

ダブルハルトンカーの強度評価に用いる設計荷重について

技術研究所 朱 庭耀、重見利幸

1. はじめに

NKでは、ダブルハルトンカーの主要構造部材の実用的強度評価手法として新たに「直接強度計算ガイドライン」を開発し、2001年11月に公表している。ガイドラインは、1999年末に公表された「船体構造強度評価のための技術指針」⁽¹⁾の基本的な考え方にに基づき、更なる研究を進め実用化された直接強度計算による降伏強度及び座屈強度並びに最終強度評価のためのガイドラインである。本文ではガイドラインのために新たに開発した主要構造部材の強度評価に用いる設計荷重の概要を中心に紹介する。

2. ガイドラインの設計荷重の概要

ガイドラインの作成に際しては、強度評価に必要な設計荷重、構造解析及び評価基準並びに腐食の考慮法について単にそれぞれの精度を向上させるだけではなく、それらの基準またはそれらの背景に対して透明性(transparency)及び説明性(accountability)を持たせることを心掛けて開発した。

特に設計荷重については、これまで船級協会規則としてあまり明確にされていなかった船舶の設計海象や設計規則波などの設計条件をガイドライン上に明示することで、荷重の長期予測値と設計荷重の関係あるいは応力の長期予測値と強度評価に用いる参照応力の関係を明確にした。さらに、水槽実験や理論解析により大波高波浪中の波高による非線形現象の解明に取り組み、船舶が一生のうちに一度遭遇するかどうかというような非常に厳しい海象において船舶が受けるであろう荷重の推定精度も向上させた。

考慮する波浪荷重としては、現行規定で規定している縦波の山、谷に相当する波浪変動圧に加え、ガイドラインでは、さらに横波を受ける状態での波浪変動圧を考慮すると共に船体加速度により生じる貨物やバラストなど慣性力も考慮できるものとした。

これらにより、明確化された設計条件の下で、直接荷重解析や簡易算式など解析レベルに応じた設計荷重の設定手法を設計者が選択の上、実現象に即した荷重を設計荷重として設定することが可能となる。

参考までに現行の直接強度計算規則に用いる設計荷重との比較を表2.1に示す。

3. ガイドラインによる設計荷重設定手順

本ガイドラインによる設計荷重の設定手順を以下に示す。また、強度評価を行う場合の手順を構造解析、強度評価も含め図3.1に示す。

3.1 積付状態の設定

検討すべき船舶の状態は航海状態及び水圧試験状態とし、航海状態に対しては予め設定されている標準積付状態の中から降伏強度及び座屈強度上厳しいと考えられる積付状態を選定する。

表 2.1 現行規則とガイドラインの比較

項目		現行規則	ガイドライン	
設計条件	設計海象	-	($H_{1/3}, T_{01},$)	
	設計規則波	-	($H, ,$)	
設計荷重	船体運動・加速度		(ピッチ、ロール、ヒープ)	
	静水中荷重	静水圧		
		貨物等の静圧		(蒸気圧を含む)
	波浪中荷重	波浪変動圧	(縦波のみ)	(縦波 + 横波)
		貨物等の慣性力	(h 算式)	(質量 × 加速度)
	ハルガーダモーメント		(強度評価時に考慮)	(解析結果に重合)
	荷重成分の同時性の考慮		-	
直接荷重解析手法		- (DATA ガイダンス)		

注) : 簡易算式を用いて考慮できる。
 : 簡易算式を用いて部分的に考慮できる。
 - : 考慮しない、あるいは、考慮を省略している。

3.2 設計条件の設定

航海状態として選定された積付条件毎に、船体構造に対して最も大きな影響を与える複数の短期海象を船の長さや喫水などの基本パラメータを用いて算出し、設計海象として設定する。さらに設定された設計海象下で生じるであろう構造応答値と同等の応答を生じさせるような設計規則波を簡易算式により設定する。

3.3 設計荷重の設定

積付状態毎に設定された設計規則波条件下で船体構造に加わる静水中荷重及び波浪中荷重を設計荷重として設定する。波浪中荷重は、波浪変動圧及び貨物、バラストなどの慣性力とし、簡易算式により算出する。なお、設計荷重は、前 3.2 にて設定された設計海象あるいは設計規則波条件に基づきストリップ法などの直接荷重解析により個船ごとに直接設定することも可能である。

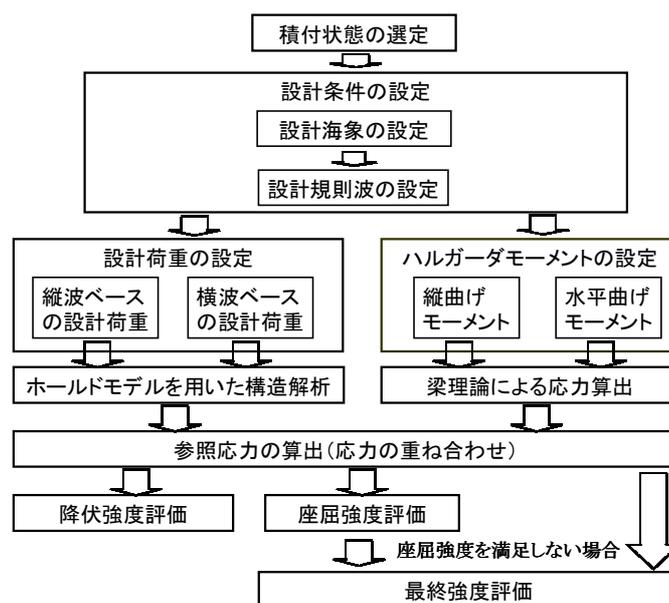


図 3.1 強度評価手順

4. 設計条件

4.1 基本的考え方（短期海象と長期予測の関係）

長期予測により船の一生の内数度経験するかどうかといった極値を推定する場合、そのような事象は、滅多に起こらない海象ではあるがその条件下での船体応答が大きい海象において生じる²⁾と考えられる。

ある船の縦曲げモーメントに対して超過確率 10^{-8} レベルの応答の長期分布における短期海象の寄与率を図 4.1 に示す。有義波高、平均波周期をそれぞれ縦、横軸にとり、各有義波高、平均波周期の組合せに対応した寄与率を高さ軸にとしている。この図から、非常に低い超過確率に寄与する短期の海象の数は非常に限られたものであることが分かる。

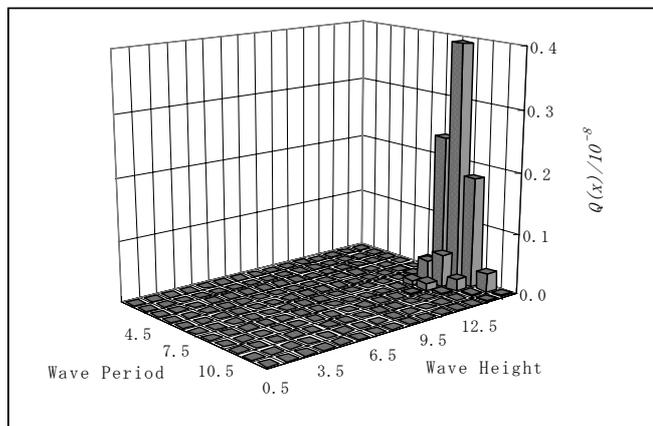


図 4.1 超過確率 10^{-8} レベルの応答の長期分布における短期海象の寄与率

このような極大値に寄与する限られた短期海象での応答値と長期予測結果との関係を図 4.2 に示す。同図中の黒丸は長期

予測結果を示し、実線、破線及び点線は夫々最も寄与する一つの海象、二つの海象及び三つの海象における長期超過確率と対応する応答値の関係を示している。

このように、船の一生に数度起こるか起こらないかといった超過確率の小さい範囲では、応答の最大、すなわち応答値の標準偏差が最大となる海象しか長期予測値に対して有意な値をもたないという統計的性質を利用して長期予測値を生じさせる特定の短期海象を設定し、設定した短期海象下での構造解析、強度評価を実施することにより、精度の良い評価が可能であることがわかる。

