

港湾設備損傷防止 と 港内操船 パート 2



目次

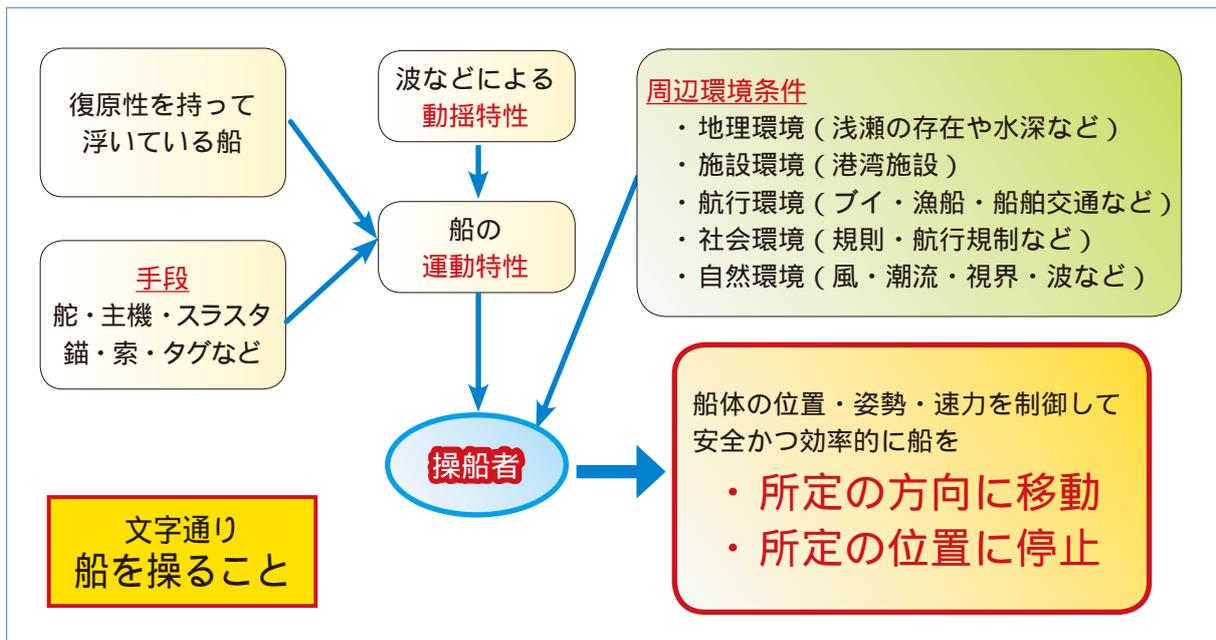
5. 操船とは	2
6. 地理環境調査の具体例	4
7. 船の運動特性	12
8. 港湾設備損傷防止のために	25
添付資料	26

P&I ロス・プリベンション・ガイド

5. 操船とは

自船が水に浮く能力と傾斜しても元に戻る性能に関する基盤知識の上に立って、舵・主機・その他の補助的手段のもとでの運動特性、及び、波中での動揺特性に関する知識を活用することによって、自船をとりまく周辺環境条件から及ぼされる影響を考慮しつつ、船体の位置・姿勢・速力を制御し、安全かつ効率的に所定の方向に移動、または、所定の位置に停止させる行為。

(「操船の理論と実際」神戸大学 井上欣三名誉教授著)



5-1 周辺環境条件 (港湾事情) の調査

初入港の場合に限らず、事前の港湾事情調査は必ず実施する必要があります。また、定期航路の場合でも、適当な間隔で寄港地の事情を本船で確認・調査することが必要です。

調査方法としては、可能な限り情報収集を行った上で、最終的に現地代理店にそれらを確認することが考えられます。最近ではインターネットによる情報提供も多数ありますが、本船からインターネットに接続できる環境が十分整っていない場合が多いので、本船に代わって陸上支援チームが情報収集を行い、本船に情報提供する体制を構築することが望ましいと考えます。添付資料 の調査項目を纏めた表をご参照下さい。

5-1-1 地理環境・施設環境 (港湾施設) 調査

地理環境と施設環境 (港湾施設) の主要調査項目は、次のようなものが挙げられます。

- ・ 最大許容喫水 (航路・水路・岸壁別)
- ・ 最大受け入れ船型 (船型・DWT・全長や船幅、型深さなど)
- ・ 回頭水域の広さ
- ・ 所要タグの有無
- ・ Local Pilot の有無

- 荷役設備：ばら積貨物船などで陸上ローダーを使用する場合は、ローダーの Max. Air Draft、PCC は岸壁高さやカーランプを降ろすスペース、タンカーは Loading Arm の直径と本船所持の Reducer の種類など。

これらの事項について、大まかな事前調査を行う場合、以下のような参考資料があります。

- Port Guide Online (IHS : Information Handling Services)
- Guide of Port Entry (Shipping Guide)
- Dry Cargo Data base (Global Port)
- Port of the World (Port world)
- 日本の港湾 (日本港湾協会)
- 海図、水路誌や航路誌、BA Admiralty Publication

5-1-2 航行環境調査 (ブイ、漁船や漁礁情報、船舶通航状況など)

航行環境調査では、次のような調査が求められます。

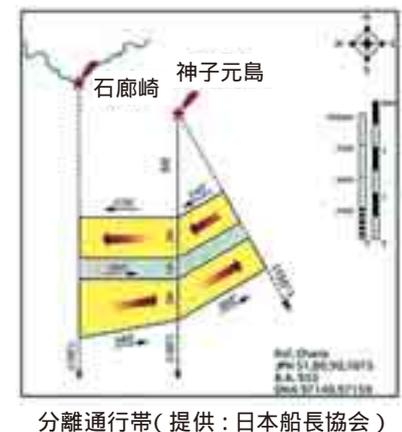
- 水路通報で案内されていない漁礁設置や漁業特区の存在。
特に、最近の中国沿岸の漁船操業や漁礁情報は、現地代理店に問い合わせると良いでしょう。
- 日本沿岸の推薦分離通航帯情報など。
- 各国の演習区域情報など。



5-1-3 社会環境調査 (ローカル規則や航行規制)

各種通報や入港規制など、港ごとの Local Regulation の存在を調査することも重要です。

- 強制水先かどうか。
- 入港前に要求される各種通報。例えば、ETA・VTS・日本の海上交通安全法による航路通報などがこれに当たります。
- 沿岸諸国の各種通報・速度規制など。
- 入出港制限 (夜間入港や航路通航時間帯など)
- 燃料油の使用規制 (Low Sulfur 燃料の強制海域など)
- Security 関連の事前通報制度や Crew Visa が必要かどうか。
- パナマ・スエズ運河などの事前通報制度。



5-1-4 自然環境調査 (風・潮流・視界・波の方向など)

- 潮汐表の情報や潮流情報。
- 水路誌や航路誌、BA Admiralty Publication による情報。
- 気象情報。



インターネットによる潮汐情報 参考例

P&I ロス・プリベンション・ガイド

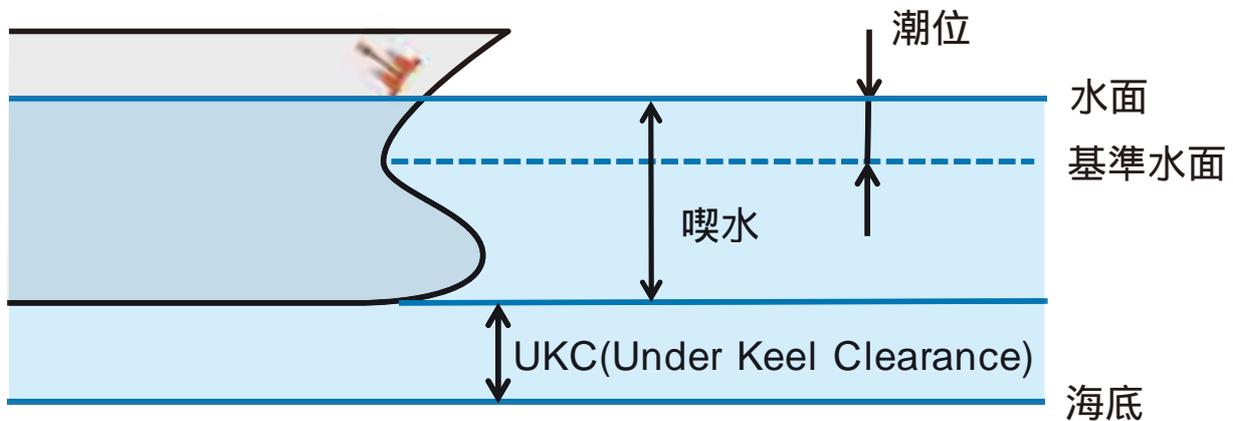
6. 地理環境調査の具体例

地理環境調査における重要項目について、幾つか詳しく説明します。

6-1 最大許容喫水と UKC (Under Keel Clearance)

本船が安全に入港できるかどうかを判断する上で最大許容喫水と UKC (Under Keel Clearance) の調査は重要な調査項目です。

UKC とは、下図に示すように海底と船底の間にどの程度の余裕があるのかを数値として把握するものです。例えば、水深と喫水が同じ (UKC=0) では、本船が乗り揚げの可能性があり、安全に入港できるとはいえません。



6-1-1 基準水面

外洋に直接接続している港では、潮汐による干満の差があることは知られています。そして、海図等に記載の水深は基準水面を基準としています。

この基準水面は、その場所の最大干潮時の水面である最低低潮面を基準としています。即ち、これ以上浅くなることはないという考え方です。

日本の場合は**最低水面 (Chart Datum Level : C.D.L)**を基準水面として採用しており、海面が**最低水面より下がる負潮位**が場所によりごく稀に発生することがあります。

また、国によっては**天文最低低潮面 (Lowest Astronomical Tide : 負潮位が発生しない)**を基準水面としている場合もあり、国際水路機関 (IHO) は基準水面に天文最低低潮面を使用するか、そうでない場合は基本水準面との差を潮汐表に記載するように勧告しています。

6-1-2 最大許容喫水と UKC の関係

最大許容喫水と UKC の関係は下記計算式に示す通りです。

$$\text{最大許容喫水} < \text{航路水深} + \text{潮位} - \text{UKC}$$

最大許容喫水はそれぞれの要素に**誤差**や**安全率**を考慮して検討する必要があります。また、各港毎 (また

はバス)に定められている「最大許容喫水」の数値と照らし合わせ、問題があるかどうか確認することも必要です。

6-1-3 UKC

各港でUKCのガイドラインを設定していることが殆どですが、世界的には航行時の余裕水深(UKC)を気象・海象データ等も考慮して幅を持って管理している港が多く、一方で、日本は喫水に対する割合や、何mといった固定的なUKCを採用していることが多いようです。

