

28. 捨石ならし機による海中捨石工法

(株)小松製作所：吉田 正和・*村本 英一

1. まえがき

小松製作所は、これまでに水中ブルドーザ、海底調査潜水機などの水中機械の開発を行ってきたがこのたび大型海洋工事において、永年懸案であったケーソン等の基礎マウンド造りにおける捨石ならし作業のロボット化に成功し、この度、量産1号機が完成し、五洋建設㈱に納入した。

この水中捨石ならし機は、8脚歩行式で、これまで潜水夫が潜って行っていた海中作業を全て海上から遠隔操縦で行なうもので、30mの水深でも作業することができる画期的なロボットである。ここでは、本機のシステム構成と本機を使用した捨石ならし作業工法について紹介する。

2. システム構成 (図-1参照)

水中捨石ならし機全体システムは、海底で作業するならし機本体と海上の支援装置

およびこれらを結び本の給電ケーブルから構成される。海上支援台船上には、電力を供給する発電機、電力を各機器に配電する受電盤、本体を運転操作する操作車、給電ケーブルを巻取、繰出すケーブルウインチ、フロートタンクに空気を供給するエアコンプレッサなどの支援

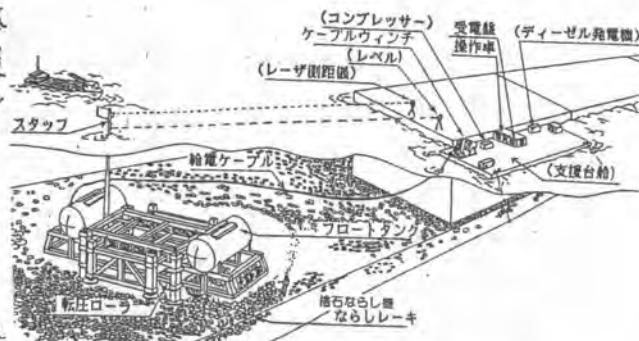


図-1 捨石ならし機海中作業図

装置が搭載される。これら支援装置は、現場条件に応じて既設ケーソンあるいは陸上に設置することも可能である。

3. 特長

- 1) 有線遠隔指令で自動歩行、自動姿勢制御、有線遠隔操縦で一連のならし作業など全ての一連の動きをコントロールしている。
- 2) 人による作業がむずかしいとされている大水深での広域ならしを短期にできる。
- 3) 時間当りのならし面積が大きく、費用の軽減がはかれる。
- 4) 仕上げ面が均一で高い精度がえられる。
- 5) 仕上げ面の計測記録装置をもうけているため、正確な位置、深土の連続記録を残します。
- 6) 本体にフロートタンクを装備しており、自力で沈没・浮上が可能であり、現場内での移動や回航ができる。



写真-1

4. 性能と仕様

4-1) 性能

- 1) 最大作業水深 30 m
- 2) ならし精度 ±5 cm
- 3) 作業能力 40 m³/h
 捨石の大きさ 30~100 mm/個
 捨石捨込凹凸高さ ±50 cm
- 4) 使用時間 水中連続

4-2) 仕様

本体	水中重量	25.2 ton
	水中重量	62.8 ton
	全長	17 m
	全幅	10 m
	全高	6.2 m ※
	前後ストローク	2.0 m
	スライドストローク	1.25 m
	歩行速度	25 m/h
	ならしストローク	10 m
	最大ならし深度	10 m/1回
	最大ならし力	20 ton
レーキ	幅×ピッチ	5.0 m × 0.24 m
ローラ	幅×外径	4.0 m × 1.0 m
	最大牽引力	20 ton
水平制御精度	ならし回歩行時	± 0.14 度以内
	歩行時	± 1.8 度以内
主電動機	形式	油浸形水中電動機
	出力	55 kw

操作項目	操作方式	有線遠隔操縦
	自動歩行	自動歩行
	自動レベル制御	自動レベル制御
	レーキ・ローラ操作	レーキ・ローラ操作
ケーブル	形式	電動油圧ケーブル
ワイナ	容量	500kg × 12m / 1回
制御	構造	クロロアレン
ケーブル	適合ケーブル	適合ケーブル
	外径×長さ	φ42 mm × 200m
受電機	電圧	3 φ × 440V 150kVA

※スタンプ高さ除く
表一

5. 各機器の仕様・構造

1) ならし機本体 (写真1図-2参照)

本体は、本体脚フレームと移動脚フレームで構成され、油圧シリンダで駆動されるスライド装置により、前後左右スライド可能な構造となっている。各フレームは油圧シリンダで上下に伸縮する4本ずつの脚を有し、交互に着地させて自重を移し、交互にスライドして尺取虫のように前後左右に歩行移動する。(図-3参照)

