

浮体工法による海上空港建設に係わる 評価のための技術調査研究

安藤定雄*・大川 豊*・上野 勲**

Feasibility Study of Floating Offshore Airport

By

Sadado ANDO, Yutaka OKAWA and Isao UENO

Abstract

In this report the possibility of floating offshore airport is investigated from the technical points of view.

In the first step, we created at the located area and the investigative model of floating offshore airport.

In the next step, we surveyed the following item;

- ① determination of enviromental condition involving unsteady forces or combination of the exciting forces,
- ② establishment of exciting forces acting on the floating body by the model tests or theory,
- ③ estimation of mooring forces and behaviour of moored and floating body by the model tests or theory,
- ④ study on the structure of floating offshore airport involving the strength of structure,
- ⑤ study on the mooring installations,
- ⑥ prediction of mooring forces and behaviour of floating offshore airport of full-scale, and
- ⑦ synthetic study of floating offshore airport.

In conclusion, it was found that the construction of floating offshore airport is feasible by the present techniques.

目 次

第1章 調査研究の概要……………	2	第6章 浮体式海上空港の係留装置に関する 検討……………	107
第2章 気象及び海象条件の設定……………	6	第7章 浮体空港の挙動と係留力の予測……………	116
第3章 浮体に働く外力……………	30	第8章 調査結果の総合検討……………	129
第4章 浮体の挙動及び係留力の推定法……………	70	第9章 結 言……………	134
第5章 浮体空港の構造に関する検討……………	88		

* 海洋開発工学部

** 船体構造部

第1章 調査研究の概要

1.1 緒言

海上空港を建設する工法としては、浮体式、棧橋式、埋立式及び干拓式等が考えられる。その中で海洋に浮ぶ空港、すなわち浮体工法による海上空港は、近い将来において海洋空間等の有効利用として極めて有望視されるものである。

浮体工法による海上空港の建設に係わる評価のための技術的な調査研究は、運輸省航空局の依頼に基づいて昭和52年度及び昭和53年度の2ヶ年間にわたり行われた。そのうちの浮体関係を船舶技術研究所（一部を日本造船研究協会に依頼した）が、係留関係を港湾技術研究所が担当した。

この調査研究は、実際に建設することを目的とした実施設計のためのものではなく、航空審議会の技術部会が海上空港の建設工法を比較検討するために必要な資料を提供するため、浮体式海上空港の建設の可能性、安全性及び経済性等について基礎的な技術的検討を実施したものである。

今後、浮体式海上空港または海洋空間等の有効利用のために供する超大型の海洋構造物等を計画及び設計する際には、本調査研究の手法や資料等が極めて有用に活用できるものである。特に自然環境条件の設定、浮体に働く外力の推定法並びに係留浮体の挙動及び係留力の予測法等に関しては、現在の造船界においてこれまで蓄積されてきた実績及び技術等を駆使してまとめているため、今後の海洋開発関連の技術開発を行なうために貴重な資料として大いに役立つものであるといえる。

そこで、先に当所でとりまとめた浮体式海上空港建設に係わる評価のための技術調査研究報告書が全体で4冊、約900頁におよぶものを、全体の技術的調査研究の手法や内容が判りやすいように取捨選択して抜粋し、再編集して紹介することとした。

1.2 調査研究の目的

浮体式海上空港建設に係わる評価のための技術調査研究の目的は、浮体式海上空港を建設することの可能性について（浮体式海上空港の）浮体本体と係留装置等の構造様式、浮体に働く外力、係留浮体の挙動及び施工法等に関して現在の技術的手法や知見を駆使して

模型実験及び数値計算等を行い、技術的な見地から検討を行なうことである。

1.3 調査研究の前提条件

浮体式海上空港の設置予定場所は、航空審議会の答申によって、図1.1に示すように大阪湾の南東部の泉州沖合約5kmの海上であると定められている。

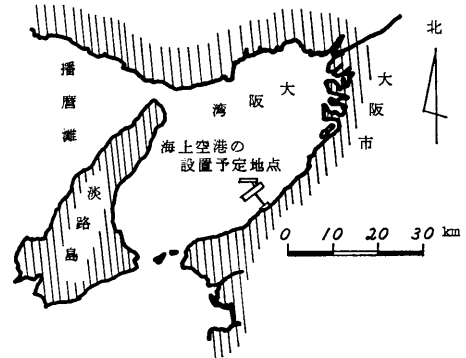


図 1.1 浮体式海上空港の設置予定地点

浮体式海上空港の基本構成は、図1.2に示すように沿岸地先の陸上施設、連絡橋並びに海上施設としての主滑走路用浮体及び補助滑走路用浮体から成り立っている。そして、主滑走路用浮体には付属施設があり、主滑走路用浮体と補助滑走路用浮体とはV字型に配置され、連結されている。

1.4 浮体式海上空港の検討用モデル

本調査研究に用いた浮体式海上空港の検討用モデルは、その規模が航空審議会の答申に基づき昭和65年度の航空需要に見合う規模であり、その方式は、社団法人日本造船工業会の提案している海上空港案に沿って、ターミナル分離方式とした。

1.4.1 陸上施設

陸上施設は、沿岸地先を埋立てた長さ3.200m、幅900mの敷地内に主要ターミナル施設、メンテナンス施設、駐車場及び社会文化施設等を設けるものである。

1.4.2 連絡橋

連絡橋は、主滑走路用浮体が陸地から約5km沖合に設置されるため、陸上施設との間を棧橋式で連結す

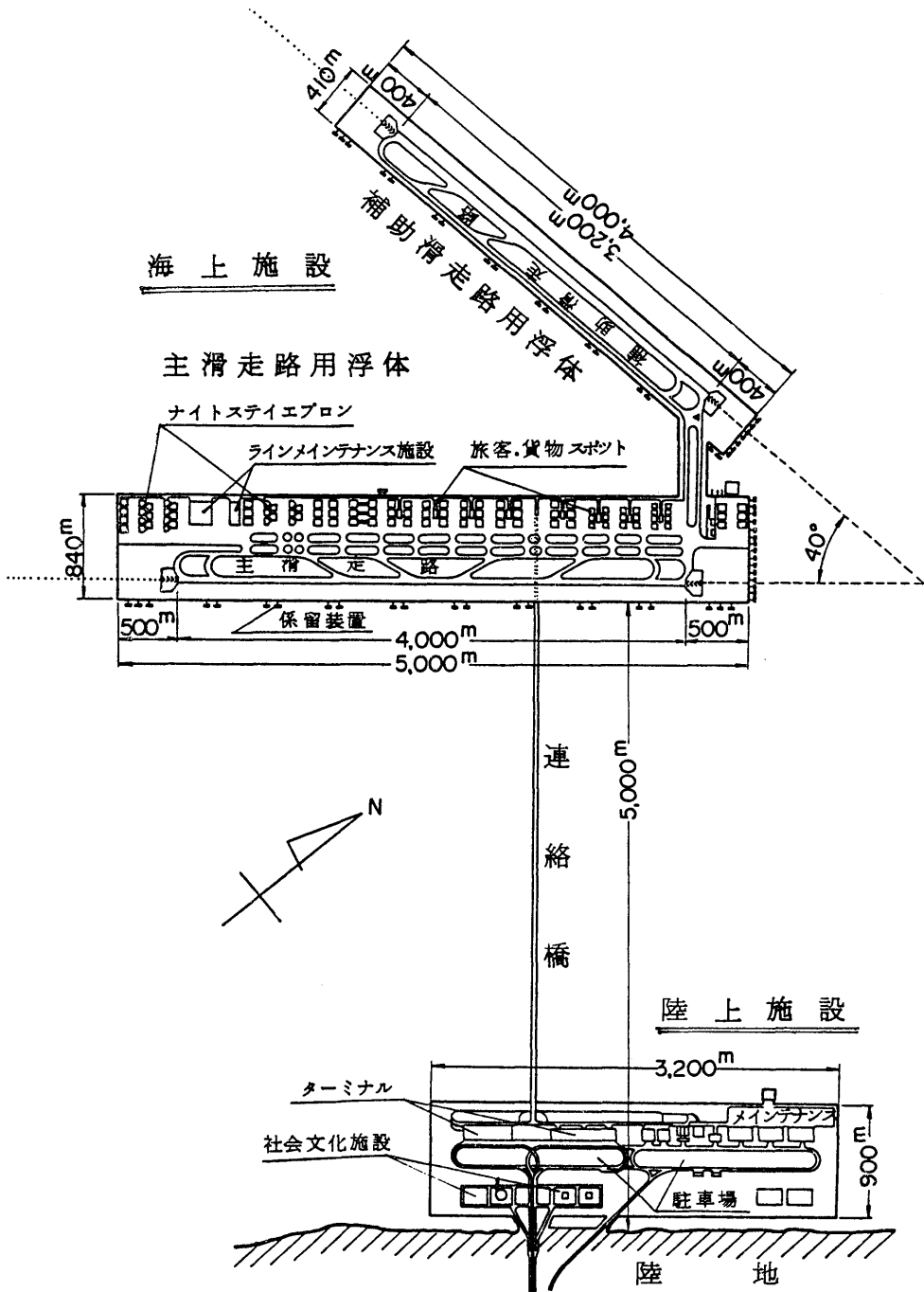


図 1.2 浮体式海上空港の全体配置図

るためのものである。

1.4.3 主滑走路用浮体

主滑走路用浮体の甲板面積は、長さ 5,000m、幅 840m である。その甲板には、長さ 4,000m、幅 60m の主滑走路 1 本と、60 機分の旅客及び貨物用スポット、32 機分のナイトスティエプロン、ラインメンテナン地域、管制塔、消火・救難設備、誘導路、緑地帯並びに空港施設等を設けると共にアクセス用の新交通システムを備えることとする。

1.4.4 補助滑走路用浮体

補助滑走路用浮体の甲板面積は、長さ 4,000m、幅 410m である。その甲板には、長さ 3,200m、幅 60m の横風用滑走路 1 本と誘導路及び緑地帯を備えることとする。

なお、主滑走路用浮体は海岸線に平行であり、補助滑走路用浮体は主滑走路用浮体と 40° の角をなす位置に設置し、その間を航空機連絡用浮体で連結させる。

1.4.5 検討用モデルの構造様式

本調査研究に用いた検討用モデルは、想定する実機から付属施設等を除外して主滑走路用浮体を長さ 5,000m、幅 840m の単純な矩形型浮体とし、補助滑走路用浮体も同様に長さ 4,000m、幅 410m の矩形型浮体とした。

両浮体の構造様式は、詳細を第 5 章に述べるように種々の型式について比較検討した結果、滑走路部となる上部構造物を要素浮体群で海面上に持ち上げる要素浮体支持型とした。そして、上部構造物の様式は、内部の空間を新交通システムとして用いることができるようにダブルデッキのトラス構造とし、その高さを 10.0m とした。また、要素浮体の形状は、航空機の移動や離着陸等の荷重並びに熱応力による変形等の面で有利な円筒型のもの、波浪による動揺や上部構造物の弾性変形等の軽減等を図ることを目的にして波周期が 7 秒の時に波から上下方向の力を受けないように寸法を決めたフーテング型のものである。

なお、上部構造物の滑走路部の水面上の高さ (Free-board) は 15.0m とし、上部構造物下面の高さ (Air gap) は 5.0m とした。そして、円筒型及びフーテング型要素浮体は、15.0m 間隔で上部構造物に取付けられ、その数は主滑走路用浮体で 333×56 基、補助滑走路用浮体で 267×28 基である。また、使用材は、種々検討した結果、上部構造物を鋼製とし、要素浮体を鋼製またはコンクリート製にした場合について検討した。

(4)

浮体式海上空港の建造方式は、分割建造方式を採用し、建造ユニットの大きさは現有の建造ドック寸法及び工期等について検討して主滑走路用浮体を 300m×60m、補助滑走路用浮体を 240m×45m とした。

1.4.6 検討用モデルの係留装置

浮体式海上空港を位置保持させる係留装置としては、詳細について第 6 章において述べるように常用係留装置及びバックアップ係留装置について検討した。

常用係留装置は、ゴム防舷材を緩衝装置としたソフト型の係留特性を有するドルフィンリンク方式を採用し、ドルフィンを斜ぐい式とした。そして、ドルフィンの基数は、主滑走路用浮体が長辺 22 基、短辺 15 基を L 字型に配置し、補助滑走路用浮体が長辺 17 基、短辺 7 基を配置した。なお、ドルフィン 1 基当りの力量は 3,000t とした。また、ドルフィン 1 基には、2 組のリンク機構を取付け、ゴム防舷材を各リンク機構に 8ヶ取付ける。そして、ゴム防舷材は浮体の変位に対して常に圧縮のみに使用することにした。

なお、バックアップ係留装置は、シンカー索・鎖方式を採用することとした。

1.4.7 検討用モデルの主要目

実際の浮体式海上空港では上部施設帯の配置、舗装の厚さ等によって単位面積当りの重量分布は一様でないために取り付け場所によって要素浮体の主要寸法等を変えて上部構造物の乾舷を一樣にする必要がある。しかしながら、検討用モデルにおいては、流体力学的な取り扱いを簡便にするため、上部構造物の構造様式及び荷重分布等を一樣なものとすると共にすべての要素浮体の形状及び主要寸法等も同一であるとした。

そして、本調査研究に用いた検討用モデルに関して排水量、復原力、重心、浮心及び固有周期等を概略推算した結果並びに検討用モデルの主要目等を総括して表 1.1 に示す。なお、表中の縦揺れ及び横揺れの固有周期が上下揺れの固有周期と同じ値になっているが、その理由は、浮体が超大型であるために縦揺れ及び横揺れが要素浮体から見ると上下揺れと見なせるためである。

1.5 検討用モデルに対する技術的調査研究の概要

まず、既存資料及び現地調査の結果等を十分検討して本調査研究に用いる気象・海象等の自然環境条件を設定した。そして、本調査研究の前提条件及び設定した自然環境条件等に基づいて浮体の上部構造物の構造

表 1.1 浮体式海上空港の調査研究における検討用モデルの主要目等

主 要 目		主 滑 走 路 用 浮 体		補 助 滑 走 路 用 浮 体	
上部構造物の長さ・幅 (m)		5,000 × 840		4,000 × 410	
上部構造物の高さ (m)		10		10	
要素浮体の本数 (基)		333 × 56 = 18,648		267 × 28 = 7,476	
要素浮体の喫水 (m)		6.5		6.5	
要素浮体の1基当りの排水量 (t)		256.4		256.4	
全体浮体の全排水量 (t)		4,781 × 10 ³		1,917 × 10 ³	
建造ユニットの長さ・幅 (m)		300 × 60		240 × 45	
重心の高さ : KG (m)		15.4		15.4	
要素浮体の形状		円筒型	フーテイング型	円筒型	フーテイング型
浮心の高さ : KB (m)		3.25	2.66	3.25	2.66
毎センチ当りの排水量 (t/cm)		7,356	4,059	2,949	1,627
縦方向の BM _y (m)		319,873	176,515	205,638	113,478
横方向の BM _x (m)		9,043	4,990	2,259	1,246
縦方向の GM _y (m)		319,861	176,502	205,626	113,466
横方向の GM _x (m)		9,031	4,978	2,247	1,234
毎センチトリムモーメント (t・m/cm)		3,059 × 10 ³	1,688 × 10 ³	985 × 10 ³	544 × 10 ³
毎センチトリムモーメント (t・m/cm)		514 × 10 ³	283 × 10 ³	105 × 10 ³	58 × 10 ³
自由浮体としての 動揺の概略固有周期 (sec)	上下揺れ	5.9	8.7	5.9	8.7
	縦揺れ	約 5.9	約 8.7	約 5.9	約 8.7
	横揺れ	約 5.9	約 8.7	約 5.9	約 8.7
係留浮体としての 動揺の概略固有周期 (sec)	前後揺れ	18.0		16.8	
	左右揺れ	14.9		10.8	
	船首揺れ	14.3		9.5	

様式、平面形状、断面形状、材料、部材寸法及び重量等、要素浮体の構造様式、形状、材料、排水量及び重量等、並びに係留装置の形式、構造様式及びドルフィンの配置等の基本計画を行って本調査研究に用いる検討用モデルを設定した。

