

電子航法研究所報告

ELECTRONIC NAVIGATION RESEARCH INSTITUTE PAPERS

No. 9

電波による船舶速度測定装置の諸問題

山	内	宏	之
秋	草	英	也
水	城	南	海
藤	井	弥	平

1974. 9

運輸省 電子航法研究所

Electronic Navigation Research Institute

Ministry of Transport

電波による船舶速度測定装置の諸問題

山内宏之^{*}, 秋草英也^{*}, 水城南海男^{*}, 藤井称平^{**}

Note on Speed Measuring Radiosystems

Hiroyuki YAMANOUCHI, Hideya AKIKUSA

Namio MIZUKI and Yahei FUJII

Abstract

Since traditional speed trials with mile posts do not meet the conditions for tests of large vessels which require sufficiently deep and wide sea, the number of shipbuilders using radio-systems for sea trials has been increasing. More than 10 builders have asked our institute for evaluation of systems and considerable amount of data has been accumulated.

The review of these tests is made and reported here with a brief description of each systems and the results give that the accuracy and the reliability of the systems are satisfactory.

目 次

1. はじめに	3
2. 試運転における速力計測	3
3. 電波による船舶速度測定装置	4
3.1 概 要	4
3.2 評価試験を実施した装置	5
3.3 ラジオログ KM-765A型	6
3.4 マースメック ASM-2型	6
3.5 測定システムの原理的精度	7
3.6 電波の伝搬	8
3.7 海面反射	9
3.8 地形と他船の影響	9
4. 評価試験	10
4.1 試験の概要	10
4.2 最小受信電界強度の測定	10
4.3 標柱計測との比較	11
4.4 写真による精密標柱試験	18
4.5 写真による短距離計測	20
4.6 使用可能範囲の測定	21
4.7 その他の事項	23
5. むすび	23
参考文献	24
付録 シンクロレゾルバの位相計測特性	24

1. はじめに

新造船あるいは修理改造の後に公式試運転が行われるが、その際、速力計測は最も重要な項目の一つであり、従来、1～3海里はなれて設定された標柱群とストップウォッチをもちいる標柱計測法によって、確定速力を算出してきた。しかし、(1)大型船では「浅水影響」をさけるため*さらに方向転換や、助走・速力整定のため深くかつ広い海面を必要とすること、(2)標柱計測法では良い視界を要すること、特に大型船の速力試運転では陸岸より1～3海里も離れる場合があって、霧による狭視界のため速力計測の延期を余儀なくされ多大の損失をうけることが少なくないこと、#(3)海上交通が輻輳していて衝突の危険を避けるために減速あるいは避航して計測を復行しなければならないケースが増加していることなどの理由により、試運転海面の選択に際し自由度が高く、かつ少々の狭視界でも計測を行うことのできる電波による船舶速度測定装置が昭和40年ごろから大きな造船所で採用されはじめた。その後、(2)や(3)の理由や、中小造船所が比較的大型の船を受注しはじめたこと、そして電波式速度測定装置が視程・昼夜に左右されず簡単で高精度の速力計測ができることなどから漸次中小造船所においても使用されるようになってきた。

もともと電波による船舶速力の計測は昭和27年米国にはじまり、各種の方法が世界で行われているが、我が国では川崎重工業株式会社と神戸工業株式会社及び新三菱重工業株式会社と安立電波工業株式会社の2グループが昭和30年代前半に電波式船舶速度測定装置の開発に着手し、後半に実用装置を完成した。運輸省では昭和39年12月、告示第467号により、昭和30年運輸省告示第174号「確定速力算出明細書及び確定速力の算出要領を定める告示」の一部を改正し、外航船舶建造融資利子補給及び損失補償法施行規則第6条第2項の確定速力の算出について、従来の標柱を利用する測定方法に加えて電波を利用する測定方法を採用した。そして、使用する装置は船舶技術研究所に委託して試験をうけることとなった。同研究所において昭和39年に前者及び後者の装置の評価試験が行わ

れ、昭和42年6月までに合計7件の試験が行われている。1)～7)

昭和42年7月、電子航法研究所が設立され、この評価試験をひきつぐことになり、10件以上の試験を行った。一方、製作を担当する側においてもいくつかの小改良を行い性能も安定かつ良好なものとなり、また使用実績も数百隻にのぼっている。ここに電子航法研究所において試験を担当した4名により試験成績を総合し、これに船舶技術研究所における成績書も参考にしてこの報告を作成した。電波式船舶速度測定装置は現在広く使用されているが、やはり使用水面等について制限があり、電波のビームを大型船が横切るときの影響も無視できないなど、使用にあたって注意しなければならない項目がある。

ここに装置を使用する場合の参考になることを期待して報告する。あわせて、今後この種の装置の開発改良に役立つことができれば幸いである。

2. 試運転における速力計測

航海中の速力計測は主として推測航法(位置観測時点間における位置の推定・Dead Reckoning)および航程予測のために行うのであるが、試運転における計測の目的は所定の機関出力で推進したとき、設計通りの速力かどうかに重点がおかれる。これは船舶検収の重大項目であるとともに、船型設計のために実物大の実験資料として技術的にも工学的にも重要な資料がえられる。この目的のためには風波の影響が少ないところで対水速力を測定することが必要である。そして軸馬力の測定精度は1%が限度と考えられているので対水速力はこれ以上、できれば0.3%程度の精度で測定できることがのぞましい。⁸⁾しかし対水速力をこの程度すなわち0.1～0.03 knotで測定することができる実用的な計器がない現状ではやむをえず対地速力を計測し往復の平均をとることにより潮流の影響を打消すこととしている。なお、風力階級は3以下**で風浪及びうねりが著しくないこと(文献8によると波浪階級3以下、うねり階級2以下で船体にめだったビッ

*：水深は型幅と喫水の積の平方根の3倍以上にすることがのぞましい。⁸⁾

井：藤井・山内の調査⁹⁾によると、北海道をのぞく日本の海岸における視程出現頻度は1 km以下が1%前後、2 km以下が4%前後、5 km以下が10%前後で、この値の1/2から2倍の範囲にはいるところが多い。

**：風速7～10 knot、さざ波が大きくなり波頭がくだけ所々に白波がみえる程度

チング・ローリングがないことがのぞましい)と要領に示されている。

標柱を利用する対地速力測定方法は古来より標準となっている。また、電波による船舶速度測定装置の試験にあたって、比較の対象とするものであるから、ここにややくわしく説明する。他の対地速力あるいは対水速力の計測法については文献もいくつかある。⁸⁾¹¹⁾

標柱を利用した計測法は、一度陸上に標柱を確実に設定し正確な測量を実施し、これを水路図に記載すれば、長期間にわたって多くの船の速力測定に利用できる。その測定原理は簡単であり、数個のストップウォッチと双眼鏡さえあればよいから、この方式が長年にわたり広く用いられているのである。測定にあたっては3人以上の時間測定員がよく校正されたストップウォッチをもち、ドックマスターなどの担当主任の入標および出標時の合図(通常は「用意一テッ」)によりその間の時間を計測する。普通計測時間のちらばり(標準偏差)は0.1秒以内で、標柱間距離は1海里またはそれ以上であるから、測定精度は0.1%以上と概算される。^{*} しかし入標時あるいは出標時は複数の標柱をみとおす位置に担当主任の眼がきた場合をもって決定する。このことは後に詳細にのべるが、(1)標柱にわずかな傾きがおこったとき、(2)標柱と船との距離が標柱間距離にくらべて相当大きい場合、(3)視界がさまたげられたときなどは10cmの精度は到底期待できない。まして、通常は望遠鏡を船に固定していないし、動揺もあるので、標柱間隔のcm単位の記載を有効に活用することはむづかしい。ストップウォッチは0.1秒までよみとって平均値をとり、速力の算出はノットで小数点以下2位まで行うことが要求されているが、通常3位以下も計算している。また、通常主機の計画連続最大出力の1/4、1/2、3/4及び4/4出力に対応する4往復の速力試験を行うが、85%出力の場合を加えることも多い。

なお、この装置の評価試験にあたっては必ず標柱による速力試験を同時に実施するが、霧による狭視界のため試験を延期した場合が少なくない。特に4月～6月にこのケースが多かった。実際の公式試験において

も霧のため標柱による速力計測を延期し、そのために船の引渡しがおくれ、数百万円におよぶ損失をうけた造船所の作業計画がくるうことは珍しくない。これが本型式の装置が普及した大きな理由である。

3. 電波による船舶速度測定装置

3.1 概 要

この装置は陸上局と船上局からなり、陸上局を中心とする任意の放射状コースの上を船上局を搭載した被試験船が移動するとき、次にのべる電波のドブラー効果により速力を計測するものであり、水晶時計などの精密時計も内蔵していて、瞬時速力、平均速力、航走時間などの表示ができるようになっている。また、試験中の計測の乱れなどをチェックするために波形記録器もそなえている。

ドブラー効果とは送波器と受波器の距離が変化すると、その相対速力に応じて受信波の周波数かわる現象で近づきあるいは遠ざかる列車の汽笛の音色の変化などにみられる。

送信波の周波数(または搬送される計測用周波数)を f 、波動の伝搬の速度を C 、送信局と受信局の相対的な速さを V (遠ざかる方を+)とすると受信周波数は $f(1-V/C)$ となる。これがドブラー効果をあらわす式で、もし受信局でこのまま送りかえすと送信局でうける周波数は、 $f(1-V/C)^2$ となる。電波による船舶速度測定装置の場合 C は $3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ 程度、 V は 10 m/sec 程度で V/C は1にくらべて充分小さく、送信局にもどってきた周波数は $f(1-2V/C)$ で近似できる。

送信局で送りだす波と帰ってくる波の差(ビート周波数)をとると $2V/C$ がえられ、これをドブラー周波数 f_d とよび C はほぼ一定であるから f_d より V を、したがって船速を次の式:

$$V = f_d C / 2f \quad \cdots \cdots (1)$$

でもとめることができる。

実際には、ある区間(1海里程度)航走してその間

* : 水路図には標柱間距離は10cmのけたまで、まれにはミリのけたまで記載されている。この精度を10cmとし、1海里区間で20ノット前後の計測を行うと時間測定誤差は約0.05%、距離測定誤差は無視できる。また、通常のレーザ応用距離測定装置で1海里程度の測定を行うときの誤差は0.05%程度ないしこれ以下である。

なお、川崎重工業技報¹⁰⁾によると標柱による速度測定誤差 $\Delta V/V$ は0.17%程度とみつもられている。

の平均速力をもとめることを要求されているので、ドブラー周波数を時々刻々測定するよりも、その位相の変化を積算して航走距離をもとめ、別の精密時計と組合せて平均速力をもとめる方が目的になっている。この場合式(1)から、時間を t として、

$$V dt = 2 \pi f_d dt \times C / 4 \pi f$$

がえられる。ドブラー波の位相を ϕ_d とすると、 $2 \pi f_d dt$ は $d\phi_d$ であるから上の式より

$$D = (d\phi_d) \times (C / 4 \pi f) \dots\dots(2)$$

として航走距離 D がもとめられる。

3.2 評価試験を実施した装置

当所で評価試験をおこない使用されている速度測定装置には、川崎重工業株式会社と神戸工業株式会社（

現在富士通株式会社）が共同開発した「ラジオログ」と、新三菱重工業株式会社（現在三菱重工業神戸造船所）と安立電波工業株式会社が共同開発した「MARS-MEC」の2つの系統がある。

船舶技術研究所および電子航法研究所において昭和48年度末までに試験を実施した装置の諸元を次の表1にしめす。

- 注1. ASMの場合、復の搬送波周波数は計測局から送信した搬送波周波数に中間周波数（3,000MHz帯では約33MHz、420MHz帯では約26MHz）を加えたもの。
2. 精度はカタログ精度を目安とした。1海里の場合は表の精度の2倍（誤差は半分）程度である。
3. いずれの方式においても、計測局（測定局）を船上に設置し、中継局（応答局）を陸上に設置するのが一般的である。

