

波浪推算に基づくわが国太平洋岸での台風発生最大波高の地域分布の推定

ESTIMATION OF ALONGSHORE DISTRIBUTION OF TYPHOON-GENERATED MAXIMUM WAVE HEIGHT AROUND THE JAPANESE COAST BASED ON WAVE HINDCASTING

山口正隆*・畑田佳男**・小淵恵一郎***・日野幹雄****

By Masataka YAMAGUCHI, Yoshio HATADA, Keiichiro KOBUCHI and Mikio HINO

The purpose of this paper is to estimate alongshore distribution of maximum wave height around the Japanese coast generated by long-term typhoons through wave hindcasting based on a spectral wave prediction model. First, the applicability of the model to the evaluation of typhoon-generated waves is confirmed from the comparison between hindcasted results and wave data observed during many typhoons in recent years. Second, based on the wave hindcasting for 120 typhoons which attacked Japan in the past 50 years, alongshore distribution of maximum wave heights and their occurrence probability are estimated and compared with that of design wave heights of coastal structures. It is deduced that the design wave heights in the western district of Japan seem to be slightly small for probable maximum wave heights.

Keywords: wave hindcast, spectral model, typhoon-generated waves, extreme waves, design waves

1. 緒 論

海岸地帯に災害をもたらす外力としては、高潮、津波とならんで波浪が挙げられるが、種々の気象じょう乱によりもたらされる波浪のうち、特にわが国太平洋岸では、台風という時空間変化の著しい異常気象じょう乱により生ずる高波浪が問題であり、その最大規模を地域別に把握することは波浪災害対策や海岸・港湾構造物の計画・設計上必須の課題である。しかし、わが国では、計測器による組織的な波浪観測が開始されて20年程度にすぎず、しかも観測地点数も限られるうえに、荒天時には欠測することが多いことや波浪は観測水深や局所的な海底地形および周辺地形の影響を受けることから、観測結果の解析に基づいて、異常波浪の最大規模を地域別に究明することは困難であり、波浪推算に頼らざるを得ない。そして、こうした立場から、わが国沿岸における異常波浪の最大規模を系統的に研究したのは、わずかに運輸省港湾技術研究所の高橋ら^{1)~4)}である。彼らの研究では、

有義波法に基づく波浪推算法をわが国沿岸に高波浪をもたらしたと推定される多くの台風や季節風に対して適用し、その結果に基づいて、異常波浪の地域分布特性を明らかにしている。しかし、彼らは、風の場の時空間変化が著しい台風時の波浪追算に、本質的に一様定常風の仮定のうゑに導かれた有義波法を適用しており、しかも観測結果との比較によりその妥当性を検討していないので、推算結果が十分な信頼性をもつかどうか疑問が残る。

ところで、著者ら^{5)~7)}はこれまでエネルギー平衡方程式に基づく波浪推算法を開発するとともに、種々の気象・海象条件のもとでの波浪追算を行い、観測結果との比較からその妥当性を明らかにしてきた。そこで、本研究ではひきつづき、波浪推算モデルに基づく応用研究として、わが国太平洋沿岸海域に異常波浪をもたらしたと推定される多くの台風時を対象とした波浪追算を行って、過去約50年の間に台風によってもたらされた最大級の台風発生最大有義波高（以下では台風発生最大波高あるいは単に最大波高と略す）の地域分布特性とその出現確率を推定しようとするものである。

そのため、具体的な手順として、まず第1に、太平洋岸に高波浪をもたらす、しかも観測結果が比較的豊富に得られている近年の多くの台風を対象として、太平洋海域に設けた大領域と四国沿岸海域および東海沿岸海域に

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学科
(〒790 松山市文京町3番)

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部海洋工学科(同上)

*** 学生会員 愛媛大学大学院工学研究科(同上)

**** 正会員 工修 出雲グリーン株式会社

(〒693 出雲市矢野町810番)

それぞれ設けた小領域において波浪追算を行い、高知沖など多くの地点での観測結果との比較より波浪推算法の適用性を考察するが、紙数の都合上台風 7920 号に対する検討結果のみを述べる。第 2 に、1934 年以降約 50 年の間に発生し、わが国太平洋岸に高波浪をもたらしたと推定される 120 個の台風時について大領域における波浪追算を実施し、各台風時の最大波高を算出する。そして、これらの計算結果から各地点における台風発生最大波高の地域分布および沿岸分布を推定するとともに、特に、1950 年以降の 107 台風に対する追算結果から作成した太平洋岸各地における年最大波高の経年資料に対し極値統計解析を行って確率波高の沿岸分布をも求め、海岸・港湾構造物の設計波高との概略的な比較を行う。ついで、波浪に及ぼす細かい地形特性の影響を検討するため、前述の台風の中で、四国沿岸小領域および東海沿岸小領域に最大級の波浪をもたらしたと推定される 3 台風（四国沿岸小領域）と 4 台風（東海沿岸小領域）に対してそれぞれの領域で大領域での計算結果を境界条件とした波浪追算を行い、両海域における台風発生最大波高の沿岸分布と海岸・港湾構造物の設計波高の沿岸分布との関連をより詳細に考察する。

2. 波浪推算モデルの概要⁵⁾

深海波浪推算モデルに用いられるエネルギー平衡方程式は、

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} + c_g \cos \theta \frac{\partial E(f, \theta)}{\partial x} + c_g \sin \theta \frac{\partial E(f, \theta)}{\partial y} = G \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。ここに、 f ：周波数、 θ ：方位角、 c_g ：群速度、 $E(f, \theta)$ ：方向スペクトルおよび G ：エネルギーの流出入を表わす source function、である。

