

## 59. 最適収束式自動操船システム

不動建設(株)：川上 高弘  
フドウ技研(株)：奥山 健三・\*勝原 法生

### 1. まえがき

海底地盤改良工事は大型プロジェクトの増加傾向に伴い、適用海域はしたいに沖合へと展開してきている。それにつれて施工海域も大水深域へと広がりを見せてきており、作業船の施工位置への操船・位置決めも、より高度な熟練した技術が要求されてきている。このような状況下のもと作業船の自動化を目指し「最適収束式自動操船システム」の開発に着手した。アンカ・ワイヤで係留された作業船を所定位置へ移動し、固定するにはアンカ・ワイヤ長を如何に制御するかがポイントである。その為には作業船の位置並びにアンカ位置座標を初め、ワイヤ繰り出し長さ、ワイヤ張力、ワイヤ方向と船との角度、水深、ワイヤ伸び量、カタナリ、波浪、風、等を考慮した処理が必要だと考えられ、開発には相当な困難が予想されていた。これに対して、本システムではこれらの条件のうち、在来設備である作業船位置検出装置に加え、ワイヤ繰り出し量、ワイヤ張力の2センサを設備し、適切な処理ソフトの開発によりシンプルな装備で実用的な自動操船システムを構築することができた。写真-1に地盤改良用作業船を示す。



写真-1

### 2. 自動操船システムの使用される環境

サンドコンパクションパイル工法は振動機によって中空鋼管を地中に打ち込み、この中空鋼管内を通して砂を地盤中に排出し、拡径することで、よく締まった砂杭を地中に造成し海底軟弱地盤の安定をはかるものである。特に海上施工では直径1.2～2.0mの砂杭を造成する。

サンドコンパクションパイル(SCP)工法の施工手順を図-1に示す。

- ①作業船を打設位置へ移動し、固定する。改良材としての砂を中空鋼管(ケーシングパイプ)内に投入後、貫入工程に入る
- ②所定深度まで貫入したら造成工程に入る。

③砂杭造成工程では、ケーシングパイプを引き上げながら管内の砂を強制排出する。

④続いてケーシングパイプを再貫入しながら排出した砂を圧入し、地盤中に締め固まった砂杭を造成する。途中で安定材(砂)を補給し、③、④を繰り返しながら砂杭を造成する。

⑤造成完了後、つぎの打設位置へ作業船を移動する。

上記工程に示した作業船の打設位置への移動(操船)を自動化したのが本自動操船システムである。

[ サンドコンパクションパイル工法 ]

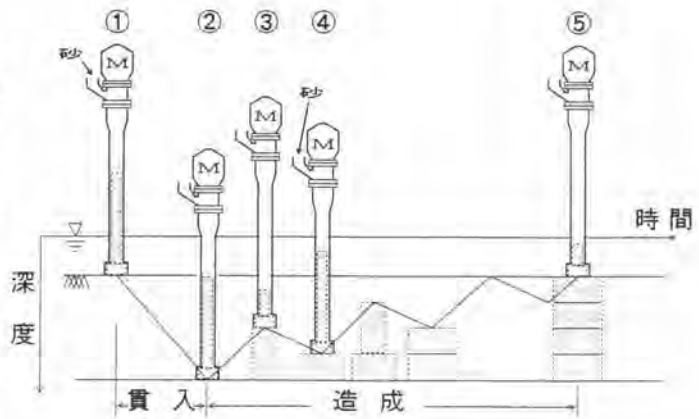


図-1

### 3. 自動操船システムの特徴

本システムの特徴は次の3つに集約される。

#### (1) 最適収束式操船システムの構築

図-2において(A)は作業船の現在位置を示し、(B)は移動先の目標位置を示す。いま(A)から(B)へ移動(操船)するには、4本のアンカ・ワイヤを実線から破線の長さに制御すれば良さそうだと考えられる。すなわちワイヤ長さを $l_{11} \rightarrow l_{12}$ 、 $l_{21} \rightarrow l_{22}$ 、 $l_{31} \rightarrow l_{32}$ 、 $l_{41} \rightarrow l_{42}$ と制御することで目標位置に船を入れることができそうである。現実には一度の操船で目標位置に入れることが困難な場合も生じる。したがって検討に当たっては一度の操船では入らない方が自然だという考えに立脚し、次の様に処理することで自動操船を可能にした。

