

日本近海の波浪統計データ

- (波高 - 波周期 - 波向) の 3 相関統計データとその利用 -

運動性能部 *辻本 勝、小川 剛孝

1. 緒言

船舶の運航する海域の長期的特性を把握し、船体応答の予測や船舶の運航支援等に利用することを目的として、従来から波浪の発現頻度が整理されてきた。しかし、波浪を代表する主要素が波高、波周期、波向であるにもかかわらず、広範囲にわたりこれら 3 要素の相関を整理した統計データは Hogben et al.¹⁾が整理するまでなく、長期予測は出合角一定として行われていた。一方、日本の内航船の実海域性能の検討する場合には、地形の影響や波向の偏りを考慮する必要があるが、従来の波浪統計では海域区分が大きすぎ、また統計値としての信頼性を確保して、季節や月毎に波高 - 波周期 - 波向の統計データを作成するにはデータ数が不足するという問題がある。

このような状況の中、詳細に波浪推算を行うシステムが日本気象協会により整備され、日本近海において密度の高い波浪推算データを利用することが可能となった。そこで、この波浪推算データを用いて、新たに波高、波周期、波向、風速、風向の 5 要素から 2 要素を選び 2 相関統計データを作成し、さらに波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データを作成するシステムを開発した。

本報では、最初に 3 相関統計データの例を示して波向により波高 - 波周期の発現頻度の傾向が大きく異なる場合があることを示す。

次に船体応答長期予測法²⁾に波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データを適用し、従来行われてきた波高 - 波周期の 2 相関統計データを適用する場合との比較検討を行う。

そして通年で整理した波浪統計を使用する場合には、季節や月等で期間を区分して整理した波浪統計を組み合わせる場合に比べて長期予測値に差が生じるため、その影響についても検討を行う。

2. 沿岸局地波浪データの概要

今回使用する波浪データは、気象庁より 6 分格子間隔で配信される沿岸波浪 GPV (数値予報格子点値) を基に、日本気象協会が格子間隔 2 分 (日本付近で約 3[km]) で島嶼・半島による波浪の遮蔽と局所的な風波の発達を考慮に入れて波浪推算を行った沿岸局地波浪データと呼ばれるものである。波浪推算の手法及び沿岸波浪計と比較検証を行った結果については参考文献³⁾に詳細に記述されており、沿岸波浪計との相関も高く十分実用に耐えることが示されている。

なお沿岸局地波浪データによる計算は 1994 年 2 月から 12 時間間隔で行われており、その計算領域は図 - 1 の黒枠で囲まれた内部で、計算要素は有義波高、有義波周期、卓越波向、海面上 10 [m] の平均風速及び平均風向である。

3. 波浪統計データ

沿岸局地波浪データを用いて波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データを作成した。今回示すものは海域を図 - 2 に示す大島東方の 30 分格子 (北緯 34.5 ~ 35.0[deg], 東経 139.5 ~ 140.0[deg]) に選び、解析期間を 1994 年 3 月 ~ 2000 年 2 月 (6 年間) として行ったものである。データ数は 6 年間で約 100 万件に達し、既存の波浪統計データと比較して 3 相関統計データを作成するのに遜色のないものである。

以下、通年と季節で整理した波浪統計データを示す。なお記号は、波高を H 、波周期を T 、波向を θ 、波浪発現確率 p とし、方向は 0[deg] を北にして時計回りとし、季節は春を 3 ~ 5 月、夏を 6 ~ 8 月、秋を 9 ~ 11 月、冬を 12 ~ 2 月としている。

波高 - 波周期の 2 相関統計データ $p(H, T)$ を図

- 3 に、このときの波向分布 $p(\theta)$ を図 - 4 に、そして波向の条件付き確率として表示した 3 相関統計データ $p((H,T)|\theta)$ を図 - 5 ~ 9 に千分率で示す。

これらから季節により波向分布が大きく異なるとともに、波向毎に波高 - 波周期の分布も異なること、特に秋季に南東の波向が発現する確率が高く他の波向に比べて大波高の波が発生していることが分かる。

