

水中ロボットによる新たなダム放流設備の点検方法の試みについて

那賀川河川事務所 工務課 渡部 雄也
那賀川河川事務所 事業計画課 課長 清水 正仁
那賀川河川事務所 工務課 係長 中川 貴文

長安ロダム7,8号洪水吐ゲートにおいて、点検を行うための予備ゲートを洪水吐ゲートより上流側に設置するが、予備ゲートが問題なく設置されているか潜水士による水中確認を行っている。一方で、水深が深いことに対応した潜水機材が必要であり、加えて作業可能な潜水業者も少なく、手配困難による高額な費用が課題である。本課題に対して、DX技術である水中ロボットを活用することで、潜水士による作業を低減し、省人化に伴うコスト縮減や安全性向上の可能性について検証を行った。本稿では、この検証に係る取組みについて報告する。

キーワード DX、点検ロボット、省人化、コスト縮減、維持管理

1. はじめに

長安ロダムは、徳島県南部の河川延長125km、流域面積874km²を有する一級河川那賀川の中流部に位置しており、洪水調節、発電、河川環境の保全、農業・工業用水の取水安定化を目的として昭和31年に徳島県により建設された重力式コンクリートダムである。那賀川の上流域は日本で有数の多雨地域であり、本ダムは那賀川水系で唯一の洪水調節機能を有する多目的ダムである。

令和元年には、洪水調節能力を增強するため、既設1～6号洪水吐ゲートの6門に加え、国内最大級規模である7,8号洪水吐ゲートの2門を増設したところである。

表-1 長安ロダム洪水吐ゲート諸元

名称	高さ	横幅
7号洪水吐ゲート	20.52m	10m
8号洪水吐ゲート	19.64m	10m
1～6号洪水吐ゲート	14.70m	10m



図-1 長安ロダム洪水吐ゲート状況

このようなダム用ゲート設備については洪水時に確実な操作及び稼働が必要とされており、適切な維持管理による機能保持が求められている。

維持管理についてはダム用ゲート設備等点検・整備・更新マニュアル（案）に基づき、月点検のほか、年1回

詳細な点検として専門技術者による年点検を行っている。

年点検時には動作確認として、可能な範囲で洪水吐ゲートの管理運転を行っている。管理運転時には、予備ゲートを設置することにより、洪水吐ゲートを無負荷状態とした上で洪水吐ゲートの開閉動作運転を行う。この洪水吐ゲートの年点検及び管理運転は維持管理上必要な行為であり、毎年その費用は発生する。労務費、物価などが上昇するなか限られた予算で適切な維持管理を行うため可能な限り維持管理費用を縮減していくことが重要である。

令和5年度には予備ゲートを設置し、その設置確認に試行的に水中ロボットを用いた。その確認後、洪水吐ゲートの年点検及び管理運転を行ったところである。

2. 7,8号洪水吐ゲートの年点検における課題

先述の通り、7,8号洪水吐ゲートは国内最大級規模のゲートであり、年点検にかかる費用（予備ゲート設置費用）も高額となっていることが課題である。

高額となる要因は、水深が深く、これに対応した潜水機材が必要であること。加えて担当エリア外に出張して潜水を行う業者は全国でも少数なため、手配が難しくなることが挙げられる。

まず、深い水深に対応した機材が必要となることについては、予備ゲートの設置時に水中で潜水士が確認作業を行っているが、作業水深が約20mと深いため、安全に潜水できるように潜水機材が必要となる。

次に、潜水業者が少数となることについては、基本的には地元港湾・漁港に根付き、仕事を行う会社が多いため、地方に出張し潜水を行う会社は全国でも数少ない。

更に、我が国では全産業において人手不足も深刻化し

ており、潜水業界においても例外ではない。

表-2 予備ゲート諸元

名称	高さ	幅	その他
7,8号用予備ゲート (11段扉)	28.1m	10m	1段扉当り 約10t～20t

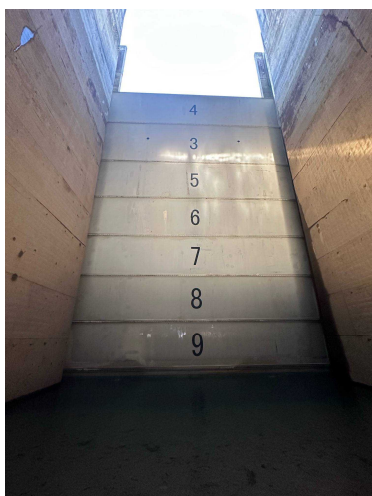


図-2 7,8号予備ゲート設置状況

3. 検証の経緯と水中ロボットに期待される効果

課題解決には従来潜水士で行っている作業について、大半が目視確認行為のため、水中ロボットに代替することができればコスト縮減につながると考え、潜水士と水中ロボットにおける比較検証を行った。

