

# 遠隔操縦対応型水中バックホウの施工事例と有効性

熊谷 崇 信

「遠隔操縦対応型水中バックホウ」は0.28 m<sup>3</sup>型バックホウのベースマシンを水中用に改造し、サンドポンプを本体内に装備した最新型的水中バックホウ（水中多機能作業機）である。本機は遠隔操縦装置による無人運転機能を有し、「水中バックホウ施工支援システム」と組み合わせることにより、潜水作業では危険度の高い条件下（暗渠、狭隘箇所等）における水中無人化施工が実現可能となった。本稿では、実工事を行った遠隔操縦施工の事例を紹介し、本機ならびに遠隔操縦システムの有効性を報告する。

キーワード：水中バックホウ（水中多機能作業機）、遠隔操縦、体感情報、暗渠

## 1. はじめに

遠隔操縦対応型水中バックホウは、従来の潜水士搭乗型水中バックホウの機能はそのままに、遠隔操縦装置（支援船上や陸上に設置）による水中バックホウの無人運転に対応する機種として新たに開発・建造したものであり、潜水作業では危険度が高いとされてきた条件下（暗渠、狭隘箇所等）での工事に導入されてきた。

本稿では「イエローマジック7号」と遠隔操縦システムの概要を述べると共に、施工事例を紹介することで、遠隔操作による無人施工の有効性を示すものである。

## 2. 「イエローマジック7号」開発の経緯

従来の海中土木工事は、その殆どを潜水士による人力作業に頼っていたのが実情であり、潜水士の安全の確保・海中作業技術の伝承、施工能力の向上等の課題に常に直面していた。

水中土木作業の効率化と安全性の向上に寄与するための潜水士搭乗型的水中多機能作業機「水中バックホウ」は平成7年に開発・実用化され、捨石均し工事、水中掘削工事、海底ケーブル敷設工事等々、現在に至るまで国内のさまざまな海中土木工事へ導入されてきた。

水中バックホウの水中土木工事での活躍が示されることで、大水深域や危険箇所等の過酷な環境での施工をはじめ、その適用範囲の拡大が求められるようになった。これに呼応して、このような施工条件においても、潜水士の安全性向上や施工能力の向上を実現していく必要があった。

そこで、これらの課題を解決するべく遠隔操縦対応型水中バックホウ「イエローマジック7号」が新たに開発・建造された（写真-1）。これと同時に、重機の体感情報（視覚、聴覚、触覚）をオペレータへ提供する「水中バックホウ施工支援システム」が開発され、同機へ採用された。



写真-1 水中バックホウ（特殊アタッチメント装着時）

## 3. 「イエローマジック7号」の特徴

「イエローマジック7号」の特徴は以下の通りである。

### (1) 遠隔操縦による無人化施工

0.28 m<sup>3</sup>級バックホウベースマシンの油圧系統に改造を施し、遠隔操縦パネル（支援船上 or 陸上）からバックホウ本体の遠隔操縦用 I / F ユニットに電気（操作）信号を送信し、電磁比例弁を介して、メイン操作バルブユニットのパイロット油圧を操作している。

### (2) 潜水士搭乗型と遠隔操縦型に簡易切替

バックホウ本体に装備した油圧系統の切替バルブにより、潜水士搭乗型水中バックホウと遠隔操縦型水中バックホウとの切替が容易に可能である。

### (3) サンドポンプを本体に装備

本体アッパー部に水中サンドポンプ（150 A, 37 kw, 3.2 m<sup>3</sup>/min）を装備しており、潜水士搭乗型水中バックホウ、遠隔操縦型水中バックホウに関わらず水中の掘削・排送等の工事へ容易に対応できる。サンドポンプはインバータにて駆動しているため、細かな流量調整が可能である（写真—2）。



写真—2 潜水士搭乗時の施工状況

## 4. 水中バックホウ施工支援システム

一般に、陸上におけるバックホウを使った作業では、操縦席のオペレータが、自身の視覚、聴覚、感覚等を通じてバックホウの動きや、作業対象物から得られるさまざまな体感情報を総合的に把握・判断し、掘削・旋回・走行等の一連の操作をスムーズに行っている（図—1）。バックホウや一般重機の無人化施工を構築する場合、この体感情報をいかにして遠隔操縦オペレー

タへ提供するかが重要な要素となる。

災害復旧工事等で導入される無人化施工では、危険箇所位置する重機本体を、数十m離れた安全な場所から遠隔操縦オペレータが無線コントローラにて操縦し、重機・施工対象物・周囲の状況は目視にて確認している。このように陸上の無人化施工では、遠隔操縦信号は無線式、重機・施工対象物・周囲の状況は目視やカメラ映像による確認方法が一般的である。

