

海上工事における測定の自動化システム

日本海洋コンサルタント(株) ○井手 豊
 五洋建設(株) 結城 知史

1. はじめに

建設工事における測定は、計画・設計分野での地形の把握、施工管理分野での事前調査、出来高検収および完工検査などに、必要となる重要な業務の一つである。

近年、海上工事は、海象・気象条件の厳しい外洋で、なおかつ大水深でのものが増加する傾向にあり、このため施工環境は、厳しくなっている。

建設企業では、厳しい環境下での作業において現場管理業務の省力化を図り、品質・安全を確保することは、より真剣に取り組み、早急に解決すべき問題ととらえている。

測定工事も例外でなく、簡素化・省力化および高精度化への対応が必要である。その一環として、近年の測定機器の普及および電子機器の発達による低価格化、高性能化したコンピュータの普及とその利用技術の向上によって可能になった測定の自動化システムが開発されている。

当社においては、光波および電波測距儀を軸とした位置決め測定の自動化システムが稼働中であり、工事の省力化・高品質化に寄与している。

以下、それらのシステムの概要について述べる。

2. 海上工事用の測定自動化システム

海上工事用の測定は、陸上工事用のそれと比較して、以下のような特徴がある。

① 測定点(通常の場合、船舶)は移動している。

または、停泊している
 場合でも、うねり・波浪・潮流・海流などによって変動している。

② 誘導物を測定する場合が多く、測定データの

結果によって移動する必要がある。

③ 測定の基準点が少ない。

したがって、測定自動化システムの開発にあたって、測定を迅速かつ正確に行うために、それらの特徴を考慮する必要がある。

ここで、測定の自動化とは、測定・データ収集・処理および記録を測定機器・コンピュータを利用して自動的に行うものとする。

海上工事の位置決め測定の場合、自動化システムは測距・測定方法の種類で分類され、一般に光波測量システムと電波測量システムに大別される。

それらの特性を表2. 1に示す。表から分かるように、光波測量システムは、高精度であるが、測距範囲が短い。一方、電波測量システムは、光波と比較して、精度はやや劣るが、追従性があり、測距範囲は長い。

それらを利用する場合、適用する工事によって、利用方法を選択しなければならない。表2. 2に測量工事の例をあげ、それらが必要とする測定精度と距離についてまとめる。表2. 1、2. 2から測量システムに適合する測定をまとめ、表2. 3に示す。

表2. 3から分かるように、光波測量システムは、杭打ち・地盤改良工事などの作業船の位置決め利用されている。

一方、電波測量システムは、測定点を追跡する必要がある土運船および測量船の誘導に利用されている。

表2. 1 測定システムの特性

特性 測定システム	測定精度				測定可能距離		追従性
	低精度 (±10m)	中精度 (±0.5 m)	高精度 (±10cm)	超高精度 (±5cm)	長距離 (2 km～)	短距離 (～2 km)	
光波測量システム		○	○	○		○	
電波測量システム	○	○			○	○	○

光源に発光ダイオードを使用の場合

表2. 2 測量が要求する条件

測量	条件	測定精度				測定距離	
		粗精度 (±10m)	中精度 (±0.5m)	高精度 (±10cm)	超高精度 (±5cm)	長距離 (2km~)	短距離 (~2km)
深淺測量			○			○	○
位置決め・誘導測量	波導工事 (ポンプ船)		○			○	○
	くい打ち工事			○			○
	地盤改良工事 (泥層混合)			○	○		○
誘導測量	作業台(SEPなど) による工事		○	○			○
誘導測量	土運搬 (土捨バージ)	○					○
	海洋構造物の 曳航と設置	○				○	○

表2. 3 測量システムに対し適合する測量

測量システム	深淺測量	位置決め・誘導測量				誘導測量	
		波導工事 (ポンプ船)	くい打ち 工事	地盤改良 工事	作業台 (SEPなど) による工事	土運搬	海洋構造物の曳航 と設置
光波測量システム		○	○	○	○		
電波測量システム	○	○			○	○	○

