

気象・海象予測システムの精度向上に関する取り組み

連絡誘導路工区 黒川 修治 ○森 仁司
 工事管理グループ 野口 哲史
 (株)ウェザーニューズ 河辺 照之 佐藤 真人
 キーワード 海洋土木工事, 気象, 海象, 予測モデル, 観測データ

1. はじめに

大規模な海洋土木工事においては、多くの作業船舶が工事海域内で密集して作業することから、作業実施の可否の判断はもとより避泊の全体計画をする上で、工事海域における精度のよい気象・海象予測が必要となる。東京国際空港D滑走路建設外工事（以下、本工事）では、工事海域内に観測櫓を設置し、気象・海象の現況把握を行うと共に、気象予報会社と共同で、この観測データを用いて本工事のための気象・海象予測システムを開発した。本報告は、実測データに基づく予測システムの検証と、その予測精度の向上に関する取り組みについて報告する。

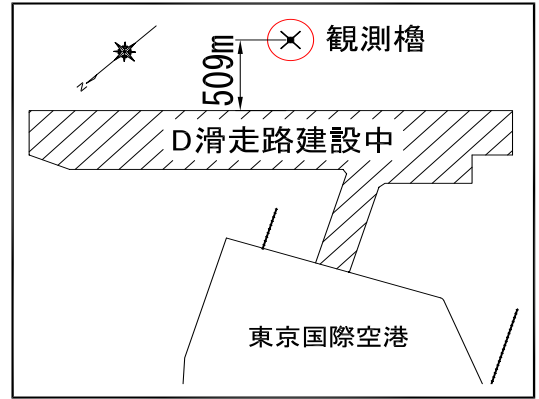


図-1 観測櫓設置場所図

2. 気象・海象観測システムの概要

観測システムは、D滑走路建設位置近傍（図-1参照）に観測櫓（写真-1）を設置し、気温、気圧、風向風速、潮位、波高及び流速を測定している。観測データは、特定小電力無線、簡易無線及びMCA無線により10分毎に伝送され、本工事の建設共同企業体のイントラネットで、図-2に示すように帳票化（グラフ表示化）されて閲覧できるようにした。予報システムは、上記のイントラネットにおいて、図-3に示す様に短期予報（48時間）及び長期予報（1週間）を提示すると共に、風や波の予測値を本工事の作業中止基準を考慮して安全、注意、警戒の三段階に分けて表示している。