また、水中ロボットを活用することでコスト縮減以外にも次に示す点について効果が期待されている。

一つ目は、潜水士の事故低減である。本高圧潜水作業は、潜水士の減圧症などのリスクを始め危険作業であり、水中ロボットに置き換えることで潜水士による潜水作業の機会を減らし、潜水士の安全確保を図ることが可能である。

二つ目は、作業時間の確保である。潜水士による潜水作業は、減圧症予防のために高気圧作業安全衛生規則により1日あたりの潜水時間が決まっているため、作業時間の制約を受けてしまう。一方、水中ロボットは潜水時間の制限がないため、時間の制約を受けずに作業が可能である。

4. 検証内容について

(1) 従来の作業内容

予備ゲートの底部は堆積土砂が多いことが懸念されるため、事前に堆積土砂の調査と除去を潜水士により行う必要があり、潜水士は潜水作業用台船から潜水を行うこととする。次に、220tオールテレーンクレーンにより予備ゲート格納庫から予備ゲートを取り出し、付近のダム放流設備に予備ゲートを接触させないように予備ゲート

を吊ったまま移動させる。その後、予備ゲートを中継用の仮置架台に設置し、2台目の160tオールテレーンクレーンにて仮置架台からダム湖内の設置位置に向けて予備ゲート設置を行う。なお、予備ゲート設置状況は潜水士が水中で確認を行う。

