

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 188 June 1974

海上空港の計画と建設

佐 藤 勝 久

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	5
2. 海上空港の計画	5
2・1 海上空港システム	5
2・2 空港計画のプロセス	6
2・3 空港位置の決定	7
2・4 空港施設配置計画	10
2・5 建設方式の決定	12
2・6 空港へのアクセス	14
2・7 経済性の検討	17
3. 海上空港の建設	19
3・1 概 論	19
3・2 盛 土 方 式	19
3・3 干 拓 方 式	20
3・4 棧 橋 方 式	21
3・5 フローティング方式	24
4. 海上空港の計画・建設の問題点	27
4・1 計画に関連する問題点	27
4・2 建設に関連する問題点	28
5. あ と が き	30
参 考 文 献	31
付録 STOL用空港	32
1. 概 論	32
2. S T O L 機 諸 元	32
3. STOL用空港の計画	33
4. STOL用空港の設計	34
5. STOL用空港の航行援助施設	35
6. 屋上空港の適用	36
7. V / S T O L 用海上空港	36

海上空港の計画と建設

佐藤 勝久*

要 旨

近年騒音などの環境破壊問題や用地取得難などを解決する上に有力な海上空港構想が世界的に注目されてきている。世界各国で研究され計画された海上空港構想を参考にして、海上空港の計画および建設方法についてとりまとめ、今後この種の計画を実施していくときの手引を作った。

海上空港位置決定のための要素、空港施設の配置計画、海上敷地建設方式の選定、空港アクセス、経済性の評価法などの海上空港計画に必要な事項が述べられた後、海上空港用地造成方法の技術上の問題点を各方式ごとにとりまとめて示した。

* 土質部 滑走路研究室長

Planning and Construction Methods for Offshore Airport

Katsuhisa Sato *

Synopsis

The concept of offshore airport appears increasingly attractive as increasing land costs, concern for noise and air pollution and so on. Referring to all known significant proposals/ studies for airports in offshore areas (including lakes, rivers, etc.), this document provides planning guidance to planners concerned with development of offshore airport.

After describing the necessary items for offshore planning such as the factors affecting the offshore location decision, airport layout, determining the construction methods, airport access and cost analysis, the technical aspects concerning the construction methods for offshore airports are summarized.

* Chief of the Runways Laboratory, Soils Division

1. ま え が き

近年の航空輸送量の増大は著しいものがあり、(表1.1参照)これにともない大型航空機がすでに導入され、超音速航空機(SST)の就航も間近に迫っている。このほか、VTOL(垂直離着陸機)やSTOL(短距離離着陸機)の開発も進み、近い将来それらの就航がみられよう。

一方、地価高騰にともなう用地取得難と騒音などの環境破壊問題などから、航空機が発着する空港の整備は著しい遅くれを出しており、航空輸送発展の隘路となっている。国土が狭く四面海に囲まれた日本で、これらの問題を解決する有望な方策として海上空港が考えられる。

新しいコンセプトの海上空港では、当然従来と異なった計画が考慮されねばならない。海上空港の建設技術は多種あるが、盛土、干拓、棧橋、フローティング構造の4つに大別されよう。水深などに応じてこれらを使いわけが、いずれの方式でも陸上空港に比べその建設費は巨額なものとなる。この建設費に占める用地造成費の割合は大きく、特に棧橋、フローティング方式では、立体的な空港も考えていく必要がある。

海上敷地には必要最小限の施設を合理的に配置していくが、外的条件に合わせて種々のレイアウトが考えられる。また、海上空港では陸上とのアクセスが大きな問題であり、この要素も考慮した有機的な空港計画を行なう。

この報告書では、日本を含めて世界各国で研究され、計画された海上空港構想を参考にし、海上空港の計画手法および建設方法についてとりまとめ、今後この種の計画を実施するときの手引としようとするものである。

海上空港位置決定のための要素、空港施設の配置計画、海上敷地建設方式の選定、空港アクセス、経済性の評価方法などの海上空港計画に必要な事項が述べられた後、海上空港用地造成方法の技術上の問題点を各方式ごとにとりまとめて示した。

このほか、付録においては、海上空港へのアクセスモードの1つにも考えられているV/STOLの特殊性を述べ、このような航空機に適用する空港の計画・設計についての基準の概略を示した。地理的条件がととのえば、V/STOL用空港として、海上空港の可能性が大きいので、その建設上の問題点にもふれた。

2. 海上空港の計画

2.1 海上空港システム

航空交通システムは、航空機の交通路になる(i)空間と、航空機の基地としての(ii)空港の2つのシステムが組合さったものである。

従来空港敷地としては、都市の郊外でできるだけ都心へのアクセスに便利な地点が選ばれ、敷地が内陸部にある場合と、湖や海の沿岸に位置する場合とがあった。しかし近年、地価の高騰や騒音・大気汚染などの公害問題から、都心に近い内陸部に空港用地を求めることは極めて困難になってきた。

そこで、これら諸問題を解決し、あわせて航空管制などにも都合のよい、海上空港構想が世界的に注目を浴びてきている。ここでいう海上空港とは、十分沖合にあって、都市の発展、拡大には無縁の周囲をすべて水に囲まれたものをいう。

現在までに世界的に多くの海上空港計画が発表されてきた。昭和49年にオープンする予定の新大村空港は、沖合の2つの小島を利用し、本土から約1km離れた一種の海上空港であるが、これが現在知られる唯一の建設例で、いまだ本格的な海上空港の時代になっていない。しかし、この新しいコンセプトが前記諸問題を解決する上に、大きな可能性を秘めていることは言を待たないので、今後海上空港の計画・建設が強力に推進されていくことは明らかである。

沖合の海上に用地を選定する海上空港では、従来の空港とは異なった面が多くあり、その計画や建設も独特なものとなるのは当然のことであろう。表-2.1には海上空港特有の利点および欠点がまとめられている。

海上空港のシステムは図-2.1のようであり、水上に空港敷地を造成しなければならないという点と、陸上から海上の空港敷地へのアクセスが必要である点が、従来の空港と最も大きく相異なる。

海上へ空港敷地を作る建設技術は多種あるが、いずれの場合も陸上に用地造成するよりもはるかに高価につく。海上空港の計画の基本原則としては、海上の施設をできるだけ少なくするように努力すべきであろう。しかし、

表-1.1 航空輸送量の推移

項目	実績		予測		
	43年度	44年度	50年度	60年度	
旅客	国際線	2,094	2,855	10,000	40,000
	国内線	8,444	11,800	40,000	120,000
貨物	国際線	69	96	400	1,600
	国内線	64	85	400	2,000

(単位 旅客：千人)
貨物：千トン)

表-2.1 海上空港の特徴

利 点	欠 点
(1) 造成された海上敷地は地域社会に対して新たな富を付加する	(1) 建設コストが極めて高い
(2) 騒音の防止が比較的容易	(2) 海域の生態系を乱し、海洋環境を破壊する恐れがある
(3) 航空機の排気による大気汚染の地域社会に与える影響が少ない	(3) 厳しい気象条件にさらされる
(4) 飛行経路に対する障害がない	(4) 建設技術上未経験の問題が多い
(5) 空港拡張が比較的容易	(5) 特に海上への輸送の便を考えねばならない
(6) 用地買収にともなう地価の騰貴ない	

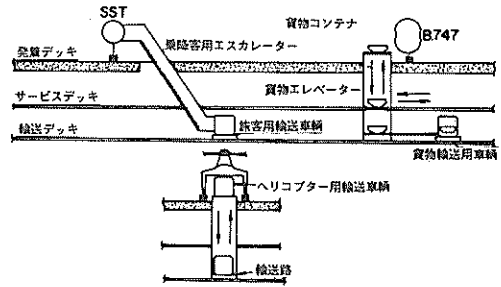


図-2.3 立体的海上空港の例

事情によっては全施設が海上にくることもあり、海上空港システムとしては、大きく分けて図-2.2のような2つのパターンが考えられる。

このほか、海上空港の敷地費用が高価なのにかんがみ、空港を立体的に利用することも考えていく必要がある。図-2.3には立体的な空港システムの一例が示されている。

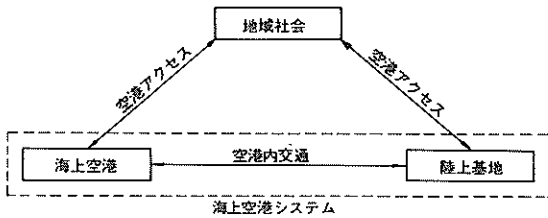


図-2.1 海上空港システムの説明図

2.2 空港計画のプロセス

新しいタイプの海上空港は、2.1でも述べたように、従来の空港とシステム上種々の面で異なる。しかし、航空機が離発着し、貨客が乗降する場所という点では、従来の空港と何ら変わるところはない。

海上空港でも機能上は陸上に設置される空港とほぼ同一であるので、その計画の全体的なプロセスは従来から行なわれているところと大きくは異ならないであろう。図-2.4は海上空港の計画モデルで、このような流れにしたがって計画が実施されていく。

もちろん、個々の段階における計画方法や評価要素が、従来の空港でなされていたものと異なってくることは当然のことである。海上空港独自の配慮については、2.3からの各論において説明がなされる。

経済予測や人口予測に基づいて、将来の交通量が推定され、全交通体系の中に占める航空輸送の割合から、未来の航空需要が算定される。未知要素が多い交通需要予測は大変むずかしい問題ではあるが、確率・統計手法の進歩とコンピューターの応用は、この面でもかなりの信頼性のある答を得ることを可能にしている。

