

## 4. 自動車運搬船のラッキング強度評価 ガイドライン

# 自動車運搬船のラッキング強度評価ガイドライン

## 1. はじめに

自動車運搬船においては、許容積載台数の確保、および荷役時効率の向上を目的として、横隔壁が著しく簡略化された構造様式が採用される。このため、航行中の横揺れにより横断面にひし形のせん断変形（ラッキング変形）が生じやすく（図 1、および図 2）、これにより、部分横隔壁(Partial Bulkhead, P.BHD)周辺に亀裂損傷が発生する事例が過去に報告されている（図 3）。したがって、横揺れ時のラッキング変形に対する構造強度を合理的に評価できる設計指針の開発がかねてより必要であるとされてきた。

一方で、船主要望に応えた次世代船型として、パナマ運河拡張に対応した船型の大型化（オーバーパナマックス化）や横隔壁構造の更なる簡略化（バルクヘッドレス化）といった、従来と異なる構造様式を有する自動車運搬船を開発する取り組みが、昨今精力的に進められている。

本研究では、これら次世代船についても適用可能な設計指針の開発を目標とする一方で、継続的な検討が続けられている IACS の共通構造規則(HCSR)の最新の強度評価の知見を反映させることにより合理的な強度評価基準とすべく、検討を進めている。

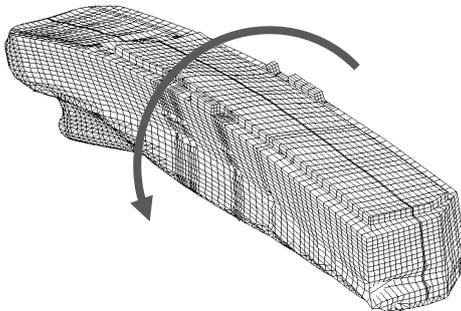


図 1 航行時の横揺れ

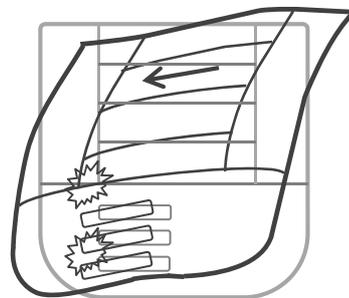


図 2 横断面のラッキング変形

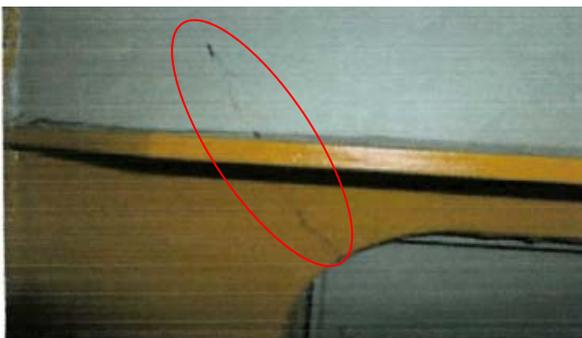


図 3 亀裂損傷の事例

## 2. 設計荷重の検討

### 2.1 検討の概要

強度評価対象箇所の構造応答を詳細に評価するためには、例えば、規則波中の構造解析を実施して得られる応力の応答関数を用いて、波スペクトルや波浪データを考慮した統計解析を実施することにより、就航期間に発生しうる応答のピーク値を長期予測値として推定することができる。

しかし、これには膨大な解析工数を要し、実用的ではない。このため、ガイドラインに標準規定として設定する設計荷重では、実用性を考慮して、この応力の長期予測値と同等の応答値を生じさせるような設計規則波をベースとしている。

また、設計規則波による設計荷重の設定には、直接荷重解析や統計解析を実施した場合と同等となる応答値を、個船毎にその主要目や積付条件などにより定まるパラメータを用いて簡易算式により推定することとしている。

したがって、設計荷重について検討を進めるに当たっては、強度評価対象箇所の構造応答に支配的となる荷重成分を特定し、この荷重成分に関する設計規則波を設定することとなる。

本研究で検討対象とする自動車運搬船のラッキング変形については、その構造の応答が航行中の横揺れ時の変動荷重に対するものであることから、ロールを支配的荷重とする設計規則波について検討を進めればよいと考えられる。

以上に基づき、下記の設計規則波をベースとした設計荷重について検討を実施する。

#### ① NK コンテナ運搬船構造強度ガイドライン - 設計条件 R (NK(R))<sup>(\*1)</sup>

<sup>(\*1)</sup>2011年9月改訂前旧版にて取扱い

#### ② IACS HCSR<sup>(\*2)</sup> - BSR load cases (HCSR(BSR))

<sup>(\*2)</sup>バルクキャリア、油タンカー用共通構造規則

### 2.2 NK コンテナ運搬船構造強度ガイドライン - 設計条件 R(NK(R))

従来からの本会の設計荷重検討手法を踏襲した手順により検討を進める。すなわち、

- ① 支配的荷重成分の特定
- ② 設計荷重簡易推定手法の検討
- ③ 設計荷重の妥当性確認

以下、各項目について記述する。

#### 2.2.1 支配的荷重成分の特定

先に述べたように、あらかじめ規則波中の構造解析を実施して応力の応答関数を求めることにより、強度検討箇所の構造応答の詳細な評価が可能となるが、応力の応答関数を求める解析工数は膨大である。そこで、代表的な自動車運搬船を用いた検討により検討箇所の応力に支配的となる荷重成分を特定し、これにより設計海象、および設計規則波が設定可能かどうかを検討する。

##### (1) 規則波中構造解析の概要

###### a) 検討対象船

$L_{pp}/B/D/d_s = 192/32.26/34.52/9.7(m)$  (6400 台積)

###### b) 応力の算出

応力の算出は、船長方向に配置された各 P.BHD 断面において、ラッキング変形に対する強度が厳しくなると予想される箇所とする（全 46 箇所を選定）。検討対象船の FE モデルおよび応力算出箇所を図 4 に示す。

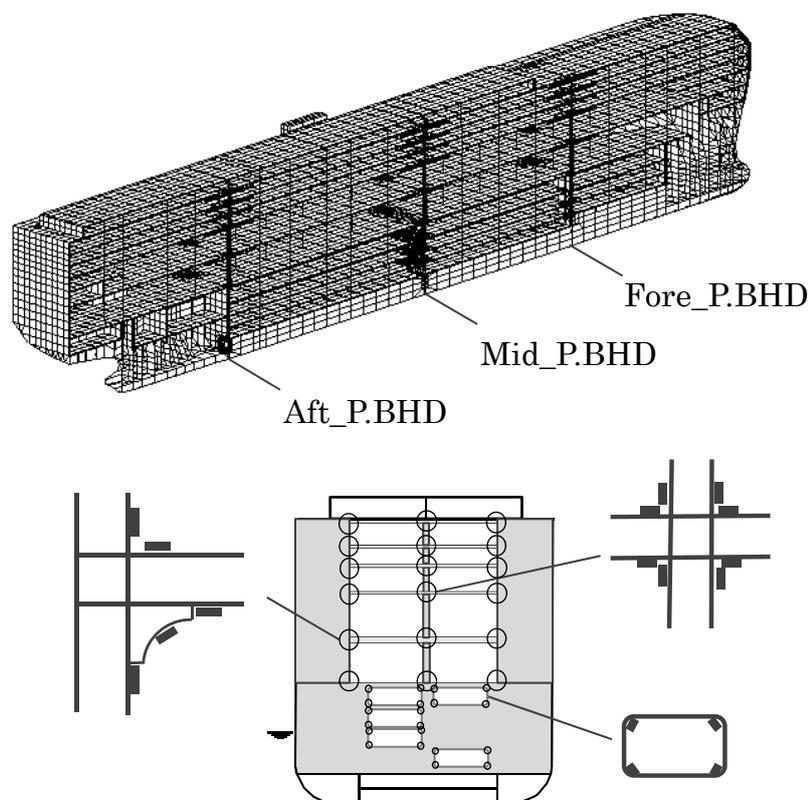


図 4 検討対象船の FE モデルおよび応力算出箇所

c) 解析条件

解析条件を表 1 に示す。

表 1 解析条件

積付	満載積付
船速	計画速力
波長	$(L/\lambda)^{1/2} = 0.2 \sim 1.4$ まで 0.1 刻み (1.45 まで実施)
波向	$\alpha = 0^\circ \sim 330^\circ$ まで $30^\circ$ 刻み
荷重	線形ストリップ法
構造解析	一周期を 12 等分した時刻歴解析
短期予測	波スペクトル: <i>ISSC</i> 1964, 方向性分布: $\cos^2$ 分布
長期予測	IACS Wave Diagram (北大西洋)

(2) 設計海象の絞込み

a) 短期予測と長期予測の関係

図 5 はある船の縦曲げモーメントについて、超過確率が  $Q=10^{-8}$  のような非常に低い超過

確率を検討する場合に応答の極大値に最も寄与するそれぞれ一つの海象，二つの海象，三つの海象における長期の超過確率に対応する応答値と **All Headings** の長期予測値を比較したものである。これより，船の一生のうち数度起こるかどうかなどといった超過確率の非常に小さい範囲の応答について検討する場合においては，応答の最大，つまり応答値の標準偏差最大となる短期海象における検討により，精度の良い評価が可能であることが分かる。

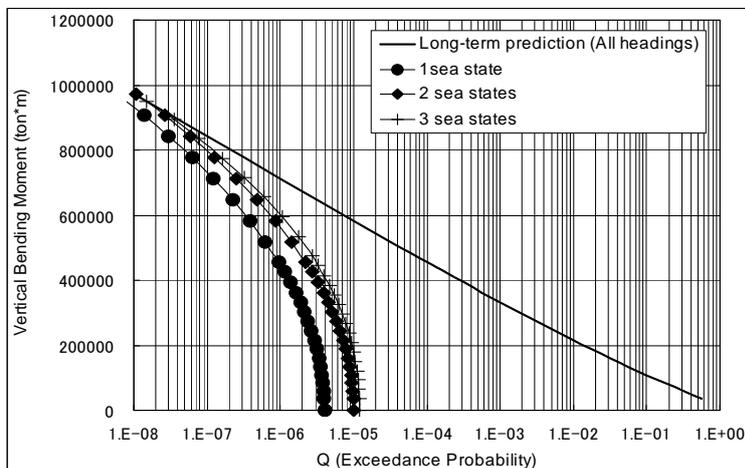


図5 代表海象の応答値分布と長期予測値との関係

b) 絞込みの実施

先の統計的性質を利用して，超過確率が  $Q=10^{-8}$  の長期予測値を生じさせる短期海象を設計海象として設定する。検討に当たっては，評価対象部位毎に，応力の応答関数を用いた短期予測結果より，単位有義波高あたりの標準偏差が最大となる平均波周期および波向きを選定する。選定の一例を図6に，絞込み結果を表2に示す。これより，ラッキング強度を検討する際の設計海象を設定できることが確認される（平均波周期  $T_v=9.0$  (秒)，波向き  $\chi=60^\circ$ ）。

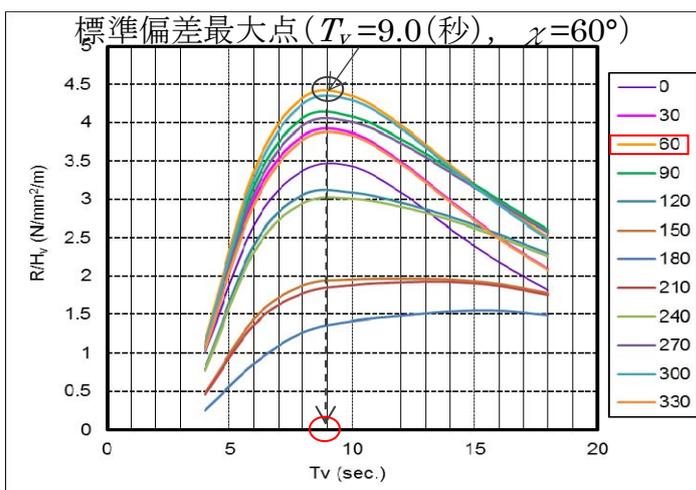


図6 設計海象（平均波周期  $T_v$ ，波向き  $\chi$ ）の選定

表2 絞込み結果

$T_v$ $\chi$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
0																
30																
60						18	4									22
90						3										3
120																
150																
180																
210																
240																
270						3										3
300						17	1									18
330																
Total						41	5									46

