

ダムのゲート管理に新たな扉 ～水中ロボットが中部で本格始動～

国土交通省 中部地方整備局 木曽川上流河川事務所 管理課 機械係長 しもだ たかゆき 下田 貴之

1. はじめに

国土交通省が管理するダムは、洪水の被害から国民の生命や財産を守る上で欠かすことができない重要な施設であり、そのダムの放流設備が機能不全に陥る事態は避けなければならない。

ダムの放流設備は、正常な機能と信頼性を確保するために適切な維持管理が実施されているが、常時水没している部分についての維持管理は容易に行うことができない。従来、水中部の点検においては潜水作業により行われてきたが、それには潜士の安全性の問題や労働災害のリスクが常について回っていた。そういうリスクの軽減、そして、維持管理の効率化を目的として次世代ロボットの技術開発・導入が進められた。

2. 水中ロボット本格始動へ

平成 25 年 7 月、国土交通省および経済産業省では「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を設置し、平成 26 および 27 年度にはロボット開発・導入が必要な重点 5 分野について、直轄現場等でその性能の検証・評価を行った。その重点分野の 1 つが『水中維持管理技術（ダム、

河川）』である。

そして平成 28 年度には、ダム放流設備の常時水没部分の点検に着目し、この点検が実施可能なロボット技術について実現場での試行的導入を行った。そこにおいて、ロボットが実務面で点検・調査に十分耐えうる能力や耐久性等を有することが確認されたことで、ついに実用化の段階に入ることとなった。このロボットを水中ロボット（ROV：遠隔無人探査機）と呼ぶ。

水中部の点検において新たな扉が開いたことを受け、中部地方整備局では即座に反応した。平成 29 年 12 月、全国に先駆けて丸山ダムで、そして平成 30 年 5 月には横山ダムにおいて水中ロボットによる放流設備の調査を実施し、水中ロボットを活用した調査が本格的に始動した。

3. 中部地方整備局による 水中ロボットの活用

(1) 丸山ダムにおける事例

① 丸山ダムの概要

木曽川水系木曽川本川の河口から約 90 km 上流に位置する丸山ダムは、昭和 31 年に洪水調節および発電を目的として建設された重力式コンクリートダムである。放流設備はクレストゲート 5 門を有している（写真－1）。



写真-1 丸山ダムの放流設備

② 放流設備点検の課題

丸山ダムのゲート上流面は常時水中部となっており、その箇所の点検を行うためには、無効放流を防ぐための「角落し設置」もしくは「水中点検」のどちらかを選択する必要がある。

平成 27 年度に角落しを設置して点検を行った際、「堤頂が狭隘なためクレーン 2 台での相吊りが必要で危険な作業を伴う（写真-2）」、「仮設費用が高額」等の問題が明らかになった。このことから、ゲート上流面の点検については水中点検で行うこととした。

③ 点検方法

点検は、従来の潜水作業と水中ロボットの両方で行い、双方の有用性の比較を行うこととした。そして、水中ロボットについては、『水中維持管理技術の現場検証・評価の結果（平成 28 年 3 月）』において最高評価を得た 2 機種を選定し、丸山ダムの現場条件で適用可能かを検証した。選定した 2 機種は、一方がその場（リアルタイム）におい

写真-2 角落し設置状況
(クレーン 2 台による相吊り)

