

# 大阪湾における海上風の平面分布特性について

山口 正隆\*・渡 辺 健\*\*・畑 田 佳 男\*\*\*

## 1. 緒 言

波浪推算法の適用にあたって、まず第1に問題になるのは海上風を精度よく推定することである。海上風の推定法として、天気図による方法、また台風モデルによる方法、さらに最近では大気境界層方程式の数値解による方法などが開発されているが、いずれもそれぞれ問題をかかえており、内湾などの波浪推算においては、可能なならば、観測風に基づいて推定した海上風を使用した方が良好な推定結果を得ると考えられる。

一般に内湾では、海上風は周囲の地形特性の影響を受けて複雑な平面分布を示すうえに、陸上部ではともかく海上での風資料が得られるのはまれであるので、観測風に基づいて海上風の平面分布を推定するのはなかなか困難である。しかし、多かれ少なかれ局所的な地形特性の影響を受けている観測風が、その周辺の平均的風特性を代表すると仮定するならば、海上あるいは内湾の沿岸に沿って設置された風向風速計群の風資料から海上風の平面分布を推定することは可能であろう。

そこで、本研究では一例として大阪湾から紀伊水道以南にかけての海域を対象領域として、同領域沿岸で取得されている風向風速計群による風資料の補正および内挿計算から、季節風時および台風時における海上風の平面分布を推定し、地形特性が海上風の平面分布に及ぼす影響を明らかにするとともに、台風時には台風モデルによる計算結果と比較する。

## 2. 海上風の平面分布の推定法

### (1) 海上風の推定法

大阪湾から紀伊水道以南にかけての領域では、図-1に示すように16地点以上に風向風速計が設置され、主として1時間ごとの風記録が取得されている。しかし、各地点の風速計は大部分陸上部に設置されているうえに、その種類、設置高度および周囲の地形特性が相互に異っているため、これらの記録をそのまま用いて海上風

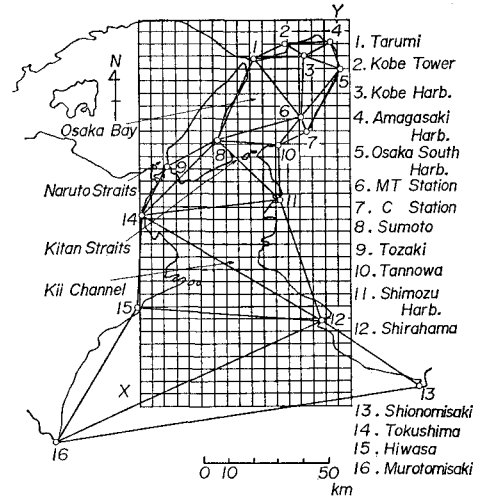


図-1 風向風速計の設置点および計算領域

の推定を行うには多くの問題が残る。幸い、これら16ヶ所の風観測点のうち、神戸港波浪観測塔および泉南沖のMT局では、海上風の観測を実施しており、とくに後者の場合には海上のMT局と陸上部のC局で海上風および陸上風を同時観測しているので、これから両者の関係を明らかにすることができる。この場合、それぞれの風速計の高度が異なるので、まず第1に各地点の風速

を波浪の計算に用いる高度10mでの風速に変換しなければならない。観測風の高度補正は通常行われているように、対数則に依ることとした。ただし、対数則に含まれる粗度長は一応全地点について0.001mとした。

