

二 風 谷 式 魚 道 ゲ ー ト
Nibutani Style Fishway Gate
(Swing-shoot-type)

沙流川ダム建設事業所	田中秀幸	Hideyuki Tanaka*
沙流川ダム建設事業所	山本正毅	Masaki Yamamoto**
沙流川ダム建設事業所	加藤 剛	Tuyosi Katou***

The flap gate for fishways in which each fish ladder is operated separately was developed as an accessory facility to the river gate. If a conventional fishway gate is installed in the fishway facility of a dam with a greatly fluctuating water level, dimension enlargement and gate mechanism complexity are among the anticipated problems. We developed a sector gate type fishway gate by mobilizing water way itself, ensuring excellent economy and stable function regardless of water level fluctuation.

Key words: fishway gate, sector gate

1. ま え が き

二風谷ダムは、沙流川総合開発事業の一環として、流路延長104kmの沙流川の河口より21km地点に建設される建設省直轄の多目的ダムである。

沙流川は、サケ、サクラマス、シシャモ等が遡上する自然が残された河川である。

この内、特にダムの設置による影響が懸念されているのは、河川上流端付近で産卵するサクラマスである。

サクラマスは、ふ化後1年間河川で生活することおよび河川に遡上する時期が早い為、サケ、シシャモの人工ふ化事業が軌道に乗っているのに対し、未成熟な親魚を捕獲するため、その採卵までの蓄養が難しいなど人工ふ化事業の困難性を有している。従って、ダムが建設されると再生産の場を失うこととなり、生態系維持あるいは水産資源への悪影響が懸念される。

このため、当ダムでは、ダムの構造、水位変動幅を考慮して、その効果が最大限に生かされるように新しい魚道ゲートを開発したので、その計画・設計および従来型ゲートとの比較検討を報告するものである。

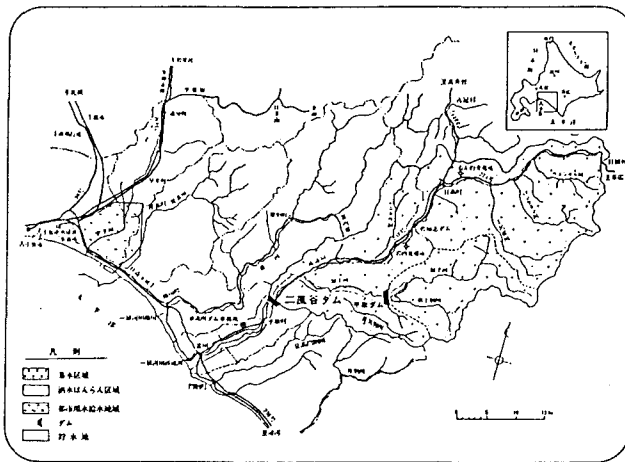


図-1 流域図

* Chief, The Saru River Dam Construction Office, Sarugun, Hokkaido, Japan

** Deputy Chief, The Saru River Dam Construction Office, Sarugun, Hokkaido, Japan

*** Chief Engineer, The Saru River Dam Construction Office, Sarugun, Hokkaido, Japan

2. 魚道の基本構造

(1) 魚道の水路幅

小山長雄（信州大学）によれば、魚道内における魚は、魚道の側壁沿いに遡上するものが多く、多量の魚が登るとしても、魚道一杯に分散して登ることはないとされている。〔1〕

この点から魚道の幅は2 m程度あれば良いことになるが、幅の大きい場合はその余剰水量が呼び水的な効果に利用されており、魚を魚道入口部に集めることに役立つとされている。〔1〕

一方、北海道における実績は、幅2.0～2.5 m程度である。当ダムでは、発電所が常時放流しており、魚道の呼び水的効果を期待できることから水路幅は $B = 2.0$ mとした。

(2) 魚道の勾配 I、水槽長 L

アユを対象とした魚道では、魚道勾配は $1/10 \sim 1/16$ 程度が適当とされており、小山の調査によれば遡上率がよい魚道は $1/10 - 3$ 例、 $1/13 - 2$ 例、 $1/15 - 3$ 例、 $1/18 - 1$ 例で、 $1/10 - 1/15$ という範囲であり、このことから日本の階段式魚道では $1/10$ が最大勾配限界ではないかとされている。〔1〕

