

沖縄県漁港を対象とする沖波推算の問題点とその対策について

駒口友章*・福屋正嗣**・山本浩之***
川上和宏***・渡慶次憲忠****

1. 緒 言

沖縄諸島は、九州南西部の島海域に位置し、台風の発生域に近く、また、冬期には大陸からの季節風の影響も受ける。この為、その沿岸に襲撃する波浪は、風域を抜けて伝搬してくるうねりの影響が含まれる場合が多い。本島の太平洋沿岸や先島諸島沿岸の高波の主な発生原因は台風であるが、特に台風が短期間に連続して襲撃するような場合には、先行の台風が沖縄県沿岸を通過した後も吹き返しの強風の影響が継続し、後続の台風にもなう強風のエネルギーが新たに合成されて、複雑な風域場となる為、沿岸では異常高波が発生する場合がある。また、本島北部および先島諸島の西海岸に位置する漁港では、台風のみならず冬期の北東方向からの季節風によって発生すると考えられるうねり性の高波浪が襲撃し、漁港施設の機能低下をもたらす可能性がある。

漁港構造物の設計外力としては、一般に波浪、風、地震力等が考えられる。このうち、波浪は最も重要な外力のひとつであり、設計波高は相当長期間の信頼すべき資料に基づき、波浪の極値分布を推定し、再現期間に対応した波として求める方法が一般的である。この場合、極値統計解析の資料としては、波浪の計器観測資料が最も望ましい。しかしながら、必ずしも漁港周辺で波浪観測が行われているとは限らないことから、これを補完する為の波浪推算に頼らざるを得ないのが現状である。これに対して、従来の沖縄県沿岸に位置する漁港の沖波波浪としては、主にマイヤースモデルによる単一台風の風域場を外力として与え、これに対して風波とうねりを別々に取扱った波浪推算を実施し、その結果を用いた極値統計解析に基づく確率波浪を採用してきた。この方法は非常に簡便であり、かつ実績も多く、信頼度の高い方法であるが、上述のように風波とうねりが重畳する状態が起りやすい海域では、漁港施設等の設計に用いられる沖波条件が実際に出現する波浪状況とは少し異なる場合があ

ると考えられる。そこで沖縄県では、過去 40 年間を対象期間としてスペクトル法の波浪推算および波浪の極値統計解析を実施し、各漁港の沖波条件を全面的に再検討することにした。

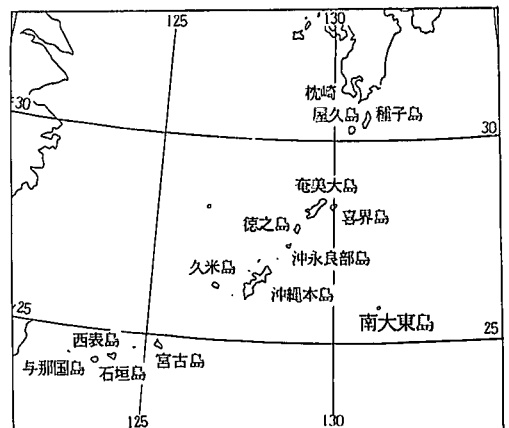
本研究では、沖縄県の地域特性、海象特性に十分に配慮し、波浪推算および波浪の極値統計解析を実施する場合の問題点と各々の対策を示す。また、沖波条件の再検討結果を整理し、その効果を明らかにする。

2. 沖縄諸島沿岸の地域特性および海象特性

2.1 沖縄県漁港周辺の地域特性

沖縄諸島は、東西 800 km、南北 300 km に及ぶ広大な海域（図一）に位置しており、海域の広さ、漁港数の多さなどに比べて、波浪観測所の数は少なく、現在でも各漁港沖で観測された長期間の波浪資料を利用することは困難な状況である。さらに、対象範囲が広い為、高波の発生原因となる気象擾乱も海域ごとに多少異なるものと考えられる。

一方、沖縄県の漁港は、その全てが島海域内に位置しているので、漁港周辺では陸域が急に切れ込んだり、リーフが沖に向かって広範囲に発達している箇所が多い。この為、来襲波浪の多くは、陸域地形による波の遮蔽効果および複雑な海底地形による波浪変形などの影響を受け



図一 沖縄諸島を含む南西諸島の島群

* 正会員 工博 (財)漁港漁村建設技術研究所
** 正会員 (財)漁港漁村建設技術研究所
*** (財)漁港漁村建設技術研究所
**** 沖縄県農林水産部漁港課

