

# 閉鎖性海域における新しい波浪推算モデルの適用性について

八千代エンジニアリング(株) 中平 順一

## 論文要旨

海岸・港湾施設を設計するにあたっては、施設の利用条件に対応した波浪条件を設定する必要がある。特に台風などの災害時に波浪の定点観測が行われていない沿岸域では、台風の経路や海上風などの気象条件を特定して災害時の波浪の再現を行う必要がある。波浪の推算手法は、近年では複雑な非線形計算を伴う多くのモデルが開発され実務に用いられつつある。ここでは、潮位の干満差が大きく、沿岸に干潟の分布する有明海をモデル海域として、波浪推算の第3世代モデルであるSWANにより、閉鎖性海域における新しい波浪推算モデルの適用性について検証するとともに、その問題点などを抽出していくものである。SWANによる台風時の波浪再現計算では、他のモデルと比較しても十分な精度が示された。

キーワード：波浪推算, 閉鎖性海域, SWAN

## 1. はじめに

高潮災害に対する沿岸の防潮施設を設計する際に重要となるのは主に潮位条件と波浪条件である。既存の防護施設はこれまで過去に大きな高潮災害をもたらした伊勢湾台風を始め、第二室戸やキティ台風などの既往最大級の台風により引き起こされた既往最大潮位や、さく望平均満潮位にモデル台風により推算された最大偏差を加えた潮位により防潮堤計画高を設定し、波浪条件も長期的な観測資料に基づき統計処理により設定している。

特に近隣で波浪の定点観測が行われていない場合には、沿岸部の風の観測資料をもとに推算する必要がある。沿岸域に來襲する波浪を推算するためには、適切な波浪推算手法により行う必要があり、特に内湾を対象とする場合には海域が比較的限定されることから、実務レベルでは簡易的に経験的なパラメータを用いることにより、海上風の有効吹送距離や吹送時間などから波浪を推算するSMB法(有義波法)が主な手法として利用されてきた。また、台風などの風域が時々刻々と変化する場合には移動風域を考慮したウィルソン法も一般的に用いられてきている。

しかし、近年ではパソコンの高速化により比較的短時間に複雑な演算処理を行うことが可能となり、波浪推算モデルも波の非線形エネルギー伝達をより直接的に評価することを基礎とする第3世代モデルが波浪の予報業務などで実際に活用されている。

ここでは、閉鎖性海域として有明海をモデル海域に設定し、簡易手法において再現が難しい台風時の波浪推算について、第3世代モデルを適用した波浪推算を行い、再現性と計算精度について検証を行うものである。

## 2. 波浪推算モデル

波浪推算は簡易的な有義波法から第3世代モデルまでさまざまなモデルにより予測モデルの研究が進められてきており、一般的に気象予報に用いられているモデルは第3世代モデルのWAM(WAMDI group,1988)やMRI-III(気象庁,1994)といったモデルである。しかし、WAMやMRI-IIIといったモデルは深海域を対象としていることから特に水深の浅い閉鎖海域などの予測には適していない。対象となる有明海は開口部が約4kmと狭く南北に細長い干潟が広く分布する比較的浅い湾である。

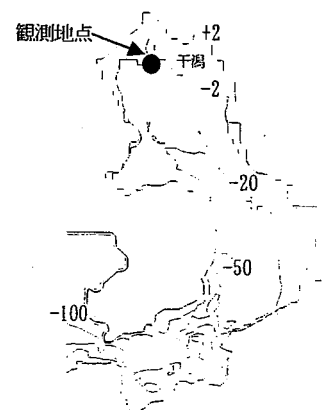


図-1 有明海の水深分布

よって、波浪推算モデルの選定にあつては、水深による波の変形を考慮できることが必要条件となり、浅海域の波浪推算モデルとしては、浅海での3波共鳴による非線形相互作用に伴うエネルギー伝達や水深の制約に伴う碎波の影

響を加えた第3世代の浅海波浪推算モデルである SWAN (Ris, R.C., 1997) が開発されている。SWAN の日本沿岸での適合性は実測の海上風を用いたに検証 (間瀬ら, 2001) により浅海域での波浪推算では優れた精度を有するモデルであることが示されており, 本検討においても有明海における台風期の波浪再現計算を SWAN により行い, 第3世代モデルによる波浪推算精度の検証する。

### 3. 海域のモデル化

#### (1) 有明海の波浪特性

有明海では湾奥部で定点観測が行われており, この観測データをもとに波浪特性を整理した。湾奥の日最大の波高観測値からは, 開口部の狭い閉鎖的な海域であることから, 特に湾奥では外洋波浪の影響を受けていないことが分かる。また, 年間を通して 10m/s 以上の風が吹いても湾奥の波高が 50cm 程度で, 主に台風来襲時の北向きの強風時に 1~2m 程度の波高が観測される。

