

直線多段式ローラゲートの止水性改善への取組

高橋 慶太

独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 機械課 (〒518-0294三重県伊賀市阿保251)

現在建設中の川上ダムでは、選択取水設備の形式として直線多段式ローラゲートを採用した。直線多段式ローラゲートの特徴としては、維持管理性、施工性及び経済性に利点があるが、構造上戸溝部や扉間部でのクリアランスが広くなってしまうことから、円形多段式等の他の形式に比べ、全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるのが課題であり、川上ダムでは、この課題に対する対策として、戸溝部内の水密ゴムを補助するためのブラシを付加することとした。本稿では、戸溝部内の隙間の見直し及びブラシを選定した結果と、今後実施する放流試験における止水性の改善効果を検証する方法について報告するものである。

キーワード 直線多段式ローラゲート、戸溝部、漏水量、ブラシ、放流水温

1. はじめに

川上ダムは、淀川水系木津川の左支川である前深瀬川が伊賀市川上地先で川上川と合流した直下に建設する堤高 84m の重力式コンクリートダムで、洪水調節、流水の正常な機能の維持（既設ダムの堆砂除去のための代替補給を含む）及び水道用水の供給を目的とした多目的ダムである。

選択取水設備の形式は、9 形式の中から取水量等を考慮し、直線多段式、直線多重式及び連続サイフォン式の 3 形式に絞込み、①取水性能（水密性）、②維持管理性、③施工性、④経済性を総合的に比較した結果、川上ダムに最も適した直線多段式を採用している。

2. 直線多段式の課題

(1) 水密部構造

直線多段式ローラゲートとは、複数のローラゲートをすだれ状に配し、これを伸縮させることで取水するゲートである。

特徴としては、ダム・堰施設技術基準(案)によると「直線多段式や半円形多段式は、他の形式に比べて、戸溝部や扉間部でのクリアランスが大きくなるため、特に、取水量の小さい設備や取水量の大きい設備での最小取水時には、全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるように、水密ゴム等で止水処理を行う必要がある。」¹⁾とあり、また、水密部構造の解説には「戸溝内部の止水は全取水量に占める漏水量の割合が大きくなるように、

かつ、ゲートの操作上支障とならない大きさの遮水板等を取付ける。」²⁾と記載されている（図-1 参照）。

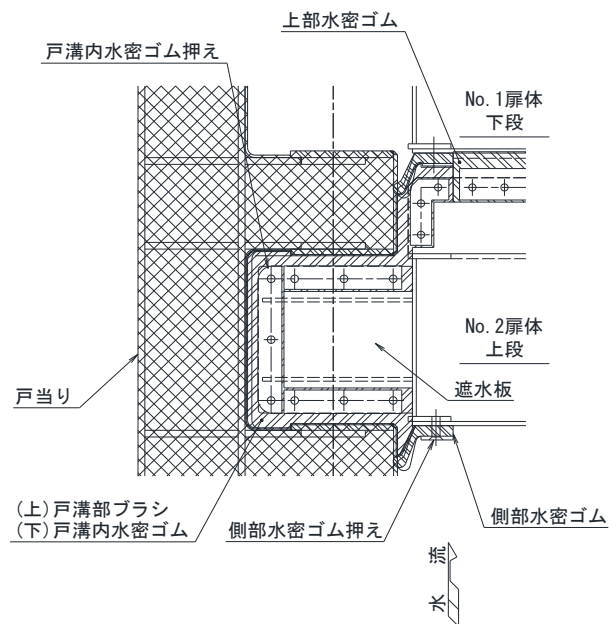


図-1 直線多段式の水密構造平面図 (右岸側)

(2) 他ダムの形式

機構内の特定施設のダム 24 施設、利水ダム及び高さ 15m 以上の調整池 24 施設、計 48 施設において、選択取水設備（表面取水含む）に採用されている形式は表-1 に示すとおり、川上ダムで採用した直線多段式が機構内で最も採用されている形式であることがわかる。

表-1 機構における選択取水設備の形式

| 形式 | 数量 | 施設名 |
|---------------|----|---|
| 直線多段式 (鉛直) | 11 | 浦山、宇連、大島、岩屋、 阿木川、味噌川、徳山、 室生、布目、比奈知、江川 |
| 円形多段式 | 5 | 一庫、日吉、富郷、大山、 小石原川 |
| 半円形多段式 | 3 | 下久保、草木、早明浦 |
| 直線多段式 (傾斜) | 3 | 奈良俣、青蓮寺、寺内 |
| 多重式 | 1 | 滝沢 |
| 多孔式 | 10 | |
| 無し | 15 | |
| 計 | 48 | |