4 . 船体応答長期予測法への適用

前節で得られた波浪統計データを船体応答長期予測法に適用する。

このとき波浪統計データは整理の仕方により以下の場合に分類できる。ただし θ^* は船に対する相対的な波向とする。

- () 波高 - 波周期の 2 相関統計データで相対的な波向分布を一様とする場合

$$p(H,T,\theta^*) \sim \frac{1}{2\pi} p(H,T) \quad (1)$$

- () 波高 - 波周期の 2 相関統計データで相対的な波向分布を考慮する場合

- (a) 通年で整理した波浪統計データを使用する場合

$$p(H,T,\theta^*) \sim p_0(H,T)p_0(\theta^*) \\ = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_i(H,T)p_j(\theta^*) \quad (2)$$

- (b) 期間を区分した波浪統計データを組み合わせて使用する場合

$$p(H,T,\theta^*) \sim \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i(H,T)p_i(\theta^*) \quad (3)$$

- () 波高 - 波周期 - 相対的な波向分布の 3 相関統計データを使用する場合

$$p(H,T,\theta^*) = p((H,T)|\theta^*)p(\theta^*) \quad (4)$$

の関係があるので

- (a) 通年で整理した波浪統計データを使用する場合

$$p(H,T,\theta^*) = p_0((H,T)|\theta^*)p_0(\theta^*)$$

$$= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_i((H,T)|\theta^*)p_j(\theta^*) \quad (5)$$

- (b) 期間を区分した波浪統計データを組み合わせて使用する場合

$$p(H,T,\theta^*) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i((H,T)|\theta^*)p_i(\theta^*) \quad (6)$$

ここで波浪発現確率 p の下付添字 0 は通年で整理したものを、 i, j は期間で区分したものを表し、 N は区分した数を表す。なお(I)では(a),(b)は同一となる。

(2)と(3)式及び(5)と(6)式を比較して分かるとおり、(a)の通年で整理した波浪統計データを使用する場合には $i \neq j$ の場合が生じ、別の期間で整理された波浪発現確率を余計に考慮してしまうこととなる。このため(b)の期間を区分して作成した波浪統計データを組み合わせる場合に比べて差が生じる。

次に、以上の 5 つの場合について船体応答長期予測を行う。

計算は SR108 コンテナ船の船体中央部波浪縦曲げモーメントについて、船速が $F_n = 0.275$ で一定として行った。図 - 10 に周波数振幅応答関数を $\chi = 180[\text{deg}]$ を正面向波として示す。なお、短期海象は ISSC 周波数スペクトル、コサイン 2 乗型方向分布関数を仮定し、短期応答の極値分布は Rayleigh 分布を仮定した。また、航路は図 - 2 に示す大島東方海域を船が南北に繰り返し往復することを想定した。

この結果を図 - 11 に示す。これから 3 相関統計データを使用しないで船体応答長期予測を行った場合は秋季に生じている南東からの大波高の波の影響を正確に考慮できず、船の針路によっては長期予測値を過小評価する場合があることが分かる。また、通年で整理した波浪統計データは、季節で区分した波浪統計データを組み合わせて使用する場合に比べて差を生じるが、今回の場合は長期予測結果に及ぼす影響は小さく、実用的観点から無視できることが分かる。

5 . 結言

ここに示した日本近海の波浪統計データは密度が高くかつ時間的・空間的に均質であることから、既存の波浪統計データに比べて詳細な情報を示すことが可能である。そしてこの波浪推算データから波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データを作成し、船体応答長期予測法に適用して検討を行い、以下の結論が得られた。

- 1) 季節により波向分布が異なり、また波向毎に波高 - 波周期の分布が大きく異なる海域がある。
- 2) 短期海象の波向特性が無視できず、船体応答長期予測結果に大きな影響を及ぼす場合がある。
- 3) 船体応答長期予測に通年で整理した波浪統計データを使用する場合は、季節等で区分した波浪統計データを組み合わせて使用する場合と比べて差が生じるため、後者を用いるべきである。

参考文献

- 1) N. Hogben, N. M. C. Dacunha and G. F. Olliver : Global Wave Statistics, British Maritime Technology Limited, 1986.
- 2) 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, 日本造船学会, 1969.
- 3) 日本気象協会 : 沿岸局地波浪予測手法の研究開発報告書, 平成 6 年度事業, 1995.

