

日本沿岸の極大波浪の出現特性について

青野利夫*・佐藤一央**・後藤智明***・池田明弘****

1. ま え が き

港湾施設の設計波あるいは確率波を算定するためには、港湾施設の耐用期間内に遭遇する極大波浪の大きさ、およびその長期的な出現特性を把握することが極めて重要である。また、気象および波浪の出現特性を明らかにすることは、海面上昇などの近年関心を集めている地球温暖化問題の基礎資料を与えるという意味でも価値がある。

一般に、波浪の極値統計においては、極大波高をランダムに出現する値と考える。しかし、極大波高の出現傾向に長期的なトレンドや何らかの周期性が含まれると極値がランダムに出現するという統計解析上の仮定が満たされなくなり、トレンドや周期性を除去した確率波高の算定が必要となる。気候学では各種の気象要素に準2年周期(QBO)、エル・ニーニョ現象とそれに伴う南方振動(ENSO)、惑星の会合同期に由来する4年、5年、10年の周期、また太陽黒点の活動周期に対応する11年、22年、80年の周期特性の存在が確認されている(河村ら、1986)。このような周期特性が全て、極大波の出現特性に含まれているとは限らないが、いずれにしても極大波にこのような周期成分やトレンドが含まれているのならばその特性を明らかにする必要がある。

本研究では、日本沿岸における年最大波浪の長期的な出現特性を波浪推算値から検討する。さらに、年最大風速、年最大台風、太平洋の平均海面水温についても年最大波浪と同一の解析対象期間について資料を収集し、これらの相関解析を行うことにより年最大波浪の海域特性、経年変化特性、周期性について考察する。また、年最大波の出現特性に基づいた確率波算定に関する考察結果についても合わせて報告する。

2. 解析データおよび解析方法

(1) 年最大波浪

まず、年最大波浪を算定する地点として、日本沿岸における代表的な16箇所の波浪観測点を小舟ら(1988)の解析結果に基づいて選択した。年最大波を抽出する期間についてはできるだけ長期間であることが望ましいが、本研究では波浪推算を実施するための天気図データが整備されている1955年から1991年までの37年間を年最大波浪解析期間とした。

現在、各港湾局で実施されている波浪観測はデータの蓄積が進んでおり、最長で20年間分の観測波浪データが蓄積されている。しかしながら観測値だけでは解析対象期間を全て網羅することができないため、本研究では期間内に起きた顕著な擾乱600ケースについて波浪推算を実施した。用いた波浪推算モデルはスペクトル法で、気象庁の波浪予測業務や港湾構造物の被災時の波浪算定などに利用され実績のあるMRI法である。計算領域は図-1に示すように日本沿岸全域を網羅するように設定されている。また、計算格子は緯度・経度座標を用いており格子サイズは1度(約85 km から 111 km)としている。さらに沿岸に近づくにつれて陸地の遮蔽効果を精度よく表現するため1/3度格子(約28 km から 37 km)を

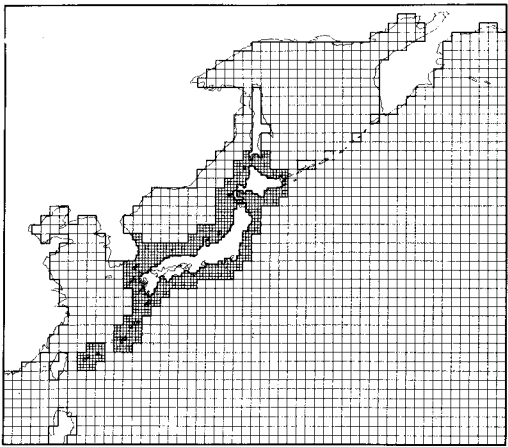


図-1 波浪推算用格子図

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 水工部 海洋エネルギー利用研究室
** 運輸省港湾技術研究所 水工部 海洋エネルギー利用研究室
*** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 水工部 海洋エネルギー利用研究室 室長
**** 新日本気象海洋株式会社 沿岸技術部