(3) 他ダムの止水対策

a) 遮水板の有無

Aダムでは、表層から取水しているにも拘わらず、ダム下流の放流口水温と、貯水池表層の取水口水温との温度差が約10℃違う冷水放流となった事例がある。

扉体段数が多くなるとクリアランス（隙間）が広い戸溝部も多くなり、隙間面積が増えることで結果的に漏水量が多くなってしまいう傾向にある。

Aダム以外で冷水放流となった事例はないが、他ダムにおける戸溝部の止水（遮水）対策について調査した。

表-1 で示した直線多段式（鉛直）11 基のうち、6 基を対象に調査したところ、全ての戸溝に遮水板を設けているのはAダムを含めた2基であった。

図-2 で示すように、Bダム（3 段扉構成のうち）では、No.2 扉体の戸溝部のみに遮水板と水密ゴムが設置されているが最下部のNo.3 扉体には設置されていない。

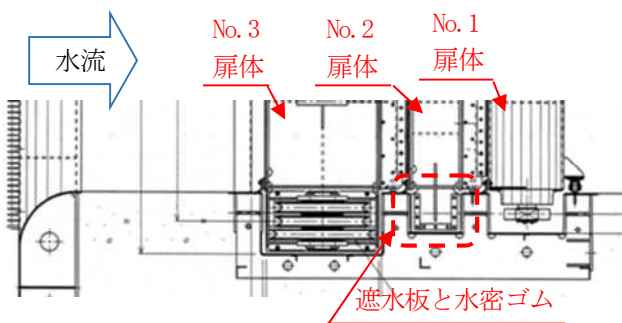


図-2 直線多段式（鉛直）の戸溝部平面図

b) 戸溝部内の隙間

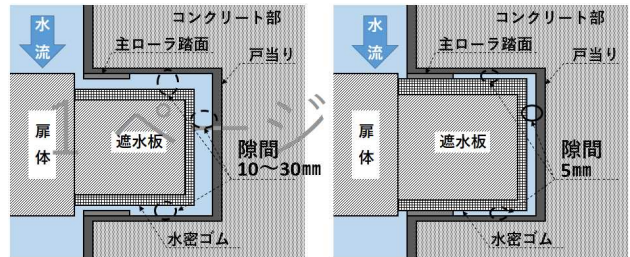
戸溝部内にある戸当りと水密ゴムの隙間は、ゲート動作時（上昇・下降）の揺れによる扉体と戸当りの接触を避けるため10～30mmとしている実績が多い。

3. 対策

冷水放流の事例のあったAダムでは、隙間面積が広いことが要因と考えられたため、止水性の改善を図る目的で戸溝部内の構造に着目し検討した。

(1) 隙間の見直し

川上ダムでは、戸当りと水密ゴムの隙間を実績の多い10～30mmに対し、戸当りの据付精度に考慮できる可能な範囲の5mmにすることとした（図-3 参照）。



他ダムの場合

川上ダムの場合

図-3 戸溝部内の隙間（平面図）

a) 左右岸（径間）方向の隙間

左右岸方向は、サイドローラと戸溝の隙間10mmとなるよう遮水板を大きくし、水密ゴムを取付けて5mmとした。

b) 上下流方向の隙間

上下流方向は、水圧方向を考慮して下流側を狭く（25mm）し、上流側が広く（45mm）なるよう遮水板を設け、左右岸方向と同様に水密ゴムによって5mmとした。

(2) ブラシの検討

戸溝部内の隙間を5mmとすることで止水性の改善を図ったが、さらにゲートの動きにも追従可能で水密ゴムを補助することができるブラシについて検討した。

ブラシとは、写真-1 のようにペンキを塗るハケのような細い繊維を密集させたものである。検討にあたっては、止水性及び柔軟性の2点について評価することとした。

ブラシの素材は、市場性の高い「ナイロン 66」を選定し、サンプルとして6種類を用意し、しなり具合や密集度等の質感から線径0.2mm、0.3mm及び0.6mmの3種類を選定し実験することとした。



写真-1 ブラシ（コーナー部）

a) 止水性

止水性を評価するため、ブラシを通過する流量を計測した。計測にあたっては、中壁を設けた水槽を用意した。その中壁の一部（底部）を切欠き、そこにブラシを取付け、中壁で仕切られた片側の水を水中ポンプによって片側に送り、強制的に中壁両側の水槽に水位差を付けることとした。水槽水位差が 150mm に到達した時点で水中ポンプを停止し、水槽水位差が解消（0 mm）するまでに要した時間を計測した。

表-2 ブラシ線径毎による水槽水位差解消時間

| 水槽水位差 | ブラシ線径 | 時間 (秒) | | |
|--------|-------|--------|---------|---------|
| | | ブラシ無 | φ 0.2mm | φ 0.3mm |
| 150 mm | | 0 | 0 | 0 |
| 125 mm | | 1 | 18 | 14 |
| 100 mm | | 2 | 38 | 31 |
| 75 mm | | 4 | 62 | 48 |
| 50 mm | | 6 | 94 | 71 |
| 25 mm | | 8 | 138 | 102 |
| 0 mm | | 13 | 304 | 193 |

