

内湾波浪予測手法の検討

Some Remarks on The Inner Bay Wave Forecasting Method

山川 真*

YAMAKAWA, Makoto

* (財) 沿岸開発技術研究センター 波浪情報部 研究員

The method for improving the accuracy of inner bay wave forecasting was examined. In order to determine the optimum wind prediction method, preliminary calculations were performed with three techniques in the Tokyo Bay and the Osaka bay.

Based on the wind prediction method, which gives the best accuracy, two wave forecasting models were compared. From the present study, it was revealed that the new wave model JWA3G(S) is superior to the conventional model COMEINS.

Key Words : inner bay , wind prediction , wave forecasting , Tokyo Bay , Osaka Bay

1. はじめに

海上空港などの海上構造物の建設や港湾施設の拡充、海洋レジャーの多様化などに見られるように、近年、内湾の利活用計画の発展は目覚ましい。港湾計画の大型化、土木工学の技術の高度化などに対応するため波浪推算についても高い精度が要求されている。

しかし既存の波浪予測モデルでは、内湾での影響が大きいと考えられる浅海域の効果までは考慮されていない。そこで、内湾域の海上風及び波の予測精度を向上させるために、いくつかの予測方法について、予測値と実測値とを比較することにより、それぞれの精度の検討を行った。

2. 内湾波浪予測手法の検討

2.1 内湾の風予測手法の検討

内湾域における波の予測を行う波浪推算モデルでは、内湾域の風予測値を入力値としている。そのため、内湾波浪予測の精度を向上させるためには、先ず精度の高い内湾の風予測値が必要である。

そこで、内湾域における最適な風予測手法を検討するため、以下の①、②の手法を用いて風の予測計算を行い、それぞれの精度を比較した。また、現行の手法（③波浪GPV）との精度比較を行うため、波浪GPVについても同様の解析を行い比較した。対象とする期間は1999年の3、6、9月の3ヶ月である。また対象湾としては、代表的な内湾である東京湾と大阪湾とした。比較に用いた実測地点は、東京湾では東京灯標と第二海堡の2地点（図-1 参照）、大阪湾では大阪港外と神戸港の2地点である（図-2 参照）。

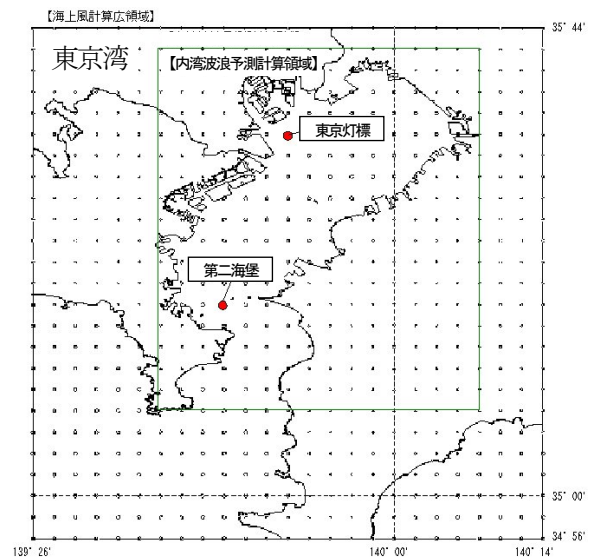


図-1 東京湾の計算領域 (●: 実測地点)

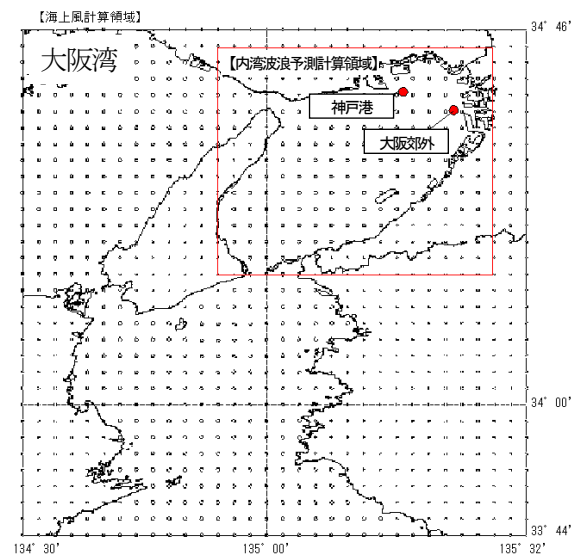


図-2 大阪湾の計算領域 (●: 実測地点)