つぎに、海上風と陸上風の関係を検討するために、MT局およびC局での同時観測結果のうち、風向がほぼ同一の資

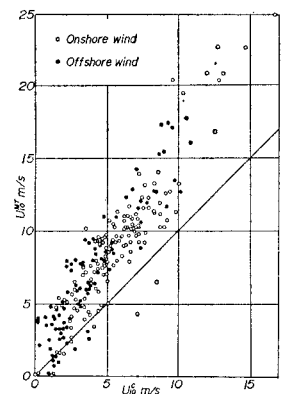


図-2 海上風と陸上風の関係

\* 正 会 員 工 博 愛媛大学助教授 工学部海洋工学科

\*\* 工 修 大阪府土木部港湾課

\*\*\* 学生会員 愛媛大学大学院 工学研究科

料について両者の風速の関係を陸風および海風別に図示したのが図-2である。图中、MT局の風資料は対数則の適用により10m高度の風速に変換されている。さて、これらの図によれば、両地点は約5km程度しか離れていないし、さらに、C局はかなり海岸に近い場所に位置するにもかかわらず、MT局における風速は平均的にみてもC局より40%以上大きい。また、陸風の場合と海風の場合とを比べると、前者の方がやや大きな比率をもつように見えるけれども、資料のばらつきが大きいので、両者の差は明確でない。以上のように、泉南海岸における陸上風と海上風の平均的な関係はある程度明らかになったが、他地点での両者の関係は不明である。そこで、一般に海上風は陸上風に比べて数10%大きいという従来の観測結果も考慮して、陸上風から海上風への変換は、高度補正を施したすべての陸上風観測結果に対して図-2における両者の平均値1.42をかけることにより行った。一方、風向については、適切な補正手段を見出せないで、各地点の観測結果をそのまま用いた。さらに、淡輪における風速計は微風速計であるので、10m/s以上の強風を記録することはできないという問題がある。しかし、淡輪における風記録はその位置上大阪湾内外の風特性を推定するために重要な役割をはたすので、C局の風記録を用いて淡輪における10m/s以上の強風時の風速を推定することにした。図-3は海風でかつ両地点の風向が同一であるときの風速の関係を示したものである。この図によれば、風速5m/s以下の弱風時には、両地点の風速は平均的に見て等しいが、風速5m/s以上ではC局の方が20%程度大きい。そこで、淡輪における風速が10m/sを越えた場合には、C局の風速に両者の平均的な比0.82をかけて淡輪の陸上風とした。なお、尼崎港のように1時間ごとの風資料が得られていない場合には、線形内挿により各定時の風特性を推定した。

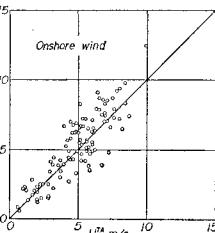


図-3 C局および淡輪における風速の関係

### (2) 平面分布の推定法

さて、波浪の数値計算を実施するにあたっては、以上のようにして推定した風観測点における海上風を図-1の各格子点上に内挿する必要がある。そのため、各観測点を結んで海域を三角形網に分割したのち、有限要素法で用いられる平面近似補間法<sup>9)</sup>を用いることにした。ただし、三角形網への海域分割は一義的でないが、海上風の観測結果を活用するため、できるだけ神戸港およびMT局における海上風観測点を使用するように心がけた。実際計算では、まず $\Delta x = \Delta y = 5$  kmで $32 \times 18$ に分割した計算領域において、16観測点の位置および風向・

風速を与えたのち、プログラム内で $x$ 方向および $y$ 方向の風速 $U_x, U_y$ に分解した、ついで、平面近似補間式、

$$U_x = \sum_{i=1}^3 N_i U_{xi}, \quad U_y = \sum_{i=1}^3 N_i U_{yi} \quad \dots\dots\dots (1)$$

を適用して、各三角形内の格子点における $U_x$ および $U_y$ を求めたのち、両者を合成して格子点上の風速および風向を推定した。ここに、 $U_{xi}$ および $U_{yi}$ ：節点（三角形の頂点）における $x$ 方向および $y$ 方向の風速、 $N_i$ ：座標系の1次関数で表わされる形状関数、である。式(1)は有限要素法におけるシンプレックス三角形要素に対する内挿多項式であるので、各三角形の辺上における関数値の連続条件を満たしている。

### 3. 観測風の内挿による海上風の平面分布

ここでは、2.の方法で推定した海上風の平面分布特性を、MT局に高波浪をもたらした昭和53年1月および2月の季節風と昭和53年8月の台風7808号および昭和54年9月～10月の台風7916号について考察する。