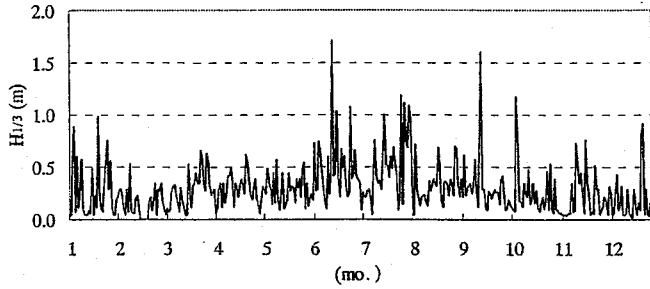


図-2 有明海の日最大波高の変化

#### (2) 地形と潮位差

有明海は潮位変化が大きなことでも有名で, その潮位差は, 大潮時が 5m 以上と極めて大きく, 小潮時には 2m を下回ることもある。

また, 有明海は九州西部に南から深く入り組んだ大きな比較的細長い内湾であり, 湾軸に対して南北 96km, 平均幅は 18km, 海域面積が満潮時で約 1,700km<sup>2</sup> であるが, 水深は湾口で 50m, 水深は平均で約 20m 程度と浅く沿岸域には干潟が広い範囲で分布している。また, 開口幅は 4km 程度の閉鎖的な海域である。

#### (3) 計算モデル

波浪推算を行うにあたっては, 図-3 のように計算領域を格子状にモデル化して各格子点毎の水深を読み取っている。

しかし, 有明海では潮位変化により干潟が干出してしまうため図-4 に示すように計算領域が変化する。有明海を対象とする非定常の波浪の再現を行うためには, この潮位差の問題を解決する必要があるが, 計算領域の変化に対応させることは可能であるが, 実際の再現計算の際に計算が STOP するケースが非常に多く, 今回はこの問題解決するにはいたらなかった。よって, 今回の再現計算にあたって

は, 潮位を定常に与えるものとした。

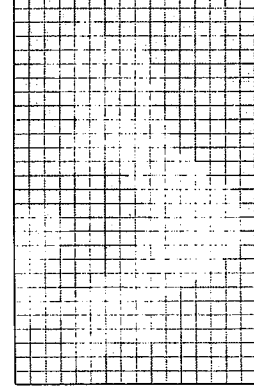


図-3 計算モデル

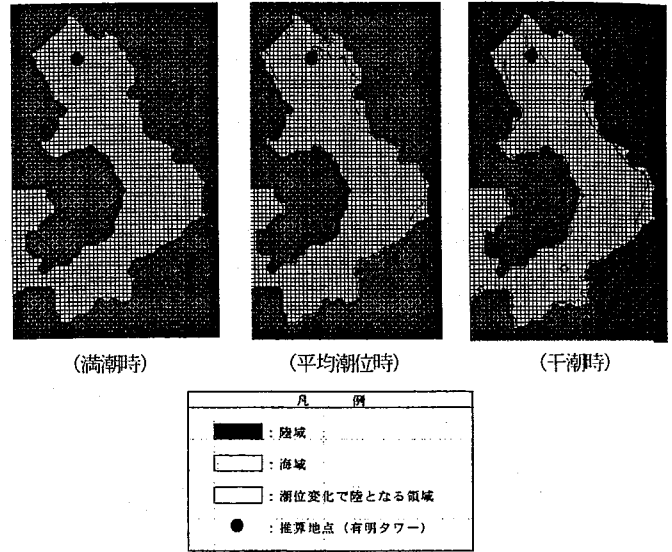


図-4 潮位変化による計算領域の変化

### 4. 波浪再現計算

#### (1) 海上風の推算

台風時の波浪を推算するためには, 台風による海上風の変化を忠実に再現する必要があるが, 今回は海上風の台風の気圧分布算定式は一般的に用いられている Myers 式を用いるものとして, 特に陸上の地形による影響は無視するものとした。

#### (2) 波浪推算

波浪の再現計算は, 図-5 に示すコースを通過した台風 9313 号と 9918 号による再現計算を行うものとした。

また, 比較のために SWAN による非定常計算のほか, 同じく SWAN による 1 時間ごとの定常計算, 非線形エネルギー伝達をパラメータで再現する第2世代モデルおよび成分波の発達・減衰・伝播の計算を分離して計算を行い, 非線形性は考慮しない第1世代モデルとの比較を行ったものを図-6, 7 に示す。

