

報告書全文

## 自作水中観測ロボットを用いた大分県内ダムの環境保全調査

日本文理大学 大学院 航空電子機械工学科専攻  
工学部 機械電気工学科

准教授 稲川 直裕

■九州地方計画協会・研究支援事業報告書

■研究課題名：自作水中観測ロボットを用いた大分県内ダム環境保全調査

■申請者：日本文理大学大学院航空電子機械工学専攻 工学部機械電気工学科  
准教授 稲川 直裕

■研究協力者：大分県企業局<sup>[1]</sup> 工務部土木施設班

■（映像記録編集：株式会社ビジュアルプロ瞬）

■（研究実施補助者：日本文理大学 工学部情報メディア学科 新谷 裕幸  
日本文理大学 工学部機械電気工学科 鶴野 瑞穂）

## 1. 調査研究背景

ダムは全国に3000箇所以上<sup>[12]</sup>あり、その大半が高度経済成長時代に建設されている。建設後に40-50年経過しているダムも多く、観測・調査のニーズは高い。国土交通省は平成26年度より次世代社会インフラロボット水中維持管理部門の実証検証を開始し、観測ロボット導入に向けた実験を実施した。当研究室の水中ロボット技術は、その実証検証に応募・採択され2年間のダム観測実績を有している。ダムの殆どは、水中ロボットが配備されておらず、ダイバー無しでの水中観測・調査は容易に実施できないのが実情である。

一方、無人水中観測ロボット<sup>[10][14]</sup>は作業中の人身事故の危険性の排除の上で優位性が高く観測情報を得る事が出来るため、他のダムへの安全な横展開も可能である。

そこで、平成29年1月には大分県北川ダム（1962竣工）に於いて土砂流入防止用ネットの現状位置確認の為に水中観測調査を、当研究室の水中ロボットを用いて実施し、水深18m付近の良好な観測画像を得て大分県企業局へ観測データを初めて提供した。

## 2. 調査研究目的

ダムでは継続した環境保全調査が必要であることから本調査研究では、当研究室で独自に開発した水中観測ロボット<sup>[14]</sup>（既存設備）を用いて、芹川・北川ダム<sup>[2][3]</sup>の環境保全用水中観測（高画質動画撮影）を実施する。

これにより従来観測困難であった「発電用取水ロススクリーン（追加項目）」、「汚濁防止フェンスの水中状態」、「水循環装置」の観測および「水中観測ロボットの機能向上の為に実証動作試験」を目的とする。

## 3. 調査研究実施項目

- ・発電用取水ロススクリーン水中撮影（追加項目 芹川・北川ダム<sup>[2][3]</sup>）
- ・汚濁防止フェンスの設置状況確認や定点に於ける藻の発生状況の観測（北川ダム<sup>[2]</sup>）
- ・水中構造物（水循環装置）状況確認（芹川ダム<sup>[3]</sup>）
- ・観測調査時の現場に於けるロボットの動作性能評価および性能向上の検討
- ・水中ロボットのメンテナンスとしてケーブル・LED・モータの交換、取付け
- ・撮影データを提供

#### 4. 調査研究機材

当研究室で所有する水中観測ロボット<sup>[5][6][7][8][9][14]</sup>の外観を図1 およびシステム構成を図2に示す。これに発電機を追加して調査研究実験を行う。



図1 水中ロボット外観

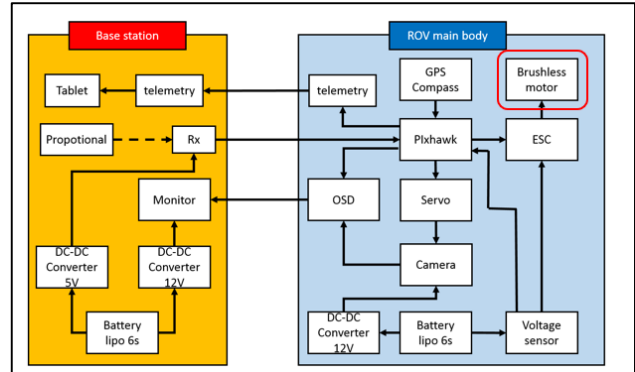


図2 水中ロボットシステム構成

#### 5. 調査研究

##### 5.1 調査研究実施項目 平成29年5月 芹川ダム<sup>[3]</sup>

- ・発電用取水口スクリーン水中撮影（追加項目）

本調査では、大分県竹田市に位置する芹川ダム<sup>[3]</sup>を対象とした。芹川ダム（図3）は、1956年竣工、有効貯水容量22,300,000m<sup>3</sup>、堤高52.2m、洪水調節・かんがい・発電を目的としたダムである。



