

現地放流実験を利用した魚道施設とその操作方法の 改善に向けた検討とモニタリング

○空閑 徹也*1 澤村 里志*4
森山 泰明*2 永矢 貴之*5
枅本 拓 *3 澤樹 征司*6

1. はじめに

信濃川は、流域面積 11,900km²、流路延長 367km の日本で最も長い河川である。東日本旅客鉄道(株) (以下、JR 東日本という) が所有する宮中取水ダムは、信濃川河口から 134km に位置する集水面積 7,841km² の水力発電用取水ダムであり、発電された電力は上越線や首都圏を走る電車の重要な動力として利用されている。宮中取水ダムの位置を図-1 に、魚道の位置を図-2 に示す。宮中取水ダムの魚道は、総落差約 11m で、右岸側に設置されている。

この宮中取水ダム魚道には、信濃川中流域水環境改善検討協議会における調査から下記の課題が挙げられている。

- (1) 魚道とダム下流部との流れの連続性の確保
- (2) 魚道内の不安定な流れ

JR 東日本は、課題を改善するために、学識経験者、内水面漁業関係者、地元行政機関、河川行政機関等からなる委員会を 2009 年に設置し、諸々の検討を実施してきた。

本論文は、上記の課題を解決するために実施した検討の内容とその結果を報告するものである。

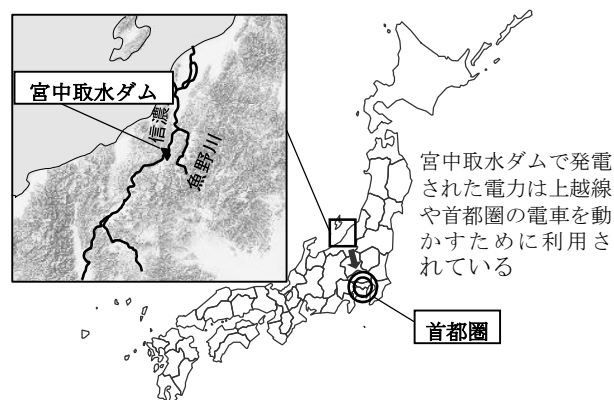


図-1 宮中取水ダムの位置図

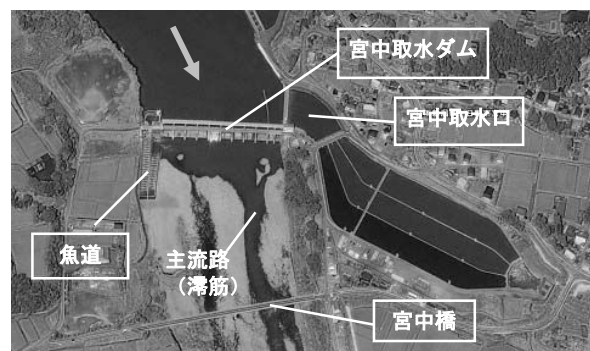


図-2 宮中取水ダム魚道の位置

2. 宮中取水ダム魚道をめぐる課題

魚道における課題は、以下の 2 点に大別された。

① 魚道とダム下流部との流れの連続性の確保

流れの連続性に関する課題は、下記のとおりであった。

- 滞筋と魚道が反対側に位置しているため、遡上してきた魚が魚道入口に到達しにくい (図-2 参照)
- ゲート放流によって魚道入口付近に循環流が生じているため、魚道に進入しにくい (図-3 参照)

② 魚道内の不安定な流れ

既設魚道内の流れは、小型魚用魚道では問題なかったが、大型魚用魚道では次の課題があった。

- プールの平面形状が横長で、プール内の流れが複雑である
- 流量条件によっては、横波(セイシュ)が発生する

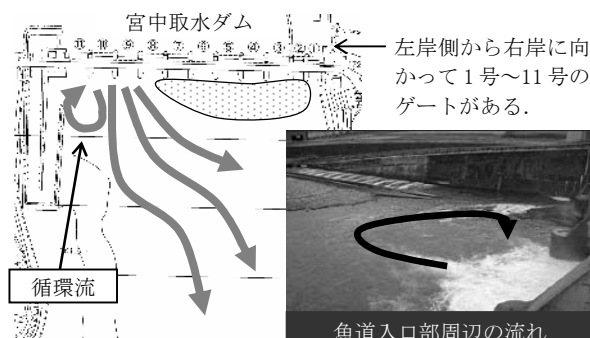


図-3 魚道入口の近くに形成される循環流

3. 河川環境の改善に向けた操作方法の検討

(1) 目的と検討手法

*1 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善事務所 河川環境調査グループ(発表者)