写真-1 観測櫓全景

また、この気象情報に対しては、建設共同企業体と気象予報会社間で24時間情報交換が可能である。

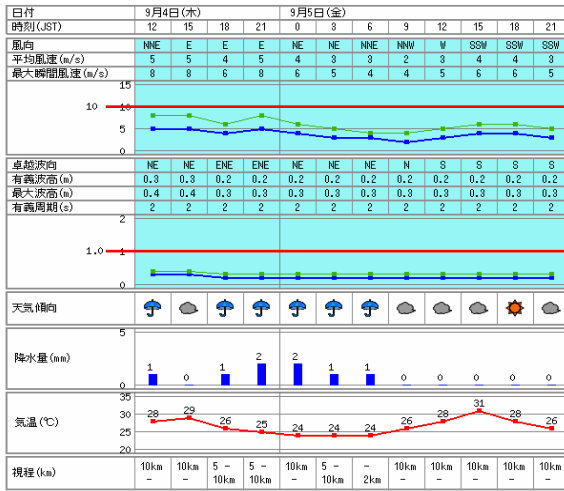
時間表示		全表示		潮位表示		2008年09月06日										ズームイン		ズームアウト		帳票	
時間	風向	風		波浪			潮位		気温 (°C)	気圧 (hPa)	流れ										
		平均風速 (m/s)	瞬間最大風速 (m/s)	波向	有義波高 (m)	有義波周期 (s)	最大波高 (m)	潮位 (A.P.+cm)			潮位偏差 (cm)	上層			下層						
											流向	水平速度 (cm/s)	鉛直速度 (cm/s)	流向	水平速度 (cm/s)	鉛直速度 (cm/s)	流向	水平速度 (cm/s)	鉛直速度 (cm/s)		
0:00	E	3.8	4.6	SW	0.26	2.9	0.33	85.0	-15.0	25.2	1016.0	N	5.72	0.2	W	10.73	-0.3	W	10.43	-0.5	
1:00	E	4.0	5.1	S	0.29	3.0	0.37	67.0	-6.0	25.0	1015.9	N	8.45	-1.3	W	21.04	0.4	NW	6.23	-0.8	
2:00	NE	4.6	5.6	SW	0.23	2.8	0.29	57.0	-1.0	24.5	1015.9	NE	14.71	0.0	NW	17.02	0.0	N	5.98	-0.9	
3:00	E	3.6	4.6	N	0.24	2.7	0.3	59.0	1.0	24.6	1015.9	NE	14.35	-0.4	N	9.98	-1.0	N	8.58	0.1	
4:00	E	3.8	4.9	S	0.21	2.8	0.26	70.0	-1.0	24.6	1015.8	NE	14.67	0.0	NE	4.53	0.3	N	8.88	-0.1	
5:00	NE	2.9	4.1	S	0.18	3.1	0.23	91.0	-2.0	24.5	1016.0	N	19.84	0.4	NE	10.1	0.4	NE	12.54	1.0	
6:00	NE	2.8	3.6	W	0.15	3.1	0.19	113.0	-5.0	24.4	1016.5	N	16.1	0.6	NE	11.4	-0.7	N	10.84	-0.2	
7:00	NE	2.9	3.8	NE	0.2	3.1	0.25	134.0	-8.0	24.2	1016.8	NE	19.82	-0.3	NE	19.49	0.0	NE	8.03	0.5	
8:00	NE	2.3	3.0	E	0.24	3.0	0.3	147.0	-10.0	24.3	1016.5	N	14.67	-0.2	NE	10.96	0.1	N	1.91	-0.6	
9:00	NE	2.3	3.1	NW	0.18	3.1	0.23	150.0	-11.0	24.5	1016.7	N	11.7	0.3	NE	3.5	0.0	W	4.74	-0.3	
10:00	NE	2.3	3.4	S	0.22	3.0	0.28	143.0	-13.0	24.8	1016.8	NE	3.19	-0.5	SW	5.33	0.4	SW	7.28	-0.3	
11:00	E	2.7	3.5	NE	0.23	3.0	0.29	133.0	-11.0	25.3	1016.2	E	3.63	-1.0	SW	8.3	0.3	SW	7.69	-0.3	
12:00	E	1.7	2.4	SW	0.19	3.2	0.25	124.0	-5.0	26.3	1015.6	E	3.42	0.1	S	3.42	-0.2	SW	10.29	0.1	
13:00	E	2.6	3.1	S	0.22	3.3	0.28	117.0	-1.0	27.0	1014.9	N	6.14	-0.3	W	4.18	-0.3	W	9.43	-0.1	
14:00	E	1.8	2.4	E	0.19	3.2	0.24	114.0	1.0	27.5	1014.0	N	12.95	-0.4	NW	4.06	0.2	W	3.3	0.1	
15:00																					
16:00																					
17:00																					
18:00																					
19:00																					
20:00																					
21:00																					
22:00																					
23:00																					

図-2 観測データの表示例

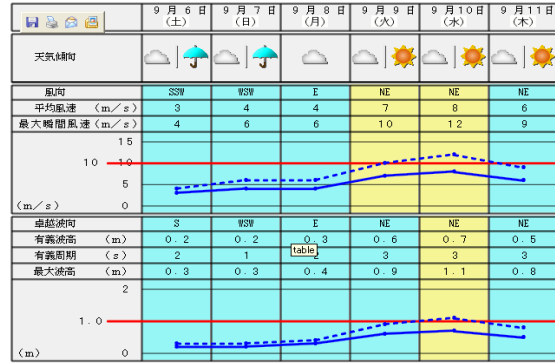
この情報は毎日4時頃と16時頃に更新されます。(更新時刻:09/04 04:25)

