

河川環境と水利使用との調和に向けた 宮中取水ダム魚道等の構造改善

枡 本 拓・土 橋 幸 彦

信濃川中流域水環境改善検討協議会から「施設管理者により宮中取水ダムの魚道等の構造改善が行われるべき」との提言を受け、2009年9月に宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会を設置し、①ダム下流部と魚道の流れが連続していない、②魚道プール内の流れが複雑、③魚道出口のゲートの構造が好ましくない、という3つの課題の検討を行った。検討結果を踏まえ、数値解析や模型実験と現地放流実験を組み合わせ設計を実施し、2012年に魚道等の構造改善を完了した。本報告では、河川環境と水利使用との調和に向けた魚道等の構造改善について、(1)安全性と信頼性の確保、(2)遡上環境の維持及び向上への貢献、という観点から報告する。

キーワード：連続性、循環流、現地放流実験、生物多様性、モニタリング

1. はじめに

人は様々な活動のため、水を得る必要がある。そのため、河川にダムや堰等の横断構造物を設置し、生活用水や工業用水を確保してきた。これらの河川に設置される各種構造物の存在は、魚類をはじめとする水生生物の生息環境を大きく左右する要因となる。

ダムや堰は、川でふ化をして海へ降下し、海を回遊して産卵のために川に戻ってくるサケ *Oncorhynchus keta* や、川でふ化して海に降下し、再び川に戻って生息して川で産卵するアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* 等に代表される回遊魚の遡上・降下を妨げる。そして、河川を横断する構造物の設置は、流れが停滞する区間や流量が少ない区間を出現させ、河床高の変化をもたらす。それは、水そのものだけでなく、土砂や栄養分、そして水生生物における上下流の連続性が確保されなくなるため、生息環境を大きく変える。

ダムや堰による河川の分断は、その河川における生態系を衰弱させる。このように、生息域が分断されることは、回遊魚だけでなく、陸封型の魚類に対しても影響を及ぼすことになる。よって、ダムや堰により発生する落差を無くし、上流と下流を滑らかに連続させる状態にするために、河川維持流量を確実にゲートから放流するのと合わせて、魚道の設置が必要不可欠となる^{1), 2)}。

宮中取水ダムは、新潟市にある河口から134 km上流の、信濃川中流域に位置している水力発電用の取水ダムである。宮中取水ダムから約35 km下流にある

信濃川発電所で発電した電力は、新幹線と首都圏の電車の運行に利用されている。

宮中取水ダムの魚道は、1939年にダムが建設された当時から、取水口と反対側の右岸側に設置されており、1986年に機能改善が行われた。具体的には、サケ *O. keta* やサクラマス *Oncorhynchus masou* には適正な流速であるが、アユ *P. altivelis* が持続的に遊泳するためには流速が若干速いという課題があったことから、小型魚道の新設を図った。また、魚道の入口を見つけにくい魚が多いという課題に対しては、呼び水路を新設することで解決した。

その後、1999年1月に発足した信濃川中流域水環境改善検討協議会における2009年3月の提言内容に基づき、2度目の魚道等の構造改善を実施した。

信濃川中流域水環境改善検討協議会において整理されていた課題は3つあった。

- ①ダム下流部と魚道の流れが連続していない
- ②魚道プール内の流れが複雑
- ③魚道出口のゲートの構造が好ましくない

魚道等の構造改善を実施するにあたり、まずは対象魚種を選定した。魚道の設計は、世界的にはカラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* やタイハイヨウサケ *Salmo salar* など商品価値が高く、遡上速度の速い遊泳魚を対象とすることが多い^{3), 4)} が、今回の魚道等の構造改善にあたっては、国土交通省による既往調査結果や地元の漁協への聞き取り調査により、漁業権魚種を含む以下の16種類とした(表1)。

表一 設計段階で選定した検討対象魚種 16 種

スナヤツメ類	<i>Lethenteron spp</i>
ウナギ	<i>Anguilliformes</i>
コイ	<i>Cyprinus carpio</i>
フナ	<i>Carassius auratus langsdorfi</i>
オイカワ	<i>Opsariichthys platypus</i>
ウケクチウグイ	<i>Tribolodon nakamurai</i>
ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>
ニゴイ	<i>Hemibarbus barbus</i>
アカザ	<i>Liobagrus reini</i>
アユ	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>
ニッコウイワナ	<i>Salvelinus</i>
ニジマス	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
サケ	<i>Oncorhynchus keta</i>
サクラマス	<i>Oncorhynchus masou</i>
カジカ	<i>Cottus pollux</i>
ヨシノボリ類	<i>Rhinogobius kurodai</i>

