(昭和 51 年 5 月 日本造船学会春季講演会において講演)

海洋波に対する応答の長期分布の理論的推定 における想定海象について (続)

正員 真 能 創*

The Severity of Supposed Wave Conditions in Estimating Extreme Values
of Wave Induced Response Variables of a Ship (Continued)

Hajimu Mano, *Member*

Summary

The supposed wave condition has considerable effects on the theoretically estimated extreme value of wave induced random variable of a ship. Author showed that the severity of a given wave condition is evaluated by the maximum wave height and its frequency of occurrence in each wave period interval, in the previous paper¹⁾. In this paper, applying the evaluation method, author clarifies the severity of wave condition in winter which is considered as the roughest one in all seasonal wave conditions.

It is found out by observation of wave statistics in the North Atlantic by Walden³⁾, those by Hogben and Lumb⁴⁾ (sea area 1, 2, 6 and 7), and those in the North Pacific by 80th Committee of the Japan Ship Research Association⁵⁾ (sea zone 3), that at longer wave period intervals the highest wave in year is observed in winter in almost cases but at shorter wave period intervals the one is observed in other season than winter in some cases. Accordingly, though the extrem value of the variable estimated by supposing wave condition in winter instead of that in all seasons is larger at most about 10% than the one in all seasons generally, sometimes the value is less than the latter.

The population of the variable in all seasons is total sum of the population of it in each season. As it is expected that the population in winter includes the extreme value in all seasons which is to be regarded as the exact value for a ship, the value in winter is compared with that in all seasons. The relation between these two values varies according to the wave period $T_{\max}$ at which the maximum standard deviation of short-term distribution of the variable is observed. In the case where $T_{\max}$ is over 5 sec the former is nearly equal to the latter in most cases, but sometimes the former is less than the latter considerably where $T_{\max}$ is from 5 to 9 sec.

Similar relation must be found between the extreme value predicted by the result of long-term full scale measurement of the variable in winter and the exact value. The effect of sample size is also to be considered in this case, because the period of full scale test is usually shorter than the observation period of such wave statistics described above. It is concluded by my study that the value may be nearly equal to the exact value where $T_{\max}$ is from 7 to 13 sec and may be considerably less than the exact one in other range of $T_{\max}$. This means that the correct extreme value of wave bending moment may be predicted by full scale measurement where length of ship is from 120 to 400 m (cargo ship) or from 100 to 320 m (tanker), but to predict the value by this method may be under estimation where ship length is out of the ranges.

The method of seasonal wave observation to get more correct data for estimation of the extreme value than the wave statistics in winter is studied. It is made clear by analysis of above wave data, that the value of the variable in winter and autumn in the North Atlantic or in winter and

* 防衛大学校

spring in the North Pacific agrees with that in all seasons accurately even if $T_{\max}$ is in the range from 5 to 9 sec. This is a useful guide of wave observation when continuous measurement is not allowed.

1 緒 言

海洋波に対する船の応答の長期分布における極値（最大値）の理論的推定結果は、想定海象によって相当大きく変化する。筆者は前論文¹⁾において、想定海象の苛酷さはその海象の各波周期別の最高波高とその発現頻度によって評価できることを明らかにした。

本論文では筆者は前論文で示した海象の荒さの評価方法を適用し、極値の推定に年間平均海象の代りに冬季海象を想定した場合について調べ、このような場合は一般には年平均海象における極値より安全側の値になるが、船の大きさ、適用する波浪統計資料等によっては、必ずしも安全側にならないことを明らかにする。また、冬季に実施された実船試験結果から推定される極値の信頼性について研究し、これも船の大きさ、試験期間等によって変化するものであり、今後はこの種の結果はこれら諸条件を考えて評価すべきであることを明確にする。

これらの結果を発展させ、波浪観測、実船試験の実施方法について研究し、これらは北大西洋では冬季秋季、北太平洋では冬季春季に実施するのがよく、この期間を通じて実施された観測値は、極値推定を対象とする限り、通年観測値とほぼ同等の価値を有するであろうとの結論が得られたので、ここに報告する。

2 冬季海象における応答の極値

2.1 冬季海象を想定する場合の問題点

波浪荷重のような船体応答の極値（最大値）を理論的に推定するに際し、次のような考え方から冬季海象を想定することがある。

(a) 冬季海象は最も苛酷（荒い）であるから、この海象下で船が常に航海すると仮定して得られた最大値を対象として、船体強度等を考えることは安全側の想定条件となる。

(b) 年平均海象（四季海象）における応答の長期分布の中から、冬季海象での応答だけを取り出した長期分布を考えると、冬季海象は最も苛酷であるから、その最大値は四季海象での長期分布の最大値と一致すると考えられる。