欧州水先人会や日本の港湾技術上の基準では、以下を目安にしています。

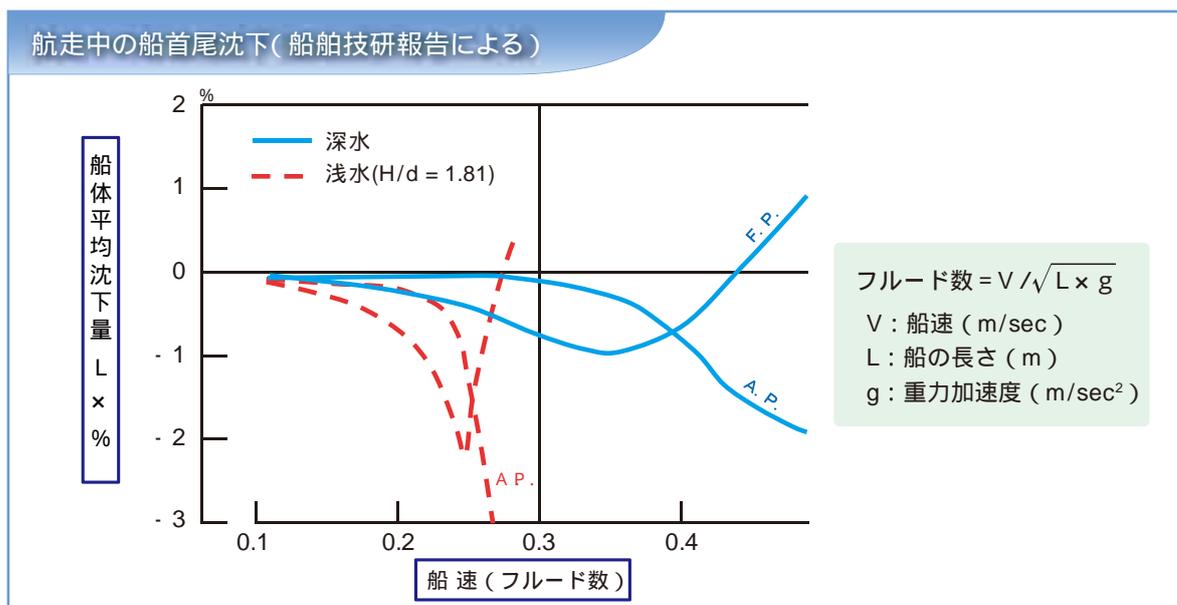


6-1-4 本船の最大喫水について考慮しなければならない事項

本船の最大喫水について考慮しなければならない事項は次の通りです。

航走中の船体沈下量

船が走り出すと、船体周りの水圧分布が変わるので船体は沈下します。従って、港内航路を航行する場合は、停泊中の喫水に加えて船体沈下量を考慮しなければなりません。そして、この船体沈下量は水深が浅いほど、また、速力が速いほど大きくなり、下記グラフから求めることができます。

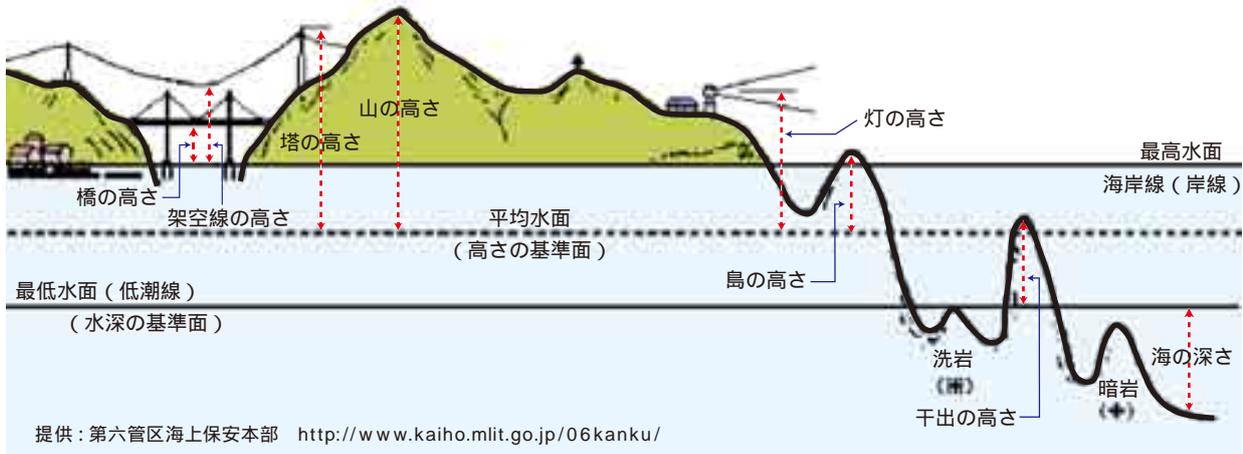


大型船の港内操船時は低速(S/B速力)なので、一般に船の長さ(Lpp)の0.1~0.2%の船体沈下量を見積もっておけば良いとされています。また、風浪やうねり等の影響がある場合は船体動揺に基づく船体沈下量も考慮する必要があります。

P&I ロス・プリベンション・ガイド

水深と潮位

前述したように、海図や航路案内に記載されている水深は基準水面における数値です。水深や陸岸の高さなどの基準面は下図の通りです。



海図に記載されている水深は、国際的な測深基準において**水深の許容限界誤差**が以下とされています。

水深 20 mまで	: 0.3 mまで
水深 100 mまで	: 1.0 mまで
水深 100 m以上	: 水深の 10%

また、実際的水深は海図記載の水深に潮位を加減したものになりますが、潮位は潮汐表から求めることができます。しかし、この潮位も一定の基準から計算で求めた予測値なので、実際の潮位は異なるものと考えておかなければなりません。潮汐表の精度は、日潮不等や異常気象等を除けば、**ほぼ 0.3 m 以内で実際と一致する**といわれています。

入港可否を判断する計算例

UKC、潮位、水深誤差等を考慮して入港可否を判断する計算例をご紹介します。例えば、代理店等から入手した最大許容喫水の数値をこのような計算を行って評価し、入港可否を判断することが求められます。

まず、計算する上での条件を設定します。ここでは、それぞれの項目の最大値を採っています。

- 本船の最大喫水： 出帆喫水（または、到着予想喫水）+ 船体沈下量（ L_{pp} の 0.2%）
- 海図水深に対する安全率： 0.6m（水深誤差 + 潮位誤差）
- UKC： 最大喫水の 10 ~ 20%（航走海域による）下記計算例では 15%とします。

計算参考例（所要最低水深の求め方）

諸条件を定めた後の計算例は次の通りです。

$L_{pp} = 200\text{m}$ 喫水 = 12m

最大喫水： $12\text{m} + 0.4\text{m}$ （ $200\text{m} \times 0.2\%$ ：船体沈下量） = 12.40 m

UKC : 最大喫水の 15% 港外航路（ $12.40\text{m} \times 15\%$ ） = 1.86 m

海図水深と潮位誤差： = 0.60m

Total 14.86m

即ち、港外航路を含めた通過海域の海図水深 + 潮位が上記以上あれば、潮位を利用して入港可能と判断できます。ここで肝心な事は以下の通りです。

単純に入出港喫水に UKC 率を掛けて判断せず、
船体沈下量や海図水深誤差を考慮して、
より **安全サイドで判断** する。

6-2 岸壁（バース）の最大受け入れ船型

6-2-1 港湾施設の設計基準

日本の省令による港湾施設の技術上の基準は以下の通りです。本船の全長を基準にして、十分な岸壁長さが確保できるかどうか確認します。日本以外の港においても、考え方の基本は同じです。

- 水深 = 最大喫水 + 余裕水深 (UKC : 10%)
- バース長 = 全長 (Loa) + 1.0 ~ 1.7 × 型幅 (B)
 係数 1.0 : 係留索とバースのなす角度が 45 度の時
 係数 1.7 : 係留索とバースのなす角度が 30 度の時



船首索(ヘッドライン)
スプリングライン
プレストライン
船尾索(スターンライン)

6-2-2 本船の係留力

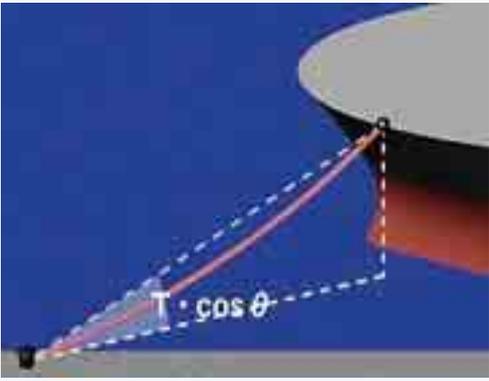
係留索 1 本毎の係留力は、以下計算で求めることが可能です。

θ : 係止点から本船係船索の搬出点を見上げた俯角
 T : 係留索に働く張力
 T × COS θ : 係留索の水平方向張力

係留索と岸壁法線のなす角度を θ とすると、船首尾方向の係留力 (Tx) と船体正横方向の係留力 (Ty) は以下計算式で求めることができます。

$$T_x = T \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha$$

$$T_y = T \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha$$

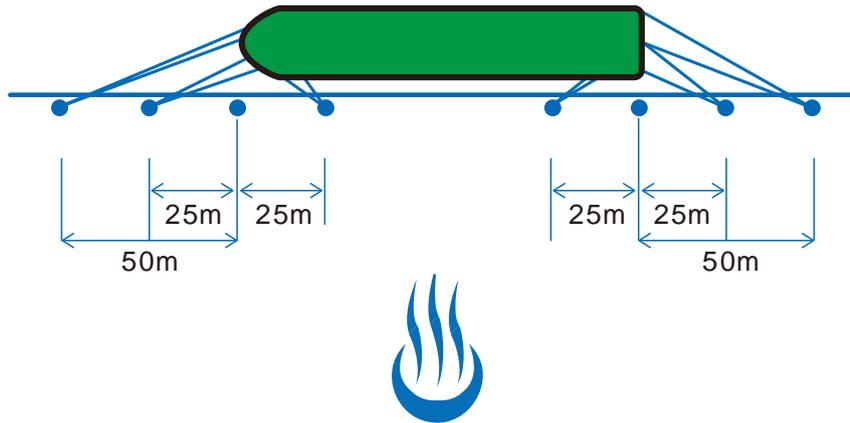


P&I ロス・プリベンション・ガイド

係留合力は、それぞれの係船索が作る船首尾方向と船体正横方向の係留力の和になり、
係船機の巻き込み能力と係船索の本数で決まります。

Loa = 200m (側面風圧面積 : 5,500m²) の自動車運搬専用船の係留力を参考例として計算してみます。風を岸壁側真横から受けることを想定しています。

