

37. DCM工法用作業船位置決め測量装置の開発

竹中工務店 菊池公男・山田弘道

1. まえがき

本研究は、海上作業船の位置決め測量に関し、船上から無人で、高精度かつ迅速に位置決めできる測量システムの開発について述べたものである。

我が国の港湾地域の多くの地盤は、軟弱な粘性土層の発達が著しく、その層厚は数十メートルに達する場合もまれではない。このため、多くの港湾工事において何らかの形で軟弱地盤の地盤改良対策が講じられてきた。

DCM工法は、この軟弱地盤をそのままの位置でセメント系の硬化剤と攪拌混合、硬化させ、上部荷重を支持できる地盤に改良する工法である。本工法においては、柱状改良体を連続させ、一体化した改良土の壁体を造成するため、作業船の位置決めにおいても従来にない正確さが要求された。

従来の作業船の位置決めは、トランシット、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満足できない、人間と時間がかかる、測量台の設置が必要である等、多くの制約があった。

当社では昭和51年以來、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等に関する基礎的実験を行った。その結果、昭和54年6月に自動視準光波距離計3台とCRTディスプレイを備えたパーソナルコンピュータを用いた作業船位置決め測量システムを確立した。

本報告は、その測量システムの概要と施工結果についてまとめたものである。

2. 本論

2.1 測量概要

図-1に作業船位置決め概要を示す。本測量システムは自動視準光波距離計3台、CRTディスプレイ付パーソナルコンピュータ、光波距離計データを計算機へ入力するためのインターフェイス(I/F)およびスイッチボックスより構成される。

自動視準光波距離計は位置決め時間の短縮、測量人員の削減、精度の向上のために開発したもので、対岸に設置した発光部を常時、自動視準しながら距離測量を行う。光波距離計はI/Fを介して作業船の中央制御室におか

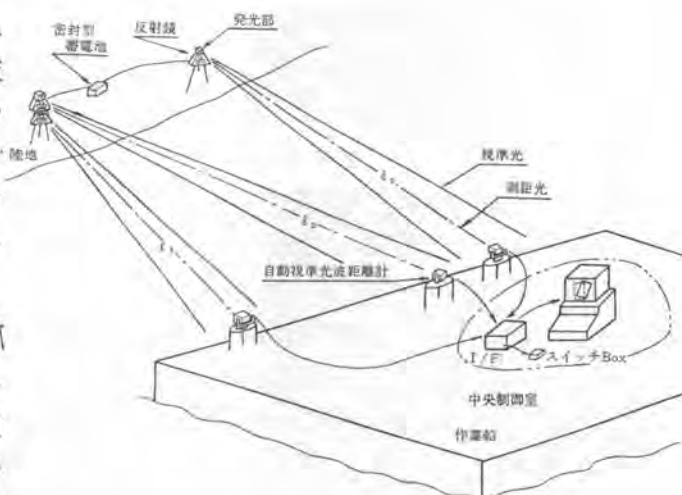


図-1. 作業船位置決め測量概要

れた計算機と連動しており、自動的に連続的な距離測量ができる。計算機では光波距離計から送られた3辺距離データをもとに作業船の現在位置を計算し、CRTディスプレイに予めセットした設計位置と対比して図示する。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。

2.2 測量原理

光波距離計3台を用いた測量原理を図-2に示す。光波距離計は作業船上のP, Q, Rの各々の位置に固定される。今、作業船の2点P, Qを位置決めのべき最終位置 O_1, O_2 に合致させることを考える。 a, b および g は光波距離計、反射鏡の設置位置によって決まる定数で c, d, e, f は施工位置によって決まる定数である。以上の定数を用いて求まる 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より算出される。