船舶は普通季節に関係なく運航されるから、四季海象における極値が基準となるべきである。したがって、前者の考え方により冬季海象における極値を想定することが果して安全側の想定になるのか、またどの程度安全側になるのかを確認する必要がある。

波浪荷重等を対象とする実船試験は、期間が制限される場合は冬季に実施されることが多い。したがって、その結果から実際の運航時における極値を推定する場合は、後者の考え方によらざるを得ない。この場合もその推定値が真の極値とどのような関係にあるかを明らかにしておく必要がある。

本論文で解明しようとするのは、精密計算による応答の極値が上記のような想定条件のちがいでいによって如何に変化するかということである。これは多数例の計算を実施すれば解明できるかも知れないが、このような方法では結果を解析的に取扱うことが困難となる。これは文献2)に示した近似推定法、また前論文に示した海象の表示法によるときは、整然と示すことができる。

2.2 最も苛酷な想定海象としての冬季海象

2.2.1 冬季海象に対する等価最高波高曲線

前論文で述べたように、任意の想定海象の苛酷度（荒さ）は等価最高波高 H_{me} であらわされる。 H_{me} はその海象の任意の波周期区分 T_j における観測波高の最大値 H_m を、その発現頻度 p_{mj} の影響を考慮して次式で修正したもので、 T_j によって変化する。

$$H_{me} = H_m \left\{ \frac{-\log p_{mjs} - \log p_{m0}}{-\log p_{mj} - \log p_{m0}} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

上式で p_{mjs} は p_{mj} の基準値で任意の値をとれるが、前論文では 1×10^{-5} を採用した。 p_{m0} は波高が H_m の海面で応答の標準偏差 R が最大値 R_m になる航海条件の発現確率である。与えられた海象での H_{me} の T_j による変化を、Fig. 1 に示すように曲線 (H_{me} 曲線) で表示すると、その海象の荒さの特性をすべて表現できる（同図は簡単のために折線で表示したが、元来は折線の各点を結ぶ曲線となる）。

なお、想定海象の苛酷度が H_{me} であらわされることは、応答の長期分布において応答の繰返し数が 10^N のときの超過確率 10^{-N} に対応する最大値（特性極値） X_m は、次式で近似できることから導かれたものである²⁾。

$$X_m = 1.037 N f_2(p) \bar{R}(jk) H_m \quad (2)$$

ここに、 $f_2(p) = \{-\log p_{mj} - \log p_{m0}\}^{-1/2}$

$$\bar{R}(jk) H_m = R_m$$

R_m …長期分布を構成する短期分布の標準偏差の中の最大値

上式中の H_m は応答の標準偏差が R_m になる海面状態（最悪海面状態）における波高で、 R が R_m になる波周期 $T_{\max}$ における最高波高 H_m が相当する。

Fig. 1 は想定海象に北大西洋(Walden³⁾)の四季海象を用いたときの H_{me} と、冬季海象を用いたときの H_{me} の比較 (H_{me} は p_{m0} によっても変化するので p_{m0} が 1 と 1/12 のときの平均値をとった)を示す。なお、以後比較のために区別する必要があるときは四季海象に対するものには y , 冬季海象に対するものには w の添字を追加する。同図に示すように T_j が 7 秒以上では大体 H_{mew} の方が高いが変化は複雑であり、7 秒未満では差がなくなり 5 秒未満では逆に H_{mew} の方が低くなる。このことは、冬季海象を想定したときの X_m の増加 ΔX_m は、船の大きさ、応答の種類によって種々変化することを意味する。

例を垂直波浪曲げモーメントにとると、前論文の図 2 に示す貨物船の場合は、 L が 150m 近くまで ΔX_m は 0 か負の値になる (T_{max} が 7~9 秒のときは X_m は図の通りに変化しないので破線で示した。この領域では、 T_{max} が 8 秒近くまでは T_j が 5~7 秒のときの H_{me} の影響を受け、 ΔX_m は 0 に近いと推定される)。 H_{mew} , H_{mey} は想定する波浪観測資料によって異なるから、図の Walden の資料と異なるものを想定海象とすると、また異なる結果になることはいうまでもない。

