

作業船位置決め測量システム

竹中技術研究所 〇久木野慶紀 菊池公男
山田弘道
(株)竹中土木 正会員 永山毅

1. はじめに

港湾工事における軟弱地盤改良工法の最近の工法に深層混合処理工法があり、全国各地でかなりの工事に使用されてきている。この工法は、セメントなどの硬化剤を作業船に架装された特殊な混合機械により、海底の軟弱粘性土と混合攪拌して硬化させ、上部工を支持しうる地盤に改良する工法である。当社においてはDCM工法(Deep Chemical Mixing method)として開発を実施し、実際の工事に採用されている。本工法のねらいは柱状改良体を連続させ、一体化した改良土の壁体を構築することにある。一つの柱状改良体は、横1.8m、長さ3.5mの長方形断面で、深さ方向は海底面下10~40mに達する。この改良体を順次一定のラップ量を取りながら施工し、連続性を持たせた壁状あるいはブロック状に仕上げる。そのため従来にない正確さと迅速さを要求される作業船の位置決め測量方法の開発が必要となった。

2. 作業船位置決め自動測量システム開発のねらい

従来の作業船の位置測量は、トランシット、巻尺テープ、ジャイロコンパス等による方法であったが、それらの方法には、測量精度が充分満足できない、人員と時間がかかる、測量台の設置が必要である等の多くの問題があった。そこで作業船側から測量できて、高精度、迅速、少人数で行なえる作業船位置決め自動測量システムの開発を行ってきた。

3. 測量システムの概要

海上の作業船を正確に位置決めする上での問題点は、海上に基準線のようなものを引くことができない、作業船が波や風により常時揺れている、固定しにくいなどである。これらの問題に対処し、作業船の位置決め測量の基本的な可能性を検討するため、作業船の動揺特性、移動速度、固定性能および光波距離計の測量上の問題などに関する基礎的な実験を行なった。その結果、光波距離計3台を用いる方式の測量システムを計画した。

光波距離計は船の動揺、移動に対処できるように自動視準光波距離計を新たに開発し、位置計算とシステムコントロールにパーソナルコンピュータを用いた。結果の表示は、操船者にわかりやすいようにブラウン管に図形表示するようにした。

3.1 測量方法

図-1に作業船位置決め測量の概要を示す。作業船側には3台の自動視準光波距離計、グラフィックディスプレイ付パーソナルコンピュータ(※後計算機と呼ぶ)、光波距離計の測距データを計算機に入力するためのインターフェイス(ソフト)、およびスイッチボックスがある。陸地側には発光装置(発光部)付の反射鏡3台と電源装置がある。光波距離計は陸地の基準点に設置されたそれぞれ対となる反射鏡を発光部をターゲットとして常に自動視準し、距離 l_1 、 l_2 、 l_3 を自動的かつ連続的に測量する。データはソフトを介して計算機に取込まれ、作業船の現在位置と方向が計算され、結果がグラフィックディスプレイに施工すべき設計位置と対比して図形表示される。この一連の測量サイクルでは、入手を介することはまったく不要で、操船者はこのディスプレイを見ながら作業船を設計位置に位置決めする。

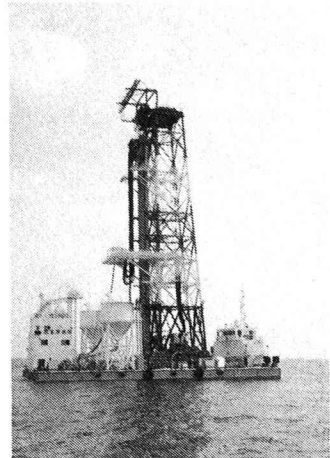


写真-1 DCM作業船

3.2 測定の原理

測定の原理を図-2に示す。A, Bは陸上に設置された反射鏡の位置である。光波距離計は作業船上のP, Q, Rの位置に固定される。今作業船の2点P, Qを位置決めすべき設計位置 O_1 , O_2 に合致させる事を考える。aおよびb, gは反射鏡, 光波距離計の設置位置によって決まる距離定数で, c, d, e, fは施工位置によって決まる距離定数である。これらの定数を用いて求められる O_1 , O_2 の位置をそれぞれ原点とし, P点の O_1 からの変位量を(x_1 , y_1), Q点の O_2 からの変位量を(x_2 , y_2)とする。 x_1 , y_1 , x_2 , y_2 はP, Q, RからのA, Bに対する3辺距離 l_1 , l_2 , l_3 を計測することによって次式から算出される。