2. 魚道等の構造改善

(1) 安全性と信頼性の確保

(a) ダム下流部と魚道の流れの連続性の確保

右岸側に魚道、左岸側に滞筋が位置しているため、呼び水効果が薄く、魚道の周辺では循環流が生じているという課題があった（図一1）。



図一1 循環流が発生していた従来のパターン

そこで、数値水理解析と浮子流す現地放流実験を併用した20パターンを超える検証により、解析モデルの精度を高めていき、循環流の発生を抑制しながらダム下流部と魚道の流れの連続性の確保を実現できるのは、右岸側の洪水吐用ゲートから放流するパターンのみであることを見出した。そして、従来の放流パターンと新しい放流パターンを交互に発生させながら、サケ *O. keta* を用いたテレメトリーやアユ *P. altivelis* を用いた遡上・生息調査により河川内での実魚の移動経路を明らかにした（図一2）。

テレメトリー調査は、実際に宮中取水ダム魚道に遡



図一2 右岸側のゲートから放流する新しいパターン

上してきた実魚を用いて実施したため、必要個体数として設定した5個体が揃うまでは、採捕に協力頂いた中魚沼漁協のいけすで蓄養した。発信機はいけすにおいて装着することとし、吐き出しが無いように1日いけすにおいて落ち着かせることとした。放流地点は1 km 程度下流とし、変更されたゲート放流パターンを河川になじませるため、前日の朝から放流パターンの変更を実施した。

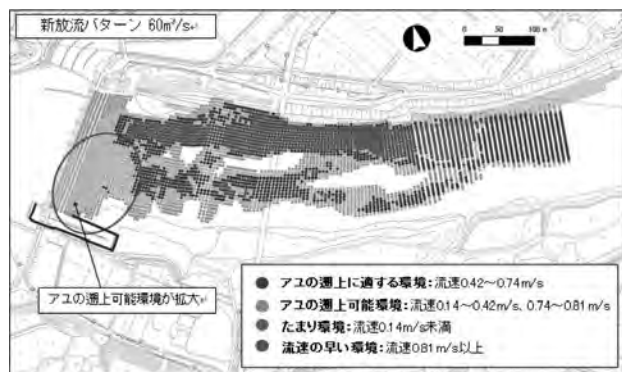
テレメトリー調査の結果、魚道への到達率が従来の放流パターンでは40%であったものが、新しい放流パターンでは80%となったことから、新しい放流パターンの効果が確認できた。

また、アユ *P. altivelis* を用いた遡上・生息調査では、ダム下流部に定置網を仕掛け、定置網を設置した箇所の水深、水温、流速を測定し、遡上環境を把握しながら、放流パターンを変更して河口から遡上してくるアユ *P. altivelis* を採捕することとした。なお、魚道入口部付近については、循環流の影響を確認するため、通常の下流に向けた定置網の他に、循環流により迷入しているアユ *P. altivelis* を採捕するため上流に向けた定置網も設置することとした。

遡上・生息調査の結果、従来の放流パターンでは上流に向けた定置網でアユ *P. altivelis* が採捕されたが、新しい放流パターンでは上流に向けた定置網では採捕されなかった。また、採捕された定置網の設置地点の流速から、遡上に適する環境を抽出したところ、新しい放流パターンにすることで、魚道入口周辺について遡上可能環境が拡大し、魚道の入り口までの遡上経路の連続性を確認することができた（図一3）。

これらの結果から、右岸側の洪水吐用ゲートから放流する新しいパターンによる、ダム下流部と魚道の流れの連続性の確保に関する有効性が実証できた。

洪水吐ゲートからの放流は、これまでは下流の安全性を考慮して中央の7号ゲートを中心に行っていたが、今回、魚道へ魚をさらに誘引できるよう右岸側の滞筋形成に向けて、出水時における右岸側のゲートか



図—3 アユの遡上に適した流速分布の確認

らの放流を当面継続していくこととした。

そのため、下流の河道の変化や施設の安全性を目視により確認し、必要に応じて横断測量により確認する洪水期モニタリングを2010年度から実施することとした。なお、洪水期モニタリングは、宮中取水ダムからの放流量が過去10年間の最小値である $1,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上(2015年度以降は実績を踏まえて $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上)の際に実施するものとしており、2011年度と2013年度に実施した。

具体的には、河床高の変化や低水護岸基礎の変状、魚道擁壁基礎や宮中橋基礎の洗掘を目視により確認し、変化が見られた場合は横断測量により状況を確認する。2011年5月30日の出水($3,443 \text{ m}^3/\text{s}$)及び2013年9月17日の出水($3,880 \text{ m}^3/\text{s}$)では、河床高の変化が見られたため、横断測量を行い右岸側の滯筋の拡大を確認したが、護岸等の施設については変化がなかった。

(b) 魚道プール内の流れの改善

プール内の流れが複雑で、流量によりセイシュ（横波）が発生するという課題があった。プール内の流れが複雑になる原因として横長のプール形状が起因することが考えられた（写真—1）。

