

みやなか 宮中取水ダム魚道の遡上環境改善について

Improving the migration environment of the Miyanaka Diversion Dam fishways

研究第一部 主任研究員 佐藤 研三
研究第一部 部長 水野 雅光
研究第一部 主任研究員 竹内 秀二
企画部 参事 大石 三之
(株)東京建設コンサルタント 池村 彰人

魚類等がその本来の生活史を送るためには、河川の連続性を確保する必要がある。魚道の主な機能は河川内における魚類等の移動障害の軽減・除去にあるが、その機能は魚道本体のみならずその上下流部の連続性を確保して初めて有効に働くものである。

本調査研究は、魚道本体とその下流部の流況に着目して、信濃川中流部の宮中取水ダム魚道における魚道の遡上環境を阻害している原因を現地調査及び水理解析を通じて具体化し、その改善策を提案したものである。

魚道については、流量を3段階に変化させて目視調査及び三次元流速計を用いた流向・流速測定を行った。その結果、大型魚道については潜孔と切欠きが交互に配置されていることなどからプール内の流況が乱れていること、流量によってはセイシュが発生する可能性があること、魚道出口部の流量調節ゲート裏側に魚類の滞留する区域が発生すること等の問題点が明らかになった。このため潜孔の閉塞等、現状の魚道構造を活かした暫定対策案を提案した。なお、小型魚道については流量調節ゲート部で大型魚道と同様の問題を有するが、魚道内の流況は概ね良好であることが分かった。

下流部の流況については複数の放流パターンに対し、浮子を用いた流況調査及び流向・流速測定を行い、さらに平面二次元流計算により結果を再現した上で、左岸側、右岸側、左岸側と右岸側の両方からゲート放流を行った場合の流況予測をそれぞれ行った。その結果、右岸側からゲート一門当たりの放流量を少なくして放流することにより魚道の遡上しやすい流況が得られるという結果を得た。

キーワード：ダム、魚道、流況改善、平面二次元流解析、循環流、三次元流速計、信濃川、減水区間

In order for fish to live naturally in a river, it is necessary to maintain river continuity. The primary function of a fishway is to reduce or eliminate obstructions for migratory fish; however, this works only when continuity is maintained with the channels upstream and downstream.

In this study, focusing attention on the fishways and the flow regime downstream, the authors identified the causes of migration route obstruction at the fishways of the Miyanaka Diversion Dam in the middle reaches of the Shinano River, through field investigation and hydraulic analysis, and proposed corrective measures. For the fishways, flow direction and velocity were measured using three-dimensional current meters. The investigation and measurement revealed a number of problems. In the case of the large fishway, the staggered arrangement of submerged orifices and notches caused problems such as disturbance in the pools, the possibility of seiche depending on the flow discharge, and episodes where fish tend to remain in an area behind the flow control gate at the fishways exit.

To solve these problems, tentative measures were proposed to make effective use of the fishways structure, such as the closing of submerged orifices. The flow regime in the small fishways turned out to be generally good although there was a similar problem at the flow control gate. Flow regime was investigated by using floats, and flow direction and velocity were measured for a number of release patterns. The measurement results were simulated using two-dimensional flow analysis, and three patterns of flow regimes using two gates, on the right-bank and left-bank side, were reproduced. The results of the simulation indicated that a flow regime friendly to migratory fish could be produced by releasing water from the right-bank-side gates at reduced release rates.

Key words : dam, fishway, flow regime improvement, two-dimensional flow analysis, circulation flow, three-dimensional current meter, Shinano River, reduced-flow section

1. 調査の概要

宮中取水ダムは、信濃川中流域に位置する東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）所有の発電用のダムであり、その電力は朝夕の通勤ラッシュ時に山手線など首都圏での鉄道の運行等に利用されている。宮中取水ダムの位置について、図-1に示す。

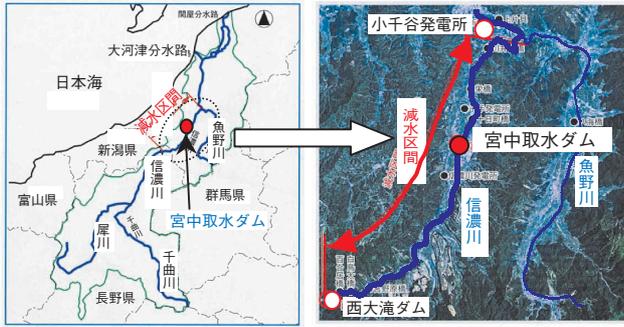


図-1 宮中取水ダム位置図¹⁾

信濃川中流域では、その豊富な水量を利用した発電が行われており、西大滝ダム（東京電力）から宮中取水ダムを経て、魚野川との合流点までの約63.5kmの区間は、発電取水により河川流量の少ない減水区間となっている。

そのため、信濃川中流域における水環境及び水利用の現状をより正確に把握すると共に、水環境と水利用の調和のための方策を検討し、この実現に努めることを目的に、「信濃川中流域水環境改善検討委員会」（事務局：信濃川河川事務所）が平成11年1月に設置された。