しかし、水中無人化施工を実現する場合、既存の水中無線通信技術では通信容量が非常に小さいため遠隔操縦信号のやり取りが困難であるのと、水中TVカメラによる映像では、施工現場の透視度や作業に伴う濁りの影響で視認不能となるため、陸上の無人化施工技術の手法をそのまま適用することは困難であった。

そこで、水中バックホウの体感情報（視覚、聴覚、触覚）をさまざまな手法にてオペレータへ提供する要素技術を組み合わせた「水中バックホウ施工支援システム」が開発された。以下に、システムを構成する基幹装置について述べる。

### (1) 施工管理装置

水中バックホウの姿勢（ブーム附仰角度・旋回角度等）、水深、油圧負荷、アタッチメント等の運転状況を計測・演算し、陸上のモニタに常時グラフィック表示する装置である（図—2）。

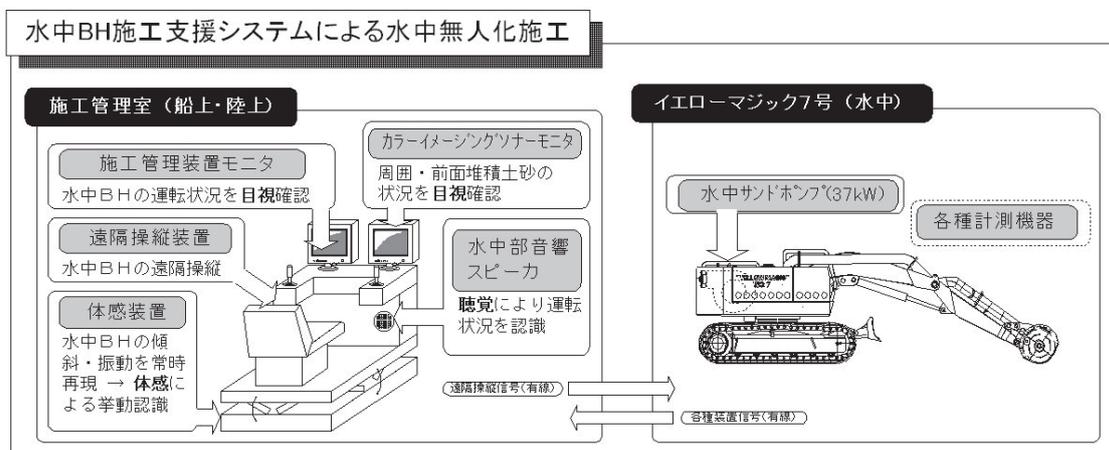
### (2) 水中視認装置

水中バックホウの遠隔操縦では周辺ならびに作業状況の視認・把握が必要である。

遠隔システムでは、以下の機材を水中視認装置として水中バックホウに搭載して作業を行っている。

#### ①カラーイメージングソナー

水中バックホウの周囲の構造物や施工対象物の状況



図—1 水中バックホウ施工支援システム概要

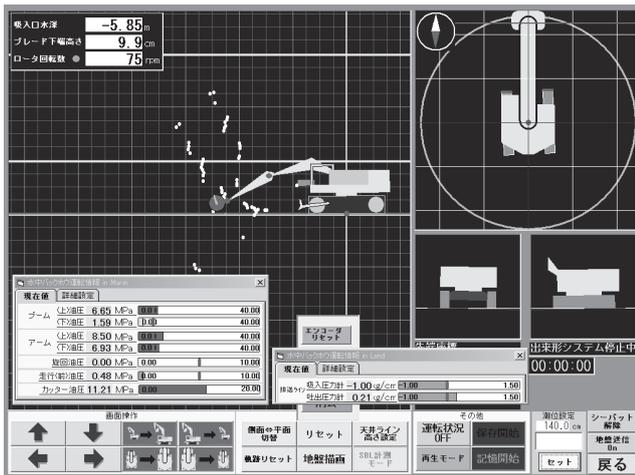


図-2 施工管理装置画面

など、比較的広い範囲の視認を行うための装置である。以下に、仕様ならびにモニタ画面（図-3）を示す。

発信周波数：675 kHz

ビーム形状：1.7° × 1.7° (Cone), 0.9° × 30° (Fan)

