

海上風と波浪予測に関する一考察

三木 享*, 小原恒平**, 川鍋安次***

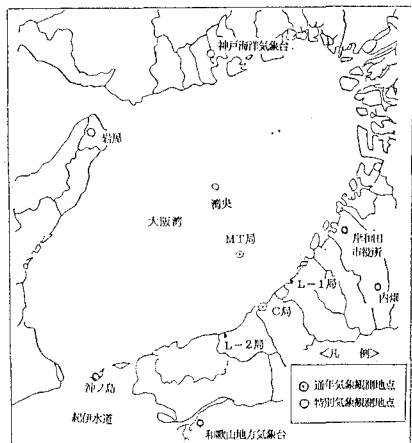
1. まえがき

関西国際空港の建設は、従来に例を見ない大規模かつ急速施工の海上工事であることから、工事の手戻り等を極力防止するなど、とくに工事の効率的な実施を図る必要がある。

本研究は、こうした制約の厳しい海上工事を適切に管理するために必要な空港建設予定地における海上風と波浪の予測手法を開発することを目的とする。

本予測手法の特徴は、従来の海上風及び波浪の予測において行われてきた経験に依存した主観的な予測手法に代えて、電子計算機を活用し、極力主観に頼らない即時的、客観的な予測手法とした点である。

なお、本研究の予測においては、実況、予測天気図等
各気象官署の資料の他、入力データ及び検証データとし
て、空港建設予定地に設置している海上観測塔（MT 局
図-1）における風及び波浪データを用いている。



図一1 大阪湾周辺の気象海象の観測地点図

2. 予測手法の開発

(1) 予測ケース

海上工事を適切に管理するためには、作業船の運用等数日程度の精度の高い作業管理レベルでの気象海象予測やこれより時間スケールの長い工程管理レベルでの気象海象予測が必要である。こうした工事管理からの要請と気象の時間スケールやその予測精度等を勘案し、予測のケースとして、短時間予測（数時間）、短期予測（3日以内）、週間予測（1週間程度）に区分し、各ケースにおける予測手法を開発してきた。ここでは、それらのうち短期予測と週間予測の手法を紹介する。

(2) 短期予測

a) 風の予測

海上風の予測は、図—2 に示すように、特定時刻の予測、時系列変化に伴う予測、特異現象に伴う予測から構成され、最終的な予測値は、時系列変化に伴う風の予測値を基本として、他の方法による予測を補完的に行うことによって決定する。

時系列変化に伴う予測においては、予想天気図をもとに、気圧パターン、低気圧の経路等から気象じょう乱の有無を判断し、じょう乱がない場合は、無じょう乱時に大きな影響力を持つ海陸風等の局地現象を対象とした手法を用いる。また、じょう乱がある場合には、じょう乱の継続時間を考慮しつつ、じょう乱のパターンを日本海低気圧、二ツ玉低気圧南岸低気圧及び台風に分類してそれぞれのパターンにおける気象変量と MT 局の風速の関係式より予測する。

低気圧の場合には、各低気圧のタイプ毎に位置する経度によって 4 種類に区分し、計 12 個の予測式を作成している。予測式は、理論的に低気圧の位置や中心気圧等から求められる推算風速 V_p 及び傾度風 V_{gr} に補正を加え、これと低気圧の進行速度 C 、12 時間発達量 D_e 、低気圧の中心から東西 1500 km の気圧差 Δp 等 (二ツ玉低気圧の場合はこれに相対距離 A を加える) を変量とした次式を設定し、重回帰分析を行って係数を決定したものである。