さて、本研究のモデルでは、source function として、(i) Miles 機構による風波の発達項、(ii) 成分波間の非線形干渉項、(iii) 減衰状態におけるエネルギー減衰項、(iv) 逆風によるエネルギー減衰項、が直接的な関数表示の形で考慮されている。また、計算開始に必要な風波の発生項は、実用上無視し得る風速 2 m/s に対する Pierson-Moskowitz スペクトルおよび $\cos^4 \theta$ 型方向分布関数を仮定して得られる方向スペクトルを初期値に与えることにより考慮された。一方、砕波によるエネルギー減衰項の評価は、波浪は砕波によって平衡周波数スペクトルで表わされる以上のエネルギーを獲得できないことおよび方向分布関数は砕波によっても不変であることを仮定して次式により行う。

$$E_{new}(f, \theta) = E_{old}(f, \theta) |E_{\omega}(f) / E_{old}(f)| \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $E(f)$ ：周波数スペクトルおよび $E_{\omega}(f)$ ：平衡周波数スペクトル、であり、添字 'old' および 'new' は砕

波前および砕波後を示す。そして平衡周波数スペクトルとして、深海の場合には JONSWAP スペクトルが、また、後述する小領域での観測結果との比較計算では、波浪観測点に相当する格子点においてのみ有限水深での砕波の影響を考慮するため、Kitaigorodskii らの高周波側に対する浅海平衡スペクトルとピーク周波数付近に対する JONSWAP スペクトルを組み合わせた TMA スペクトル⁶⁾の修正式が用いられた。

次に、式 (1) の数値積分は右辺を 0 とした移流伝播方程式と移流伝播項を 0 とした発達・減衰方程式を 1 タイムステップ内で交互に解く時間分割法によることとした。すなわち、前者に対しては特性曲線法の一環である piecewise ray method を、後者に対しては解析解を使用し、さらに、式 (2) によって砕波によるエネルギー減衰を考慮して各タイムステップでの最終的な計算結果とした。

3. 波浪推算モデルの適用性⁵⁾

(1) 計算方法

波浪推算モデルの適用性を検討するための波浪追算は、観測結果の大部分が陸上からせいぜい数 km しか離れていない地点で得られており、したがって海底地形の影響のみならず周辺地形による遮蔽効果を受けていることを数値計算において少しでも考慮するため、格子間隔が大きい大領域および格子間隔が小さい小領域の 2 段階で両者の接続計算を通じて実施された。

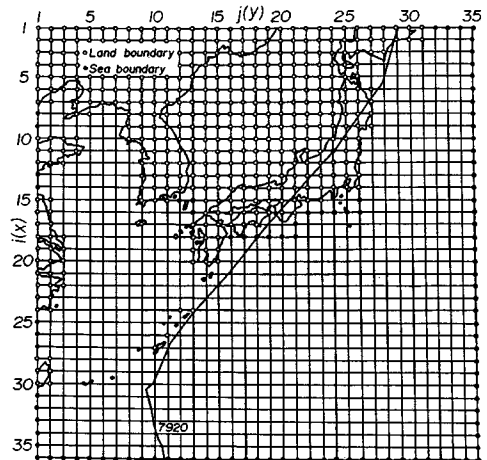


Fig. 1 Coarse grid and typhoon track.

大領域は Fig. 1 に示す北緯 20°~44°、東経 122°~147° (南北 2 800 km, 東西 2 720 km) の太平洋上に設けた格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 80$ km の計算格子網であるし、一方、小領域は Fig. 2 に示すように、北緯 32.5°~34°、東経 131.5°~137° の豊後水道、紀伊水道を含む四国沿岸小領

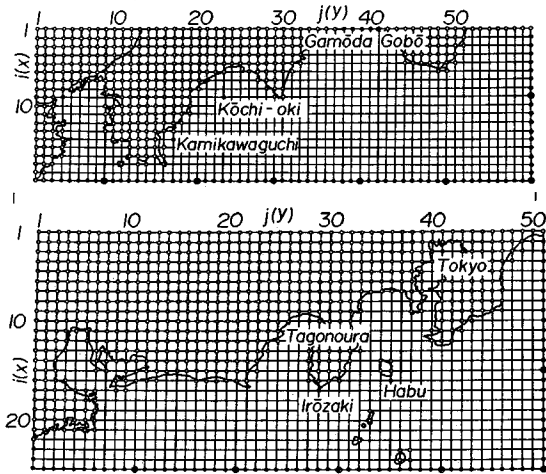


Fig. 2 Fine grid.

