

ω^{-4} 型波スペクトルの導入と短期長期予測への影響

正員 平山 次清* 正員 崔 龍虎**
 学生員 平川 嘉昭*

Introduction of ω^{-4} Type Wave Spectrum and the Brief Consideration of Its Effects on the Long-Term Predictions

by Tsugukiyo Hirayama, *Member* Yong-Ho Choi, *Member*
 Yoshiaki Hirakawa, *Student Member*

Summary

The standard ocean wave spectrum is important for short-term prediction and long-term prediction of ships or floating structures in waves. The standard wave spectra used until today are basically based on P-M (Pierson-Moskowitz) type spectrum, that has ω^{-5} shape in high frequency or equilibrium range.

Recently, with the observed data, it has been suggested that the shape of spectrum is ω^{-4} instead of ω^{-5} shape at high frequency range. Technical committee of ITTC recommended to investigate the effect of this type of spectrum on ship responses.

In this work, after introducing ω^{-4} type spectrum, the resultant investigations are reported for the differences in short-term and long-term predictions of vertical bending moment and vertical acceleration of a typical ship.

1. 緒 言

船舶や海洋構造物の波浪中性能の推定では標準の波浪スペクトルが使用される。この標準スペクトルは実際の海洋波の特性を良く表現している必要がある。スペクトルは成分波の振幅の2乗の周波数分布(エネルギーの密度分布)を示すものである。不規則波は有義波高と平均周期の2つの代表値で表す場合が多いが同じ代表値であっても採用する標準スペクトルにより、ピーク周期やエネルギー分布は異なり得る。

復原力を有する船舶や海洋構造物は同調周期をさける必要上スペクトルがピークとなる周期が特に重要である。一方疲労破壊問題ではピーク周期よりも短周期側、

即ち高周波数域でのスペクトル形状が、特に繰り返し数との関係で重要である。また海岸構造物で周波数特性をもたない場合は有義波高とゼロクロス平均周期(通常ピーク周期より短い)だけを問題にする場合も多い。

以上のような観点から何を標準スペクトルに選ぶかは重要な問題である。船舶関係では所謂 P-M 型スペクトル(高周波数域は ω^{-5} 型)が長年使用されてきたが近年実験・計測・理論結果をもとに海洋波は P-M 型とは異なるという結果が示され海洋物理の分野では定説になりつつある。これは高周波数域は ω^{-4} 型になるというものである。

この動きに対して工学の分野、特にスペクトル形状が問題となる船舶・海洋工学の分野では検討がなされていないという現状がある。その理由としては、それほど影響が無いであろうという、漠然とした判断および長期予測まで含めて全てにわたってその影響を評価するには

* 横浜国立大学工学研究院
 ** 横浜国立大学工学研究院客員研究員(研究当時)

莫大な労力を要するという問題があるように思われる。しかしながら新スペクトル導入は必然であるので、本論文ではまず新スペクトルの一提案をし、新スペクトルを導入した場合従来スペクトルとどのような違いが出るのかを特に問題となる出会い波の山数や船首上下加速度および波浪縦曲げモーメントの短・長期予測について検討を試みた結果を報告するものである。

2. ω^{-4} 型波スペクトルの導入の経緯

Phillips は 1958 年にスペクトルピークより高周波数側の波スペクトル形状は ω^{-5} 型であることを示した。高周波数側は砕波によるエネルギー損失と風による注入エネルギーの平衡領域と考えられ、砕波は重力の加速度が支配的であるとした次元解析の結果である。

その後 Pierson と Moskowitz は 1964 年に高周波数側形状としてこの ω^{-5} 型を取り入れ、かつ低周波数から高周波数まで含んだ全領域スペクトル形として所謂 P-M 型スペクトルを提案した。ITTC (国際試験水槽会議) あるいは ISSC (国際船体構造会議) で採用して現在に到っている標準スペクトルはこの P-M 型スペクトルである。北海での計測結果をもとにして Hasselmann らが 1973 年に提案した有限吹送距離対応の JONSWAP スペクトルも P-M 型をベースに変形を加えたものとなっている。このスペクトルはスペクトルのピーク高さが強調された形である。これに対応する時系列はより規則的な形となるため、係留された構造物の長周期動揺が出易くなり、海洋工学分野の実験やシミュレーション計算ではしばしば用いられている。

一方同じ 1973 年に鳥羽^{1,4,5)} は風洞水槽による実験結果等から無次元波高の 2 乗が無次元周期の 3 乗に比例することを経験的に見出した。所謂鳥羽の 3/2 乗則である。これをもとにするとスペクトルの高周波数形状が ω^{-5} 型でなく ω^{-4} 型となるがその後の実海域計測でもこれを支持する多くの結果が示され、理論的な考察も示されるに到った。このような状況を受けて ω^{-5} 型の提唱者 Phillips も 1985 年に ω^{-4} 型であるべきとの見解を示し

2) 海洋物理学分野では ω^{-4} 型がほぼ定着するに到った。その後船舶関係でも小寺山ら³⁾ はこれを支持する実測結果を示している。

このような現実を踏まえて ITTC の技術委員会でも導入を考えて検討すべきとの議論がなされ、その報告書⁶⁾でも検討を課題として挙げるに到った。また ITTC に設けられている「波浪に関する専門家委員会」でも検討課題に指定されているが未だに検討例は示されていない。本論文の検討はそれに応えるためになされたものでもある。但し本論文では一次元の点スペクトルのみを扱い方向分布関数については従来通りと考えている。なお方向分布関数も含めて、従来型スペクトルについては日根野ら⁷⁾ の詳しい解説があるので参照されたい。

3. ω^{-4} 型波スペクトルの提案と PM 型 (ω^{-5}) スペクトルとの比較

前節で述べた鳥羽の 3/2 乗則によると、スペクトルの ω ベースでの一回積分、即ち 0 次モーメント (有義波高の 2 乗に比例) が T^3 、即ち ω^{-3} に比例することとなり、 ω で微分したスペクトルそのものは ω^{-4} に比例することが帰結される。但し ω^{-4} 型を含んだ P-M 型を修正した形での全領域標準スペクトルは示されていない。以下次節ではスペクトルの次元を考慮して、従来の P-M 型との関係がわかる形での全領域標準型を提案する。なお表面張力波も関係する更に高周波数側の領域についての形状についての議論もある⁴⁾ が工学的な影響は小さいと思われるのでここでは触れない。P-M 型では低周波数部分形状に対して支配的な指数関数の部分が ω^{-4} 型で波振幅の限界を示す高周波数部分が ω^{-5} 型である。高周波数部分が ω^{-4} 型の新スペクトルの導入にあたっては指数関数部分は ω^{-4} 型のままとし、高周波数部分のみを ω^{-4} 型とした。この ω^{-4} 型新スペクトルを、ここでは発見者である鳥羽の頭文字をとって T 型と呼ぶことにする。

