現実験																													
Case3~5_対策工調査実験	■	■																											
1.3 本設化に向けた設計			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2. 小型魚道																													
2.1 模型製作			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---																
2.2 模型実験																													
Case1, 2_現地再現実験														---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Case3, 4_対策工調査実験																	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
FU委員会			■																										■





# 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会

～魚道モニタリングの継続に向けた取り組みについて～

## 目次

1. 魚類遡上状況モニタリング調査結果の概要.....	1
1.1 2023年度の調査概要.....	1
1.2 調査結果.....	2
1.3 魚類遡上状況モニタリング結果の評価.....	2
2. 環境DNA調査.....	7
2.1 調査目的.....	7
2.2 2023年度の環境DNA調査の概要.....	7
2.3 環境DNAによる魚類相調査結果.....	8
2.4 アユDNA量とアユ遡上確認数の関係に係る検討結果.....	9
3. まとめと今後の課題及び調査計画.....	10
3.1 環境DNA調査結果のまとめ.....	10
3.2 宮中取水ダム魚道における今後の調査計画.....	10

2024年1月

東日本旅客鉄道株式会社 エネルギー企画部



# 1. 魚類遡上状況モニタリング調査結果の概要

## 1.1 2023年度の調査概要

### 1.1.1 調査地点

2012（平成24）年度～2022（令和4）年度調査と同様に、魚道上流端に捕獲カゴを設置し、5月26日～7月5日までの間に、延べ36日間調査を実施した。

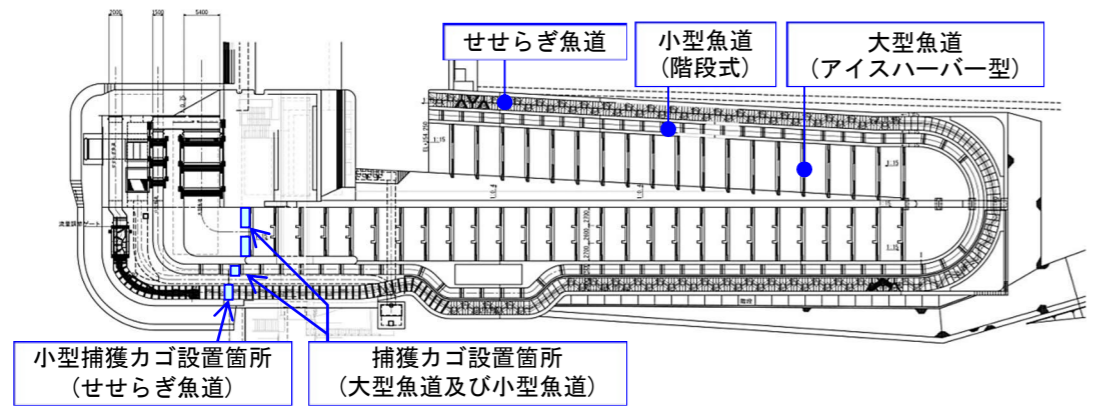


図 1.1 調査地点位置図

### 1.1.2 調査方法

#### (1) 採捕方法

魚道上流端で、捕獲カゴによる採捕を実施した。また、流況（流入量、放流量）や、水質（水温、SS）を調査し、遡上状況との関連について整理した。

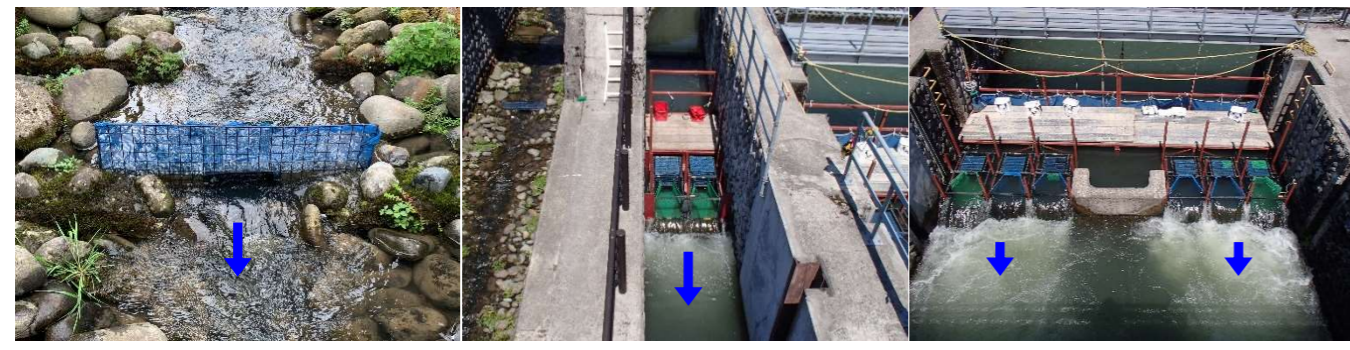


図 1.2 捕獲カゴの設置の状況

#### (2) 調査時間・調査回数

1日の調査時間は9時～17時までの8時間とし捕獲カゴの回収は10時から1時間毎に計8回実施した。

### 1.1.3 調査時期と調査期間

2023年度は積算水温の上昇ペースが速かったため、2016年度及び2020年度の調査開始日を勘案して、調査開始日は5月26日とし、7月5日まで調査を実施した。

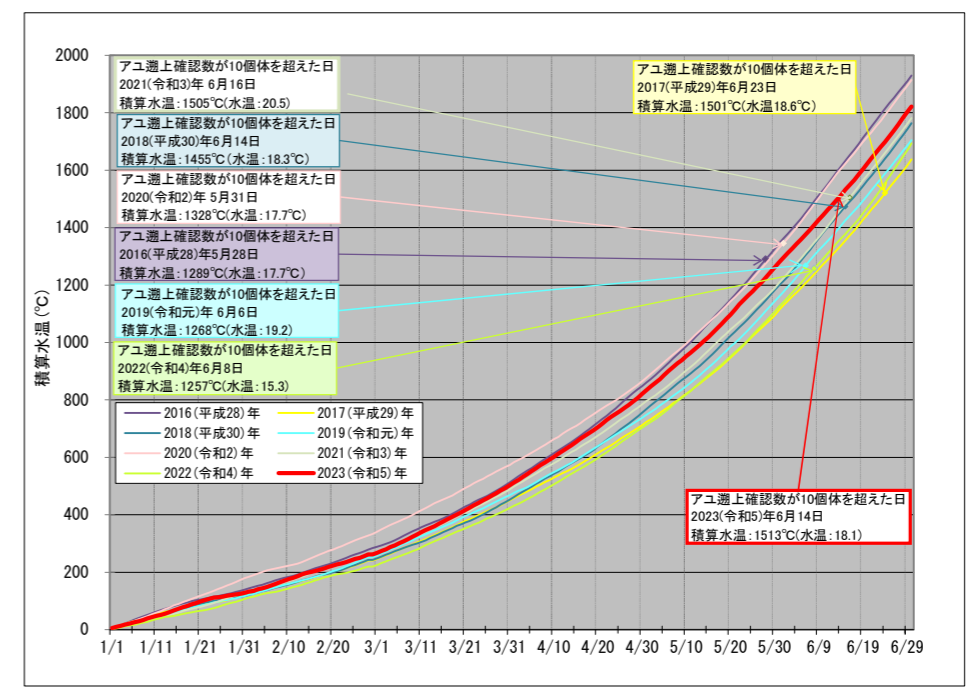
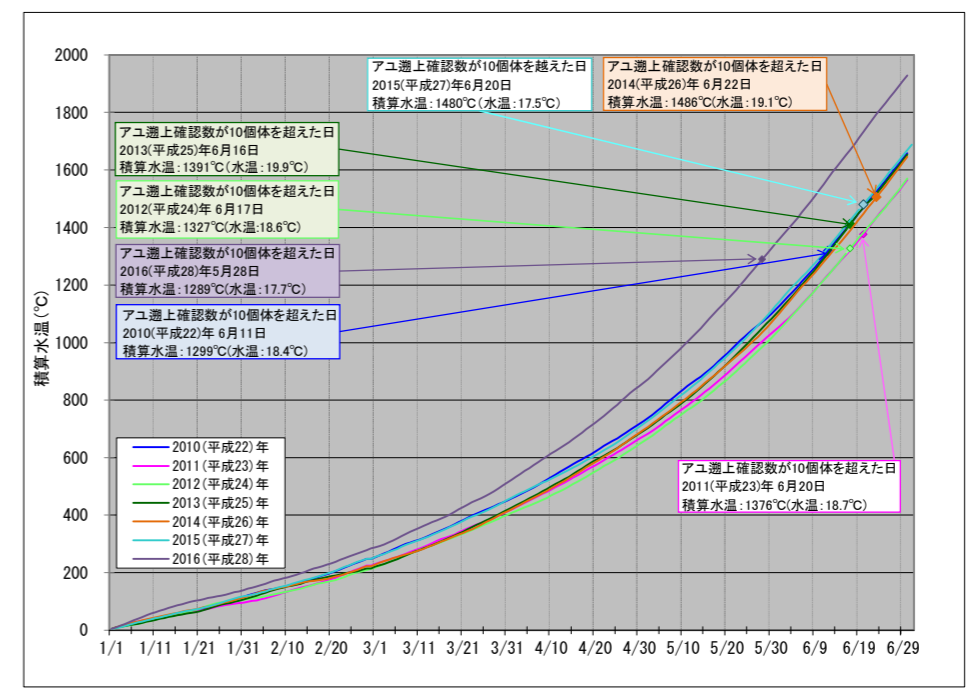