計測結果は表-2 に示すとおり、ブラシ無では 150mm の水槽水位差を 13 秒で解消することに対し、線径 0.2mm では 304 秒を要した。

よって、線径 0.2mm が最も水が流れにくい結果となったことから止水性に優れていると評価した。

b) 柔軟性

ブラシを設けることにより開閉荷重の増大が懸念されるため、開閉荷重相当の抵抗値（反発力）を求めるための押付力を計測した。

計測にあたっては、ブラシを固定するための治具を用意し、ブラシを 1mm 毎に垂直方向に押付けその荷重（押付力）を台はかりによって計測した。

3 種類とも押付け量が 2mm 以上になるとブラシの線自体がたわむことで押付力は低下する傾向となった。

表-3 ブラシ線径毎による押付力

| 押付け量 | ブラシ線径 | 押付力 (kgf) | | |
|---------|-------|-----------|---------|---------|
| | | φ 0.2mm | φ 0.3mm | φ 0.6mm |
| 1 mm | | 2.41 | 4.80 | 7.48 |
| 2 mm | | 2.98 | 5.35 | 7.89 |
| 3 mm | | 2.85 | 5.03 | 6.50 |
| 4 mm | | 2.93 | 4.93 | 7.07 |
| 5 mm | | 1.90 | 4.23 | 6.02 |
| 6 mm | | 1.12 | 3.47 | 5.34 |
| 7 mm | | 0.79 | 2.77 | 5.64 |
| 8 mm | | 0.80 | 2.28 | 5.04 |
| 9 mm | | 0.68 | 2.01 | 5.18 |
| 10 mm | | 0.64 | 1.75 | 5.14 |
| 低下した押付力 | | 1.77 | 3.05 | 2.34 |

計測結果は表-3 に示すとおり、押付け量 1mm の押付

力から 10mm 時点の押付力を比較し、低下した押付力が最も少ない 1.77kgf（2.41kgf - 0.64kgf）だった線径 0.2mm が最も抵抗値（反発力）が少ないため柔軟性に優れていると評価した。

以上の結果から、止水性及び柔軟性ともに評価が高い線径 0.2mm を採用することとした。

(3) ブラシの配置

ブラシは図-4 のとおり、遮水板に取付ける戸溝部ゴム上に押え板によって固定し、構造上ブラシ量（密度）が少ない接合部（半割同士の）とコーナー部には重ねるよう配置した。ブラシは、ボルト接合することによって脱着可能な構造とした。

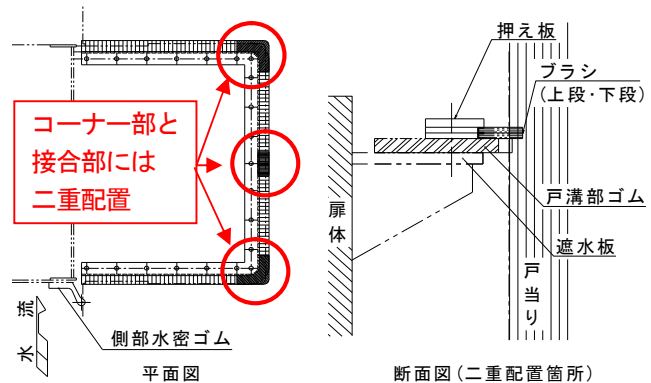


図-4 戸溝部ブラシ一般図

4. 今後の課題

(1) 漏水量による放流水への影響

止水性改善への取組を評価するため、放流水温がどの程度低下するか事前に算出した。

はじめに、扉体隙間からの漏水量による放流水への影響を算出するため、以下の式³⁾により算出する。

$$Q_2 = C \cdot a \sqrt{2gh_2(1 - \rho_1/\rho_2) + 1/\alpha \cdot Q_1^2/A^2 \cdot \rho_1/\rho_2}$$

C : 間隙の流量係数

→ 0.6

a : 間隙の断面積 (m²)

h₂ : 密度境界面からの間隙までの深さ (m)

ρ₁ : 表層水の密度 (g/cm³)

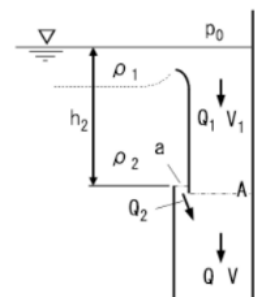
ρ₂ : 低層水の密度 (g/cm³)

α : 損失係数

→ (取水塔内) 0.8

Q₁ : 表層取水量 (m³/s)

A : 取水塔断面積 (m²)