そこで、幅員を10mから8mに縮小し、アイスハーバー型への変更を行うと共に、剥離流を防ぐための隔壁天端の複合3円弧形状化、水面揺動を抑えるための折り返し部の半円形状化を行った（写真—2、3）。



写真—1 セイシュ（横波）の発生状況



写真—2 魚道等の構造改善後の状況



写真—3 複合三円弧形状（魚道観察室でサケと共に）

アイスハーバー型への変更にあたっては、模型実験と現地に非越流部を設けて流況確認を行ったが、一般化された魚道形式をそのまま利用することなく、現地流況確認を行って、セイシュの発生を抑えるための潜孔の縮小や洪水後のメンテナンスの効率化を踏まえた一部ウイングの非設置などを実施した。

しかし、改善後の魚道におけるセイシュ発生的事前予測は困難であるため、アイスハーバー型への改善後に改めて流量を変動させて現地流況確認を行うこととした。結果として、一部の流量でセイシュが発生したことから、 $1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ のカゴに詰めた玉石をプール内に配置して、セイシュを抑制することとした。配置に当たっては、現地でカゴ詰め玉石工の配置パターンを変化させながら流況を確認し、最適な配置とすることで流量を変動させてもセイシュが発生しない対策を行った（写真—4）。



写真—4 カゴ詰め玉石工の設置状況

また、流木・塵芥が魚道へ流入すると、その撤去のために魚道を断水する必要があったり、流況が乱れたりするため、魚道への流木・塵芥流入防止設備として魚道出口に網場を設置することとした。網場はポリエチレン製で目合いは50 mm以下とし、水面50 cm程度の範囲をカバーして、魚類の遡上経路としてその下の空間を確保することとした。なお、集塵作業時の流入防止と作業の効率化を図るため、流入防止用網場と集塵用網場の2重構造とした。その結果、流木・塵芥を撤去するための魚道断水が大幅に無くなり、適切な遡上環境を確保することができた(図—4)。



図—4 魚道上流側の網場(回収に集塵船を活用)

(c) 魚道出口のゲートの構造の改善

従来の魚道ゲートは、下流側に転倒する形式であることから魚がゲート裏側に回りこみ滞留時間が長くなると言う課題があった。

そこで、上流側へ転倒する形式と昇降式との比較を行い、越流部やプール内の流況が大きく変動せず、遡上効率が安定する昇降式ゲートを採用することとした。

(2) 遡上環境の維持及び向上への貢献

(a) 施工中の遡上環境の維持

宮中取水ダム魚道は、3月にはサケ *O. keta* の稚魚の降下、4月から10月まではアユ *P. altivelis* やウグイ *Tribolodon hakonensis*、サクラマス *O. masou*、オイカワ *Opsariichthys platypus* の遡上、9月中旬から11月上旬まではサケ *O. keta* の遡上が活発に行われる環境であった。そのため、11月中旬から11月下旬に実施されているダムや魚道のメンテナンスと合わせて、11月中旬から3月上旬までを河川内の工事期間と定め、信濃川の多様な魚類の生態に配慮することで、施工中の遡上環境の保全を図った。

しかし、宮中取水ダム魚道のある新潟県十日町市は、日本有数の豪雪地帯であり、魚道等の構造改善工事に着手した2010年～2011年の冬は、国の災害救助法が適用されるほどの豪雪であった(写真—5)。



写真—5 2010年～2011年冬季の積雪状況

そのため、以下の工夫を行った。

i) 施工分割

宮中取水ダムには従来、大型魚道と小型魚道という2つの魚道があり、大型魚道内に新たに隔壁を設けて大型魚道と小型魚道に分割すると共に、小型魚道をせせらぎ魚道に改良する設計となっていた。11月中旬から3月上旬という限られた工事期間での施工を可能にするため、大型魚道の流量を絞り、小型魚も遡上可能な環境を整え、小型魚道のせせらぎ魚道化の一部を先行することとし、工期を確保することとした。

ii) 鋼管杭の水中打設

網場の新設にあたっては、湛水池の中に網場を固定する柱として鋼管杭を打設する必要があった。よって台船を用いた水中施工を実施した。鋼管杭は延長約16.5 m(根入4.5 m)、径800 mmであり、台船上からの施工となるためH鋼により鋼管杭を固定しながら施工した。

また、現地はN値50の岩盤であったため、振動杭打機と油圧圧入機の併用によるアイ・ゼッター(AT-140ES・VⅡ)を用いて施工した(写真—6)。



写真—6 台船とアイ・ゼッターによる鋼管杭打設

iii) 二次製品の活用

限られた工事期間で確実に魚道等の構造改善を実施するため、隔壁天端の複合三円弧形状化は二次製品を活用することで工期短縮を図ることとした。なお、二次製品とすることで、複合三円弧となる形状の確保につ