(3) 短期海象レベルでの支配的荷重成分の検討

前(2)により、応力の応答関数を用いた検討によりラッキング強度を検討する際の設計海象を設定できることを確認したが、応力の応答関数を求める解析工数は膨大である。そこで、応力レベルで絞り込んだ短期海象と荷重成分について支配的となる短期海象との相関について検討し、応力の応答関数に代えて支配的荷重の応答関数により設計海象が設定できるかどうかを検討する。検討には前(1)と同様の船舶、対象箇所の応力の応答関数を用いている。また、検討に用いた荷重成分は以下の通り（全 31 成分を選定）。

船体運動：Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw

加速度：ミッドシップ、船首・船尾部の CL 及び船側（乾舷甲板高さ）における上下、左右、前後加速度

波浪断面力：CL/4 における垂直及び水平せん断力

波浪変動圧：ミッドシップ、船首・船尾部における喫水線、ビルジ、船底中央部の波浪変動圧

a) 検討手順

① 各荷重成分毎にそれぞれ長期予測値を与える短期海象を設定する

波周期( $T_v$ )：標準偏差が最大となる時の平均波周期

波向き( $\chi$ )：標準偏差が最大となる時の波向き

波高( $H_w$ )：長期予測値(a)(超過確率  $Q=10^{-8}$ , All Headings)を 1000 波最大値として生じさせる有義波高で次による。

$$H_w = \frac{a(Q = 10^{-8})}{2 \times \text{単位有義波高あたりの標準偏差} \max(T_v, \chi) \times 1.9}$$

ここで、算式中の 2 は標準偏差から不規則応答の極値の有義値を求めるための定数で、1.9 は有義値から 1000 波最大応答値を求めるための定数である。

② 各荷重成分について設定した短期海象中における検討部材の構造応答値を求める

- ・ 検討部材の応力の短期予測結果を用いて、各荷重の応答関数により設定された短期海象条件下の平均波周期( $T_w$ )および出会角( $\chi_i$ )に対応する応力の標準偏差( $T_{vi}, \chi_i$ )を求める。
- ・ 各荷重に対して設定された短期海象中における検討部材の構造応答値( $a_i$ )を対応する有義波高( $H_{wi}$ )を用いて次の通り求める。

$$a_i = 2 \times H_{wi} \cdot \text{単位有義波高あたりの応力の標準偏差}(T_{vi}, \chi_i) \times 1.9$$

③ 求められた構造応答値( $a_i$ )と応力の長期予測値( $b_i$ )とを比較する

$$\text{Rate} = \frac{\text{荷重により設定された短期海象下における構造応答値}(a_i)}{\text{応力の長期予測値}(b_i) (Q = 10^{-8})} \times 100 \quad (\%)$$

比率が 100 に近ければその荷重成分により設定した短期海象により正確な構造応答が評価できることになる。

b) 検討結果

検討結果の一例として、ロールにより設定した短期海象における比較結果を図 7 に示す。

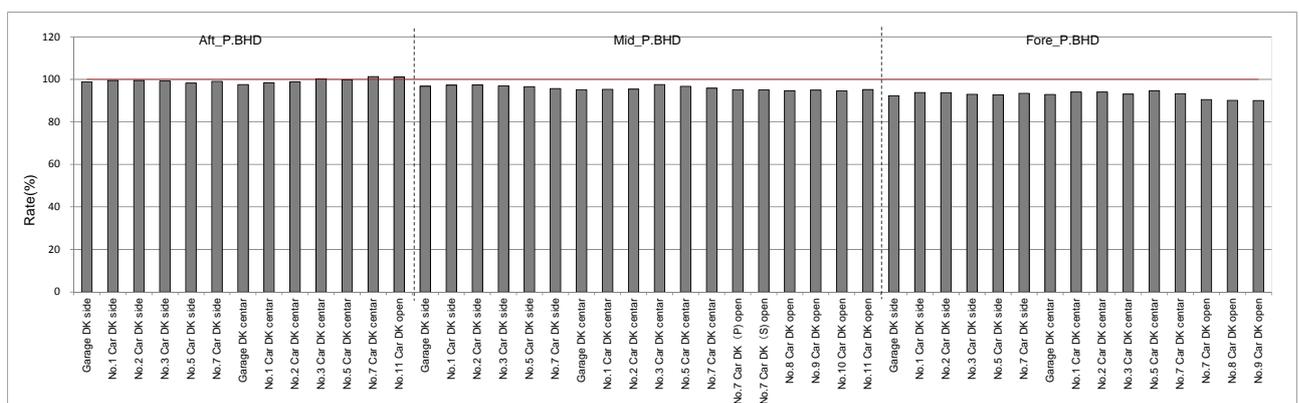


図 7 ロールによる短期海象における構造応答値と応力の長期予測値との比較

これより、ロールの応答が最大となる短期海象を設定することにより、応力の長期予測値が再現可能であることが確認される。

(4) 規則波レベルでの支配的荷重成分の検討

前(3)の検討により、支配的荷重成分に対する短期海象によりラッキング強度を検討する際の設計海象が設定できることを確認したが、短期海象レベルでの検討には、特定の波向き下の全ての応答の情報が必要となり、未だ多くの解析工数が必要となる。このため、更

なる実用化のために、前(3)の検討と同様の手法により、規則波による設計波を設定することにより応力の長期予測値が推定可能かどうかを検討する。検討に用いた船舶、応力評価の対象箇所、および荷重成分は前(3)と同様である。

a) 検討手順

① 各荷重成分毎にそれぞれ長期予測値を与える規則波を設定する

波周期( $T$ ): 応答関数が最大となる時の波周期

波向き( $\chi$ ): 応答関数が最大となる時の波向き

波高( $H_w$ ): 長期予測値( $a$ )(超過確率  $Q=10^{-8}$ , All Headings)を生じさせる波高で次による。

$$H = \frac{2a(Q = 10^{-8})}{RAO(T, \chi)}$$

② 各荷重成分について設定した規則波中における検討部材の構造応答値を求める

- ・ 検討部材の応力の応答関数より、各荷重の応答関数により設定された規則波条件下の波周期( $T_i$ )および出会角( $\chi_i$ )に対応する応答値  $RAO(T_i, \chi_i)$ を求める。
- ・ 各荷重に対して設定された規則波中における検討部材の構造応答値( $a_i$ )を対応する規則波高( $H_i$ )を用いて次の通り求める。

$$a_i = 0.5 \cdot H_i \cdot RAO(T_i, \chi_i)$$

③ 求められた構造応答値( $a_i$ )と応力の長期予測値( $b_i$ )とを比較する

$$Rate = \frac{\text{規則波による構造応答値}(a_i)}{\text{応力の長期予測値}(b_i)(Q = 10^{-8})} \times 100 \quad (\%)$$

比率が 100 に近ければその荷重成分により設定した規則波により正確な構造応答が評価できることになる。

b) 検討結果

検討結果の一例として、ロールにより設定した設計規則波における比較結果を図 8 に示す。

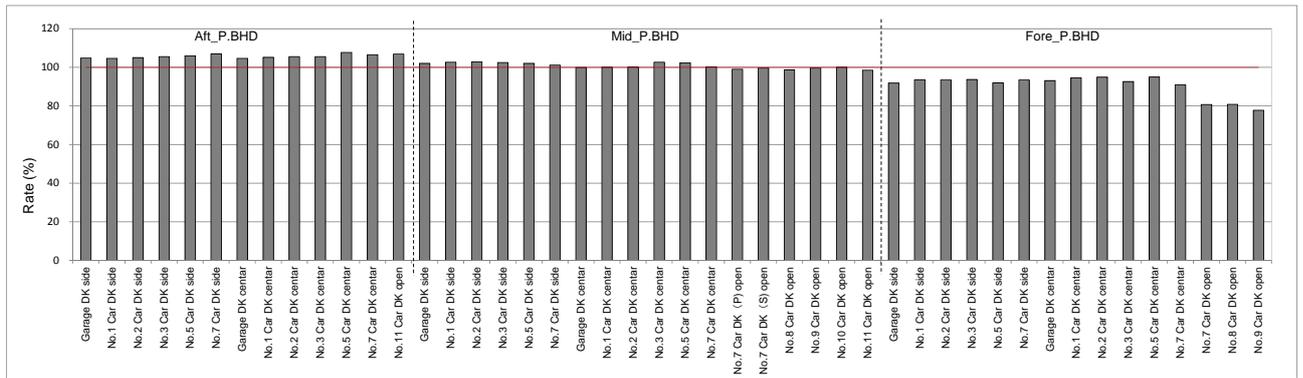


図8 ロールによる設計規則波における構造応答値と応力の長期予測値との比較

これより、ロールの応答が最大となる設計規則波を設定することにより、応力の長期予測値が再現可能であることが確認される。

以上の検討により、ラッキング強度に支配的な荷重成分がロールとなることを確認した。

### 2.2.2 設計荷重簡易推定手法の検討

ここでは、前 2.2.1 で検討した支配的荷重成分（ロール）について、コンテナ船で設定された設計荷重簡易推定手法の自動車運搬船への適用について検討する。

#### (1) 直接荷重シリーズ計算（線形ストリップ法）の概要

##### a) シリーズ計算対象船舶

シリーズ計算に用いた船舶を表 3 に示す。

表 3 シリーズ計算対象船舶

No.	$L_{pp}$	B	D
1	100	21.0	19.7
2	112	20.5	17.3
3	133	24.0	23.4
4	142	21.0	17.4
5	156	26.4	24.8
6	166	32.0	22.1
7	180	32.2	30.6
8	190	32.3	34.4
9	196	35.8	37.7
10	196	38.0	38.1

b) 解析条件

解析条件を表 4 に示す。

表 4 解析条件

積付	満載積付
船速	計画速力
波長	$(L/\lambda)^{1/2}=0.1\sim 2.0$ まで 0.1 刻み
波向	$\chi=0^\circ\sim 330^\circ$ まで $30^\circ$ 刻み
短期予測	波スペクトル: <i>ISSC</i> -1964, 方向性分布: $\cos^2$ 分布
長期予測	IACS Wave Diagram (北大西洋)

(2) 設計海象の設定

a) 波向き

ロールの標準偏差が最大となる時の波向きを表 5 に示す。

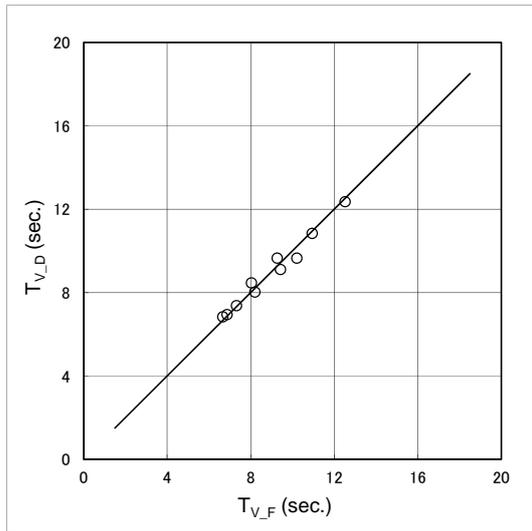
表 5 標準偏差が最大となる時の波向き

No.	$L_{pp}$	$\chi$
1	100	60
2	112	60
3	133	30
4	142	60
5	156	60
6	166	60
7	180	60
8	190	60
9	196	60
10	196	60

b) 平均波周期

ロールの標準偏差が最大となる時の平均波周期と算式による値との相関を図 9 に示す。ここで、平均波周期の算式は次の通り。

$$T_v = 0.85 \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad (\text{sec.})$$



