




【09:00 観測】	<p>志布志湾が右半円の暴風域に入る可能性がある台風9号は錨位から方位&lt;124&gt; 191海里付近に接近して17ノットの速さで西北西に進んでおり、志布志湾が台風の右半円の暴風域に入る可能性がある状況だった。</p>
	<p>船長は、ナプテックスの台風情報のみを利用し、海図に台風の位置、進行方向、速度だけを記入したが、強風域や暴風域の記入までは行わなかった。また、以下の情報をナプテックスから得ていました。</p> <p>台風のランクがTからSTSに一階級下がった 今後24時間で風速28m/sに下がると予報</p> <p>さらに、いまだに湾内は風速10m/s未満で波高2m程度であることを観測し、このまま志布志湾で避泊することを決定した。</p> <div data-bbox="331 734 1406 1093" style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; margin: 10px 0;">  <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 20px;"> <p>鹿児島湾までは11時間かかるし… 初めてだし… 志布志湾には、同型船M号も錨泊しているし… 機関と舵で何とかできるだろう</p> </div> </div>
【12:00 観測】	<p>台風9号は勢力(970hp、30m/s以上の暴風域)を保ったまま西北西に進んでいることをナプテックス情報で入手。</p>
16:00	<p>北風が急に強くなり風速15m/sを超え、湾口から侵入していたうねりの波高も高くなる。守錨当直を強化したものの、依然として外洋に避難せず、志布志湾での避泊を継続。</p>
16:24	<p>機関の使用開始 錨鎖は6節のまま。</p>
16:30	<p>志布志湾が台風の右半円の暴風域に入る。</p>
17:00	<p>風向が北東に変わる。波高3m。</p>
19:30	<p>台風が最接近し、風向が東北東に変わる。風速17m/s、最大瞬間風速28m/s、波高5m。</p>
 20:30	<p><b>走錨開始。</b> 風速25m/s、最大瞬間風速35～41m/s、最大波高8m。</p>
 20:40	<p>レーダーで走錨を確認。揚錨を開始し、錨鎖6節中2節だけ巻き揚げたところで錨鎖が極度に緊張して、機関を前進全速にかけたが、揚錨が困難になる。機関を使用して圧流防止に努め、一時的に効果があったものの、完全に圧流は止められなかった。</p>

21:11	志布志港南防波堤から方位 <238> 1.9 海里の水深 10m の地点に船尾部分が座礁。 直後に、ほぼ船体中央部の 5、6 番貨物艙間が折損し、5 番艙下の 2 番燃料油タンクが破損した。 船長は折損した船尾部分が横転する可能性があるかと判断し、前述したように EPIEB を発信するとともに、VHF で海上保安庁に遭難を通報。
21:30	乗組員に救命胴衣を着用させ、風下舷の救命艇で退船を開始したが、波浪により救命艇が船体に打ち付けられて破損。負傷者も出たので全員が海に飛び込んだが、総員 19 名のうち 4 名の死亡が確認された。

### = 海難審判庁裁決：抜粋 =

以下が主たる事故原因と分析されました。

#### 台風に対する認識が不足している

ナブテックスの台風情報により台風の勢力がこのまま衰えると希望的な観測。

暴風域に入ることや風向の変化と波浪の侵入についての危機意識が欠如。

船長と各航海士の台風に対する認識の甘さ。

#### 避難海域等の情報が不足している

船長と代理店の担当者とは打ち合わせをした際、C号船長は担当者に「どこに避難すればよいか？」と質問し、担当者から「志布志湾は避難錨地に適さない。これまでの大型船は鹿児島湾に避難していた。」との助言を得て鹿児島湾に避難することに決定しました。実際には、上述したように鹿児島湾には向かわず、志布志湾で避泊を継続しました。

代理店とナブテックスの台風情報のみで判断。

よって、台風情報（強風圏や暴風圏などの範囲や風向・風速など）が不足している。

鹿児島湾まで荒天の中を航行すると 11 時間かかること、台風が通り過ぎたら、再度、志布志港に戻らなければならないことなども、志布志湾で錨泊を継続した理由のひとつ。

鹿児島湾に入湾した経験もなく、躊躇した。

ナブテックスの台風情報が一段階下のランク「STS」に下がり、そのまま台風は衰えると判断したが、実際には、さほど風速も落ちず、また大きなうねりが湾内に進入してきた。

#### 同型船が志布志湾に錨泊していたことへの安心感があった

志布志湾北東部の福島港沖に外国船 M 号（38,567 トン）が錨泊していたので安心感があった。

M 号は、水先人から「東の風なら志布志湾北東部の福島港沖が良い。」との助言を受け、錨鎖 9 ～ 10 節で同港沖に単錨泊した。しかし、暴風とうねりによって走錨したものの、座礁には至らなかった。

### 3 - 4 台風避泊を経験した内航船長に対する海難審判庁のアンケート

海難審判庁（当時）は、海難分析集 No.6「台風と海難」を発行する際に、実際に台風避泊を体験した内航船の船長にアンケートを実施しました。実際に役に立つコメントも多く寄せられているので、その一部をご紹介します。

= 「台風避難時に注意した事項」として記載が多かったものは、次のとおりです =

周囲の錨泊船との船間距離に注意し、自船及び他船の走錨に注意した。

台風接近時、通過後の風向の変化や吹き返しの強風に注意した。

外国船は、単錨泊が多くて走錨しやすいので、外国船の付近で錨泊しないようにした。特に、外国船の風下側に位置しないよう注意した。

機関、舵、スラスタを使用して、船首を風に立てるようにしていた。

守錨当直を行い、機関を早めにスタンバイとした。

狭い錨地に錨泊船が多く、強風が予想されたので、振れ回りを少なくし、係駐力を増すために双錨泊とした。

付近の錨泊船の船名を記録しておき、走錨時には、VHF 又は電話で連絡できるようにしておいた。

最大風速時の風向を予測し、その風向に対して双錨泊とした。

また、具体的なコメントもいくつかをご紹介します。



風速 35m/s を超えると、船首での錨作業は危険であり、40m/s を超えてからの揚錨は困難と判断した。そのため、風が強くなる前に揚錨し、ある程度の行き脚を保持して風を正船首に受けるように保針しながら踴躍（ちちゅう：Heave-to）していた。（大型フェリー）

函館湾は、いずれ波が高くなって走錨することを予想してあえて、単錨泊とした。波高 3m で走錨したので、機関を使用して圧流防止を図り持ちこたえた。他船の走錨による接触事故を防止することを考えれば、単錨泊の方が望ましい。双錨泊では、かわすことは不可能である。（4,000GT 内航タンカー）





