

# 台風8712号に伴う異常波浪の追算

## HINDCASTING OF HIGH WAVE CONDITIONS DURING TYPHOON 8712

山口正隆\*・畑田佳男\*\*・池田 章\*\*\*・早川 淳\*\*\*\*

By Masataka YAMAGUCHI, Yoshio HATADA, Akira IKEDA and Jun HAYAKAWA

High wave conditions in the East China Sea during Typhoon 8712 (Dinah) are hindcasted with the use of two kinds of shallow water wave prediction models based on the radiative transfer equation. The models give reasonable agreement with the observed data. It is demonstrated that huge waves brought about by Typhoon 8712 greatly altered the spatial distribution of maximum significant wave height generated by typhoons for the past 50 years in the East China Sea, and that the return period for maximum significant wave height which occurred off Nagasaki during a typhoon is over 100 years. It is also deduced from the computation of wave transformation that the violent action of huge waves exceeding the design wave height of the breakwater was responsible for the destruction of the breakwater in the Shin-Nagasaki Fishing Port.

*Keywords*: wave hindcast, discrete spectral models, shallow water waves, extreme waves, wave transformation

### 1. 緒 言

台風の常襲地帯に位置するわが国沿岸は、ここ数年大型台風の来襲に伴う大規模な波浪災害を免れてきたが、一昨年(1988年)の台風8712号により九州西北部の東シナ海沿岸から北海道に至る日本海沿岸の多くの地域が重大な波浪災害を被った。特に、長崎県における港湾・漁港施設の被害は新長崎漁港南防波堤の転倒・全壊をはじめとしてきわめて甚大であり、総額は281億円に及んだ<sup>1)</sup>。

台風8712号は大型で強い勢力をもち、日本本土に上陸することなく、東シナ海から日本海中央部を経て宗谷海峡に至る海上部を通過した。このため、日本沿岸で強風が吹送し、喜屋武岬(沖縄)で過去4年7か月間の最大有義波高である9.3mを記録するなど、各地で最大級の波浪が出現した<sup>2)</sup>。しかし、最も甚大な被害を被った長崎県沿岸では異常波浪に伴う波高計の故障のため、波浪記録が取得されていない。したがって、こうした異常波浪を広域的にしかも精度良く再現することが、新長

崎漁港南防波堤を始めとする沿岸海域での港湾・漁港施設などの被災要因を明確にし、今後の波浪災害の防止軽減対策をより合理的なものにするうえで必須の課題となる。

そこで、本研究は、格子点法および1点法に基づく浅海波浪推算モデルによる波浪追算から、台風8712号時の東シナ海における波浪の再現に努め、これが過去50年の間の波浪と比べてどの程度の規模に相当するかを考察するとともに、波浪変形計算から、台風8712号時の新長崎漁港南防波堤における来襲波浪の最大規模を推定しようとするものである。

すなわち、2. では、台風モデル法に基づく海上風推算法<sup>3)</sup>や、格子点法および1点法に基づく浅海波浪推算モデル<sup>4)~6)</sup>(以後、格子点浅海モデルおよび1点浅海モデルとよぶ)の概要を述べる。

3. では、まず波浪追算に使用する各海域の格子網や、計算条件および台風8712号の台風特性を説明する。ついで、格子点浅海モデルおよび1点浅海モデルによる波浪追算結果を波浪観測結果と比較することにより、波浪追算の精度を明らかにする。また、波浪追算結果に基づいて台風8712号時の最大有義波高(以後、最大波高とよぶ)の平面分布特性を考察する。

4. では、過去50年間の100以上の台風を対象とした

\* 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 東亜建設工業(株)  
(〒102 千代田区4番町5)

格子点深海モデルおよび1点浅海モデルによる波浪追算から得られた、東シナ海を含む九州沿岸での50年最大波高<sup>7),8)</sup>と、今回、同種のモデルにより得られた8712号時の最大波高との相互比較や、台風に伴う年最大波高資料に対する極値統計解析に基づき、8712号時の最大波高の過去50年間における高波浪に占める位置づけを行う。

5. では、まず、新長崎漁港入口での過去50年間における波浪の最大規模を1点浅海モデルによる波浪追算から推定する。ついで、上述の波浪追算結果の最大値を入力境界条件として与えた場合の、格子点モデルに基づく浅海波浪変形計算を新長崎漁港海域で行い、南防波堤に作用した波浪の最大規模を推定する。

## 2. 海上風および波浪推算法の概要

### (1) 海上風推算法

海上風の推定は台風モデル法<sup>3)</sup>による。台風モデル法とは、台風域内の気圧分布をMyers式で近似して求めた中心対称傾度風と、台風の移動に伴う場の風をベクトル合成することにより、台風内の風速・風向を評価する方法である。数値計算では、極東天気図から3時間ごとに求めた台風中心の位置、気圧深度、台風半径を与え、内挿を通じて20分~1時間ごとの海上風を推定する。この際、吹き込み角は台風中心の位置に相当する緯度の関数として与えられる。また、海上風への補正係数は0.6とする。

### (2) 波浪推算法

#### a) 浅海波浪推算モデル

本研究では、山口ら<sup>4)~6)</sup>のエネルギー平衡方程式に基づく2種類の浅海波浪推算モデル(格子点モデルおよび1点モデル)を改良して使用した。改良点は計算時間の節約を目的とした数値計算プログラムの変更・修正であり、source functionの構成は変えていない。

波浪推算モデルの基礎式は、shoaling・屈折項を含む浅海エネルギー平衡方程式であり、次式で表わされる。

$$\frac{\partial F}{\partial t} + c_g \cos \theta \cdot \frac{\partial F}{\partial x} + c_g \sin \theta \cdot \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{c_g}{c} \cdot (\sin \theta \frac{\partial c}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial c}{\partial y}) \frac{\partial F}{\partial \theta} = cc_g G(f, \theta) \quad (1)$$

ここに、 $F = cc_g E(f, \theta)$ 、 $c$ ：成分波の波速、 $c_g$ ：成分波の群速度、 $E(f, \theta)$ ：方向スペクトル、 $f$ ：周波数、 $\theta$ ：方位角、および $G(f, \theta)$ ：エネルギーの流出入を表わすsource function、である。