$$Y=aV_n+bV_{gr}+cC+dD_e+e\Delta p+fA+g$$

* 正会員 工修 運輸省 第三港灣建設局 関西国際空港計画室調査課長

** 正會員 工修 運輸省第三港灣建設局 関西國際空港計画室調査課補佐 佐宣

日本気象協会関西本部調査部

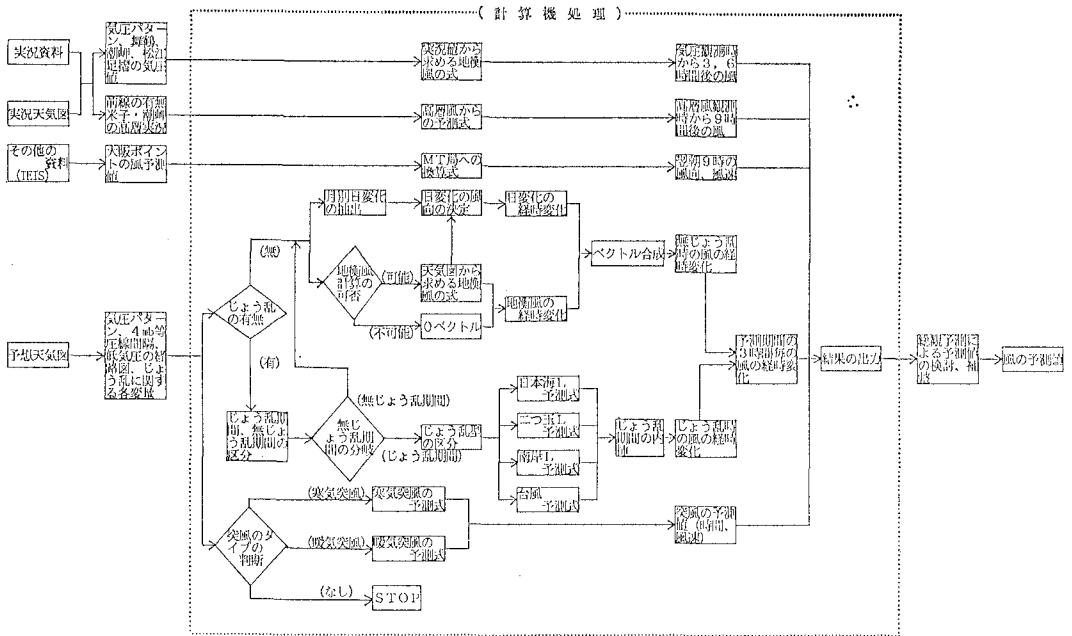


図-2 風の予測手法の構成

表-1 得られた風の予測式

種類	経度	予 測 式	相関係数
日本 海低気圧	132°	$Y = -4.6 + 1.00V_p + 0.19V_{gr} - 0.60D_e$	0.70
	136°	$Y = -10.9 + 0.86V_p + 0.20V_{gr} + 0.17C$	0.76
	140°	$Y = -1.9 + 0.42V_p + 0.35V_{gr} + 0.07C - 0.23D_e$	0.72
	144°	$Y = -15.2 + 0.55V_p + 0.22V_{gr} + 0.31D_e$	0.74
二子 低気圧	132°	$Y = V_p$	0.60
	135°	$Y = -2.1 + 0.81V_p + 0.17V_{gr} - 0.04D_e + 0.5 A$	0.76
	138°	$Y = -1.8 + 0.62V_p + 0.30V_{gr} + 1.8 A$	0.75
南緯 低気圧	130°	$Y = -0.1 + 0.24V_p + 0.22V_{gr} + 0.13C - 0.21D_e$	0.53
	134°	$Y = 3.6 + 0.25V_p + 0.28V_{gr} - 0.24D_e$	0.68
	138°	$Y = 11.7 + 0.36V_p + 0.16V_{gr} - 0.12C$	0.51
	142°	$Y = 2.8 + 0.46V_p + 0.09V_{gr} - 0.55D_e + 0.24(W-z)$	0.71

各低気圧パターン、経度における予測式を表-1に示す。

また、台風の場合には、予測地点への最接近時とそれ以外に区分し、各々の予測式を求めている。最接近時の予測式は、台風に伴う平均最大風速を対象としたもので、台風の構造から予測地点の東側を通過する場合と西側を通過する場合に分けて求めている。最接近時以外の予測式は、傾度風を対象としたものである。なお台風の予測では、資料数の問題から淡路島の洲本測候所の資料を用いているため、MT局の風を予測する場合には洲本の予測値から換算して求めることとしている。

次に、特定の時刻の風の予測については、実況値から求められる地衡風からの予測、高層風からの予測、TEISからの予測の3手法を用いる。実況値から求める地衡風

については、舞鶴、潮岬、松江、足摺の4点の気圧値から地衡風を計算し、MT局への換算式を用いて予測する。高層風の予測では、米子と潮岬の850mbの実況値からその観測時間の9時間後のMT局の風を予測する。また、TEIS予測風からの予測は、TEIS予測風をMT局の局地特性で補正した換算式を用いて行う。

特異現象に伴う風の予測手法は、日本海低気圧に伴う突風を対象としたものであり、暖気突風と寒気突風の予測式から構成され、それぞれ日本海低気圧の経路とMT局の最短距離及び気圧傾度、低気圧の12時間発達量及び気圧傾度を変量とした予測式に基づいている。

b) 波浪の予測

波浪の予測は、図-3に示すように風波及びうねりの予測手法から構成される。

風波の予測は、風の予測結果を用い、有義波法によって行う。すなわち、予測に用いる有効フェッチを、大阪湾の海図から16方位毎に設定し、ウィルソン法をもとに大阪湾の波浪特性を考慮して得られた次式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{gH_{1/3}}{2\pi U} &= 0.0025 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.4} \\ \frac{gT_{1/3}}{2\pi U} &= 0.057 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $H_{1/3}$ は有義波高(m)、 $T_{1/3}$ は有義波周期(s)、 F は有効フェッチ(m)、 U は海上10mの風速(m/s)、 g は重力加速度(9.8m/s²)である。

