

宮中取水ダムにおける魚道施設の設計施工と改築前後のモニタリング

○澤村 里志*1 空閑 徹也*4
森山 泰明*2 竹内 洋介*5
枡本 拓 *3

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、下記の課題が挙げられた。

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

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信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会を 2009 年に設置し、諸々の検討を実施してきた。

本稿では、改築前の魚道に生じていた流況と改善に向けた検討内容及び改築前後におけるモニタリング調査結果を報告するものである。

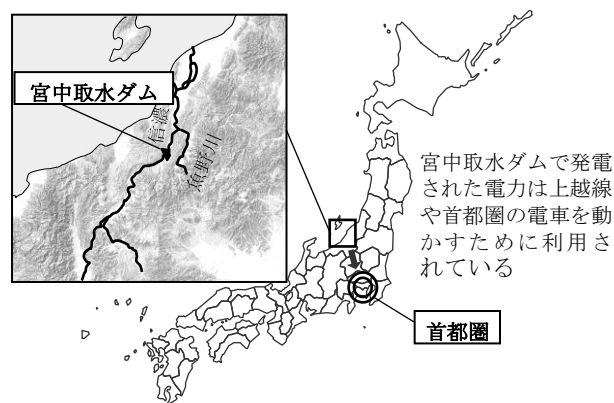


図 - 1 宮中取水ダムの位置図



図 - 2 宮中取水ダム魚道の位置

2. 宮中取水ダム魚道（改築前）

(1) 概要

宮中取水ダムの改築前（平成 22 年度以前）の魚道は、大型魚道と小型魚道を設けており、各々幅員は 10m、2m であった（図 - 3、表 - 1 参照）。前述した 2 つの課題は、いずれも大型魚道におけるものであり、小型魚道においては、泡の発生が見られるものの流れの乱れは小さく、概ね良好な流況であった。

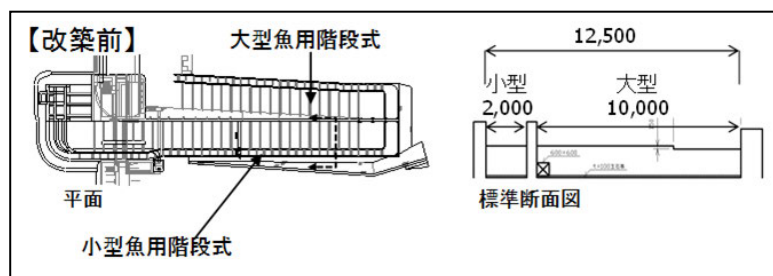


図 - 3 魚道平面図・断面図（改築前）

表 - 1 魚道（改築前）の諸元

	大型魚道	小型魚道
形式	階段魚道	階段魚道
流量	7.0m ³ /s (魚道3.93 + 呼び水3.07)	3.661m ³ /s
流速	0.95m/s	0.81m/s
	1.31m/s	1.13m/s
勾配	1/15	1/16.7
魚道幅員	10m	2m
越流水深	25~40cm	18cm
潜孔	□60cm	φ20cm

※ 小型魚道は横波対策として、以前から捨石により潜孔が詰められていた。

*1 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(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事務所 河川環境調査グループ
*5 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

(2)大型魚道（改築前）における流況

大型魚道折り返し下流部の流量別流況を調査した結果、流量減少時に大きなセイシュ（横波）が発生することが分かった（図-4）。

また、大型魚道の折り返し部においては、水面が変動しており、整流が完全に行われていない状況にあった。この原因としては、上流側と下流側の潜孔が近接して設置されていること、プールのコーナー部が直角であることが挙げられる。