縦軸：標準偏差が最大となる時の値  
横軸：算式による値

図9 平均波周期の相関

c) 有義波高

ロールの標準偏差が最大となる時の有義波高と算式による値との相関を図10に示す。ここで、直接荷重解析により求められる有義波高は、前2.2.1と同様に、長期予測値( $a$ ) (超過確率  $Q=10^{-8}$ , All Headings) を1000波最大値として生じさせる場合には次による。

$$H_w = \frac{a(Q = 10^{-8})}{2 \times \text{標準偏差} \max(T_v, \lambda) \times 1.9} \quad (\text{m})$$

また、有義波高の算式は次の通り。

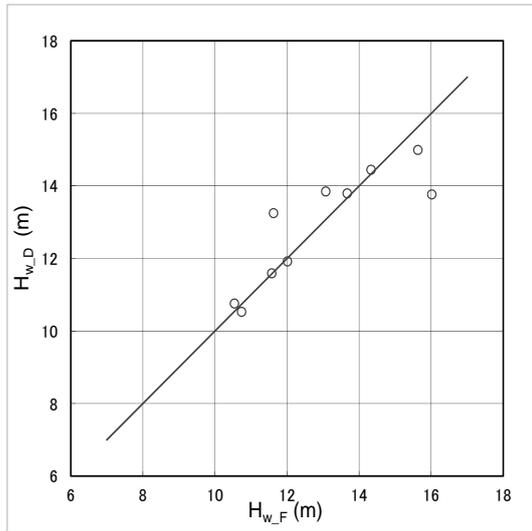
$$H_{1/3} = C_1 \cdot C_2 \quad (\text{m})$$

$$C_1 = 10.75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} \quad L < 300 \text{ m}$$

$$= 10.75 \quad 300\text{m} < L < 350 \text{ m}$$

$$= 10.75 - \left( \frac{L - 350}{150} \right)^{1.5} \quad 350\text{m} < L$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{L + \lambda - 25}{L}}$$



縦軸：標準偏差が最大となる時の値  
横軸：算式による値

図 10 有義波高の相関

以上、算式の適用により設計海象を設定できることを確認した。

### (3) 設計規則波の設定

簡易算式により設計荷重を設定するにあたっては、物理的な意味が明確で実海象と対応した設計海象を直接のベースとすることが合理的であると考えられるが、前 **2.2.1** の検討により、設計規則波によっても同様に正確な構造応答の評価が可能であることが確認されていること、また、複数の荷重成分間の位相差を考慮した同時刻分布についての検討が可能となることから、設計規則波をベースとして設定する。

#### a) 波向き

ロールの応答関数が最大となる時の波向きを表 6 に示す。

表 6 応答関数が最大となる時の波向き

No.	Lpp	$\alpha$
1	100	60
2	112	60
3	133	30
4	142	60
5	156	60
6	166	60
7	180	60
8	190	60
9	196	60
10	196	60

満載積付時の自動車運搬船では、GM の値が小さいため、ロールの固有周期が他の船種と比較して相対的に長くなる。このため、ロールの固有周期と同調する出会い波の周期の条件について考えると、バルクやタンカーの場合の横波と異なり斜め追い波が通常となる。

$$T_R = C \frac{2K_{XX}}{\sqrt{GM}} \quad (\text{sec.}) \quad (\text{ガイドライン算式によるロールの固有周期})$$

$$T_e = \frac{2\pi}{\omega_0 - \kappa V \cos \chi} \quad (\text{sec.}) \quad (\text{出会い波の周期})$$

また、横揺れしやすい満載積み付け時の自動車運搬船では、バンド幅の広い応答の分布となる (図 11)。

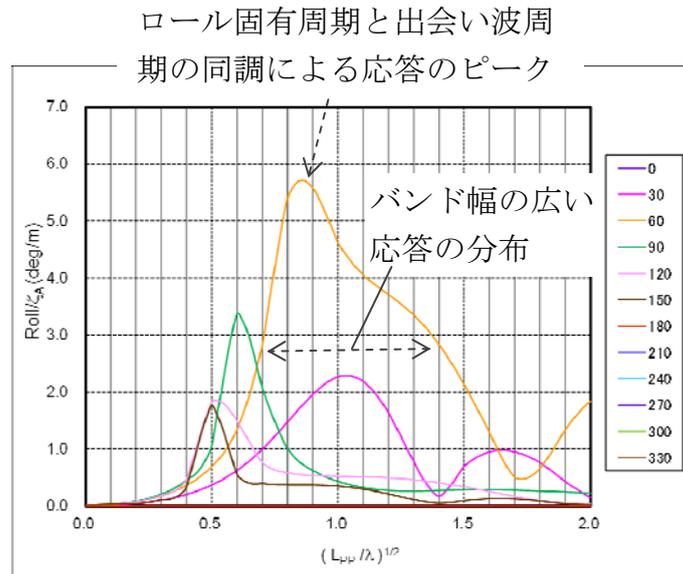
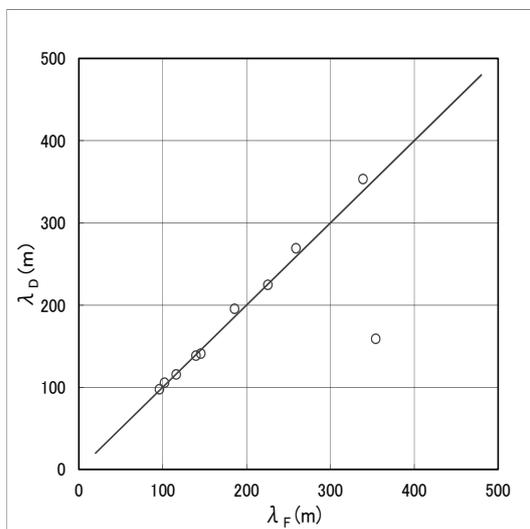


図 11 満載積付時の自動車運搬船のロールの応答関数

b) 波長

ロールの応答関数が最大となる時の波長と、算式による値との相関を図 12 に示す。ここで、波長の算式は次の通り。

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T_E^2 \quad (m)$$



縦軸：応答関数が最大となる時の値  
横軸：算式による値

図 12 波長の相関

c) 規則波高

設計波として規則波を用いる場合には、設計海象下で生じるであろう応答値と同等の応答値を生じさせる設計規則波とする必要がある。これより、規則波高  $H_R$  は短期海象中の最大波高  $H_{max}$  を用いて次のように表される。

$$H_R = C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot H_{max}$$

$$H_{max} = C_1 \cdot H_w$$

ここで、

$C_1$  : 有義波高と短期海象中最大波高との比, 1.9

$C_4$  : 規則波高への修正係数

$C_5$  : 非線形影響および3次元影響の修正係数

$C_6$  : 弾性設計用の修正係数

ここでは線形ストリップ法による応答解析を基に設定する修正係数として、係数  $C_4$  について検討する。

短期海象中の最大応答値は、応答の有義値（単位有義波高あたりの標準偏差の有義値  $(2.002R)$  と有義波高  $H_w$  の積）と係数  $C_1$  の積で表される。一方、規則波中の最大応答値は、規則波中の単位波高あたりの応答関数(RAO)の最大値と規則波高  $H_R$  の積により表される。設計規則波の波高は短期海象中の最大応答値と同等の応答値を生じさせる規則波高であるとする、短期海象中の最大応答値と規則波中の最大応答値との関係は次のように表される。

$$RAO \cdot H_R = C_1 \cdot 2.002R \cdot H_w$$

これより、係数  $C_4$  が次のように設定される。

$$C_4 = \frac{2.002R}{RAO}$$

$C_4$  の検討結果を図 13 に示す。

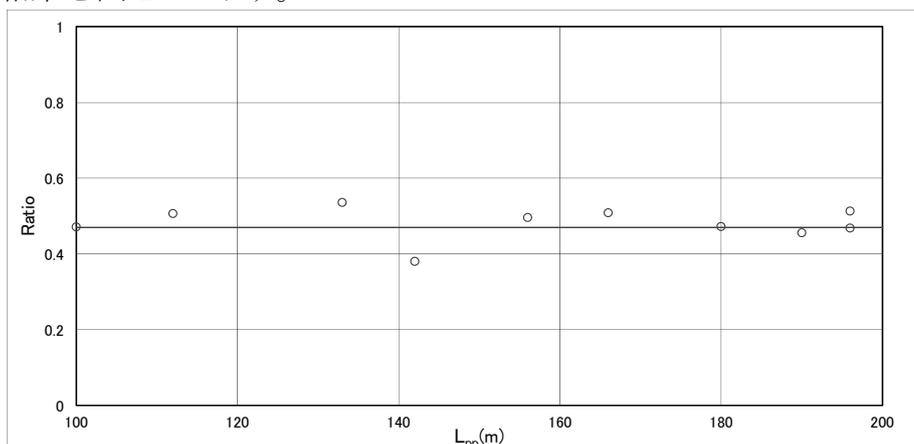


図 13 係数  $C_4$  の検討結果

前(3)(a)に記述したように、満載積み付け時自動車運搬船では応答のバンド幅が広い為、相対的に  $C_4$  の値が大きくなる。これより、コンテナ船で設定された値より修正して、 $C_4$  を 0.47 として設定する。

以上、算式の適用により設計規則波を設定できることを確認した。

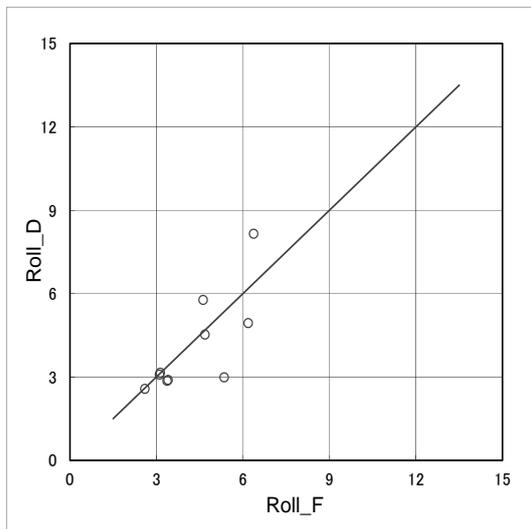
(4) 船体運動 (ロール角)

ロール角の応答の長期予測値を簡易算式により推定するに当たっては、規則波高あたり応答(RAO)の推定算式を設定し、これに前(3)(c)で検討した規則波高を乗じて求めることとする。

a) 規則波高あたり応答(RAO)

ロール角の応答関数の最大値と算式による値との相関を図 14 に示す。ここで、ロール角 RAO の算式は次の通り。

$$RAO(\phi) = \frac{1}{T_E \sqrt{B}} \quad (\text{rad})$$



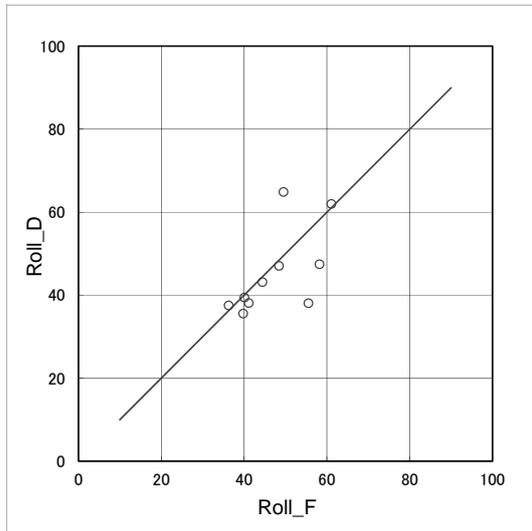
縦軸：応答関数の最大値  
横軸：算式による値

図 14 RAO (ロール角) の相関

b) 長期予測値

ロール角の長期予測値と算式による値との相関を図 15 に示す。ここで、ロール角の長期予測値の算式は次の通り。

$$\phi = \frac{1}{T_E \sqrt{B}} \cdot H_R \quad (\text{rad})$$



縦軸：長期予測値  
横軸：算式による値 ( $C_5, C_6$ を控除)