風速が 20m/s を超えたので、機関長を配置して機関用意に備えた。船体が「8の字運動」する中で、返しの角速度が大型貨物船に比べて速かったので、把駐力が大きいものと判断したのがそもそも間違いであり、その後の対応が後手に回る結果となった。この時点で、瞬間的に大きな風圧力が掛かっていると判断し、機関用意とスラスター用意としておくべきであった。(大型フェリー)

揚錨時に船首作業が危険であれば、機関を使用して圧流を防止する。錨地の選定や錨地の情報収集等のために海上保安部に連絡したとき、台風進路の予想についてまでアドバイスしてくれた。(3,552GT内航タンカー)



台風の進路から判断して、避泊予定地の風向・波浪の状況を予想判断し、避泊地として適当か慎重に判断した。避泊してからは、他船の船名・位置等を記録しておき、緊急の場合に直ちに連絡が取れることを確認した。自然の猛威に対しては、これで大丈夫ということではなく、常に対応を考えておかなければならない。

荷役にこだわったため、避難開始が遅くなった。荷役を中止してもっと早期に避難すべきであり、万全を期すなら陸奥湾まで避難すべきであった。北浦沖(牡鹿半島沖は、錨地の底質が岩で不適當であり、付近には漁具が設置されていて良好な錨地ではなかった。できるだけ早期に避泊すること。台風が間近に迫って風勢が増してからでは計画通りの投錨も困難であり、他船との良好な位置関係も得がたい。夜間だけでなく昼間に避泊するよう計画すること。



## 第四章 走錨のメカニズム

2013年7月13日に発行したロスプリベンションガイド No.25「走錨防止」から重要点を抜粋しました。詳細は同ガイドをご参照ください。

---

---

### 4 - 1 錨泊中の事故

---

---

錨泊中の事故は、**走錨 漂流 衝突または乗揚・座礁**という形で起こりますが、以下が事故に至る原因です。

走錨を検知するまで時間を要する（その間も漂流）。

走錨している錨を巻き上げ、自船の姿勢制御が可能になるまで時間を要する（その間も漂流）。

走錨を始めてから姿勢制御を掌握できるまでの間、漂流しても他船と衝突しない、または、乗揚げ・座礁するおそれのある危険水域までの距離や水域が確保できない。

姿勢制御が可能となるまでに、時間的余裕があり、広い水域が確保できていれば、走錨そのものが重大事故になることはありません。（荒天による転覆を除く）前章でご紹介した事故例も、上記が当てはまります。

## 4 - 2 走錨はなぜ発生するのか

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」と定義しています。即ち、走錨は「外力が係駐力を上回ると走錨する」という極めて単純な理由で発生します。

係駐力 < 外力

走錨



= 従来の錨鎖伸出量の目安 =

よく知られている錨鎖の伸出量の目安として以下がありますが、船種や実際の風速などに関する要素は、この目安の中には見当たりません。この進出量の目安を結論とする過程の中で、集約したものと考えられます。

日本の操船論等で紹介されている目安

通常の状態 :  $L = 3d + 90m$

荒天時の錨泊 :  $L = 4d + 145m$

英国の操船論等で紹介されている目安

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

L : 錨鎖の伸出量 (m)    d : 水深 (m)    : 風速 30m/sec 程度まで

海難審判庁（当時）により、2004 年の上陸台風（10 個）通過時の内航船の錨泊状況（700 隻）の統計データとシミュレーション結果による目安として、日本の目安に対応する風速と波高が、次のように、海難分析集 No.6「台風と海難」の中で紹介されています。当然の事ながら、自船や周囲の他錨泊船の状況、底質でこのような目安も変わってくるので、より安全サイドに立って、実際の錨鎖伸出量は決定しなければなりません。

通常の天候状態

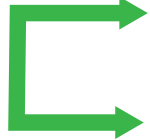
$L = 3d + 90m$  の場合



風速 20m/s と波高 1mまで

荒天時の錨泊

$L = 4d + 145m$  の場合



フェリー等 風速 25m/s と波高 2.5mまで

フェリー以外 風速 30m/s と波高 2.0mまで

**錨地の底質や周囲の他錨泊船の状況で上記の目安は異なる**

また、海難分析集の中で、事故例 3 - 3 C号の場合において、「風だけを受ける場合」と「風、およびうねりを受ける場合」とでは、錨泊限界にどの程度の違いが出るのか？ シミュレーションの計算結果も紹介されています。

正面から風だけを受ける場合

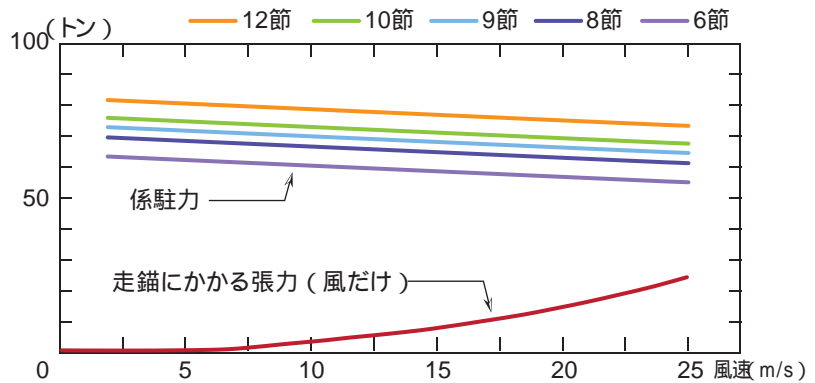


図 59

後述する錨と錨鎖による把駐力からも分るように、風圧力の増加に伴い、錨鎖の着底部分が減少するので、係駐力は減少しますが、水中部分の錨鎖が6節以上の錨鎖伸出で、風速 25m/s までは走錨しないことが解析されています。