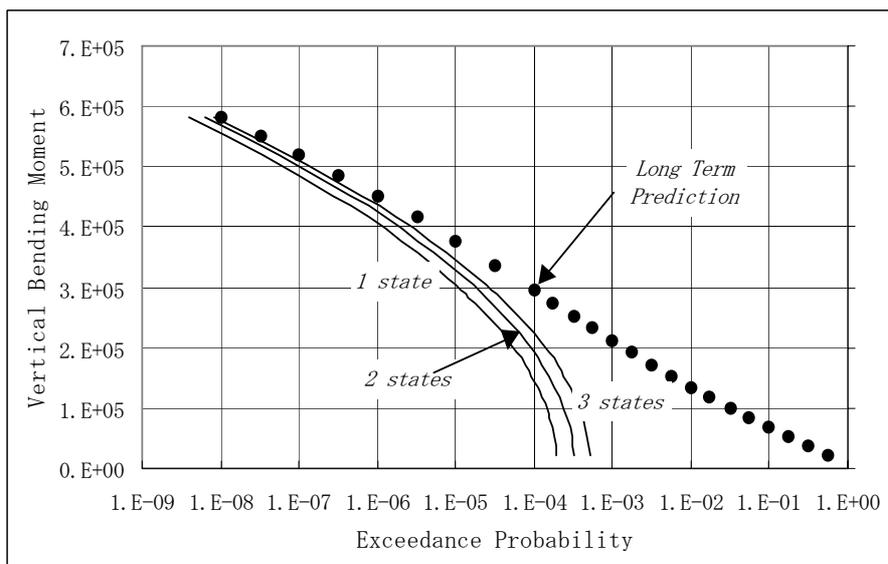


図 4.2 長期予測結果と代表海象の短期分布の関係

4.2. 設計条件の概要

ガイドラインでは、ダブルハルタンカーの主要構造部材に対して強度的に支配的な短期海象及び規則波を設計条件（設計海象及び設計規則波）として設定している。設計条件は、直接荷重解析及び統計解析などの解析を実施することなく、それらを実施して設定される設計条件と同等の設計条件をパラメトリック化した簡易推定算式にて与えることにより、実用性を向上させた基準としている。また、設計条件を明示することにより、直接荷重解析を用いたより高度な強度評価も可能な基準としている。設計条件の特徴を以下に示す。

(1) 設計条件は、従来の長期予測手法を踏襲し、長期予測値を再現するような最小限の設計海象及び設計規則波をベースとする。ここで、長期予測値を再現するとは、各設計条件による構造応答値の内、いずれか最大の値が、主要構造部材について応力の応答関数を用いて求められた長期予測値を包絡することをいう。設計条件は以下の通り。

（縦波ベースの設計条件）

縦曲げモーメントが最大となる設計条件（向波状態）

と同条件で変動内圧が最小となる設計条件（追波状態）

（横波ベースの設計条件）

ロールが最大となる設計条件（横波状態）

喫水線位置における波浪変動圧が最大となる設計条件（横波状態）

(2) 波浪条件は、約 10⁸ 回の波を考慮し、波浪テーブルは、BMT の北大西洋をベースに作成された IACS のデータを用いる。

(3) 設計時及び運航時の参考とできるように、設計荷重のベースとなる設計波条件と短期海象との関連付けを図る。

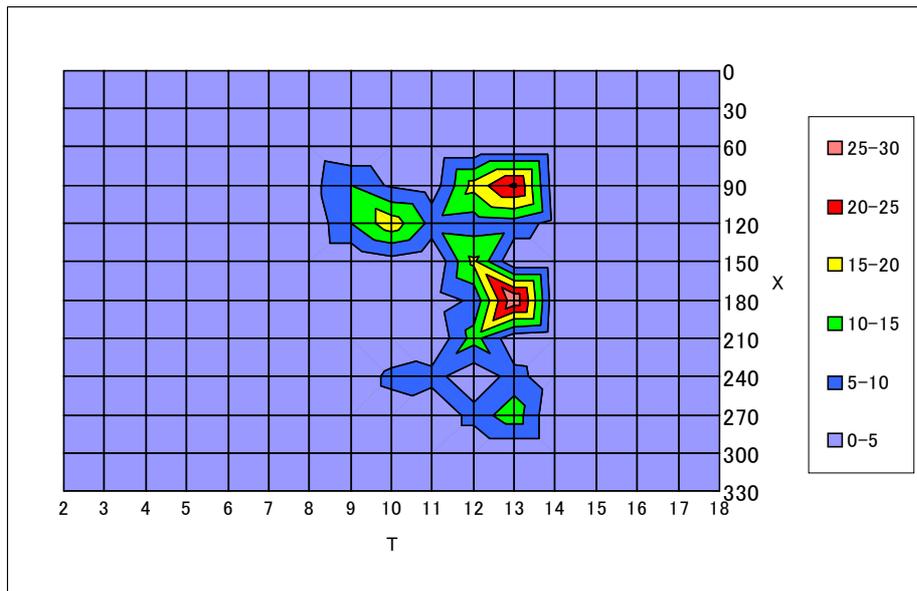
(4) 設計荷重を船舶が実際に遭遇し受けるであろう荷重に可能な限り近づけるため、3次元影響及び大波高波浪中の波高による非線形影響を考慮する。

4.3 設計海象

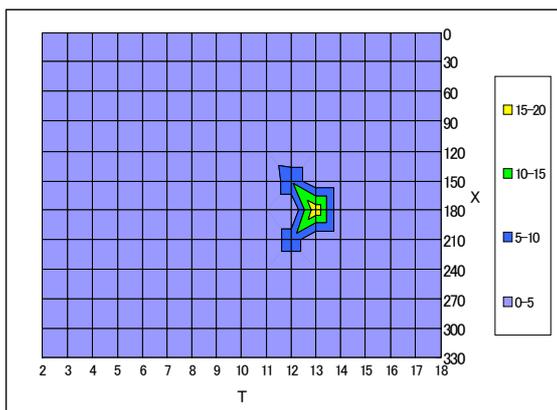
4.3.1 設計海象の絞り込み

代表的な構造部材の応力の応答関数を用いて、それらの部材に対して支配的な海象を計算した結果を図 4.3 に示す。試供船は図 4.4 に示すダブルハル VLCC (L=320m) であり、代表的な構造部材としては、図 4.5 に示すように強度的に厳しいと考えられる部材を船舶の全長にわたり予め選出している。図 4.3 の数値は、支配的な海象（平均波周期(T)と波との出会角()の組み合わせ）が一致する代表的な構造部材の合計数であり、数値が大きいほど、その平均波周期及び波との出会角が船体構造に対して支配的ということになる。

