VTR を利用した離着岸操船の計測法

原 潔* 井上 欣三**

A Method for Measuring the Movement of a Ship Berthing or
Clearing a Berth by Video System Equiped on Shore

Kiyoshi HARA and Kinzo INOUE

Abstract

Authors proposed a method for measuring the maneuvering elements of a ship at handlings for berthing or clearing a berth by means of a video system equiped on shore.

The trajectory, velocity vector and heading angle of a ship under way were derived from the two kinds of data, one the vertical and horizontal lengths of parts of a ship on TV picture recorded by a video tape recorder, the other the precise direction of TV camera. The measured values of the elements by VTR system at the actual maneuvers were compared with those by such nautical instruments as radar, log and gyro compass, and their agreements were found practically to be good.

1. 序 論

離着岸操船は従来より経験によってつちかわれた勘をもとにして、その時の操船環境に応じて臨機の制御動作を行なわれてきたが、船舶の巨大化および船種の多様化にともなって、操船者が操船を行う前に「操船設計」を事前に数量的に行なう必要が生じてきた。ここでいう「操船設計」とは、実時間または距離をベースに、操船目的に応じて船の運動要素を決めて、それに必要な制御力を決めることを言うことにする。この操船設計を行なうために、船自身および曳船等を含めた制御力と船の運動の力学的な関係については従来さまざまな研究がされてきた。しかし、「操船設計」の具体的な設計目標とでもいうべき操船環境と速度ベクトル（船の速度および進行方向）の基準については、操船環境があまりに多様であることと、船に乗り込んで運動要素を観測することが時間的、経済的に困難なこともあって、いくつかの Case study はあるものの、一般化した形での議論はあまりされていない。

この論文では、実際の離着岸操船における船の速度ベクトルを決定するための資料を得るため、陸上からの観測で容易に多数例を収集できる計測方法を提案したい。これは VTR (Video Tape Recorder) を利用して、T.V 画面上の船の縦横の長さから船位、進行方向、速力および船の針路を決定しようとするもので、レーダ観測、船上観測を併用した実船実験の結果によると、実用的には利用可能な計測システムであることがわかった。

2. 計測システム

2.1 計測原理

VTRは映像と音声を同時に記録でき、時間を容易に画面に入れられるのでデータの一元化がしやすい。また、ポータブル式なので持ち運び、設営が容易で、人手が少なくすむ等の野外観測を行なう上での利点がある。図1に示すように、ビデオカメラから Dm にある船を焦点距離 f のレンズでVTR録画して再生したTV画面上で、船の縦方向の実長 Hm が hmm になったとすると、

$$\frac{h}{H} \left(\frac{(mm)}{m} \right) = g(d, f) \\ = a \cdot D^b$$

$$\text{または} \quad \log h = a + b \log D + \log H \quad \dots\dots(1)$$

* 正会員, 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

** 正会員, 富山商船高等専門学校(新湊市海老江練合1-2)

の関係がある。ここに a , b は使用する VTR システムの特性によって決まる定数である。一方、船の水平方向の実長 1 m が何 mm にみえるかは、図 1 に示すように、(1) 式で決まる距離 D 、船の針路 ψ およびビデオカメラの向き、 α の関数である。

$$S\left(\frac{mm}{m}\right) = g_2(D, \psi, \alpha) \quad \dots\dots(2)$$

したがって、船の各部の寸法は一般配置図などによってわかるから、原理的には高さ $H\text{ m}$ のものが TV 画面上で $h\text{ mm}$ にみえると、(1) 式より測定点から船までの距離が求められ、これとカメラの向き α との 2 本の位置の線によって船位の決定ができる。つまり、図 1 で AB と $A'B'$ のなす角を γ_i とすると

船首尾線方向の場合

$$\psi = 90^\circ - (\alpha + \gamma_i)$$

正横方向の場合

$$\psi = \alpha - \gamma_s$$

$$\left. \begin{array}{l} \psi = 90^\circ - (\alpha + \gamma_i) \\ \psi = \alpha - \gamma_s \end{array} \right\} \dots\dots(3)$$

