

ダム放流設備関連補修工事の 水中ROVによる無人化施工

小林 大輔¹

¹独立行政法人水資源機構 関西・吉野川支社淀川本部中津川管理室

(〒554-0001大阪府大阪市此花区高見1-10-46)

ダム放流設備には点検整備時に上流で止水するための予備ゲート（修理用ゲート）を備えており、貯水池に面する充水管から水を取り入れ水圧バランスにより開操作が行える仕組みとなっている。この充水管補修時には止水する設備は無く、専用の蓋を製作し潜水作業にて設置することが行われてきた。

このたび水資源機構と佐藤鉄工（株）は充水管補修時の止水工程を水中ROV（Remotely operated vehicle：遠隔操作無人機）を用いて無人化施工する工法の特許を得たことから、概要を説明するとともに、試験で確認された実用性、課題等について報告するものである。

キーワード 無人化施工，水中ROV，コスト縮減，安全性向上

1. はじめに

ダム放流設備の充水管は原則としてステンレス鋼管であるが、1980年代以前には配管用炭素鋼鋼管等が使用されていた。充水管は一般的にコンクリートに埋設され、充水操作を行うためのバルブ付近で露出配管となり、腐食による漏水等の補修が必要である。また、充水バルブはステンレス鋳鋼製であっても、バルブ本来の機能低下により定期的な交換が必要である。

配管やバルブの整備作業は対象箇所上流部で止水を行わなければ施工できない施設となっている。上流部が埋設配管である場合は、潜水士による充水管呑口への止水蓋設置が採用されている。設置位置が水深40mを超える場合は貯水池の水位低下や混合ガス潜水（作業状況によっては飽和潜水）を行うなど、小規模な整備内容に対して、貯水池管理への多大な影響や多くの費用が発生する。また、高水深の潜水作業に関しては非常に危険が伴うものであり、近年の担い手人口の減少により高水深潜水を行える作業者も少ない。このような背景から、水中ROVを利用した無人化施工を開発したものである。

2. 充水管の構造

(1) 呑口部

充水管の呑口部は通常ダム本体貯水池面の対象放流管

呑口付近に設置されており、ダム本体貯水池面に平行する面に設置されているものが多いが、予備ゲート戸当り重構造部を利用して直角面に設置されているものや、ダム本体面より張り出して設置されているものなど、ダムにより異なる。また、コンクリート表面の状況により凹凸が多いダムや充水管設置面の平面部が狭いダムなど、設置面形状・コンクリート形状・コンクリート状態がダムにより異なっている。

(2) 充水バルブ部

呑口部以降の充水配管はダム本体に埋設され、充水バルブ付近で監査廊内に露出する。露出部には主・副充水バルブ等があり、腐食等による漏水は露出部で顕著に現れる。また、漏水は無くても露出部を構成する機器類は交換等の整備が必要となる。