未来の航空需要が予測され、既存空港の容量等が分かると、空港拡張あるいは新設の要求が確認され、所要空港の規模も決まる。この段階までは海上空港の特種性が

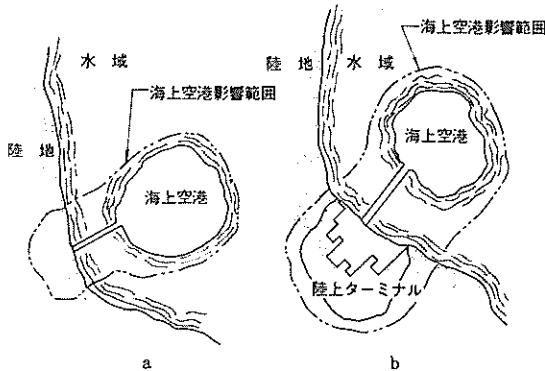


図-2.2 海上空港の代表的パターン

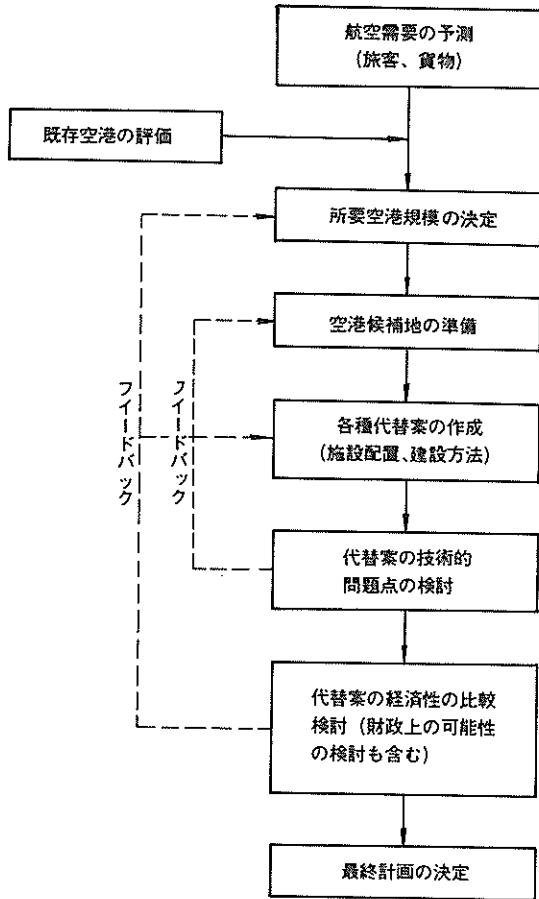


図-2.4 海上空港の計画モデル

考慮されることはない。

しかし、空港位置の選定においては、海上であるがゆえの海洋学的考慮もなされねばならず、空港用地の建設方式の決定には、水深が大きく影響を及ぼすといった、海上空港特有の問題がある。技術的、経済的検討の場合にも海上空港の特種性があり、それらを含めた総合的判定が要求される。

爆発的な航空需要の増大を処理し、航空運輸の健全な発展の切札とも考えられている新コンセプトの海上空港では、未知の要素も多く、その計画にはより一層の慎重さが要求される。その建設費用も宇宙開発などにも匹敵する大プロジェクトであり、多くの分野の知識と協力がなければ、その実現はあり得ない。

図-2.5は海上空港の計画段階における参加グループを示したものである。騒音をはじめとする諸々の公害や、

社会的、経済的問題点も含めた包括的な計画のための地域住民の参加は欠くべからざるものといえよう。

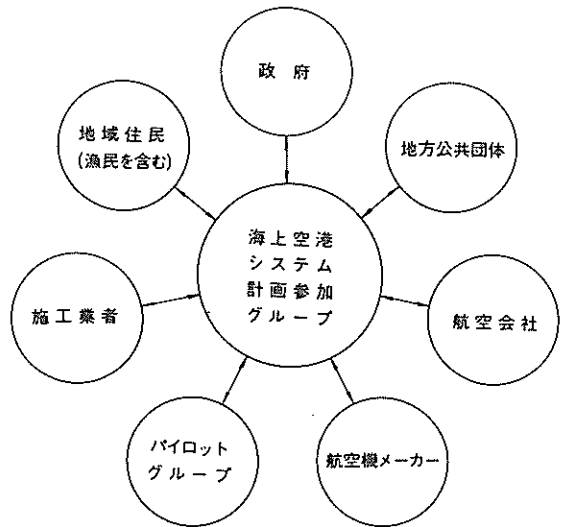


図-2.5 海上空港の計画参加グループ

2.3 空港位置の決定

海上空港の位置は、表-2.2にあげる要因に左右されるであろう。

以下各要因について具体的な例などをあげて説明を加える。

(1) 環境条件

(i) 公害問題

航空機のジェット化と運航便数の増加にともない、騒音、大気汚染といった環境汚染問題が急速に拡大、膨張してきた。地域社会にとってこれらは全く不愉快なものであり、空港の位置選定にあたっては、最優先に配慮すべき重要な要因である。

ジェット機の大型化と飛行回数が急増するにつれ、航空機から放出される燃焼生成物の量も大きくなり、大気汚染も軽視できない問題となりつつある。表-2.3²⁾には大型ジェット機の燃焼生成物放出量が自動車の場合と比較して示されている。自動車に比べて汚染物質の放出が少ないといえども、地域社会への影響は無視できない。この問題の抜本的解決とはいえないが、海上に空港を建設することにより、地域社会への影響はある程度は軽減される。

大気汚染よりも問題の大きいのは騒音であろう。将来

表-2.2 海上空港位置決定要因

大項目	具体的な要因
環境条件	(1) 公害問題 (2) 大気条件 (3) 拡張の可能性 (4) 地域社会との関係
安全性	(1) 周囲の障害物と運航規則 (2) 他空港との関係
空港へのアクセス	(1) 地上輸送の便 (2) 海上への輸送の便
経済性	(1) 工事に関する経済性 (2) 水利・ガス等の施設の便 (3) 財政条件

表-2.3 航空機燃焼生成物放出量
(1000 kg当り)

種別		燃焼生成物		
		CO	HC	NO
航空機	地上運航中	174	75	2.0
	飛行中	0.7	0.1	4.2
自動車		300	55	27

(単位: kg)

の航空交通発展は、この問題が解決されるかどうかにかかっているといても過言でなからう。

音の問題は極めて複雑で、音の強弱や振動周波数の成分だけで音について判定を下すことはできない。各国で航空機騒音の評価方法の研究が進められているが、ICAOのWECPNLと米国のNEFの2つの指数が最も一般的なものといえよう。どちらもEPNL(有効知覚騒音量)を基準に、運航時間や回数なども考慮して算出された値である。EPNLは音圧レベルにうるささ、不快成分、持続時間を補正して求める。

図-2.6³⁾は米国、ニューヨークのケネディ国際空港について、1975年のNEFを推定した例で、滑走路を再配置した後のNEFも併せ示されている。海上空港計画に際して、同様な騒音領域の推定から、地域社会との関係を厳密にチェックし、将来にわたって騒音問題が発生しないよう十分な配慮がなされなければならない。陸上から海上空港までの距離や空港内の施設配置(特に滑走路)などは、この地域社会と騒音の関係に影響されるところが大きいであろう。

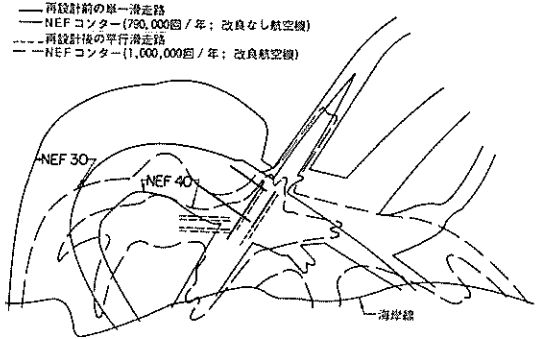


図-2.6 騒音領域の推定例(ニューヨーク、ケネディ国際空港)

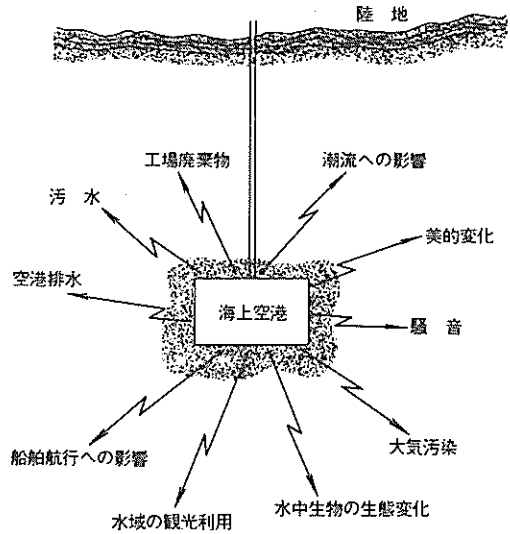


図-2.7 海上空港に関連する生態学的要因

大気汚染や騒音とともに重要な問題として、海水汚染や生態学上の変化も取り上げねばならない。新しく海上空港用地を造成することにより、海水の流れが変わり、海水の汚染が増進されたり、魚貝類等への影響が発生したりする可能性がある。これらへの検討が十分になされた上に、空港位置が決められねばならないことはいまでもないことであろう。

大規模埋立てが潮流や汚染物質の拡散に及ぼす影響を、水理模型により実験的に検討したり、埋立てによる影響が大きい場合には、潮流への影響の少ない杭基礎の適用

などを総合的に判断していくことが要求される。図-27⁴⁾は海上空港で考慮していくことが必要な生態学上の要因で、陸上空港では含まれなかった要因がいくつか含まれている。

(ii) 大気条件

霧、霞、煙などは視界を悪くし、航空交通容量を低下させる。海上の天候は地上とは趣きを異にする可能性があるため、特別の配慮が要求される。霧と乱気流は特に注意すべき現象である。

(iii) 拡張の可能性

(i)でも述べたように、近年騒音などの環境破壊が大きな社会問題となり、内陸部では空港用地の獲得が極めて困難となってきた。この問題の解決の一方策と考えられている海上空港では、交通量増大にともなう空港拡張を比較的容易に実施できる可能性がある。ただし、この場合も空港新設の際と同様に、公害等に対して再考する必要がある。

(iv) 地域社会との関係

海上空港は一つの新しい考え方で、多くの革新的、根源的な概念を含んでいる。空港計画に際しては、あらゆる種類の空港利用者が、新空港をどのように受けとめているかを十分に調査し、地域社会の中に融和した空港の建設に努めるべきであろう。利用者の要求する事項は図-2.8⁵⁾にまとめられている。

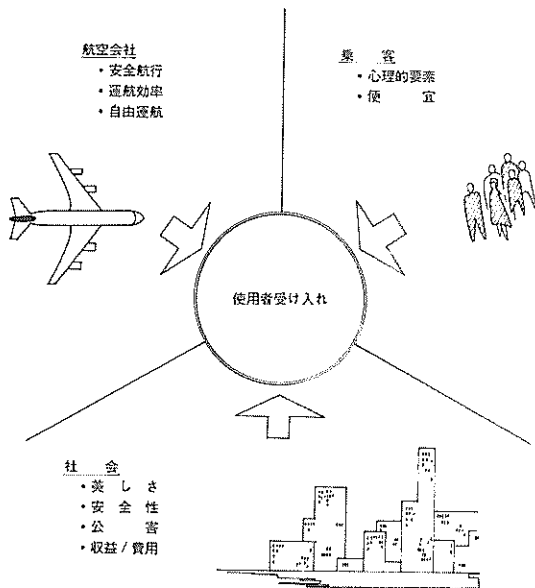


図-2.8 海上空港の利用者の要求事項

(2) 安全性

(i) 周囲の障害物との関係

陸上空港の場合、航空機の空港への進入路の準備と保護において、トラブルが生ずることが多々ある。空港の拡張、新設では、進入路に障害物がないか、あれば取り除くことが可能かどうかのチェックとともに、障害物を避けるような計画も配慮されねばならない。

