講座・土木と気象 その 9

港湾・埋立・干拓と気象

奥 田 穣*

港湾と埋立，干拓を一緒にして，これらと気象との関係を述べることは，それぞれ異質な条件のところで工事を行なうものであり，適切とはいいがたい面がある。それゆえ，これらに共通していえることと，それぞれに個有の問題とに分けて述べて行くこととする。

1. 沿岸における気象の特徴

港湾，埋立，干拓はいずれも陸地と海洋との境界が事業の対象となる。それゆえ，沿岸の気象条件が問題となる，ということは，沿岸で発生する気象それ自身が問題となるばかりでなく，気象によってひき起こされる波浪や高潮などの現象が問題となるということである。

日本列島は分水嶺から海岸までの距離が短い。さらに山地が海岸にせまり，勾配が急である。それゆえ，気象現象によって内陸部で起こった，たとえば洪水等の現象が，先きにあげた事業に対していかなる影響を与えるかが問題となることも考えなければならない。問題となる現象は，海からばかりでなく，内陸部からも押し寄せてくるからである。

(1) 風の分布

風は海岸から内陸に入るにつれて弱くなる。これは大切な性質である。陸地に対する摩擦によって起こる現象であるが，風速ばかりでなく，風向までもその影響を受ける。

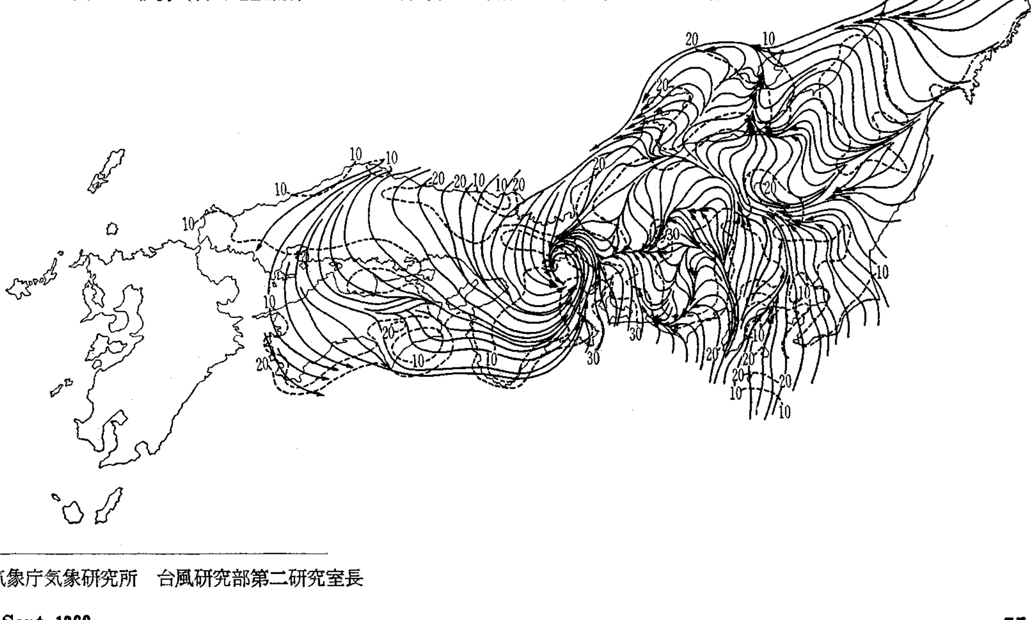
港湾から 50 km 以内の海域は，われわれ気象家にとっても未知の分野が広い。それは，船舶気象電報が 50 km 以内の領海ではうつ必要なしという現在の規定によって，沿岸海域の気象資料がほとんどないためである。しかし，そのために沿岸部の気象状態，特に風の状態がどうであるかがわからないとなると，気象家の名おれである。流体力学における実験や，その他の物理的考察を基にして，定性的な論議を進めて行きたいと考える。