正面から風とうねり  
(波高 5m・波長 200m)  
を受ける場合

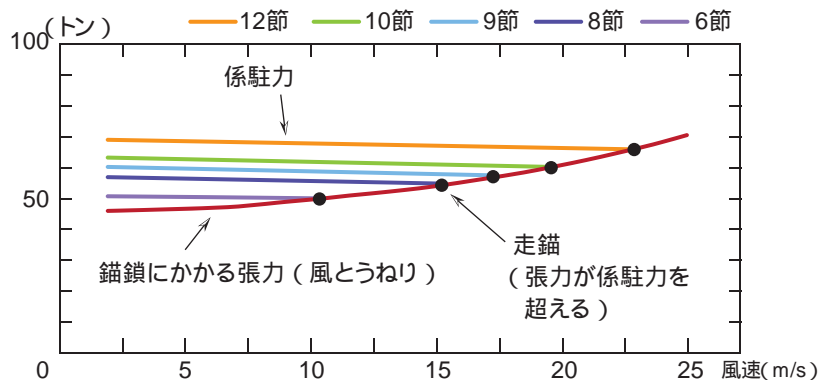


図 60

うねりが加わると、風圧力+波漂流力（波が浮体を移動させる力）により、錨鎖の張力が風速 10m/s で約 50 トンに達し、この時点で 6 節だと係駐力を超え、また、風速 15m/s では錨鎖 8 節、25m/s では錨鎖 12 節でも走錨することが分かりました。

**錨泊時に船体動揺が始まるような「うねり」や「波高」がある場合、過信は禁物**

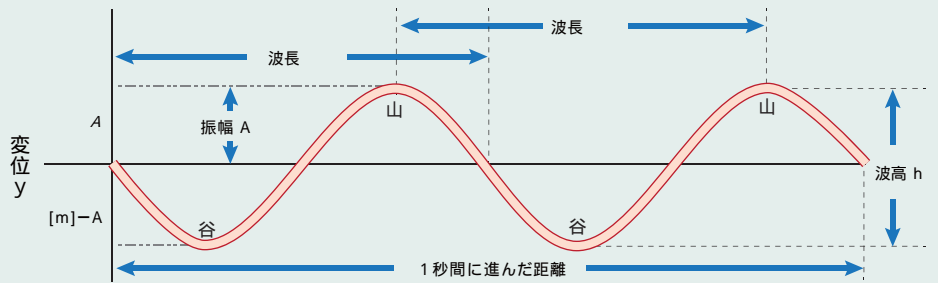
**風 と 波に注意!!**

台風や風の強い低気圧が接近する場合、風向の変化に注意

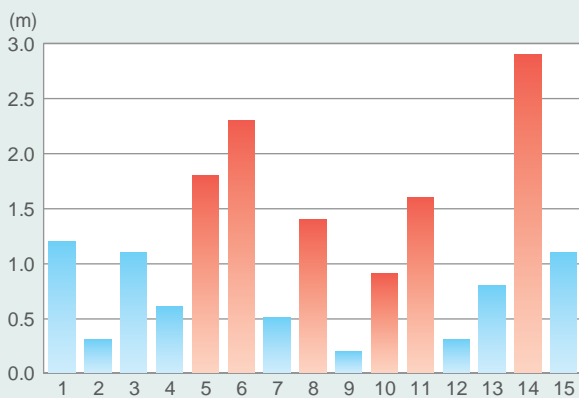
風に対する遮蔽物が少ない海上では、平均風速の 1.5 ~ 2倍の最大瞬間風速を見込む  
うねりが高くなると走錨の危険性が著しく増大。うねりの侵入が予想される錨地は避ける。  
ときおり、有義波高 (\*1) の 1.5 ~ 2 倍の最大波高が出現することがある。

\*1) 有義波高 (= 気象庁ホームページより)

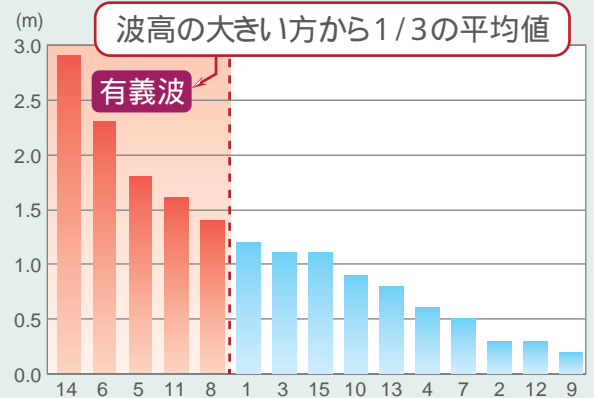
20 分程度の時間内に観測された波を、高いものから順にその 1/3 を選んで、それらの波の平均波高と平均周期を有義波高、有義波周期と呼ぶ。この定義から 1/3 最大波と呼ぶことがある。



波を表すグラフ 1秒間に2個の波が送り出された場合



ある地点で観測された波高 (不規則に変化している)



波高の大きい順に並べ替え



## 4 - 3 走錨の検知

従来の走錨検知方法として以下があります。

船位をチェックし、船位が錨泊 Turning Circle ( 図 61 ) を超える場合。

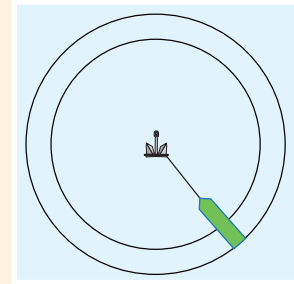


図 61 Turning Circle

船首が風に立たなくなった場合。

風を受ける舷が変わらなくなった場合。

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場合。

異常な振動が錨鎖を伝わって感じられる場合。

コースレコーダーがサインカーブ運動を示さない場合。

写真 62 のコースレコーダーの写真は、筆者が自動車専用船に乗船した際、風速 8m/sec 程度の風を受けて錨泊していた時の記録です。サインカーブであるかどうかの判断は悩ましいところです。



写真 62

これら指針は現在でも十分活用できますが、走錨していることを確認するにすぎず、走錨がいつ始まるのかは予測できません。

= 実際の走錨時の本船の動き =

GPS が一般的となり、近年の研究で走錨は二段階の現象を伴うことが解析されました。これにより、従来の走錨検知方法により検知する前から走錨は始まっていること（第一段階：振れ回り走錨）が指摘されています。（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

錨泊中の船体の振れと動揺はしばしば“8の字”運動に例えられる（右図の「A」の部分 = 走錨していない）。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を開始する。（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をいう。（右図の「C」の部分）従来の走錨検知方法は、この段階におけるもの。揚錨は困難（時間がかかる）となり、また錨が揚がらないと操船を開始できないことが殆ど。