図3 芹川ダム



図4 芹川ダム取水口調査の様子

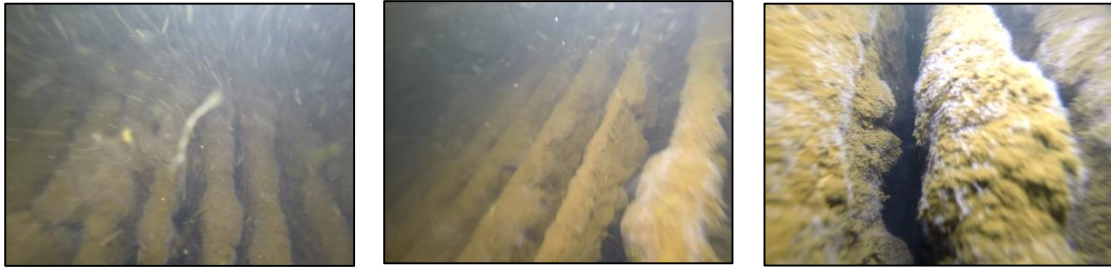


図5 芹川ダム取水ロスクリーン

図4は、船上から水中ロボットを降下させ、水中に投入する様子を示す。

図5は、芹川ダムの発電用取水ロスクリーン、水深約18mの様子を示す。

スクリーンに堆積物が確認出来た。

- ・水中構造物（水循環装置）状況確認
  - 濁度<sup>[15]</sup>の問題および雨天のため水循環装置の調査は、次回の実験へ変更した。
- ・観測調査時の現場に於けるロボットの動作性能評価および性能向上の検討
  - 芹川ダムは温泉水の流入による特異的な水質の影響<sup>[13]</sup>により、水中モータ（水平方向および前後方向）の劣化が生じたため、水質の影響を受けにくいモータのフレーム構造の必要性が浮上した。
- ・水中ロボット<sup>[14]</sup>のメンテナンスとしてケーブル・LED・モータの交換、取付け
  - LEDの性能に問題は無かった。モータ・ケーブルについては、実験を重ねる判断とした。
- ・撮影データを提供
  - 解像度 1920×1080 の動画データを提供した。

## 5.2 調査研究実施項目 平成30年1月 北川ダム<sup>[2]</sup>

- ・発電用取水ロスクリーン水中撮影（追加項目）

本調査では、大分県佐伯市に位置する北川ダム<sup>[2]</sup>を対象とした。北川ダム（図6）は、1962年竣工、有効貯水容量 34,700,000m<sup>3</sup>、堤高 82.0m、洪水調節・発電を目的としたダムである。