域 (南北 144 km, 東西 464 km) および北緯 34°~35.8°, 東経 136.3°~140.7° の伊勢湾, 駿河湾の東京湾を含む東海沿岸小領域 (南北 192 km, 東西 400 km) をそれぞれ $\Delta x = \Delta y = 8$ km で分割した計算格子網である。

まず, 波浪追算に必要な海上風の推定は, 台風内の気圧分布として Meyer 式を用いた台風モデルによることとする。そして, 大領域の場合, 台風半径, 気圧深度, 吹き込み角および台風位置を 1 時間間隔で与えることにより 1 時間ごとの風特性を計算した。一方, 小領域の場合には, 前三者を 1 時間間隔, 台風位置を 30 分間隔で与えることにより 30 分ごとの風特性を計算した。この場合, 1 時間間隔の吹き込み角は緯度 10° ごとに与えられた吹き込み角の値⁹⁾を台風の中心位置に応じて線形内挿したし, 傾度風から海上風への変換係数は 0.6 とした。

次に, 計算条件は周波数分割数 20 ($f = 0.036 \sim 1$ Hz), 方向分割数 18 ($\Delta\theta = 20^\circ$), 計算時間間隔 $\Delta t = 1$ h (大領域) および $\Delta t = 6$ min (小領域) である。また, 大領域での計算条件として, 方向スペクトルが陸上境界で 0 であることおよび流出境界では方向スペクトルが完全流出することを仮定するとともに, 外洋の流入境界では, 局所風に対応して Ross の台風モデルによる周波数スペクトル¹⁰⁾と Hasselmann らによる方向分布関数¹¹⁾から計算される方向スペクトルを与えた。一方, 小領域での計算における境界条件も同様であるが, 外洋に面する境界 (Fig. 2 の二重丸の格子点) が流入境界となる場合, 大領域での方向スペクトルを空間に関して 8 km ごとに, 時間に関して 6 分ごとに線形内挿して境界上の各格子点に与えた。

実際計算では, 台風が南方洋上で発生した時点から日本列島付近を北上あるいは横断して消滅する時点に至る台風のほぼ全期間に対して, 大領域での波浪追算を実施

したのち, 台風の影響が強く現われる 1.5 日程度を対象として, 大領域での計算結果を境界条件に与えることにより小領域での波浪を計算した。この場合, 前述したように, 波高計設置点に対応する格子点では, 浅海平衡周波数スペクトルによって碎波の影響が考慮されている。なお, ここで計算結果を述べる台風は近年, 四国・近畿・東海地方を通過し, しかも観測資料が比較的豊富に得られている 7920 号であり, その経路は Fig. 1 に示されている。

(2) 計算結果と観測結果の比較

台風 7920 号は, 1979 年 10 月 4 日 15 時に北緯 6.2°, 東経 152.9° で発生, 北西に進み, ゆっくりと沖縄・奄美大島の東海上に達したのち, 速度を増しながら九州南東海上, 四国南海上を経て, 同 19 日 1 時ごろ紀伊半島に上陸, その後, 日本本土を縦断するように進み, 同 22 日 15 時ごろ消滅した台風である。

さて, Fig. 3 は江ノ島 (水深 57 m), 波浮 (水深 49 m), 石廊崎 (水深 50 m), および高知沖 (水深 120 m) における有義波高に対する計算結果と観測結果を示したものである。これらの図によれば, 計算結果はうねりの伝播期, 風波の発達期および減衰期の全期間を通して観測結果の経時変化特性をかなりよく再現している。より詳細には, これら 4 地点におけるうねりの伝播期前半や高知沖の減衰期では計算結果は観測結果よりやや大きく, 江ノ島や波浮におけるうねりの伝播期後半から風波の発達期では逆の傾向にある。

Fig. 4 は釧路 (水深 19.2 m), 苫小牧 (水深 24.5 m), 大洗 (水深 22 m) および蒲生田 (水深 16.5 m) におけ

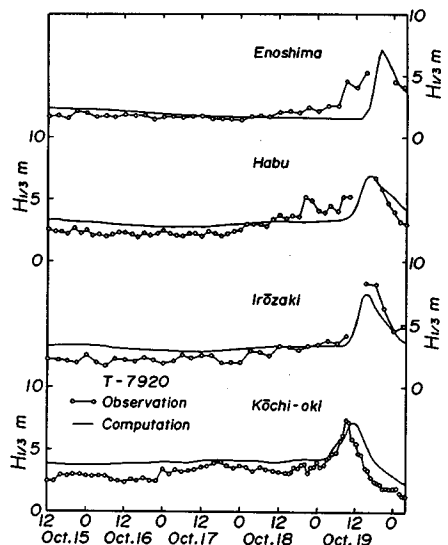


Fig. 3 Comparison between computed and observed significant wave heights (1) (coarse grid).

施し、その結果を報告している。そこで、本研究においては、この46年間に発生した全台風と1934年に未曾有の災害をもたらした台風3412号(室戸台風)の中から以下に述べるような手続きを経て追算対象台風を抽出した。すなわち、(i) 1949年以前に発生した台風については、波浪追算結果および波浪観測記録もなく、風資料も乏しいので、台風の経路、勢力および気象要覧の記述から3412号など13台風を抽出する。(ii) 1950年から1983年までに発生した台風については、運輸省港湾技術研究所の港湾技研資料²⁾⁻⁴⁾および運輸省第三港湾建設局の室津港波浪推算調査報告書¹²⁾で与えられる台風別波浪追算結果、運輸省から昭和45年以来毎年発刊される波浪に関する拠点観測年報¹³⁾で与えられる気象じょう乱別地点別波浪観測結果、気象庁の地点別年最大風速および台風経路図で与えられる経路と勢力を勘案し、わが国太平洋岸に高波浪をもたらしたと推定される台風を各年2~5個、合計107個を抽出する。

