アプローチ操船時の速力低減ガイドラインに関する研究

井上 欣三*・瀬田 広明**・増田 憲司***

Guidelines for Speed Reduction in Berthing Manoeuvre

Kinzo INOUE, Hiroaki SETA and Kenji MASUDA

Abstract

A questionnaire survey was carried out to investigate the pilot's intention of speed reduction standards in berthing manoeuvre. Target ships were VLCC, LNG, PCC and container vessel. Pilots' perception of safety was objectively analyzed based on these data by introducing a concept of safety margin. It became clear that pilots usually adjust the ship's speed as the ship can come to a stop safely by using dead-slow astern engine. In the present paper, guidelines for speed-reduction in berthing manoeuvre were proposed on the basis of this analysis. Furthermore, this guideline was verified from the operational aspect whether unexpected hull movement will arise or not when astern thrust was used. A head-way speed in a recommendable area in this guideline was reasonable from both viewpoint of perception of safety and operational safety.

1. はじめに

港内や港外のバースに速力を低減しながらアプローチする操船は操船の最終段階として操船者が最も緊張する局面である。バースまでの残り距離に応じて徐々に速力を減じ、バース前面でオーバーランさせることなく安定な姿勢を保ちながら停止させることがここでの操船目標になっている⁽¹⁾。このとき、過大な行脚を自船の強いアスターン推力でプレーキングしようとする、ディスチャージカレントの船尾側圧作用により船首回頭が顕著に現れる。一旦この船首回頭が発達すると低速時の舵効低下とあいまって船の姿勢制御は困難に陥る。

このように行脚制御と姿勢制御の二律相反のもとで船の安定を取り戻すのが容易でなくなる状態を『船が暴れる』と形容される。操船者にとって『船を暴れさせる』ことは事故への一里塚としてよくよく戒められなければならないが、操船のプロとしての水先人による実践の場では『船が暴れる』ような状態を作り出さないように行脚を調整することが

バースへのアプローチ操船の前提になっている。

バースへのアプローチの過程において、操船者は、自船の大きさ、載貨状態、運動慣性、操縦性能、外力影響、タグ能力などを勘案しながら、船の進路と姿勢を安定な状態に保ちつつバース前面で停止できるように慎重に行脚を調整する。このようなバースへのアプローチ操船に際し、操船者はそれぞれ自らの経験に則した判断基準のもとで培った行脚調整の目安をもっている。

本研究では、バースへのアプローチ操船に豊富な経験を有する水先人に対し、このような個々の水先人が常々心掛けている速力低減の目安についてアンケート調査し、アンケート結果から導かれた水先人の行脚調整パターンがどれほどの安全性のレベルにあるかを『安全余裕の概念』⁽²⁾を導入して分析した。さらに、航行中の船舶が後進推力を使用することによって生じる船体運動の分析を行い、これらの分析を基に、操船者の経験と安全余裕面および船の運動面からみて調和のとれたバース接近時の行脚調整のためのガイドラインを提示する。

* 正会員 神戸商船大学 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

** 正会員 鳥羽商船高等専門学校 (〒517-8501 三重県鳥羽市池上町1-1)

*** 正会員 海技大学校 (〒659-0026 兵庫県芦屋市西藏町12-24)

2. 水先人による行脚調整の目安

水先人は、バースへのアプローチ操船の実践に際し、船体をバース前面で停止させるように徐々に行脚をおとしていくための速力低減計画を事前に立て

バースへのアプローチ操船および着岸操船における 残存速力の設定基準に関するアンケート調査 (1)

港湾域におけるバースへのアプローチ操船ならびにバースへの横移動操船において、バースまでのどのくらいの距離ではどのくらいの速力を目安にするように心掛けておられますか。ご自身の計画速力を別図にご記入ください。外力影響は無く、アプローチ経路には他船等のディスタース要因は無いものとします。