再現計算結果としては, 図-6 の 9918 号は, 台風の中心が観測地点を直撃していることから, 風の推算時に誤差

が生じているものの、ピーク時の再現性については、極めて良好な計算結果が得られている。

微調整を行っていない他のモデルに合わせた計算結果である。

次に各世代のモデルと定常計算との比較は、ここでははっきりと SWAN による非定常計算が最も精度が高く、定常計算、第2世代モデル、第1世代モデルの順でピーク時の再現結果が実測値に比べて小さくなっている。今回は2つの台風のみで検証を行っていることから、明確な判断はできないが、旧世代のモデルでは、台風の急接近に伴う急激な波浪の変化を再現することが難しいと考えられる。これは、波の非線形性の再現能力の問題と考えるのが、容易ではあるが、今後さらに検討を進めたうえで判断する必要がある。

### (3) 計算パラメータ

SWAN による各計算パラメータを具体的に検証により表-1のように設定し、再度再現計算を行った。

今回は、より高度な3波共鳴による波の相互干渉は考慮しないパラメータの設定を行った。これは、再現結果を示した図-8のように再現結果が十分と考えられることと、3波共鳴を考慮すると計算時間が増大するからである。

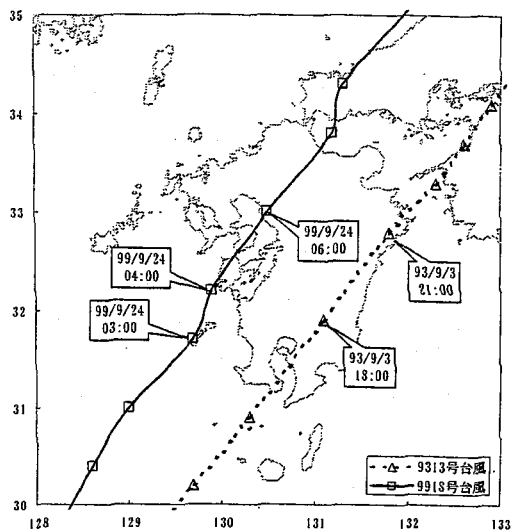


図-5 台風経路(9313号と9918号)

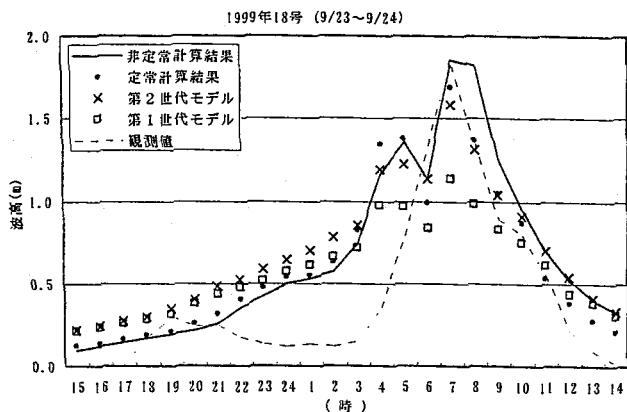


図-6 再現計算結果(9918号)

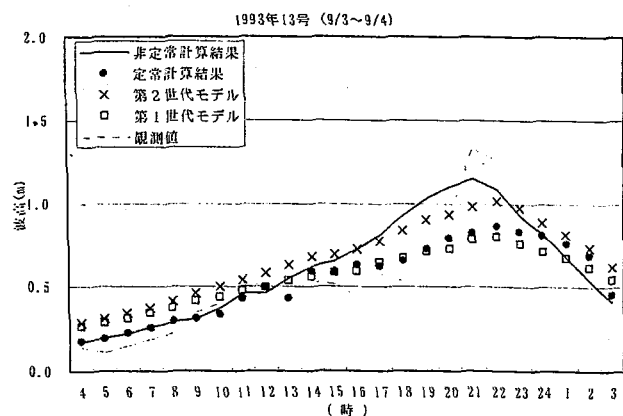


図-7 再現計算結果(9313号)

また、図-7の9313号ではピーク時で20cm実測値を下回っているものの、比較的良好的な結果が得られた。また、この20cmの誤差についても後で示す計算モデルの微調整や海底摩擦係数などの計算パラメータの調整により図-8のように誤差の縮小は可能であった。図-7は比較のため、

表-1 計算パラメータ

項目	条件
波浪推算モデル	計算領域: X=48km, Y=81km
	計算格子間隔: 1km
	計算時間間隔: 10 min
	方向分割数: 36
	周波数分割数: 10
	碎波計算: ON
	底面摩擦: ON
	3波共鳴: OFF
	潮位: 高潮位時
境界条件等: 外海接続なし	