それと平行して波浪、風及び流れ等によって検討用モデルに働く外力の推定手法を既存資料及び風洞実験や水槽実験等によって改良並びに検証し、外力の推定手法を確立すると共に検討用モデルに働く外力を推定した。

つぎに、設定された自然環境条件下における検討用モデルの動揺応答及び係留装置に働く力等の推定手法を既存資料及び各種水槽実験等に基づいて改良及び検証して、検討用モデルの動揺応答量及び係留装置に働く力を予測した。

また、設定した自然環境条件並びに温度差、航空機

の移動による荷重変化及び航空機の離着陸等によって加わる外力に対する検討用モデルの構造解析を行い、浮体の変形、撓み及び強度等を概算し、構造強度上の安全性等を検討した。その他、係留装置の構造強度及び安全性を検討した。

最後に、空港使用状態の通常時の自然環境条件並びに安全性を検討する 100 年台風来襲や津波来襲状態等の異常時の条件下における海上空港の動揺量及び係留力を推算した。そして、動揺、構造及び係留等の面から総合的な検討を加えて浮体式海上空港の空港機能及び安全性を確認した。同時に、浮体式海上空港の施工法、工期、維持・補修並びに費用等についての検討を加えた。

その結果、浮体式海上空港の可能性、安全性及び経済性等に関して技術的に可能であることを確認すると共に実施設計する際への指針を提示した。

第2章 気象及び海象条件の設定

浮体式の海上空港の可能性を検討する際には、一般船舶や海洋構造物の基本計画を行う場合と同様に、浮体が設置される海域における自然環境条件を十分調査して適切な気象および海象条件を設定し、浮体の挙動及び構造強度の面から機能性及び安全性が確保できるようにすることが必要である。本章では、既存資料を活用して浮体を設置する海域における自然環境条件を設定することに関して記述する。

なお、海上空港を建設しようとする海域における自然環境条件に関しては、既に航空局及び第3港湾建設局等において気象及び海象条件並びに地象条件等について調査を行なっている。したがって、これらの資料を参考にして次の手法に基づいて必要な自然環境条件を設定する。

- (1) 調査地点は、海上空港の候補地である泉州沖約 5 km を中心とし、この地点に影響または関連する周辺地区における観測統計値を基礎にして理論的な解釈及びシミュレーション計算による予測等を加えて検討する。
- (2) 海象及び気象条件の設定値は、運用面を重要視した“通常時”と、安全性を重要視した“異常時”とに区分する。通常時とは、稼動時における最大値（向い風において航空機が離着陸可能と考えられる限界風速 25 m/s に相当する状態）であり、また、稼動率やその他の要件を検討するために年間を通じての累積度数率に対応する値も含ませている。異常時とは、再現期間を 100 年とした場合の仮想台風時である。
- (3) 海上空港の長さが 5 km と長大であることを考慮し、気象及び海象条件の時間的及び空間的な不均一性についても検討して現段階で可能な限り実用的なものとする。
- (4) 気象及び海象の各々の条件に対して値を設定すると共に、これらが組み合わさった場合及び考えられる人為的な外力との組み合わせについても検討することとする。

2.1 風の設定

設置予定地点周辺の気象の観測所の統計値より設置予定地点における風速の予測を行い、これを基本値として現在国の内外で研究報告されている各種の推算法を参考にして設置予定地点における基本風速及び風向

の推定を行うこととする。また、空港としての機能を発揮し得る状態、すなわち稼動率を検討する資料として風速の出現度数率を求める。さらに、年間最大風速とは別に、台風について調査し、波浪推算の基礎となるモデル台風を設定して異常時の風速設定値について検討を行うと共に、変動風についても調査し、不均一外力を推定するための資料とする。

2.1.1 既存資料による検討

設置予定地点周辺の気象台及び測候所の観測資料について検討し、特に浮体の挙動に関係する風荷重を予測するため、強風に関して風向及び風速の資料を収集して統計的な整理を行い、既に報告されている諸資料と比較することとする。

(1) 風の統計値

a) 観測資料の均質化

設置予定地点周辺の主要な気象観測所は大阪管区気象台、神戸海洋気象台、和歌山地方気象台及び洲本測候所等がある。なお、気象庁における気象観測値は非常に古い時代からの資料が記録されているが、時代により風速の観測方法や統計処理手法の変更、または、風速計の設置場所の変更等があり資料が不均質である。したがって、これらを把握して資料を補正し、精度のよい累積統計を求めることとする。

i) 観測法の変更

1939 年以前は観測時前 20 分間の平均風速を風速として記録していた。これを現在の 10 分間平均風速に換算する必要がある。また、1949 年から 1960 年までの期間は、風速計の読取値が風洞実験公式による係数で補正されているので、統計値としてはもとの実測値に戻す必要がある。

ii) 風速計の高度変更

風速計は地上からの高さによって風速が変わるため、風速計の高度変更による補正を行う必要がある。たとえば、大阪管区気象台は 1968 年に大阪合同庁舎の屋上に移設 (18.5 m から 53.0 m に) されている。

iii) 計測器の変更

1960 年に従来採用していたロビンソン風速計 (4 杯) から 3 杯風速計に切替えられ、さらに、現在はプロペラ式風速計が採用されている。しかしながら、これらの風速計は風の弱い場合には 1 割程度の

差があるものの、風の強い場合には差が小さくなるので本調査の気象条件を設定する際の風速に関しては、特に補正をしないこととする。

b) 調査地点の風速の推定法

調査地点における風速及び風向は周辺の観測地点における値から次のような方法で推定することとする。

i) 調査地点付近の海岸における風速の推定

大阪管区気象台、洲本測候所及び和歌山地方気象台の観測値並びに調査地点付近（岸和田）の観測値の相関関係で換算係数を求め、これに基づいて調査地点付近の海岸における風速を推定する。

ii) 調査地点の風速

海上における風速を求める場合は、付近の海岸における推定値を 17% 増に補正することが本州四国連絡橋耐風設計指針¹⁹⁾により提案されている。また、Myers 等により陸上風と海上風についての風速比が与えられているので、これらにより修正を行う。

iii) 調査地点の風向

風向については、最寄りの岸和田における観測値を用いることで大差ないものとする。調査地点が位置する大阪湾一帯は年間を通じて穏やかであり、季節的には冬季は北西の季節風が卓越し、春及び秋季は、北西あるいは北から北東の風が多い。夏季は南から西の風が多く、次いで北から東の風であるが、これは海陸風の影響が多いためと考えられる。

(2) 調査地点周辺の観測資料

a) 大阪管区気象台の資料

大阪管区気象台における観測資料²⁰⁾は、非常に古く明治 15 年 2 月 1 日から観測が開始されている。調査地点に最も近い観測所である関係上、予測の基本資料と考えて統計値の調査分析を行った。この結果によると、最大風速の記録は、1934 年 9 月 21 日における室戸台風時の 42.0 m/s となっているが、これら台風の値を除くと冬季、特に 12 月と 1 月に強風が多く最大風速 24.0 m/s が記録されている。この季節風は、吹速時間も長く構造物に対する安全性に大きく影響を及ぼすので基本計画に際して十分考慮する必要があると思われる。

過去 50 年間（1932 年～1977 年）の強風の統計値を分析してみると、大阪管区気象台においては 10～15 m/s の強風が季節を問わず年間を通して出現する可能性がある。季節別では、やはり冬季の 12 月と 1 月が大きく、平均で 13 m/s の風速が記録されているが、3 月や 4 月の春季にも同等の風速が記録されてい

る。また、風向の頻度を見ると西から西南西の風が多いことがわかる。さらに、この地域は台風の通り道となっていて、台風が特に 9 月と 10 月に最も多いことが分る。

b) 各観測地の観測資料

各観測地の過去 48 年間における年間最大風速の統計値²¹⁾を見ると各地の値には地形の起伏度、陸度、海岸度、開放度及び走行等の因子により大きな差が生じている。特に洲本観測所における統計値は各地の値よりも高い値を示している。統計的に見ると神戸海洋気象台においては、四季を通じて主な風向が西寄りであり、強風が吹きにくく、強風が吹く季節は夏と冬に限られている。洲本測候所においては、季節によって主な風向はかなり異なるが北西が多く、強風については夏季の南風を除くと北寄りの風が多いといえる。和歌山地方気象台においては、強風は年間を通じ南寄りの風が多い。

c) 調査地点に最も近い岸和田の資料

調査地点の気象条件を予測するには、調査地点に最も近い観測地の資料を調査し、その結果に基づいて統計的に分析する必要があるが、調査地点に最も近い泉佐野市の熊取測候所はごく最近（1976 年 4 月）設けられたので、ここにおける観測資料は統計値として採用することは適当でないと思われる。したがって、航空局で調査された関西国際空港調査報告書「関西における気象調査」の中から、特に大阪湾コールスシステム岸和田の約 3 年間（1967 年～1969 年）の資料を採用することとする。この観測地点における年間を通じての強風の風速及び風向の出現度数率は表 2.1 及び図 2.1 のようになっている。

d) 観測資料による累積度数率の推定

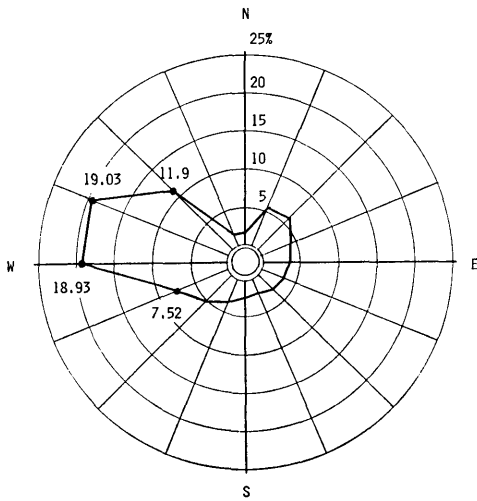
空港としての機能を発揮し得る状態、すなわち稼働率を検討する資料として既存資料を整理して風速の累積度数率を求める。設置予定地点における観測は昭和 53 年 1 月から開始されたところであり、その資料は未だ利用できないので、第 3 港湾建設局で調査された大阪湾周辺の各地点の陸上観測資料を使用する。

観測期間は昭和 46 年 1 月 1 日より昭和 50 年 12 月 31 日までの 5 年間で、3 時間ごとに風資料が得られている。観測地点 31 ケ所のうち、記録の状況、測得率及び地形並びにその他の要素を勘案して 13 ケ所の資料を整理した。各点の風速は海面上 10 m における基準風速に修正している。また、地形による影響はカルザースの補正係数を用いて修正している。

表 2.1 岸和田における強風の風速及び風向出現度数率 (年間)

観測期間 1967年1月 ~ 1969年12月
観測回数 2,007

		風 速 (m/s)						total
		8.0 - 10.8	10.8 - 13.9	13.9 - 17.2	17.2 - 20.8	20.8 - 24.5	24.5 - 28.5	
風 向	N	1.00	0.50	0.25	0.30			2.05
	NNE	4.09	1.14	0.40	0.45			6.03
	NE	4.19	1.54	0.50	0.20			6.43
	ENE	2.59	0.90	0.15	0.45			4.09
	E	2.69	0.06	0.10	0.15			3.54
	ESE	1.89	0.40	0.05	0.45			2.79
	SE	1.64	0.45	0.10	0.40	0.05		2.64
	SSE	1.44	0.45	0.10	0.35			2.34
	S	1.74	0.25	0.20	0.25			2.44
	SSW	1.69	0.90	0.25	0.05			2.89
	SW	3.53	0.90	0.20	0.35	0.05		5.03
	WSW	5.13	1.54	0.50	0.35			7.52
	W	11.26	4.83	1.84	0.80	0.20		18.93
WNW	10.66	4.68	2.24	1.25	0.20		19.03	
NW	6.83	3.04	1.29	0.80			11.96	
NNW	1.44	0.35	0.35	0.05		0.05	2.24	
total	61.84	22.47	8.52	6.65	0.50		100.00	



観測期間 1967年1月~1969年12月
観測回数 2,007

図 2.1 岸和田における強風の風向出現度数率 (年間)

これら 13 地点の平均風速及び淡輪と貝塚の無風をも含めた測得風速の累積分布を求めると図 2.2 のようになる。ただし、これらの資料には関西に台風が接近した場合の観測値は省かれているので、一応通常時の年間平均の風速分布と見做すことができる。なお、淡輪及び貝塚においては平穏な場合が多く、大阪湾岸全体となると数地点が無風でもどこかで風が吹いていると平均値としては平穏無風の回数が少なくなっている。

(8)

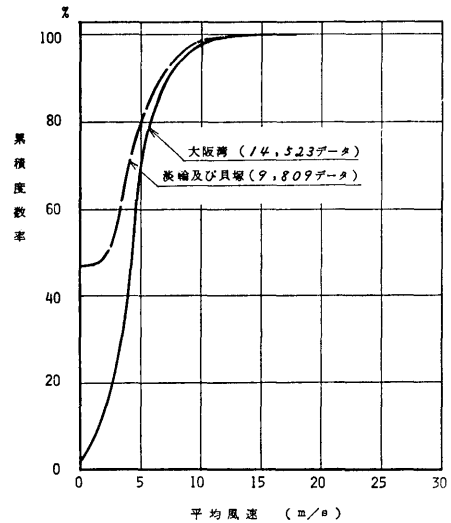


図 2.2 昭和 46 年~50 年の 5 年間における平均風速の累積度数率

る。

(3) 既存資料の調査結果

風に関する既存資料を調査した結果から、調査地点の風速は約 50m/s と推定され、強風の風向は西から西北西の方向が最も多く 40% 以上を占めている。なお、長期的な荷重として取扱う通常時の風荷重の推定には、季節風等の強風頻度を考慮して 20~25m/s を採用すれば十分であると考えられる。

年間を通じての各累積度数率の平均風速は、図 2.2 より次に示す値程度と見ることができる。

累積度数率	大阪湾岸平均	淡輪, 貝塚
70%	5.0 m/s	3.8 m/s
90%	7.2 m/s	6.6 m/s
95%	8.5 m/s	7.8 m/s

2.1.2 基本風速の設定値の検討

(1) 基本風速設定に対する条件

a) 耐用年数 (a)

橋梁と同じ 60 年程度を仮定する。

b) 非超過確率 (q)

構造物の耐用年数が a 年間中の風速の最大値が, 再現期間 R 年の期待値 ($1/R$) をこえない確率 (q) は次式で与えられる。

$$R = \frac{1}{1 - q^{1/a}}$$

非超過確率 (q) は, 構造物の重要度, 建設費, 維持費及び社会的条件等により定められるべきものであるが, 現在のところ q を定量的に定めることは困難である。したがって, 再現期間 (R) の値は上式で求められる値で定めるほかないが, 本州四国連絡橋では, その重要性を考え, 少なくとも 100 年以上にしたいとしているので, 海上空港の場合も同様に 100 年以上とし耐用年数を 60 年と仮定すれば, 非超過確率は

$$q = 0.6$$

となる。この時再現期間は 118 年となる。

c) 風速の鉛直分布

地表または海面付近の風は, 表面摩擦力の影響を受けて乱れを伴うとともに風速が上層の風よりも減少する。風速の高度による変化の状態, すなわち風速の鉛直分布に対しては, 対数法則かべき法則が一般に用いられている。ここでも, 本州四国連絡橋技術調査委員会の提案に従って, べき法則を採用する。すなわち, 風速の鉛直分布は

$$U_z = U_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha$$

である。

ただし, U_z 及び U_{10} は高度 z m 及び 10 m における風速であり, α は分布形を定める指数で, 草原及び海岸地方に対しては $1/10 \sim 1/7$ の値が得られている。海上風については実測値が少なく, 今後の観測によらねばならないが, $\alpha \approx 1/7$ が一応の基準値と考えられている。

d) 年間最大風速の再現期待値の計算

年間最大風速の統計的分布を求める方法は種々示されているが, 一般的には Gumbel の極値分布の方法

(2重指数分布) が適用されている。

(2) 風速の換算係数の推定

調査地点における風の統計値がないので, 周辺の観測地点の資料との相関関係より換算係数を求め, これに基づいて調査地点の風速を推定する。まず, 岸和田の観測資料を分析した結果, 約 3 年間と短期間ではあるが, 年間最大風速値と大阪管区気象台の統計値との相関関係を分析比較すると, 年間平均 1.37 の換算係数が得られる。この数値は短期間の統計値であるため非常にバラツキがあり, 真の換算係数値と考えるには問題である。しかし, 大阪管区気象台における観測データと築港分室における約 10 年間の観測資料との換算係数を求めると 1.26 が得られる。岸和田付近では冬季の季節風の影響は大阪築港に比べて強いので, 岸和田に対する換算係数の推定値との差は, 地形因子等を含めて比較すると大きな差異ではないといえる。また年間最大風速による修正値についても, その換算係数は 1.367 となるので, 換算係数として $\eta = 1.37$ を採用した。なお, 各観測所における風速計の設置場所(高さ)が異なることによる修正換算係数は 1.215 とした。

