

水深 100 m をロボ点検

水上からの遠隔操作で水中構造物を的確に点検

水中点検ロボット「ディアグ」と姿勢制御装置「アクアジャスター」

徳 永 篤

近年、多くの社会インフラ施設が老朽化する中、ダム水中部の潜水土による近接目視の代替・支援技術が望まれている。そこで水中における姿勢制御装置「アクアジャスター[®]」（以下「本装置」という）を搭載した水中点検ロボットを製作し、供用中のダムで実証実験を行った。

本稿では、流れのある濁った水の中でも鮮明な点検映像を取得できる撮影技術の他、水中点検ロボットのさまざまな機能の紹介を行うとともに実証実験の結果を報告する。

キーワード：ダム、水中点検、映像、鮮明、大深度、計測、位置情報

1. はじめに

我が国の多くの社会インフラ施設の老朽化が進行する中、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対策および社会情勢として人口減少・少子高齢化といった重要かつ喫緊の課題がある。これに対して、近年、ICT などの活用により効率的・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。そうした中、ダム水中部の潜水土による近接目視の代替または支援技術の現場検証が国交省から公募された。そこで当社開発技術である本装置を搭載した水中点検ロボット「ディアグ[®]」（以下「本ロボット」という）を新規製作し、供用中のダムで実証実験を行って、水中のダム堤体面やゲート設備などの鮮明な映像を取得することができた。

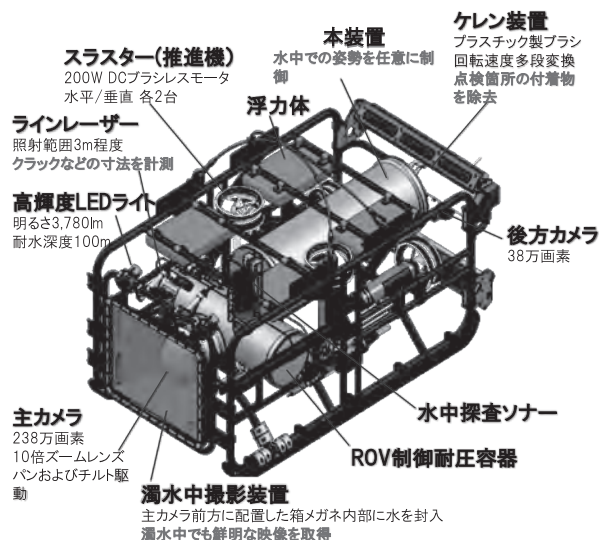
従来はダムなどの水中構造物・インフラ設備の点検を潜水土により行っていたため、潜水深度によって作業時間の制限や危険を伴っていたが、水上からロボットの遠隔操作により点検することで、安全にかつ長時間連続して行うことが可能である。以下に本ロボットの機能と実証実験での結果について記述する。

2. 本ロボットの機能

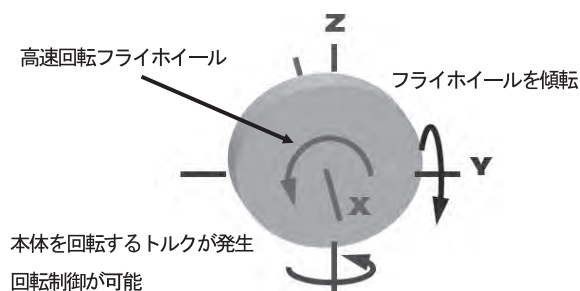
本ロボットは濁りや流れのある目視困難な水中でも的確な点検を実施できるように、さまざまな機能を備えている（図—1）。

(1) 本装置

本装置は、東京スカイツリー[®]建設時に効果を発揮したクレーン吊荷制御装置スカイジャスター[®]を水中で使用できるようにした装置である。ジャイロ効果を利用することで本ロボットの姿勢制御が可能となる。



図—1 本ロボットの構成



図—2 ジャイロ効果の説明

ジャイロ効果とは、地球ゴマのように物体が自転運動をする際、回転速度が大きいほど姿勢が安定する現象である（図—2）。

本装置を搭載することで、流れのある水中（流速1ノットまで適用可能）でのロボットの姿勢が安定し、対象物を的確にとらえることが可能である。

（2）画像鮮明化機能

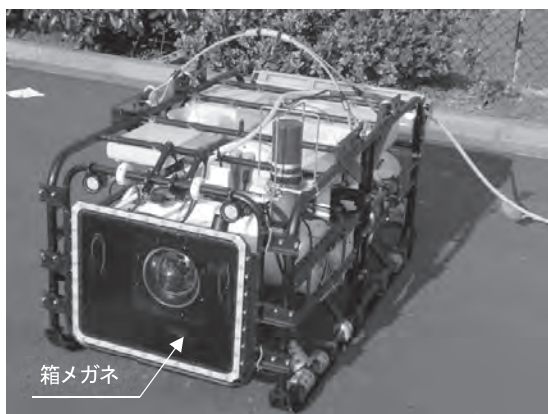
本ロボットは主カメラとして238万画素のハイビジョンカメラを機体前方に搭載している。水中での光量不足に対応するために照度3,780 lmの高輝度LEDライトを備えるとともに、濁りによる不鮮明な映像のノイズを除去し、最適化して映し出す「画像詳細強化装置」によりリアルタイムに鮮明な画像を見ることができる（写真—1）。さらに、主カメラ前方に配置した箱メガネ（濁水中撮影装置）内部に清水を入れて対象物に接近することで極端に濁った水中でも鮮明な画像を取得できる（写真—2）。

