

操船関係 技術参考資料

パナマ運河 ガツン閘門



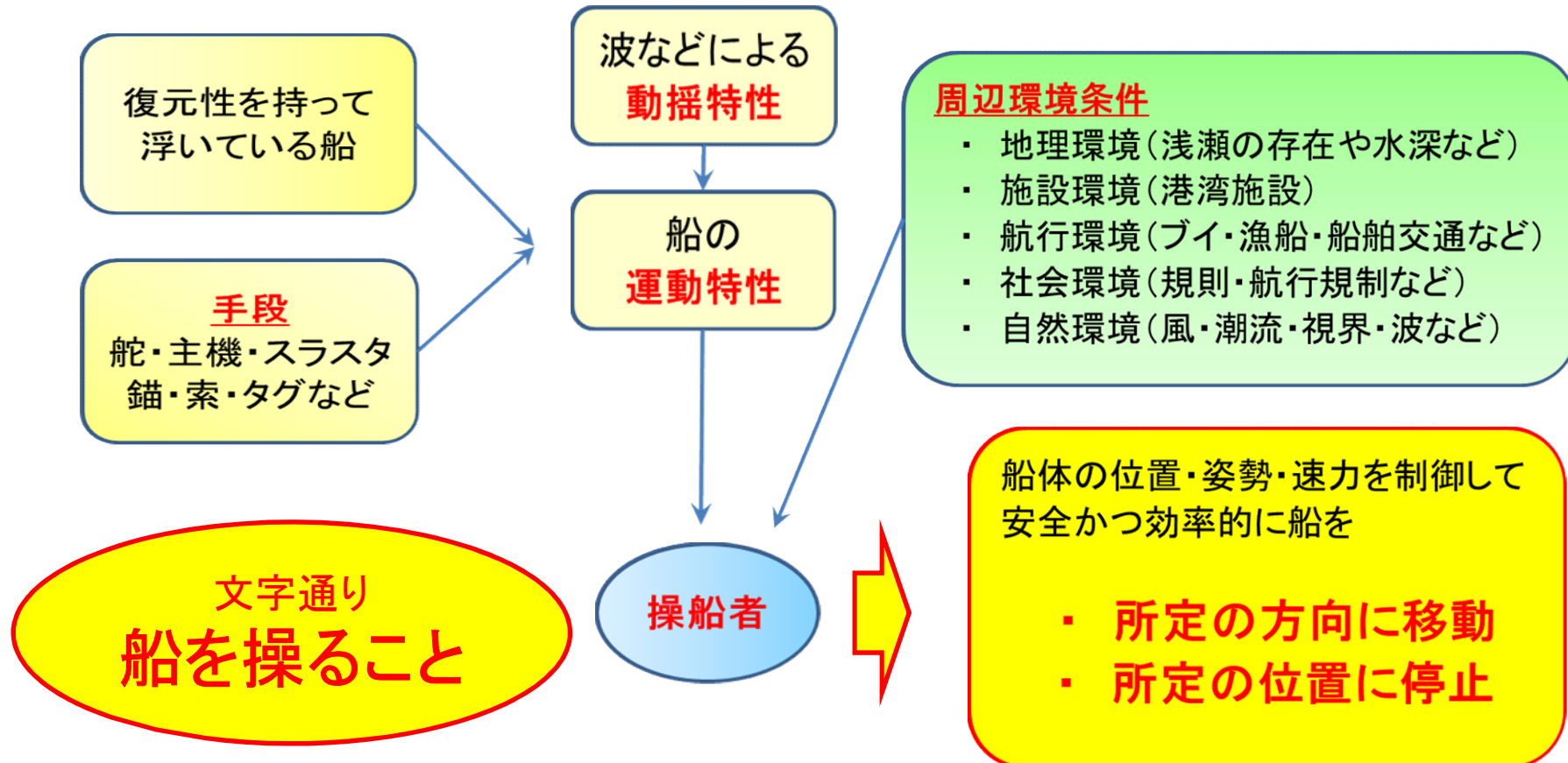
目 次

P. 1	目次
P. 2	§ 1 操船とは
P. 3	§ 1- 1 周辺環境条件の調査項目
P. 6	§ 1- 2 地理環境 = 最大許容喫水 =
P. 11	§ 1- 3 地理環境 = バースの最大受け入れ船型 =
P. 16	§ 1- 4 地理環境 = 回頭水域 =
P. 20	§ 1- 5 タグボートの所要隻数
P. 22	§ 2 船の運動特性
P. 23	§ 2- 1 外力の影響
P. 30	§ 2- 2 速力の制御
P. 36	§ 2- 3 接岸操船における寄り脚の制御
P. 41	§ 2- 4 港湾設備損傷防止のために
P. 42	§ 2- 5 出入港S/B中のBRMの実践
P. 43	§ 3 走錨
P. 43	§ 3- 1 走錨のメカニズム
P. 49	§ 3- 2 風圧力計算
P. 50	§ 3- 3 錨と錨鎖による把駐力
P. 53	§ 3- 4 錨・錨鎖の搭載例
P. 56	§ 3- 5 振れ回り運動と衝撃力
P. 60	§ 3- 6 操船運用上の錨泊安全対策とその効果
P. 70	§ 3- 7 錨泊限界風速
P. 72	§ 3- 8 走錨後の措置とその効果
P. 77	§ 3- 9 他船との安全な船間距離 : 浅瀬や海上構造物との離隔距離
P. 82	§ 3-10 投錨作業
P. 84	§ 3-11 錨鎖の繰り出し速度・総出量・揚錨機のブレーキ力
P. 86	参考: 高速船のFull Speed航走下における回頭運動と制御
P. 89	後書き

§ 1 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、波の中での**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。

(神戸大学 操船の理論と実際 井上欣三名誉教授著)



周辺環境条件の調査

初入港するような場合に限らず、**事前の港湾事情調査は必ず実施**すること。
 (定期航路の場合でも、再度本船で確認する。)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確認する。**

最近ではインターネットによる情報提供も多数あるが、本船でインターネットを
 接続できる環境が十分整っていない場合が多いので、**陸上支援チームが情報
 収集を行って本船に提供**する体制を構築することが望ましい。

§ 1—1. 周辺環境条件の調査項目

1. 1. 1 地理環境・施設環境

- ・ 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

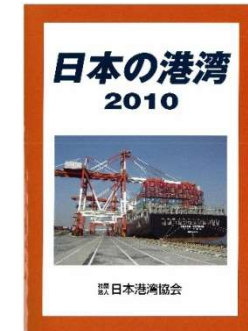


Bulkerなどで陸上Loaderを使用する場合は、LoaderのMax. Air Draft
 PCCは岸壁高さやカーランプを降ろすスペース
 タンカーはLoading Armの直径と本船所持のReducerの種類

など

大まかな事前調査を行う場合の参考資料は以下等がある。

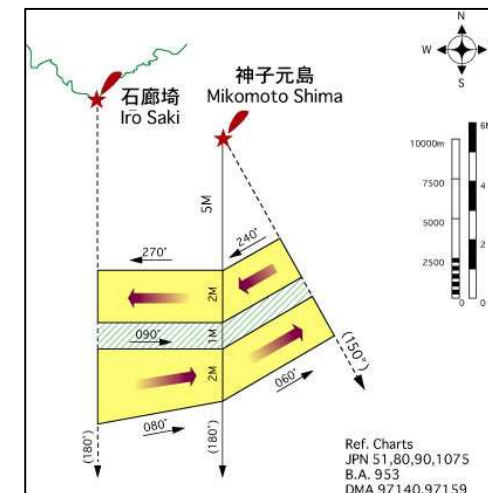
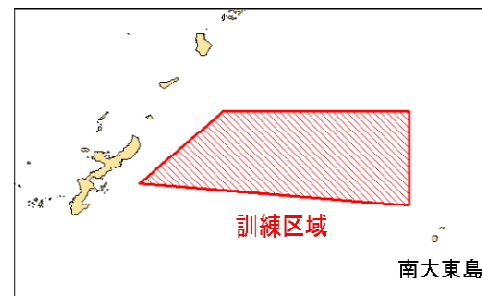
- Port Guide Online(IHS : Information Handling Services)
- Guide of Port Entry(Shipping Guide)
- Dry Cargo Database(Global Port)
- Port of the World(Portworld)
- 日本の港湾(日本港湾協会)
- 海図
- 水路誌や航路誌、BA Admiralty Publication



など

1. 1. 2 航行環境(ブイ・漁船・船舶通航など)

- 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。
- 日本沿岸の推薦分離通航帯情報など(右図)
- 各国の演習区域情報など

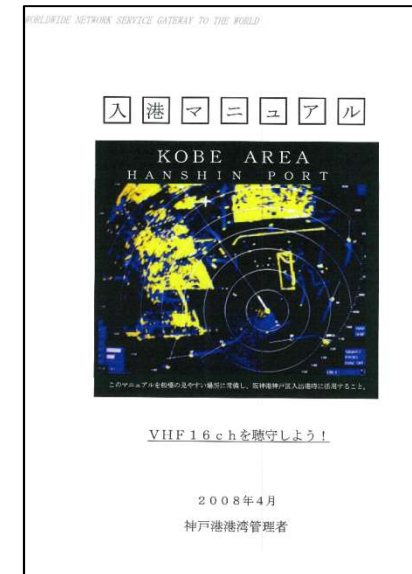


1. 1. 3 社会環境(規則・航行規制など)

各種通報や入港規制など、港ごとのLocal Regulationの存在

- ・ 水先人の有無
- ・ 入港前の各種通報
 - ETA・VTS・日本の海上交通安全法による航路通報
- ・ 沿岸諸国の各種通報・速度規制
- ・ 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 Sulfer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

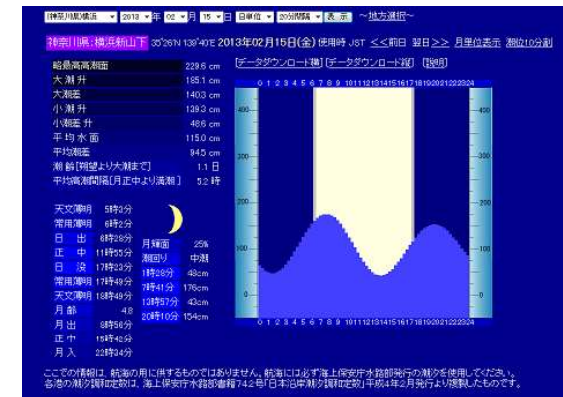
など



1. 1. 4 自然環境(風・潮流・視界・波など)

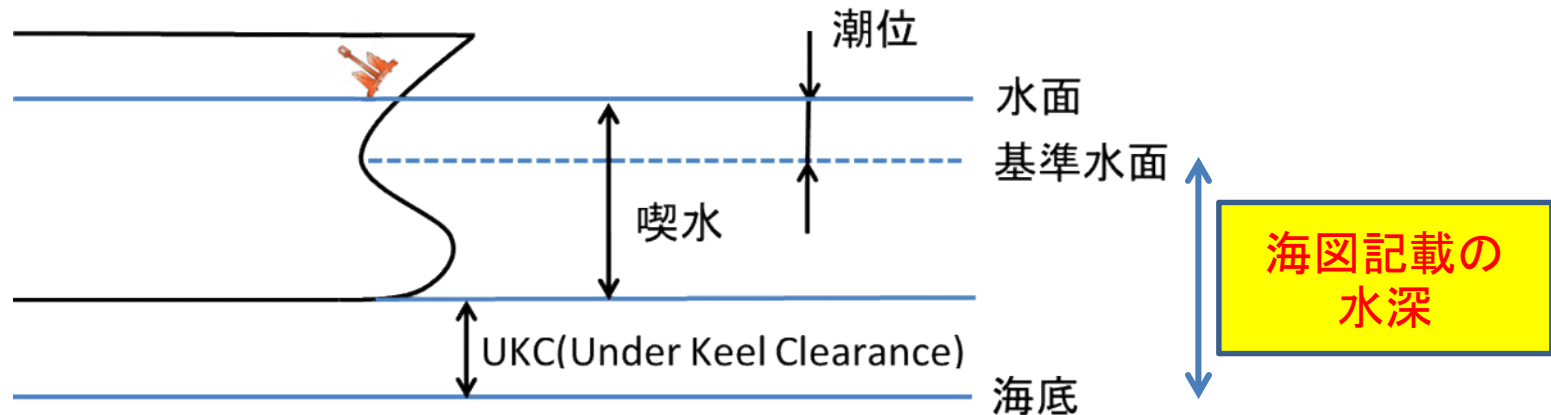
- ・ 潮汐表や潮流情報
- ・ 水路誌や航路誌、BA Admiralty Publication による情報
- ・ 気象情報

など



インターネットによる
潮汐情報 参考例

§ 1-2 地理環境 = 最大許容喫水 =



基準水面は、その場所の最大干潮時の水面である最低水面を採用している。

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**負潮位は場所によりごく稀に発生**することがある。

国により、**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る。国際水路協会 (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る。

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

最大許容喫水はそれぞれの要素に**誤差や安全率**を考慮して最大喫水を検討する必要がある。また、各港(またはバース)毎に定められている「最大許容喫水」の数値と照らし合わせて問題の有無を確認することも必要。

1. 2. 1 UKC(Under Keel Clearance)

各港でUKCのガイドラインを設定していることが殆ど。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管理していることが多いが、**日本は固定的なUKCを採用している**ことが多い。

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る。

港内航路 : 対象船舶の最大喫水の10%

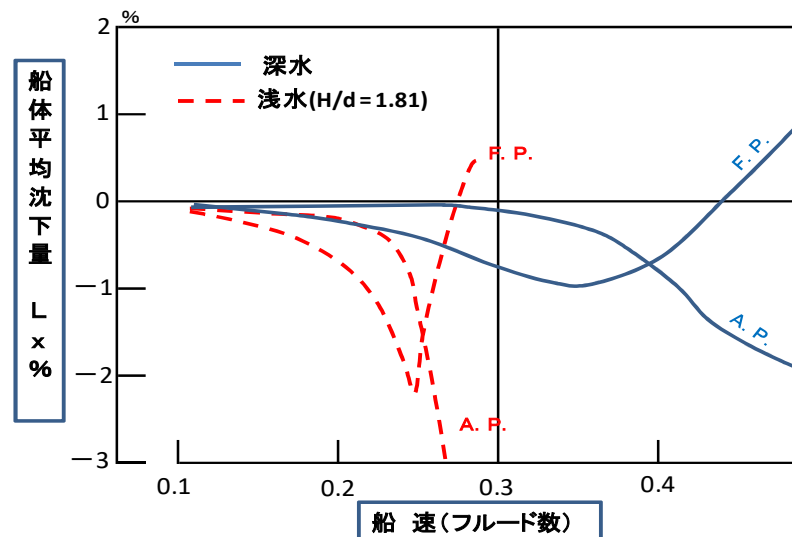
港外航路 : 対象船舶の最大喫水の15%

外海航路 : 対象船舶の最大喫水の20%

1. 2. 2 本船の最大喫水について考慮しなければならない事項

・ 航走中の船体沈下量

船は走り出すと、船体周りの水圧分布が変わるので船体は沈下する。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る。



航走中の船首尾沈下(船舶技研報告による)

$$\text{フルード数} = V / \sqrt{L \times g}$$

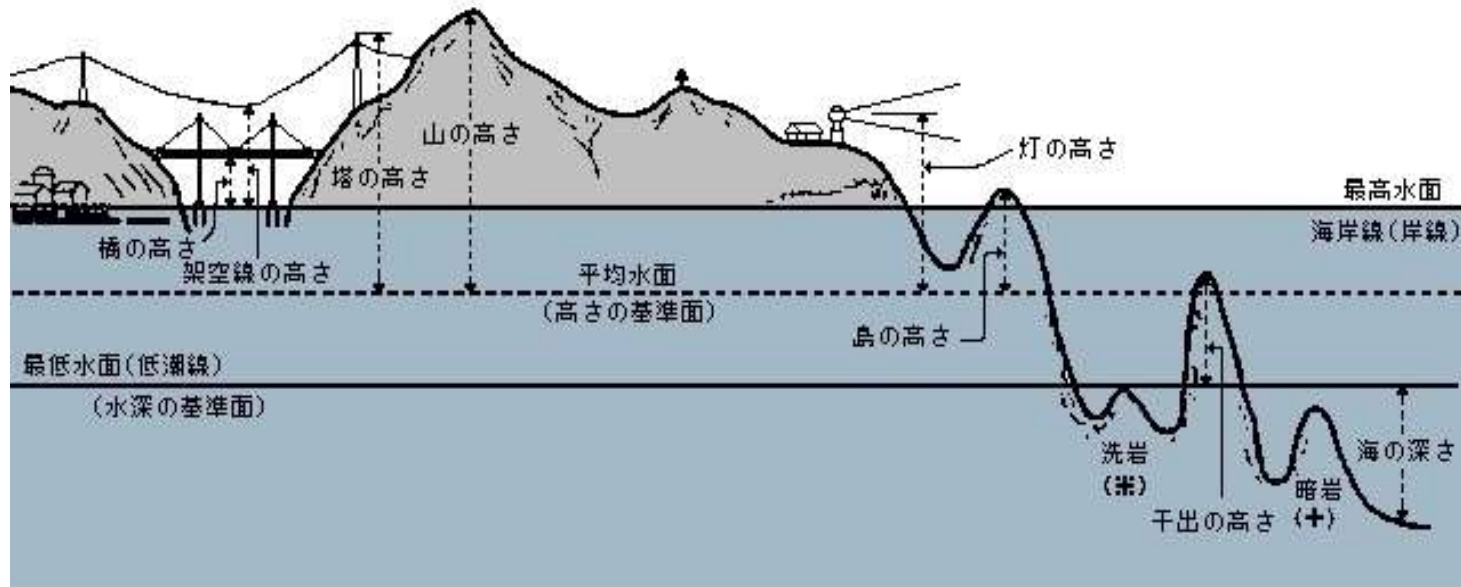
V : 船速(m/sec)

L : 船の長さ(m)

g : 重力加速度(m/sec²)

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る。
風浪、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。

1. 2. 3 航路水深と潮位



- 海図の水深

国際的な測深基準では、**水深の許容限界誤差**は以下としている。

水深 20mまで	: 0. 3mまで
水深100mまで	: 1. 0mまで
水深100m以上	: 水深の10%

- 潮汐表の潮位の精度

日潮不等や異常気象等を除けば、**ほぼ0. 3m以内**で実際と一致するとされている。

1. 2. 4 入港可否の検討

代理店等を通じて入手した**最大許容喫水の情報**と**本船喫水情報**を比較し、下記を考慮して入港可能かどうかを判断する。(うねりや波浪がない場合)

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(Loa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)

参考例(所要水深の求め方)

Loa : 200m 喫水 12mの場合

最大喫水 12.40m

UKC(港外航路) 1.86m(15%)

海図水深の誤差 0.60m

} Total 14.86m

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**と判断できる。

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。

§ 1-3 地理環境 =バースの最大受け入れ船型=

1.3.1 港湾施設の設計基準

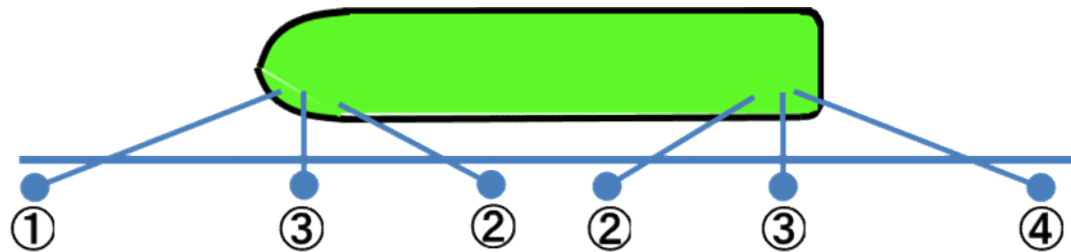
港湾の施設の技術上の基準を定める省令による港湾施設の技術基準

水深 = 最大喫水 + 余裕水深 (UKC: 10%)

