

マイクロ波使用による海上測量システム

五洋建設㈱ ○山下 純 男
相 川 博

1. はじめに

海上測量の分野でも、近年マイクロ波を使用した位置測定システムが徐々に実用化されつつある。従来、この位置測定は、海底地層探査、海洋構造物の位置決定、深浅測量等においていつも要となる作業とされてきた。特に、浚渫工事分野において、深浅測量、浚渫船位置決定等で、従来困難とされてきた沖合浚渫工事および広域浚渫工事を円滑に管理する方法として、マイクロ波位置測定システムが取り入れられるようになった。

浚渫工事における位置測定は、地層探査、油田探査等の他の海上測量に比して精度が厳しく、この精度上の問題が、さまざまな位置測定システムの導入制限となっていた。よって、浚渫工事管理用のマイクロ波測定システムの導入は、最近のIC技術のめざましい発展が、精度上の問題を改善してきた事実をベースにしていることはいうまでもない。

ここでは浚渫工事において実際に使用した実績をもとにシステムの概要の紹介はもちろん、その成果と問題点を述べる。

2. システム概要

2-1 システム構成

使用したシステムの構成は、マイクロ波による船位測定装置、音響測探機による深度測定装置、データ処理および記録装置、船を測線誘導する船位表示器、航路、断面図および平面図を作図するデジタルプロッターにより成っている。潮位データは処理時に入力されるようになっており、水圧式の潮位記録計を使用した。



写真-1 測 量 船



写真-2 装置（オペレーション中）

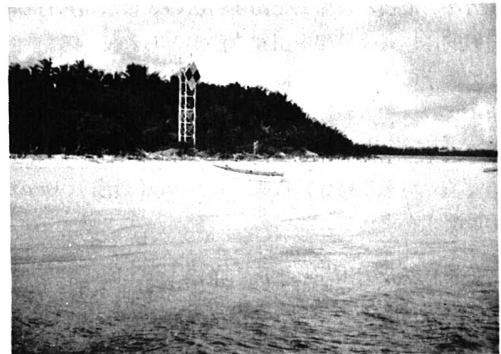


写真-3 リモートステーション

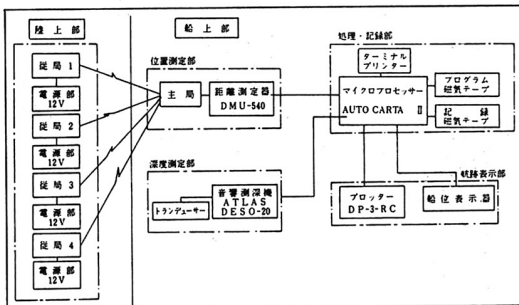


図-1 システム概念図

2-2 機能概要

(1) 船位測定

基本原理は図-2に示すように、従局を2局以上設置し、主局従局間をマイクロ波で測定することにより、船の平面的位置を確定するものである。

マイクロ波は9GHzを使用し、1回の測距時間は3局使用で約0.4秒であるが、マイクロプロセッサのソフトウェアからの制約で1秒に1回のデータ採録となっている。測距方法は、電波の主局従局間の往復到達時間により解析されるものであるが、図-3のように動いている船の位置を測距するわけであるから、各従局間で計測時間差ができる。これは、本システムでは“DESKEW METHOD”といって、主局の発信開始時まで逆算させることにより、時間差を消去する方法をとっている。

DMUによって測距された各局面の距離をマイクロプロセッサ（オートカルタ）にて処理することにより、船の平面的位置を（ x, y ）または（N, E）座標で得ることができる。従局は最高4局まで使用でき、同時使用または選局使用が可能である。3局同時使用した場合を図-4に示す。最高計測距離は80kmで、短距離は減衰器をつけることにより約1km前後まで安定して測距できる。

(2) 深度測定

33KHZ、210KHZの2チャンネル方式で同時または選局使用できる。測定は0.1秒に1回行い、オートカルタにて船位測定で得られた位置とシンクロナイズさせている。