充水バルブ含む充水配管レイアウトを図-1に示す。

3. 充水管の整備

充水管の整備は必ず必要となり、その際にはダム運用に影響を与えない最適な工法を選択しなければならない。

(1) 呑口止水蓋設置

充水管呑口部には異物混入を避ける目的でスクリーンを設けるものとなっている。このため呑口部全体を覆う

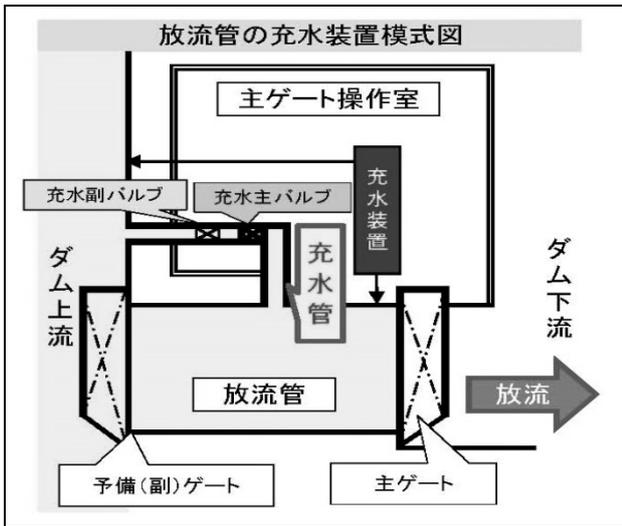


図-1 充水配管レイアウト

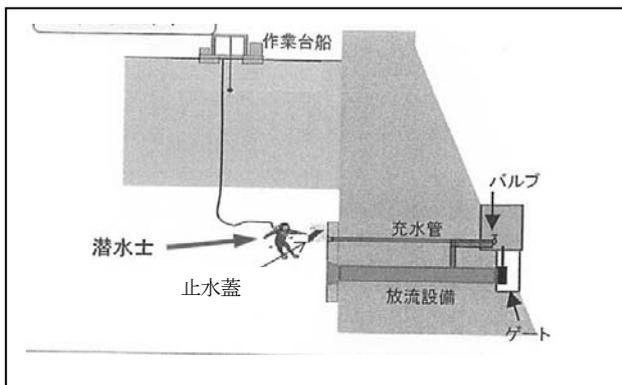


図-2 止水蓋設置イメージ

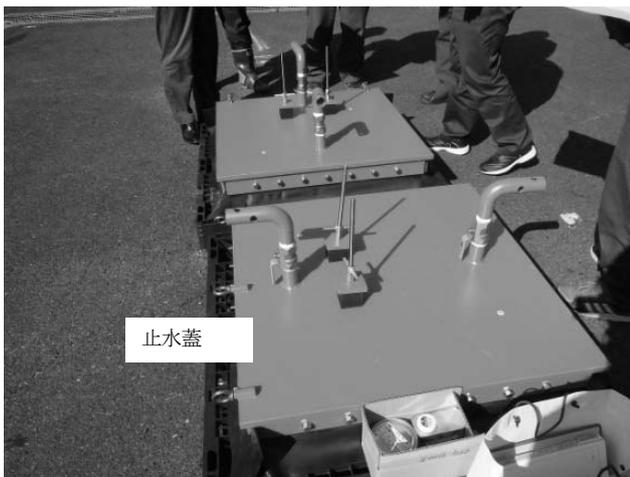


図-3 止水蓋の事例

形で止水蓋を設置する。止水蓋は各ダムの充水管呑口形

状に合わせて製作し、潜水士が設置・撤去を行う工法である。

潜水士による止水蓋設置イメージを図-2、止水蓋の事例を図-3に示す。

(2) 凍結工法

充水管整備対象部分の上流側において、液体窒素を用いて管内の水を凍結させ止水する工法である。配管の材質、被覆、塗装状況あるいは配管径により採用が出来ない場合がある。

(3) 水位低下

水位低下により充水管内を空虚にして施工する工法。最も安全かつ確実な工法であるが、ダム運用上最も困難な工法である。

4. 水中ROVに求められる機能

充水管止水工法の中でも、ダム運用に支障を与えず、配管形状・材質に左右されない呑口止水蓋設置に着目し、安全を考慮して、潜水士に依存しない無人化施工を実現するための工法である。実現にあたっては次の課題をクリアする必要がある。

- ・コンクリート凹凸面に対する止水機構
- ・水中ROVと止水蓋の着脱機構
- ・充水管への注水機構
- ・水中ROVの操作性

(1) 機器構成(日吉ダム試験時最終形)

メインとなる水中ROVは発電所の水路点検用に開発されたものを採用した。水深100m程度まで潜行可能。止水蓋は様々な充水管呑口に対応出来るように内径φ800mmのお椀形をしており、止水ゴムは柔軟性の高いものを採用。止水蓋設置後充水管内を排水することでダム貯水位による水圧を利用してコンクリート面に止水する。

水中ROVと止水蓋の着脱機構は電磁石を用い3点で接続している。

注水機構はニードル弁をパワーシリンダで操作し高圧下での確実な注水を可能としている。

水中ROVは横行、推進、垂直方向にスラスタを設置している。水中における姿勢制御については3方向のスラスタと本体付属の姿勢制御装置(錘駆動方式)のみで事足りるが、先端に止水蓋が設置されることによりバランスがとりづらくなるためフロートによる調整を施している。なお、止水蓋は水深により止水ゴム圧縮変形による体積変化が生じ浮力が変化する。