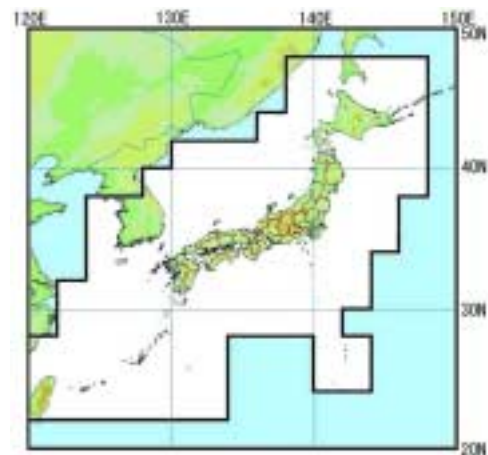


図 - 1 波浪推算領域



図 - 2 大島東方海域

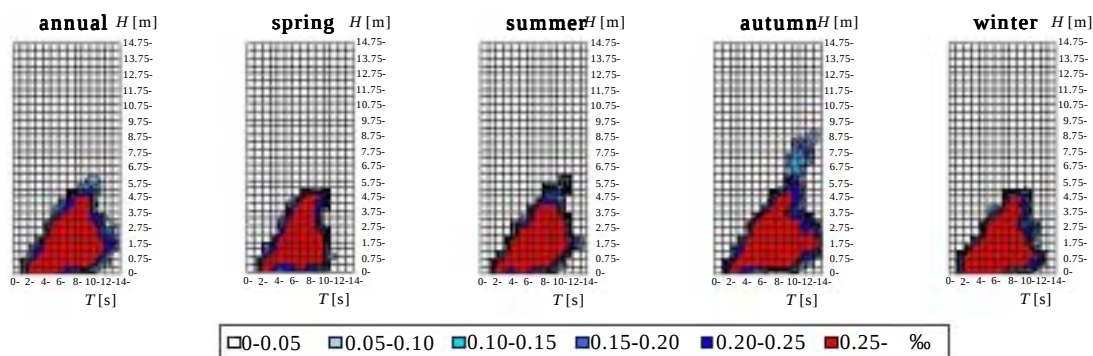


図 - 3 波高 - 波周期の 2 相関統計データ