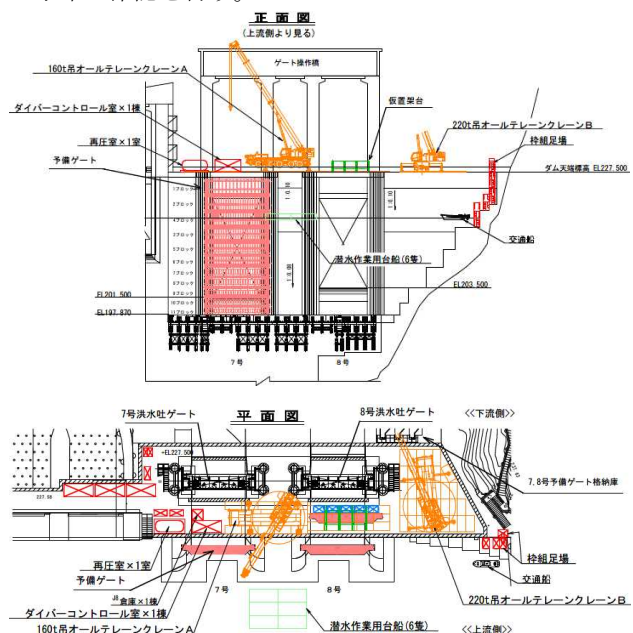


図-3 予備ゲート据付作業計画図面

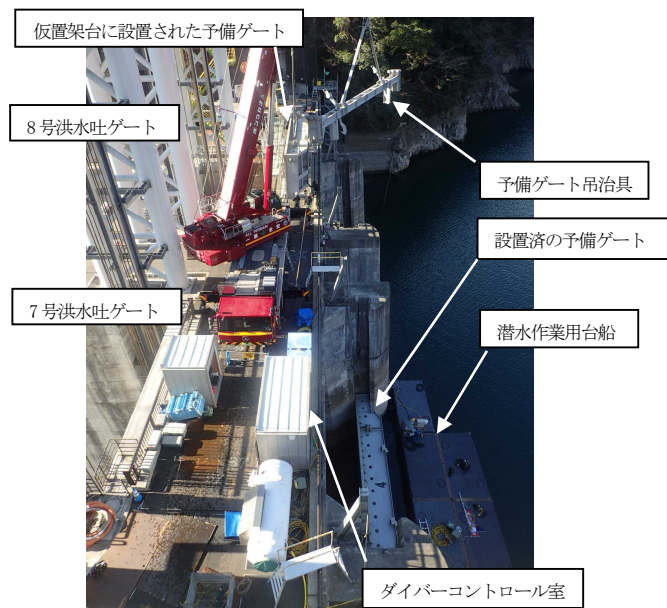


図-4 予備ゲート据付作業状況

水中での潜水士による主な確認項目及び確認箇所は図-5及び次の通りである。

- ① 底部戸当り堆積物確認及び堆積物除去
- ② 予備ゲート及び吊り治具の水中部動作確認
- ③ 予備ゲート設置時の水密確認

予備ゲートが水中で問題なく設置されていることを確認した後、洪水吐ゲートの管理運転を行う。

長安口ダムでの潜水作業人員は6人体制で行った（潜水士4名、潜水作業指揮者1名、潜水送気員兼潜水連絡員1名）。潜水作業に関して、潜水士の潜水時間（潜行開

始から浮上迄)は繰り替えし潜水を行わないことを原則とし、予備ゲート1段扉分の投入時間を考慮すると70分/回であった。

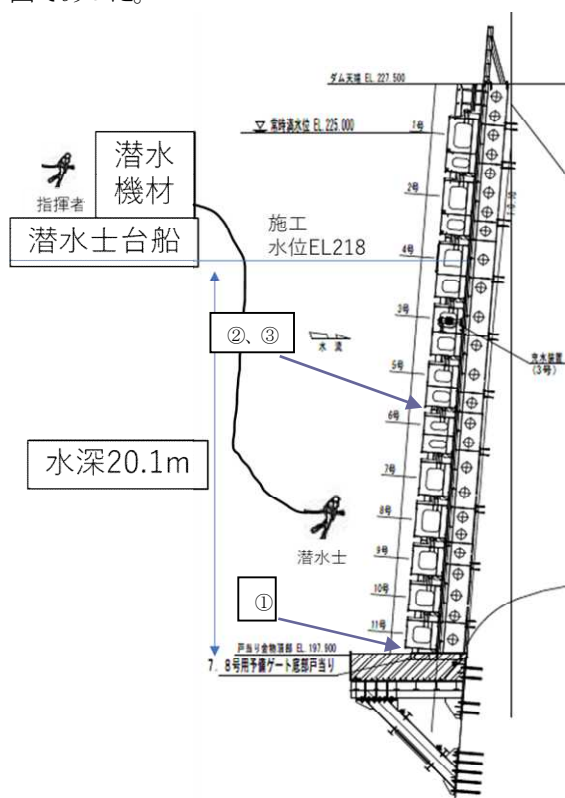


図5 潜水土作業イメージ

(2) 試行内容

試行にあたり、試行確認の実績がある水中ロボット(RoV)を使用することとした。



図-6 水中ロボットと操作機器

機器仕様については次の表-3のとおりである。

表-3 水中ロボット機器仕様

名称	Rov SD-3
外形寸法	L751×W393×H266mm
本体重量	17.2kg
最大速力	4ノット(約7.4km/h)
カメラ(画素数)	FullHDカメラ(207万画素数)
照明	前後方LEDライト(7,600m)
潜水可能深度	1,000m 有線式による
運用人数	3人程度(作業指揮者1人、操縦者1人、機体ケーブル介助1人)

本機器を用い、潜水士の確認項目①②③が水中ロボットに代替できるか試行を行う。

① 底部戸当り堆積物確認及び堆積物除去

潜水士と水中ロボットの調査について時間を分けて行った。まずは潜水士が堆積量をスタッフを用いて目視確認を行う。その後、水中ロボット(ロボットアームにスタッフを取り付けて)で調査を行い、カメラ映像による確認を行った。堆積物除去は高圧洗浄機で堆積物を吹き飛ばす、もしくは、ポンプを使って吸込む方法となるがホース等の除去操作が困難なことから、人力による作業が必須と考え、今回の検証では行っていない。

② 予備ゲート及び吊り治具の水中部動作確認

(予備ゲート及び吊り治具が正しく動作しているか)

潜水士と水中ロボットで同時に潜水し、予備ゲートの左右端に分かれて扉体の上下動作に合わせて、扉体から3m程度離れた地点から予備ゲートが正しく上下しているか、吊り治具のフックが外れているか等を映像で確認を行う。

③ 予備ゲート設置時の水密確認

(予備ゲートが正しく設置され、水密ゴムが正しく接しているか(止水させているか))

予備ゲートには上下段扉でズレないように接続ピン(凸凹)があり、接続ピンがささっているか目視(又は映像)確認を行う。水密ゴムの確認では、流木等異物を挟んでいないか目視(又は映像)確認を行う。

5. 試行結果

試行結果は次の通りであり、評価項目を3つに分類して結果を評価した。

表4 試行結果

検証項目	潜水士	水中ロボット
1)見え方	○	△
2)作業効率	○	△
3)安全性	△	○

1) 見え方

潜水士のカメラ映像と水中ロボットのカメラ映像の比較写真を図-7に示す。概ね、水中ロボットと潜水士では見え方に相違がないことが確認できる。また潜水士のカメラは同じ207万画素で撮影したもので潜水送気員がダイバーコントロール室のモニターで確認しているものを比較として並べている。