大型魚道内の流況を調査した結果、切り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った（図-5）。

複雑な流れが生じる原因としては、以下の要因が挙げられる。

- ・プールが横長の形状である
- ・切り欠きの比率が1：2である
- ・潜孔と切り欠きが交互に設置されている
- ・水深が大きい



図 - 4 セイシュ（横波）の発生状況

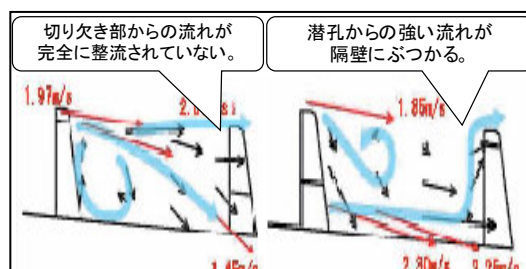


図 - 5 大型魚道内の複雑な流れ

3. 魚道の改善に向けた検討

(1) 目的と検討手法

魚道における課題の解決に加え、底生魚など遊泳力が小さい、あるいは、遊泳しない水生生物にも配慮して多様な生物の移動を可能とすることを目指し、魚道配置・魚道形式の検討を実施した。また、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、現地通水実験を組み合わせ、改善魚道の設計・運用方法の検討を行った。

(2) 設計対象魚種と設計条件

魚道の対象魚は、文献調査、現地調査結果の他、聞き取り調査やアンケート等を踏まえ、次の16種とした。

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

魚道の設計対象魚種16種のうち、せせらぎ魚道を対象とした5種（カワヤツメ、ウナギ、アカザ、カジカ、ヨシノボリ類）を除く浮遊魚11種の設計条件を表-2に示す。

表 - 2 設計対象魚の諸条件

設計対象魚種	アユ	サクラマス	イワナ	ヤマメ	サケ	コイ	オイカワ	ウグイ	ウケクチウグイ	ニゴイ	ニジマス
必要水深 [cm]	4.0	7.5	10	14	12.5	10	6.0	12	13	10	12.5
最大流速 [m/s]	1.0	4.0	1.3	2.4	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.7

(3) 魚道配置と形式

魚道構造の改善は、改築前の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（図-6参照）。なお、大型魚道・小型魚道の勾配は改築前と同様1/15、1/17である。

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で蛇行状に配置した（勾配1/20）。

(4) 横波（セイシュ）の防止とプール内の複雑な流況の解消

大型魚用魚道は、横長の平面形状に起因するプール内の複雑な流況の解消と横波対策が必要であった。そのため、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。この他、潜孔と切り欠きの交互配置を取りやめ、潜孔は片側のみの配置とした。

また、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ており、遡上調査においても特段問題がないことから、従来形状を移設することとした。ただし、小型魚用魚道においても、魚道改築に合わせて折返しプールの半円形状化とカゴ詰め玉石工の配置は実施している。