格子点モデル<sup>4),5)</sup>では、source functionとして、Miles機構による風波の発達項、成分波間の非線形干渉

項、順風減衰状態におけるエネルギー減衰項、逆風によるエネルギー減衰項、非線形底面摩擦項、および砕波によるエネルギー減衰項、が考慮される。また、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 (P-M) スペクトルおよび $\cos^4 \theta$ 型方向分布関数の積で表わされる方向スペクトルを、初期値として与えることにより評価される。

一方、1点モデル<sup>6)</sup>ではsource functionとして、Phillips機構による風波の発生項、Miles機構による風波の発達項、順風減衰状態におけるエネルギー減衰項、逆風によるエネルギー減衰項、線形底面摩擦項、および砕波によるエネルギー減衰項、が考慮される。式(1)において水深を無限大にすれば、shoaling、屈折および底面摩擦に関する各項が省略されるとともに、砕波に伴うエネルギー減衰項の評価に使用される平衡周波数スペクトルもJONSWAPスペクトルあるいはP-Mスペクトルに一致するので、いずれのモデルもそれぞれの深海波浪推算モデルに帰着する。

格子点モデルと1点モデルとの最も大きな相違は、source functionとして前者が成分波全体に関する項、たとえば、成分波間の非線形干渉項を含むのに対して、後者はそれらを含まない点にある。したがって、波の物理機構のモデル化という点では、格子点モデルが1点モデルより進歩していると考えられる。しかし、波浪推算の精度は、物理機構のモデル化という点のみならず、計算格子間隔の大きさに伴う空間分解能などの計算条件によっても左右される。1点モデルでは格子点モデルより格子間隔の小さい計算格子網が使用できるので、複雑な地形や水深分布を有する地点では推算精度を確保するうえで、格子点モデルより有利である。また、1地点の波浪推算に要する計算時間は、1点モデルが格子点モデルより短い、波浪の平面分布を得るのに要する計算時間は、格子点モデルが1点モデルより短い。以上のように、格子点モデルおよび1点モデルは相互に補完的性質をもつので、目的に応じて適宜両モデルを使い分けることが波浪推算の精度を確保するうえで重要である。

#### b) 数値計算法

式(1)のエネルギー平衡方程式の数値積分は右辺を0とした伝播方程式と、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。

伝播方程式の数値積分は、格子点モデルでは二次元piecewise ray method、1点モデルでは低周波成分に対しfull ray method、深海波とみなされる高周波成分に対し一次元piecewise ray methodを適用することにより行われる。一方、発達・減衰方程式の解は伝播計算結果を初期値とした解析解を利用して求められる。

本モデルの数値計算プログラムは山口ら<sup>4)~6)</sup>によるものとはほぼ同じであるが、計算時間を短縮するため、三角関数、指数関数、Lagrange 補間式の係数などを各タイムステップごとに計算するかわりに、あらかじめ数表として用意し、各計算過程でこれらの値を線形内挿する方法を用いるようにプログラムを大幅に変更した。

c) 境界条件

境界は陸地境界と開境界から構成される。陸地境界では方向スペクトルの値を 0 とする。一方、開境界では JONSWAP 型周波数スペクトルと  $\cos^4 \theta$  型方向分布関数の積で表わされる Ross のハリケーンモデル<sup>9)</sup>に基づき、局所風速・風向および、境界点と台風中心との距離に対応する方向スペクトル値を与える。

3. 8712 号時の波浪追算

(1) 計算格子網および計算条件

沿岸部における波浪推算の精度は地形に対する空間分解能、すなわち、格子間隔に大きく左右されることから、格子点モデルでは Fig. 1 に示す 3 種類の計算格子網を使用した。図中には、比較に使用する波浪観測点も示されている。これらのうち最も大きな海域は、西太平洋・東シナ海における波浪の極値の推定に使用される格子間隔 80 km の計算格子網であり、格子点深海モデルによる波浪追算が行われる。これに次ぐ海域は東シナ海を対象とした格子間隔 40 km の計算格子網であり、東シナ海が比較的小さい水深をもつことから、波浪追算に格子点浅海モデルが使用される。最も小さい海域は、著しい波浪災害を受けた長崎付近の波浪分布を得るために使用する格子間隔 5 km の計算格子網である。この格子網では、格子間隔 40 km の格子網上で格子点浅海モデルに基づく波浪追算結果を境界条件として与えた場合の格子点浅海モデルによる波浪追算が行われる。

一方、1 点モデルでは、格子間隔 5 km の西太平洋海域と、計算対象地点を含む小海域を格子間隔 1 km で近似した水深格子網とを結合した 2 段階計算格子網を使用する。これは、波浪追算点付近の地形をより詳細に考慮するためである。Fig. 2 は西太平洋海域、四角で囲んだ小海域、比較に使用する波浪観測点および 8712 号の経路と、長崎海域およびそこでの等深線図を示したものである。

波浪追算は、格子点モデルの場合、0.036~0.8 Hz 間を不等分割した 20 個の周波数、および 0~360° を  $\Delta\theta = 20^\circ$  で等分割した 19 個の波向を、一方、1 点モデルの場合、0.04~0.5 Hz 間を不等分割した 22 個の周波数、および波浪追算点に到達する成分波の方向を 20~30 個に分割した方向値を使用して行われる。

