

水密ゴム取替施工において注意すべき 意外な落とし穴

内田 颯太¹

¹ (独) 水資源機構 沼田総合管理所 奈良俣ダム再生事業推進室
(〒378-0051 群馬県沼田市上原町 1682)

水密ゴムとは、流水を止水するために扉体外周や戸当りに設置される重要な水門構成部品である。常用洪水吐きのようなダム用高圧ゲートでは、過酷な条件下で確実な止水性が要求されることから、据付には優れた技術力や細心の注意が必要となる。

高山ダムでは、2017・18年度に常用洪水吐き設備主ゲートの水密ゴムを取替えた。その中で、底部水密ゴム固定部の不具合対応や放流中の側部噴流の補修といった特殊な施工を実施した。本稿は、これらの事案が発生した原因と補修施工の一例について報告するものである。

キーワード：底部水密ゴム、袋ナット、側部噴流、側部水密ゴム、背圧

1. はじめに

高山ダムは、木津川支川の一つ名張川の最下流に建設され、1969年に完成した流域面積615km²、有効貯水量4,920万m³のアーチ重力式コンクリートダムである。洪水調節、流水機能の維持（不特定かんがい等含む）、水道用水の供給及び発電を目的としており、これらに対応するため多種多様な放流設備を管理している。

そのうちの1つ常用洪水吐き設備主ゲート（以下「主ゲート」という。）は、洪水時の下流高水流量を低減するための洪水調節用ゲートである（写真1）。ゲート諸元を表1に示す。高山ダムの洪水調節は、計画高水流量3,400 m³/sのうち1,600 m³/sを貯留する計画であることから、1門あたり最大450 m³/sの放流能力を有している。

主ゲートは、常時高圧荷重が作用していることに加え、使用頻度が高いことから水密ゴムが損耗しやすく、管理開始から2016年度までの間に3度の取替施工を実施し

ている。側部水密ゴムの劣化により漏水が進行していたことから、2017年度より4度目となる取替施工を実施し、17年度に1・2号、18年度に3・4号の水密ゴムを取替えた。その中で、施工中に発生した底部水密ゴム固定部の不具合対応や放流中の側部噴流の補修といった特殊な施工を実施した。これらは稀有な事案だが、今後他ダムでも発生する可能性があることから、本稿にて発生原因と補修施工の一例について報告する。

2. 底部水密ゴム固定部の不具合対応

(1) 底部水密部の構造

底部水密部の構造を図1に示す。構成部品のうち、「水密ゴム」、「押金物」、「取付ボルト」は、目視点検が可能で比較的容易に整備することができる。

しかし、「敷金物」は、水密ゴムを取り外さなければ目



写真1 常用洪水吐き設備主ゲート

表1 常用洪水吐き設備主ゲート諸元

門数	4門
型式	摺動式高圧ラジアルゲート
径間	4.60m
高さ	4.00m
揚程	3.174m
扉体半径	6.50m
ゲート敷高	EL 89.190m
設計水位	EL 136.00m（波浪高含む） 常時満水位：EL 135.00m
水密方式	ゴム不連続式（B3）
開閉装置	摺動式油圧シリンダ方式

視することができず、放流管に埋設されていることから整備には時間と労力を要する。さらに、「袋ナット」は敷金物下面に溶接接合されていることから、目視が不可能で整備が困難な構造となっている。

(2) 不具合発生の経緯

固定部の不具合は、2018年2月13日の主ゲート2号施工中に発生した。新規水密ゴム設置のため、押金物を取り付けていたところ、取付箇所52箇所のうち3箇所で取付ボルトと袋ナットの共回りが発生した。ボルトに異常がなかったことから、袋ナットを確認したところ、触診により敷金物から脱落しており、溶接部が破断していることが判明した（写真2）。