①RSM・単純内挿：気象庁作成 RSM データ（20km メッシュ）を 2 分メッシュに単純内挿。

②RSM・MASCON^(1), 2), 3)：RSM データ（20km メッシュ）を 2 分メッシュに単純内挿後、MASCON を用いて地形の効果による風の変形を考慮。

③波浪 GPV：気象庁配信の波浪 GPV（6 時間毎、6 分メッシュ）を 1 時間毎、2 分メッシュに単純内挿後、経験的に得られた補正係数をかけたもの。

上記の 3 手法で計算した結果の精度を比較検討するため、手法毎、湾毎に実測風速と計算風速の相関解析を行い、それぞれの相関係数および回帰式を算出した。その結果を表-1 に示す。

また、波高が 1m を超えるような風が吹いている場合にのみ着目するために、実測風速が波高 1m 相当風速（波が 1m 以上の高さになるのに必要な風の強さを仮定したもので、各実測地点において、ウィルソンの有義波高と吹送距離の関係式より 16 方位の風向毎に 1m 相当風速を求め、16 方位分の 1m 相当風速を風向の出現頻度で重みを付けた上で平均したもの）以上の事例のみについても同様に相関解析を行った。その結果を表-2 に示す。

表-1 の相関係数を見ると、東京湾においては①RSM・単純内挿と③波浪 GPV、大阪湾においては③波浪 GPV の相関が高くなっている。また、表-2 の相関係数を見ると、波高が 1m 以上になるような風速の場合には、大阪湾では③波浪 GPV の相関が高くなっている。東京湾ではどの手法も明確な相関関係がみられないが、これは東京湾で波高 1m 以上になるケースが極めて少ないことに起因していると考えられる。両湾において一定の精度を確保するという観点から見ると、上記 3 手法の中では、③波浪 GPV が内湾における海上風の計算に最も適しているといえる。

2.2 内湾の波浪予測方法の検討

前節の結果から、内湾域の波浪予測計算に対する入力として、波浪 GPV の風が最適であることがわかった。波浪モデルについては、現在最新のモデルである第 3 世代波浪モデルであり、浅海効果も考慮された JWA3GS⁽⁴⁾ を用いるのが最も望ましいと考えられる。しかし、JWA3GS では計算に時間がかかりすぎるため、オンラインによるルーチン業務には支障がある（例えば、スーパーコンピュータ使用で、大阪湾での 72 時間先までの計算の場合 JWA3G 約 24 分、JWA3GS 約 130 分）。そこで、深海モデルである JWA3G⁽⁵⁾ を用いて波浪計算を行い、その結果に浅海変形係数をかけあわせること

とする。浅海変形係数は、様々な条件の風を入力として JWA3GS と JWA3G の両モデルで計算させ、その結果を比較することによって、予め作成しておく。また、計算領域外で発生し伝搬してきたうねりを考慮するために、波浪予測計算の際には、日本沿岸波浪予測の結果を境界条件として用いる。この手法を用いた場合の予測計算開始から予測データ配信までのフローを図-3 に示す。

