

# 鉛直シャフトを昇降・旋回する水中作業機械

## T-iROBO UW

清水正巳・三浦久・上山淳

シャフト式遠隔操縦水中作業機「T-iROBO UW」(以下「本機」という)は、上部を水上の台船に固定し下部は湖底地盤に保持された鉛直のシャフトに、油圧ショベル・タイプの水中作業機と掘削バケットをはじめとした各種アタッチメントを取り付け、昇降・旋回を伴う水中作業とともに、精度の高い測量、高い解像度の撮影を、遠隔操作によってできる機械である。水中の各種作業を、潜水士を使わずに施工するために開発された機械であり、ダム湖のように深く、湖底地盤が急峻な場所、視界の悪い水中での施工に威力を発揮する。既設ダムにおける機能向上やダム再生工事特有の大水深での作業にて、工費縮減や工期短縮、危険作業の軽減に寄与する。

キーワード：ダム、水中作業機械、油圧ショベル、シャフト式、遠隔操縦、掘削、削岩

### 1. はじめに

洪水調節・灌漑用水・上水道用水・工業用水・水力発電など多岐にわたる目的のダムが国内に多く建設されている。近年では地球温暖化に伴う気候変化による影響への懸念が高まっており、豪雨災害や渇水への対応にダムが様々な形でその役割を果たす機会が増えることが想定される。しかし、必要な新規のダム整備は着実に進められていくものの、ダムサイトの適地が減少していくことなどから、既設ダムをより一層活用することが求められている。さらに、完成後50年以上が経過したダムの機能向上や補修・補強が必要となっている場合もある。

既設ダムにおけるダムの容量や放流能力の拡大、運用の変更、堆砂対策や水質対策などの「ダム再生」工事では、ダム機能を維持、すなわち貯水位を下げることなく、大水深下での施工を余儀なくされることが多い。そのため、施工に伴う大規模な仮締切りや高橋脚の仮設栈橋設置、大水深での潜水作業が必要となり、工費の増大、工期の長期化、長時間にわたる危険作業などをもたらすことになる。

そこで、それらの課題を解決するための方策の一つとして、本四架橋工事やボスポラス海峡横断鉄道沈埋トンネル工事などの大水深での海洋工事経験を活かして、本機を開発した。その作業性と施工能力を陸上における実物大実証試験で確認し、天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備流入部建設工事において実施工に着手している。

本稿では、その開発の概要、機械仕様・性能とその特徴および実施工開始までの内容を紹介するものである。

### 2. 本機の概要と性能

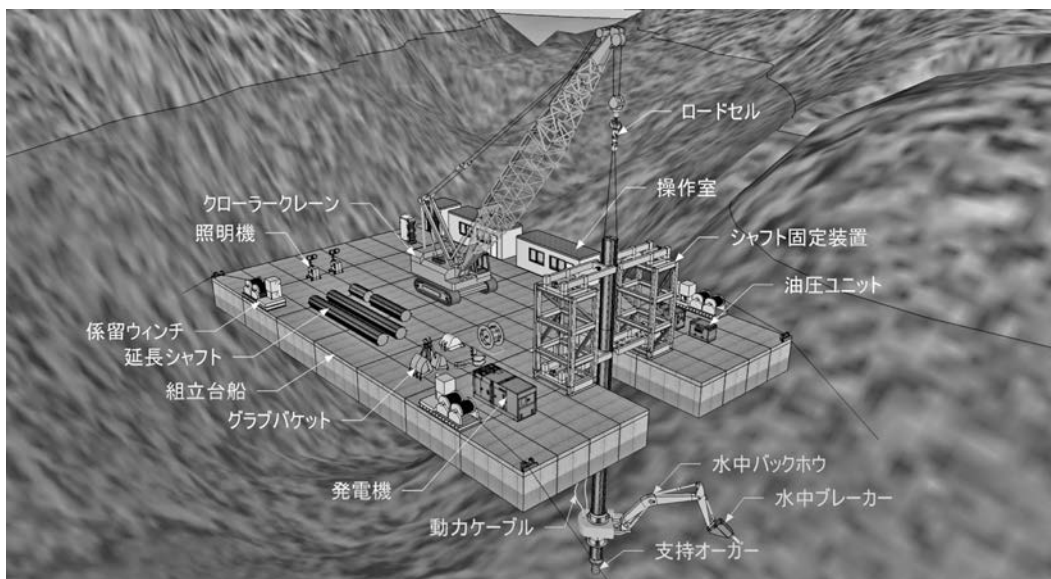
本機は、図1、2に示すように、水上の台船と湖底で鉛直に支持されたシャフトに、水中で作動できる油圧ショベル・タイプの作業機を取り付け、台船の操作室に配置した操作盤と操縦装置および施工支援装置を使用し、シャフトに沿って昇降、旋回できる作業機本体に取り付けた各種アタッチメントを使用して掘削や削岩などの作業および精密測深・撮影ができる遠隔操作型の機械である。シャフトは、上部を台船に設置された櫓状のシャフト固定装置にて支持し、下部を湖底地盤にシャフト先端を水中オーガーにより挿入させ鉛直に支持する。