一方、うねりの予測は、台風によるうねりと低気圧に

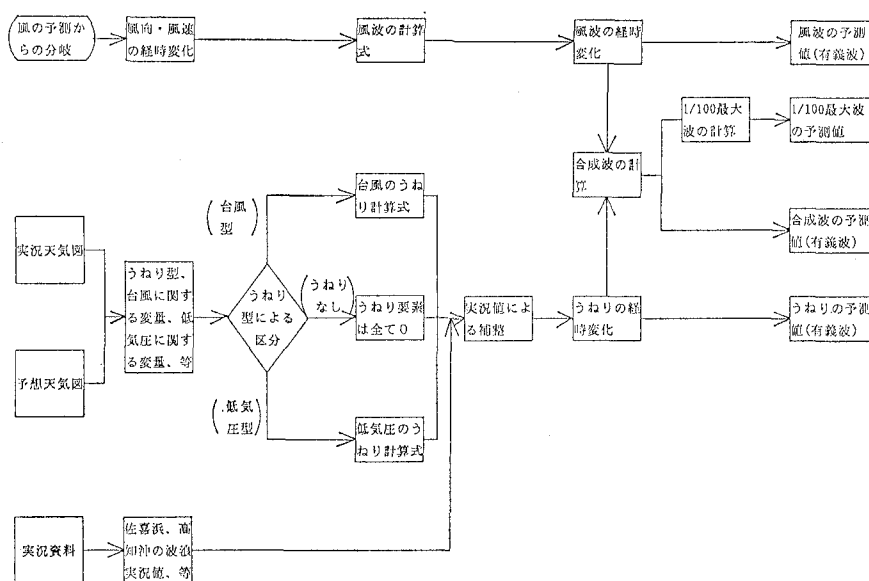


図3 波浪の予測手法の構成

よるものとに区別して次のように行う。

前者では、まず P. N. J 法を改良したうねりの推算式による紀伊水道の入口におけるうねりを推算し、これに MT 局まで伝播するための減衰係数を乗じて予測する。台風域内での波の発生については、吹送距離と吹続時間とから波が十分発達している場合と未発達の場合とに区分して、前者ではピアソン・モスコビツのスペクトルを、また後者では光易Ⅱ型スペクトルを用いる。さらに、推算値の伝播時間の遅れを補正し、また、台風の移動に伴う波浪の影響を考慮するため、方向分散係数を導入して紀伊水道入口におけるうねりを推算する。

後者では、低気圧が紀伊水道沖合と紀伊水道内に位置する場合に区分する。紀伊水道沖合に位置する場合には、予想天気図から南系の風域場として平均的風速、吹送距離、吹続時間を推定し、ウィルソンの三場図法により紀伊水道入口のうねりを計算する。紀伊水道内で発生するうねりは、地衡風に紀伊水道の局地的効果を考慮して南系の風速を決定し、紀伊水道入口から友ヶ島水道までのフェッチ (92 km) を用いてウィルソン法により友ヶ島水道のうねりを算定する。これら各ケースに対し推算したうねりについて、さらに紀伊水道入口ないしは友ヶ島水道から MT 局へ伝播するための減衰係数と伝播時間の遅れを考慮して補正し、うねりの予測値とする。

(3) 週間予測

週間予測は、気圧配置など一週間程度の寿命を持つ気象現象を対象とし、日単位で行う。このため過去の天気図及び予想天気図を格子点気圧値でコード化して整理したデータベースから、予想天気図に類似した過去の天気

図を抽出し、それに対応する各要素の観測値を予測値とする類似天気抽出法を用いている。格子点気圧としては極東域 33 地点の気圧値を用い、類似度は、各格子点毎に予想天気図から求めた気圧値と過去の天気図から求められる気圧値との相関係数で表現し、これに季節特性を考慮する。このように計算される相関係数の大きなものから上位 10 位の類似天気図を用い、さらに天気図パターンを考慮して最良のものを抽出してこれを最終的な類似天気図とする。MT 局における予測値としては、この類似天気図の日時の実際の MT 局の実況値を用いる。