協議会での議論を踏まえ、JR東日本・東京電力の協力のもとに平成13年度より試験放流が開始された。宮中取水ダムにおける試験放流を図-2に示す。その結果水環境改善の効果が見られ始めているところであるが、その一方で宮中取水ダム魚道の魚類の遡上環境について問題が指摘されている。

宮中取水ダム魚道を水環境の改善に合わせて改善することにより、その効果を拡大することが出来ると考

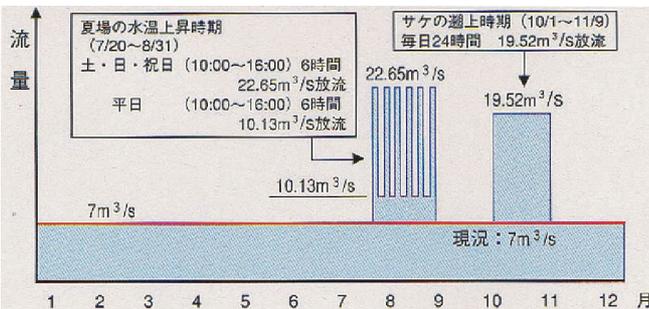


図-2 宮中取水ダムにおける試験放流¹⁾

えられる。

魚道の主な機能は河川内における魚類等の移動障害の軽減・除去にあるが、その機能は魚道本体のみならずその上下流部の連続性を確保して初めて有効に働くものである。魚類が魚道の入口に集まらなければ、魚道本体の流況がどんなに良くてもその効果は期待できない。

本調査研究は、魚道本体とその下流部の流況に着目して、宮中取水ダム魚道における魚類の遡上環境を阻害している原因を現地調査及び水理解析を通じて具体化し、その改善策を提案したものである。

調査研究のフローを図-3に示す。

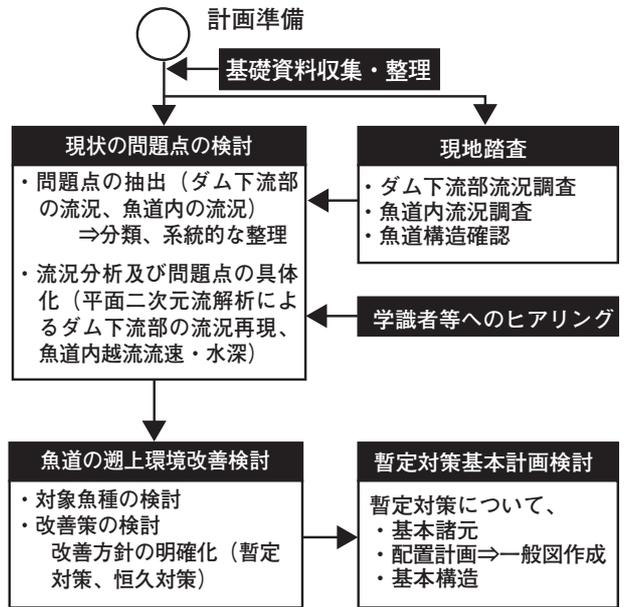


図-3 本調査研究のフロー

2. 魚道の構造について

2-1 現状の整理

現在の魚道の主な諸元について表-1に示す。

表-1 魚道の主な諸元

	大型	小型
流量	3.661m ³ /s	0.326m ³ /s
勾配	1/15	1/16.7
魚道幅員	10m	2m
隔壁間落差	25cm	18cm
潜孔	60cm角	φ20cm (閉塞)
越流水深	一般部25cm 切欠部40cm	18cm
限界流速	一般部1.29m/s 切欠部1.63m/s	1.09m/s