台風 8712 号は Fig. 2 に示すように、グアム島の南南

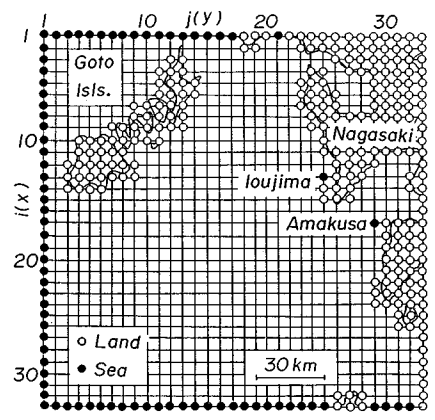
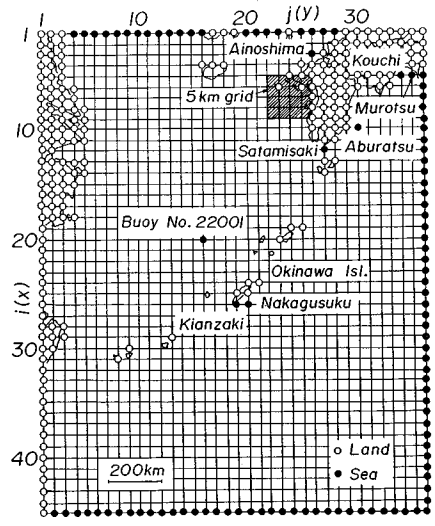
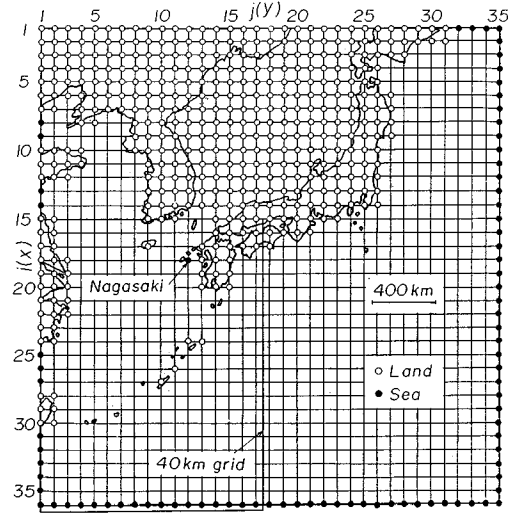


Fig. 1 Three kinds of grids used in the computation with the grid model.

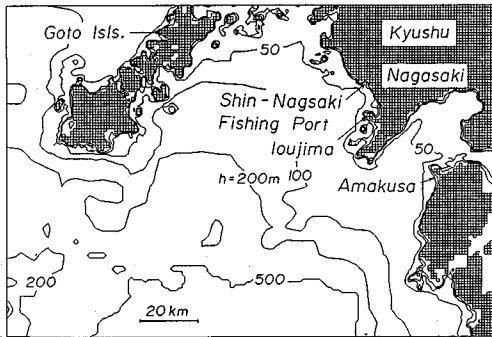
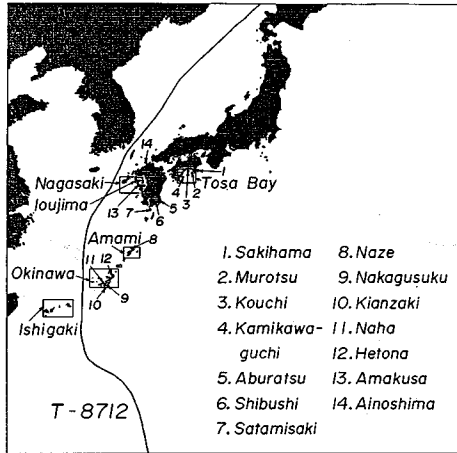


Fig. 2 Grid system used in the computation with the single point model.

東海上で発生し、ルソン島の東方海上、沖縄南方海上を北西寄りに進んだ後、石垣島と沖縄本島の間を通過して東シナ海を北上する進路を取った。その後、東シナ海北部では、進路を北東に変え、対馬海峡を通り、日本海中央部を経て宗谷海峡に移動した。

## (2) 海上風の追算結果と観測結果との比較

台風 8712 号による海上風の風速  $U_0$  および風向  $\theta_w$  について、南西諸島および九州にある多くの地点での観測結果と台風モデル法による追算結果との比較を行った。Fig. 3 は一例として唯一の海上風観測点であるブイ No. 22 001 (旧 No. 4) における観測風と追算風の時系列を示したものであり、計算風は観測風よりやや遅れるが、両者はかなりよく一致する。

多くの地点における比較結果を総合すると、南西諸島では、計算風速が観測風速より小さい地点が多く、経時変化も若干遅れる傾向にある。一方、九州では計算風速が観測風速を上まわり、しかも風速の増減が観測結果に比べて緩やかである。しかし、全体を通してみれば、台風の影響が卓越する場合には、台風モデル法は台風によ

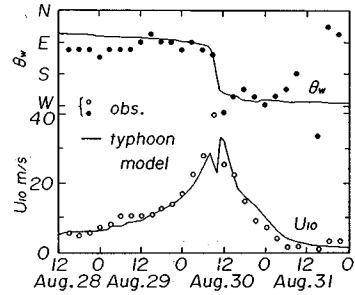


Fig. 3 Comparison of computed and observed winds.

る風場を許容し得る精度で再現するといえる。

## (3) 波浪の追算結果と観測結果との比較

Fig. 4 は喜武屋岬 (水深 51 m)、中城 (53 m)、ブイ No. 22 001 (115 m)、佐多岬 (45 m)、油津 (49 m)、高知 (19 m)、室津 (50 m)、天草 (18 m)、藍島 (21 m) において、格子点浅海モデルおよび 1 点浅海モデルによる有義波高  $H_{1/3}$  および有義波周期  $T_{1/3}$  の追算結果と観測結果を比較したものである。格子点モデルによる計算は天草を除き 40 km 間隔格子網で行われることから、地形に対する分解能が十分でないで、波浪の卓越方向に対して陸地地形の影響をあまり受けない観測点が主として比較の対象に選ばれている。

天草における結果は、5 km 間隔格子網において海上風を 20 分ごとに与えた波浪追算から得られており、計算条件は計算時間間隔を  $\Delta t = 4$  min とした以外、40 km 間隔格子網での外洋計算と同じである。