バース長 = 全長 (Loa) + 1.0 ~ 1.7 x 型幅 (B)

係数 1.0 = 係留索とバースのなす角度が 45 度

係数 1.7 = 係留索とバースのなす角度が 30 度



- ① 船首索 (ヘッドライン)
- ② スプリングライン
- ③ ブレストライン
- ④ 船尾索 (スターンライン)

バース長とバース水深に
十分余裕があるかどうか。

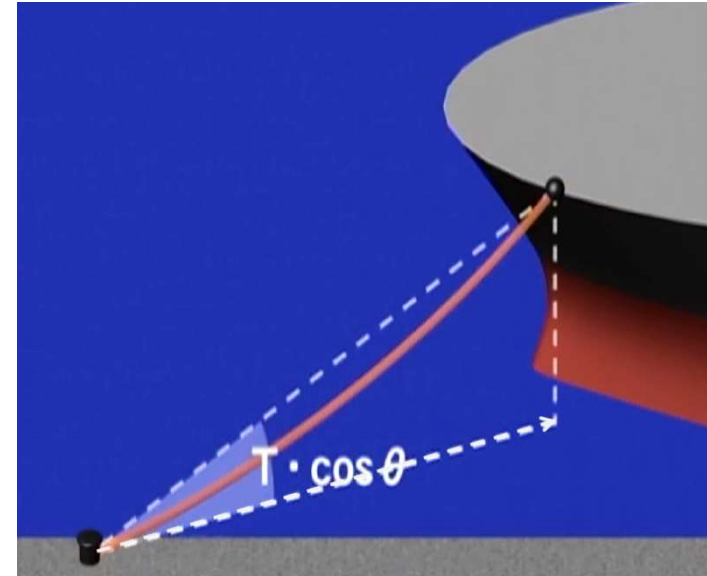
1. 3. 2 本船の係留力

θ : 係止点から本船係船索の搬出点を見上げた俯角

T : 係船索に働く張力

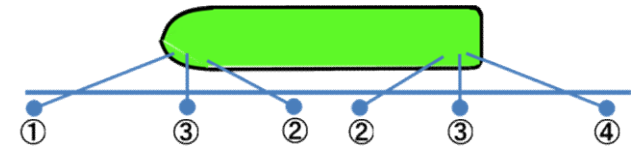
$T \cdot \cos \theta$: 係船索の水平方向の張力

ϕ : 係船索と岸壁法線のなす角度



$T_x = T \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi$: 船首尾方向の係留力

$T_y = T \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi$: 船体正横方向の係留力



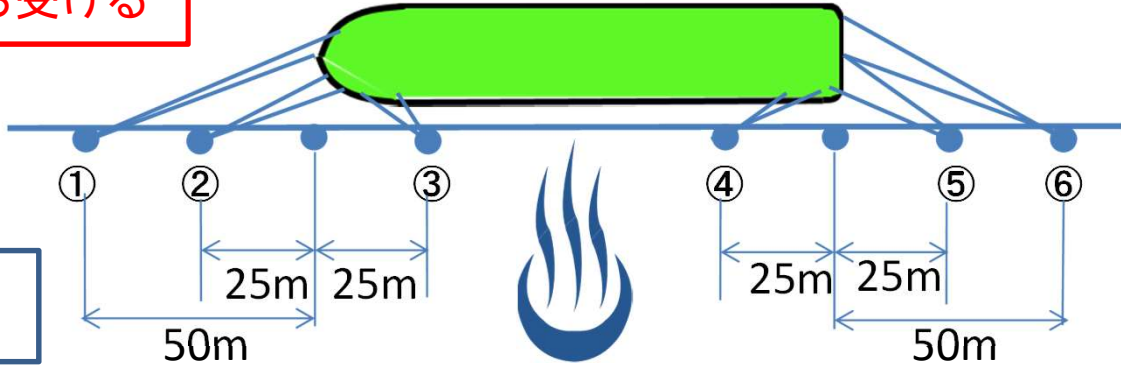
- ① 船首索(ヘッドライン)
- ② スプリングライン
- ③ プレストライン
- ④ 船尾索(スターンライン)

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る。

自動車船(PCC)の係留力計算 参考例

離岸風を真横から受ける

Mooring Deck
岸壁から15m



正横方向の係留力
(Mooring Force on Transverse Direction)

Mooring Lines	No.	Angle		Mooring Force(ton)	
		θ°	φ°	per Line	Total
① Head Line	2	17	20	8.2	16.4
② Head Line	2	32	14	5.1	10.2
③ Fore Spring	2	32	7	2.6	5.2
④ Aft. Spring	2	32	7	2.6	5.2
⑤ Stern Line	2	32	14	5.1	10.2
⑥ Stern Line	2	17	20	8.2	16.4
Total	12	Lines		63.6	

係船機の巻き上げ能力 : 25.0 tons
(Lines pull of Mooring winch)

風圧力

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

側面風圧面積: 5,500m²

風速 12.4m/sec → 風圧力 63 ton

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。

1.3.3 ビットの強度

本船に係留するのに十分なビットが備えられているか

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



曲柱

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

1.3.4 フェンダー

本船を係留するのに十分なフェンダーが備えられているか

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を発生する可能性がある。

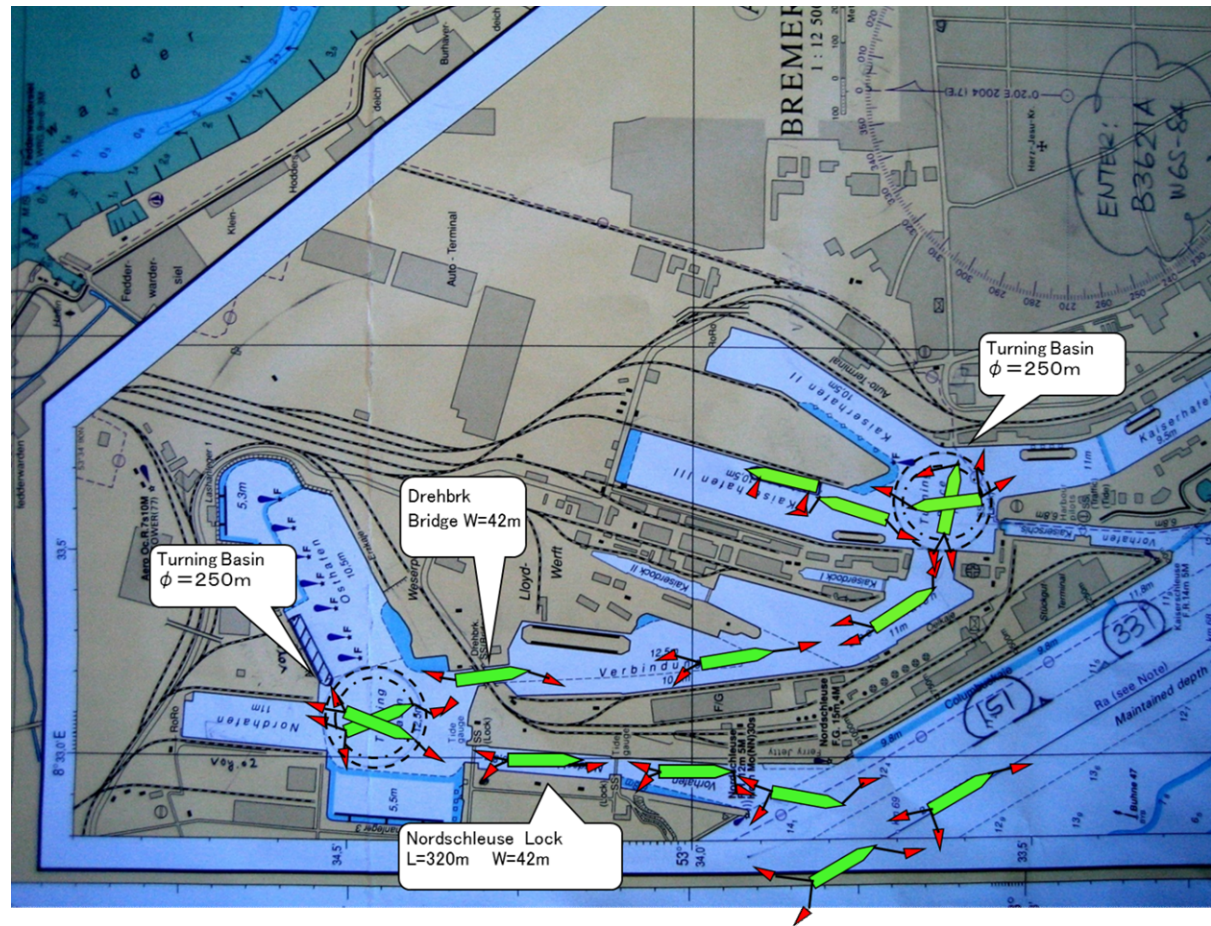


§ 1-4 地理環境 = 回頭水域(Turning Basin) =

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る。**

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**を標準としている。

また、可能な限りバース前面に回頭水域があることが望ましいが、地形や岸壁の設置状況により、バース前面に回頭水域が設けられない場合が多い。



ドイツ「Bremerhaven港」
ドック内の狭い水域に直径250mのTurning Basinが2箇所ある。Loa=200mのPCCを着岸。($\phi = 1.25L$)

ブレーメルハーフェン港の Nordscheleus Lockとタグ



幅42m・長さ320m

1.4.1 タグボートを使用した回頭

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 $1/2L$ の水域内における「その場回頭」はできない。

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る。

$$\text{回頭半径}(R) = GP + 1/2L$$

$$GP = k^2 / GC$$

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 $\approx 0.35L$

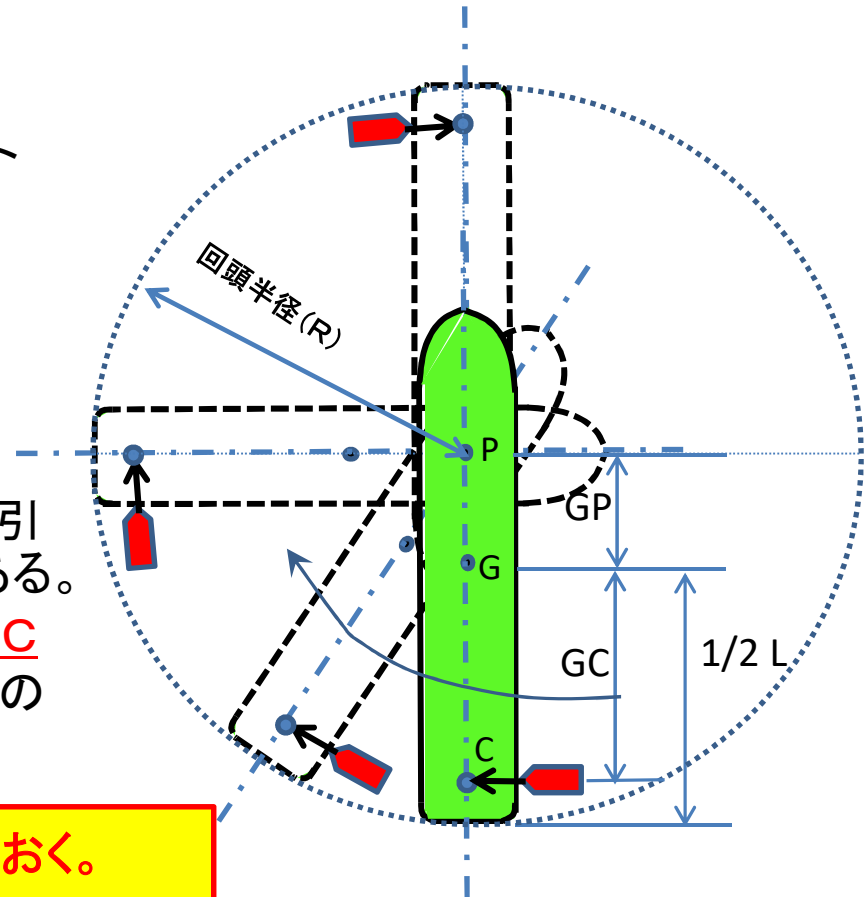
P: 転心点 (Pivoting Point)、船が回頭する
場合の回転中心

G: 重心

C: タグの作用点

P(回頭中心: 転心点)は、タグの押す(又は引く)力と無関係で、位置は重心Gの反対側にある。

上式から、タグの作用点が重心に近づくとき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る。



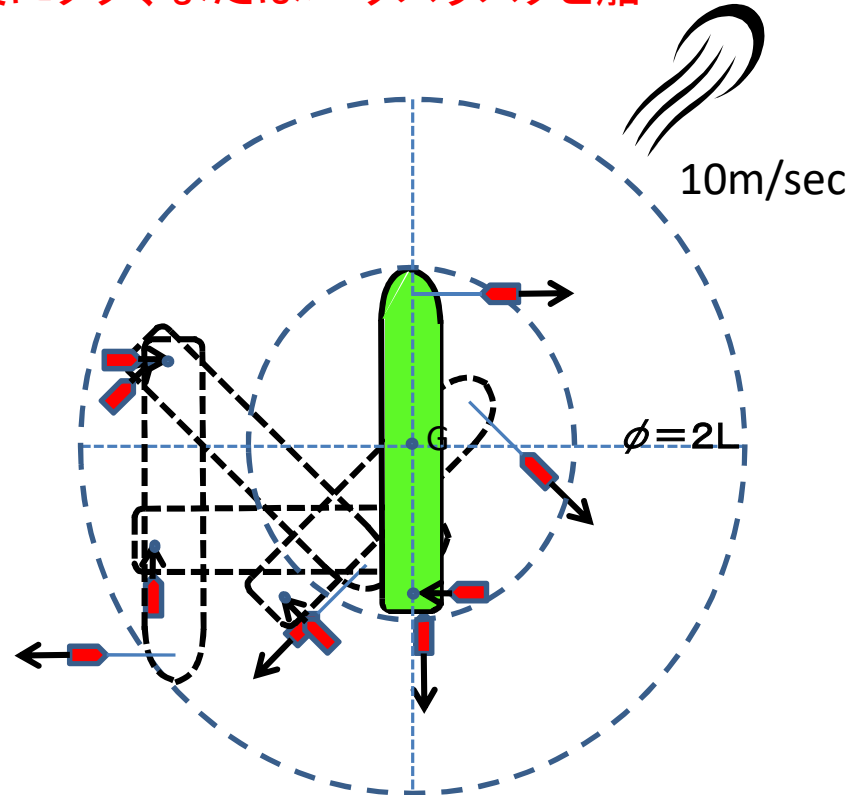
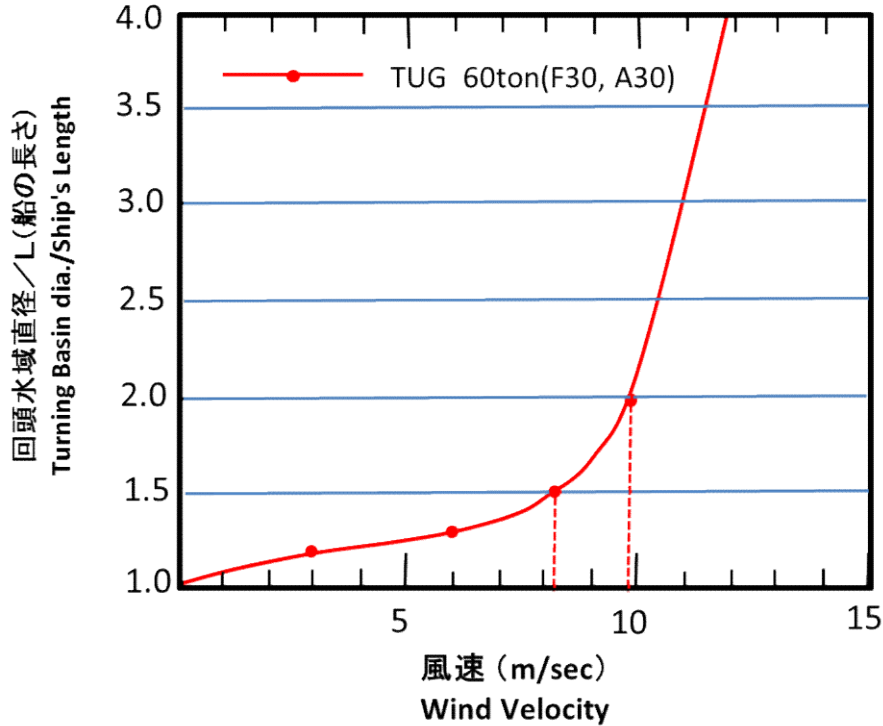
タグの作用点毎の回頭半径を把握しておく。

その場回頭(直径1Lの水域)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らない。

外力(風)の影響を受けた場合

タグボート2隻(推力 30ton/tug)を使用してその場回頭した場合の風速との関係は下図の通り。

回頭水域「 $\phi = 2L$ 」に対応できるのは、風速が10m/sec程度。



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

シミュレータ
による
モデル船型
(CTNR)

§ 1-5 タグボートの所要隻数

港内操船でタグ支援が最も必要な場合は、**本船を正横に押しつけて接岸させる場合**。この時に必要なタグの全所要馬力を考えておけば、前進制動や回頭のような**他操船支援の局面において、これを上回ることはない**。

タグの所要馬力を決定する際に考慮する事項

- ① 本船の大きさと載貨状況
- ② 本船の主機関・舵・錨の状態
- ③ 気象・海象（風向・風力、潮流の流向・流速、波）
- ④ 付近の水深（浅水影響を考慮）
- ⑤ 操船水域の広狭
- ⑥ スラストの有無
- ⑦ 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。



入出港に必要なタグがあるかどうか

おおまかなタグの所要馬力の目安

条件： 離岸風 10m/sec 着岸時の寄り足速度 15cm/sec以下

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

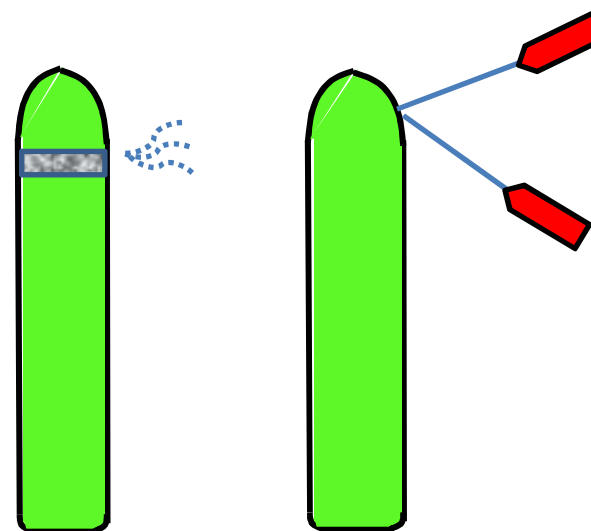
DWT 5万トンまで	: 3000馬力程度 x 2隻
DWT 5万トン～10万トンまで	: 3000馬力程度 x 3隻
DWT 10万トン超	: 3000馬力程度 x 3～4隻
VLCC	: 3000馬力程度 x 5～6隻

※ タグ推進器により異なるが、100馬力 ≒ 1トン

タグとバウスラストの違い

バウスラストは方向は真横のみ。
タグは斜め引き・押しが可能。

バウスラストの効力は3～4ノットの
速力まで。タグは6ノット以下ならば
能力を発揮できる。



§ 2 船の運動特性

港湾設備の損傷事故の中で岸壁損傷と防舷材損傷が7割を占めているが、**事故原因は操船ミスが殆ど。**

操船ミスは水域が限られる狭い港内で、以下が原因となっていることが殆ど。

- ① **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。**
- ② **機関・タグなどを使用した速力制御に失敗すること。**