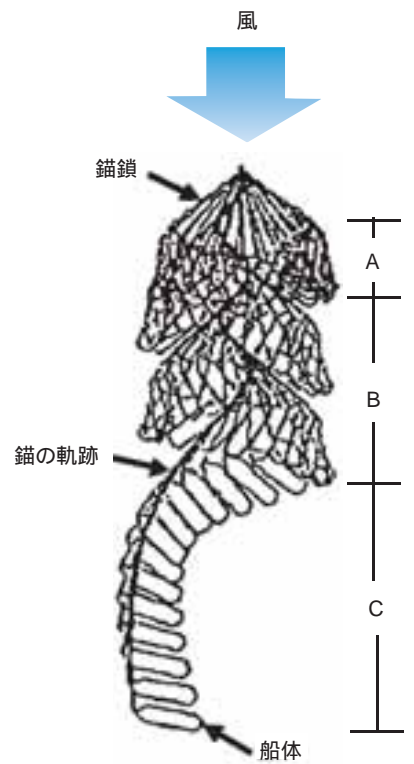


図 63

GPS、ECDIS、RADAR の軌跡表示機能などを活用し、第一段階における走錨の検知が容易になりました。走錨を開始しても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」が求められます。

写真 64 ~ 66 は、筆者が自動車専用船に乗船していた時の、実際の ECDIS と RADAR 画面です。船位記録・表示機能を使用して実際の本船の動きを把握できました。

### 実際の ECDIS と RADAR 画面

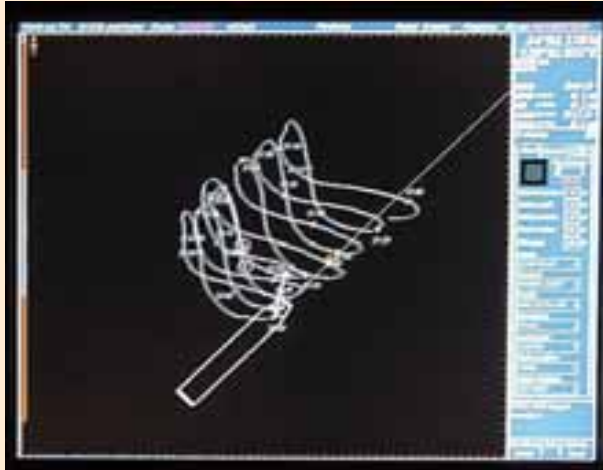


写真 64

ECDIS の画像で、表示範囲を狭めて本船の大きさが判るように表示させます。また、GPS の軌跡を 60 分程度まで表示させています。第一段階の振れまわり走錨の様子がわかります。

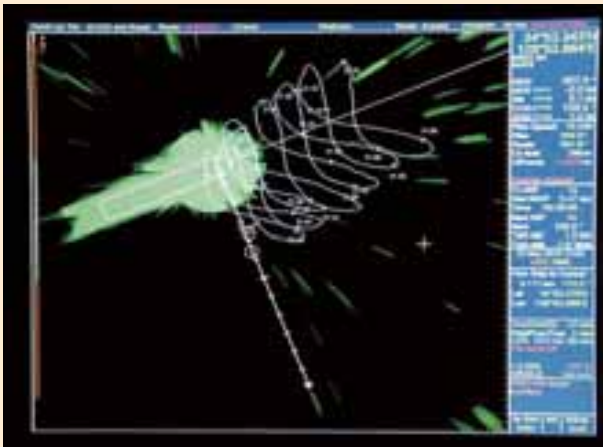


写真 65

同様に RADAR のレンジを 0.75 海里程度に設定し、併せて、GPS の軌跡を 60 分に設定しました。やはり、第一段階の振れ回り走錨の状況がわかります。



写真 66

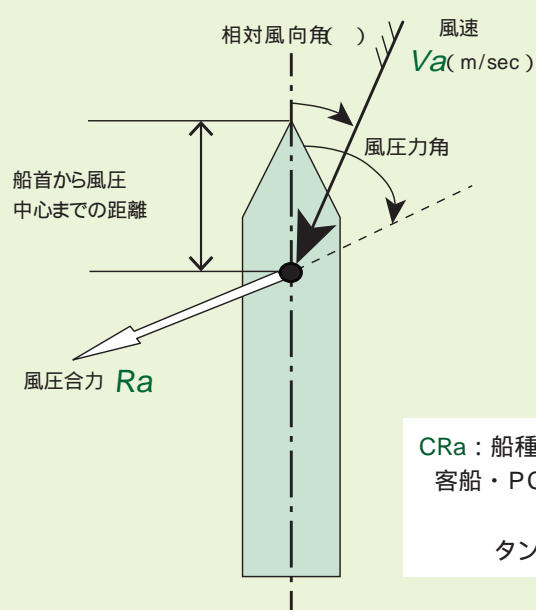
錨地に他船が存在しなかったため、圧流走錨実験を行いました。あっという間に風向に対して横向きとなり、3 ~ 4 ノットの速力で風下に圧流され、揚錨にも時間を要しました。

## 4 - 4 風圧力

走錨を発生させる外力として把握しなければならないものは、風圧力です。風圧力は下記「ヒューズの式」で求めることができます。

### 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 kg · sec / m<sup>4</sup> ]

A : 水線上船体の正面投影面積 [ m<sup>2</sup> ]

B : 水線上船体の側面投影面積 [ m<sup>2</sup> ]

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

θ : 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・PCC・コンテナ船 : 1.142 - 0.142cos<sup>2</sup>θ - 0.367cos<sup>4</sup>θ - 0.133cos<sup>6</sup>θ

一般貨物船 : 1.325 - 0.050cos<sup>2</sup>θ - 0.350cos<sup>4</sup>θ - 0.175cos<sup>6</sup>θ

タンカー・バルカー : 1.200 - 0.083cos<sup>2</sup>θ - 0.250cos<sup>4</sup>θ - 0.117cos<sup>6</sup>θ

**風圧合力は風速の二乗に比例する。**

手計算では、瞬時にその時の風圧力を求めることは難しいですが、計算式をパソコンに入力しておくと、容易に風圧力を求めることができます。Excel を利用した参考例を表 67 に示します。

## 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 )

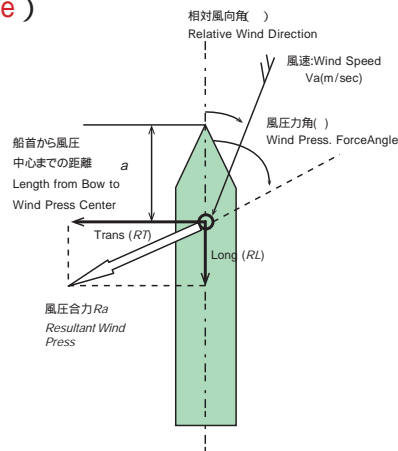
Loa(m)	200
正面投影面積( Projected area( Front ))( m2 )( A )	800
側面投影面積( Projected area( Side ))( m2 )( B )	5,800
風速( Wind Speed )( m/s )	19.5 ( Ave.Wind Speed x 1.25 or 1.50 )
船種( Kind of ship ) 下記から選ぶ ( Passenger, PCC, Ctnr:1 General Cargo : 2 Tanker, Bulker: 3 )	1