1 点浅海モデルによる計算は、前述したように格子間隔 5 km の西太平洋海域に格子間隔 1 km で近似した波浪追算点周辺の海域を組み込んだ 2 段階海域で行われる。波向線上波計算格子点における海上風は、80 km 間隔格子網あるいは波浪追算点周辺の 10 km 間隔格子網 (400 km  $\times$  400 km) の各格子点における 30 分ごとの海上風を線形内挿して得られるが、波浪追算点では、内挿に伴う海上風の平滑化により、波浪追算点での海上風が過小評価されることを避けるため、台風モデル法から直接計算される。

また、ブイ No. 22 001 による観測結果は 20 波の平均波高および平均周期で表わされているので、それぞれ 1.6 倍および 1.2 倍することにより、有義波高および有義波周期に変換されている。

さて、これらの図を考察すると、次のようである。

(i) 沖縄本島太平洋側にある喜武屋岬、中城および東シナ海に位置するブイ No. 22 001 での観測波浪の変化はいずれのモデルによってもかなりよく再現される。しかし、1 点モデルはうねり到達期の周期をやや低く評価する傾向にあるし、ブイ No. 22 001 の減衰期では格

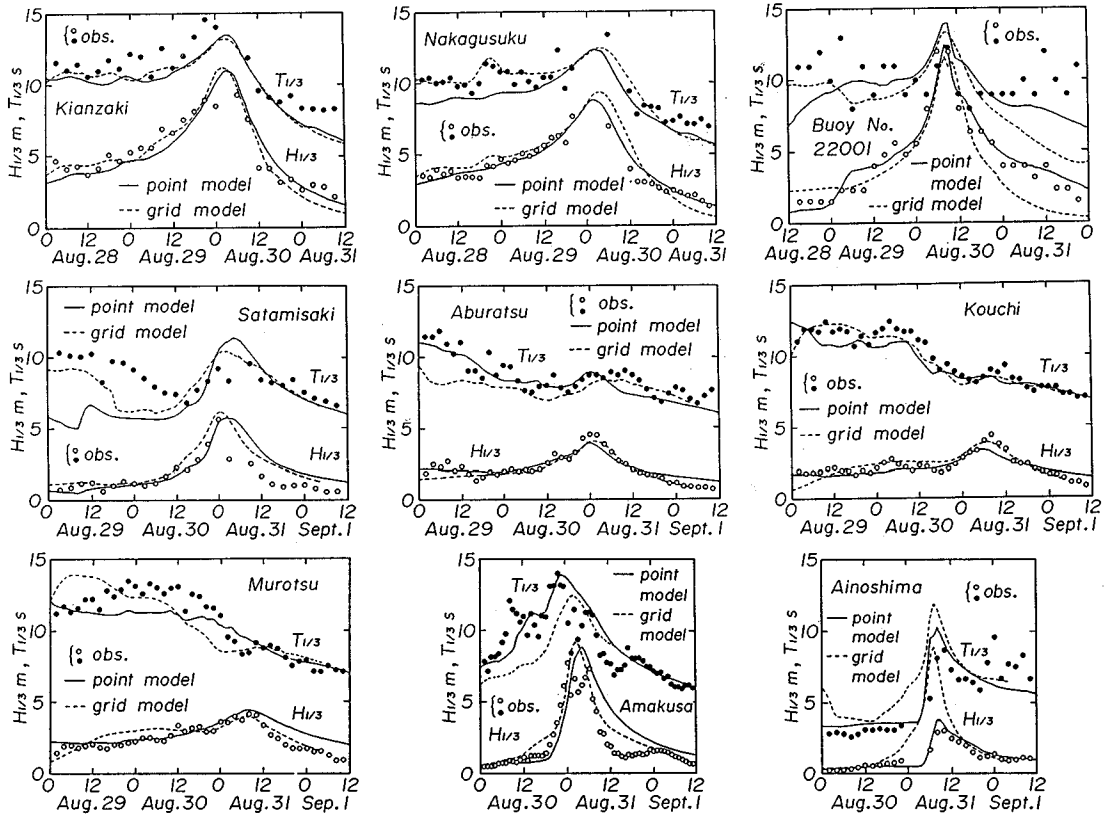


Fig. 4 Comparison of computed and observed significant waves (1).

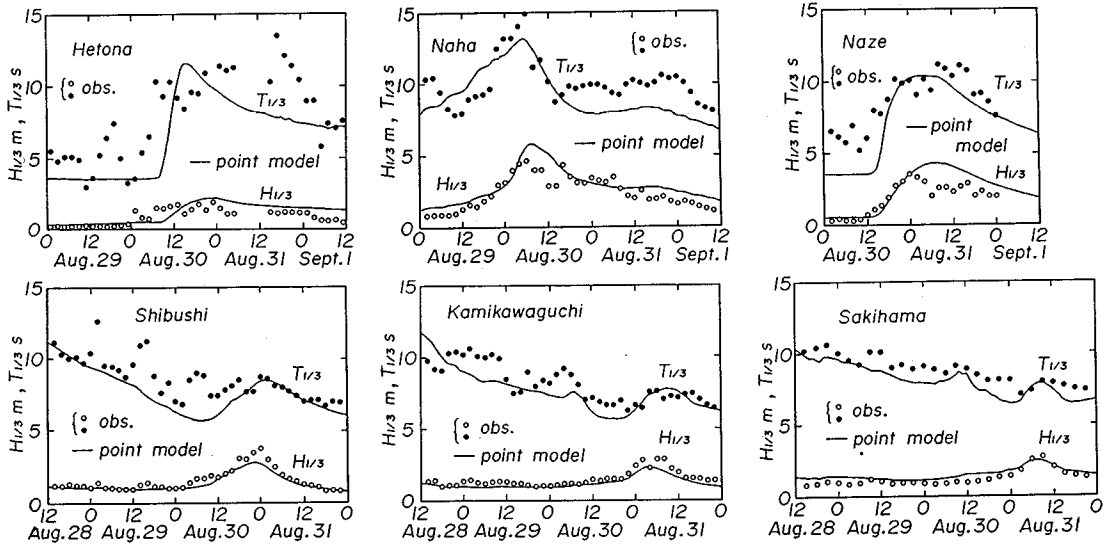


Fig. 5 Comparison of computed and observed significant waves (2).