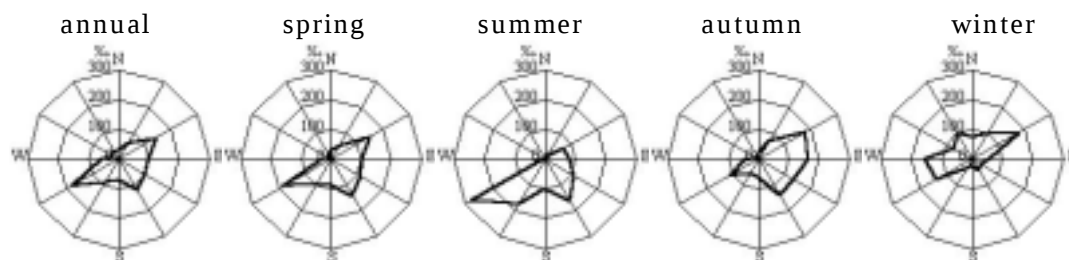


図 - 4 波向分布

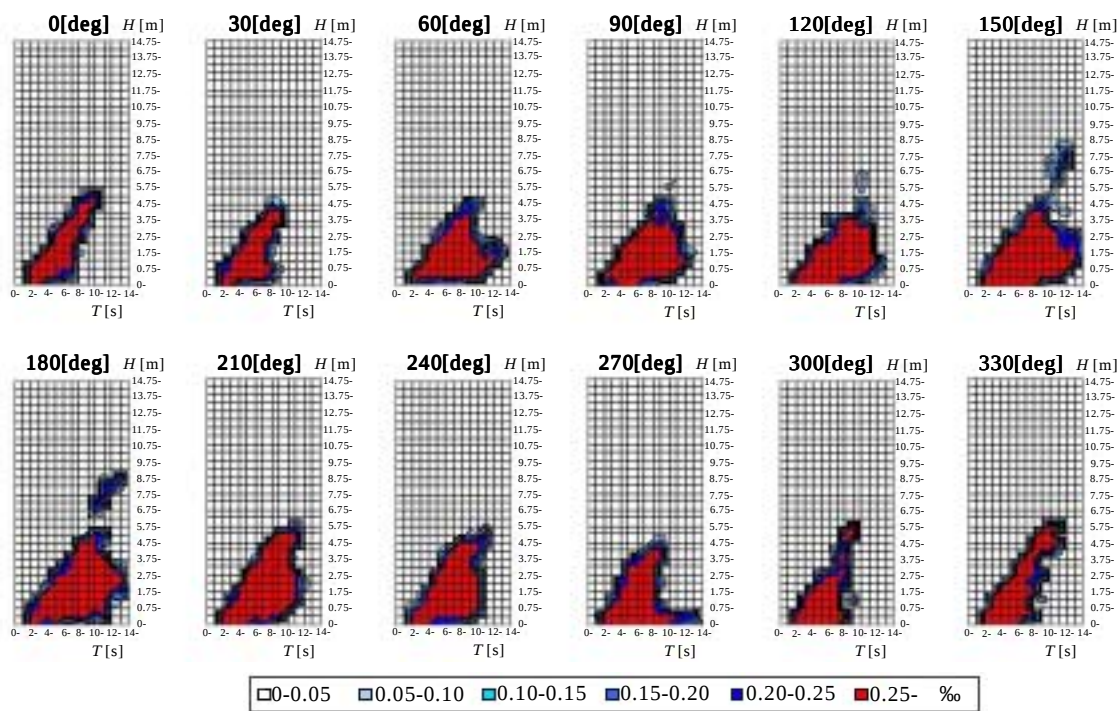


図 - 5 波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データ (通年)

