

遠隔操縦型水中バックホウと 水陸両用型水中バックホウ

イエローマジック7号とイエローマジック8号

米 光 梶 貴

潜水士の安全性や施工能力の向上を実現すべく、従来の潜水士搭乗型水中バックホウに改造を施し開発した「イエローマジック7号」（以下「本遠隔操縦 BH」という）は、遠隔操縦による無人運転機能を有し、潜水士作業では危険性の高い条件下における水中無人化施工が可能である。また近年開発した「イエローマジック8号」（以下「本水陸両用 BH」という）は、水際から水中まで1台で対応可能な水陸両用型水中バックホウである。これらの水中施工機械を国内の様々な水中土木工事に導入してきた。本稿では、各種水中バックホウによる施工事例を紹介し、その有効性を示す。

キーワード：水中施工機械、水陸両用、水中バックホウ、遠隔操縦、体感装置

1. はじめに

20 年余り遡ると、水中土木工事は、その殆どを潜水士による人力作業に頼っているのが現実であり、潜水士の安全確保・水中作業技術の継承、施工効率の向上等の課題を抱えていた。これらの問題を解決し、水中土木工事の効率化と安全性向上に寄与するため、平成7年に潜水士搭乗型の水中バックホウ「イエローマジック1号」を開発・実用化した。

その後、水中バックホウの施工場所・施工範囲の多様化を求める声に呼応する為、平成13年に遠隔操縦型水中バックホウ「本遠隔操縦 BH」（写真—1）を建造した。また平成28年に、水陸両用型水中バックホウ「本水陸両用 BH」（写真—2）を建造し、国内の様々な水中土木工事へ導入してきた。



写真—1 本遠隔操縦 BH



写真—2 本水陸両用 BH

本稿では、「本遠隔操縦 BH」と「本水陸両用 BH」の概要を述べると共に、施工事例を紹介することで、水中バックホウの有効性を示すものである。

2. 本遠隔操縦 BH

水中バックホウによる、水中土木工事の実績が示されることで、大水深域や危険箇所等の過酷な環境下での施工をはじめ、水中バックホウの施工範囲拡大が求められるようになった。同時に、過酷な施工条件においても、潜水士の安全性向上や施工効率の向上を実現していく必要があった。これらの問題を解決すべく、従来の潜水士搭乗型水中バックホウの機能をそのままに、無人運転に対応した本遠隔操縦 BH を開発、建造した。これと同時に、水中バックホウの姿勢情報などを体感情報として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」も開発，導入した¹⁾。

(1) 遠隔操縦型と潜水土搭乗型の切り替え

本体に装備しているバルブを操作することで，遠隔操縦型と潜水土搭乗型の切り替えを行うことが可能である。

(2) サンドポンプを自機に搭載

本体にサンドポンプを標準装備しており，潜水土搭乗型，遠隔操縦対応型にかかわらず水中での掘削・掘削土の排送が可能である。

また，サンドポンプはインバータにて駆動しているため，流量の調節を容易に行う事が可能である。

(3) 施工支援システム

一般にバックホウを使用した作業では，オペレータが自身の五感を通じてバックホウの動作や，作業対象の情報を把握し，操作を行っている。無人化施工を行う場合，この五感情報をいかにしてオペレータに提供するのが重要となる。

陸上での無人化施工では，施工状況は目視にて確認しながら，安全な場所からオペレータが遠隔操縦装置にて操縦を行っている。そのため，陸上の無人化施工では，遠隔操縦信号は無線式，施工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，既存の水中カメラによる映像では，低い透明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，水中バックホウからの体感情報をオペレータへ

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」(図—1)を開発した。各種装置を組み合わせることで，施工場所から離れたオペレータ席で，音や振動，傾斜等を実際に体感しながらの操縦が可能となっている。これによって安全で確実な遠隔操縦による無人化施工を可能としている。以下にシステムを構成する基幹装置について述べる。

(a) 施工管理装置

水中バックホウの姿勢（ブーム俯仰角度・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グラフィック化や数値化し，オペレータ席のモニターに表示する装置である（図—2）。

(b) 水中視認装置

水中バックホウの遠隔操縦には，周辺状況や作業状況の視認・把握が必須と考えている。本遠隔操縦 BH では，水中カメラやカラーイメージングソナー，音響



図—2 施工管理装置画面

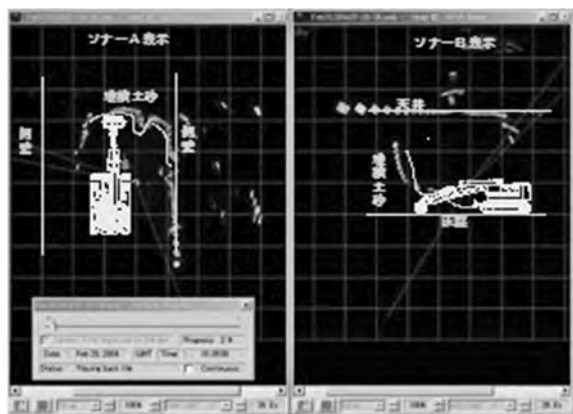


図—1 水中バックホウ施工支援システム概要

カメラを水中視認装置として搭載することで、水中での視界を確保している。

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など、比較的広い範囲の視認を行うための装置で、ソナーからの距離を点の集合でとらえる（図—3）。