当ダムの場合、魚道の長さを考慮し、魚道勾配を $1/10$ とした。

また、水槽長は、越流水深0.3 mに対し、魚道勾配 $1/10$ から、 $L = 3.0$ mとした。

(3) 魚道の細部構造

以上の基本構造と、北海道水産部の「魚道施設設計指針」に基づき、魚道の構造を以下のように定めた。

形 式	階段式	越 流 深	0.1～0.3 m
水路勾配	$1/10$	流 量	$0.125 \sim 0.250 \text{ m}^3/\text{s}$
水 路 幅	2.0 m	対 象 魚	サクラマス
隔壁間隔	3.0 m	落 差	0.3 m
袖 高	1.0 m		
切り欠き	半円形で上幅0.9 m 半径0.6 m片側統一配置		
潜 孔	一辺0.2 m×0.2 m 水路床上に直接設置 上部切り欠きの反対側		
水 深	1.0 m		

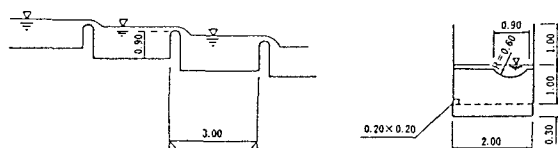


図-2 魚道構造図

3. 従来型魚道ゲートとの比較検討

(1) 比較検討

実績によれば、有効稼働落差（上流水位の変動幅）の最大は3.5 m（中国地建・高瀬堰）であるが、二風谷ダムの場合、有効稼働落差は最大6.9 m（常時満水位 $EL45.00+1.0\text{m}-EL39.10$ ）となり、最大実績値の約2倍となる。従って、転倒ゲート形式の魚道ゲートを採用すると所要寸法の長大化、ゲート機構の複雑化等によって不具合を生じることが予想されたのでセクターゲート形式の魚道ゲート（二風谷式魚道ゲート）を採用することとした。

従来の魚道ゲートは、魚道隔壁の一つ一つをゲート化し、有効稼働落差に対応させようとの発想に基づいたものであるが、セクターゲート形式は魚道の一部を可動式とし、水路そのものを上下に揺動させて有効稼働落差に対応しようとするものである。

二風谷ダムは沙流川下流域内に位置するため、漁業資源に与える影響は大きく、魚道としての効用に期待するもの大であると考えられ魚の遡上効果に優れた形式の選定が必要となる。

また、その形式選定に当たっては、機能・構造・操作性・維持管理性・並びに経済性に対する慎重な検討が必要である。

以上の点を考慮して、従来型魚道ゲートと、二風谷式魚道ゲートとの比較検討を行った。比較対象とした従来型魚道ゲートは以下の通りである。

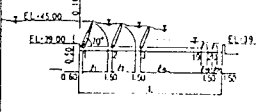
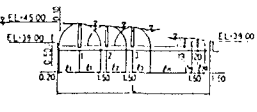
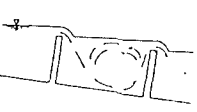
①下流側転倒式フラップゲート