3. 予測手法の運用実験

前述した予測手法を用いて、昭和 59 年 1 月から 3 月にわたって予測手法の運用実験を行った。ここでは、そのうち短期予測として翌日 3 時から 24 時までの予測値と実況値の時系列的対応関係をとりあげ、その結果を図—4, 5 に示す。

これによると、大局的な時系列変化の傾向はかなり良い対応を示している。図で示した予測値と実況値の誤差は、予想天気図の精度と予測手法の精度に起因するものから成ると考えられ、前者は不可避免的な誤差として残るものの、後者はさらに運用実験の結果に検討を加えることによって、一層の予測精度の向上が期待できるものと考えられる。

4. 工事管理における予測の適用

気象海象予測を海上工事に適用する場合、必ずしも予測値が連続量として与えられるとは限らず、工事内容に

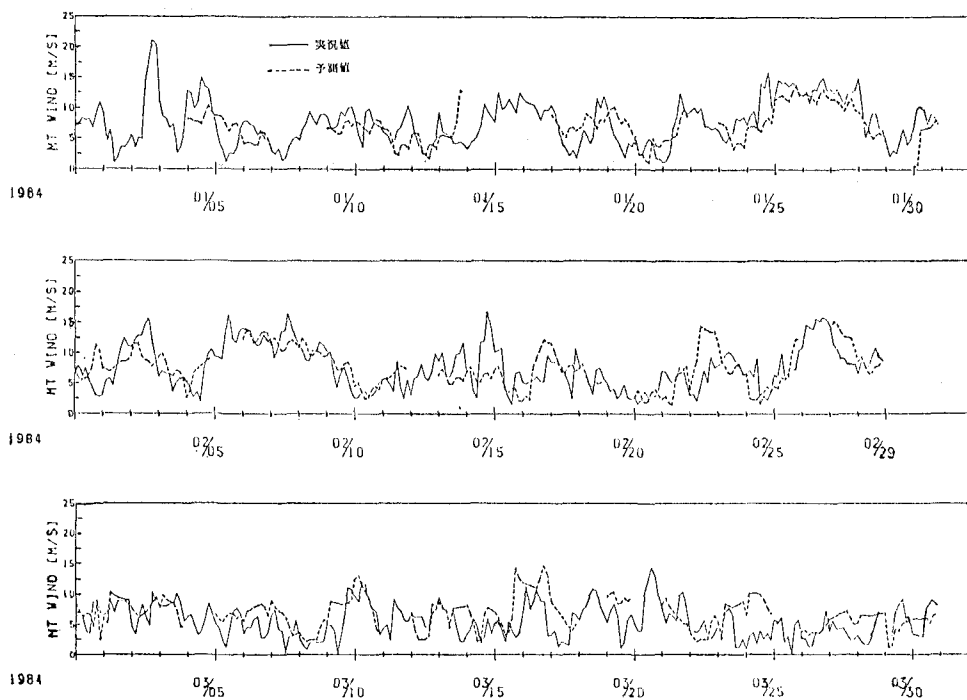


図-4 風の予測値と実況値の関係

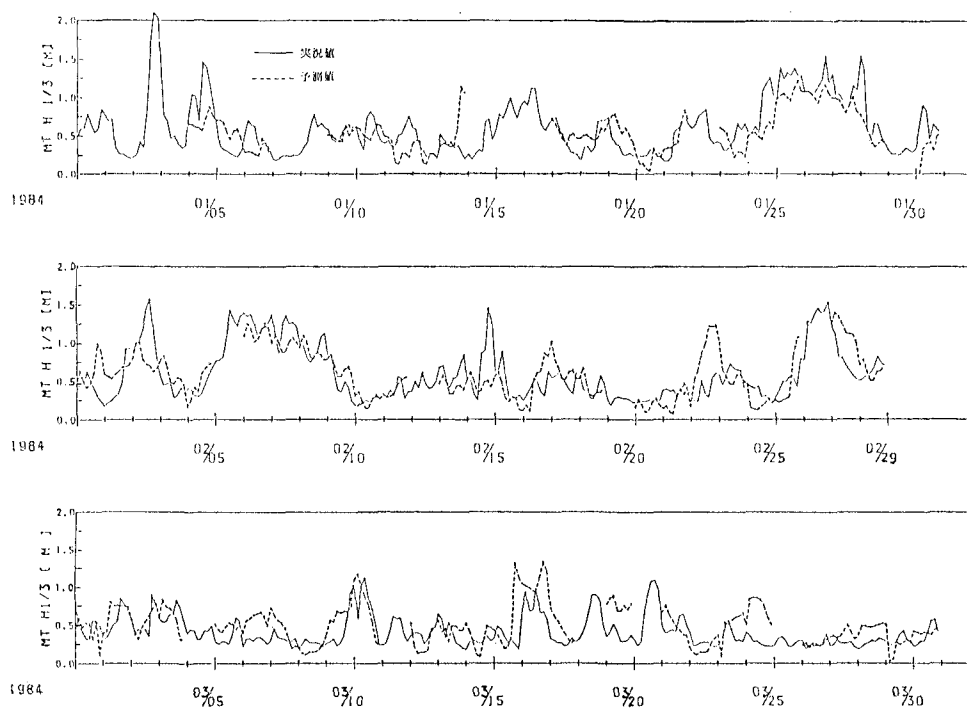


図-5 波浪の予測値と実況値の関係

応じて設定される作業の限界条件に基づき、予測した結果がその条件以上か以下かという形で判別利用される場合が多い。しかし関西国際空港の建設工事のように、各種の工事が同時に存在する場合には、作業の限界条件も複数あり、予測値を連続量として表現する必要性が生じてくる。ここでは、そうした連続量として表現した予測値の工事への適用性について概述する。

一般に、風や波浪の実況値と予測値及び工事の限界条件の関係は図-6 のようになると考えられる。すなわち、予測値と実況値の関係は、基準値を境にして作業可能、作業不可能、経済リスク（予測値が実況値を上回り、予測に従って作業を中止した場合に経済的な損失が生ずる）、危険リスク（予測値が実況値を下回り、作業が危険な状態となる）に分けられる。このうち、予測精度としては、前2者が適中となる。

