

水中構造物のメンテナンス

北 詰 哲 朗・谷 口 一 平

近年増加傾向にある既存ダムの維持管理・改修工事において、安全性や作業性の観点から ROV や水中施工機械を用いることが増えている。本稿ではそれらの現状と今後の課題について述べていく。

キーワード：ダムのメンテナンス、保守点検、維持管理、機械化、ROV、水中機械、ダイバーレス

1. はじめに

政府のダム再生ビジョン¹⁾では既設ダムの長寿命化、効率的かつ高度なダム機能の維持、治水・利水・環境機能の回復・向上、地域振興への寄与など、既設ダムを有効活用するダム再生を推進するとされている。これに伴い既設ダムを有効活用する為の維持管理、リニューアル工事の案件が増えている。

本稿ではダムで活用される維持管理や堤体改修に用いられる技術に焦点を当て、課題と今後の展望について述べる。

2. 従来の中構造物の維持管理とその課題

従来の中構造物の検査は、潜水士による方法が一般的であり、図-1に空気潜水の機器概略図を示す。アンビリカルホース・ケーブルにより、気中で圧縮された空気を送気すると共に、カメラ等の電力供給および水上管理者との通話を行い作業する。

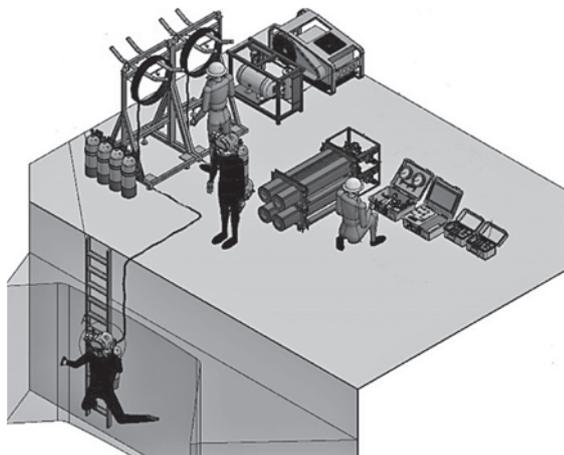


図-1 空気潜水機器概要²⁾

潜水士による検査には、目視、寸法実測等があり、検査の際に簡易的な付着物の除去、触診等の必要に応じた柔軟な対応も可能となる（写真-1）。

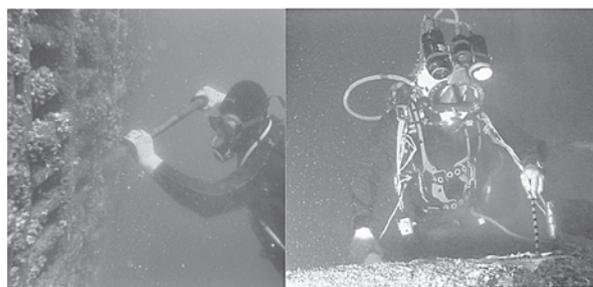


写真-1 潜水士による簡易的な清掃³⁾・検査状況⁴⁾

さらに詳細な検査が必要となる場合、鋼材の超音波肉厚測定等の非破壊検査を実施する。その際、部材表面を露出させる必要があり、高圧ジェット等を用いた清掃作業を行う。潜水士作業では、清掃時に構造物の塗装に損傷を与えないよう人の感覚による微調整も可能となる（写真-2）。

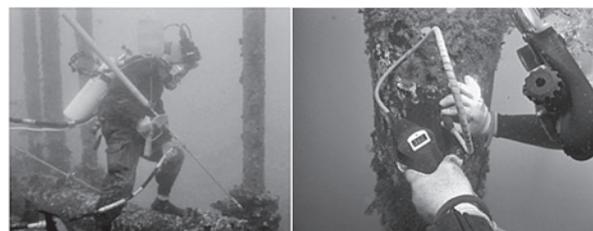


写真-2 高圧ジェットを使用した清掃⁴⁾・肉厚測定⁵⁾

従来から潜水士により行われてきた作業が多い中、近年は世界的な流れとしてダイバーレス化が求められている。その理由は以下の3点がある。

第一に人的安全性である。人が直接作業をすること

により、身体的な事故のリスクは避けられない。

第二に作業コストである。作業水深が浅ければ潜水作業時間の制約も少なく比較的安価であるが、作業水深が深くなるにつれ、減圧時間を含めて作業時間に制約が発生して人員増加に繋がり、必要な専用機器も増えることより、高コストに繋がる。