表1 電波による船舶速度測定装置の諸元

製造会社		富士通株式会社(旧神戸工業株式会社)		安立電波工業株式会社		
型 式		ラジオログ KM-722	ラジオログ KM-765 KM-765A KM-801	MARSMEC	ASM-1 ASM-2 ASM-2A	ASM-3 AS311
開発年次		昭和34年	昭和41年	昭和34年	昭和40年	昭和43年
計測方式 の 概 要		計測局から162MHzを送信中継局でこれを2通倍して送り返す。計測局の2通倍波の位相の変化を積算する。	計測局から420MHzを送信中継局でこれを16/15通倍して送り返す。計測局で送受信波間の位相の変化を積算する。	搬送波162MHzでくりかえし800Hzのパルス変調波の送受信波間の位相の変化を積算する。	搬送波3,000MHz帯の送受計2波を使用し、変調波7.5MHzの送受信波間の位相の変化を積算する。	搬送波420MHz帯の送受計2波を使用し、変調波750kHzの送受信波間の位相の変化を積算する。
周波数	往	162.75MHz	420MHz帯	162.81MHz (往復とも同じ周波数であるが時分割)	3,000MHz帯 約7.5MHz 搬送波+1F 約7.5MHz	420MHz帯 約750kHz 搬送波+1F 約750kHz
	復					
空中線出力		計測局 25W 中継局 10W	10W	平均 10W 尖頭 50W	100mW	10W
空中線 ビーム幅		計測局 70° 中継局 50°	60°	90°	30°	56°
精度	短区間	0.46m	0.07m	0.1m	0.1m	1m
	長距離	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%

以上の装置のうち160MHz帯の電波の割当をこの種の装置に受けることは非常に困難であり、以前のもも廃止の傾向にある。またこの周波数帯をもちいるKM-722型およびMARSMEC型はいずれも試作型といえるもので、次に製造された装置はいずれも大幅に改良されている。したがってラジオログKM-765A型及びASM-2型を装置の代表としてとりあげややくわしく説明する。^{12), 13)}

3.3 ラジオログ KM-765A型

本装置は昭和43年5月に試験をおこなったもので、基準に恒温槽付水晶発信器をもちいこの基準周波数を f_b として、これを90通倍して計測局送信周波数421.5MHzをえている。中継局はドブラー変調をうけた $90f_b(1-V/C)$ をうけてこれを16/15通倍した $96f_b(1-V/C)$ をおくりかえす。したがって計測局では $96f_b(1-V/C)^2 (\div 96f_b - 192f_b V/C)$ を受信する。計測局にはコヒーレントな $90f_b$ および $5f_b$ をもっているの、これらと混合し検波して $f_b - 192f_b V/C$ をもとめる。さらにこれを5通倍し、 $5f_b$ との間で位相検波して $960f_b V/C$ としてドブラー波の位相をもとめている。計測局の送信電波の波長を λ (約71cm)とすると検出したドブラー出力1周期は $15\lambda/160$, すなわち約6.7cmに対応する。本装置はドブラー出力を計数して速力をノットで表示する機構をもつ。これは、確定速力算出には1海里を1,852mとすることと規定されているから、船速を0.001ノットのけたまで表示する場合はゲート時間、 $0.067m \times 3,600 \text{ sec} / 1,852m \times 0.001 = 130 \text{ sec}$ すなわち2分間強の間のドブラーカウントをとればよい。また1海里を航走することが規準であれば、ドブラーカウントが規定値 $1,852m \div 6.7cm$ になるまでの時間を測定する。

この装置は空中線、送受信装置、計数器及び記録器よりなり、定電圧装置が附属している。空中線は送信受信兼用で、2周波用の5素子八木アンテナをもちい回転可能なボールに装備する。このアンテナの指向性は約60度、利得は約7dBである。

装置の系統図を図1aに示すが、これらの機器はいずれも試験回路をもち、動作点検ができるようになっている。

なお、本装置の計測範囲は40ノットまで、最も重い機器は送受信装置で中継局のものが53kg、計測局のものが48kg程度である。

KM-801型は原理的にはKM-765A型と同じであるが、固体化を行い、小型軽量、低消費電力化をはかったもので、計測局は送受信機、計数表示器を同一きょう体に収納し、重量は計測局、中継局のいずれも35kg以下である。KM-801型の系統図を図1bに示す。



図1a KM-765A型船舶速度測定装置の系統図

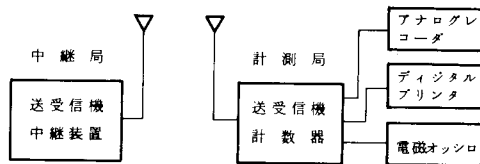


図1b KM-801型船舶速度測定装置の系統図

3.4 マースメック ASM-2型

本装置は昭和43年11月に試験を行ったもので、測定局の搬送波周波数は3,115MHz、応答局の搬送波周波数は3,148MHzでこの差33MHzを中間周波数としている。これを計測波 $f_m = 7.49 \text{ MHz}$ で周波数変調をかけてもちいる。これらの周波数はやはり恒温槽内の水晶発信器を基準にしている。測定局が航走するとドブラー効果により $2Vf_m/C$ の周波数偏移を生じこの1週期は約20mに相当する。したがって、位相変化1.8度ごとに1つのパルスが発生させれば、移動距離10cmを1つのパルスに対応させることができ、これを積算して航走距離をもとめ、また水晶時計で航走時間をよみとり速度を表示することができる。この装置は空中線、送受信部、計測部、監視部、記録器及び速度試験機よりなり、送受信部に通話装置を内蔵している。

空中線は直径64cmのバラボラ反射板つきダイポールアンテナでビーム幅30度、利得15dBのものであり回転台付三脚にのせた送受信部の上に取付けられる。また送信出力は約100mWである。

装置の系統図を図2に示すが、このほか簡易信号発生器およびシンクロスコープが付属していて各ユニットの動作の点検ができ、また航走試験中の波形等の動作の監視にも使用される。なお、この装置の専用試験

機として速度試験機が附属して全システムの動作及び精度試験のシミュレーションができる。
本装置の計測範囲は45ノットまでで、ユニットに

ASM-1, ASM-2型では計測周波数が約7.5MHzと比較的低く、更にASM-3型では約750kHzとか

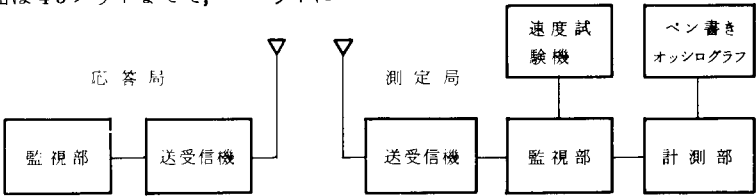


図2 ASM-2型船舶速度測定装置の系統図

分割されており、最も重いものは約28kgである。

3.5 測定システムの原理的精度

この種の装置をもちいて速度を測定する場合、装置による誤差及び航走方法による誤差が考えられるが、これらを列挙すると、

- i 電波の伝搬速度
- ii 計測用周波数の精度
- iii ドブラー波の位相角の測定精度（ラジオログにはこの項目はない）
- iv 回路の位相安定度
- v 表示誤差
- vi 回路の位相安定度
- vii 航走コース誤差

などとなる。

i 電波の伝搬速度

電波は標準大気中を $2.9969 \times 10^8 \text{ m/sec}$ で伝搬し気圧、気温、水分含有率などによりわずかに変化するが、その幅は通常 10^{-5} のけたであるため無視してよい。

ii 計測用周波数の精度

ドブラー周波数は計測周波数の $(2 \sim 10) \times 10^{-8}$ 倍であり、もし電波が船上局と陸上局の間を往復する時間（0.1msecのけた）内に周波数が $(2 \sim 10) \times 10^{-12}$ の割合で変化すれば 10^{-4} の測定誤差となる。一方、開発初期の周波数安定度は $10^{-6}/\text{day}$ であり最近では技術の進歩により $10^{-9}/\text{day}$ となっている。前者の場合、単純に計算すると0.1msecの間に、

$$10^{-6} \times 10^{-4} / 24 \times 3600 \div 1.3 \times 10^{-15}$$

となる。ただし周波数の短期安定度はこれよりも悪いが、一方周波数のゆらぎの影響の方も積算されるのでこの項も無視してさしつかえない。

iii ドブラー波の位相角の測定精度

なり低い。このためASM-1, ASM-2型ではドブラー波の位相測定にシンクロレゾルバーをもちいて位相角360度を200等分して0.1mまで表示している。ASM-3型においては等分して0.1mまでだしているが、カタログによる精度は1mとなっている。

山内¹⁴⁾はこのレゾルバの精度を試験し、位相分解の精度を測定し図3に例示するような結果をえた。

ASM-2では0.9度が5cm, ASM-3では0.5mに対応するので、最大この程度の誤差がおこることもあり得る。これは1海里的航走試験でそれぞれ約0.002%及び0.02%に対応するので問題はない。

ただし、受信電波の強度が充分でないとき、あるいは大型船の電波伝搬経路横切などにより、位相の乱れがおこったときなど、ハンチング現象がみられ上記誤差に数倍する偏差を観測しているので、特に機器固有の高精度を発揮させたい場合は注意を必要とする。また、輸送途中にレゾルバの調整が狂ったことが昭和43年におこっているので、使用に先立ち速度試験機でチェックすることを省略してはならない。

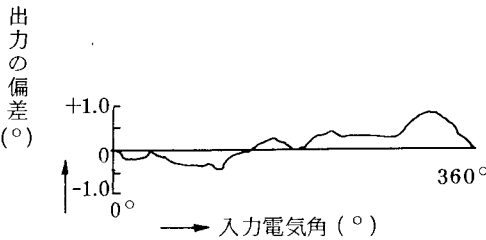


図3 レゾルバ特性の一例

iv 回路の位相安定度

計測波が回路を通過するさい、回路の位相特性にゆらぎがあると、誤差がでる。ASM-3, AS311型では特に重要なので確認しているが、数十分間の位相変

化は、レゾルバの誤差に比べて無視しうる程度である。

回路の位相安定度とは別に、内部あるいは外部雑音をうけるなどして、計測波に乱れがおこり、波頭が2つに割れたり位相が動いたのと等価な現象が起ると誤差を生ずるので注意を要する。

V 表示誤差

これらの装置は読みとり誤差を避けるためデジタル表示となっている。したがって必然的に丸め(round up)の誤差をもっているが、どの機種ともこの誤差は10 cm以下となっていて充分小さい。

VI 時間計測誤差

水晶時計をもちいており、数分程度の計測時間では全く無視できる。

VII 航走コース誤差

本装置による試験では陸上局を中心とした直線上を航走することになっている。装置本来の精度は1海里航走で、ASM-3以外では少なくとも0.01%、ASM-3では少なくとも0.1%の高い値が期待される(電波障害がない場合)が、この設定コースからのずれが最も大きな測定誤差の原因となる。

図4のように設定コースからずれた場合、

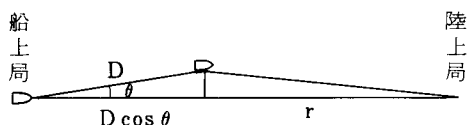


図4 航走コース誤差の説明図

幾何学的な測定誤差は、航走距離をD、ずれの角を θ とすると $[r + D \cos \theta - (r^2 + D^2 \sin^2 \theta)^{1/2}] / D - 1$ となりDが陸上局からの距離rにくらべて小さい場合

$$\cos \theta - 1 - D \sin^2 \theta / r$$

で近似でき、 θ の2次の微小量となる。

D/r の項を無視すると、 θ が1度のとき0.015%、2度のとき0.061%、3度のとき0.14%となる。

したがってあらかじめコースを設定し陸上局から10 kmはなれた場所から測定をはじめたとして最初の船位測定誤差がコースの直角方向に1ケーブル(200 m程度)*あればコース方向を厳密に保って0.02%の誤差、2ケーブルであればこの4倍となる。

一方、大型船に搭載される高級ジャイロコンパスの精度は0.2~0.3度。公試運転などにおいてはかなり旋回を行うので0.5度程度の誤差と推定される。* 船の保針性・操縦性能等にもよるが船位測定誤差や針路保持誤差をふくめて大型船では0.05%程度のコース誤差を期待できる。しかしこの誤差は自乗できいてくるので、磁気コンパス等をもちいる場合は船位測定・保針をおろそかにするとすぐに0.1%をこえ、場合によっては要求される速度測定精度0.3%がえられない場合もおこる。

