JCMA 報告

平成 28 年度　日本建設機械施工大賞　受賞業績（その 3）

最優秀賞

シャフト式遠隔操縦水中作業機（T-iROBO UW）の開発

大成建設㈱，㈱アクティオ，極東建設㈱

業績内容

a. 業績の行われた背景

国内には多くのダムがあり，建設当時から 50 年以上が経過したダムが増加し，ダムの新規建設に適した地点も少なくなってきている。また，自然災害が局地的かつ大規模化する傾向にある。このため，既存ダムの長寿命化，さらに活用するための機能･能力向上や多目的化などを目的に，既存ダムを再開発･リニューアルする需要が増加している。

しかし，ダム湖内で行われる再開発・リニューアル工事は，ダムの機能・稼働を維持した状態での施工が求められるため，ダム湖に貯水された状態での工事となる。そのため，水深の大きい水中作業が多く，さらには施工ヤードが確保できない等さまざまな課題がある。特に，ダムサイトは岩盤であることが多く，水深の大きい水中岩盤掘削を行う場合，これまでは大規模な高橋脚の仮設桟橋を設置して施工ヤードを確保し，仮設桟橋上から全周回転掘削工法やパーカッション工法（ダウンザホールハンマ工法）等の大型機械で施工が行われている。

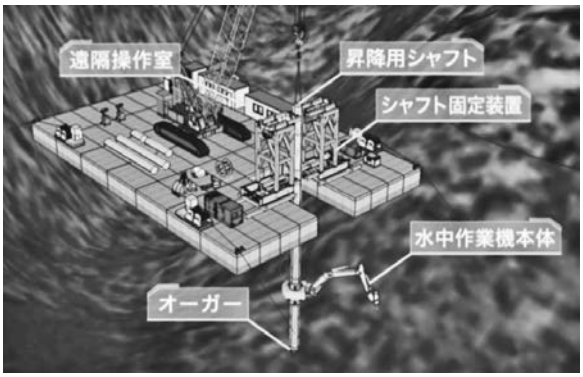
この場合，桟橋の設置には多大な時間と費用を要するとともに，桟橋上からの大型機械施工では水中状況の目視ができない。そのため，桟橋上の機械の位置や鉛直精度のみで管理を行うため，詳細な出来形の確認や施工状況の確認ができず，また，水中の既存構造物近傍の細かい作業ができなかった。特に急峻な地形では鉛直精度の確保が困難であり，工期が長期化する原因であった。

一方，潜水作業を併用して細かい作業や状況の確認等を行う場合もあるが，潜水作業は潜在的に危険度が高く，空気潜水では減圧に長時間を要するため作業時間が短く，また，飽和潜水では大規模な設備に膨大な費用を要する。

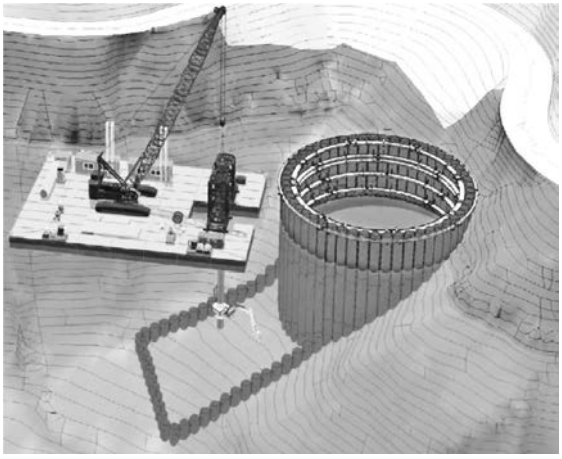
そこで，これらの課題を解決するため，シャフト式遠隔操縦水中作業機「T-iROBO UW」（Taisei intelligent ROBOT Under Water）（**図―1，2，表―1** 参照）を開発し，京都府宇治市の天ケ瀬ダム再開発工事に適用した。

b. 業績の詳細な技術的説明

T-iROBO UW は，**図―1** に示すように水上の台船と湖底地盤で鉛直に支持されたシャフトに，油圧ショベルタイプの水中作業機を取り付けたものである。この水中作業機はブレーカー，バケット，サンドポンプ等のさまざまなアタッチメントの取付けが可能で，シャフト沿いに昇降・旋回をしながら，掘削，削岩，集積，ずり処理などの水中作



