

37. ジャイロ効果を利用した ROV による姿勢制御した水中構造物の健全性評価

－ インフラ点検用水中ロボット －

株式会社 大林組

○ 江原 雅洋
沼崎 孝義
三輪 徹

1. はじめに

我が国の社会インフラ施設の多くで進行する老朽化、年々リスクの高まる大規模地震や頻発する風水害などの災害、一方、社会情勢としての人口減少・少子高齢化の進行といった重要かつ喫緊の課題がある。これに対して、近年の ICT などを活用し、効率的・効果的な対応を可能とする技術を開発し、導入することが求められている。

その中で、ダム水中部の潜水士による近接目視の代替（精査）または支援（概査）ができる技術・システムが国交省から公募の対象となった。そこで、ジャイロ効果を搭載した水中ロボットを新規製作し、ダム現場の実証試験に参加し、水中部のダム壁面やゲート戸当りの良質な映像を取得することができた。

本報文は、開発した水中点検ロボットの機能ならびにダム実証試験の結果について記述する。

2. ジャイロ効果の機能

ダムなどの水中構造物の点検作業は、通常潜水士により実施され、水中写真の撮影も行われている。この点検作業を水中点検ロボットに代替させると共に当社が開発したジャイロ効果活用した水中ロボットを使用することで対象物を見失うことなく低速で本体を回転・静止させ、ブレのない映像を取得することを可能とした。

スカイツリー建設時に威力を発揮した当社開発機械である吊荷方向制御装置を水中で使用できるようにした装置で、ジャイロ効果を活用し水中を浮遊する装置などの姿勢制御機能を有する。

ジャイロ効果とは、地球ゴマのように物体が高速で自転運動するとその姿勢を保持する現象である。図 2-1 にジャイロ効果の概要説明図示す。

高速回転フライホイール

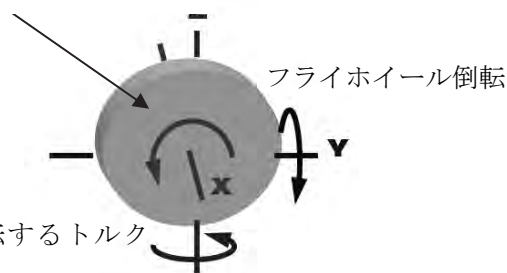


図 2-1 ジャイロ効果の概要説明図

3. 水中点検ロボットの機能

3-1 システム構成

水中点検ロボットのシステム構成図を図 2-1 に示し、①～⑥について説明を加える。

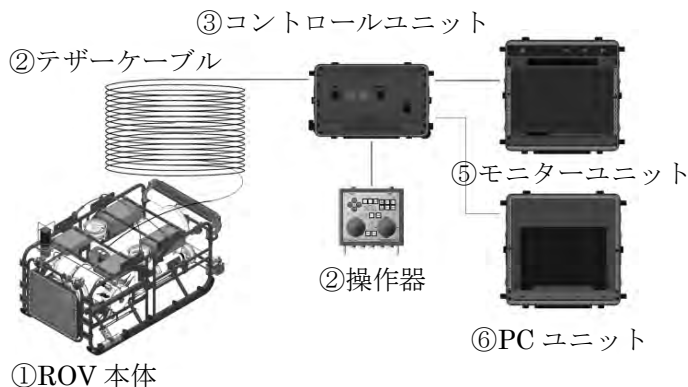


図 3-1 水中点検ロボットのシステム構成図

① ROV (Remotely Operated Vehicle) 本体

点検を行うロボット本体。アクアジャスター®、パンチルト機能付きハイビジョンカメラ、後方監視カメラ、高輝度 LED 照明、推進装置、ケレン装置、ラインレーザー、プロファイリングソナー、

深度センサ、姿勢センサなどを搭載している。
 (写真 3-1)