港内のバースにアプローチするとき、たいてい
の場合は護岸や浅瀬・他船が存在し、このよ
うな状況で停止予定地点を超えてのオーバ
ーランは事故につながる。

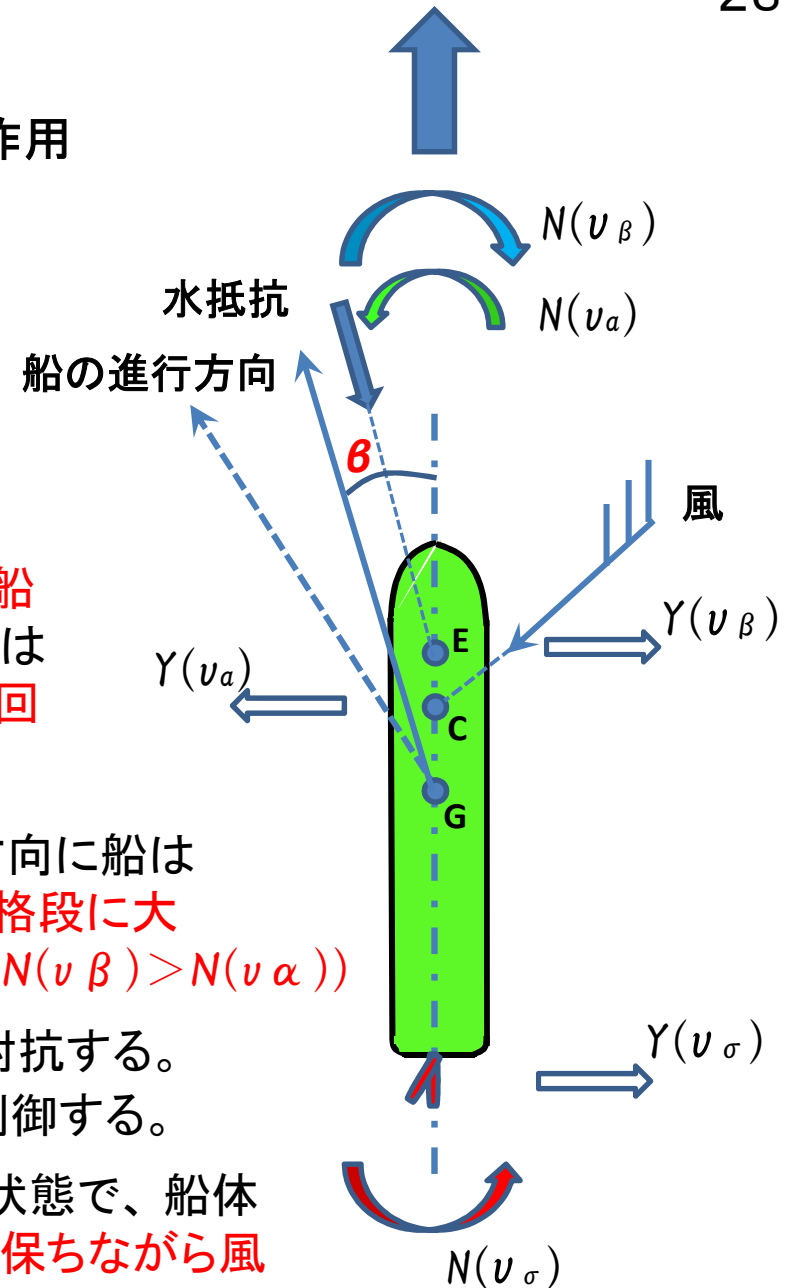
操船者はバースまでの残り距離に応じて徐々
に速力を減じ、**自船の種類、大きさ、載貨状況
や運動慣性、操縦性能と外力の影響などを勘
案しながら行き脚の調整や回頭を行うことが求
められる。**



§ 2-1 外力の影響

2. 1. 1 航走中の風圧下における横流れと回頭作用

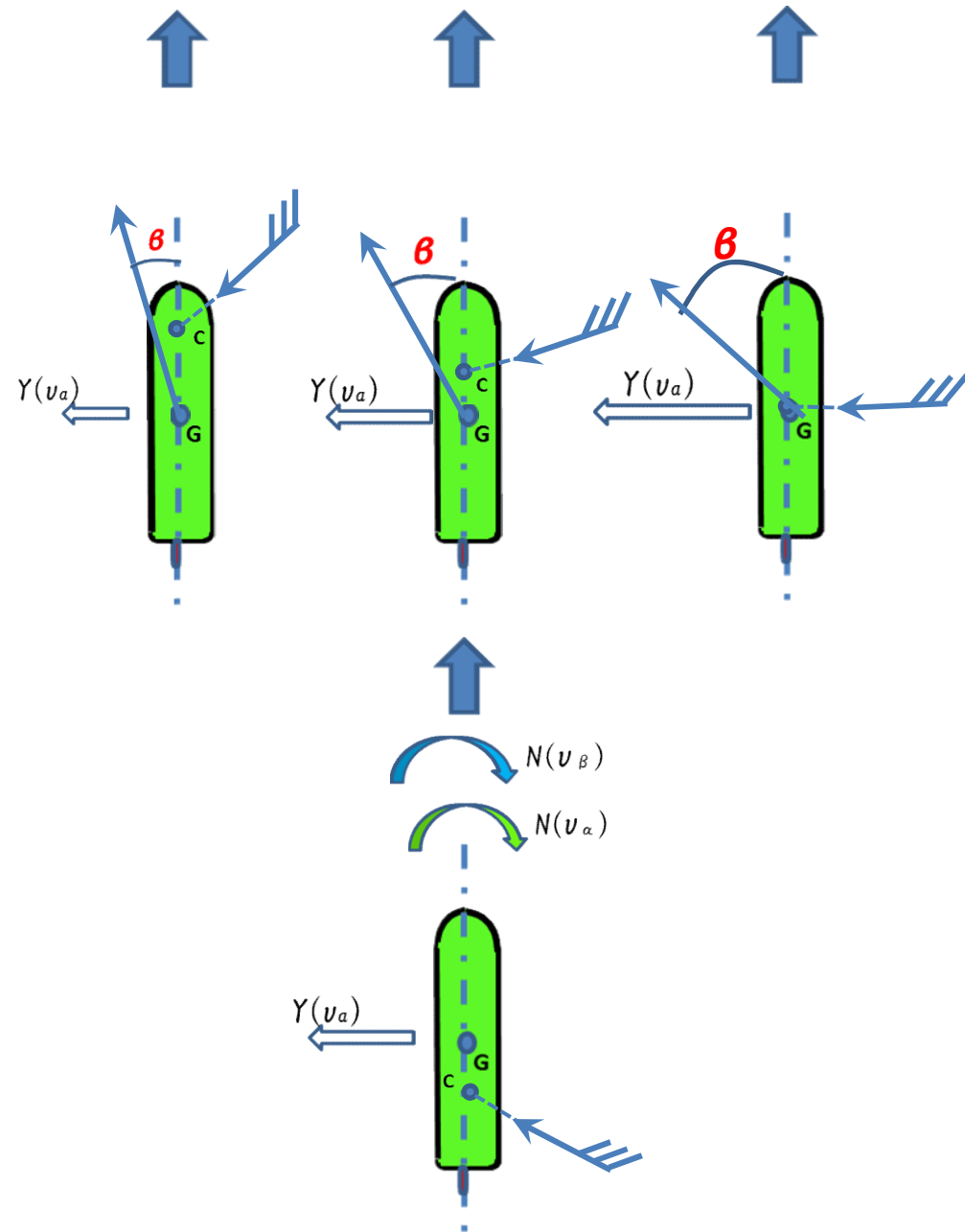
- ① 無風状態で外力が働かなければ直進する。
- ② 風を右45度から受けると、風下に落とされるとともに、風の作用点(C)が重心(G)より前方にあるので、船首を風下方向に落とす回頭モーメント($N(v_\alpha)$)が働く。
- ③ 風下方向に圧流(斜航)を開始すると同時に、船首風下舷には水抵抗が生じる。この作用点(E)は風圧の作用点(C)より前方にあり、風上に船を回頭させようとするモーメント($N(v_\beta)$)が働く。
- ④ 風と水抵抗の回頭モーメントを比べて大きい方向に船は回頭するが、一般に水の抵抗が空気と比べて格段に大きいので、船は風上に切りあがりを開始する。 $(N(v_\beta) > N(v_\alpha))$
- ⑤ 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(σ)によるモーメント $N(v_\sigma)$ で制御する。
- ⑥ 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「 θ 」の角度を持って針路を保ちながら風下に落とされる。(リーウェイ)

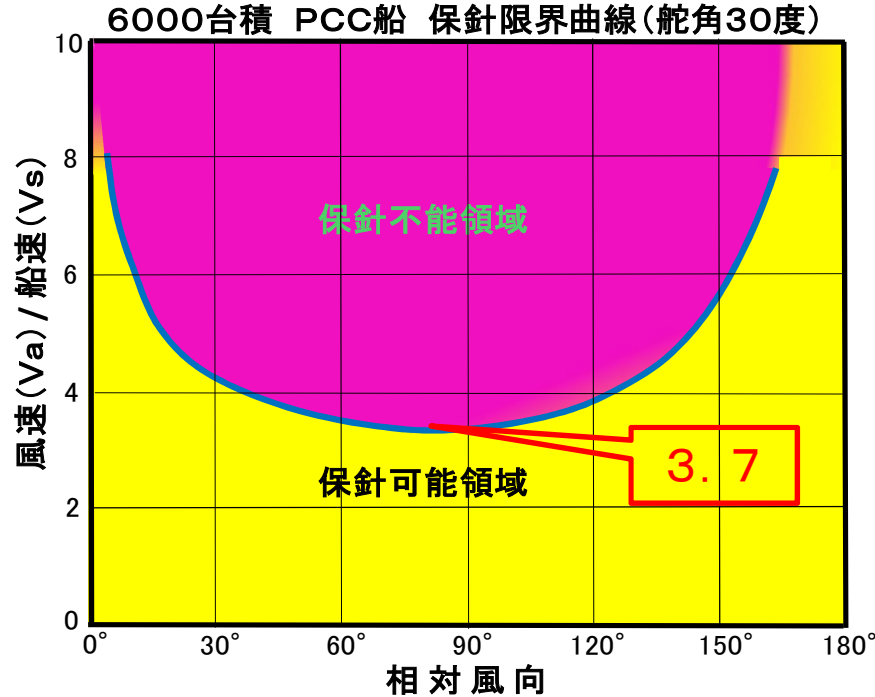


風の作用点(C)は、相対風向が横になるほど重心に近づき、真横(90度)では重心に作用する。その結果、風下方向働く回頭モーメント $N(v\alpha)$ は小さくなる一方、船体を風下に落とす力 $Y(v\alpha)$ が大きくなり、斜航角度が大きくなるので水抵抗による回頭モーメント $N(v\beta)$ が大きくなる。

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 $N(v\alpha)$ は船首を切り上げる方向になる。

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あるが、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、保針不可能となる。

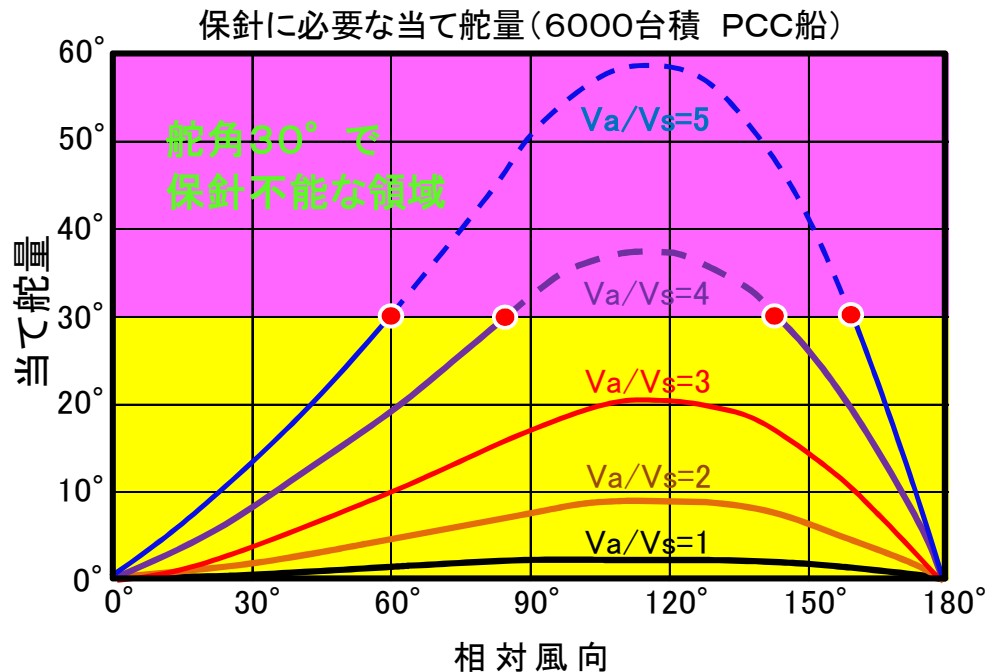




左のグラフは、舵角30度で保針可能・不可能域を示している。

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する**。

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る。



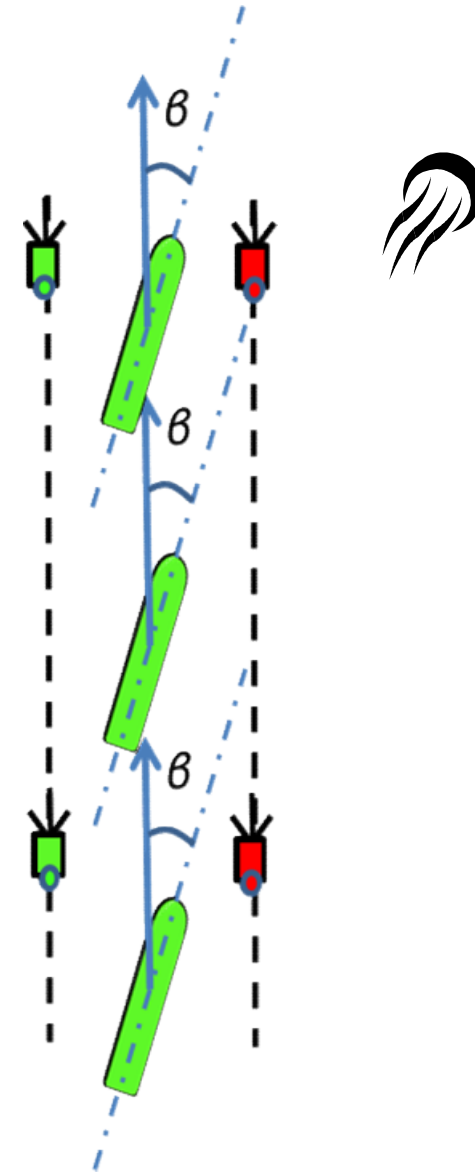
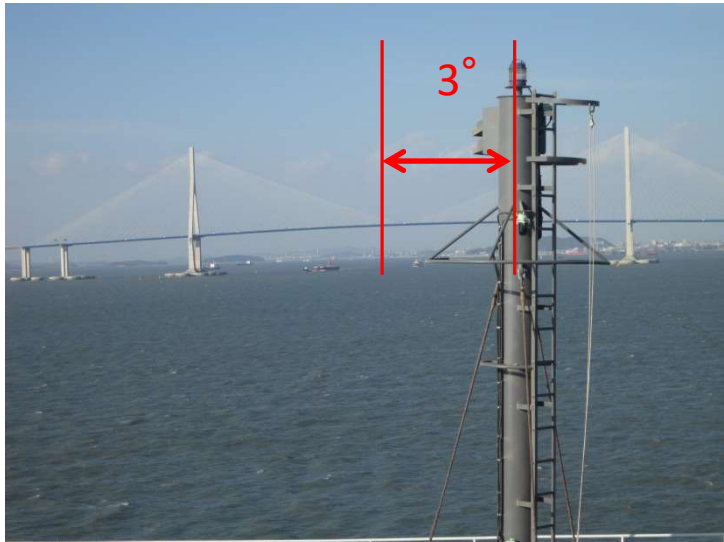
左のグラフは、縦軸に舵角を取り、風速/船速比ごとの保針可能・不可能領域を示している。

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る**。

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(β)を考慮して操船する必要がある。

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する。

港ごとに入出港時の最大風速を定めている場合が多いが、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が必要。



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

レーダーの自船ベクトルをGPSモードに設定にして、リーウェイを画像としても表示させている参考例



Incheon Approach

船首方位 (HDG) 38.2° と実際の進行方向 COG (Course of Good) 43.3° のデジタル表示。リーウェイが 5.1° あることが判る。

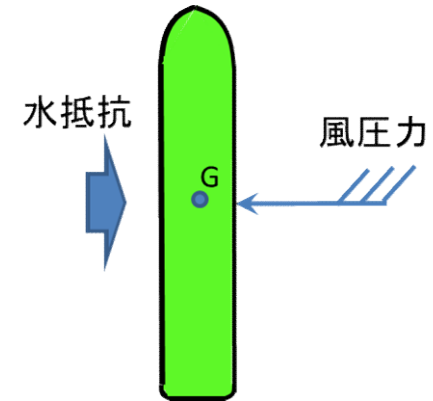
白のベクトルが実際の進行方向

青の実線が船首方位

2. 1. 2 停止中の圧流

バース前面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は風圧による船体の漂流に最も注意しなければならない。

漂流速度は、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、以下式から求められる。



風圧力	水抵抗
$\frac{1}{2} \rho_a \times Ca \times Ba \times Va^2$	$= \frac{1}{2} \rho_w \times Cw \times Bw \times Vw^2$