条件設定			
自船は VLCC とします。			
まず、回答対象とするVLCCの要目を、日ごろの操船経験から決めてください。			
万DWT型VLCC			
長さ	m	幅	m
平均喫水	m	タグの隻数	隻
タグを取る位置			
記入方法 タグを取る位置にタグの隻数だけ①、②のように船の周囲に番号を付けて下さい。そして、タグラインを取るか取らないかを、□内にチェックして下さい。		① ライン ☐ とる ☐ とらない ② ライン ☐ とる ☐ とらない ③ ライン ☐ とる ☐ とらない ④ ライン ☐ とる ☐ とらない ⑤ ライン ☐ とる ☐ とらない ⑥ ライン ☐ とる ☐ とらない	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 50px; margin-right: 10px;"></div> <div> VLCC アプローチ </div> </div>			

図1 アンケート用紙 (VLCCの例)

る。水先人は、これまでの経験に照らしてそれぞれに行脚調整の目安をもっている。この行脚調整についての速力低減計画に関する操船者の意識を調査することを目的に、国内の各水先人会に協力を依頼しアンケート調査を行った。

調査に当たっては、対象船種をVLCC、コンテナ船、PCC、LNG船の4船種とした。図1は、VLCCに関するアンケート用紙の例を示しているが、このようなアンケート用紙を各船種ごとに用意した。回答数は、VLCCについては249人の水先人から(回収率40.3%)、コンテナ船は256人(回収率40.2%)、PCCは280人(回収率48.4%)、LNG船は242人(回収率39.1%)の水先人から貴重なデータが寄せられた。ここで、回収率は当該船種を扱う水先区の水先人総数を分母として計算したものである。

図2は、VLCCに関して得られた各水先人の速力低減計画の回答を重ね描きしたものであり、図3は、これらの回答の分布をヒストグラムで示している。大まかには、3マイル手前で6~7kt、2マイル手前で5~6kt、1マイル手前で3~4kt、1/2マイル手前で2~3kt、1L手前で1~2ktが平均的な行脚調整の目安となっているようである。

なお、アンケート調査では、回答者が回答に当たり想定する船の要目をまず最初に記入する方式としたが、回答者の多くは類似のタイプの船を想定した。

図2 水先人による速力低減計画 (VLCC)

図3 速力低減計画の回答のばらつき (VLCC)

そこで、大多数の回答者が想定した船のタイプを最も代表する船型として、ここでは表1に示すような要目の代表船を選定した。後の分析に必要な計算等は表1に示した船を対象に行う。

表1 対象船舶の主要目

船種	状態	Lpp	B	Draft
25万DWT型VLCC	半載	324.00m	58.00m	16.00m
3500TEUコンテナ船	満載	230.00m	32.20m	12.49m
13万7千m ³ 型LNG	満載	283.00m	45.75m	10.95m
3500台積PCC	満載	170.00m	32.20m	8.80m

3. 安全余裕度 (Safety Margin) の概念

周辺に障害物が何も無いオープン水域に建設されたシーバースや、港内の深奥部に設置されたバースなど、個々にバースの立地条件は異なり、それに伴って発生が予想される事故の種類や事故の発生態様は異なる。ここでは扱いを単純にして、オーバーランしたら必ず事故が発生するものとする。つまり、バース前方には護岸や浅瀬があると想定し、それらとの衝突や乗り揚げをアプローチ操船に潜む危険の対象と考え、そして、停止予定点を越えてオーバーランすることをアプローチ操船における危険の顕在化(事故)と考える。

安全と危険は隣り合わせとよくいわれるが、安全とは危険の無い状態、危険とは安全でない状態と禅問答のような説明をよく聞く。しかし、安全から危険に移り行く状態を連続的に捕らえればこの難しい説明も理解が進む。すなわち、事故の可能性がほとんど無い十分安全な状態をものさしの左端に置き、安全ではあるが авар 事故寸前という状態を同じものさしの中央に置くと、そのものさしの中央を少し右側に踏み越えたところはもはや危険顕在(事故)の領域である。単純に見れば、ものさしの中央から左側は安全、中央から右側は危険なのであり、その境目が危険と安全の隣り合わせの場所なのである。

いま、ものさしの左側の安全側の領域に目を向けてみると、そのものさしの最も左端は事故の可能性がほとんど無い十分余裕のある安全レベルの状態に位置し、ものさしの中央付近は事故には至らないもののギリギリの余裕しかない安全レベルの状態にあたる。このように考えれば、ものさしの左端から中央に近づくにつれて安全に対する余裕は減少し、ものさしの中央は安全な状態ではあるがそこを一步越えると事故に至るという意味で、安全ではあるが

