

伊勢湾海域における海上風の数値計算 に関する研究

STUDY ON THE NUMERICAL SIMULATION OF SEA WIND AROUND ISE BAY AREA

水谷法美¹・番場豊和²

Norimi MIZUTANI and Toyokazu BANBA

¹正会員 工博 名古屋大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 修(工) 愛知県建設部道路建設課 (〒451-8501 名古屋市中区三の丸3-1-2)

This paper is intended to estimate wind field over sea area, which is main cause of wind wave. The Navier-Stokes equation and equation of continuity have been solved numerically with the initial and boundary conditions given by interpolation of GPV. Computed wind field seems to reproduce well the wind field affected by landform. Then computed winds have been compared with measured values obtained at Kamishima Island. It is confirmed that the computed wind variation agrees well with measured wind variation. Moreover, the numerical computations have been applied to estimate wind field in another area including Osaka bay and this technique is found to be applicable to other area without any change other than input data.

Key Words : Sea wind, RSM-GPV, numerical analysis, wind wave, Ise-bay, Osaka-bay

1. 研究の目的

従来, 海岸構造物の設計には, 有義波に代表されるような過去の統計値から求められた値が用いられてきた。統計値の使用には現象の定常性が仮定されているが, 一方で地球規模での気候変動が指摘されており, 地球温暖化による台風の大型化などが予想されている。したがって耐用年数が数十年規模の構造物の設計を行うには, その間の外力の変化も考慮しておく必要がある。地球温暖化は波浪外力の増大の危険性を有しており, したがって, 過去の観測記録から得られた統計値に基づく設計波を用いることは外力の過小評価になる可能性が大きく, 危険である。著者ら^{1),2)}は, 統計的手法ではなく, 力学モデルによる設計波の推算を念頭に置き, 風波の外力である海上風の場合を様々な気象状況に対して気圧などの気象データを入力にして推算するための数値モデルを開発してきた。しかし, これまでは計算量や安定性の面から必ずしも長時間の計算までは行えない。

本研究では, 比較的長時間でも安定して計算が行えるようにこれまでのモデルを改善し, そのモデルに基づいた風場の予測について検討を行うものである。

2. 計算方法

(1) 気象データ

気象庁発行のRSM-GPVは格子間隔の細かい地上データであっても水平解像度が南北16km×東西20kmである。しかしながら, 本研究では, 水平解像度を南北1km×東西1kmと設定しているため, それに対し, GPVの解像度が非常に粗いものとなる。また, 鉛直方向について, GPVは地上及び925, 850, 700, 500hPaの層高度でデータが与えられている。ところが, 本研究では, 高度に伴って格子間隔が増大する不等間隔格子を採用しており, これに対しても, 非常に粗いものとなっている。本研究では, 図-1に示す領域を計算対象領域とするが, その計算対象領域の初期値を限られた点でのGPVから得るために, まず, 図-2に示すように, 計算対象領域の4倍程度の広領域を考え, この領域に含まれるGPVに対して水平, 鉛直両方向にLagrange補間を施した。Lagrange補間の次数は, この領域に含まれるGPVのデータ数によって変化させ, 本研究では東西方向に16次, 南北方向に20次, 鉛直方向に4次の多項式で近似した。そして, この操作を施して図-1に示した計算対象領域の初期値を得た。

また, GPVは0:00UTC及び12:00UTCを初期時刻として, 51時間先まで地上データでは1時間毎, 上層

データでは3時間毎の予報値が与えられている。ところが、本研究では、後述するように時間間隔を15秒としている。そこで、計算開始時刻の前後各12時間のGPVを使って、Lagrange補間により8次の多項式近似を行った。この近似多項式を使って内挿を行

い、15秒間隔で3時間分の境界値を求め、この値を計算に与えた。

なお、従来は、MASCONモデルによる内挿値³⁾を用いていたが、本研究のようにLagrange補間を用いるとMASCONモデルを適用しなくとも連続式をほぼ満足する程度の値が得られることも確認できた。