- ρ_a : 空気密度 (0.125kg・sec²/m⁴)
- ρ_w : 海水密度 (104.5kg・sec²/m⁴)
- Ca : 風圧横力係数
- Cw : 流圧横力係数
- Ba : 水面上船体横面積 (m²)
- Bw : 水面下船体横面積 (m²)
- Va : 相対風速(m/sec)
- Vw : 相対流速(m/sec)

$$Vw = \sqrt{\frac{\rho_a \cdot Ca \cdot Ba}{\rho_w \cdot Cw \cdot Bw}} \times Va$$

$$\frac{Ca}{Cw} \doteq 1.3 \text{ (船毎に異なるがおおよそ)}$$

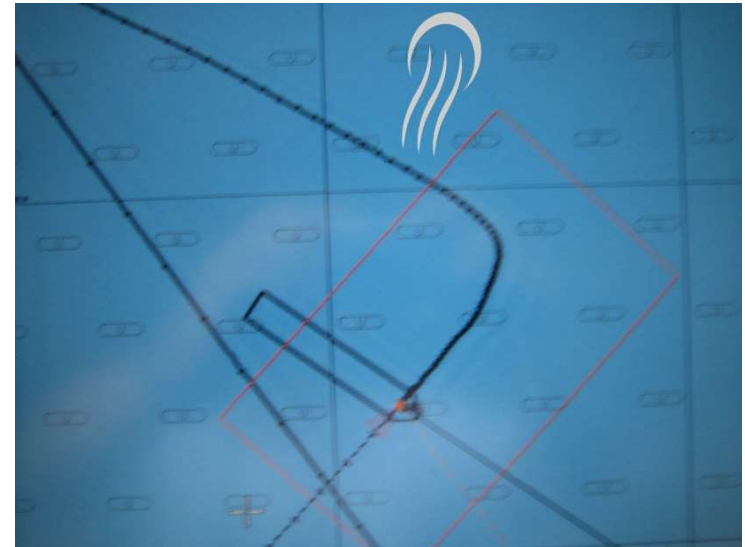
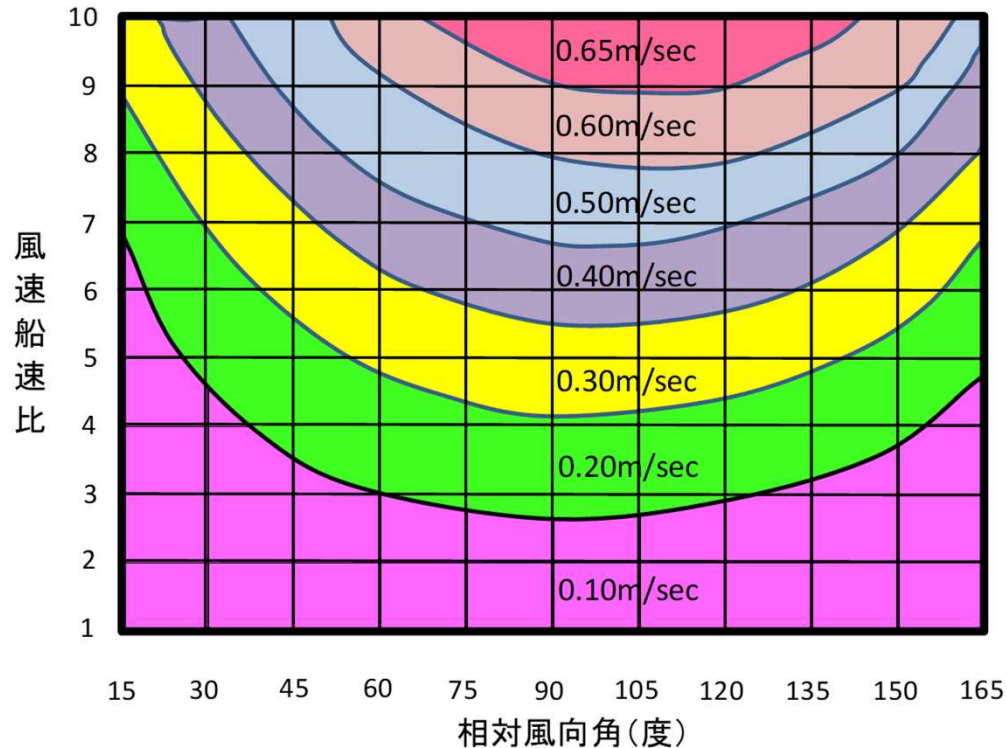
$$\frac{Ba}{Bw} \doteq 3.0 \text{ (PCC船の場合)}$$

$$Vw = 0.068 Va$$

4500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分で定常に達する。

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ノットに減速すると、そのときの風速・船速比は10となるので、120秒後にはおおよそ0.65m/secの速度で横漂流する。

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

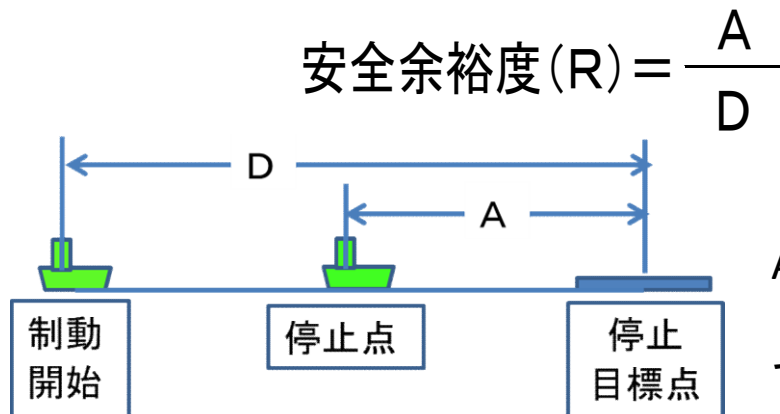
§ 2-2 速力の制御

船は自動車と異なり、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**を受けなければならない。

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る。

2. 2. 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**して評価できる。



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

水先人へのアンケートの結果では、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。

2. 2. 2 停止距離と船体重量・加速度の基本

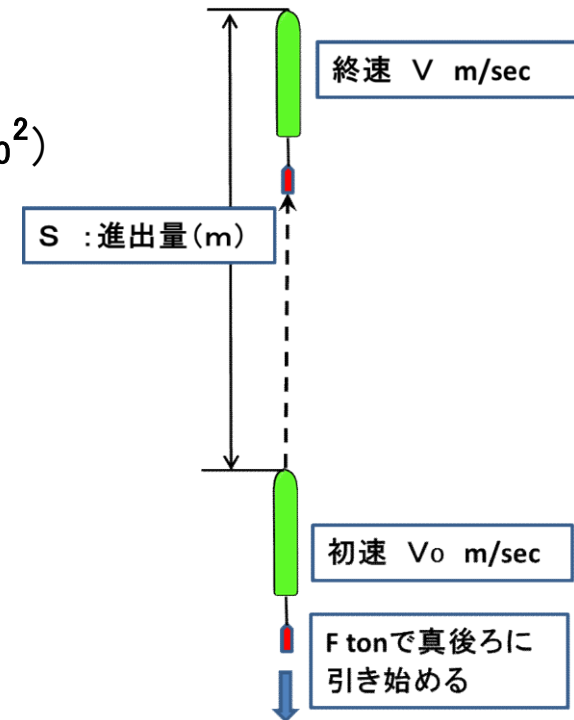
詳細は船型や船体抵抗を考慮しなければならないが、概算の停止距離・停止するまでの所要時間などは、**エネルギー保存則から導かれる下記計算式**で求めることができる。

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

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

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

- 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)
- α : 船に掛かった加速度(m/sec²)



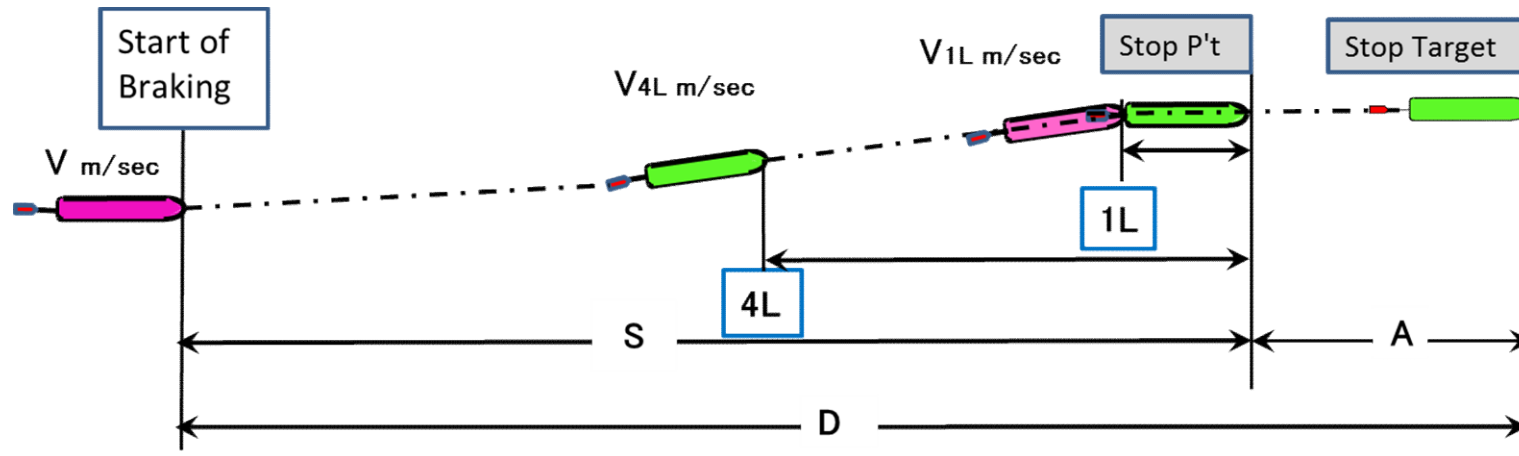
付加質量

船を加減速させるときは、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、船を動かすことに加え、船の周りの水の一部を動かす力を必要とする。これはあたかも船の質量が増加したと同じ意味を持つ。この質量の増加したことに相当する部分を付加質量という。

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ような場合、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。**

例えば、一般的には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するが、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言った操船が必要となる。



実際には、停止位置(上図のStop P't)で船体を止めず、ブレーキ力を制御しながらバース前面(Stop Target)で停止するように速力を調整する。

速力遅減参考値 計算表
Speed Reduction Reference table

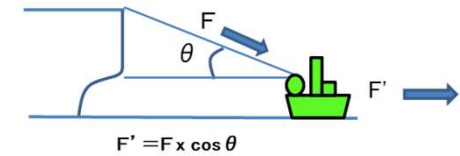
30ページの計算式を使用した概算の停止距離と所要時間、安全余裕度を計算する表。

参考値(目安)として自船の停止距離を把握しておくことが必要

安全余裕度が0.3以下の場合は、より早めのブレーキ制動の操船が求められる。

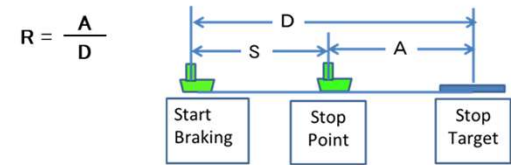
船体排水量(Disp)	W	38,000	ton
付加質量を加えた見かけの排水量(W+Add. Disp)	W'	40,660	ton
全長 (Length Over All)	Loa	200	m
残り距離 (Remaining Dist.)	4L	800	m
	1L	200	m
タグライン俯角(度) Tug Line Angle	θ	20	deg.
ブレーキ力(Braking Power)	F	15.0	ton
ブレーキ水平力(Horizontal Braking Power)	F'	14.1	ton
風圧によるブレーキ力増減 Longitudinal Wind Pressure for Braking Power	RL	0.0	ton
実効ブレーキ力(Effective Braking Force)(F' + RL)	Fb	14.1	ton
Speed at Start of Braking (Speed by Dead Slow Ahead)	V	6	kts
制動開始地点から停止目標までの距離 Dist. Between Start of Braking and Target	D	2,000	m
船体停止まで要する距離 Stopping Distance	S	1,402	m
		0.76	N.Miles
停止するまでの時間 Required time to Stop	t	909	sec
		15.1	min.
4L時点における速力 Speed at 4L	V _{4L}	4.5	kts
		2.3	m/sec
1L時点における速力 Speed at 1L	V _{1L}	2.3	kts
		1.2	m/sec
停止目標点までの残り距離 Remaining Dist at Stop Point	A	598	m
		3.0	L
安全余裕度 (Safety Factor)	R	0.30	0.3~0.6

$W' = W \times 1.07$



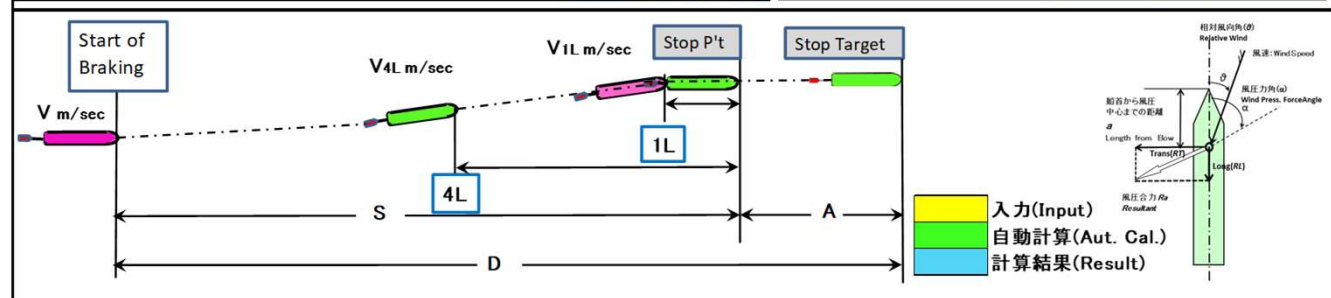
$S = \frac{1}{2} \times \frac{W'}{g \cdot F'} \times (V^2 - V_0^2)$

$t = 2 \times \frac{S}{(V+V_0)} \quad (V_0 = 0 \text{ m/sec})$



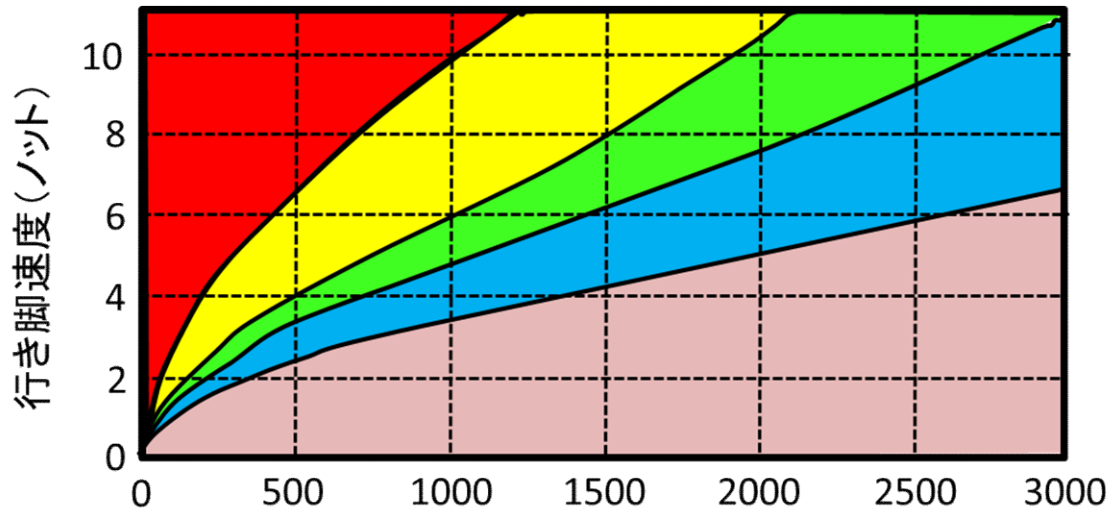
風圧力計算

風速 (Wind Speed)	12.4	m/sec
相対風向角 (Relative Wind Angle)	90	Degree(0~180) (Every 10 degree)
船首尾方向風圧力 RL (Long. Wind Force: RL)	0.0	ton
船種 (Ship's Kind)	1	GEN/PCC/CTNR : 1 Pax : 2, Tank/Bulk : 3



この表 (Excel File) をご希望される方は、当部または支部にご連絡ください。

アプローチ操船の行き脚低減ガイドライン



残存距離と速力を軸にして、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。

バースまでの距離(メートル)
(コンテナ船・PCC船・LNG船)



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。



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。



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。



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



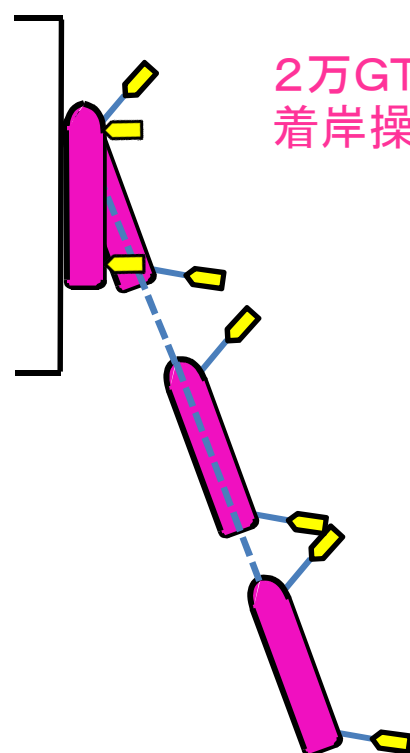
本船の制御は可能であるが、速力を落とし過ぎて外力(風)があると影響が
大きい領域。

自船の排水量と機関後進出力や使用するタ
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をするこ
とが求められる。

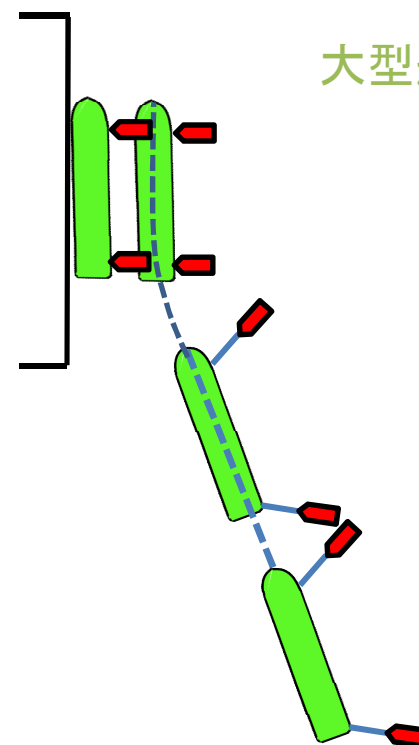
§ 2-3 接岸操船における寄り脚の制御

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程度までの本船では現在もこのような操船が行われている。

しかし、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が一般的になってきた。



2万GT程度までの
着岸操船



大型船の着岸操船

2. 3. 1 平行着岸のメリット・デメリット

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。**
- ・ 旧操船方法だと、船首フレアが大きい場合に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分間程度時間を要する。**

2. 3. 2 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**されているが、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る。

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。



接岸エネルギーは以下計算式で求められ、接岸速度の2乗に比例する。

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

E : 接岸エネルギー (ton-m)

W' : W (排水トン (ton) x 横方向付加質量係数 (1.0 ~ 2.0))

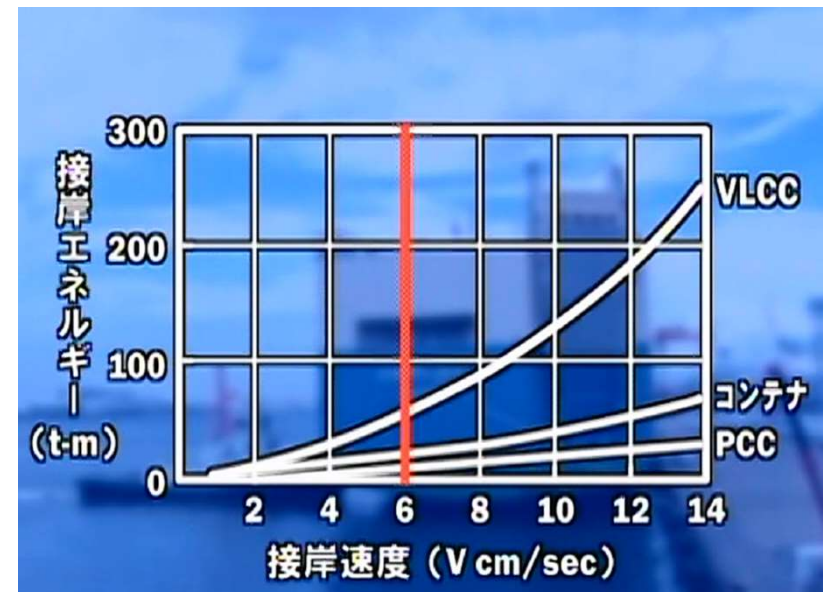
g : 重力加速度 (m/sec²)

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

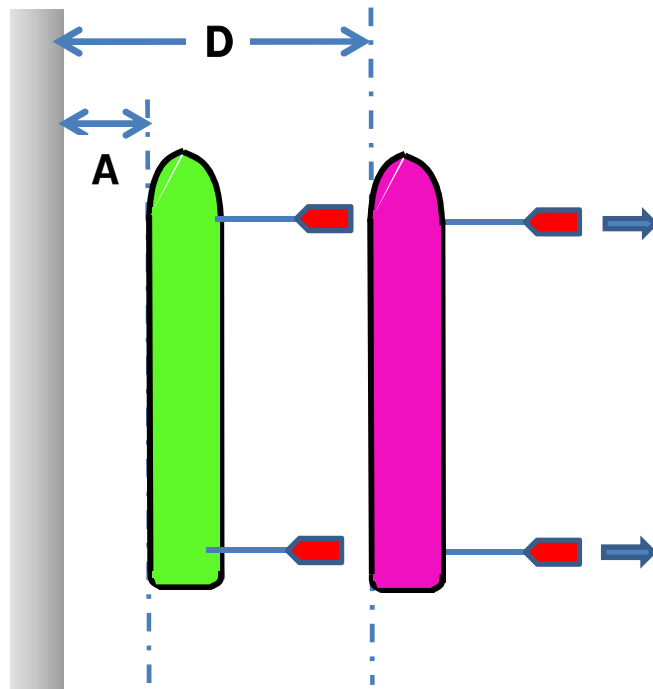
排水量50,000トンのコンテナ船が毎秒10cm/secの速度で接岸した場合、付加質量係数を1.8、Cを0.5として計算すると、接岸エネルギーは約23 ton-mになる。