なお、Table 1は抽出した追算対象台風の一覧表を示したものである。

(2) 台風別最大波高の平面分布特性

波浪追算は合計120個の台風に対し、前述の台風特性の諸条件および境界条件のもとに実施され、各台風期間中に各格子点で得られた最大有義波高が算出されたが、ここで検討の対象とするのは、わが国に襲撃した代表的な台風である3412号(室戸台風)、4516号(枕崎台風)、5313号(テス台風)、5822号(狩野川台風)、5915号(伊勢湾台風)および6118号(第2室戸台風)の合計6台風である。これらの台風の経路は、Fig. 6に示した台風経路図から明らかのように、(i)九州地方に上陸した台風(4516号)、(ii)四国地方に上陸した台風(3412号、6118号)、(iii)近畿・東海地方に上陸した台風(5313号、5915号)、(iv)関東地方に上陸した台風(5822号)、に分類されるので、以下では台風経路ごとに台風別最大波高の特性を考察する。

Fig. 7は台風別最大波高の等値線分布を各台風について示したものであるが、この場合、各格子点での最大波高の出現時刻が異なることおよび計算領域が有限なため、台風経路にあたる南方開境界近傍での推定精度が低いことに注意しなければならない。

さて、(i)の台風では、波高の最大域は沖縄本島、奄美大島および九州南端で見出され、その絶対値は13~14mである。これらの領域はほぼ台風経路上に相当するし、台風の風特性

を反映して、台風右半円の波高が左半円より大きい。ついで、(ii)の台風では、台風経路が東に移ることから、波高の最大域も台風上陸地点の東側近傍にあたる室戸岬から紀伊半島へ移動しており、その絶対値は12~16m

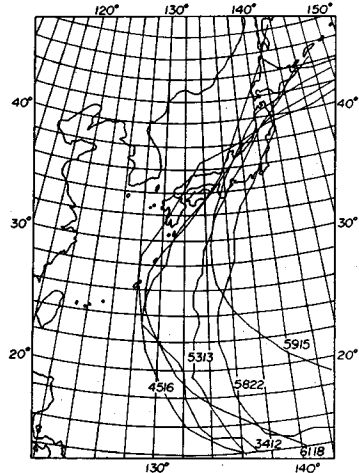


Fig. 6 Tracks of huge typhoons used in wave hindcasting.

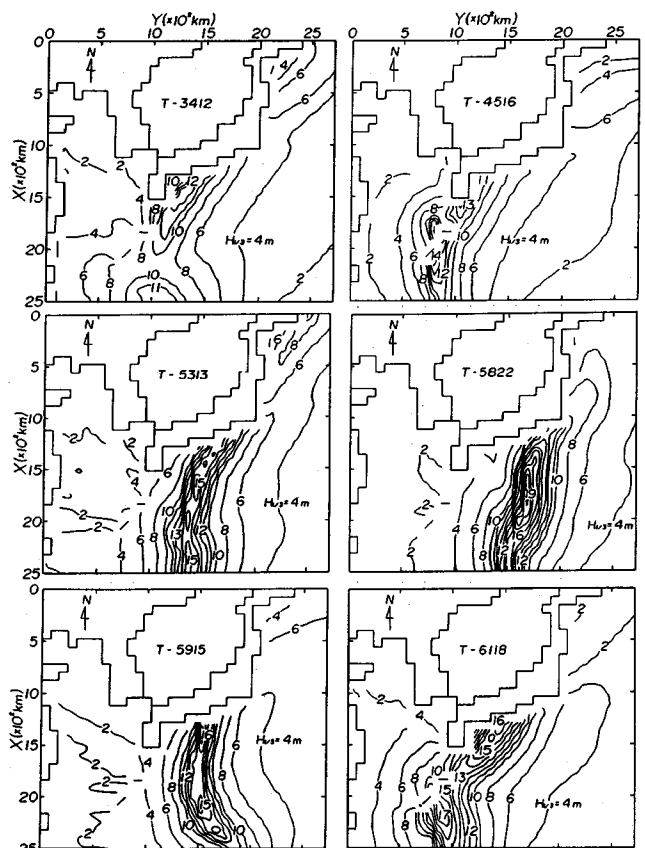


Fig. 7 Spatial distribution of maximum wave height during a typhoon (coarse grid).

である。6118号はその中心気圧が890~930 mbと非常に低く勢力の強い台風であったため、波高の最大値も大きく、沖縄南東海域では17 mを超える波高の最大域も形成されている。また、未曾有の大災害をもたらした3412号(室戸台風)に伴う波高が12 m程度と意外に小さいのは、南方海上では並の勢力をもつ台風であった3412号が九州東方から四国沖で急激に発達しながら通過したためである。一方、(Ⅲ)の台風では、波高の最大域は紀伊半島から東海地方沖に移動するとともに、Fig. 6の台風経路と比較すれば明らかなように、台風経路上に長く尾を引いた形で出現しているのが特徴的である。また、伊勢湾一帯に異常な災害をもたらした5915号の最大波高は16 mを超える。さらに、(Ⅳ)の台風では、波高の最大域は東海地方の南方洋上に孤立した形で出現しており、日本近海で最大域をもつ他の5台風とは対照的であるし、その絶対値は6台風中最大の19 mにも及んでいる。これは、台風5822号が南方洋上にあるとき、その中心気圧が883~903 mbと非常に低く、したがって、巨大な波浪が生成されたのに対して、日本近海ではそれが943 mb以上となって、急激に衰えたためである。

以上のように、中心気圧、移動速度および台風半径などの台風特性の履歴が台風ごとに異なることに対応して、波高の最大域も特徴ある空間分布を示す。

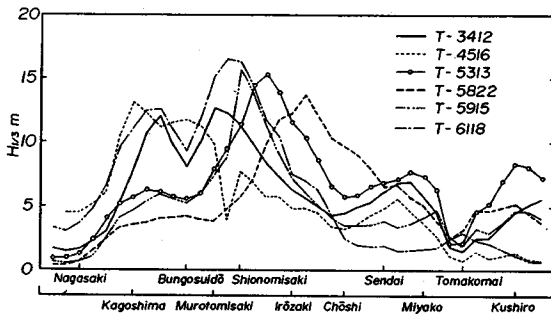


Fig. 8 Alongshore distribution of maximum wave height during a typhoon around the Japanese coast (coarse grid).