3. 作業船位置決めシステム

3. 1 システム開発の背景

従来からの作業船位置決め測定の方法と特徴を表3. 1に示す。表から分かるように、目視およびトランシットによる方法が用いられてきたが、いずれも測量要員の削減・高精度の確保・作業環境の改善などへの対応が見られなかった。

一方、海上工事における施工法はますますその精度の確実さが要求されるようになった。例えば、深層混合処理工法のように、その設計手法は土中構造物として扱われている性格上、その品質も高精度のものが要求される施工法が開発されている。この工法では、地盤中に連続性のある改良体を作るため、一定ラップを保ちながら硬化材を注入しなければならない。したがって、その出来形に影響を及ぼす、作業船の位置測定には、迅速性ととともに正確さが要求される。

それらを解決するために、光波測距儀とマイクロコンピュータを主体とした、作業船位置出しおよび誘導測量の自動化システム（以下、作業船位置決めシステムと略す）を開発した。

本システムの開発にあたっての留意点を下記に示す。

① 位置決め時間の短縮と精度の確保ができる。

表3. 1 従来の作業船位置測定法

	(a) 目視とテープによる方法	(b) 目視とトランシットによる方法	(c) トランシット2台による方法
測量方法概略図			
長所	・測量が簡単。 ・測量費用が安い。 ・測量専従者が不要。	・測量が簡単。 ・測量費用が安い。	・位置決め精度が高い。
短所	位置決め精度が低い。測量用構造物(H形鋼など)が他の作業の障害になる。強風、波浪などにより、測量用構造物が変位し、誤差が生ずる。	トランシット測量に専従者を1名拘束する。測量用構造物が他の作業の障害になる。強風、波浪などにより、測量用構造物が変位し、誤差が発生する。	トランシット測量に専従者を2名拘束する。測量台設置の場合、水深が大きくなると設置費用が高くなる。強風、波浪などにより、測量台が変位し、誤差が生ずる。位置決め時間に時間がかかる。

② 操船者に、的確で分かりやすい誘導情報が出せる。

③ 省力化が図れる。

④ 作業環境の改善が図れる。

3. 2 システム構成

システムの概要を図3. 2に示す。図から分かるように、構成機器は陸上と船上に設置される。

陸上部には、座標の既知な2点に反射鏡付発光器を設置し、それから作業船に向けて発光する。

船上には、その光を自動的に追尾する自動視準光波測距儀が3台設置され、距離測定が自動的に行えるようにしている。操船室には、マイクロコンピュータが設置され、測距結果から船の位置を演算し、ディスプレイ上に誘導情報を表示する。さらに誘導完了後、作業日時、位置などの管理情報を出力するプリンタを装備している。

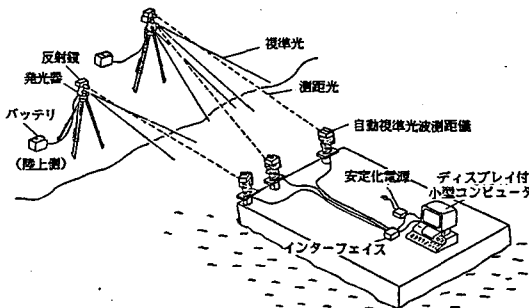


図3. 2 自動化システム概念図

3. 3 計画位置への誘導

計画位置への誘導は、図3. 3に示す測定の順序に従って行われる。

操船者は潮位・施工位置をコンピュータに入力する。なお、潮位データは、潮位計からテレメータ方式で直接にコンピュータに入力させる方法も開発している。

コンピュータは、測距開始命令を各測距儀に送り、その指示により測距が開始される。その結果、既知点の座標をもとに、測距値から目標点の現在位置の座標を算出し、ディスプレイ上に設計位置と現