算出にあたっては、計画最大取水量 25.0 m³/s、利水最大取水量 8.0 m³/s、最低維持流量 0.28 m³/s の 3 パターンについて算出する。

表-4 取水量3パターン時の想定漏水量

| 表層取水量 Q_1 | 想定漏水量 Q_2 | 全体取水量 $Q (Q_1 + Q_2)$ |
|----------------|----------------|--------------------------|
| ※ 24.800 | 0.151 | 24.951 |
| ※ 7.900 | 0.074 | 7.974 |
| 0.220 | 0.060 | 0.280 |

※表層取水量は、全体取水量が最大取水量以内とする。

表-4の結果に、シミュレーションデータ (H6.7.1) の表層水の温度 T_s 、低層水の温度 T_b から想定放流水温 T_0 を以下の式⁹⁾により算出する。

$$T_0 = (T_s \cdot Q_1 + T_b \cdot Q_2) / Q$$

結果は表-5に示すとおり、全体取水量 Q が少なくなるに伴い、水温差 ($T_s - T_0$) が大きくなるのがわかる。

表-5 取水量3パターン時の想定放流水温と水温差

| 全体取水量 Q | T_s | T_b | 想定放流水温 T_0 | 水温差 $T_s - T_0$ |
|--------------|--------|-------|-----------------|--------------------|
| 24.951 | 19.287 | 5.923 | 19.206 | 0.081 |
| 7.974 | // | // | 19.163 | 0.124 |
| 0.280 | // | // | 16.423 | 2.864 |

(2) 全取水量に占める漏水量の割合

表-4で算出した想定漏水量 Q_2 を基に、課題とされる全取水量に占める漏水量の割合を算出した。

結果は表-6に示すとおり、川上ダム (予想) は 21.4% となり、冷水放流の事例のあるAダム (32.8%) と比較すると約 10%改善できることから、Aダムの事例のような冷水放流には至らないと想定できる。

なお、この漏水量の割合 21.4%はブラシを付加していない隙間面積 (0.1096 m^2) による数値のため、更に良い結果に繋がるのが期待される。

表-6 全取水量に占める漏水量の割合

| 項目 | | Aダム | 川上ダム (予想) |
|-------------------|---------|-------|--------------|
| 全体取水量 (m^3/s) | Q | 0.70 | 0.280 |
| 表層取水量 (m^3/s) | Q_1 | 0.47 | 0.220 |
| 想定漏水量 (m^3/s) | Q_2 | 0.23 | 0.060 |
| 漏水量の割合 (%) | Q_2/Q | 32.8 | 21.4 |
| 隙間面積 (m^2) | | 0.884 | 0.1096 |

(3) 放流試験

川上ダムでは令和3年度より試験湛水を開始する予定である。試験湛水中には、放流試験として当該設備による放流水温と開閉荷重の計測を行う計画である。

放流水温の計測では、これまでに述べた対策を検証するため、最低維持流量 0.28 m^3/s 時における放流口と表層の水温を計測し、表-5で示した想定される水温差 ($T_s - T_0$) が 2.864°C以内であれば有効であると評価でき

る。

開閉荷重の計測では、ブラシを付加したことによって電流値が定格値を超えることにつながっていないことを確認する。仮に、定格値を超える結果であればブラシ量の密集度を低減させるなどの調整を行う予定である。

5. まとめ

本稿では、直線多段式における漏水量の割合が大きくなる課題に対し、他ダムの実績を参考に戸溝部内の隙間を遮水板と水密ゴムによって5mmとし、また、通過流量及び押付力を計測する実験を行うことで、止水性と柔軟性に優れた線径 0.2mmのブラシを選定することができた。

結果、漏水量の割合は、冷水放流の事例のあるAダムに比べ約 10%改善できることから、冷水放流には至らないと想定することができた。

さらに、想定漏水量及び想定放流水温を事前に算出することで、止水性改善への取組を評価する指標も示すことができた。

今回のブラシを付加する対策は、機構初の試みでありボルト接合による脱着可能な構造としたことで、既存ダムの直線多段式ローラゲートへの利用も可能と判断できる。

今後は、想定した放流水温と開閉荷重を試験湛水や放流試験によって検証し、更なる改善に繋がるよう取り組んでいく予定である。

さいごに、本稿をとりまとめるにあたり、施工者である西田鉄工株式会社はじめ、多数の方々にご協力頂いたことに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人ダム・堰施設技術協会. 令和3年1月. ダム・堰施設技術基準 (案) (マニュアル編) - p. 441.
- 2) 社団法人ダム・堰施設技術協会. 令和3年1月. ダム・堰施設技術基準 (案) (マニュアル編) - p. 452.
- 3) 一般財団法人ダム技術センター. 1984. ダム技術 Vol. 2-4 選択取水設備の水理設計 - p. 14.