*2 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善推進部 河川環境グループ 課長

*3 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善事務所 河川環境調査グループ 課長

*4 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善推進部 河川環境グループ

*5 (株)建設技術研究所 東京本社 河川部 次長

*6 (株)建設技術研究所 東京本社 環境部 グループリーダー

宮中取水ダム魚道とダム下流部との流れの連続性を確保し、遡上魚が迷わず魚道入口に到達できる流況を実現するため、排砂用 1,2 号ゲートを除く、洪水吐用 3～11 号ゲートからの放流パターンについて検討を行った。

検討は、数値水理解析と現地放流実験を組み合わせ、実際の流況を確認することによって解析モデルの精度を高めていき、有効な放流パターンを見出した。さらに、最良と評価した放流パターンに対して、サケを用いたテレメトリ調査を実施し、河川内での実魚の移動経路を明らかにすることによって、その有効性を実証した。

(2) 流況解析と現地実験による放流パターン検討

① 数値解析の方法

数値解析は、遡上環境改善効果を確認するための平常時の解析と、滞筋を右岸側に形成することの可能性を探るための洪水時の解析の 2 タイプの解析を実施した。平常時の解析は、一般座標系による平面二次元モデルを用いた不定流計算によった。洪水時の解析モデルは、滞筋形成の可能性を予測するため、平常時の解析で作成した平面二次元不定流モデルに河床変動モデルを組み合わせた。解析範囲は、宮中取水ダム直下流から 750m の範囲とした。解析結果は、魚の向流性と遊泳速度をもとに、強い流れの境界部に形成される流速 1.0m/s 程度以下の流れ場が連続的に確保されるか否かという視点で評価した。

② 現地放流実験方法

現地放流実験における調査項目は、流向、流速、死水域・循環流発生状況および気泡発生範囲とした。流速が大きくて気泡が発生するような場所は遡上魚が忌避するという見解があるため、気泡の発生範囲を魚の遡上経路の考察の際の判断材料の一つとした。調査方法は、浮子を流し、目視とビデオによって流れの状況を把握した。調査範囲は、宮中取水ダム下流の宮中橋までの約 200m の区間とした。

③ 検討結果

1) 魚道とダム下流部との連続性を確保する放流パターンの検討

現地放流実験および平常時流況解析によって、経路を確保するための 2 つの方法について検討を行った。1 つは魚の忌避行動を利用した方法であり、もう 1 つは主流路を形成する方法である。対象流量は、概ね 150～200m³/s の範囲である。検討結果を図-4 に示す。

右岸側のゲートからの流れによって下流の左岸側の滞筋との連続性を確保することができるため、主流路を形成することによる経路確保案（ケース 3 またはケース 4）が望ましいと判断した。

2) 滞筋を形成する可能性の検討

河床変動モデルを組み合わせた洪水時の解析モデルによって、放流するゲートを右岸側に 1 門移動させた場合の滞筋を形成することの可能性を検討した。

流量は、至近 10 ヶ年の平均年最大流量程度と渇水年を除く最低の年最大流量程度の 2 つの実績洪水とした。

解析の結果、宮中取水ダム下流洗掘箇所の上流側の右岸側への移動、ならびに、河床変動が下流宮中橋の橋脚など周辺構造物に影響を及ぼさないことが明らかとなった。しかし、洗掘された土砂が宮中橋上流の右岸側に堆積することになり、滞筋に大きな変化はなかった。