の関係があり、船首尾線がカメラのレンズ面と平行 ($\gamma_i = 0$) ならば $AB = l$ にみえるものが、傾いているために $A'B' = l'$ に映るときには、

$$\gamma_i = \cos^{-1}(l'/l)$$

同様に正横方向については、

$$\gamma_s = \cos^{-1}(s'/s)$$

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_i = \cos^{-1}(l'/l) \\ \gamma_s = \cos^{-1}(s'/s) \end{array} \right\} \dots\dots(4)$$

であるから、(3)、(4) 式より ψ を決定することができる。

2.2 計測装置および計測方法

何回かの実船計測を通じて、計測システムは図 2 で示すように、船舶動態撮影装置、カメラ方位角観測装置および観測データ処理装置の 3 つの部分から構成された。VTR は設営の容易なポータブル式とし、ビデオカメラには焦点距離を増すためにエクステンダーを使用し、その焦点距離を 30 mm から 300 mm までの可変とし、11 インチのモニターテレビを見ながら撮影した。カメラの方位角は定電圧装置を通して、カメラ下部に取り付けたポテンショメータの電圧変化を表示するデジタル電圧計を、もう一台のビデオカメラで撮影して、ビデオカメラスイッチャーを使って船の映像といっしょに画面を重ね合せた。一方時刻の表示は、ビデオタイマーを使用して、時、分、秒、 $\frac{1}{10}$ 秒まで同一画面に表示したので、船の映像とカメラの方位角は同時再生ができ、ビデオレコーダーのスティルボタンにより途中で映像を停止できるので、任意の時刻における映像を読み取ることができる。

計測はモニターテレビの画面をみながら行なったが、ここで ψ の測定をより正確にするため、計測対象部分ができるだけ画面の中央になるように、船までの距離に対応して Zoom を種々変えて撮影した。また(4)式で l, s が既知で l', s' を読み取って γ を求めるのであるから、 l', s' の γ による変化率が大きいほどそれらを正確に読みとれるので、

$$\left| \frac{\partial l'}{\partial \gamma_i} \right| = l \sin \gamma_i \quad \left| \frac{\partial s'}{\partial \gamma_s} \right| = l_s \sin \gamma_s \quad \dots\dots(5)$$

をできるだけ大きくするように対象物標を選ぶべきである。つまり γ_i, γ_s が 45° より大きくなる場合をとる。その基準は図 1 および(3)式より明らかになるように、カメラの光軸と対象物のなす角を $C.A$ とすると、

$0 < C.A < 45^\circ$ 船首尾線方向の物標

$45^\circ < C.A < 90^\circ$ 正横方向の物標

図 1 計測原理

を選べば、(5)式をできるだけ大きくできる。

2.3 解析方法

使用したVTRの歪みを調べるため、正方形の図型を撮影してその歪み具合を調べた結果、画面の縁を除けば彎曲した歪みは少なく、縦横比の修正が必要なことがわかった。これは走査線間隔が変わるため、それを一定に保つため、使用したテレビではコントラスト以外の調整用ノブを一定として、次のべるキャリブレーションを実施した時と同じ状態であることを確認した後読取りを開始した。また、テレビ画面の中心（カメラのZoomを変えても不動の点）および各Zoomにおける視野の測定があらはじめ行なわれた。実長とテレビ画面の大きさの関係を知るため、キャリブレーションカーブを作成した。これは1kmまで見通せる直線道路上の高層建物とその道路と直角の防波堤に印された距離マークを目標にして、縦方向、横方向について25mおきに750mまで読み取り、それをもとに最小二乗法でそれぞれの回帰曲線を求めた。その結果、使用したVTRシステムでは(1)式の a 、 b は縦方向の物標に対しては $a=9.5296$ $b=-0.9925$ 、横方向の物標に対しては $a=9.6124$ $b=-1.0020$ となった。