在位置との差として表示する。その差が1 m未満になれば、表示単位が自動的にcm単位となり、高精度で誘導できるようになっている。その表示例を図3. 4に示す。

操船者は、ディスプレイ上に表示されている両者の位置が"0"になるように操船を行う。

誘導完了後は、施工位置・施工番号・日付・時刻・施工位置と計画位置との差などの施工管理情報をプリンタに出力し、記録する。

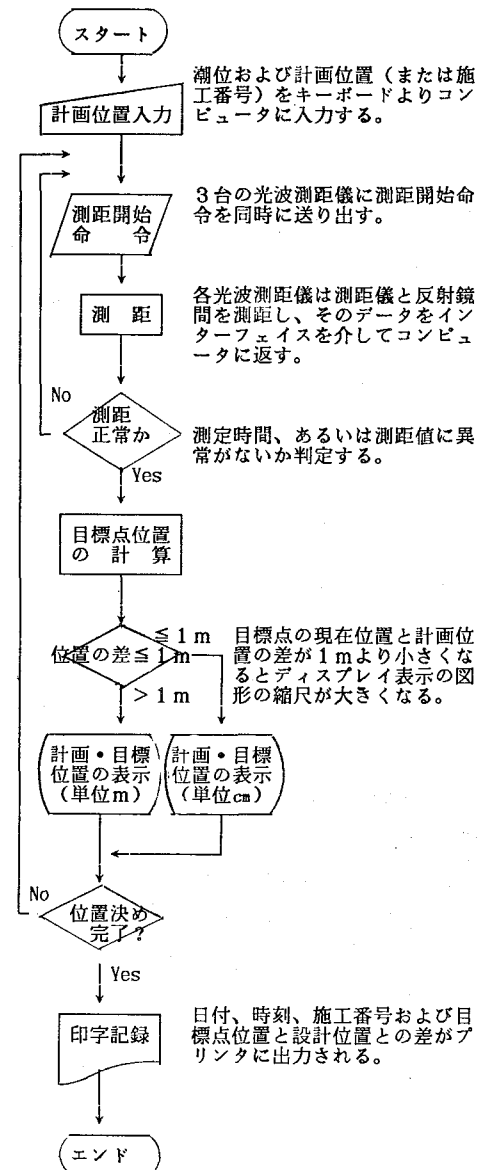


図3. 3 測定の流れ

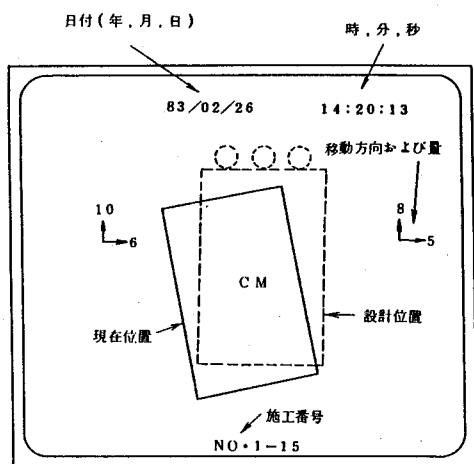


図3.4 ディスプレイ上の誘導情報表示例

3.4 効果と問題点

当システムは現在国内数ヶ所で稼働中である。工事への適用を通じて確認できた効果と問題点は、下記の通りである。

(1) 効果

- ① 海上測量台上に計測者を拘束する必要がなくなり、省力化および作業環境の改善に役立つ。
- ② 測量作業の省力化によりコストダウンが図れる。
- ③ 位置決め精度が上がるとともに、個人差によるバラツキがなくなる。
- ④ 位置決め・誘導時間の短縮ができる。
- ⑤ 位置決め結果を自動記録するため、施工管理が容易になる。

(2) 問題点

- ① システム構成機器を振動、海水を受ける作業船という機械に悪影響のある環境に設置したため、保守・管理に十分な注意が必要である。
 - ② 使用している測距光、視準光の特性から、雨・濃霧のとき、測定距離追尾能力が低下する。
- これらの問題点については、順次対策を講じて改良しているところである。

4. 深淺測量の自動化システム

4.1 自動化システムへの背景

海底地形を把握する深淺測量は、海洋土木工事にとってもっとも主要な工種の一つである。

現在、調査・研究などのための定期的な広域測量、設計・施工のための事前調査および施工管理における高精度な出来形検収などに利用されている。しかし、海洋土木工事の機械化の発達に比べ、その測量技術は、さほど進歩していない。