これに対して、十分沖合にある海上空港では、通常進入路の障害物が問題になることはまれで、航空管制上も極めて有利な条件を兼備している。ただ、航空機の空港への進入を助ける航行援助施設の多くを、海上に設けねばならないという問題がある。当然のことながら、海上へのこれら施設の建設は困難がともない高価なものとなる。障害物がほとんど問題にならない海上空港に、従来の規則にのっとり航行援助施設を考えることには問題があり検討の要があろう。

(ii) 他空港との関係

国土の狭い日本の空も過密化の傾向にあり、空の交通整理が厳密に行なわれねばならない。新空港の設置には、他の空港との関係を考慮して、航空路および航空管制上の諸問題が検討されねばならない。

(3) 空港へのアクセス

(i) 地上輸送の便

乗客が空港へ向って出発する地点から空港までの時間

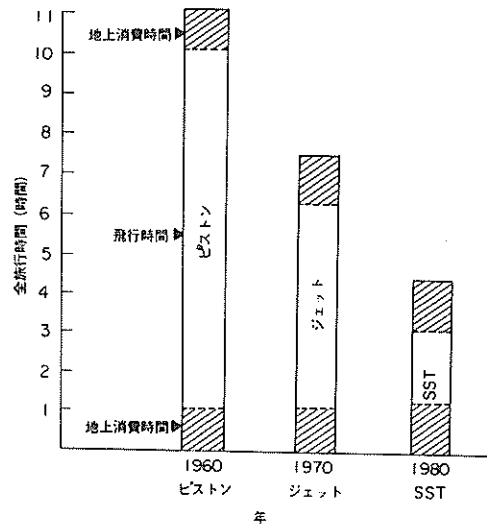


図-2.9 航空旅行時間の推移 (戸口から戸口まで、飛行距離6900km)

は大きな問題である。地上交通の渋滞がその絶対的な時間を大きくしてきているとともに、航空機の高速化は、相対的にこの時間の全旅行時間に占める割合を大きくし、問題の重要性を高めてきている。(図-2.9 参照)⁶⁾

空港用だけの地上輸送は、通常採算のとれぬものである。地域全体のための高速鉄道や高速道路を考えていくとともに、将来はV/STOLなどによる空のアクセスの可能性もでてこよう。

(ii) 海上への輸送の便

V/STOLなどによる都心から直接海上空港へ輸送手段のない場合には、陸上ターミナルあるいは陸上のある地点から、海上空港への輸送を考えなければならない。この輸送は通常周域の一部分に限られ、しかも一輸送方式に限られよう。このためそれは高い交通容量と高い信頼性を有するものでなければならない。

(4) 経 済 性

(i) 工事に關する経済性

幾つかの候補地があつて、他の条件が同様であるならば、空港費用の最小となるものが選ばれる。ある候補地についてみれば、最も経済的な建設方式が考えられよう。

海上空港の費用を見積るための数多くの因子が考えられるが、必ずしもその全てが金額に換算できるものでもない。費用を大きく分けると、空港敷地造成費用、施設建設費用、空港内輸送費用、運営費、維持費となる。

敷地の費用とは、用地取得の費用とか、盛土、堤防、棧橋などの空港施設用の敷地の造成費である。また、施

設建設費には、滑走路舗装、ターミナル、格納庫、貨物ビル、飛行場標識灯、航行援助施設等の費用が含まれる。運営費、維持費の多くは、通常の空港の場合と同じであろう。しかし、海上空港の場合陸上空港では生じない多くの付加的な要求がでてくる。堤防や盛土の法面保護工、海上航行援助施設の維持設備などはその例である。

(ii) 水利・ガス等の施設の便

空港、特に大空港では、大量の水と燃料を必要とする。これら資源は、海上空港の場合、船またはパイプラインによって運ばれるのが普通である。空港位置選択にあたっては、これらの便について十分な考慮が払われねばならない。

これと同時に考慮されるべき点として、空港から出てくる塵芥の処理の問題がある。(1)(i)でも述べたように、自然に調和し自然を保護する空港であるために、それらの処理には十二分の配慮が求められる。

(iii) 財 政 条 件

莫大な建設費を必要とする海上空港では、所要資金をいかに調達するかが大きな問題である。

2.4 空 港 施 設 配 置 計 画

2.1 において海上空港システムの概略を述べた。海上空港の建設費はただ高いというだけでなく、極端に高くなる。海上空港に陸上空港と同じレイアウトを適用することは賢明でなからう。

海上空港の施設配置計画には、次のような点を考慮す

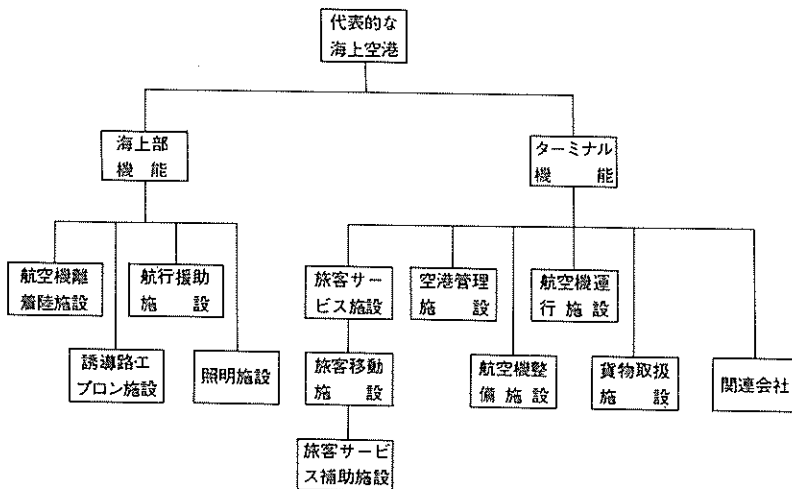


図-2.10 海上空港システム内の機能配分

べきであろう。

(i) 海上の施設は必要最小にすることが望ましい。

(ii) 海上空港における制限区域，進入表面やその他必要な緩衝区域は海の上に広くとれる。

(iii) 海上空港用に修正された配置計画では，いくつかの機能が陸上部に配置される。

(iv) 海上に配分される施設はできるだけ立体的に配置し，敷地を有効に使う。

海上空港によってもたらされる利益と，陸上空港の利点である収容能力をできるだけ大きくするという欲望をバランスさせるため，空港のもつ機能が海上と陸上に配分される形をとろう。図-2.10⁷⁾は，空港機能が海上と陸上区域に配分される方法を示している。

増大する交通量に対処するためには，通常複数の滑走路を設けて容量を上げる。大空港での普遍的レイアウトとしての平行滑走路の概念は，応用範囲も広く一般的である。平行滑走路では発着別に2本の滑走路を専用によって能率を上げる。この平行滑走路の変形として，2本の発着別専用の滑走路を一緒に長くリニアに並べ，中央寄りの位置にターミナルを設けたのが，“End to End”のコンセプト⁸⁾である。(図-2.11参照)着陸機が到着用滑走路の末端からターミナルに走行する距離は短かく，また出発機がターミナルから出発用滑走路にいたる距離も同じく短かい。到着→エプロン→出発のプロセスは極めて明快であって，誘導路の配置も単純化できる。離着陸処理に高効率を期待されるこのコンセプトは，海上空港用の基本的レイアウトにもなり得るものであろう。

このほか，米国，ニューヨーク都市圏の3つの空港に代わる空港として提案された“Circular Airport”の概念⁹⁾は，円形誘導路を用いて2対の平行滑走路の能率的な活用を意図したものである。直線状の滑走路は外輪につらなり，これから分岐した誘導路は上階・下階のエプロンに達する。出発機は外輪の半分を走行する間に加速し，直線状の滑走路に入ってそのまま離陸する。到

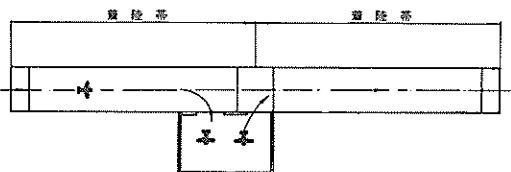


図-2.11 “End to End”コンセプト

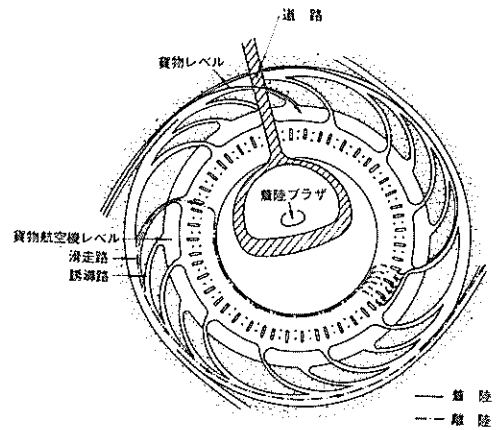


図-2.12 Circular Airportの説明

着機は外輪の他の半分を使って減速し，誘導路を経てエプロンに着く。(図-2.12参照)したがって，滑走路長も従来より短かくてすみ，提案者によれば，既存3空港の1/3の面積で同じ容量を備えるという特色ある計画である。

同様にニューヨーク圏に提案された“Mega Airport”の概念¹⁰⁾も，海上空港のレイアウトとして興味深いものである。海底に据えられたコンクリートボックスの中空部分は，アクセス交通のターミナル，駐車場，貨客取扱施設等として利用され，造成用地には9本の滑走路が15°の角度をもって放射状に配置される。これら一連の滑走路は相互にレベルを違え，ターミナルに接近する航空機は所定の位置でノーズインの駐機をする方式で，前述の諸施設とともに，空港全体が立体的に計画されているのが特徴といえよう。

新しいコンセプトに基づく計画を実施する場合，はたしてこれが十分な能力を発揮するかどうかという不安に常につきまといわれる。海上空港の場合，完工後の修正はきわめて高価で容易なものでない。計画段階での配慮は特に綿密でなければならず，科学的な裏付けのもとに，誤のない計画の策定に努める必要がある。近年，ORや物理学などで使われているいくつかの手法が，土木施設の計画にも応用され，精度の高い計画を可能にしている。(i)シミュレーション，(ii)待合せ理論，(iii)ネットワーク理論などは，実際に空港の計画に用いられ，その実用性を証明している。¹¹⁾

複雑化する空港システム，新しいコンセプトの空港シ

システムでは、従来のような経験的な計画方法では、無駄や不足が発生する確率が高くなる。上記のような手法を用いて、合理的な空港システムを作り上げることが必要であろう。この場合、各施設を個々に計画するのではなく、空港を1つのシステムとしてとらえ、各施設を有機的に計画していく必要もある。図-2.1.3には、海上空港の施設配置計画をシステムティックに評価するためのモデルへのインプット要因がまとめられている。