(3) 溶接破断の要因

袋ナットの溶接部は、次のa)に示す直接的な要因とb)に示す間接的な要因により破断したと推察される。

a) 疲労の蓄積

袋ナットは構造的に整備が困難なため、これまでの間取替実績がなかった。それに対し、水密ゴムは3度

も取替えられており、その施工の中で取付ボルトの緩め・締付けが繰り返し行われた。取付ボルトは、水密ゴムの浮き上がりや放流時の振動による緩み防止のため、強固に締付けられることから、袋ナットの溶接部には強いせん断力が作用する。このせん断力が長年疲労として蓄積し、今回の施工時に破断に至ったと考えられる。

b) 固定方法

敷金物と袋ナットは、2点付け溶接により接合されていた。この方法が採用された経緯は不明だが、溶接箇所が少ないことから強度が弱く、疲労や衝撃により破断しやすい状態であった。

(4) 補修施工の内容

6月15日の洪水期までに、主ゲートを運用可能な状態に復旧しなければならず、固定部の補修は早急に行う必要があった。また、予算にも限りがあることから、短期間で安価に施工できる補修方法について検討した。その結果、図2に示す方法により補修を行うこととした。

補修手順を以下の①から⑥に示す。

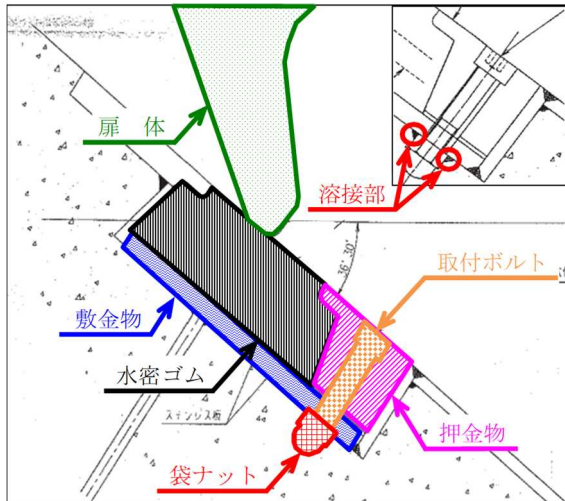


図1 底部水密部構造図



写真2 破断後の袋ナットと敷金物

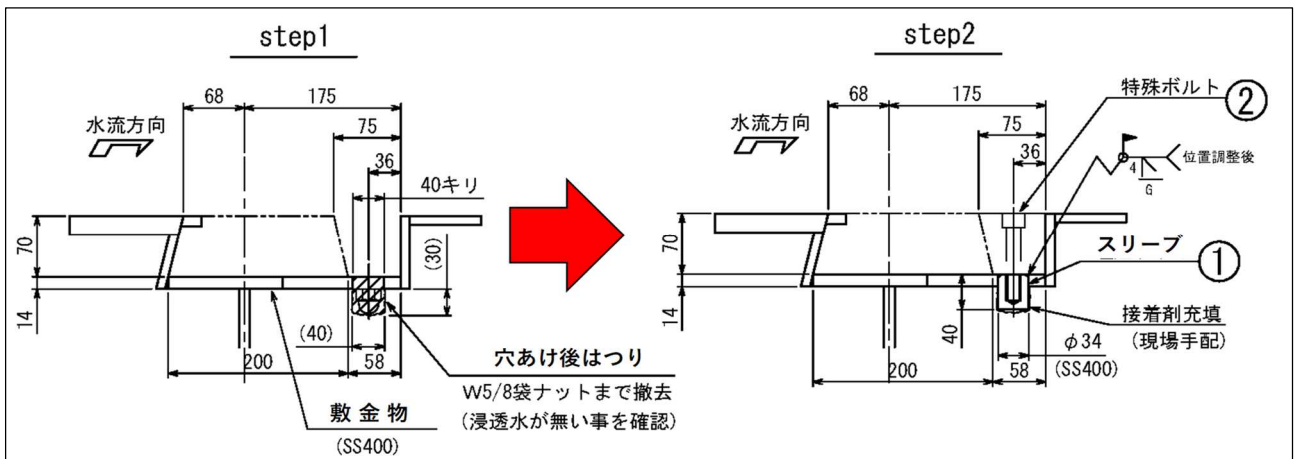


図2 底部水密部補修要領

- ① 携帯式穴あけ機で敷金物に穴を開ける（写真3）。
- ② 袋ナットを撤去し、スリーブ（写真4）を設置する。
- ③ スリーブ外周の空隙にモルタル等を充填する。
- ④ 押金物と穴芯が合っているか確認し、スリーブを仮溶接する（写真5）。
- ⑤ 押金物と穴芯のズレがないか再確認し、スリーブを本溶接する（写真6）。
- ⑥ 浸透探傷試験により溶接不良の有無を確認する。

