特集⋙ ⅠCT・ロボット化等の先端建設技術

大水深対応型水中作業ロボット

Deep Crawler (ディープクローラ)

泉 信 也・飯 田 宏・小 川 和 樹

近年の水中施工機械に求められる多様化に対応するため、小型軽量で水深 3,000 m の海底や狭小な場所でも作業可能な水中作業ロボット「Deep Crawler」を開発・実用化した。本機は4軸のクローラとマニピュレータを装備し、遠隔操縦が可能である。本機の概要とともに、海底ケーブル調査で活用された事例などについて報告する。

キーワード:水中施工機械、水中作業ロボット、大水深、遠隔操縦、クローラ、フリッパ、マニピュレータ

1. はじめに

従来の水中土木工事においては、そのほとん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潜水士搭乗型の水中多機能作業機「水中バックホウ」が平成7年に開発・実用化され、捨石均し工事、水中掘削工事等々、現在に至るまで国内の様々な水中土木工事へ導入されている。

水中バックホウの実用化により、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。そのような課題を解決するべく遠隔操縦型水中バックホウ「イエローマジック7号」が新たに開発・建造された¹⁾。それと同時に、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」も開発され、同機へ採用された²⁾。これにより潜水士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)での無人化施工も可能となった。

これらの水中バックホウは施工水深としては概ね - 30 m 以浅を対象としていたが、近年海洋資源開発などの機運も高まっており、水深数千 m という過酷な水圧に対応可能な無人化施工システムが求められていること、またその一方で、従来の水中バックホウでは進入不可能な極めて狭隘な環境下での無人化施工シ



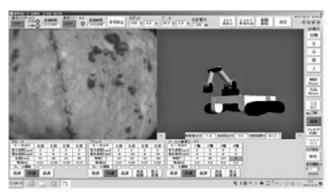
写真—1 Deep Crawler 外観

ステムも求められていることから、今回小型軽量で大水深に対応可能な水中作業ロボット「Deep Crawler (ディープクローラ)」(**写真**—1)(以下「本ロボット」という)を開発・実用化した。

本稿では本ロボットの概要を紹介するとともに,離 島間の海底ケーブル調査に活用された事例などについ ても報告する。

2. 本口ボットの概要

本ロボットは電動式の駆動方式を採用しており、遠隔操縦による操作を行う。標準操作はパソコンに取り付けたコントローラ2個により行う。図—1に操作装置表示画面、写真—2に操作装置の構成を示す。コントローラは、クローラ及びフリッパの足回りと本体に取り付けられた4軸のアクチュエータをそれぞれ操作するため、2個装備している。



図一1 操作装置表示画面



写真一2 操作装置

(1) 装置主要目

装置名 Deep Crawler

寸 法 L2.25 m × B1.65 m × H2.2 m

駆動方式 電動式

装 備 4軸アクチュエータ

光学水中カメラ

質 量 約1.0 t (気中)

耐圧性能 水深 3,000 m 耐水圧

操作方式 遠隔操縦

通信方式 光ファイバー通信

(2) 特徴

- ①水深 3,000 m 相当の耐圧試験 3) をクリアした各部 パーツ (写真一3,4 及び試験状況を写真—5) を装備しており、海底鉱物資源の開発事業などにおいても調査や軽作業に導入可能である(図—2)。
- ②フリッパ角度調整可能な4つのクローラを装備しており、不陸のある場所での走破性能を向上させている(**写真**—6)。
- ③小型軽量な装置のため、運搬や搬入に大型の設備が不要であり、水路内の作業など様々な現場条件に導入可能である(図-3)。



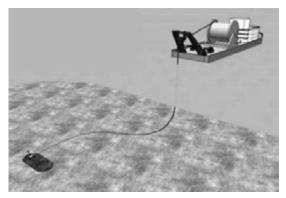
写真一3 駆動装置(クローラ部)



写真―4 駆動装置(マニピュレータ部)



写真-5 耐圧試験状況(30 MPa)



図─2 海底鉱物資源作業イメージ

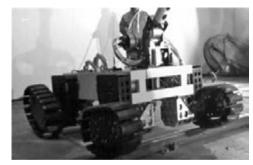
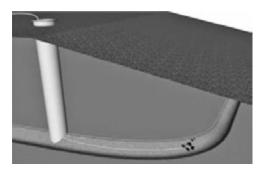


写真-6 障害物走破試験状況



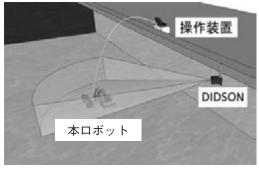
図─3 狭隘な水路内における作業イメージ

(3) 操作性

本ロボットの遠隔による操作試験を造船用ドライドック内の海水中で行った³⁾。ドック内の海水は透明度が低く、光学式水中カメラでは水中での本ロボットの位置や姿勢を把握することができなかったため、音響カメラ(DIDSON⁴⁾:**写真** 7)を使用し、周囲の状況を確認しながら操作を行った。**図** 4に本ロボットの遠隔操作概要を示す。



写真-7 音響カメラ (DIDSON)



図―4 ドライドック内遠隔操作概要

ドック下床版に障害物(H鋼)を配置し、離れた位置に着底させた本ロボットがその上を乗り越える操作を行った。音響カメラは対象物が動くことにより更に詳細な認識を促すことができ、障害物まで移動し、障害物の上部に乗り上げるところまで問題なく操作できた。図—5に試験時のDIDSON表示画面を示す。

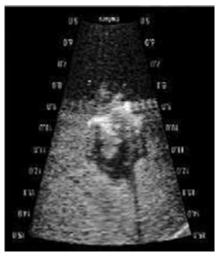


図-5 音響カメラによる映像(中央部が本口ボット)