(3) 基本風速の推定

a) 年間最大風速の推定

各観測所の過去 49 年間 (1929 年～1977 年) の年間最大風速の統計値は実測資料であるので, 基本風速を推定するためには同一条件となるように補正均質化する必要がある。したがって, 観測法及び高度変更 (地上 10 m) による補正を行った各観測所における年間最大風速の値を図 2.3 に示す。同図における調査地点の推定値は各観測値を分析補正した換算値である。

b) 風速の再現期待値の推定

再現期間 R 年における各観測所の風速の再現期待値を求めると図 2.4 のようになる。各値は再現期間と年間最大風速の統計値と関連させて算出した期待値を示したもので, 構造物を設計する際の基本風速になると考えられる。この図からは調査地点における風速の $a = 60$, $q = 0.6$ の場合 ($R = 118$ 年) の再現期待値は 40.4 m/s となるが, 実際には海岸における値から海上にある調査地点の値への補正を考慮する必要がある。したがって, 海岸における値より海上風の値への補正係数を 1.17 とすると調査地点の基本風速は 42.27 m/s となる。

c) 風速の設定値

以上の結果より異常時の基本風速は再現期間を 100

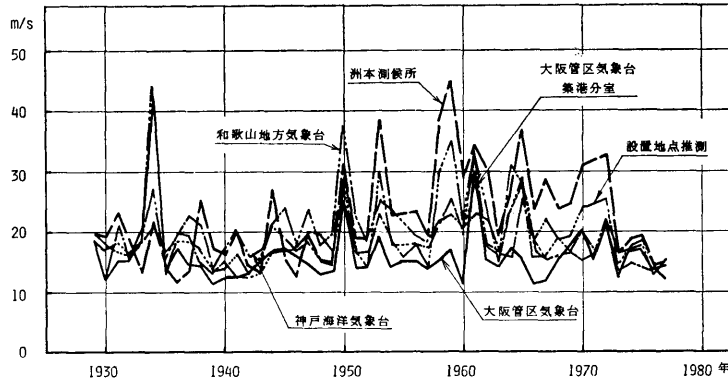


図 2.3 地上 10m における年間最大風速

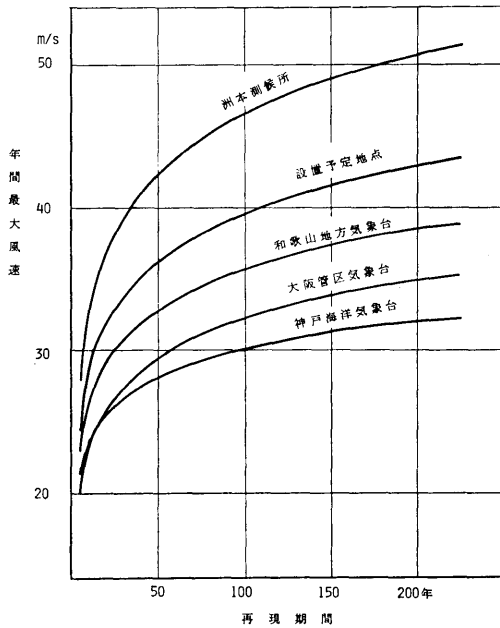


図 2.4 各観測所における再現期間に対する最大風速

年とすると同時に、日本は台風の来襲が多いことを考慮して 50m/s とし、通常時の荷重を推定する場合の平均年間最大風速は、前述の 25m/s を用いることとする。

また、各出現度数率に対する平均風速は、大阪湾周辺観測値のそれぞれを海上風の値に修正して、

- 70% 累積度数率の風速は 5.85m/s
- 90% 累積度数率の風速は 8.42m/s
- 95% 累積度数率の風速は 9.94m/s

となる。

(10)

2.1.3 モデル台風による風速等の検討

(1) 台風の経路と風速分布

日本に來襲する台風の経路はいろいろあるが、近畿地方に甚大な被害をもたらす台風のコースはおおむね定まっており、それは四国沖から近畿地方を横断するコースである。

台風の中心から 40km ぐらいまでの風速は中心からの距離にほぼ比例する。一方、その外側における風速はおおよそ距離に逆比例する。したがって、台風の最大風速は中心から 40~50km の内外と外域の境界付近に現れる。しかし、台風内の風速分布は移動速度の影響で台風の進行方向の右と左でかなりの差異があるのが普通である。

(2) モデル台風の設定

台風來襲時、構造物に作用する風荷重を推定してその安全性を確認するため、さらに台風來襲時には大阪湾内が最も荒れて高波が発生すると考えられるため、数種の標準的なモデル台風を設定し、その時の模様を評価、解析してみることが必要と考えられる。ここでは過去最大級といわれる室戸台風（中心気圧 910mb 台）を参考にして、台風の進路、移動速度、中心気圧の減衰率、最大風速及び台風の半径を考慮分析してモデル台風を設定した。

a) 台風の進路

過去の台風の進路を参考に、分岐点を北緯 31° 付近に選び、図 2.5 及び図 2.6 に示すような 4 つの場合を考える。

- ① 調査地点の北側（小豆島付近）を南西から北東へ進むコース
- ② 調査地点の北側（淡路島西海岸上）を南西から北東へ進むコース

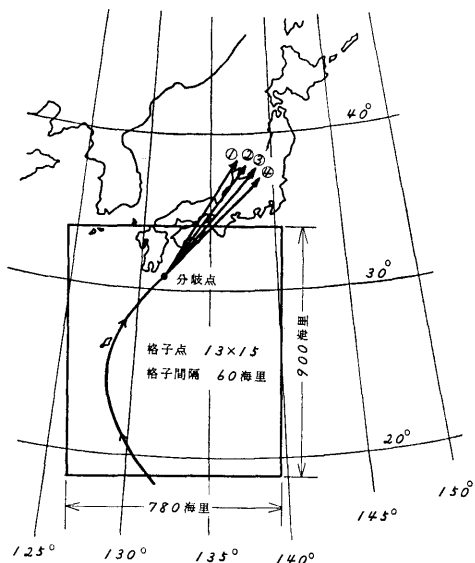


図 2.5 モデル台風の進路

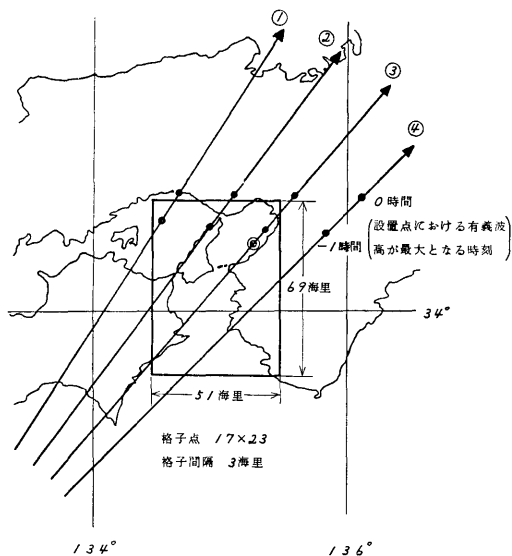


図 2.6 モデル台風の進路

③ 調査地点上を南西から北東へ進むコース

④ 調査地点の南側を南西から北東へ進むコース
なお、これまでの台風はほとんど②の進路をとっている。

b) 移動速度

通常台風は、本土に上陸すると速度をあげるが、上陸する前は略 20km/h 程度であり、上陸後は大阪湾を約 30km/h の速度で通過している。

c) 中心気圧の減衰率

台風の中心気圧は移動速度と同様に上陸すると変化し、やや高くなる。参考にした台風の中心気圧を調べた結果、大阪管区気象台で観測された中心気圧は 954.4 mb、四国上陸時室戸岬で観測した中心気圧は 911.9 mb であり、その平均値を調査地点付近における中心気圧とすると 930 mb となる。

d) 最大風速

室戸台風来襲時の大阪管区気象台における記録は最大風速 42 m/s、最大瞬間風速 60 m/s となっている。ここでは、最大風速の値は台風圏内の風速が最大となる場所におけるかなり長い時間の平均的な値を用いることとして 10 分間平均最大風速を 50 m/s 程度とした。

e) 台風の半径

台風の風速が 25 m/s 以上の暴風圏の半径（一般に 1000 mb 等圧線の半径）は過去、本土に上陸した台風を参考にした 120 km と設定した。

2.1.4 変動風に関する調査及び検討

(1) 変動風の取り扱い

自然の風は時間的にみて、常に一定の風が吹いているのではなく、たえず強くなったり弱くなったりしている。この風速変化を表現する一つの方法として、最大瞬間風速と平均風速の比として定義される「ガストファクター」が従来から一般によく用いられている。ガストファクターは強風時には 1.5 程度であるといわれている。

しかしながら、時間的及び空間的に見て、不規則に変動している風の状態は単にガストファクターだけでは表現できないため、電子計算機の普及とともに風の変動を確率過程として取扱い、統計確率的に変動風の期待値を求めるといった手法が一般化しつつある。すなわち、一つ一つの風の変動記録は母集団からある確率で偶然に取出された一つの標本であると考え、その母集団の確率過程の性質を表す関数としてパワースペクトラムが用いられている。したがって、いま変動風のパワースペクトラムが与えられると、Cartwright 及び Longuet-Higgins に従って最大値の期待値や周波数の期待値が求められる。

(2) 変動風のパワースペクトラムとガストファクター

変動風のパワースペクトラムとしては、Davenport⁶⁾の実験式とそれを基礎として理論的考察を加えて改良した日野⁷⁾のスペクトラムがある。それらは次の通り

である。

a) Davenport の式

$$\frac{f S_u(f)}{U_{10}^2} = 2K \frac{X_D^2}{(1+X_D^2)^{4/3}}$$

ここに

$$X_D = 1200 \frac{f}{U_{10}}$$

U_{10} : 高度 10m における 10 分間平均風速 (m/s)

K : 高度 10m の風速で定義された表面摩擦係数 (水面では通常 0.003 としている。)

f : 周波数 (Hz)

b) 日野の式

$$S_u(f) = 0.238 \frac{\bar{u}^2}{\beta} \left\{ 1 + \left(\frac{f}{\beta} \right)^2 \right\}^{-5/6}$$

ここに

$$\bar{u}^2 = 6.0 K U_{10}^2$$

$$\beta = 1.169 \times 10^{-3} \frac{U_{10} \alpha}{\sqrt{K}} \left(\frac{z}{10} \right)^{2m\alpha-1}$$

z : 高度 (m)

α : 風速の鉛直方向分布のべき指数

m : 気層安定度によって定まる定数 (暴風時は $m=2$)

調査点の変動風のパワースペクトラムとして、上記のいずれかの式が適するか判断するために、調査点に比較的近い垂水における実測値⁹⁾ (高度 12.4 m) と、これと同一条件で求めた Davenport 並びに日野のパワースペクトラムを比較すると図 2.7 になる。この図より垂水の実測値には日野の式より Davenport の式の方が、全体的な傾向がよく一致している。また、この図では、 $f < 1/12 \text{ sec}^{-1}$ すなわち、変動周期が 12 秒より長い周波数領域においてパワースペクトラムの値は、Davenport の式の方が日野の式より高い値を示している。このことは、係留システムの特長にもよるが、一般に係留浮体の水平運動の固有周期は十数秒であるので、変動風によって誘起される浮体の水平運動で比較すると、Davenport の式の方がより厳しい条件を与えることになり、より安全側になると考えられる。以上の 2 点から、変動風のパワースペクトラムとしては、Davenport のスペクトラムを用いるのが適当と判断される。なお、最近公表された調査地点における変動風の資料は、Davenport に近く、変動風の方角スペクトラムも $\pm 5\%$ 程度と非常に狭いので変動風の方角性は考慮しなくてもよいと判断される。次に 100 年台風に

—— 垂水における実測値
 - · - · - Davenport
 - - - - 日野

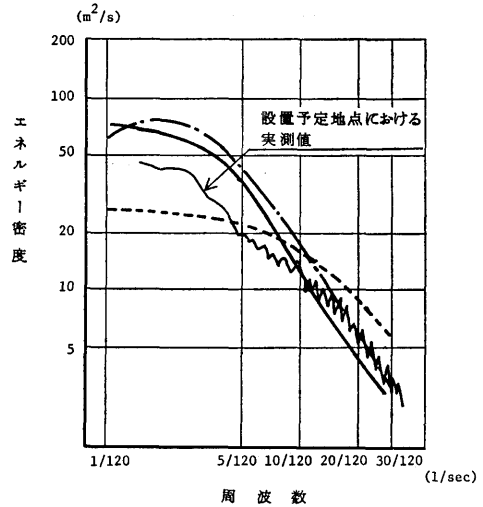


図 2.7 変動風のパワースペクトラム

ついて変動風のパワースペクトラムの自乗平均値並びにガストファクターを求めてみる。

i) パワースペクトラム

Davenport の式に $U_{10}=50 \text{ m/s}$, $K=0.003$ を代入し、

$$S_u(f) = \frac{8640f}{(1+576f^2)^{4/3}}$$

を得る。

ii) 自乗平均値

$$\bar{u}^2 = 6.0 K U_{10}^2 = 45 \text{ (m/s)}^2$$

$$\sqrt{\bar{u}^2} = 6.71 \text{ m/s}$$

$$\sqrt{\bar{u}^2}/U_{10} = 0.134$$

iii) ガストファクター

ガストファクター (G) は Davenport⁹⁾ 等を参照して次式で求めた。

$$U_{\max} = G \cdot U_{10} = \left(1 + g \frac{\sqrt{\bar{u}^2}}{U_{10}} \right) U_{10}$$

$$g = \sqrt{2 \ln \nu T} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln \nu T}}$$

$$\nu = \left[\int_0^\infty f^2 S_u(f) df \middle/ \int_0^\infty S_u(f) df \right]^{1/2}$$

T : 平均時間

ν の分子の積分は岡内ら⁴⁾ に従い被積分関数に風速計の周波数応答関数の自乗を掛けて求め、 $T=600$ 秒として計算すると、 $\nu=0.456$, $g=3.52$ 及び $G=1.47$

を得る。したがって瞬間最大風速は $U_{\max} = G \cdot U_{10} = 73.5 \text{ m/s}$ となる。

(3) 自然風の水平面内における相関

自然風の風速には、上記のパワースペクトラムで表現されるような時間的変動だけでなく、空間的な変動も存在する。したがって、空港のような巨大構造物では、全体に一律な最大瞬間風速が作用するとは考えられないので、風による力を推定する場合には空間的変動の影響を考慮する必要があると思われる。そのためには任意の2点における変動風速の相関すなわちクロススペクトラムが必要である。

右図のような2点 P_1 及び P_2 における変動風速を $u(x_1, \mu, t)$, $u(x_2, \mu, t)$ とし、そのパワースペクトラムを $S_{1,1}(f)$, $S_{2,2}(f)$ とし、クロススペクトラムを $S_{2,1}(f)$ と書くことにすれば、coherency関数は、 $\gamma^2(f) = |S_{2,1}(f)|^2 / S_{1,1}(f) \cdot S_{2,2}(f)$ である、この場合、各点における風速の時間的変動は確率過程としては同一であると考えるよりから

$$S_{1,1}(f) = S_{2,2}(f) = S_u(f)$$

ここでは $S_u(f)$ は風速変動のパワースペクトラムである。したがって

$$\sqrt{\gamma^2(f)} = |S_{2,1}(f)| / S_u(f)$$

を得る。クロススペクトラムを

$$S_{2,1}(f) = S_u(f) \cdot R_u(x_1, x_2, \mu, f)$$

($R_u(x_1, x_2, \mu, f)$ は無次元クロススペクトラム) と書けば

$$\sqrt{\gamma^2(f)} = |R_u(x_1, x_2, \mu, f)|$$

となる。すなわち、無次元クロススペクトラムの絶対値は coherency 関数の平方根に等しいということになる。

Cramer¹⁰⁾, Davenport¹¹⁾ 及び塩谷¹²⁾ らによれば、 $\mu = \pi/2$ に対して、 $R_u(x_1, x_2, \pi/2, f)$ は実数であって

$$R_u\left(x_1, x_2, \frac{\pi}{2}, f\right) = \exp\left(-k \frac{f|x_1 - x_2|}{U_{10}}\right)$$