3) 新放流パターンの検討

魚道とダム下流部との連続性を確保する新放流パターンを策定するために、50～100m³/s 時の放流パターンについて、3 段階で検討を行った。

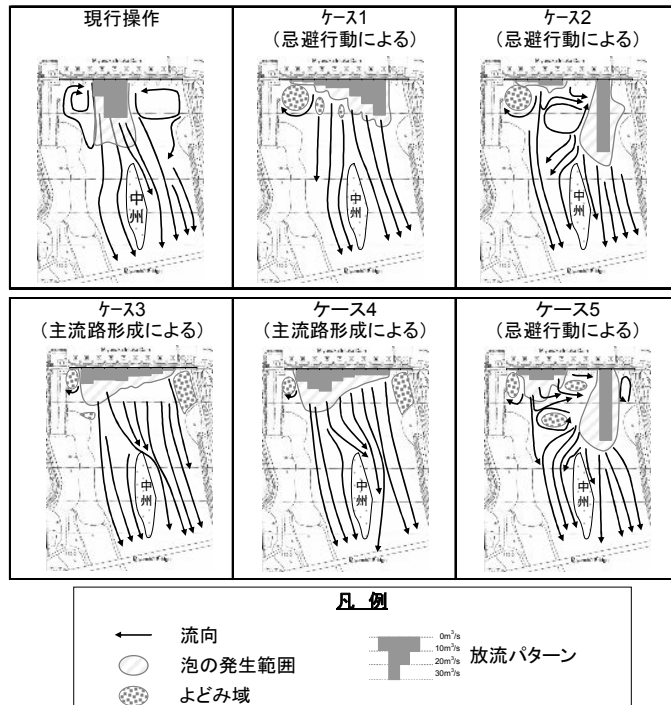


図-4 魚道とダム下流部の連続性を確保するための放流方法の検討結果

第1段階は、9号ゲートと10号ゲートからの放流方法、第2段階は、11号ゲートからの放流による魚道の入口部の流れの改善効果、第3段階は、6号～11号ゲートからの放流方法である。3段階での検討結果は、図－5に示すとおりである。

以上の検討結果により、主流路形成による経路確保案を具体化した新放流パターンを作成した。

(3) 実魚の移動状況調査による妥当性確認

① 移動状況調査方法

新放流パターンの効果を把握するために、魚の魚道への到達しやすさを指標として調査を実施した。捕獲したサケに発信器を装着し、ダムの下流で放流して、サケの遡上ルート进行调查した。

ケースは、以下の2つの放流パターンとした。

ケース1：旧放流パターン

ケース2：新放流パターン

供試魚は、宮中取水ダムの魚道の折返し部に設置したサケ採捕用カゴで捕獲されたものを1ケース5個体用い、生簀において発信器を装着した後、宮中取水ダムの下流約1kmの左岸側に放流した。放流にあたっては予定日前日の朝に放流パターンを変更し、1日間下流河川の環境に馴染ませた。

② 調査結果

1) 魚道付近への到達率

遡上と降下を数回繰り返した個体については、そのたびに再度、カウントした。8号ゲート前を通過して遡上する個体数に差があり、折返し部まで到達した魚の数の比率はケース1が40%、ケース2が80%であることから、ケース2の方が適切であることが明らかとなった。

2) 魚の河川の中での移動経路

供試魚の河川内移動経路と流況解析結果によって以下のことが明らかとなっている。

- 放流地点からダム堤体に至る区間については、ケース1、2の両方とも、ダム放流水の滞筋の両脇及び右岸側の浅い平瀬の二箇所を遡上した。
- ケース1の場合には、第8号ゲートより右岸側で下流に降下する個体がみられた。
- ケース2の場合には、第8号から第11号のゲート前面から魚道入口付近まで魚の滞留がみられた。

流況解析結果と移動経路を対比すると、強い流れの境界部に形成される流速1.0m/s以下の流れ場を遡上する個体が多い。この事実は、解析結果の評価方法が妥当であることを示している。また小型魚（アユ）を対象として実施したモニタリング調査結果でも、ケース2の方がより遡上数が多くなる結果となり、ケース2の放流方法の有効性が確認された。（図－6参照）