いても、より正確な寸法に加工することが可能となった。

(b) 遡上環境への貢献

今回の魚道等の構造改善では、自然河川に近い魚道も必要と考えた結果、生物多様性の観点からカワヤツメ *Lethenteron spp.*, アカザ *Liobagrus reini*, カジカ *Cottus pollux*, トウヨシノボリ *Rhinogobius kurodai* 等の底生魚を対象とする“せせらぎ魚道”を新設した(写真一7)。



写真一7 せせらぎ魚道の近景

せせらぎ魚道は、流路を蛇行させることで、大型魚道や小型魚道より緩い勾配の階段式魚道とした。また、瀬・淵を繰り返す自然河川に近い魚道とするため、よどみ域を設け、魚道内に設置する礫を固定しないこととし、堆積土砂の流送や異常繁茂した藻類の除去、河川水温の降下などを目的に適切なタイミングで放流量を増加させるフラッシュ放流を行い、遡上環境を確保することとした⁵⁾。

実際の運用状況の下で目標とした機能を発揮していることを確認するため、魚道等の構造改善前後に全ての魚道上流端において遡上魚の全数採捕を行うモニタリング調査を実施した。その結果、改善前に確認された14種類が改善後も遡上できていることを確認できたため、遡上環境が維持されていることが実証された。また、設計段階で選定した検討対象魚種16種すべてが魚道等の構造改善後6年間の調査で確認されると共に、改善後の確認種類数が19種類～24種類と増えたため、遡上環境の向上も実証された。

魚道等の構造改善後に新たに遡上が確認された種類は、ウケクチウグイ *Tribolodon nakamurai*, シマドジョウ *Cobitis biwae*, アカザ *L. reini*, ニッコウイワナ *Salvelinus*, トウヨシノボリ *R. kurodai* 等である。特に底生魚や甲殻類を含めた信濃川中流域の生物多様性に対応するために新設したせせらぎ魚道では、トウヨシノボリ *R. kurodai* が59個体採捕された。当該種は、2011年度に実施した生息状況調査において宮中取水ダムの下流で採捕されたものの、魚道上流端では

採捕されなかった種であり、せせらぎ魚道新設の効果が実証された。

3. おわりに

宮中取水ダム魚道は、1939年に設置後、1988年に改築され、2012年に改めて魚道等の構造改善を実施した。改善後、2012年から2016年まで5年間モニタリングを実施した結果、3つの課題の改善効果を検証し、所期の効果があらわれていることを確認した。

今後も実際の運用状況の下で、施設が目標とした機能を発揮しているかをモニタリングにより検証し、順応的管理を行っていくこととしている。

具体的なモニタリング計画としては、大型・小型・せせらぎの各魚道における遡上状況確認、下流の安全性を確保するための洪水期モニタリング等を当面継続する。

また、魚道観察室を設置したことで、親水性向上や環境教育の場の提供を図り、地域との共生を目指すと共に、河川環境と水利使用との調和に向けて取り組んでいく。

J C M A

《参考文献》

- 1) Hatry C, Thiem JD, Hatin D. Fishway approach behaviour and passage of three redhorse species (*Moxostoma anisurum*, *M. carinatum*, and *M. macrolepidotum*) in the Richelieu River, Quebec. *Environ Biol of Fish*. 2016; 99: 249-263.
- 2) Ferreira DG, Shibatta LS. Genetic structure and diversity of migratory freshwater fish in a fragmented Neotropical river system. *Rev Fish Biol Fisher*. 2017; 27: 209-231.
- 3) Scruton DA, Pennell CJ, Bourgeois CE, Goosney RF, King L. Hydroelectricity and fish: a synopsis of comprehensive studies of upstream and downstream passage of anadromous wild Atlantic salmon, *Salmo salar*, on the Exploits River, Canada. *Hydrobiologia*. 2008; 609: 225-239.
- 4) Zavolokin AV, Kulik VV, Zavarina LO. The food supply of the Pacific salmon of the genus *Oncorhynchus* in the northwestern Pacific Ocean. 2. Comparative characterization and general state. *Russian Journal of Marine Biology*. 2014; 40: 199-207.
- 5) Kuga T, Moriyama Y, Masumoto T. New construction of the “Seseragi fishway” in Miyanaka Intake Dam and adaptive management. 11th International Symposium on Ecohydraulics February 2016.2.7; at Melbourne, Australia.

【筆者紹介】

栢本 拓(ますもと たく)
東日本旅客鉄道㈱
信濃川発電所業務改善推進部
課長



土橋 幸彦(とばし ゆきひこ)
東日本旅客鉄道㈱
信濃川発電所業務改善推進部
主席

