

### 遠隔操作無人探査機 (ROV) を利用した大水深水中調査ロボットの現場適用

五洋建設(株) 正会員 ○小笠原 哲也  
 五洋建設(株) 杉本 英樹  
 五洋建設(株) 正会員 森屋 陽一

#### 1. はじめに

高度経済成長期を中心に整備された社会インフラは、長期間にわたって国民の生活を支えてきた一方で、老朽化が進行しており、効率的・効果的な維持管理を行う必要が生じている。構造物の維持管理を行う上で点検・調査が基本となるが、水深 40m 以上の大水深となるダム堤体や海洋・港湾構造物の点検・調査では、安全面と効率面から潜水士による目視調査が難しいという課題がある。このような背景を踏まえ、著者らは遠隔操作無人探査機 (Remotely operated vehicle: ROV) を利用した大水深域に適用できる水中調査ロボットを開発した。本稿では、国土交通省により公募された「次世代社会インフラ用ロボット技術・ロボットシステム 水中維持管理技術」に参加し、開発した水中調査ロボットを、宮ヶ瀬ダムの現場実証試験に適用した結果を報告する。

#### 2. 水中調査ロボットの概要

開発した水中調査ロボットは、長さ 80cm, 幅 50cm, 高さ 48cm であり、水深 150m までの耐水圧性能を有する。水中調査ロボットを写真-1 に、ロボット側面に配置した主要検査装置を写真-2 に示す。

ロボットは、配備した 6 個のスラスタにより上下左右前後への自由な移動、および左右の旋回が可能で、船上などの陸上から遠隔操作によって無人航行できる。水中では中性浮力を保持することからスラスタ制御によって設定深度・方位での位置保持が可能である。

写真-1, 2 に示すように、ロボット側面に主要検査装置を配備しており、ダム堤体などの壁面調査を行うときには、角度調整した伸縮ロッドを介して適切な角度と距離でロボットを壁面に押し付けて位置保持したまま、主要検査装置により近接点検することが可能である。近接点検では、調査箇所をケレン装置により清掃 (ケレン) した上で、計測用の光学カメラによって高精細な画像を取得することができ、さらにダムゲートのような鋼材の肉厚測定や、ダム堤体などのようなコンクリート壁面の打音検査を行うことができる。水中深くでは LED ライトにより必要な光量を確保できる。なお濁水中においても、写真-1 に示す音響カメラによってリアルタイムで水中画像を取得でき、超音波の反射到達時間およびその強弱により、カメラからの距離情報を含んだ扇状の陰影画像をリアルタイムに描出することで水中の様子を可視化することができる。また、ロボットの位置検出には水面に浮かべた GNSS ブイと超音波システムを使用し、深度検出には水圧計を用いて、各情報を操作者がリアルタイムに把握できるようにした。

以上の画像・計測データおよび位置情報は、リアルタイムで陸上のパソコンに取り込まれ、画像や音などで確認できるとともに、調査後に詳細な解析を行い、構造物の健全性を評価することも可能である。

#### 3. 現場実証試験の概要

水中調査ロボットの現場実証試験は、2014 年 11 月に神奈川県宮ヶ瀬ダムにおいて実施した。宮ヶ瀬ダムは、2001 年に運用開始した首都圏最大のダムであり、堤頂長約 400m, 堤高 156m (日本で 6 番目) で型式は

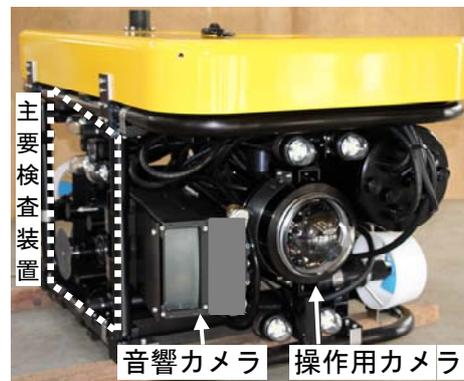


写真-1 水中調査ロボット

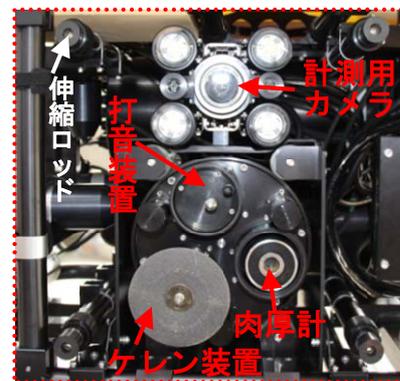


写真-2 主要検査装置

キーワード 大水深, 遠隔操作無人探査機, ROV, 水中, ロボット, 維持管理

連絡先 〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設(株) 技術研究所 TEL 0287-39-2109