#### (1) 季節風時における海上風の特徴

図-4は昭和53年1月3日から4日にかけての季節風時における海上風の平面分布の数例を示したものであり、MT局および神戸港波浪観測塔で最大波浪が発生した時間帯に対応している。これらの図によると、風向・風速とも全般的に滑らかに変化し、領域を多数の三角形で区分して内挿した感じはほとんどない。さて、まず1月3日3時の風の平面分布特性についてみると、紀伊水道以北、紀淡海峡（友ヶ島水道）以南の海域では風向SからWSW、風速15m/sに近い強風域、また大阪湾では風向SWの強風域になっているのに対して、紀伊水道以南ではW方向の微風になっている。また、紀伊水道での風向の急激な変化や紀淡海峡への風の集中といったおそらく地形特性の影響による風場の変化が明確に見出される。しかし、6時および9時では、領域全体にWからNWの準一様風が吹送し、とくに6時では、大阪湾内に20m/sを越える風が出現している。他の時間帯の資料も含めて考察すると、1月3日～4日の風の

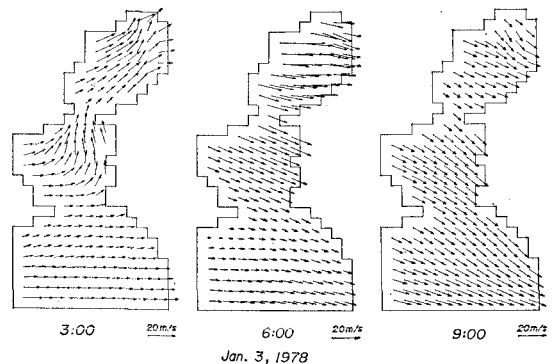


図-4 海上風の平面分布（1月季節風）



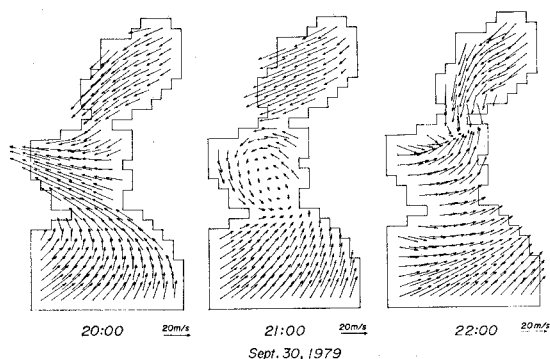


図-8 海上風の平面分布 (台風 7916 号)

つぎに、図-8 は台風 7916 号が紀伊水道を通過した前後における海上風の平面分布図である。台風中心は 9 月 30 日 20 時に蒲生田岬の南西方向にあるため、大阪湾外では SE から E 方向の強風が吹く一方、大阪湾内では NE の風になり、両者とも鳴門海峡に集中している。ついで、21 時には台風中心が紀淡海峡～紀伊水道間に移動するので、そこに台風中心を表わす明瞭な反時計まわりの渦が見出され、しかも中心付近の風速はきわめて小さい。また、領域全体における風速ベクトル場は反時計方向の回転を示している。さらに、22 時には台風中心は岬町淡輪に移動するが、陸上部での風速ベクトルを図示していないので、明確な渦を見出せない。しかし、大阪湾内外の風速ベクトルの変化特性から渦の存在を推定できよう。なお、9 月 30 日から 10 月 1 日にかけての風速ベクトル図から、台風の通過に伴い、大阪湾では時計まわりに、一方紀伊水道以南では反時計まわりに風向が変化していく様子が見出される。以上のように、16 地点程度の風記録を使用すれば台風時における風特性の急激な変化も再現することが可能である。

#### 4. 台風モデルによる推算風との比較

3. では実測風の内挿結果に基づいて大阪湾内外にお

ける海上風の平面分布特性を考察したが、ここでは台風モデルによって台風 7808 号および 7916 号時の風特性を再現し、両者の比較を行う。

台風による風の場を再現するために用いた台風モデル<sup>2)</sup>は一般流と中心対称風を考慮したもので、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} U_x &= C_1 A V_x - B(\sin \alpha \cdot x + \cos \alpha \cdot y) \\ U_y &= C_1 A V_y - B(-\cos \alpha \cdot x + \sin \alpha \cdot y) \\ A &= \exp(-2\pi r \times 10^{-6}) \\ B &= (C_2 r_0^{-1} \rho_a^{-1/2} z^{3/2} - 0.5 C_2 f \bar{a}^{-1/2}) \bar{a}^{1/2} \\ z &= \{1 + (r/r_0)^2\}^{-1/2}, \quad \bar{a} = 100a \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