- \* 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 ( ) 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 ( ) 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 = 0 の値の 6 倍, Tanker/Bulker は 4 倍 ) Wind Force on Front ( = 0 ) x 6, Tanker/Bulker x 4 )				

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



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

表 67

表中の計算式は以下が入力されています。

### 表中計算式 / Calculation Formula in Above table

風圧力 / Total Wind Force

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

風圧力の船首尾方向分力 / Longitudinal Force

$$RL = Ra \times \cos \theta$$

風圧力の正横方向分力 / Transverse Force

$$RT = Ra \times \sin \theta$$

a 作用点 / Point of Action

$$a = (0.291 + 0.0023 \times \text{風速}) \times Loa$$

作用角 / Angle of Action

$$\theta = \left\{ 1 - 0.15 \times (1 - \cos \theta) - 0.8 \times (1 - \cos \theta)^3 \right\} \times 90$$

風圧係数 ( CRa ) / Wind Pressure Co-efficient ( CRa )

- 1 1.142 - 0.142cos<sup>2</sup>θ - 0.367cos<sup>4</sup>θ - 0.133cos<sup>6</sup>θ ( Passenger Ship / PCC / Container )
- 2 1.325 - 0.050cos<sup>2</sup>θ - 0.350cos<sup>4</sup>θ - 0.175cos<sup>6</sup>θ ( General Cargo )
- 3 1.200 - 0.083cos<sup>2</sup>θ - 0.250cos<sup>4</sup>θ - 0.117cos<sup>6</sup>θ ( Tanker / Bulker )

衝撃力 / Impact Force

- PCC/CTNR/Passenger Ship Wind Pressure on Front x 6
- Bulker Wind Pressure on Front x 4

## 4 - 5 錨と錨鎖による把駐力

### 錨と錨鎖による把駐力

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

- H : 錨と錨鎖による把駐力 (kgs)
- H<sub>a</sub> : 錨による把駐力 (kgs)
- H<sub>c</sub> : 錨鎖による把駐力 (kgs)
- W<sub>a</sub> : 錨の空中重量 (kgs)
- W<sub>c</sub> : 錨鎖 1 m 当たりの空中重量 (kgs)
- W<sub>a'</sub> : 錨の水中重量 (kgs) = 0.87 × W<sub>a</sub> (kgs)
- W<sub>c'</sub> : 錨鎖 1 m 当たりの水中重量 (kgs) = 0.87 × W<sub>c</sub> (kgs)
- l : 錨鎖の係駐部長さ (m)
- a : 錨の把駐抵抗係数
- c : 錨鎖の摩擦抵抗係数

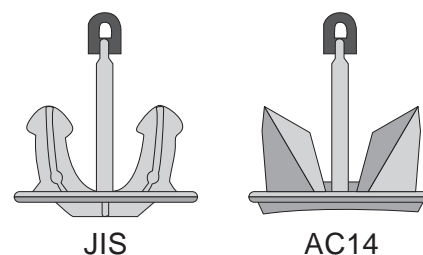
錨泊中の把駐力は、「錨による把駐力」と「海底に横たわる錨鎖の摩擦力」の合計です。

錨・錨鎖の把駐抵抗係数 ( a と c ) は錨のタイプや底質により異なります。JIS 型・AC14 型の錨の把駐抵抗係数 ( a ) と錨鎖の把駐抵抗係数 ( c ) を表 68、69 に示します

a : 標準把駐抵抗係数の値 / Anchor Holding Factor

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

表 68



c : 錨鎖の摩擦抵抗係数の値 / Anchor Chain Holding Factor

c	係駐時 Holding	走錨時 Dragging	
	0.75 ~ 1.0	砂 Sand	泥 Mud
			0.75

表 69

また、外力を受けた場合の海中の錨と錨鎖の状態のイメージを図 70 に示します。船首の錨鎖出口（ホースパイプ外側）から海底までは、錨鎖の懸垂部でカテナリーを描いています。