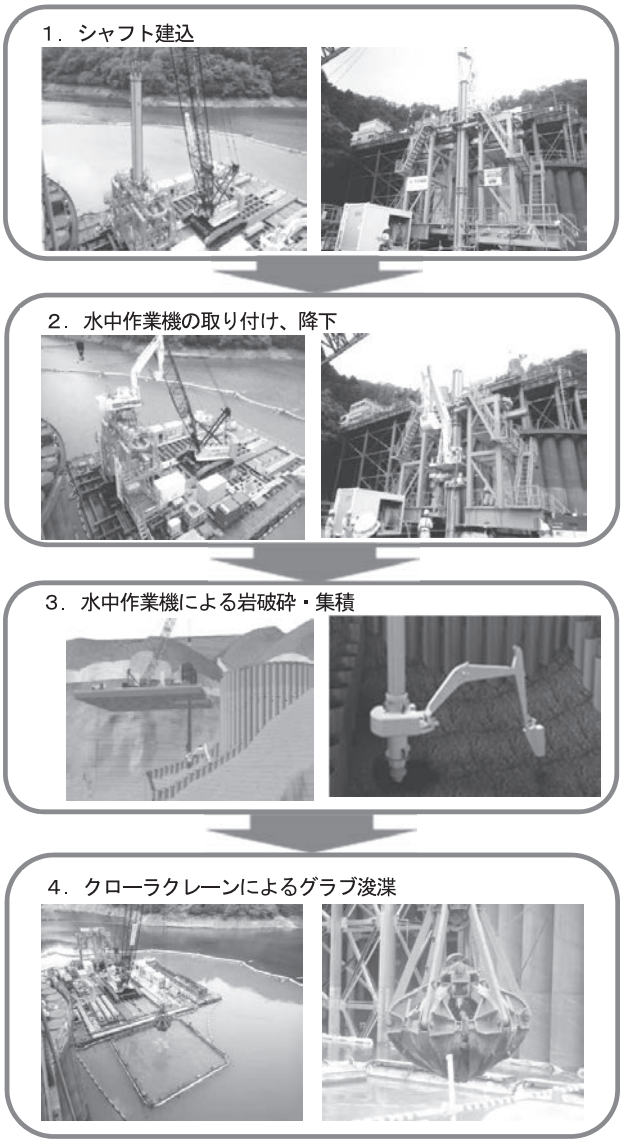
図―1　T-iROBO UW　全体構成



図―2　T-iROBO UW　作業イメージ図

表―1　水中作業機の仕様

許容最大水深	− 50 m
バケット容量	0.8 m^3
定格出力	掘削用水中モーター 110 kW
	昇降用水中モーター 45 kW
昇降速度	4.2 m/min
旋回角度	300°
動力伝達方式	電動油圧変換方式



図―3　T-iROBO UW 施工フロー

業を遠隔で操作できる。T-iROBO UW による施工フローを**図―3** に示す。

なお，遠隔操作は台船上の操作室にて行い，陸上のバックホウと同じジョイスティック，ペダル等により操作する。運転席前面に水中作業可視化装置として湖底の状況を示す3次元画像，超音波カメラ映像をモニターに表示し，水中マイクによる音声等を確認しながらオペレータが操作を行う。