第三に将来的な潜水士不足である。土木関係に従事する潜水士の減少や高齢化などにより、将来的な潜水士不足が予想される。

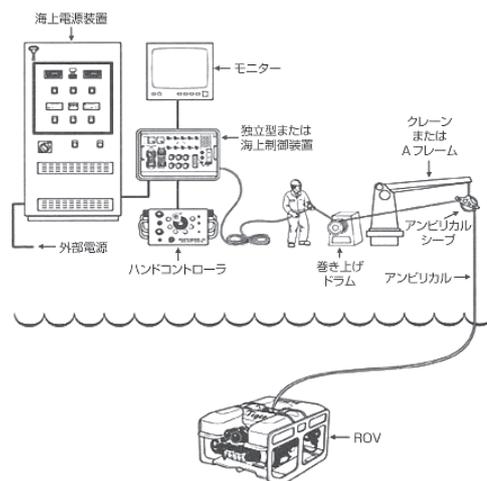
3. 水中施工の機械化とその課題

従来の施工方法の課題解決のため、潜水士が行ってきた作業を水中機械を用いて施工する、いわゆる機械化の動きが活発になってきている。この水中施工の機械化には、水中環境に起因する技術的課題を克服して陸上施工機械と同等の機能を発揮することが目標の一つに挙げられ、さまざまな水中施工機械が開発されている。

水中施工機械を大別すると、水中作業の汎用キャリアとして多用されているROV（Remotely Operated Vehicle）と、個別目的に応じて開発された水中専用機械がある。

(1) ROV

アンビリアルケーブルと呼ばれる有索にて遠隔操作し、自航する無人潜水機を総称してROVと呼ぶ。使用するROVによりアンビリアルケーブルの仕様は異なり、電力、油圧等の動力源の供給の他、航行や搭載機器の制御情報およびカメラからの映像信号等をリアルタイムで水上に伝送する情報通信機能も担う。図一



図一 一般的な ROV システム構成⁸⁾

2 に ROV 運用時の一般的なシステム構成を示す。

ROV は一般に、出力、対応水深、ペイロード（有効搭載荷重）等の能力で観察用 ROV（Observation Class）、軽作業用 ROV（Light Work Class）、作業用 ROV（Work Class）3つのタイプに分類される。表一に市販されている ROV とその仕様の例を示す。

観察用 ROV は出力が約 20 HP 以下で、画像による観測や簡易な計測（寸法等）、ダイバー支援に用いられる。軽作業用 ROV は出力が約 20～75 HP 程度で、簡易なマニピュレーター（ロボットアーム）を装備して、検査、観察のほか、簡易的な水中作業に用いられる。作業用 ROV は出力が 75～150 HP 程度で、強力なマニピュレーターを装備して掘削支援、施設の建設や修理作業、清掃、水中機器の操作等、さまざまな作業に用いられる。

近年 ROV に搭載するツールの開発が進んでおり、ROV による検査技術の向上、非破壊検査、また地質

表一 各種 ROV の区分一覧^{7)~9)}

仕様・名称	Seabotix vLBV300	Falcon	Tiger	Triton XLX
メーカー	Teledyne Marine社	Saab Seaeeye社	Saab Seaeeye社	FET社
クラス	観察用 (Observation Class)	軽作業用 (Light Work Class)	軽作業用 (Light Work Class)	作業用 (Work Class)
参考写真				
駆動方式	電動	電動	電動	電動油圧
対応水深	300m	300m	1000m	4000m
本体サイズ(mm)	625x390x390	1000x500x600	1030x590x700	2180x3550x1800
ペイロード	8 kg	14 kg	32 kg	250kg
TMS	無し	無し	ケージタイプ	トップハット
主な用途	観察	調査 軽度な作業	調査 軽度な作業	深場での調査 パイプライン敷設等の建設支援