$$x_1 = c + l_1 \sin \nu$$

$$y_1 = e - l_1 \cos \nu$$

$$x_2 = d + l_2 \sin \varepsilon$$

$$y_2 = f - l_2 \cos \varepsilon$$

$$\nu = \pi/2 - \alpha - \beta - \varphi$$

$$\varepsilon = \pi/2 - \gamma - \beta - \varphi$$

$$\cos \alpha = (l_1^2 + l_2^2 - b^2) / (2 \cdot l_1 \cdot l_2)$$

$$\cos \beta = \{ l_2^2 + (a / \cos \varphi)^2 - l_3^2 \} / (2 \cdot l_2 \cdot a / \cos \varphi)$$

$$\sin \gamma = a \sin \beta / (l_2 \cos \varphi)$$

$$l_2' = \sqrt{l_2^2 + g^2 - 2 \cdot l_2 \cdot g \cos \theta}$$

$$\cos(\pi - \theta) = \{ l_2^2 + (b - g)^2 - l_1^2 \} / \{ 2 l_2 \cdot (b - g) \}$$

3.3 自動視準光波距離計の原理

図-3に自動視準光波距離計の原理を示す。光波距離計は測量しようとする2点向に測定部と反射鏡を置き, 測定部から正確な周波数で変調された赤外線反射鏡に向け投射し, 反射鏡より反射してきた変調光との位相ずれを電気的に検知し, 距離に変換するものである。この時, 測定部と反射鏡はある一定時間(数秒)視準している必要がある。しかし作業船のように常時揺れているものの上に置いた場合は視準の光軸はずれてしまう。そこでこの距離測定部が常に反射鏡の方向を追尾するような自動視準光波距離計を開発した。

追尾の方法として反射鏡から何らかの信号を発射させ, それを距離測定部で検知し, 光軸のずれを修正する方式を採用した。図-3のように, 反射鏡上部にレーザーダイオードを発光源とする発光部を取り付け, ある広

