

50. 水中歩行型作業ロボット

五洋建設(株)：近藤 敏夫

1-1. まえがき

昨今の港湾工事は大型化、沖合化が進み、大水深化の傾向にあり、外海の高象も悪化することと合わせて、施工条件は次第に困難になってきている。一方、東京湾に代表される、臨海周辺の種々の再開発計画でも、施工法が複雑になり、安全施工、大量急速施工、という要求と合わせ、従来工法では施工が困難な場合が多い。とりわけ、海底を対象とする、海中の土木作業は、作業場所そのものが人間が通常は近寄れない危険な場所であり、それをとりまく環境も海洋という苛酷な作業条件になっている。この為、陸上の土木建設機械が、メーカー主導でメカトロ化が進む一方で、港湾土木の建設機械は立ち後れが目立っていたが、次第に施工者側の主導で研究、開発が進められている。

以下に紹介する水中作業ロボット2機種、「捨石ならし機」、浚渫ロボット「ふたば」は、五洋建設が各々、(株)小松製作所、東京電力(株)と共同開発したもので、いずれも海底8脚歩行式の本格的な重作業ロボットである。これらは高象の影響を受け難い海底から一捨石ならし機、一浚渫機をリモートコントロールのロボットが無人で行うものである。以下、2機種について記す。

1-2. 「捨石ならし機」の概要

防波堤、護岸の直立部は、通常コンクリートケーソンを据えて造る。このケーソンの据え付け面(ケーソンマウンド)は30~200Kgの石材を海上からガット船で投入し、この上面が平らになるように「捨石ならし」を行う。この捨石ならしは、従来、潜水士が海底で捨石を1個ずつ手作業で敷き並べる「潜水士工法」が主流になっている。この工法は人間が石の大きさ、方向を1個ずつ判断し、置きかえる為、きめ細かい施工が出来る利点がある。その一方、この工法には、潜水事故、潜水士の高齢化、人員不足、及び作業量の限界等の問題があり、機械化施工が要望されていた。

「捨石ならし機」は昭和57年に完成し、すでに約28,000㎡の実績がある。本機の施工の概要は、ガット船からの投入後の捨石の上に本機を吊り下し、本機が水平を保ちながら、8本の脚で前後左右に自動歩行し、任意の箇所では熊手状のレーキで捨石の凹凸をならし、その後ローラ転圧する。これらの操作はすべて、海上の支援台船上のコントロールハウスからワンマンコントロールされる。

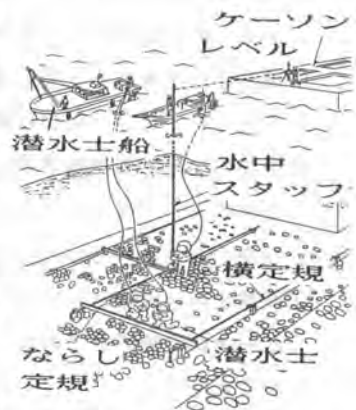


図-1 捨石潜水士ならし図

1-3. 「捨石ならし機」の機器構成

本機は本体脚フレーム、移動脚フレーム、ならし台車で構成されている。本体脚フレームには本体



写真-1 「捨石ならし機」全景

ラ転圧はローラを下げたて台車を前送りする。これらの歩行、ならし動作は、給電ケーブルで供給される電力により、水中電動モータで油圧ポンプを駆動し、この油圧で各シリンダを伸縮させることにより行う。システムとして、この本機の他に、海上の支援台船上にコントロールハウス、発電機等があり、支援台船と「ならし機」は1本の給電ケーブルで結がっている。またこの他に、位置出し用にレーザ測位儀と、レベルを陸上におく。

脚4本、油圧ユニット、信号伝送ボックス等が搭載されている。移動脚フレームには歩行用の移動脚が4本あり、この2つのフレームは前後進用のシリンダ2本、左右進用シリンダ2本でつながっている。本体脚フレームの中には、ならし台車があり、この台車に直接海底の捨石の凹凸をならすレーキ、転圧するローラが装備されている。ならし台車は本体脚フレームの前部にある牽引ウインチでワイヤーを介して前後に往復する。

レーキ均しはレーキを下に下げて前送りし、ロー

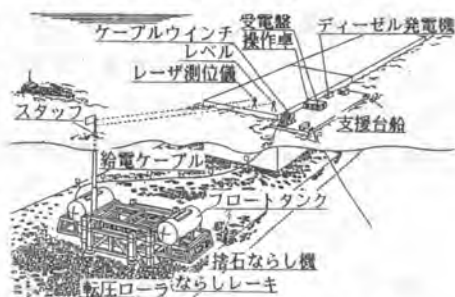


図-3 捨石ならし施工図

1-4. 「捨石ならし機」の制御

激しい起伏のある海底で安全に歩行し、この凹凸を水平にならすには、本体を常に水平に保つ必要がある。これらの制御は、操作室からの指令にもとずき、ストロークセンサ、油圧計、傾斜計、の信号を取りこんで、操作室、ロボットの2台のコンピュータでシーケンス制御される。各油圧シリンダはコンピュータからの制御信号で動作するバルブからの油圧でシステム的に駆動される。

