

# 積付・曳航検査 実務ガイドンス



一般社団法人

日本海事検定協会

NIPPON KAIJI KENTEI KYOKAI



# 目次

目次 .....	1
はじめに .....	2
本書の目的 .....	2
本書の表記 .....	2
第1章 検査の概要 .....	3
1.1 積付検査および曳航検査について .....	3
1.2 検査フローチャート .....	4
1.3 輸送計画書 .....	5
第2章 船について .....	8
2.1 船の目的と種類 .....	8
2.2 船の特性 .....	10
2.2.1 船の部位 .....	10
2.2.2 船の大きさ .....	11
2.2.3 船の内部構造 .....	13
2.3 船体運動と復原性 .....	14
2.3.1 船体運動の種類 .....	14
2.3.2 復原性 .....	16
2.3.3 GMの算出方法 .....	17
2.3.4 横揺れ周期からの逆算 .....	17
2.3.5 船のサイズと喫水を使用した算出 .....	18
2.3.6 大横傾斜時の復原力 .....	19
2.3.7 動的復原力 .....	20
2.3.8 損傷時復原力 .....	20
第3章 波と風について .....	21
3.1 概要 .....	21
3.2 波の基本（波高、波長、周期） .....	21
3.2.1 規則的な波（正弦波） .....	21
3.2.2 波の種類 その1 .....	22
3.2.3 波の種類 その2 .....	23
3.2.4 有義波高 .....	23
3.2.5 最大波 .....	24
3.3 短期予測と長期予測 .....	25
3.3.1 短期予測 .....	25
3.3.2 長期予測 .....	25
3.4 内海と湾内の波高 .....	26
3.4.1 波高の設定 .....	26
3.5 風の設定 .....	27
3.5.1 風速の設定 .....	27

# はじめに

## 本書の目的

近年、風力発電設備等の大型で嵩高の貨物が海上輸送されることが多くなり、過去の経験のみに頼る積付、固縛、または曳航検査では新しい輸送には対応が難しくなっています。昭和 59 年に刊行された協会の「重量物の積付及び曳航検査に関する手引書」は長年にわたって担当検査員の非常に有効な資料となってきましたが、輸送の形態等も幅が広がり、検査員の特性も変化している中、若手検査員の重量物積付検査や曳航検査に関する導入資料として、理解しやすいマニュアルとして刷新すべく当ガイドンスは作成されました。

作成にあたってはさまざまなレベルの検査員の意見を聴取し、アドバイスもいただき、可能な限り、船舶の種類等の基礎的な知識から解説し、また、材料力学等の専門知識についても、イラスト等でできるだけ分かりやすく、現場で使いやすいことを念頭に作成しています。本ガイドンスが、これから当該検査に携わる検査員にとって有効なものとなることを祈念致します。

## 本書の表記

本書では、説明をより明確にするため、以下の表記を使用している。

**重要** 重要事項や注意事項のうち、説明内容の通り実施しないと業務に支障のある情報を記載。

**補足** 重要には該当しない、業務の補足説明となる情報を記載。

**\*番号** 補足情報のうち、本文の記載内容に対して脚注となる情報を、対応する番号を付けて記載。

**参照** 説明内容の関連情報や詳細情報など、参照先となる情報を記載。

# 第1章 検査の概要

## 1.1 積付検査および曳航検査について

NKKK では貨物の積付についてさまざまな検査を行います。基本的な一般貨物の在来船への積付検査に始まり、鋼材については鋼材積付検査、また重量物を含む特殊物件\*1についても実施します。

また、危険物の積付検査も含まれますし、貨物損害検査にあたっては事故原因の究明または将来の事故の防止のためにも応用されます。

曳航検査は作業船等の自航できない物件の航海保険のための検査、そして貨物を積載した台船の曳航の適正についての検査も含まれます。

大きな意味では貨物を目的地まで安全に輸送するための検査が積付と曳航検査の目的といえます。

検査の委嘱者は主に荷主や船会社、また保険会社です。委嘱者の目的は各々異なることがあるので、依頼の内容は検査の着手前に確認してその目的を把握したうえで検査にあたらなければなりません。

受嘱後のおおまかな検査の流れとしては、「輸送の条件」、「輸送船舶の適性と安全性」、「輸送される貨物の耐力」、「輸送のための固縛の強度」を提出された資料に基づき検討し、修正が必要であると考えられる場合には委嘱者、もしくは関係者と協議のうえ修正して、妥当であると判断された後は現場で計画に基づいて実施されているかどうかを検査し、検査の後には輸送にあたっての必要な勧告を与えることです。必要な場合は一連の検査の結果を報告書にまとめます。流れの中の各項目は委嘱者の目的と要請によって変化する場合も多々あります。

NKKK は輸送の流れの中では荷主ではなく輸送者でもなく、中立の第三者になります。関係者の誰かの依頼で第三者の視点で検査してその輸送の準備が妥当かどうかを確認することになります。