ここに、 $V_x, V_y$ : 台風の移動速度成分、 $\alpha$ : 等圧線に対する吹き込み角、 $r$ : 台風中心から当該地点までの距離、 $r_0$ : 台風中心から最強風地点までの距離、 $a$ : 台風中心の気圧深度および  $f$ : コリオリ係数、である。実際計算では、天気図より  $r_0$  と時々刻々の  $a$ 、台風の位置および緯度を求めるとともに、 $C_1 = 0.571$  あるいは  $0.857$ 、 $C_2 = 0.65$ 、 $\alpha = 17.6^\circ$ 、 $\rho_a = 1.2 \text{ kg/m}^3$  として式 (2) を適用した。

図-9 は図-7 に示した場合と同時点において台風モデルによる海上風の平面分布を示したものである。台風 7808 号は九州中部から中国西部を通過した台風であることや台風モデルには地形性の影響が含められていないことなどの理由により、大阪湾内外における風の場は全般的に実測風の内挿結果より滑らかに変化している。また、8 月 3 日 0 時においては、大阪湾北部を除いて両者はかなりよく一致している。しかし 10 時では、台風モデルによる結果は全域にわたり風向 SW を示しているが、実測風による結果は平均的に SSW～SSE 方向を示すものの、地形性の影響を受けるため、平面的変化が前者に比べてかなり大きい。さらに、台風モデルによれば、3 日 18 時の風はほとんど 0 になるので示していないが、現実には同時に存在した台風 7807 号の影響により依然として海域全体にある程度の風が吹送している。このよ

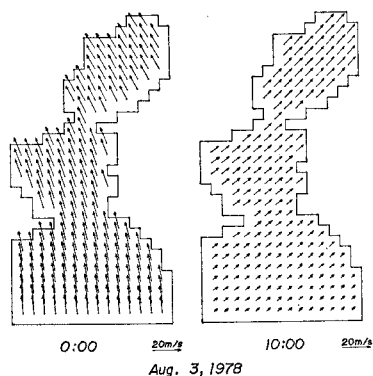


図-9 台風モデルによる海上風の平面分布 (台風 7808 号)

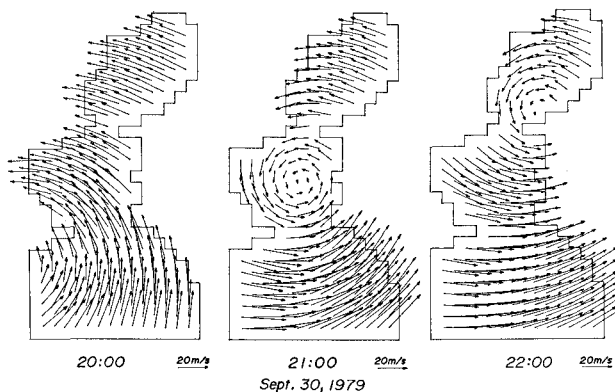


図-10 台風モデルによる海上風の平面分布 (台風 7916 号)

うに、台風域からかなり離れた海域での風特性は台風以外の気象じょう乱の影響を受けやすいので、台風モデルによる再現が難しい場合もある。

図-10 は台風7916号時の台風モデルによる風ベクトル図であり、図-8 に対応する。前述のように、台風モデルには地形性の影響が考慮されていないため、実測風に基づく結果に見出された鳴門海峡への風の集中は再現されない。また台風中心の渦は実測風の内挿結果によるものほど偏平にならないが、紀淡海峡以南では両者の平均的パターンは比較的良好一致する。さらに、大阪湾内では、地形性の影響により実測風は大阪市から紀淡海峡に向けて吹送するので、台風モデルによる風ベクトルのパターンは実測風の内挿結果とかなり相違する。