また、魚道の平面図及び各部の写真について図-4に示す。

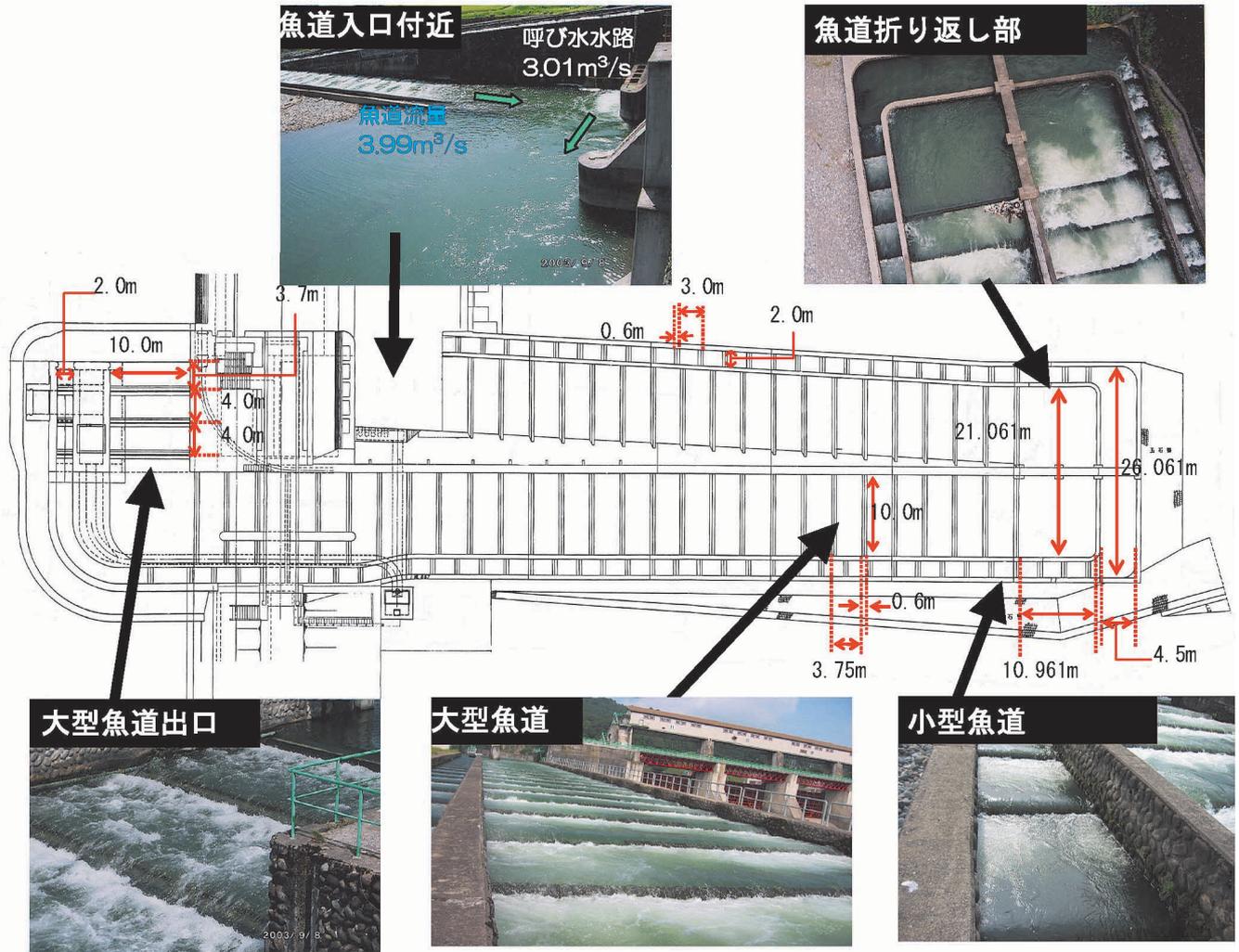


図-4 宮中取水ダム魚道の平面図及び各部の写真

魚道はサケ・マス等を対象魚種とした大型魚道とアユ等を対象魚種とした小型魚道に分離されており、それぞれ全面越流型の折り返し型階段式魚道となっている。大型魚道は横長の形状をしており、潜孔と切欠き

が交互に設置され複雑な流れを形成し、また水面の乱れや泡立ちが発生している。大型魚道の構造模式図を図-5に、水抜時の状況を写真-4に、小型魚道の構造模式図を図-6にそれぞれ示す。