図6 北川ダム

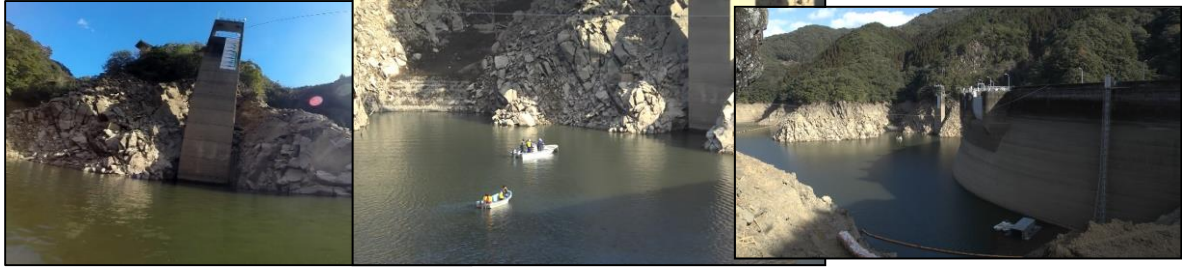


図7 北川ダム取水口調査の様子



図8 北川ダム取水口スクリーン

図7は、船上から水中ロボットを降下させ、水中に投入する様子を示す。

図8は、北川ダムの発電用取水口スクリーン水深約5mの様子を示す。

芹川ダムと比較して堆積物の違いは、スクリーン交換後の経年数による。

- ・汚濁防止フェンスの設置状況確認や定点に於ける藻の発生状況の観測（北川ダム）

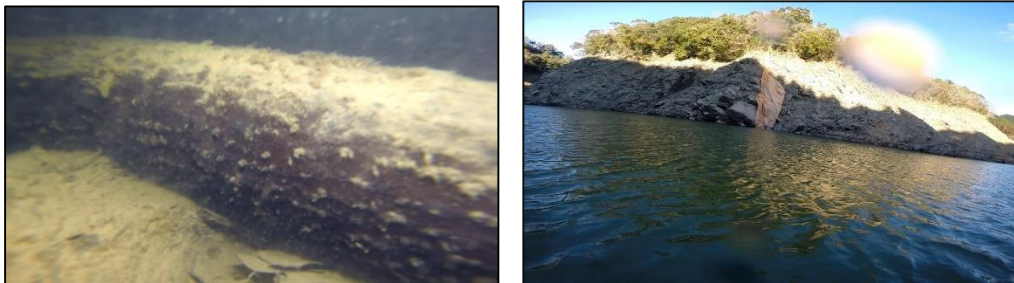


図9 北川ダム汚濁防止フェンス

図9は、汚濁防止フェンスの水底の様子を示す。藻の発生状況や水底の様子が確認出来た。

- ・観測調査時の現場に於けるロボットの動作性能評価および性能向上の検討  
濁度が少なく、水中モータ（水平方向および前後方向）の劣化に影響は少なかった。しかし、水中の濁度<sup>[15]</sup>など水質の影響を受けないモータのフレーム構造<sup>[4][6][7][14]</sup>の必要性が再確認された。
- ・水中ロボットのメンテナンスとしてケーブル・LED・モータの交換，取付け  
LEDの性能に問題は無かったため，LEDの追加や交換は不要とした。次回実験に備えてモータ交換およびケーブル交換を実施する事とした。
- ・撮影データを提供  
解像度1920×1080の動画データを提供した。

### 5.3 水中ロボットの動作検証実験に基づくメンテナンスについて

5.1 および5.2 の調査研究と同時に水中ロボット<sup>[14]</sup>の動作検証実験を実施した。

これらの結果に基づき、水中モータは水質の影響により劣化が進行する事から、水密構造<sup>[4][14]</sup>の改良と共に交換が必要との判断に達した。また、ケーブル交換を実施する事とした。



図10 従来の水中モータ



図11 3Dプリンタ<sup>[5][11]</sup>によって製作した治具とモータ



モータの水密構造は、当初外注加工を想定していたが、今回当研究室で所有する3Dプリンタ<sup>[5][11]</sup>を使うことによってモータ治具を製作し、さらに防水部品を研究室内で付加することによって外注加工費を当初の予算より節約することが出来た。図12に改良後に交換した水中モータを示す。また、実験によるケーブルの劣化や損傷は無かったが、故障リスク低減のために交換を実施した。(図13)



図12 改良後に取付けた水中モータ



図13 交換したケーブル

#### 5.4 調査研究実施項目 平成 30 年 3 月 芹川ダム<sup>[3]</sup>

- ・発電用取水口スクリーン水中撮影（追加項目）

本調査では、大分県竹田市に位置する芹川ダム<sup>[3]</sup>を対象とした。芹川ダム（図 3）は、1956 年竣工、有効貯水容量 22,300,000m<sup>3</sup>、堤高 52.2m、洪水調節・かんがい・発電を目的としたダムである。



