錨泊中の実船の振れ回り軌跡について

藤井 照久*・橋本 進*・大本 直宏*・松原 昭一*
 岡辺 光邦*・古荘 雅生*・新井 康夫**

On the Ship's Movement Lying at Anchor in Rough Weather

Teruhisa FUJII, Susumu HASHIMOTO, Naohiro OMOTO,
 Shoichi MATSUBARA, Mitsukuni OKABE,
 Masao FURUSHO and Yasuo ARAI

Abstract

While a vessel is lying at her anchorage, it is a factor of great importance to reduce her swing movement so as to prevent dragging her anchor. For purpose of keeping away this danger, some basic steps, such as dropping her another anchor and using her main engine, are taken timely to meet existing condition.

This report is intended to investigate the accurate way to control her in rough weather. The Doppler Docking Sonar equipped on the Training Ship "HOKUTO MARU" (5856.25 G.T., Turbine Engine 7000 PS 1) was combined with the gyro compass and the computer system. They were worked to make experiments on tracing her swing movement and getting some unique data.

ま え が き

錨泊中の船の振れ回りについては、すでに模型実験も実施され研究されてきている^{(1),(2)}。

しかし、実船実験となるとその方法、精度等問題点が多く、未だに実現をみていない。

今回、練習船北斗丸（総トン数 5856.25 トン、主機タービン 1 基 7000 PS）に装備した「ドプラードッキングソナー」（以下 DD ソナー）を使用して、錨泊中の船体運動の軌跡を記録させ、また船の振れ回り中の機関の使用についても実験を行ったので報告する。

1. 実 験

1.1 供試船及び実験場所

本実験は、運輸省航海訓練所所属練習船北斗丸を使用して、昭和 54 年 1 月 13 日から 4 日間にわたって行われた。北斗丸主要目は表 1 に示す通りである。また、実験場所は渥美湾姫島西方 2 マイルの海域で水深は 15 m、底質は泥であった。実験期間中、波高 0.5~1 m の風浪が観測された。

表 1 供試船主要目

<i>LoA</i>	124.84 m
<i>LPP</i>	115.00 m
<i>B</i>	17.00 m
<i>D</i>	10.50 m
Gross Tonnage	5,856.25 tons
Disp. Full Load	6,912.9 tons
Light Load	3,661.1 tons
Main Engine (Turbine)	7,000 PS
Anchor Stockless Anchor	J.N.R. Type 3.455 tons
Chain	56 mmφ 250 m 72.8 kg/m

* 正会員 運輸省航海訓練所（千代田区霞ヶ関 2-1-3）

** 正会員 古野電気株式会社（西宮市芦原町 9-52）

図 1 測定系統図

1.2 実験装置の概要

実験の測定系統図は図 1, また測定機器の構成は表 2 の通りである。装置は, DD ソナーからの 2 方向 (前後及び左右方向) の対地速度と, ジャイロコンパスからの船首方位のデータを演算処理し, プロッタに移動位置を 15 秒間隔で記録させるもので, 用いられた計算式は, 図 2 を基に次のものである。

表 2 測定機器

DD ソナー	FURUNO	MF 110 DS
ジャイロコンパス	"	STANDARD 6
AD コンバータ	"	AD-10 A
制御演算部	"	FSN-130 R
表示部	"	FSN-120 A
プリンタ	"	FR-21 E
プロッタ	WATANABE	WX-4351 R

$$A_n = K \Delta t \sum_{i=1}^n (v_{yi} \cos \theta_i - v_{xi} \sin \theta_i)$$

$$B_n = K \Delta t \sum_{i=1}^n (v_{yi} \sin \theta_i + v_{xi} \cos \theta_i)$$

ここで, データの読込間隔は 3 秒とし,

A_n : 南北方向への $n \times 3$ 秒後の移動距離

B_n : 東西方向への $n \times 3$ 秒後の移動距離

v_{yi} : $i \times 3$ 秒後の前後方向速度 (k't)

v_{xi} : $i \times 3$ 秒後の左右方向速度 (k't)

θ_i : $i \times 3$ 秒後の船首方位 (deg)

Δt : 3 秒

K : 縮尺, $v_x v_y$ の単位換算及び Δt により決まる定数

である。

本実験は微小速度を対象とするため, DD ソナーの零点のずれに起因するものと考えられるドリフト現象の補正を行った。

図 3 は大縮尺で長時間 (18 時間) プロットした結果で, A 点は投錨位置, B 点は抜錨位置を示す。AB 間の

図 2 船体運動プロットの前後左右方向速度

図 3 18 時間計測結果

距離は 0.189 海里で、18 時間でのドリフトと考えると、0.011 ノットの速力ドリフトとなる。計測中の風向変化は北西季節風下で少なかったため、図 4 のように計測中の船首方位を平均化したものを Y 方向とし、ドリフトを船首尾方向と左右方向とに分解した。図 4 より、18 時間でのドリフト量は X 方向 0.17 海里、 Y 方向 0.08 海里で、速度に換算すると X 方向では 0.009 ノット (0.29 m/min)、 Y 方向では 0.004 ノット (0.14 m/min) であった。