(2) 基礎方程式

本計算では、空気を非圧縮性粘性流体として取り扱った。使用した基礎式は連続式(式(1))とNavier-Stokesの運動方程式(式(2)~(4))である。なお、運動方程式中の外力項として地球自転によるコリオリ力の項も付与している。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = \\ + fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = \\ - fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = \\ -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 u 、 v 、 w はそれぞれ x 、 y 、 z 方向の風速成分、 f はコリオリ係数、 ρ は空気の密度、 P は圧力、 ν は動粘性係数、 g は重力加速度を表す。なお、 x は西→東、 y は南→北を正方向とする水平軸、 z は地表面から上向きの鉛直軸である。

計算では、まず、国土地理院発行の数値地図より計算対象領域内の標高値を読み込む。なお、図-1と図-2はこれらの操作により0mから500m毎の等高線を描いたものであるが、0mの等高線は海岸線に必ずしも一致していない。

続いて、気象庁発行のGPVより気圧・風速をLagrange補間したものを初期条件として読み込む。そして、連続式を満足するように運動方程式を解くことによって次の時間ステップの風速を計算し、これを目標計算時間まで繰り返す。しかし、運動方程式から算出された風速値が必ずしも連続式を満足するとは限らないため、圧力を調整することで風速値が連続式を満足するようにする圧力流速反復法の1つであるSOLAスキームを用いて、気圧と風速の計