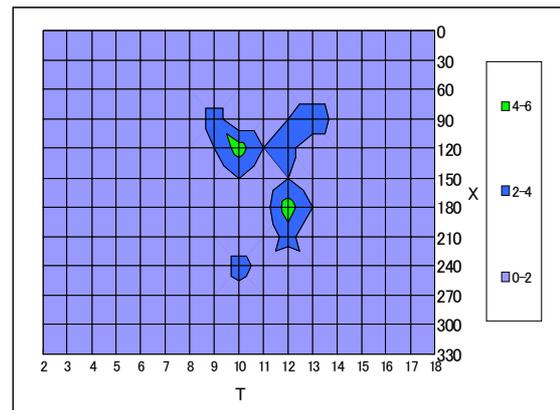
このような検討を種々の積付状態に対して実施し、応力レベルで船体構造に対して支配的な短期海象を絞り込んだ。さらに、応力レベルで絞り込んだ短期海象と荷重成分（船体運動、加速度、波浪変動圧、波浪断面力など、以下同様）に対して支配的な短期海象を対応付けることにより、構造強度に支配的な最小限の荷重成分を特定した。このように船体構造に対して支配的な荷重成分を特定することにより、構造解析を実施することなく実用的なレベルで設計海象を設定することが可能となる。



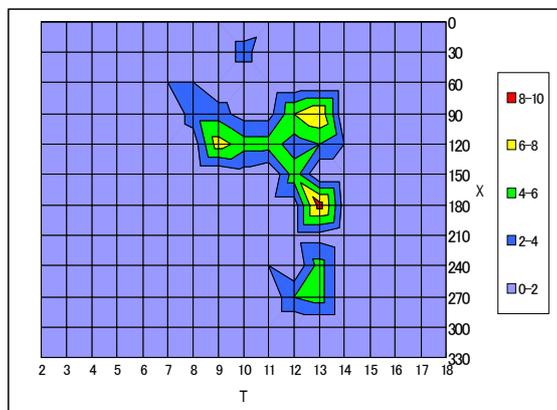
(a) すべての応力成分



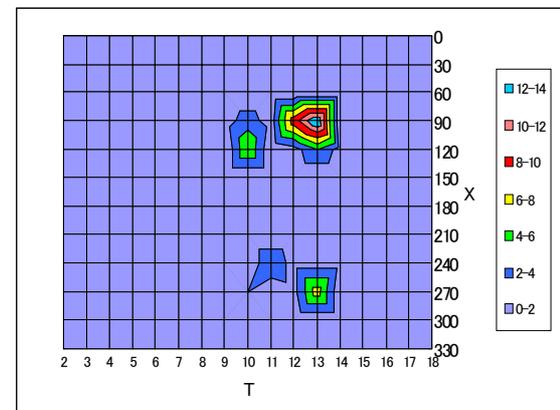
(b) 船長方向応力



(c) 船幅または船の深さ方向の応力



(d) せん断応力



(e) 軸応力

図 4.3 支配的気象の分布図 (満載状態)

荷重成分から設定される設計海象は以下のとおりである。

(縦波ベースの設計海象)

縦曲げモーメントが最大となる設計海象 (向波状態)

と同条件で変動内圧が最小となる設計海象 (追波状態)

(横波ベースの設計海象)

ロールが最大となる設計海象 (横波状態)

喫水線位置における波浪変動圧が最大となる設計海象 (横波状態)

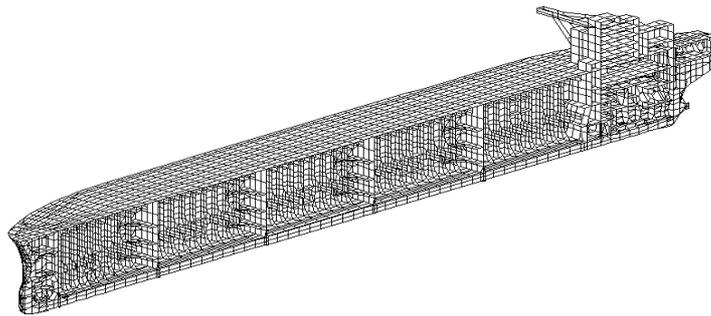


図 4.4 FEM モデル

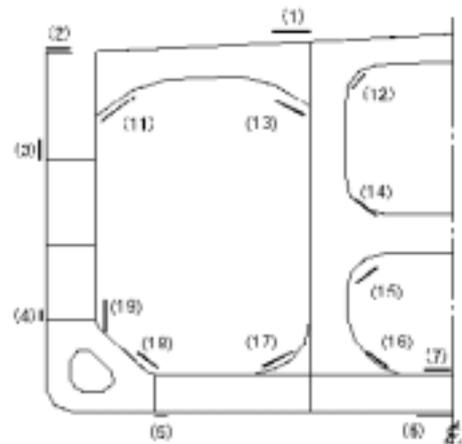


図 4.5 代表的断面の応力算出箇所

4.3.2 設計海象の簡略化

前 4.3.1 にて設定した支配的な荷重成分を用いて、設計海象の簡易推定手法を検討する。簡易推定手法の開発に当たっては、それぞれサイズの異なるタンカーを選択し、直接荷重解析によるシリーズ計算を行うことにより船舶の主要目を用いたパラメトリックな簡易算式を提案している。シリーズ計算には計 27 隻のタンカーを用いた。用いたタンカーの主要目を表 4.1 に示す。以降、設計荷重の簡易算式の作成に当たっても、すべて表 4.1 に示すタンカーを用いてシリーズ計算を実施している。

上記 4.3.1 の ~ の設計海象 (平均波周期、有義波高、波との出会角) の簡易算式を開発することにより、ストリップ法などの直接荷重解析を実施することなく容易に 10^{-8} レベルの長期予測値を生じさせる設計海象が設定できる。開発された設計海象の簡易算式を表 4.2 に示す。

ここに、例をとして、設計海象における有義波高の簡略化について簡単に説明する。

船体の各種応答の長期予測値 (a) (超過確率 $Q=10^{-8}$, All Headings) を 1000 波最大応答値として生じさせる場合、有義波高 (H_w) は次による。

$$H_w = \frac{a(Q=10^{-8})}{2 \times \text{単位有義波高あたりの標準偏差} \max(T_v, \chi) \times 1.9} \quad (m) \quad (4)$$

ここで、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。

上述した直接荷重解析によるシリーズ計算の結果から縦曲げモーメント (my)、喫水線における波浪変動圧 (pwl)、船底中央における波浪変動圧 (pcl) 及びロール (roll) についてそれぞれ積付状態ごとに

上記の算式により有義波高を求めた。結果を図 4.6 に示す。横軸は各荷重成分の応答関数が最大となる時の規則波の波長、縦軸は求められた有義波高を示す。

図 4.6 より、短波長域では若干のばらつきが見られるものの、求められた有義波高は一つの曲線上に集まっている。従って、支配的となる荷重成分毎に規則波中の応答関数が最大となる時の波長を定め、波長 - 有義波高の関係式に当て嵌めることにより、荷重成分の種類にかかわらず、また、船の長さや積付条件にも関わらず、有義波高を設定することが出来る。