②上下流両側転倒式フラップゲート

上記中、①の下流側転倒フラップゲートは、魚道ゲートとしての国内実績のほとんどを占めている。

また、②の上下流両側転倒式魚道ゲートは、①形式の改良案として最近登場したものである。実施例としては平成2年現在3例ある。各形式の比較を下記に示す。

Table 1 Comparison of fishway gates

	下流側転倒式フラップゲート	上下流両側転倒式フラップゲート	二風谷式魚道ゲート(セクター式ゲート)
基本諸元	ゲート段数 20段 ゲート室全長 107.5m 水路径間 2.0m 魚道幅員(ゲート間) 3.3 ~ 3.0m 利用水深 5.9m 基準水路勾配 1/17.7 (常時満水位時平均) (1/27.7 ~ 1/10) 設計水位差 1.0m 操作水位差 設計水位差に同じ 開閉速度 20分(70°)	ゲート段数 20段 ゲート室全長 109.1m 水路径間 2.0m 魚道幅員(ゲート間) 7.9 ~ 3.0m 利用水深 5.9m 基準水路勾配 1/17.7 (常時満水位時平均) (1/26.3 ~ 1/10) 設計水位差 1.0m 操作水位差 設計水位差に同じ 開閉速度 20分(90°)	ゲート段数 21段 ゲート室全長 60m 水路径間 2.0m 隔壁間隔 3.0m 利用水深 6.9m 基準水路勾配 1/10 (常時満水位時平均) 設計水深 2.0m (水路上の魚道水深) 操作水深 設計水深に同じ 開閉速度 0.1m/min
配置・構造・機構	 ゲートは、下流側のみ転倒可能なフラップゲートであり、20段を3ブロック(4門、6門、10門)に分け、配置している。各ブロックの最上流ゲートのみを油圧シリンダによる軸駆動とし、それより下流のゲートはゲート天端をリンク結合し稼働させる機構としている。	 ゲートは上下流に180°転倒可能なフラップゲートであり、20段を3ブロック(4門、6門、10門)に分け、配置している。各ブロックの最上流ゲートの主軸に油圧シリンダ2本を対向して設置駆動し、それより下流のゲートは主軸間をリンク結合し各々の軸駆動より稼働させる機構としている。	 ゲートは、扉体上面に魚体を固定した魚道水路を設けた扇形断面型断面としている。扉体下流端に回転軸を配し、扉頭部を開閉装置によって上下に昇降させ、水位の変化に対応させる。
機能(水理特性)	  (1) ゲートを全倒伏させた時の水槽の残りの長さ(上図のa寸法)が少ないと魚の遡上効果が損なわれる。 魚がジャンプするのに必要な安定流れが破壊され、また助走長が短くなり魚が疲労し易いことによる。(a=1.2 ~ 2.5a以上とされている) (2) 上流水位が低下し、ゲートの起立角αが小さくなると魚がゲート裏に迷走し遡上効果を損なう。ゲートの寸法が長大化するほどこの傾向は顕著である。 (3) ゲートの起立角αが大き場合は、魚の遡上を助ける水槽表面の逆流が発生するが(Fig.-A)上流水位が低下して角度αが小さくなると水槽表面の逆流は発生しなくなり魚の遡上効果が減殺される。(Fig.-B) (4) NWL45.000以下の水位に対応。	  (1) ゲートを全倒伏させた時の水槽の残りの長さ(上図のa寸法)が少ないと魚の遡上効果が損なわれる。 魚がジャンプするのに必要な安定流れが破壊され、また助走長が短くなり魚が疲労し易いことによる。(a=1.2 ~ 2.5a以上とされている) (2) 魚のゲート裏への迷走状態は生じない。 但し、上流水位が低下し、ゲートの起立角αが小さくなると扉頭部付近流速の速い部分が長くなり(上図のs寸法)魚の遡上効果を損なう。 (3) ゲートの起立角αが大き場合は、魚の遡上を助ける水槽表面の逆流が発生するが(Fig.-A)上流水位が低下して角度αが小さくなると水槽表面の逆流は発生しなくなり魚の遡上効果が減殺される。(Fig.-B) (4) NWL45.000以下の水位に対応。	 (1) 固定部魚縁と同一寸法を確保できるので、魚の遡上効果にとって好ましいと判断される。 (2) ゲートの全ての開度に対して安定した状況の確保が可能であり、魚の迷走等の状況は生じない。 (3) ゲートの全ての開度に対し、流水状況が安定しているとともに魚の遡上を助ける水槽表面の逆流が発生し、魚の遡上にとって好ましい。 (4) WL46.000以下の水位に対応。
動力および設備概算値	(1) 電動油圧シリンダ方式とし、各ブロック毎に1本、合計3本のシリンダで駆動する。 (2) 仕様 定格油圧力 13.7MPa シリンダ φ550 × 3基 1177119-1 × 速度 約1.3m × 0.06m/min 電動機 3.7kw × 6台 (3) 設備重量 529.0tf	(1) 電動油圧シリンダ方式とし、各ブロック毎に2本、合計6本のシリンダを対向設置して駆動する。 (2) 仕様 定格油圧力 13.7MPa シリンダ φ550 × 6基 1177119-1 × 速度 約2.0m × 0.06m/min 電動機 3.7kw × 6台 (3) 設備重量 682.5tf	(1) 電動ドラムワイヤロープ巻取式としゲート先端部にロープシープを取付けワイヤロープを巻取り、巻戻すことによりゲートを操作する。 (2) 仕様 ドラム径 φ1800 ワイヤロープ 54 × 20本掛(片側10本掛) (6 × 36S SUS304) φ1030 ロープシープ径 φ1030 電動機 11kw × 1台 (3) 設備重量 435.0tf