また、試運転を行う海域は潮流・海流の影響の少ないところ、そして時間をえらび、特にコースに直角な方向の成分に注意を要する。

3.6 電波の伝搬

1. 周波数

使用する周波数はVHF帯からマイクロ波までの割当をうけられる帯域であり、2波の割当を必要とする。開発当初はいずれも160 MHz帯に属したが、これは廃止され、現在40.0 MHz帯と3,000 MHz帯のいずれかの電波を用いる。

40.0 MHz帯の電波は割当をうけることはやや困難であるが、10 W程度の出力をもちい、遠距離までとどくとともに、次にのべる海面反射による陸上局付近の使用不能範囲が狭いため広い測定可能水域が得やすい。ただ、送信には八木アンテナ等比較的指向性の鋭くないものをもちいるため電波のビーム幅が50~60度と広く、きり立った陸岸などが近い場合、反射による妨害を比較的うけやすい。

3,000 MHz帯の場合は直進性もよかつ他の電波の影響をうけることが少ない。アンテナ出力は0.1 W程度で小さいがビーム幅をしばってあるため効率よくかなり遠方までとどく。しかし到達距離をのばすためにアンテナを高くすると海面反射干渉のために陸上局に近い使用不能海域が拡大し、結局、使用可能範囲は前者にくらべて小さい。

ii 遠方到達距離

陸上局および船上局のアンテナの海面からの高さを h_1 及び h_2 とすると幾何学的な見通し距離は、

$$2.078 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ 海里} \quad \dots\dots(3)$$

(ただし h は m 単位)

* : 旋回後ジャイロが静定するまでに通常、シュレー周期約8.4分の3倍程度の時間を必要とする。

#: 交差方位法による船位測定誤差は物標から5海里のところで0.1海里(1ケーブル)程度。

であらわされる。ただし大気は上層ほど薄く、電波は地表に沿って幾分湾曲して伝搬するため電波は上式よりある程度速くまで到達する。ふつう地球の半径をRとし、電波的にみた地球の半径をKRと書く。Kは等価半径係数とよび、1よりも大きく通常4/3の値をもちいる。低周波では電離層の影響でKが2とか3と大きくなることもある。しかしKは1に近いこともおこるので、試験コース設定の時は電波到達距離として式(3)をもちいるのがよい。

電波は球面上に拡がるため、電界強度は距離に反比例して減少する*。このため、電界強度が減少し、もしhが大きく見通し距離以内で電界強度が最小受信電界強度程度まで減少すると、測定可能海域はそこまでになる。しかし、ふつう陸上局のアンテナの高さが数十mであれば、見通し距離の方で測定可能水域の上限が定まるのが普通である。なお、電界強度が小さい遠方では、コースを横切る船の影響をうけやすい。

3.7 海面反射

受信する電波は図5aのように直接波と海面によって反射された波が干渉する。このとき反射波の方の伝達経路が長く、その位相差が直接波と打ち消しあうところでは受信波の強度は激減し、特に海がおだやかなときにははなはだしい。陸上局からの距離と受信電界強度

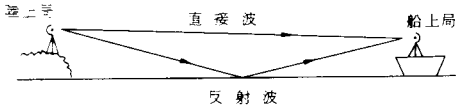


図5 a 海面反射波と直接波との干渉の説明図

表2 使用可能範囲 単位は海里、ただしアンテナ高はm

船舶局アンテナ高	16 m				25 m			
	25m	50m	100m	200m	25m	50m	100m	200m
420MHz 帯	0.6～20	1.2～25	24～31	48～41	1.0～22	1.9～27	38～33	7.6～43
3,000MHz 帯	4.3～20	8.6～25	17～31	34～41	6.8～22	13～27	27～33	(54～43)

注： 使用可能距離の上限は見通し距離でできるものとして計算。最後の括弧内は測定可能範囲がないことをあらわす。

*：使用周波数帯では電波の減衰は小さく無視してよい。

**：45°偏波を使用すると直接波と反射波との位相差が180°とならず90°となるので、たとえ両者の振幅が等しくても打ち消し合うことがおこらず、したがって電界強度の落ち込み、すなわち谷が浅くなる。これは実験的にも確かめられている。(1)～(7)

の関係図は多くの急峻な谷をもっているため**陸上局から最後の谷をすぎたところまでは使用してはならない。この最後の谷までの距離は、バリントンによると

$$2h_1 h_2 / \lambda, \quad h_1' = h_1 - d_1^2 / 2KR, \\ h_2' = h_2 - d_2^2 / 2KR \quad \dots\dots\dots(3)$$

とあらわされ、 d_1 と d_2 はそれぞれのアンテナから反射点までの距離である。Rは約6,350 Kmであるが、 h は10mから100mのオーダーで d_1 、 d_2 などは数Km程度になるので h の補正項はそれほど小さくない。しかし大事をとって $2h_1 h_2 / \lambda$ までの海域は使用しないものとする、前項目を考慮して得られる使用可能海面は次の表2のような値となる。式(3)による計算例は文献15)を参照されたい。

注： 使用可能距離の上限は見通し距離でできるものとして計算。最後の括弧内は測定可能範囲がないことをあらわす。

このように3,000MHz帯をもちいるときは陸上局のアンテナを高くしても使用可能範囲は大きくは変化しない。

3.8 地形と他船の影響

本装置と標柱試験を比較する場合のように、電波のビームに近接して陸岸があるとき、反射波による妨害がおこり、ビーム幅が50～70度と大きい400MHz帯の装置の試験の際にはあらわれやすい。側方2海里に高い陸地があって軽微な干渉がみられた例、あるいは側方3海里に断崖があり中程度の干渉が観測された例がある。陸上局を開けた海面に向ける場合にはほとんど

ど問題にならない。

陸上局と船舶局をむすぶ線上を大型船が横切の場合には受信電界の降下等がみられ(図5b), また電波ビームに平行して大型船が航行する場合, 反射波による干渉が観測されている。特に2局をむすぶ直線が海面に近い水域での横切は計測不能になるほど大きな影響をおよぼす。

海上交通のふくそうのためこの種の妨害の頻度は高まっているものの, 一方海上交通の調査もすすんでいるので, この結果を利用して試験コースを設定し, この種の現象を防止することができる。

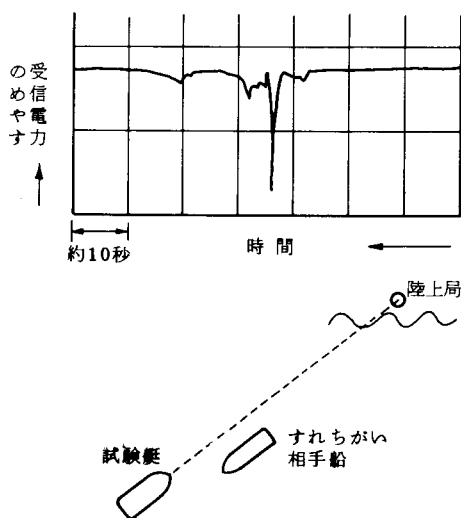


図5b 他船の影響による受信電力の低下

試験艇の右舷側200mさきに120トントankerがさしかかったときに受信電力が低下し, 変動した。

4. 評価試験

4.1 試験の概要

さきにのべたように, 外航船舶建造融資利子補給及び損失補償法施行規則に関連して, 電子航法研究所がこの種の評価試験を受託することとなった。したがって, 試験の目的は, これらの装置について精度, 安定度及び運用上の性能を試験し, この装置が計画造船対象船の速力試験に使用してよいかを判定することを直接の目的としている。

試験は陸上試験と海上試験にわけられる。陸上試験では電波応用計測器の試験として一般的な項目を主として, (1)各部の電圧・電流・周波数・高周波電力,

(2)周波器・弁別器・増幅器等の特性, (3)計測用周波数の位相安定度及び位相計測特性, (4)時間基準の精度と安定度, (5)表示部の計数・表示試験, (6)送受信アンテナの指向特性・周波数特性・利得, (7)機械部分の試験及び, (8)最小受信電界強度の測定などがあり, 各部分が正常に動作することを確認する。また船舶に搭載されること, あるいは山上に運搬されることを考慮して, (9)電源変動試験, (10)温度, 振動等の環境試験, (11)アンテナ等の注水試験などがある。

上記試験のうち, 同型式のものの数台が試験済みとなり, かつそのとき問題がおこらなかった項目については, 順次試験を省略することとしている。ただし, 項目(8)の最小受信電界強度の測定は, 装置の使用限界をもとめる基礎資料を得るために省略できない。また, 項目(3)の位相計測の精度は測定周波数の低いASM-3などでは確認しておく必要がある。

海上試験においては, (1)標柱試験との比較がこの評価試験のもっとも重要な項目であり, つぎに(2)遠距離到達試験および(3)海面反射波による電界低下地点の調査があって, (2)と(3)で本装置の使用可能区間をもとめることができる。このほか, (4)アンテナビーム幅の測定, (5)妨害電波・反射波等の干渉の調査などを行う。しかし(4)のビーム幅の測定については, 船の上部構造や地形による反射などのため, 陸上試験のときほどに精度が得られないため参考程度にとどめている。

つぎに, 以上の試験のうち最小受信電界強度の測定, 標柱試験, 遠距離到達試験, 及び電界低下地点の調査についてのべ, なお, 本装置を短距離で使用した場合の試験結果について付記する。

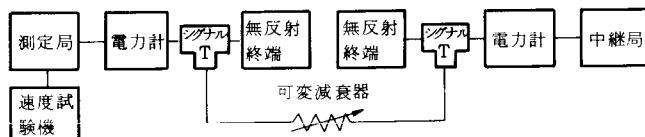
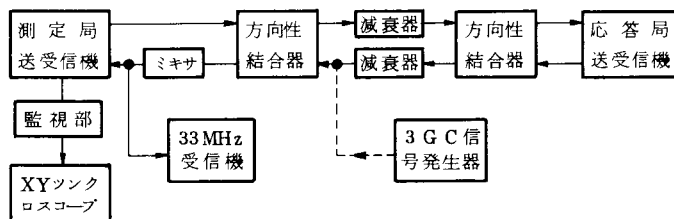
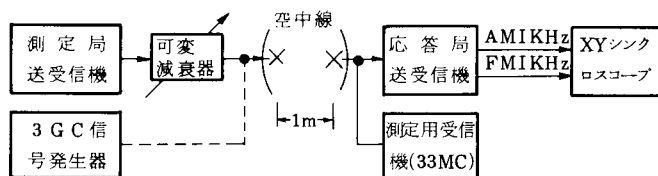
なお, 被試験装置および試験の要目等を表3に, 試験を行った水域の主なものの見取図を図6にしめす。

4.2 最小受信電界強度の測定

計測回路が動作するのに必要な受信入力範囲をもとめるために行う試験で, 装置の使用可能範囲をもとめるときに必要である。

ASM-1, 2型においては測定局及び応答局のアンテナを1mの間隔をおいて対向させ, 片方のアンテナに図7のように信号発生器の出力または片方の局の出力を減衰器で低下させた信号を入れる。

そこで, 応答局のAPC(自動位相調整)がはずれる点の応答局の入力をもって応答局の最小受信電力とする。つぎに図7aの結線により可変減衰器を調整して, 測定局につないだシンクロスコープのリサーチ



が乱れる点を求め、その時の測定局受信機入力をもって測定局の最小受信電力とする。ここで両局のアンテナは1 mの距離で正面に対向させ、この間の損失は無視する。漏えい電力の影響をさけるため、測定局送受信機と応答局送受信機は約20 mはなして設置する。

ASM-3型, AS311型については図7bの結線で測定局と中継局とを別室に設置して実際の動作状態と同様に動作させる。電波の伝搬経路は空間によらず同軸ケーブルおよび減衰器をもちいる。この状態で速度試験機による精度試験をおこなって誤差が大きくなり始める限界のときの受信電力をもって最小受信電力とする。

4.3 標柱計測との比較

電波による船舶速度測定装置の測定精度は、1 海里航行の標柱試験の精度以上と推定されるため、しかも標柱試験を標準として比較するため標柱による計測法の限界、並びに比較試験にともなう誤差について検討する必要がある。

普通の標柱試験では、標柱をみとおす線に直角に航

行できればよいが、比較試験の際には、このほかに陸上局をとる放射状のコース上を航行しなければならぬために、一つの陸上局の位置と一組の標柱（標柱2対）に対してとりうる正しいコースはただ1本となり、電波による船舶速度測定装置のみ、あるいは標柱試験のみの場合に比べて航跡が設定コースからずれた場合の誤差は複雑になる。