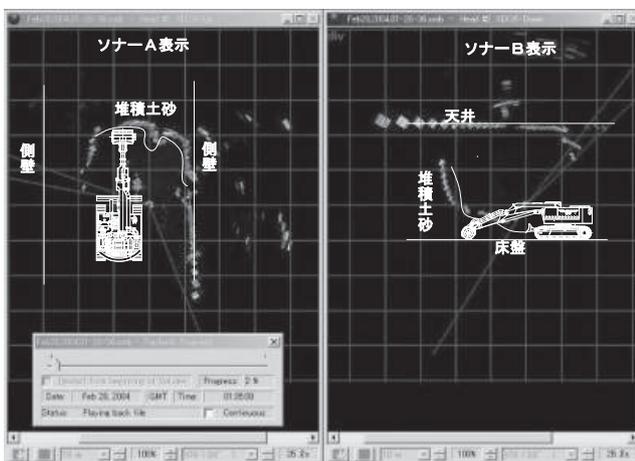
最大計測可能半径：100 m

ソナーヘッド回転範囲：360°

最大使用水深：3000 m

外形寸法：φ：40 mm × H：569 mm

重量：気中 6.1 kg, 水中 2.9 kg



(注：バックホウイメージや文字付線は合成)  
図-3 カラーイメージングソナーモニタ表示

## ②音響カメラ

水中バックホウには、光学式水中カメラでは撮影不可能とされてきた濁水中や夜間での撮影を可能にする音響カメラが搭載されている。以下に仕様ならびにカメラ画像（写真-3）を示す。

カラーイメージングソナーよりも局所を鮮明に視認できることから、主に作業対象ならびにアタッチメントの視認に使用する。

動作周波数：1.1 MHz

ビーム幅：水平 0.6° 垂直 14°

ビーム数：48本

視野角：29°

外形寸法：30.7 cm × 20.6 cm × 17.1 cm

重量：気中 7.0 kg, 水中 0.6 kg

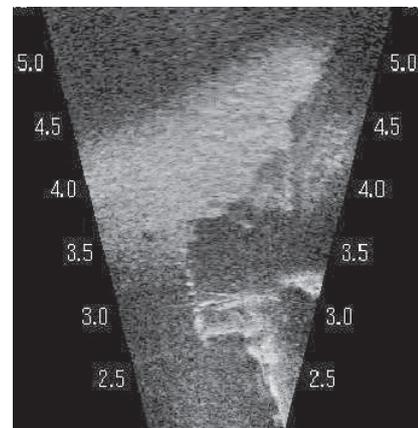


写真-3 音響カメラ画像（特殊アタッチメント撮影状況）

## (3) 水中音響装置

集音マイクにより水中バックホウ本体の作動音やその他周辺の音等、音情報を確認する。

## (4) 体感装置

遠隔操縦を行う上で、水中バックホウもしくはアタッチメントの振動状況を把握することは作業状況の把握に寄与する。体感装置は、作業に伴う水中バックホウの振動、傾斜等を支援船上の遠隔操縦室に設置した体感シートに常時再現する装置である。これによりオペレータは、実際に水中バックホウに乗って作業を行っているのと似た感覚で本体を遠隔操縦することが可能となり、掘削・旋回・走行等の動作を一連の流れとしてスムーズに行うことができる（写真-4）。



写真-4 遠隔操縦状況（体感装置）

(5) 遠隔操縦装置

上記(1)～(4)の装置から得られる情報をもとに、水中バックホウの各動作（ブーム・アーム・アタッチメントの附仰・旋回・走行等）を支援船上や陸上に設置した遠隔操縦装置から操作するものである。

表—1に遠隔操縦装置の一般仕様を示す。

表—1 一般仕様

操作可能 アクチュエータ (計16点)	ブーム (油圧シリンダ) :	開 閉
	アーム (油圧シリンダ) :	開 閉
	バケット (油圧シリンダ) :	開 閉
	ブレード (油圧シリンダ) :	開 閉
	カッタ (油圧モータ) :	正転 逆転
	旋回 (油圧モータ) :	右 左
	走行右 (油圧モータ) :	前進 後進
	走行左 (油圧モータ) :	前進 後進
操作方式	電磁比例弁ユニットによるパイロット油圧操作方式	
通信方式	PLCによる有線通信	

以上の各種装置を組み合わせることで、陸上や支援船上といった遠隔地にいるオペレータ席で、音や振動、傾斜等を実際に水中バックホウに乗っている状態と同じように体感しながらモニターを見て操縦できる。これによって安全で確実な遠隔操縦による高精度な無人化施工を実現した。

5. 遠隔操縦対応型水中バックホウの施工事例

(1) ボックスカルバート式横坑における浚渫

本事例は、ボックスカルバート内の堆積土砂を水中バックホウの遠隔操縦により浚渫したものである。

通常の潜水士による人力作業で浚渫する場合、ボックスカルバート内は周辺が暗いのに加え、作業に伴う濁りの発生・拡散により施工効率が著しく低くなる。

また施工が進むにつれて放水口内奥部へ進むため緊急時に脱出が困難になるなど、潜水災害の危険性が高いとされてきた。そこで、遠隔操縦対応型水中バックホウを導入して無人化施工を行った（写真—5, 図—4）。