以下の全てにおいて H は有義波高 (m)、T は $T_{01} (=2\pi m_0/m_1)$ で定義される PM 型スペクトルでの平均周期 (sec) である。これはスペクトルの図形重心に相当する。

Table 1 Relation of wave mean periods of spectra

| Type | PM, {eq. (2)} | T1, {eq. (3)} | T2, {eq. (4)} |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| T_p | $T_p:PM = 1.298 T$ | $T_p:T1 = 1.586 T$ | $T_p:T2 = T_p:PM$ |
| T_{01} | $T_{01}:PM = T$ | $T_{01}:T1 = 1.097 T$ | $T_{01}:T2 = 0.898 T$ |
| T_{02} | $T_{02}:PM = 0.922 T$ | $T_{02}:T1 = T_{02}:PM$ | $T_{02}:T2 = 0.755 T$ |
| T_{2s} (Refer Fig.3) | Represent as $T_{2s}:PM$ | Represent as $T_{2s}:T1$ | Represent as $T_{2s}:T2$ |

なお m_n はスペクトルの n 次モーメントである。

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n \cdot S(\omega) d\omega \quad (1)$$

まず従来の P-M 型スペクトル (ISSC にて採用、ITTC 採用も ω^{-5} 型という点では同じ) は次式である。

$$S(\omega): PM = 171.44 \frac{H^2}{T^4 \omega^5} \exp\left(-\frac{685.76}{T^4 \omega^4}\right) \quad (2)$$

P-M 型と比較するという観点から、新スペクトルでの有義波高 H とゼロアップ (ダウンでも良い) クロス平均周期 $T_{02}(=2\pi\sqrt{m_0/m_2})$ を P-M 型と同じとなるようにした新スペクトルを T1 型スペクトルとする。ITTC スペクトルでは平均周期として T_{01} は物理的意味をはっきりしないとして T_{02} を採用しているからである。但し T_{01} は通常 T_p と T_{02} の間に来るから後の長期予測結果も二つの中間となると予想はできる。この場合指定した H と T_{02} をもつ T1 型は (3) 式のように得られる。なおパワースペクトルの次元は ($m^2 \cdot \text{sec}$) となることから (2) 式の分母の $T^4 \omega^5$ は (3), (4) 式では $T^3 \omega^4$ となる。それぞれの係数はスペクトルのモーメントから計算されるが、モーメントはガンマ関数を含んだ解析的表示が可能である⁷⁾。

$$S(\omega): T1 = 12.675 \frac{H^2}{T^3 \omega^4} \exp\left(-\frac{246.06}{T^4 \omega^4}\right) \quad (3)$$

次に、有義波高 H とスペクトルのピーク周期 T_p を P-M 型と同じとなるようにした新スペクトルを T2 型スペクトルとする。この場合のスペクトルは (4) 式となる。緒言でも述べたように、同調を含む周波数応答特性を有する浮体の場合はスペクトルピークの周波数が重要であるから P-M 型との特性比較では T2 型で判断する方が良い場合もあると考えられるからである。

$$S(\omega): T2 = 23.126 \frac{H^2}{T^3 \omega^4} \exp\left(-\frac{548.61}{T^4 \omega^4}\right) \quad (4)$$

これら 3 つのスペクトル間のピーク周期 T_p 、平均周期 T_{01} 、ゼロクロス平均周期 T_{02} の関係を Table1 にまとめて示す。T は全て P-M 型での T_{01} であり T1 型での T_{01} については $T_{01}: T1$ といった表記上の区別をしている。なお T_{01} を一致させる場合も考えられるが、物理的意味合いがはっきりしないという点でここでは示さなかつ

た。(3) 式を T_{02} そのもので表す場合や (4) 式を T_p そのもので表す場合、また目視周期を T_{02} あるいは T_{01} に対応させた場合、 T_p などとの関係は Table1 を使って換算すれば良い。

以上のスペクトルを H の 2 乗で割るとスペクトルには H は含まれなくなるから、平均周期 T を 4 秒から 18 秒まで変化させたスペクトルを重ねて表示したものが Fig. 1 (2,3 式) および Fig. 2 (2,4 式) である。

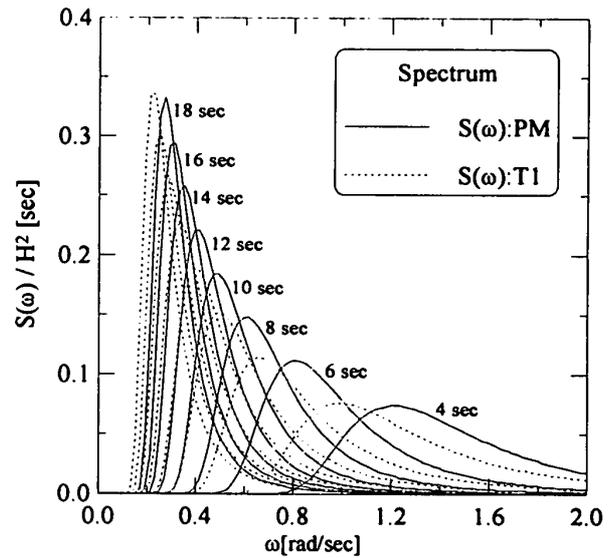


Fig. 1 Spectra of PM type and T1 type

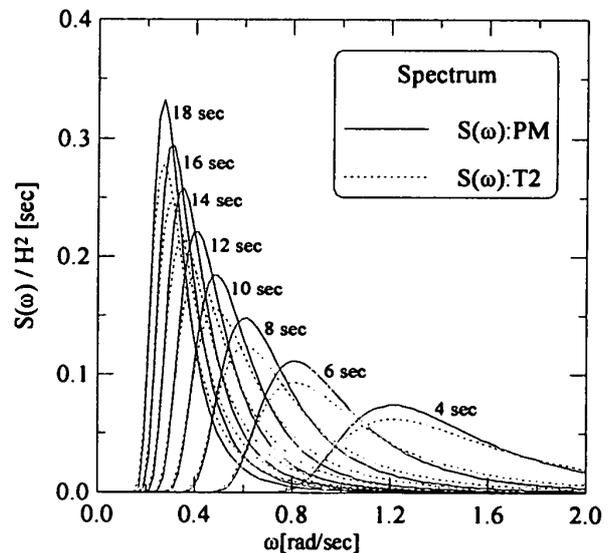


Fig. 2 Spectra of PM type and T2 type

Fig.1 ではスペクトルの 2 次のモーメントを一致させることになるから T1 型スペクトルのピークが大きく左にずれた形となる。一方 Fig.2 ではピーク周期をあわせているのでピークのずれは無いが T2 型スペクトルでは