近頃発達した人工衛星によって，地球上の雲を写真にとり，それを地上に電送することに成功した。そして，それは沿岸部における風の分布を非常によく教える。

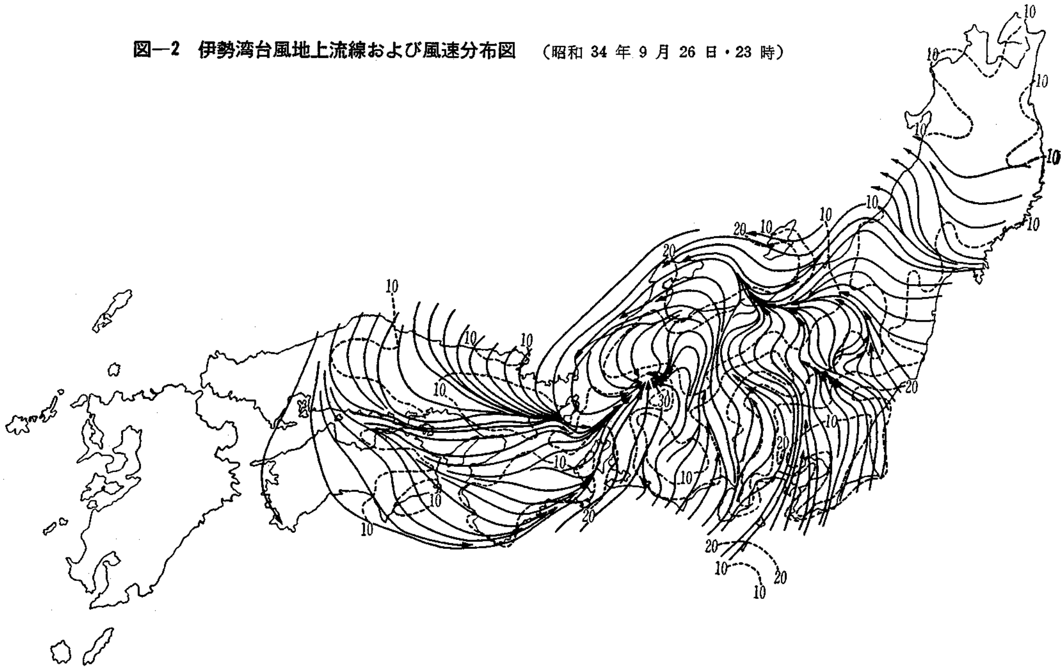
冬季季節風はご承知のように，北～北西の強風である。この季節風の場合に，太平洋側まで吹き抜ける場所がいくつかある。その主な地域をあげると，

(1) 関門海峡から豊後水道
(2) 若狭湾から関ケ原を通り，伊勢湾
(3) 利根川に沿って太平洋
(4) 最上川をとおって仙台湾
(5) 津軽海峡
(6) 小樽湾から苫小牧

図―1 伊勢湾台風地上流線および風速分布図 (昭和 34 年 9 月 26 日・21 時)



* 気象庁気象研究所 台風研究部第二研究室長



図―2　伊勢湾台風地上流線および風速分布図　（昭和 34 年 9 月 26 日・23 時）

その他に紀伊水道や伊那谷から浜松付近に抜ける経路などがある。

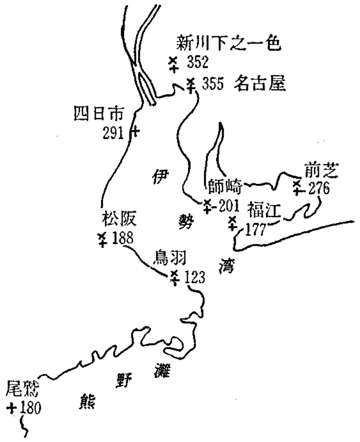
これらの風の経路は，台風シーズンには，逆に南～南東の強風の経路となる。図―**1**，**2** は，昭和 34 年9月26 日に来襲した伊勢湾台風のときの，観測された地上風を基本にして作った流線図である。台風の東側の部分では，南～南東の強風が地形によって風向を変えながら台風に向かって吹き込んでいる様子がわかるだろう。また，瀬戸内海や淀川流域などでも風が収束している様子が出ている。

以上のことは，海岸構築物と気象との話とは無関係に思われるかも知れない。しかし，海岸に吹く風は，その場所だけでなく，日本列島の分布，海峡や湾，山脈，峡谷，河川などの大きい地形に影響されて吹いてきて，最終的に微細な付近の地形の影響を受けている。特に関係の深い強風の吹き方について，概略の知識を持ってもらいたいためである。

つぎに，伊勢湾周辺の風に注目していただきたい。高潮が最大潮位に達したのは 21 時 30 分前後である。21 時の流線は，ちょうど伊勢湾湾口から湾奥に向かって吹き込む形となっており，23 時の流線は，それからわずかにずれて，渥美湾の方向に向かっている。21 時以前の流線の状態はどうかというと，20 時は 21 時とほぼ同じ，17 時から 19 時まではほぼ南東の風，16 時以前は東寄りの風となっている。南に開放されている伊勢湾へは，台風が遠くにあったときから海水が湾内に運ばれてくる状態にあり，台風が近接した 20 時から 21 時，22 時頃は一番湾内に海水の運びこまれやすい風向となった。しかも最も風速の最大な時期である。なお，最高気象潮と