て、他方は二次処理にて画像の鮮明化が可能なのであった。

④ 検証結果

検証の結果、以下のことが確認された。

1) 視認性

水中ロボットの画像は、潜水作業と比較して視野が広く、また鮮明化処理を行えることから鮮明度が高い（写真-3）。

2) 施工性

丸山ダムは浮遊流木が多いため、潜水作業を行う際は簡易網場を設置する必要があるが、水中ロボットでは簡易網場は不要で施工性がよい。

3) 安全性

比較するまでもなく、労働災害のリスクが伴う潜水作業より水中ロボットの方が安全性が高い。



写真-3 画像の視認性比較

前述のことから、丸山ダムにおけるゲート水中部の点検方法としては水中ロボットによる点検が優位と評価でき、今後の点検に活用可能なことが検証された。

(2) 横山ダムにおける事例

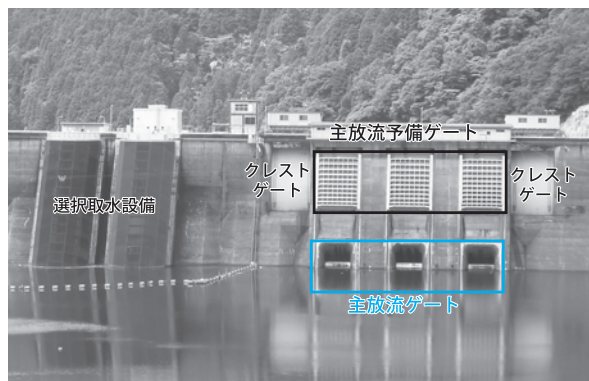
① 横山ダムの概要

木曽川水系揖斐川の河口から約 80 km 上流に位置する横山ダムは、昭和 39 年に洪水調節、発電および農業用水（現在は洪水調節および発電）を目的として建設された中空重力式コンクリートダムである。放流設備はクレストゲート 2 門、主放流ゲート 3 門、主放流予備ゲート 3 門および選択取水設備を有している（写真－4）。

② 主放流予備ゲートの水密ゴム不具合

平成 26 年 7 月、主放流予備ゲートにおいて水密ゴムの破損が確認された（写真－5）。

この水密ゴムの破損は平成 10 年に発見され、以後、平成 17 年、平成 21 年、平成 26 年と 4 年から 7 年の間隔で頻発しており、これまでも調査



写真－4 横山ダムの放流設備



写真－5 水密ゴム破損状況（平成 26 年度）

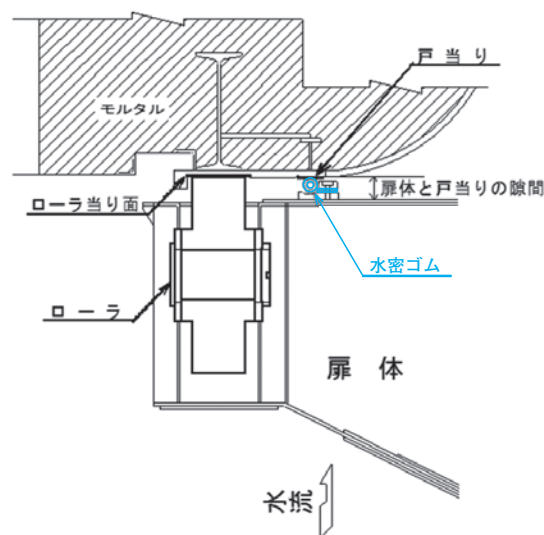
を行ってきたが、破損原因は解明できず現在に至っている。

水密ゴムはゲートを閉じた際、扉体と戸当りの間に挟まり止水するもので、横山ダムの主放流予備ゲートにおいては、その水密ゴムが正常に機能するために、扉体の側面にあるローラにより、扉体と戸当りの間で一定の隙間（以下、「隙間」という）を確保している（図－1）。

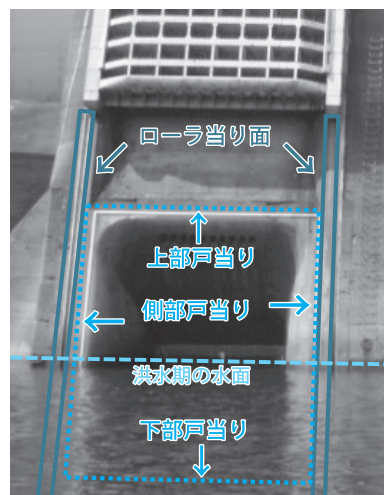
しかし、平成 26 年に破損した水密ゴムには、ゴムが潰れて破損した痕跡が残されていたことから、所定の「隙間」が確保されていなかったことが推定された。