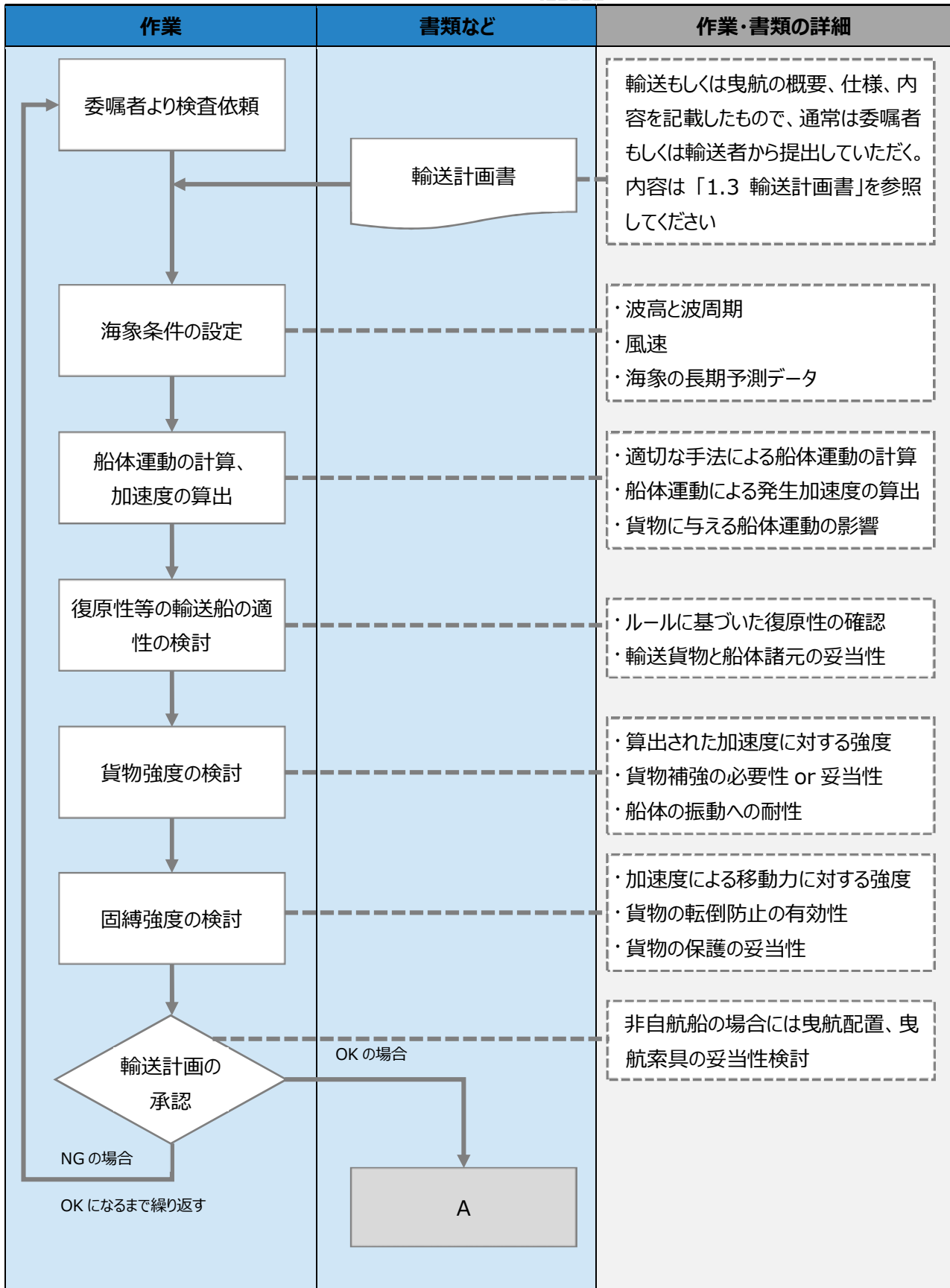


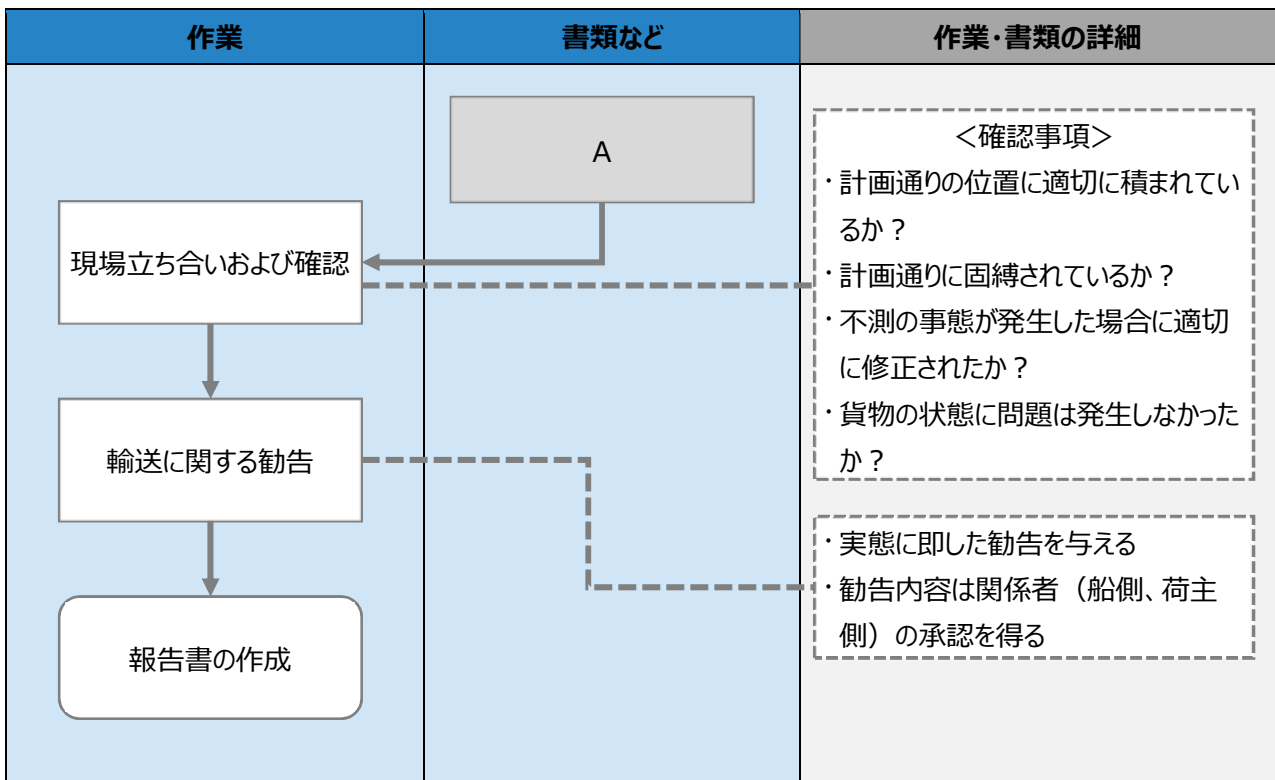
\*1 特殊物件とは、一般的な貨物より重だけでなく、大きい、弱い等、通常とは異なる貨物を指します。

## 1.2 検査フローチャート

検査のフロー、および各作業で必要となる書類・知識については次の通りです。

【凡例】   : 作業内容 /   : 使用する文書 /   : 作業・書類の内訳





## 1.3 輸送計画書

輸送の安全を精査するためには、輸送の内容を予め正確に把握する必要があります。そのためには委嘱者もしくは輸送を実行する輸送会社が作成する「輸送計画書（Transportation Plan or Manual）」および曳航輸送の場合には曳航計画書（Towing Plan）が必要です。

輸送計画書は一定の基準もしくは勧告に従って作成される必要があります。近年では DNV や IMO のガイドラインに沿って作成されることもあり、また、NKKK の事前勧告（Preliminary Recommendation）に従って作成されることもあります。どの基準を採用するのかについては委嘱者と協議しますが、最終的には保険や輸送契約の内容を鑑みて委嘱者が判断することになります。

輸送計画書には定められたフォーマットはありませんが、検査員が内容を見てその計画が妥当であると判断できる資料やデータが含まれている必要があります。

輸送計画書には以下のような内容が含まれますが、輸送形態や輸送船舶、運ばれる貨物の特性によって変わりますので、詳細は委嘱者との協議によります。

<p>輸送の概要 (Outline of Transportation)</p>	<p>輸送される貨物、物件等の概要、輸送の目的等のおおまかな内容</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・貨物／物件の名称（Name of cargo）</li> <li>・仕出地と仕向地（Port of departure/destination）</li> <li>・輸送時期（Transportation period）</li> <li>・輸送方法、等（Transportation style）</li> </ul>
--	---

<p>輸送条件 (Conditions of Transportation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送経路 (Route of transportation)</li> <li>・輸送時期と経路を考慮し、合理的に設定された海象条件 (Environmental conditions)</li> <li>・貨物の船上での積付図 (Stowage plan)</li> </ul>
<p>輸送する船舶・バージについて (Ship or barge for Transportation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・船舶またはバージの要目 (Particulars of ship or barge)</li> <li>・輸送時のコンディション計算書 (Conditions and hydrostatic data)</li> <li>・船体動揺および発生加速度に関する計算書 (Ship's motion and acceleration analysis)</li> <li>・輸送時の復原性に関する計算書 (Stability data in transit)</li> <li>・船体の強度 (縦強度・横強度・局部強度) に関する計算書 (Ship's strength analysis)</li> <li>・輸送する船舶の図面 (Drawings of the ship)</li> </ul>
<p>輸送される貨物または物件について (Particulars of Cargo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・貨物の主要目、重量およびサイズ (Details of cargo)</li> <li>・貨物の図面 (Drawings of cargo)</li> <li>・貨物自身の強度検討結果 (Strength of cargo itself)</li> </ul>
<p>貨物の積込と荷卸しについて (Loading/Unloading)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・荷役実施計画 (Procedure of cargo loading/unloading)</li> <li>・バラスト計画 (Ballasting plan)</li> <li>・荷役装置の証明書 (Certificates of cargo handling devices)</li> </ul>
<p>固縛と強度検討結果 (Seafastening/Securing)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固縛計画書 (Seafastening or securing plan)</li> <li>・固縛強度計算書 (Strength analysis of seafastening)</li> <li>・固縛資材強度証明書 (Certificates of securing devices)</li> </ul>
<p>航海に関する計画と検討結果 (Navigation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・航海計画 (Navigation plan)</li> <li>・避難および補油計画 (Plan of refuge and fuel supply)</li> <li>・非常事態発生時の対応 (Contingency plan)</li> </ul>
<p>曳航に関する計画と検討結果 (Towing)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曳航配置図 (Towing arrangement)</li> <li>・曳航抵抗計算書 (Required output or bollard pull of tug)</li> <li>・曳航属具リスト (List and certificates of towing devices)</li> <li>・曳船の各種証明書 (Certificates of tug boat)</li> <li>・曳船の燃料および食糧リスト (Fuel and provisions of tug)</li> <li>・曳船乗組員に関する証明書等 (Crew list, Licenses, etc.)</li> </ul>

図面の類は全て必要ではありません。必要な部分のみですが、輸送船については一般配置図（General Arrangement）と中央横断面図（Midship Section）、貨物については三面図（Three-view drawing）を入手しておく便利です。

貨物自身の強度については、荷主が責任を持って証明（保証）していただく必要があります。強度検討に適用する外力については NKKK からアドバイスする場合があります。

船体の強度は縦強度については船級の定めに従って計算しますが、横強度と局部強度については通常の強度計算で実施しても、造船所から提供されている資料に則って確認することも可能です。