レコードディスタンス（データ記録ピッチ）内のデータ選択は、平均深度を出す方法、最浅だけを出す方法、最浅と最深とを出す方法の3種類から行う。一般的に、最浅最深を出す方法がとられている。ここで、その時の測定深度データと位置とのシンクロナイズシステムを述べると、図-5のようにDMUのアウトプットと最浅最深のデータとの間に時間差 t_1 、 t_2 がある場合、次式より D_{min} （最浅）、 D_{max} （最深）を求める。

$$D_{min} = P_1 + (P_2 - P_1) \times \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

$$D_{max} = P_2 + (P_3 - P_2) \times \frac{t_2}{t_2 + t_1}$$

上記のシンクロナイズシステムにより、従来よく指摘されてきた深度と位置決定とのタイムラグの問題は一応解決されているが、シンクロナイズの時間

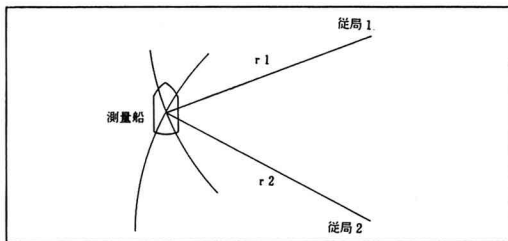


図-2 測定原理

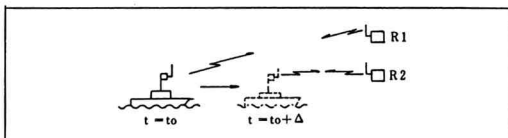


図-3 従局間の時間差

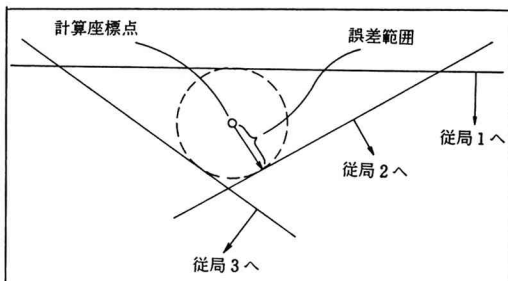


図-4 3局同時使用

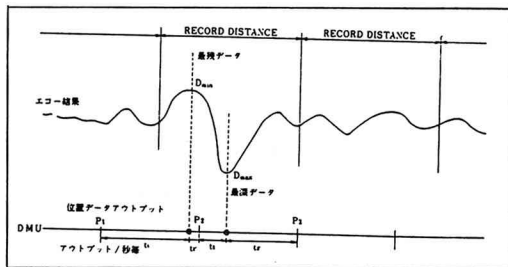


図-5 深さ位置のシンクロナイズシステム

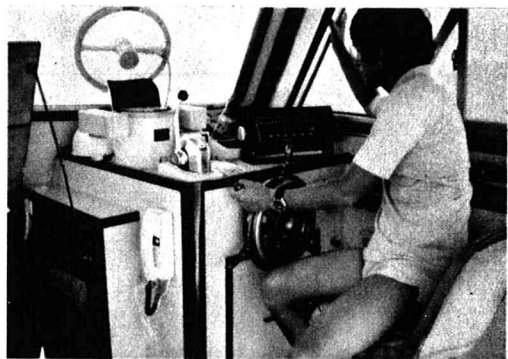


写真-4 リモートディスプレイによる操船

を短縮することにより、精度を高めることが将来可能となろう。

(3) 船位誘導システム

測量中、測量船の航跡を随時プロッターにて追わしているので、オペレーターは平面的に船位をチェックできる。しかし、オペレーター室と操舵室が別の場合、操船手に対しても特別に船位を誘導する装置が必要となる。この装置がリモートディスプレイと呼ばれるもので、測線に対してどちら測にどれだけずれているかを示す装置である。操船手はそれに従って測線上を走ることができる。

(4) データ処理

本システムの従来の方法と比べての大きな特長の1つは、このデータ処理である。すなわち、測量で得られたデータは随時カートリッジテープに収録され、そのテープを用いて断面・平面図作図と断面積計算等の自動処理が可能になることである。また、潮位補正に関しても処理時に入力するようになっており、各データの潮位補正計算は自動的になされる。このように、データ収録と処理の間で手計算の経路が入らず、従来の方法に比べてエラーを大幅に減らすことができるのである。

