

# T-iROBO UW（シャフト式水中作業機）の開発

蒲谷 大輔<sup>1</sup>・水野 智亮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>、<sup>2</sup>大成建設(株) 天ヶ瀬ダム放流設備建設工事作業所 (〒611-0021京都市宇治市宇治金井戸15-4)

T-iROBO UWは、水上の台船から地盤にシャフトを降ろし、そのシャフトを昇降する作業機に様々なアタッチメントを取り付けて破岩、掘削、ズリ処理、精密測深、撮影などの一連の水中作業を遠隔操作で安全かつ確実に行える機械である。水中の各作業を、ダイバーを使わずに施工するために開発された機械で、ダム湖のように深く、急峻で、視界の悪い場所での施工に威力を発揮できる。可視化技術と情報化施工により遠隔で操作を行うため、安全性と施工性が大幅に向上する。今後増加する既存ダムのリニューアル工事等、さまざまな工事に対して有効利用が期待できる。天ヶ瀬ダム再開発事業において、平成27年6月頃の施工を予定している。

キーワード 新技術、情報化施工、工期短縮

## 1. はじめに

国内には、洪水調節・灌漑用水・上水道用水・工業用水・水力発電など多くのダムがあり、建設当時から50年以上が経過したダムも少なくない。これらのダムを延命・長寿命化し、さらに活用するため、機能・能力向上や多目的化などによる再開発、補修・補強が必要となる場合があり、多くのダムにおいてリニューアル工事が計画・実施されている。

既存ダムのリニューアル工事は、ダム機能を維持する必要があることから、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、高橋脚の仮設栈橋、大水深での潜水士による作業が必要となる。

当社では、これらに伴う工事費の増大、工期の長期化、長時間にわたる危険作業を解決するため、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、「T-iROBO UW（シャフト式遠隔操縦水中作業機）」（特許第4792123号）を開発した。

今後、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使用する。本稿ではその開発概要を紹介する。

なお、「T-iROBO UW」は大成建設株式会社、株式会社アクティオ、極東建設株式会社による3社の共同開発である。

## 2. 主な特徴

T-iROBO UW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、バックホウタイプの水中作業機を取り付け、昇降・旋回しながら一連の水中作業を遠隔操作によって施工できる機械である。



図-1 T-iROBO UW 全体構成



図-2 水中作業機

そのシャフトに水中作業機を取付け、台船の操作室に配置した操作盤・操縦装置・施工支援装置を使用して、水中作業機本体の昇降、取り付けた各種アタッチメントの遠隔操作、精密測深・撮影ができる。

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、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。

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

水中作業機はバックホウ・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-3, 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

シャフト天端の位置をGPS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正確に把握して作業ができる。

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、予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。

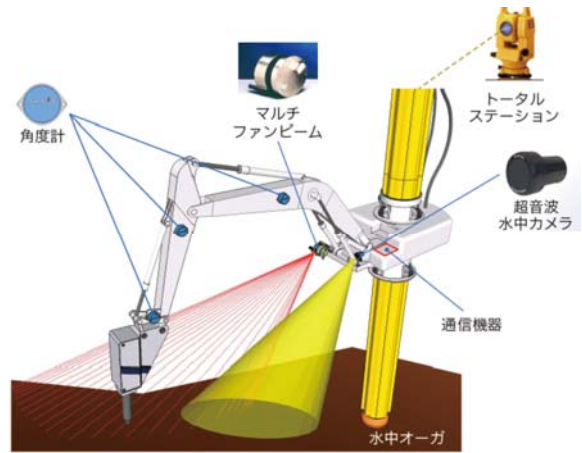


図-3 水中作業可視化装置の概要



図-4 遠隔操作室

3. 主な仕様および機能

(1) 水中作業機

シャフトを昇降する水中作業機は、バックホウ・タイプの作業機械であり、その主な仕様を表-1に示す。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。

表-1 水中作業機の仕様

許容最大水深	-50m (-100mオプション対応可)
バケット容量	0.8m <sup>3</sup> (20ton級)
定格出力	掘削用水中モーター 110kw
	昇降用水中モーター 45kw
昇降速度	4.2m/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

(2) シャフト、シャフト固定装置

シャフトは、1本が9m、φ914mmの補強を加えた鋼管を接続する組立式で、水中作業機が昇降できるよう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に密閉構造にしている。

シャフトは、上下両端を固定し、支持される。上部の固定は、台船に設置された櫓状のシャフト固定装置に、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、それぞれ固定する。

上部のシャフト固定装置は、上下キーパーと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に、上下の2箇所を設置されている。

(3) 遠隔操作

水中作業機オペレーターは、マシン・ガイダンスのモニターを見ながら遠隔操作を行う。モニターには、水中オーガー・平面位置・断面高さ・掘削状況・超音波水中カメラによる映像などが表示され、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-5, 6参照)。

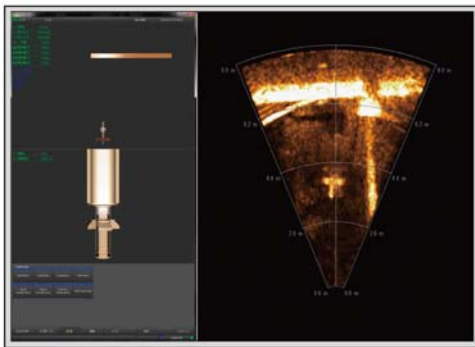


図-5 遠隔操作画面(水中オーガー・超音波水中カメラ)