のように表わされる。ここで、 k は定数であり、塩谷の里浦観測所における実測によれば、 $k = 2 \sim 8$ とされている。また、Davenport は吊橋の不規則振動解析に対して $k = 7$ を提案しており、本州四国連絡橋においてもこの値を採用している。したがって、ここでも k

$= 7$ を用いることとする。

$\mu = 0$ の場合も同様に考えれば

$$R_u(x_2, x_2, 0, f) = \exp\left\{-k_1 \frac{f|x_1 - x_2|}{U_{10}} + ik_2 \frac{f(x_1 - x_2)}{U_{10}}\right\}$$

と書け、 k_2 については塩谷が $k_2 = 5.13$ という値を得ているが、 k_1 については定説らしいものはないようである。そこで、とりあえず、テラーの乱れの凍結に関する仮説¹⁴⁾に従い、 $k_1 = 0$ としておく。

以上より、水平面内の2点における変動風速の無次元クロススペクトラムとして、

$$R(x_1, x_2, \mu, f) = \exp\left\{-7 \frac{f|x_1 - x_2| \cos \mu}{U_{10}} + 5.13i \frac{f(x_1 - x_2) \sin \mu}{U_{10}}\right\}$$

を得る。したがって coherency 関数の平方根は

$$\sqrt{\gamma^2(f)} = \exp\left(-7 \frac{f|x_1 - x_2| \cos \mu}{U_{10}}\right)$$

となる。

2.2 波浪の設定

2.2.1 既存資料による検討

内海の波浪の予測は、季節風及び低気圧等によるものと台風によるものとに分けて考えるのが一般的である。波浪予測を行う場には長期の観測資料に基づくことが望ましいが、空港設置予定地点における観測は昭和53年1月から開始されたために短期の資料である。したがって、この資料は他の方法によった推算値の検証に用いることとする。波浪推算としては、① 風が長時間吹き続いたと仮定して定常風からの波浪推算、② 第3港湾建設局が実施した昭和46年1月から50年12月までの大阪湾周辺の風速の観測値をもとにした通常時の波浪推算、③ 過去、大阪湾に大被害をもたらした台風時の避泊船舶が目視観測した波高を基にした台風時の推定波浪図及び④ 台風時の有義波法による大阪湾沿岸の波浪推算等の資料を用いて行った。

(1) 通常時の波浪

風を基にした波浪の推算手法は種々の手法があるが、夫々の手法による推算結果には若干の相違が見受けられる。そこで、M. Darbyshire の推算手法を川鍋¹⁵⁾が修正した図から、定常風に対する有義波高及び平均波周期を求めた結果を表2.2に示す。なお、10分間平均最大風速 25 m/s は、定常風に換算すると風速

表 2.2 泉南における定常風に対する有義波高と平均波周期

平均風速 10分間	定常風	風 向							
		E		W		S		N	
		H _{1/3}	T _w	H _{1/3}	T _w	H _{1/3}	T _w	H _{1/3}	T _w
12.50	10 m/s	0.25 m	2.5 sec	0.8	4.5	0.25	2.5	0.8	4.0
18.75	15	0.50	3.0	1.4	5.5	0.40	3.0	1.4	5.5
25.00	20	0.75	3.5	2.4	6.5	0.75	3.5	2.2	6.0
31.25	25	1.00	4.0	3.2	7.0	1.00	4.0	3.0	7.0

20m/sに相当する。表 2.2 から一番厳しい波浪条件は西風の場合で、有義波高が 2.4m、平均波周期が 6.5 sec である。この値を平均年間最大の波浪条件として設定することとする。

また、平均年間で累積度数率が 70%、90% 及び 95% に対する有義波高及び平均波周期は、2.1.2 の (3) の c) において設定した風速の累積度数率の値を用いて、SBM 法に近似させた WILSON の式に基づいて求めた波浪推算図¹⁶⁾から読み取った。その結果を、四季及び風向別にして表 2.3 に示す。

表 2.3 四季の風向別有義波高と平均波周期

四 季	累積度数率	風 向								全 方 向	
		N		E		S		W		H _{1/3}	T _w
		H _{1/3}	T _w	H _{1/3}	T _w	H _{1/3}	T _w	H _{1/3}	T _w		
春	70%	0.50	3.5	0.25	-	0.32	-	0.57	3.5	0.45	3.2
	90	0.75	4.0	0.45	2.5	0.50	2.8	0.90	4.3	0.75	3.8
	95	0.95	4.3	0.50	2.8	0.63	2.9	1.08	4.6	0.90	4.2
夏	70	0.38	2.9	0.32	-	0.32	-	0.38	2.9	0.38	2.8
	90	0.57	3.6	0.50	2.2	0.50	2.8	0.57	3.5	0.57	3.2
	95	0.75	3.9	0.57	2.9	0.63	3.0	0.63	3.8	0.70	3.6
秋	70	0.45	3.2	0.25	-	0.32	-	0.57	3.5	0.45	3.0
	90	0.70	3.9	0.38	-	0.45	2.6	0.95	4.4	0.70	3.8
	95	0.90	4.2	0.45	-	0.50	2.8	1.20	4.8	0.90	4.2
冬	70	0.57	3.5	0.25	-	0.25	-	0.90	3.9	0.57	3.5
	90	0.82	4.1	0.45	2.7	0.45	2.6	1.08	4.5	0.90	4.2
	95	0.95	4.3	0.57	2.9	0.50	2.8	1.27	4.9	1.08	4.5
年 間	70	0.50	3.3	0.25	-	0.32	-	0.70	3.5	0.45	3.1
	90	0.75	4.0	0.45	2.6	0.50	2.7	1.08	4.5	0.75	3.9
	95	0.90	4.2	0.50	2.9	0.63	2.9	1.20	4.6	1.00	4.2

一方、昭和 53 年 1 月より空港設置予定地点において気象及び海象の毎時観測が行われている。その 1 ヶ月分が月報として公表¹⁷⁾されているのでその資料から 1 日 24 回の観測結果の中で 10 分間平均の最大風速値と、その時の最大波高を用いて風速と波高との関係を図示すると図 2.8 となる。なお、図中の回帰曲線は、

$$H_{max} = 0.034U^{1.5} + 0.36 \quad (U; \text{風速 m/s})$$

の関係式より求めた曲線である。また、最大波高が記録された時の風向は、数例を除き全て西寄りの風向である。そして、最大波高から有義波高への算定は計測時間が 10 分間では波数が大略 100 波程度であるので、 $H_{max} = 1.6 \cdot H_{1/3}$ の関係を用いて、表 2.2 の西風の場合の波高を換算して図中に ⊗ で示した。

この図から、本調査において設定した波浪の妥当性が確認された。

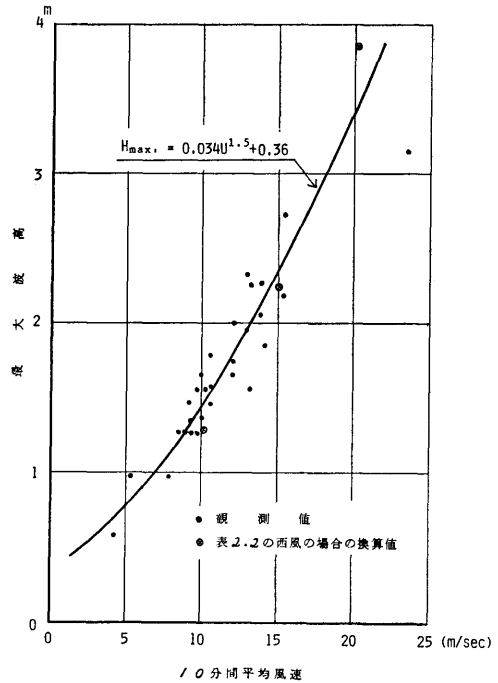


図 2.8 最大波高の実測値と設定値との比較

(2) 異常時の波浪

大阪湾が最も荒れるのは台風時であり、来襲した台風としては室戸台風及びジェーン台風等がある。近年で資料が比較的整理されている台風として、台風 6420、台風 6523 及び台風 6619 がある。これらの台風では波によって沿岸並びに避泊船舶に大きな被害を

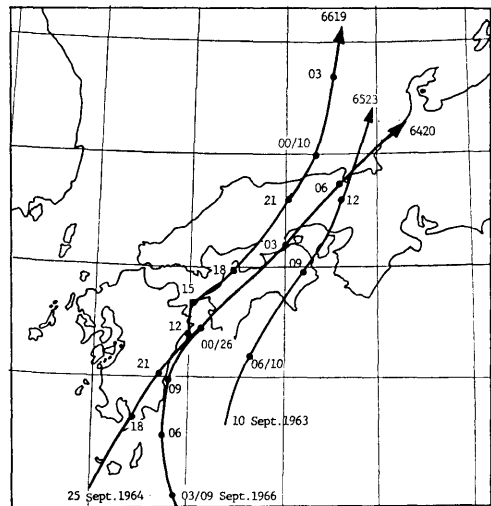


図 2.9 台風 6420 号、6523 号及び 6619 号の経路

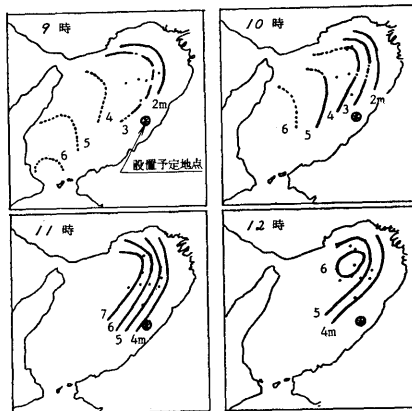


図 2.10 台風 6523 号の時間毎の波高分布

与えたが、その台風の経路を図 2.9 に示す。また、台風時の波高分布の目安として台風 6523 の波浪について湾内の避泊船舶の目視観測結果を基にして推定した結果を図 2.10 に示す¹⁶⁾。

また台風時の波浪について、第 3 港湾建設局と港湾技術研究所とによる大阪湾波浪の統計的推算についての合田¹⁸⁾の概説がある。それには過去の台風時の天気図を用いて大阪湾内に発生する風波と湾外に発生する波の数値計算を実施し、波の特性を求めている。そして、計算した台風は室戸台風 (1934 年) から台風 6731 号 (1967 年) に至る 45 台風で、その中には大阪湾に影響を及ぼしたほとんど総ての台風が網羅されている。その推算結果を表 2.4 に示す。なお、波浪の計算法は井島の台風域の浅海波の数値計算法である。これによると台風時の湾内における波浪分布は 4 つの型に分類されている。そこで、これを基に各台風の泉南における波高を推算した結果を表 2.4 の右欄に示す。泉南について台風時の波浪の確率波高を推定すると、有

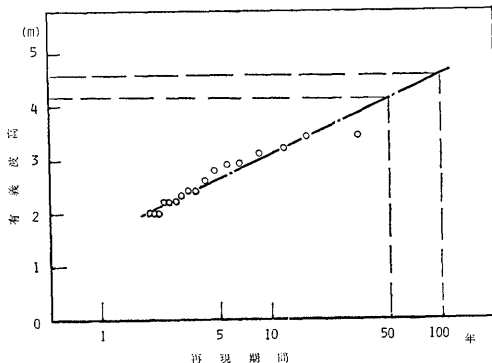


図 2.11 異常時の波高予測

効統計年数が 33 年で換算波高を含めて 2.0m 以上の波高を表 2.4 から拾い、合田らが実施したのと同じ方法で置点した結果が図 2.11 である。この図より泉南において、再現期間が 50 年及び 100 年の台風に対する有義波高 ($H_{1/3}$) は、約 4.1m 及び 4.6m となる。

2.2.2 波スペクトラムに関する検討

2.2.1 において有義波高及び平均波周期が設定されたが、その値を用いて空港設置地点における波スペクトラムを設定することにする。一般に波スペクトラムを表示する式は種々提唱されているが大阪湾で実測した波スペクトラムと比較検討し、本調査において適用する波スペクトラムの表示式を設定する。

スペクトラムを表示する方法としては、スペクトラム法の波浪シミュレーション計算、風速と吹送距離等から推定する方法並びに他の手法で得た波高と周期を用いて推定する方法等がある。

その中で、波高と周期とを用いてスペクトラムを表示する方法としては、次に示す式が一般によく用いられている。

- (1) I.S.S.C. (国際船体構造委員会) の標準波スペクトラム¹⁹⁾

$$S(f) = 0.11 H_V^2 T_V (T_V \cdot f)^{-5} \exp \{-0.44 (T_V \cdot f)^4\}$$

ここで、 H_V 及び T_V は観測した波高と周期であり、波高は有義波高 ($H_{1/3}$) を用い、周期はスペクトラムの 0 次と 1 次モーメントから求まる T_1 を推薦している。

- (2) Bretschneider - 光易の波スペクトラム²⁰⁾

$$S(f) = 0.43 \left(\frac{\bar{H}}{g\bar{T}^2} \right)^2 \frac{g^2}{f^5} \exp \left\{ -0.675 \left(\frac{1}{\bar{T}f} \right)^4 \right\}$$

ここで、 \bar{H} は平均波高で $0.625 H_{1/3}$ で、 \bar{T} は平均波周期である。

- (3) JONSWAP のスペクトラム²¹⁾

風速と吹送距離とで求めるスペクトラムとしては、北海合同観測資料を用いて求めた JONSWAP のスペクトラムがある。

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left\{ -\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_m} \right)^{-4} \right\} \gamma \times \exp \left\{ -\frac{(f - f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2} \right\}$$