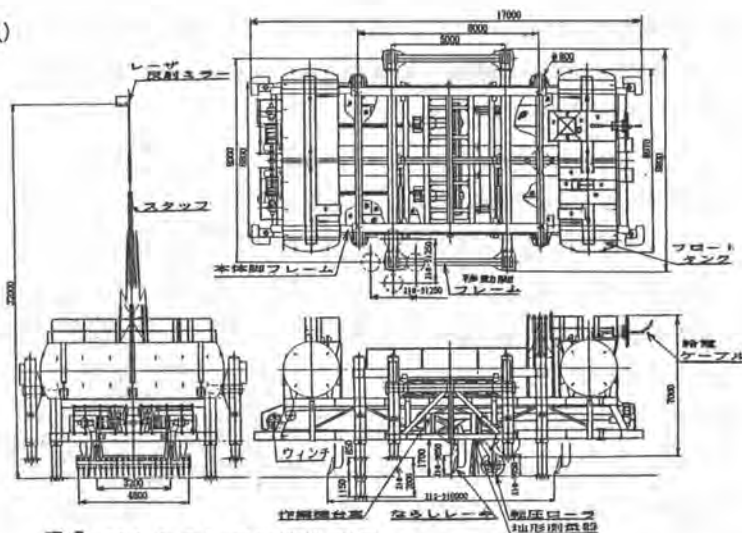


図-2 捨石ならし機 本体外形図

2本のスライドシリンダの片側を動作させて、旋回が可能である。

本体脚フレーム内部には、作業機台車が搭載され、この台車にレーキ、ローラが昇降可能に取り付けられている。

作業機台車は本体メインフレームをガイドレールとして前後に水平送りされる。駆動は油圧モータ式のけん引ワイナで、ワイヤロープを巻取る方法で行なわれる。

台車下面には超音波地形測量器を取付けてあり、台車を走行させると、捨石面高さを計測できる。(図-4参照)

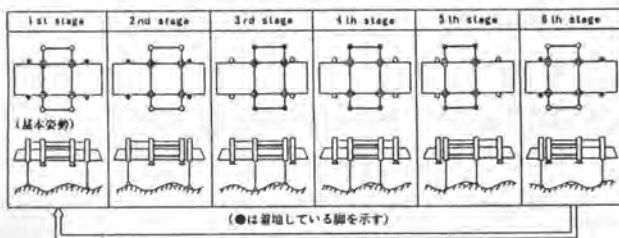


図-3 歩行動作図

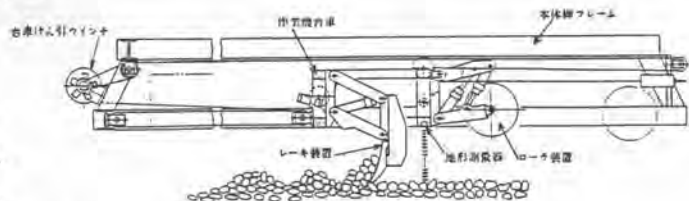


図-4 作業機台車構造図

本体の前後部のフロートタンクに、エアコンプレッサから、エアホースを通して給気することによって、本体を自力で浮上させることができる。

海面まで突出したスタッフ先端には、レーザ測距用のレーザ反射ミラー、レベル計測用の高さ目盛。本体の方位計測用のインジケータが取り付けられている。

本体の駆動は、電動油圧駆動方式であり、各動作の油圧、流量はコンピュータと電磁比例制御弁によって最適な値に制御され、スムーズな作動と動力の低減をはかっている。(図-5参照)

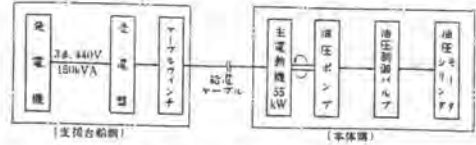


図-5 動力系統図

2) 操作車

ならし機本体を遠隔操縦する操作車と本体の制御装置は給電ケーブルを通してデジタル多重伝送方式により操作。表示のための信号をやりとりする。車には姿勢および作動状況を表示する表示パネル。レーキとローラの作業軌跡と地形測量結果を表示するXYレコーダ、本体の運転を行うための操作パネルが装着されている。(図-6参照)

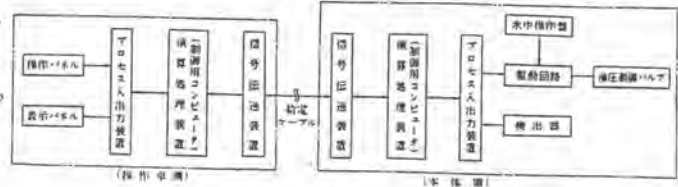


図-6 制御系統図

・操作パネル操作項目

- ①自動歩行 ②手動歩行 ③作業機 ④入切・非常停止

・表示パネル表示項目

- ①歩行モニター ②作業機モニター ③OKモニター ④警報モニター

・XYレコーダ表示項目

- ①ならしレーキ先端上下軌跡 ②転圧ローラ下面上下軌跡 ③地形測量結果(断面地形)