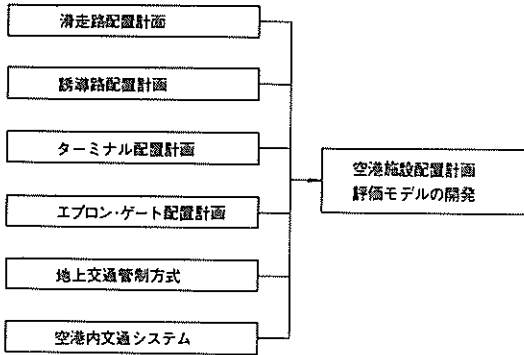


図-2.1.3 海上空港施設配置計画モデルのインプット要因

2.5 建設方式の決定

海上空港に限らず海上構造物の建設には、陸上構造物の場合にはなかった多くの付加的要素を考慮していかなければならない。水深、海洋学上の諸問題、海底基礎の条件等が大きな影響を持つ要素である。

海洋には潮の干満があり、それにもなって潮流が発生する。このほか、風や嵐による波やうねり、セイシュによる流れ、地震などによる津波といった多くの水の動

きがある。これらの要素の特性を十分に解明し、構造物の設計に考慮していかなければならないが、構造物の型式や位置によって各々の要素の重要度が変わるので、ケースバイケースの適切な配慮が要求される。

海上空港の建設方式としては、次のような4つの一般的方式がある。¹⁴⁾

- (i) 盛土方式
- (ii) 干拓方式
- (iii) 棧橋方式
- (iv) フローティング方式

工事の難易もおよそ上記のような順序であるが、建設方式の決定には、水深および波高と海底基礎地盤条件が大きな要素である。各方式には次にあげるような長所・短所があり、これらを十分比較検討の上建設方式の決定がなされよう。

(1) 盛土方式

海底地盤上に設計波高に十分な高さまで直接盛土し、中埋土の流出を防ぐための護岸を備えたもの。(図-2.1.4 参照)

長所

- (i) 埋立の実験が役立つ。
- (ii) 水深6m程度までは他の工法よりも用地造成費は安い。
- (iii) 拡張および改修が比較的容易である。
- (iv) 堤防などの構造物の破損が空港にとって致命的ということが比較的少ない。

短所

- (i) 潮流や漂砂等の状況を変え、魚貝類への影響も出やすい。
- (ii) 水深が大きくなると、他の工法より不経済。埋立に要する大量の土砂が得られない場合も同様。
- (iii) 軟弱地盤上では長期間にわたって沈下が続く、空港施設の破壊をもたらす。
- (iv) 潮流の激しい海域では工事が困難。

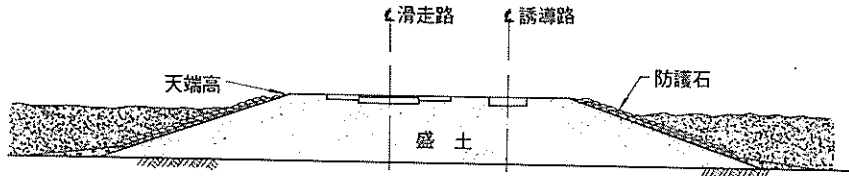


図-2.1.4 盛土方式

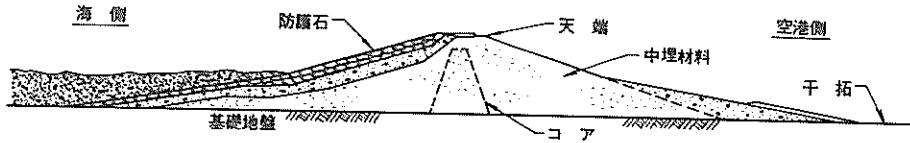


図-2.15 干拓方式

(2) 干拓方式

堤防でとり囲んで中の水を排除した干拓地を空港用地に使う方式で、干拓地は水面より低くなっているため、堤防には図-2.15のような不透水性のコアを設け水の流入を防ぐ。

長所

- (i) 大きな用地を確保するのに適した方法である。
- (ii) 水深6～10m程度では最も安い用地造成費ですむ。
- (iii) 軟弱地盤上の場合盛土方式よりも比較的沈下が少なく、堤防部分だけの地盤改良も可能である。

短所

きい。

(3) 棧橋方式

杭やケーソンで支えられた床版で空港施設を支持する方式で、一般に2～3層の多層構造を考える。(図-2.16参照)

長所

- (i) 潮流や漂砂等の状況を変えない。
- (ii) V/STOL用空港に適する。
- (iii) 立体的な空港により狭い水域にも建設可能である。
- (iv) 潮流の比較的激しい所でも施工が可能。

短所

- (i) 一般に建設コストが高い。
- (ii) 鋼材などの補修工費が大きい。

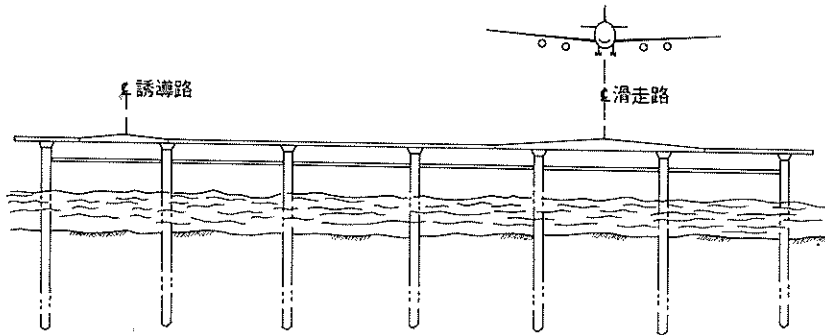


図-2.16 棧橋方式

(i) 航空路の制限表面以下に堤防がくるようにするため、同じ滑走路に対して、干拓方式の方が盛土方式よりも大きな面積を要する。

(ii) 堤防破壊は空港にとって決定的な出来事となるため、その設計、建設、維持はきわめて安全側にせざるを得ない。

(iii) 空港用地完成後も排水等のため維持費が大きい。

(iv) 遠浅の海域のみに建設可能で、地域的な制約が大

(iii) 堅い支持層のない場合には一層コストが上がり、しかも難工事になる。

(iv) 拡張や改修が困難である。

(4) フローティング方式

ある種のセルからできており、浮力で荷重および床版構造を支えるもので、構造物を錨で止め移動を防ぐ。この方式はまたポンツーン式と半潜水式に分けられる。

(図-2.17参照)

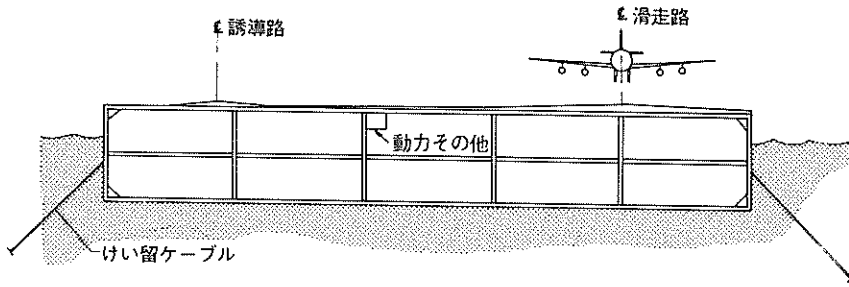


図-2.17 フローティング方式

長 所

- (i) 水深による建設コストの増加は少なく、大水深では他の工法より有利になる。
- (ii) 潮流などへの影響は栈橋方式に次で少ない。

短 所

- (i) きわめて高価である。
- (ii) ムアリングまたはアンカリングの技術が大変むずかしい。
- (iii) 工事および完工後の維持も困難が多い。
- (iv) セルの破壊は空港の沈没につながり、決定的である。

以上各方式の持つ特色が明らかになった。問題となる要素について十分調査検討の上建設方式が決められるが、このほか大プロジェクトの海上空港では、工事に使われる機械、材料、労働力も大きな問題である。建設技術の問題とともに、これらが十分に調達できるかどうか、建設方式の決定に影響を及ぼそう。

2.6 空港へのアクセス

空港は航空輸送システムの一環であり、いずれの空港の計画においても、空港へのアクセスの問題を切りはなして議論することはできない。海上空港の場合は、陸上部から海上空港へのアクセスが特に問題になる。

海上空港でのアクセスの相互関係が図-2.18に示されている。陸上から海上空港への基本的な輸送方式として、航空輸送、水上輸送、地上輸送の3つが考えられる。

航空輸送方式は、V/STOLによるもので、都心にはV/STOL空港が作られ海上空港へのアクセスの基地となる。V/STOL用空港の計画については、付録を参照されたい。

水上輸送方式は、船、水中翼船、ホーバークラフト、フェリー、バージなどの水上輸送船で、海岸都市あるいは

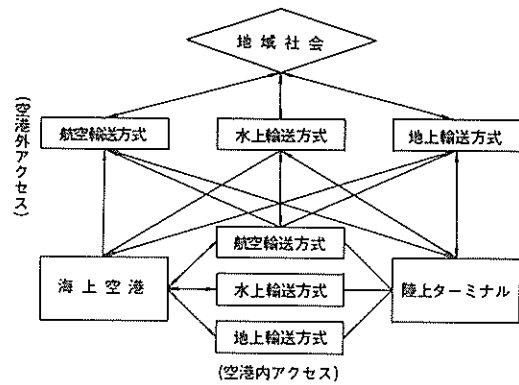


図-2.18 海上空港のアクセス

は陸上サテライトと海上空港の間を結ぶものである。両サイドには、輸送船用の接岸施設が必要である。

地上輸送方式は、従来から陸上空港へのアクセスとして用いられており、自動車交通、鉄道、モノレールなどの交通モードが使われる。海上空港へのアクセスとしてこの方式が適用される場合、陸上部から海上敷地へは、橋、えん堤あるいはトンネルといった施設によって結ばねばならない。

これら3方式はそれぞれ長所、短所を有している。3方式の性格を、共通する項目について比較したものが表-2.4で、直観的に各方式の特徴が理解できよう。概していえば、地上輸送方式は、容量は大きいがい用地取得、施設建設などに巨額な費用を要する。これに対し、航空輸送方式は地上輸送方式と正反対の特徴を有している。水上輸送方式は両者の中間的なものといえよう。

表-2.4 海上空港アクセス方式相互の比較

項目	輸送方式	航空輸送方式	水上輸送方式	地上輸送方式
	交通容量		小	中
フレキシビリティ		大	中	小
遠隔地への輸送適性		大	中	小
天候による影響		大	中	小
速度		大	小	中
建設費	用地費	小	中	大
	施設費	小	中	大
維持費		中	小	大
その他		航空管制上の問題がある		