高周波数側の裾野が P-M 型より高くなるので、面積（有義波高の 2 乗に比例）を同一としていることによりピークの高さが P-M 型より 10% 位低くなっている。

一方時系列における波頂間（ピーク・トゥ・ピーク）平均周期 T_{24} ($= 2\pi\sqrt{m_2/m_4}$) は積分範囲によって変わるので数値計算により求めた。 T_{24} の新スペクトルによる変化影響は P-M 型の場合に対する比 (${}_{PM}R_{T1}$, ${}_{PM}R_{T2}$) とし次 (5), (6) 式で求めた。積分範囲は PM 型スペクトルのピーク値の 1% までとったが参考として 5% までとった場合も計算した。

タイムヒストリーからパワースペクトルを求める場合スペクトルピーク高さの 1% 程度のレベル（振幅で言うと 10% 程度）までは十分精度があると考えられる。ゼロクロス平均周期 (T_{02}) は 4 秒から 18 秒まで 2 秒間隔で変化させた。

$${}_{PM}R_{T1} = \frac{T_{24} : T1 - T_{24} : PM}{T_{24} : PM} \times 100 \quad (5)$$

$${}_{PM}R_{T2} = \frac{T_{24} : T2 - T_{24} : PM}{T_{24} : PM} \times 100 \quad (6)$$

(5) 式と (6) 式による結果を % の値で Fig. 3 に示す。

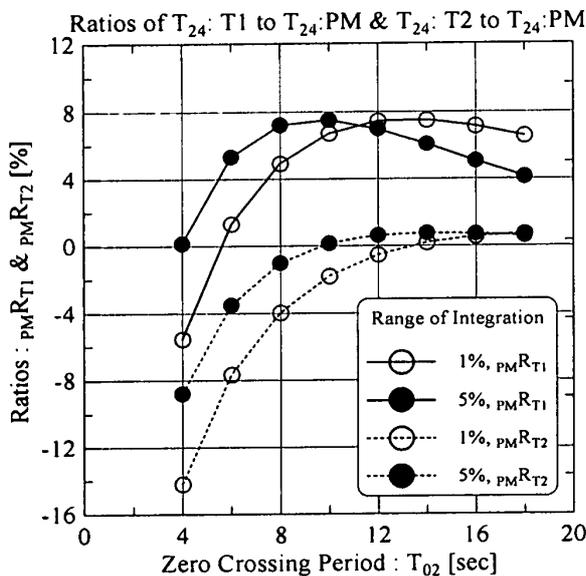


Fig. 3 Ratios of mean periods (T_{24}) between PM type and T1 type or T2 type

Fig. 3 の 1% の場合から、 T_{02} 周期を P-M 型と一致させた T1 型の場合は周期 12 秒で最大プラス 8%、ピーク周期を PM 型に一致させた T2 型では 4 秒で最大マイナス 14% の T_{24} 変化となっている。このことから T2 型スペクトルを用いた場合は疲労強度に関係する繰り返

し数が周期の逆数に比例するとして、最大 16% 程度増加する点に注意する必要がある。但し T1 型を用いた場合は逆に最大 7% 位繰り返し数が減少する。Fig. 3 の 5% の場合を見ると T_{24} の短縮変化を半分程度に過少評価する結果となっているのでやはりピーク高さの 1% 程度の周波数範囲は必要であろう。また周波数範囲はピーク周波数の何倍といった決め方も検討する必要があると思われるが今回は検討していない。なお本論文とは主旨が異なるが、関連研究として、竹沢ら¹⁴⁾ は実験水槽では造波可能な限界周波数があることを考慮して、標準スペクトルを修正することにより、希望する有義波高と平均周期を有する人工不規則波を発生させる方法を提案している。

4. 短期・長期予測の比較

垂線間長 138m のフィーダサービス型コンテナ船と約 2 倍の長さ 250m の SR243 型ばら積貨物船（肥大船と呼ぶ）を例にとって短期予測をベースとした長期予測（いわゆる福田法¹¹⁾）において、使用するスペクトルによってどの程度の違いが出るか検討した。主要目は Table 2 に示す。肥大船は幅広なので GM が大きい。航路は比較的穏やかと考えられるシンガポール航路（横浜からシンガポール）を主体に比較的荒れる PN 航路（横浜からサンフランシスコ）も考慮した。船速は 18 ノット（コンテナ船）および 14.5 ノット（肥大船）で一定とした。なお船体運動応答推定にはストリップ法（NSM）を使用した。

Table 2 Principal dimensions of a container ship and full ship

| Item | Container Ship | Full Ship |
|----------------------|----------------|-----------|
| L_{pp} [m] | 138 | 250 |
| B [m] | 22.6 | 50 |
| d [m] | 7.8 | 10.5 |
| κ_{xx}/B | 0.35 | 0.35 |
| κ_{yy}/L_{pp} | 0.24 | 0.24 |
| KG [m] | 9.47 | 11.01 |
| GM [m] | 0.98 | 14.05 |
| C_b | 0.645 | 0.844 |
| LCG [m] | -3.57 | 7.9195 |
| ∇ [m^3] | 15690 | 108980 |

検討項目としては耐航性能上重要な項目のうち船首上下加速度と船体中央部波浪縦曲げモーメントの 2 つを選んだ。加速度は変位に比べて高周波数成分が卓越するため高周波数部分が相対的に大となる新スペクトルの