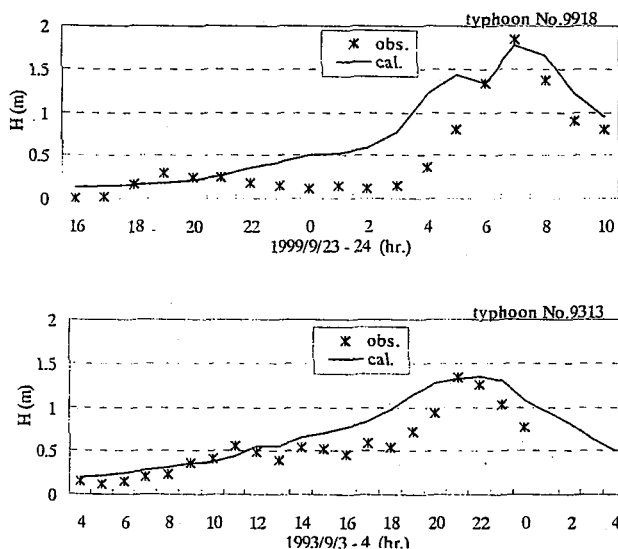


図-8 パラメータ調整後の再現計算結果

計算結果から、特に設計等で重要となるピーク時の再現性は非常に高い精度で得られている。それに対し、ピーク

前後で計算値が観測値を大きく上回っている。これは、有明海特有の大きな干満差による影響と考えられる。図-9に示す波浪再現計算と同時刻の潮位観測値を図-8と比較すると潮位のピーク時と波高のピーク時がちょうど重なっており、その前後は潮位が低くなっている。これは波浪が水深の制約にしたがい波高も減少するため、このピーク値以外の推算精度を向上させるためには、有明海のような潮位変化の著しい海域では潮位変化を考慮することがより波浪推算の精度向上に寄与していくものと考えられる。

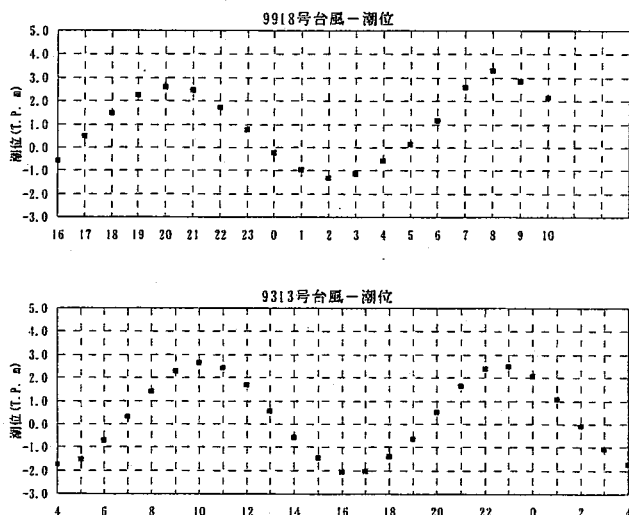


図-9 波浪再現計算時の観測潮位

## 5. まとめ

有明海をモデル海域とした波浪推算における SWAN の適用性について考察および問題点を以下にまとめる。

- ①閉鎖性海域における波浪推算は、今回対象とした有明海の海域特性から、浅海域での様々な現象を再現するため、浅海域の波浪推算モデルである SWAN を用いた再現計算による検証を行った。SWAN による推算は基本的に良好な予測結果を得られるものの、海上風の精度に左右されるため、波浪推算の精度向上のためには海上風の推算に対して改良する必要がある。
- ②全般には波浪推算モデルとしては十分な機能を有するものの、海上風や潮位の影響（非定常計算の場合）の他にも地形や外洋波浪の影響なども十分考慮する必要がある。
- ③SMB法などの簡易手法と比べると実績においては、大きな差があるものの、研究レベルでは十分な精度が実証されてきている。今後、災害時などの波浪再現では、このような第3世代モデルを用いていくことも十分に考慮したうえで、新しいモデルの信頼性と精度向上のため、今後とも波浪推算モデルの研究は行っていく必要がある。

## 謝辞

本研究で用いた有明総合観測タワーのデータは、国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所より提供頂いたものであり、ここに謝意を表す。

## 参考文献

- 磯崎一郎・鈴木 靖 (1999) : 波浪の解析と予報, 東海大学出版, 274p.
- 間瀬峰, 平尾博樹, 國富将嗣, 高山知司 (2001) : SWAN を用いた日本沿岸波浪推算システム構築と適用性の検証, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.236-240.
- Holthuijsen, L.H. *et al.* (2000) : SWAN CycleIII ver.40.11, User Manual, 124 p.
- Ris, R.C. (1997) : Spectral modeling of wind waves in coastal areas, ISSN 0169-6548, Vol.22, pp.1389-1405.
- The WAMDI group (1988) : The WAM model-A third generation ocean wave prediction model, J.Phys. Oceanogr., 18, pp.1775-1810.