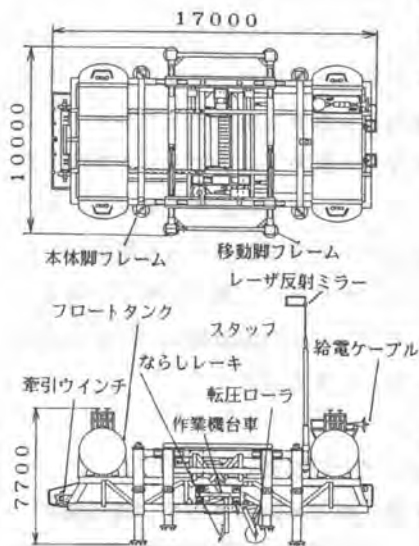


図-4 捨石ならし機外形図

1-5. 「捨石ならし機」の特徴

本機は8脚步行の利点を生かし、通常のキャタピラ（履帯）で歩行できないような海底の凹凸の上を本体の水平を保ちながら、安全に歩行し、ならし作業を行う。

このシステムでは操作がすべて海上、陸上から安全にリモートコントロールされ、ロボットが海面の影響を受けない海底で精度の良い作業が可能で、作業量も殖やすことができる。

また、レーザ測位、超音波測深儀を併用した記録装置により、施工管理も向上する。

1-6. 「捨石ならし機」の実績

| 現場名 | 住友金属和歌山 | 東京電力柏崎 | 東京電力富津 | 東京中防 | 九州電力苅北 | 中国電力三隅 |
|------|---------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 施工時期 | 58年3月 | 58年8月 | 59年11月 | 60年9月 | 62年4月 | 63年5月 |
| 施工面積 | 1100㎡ | 10170㎡ | 3000㎡ | 8500㎡ | 900㎡ | 3000㎡ |
| 水深 | -11.42m | -7.0m | -4.0m | -3.4m | -9.85m | -14.0m |

2-1. 浚渫ロボット「ふたば」の概要

本ロボットは8脚海底歩行型の浚渫ロボットである。フロートタンクを母体とした本体フレームの4脚と、浚渫設備を搭載した移動フレームの4脚で歩行して、浚渫作業を行う。本機は光電力ケーブルで、陸上の遠隔操作室からリモートコントロールされる。水中重量の調節や、海底地盤状態（高低、硬軟）に応じた、歩行モードの変更機能があり、多様な海底状況に対応し、安全で経済的な浚渫作業を行う。

2-2. 「ふたば」の機器構成

本機を中心とするシステムは、遠隔操作室、レーザ式自動位置だし装置、中継ポンプ、海上-陸上パイプライン、光電力ケーブルに大別される。本体脚で自立し、移動フレーム上のラダーを油圧シリンダでスイングして浚渫する。ラダー先にはディスクカッターを装備しており、4台の測深器で浚渫前後の地盤を検知しながら作業を行い、後進浚渫も可能である。本機の位置と深さは、レーザ式自動位置だし装置と、本体上の水深計で検知する。これらの情報は本体上のジャイロコンパスの方位信号、脚長、脚荷重等の信号と合せて、遠隔操作室内の監視用CRTにグラフィック表示される。操作室にはこの他に、制御用、位置だし用、浚渫支援用の3台のCRTがあり、各々（ロボットへの歩行速度、脚踏替荷重等の指令の入力表示）（ロボットの港湾内位置のグラフィック表示）（カッターの4台の測深器の信号をコンピュータ処理した浚渫断面のグラフィック表示及び土量表示）等、浚渫作業全般にわたる支援システムを構成している。レーザ式自動位置だし装置は無人でロボットのポール上のミラーを自動追尾し、位置を測量し操作室にそのデータを送る。