効果がより強く出るものとの予想である。なお波との出会い角の確率分布は一様分布とした。

使用する長期波浪データベースとしては GWS¹²⁾ (イギリスの Hogben らにより整備、ここでは PC 版使用)、目視 (Visual) および追算 (Hindcast) によるもの¹³⁾ (旧船舶技術研究所により整備、PC 版) の 3 種類を用いて前述の航路別に再構築した^{9,10)}。再構築では航路を構成する区分海域の長さに重みをつけ考慮した。季節は冬季および通年とした。但しシンガポール航路では台風の影響で冬季よりも秋季の方が高波浪となる場合もある。従って長期予測でも冬季が必ずしも高目とはならない場合もある。また本論文で使用したデータベースでは冬季の定義は 12 月から 2 月までであるが異なる定義のデータベースもあるので注意する必要がある。

なお目視データは周期を短めに捉える傾向があり^{9,10)}、相対的に粗度が高めとなるから、全体的に高めの長期予測結果を与える場合が多い。したがって、通常の船型計画や就航時性能保証⁸⁾などの問題で長期予測値の絶対値を問題にする場合は目視データの歪みを修正したデータ^{9,10)}を使用したほうがよい。

4.1 短期予測

まず船首上下加速度 (単位は G : 重力の加速度) の有義値の短期予測値 (向かい波中) を Fig.4 (左) に示す。全周期で有義波高は 1 m としているから単位有義波高当たりの応答と言え。肥大船の運動が小さいことが加

速度にはつきり出ている。また PM 型による結果に対する T1 型による結果のずれの傾向は周波数ベース Fig.1 におけるスペクトルのずれと逆にも見えるが、短期予測のピークは同調周波数にほぼ対応することから矛盾はない。すなわちピーク周波数が左にずれる T1 型スペクトルでは与えられた運動の同調周波数とピークが一致するのはより平均周期の短い波となる。

またこの図から判断すると、長期波浪データの出現確率が高波高で一様とすれば、コンテナ船の T1 (×印), T2 (★)、肥大船の T1 (□印), T2 (◎) とともに P-M の場合よりピーク値で見てその値が約 6% くらい低くなっているため長期予測も小さめに出る可能性がある。但し実際には長期波浪データの高波高部の出現確率分布は一様ではないので長期予測も実施する必要がある。次に Fig.4 (右) に示した船体中央部波浪縦曲げモーメントの短期予測結果も、最大値を生ずる周期が少し左にずれる程度で形状およびピーク値が下がる割合も殆ど Fig.4 (左) と同じであった。但し上下加速度の場合とは逆に、曲げモーメントで大きい値となっているのは肥大船である点に注意されたい。

4.2 長期予測

Fig.5 に船首上下加速度の長期予測結果を示す。左がコンテナ船、右が肥大船である。また船体中央部波浪縦曲げモーメントの長期予測結果を Fig.6 に示す。やはり左がコンテナ船、右が肥大船である。但しモーメントの

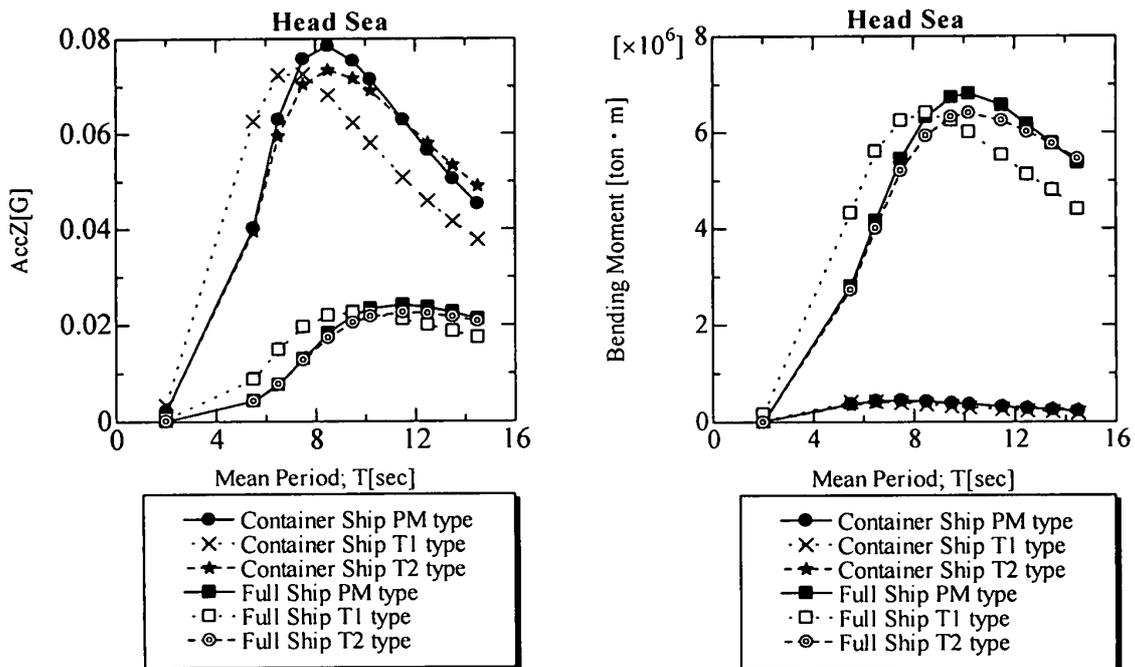


Fig 4 Short-term prediction of vertical acceleration [G] at F.P. and vertical bending moments

縦軸は無次元化しているので注意されたい。いずれもシンガポール航路の場合である。短期予測で出た船の大きさの効果が長期予測にもはっきり出ている。

スペクトル形状の違いが長期予測の結果にどう出たかを定量的に見るため、超過確率が 10^{-8} の値を表にまとめたものが Table3 (上下加速度)、Table4 (波浪縦曲げモーメント) であり、PM を基準とした差の%値も記入した。

これを見ると殆どの場合において PM 型にくらべて、T1 型、T2 型ともに 5% 程度の値の減少となっていることがわかる。これは前節で述べた短期予測のピーク値の 6% 程度減少と対応しており、新スペクトルを使用した長期予測では 5% 程度の無視し得ない値の減少が考えられると言ってよさそうである。長期予測のプロセスから見てもほぼそう言えると思われる。但し詳細を見ると -1.62% (肥大船、加速度、追算、冬季)、-11.6% (肥大船、加速度、目視、通年) とはずれている例や +1.11% (肥大船、曲げモーメント、追算、冬季) と若干増加の場合も見られるので更に検討も必要である。