2.2.2 各波浪観測資料における ΔX_m

前述の ΔX_m は H_{mew} と H_{mey} の比で示す方がより簡単になる。この比は式 (1) より導かれる。

$$\frac{H_{mew}}{H_{mey}} = \frac{X_{my} + \Delta X_m}{X_{mj}} = \frac{H_{mw}}{H_{my}} \left\{ \frac{-\log p_{mjy} - \log p_{m0}}{-\log p_{mjw} - \log p_{m0}} \right\}^{1/2} \quad (3)$$

今日最もよく使用される波浪観測資料である北大西洋の海象 (Walden の海象, Hogben-Lumb の海域 1, 2, 6, 7 の海象⁴⁾) および北太平洋の海象 (海域 3 の海象⁵⁾) を想定海象としたときを例にとり、 H_{me} の比を式 (3) より求めた結果を Fig. 2 に示す。なお、前論文では Hogben の資料は海域 2 (北緯 50°~60°, 西経 5°~30°) の海象を北大西洋の代表としたが、本論文では海域 1, 2, 6, 7 の海象を採用する。この海域は北緯 40°~60° 間の北大西洋全域を含み、ほぼ Walden の波浪観測海域と一致する。

図示のように T_j が 9 秒以上のときは値は種々変化するがこの比は常に 1 より大きく、冬季海象は四季海象より安全側の想定条件となる。しかし、 T_j が 9 秒未満のときはこの比が 1 以下になる場合が相当あり、冬季海象は必ずしも安全側の想定条件とならない。

なお、本論文の数値計算の細目について付記しておく。前論文では年平均海象における p_{mj} の下限値を 1×10^{-5} とした。本論文でも冬季海象を年平均海象の代りに想定するときは同じ値を下限値とし、Table 1 に示す

ように p_{mj} がそれ未満になる観測値は無視した。船の生涯において p_{mj} が 1×10^{-5} というのは、遭遇時間では約 1 時間になる。後述のように冬季分布の極値を求める場合には、遭遇時間をこれに等しくすると p_{mj} の下限値は 4×10^{-5} となるが、下限値を 1×10^{-5} とした場合も 5×10^{-6} までは 4 捨 5 入によって 1×10^{-5} としていることを考え、下限値を 2×10^{-5} とした。冬春季海象、冬季海象より年平均海象を推定する場合等でも p_{mj} の下限値は同様に取扱った。計算においては p_{mj} の最小単位を 1×10^{-5} とすると、 1×10^{-5} 未満を 4 捨 5 入する誤差が相当大となる場合があるので、 1×10^{-6} 未満を 4 捨 5 入した数値を使用した。

p_{m0} の取扱いは Fig. 1 の場合と同じである。

Fig. 2 の Walden の海象における H_{me} の比は、Fig. 1 に示す結果と若干異なる。同資料には年平均海象と四季別海象が示されているが、四季別海象を合算しても年平均海象とは標本数も異なり同じ結果が得られない。Fig. 1 は同資料の年平均海象をそのまま使用し、Fig. 2 は四季別海象を合算して求めた年平均海象を使用した。両者に差がみられるのは T_j が 5~7, 13~17 秒のときであるが、その差は小さい。今後は四季別海象から求めたものを年平均海象とする。

Hogben および北太平洋の海象では、観測回数が季節、海域 (北太平洋の海域 3 は 6 海域に細分されている) によって相当大きく変化するので、 p_{mj} は細分された各海域別に求め、それらの平均値を p_{mj} とした。

2.2.3 ΔX_m の上限値

冬季海象が四季別海象の中で最も荒いのが普通であるが、その極限を考えてみると、年平均海象にみられる最も苛酷な海面状態はすべて冬季に観測されたものとなるから、年平均海象の最悪海面状態と冬季海象におけるそれは一致すべきである。

$$H_{mw} = H_{my} \quad (4a)$$

また、その海面状態は冬季以外では観測されないとする、四季海象の標本数は冬季のその 4 倍になるから、

$$p_{mjw} = 4p_{mjy} \quad (4b)$$

したがって、 H_{me} の比は次のようになる。

$$\frac{H_{mew}}{H_{mey}} = \left\{ \frac{-\log p_{mjy} - \log p_{m0}}{-\log 4p_{mjy} - \log p_{m0}} \right\}^{1/2} \quad (3)'$$

Walden の資料では p_{mjy} は $1 \sim 5 \times 10^{-5}$ であるから、この値を代入すると H_{me} の比は 1.06~1.07 となる。これが同資料における H_{me} の比の上限値である。すなわち、 ΔX_m は四季海象を想定した場合の極値の 7% 以下である。同様に Hogben の資料ではこの比は 1.06~1.08、北太平洋の海象ではこの比は 1.09~1.11 になる。この上限値が異なるのは p_{mjy} の値の範囲が若干異なるためである。