ここで、 $\alpha = 0.076 \bar{X}^{-0.22}$

$$\bar{X} = Xg/U^2 \quad (X \text{ は吹送距離, } U \text{ は風速})$$

$$f_m = 3.5g\bar{X}^{-0.33}/U \quad (\text{スペクトラムのピーク周波数})$$

$$\gamma = 3.3 \quad (\text{平均値})$$

表 2.4 計算した台風の諸値と大阪湾内発生波の推算結果

台風名	進行方向	進行速度 V (km/hr)	R _{min} (km)	ΔP (mb)	r ₀ (km)	神戸での最大値			湾沿岸での最大値			波高分 布の型	波高 (泉南)	
						H (m)	T (sec)	波 向	H (m)	T (sec)	波 向			地 点
6734	NE	54	156	66	116	0.8	3.1	ENE	2.3	5.0	W	岸和田	III	2.3
6718	NE	18	132	27	46	0.4	2.5	ENE	1.2	4.0	NW	泉佐野	III	
6626	NNE	66	266	66	55	なし	なし	なし	1.0	3.8	W	岸和田	III	
6624	NE	65	-26	18	44	2.3	5.4	SW	2.9	5.7	WSW	東神戸	III	2.9
6619	NE	39	-120	23	52	1.8	4.4	SW	1.9	4.5	NNE	西須磨	II	
6524	NE	53	160	49	156	0.8	3.1	ENE	2.2	5.0	WSW	南大阪	III	2.2
6523	NNE	60	-50	64	43	4.4	6.8	SW	4.4	6.8	SW	神戸	I	2.9
6515	NNE	45	-312	43	42	0.9	3.6	S	1.0	3.7	N	垂水	II	
6420	NE	61	-78	45	55	3.3	6.0	SW	3.7	6.2	SW	西宮	II	2.4
6414	NE	29	-107	27	60	2.1	4.7	SW	2.1	5.3	SSW	垂水	I	
6309	NW	23	-386	32	126	1.0	3.5	ESE	1.1	3.8	ESE	垂水	I	
6303	NNE	62	-119	20	48	1.8	4.5	SW	1.9	4.4	SW	西須磨	II	
6214	N	36	102	48	79	なし	なし	なし	2.0	4.8	WSW	南堺	III	2.0
6213	ENE	36	-69	12	100	1.6	4.5	SW	1.9	5.0	WSW	大阪	II	
6207	NNE	15	67	32	72	0.7	3.0	ENE	2.8	4.8	WNW	泉佐野	III	2.8
第2室戸	NE	51	26	27	37	2.1	4.5	E	3.4	6.5	WSW	大阪	IV	3.4
6016	NNE	44	-124	45	45	2.4	5.2	S	2.7	5.7	S	垂水	I	
6012	NNE	30	-63	20	50	2.3	4.9	SW	2.3	4.9	SW	西須磨	II	
6011	NNW	18	-138	20	63	1.5	4.1	SSW	1.6	4.6	SSW	垂水	I	
5916	ENE	49	32	24	108	1.3	3.8	SE	1.3	4.1	SE	西須磨	I	
伊勢湾	NNE	63	81	96	74	なし	なし	なし	2.6	5.3	WSW	泉佐野	III	2.6
5906	NE	32	61	46	100	1.5	4.3	ESE	2.0	5.0	E	岩屋	III	2.0
5817	NE	29	56	45	65	1.3	3.9	ENE	2.4	5.3	W	岸和田	III	2.4
5710	NE	45	55	25	81	2.7	5.6	SW	2.7	5.6	SW	神戸	II	
5612	NNE	62	-436	68	136	2.0	4.9	S	2.2	5.2	SSW	垂水	I	
5609	NE	39	-287	56	199	3.0	5.7	SSW	3.1	5.3	SSW	西須磨	II	2.0
5526	NE	61	96	30	63	0.6	2.9	ESE	1.8	4.7	W	岸和田	III	
洞爺丸	NNE	98	-175	50	40	2.8	5.3	SW	2.8	5.5	SW	尼崎	I	
5412	N	39	-388	52	119	1.6	4.4	S	1.8	4.8	S	垂水	I	
5405	NE	22	-20	35	50	2.3	5.2	SSW	2.8	5.5	WSW	尼崎	II	
5313	NNE	39	143	88	55	0.9	3.2	ENE	3.1	6.4	NNW	友ヶ島	III	3.1
5202	NE	61	133	44	51	0.5	2.7	E	1.5	4.2	NW	泉佐野	III	
ルース	NE	62	-189	40	83	2.3	5.0	SW	2.4	5.1	SW	東神戸	II	
キジア	NNE	44	-333	56	69	1.5	4.5	S	1.6	4.6	S	垂水	I	
ジェーン	NNE	50	10	65	44	2.3	5.3	SW	3.2	6.0	WSW	大阪	IV	3.2
4906	NNW	9	85	12	69	なし	なし	なし	0.9	3.0	WNW	岸和田	III	
4707	NNE	17	167	22	99	なし	なし	なし	1.1	4.1	N	友ヶ島	III	
阿久根	NE	38	-169	23	38	1.1	3.7	SW	1.1	3.8	SW	東神戸	II	
枕崎	NE	62	-161	78	60	3.3	6.1	SW	3.4	6.2	SSW	垂水	I	2.2
4420	NNE	48	158	58	102	なし	なし	なし	2.2	4.8	WSW	南大阪	III	2.2
4416	NE	51	-102	47	39	2.6	5.3	SW	2.7	5.6	WSW	大阪	II	
4217	NNE	51	-71	23	31	2.0	4.6	SW	2.0	4.4	SW	西須磨	I	
4114	NNE	39	-158	55	30	1.7	4.6	SSE	2.1	4.8	SSE	垂水	I	
4102	NE	59	94	25	95	0.3	1.9	E	1.7	4.6	W	泉佐野	III	
室戸	NE	66	18	66	35	2.1	5.0	ESE	3.4	5.7	W	岸和田	IV	3.4

$$\sigma \begin{cases} f \leq f_m \text{ のとき } 0.07 \\ f_m > f \text{ のとき } 0.09 \end{cases}$$

$$S(f) = \frac{\alpha H_{1/3}^2}{T_P^4 f^5} \exp \left\{ -\frac{5}{4} (T_P \cdot f)^4 \right\} \gamma \times \exp \left\{ -\frac{(T_P \cdot f - 1)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

である。

(4) JONSWAP の波高と周期とによる波スペクトラム²²⁾

ここで、 γ 、 σ は (3) JONSWAP の式と同じ値で

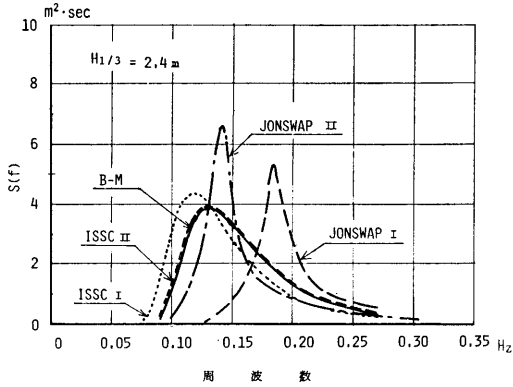


図 2.12 各種波スペクトラムの比較

あり、 $\alpha=0.166$, $H_{1/3}$ は有義波高, T_P はスペクトラムのピークの周期である。

これらの4つの表示式について有義波高が2.4mで平均波周期が6.5秒について波スペクトラムを比較すると図2.12となる。その図中の5つのスペクトラムは次の通りである。

- B-M : Bretschneider-光易で
 $\bar{H} = 0.625H_{1/3}, \bar{T}$
- I.S.S.C.-I : I.S.S.C. の波スペクトラムで
 $H_V = H_{1/3}, T_V = \bar{T}$
- I.S.S.C.-II : I.S.S.C. の波スペクトラムで
 $H_V = H_{1/3}, T_V = 0.9\bar{T}$
- JONSWAP-I : (3) の JONSWAP の波スペクトラムで $U=20\text{m/s}, X=35\text{km}, H=1.9\text{m}$
- JONSWAP-II: (4) の JONSWAP の波スペクトラムで $H_{1/3}, T_P=1.1\bar{T}$

この図から、I.S.S.C.-II と Bretschneider-光易との波スペクトラムは、当然の結果であるが、よく一致している。それは、表示式が同型であるためである。また、JONSWAP の波スペクトラムは他のスペクトラムよりも高い値を示すと同時に狭帯域にエネルギー密度が分布していることが判る。

そこで、大阪湾内における実測波スペクトラムを用いて各波スペクトラムの表示式との比較を行って本調査研究に用いる波スペクトラムを検討する。

まず、大阪府立大学が吊り下げ式の波高計で大阪湾における波を実測した波スペクトラムを図2.13のa)及びb)に実線で示し、第3港湾建設局がステップ式の波高計で神戸港の観測塔において実測した波スペクトラムを図2.13のc)及びd)に実線で示す。これ

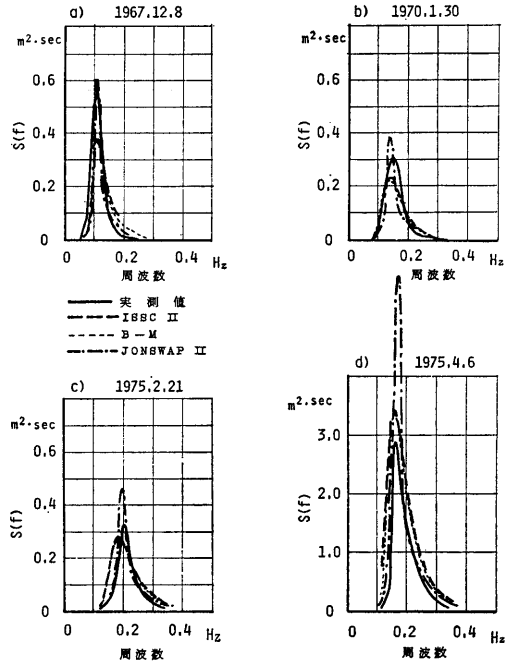


図 2.13 大阪湾内における実測波スペクトラム

らの波スペクトラムは前者が T_0 の波周期で、後者が $T_{1/3}$ の波周期の波スペクトラムである。

これに対して $T_V=0.9\bar{T}$ にした I.S.S.C. の波スペクトラムを破線で、Bretschneider-光易の波スペクトラムを点線で、 $T_P=1.1\bar{T}$ の JONSWAP の波スペクトラムを一点破線で図2.13に示すと、実測した波スペクトラムは I.S.S.C.-II 及び Bretschneider-光易の波スペクトラムとよく一致していることが判る。

したがって、本調査研究に用いる波スペクトラムは、調査地点が湾内で浅海域であること及び土木や港湾関係においてよく適用している Bretschneider-光易の波スペクトラムに近いことが望ましいこと等を考慮して $T_V=0.9\bar{T}$ にした I.S.S.C. の標準波スペクトラムの表示式を通常時の波スペクトラムに適用することとする。

つぎに、異常時の波スペクトラムの表示式を検討するために詳細は2.2.3において述べるスペクトラム法による台風シミュレーション計算によって得られた一次元の波スペクトラムを図2.14に折線で示す。それに対して I.S.S.C. の標準波スペクトラムの表示式に有義波高 ($H_{1/3}$) が4.6m、波周期 (T_1) が9.6秒を用いて $T_V=T_1$ にて求めた波スペクトラムの結果を実線で示す。

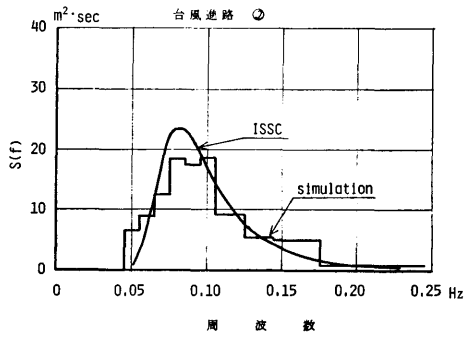


図 2.14 台風シミュレーションによる波浪推算スペクトラム

その結果、シミュレーション結果と I.S.S.C. の標準波スペクトラムとはよく一致していることが判る。なお、I.S.S.C. の 1964 年報によると種々の T_V の推算法に対して T_1 を用いることを推せんしている。

したがって、異常時の波スペクトラムは、I.S.S.C. の標準波スペクトラムの表示式に $T_V = T_1$ を代入したものを適用することとする。

なお、実際海面の波浪は、長波頂不規則波ではなく、短波頂不規則波に近いので、2次元スペクトラムを導入することが必要となる。

2次元スペクトラム $s(f, \theta)$ は次式で書き表わされる。

$$s(f, \theta) = s(f) \cdot D(\theta)$$

ここで、 $D(\theta)$ は主波向と成分波の進行方向とがなす角で、 $\int_{-\pi}^{\pi} D(\theta) d\theta = 1$ である。

この方向関数 ($D(\theta)$) については、いくつかの提案があるが、浮体空港の設置地点の地形を考慮すると同時に、モデル台風シミュレーション結果を考慮して深海域においてよく用いられている余弦の2乗ではなく、本調査においては方向関数 ($D(\theta)$) を次式のように設定することとした。

$$D(\theta) = \frac{4}{3\pi} \left\{ \cos \frac{1}{2} \theta \right\}^4$$

2.2.3 モデル台風による波浪のシミュレーション計算

2.1.3 で設定したモデル台風について、台風通過時の波浪をスペクトラム法によるシミュレーション計算で推定した。

(1) モデル台風

台風の進路、移動速度及び最大風速を第2室戸台風を参考にして下記のように設定した。

(18)

進路、計算範囲及び格子間隔: 図 2.5 及び図 2.6

移動速度: 本州上陸前 北行成分 20 km/h

本州上陸後 北行成分 30 km/h

最大風速: 40 m/sec 一定 (10 分間平均最大 50 m/sec に対応)

風速分布: $|\vec{V}| = |\vec{V}_S + \vec{V}_A|$

ここで、 \vec{V} は風のベクトル、

\vec{V}_S は風の対称成分ベクトル、

\vec{V}_A は台風の移動速度ベクトルである。

対称成分風速モデル: 高橋のモデル²⁶⁾

(2) スペクトラム法によるシミュレーション計算

設置地点に影響を与える海域全体に格子点網を設定し、各格子点の時々刻々の風向及び風速を入力として各周波数及び各方向の成分波がどの様に発生し、成長し、伝播し、そして減衰するかを推算する^{27), 28)}。波浪の発生成長過程におけるスペクトラム $\{s(f, t)\}$ は次式により計算する。

$$\frac{ds}{dt} = A(f, V) + B(f, V)s$$

ここで f は周波数、 V は風速である。

伝播中のスペクトラムの減衰は次式による。

$$S_a = S_0 [e^{-\sigma \sqrt{S_w} \cdot f^4}]^{K(\theta)}$$

ただし、 S_a は減衰後のスペクトラム、 S_0 は減衰前のスペクトラム、 S_w は $\int d\theta \int S_0 dt$ (θ : 方向) である。

計算は外洋と内海の2段階に分けて行なった。外洋の計算は内海の計算の境界条件を求めるためである。出力は空港設置地点の各時刻における2次元スペクトラム (周波数及び方向の関数) 及び、内海格子点の各時刻の有義波高、ゼロクロス平均波周期及び波の主方向である。シミュレーション計算は図 2.5 及び図 2.6 に示す4ケースについて実施した。その計算結果の内、設置点の最大の有義波高 ($H_{1/3}$)、その時の波周期及び波の主方向を表 2.5 に示す。また、進路②については、波、風及び2次元波浪スペクトラムを図 2.15

表 2.5 設置予定地点における有義波高、平均波周期及び主波向

ケース	進路	最大風速 (定常風速)	有義波高 ($H_{1/3}$ m)	平均波周期 (T sec)	主波向 (deg)
1	①	40	3.4	8.0	240
2	②	40	4.6	9.0	240
3	③	40	3.2	7.5	240
4	④	40	1.9	6.2	240



図 2.15 モデル台風のシミュレーション計算による大阪湾の有義波高

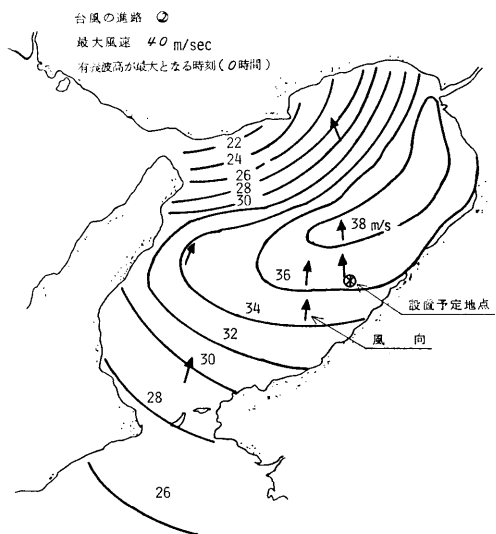


図 2.16 モデル台風のシミュレーション計算による大阪湾の風向

及び図 2.16 及び図 2.17 に示す。この場合の最大の有義波高，その時の周期及び主方向は

波高 ($H_{1/3}$): 4.6 m

波周期 (T): 9.0 sec ($T_1=9.6$ sec)

$$T_1 = \int S(f) df / \int S(f) \cdot f df$$

主波向: 240°

である。

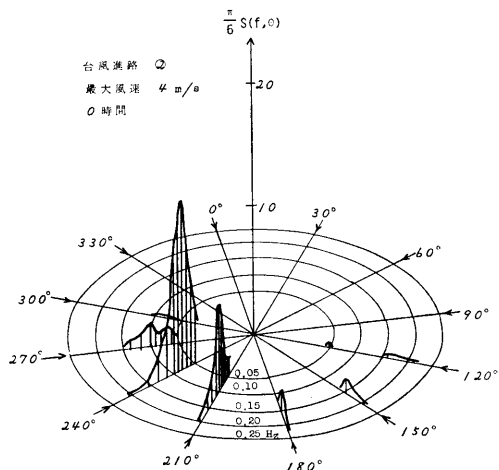


図 2.17 2次元波スペクトラム

2.2.4 波浪の設定

2.2.1 から 2.2.3 までの検討結果から通常時における 10 分間平均最大風速を 25 m/s (定常風の 20 m/s に相当) 及び異常時を 50 m/s (定常時の 40 m/s に相当) とした場合の有義波高，平均波周期及び波向を表 2.6 に示すように設定した。