なお Fig.7 に Table3, Table4 を棒グラフで示した。下 2 つは Table3, Table4 では示さなかった PN 航路での値を示す。それぞれの図で棒グラフの大きなかたまりが 3 つあるが、それぞれ使用データベースに対応している。各グループの 6 本の棒は左から PM (通年データ使用)、T1 型 (通年)、T2 型 (通年)、PM (冬季)、T1 型 (冬季)、T2 型 (冬季) の順になっている。

一瞥してわかることは下に示した PN 航路ではグループごとの差が小さいこと、シンガポール航路ではグループ毎のレベル差が大きく、追算、GWS、目視の順に大きくなっているといえる。PN 航路でグループ間の差が小さいことは長期予測に効く高波高での出現頻度が似ているからとも考えられるが、選択した航路でたまたまそうなったのかも含めて更に検討する必要がある。

また細かく見るとシンガポール航路では冬季の方が下がっている場合もあるが、これは既に述べたように台風の影響が冬季以外に入っているためと思われる。PN 航路では大略冬季の方が通年より高めとなっている。また T1 型による場合の方が T2 型よりも大きな減少を示しているケースが多いように見うけられるが、いずれにしても本論文で問題としている PM 型スペクトルを使った場合に対して、新スペクトルによる場合は概略 5% 程度長期予測値が減少するようである。

同様に Fig.8 に肥大船についての棒グラフ (上下加速度、シンガポール航路) を示した。Fig.7 の上 2 つのコンテナ船と対比してみると、グループ間、すなわちデータベース間のレベル差は大きい、スペクトル型による

違いの傾向はコンテナ船と大略同じであり概略 5% 程度の減少率は同じである。

Table 3 Dimensionless vertical accelerations[G] at F.P. corresponding to $\text{Log}_{10}Q = -8.0$ and its ratios(%)

Along the Singapore Route

Container Ship

| Data | All Season | | | Winter | | |
|----------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | PM | T1 | T2 | PM | T1 | T2 |
| GWS | 1.96 | 1.86 | 1.85 | 2.03 | 1.93 | 1.91 |
| | | -5.47% | -5.79% | | -5.11% | -5.88% |
| Hindcast | 1.71 | 1.60 | 1.61 | 1.68 | 1.55 | 1.57 |
| | | -6.76% | -5.73% | | -7.66% | -6.64% |
| Visual | 2.29 | 2.16 | 2.17 | 2.30 | 2.14 | 2.17 |
| | | -6.01% | -5.38% | | -6.92% | -5.51% |

Full Ship

| Data | All Season | | | Winter | | |
|----------|------------|---------|--------|--------|---------|--------|
| | PM | T1 | T2 | PM | T1 | T2 |
| GWS | 0.61 | 0.58 | 0.57 | 0.63 | 0.59 | 0.59 |
| | | -5.35% | -5.74% | | -5.48% | -5.76% |
| Hindcast | 0.53 | 0.50 | 0.50 | 0.48 | 0.47 | 0.46 |
| | | -4.74% | -5.55% | | -1.62% | -3.74% |
| Visual | 0.79 | 0.70 | 0.74 | 0.78 | 0.69 | 0.74 |
| | | -11.60% | -5.59% | | -11.29% | -5.51% |

Table 4 Dimensionless bending moments $M/I \rho g L^3 B \times 10^{-4}$ corresponding to $\text{Log}_{10}Q = -8.0$ and its ratios (%)