いま操船距離が3mのとき、自動操船したら目標位置から1mの位置にきたとする。そうすると誤差は約33%になる。次にこの1mを操船すると目標位置から33cmの位置に近づくはずである。そうすると次は10cmとなり、更に3cmと0に限りなく収束していくことになる。本システムがこの様に収束する系であることをCPUを用いてシミュレートし確認をした上で開発に取り組んだ。

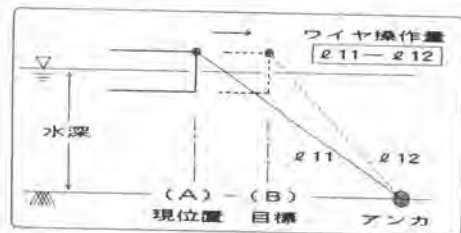
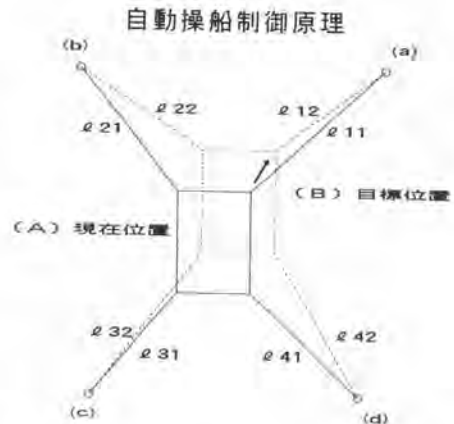


図-2

## (2) 制御プログラムの工夫

何度かにわたる操船を一連の操船として滑らかに制御すると、一度の操船で目的地へ操船したことに同じになる。この考えを取り入れることにより実用的な自動操船システムを構築した。

## (3) アンカ位置検出ソフトセンサの確立

アンカ位置の検出は図-3に示すように操船量を求める計算の逆算から求める方法を考案した。これは図-2に示した通り、アンカ位置が既知のとき自動操船が可能なら、この方法（制御式）は正しいと言える。そうすると式のなかで逆にアンカ位置を未知数にすることでアンカ位置は計算により求めることができるのではないかという考えに至る。この考えが正しいか否かを確認するのにアンカ位置センサを新たに開発するリスクがないことが開発に踏み切らせた主要因である。この結果、特別なハードセンサを設備することなくアンカ位置の検出が可能であることが確認でき、シンプルな機器構成で実用的な自動操船システムを構築することができた。

## アンカ位置検出ソフトセンサ

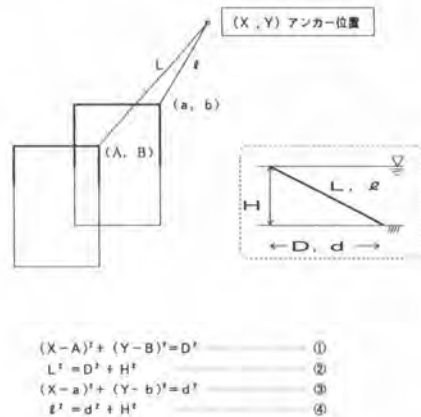


図-3

## 4. 自動操船の操作方法

作業船は非自航船であるから工事現場までは他の自航船に曳航してもらう必要がある。現場に到着すると施工区域に誘導されてその位置に投錨する。この後は作業船側でアンカワイヤを操作して施工区域内を移動することになる。