表 2.6 波浪の設定

	通常時	異常時
有義波高 ($H_{1/3}$)m	2.4	4.6
平均波周期 (\bar{T})sec	6.5	9.6 (T_1)
主波向 deg.	270	240

なお，異常時の値は，再現期間 100 年に相当する台風時の波である。

上記の値を用いて，波スペクトラムを求める場合，2.2.2 において述べたように，Bretschneider-光易の波スペクトラムと同じにするために次のように波周期を設定して I.S.S.C. 標準波スペクトラムの式に代入する。

通常時 $T_V = 0.9\bar{T}$ (\bar{T} は表 2.6 の 6.5 秒)

異常時 $T_V = T_1$ (T_1 は表 2.6 の 9.6 秒)

また，通常時の累積度数率が 70, 90 及び 95% に対する有義波高及び平均波周期は表 2.7 に示す値である。なお，最大波高 (H_{max}) は 1/1,000 最大期待値を適用するものとして有義値の 2 倍とする。

なお，昭和 53 年 1 月より空港設置予定地点での気象及び海象の観測が実施されているが，現在までに入

表 2.7 累積度数率に対する有義波高及び平均波周期

累積 度数率	各 期				年 間			
	東 大 方 位 (甲)		全 方 向		東 大 方 位 (甲)		全 方 向	
	有義波高 H1/3(m)	平均波周期 T(sec)	有義波高 H1/3(m)	平均波周期 T(sec)	有義波高 H1/3(m)	平均波周期 T(sec)	有義波高 H1/3(m)	平均波周期 T(sec)
70%	0.90	3.9	0.57	3.5	0.70	3.5	0.45	3.1
90%	1.08	4.5	0.90	4.2	1.08	4.5	0.75	3.9
95%	1.27	4.9	1.08	4.5	1.20	4.5	1.00	4.2

手できた昭和 53 年 1 月から 9 月までの波浪の観測資料を整理し、2.2.1 で実施した大阪湾周辺の風速の毎時観測値から推算した推定波高と比較した。その結果によると、ここで設定した波浪の累積度数 70, 90, 95% に対する値は有義波高で比較して、現地の毎時観測の累積と、日最大値の累積値の中間よりやや日最大値に近い値となっており、表 2.7 に示した設定波高の値がほぼ妥当であることを確認した。

2.3 潮流, 高潮及び津波の設定

2.3.1 既存資料による検討

(1) 潮 位

土木学会の海岸保全施設設計便覧²⁹⁾の潮位表によると 1967 年の常態潮位及び 1930 年前後から 1967 年までの高極潮位と低極潮位が示されている。したがって、これを引用し、潮位表基準面を零とした表示法で大阪湾内における潮位を求めた結果を表 2.8 に示す。

表 2.8 大阪湾内の潮位

検 測 所	T.P. (m)	平均潮位 (m)	期 望 平 均 (m)		A - B	高極潮位 (m)	低極潮位 (m)
			高潮位 (A)	低潮位 (B)			
阪 輪	0.901	0.959	1.651	0.040	1.591	2.869	-0.631
大 阪	0.785	0.934	1.639	0.007	1.632	3.174	-1.816
神 戸	0.802	0.916	1.578	-0.003	1.581	2.926	-0.924
洲 本	0.752	0.866	1.492	0.011	1.481	2.948	-0.692

この表から設置予定地点における潮位を求めると次に示す値が求められる。

- 期望平均満潮位: 1.63 m
- 期望平均干潮位: 0.03 m
- 高 極 潮 位: 2.97 m
- 低 極 潮 位: -1.03 m

(2) 潮 流

海上保安庁の大阪湾潮流図³⁰⁾には、明石海峡の最強時の潮流速度が 4.2 kt の場合に対する湾内各地点における流速を与えている。それによると設置予定地点における流向及び流速は図 2.18 のようになる。したがって、明石海峡における最強時の流速が推定できれば、この図により設置予定地点における流速を次に示

(20)

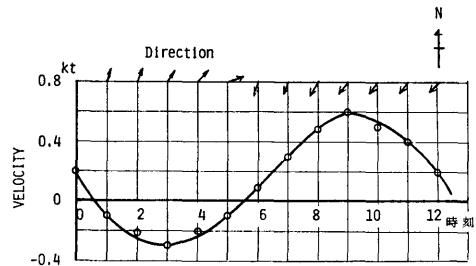


図 2.18 潮流の流速及び流向 (明石海峡における最強時の流速 4.2 kt の場合)

す関係式を用いて求めることができる。

設置予定地点の流速

$$= \text{明石海峡流速} \times \text{図 2.18 の流速} \div 4.2 \text{ kt}$$

(3) 潮 汐

海上保安庁の潮汐表³¹⁾には、明石海峡における最強時流速の年間の値が示されているので、この地点での年間の累積頻度を調べた結果を図 2.19 に示す。この

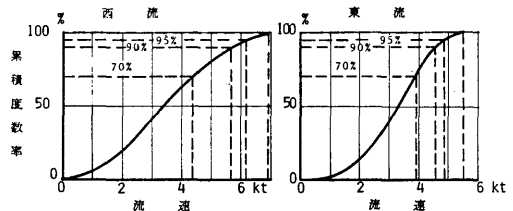


図 2.19 明石海峡における最強時流速の年間累積度数率

図から、明石海峡における流速の累積頻度が 70%, 90% 及び 95% に対する西流及び東流の流速を求めると、

累積頻度	西流最強時流速	東流最強時流速
70%	4.35 kt	3.90 kt
90%	5.65 kt	4.55 kt
95%	6.15 kt	4.85 kt

となる。そして、最大最強時の流速を求めると、西流時に 6.9 kt, 東流時に 5.5 kt となる。

(4) 高 潮

大阪湾の高潮については気象庁技術報告³²⁾において検討がなされている。その資料の中から設置予定地点において最大偏差を与える台風として伊勢湾台風を室戸台風の経路にのせた場合の結果を図 2.20 に示す。この図から設置予定地点における高潮を求めると、

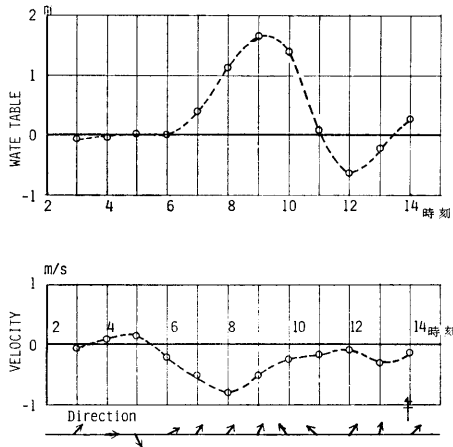


図 2.20 設置予定地点における高潮の計算値 (伊勢湾台風が室戸台風の経路をとった場合)

- 高潮最大偏差: 1.70 m
- 高潮最小偏差: -0.60 m
- 北流最強潮流速度: 1.50 kt
- 南流最強潮流速度: 0.30 kt

となる。なお、北流、南流の定義は、海上空港の滑走路に沿って北方向に流れる流速を北流といい、その逆で南方向に流れる流速を南流ということにする。

2.3.2 潮位、潮流の設定

(1) 通常時における潮位と潮流

通常時の潮位としては天文潮による値を用いて、

2.3.1 の (1) において求めた潮位を用いて

- 朔望平均満潮位 1.63 m
- 朔望平均干潮位 0.03 m

とする。

潮流速度については、2.3.1 の (3) で求めた明石海域における流速を (2) で示した手法を用いて設置予定地点における流速を求めると

	北流最強時流速	南流最強時流速
最大値	0.49 kt	0.79 kt
累積頻度		
70%	0.31 kt	0.56 kt
90%	0.40 kt	0.65 kt
95%	0.44 kt	0.69 kt

となる。なお、流向は、ほとんどの場合海岸線に沿って流れている。

(2) 異常時における潮位と潮流

高潮と津波はいつでもまれに起こる現象であるか

ら、同時には起こらないと考えられる。津波については別途検討することにし、ここでは高潮のみを検討する。

一般に、設計時の最大潮位は、次式により算出できる。

$$\text{最大潮位 } (H_{\max}) = \text{朔望平均満潮位 } (H_{\text{HWL}}) + \text{高潮最大偏差 } (H_s)$$

川上等³³⁾は天文潮と気象潮の重ね合わせを検討し、神戸港の異常高潮位超過発生確率を示しているが、それによると再現期間を 100 年とした場合の最大潮位は 3.55~3.60 m となっている。一方、神戸港では朔望平均満潮位は 1.58 m であり、高潮最大偏差は、伊勢湾台風を室戸台風の経路にのせた場合に 2.00 m であるから、この値から神戸港における最大潮位を求めると、3.58 m となる。この値と川上等の値と対比させると最大潮位は再現期間が大略 100 年の値に対応していることが判る。

この値を用いて設置予定地点における再現期間が、100 年の場合の最大潮位を求めると大略 3.33 m となる。なお、潮位の最小値は、最大潮位を求める手法に準拠し、次式で求められる。

$$\text{最小潮位 } (H_{\min}) = \text{朔望平均干潮位 } (H_{\text{LWL}}) - \text{高潮最小偏位 } (H_s)$$

上式で最小潮位を求めると -0.57 m となる。一方、既往低極潮位は -1.03 m であるので、最小潮位としてはこの値を用いることとする。したがって、流速は、潮流と高潮との重ね合わせについては、重ね合わせに関する適当な資料がないので、若干過大評価になると思われるが、通常時の潮流の最大値に異常時の高潮の最強流速を単純に加えて流速の最大値を算出することとし、北流の最大流速が 2.0 kt (0.49 kt+1.50 kt)、南流の最大流速が 1.1 kt (0.79 kt+0.30 kt) となる。その結果から異常時の流速は海岸に平行な方向に 2.0 kt と考えれば十分であるといえる。なお、この流れと直角方向の流速も若干存在するので、同様な手法で求めると、約 0.3 kt である。

(3) 潮位、潮流の設定

以上の結果から、設置予定地点における本調査研究に用いる潮位及び潮流を設定すると表 2.9 のようになる。

2.3.3 津波に関する調査・検討

津波の予測に関しては、三陸海岸における被害予測の研究報告³⁴⁾があるが、大阪湾における系統的資料は不足している。したがって、中村³⁵⁾、和達³⁶⁾及び羽鳥³⁷⁾

表 2.9 潮位及び潮流の設定値

		潮流速度 (kt)		潮位 (m)
		X 方向	Y 方向	
通常時	最大値	0.79	0	期望平均満潮位 1.63
	累積度数率 70%	0.56		期望平均干潮位 0.03
	90%	0.65		
	95%	0.69		
異常時	最大値	2.0	0.3	最大潮位 3.33 最小潮位 -1.03

等の資料をもとに大阪湾に侵入する代表的津波の特徴を調べると共に、その中の一例について数値計算により湾内の津波を求める。そして、設置予定地点における津波の設定を試みることにする。

(1) 過去の津波

過去に日本列島をおそった津波の年表^{85),86)}がある。その資料から大阪湾に顕著な被害を与えた津波は、南海トラフに沿って発生する津波マグニチュード (M) が 3 以上の津波であるといえる。そこで東経 132°~137° に震源をもつような津波を抽出すると 684 年~1970 年に 8 回発生しており、その平均間隔は約 160 年である。また、中村⁸⁵⁾によると、大阪湾に影響した近地津波の再現期間は津波マグニチュードが 3 に対して 76~175 年となっている。

羽鳥⁸⁷⁾は 1707 年、1854 年、1944 年及び 1946 年の津波の波源域の比較を行ない、紀伊半島沖に震源をもつ津波の波源のパターンがほぼ同じになることを示している。また、津波年表によると紀伊半島沖の地震の震源は定点発生的な特徴をもっていることもわかる。

なお、中村によれば、遠地津波の危険性は近地津波よりかなり小さいといっている。

(2) 南海道地震津波と宝永の津波

以上の調査の結果から、紀伊半島沖に震源をもち大阪湾にとって代表的津波で海底変動の資料⁸⁸⁾のある南海道地震津波 (1946 年) を取り上げ、大阪湾内の津波を推算してみる。

計算手法は、断層モデルから波源での波形を求め、室戸岬と潮の岬を結ぶ線上から大阪湾奥までを津波の進行方向に対して直角に切った 18 の矩形セグメントに分割し、各セグメント間の接続には Lamb の方法を用い、紀淡海峡での適当なエネルギー損失を加味する方法をとることとする。以上の計算手法を用いて設置予定地点における水位と流速とを求めた結果を図

(22)

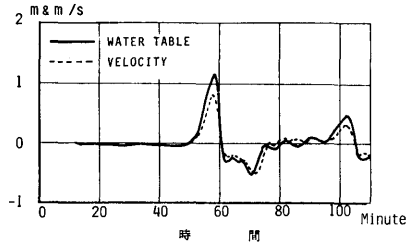


図 2.21 南海道津波による設置予定地点における水位及び流速の計算値

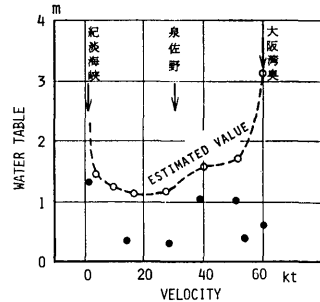


図 2.22 南海道津波による大阪湾内における水位

2.21 に示す。また、和達⁸⁶⁾が大阪湾内の水位を実測した値 (黒丸印) があり、その値と今回推算した値 (破線) を比較したものが図 2.22 である。この図から、実測値を尊重すれば、推算値を 0.5 倍すれば大略一致することが判る。

また、羽鳥⁸⁷⁾によれば、過去最大級の津波といわれる宝永の津波 (1707 年) の紀伊半島西岸から四国東岸での平均波高は、南海道地震津波の 1.8 倍にあたることを示している。したがって、宝永の津波に対する設置予定地点における水位と流速は、図 2.21 の値を和達の資料で修正 (0.5 倍) した後 1.8 倍すれば求めることができる。

(3) 津波の設定

図 2.21 に示す波形に見られるように、津波の基本的周期は 20~30 分程度であるといえる。また、チリ地震津波の周期は 50~60 分であるといわれている。

一方、浮体の挙動の固有周期は、すべて 20 秒以下である。したがって、津波は津波による浮体の周波数応答を考慮せずに、津波の水位変動を潮位に、津波の伝播速度を流速に加算すればよいと思われる。

以上の結果から、津波の再現期間を 80~100 年とすると、南海道地震による津波を考えればよいことにな

り、津波は、

最大潮位 0.57 m

最大流速 0.78 kt

であるといえる。

もしも、過去最大級の津波を考えるならば、宝永の津波を用いればよく、その時の津波は、

最大潮位 1.02 m

最大流速 1.41 kt

である。

天文潮及びこれによる潮流と津波とによる潮位と潮流の組み合わせを考える場合、約100年の再現期間をもつ南海道地震津波級を考えればよいと考えられるが、現実に宝永の津波が発生しているため津波としては宝永の津波を用いるべきであると考えられる。

したがって、天文潮等と組み合わせる場合に、高潮に対して行なった方法と同様な方法を用いれば、津波の異常値として

最大潮位 = $1.63\text{ m} + 1.02\text{ m} = 2.65\text{ m}$

最大潮流速 = $0.49\text{ kt} + 1.41\text{ kt} = 1.9\text{ kt}$

を用いればよいことになる。

2.4 不均一な自然環境条件の設定

風及び波の変動を論ずる場合、ある地点に着目した時系列で考える方法と、2次元的な広がりを持つ広域の不均一性で考える方法とがある。前者を動的不均一とすれば、後者は静的不均一といえる。したがって、前節までは、風及び波のスペクトラムを導入した時系列的な取り扱いを行ってきたので、ここでは静的な場所による不均一に対する検討を行うことにする。