試行時の現場環境について、水中の濁度は6～14度であり、出水等がなかったため濁度は低い状態であり、潜水士の肉眼による視界は約2mであった。

①底部戸当り堆積物確認

堆積物確認の結果、流木などの大きな堆積物は確認されず、砂状の堆積物が数cm程度沈殿していた。水中ロボットはスクリュにより堆積物が巻上げられ視界不良により確認作業が困難なことから、水中ロボットの活用

はできず、引き続き潜水士の作業が必要である。

②予備ゲート及び吊り治具の水中部動作確認

水中ロボットで問題なく確認できた。見え方についても潜水士と遜色ないため、水中ロボットの活用が可能である。

③予備ゲート設置時の水密確認

2段目以降は、水中ロボットで問題なく確認できた。見え方についても潜水士と遜色ないため、水中ロボットの活用が可能である。

ただし、1段目設置後の水密確認において、底部水密ゴムの確認が水中ロボットでは死角のため確認できない結果となり、潜水士が覗き込むようにして確認する必要があることが分かった。よって、1段目設置時は水中ロボットの活用はできず、引き続き潜水士の作業が必要である。

影響のあるものではない。

また、潜水士では1潜水当たり、往復70分迄という潜水時間の制限があるが、水中ロボットは無制限であり、潜水士の休憩時間分も作業を継続することができ、全体的には効率がよい。

3) 安全性

潜水士では潜水病や送気ホースの切断事故等の人命に関わる重大リスクが懸念される。対して、水中ロボットでは危険な潜水作業を人が行わないため、安全に作業をすることが可能である。

6. ロボット導入におけるコスト縮減について

水中作業を潜水士のみで行った場合と水中ロボットを活用した場合の水中作業に要する概算費用を次のとおりとりまとめた。

概算費用に関して、今回の検証に要した1門当たりの費用を基に試算した。予備ゲートを設置・撤去時の陸上での作業員、クレーンなどの機械経費は除外している。

結果、水中ロボット活用した場合、作業期間中の潜水士の人員を減らすことができ、約34%のコスト縮減効果が期待できる。

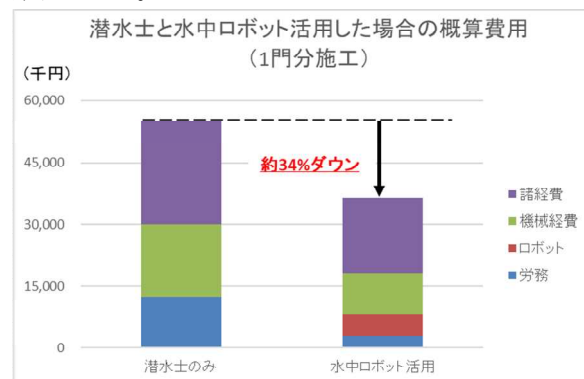


図-8 潜水士と水中ロボットを活用した場合の概算費用

7. おわりに

我が国では人口減少が進行しており、特に建設業界における人手（労働力）不足は深刻な問題である。加えて労務費、物価などが上昇していくなか、限られた予算で維持管理を行うため、DX 技術の導入等により点検現場の省人化による生産性向上・コスト縮減を図り、可能な限り維持管理費用を縮減していくことが重要である。

今回の検証で予備ゲート設置時の潜水確認作業に関して、作業の大部分を水中ロボットに代換えることが可能であることが分かった。水中ロボットを活用することで潜水作業員の省人化による生産性の向上、コスト縮減及び作業安全性の向上が期待できる。

今後もこのような DX 技術を積極的に活用しながら適切な維持管理を実施していきたいと考える。

底部堆積調査

吊り治具動作確認
接続ピン確認

水密ゴム確認

潜水士

水中ロボット

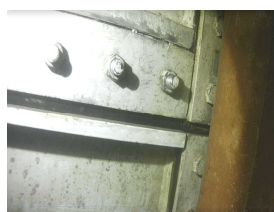
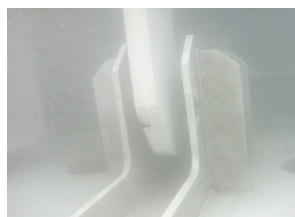


図-7 潜水士と水中ロボット確認における比較状況

2) 作業効率

潜水士は首を動かすことで1地点で広範囲を確認でき、移動量が少なく効率的である。対して、水中ロボットはカメラアングルが正面に固定されているため、1地点で見える範囲が狭く、潜水士より移動量が多く潜水士より時間を要した。ただしこの遅れは2～3段扉/日の予備ゲートを設置するという日当たり作業量を減らすほど