海上空港への連絡輸送手段としては、各方式のもつ特徴を十分理解し、アクセス交通量、土地事情、地域社会との関係、気象条件、経済性等を勘案して、最適なものが選ばねばならない。

前述のように、各方式ごとにいくつかのモードが考えられる。将来新しいモードが出現する可能性も十分にあ

る。表-2.5には、現在考えられているモードのうちで、海上空港へのアクセスとしての適用性が大きいと考えられる主なものの特性がまとめられている。¹³⁾ アクセスモードの選択は、このような特性を十分に考慮して行なわれねばならない。

表-2.5 海上空港アクセスモードの特徴

方式	モード	長 所	短 所
航空輸送方式	STOL	小規模の滑走路から飛行できる (旅客×距離)コスト小 都心と直接結べる 近隣都市への接続が容易 アクセス時間小	旅客・貨物などの容量小 天候に影響される 航空管制上の問題がある
	ヘリコプター	都心と直接結べる 小さなスペースで運航できる アクセス時間小	旅客・貨物などの容量小 天候に影響される (旅客×距離)コストやや大
地上輸送方式	自動車	利用者の自由になる フレキシビリティ大 車輛への公共投資なし 比較的速いアクセス	広い駐車場必要 交通が混雑しやすい 長い高速道路が必要
	タクシー	駐停場が小さくてすむ 車輛への公共投資なし 比較的速く、フレキシビリティ大	長距離は高価 交通が混雑する元になる 長い高速道路が必要
	バス	駐停場が小さくてすむ フレキシビリティ大 比較的大量の乗客を運搬できる	交通が混雑する元になる 高速道路が必要 都心にターミナルが必要 ピーク時には大量のバスを要す 車輛への公共投資の必要
	市街電車	バスより容量大 乗客当りのコストはバスより小 比較的広い地域をカバーできる	線路、車輛などの投資が大 フレキシビリティ小 アクセス時間大 荷物を持つ乗客には不便
	高速鉄道	高速、高容量 快 適 低運賃 道路の混雑を緩和	建設費大 フレキシビリティ小(ルートが限定される) 車輛コスト大 他の交通機関による補助を要す 駅の必要
	モノレール	高速、比較的容量大 快 適 低運賃 道路の混雑緩和	建設費大 フレキシビリティ小(ルートが限定される) 車輛コスト大 他の交通機関による補助を要す 駅の必要
水上輸送方式	ホーバークラフト hidrofoil フェリー スピードボート	陸上基地と海上部との直接連絡 フレキシビリティ大 他の交通混雑を緩和	アクセス時間が大(低速) 天候に影響される けい船施設が必要 陸上基地と都心に他のアクセスが必要

2.7 経済性の検討

技術的に可能ないくつかの代替案がでそろったならば、それら相互の間の経済性を検討し、かつ財政上の可能性をチェックした上、ある特定の空港案を選んで最終計画を決定する。

経済性の検討のためのモデルは、すべての要素が含まれ、できるだけ単純なものが望ましい。空港の評価には、次の一般方程式に基づく経済モデルが用いられる。¹⁴⁾

$$P = V - C$$

ここに、V：収入の合計

C：費用の合計

P：収益の合計

このモデルを用いて代替案の経済性を比較して、最適な空港位置と建設投資が決まる。表-2.6に示される空

表-2.6 海上空港費用項目

直 接 経 費	一般投資費	用地取得費
		用地造成費
		空港外アクセス建設費
		空港内アクセス建設費
		公益施設建設費
	空港施設建設費	滑走路
		誘導路
		エプロン・ゲート
		航行援助施設
		照明施設
		ターミナルビルディング
		旅客サービス施設
		航空機サービス施設
		空港管理・運営施設
		航空管制施設
		一般民間航空機用施設
		貨物取扱施設
		旅客運搬施設(地上)
	利子	
	運営及び維持費	
行政・管理費		
その他経費	騒音	
	大気汚染	
	生態学的影響	
	安全性	
	地価	
経済効果		

港費用のうち、建設コストなどの直接経費と歳入とを比較して、財政上の検討をする。経費が歳入を上まわれば、その建設は不可能であるので、他の方法を考えねばならないであろう。

これらの比較は現在の貨幣価値に基づいてなされるのが普通であるから、毎年必要となったり、将来発生すると思われる経費・収入のすべてを現在の貨幣価値に換算してやらねばならない。また、計画寿命が同じでない場合には、等価換算をする必要もある。

前記経済モデルを適用して、最初に代替案をふるいにかける場合には、収入の因子はほぼ等しいと考えられるので、費用の項のみで比較することができる。また、費用の中でもいずれの場合にもほぼ等しいと考えられる一般行政費などは考慮に入れる必要はない。

海上空港の代表的な費用項目が表-2.6にまとめられている。このように数多くの要素が考えられるが、必ずしもその全てが金額に換算できるわけではないし、換算が大変むずかしいものもある。例えば、騒音、大気汚染などの環境破壊コストをどのように見積るかは大変議論のあるところで、地理的条件、社会事情などにより異なるので、ケースバイケースで考えていかなければならない。

海上空港の費用のうち最大のものは、用地造成費であろう。この費用は水深に大きく影響され、水深とともに増大する。しかし、海上空港の高費用も、周辺地域社会への公害量の減少とか、経済的効果などの利益が実現されることにより相殺される。また、陸上空港とは反対に、海上に建設された敷地は、地域社会の資産が増加したこ

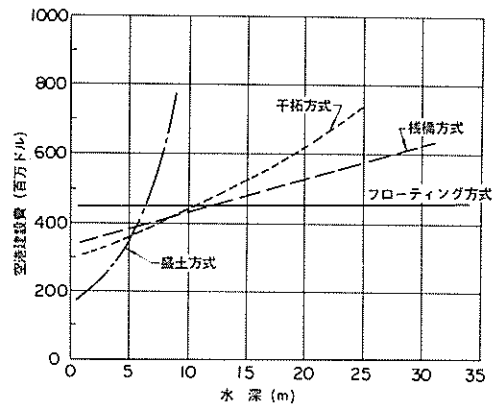


図-2.19 海上空港建設費の比較例

とになるので、この点にも海上空港の有意性が存在する¹⁵⁾。

2.5でも述べたように、海上空港敷地の建設方法としては、盛土、干拓、棧橋、フローティングの4つの基本的な方式が考えられている。アメリカの IIT Research Instituteの研究¹⁶⁾によれば、10,000エーカー（約4,000ha）の敷地を造成し、滑走路、誘導路、エプロン、ターミナルビルディングといった基本的施設を建設した場合の総費用は、各方式ごとに図-2.19のように水深とともに変化する。図から分かるように、水深の小さなうちには、盛土方式が他の方式に比べ断然経済的であるが、水深の増加につれてその有意性は急激に減少し、干拓方式や棧橋方式の方が経済的になってくる。20m以上の大水深ではフローティング方式が最適建設工法の候補として浮び上がってこよう。

ただし、この費用比較はそれぞれの方式に仮定を設けて試算した結果に基づくもので、一方式についても仮定が違えば当然コストも変わり、図-2.19の結果をそのまま他の空港計画に適用して経済性の検討を行なうことはできない。

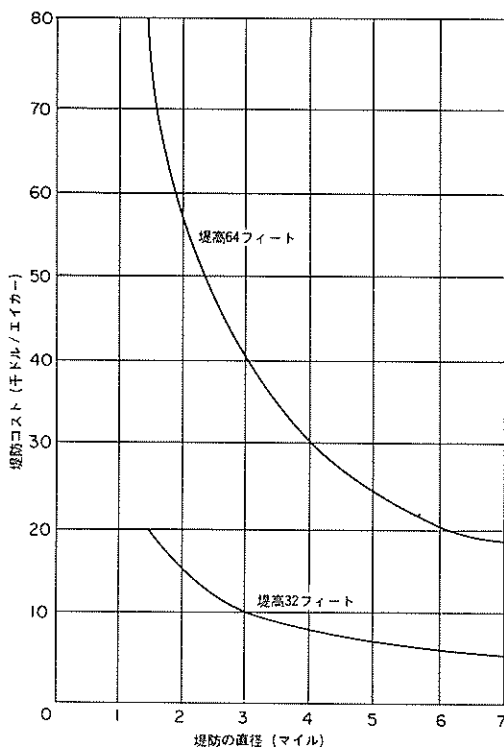


図-2.20 干拓堤防直径と単位干拓地建設費の関係の例

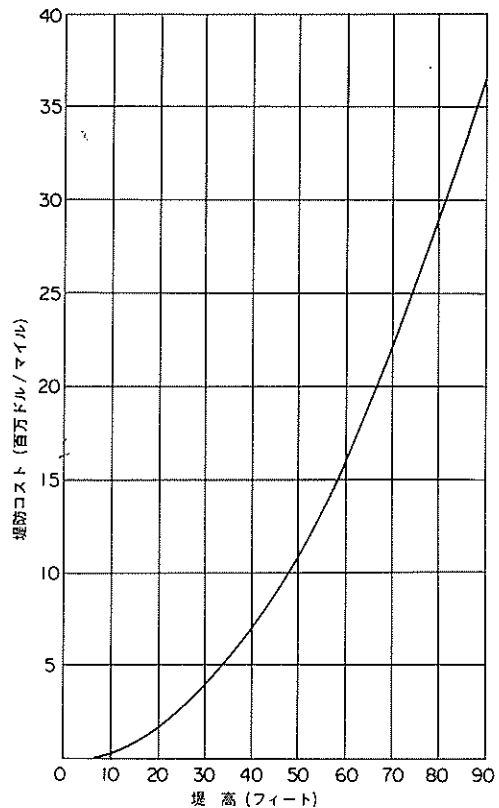


図-2.21 干拓堤防建設費の例

盛土方式では、盛土材料、材料運搬方法、盛土高さ、護岸方式等によって建設コストが変わってくる。干拓方式の場合、干拓地の直径が大きくなれば建設コストが上がるのは明らかであるが、造成敷地1エーカー（約0.4ha）当りの費用にすると、図-2.20のように直径とともに減少する。堤防の高さの増加にともない建設コストが急激に大きくなる様子は、図-2.21から容易にわかる。¹⁷⁾このほか、建設費が堤防用材料や護岸方式にもよることは、盛土方式の場合と同様である。

棧橋方式、フローティング方式では、空港を多層構造にすることが可能であるので、機能の同じ単層と多層の構造物の経済比較も必要であろう。両方式とも、建設費は使用材料、構造の複雑さなどに大きく影響される。