自動操船システムの操作手順を以下に示す。写真-2は操船操作卓で、右側の2つのCRTは光波測距儀による船位置表示画面と自動操船モニタ画面である。

CRTの前面には自動制御操作盤を配置している。6本のレバーは操船ウィンチ操作レバーである。

### (1) アンカ位置座標の検出

自動操船に先立ちアンカ位置座標を検出する必要がある。その具体的な検出方法を以下順を追って説明する。

①張力計（写真-3）を見て各アンカワイヤの張力が一定になるようにウィンチを操作をする。張力は通常10 ton を目標とし、±3 ton 程度は許容する。

写真-3は自動操船のモニタ画面で、右



写真-2

側のバーが各アンカワイヤの張力を表し、左側のバーが各ワイヤの操作量を表している。

- ②船位置表示(写真-4)を見ながら船を10m程度移動し、固定する。このときのワイヤ張力は移動前の張力に近づく様に操作する。

写真-4は光波測距儀による船位置を表したもので中央に位置するのが目標位置で、やや左下に位置するのが現在船位置である。数字と矢印は目標位置からの距離と方向を表している。

- ③移動前後の船位置をメモリーに落とす。  
 ④移動前後のワイヤ操作量をメモリーに落とす。  
 ⑤各アンカ位置の水深を入力する。±5mは許容。  
 ⑥アンカ位置を算出。アンカ座標検出完了。  
 ①～⑥の所要時間は約10分位である。

(2) 自動操船の操作手順

(1)で求めたアンカ位置座標を使用して自動操船を行う。写真-5に自動操船制御盤を示す。

- ①杭打設位置(目標船位置)の画面上への呼び出し。  
 ②自動操船開始スイッチON。  
 (操船開始の自動アナウンス)  
 ③張力が不足していれば一定値まで自動で張力補正。  
 ④現在船位置の検出(光波測距儀からの入力で常時計測されている)  
 ⑤ワイヤ操作量の算出。  
 ⑥自動操船開始。(ワイヤの操作)  
 ⑦所定のワイヤ操作完了後、現在船位置の検出。  
 ⑧目標位置に入っていないと⑤から繰り返す。