表-1 各湾の相関解析結果

相関係数

	東京湾	大阪湾
① RSM・単純内挿	0.617	0.552
② RSM・MASCON	0.537	0.541
③ 波浪GPV	0.611	0.618

表-2 各湾の相関解析結果（波高 1m 相当風速）

相関係数

	東京湾	大阪湾
① RSM・単純内挿	0.104	0.612
② RSM・MASCON	0.119	0.607
③ 波浪GPV	0.046	0.648

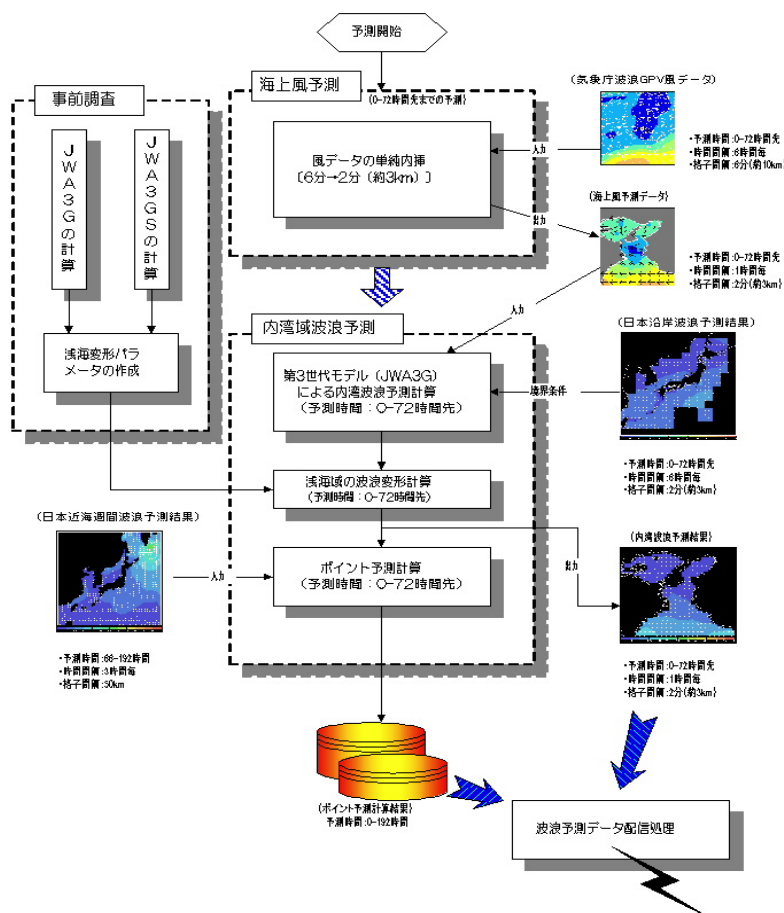


図-3 内湾波浪予測フロー

上記の方法（今後 JWA3G(S) という）を用いて波浪計算を行い、その結果と実測値の相関解析及び誤差解析を行った。また、現行の波浪予測方法（COMEINS ポイント予測）とその精度の比較を行うため、COMEINS ポイント予測結果（今後 COMEINS という）についても同様の解析を行った。対象期間や対象湾、解析に用いた実測地点は前記と同様である。解析結果を表-2 に、また表-2 の回帰係数で、計算波高を補正した後に同様の解析を行ったものを表-3 に示す。また参考として第二海堡と神戸港について、波高

の予測値と実測値の散布図を図-4、図-5 に示す。

表-3 から、波高については大阪港外、神戸港、東京灯標、第二海堡の全ての地点で JWA3G(S) の相関が高くなっている。周期については、全体に良い相関が得られていないものの、全ての地点で JWA3G(S) の相関が高くなっている。表-3 の誤差率（BIAS：平均誤差率、RMSE：二乗平均誤差率）をみると、波高については、大阪湾では JWA3G(S) の方が小さくなっているが、東京湾では、BIAS、RMSE 共に COMEINS の方が小さくなっている。

表-2 計算波高と実測波高の検証結果

<COMEINS>

波高

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.59	1.128	-17.8 %	58.8 %	4425
	神戸港	0.67	0.996	-8.1 %	51.3 %	2122
東京湾	東京灯標	0.76	0.950	0.9 %	37.9 %	4199
	第二海堡	0.64	0.813	15.0 %	42.2 %	2122