係留索は下図のように 12 本、係船機の巻き込み能力は 25 トン / 本、岸壁から本船係船甲板までの高さは 15m です。



正横方向の係留力合計は 63.6 トンになります。

正横方向の係留力

係留索	本数	角度		係留力 (ton)	
		°	°	1 本あたり	合計
船首索	2	17	20	8.2	16.4
船首索	2	32	14	5.1	10.2
スプリングライン (船首側)	2	32	7	2.6	5.2
スプリングライン (船尾側)	2	32	7	2.6	5.2
船尾索	2	32	14	5.1	10.2
船尾索	2	17	20	8.2	16.4
合計	12				63.6

係船機の巻き上げ能力 : 25.0 tons

正横方向から受ける風圧力が 63.6 トンまでは、理論上、本船を岸壁に係留することが可能です。これをヒューズ (Hughes) の計算式を用いて風速に置き換えると、風速 12.4m/sec が計算されます。

風圧力 (Ra) : 63.6 トン

$$Ra = \frac{1}{2} \times \rho \times CRa \times Va^2 \times (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) / 1000 \text{ (ton)}$$

側面風圧面積 : 5,500 m² : 相対風向角 (正横方向 : 90 度)

風速 12.4m/sec

即ち、風の息を考慮すれば、
風速 10m/sec 程度で船体が岸壁から離れ始めると考えられる。

6-2-3 係船柱（ビット）の強度

本船の係留に耐えるビットが岸壁に備えられているのか確認することも必要です。日本の港湾技術設計基準によるビットの強度は以下のようになっています。

係船柱に作用するけん引力（港湾施設技術基準）（トン：tonf）

船 型（GT）	曲柱に作用するけん引力（トン）	直柱に作用するけん引力（トン）
500 を超え 1,000 以下	15	25
1,000 2,000	15	35
2,000 3,000	25	35
3,000 5,000	25	50
5,000 10,000	35（25）	70
10,000 15,000	50（25）	100
15,000 20,000	50（35）	100
20,000 50,000	70（35）	150
50,000 100,000	100（50）	200



括弧内は係留施設の間中部にスプリングをかけるための係船柱で、係船索を2本以上かけない場合。直柱は、水際線から船幅以上離して設置されている荒天係留用のストームビット。

6-2-4 防舷材（フェンダー）

本船を安全に係留させるための防舷材も重要な港湾設備のひとつです。特に、うねりが侵入するような港では、十分なフェンダーが備え付けられていないと、岸壁損傷や船体損傷が発生する可能性があります。また、入港後に損傷がある防舷材を発見した場合、写真を撮るなどして後日クレームを受けないように準備しておくことも必要です。

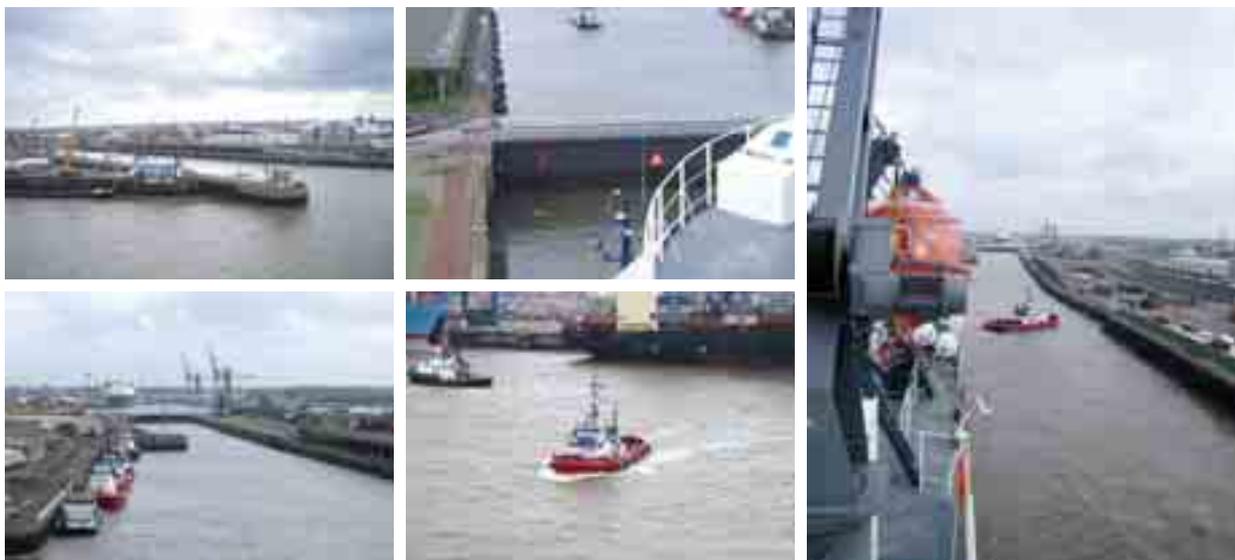
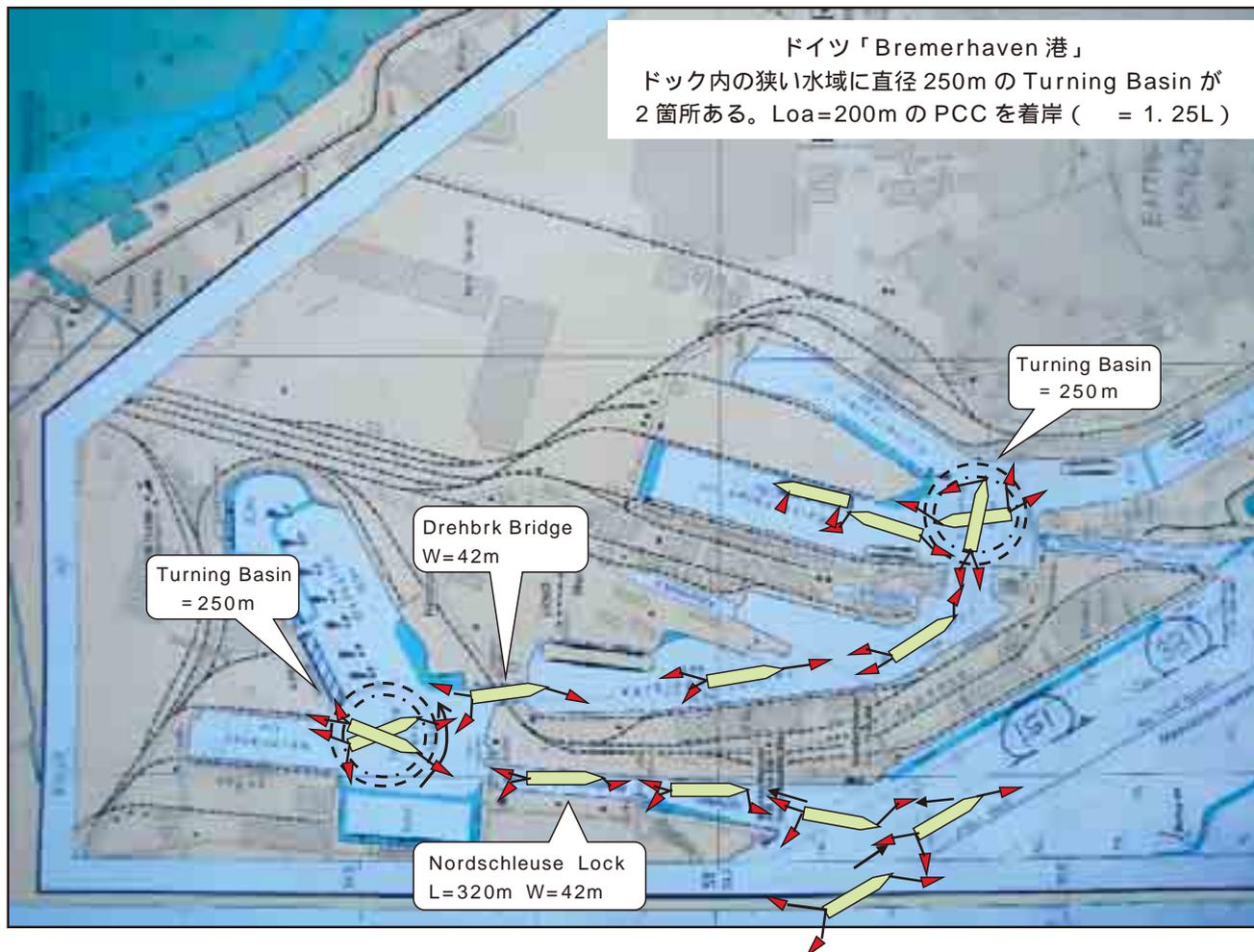
6-2-5 本船回頭水域（Turning Basin）について

入出港時に、殆どの港では本船を自力またはタグやバウスラストの補助設備を使用して回頭する操船が行われます。日本の港湾設計基準のガイドラインは、自力回頭する場合は船の長さの3倍、タグを使用する場合は2倍を直径とする円の面積を標準としています。

可能な限りバース前面に回頭水域があることが望ましく、また、外力の影響を受けにくい場所が望ましいのですが、地形や岸壁の設置状況によりバース前面ではなく潮流の影響を受ける場所に回頭水域が設けられている港が多いのも実情です。

P&I ロス・プリベンション・ガイド

下図のように十分な水域が確保できていない港も多くあります。このような場合は事前に使用するタグボートの隻数を確認し、どのような手順で回頭操船を行うのかなど、事前の十分な調査を行う必要があります。



Bremerhaven 港の Nordscheulus Lock(幅 42m・長さ 320m とタグ)

6-2-6 タグボート

入出港操船を行う上で、タグボートは重要な操船支援手段のひとつです。隻数や馬力など十分なタグボートが揃っているのか確認することは、港湾事情調査を行う上で重要な項目のひとつです。