（3）耐圧機能

機器、電線、コネクターなどを耐圧仕様にすることで、水深100 mまでの作業を長時間連続して行える。これにより、従来潜水士では作業できなかった大深度での作業が可能である。



写真—1 画像詳細強化装置による効果



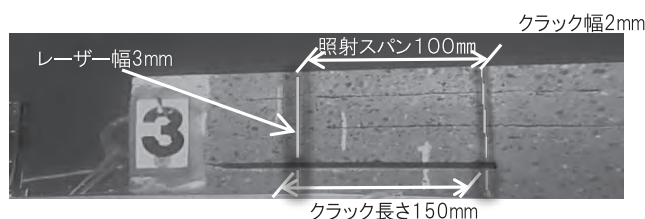
写真—2 箱メガネ（濁水中撮影装置）

（4）クラックなどの計測機能

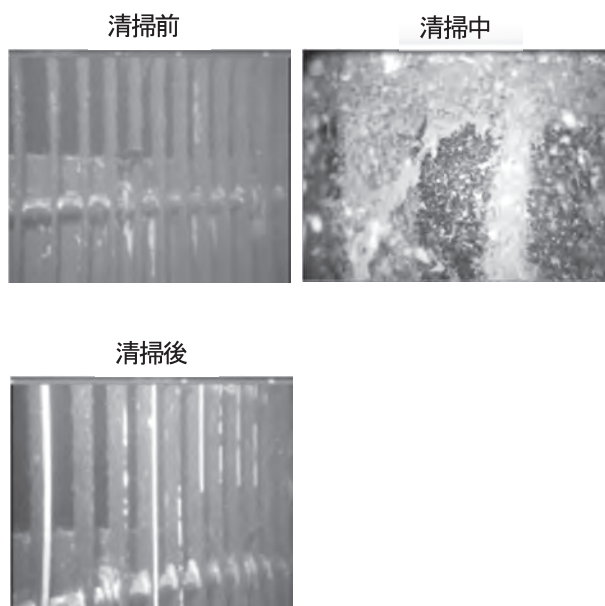
機体前方から対象物に対してラインレーザーを照射することができ、クラックなどの寸法測定が可能である。照射するラインレーザーは幅3 mm、間隔100 mmで、取り込んだ画像からスケールアップにより寸法測定を行う（写真—3）。

（5）点検対象物の清掃機能

本体後方にプラスチック製ブラシのケレン装置を搭載しているので、点検対象物の付着物を除去することができ、明瞭に撮影することができる（写真—4）。



写真—3 ラインレーザー照射状況



写真—4 スクリーンの清掃状況

（6）位置情報の取得機能

GPSまたは自動追尾機能付きトータルステーションとトランスポンダ（送信機と応答機の音波授受により位置情報を取得できる装置）を使用して水中にある本ロボットの正確な位置を割り出し、撮影箇所の位置を把握することができる（図—3）。