映像の寸法読取りは、19インチ型モニターテレビ画面上で透明な2枚のスケールを重ねたものを使って視差をなくするようにして読取り、同時に光軸からの横方向の隔りを測り、カメラの向きを修正するために使用した。

計測対象を画面中央にもってくるように撮影しても、対象物が常に画面中央にあるとは限らないので、これを修正する必要がある。図3に示すように、画面の中心（カメラの向き）が基準線から α を向き、さらに対象物が画面中心から $\Delta\alpha_1$ 離れて $C_1 D_1$ の計測対象があり、光軸とそれが一致する場合には $C_1 D_1$ は重なって映る。また $\Delta\alpha_2$ 離れてある $C_2 D_2$ の物標は $\alpha + \Delta\alpha_2$ の光軸と垂直な面で $C'_2 D'_2$ に見える。(3)、(4)式で r_s を $\angle C_2 O_2 C'_2$ 、 α を $\alpha + \Delta\alpha_2$ とおきかえると、両式はそのまま成立するから、画面中心から離れた計測対象物は画面中心から隔りを読み取って、各焦点距離における視野と隔りの関係から隔りを角度に換算してカメラの方位角 α を修正した。

解析は、テレビ画面より Δt 秒ごと、船体の上部構造物の縦方向の長さ、横方向の長さおよび計測対象の画面中心よりの隔りの3つの要素を読み取って、それを同一対象物（たとえば船橋中央）に換算して船位を求めた。

この計測システムでは、人間が画面を読み取った値をもとにしているため、得られた航跡から直接、船速、船の進行方向といった運動要素を決定すると、観測誤差（主としてテレビ画面の読み取り誤差）がそのまま影響するので、地球上に固定した直角座標系 $x-y$ で時刻 t における船位を $(x(t), y(t))$ で表現し、次のような多項式で近似してFairingを行なった。

$$\begin{aligned} x(t) &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_5 t^5 \\ y(t) &= b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_5 t^5 \end{aligned} \quad \dots (6)$$

ここに、 a_i 、 b_j ($i, j=1, 2, \dots, 5$) は定数で、 t と $x(t)$ 、 $y(t)$ が与えられているので再小二乗法で決定することができる。(6)よりこの計測システムのもう1つの目的である速度ベクトル (V_x, V_y) 、つまり速力 $V(t)$

BLOCK 1

船舶動態撮影装置

CANON TVズームレンズ (V10 15)
CANON レンズ エクステンダー (2 A)
SONY ビデオ カメラ (AVC-3500)
SONY ビデオ モニター (CVM-3500)

映像情報・音声情報

カメラ方位角信号

BLOCK 2

カメラ方位角観測装置

ポテンシオメーター (CP-4M)
METRONIX 定電圧装置 (MODEL 524B)
YOKOGAWA デジタル電圧計 (TYPE 2502)
SONY ビデオ カメラ (AVC-3500)

カメラ方位情報

BLOCK 3

観測データ総合処理装置

SONY ビデオ コーダー (AV-3500)
HOEI ビデオ タイマー (VTG-33)
SONY カメラ スイッチャー (CMS-100)
SONY ビデオ モニター (CVM-3500)
SONY カメラ アダプター (CMA-2) x 2
SONY ACパワー アダプター (AC-3500)

図2 計測装置

図3 計測対象の方位修正

および進行方向 $\theta(t)$ はそれぞれ次の式で計算できる。

$$V(t) = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \quad \dots\dots(7)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left(\frac{dy/dt}{dx/dt} \right) \quad \dots\dots(8)$$

計測対象のテレビ画面上の読み取り値と実長およびその船上の位置を Input する図4に示すごとく、航跡図の決定まで一連の計算プログラムで処理して解析時間の短縮をはかった。