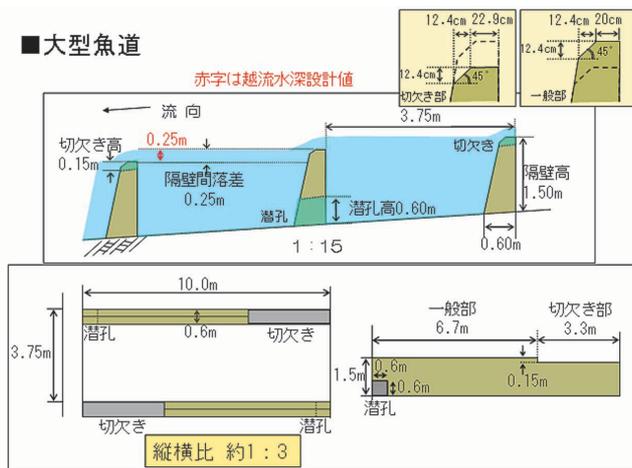


図-5 大型魚道の構造模式図

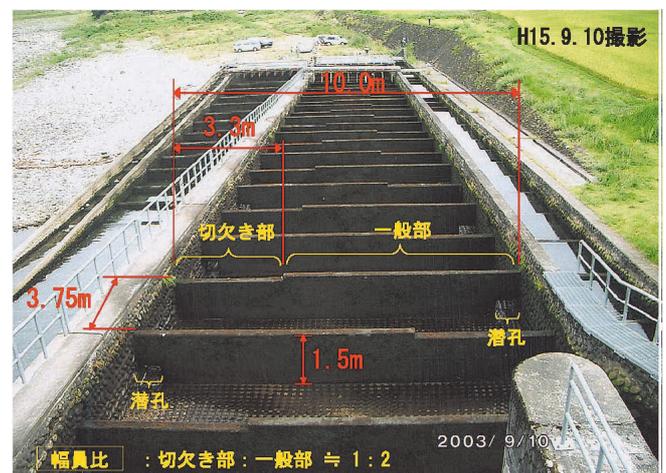


写真-4 大型魚道の水抜き時の状況

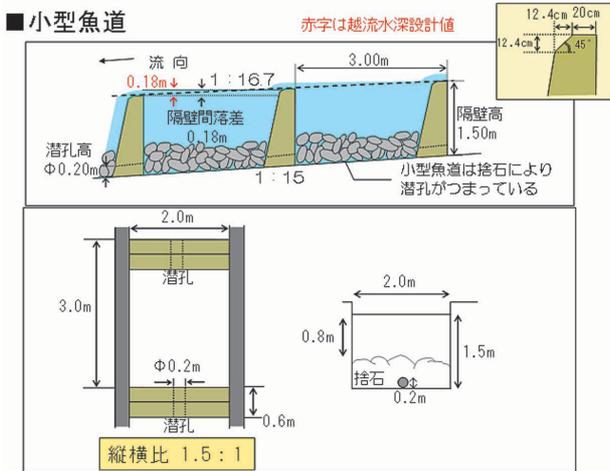


図-6 小型魚道の構造模式図

また、出口ゲート部は大型、小型とも下流側に転倒する形式の流量調節ゲートであり、水位変動に関わらず一定量が魚道に流入している。

さらに、ゲート天端部が折り返し形状となっている。出口ゲート部の写真及びそのイメージを図-7に示す。

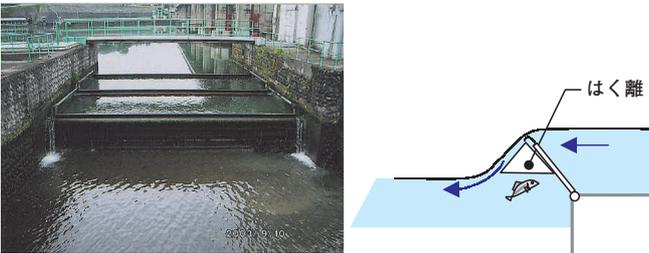


図-7 出口ゲート部写真(左)とそのイメージ図(右)

なお、過去の信濃川中流域減水区間における調査結果として、大型魚道をサケが複数遡上していることが分かっている。

2-2 現地調査及び問題点の分析

魚道内の流量を3パターンに変化させ、各流量における魚道内各部の流況を調査した。合わせて魚道への通水を停止して構造確認の調査を行った。

設定した流量パターンについて、図-8に示す。

	流量パターン		
	3.99m ³ /s	2.85m ³ /s	1.85m ³ /s
大型魚道	3.66 1.3m/s 1.6m/s 25cm 40cm 一般部 切欠き部	2.61 1.1m/s 1.5m/s 18cm 33cm	1.65 0.8m/s 1.3m/s 9cm 24cm
小型魚道	0.33 1.1m/s 18cm	0.24 1.0m/s 14cm	0.20 0.9m/s 12cm

は平常時の魚道設定流量、図中数字は越流水深及び限界流速。

図-8 設定した魚道内の流量パターン

流況調査の内容として各部の目視観察を行い、併せて、大型魚道・小型魚道それぞれの、折り返しプール、魚道内プール及び隔壁部において流向・流速測定を三次元流速計を用いて実施した。

観測結果及びそこから得られた問題点について、大型魚道と小型魚道に分けて以下に整理・分析する。

(1) 大型魚道

○魚道プール部

大型魚道プール部の折り返しプール上流側の流況と泡の発生面積を整理したものを図-9に、折り返し下流側の流況を整理したものを図-10に示す。

大型魚道設定流量		
Q=3.66m ³ /s	Q=2.61m ³ /s	Q=1.65m ³ /s
プール面積に対する泡発生面積の割合		
76%	46%	29%

図-9 大型魚道の流量別の流況

Q=3.66m ³ /s	Q=2.61m ³ /s	Q=1.65m ³ /s

図-10 大型魚道折り返し下流部の流量別流況

流量の減少に伴い、大型魚道プール内の泡の発生が抑制され、流況が改善されていることが分かる。一方、折り返しプール下流側では設定流量2.61m³/s (図-10中央)において、大きなセイシュ(横波)が発生した。セイシュの発生した理由として大型魚道は

- ・横長の形状であること
- ・潜孔と切欠きが交互に配置されていること
- ・切欠きの比率が1:2であること

など、いずれもセイシュの発生しやすい構造であること、またセイシュ発生時に折り返しプールの水面動揺がみられたことから、折り返しプールにおいて流向を変化させる際に整流が不完全であることなどが原因として考えられる。セイシュが発生した場合、魚類の遡上は非常に困難になると云われていることから、今後改善方策として魚道流量を減少させる際には、横波の発生防止に留意する必要があることが分かった。