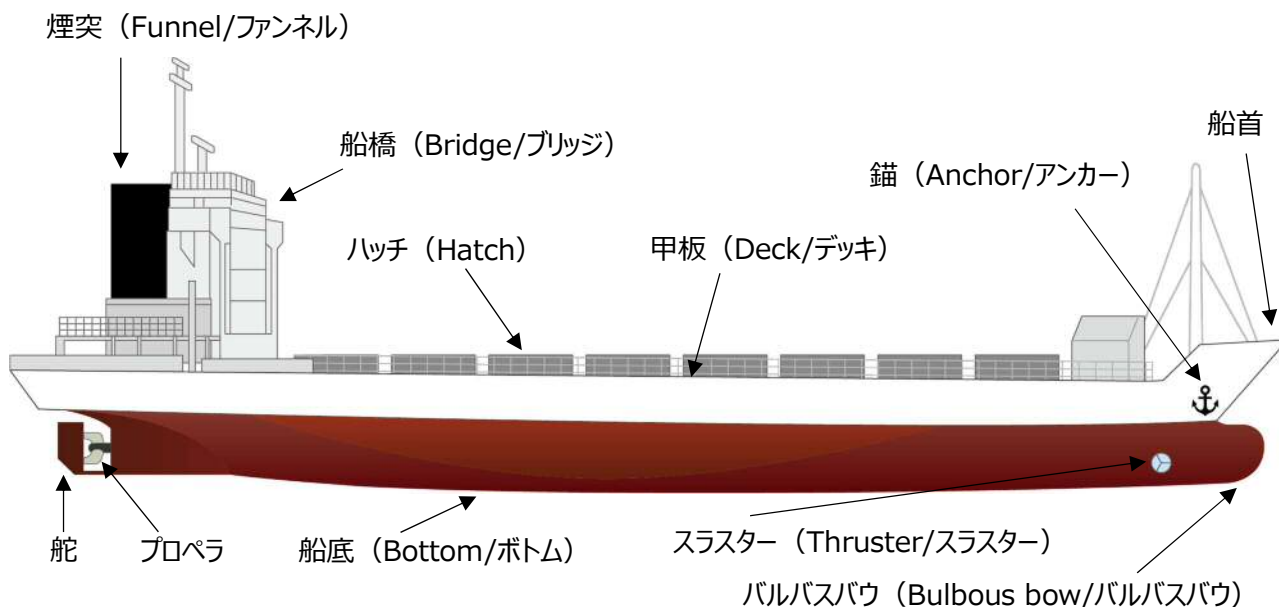
## 第2章 船について

### 2.1 船の目的と種類

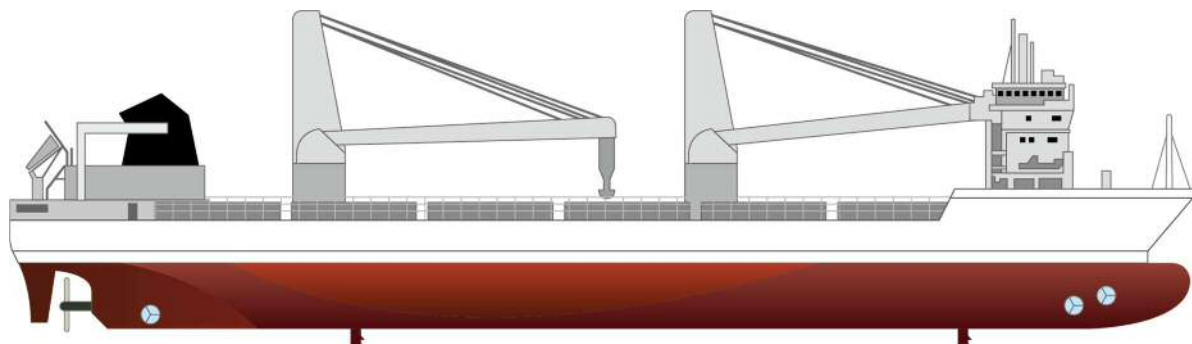
船にはその目的によってさまざまな種類のものがあります。乗客を乗せる客船や液体を積載するタンカーもありますが、このガイドスでは固体の貨物を積載する貨物船を主な対象にします。



貨物船にも多種多様な種類、大きさの船がありますが、一般的なイメージは次のようなものです。



重量物を運ぶ船だと下図のような形で、クレーンが船上に装備されています。クレーンは1基で1,000トン以上吊り上げることができるものもあります。



また、巨大な貨物を積載するために、平らな広大なデッキを持つ船もあります。



推進器を有していない台船 Barge も使われることがあります。

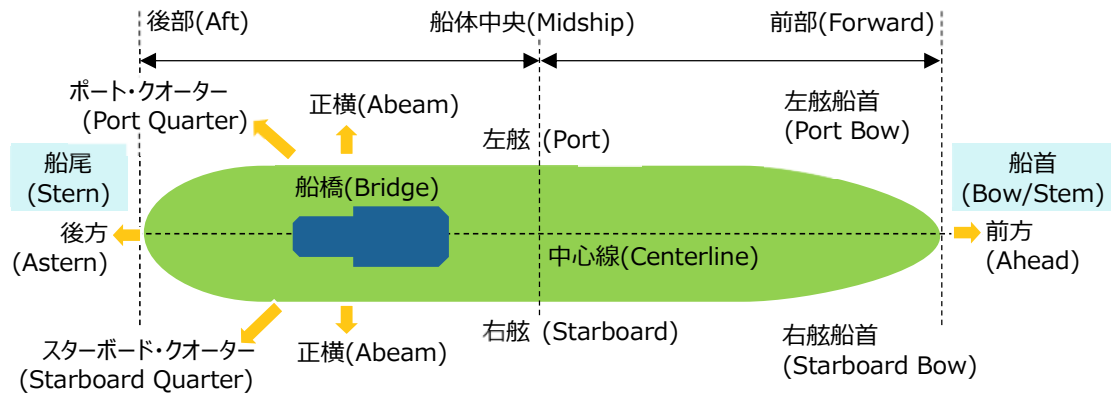


## 2.2 船の特性

ここでは、船の特性について説明します。

### 2.2.1 船の部位

船の部位、前後や左右の名称は車とは違うものが多く使われます。基本は下図のようになります。

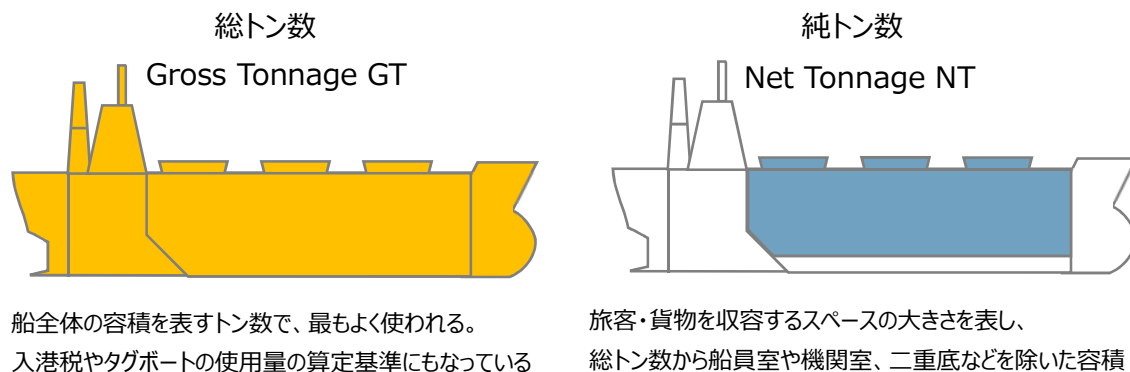


前後方向は前から、Fore (F) > Midship (M) > Aft (A)、左右方向は左から Port (P) > Center (C) > Starboard (S) となります。船の中に配置されているものに番号が振られていたら、例えば 3P なら、左舷側の 3 番目という意味になります。日本語では前方を「オモテ」、後方を「トモ」と呼びます。

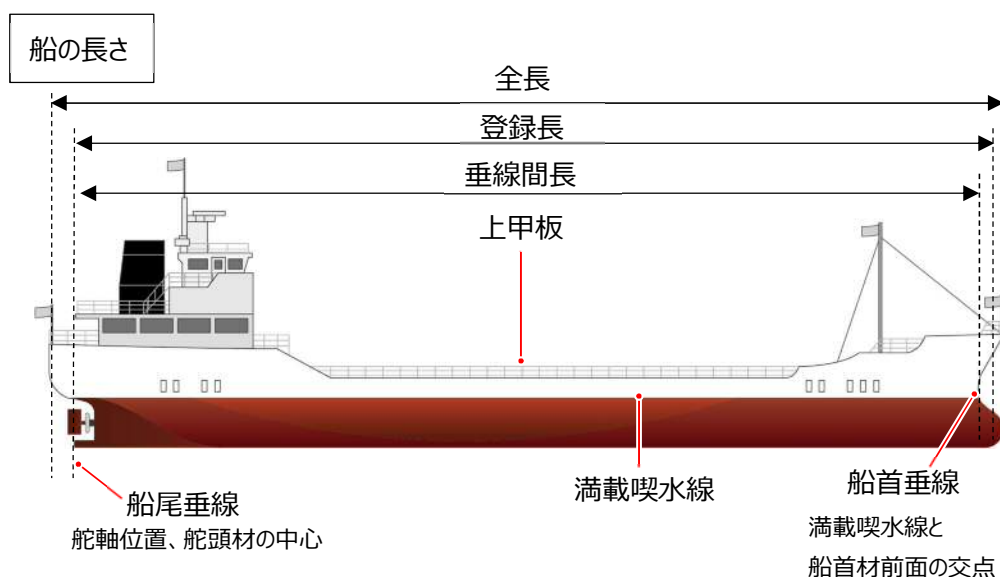
## 2.2.2 船の大きさ

船の大きさはトン数で表すことが多いですが、このトン数の定義と船の寸法は次のように定められています。

### 船の容積

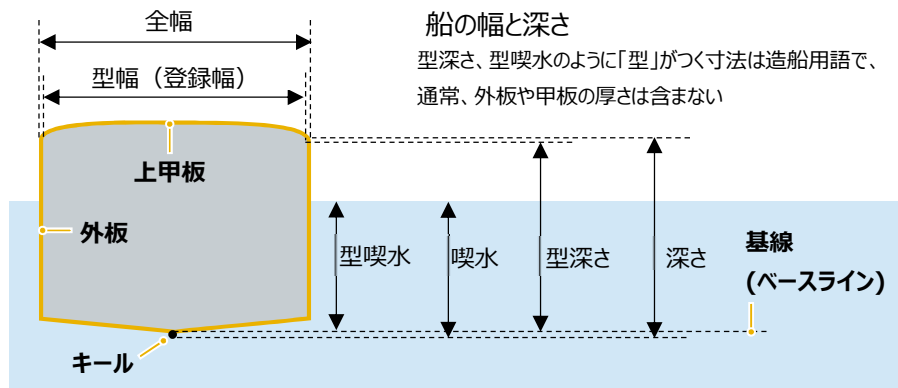


また、船の長さや幅には何種類かあって次のように決められています。



長さに3種類ありますが、積付でさまざまな計算に使われるのは垂線間長 (Lpp:Length perpendicular) が多いです。船体運動や排水量は喫水線から下の部分の要素が多いためです。出入港や岸壁の制限に使われるのが全長 (Loa:Length over all) となります。