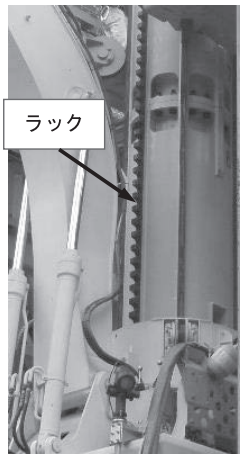
以下に T-iROBO UW の詳細な技術的特徴を述べる。

①シャフト式水中作業機の採用

シャフト式水中作業機は，0.8 m^3 級の油圧ショベルタイプの作業機をシャフトに取り付け，電動油圧変換方式によりシャフトを軸にして昇降でき，また，旋回，削岩，集積等ができる。

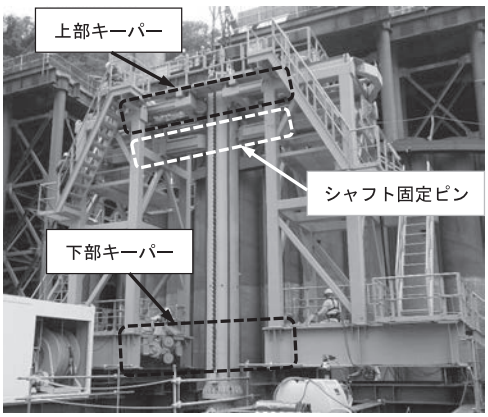
また，作業機本体をシャフトに取り付け，シャフトの天端位置・シャフトの傾斜・シャフト上の作業機本体の位置等を測定できるようにした。

シャフトは補強を加えた鋼管（ϕ 914 mm）である。標準長さを9 m とし，水位に合わせて調整できるように，数種類の長さを用意し，それぞれを接続する組立式とした。また，シャフト外面には水中作業機が昇降できるようにラックを取り付けている（**図―4**）。さらに，浮力を利用して水中での重量軽減ができるように内部を空洞とした密閉構造にしている。



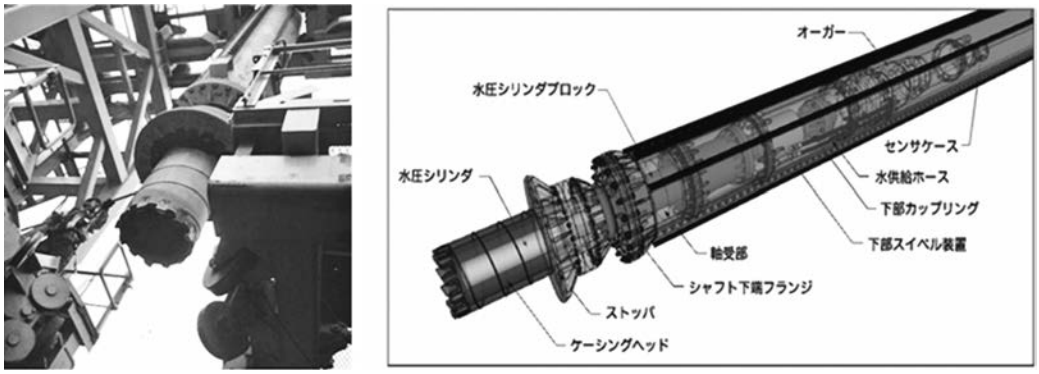
図―4　ラック詳細

シャフト固定装置は，上部キーパー，下部キーパー，およびシャフト固定ピンで構成されており，台船上のクローラクレーンにて吊り込まれたシャフトを固定ピンで保持しながら，順次シャフトの継足しや取外しを行う。上下キーパーはシャフトの振れ止めや水中作業機使用時の固定の役割をし，キーパー部を水中作業機が通過している間も固定できるよう，上下の2箇所に設置されている（**図―5**）。



図―5　シャフト固定装置全景

水中でシャフトを反力として作業機が稼働するためには，シャフトの先端が地盤に堅固に固定されなければならない。また，ダム周辺地盤は一般に岩盤であるため，確実に岩盤内に埋め込むことが重要である。