2.4.1 既存資料による調査及び検討

一般に風や波が広域の不均一性を最も強く示すのは、台風を中心から最大風速が発生する間の渦の部分であるといえる。したがって、最大風速と台風を中心からの距離が推定できればよい。その推定法としてはウィルソンの方法等があり、その手法を用いて洋上作業などのために予測した推算波高分布の例を図2.23に示す。この図から台風を中心位置及びその進行方向と波高分布との関係がよくわかるし、距離に対する波高差の程度も判る。しかしながら、場所による不均一という目的で観測された既存の資料は極めて少ないが、波については、前述した台風6420号及び台風6523号に対する避泊船舶の目視観測結果から求めた大阪湾内の波高分布図や川鍋が推定した瀬戸内海東部波浪予測図がある。

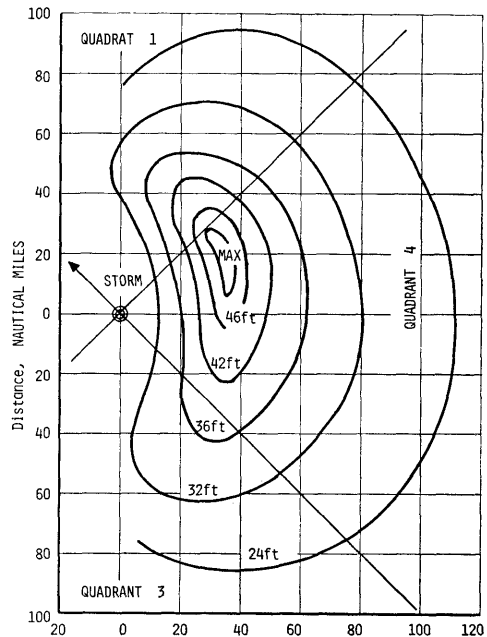


図 2.23 台風時の推算有義波高分布の1例

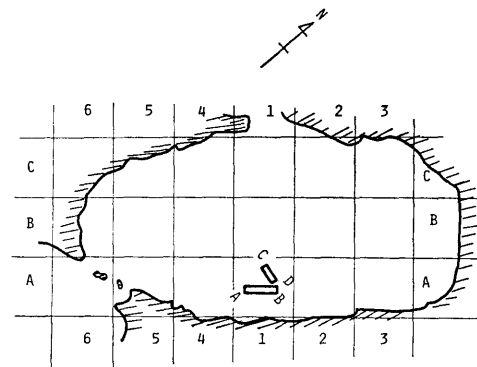


図 2.24 大阪湾内のブロック割り

そこで、図2.24に示すように大阪湾を10km×10kmのブロックで分割し、このブロックで海上空港の主滑走路及び補助滑走路の長さ方向(AB及びCD)に5km及び4kmの距離で発生する波高差の最大値を読み取ると共に夫々の浮体の中心からの距離が変化した場合の差の変化も読みとった。その代表的な例を表2.10及び表2.11に示す。この表から、設置予定地点における波高の不均一性は他のブロックと比較して不均一性が低いといえる。また、各滑走路の中心からの距離と波高差を図2.25及び図2.26に示す。この図から、AB方向の不均一性は、台風の場合及び低気

表 2.10 台風時のブロック内波高差及び空港中心からの距離による波高差 (台風 6420 号, 0.5 h, 観測値による等波高線より)

ブロック及び距離	A B 方向			C D 方向		
	最大波高差 (m)	低位波高 (m)	変化率 (%)	最大波高差 (m)	低位波高 (m)	変化率 (%)
A 1	0	4.0	0	0.8	4.0	20.0
A 2	0.5	3.5	14.2	1.0	3.0	33.3
A 3	1.0	3.0	33.3	1.0	3.0	33.3
A 4	-	-	-	-	-	-
A 5	-	-	-	-	-	-
B 1	0.3	6.0	5.0	-	-	-
B 2	0.3	5.5	5.5	0.8	4.0	20.0
B 3	1.0	4.0	25.0	0.8	4.0	20.0
B 4	-	-	-	-	-	-
B 5	-	-	-	-	-	-
C 1	-	-	-	-	-	-
C 2	0.3	5.0	6.0	-	-	-
C 3	1.0	4.0	25.0	1.0	4.0	25.0
C 4	-	-	-	-	-	-
C 5	-	-	-	-	-	-
小設 置の予 定地点	A B 方向 C D 方向					
5km / 4km	0	1.0	4.0	4.0	6	25.0
10km / 7km	0.1	1.8	3.9	3.8	2.6	47.3
20km / 4km	0.4	2.7	3.6	3.0	11.1	90.0

表 2.11 低気圧によるブロック内波高差及び空港中心からの距離による波高差 (瀬戸内海東部波浪予想図より W 25 m/s)

ブロック及び距離	A B 方向			C D 方向		
	最大波高差 (m)	低位波高 (m)	変化率 (%)	最大波高差 (m)	低位波高 (m)	変化率 (%)
A 1	0.15	2.9	5.2	0.8	2.5	32.0
A 2	0.2	3.2	6.3	0.5	3.0	16.7
A 3	0.1	4.0	2.5	0.5	3.0	16.7
A 4	0.3	2.5	12.0	0.4	2.2	18.2
A 5	0.2	2.5	8.0	0.5	1.0	50.0
B 1	0.3	2.0	15.0	0.5	2.0	25.0
B 2	0.2	2.5	8.0	0.5	2.0	25.0
B 3	0	2.5	0	0.9	2.2	41.0
B 4	0.1	2.3	4.3	0.6	1.3	46.1
B 5	0.2	1.4	14.3	0.7	1.0	70.0
C 1	0.3	1.0	30.0	0.5	1.0	50.0
C 2	0.2	1.1	18.2	0.5	1.0	50.0
C 3	0	1.2	0	0.5	1.0	50.0
C 4	0	1.0	0	0.3	1.0	30.0
C 5	0	1.2	0	0.2	1.0	20.0
小設 置の予 定地点	A B 方向 C D 方向					
5km / 4km	0.2	0.3	6.7	0.3	2.8	10.7
10km / 7km	0.3	2.7	10.3	0.8	2.7	29.6
20km / 4km	1.5	2.5	60.0	1.5	2.5	60.0

圧の場合ともに比較的低く、5km 程度の距離に対しては 6~8% 程度であり、CD 方向の不均一は、4km の距離に対して台風時に 15~50%、低気圧時に 10~40% と変化する幅も大きいことが判る。そこで、CD 方向の波高の変化率を低位波高について示したものが図 2.27 である。この図から一般的に波高が低い所で不均一度が高い傾向を示し、特に西及び南の風による波の場合に波高が低くても変化率が高いことから、設置予定地点においては風の方向の不均一度が波の不均一を生じさせる大きな要素になっていることが判る。

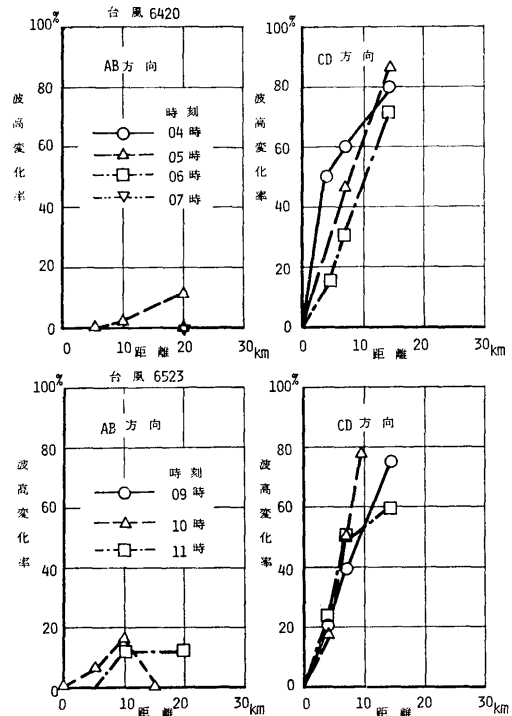


図 2.25 台風時の波高の不均一

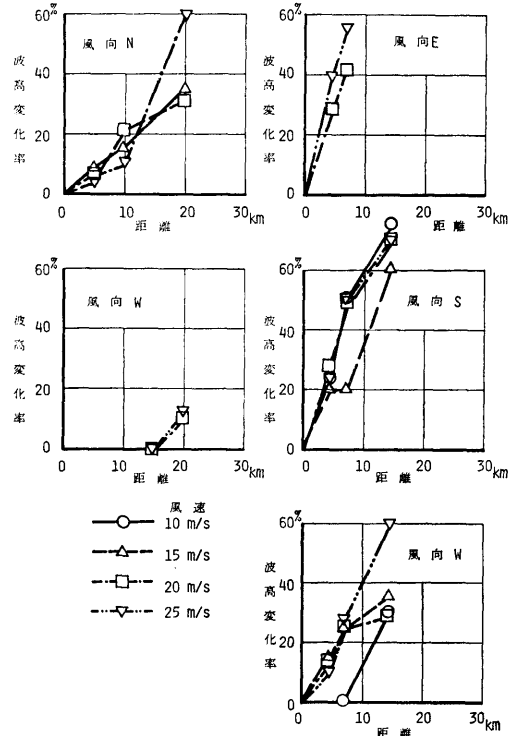


図 2.26 低気圧時の波高の不均一

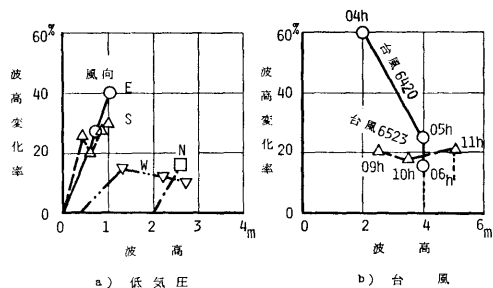


図 2.27 CD 方向の波高に対する波高の変化率

2.4.2 数値シミュレーション計算による不均一の計算

障害物のない大洋では単純に Wilson の方法などで推算した図 2.23 でも十分であるが、大阪湾内について

表 2.12 モデル台風シミュレーションによるブロック内風速差の最大値 (②-45 シミュレーションの例)

ブロック 及び 距離	A B 方向			C D 方向		
	最大風速差 (m/s)	低気圧差 (m/s)	変化率 (%)	最大風速差 (m/s)	低気圧差 (m/s)	変化率 (%)
A 1	1.6	38	4.2	0	38	0
A 2	1.6	42	3.8	0	42	0
A 3	0	42	0	2.4	41	5.8
A 4	2.0	36	5.6	1.0	36	2.8
A 5	1.8	34	5.3	1.0	34	3.0
B 1	2.6	36	7.2	2.4	38	6.3
B 2	2.0	36	5.6	3.0	35	8.6
B 3	2.0	38	5.3	4.0	36	11.1
B 4	2.8	37	7.6	1.7	36	4.7
B 5	2.0	34	5.9	1.0	34	2.9
C 1	4.0	34	11.8	2.0	28	7.1
C 2	2.0	28	7.1	2.0	30	6.7
C 3	2.0	30	6.7	4.0	30	13.3
C 4	5.0	32	15.6	1.8	30	6.0
C 5	2.0	32	6.3	1.0	34	2.9
小段 の 距離 の 指定 地点	AB方向CD方向 5km / 4km	3.9	3.6	0	3.9	0
	10km / 7km	2.7	3.8	0.4	3.8	1.0
	20km / 4km	3.2	4.0	0.6	3.9	1.5

表 2.13 モデル台風シミュレーションによるブロック内波高差の最大値 (②-45 シミュレーションの例)

ブロック 及び 距離	A B 方向			C D 方向		
	最大波高差 (m)	低気圧差 (m)	変化率 (%)	最大波高差 (m)	低気圧差 (m)	変化率 (%)
A 1	0.5	5.0	10.0	0	5.0	0
A 2	0	5.0	0	0.3	5.0	6.0
A 3	0	5.0	0	0.3	5.0	6.0
A 4	0.5	5.0	10.0	0.8	5.0	16.0
A 5	2.5	4.5	55.5	2.5	4.5	55.5
B 1	1.0	6.5	16.6	1.3	6.5	20.0
B 2	0.8	6.5	12.3	1.5	6.0	25.0
B 3	0.5	6.0	8.3	0.5	6.0	8.3
B 4	1.5	6.0	25.0	1.7	6.0	28.3
B 5	2.0	5.5	36.4	2.0	5.5	36.4
C 1	0.7	6.0	11.7	1.0	6.5	15.3
C 2	0.7	6.5	10.8	1.2	6.0	20.0
C 3	0.8	6.5	12.3	0.8	6.5	12.3
C 4	1.0	6.0	16.7	1.0	6.0	16.7
C 5	0.8	5.0	16.0	0.8	5.0	16.0
小段 の 距離 の 指定 地点	AB方向CD方向 5km / 4km	0	4.5	0	4.5	0
	10km / 7km	0.3	4.5	6.6	0.5	4.5
	20km / 4km	0.5	4.5	11.0	0.5	4.5

ては風速や波高が地形に左右される度合いが強く、特に周囲が囲まれた湾内では台風が来襲するまでの時間的経過及び通過時の影響をみる必要がある。そこで 2.2.3 で述べたモデル台風のシミュレーション結果をそのまま活用し、2.4.1 と同様にブロック毎に風速差及び波高差を読み取った例を表 2.12 及び表 2.13 に示し、各ケースの距離による変化率を図 2.28 及び図 2.29 に示す。これらの結果からは、前述の 2.4.1 と同様な傾向が得られたが、波高の変化率は多少小さい値を示している。

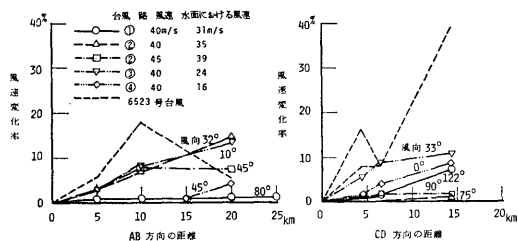


図 2.28 台風シミュレーション時の距離による風速変化率

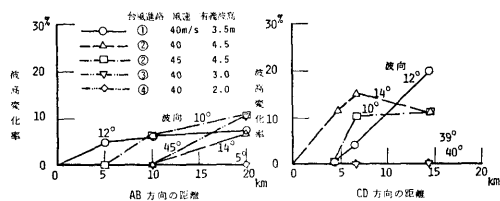


図 2.29 モデル台風シミュレーション時の距離による波高変化率

2.4.3 不均一な自然環境条件の設定

前述の台風観測値や低気圧に対する推算値及びモデル台風のシミュレーション結果から等風速線及び等波高線を用いて不均一性を求めた結果を整理すると、次の通りである。

項目	方向	距離	変化率 (%)		
			台風観測値	低気圧推算	モデル台風シミュレーション
風速	AB	5km	6.6	—	4.0
	CD	4km	MAX. 16.0 7.0	—	5.0
波高	AB	5km	6.0	8.0	5.0
	CD	4km	15.0~50.0	10.0~40.0	15.0

これらの値から風速変化率はモデル台風シミュレーション結果だけではあるが、AB 方向及び CD 方向とも大略一致しているが、波高変化率は方向により差が認められる。なお、モデル台風の推算では最大波高時 ($t=0$) をとっており、変化率 15% は図 2.27 の波高が高い場合の波高変化率と大略一致している。したがって、不均一な自然環境条件としては、次のように設定することとした。

方 向 及 び 範 囲		変 化 率 (%)	
		風 速	波 高
AB 方向 5km 全 域		4.0	8.0
C D 方 向 4km	波高 3.0m 以下	5.0	50.0
	波高 3.0m 以上	5.0	20.0

2.5 外力の組み合わせに関する検討

前節までは、気象及び海象条件の各々の設定に関して検討したが、外力としては、その外力に地震、船舶の衝突及び航空機の墜落等の人為的な外力が考えられる。これらの外力が単独に加わる場合と重ね合わせて加わる場合とが考えられる。そこで本節では安全性の見地から、どの程度の外力の組み合わせが妥当であるかを検討することとした。

2.5.1 気象及び海象と地震との組み合わせ

(1) 泉州沖で考慮すべき地震の頻度

過去の地震調査結果から、地質学的な特徴を加味し、泉州沖では遠距離海洋型、中距離内陸型及び近距離型の3種類の地震を考慮する必要がある。

遠距離海洋型は、南海道沖、東南海道沖でマグニチュード (M) 8 以上の大地震が 100 年~300 年おきに発生しており、M7 未満の中小規模地震は殆んど記録されていない。なお、この型の地震の発生によって大阪湾に津波が発生している。