次に、各台風時のわが国太平洋岸における最大波高分布をより明確にするため、太平洋岸より1メッシュ(80 km)沖合の格子点における台風別最大波高の沿岸分布を示したのがFig. 8である。図は煩雑をきわめるが、これから、前述の4つのグループ分けに従って、波高の最大域が順次東に移動することや室戸岬から遠州灘にかけて15 m以上の高波高が5313号、5915号および6118号により生じていること、さらに6118号および4516号は広い高波高域をもつに対し、5915号および5313号、特に5915号は局所的に高波高域をもたらすものの、高波高域が相対的に狭い、ことなどの特徴が見出される。

(3) 台風発生最大波高分布とその出現確率

(2)において推定された120台風による台風別最大有義波高の平面分布から、各格子点における波高の最大値をそれぞれ1つ選択することにより120台風期間中の最大有義波高を求め、これを過去約50年間における台風発生最大波高の地域分布に対する推定結果とみなす。しかし、ここで注意すべきは、波浪追算対象台風は南西諸島および日本本土に接近するか直撃したケースに限られていること、および計算領域が有限であることであり、このため、最大波高の推定精度は境界端にあたる領域東側海域および南方境界近くの海域では低く、一方、領域中央部を占める沖縄から東北地方付近に至る海域では相対的に高いと考えられる。

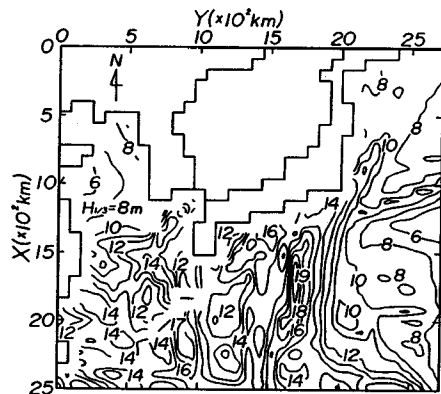


Fig. 9 Spatial distribution of maximum wave height in the past 50 years (coarse grid).

Fig. 9は台風発生最大波高の等値線分布を示したものである。図は多数の台風時における追算結果の重ね合わせから作成されているので、波高の等値線分布も複雑であるが、過去約50年間の台風により沖縄諸島南東海域、紀伊半島沖および東海地方南方海域で16 m以上の波高が出現しており、日本沿岸では室戸岬~房総半島、特に紀伊半島沖で最大波高の値が大きい。

Fig. 10は各台風時における最大波高から作成されたわが国沿岸における台風発生最大波高の沿岸分布、10 m以上の高波高発生頻度分布および運輸省により観測された昭和45年から昭和55年の間における台風に伴う最大有義波高分布¹⁴⁾を示したものである。この図によれば、九州から関東地方に至る海域において12 mを超える高波浪が出現し、特に紀伊半島から伊勢湾付近で台風6118号によって16 mを超える巨大な波浪が発生しているのに対し、関東地方北部以北では、8 m程度と相対的に小さい。これは、この付近を通過する台風の勢力がすでに減衰していることおよび台風によって発生した最大波高は外洋から伝播する波浪によってもたらされている

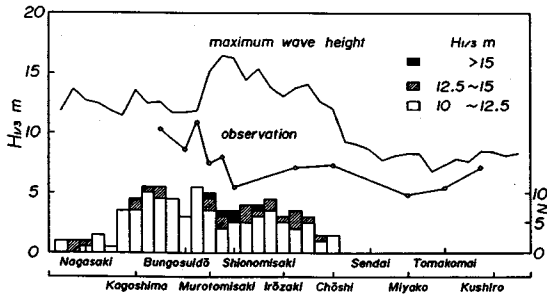


Fig. 10 Alongshore distribution of maximum wave height in the past 50 years around the Japanese coast and frequency of occurrence of waves of more than 10 m height (coarse grid).

ため、S方向を示す最大波の波向と局所風向がずれ、地点によっては逆風となる場合もあることなどのためであり、この海域では季節風による波浪が卓越するので、最大波高は必ずしも台風により生ずるとは限らない。また、計算結果と観測結果を比較すると、観測結果における種々の制約（観測水深、観測地点の地形特性、測得期間、測得率など）により、観測結果は最大波高の推定結果よりかなり小さいけれども、油津や高知沖では台風8013号により最大波高にせまる値が観測されている。さらに、10 m以上の波高の出現頻度をみると、高波高の出現回数は九州南部～関東地方でそれほど変わらないが、特に、室戸岬～遠州灘では九州南部に比べて10 m以上の波高の出現回数が少ないにもかかわらず、12.5 m以上の高波高の出現率が高い。すなわち、九州南部では他地点より高波浪の発生率が高く、室戸岬～遠州灘では高波浪が発生すれば、その最大値は極端に大きくなる可能性が高い。なお、九州から関東に至る海域での台風発生最大波高は台風5612号、5115号、6420号、4516号、6118号、5313号、5822号および6124号の合計8個の台風によってもたらされている。