Fig. 2 において、 H_{me} の比がこの上限値に達するのは北大西洋 (Walden, Hogben-Lumb) では全波周期区分の中の約 1/2 であり、北太平洋ではさらに少ない。このことは、これらの波周期以外では最悪海面状態は冬季以外の季節に観測されるか、あるいは冬季以外でも同様の荒天が観測されることを意味する。

Table 1 は各波浪資料について、各波周期区分別に H_m およびその観測回数 n_m を計算して求めた結果を示す。同表で四季海象の H_m と n_m が冬季のそれらと一致している波周期では、Fig. 2 の比はほぼ (前述の p_{mj} の計算方法からみて完全に一致しないときもある) 前記の上限値になる。

全般に T_j が短いときは冬季海象が最も荒い海象という状態ではなく、 T_j が長くなると冬季海象の荒さが顕著になる。 T_j が 9 秒以上になると冬季海象が四季海象の最悪海面状態をほぼ独占しているとみてよい状態になる。これは T_j が短い海面状態は比較的小規模の荒天でも見出され、 T_j の長いもののほど規模の大きい荒天で見出されるとすると、小規模の荒天は冬季以外でもしばしば発生し、その最も激しいものも冬以外で観測されるが、大規模かつ極度の荒天はほとんどが冬に見出される結果であると判断される。

これら 3 種の代表的な波浪資料を想定した場合の結果、およびその結果があらわれる理由から考えて、他の任意冬季海象を想定した場合でも、同様の結果になると推定される。すなわち、 T_{max} が 9 秒以上の応答のときは ΔX_m は 0~10% 程度の値になり、5~9 秒のときは過渡領域で ΔX_m は大体正の値になるが、資料によっては負の値となる可能性がある。 T_{max} が 5 秒未満のときは ΔX_m は 0 または負になると推定される。

ただし、冬季海象を想定することでどの程度大きい極値を推定することになるかが明らかになった現在以降において、特に冬季海象を想定しなければならないという必要性はない。

2.3 冬季分布より年平均海象における極値の推定

2.3.1 冬季海象における応答の長期分布の極値

船の実際 (四季海象における) の応答の長期分布の中から冬季の応答だけを取り出した場合、この冬季応答の長期分布 (以後冬季分布と呼ぶ) の構成はもとの長期分布と同様であるから、指数分布で近似できると推定される。したがって、その極値 X_{mw} は式 (2) から求められる。ただ、冬季だけをとり出すのであるから、応答の総数はもとの分布の 1/4 に減少する。

$$X_{mw} = 1.073(N - \log 4)f_2(p)_w \bar{R}(jk)H_{mw} \quad (5)$$

ここに、 $f_2(p)_w = \{-\log p_{mjw} - \log p_{m0}\}^{-1/2}$
 X_{mw} ともとの長期分布の極値 X_{my} の比は式 (2), (5) より、

$$\frac{X_{mw}}{X_{my}} = \frac{(N - \log 4)}{N} \times \frac{H_{mw}}{H_{my}} \left\{ \frac{-\log p_{mjy} - \log p_{m0}}{-\log p_{mjw} - \log p_{m0}} \right\}^{1/2} \quad (6)$$

冬季海象は最も荒く、四季海象の最悪海面状態はすべて冬季に観測されたものとする、 H_{mw} と H_{my} は等しく、 p_{mjw} は p_{mjy} の 4 倍になるから、

$$\frac{X_{mw}}{X_{my}} = \frac{(N - \log 4)}{N} \left\{ \frac{-\log p_{mjy} - \log p_{m0}}{-\log 4p_{mjy} - \log p_{m0}} \right\}^{1/2} \quad (6)'$$

$N=8$, p_{mj} は Walden の海象をとり $1 \sim 5 \times 10^{-5}$ とすると、

$$X_{mw}/X_{my} = 0.97 \sim 1.00$$

となり、両者は完全に一致する。

Table 2 は前節に示した北大西洋および北太平洋の海象を対象として、式 (6) より X_{mw} と X_{my} の比を求めた結果を示す。この比は式 (3) の H_{me} の比に応答数の修正項を乗じたものであり、この修正項は N が与えられると定数 ($N=8$ のときは 0.925) であるから、同表の比の T_j による変化の傾向は Fig. 2 と同じになる。

Fig. 2 の場合と同様に、 T_{max} が 9 秒以上の応答では冬季分布の極値はもとの長期分布の極値と一致するとみてよい。 T_{max} が 5~9 秒のときも両者の極値は一致するとみなせるが、Hogben の海象では 7~9 秒では一致しない。 T_{max} が 5 秒未満のときは冬季分布の極値は相当小となる。