天気概況 関東地方は気圧の谷の影響を受けるため、湿った空気の流れ込みやすい状態となります。今夜から明日にかけては、曇りの多い天気となり、雨の降る所もある見込みです。

RCコメント これから明日朝の内にかけては、作業中止基準に達するような強い風は予想されません。これから明日朝の内にかけては、作業中止基準に達するような波は予想されず比較的影響が軽やかでしょう。



週間対応策支援情報 (羽田沖)



※ (天気傾向)「→」「↑」のち、「↓」「←」のときどき
上記予測値は天気傾向(24時間傾向)を除いて、全て、予想対象日午後9時における値となります。この情報は毎日午前4時頃に更新されます。

図-3 気象・海象予報の表示例

3. 観測データと予測値の比較

図-4は、平成19年8月の観測櫓の風速の実測値と予測値を比較したものである。図より、実測値の方が、予測値よりも大きい傾向が見られる。また、実測値が、10m程度の風速を記録しているのに対して、予測値は、3m程度の風速となっており、その差が顕著な部分(図中の赤線の範囲)がある。この部分の実測値は、1日の内、昼過ぎに風速のピークが発生するという周期的な変化を示していることから、海陸風であると判断された。したがって、予測値の傾向としては、海と陸の気温差に起因する海陸風の影響を、うまく把握、再現できていないと考えられた。

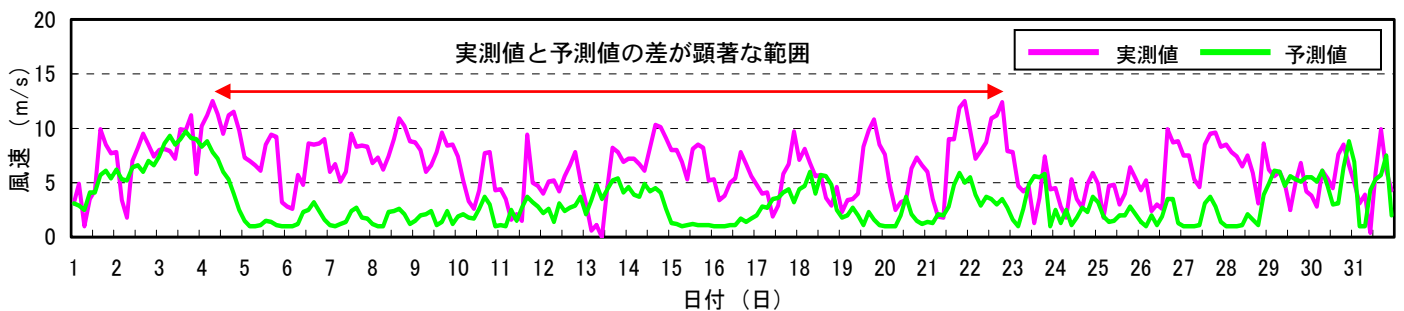


図-4 実測値と予測値の比較(平成19年8月)

4. 観測データと予測値の乖離の原因についての考察

1) 気象予報の流れ

現在、気象予報は、気象庁において、図-5に示す様に地球の大気層を格子で細かく覆い、そのひとつひとつの格子点の気圧、気温、風などの値を、世界中から送られてくる観測データを使って求め、これをもとに、「数値予報モデル」と呼ばれるプログラムを用いて、未来の気象状況の推移をスーパーコンピュータで計算している。この数値予報モデルの結果は、格子点値として出力され、民間の気象予報会社に提供される。1) 気象予報会社は、この数値予報の格子点値を利用して独自に構築した解釈プログラムにより、独自の気象や海象予報を提供している。

気象庁は、従来、数値予報では、アジア領域を 20km 格子毎で分割した「地域モデル」を使用していたが、コンピュータのハードウェア性能の進歩により、地球全体を格子点間隔 20km 毎に分割した「全球モデル」を計算することが可能となったため、「地域モデル」を廃止し、「全球モデル」に移行した。