空港用敷地の造成のほかに、空港アクセスの輸送システムの建設費用は、空港総費用の中で大きなウェイトを持つ。特に陸上部から海上敷地へのアクセスには多大の

費用を要しよう。このことについては前節ですでにふれてあるので、ここでは省略する。

以上海上空港建設で特に問題の大きな費用項目についてその概略を示した。各種代替案の比較検討のためには、これらをまとめて費用比較モデルを作らねばならない。この場合、計画寿命全体にわたる建設費、運営費、維持費などを合計した総費用を、現在の貨幣価値に換算して比較することが大切である。

3. 海上空港の建設

3.1 概 論

ここ数年海洋スペースを利用した構造物の建設技術に新しい展開がみられている。海洋開発の必要性和相まって、従来の沿岸構造物から沖合構造物の建設へと進んでいる。

沖合い海洋構造物になると、一層厳しい自然条件の下で大規模な工事を行わねばならず、技術的な問題点も多く、今後の研究と新技術の開発が待たれている。沖合の海上空港の建設は特に難問題の山積みで、騒音問題、用地問題などの解決に大きな有意性があるにもかかわらず、いまだに広汎な実現をみないのは、検討を要する多くの技術的問題があるほか、経済性、安全性等の問題もからんでいるからである。

しかし、航空需要の著しい増大と種々の公害から発生する諸問題は早期に解決されねばならず、そのホープとしての海上空港の実現のため、建設技術の向上に努めなければならない。

世界的にみると現在までに約40件ほどの海上空港の計画があり、そのうちのいくつかでは建設技術上の問題もかなり深く研究されている。この章では、これらの研究をもとにして、現在までに提案されている4つの基本的な海上空港建設方式(ⅰ)盛土、(ⅱ)干拓、(ⅲ)棧橋、(ⅳ)フローティング)の概略を示し、今後の研究・開発の足がかりとしたい。

3.2 盛土方式

沿岸地域を埋立てて空港を建設することは、日本を含めて世界の各地で行なわれており、すでに多くの建設実例がみられる。米国のサンフランシスコ国際、オークランド国際、ラ・ガディア、トルーマンなどの空港はこれであり、日本にも東京国際をはじめ多くの沿岸埋立て空港が存在する。

沿岸地域ですでに経験のあるこの埋立てによる沖合いの海上空港が、世界でいくつか計画されている。米国、

ニューヨーク都市圏のラリタン湾空港、ストラトホード空港、ウエストバンク空港の計画は、いずれも埋立てによる用地造成を考えている。このほか、米国にはハワイ・ホノルル新空港、シカゴ・アイランド空港など多くの埋立て海上空港計画がある。¹⁸⁾ 完全な海上空港ではないが、英国のロンドン第3国際空港の場合、用地としてロンドンから90km離れた東海岸のフォールネス島沖を埋立てて使うことに決定した。¹⁹⁾

日本に目を向けると、港湾地域では代表的な神戸沖のポートアイランドをはじめ、数多くの埋立てがなされ、そこに種々の施設が建設されてきている。このような技術的蓄積があることから、大阪湾に計画されている関西新空港の建設方式としては、埋立てによる盛土方式が有力である。

このように世界各国で数多くの盛土方式による海上空港が計画されているが、いずれの場合も空港位置の水深は-10m以下であり、海底地盤も比較的安定しているのが特徴である。計画ごとに多くの特種性があり、同一の計画などありえないが、以下においては、盛土方式による海上空港の建設に共通する技術的背景と問題を列挙してみる。

(1) 基礎地盤条件

盛土方式による建設で一番問題になるのは、盛土が載る基礎地盤の圧縮性である。ニューヨークのラ・ガディア空港の場合、1930年初頭からすでに4.5m近くもの沈下を記録しており、²⁰⁾ その対策に苦慮している。大荷重の盛土が載った後も沈下が小さく安定した地盤が望ましいが、もし高圧縮性の地盤の場合には、プレローディング、サンドドレーン、石灰処理などの方法で改良し、地盤を安定できるかどうかの検討が必要である。このような処理が不可能な場合には、他の工法の適用等も考慮していかねばならないであろう。

(2) 盛土材料

レキあるいは砂質の材料が望ましい。粗粒土の場合、振動による流動化の検討が必要である。

(3) 盛土方法

サクシオンやホッパーによる埋立てが経済的であるが、盛土材料が内陸部にある場合には、ベルトコンベアを使うかあるいはトラックなどによる運搬を考えねばならず、この運搬費用が莫大なものとなる。

(4) 盛土高さ

図-3.1のような2通りの盛土方式が考えられる。いずれの場合も堤防高さは、天文潮、高潮、津波および副振動などを考慮して、十分安全に決められねばならない。場合によっては、将来の地盤の圧密沈下を見越してその

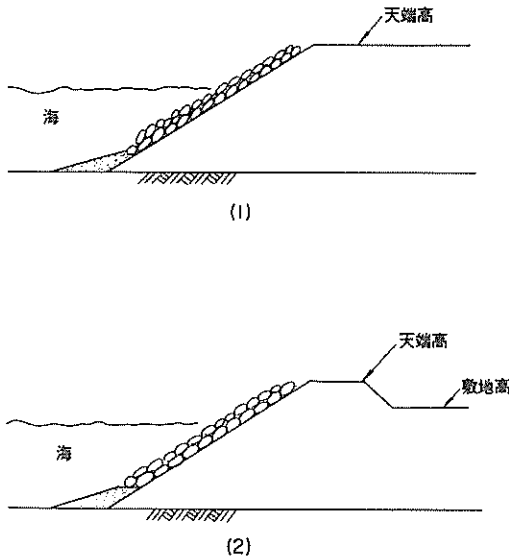


図-3.1 盛土方式の2型式

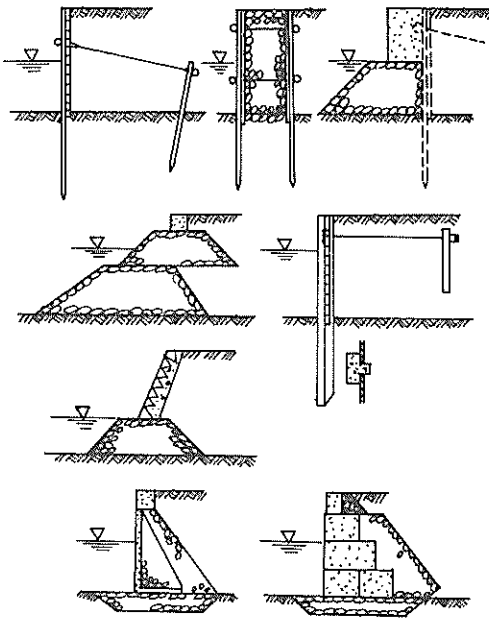


図-3.2 護岸構造の例

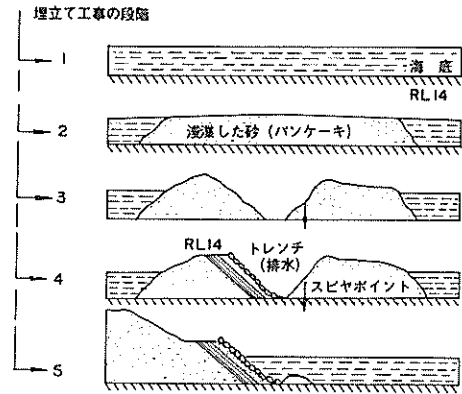


図-3.3 護岸施工例 (シドニー空港)

分を高くしておく必要もある。

(5) 護岸構造

埋立て盛土方式の敷地造成では、総工費のうち護岸費の占める割合が大きいため、最小の護岸費で最大の埋立て面積が得られるような形状にすることが望ましい。

図-3.2には護岸構造のいくつかが示されているが、構造の選定、設計には、水深、波、地盤の土質、埋立て盛土材料などが影響を及ぼす。波の荒いところでは、完成後の防波の点も考慮しなければならない。

護岸工事は条件の厳しい海上施工になるので、工事ごとに種々の工夫がなされる。オーストラリア、シドニー空港の場合、図-3.3に示されるような順序にしたがって護岸が作られた。²¹⁾ 陸上からの土砂を使う場合も浚渫土砂を使う場合も、護岸背面には良質な土を用い、護岸の崩壊等の災害の生じないよう細心の注意が払われねばならない。

3.3 干拓方式

干拓によって新しい土地を求めることは世界各国で行なわれている。そのうちで最も有名なものは、国土の約半分が海面以下にあるオランダの干拓であろう。ロッテルダム、スキポールなどの空港は、この干拓地に位置している。日本の場合も、有明海や八郎潟で大規模な干拓の経験を持つ。

このように少なからぬ技術的蓄積のある干拓方式であるが、沖合いの海上空港の用地造成としては、いまだ実際に用いられた例はない。米国のシカゴ沖約12kmのミンガン湖上に計画されたシカゴ第3国際空港は、干拓方式による用地造成を目標としているが、²²⁾ 経済性等の問題

からいまだ実施段階に入らない。このほか、米国のシーボトム空港、英国のグッドウィン空港の計画が干拓方式に基づくものであった。

ここでは、シカゴ第3国際空港の計画を中心に、干拓方式の技術的問題点を論じていく。

(1) 基礎地盤条件

干拓堤防が過度に沈下すると危険になる。強度が大きく変形の小さい安定した地盤が望まれる。したがって、間隙比が大きい土や有機質の土は問題が大きい。一方、水が干拓地に浸透しないような不透水性あるいは透水性の悪い土であることも必要である。透水性の悪い土は粘土であり、粘土地盤は一般に沈下量が大きい。このように2つの条件は相反するもので、干拓方式が適用できるかどうかは、主として基礎地盤条件にかかっている。

ックフィルの場合とサンドフィルの場合に対し、表-3.1 のようである。

(3) 建設方法

ミシガン湖上空港用堤防は、全体で150,000,000yd³の容積となり、世界最大級の堤体構造となる。したがって堤体材料をどのように運搬するかが最も大きな問題である。この点については盛土方式の場合と同じように考えられ、サクシオンやホッパーといった水上輸送が経済的である。

ミシガン湖上空港建設計画では、次のような運搬方法を考えた。

- (i) 砂とレキー積下し装置のない運搬船
- (ii) 4トン以下の切出し石一底開土運船
- (iii) 4トン以上の防護石一デッキバージ

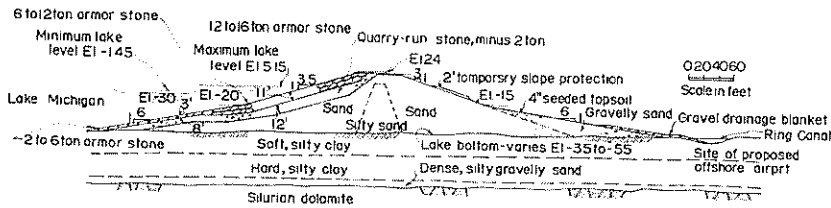


図-3.4 干拓堤防の例(シカゴ第3国際空港での計画)