また、処理時間の点でも大幅な短縮となり、従来の手作業に比して10数倍の生産性があると考えられる。

断面図、平面図の処理例を図-6、図-7に示す。

3. 導入の背景

本システムの大きな特長は、これまで述べてきたように、2局以上の従局さえあれば海上における自船の位置を随時キャッチできることにある。すなわち、陸上から誘導不可能な区域でも測量可能になり、このことは電波位置測定システムが工事条件上不可決なものになる場合があることを示している。

上記のように導入が不可決な場合を除いても、測量区域が広大で測量作業が多量な場合、測量およびデータ処理まで至る作業の高速化、省略化がシステム導入の契機となっている。しかし、このシステムの購入・維持のコストが、従来の測量機器よりもはるかに高く、オペレーションおよびメンテナンスに高度な技術が必要になるという難易性も存在するので、導入に関して十分な検討が必要になることはいうまでもない。

従来の方法と新システムのコストを試算してみると、その比は10対9となり従来の方法の方が少し高くなっている。この試算条件は、測量区域を広域なものとして設定したものである。新システムを使用の方がコストが高くなるように思われるが、結果が上記のようになったことは、従来の方法の場合では労務費が比して大きくなったことにある。コストの内訳は、従来の方法の場合は労務費の占める割合が約80%で、新システムの方法では機械費の比率が約70%となった。

コストの面だけで導入の検討をするのは、誤りであるということはいうまでもないが、経済性の問題が導入の検討上大きなウェイトを占めることも事実であった。そういった観点からも、将来的に労務費のコストアッ

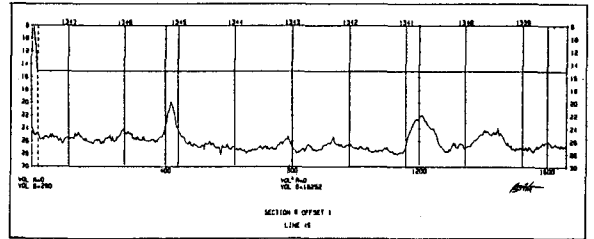


図-6 断面図

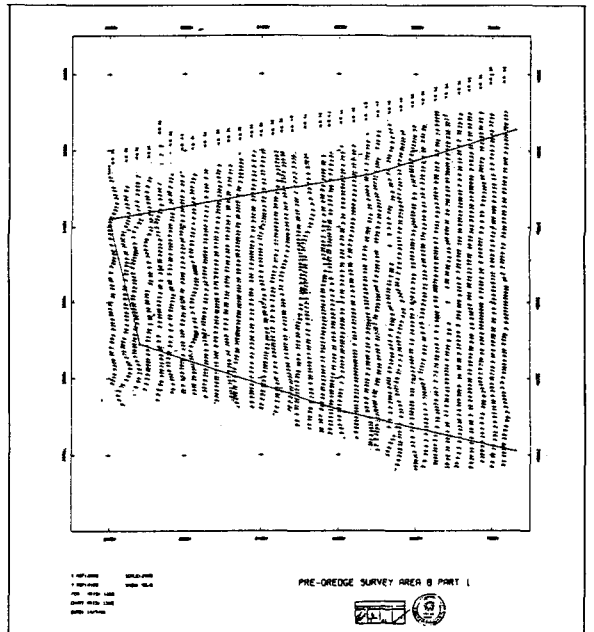


図-7 平面図

ブとIC技術の進歩、システムメーカーの競争激化が電波測定システムの低廉化につながることを予想すれば新システムの導入がより身近なものとなるであろう。

4. 実施例

4-1 測量概要

- ・工 事 浚渫工事
- ・場 所 インド洋 南緯7度20分
- ・測量面積 17,500,000 m^2
- ・測量延長 740 km
- ・測線間隔 30 m
- ・記録ピッチ 5 m
- ・測 線 数 470 本

4-2 測量構成

- ・土木職2名 電機職1名
- ・位置測定システム KACAL-DECCA オートカルタⅡ
- ・深度測定システム ATLAS-DESO 20
- ・タイドゲージ 水圧式タイドゲージ
- ・測 量 船 380馬力×2300 RPM 船長 13 m

4-3 測量計画および準備

測量区域が陸地より最高5 km程離れていることおよび発注者の意向により、電波位置測定システムを測量に使用することを決定した。ハードウェア、ソフトウェアとも既製のものであるが、オペレーション、メンテナンス上このシステムを熟知しておくことが必要であるため、約2週間ハード、ソフト両面でRACAL-DECCA社にて講習および実習を受けた。