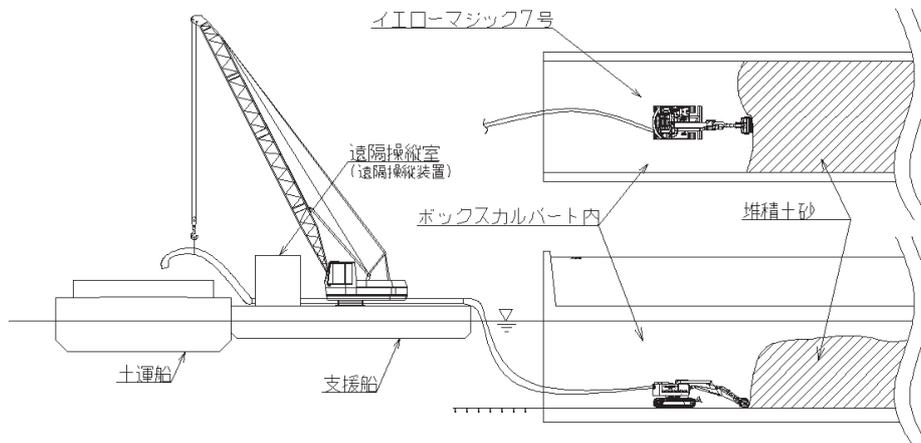
写真—5 水中バックホウ投入状況

ボックスカルバート内の堆積土砂は浚渫排送用に開発したロータリーカッター式浚渫装置の装着により行った。「水中バックホウ施工支援システム」の利用により施工能率の向上と安全性の確保が図れた。

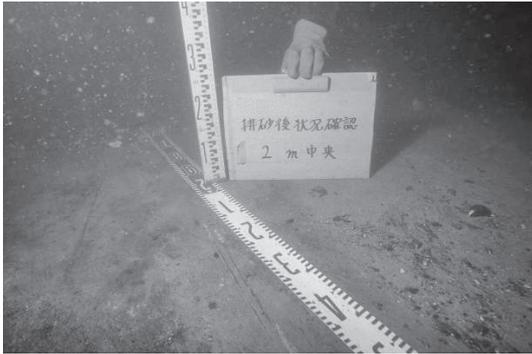
特に前述の水中視認装置により、ボックスカルバート内の床版・隅部まで確実に浚渫できることが可能となり、出来形の大幅な向上が得られた（写真—6）。

(2) 狭隘部・浅場における浚渫

本事例は、港湾内の狭隘かつ浅場な箇所において、水中バックホウの遠隔操縦により海底土砂を浚渫したものである。当施工範囲は、岸壁と透過防止鋼管矢板に挟まれており、狭くて浅いのでバックホウ台船の進入は不可能であった（写真—7）。さらに、岸壁上に陸上機械（バックホウ・クラムシェル等）を導入した場合、他作業ならびに岸壁上の車両通行の妨げになることから水中バックホウが採用された。



図—4 ボックスカルバート式横坑の作業状況



写真一六 堆積土砂浚渫後



写真一七 施工場所

浚渫箇所は、比較的浅場であり水中バックホウにオペレータが搭乗した場合、オペレータは気中に出てしまい、施工の際に海面反射等で対象物の視認が困難であった。そこで、遠隔操縦システムを導入して浚渫作業を行った（写真一八）。



写真一八 水中バックホウ遠隔操縦状況

当現場では、支援室内のオペレータから水中バックホウが見える状況であったので、位置の把握は目視、アーム・ブームとアタッチメントの位置姿勢、ならびに浚渫深度の情報は施工管理装置画面にて認識した。

施工は、前述と同様に水中バックホウに搭載されたサンドポンプにより海底土砂を吸引して、海底地盤高を設計以深まで盤下げする施工であった。海底面は不陸が生じないように平坦に浚渫していくため、緻密な水中バックホウ操作・浚渫装置の位置管理が重要であったが、施工管理装置画面により出来形の確保ができた。

また、潜水士非搭乗であるので、海象の悪化による港内への波浪の進入時でも、潜水士の退避は必要なく、施工を継続することができ作業量の向上になった。

以上より、狭隘部・浅場においても遠隔操縦対応型水中バックホウの有効性が実証された。

## 6. 終わりに

以上の通り、遠隔操縦対応型水中バックホウの仕様ならびに施工事例を述べてきたが、本機の登場により海中土木作業における施工能率及び安全性は飛躍的に向上したと考えられる。

適用工種・施工環境のさらなる拡大を図るべく要素技術の向上に取り組み、「遠隔操縦対応型水中バックホウ」をさまざまな方面に提案していく所存である。

最後になりますが、本機開発ならびに施工に多大な協力を頂いた方々へ深く感謝申し上げます。

JCMA

### 【筆者紹介】

熊谷 崇信（くまがい たかのぶ）  
東亜建設工業(株)  
土木事業本部 機械グループ