表-3.1 シカゴ第3国際空港の干拓堤防の斜面勾配

	ロックフィル	サンドフィル
堤防内面	1 2 : 1	1 3 : 1
堤防	1 1 : 1	1 2 : 1

(2) 干拓堤防

補修や破壊の危険を少なくするため、堤防の設計は極めて安全側にならざるを得ない。堤防の高さは高潮や津波などを勘案して決定してやる。堤防の越波や護岸石の破壊の確率は0とする。

シカゴ第3国際空港の場合、基礎地盤面は水深11~17mの所にあり、主としてシルト質粘土で、2~35mの厚さに堆積している。ここに直径7.6kmの円形堤防が計画され、44.5km²の土地が造成される。円形が選ばれたのは、最短の堤防長さで最大の干拓地が作れるからである。堤防の高さは静水面上7.3mで、その構造の代表的な断面を図-3.4²³⁾に示す。堤防の斜面勾配は、ロ

その他干拓方式で大きな問題は、いかに干拓地内の水を排出するかで、大容量で信頼性の高い排水装置が要求される。

(4) 安全性

干拓方式でその生命ともいえる堤防の破壊は大惨事となる。堤防破壊の原因としては、波、高潮、地震、漏水、基礎の流動化、機械の故障、船の衝突などがあり、これらに対して十分安全な設計と対策が立てられねばならない。

3.4 棧橋方式

建物などの基礎として、パイルやケーソンはなじみの深いものであるが、空港用地の造成のためにこの工法が使われた例は多くない。米国のラ・ガーディア空港の滑走路延長部分にパイル基礎が用いられたが、²⁴⁾これが現在までの唯一の実施例である。

棧橋方式は盛土方式や干拓方式に比べかなり高価な工法であるが、水流を変化させないとか、少規模の工事の場合には比較的経済的であるとかいった利点があるので、場合によっては海上空港の建設方法になりうる。いまま



写真-3.1 ラ・ガーディア空港の棧橋部

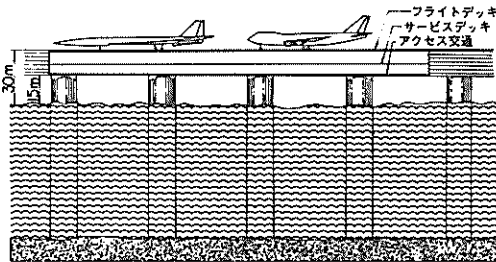


図-3.5 ケーソン支柱上の3層式海上空港
(ロスアンゼルス海上空港の計画)

でこの建設方式によるいくつかの海上空港が計画されている。米国のポンチャートレイン空港、サンディフック空港、オレンジカントリー空港はパイル方式による基礎を考え、サンタモニカ湾のロスアンゼルス海上空港はケーソン方式²⁵⁾が提案された。このほか、米国、ニューヨーク都市圏では、既存の港湾棧橋をSTOL用空港に転用することなども検討している。

大水深区域でのパイル・ケーソン基礎の施工経験は多くないが、以下ではラ・ガーディア空港での経験に基づき、棧橋方式の技術的な問題を論ずる。

(1) 基本原理

ラ・ガーディア空港の場合、写真-3.1のようにパイルに支えられた一層のデッキが、滑走路と誘導路に使われる単層デッキシステムである。これに対し、ロスアンゼルス海上空港の計画は、図-3.5のようにケーソン支柱に支えられた3層のデッキを建設し、上層デッキを滑走

路、誘導路、エプロン、整備地区等に使用し、中層デッキを乗降客のサービス用に、下層デッキをアクセス輸送のターミナルとして使用するもので、多層デッキシステムをなしている。

(2) 構造設計

パイルあるいはケーソンを通して伝わってくる大きな上部荷重を支持するために、岩盤、締まった砂層などの堅い基礎が必要である。

ラ・ガーディア空港の場合、打込後コンクリートで中詰めしたスチールパイルを用いた。パイル1本当りの支持力は135tonで、パイル間隔は滑走路部分で6.10m×6.10m、その他区域では6.10m×9.53mが採用された。

パイル間隔を大きくすると、ガーダー、ビーム、スラブなどの経費が大きくなり、パイル間隔を小さくすると、所要パイルの本数が増えその費用が増加する。両者を調和させ、最も安全で経済的な構造を考えていく。

この種の構造で通常支配的な荷重は、死荷重と活荷重からなる垂直荷重であるが、この他地震時の水平力、波や風による水平力も大きく無視できない場合があり、これらすべての要素に対して十分に抵抗できる安全な構造が設計されねばならない。上述のような水平力は建設位置により変わるので、構造設計に際しては事前に十分な調査が要求される。

ラ・ガーディア空港の単層デッキは、ポストテンションのパイルキャップガーダー、プレテンション逆ダブルTスラブと現場打ちポストテンションのコンクリートデッキから作られた。デッキの構成状況は図-3.6から理解される。

航空機荷重に対して、パイルキャップガーダーとデッキスラブは、パイル上の連続Tスラブとして働くと考えられる。スラブ自身はパイルキャップガーダー上に連続で、集中荷重をガーダー、パイルへと伝達する。構成エレメントは、ポストテンションケーブルによって導入される圧縮応力により連続性が保たれる。

(3) 建設方法

ラ・ガーディア空港の棧橋部の建設は、次のような手順で行われた。

防錆用にコールタールエポキシペイントで塗装された直径41～46cmのスチールパイルは、固い砂の支持層に打込まれた後、コンクリートが詰められた。大きなパネルデッキの温度変化による伸縮が、パイルシステムに影響を及ぼさないようにバッターパイル(斜杭)が用いられた。バッターパイルシステムは、温度変化による動きにはフレキシブルで、外からの水平荷重には抵抗でき

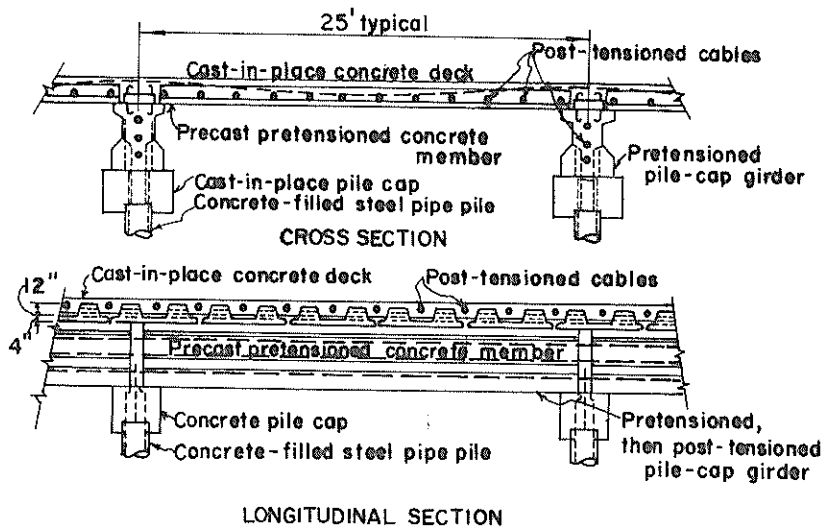
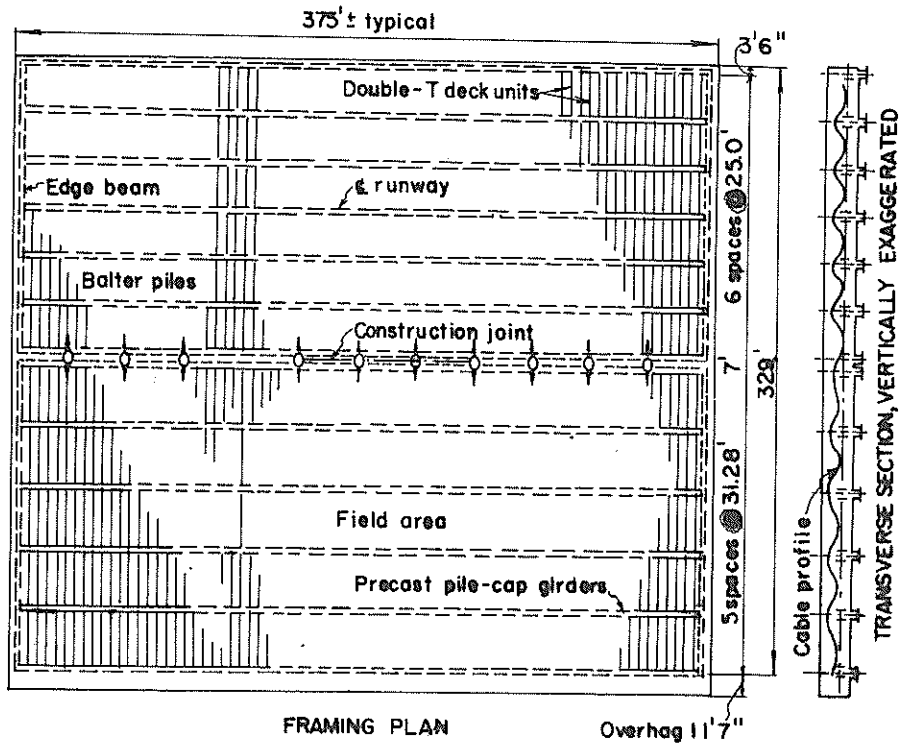


図-3.6 ラ・ガーディア空港棧橋デッキの構成

るよう工夫されている。

各パイル上にコンクリート製のパイルキャップが現場打ちされた後、プレキャストのパイルキャップガーダーがガーダー端間20cmのスペースをとって設置される。各ガーダーには直径約10cmの3つの穴をあらかじめ用意し、ポストテンションケーブルで一体化する。ガーダー端間のスペースは、ポストテンション後コンクリートで詰める。パイルキャップ同様現場打ちされているエッジビームもここでポストテンションを加えられるが、ガーダーともども最終ストレスの半分までの第1段階ポストテンションレベルにとどめる。

次に、プレテンション逆ダブルTスラブのデッキユニットが現場に据えられる。ここにメインデッキ用の鉄筋あるいはポストテンションケーブルなどがセットされ、最後のメインデッキのコンクリートが現場打ちされた。コンクリートの強度が約280kg/cm²になると、まず縦方向のデッキケーブルにストレスが入られ、次にガーダーケーブルに第2段階のポストテンションが加えられる。このあと横方向のデッキケーブルのポストテンションとエッジビームの第2段階ポストテンションを完了すると、全ての設計ストレスがデッキユニットに導入されたことになる。全てのポストテンションが終了した後、ケーブル用シーすや各ジョイントなどの間隙には、グラウトが行なわれ、一体となったデッキの完成をみた。