幅と深さは下図のようになります。



ここに記されている「型」は図面や諸元では mould (Bmld or Dmld) と記されていることが多く、計算ではこの数値を使うことが多くなっています。造船の考え方では船の金型のようなものがあり、その金型に鉄板を張って船を造るようなイメージです。

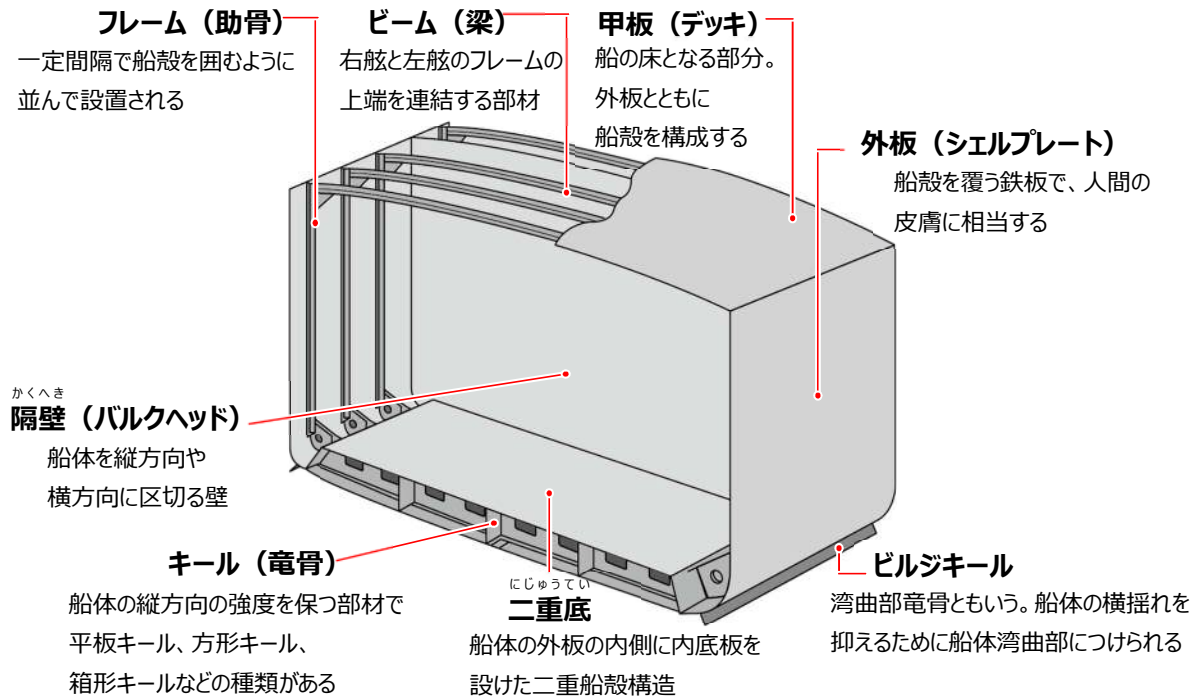
これに反して喫水検査で使用する排水量 (Displacement) は mould ではなくて“DISP. FULL”もしくは“DISP. EXT.”と記載されている外板の外側の排水量を使用します。

HYDRO STATIC TABLE			
Draft	DISP. FULL	DISP. MLD	TPC
EXT (M)	(MT)	(MT)	(MT)
11.40	56602.48	56440.93	54.44
11.41	56656.92	56495.35	54.44
11.42	56711.37	56549.80	54.45

Draft Survey 等の業務で何気なく使っている記号ですが、このような意味があります。EXT は外側、MLD は内側と覚えておけば理解できると思います。

## 2.2.3 船の内部構造

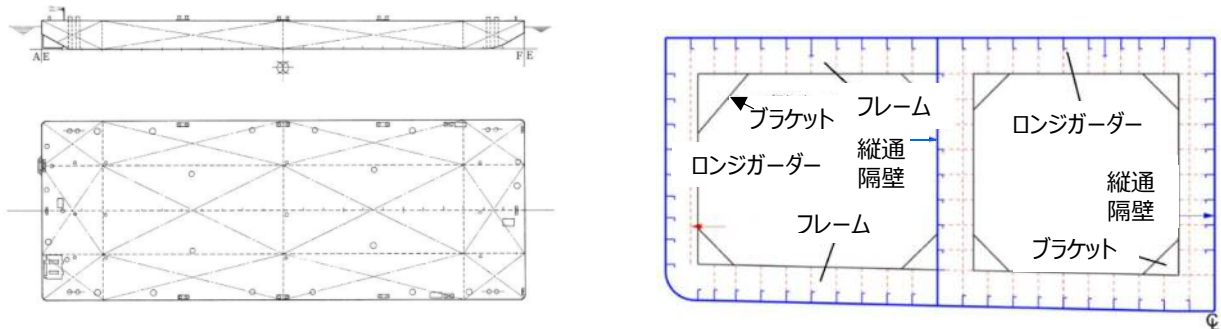
最も簡単な内部構造はこのような形です。



船の肋骨であるフレームには番号が付いていますが、この番号は船尾から船首方向に付けられています。普通は舵軸の位置を起点にして前方に番号が振られます。ホールドの番号等は前からですが、これは造船所の都合が起源のことです。米国式だと前からのこともあります。

これに、縦方向ならロンジ、横方向ならトランスという言葉をつけることもあります。ロンジビームなどですね。上下であればアッパーやローアが付くこともあります。

台船 (バージ) の構造は貨物船より単純で、区画は作られています、断面は同じ構造が続くものが多いです。



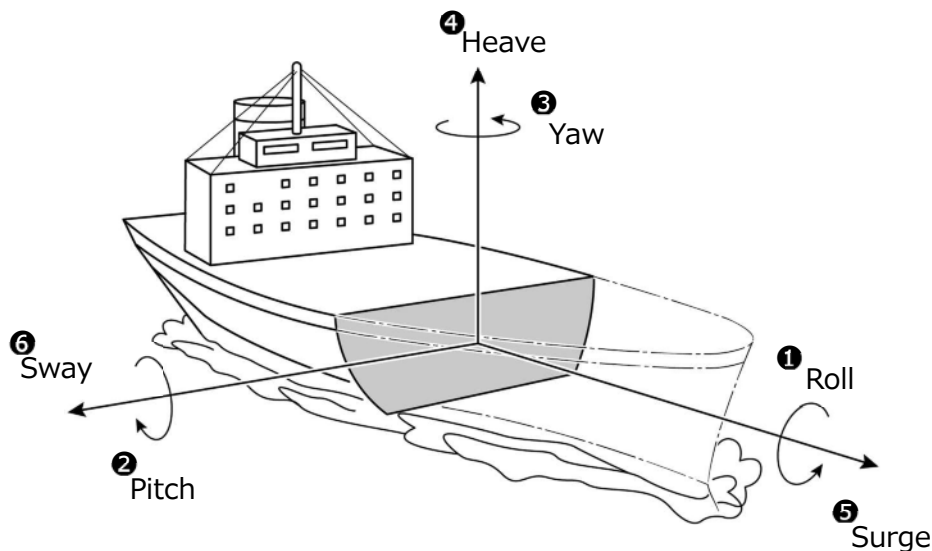
## 2.3 船体運動と復原性

ここでは、船体運動と復原性について説明します。

### 2.3.1 船体運動の種類

船体運動は下図のような3種類の回転運動と3種類の水平運動の組み合わせです。

この合計6種類の船体運動が組み合わされて加速度が発生します。

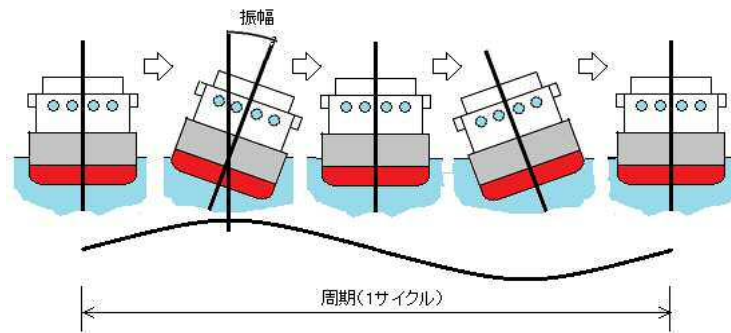


No.	船体運動	揺れ（英語）	揺れ（日本語）
①	回転運動	Roll	横揺れ
②		Pitch	縦揺れ
③		Yaw	船首揺れ
④	直線運動	Heave	上下揺れ
⑤		Surge	前後揺れ
⑥		Sway	左右揺れ