重力式コンクリートダムである。ダム堤頂の標高は290m、ダム上流側の壁面は標高210mまで1:0.2の勾配を有し、それ以深では1:0.6の勾配となる。現場実証を行った11月は非洪水期であり、水面高は標高283m程度に調整されていた。現場実証試験の調査項目は5項目であり、①ダム堤体コンクリートの浮き・剥離などの状況確認（水深約20m）、②ひび割れ、突起物や剥落部をあらかじめ設けた模擬体の変状確認（水深約17m）、③高位常用洪水吐の状況確認（水深約48m）、④低位常用洪水吐の状況確認（水深約93m）、⑤ダム最深部付近の状況確認である。必須とされたのは①～③の項目であり、④、⑤については任意であったが、継続して本ロボットにより調査を行った。



写真-3 ロボット投入状況

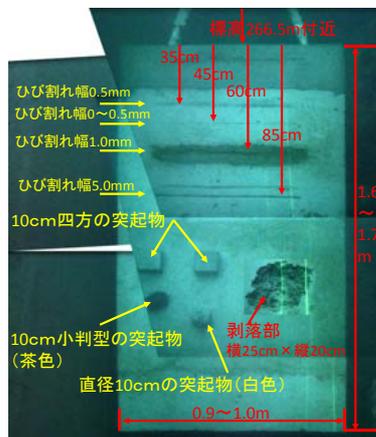


写真-4 模擬体計測結果

#### 4. 現場実証試験の結果

ロボットの空中重量は約80kgであり、写真-3に示すように堤体上からクレーンにより吊り降ろして水面に浮かべたあと、玉掛けを解除し水中に投入した。調査時のダム湖水の透明度は高く、水深約20mにおいて計測用カメラによりダム堤体の鮮明な画像を取得でき、コンクリート打継目の視認も可能であった。水平方向に約50mロボットを走らせ調査したが、画像取得できる範囲内で浮き・剥離などは確認できず、調査した箇所は健全であると判断できた。次に、水深約17mに設置された模擬体の鮮明な画像を計測用カメラで取得し、調査後に、画像内に写りこませたグリーンレーザ（間隔10cm）を長さの基準として模擬版の外形、ひび割れ、突起物や剥落部の寸法を算出して図化した（写真-4）。模擬版が緩やかな斜面に設置されていたため、版に直角に画像を取得できず、模擬版長さ（実際は2m）の計測誤差が大きくなったが、その他は概ね少ない誤差で計測できた。また、斜面であるダム堤体面は薄く堆積物で被覆されている箇所が多く、写真-5に示すように清掃を行うことで、写真-6に示すような堆積物を除去した清浄な壁面とすることができた。清浄な壁面に対して打音検査を行い、機械駆動のハンマーで壁面を叩いた音を取得することができたが、明らかな浮き・剥離箇所がなく、健全部のみで打撃音を取得したため、結果の評価はこれからの課題である。鋼材の肉厚計測については、実証時に機器の不具合が生じ測定できなかった。水深約48mの高位常用洪水吐では、管口部（ベルマウス）を光学カメラと音響カメラで撮影し形状を比較した。写真-7に示すように、光学カメラと音響カメラの形状は概ね一致しており、本ロボットに搭載した音響カメラによって水中の透明度が悪い場合にも構造物を視認できる可能性が示唆された。また、水深約93mの低位常用洪水吐では鋼管内に進入し、管内底部に木や葉が堆積していることを確認した。



写真-5 壁面清掃状況

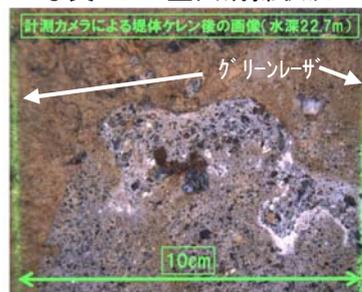


写真-6 壁面清掃後状況

最後に、ダム最深部と推定される水深約127mまで潜航して堆砂や沈木を確認し、潜水士では難しい大水深域まで調査が可能であることを確認した。

#### 5. まとめ

開発した水中調査ロボットは、現場実証試験において、事業化について可能なレベルであり、現場適応性および経済性について現行より優れる技術であると評価された。今後は、実証試験で得られた成果をもとに、より本技術の適用範囲を広げていく予定である。現場実証試験において、格別のご配慮をいただいた国土交通省、(一財)先端建設技術研究センター、実証現場をご提供いただいた相模川水系広域ダム管理事務所ほか、多大なご協力をいただいた関係各位に紙面を借りて謝意を表す。

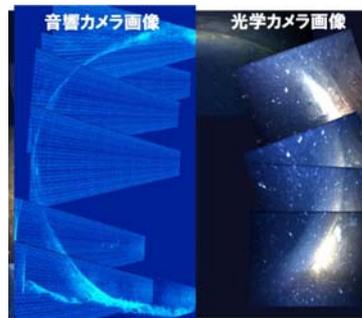


写真-7 高位常用洪水吐の管口部(ベルマウス)光学カメラ画像と音響カメラ画像の比較