図 1.3 積算水温とアユ遡上確認数が10個体を越えた日の状況

注1) 今年度、アユ遡上確認数が10個体を越えたのは6月14日（積算水温：1,513°C）で、2021年度（6月16日、当日の積算水温：1,505°C）に近かった。また、両年の積算水温の上昇スピードも同様の傾向であった。  
 注2) 宮中取水ダム魚道における既往調査で、アユの遡上確認が最も早かった2016（平成28）年（10個体を越えたのは5月28日で、当日の積算水温は1,289°C）を基準として、それより以前の状況を上部の図に、それ以降の状況を下部の図にそれぞれ表示している。なお、2016年は比較のために両グラフに重複して表示している。

## 1.2 調査結果

延べ36日間実施した調査では、大型魚道で14種429個体、小型魚道で16種874個体、せせらぎ魚道で15種663個体、合計23種1,966個体の魚類が採捕された。

表 1.1 魚道上流端における調査結果 [2023 (令和5) 年度]

No.	目名	科名	種名	大型魚道	小型魚道	せせらぎ魚道	合計
1	コイ	コイ	コイ	1			1
2			フナ属	1	1		2
3			オイカワ	20	536	2	558
4			アブラハヤ		1	1	2
5			ウグイ	110	131	4	245
6			モツゴ			1	1
7			タモロコ		1	18	19
8			カマツカ	16	14	1	31
9			ニゴイ	5	1		6
10			スゴモロコ	10	2		12
11		ドジョウ	ドジョウ			4	4
12			シマドジョウ			8	8
13	ナマズ	ギギ	ギギ	3	8	1	12
14		ナマズ	ナマズ	2	2		4
15		アカザ	アカザ			18	18
16	サケ	アユ	アユ	249	157		406
17		サケ	ブラウントラウト		1	1	2
18			ニッコウイワナ	1		1	2
19			ニジマス	1			1
20			サクラマス	6			6
-			ヤマメ	1	2	1	4
21	カサゴ	カジカ	カジカ	3	13	7	23
22	スズキ	サンフィッシュ	コクチバス		1		1
23		ハゼ	トウヨシノボリ		3	595	598
計	5目	10科	23種	14種 429個体	16種 874個体	15種 663個体	23種 1,966個体

- 注1) 種名及び配列は、「平成24年度河川水辺の国勢調査のための生物リスト」によった(国土交通省編)。  
 注2) サクラマスとヤマメは同じ種であるため、1種として計上している。なお、「河川水辺の国勢調査 基本調査マニュアル」に従って、パーマークがない個体で体長20cm以上の大型個体をサクラマスとしている。  
 注3) 採捕されたカジカの胸鰭条数は11~14(最も多かったのは13で全体の57%)であった。本資料では、胸鰭条数や外部形態、調査地の河口からの距離などを総合的に勘案して「カジカ」と記載しているが、中坊徹次編(2013)「日本魚類検索 全種の同定 第三版(東海大学出版会)」の和名に從えば「カジカ(カジカ大卵型:河川陸封型)」、また、中坊徹次編(2018)「日本魚類館(小学館)」の和名に從えば「カジカ大卵型」に該当する。

## 1.3 魚類遡上状況モニタリング結果の評価

### 1.3.1 過年度との比較

2023年度の調査で確認された魚類相は、これまでと大きく変化していないことなどを総合的に勘案すると、魚道の機能は十分維持されているものと評価される。

表 1.2 改築後の魚道遡上状況モニタリング調査結果

調査年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
項目	(H24)年度	(H25)年度	(H26)年度	(H27)年度	(H28)年度	(H29)年度	(H30)年度	(R1)年度	(R2)年度	(R3)年度	(R4)年度	(R5)年度
合計確認種数 (種)	22	24	19	21	19	24	19	21	24	24	22	23
合計確認個体数 (個体)	12,776	2,088	2,471	1,076	2,218	776	2,323	1,054	2,898	1,783	4,512	1,966
アユの確認個体数 (個体)	10,821	1,016	1,288	676	1,558	284	1,714	540	2,117	191	2,380	406

注) 大型魚道、小型魚道及びせせらぎ魚道の魚道上流端における遡上確認種数及び遡上確認個体数の合計値である。

- 注1) 改築後のモニタリング調査は、2012(平成24)年度~2014(平成26)年度の3年間は6時~19時までの13時間、1時間間隔で実施していたが、時間短縮をしても確認種数に大きな影響を与えないことが検証されたため、2015(平成27)年度以降は9時~17時までの8時間、1時間間隔で実施している。  
 注2) 2012(平成24)年度から2023(令和5)年度までの調査日数は、出水等の影響により異なるため単純な比較はできないが、ここでは調査日数を考慮せずに比較をおこなっている。

表 1.3 魚道タイプ別の確認種数

(単位:種)

調査年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
項目	(H24)年度	(H25)年度	(H26)年度	(H27)年度	(H28)年度	(H29)年度	(H30)年度	(R1)年度	(R2)年度	(R3)年度	(R4)年度	(R5)年度
大型魚道	14	17	14	12	12	12	11	8	13	13	14	14
小型魚道	14	13	11	9	9	13	8	10	13	15	15	16
せせらぎ魚道	9	9	7	15	12	15	15	16	16	16	15	15
計	22	24	19	21	19	24	19	21	24	24	22	23

表 1.4 魚道等構造改善後の検討対象魚種の確認状況

No.	種名	2012 (平成24) 年度	2013 (平成25) 年度	2014 (平成26) 年度	2015 (平成27) 年度	2016 (平成28) 年度	2017 (平成29) 年度	2018 (平成30) 年度	2019 (令和元) 年度	2020 (令和2) 年度	2021 (令和3) 年度	2022 (令和4) 年度	2023 (令和5) 年度	全期間
1	カワヤツメ(スナヤツメ類)				○						○			●
2	ウナギ	○							○					●
3	コイ						○			○			○	●
4	フナ類	○	○		○	○	○		○	○		○	○	●
5	オイカワ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
6	ウケクチウグイ	○			○									●
7	ウグイ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
8	ニゴイ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
9	アカザ	○	○		○									●
10	アユ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
11	ニッコウイワナ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
12	ニジマス		○		○									●
13	サケ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
14	サクラマス・ヤマメ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
15	カジカ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
16	トウヨシノボリ類	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
計	16種	13種	12種	9種	14種	10種	13種	10種	12種	13種	11種	11種	13種	16種

- 注1) 2015年度と2021年度に確認されたスナヤツメ類は、カワヤツメかスナヤツメか分類できなかったためスナヤツメ類とした。この2種は非常に似た種であり、スナヤツメ類の遡上を確認できたことで、カワヤツメ類も遡上可能と判断した。  
 注2) 検討対象魚種のうちサケは、2022年度までは信濃川中流域水環境改善検討協議会による調査において確認されている種である。2023年度は、別途実施した「サケ遡上状況調査」で遡上個体を確認した。