2) 乖離の原因

観測データと予測値の乖離の原因としては、まず一つは、本JVの気象予報会社の解釈プログラムも、平成19年6月より、全球モデルに対応させたが、モデル特性が変化したことで、解釈プログラムとの適合性が低下したことで、二つ目は、この解釈プログラムが、日本の領域を格子点間隔 20km 毎に分割して、その格子点上の風速を算出するものであることから、海陸風のような、狭い地域の大気の循環現象を精度良く再現するには、解釈プログラムの格子点間隔が粗すぎたものと考えられた。さらに、平成19年の夏は、熊谷で観測史上の最高気温を更新するなどの猛暑であったため、平年に増して海陸風が強かったことも乖離を助長した一因と考えられる。

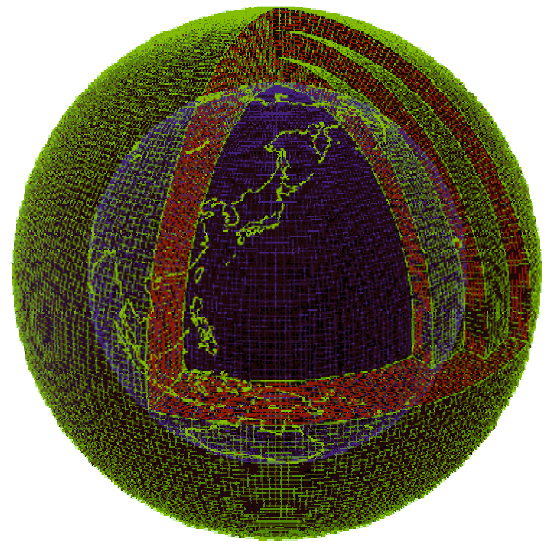


図-5 気象庁：数値予報モデルの概念図¹⁾

5. 予測値の修正

本工事では、長尺鋼管杭の打設やジャケットの据付など、風及び波に大きく影響を受ける作業が多いことから、気象・海象予測には、通常の海上工事以上に高い予測精度が要求される。また、風やこれに起因する波を精度良く予測することができれば、作業実施の可否や避泊の判断を的確に行うことができ、作業効率の向上及び工事の安全につながる。そこで、観測値の実測値を用いて予測値の精度を向上させることを試みた。

1) 予測値の修正手順

まず、狭い地域の現象を再現するために、気象庁が提供する日本周辺を格子点間隔 5 km 毎に分割した「メソモデル」の格子点値（以下、5 km モデル）を使用することにした。

つぎに、5km モデルに対応した解釈プログラムは未だ構築されていなかったため、以下の手法で予測値を修正した。

- ① 5km モデルの上空の格子点値の気温と地上の格子点値の気温差から、大気の大気対流の度合いを推定し、上空の格子点値の風速値から、地上の風速値を推定した。
- ② 観測値の実測値と同時刻の①の地上の風速値の推定値との差を統計処理することで、工事海域である羽田沖の地形特性（海と陸の境界部で摩擦抵抗が変化）を加味した 5 km モデルの補正値を決定した。
- ③ 予報の作成に際しては、上空の風速値から推定した地上の風速値を、②の補正値を用いて修正した。

2) 予測値の修正結果

図-6 は、平成19年9月の観測値の風速の実測値、格子点間隔 20km モデルの予測値（以下、20km モデル）を比較したものである。さらに、9月17日からは、5 km モデルの予測値を合わせて表示している。実測値と予測値との比較では、20km モデルの予測値と実測値は差異があるが、5 km モデルの予測値は、実測値との差異は小さく、現象を精度良く再現できていることが分かる。

一般に、海陸風は、汀線際の数 10km の範囲で生じる現象である。数値予測モデルで、気象現象を再現するためには想定範囲の中に格子点が 5～6 点必要とされるので、5 km モデルにしたことで予測精度が向上することは、これらの通説からよく説明できる。また、過去の現場の観測データを用いることで、ジャストポイントの補正値を得ることができるため、5 km モデルの予測値と観測値の乖離を小さくでき