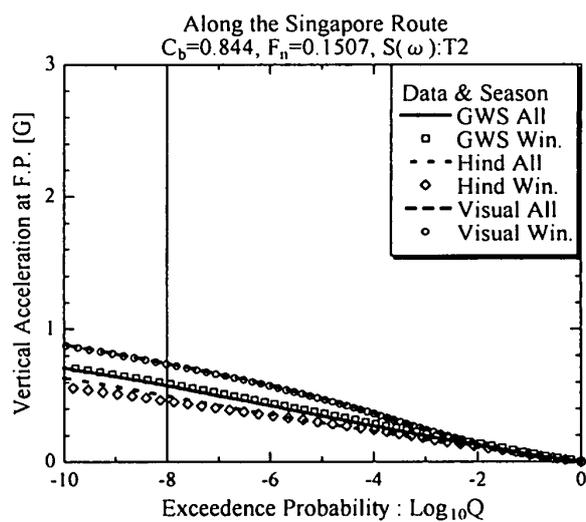
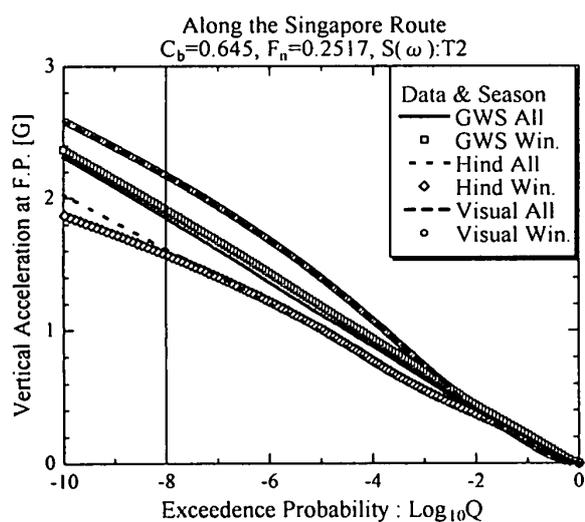
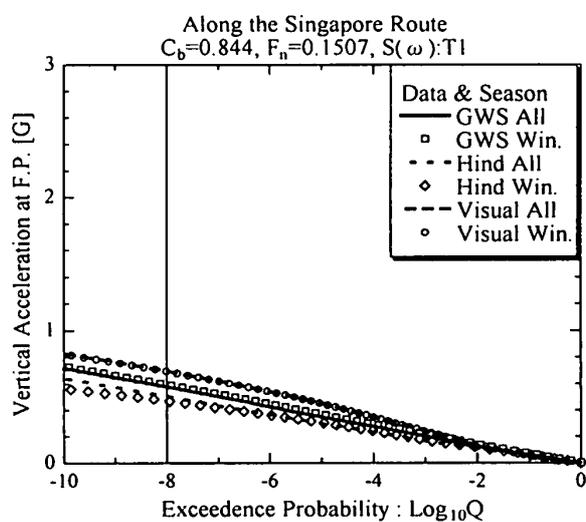
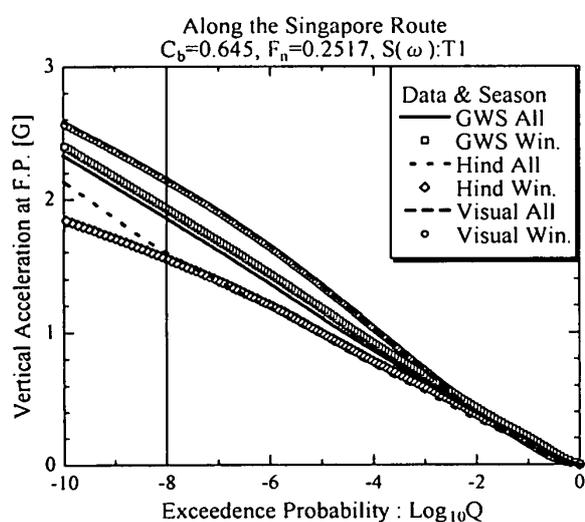
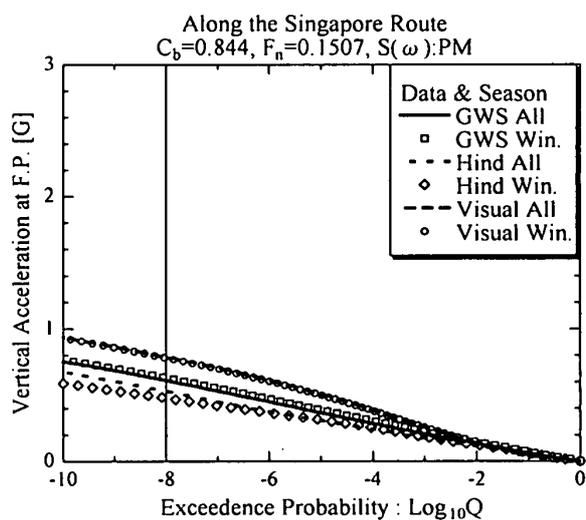
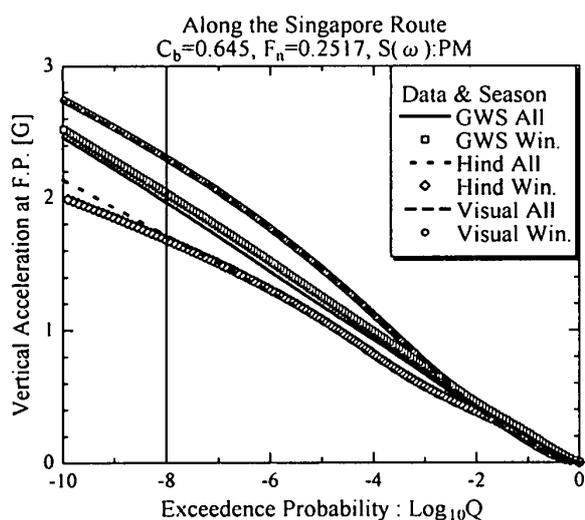
Along the Singapore Route

Container Ship

| Data | All Season | | | Winter | | |
|----------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | PM | T1 | T2 | PM | T1 | T2 |
| GWS | 14.30 | 13.65 | 13.60 | 14.79 | 14.17 | 14.04 |
| | | -4.54% | -4.93% | | -4.15% | -5.01% |
| Hindcast | 12.46 | 11.76 | 11.86 | 12.09 | 11.16 | 11.44 |
| | | -5.57% | -4.78% | | -7.65% | -5.33% |
| Visual | 16.59 | 15.61 | 15.83 | 16.59 | 15.49 | 15.82 |
| | | -5.91% | -4.59% | | -6.67% | -4.64% |

Full Ship

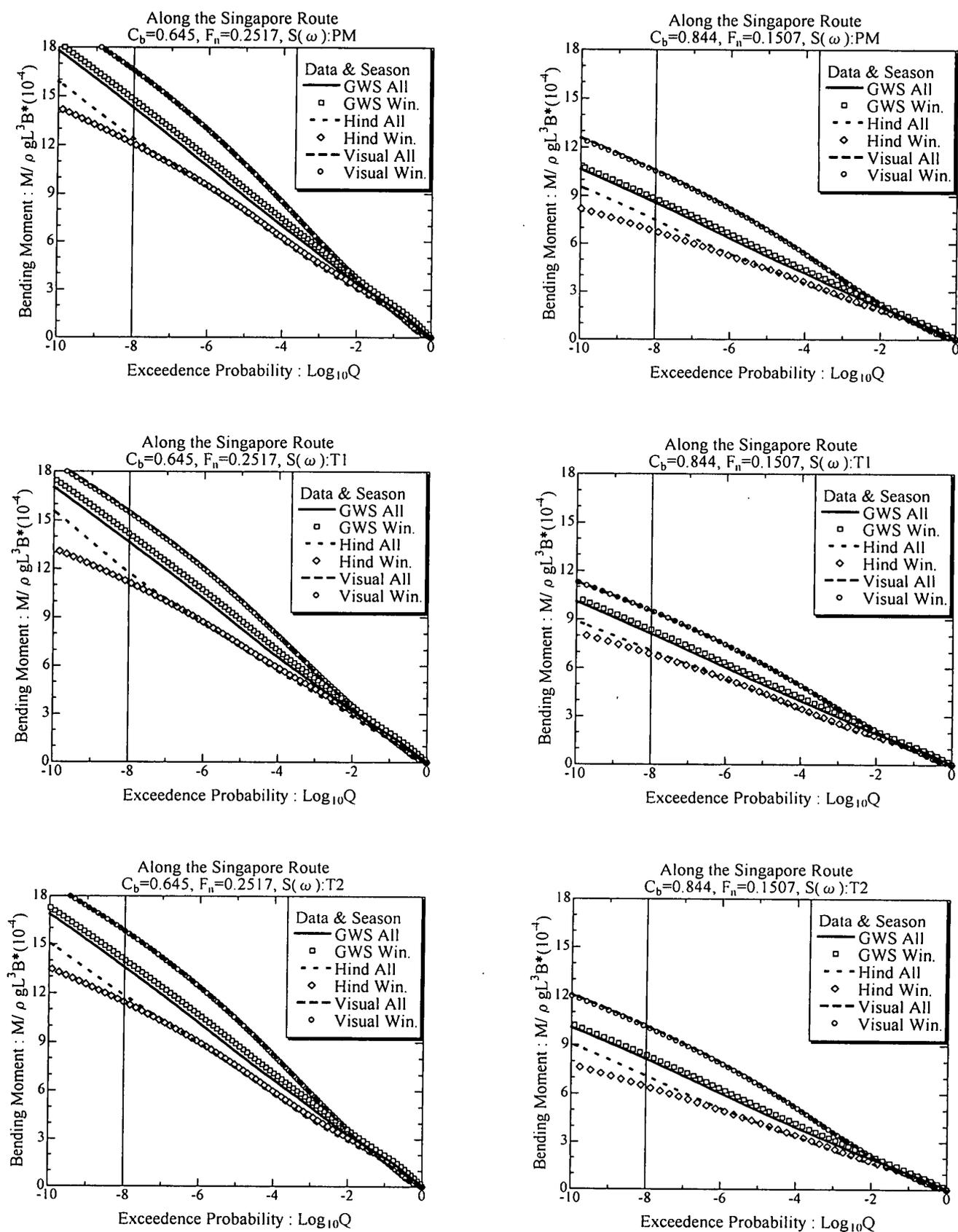
| Data | All Season | | | Winter | | |
|----------|------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | PM | T1 | T2 | PM | T1 | T2 |
| GWS | 8.58 | 8.11 | 8.14 | 8.84 | 8.37 | 8.39 |
| | | -5.48% | -5.11% | | -5.29% | -5.11% |
| Hindcast | 7.50 | 7.09 | 7.11 | 6.79 | 6.87 | 6.45 |
| | | -5.37% | -5.17% | | 1.11% | -4.98% |
| Visual | 10.61 | 9.52 | 10.17 | 10.54 | 9.53 | 10.10 |
| | | -10.20% | -4.11% | | -9.60% | -4.13% |