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

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

$$x_2 = d + l_3 \sin \epsilon$$

$$y_2 = f - l_3 \cos \epsilon$$

$$\text{ただし、} l_3' = \sqrt{l_2^2 + g^2 - 2 \cdot l_2 \cdot g \cos \theta}$$

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

$$\nu = \frac{\pi}{2} - \alpha - \beta + \gamma$$

$$\epsilon = \frac{\pi}{2} - \gamma - \beta - \gamma$$

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

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

$$\sin \gamma = a \sin \beta / (l_3 \cos \gamma)$$

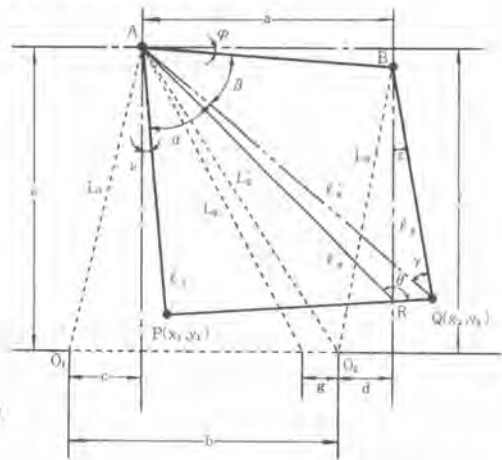


図-2 測量原理

2.3 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。

光波距離計は一般測量機器の一つであり、同図の距離測定部と反射鏡から構成されている。距離を測るには、距離測定部と反射鏡はあらかた一定時間(数秒)視準している必要があるが、船のように常時ゆれているものの上においた場合、互いの光軸はずれてしまう。そこで、

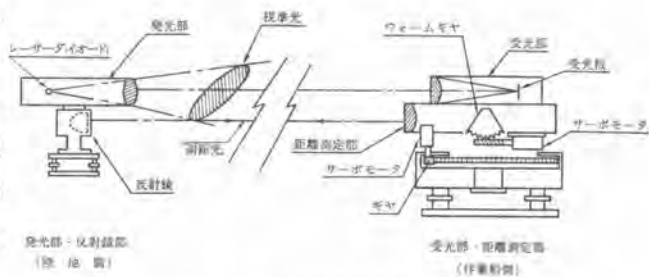


図-3 自動視準光波距離計原理

この距離測定部が常に、反射鏡を追うような自動視準光波距離計の開発が必要となった。

反射鏡上部に取り付けた発光部からは、レーザーダイオードを発光源とする視準光が船の方向にある拡がり角度で投光する。距離測定上部に取り付けられた受光部では上記の視準光を受光板に結像する。結像位置が受光板の中心位置にくるようにサーボ追尾機構により距離測定部を上下左右方向に回転動作させ、光波距離計は作業船の動きに従い、常時発光部を視準し距離測定可能な状態を保持する。なお、3台の光波距離計を区別するため、視準光はおのおの異なる周波数で変調された発光源

を用いている。このため、太陽光線などの自然光にも影響されることなく、正確に発光源を視準できる。

2-4 測量装置

写真-1は本測量システムに用いられる装置一式である。写真-2, 3, 4はそれぞれ、中央制御室におかれた操船用の計算機、作業船に設置された自動視準光波距離計、測量台の反射鏡、発光源である。また、各装置の主な仕様を表-1に示す。



写真-1. 作業船位置決め測量装置

2-5 施工結果

本測量システムの第1号機は横浜港の工事に用いられ、引き続き第2号機が九州伊万里湾の工事で稼働中である。以下、この第2号機によるデータの一部分について報告する。



写真-2. 中央制御室の計算機

2-5-1 表示例

図-4は計算機のCRTに表示されたものをハードコピーしたものである。設計位置と点線で、現在の作業船の位置を実線で示し、同時に設計位置からの変位量と数値表示、矢印で作業船の操船する方向を指示してある。操船者はこの表示を見て、操船する大きさと方向を把握する。

2-5-2 位置決め精度

図-5に位置決め精度の分布を示した。3台の光波距離計の120mにおける標準偏差はそれぞれ0.5, 0.6, 1.3mmで、本測量システムとしての位置決め精度は、表示値 ± 2 mmと考えられる。しかし、2mmは無視しても精度上問題がないの



写真-3. 自動視準光波距離計の取付状況

で、表示値を位置決め精度とした。図-5は2日間のデータより位置決め回数の分布を調べたもので、全体の80%以上は ± 2 cm以内に位置決めされている。なお、現場では ± 3 cmを管理

項		目	仕	様
自動視準光波距離計	発光部	視準光発光源	レーザーダイオード	50mW
		発散角	垂直・水平とも	$0 \sim \pm 5^\circ$
	受光部	視準有口径	50mm ϕ	
		光学変調周波数	3KHz, 6KHz, 10KHz	
	距離測定部	電源	バッテリー	(DC12V)
		追従精度	$\pm 0.016^\circ$	
	計	算機	追従速度	270 $^\circ$ /min
			自動視準範囲	垂直: $\pm 5^\circ$, 水平: $\pm 18^\circ$
			視準有口径	50mm ϕ
			電源	AC100V 50/60Hz
距離測定部	形	式	SDM-1C	
	測定距離	最大	1Km	
	測定精度	± 1 cm (1Km)		
	測定所要時間	5秒/回		
	表示・出力	デジタル	6桁	
計	算機	形	式	9845A
		容	量	64Kバイト
		表	示	CRTグラフィックス
		プ	リ	ン
	電	源	AC100V 50/60Hz	