たと考える。

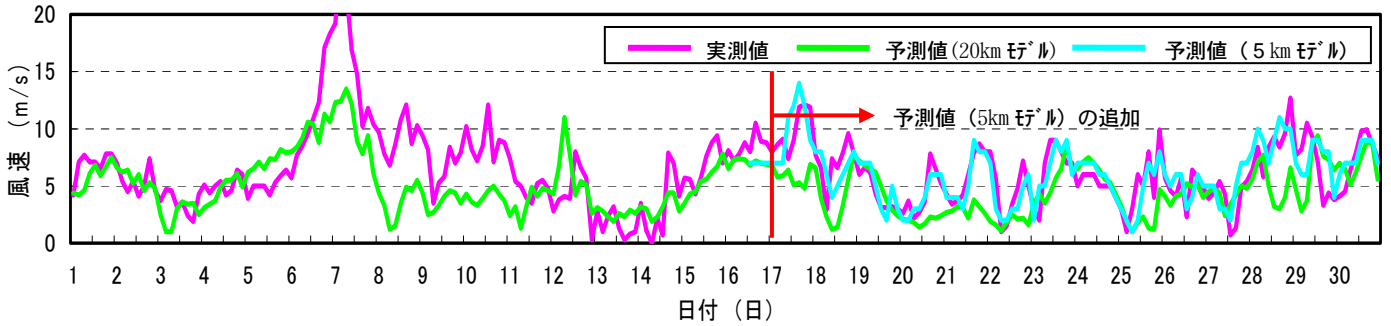


図-6 実測値と予測値の比較 (平成 19 年 9 月)

6. 予測値の精度向上

図-7は、平成 19 年 9 月 16 日から 10 月 31 日までの風速の実測値に対する、20km モデルの予測値と 5 km モデルの予測値の乖離の分布を示したものである。

図から、20km モデルの予測値の 2σ が 4.8、 3σ が 7.2 であるのに対し、5 km モデルの予測値では、 2σ が 3.4、 3σ が 5.1 となっており、予測値の修正の効果により、予測値過小の範囲が小さくなり予測精度が向上したことが確認できる。