図 4 船体ドリフトの分解

図 5 計測中の位置変化

さらに、図 5 は計測中の位置の変化を南北、東西方向別にプロットしたものであるが、潮流等による影響はみられなかった。ただし、AB 点のずれについては計測器上の記録であり実測値ではない。

このドリフトの補正は、DD ソナーと制御演算部の間で、 v_x, v_y のデータに対して加えられた。

1.3 実験の種類と内容

実験は次の 4 種類について行った。

① 単錨泊振れ回り運動

左舷錨 (5 節水中) を使用中の振れ回り軌跡を求めるもので、錨泊の基礎となるデータを求める。

② 振れ止め錨使用時の振れ回り運動

振れ止め錨の効果を見るため、左舷錨 6 節水中で錨泊中、右舷錨 1 節水中まで投下しその軌跡の変化を調べる。

③ 船首トリム時の単錨泊振れ回り運動

船体コンディションの変化による影響を調べるため、トリムを船首 0.82 m として振れ回り軌跡を描かせる。(錨鎖は右舷錨 5 節水中。)

④ 単錨泊中の機関の使用

新しい試みとして、機関を後進に低速で連続使用して錨鎖に加わる張力の均一化と振れ回りの変化を調べる。

各実験の中から 1 例ずつ選び、1 分毎に真風向、真風速を記録したのが図 6 である。

図 6 風向風速の変化傾向

2. 実験の結果及び考察

計測結果をまとめるため、座標軸を次のように設定した。

各周期毎に振れ回り運動をとらえるため、1 周期の間の平均風向を求め、この方向での最大振れ幅の垂直二等分線を求めてこれを X 軸とする。次に X 軸方向の最大振れ幅を求め、この垂直二等分線を Y 軸とした。すなわち平均風向と錨鎖線とが一致するものと仮定するならば、 X 成分は錨鎖線に対して左右方向、 Y 成分は前後方向の動きを表わす。これは錨鎖線を Y 軸に設定する事が困難なためである。

図 7 左舷錨 5 節水中の振れ回り運動

図 8 (a) 単錨泊振れ回り運動モデル軌跡

図 8 (b) 単錨泊振れ回りパターン

図 9 単錨泊振れ回り運動振れ回り角度

図 10 振れ止め錨使用時の振れ回り運動

2.1 実験の結果

2.1.1 単錨泊振れ回り運動

図 7 は左舷錨鎖 5 節水中 (錨鎖 1 節 25 m, 錨孔から海面までは 7 m) で行った振れ回り運動 4 例を, 同一座標軸上に描いたものである。これら全部で 8 例から単錨泊振れ回りの軌跡をモデル化したのが図 8 (a) 及び 8 (b) である。(各軌跡のデータは表 3 のとおりである。)

表 3 単錨泊振れ回り運動軌跡結果

実験	振れ回り幅 (X 方向)	振れ回り幅 (Y 方向)	周期
1	71.1 m	29.0 m	13 分
2	69.1	23.8	13
3	68.1	26.8	14
4	70.2	28.7	13
5	69.1	25.5	13
6	74.5	28.5	14
7	75.2	25.3	13
8	74.8	24.0	14
平均	71.5 m	26.5 m	13.4 分

図 8 (a), 8 (b) によれば, 船は矢印に示す順序にやや変形した 8 の字運動を行う。また, 運動の両端において船体は風に立ち, その後風を受ける舷を変えて落とされていくというパターンを示した。平均風向を錨鎖線と仮定するならば, 錨鎖線延長上を通過するころ, 船首尾線と平均風向とのなす角度 (以下, 振れ回り角度と呼ぶ) は最大となる。

毎分における振れ回り角度をプロットした図 9 によると, 最大角度は右舷側で 37 度, 左舷側で 24 度と左右対称にならなかった。実験では左舷錨を使用していたので, 振れ回り角度は錨使用舷側に小さく, 反対舷側に大きかった。