以上の結果があらわれるのは前節と同じ理由と考えられるから、他の任意の海象でも T_{max} が 5 秒以上のときは冬季分布の極値ともとの長期分布の極値は一致するとみてよい。ただし、 T_{max} が 5~9 秒のときは前者は後者より相当小さな値になる場合はあり得る。

応答の極値を論じるのは、普通 T_{max} が 5 秒以上の場合であるから、冬季分布から年平均海象における極値を推定することは可能であるとの結論に到達する。

2.3.2 冬季の実船試験結果より極値の推定

前節の冬季分布の極値に対する考察結果は冬季に実施された実船試験結果を外挿して求めた、供試船の生涯における応答の極値の評価に、重要な意義を与える。実船試験より得られた長期分布における極値は、前節の冬季分布における極値に相当するから、 T_{max} がある値のときはこれが四季海象における極値と一致するとみなせる (この場合応答数の修正を行わないときは、2.2 の場合の極値に相当し、実際の四季海象における極値より過大な (約 10% 以下) 極値が得られる)。

ただし、実船試験の実施期間は前述の Walden 等の資料の波浪観測期間に比べ短期であるのが普通であり、標本数の関係から実験結果を外挿した極値は、Walden の

冬季海象から得られる極値のように精度のよいものでないことが心配される。

冬季海象の観測標本数が異なると、それを想定海象として推定される冬季分布の極値がどのように変化するかを、現在ある波浪資料⁶⁾を用いて検討する。北大西洋における Roll の波浪資料は海象観測船 H の資料を除くと、Walden のそれと一致し、ただ標本数が少ない(冬季海象観測回数 Walden は 55,825 回, Roll は 11,420 回(除 H 船))。また、Hogben の資料は観測海域(海域 1, 2, 6, 7) はほぼ Walden のそれと一致し、観測回数は若干少ない(34,066 回)。よって、Roll および Hogben の冬季海象を想定したときの X_{mw} と、Walden の四季海象における X_{my} を比較すれば、標本数の影響はある程度観察できる。

Table 3 は上記の極値の比を求めた結果で、 $T_{\max}$ が 7~13 秒の応答では X_{mw} と X_{my} はよく一致する。 $T_{\max}$ が 5 秒未満でこの比が低いのは、既に述べたのと同じ理由による。 $T_{\max}$ が 5~7 秒でこの比が低いのは、Walden の資料ではこの波周期の H_{me} が異常に高いのが原因であり、この比が正しいとはいえない。Fig. 3 はこれらの極値を H_{me} で比較したもので、全容がよく理解できる。

T_j が 13 秒以上でこの比が低下するのは、 T_j が 13 秒以上の海面で Walden の資料にあるような高い波高に遭遇するのは、非常に大規模で激烈な荒天の場合であり、比較的短期の観測では遭遇する機会が稀なためと考えられる。前論文に示したように、四季海象においても T_j が 13 秒以上の H_{me} は、Walden の資料に比べ、Hogben, Roll のそれは低い。しかし、波高分布を Weibull 分布で近似させた結果から推定した H_{me} は 3 者ほぼ一致する。この現象も T_j が 13 秒以上の場合には、四季海象においても十分長期の観測でないと、Walden の資料にあるような高い波高を観測する機会に遭遇しないためと解釈できる。

以上から $T_{\max}$ が 7~13 秒の範囲外の応答の極値を、比較的短期の実船試験結果から推定することは、過小評価になる危険があると結論できる。これは冬季に限らず四季を通じて実施された試験結果から応答の極値を推定する場合にもいえる。

現在までのところ実船試験が最も多く実施されている垂直波浪曲げモーメントについて考えると、 $T_{\max}$ が 7~13 秒になるのは一般貨物船では L が 120~400m 程度、タンカーでは 100~320m 程度の船が該当する。これまでの供試船は大体この範囲に含まれており、これらの実船試験結果から推定した極値は、上述の推論からみてほぼ妥当な値であったとみられる。しかし、この範囲を超える船の実験結果の評価には、今後慎重な配慮が必要で

ある。

2.4 冬季海象より年平均海象の推定

前述の冬季海象の H_{mw} , p_{mjw} と年平均海象のそれらの関係から、冬季海象から年平均海象の最悪海面状態を近似的に推定し、その推定年平均海象での応答の極値を求め、これから真の極値を推定する方法が提案できる。すなわち、推定年平均海象の H_{my} , p_{mgy} を次式で近似させる。

$$\left. \begin{aligned} H_{my} &= H_{mw} \\ p_{mgy} &= \eta p_{mjw} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここに、 η …修正係数 ($1/4 < \eta < 1$)