	下流側回転式フラップゲート	上下流側回転式フラップゲート	二風谷式魚道ゲート(セクター式ゲート)
維持管理	(1) 水密部鋼長が長く(全長191.2a)ゴムの取替時に不利。 (2) 開閉装置を一個所の操作室に集めることが出来るので、維持管理上有利である。ただし、開閉装置は3台必要。 (3) 遊水式なので補修作業に当たって閉門的な制限が必要。 (4) イイル、バッキン等の定期的な交換が必要である。ゲートの使用頻度が高いので、特に注意を要する。 (5) ポンプ、モータ等の所要台数が多く、故障の確立が高い。	(1) 水密部鋼長が長く(全長182a)ゴムの取替時に不利。 (2) 開閉装置が二個所の操作室に分散し、取扱い上、また、維持管理上不利である。開閉装置は6台必要。 (3) 同 左 (4) 同 左 (5) 同 左	(1) 水密部全長が短く(全長約21a)ゴムの取替作業が容易。 (2) 開閉装置は1個所の操作室に設けられ、維持管理上有利、開閉装置は1台。 (3) ドラムワイヤロープを介して開閉式構造であるので、特に閉門的な制限は不要である。 (4) 交換部品としては、水密ゴム、ワイヤロープ等が考えられるが、各品とも比較的容易に交換可能である。 (5) 開閉装置は1台であり、各部の構造・機構が開閉のため故障の確立は3案中もっとも低い。
配付	(1) 扉高が高く、ゲート段数が多いので、据付時に精度が要求される。特に戸当金物の据付は精度が高い。	(1) 同 左	(1) 据付は、通常の河川ゲート程度の精度でよく容易である。 (2) 水密部がやや難しく、据付時に精度が要求される。
土木構造との係わり	(1) ゲート室全長が長い(全長107.5a)土木構造が長大となりコンクリートボリュームが増大する。 (2) 土木構造が複雑。 (3) 現設計の堤体の構造配置に適合し難い点が生じるため、固定式魚梯および水路の配置等と合わせて設備全体の再検討が必要である。	(1) ゲート室全長が長い(全長109.1a)土木構造が長大となりコンクリートボリュームが増大する。 (2) 土木構造は3案中最も複雑。 (3) 現設計の堤体の構造配置に適合し難い点が生じるため、固定式魚梯および水路の配置等と合わせて設備全体の再検討が必要である。	(1) ゲート室全長は、最も短い(全長80.0a)但しゲート室の必要空間は最大となる。 (2) 土木構造は簡単。 (3) 魚梯ならびに水路の配置は、現在の土木構造に合致する。
実施例・その他	(1) 魚道ゲート保守点検後、設計条件でゲートを起立させるために魚道ゲート下流に制水門が必要。 (2) 水位に対する各ゲートブロック間の調整が必要であり、操作系統が複雑となる。 (3) 魚道の再使用開始時に調整作業があるとゲートの設計条件以上の負担がかかる恐れがある。 (4) 実施例は、ほとんどこのタイプであり、実績上は最も安定している。	(1) 同 左 (2) 同 左 (3) 同 左 (4) 実施例は現在3例で、加古川大堰(近畿地建妙見堰(北陸地建)、中津大堰(九州地建)がある。	(1) 下流制水門は不必要。 (2) 操作は簡単。 (3) 万一調整作業があっても、設計条件以上の負担が作用することはない。 (4) 魚道ゲートとしての実施例はない。但し、ドラムゲート、セクターゲート等の類似例の実績はある。

(2) 留意事項の検討

本魚道ゲートの形式であるセクターゲートタイプは、魚道としての実績がないため、下記項目について検討を行い、信頼性、安全性、操作性を確認した。

- ①越流時における構造部の振動(横振動含む)の検討
- ②上流水位変動に伴う高使用頻度に対応した対策の検討
- ③急出水時(上流側制水門作動不可能と想定)のゲート室内水位上昇に対する検討
- ④スレンダな構造物(幅2.0m、長さ59.4m)に対する安全性の検討
- ⑤メンテナンスの考え方(材質、塗装、塗り替え、取替部品等について)
- ⑥開閉装置の形式検討(ワイヤロープ式、油圧シリンダ式等)