表 4.1 シリーズ計算用タンカーの主要目一覧

	LPP	B	D	Cb	d	V
1	110.0	20.0	11.2	0.75	8.8	13.0
2	130.0	23.0	12.0	0.78	9.0	14.0
3	143.0	25.0	12.5	0.78	9.5	15.0
4	145.0	25.0	13.0	0.77	8.5	13.0
5	160.0	30.0	16.5	0.82	11.0	14.0
6	165.0	28.0	16.0	0.83	10.0	15.0
7	170.0	28.0	16.5	0.80	11.0	15.0
8	172.0	32.0	19.0	0.78	12.5	15.5
9	180.0	28.0	15.0	0.82	11.0	15.0
10	194.0	38.0	18.5	0.80	11.5	14.0
11	200.0	36.0	19.0	0.79	12.0	15.0
12	210.0	32.0	20.0	0.83	12.5	14.0
13	215.0	32.0	20.5	0.82	12.5	14.0
14	220.0	42.0	20.2	0.82	14.0	14.0
15	220.0	42.0	20.2	0.82	14.0	14.0
16	230.0	42.0	20.5	0.81	13.6	14.0
17	230.0	42.0	21.0	0.82	15.0	15.0
18	235.0	42.0	19.5	0.82	13.5	14.0
19	235.0	42.0	21.0	0.83	14.8	14.5
20	260.0	45.0	22.5	0.81	17.2	15.5
21	305.0	55.0	29.0	0.81	19.5	14.0
22	310.0	58.0	28.5	0.78	19.0	15.5
23	315.0	59.0	30.5	0.79	21.0	14.5
24	318.0	60.0	28.5	0.81	19.5	16.5
25	320.0	60.0	28.5	0.79	19.0	15.5
26	320.0	60.0	29.0	0.81	20.5	16.0
27	323.0	58.0	29.0	0.79	19.5	15.5

表 4.2 設計海象

設計条件	出会角(θ_j)	平均波周期 ($T_{01(j)}$)	最大波高 ($H_{\max(j)}$)
L-180	180 (deg.)	$T_{01(j)} = 0.85 \sqrt{\frac{2\pi\lambda_j}{g}} \text{ (s)}$	$H_{\max(j)} = C_3 \cdot H_{1/3(j)} \text{ (m)}$ $C_3 : 1.9$ $H_{1/3(j)} : \text{有義波高で次の算式による。}$ $H_{1/3(j)} = C_1 \cdot C_{2(j)} \text{ (m)}$ $C_1 \text{ および } C_{2(j)} \text{ は次の算式による。}$ $C_1 = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} \quad L \leq 300 \text{ m}$ $C_1 = 10.75 \quad 300 \text{ m} < L \leq 350 \text{ m}$ $C_1 = 10.75 - \left(\frac{L - 350}{150} \right)^{1.5} \quad 350 \text{ m} < L$ $C_{2(j)} = \sqrt{\frac{L + \lambda_j - 25}{L}}$
L-0	0 (deg.)		
R	90 (deg.)		
P	90 (deg.)		

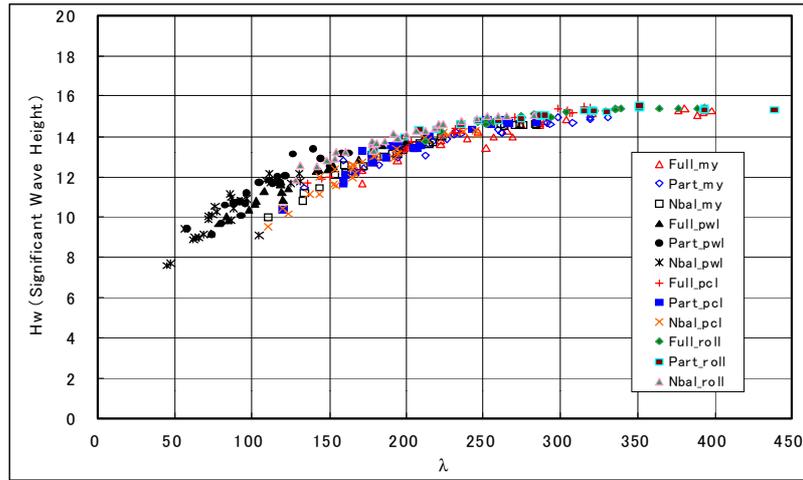


図 4.6 支配的荷重成分による設計海象の有義波高

表 4.2 に示す簡易算式により求めた有義波高 (HwF) と直接荷重解析結果を用いて求めた有義波高 (HwD) の比較を縦曲げモーメントを例に図 4.7(a)と(b)に示す。この内、(a)は横軸に波長とってまとめた図であり、(b)は有義波高の相関をまとめた図である。これらの図より有義波高の簡易算式は十分な精度を有していると考えられる。

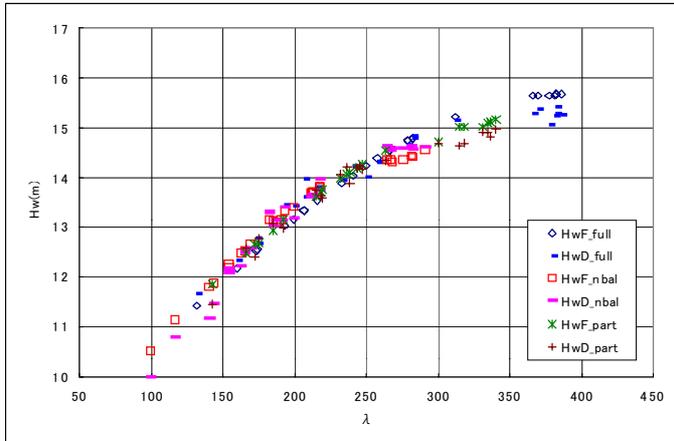


図 4.7(a) 有義波高比較 (縦曲げモーメント)

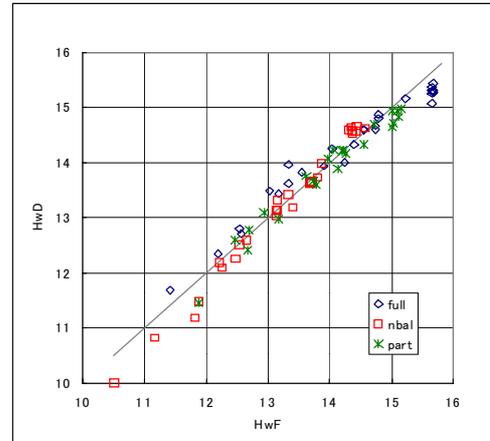


図 4.7(b) 有義波高相関 (縦曲げモーメント)