点モデルが観測波高より急速な減衰を与える。

(ii) 油津, 高知および室津では, 両モデルはうねりが卓越する観測波浪の経時変化を比較的良好に再現する。

(iii) 屋久島や種子島は 40 km 間隔格子網においては粗い近似で含まれるに過ぎないが, 九州南部の佐多岬における格子点モデルの再現性は 5 km 間隔格子網での 1 点モデルと同様, 比較的良好である。しかし, 観測結果にみられる減衰期の波高の急減はいずれのモデルにおいてもうまく再現されない。

(iv) 天草では, 1 点モデルは観測結果よりやや遅れた発達・減衰を示し, その結果, 減衰期の波高を過大評価するが, 一般的に比較的良好な再現性をもつ。一方, 格子点モデルも 1 点モデルと同様の挙動を示すけれども, 発達期の周期を過小評価する。これは計算時間の制約により計算対象期間を短くせざるを得ないことに起因する。また, 両モデルは最大有義波高を過大評価する。しかし, 観測結果には防波堤による反射波が含まれる可能性が高いので, 観測資料の精度にも問題がある。

(v) 藍島では, 空間分解能の高い格子網が使用された 1 点モデルは陸地地形による遮蔽効果を受けた観測結果をよく説明するが, 空間分解能の低い格子網が使用された格子点モデルは過大な値を与える。

次に, 上述した藍島におけるように, 40 km 間隔の計算格子網では地形に対する空間分解能の不足のために, 格子点モデルが十分な再現性を与えないと考えられる地点について, 1 点浅海モデルによる追算結果と観測結果との比較を示したのが Fig. 5 である。追算対象地点は南西諸島の辺土名 (水深 21 m), 那覇 (51 m), および名瀬 (53 m), 九州の志布志 (45 m), 四国の上川口 (28 m), および佐喜浜 (48 m) である。これらの地点は, うねりが長時間持続する志布志, 上川口および佐喜浜と, 台風の進行に伴う波浪の来襲方向の変化により, 地形の遮蔽効果を受けて低波高状態にあった波浪が急激に増大し

たのち, 減衰期に入る上記以外の地点に分かれる。1 点モデルは, 多少の相違は別にして, いずれの地点についても観測結果を比較的良好に再現する。

#### (4) 8712 号時の最大波高の平面分布

Fig. 6 はそれぞれ格子間隔 80 km の計算格子網を使用した格子点深海モデルと, 格子間隔 40 km および 5 km の計算格子網を使用した格子点浅海モデルによる 8712 号時の最大波高の平面分布を示す。まず, 80 km 格子網での計算結果によると, 10 m を越える高波高域が台風経路である沖縄本島南方海上から東シナ海中央部および九州西方海上に沿って形成されており, その最大値は東シナ海中部で 15 m, 長崎付近で 14 m である。一方, 40 km 格子網における最大波高の等値線は, 80 km 間隔格子網での等値線分布を拡大したような空間変化を示し, 相互によく対応する。しかし, 浅海モデルによる最大波高の極大値は, 東シナ海で 14 m, 長崎沖で 13 m であり, それぞれ 80 km 間隔格子網および 40 km 間隔格子網での深海モデルによる結果に比べて 1 m 程度小さい。これは波浪の発達に及ぼす海底地形の影響を示すものであり, このことから東シナ海のように水深が 200~300 m より小さい海域における異常波浪の推定には浅海モデルを使用することが望ましいといえよう。しかし, 海上風および波浪の追算誤差を考慮すると, この程度の相違は実際上問題とならないと考えられる。

ついで, 5 km 格子網での計算結果によると, 九州西北部では, 波向 SSW をもつ高波浪が五島列島に遮蔽されることなく到達し, 最大波高は北にいくほど増大する傾向を示すし, 最大波高は 12 m を越える。しかし, 陸地地形による遮蔽効果を受ける区間では, 有義波高が局所的に小さい。また, 平均波向も北に向かうにつれ, おおむね WSW~SSW へと変化する。一方, 五島列島では, 東シナ海に面する西側海域よりむしろ九州に面する東側海域で, 波高が大きく, 波向も五島列島の遮蔽効果

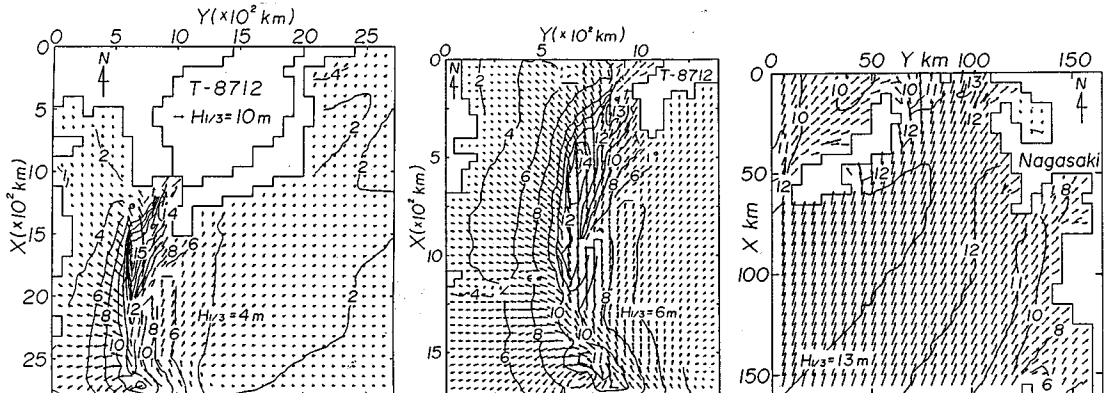


Fig. 6 Spatial distributions of maximum significant wave height and its direction during Typhoon 8712 computed on three kinds of grids.