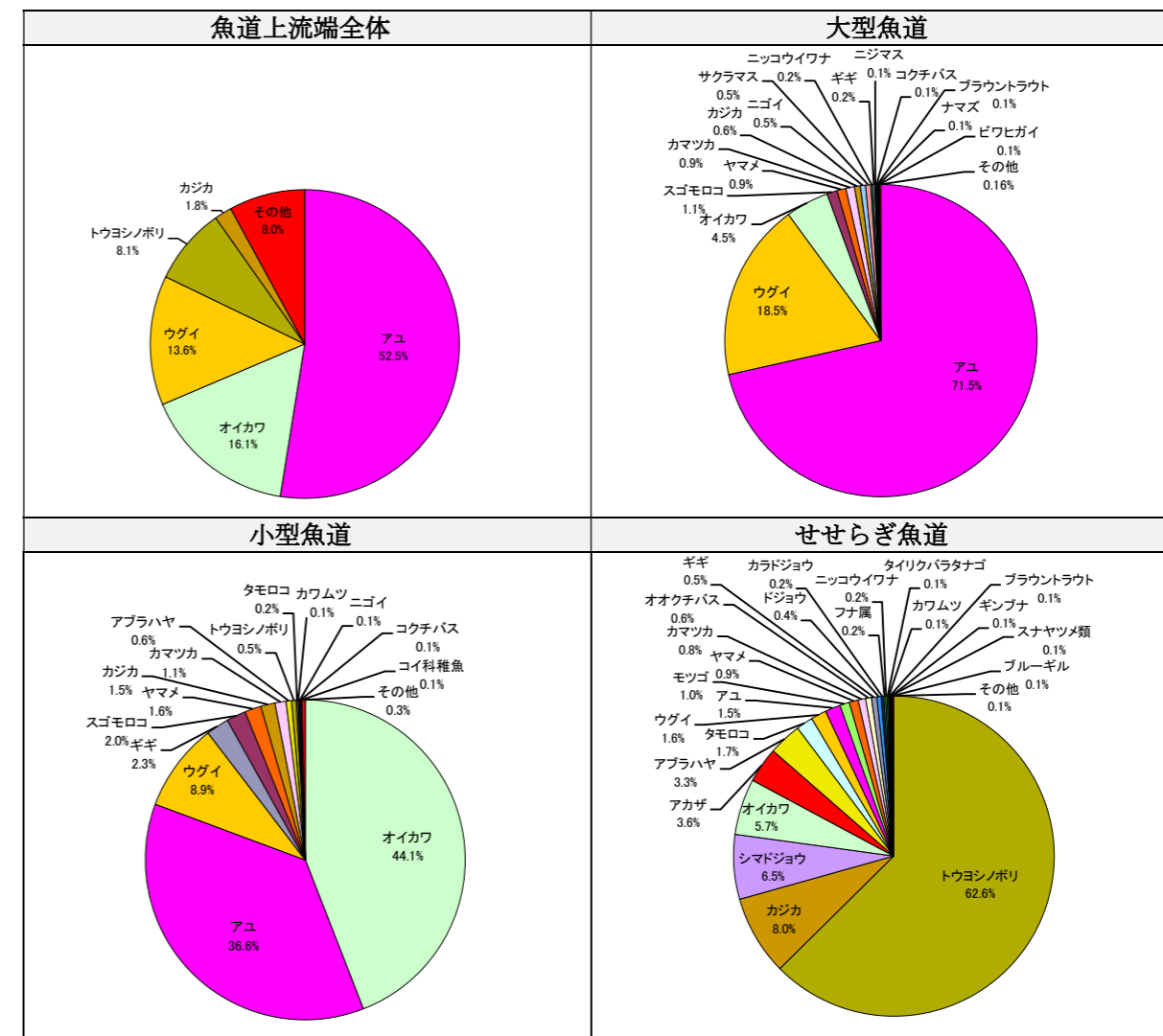


図 1.4 魚道上流端での採捕個体の種組成の比較 (2013~2023 年度)

平成 22 年度から平成 24 年度の調査日の下に記してある数字等は以下のとおりである。  
 ①：旧操作規程に基づいて放流するケース  
 ②：現行操作規程に基づいて放流するケース  
 G：ゲート切り替え日

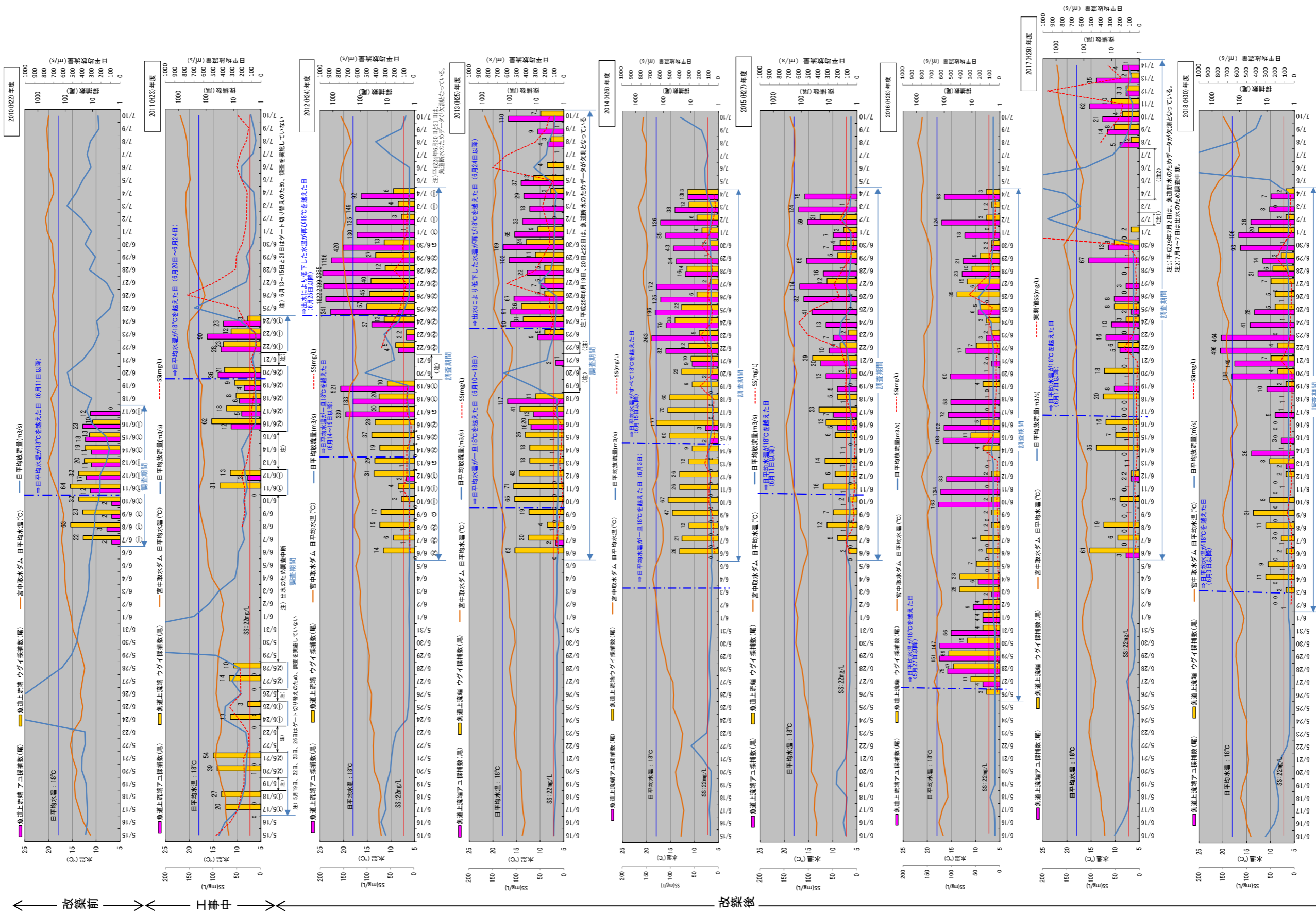


図 1.5 アユ及びウグイの遡上個体数の推移 [2010 (平成 22) 年度～2023 (令和 5) 年度] (その 1)

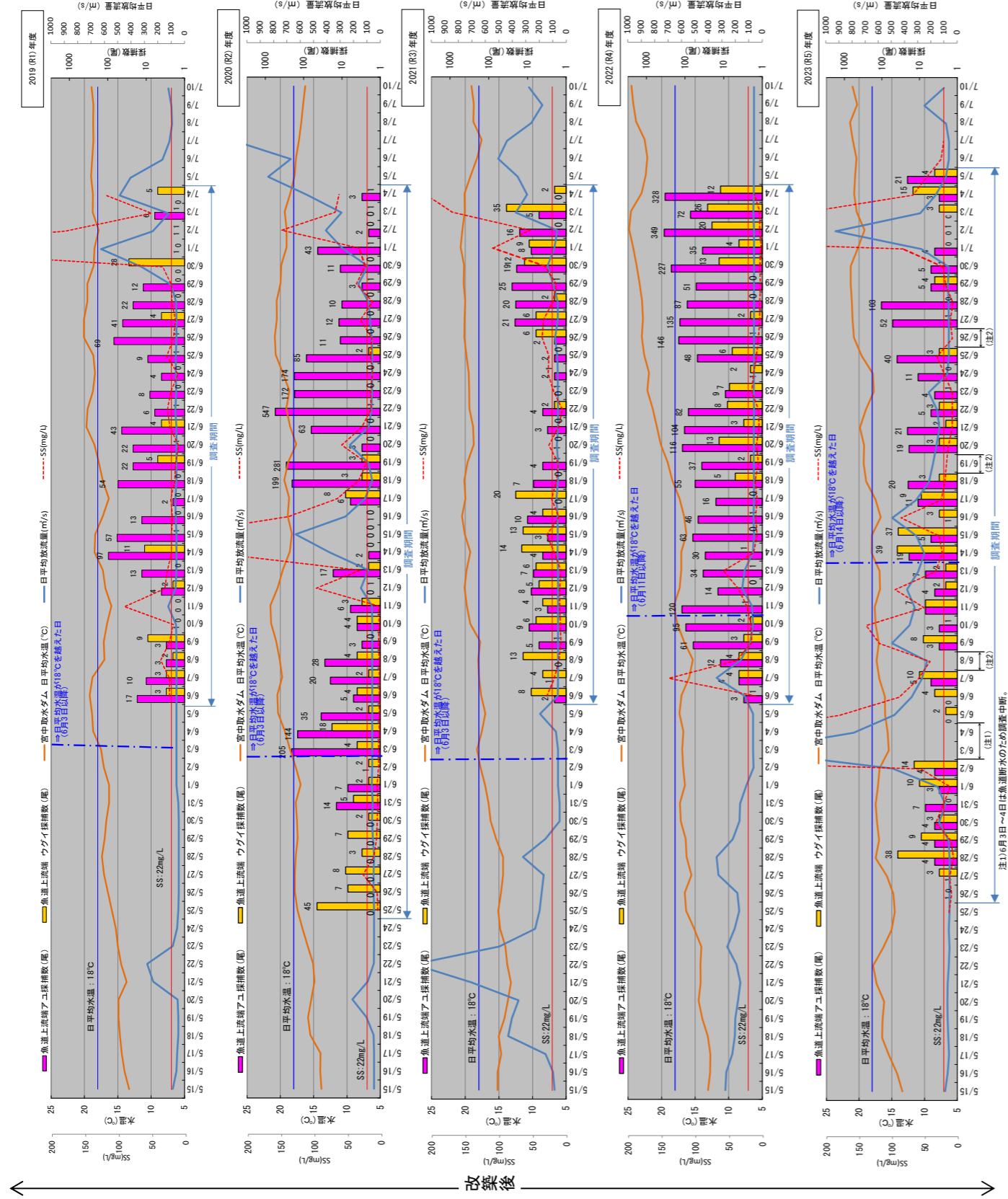


図 1.5 アユ及びウグイの遡上個体数の推移 [2010 (平成 22) 年度～2023 (令和 5) 年度] (その 2)