4. 二風谷式魚道ゲートの構造

1) 基本構造並びに配置

堤体上に配置される魚道の最上流部を、可動式魚道として有効稼働落差に対応させる。

有効稼働落差 h は、常時満水位 $EL45.00$ と最低水位 $EL40.00$ にそれぞれ 1.00 の水位変動幅を余裕として与え、 $EL46.00 \sim EL39.00$ までの $7.00m$ に対し、越流水深の $0.1m$ を減じた $h = 6.9m$ とする。

有効稼働落差に対する基本水路勾配は $i = 1 : 10$ より、可動部所要長さは $L = 60.0m$ となる。

$$L = \frac{h}{i} + \alpha = \frac{5.9}{1/10} + \alpha = 59 + \alpha = 60.0m$$

ここに α = 可動部の機能を確保するために必要な数値、ここでは、 $\alpha = 1.0m$

可動式魚道の始端は、ダム全体のレイアウト等を考慮し、ダム軸より $10m$ 下流地点とする。

可動式魚道をセクターゲート形式とし、ゲート上面は前述「魚道の細部構造」に合致させた魚道水路とする。

扉体下流端に回転軸(主軸)を配置し、扉頭部(扉体上流端)を開閉装置によって上下に昇降させ水位の変化に対応させる。

ゲート室は底面標高を $EL31.25$ とし、ダム軸下流 $9.9m$ から $60.1m$ の間に設ける。

尚、ゲート室内には降雪、降雨並びに万一の溢水に備えて、排水ビット及びポンプが設備されている。

(2) 二風谷式魚道ゲート諸元

形 式	鋼製シェル構造セクターゲート	水 密 方 式	上下流端部三方ゴム水密
設 置 数	1門	開 閉 速 度	0.1 m/min
回 転 半 径	59.40 m	開閉装置形式	電動ドラムワイヤロープ巻取式
水 路 径 間	2.00 m	開閉装置標高	EL48.00
魚 梯 間 隔	3.00 m	操 作 方 式	機側及び遠方操作 による自動運転
利 用 水 深	5.90 m (最大 6.90 m)	扉 体 材 質	ステンレス鋼材
基準水路勾配	1 : 1.0 常時満水位 EL45.00 に対応	許 容 応 力	水門鉄管技術基準 第2章第12条1項「常時使 用状態にある水門扉」の場 合による
魚 梯 段 数	21段		