ている。また、漁港は比較的小さな島の背後にも存在しているが、台風や発達した季節風によって形成される風域は非常に広いことから、島（陸域）による遮蔽効果が風域場には及ぼす影響は少ない。陸域の地形的な特徴として、山地等の遮蔽効果や地表の摩擦が少ない扁平な地形の島が多く、台風が上陸または通過した後にも、その勢力の衰えは少ない。この結果として、建物被害や塩害等が生じることから、従来沖縄県ではその対策として暴風林の設置などを行っている。この他、年間降水量は比較的多いにもかかわらず、島の透水性が高く、河川の流下が速いなどの理由から、しばしば水不足が問題になる等、比較的气象災害が多い地域である。

2.2 沖縄県沿岸の海象特性

沖縄地方は台風銀座として知られており、年間の台風発生数の四分の一以上がこの近海に接近する。近年は、情報網の発達、災害対策などが進んだこともあって、台風による人的被害は少なくなってきたが、依然として高波、強風および豪雨等をともなう最大級の自然外力である。特に本島の太平洋沿岸や先島諸島沿岸では、転向する前後の発達期の台風が来襲し、強風が継続する為に、波がエネルギーを蓄積するとともに、台風の停滞や進路変更にもなると風域を抜けたうねりが発生しやすい。この結果、風波とうねりのエネルギーが重畳する場合には、沿岸でも異常な高波が発生する可能性がある。また、本島北部や先島諸島の西海岸では、夏期の台風の通過にもなう吹き返しの強風による高波が発生する他、冬期は大陸との間に前線帯が形成される場合があり、北東季節風によってもうねり性の高波が発生している。

一方、発達したリーフの存在による波浪エネルギーの減殺効果が良く知られており、実際に沿岸に来襲する波高が小さくなることから、比較的沖合まで漁港が建設されている。しかしながら、台風 9021 号による災害は、その実態調査の結果から、リーフ海岸で観測される異常な水位上昇に起因するという研究成果（仲座ら、1991）もあり、リーフ海岸特有の波浪変形やサーフビートなどの諸現象を解明し、今後の設計に反映していく必要があるものと考えられる。

3. 波浪推算の実施上の問題点および対策

3.1 沖縄諸島を対象とする波浪推算の問題点

スペクトル法に基づく波浪推算を実施する場合、外力となる風域場の設定方法および推算方法の違いによって波浪推算結果が大きく異なる場合がある。この為、ここでは、2.で述べた沖縄県沿岸の地域特性および海象特性を考慮して風域場を設定することにより、波浪推算の精度を十分に確保するものとした。沖縄県沿岸の漁港を対象として、沖波波浪推算を実施する場合の主な問題点を

以下の a) ～d) に示す。

a) 漁港周辺では、リーフによる波浪エネルギーの減殺効果や島海域特有の周辺地形による遮蔽効果があることを考慮する。

b) 対象海域が広く、また、海域ごとに異常高波の発生原因が異なるので、発達期の台風および季節風の影響が十分に含まれる風域場を外力とする必要がある。

c) 波浪推算の期間は、1955 年から 1994 年の 40 年間としたが、1977 年以前の台風の暴風半径、最大風速等のデータは、気象庁から正式に発表されていない。この暴風半径の大きさは、台風域の風の推算結果を左右する為、推算期間全体を通して一定の精度の風域場を設定する為の前処理が必要である。

d) 高波の出現頻度が高い海域では、基準波高（下限値）が低すぎる場合には下位のデータが多くなり、極値分布関数が高波浪の出現特性を十分に表せない場合がある。

3.2 波浪推算の実施上の対策

本研究では、前述した a) ～d) の問題点を考慮して、以下の対策を実施した。

a) 計算領域の設定および沖波位置の検討

通常、沿岸域に存在する漁港を対象にする場合、大、中、小の 3 段階程度の計算領域を設定して、波浪推算における各漁港の沖波位置を明確にする。ここでは、漁港周辺の地形による遮蔽や波浪変形の影響を受けないように配慮し、必ずしも漁港近傍ではない離れた計算点を沖波位置として設定する場合も生じる。図-2 は、中城湾沿岸の漁港を対象として沖波位置を設定する例である。図の◆の位置は、5 Km 格子で表現された海域の津堅島の南に位置しており、東系および南東系の波浪に対して、周辺地形の遮蔽等の影響を避けるとともに、広がりをもった入射域を確保することができる。さらに、最終結果となる波高、波向については、現地の漁港でその妥当性を確認した。