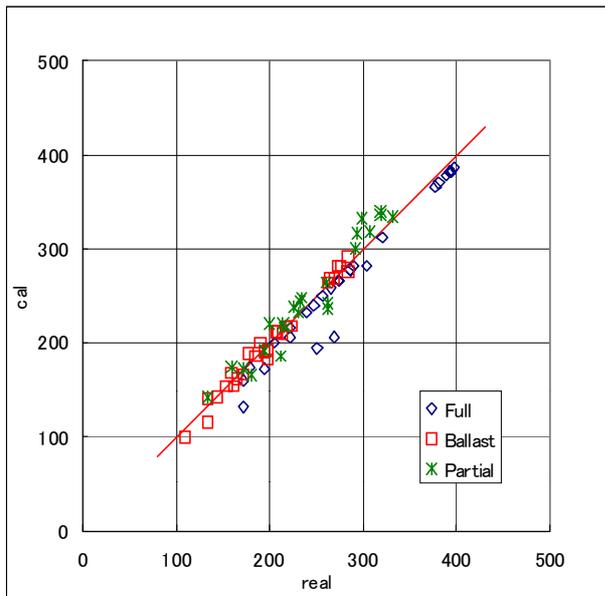
4.4 設計規則波

設計海象下における構造応答を求める際には、荷重成分間の位相が明確で、取り扱いの比較的容易な規則波を用いる。設計波として規則波を用いる場合には、設計条件下で発生する不規則波中の応答値と同等の応答値を発生させる規則波を設定する必要がある。設計規則波の簡易算式を表 4.3 に示す。表 4.3 に示す簡易算式により求めた波長と直接荷重計算結果を用いて求めた波長の比較例を縦曲げモーメントと喫水線における波浪変動圧についてそれぞれ図 4.8(a)と(b)に示す。図より設計規則波の波長の簡易算式は十分な精度を有していることが分かる。

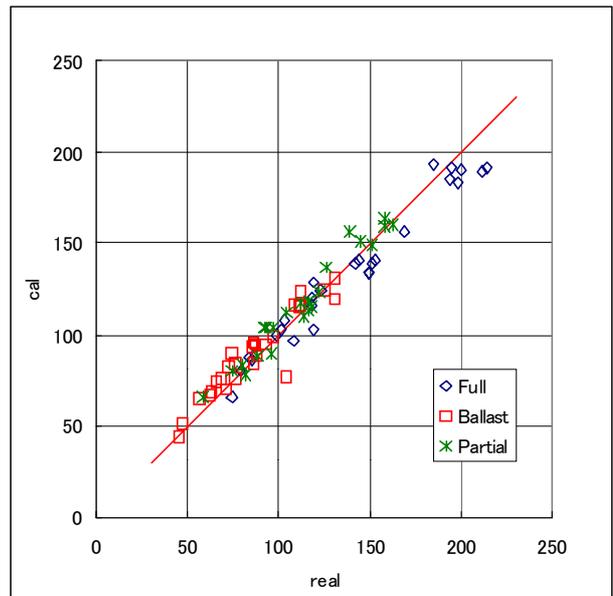
表 4.3 設計規則波

設計条件	出会角 (θ_j)	波長 (λ_j)	規則波高 (H_j)			
			C_4	C_5	C_6	
L-180	180 (deg.)	$\lambda_{L-180} = 0.6 \left(1 + \frac{d_i}{d_f} \right) L$ (m)	$H_j = C_4 \cdot C_5 \cdot C_6 \cdot H_{\max(j)}$ C_4 : 規則波高への修正係数 C_5 : 非線形影響及び3次元影響の修正係数 C_6 : 弾性設計用の修正係数	0.65	0.9	0.67
L-0	0 (deg.)	$\lambda_{L-0} = 0.6 \left(1 + \frac{2}{3} \frac{d_i}{d_f} \right) L$ (m)				
R	90 (deg.)	$\lambda_R = \frac{g}{2\pi} T_R^2$ (m)		0.42	0.8	
P	90 (deg.)	$\lambda_P = \left(0.2 + 0.4 \frac{d_i}{d_f} \right) L$ (m)		0.70	0.7	

$T_R = C \frac{2K_{xx}}{\sqrt{GM}}$ (s)
 $C = 1.15$
 K_{xx} : 縦軸回りの環動半径 (m)で、積付状態に応じて次のとおりである。
 $K_{xx} = 0.35B$... 満載積付状態の場合
 $= 0.40B$... バラスト状態及び部分積付状態の場合
 GM : メタセンタ高さ (m)



(a) 縦曲げモーメント



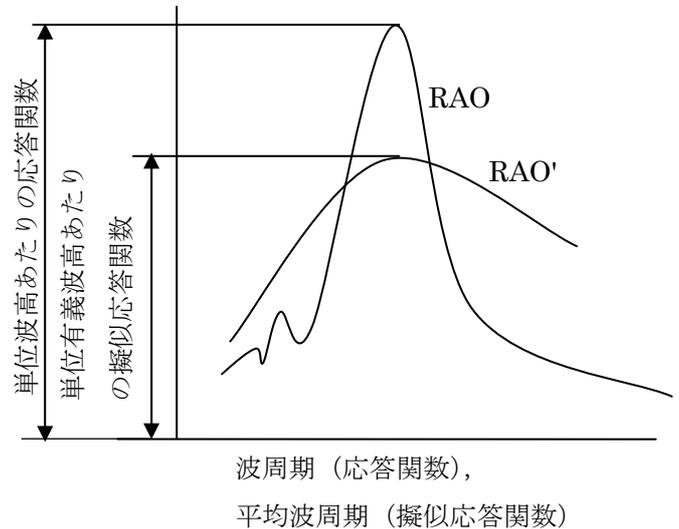
(b) 喫水線における波浪変動圧

図 4.8 設計規則波の波長の比較

ここで、規則波高の算式中の係数 C_4 、 C_5 、 C_6 について以下に概説する。

(1) 係数 C_4

規則波中の単位波高あたりの応答関数のまとめ方と同様に、横軸に平均波周期、縦軸に単位有義波高あたりの不規則波応答の有義値をとったものを仮に不規則波中の単位有義波高あたりの擬似応答関数と定義し RAO' と表すと、不規則波中の最大応答は、 RAO' の最大値と前表 4.2 に示す不規則波中の最大波高 H_{max} の積で表される。一方、規則波中の最大応答は、規則波中の単位波高あたりの応答関数 RAO の最大値と規則波の波高 H の積で表される。設計規則波の波高 H は、不規則波中の最大応答と等価な応答を生じさせる規則波高であるとする、次式が成り立つ。



$$\begin{aligned} \text{不規則波中の最大応答値} &= RAO' \cdot H_{max} \\ &= RAO \cdot H \end{aligned}$$

ここで、 $H = C_4 H_{max}$ となるよう、 C_4 を以下のとおり設定する。

$$C_4 = \frac{H}{H_{max}} = \frac{RAO'}{RAO}$$

すなわち、 C_4 は図 4.9 に示すとおり、不規則波中の擬似応答関数の最大値（標準偏差の最大値）と規則波中の応答関数の最大値の比として表される。

また、 C_4 は不規則波中の応答値を規則波中の応答関数の形状及び不規則波のスペクトル形状を考慮して、規則波中の応答値に修正する係数と言える。図 4.10(a)、(b)、(c) にそれぞれ縦曲げモーメント、ロール及び喫水線における波浪変動圧が最大になる設計条件に対する係数 C_4 のシリーズ計算結果を示す。これらの図から、船の長さ、積付状態などのパラメータが異なるにも関わらず、同種類の応答に対して C_4 の値はほとんど一定であることが分かる。図 4.10(a)、(b)、(c) の中の実線は各応答の C_4 の平均値を表しており、表 4.3 に示されている C_4 の値として用いる。