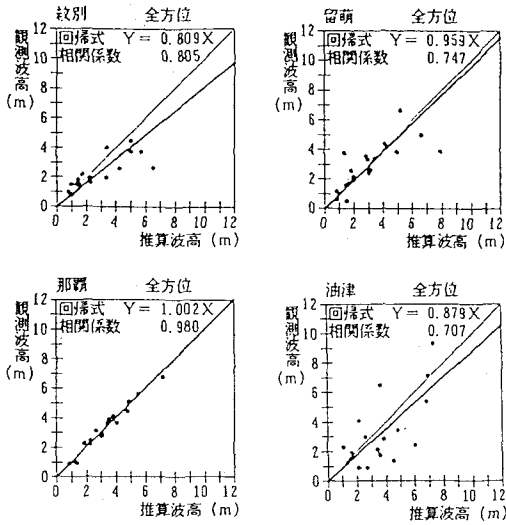


図-2 推算波高と観測波高との相関

用いている。波浪推算手法の詳細については後藤ら(1992)を参照されたい。

図-2は、推算波高と観測波高を比較した結果の一例である。多少ばらつきはあるものの推算値と観測値との相関は良好で、本研究で選択した16地点の波浪観測点で同様の相関関係が得られている。本来、観測波浪を用いた解析が最も精度的には高いと思われるが、波浪観測地点毎の観測年数の違いが大きく、地点毎の重みづけも困難であることから、本研究では、各年毎の推算波高値の中で各年の最大波高値を年最大波とした。したがって、ここで取り扱われる年最大波浪は極値統計という期間最大値資料の部分極値資料に相当する。またデータの等質性の問題から台風と低気圧は異なる母集団に属すると考えられるが、本研究ではデータ数その他の制限からこのような区別を行わなかった。

(2) 年最大風速、平均水温および年最大台風

本研究では、極大波浪の出現特性と相関があると考えられる気象要素として風速、海面水温、台風を取り上げる。以下にその概要を示す。

年最大風速に関しては、波浪観測地点に最も近傍の気象台または測候所の台帳データから37年間分の風速値を読み取り、解析データとして抽出した。風速は、高波浪をもたらす擾乱の強さを表す指標となるが、今回は風向別の集計を行っておらず、また風速も陸上風であることから、厳密な意味で必ずしも極大波浪と物理的な対応関係があるわけではない。

本研究では、大気・海洋系のエネルギーの経年変化特性を表す指標として太平洋全域の年平均海面水温を取り上げた。平均的な海面水温の変動は、大気の大気対流活動を促し気候システムの形成に強い影響を与えることが知ら

れている。エル・ニーニョで知られている東部赤道太平洋の海面温度と極東地域の天候変動の高い相関特性はその典型的な例である。海面温度の変化が気象擾乱の発生に影響を与え、年最大波浪の出現特性と関係する可能性がある。

本研究で用いる台風データは、対象期間内に発生した全ての台風の経路と中心気圧を、気象庁発行の気象要覧から読み取りデータベース化したものである。台風の長期統計量として発生個数があるが、個数については多くの研究例があり海面水温との関係やその周期性についても議論されている。しかしながら、日本沿岸で発生する高波浪との相関は殆どなく、むしろ台風との距離、および風速との相関関係が考えられる。そこで本研究では、各波浪観測点毎に有効台風係数(ETC)を定義して、その年最大値を年最大台風諸元の代表値とした。有効台風係数は、式(1)に示すように台風が対象地点に最も近づいた時の距離の逆数に、そのときの中心示度を乗じたものである。

$$ETC = P_c / R \quad \text{..... (1)}$$

ここで、 R :対象地点に最も近づいた時の距離、 P_c :その時の中心示度である。また有効台風係数の単位はhPa/kmとなる。本来ならば、風の効果を取り入れるためには台風常数が必要となるが、全ての台風で台風常数が算定されていないため、ここでは中心示度で風の効果を代表させている。

極大波の出現特性に影響を与えるものとして、この他にも低気圧、季節風が上げられるが、今回の解析には用いていない。ただし、平均海面水温によってその影響を間接的には考慮していると思われる。

3. 解析結果と考察

(1) 年最大波、年最大風速と平均水温の経年変化

年最大波高の経年出現特性をより明確化するため、対象期間の平均値からの偏差を算定し、5年間の移動平均によって平滑化を行い、短期間の変動成分を取り除いた経年変化量を求めた。図-3と図-4は、年最大波高(ΔH_m)、年最大風速(ΔU_m)、平均水温($\Delta \theta_m$)と有効台風係数(ΔETC_m)のそれぞれの偏差の経年変化を、日本沿岸の12地点について示したものである。また、各国の横軸は西暦年の下2桁である。年最大波浪の経年変化特性は、地点毎に異なっているが長期のトレンドと比較的長周期の変動特性が含まれているようである。年最大波高、年最大風速および平均水温の経年変化特性は、以下のようである。