図 14 芹川ダム取水口調査の様子 平成 30 年 3 月

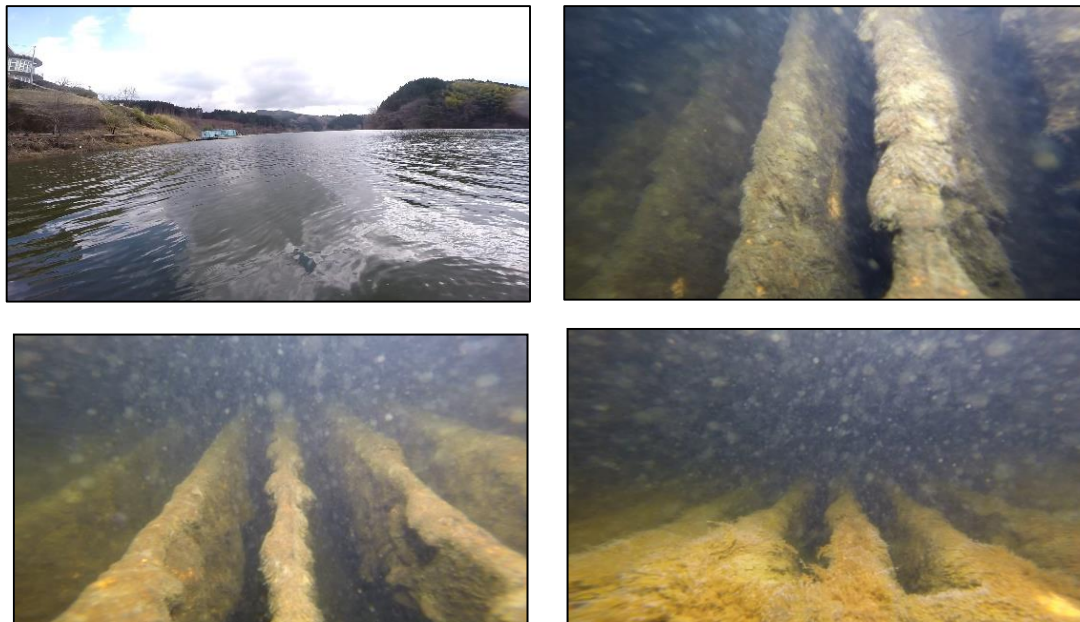


図 15 芹川ダム取水口スクリーン

図 14 は、船上から水中ロボットを降下させ、水中に投入する様子を示す。

図 15 は、芹川ダムの発電用取水口スクリーン水深約 5mの様子を示す。

平成 29 年 5 月と同じ場所に水中ロボットを投入した。透明度は前回より上がっており視認性は向上していた。スクリーンの堆積物について顕著な経時変化は確認出来なかった。