船体運動はこの6種類の運動が組み合わされて発生します。ちなみに、この6種類の運動の中で最も貨物の輸送に影響を与えるのが Roll になり、続いて Pitch、Heave となります。他の3種類は特殊なケースを除いて影響は小さいといえます。

船体運動は基本的に波によって発生しますので、周期的な運動になります。6種類とも振幅の大きさと周期で表現しますので、例えば回転運動である Roll であれば  $10^\circ \times 10\text{sec}$  で、水平運動である Heave であれば  $2\text{ m} \times 8\text{sec}$  のように表現します。

ここで間違いやすいのは振幅というのは動きの片側で、周期は1サイクルになるということです。つまり、次の図の通りです。



Heavingのような水平（直線）運動でも考え方は同じです。ちなみに、波を表現する時にも同じことがいえますが、波の場合は「波高」と「波振幅」で使い分けます。

この他に衝撃や振動を表すのに下記のようなものもあります。

No.	名称	説明
1	パンチング（Panting）	船首尾部に受ける波の衝撃。荒天時に速力のある時に主に船首部に受けることが多い。前後方向の衝撃のことをいう。
2	スラミング（Slamming）	波によって船首部が浮き上がり、その後、船首部船底が海面を叩く現象。上下方向の衝撃のことをいう。
3	プーブダウン（Poop down）	船尾方向、特に船尾斜め方向からの波によって、船体の船尾部が波の谷に入る状況で衝撃を受ける現象をいう。船の長さや波の波長が合致した時に発生しやすい。 状況によっては復原性が失われて転覆に至ることもある。

このような現象は計算で予知することは困難ですが、発生する可能性は考慮しておく必要があります。

## 2.3.2 復原性

船には復原力があるため、水上で揺れても簡単に転覆することはありません。この「転覆しづらさ」を表すのが復原性になります。

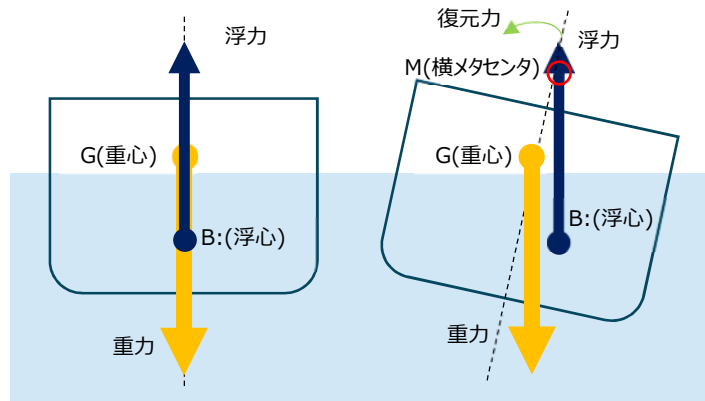
船のコンディションを表す数字の中で GM というものがあります。これが復原性の指標となります。

### 静的復原力と初期復原力

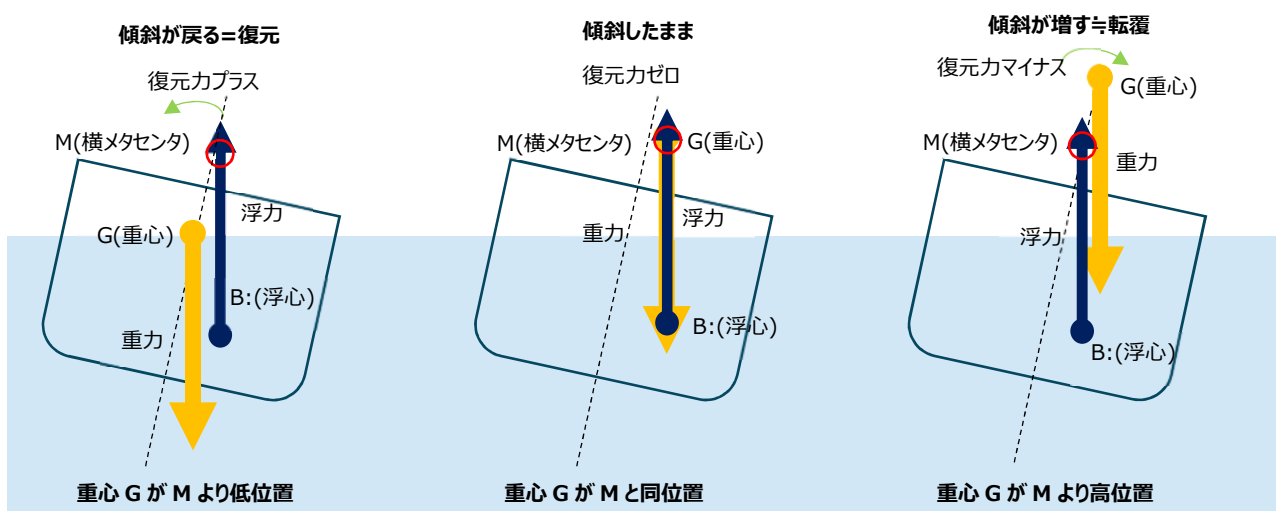
船が真直ぐに浮いている状態での断面を想定します。船の全体の重心が G、船の水中の部分の中心（浮心）を B とします。船が傾斜せずに直立している時には B と G は船の中心の垂直線上にあります。

しかし、船が傾くと浮心 B がずれます。重心 G には下向きの力、浮心 B には上向きの力がかかっているため、下図のように浮心 B が重心 G より外側にあれば、船を起こそうとする力が働きます。これが正常な状態です。

そして、この傾斜した時の浮力の作用線と船体の中心線の交点がメタセンタ M になり、G と M との距離が GM になります。G が低いほど GM は大きくなり、G が高いほど GM は小さくなります（浮心 B は喫水が同じであれば変わりません）。



同じ船でも重心の位置が変わると状況が変化します。前述の状態であれば船は起き上がろうとする「復原力プラス」の状態です。



しかし、重心の位置が高くなり傾斜した時の浮力の作用線上、つまりメタセンタ M と重心 G が同じ位置になれば「復原力はゼロ」となり、船は傾斜した状態のままになります。さらに重心 G がメタセンタ M より上になれば「復原力はマイナス」になり傾斜はさらに増し船は転覆することになります。

G は必ず M より下（GM プラス）になければならず、GM ゼロ、GM マイナスには絶対にしてはいけません。

### 2.3.3 GM の算出方法

GM を算出する最も単純な方法は、通常は  $GM=KM-KG$  です。

KM (TKM) は Draft Survey で馴染みのある hydrostatic table から調べることができるので、喫水を読み取って TKM をチェックします。(TKM は横方向のメタセンタ高さ、LKM は前後方向のメタセンタ高さ)

HYDRO STATIC TABLE								
DRAFT EXT (M)	DISP. FULL (MT)	LCB (M)	LCF (M)	MTC (MT* $\Delta$ )	TPC (MT)	VCB (M)	TKM (M)	LKM (M)
6.70	8899	-1.61	0.35	88.37	15.18	3.57	7.98	96.74
6.71	8914	-1.60	0.36	88.45	15.19	3.58	7.98	96.67
6.72	8929	-1.60	0.37	88.53	15.19	3.58	7.98	96.60

KG は船の全体の重心高さですが、船の重心位置と貨物の重心位置から容易に計算することができます。

ただし、これは船側に書類がしっかりと無いと計算できないうえ、もしもそれが揃っている場合には、すでに GM は計算されていると思われます。

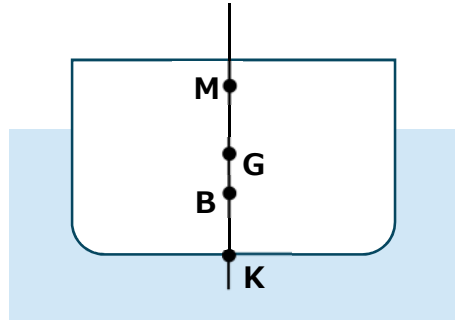
### 2.3.4 横揺れ周期からの逆算

その船が若干でも揺れていて横揺れの周期が測定できるのであれば、横揺れ周期 (T) と船の幅 (B) と GM の関係から GM を推定することができます。

$T = \frac{0.8 \times B}{\sqrt{GM}}$  のため、GM が知りたい時は  $GM = \left(\frac{0.8 \times B}{T}\right)^2$  という式で GM を推算することができます。