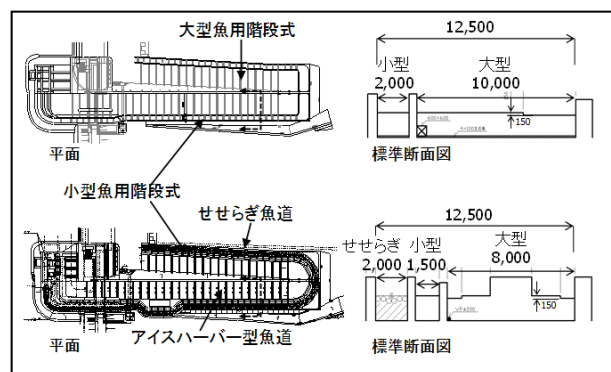


図 - 6 魚道平面図・断面図（改築前後）

(5) 改築後の通水試験結果

表-3 に示す魚道の設計流量範囲をもとに下記の越流水深に対して流況の確認を行った。

大型魚道： 15 cm, 18 cm, 24 cm, 小型魚道： 13 cm, 14 cm, 15 cm

※15 cm（一般部で全対象魚が遡上可能な流量）,

24 cm（春季・秋季の大型遡上魚サクラマス・サケが遡上可能な流量）

表 - 3 大型魚道と小型魚道の設計流量範囲

魚道種別	対象魚	時期	魚種名	遊泳条件		一般部越流水深		限界流速Vc		魚道流量	
				突進速度 [cm/s]	確保水深 [cm]	最大値 [m]	最小値 [m]	最大値 [m/s]	最小値 [m/s]	最大値 [m³/s]	最小値 [m³/s]
大型魚道	大型魚	春季	サクラマス	400	7.5	0.24	-0.07	1.60	0.72	1.682	0.120
		秋季	サケ	500	12.5	0.24	-0.02	1.60	0.92	1.682	0.203
		その他	ニジマス	170	12.5	0.24	-0.02	1.60	0.92	1.682	0.203
	小型魚	春季	アユ	100	4.0	0.15	0.04	0.99	0.51	1.003	0.381
		秋季	イワナ・ヤマメ	130	14.0	0.24	0.14	1.25	0.96	1.682	0.936
		その他	コイ・フナ・オイカワ・ウグイ・ウケチウグイ・ニゴイ	100	13.0	0.15	0.13	0.99	0.92	1.003	0.871
小型魚道	小型魚	通期	コイ・フナ・オイカワ・ウグイ・ウケチウグイ・ニゴイ	100	13.0	0.15	0.13	0.99	0.92	0.175	0.143

大型魚道及び小型魚道の通水試験結果を図-7 に示す。

大型魚道	ケース		No.1	No.2	No.3
	越流水深設定値（ゲート開度）		24cm	18cm	15cm
	限界流速設計計算値 Vc		1.25m/s	1.08m/s	0.99m/s
	越流部の流速		一般部 1.27 1.69 隔壁 流速値:m/s	一般部 0.98 1.42 隔壁 流速値:m/s	一般部 0.88 1.34 隔壁 流速値:m/s
小型魚道	ケース		No.4	No.5	No.6
	越流水深設定値（ゲート開度）		15cm	14cm	13cm
	限界流速設計計算値 Vc		0.99m/s	0.96m/s	0.92m/s
	越流部の流速		一般部 0.82 1.03 隔壁 流速値:m/s	一般部 0.83 1.02 隔壁 流速値:m/s	一般部 0.87 1.05 隔壁 流速値:m/s
大型魚道	プール内流況		空気混入による 気泡発生範囲 水面変動 (セイシュ) 問題なし ○	空気混入による 気泡発生範囲 水面変動 (セイシュ) 問題なし ○	空気混入による 気泡発生範囲 水面変動 (セイシュ) 問題なし ○
	プール内流況		・越流部：縦断方向プール長の1/2に気泡発生 ・非越流部：気泡発生なし	・越流部：縦断方向プール長の1/3に気泡発生 ・非越流部：気泡発生なし	・越流部：縦断方向隔壁直下流の一部に気泡発生 ・非越流部：気泡発生なし
小型魚道	プール内流況		空気混入による 気泡発生範囲 水面変動 (セイシュ) 問題なし ○	空気混入による 気泡発生範囲 水面変動 (セイシュ) 問題なし ○	空気混入による 気泡発生範囲 水面変動 (セイシュ) 問題なし ○
	プール内流況		・上流隔壁から1/2まで気泡発生	・上流隔壁から1/3まで気泡発生	・上流隔壁の直下流の一部に気泡発生

図 - 7 大型魚道と小型魚道の通水試験結果

通水試験により、以下のことが明らかとなった。

- ・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

以上のことから、改築後の魚道はゲート開度操作・流量の増減により、当初の設計条件（必要水深，最大流速）を満足する魚道であることを確認した。なお、改築後の運用は、大型魚道でゲート開度 24 cm，流量 1.637m³/s，小型魚道でゲート開度 13 cm，流量 0.133m³/s，せせらぎ魚道でゲート開度 8 cm，流量 0.022m³/s にて行っている。

4. モニタリング調査結果

(1)魚道の改築前後における比較

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、全数採捕調査を実施した。調査結果を表-4に示す。なお、調査時期は各年度6月～7月上旬とし、期間は各年度数週間程度とした。