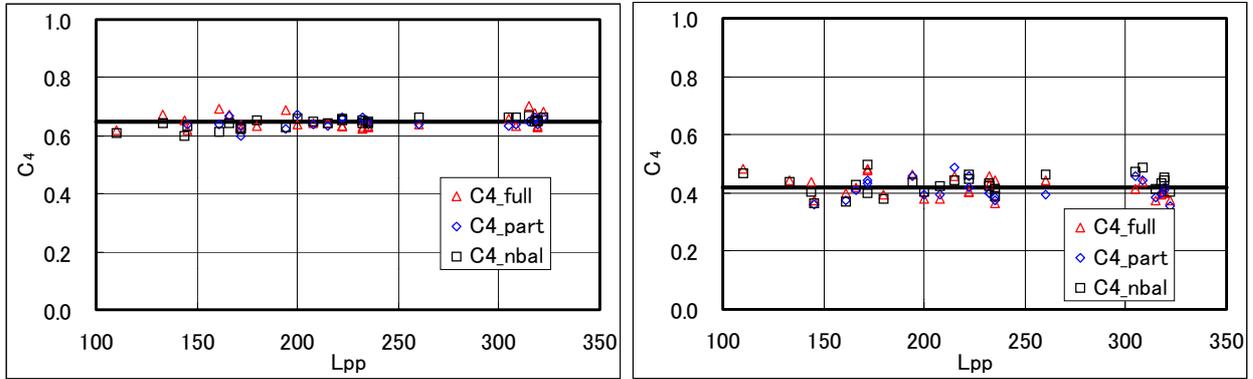
なお、上記の係数 C_4 は、応答関数の分布形状に大きく影響される。ロールの応答関数のようにピークが鋭く立ち上がる応答（ピーク値が大きくバンド幅が小さい応答）に対しては小さ目の、ピーク値の裾野が緩やかな応答（例えば喫水線における波浪変動圧）に対しては大き目の値を与える。従って、 C_4 の値は荷重成分の応答特性に左右され、荷重成分ごとに異なる値となる。

(2) 係数 C_5

ガイドラインの設計荷重の作成に当たっては、直接荷重解析にはストリップ法を、短期予測には線形重ね合せ法を用いて多くのシリーズ計算を実施し、線形の範囲において汎用的な傾向を把握した後に、3次元影響や大波高波浪中の波高による非線形影響を考慮した修正係数 C_5 を用いて荒天時に実際に船舶が受けるであろう荷重を推定している。 C_5 の設定に関しては水槽実験や

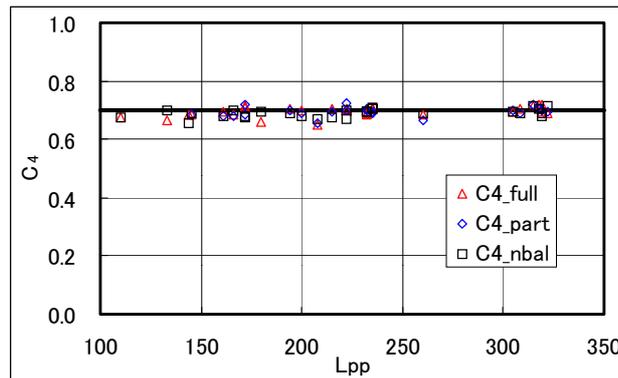
図 4.9 擬似応答関数と規則波中応答関数の関係

数値計算などの結果を参照して設定している。参考として、VLCC サイズの肥大船を用いた大波高時の水槽実験結果の例を図 4.11 に示す。同図は、縦曲げモーメントに対する規則波中の計測結果を短期予測した結果 ($\chi = 180$ 度) である。ストリップ法で計算された縦曲げモーメントの短期予測結果も同図に示している。



(a) 縦曲げモーメント

(b) ロール



(c) 喫水線における波浪変動圧

図 4.10 係数 C_4 の結果

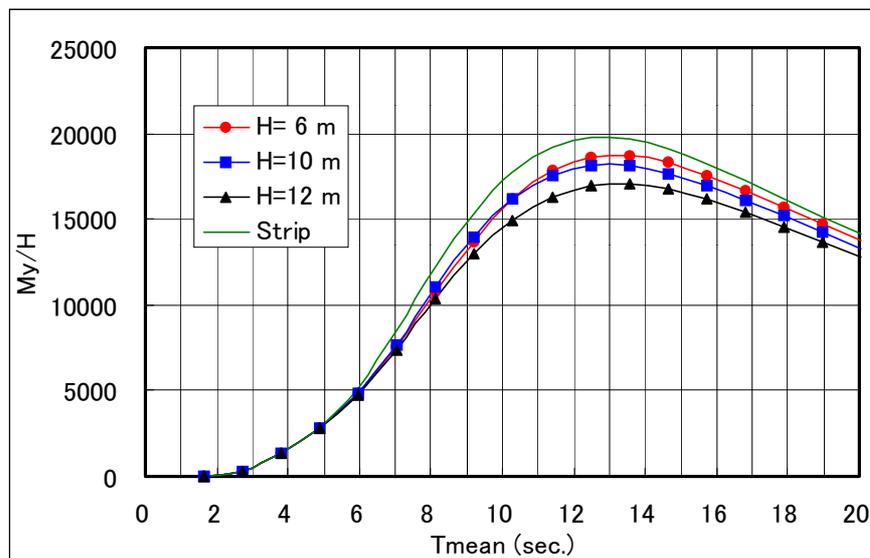


図 4.11 大波高時の水槽実験結果 (縦曲げモーメント)

(3) 係数 C_6

一般に、実用性の観点から降伏強度の検討に際しては弾性範囲内での許容応力設計が、座屈強度の検討に際しては弾性座屈を許容しない設計が行われている。しかしながら、多くの構造部材は、これら弾性設計で想定する強度を上回る最終強度を有していることから、船の一生の内数度経験するかどうかといった極値(船舶が北大西洋を航行し 10^8 回の波に遭遇した中で最も大きな波に対する構造応答)に対しては最終強度をベースとした強度評価の方が合理的と考える。

係数 C_6 は、 10^{-8} レベルの荷重に対して最終強度の観点から十分な強度を有することを条件に、それと同等の強度を弾性設計レベルで検討できるよう、降伏強度と最終強度の比率を考慮し、変動荷重について最大荷重の $2/3(0.67)$ 程度の値を採用している。