① 太平洋側では、年最大波の変動が大きく単一のピーク値をもつ地点と周期的な変動を示す地点がある。また、全期間では減少傾向にあるのが認められる。

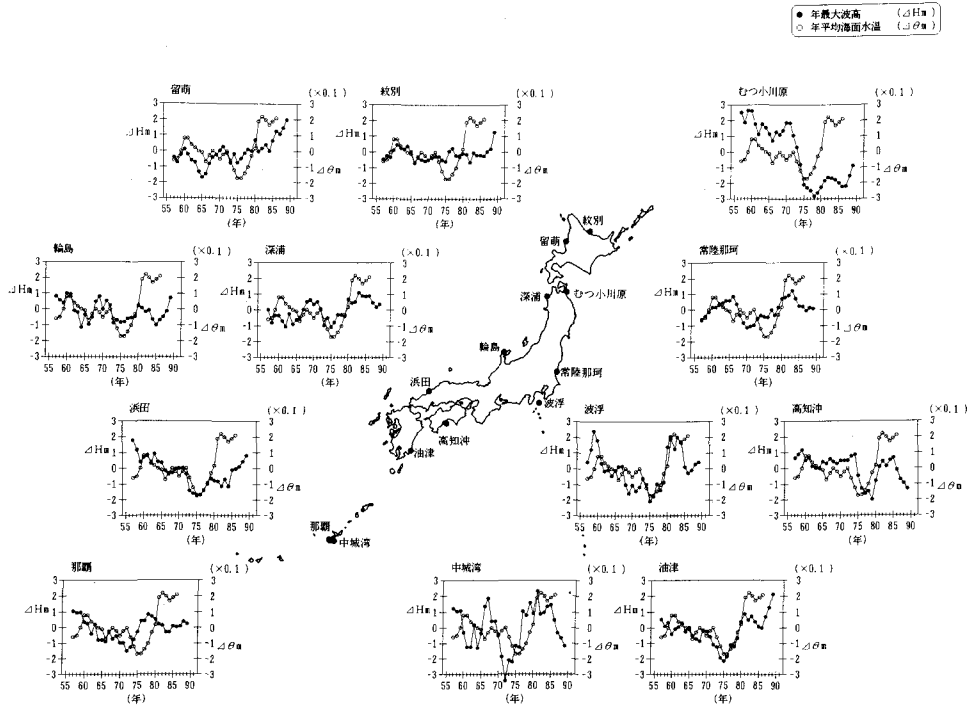


図-3 極大波高と平均海面水温の経年変化

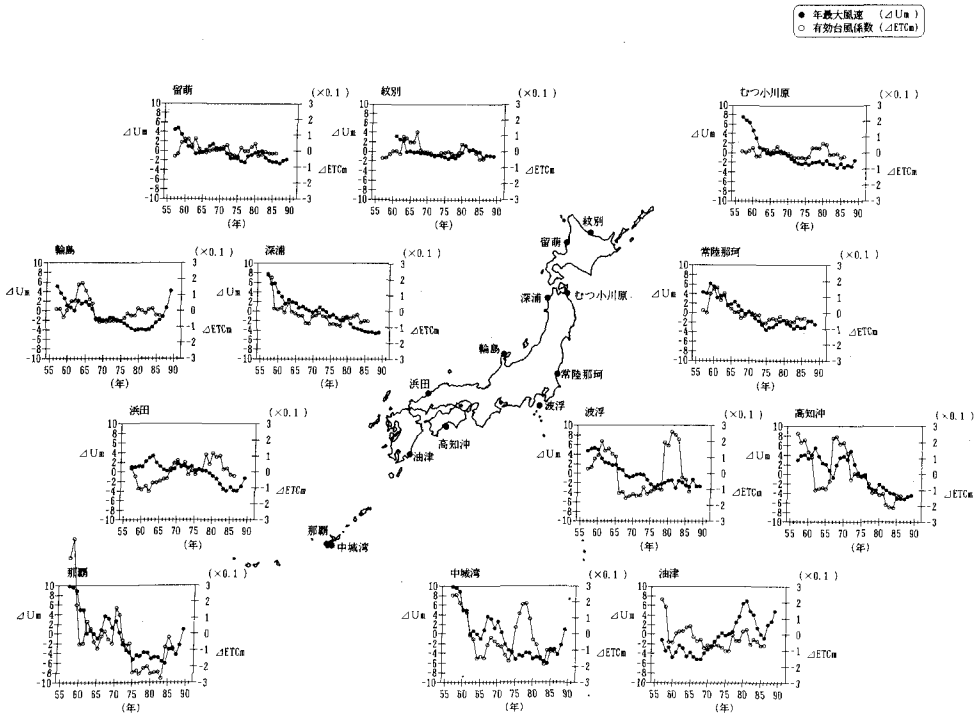


図-4 極大風速と有効台風係数の経年変化

② 日本海側では、例外はあるものの周期的な変動が強い。また、長期的な変動は少なく安定した傾向を示している。

③ 年最大風速は、全体的に低下傾向にあるが1985年前後から増大する傾向が認められる。また、地点的には東北・北海道では周期変動成分が減少する傾向にある。太平洋の平均海面水温は、1960年頃から1975年頃まで降温、その後昇温となる。

④ 有効台風係数については、年最大風速とほぼ同様の傾向を示し、年最大風速には台風の影響が強く現れていると考えられる。

(2) 年最大波浪の周期性

年最大波浪の出現特性には、長期のトレンドや周期性が見られるため、スペクトル解析によって周期特性を検討する。ここでは、データ数が37と小さいためパルススペクトル解析(筒井ら, 1992)によってスペクトルを算定した。図-5は、スペクトル解析結果の一例で、横軸は