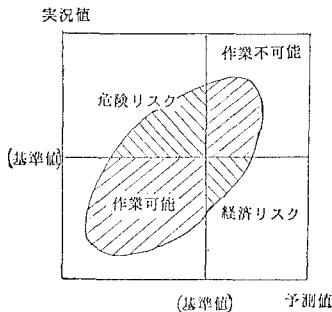


図-6 予測結果の分類

ここで、限界条件は、作業を実施するために必要な予測値が、一定時間内に基準値を越すかどうかという時間と量の2面性を有すると考えられる。そこで、前述の予測実験の結果をもとに、予測時間幅毎に基準値を変化させた場合の適中率を算定してみた。その結果を図-7 及び図-8 に示す。仮に、海上工事の作業の限界を風速で 10 m/s、波高で 1 m とすると、最も適中率の低下する 24 時間幅の予測においても、予測値に風速で 1~2 m/s、波高で 0.1~0.2 m の許容範囲を設ければ、80% 程度の適中率が得られることになる。

5. あとがき

本研究では、関西国際空港の建設にあたって適切な工

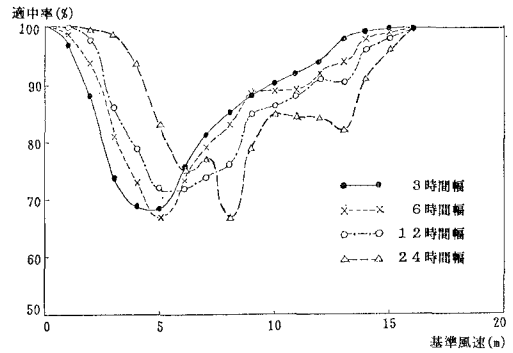


図-7 風の予測の適中率の変化

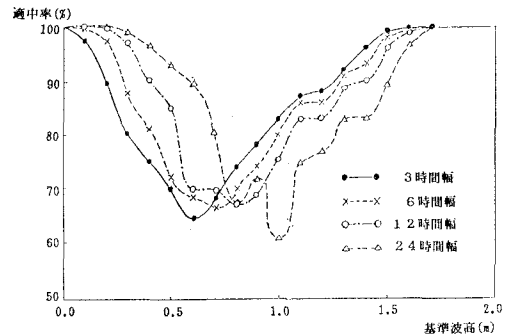


図-8 波浪の予測の適中率の変化

事管理を行うため、風及び波浪の予測手法の開発を試み、それを試験的に運用した結果、実用上有効であることが確かめられた。今後、予測精度の一層の向上を図るとともに、この成果を工事に反映できるようなシステムの構築が望まれる。

最後に本研究を進めるにあたり、終始適切なお指導、ご助言をいただいた京都大学土屋義人教授をはじめ、諸先生方に深く感謝の意を表するしだいである。

参考文献

- 1) Pierson, W. J. and L. I. Moskowitz: A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. T. Kitaigorodski, J. Geophys. Res., Vol. 69, pp. 5181~5190, 1964.
- 2) 光易 恒: 風波のスペクトルの発達 (2), 第 17 回海岸工学講演会論文集, pp. 1~7, 1970.