図8において、本装置によって計測された、入標一出標間計測距離Rは、電波伝搬距離の差

$$R = P_s P_{out} - P_s P_{in}$$

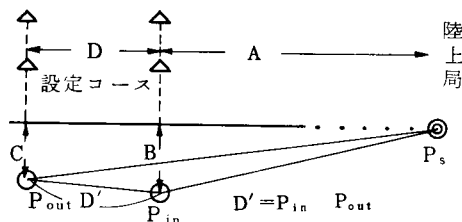


図8 標柱間距離D, 航走距離D', 及び
本装置による計測距離Rの関係

表 3 被試験装置及び試験の要目

番号	依頼者	型式	周波数 (MHz)	出力 (W)	海域	試験船 総トン	標柱名 間 隔	備考	受託 番号	試験 担当者
1	三菱重工業KK (神戸造船所)	マース メック	162.81 162.81	7 10	大阪湾	250	淡路 1,874.4		39年度 155号	西 周次 長岡政四 山内宏之
2	川崎重工業KK (神戸造船所)	ラジオ ログ KM-722	162.75 325.50	22 14.5	大阪湾	152	淡路 1,874.4		39年度 159号	木村小一 西村寅吉 石橋寅雄
3	石川島播磨 重工業KK (東京工場)	ASM-1	3.115 3.148	0.125 0.13	東京湾	125	岩井袋 1,853.3		40年度 81号	西 周次 長岡政四 秋草英也
4	石川島播磨 重工業KK (相生造船所)	ASM-2	3.115 3.148	0.13 0.14	播磨灘	22,600	家島 1,855.5		41年度 9号	長岡政四 山内宏之
5	日立造船KK (堺工場)	ASM-2	3.115 3.148	0.145 0.145	大阪湾	12,407	淡路 1,874.4	標柱試験	41年度 57号	長岡政四 山内宏之
					紀伊水道	78,784		到達試験		門野正雄
6	川崎重工業KK (神戸造船所)	KM-765	421.5 449.6	9.5	大阪湾	176	淡路 1,874.3		41年度 259号	石橋寅雄 山田公男
7	FAR EAST CO 他 5 社	ASM-2	3,230 3,263	0.13 0.115	相模湾	32,912		伝搬試験	41年度	山内宏之
					東京湾	33,586	岩井袋	標柱試験	348号	松本千秋
					相模湾	54,707		伝搬試験		
8	佐野安船渠KK	ASM-2	3,230 3,263	0.115 0.10	大阪湾	11,474	淡路 5,632.2		43年度 1号	秋草英也 水城南海男
9	石川島播磨 重工業KK (呉造船所)	ASM-2	3.115 3.148	0.113 0.11	伊予灘	35,477	佐田岬 2,036.4		43年度 3号	山内宏之 水城南海男
10	川崎重工業KK (神戸造船所)	KM- 765A	421.5 449.6	12.0 10.3	大阪湾	198	淡路 1,874.3		43年度 4号	藤井弥平 山内宏之
11	佐世保重工業KK	ASM-3	421.5 449.0	11.5 10.5	五島灘	7,600 (約)	三重 1,853.18		43年度 5号	山内宏之 水城南海男
12	佐世保重工業KK	ASM-3	421.5 449.0	11.5 10.5	五島灘	13,000 (約)		到達試験	44年度 1号	水城南海男
13	三菱重工業KK (神戸造船所)	ASM-3	423.5 447.0	8 7	大阪湾	6,887	淡路 1,873.3	標柱試験	44年度 2号	山内宏之 水城南海男
					紀伊水道	37,159		到達試験		
14	函館 Dock KK	ASM-2	3.115 3.148	0.11 0.103	津軽海峡	4,075	茂辺地 1,852.0		44年度 3号	山内宏之 水城南海男
15	石川島播磨 重工業KK (名古屋造船所)	ASM- 2A	3.115 3.148	0.11 0.105	伊勢湾	8,093	小野浦 1,852.0	標柱試験 伝搬試験	45年度 1号	藤井弥平 山内宏之
					播磨灘	18,262	家島	標柱試験		
16	KK名村造船所	ASM- 2A	3.115 3.148	0.12 0.11	大阪湾	12,100	淡路 1,874.3		46年度 3号	長谷川英雄 藤井弥平
17	三菱重工業KK	AS311	423.5 447.0	9.5 8.9	伊予灘	61,000	佐田岬 2,036.4		48年度 1号	山内宏之 東福寺則保
18	石川島播磨 重工業KK	ASM-2	3.115 3.148	0.09 0.10	東京湾	9,800	岩井袋 1,853.3 1,853.2		48年度 2号	秋草英也 山内宏之

注： 1～7は船舶技術研究所において試験を受託したもの。8以降は電子航法研究所において受託。

周波数及び出力は上段が計測局(測定局)，下段が中継局(応答局)。

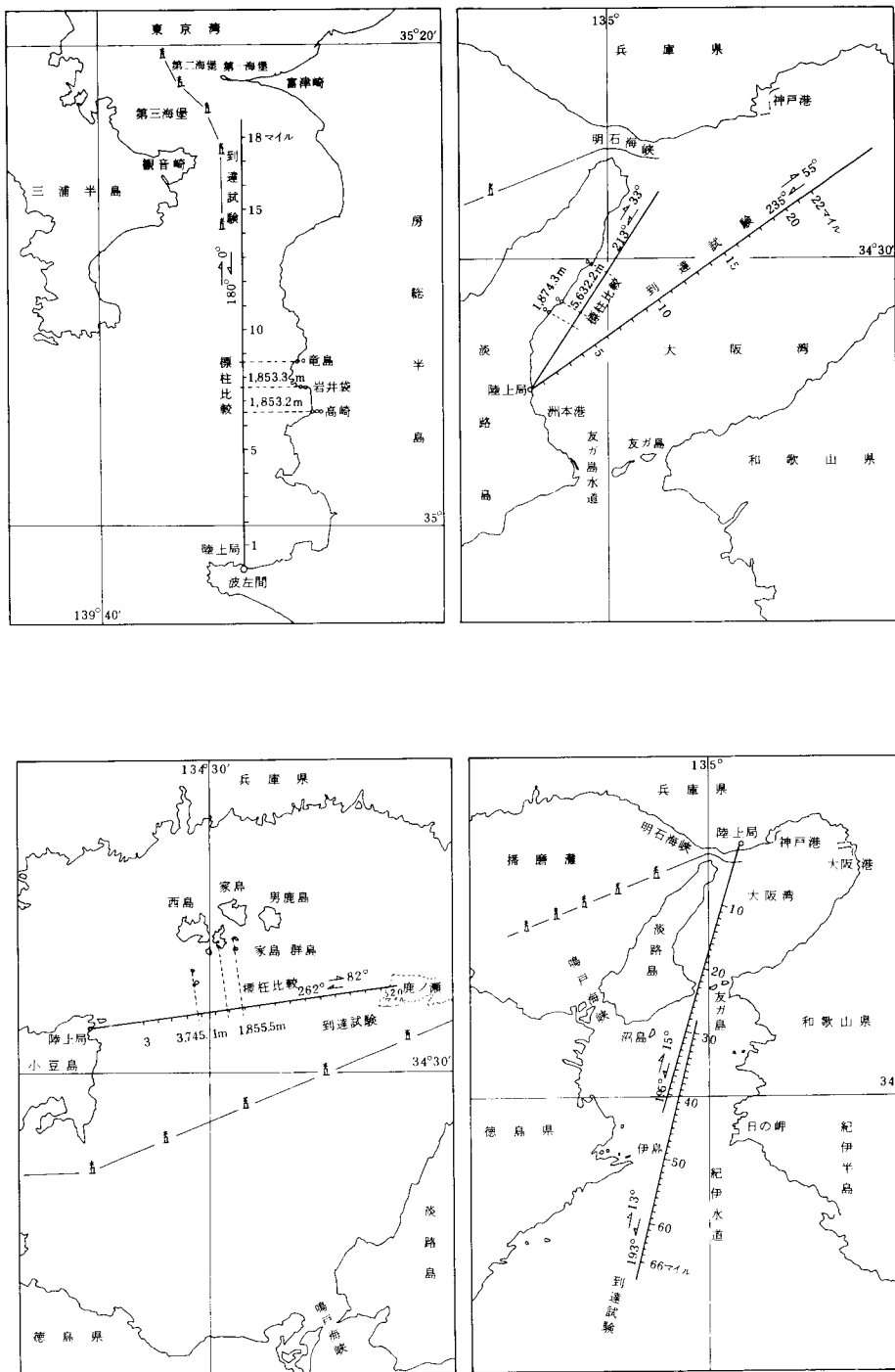


図6 試験水域とコースの例

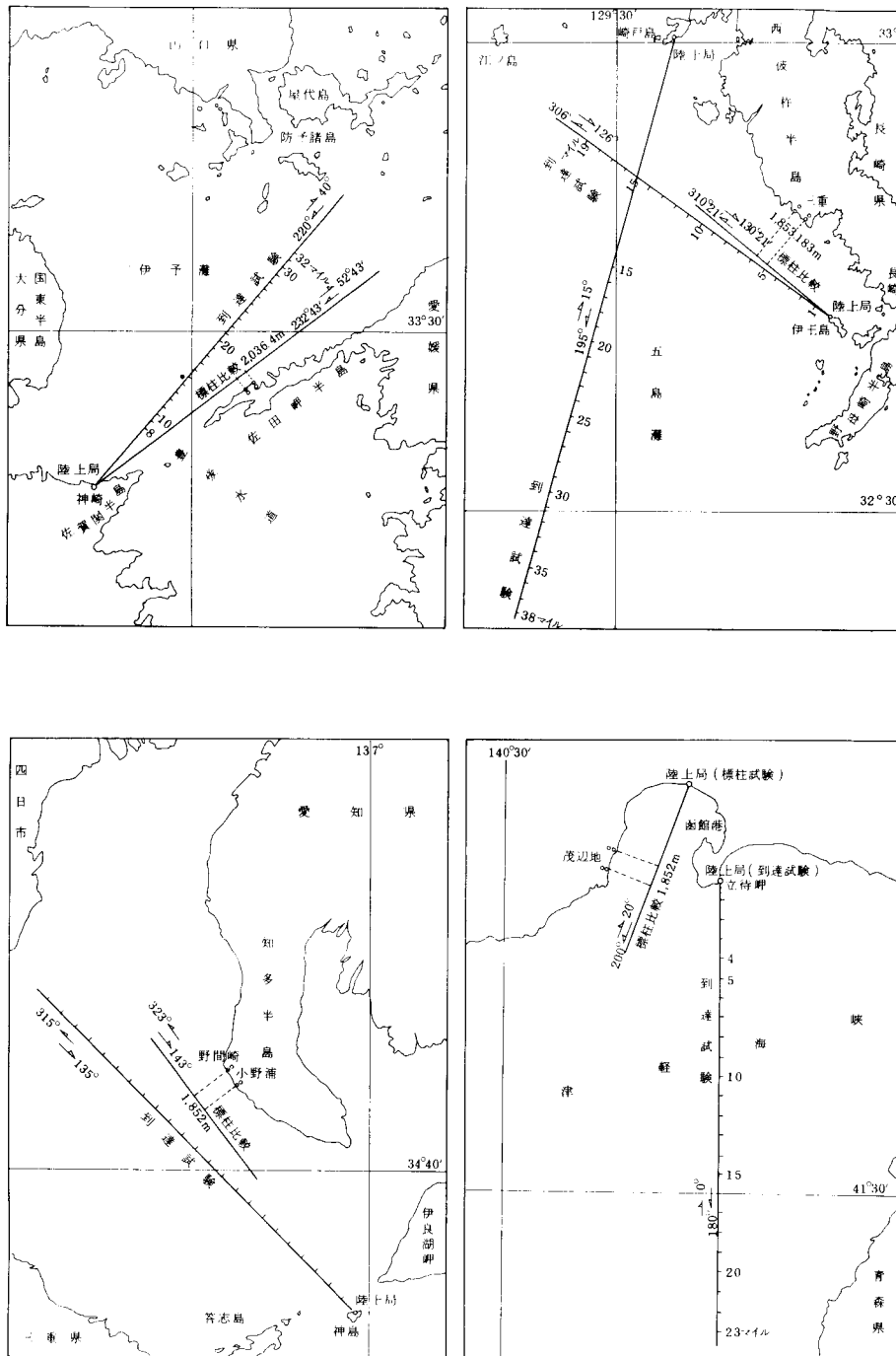


図 6 試験水域とコースの例(つづき)