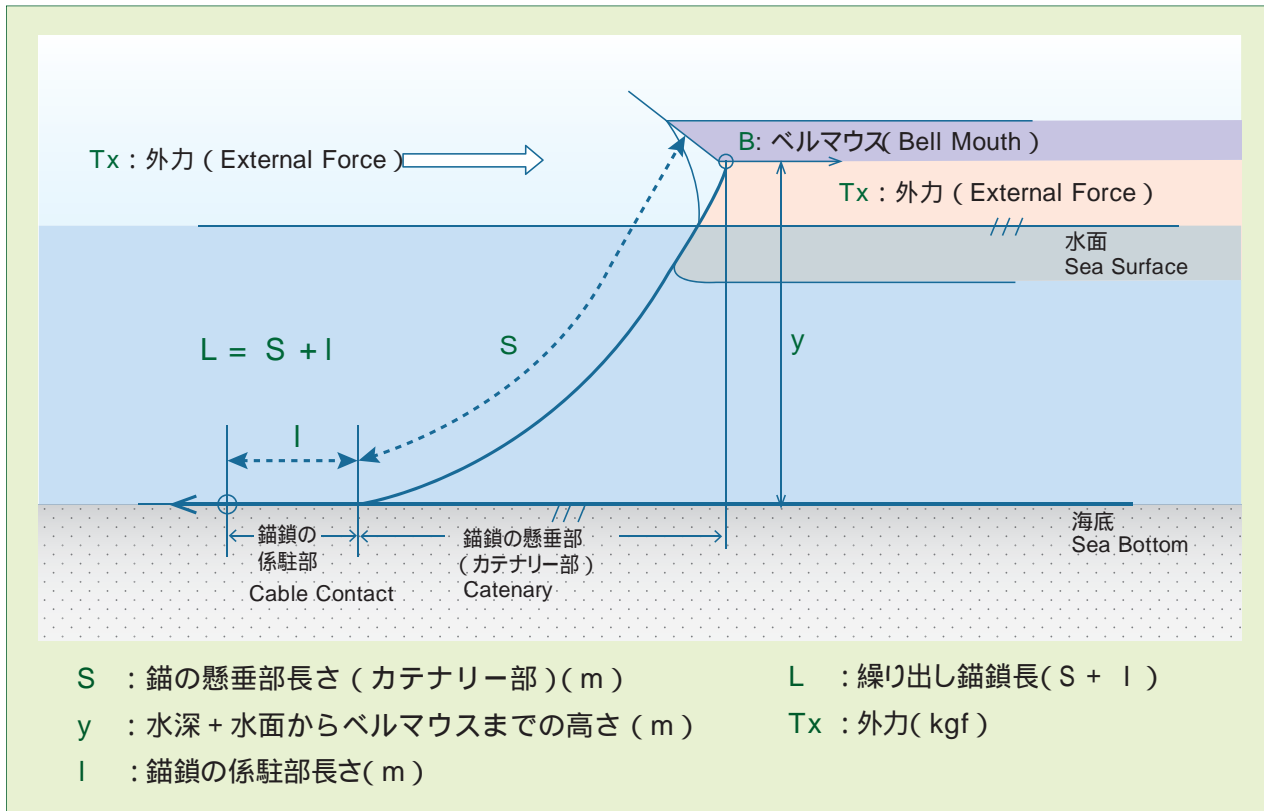


図 70

この錨鎖の懸垂部の長さは、以下の計算式で求められます。

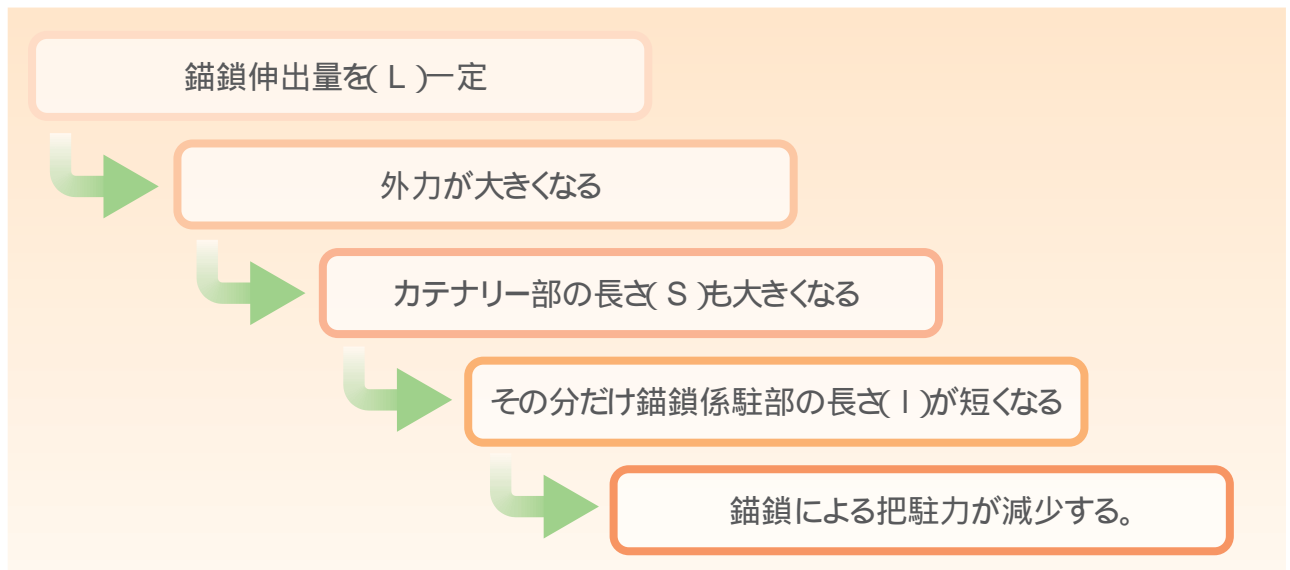
### 錨鎖の懸垂部 (カテナリー部) の長さの計算方法

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

**S** : 錨のカテナリー部分 (m)                      **Wc'** : 錨鎖 1 m あたりの水中重量 (kgs)  
**y** : 水深 + 水面からベルマウスまでの高さ (m)                      **Tx** : 外力 (kgf)

上記の計算式から、外力 (Tx) が大きくなれば、懸垂部 (カテナリー) の長さが長くなるのがわかります。

即ち、錨鎖の繰り出し長さを一定とした場合、以下のような関係があり、錨鎖が一定のままで外力が大きくなると、把駐力が減少するといった悪循環になります。



カテナリー長さや外力増加に伴う把駐力減少などの計算も、手計算では簡単にできません。これも外力（風圧力）計算同様、計算式を Excel File に入力しておく、瞬時に結果が表示されます。把駐係数や観測した風速、底質の係数などは、安全サイドのデータを入力し、結果を過信することなく、目安として対応することが求められます。カテナリー長さや把駐力の計算例を表 71、72 に示します。

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( $Wa' \times a$ ) 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( $Wa' \times \lambda a$ ), required length of chain is to calculate by following formula. <b>Required Length of Chain = <math>3 \times d + 90</math> m ( Only External Force &lt; <math>Wa' \times \lambda a</math> )</b>	
3 予想最大外力の入力( Expected total external force ) 予想最大外力は、 <b>衝撃力の大きさ</b> 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 <b>Maximum Impact force</b> . For PCC/CTNR Ship : Wind Pressure on front $\times 5 \sim 6$ , Other type of ship : Wind Pressure on front $\times 3 \sim 4$	
* 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 $15 \times 5 \sim 6 = 75 \sim 90$ トン( PCC/CTNR ) IE )As per Wind force Cal., Relative Wind Direction $\theta=0$ : 15ton : Max Impact Force $15 \times 5 \sim 6$ for PCC/CTNR= 75 ~ 90 tons	
情報入力 (Input Data)	計算結果 (Result of Calculation)
予想される最大外力( トン ) : $T \times$ ( 衝撃力 ) Expected total external Max. force( MT ) : ( $T \times$ Impact Force )	海底から錨鎖孔までの高さ : ( y ) Total height (Bottom to Hawsepipe): ( y )
錨の空中自重( トン ) : ( $Wa$ ) Anchor weight ( MT ) in Air : ( $Wa$ )	外力に対応するカテナリー長さ : ( S ) Catenary length against the external force : ( S )
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 ) : ( $Wc$ )	錨鎖による把駐部の最小要求長さ : l Minimum Required Contacted length of the chain : l
アンカーの種類( JIS 型 ...1、AC14...2 ) Kind of Ancher ( 1: JIS, 2: AC14 )	計算上必要な錨鎖繰り出し長さ : $L = S + l$ Minimum Required Length of Anchor Chain : $L = S + l$
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	
水深( m ) : d Water depth( m ) : d	
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	
錨の把駐係数 : ( a ) Anchor Holding Factor : ( a )	
錨鎖の把駐係数 : ( c ) Anchor Chain Holding Factor : ( c )	
	<b>Notice</b>
	守錨直を励行してください。 Keep Anchor Watch Strictly
	錨の把駐係数( 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( a ) : Use Calculation Formula or Input by manual.
	錨鎖の把駐係数( c )は 0.75 ~ 1.0 Anchor Chain Holding Factor( c ) : 0.75 ~ 1.0