改築後（H24年度）に魚道で遡上が確認された魚種は22種であり、改築前（H22年度）と比較して8種増加している（カワムツ、ウケクチウグイ、モツゴ、シマドジョウ、アカザ、ニッコウイワナ、（サクラマス）等）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。この他、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が確認されたことは、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。

また、H25年度に魚道で遡上が確認された魚種は24種と、H24年度と同程度の魚種が確認されている。なお、設計対象魚種に絞って比較すると、設計対象魚種16種に対して、H24～H25年度までの採捕調査にて12種が確認されており、このことから魚道改築は魚道構造の改善に効果があったものと考えられる。

(2)大型・小型魚道における設計対象魚種の確認状況

6～7月期に実施した全数採捕調査から、設計対象魚種16種のうち、せせらぎ魚道の対象5種を除く11種に対し8種の遡上を確認することができた。とくに、H24年度においては、設計対象魚種のうち、最も水理条件が厳しく、設計条件となっていたウケクチウグイの遡上を確認している。

また、6～7月期に実施した全数採捕調査では確認できていない3種（サケ、コイ、フナ（フナ類））のうち、サケについては秋季のサケ遡上調査において魚道での遡上を確認している他、コイ、フナ（フナ類）については魚道での遡上確認はされていないものの春季・夏季・秋季における魚類の生息状況調査にて生息が確認されている。

なお、大型魚道においては、春季・秋季の代表的な大型遡上魚であるサクラマス（H24・25年度）・サケ（各年度秋季）やニジマス（H25年度）が確認されている。

表-4 魚道上流端における採捕調査結果

No.	目名	科名	種名	平成22年度		平成24年度			平成25年度		
				【改築前】		【改築後】			【改築後】		
				大型魚道	小型魚道	大型魚道	小型魚道	せせらぎ魚道	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			ギンブナ		○	○	○		○		
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	コイ	コイ	ビワヒギ	○		○	○		○		
10			タモロコ							○	
11			カマツカ	○	○	○	○		○	○	
12			ニゴイ	○		○	○		○	○	
13			スゴモロコ			○	○		○		
14			スゴモロコ属	○	○						
15			カラドジョウ								○
16			シマドジョウ					○			○
17			シマドジョウ属								
18	ナマス	ナマス	ナマス	○	○	○			○	○	
19		アカザ	アカザ					○			○
20		アユ	アユ	○	○	○	○	○	○	○	
21		ニジマス	ニジマス						○	○	
22		サクラマス	サクラマス			○			○		
23	サケ	サケ	ヤマメ	○	○	○	○	○	○	○	
24			ニッコウイワナ			○		○	○		
25			ブラウントラウト			○		○	○		
26	カジカ	カジカ	カジカ	○	○	○	○	○	○	○	○
27		サンフィッシュ	コクチバス			○	○		○		○
28			オオクチバス								○
29	スズキ	スズキ	オオヨシノボリ		○						
30		ハゼ	トウヨシノボリ					○		○	○
31			ヨシノボリ属		○						
計	6目	11科	28種	10種	12種	14種	14種	9種	17種	13種	10種
延べ調査日数				14種		22種			24種		
				11日間 6/7～17 （連続）		27日間 6/6～7/4 （6/20・21除く） （魚道断水）			32日間 6/6～7/10 （6/19・20・22除く） （魚道断水）		

(3)せせらぎ魚道における設計対象魚種の確認状況

同じく6～7月期に実施した全数採捕調査から、設計対象魚種16種のうち、せせらぎ魚道の対象5種に対しカワヤツメを除く4種（ウナギ、アカザ、カジカ、ヨシノボリ類）の遡上を確認することができた。

5. 結論

- 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。

6. 今後の課題

改築後の魚道は、魚類の遡上に対して一定の効果があったものと考えられるが、引き続きモニタリング調査を実施し、大型魚道、小型魚道、せせらぎ魚道の適切な流況や流量等について、検討していく必要がある。

今後も、実際の運用下であるべき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。