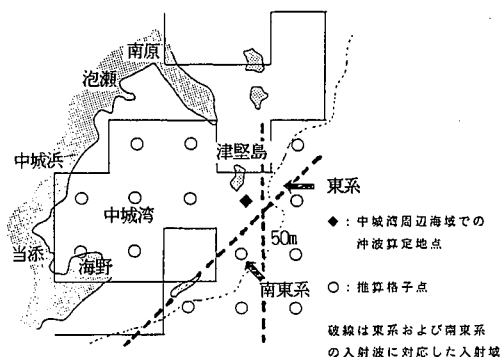
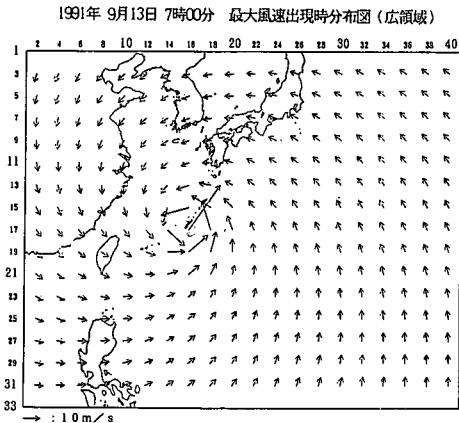


図-2 中城湾沿岸の漁港に対する沖波地点の設定例

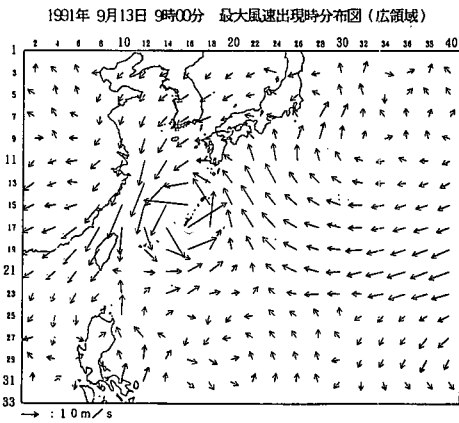
b) 風推算モデルの検討

沖縄諸島の沿岸海域では風波とうねりが混在する波浪場が形成され易い。本研究では、高波の主な発生原因を発達域の季節風および発生・発達段階の台風と考え、本島北部の日本海沿岸に対してカルドーンの大気境界層モデル (Cardone, 1969), また、本島の太平洋沿岸や先島諸島に対してカルドンモデルとマイヤースモデルの合成モデル (日本気象協会, 1990) を風推算モデルとして採用した。

従来から多く用いられてきたマイヤースモデルが、主に台風域内の風を中心にしたものであるのに対して、後者のモデルでは台風域以外の気象擾乱 (別の台風の場合もある) の影響も同時に考慮することができる。図-3 に、台風 9117 号を対象として、(a) マイヤースモデルおよび (b) マイヤースとカルドーンの合成モデルを用いた場合の最大風速出現時における風推算結果の比較を示す。これらの図によれば、(b) の場合は台風中心から東



(a) マイヤースのモデルの場合



(b) マイヤースとカルドーンの合成モデルの場合

図-3 台風 9117 号来襲時の風推算結果の比較

側の領域で強風となっており、また、(a) の場合 (従来の方法) と比較して、全体的に風速が大きめとなっていることがわかる。表-1 に、最終的に選定した波浪推算の対象事例数を示す。

c) 台風諸元の取り扱いに関する処理

表-2 に波浪推算に必要な台風諸元およびその設定方法を示す。1976 年以前は、中心気圧以外の要素が気象庁から正式に発表されていない為、何らかの処理を行うことによってデータの精度を一定に保つ必要がある。本研究では、台風の強さにより各台風を分類し、1977 年以後の気象庁の発表値を用いて、暴風半径をはじめとする台風諸元を客観的に補正する方法を採用した。

d) 極大波浪の抽出時の基準波高の検討

確率波高の算出法は、Petruaskas-Aagaard の統計解析法 (Petruaskas・Aagaard, 1970) を用いた。この際の極大波浪の抽出は、予め基準波高 (下限値) を設定して行うが、前述した問題点の対策として、海域別、波向別に、それぞれに対応する下限値として年最大値を与えて処理する方法 (図-4) を採用した。

合田 (1990) は、このような処理によって、データ個数が多くなり過ぎることを防止するとともに、比較的小

表-1 波浪推算の対象事例数

波 向	先島半島		沖縄本島周辺		大東諸島		全海域
	北系	南系	北系	南系	北系	南系	
台 風	41	60	28	33	18	36	129
季節風	38	—	38	—	38	—	38