測量区域が図-8のように多角形かつ浚渫区域が3ヶ所に分割されており、測線ごとの浚渫境界の計算が多量になるため、大型計算機にて事前に計算させた。また、このような測量区域が他に2ヶ所あり、それぞれ浚渫管理上座標が異なるため、プログラムが可能な卓上計算機を準備した。

人員計画については、システム使用が初めてであることと、基本測量が複雑であろうことを予想して土木職2名、電機職1名の計3名の編成となった。

工程に関しては、オートカルタとプロッターが船上に1組しかなく、測量と処理が平行作業にならず、処理時間を測量時間の1.5～2.0倍として工程を組んだ。

4-4 測 量

(1) 準備 事前測量

現地での基本測量をもとにリモートステーション用ステージを3ヶ所設置した。ステージの設計にあたっては、あらかじめ測量距離から計算された必要高さをもとにした。しかし、DMU(DISTANCE MEASURING UNITの略)のキャリブレーション(調整)時に設置したリモートステーションを使用した場合、エラーを多く受信することが判明した。この時、ステーション位置の地形は海岸沿いではあるが、かん木が多く、また測量区域近辺に数隻の船が停泊している状況であった。このエラー多発を解消するため、まず周囲のかん木を伐採したり、障害波を少なくするようにステーションの方向性を変えてみたりしたが、あまり効果がなかった。結局、位置を変更したり、ステーションの高さを低くしたりの試行錯誤をやってみて、ようやくエラーを最小限にいくとめることができた。だが、このステーションの調整作業のため、予定より4日程遅れる結果となった。

基本測量は球面体補正を考慮して実施した。測量区域が赤道近くにあるので、縮尺係数が小さくなるため

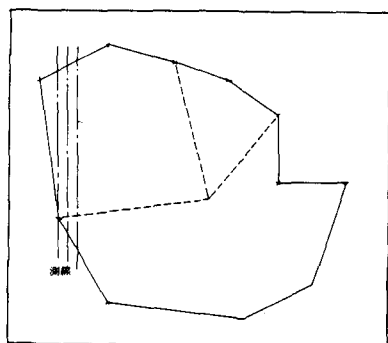


図-8 測量区域

ある。DMUキャリブレーションの基点となるキャリブレーションポイントの設置には、チェック測量を厳しく行った。

(2) 測 量

1) 準 備

測船位置、停泊船舶等の障害物を検討して、どのリモートステーションを使用するか決定する。ステーションの座標も、測線の座標とともに準備しておき、測量区域、測線の作図をあらかじめプロッターにて行った。

この段階での要点は、リモートステーションの選定と作業量にあらわした入力データを完全な形で準備することである。

2) 実 施

測量には、必ずDMUおよび音響測深機のキャリブレーションを入念に行った。DMUについては、最高±1.5 m程度の調整で済んだ。これはDMU自体の精度とともに、気象および地形的環境も安定していたためであろうと考えられる。(短距離用のDMUで±5 mの変動があった経験がある。)音響測深機については、キャリブレーションを音波速度の調整にて行った。水温および塩分濃度が高かったため、音波速度が非常に高い数字を示した。だが、ここでも同じく気候が安定していたためか、ほとんど調整する必要がなかった。

キャリブレーション後、必要データを入力し、測量を開始する。測量データは、カートリッジテープに収録するので、オーバーフローしないように、また無駄のないように注意した。データテープは記録ピッチを5 mとすると、約15 km分収録可能であるが、高価なため、効率よくデータを収録するように心がけた。データテープは、測量区域ごとにプラスチックボックスに保存した。

船速平均5ノットで、1日最高測線延長60 kmを記録したが、実績は1日平均約30 km稼動であった。

測量中、停泊船舶等障害および地形的問題により、リモートステーションの位置を変えざるを得なかったことが度々あった。

日中気温が30℃を常時超えるので、オペレーション室では2台のエアコンを使用して、最高でも28℃を超えないように調整した。おかげで、測量期間中測量機器の故障は一切なかった。