調査など多岐にわたり、以下のようにさまざまな分野で ROV が活用されている。

- ・ 検査・計測：外観（目視）検査，寸法・形状計測（採寸，形状画像等），非破壊検査（内部状況），物理値計測（電位，温度，塩分等）
- ・ 作業：ロボットアーム作業（取り付け，ボルト回し，切断等），サンプリング（土質，海水）

図-3 に従来潜水士が行ってきた目視や水中カメラによる構造物の外観検査を機械へ置き換えた場合の一例を示す。

写真-3 は ROV に搭載し光学カメラでは認識できない条件の水中で，探知範囲にある構造物や物体をリアルタイムに可視化する 2D イメージングソナーの例

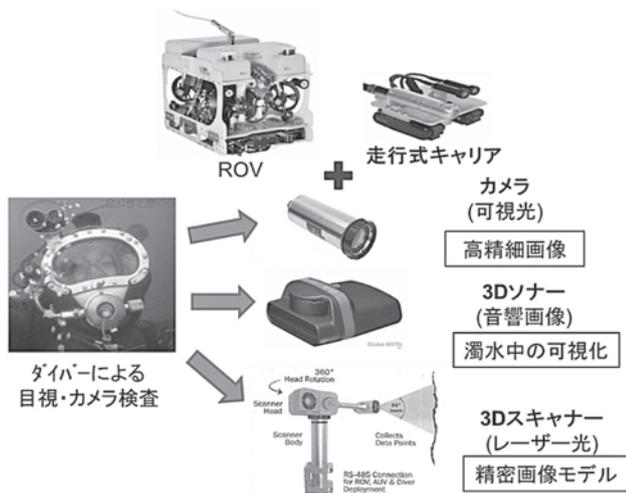


図-3 潜水士業務の機械化の一例



写真-3 イメージングソナー¹¹⁾

を示す。水中の明暗，透明度に左右されないため，ROV の水中作業効率を向上させる。

また，写真-4 に 3D スキャナーを使用し撮影したチェーンの精密デルを示す。

軽作業 ROV でも搭載可能で軽量のツールの開発も進んでおり，実施可能な作業が増えている。写真-5 に軽作業用 ROV に清掃ツール，電位測定用の端子を装着した状態を示す。

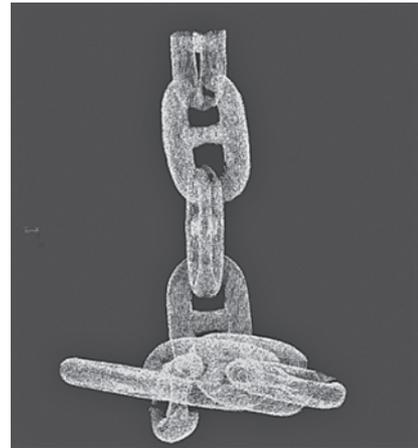
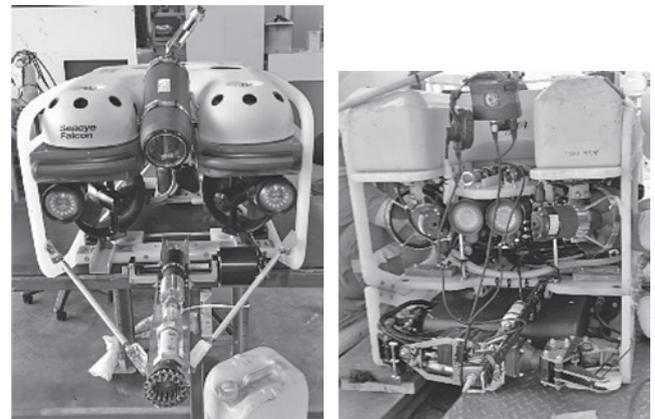