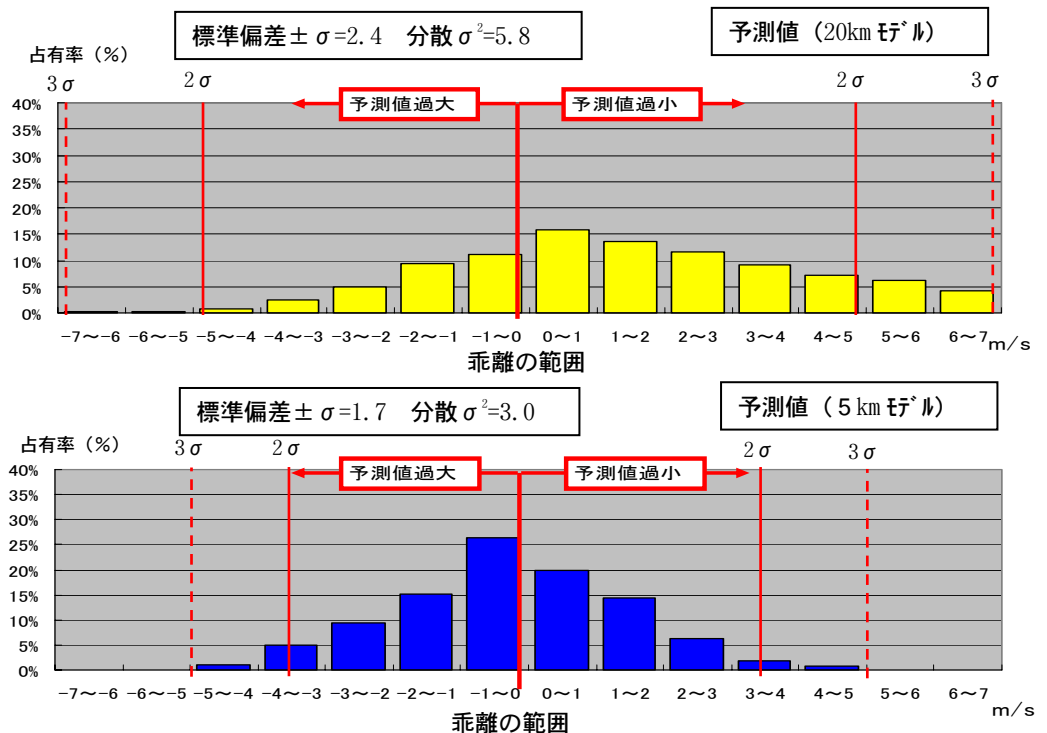


図-7 実測値と予測値の乖離の分布

7. 気象・海象予測システムの運用状況

本予測システムでは、予測精度の重要性と合わせて、気象・海象予測情報の工事への有効活用を重要視している。図-8は、平成 19 年 9 月から平成 20 年 11 月までの月別の各工区からの電話による問い合わせ件数を示したものである。風や波の影響を受け易い栈橋及び接続部は、平成 19 年 12 月より、長尺の鋼管杭や鋼管矢板の打設作業やジャケッ

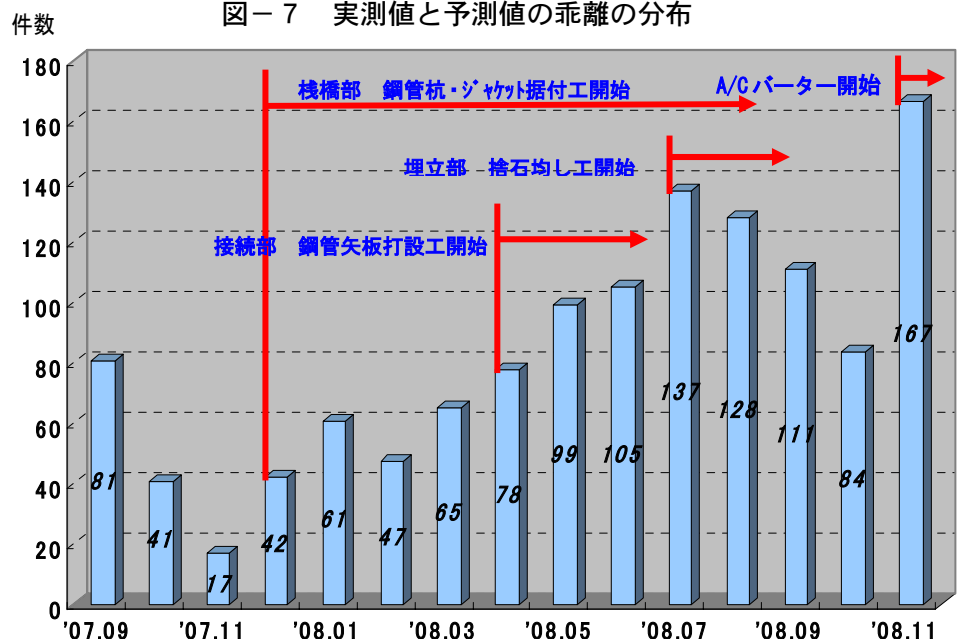


図-8 電話による問い合わせ月別利用件数

トの据付作業が開始され、埋立部も、平成 20 年 7 月から捨石均し作業が本格化した。前述の予測精度の向上はこれらの作業に間合わせる事が可能となると共に、それと併せて間合わせ件数も増加傾向となった。また、平成 20 年 11 月から、A 滑走路と C 滑走路の夜間の運用を入れ替えて(A/C パーターと称す)、A 滑走路の進入表面下でのジャケット据付作業が開始されると、さらに間合わせ件数が増加している。

図-9 は、平成 19 年 9 月から平成 20 年 11 月までの各工区からの電話による間合わせ利用時間帯比率を示したものである。

図より、午前中の利用頻度が多いことが分かる。午前中は、作業開始直後に、一日の天気を確認したり、明日の作業予定を検討する作業が重なるためであると考えられる。

また、午前 0 時から 3 時の深夜においても利用されており、本工区のような昼夜連続工事では、24 時間の電話間合わせができる体制が、施工中の安全管理に活用されていると言える。