3) ケーブルウインチ

巻胴、操作盤、油圧ユニット、ヒューコンペンセータで構成される単胴形電動油圧駆動ウインチである。ヒューコンペンセータはアーム、バネ、ガイドシープで構成され、船の揺れなどを吸収して、給電ケーブルに過大張力の発生するのを防止する。巻胴軸両端にはスリッパリングを用いており、巻取り繰出し中にも送電ができるようにしている。

4) 発電機

発電機から三相440Vの電力を受け、電圧調整を行って、本体、操作車、ケーブルウインチの各機器へ配電する。各機器で漏電または過負荷が発生した時、安全保護用の自動緊急遮断装置付きである。

6. 捨石ならし作業工法

捨石ならし作業は次の作業手順で行なう。(図-7参照)

1) 本体沈設

本体を海面に浮かせて、タグボートで作業現場まで曳航しフロートタンクの排気バルブを開放して捨石マウンド上に沈設、着地させる。支援台船に搭載して移動した時は、クレーン船で本体を吊って海面に降ろし、沈設する。



図-7 作業手順

2) 歩行移動

スタッフを視準して本体位置と方位を求め、歩行移動させ、ならし地点まで本体を誘導する。歩行は進行方向と歩行数を操作卓スイッチで設定することによって、 $\pm 1^\circ$ 以内の水平姿勢を保持しながら、コンピュータ制御で自動歩行する。本体の方位がずれた場合も、自動操作で1度ずつ旋回する。

3) レベル調整

海面上に突出したスタッフを、レベルで視準して本体の水深を求め、ならし高さが施工計画画面と一致するように、着地脚を伸縮して本体のレベル(水深)を調整する。レベル調整は自動化されており、卓から調整量をデジタル指令することによって、水平を保持したまま自動レベル調整される。

4) 精密水平

ならし作業に先立って本体を精密水平($\pm 0.14^\circ$ 以内)に自動調整する。調整により傾斜ならしもできる。

5) ならし前地形計測

レーキ、ローラを上げたまま、台車を走行させ地形測量器で地形を計測し、XYレコーダに記録する。

6) レーキならし (図-8.9 参照)

レーキを作業高さまで下げ、ならし力20tで水平送りして計画より高い捨石の山を押してならす。石が少い時は上から順次スライスカットするようにして、数回に分けてならす。

7) ローラ転圧 (図-8.9 参照)

レーキならし後、転圧力20tのローラで計画より上に突出している石を押え、均一に仕上げる。

8) ならし後地形計測 (図-10 参照)

ならし完了後の捨石面地形を前述5)と同じ方法で計測記録する。このデータにスタッフから読み取った本体水深値を加算して、仕上りの検測データが得られる。波浪や潮流などの影響を受けずに、断面地形を得られるので、船を使った検測方法に比べ、短時間に高密度・高精度のデータが得られる。

9) 浮上・回収・運搬

所定の区域のならし作業が完了したら、フロートタンクにエアホースを接続して、エアコンプレッサから空気を供給し、本体を浮上させる。浮上後、給電ケーブルを本体側で切離してケーブルウインチに巻取る。本体は支援台船上に回収または海上を曳航移動する。

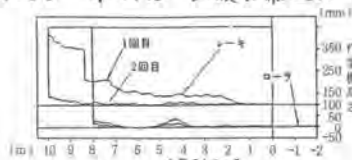


図-8 レーキ、ローラ作業記録

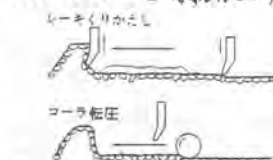


図-9 レーキならしとローラ転圧

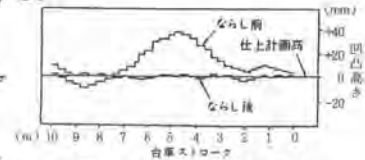


図-10 超音波地形測量記録

7. あとがき

本機は、試作機の陸上ならし実験、その後五洋建設㈱の協力を得て各地で海中実験を実施した。この結果、延べ作業日数145日という短期間で22700 m^2 のならし作業を完了し、仕上りも $\pm 5cm$ 以内という精度で、施工精度・作業量とも当初計画どりの性能であり、操作性・信頼性も良く、量産化に致ったが、今後も改良を重ねていくとともに、本機の技術を生かして、今後さらに海洋土木工事のロボット化を推進すべく、開発を継続する所存である。最後に本機の開発にあたり、ご指導・ご協力いただいた関係各位の方々に深く謝意を表します。