本ロボットは移動速度が 0.35 km/h 程度で陸上での 移動は遅く感じるが、情報量の少ない透明度の低い水 中での移動では十分な速度であった。

透明度の高い水域での作業では、マニピュレータ先端に標準装備している光学式水中カメラのみによる移動も可能であるが、前後左右の全方向を常時確認できる映像を取得することにより本ロボット単体での操作が円滑に行え、作業効率を上げることができる。

3. 本口ボットによる海底ケーブル調査

我が国には数多くの離島があり、送電用や通信用の海底ケーブルも数多く敷設されている。本年10月、九州地方の離島間に敷設された海底ケーブル調査において本ロボットが活用された。

海底ケーブル調査の目的は、敷設状況や摩耗・損傷状況の確認と、敷設ルートの位置確認であったが、この種の作業には通常水中カメラなどを搭載した ROV が利用されることが多い。しかし、海岸線(波打ち際)から浅い海域や、潮流の速い海域、波浪の強い海域などでは ROV による作業が難しく、今回本ロボットが採用された。

海底ケーブルは送電用 1 系統と通信用 1 系統で,調査対象区間の水深は $10 \sim 20$ m 程度,調査したケーブルの延長は約 500 m であった。また現場の海底地

形は、一部に岩礁や転石もある砂地盤であった。

前述のとおり本ロボットは小型軽量(気中重量約1.0t)であり、**写真**—8のように、潜水作業に利用される小型船舶にも簡単に搭載できた。**写真**—9には現場海域での本ロボットの稼働状況を示す。

現場海域の透明度は高く、本ロボットのマニピュレータ先端に搭載した光学式水中カメラでも十分に視認可能であったことから、この水中カメラでケーブルの状況を確認した。水中カメラによる画像は前出の図一1のように操作装置画面で表示・記録した。



写真-8 潜水作業船への 搭載状況



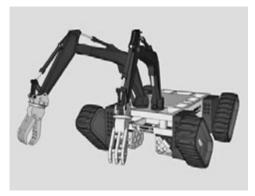
写真-9 海底でのケーブル調査状況

4. 今後の取組み

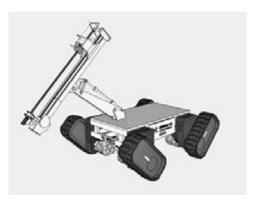
本ロボットは箱型のフレームにクローラ装置やマニピュレータなどを装備する簡単な構造となっているため, 現状のマニピュレータ以外にも各種のアタッチメントやユニットを装備することにより, 多機能な水中作業ロボットとして活用可能である。

(1) アタッチメント開発

本ロボットのフレーム上に装備するアタッチメントの一例として、図―6には双腕型アームを、図―7には削孔機(ドリフター)を装着したイメージを示す。 双腕型アームにより人間の手と似たような作業が可能



図一6 双腕型アーム装着イメージ



図―7 削孔機 (ドリフター) 装着イメージ



図-8 ダンプユニット搭載イメージ

となり、また削孔機により各種の土質・地盤調査も可能となる。

また図―8のようにダンプユニットを搭載することにより海底の荷役機械として活用することも可能である。

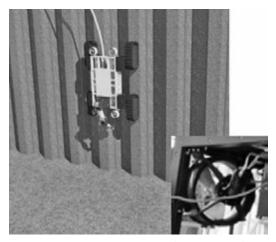
(2) 作業性の拡大

本ロボットは水中のインフラ施設の調査用もしくはメンテナンス用にも活用可能だが、その一例として、 図一9には水中の橋脚下部での作業状況のイメージ 図を示す。

またダム堤体や港湾岸壁など勾配のある構造物や垂直な構造物での作業にあたっては、図—10のように



図-9 橋脚下部での作業イメージ



図―10 壁面での作業イメージ(スラスター搭載)

本ロボットにスラスター (推進装置) を取り付け, 壁 面上を平面的に移動しながら作業可能であることを動 解析シミュレーションにより確認している。

5. おわりに

本稿で紹介した大水深対応型水中作業ロボット Deep Crawler は新たな事業を開拓できるツールとし て非常に有望な施工機械であると考えている。大水深 での構造物などの建設,調査,メンテナンス,さらに は海底鉱物資源開発,石油天然ガス等の開発も視野に 入れ、装置を発展させて行くことが期待できる。建設 工事にとらわれず海洋資源開発分野にも一歩踏み出す ことで、新しい発見があることを信じて今後の装置発 展・設備開発に取り組んで行きたい。

謝辞

最後になりますが、本機の開発・実用化にご協力いただきましたトピー工業(株)、ならびに水中における走行性などについてご指導いただきました東北大学大学院環境科学研究科教授高橋弘先生はじめ、関係の方々に心から感謝し、御礼を申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 飯田宏,森澤友博,泉信也:水中バックホウによる海底鉱物資源掘削に向けた開発,第24回海洋工学シンポジウム,OES24-061,pp.1-4,2014
- 2) 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, pp.41-45, 2011.3
- 3) 泉信也, 飯田宏, 津久井慎吾, 大村誠司, 高橋弘: 大水深対応型水中 作業ロボットの開発, 第15回建設ロボットシンポジウム講演集, O-51, 2015
- 4) URL: http://www.soundmetrics.com/Products/DIDSON-Sonars/ DIDSON-Diver-Held



[筆者紹介] 泉 信也(いずみ しんや) 東亜建設工業(株) 土木事業本部機電部次長



飯田 宏 (いいだ ひろし) 東亜建設工業(株) 土木事業本部機電部機械グループ課長



小川 和樹 (おがわ かずき) 東亜建設工業㈱ 土木事業本部機電部機械グループ