#### (1) 水中作業機

シャフトを昇降する水中作業機は、表1に示す仕様の油圧ショベル・タイプの作業機械であり、台船からのケーブルによる電力供給と電動油圧変換方式により水中での稼働を可能にし、かつ油漏れ対策を講じ環境に配慮している。

#### (2) シャフト

シャフトは、組立式で1本が9m、φ914mmの補



図一 本機の全体構成



図二 水中作業機

表一 水中作業機の仕様

許容最大水深	-50 m (-100 m オプション対応可)
バケット容量	0.8 m <sup>3</sup> (20 ton 級)
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° (電動ケーブル保護の為)
動力伝達方式	電動油圧変換方式
操作方法	遠隔操作

強を加えた鋼管を接続したもので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。また、重量軽減のため浮力を利用できるよう密閉構造にしている。水中作業機の稼働中、シャフト上部の支持は台船に設置されたシャフト固定装置下キーパー先端のローラーで挟み込み支持し、下部はシャフト先端の水中オーガーによって湖底地盤に先端のケーシングを挿入して支持す

る。シャフト上部の支持は、水位の変動により台船が上下することに追従することができるようにしている。

### (3) 上部シャフト固定装置

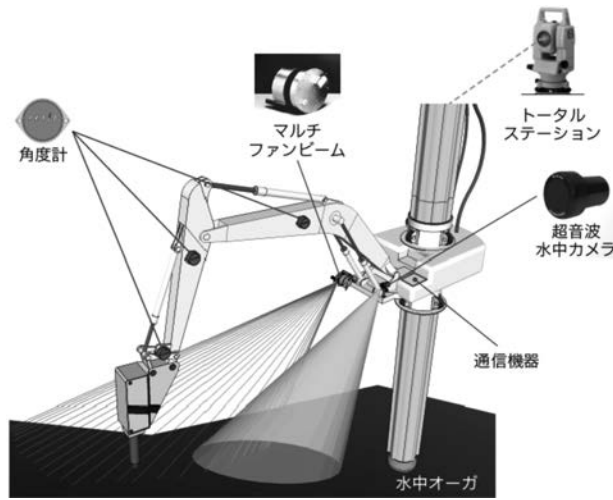
シャフト固定装置は、上下のキーパー各1基とシャフト固定ピン1基で構成されており、台船上のクローラークレーンにて吊り込まれたシャフトをシャフト固定装置中段の固定ピンで固定しながら、順次シャフトの継足しや取外しを行う。上下キーパーはシャフトの振れ止めや水中作業機使用時の固定の役割をし、キーパー部を水中作業機が通過している間も固定できるよう、上下の2段に設置されている。

### (4) 遠隔操作

水中作業機の操作は、マシン・ガイダンスのモニターを見ながら台船上の操作室から遠隔により陸上からオペレーターが行う。モニターには、水中オーガーの状況、掘削する湖底面や矢板等の構造物の平面位置・高さや形状、水中作業機およびアタッチメントの位置、超音波水中カメラによる状況映像などがビジュアルに表示され、さらに水中の音響も確認することができ、施工精度の高いオペレーションシステムを構築している(図一3参照)。