補修施工中のボルト締付時にも新たに溶接破断が発生したことから、最終的に破損が懸念される箇所を含め



写真3 敷金物の穴あけ加工



写真4 取付ボルト及びスリーブ

た計31箇所の補修を行った。

今後、主ゲート2号の残りの健全箇所や1・3・4号でも破損の可能性が高いことから、次回水密ゴム取替時に、全ての袋ナットを取替える計画である。

3. 放流中に発生する側部噴流の補修

(1) 側部噴流の発生状況と補修施工までの経緯

扉体側部からの噴流は2017年度以前から確認されており、主ゲート2・3号の放流中に発生していた。当初は側部ゴムの劣化が原因だと考えていたが、水密ゴム取替後の出水にて2・3号とも噴流が再発し、取替前からの状況の改善が見られなかった（写真7）。

そのため、側部噴流の発生原因を再検討し、補修施工を実施することとした。

(2) 側部水密部の構造

側部水密部は、「水密ゴム」、「枕金物」、「各種取付ボルト・ナット」により構成されている。扉体には通水孔が設けられており、放流水を通水しゴム背面に圧力（以下「背圧」という。）を発生させることで、ゴムを戸当りに圧着し止水する構造となっている（図3）。



写真6 スリーブ本溶接後の敷金物



写真5 スリーブ仮溶接後の敷金物



写真7 側部噴流の再発状況

また、下端には通水した水を排水する水みち（以下「排水口」という。）が設けられており、無負荷運転時に水密ゴムを傷めないための工夫がなされている（写真8）。

(3) ゲート開度による水密状況の違い

ゲート開度毎の側部水密状況を図4に示す。排水口や放流の影響により以下のような状態となるため、小開度放流時は側部噴流（漏水）が最も発生しやすくなる。

a) 全閉時

ゴムのつぶれにより排水口が塞がれていることか

ら、静水圧の全てが背圧として作用する。

b) 小開度時

静水圧から速度水頭への変換割合が小さく、扉体には強い水圧が作用したままである。

背圧は、ゴムのつぶれがなくなり排水が始まることから全閉時に比べ弱くなる。