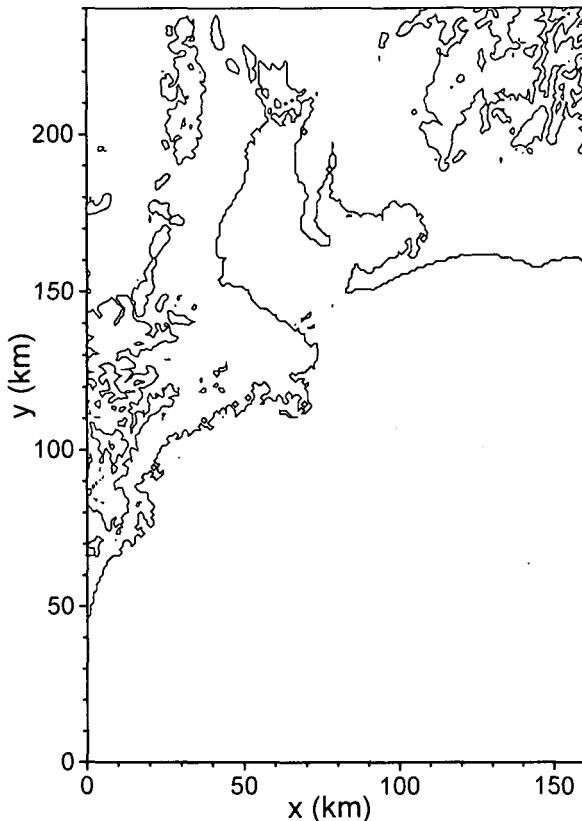


図-1 計算領域

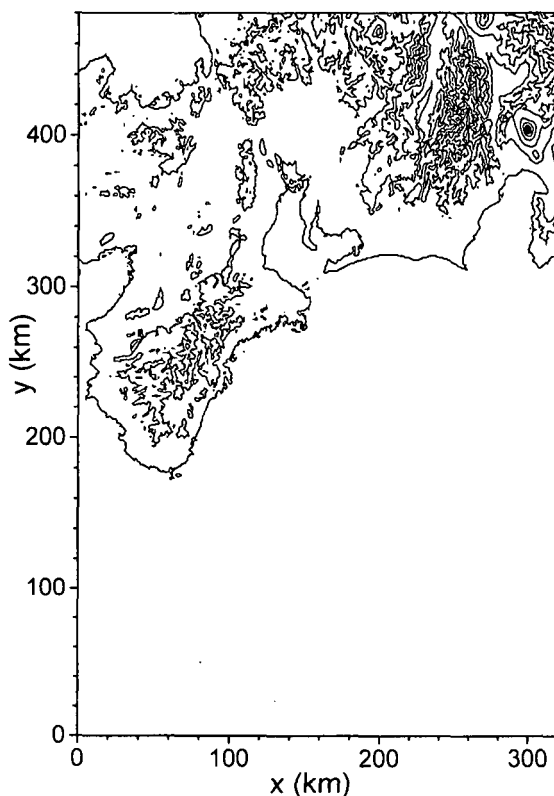


図-2 補間対象領域

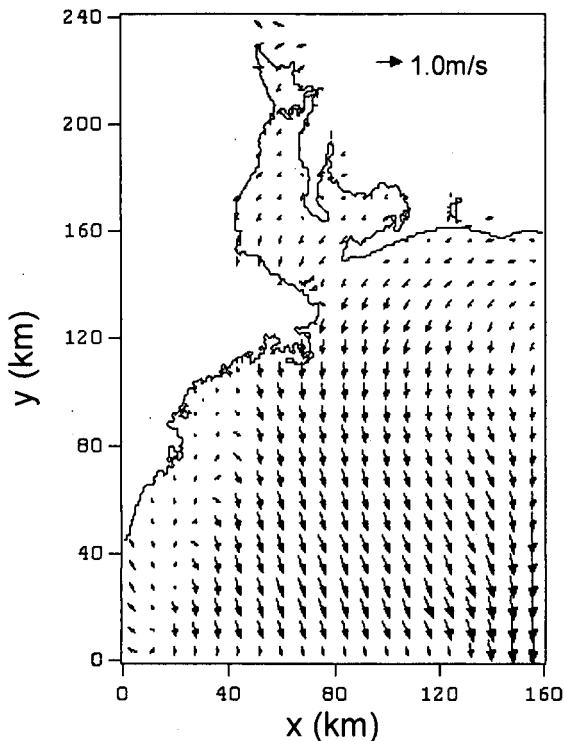


図-3 1997年9月3日3時の推算風場

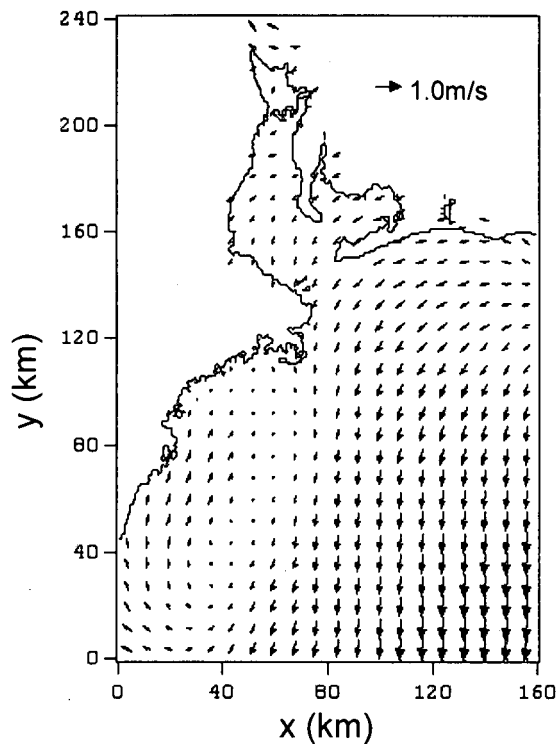


図-4 1997年9月3日3時の補間風場

算を行う。

(3) 計算条件

計算領域は、図-1に示す伊勢湾周辺の東西160km、南北240km、鉛直方向2.4kmの直方体の領域とした。この領域をスタッガードメッシュに従って離散化した。この際、水平格子間隔を1km×1km、鉛直格子間隔は高度に伴って格子間隔が増大する不等間隔格子を採用し、最下層と第2層を20m、第3層と第4層を30m、第5層から第50層までを50mとした。総格子数は1,152,000個である。

計算の時間ステップは短周期の風速変動は風波のエネルギーの変化に及ぼす影響が小さいとの結果²⁾を考慮し、15秒とした。

本研究は、主に伊勢湾周辺海域を対象としているが、本計算手法の妥当性の検証のため、本計算手法を全く同じ条件で大阪湾周辺の領域にも適用し、その汎用性についても検討することとした。