中距離内陸型は、遠距離海洋型に比較して発生頻度が多いが、規模は大きくなく、1899 年~1954 年の間に M 7.6 が記録されているのが最高である。

近距離型は殆んど記録がないが、和歌山近辺に M 5 程度の地震が、1927 年~1930 年に 3 回、明石海峡に M 6.3 が 1916 年の記録として残っている。

これらの地震記録の発生頻度を次の 2 つの場合に分

けて整理してみる。

Case A: マグニチュードの大小にかかわらず一律に 1876 年~1975 年の 100 年間の統計値を用いる。

Case B: マグニチュードの大小により、 $M \geq 8.5$, 700 年 (1276 年~1975 年), $8.0 \geq M \geq 7.0$, 300 年 (1676 年~1975 年) 及び $M < 7.0$, 100 年 (1876 年~1975 年) の 3 つに分類して集計する。

この 2 つの場合についてマグニチュードに対し、震央よりの距離 (r) 別に集計した結果を図 2.30 に示

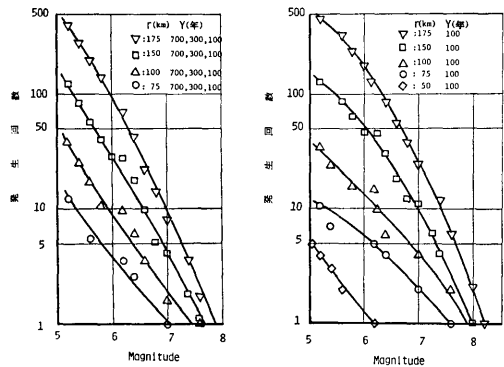


図 2.30 地震発生頻度

す。この図から、地震について大略次のように要約できる。

- a) 大規模地震の発生する南海道沖や東南海道沖を含め距離が 150~175 km の地域では、考慮年数 100 年間に発生する最大規模のマグニチュードは Case A の場合に M 8.2 程度、Case B の場合に M 7.8 程度と予測される。
- b) 中規模地震の多発する距離が 75 km 付近の地域では考慮年数 100 年間に 1 回発生する最大規模のマグニチュードは Case A の場合に M 7.6 程度、Case B の場合に M 7.0 程度と予測される。
- c) 泉州沖付近における近距離地震の最大規模は 6.3 程度と予測されるが、空港直下に M 5 以上の地震が発生する確率は極めて小さいと考えられる。

(2) 海象及び気象と地震との組み合わせ

大阪湾周辺の海上風の観測値より、累積度数率 95% の平均風速は 2.1.2 において示したように 9.94 m/s であるので、10 m/s 以上の平均風速の発生確率は 5% である。今 100 年に 1 回の最大規模の地震の確率を P_E 、風の発生確率を P_W とすれば、地震と風との組

み合わせ確率は $P = P_W \times P_E$ で求められ、時間率で求めると 10^{-10} のオーダーとなり、10m/s以上の風速と地震との組み合わせを考慮する必要がないといえる。なお、地震の継続時間は25sec程度であるとした。また、津波は地震と時間差があり、同時重ね合わせの必要がなく、発生確率も地震と同等と考えてもよいといえる。

2.5.2 船舶の衝突と気象及び海象との組み合わせ

海上空港と陸地との間には一種の海峡を形成する。船舶が海峡を通過する時、バンクサクションや操船に関する誤操作、天候、機関故障及び操舵装置の故障等により、側壁に衝突、座礁及び船同志の衝突事故等が発生する。船同志の衝突は火災発生等空港に間接的な影響があるが、ここでは直接的な影響のある船舶の海上空港への衝突を検討する。

(1) 船舶の衝突（座礁）確率

船舶が海峡を通過する時の幾何学的な衝突確率については Buffon's Needle Problem として取扱われる。今停止距離 (T) の船が、幅 (C) の海峡を通過するとき船舶が側壁に衝突あるいは座礁する確率 (P_G) は、 $\frac{4T}{\pi C}$ であらわされる。T. Macduff⁹⁰⁾ はこの式を英仏海峡の航行分離前と後に適用し、次の取扱いをしている。式の T は船の大きさ及び船速によって異なるが、VLCC 級には船長の20倍をとり、1967年6月の航行分離以前の英仏海峡に適用した結果、100隻航行すれば13隻が座礁することになった。しかしながら、1967年6月以前の5年間の実績は通過船550,000隻で座礁船11隻であり、実際の座礁確率 (P_{RG}) は極端に低い値であった。そこで、causation probability (P_C) を用いると P_{RG} は $P_{RG} = P_G \cdot P_C$ となり、英仏海峡の実績値 (E) を用いると P_C は大略0.000155となる。

今空港と陸地との距離を5kmとし、3,000 G/Tの貨物船がこの間を航行するものとする。船の長さ90m、MCR 3,500 PS、船速 (V_S) 13 kts とすると逆転停止距離は520m ($T/L \approx 5.8$) と推定される。そこで、 $T=7.0$ 、 $L=630$ m と仮定すれば、 P_{RG} は0.0000248となる。海上空港側だけを考えるとその1/2であり、更に、ドルフィンに衝突する確率はドルフィン延長さと空港の長さの比を乗じたものになり、ドルフィンに衝突する確率 (P_{RGD}) は 1.82×10^{-6} 程度となる。これを日の通過頻度とすると、10 ships/day の場合に150.5年に1回の衝突、20 ships/day の場合に75.26年に1回の衝突及び100 ships/day の場合に15.0年に1回の衝突となる。実際はどの程度の通過量を見込

めばよいかかわからないが、航行規制を行えば20 ships/day を超えることはないと思われる。

次に海上空港の大阪湾側への衝突を考えると設置予定地点の水深を20mとし、航行可能な最大船舶をDW 9万トン程度、対岸までの距離を25kmと仮定して同様の算定を行えば衝突の確率は求められる。また、台風時に碇泊中の船が走錨などで漂流し衝突することも考えられるが、航行船舶の航路規制及び碇泊規制等を行えば、台風針路と設置予定地点の風上に大型船の泊地がないこと、このような長距離走錨の例がないことなどから、本調査では海上空港の大阪湾側への衝突は考慮しなくてもよいと考えられる。

(2) 船舶の衝突と気象及び海象との組み合わせ

以下、衝突確率と気象及び海象との組み合わせを検討してみる。

G/T 3,000トン程度の船舶が、1組のドルフィンに衝突する確率は1日に20隻の通過量と仮定して75.3年に1回程度である。ドルフィンが破損して復旧するまでに15日間を要すると仮定し、その期間に組み合わせられる海象及び気象の確率を求めてみる。

平均風速 10m/s 以上の状態に曝される確率は

$$2.73 \times 10^{-5}$$

平均風速 16m/s 以上の状態に曝される確率は

$$1.09 \times 10^{-6}$$

であり、台風が大阪湾を通過する頻度を年2回、最も強い影響を受ける3時間を時間と仮定すれば、確率は 3.73×10^{-7} となる。

以上の結果からドルフィンが一組損傷して機能を果さない状態での海象及び気象として、平均風速16m/sまで考えればよく、台風を考える必要はないといえるが、より安全性を考慮して平均風速25m/sで検討を行えば十分であるといえる。

2.5.3 航空機の墜落と気象・海象との組み合わせ

(1) 航空機が海上空港に墜落する頻度

航空機が飛行場近辺に墜落する確率については米国航空事故統計⁴⁰⁾を用いると表2.14が得られる。

表 2.14 航空機の衝突事故統計

Distance from end of Runway (miles)	Probability ($\times 10^3$) of Fatal crash per Square mile Per Aircraft Movement			
	General Aviation	U.S. Air Corlr	US N/USMC	USAF
0-1	84.0	16.70	8.30	5.7
1-2	15.0	4.00	1.10	2.3
2-3	6.2	0.96	0.33	1.1
4-5	3.8	0.68	0.31	0.4

表 2.15 気象・海象条件の基本設定値

状態	外力	略記号	風速 (m/s)	風向 波向	波		潮流		備考 (付加すべき外力)
					有義波高 H1/3(m)	波周期 T(sec)	速度 kt	方向	
通	累積回数率 70 係	N1	5.85	全方向	0.45	3.1	0.56	230°	
	〃 90 係	N2	8.42		0.75	3.9	0.65	230°	
	〃 95 係	N3	9.94		1.00	4.2	0.69	230°	
常	横風最大	N4	16.00	230°	1.30	5.0	0.80	230°	
	平均年間最大	N5	25.00	270°	2.40	6.5	0.80	230°	
時	離着陸	N6	25.00	270°	2.40	6.5	0.80	230°	離着陸時の衝突荷重を加える
	夜間駐機	N7	25.00	270°	2.40	6.5	0.80	230°	航空機の移動荷重を加える
異	100年台風	A1	5.00	240°	4.60	9.6	2.00 0.30	230° 320°	潮流+高潮 浮体に直角方向
	地震	A2	9.94	全方向	1.00	4.2	0.69	230°	
常	津波	A3	9.94		1.00	4.2	1.90	230°	潮流+津波による流速
時	船舶衝突	A4	25.00	270°	2.40	6.5	0.80	230°	船舶の衝突荷重
	航空機墜落	A5	25.00	270°	2.40	6.5	0.80	230°	墜落による衝突荷重

なお、墜落事故頻度は空港の立地条件等が要因となり空港によってその頻度が異なる。そこで、航空機の空港への墜落事故頻度の概略値を求めてみる。標準として表 2.14 の距離 0~1 Mile で U.S. Air Carrier に対する頻度 ($16.7 \times 10^{-8}/\text{Sq. Mile}/\text{Movement}$)、発着回数 (260,000 回/年) 及び空港を中心から 2 分した面積 ($5,000 \text{ m} \times 840 \text{ m} \times 1/2 = 0.8 \text{ Sq. Mile}$) を用いて航空機が空港に墜落する確率を求めると $34.7 \times 10^{-8}/\text{年}$ となる。

(2) 航空機墜落と気象・海象との組み合わせ

航空機の発着は 25 m/s の風 (正面風) まで行われ、それ以上の風速では発着は行なわれないと仮定すれば、組み合わせの可能性は航空機の空港への墜落の確率と 25 m/s の風が発生する確率との積となり、 $0.000174/\text{年}$ ($P_{crach} \cdot P_{W25} = 0.0347 \times 0.005$) の確率で組み合わせを検討する必要がある。

2.6 自然環境条件の設定

前節までにおいて海上空港の設置予定地点における空港として稼動している状態の通常時並びに台風や地震等が襲っている状態の異常時に対する気象及び海象条件の設定並びにそれらの組み合わせについて検討し、本調査研究に用いる自然環境条件をまとめると表 2.15 に示す通りになる。

なお、海上空港の可能性を検討する際には、自然環境条件として表 2.15 を用いると共に、2.1.4 において検討した変動風及び 2.4.3 において検討した風や波の不均一を考慮することが必要であるが、その具体的な

取扱いについては後章において述べることにする。

第 2 章関係の参考文献

- 1) 土木学会; 本州四国連絡橋技術調査第 1 次報告書付属資料 耐風設計指針 (1964) 解説, 本州四国連絡橋技術調査委員会, 1965.
- 2) 大阪管区気象台観測記録; 最大風速・風向の統計値。
- 3) 気象庁統計課; 日本各地の年最大風速について, 気象庁観測技術資料 No. 34, 1971.
- 4) 岡内功, 伊藤学, 宮田利雄; 耐風構造, 丸善, 1977.
- 5) 日本港湾協会; 台風について, 港湾構造物設計基準。
- 6) Davenport, A. G.; The Spectrum of Horizontal Gustiness near the Ground in High Winds, Q.J. Roy. Met. Soc., Vol. 87, 1961.
- 7) 日野幹雄; 瞬間最大値と評価時間の関係——特に突風率について, 土木学会論文集, No. 117.
- 8) 気象庁; 本州四国連絡橋架橋調査, 気象調査 (中間報告その 3)。
- 9) Davenport, A. G.; Note on the Distribution of the Largest Value of Random Function with Application to Gust Loading, Proc. Inst. Civil Eng., Vol. 28, 1964.
- 10) Cramer, H. E.; Use of Power Spectra and Scales of Turbulence in Estimating Wind Loads, Meteorological Monographs, Vol. 4, 1960.
- 11) Davenport, A. G.; Buffeting of a Suspension Bridge by Stormy Winds, Proc. A.S.C.E., Vol. 87, Struct. Div. ST-3, 1962.
- 12) 塩谷正雄; 暴風時における突風の構造 (中間報告その 3)。
- 13) 本州四国連絡橋耐風研究委員会; 本州四国連絡

- 橋の耐風に関する調査研究報告書, 土木学会, 1975。
- 14) Batchelor, G. K.; Theory of Homogeneous Turbulence, Cambridge Univ. Press, 1953.
 - 15) 川鍋安次, 他; 瀬戸内海の気象と海象, 第4章波浪, 海洋気象学会, 海の気象, Vol. 13, No. 1-2 合併号, 1967。
 - 16) 川鍋安次; 大阪湾の波, 神戸海洋気象台彙報, 第183号, 1970。
 - 17) 気象海象観測月報, 運輸省, 昭和53年6月。
 - 18) 合田良実; 大阪湾における台風時の波浪の数値計算, 土木学会, 第16回海岸工学講演集, 1969。
 - 19) ISSC Committee; Environmental Conditions, Proc. of ISSC, Vol. 1, 1964.
 - 20) 佐藤昭二, 合田良実; “海岸, 港湾”, 彰国社, p. 90, 1973。
 - 21) Hasselmann, K., et al.; Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project, Dents, Hydro., Zeit, Rei (8), Nr. 12, p. 32, 1973.
 - 22) 合田良実; 港湾構造物の耐波設計——波浪工学への序説, p. 20, 鹿島出版会, 1977。
 - 23) 福永泰造; 内海波浪の実測値について, (未刊, 大阪府立大学卒業研究, 田口寛士教授より), 1971。
 - 24) 高橋智晴, 他; 波浪に関する拠点観測年報 (昭和50年), 港湾技研資料, 1971。
 - 25) Goda, Y.; Statistical Interpretation of Wave Data, Draft of Report of ISSC, Environmental Condition, 7th ISSC (not yet published), 1978.
 - 26) 高橋浩一郎; 総観気象学。
 - 27) Inoue, T.; On the Growth of the Spectrum of a Wind Generated Sea according to a Modified Miles-Pillips Mechanics and its Application to Wave Forecasting, Geophy. Soci. Lab. Report TR 67 (5), New York Univ., 1967.
 - 28) 紀伊水道播摩灘波浪の推算値 (昭和47年)。
 - 29) 土木学会; 海岸保全施設設計便覧 (昭和44年)。
 - 30) 海上保安庁; 大阪湾潮流図, 海図第6201号 (昭和44年5月)。
 - 31) 海上保安庁; 潮汐表, 第一巻 (昭和53年)。
 - 32) 気象庁海洋気象部・第3港湾建設局; 大阪湾高潮の総合調査報告, 気象庁技術報告 No. 11, 1961。
 - 33) 川上善久, 谷本勝利; 異常高潮位の発生確率の求め方について——天文潮と気象潮の重ね合わせによる一方法——, 第12回海岸工学講演会講演集, 1965。
 - 34) 自然災害科学総合研究班 (研究代表者, 岩崎敏夫); 三陸大津波来襲時の被害予測 (津波防波堤破壊時を含む), 昭和52年9月)。
 - 35) 大阪市防災会議地震専門部会; 大阪湾に襲来する津波の統計学的研究, 防災 37, 昭和52年8月。
 - 36) 和達清夫; 津波・高潮・海洋災害, 防災科学技術シリーズ 2, 共立出版, 昭和45年6月。
 - 37) 羽鳥徳太郎; 東海・南海道沖における大津波の波源, 地震, 第2輯第27巻, 10-24, 1974。
 - 38) Fitch, T. J. and C. H. Scholz; Mechanism of Underthrusting in Southwest Japan, A Model of Convergent Plate Interactions, J. Geophys. Res., 76, 7260-7292, 1971.
 - 39) Macduff, T.; The Probability of Vessel Collisions Ocean Industry Sept. 1974.
 - 40) Safety Guide on Man Induced Events Related to Nuclear Power Plant Siting International Atomic Energy Agency, Sept. 1977.