3. VTRシステムによる計測例と計測精度

3.1 計測例

このVTRシステムによる計測精度を調べるために、この方式による計測結果と船位については、従来から航跡計測に使われてきたレーダと同時計測し、また運動要素については、船上の航海計器による計測結果と比較検討した。実船計測は、神戸商船大学所属の小型練習船深江丸（G.T.370トン）が着岸する時に3回にわたって行なった。陸上に設置された船用センチ波レーダ（東京計器製MR-120）を使い、15秒間隔でレーダ画面を写真撮影して、それを拡大投影して船位を求めた。図5の中で楕円形で示されるのが船位であり、一方O点にVTRシステムを設置して、2で述べた方法で計測し、Fairing をしないで求めた深江丸の船橋前面の位置および方位線である。右の最上部に深江丸が海図と同じ縮尺で示されている。減速しながらボンド入口をかわって、船体を停止させた後、船尾を巻き込み船首をバウスラスターで寄せている状況もはっきりと認めることができる。両方の船位を比べると、レーダの場合は映像が船の向きによってこの計測結果によると、船首尾方向で1.5~1.8倍、正横方向が1.7~3倍に拡大されているため、船の位置が決めにくい。VTRシステムによる船位がレーダ船位の中にあることから、この方式は実用的にも近距離の船位決定上有効な方式であることを示している。

一方、運動要素のうち速力はこの計測システムを使って求めた航跡を(6)式

図4 データ処理の手順

図5 航跡の計測精度

図6 速力の計測精度

で Fairing をして求めたのが図6の中の点線であり、実船が船上で電磁ログによって計測した船速である。両者の間にはほぼ一定の対応関係がみられるが、VTRシステムによるものがやや大きくなっているのは電磁ログそのものが低速で精度が悪くなるのと、図1に示すように、操舵によって drift angle が生じるが、電磁ログが船首線方向以外の流れに対して指向性をもつため、旋回中は速力を小さく示す傾向がある等のためと考えられる。船の進行方向は、(8)を使って求めたのが図7の中の点線であり、実線は船上の Gyro Compass によって計測した船の方位である。この両者の違いは、図5に示すように、左へ旋回中の船は、drift angle をもつので、船の針路の方が進行方向より大きくなるものと考えられるし、両者の差が誤差を考えなければ一応 drift angle ということになる。

図8はこの方法を一般船へ適用した例であり、東神戸フェリーセンター第三バースにG.T. 6000 t 型のフェリーが離岸操船中の航跡で、図はフェリーの船橋前面を丸印で示し、VTRシステムで計測した針路と船位をもとに、長さと幅を縮尺に合せて模型的に船型が示されている。

この時、船上においては、Gyro Compass を10秒ごとに連続撮影して針路を計測し、VTR システムでもとめた針路と比較したのが図8である。いずれの場合もその差はほぼ $\pm 3^\circ$ 以下であり、針路の測定がかなり正確にできており、このことは(3)式で示されるごとく、針路の決定がカメラからの距離 D および方位 α にも依存しているのであるから、船位の測定も正確であることを間接的に示している。

3.2 計測結果の精度

このVTRシステムによって計測された航跡、運動要素は当然誤差を含むけれども、その最大の原因は、テレビ画面の読み取り上の誤差に基く距離の誤差である。今、 Hm の計測対象を計測場所から Dm 離れて計測した画面を読み取ったとき、計測される距離 D におよぼす誤差 ΔD のオーダーは次のようになる。(1)式を書きかえると

$$\log D = \frac{1}{b} (\log h - \log H - \log a)$$

となる。ここで a, b, H は h とは無関係であるから両辺を h で微分すると、

$$\frac{1}{D} \frac{dD}{dh} = \frac{1}{d} \frac{1}{h}$$

となる。 $b \div -1$ なので結局

$$\frac{\Delta D}{D} \div -\frac{\Delta h}{h}$$

となる。つまりテレビ画面の読み取り値に占める誤差の割合と距離に含まれる誤差の割合が等しいことになる。今回のVTRシステムでは計測対象は約40mm程度であり、1mmの読み取り誤差つまり2.5%の誤差があると、測定した距離にも少なくとも2.5%の誤差を含むことになる。