また、大型魚道内流量を $1.65\text{m}^3/\text{s}$ に減少させた場合、隔壁部に剥離流が発生する結果となった。

続いて、大型プール内の現状の流量での流向・流速測定結果について、 $3.66\text{m}^3/\text{s}$ での例を図-11に示す。切欠き部からプールに越流した流れがプール内で完全に減勢されずに下流側に越流したり、潜孔からの強い流れが下流側の隔壁にぶつかるなど、複雑な流れが生じていることが分かる。潜孔の下流側の隔壁付近では、潜孔からの流れが隔壁にぶつかり発生していると考えられる水面の盛り上がり不規則が生じていた。

なお、流量を減少させた場合、上流側から越流してきた流れはプール内において整流され、表層部では切欠きから切欠きへ、また底層部では潜孔から潜孔への流れが安定して発生するようになり、魚道内流況が安定する傾向が確認された。

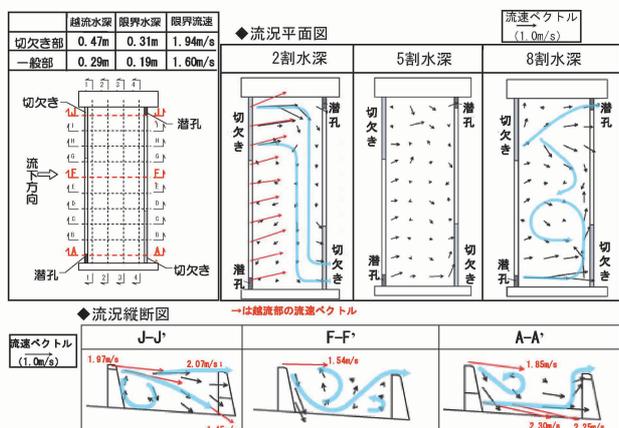


図-11 大型魚道の流向・流速測定結果

○折り返しプール部

折り返しプール部においては、泡の発生は抑制され、大きな流速は発生していない。しかし、流向流速測定を行った結果、各設定流量とも連続性のない非常に複雑な流れを形成していた。この直接的な理由は不明であるが、潜孔と潜孔が近接して配置されていること、折り返し部が直角であることなどが原因と推定される。

また、前述の通り設定流量 $2.61\text{m}^3/\text{s}$ において大きな水面変動が発生し、これが折り返しプール下流側での大きな横波発生の一因となっていると考えられる。

○出口ゲート部

出口ゲート部の構造は下流側に転倒する方式となっている。下流側に転倒する方式の場合、ゲート下流側に死水域を形成し、また剥離流が発生しやすい。そのため魚類がゲート裏側に回り込み、滞留しやすくなっている。現状流量では剥離流は発生していないが、流量を減少させたケースではいずれも剥離流が発生した。

さらに、ゲート上流端の形状が折り返しになっていることから、折り返し部に到達した魚類が遡上する上での阻害となっていると考えられる。(図-7参照)

また、出口ゲート付近では流れが乱れ泡の発生が多くみられた。この点については、流量を減少させることにより流況が改善される傾向を示した。

○大型魚道の調査結果まとめ

現状の大型魚道については、

- ① プール内に乱流や気泡流が発生し魚類の遡上に影響する可能性があること、
- ② 折り返しプール部において水面が変動し、遡上を困難にするセイシュが発生させる可能性があること、
- ③ 出口ゲート部ではゲートが下流側に転倒する構造であることなどから、魚類がゲート裏側に回り込み滞留時間が長くなる可能性があること

が魚類の遡上環境から見た問題点としてあげられる。

また、大型魚道の流量を減少させることにより、流況が改善される傾向を示した。ただし、設定流量 $2.61\text{m}^3/\text{s}$ に減少させた場合には大きなセイシュが発生した。セイシュの発生は魚の遡上を著しく阻害するため、その発生防止に留意する必要がある。また、流量を減少させることにより、魚道の隔壁部や出口ゲート部において剥離流の発生が見られた。

(2) 小型魚道

現状の小型魚道については概ね良好な流況となっている。ただし、越流部の流速が若干大きいこと、また、大型魚道と同様に出口ゲート部で魚類が滞留しやすい構造になっている点が問題点として上げられる。

小型魚道についても流量の減少により、流況が改善される傾向を示す。なお小型魚道の流量を減少させてもセイシュの発生や隔壁部での剥離流は発生しなかったが、出口ゲート部では剥離流の発生が見られた。

2-3 改善方策の提案

現地調査結果をもとにして、魚道内の各部における改善方策を抽出し、その段階的な改善方策について提案した。

改善方策の検討にあたり、過去の調査結果や現地調査結果等より、宮中取水ダム魚道は魚類の遡上機能を有していると判断し、主にその遡上機能を改善するために必要な対策について提案した。