### 2.3.5 船のサイズと喫水を使用した算出

船のサイズと喫水（正確には排水量）を使って浮心（B）からメタセンタ（M）までの距離を計算することができます。GM=KB+BM-KGのため、後は浮心（B）の船底からの高さ（KB）と船全体の重心高さ（KG）が計算できればGMを算出できます。算出式の詳細は次の表の通りです。



算出値	式	注釈
GM	$GM = KB + BM - KG$	
KB	$KB = \frac{\text{喫水}(d)}{2}$	喫水の半分に浮心があるとする
BM	$BM = \frac{I}{V} = \frac{\text{慣性モーメント}}{\text{水線下容積}}$	
I	$I = \frac{L \times B^3}{12}$	箱船の場合
V	$V = L \times B \times \text{draft} \times C_b$	$C_b$ : 方形係数

(算出例)

箱船を想定して計算した場合

L : 90 m、B : 18 m、draft : 5.00 m、 $C_b$  : 0.8、KG : 4.00 m とすると

$KB = 5/2 = 2.50$  m

$I = 90 \times 18^3 / 12 = 43,740$  m<sup>4</sup>

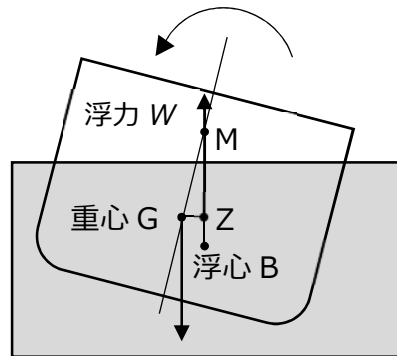
$V = 90 \times 18 \times 5.00 \times 0.8 = 6,480$  m<sup>3</sup>

$BM = I/V = 43,740 / 6,480 = 6.75$  m

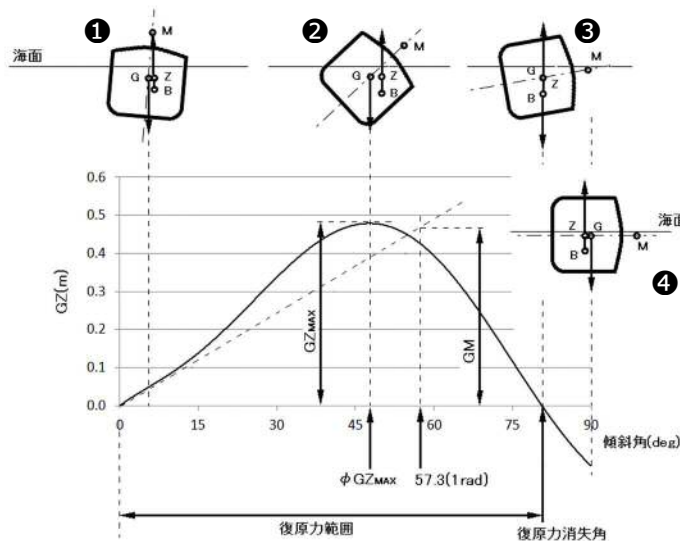
$GM = KB + BM - KG = 2.50 + 6.75 - 4.00 = 5.25$  m

## 2.3.6 大横傾斜時の復原力

GM の概念は以上ですが、船舶の復原性は安全面で非常に重要で、造船工学または船舶の安全の規則では GM で復原性を測るのではなく、復原力が作用する「テコ」の長さである復原艇（GZ）を確認することによって復原性の可否を判断します。GZ は浮力の作用線の重力の作用線との距離になります。



この GZ（テコ）の大きさが大きいほど復原力が大きくなります。力としての復原力はテコの長さに排水量をかけたもの、 $GZ \times W$  になります。GZ は傾斜が小さい間は傾斜角に比例して増えますが、ある程度の傾斜になると減少するようになります。下図は GZ カーブと呼ばれる GZ と傾斜角度のグラフで、一般的には傾斜の程度によって下図のように変化します。



No.	傾斜の状態	図	説明
①	小傾斜時 (初期復原力)		傾斜角 10°から 15°くらいまでの小角度の傾斜でメタセンタがほぼ同じ位置で変わらないので GM は一定です。復原艇 $GZ = GM \sin \phi$ で計算できる範囲にあります。
②	大傾斜時		傾斜が大きくなると GZ も徐々に大きくなりますが、浮力の作用線がメタセンタを通らなくなってきますので GZ を単純計算できなくなってきます。普通の船で水密が確保されていれば、舷端が没水して反対舷のビルジキールが海面上に出る程度で GZ は最大になります。

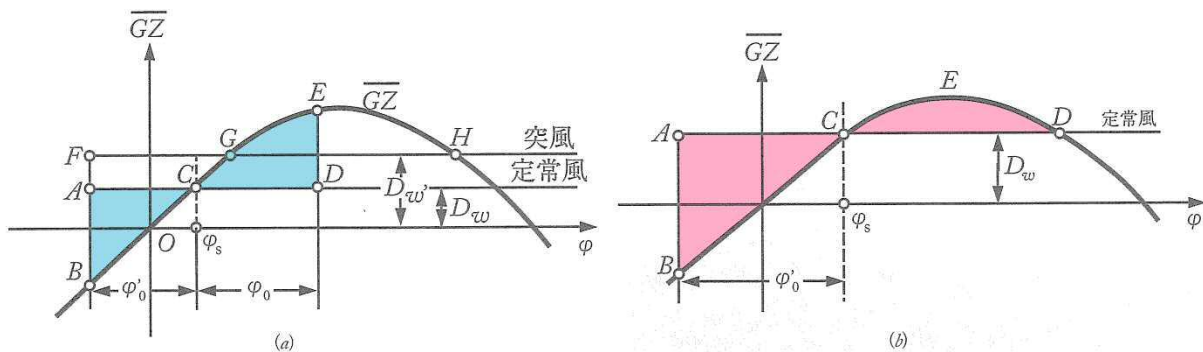
No.	傾斜の状態	図	説明
③	復原力消失時		さらに傾斜が進行して重心 G が浮心 B の真上になった時点で GZ は 0 になり、同時に復原力が消失します。
④	横転時		③の状態からさらに傾斜すると、重心 G が浮心 B を追い越した状態になります。こうなるとさらに傾斜して、もう復原することはありません。船底を上にして転覆です。

## 2.3.7 動的復原力

前述の静的復原力は静かな波のない海の上で船をゆっくりと傾斜させた状況を想定していますが、実際の船が危険な状態では波で大きく揺れ、なおかつ強風も吹いているという状況になると考えられます。

この状況を想定して、静的復原力の検討と同様に GZ カーブを使って検討を加えるのが動的復原力です。

検討するには  $\varphi$  の角度で船が横揺れした時、D の力で風が真横から吹く状態を想定します。GZ カーブに書き加えると下図のようになります。



上の GZ カーブにおいて C を中心とした左右の面積は船体傾斜の仕事量であり、船が転覆しないためには左右の仕事量が同じでなければなりません。風が吹くと X 軸が上に上がってきます。

また、船の揺れ角が大きくなると C 点が右に移動します。風や揺れ角がある程度を超えると右の図のように左右の面積のバランスが崩れます。そうなると船は転覆するようになります。

復原力については、積付というより船舶の安全運航に関わることから、船側が間違いなく確認して実施することになります。重量物の輸送時にはその計画書に記載されているはずですので、我々も確認はしておかなければなりません。

上記詳細に関しては、復原性に関する規則等を参照してください。

## 2.3.8 損傷時復原力

船はある程度損傷して船体内に浸水した状態でも復原力を確保しなければなりません。造船時にはその復原力も考慮しておく必要がありますが、貨物輸送の検査で NKKK がそこまで関与することはありません。

## 第3章 波と風について

### 3.1 概要

船舶で貨物を輸送する場合の外的環境の主な要因は波と風になります。船体の動揺は主に波によって発生しますので、後で述べる船体運動や加速度の検討には、輸送する船舶がどのような波に遭遇するかが重要なポイントになります。