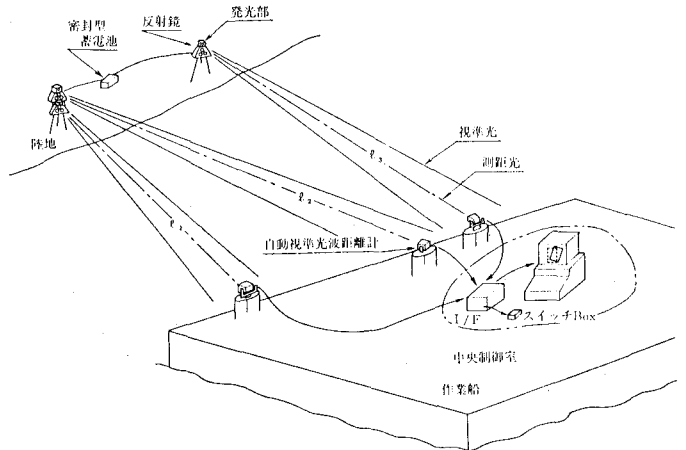


図-1 作業船位置決めの概要図

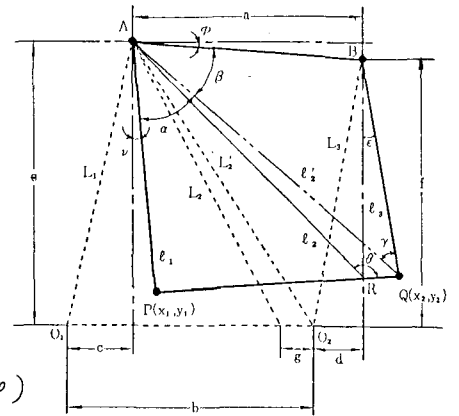


図-2 測量原理図

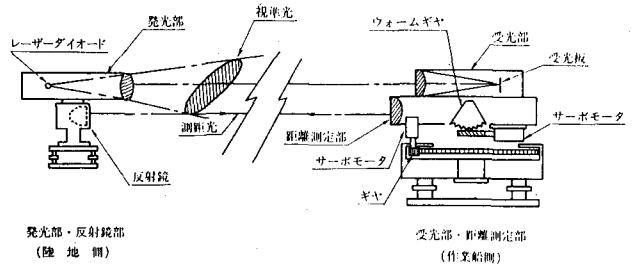


図-3 自動視準光波距離計原理図

り角度で距離測定部に視準光が投光される。距離測定部の上部に取り付けられた受光部では、視準光を受光板上に結像する。結像位置が受光板の中心位置にくるように追尾サーボ機構により距離測定部を上下、左右方向に回転動作させる。これによって光波距離計は、作業船の動揺、移動があっても常に発光部すなわち反射鏡を視準し、距離測定の可能な状態を保持する。しかし光波距離計、反射鏡は3組あり、1つの光波距離計が目標の反射鏡を追尾しないこともあり得る。このようなことを避けるため、3台の自動視準光波距離計は、対となる反射鏡を他と識別するために、視準光におおの異なる周波数で変調された発光源を用いている。これは更に太陽光線などの自然光の影響も避けることになり、正確に発光部を視準することができる。

3.4 測量装置

作業船位置決め自動測量システムの装置一式を写真-2に示す。また自動視準光波距離計および計算機の実際の取付設置状況を写真-3, 4に示す。また、概略仕様を表-1に示す。

(1) 自動視準光波距離計・反射鏡

主な特徴を以下に示す。

- ① 測距データは自動的に入力される
- ② 自動的にかつ連続的な測距ができるため測量の無人化が可能である
- ③ 反射鏡発光源の光量調整がズーム機構により可能であり、発光部と受光部の距離を最大1kmまでとれる
- ④ 発光源の出力容量が微小のため、バッテリー充電後連続120時間の使用が可能である

(2) インターフェイス(インターフェイス)

インターフェイスは距離計データ信号を計算機用の信号モードに変換し、また3台の自動視準光波距離計を計算機の指令によりコントロールする。付加的な機能として次の

表-1 概略仕様

項目		仕様
自動視準光波距離計	発光部	視準光発光源 レーザダイオード50mW 散光角 垂直、水平とも0~±5° 有効径 50φ
	受光部	視準光受光部 3kHz, 6kHz, 10kHz, 数 変調周波数 密封型蓄電池(DC12V)
	距離計	追従精度 ±0.016° 追従速度 270°/min 自動視準範囲 垂直: ±5°, 水平: ±180° 有効径 50φ
	距離測定部	測定距離 式 SDM-1C 測定精度 最大1km 測定所要時間 ±1cm(1km) 表示出力 5秒/回 デジタル6桁
計算機	形	式 9845A
	表示装置	13kバイト CRTグラフィックス 最大480行/分 電源 AC100V 50/60Hz