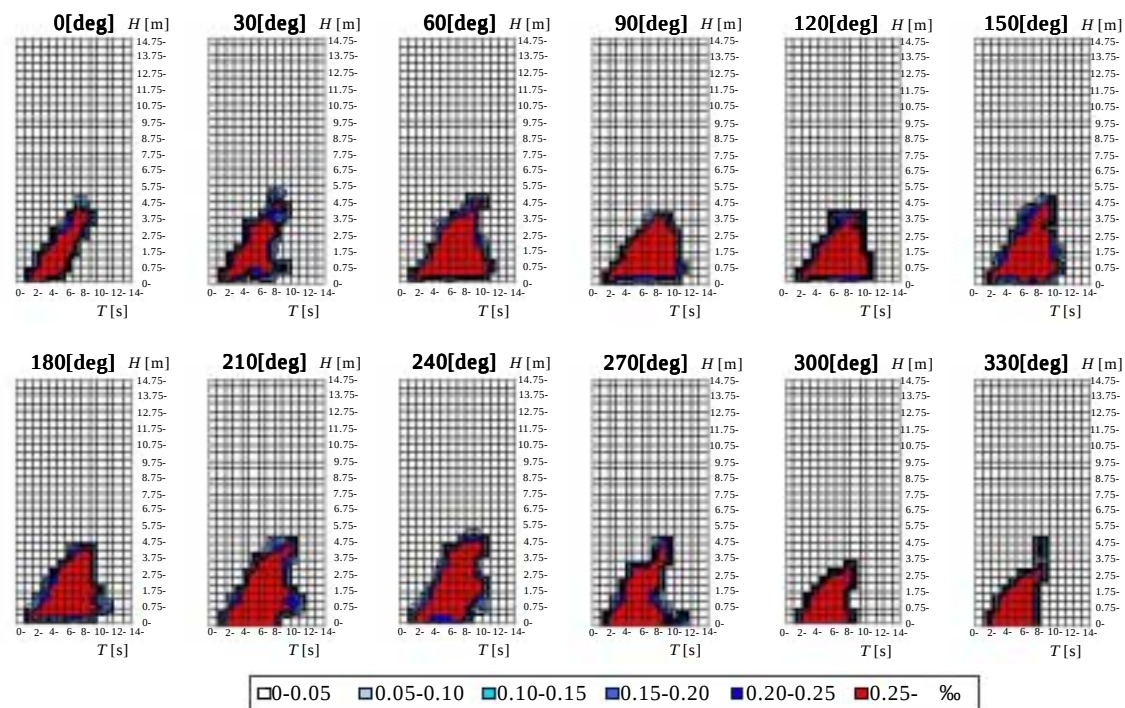


図 - 6 波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データ (春 : 3 ~ 5 月)

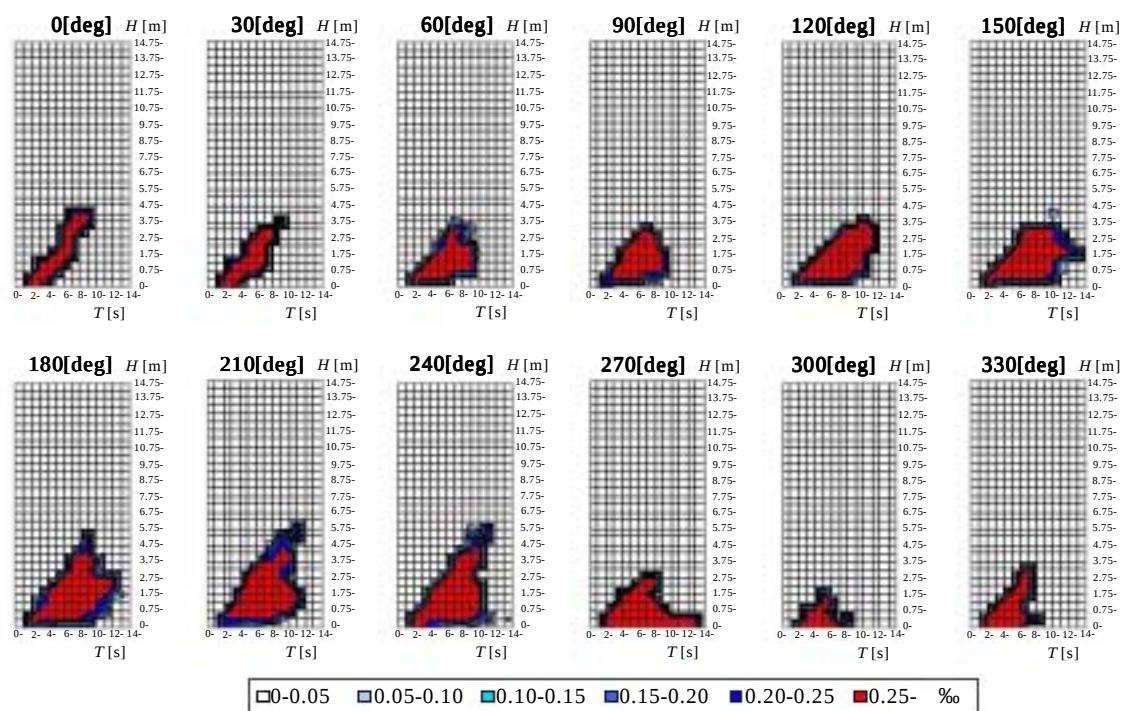


図 - 7 波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データ (夏 : 6 ~ 8 月)