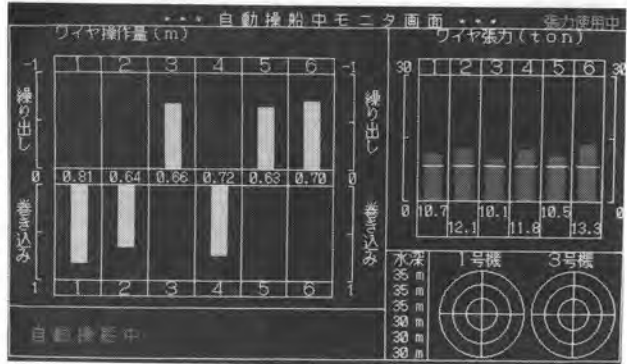


写真-3

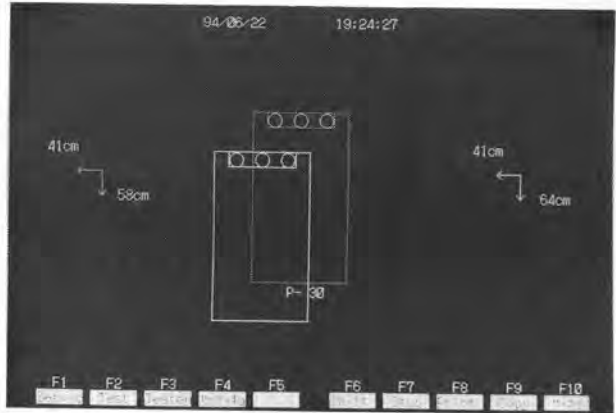


写真-4

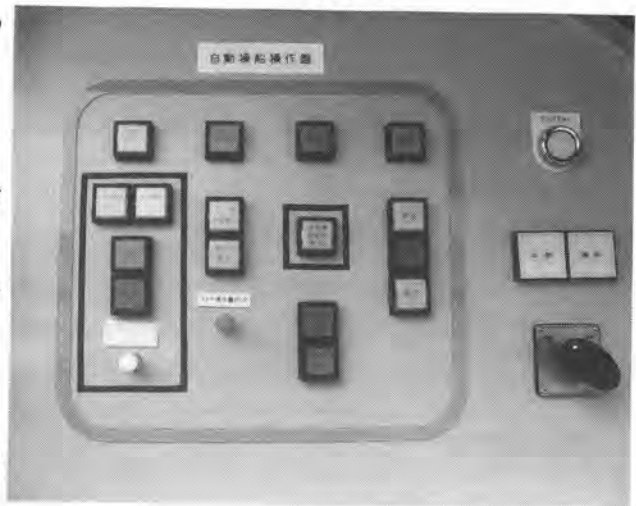


写真-5

⑨目標位置に入ったら操船終了スイッチON。(操船終了の自動アナウンス)  
自動操船の①～⑨の所要時間は平均値で約1分30秒程度である。

### 5. 自動操船の稼働状況

最近の二ヶ月間で約250回の自動操船を行った。  
図-4はこの間の自動操船時間を表したものである。  
一日当たり8～12回の移動で、一回の移動量は大半が1.6mである。移動時間は先に述べたように平均で1分30秒程度である。手動のデータは同一現場における他船のもので、平均値は2分58秒であるが計測条件が違うのでこのまま単純に比較することはできない。特に荒天で自動操船が出来ない場合は(後述7項④参照)、手動操船に切り換えたため手動操船時間は自動操船時間よりも長くなり、公平な評価ができない。そこでデータ数は少なくなるが好天時のデータだけで比較したのが図-5である。これによると自動操船時間は1分28秒と変わらず手動は2分52秒となった。なお今回のデータは純粹に船を移動する時間だけを対象としたものでケーシングの上昇、下降等の準備時間(約2分)を含んだものではない。

### 6. 主要構成機器

表-1に自動操船を構成する主要機器の仕様を示す。

表-1

| 主要機器名                     | 仕様                                     |
|---------------------------|--|
| □アンカ関連<br>・ウィンチ<br>・ワイヤ   | 20Ton × 20m/min × 6台<br>直径42mmφ、長さ450m |
| □センサ関連<br>・線長計<br>・張力計    | エンコーダ(アンカ付長さ)<br>ウィンチ油圧力(アンカ付張力)       |
| □制御装置関連<br>・パソコン<br>・制御言語 | FC9801A(UPS使用)<br>MS-C                 |

自動・手動 操船時間比較(1)

( '94.1.19 ~ 3.5 )

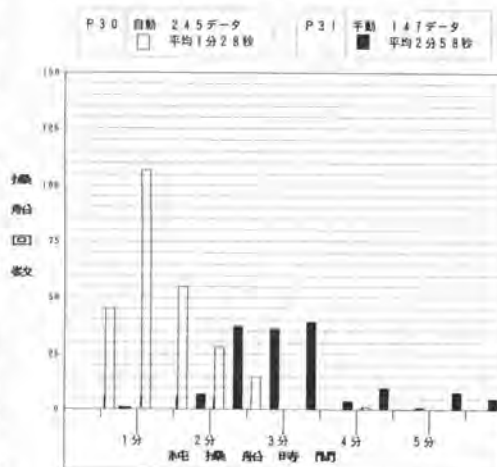


図-4

自動・手動 操船時間比較(2)

( '94.2/15.16 )

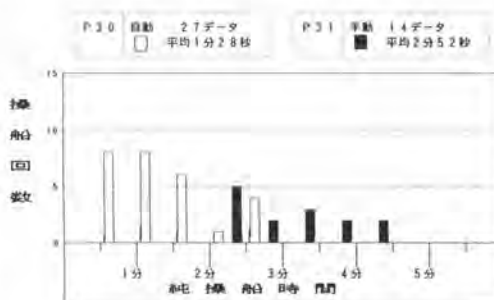


図-5

写真-6はアンカワイヤの繰り出し長さを計測する線長計の取り付け状態を示す。ウィンチドラムにチェーンで接続される。写真-7はアンカワイヤの張力計で船倉に設備されウィンチの油圧力を計測する。