次に、Fig. 11はわが国沿岸における地点別台風発生年最大波高の経年変化の数例とわが国沿岸における年最大波高（地点別年最大波高の最大値）の経年変化を示したものであり、この場合、地点別年最大波高は1～5個の台風に対する波浪追算結果から求められている。これらの図によれば、いずれの地点でも台風の規模や経路によって年ごとに発生する最大波高にかなりの差があり、したがって経年変化は著しい変動を示す。しかし、関東以北の海域では台風発生最大波高が8 m程度であるため、経年変化は関東以南に比べて比較的緩やかである。また、年最大波高の経年変化図によれば、わが国沿岸ではほぼ3～4年ごとに10 mを超える高波高がもたらされているが、近年異常に勢力の強い台風が接近あるいは上陸することが少ないことに対応して年最大波高の規模

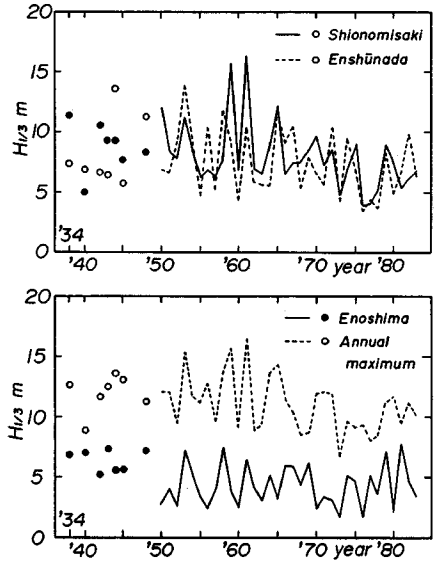


Fig. 11 Long-term variation of annual maximum wave height at selected locations (coarse grid).

も減少しつつあるという傾向変動が見出される。こうした傾向変動は室戸岬から房総半島に至る広い地域でみられ、したがって年最大波高の時系列の定常性に問題が残るけれども、ここでは、1950年から1983年までの34年間における年最大波高資料にWeibull分布、対数正規分布、Gumbel分布¹⁵⁾を適用してわが国沿岸の38地点に対する極値統計解析を実施した。一般に、自然現象の極値はGumbel分布によって表わされることが期待されるけれども、種々の要因に基づく資料のばらつきにより実際の極値事象は母数を2個しかもたないGumbel分布では必ずしも適切に表現されないことから、3個の母数をもつWeibull分布や対数正規分布が使用されることが多い。

Fig. 12は潮岬、遠州灘および江ノ島における年最大波高の経年資料をThomasプロットで対数正規確率紙に図示し、全地点について資料との適合性が最も良好で

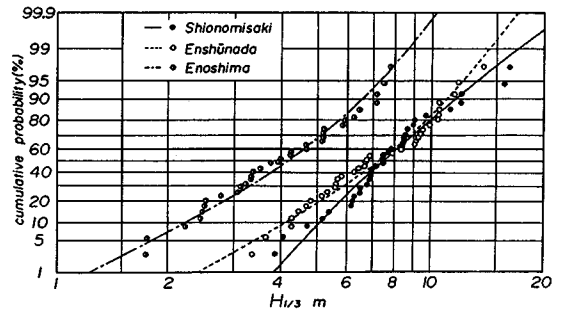


Fig. 12 Cumulative probability of annual maximum wave height at selected locations (coarse grid).

あった3母数対数正規分布¹⁵⁾と比較したものであり、この場合、資料との対応を考え、積率法により母数を推定した結果が与えられている。これらの図によると、いずれの地点の年最大波高も対数正規分布により比較的よく近似されており、潮岬、遠州灘および江ノ島における台風発生最大波高(16.3 m, 13.9 m および 7.75 m) に対する再現期間はそれぞれ70年, 60年および32年である。

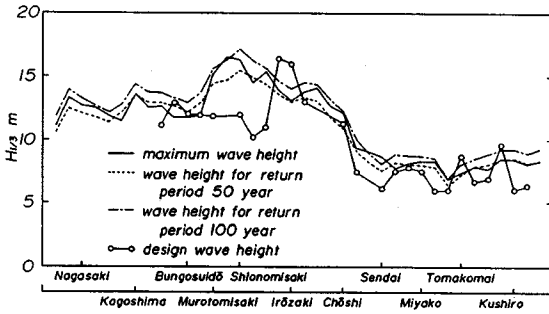


Fig. 13 Alongshore distribution of maximum wave height in the past 50 years, wave heights for return periods of 50 and 100 years, and design wave height around the Japanese coast (coarse grid).

Fig. 13は、3母数対数正規分布を仮定した場合の50年, 100年確率波高, 台風発生最大波高および海岸・港湾構造物の設計波高の沿岸分布を比較したものである。確率波高は室戸岬から房総半島にかけてより大きく、室戸岬以西ではかえって小さいし、仙台以北では他の領域に比べてかなり小さい。また、最大波高の沿岸分布は50年確率波高の沿岸分布と相互に似ているが、室戸岬～房総半島および九州西岸で最大波高は50年確率波高をやや上回っている。一方、最大波高や確率波高と設計波高の沿岸分布を比較すると、遠州灘以北では両者は比較的よく対応するか設計波高がやや小さい地点が多いのに対し、室戸岬～遠州灘では設計波高がこれらに比べて小さいようである。しかし、これらの波高は空間分解能が相対的に低い計算から推定されていることに注意する必要がある。