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する。



2. 3. 3 接岸速度に対する安全余裕度

速力逡減と同様、岸壁からD mの地点から寄り脚速度V cm/secを持つ船がタグによる一定のブレーキ力のもとで岸壁の手前A m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る。



$$\text{安全余裕度}(R) = \frac{A}{D}$$

A: 船体の停止点から岸壁までの残り距離

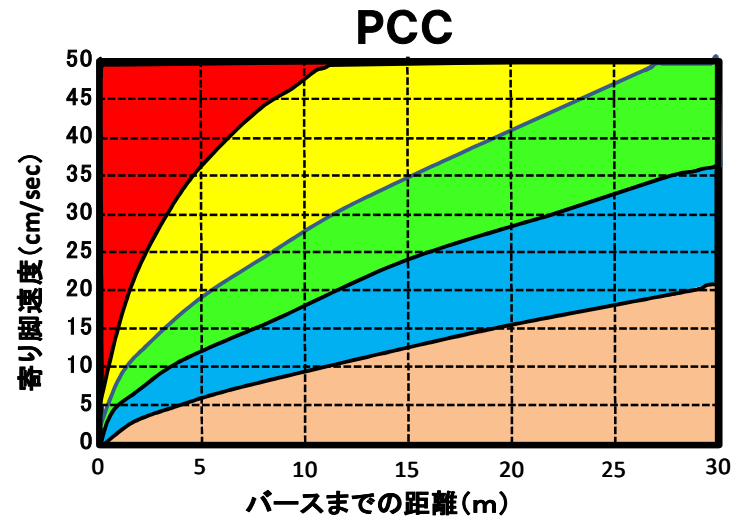
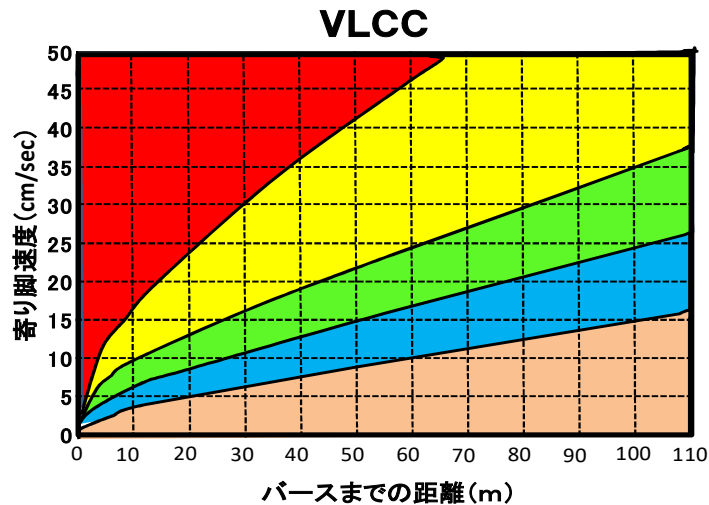
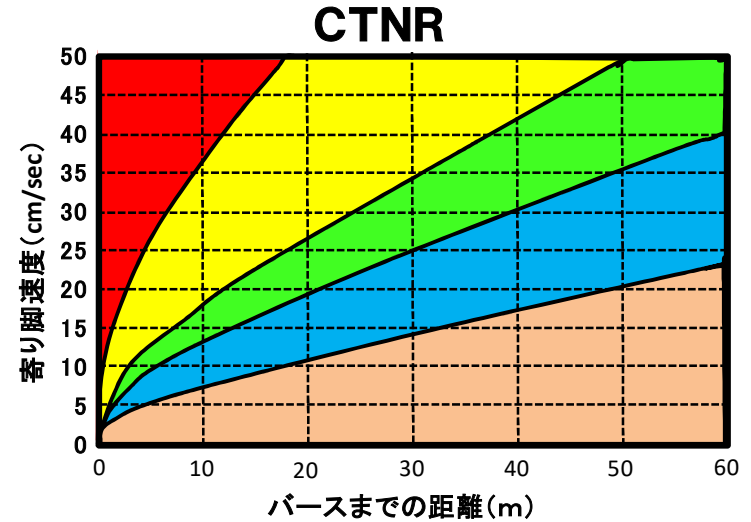
D: 制動開始地点から岸壁までの距離

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する。

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の範囲であった。

2. 3. 4 寄り脚制御のガイドラインの船種別グラフ

- 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
- 制御は可能であるが、外力の影響を受けやすい領域



§ 2-4 港湾設備損傷防止のために

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す。

離・接岸操船では外力の影響を把握し、タグボートや主機・バウスラスタ等
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る。

パイロットが乗船していても、操船をそのまま任せるのではなく、船長とパイロット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)を徹底することで、港湾設備損傷は減らせるものと考えます。



その打ち合わせをするに当たり、
船長は事前の出入港操船方法を計画
しておくことも必要。

§ 2-5 出入港S/B中のBRMの実践

- ・ 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を提示。喫水・Displacement・特記事項説明。
- ・ 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。余裕があるときは、操船要領の確認(回頭場所等)
- ・ 船橋配置航海士は、機関操作した場合の速力を報告。操舵手は、舵の状況を適宜報告。
- ・ 船首尾配置の航海士はタグの動静を逐次報告。(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ので、タグの動静が船長に伝わりにくい。押しているのか・引いているのか等を簡潔に報告させる。
- ・ 係船索の繰り出しはPilotと打ち合わせながら実施。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。
- ・ 着岸作業の最終段階では、前後速力や寄り脚速力を船橋航海士に報告させる。(ドップラーログの表示器がウイングにない場合。)

疑問に感じたことは、必ず確認することが必要。

§ 3 走錨

§ 3-1 走錨のメカニズム

錨と錨鎖で構成される係駐力(把駐力)を超える外力が錨に働き、少しでも錨が動く状態に陥ることを「**走錨の危険がある状態**」と定義している。

即ち、「**外力が係駐力を上回ると走錨する**」と言う、極めて単純な理由で走錨する。

従って、自船の装備している「**錨と錨鎖による係駐力(把駐力)**」と自船に働く「風及び潮流による外力」がどの程度になるのかを具体的に把握しておき、走錨に対する危険の程度を判断することが必要。

現在においても、錨泊する場合の「錨鎖伸出量の目安」や「走錨検知方法」について次頁に示すものが指針とされている。

従来の錨鎖伸出量目安

d:水深(m) L:錨鎖の伸出量(m)

- ・ 日本の操船論に示されている目安

通常の状態	$L=3d+90m$
荒天時の錨泊	$L=4d+145m$

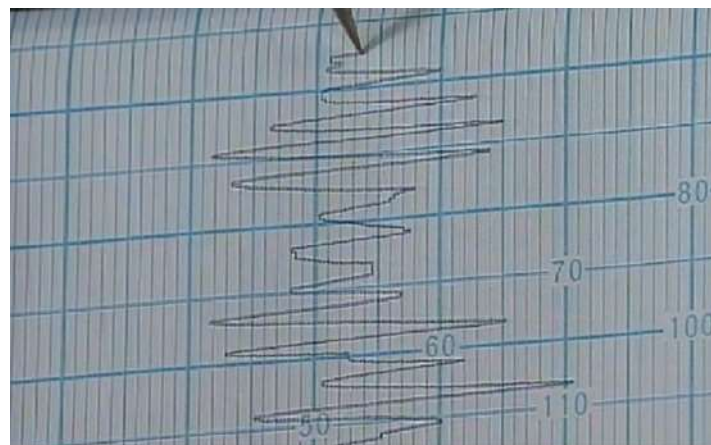
- ・ 英国の操船論に示されている目安

$$L = 39x \sqrt{d}$$

従来の走錨検知方法

- ① 船位をチェックし、船位が錨泊Turning Circleを超えるようならば走錨の可能性が大きい。
- ② 船首が風に立たなくなった場合
- ③ 風を受ける舷が変わらなくなった場合

- ④ 風を受ける舷が変わる直前あたりで錨鎖が一旦たるむ現象が見られなくなったら要注意
- ⑤ 異常な振動が錨鎖を伝わって感じられるとき
- ⑥ コースレコーダーが八の字運動を示さなくなったとき



これら指針は現在でも十分活用できるガイドラインとして広く知られているが、外力と係駐力の関係が今一つ判りにくい。

近年の研究で走錨は2段階の現象を伴うことが解析され、これにより従来の走錨検知方法では、次頁の第一段階における走錨状態を把握するのは難しいことが判ってきた。(錨位が海図に正確に記入され、僅かな船位変化が把握できる場合を除く)

・第一段階：振れ回り走錨

風圧力が僅かに錨・錨鎖の係駐力を上回り、船体が振れ回りながら風下に圧流されるような走錨状態。(右図の「B」の部分)

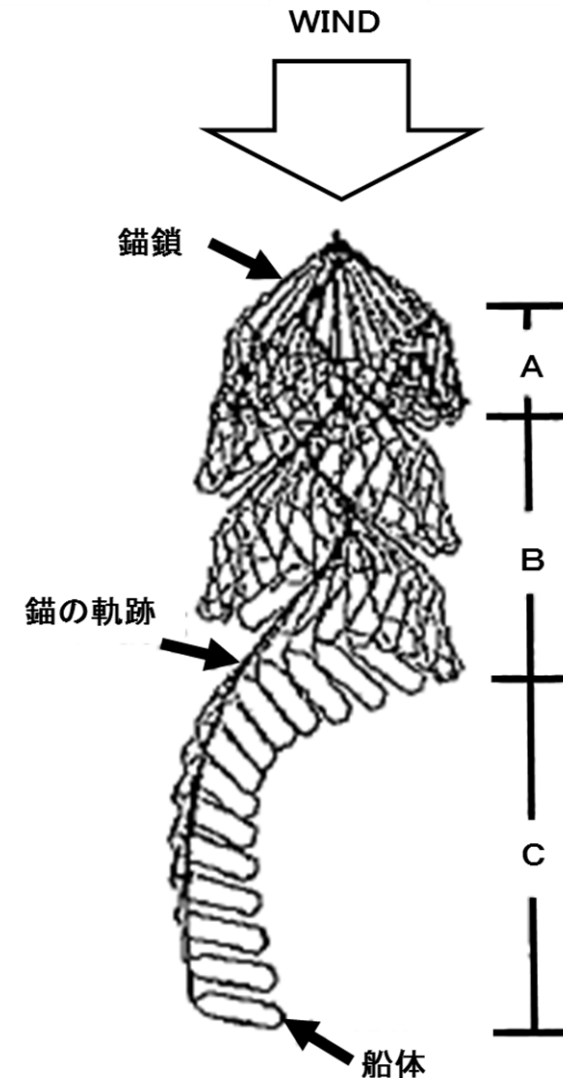
この段階ならば、揚錨・姿勢制御とも比較的容易。

・第二段階：圧流走錨

更に風が強くなり、船体が風に対して横倒しになりながら一定の速度で風下に圧流される走錨状態。(右図の「C」の部分)

揚錨は困難(時間がかかる)。また、錨が揚がらないと操船開始できないことが殆ど。

(右図の「A」は、走錨前の八の字運動)



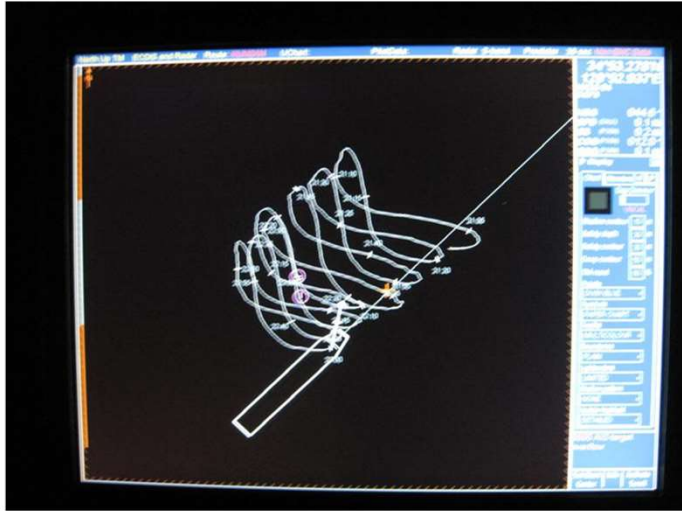
特に、PCCやコンテナ船のように受風面積の大きな船型の場合、圧流走錨の状態から、錨を巻き上げながら機関やバウスラストを使用して船体を立て直そうとしても操船不能・困難の場合が多い。

従来の走錨検知方法では、第二段階にならないと走錨しているかどうか判らない。

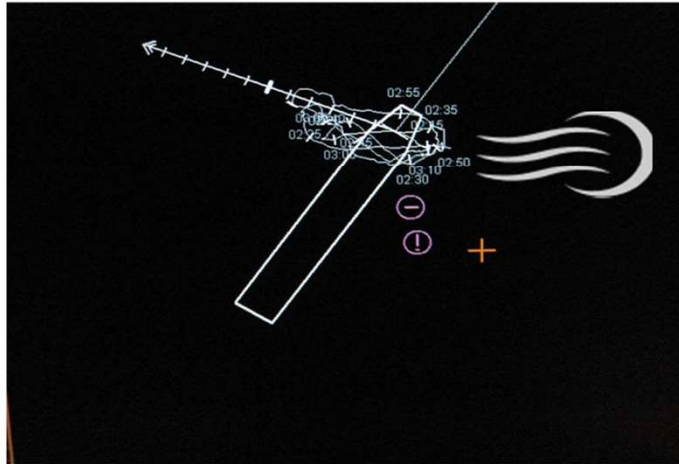
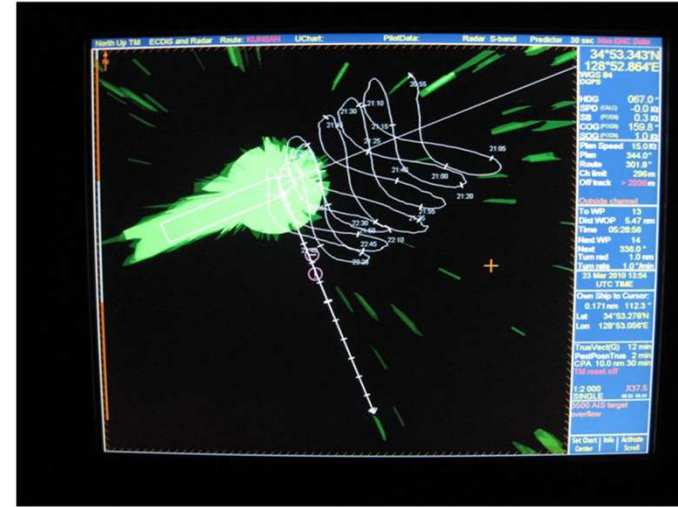
近年ではパソコンを利用して外力計算を行い、錨鎖伸出量決定や錨泊限界の目安にすることや、ECDIS・RADAR・GPSの航跡表示機能を利用した走錨早期発見方法が可能となったので、従来の走錨検知方法に加えて**「走錨の予知」・「走錨の早期検知」**を行い、**「安全対策を早期に取ること」**が求められている。

(ECDIS・RADARの画面を小さいレンジに切り替え、GPSの航跡を表示させた
振れ回り走錨の表示例)

ECDIS



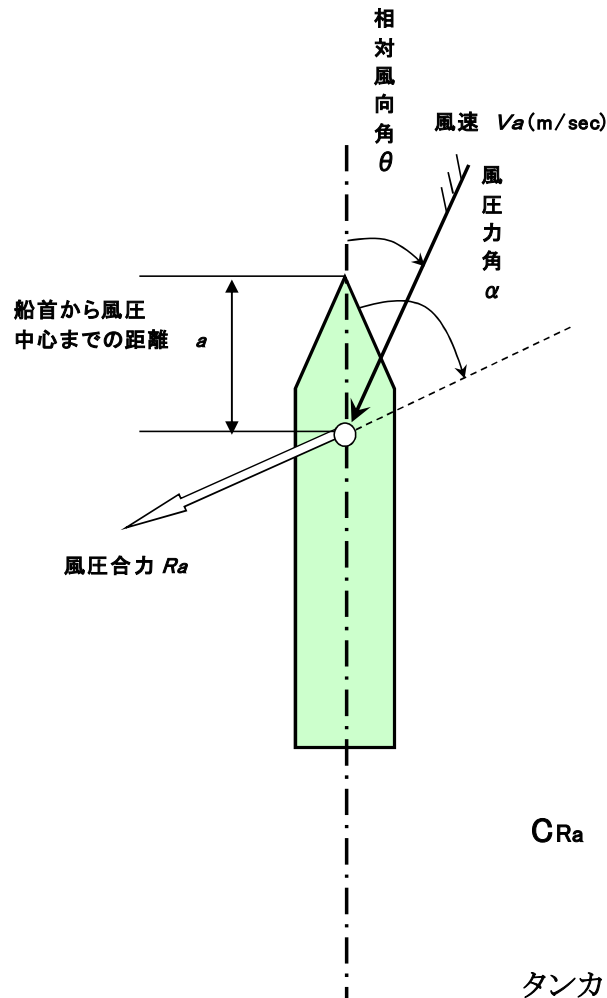
RADAR



圧流走錨開始

風は船首右から受けているが、圧流走錨を開始した瞬間。GPSによる圧流方向と速度がベクトルで表示されている。

§ 3-2 風圧力計算



ヒューズ(Hughes)の式

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

θ : 相対風向角 [度]

Va : 相対風速 [m/sec]

ρ : 空気密度 [$0.125 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$]

A : 水線上船体の正面投影面積 [m^2]

B : 水線上船体の側面投影面積 [m^2]

a : 風圧中心の船首からの距離 [m]

Ra : 風圧合力 [kg] → "ton"にする為、1000で割る

α : 風圧力角 [度]

CRa : 風圧係数(下記計算式により求める)