## 7. 自動操船システム使用上の留意点

以上に説明した自動操船システムを使用するにあたり留意すべき事項を下記①～④に示す。特に④の解決は今後の主要な開発課題である。

- ①操船に必要なアンカの設置数は作業船の操作特性から4、5、6ヶのいずれかの個数であること。
- ②隣接する他の船のアンカワイヤと接触しないこと。
- ③アンカの打ち替えを頻繁に行わないこと。  
(アンカ打ち替えの度にアンカ位置を求める作業に10～15分を必要とする)
- ④風速が12～13 (m/s) を越えたり、波がこの風速に該当する程度以上でないこと。風上へ向かう操船はアンカウィンチの巻き取り力が不足して船が進まなくなる場合がある。

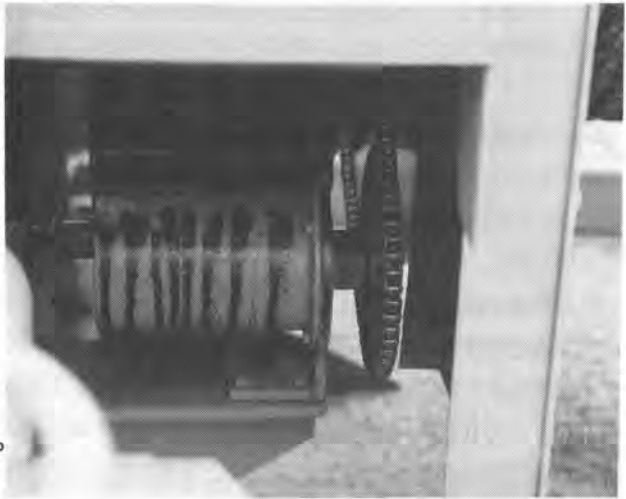


写真-6

## 8. あとがき

自動操船システムを搭載した作業船は、実質4ヶ月間を稼働して自動操船の使用率は80%強になっている。20%の不稼働日は強風によるものであったり、アンカワイヤの他船との輻輳で自動操船できなかつたりしたものである。自動操船の稼働率を100%に近づけるためには前述したように強風時操船への対応が課題となる。

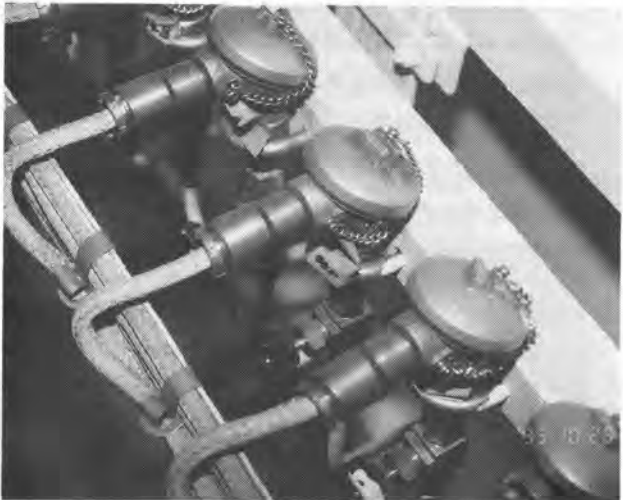


写真-7

強風といっても作業限界が15m/s以下と定められているので、7項の④に示したように風速が12m/s以上で、15m/s以下の範囲で自動操船できればよい。手動では少し時間は掛かるが問題なく操船できているので、この手動のノウハウを取り入れることで、より完成された自動操船システムにすることができる。現在はこの強風時自動操船システムへ向けて制御アルゴリズムの検討に取り組んでいるところである。