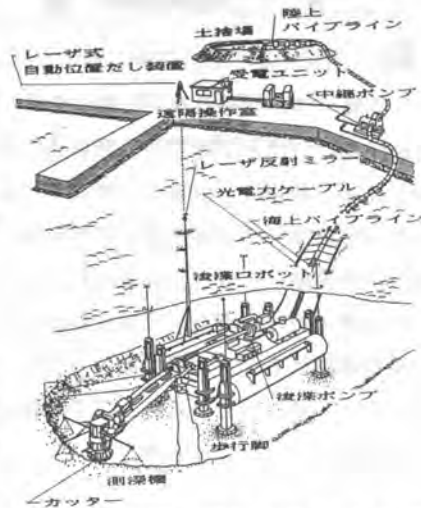


図-5 浚渫ロボット施工図



写真-2 浚渫ロボット「ふたば」全景

2-3. 「ふたば」の制御

図-7に制御、監視系統図を示す。遠隔操作、監視を目的とし、ロボットの制御は機能的に「自動歩行システム」「浚渫運転支援システム」「遠

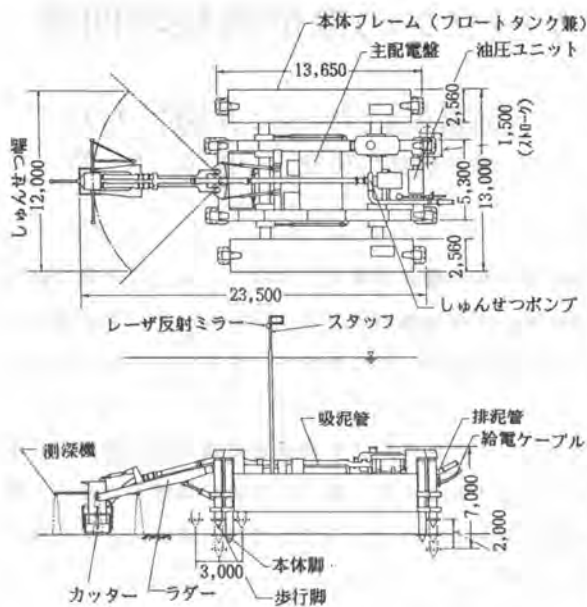


図-6 浅瀬ロボット「ふたば」外形図

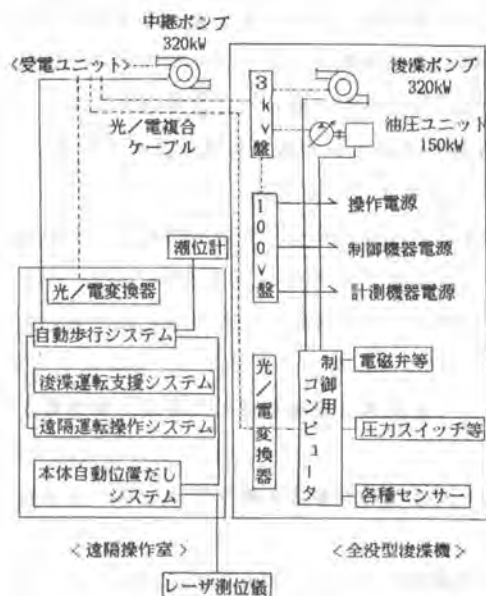


図-7 制御・監視系統図

発、製作は必要不可欠となる。また、工事そのものが一連の組合せ工法で成り立っている為、一部分の機械化施工についても他分野との関係を無視できない。出来形の管理基準の見直しについても、施工主、施工業者の両者が共同で施工システム全体を考えながら、積極的に取り組む事が必要であろう。

隔運転操作システム」「本体自動位置だしシステム」から構成されている。これらシステム用に、4台のCRTの他に操作室に遠隔制御盤、制御コンピュータが設けられている。ロボット上のセンサー信号は、光ケーブルを通り、コンピュータを介してCRT表示される。キーボードからの指令による、コンピュータの自動歩行等の出力は、光ケーブルを通り、本体上のアクチュエータを駆動し、油圧で各シリンダを順番に伸縮させる。

2-4. 「ふたば」の特徴、実績

本ロボットは、ポンプ船等、海面浮遊型作業船に較べ、海象の影響を受け難く、通常、作業船が有義波高 0.5~0.7m の稼働限界に対し、本機は水深 6.5m で、最大波高 2.8m

まで作業可能で、稼働率が大幅に向上する。また本機は遠隔制御に前述の4システムを採用しており、オペレータは操作盤の他に、CRTで多様な情報を得ることが出来る。この為、オペレータが熟練を必要としないで、システムをワンマンコントロールできる。施工精度も本機が海底に自立し、作業中本体傾斜を自動で ± 0.2 度以内に制御し、測深機でモニタしながら浅瀬するので高い仕上精度が得られる。また、バラストタンクにより浮上曳航も可能である。本機は昭和63年 2月、現場において歩行、浅瀬の実証試験を行い、計画能力の確認を行った。
 〈揚土能力 運転時当り 76 m³/h (シルト)〉

3. あとがき

海底8脚歩行式作業機は従来機種の範囲を踏み出して、実績を重ね、次第に認知されてきている。港湾土木工事の機械化施工は、その稼働環境が極端に劣悪で苛酷であり、厳しい使用状況に耐える、信頼性の高い機器の開発、