表-2 必要な台風諸元と設定方法

諸 元	1976 年以前	1977 年以後
1000 hPa 半径	天気図から読み取り	天気図から読み取り
中心気圧	気象庁発表	気象庁発表
γ_0	マイヤースの式	マイヤースの式
最大風速	経験式	気象庁発表
暴風半径 (25 m/s 半径)	マイヤースの式 + 傾度風の式 等	気象庁発表

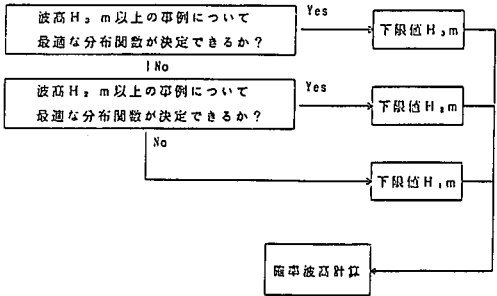


図-4 確率波高計算の際の下限値の決定方法

きな高波を見落とす可能性を考慮して、その場合の影響をできるだけ排除する効果があることを指摘している。

4. 波浪推算の実施および考察

4.1 波浪推算モデルの適用方法

本研究では、基本となるスペクトル法の波浪推算モデルとして、MRI モデルを用いた。このモデルは、波浪のエネルギー平衡方程式を数値的に解いて、波の方向スペクトルの系時変化を求め、その結果を波浪諸元に換算するモデルであり、風波とうねりの共存する沖合の波浪場を比較的精度良く再現することができる。式 (1) に波浪のエネルギー平衡方程式を示す。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + C_g \nabla S = S_{in} + S_{ds} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 S ：方向スペクトルであり、波高、周期、波向は方向スペクトルから計算される

C_g ：群速度

S_{in} , S_{ds} ：外部からのエネルギーの出入りを表すソースファンクション

前述したように、波浪場の推算精度は外力となる風域場の推算精度によって大きく左右される。この為、波浪推算を実施する際には、波浪の観測資料と推算結果を比較して、波浪推算モデルの適用性および推算精度が十分であることをあらかじめ確認した。図-5、6 に沖縄本島周辺を対象とする波浪推算の計算領域および本研究で対象とした台風経路を示す。

4.2 風推算モデルの適用性

図-7 は、風推算モデルの違いが波浪場の推算結果に与える影響を調べる為に、(a) マイヤースによる風域場および (b) カルドーンとマイヤースの合成モデルによる風域場を各々与えた場合について、台風が短期間に連続して来襲するような事例について、同一時刻の波浪場の

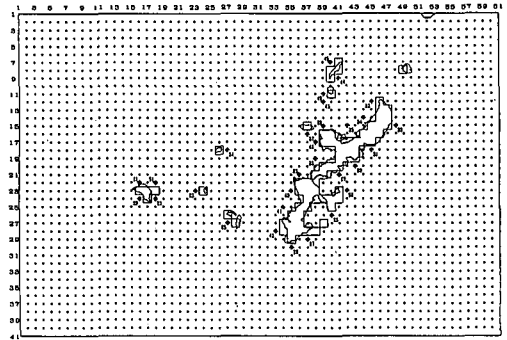


図-5 沖縄本島周辺の計算領域

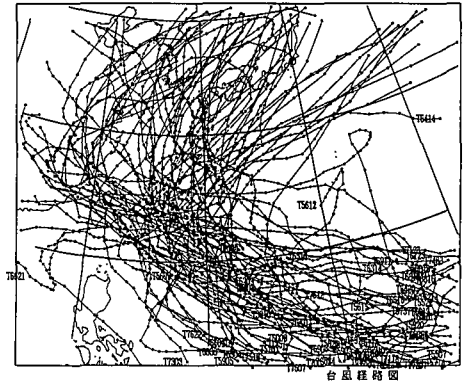
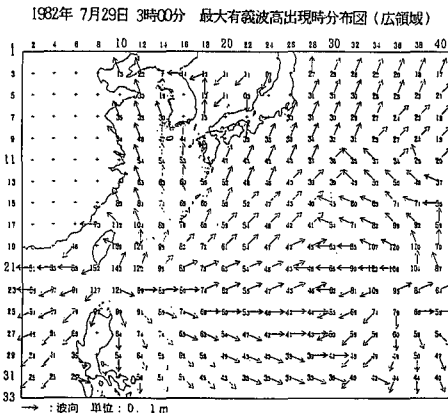
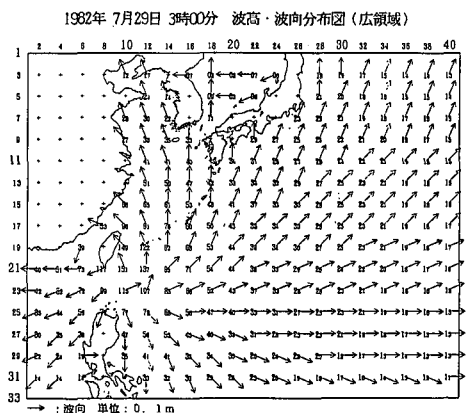