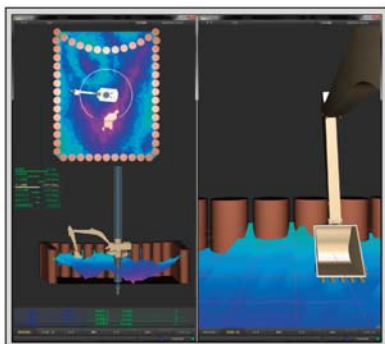


図-6 遠隔操作画面(掘削画面情報)

(4) 各種アタッチメント

水中作業機先端には、作業に応じた各種のアタッチメントが装着可能である(表-2参照)。

表-2 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	小口径削孔、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



4. 実物大実証試験

2014年6~7月、栃木県佐野市の試験ヤードにおいて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実施した。試験装置は実物大とし、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、取り付けた各種アタッチメントの遠隔操作等、各種試験を行った。機器の性能や作動範囲、アームの抵抗耐力・振動やシャフトの抵抗力の計測を実施して確認作業を行った(図-7, 8, 9参照)。

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。



図-7 実物大実証試験全景





図-8 水中作業機昇降状況



図-9 コンクリート破砕状況

### 5. 実施施工予定および施工方法概要

2015年6月頃、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-IROBUWによる施工を予定している。

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)京都府の水道水の確保、(3)発電能力の向上などが図られる。

このうち、流入部の建設における前庭部掘削に使用する。

施工手順は、図-10 に示す 6 ステップからなっている。

- 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、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する。
- ②水中作業機を水中に降下させて、アームに取り付けたマルチファンビームにより地形を計測する。
- ③岩盤を水中ブレイカーにより破砕・掘削する。
- ④アタッチメントをバケットに換え（気中で交換）・掘削土を掻き寄せ集積する。  
水中作業機を台船上に引き上げ仮置きする。
- ⑤台船を移動する。
- ⑥クローラー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。

現地での作業状況のイメージを、図-11 に示す。

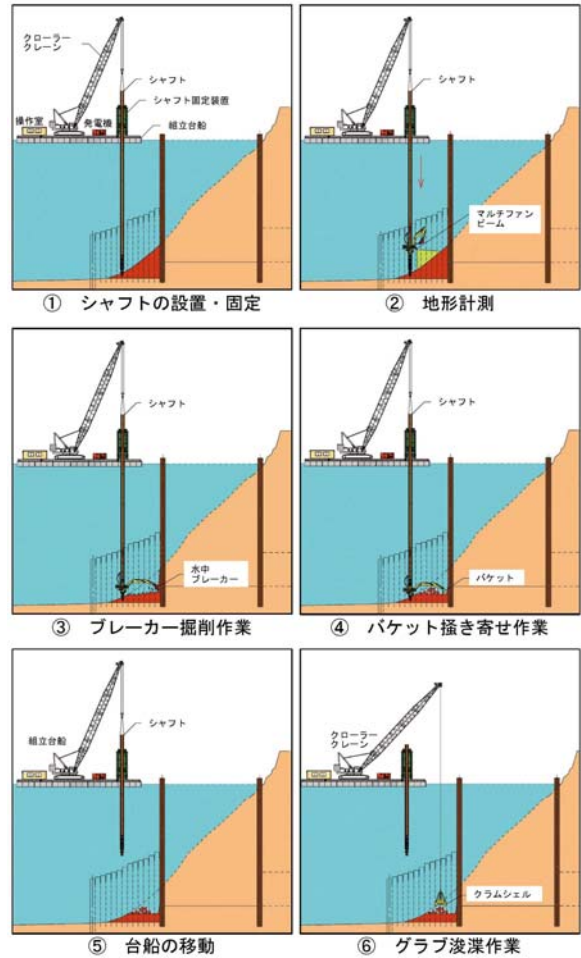


図-10 天ヶ瀬ダム流入部建設工事の前庭部掘削における施工手順

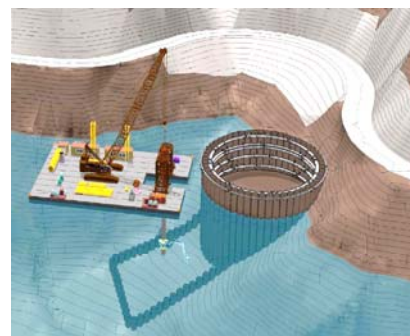


図-11 作業状況のイメージ

## 6. おわりに

T-iROBO UW の開発は、既存ダムのリニューアル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、潜水士の作業の低減により、工費縮減や工期短縮、危険作業の軽減に寄与するものと期待される。

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。

2015年6月頃からの天ヶ瀬ダム再開発工事におけるT-iROBO UWによる実施施工では、その能力と施工性・安全性の確認、施工効率の向上を目指す所存である。

今後、ますます増加する既存ダムのリニューアル工事をはじめ、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。

最後に、T-iROBO UW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。

### 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

天ヶ瀬ダム再開発事業

HP : <http://biwakokasen.go.jp/amadam/index.html>