図4 安全余裕度の概念

安全に対する余裕がゼロの状態と言える。

このように、安全側の領域において、危険と安全が隣り合う限界点を基準に、危険顕在(事故)までの余裕の程度を数値指標で表わす考え方を、ここでは、安全余裕度 (Safety Margin) の概念として導入する。

この安全余裕度 (Safety Margin) の概念をバースへのアプローチ操船に適用すると、『バースにアプローチする船がブレーキをかけると、その船はどれほどの距離航走し、停止予定点の手前どれほどの距離を残して停止できるかに着目し、もし、停止予定点の十分手前で停止できるならその時の安全余裕度は大きく、停止予定点ギリギリのところまで航走してしまうようならその時の安全余裕度は小さい』と考えることになる。

具体的には、図4に示すように、バースまでの距離Dの地点で、行脚Vを持つ船が一定のブレーキ力のもとで停止予定点の手前Aの距離まで航走して停止できたとすると、このときの行脚のもとでの安全余裕度は次式で計算される。

$$\text{安全余裕度}(R) = (A) / (D)$$

A：船体が停止した点から停止予定点までの残り距離

D：現在位置から停止予定点までの距離

安全余裕度は0と1の間の数値で表される。安全余裕度の値が1の場合は、制動開始後即座に停止することを意味し、最大の余裕がある状態と判定する。また、安全余裕度の値が0の場合は、制動後ちょうど停止予定点まで航走して停止する状態であり、この時の安全に対する余裕はゼロと判定する。

安全余裕度を求める上でパラメータとなるのは船の持つブレーキ力である。ブレーキ力は本船主機によるアスターン推力だけでなくタグボートによるブレーキ力も考えられるが、ここでは、タグボートは主にアプローチ操船中の本船の姿勢制御に使用する

ことを想定し、また、いざというときの事故回避のための制御力の余力として温存するものとする。したがって、安全余裕度を計算するためのブレーキ力としては、本船主機のアスターン推力のみを考える。

本船主機によるブレーキ力は、Full、Half、Slow、D. Slowの4種類のアスターン推力を考える。表1にその主要目を示した4種類の船を神戸商船大学の操船シミュレータに再現し、Full、Half、Slow、D. Slowのアスターン推力でブレーキをかけたとき安全余裕度がちょうどゼロとなる条件を各船種ごとに求めた。

図5は、25万DWT型VLCCにおいて安全余裕度がゼロとなる条件を、バースまでの残り距離を横軸に、その時の残存速力を縦軸にとって、実曲線で示している。なお、図5には、すでに図2に示したアンケート調査から得られた各水先人の速力低減計画の回答を重ね描きしている。図5を見て分かるように、ほとんどの操船者はD. Slow Ast. のブレーキ力でも、それでも停止予定点よりも手前で停止できるような十分な安全余裕を見積もった速力低減計画を立てていることが分かる。

図5 速力低減計画と安全余裕度の関係 (VLCC)

4. 速力低減計画の安全余裕面からの分析

図6(a)は、図5に重ね描きしたVLCCに関する各水先人の速力低減計画の回答分布から平均値(μ)と標準偏差(σ)を求め、 $\mu \pm 1\sigma$ の範囲で水先人の速力低減計画の回答分布を代表させて表現したものである。平均値を実線で、 $\pm 1\sigma$ の範囲を点線で示している。なお、この回答の分布については別途行った正規確率紙での検定により正規性が確認されているので、平均値を中心とする点線の範囲内には全体のほぼ2/3の回答が含まれることになる。

また、図6(b)、図6(c)、図6(d)は、コンテナ船、PCC、LNG船のそれぞれの船種に関する各水先人の速力低減計画の回答分布の平均値を実線で、

平均値を中心とする $\pm 1\sigma$ の範囲を点線で示している。これらの各船種についても全体の2/3の回答がこの範囲に含まれるとみてよい。なお、これらの図にも、図6(a)と同じように、Full、Half、Slow、D. Slowのアスターン推力でブレーキをかけたとき安全余裕度がちょうどゼロとなる条件を求めた結果も併せて示している。