周期

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.11	1.264	-22.4 %	31.1 %	4425
	神戸港	0.23	1.188	-18.4 %	27.1 %	2122
東京湾	東京灯標	0.37	0.941	4.6 %	17.9 %	4199
	第二海堡	0.16	1.071	-8.1 %	18.9 %	2122

<JWA3G(S)>

波高

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.73	1.214	-21.8 %	52.4 %	4425
	神戸港	0.77	0.962	-1.8 %	43.4 %	2125
東京湾	東京灯標	0.77	0.786	16.7 %	48.8 %	4199
	第二海堡	0.68	0.551	56.6 %	90.9 %	2122

周期

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.17	1.553	-40.5 %	47.2 %	4425
	神戸港	0.31	1.327	-33.8 %	43.0 %	2125
東京湾	東京灯標	0.42	0.956	-6.0 %	32.3 %	4199
	第二海堡	0.34	0.872	4.1 %	34.1 %	2122

表-3 計算波高と実測波高の検証結果(回帰係数による補正後)

<COMEINS>

波高

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.59	0.999	-7.3 %	57.6 %	4425
	神戸港	0.66	0.997	-8.1 %	51.3 %	2122
東京湾	東京灯標	0.76	0.998	-4.0 %	37.5 %	4199
	第二海堡	0.64	0.999	-6.4 %	35.2 %	2122

周期

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.11	0.999	-1.8 %	23.1 %	4425
	神戸港	0.23	1.000	-3.1 %	22.2 %	2122
東京湾	東京灯標	0.38	1.005	-2.2 %	17.0 %	4199
	第二海堡	0.17	1.003	-1.8 %	17.6 %	2122

<JWA3G(S)>

波高

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.73	1.000	-5.2 %	48.7 %	4425
	神戸港	0.76	0.999	-5.5 %	43.3 %	2125
東京湾	東京灯標	0.77	1.000	-8.3 %	39.0 %	4199
	第二海堡	0.68	1.000	-13.7 %	40.0 %	2122

周期

湾	ポイント	相関係数	回帰係数	BIAS	RMSE	データ数
大阪湾	大阪港外	0.17	1.000	-7.6 %	32.3 %	4425
	神戸港	0.31	0.998	-11.9 %	35.9 %	2125
東京湾	東京灯標	0.42	1.000	-10.3 %	32.2 %	4199
	第二海堡	0.34	1.000	-9.2 %	31.1 %	2122

*COMEINS と JWA3G(S) の相関係数、BIAS、RMSE を比較して、精度の良い方（相関係数：大きい方 BIAS、RMSE：絶対値が小さい方）にハッチを付けた。

*BIAS、RMSE は次の式で算出されたものである。（ n ：総データ数、 F_i ：予測値、 A_i ：実測値）

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i - A_i}{A_i} \right) \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i - A_i}{A_i} \right)^2}$$

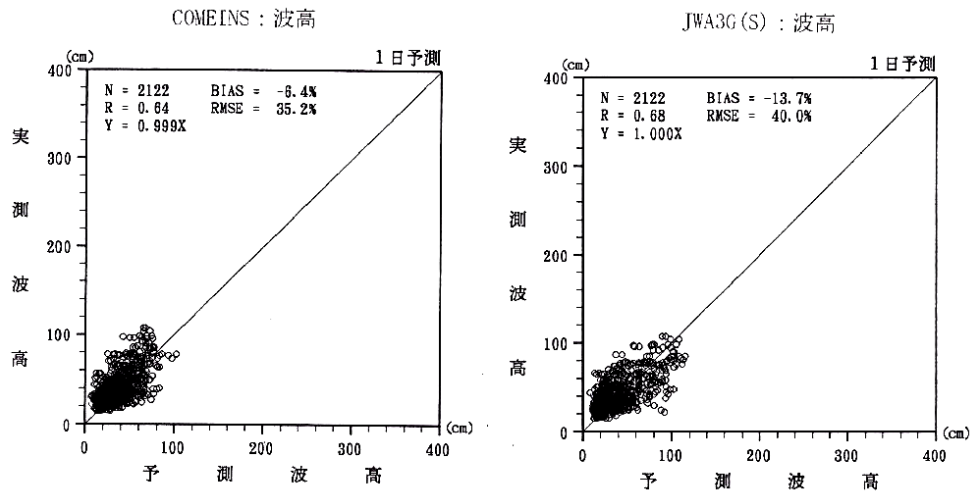


図-4 計算値と実測値の散布図(第二海堡)