## 2. 環境 DNA 調査

### 2.1 調査目的

2012（平成 24）年度から魚道上流端にトラップを設置して実施してきた魚類遡上状況（採捕）調査では、魚道改築にあたって検討対象とした 16 種すべての遡上が確認され、せせらぎ魚道の途中区間調査や夜間調査を含めて、合計 37 種の魚種が確認されている。このように、採捕によるモニタリング調査によって改築後の魚道が機能を十分発揮していることが確認されているが、一方、採捕調査は魚類への負荷が大きいことや、魚道遡上確認個体数は河川水温や濁り、流量（出水等）の状況など、様々な要因により増減することが明らかになってきた。

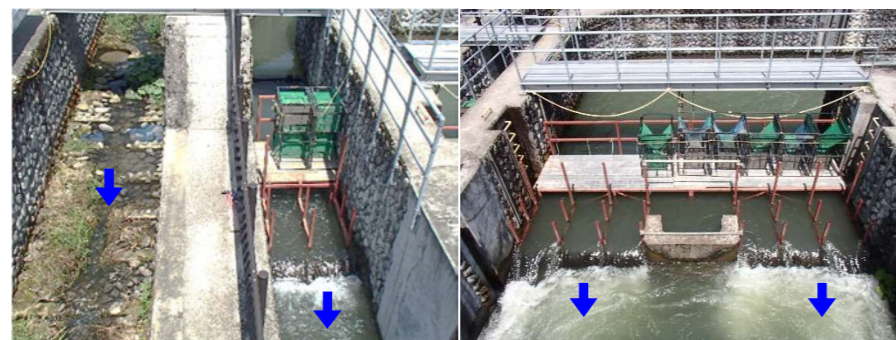
環境 DNA による魚道モニタリング調査は、宮中取水ダム魚道上流端において実施している魚類遡上状況（採捕）調査と環境 DNA との関係について調査し、今後のモニタリングの継続に向けて、魚類に負荷を与えない代替手法を検討する取り組みの実施にあたって必要となる基礎資料とすることを目的として実施したものである。

### 2.2 2023 年度の環境 DNA 調査の概要

今年度は、これまでに実施してきた網カゴ（トラップ）を設置した状態における環境 DNA 調査をこれまでと同様に実施するとともに、新たに網カゴを設置しない状態（採捕調査を実施しない）でも調査を実施し、環境 DNA によるモニタリング調査の有効性に係る基礎的な検討を行なった。

#### 2.2.1 調査（採水）地点

調査（採水）は、魚道出口部上流と大型魚道、小型魚道、せせらぎ魚道の入口部 3 地点、計 4 地点である。



[せせらぎ魚道] [小型魚道] [大型魚道]  
図 2.1 網カゴを設置していない場合の魚道の状況



図 2.2 環境 DNA 調査地点位置図（広域図）

注）空中写真は、2022 年 11 月 12 日に撮影したものであり、当日の日平均ダム放流量は 46.5m<sup>3</sup>/s である。

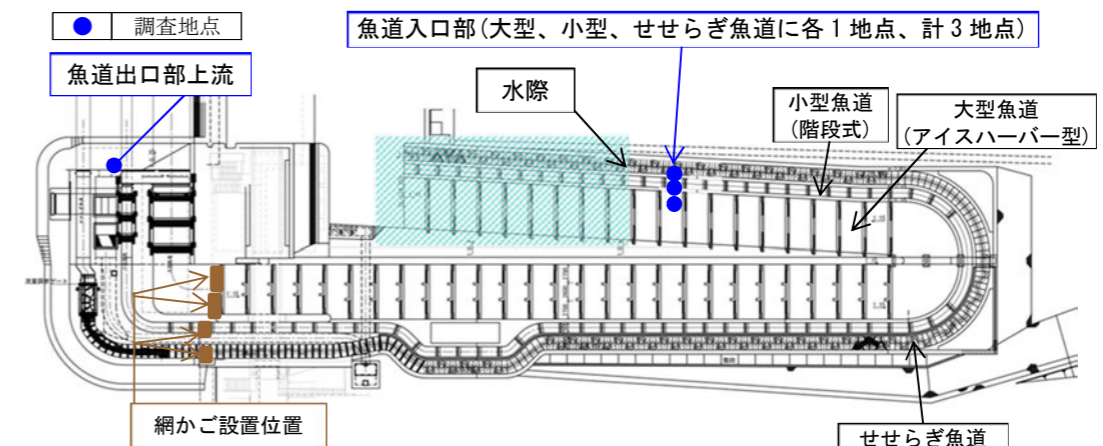


図 2.3 環境 DNA 調査地点位置図（魚道出口部上流と魚道入口部 詳細図）

注）魚道入口部（大型、小型、せせらぎ魚道）の採水位置は、魚道の水際部より上流の位置とし、背水の影響を受けないようにした。

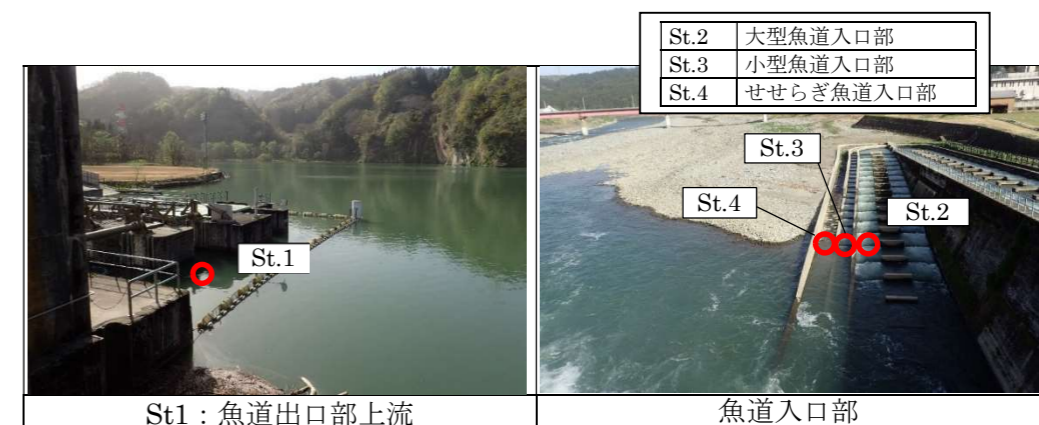


写真 2.1 魚道出口部上流と魚道入口部の調査地点の状況

2.2.2 各調査地点の調査項目

今年度調査では、メタバーコーディング法による魚類相調査と、リアルタイム PCR 法によるアユ定量調査を実施した。

表 2.1 調査地点及び調査項目（環境 DNA 分析項目）

地点 No.	調査地点名	環境 DNA 分析項目	
		魚類相(メタバーコーディング法)	アユ定量調査(リアルタイム PCR 法)
St.1	魚道出口部上流	○	○
St.2	魚道入口部(大型魚道)	○	○
St.3	魚道入口部(小型魚道)	○	○
St.4	魚道入口部(せせらぎ魚道)	○	

2.2.3 調査期間・日数・時間等

- 調査期間は、魚類遡上状況調査の実施期間（5月26日～7月5日まで）に合わせて実施した。
- 調査日数は、「網カゴ有り」の状態（魚道上流端に網カゴを設置して、採捕調査を実施している状態）と「網カゴ無し」の状態（魚道上流端で採捕調査を実施しない。すなわち、上流端に採捕カゴを設置しない状態）をそれぞれ5日間とした（表 2.4 参照）。
- 調査期間と回数は、調査地点及び調査項目ごとに以下のように設定した。

- 魚類相（メタバーコーディング法）  
原則として1回/日、15時の採水とした。
- アユ定量調査（リアルタイム PCR 法）

魚道出口部上流と大型魚道入口部及び小型魚道入口部の3地点は、5月25日（網カゴ無し）と5月26日（網カゴ有り）の2日間を除く8日間は、1日あたり9時～17時までの1時間ごとに合計9回実施した。

また、アユは、既往調査ではせせらぎ魚道をほとんど遡上していないため、せせらぎ魚道入口部は、調査（採水）対象としていない。

表 2.2 魚類遡上状況（採捕）調査とアユ定量調査用試料の採水時刻の関係

(時刻)		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
魚類遡上状況(採捕)調査	捕獲カゴの設置(□)撤去(■)		□									■
	回収			●	●	●	●	●	●	●	●	●
環境DNA調査(採水時刻)			●	●	●	●	●	●	●	●	●	