により SSW から SSE 方向に変化している。

#### 4. 九州西北部における波高の極値

山口ら<sup>7)</sup>は、1934年～1983年の間の124台風に対し、Fig. 1に示す80 km間隔の西太平洋格子網において、台風モデル法により海上風分布を推定した場合の格子点深海モデルに基づく波浪追算を実施し、わが国太平洋岸における50年最大波高および50年確率波高の沿岸分布を推定した。また、山口ら<sup>8)</sup>は、1934年～1983年の間の115個の台風に対し、1点浅海モデルに基づく波浪追算を、5 km間隔の西太平洋格子網における房総半島～九州西北部沿岸10 km沖合の34地点で行い、同様の検討を加えた。

Fig. 7は格子点深海モデルにより推定された50年最大波高の平面分布(上図)と、これに8712号時の最大波高を重ね合わせた結果(下図)を示す。50年最大波高の極大値は東シナ海では14 m程度であるが、8712号時の最大波高を加えた図では、東シナ海中央部で15 m、九州西北部で14 mに達し、1 m程度増加する。こ

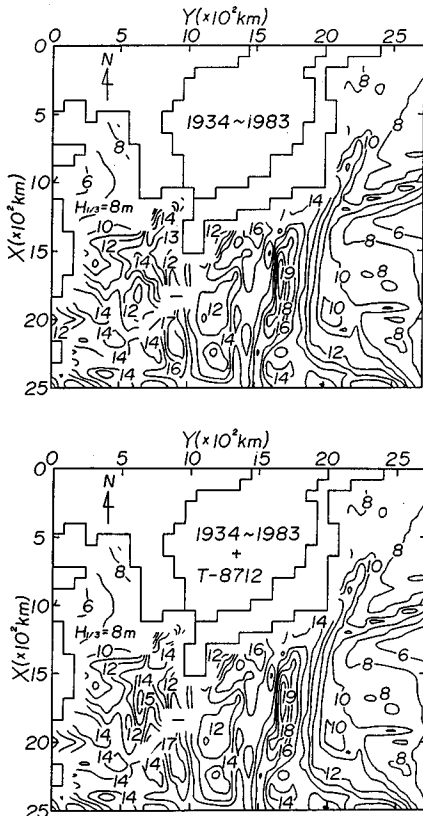


Fig. 7 Spatial distribution of maximum significant wave height generated by typhoons in the past 50 years and Typhoon 8712.

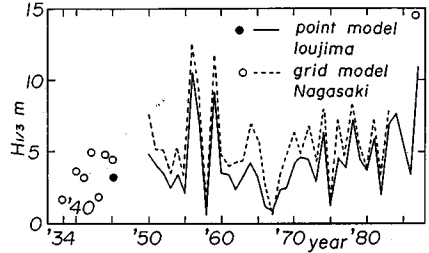


Fig. 8 Time variation of annual maximum height of typhoon-generated waves at the points off Nagasaki and Ioujima.

のことから、台風8712号が東シナ海に過去50年間の最大波高を越える異常な高波浪をもたらしたと推測される。

Fig. 8は格子点浅海モデルにより推定した長崎沖(Fig. 1参照)における台風発生年最大波高、および1点浅海モデルにより推定した伊王島(Fig. 2参照)における台風発生年最大波高の経年変化を示したものである。格子点モデルによる追算地点は海岸から80 km、1点モデルによる追算地点は海岸から10 kmに位置し、しかも前者の計算には五島列島が含まれない。したがって、格子点モデルは1点モデルより大きな値を与えるが、両者は同様な経年変化を示す。年最大波高の大きなピークは1956年の台風5612号、1959年の5914号により出現した後、25年以上にわたって9 mを越える波浪が発生せず、比較的静穏な状態が続いてきたが、8712号による最大波高が既往最大波高を更新している。しかも、五島列島や周辺の小島を含まない格子点モデルによる追算では、8712号による最大波高は他の台風によるもの比べて圧倒的に大きい。細かい地形の影響を含む1点浅海モデルによる追算では、8712号時の最大波高は既往最大波高を0.5 m上まわる程度であり、格子点モデルによる追算結果ほど大きな波高を与えない。

Fig. 9は1950年～1983年の間における台風発生年最大波高資料をWeibull公式でプロットし、3母数対数正規分布のあてはめ結果と比較したものであり、母数は最

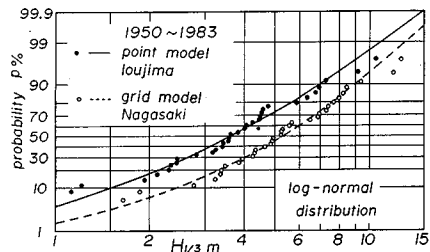


Fig. 9 Log-normal distribution fitted to the data of extreme waves.

尤法により推定された。年最大波高資料は理論分布によって比較的良く近似されるが、5612号および5914号に伴う極大波高資料は理論分布からはずれる傾向にある。また、対数正規分布の適用から評価した長崎沖での最大波高（格子点モデルで、 $H_{1/3}=14.5\text{ m}$ ）および伊王島での最大波高（1点浅海モデルで、 $H_{1/3}=11.0\text{ m}$ ）に対する再現期間はそれぞれ250年および100年である。以上のように、台風8712号は、既往の50年最大波高を上まわり、再現期間100年以上に相当する異常波浪を九州西北部にもたらしたと推定される。

5. 新長崎漁港海域における波高分布

(1) 1点モデルに基づく波高の極値の推定

4. における検討から、長崎周辺における過去50年間の台風に伴う最大波浪は、台風8712号によりもたらされたと推定されたが、この結果は格子点深海モデルでは陸地より80 km 沖合、1点浅海モデルでは10 km 沖合の地点におけるものであり、ここで検討対象とする新長崎漁港周辺での波浪を必ずしも代表しているといえない。また、新長崎漁港海域のように狭い海域における波浪の最大規模を格子点モデルに基づいて推定するためには、格子間隔1 km 程度の計算格子網を使用する必要があることから、大変な労力と費用を必要とする。そこで、ここでは5 km 間隔の西太平洋海域と1 km 間隔の長崎海域を結合した2段階計算格子網を使用し、Fig. 2に位置を示す新長崎漁港入口での、台風に伴う波浪の最大規模を1点浅海モデルに基づく波浪追算から推定する。