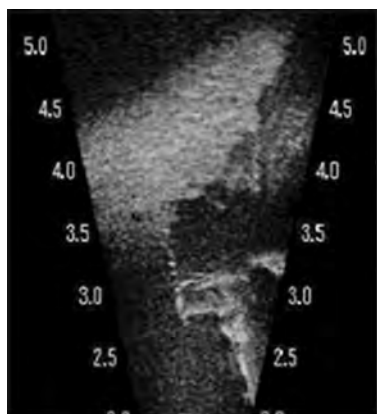


図—3 カラーイメージングソナー画面

②音響カメラ

光学式水中カメラでは撮影不可能とされていた濁水中や、暗闇での撮影を可能とする（図—4）。

カメラ前面の状況をリアルタイムでとらえる為、作業対象並びにアタッチメントの視認に使用する。



図—4 音響カメラ画像

(c) 水中音響装置

水中バックホウに取り付けた集音マイクを使用し、駆動音や、その他周辺の音を収集しオペレータ席で再現する。

(d) 体感装置

作業に伴う水中バックホウの振動、傾斜等をオペレータ席にリアルタイムに反映する装置である（写真—3）。

これによりオペレータは、実際に水中バックホウに



写真—3 遠隔操縦状況（体感装置）

搭乗し、作業を行うのと同様の感覚で操縦を行うことが可能であり、掘削・旋回・走行等の動作をスムーズに行うことが出来る。

3. 本水陸両用 BH

近年、水中バックホウに求められている作業は、ケーソンマウンド等の均し作業のみならず、海底ケーブル・取水配管の敷設やコンクリート構造物の撤去など、その作業内容や作業場所・作業水深が多様化し、水深の浅い水際の作業も増加してきた²⁾。

そこで、水際から水中までの施工を1台のバックホウで行える様に、エンジン式と電動油圧式を換装可能な本水陸両用 BH を建造した。従来のバックホウをベースにしているため、豊富なアタッチメントはそのまま適用可能である。

(1) リアデッキの換装

リアデッキを換装することにより、水際から水中までの作業を1台で行う事が可能である。装備の換装は半日程度で行う事が出来る（図—5）。



図—5 リアデッキ換装イメージ

適用水深は、水陸両用時は陸上～-4 m、水中使用時は-2 m～-50 m まで運用可能となる。

(2) エレベートキャブ

オペレータ席が水没する程度の水深では、エレベートキャブによりオペレータが水中に入ることなく作業可能となるため、作業負担の軽減と効率化を実現している（図-6）。



図-6 エレベートキャブ

(3) 減圧管理システム

水深 10 m を超える海域での水中作業中、潜水士は常に減圧症のリスクを抱えながら作業を行わなければならない。そこで減圧管理システムを同機に導入し、潜水士の状態を常に監視することで、減圧症のリスク軽減を図る（図-7）。

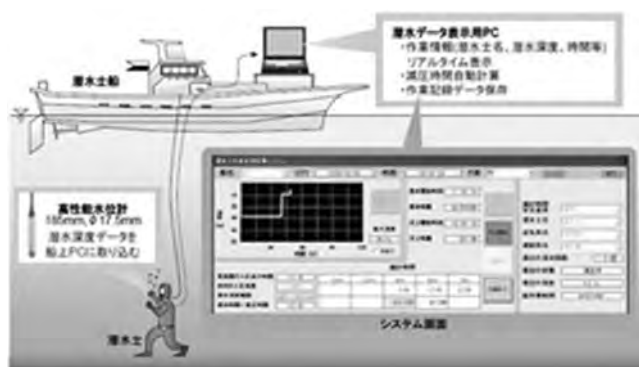


図-7 減圧管理システムイメージ

(4) 生分解性の作動油・グリースの採用

生分解性の作動油、グリースを標準で採用し、環境面へ配慮している。

4. 施工事例

(1) 放水路内堆積物除去工事

放水路内に堆積した土砂を遠隔操縦により除去した。

放水路内の堆積物除去は、作業が進むにつれて奥部に進むため、緊急時の救出が困難になる等、潜水士の重大災害が高くなる。そこで、本遠隔操縦 BH を導入して無人化施工を行った。図-8 に実際の施工イメージを示す。対象となる堆積物除去用に開発したロータリーカッター式浚渫装置を装着し浚渫を行った。前述の水中視認装置により、放水路内の床板、隅部まで確実に浚渫することが可能となり、施工品質の向上が見られた（写真-4）。