注) 本表は、St.1(魚道出口部上流)、St.2(大型魚道入口部)及びSt.3(小型魚道入口部)の5月25日(網カゴ無し)と5月26日(網カゴ有り)の2日間を除く8日間[6月8日(網カゴ無し)6月18日(網カゴ有り)、6月19日(網カゴ無し)、6月20日(網カゴ有り)、6月26日(網カゴ無し)、6月27日(網カゴ有り)、7月5日(網カゴ有り)、7月7日(網カゴ無し)]にアユ定量調査を対象として実施した内容である。

表 2.3 2023 年度の環境 DNA 調査対象項目と分析試料（検体）数等

年度	環境 DNA 調査対象項目	調査対象魚道及び調査地点等	採水・ろ過試料（検体）数	分析を実施した検体数
2023 年度	A.アユ DNA 量分析	A.大型魚道と小型魚道を対象とした。	遡上状況調査実施期間とほぼ同期内に「網カゴ無し」の状態で5日間、「網カゴ有り」の状態で5日間、合計10日間の採水・ろ過を実施した。	A.アユ DNA 量分析を実施した検体数は、合計は270検体である。
	B.網羅的分析(魚類相調査)	B.魚道(大型魚道、小型魚道、せせらぎ魚道)の入口部と魚道出口部上流の4地点を対象とした。		B.網羅的分析を実施した検体数は調査日(合計10日間)で1回/日である。 ・検体数:4地点×1日/回×10日間分=40検体

表 2.4 環境 DNA 調査実施日

		5/25	5/26	5/27	5/28	5/29	5/30	5/31	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16	6/17	6/18	6/19	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24	6/25	6/26	6/27	6/28	6/29	6/30	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7
魚道 合計	確認種数(種)	4	5	9	10	9	5	5	8	2	5	7	5	8	8	6	8	8	6	4	10	7	9	7	4	3	7	10	8	9	9	5	2	5	8	8	5	8	8	5	8				
	確認個体数(個体)	10	30	90	76	80	36	82	65	20	22	47	27	23	25	13	30	122	81	14	38	142	52	74	47	17	22	123	108	141	69	44	12	6	21	100	57	5	8	8					

2.2.4 環境 DNA の分析手法

表 2.5 各分析方法の概要

環境 DNA 分析方法	特徴
メタバーコーディング法(多種同時検出法)	1回の分析で種組成の網羅的な解析が可能である。
リアルタイム PCR 法(単一種検出法)	PCR 増幅産物間の汚染や混入が起きにくく、特定の種の DNA の定量的把握に適している。

2.3 環境 DNA による魚類相調査結果

2.3.1 確認魚種の比較検討の方法

- 環境 DNA の供給源としては、魚道を遡上して上流に移動した魚類と、もともと魚道上流に生息している魚類からの主に2つが考えられる。
- 魚道を遡上している魚類から供給される環境 DNA(魚道入口部の環境 DNA と魚道出口部上流の環境 DNA の差分(以下、「環境 DNA の差分」という))を把握することによって、遡上している魚類を把握できることになる。

表 2.6 環境 DNA 調査で確認された魚類の種数と遡上状況調査で確認された種数の比較検討のケース

検討ケース	検討の内容	
	環境 DNA	魚類遡上状況調査結果
ケース 1	2023 年度の「網カゴ有り」と「網カゴ無し」の各 5 日分の魚道入口部と魚道出口部上流の差分から求めた累計確認種数を使用。	・2023 年度の調査期間の累計結果を大型、小型、せせらぎ魚道と魚道計で集計。
ケース 2	2023 年度の「網カゴ有り」と「網カゴ無し」の各 5 日分の魚道入口部のデータから求めた累計確認種数を使用。	・2012 年度～2023 年度までに実施した魚道改築後のモニタリング調査(せせらぎ魚道の途中区間調査及び、夜間調査を含む)で確認された全魚種。

注) 環境 DNA の差分の算定は、各魚道及び、地点ごとの結果を同じ基準で比較するために分析結果を単位容量(1L)当たりのリード数(環境 DNA 量の指標となる単位)に換算して行った。

### 2.3.1 比較検討結果

- 「網カゴ有り」と「網カゴ無し」で比較した場合には魚道計でみると環境 DNA で確認した種数は、ほぼ同様の結果であった。
- 2023 年度の環境 DNA 調査で確認された魚類は「網カゴ有り」では 35 種であるが、これは、2012 年度～2023 年度の採捕調査で確認された累計の 37 種と同程度である。
- 今後環境 DNA 調査を主体とした魚道モニタリングに移行した場合に「網カゴ無し」の状態でも潜在的には魚道を遡上する、あるいは遡上できる魚種を把握できる可能性を示唆するものであると考えられる。
- 環境 DNA 調査によって、魚類相の変化がないことを継続的に確認できる可能性を示唆しているが、採水地点や取水日、回数などを引き続き検討する必要があると考えられる。

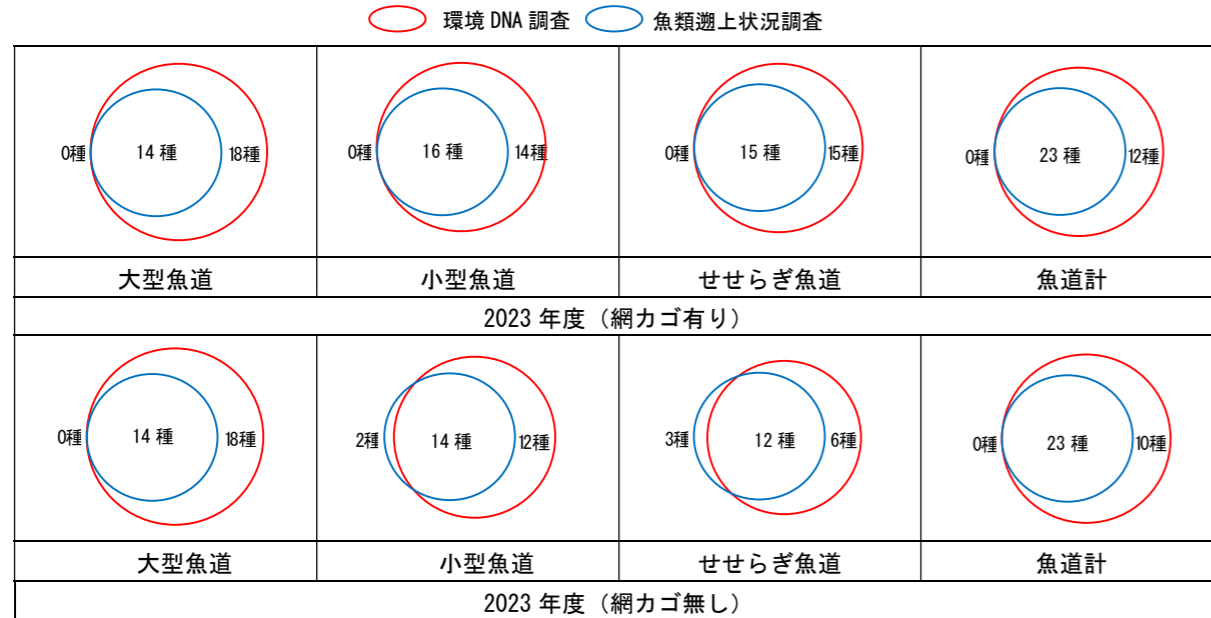


図 2.4 (1) 環境 DNA 調査で確認された魚類の種数と遡上状況調査で確認された魚類の種数の比較

[ケース 1: 差分 (魚道入口部-魚道出口部上流) の調査結果を使用した場合]

- 注 1) 図中の「魚道計」の図で、環境 DNA 調査のみで確認された種 (図の右側に表示している種数に該当する種名) は以下のとおりである。いずれも当該調査年度の遡上確認個体数は少ない種である。
- イ) 網カゴ有り: スナヤツメ類、ゲンゴロウプナ、タイリクバラタナゴ、カワムツ、ウケクチウグイ、ホトケドジョウ、メダカ類、ブルーギル、オオクチバス、ウキゴリ、カムルチーの計 12 種
- ロ) 網カゴ無し: ウナギ、ゲンゴロウプナ、タイリクバラタナゴ、カワムツ、ウケクチウグイ、ピワヒガイ、メダカ類、ブルーギル、オオクチバス、ウキゴリの計 10 種
- 注 2) 図中の「魚道計」の図で、魚類遡上状況調査 (採捕調査) のみで確認された種 (図の左側に表示している種数に該当する種名) は以下のとおりである。

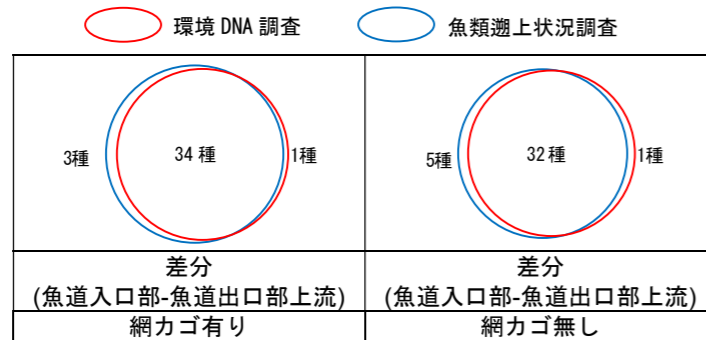


図 2.4 (2) 環境 DNA 調査で確認された魚類の種数と遡上状況調査で確認された魚類の種数の比較

[ケース 2: 採捕結果は 2012 年度～2023 年度の累計の種数を使用した場合]