(4) 設計波高と発現確率

設計波高の算式は、係数 C_5, C_6 の考慮の有無により図 4.12 のような位置付けとなる。

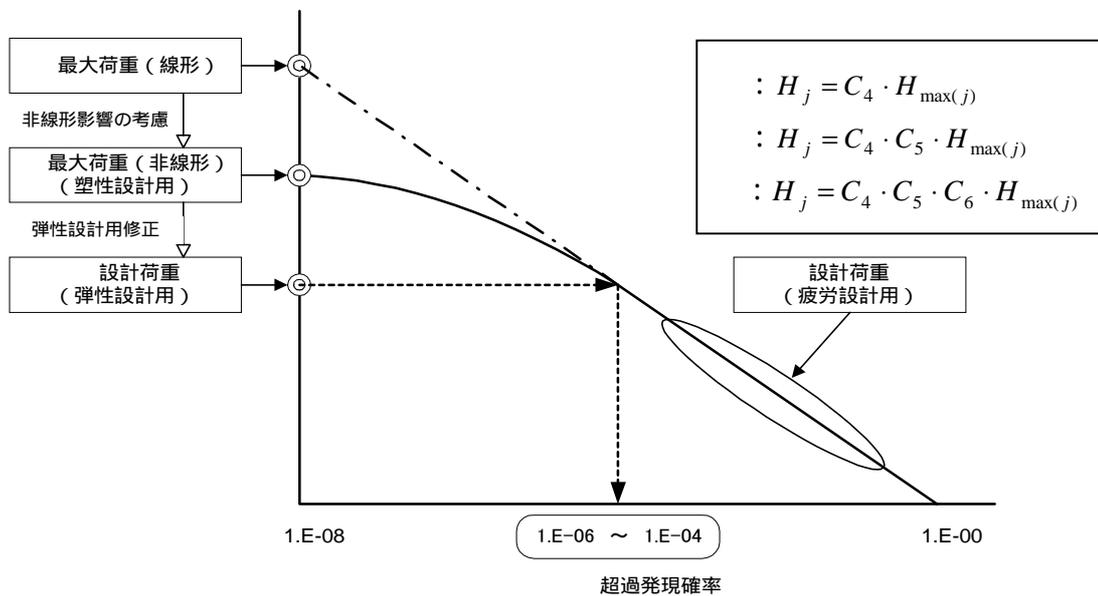


図 4.12 設計荷重と発現確率の関係

5. 設計荷重

27 隻のタンカーに対してストリップ法を用いたシリーズ計算を実施し、前 4.にて概説した設計条件下で船体に加わる荷重の簡易算式を開発した。船体に加わる荷重として、静水中の荷重及び波浪中の荷重を考慮する。縦波の山谷を波浪変動圧として与えている現行規則の延長線上で、ハルガーダの影響、変動内圧の影響及びそれらの位相を考慮することにより影響因子となるパラメータを増やし、荷重推定精度を向上させた。また、簡易算式による設計荷重の設定のほか、設計条件下における直接荷重解析により個船ごとに設計荷重を設定できることとした。

紙面の関係上、設計荷重の簡易算式の提示は省略するので、ガイドライン参照されたい。なお、4 種の設計規則波に対応して以下の ~ までの項目に関する簡易算式が準備されている。船体運動、加速度、波浪変動圧などの値は、支配的荷重成分(縦曲げモーメント、ロール、喫水線における波浪変動圧)の応答が最大となる時の各荷重成分の単位波高あたりの応答値(RAO)に波高を乗じる算

式により求めることができる。

船体運動（ピッチ、ロール）

船体重心加速度（ピッチ、ロール及びヒープによるもの）

タンク重心加速度（上下方向、左右方向）

波浪変動圧

ハルガーダモーメント

ハルガーダ応力との重ね合わせ比率

ここで、開発された船体運動、加速度、波浪変動圧などの簡易算式を用いて計算された結果と直接荷重解析による結果との比較例について幾つかを紹介する。

5.1 船体運動・加速度

船体運動及び加速度の比較例として、ピッチ、ロール及びヒープによる上下加速度について簡易算式による計算結果と直接荷重解析による計算結果を船速を変えて比較した例(それぞれ単位波高あたりのRAOレベル、長期予測レベル)を図5.1～図5.3に示す。これらの図より、船体運動及び加速度の簡易算式はRAOレベルと長期予測レベルにおいて共によい精度を有していることがわかる。すなわち、簡易算式により推定される船体運動と加速度の値は対応する設計規則波条件下で生じる長期予測値とほぼ同等の値となる。

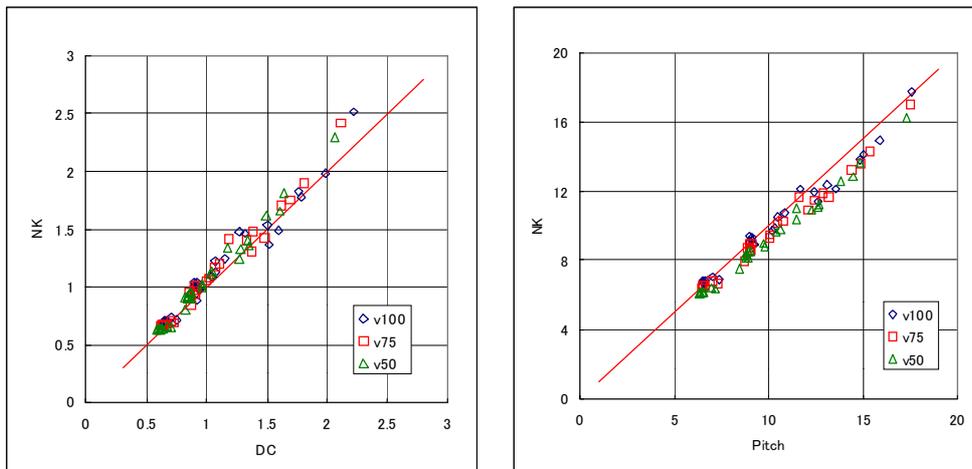
5.2 波浪変動圧

縦曲げモーメント、ロール、喫水線における波浪変動圧がそれぞれ最大になる設計規則波に対応する波浪変動圧の簡易算式及び直接荷重解析により計算された波浪変動圧の分布の比較を船長方向の各横断面（Square Station 2～Square Station 8まで）毎に図5.4に示す。喫水線における波浪変動圧が最大になる設計規則波条件における波浪変動圧 P_p は喫水線位置から同じ舷側のビルジ部にかけ、ロールが最大になる設計規則波条件における波浪変動圧 P_R はビルジ部下端で、また、縦曲げモーメントが最大になる設計規則波条件における波浪変動圧 P_L は船底中央部で長期予測値とほぼ同じ値となる。すなわち、簡易算式による波浪変動圧 P_p 、 P_R 、 P_L の最大値は、波浪変動圧の長期予測値を与えることとなる。

6. 終わりに

本文では主にダブルハルトンカーの主要構造部材の強度評価のため、新たに開発した設計荷重の概要について紹介した。これまでの内容をまとめると以下の通りである。

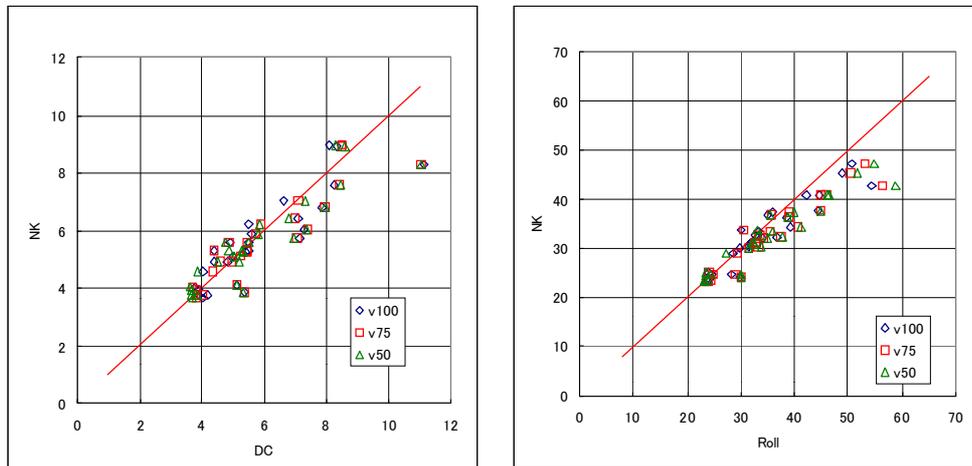
- (1) 船体構造に対して厳しい（支配的な）海象は、ある特定の数個の海象に絞り込むことが可能である。従って、それらの海象を特定できれば設計海象を設定することができる。
- (2) 設計海象は、以下の荷重成分の短期応答（標準偏差）が最大となる短期海象で、かつ、同短期海象中の最大応答値が 10^{-8} レベルの長期予測値と等しくなる海象として特定することができる。
 - ・縦曲げモーメント（向波及び追波）
 - ・ロール
 - ・喫水線における波浪変動圧