Container Ship ($L_{pp}=138m, C_b=0.645$)

Full Ship ($L_{pp}=250m, C_b=0.844$)

Fig.5 Comparison of long-term distribution of vertical acceleration at F.P. for two Ship-Types. (Container-Ship (left) and Full-Ship (right))



Container Ship ($L_{pp}=138m, C_b=0.645$)

Full Ship ($L_{pp}=250m, C_b=0.844$)

Fig.6 Comparison of long-term distribution of vertical wave bending moment at midship for two Ship-Types(Container-Ship (left) and Full-Ship (right))

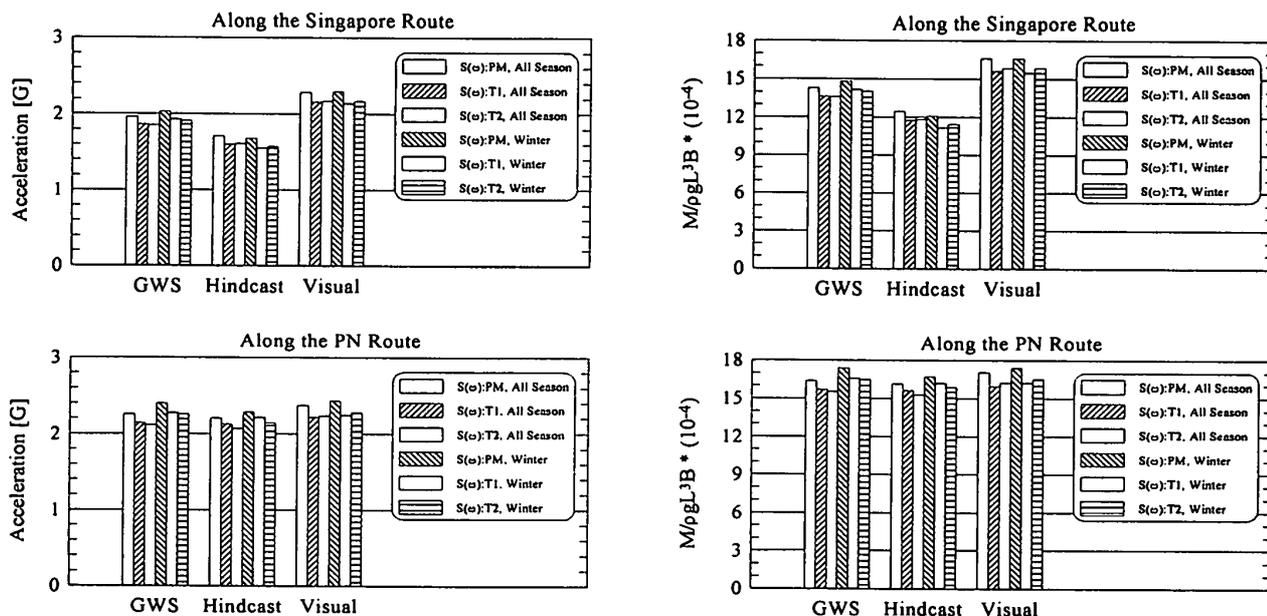


Fig. 7 Bar charts of dimensionless vertical accelerations [G] at F.P. and vertical bending moments corresponding to $\text{Log}_{10}Q = -8.0$ (Container ship)

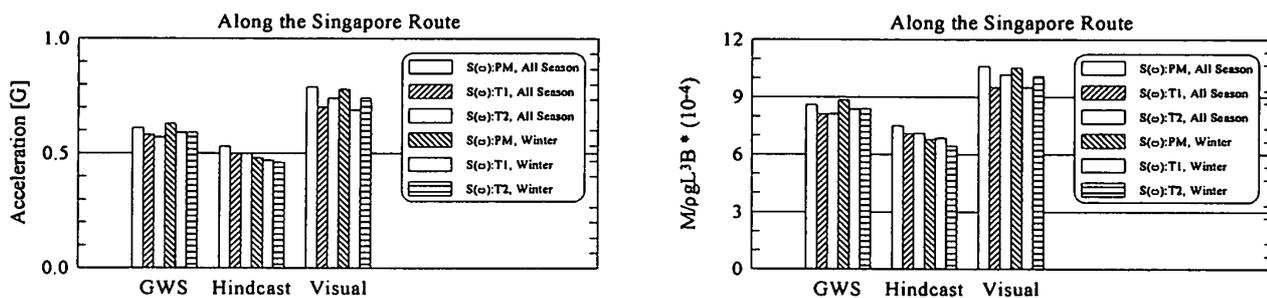


Fig. 8 Bar charts of dimensionless vertical accelerations [G] at F.P. and vertical bending moments corresponding to $\text{Log}_{10}Q = -8.0$ (Full ship)