③ 水密ゴム破損原因の調査箇所

破損原因の推定により、調査の対象は次の 2 点に絞られた（写真－6）。



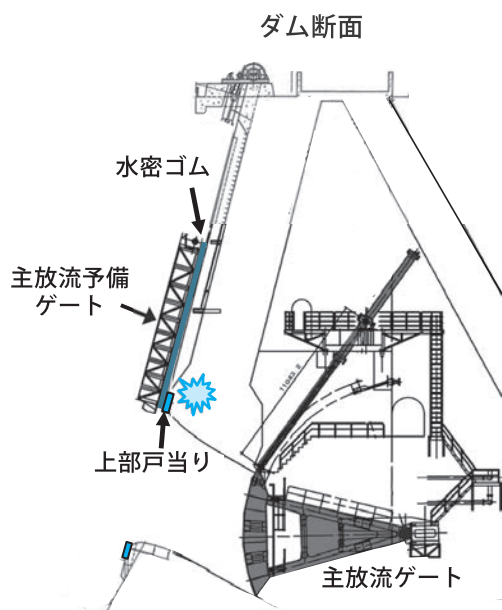
図－1 ゲート構造図（ゲート上面より）



写真－6 破損原因の調査箇所

1) 調査① 水密ゴムと戸当りが接触する際の「隙間」の状況

ゲートを閉める際、水密ゴムは上部戸当り、側部戸当り、下部戸当りと接触していくことから、どの辺りで「隙間」が狭くなっているかを調査する。水密ゴムと戸当りが接触する状況を概念図に示す（図－2）。



図－2 水密ゴム接触概念図
(水密ゴムと上部戸当りの接触)

2) 調査② ローラ当たり面の状況

ローラがダム堤体に当たる箇所を「ローラ当たり面」といい、ローラ当たり面の凹凸による「隙間」への影響を調査する。

④ 調査方法の検討

横山ダムでは洪水期（6月16日～10月15日）に貯水位を下げるが、それでも調査箇所の一部は水面下となる（写真－6）。一部が水面下の時期に調査を行うことは、水中作業用と気中作業用の両方の機材が必要となり不経済となるため、調査箇所が全て水面下となる時期（非洪水期、今回は5月下旬）に調査を行うこととした。

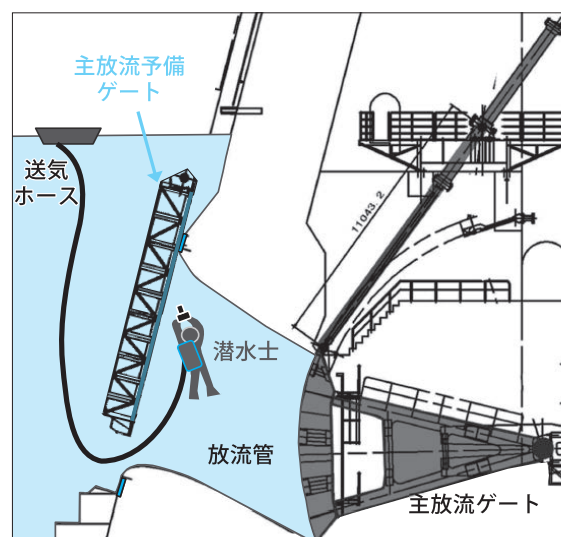
水中部であれば、調査方法は潜水作業か水中ロボットのどちらかとなるが、今回の調査に的を絞れば、調査方法の選択肢は一方に限られる。

調査①は、ゲートの位置をずらしながら「隙間」の状況を放流管内部から調査する必要がある。こ

の調査における潜水作業と水中ロボットのそれぞれの調査方法を以下に示す。

1) 潜水作業

ゲートの位置を変える（ゲートを動かす）度に、潜水士は安全のため放流管の外に待避しなければならない、放流管の出入りを繰り返す作業となる（図－3）。



図－3 潜水士による「隙間」の調査状況

2) 水中ロボット

ゲートが動いている時も、ロボットは放流管内に留まったまま「隙間」の調査を継続できる。つまり、作業効率に大きな違いが生じる。それだけでなく潜水士による事故で多いのが、空気を送り込むための送気ホースの絡まりであり、ゲートの下をくぐり抜けて放流管の出入りを繰り返すこの作業は安全性にも問題がある。

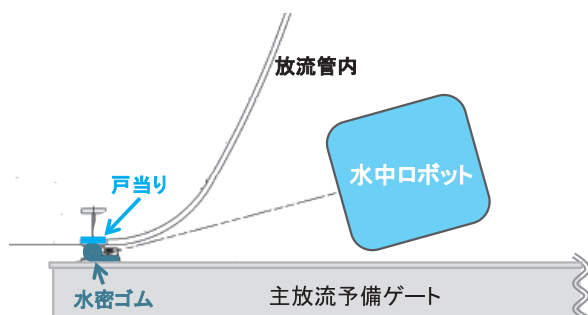
それに加え、潜水作業は作業時間の制約や潜水病等の労働災害リスクを伴う。一方、水中ロボットは、ダムの濁りやゲートを閉めた放流管内における地表の光が届かないという視認性の悪い状況においても、画像の鮮明化処理が可能である。さらに、潜水士では映像にブレが生じるが、水中ロボットは自立制御機能を有しており、映像が安定するといった利点も大きい。