3. 結果と考察

(1) 伊勢湾周辺海域における風場の推算

図-3に1997年9月3日0時のGPVを初期条件に3時間後の風場の推算を行った結果を示す。また、同時刻のGPVの補間値を図-4に示す。これによると、GPVを補間しただけの図-4に示す結果では、特に計算領域内の南東の領域で場全体に一樣な風速ベクトル分布している。また、図-4の補間分場には紀伊半島南東沖に時計回りの渦が見られる。しかし、GPVの水平解像度はこの渦の大きさに比べて大きく、このよ

うな小規模な渦は再現できないため、これは補間の操作により生じたものであると考えられる。これらに対して、図-3に示す推算結果では渥美半島南岸や紀伊半島南東岸で陸地により風速ベクトルが偏向している様子が確認できる。また、図-3では三河湾湾内において図-4に比べて風速が小さくなっていることも確認できる。これは、外洋で東風が吹いており、地形による遮蔽効果によるものと考えられ、地形の影響が再現できていることを示す一例と考えられる。これにより、本計算において周辺地形の効果を考慮した風場の再現が可能であると言える。

計算領域内に位置する三重県鳥羽市神島における計算風速の時間変化を図-5に示す。さらに、同地点における観測値と計算値との比較を表-1に示す。なお、表-1に示した風速は毎正時10分から10分間の平均風速である。これによると、0時では若干、整合性が悪いものの、1時、2時についてはほぼ一致し