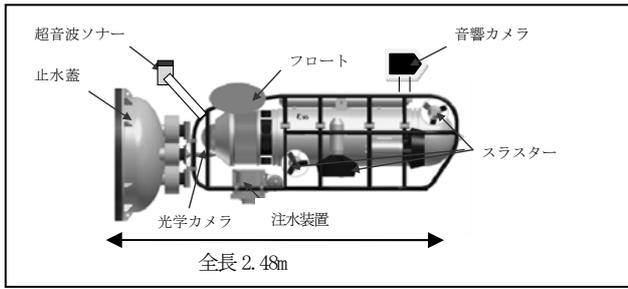


図4 ROV機器構成図

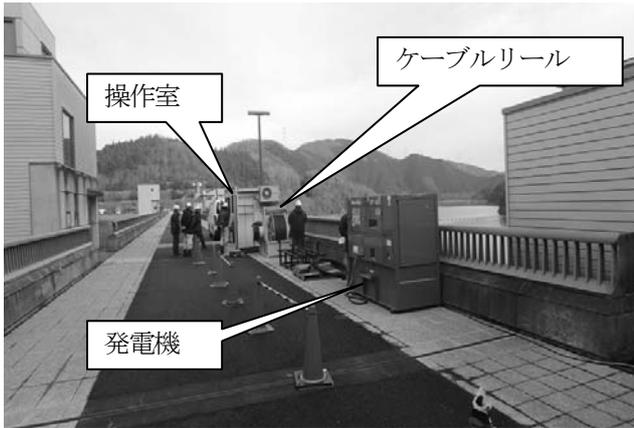


図5 陸上の機器構成図

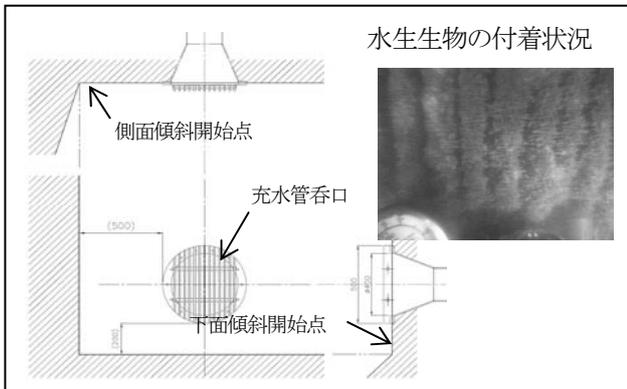


図6 高山ダム充水管状況図

水中ROV操作に必要な視界は光学カメラを利用して
いるが、水深に応じて光が遮られ視界が悪くなることから
ライトは勿論のこと、超音波ソナー（位置把握）、音
響カメラ（形状把握）を併用することにより、光学カメ
ラの視界を補っている。

水中ROVの機器構成を図4、陸上の機器構成を図5
に示す。

5. 実用化に向けた実証試験

(1) 高山ダムの試験

試験期間：平成28年8月8日～8月10日（全日晴天）

試験水深：9.5m

濁度：3.7～4.0（水深9.5m付近）

現地における最初の試験となるため潜水士によるROV監視を併用した。初日はROVの潜行・浮上のみ。翌日より充水管呑口へのアプローチ、止水蓋と呑口外周コンクリートへの接着まで行い、最終日に設置、抜水、切り離し、水密確認、撤去まで実施した。

初日の潜行で充水管呑口スクリーンに水生生物が多く付着していることが分かった。高山ダムの充水管呑口周辺はコンクリート構造が複雑なため、止水蓋の外径から中心を30cmずらして設置する必要があったが、水生生物により中心が判別しづらい状況であった。図-6参照。また、当日の濁度状況・水面の水草により水深6m付近より視界が0mとなり、ライト点灯で1mの視界が確保出来た。

2日目以降の試験ではライトを増設し視界の確保に努めた。また、水生生物等による止水蓋水密阻害状況を確認するために潜水士による確認を併用した。設置に関して潜水士による介助は無く止水出来ることが確認できた。

(2) 高山ダムの結果・考察

ROVに標準装備されているライトのみでは、止水蓋装着状態で前方が遮蔽されること及び止水蓋設置時にライト拡散の距離がとれず止水状況が判断出来ないことからライトの複数設置が望ましい事が分かった。

止水蓋の水密性能は傾斜面にかかっても十分止水でき、高山ダムでの水深9.5mと比較的浅い水深かつ、水生生物付着が確認されていても漏水が0.3ml/minとジェットフローゲート等設置時の施工管理基準を大きく下回る水密性能を確認できた。

止水蓋の着脱機能は問題無く機能したが、潜行中の接触により止水蓋がROV本体から離脱する不具合が発生した。これについては電磁石の強化により対応可能である。

止水蓋の比重は水深5m付近より沈む方向へ変化する。これによりROV本体の姿勢制御は深くなるにつれ難しくなるため、設置水深により浮力調整が必要なが分かった。

カメラは通常の光学カメラ1台で目標を捕捉出来るが、周辺状況を把握するためにも複数設置する方が、潜行中での接触回避、目標までのアクセス時間短縮につながることを実感した。

