

大水深対応型水中作業ロボット

「DEEP CRAWLER® (ディープクローラ)」

東亜建設工業株式会社 土木事業本部機電部 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® (ディープクローラ)」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。

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、施工能力の向上など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、1995(平成 7)年に「水中バックホウ」が開発・実用化されてから 20 余年が経ち、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。

水中バックホウが実用化されたことで、大水深域や危険個所などの過酷な環境下での施工をはじめ、その適用範囲の拡大が求められるようになり、このような背景に呼応すべく、2001(平成 13)年に遠隔操縦型の水中バックホウ「イエローマジック 7 号」¹⁾が新たに開発された。

これらの水中バックホウは施工水深として概ね - 30m 以浅を対象としていたが、近年機運が高まっている海洋資源開発では、水深数千 m という過酷な水圧でも対応できる無人化施工システムが求められている。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。



写真 - 1 「DEEP CRAWLER® ディープクローラ」本体

2. 本ロボットの概要

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。以下に装置主要目を示す。

装置名 : 「DEEP CRAWLER® (ディープクローラ)」

寸法 : L × B × H (2.25m × 1.65m × 2.2m)

駆動方式 : 電動式

装備 : 4 軸アクチュエータ

光学式水中カメラ

質量 : 約 1.0 t(気中)

耐圧性能 : 水深 3,000m 耐水圧

操作方式 : 遠隔操縦

通信方式 : 光ファイバー通信

2-1 走行性能

本ロボットは、不整地での走行性能を向上させるため、4 軸式のクローラを装備していることが特徴となっている。また、走行用のクローラを可動式としたフリッパー機構を採用しており、各クローラを単独で操作できる構造となっているため、機体姿勢を自由に変化させることができ、海底面の大きな岩などの乗り越えが可能である。写真 - 2 は実際の室内試験にて、高さ約 120mm の段差の乗り越えを確認したものである。また、動解析シミュレーションを用い確認した結果、200mm までの段差乗り越えが可能であることを確認した。

現状、走行速度は高速(0.35km/h)、中速(0.17km/h)、低速(0.11km/h)と 3 段階に調整でき、狭隘な場所でも身動きがとりやすいように超信地(その場)旋回も可能としている。



写真-2 段差乗り越え試験

2-2 耐水圧性能

本ロボットの開発にあたり、技術的に可能な限り耐圧性能を高めている。クローラとフリッパーにそれぞれ4軸、マニピュレータの根元と先端にそれぞれ2軸、耐水圧構造の回転アクチュエータ(写真-3)を搭載しており、この耐水圧性を高めることにより水深3,000m(水圧30MPa)にも耐えうる性能を確保している。

アクチュエータは水深3,000m(30MPa)の耐水圧を想定して設計されたが、実際の耐圧性能を確認するために写真-4に示す耐圧試験²⁾を行っている。各アクチュエータに30MPaの圧力をかけ、仕様通りの耐圧性能を有していることを確認した。



写真-3 回転アクチュエータ



写真-4 耐圧試験

2-3 マニピュレータ

本ロボットは4軸のマニピュレータ(写真-5)を搭載しており、先端に各種アタッチメントを取り付けることにより、多岐にわたる作業が可能となる。現状、マニピュレータ先端に光学式水中カメラが取り付けられているため、本ロボットを調査用ロボットとして活用している。

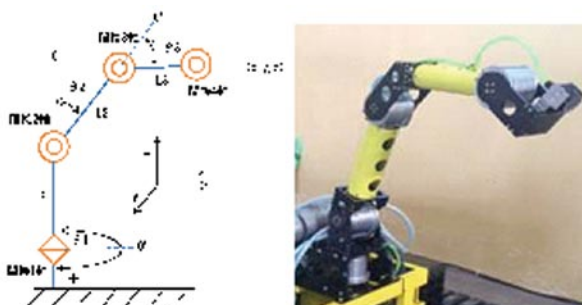


写真-5 マニピュレータ

2-4 操作性

海底面での作業は、機体の傾斜をリアルタイムで確認し、地盤形状に合わせた操作が求められる。そのため本ロボットは、操作のコントローラとマニピュレータ操作のコントローラの2つに分けることによって操作を簡略化し、作業性を向上させている(写真-6)。

操作画面上では、本体とマニピュレータに搭載された姿勢センサの情報により操作画面にて3次元で表示することができ、直感的な操作を可能としている(写真-7)。また、機体内部に搭載された姿勢センサによって、機体が大きく傾いた際に動作を停止させる転倒防止機能を持つ。



写真-6 操作コンソール



写真-7 操作画面 3次元画像

3. 調査実績

我が国にも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。昨年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(写真-8)。

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、敷設ルート的位置確認であり、マニピュレータ先端に取り付けた光学式水中カメラにて海底ケーブルを視認する形で調査を実施した。通常この種の作業には、水中カメラなどを搭載した泳動型ROV(遠隔操作無人探査機)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泳動型ROVによる作業が難しく、今回は本ロボットが採用された。

海底ケーブルは送電用と通信用1系統ずつで、調査区間の対象水域は10~20m程度、調査したケーブルの延長は約500mとなった。前述のとおり、本ロボットは小型軽量(気中重量約1.0トン)であり、写真-9のように潜水士船にも簡単に搭載できた。

現場海域の透明度は非常に高く、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ため、既存の装備にて調査を行い、目的を達した。



写真-8 海底ケーブル調査状況



写真-9 潜水士船への搭載状況

4. 今後の展開

4-1 アタッチメントの開発

現状、本ロボットのアタッチメントは4軸構成のマニピュレータに取り付けられており、先端には光学式水中カメラを搭載している。今後は、海洋資源開発・海洋インフラの調査・施工などへの活用も視野に入れており、使用用途に合わせたアタッチメントの開発が望まれる。アタッチメントの一例として、図-1に双腕型アーム装着時のイメージ図を示す。