図6(a)～(d)を見ると、バースにアプローチする際の速力低減計画に関する水先人の意識は、VLCC、コンテナ船、PCC、LNG船のいずれの船種についても、D. Slow Ast. をかければ、それでも停止予定点より十分手前で停止できるような、大きな安全余裕を見積もったものであることが分かる。

ところで、ここに言う大きな安全余裕とは一体どれほどの大きさであろうか、それを数値指標で明らかにするために、これら各船種に関する速力低減計画の水先人の意識がどれほどの安全余裕度の値に対応するかを計算してみた。その結果、図6(a)～(d)に示した $\mu \pm 1\sigma$ の範囲は、どの船種についても、概して言えばD. Slow Ast. をかければ停止目標点までの残り距離の30～60%の距離を余して停止できる

図6 (a) 回答平均値と安全余裕度の関係 (VLCC)

図6 (b) 回答平均値と安全余裕度の関係 (コンテナ船)

図 6 (c) 回答平均値と安全余裕度の関係 (PCC)

図 6 (d) 回答平均値と安全余裕度の関係 (LNG船)

ような安全余裕の条件に対応することが判明した。すなわち、D. Slow Ast. のブレーキ力の前提でほぼ安全余裕度0.3~0.6の値に対応する。

5. アプローチ操船速力低減ガイドライン

バースへのアプローチ操船においては、バースに接近するにつれてバースまでの残り距離に応じて徐々に行脚を減じ、バース前面でオーバーランさせることなく船体を停止させなければならない。水先人へのアンケート調査によれば、多くの水先人が永年の経験を経て蓄積した速力低減のための操船基準は、安全余裕の概念に基づく定量評価の面からみれば、D. Slow Ast. のブレーキ力の前提で0.3~0.6の安全余裕度の範囲にあることが明らかになった。水先人によるこのような安全余裕の見積りは、船を『暴れさせない』ための配慮を含んだ貴重なノウハウにほかならない。

そこで、このノウハウの重要性を活かしつつ、かつ、客観的数値指標を用いた安全余裕度の考え方と対応をとりながら、アプローチ操船において常に確固たる判断のもとで行脚の調整が可能となるよう

図 7 (a) アプローチ操船時の速力低減ガイドライン (VLCC)

図 7 (b) アプローチ操船時の速力低減ガイドライン (コンテナ船、PCC、LNG 船の3船種統一)

な、速力低減のための実用的ガイドラインの策定を試みた。

図 7 (a) はVLCCのアプローチ操船に関するガイドラインを、図 7 (b) はコンテナ船、PCC、LNG船の3船種を統一したガイドラインをダイアグラムで示したものである。このダイアグラムを策定するにあたっての基本的なコンセプトは以下のとおりである。

(1) available速力域

D. Slowのアスターン推力でブレーキをかけたとき安全余裕度がちょうどゼロとなる条件を示す曲線より下側の速力領域は、すべて基本的にはavailable速力域とした。水先人による速力低減計画の回答はすべてこの範囲内にあった。これは船を暴れさせないためにはこの範囲内での行脚調整が望ましいとの水先人の経験則である。

(2) recommendable速力域

available速力域のなかでも、安全余裕度0.3~0.6の範囲には全体の2/3の水先人の回答が含まれている。この範囲の回答はいわば水先人の標準的意識が対応していると考えられる。多くの水先人の回答がこの範囲に集中していることは、おそらく水先人の永年の経験から、この速力域が最も船を暴れさせる

恐れがなく、かつ、実用的とみていると推察される。その意味から、ここでは、この速力領域をrecommendable速力域とした。

ただし、available速力域のなかで、D. Slow Ast.のブレーキ力的前提で安全余裕度が0.0~0.3の範囲には、速力低減計画をやや大胆に設定する水先人の回答が含まれ、一方、D. Slow Ast.のブレーキ力的前提で安全余裕度が0.6より下側の速力範囲には、速力低減計画をかなり慎重側で設定する水先人の回答が含まれている。recommendable速力域を挟むこれらの両速力域は、availableではあるがrecommendableではないと位置付けることとした。