写真-4. 反射鏡・発光部の取付状況

限界値としているため、図-5の分布は母集団の分布とも考えられる。

2-5-3 位置決め時間

図-6は位置決め時の測定結果である。1日の施工回数は10~20回であり、それらの平均値をプロットしたものである。

本測量身システムの開発時の目標値は5分であった。図-6から、操船者が本測量身システムに習熟するに伴い、位置決めの時間が徐々に短縮されている様子が分かる。習熟(1週間)後の平均位置決めの時間は4.8分で目標値を上回っている。なお、標準偏差は1.6分であった。

2-5-4 測量身員

本測量身システムの特徴の1つに測身の無人化があげられる。従来の位置決め方法ではトランシットで行う場合、最低2人の測量身員が必要であった。今回のシステムでは自動視準光波計を用いているため、測身の無人化を計ることができた。ただし、対岸に設置した自動視準用の発光源の方向調整、天候の変動時の光波距離計の光量調整等、本システムの管理には多少の労力を要した。

3 結論

DCM工法における作業船の位置決め方法として開発された自動視準光波距離計による測身システムを横浜港、伊万里湾の2現場に2機種用いた結果、充分実用に供することが分かった。以下、これまでの施工結果をまとめると次のようになる。

(1) $\pm 3\text{cm}$ 以内の位置決め精度を確保することができた。(80%以上は $\pm 2\text{cm}$ 以内である)

(2) 位置決め時間は約5分で従来方法に比べ、非常に短時間で済んだため、施工能率に大きく寄与した。

(3) 測身の無人化が計られたため、コストの低減と測身員の作業環境の改善に大いに役立った。

(4) 天候に左右されることなく位置決めできたため、施工能率があがった。

今後は本測量身システムが精密機器で構成されるため、潮風、熱、振動等による耐久性の問題について調査、検討を加えると共に、機器のメンテナンス体制の充実化、他分野への応用を計りたい。

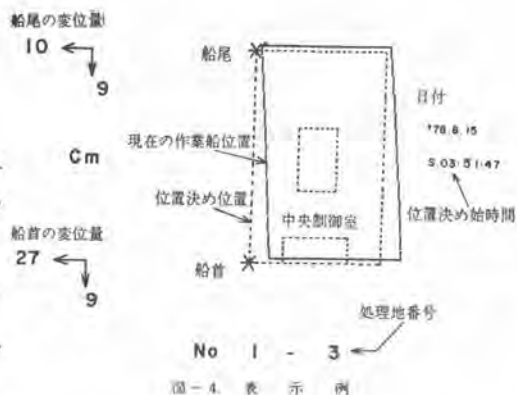


図-4 表示例

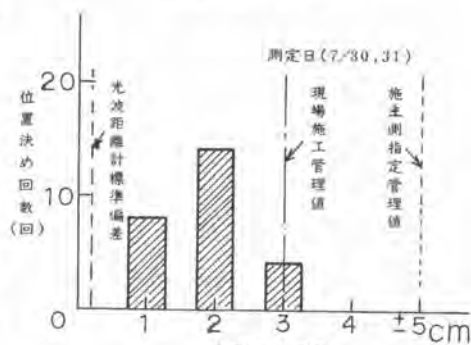


図-5 位置決め精度

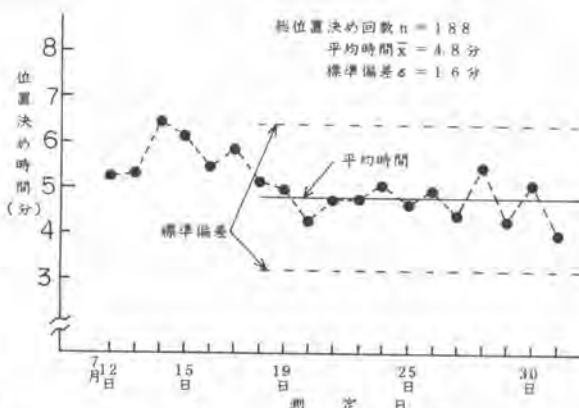


図-6 位置決め時間