図 15 長期予測値（ロール角）の相関

これより、長期予測値を実用的なレベルで推定可能であることが確認される。

### (5) 波浪変動圧

波浪変動圧の長期予測値を推定するに当たっては、船体運動（ロール角）同様に、支配的荷重成分（ロール）の応答が最大となる時の波浪変動圧の  $RAO$  の推定算式を設定し、これに支配的荷重成分（ロール）の規則波高を乗じることにより求めることとする。

ただし、波浪変動圧の長期予測値は一つの規則波条件下では推定できないことから、ここでは  $RAO$  の算式について検討する。検討は midship 位置の喫水線位置、ビルジ部上端、船底中央部における応答値とする（図 16）。

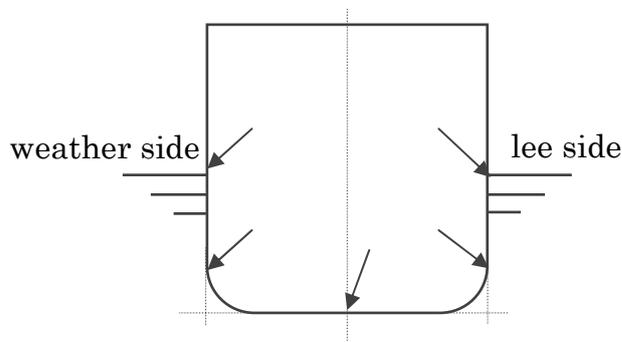


図 16 波浪変動圧の検討位置(midship)

#### a) 規則波高当たり応答 ( $RAO$ )

ロールの応答が最大となる時の波浪変動圧の  $RAO$  と算式との相関を表 7 に示す。ここで波浪変動圧（ロール最大時）の算式は次の通り。

$$RAO(P_R) = \pm 10 \left( y \sin RAO(\phi) + 0.1 \left( \frac{|2y|}{B} + 1 \right) \right) \quad (\text{kN/m}^2)$$

表 7 波浪変動圧の相関（ロール最大時）

No.	L <sub>pp</sub>	weather side						centar bottom			lee side					
		Pwl-D	Pwl-F	Ratio (D/F)	Pbk-D	Pbk-F	Ratio (D/F)	Pcl-D	Pcl-F	Ratio (D/F)	Pbk-D	Pbk-F	Ratio (D/F)	Pwl-D	Pwl-F	Ratio (D/F)
1	100	0.94	1.12	0.84	0.91	1.12	0.81	0.02	0.10	0.20	-0.81	-0.72	1.11	-0.71	-0.72	0.99
2	112	0.53	0.75	0.71	0.50	0.75	0.67	0.02	0.10	0.23	-0.37	-0.35	1.06	-0.30	-0.35	0.87
3	133	1.04	0.86	1.21	1.02	0.86	1.18	0.14	0.10	1.43	-0.45	-0.46	0.98	-0.40	-0.46	0.86
4	142	1.57	1.73	0.91	1.56	1.73	0.90	0.10	0.10	1.04	-1.16	-1.33	0.88	-1.04	-1.33	0.79
5	156	1.32	1.56	0.84	1.12	1.56	0.72	0.04	0.10	0.37	-0.97	-1.16	0.83	-1.02	-1.16	0.88
6	166	0.83	1.02	0.82	0.81	1.02	0.79	-0.02	0.10	-0.21	-0.78	-0.62	1.27	-0.76	-0.62	1.22
7	180	1.40	1.50	0.93	1.11	1.50	0.74	0.07	0.10	0.65	-0.89	-1.10	0.81	-0.96	-1.10	0.87
8	190	0.90	1.11	0.81	0.89	1.11	0.80	0.01	0.10	0.10	-0.73	-0.71	1.03	-0.71	-0.71	1.00
9	196	0.80	1.02	0.79	0.80	1.02	0.78	-0.01	0.10	-0.10	-0.68	-0.62	1.10	-0.67	-0.62	1.08
		average		0.87	average		0.82	average		0.41	average		1.01	average		0.95
		stdev		0.144	stdev		0.151	stdev		0.537	stdev		0.149	stdev		0.137

-D：ロール最大時の応答関数

-F：算式による値

表 7 より、船底中央部においては算式の推定精度が低い結果となるが、喫水線位置やビルジ部上端と比較して相対的に波浪変動圧の値が小さいため問題ないと考える。また、この船底中央部の波浪変動圧はヒープによる加速度によるものであると考えられることから、ロールの応答が最大となる設計規則波中においては、ヒープによる加速度の波浪変動圧への寄与は小さいことも確認される。

以上により、実用的なレベルで波浪変動圧 *RAO* の推定が可能であることを確認した。

#### (6) 設計荷重の設定

ここまでの検討を基に設計荷重を設定する（図 17）。ただし、外水圧荷重の設定に関しては、満載積み付け時自動車運搬船のロールの応答は斜め追い波中で最大となるが、全船解析実施時の実用性を考慮して、便宜的に midship 位置の波浪変動圧を船長方向に一様分布として設定する。

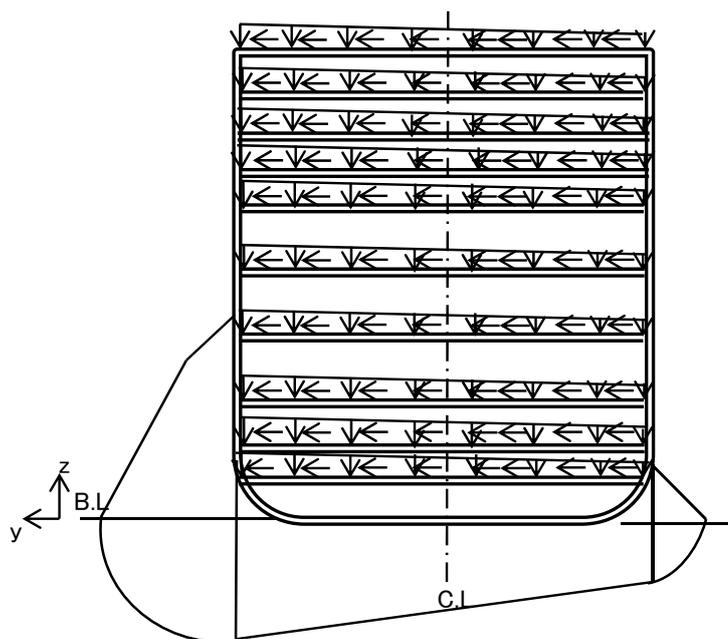


図 17 midship 位置荷重図

ここで、甲板荷重および外水圧荷重は次の通り。

甲板荷重：

$$\text{上下方向分布荷重 } W_S + W_{CV} = W_S + W_S \left( -\frac{a_v}{g} \right) \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$a_v = 0.1a_{heave} + ya_{roll} \quad (\text{m/s}^2)$$

$$\text{左右方向分布荷重 } W_{CT} = W_S \left( -\frac{a_t}{g} \right) \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$a_t = -g\phi + (z_i - z_g)a_{roll} \quad (\text{m/s}^2)$$

$$W_S = W/A \quad (\text{kN/m}^2)$$

$W$ ：船殻及び積載貨物重量 (kN)

$A$ ：車輦甲板面積 (m<sup>2</sup>)

外水圧荷重：

$$P_S + P_R = \rho_B g(d_f - z) + 10 \left( y \sin \phi + 0.1 \left( \frac{|2y|}{B} + 1 \right) H_R \right) \quad (\text{kN/m}^2)$$

補足：

設計規則波をベースとした検討では、異なる荷重成分間の応答の位相差を考慮した同時刻分布の検討が可能となる。これより、支配的荷重成分（ロール）の応答が最大となる時の考慮する荷重成分（ヒープによる加速度）との荷重組合せ係数について検討する。

荷重組合せ係数は、次の式により与えられる。

$$C_{j,i} = \frac{RAO_j(\lambda_i, \chi_i)}{RAO_{j_{max}}} \times \frac{H_i}{H_j} \times \cos\{\varepsilon_j(\lambda_i, \chi_i) - \varepsilon_i(\lambda_i, \chi_i)\}$$

ここで、

$i$ ：第  $i$  番目の支配的な荷重成分（ロール）

$j$ ：第  $i$  番目の設計規則波中考慮する第  $j$  番目の荷重成分（ヒープによる加速度）

$\varepsilon_i(\lambda_i, \chi_i)$ ：第  $i$  番目の設計規則波中の支配的な荷重成分の応答関数の位相

$\lambda_i$ ：第  $i$  番目の設計規則波中の支配的な荷重成分の応答関数の波長

$\chi_i$ ：第  $i$  番目の設計規則波中の支配的な荷重成分の波の方向

$\varepsilon_j(\lambda_i, \chi_i)$ ：第  $i$  番目の設計規則波中の考慮する  $j$  番目の荷重成分の応答関数の位相

$RAO(\lambda_i, \chi_i)$ ：第  $i$  番目の設計規則波中の考慮する  $j$  番目の荷重成分の応答関数の振幅

$RAO_{j_{max}}$ ：考慮する  $j$  番目の荷重成分の応答関数の最大値

$H_i$ ：第  $i$  番目の支配的な荷重成分の規則波高

$H_j$ ：考慮する  $j$  番目の荷重成分の規則波高

検討結果を図 18 に示す。

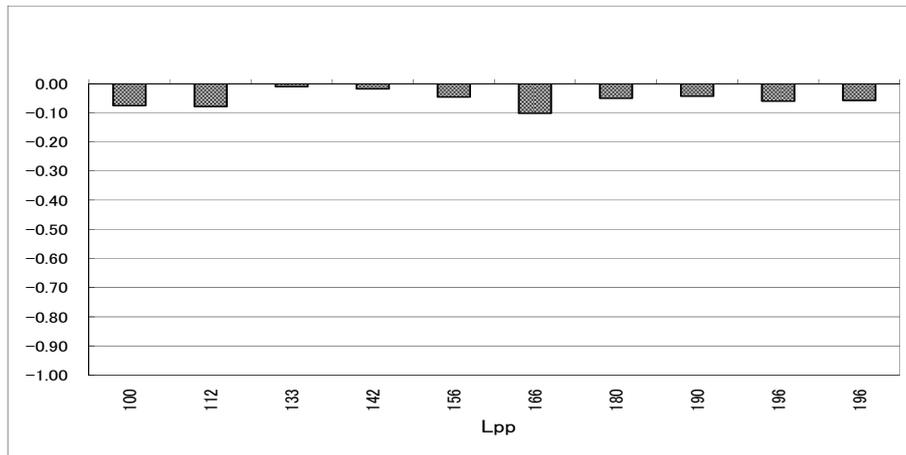


図 18 荷重組合せ係数の検討

これより、荷重組合せ係数を 0.1 として設定している。

### 2.2.3 設計荷重の妥当性確認

先に設定した簡易算式による設計荷重の妥当性を確認するために、ここでは全船 FE モデルを用いた構造解析を実施し、規則波中の構造解析による応力の長期予測値との比較を実施する。