### (5) 各種アタッチメント

水中作業機は、作業に応じた各種のアタッチメントが装着できるよう油圧ショベル・タイプの機械を採用し、幅広い水中での作業に対応可能である。アタッチメントの一例を表一2に示す。



図一 水中作業可視化装置の概要と遠隔操作室

表一 各種アタッチメント使用例

アタッチメント	用途
バケット	掘削, 掻き寄せ
水中ブレーカー	岩盤掘削, コンクリート掘削
ツインヘッダー	岩盤掘削, コンクリート掘削
サンドポンプ	浚渫, ずり処理
リッパー	岩盤掘削, コンクリート掘削
コンクリートドレッサー	コンクリート表面切削
エジェクター	浚渫, ずり処理
ダウンザホールハンマー	大口径削孔, 岩盤削孔
エアドリフター	削孔, 構造物縁切り
回転ブラシ	表面掘削, 付着物除去

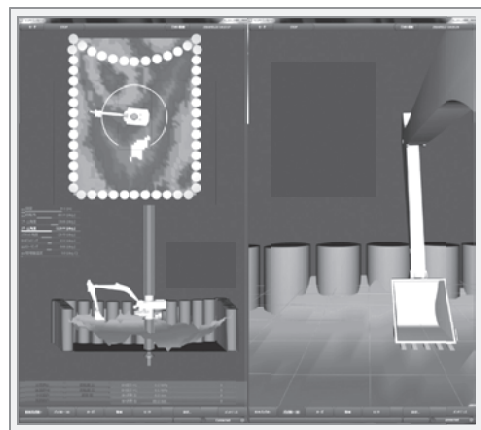


主な特徴を、以下に示す。

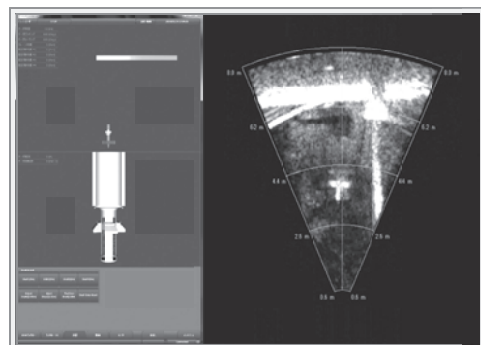
①ダイバーに頼らない大水深における安全施工  
可視化を含めた情報化施工技術により遠隔で操作を行うため、潜水士に頼ることなく作業を安全に行うことができる。

②水中オーガーによる急傾斜地盤での確実な安定支持

急傾斜地盤に作業機を設置することは従来の水中機械ではできなかったが、本機はシャフト先端に水中オーガーを配置して、シャフトを地盤に固定し、水中



掘削画面情報



水中オーガー・超音波水中カメラ映像

図一 遠隔操作画面

### 3. 本機の特徴

本機は、水中の各種作業において潜水士を使わずに施工するために開発された機械であり、ダム湖のように深く、湖底地盤が急峻な場所、視界の悪い水中での施工に威力を発揮する。さらに、精密計測や可視化を含めた情報化施工技術により遠隔で操作を行えるため、施工性と安全性が大幅に向上する。工費の縮減や工期の短縮、危険作業の軽減に寄与するものと期待される。

作業機はそのシャフトを昇降するため、急傾斜地盤でも安定した姿勢で施工ができる。

③各種アタッチメントの搭載による多機能作業の実施

水中作業機は油圧ショベル・タイプであるため、従来からある多種多様なアタッチメントを取り付け、多工種の施工が可能である。

④水中可視化技術の搭載による施工精度・施工性の向上

マルチファンビームを使用した三次元画像表示や超音波水中カメラを使用した画像表示により、暗く透明度の低い湖底でも可視化して、水中作業機オペレーターがモニター画面の画像を見ながら遠隔操作でき、施工精度・施工性を向上させることができる(図—4 参照)。