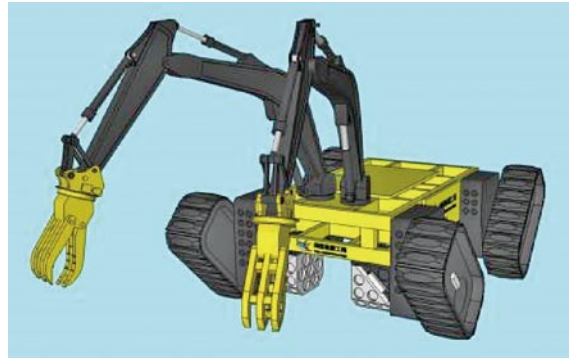


図-1 双腕型アーム装着イメージ

アームを双腕とすることによって、より繊細な技術を要する作業にも対応できる。しかし、それに起因して機能が複雑化するため、今後オペレーターの育成を視野に入れたアタッチメントの開発が求められる。

図-2には削孔機(ドリフター)を装着したイメージ図を示す。これにより、各種の土質・地盤調査にも活用可能と考えられる。また、図-3のような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考えられる。今後、多様な作業に対応できる汎用性の高い装置とすべく、これらのアタッチメントの実用化に向けた開発に取り組んでいきたい。

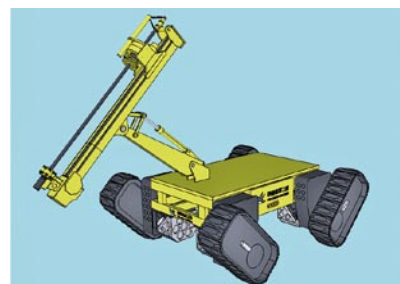


図-2 削孔機(ドリフター)装着イメージ

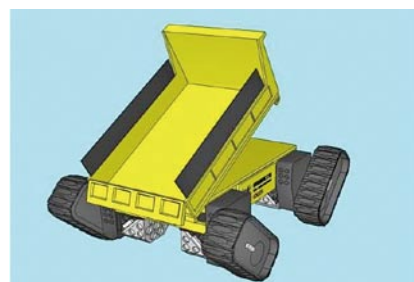


図-3 ダンプユニット装着イメージ

4-2 作業性の拡大

本ロボットは、小型軽量で耐水圧が水深 3,000m と大水深での作業も可能であるため、狭隘な暗渠(図-4)や水中のインフラ施設の調査・メンテナンス(図-5)、海底資源開発(図-6)にも活用できると考えられる。

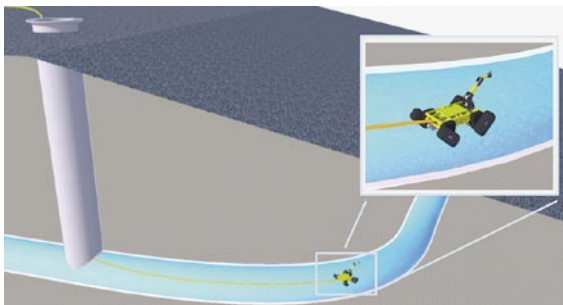


図-4 小断面水路トンネルでの作業 イメージ図



図-5 橋脚下部 洗掘調査 イメージ図

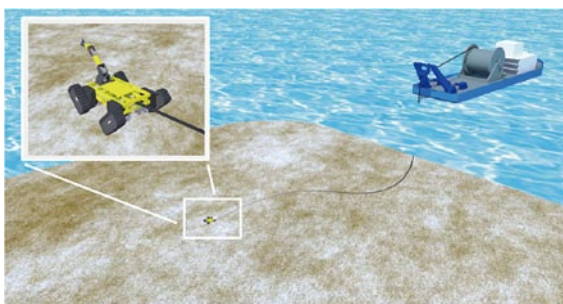


図-6 大水深での海洋開発 イメージ図

動解析シミュレーションを用いた性能確認試験により、本ロボットにスラスタ(推進装置)を取り付けることによって、壁面上を平面的に移動しながら作業可能であることを確認している。これにより、図-7に示すような調査にも活用できると考えられる。

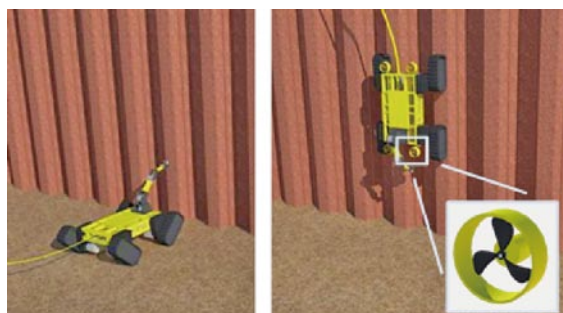


図-7 鋼矢板側面調査 イメージ図

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® ディープクローラ」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。

現状の作業実績としては、前述した海底ケーブル調査(最大水深 -20m)や、SIP 関連の公開実験(水深 -5m 地点)と、比較的水深が浅い環境下において「調査ロボット」という形で用いられているが、今後は大水深での構造物の建造、調査、メンテナンス、さらには海底資源開発、石油天然ガスなどの開発も視野に入れた技術開発に取り組んでいく所存である。

当社は港湾工事を得意とする建設業として、事業を発足してから 100 余年を迎えている。今後はこれまで培ってきたノウハウを活かし、従来の建設工事にとられない独自の発想で海洋インフラ調査・施工や海洋開発などの分野に参画していきたい考えである。また本開発で得た知見をもとに、既存の水中施工機械の作業フィールド拡大につなげていければと考える。

参考文献

- 1) 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) 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