#### (1) 直接詳細解析（規則波中構造解析）との比較

##### a) 検討の概要

検討の概要を表 8 に示す。ここで、規則波中の構造解析とは、規則波中における波動変動圧や慣性力の応答を直接荷重解析（線形ストリップ法）により位相情報を含んだ応答関数として算出し、加えて、規則波中の一周期の応答を時間領域で 12 分割することにより、これらを準静的な荷重として解析モデルに負荷して構造解析を実施したものである。

この際の評価応力については、一周期の構造応答の最大値と最小値の差（応力範囲）を計算波高で除した値を応力の応答関数とし（図 19）、これより統計解析を実施して長期予測値(超過確率  $Q=10^{-8}$ , All Headings)を求めたものとしている。

一方、簡易算式による設計荷重による構造解析については、波上側 down, up の 2 つの解析ケースにより得られる構造応答の応力差を評価応力としている（図 20）。

表 8 検討の概要

	直接詳細解析	簡易算式による解析
荷重	直接荷重解析（線形ストリップ法）	簡易算式による設計荷重（ $C_b, C_\beta$ を控除）
解析 (全船 FE)	一周期を 12 等分した時刻歴解析	設計荷重（簡易算式）による静的解析
比較対象	応力応答関数を用いた長期予測値	波上側 down, up の解析ケースによる応力差
その他	直接荷重解析および統計解析の条件は 2.2.1 における検討と同様	—

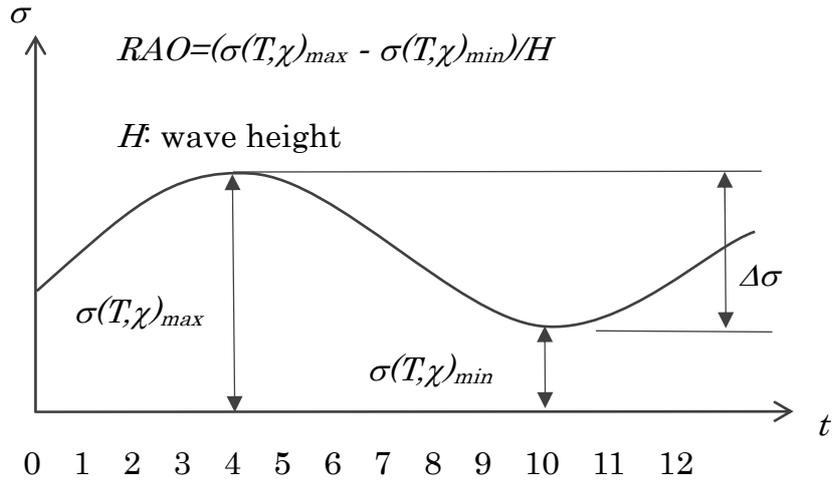


図 19 応力の応答関数の導出 (直接詳細解析)

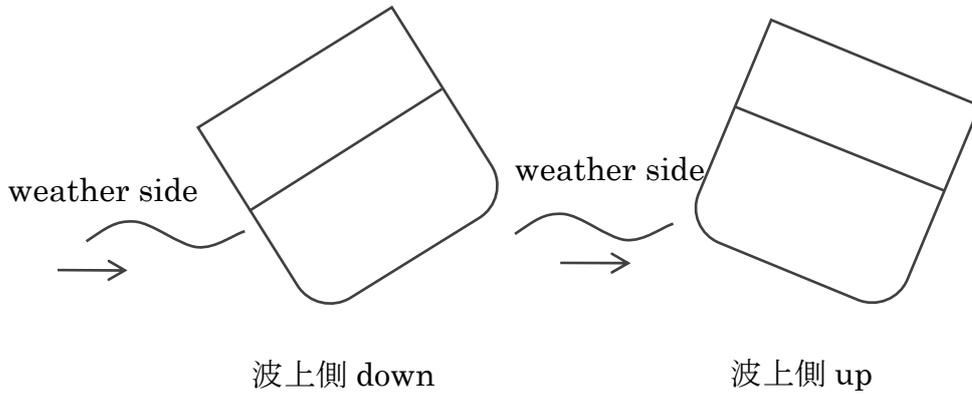


図 20 簡易算式 (設計荷重) による解析ケース

b) 検討結果

解析結果を比較して、図 21 に示す。

$$Rate = \frac{\text{簡易算式による解析}}{\text{直接詳細解析}} \times 100 \quad (\%)$$

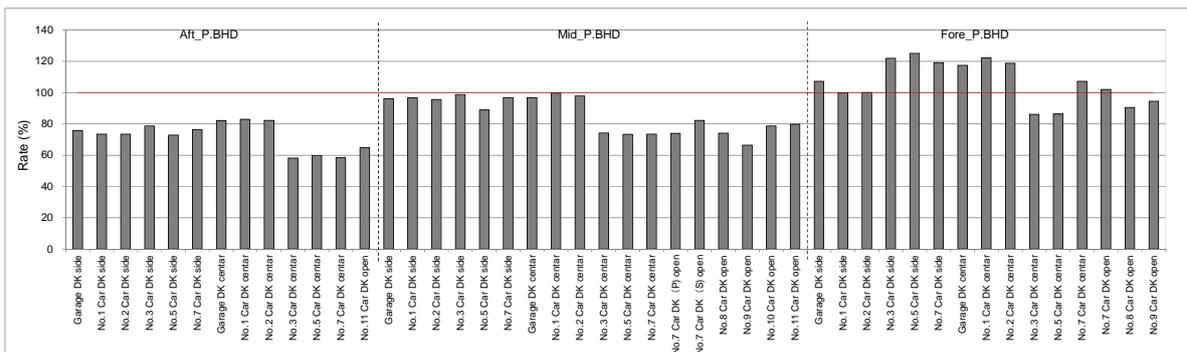


図 21 直接詳細解析と簡易算式による解析の比較

図 21 より，midship 付近の P.BHD 断面の一部や Aft 側の P.BHD 断面において，簡易算式による応答値が長期予測値よりも低くなる箇所が見られるが，今後実施予定の，就航実績を基に検討するクライテリアの設定により妥当な評価が実施できるよう調整することとする。これより，簡易算式による設計荷重により応力の長期予測値を実用的な精度で再現可能であることを確認した。

### 2.3 IACS HCSR - BSR load cases (HCSR(BSR))

本項目について検討を実施する理由として，以下 2 点を挙げる。

- ・ ラッキングガイドラインの制定に際し，IACS にて継続的に検討の進められている HCSR の最新の技術的知見を反映させたものとしたこと
- ・ 強度検討の指針となるガイドライン毎に技術的思想が異なることにより，不要な混乱が生じている現状があることから，実務上の便宜を考慮すると統一規則による評価が望ましいと考えられること

ここでは，前 2.2 で検討した本会荷重との比較により適用の可能性を検討する。

#### (1) 船体運動（ロール角）

##### a) 船速影響の検討

本会と HCSR の設計荷重で想定する船速が異なることから，船速影響について調査するため，それぞれ計画速力(NK)と 5Knot(HCSR)の条件下で直接荷重解析（線形ストリップ法）を実施し，これより長期予測値(超過確率  $Q=10^{-8}$ , All Headings)を比較する（図 22）。検討に用いた船舶は前 2.2.2 と同様である（表 3）。

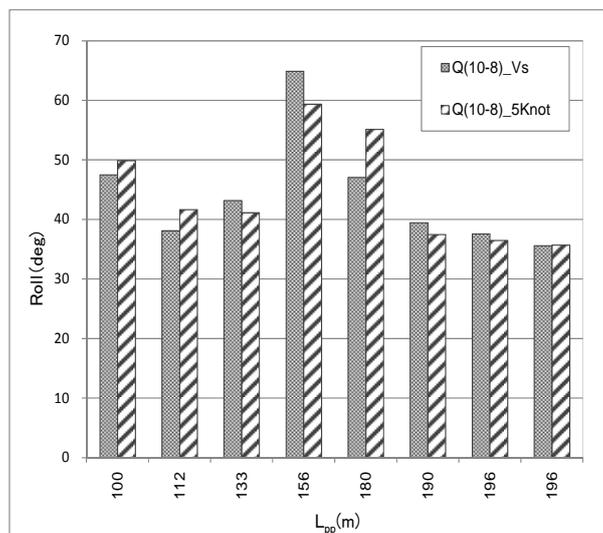


図 22 船速影響の検討（長期予測値（ロール角））

図 22 より，ロール角応答に関し，船速影響は顕著でないことが確認される。

##### b) 簡易算式の比較

本会と HCSR の簡易算式によるロール角推定値を比較する（図 23）。ここで，算式はそれぞれ次の通り。

$$\phi = \frac{1}{T_E \sqrt{B}} \cdot H_R \quad (\text{rad}) \quad (\text{NK算式})$$

$$\theta = \frac{9000(1.25-0.025T_\theta) f_p f_{BK}}{(B+75)\pi} \quad (\text{deg}) \quad (\text{HCSR算式})$$

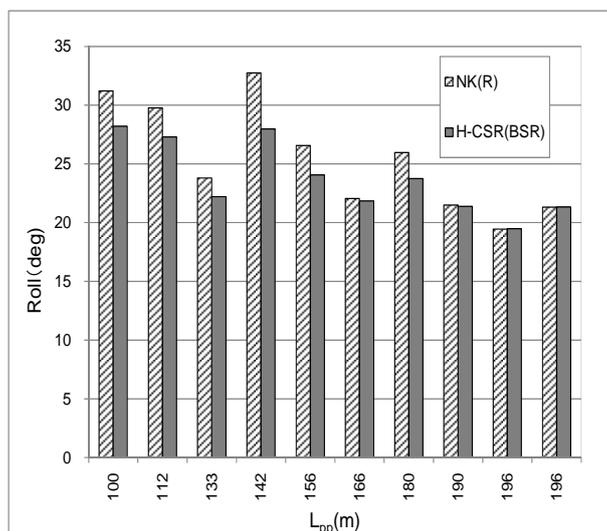


図 23 簡易算式による推定値（ロール角）の比較

これより、ロール角応答に関し、HCSR 算式によっても同等の評価が可能であることが確認される。

## (2) 波浪変動圧

ここでは、前 2.2.2(5)で検討した本会荷重(NK(R))の波浪変動圧算式による値と同等となるよう、HCSR 算式について以下 2 点を修正する。

- ①  $f_b$ : 荒天中の操船対応を想定した修正係数, 0.8⇒1.0
- ② ヒープによる加速度の変動圧成分, 0.88⇒0.29

上記②の修正については、自動車運搬船においては本荷重成分の波浪変動圧への寄与は小さいことによる（前 2.2.2(5)の検討より）。

### a) 簡易算式の比較

本会と HCSR の簡易算式による波浪変動圧 (midship 位置) 推定値を比較する (図 24)。ここで、算式はそれぞれ次の通り。

$$P_R = 10 \left( y \sin \phi + 0.1 \left( \frac{|2y|}{B} + 1 \right) H_R \right) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (\text{NK算式})$$

$$P_{BSR} = f_{\beta} f_{nl} \left( 10y \sin \theta + 0.29 f_{ps} C_w \sqrt{\frac{L + \lambda - 125}{L}} (f_{yB1} + 1) \right) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (\text{HCSR算式})$$

$$f_{\beta} = 1.0$$

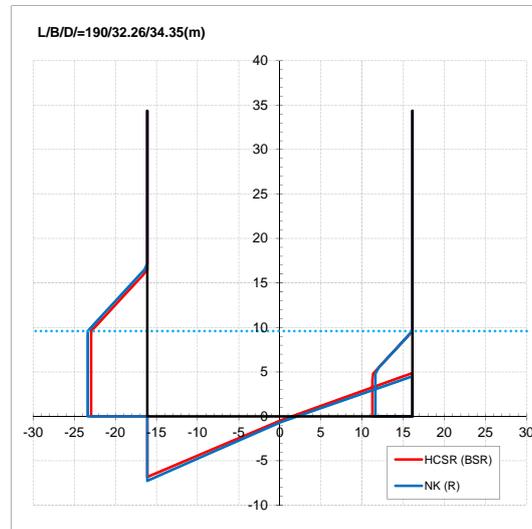


図 24 簡易算式による推定値（波浪変動圧(midship 位置)）の比較

図 24 より、前述した修正により HCSR(BSR)算式によっても同等の推定値となることが確認される。

以上により、HCSR(BSR)によっても妥当な構造応答の評価が実施できるものとする。

### 3 強度評価の方針

前 2.2 に記述したように、最新の技術的知見を反映した内容とするため、また、実務上の便宜を考慮した統一手順による強度評価の実施とするために、強度評価実施手順についても現行 HCSR を踏襲した設定とすることで、現在検討を進めている。その主要な特徴として以下 3 点を挙げる。