(1) 大型魚道の流況改善案

現地調査結果を基に、大型魚道のプール部、折り返しプール部、魚道出口部のそれぞれについて流況の問題点と原因、対策案を整理したものを表-2~4に示す。

表-2 大型魚道プールの流況の問題点、原因、対策案

問題点	セイシュの発生（流量減少時）
	流向、流速が時間と共に変化し不安定である。
	越流流速が大きく、気泡流の発生
原因	プール内で複雑な三次元的流れが形成
	交互に配置された規模の大きい潜孔と切欠きの存在
	横長のプール形状でプール水深が大きい
対策	魚道流量が大きい
	玉石を投入し水深を浅くすると共に潜孔を塞ぐ
	仕切壁の設置により縦長プールに変更する
対策	各隔壁に片側に寄せた切欠きを再配置する。
	出口部ゲートを改良し流量調節を行う

表-3 折り返しプール部流況の問題点、原因、対策案

問題点	複雑な流況を形成している。
	水面が動揺し横波発生の一因となっている。
原因	上流側と下流側の潜孔が隣接して設置している
	プールのコーナー部が直角になっている
対策	潜孔を閉塞する
	コーナーに丸みを付ける

表-4 魚道出口部の流況の問題点、原因、対策案

問題点	ゲートからの越流の落下点とゲートの間に死水域が形成
	ゲート付近で気泡流が発生
原因	ゲートが下流側に転倒する構造
	ゲート天端が折り返し構造
対策	魚道流量が大きい
	ゲートを上流側転倒方式に変更する
対策	ゲート天端の折り返し構造を解消する
	ゲートを改良し流量調節を行う

こうした対策案の中から簡易に対応可能な暫定対策として、

- A:潜孔を閉塞し、土砂を投入しプール水深を浅くする。
 - B:隔壁の切欠き部を2m程度に狭め、一列に配置する
 - C:魚道内に仕切壁を設置しプール形状を縦長にする
 - D:出口ゲート部を改築しゲート天端部の折り返し構造を解消すると共に魚道流量を減少する。
 - E:折り返しプール部のコーナーに丸みを付ける
- という改善案を提案した。

(2) 小型魚道の流況改善案

小型魚道の流況についてはおおむね良好であるが、大型魚道と同様に魚道出口部でゲート付近で死水域が発生する構造になっていることや、越流流速が1m/sを超えており底生魚の遡上が容易でないことが問題点として考えられる。従って、その改善案として、
A:底生魚等を対象にロープ等を魚道内に設置する。
B:出口ゲート部を改築しゲート天端部の折り返し構造を解消すると共に魚道流量を減少する。
という改善案を提案した。

3. ダム下流部の流況について

3-1 ダム下流部の現状整理

ダム下流部の状況について、写真-5に示す。



写真-5 宮中取水ダム下流部の状況

魚道は右岸側に設置されているが、一方で下流部の藩筋は左岸側を流れている。そのため遡上する魚類は左岸側から右岸側に移動して魚道入口に到達する必要があると考えられる。

右岸側に設置された魚道及び呼び水水路からは年間を通して7m³/sが流れている。魚道からの流量に加えて夏期には中央の7番ゲート(青色部)より、サケ遡上期には右岸側10番ゲート(緑色部)よりそれぞれ増放流がなされている。

年間を通して放流されている7m³/sの内訳は魚道からの流量が約4m³/s、呼び水水路からの流量が約3m³/sである。呼び水は魚道入口と直角方向に右岸側から左岸側に向けて放流しているが、鋼管を用いて川底付近から放水口を広げて放流しており、その流速は抑えられている(図-4左上写真参照)。さらにダム直下の水深が深いこと等からその効果は弱く、魚類にとって魚道入口を見つけにくいと考えられる。魚道、呼び水水路からの各放流量について表-5に示す。

表-5 魚道・呼び水からの放流量

流量 (m ³ /s)	魚道		呼び水水路	合計
	大型	小型		
	3.66	0.33	3.01	7.00

3-2 現地調査及び問題点の分析

ゲート放流パターンに応じた、ダム下流部の流況調査を実施した。

流況調査を行ったケースについて表-6に示す。試験放流の各ケースに加えて、サケ遡上期において実験的に左岸側から放流したケースについて調査を実施した。

各ケースに対して浮子を利用した流況観察を実施し、合わせてケース1~3については宮中取水ダム直下流を中心に4測線にて流量観測を実施した。

表-6 流況調査を実施した放流ケース

番号	放流量	試験放流時期
1	22.65m ³ /s (7番ゲートより15.65m ³ /s放流)	夏場土日昼間
2	10.13m ³ /s (7番ゲートより3.13m ³ /s放流)	夏場平日昼間
3	7.00m ³ /s (ゲートからの放流無し)	通年
4	19.52m ³ /s (10番ゲートより12.52m ³ /s放流)	サケ遡上期
5	19.52m ³ /s (5番ゲートより12.52m ³ /s放流)	今回実験的に放流