写真-4 3D スキャナーによる精密画像モデル²⁾



清掃ツールを装着した状態 電位測定用の端子を装着した状態
写真-5 ROV ツール²⁾

写真-6 に作業用 ROV に搭載した油圧トルク工具を使用し，サブシーパネルを操作しているイメージ図を示す。主に大水深の海底石油・ガス生産設備用いられており，施設は ROV のマニピレーターで操作できるように設計・製作されている。

(2) 水中専用機械

水中専用機械は個別の目的に応じて開発される機械を示し，ダム堤体，石油生産プラットフォーム，パイプラインなどを対象とし，建設・維持管理・解体等の用途に用いる。その事例を以下に紹介する。

写真一六 作業用 ROV 作業イメージ¹⁰⁾

(a) 水中チェーンソー (写真一七)

岩盤、若しくはコンクリート等を、一自由面から切削する目的で開発されたダイヤモンドビット・ブロックチェーン回転式チェーンソーである。

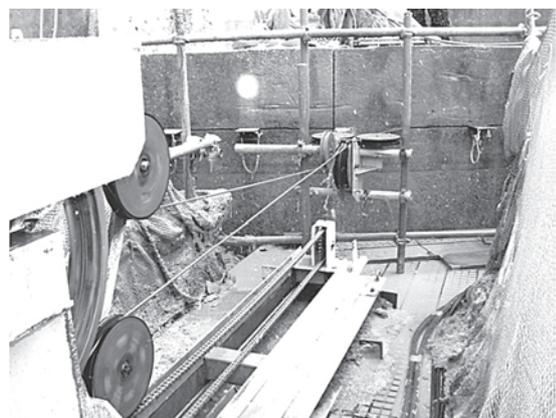
ダムの改修工事等で既存構造物の切削が必要な場合に用いられる。

写真一七 水中チェーンソー²⁾

(b) 水中ワイヤーソー (写真一八)

水中でコンクリートや鋼で構成される合成構造物を効率よく切断する目的で開発されたダイヤモンドワイヤービーズ回転式ワイヤーソーである。

鉄筋コンクリートやコンクリートコーティング鋼管などの切断に用いられ、やはりダムの改修工事等で既存構造物の切削が必要な場合に用いられる。

写真一八 水中ワイヤーソー²⁾

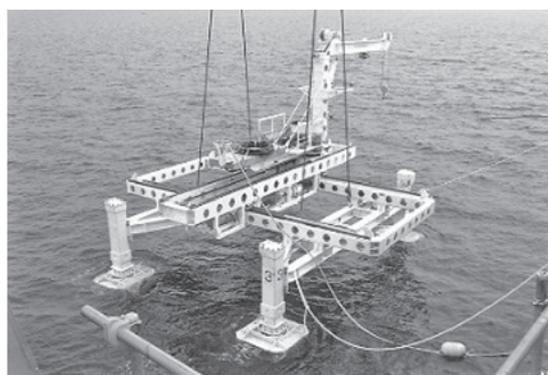
(c) 沈木回収機 (写真一九)

シリンダーにより2本のアームが開閉することにより沈木を回収する。グラブバケットやクラムシェル沈木回収機が軽量であることからより小型のクレーンでの対応が可能となり作業範囲が広がっている。また、作動流体として水圧駆動にすることで水源の環境への影響も考慮されている。

写真一九 沈木回収機²⁾

(d) 水中クレーン (写真一〇)

主に海に用いられる。船上で監視しながら、XYZの3軸方向の姿勢制御を行い、海底で揚貨作業を行う。着底している為、波浪の影響を受けにくく安定して緻密な作業を可能としている。