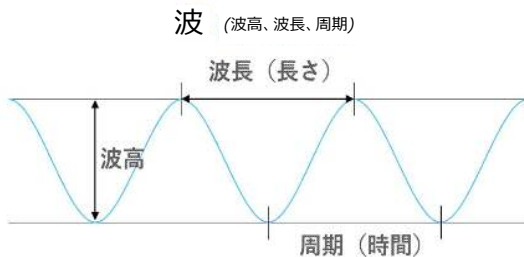
本章では波と風の定義とどのようにその予測を行うかについて説明します。

### 3.2 波の基本（波高、波長、周期）

ここでは、波の基本について説明します。

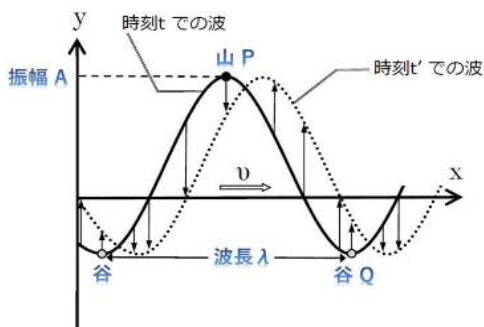
#### 3.2.1 規則的な波（正弦波）

規則的な波（正弦波）の基本的な形は下図の通りです。



波高 (h or H)	波の谷から山までの高さ
波長 ( $\lambda$ )	山から山、または谷から谷の長さ
周期 (t or T)	1 波長を繰り返す周期

より詳しく表現する場合は下図の要素も加えます。



波速 (v 又は c)	波の進行速度
振幅 (h)	波高の 1/2

## 3.2.2 波の種類 その1

波にもさまざまな種類があります。海岸に押し寄せるような白波もあれば津波も波の一種です。

このガイドスの中では、貨物を輸送する船舶が航海中に遭遇すると思われる「水深の深い海域」かつ「広い海面」で「風によって発達した風浪とうねりが合成された波浪」を波として考えます。前述の、津波のような特別な波は考慮しないこととします。

気象庁によれば「海洋表面の波動のうち、風によって発生した周期 1 秒から 30 秒程度のもの。風浪とうねりからなる。」とされています。

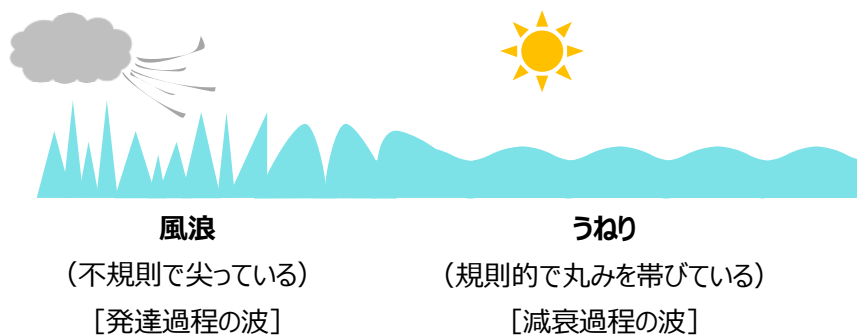
### 風浪とは？

海上で吹いている風によって生じる波を“風浪”と呼びます。風浪は発達過程の波に多く見られ、個々の波の形状は不規則で尖（とが）っており、強風下ではしばしば白波が立ちます。発達した波ほど波高が大きく、周期と波長も長くなり、波速も大きくなります。

### うねりとは？

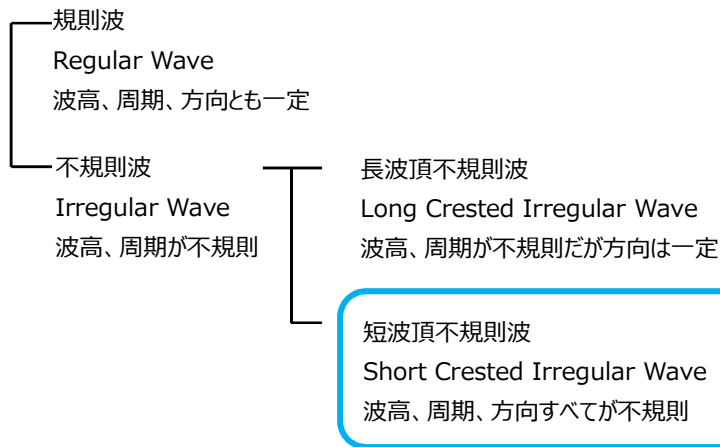
風浪が風の吹かない領域まで進んだり、海上の風が弱まったり風向きが急に変化するなどして、風による発達がなくなった後に残される波を“うねり”と呼びます。うねりは減衰しながら伝わる波で、同じ波高の風浪と比較すると、その形状は規則的で丸みを帯び、波の峰も横に長く連なっているため、ゆったりと穏やかに見えることもあります。

うねりの方が波長と周期が長くなり、波速も速くなります。台風の発生時には台風本体より早く陸に到達することもあります。



### 3.2.3 波の種類 その2

波の種類は、その形によって下図のように分類することができます。



実際の海上で発生している波の種類は「短波頂不規則波」です。しかし、船体運動の計算などを行う場合にはまず規則波中での計算を行い、その後に、不規則波中> 長波頂不規則波中> 短波頂不規則波中と変換していきま

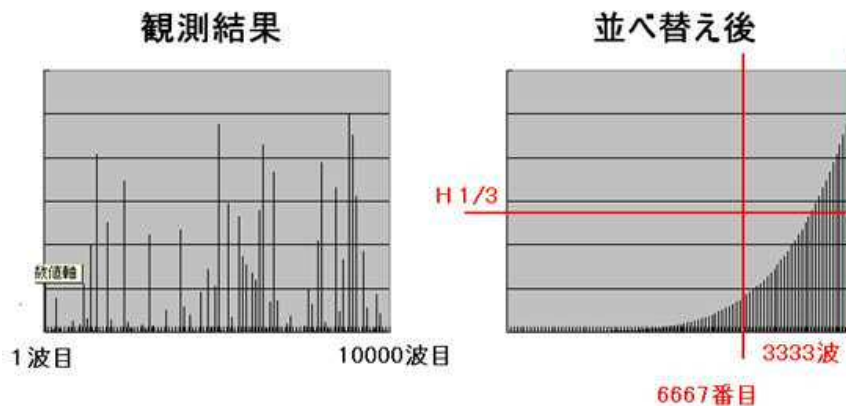
### 3.2.4 有義波高

実際の海面では当然のように同じ波高の波ばかりではありません。さまざまな波高の波が入り乱れて存在しています。この入り乱れた状態でも「波高〇〇メートル」と表現する必要があります。毎日の天気予報でも「波高〇〇メートル」といわれています。ここで波高を表す基本として使われるのが「有義波高」(Significant Wave Height) です。気象庁やさまざまな機関から発表される波高はほとんどが有義波高です。

有義波高は「3分の1最大波」とも呼ばれます。その理由は以下の通りです。

実際にある場所、ある時間に波を観測します。この時は波を1個ずつ全部観測して、その観測結果を棒グラフにして記録します。

ここでは10000個の波を観測したとします。それを高さの順に並べ替えます。



波高の高い上位3分の1の3333波の平均を計算し、これをその時の海面の「有義波高」とします。「有義波高」はあくまでも「限られた海域」の「その瞬間」の波高を表現したもので、なぜこのようなことをするのかというと、波浪の

観測者が感覚的に波高を捉えたものに最も近いと考えられているからです。

表現の方法の一つのため、「有義波高 2 mの海面と最大波高 4 mの海面は同じ海面」ともいえますので注意してください。

上のグラフを見てもわかるように、有義波高より高い波は相当の確率で発生していますので、海上輸送で有義波高だけを考えれば良いとはいえません。

ちなみに素人が目視観測すると、低い波はより低く、高い波はより高く観測される傾向があるとのこと。

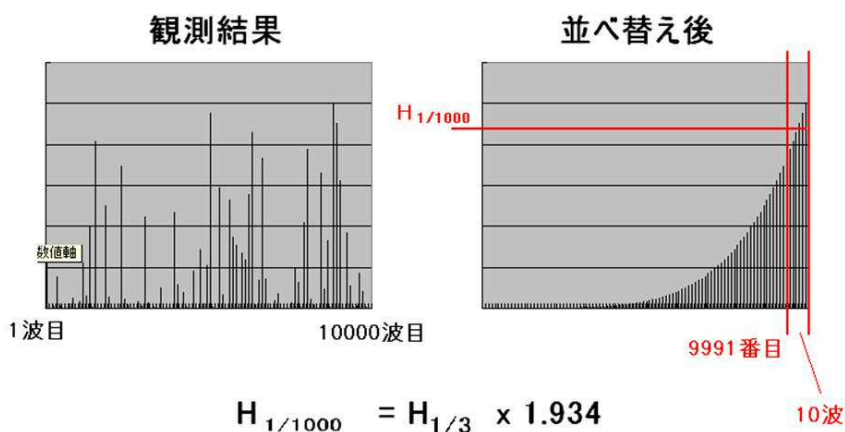


左の写真の海面状況を説明する場合、  
「有義波高で 2 m」といえるし、  
「最大波高で 4 m」ともいえます。

### 3.2.5 最大波

船舶が航海中に遭遇する波の高さは前述の有義波高で表しますが、その時に実際にどれくらい船が揺れるのか、また加速度が発生するのは最大波高中の船体運動を求めることで決定します。ここで多くの機関が採用している「1000分の1最大波」を最大波として採用します。