以上により、作業員の安全確保および作業効率の向上を図るため、本調査では水中ロボットの活用を決めた。

⑤ 水中ロボットの選定

水中ロボットは、『水中維持管理技術の現場検証・評価の結果』において最高評価を得た2機種のうち、横山ダムの調査条件に適用可能な機種を選定した。

調査対象の水密ゴムと戸当りが接触する際の「隙間」は、非常に狭隘で近接撮影が困難な箇所である（図－4）。



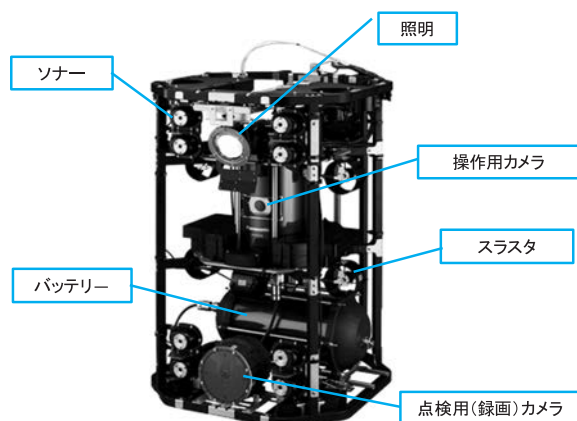
図－4 水密ゴムと戸当りの「隙間」の調査（放流管上面より）

さらに濁りと暗さも加わり、鮮明な画像が得られないことが懸念されたため、今回の水中ロボット選定条件には、調査対象にできる限り接近でき、より鮮明な画像が得られることが求められた。

その結果、水中ロボットの外形寸法が小さく、丸山ダムでの検証で画像の鮮明化処理に優れた評価を得たパナソニックシステムソリューションズジャパン（株）の水中ロボットを選定した（写真－7）。

⑥ 調査結果

調査は2日間かけて実施したが、両日とも天候

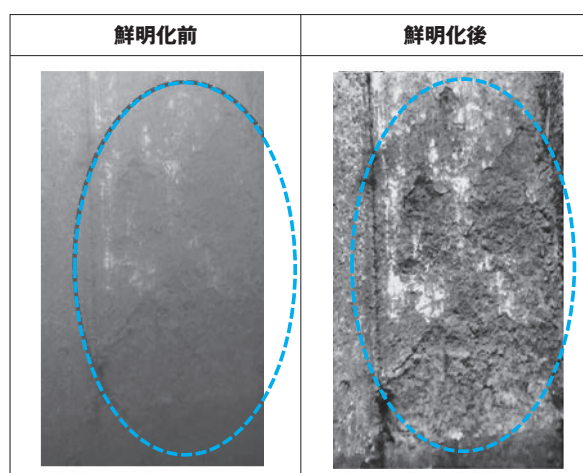


写真－7 パナソニックシステムソリューションズジャパン（株）の水中ロボット

に恵まれず、濁度が高い悪条件下で行われた。そのため、その場で確認できる画像では不具合の原因解明には至らず、鮮明化処理に託された。鮮明化処理を行った画像から、以下のことが判明した。

調査①については、小型の水中ロボットを使い、極力水密部に近づいて調査を行ったが、それでも「隙間」は奥まったところであったことから、直接画像に捉えることはできなかった。一方、調査②については、ローラ当たり面において腐食及び剥落があることが確認された（写真－8）。