ケース1, 3, 4, 5の観測結果を模式的に示したものを図-12~15に示す。調査を行った結果、ダム下流部の流況として、

- ・ 中央部からゲート放流を行う場合 (ケース1, 2)、左右岸に循環流が発生すること
- ・ ゲート放流のない場合 (ケース3)、魚道から滞筋に向かう流れが非常に弱く、呼び水の効果が十分でないと考えられること
- ・ 右岸側からゲート放流を行う場合 (ケース4)、ゲートからの気泡流を含んだ強い流れにより魚類の遡上経路を阻害すると共に、魚道入口付近に複雑な流れが発生すること
- ・ 左岸側からゲート放流を行う場合 (ケース5) 魚道入口から放流ゲート付近に向かう流れが弱いことがそれぞれ問題点となることが分かった。

3-3 改善方策の提案

現地調査結果で整理した問題点を解決するための改善方策について、平面二次元流解析による予測計算を実施し、望ましいゲート放流案について提案した。

ダム下流部の流況改善を提案するにあたって、平面二次元流モデルを構築した。モデルは測量結果を基にダム下流部から約1.2kmの区間について設定し、ダム直下流で細くなる様、2~10mメッシュのメッシュに分割した。

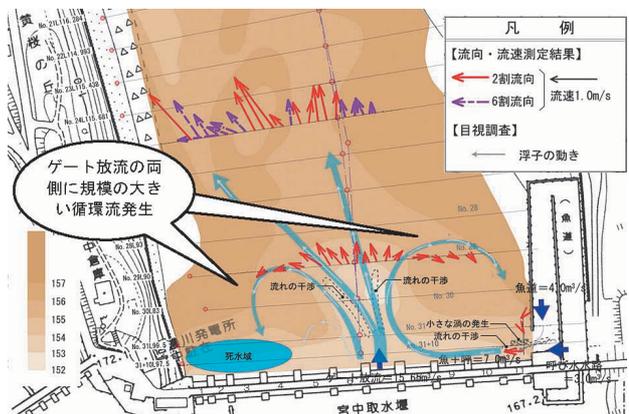


図-12 流況調査結果 (ケース1:22.65m³/s放流時)

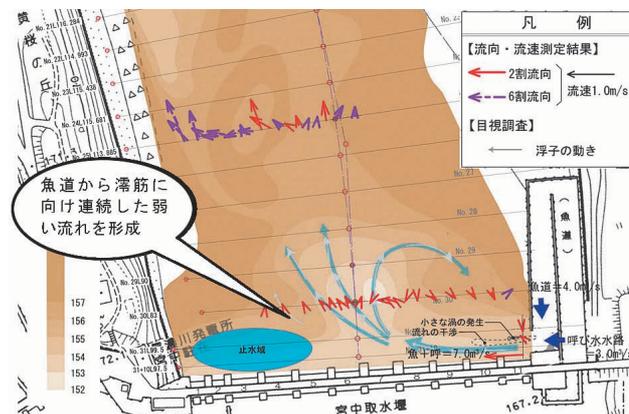


図-13 流況調査結果 (ケース3:7m³/s放流時)

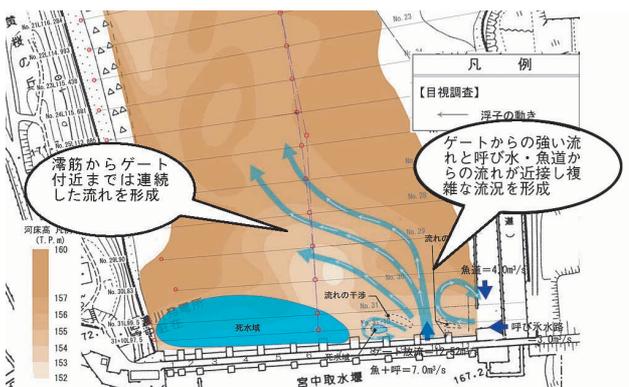


図-14 流況調査結果 (ケース4:19.52m³/s放流時)

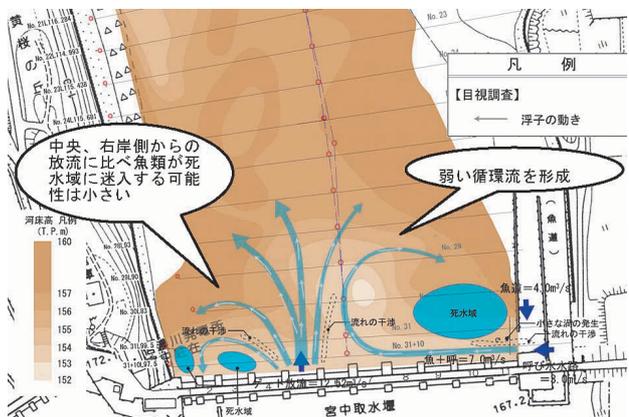


図-15 流況調査結果 (ケース5:19.52m³/s放流時)

また、粗度係数については文献から得られる概略値0.04~0.07の間で係数を変化させて計算を行い、ダム下流部流況調査において実施した流量観測結果との比較を行い最も再現性の高い結果が得られた0.06を採用した。