であり、これは

$$\sqrt{(A+D)^2 + C^2} - \sqrt{A^2 + B^2}$$

であり、偏差の割合 $(R-D)/D$ は、B と C が A にくらべて小さいとき

$$1/2 [C^2/D(A+D) - B^2/AD]$$

で近似される。これはいわゆるコサイン誤差

$$(D'-D)/D = 1/2 (B-C)^2/D^2 \dots\dots (P8 \text{ 参照})$$

と異なる点に注意を要する。そして B と C が等しい場合でも 0 にはならない。しかし A を D にくらべて大きくすると、この差を小さくすることができる。

つぎにこれまでに観測されたこの種のコースずれの大きかったものをあげる。これは陸上局を神戸におき、淡路島の標柱をもちいた場合で、陸上局から近い方の標柱線までの距離 A は 32,120m、標柱間距離は 1,874.3 m であった。この場合、船舶局を 198 トンのタグボートにいているので保針性にやや難点があると予想し、船から陸地の物標 3 個を同時撮影して船舶局の位置を測量した。この結果、表 4 の B および C の値に示される正規コースからのずれを生じ、この値からもとめた偏差は最大 0.38% にのぼった。

したがって、この種の偏差を 0.1% 以下におさえるためには、A が 3 海里程度であれば B 及び C は 0.1 海里程度、A が 10 海里程度であれば 0.2 海里程度におさめ、かつ針路を 2 度以内にたもつ必要がある。

表 4 コースずれとそれによる偏差の例
(A=32,120m, D=1,874.3 m の場合)

正規コースからのずれ		R-D (m)	(R-D)/D (%)
B (m)	C (m)		
280	300	0.1	0.005
370	500	2.3	0.12
1,105	1,160	3.8	0.20
1,200	1,420	7.2	0.38

標柱間間隔が 2 海里、あるいは 3 海里と大きくなると、この種の偏差も小さくなり、かつ標柱みとおし線の誤差による偏差も $1/2$ 、あるいは $1/3$ となってよい一致がえられる。

表 5 に船舶技術研究所（昭和 42 年 6 月まで）及び電子航法研究所において実施した本装置による速度試験と標柱試験とを比較してしめす。なお、表からよみとれるように標柱区間が約 3 海里の場合はいずれも偏差が小さく このことは電波による船舶速度測定装置が

1 海里標柱試験の場合よりもよい精度で比較されていることを示している。

この事実、及びつぎの写真による精密標柱試験、並びに 3-(5) の装置の原理的精度から考えて、電波による船速測定が高い精度をもつとみなすことが妥当である。この場合、各造船会社によって、数多くの標柱をもちいて試験を行っているため、総合的な評価を行うことができる。

表 5 において時間のよみが標柱試験と電波によるものとでことなるものがあり、この差が 0.2 秒以上あったものが 15 例、うち 1 例は 2.4 秒もあった。これは電波式測定装置が計測員からはなれたところにあることが多く音声の伝達のみによつたためと考えられるが、0.5 秒差以上の 3 例は油断があったためとみられる。また、電波式測定装置の航走距離を 1,852.0 m の方にセットした場合 (No.16) もある。しかし、測定の目的は速力であり、しかも船舶の慣性のため、たとえ計測時間が 2～3 秒ことなってもその間の航走距離はそれに応じて変化する。したがって、

$$\delta = \{ (\text{電波による速力測定値}) - (\text{標柱試験による速力測定値}) \} \\ \times (\text{表定標柱間距離}) \div (\text{標柱試験による速力測定値})$$

を計算すると、標柱試験での（出標時位置測定誤差）－（入標時位置測定誤差）の近似値が表定標柱間距離にほとんど関係することなくもとめられる。

この δ の値の分布を表 6 にしめす。試験船が大きい場合は公試運転と、電波式装置と標柱試験の比較を兼用しているのがふつうである。番号 6 及び 10 に、非常に大きい δ の値がみられるが、これは (1) 船が小さいためか、(2) ラジオログ (KM 型) によるためか、(3) 周波数が低いためか、などと考えられるが、(1) には試験番号 1 と 2 が、(2) には 2 が、(3) には 1, 2, 11, 13, および 17 の反証があり、計測にあたってコースからの大きなずれなどの原因があったためと推定される。

δ の値の頻度分布を図 9 にしめす。ASM 型については平均値および標準偏差を計算すると、 $\delta = -0.83 \text{ m} \pm 3.24 \text{ m}$ がえられ、これから 1 海里標柱間航走による試験の計測誤差を推定すると、

$$\delta / 1,852 \text{ m} = (-0.04 \pm 0.17) \%$$

がえられる。2 海里航走すればこの $1/2$ となろう。この値は偶然ではあろうが、小谷ら⁽¹⁰⁾による推定値 0.17% と一致する。またわずかに 0.04% ではあるが標柱試験の方が平均して高い速力計測値をえていることは興味深い。なお、 δ が 10 m 以上の 2 例は、平均値よ

表5 標柱目視計測と電波式船舶速度測定装置による計測との比較

番 号 型 式 周波数帯	年 月	天 候	標 柱 計 測			電 波 式 計 測			偏 差 (%)	平均速力 (knot)	偏 差 (%)	備 考
			標 柱 間 距離(m)	時 間 (秒)	速 力 (knot)	時 間 (秒)	距 離 (m)	速 力 (knot)				
1 マース メック 160MHz	昭和 39年 12月		1,874.4	631.2	5.772	631.06	1,872.8	5.769	-0.052			
			..	576.7	6.318	570.05	1,852.0	6.315	-0.047			
2 KM-722	昭和 39年	晴 ..	1,874.4	472.6	8.050	452.92	1,874.8	8.046	-0.050			
			..	473.6	8.030	453.68	1,876.7	8.041	+0.112			
3 ASM-1 3,000 MHz帯	昭和 40年 7月	曇	1,853.3	390.0	9.273	390.12	1,857.8	9.253	+0.217			#
			..	357.1	10.088	356.79	1,858.6	10.126	+0.377			
			..	372.7	9.666	372.54	1,850.1	9.653	-0.134			
	昭和 40年 10月	晴	1,853.3	273.8	13.159	273.92	1,851.1	13.137	-0.167			#
			..	263.8	13.668	263.97	1,853.9	13.653	-0.110			
			..	242.0	14.888	242.12	1,853.6	14.887	-0.034			
			..	228.8	15.747	228.87	1,852.5	15.735	-0.076			
			..	237.1	15.196	237.32	1,854.2	15.189	-0.046			
			..	218.5	16.489	218.77	1,851.6	16.453	-0.218			
		雨 曇	223.4	16.127	223.52	1,849.9	16.089	-0.236				
			..	21.9	17.003	211.99	1,855.3	17.013	+0.059			
			1,853.3	239.7	15.031	242.10	1,870.4	15.019	-0.080			
			..	250.6	14.377	250.77	1,853.1	14.365	-0.083			
			..	205.1	17.566	205.02	1,853.2	17.572	+0.034			
			1,853.3	199.5	18.060	199.35	1,849.6	18.037	-0.127			
			..	195.4	18.439	195.49	1,855.2	18.449	+0.054			
4 ASM-2 3,000 MHz帯	昭和 41年 6月	曇 曇 曇	1,855.5	247.6	14.567	247.80	1,852.8	14.534	-0.227			#
			..	246.5	14.632	246.38	1,856.3	14.645	+0.089			
			..	231.3	15.593	231.29	1,849.9	15.547	-0.295			
			3,745.1	451.9	16.109	451.83	3,742.8	16.102	-0.043			
			1,855.5	220.5	16.357	220.22	1,853.2	16.358	+0.006			
5 ASM-2 3,000 MHz帯	昭和 41年 6月	曇	1,874.4	303.7	11.997	303.72	1,874.2	11.995	-0.017			#
			..	351.2	10.372	350.97	1,877.3	10.397	+0.241			
			..	242.2	15.044	242.27	1,871.6	15.017	-0.180			
			..	257.5	14.150	257.33	1,873.4	14.151	+0.007			
			..	233.6	15.597	233.36	1,872.2	15.595	-0.002			
6 KM-765 400MHz帯	昭和 41年 12月	晴	1,874.3	273.7	13.311	273.62	1,832.1	13.016	-2.21			
			..	351.0	10.380	350.89	1,869.4	10.356	-0.23			
			..	275.5	13.224	275.33	1,832.8	12.940	-2.15			
			..	346.1	10.527	346.11	1,878.8	10.552	+0.24			
			..	..	..	..	..	..	..			
7 ASM-2 3,000 MHz帯	昭和 42年 4月	晴	3,706.52	398.59	18.076	398.07	3,700.0	18.068	-0.044			
			..	204.75	17.594	206.18	1,871.2	17.641	+0.267			
			1,853.34	204.87	17.584	204.12	1,846.4	17.583	-0.006			
8 ASM-2 3,000 MHz帯	昭和 43年 6月	晴	5,632.2	646.7	16.929	646.72	5,631.8	16.927	-0.012	16.684	+0.006	#
			..	666.0	16.439	666.55	5,638.5	16.443	+0.024	16.685	0.000	
			..	629.9	17.381	629.99	5,632.1	17.378	-0.017	17.829		
			..	599.0	18.277	599.01	5,633.4	18.281	-0.022	17.829		

(つづく)

(つづき)

番 号 型 式 周波数帯	年月	天 候	標 柱 計 測			電 波 式 計 測			偏 差 (%)	平均速力 (knot)	偏 差 (%)	備考
			標柱間 距離(m)	時 間 (秒)	速 力 (knot)	時 間 (秒)	距 離 (m)	速 力 (knot)t				
9 ASM-2 3,000 MHz帯	昭和 43年 9月	曇	2,036.4	267.2	14.815	266.99	2,036.9	14.829	+0.094	15.453	+0.065	#
		..	..	246.0	16.091	246.05	2,037.4	16.097	+0.037	15.463		
		..	..	242.5	16.323	242.58	2,038.9	16.339	+0.098	15.667	+0.083	
		..	..	263.7	15.011	263.58	2,037.1	15.024	+0.087	15.681		
		..	..	218.7	18.100	218.69	2,037.2	18.109	+0.050	16.134	+0.056	#
		..	..	279.4	14.168	279.05	2,035.0	14.176	+0.056	16.143		
10 KM- 765 A 400MHz帯	昭和 43年 5月	晴	1,874.3	323.7	11.255	323.79	1,907.4	11.451	+1.74	11.855	+0.371	
		..	..	292.4	12.455	292.46	1,854.7	12.327	-1.03	11.889		
		..	..	292.8	12.443	292.67	1,898.1	12.607	+1.32	12.083	+0.463	
		..	..	310.8	11.722	310.76	1,865.9	11.671	-0.44	12.139		
11 ASM-3 400MHz	昭和 43年 10月	晴	1,853.183	272.7	13.210	272.82	1,849.0	13.174	-0.27	13.557	-0.22	
		..	..	259.1	13.903	259.15	1,850.3	13.879	-0.17	13.527		
		..	..	255.1	14.121	255.09	1,848.1	14.083	-0.27	14.411	-0.30	
		..	..	245.05	14.700	245.09	1,847.3	14.651	-0.33	14.367		
		..	..	249.0	14.467	248.93	1,850.6	14.451	-0.11	14.622	-0.10	
		..	..	243.8	14.776	243.87	1,852.0	14.762	-0.09	14.607		
13 ASM-3 400MHz	昭和 44年 4月	曇	1,874.3	202.03	18.034	201.82	1,872.1	18.031	-0.013	17.663	+0.074	
		..	..	210.70	17.292	210.59	1,876.5	17.321	+0.170	17.676		
		..	..	183.67	19.836	183.59	1,873.6	19.838	+0.006	19.535	+0.005	
		..	..	189.43	19.233	189.44	1,874.5	19.234	+0.005	19.536		
		..	..	182.77	19.934	182.80	1,878.0	19.970	+0.181	19.602	+0.122	
		..	..	189.07	19.270	189.13	1,876.0	19.281	+0.059	19.626		
14 ASM-2 3,000 MHz	昭和 44年 9月	晴	1,852.0	216.8	16.605	216.82	1,850.9	16.595	-0.054	16.667	-0.024	
		..	..	215.2	16.729	215.15	1,851.6	16.730	+0.006	16.663		
		..	..	176.2	20.431	176.32	1,851.4	20.412	-0.093	20.227	-0.044	
		..	..	179.8	20.022	179.71	1,850.7	20.023	+0.005	20.218		
		..	..	170.4	21.127	170.20	1,853.0	21.165	+0.180	20.676	+0.281	
		..	..	178.0	20.225	177.91	1,858.1	20.303	+0.386	20.734		
15 ASM-2 A 3,000 MHz	昭和 45年 6月	曇	1,852.0	300.00	12.000	300.44	1,849.7	11.968	-0.267	12.192	-0.107	#
		..	..	290.70	12.384	290.57	1,851.9	12.389	+0.040	12.179		#
		..	..	241.95	14.879	291.32	1,841.1	14.830	-0.330	14.992	-0.374	#
		..	..	238.35	15.104	238.78	1,847.7	15.042	-0.410	14.936		#
		..	..	224.40	16.043	224.65	1,849.4	16.003	-0.250	16.233	-0.468	
		..	..	219.20	16.423	219.13	1,838.6	16.310	-0.688	16.157		
	昭和 45年 11月	曇	1,855.5	306.13	11.782	306.22	1,860.0	11.807	+0.212	11.657	+0.130	
		..	..	312.74	11.531	312.69	1,854.8	11.536	+0.043	11.672		
		..	..	250.40	14.404	250.40	1,860.6	14.441	+0.257	14.246	-0.252	
		..	..	256.05	14.087	256.45	1,845.6	13.989	-0.702	14.210		
		..	..	228.10	15.812	228.05	1,858.0	15.837	+0.158	15.782	-0.222	#
		..	..	228.86	15.761	229.50	1,848.5	15.657	-0.660	15.747		#
16 ASM-2 A 3,000 MHz	昭和 47年 3月	曇	5,632.2	671.50	16.306	671.91	5,635.0	16.303	-0.012	15.816	-0.114	#
		..	..	714.43	15.326	714.90	5,621.6	16.293	-0.216	15.798		
		..	..	637.80	17.167	637.72	5,632.5	17.170	+0.018	16.342	-0.012	
		..	..	705.67	15.516	705.64	5,630.0	15.510	-0.039	16.340		
		..	..	630.40	17.368	630.45	5,633.0	17.370	+0.026	16.576	-0.097	
		..	..	693.70	15.784	693.84	5,621.3	15.750	-0.215	16.560		