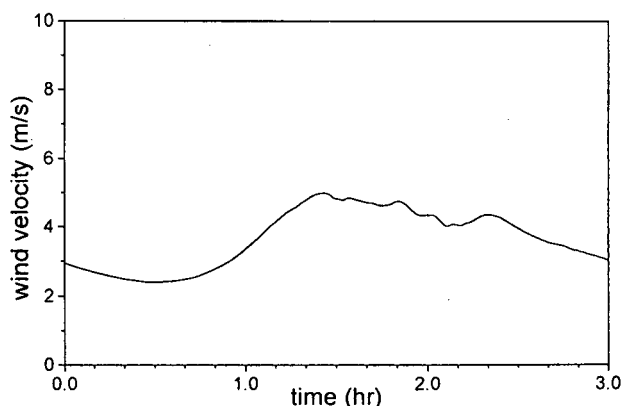


図-5 神島における風速の時間変化

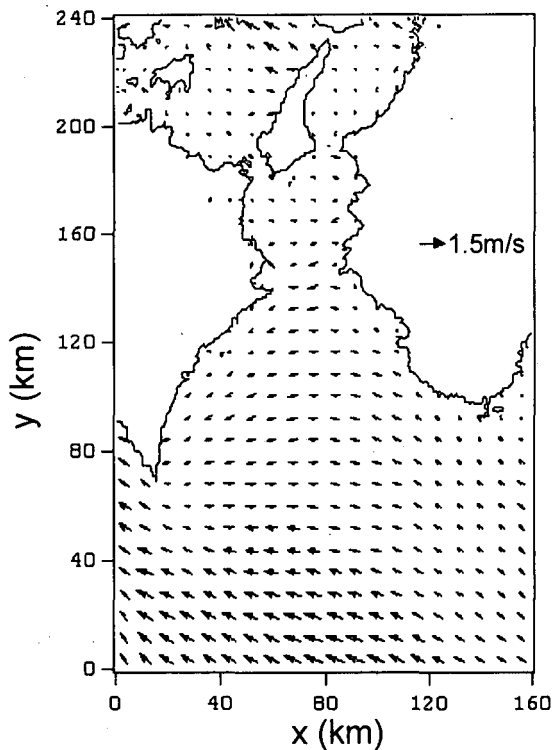


図-6 1997年9月3日3時の推算風場

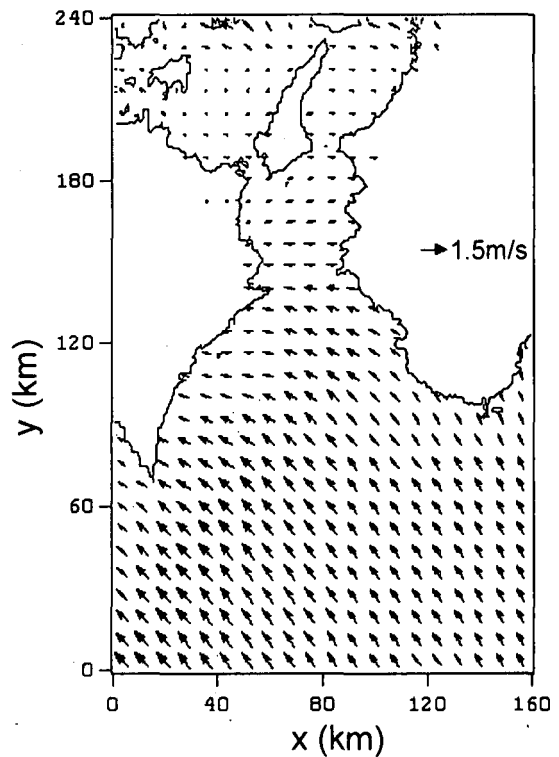


図-7 1997年9月3日3時の補間風場

た結果が得られており、本計算は風速の時間変化も妥当に再現できると判断できよう。なお、0時において整合性が悪いのは、計算開始時刻である0時については10分前からの平均風速を求めることができないため、0時から10分間の平均風速としているためである。特に図-5にも見られるように、風速が減少傾向にあるため、0時の前10分間の平均風速よりも0時の後の10分間の平均風速の方が小さくなったためであると考えられる。

表-1 神島における風速の比較

Date	Obs. (m/s)	Cal. (m/s)
1997/9/3 0:00	3.6	2.69
1997/9/3 1:00	3.5	3.65
1997/9/3 2:00	4.1	4.02

(2) 大阪湾周辺海域における風場の推算

本計算の妥当性をさらに検証するために、伊勢湾周辺海域で行った計算と全く同じ計算を地形と入力データのみ変化させて大阪湾周辺海域に対して実施した。鉛直方向は伊勢湾と同様に2.4kmまでの高さを対象とした。

1997年9月3日0時を初期値として3時間後の風場を推算した結果を図-6に、それと同時刻の1997年9月3日3時のGPVを補間した風場を図-7に示す。

これによると、紀伊半島南西岸、四国南東岸によりベクトルが半時計回りに偏向する様子など、伊勢湾周辺海域の場合と同様に、沿岸域の陸地の影響を

受けた風場が推算されているといえる。また、時間変化も観測結果と良好な対応であることが確認されており⁴⁾、本計算手法は汎用性を有するものであると考えられる。したがって、本計算では3時間後の予測のみを示しているが、本手法を連続的に適用することにより、さらに長時間の風場の予測が可能であるといえる。

4. 結論

本研究では、RSM-GPVを使って伊勢湾周辺海域の海上風の数値計算手法について、従来行ってきた手法を発展させた。本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) GPVを補間して求めた初期値・境界値に基づいて3次元SOLAスキームにより直接的に計算を行うことで、周辺地形の効果を考慮した風場を推算することができる。
- (2) 本計算により風速の時間変化についても観測値とよい一致を示すことが確認され、本計算手法が風場の時空間変化の予測に有効な手法であることが確認された。
- (3) 地形条件と入力値を変化させるだけで他の海域にも適用できることが確認され、計算手法の汎用性が確認された。

謝辞：本研究を行うにあたり、京都大学防災研究所白浜海象観測所より貴重な観測資料の提供を賜った。ここに記して関係各位に感謝の意を表す。また、本研究は科学研究費補助金（基盤研究(B)2）代表

者 水谷法美) により行われたことを付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 水谷法美・吉田達哉・番場豊和：伊勢湾周辺海域の海上風の推算に関する研究，海洋開発論文集，Vol.16，pp.369-374，2000.
- 2) 水谷法美・吉田達哉・番場豊和：GPVを利用し

た海上風の数值計算と観測資料に基づく風と波の相関に関する研究，海岸工学論文集，第48巻，pp.206-210，2001.

- 3) 柴木秀之・後藤智明：陸上地形を考慮した内湾海上風の推算モデル，海岸工学論文集 第40巻，pp.166-170，1993.
- 4) 番場豊和：海上風の時空間変化の予測と風波の推算に関する研究，名古屋大学大学院工学研究科修士論文，26p.