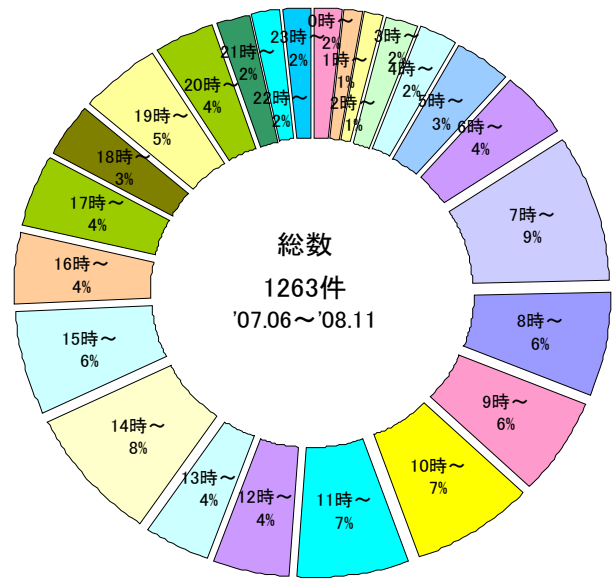


図-9 電話による間合わせ利用時間帯

8. 気象・海象急変時の連絡体制について

最近、ゲリラ豪雨に代表される狭い地域での気象の急変が生じている。この様な気象の急変に対応するために、羽田再拡張 D 滑走路 JV では、24 時間で連絡体制を構築している。

図-10 は、気象急変時の緊急連絡体制を示したものである。まず、気象庁から警報が発表された場合には、気象予報会社から、常時リアルタイムで JV 職員が常駐する船舶管理室に電子メール（自動）が届き、船舶管理室は、このメールの内容を航行安全情報センター及び各工区の運航管理者に電話と FAX で伝達する体制としている。

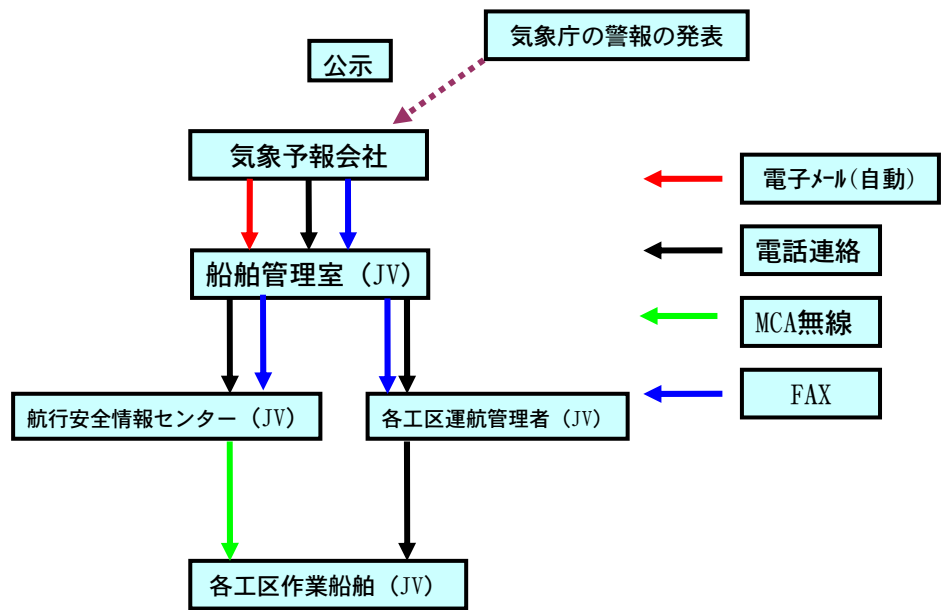


図-10 気象急変時の連絡体制 (24 時間)