写真-2 作業船位置決め測量装置

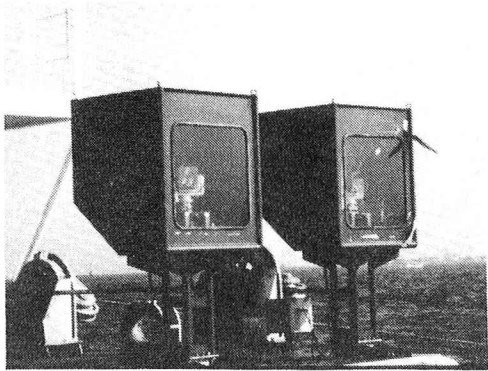


写真-3 自動視準光波距離計取付状況

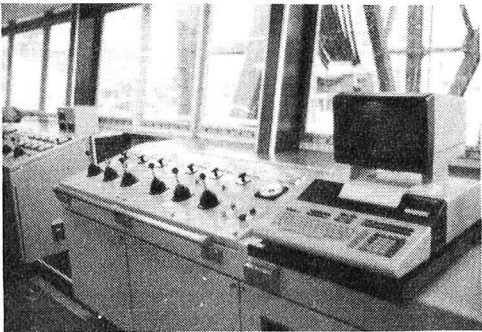


写真-4 計算機と操船室

ようなものがある。

① 光波距離計の自動視準が外れた場合、各距離計に対応した警告信号を発する。

② 各距離計の測距が完了すると、距離計に対応したランプが点灯し、測距の状態がわかる。

(3) スイッチボックス

スイッチボックスは、システムにマニュアル操作を加えるための測距開始信号の発生、連続測量と単発測量の選択を行うものである。

(4) 計算機

計算機は、位置計算と表示、システムコントロールを行う。また、結果のハードコピー、データのメモリーなど種々の機能を有する。

3.5 位置決め方法

図-4に位置決めのフローを示す。位置決めには、施工前に図-2に示した ϕ の値を予め正確に測量しておく必要がある。DCM処理機による施工区域を平面的に見て長方形の集合体と考え、与えられた設計位置に応じて縦、横列の番号付を行なう。計算機には、施工位置に応じて縦と横の番号を入力すれば、図-2の c, d, e , ϕ が自動的に計算され、測量が開始される。

3.6 測量結果の例

図-5は、実際の測量において計算機のディスプレイに表示されたものをハードコピーした例である。図では設計位置を点線で、作業船の現在位置を実線で示し、同時に設計位置からの変位量を数値と矢印で示して操船すべき量と方向を指示する。操船者はこの表示を見て、極めて容易に操船することができ。またディスプレイには、日付、位置決めの開始・終了時刻、処理地番号等が表示される。

4. まとめ

DCM工法の作業船位置決め測量方法として開発されたこの自動測量システムは、従来の測量方法のように対岸に測量員を終日拘束することがなくなり、作業環境の改善に役立つことができた。このシステムによる効果をまとめると次のようになる。

- ① 測量作業の無人化が可能になった。
- ② 位置決め時間の短縮と精度の向上が計れた。
- ③ 位置決め作業が容易になり、また結果の自動記録もできるので、管理が容易になった。
- ④ 操船について、現在手動になっているが、これもまた自動化が可能である。

この自動測量システムは、開発以来逐次改良改善が加えられ、現在安定した測量システムになっている。尚、この測量システムの開発に当って、その一部を(株)測機舎と共同開発したことを付記する。

※ 参考文献 「竹中技術研究報告 No.23, 1980」, 「土木学会中国四国支部 オヨ2画一般講演概要集」

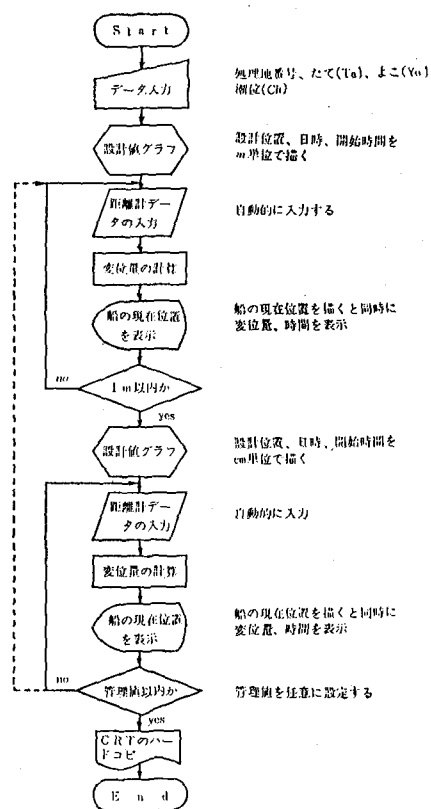


図-4 位置決めの概略フロー

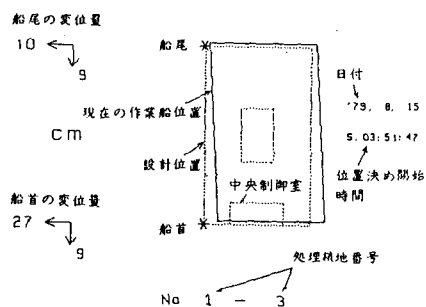


図-5 位置決めの表示例