(つづく)

(つづき)

番 号 型 式 周波数帯	年 月	天 候	標 柱 計 測			電 波 式 計 測			偏 差 (%)	平均速力 (knot)	偏 差 (%)	備 考
			標柱間 距離(m)	時 間 (秒)	速 力 (knot)	時 間 (秒)	距 離 (m)	速 力 (knot)				
17 AS311 400MHz	昭 和 48年 4月	晴	2,036.4	232.1	17.055	232.29	2,037.5	17.050	-0.029	15.907		
		..	..	268.2	14.759	267.97	2,032.1	14.741	-0.122	15.896	-0.069	
		..	..	219.0	18.077	218.84	2,031.0	18.040	-0.205	16.843		
		..	..	253.6	15.609	253.40	2,035.3	15.613	+0.026	16.827	-0.095	
		..	..	213.6	18.535	213.54	2,033.1	18.507	-0.151	17.581		
		..	..	238.1	16.627	237.99	2,033.5	16.609	-0.108	17.558	-0.131	
18 ASM2A 3,000 MHz	昭 和 48年 6月	曇	1,853.3	210.0	17.157	210.27	1,852.0	17.121	-0.210	16.661		#
		..	..	222.9	16.164	222.87	1,852.0	16.153	-0.068	16.637	-0.144	
		..	..	213.0	16.915	213.03	1,852.0	16.899	-0.095	16.507		
		..	..	223.8	16.099	224.17	1,852.0	16.059	-0.248	16.479	-0.170	
		..	1,853.2	205.6	17.518	205.57	1,852.0	17.512	-0.034	17.422		
		..	..	207.9	17.325	207.69	1,852.0	17.334	+0.052	17.423	+0.006	

注：(1) 平均速力の項で上の段は標柱によるもの、下の段は電波によるもの。

(2) 偏差は、標柱によるものを標準として計算。

(3) #印は時間のよみが0.2秒以上1秒未満の差のあるもの、##は1秒以上の差のあるもの。

(4) この表は生データであり、不採用となったものも含む。

り標準偏差の3倍以上もはなれているのでこれをのぞいて計算すると、 $\delta = -0.56\text{m} \pm 2.79\text{m}$ がえられる。

一方、KM型では δ はかなり大きく $(-2.2 \pm 22.5)\text{m}$ がえられる。

4.4 写真による精密標柱試験¹⁶⁾

電波式船舶速度測定装置と標柱試験の比較を行う場合、船舶局をおく船が大型であったり、あるいは陸上局の設置場所の関係で航走コースを標柱から2～3海里もはなれたところに設定することが少なくない。

通常、観測者は双眼鏡をもち、2本または3本の標柱が重なった時刻に合図するのである。標柱の前後の間隔は200～500m程度であり、数値は記入されていない。標柱によっては200m以下のところもある。かりに標柱前後間隔300mのところ、標柱から3Kmにコースを設定した場合、標柱の直径を25cmとすると、真の入(出)標時の2.5m手前で標柱が重なりはじめ、2.5mあとではなれるように見える。観測者はこの間において合図を発している。

この人間的要因をのぞき、時間計測の精度もあげることを目的として写真による精密標柱試験を試みた。これは同期撮影装置と数台の電動カメラをもち、

1台には望遠レンズを装着して標柱の望遠写真を、他の1台で水晶時計の表示を、またもう1台で電波式船舶速度測定装置の表示パネルを同時に撮影する。なお、船の位置をもとめるため他の3台で陸上物標を撮影した場合もある。カメラにはニコンFモータードライブをもち同期精度は1/100秒以内であった。

この装置により、入標時あるいは出標時の前後に数こまづつ1秒前後の間隔で撮影する。このようにして得られた同期写真からそれぞれの時刻と一定の率で引伸した印画紙上の標柱間隔とをよみとる。標柱を撮影したものの1例を図10に示す。

このようにしてえられた標柱間隔のよみとり値と時刻の関係の1例を図11に示す。間隔測定値と時間測定値から相関直線をもとめると、間隔測定値0に対する時刻すなわち入標時刻または出標時刻がもとめられる。図11の数値例にみられるように相関直線からの偏差は0.17秒程度と小さく、このことは船の速力の変動が小さいこと及び測定の精度のよいことを意味する。

このようにして入標時刻及び出標時刻を精密にもとめ、これと標柱間隔から人間誤差のほとんどはいらぬ精密標柱試験による速力をもとめることができる。一方、入標時刻近傍及び出標時刻近傍において、電波

表6 電波による速力計測値と標柱による速力計測値を、それぞれの計測時間が等しかったものとして補正したときの距離の偏差

標柱	番号	型 式	周波数	試験船	偏差△(各航走ごと, 単位: m)
淡路	1	メ ッ ク	低	小	-0.97, -0.88
淡路	2	ラジオログ	低	小	-0.93, +2.10
岩井袋	3	ASM-1	高	小	+4.02, +6.99, -2.44, -3.08, -2.02, -1.84, -1.41 -0.85, -4.04, -4.36, +1.09, -1.48, -1.54, +0.63 -2.36, +0.99
淡路	4	ASM-2	高	大	-4.20, +1.65, -5.45, -0.80, +0.12
家島	5	ASM-2	高	大	-0.32, +4.50, -3.37, +0.13, -0.04, +1.24
淡路	6	KM-765	低	小	-41.42, -4.31, -40.29, +4.50
岩井袋	7	ASM-2	高	大	-1.63, +4.94, -0.11
淡路	8	ASM-2	高	大	-0.68, +1.35, -0.95, -1.24
佐田岬	9	ASM-2	高	大	+1.90, +0.75, +1.99, +1.76, +1.04, +1.14
淡路	10	KM-765A	低	小	+32.61, -19.30, +24.74, -8.25
三重	11	ASM-3	低	大	-5.00, -3.15, -5.00, -6.10, +2.04, -1.58
淡路	13	ASM-3	低	大	-0.24, +3.15, +0.12, +0.10, +3.36, +1.09
茂辺地	14	ASM-2A	高	大	-1.19, +0.11, -1.72, +0.10, +3.33, +7.15
小野浦	15	ASM-2A	高	大	-4.94, +0.73, -6.11, -7.60, -4.12, -12.74
家島	15	ASM-2A	高	大	+3.96, +0.80, +2.92, -1.22, +4.80, -1.31
淡路	16	ASM-2A	高	大	-0.68, -12.17, +1.02, -2.20, +1.46, -1.21
佐田岬	17	AS311	低	大	-0.59, -2.45, -4.08, +0.53, -3.30, -2.20
岩井袋	18	ASM-2A	高	大	-3.91, -1.62, -1.76, -4.61, -0.63, +0.96

注：電波による測定の方が大きな速力値をえた場合の偏差を+とする。周波数で高は3,000MHz帯、低は160MHz帯または400MHz帯、船舶で大は3,000総トン以上、小は100~500総トン。

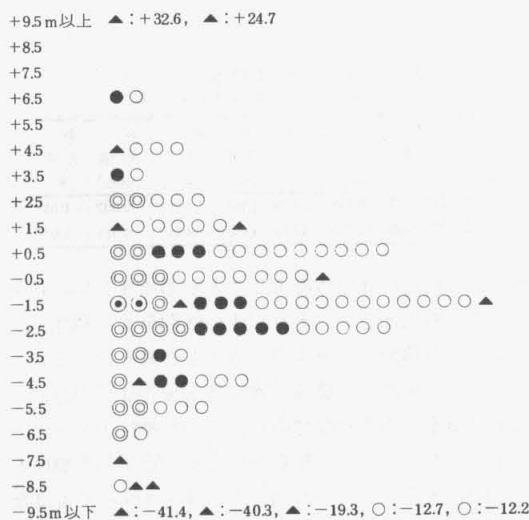


図9 標柱試験における出標時位置測定誤差と入標時の位置測定誤差の近似値

○はASM型3,000MHzの装置, ◎はASM型400MHz又は160MHzの装置, △はKM型400MHz又は160MHzの装置で, 中を黒くぬりつぶしたものは試験に小型船をもちいた場合をあらわす。

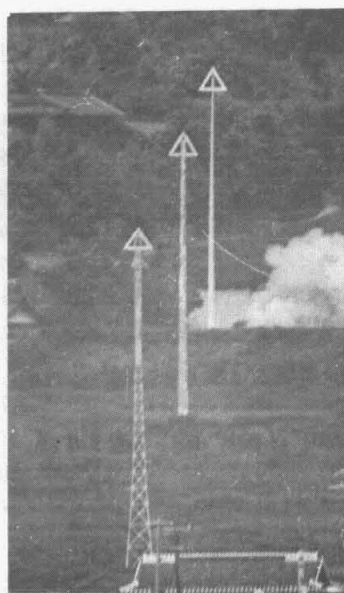


図10 船舶速力計測用標柱

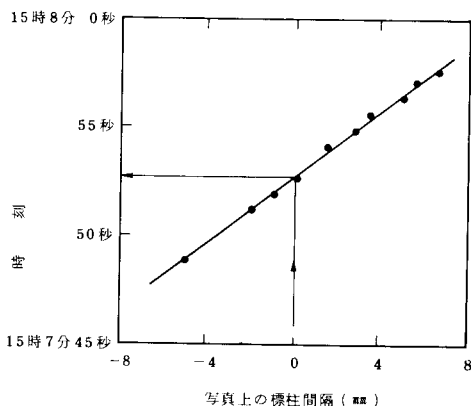


図11 写真による入(出)標時刻の精密測定例

昭和43年10月24日, 三重標柱, 標柱撮影は1,000mm望遠レンズ, 絞11, 露出1/250, 相関直線の式は $Y = 0.785X + 52.75$ 秒, 標準偏差0.17秒。データを下表にします。