CRa : 船種により求め方が異なる

客船 : $1.142 - 0.142 \cos^2 \theta - 0.367 \cos^4 \theta - 0.133 \cos^6 \theta$

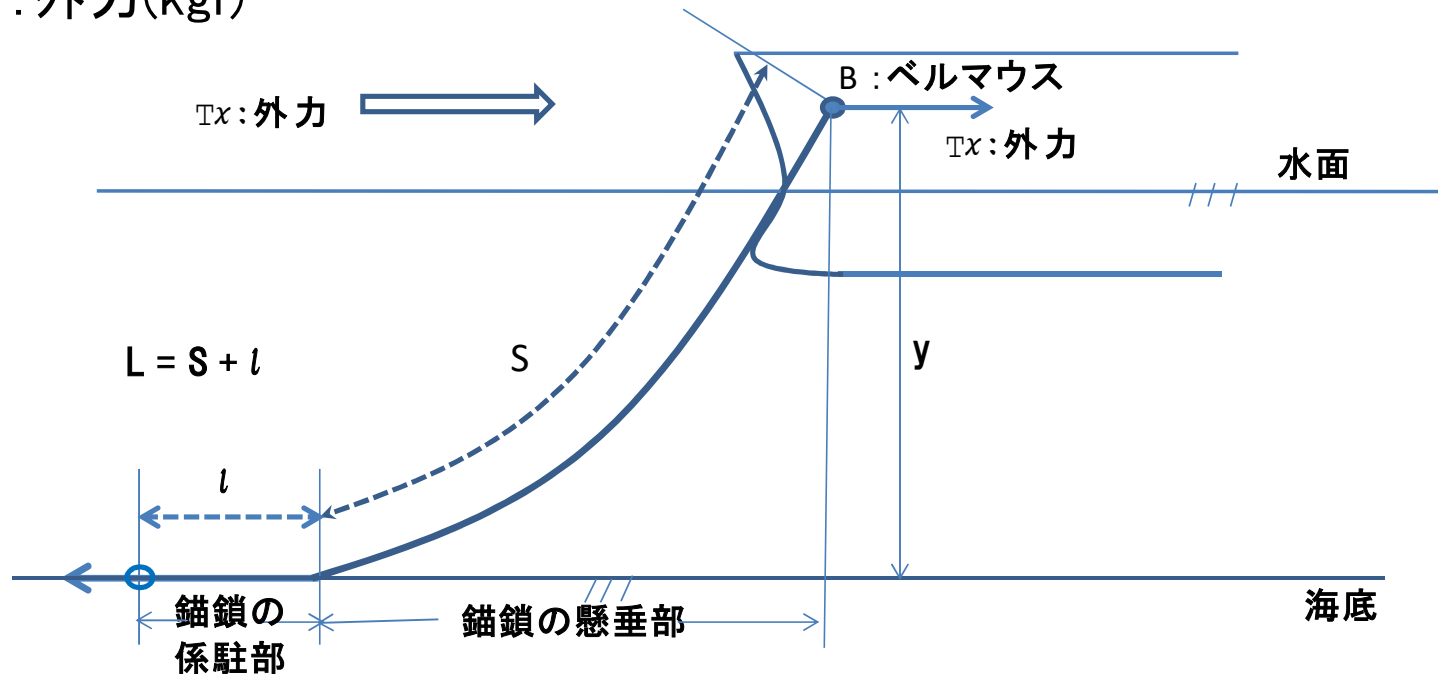
一般貨物船 : $1.325 - 0.050 \cos^2 \theta - 0.350 \cos^4 \theta - 0.175 \cos^6 \theta$

タンカー・バルカー : $1.200 - 0.083 \cos^2 \theta - 0.250 \cos^4 \theta - 0.117 \cos^6 \theta$

風圧合力は風速の二乗に比例する。

§ 3-3 錨と錨鎖による把駐力

- S** : 錨の懸垂部長さ(カテナリー部) (m)
y : 水深+水面からベルマウスまでの高さ(m)
l : 錨鎖の係駐部長さ(m)
L : 繰り出し錨鎖長($S + l$)
 T_x : 外力(kgf)



$$H(\text{錨と錨鎖による把駐力}) = H_a + H_c = \lambda_a \times W_a' + \lambda_c \times W_c' \times l$$

H : 錨と錨鎖による把駐力(kgs)

H_a : 錨による把駐力(kgs)

H_c : 錨鎖による把駐力(kgs)

W_a : 錨の空中重量(kgs)

W_c : 錨鎖1m当たりの空中重量(kgs)

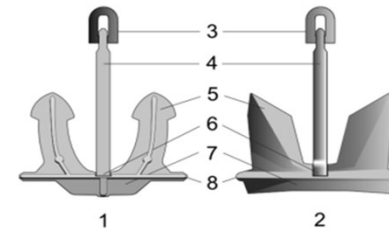
W_a' : 錨の水中重量(kgs) = 0.87xW_a(kgs)

W_c' : 錨鎖1m当たりの水中重量(kgs) = 0.87xW_c(kgs)

l : 錨鎖の係駐部長さ(m)

λ_a : 錨の把駐抵抗係数

λ_c : 錨鎖の摩擦抵抗係数



JIS

AC14

λ_a : 標準把駐抵抗係数の値

錨 type	砂	泥	走錨時
JIS型	3.5	3.2	1.5
AC14型	7.0	10.6	2.0

λ_c : 錨鎖の摩擦抵抗係数の値

λ _c	係駐時	走錨時	
	0.75~ 1.0	砂	泥
		0.75	0.60

錨鎖の懸垂部(カテナリ一部)の長さの計算方法

カテナリ一部の長さは以下計算式で求められ、**外力が大きくなればカテナリ長さも大きくなる**ことが判る。

$$S = \sqrt{y^2 + 2 \left(\frac{T_x}{W_c'} \right) y}$$

S : 錨のカテナリ一部分(m)
 y : 水深+水面からベルマウスまでの高さ(m)
 W_c' : 錨鎖1m当たりの水中重量(kgs)
 $= 0.87 \times W_c$ (kgs)
 T_x : 外力(kgf)

即ち、錨鎖伸出量を(L)一定とした場合、**外力が大きくなったときにカテナリ一部の長さ(S)も大きくなるので、その分だけ錨鎖係駐部の長さ(l)が短くなり、錨鎖による把駐力が減少する。**

§ 3-4 錨・錨鎖の搭載例

下表に代表的な船種の錨と錨鎖の搭載例を示す。
 実際に搭載される錨・錨鎖は艀装数によって決められる。
 錨鎖1m当たりの最小重量は 略算式($0.0219 d^2$)で求めている。
各船の錨・錨鎖の重量は完成図書を参照すること。

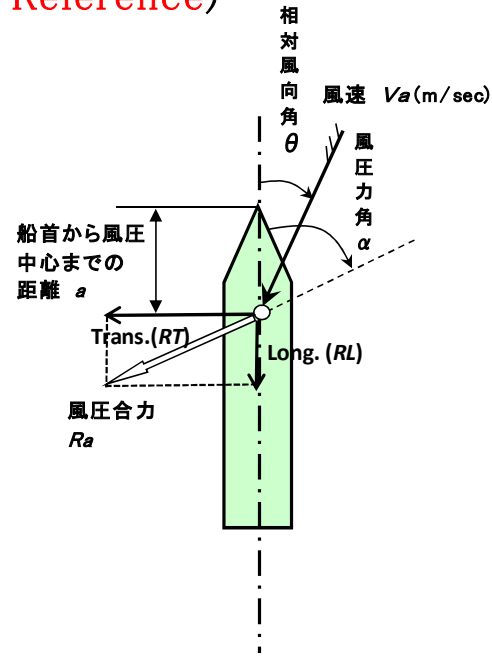
錨・錨鎖の搭載例

船型	錨の重量	錨鎖	
		径	1m当たりの最小重量
23万DWT VLCC	18.7 tons	102mm	228 kgs
6,000台積 PCC	10.5 tons	87mm	166 kgs
8,000TEU CTNR	15.0 tons	98mm	210 kgs
25,000GT CTNR	8.3 tons	81mm	144 kgs
5,000GT G. CARGO	2.7 tons	56mm	69 kgs

風圧力計算 参考値(Wind Pressure Force Cal.: Just Reference)

- 1 本船が受ける風圧力を風向別に自動計算する表です。
This formula calculate the wind force of your vessel at the wind speed.
- 2 船種別の風圧係数は自動的に計算されます。
The wind force coefficient in each kind of ship is calculated automatically.
- 3 下記を入力してください。(Input following data)

Loa(m)	200
正面投影面積(Projected area (Front)) (m2) (A)	800
側面投影面積(Projected area (Side)) (m2) (B)	5,800
風速(Wind Speed)(m/s)	19.5 (Ave.Wind Speed x 1.25 or 1.50)
船種 (Kind of ship) 下記から選ぶ (Genl, PCC, Ctnr: 1 Passenger: 2 Tanker, Bulker: 3)	1



- * 風速は以下を目安にして入力してください。(Input Wind Speed by below ref. data)
- 平穏時(Less than 8 m/s) : 平均風速 (Ave. Wind Speed)
 - 強風対策 (Strong Wind: 8~13m/sec) : 平均風速 (Ave. Wind Speed) x 1.25
 - 暴風対策 (Storm Wind: More than 13m/sec) : 平均風速 (Ave. Wind Speed) x 1.50

計算結果(RESULTS)

風向角 (θ) Wind direction from bow (deg)	風圧力合計(Ra) Total wind force (t)	船首尾方向(RL) Longitudinal(t)	正横方向(RT) Transverse(t)	作用点(a) Point of action(m)	作用角(α) Angle of action(deg)	係数(CRa) Factor
0	14.26	14.26	0.00	58.20	0.00	0.75
10	20.84	18.50	9.60	62.80	27.43	0.92
20	43.23	30.23	30.90	67.40	45.62	1.31
30	80.39	40.60	69.38	72.00	59.67	1.65
40	118.01	40.06	111.01	76.60	70.15	1.73
50	139.78	29.83	136.56	81.20	77.68	1.58
60	145.98	18.21	144.84	85.80	82.83	1.35
70	150.59	9.95	150.26	90.40	86.21	1.22
80	159.95	4.46	159.89	95.00	88.40	1.19
90	165.41	0.00	165.41	99.60	90.00	1.20
衝撃力(Impact)	85.56	正面風圧抵抗 (上記表の θ = 0 の値の6倍, Tanker/Bulkerは4倍) Wind Force on Front(θ = 0) x 6, Tanker/Bulker x 4))				

風圧係数 (CRa)		
1	2	3
0.750000	0.500000	0.750000
0.922400	0.660925	0.871994
1.313421	1.035993	1.151506
1.650000	1.387500	1.400500
1.732710	1.528709	1.479010
1.575075	1.445025	1.390836
1.350000	1.263500	1.249500
1.215025	1.120549	1.161670
1.191369	1.060798	1.144983
1.200000	1.050000	1.150000

衝撃力 : PCC/CTNR船の場合、正面風圧力の5~6倍、その他の船では3~4倍
Impact Force : Wind Force on Front x 5~6 for PCC/CTNR/Passenger ship, x 3~4 for Tanker/Bulker

表中計算式 (Calculation Formula in above table)

風圧力 (Total Wind Force)

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

風圧力の船首尾方向分力 (Longitudinal)

$$RL = Ra \times \cos \alpha$$

風圧力の正横方向分力 (Transverse)

$$RT = Ra \times \sin \alpha$$

a 作用点 (Point of Action)

$$a = (0.291 + 0.0023 \times \theta) \times Loa$$

α 作用角 (Angle of Action)

$$\alpha = \{ 1 - 0.15 \times (1 - \theta / 90) - 0.8 \times (1 - \theta / 90)^3 \} \times 90$$

風圧係数 (CRa)

1	$1.142 - 0.142 \cos^2 \theta - 0.367 \cos^4 \theta - 0.133 \cos^6 \theta$	(Gen., PCC, CTNR)
2	$1.325 - 0.050 \cos^2 \theta - 0.350 \cos^4 \theta - 0.175 \cos^6 \theta$	(Passenger Ship)
3	$1.200 - 0.083 \cos^2 \theta - 0.250 \cos^4 \theta - 0.117 \cos^6 \theta$	(Tanker, Bulker)

衝撃力 (Impact)

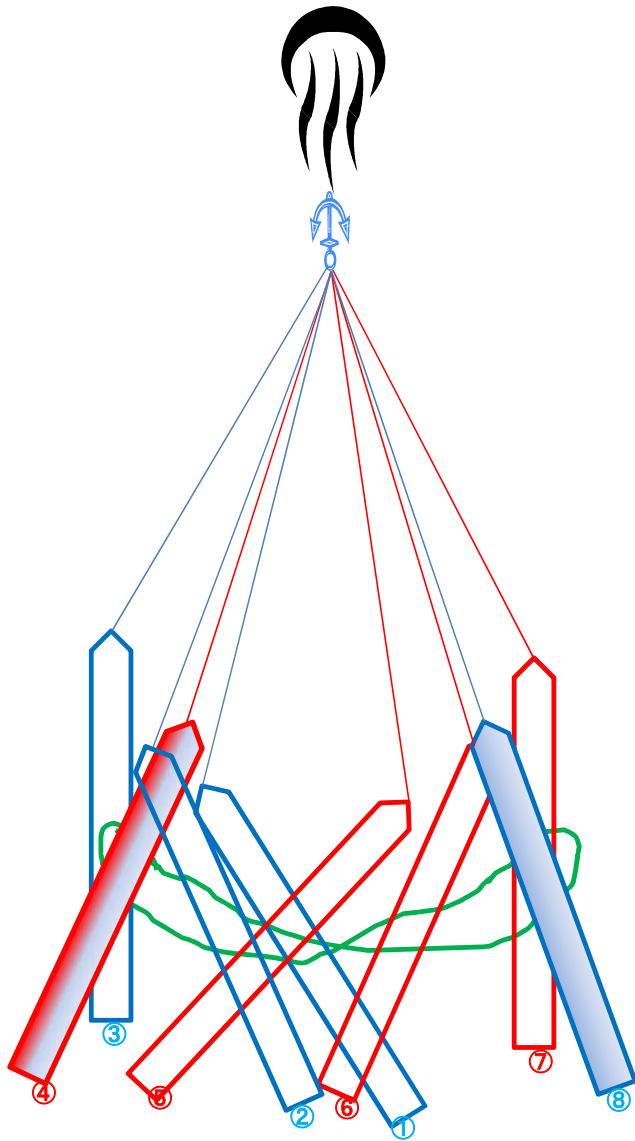
PCC/CTNR/Passenger Ship

Wind Pressure on Front x 6

Bulker

Wind Pressure on Front x 4

§ 3-5 振れ回り運動と衝撃力



- ①→② 右から左に横移動。錨鎖は張った状態
- ③ 振れ回りの左端にきた時。錨鎖による拘束力が増大して、錨鎖はこの時点からスラック状態に入り、ここから風を受ける舷が左舷に変わる。
- ④ 一旦緩んだ錨鎖が急激に張り、錨鎖と船首尾線が一線になる付近で大きな衝撃力が発生する。
- ⑤→⑥ 左から右に横移動。錨鎖は張った状態
- ⑦ 振れ回りの右端にきた時。錨鎖による拘束力が増大して、錨鎖はこの時点からスラック状態に入り、ここから風を受ける舷が右舷に変わる。
- ⑧ 一旦緩んだ錨鎖が急激に張り、錨鎖と船首尾線が一線になる付近で大きな衝撃力が発生する。

船体重心は八の字を描いて左右に振れる。

錨・錨鎖による把駐力計算 参考値(Anchor Holding Power Calculation: Just Reference)

- 1 予想される外力に対し係止出来る必要最低限の錨鎖長さを計算します。
The formula in this page are to calculate the holding power of your vessel's anchor and anchor chain.
- 2 但し、予想外力が錨の把駐力(Wa' x λ a)より小さい場合は、下記計算式による繰り出し錨鎖量としています。
In case of External Force < Anchor Holding Power(Wa' x λ a), required length of chain is to calculate by following formula.

Required Length of Chain = 3 x d + 90 m (Only External Force < Wa' x λ a)

- 3 **予想最大外力の入力(Expected total external force)**
 予想最大外力は、**衝撃力の大きさ**を使用すること。PCC/CTNR船の場合、正面風圧力の5~6倍、その他の船では3~4倍
 Expected total external force should be input by **Maximum Impact force.** For PCC/CTNR Ship : Wind Pressure on front x 5~6,
 Other type of ship : Wind Pressure on front x 3~4

* 例: 風圧外力計算で相対風向0度の場合の風圧力が15トン : 予想最大衝撃外力 15x5~6= 75~90トン(PCC/CTNR)
 IE) As per Wind force Cal., Relative Wind Direction θ=0 : 15ton : Max Impact Force 15 x 5~6 for PCC/CTNR= 75~90 tons

情報入力(Input Data)

予想される最大外力(トン) : Tx(衝撃力) Expected total external Max. force (MT):(Tx Impact Force)	85.56
錨の空中自重(トン) : (Wa) Anchor weight (MT) in Air : (Wa)	10.5
錨鎖1mあたりの空中における重さ(トン) : (Wc) Anchor chain weight in Air (MT/m) : (Wc)	0.166 ton
アンカーの種類(JIS型...1、AC14...2) Kind of Ancher (1: JIS, 2: AC14)	2
使用する側の錨鎖保有長さ(シャックル) Total Length(Shackles) of using Chain on board	12 ss
水深(m) : d Water depth (m) : d	20.0 m
水面からホースパイプまでの高さ(m) : h Hawsepipe height from the sea surface (m) : h	5.0 m
錨の把駐係数 : (λ a) Anchor Holding Factor : (λ a)	AC14 7.0
錨鎖の把駐係数 : (λ c) Anchor Chain Holding Factor : (λ c)	1.0

計算結果(Result of Calculation)

海底から錨鎖孔までの高さ: (y) Total height (Bottom to Hawsepipe): (y)	25 m
外力に対応するカテナリー長さ: (S) Catenary length against the external force : (S)	174 m
錨鎖による把駐部の最小要求長さ: l Minimum Required Contacted length of the chain: l	150 m
計算上必要な錨鎖繰り出し長さ: L=S+l Minimum Required Length of Anchor Chain : L=S+l	324 m 12 ss

Notice

守錨直を励行してください。
Keep Anchor Watch Strictly

- 錨の把駐係数(λ a)は、計算式を使用するか、マニュアル入力すること。
Anchor Holding Factor(λ a): Use Calculation Formula or Input by manual.
- 錨鎖の把駐係数(λ c)は0.75~1.0
Anchor Chain Holding Factor(λ c) : 0.75~1.0

表中計算式 (Calculation Formula in above table)

錨の把駐係数(Anchor Holding Factor) λ_a : 3.0 (JIS)
 (底質により異なる:Subj. to kind of Sea Bottom) : 7.0 (AC14)

λ_a : 標準把駐抵抗係数の値

錨 Type	砂 Sand	泥 Mud	走錨時 Dragging
JIS型	3.5	3.2	1.5
AC14型	7.0	10.6	2.0

錨鎖の把駐係数 λ_c : 0.75~1.0
 (Anchor Chain Holding Factor)

λ_c : 錨鎖の摩擦抵抗係数の値

λ_c	係駐時 Holding	走錨時 Dragging	
	0.75~1.0	砂(Sand)	0.75
泥(Mud)		0.60	

海底から錨鎖孔までの高さ y : $d + h$
 Total height (Sea Bottom to Hawsepipe)

水深(d) + 水面からホースパイプまでの高さ(h)
 Water Depth (d) + Hawsepipe height from sea surface (h)

外力に対応するカテナリー長さ S :
 Catenary length against the external force

$$S = \sqrt{y^2 + 2 \left(\frac{T_x}{Wc'} \right) y}$$

錨の空中重量(Wa), 水中重量(Wa') : 水中重量(Wa') = $W_a \times 0.87$
 Anchor Weight in Air(Wa) Anchor Weight in Water(Wa')

錨鎖1m当たりの空中重量(W_c), 水中重量(W_c') : 水中重量(W_c') = $W_c \times 0.87$
 Anchor Chain Weight per m in Air(W_c) Anchor Chain Weight per m in Water(W_c')

錨鎖による把駐部の最小要求長さ l : $T_x = W_a' \times \lambda_a + W_c' \times \lambda_c \times l$
 Minimum Required Contacted length of the chain
 : $l = \frac{T_x - W_a' \times \lambda_a}{W_c' \times \lambda_c}$

計算上必要な錨鎖繰り出し長さ L : $L = S + l$
 Minimum Required Length of Anchor Chain

外力(T_x)が錨の把駐力より小さい場合 : $L = 3 \times d + 90$ (m)
 In case of $T_x < W_a' \times \lambda_a$