- 注 1) 図中の環境 DNA 調査のみで確認された種 (図の右側に表示している種数) に該当する種名は、いずれも 1 種 (ゲンゴロウプナ) である。
- 注 2) 図中の魚類遡上状況調査 (採捕調査) のみで確認された種 (図の左側に表示している種数に該当する種名) は以下のとおりであり、いずれも遡上確認個体数は少ない種である。なお、ドジョウとカラドジョウについては、2023 年度に実施した 9 時～17 時の採捕調査では、ドジョウのみが確認されているが、2012 年度～2023 年度の累計ではカラドジョウも確認されているため、採捕調査の確認数としては 2 種になる。一方、環境 DNA 調査では区分できないため、1 種として計上している。このため、採捕調査でドジョウとカラドジョウの 2 種が確認された場合には、環境 DNA 調査では 1 種となるが、「遡上確認のみで確認された種数」を 1 種増やして計上している。
- イ) 網カゴ有り ケース 1: ヤリタナゴ、ピワヒガイ、ドジョウまたはカラドジョウの計 3 種
- ロ) 網カゴ無し ケース 1: スナヤツメ類、ヤリタナゴ、ドジョウまたはカラドジョウ、ホトケドジョウ、カムルチーの計 5 種

### 2.4 アユ DNA 量とアユ遡上確認数の関係に係る検討結果

- 大型魚道では、2019 年～2023 年の 5 年間の全データでは統計的な有意性が確認されたが、アユの遡上確認数の少なかった 2019 年、2021 年では、統計的な有意性は確認されなかった (図 2.5 参照)。
- 小型魚道では、全体のデータ数が少ないことから、現時点ではアユ DNA 量とアユ遡上数との間には明瞭な関係は確認できなかった (図 2.6 参照)。

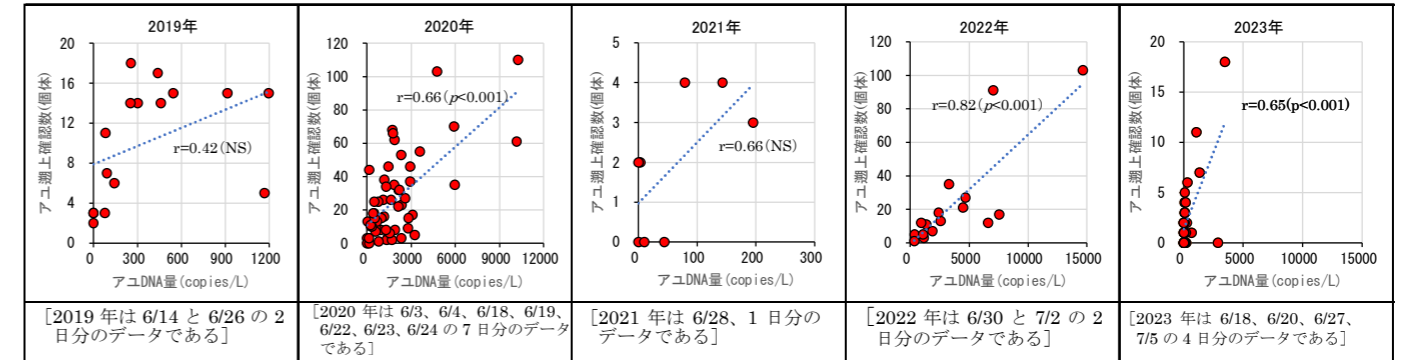


図 2.5 (1) 大型魚道におけるアユ DNA 量とアユ遡上確認数の関係 (調査年度別)

- 注 1) アユ遡上確認数及びアユ DNA 量は、いずれも 1 時間ごとの値である。
- 注 2) 図中の凡例等は、次のとおりである。① r: 相関係数 ② 統計上の有意性判定の凡例は以下の通りである。  
 NS: 有意性なし。  $p < 0.05$ : 危険率 5% 以下で有意性あり。  
 $p < 0.01$ : 危険率 1% 以下で有意性あり。  $p < 0.001$ : 危険率 0.1% 以下で有意性あり。
- 注 3) 以上の注 1) と注 2) は、図 2.5(1) と (2) 及び図 2.6 に共通である。

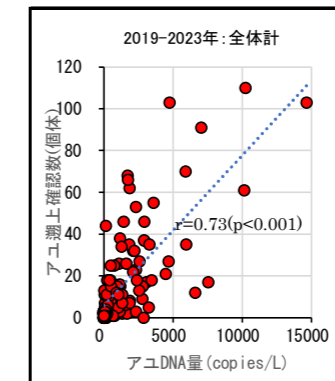


図 2.5 (2) 大型魚道におけるアユ DNA 量とアユ遡上確認数の関係 (2019～2023 年度累計)

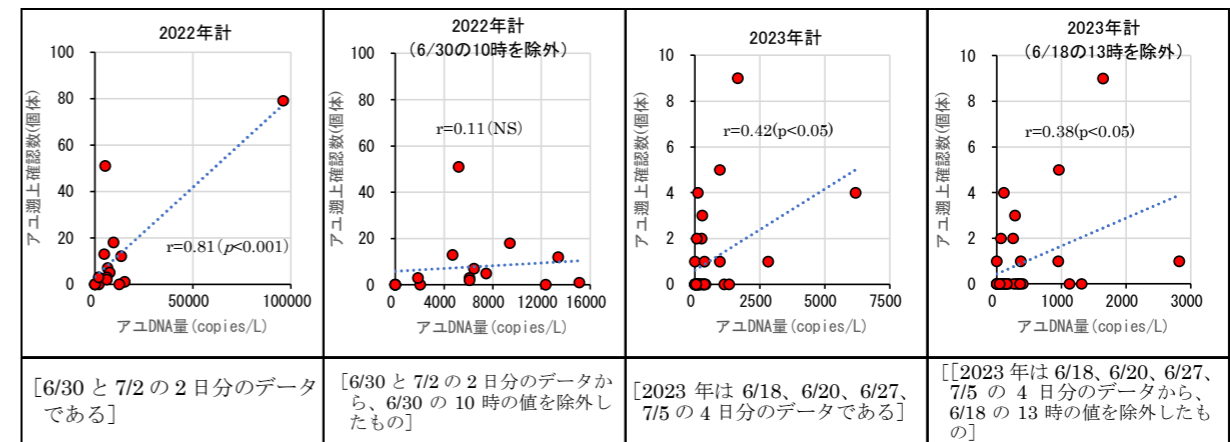


図 2.6 小型魚道におけるアユ DNA 量とアユ遡上確認数の関係

### 3. まとめと今後の課題及び調査計画

#### 3.1 環境 DNA 調査結果のまとめ

- ・2023 年度に実施した環境 DNA 調査（メタバーコーディング法）による確認種は、合計で 33～35 種であり、遡上状況（採捕）調査と比較すると、共通確認種は 23 種、採捕調査のみの確認種は 0 種、環境 DNA のみの確認種は 10～12 種であった。
- ・今後、環境 DNA 調査を主体とした魚道モニタリングに移行した場合に「網カゴ無し」の状態でも潜在的には魚道を遡上する、あるいは遡上できる魚種を把握できる可能性が示唆された。
- ・今後、環境 DNA 調査手法によるモニタリング調査を実施するにあたっては、採水地点や取水日、回数などを引き続き検討する必要がある。
- ・アユ DNA 量とアユ遡上確認数の関係については、大型魚道では、2019 年～2023 年の 5 年間の全データでは統計的な有意性が確認されたが、アユの遡上確認数の少なかった 2019 年、2021 年では、統計的な有意性は確認されなかった。
- ・一方、小型魚道では、全体のデータ数が少ないことから、現時点ではアユ DNA 量とアユ遡上数との間には明瞭な関係は確認できなかった。

#### 3.2 宮中取水ダム魚道における今後の調査計画

- ・今後 1～2 年程度は環境 DNA 調査の実施（採水）時期、採水頻度、採水時刻、採水地点等について検討するために魚類遡上状況（採捕）調査と並行した調査を実施し、調査手法の比較・検証を実施していく計画である。
- ・昨年度開催した第 9 回 FU 委員会において、「これまでの採捕調査に替えて環境 DNA による調査を主体とする手法に移行していく」という基本的な考え方については了承を頂いた。次年度以降も必要な調査を実施しながら、順次調査体制を整備していきたいと考えている。

表 3.1 今後のモニタリング調査に係る工程（案）

年度	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
魚類遡上状況(採捕)調査	●	●	◆	◎	◎	◎	◎	◆	◎	◎
環境 DNA 調査	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
モニタリング調査マニュアル(案)		▼完成								
フォローアップ委員会		▼承認								

●：主体 ○：併用 ◆：適用性確認 ◎中規模出水発生時に実施



# 信濃川発電所ホームページの紹介（第10回魚道構造改善検討フォローアップ委員会）

○第9回フォローアップ委員会において、情報発信に関するご意見を頂いた

- ・これまでの委員会資料を公開すると共に、信濃川発電所の設備、水利使用と河川環境との調和に向けた取組み、及びこれまでの地域共創の取組みについても公開することとし、2023年12月に信濃川発電所のホームページを改善したことを、第10回フォローアップ委員会において、報告した。