(3) red color速力域

ダイヤグラムにおいて、最も左に位置する曲線はFull Ast. 推力をブレーキ力とする時に安全余裕ゼロとなるような条件を示している。今、バスへのアプローチ過程において、この曲線よりもさらに左側にプロットされるような残存速力がある場合を考えると、そのときは、船体はFull Ast. の推力をもってしても停止目標点を超えてオーバーランしてしまうことを意味している。したがって、このような速力域は通常使用すべきでなく、この速力域にはいは強い注意喚起が必要との判断からred color速力域とした。

(4) amber color速力域

red color速力域とavailable速力域の間の速力域は、Slow Ast. や Half Ast. やFull Ast. のブレーキ力を使用すれば物理的には停止目標点の手前で止まれる状態にある。しかしながら、水先人による速力低減計画の回答がこの範囲内に設定されることはほとんどなかった。このことは、この速力においてブレーキをかけると船が暴れる恐れありとの判断にたつものであろうと推察される。その意味から、この速力域は要注意との判断からamber color速力域とした。

6. 後進推力使用時の船体運動

前進航行中の船舶が後進推力を使用したとき、初期段階においては前進慣性力を持つ船体はそのまま直進を続け、時間の経過と共にプロペラ放出流による船尾側圧作用が顕著となり、船首回頭が発達してくる。つまり、後進機関を使用してから回頭が始まるまでには時間的な遅れがある。

そこで、直進をしつづける時間と回頭が始まったときの回頭角速度の大きさを、表1に要目を示した4種類の船を対象に、神戸商船大学の操船シミュレータを用いた実験により調査した。船舶の初期速

力を10、8、6、5、3、2ktの6種類に設定し、Full、Half、Slow、D. Slowの4種類のアスターン推力でブレーキをかけたときの回頭が始まるまでの時間と回頭が始まったときの回頭角速度を解析した。

図8には、VLCCが6ktで前進航行中にHalf ast.を使用したときからの船首方位の時間変化を示して

図8 後進発令後の船首方位の時間変化 (VLCC, 6kt, Half ast.)

図9 (a) 回頭開始までの直進時間 (VLCC)

図9 (b) 初期回頭角速度 (VLCC)

いる。ここで近似的に回頭角の時間変化曲線への漸近線と横軸との交点を回頭開始とすると、原点 0 からこの交点までが回頭開始までの直進時間となる。またこの漸近線の傾斜は、回頭が始まったときの初期回頭角速度を示している。この場合、模式的には約 1 分間回頭を伴わずに直進し、回頭を始めると約 5 deg/min の回頭角速度で旋回するとみることができる。

図 9 (a) には、VLCC が任意の前進速力において

図10 回頭開始までの直進時間と初期回頭角速度との関係 (VLCC)

後進推力を使用したときの直進時間を示している。初期速力が高いほど直進時間が長く、後進推力が高いほど直進時間は短くなるという傾向が見られる。図 9 (b) には、回頭が始まった場合の回頭角速度の大きさを示している。回頭角速度は、速力と後進推力の大きさに比例して大きくなることわかる。なお、この傾向は他の船種でも同様である。

図10は、横軸に回頭が始まるまでの直進時間を、縦軸に回頭が始まったときの回頭角速度をとり、その上にVLCCに関する実験結果から得られた直進時間と回頭角速度の組み合わせをプロットしたものである。なお、図10のプロット範囲は横軸は3分まで、縦軸は 6 deg/min までとした。これは、後進をかけても 3 分以上直進し続ける状態は、その間に船の姿勢制御は対応できると考え、一方、回頭が始まったときに、6 deg/min 以上の回頭角速度で回る状態は船の姿勢制御に困難を強いられると考えたからである⁽³⁾。なお、8 kt および 10 kt のデータはこの範囲からはみ出すのでプロットはない。

ここで、図10において、後進をかけると短時間内に回頭が始まり、そのとき生まれる回頭角速度が大きいときは、船体姿勢の制御に困難を伴い、逆に、後進をかけても回頭が始まるまでの時間が長いか、または、短時間で回頭が始まっても回頭角速度が小

図11 (a) 船の姿勢制御面からみた速力低減ガイドライン (VLCC)

図11 (c) 船の姿勢制御面からみた速力低減ガイドライン (PCC)

図11 (b) 船の姿勢制御面からみた速力低減ガイドライン (コンテナ船)