§ 3-6 操船運用上の錨泊安全対策とその効果

対 策	有 効 性	備 考
喫水を深くする	船体重量の増加に伴い、振れ回り運動が抑制される。	追加できるバラスト量や船体強度に注意
トリムをイーブンキール、できればバイザヘッドにする	風圧中心が船尾よりに移動することにより、振れ回り運動が抑制される。	追加できるバラスト量や船体強度に注意。プロペラが露出しないように調整。
錨鎖を伸ばす	錨鎖と海底との摩擦抵抗が増加、及び、カテナリー一部も長くなるので、把駐力の向上と錨に加わる衝撃力の緩和に効果がある。	錨を巻き上げるのに、1シャツクル当たり定格で3分かかるので(荒天時はさらに時間がかかる)、錨鎖を伸ばした分だけ揚錨に要する時間が増加する。

対 策	有 効 性	備 考
他舷錨を振れ止め錨として使用	<p>船首の振れ回り抑制に効果がある。</p> <p>振れ止め錨の投下は振れ回り運動を半減させ、錨への作用力も約30%～40%減少させる効果がある。</p>	<p>振れ止め錨の伸出量(水深の1.5倍)に注意。それでも、錨鎖が絡むことがあるので注意が必要。特に、船体がピッチングする場合は要注意。</p>
両舷錨を使用して2錨泊、双錨泊とする	<p>2錨泊は把駐力が増加。双錨泊は振れ回り抑制効果がある。</p>	<p>錨鎖が絡むおそれがある。双錨泊は、風向変化に対応しにくい。</p>

対 策	有 効 性	備 考
バウスラストの使用	船首を風に立てることによって、振れ回りの抑制及び錨鎖張力の緩和に効果がある。正面風圧の80%のバウスラスト推進力のもとでは、振れ回りの幅と衝撃力が約40%近く減衰する。	長時間、且つ、こまかなバウスラスト使用が可能かどうか、機関部と綿密な打ち合わせが必要。船体動揺時はバウスラストが露出しないことに注意。
主機 S/B・舵の併用	微弱な前進力と舵を併用し、船首を風に立てるようにすると、振れ回り抑制に効果がある。	前進力を使用して錨鎖を一時的にたるませると、その後、船体が風下に落ちるときに錨鎖がしゃくるので(衝撃力が増加)、その時に走錨する危険がある。微弱な後進力は振れ回り抑制に効果があるが、錨を引きずる可能性がある。

(1) 錨鎖を伸ばした場合の把駐力増加量

6,000台積PCC船で錨鎖1節を伸ばした場合の限界風速の増加量を以下条件で計算すると次の通り。

(条件)

錨の空中重量(W_a)	: 10.5ton	把駐係数(λ_a) 7.0
		⇒ 水中重量 9.135トン(W_a')
錨鎖の1m当たりの空中重量(W_c)	: 0.166トン/m	把駐係数(λ_c) 1.0
		⇒ 水中重量 0.144トン/m(W_c')
海底から錨鎖孔までの距離(y)	: 25.0 m	
錨鎖1節の長さ	: 27.5 m	
正面投影面積(A)	: 800 sq m	
風圧係数(C_{Ra})	: 0.75	
空気密度(ρ)	: 0.125 kg · sec ² /m ⁴	

(錨鎖を伸長する前)

錨鎖を伸長する前は錨のみで係止し、**錨の把駐力＝外力(衝撃力)**として錨泊限界状態と考える。錨鎖は全て懸垂部(カタナリー)とした。また、限界風速は衝撃力と正面風圧力の比を6で計算。

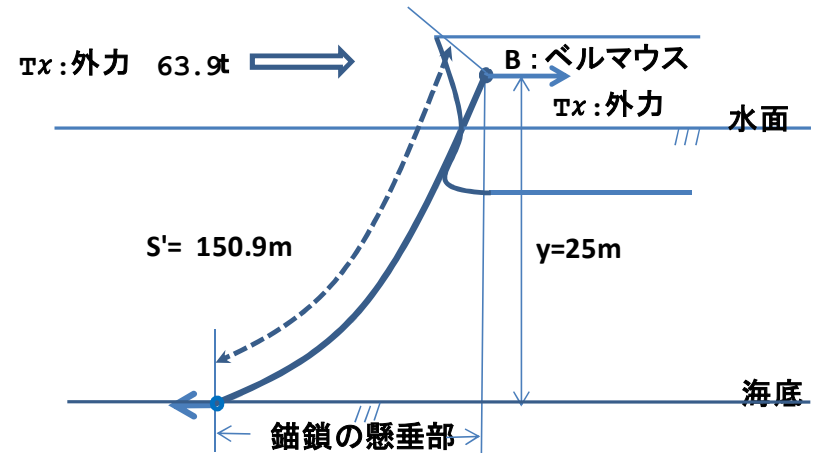
錨の把駐力＝外力(衝撃力)： 63.9 tonf

⇒ 正面風圧力換算 10.65 tonf

カタナリー長さ(S') : 150.9 m (5.5ss)

正面風圧力(10.65 tonf)に対する限界風速をヒューズの式から逆算して限界風速を求めると、次の通り。

限界風速 : 16.9 m/sec



平均風速に置き換えるならば、11.3 m/sec～13.5 m/sec

* 平均風速は限界風速を1.5または1.25で割った値。

即ち、錨の把駐力のみでは上記平均風速が錨泊限界となる。

(錨鎖を1節伸長した後)

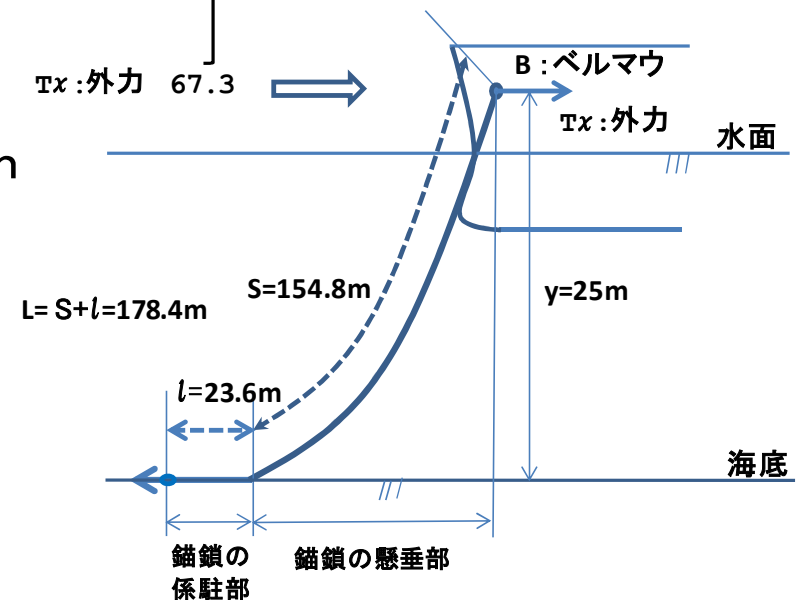
錨鎖を1節伸長した場合、限界風速は増加するが、伸ばした錨鎖全量が海底に横たわる係駐部とならず、一部は増加した限界風速による外力増加に対応した懸垂部となる。伸長した錨鎖の係駐部長さ(l)を以下計算式から二次方程式を解いて求めた。

$$S' + (27.5\text{m} - l) = \sqrt{y^2 + 2 \times \left[\frac{W_a' \times \lambda_a + W_c' \times \lambda_c \times l}{W_c'} \right] \times y}$$

S' : 錨鎖伸長前のカテナリー長さ: 150.9m

l : 伸長錨鎖の係駐部長さ

伸長した錨鎖	係駐部	: 23.6 m
	懸垂部分	: 3.9 m
	Total	: 27.5 m



懸垂部(カテナリー)長さ(S) : 154.8 m
係駐部 長さ(l) : 23.6 m
錨鎖の長さ合計(L) : 178.4 m
(6.5ss)

錨+錨鎖係駐部の把駐力 計 : 67.3 tonf(衝撃力)
23.6mの錨鎖で +3.4 tonf
⇒ 正面風圧力換算 11.23 tonf

限界風速 : 17.3 m/sec
(錨鎖伸長する前と比較 : +0.4 m/sec)
平均風速に置き換えるならば、11.5 m/sec~13.8 m/sec

錨鎖伸長する前と比較した平均風速の増加は+0.2~0.3 m/sec

(錨鎖を全量12節伸長した場合)

同様の計算で錨鎖12節全量を繰り出したとしても、限界風速は以下の通り。

懸垂部(カテナリー)長さ(S)	: 175.0 m
係駐部 長さ(l)	: 155.0 m (+ 22.4 tonf)
錨鎖の長さ合計(L)	: 330.0 m(12ss)
錨+錨鎖係駐部の把駐力 計	: 86.3 tonf(衝撃力)
	⇒ 正面風圧力換算 14.38 tonf

限界風速 : 19.6 m (+2.7 m/sec)

平均風速に置き換えるならば、13.1 m/sec~15.7 m/sec

(平均風速の増加は1.8~2.2 m/sec)

操船者から見た場合、錨鎖を伸ばしても思ったより限界風速は増加しない。

(2) バウスラストによる振れ回り抑制

16m/secの風(暴風時の風の息を考えれば、1.50倍 = 24m/sec)による正面風圧(6,000台PCC)は22トン。これの80%の馬力(1トン≒100PS)が必要となるので下記の出力が必要となる。

$$22 \times 0.8 \times 100 = 1,760\text{PS}$$

運用面から見ると、振れ回り抑制を行うには、常時、振れ回り方向に対してバウスラストをこまめに調整することが必要。従って、長時間使用や発電機使用台数について機関長と十分な打ち合わせが必要である。

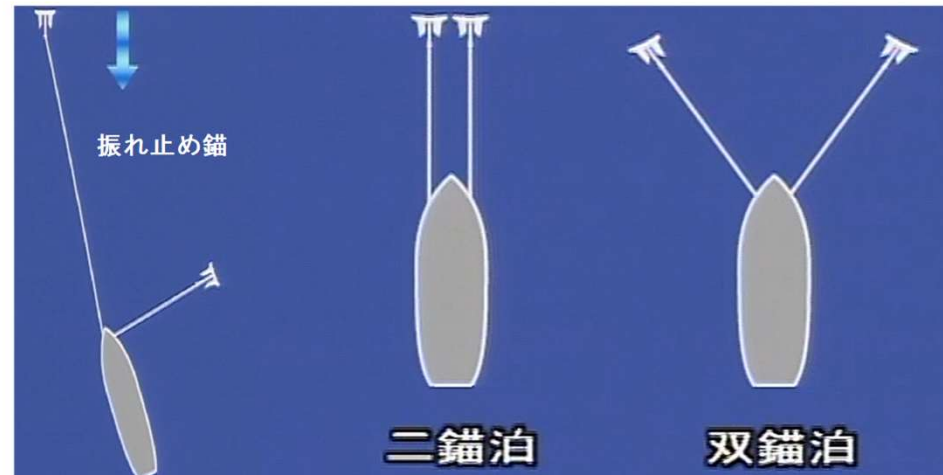
(3) 主機と舵による振れ回り抑制

理論的には主機と舵を使用して船体を風に立てるような操船を行うことで振れ回りを抑制することができるが、実務面から見ると、**機関を使用しなければならないような状態は、錨泊限界風速に近づいていると判断したほうが良い**。機関の使用しただいでは、錨鎖がしゃくり、却って衝撃力を大きくすることがある。

(4) 振れ止め錨・2錨泊

振れ止め錨は、船首の振れ回り抑制に効果がある。繰り出す錨鎖は水深の1.5倍とする。しかし、振れ回りを完全に止めることは不可能で、**錨鎖が絡む虞れ**があることに注意が必要。特に、船体がピッチングするような場合は要注意。

2錨泊は、風向が変化した場合に錨鎖が絡む虞れがある。錨鎖が絡まっても単独で解くことができる小型船に良い方法であるが、大型船には推奨できない。



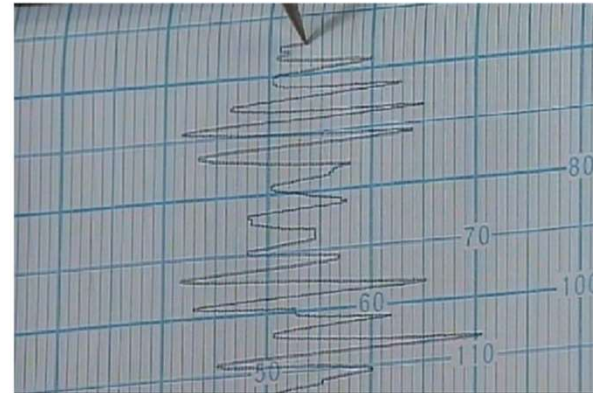
§ 3-7 錨泊限界風速

様々な文献を調べて見たが、具体的な数値を示しているものはない。

理由 :

- ・ 実際の錨泊場面では、底質や粘度などの海底性状で特に錨の把駐力が異なる。
- ・ また、錨の把駐姿勢や埋没深さなどの錨かきの状態や海底に横たわる錨鎖の状態、海底の形状によっても把駐力が理論値(計算値)と異なる。
- ・ さらに、風圧による船体傾斜、錨鎖の緊張に伴う制約、“うねり”や風浪による船体動揺が複合され、複雑な動きを呈する。これに伴い、錨の方向に伸びる錨鎖の方向と俯角も時々刻々と変化し、ときとして錨鎖に急激な緊張と垂みが発生する。

- ・ 実際の風は風向・風速が常に変化し、それに伴い、**振れ回りも一定ではなく、加速度が加わるので風圧力や衝撃力も計算で求めた値と異なる。**
- ・ これらを考慮すれば、具体的な数値を示すことが、却って**操船者をミスリードすることになる。**



以上から、P.14、17の計算表による風圧力や把駐力の数値はあくまでも**参考値であることに注意し、過信してはならない。**(その時の風速がどの程度の外力として働き、把駐力の理論値と比較した場合に、数量として参考にする程度に留めることが必要。)

外力・周囲の状況を勘案し、安全サイドで早期の錨泊中止を決定することが肝心

§ 3-8 走錨後の措置とその効果

走錨した場合、できるだけ早く揚錨し、船体姿勢制御可能な状態にして再度投錨するか、或いは、安全な海域に避難して漂泊するなどの措置が必要である。

広い錨地で、周囲に他船も存在しなければ余裕を持って揚錨作業と姿勢制御(船体を風に立てる)することは可能である。しかし、走錨事故について見ると、走錨した結果、座礁・他船との衝突と言った事故を引き起こし、重大海難事故に繋がっている。

その時の操船状況は一般的に次のような措置を取っていることが殆どであるが、いずれも揚錨・姿勢制御に成功しなかった。

(1) 錨鎖伸長と第2錨投錨

船体が圧流されはじめると、運動慣性が大きくなり、これを制御するにはかなりの制御力が必要になる。走錨初期の段階(振れ回り走錨の時点)で

圧流速度が発達しない段階においては、錨鎖伸長や第2錨投下はある程度効果があるが、錨鎖伸長の効果は先に説明したように把駐力の増加が殆ど期待できない。

圧流を止めると言う観点からは、まず効果がないと見た方が良い。

(2) バウスラスト使用

一定速度で圧流走錨しているときに、バウスラストを用いて船体を風に立てるように作動させることはひとつの有効な措置ではある。しかし、その効果が得られるには、少なくとも、その船の正面風圧抵抗と同等のバウスラスト推力が必要となる。PCCの場合、平均風速18m/secで圧流が始まった段階で、約28トン(2,800PS)の推力が必要となる。

注) Ave. 18m/sec= 1.50倍=暴風 27m/sec

(3) 主機と舵

風に立てた状態で姿勢を維持するには、以下が一般的な必要機関出力と
言われている。しかし、荒天下では船体動揺し、プロペラレーシングなども発
生する可能性なども考慮しなければならない。

舵：一杯転舵	風速20m/sec	: Slow Ahead
	風速25m/sec	: Half Ahead
	風速30m/sec	: Full Ahead

姿勢制御の難しさ

圧流走錨状態となり、風を真横から受けるようになって圧流された場合、
機関・舵・バウスラストを用いて姿勢制御可能となるまでには、時間と広い
水域が必要となる。

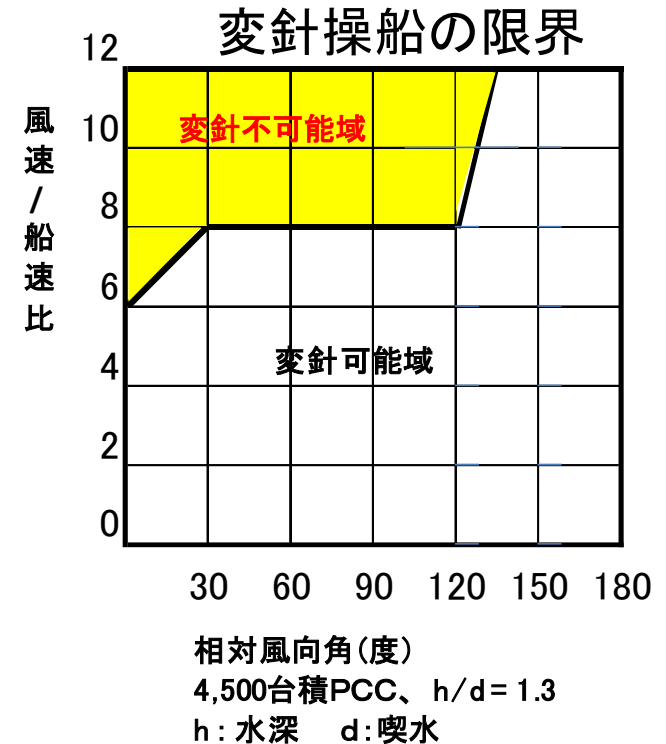
また、前進速力が付くと、バウスラストの見かけ出力は1ノット当たり20
%減少する。(5ノットでゼロ:効かなくなる)

変針操船の限界

4,500台積PCCにおいて、舵角 15° で風に逆らって90度変針する操船を行うときの可否を右図に示す。回頭角が90度に至る前に回頭角速度が消失する場合を「**変針不可能域**」として黄色の領域を示している。

縦軸は風速/船速比、横軸を相対風向角に取っているが、圧流走錨して風を90度(真横)から受け、右舷(風上)に回頭する場合、**風速/船速比が8以上(船速の8倍の風速)で変針は不可能**となる。即ち、揚錨に成功し、僅かな前進速力を得ても、船体を風に立てる操船は困難を極める。

20m/secの風だと、**船速が $2.5\text{m/sec} = 5\text{kts}$** 以上にならないと、風に立てることが難しいことが判る。(5ノットではバウスラストは効かない)



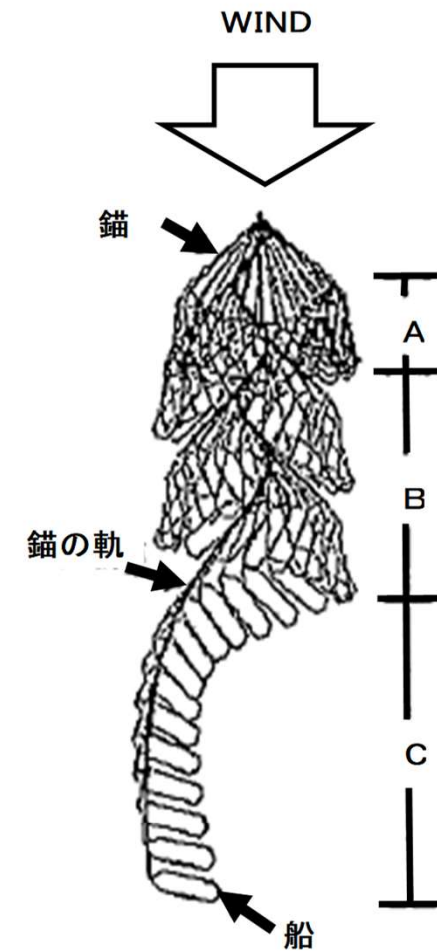
注)