c) 大開度時

静水圧から速度水頭への変換割合が大きくなり、扉体に作用する圧力が弱まる。

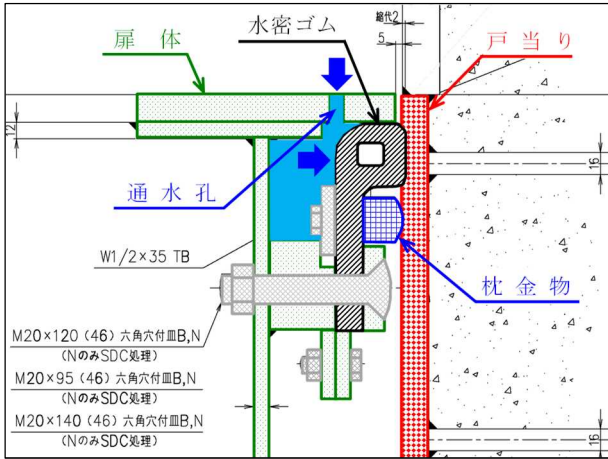


図3 側部水密部構造図

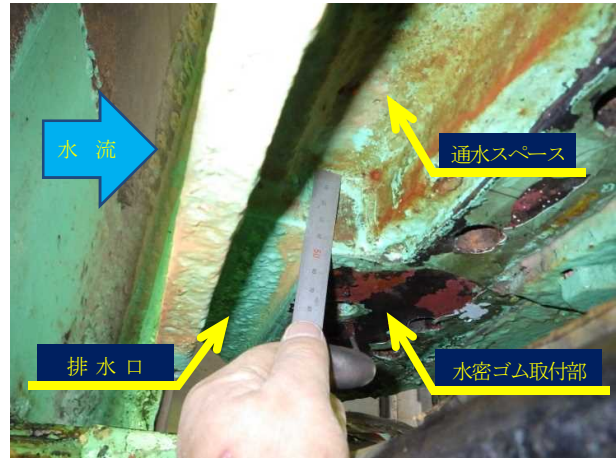


写真8 側部下端の構造

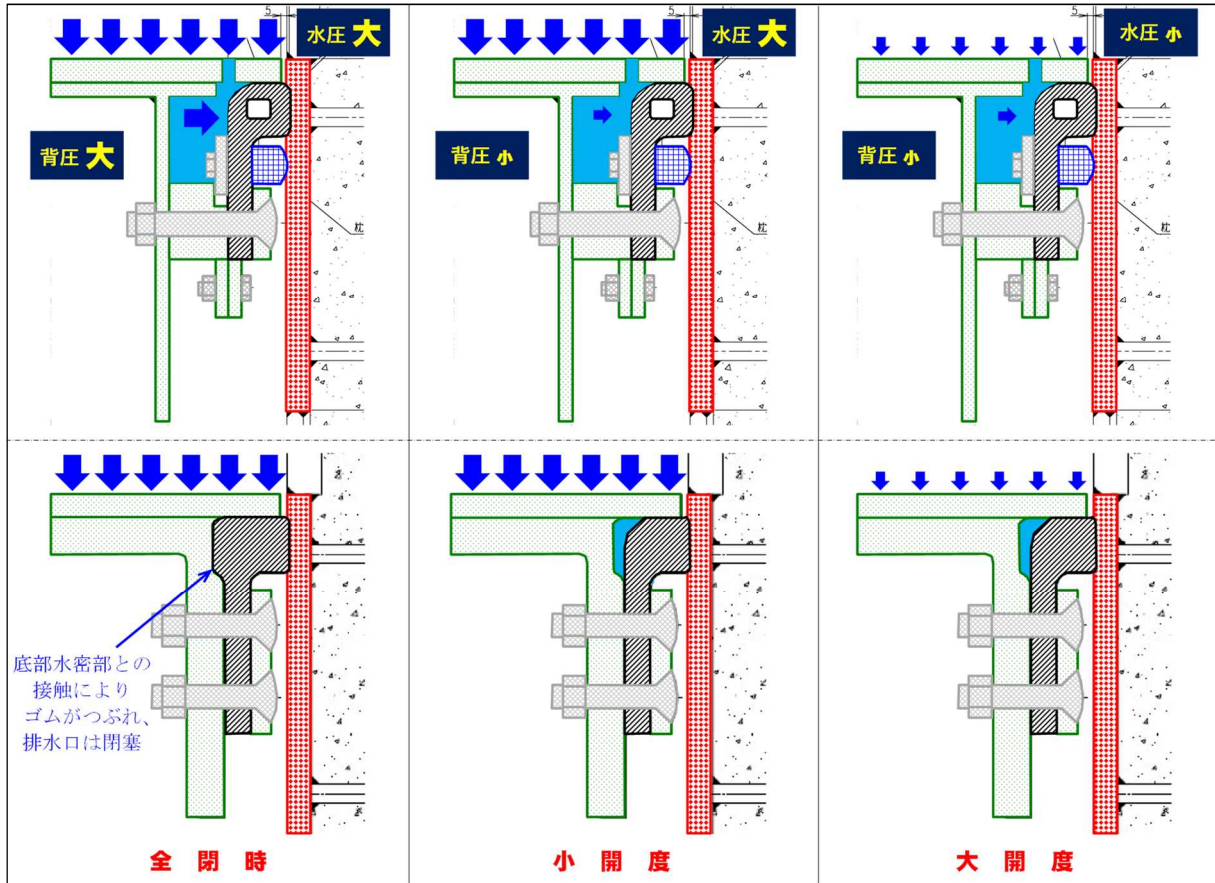


図4 ゲート開度毎の側部水密状況の違い（上段：扉体上・中部 下段：扉体下部）

(4) 噴流の発生原因と補修方法の検討

側部噴流の原因は、前述した水密状況に加え、下記事項が単独または複合的に発生したためだと考えられる。

a) 通水孔の目詰り

塵芥等により通水孔が目詰りし、通水量が減ったことで、背圧が弱まりゴムの圧着ができない。

b) 水密ゴースキンプレート間の抵抗力

水密ゴムとスキンプレート背面が強く接触していることから、摩擦により強い抵抗力が発生し、ゴムが開きにくくなっている。

c) 通水量と排水量の調整不良

通水量に比べ排水口の排水量が多く、ゴムの圧着に十分な背圧が発生しない。

このうち a)については、前回の取替施工から17年経過しているにもかかわらず、今回施工での通水孔清掃時に目詰りが確認されなかったことから、原因の可能性は低いと考えた。

b)・c)については、側部水密部の構造や施工状況の聞き取りから、どちらも原因の可能性が充分にあると考えられた。しかし、原因が単独か複合的かは明確にすることができなかつたため、複合的に発生しているものと仮定し、それぞれの原因に対する補修案の検討を行った。

検討した補修案を表2・3に示す。これらの中から、効果の確実性やコスト及び時間面での有利性、施工規模が大がかりとならないこと等を考慮し、「ゴム取付位置の調整」と「排水口の改良」を行うこととした。

表2 水密ゴースキンプレート間の抵抗力に関する補修施工（案）

補修方法	ゴム取付位置の調整 水密ゴムの取付位置を下流側にずらし、摩擦による抵抗力をなくす。	押付用治具の設置 水密ゴムを強制的に押しつける治具を設置する。