画像からは、鮮明化前では腐食を発見することが困難であることが分かる。



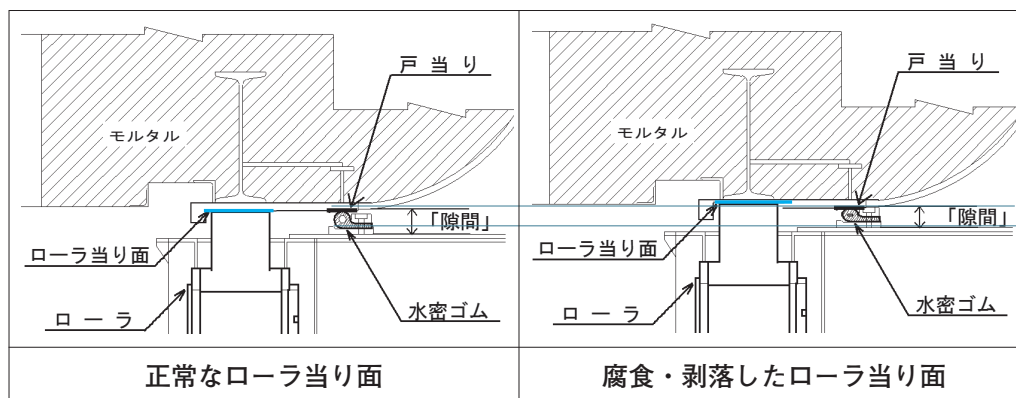
写真－8 ローラ当たり面の状況

本来、ローラ当たり面にローラが当ること適正な「隙間」を確保しているが、ローラ当たり面（鋼板製）が腐食・剥落していることで板厚が減肉し、その分「隙間」が狭くなる（図－5）。

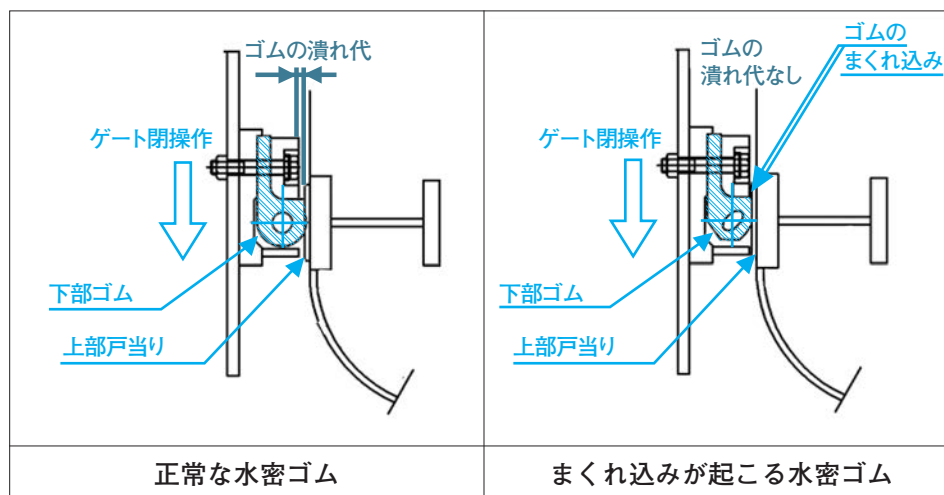
「隙間」が狭くなると、水密ゴムの潰れ代がなくなることで水密ゴムが逃げ場を失い、ゴムのまくれ込みが起こり、破損に至ったと考えられる（図－6）。

以上により、ローラ当たり面の腐食・剥落が判明し、その凹凸のため「隙間」が不均一になり、水密ゴムの破損につながるという原因が解明でき、今後の適切な対策を計画することが可能となった。

今回、原因が解明できた要因は、画像の鮮明化処理にあった。つまり、水中ロボットの活用なくして原因の解明に至ることは困難であったと考えられる。



図－5 水密ゴムと戸当りの「隙間」の状況（ゲート上面より）



図－6 水密ゴムがまくれ込むメカニズム（ゲート側面より）

4. おわりに

丸山ダムの事例では水中部の点検における水中ロボットの優位性が確認され、そして横山ダムの事例では水中ロボットの活用によりゲートの不具合原因が明らかとなった。また、両ダムにおいて、水中ロボットは潜水作業と同等のコストでありながら、作業員の安全性、作業効率、そして点検・調査精度の向上を図れることが確認された。

水中ロボットが実用化されたことで、これまで作業員の安全面の問題等で二の足を踏んでいた案件についても、調査の実現性そして解決の可能性が出てきた。

また、平成30年3月には『ダム用ゲート設備等点検・整備・更新マニュアル（案）』が改定され、

水中不可視部について「水中点検ロボットの活用等も検討して点検する」という一文が追記された。これまで水中不可視部については明らかな異常がない限りほとんど点検がなされていなかったが、この水中ロボットの実用化を契機に、ダムのゲート設備については、効果的で効率的な維持管理が実現することとなる。

空中においては、ドローンを活用した技術が日々進展するなか、今後は水中においても水中ロボットが必要とされる場面がますます増大すると思われる。そして、水中ロボットもそれぞれの現場のニーズに適應できるように進化していくことで、水中部の調査には欠かすことができない存在になると確信している。

今後の水中ロボットの幅広い活躍と、次世代社会インフラ用ロボット技術の大いなる進展に期待したい。