なお, この実験中の平均風向は 311 度, 平均風速は 12.2 m/s, トリムは船尾 1.14 m であった。

2.1.2 振れ止め錨使用時の振れ回り運動

振れ止め錨の効果を調べるため, 錨鎖 1 節水中として求めた軌跡が図 10 である。各軌跡の結果は表 4 に示す。

表 4 振れ止め錨使用時の振れ回り軌跡結果

実験	振れ回り幅 (X 方向)	振れ回り幅 (Y 方向)	周期
1	56.1 m	21.0 m	13 分
2	41.1	19.0	9
3	40.0	15.0	9

図 10 の破線の部分が振れ止め錨使用時のものであるが, 振れ止め錨の効果が十分みられる。2.1.1 の単錨泊と比較すると, 振れ回り幅は, X, Y 方向ともに約半分にまで減った。また周期も

短くなって単錨泊の約 $2/3$ となった。

図 11 は振れ回り角度をプロットしたものであるが、振れ止め錨投下後は右舷側は 20 度、左舷側は 25 度となった。図 9 と比較すると、振れ止め錨投下舷の振れ回り角度が大きく抑制されているのがわかる。

なおこの実験中の平均風向は 289 度、平均風速は 13.7 m/s、トリムは船尾 1.16 m であった。

2.1.3 船首トリム時の単錨泊振れ回り運動

清水タンクの水をシフトして船体コンディションを変え、船首トリムとして実験したのが図 12 及び表 5 である。この時の喫水は船首 5.04 m、船尾 4.22 m でトリムは船首 0.82 m であった。

図 12 トリム B/H 時の単錨泊振れ回り軌跡

表 5 トリム B/H 時の単錨泊振れ回り軌跡結果

実験	振れ回り幅 (X 方向)	振れ回り幅 (Y 方向)	周期
1	65.6 m	27.6 m	14 分
2	59.5	21.5	14
平均	62.6 m	24.6 m	14 分

この結果を通常トリム (2.1.1 ではトリムは船尾 1.14 m) の場合と比較すると、振れ回り幅では X 方向で 12.5% 減、 Y 方向で 7.4% 減と目立った差はなく、周期は全く同じであった。図 13 の振れ回り角度は使用錨が反対舷のため逆であるが、右舷側 25 度、左舷側 30 度と大きな変化はなかった。

なおこの実験中の平均風向は 274 度、平均風速は 12.2 m/s であった。

図 13 トリム B/H 時の振れ回り角度

図 14 主機後進使用時の運動軌跡

2.1.4 単錨泊中の機関の使用

錨鎖に加わる張力を均一化し振れ回りを抑制する目的で、主機を後進低速使用したときの軌跡が図 14 である。この実験は左舷錨 5 節水中、平均風速 9.9 m/s、トリムは船尾 1.06 m、主機回転数 25 rpm で行った。

図 14 から明らかなように、振れ回り幅 (X 方向) は主機使用開始時から 39.7 m、13.9 m、10.9 m と減少し 4.5 m まで減った。風下方向 (Y 方向) には約 36 m 下がった。さらに図 14 中の船首方位矢印が示すように主機使用開始後約 12 分で船体はほとんど風に立ったままの状態となった。周期は 9 分、7 分、7 分と減少し、以後周期は計測不可能なほど小さくなった。主機使用中、船首部での観測では、錨鎖と垂線との角度は終始約 30 度を保っていた。

図 15 主機後進使用時の振れ回り角度

まず、図 8 (b) で操船者は実船の振れ回りパターンを知った。さらに本船の相対的な運動を観察することにより、振れ回り軌跡上の本船の位置を容易に知ることができる。これにより錨鎖の張力の変化も予想でき、また振れ止め錨投下の時機も正確に把握できる。つまり図 8 (b) からわかるように、左舷錨による錨泊中では最も右に移動した時投下すればよい。すなわち、左舷から風を受けて右に船体が移動して徐々に船首尾線が風向と一致した時に投下すると錨鎖が撓むことが少ない。

振れ止め錨については現在最も一般的に用いられている守錨法であるが、図 10 で明らかなように非常に効果的に振れ回り幅は半減している。しかし、この場合でもかなり不規則な振れ回り運動を続けており、Shock load の面から考えると問題が残る。最適な振れ止め錨鎖長が求められれば、荒天守錨の危険性は大幅に減少されるであろう。

トリム変化による守錨法は従来から荒天守錨法の 1 つにあげられているが、今回の実験ではその効果はほとんどなかった。横水圧中心の移動量が少なかったからと推察されるが、プロペラの浸水率の点から荒天時には一般的には不向きであろう。効果の生ずるトリム量を知るのが今後の課題である。