従来からの深淺測量は、測量船をトランシットなどにより測深位置へ誘導し、水深チャート紙に記録するものである。測定後チャート紙を読み取り、潮位補正などを加えた上で、水深図・断面図の作図および土量計算などは手作業で行なう手法であった。

しかし、この方法では、前述の利用法に対して、以下の問題がある。

- ① 測量位置の誤差が大きい。
- ② 測量範囲が限定される。
- ③ 海象・気象条件に測量作業が左右される。
- ④ 測量およびその後のデータ処理に多くの人員・時間を要し、施工情報としての迅速性を欠く。

上記の欠点を解決すべく、測量からデータ処理までを自動的に処理する深淺測量の自動化システムを開発した。

本システムの開発にあたり、留意点を下記に示す。構成する機器類に対しては、

- ① 専用の測量船を必要としないこと。
 - ② 可搬性があること。
 - ③ 機器の組み合わせに柔軟性があること。
- である。

ソフトウェアに対しては、

- ① データ取得から処理までを自動的に行うこと。
- ② 測量中、テープに収録した事の確認がとれること。(収録エラーがないこと。)
- ③ 測距・測深エラーに対する修正および欠測データに対する追加が簡単なこと。
- ④ 水深図・断面図、土量計算書などの成果品がそのまま提出資料となること。

⑤ 水深データの蓄積ができること。

である。

4.2 システム概要

図4.1に本システムの構成を示す。図から分かるように、本システムは、測量船による深淺測量とデータ処理部に大別される。

1) 測量船による深淺測量

測量部は、測距・誘導を行う測位・表示部、超音波測深機（以下、音測機）を利用した測深部およびデータ収録部より構成される。図4.2に測量の概念を示す。

（測位・表示部）

陸上に従局を設置し、測量船上の主局と従局間の距離をマイクロ波を利用した電波測距儀で測距する。主局本体は、測距値と設定した従局座標から、測量船の位置を算出する。そのデータをもとに、航行表示器は測線に対するズレと残距離を表示する。航跡記録器は航跡図を作図する。したがって、船の誘導は航跡図および表示器の値を見て、簡単に行うことができる。図4.3に航跡図の例を示す。

（測深部）

測位部主局より、測距開始と同時にスタートパルスが測深部へ発振される。音測機はそれと同期して水深を測定し、測深値データを測位部主局へ返送する。同時に、モニター用としてチャート紙に記録することも可能である。

（データ収録部）

データ収録器は、測線番号、測量目的、主従局間の距離・主局（測量船）の位置および測深データをデジタルカセットテープ（以下、CMT）に収録する。収録データのモニターのためにプリンタを設置する。

2) データ処理部

測量で得られたCMT内のデータは、コンピュータのディスクに登録され、種々の解析に利用すべく、データベース化している。

また、データ登録時に、潮位補正、未測量部のデータ追加、エラーデータの除去・修正も簡単に行うことができる。

測量の一次成果品として、断面図、土量計算書、

水深図および等水深線図を作成することができる。

それらは、施工管理、調査・計画のための資料として利用できる。図4.4・4.5に断面図および等水深図の例を示す。

なお、これらの水深データは海浜変形、潮流・拡散シミュレーション用の水深値として利用することも可能である。

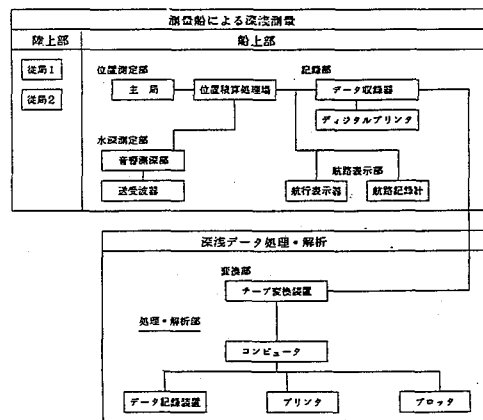
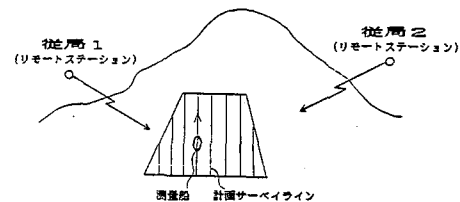
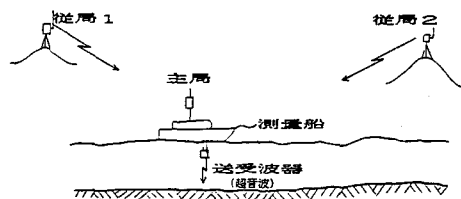