図―６　水中オーガーの構造

そこで，本機はシャフト先端に水中オーガーを配備して，オーガー先端１m 部分を岩盤に埋め込み，シャフトを地盤に固定できるようにした（**図―６**）。なお，シャフト先端を埋め込む際，岩塊によるシャフト内閉塞を防止するため，岩塊を外に押し出す水圧シリンダーを搭載した。

②情報化施工装置（水中作業可視化装置および音声受信装置）による遠隔操作の適用

T-iROBO UW による水中掘削作業で最も重要な機能のひとつが情報化施工装置（水中作業可視化装置および音声受信装置）であり，以下の４つの機能を搭載している（**図―７～９**）。

(1) マルチファンビーム（ソナー）による湖底地形のレベル測深装置及び３次元画像変換システム

マルチファンビーム（ソナー）は扇状の音波を湖底に向けて発信し，湖底で反射した時間から距離を測定するものであり，これを水中作業機本体に取り付けることにより湖底地形のレベルを測深することができる。さらに，この探査により得られた湖底の地形データを，モニター画面上に３次元で画像化するシステムを構築した。モニターには平面，断面及び運転席から見えるような視点の３つの画像を表示できる。

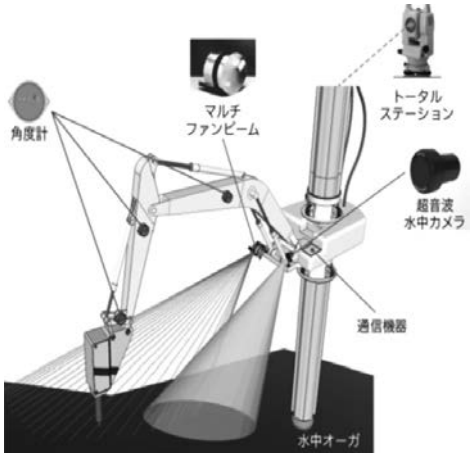
(2) 水中作業機の動きのアニメーション化

水中作業機のアーム，ブーム，バケットの３箇所に角度計を取り付け，ショベルの動きを把握することができる。この動きを３次元でアニメーション化し，操作に連動して上記の３次元モニター画面に表示するシステムを組み込んだ。

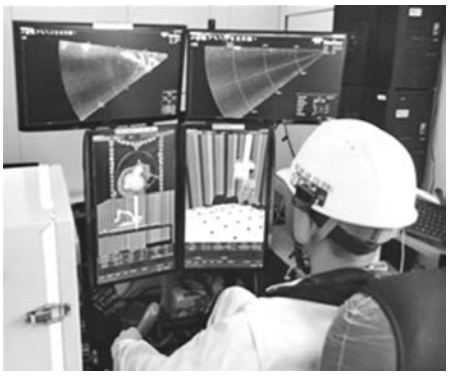
(3) 超音波水中カメラによるリアルタイム映像表示

(1) の湖底地形のレベル測深画像は，探査時点のデータを３次元化しているため，掘削作業をしても画像は変化せず，再度，探査を行うことで画像が変化するものである。そのため，リアルタイムによる湖底地形変化を確認することはできない。

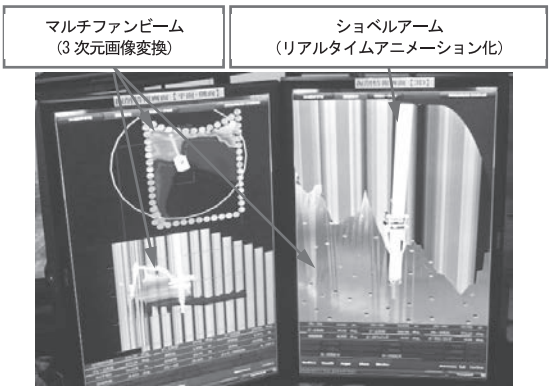
そこで，超音波カメラを水中作業機前方に搭載し，リアルタイムの映像を表示できるようにした。超音波カメラを装備することによって，水深が深く，透明度が低い湖底で，