⑤高精度位置出しシステムの搭載による施工精度の向上

位置が把握されているシャフトに水中作業機が取りついているため、作業位置の正確な把握が可能であ

る。シャフト天端の位置をGNSSまたはトータルステーションにて位置を計測し、シャフトに取り付けた傾斜計やロータリーエンコーダーおよび水中作業機に取り付けた角度計等により水中作業機の先端位置を座標で管理しながら作業ができる。

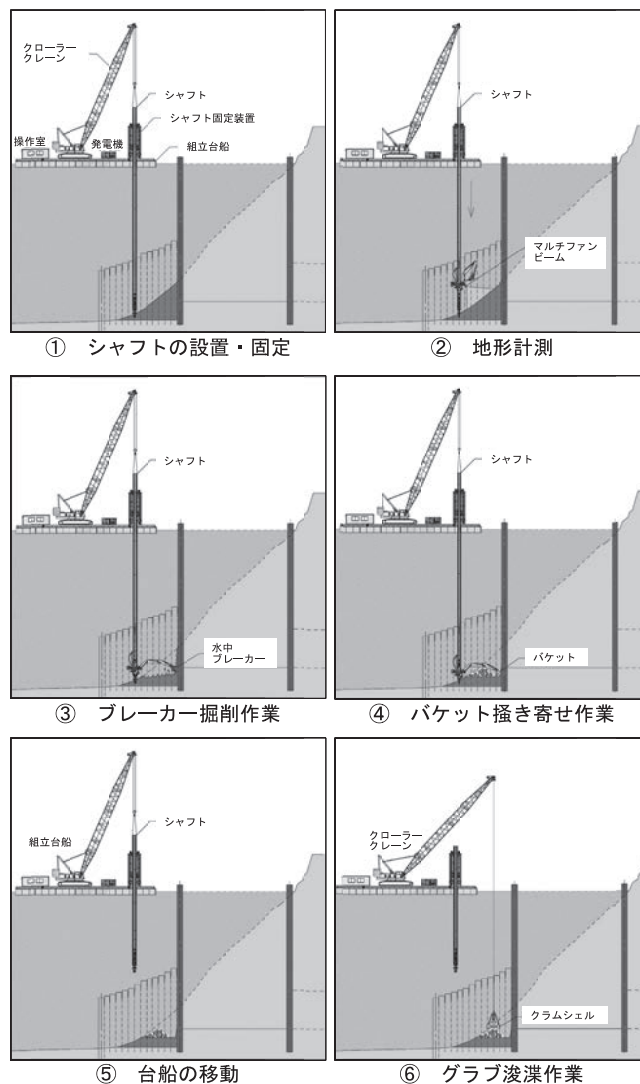
⑥情報化施工(マシン・ガイダンス)による出来形精度の向上

マルチファンビームによる三次元計測データと、あらかじめ入力した設計掘削形状を比較しながら施工する情報化施工(マシン・ガイダンス)により、出来形精度を向上させることができる。

4. 使用方法例

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本機による施工を、2015年6月から開始している。

本工事は、ダムの放流機能を高めることでダム湖の



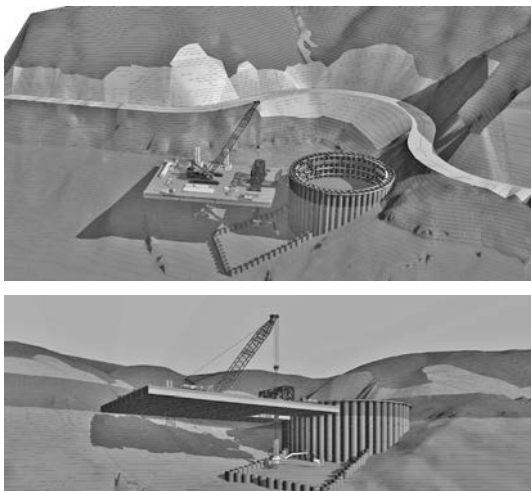
図—5 前庭部の掘削における施工手順

水をより効率的に使えるようにするための「トンネル式放流設備」を建設するものである。このダム再開発事業により、①洪水調節機能の向上、②京都府の水道用水の確保、などが図られる。