タグボートの所用馬力と隻数

港内操船でタグ支援が最も必要なのは、本船を正横に押しして接岸させる場合です。この時に必要なタグの全所要馬力を考えておけば、前進制動操船や回頭操船のような他操船支援の局面において、これを上回ることはありません。タグの所要馬力を決定する際に考慮する事項は次の通りです。

- 本船の大きさと載貨状況
- 本船の主機関・舵・錨の状態
- 気象・海象（風向・風力、潮流の流向・流速、波）
- 付近の水深（浅水影響を考慮）
- 操船水域の広狭
- スラストの有無
- 離着岸の方法（入船か・出船か）



各港でタグ使用隻数のガイドラインを設定している場合が多いので、それも参考にします。

ガイドラインを設定していない港の場合、次のような計算式で必要な所要馬力を求めたり、本船載貨重量を目安にした指針を参考とします。

$$\text{計算式：全所要馬力} = 7.4 \times (\text{DWT})^{0.6}$$

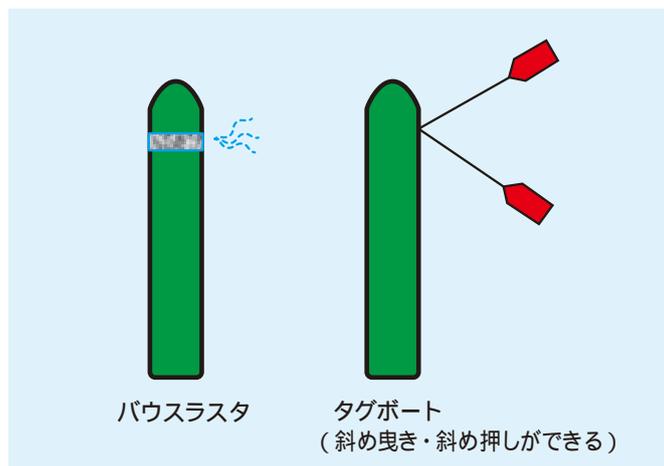
条件：離岸風 10m/sec、着岸時の寄り足速度 15cm/sec 以下

載貨重量を目安にした所要馬力

- | | | | |
|-----------------------|--------------|---|---------|
| • DWT 5 万トンまで | : 3,000 馬力程度 | × | 2 隻 |
| • DWT 5 万トン～ 10 万トンまで | : 3,000 馬力程度 | × | 3 隻 |
| • DWT 10 万トン超 | : 3,000 馬力程度 | × | 3 ～ 4 隻 |
| • VLCC | : 3,000 馬力程度 | × | 5 ～ 6 隻 |

タグ推進器により異なるが、100 馬力 1 トン

スラストを装備していると、タグの使用隻数を減らすことも可能ですが、バウスラストは方向は真横のみにしか作用しないのに対し、タグは斜め引き・押しが可能であるのが大きな違いです。入出港時の気象・海象で条件が悪い時は、躊躇わずにタグの隻数を増やすことが重要です。



P&I ロス・プリベンション・ガイド

7. 船の運動特性

港湾設備損傷事故では岸壁損傷と防舷材損傷が7割を占めていますが、事故原因は操船ミスが殆どです。水域に限られる狭い港内における操船ミスは、以下が原因となっています。

風や潮流など外力の影響を正確に判断できなかったこと。

機関・タグなどを使用した速力制御や回頭操船に失敗したこと。

港内のパスにアプローチするとき、殆どの港において護岸や浅瀬・他船が存在するので、停止予定地点を超えたオーバーランは事故につながります。操船者はパスまでの残り距離に応じて徐々に速力を減じ、自船の種類、大きさ、載貨状況や運動慣性、操縦性能と外力の影響などを勘案しながら、行き脚速度の調整や回頭を行うことが求められます。

7-1 外力（風）による影響

7-1-1 航走中の風圧下における横流れと回頭作用

本船は航走中、風の影響をどのように受けるのでしょうか。

無風状態で外力が働かなければ直進する。

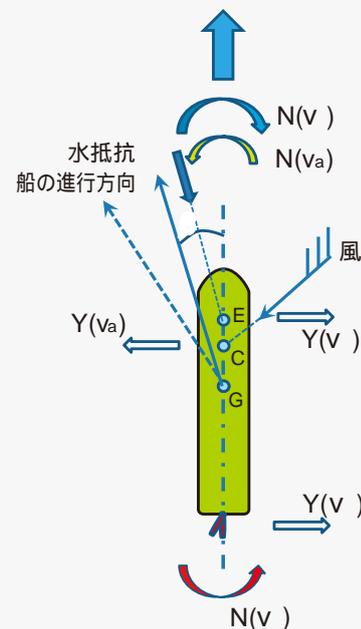
風を右45度から受けると、風下に落とされるとともに、風の作用点(C)が重心(G)より前方にあるので、船首を風下方向に落とす回頭モーメント($N(V)$)が働く。

風下方向に圧流(斜航)を開始すると同時に、船首風下舷には水抵抗が生じる。この作用点(E)は風圧の作用点(C)より前方にあり、風上に船を回頭させようとするモーメント($N(V_a)$)が働く。

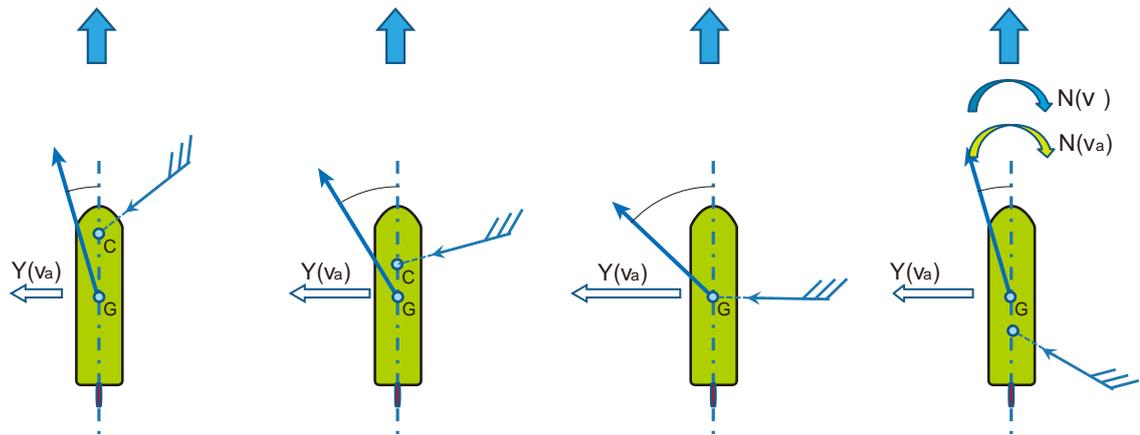
風と水抵抗の回頭モーメントを比べて大きい方向に船は回頭するが、一般に水の抵抗が空気と比べて格段に大きいので、船は風上に切りあがりを開始する。 $(N(V_a) > N(V))$

この切り上がる回頭モーメントに対して、舵で対抗する。いわゆる当て舵によるモーメント $N(V)$ で制御する。

最終的に、風・水抵抗・舵の回頭が釣り合った状態で、船体は船首方向に対して「 β 」(リーウェイ)の角度で針路を保ち風下に落とされながら航走する。



風の作用点(C)は、相対風向が横になるほど重心に近づき、真横(90度)ではほぼ重心に作用します。その結果、風下方向に働く回頭モーメント $N(V)$ は小さくなる一方、船体を風下に落とす力 $Y(V)$ が大きくなり、斜航角度が大きくなるので、水抵抗による回頭モーメント $N(V_a)$ が大きくなります。



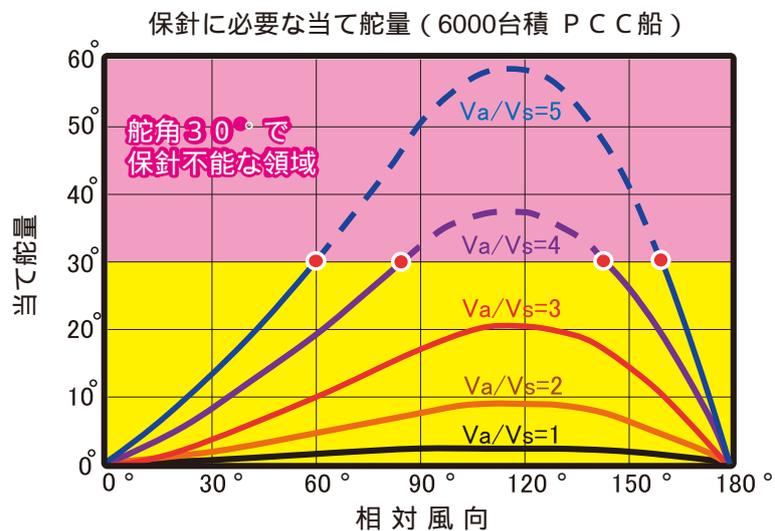
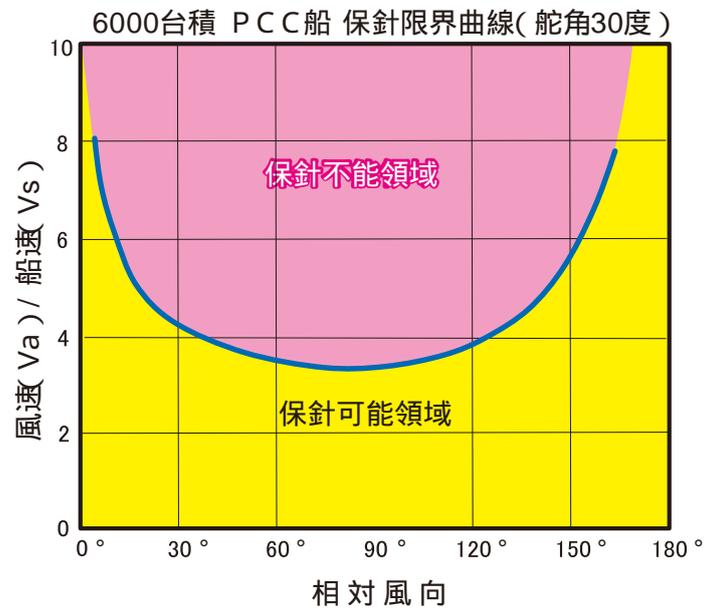
さらに、相対風向が正横より後になると、風の作用点(C)は重心より船尾方向に移動するので、回頭モーメント $N(V)$ は船首を切り上げる方向になり、水抵抗と同じ方向に働きます。