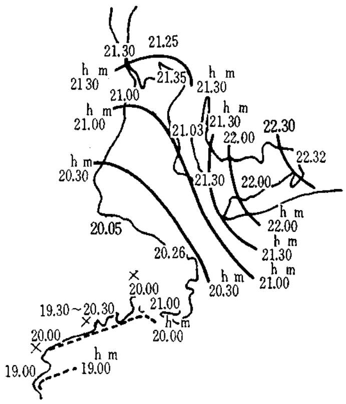
図―3　最高気象潮

（×印は名古屋地方気象台で調査した値）



図―4　最高潮位の起時

（×印は神戸海洋気象台の実地踏による）



最高潮位の起時を 図―3，4 に参考として示す。風向の微妙な変化が高潮の発生状態と微妙な関係を持っていることがおわかりになるだろう。

［島とその周辺の風］

島があった場合に，島の周辺で風がどのような吹き方をするかがいつでも問題となる。島には大抵の場合測候所が1ヵ所にしかない。そして，港のある場所と離れている場合も多い。測候所の風をもって島内各地の風であるとすることはできない。これを打開する方法は，流体力学で「カールマンの渦」という現象があるが，これを使って，風向の分布と速度の減衰を考えればよい。「カールマンの渦」は，層流中に球あるいは円柱をおいた場合に，球や円柱の背後の左右両側に，交互に反対向きの渦が発生して規則正しく並ぶ現象である。島および島周辺の詳細な風の分布を測定することは非常に困難であり，過去にその例を見たことはない。それゆえ，洋上でほぼ一様な風が吹いていると見られる場合に，島の影響で風がどのように乱れているかを知ることができなかった。ところが，気象衛星による雲の写真からきれいな「カールマンの渦」が発生していることがわかった。台風等の強風の場合に，果たしてどうであるかは不明な点も多いが，大気中の小規模な現象中にも発生していることが明らかとなった。

以上の事実から，風上では風向は島の中心から左右に分かれ，風下の背後となる部分では乱流が発生して，風向が不定となる。風速は，洋上を吹いてくる風の風向に接する側面が最大となり，背後の部分が最も弱くなる。

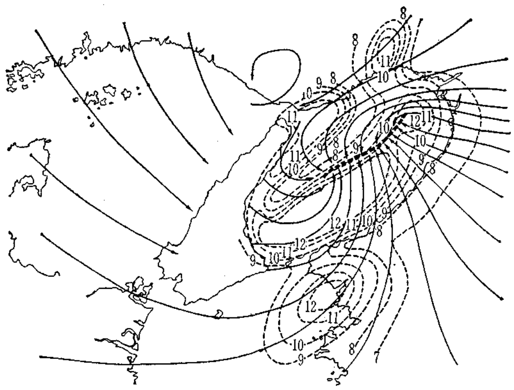
高潮や波浪などの海面現象も，風の分布によって，風上部分に大きく，風下部分では高潮は小さく，波浪は異常な状態となる。これは風下側に発生する風の乱流のためである（決定的ないい方をしたが，現象は見たことはない。こうなっても良いはずであるという意味に解していただきたい）。

［湾内における風の分布］

台風などの暴風時に湾内に風がどのように分布しているかを知ることは大切なことであるが，困難なことである。第二室戸台風が大阪湾を通過したときに，大型船舶は港外に避難した。そのときに船の人々の協力を得て，はじめて観測することができた。その資料と沿岸各地の風の資料を基本にして，台風中心部が通過した際の風力（ビューフォード階級）の分布と流線解析を川鍋安次と，大沢綱一郎が別個に行なっている。図―5 は大沢綱一郎の行なった解析をそのまま引用したものである。

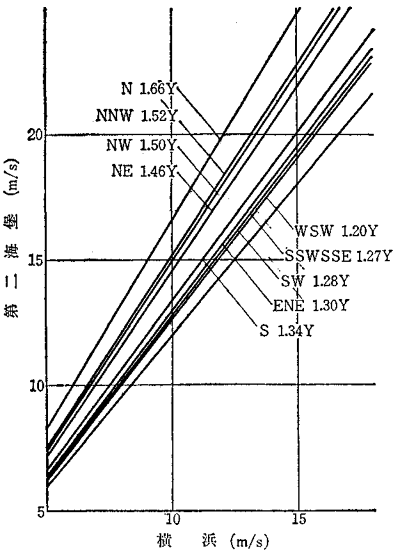
明石海峡と大阪府よりのところが強風域となり，淡路島によって風の遮られる湾の西側部分は風が弱くなっている。すなわち，海面を吹走してくる距離の長い方が強くなり，短い所は地形の影響によって弱くなっている。風向が反対の場合には，おそらく淡路島よりの方が強くなっていると考えられる。

図―5 流線と等風速線
（13 時）



これを，さらに東京湾について統計した結果を見ることにする。東京湾上の第二海堡で風の観測をはじめたのは昭和 35 年以後のことであるが，その結果を横浜地方気象台の三宅　勉がまとめたものである（図―6 参照）。