錨鎖への Shock load の緩和のために主機も使用される。主機の前進使用はタイミングをとるのが困難で、場合によってはかえって過大な張力を錨鎖に与えてしまう危険性がある。また機関の後進使用の有効性については、すでに参考文献⁽³⁾で指摘されているが、今回の実験では振れ回りを抑制し錨鎖への張力を一定にする目的で、主機（タービン）の特色を生かして低速で後進使用した。図 14 で明らかなように、一連の実験中最も効果的に振れ回り運動を抑制している。この方法は、Shock load の解消という点で非常に有効であるが、主機の推力が船体受風圧力に加算されるという危険を伴う。ただ船が風に立った状態では、受風圧面積の減少のために風圧力は減少する。本船において正船首から風をうける場合、及び船首 30 度から風をうける場合について風速 10 m/s で略算すると、前者は 1.3 トン、後者は 3.7 トンと約 1/3 に減少する。また参考文献⁽²⁾によれば、模型船実験では Shock load は正面風圧力の 4~5 倍程度はあることから、本船の場合の Shock load は風速 10 m/s では 5~6 トンにもなることが考えられる。ところが後進機関の使用によって振れ回りを抑制し、この Shock load をできるだけ少なくすることも可能となったので、有効な最小後進推力（回転数）を各風速別に求め、必要となる把駐力及びそれに適した主機の使用時機を把握してその標準を設定することができれば、有効な荒天錨泊法の 1 つとなるであろう。

3. 実験結果と模型実験との比較

単錨泊の振れ回り運動の重心軌跡は、文献⁽²⁾による模型実験では概ね左右対称でやや扁平な傾向を示したが、本実験では図 16 のように左右非対称で前後方向への移動量が大きかった。しかし船体の移動のしかたは同じであった。

Shock load のかかる時機は文献⁽²⁾によれば船が風に立っておち、反対舷におとされて行く時あらわれているが、実船においても図 8 (b) のように軌跡の両端、すなわち船が風に立ってから風におとされた後、再び切り上がろうとする時点で現われる様である。DD ソナーでは v_y （前後方向速度）が後方から前方へ切りかわる直前なので容易に

図 15 は振れ回り角度を記録したものであるが 25 rpm（後進の最大回転数 85 rpm）での変化は著しい。20 rpm ではほとんど振れ回り運動に関して影響はみられない。ちなみに、主機後進推力を計算すると 20 rpm で 1.225 トン、25 rpm で 1.913 トンである。

2.2 実験結果の考察

今回の一連の実験によって、初めて実船の振れ回り運動を把握することができた。この結果は操船者にとって必要な種々のデータを与えてくれる。

図 16 単錨泊振れ回り運動の重心軌跡

判断できる。

文献⁽²⁾の模型実験で観測された船首トリムによる振れ回り運動の減少は、今回の実験では顕著にはみられなかった。これは風速の差（模型実験の半分以下）、トリムの不足等に影響されると思われるが今後の課題である。

文献⁽²⁾の振れ止め錨の模型実験では、振れ止め錨鎖長は $1.5Y$ (Y は錨孔から海底までの垂直距離) より $1.25Y$ が適当とされている。今回の実験では錨鎖長は $1.45Y$ であったが、結果的には図 10 で示されるように振れ止め錨の遊びのためと思われる軌跡の乱れがみられた。しかし振れ止め錨の効果は十分認められた。

主機の使用については文献⁽³⁾の予測どおりの結果となり、2.2 で述べたように利用方法によっては有効な荒天錨泊法の 1 つとなる。

ま と め

本実験は従来実船実験が困難であった振れ回り軌跡を、DD ソナーのデータから求めてみたものである。この結果、次のことがわかった。

- (1) 実船の単錨泊振れ回り軌跡は湾曲した 8 の字型である。
- (2) 相対運動（特に風との）の観測により振れ回り軌跡上における船の位置がわかり、振れ止め錨投下時機等の判断が容易となった。
- (3) 振れ止め錨の効果は大きい。
- (4) 船首トリムでの効果はほとんどみられなかった。
- (5) 主機の後進使用による振れ回りの抑制効果は非常に大きい。

以上の実船実験結果は、今まで行われてきた模型による荒天錨泊の実験結果と概ね一致している。本実験によって実船での振れ回りの実態を把握することができたので、今後はその応用について実船実験を繰り返し、有効な荒天錨泊法を探りたい。

最後に御指導をいただいた東京商船大学鞠谷宏士教授、久々宮久教授及び実験に協力いただいた北斗丸乗組員に深く感謝します。

参 考 文 献

- (1) 橋本・市原： 単錨泊中の振れ回りについて，日本航海学会誌第 11 号
- (2) 東船大 船舶運航研究所： 荒天錨泊法に関する実験研究（三島型貨物船について）
- (3) 橋本： 荒天錨泊中に於ける機関使用について，航海訓練所調査研究時報第 12 号