風と水抵抗によるモーメントを舵力で制御可能な場合は保針可能ですが、舵力で制御できないほど風と水抵抗の回頭モーメントが大きくなると、保針不可能となります。

右上のグラフは、縦軸に風速(V_a)と船速(V_s)の比を、横軸に相対風向角度を取り、舵角30度で保針可能・不可能域を示しています。風速と船速比が3.7を超えると、相対風向角度によっては保針不可能域が発生します。

港内速力の6~8ノット(3.1~4.1m/sec)の場合、風速11~15m/secの風があると、風速・船速比が3.7になり、相対風向によって保針不可能となる場合があります。

また、右下のグラフは、縦軸に舵角を取り、風速/船速比ごとの保針可能・不可能領域を示しています。風速/船速比(V_a/V_s)が4以上になると、舵角30度としても、相対風向角度によっては、保針不可能領域が生じています。



P&I ロス・プリベンション・ガイド

タグの操船支援を受けず、風を受けながら水路を航走するような場合、切り上がる角度のリーウェイ () を考慮して操船する必要があります。このような場合、風向・風速と船速を勘案して保針可能な領域で操船可能かどうかを検討しなければなりません。

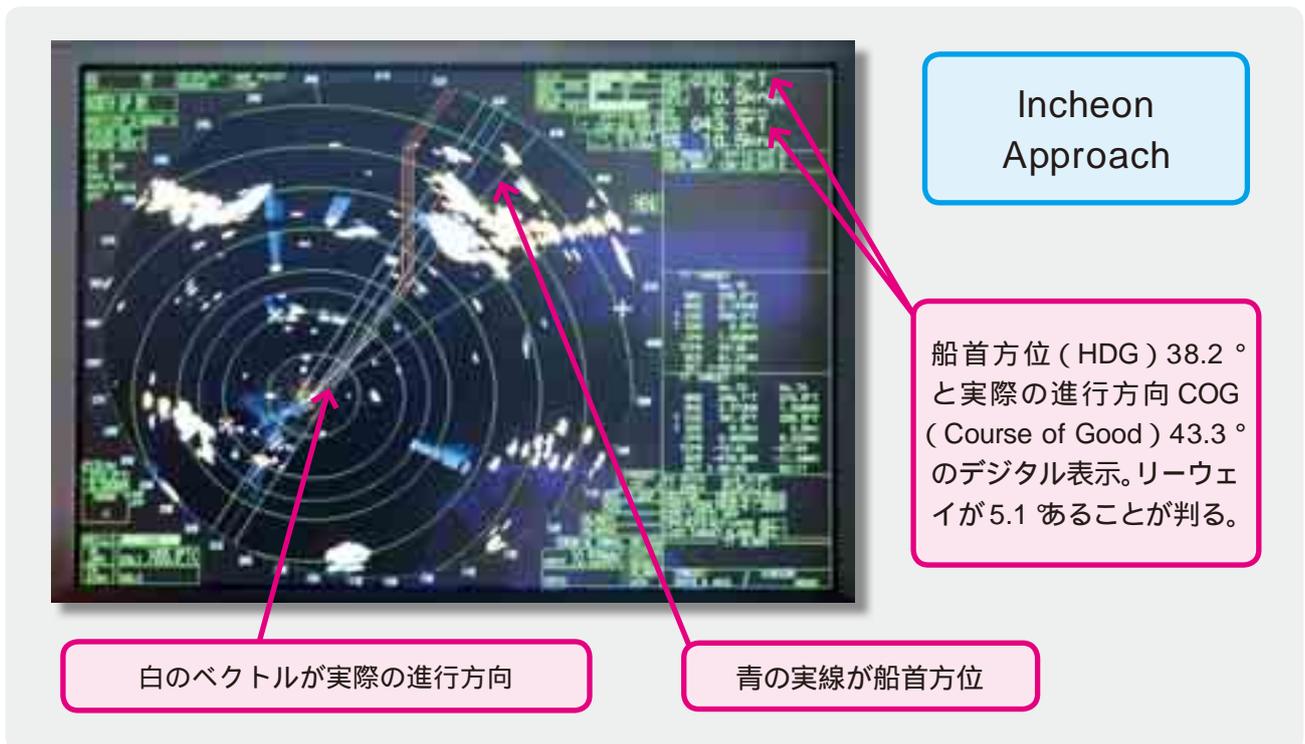
港ごとに入出港時の許容最大風速を定めている場合が多いようですが、自船の船型等を考慮して当該港の基準で問題あるかどうか判断することも必要です。



参考写真：橋の中央を通過させるため、リーウェイを右3度程度取っている。

また、性能が向上した最近のレーダーは、GPS 情報も取り込んで表示することが一般的になってきました。このような機能をうまく利用して、リーウェイの角度や圧流方向を数値的に把握して操船を行うことも有効な方法です。

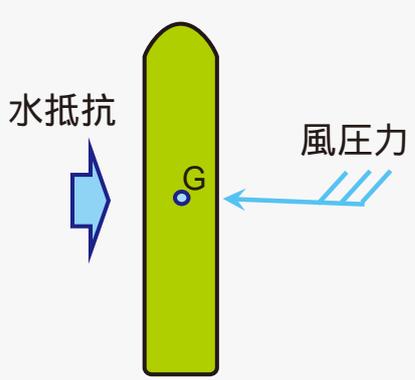
下図に表示例を示します。



7-1-2 停止中の圧流

バース前で船の行き脚がなくなり向岸風を真横から受けるような場合、或いは、回頭操船を行っているような場合において、**風圧による船体の漂流に最も注意**しなければなりません。

水面上の風圧力と水面下に働く水抵抗が釣り合う状態で流され、漂流速度は以下の式から求めることができます。



	風圧力		水抵抗
	$\frac{1}{2} a \times C_a \times B_a \times V_a^2$	$=$	$\frac{1}{2} w \times C_w \times B_w \times V_w^2$

- a : 空気密度 (0.125kg · sec²/m⁴)
- w : 海水密度 (104.5kg · sec²/m⁴)
- C a : 風圧横力係数
- C w : 流圧横力係数
- B a : 水面上船体横面積 (m²)
- B w : 水面下船体横面積 (m²)
- V a : 相対風速 (m/sec)
- V w : 相対流速 (m/sec)

上述計算式から圧流速 (V w) を求めると次のようになります。

$$V_w = \sqrt{\frac{a}{w} \cdot \frac{C_a}{C_w} \cdot \frac{B_a}{B_w}} \times V_a$$

PCC 船の場合、係数 C a、C w と水面上の船体横面積 (B a) と水面下船体横面積 (B w) は凡そ以下の通りなので、これを上記計算式に代入すると、圧流速は次のような簡略化された計算式で求められます。

$\frac{C_a}{C_w}$ 1.3 船毎にことなるがおおよそ	$\frac{B_a}{B_w}$ 3.0 (P C C 船の場合)
---------------------------------------	---

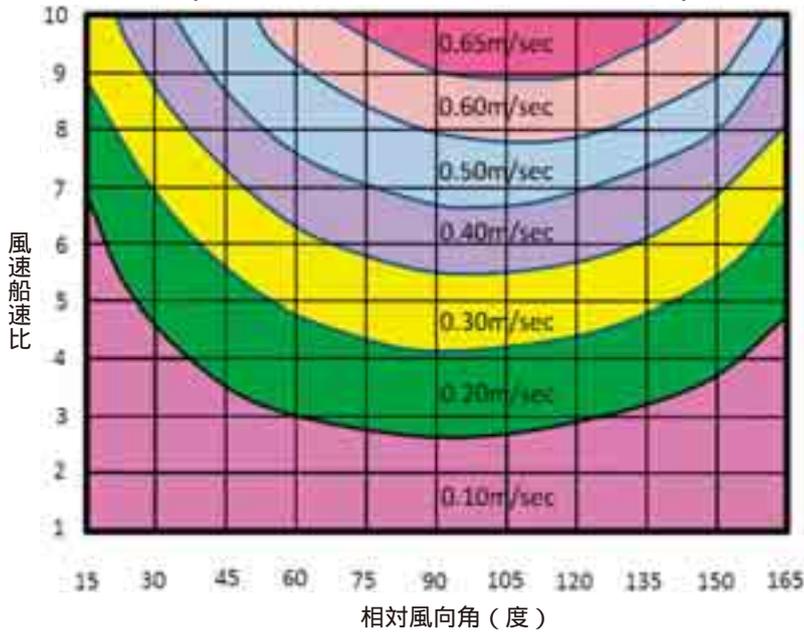
$V_w = 0.068 V_a$

4,500 台積 PCC 船で行き脚が小さくなって真横から風を受けた場合、漂流速度は徐々に増速し、**2 ~ 3 分で定常に達します。**

例えば、10m/sec の正横風を受けながらバース近傍で行き脚 2 ノット (1.0m/sec) に減速すると、そのときの風速・船速比は約 10 となるので、**120 秒後にはおおよそ 0.65m/sec の速度**で横漂流します。これをグラフ化したものが下表です。

P&I ロス・プリベンション・ガイド

風圧影響を受けて 120 秒後の漂流速度
(4500 台積自動車専用船 h/d=1.3)



ECDIS 画像

右の写真は実際の PCC 船の漂流軌跡を電子海図に表示させた例です。強風下で Drifting をする機会がある時に、このような表示を記録しておくことも面白いかも知れません。

7-2 船の回頭運動

7-2-1 タグボート 1 隻で外力の影響を受けない場合の回頭運動

タグボート 1 隻で船尾（又は船首）を押して回頭する場合、回頭中心は重心 G ではなく、転心点 P にあるので、半径 $1/2 L$ （船の長さ）の水域内における「その場回頭」はできません。

回頭に必要な水域の半径は、下記計算式で求めることができます。

$$\text{回頭半径 (R)} = GP + \frac{1}{2} L$$

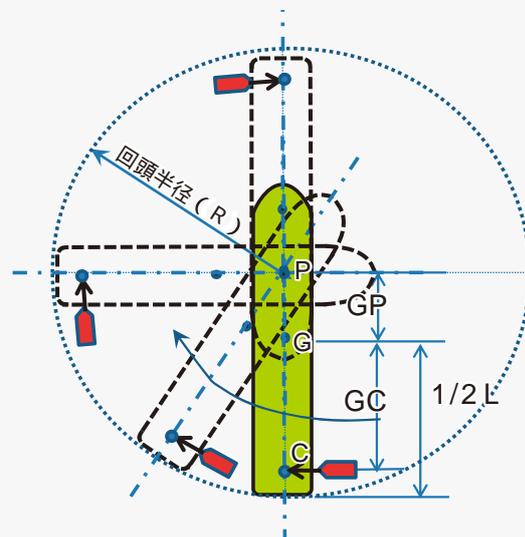
$$GP = k^2 / GC$$

k : 重心 G を通る垂直軸周りの慣性モーメントの回転半径 $0.35L$

P : 転心点 (Pivoting Point)、船が回頭する場合の回転中心

G : 重心

C : タグの作用点



上式からも判るように、P (回頭中心 : 転心点) の位置は、タグの押す (又は引く) 力と無関係で、タグが押す場所に関係し、位置は重心 G の反対側にあります。
 即ち、タグの作用点が重心に近づくとも GC が小さくなるので、結果として GP が大きくなるので回頭半径もその分だけ大きくなります。