- ・ メッシュサイズの異なる 3 種類の FE モデルを用いた構造解析の実施（それぞれ、ロングスペース程度メッシュ、50\*50mm 程度詳細メッシュ、板厚程度極詳細メッシュ）
- ・ 降伏強度・疲労強度評価のそれぞれで詳細検討必要箇所の絞込み（スクリーニング）による 2 段階評価の実施
- ・ 累積被害度算出の諸条件（ホットスポット応力算出、設計 S-N 線図、平均応力状態の考慮等）は HCSR 手法に準拠

強度評価の実施案を図 25 に示す。

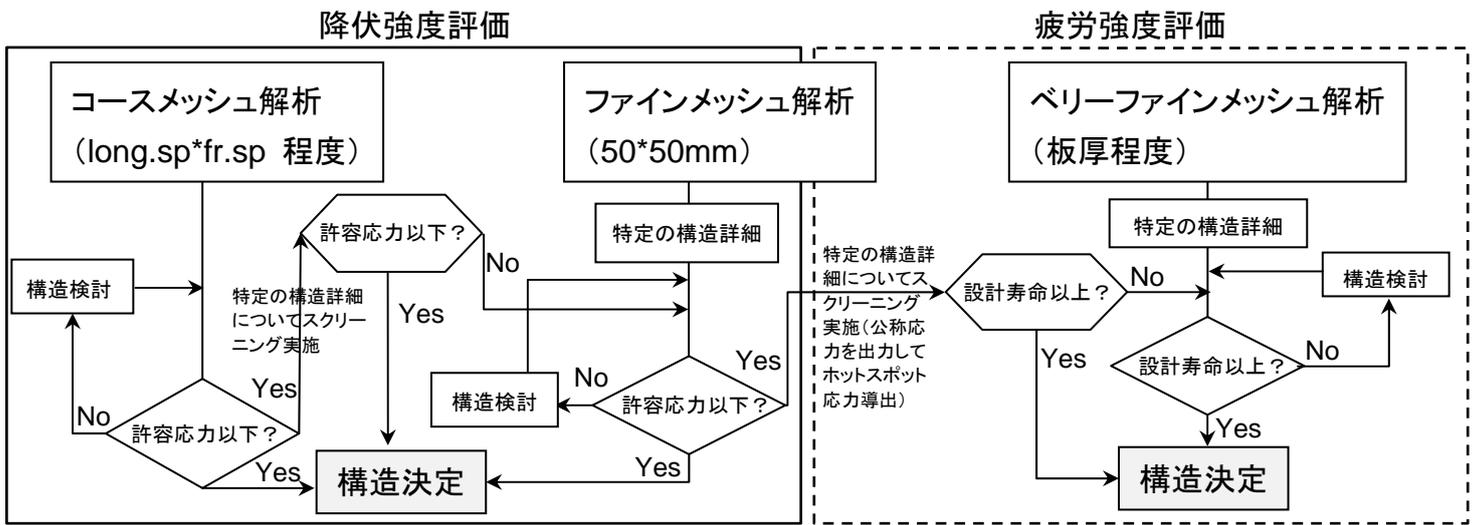


図 25 強度評価の実施案

#### 4 まとめ

自動車運搬船のラッキング強度評価のガイドラインの検討に関し、これまでの検討結果として、主に設計荷重に関する内容に焦点を当て、報告した。概略まとめると次の通り。

- 自動車運搬船のラッキング強度検討部材の応力に支配的となる荷重成分はロールであり、ロールによる設計規則波をベースとした設計荷重を設定することで、応力の長期予測値を実用的な精度で再現可能である。
- 上記設計荷重の妥当性は、本会コンテナ運搬船に規定された設計荷重をベースとした検討により確認したものであるが、HCSR に規定された設計規則波によってもロールおよび波浪変動圧の応答を同等に評価できることから、HCSR 荷重によっても妥当な評価の実施が可能である。

最新の技術的知見の反映、および実務上の便宜を考慮した評価の実施とするため、今後は HCSR 荷重をガイドライン標準とし、下記項目について検討を進める予定である。

- 就航実績を考慮した強度評価クライテリアの設定
  - 詳細検討が必要な構造詳細の絞込み手順の検討
- これら検討を経て、今夏のガイドライン一般公開を予定している。

#### 参考文献

- 1) 真能 創, 上野洋純: 波浪に対する各種船体応答の長期分布の近似推定法その応用, 日本造船学会論文集, 第 132 号, 235-247, 1972
- 2) 日本海事協会: 船体構造強度評価のための技術指針, 1999
- 3) 福田淳一: 船体応答の統計的予測, 耐航性に関するシンポジウムテキスト 第 3 章, 日本造船学会, 1969
- 4) Tingyao Zhu, Toshiyuki Shigemi: Design Loads Used for Direct Strength Assessment of Merchant Ship Structures, ClassNK technical bulletin 23, 51-64, 2005-12

以上

# 2014 ClassNK 春季技術セミナー

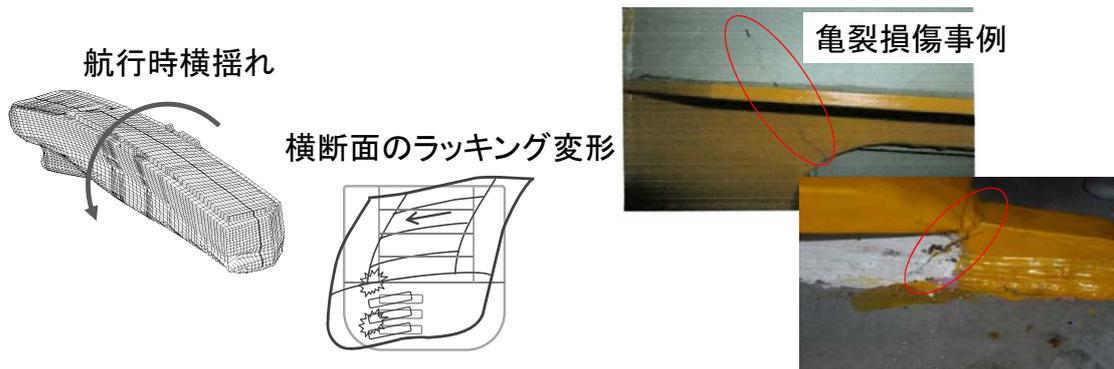
## 自動車運搬船のラッキング強度評価 ガイドライン

### 目次

1. 研究の背景
2. 設計荷重の検討
3. 強度評価の方針
4. まとめ

- ラッキング変形による部分隔壁(P.BHD)周辺の亀裂損傷  
⇒横隔壁の簡略化に伴う剛性低下により, 横揺れ時に横断面にせん断変形(ラッキング変形)
- 新構造様式PCC(オーバーパーナマックスタイプ, バルクヘッドレスタイプ)の登場

⇨ ラッキング強度を合理的に評価できる設計指針の必要性



3

1. 研究の背景
2. 設計荷重の検討
3. 強度評価の方針
4. まとめ

4

## 2.設計荷重の検討 (設計荷重の概要)

- 実用性を考慮した設定
    - 応力の応答関数による長期予測値を再現する設計規則波
    - 簡易算式により設計荷重を推定
  - 設計荷重の検討
    - 支配的荷重成分を特定し、その応答が最大となる設計規則波について検討
    - PCCラッキング変形＝航行時横揺れ(ロール)による変動荷重に対する構造応答
- ⇒ ロール最大となる設計規則波を設定

## 2.設計荷重の検討 (検討の概要)

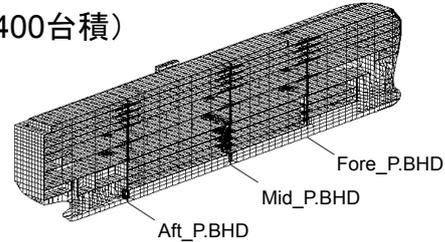
- NKコンテナ運搬船構造強度ガイドライン-設計条件R(NK(R))<sup>(\*)1</sup>  
⇒従来からの検討手法を踏襲
    - (1) 支配的荷重成分の特定
    - (2) 設計荷重簡易推定手法の検討
    - (3) 設計荷重の妥当性確認
- (\*)1)2011年9月改訂前旧版にて取扱い
- IACS HCSR<sup>(\*)2</sup> -BSR load cases (HCSR(BSR))  
⇒NK(R)との比較による検討
- ⇒
- 最新の技術的知見の反映
  - 実務上の便宜を考慮した統一手順による評価の実施
- (\*)2)(バルクキャリア, 油タンカー用共通構造規則)

## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (1) 支配的荷重成分の特定)

### ➤ 規則波中構造解析の概要

- 検討対象船

$L_{pp}/B/D/d_s=192/32.26/34.52/9.7(\text{m})$ (6400台積)



- 解析条件

積付:満載積付 船速:計画速力

波長: $(L/\lambda)^{1/2} = 0.2\sim 1.4$ まで0.1刻み(1.45まで実施)

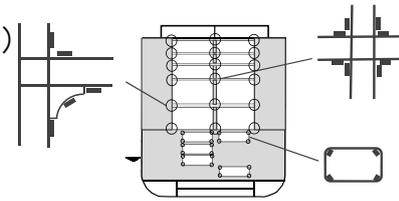
波向き: $\chi=0^\circ \sim 330^\circ$ まで30° 刻み

荷重:線形ストリップ法

構造解析:一周期を12等分した時刻歴解析

短期予測:波スペクトル-ISSC-1964, 方向性分布 $-\cos^2$ 分布

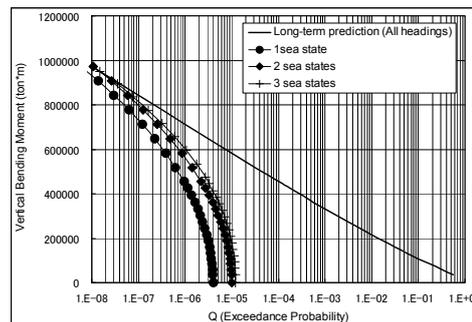
長期予測:IACS WAVE Diagram(北大西洋)



## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (1) 支配的荷重成分の特定)

### ➤ 設計海象の絞込み(応力の応答関数を用いた検討)

- 短期予測と長期予測の関係

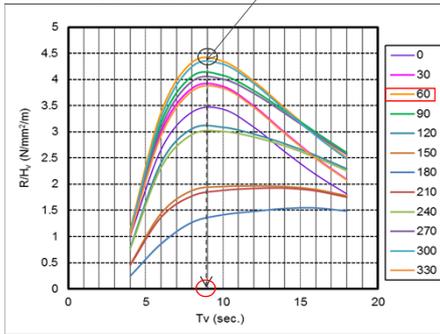


⇒ $Q=10^{-8}$ 程度の超過確率を対象とする場合, 特定の海象(応答最大)における検討により精度の良い評価が可能

## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (1) 支配的荷重成分の特定)