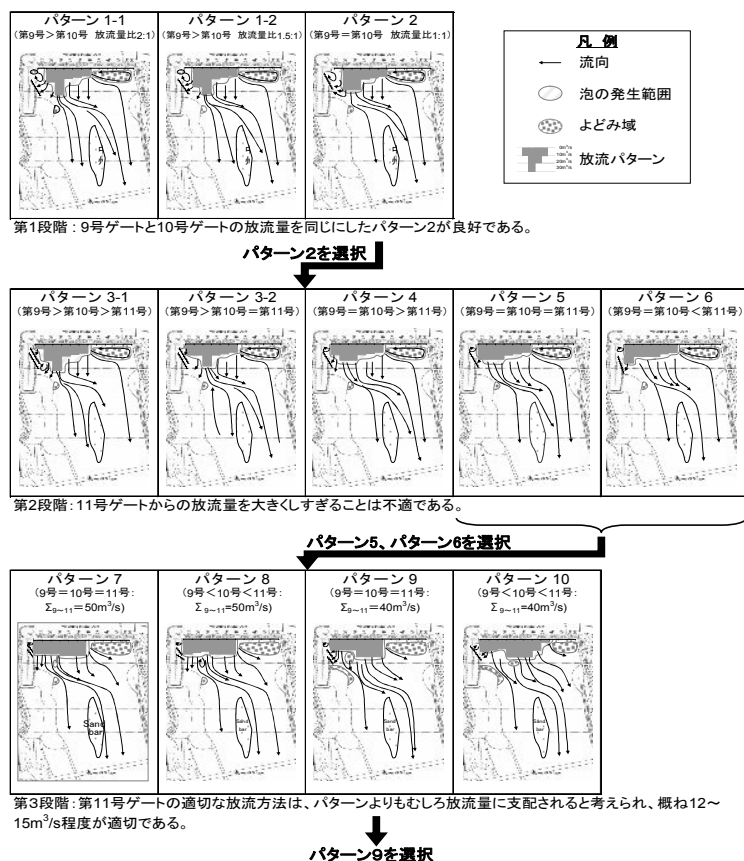
4. 河川環境の改善に向けた魚道施設の検討

(1) 目的と検討手法

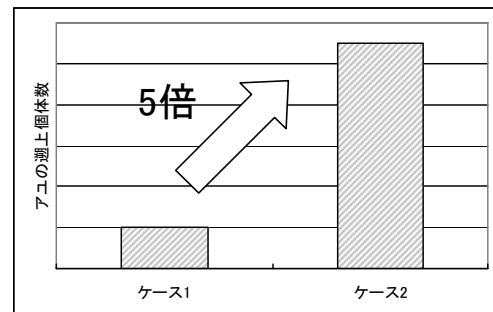
魚道における課題の解決に加え、より多様な魚種への対応を目指し、魚道配置・魚道形式の検討を実施した。魚道内の流況が不安定である点については、机上水理検討、水理模型実験および現地通水実験を組み合わせ、改善魚道の設計および運用方法の検討を行った。

(2) 対象魚

魚道の対象魚は、当該地点に生息する主要魚種として、以下に示す16種とした。



図－5 放流パターンに関する3段階の検討結果



図－6 平成24年度アユ遡上数の比較

カワヤツメ、ウナギ、コイ、フナ（フナ類）、オイカワ、ウグイ、ウケクチウグイ、ニゴイ、アカザ、アユ、ニッコウイワナ、ニジマス、サケ、ヤマメ・サクラマス、カジカ、ヨシノボリ類

(3) 魚道配置と形式

魚道構造の改善は、1988年に改築された魚道の外郭を活用し、その範囲内を基本に改善魚道を配置することとした。魚道形式については、遊泳力の小さな魚や底生魚を含めた多様な魚種にも対応するために、従来の大型魚用魚道、小型魚用魚道に加えて、粗石を使用した緩勾配の魚道（せせらぎ魚道）を設置することとした。せせらぎ魚道は、既設の小型魚用魚道の水路内に幅 25cm で蛇行状に配置し、勾配は 1/20 である。

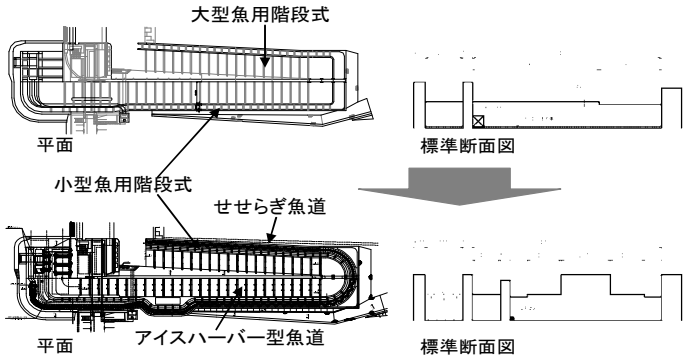
大型魚用魚道は、横長のプール平面形状に起因するプール内の複雑な流況を回避すること、および、横波対策が必要であった。そのため、魚道の幅員を 10m から 8m に縮小し、アイスハーバー型魚道への改善と折返しプールの半円形状化、カゴ詰め玉石工の魚道内への配置を行った。