つぎに、図-11 は8月2日21時～8月3日13時に至る MT 局および徳島での風速および風向の時間変化を比較したものである。これらの結果を見ると、風向に45°程度の差が生じる場合があるものの、全体的な風特性の時間変化は相互に比較的良好一致しているといえる。しかし、台風モデルによる大阪湾内での風速のピークはおそらく地形特性および他の気象じょう乱の影響を含まないため、実測結果に比べて早く出現する傾向がある。また、同様に9月30日10時から10月1日3時に至る同地点での風特性を比較したのが図-12である。さて、これらの図において、大阪湾外の徳島では風特性の時間変化のパターンが相互によく一致している。しかし、大阪湾内の MT 局では台風通過時の風速の低下や風向の逆転はうまく再現されているものの、とくに台風通過以前について両者の結果は異っている。

以上要するに、地形性の影響が顕著でない場合には台風モデルは実際の風況を比較的良好再現するが、大阪湾内のように、狭い海域でかつ周囲の地形が複雑な場合には、実際の風況との相違がとくに風向について出現するものと考えられる。

## 5. 結 語

本研究では、実測風がその周辺の海域の風特性を代表

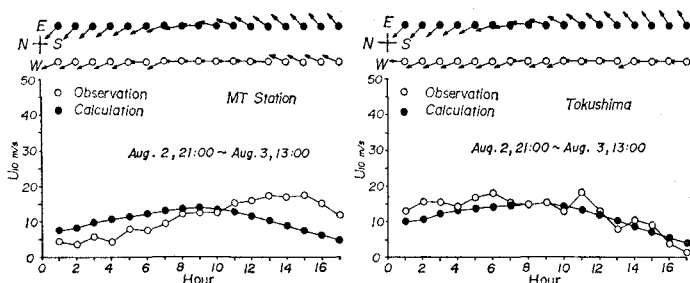


図-11 計算結果と実測結果の比較(台風7808号)

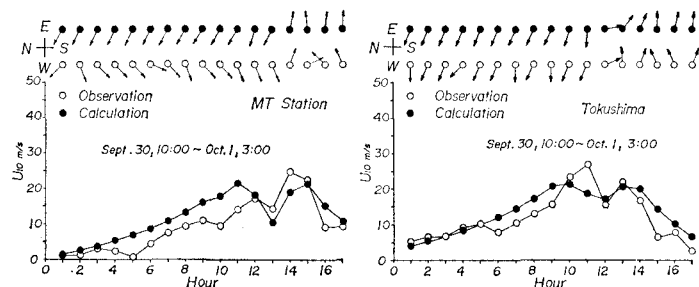


図-12 計算結果と実測結果の比較(台風7916号)

すると仮定して、大阪湾内外の16地点における実測風の内挿結果から海上風の平面分布を求めた結果、地形特性による風の集中・発散や台風に伴う渦などかなり詳細な海上風の平面分布特性が明らかになった。また、台風モデルによる推定結果との比較から、周囲の地形特性が複雑な狭海域における海上風を台風モデルによって推定すると、とくに風向について実際の風況との相違が現われることがわかった。

最後に、本研究の実施にあたり御指導賜った京大防災研究所土屋義人教授ならびに資料の整理や図の作成に助力願った愛媛大学工学部海洋工学科大福学技官に謝意を表明するとともに、本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究(代表・京大土屋義人教授)による研究成果の一部であることを付記する。また、多数の風資料を提供載いた運輸省第三港湾建設局を始めとする関係各機関に深甚の謝意を表する。なお、本研究の計算はすべて愛媛大学計算機センターのFACOM 230-28に依った。

## 参 考 文 献

- 1) Segerlind, L. J., 川井忠彦監訳: 応用有限要素解析, 丸善 K.K., 1978.
- 2) 上野武夫: 瀬戸内海中部高潮の総合調査報告, 気象庁技術報告, 第36号, pp. 16~21, 1964.