設定したモデルに対して、まずダム下流部流況調査を行った各ケースに対して再現計算を行った。その計算結果が循環流の発生状況など、全体的な流況を概ね良好に再現していたため、全体的な流況については本モデルにより再現可能と判断した。

続いて、流況改善の予測計算を行った。予測計算は主にサケ遡上期の放流量である19.52m³/sを対象に、

- ①左岸側のゲートと右岸側のゲート両方から流量配分を変化させて放流した場合、
 - ②右岸側の複数ゲートから放流した場合、
 - ③左岸側の複数ゲートから放流した場合
- についてそれぞれケースを設定し計算を実施した。それぞれの代表的な計算結果と予想される魚類の遡上経路について図-16~図-18に示す。

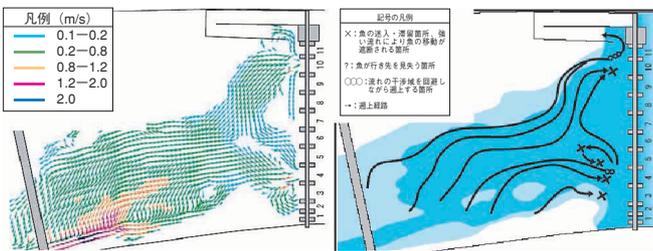


図-16 右岸側・左岸側の両方のゲートから放流した計算結果 (10番6.26m³/s、4番6.26m³/s)

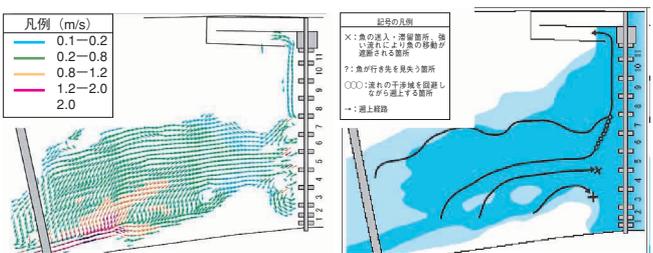


図-17 左岸側の複数ゲートから放流した計算結果 (4~7番より各3.13m³/s)

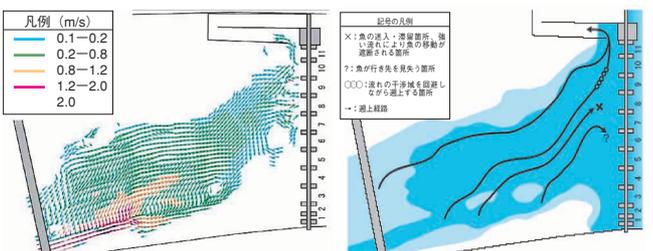


図-18 右岸側の複数ゲートから放流した計算結果 (7~10番より各3.13m³/s)

右岸側と左岸側の両方のゲートから放流した場合、それぞれの放流により発生する循環流がゲート中央部で発生し干渉することにより、魚類の迷入・滞留箇所が増える結果となった(図-16)。また左岸側の複数ゲートから放流した場合、放流ゲート付近の流況は改善されるが、放流ゲート付近から魚道入口までの流れが弱い点は変わらない結果となった(図-17)。一方右岸側の複数ゲートから放流した場合、ゲート付近での強い流れの範囲が小さくなると共に、魚道入口付近で発生している循環流が弱まり、比較的良好な結果が得られた(図-18)。

この結果を基に、放流量10.13m³/sのケースについて、10番ゲートから3.13m³/sの放流を行った場合について計算を行ったが、同様に良好な流況結果が得られた。

同様に7m³/sのケースにおいて呼び水水路からの流量を0にして、10番ゲートから放流させた場合には滞筋から放流ゲート付近までの連続した流れが発生した。ただし、魚道入口付近で渦が発生する結果となった。

以上のことから、呼び水効果を出すために右岸側ゲートからゲート一門あたりの放流量を少なくして放流することにより、魚道入口への集まりやすさが向上すると考えられる。

4. 終わりに

宮中取水ダム魚道の問題点を整理し、改善方策を検討した。

今後ダム下流部の流況改善方策として望ましいゲート放流パターン・放流量を設定するためには、放流ゲートの直下流部における流速を把握することが重要である。しかし複雑で乱れた放流ゲート直下の流速を平面二次元流計算で正確に予測することは困難であり、現地調査を実施して確認する必要がある。また魚道本体の改善案についても、実施時の流況変化について効果を確認する必要がある。

今年度も引き続きJR東日本の協力を得て、現地観測等のモニタリングを実施し、提案した暫定対策の効果について確認・評価を行い、JR東日本と共に検討しながら具体的な改善を進めていく予定である。

最後に、本調査研究を進めるに当たり中部学院短期大学副学長和田吉弘先生、新潟大学名誉教授本間義治先生に貴重なアドバイスを頂きました。この場を借りまして御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 信濃川中流域の水環境改善に向けて、国土交通省北陸地方整備局信濃川工事事務所、H14.2