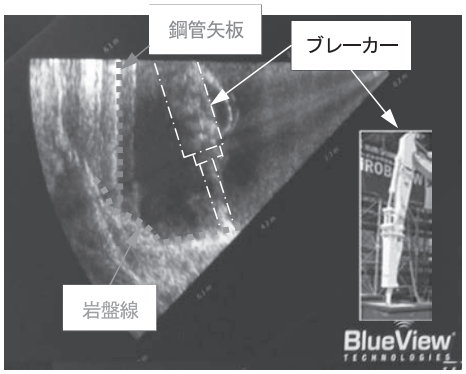
図―７　水中作業可視化装置



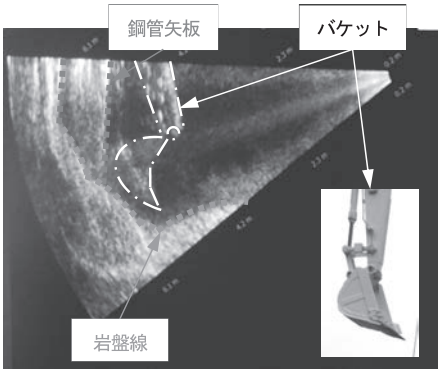
図―８　遠隔操作状況



図―９　マルチファンビーム（３次元画像変換）およびショベルアームアニメーション



図―10　超音波カメラ映像（ブレーカー施工）



図―11　超音波カメラ映像（バケット施工）

掘削による濁度上昇の際にも，湖底状況を把握・確認することができる（**図―10，11**）。

なお，超音波カメラは約 10 m の範囲がより鮮明に映し出せるように 2.25 MHz のカメラを選定した。

(4) 水中マイクによる音声受信

水中マイクを作業機に搭載し，作業中に発生する音を遠隔操作室で聴こえるようにスピーカーを取り付けた。

③作業機オペレータ

作業機を操作するオペレータは水中作業可視化装置，音声受信装置の搭載により，陸上の機械とほぼ同じ感覚で操作できるため，陸上の一般のバックホウを運転できるオペレータであれば，誰でも操作することができる。

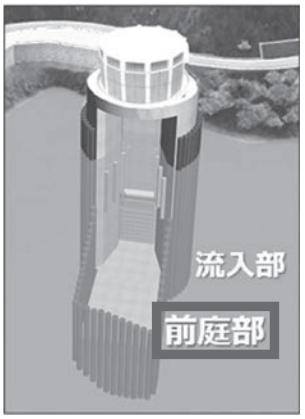
なお，今回の天ケ瀬ダム再開発工事では 7 名のオペレータが操作を行った。

c. 施工実績

平成 27 年 6 月から 11 月にかけて，国土交通省近畿地方整備局発注による「天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備流入部建設工事」にて T-iROBO UW による施工を行った。本工事は，ダムの放流機能を高めるトンネル式放流設備の流入部を建設するものである。

T-iROBO UW は，このうち前庭部と呼ばれる部分の水中岩盤掘削に適用し，鋼管矢板に囲まれた約 21 m × 18 m の範囲（約 1,300 m^3）を最大水深約 40 m 下での施工を行った（**図―12 ～ 16**）。

図―12　天ケ瀬ダム再開発　位置図



図―13　流入部完成イメージ図

図―14　ブレーカー取付状況

図―15　バケット取付状況

図―16　サンドポンプ取付状況

また，本工事での水中作業機のアタッチメントは，岩破砕，掘削，集積でブレーカー，バケットを，掘削後の鋼管矢板際および床付部の清掃でサンドポンプを使用した。

大成建設㈱ 関西支店
中村 泰介
㈱アクティオ 本社技術部
三浦 久
極東建設㈱ 本社
末吉 常彦

お断り
この JCMA 報告は，受賞した原文とは一部異なる表現をしています。