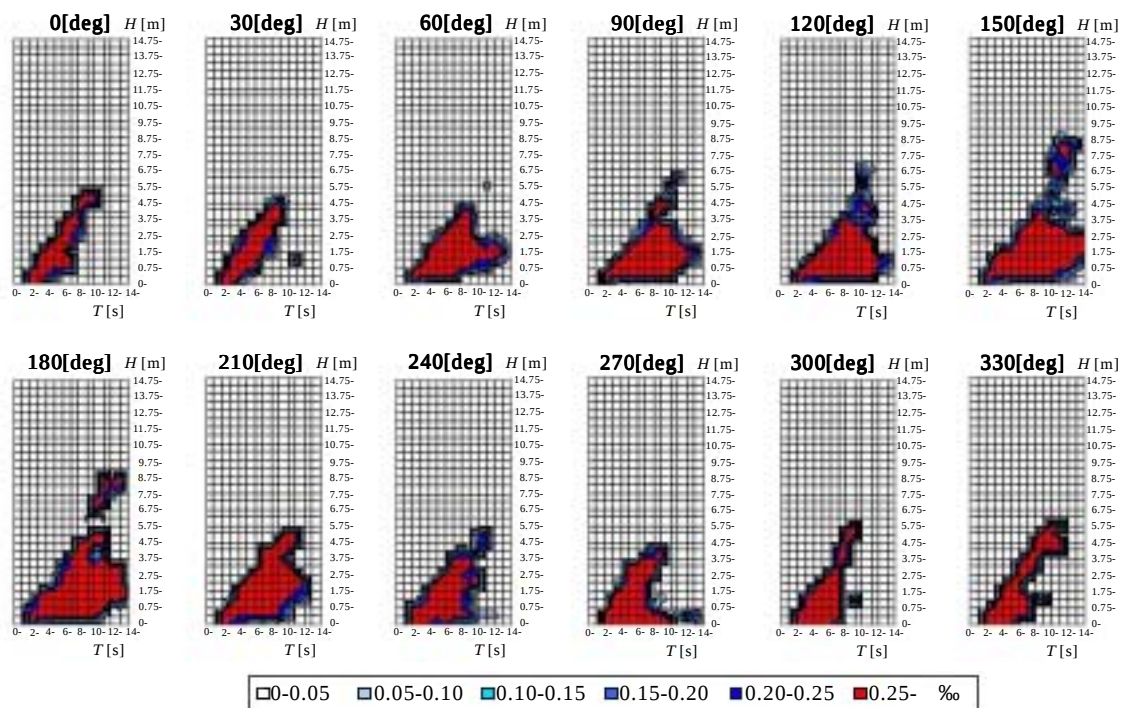


図 - 8 波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データ (秋 : 9 ~ 11 月)