間隔測定値 X (mm)	-5.0	-1.9	-1.0	0	+1.4	+2.7	+3.4	+5.0	+5.6	+6.5
時刻測定値 Y (sec)	48.93	51.04	51.80	52.53	54.06	54.81	55.57	56.37	57.12	57.82
相関直線からの偏差(sec)	+0.104	-0.219	-0.165	-0.220	+0.211	-0.059	+0.152	-0.304	-0.024	-0.031

式船舶速度測定装置の時刻計測値とそれに対応する航走距離が写真に記録されているので, 内挿法により標柱間航走時間に対応する航走距離をもとめることができる。ただし, 速力によく整定しているので入標時刻近傍の1組の記録と出標時刻近傍の1組から速力を計算しても小数点下2位(ノット単位)まで同じ数値がえられる。なお, 標柱の位置を航空測量などで測定しておく, ランニングフィクスの原理で標柱写真からも入標時あるいは出標時の標柱から船までの距離を10~20m程度の精度でもとめることができ, 4.3でのべた誤差の大きさをもとめることができる。

この種の写真をもちいた精密試験は表3中番号7, 10, 11でしめされた試験の際, 合計3回実施している。このうち, 例として番号11の試験(ASM-3型, 標柱間隔1,853.183m)の場合の結果を表7に示す。

ASM-3型の総合精度は先にのべた解析の結果, 1海里航走で0.03%程度(距離で0.5m程度)であり, 精密標柱試験によりかなりの程度まで比較試験ができることがわかる。しかし, 電波式装置の試験を行うためには標準となる速力試験法の速力測定精度は電波式

表7 写真による精密標柱試験と電波による船舶速度測定装置による試験の比較

写真による精密標柱試験			電波式速度試験			比較	
時間 (sec)	距離 (m)	速力 (knot)	時間 (sec)	距離 (m)	速力 (knot)	速力差 (knot)	比率 (%)
249.25	1853.183	14.453	248.93	1850.6	14.451	-0.002	-0.01
243.85	1853.183	14.773	243.87	1852.0	14.762	-0.011	-0.07

船速計の精度の3倍程度あることがのぞましい。したがって5海里あるいはそれ以上の区間をもつ標柱と, 写真による精密測定を併用することが考えられる。

一方, 目視による標柱試験の標準偏差は, 速力にして $+0.03 \pm 0.15\%$ 程度であり, しかも標柱とコースとの距離が大きくなると精度がおちる。陸上局と標柱との地理的關係でコースが標柱から3~4マイルもはなれなければならない時には写真による精密標柱試験が推奨される。

4.5 写真による短距離計測

標柱試験では1海里あるいはそれ以上の航走を行うこととしているが, 精度の高い電波式船舶速度測定装

置ではその数分の1でも所要の測定精度がえられるものと考えられる。たとえば速力試験の精度には0.3%程度を要求するのがふつうであり、このためには、システムの総合精度の比較的小さいASM-3型でも300m程度の航走で事足りるものと推定される。ここでは短距離航走における試験を写真計測で行った例について説明する。

図12のように船のコースに直角にカメラの光軸を向け、船首通過時と船尾通過時にそれぞれ数こまづつ撮影し、それと同時に水晶時計を撮影して時刻の記録をとる。写真による精密標柱試験と同様の操作・計算

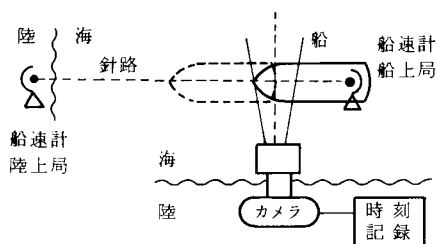


図12 短距離航走速力測定法

により写真画面上に設定した基準線に船首が到達してから船尾が通過するまでの時間をもとめることができる。一方、この場合の被試験船の長さの実測値は127.29mであり、この二つの値から速力をもとめることができる。一方、カメラ側と船側との記録の照合により、写真測定に対する時刻における電波式測定装置による速力測定値がえられる。ASM-2型(3,000MHz帯)の試験の際にこの両者を比較したが、差はわずか0.14%および0.12%と小さかった。これは距離に換算して20cm弱に相当する。装置の総合精度及びこの試験結果から考えて速力試験を行う際の計測用最小航走距離は、要求精度を0.3%とするとASM-2型で0.1海里、ASM-3型で0.5海里程度必要と考えられる。

4.6 使用可能範囲の測定

使用可能範囲は、電波の遠距離到達試験と海面反射による電界低下地点の調査の二つにわかれる。実用上の遠距離使用可能範囲は、船上局及び陸上局の空中線の高さと送信電力、最小受信電界強度によってほぼ定まり、現用の機器の通常の使用条件では電波の見通し距離が限度となるため、気象条件による電波の見通し距離(通常、光学的見通し距離よりやや大きい)の変化の影響を受ける。ただし、空中線の高さが大きくて見通し距離に到達する前に電界が最小受信電界強度よ

り下るときはその距離までとなる。試験にあたっては陸上局を通る直線コースを設定して航走し、断続的(1海里ごとがふつう)に速力、受信電界強度、受信波形等を観測する。機種により送信・受信測定波によってリサーチ波形が観測できるものもありそのみだれを監視することもある。

評価試験成績書にはこれらの観測値と、陸上試験の際にもとめた最小受信電界強度の値とを総合して判断し、気象状態が多少影響することも考慮にいれて最大使用距離を定めている。しかし最近の装置、特に400MHz帯の電波を用いるものにあっては限界は見通し距離、いかえるとアンテナの高さで制限されることになり、試験時の到達距離をもって最大使用距離と定めることは今後検討する必要がある。

直接波と海面によって反射された波とが干渉する地点附近では図13の例にみられるように電界強度が鋭いV字状の谷になって低下する。マイクロ波帯の電波を使用する場合はこの谷が陸上局からかなり遠方にまで分布するので(表2参照)まず $2h_1h_2/\lambda$ の近似式で見当をつけ、陸上局から最も遠い谷の位置を知ることがのぞましい。ただし、この谷の位置は $2h_1h_2/\lambda$ でもとめられる値より陸上局に近いところにあるため、試験航走区間をこれより遠く、かつ到達距離より近い範囲に設定すれば、これらの影響は、まれである。表8に到達試験実施の際の諸元と、 $2h_1h_2/\lambda$ の値及び光学的見通し距離等の値をしめす。

この表にみられるように、2例ではあるが $2h_1h_2/\lambda$ より10%ほど遠いところまで海面反射の影響がのこったケースがみられた。番号3の例では計算値の3倍の遠距離まで電界の異常低下が観測されているが、これは電源電圧変動による同調ずれなどによるものと解釈されている。到達距離の方は光学的見通し距離と同程度のものからその4割まし程度の場合までの例があるが、光学的見通し距離程度とみなす方が安全である。

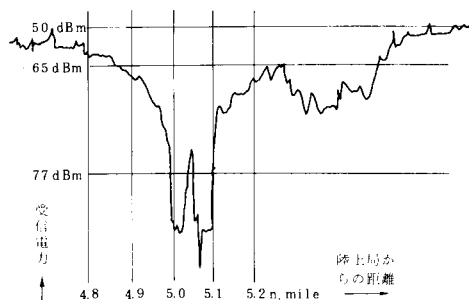


図13 海面反射との干渉による電界降下の観測例

表 8 電波式船舶速度測定装置の使用範囲の試験データ

番号	実施年月 (昭和)	天候と 波浪階級	周波数 (MHz)	アンテナ高(m)		電界低 下地点 (N.M.)	$2h_1h_2$ λ (N.M.)	アンテナ		到達 距離 (N.M.)	見通 距離 (N.M.)	最小受 信電力 (dBm)
				船舶局 h_2	陸上局 h_1			形状	出力 (W)			
1	39.12	晴 3～4	162.81 162.81	16	33	—	0.31	八木	7 10	19.5	20.2	26 dB μ V 37.5 #
2	39.12	晴 2	162.85 325.7	13	28	—	0.21 0.43	八木	22 15	26	18.4	0 dB μ V
				7.5	28	—				26	16.6	
3	40.7	晴 1	3,115 3,148	7.3	20	(4.8)	1.6	パラ ボラ	0.13 0.13	10	14.7	—74 —70
	40.10	晴 1～3		21	20	4.8	4.7			17	18.7	
4	41.6	曇 1	3,115 3,148	25.7	22	5.3	6.4	パラ				—84 —80
5	41.6	曇		25.7	29	6.8	8.4	ボラ		20	21.8	
	41.8	曇		11.9	20	2.7	2.9	パラ ボラ				—89
				25.3	44.7	11	12.7			22	24.1	—84
6	41.12	晴 0	421.5 449.6	13	26.3	—	0.54	八木	9.5			
										23	25.8	
7	42.3	雨1		21.5	16	3.3	3.9	パラ ボラ				—81
	42.4	晴0		25.8	18	4.2	5.2					—85
	42.4	曇1		20.7	16					20	17.9	
8	43.6	晴1		19.6	20	5.0	4.4	パラ ボラ		20	18.5	—81 —85
9	43.9	曇2	3,115 3,148	23.6	63	15	16.7	パラ ボラ	0.11 0.11	28	26.6	—78 —78
10	43.5	晴1		421.5 449.6	15	26	—	八木	12 10	20	18.7	10 dB μ V
11	43.10	晴0	421.5 449.0	30	85	—	4.0	八木	11.5 10.5	19*	30.6	—98 —98
12	44.4	曇3	421.5 449.0	28	81	—	3.5	八木	11.5	35	29.7	—98 —98
13	44.4	曇0	423.5	29	51	—	2.3	八木	8			8 dB μ V
	44.6	曇1	447.0	36	250	—	28		7	66*	45.3	10 dB μ V
14	44.9	晴0	3,115 3,148	15.3	28	5.3 #	4.8	パラ ボラ		22	19.1	—83 —83
15	45.6	晴2	3,115 3,148	19	40	5.5	8.5	パラ ボラ		23*	22.1	—87 —87
16	47.3		3,115 3,148	20	20	4.0	4.5	パラ ボラ	0.12 0.11	18	18.5	—85 —86
17	48.4	晴0	423.5 447.0	44.5	32	—	2.3	八木	9.5 8.9	31*	25.5	8.5 dB μ V 8.0 dB μ V
18	48.6	曇0	3,115 3,148	21	20	3.5	4.7	パラ ボラ	0.09 0.10	18*	26.6	—84 —86

- 注： (1) 周波数・アンテナ出力・最小受信電力は上段が船上局の、下段が陸上局の分である。
- (2) *印はここまで船を航走させたので、なお速方までとどくことができたと推定される。
- (3) #は電界が異常に低下した範囲が $2h_1h_2/\lambda$ よりも大きかった場合である。
- (4) 見通し距離は $2.078(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \cdots \cdots$ 式(2) $\cdots \cdots$ 光学的見通し距離を計算。
- (5) 回路のインピーダンスが 50Ω のとき 0 dB μ V は -107 dBm に相当する。

4.7 その他の事項

陸岸による反射及び他船の影響については3.8を参照されたい。しかし標柱との比較を行うのでなく、電波式の装置で速力を測定するのであれば、陸岸の影響をうけにくいコースを設定することはきわめて容易である。なお、大型船が電波の伝搬経路のうち海面に近い部分をよこぎり、あるいはコースに近くかつ平行して航行するような場所はさなければならぬ。しかし、中型船、小型船がコースを横断する場合などでは記録波形のみだれは小さく、内挿法によって容易に乱れの影響をとりのぞくことができる。受託試験成績書には、「波形の乱れた区間が全区間の1/100以下であり、かつその前後の波形が正常で、かつ船の速力に変化がなければ船が等速力で航走したとみなしてさしつかえない。この場合距離は記録紙からよみとるものとする」という条項をつけるようになってきた。この条項は非常に安全度をみたもので、1万総トン級の場合、たとえ1/200の間、瞬間的にフルアスターンに相当する外力をうけても上述の方法で補正をした誤差は0.015%をこえない。船の速力に変化があったとしても内挿法を用いれば二次の微小量となる。しかし現実には乱れの区間が小さい場合が大部分で上述の条項による補正で充分である。