イメージ		
メリット	・背圧以外の外力が作用しないため、ゴムの摩耗は一般的な速度で進行する。	・ゴム背面のボルトにより圧着量を変化させるため、調整が容易である。
デメリット	・水密ゴムの脱着・加工が必要となるため、施工には時間を要する。 ・状況に改善が見られない場合、同手順での再調整が必要となる。	・治具取付のために扉体を加工しなければならず、コストと時間を要する。 ・ゴムを強制的に押しつけていることから、自然状態に比べ摩耗速度が速くなる。

表3 通水量と排水量の調整不良に関する補修施工（案）

補修方法	排水口の改良 排水口をスポンジゴム等で縮小し、排水量を絞ることで背圧低下を軽減する。	通水孔の改良 通水孔を増加または拡大し、通水量を増やすことで背圧低下を軽減する。
イメージ		
メリット	・簡易な施工内容であり、表2に併せて実施すれば安価に補修することができる。	・通水孔が目詰りするリスクを低減できる。
デメリット	・水密ゴムの脱着・加工が必要となるため、施工には時間を要する。	・扉体の加工が必要となり、施工にはコストと時間を要する。

(5) 補修施工の実施と施工後の状況

a) 水密ゴム取付位置の調整

補修にあたり、ゴム下流の位置決め・逸脱防止用金物が支障となる(図5)ことから、撤去の可否を判断するためこの金物について調査した。その結果、前述の用途が目的だと思われるが、高山ダム建設当時から現在に至るまでに他ダムで採用された実績がなく、設置経緯も不明瞭であった。不具合履歴がなく、他ダムでも金物がないことによる問題は発生していないとのことから、この金物は撤去することとした。

側部ゴムは、スキムプレート背面との接触が強すぎると前述の理由により開きにくくなるが、接触を避けるためスキムプレート背面との空隙を大きくしてしまっても、通水した放流水が漏水し圧着できなくなる。そのため、本施工では図6に示す11ヶ所の測点で、スキムプレート背面との空隙が1mm以下となるような調整を行った。