この海象での極値 $X_m(\eta)$ は次式で与えられる。

$$X_m(\eta) = 1.037 N f_2(p) \eta \bar{R}(jk) H_{mw} \quad (8)$$

ここに、 $f_2(p) = \{-\log \eta p_{mjw} - \log p_{m0}\}^{-1/2}$

η は既知の波浪資料を対象に $X_m(\eta)$ を求めた結果から、適当な値を見出せばよい。Table 4 は前記の北大西洋、北太平洋の波浪資料について、 $X_m(\eta)$ と X_{my} の比を求めた結果を示す。これから、任意の冬季海象が与えられた場合も η は約 1/3 として $X_m(\eta)$ を求めると、 $T_{\max}$ が 5 秒未満の場合を除き、年平均海象での応答の極値とよく一致することがわかる。この場合 $T_{\max}$ が 5~9 秒のときは波浪資料によっては $X_m(\eta)$ が過小になる可能性があることは、 X_{mw} の場合と同じである。

3 波浪観測、実船試験についての考察

3.1 波浪の季節観測値

波浪観測資料は長期にわたり常時観測されたものであるべきである。しかし、常時観測が不可能な場合、季節的観測によって価値ある資料を得る方法も、その用途によっては考えられる。船の応答の極値推定のための想定海象としての波浪観測値の価値は、最も荒い海面状態の観測値の精度によって評価される。したがって、部分的な観測結果でも、その中に常時観測で得られる最悪海面状態がすべて含まれるならば、常時観測と同等の価値を有する。

既に Table 1 に示したように、冬季海象は四季海象の最悪海面状態の約 1/2 を含む。したがって、完全ではないが最悪海面状態は観測されてなくても、それに近いものは観測されており、この海象から極値を推定しても実用的には普通重要でない $T_{\max}$ が 5 秒未満のときを除いて精度のよい結果が得られる。しかし、 $T_{\max}$ が 5~9 秒のときには極値を過小評価する可能性が残っている。

冬季海象より完全に近いものとして、北大西洋では秋季海象が冬季について荒いので(秋季と春季の海象の差はきわめて僅かである)、秋および冬季の観測値を集めたものを Table 1 に追加した。この場合には T_j が 5

秒未満と13~15秒以外は四季海象の最悪海面状態を網羅したものが得られる。北太平洋の場合は冬季海象が冬について荒いので冬春季海象を合わせたものを示す。この場合は波高区分が大きいので明確でないが、すべての T_j について ρ_{mj} は四季海象の2倍に近い値になることがわかる。

これから、連続して観測が不可能な場合は北大西洋では秋冬季、北太平洋では冬春季のみ観測を実施しても、応答の極値を対象とする限り、ほぼ連続観測に相当する資料が得られると結論できる。このことは実船試験の実施時期の選択にも重要な参考となる。

3.2 秋冬季(冬春季)波浪観測値より年平均海象における応答の極値の推定

前述の北大西洋・北太平洋の波浪資料を対象に、それぞれ前者では秋冬季における応答の長期分布、後者では冬春季におけるその極値 X_{mi} を、冬季分布の極値と同じ要領(応答数はもとの長期分布の1/2とする)で求め、これと X_{mj} の比を求めるとTable 5のようになる。この場合 T_{max} が5秒未満の場合を除き完全に両者は一致する。

同様に、北大西洋については秋冬季海象から、北太平洋については冬春季海象から、 $\eta=1/2$ として年平均海象を近似的に推定し、式(8)より算出した推定海象での極値 $X_m(\eta)$ と X_{mj} の比を求めた結果も同様に示す。この場合も T_{max} が5秒未満の場合(この場合は、Waldenの海象以外は5秒未満でも一致する)を除き、両者は完全に一致する。

これらから秋冬季(冬春季)の波浪観測値があれば、年平均海象での極値は高精度に推定できることは明らかである。ただし、観測期間が短いときは T_{max} が13秒以上のときは問題があると思われる。