表 71



表中計算式 ( Calculation Formula in above table )

錨の把駐係数 / Anchor Holding Factor

( 底質により異なる : Subj. to Kind of Sea Bottom )

a : 3.0 ( JIS )

: 7.0 ( AC14 )

a : 標準把駐抵抗係数の値 /  
Anchor Holding Factor

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

c : 錨鎖の摩擦抵抗係数の値 /

Anchor Chain Holding Factor

c	係駐時 Holding	走錨時 Dragging	
	0.75 ~ 1.0	砂 Sand	泥 Mud
			0.75

錨鎖の把駐係数 / Anchor Chain Holding Factor

c : 0.75 ~ 1.0

海底から錨鎖孔までの高さ / Total height ( Sea Bottom to Hawsepipe )

y : d + h

水深(d) + 水面からホースパイプまでの高さ(h) / Water Depth(d)+ Hawspipe Height from Sea Surface(h)

外力に対応するカテナリー長さ / Catenary Length Against the External Force

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

錨の空中重量 ( Wa ), 水中重量 ( Wa' ) /

Anchor Weight in Air ( Wa ), Anchor Weight in Water ( Wa' )

: 水中重量 ( Wa' ) = Wa × 0.87

錨鎖 1m 当たりの空中重量 ( Wc ), 水中重量 ( Wc' ) /

Anchor Chain Weight per m in Air( Wc ), Anchor Chain Weight per m in Water( Wc' )

: 水中重量 ( Wc' ) = Wc × 0.87

錨鎖による把駐部の最小要求長さ / Minimum Required Contacted Length of the Chain

$$l : T_x = Wa' \times a + Wc' \times c \times l$$

$$: l = \frac{T_x - Wa' \times a}{Wc' \times c}$$

計算上必要な錨鎖繰り出し長さ / Minimum Required Length of Anchor Chain

$$L : L = S + l$$

外力 ( Tx ) が錨の把駐力より小さい場合 / In case of Tx < Wa' × a

$$: L = 3 \times d + 90 ( m )$$

## 4 - 6 荒天時の走錨防止対策

従来より、荒天時の走錨防止対策として、次のようなことが指針とされています。それぞれについて、その理由と注意点について考えてみます。

### 喫水を深くする

理由

船体重量の増加に伴い、**振れ回り運動が抑制**される。また、風圧面積が減少して、**外力の影響を小さく**することができる。

注意点

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 By the head(バイザヘッド：船首トリム)にする

理由

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。

注意点

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

理由

錨鎖と海底との摩擦抵抗が増加、及び、カタナリー部も長くなるので、**把駐力の向上と錨に加わる衝撃力の緩和**に効果がある。

注意点

錨を巻き上げるのに、1節当たり定格で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。

### 他舷錨を振れ止め錨として使用

理由

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。

注意点

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。

### 両舷錨を使用して2錨泊、双錨泊とする

理由

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。

注意点

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。

### 主機と舵・バウスラストの併用

理由

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。

注意点

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。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。

上記のうち、錨鎖を伸ばす、及び、主機・舵・バウスラストの併用(事故例3-3のC号の状況)についてシミュレーションしてみました。

= 単錨泊で「錨鎖を伸長した場合の把駐力の増加」 =

6,000 台積の自動車運搬専用船で 6 節ウィンドラス（ホースパイプからの長さ 151m、海底からホースパイプまでの高さ 25 m）で錨泊中、風が強くなって錨鎖を伸ばした場合の限界風速の増加量を以下条件でシミュレーション計算しました。

= 計算条件 =

錨の空中重量 ( $W_a$ )	: 10.5ton	把駐係数 ( $a$ )	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 ton/m	把駐係数 / ( $c$ )	1.0
		水中重量	0.144 ton/m ( $W_c'$ )
海底から錨鎖孔までの距離 ( $y$ )	: 25.0m		
錨鎖 1 節の長さ	: 27.5m		
正面投影面積 ( $A$ )	: 800 sqm		
風圧係数 ( $CR_a$ )	: 0.75		
空気密度 ( )	: 0.125kg · sec <sup>2</sup> / m <sup>4</sup>		

錨鎖一定の場合

錨鎖 6 節のまま外力が増し、錨鎖のカテナリー部が大きくなり、外力が 63.9 トン（風速 16.9m/s）に達すると、錨鎖は全てカテナリー部分のみとなって錨の把駐力のみになります。これを逆算して風速を計算し、それを限界風速とした場合、限界風速を 1.25 ~ 1.50 で割り、平均風速に置き換えると、11.3 ~ 13.5m/s が錨泊限界になりました。

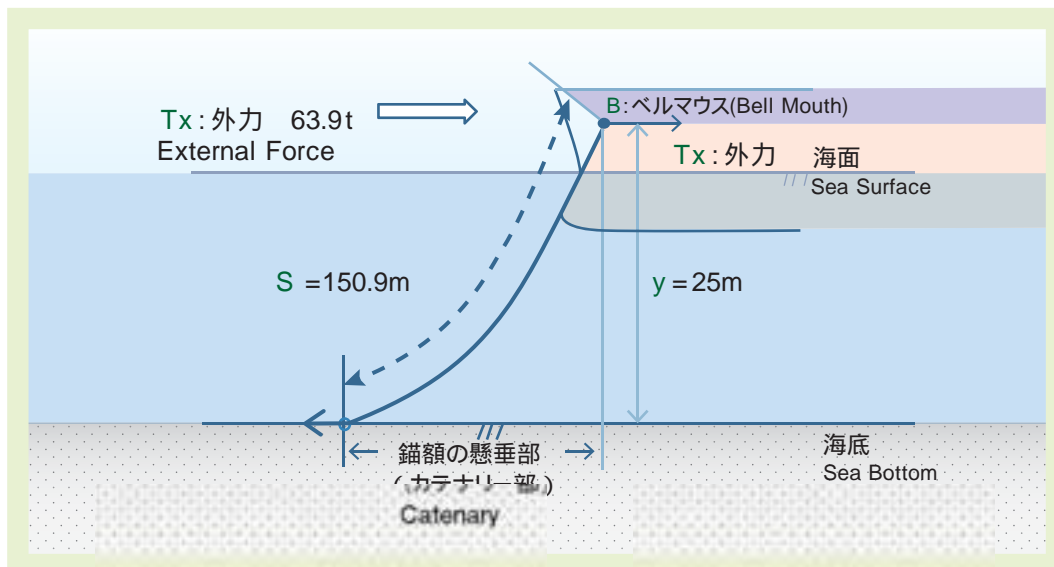


図 73

### (計算根拠)

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ます。錨鎖は全て懸垂部 (カタナリー) とし、また、限界風速は衝撃力と正面風圧力の比を 6 で計算します。