（7）簡易な取扱い機能

本ロボットの大きさは幅780×奥行1,508×高さ711 mm、重さは約130 kgであり、作業員4人で持ち運びが可能である。大型重機を使用することなく、地

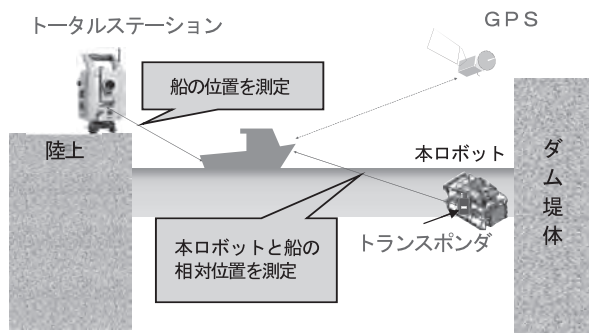


図-3 位置測定システム

上または船上から人力で水中投入することができる。また、ワゴン車1台にすべての機材が積み込み可能で運搬が容易である。

本ロボットの操作は陸上または船上のモニター画面を見ながらジョイスティック形式の操作リモコンを使用する。操作が簡単で資格も不要である（図-4、写真-5）。

3. 本ロボットのシステム構成

本ロボットのシステム構成を示す（図-5）。

(1) 本ロボット本体（図-5①）

一部を先述したが、本装置、パンチルト機能付きハ



図-4 操作モニター



写真-5 操作リモコン

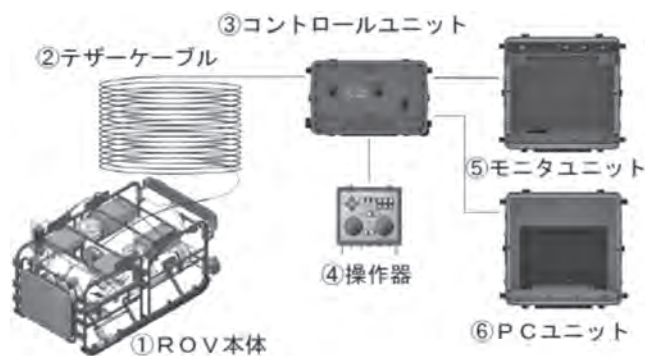


図-5 本ロボットのシステム構成

イビジョンカメラ、後方監視カメラ、高輝度LED照明、スラスター、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、姿勢センサを搭載し、鮮明な撮影データを取得する。

(2) テザーケーブル（図-5②）

本ロボット本体とコントロールユニットを接続する水中ケーブルで、本体への動作指示や取得した撮影データのコントロールユニットへの送信を行う。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（図-5③）

システム全体を制御するコントローラで、CPUやトランスなどを内蔵している。

(4) 操作器（図-5④）

本ロボット本体の運転を行う。本装置やカメラの操作スイッチ、スラスター操作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（図-5⑤）

本ロボットが撮影したハイビジョン映像を表示するモニタ、録画するレコーダおよび本ロボット本体の傾きや方位を表示するディスプレイで構成されている。

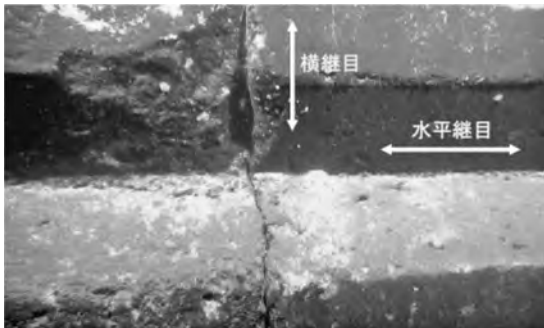
(6) PCユニット（図-5⑥）

本ロボットのすべての情報を表示するとともにログ保存を行う。

4. 実証実験結果

国交省公募事業での実証実験は、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）で実施した。

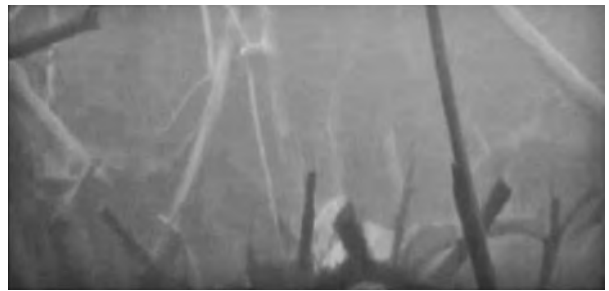
各ダムでの調査項目は①横継目・水平打継目・堤体面の概査, ②模擬版探索・精査, ③予備ゲート戸当り変状調査, ④低水放流設備および着底水深調査, ⑤選択取水塔調査(弥栄ダムのみ)であった。模擬版とは予め予備ゲート付近に設置されたコンクリート製の調査用試験体である。模擬版は、各ダムにおいて4種類設置されており、円柱状の突起や幅の異なるクラックが設けられている。①横継目, 水平打継目, 堤体面の概査ではクラックの有無を確認しながら水深40m付近まで潜行した。水中映像は高輝度LEDライトと画像詳細強化装置を使用しながらハイビジョンカメラで撮影した。弥栄ダムでの横継目の概査状況を示す(写真—6)。



写真—6 横継目概査状況 (弥栄ダム水深30m)

②模擬版調査は本装置とラインレーザーを用いて計測した(写真—3)。③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。④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。⑤選択取水塔調査では、水深41mにて流木の堆積を確認した(写真—7)。また、水深20m付近で本ロボット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結果、付着していたヘドロを除去でき、金属の光沢が現れた(写真—4)。

これら2つのダム現場での水中心点検を実施した結果、点検撮影時に本ロボットの姿勢を安定させる本装



写真—7 流木堆積状況 (弥栄ダム)

置によりブレない鮮明な動画を撮影できたことや、画像鮮明化技術を有してより精細な動画を撮影できたことが評価されて平成27年度末に国交省より最高評価となる「★★★」星3つの評価をいただき、試行的導入推薦技術とされた。そして平成28年度には国交省の管轄する2箇所のダムで今後の本格導入に向けた試行的導入を行った。

5. おわりに

合計4現場での実証実験では、堤体表面の状態を把握できる映像を取得することができ、一定の支援が可能な性能を有することが確認できた。今後はダムにおける水中心点検ロボットの本格導入に向けて改良を行うとともに、護岸・栈橋といったダム以外の河川構造物や港湾・海洋構造物への適用範囲拡大に取り組む。さらに測量機能などを付加してダム再開発工事での適用も検討していく。

J C M A

【筆者紹介】

徳永 篤 (とくなが あつし)

(株)大林組

土木本部 生産技術本部 ダム技術部

副部長