4 結 言

応答の長期分布を推定する場合の想定海象として、現在最もよく使用される北大西洋(Walden, Hogben-Lumb)および北太平洋(SR 80 部会)の波浪観測資料を対象として、冬季海象を想定海象とした場合の極値は年平均海象を想定したときの極値よりどの程度大となるかを研究した。この極値の増加量は応答の分散が最大となる短期分布の波周期 T_{max} によって異なり、 T_{max} が9秒以上のときは0~10%程度である。しかし、9秒未満では冬季海象を想定しても、年平均海象の極値より小さい極値を推定することもあることが明らかになった。この性質は他の任意の波浪資料でも同様と考えられる。

冬季海象における応答の長期分布の極値は、冬季海象が四季別海象の中で最も荒ければ年平均海象における極値と一致すると推定される。この性質を利用して、冬季

海象から年平均海象の極値を推定する方法が提案できる。上記の3種の波浪資料について冬季分布の極値を調べた結果、厳密には T_{max} が9秒以上、普通は5秒以上の応答でも両者は一致するとみてよいことがわかった。しかし、 T_{max} が5~9秒のときは冬季分布の極値は年平均海象のそれより相当小となる場合がある。

冬季海象から年平均海象における応答の極値を推定する方法としては、他に冬季海象から年平均海象を推定する方法が提案される。前記の3種の波浪資料について、この方法による極値の近似推定値を検討し、 T_{max} が5秒以上(厳密には9秒以上)のときは精度が高いことが明らかになった。これらの近似値が適用できる T_{max} の上記の範囲は、他の任意の波浪資料でも同様に考えられる。

冬季に実施された実船試験の結果から推定される極値は、前記の冬季分布の極値と同一とみなせる。ただ、標本数が上記の波浪資料の冬季観測より少ないことが多い。観測期間の短い冬季分布の極値について調べた結果、応答の T_{max} が7~13秒(厳密には9~13秒)のときは年平均海象の極値とほぼ一致するが、それ以外では年平均海象における極値より相当小になることが明らかになった。このことから、今後実船試験から得られる極値は応答の T_{max} を考慮して評価する必要があるという重要な結論が得られた。

波浪観測、実船試験等は長期間連続的に実施するのが理想的であるが、これが不可能なときはどの様にすべきかについても、上記の研究の結果から結論が得られる。冬季だけ観測を実施した結果からでも前述の精度で年平均海象の極値は推定できる。しかし、 T_{max} が5~9秒の範囲では過小評価の危険が残る。北大西洋については秋冬季、北太平洋については冬春季の観測を基に年平均海象の極値を推定した結果について検討し、 T_{max} が5秒以上のときは年平均海象の極値と高い精度で一致することが明らかになった。これは今後の波浪観測、実船試験の実施時期についての重要な指針となることはいまでもない。

参 考 文 献

- 1) 真能 創: 海洋波に対する応答の長期分布の理論的推定における想定海象について, 日本造船学会論文集, 第135号(昭49年)。
- 2) 真能 創, 上野洋純: 波浪に対する各種船体応答の近似推定法とその応用, 日本造船学会論文集, 第132号(昭47年)。
- 3) H. Walden: Die Eigenschaften der Meerswellen im Nordatlantischen Ozean, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzerveröffentlichungen, Nr. 41, Hamburg (1964)。
- 4) N. Hogben and F. E. Lumb: Ocean Wave

6) H. U. Roll : Height, Length and Steepness of Sea Waves in the North Atlantic and Dimensions of Seawaves as Function of Wind Force (English Translation), Technical and Research Bulletin, No. 1~19, SNAME (1958).