これらの問題点を踏まえて日吉ダム実証試験に望んだ。

(3) 日吉ダムの試験

試験期間：平成28年11月29日～12月2日（曇時々雨、晴）

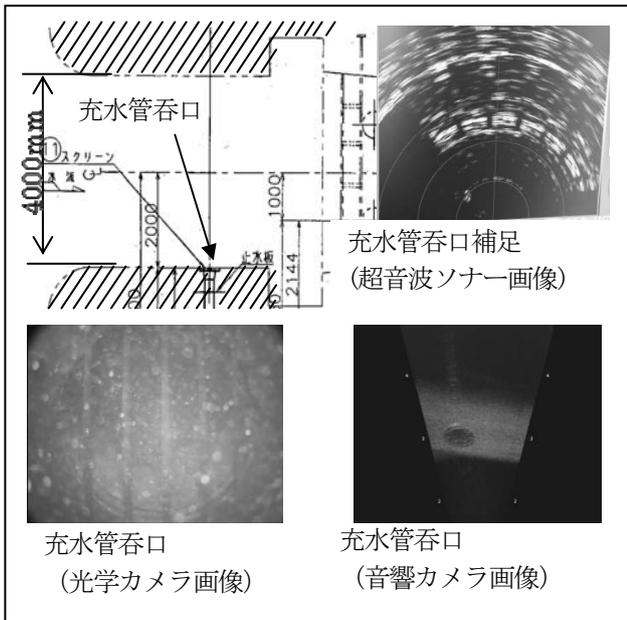


図-7 日吉ダム充水管状況図

試験水深：23.7m

濁度：3.8～4.6（水深23.7m付近）

日吉ダムの試験では音響カメラ、超音波ソナーを追加した。

日吉ダムの充水管呑口は常用洪水吐設備予備ゲートの戸当り重構造部上流面側部に設置されており、堤体に対して直角方向に面している。試験する水深が高山ダムと比較して深くなることから、充水管呑口へのアクセスは難しくなる。音響カメラを設置することにより、水中の濁度や明るさに関係無く周辺状況を可視化できるため、スムーズに呑口までROVを誘導することが出来た。

止水蓋の比重変化については、水上においてフロート調整することによりROV本来のトリム調整で姿勢制御が可能となり、予備ゲート前面4mの間でもROV本体

全長 2.48m が上手く入り込み姿勢を崩すことなく止水蓋設置に至った。止水直後の漏水は 220ml/min と高山ダム 0.3ml/min に比べて格段に増加したが、約 2 時間後には漏水が確認できない程度まで止水されていた。

(4) 日吉ダムの結果・考察

音響カメラと光学カメラの組み合わせは、視界が悪い状況でもROV操作が良好であることを確認した。周辺構造物との距離把握のため超音波ソナーを取り付けたが、音波の跳ね返り時間の関係から音響カメラ及び光学カメラと時間差が生じて操作に影響を与えることが判明した。音響カメラ画像が距離感を表現できることから、音響カメラと光学カメラの組み合わせで十分操作可能であることが分かった。なお、止水蓋離脱時に噴出する空気だま

りの影響を受け光学カメラでは視界0の状況でも音響カメラは周辺構造物を捉えることが出来たことから、音響カメラの有効性は高いと言える。

ROV本体の姿勢制御でフロート調整することにより、トリム調整機能で止水蓋浮力変化に対応することが出来た。

カメラ及びライトがROV本体に付属する機器により遮蔽される角度が存在するため、取り付け位置を考慮する必要があるとともに、接触による障害を軽減するためカバー等で補強するなどの工夫が必要である。

6. 実用にあたって

発電所の水路点検用ROVを利用した止水蓋設置・撤去の無人化施工は、実証試験において一連の作業を実施出来ることが確認出来た。ただし、若干の課題を残したことから、ROVの仕様は下記のように整理する改良を検討している。

- ・ROVの小型化（新規製作可能な場合）
- ・推進スラスターの強化（新規製作可能な場合）
- ・電磁石接続確認用カメラ増設
- ・止水蓋用ライト増設
- 脱落防止兼用の個別電源コード付属
- ・音響カメラ標準装備
- ・電磁石強化（1000N→2000N）
- ・姿勢制御機能拡大（新規製作可能な場合）

(1) 採用の利点

水中ROVによる施工は安全性重視の工法であり、浅い水深では潜水士施工に比べ高く設定されている。費用の多くは水中ROVの損料となるが、稼働率により変動するため現状では仕方がないと言える。

実証試験の結果より、仮設規模が小さい、作業時間の短縮の利点が見られた。これらを工事全体で捉えた場合、仮設ヤードが確保出来ない工事や仮設輸送に関する申請期間が取れない状況などに採用することが考えられる。

7. おわりに

現状では水中ROVによる無人化施工の実績が無いので、実績づくりと設備の稼働率を上げることによるコスト低減が当面の課題である。まずは、水中ROVによる施工を重ねて、有用性を知らしめることが重要と考えている。今回は試験報告となったが、近い将来に施工実績の報告となるようこのような発表を重ねて周知して行きたい。