5. 四国～関東沿岸における台風発生最大波高の地域分布特性

4. においてわが国太平洋岸における台風発生最大波高や確率波高の沿岸分布を考察したが、数値計算は80 kmの格子間隔をもつ相対的に粗い格子網上で行われたので、周辺地形の影響が十分考慮されているとはいえない。そこで、ここでは、周辺地形の影響を受けたより詳細な台風発生最大波高の地域分布を明らかにするため、前述の120個の台風時における波浪追算結果から四国沿

岸海域に最大波高をもたらした台風4516号, 5915号, 6118号および東海沿岸海域に最大波高をもたらした台風5313号, 5822号, 5915号および6124号を対象として、それぞれ四国沿岸小領域と東海沿岸小領域において大領域での計算結果を入力境界条件とした波浪追算を行って台風別最大波高の平面分布を推定したのち、大領域の場合と同様にそれらを重ね合わせることで、台風発生最大波高の地域分布図を作成した。

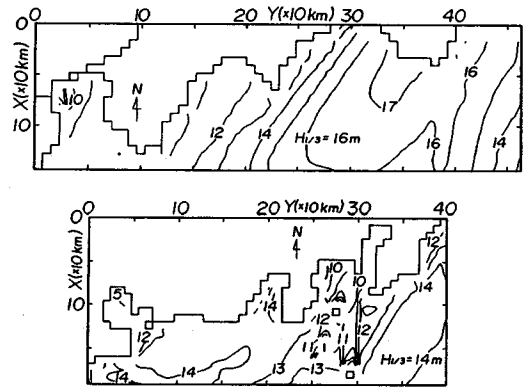


Fig. 14 Spatial distribution of maximum wave height in the past 50 years (fine grid).

Fig. 14はそれぞれ四国沿岸小領域および東海沿岸小領域における台風発生最大波高の平面分布を示したものである。まず、四国沿岸小領域では、大領域での波高より1 m程度大きい17 mを超える最大波高の出現海域が紀伊半島沖にあり、そこを中心に16 mを超える高波高域が紀伊半島周辺に分布している。これはこれらの高波高域をもたらした台風6118号時には外洋から伝播した波浪が小領域における強風によりさらに発達したことによる。また、台風発生波浪が大きいと考えられる土佐湾沖では最大波高の値は紀伊半島沖に比べてかなり小さく、しかも西側ほど減少している。一方、東海沿岸小領域では5313号によりもたらされた高波浪が卓越し、遠州灘や駿河湾内でそれは14 mに達する。特に、駿河湾はS～SW方向に湾口をもつため、外洋で発生した波浪が直接侵入することによりきわめて大きな波浪が来襲することになる。また、伊豆半島東側から東京湾口にかけては、伊豆半島および伊豆諸島の遮蔽効果により波高は相対的に減少するけれども、最大波高は10 mに及ぶし、さらに房総半島でも14 mもの高波浪が来襲している。

ついで、Fig. 15は四国～房総半島沿岸(陸上より8 km沖合)における台風発生最大波高, 海岸・港湾構造物の設計波高および大領域での台風発生最大波高との比較を示したものである。この図によると、最大波高はほとんどの地点で10 mを超えており、紀伊半島沿岸では

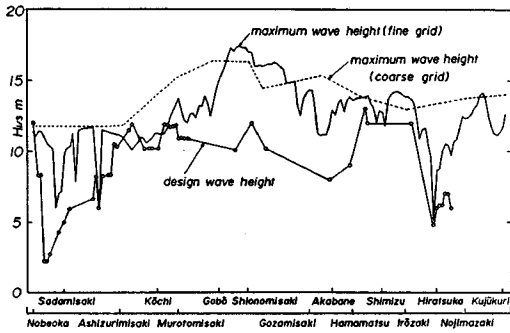


Fig. 15 Alongshore distribution of maximum wave height in the past 50 years and design wave height around the Japanese coast (fine grid).

17 m を超える巨大な波浪が出現するのに対し、いくつかの地点では沿岸付近の局所的な地形の影響によって周辺の最大波高に比べてかなり小さい値を示す。また、紀伊半島および遠州灘での最大波高は小領域内で波浪が発生したため、大領域でのそれより大きい。一方、設計波高との比較を考えると、両者が比較的近い値を取る地域も存在するが、室戸岬～遠州灘および豊後水道付近では最大波高が設計波高よりかなり大きい。しかし、ここで注意すべき点は全部の設計波高が必ずしも沖波として表わされておらず、また同一の方法で決定されていないこと、および設計波高の中には数値計算では無視される細かい周辺地形による遮蔽効果や海底地形の影響を含むものもあることである。したがって、これらの比較からただちに個々の地点における海岸・港湾構造物や背後地の安全性を議論するのは早計であろう。

6. 結 論

以上、本研究では、著者らが開発した波浪推算モデルの台風発生波浪に対する適用性を明らかにするとともに、過去約 50 年間に於ける多くの台風に対する波浪追算からわが国太平洋沿岸海域や四国沿岸および東海沿岸海域における台風発生最大波高の地域分布や確率波高の沿岸分布を推定し、その特性の考察や海岸・港湾構造物の設計波高との比較を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

(Ⅰ) 本研究の波浪推算モデルは、台風モデルにより海上風を推定した場合でも、かなり広範囲にわたる台風時の波浪観測結果の経時変化特性を比較的よく再現する。

(Ⅱ) 過去約 50 年間の台風により紀伊半島、東海地方南方海域および沖縄南東海域などで 16 m 以上の波高が出現したと推定される。また、わが国沿岸では九州から関東に至る海域において 12 m を越える高波浪が出現