(a) RAO レベル

(b) 長期予測値レベル

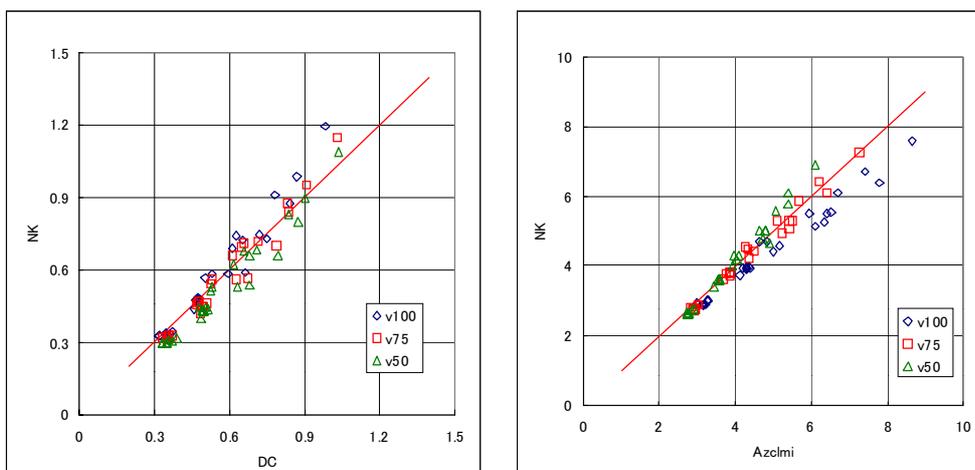
図 5.1 船体運動（ピッチ）の比較（満載状態）



(a) RAO レベル

(b) 長期予測値レベル

図 5.2 船体運動（ロール）の比較（満載状態）



(a) RAO レベル

(b) 長期予測値レベル

図 5.3 上下加速度（船体重心）の比較（満載状態）

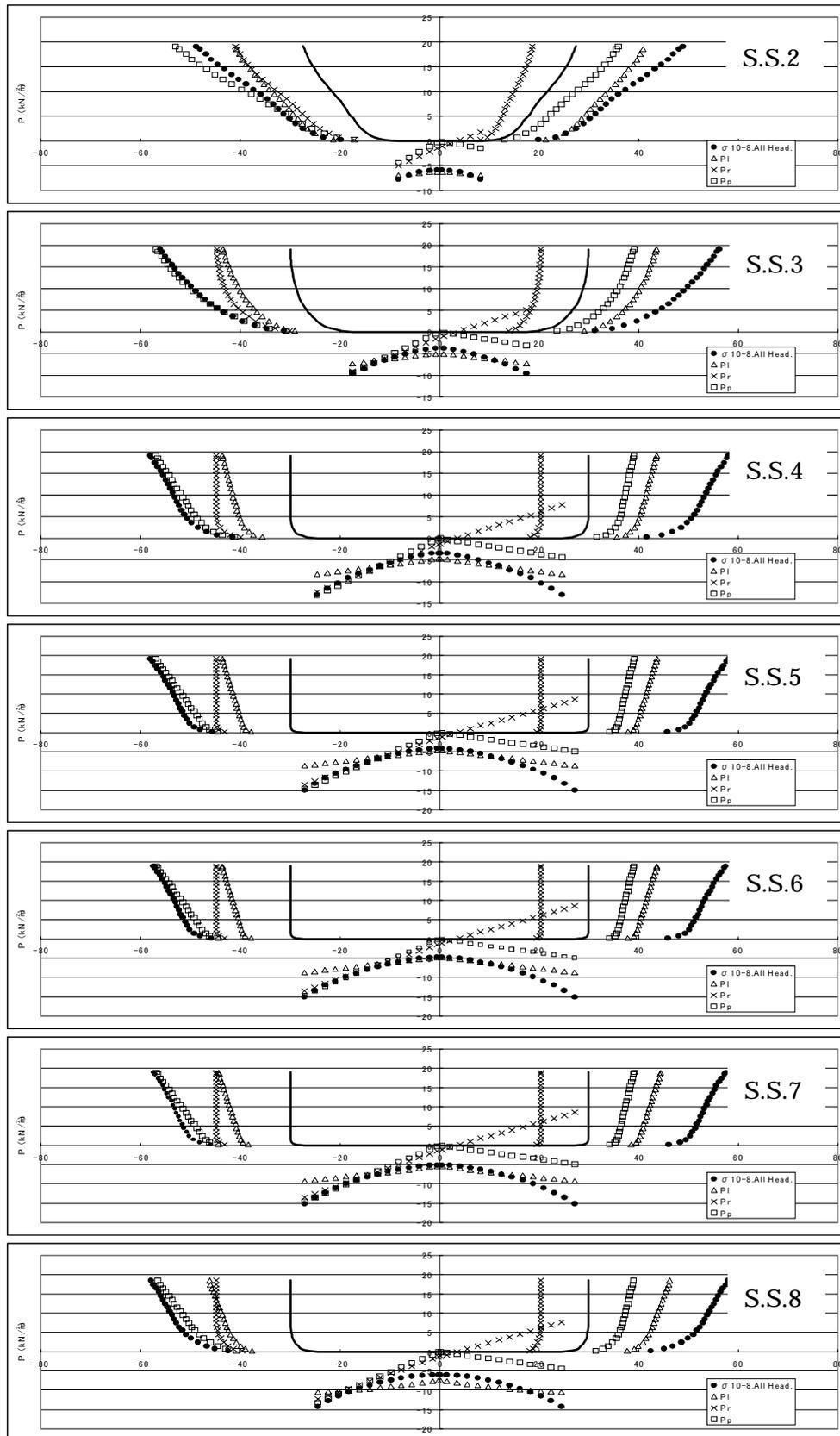


図 5.4 波浪変動圧の比較（満載状態）

- (3) 設計海象下における構造応答は、設計海象下で発生する不規則波中の応答値と同等の応答値を発生させる設計規則波を用いて推定することができる。設計規則波の設定に際しては、実現象に対応させるため3次元影響及び大波高波浪中の波高による非線形影響を考慮する。
- (4) 設計規則波条件下における船体運動、加速度、波浪変動圧及び波浪断面力を設計荷重として設定する。設計荷重は、簡易算式を用いて精度良く推定することができる。
- (5) (4)にかかわらず、設定された設計条件（設計海象あるいは設計規則波）下において直接荷重解析を行うことにより設計荷重を設定することができる。

7. 参考文献

- (1) 日本海事協会：船体構造強度評価のための技術指針、1999.
- (2) 真能他：波浪に対する各種船体応答の長期分布の近似推定法とその応用、日本造船学会論文集、第132号、1972.