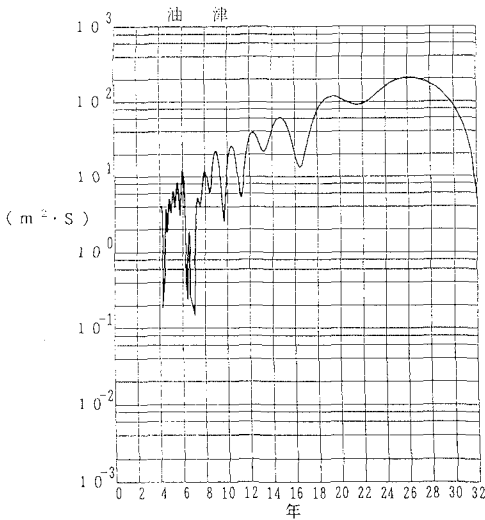


図-5 スペクトル解析結果例(油津)

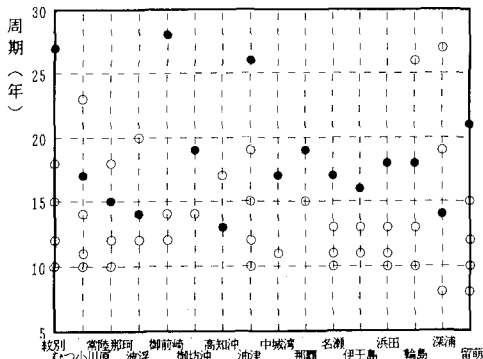


図-6 各地点毎の周期成分

年を表している。この図では、26, 19, 15, 14, 10, 9年の周期成分の存在が認められる。図-6は、各地点毎のスペクトル解析結果から得られた周期成分を示したもので、図中の黒ぬき記号はスペクトル密度が最も高い周期を意味する。図から明らかなように、極大波高には多くの周期成分が含まれており10年(惑星の会合同期), 11年(太陽黒点の周期)から最大で28年までの周期成分が存在する。また、卓越した周期成分は、日本海側では16年~19年と比較的類似した周期であるのに対し、太平洋側では13年~28年と大きく変動しているのが認められる。

(3) 相関解析による年最大波の特性

対象地点間の年最大波の経年変化について相関値を算定し、年最大波高に関する相関マトリックスを求めた。相関値の高い地点をまとめて海域区分を行うと大まかではあるが、オホーツク海沿岸、三陸・東北沿岸、関東東部沿岸、本州南岸から四国・九州の太平洋沿岸、南西諸島沿岸、日本海側の南部・中部沿岸および日本海側の北部沿岸の7海域に分類できる。この区分は、年平均波浪に関する小舟ら(1988)による区分と一致する。