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 (110.65 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と平均風速を求めると、次のとおりです。

限界風速 : 16.9 m/sec

平均風速 : 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 1 節を伸ばした場合

錨鎖長さを 7 節にした場合の限界風速をシミュレーションしました。

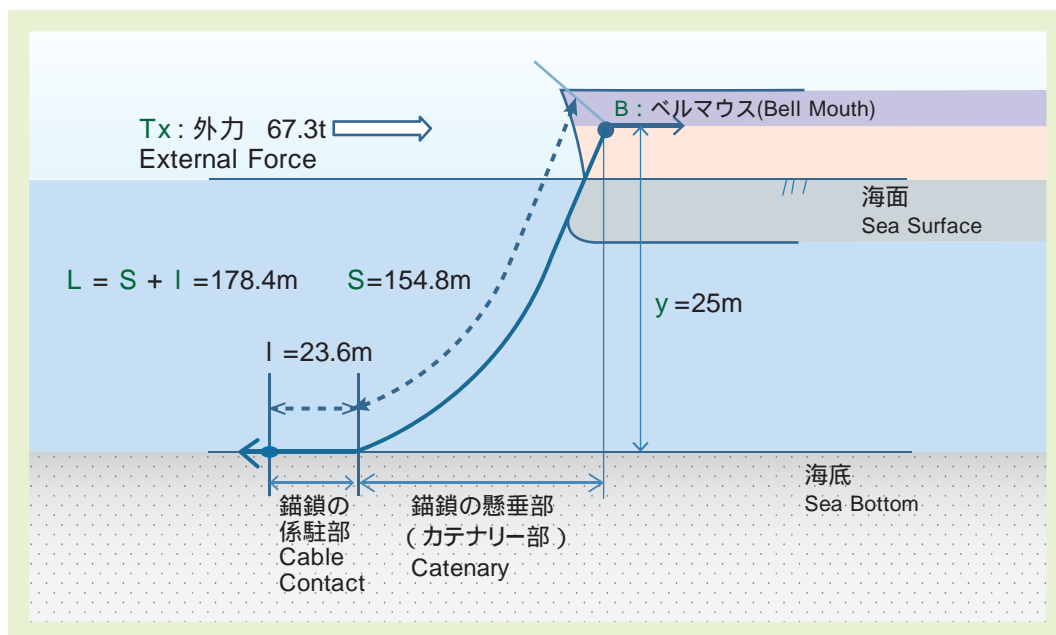


図 74

錨鎖を 1 節伸ばした場合の限界風速を求めると、外力が 67.3 トン (風速 17.3m/s) まで耐えられました。(伸ばした錨鎖のうち 23.6 m が海底に接地している状態で、この外力と釣り合います。これ以上の外力に

なると、錨鎖の一部が海底に接地していますが、錨との合計把駐力は外力より小さくなり、海底に錨鎖が接地した状態で走錨します。)

同様に平均風速に置き換えると、11.5m/s ~ 13.8m/s となり、6 節の場合と比較しても、僅かに 0.2 ~ 0.3m/s の平均風速増加に対応するのみでした。

( 計算根拠 )

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ります。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ました。

$$S' + (27.5m - l) = \sqrt{y^2 + 2 \times \left[ \frac{Wa' \times a + Wc' \times c \times l}{Wc'} \right] \times y}$$

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 (これを求める)

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

錨鎖を全量 12 節まで伸ばした場合

上記と同様に錨鎖全量 (12 節) を伸ばした場合の限界風速を求めると、外力が 86.3 トン (風速 19.6m/s) まで耐えられますが、平均風速に置き換えると、13.1m/s ~ 15.7m/s となり、6 節の場合と比較しても、僅かに 1.8 ~ 2.2m/s の平均風速増加に対応するのみでした。

( 計算根拠 )

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

限界風速 : 19.6 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 )

以上から、錨鎖を伸長して走錨防止対策とすることは、風も一定の風向・風速ではなく風の息などもあるので、操船者の視点では万が一走錨開始した場合の緊急揚錨の時間なども考慮すると、把駐力の増加に大きな期待はできないと見ることができます。

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。

= 主機・舵・バウスラストの併用 =

主機・舵・バウスラストを併用した荒天対策について考察します。

#### バウスラストの使用

振れまわりを抑制するために、バウスラストを装備した船では、それを使用をする場合があります。この場合、装備しているバウスラストの出力や、頻繁に負荷を変更することによる発電機に対する影響なども考慮する必要があります。

16m/sec の風（暴風時の風の息を考えれば、 $1.50 \text{ 倍} = 24\text{m/sec}$ ）による正面風圧（6,000 台積み自動車運搬専用船：PCC）は 22 トン。これの 80% の馬力（1 トン 100 PS）が必要なので下記の出力が必要となります。

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

#### 主機の併用

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や、錨鎖に掛かる張力を緩和することができるかとされています、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く、また、機関の使用次第では、錨鎖がしゃくり、却って衝撃力を大きくして走錨を誘因することがあります。

3 - 3 の C 号の事故例でシミュレーションした結果が、海難分析 No.6「台風と海難」で紹介されています。シミュレーションの条件を表 75 に示します。

## シミュレーションの条件

### 主要目

全長 Loa	224.0 m	船首喫水 df	8.00m
垂線間長 Lpp	215.0 m	船尾喫水 da	11.60m
全幅 B	32.2 m	平均喫水 dm	9.80m
		方形係数 Cb	0.821

### 速力区分

区分	速力 (満船 / 空船)	機関回転数
航海全速力 Nav. Full	14.0 ノット	75 ~ 77rpm
港内全速力 S/B Full	10.3/11.0	56rpm
半速力 Half	8.9/9.6	48rpm
微速力 Slow	7.4/8.0	40rpm
極微速力 D.Slow	5.5/6.0	30rpm

### 外乱の条件

風速	25m/s
風向	東北東 (方位 67.5 度)
うねりの波高 / 波長	5m / 200m
うねりの波高と波長入射角	方位 118 度方向

表 75 シミュレーションの条件



写真 76 実際に使用したシミュレータではありません