<i>Tj</i> (sec)			5	7	9	11	13	15	17	
North Atlantic (Walden)	All seasons	<i>Hm(m)</i> <i>nm</i>	11.25 3	14.25 4	12.25 ^{*1} 2	15.25 3	14.25 12	14.25 11	14.25 2	15.25 3
	Winter + autumn	<i>Hm(m)</i> <i>nm</i>	7.25 ^{*3} 6	14.25 4	12.25 ^{*2} 2	15.25 3	14.25 12	14.25 6	14.25 2	15.25 3
	Winter	<i>Hm(m)</i> <i>nm</i>	7.25 ^{*4} 4	14.25 4	11.25 7	15.25 3	14.25 9	14.25 6	14.25 2	15.25 3
North Atlantic (area 1, 2,6,7) (Hogben-Lumb)	All seasons	<i>Hm(m)</i> <i>nm</i>	9.5 4	11.0 1	14.0 1	15.0 2	15.0 1	12.0 1	9.5 46	11.0 ^{*5} 1
	Winter + autumn	<i>Hm(m)</i> <i>nm</i>	9.5 4	11.0 1	14.0 1	15.0 2	15.0 1	12.0 1	9.5 43	11.0 1
	Winter	<i>Hm(m)</i> <i>nm</i>	9.5 1	11.0 1	11.0 1	15.0 2	15.0 1	9.5 47	9.5 31	11.0 1
North Pacific (Zone 3) (SR-80)	All seasons	<i>Hm(m)</i>	6.75	7.75<						
		<i>nm</i>	18	16	50	60	82	79	49	
	Winter + spring	<i>Hm(m)</i>	6.75	7.75<						
		<i>nm</i>	15	13	36	41	66	72	44	
Winter	<i>Hm(m)</i>	6.75	7.75<							
	<i>nm</i>	5	7	15	16	49	54	41		
Excepted observations			^{*1} $Hm \times nm = 15.25 \times 1, Hm - 1 \times nm - 1 = 14.25 \times 1 (pmj < 5 \times 10^{-6})$ ^{*2} $Hm \times nm = 14.25 \times 1 (pmj < 1 \times 10^{-5})$ ^{*3} $Hm \times nm = 9.25 \times 1, Hm - 1 \times nm - 1 = 8.25 \times 1 (pmj < 1 \times 10^{-5})$ ^{*4} $Hm \times nm = 8.25 \times 1 (pmj = 1.8 \times 10^{-5} < 2 \times 10^{-5})$ ^{*5} $Hm \times nm = 14.0 \times 1 (pmj < 5 \times 10^{-6})$							

Table 2. Comparison of extreme values of winter X_{mw} with those of all seasons X_{my}

T_{max} (sec)			5	7	9	11	13	15	17
North Atlantic	Walden	H_{mw} (m)	7.25	14.25	11.25	15.25	14.25	14.25	15.25
		$pmjw(10^{-5})$	7.2	7.2	12.5	5.4	16.1	10.7	5.4
		X_{mw}/X_{my}	0.64	0.98	0.95	0.98	0.98	0.96	0.98
	Hogben and Lumb	H_{mw} (m)	9.5	11.0	11.0	15.0	15.0	9.5	11.0
		$pmjw(10^{-5})$	2.8	2.8	2.8	15.1	4.4	142.9	98.7
		X_{mw}/X_{my}	0.90	0.98	0.76	1.02	0.99	0.94	1.00
North Pacific	SR-80	H_{mw} (m)	6.75	7.75<					
		$pmjw(10^{-5})$	28	83	123	122	370	430	370
		X_{mw}/X_{my}	0.92	0.98	0.94	0.93	0.99	1.00	1.02

Table 3. Effect of number of observations on X_{mw}/X_{my}

T_{max} (sec)		5	7	9	11	13	15	17
Hogben-Lumb	$X_{mw}/X_{my} *$	0.81	0.73	0.87	1.02	0.97	0.74	0.78
Roll (Except ship H)	H_m (m)	7.25	9.25	11.25	15.25	14.25	12.25	10.25
	$pmjw(10^{-5})$	17.5	52.5	17.5	8.8	17.5	8.8	35.0
	$X_{mw}/X_{my} *$	0.67	0.71	0.97	1.01	0.98	0.82	0.79
Remark	* X_{my} =Extreme value from wave statistics by Walden

Fig.3. Comparison of H_{me} curves of winter with that of all seasonsTable 4. Scatter range of $X_m(\eta)/X_{my}$

($X_m(\eta)$ = Extreme value estimated from wave statistics in winter, X_{my} =Exact value, $T_j > 5$ sec)

Sea zone		η	$X_m(\eta)/X_{my}$		
			Max.	Min.	Mean
North Atlantic	Walden	1/4	1.00	0.97	0.99
		1/2	1.03	1.01	1.02
North Pacific	Hogben-Lumb	1/4	1.03	0.77	0.97
		1/2	1.07	0.79	1.00
North Pacific	SR-80	1/4	1.00	0.93	0.97
		1/2	1.05	0.97	1.01

Table 5. Scatter range of X_{mL}/X_{my} and $X_m(\eta)/X_{my}$

(X_{mL} =Extreme value of seasonal long-term distribution (winter+autumn(NA), winter+spring(NP)), $X_m(\eta)$ =Extreme value estimated from seasonal wave statistics, X_{my} =Exact value, $T_j > 5$ sec)

Sea zone		X_{mL}/X_{my}			$X_m(\eta)/X_{my}$		
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean
North Atlantic	Walden	0.99	0.97	0.99	1.01	0.97	1.00
North Atlantic	Hogben-Lumb	1.03	0.97	1.00	1.03	0.98	1.00
North Pacific	SR-80	1.01	0.97	0.99	1.00	0.96	0.99