年最大波高の経年変化に対して、気象要因である年最大風速、平均海面水温、有効台風係数の変化がどの程度寄与しているかを明らかにするため、各地点毎に重相関解析を試みた。図-7は、各地点における各気象要素の寄与率の変化を示したもので、平均海面温度の寄与率は太平洋側が高く、日本海側で低い特性を示している。年最大風速は、むつ小川原と伊王島で高い寄与率を示し、有効台風係数は、四国・九州の太平洋沿岸で比較的高い寄与率を与えている。このことは、太平洋沿岸での海面水温の変動によって引き起こされる気象擾乱が、年最大波の変動に強い影響を与えることを示唆している。

4. 年最大波浪の出現特性と確率波

前節までで検討した年最大波高の経年変化特性は、多方面において有用な情報を与えると考えられるが、ここでは年最大波浪の出現特性が確率波の算定に及ぼす影響

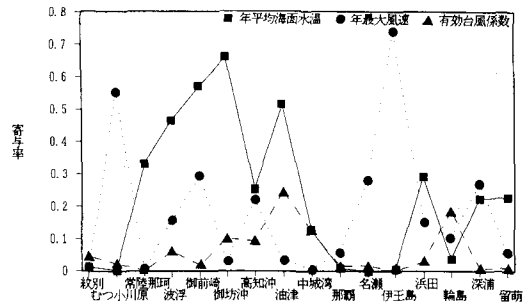


図-7 各地点での極大波高に対する寄与率

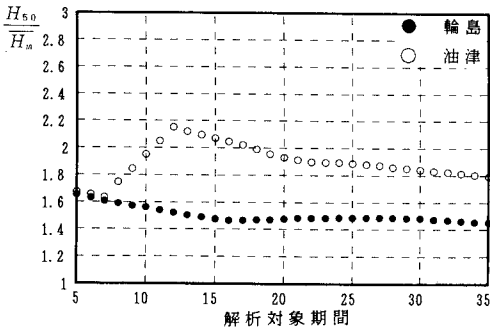


図-8 50年確率波の解析期間による変化

について考察する。

図-8は年最大波浪の出現特性が大きく異なる日本海側の輪島と太平洋側の油津の2地点について1991年から遡って1年単位で解析期間を長くしていった場合の50年確率波高の変化が示されている。ここで、縦軸は確率波高を極大波高の平均値で無次元化したもの、横軸は解析期間である。輪島のように極大波浪の出現分布が周期的と考えられる場合は、1周期以上の高波浪期間が入る程度の短い解析対象期間で確率波高を求めても大きな誤りがないと推定できる。一方、油津のような孤立的な極大波高出現期間がある場合は、その期間を組み入れた解析が不可欠となる。したがって、確率波の算定においてこのような極大波の出現特性を予め把握していないと、設計波を過大や過小に評価することになる。

5. ま と め

37年間にわたる日本沿岸の年最大波浪を、波浪推算結果から算定し、その経年変化特性について検討した。さ

らに、年最大風速、太平洋の平均海面水温、有効台風係数といった気象要素との関係についても議論した。得られた結論は、以下のとおりである。

① 年最大波浪の経年変化は地点毎に異なった特性を示し、長期のトレンドおよび10年から28年の周期変動成分を有する。

② 年最大風速は、1985年まで低下する傾向にあったがそれ以後上昇する傾向がみられる。また、有効台風係数とは類似の傾向にある。平均海面水温は、1975年から昇温傾向にある。

③ 太平洋側では、年最大波高に対する平均海面水温の寄与率が高く、このことは海面水温の変動が気象の変動を誘発し、年最大波の変動を引き起こすことを示唆している。

④ 年最大波の出現特性の形式によって、確率波解析の解析対象期間の変化が確率波に与える影響が示された。

謝辞：本研究を行うにあたって、運輸省港湾技術研究所水工部海洋エネルギー利用研究室研修生柴木秀之氏から貴重な助言を受けた。ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 河村武編(1986): 気候変動の周期性と地域性, 古今書院, pp. 304.
- 小舟浩治・菅原一晃・後藤智明(1988): 日本沿岸の波候特性について, 第35回海岸工学講演会論文集, 土木学会, pp. 232-236.
- 後藤智明・亀山 豊・柴木秀之(1992): 日本沿岸波浪の推算システム, 海洋開発論文集 Vol. 8, 土木学会, pp. 47-52.
- 筒井茂明(1992): 沖縄における台風災害の周期性と防災力, 第47回土木学会年次学術講演会, 第2部門, 土木学会, pp. 1036-1037.