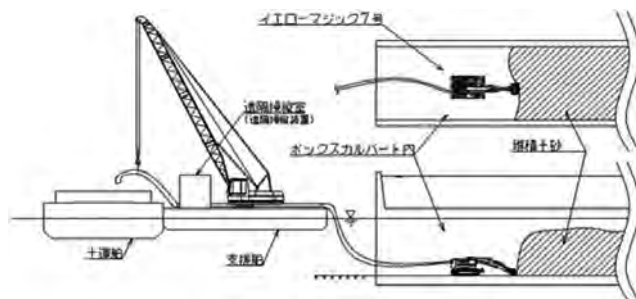


図-8 放水路内の堆積物除去状況

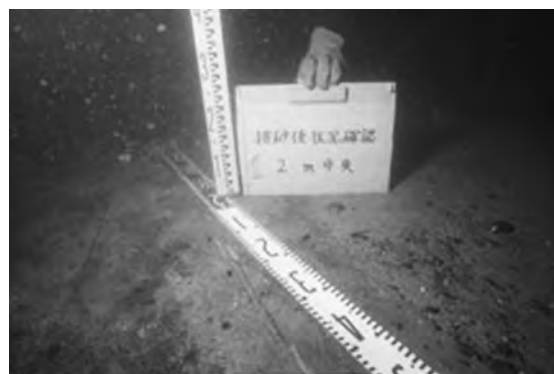


写真-4 堆積土砂浚渫後

(2) 護岸法面均し工事

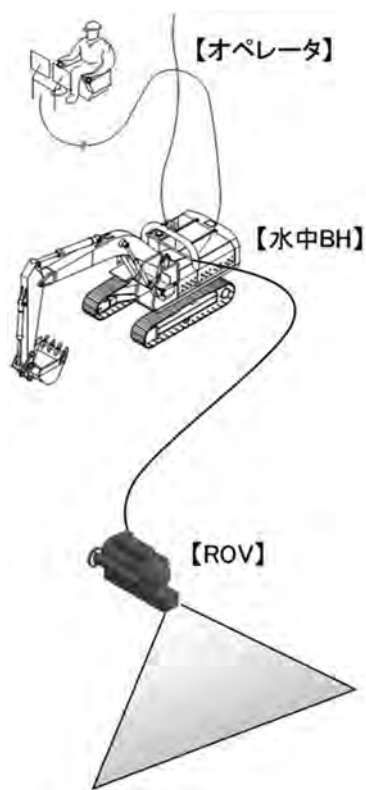
水深が浅いため作業船の侵入が出来ず、更に陸上機ではリーチが足りないため、海側から施工を行った（写真-5）。陸上機や作業船が接近することが出来ない場所で、本水陸両用 BH での施工は非常に有効である。

5. 今後の取り組み

現場への導入を通して実績を積み重ねると共に、適用工種・施工環境の拡大を図っていく。同時に、水中昇降機能、姿勢制御機構、遠隔操縦機能の拡充等を行い、あらゆる状況への対応力を高めることにより、現



写真—5 護岸法面均し状況



図—9 小型 ROV 装着イメージ

場へ導入する機会を増やしていきたい。拡充の一例として、小型 ROV を水中バックホウの補助装置とし、広範囲な作業エリアの状況把握、本体の簡単な修理などを行う（図—9）。また、アンビリカルケーブルを使用した遠隔操縦の高度化・設備の簡素化及び、耐圧性能を向上させることで、海底資源開発に目を向けた技術開発にも取り組んでいきたい。

6. おわりに

本稿では、本遠隔操縦 BH「イエローマジック 7 号」及び本水陸両用 BH「イエローマジック 8 号」の各種水中バックホウの仕様・施工事例を述べてきたが、これらの施工機械は水中土木工事における施工効率並びに安全性の向上に大きく貢献していると考える。

今後は、適用環境を拡大するべく、各種技術の向上に取り組み「水中バックホウ」を様々な方面に提案していきたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 熊谷崇信：遠隔操縦対応型水中バックホウの施工事例と有効性，建設の施工企画〈No.733〉，pp.41-45，2011.3
- 2) 東亜建設工業㈱：水陸両用／水中バックホウと大水深対応型水中作業ロボット，機関誌「作業船」10月号〈No.321〉，pp.19-24，2015.10

【筆者紹介】

米光 柁貴（よねみつ まさたか）
東亜建設工業㈱
土木事業本部 機電部 機械グループ