一方、もう一本の位置の線であるカメラ方位の測定上の誤差は、方位の測定をポテンショメータとデジタル電圧計の組合せによって行ない、その上テレビ画面上で計測対象の画面中心からのズレを修正したもので 0.1° 以下のオーダーの精度で測定できている。したがってその誤差量は距離 D の約0.2%のオーダーであり、実用上は無視できる範囲である。以上を通じて、このVTRシステムは操船上の運動要素の決定という見地か

図7 船の進行方向の計測結果

図8 航跡の計測例(6000t型フェリー離岸操船)

らは十分実用性をもつ計測方法といえる。したがって、このシステムによって多数例の離着岸例を計測して、数量的に解析すれば、実証的な操船基準の作成が可能といえる。

4 結 論

離着岸操船の操船基準を求めるための陸上からの航跡計測法として、VTRを中心とした計測処理システムを提案し、次のような成果をあげた。

- (1) 船位の計測は、VTRによるテレビ画面と方位測定から、計測点からの距離の数パーセントの精度でできる。
- (2) 針路の決定は、船位およびテレビ画面を使って $\pm 3^\circ$ 程度以下の誤差で測定できる。
- (3) 船位を時間で多項近似して、速力を0.5ノット以下で求めることができ、また、船の進行方向も推定できる。

本研究にあたり、実船計測時に御協力いただいた本学練習船深江丸乗組員、東神戸フェリーセンターおよび各フェリー船社、フェリー乗組員の各位に謝意を表する。また、本研究には山本技官および卒業研究として、昭和49年度平子宣弘君、大西潜君、昭和49年度益田善之君、八木誠君が協力された。

質疑応答

川島利兵衛：航跡を求めるのに5次式によるFairingをしておりますが“この場合は……”と述べられている意味はなんですか。

原 潔：特別な意味はなく、主として計算機の容量とこの程度の次数で通常の航跡は十分近似出来るためです。

剣持 庸一：1. a , b の係数およびzoom lenseの f との関係について、 a , b は f の関数になっていませんか？ f も画面にSuperposeして記録しておいた方がよくはないでしょうか。

2. 再生画面からデータを計測するのはどうするのですか？ 測定誤差を軽減するにはどのような工夫をしていますか？ 計算機にdirectにinputすることを検討しているのでしょうか？

3. どのくらいの距離まで有効な測定システムですか？

原 潔：1. 各Zoomで別々にキャリブレーションを行い、 a , b を決めた後に像の大きさは基準のZoomにおけるものに換算しています。したがって a , b は f に直接は関係していません。また f をSuperpose出来ると便利だと思えますが、今回はZoomを300mm, 150mm, ……、というように四種のものに使いわけ、変えるたびに音声で画面にメモしました。

2. 透明なスケールを1cm程間隔をあけて二枚重ねにしたものを作り、視差をなくするようにして読取りました。計算機に直接入れることは経費の点で今は考えておりませんがライトペン等がほしいです。

3. 読取り誤差はほぼ同じ程度の誤差を測定距離に与えます。普通に読取って $\pm 2\sim 3\%$ の誤差がありますので、1マイル離れて ± 50 m程度と考えます。有効な測定距離は測定結果の利用目的にも関係すると思います。

久々宮 久： $x(+) = \sum_{i=1}^n a_i t^{i-1}$, $y(+) = \sum_{i=1}^n b_i t^{i-1}$ において a_i , b_i を決定するとき、回帰計算に使用したデータ数 n はどの位ですか？

原 潔：図6を求めるのに使った航跡は10秒ごとに求めた船位23点から求めました。

図9 回頭角の計測精度