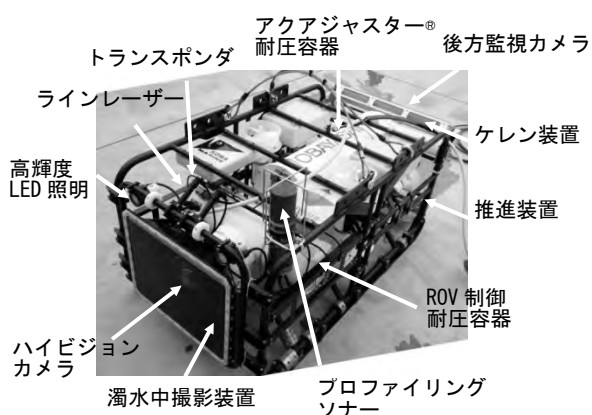


写真 3-1 ROV 本体の装備機能

②テザーケーブル

ROV 本体とコントロールユニットを接続する水中ケーブル。送電線、光ファイバー、テンションメンバで構成されている。

③コントロールユニット

ロボットシステムを制御するコントローラ。CPU やトランスなどを内蔵している。

④操作器

ROV 本体の運転を行う。アクアジャスター® やカメラの操作用スイッチ、推進装置操作用のアナログスティックなどにより構成されている。

⑤モニタユニット

ROV が撮影したハイビジョン映像を表示するモニタおよび録画するレコーダー、ROV の深度と方位をテキスト表示するディスプレイで構成されている。

⑥PC ユニット

ROV の全ての情報を表示し、ログ保存するための PC。PC ユニットの表示画面を写真 2-2 に示す。

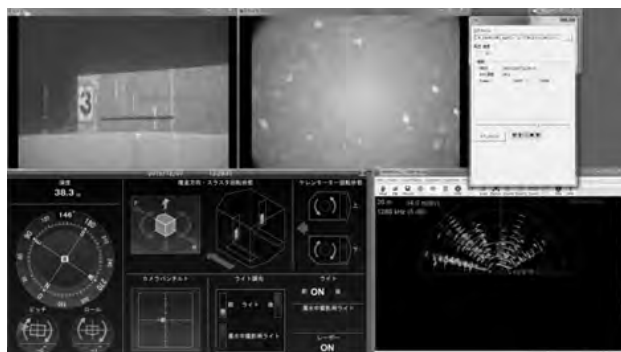


写真 3-2 PC ユニット表示画面

PC ユニットの表示画面は、【上段左端】ハイビジョンカメラの映像 【上段中央】後方監視カメラの映像 【上段右端】ログ状態表示 【下段左側】ROV の姿勢、深度、方位の各センサ情報、推進装置やケレン装置回転状態、カメラポジション、調光レベルなどをグラフィカルに表示する ROV 状態表示画面 【下段右側】ソナー画面 となっている。

3-2 ロボットの機能

ROV 本体に搭載したハイビジョンカメラで対象物を撮影し、ラインレーザーで大きさの把握が可能である。ハイビジョンカメラには、濁水中での撮影環境を改善させるため、カメラ前方に清水を満たした容器（濁水中撮影装置）と画面上のマリンスノーなどが除去できる画像詳細強化装置を配置している。さらに、ソナーを使用することで、濁って視界の悪い環境でも、ダム壁など周囲の構造物と ROV の位置関係を広範囲に把握することができる。

ROV の後方にはケレン装置と後方監視カメラを装備しており、推進装置の力でロールブラシを壁面に押し付けて清掃することが可能である。

PC ユニットに保存したログは、再生時に全ての情報を同期して再生することができ、報告書作成時の作業負荷を軽減している。

3-3 ロボットに装備可能な機能

ロボットには拡張性があり、横移動用推進装置や水中で軽作業を行うマニピュレーターなどを追加可能である。また、Ether 通信を使用し、各種センサなどを増設して PC に表示することができるよう設計されている。

4. 水中心検ロボットの位置確認機能

ROV 本体の位置を正確に把握することは、広域の水中心検における課題の一つである。計測方法として GPS を使用する場合、山間部であることやダム堤体の電波障害物により、GPS が十分な数の衛星からの電波を取得できない懸念がある。

そこで当社は、作業船が見渡せる陸上に自動追尾機能付きのトータルステーションを使用し、作業船に設置したプリズムの位置座標を連続的に取

得した。さらに、作業船に船体ジャイロとトランスポンダ（音波センサ機器）を設置し、作業船の方位や ROV の相対位置をリアルタイムにモニタリングできる位置確認システムを構築した。

これら一連の測位情報を連動させることで、ROV の絶対位置座標を把握できる。ROV 位置確認の概念図を図 4-1 に、天ヶ瀬ダム検証後の ROV 軌跡図を図 4-2 に示す。