本機は、このうち流入部前面にある前庭部の掘削作業に使用している。

施工手順は、図—5に示す6ステップからなっている。まず、①水上に係留された台船から、クローラークレーンを使用してシャフトを下方に吊り下げ、シャフト固定装置で固定しながら全長のシャフトを組立て、キーパーに盛り替えを行ったのち、シャフト先端ケーシングを水中オーガーにより湖底地盤に挿入して固定、②水中作業機を水中に降下させて地形を計測、③岩盤を水中ブレイカーにより破碎・掘削、④アタッチメントをバケットに換え（気中で交換）、掘削土を掻き寄せ、⑤台船の移動、⑥クレーンで掘削土のグラブ浚渫、を行う。このステップをくり返して、所要の深さまで掘削していく。前庭部の周囲には鋼管矢板が既に打設してあるため、鋼管矢板を損傷させないためには高精度の施工が要求される。

現地での作業状況のイメージを、図—6に示す。



図—6 作業状況のイメージ

## 5. 実証試験

実施工に先駆け、2014年6～7月に栃木県佐野市の試験ヤードにおいて実物大実証試験を実施した。各種アタッチメントを使用して、作業性と施工能力の確認試験、並行してオペレーターによる習熟運転訓練を行った。水上の台船に見立てた架台（地上高さ約15m）にシャフトを固定し、水中作業機を昇降させ、取り付け各種アタッチメントの遠隔操作を行い、各種の機器の性能、作動範囲、アームの抵抗耐力・振動やシャフ



写真—1 実物大実証試験全景



写真—2 コンクリート破碎状況

トの抵抗力の計測を実施して確認した（写真—1、2参照）。なお、水中作業を想定した耐圧試験・水密試験については、別途、装置ごとに実施して確認した。

## 6. 実施工

天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備流入部建設工事の前庭部掘削作業において、2015年5月中旬から本機を搬入・組立てを行い、6月中旬より掘削を開始した（写真—3～6参照）。最初に、実フィールドにおける動作・性能および各種計測機器の計測値の確認・調整を行い、設計性能を確認した。その後、鋭意掘削作業を進めている。発注者を含め関係各位のご指導のもと確実に安全な施工を行い、無事故無災害での作業完了を目指していく所存である。



写真—3 台船曳航



写真一4 シャフト組立



写真一5 水中作業機設置



写真一6 水中作業機進水

## 7. おわりに

本機シャフト式遠隔操縦水中作業機「T-iROBO UW」の開発は、既設ダムの機能向上やダム再生工事特有の大水深での作業において、施工に伴う仮締切りや仮設栈橋の削減、潜水士作業を無くすことにより、工費縮減や工期短縮、危険作業の軽減に寄与するものと確信する。また、高度かつ高機能な機械の開発により、作業員の高齢化、水中重機オペレーターや潜水士といった高技能者や熟練工の不足への対応策の一助になると考えられる。

今後、ますます増加する既存ダムのダム再生工事をはじめ、本作業機を有効利用できるさまざまな工事に対して適用の提案をしていき、技術の活用を通じて持続可能なインフラ整備に貢献して参りたい。

## 謝 辞

最後に、本機の開発にあたり、長年、多岐に渡りご指導、ご支援を頂戴した関係各位に厚くお礼を申し上げます。

JICMA

## 《参考文献》

- 1) 国土交通省 近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 天ヶ瀬ダム再開発ウェブサイト (<http://biwakokasen.go.jp/amadam/index.html>)
- 2) 「新工法紹介 T-iROBO UW ～シャフト式水中作業機～」, 建設機械施工 Vol.66 No.11 Nov 2014
- 3) 「シャフト式遠隔操縦水中作業機「T-iROBO UW」の開発」, 土木施工 2015 Jan VOL.56 No.1

## 【筆者紹介】

清水 正巳 (しみず まさみ)  
大成建設㈱  
土木本部 土木技術部 インフラ・海洋技術室  
室長



三浦 久 (みうら ひさし)  
㈱アクティオ 技術部  
常務執行役員技術部長



上山 淳 (うえやま あつし)  
極東建設㈱ マリン開発部  
部長