- 設計海象の絞込み(応力の応答関数による検討)
  - 標準偏差最大時平均波周期( $T_v$ ), 出合角( $\chi$ )の選定

標準偏差最大点  
応力の標準偏差 ( $T_v = 9.0$ (秒),  $\chi = 60^\circ$ )



絞込み結果

$T_v \backslash \chi$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
0																
30																
60						18	4									22
90						3										3
120																
150																
180																
210																
240																
270							3									3
300						17	1									18
330																
Total						41	5									46

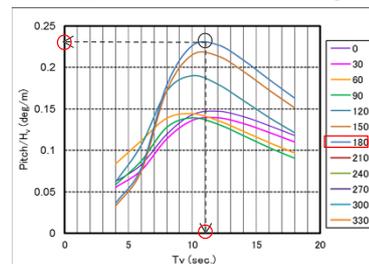
⇒ ラッキング強度に支配的な短期海象を特定 ( $T_v = 9.0$ (秒),  $\chi = 60^\circ$ )

## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (1) 支配的荷重成分の特定)

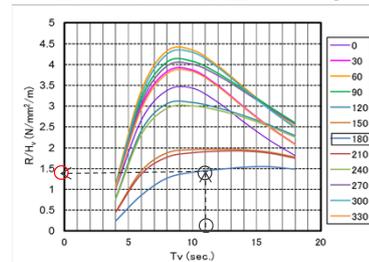
- 短期海象レベルでの支配的荷重成分の検討
  - 荷重の応答関数による設計海象の設定

- ① 各荷重成分毎に短期海象を設定
  - ② ①で設定した短期海象中における構造応答値( $a_i$ )の導出
  - ③ ②で求めた構造応答値( $a_i$ )と応力の長期予測値( $b_i$ )を比較
- Rate =  $(a_i)/(b_i) * 100$  (%)  
 ⇒ 比率が100%に近ければ支配的荷重成分として特定

荷重の標準偏差(手順①)



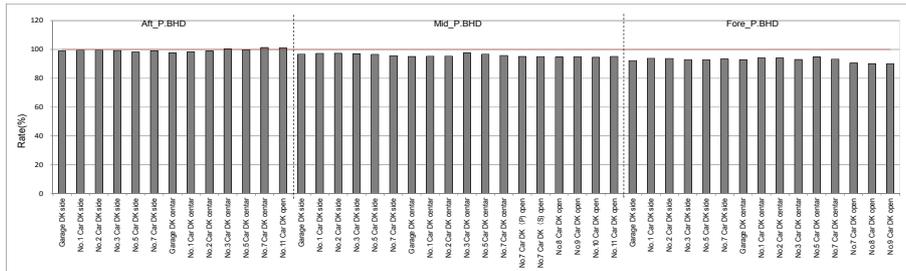
応力の標準偏差(手順②)



## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (1) 支配的荷重成分の特定)

### ➤ 短期海象レベルでの支配的荷重成分の検討

- 船体運動, 加速度, 波浪断面力, 波浪変動圧より全31荷重成分について検討実施
- 検討結果(ロールによる短期海象における比率)



⇒ ロールの応答が最大となる短期海象の設定により, 評価対象箇所の応力の長期予測値が再現可能 ⇒ 支配的荷重成分=ロール

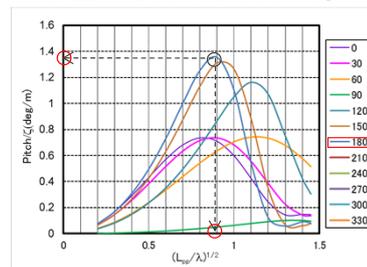
## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (1) 支配的荷重成分の特定)

### ➤ 規則波レベルでの支配的荷重成分の検討

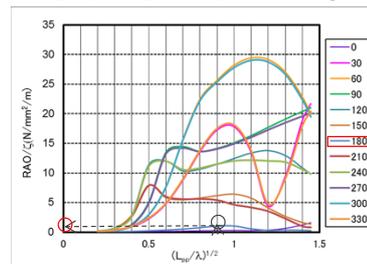
- 規則波による設計波の設定

- ① 各荷重成分毎に規則波を設定
- ② ①で設定した規則波中における構造応答値(a<sub>i</sub>)の導出
- ③ ②で求めた構造応答値(a<sub>i</sub>)と応力の長期予測値(b<sub>i</sub>)を比較  
Rate=(a<sub>i</sub>)/(b<sub>i</sub>)\*100 (%)  
⇒ 比率が100%に近ければ支配的荷重成分として特定

荷重の応答関数(手順①)



応力の応答関数(手順②)





2.設計荷重の検討  
(NK(R) (2) 設計荷重簡易推定手法の検討)

➤ 直接荷重シリーズ計算(線形ストリップ法)の概要

• シリーズ計算対象船舶

No.	Lpp	B	D
1	100	21.0	19.7
2	112	20.5	17.3
3	133	24.0	23.4
4	142	21.0	17.4
5	156	26.4	24.8
6	166	32.0	22.1
7	180	32.2	30.6
8	190	32.3	34.4
9	196	35.8	37.7
10	196	38.0	38.1

• 解析条件

積付: 満載積付 船速: 計画速力

波長:  $(L/\lambda)^{1/2} = 0.1 \sim 2.0$ まで0.1刻み

波向き:  $\chi = 0^\circ \sim 330^\circ$ まで30° 刻み

短期予測: 波スペクトル-ISSC-1964, 方向性分布-cos<sup>2</sup>分布

長期予測: IACS WAVE Diagram(北大西洋)

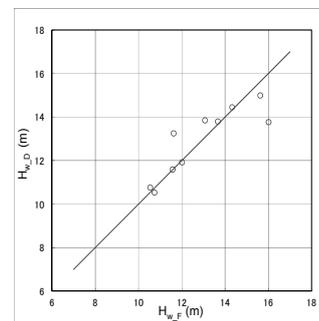
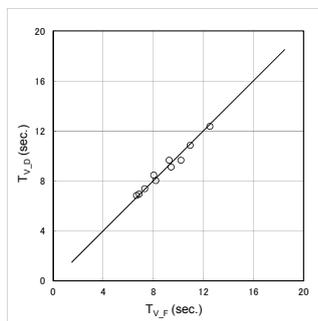
2.設計荷重の検討  
(NK(R) (2) 設計荷重簡易推定手法の検討)

➤ 設計海象の設定

⇒ロールに対し, 標準偏差最大時を検討

- 波向き( $\chi$ )
- 平均波周期( $T_V$ )
- 有義波高( $H_W$ )

No.	Lpp	$\chi$
1	100	60
2	112	60
3	133	30
4	142	60
5	156	60
6	166	60
7	180	60
8	190	60
9	196	60
10	196	60



縦軸: 標準偏差最大時の値(直接荷重解析)  
横軸: 算式による値

⇒ 簡易算式の適用により設計海象を設定

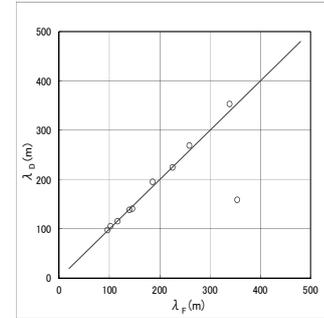
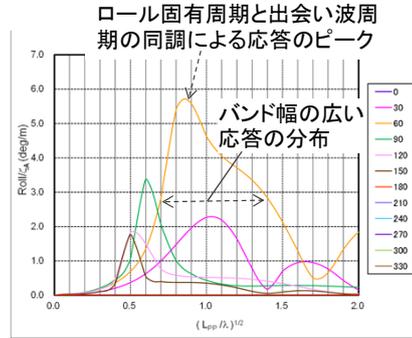
## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (2) 設計荷重簡易推定手法の検討)

### ➤ 設計規則波の設定

⇒ロールに対し、応答関数最大時を検討

- 波向き( $\chi$ )

No.	Lpp	$\chi$
1	100	60
2	112	60
3	133	30
4	142	60
5	156	60
6	166	60
7	180	60
8	190	60
9	196	60
10	196	60



縦軸: 応答関数最大時の値 (直接荷重解析)  
横軸: 算式による値

↓  
満載積付時 PCCでは、GM小のためロール固有周期が長い  
⇒応答の同調条件:  $\chi=60^\circ$

## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (2) 設計荷重簡易推定手法の検討)

### ➤ 設計規則波の設定

- 規則波高( $H_R$ )

#### $C_4$ (規則波高への修正係数)の検討

短期海象中最大応答値 ⇔ 設計規則波中応答値  
規則波高( $H_R$ )の設定:

$$H_R = C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot H_{\max}, \quad H_{\max} = C_1 \cdot H_w \quad \text{①}$$

短期海象中と規則波中の最大応答値の関係:

$$RAO \cdot H_R = C_1 \cdot 2.002R \cdot H_w \quad \text{②}$$

係数 $C_4$ の設定(①, ②より):

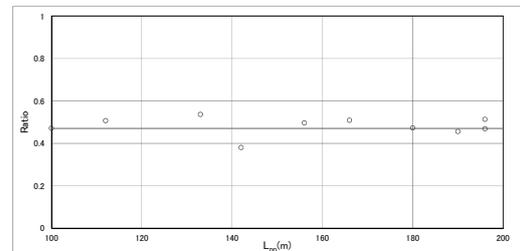
$$C_4 = \frac{2.002R}{RAO}$$

検討結果:

$$C_4 = 0.47$$

⇒応答のバンド幅の広いPCCに対する設定

⇒簡易算式の適用により設計規則波を設定



$C_1$ : 有義波高( $H_w$ )と短期海象中最大波高( $H_{\max}$ )との比, 1.9

RAO: 規則波中の応答関数

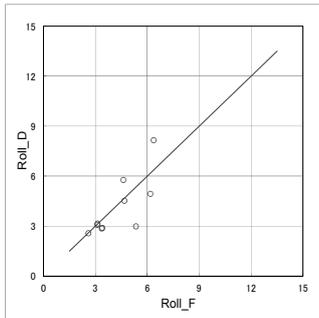
2.002R: 単位有義波高あたりの応答の有義値

## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (2) 設計荷重簡易推定手法の検討)

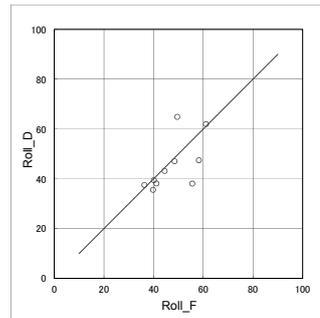
### ➤ 船体運動(ロール角( $\phi$ ))

長期予測値 = 規則波高あたり応答(RAO) × 規則波高( $H_R$ )

- 規則波高あたり応答(RAO)
- 長期予測値( $Q=10^{-8}$ , All Headings)



縦軸: 応答関数最大時の値(直接荷重解析)  
横軸: 算式による値



縦軸: 長期予測値(直接荷重解析)  
横軸: 算式による値( $C_5, C_6$ を控除)

⇒ 長期予測値を実用的なレベルで推定可能

## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (2) 設計荷重簡易推定手法の検討)

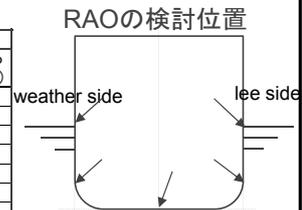
### ➤ 波浪変動圧( $P_R$ )

長期予測値 = 規則波高あたり応答(RAO) × 規則波高( $H_R$ )

- 規則波高あたり応答(RAO)