写真一〇 水中クレーン²⁾

(3) 機械化の課題

目視検査は最も基礎的な検査であるが、ダムでは水が濁っているのが通常で、視程が50 cm程度ということも珍しいことではない。その中でどのように対象物を効率的に観察するかが一つの課題となる。現在、ソナーが普及し対象物の可視化は可能になっている。しかし、3次元的な表示やリアルタイムでの表示はコスト等の面から汎用性はまだ十分ではない。

また機械制御や画像・映像等の情報の大容量化が求

められ、アンビリアルケーブルには光ファイバーによる水上との大容量有線通信を行っている。光ファイバーは周辺機器を含めると高額であり屈曲等の扱いにも注意を要する。また有線であるため、アンビリアルケーブルが構造物と接触したり、海上であれば船舶のスクリューへ巻込まれたりする恐れがあるため、今後制御・通信が無線化されることが望まれる。現在、水中無線通信技術の開発が進められているが、通信距離と容量の増大化が望まれる。

また、潜水士が現物に触れることで判断できる事象、例えばボルトのゆるみや物の硬さ・軟らかさなどもある意味の情報となる。しかし、現在実用化されているマニピレーターでは指の開閉度合いなどから目視による判断しかできない。現場にいる人の触覚でしか得られない情報をリモート化するには、ハプティクス技術（触覚技術）を利用することでロボットアームでも潜水士同様、触覚により対象物の状況を押し量ることができる。この技術が水中で実用化されると動作状況の画像モニターでしか認識できない“手作業”を、安全な場所にいるオペレーターが肌感覚で対象物の状況を知ること非常に役立つ。

このように緻密な作業を含む動作をリアルタイムで臨場感を持ってリモート操作できるような技術・装置が望まれる。

4. おわりに

ダム再生ビジョンにも書かれているように近年の我が国の厳しい財政状況や生産年齢人口の減少などの状況の中、トータルコストを縮減しつつ、既存ストックを有効活用することが重要となる。ダムの長寿命化、維持管理における高効率化・高度化、高機能化のための施設改良を行う際には陸上施設に対するのと同様の正確な検査、環境条件を克服して安全かつ効率的な施工を実現する必要がある。そのためにはリスクを回避しつつ効率を向上する機械と運用する人材が重要な要素となる。

ROV等の水中機械化技術開発はこれまで海洋石油・ガス開発や海洋調査の領域で発展してきたが、その適用対象は限られていた。しかし、この技術をベースに今後展開されるダム再開発へ、機械化作業の適用範囲が広がっていくことが予測され、今後のダム再開発に適した水中作業の機械化は欠かせないものになると見込まれる。本稿で紹介した事例はこれまでに開発されてきた一例であり、今後のニーズに合わせて、より良い技術と機械・装置が開発され実用化されることが望まれる。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 ダム再生ビジョン 平成29年6月
- 2) アジア海洋㈱
- 3) DMR (Ship Repair Technical Supply & Services Trade Co. Ltd) [https://dmrshipping.com/diver inspection, underwater repairs-cleaning-recording](https://dmrshipping.com/diver%20inspection,%20underwater%20repairs-cleaning-recording)
- 4) TWI Ltd. CSWIP 3.4U Underwater Inspection Controller DIS4
- 5) Cygnus 社 <https://www.smp-ltd.com/shop/cygnus-instruments-cygnus-1-underwater-digital-thickness-gauge/>
- 6) Yong Bai (著), Qiang Bai (著) 尾崎 雅彦 (翻訳) サブシー工学ハンドブック サブシー構造物と機器
- 7) Teledyne marine 社 <http://www.teledynemarine.com/seabotix>
- 8) SAAB SEAEYE 社 <https://www.saabseaye.com/>
- 9) Forum Energy Technologies 社 <https://fe-t.com/subsea/vehicles/work-class-rovs/>
- 10) Oceaneering 社 <https://www.oceaneering.com/well-intervention/>
- 11) TELEDYNE MARINE 社 Marine Technology Products and Solutions-Teledyne Marine

【筆者紹介】



北詰 哲朗 (きたづめ てつろう)
アジア海洋㈱



谷口 一平 (たにぐち いっぺい)
アジア海洋㈱