イトトップ > Sustainability > 信濃川発電所について

## 信濃川発電所について

JR信濃川発電所情報

2024年2月06日（火）午前8時の宮中取水ダム放流量

### 45.3m<sup>3</sup>/s

この情報は毎日11時頃までに更新いたします。

JR東日本信濃川発電所（千手発電所、小千谷発電所、小千谷第二発電所の3発電所の総称）は、新潟県十日町市・小千谷市にある、信濃川水系から取水した水を利用している水力発電所です。ここで発電した電気は、喜劇園や上野原、新幹線の電車や鉄道駅などに送られており、当社の福利厚生である余熱温水を充てるエネルギー源として重要な役割を担っています。また、水力発電は二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を排出しない環境に優しいクリーンなエネルギーです。

当社は、河川環境との調和や、地域の皆さまをはじめとする関係の皆さまとの共生を図ることに誠心誠意取り組み、信濃川発電所を運営してまいります。



【信濃川発電所概要図】

宮中取水ダム、宮中第二取水口、千手発電所、小千谷第二発電所、小千谷発電所、山手第二調整池、山手調整池

## 動画



信濃川発電所の紹介



河川環境の紹介

水利使用と河川環境との調和に向けた取組み >

これまでの地域共創の取組み >

## 水利使用と河川環境との調和に向けた取組み

宮中取水ダム魚道等の構造改善

各種学会への報告

地元との取組み

### 宮中取水ダム魚道等の構造改善

魚が使いにくい魚道を目指して、2012年に新しくしました。新しくなった魚道がきちんと役立っていることを継続して確認しており、魚道のモニタリングとメンテナンス計画を確立したことから、環境の保全と創造が実証されて2012年度に【土木学会環境賞】を受賞しました。そして、2023年度には、宮中取水ダムの魚道に関する研究で、社員がダム工学会論文賞を受賞、また、博士号の学位を取得しました。さらに良くなる取組みに向けた検討も継続中です。魚道観察室では初回はアユ、秋にはサケなどの魚が見られるかもしれません。

- ☑ 公益社団法人 土木学会賞受賞一覧 環境賞受賞一覧 (jsce.or.jp)
- ☑ ダム工学会【学会賞選考委員会】当年度受賞者一覧 (jsde.jp)
- ☑ 埼玉大学学術情報リポジトリ (SUCRA) (nil.ac.jp)
- ☑ サケの遡上状況（宮中取水ダム魚道2023年度）

#### 改善の概要

- ☑ 宮中取水ダムの魚道と魚類～河川環境と水利利用の調和のとおりくみ～
- ☑ 宮中取水ダム魚道改良～3種併設、魚種の多様性確保～（建設通産新聞）

宮中取水ダム魚道構造改善検討フォローアップ委員会	開催日時	資料
第9回	2022年12月21日 10:00～12:00	☑ 委員会資料PDF [PDF/20.4MB]

過去の取組み

## 各種学会への報告

土木学会や応用生態工学会、海外のジャーナルなどでも広く報告され、改善の効果が認められています。

### 2023年度

- ☑ water2023\_Quantifying Vegetation on a Rock-Ramp Fishway for Fish Run-Up and Habitat Enhancement
- ☑ 応用生態工学会2023\_環境 DNAを利用した魚道モニタリングの効率化に向けた検証

過去の取組み

## 地元との取組み

信濃川に生息する魚を増やす地元の取組みに協力しています。

### 2022年度

- ☑ 信濃川でのサケ稚魚放流活動の報告について

過去の取組み

## 魚道水理模型実験動画

(第10回魚道構造改善検討フォローアップ委員会)