航行安全情報センターは、MCA 無線により各工事船舶に警報の発表を連絡する。工区の運航管理者は、電話により各工区の工事船舶に連絡し、対応を指示することとしている。

つぎに、2 時間以内に気象の急変が予測された場合には、気象予報会社は、船舶管理室に電話と FAX により、その情報を伝達する。船舶管理室は、上記の気象庁の警報の伝達ルートと同じルートで、各工事船舶に気象の急変予測を伝達する。これにより、電話による間合わせと気象急変時の連絡体制と合わせて、本 JV では 24 時間の気象情報の双方向通信体制が確立されている。

9. 気象・海象予測システム改善への新たな取組みについて

気象予報は、予測期間が長くなるほどカオスと呼ばれる不確実性が増すことにより、的中率は低下す

る。このため、本予測システムにおいても、48時間先までは、3時間毎の詳細な予報を提示していたが、その先から1週間先までは、1日の内21時の予報のみを提示していた。

しかし、本工事では、若松（福岡）や津（三重）からジャケットを大型船で輸送するとともに、資材等は全国より運搬しているため、3日後の天候により搬入計画を立てる必要が生じてくる。

また、A滑走路とC滑走路の夜間の運用を入れ替えの実施に際しては、3日前に実施の意思決定をする必要がある。このような状況においては、3日先以降の詳細な予報の提示は、的中確率の低下があっても有用なものであると考えられた。

そこで、表-1に示すように、平成20年11月から数値予報モデルの組み合わせを変更した。また、これらの格子点値を取り込む解釈プログラムを構築することにより、3時間毎の詳細予報を1週間先まで延長し、1日4回の予報の更新を実施している。

表-1 数値予報モデルの組み合わせ表

予報日		1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
当初予報 H19.4～	格点間隔	20km		140km				
	予報表示間隔	3時間		24時間				
修正予報 H19.9～	格点間隔	5km		140km				
	予報表示間隔	3時間		24時間				
新予報 H20.11～	格点間隔	5km	20km	35km				
	予報表示間隔	3時間						

9. まとめ

本報告では、実測データに基づく予測システムの検証と、その予測精度の向上に関する取り組みについて述べてきた。その結果を以下にまとめる。

- ① 現場の観測値と予測値を比較した結果、海陸風をうまく再現できていないことが分かった。
- ② 上記の原因は、気象庁の数値予報モデルの変更により、既存の解釈プログラムとの適合性が低下したこと、工事領域を格子点間隔20km毎に分割したモデルは、海陸風のような、狭い地域の大気の循環現象を精度良く再現するには、格子点間隔が粗すぎたこと、平成19年の夏は猛暑であったため、平年に増して海陸風が強かったことであると推考された。
- ③ 数値予報モデルを20kmモデルから5kmモデルに変更し、現場の観測データをもとに修正することで、予測精度が向上し、海陸風をうまく再現できるようになった。
- ④ 24時間の気象情報の双方向通信体制を確立することにより、工事の工程管理及び安全管理に有効に利用されている。
- ⑤ 全国規模の資材搬入及び工程管理に役立てるために、3時間毎の詳細予報を、48時間先までから1週間先まで延長した。

10. おわりに

従来、天気予報は一方的な情報が伝達されるだけであったが、本工事では、JVと気象予報会社の間で双方向の情報伝達が可能になった。このため、施工者は、予報の内容についてこれまで以上に理解を深めることができ、予報提供者は、施工者のニーズをより深く知ることができるようになったと言える。本工事は、着工から20ヶ月を経過したが、まだ、多くの工事を実施する予定であり、工程管理及び安全管理のための気象・海象予測の精度改善は重要な課題の一つである。今後も、施工効率を上げることに寄与できる気象・海象予測システムの改善に取り組んで行く所存である。

参考文献

- 1) 気象庁：ホームページ>気象等の知識>天気予報・台風>数値予報とは
- 2) 森他：現場の観測データを用いた気象・海象予測システムの精度向上に関する一考察，土木学会第63回年次学術講演会概要集，第VI部門，pp. 731～732，平成20年9月