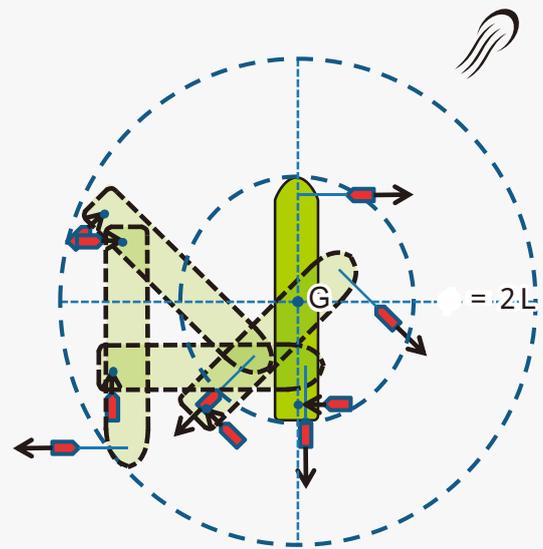
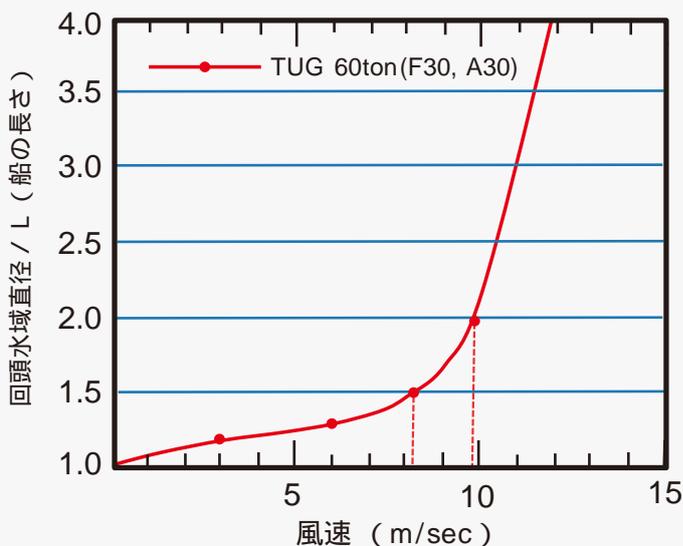
タグの作用点毎の回頭半径を把握しておく。

7-2-2 タグ 2 隻又はバウスラストと船尾タグ 1 隻による外力 (風) の影響を受けながら回頭するケース

その場回頭 (直径 1L の水域における回頭) するには、前後にタグ、またはバウスラストと船尾タグを使用しなければなりません。然し、外力 (風) を受けながら回頭する場合、相対風向が回頭に伴って変化するので、これによる圧流を制御しながら「その場回頭」を行うことになり、かなり難しい操船となります。
 全長 246 m のコンテナ船で、回頭開始時に右 45 度から 10 m /sec の風を受け、2 隻のタグボートを使用して回頭操船をシミュレーションしてみました。タグは回頭操船のみに使用し、圧流に対する調整は行っていません。

シミュレータによるモデル船型 (CTNR)

Loa(m)	246.27	
Lpp(m)	230.00	
Bredth(m)	32.24	
Depth(m)	21.20	
Draft(m)	11.50	
Disp.(KT)	53,875	
Trim(m)	0.00	
G position	-5.5	
Wind Project.	Front(m ²)	850
	Side (m ²)	6,090



船が 180 度回頭した時点で使用した水域の広さは、回頭開始時の重心を中心とする直径 2L の円の水域が必要となりました。

P&I ロス・プリベンション・ガイド

日本の港湾設計基準では、タグを使用する場合の回頭水域を「2L」としています。船型や船種にもよりますが、この船の場合では2Lの回頭水域があっても、風速10m/secが限界であることが判ります。それ以上の風速の場合は、より広い回頭水域が必要となります。

7-3 速力制御

入港時に本船速力制御に失敗し、岸壁に突っ込んでしまい、岸壁や陸上クレーン等と船体に大きな損傷を発生させる事故が後を絶ちません。

船舶は自動車と異なり、速力を落としたり停止するためのブレーキが装備されておらず、速力の制御は主機関の回転数制御や逆転、或いは、タグボートによる支援を受けなければなりません。

従って、停止予定地点でオーバーランすることなく停止するためには、自船の種類・大きさ・載貨状態・運動慣性・操縦性能・外力の影響などを勘案しながら行き脚を調整することが操船者に求められます。実際の着岸操船時に、このような項目を計算しながら操船する訳にはいきませんが、一方で水先人と船長のコミュニケーション不足も事故原因のひとつとしてあり、船長からの助言不足もあるようです。

船長・水先人双方が、経験と勘に頼って操船するのではなく、ある程度数量的に停止距離やそれに要する時間を把握しておくことが必要です。



7-3-1 オーバーランの危険度の推定（安全余裕度）

アプローチ操船における安全余裕は、機関逆転やタグの船尾引きによるブレーキを掛けた時にどれ程の距離を航走し、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て評価できます。これを数式で表すと次のようになります。

水先人へのアンケートの結果によると、D.Slow Ast. を掛けた場合、安全余裕度(R)は0.3～0.6で「船を暴れさせない」操船*が可能とのことです。

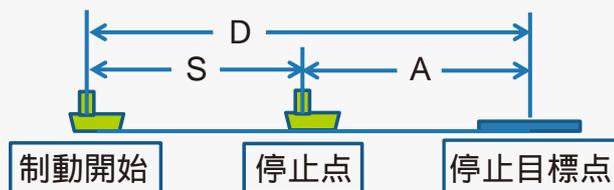
* 船が暴れる:

後進機関をSlow Ahead以上で長時間使用すると、プロペラ圧流や水流が船体に一律に当たらなくなり、針路保持が難しくなること。

$$\text{安全余裕度 (R)} = \frac{A}{D}$$

A: 船体の停止点から停止目標点までの残り距離

D: 制動開始地点から停止目標点までの距離



7-3-2 停止距離と船体重量・加速度の基本

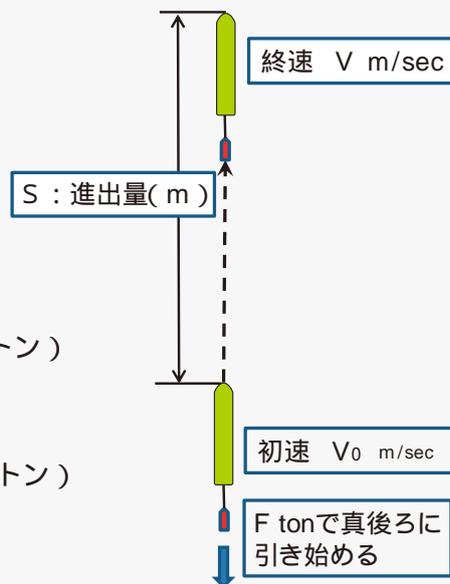
停止距離・停止するまでの所要時間などを詳細に求める場合、船型や船体抵抗を考慮しなければなりません。概算の値はエネルギー保存則から導かれる下記計算式で求めることができます。

$$F = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g \cdot S} \times (V^2 - V_0^2) = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g} \times \frac{(V^2 - V_0^2)}{S}$$

$$S = \frac{1}{2} \times (V + V_0) \times t = \frac{1}{2} \times \frac{W}{g \cdot F} \times (V^2 - V_0^2)$$

$$= \frac{(V - V_0)}{t} = \frac{g}{W} \times F$$

- W : 見かけの排水量 (排水量 + 付加質量*) (トン)
- V₀ : 初速 (m/sec)
- V : 終速 (m/sec)
- F : 作用する力 (タグ推力や機関後進出力) (トン)
- t : 経過時間 (sec)
- S : 進出量 (m)
- g : 船に掛かった加速度 (m/sec²)



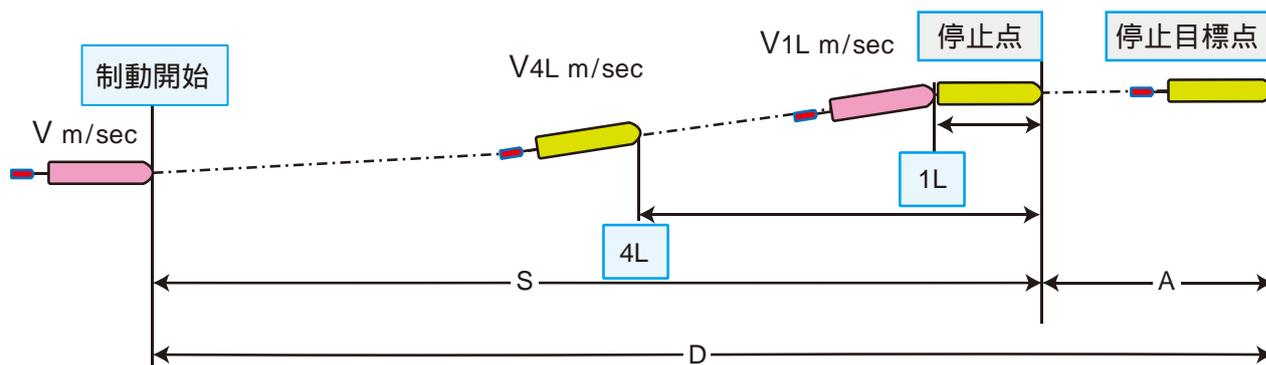
* 付加質量

船を加速させるときは、船そのものが運動すると共に船の周りの水がこれに付随して運動する。従って、船を動かすほかに、船の周りの水の一部を動かす力が必要となる。これはあたかも船の質量が増加したと同じ意味を持つ。この質量が増加したことに相当する部分を付加質量という。