小型魚用魚道については、既設魚道で良好な流況が得られ、遡上調査においても成績がよかったことから、従来の形状を移設するとともに、カゴ詰め玉石工の配置を行った。

魚道構造の改善計画の概要を図一7に示す。

これらの改善効果については、通水試験によって以下のことが明らかとなっている。

- 横波が抑制され安定した流況を維持できること
- 越流部の必要水深が確保できること
- 遡上可能な流れ場が越流部下流に形成されること
- 非越流部下流に静穏域が形成されること



図一7 魚道構造改善計画の概要

(4) モニタリング調査

改築前と改築後の調査結果を比較するため、魚道上流端にトラップを仮設し、1ヶ月に渡り6時から19時まで全数採捕調査を実施した。（表一1 参照）改築後の魚道で遡上が確認された魚種は 22 種であり、改築前と比較して 8 種（ウケクチウグイ、アカザ、ニッコウイワナ、

表一1 魚道上流端における採捕結果

サクラマス等）増加していることから、改築後の魚道は多くの魚種に対応できる魚道構造に改善されたと考えられる。また改築前には魚道入口部下流付近で確認されたものの、上流端では確認されなかったトウヨシノボリの遡上を確認されたことは、底生魚を対象としたせせらぎ魚道の新設の効果が表れたものと考えられる。今後も、実際の運用下で機能を発揮しているかを検証し、順応的管理を行っていく。

No.	目名	科名	種名	平成22年度調査		平成24年度調査		
				大型魚道	小型魚道	大型魚道	小型魚道	せせらぎ魚道
1	ウナギ	ウナギ	ウナギ		○		○	
2	コイ	コイ	キンブナ		○		○	
3			オイカワ	○	○	○	○	
4			カワムツ		○		○	
5			アブラハヤ		○		○	○
6			ウケクチウグイ			○		
7			ウグイ	○	○	○	○	
8			モツゴ					○
9			ビワヒガイ	○		○	○	
10			カマツカ	○	○	○	○	
11			ニゴイ	○		○	○	
12			スゴモロコ		○		○	
-			スゴモロコ属	○				
13		ドジョウ	シマドジョウ					○
14			シマドジョウ属					
15	ナマズ	ギギ	ギギ	○	○	○		
16		アカザ	アカザ	○	○	○	○	○
17	サケ	アユ	アユ	○	○	○	○	○
18		サケ	サクラマス	○	○	○	○	○
-			ヤマメ	○	○	○	○	○
19			ニッコウイワナ			○		○
20			ブラウントラウト			○		○
21	カジカ	カジカ	カジカ	○	○		○	○
22	スズキ	サンフィッシュ	コクチバス			○	○	
23			オオヨシノボリ		○			
24		ハゼ	トウヨシノボリ					○
-			ヨシノボリ属		○			
計	6目	11科	26種	10種	12種	14種	14種	9種
				14種		22種		
				延べ調査日数		27日間		
				11日間		(6/6～7/4)		
				(6月7日～17日連続)		※6/20・21の2日間は魚道断水		
				備考		放流パターンはケース1のみ		
						放流パターンはケース1、ケース2を交互に実施		

注1)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。
注2)平成22年度調査のヨシノボリ属は、同じ属の中にオオヨシノボリが確認されているため、種数には計上していない。

5. 結論

- 流況解析と現地放流実験を組合せることにより、有効な放流パターンを見出した。さらに実魚の河川内行動履歴を把握することにより、有効性を実証した。また多様な魚種に対する遡上環境改善のためにせせらぎ魚道を新設するとともに、アイスハーバー型魚道の採用等により流況を安定させた。
- 順応的管理による継続的なモニタリングと検証を行うことで遡上環境の保全・創造等の有効性を実証した。

謝辞

本論文の執筆に際しては、本間義治新潟大学名誉教授から多大なるご指導・ご鞭撻をいただいた。また、本検討に際しては、浅枝隆埼玉大学教授および陸旻校長岡技術科学大学教授からも重要な技術的助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。