装置の保守・信頼性については、年を追って改善されてはいるものの充分によいとはいえない。これまでの評価試験において海上試験のやりなおしが行われた割合は19件の試験中6回にのぼっている。このうち、陸上試験では発見されなかった程度の調整不十分が4回、取扱いに熟練していないためにおこる操作の不完全が2回、うちアンテナ系統の取扱いによるものが1回であった。装置の故障によるものは合計して5回であった。

速力試験後には記録紙が速力データの信頼性を証明する最も重要な資料となる。これには、通常時間計測パルスと距離計測パルス又は波形がペンオシログラフなどにより記録されている。時間計測のパルスは水晶発振周波数を分割して得られていて、これまでの試験では時間計測系統の故障はほとんど起っていない。しかし計測前にストップウォッチで正常動作を確認することはのぞましい。

距離計測のパルスはドブラ効果による測定波の位相の移動によってえられる。起りにくいことではあるが、計測用周波数がずれても記録紙のパルスには異常があらわれない。このほか位相分割回路の誤動作も考えら

れるので、装置にモニタを附属させることは信頼性向上のために最も望ましいことである。機種によっては装置全体の総合試験のできるシミュレータを附属させたものがあり、この意味できわめて有用である。数多くの記録紙を調査した経験によると、電界強度の不足や位相の乱れなど外部の原因による障害、あるいは装置の誤動作は必ず距離パルス間隔の不ぞろいとなってあらわれる。大型船の試運転においては速力の変動が2%をこえることはまれであり、3~4%をこえるパルスの不ぞろいがあれば計測の異常と考えて調査する必要がある。ただし他船の電波経路の横切や反射波の影響、あるいはサーボ機構のハンチングなどでパルス分布に局所的に粗密があらわれても、機種によっては、装置の表示と記録紙からよみとった値が一致することもしばしば経験している。新しい機種では位相記憶回路をもつものがあり、外部の短時間の障害の影響のぞき、距離計測が異常なく続行できるように改善されている。

5. む す び

電波式船舶速度測定装置について試験を依頼され、電子航法研究所で12件、船舶技術研究所で行われたものを加えると19件の試験が実施された。その結果、性能や取扱法に差異はあるが、いずれも試運転時の速力計測に適するものと判定された。

また、通常の1海里標柱試験におとらぬ精度をもち、注意しなければならない使用条件はあるものの活用できる範囲は標柱試験のそれにくらべて格段に広く、大型船・高速船の速度試験に多くを寄与しつつある。

なお、この装置の製造者にのぞむことは

(1) モニタのないものはこれを附属させ、装置の信頼性を向上させること。

(2) 部品の交換性などに配慮し、維持性・信頼性を向上させること。

(3) 固体化装置を開発して小型・軽量化をはかること 等がある。

また、当所に試験を依頼される造船会社等には

(1) 被試験船は大型船がのぞましい。

(2) 標柱間隔は1海里のほか2もしくは3海里がのぞましい。見通し線上の標柱間距離、すなわち海側の標柱から山側の標柱までの距離はなるべく大きいものをえらぶこと。

(3) 5・6・7月の霧の多発する季節を避け、かつ標柱とコースの間隔が小さくなるように陸上局をおくこと。

などに配慮されることを期待する。

今後、電子航法研究所では、試運転における速力測定に0.3%程度の精度が要求されていること⁸⁾を考慮し、やむをえない場合をのぞいて3往復以上の航走試験を実施し、0.4%以上の偏差がないこと、偏差の自乗平均が0.3%をこえないことをもって判定することとしたい。

これらの評価試験にあたり協力をえた製造者・造船所各位、また船舶技術研究所、電子航法研究所において評価試験を実施され、また本稿に対してご協力いただいた木村小一氏、西岡次氏、長岡政四氏、石橋寅雄氏、その他の各位に深く感謝します。

参考文献

- 1) ～7) 船舶技術研究所 受託試験成績書（非公表）…担当者名及び受託年度・番号は表3(P12)に示す。
- 8) 電波利用による試運転用船速・船位測定装置開発に関する調査、第89研究部会、造船研究Vol.8, P1～16(1966)
- 9) 海上交通事故の研究Ⅳ－明るさおよび視程の事故率におよぼす影響、藤井・山内、日本航海学会論文集、Vol.50 P21～28(1973)
- 10) 電波のドブラー効果を利用した船舶速度測定装置について、小谷・長谷川・渡辺・大井・金尾、川崎技報、Vol.20, P1～20(1959)
- 11) 船舶試運転への電波応用、木村小一、電波航法、No.8, P42～46(1966)
- 12) 極超短波のドブラー効果を利用した船舶速度計測装置、神戸工業株式会社、川崎重工業株式会社、船舶、Vol.40 No.7, P96～101(1967)
- 13) 電波を用いる新方式の船舶速度測定装置(MARSMEC-2)について、柴田幸次郎・春日井敬彦、船舶Vol.40 No.7, P90～95(1967)
- 14) レゾルバの特性の一測定法について、山内・水城、昭和45年電気四学会連合大会前刷集分冊No.31 P2857(1970)
- 15) 電波船速計(3,000MC)電波の海上伝搬について、長岡・山内・門野、第7回船舶技術研究所研究発表会講演概要P171～173(1966)
- 16) 電波式船速計評価における写真の応用、山内宏之、日本航海学会誌 Vol.44, P93～96(1970)

付 録

シンクロレゾルバの位相計測特性

本文の表1に示すように、ASM-3型、AS311型では搬送波は400MHz帯であるが、割当周波数が変わっても装置の計測部分に影響がないようにするため、変調波約750KHzの位相の移動量を計測している。送受信間の距離が変化しつつあるときは搬送波がドブラ偏位をうけると同時に変調波もドブラ偏位をうける。

変調波がドブラ効果をうけたときの送受信相対速力との関係や変化した距離との数量的関係は搬送波の場合と全く同様で、本文(1)式または(2)式の f に変調周波数を代入すれば求められる。

ASM-3型とAS311型では750KHzを計測用周波数として、これの位相変化を計測しているが、これによると、船の航走1メートルにつき 1.8° の位相変化量となる。この機種では位相の変化量を電気機械的なシンクロレゾルバをもちいてとりだしており、レゾルバの電気誤差特性がそのまま短距離計測のさいの精度を決定することになる。そこで、つぎにのべるような方法で試験を行った。

Ⅰ. 概 要

レゾルバの電気誤差特性を測定するには、これをある角度づつ回転して、そのときの角度に対する電気角を求め、機械角に対する電気角の偏差をとるのが一般的な方法であり、これによって静特性が得られる。電波によるドブラ式船速計の試験をする際には内部に組みこまれたレゾルバの実際の動作状態における特性をしらべなければならない、場合によっては短い時間でしかも精度を落さずに試験する必要もおこる。そこで同装置の他の試験の際に得られる数値をもちいて、ここから雑音に埋もれたレゾルバの特性を分離してとり出すことをこころみた。

Ⅱ. 原 理

大型船ないし巨大船が海上を航行しているときは、その巨大な慣性質量と比較的小さい推進力のために等速性が良好であるが、速力試運転においては内部、外部の条件が特に配慮されているので、極めてなめらかな等速運動をしているとみることができる。そこで、試運転のさいの船の等速性を利用して、レゾルバを等速回転させるような電気入力を与え、同一角度のときの偏差を多周期にわたっておのおの積算し、平均すると他の誤差は消去されて目的とする特性のみが残る。

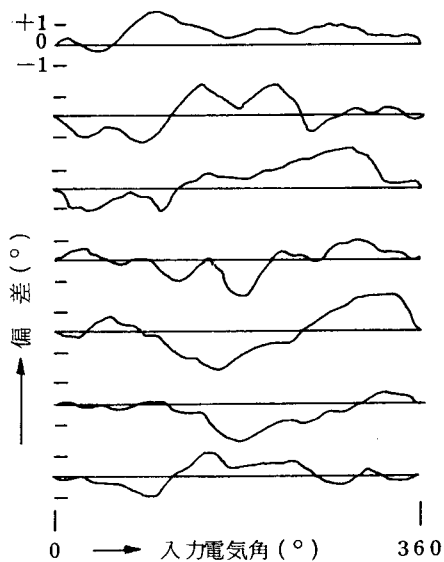
なお、レゾルバの回転に近い周期をもつ現象が入るとむつかしい問題がおこるが、レゾルバの回転が0.05回/秒および0.039回/秒の場合をとり、これらでは近い周期の他の現象が少いことを利用した。

iii. 試験の方法

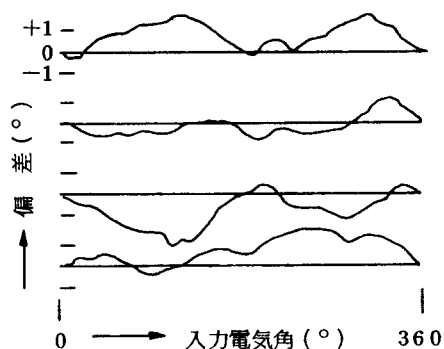
この機種ではレゾルバの1/2,000回転ごとに1個のパルスが出ており、これをペンオシロに記録し、またカウンタによって数字表示されるので、いずれを利用してよいが、多数の数値を処理するため、読みとりが簡単で誤差の入らない方法として、カウンタの表示を約1/45周期ごとに時刻とともに写真記録した。この時間対角度の関数を電子計算機に入れ、折線近似をもちい、角度対角度偏差の関数になおしてから1回転につき40点すなわち9°毎の偏差をとり、数周期にわたって同じ角度に対する偏差を積算し、周期の数で割って結果を得た。

iv. 試験の結果

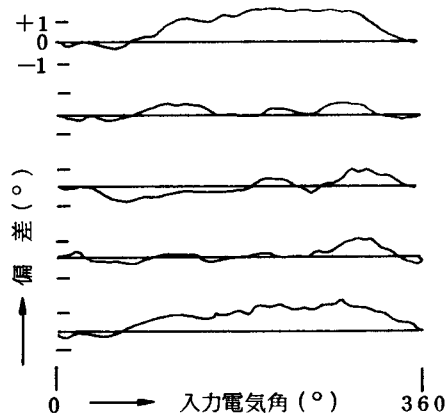
同じレゾルバを2種類の速度でまわして得られた3組の結果を付図1～3に示す。いずれもレゾルバ以外のものに起因するとおもわれる偏差を含んでいるが、数周期にわたって平均すると付図4のようによく似た曲線が得られ、偏差の最大値も揃っているのでレゾルバの特性のみが抽出されたものと考えられる。また、速度を変えても同様の特性曲線が得られるところから、



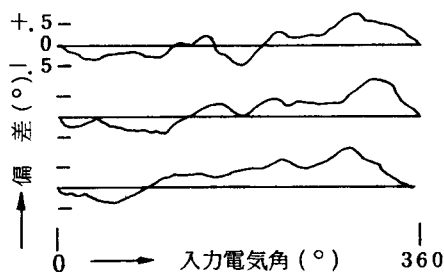
付図1 レゾルバを0.039回転/秒でまわしたときの7周期にわたる特性。



付図2 レゾルバを0.039回転/秒でまわしたときの、図5とは別の4周期にわたる特性。



付図3 レゾルバを0.05回転/秒でまわしたときの5周期にわたる特性。



付図4 上か付図1の平均、付図2の平均、付図3の平均をしめす。

レゾルバの周期に近いある特定の時間を周期とした雑音ないし誤差が外部から入りこんでいないことがわかる。

V. レゾルバ試験法の考察

以上の方法によれば、特別の測定器を用意することなく、また装置内部に手を加えることなしに、中に組みこまれたレゾルバの電気誤差の動特性をとりだすことができる。付図4にみられるようにこの場合の偏差の最大値は $+0.8^\circ$ 位であり、これから生ずる距離測定誤差は最悪の場合 -0.4° の偏差をもつ角度でスタートし、 $+0.8^\circ$ の偏差をもつ角度で計測終了した場合また

はこの逆) 0.7m 程度である。原理的に当然のことであるが、レゾルバの整数回転に相当する距離たとえばこの機種では 200m またはその倍数の距離を計測する場合にはレゾルバの誤差からは計測値に誤差を生ずることはない。

さらに付図1～付図3のような数周期にわたる特性曲線から付図4のようなレゾルバの特性とみられる曲線を差し引くことによって、他の未知の現象すなわち雑音ないしハンティングなどをとりだすてがかりとすることもできよう。