C : 圧流走錨 ⇒ 20~25m/secの風では、風下に
3~4ノットの速度にもなる。

PCCの保針限界風速/船速比は2.8~3.8

針路を保つことが出来る最大の風速と船速比。

変針限界と混同しないこと。



§ 3-9 他船との安全な船間距離 : 浅瀬や海上構造物との離隔距離

例え走錨しても事故に至らない他船や浅瀬・構造物との離隔距離を確保して投錨位置を決めることが重要であるが、離隔距離の目安を決める

確固たる基準はない。

走錨を検知し、その後迅速に主機・舵・バウスラストを用いて船体姿勢制御を回復するに至るまでに使用する面積に着目して考えた場合、以下を考慮する必要がある。

1 Turning Circleの半径

使用する錨鎖の長さ＋自船Loaを半径とする円

2 圧流走錨の速度

圧流走錨の場合は、**3～4ノット**

3 揚錨に要する時間

定格速力 : 9m/min. 1ss ≒ 3分

張力が掛かっている場合は、連続した巻き上げ作業は不可能

4 主機の準備に要する時間

走錨が発生する恐れがある場合は事前にS/B

5 風を横に受けてから姿勢制御可能となる前進速力を得るまでに要する時間

ケーススタディ

Case 1 圧流走錨が始まってから揚錨作業を開始 の場合

Loa 200m、8節で錨泊。揚錨に通常の1.5倍の時間が掛かり、その間4ノットで圧流され、揚錨後に5ノットの速力を得るまで15分要し、その間は風を真横から受けて航走したと仮定した場合。

主機・バウスタは走錨前に準備できており、揚錨作業中も使用可能とした。風速は20m/sec

上記を右図で表すと、Anchor Positionから下記水域が必要となる。

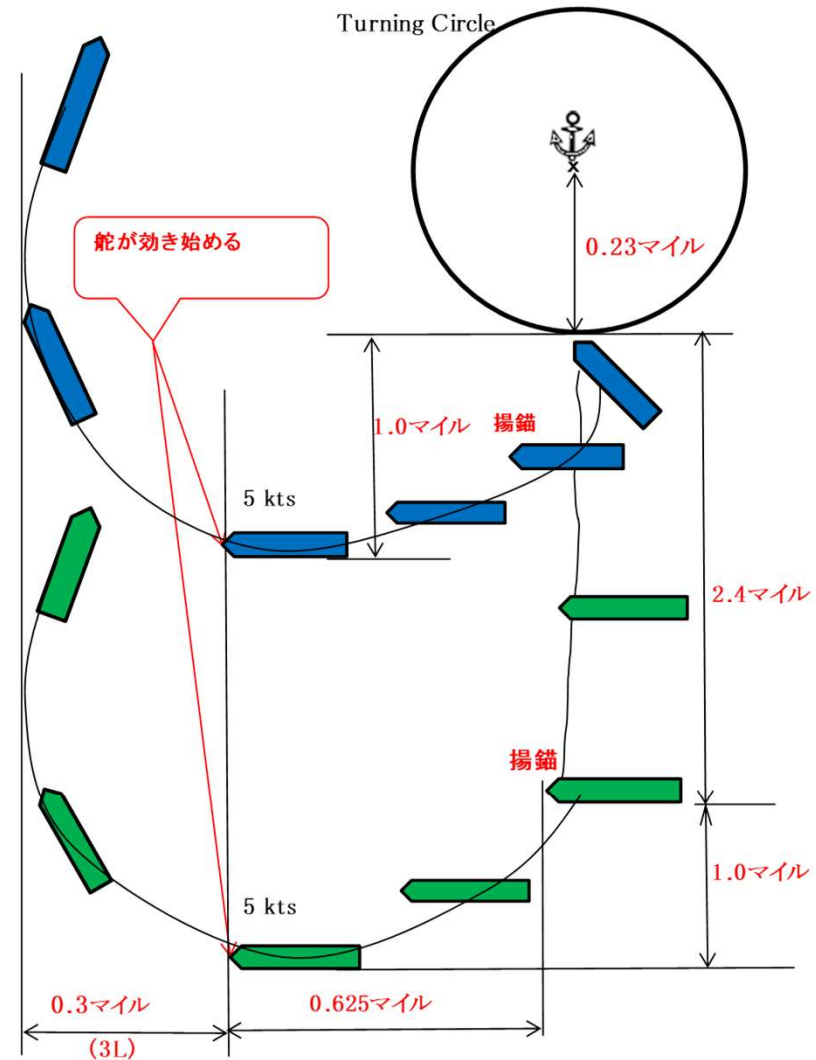
風下方向に 3.63マイル
横方向に 0.93マイル

走錨による他船との衝突や乗揚げ事故は、この水域が確保できなかった場合によるものが殆どである。

Case 2 ◀ の場合

振れ回り走錨の初期段階で揚錨し、仮に風を横から受ける状態になっても、風下方向・横方向に右記水域があれば、姿勢制御可能になる。

風下 1.23 / 横 0.93マイル



実際には、揚錨中も主機と舵・バウスラストを使用し、ある程度姿勢制御が可能なので、風下に流される距離はもっと短い。但し、舵をきって速力を落とさない操船を行うことが必要。



振れ回り走錨の内にそれを検知し、揚錨して錨泊を中止するか、再度、安全な水域で錨を入れ直す。

§ 3-10 投錨作業

近年、錨鎖が絡む、或いは、錨鎖を全量走出するという事故が多発している。その原因は、不適當な投錨作業によるものが殆どで、特に錨鎖の繰出速度を制御せず、無制動落下させることによって事故が発生するケースが多い。

錨を無制動落下させると、落下距離約50mで**毎秒10mの速度**になることが計算と実験で検証されている。即ち、12節＝330mの錨鎖でも**33秒で全量走出**することになる。

このような事故の調査に於いて、ブレーキが効かなかったと言う乗組員証言が多いが、その後の事故調査で**ブレーキシャフトが曲がっていたり、整備不良**が原因で上記時間内にブレーキを掛けることができなかったと言うことが判明するケースが殆ど。

落下速度(走出速度)は、ブレーキで調整しながら**毎秒5～6mの速度**(1節あたり5～6秒)に制御すること。



また、水深が20m以上の場合は、自由落下で投錨すると錨を損傷したり錨鎖の全量を走失する危険があるので、海底から5m程度の高さまでウォークバックさせてから投錨することが必要。

特に、レッコアンカーの際は、水深+2~3m分の錨鎖が水中に繰り出した時点で一度ブレーキを掛け、錨の上に錨鎖を大量に乗せないようにすることが必要。



その後は船の後進速度を0.5ノット~1ノットにして、錨鎖に大きな力がかからないように、また、海底で錨鎖が「団子」状態にならないように「繰出し速度を制御」することが必要。(軽く張ったら伸ばすを小刻みに繰り返す操作が望ましい。)

§ 3-11 錨鎖の繰出速度・総出量・揚錨機のブレーキ力

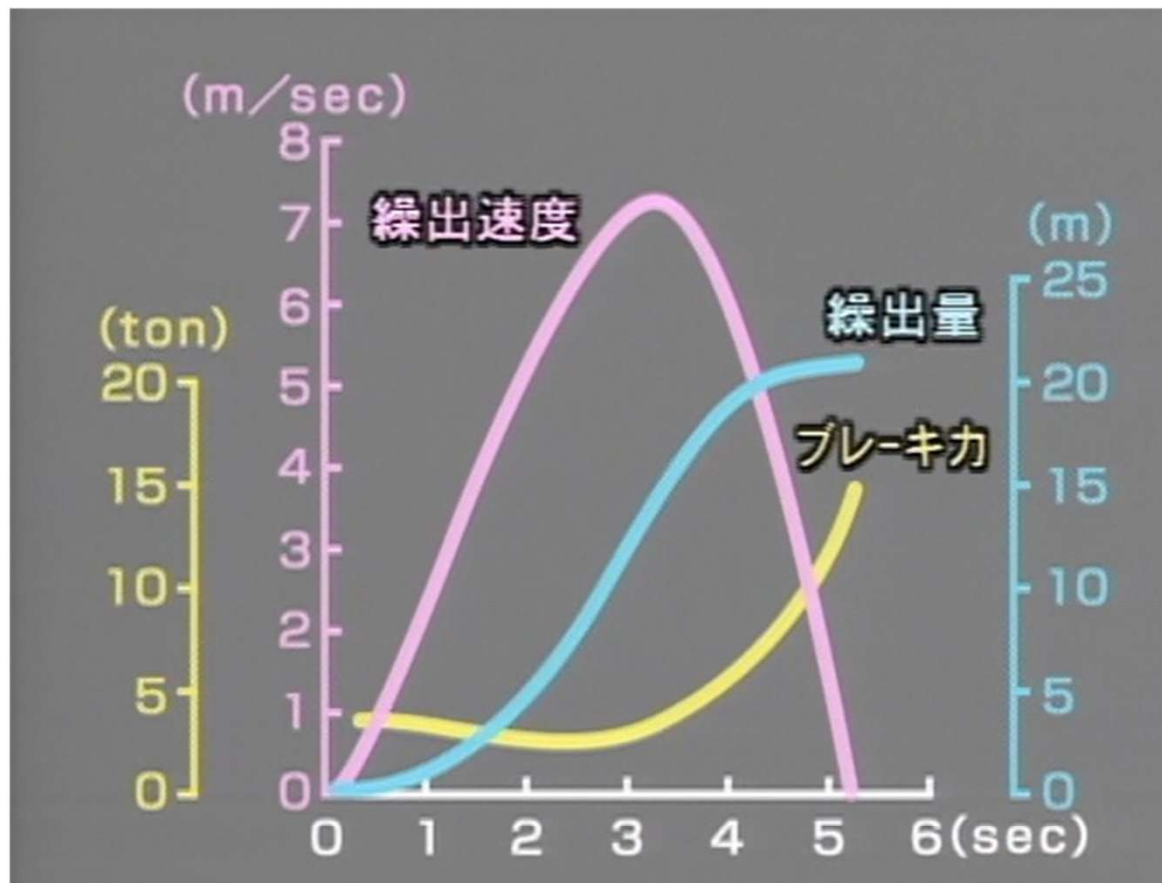
次頁のグラフは、23万トンVLCCの投錨実験で、ブレーキを制御しながら、ブレーキ力、錨鎖繰出量、繰出速度を計測したもの。

ブレーキを緩め、半ブレーキ状態で錨鎖が走出し始めてから約3秒後にブレーキを締め、約5秒後にブレーキを完全に締めて停止。錨鎖の繰出量は約21m。

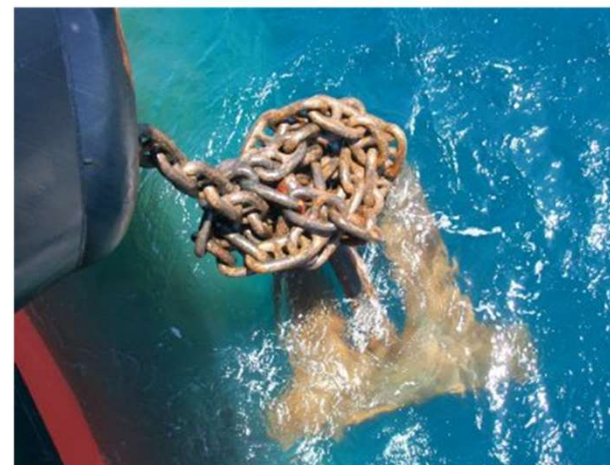
無制動落下させ、繰出し速度が毎秒10mを超えるものをブレーキで止めようとする、ライナーを多く摩耗させ、その際に煙も出るなどの不具合を生じるが、毎秒5～6mの速度で半ブレーキで制御する場合は、このような不具合は生じない。



VLCC 投錨実験結果



錨鎖が絡まった実例



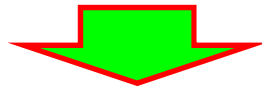
参考：高速船のFull Speed航走下における回頭運動と制御

高速船(コンテナ船やPCC等)が**満載状態・Full Speed**で航走している場合の**回頭運動**について考察する。

高速航行中に急旋回を行った場合の不具合

例えば、22ノットで航行しているコンテナ船が舵を一杯(Hard Over)に切った場合に生じる問題は次が考えられる。

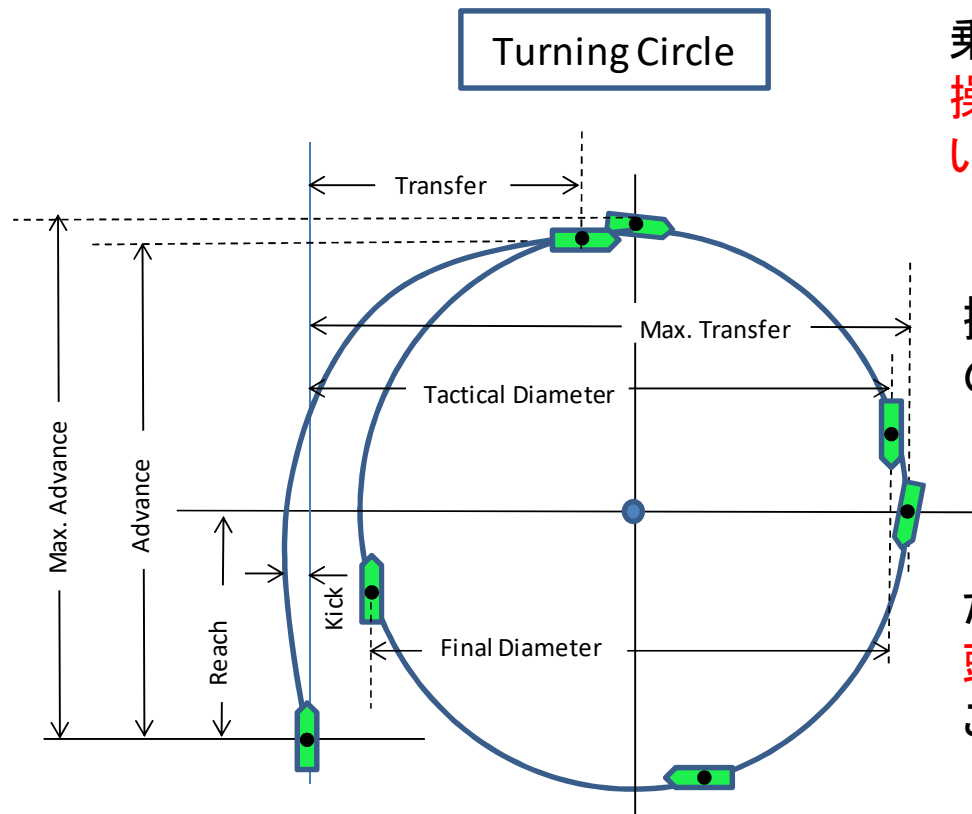
- ・ 主機がOver Load(トルクリッチ)になり、MO運転中だとSlow Down警報とともに、機関回転数が下がる。
- ・ 遠心力による外方傾斜が増大。コンテナ船のGoMは満載時は1.2~1.8m程度なので、急旋回すると外方傾斜が大きくなり危険な状況に陥る可能性がある。



上記不具合を発生させないために、回頭角速度を5~10度/分(最大でも15度/分)に抑えた操船が求められる。

海上公試で計測され、船橋に表示している旋回圏の諸元は、コンテナ船の場合、一般的に舵を一杯に切った場合のMax. AdvanceやMax. Transfer、Final Diameterが船の長さの3.5~4倍である。

しかし、この情報はバラスト状態で、速力も15ノット程度のものが殆ど。満載状態のFull Speedのデータはないのが実情。



S/B状態における急旋回(例えば衝突・乗揚げ防止など)を行う場合の諸元として操船者は当然知っておかなければならないデータ。

Full Speedにおける舵 Hard Overによる操船は前述したような不具合が発生するので現実的ではない。

Full Speed状態で安全に避航操船を行ったり、離岸距離を設定する場合などは回頭角速度に着目して必要な水域を考慮することが必要

回頭角速度に着目した船体回頭運動

船型・速力・復元力の状態で異なるが、速力低下を招かず・機関に悪影響を与えない**回頭角速度は10度/分程度**。

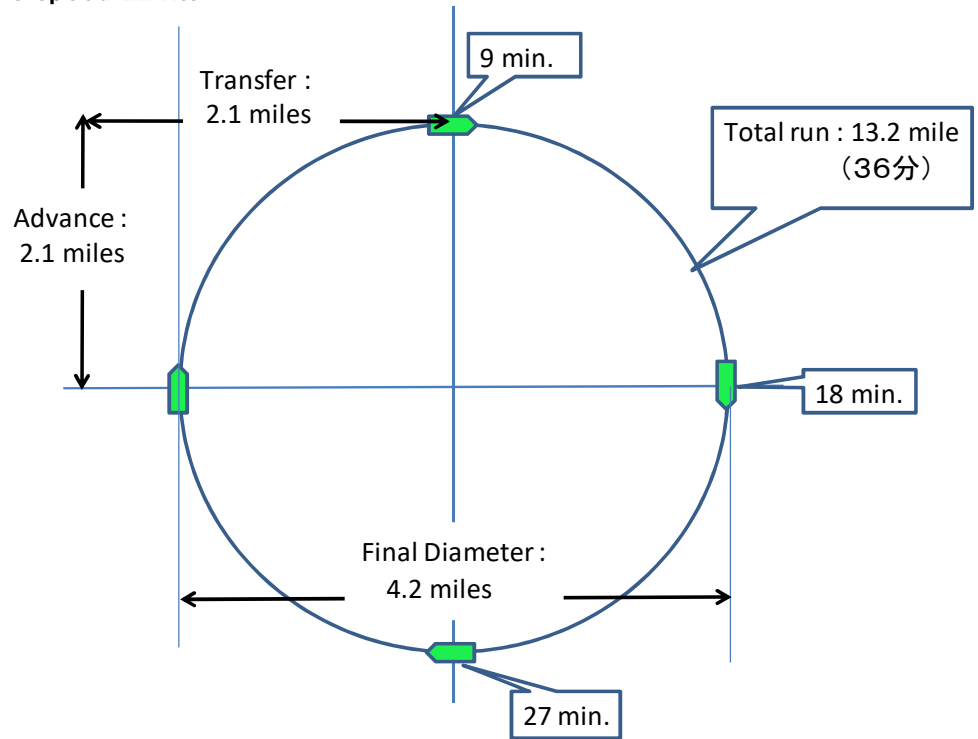
条件 : 22ノット、回頭角速度を10度/分に制御する操舵。

- ・ 360度回頭に要する時間 = 36分(0.6時間)
- ・ 36分間の航走距離 = 13.2海里(22ノット x 0.6時間)

例えば、横切り船を避航する場合は、**90度回頭するの**に要する時間と水域を考慮。

或いは、一回頭する場合に必要な水域の目安を**作図と計算**で求め、**海図に記入**して確認する。

Turn Rate : 10 degree/minutes
Ship's speed 22 kts



参考文献

- ・ 操船の理論と実際 井上欣三著
- ・ 航海便覧
- ・ (社)日本船長協会
「制限水域における安全操船」
＝錨泊操船＝
- ・ 操船通論 本田啓之助著
- ・ 操船論 岩井聡著
- ・ 船舶の錨泊監視支援に関する
研究(神戸大学)

資料・ビデオご提供

- ・ (社)日本船長協会
- ・ 日本郵船株式会社

講師略歴

岡田 卓三

1977年 国立広島商船高等専門学校 航海科卒

日本郵船株式会社入社

1996年 同社 船長

コンテナ船・自動車専用船などに船長として乗船

2012年 日本船主責任相互保険組合

お問い合わせ先

日本船主責任相互保険組合

ロスプリベンション推進部

Tel : 03-3662-7229

Fax : 03-3662-7400

E-Mail : okada-takuzo@piclub.or.jp

lossprevention-dpt@piclub.or.jp