図―6 沿岸（横浜）と海上（第二海堡）の最大風速の比較



東京湾西岸に位置する横浜と東京湾のわずかに西寄り中央付近の第二海堡との風速の関係を風向別に調べた結果を示したものであるが，風向によって両者の間に差が大部あることを示している。すなわち，どの風向をとっても，海上風に近い風が吹いていると思われる第二海堡の方が強い風を示している。その中でも北風（Nと記してある）は横浜（Y）と記してある）の風速の1.66倍，一番差の少ない西南西の風（WSW）でも 1.20 倍であ

る。北の風のつぎに北北西の風（NNW）や北西の風（NW）が大きい値を示している。この事実から，湾上と湾内沿岸の風との関係は，つぎのように考えればよい。

（1）沿岸部で陸地を吹いてくる風向で，湾上に入って吹送距離が長い場合には，相対的に沿岸部の風速は弱くなる。

（2）湾上の吹走距離が短い場合には，沿岸部と湾上とでは風速差が少なくなる。

（3）湾上から沿岸部に向かって吹くような風向の場合には風速差はあまり大きくならず，沿岸部でも強風が吹きやすい。

さらに，等圧線傾度から計算した地衡風速との関係を見ると，V_g を地衡風速，V_y を横浜の実測風，V_k を第二海堡の実測値とすると，表—1 のようになる。ただし V_k は風速 15 m/s 以上の場合である。

表—1

風向	NW～N	N～NE	SSE～SW
(1) V_y/V_g	0.34～0.51	0.53～0.60	0.50～0.55
(2) V_k/V_g	0.52～0.70	0.77～1.00	0.64～0.74
(2)−(1)	0.18～0.19	0.24～0.40	0.14～0.19
(2)/(1)	1.4	1.6	1.3

湾内での風の詳細はまだわかっていない点が多い。そのために，高潮の予報式も完全とはいいがたい現状にある。しかし，以上のような点を十分考慮して，高潮・波浪等の付随的に発生する海面現象を検討すればよいのではなかろうか。波浪は同一風向で長時間，長い距離を強風が吹く場合に高くなる。吹走距離が関係することは風の場合と同様である。

高潮や波浪については，気象と海洋との境界領域の問題であり，工学の面からと理学の面から種々研究が進められているが，ここではそこまで立ち入らないで，気象の範囲にとどめる。これらの海面現象をひき起こす気象要素は気圧と風であるが，気圧は現在の観測網でも代表性があるために問題とはならない。しかし，風の分布は以上述べたように微妙な変化を示すことを忘れないでいただきたい。

（2）雨

一般に雨量は山間部に多く，沿岸部に少ないようにいわれる。しかし，これは平均的な状態にすぎない。沿岸平野の方がむしろ多い場合もある。また，扇状地形が海岸近くにまでせまっているところも少なくない。このような地域で豪雨が降った場合には，排水機能のいかんによっては港湾機能をまひさせることもあるし，埋立や干拓地がメチャメチャに破壊される。それゆえ，雨に対する考慮も十分払っておく必要が出てくる。

平地における豪雨の例として，銚子で約 140 mm の1時間雨量を記録しているし，現在干拓計画の進行している長崎県諫早湾の周辺では，100 mm 以上の雨が諫早水害のときに降っている。

2．台風に対する注意

台風による豪雨出水と高潮の発生時期には，一般に一致しないと考えて土木事業が行なわれているように見える。たしかに，両者が一致して現われることはきわめてまれである。しかし一致する確率がないわけではない。カスリン台風やアイオン台風のときのような気圧配置の条件の中に大正6年の台風のコースで台風がきた場合には，両者が東京周辺でほとんど同時に発生していると考えられる。こんなことは珍しいことであるが，モデル的にいろいろな条件を与えて慎重な検討をするに越したことはないだろう。この事態が発生した場合には，伊勢湾台風の比ではない。大変なことになるのではないだろうか。

3．特に埋立，干拓についての注意

風や雨，高潮については，前節の一般的なこととして述べたことに変わりはない。埋立，干拓は，その他つぎのようなことに注意を向ける必要があろう。

埋立，干拓という事業は，多かれ少なかれ局部的に自然条件を変える。以前は海あるいは湖沼であった部分が陸地化するわけである。それゆえ，その変化が微妙な影響を気象条件に与える。特に，その新造成地が工業地帯となるような場合にはその影響を十分に検討する必要がある。一番影響が微妙に現われるのは風である。海陸分布によって発生する海陸風，陸地ができることによって摩擦が大きくなる。これによって起こる風の収束状態の変化など，いずれも検討に値する重要なことである。

また，海岸の埋立，干拓の場合には，従来の海岸線がさらに海深の深いところに進出することになる。それゆえ必然的に高潮や波浪の発生も従来と変わってくるはずである。この点もあまり検討を加えずに従来の資料を使っている向きもあるので，今後は十分な検討を加えていただきたいものである。