図-6 選定した台風の経路図

推算結果を比較した。これらの図をみると、(b) の場合は、2つの連続した台風ともなう高波のエネルギーが重畳される為、(a) の場合よりも沖縄諸島沿岸で高波浪域が広がっている。さらに、(b) の場合について、風観測値および気象庁から発表されている波浪の実況解析値と本研究の推算結果を比較した結果は非常に良く一致し

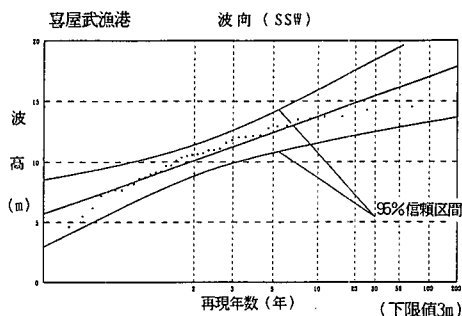


(a) マイヤースのモデルの場合

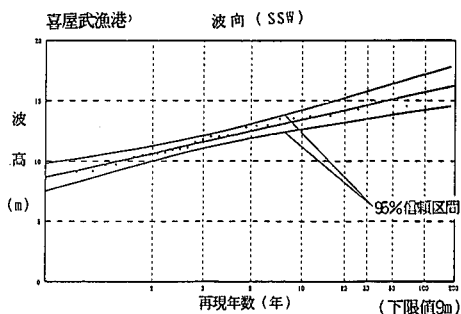


(b) マイヤースとカルドーンの合成モデルの場合

図-7 風推算モデルの違いによる波浪推算結果の比較



(a) 基準波高を固定した場合



(b) 基準波高を変化させた場合

図-8 基準波高の違いによる極値分布関数の変化

ていることが確認できた。

4.3 極値統計解析結果および考察

波浪推算結果に基づき極値統計解析を実施し、沖波条件を再検討した。図-8は、喜屋武漁港を対象にした場合の基準波高（下限値）の違いによる極値分布の変化を示す。前述の処理をしない場合には、確率波高の信頼区間の偏差が大きく、極値分布関数の適合性が低下する為に、異常に大きな確率波高が算出される可能性がある。

5. 結 語

本研究では、沖縄県漁港を対象とする沖波推算を実施する場合の問題点および対策を示すとともに、波浪推算結果を用いて、その効果を明らかにした。本研究で得られた主要な成果を要約すれば、以下の通りである。

(1) スペクトル法による波浪推算を実施する場合、対象海域の地域特性および海象特性を十分に考慮して、外力となる風域場を設定する必要がある。

(2) 波浪推算結果に基づき極値統計解析を実施する場合、波向別の高波の出現特性に応じて基準波高を決定し、確率波高を算出する方法が有効である。

(3) 波浪の極値統計解析において(2)の処理を行わない場合には、確率波高の信頼区間の偏差が大きく、極値分布関数への適合性が低下する為に、異常に大きな確率波浪が算出される可能性がある。

謝辞：本研究のとりまとめにあたり、水産庁から懇切丁寧なご指導を賜った。また、沖縄県内の各漁業共同組合、市町村からは、現地調査、資料提供に関して多大のご協力を頂いた。ここに記して、厚く謝意を表明する。

参 考 文 献

- 合田良実 (1990): 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 333 p.
- 仲座栄三他 (1991): 台風 T 9021 号による歴史的波浪災害の実態調査, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 926-930.
- 日本気象協会 (1990): 風推算プログラムの作成報告書, (財)日本気象協会, 53 p.
- 日本気象協会 (1993): 南西諸島海域(港湾気象海象シリーズ No. 12), (財)日本気象協会, 419 p.
- Cardone, V. J. (1969): Specification of the wind distribution in the marine boundary layer for wave forecasting, New York Univ., School of Eng. and Sci., Rept. GSL-TR 69-1, 131 p.