5. 結 言

緒言でも述べたように本論文での課題“ ω^{-4} 型波スペクトルの応答・長期予測への影響”はITTCとしても検討を勧告していたもので、 ω^{-4} 型の新波スペクトルは今後標準型として船舶分野でも導入すべきものと考えられる。なお本論文では、方向分布については従来通りと考えている。

本論文ではまず、従来型スペクトルとの関連を見るために、指定された平均周期ないしはピーク周期を有する ω^{-4} 型の全周波数領域新スペクトル標準型(式)を提案し、さらに短期予測を通して長期予測がどの程度変化するかについて、検討した。勿論考えられる全てのケースについての検討は到底無理なので主要例を示したに留まったが本論文で実施した比較検討自体今までになされたことがないものである。

なお全ての検討が済まなければ新スペクトルを導入すべきでないという考えもあるが、 ω^{-4} 型は既に定説でもあるし、本論文でも示されたように無視しえない変化が予想されるわけであるから合理的な船舶設計に資するといった観点からも導入が図られるべきであると考ええる。

最後に、緒言でも述べたように周波数応答関数を有する浮体の応答、特に同調周波数が問題になる場合はスペクトルのピークの周波数が重要であることを再度強調しておきたい。本論文での要点は以下の通りである。

(I) スペクトル自体の性質について

- 1) T_{02} (ゼロアップクロス平均周期) または T_p (スペクトルのピーク位置対応の周期) を P-M 型のそれと一致させた 2 ケースについて全周波数領域

型（高周波数領域では ω^{-4} 型）新スペクトルの標準型（鳥羽の頭文字をとって、それぞれT1, T2型と名付けた）を導いた。ただし低周波数領域では従来型とした。

- 2) それぞれのケースについて T_p または T_{02} と T （ T_{01} ：スペクトル図心周期）の関係を表で示した。
- 3) T_{24} （ピーク・トゥ・ピーク平均周期）についてはP-M型との違いを数値計算により示した。
- 4) T2型を用いた場合、 T_{24} の減少率から見て、最大16%程度、PM型の場合に対して出会い山数の増加となる。これは一定期間での繰り返し数の増加となるので疲労強度の面では厳しくなる。但しT1型を用いた場合は緩和される方向となる。

(II) 短期予測、長期予測に対して

次に使用するスペクトル型によって短期予測、長期予測（福田法による）がどの程度変化するかを見た。シンガポール航路、北太平洋航路に対応して再構築した3種の長期波浪統計を使用して L_{pp} が138mのコンテナ船および250mのばら積み貨物船（肥大船）の例で見た場合以下の結果となった。

- 1) 船首上下加速度および船体中央部波浪縦曲げモーメントの短期予測においては、その最大値で見た場合、新スペクトル（T1, T2型とも）では、PM型による結果に対して、6%程度値が減少する。但し最大値を生ずる平均周期はT2型ではずれないがT1型では短い方にずれる。
- 2) 同じく長期予測においても超過確率が 10^{-8} となる値で比較すると新スペクトルでは5%程度減少した。
- 3) 但し短期予測でも見られたようにT1型を使うかT2型を使うかは長期予測結果の差にはあまり出ていない。
- 4) 以上のT1型, T2型とに共通した減少は短期予測をベースにした長期予測プロセスから見てかなり一般的な結果であり設計荷重等の緩和につながるものであると判断される。しかしながら若干増加する場合も見られたので更に検討することが必要である。

使用する波浪統計によって長期予測値にレベルの差が出る。しかしスペクトル型に基づく違いは波浪統計が異なっても相対的には大略同じであった。これはスペクトル形状の影響は短期予測に対して、より直接的に出ることを考えると頷ける結果である。

参考文献

- 1) Toba Y.,: Local Balance in the Air-Sea Boundary Process-III. On the Spectrum of Wind Waves, Journal of the Oceanographical Society of Japan, Vol.29, pp.209-220, 1973
- 2) Phillips O.M.: Spectral and statistical properties of the equilibrium range in wind-generated gravity waves, Journal of Fluid Mechanics, Vol.156, pp.505-531, 1985
- 3) 小寺山亘、佐々木哲、丸林賢次、石橋道芳：海洋観測ステーションによる沿岸波浪の方向スペクトルの計測、日本造船学会論文集、第171号、pp.501-509、1992
- 4) 鳥羽良明（編）：大気・海洋の相互作用、東京大学出版会、1996
- 5) 光易恒：波浪研究の歴史的発展に関するノート（6）—1970年代の波浪研究—、海の研究、10(5)、pp423-435、2001
- 6) 22nd ITTC: Multi-Directional Wave Spectra, Proceedings of 22nd ITTC, Vol.1, pp133-137, 1999
- 7) 日根野元裕、山内保文：海洋波のスペクトル、日本造船学会誌、第609号、pp.78-98、1980
- 8) 平山次清、崔龍虎：荒天海象の設定に関する一考察—就航時性能保証に向けて—、日本造船学会論文集、第189号、pp39~46、2001
- 9) 崔龍虎、平山次清：長期波浪データベース間の相互関係—波浪データベースの統合に向けて—、日本造船学会論文集、第188号、pp239~250、2001
- 10) 崔龍虎、平山次清、平川嘉昭：長期波浪データベース間の相互関係（その2）—歪みを修復した長期統計の特性—、日本造船学会論文集、第190号、pp227~239、2001
- 11) 福田淳一：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）pp.99-119、1969
- 12) Hogben, N., Dacunha, N.M.C. and Oliver, G.F.: Global Wave Statistics, British Maritime Technology, 1986 (PC版)
- 13) 渡辺巖、富田宏、谷澤克治：北太平洋の風と波(1974~1988)、船舶技術研究所報告別冊第14号、運輸省船舶技術研究所、1992
- 14) 竹沢誠二、脇屋元：修正切断スペクトルを持つ人工不規則水波、日本造船学会論文集、第149号、pp29~36、1981