○魚道水理模型実験の状況を動画でご紹介した

# 2012年大型魚道改築直後の横波発生状況（対策なし）



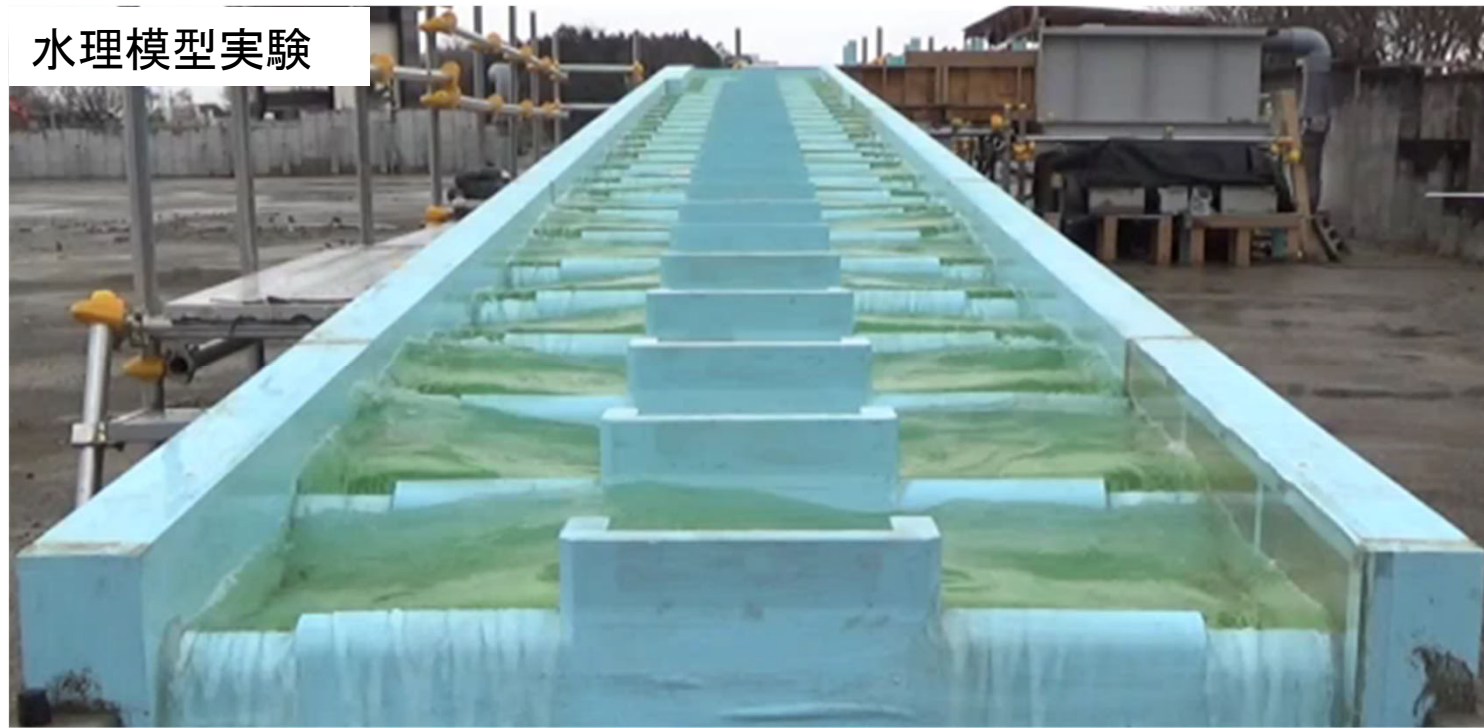


# 水理模型実験状況（2012年大型魚道改築直後）

2012年現地状況



水理模型実験

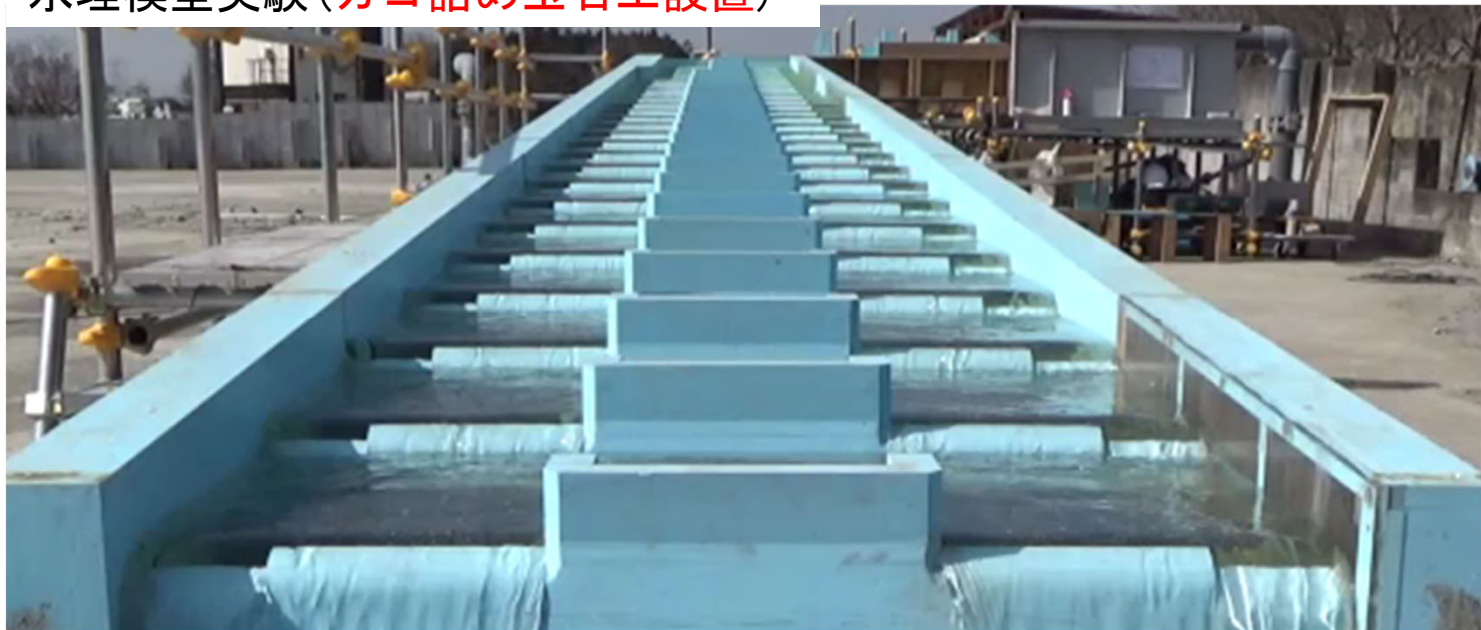


# 水理模型実験状況（2012年大型魚道改築後-流況対策後）

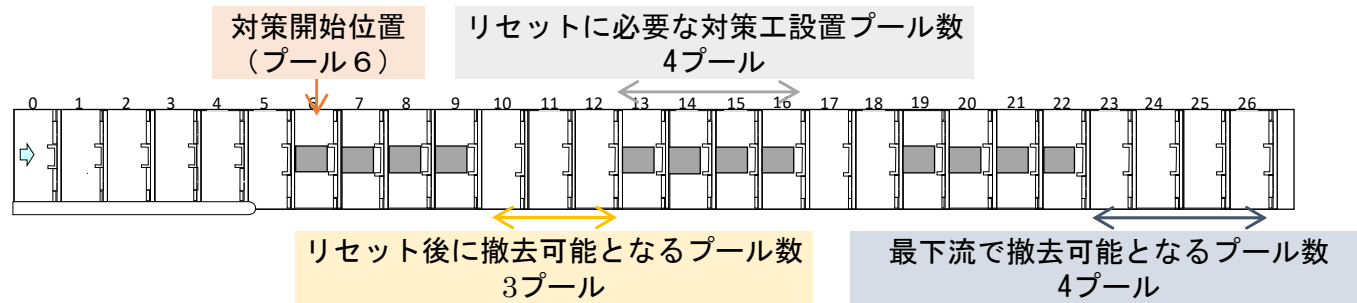
2023年現地状況（カゴ詰め玉石工設置）



水理模型実験（カゴ詰め玉石工設置）



# 対策工本実験① 非越流部の横波防止板



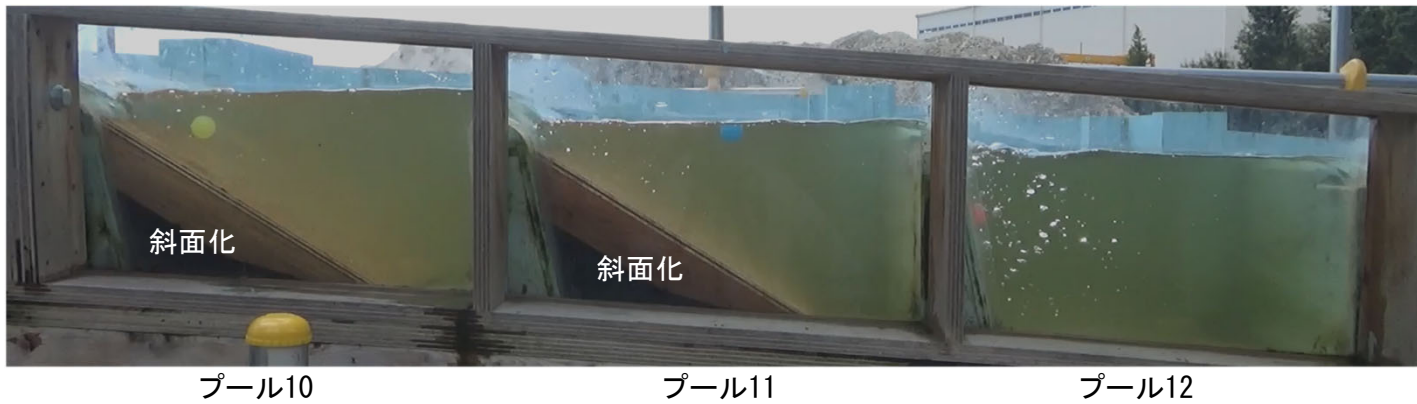
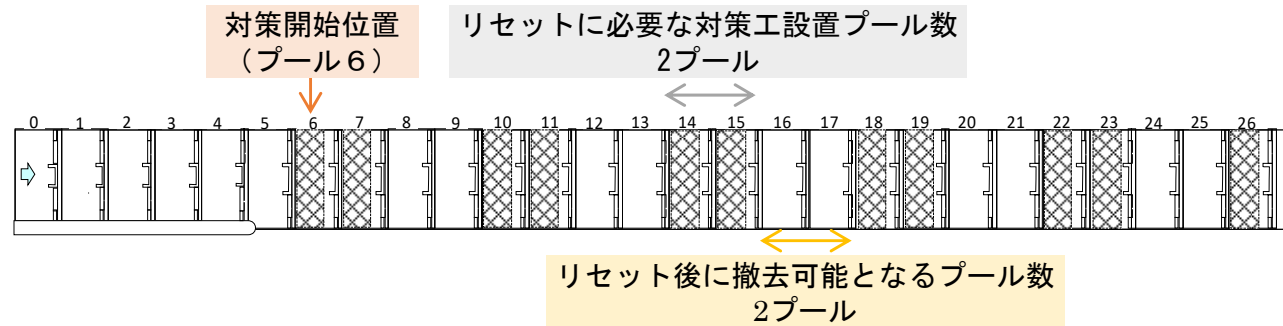
プール4

プール5

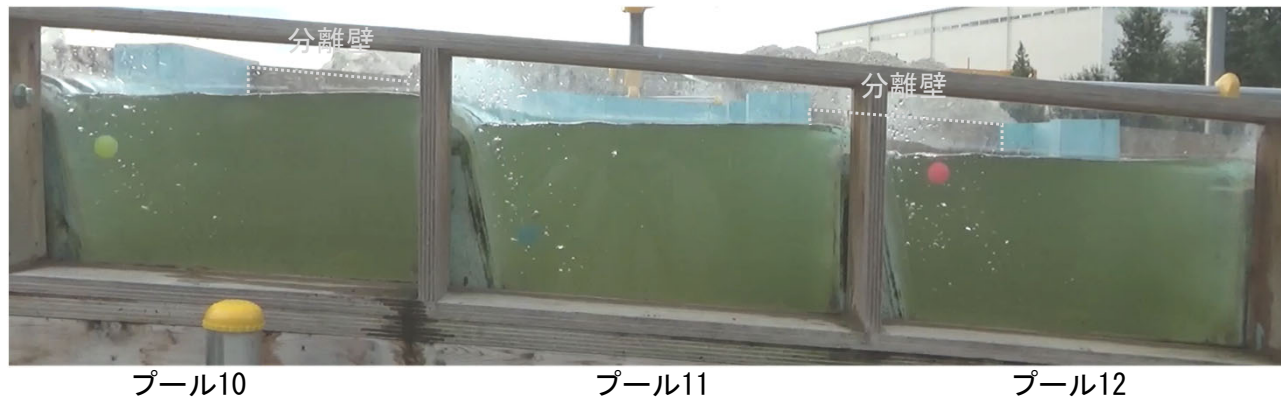
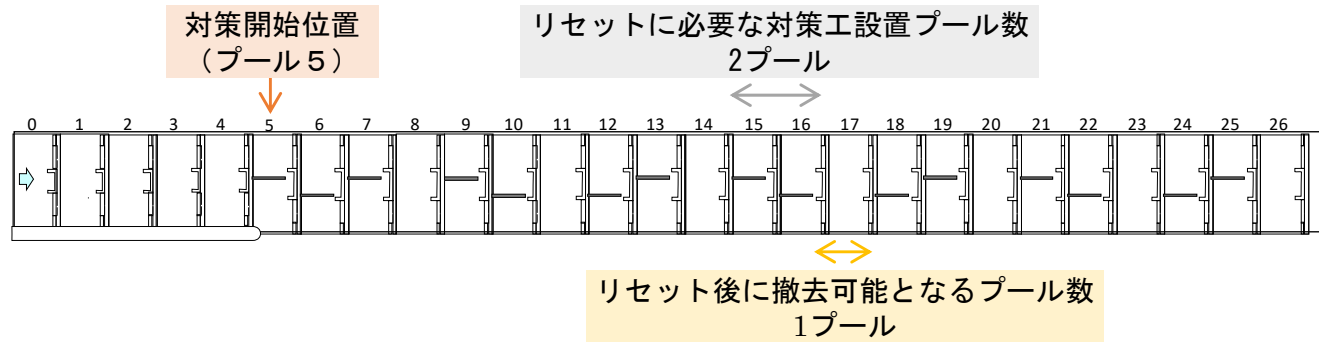
プール6



# 対策工本実験② 隔壁下流の斜面化



# 対策工本実験③ 分離壁（ちどり状設置：隙間あり）



# 2012年小型魚道改築直後の現地流況（対策なし）