図 16 芹川ダム水循環装置調査の様子

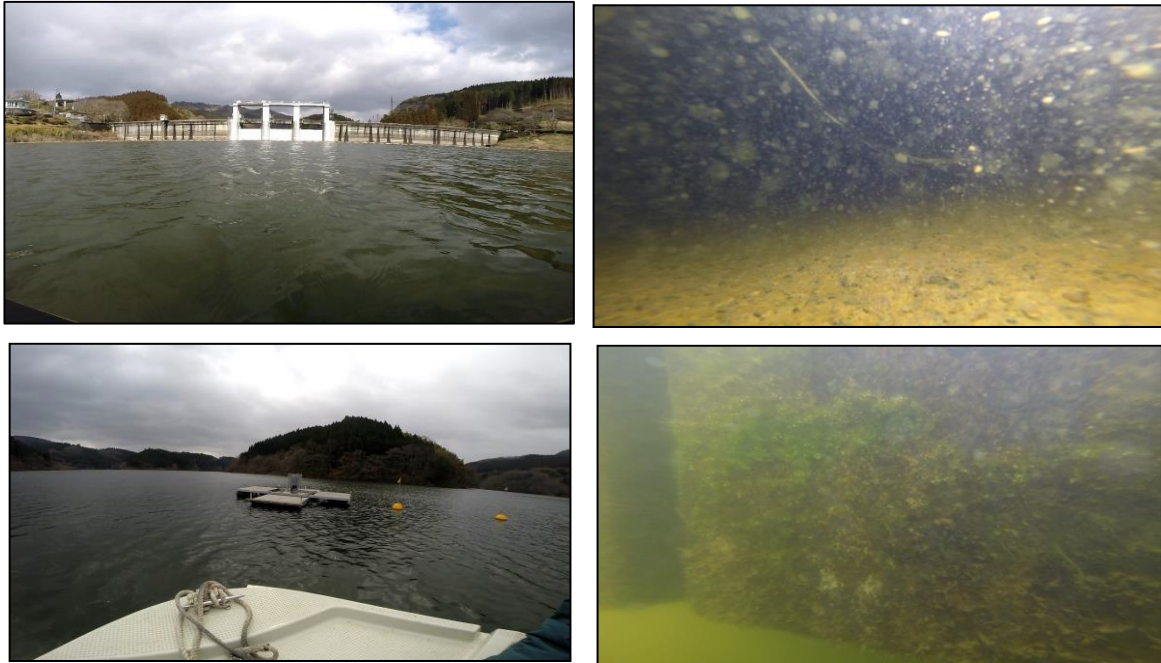


図 17 芹川ダム水循環装置

- ・水中構造物（水循環装置）状況確認

前回実験出来なかった水循環装置の状態確認をすべく、水中ロボット<sup>[14]</sup>を投入した。堤体に近い事もあり、取水口スクリーン場所に比べ濁度<sup>[15]</sup>があり、視認性が悪い状態が確認された。図 17 左上は、水循環装置から堤体を見た写真，同右上は水循環装置と堤体の中間地点の水底（水深約 38m 付近）写真，同左下は水循環装置の水上部分，同右下は水循環装置の一部（水深約 8m 付近）を示す。

水底付近では泥状の堆積物が確認出来、ワカサギなどの魚が確認出来た。しかし、水面付近の風の影響により水に流れが生じており、定点の観測は困難であったため水循環装置の水底部分の確認には至らなかった。

- ・観測調査時の現場に於けるロボットの動作性能評価および性能向上の検討

水中モータの改良およびメンテナンスにより、推進力が増大し、操縦性能が向上した。<sup>[5]</sup>今回の改良およびメンテナンスにより、今後も円滑な観測調査が期待出来る。

- ・撮影データを提供

解像度 1920×1080 の動画データを提供した。



## 6. おわりに

本研究では、自作水中観測ロボット<sup>[14]</sup>を用いて、ダム環境保全調査を実施した。調査では、取水口スクリーン・汚濁防止フェンスの水中状態の観測および水循環装置の状態を観測した。水中観測動画データは、全て大分県企業局へ提供した。

また、モータの改良を伴うメンテナンスにより、水中観測ロボットの操縦性能を向上することが出来た。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、平成 29 年度九州地方計画協会公益支援事業（調査・研究）の支援を頂いた事に謝意を表す。また、大分県企業局には、ダム実験に際し協力して頂いた。ここに記し、謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 大分県企業局：<http://www.pref.oita.jp/soshiki/70.html>
- [2] 北川ダム：[http://www3.coara.or.jp/~kita\\_dam/dam\\_suii.html](http://www3.coara.or.jp/~kita_dam/dam_suii.html)
- [3] 芹川ダム：[http://www3.coara.or.jp/~kita\\_dam/dam\\_suii.html](http://www3.coara.or.jp/~kita_dam/dam_suii.html)
- [4] 森北博巳：明解入門流体力学，森北出版，2012
- [5] 水野操：自宅ではじめるモノづくり超入門，SBクリエイティブ，2013
- [6] 大野光之：配管材料ポケットブック，工業調査会，1999
- [7] 西野悠司：絵とき「配管技術」基礎のきそ，日刊工業新聞社，2012
- [8] 西野悠司：とことんやさしい配管の本，日刊工業新聞社，2013
- [9] 技術資料：塩ビ管の寸法，流体工学，2007
- [10] 青木秀男：遠隔無人潜水機（ROV）と水中検査，日本家海事協会会誌，1988
- [11] 3D-CAD の基礎を学ぶ，MONOWEB，2016
- [12] 萩原雅紀：ダム大百科，実業之日本社，2017
- [13] 横田恭平：水位の変動による芹川ダム貯水池の底質が下流の水質に与える影響，九州地方計画協会公益支援事業報告書，2016
- [14] 編者：Ikuo Yamamoto，分担執筆：Daisuke Kawabata，Naohiro Inagawa，Yo Ito：Research and Development of User Friendly ROV with High Maneuvering Control System，2015
- [15] 編者：小池廣光，分担執筆：山本郁夫，稲川直裕，伊藤洋，山田百合子：水中 ROV における濁度とコンクリート損傷等の識別精度の関係について，2014