し、特に、紀伊半島付近では台風 6118 号によって 16 m 以上の巨大な波浪がもたらされているのに対し、関東地方北部以北では 8 m 程度と相対的に小さい。

(Ⅲ) 日本沿岸での最大波高の沿岸分布は 3 母数対数正規分布をあてはめて推定した 50 年確率波高の沿岸分布と比較的よく対応する。

(Ⅳ) 四国沿岸において最大波高の最大値が出現した海域は台風 6118 号時における紀伊半島沖である。このとき、大領域から伝播する波浪が小領域での強風によりさらに発達したため、その最大値も外洋より増加し、17.4 m に達する。一方、伊勢湾～房総半島沿岸における最大波高の最大値は遠州灘、伊豆半島西側および房総半島沖において 13 m を超える。また、駿河湾では外洋で発生した波浪が直接侵入するため、きわめて大きな波浪が来襲する可能性がある。

(Ⅴ) わが国における設計波高の沿岸分布は最大波高や確率波高の沿岸分布と同様な傾向を示すけれども、室戸岬～遠州灘および豊後水道付近では、その値は最大波高に比べて小さいようである。

以上が本研究より得られた結果であるが、海上風はあくまで等圧線の円近似に基づく台風モデルにより推定されており、しかも相対的に粗い格子網で波浪追算が行われていることから、追算精度や空間分解能におのずと限界がある。したがって、個々の地点における最大波高をより詳細に検討するためには、海上風の推定精度を向上させるとともに、周辺地形や海底地形の影響をより詳細に考慮できる空間分解能の高い波浪推算モデルを開発する必要があると考えられる。

最後に、貴重な風および波資料を提供していただいた運輸省港湾建設局を始めとする関係各官公庁ならびに設計波高の提供と公表許可をいただいた北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾建設事務所、北海道庁土木部海岸漁港建設課、青森県土木部港湾課および水産部漁港課、岩手県土木部港湾課および林業水産部漁港課、宮城県土木部港湾課および河川課、茨城県土木部港湾課、千葉県水産部漁港課、神奈川県土木部河港課、静岡県土木部港湾課、愛知県土木部港湾課、三重県土木部港湾課、和歌山県土木部港湾課、高知県水産局漁港課、土木部港湾課および河川課、愛媛県水産局漁港課および土木部河川課、大分県土木建築部港湾課、河川課および林業水産部漁港課、宮崎県農政水産部漁港課に深甚の謝意を表明するとともに、資料の整理や図面の作成に助力された愛媛大学工学部海洋工学科 大福 学技官に感謝する次第である。なお、本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究(2)(代表：山口正隆)による研究成果の一部であることおよび本研究の計算は九州大学大型計算機センターの Facom M-382 および愛媛大学情報処理センターの

Facom M-180 II AD によったことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 高橋智晴・副島 毅・金子大二郎：日本海沿岸の沖波(深海波)の推算, 港湾技研資料, No. 159, 452 p., 1973.
- 2) 高橋智晴・副島 毅・金子大二郎：太平洋北東部の沖波(深海波)の推算, 港湾技研資料, No. 206, 191 p., 1975.
- 3) 高橋智晴・副島 毅・金子大二郎：南西諸島・九州南岸の沖波(深海波)の推算, 港湾技研資料, No. 207, 270 p., 1975.
- 4) 高橋智晴・広瀬宗一・佐々木徹也：沖縄周辺の波浪特性について, 港湾技研資料, No. 283, 128 p., 1978.
- 5) 山口正隆：波浪推算法とその適用性, 1985年度(第21回)水工学に関する夏期研修会講義集, Bコース, 土木学会水理委員会, B-2-1~20, 1985.
- 6) 山口正隆・畑田佳男・日野幹雄・小淵恵一郎：太平洋岸における台風発生極大波の地域分布特性, 愛媛大学工学部紀要, 第11巻第1号, pp. 265~276, 1986.
- 7) 山口正隆・畑田佳男・日野幹雄・小淵恵一郎：太平洋岸における台風発生極大波の地域分布特性(2), 第38回昭和61年度土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, II-59, pp. 175~176, 1986.
- 8) Bouws, E., Günther, H., Rosenthal, W. and Vincent, C. L. : Similarity of the wind-generated spectrum in the finite depth water 1, spectral form, Jour. Geophys. Res., Vol. 90, No. C 1, pp. 975~986, 1985.
- 9) 佐藤昭二・合田良實：海岸・港湾, わかり易い土木講座 17, 彰国社, p. 104, 1972.
- 10) Ross, D. B. : A simplified model for forecasting hurricane generated waves, Bull. American Meteorol. Soc., No. 113, 1976.
- 11) Hasselmann, D. E., Dunckel, M. and Ewing, J. A. : Directional wave spectra observed during JONSWAP 1973, Jour. Phys. Oceanogr., Vol. 10, pp. 1264~1280, 1980.
- 12) 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所：室津港波浪推算調査報告書一有義波法による太平洋沿岸波浪推算一, 366 p., 1982.
- 13) たとえば, 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・橋本典明：沿岸波浪観測年報(昭和55年), 港湾技研資料, No. 417, 835 p., 1982.
- 14) 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・橋本典明：波浪に関する拠点観測10か年統計(昭和45年~昭和54年), 港湾技研資料, No. 401, 711 p., 1981.
- 15) 岩井重久・石黒政儀：応用水文統計学, 森北出版, 370 p., 1975.

(1986. 5. 19・受付)