「1000分の1最大波」は「3分の1最大波」と理屈は同じで、大きい方の1000分の1の波の平均値になります。



この最大波への変換は統計理論に従って計算すれば、単純に有義波高に 1.934 をかけると最大波になります。つまり、有義波高 1 mの海面でも最大波高 1.934 mを考慮すべきであるということです。

逆に有義波高 1 mの海面でもごくまれに 1.934 m以上の波が発生することが考えられますが、これはたまたま発生してしまった事故的な現象と捉えることになります。

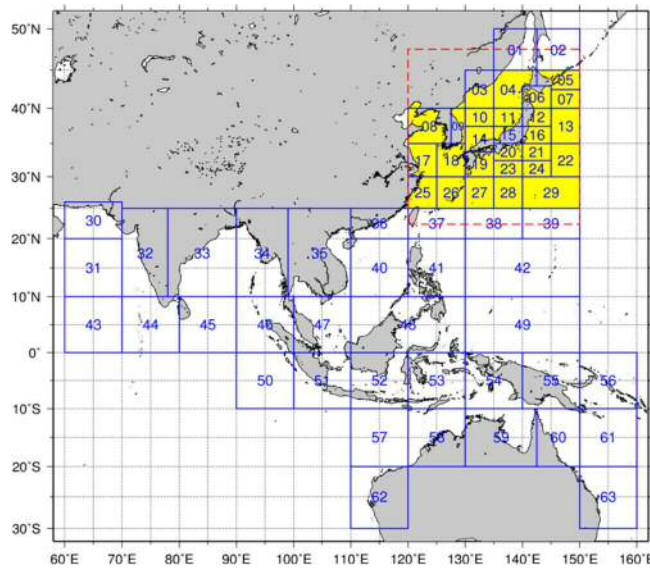
もしも大変貴重な貨物を運ぶために特別な配慮をしたいのであれば「1万分の1最大波」や10万分の1を想定してもかまいません。

## 3.3 短期予測と長期予測

有義波高を定めることで輸送中の波を設定することになりますが、その設定、予測の方法には数多くの方法があります。ここでは、短期予測と長期予測という2種類の予測方法について説明します。

### 3.3.1 短期予測

短期予測とは航路上の海面をある程度のメッシュで区切って、その区画（メッシュ）の中で観測された過去の波高データを統計処理して有義波高を設定するものです。区画内を横切る船舶がどのくらいの確率でその波に遭遇するかを算出します。その確率は累積確率（Cumulative Probability）と呼ばれますが、NKKKでは外洋を航海する場合は97%、沿岸を航海する場合には90%としています。



現在NKKKで採用している短期予測のためのデータは、上図のように区切られています。この各々の区画のデータを使って統計処理を行います。処理、計算は全てPC上で行われます。

### 3.3.2 長期予測

長期予測とはこれまで船の一生で遭遇する最も高い波を設定する時に使われていましたが、それを輸送時の加速度算出などに応用したものです。船の一生を25年と設定した場合に平均の波周期を8秒とすると

$$25 \text{ 年} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 788,400,000 \text{ 秒}$$

$$788,400,000 \text{ 秒} \div 8 \text{ 秒} = 98,550,000 \text{ 波}$$

船は一生の間におよそ1億（ $10^8$ ）回の波に遭遇することとなり、その中で最も高い波に耐えられるように設計するという理論です。これが輸送であれば10日間でおよそ10万回（ $10^5$ ）で、この回数で遭遇する最大の波高を最大波高として設定することになります。これら全て、統計処理で実際に25年間計測していたわけではありません。

この場合には、データは「北太平洋」や「北大西洋」というような大きな海域になっています。

**補足** 港湾設備などで「100年耐えられる設計」は上の25年を100年にして統計処理した結果です。

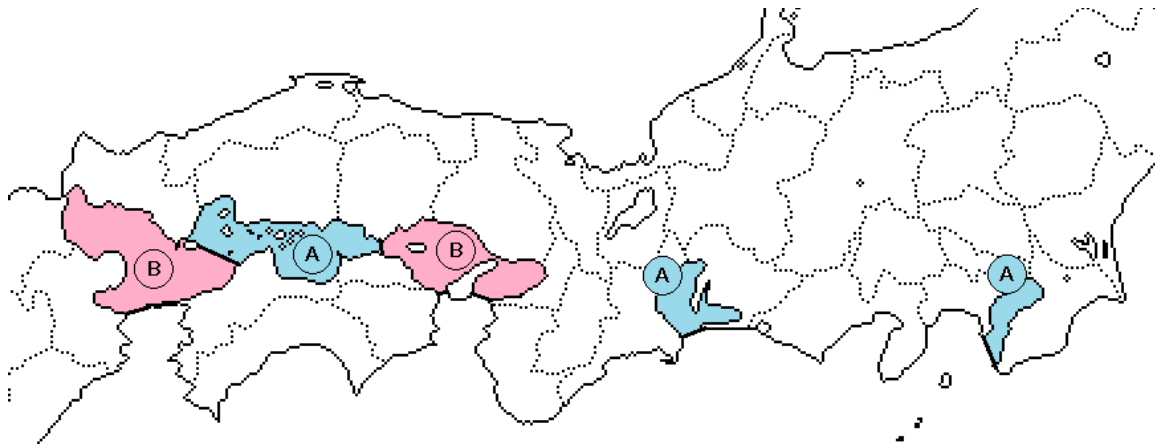
## 3.4 内海と湾内の波高

ここでは、内海と湾内の波高について説明します。

### 3.4.1 波高の設定

瀬戸内海のみ、もしくは東京湾や大阪湾のような湾内のみを航海する場合には、前述の予測値を使用すると、実態に比べて設定する波高が高すぎることになります。

そのため、過去の観測値や経験値を使い以下のように設定しています。



区域	詳細
A 区域	① 東京湾内：冬期 2.00 m、夏期 1.00 m
	② 伊勢湾および三河湾内：（補間は下表の通り）
	③ 瀬戸内海で高松と玉野を結ぶ線より西であり大島と松山を結ぶ線より東
B 区域	① 瀬戸内海で関門、速吸瀬戸および冬期 2.50 m、夏期 1.00 m A 区域の西側境界線に囲まれた海域（補間は下表の通り） （周防灘および伊予灘）
	② 瀬戸内海で鳴門海峡、友が島および A 区域の東側境界線に囲まれた海域 （播磨灘及び大阪湾）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A (m)	2.00	2.00	2.00	1.70	1.30	1.00	1.00	1.00	1.30	1.70	2.00	2.00
B (m)	2.50	2.50	2.50	2.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	2.50	2.50

## 3.5 風の設定

ここでは、風の設定について説明します。

### 3.5.1 風速の設定

本来は、風についても波と同様に季節や海域によって設定するべきかもしれませんが、航海中の風速については船舶復原性規則や IMO のルールによって定められているものが優先され、なおかつ、その風速を応用することが合理的と考えられるため、NKKK の設定もそれらに従っています。

設定する風速は輸送海域によって“外洋航海”と“日本沿岸、内海”に分けて考えます。そしてその風速の使用目的を①貨物と固縛の強度検討のため、②曳航抵抗値の算出のため、③復原性の検討のため、の三つで使い分けることもあります。

#### ・外洋航海の場合

##### ① 強度検討

設定風速： 海域を問わず 26 m/sec (50 knot)  
突風率： 1.5 (風速にして√1.5 倍)

##### ② 曳航抵抗

通常航海時 (委嘱者から特段の要請の無い場合)

設定風速： 海域を問わず 10 m/sec (19 knot)  
突風率： 考慮しない

荒天航海時

設定風速： 海域を問わず 26 m/sec (50 knot)  
突風率： 考慮しない

##### ③ 復原性検討

設定風速： 海域を問わず 26 m/sec (50 knot)  
突風率： 1.5 (風速にして√1.5 倍)

#### ・日本沿岸、内海の場合

##### ① 強度検討

設定風速： 海域を問わず輸送する時期により、以下のように設定します。

(m/sec)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
19	19	19	16	16	13	13	13	16	16	19	19

突風率： 1.5 (風速にして√1.5 倍)

##### ② 曳航抵抗

通常航海時 (委嘱者から特段の要請の無い場合)

設定風速： 海域を問わず 10 m/sec (19 knot)

突風率： 考慮しない

荒天航海時

設定風速： 海域を問わず輸送する時期により、以下のように設定します。

(m/sec)

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
19	19	19	16	16	13	13	13	16	16	19	19

突風率： 考慮しない

③ 復原性検討

設定風速： 海域を問わず 19 m/sec (36 knot)

突風率： 1.5 (風速にして√1.5倍)

近海区域の、または近海区域までの航海時については特別に定めていませんが、外洋と沿岸の間の適切な条件を定めることとなります。

一般社団法人 日本海事検定協会  
ガイドンス改訂ワーキンググループ