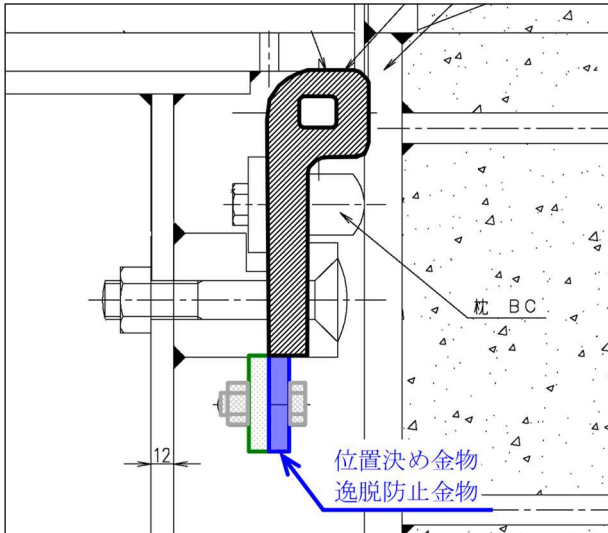


図5 位置決め・逸脱防止金物配置図

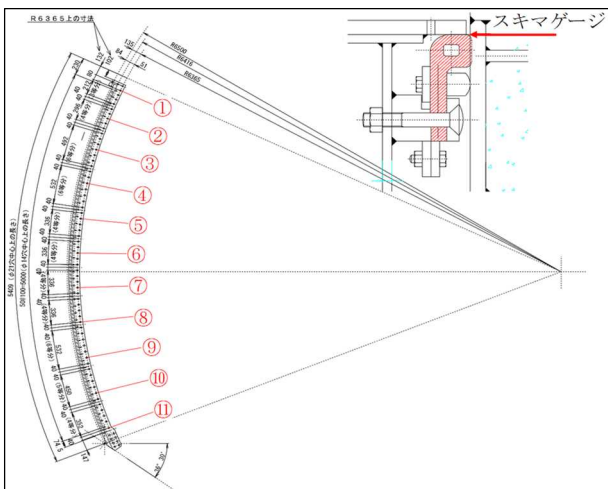


図6 空隙間隔測定基準点

b) 排水口の改良

a)に併せ、排水口直上の通水スペースにスポンジゴムを設置した(写真9)。

上記施工後、2号については2020年3月8日、3号については3月29日の出水にて、側部噴流の発生が確認されなかったため、今後は経過観察することとし補修施工を終了した。

4. まとめ

水密ゴム取替施工中に発生した底部水密部の不具合と放流中の側部噴流について、発生原因を推定し適確な補修を実施することで、各問題を解決した。

袋ナットの溶接破断は、すでに他機関の管理ダムでも発生が確認されている。そのため、完成から時間が経過した固定構造の同じダムでは、今後発生する可能性が非常に高いと考えられる。不可視部分であり状態確認が困難なことから、経過年数を考慮し固定部全体の更新や、不具合発生時の補修方法について早期から検討しておく必要がある。

高山ダムのような側部水密構造のダムでは、前述のとおりの小開度放流時に側部噴流が最も発生しやすくなる。そのため、水密ゴム取替後は実放流にて機能確認することが理想的だが、下流河川に及ぼす影響等から全閉状態での確認しかできないのが実情である。噴流発生の有無は、水密ゴム取付位置のわずかな変化でも左右されることから、取替施工時の施工管理には細心の注意を払う必要がある。

本論文は、著者の前任地である(独)水資源機構 木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所での成果について取りまとめたものである。

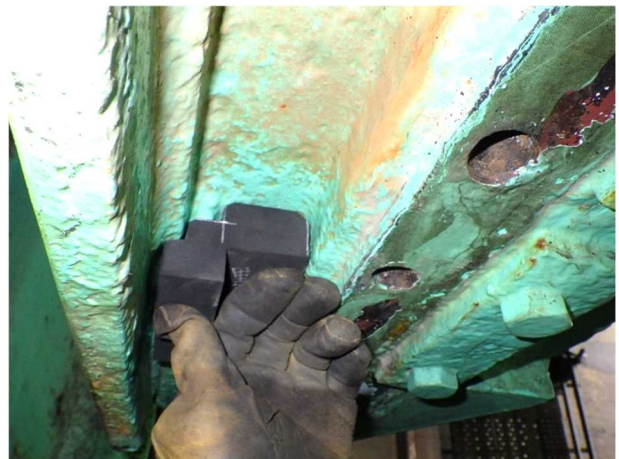


写真9 排水口の補修状況