喫水線位置, ビルジ部上端, 船底中央部について検討(midship位置)

No.	Lpp	weather side				center bottom				lee side						
		Pwl-D	Pwl-F	Ratio (D/F)	Pbk-D	Pbk-F	Ratio (D/F)	Pcl-D	Pcl-F	Ratio (D/F)	Pbk-D	Pbk-F	Ratio (D/F)	Pwl-D	Pwl-F	Ratio (D/F)
1	100	0.94	1.12	0.84	0.91	1.12	0.81	0.02	0.10	0.20	-0.81	-0.72	1.11	-0.71	-0.72	0.99
2	112	0.53	0.75	0.71	0.50	0.75	0.67	0.02	0.10	0.23	-0.37	-0.35	1.06	-0.30	-0.35	0.87
3	133	1.04	0.86	1.21	1.02	0.86	1.18	0.14	0.10	1.43	-0.45	-0.46	0.98	-0.40	-0.46	0.86
4	142	1.57	1.73	0.91	1.56	1.73	0.90	0.10	0.10	1.04	-1.16	-1.33	0.88	-1.04	-1.33	0.79
5	156	1.32	1.56	0.84	1.12	1.56	0.72	0.04	0.10	0.37	-0.97	-1.16	0.83	-1.02	-1.16	0.88
6	166	0.83	1.02	0.82	0.81	1.02	0.79	-0.02	0.10	-0.21	-0.78	-0.62	1.27	-0.76	-0.62	1.22
7	180	1.40	1.50	0.93	1.11	1.50	0.74	0.07	0.10	0.65	-0.89	-1.10	0.81	-0.96	-1.10	0.87
8	190	0.90	1.11	0.81	0.89	1.11	0.80	0.01	0.10	0.10	-0.73	-0.71	1.03	-0.71	-0.71	1.00
9	196	0.80	1.02	0.79	0.80	1.02	0.78	-0.01	0.10	-0.10	-0.68	-0.62	1.10	-0.67	-0.62	1.08
		average	0.87		average	0.82		average	0.41		average	1.01		average	0.95	
		stdev	0.144		stdev	0.151		stdev	0.537		stdev	0.149		stdev	0.137	



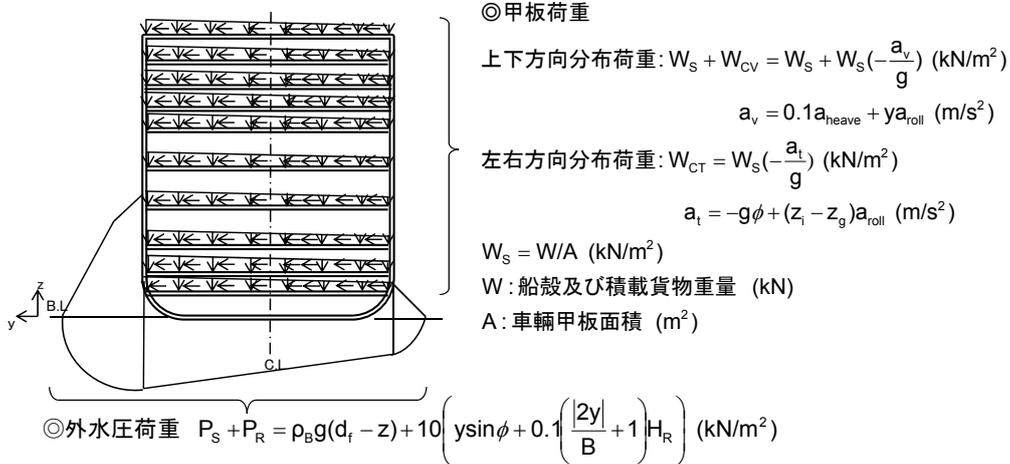
-D: ロール最大時の応答関数 (直接荷重解析)  
-F: 算式による値

- ⇒ 実用的なレベルで波浪変動圧RAOの推定が可能
- ヒープによる加速度の寄与(船底中央部応答)は相対的に小さい
- ※長期予測値については一つの規則波条件下では推定できないため検討を省略

## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (2) 設計荷重簡易推定手法の検討)

### ➤ 設計荷重の設定

- midship位置荷重図



※全船FE解析を標準とし、波浪変動圧は実用性を考慮して船長方向に一様分布として設定

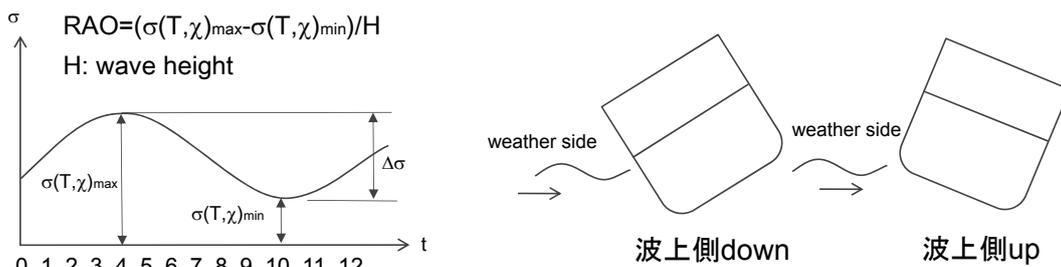
## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (3) 設計荷重の妥当性確認)

### ➤ 直接詳細解析(規則波中構造解析)との比較

- 検討の概要

	直接詳細解析	簡易算式による解析
荷重	直接荷重解析(線形ストリップ法)	簡易算式による設計荷重(C <sub>5</sub> , C <sub>6</sub> を控除)
解析(全船FE)	一周期を12等分した時刻歴解析	設計荷重(簡易算式)による静的解析
比較対象	応力応答関数を用いた長期予測値	波上側down, upの解析ケースによる応力差
その他	直接荷重解析および統計解析における設定条件は2(1)の検討と同様	—

応力の応答関数の導出(直接詳細解析)    簡易算式(設計荷重)による解析ケース

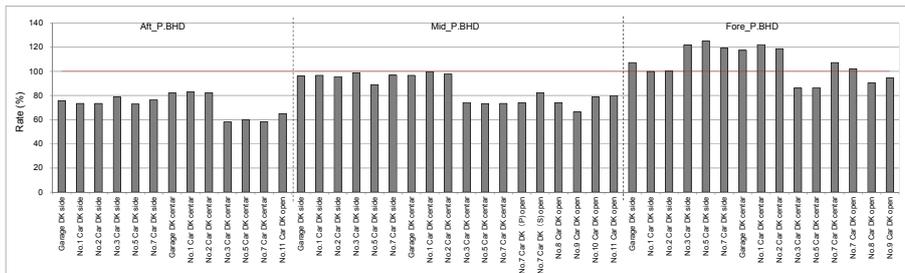


## 2.設計荷重の検討 (NK(R) (3) 設計荷重の妥当性確認)

### ➤ 直接詳細解析(規則波中構造解析)との比較

#### • 検討結果

$$\text{Rate} = (\text{簡易算式による解析}) / (\text{直接詳細解析}) * 100\%$$



⇒ 簡易算式による設計荷重により応力の長期予測値を実用的な精度で再現可能

## 2.設計荷重の検討 (HCSR (BSR)の適用)

### ➤ 船体運動(ロール角)

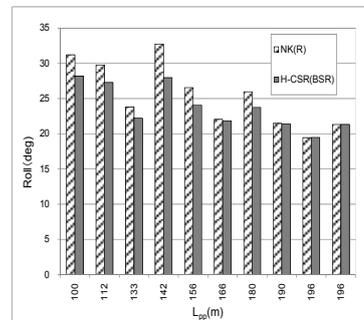
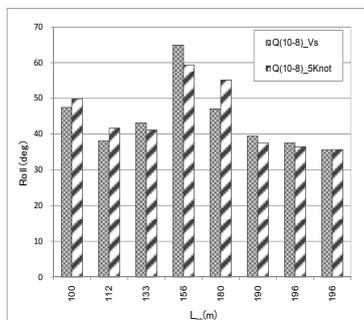
⇒ NK(R)との比較による検討

#### • 船速影響の検討

NK: 計画速度( $V_S$ ) HCSR: 5Knot

⇒ 直接荷重解析による長期予測値を比較

#### • 簡易算式の比較

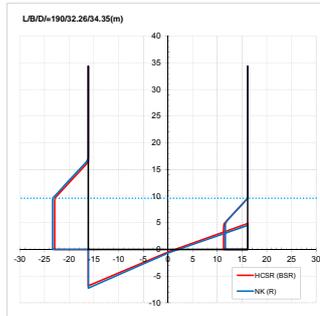


⇒ ロール角応答に関し, HCSR算式によっても同等の評価が可能

➤ 波浪変動圧

⇒NK(R)との比較による検討

- 簡易算式の比較



※PCCへの適用に際する修正

① 荒天中の操船対応を想定した修正係数( $f_\beta$ )

② ヒープによる加速度の変動圧成分

⇒本荷重成分の寄与は相対的に小さい(NK(R)の検討より)

$$P_{BSR} = f_\beta f_{nl} \left( 10y \sin \theta + 0.88 f_{ps} C_w \sqrt{\frac{L + \lambda - 125}{L}} (f_{yB1} + 1) \right) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

① 0.8 ⇒ 1.0

② 0.88 ⇒ 0.29

⇨ HCSR(BSR) による設計荷重によっても妥当な構造応答の評価が可能

1. 研究の背景
2. 設計荷重の検討
3. 強度評価の方針
4. まとめ

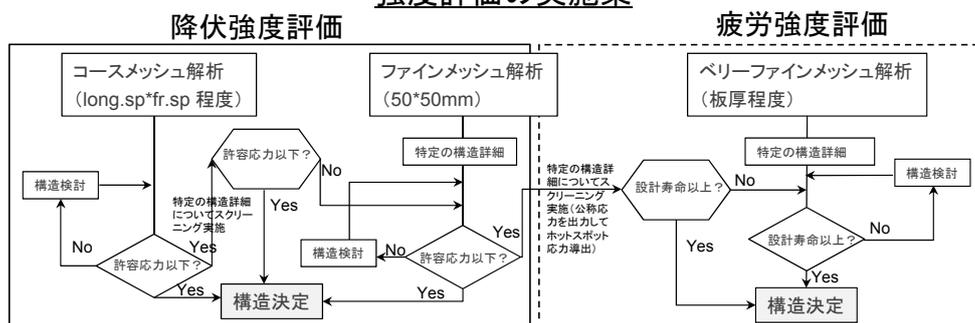
### 3.強度評価の方針

#### ➤ 現行HCSRを踏襲した設定

⇒最新の技術的知見の反映, および実務上の便宜を考慮した統一手順による評価実施

- メッシュサイズの異なる3種類のFEモデルを用いた構造解析の実施
- 降伏・疲労強度評価のそれぞれでスクリーニングによる2段階評価の実施
- 累積被害度の算出はHCSRに準拠(ホットスポット応力導出, 設計S-N線図, 平均応力状態の考慮etc..)

#### 強度評価の実施案



### 目次

1. 研究の背景
2. 設計荷重の検討
3. 強度評価の方針
4. まとめ

### ➤ これまでの検討結果

- ロールを支配的荷重とする設計規則波の設定により, ラッキング強度検討箇所の応力の長期予測値を実用的な精度で再現可能(NK(R)による検討より)
- HCSR(BSR)をベースとした設計荷重によっても妥当な評価が可能

⇒ HCSR(BSR)をベースとした設計荷重をガイドライン標準とする

⇒最新の技術的知見の反映, および実務上の便宜を考慮

### ➤ 今後の方針

- 就航実績に基づく検討により妥当なクライテリアを設定
- 詳細検討の必要な構造詳細箇所の絞込み手順(スクリーニング)の確立
- 今夏の一般公開を予定