7-3-3 入り船着岸時における速力逡減計画 (参考例)

本船を入り船平行着岸させる場合、実際にバースにアプローチするとき**どの時点で機関を停止し、主要通過地点における速力が過大かどうか判断する目安を予め把握しておくことが必要**です。

例えば、下図のように D.Slow Ahead で航進中、機関停止とともに船尾タグでブレーキ制動を開始した場合、停止位置までの残り距離が 4L の地点及び 1L の時点で、どの程度の速力ならば予定地点で停止可能かを予め求めておき、そこから上述したバースまでの距離の安全余裕度を見込み、それよりも速い速力で接近する場合はタグの制動力を大きくするか、機関後進を掛けるなどして速力を落とすという操船が必要となります。



P&I ロス・プリベンション・ガイド

実際には、停止位置（上図の Stop Pt）で船体を止めるような操船は行わず、ブレーキ力を制御しながら、船を暴れさせることのないようにしてバース前面（Stop Target）で停止するような速度調整が行われています。

7-3-4 速度逡減参考値 計算表

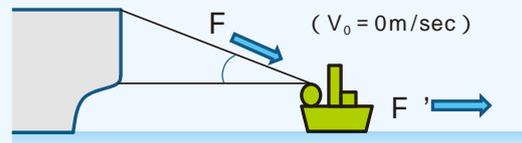
7-3-2 の計算式について、必要なデータを入力すると概算の停止距離と所要時間、安全余裕度を計算する Excel 表を下記にご紹介します。このような簡易計算表を使用し、参考値（目安）として自船の停止距離を把握しておくことも必要です。安全余裕度が 0.3 以下になるようならば、タグや機関後進による早めのブレーキ制動を行う操船が求められます。

船体排水量	W	37,500	ton
付加質量を加えた見かけの排水量	W'	40,125	ton
全長	Loa	200	m
残り距離	4L	800	m
	1L	200	m
タグライン俯角（度）		20	deg.
ブレーキ力	F	15.0	ton
ブレーキ水平力	F'	14.1	ton
風圧によるブレーキ力増減	RL	15.5	ton
実効ブレーキ力（F' + RL）	Fb	29.6	ton
制動開始時の速度 （Dead Slow Ahead での速度）	V	6	kts
		3.09	m/sec
制動開始地点から停止目標までの距離	D	2,000	m
船体停止まで要する距離	S	659	m
		0.36	N.Miles
停止するまでの時間	t	427	sec
		7.1	min.
4L 時点における速度	V _{4L}	6.6	kts
		3.4	m/sec
1L 時点における速度	V _{1L}	3.3	kts
		1.7	m/sec
停止目標点までの残り距離	A	1,341	m
		6.7	L
安全余裕度	R	0.67	0.3 ~ 0.6

入力
自動計算
計算結果

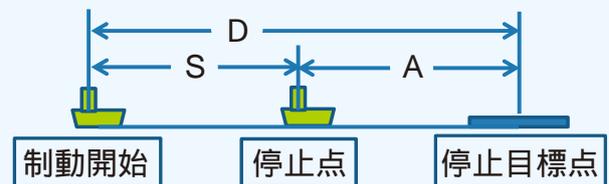
速度逡減参考値 計算表

$$W' = W \times 1.07$$



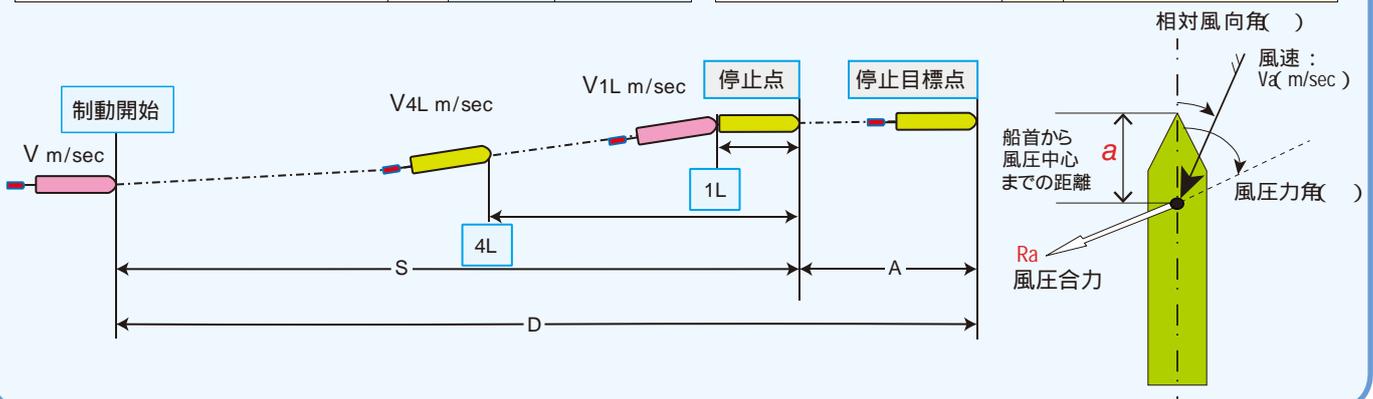
$$F' = F \cos \theta \quad S = \frac{1}{2} \times \frac{W'}{g \cdot F'} \times (V^2 - V_0^2)$$

$$t = 2 \times \frac{S}{(V + V_0)} \quad R = \frac{A}{D}$$

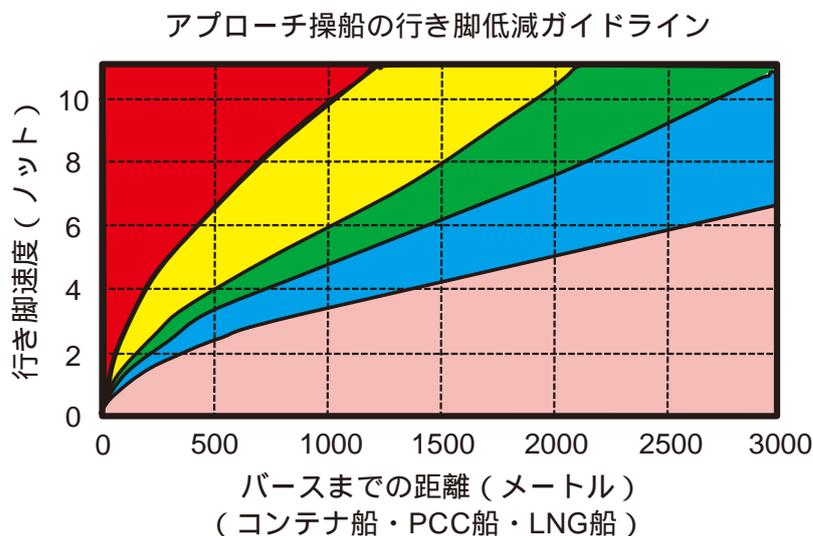


風圧力計算

風速	12.4	m/sec
相対風向角	45	Degree(0 ~ 180) (Every 10 degree)
船首尾方向風圧力 RL	15.5	ton
船種	1	GEN/PCC/CTNR : 1 Pax : 2, Tank/Bulk : 3



また、このような計算表だけでなく、自船の操縦性能を考慮し、次のような速力逡減ガイドラインのグラフを作成して船橋に掲示・保管しておくことも有効です。これを水先人乗船時の情報交換の参考資料として提示することで、コミュニケーションを図ることも一案でしょう。



残存距離と速力を軸にし、安全余裕度と対応してアプローチ操船における行き脚調整が可能となるような「速力逡減のガイドライン」の参考例。

- Full Ast. Eng. の推力をブレーキ力とする時に安全余裕度がゼロの領域。この領域より更に左側にプロットされる残存速力があると、予定停止地点を超えてオーバーランする危険ゾーン。
- オーバーランする危険ゾーン。Slow ~ Full Ast. Eng. の推力をブレーキ力とすれば、予定停止目標の手前で停止できる領域。但し、後進をかけることにより、船が暴れるおそれがある。(準危険ゾーン)
- D.Slow Ast. Eng. の推力をブレーキとして安全余裕度がゼロの領域。(注意ゾーン)
- D.Slow Ast. Eng. の推力をブレーキ力として安全余裕度が 0.3 ~ 0.6 の領域。この範囲であると、船をあばれさせないで制御可能。(制御可能ゾーン)
- 本船の制御は可能であるが、速力を落とし過ぎて外力(風)があると影響が大きい領域。(外力がある場合の要注意ゾーン)

自船の排水量と機関後進出力や使用するタイミングの出力を確認し、アプローチ操船に於いて停止させるのに要する距離と時間を事前に確認し、安全余裕度を持って操船することが求められる。

P&I ロス・プリベンション・ガイド

7-4 接岸操船における寄り脚の制御

速力制御は予定通りの操船が終了したのに、岸壁に着岸させる時の寄り脚（予定バース前面で横距離を残し、タグボートやバウスラストを使用して船を横移動させる操船）の制御に失敗して岸壁やフェンダー、船体に損傷を与える事故も多く発生しています。

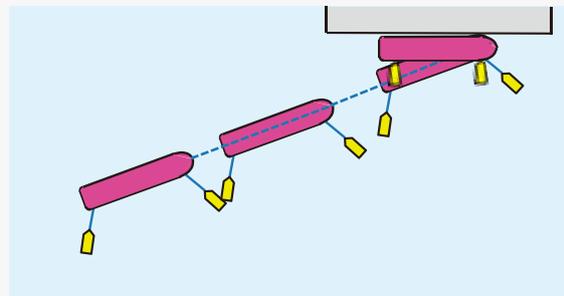
以前は、岸壁法線にある程度の角度を持ってアプローチし、船首の係留索を取ってから船尾を押して接岸させる方法が行われており、現在でも2万GT程度までの船舶ではこのような操船が行われています。しかし、2万GTを超える大型船ではバース前面において船体を岸壁法線に平行に、船幅の1.5～2倍程度離して停止させ、その後タグボートで横押しして接岸させる方法（平行着岸）が一般的になってきました。平行着岸を旧操船方法を比較した場合のメリットとデメリットは次の通りです。