図4.1 システム構成図



測量配置図（平面）



測量配置図（断面）

図4.2 測量概念図

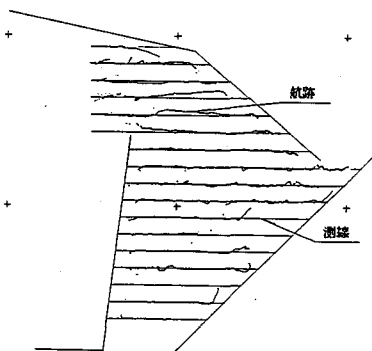


図4.3 航跡図の例

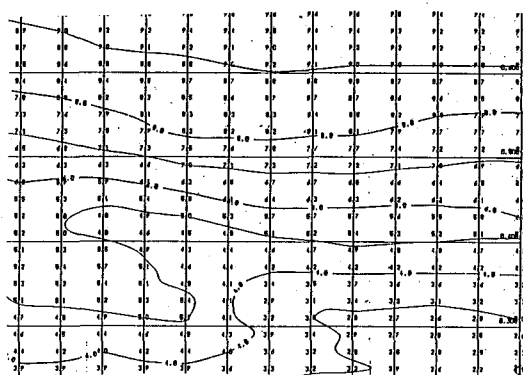


図4.4 等水深図の例

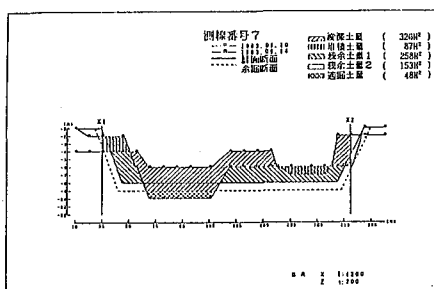


図4.5 断面図の例

4.3 効果と問題点

当システムは、広域の深浅測量に適用され、その結果確認できた効果と問題点は以下のとおりである。

1) 効果

(測量)

- ① 誘導専任者を拘束する必要がなく、省力化および作業環境の改善に役立つ。
- ② 基準点が少なく済むため、基準点座標を出

すための、事前測量に時間を費す必要がない。

- ③ 誘導のための測量台が不要である。
- ④ 濃霧などの悪天候に左右されにくい。
- ⑤ 航跡図が記録できるため、作業の検収が容易である。

(データ処理)

- ① 測深チャートの読取り作業が省け、省力化に役立つ。読取り・計算ミスがなくなる。
- ② 水深データはデータベース化されているために調査・研究などに多目的に利用できる。

2) 問題点

- ① 構成機器が高価である。
- ② プリンタ・プロット・データ収録器など本来屋内に設置すべきものを、船上に設置しているため、それらの保守・管理に十分な注意を要する。
- ③ データ処理の対象機種を汎用コンピュータとしているため、測量現場で、土量計算、断面図作成などの処理を行うことができない。

5. あとがき

今回、説明した両システムともに、測量作業の省力化・高品質化を目的として開発してきたが、初期の目的は達したと考えられる。

今後、さらに改良を続け、施工管理に有用なものにする予定である。

作業船位置出しシステムは、斜杭にまで適用範囲を広げると共に、施工管理情報の収集およびそれらを進捗管理・出来形管理に利用した工事管理システムを開発する予定である。

一方、深浅測量システムは、データ処理部で、データの蓄積を目的の一つとして開発したため、汎用コンピュータを利用した。今後、現場でもすぐに処理できるように小型コンピュータを利用したシステムも検討中である。

尚、これらのシステムは五洋建設(株)と日本海洋コンサルタント(株)で共同開発されたものである。