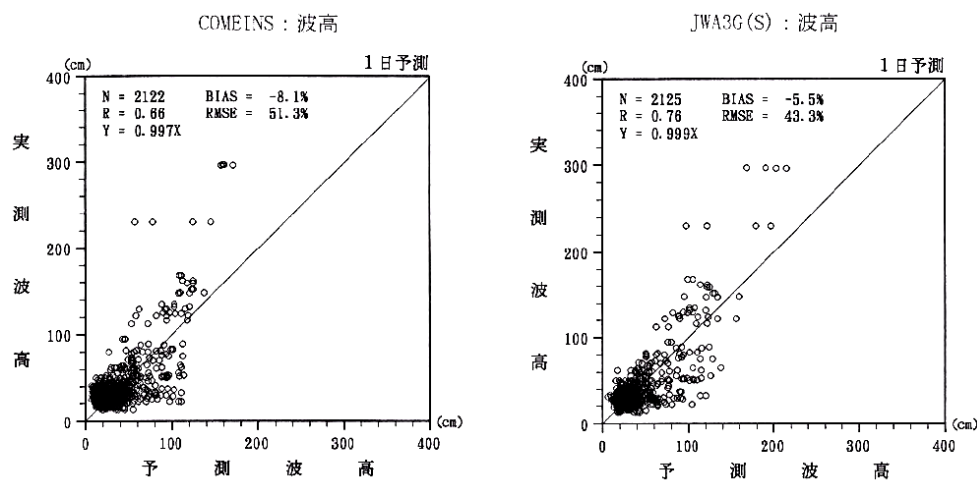


図-5 計算値と実測値の散布図(神戸港)

周期については、全ての地点で、BIAS, RMSE共にCOMEINSの方が小さくなっている。JWA3G(S)による予測周期は不自然に長く算出される場合があり、JWA3G(S)の周期の誤差が大きくなる一因となっている。これは、境界条件のデータの周期が長い場合に見られ、風波成分が小さく、うねり成分が卓越するときに生じるものである。

3. まとめ

以上のことから、相関係数に関してはJWA3G(S)の方が高いが、実測値と予測値の差については、COMEINSの方が小さい傾向にあることがわかる。ただし、大阪湾の波高に関しては、相関係数、誤差ともに、COMEINSより良い結果となっている。従って、JWA3G(S)の導入により、内湾域の波浪予測に関してある程度の精度向上が期待できる。しかし、その誤差率が従来法のCOMEINSより大きいポイントが多く存在すること、周期の予測精度が全体的に低いことなどから、JWA3G(S)を用いた波浪予測には、さらなる改良が必要と考える。

謝辞: (財) 日本気象協会に資料作成を協力いただいた。また、東京都港湾局より東京灯標、大阪市港湾局より大阪郊外、(独) 港湾空港技術研究所より第二海堡及び神戸港の観測値の提供を受けた。ここに記して関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本気象協会:内湾の海上風と波浪の推算に関する研究—海上風の実用推算モデルの開発—, 90p., 1988.
- 2) 日本気象協会:内湾の海上風と波浪の推算に関する研究—内湾波浪の推算手法の開発—, 125p., 1989.
- 3) 岡田弘三・林健次・磯崎一郎:内海における海上風推算手法の開発. 海の研究, 4, pp.91-99, 1995.
- 4) 宇都宮好博・大西健二・鈴木靖:第三世代波浪推算モデルの浅海域への適用, 海岸工学論文集, 第46巻/土木学会, pp.266-270, 1999.
- 5) 磯崎一郎・鈴木靖:波浪の解析と予報, 東海大学出版会, pp.135-172, 1999.