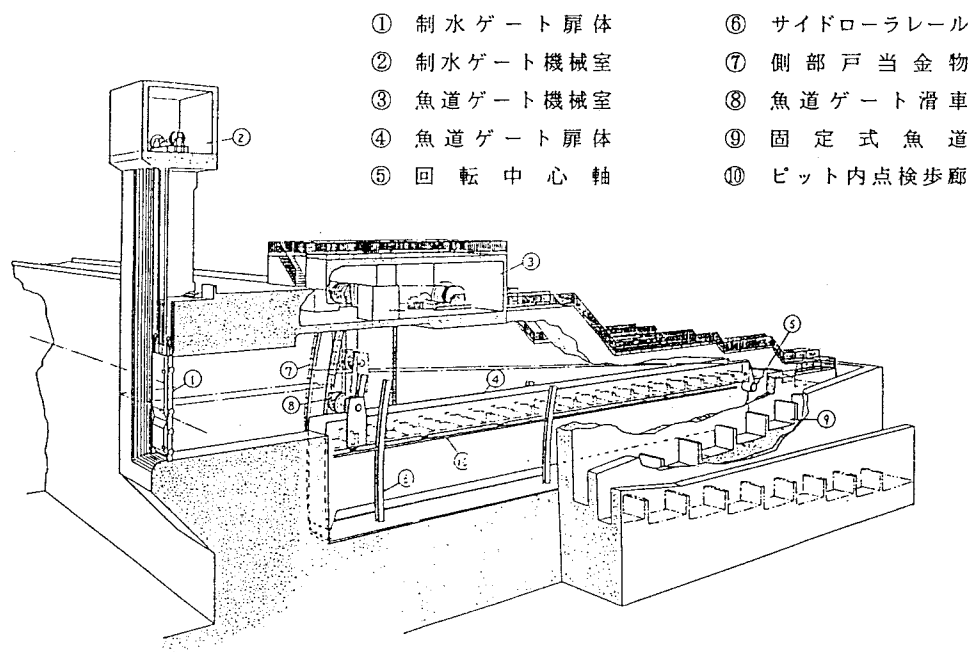


図-3 二風谷式魚道鳥瞰図

(3) 各部の構造および機能

a) 扉 体

扉本体はシェル構造とし、上面板、側面板、底面板、水平補助桁、ダイヤフラムで構成される。

材質はメンテナンスフリーを考慮し、全てステンレス鋼材を使用している。

b) 魚 梯

隔壁に半円形の切り欠きを設けることや、天端を45°カットすること等、その形状が複雑となるため、形状が自在にできるFRP製を採用したことも、本二風谷式魚道ゲートの特長の一つである。

側壁並びにゲート上面板(魚道水路底面)は、光の反射が魚の遡上に悪影響を及ぼすことを考慮し、表面は梨地肌とした。

c) 開閉装置

浮力を積極的に利用し、開閉装置を簡易なものまたは不要とする案も考えられたが、ダム湖のうねりによる水位変動、操作の確実性、維持点検性を考慮して専用の開閉装置が設けられている。

開閉装置は、ワイヤロープウインチ式を採用した。簡単な機構であり取扱・維持管理が容易で故障も極めて少ない利点を有し、設備としての経済性にも優れている。

ワイヤロープは、ロープグリースの魚類に対する影響を考慮して、無給油とし、ステンレスロープを採用した。

4. 結論

二風谷ダム魚道ゲートは現在工事中であり、その有用性については今のところ不明であるが、有効稼働落差が3.5m～4m以上に達するような魚道ゲートの場合は、二風谷式魚道ゲートのようなセクターゲート形式の魚道ゲートが適しているといえる。

本ダムの場合、堤高が低いことや上流の水位変動幅が小さいことから、本形式のゲート1門で対応したが、上流水位の変動幅が大きいダムでは、本形式の魚道ゲートを下層用、上層用と複数段配置し、制水ゲートで一方を閉塞することにより対応が可能と考えられる。

これまでに、二風谷式魚道ゲートの紹介をしてきたがその特長は以下の通りである。

- 1) 有効稼働落差（上流水位の変動幅）の大小にかかわらず、安定した機能を確保出来る。
- 2) 魚梯間隔の規則正しい配列が可能であり、魚の遡上にとっても好ましい。魚梯間隔は魚種に合わせて、任意かつ適正に選択できる。
- 3) ゲート開度にかかわらず水槽表面の逆流が発生し、魚の遡上し易い流水状況が安定して得られる。
- 4) ゲート開度のいかににかかわらず流量係数がほぼ一定している。
- 5) 簡単な構造であり、規模の大小にかかわらず安定した操作性と信頼性を有する。
- 6) 従来形式と比較して水密線全長が極めて短く、構造単純でありまた、開閉機は簡単な機構のものを一台しか必要とせず、維持管理上有利である。
- 7) 従来形式と比較して、鋼材重量並びに所要動力の低減等が顕著であり、設備としての経済性に優れている。

5. あとがき

二風谷式魚道は、二風谷ダム魚道の特殊性を踏まえ「魚の遡上行動にとってより好ましい設備であることを前提に、より単純に・より確実に・より経済的に・維持管理をより容易に・・・」を目指した上で決定したものである。既に述べた様に本ゲートは、構造上・機能上・管理上など様々な角度から検討を加えて来たので、充分信頼に耐えうる設備であると確信している。

自然保護・生態系維持あるいは漁業資源の国内涵養が叫ばれ、魚道が果たす役割が重要さを増していると思われる昨今、二風谷式魚道完成の暁には、沙流川水系の環境保全、資源の保護育成に役立ち、今後の魚道設備の設計にとっての有意義な一歩となれば幸いである。

参考文献

- [1] 小山長雄：魚道をめぐる諸問題，Ⅰ文献篇・Ⅱ解説篇，Dec.，1967