= メリット =

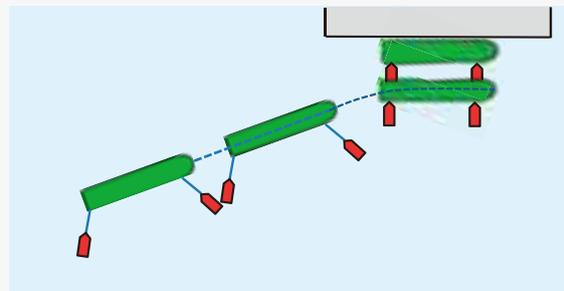
- 岸壁配置にもよるが、速力逡減に失敗しても岸壁損傷を発生させない。岸壁に奥行がある場合、**万が一速力制御に失敗しても、予定停止位置からオーバーランするだけで岸壁接触事故にはならない。**
- 旧操船方法だと、船首フレアが大きいコンテナ船などの場合、岸壁に張出して陸上クレーンなどを損傷させることがあるが、**平行着岸はそのリスクが小さい。**
- 旧操船方法と比べて、姿勢制御が行い易く**外力の急変に対応しやすい。**

= デメリット =

- 旧操船方法と比べて、着岸するまで**10～20分間程度時間を多く要する。**



2万GTまで(旧操船方法)



2万GT超の大型船(平行着岸)

7-4-1 寄り脚の制御

岸壁や係留施設は、着岸する最大船型を基準にして、通常毎秒15cm/secの接岸速度を想定して設計されていますが、一般的には毎秒10cm/sec以下、大型船やVLCCなどでは毎秒5cm/secの速度で接岸させています。これは、船の接岸エネルギーをフェンダーに吸収させて船体や岸壁の損傷を防ぐためです。

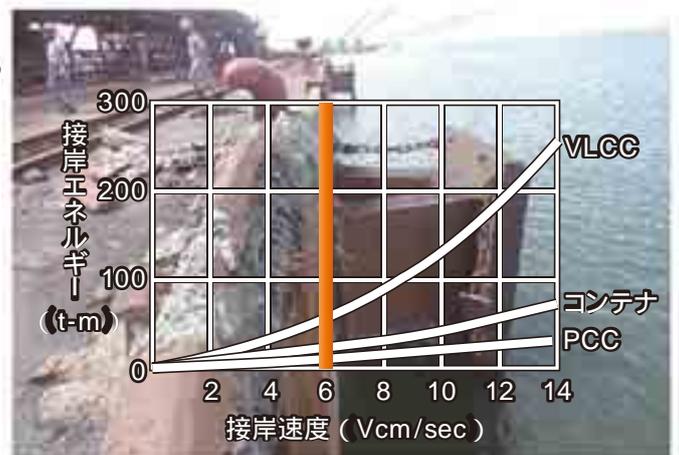


接岸エネルギーは以下計算式で求められ、接岸速度の2乗に比例します。

$$E = \frac{1}{2} \times \frac{W'}{g} \times V^2 \times C$$

- E : 接岸エネルギー (ton-m)
- W' : W (排水トン (ton) × 横方向付加質量係数 (1.0 ~ 2.0))
- g : 重力加速度 (m/sec²)
- V : 接岸速度 (m/sec)
- C : 回転運動などによるエネルギー逓減係数

排水量 50,000 トンのコンテナ船が毎秒 10cm/sec の速度で接岸した場合、付加質量係数を 1.8、C を 0.5 として計算すると、接岸エネルギーは約 23 ton-m にもなります。これは、重量 1 トンの車が時速 80km/h で壁に衝突するエネルギーに匹敵します。

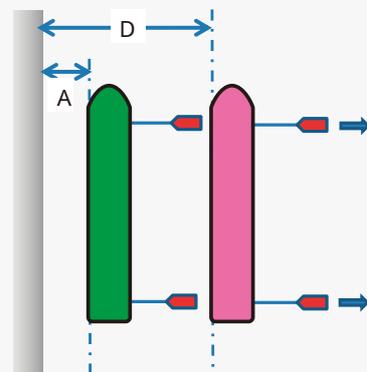


7-4-2 接岸速度に対する安全余裕度

速力逓減計画と同じように、接岸速度に対する安全余裕度も検討することが必要です。岸壁から Dm の地点から寄り脚速度 Vcm/sec を持つ船舶がタグによる一定のブレーキ力のもとで岸壁の手前 Am の距離を残して停止した場合、安全余裕度は下記式で計算されます。

$$\text{安全余裕度 (R)} = \frac{A}{D}$$

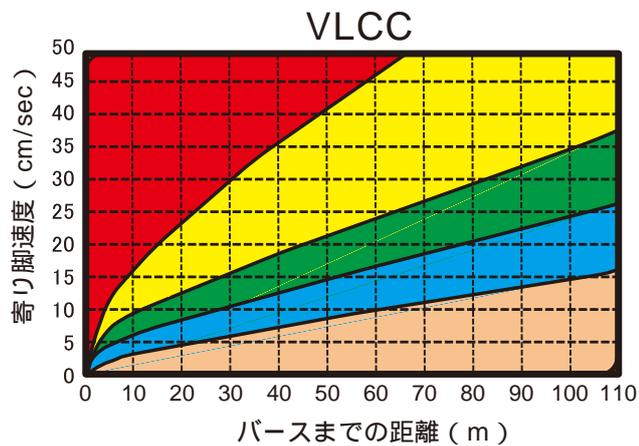
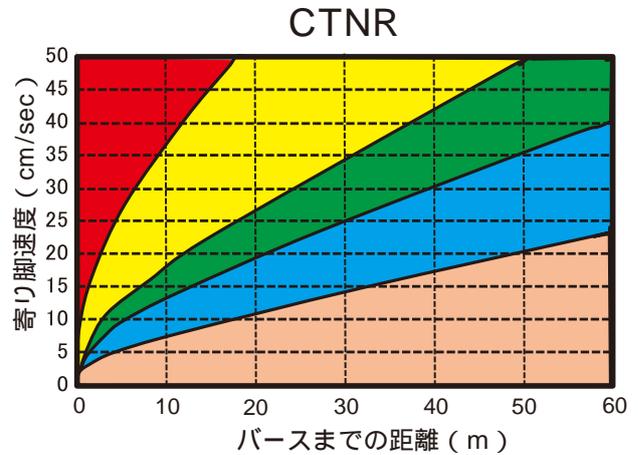
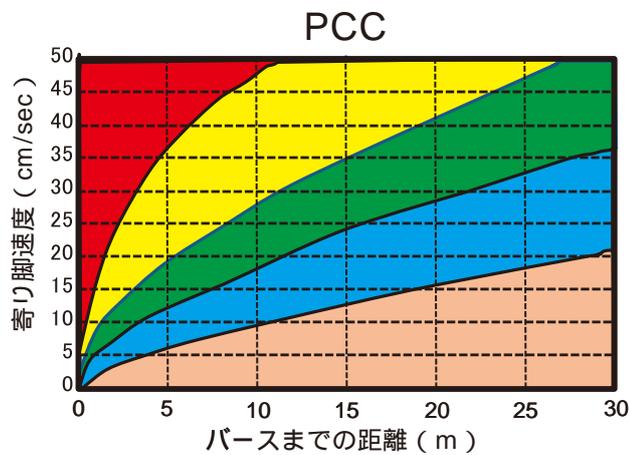
- D : 制動開始地点から岸壁までの距離
- A : 船体の停止点から岸壁までの残り距離



R = 1 の場合、制動開始直後に停止することを意味し、R = 0 の場合は予定停止点で停止することを意味します。水先人のアンケートの結果、タグを Slow で引かせて姿勢制御しながら安全に着岸できる余裕度は 0.3 ~ 0.6 の範囲でした。

P&I ロス・プリベンション・ガイド

速力逡減計画と同じように、グラフ化しておくことも一案です。



- タグ 2 隻が全速 (Full) で引いたブレーキ力で安全余裕度がゼロの領域
- タグが半速 (Half) で引いたブレーキ力で安全余裕度がゼロの領域
- タグが微速 (Slow) で引いたブレーキ力で安全余裕度がゼロの領域
- タグが微速 (D.Slow) で引いたブレーキ力で安全余裕度が 0.3 ~ 0.6 の領域
この領域での接岸速度調整が望ましい。
- 制御は可能であるが、外力の影響を受けやすい領域

8．港湾設備損傷防止のために

前述したように、出入港を伴う港内操船では自力操船が容易でなく、特に風潮等の外力が保針や変針、速力の保持、船体の姿勢制御に大きな影響を及ぼします。

従って離・接岸操船では外力の影響を把握し、タグボートや主機・バウスラスト等の操船支援手段を使用して**適格な船体姿勢の制御・速度で操船**することが求められます。

また、水先人が乗船していても操船をそのまま任せるのではなく、船長と水先人で操船手順を打ち合わせ、それを船橋の他乗組員にも理解させるなど、所謂 BRM（ブリッジリソースマネジメント）を徹底することが重要で、これにより港湾設備損傷事故は減らせるものと考えます。

出入港時に水先人と打ち合わせをするに当たり、**船長は自ら出入港操船手順を計画しておくことも求められます。**

8-1 入出港 S/B 中の BRM の実践

入出港時の BRM を徹底するために考慮しなくてはならない事項は次のようなものが考えられます。

- 入港前日に航海士を招集して入出港手順のブリーフィングを行う。
- Pilot が乗船したら、Pilot Card（添付資料 ご参照）を提示し、喫水・Displacement・特記事項等を説明する。
- Pilot からタグを取る場所、接岸舷、係船索本数等の情報を入手する。余裕があるときは、操船要領の確認（回頭場所等）を行う。
- 船橋配置航海士には機関操作したときの速力を報告させ、操舵手には舵の状況を適宜報告させる。ともすれば、機関を使用しなくなった着岸操船の最終段階において、船橋配置航海士は船橋内の後片付けを開始し、寄り脚速度等の報告を怠ることがある。船長から部署解除の指示があるまでは、前後速力や寄り脚速力等、与えられた報告事項を適宜報告させることが必要である。
- 船首尾配置の航海士にはタグの動静を逐次報告させる。特に、英語圏でない港の場合、Pilot とタグは現地語でやりとりを行うことが多く、タグの動静が船長に伝わりにくい状況にある。従って、船首尾配置の航海士はタグが押しているのか・引いているのか、またその方向等を簡潔に報告させることが重要である。
- 係船索の繰り出しは Pilot と打ち合わせながら実施する。一般的にはビットに係船索を取った後でも、「垂み」を取るだけとしテンションはかけないようにする。
- 係船索を巻き込むことで姿勢制御を行う場合は、必ず操船者の指示に従うことが重要である。
- そして、船長に限らず、乗組員全員が疑問に感じたことは必ず確認することが必要で、船長はそのような雰囲気自ら作り出すことが求められる。