計算対象とする台風は、伊王島に1934年～1983年の間で上位6位までの高波高をもたらした台風5612号など6台風と、年最大波高という選択方法では計算対象からはずれる5609号、および8712号である。これらの台風はいずれも8712号と同様な経路を取っている。計算条件はこれまで述べたものと同様であるが、入力方向は $60^\circ\sim 180^\circ$ を30に等分割した31個である。

Table 1は8台風に対する波浪追算から得られた最大有義波を一括して示したものである。これによると、台風8712号時の来襲前に、新長崎漁港入口に既往最大波高をもたらした台風は伊王島の場合と同様に5612号であり、5914号がこれに次ぐ。また、台風8712号に伴う最大波高8.9 mは既往最大波高である5612号時の8.6 mをさらに上まわる。なお、最大波の波向はいずれの台風でもSWの範囲に属する。

(2) 新長崎漁港における波浪の変形計算

新長崎漁港は前面に小島をもつ入り込んだ入江にあり、非常に複雑な水深変化を有する。このため、南防波堤設置地点を対象として1点浅海モデルに基づき波浪追算を行っても、各成分波の波向線が複雑に交差すること

Table 1 Maximum significant waves at the Shin-Nagasaki Fishing Port generated by typhoons.

No.	Typhoon Number	Wave Height (m)	Wave Period (s)	Wave Direction (degree)
1	8712	8.9	13.2	SW (133)
2	5612	8.6	13.1	SW (134)
3	5914	7.7	12.3	SW (132)
4	5609	7.2	11.5	SW (133)
5	7818	6.2	10.7	SW (130)
6	8310	5.7	13.1	SW (138)
7	5707	5.5	11.3	SW (138)
8	7408	5.3	10.4	SW (137)

から、必ずしも精度のよい結果を期待できない。また対象海域は狭いので、波浪に及ぼす風の影響がほとんど無視される。そこで、新長崎漁港入口に1点浅海モデルに基づく波浪追算結果を境界条件として入力した場合の、格子点モデルに基づく浅海波浪の変形計算を行うことにより、南防波堤近傍の波浪を推定する。

浅海波浪の変形計算モデルとは、格子点浅海モデルにおいて source function を0とした場合の不規則波の shoaling・屈折変形計算モデルをいうが、新長崎漁港海域では高波高時に砕波を生じる可能性があるため、浅海性砕波が変形計算結果に及ぼす影響を最も簡単なモデルにより考慮する。すなわち、2乗平均波高を  $H_{rms}$  とすれば、浅海での不規則波の砕波は、 $H_{rms}^b = 0.42 h_b$  で近似される<sup>10)</sup>。ここに、 $H_{rms} = \sqrt{8} \sqrt{\int_0^\infty \int_0^{2\pi} E(f, \theta) d\theta df}$

および  $h_b$ ：砕波水深、であり、添字 'b' は砕波を意味する。したがって、伝播計算を繰り返す過程で、各格子点における波高  $H_{rms}$  が砕波高  $H_{rms}^b$  を越える場合に、そこの方向スペクトルを、

$$E^b(f, \theta) = E(f, \theta) (H_{rms}^b / H_{rms})^2 \dots \dots \dots (2)$$

とすれば、砕波の影響が第1近似的に考慮される。

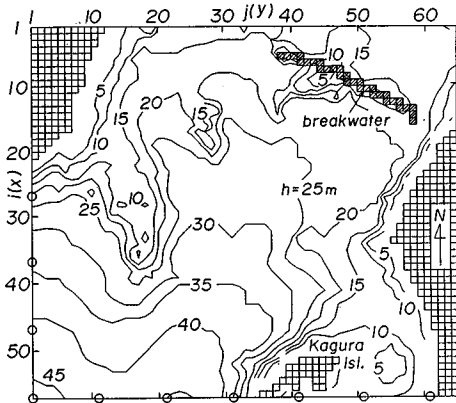


Fig. 10 Bottom topography in the Shin-Nagasaki Fishing Port sea area.



Fig. 10 は格子間隔 50 m で 56×65 に分割した新長崎漁港海域の等深線図を示したものである。海域入口境界には、神楽島が存在し、しかも水深 15 m 程度の浅瀬がせり出している。また、南防波堤前面にも浅瀬がある。

入力条件は、図中の丸印で示した 500 m ごとの開境界に、1 点浅海モデルに基づいて算出した台風 8712 号に伴う最大波高時の方向スペクトルを与え、境界上の中格子点ではこれらを線形内挿した。境界の長さはずか数 km であるが、入射波の最大値は周辺海域における地形の影響を受けて、有義波高  $H_{1/3}=7.9\sim 9.2$  m、有義波周期  $T_{1/3}=13.0\sim 13.7$  s、平均波向  $\bar{\theta}=132\sim 150^\circ$  の間で変化し、特に、神楽島西側地点での波高が大きい。

計算時間間隔は各周波数について全地点における最大群速度  $c_g(f)_{\max}$  が、

$$\Delta t = 0.95 \times \Delta x / c_g(f)_{\max} \dots\dots\dots (3)$$

を満たすように決めた。したがって、高周波成分ほど大きい計算時間間隔が使用されることになる。しかし、各成分波に対する計算において、Courant 数をほぼ同一に保つことにより、計算精度の均質化と計算時間の短縮が実現されるので、定常解を得るという立場からは、かえって都合が良い。定常解を得るために要した計算繰り返し回数は 100 回である。

波浪変形計算は、防波堤が存在しない場合と、存在する場合について行われたが、防波堤前面における両者の結果に差はほとんど見出されない。前者の計算結果のみを示す。Fig. 11 は新長崎漁港海域における有義波高と平均波向の平面分布図である。これによると、波高の空間分布は水深変化と対応し、流入境界近くに位置する西側および東側の浅瀬先端部近傍では、波が集中して波高 9 m を越えるが、水深の小さい浅瀬上では、砕波により波高が減少し、波向の変化も大きい。また、南防波堤付近での複雑な海底地形に対応し、南防波堤西側部

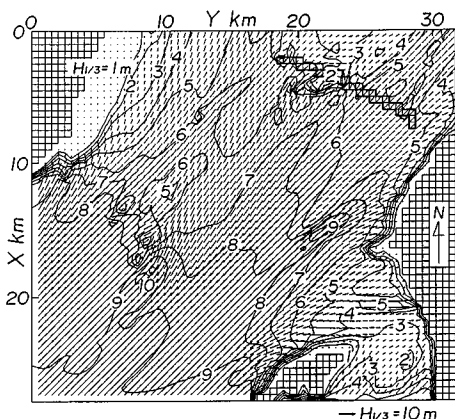


Fig. 11 Wave height distribution in the Shin-Nagasaki Fishing Port sea area.