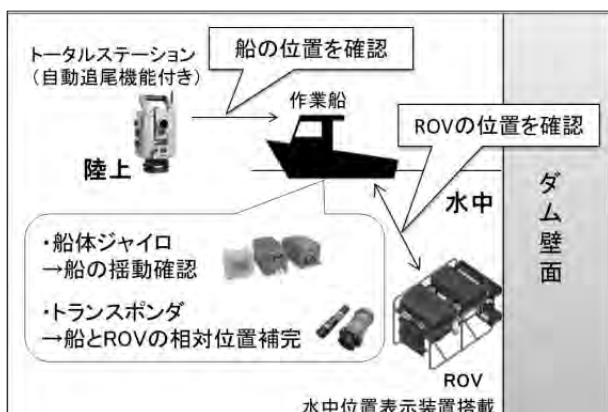


図 4-1 ROV 位置確認の概念図

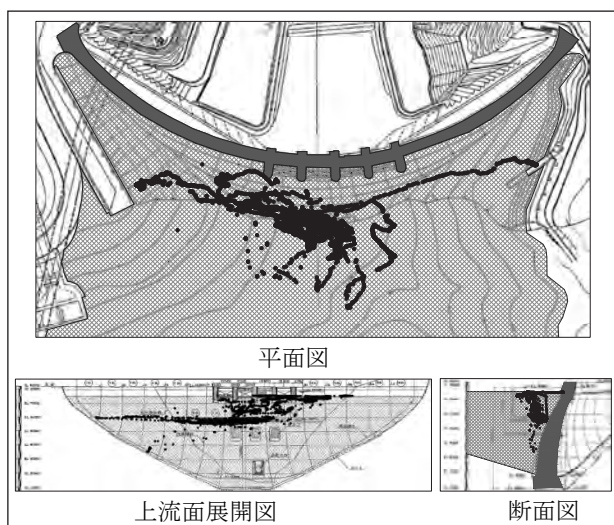


図 4-2 検証後の ROV 軌跡図 (天ヶ瀬ダム)

5. 国交省ダム実証試験の結果

5-1 準備作業

当社は、平成 27 年 11 月 20 日に天ヶ瀬ダム（京都府）、同年 12 月 7 日に弥栄ダム（広島県・山口県）のダム点検公募調査を実施した。調査当日のタイムスケジュールを以下に示す。

・天ヶ瀬ダム

8:30～ 9:00 朝礼

9:00～ 9:30 事前測量

9:30～11:00 機材搬入、設置

11:00～15:30 調査（昼休憩 1 時間）

15:30～17:00 片付け、撤収

・弥栄ダム

7:30～ 8:30 機材搬入、朝礼

8:30～ 9:00 事前測量

9:00～10:30 設置、移動（上流～堤体部）

10:30～16:30 調査（昼休憩 1 時間）

16:30～17:15 移動、片付け、撤収

トータルステーションは右岸と左岸の基準点を視準し据え付けた。ROV 本体を含む機材 1 式は、ワンボックス車 1 台に収納して運搬した。

天ヶ瀬ダムではインクラインに格納された巡視船にて、弥栄ダムではダム湖上流の浮棧橋に係留された監視船にて機材を設置した。全ての作業は測量、船長、無線報告、ROV オペレーター、ケーブル介錯が各 1 名の計 5 名で行い、設置に概ね 1 時間、撤去に概ね 30 分を要した。天ヶ瀬ダムと弥栄ダムの調査準備状況をそれぞれ写真 5-1, 2 に示す。

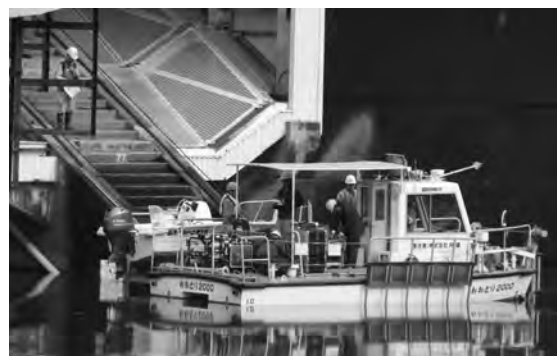


写真 5-1 調査準備状況（天ヶ瀬ダム）



写真 5-2 調査準備状況（弥栄ダム）

5-2 調査内容

各ダムでの調査項目は以下の通り。

- ・横継目、水平継目、壁面の概査
- ・模擬版探索、精査

- ・予備ゲート戸当り変状調査
- ・低水放流設備および着底水深調査
- ・選択取水塔調査（弥栄ダムのみ）

模擬版とは、あらかじめ予備ゲート付近に設置されたコンクリート製の調査用試験体である。模擬版は、各ダムにおいて4種類設置されており、円柱状の突起や幅の異なるクラックが設けられている。