図11 (d) 船の姿勢制御面からみた速力低減ガイドライン (LNG船)

さい時は、タグボートの支援が得られることを念頭におけば、船体姿勢の制御は容易であると考えて、直進時間の区切りを1分、2分、3分とし、回頭角速度の区切りを2 deg/minごとにとり、姿勢制御の容易さの点から直進時間と回頭角速度の組み合わせを『制御容易』と『制御困難』およびその中間の3段階に分類することにした。ここに、速力が2kt、3kt、5kt、6ktにおいてFull、Half、Slow、D. Slowの後進をかけた時の直進時間と初期回頭角速度の組み合わせのプロットは、速力が小さいか、または、後進推力がD. Slowの場合には、船の速力はどの場合も『制御容易』域に属することが見て取れる。

図11 (a) は、VLCCについて、すでに図7 (a) に示した操船者の安全意識に基づくアプローチ操船の速力低減ガイドライン上に、図10に定義した『制御容易』から『制御困難』まで3段階の領域を重ね書きしたものである。

この結果から、操船実務者の安全感覚からみて recommendable なアプローチ速力域は、とりわけ船体姿勢制御が困難な部分もなく、船の姿勢制御の面から見ても問題がないといえる。つまり、本研究において提示した recommendable 速力域は安全性の面と姿勢安定の面の両面から信頼できるバースへのアプローチに際しての速力指針であるといえよう。なお、図11 (b) はコンテナ船、図11 (c) はPCC、図11 (d) はLNG船についての結果を示しているが、PCCについてのみ一部の recommendable 速力域でも、D. Slow ast. を引くとき、船体姿勢制御がやや困難となる部分が存在するので注意が必要である。

7. むすび

本論文では、日本パイロット協会と各水先人会の協力を得て、バースへのアプローチ操船において個々の水先人が常々心掛けている速力低減の目安をアンケートにより調査し、そして、アンケート結果から導かれた水先人の意識がどれほどの安全性のレベルにあるかを安全余裕の概念を導入して分析した。また、これらの分析結果を基に、VLCC、コンテナ船、PCC、LNG船の4船種を対象に、操船者の実務経験に基づく意識と客観的安全余裕の面、さらには、船の運動の面から調和のとれたバース接近時の行脚調整のためのガイドラインを提示した。

ここに提示したアプローチ操船における速力低減

ガイドラインのダイアグラムを使用することにより、今のアプローチ速力がこのダイアグラムのどの位置にあるかを知ることにより現在の安全状態を把握しつつ、次の操船指示への確固たる判断をくだすことが可能となる。

本研究は、船橋におけるヒューマンエラー防止につなげることを目的に、アプローチ操船時の過大速力に注意を促すアラートシステムへと発展させる予定であるが、一義的にはこの成果がバース接近時の行脚調整におけるミスジャッジをなくすとともに、操船に係わる人達がこの資料をもとに同じ操船基準を共有することによって、思いこみ操船や相互確認欠如から生まれるヒューマンエラー防止に役立てば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 久保・斉藤・笹・辻・牟田：交通機関別の速力逓減に関する基礎的研究, 日本航海学会論文集, 第88号, 1993年.
- (2) 井上・花房：アプローチ操船の安全評価について, 日本航海学会論文集, 第84号, 1991年.
- (3) 小林・坂口：港内操船における曳船の支援効果について－III, 日本航海学会論文集, 第92号, 1995年.

質 疑 応 答

遠藤 真 (富山商船高等専門学校) :

- (1) Full Asternで目標地点で停止できない範囲を制御困難と呼ぶのはおかしいのではないかと伺います。制御不可能と呼ぶべき範囲域だと思います。
- (2) この低減ガイドラインと一般操船者が錨泊する時の低減ガイドラインと異なるのですか？

瀬田広明 :

- (1) 図6で示しているご指摘の範囲を特にそのようには呼んでいません。この範囲は (Red color 速力域) と呼んでいます。
- (2) 質問者は、従来からある「七、五、三の減速要領」を指しておられるようですが、これは、Engine mortionの目安を与えてるのであって、今回、提示した速力低減ガイドラインは、残り距離に対して現在の速力を調整するためのガイドラインです。