の浅瀬に波が集中するが、砕波により波高が著しく減少する。これに対し、南防波堤西端および南防波堤東側部前面では、水深が深いため、波浪は砕波せずに到達することから、波高が大きい。これらの結果を数値として与えれば、南防波堤西端で、 $H_{1/3}=5.5$  m、 $T_{1/3}=13$  s、 $\bar{\theta}=140^\circ$ 、南防波堤西側部の浅瀬では、 $H_{1/3}=2$  m、 $T_{1/3}=14$  s、 $\bar{\theta}=170^\circ$ 、南防波堤東側部では、 $H_{1/3}=6$  m、 $T_{1/3}=13$  s、 $\bar{\theta}=132^\circ$  である。一方、南防波堤西側部の設計波高は  $H_{1/3}=5.5$  m、南防波堤東側部の設計波高は  $H_{1/3}=4.7$  m であるから、南防波堤東側部への来襲波浪の規模が設計波高をかなり上まわる。このことから、防波堤の被災も南防波堤東側部に集中した理由の一端が理解されよう。

### 6. 結 語

本研究では、海上風を台風モデル法により推定した場合に、格子点深海および浅海モデルと 1 点浅海モデルに基づいて台風 8712 号時の西太平洋・東シナ海における波浪追算を行い、波浪観測結果との比較から、これらの精度を明らかにするとともに、九州西北部沿岸における 8712 号時の波浪の最大規模を既往最大波浪の推定結果との関係で考察した。得られた結果は次のように要約される。

- (1) 台風モデル法は、少なくとも台風 8712 号の場合には海上風の観測結果を比較的良好な精度で再現する。
- (2) 格子間隔 40 km をもつ西太平洋・東シナ海格子網での波浪追算に適用した格子点浅海モデルは、外洋および外洋に面する地点に設置された波高計による観測結果をよく再現する。また、40 km 間隔格子網での計算結果を入力条件とした、5 km 格子間隔の長崎海域での波浪追算結果は浅海部における観測結果と比較的よく一致する。
- (3) 格子間隔 5 km の西太平洋格子網と、格子間隔 1 km をもつ波浪追算点近傍の計算格子網を結合した 2 段階海域での 1 点浅海モデルに基づく波浪追算結果は、外洋のみならず沿岸部での観測結果とよく一致する。
- (4) 格子点深海モデルに基づく波浪追算によれば、8712 号時には 15 m に及ぶ波高が東シナ海中部に出現する。これは、東シナ海における過去 50 年間の台風に伴う既往最大波高の平面分布を大きく変える。一方、浅海モデルでは、最大波高は浅海性の影響により 14 m と 1 m 程度低く評価されるが、波浪追算の精度を考慮すると、現実問題としてこの程度の差は無視し得る。
- (5) 長崎沖および伊王島における 8712 号の最大波高は過去 50 年の間の台風に伴う最大波高より大きく、再現期間 100 年以上の異常波浪に相当する。
- (6) 1 点浅海モデルに基づく波浪追算によれば、新

長崎漁港入口における過去50年間の既往最大波高は5612号時の8.6mであるのに対し、8712号時の最大波高は8.9mと見積もられる。

(7) 新長崎漁港海域での浅海波浪変形計算によれば、漁港入口で波高8~9mであった波浪が複雑な海底地形の影響を受ける結果、南防波堤前面では5~6m程度に減衰するが、この波高は南防波堤東側部の設計波高を1m程度上まわる。このことから、設計波高を越える異常波浪の出現が南防波堤の被災要因の1つであると推定される。

最後に、本研究の実施にあたり、貴重な風・波浪資料を提供頂いた運輸省第4港湾建設局下関調査設計事務所、第3港湾建設局高知港工事事務所、沖縄開発庁、沖縄県農林水産部漁港課、九州電力(株)および長崎県水産部漁港建設課、ならびにデータの作成、整理に協力頂いた愛媛大学工学部海洋工学科 大福 学技官に深甚の謝意を表明します。

#### 参 考 文 献

- 1) 長野 章：1987年12号台風による沿岸災害の研究，1988年度日本海洋学会秋季大会，Bシンポジウム「沿岸海洋」，気象擾乱に対する沿岸海洋の応答，pp.312~313，1988.
- 2) 片山恭男：日本海の最大波高，気象，pp.9479~9481，1987.
- 3) 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.
- 4) 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄：エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて，第31回海岸工学講演会論文集，pp.123~127，1984.
- 5) 山口正隆・畑田佳男・日野幹雄・小淵恵一郎：エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪推算モデルの適用性について，土木学会論文集，第369号/II-5，pp.233~242，1986.
- 6) 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博：一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性，土木学会論文集，第381号/II-7，pp.151~159，1987.
- 7) 山口正隆・畑田佳男・小淵恵一郎・日野幹雄：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，土木学会論文集，第381号/II-7，pp.131~140，1987.
- 8) 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博：波浪推算に基づくわが国太平洋岸西部での台風発生最大波高の沿岸分布の推定，土木学会論文集，第387号/II-8，pp.281~290，1987.
- 9) Ross, D. B. : A simplified model for forecasting hurricane generated waves, Bull. American Meteorol. Soc., No.113, 1976.
- 10) Thornton, E. B. and Guza, R. T. : Energy saturation and phase speeds measured on a natural beach, J. Geophys. Res., Vol.87, No. C12, pp.9499~9508, 1982.

(1989.6.19・受付)