5-3 調査結果

横継目、水平継目、壁面の概査ではクラックの有無を確認しながら水深40m付近まで潜行した。水中映像は、高輝度LED照明と画面上のマリンスノーなどが除去できる画像詳細強化装置を使用しながら、ハイビジョンカメラで撮影した。弥栄ダムの横継目の概査状況を写真5-3に示す。

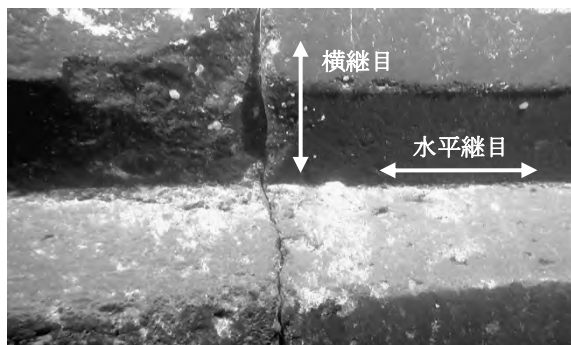


写真5-3 水深30m横継目概査状況(弥栄ダム)

模擬版精査はジャイロ効果を使用した制御とラインレーザー（照射幅100mm）を用いて計測した。弥栄ダムの模擬版精査状況を写真5-4に示す。



写真5-4 模擬版精査状況(弥栄ダム)

予備ゲートの戸当り調査では変状箇所が見られなかった。また、調査時間の制約で低水放流設備を確認することができなかった。予備ゲート下部着底水深調査では天ヶ瀬ダムで40m、弥栄ダムで

82mであった。

選択取水塔調査では、着底水深41mにて流木の堆積を確認した。また、水深20m付近でROVに搭載したケレン装置を使用してスクリーンの清掃を行った。その結果、スクリーンのヘッドロが取れて金属の光沢が現れた。選択取水塔流木状況を写真5-5に、清掃後のスクリーン状況を写真5-6に示す。



写真5-5 選択取水塔流木状況(弥栄ダム)

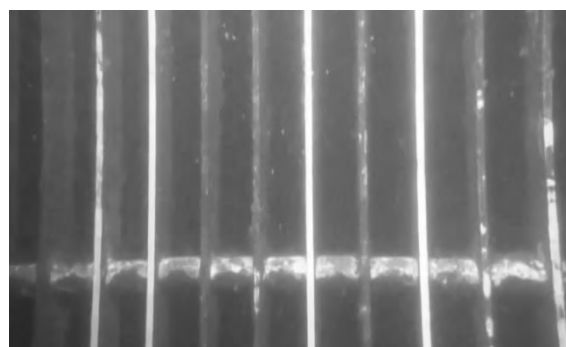


写真5-6 清掃後のスクリーン状況(弥栄ダム)

6. おわりに

今回2件のダム調査は、クラックの把握ができる映像を取得することができ、一定の成果はあげられたと考える。対象となるダムを定期的に調査する場合には、事前に検査対象の図面を3次元化してシステムに取り込んでおき、トランスポンダやトータルステーションで測位したROVの位置を、図面上にリアルタイムでプロットすることも可能であり、検査対象位置が分かればその位置への誘導も可能となる。

一方、基本的に揚重機を使わずにROVをセットすることを考えて製作を行ったが、ROV本体が130kgとなったため、着水揚収時の作業性をより良くするための機器の軽量化や、着水揚収方法の効率化が必要であると感じた。

また、海上栈橋のコンクリート下面の点検への適用できないかという要請もあり、現在の ROV を改造もしくは新規製作を検討しているところである

参考文献

- 1) 井上, 渡辺, 脇坂, 他, ”ジャイロモーメントを利用した吊荷制御装置の開発と実用化”, 日本ロボットシンポジウム, pp107-116(1995)
- 2) 井上, 小泉, 小野, ”超高層建設における高出力吊荷回転装置の開発”, 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, (岡山) , 1A1-B09, (2011)
- 3) <http://www.kwk.co.jp/marine/products/robot.html>
(広和株式会社マリンシステム部)