3) 処 理

前述したように、処理機であるオートカルタⅡが船上に1台しかないので、データ処理は測量終了後一括して行うことにした。よって、オートカルタⅡ、ターミナル、プロッターは空気調節された陸上の事務所に移設して、処理を行った。

データ処理としては、まず断面図、断面積計算および深淺平面図作成までとし、土量計算は手計算で行った。オートカルタⅡのソフトウェアでは、土量計算までの処理が可能であるが、浚渫土量管理上、断面積なのでそうした。

処理された作図はプロッターにて作図するため、印字、線等統一されており、仕上りは発注者の満足のいくものとなった。

4) データチェック

座標、深度等の測量データがデータテープに収録されているので、全てのデータチェックをするには、データをすべてプリントアウトさせなければならない。しかし、データ量が膨大なため、プリントアウトの時間が実測量時間の1.2～1.5倍かかるので、チェックに相当の時間を要する。当工事においては、最初の100断面においてデータをすべてプリントアウトしチェックしたが、実際のデータ処理時に不良データを判別および除去できるので、以後データプリントアウトは省略した。

原則的には、データプリントアウトをチェックすべきであろうが、当工事のようにデータが約30万個と多量な場合、データ処理時にエコートレースと比較して不良データを判別する方法が実用的であろう。潮位補正、データ修正等のあらゆる処理内容は、ターミナルプリントアウトにてチェックできる。今回の場合、発注者が経験あるインスペクタを有していたので、上述した実用的なチェック方法がとれた。しかし、発注者が熟練したインスペクターを有しない場合、測量からデータ処理までずっと立会いをさせるが、データ処理を第3者に行わせる方法をとらざるを得ないと思われる。

しかしながら、発注者側がこのシステムに十分な理解をもっている場合、チェックはすこぶる簡単かつ、チェックの時間が大幅に短縮できる。

ともかく、この発注者側のチェックに関しては、事前にシステムの理解を深めてもらい、十分な討議をもってその方法を決定しておくべきであろう。

5) 考 察

電波測定システムの本格的導入は本工事が最初であり、スムーズにオペレーションできるかどうかの危惧があったことは事実である。実際、現場にてリモートステーション設置時にDMUにエラーが多く生じ、結局試行錯誤の方法でようやく解決し得た時は、IC技術を駆使した新システムの意外なぜい弱性およびその応用の困難性を感じたものである。すなわち、何事でもそうであろうが“ハサミは使い様”は真理であるとともに、科学はいまだ万能ではあり得ないこともあわせて痛感したのである。

結果的には、測量は荒天による不稼動日を除き、すこぶる順調に進行した。特に、データ処理時においてこのシステムの機能を最大限に発揮し得たものと思われ、発注者からも信頼と評価を受けた。よって、その機能を十分に果した点において、本システムの導入は成功であったと考える。しかし、前述してきたようなさまざまな問題点が発生したことも事実であり、以下将来的課題として、列挙する。

- ・導入に関する検討を経済的、機能的有効性の上で行う。
- ・測量計画を綿密に行う。浚渫境界等の計算処理をあらかじめやっておくことも、その一つの方法である。
- ・リモートステーション設置に関して、地形環境、障害物等を考慮して決定する。
- ・DMUおよび音響測深機の初期調整を十分に行う。
- ・測量中、オペレーション等の作業が単純なので、作業環境を良好なものにするよう留意すること。
- ・測量データの整理・保管に留意すること。
- ・データテープは高価なので、保管期間を決め、その後転用する。
- ・データチェックの方法を十分に検討すること。
- ・メンテナンスの体制を完備しておくこと。

5. おわりに

コンピュータ等に日頃不慣れな人にとって、電波測定システムは、ずいぶんと“やっかいな”ものとして映るであろう。しかし、最近のマイコン、パソコンの目ざましい発展に見られるように、その取扱いについては非常に大衆的なものになってきている。このように、測定システム自体のボタン操作は、基本的な要領を学べば決して難しいものではない。要は、使う側にとって、このシステムを道具としていかに使うかが鍵なのである。

本システムは、まだ海上測量を主目的としたものであるが、将来浚渫総合管理システムにまで拡張していく必要が生じるであろう。そのためには、なによりも現在の管理体制を見直すという対応がせまられることになる。