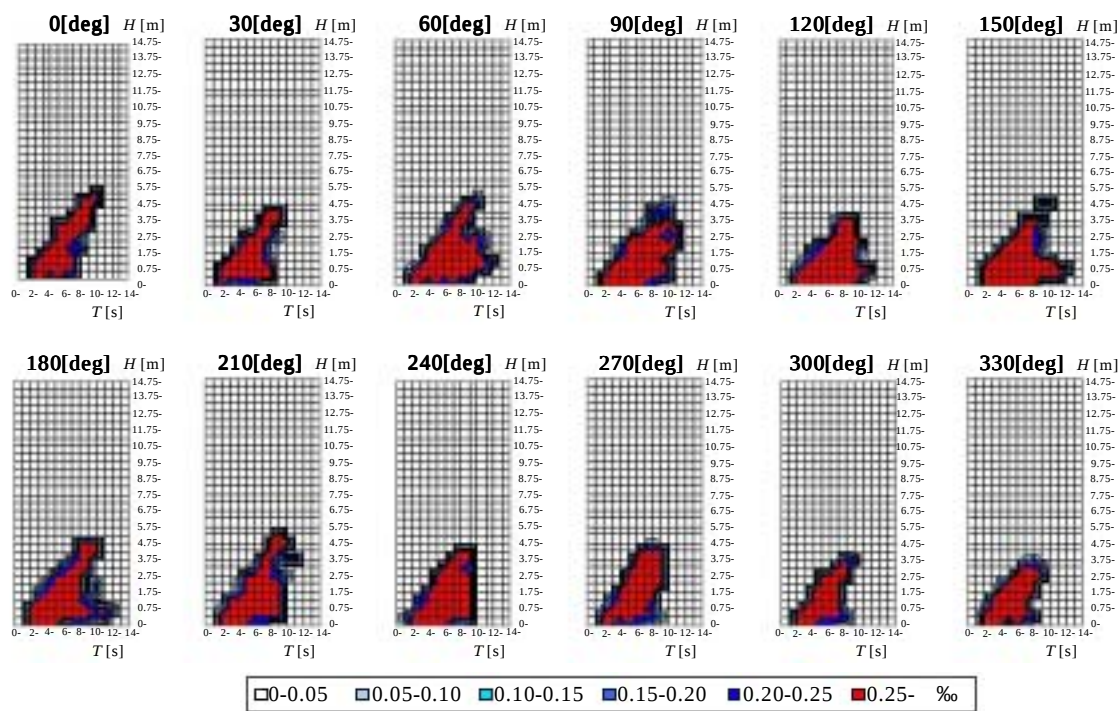


図 - 9 波高 - 波周期 - 波向の 3 相関統計データ (冬: 12 ~ 2 月)

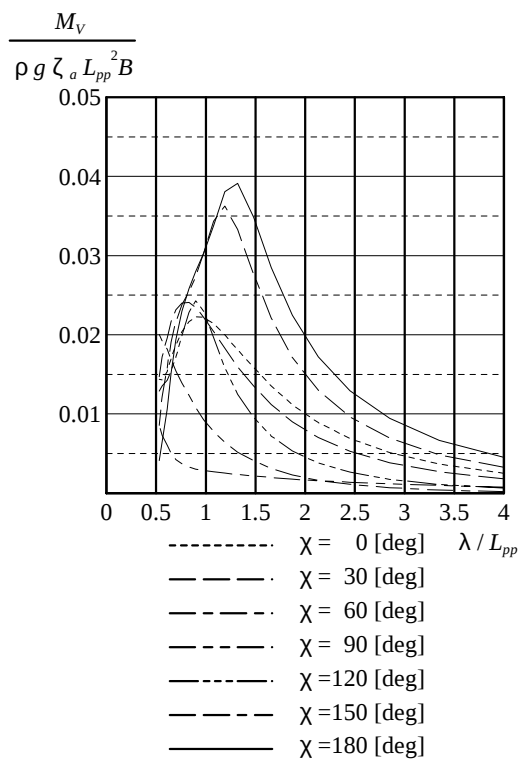


図 - 10 周波数振幅応答関数 (船体中央部波浪縦曲げモーメント: $F_n = 0.275$)

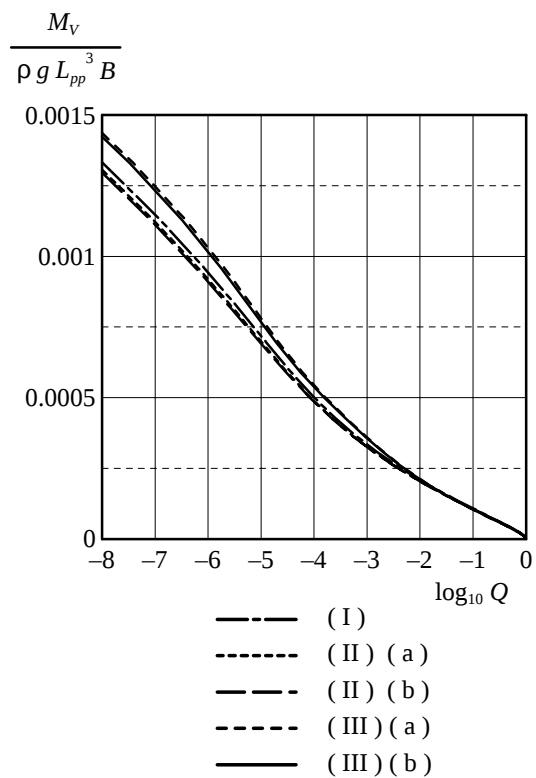


図 - 11 長期予測結果 (船体中央部波浪縦曲げモーメント: $F_n = 0.275$)