一例としてラ・ガーディア空港の棧橋による拡張工事の模様を紹介した。この工事は水深がたかだか12m程度のもので、今後の海上空港はより大水深水域での工事が予想され、それにもない種々のむずかしい問題も発生することであろう。上記の経験などもふまえて、大水深水域での工事にも対応できる技術開発が望まれる。

3.5 フローティング方式

フローティング海上空港の構想は古く、1922年にエドワード H. アームストロングによって発表されている。²⁶⁾ いまだこの方式の海上空港は実現しないが、この原理に基づくいくつかの変型の実現をみることはできる。ヘリコプターを搭載した海底石油掘削船とか、戦闘機の発着基地となる航空母艦がこれである。

このようにいくつかの成果などもふまえて、近年本格的なフローティング方式による海上空港も提案されている。その1つがPaul Weidlinger²⁷⁾によるFLAIR構想で、フローティング方式の空港の綿密な技術的検討を実施している。

ここでは、FLAIRでなされた検討を中心に、フローティング方式の技術的な問題をとりあげてその概略を

述べてみる。

(1) 基本原理

最も単純なフローティング空港は、コンクリートあるいはスチール製のボンツーンをつないで作るもので(図-2.17参照)、カナダのトロント浮空港やマリタイム空港の計画がこれに該当する。この構造では波や風の影響をもろに受け、その安定を保つのに苦勞する。

このような問題を一部改善したのが、FLAIRの構想で、プラットフォームと水中浮力チャンパーとからなり、プラットフォームが高波その他に十分安全な高さになっているのに対し、浮力チャンパーは波の谷よりも下に位置し、波の影響をできるだけ減ずるような工夫がなされている。

このほかフローティング方式では、いずれの場合にも浮力と鈎合アンカーリングが必要である。この構造物をけい留するケーブルは、継続的に相当量の引張力を受けるので、これをプレテンション ファウンデーションシステムと呼んでいる。

(2) FLAIRの基本構造

図-3.7がFLAIRで計画された空港平面図で、図-3.8では空港デッキの構造を示す。200ft(約61m)×200ftのモジュールが伸縮継手で連結されてデッキを形作っている。図-3.9は1モジュールの構成要素で、図-3.10からはその断面の構成が理解される。

(3) FLAIRの構造設計荷重

構造設計のための荷重としては、次の4つが考慮された。

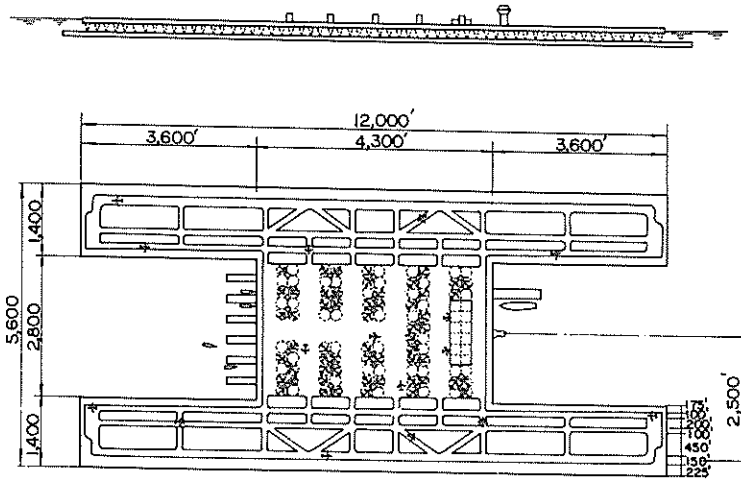
- (i) 積載荷重
- (ii) 建設中の外力
- (iii) 環境外力
- (iv) 偶発外力

積載荷重としてはB-747を考え、各種構造エレメントにかかる設計荷重には、表-3.2の衝撃率による衝撃荷重が加算される。デッキ衝撃率は1964年のラ・ガーディア空港の経験から決められたものである。

建設中の外力としては、モジュールの曳航時の力と波による力を考える必要がある。

環境外力の中には、波による垂直・水平力、潮流・潮汐による力、風による力、温度変化による応力などがある。これらは空港位置や構造形式によって異なるので、十分な調査に基づいて妥当な値を設計には用いる。

偶発外力としては、船舶の衝突や航空機の墜落による衝撃荷重を考えねばならない。墜落による衝撃荷重は、航空機荷重の300~400%にもなると推定される。このほか、浮力チャンパーやけい留ケーブルの部分的事



	AREA (ACRES)	CAPACITY
RUNWAYS	80	100 AIRCRAFT MOVEMENTS PER HOUR
TAXIWAYS	173	60 GATE POSITIONS
TERMINALS AND PARKING	263	36 PARKED PLANES
HANGARS	19	12 MAINTENANCE HANGARS
DECK AREA EXPOSED TO AIRCRAFT LOADING	534	
SHOULDERS AND MISCELLANEOUS	546	
TOTAL	1,080	

図-3.7 FLAIRの空港平面図

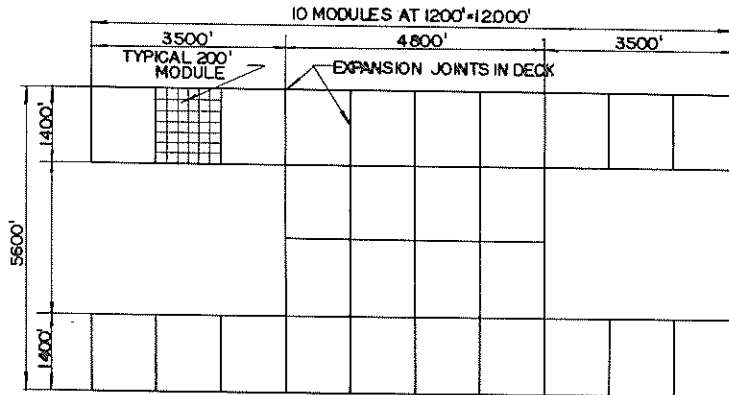


図-3.8 FLAIRの空港デッキ構成図

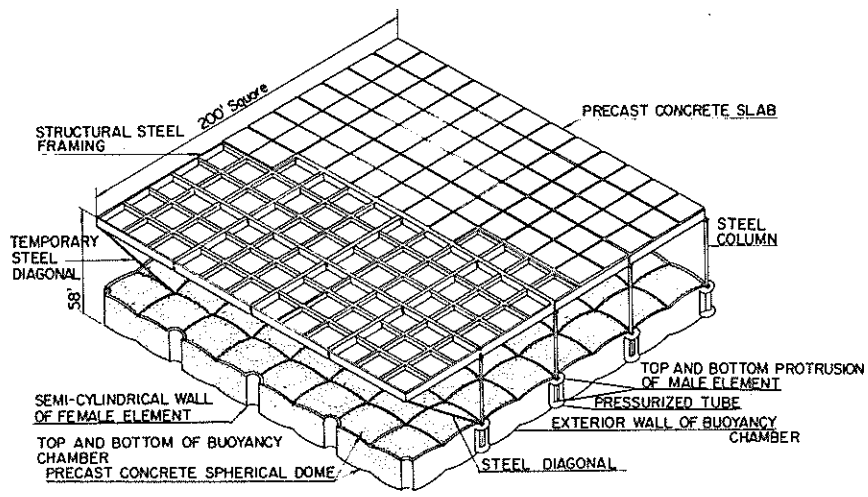


図-3.9 FLAIRの1モジュール構成図

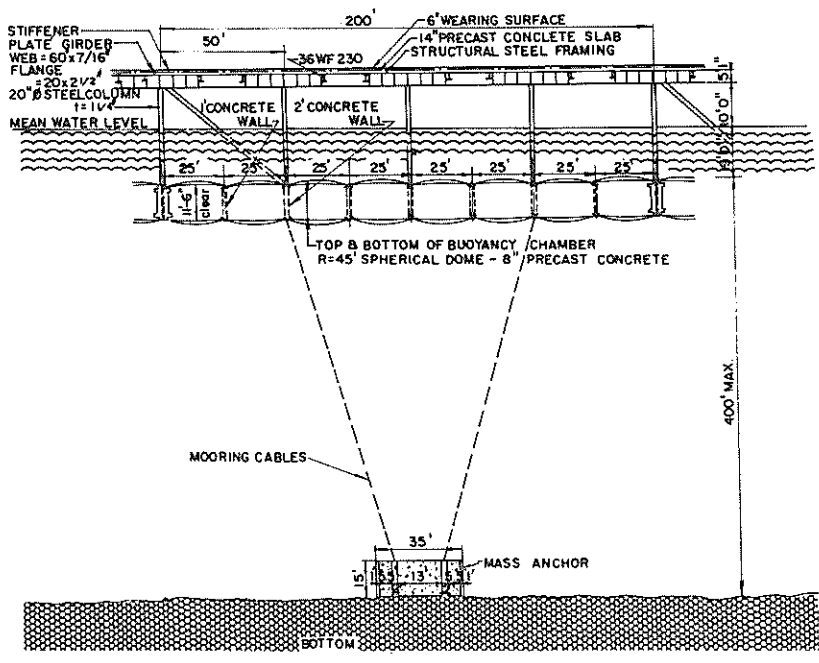


図-3.10 FLAIRの構造断面図

表-3.2 フローティング構造の設計に用いられる
衝撃率

デッキ構造用鉄筋コンクリート	37%
滑走中衝撃	37
着陸間衝撃(滑走路端部)	34
柱	37
浮力チャンバー	}
アンカーレージシステム	

故の場合を想定した設計も必要である。

(4) FLAIRでの構造解析

種々の外力が作用し複雑な挙動をするフローティング構造の解析は極めて困難なもので、FLAIRの場合には次のような2つのケースを考え、構造物はその内の1つで作動するとして解いた。

(i) 主として垂直移動を起こす荷重に対しては、構造物は弾性基礎あるいは弾性スプリング(プレストレストけい留ケーブル)上に支えられている弾性格子(上部構造と浮力チャンバー)とする。

(ii) 主として水平移動を起こす荷重に対しては、構造物は水平材(デッキと浮力チャンバー)とやや傾斜して支えている弾性バー(プレテンションけい留ケーブル)とからなる弾性フレームとする。

波や風の種々のタイプやその組合せによって生ずる力の十分正確な解析方法がないのが現状で、これらは経験を取りこんで将来解決されていかねばならない。

(5) FLAIRの構造部材

FLAIRでは耐用年数を25年とし、摩耗や腐蝕を考慮してコンポネントの材料が決められている。

プラットフォームの表面は、摩耗防止を施した一部プレストレスの入った鉄筋コンクリートのプレキャスト版でできている。この版(4.78m×4.78m×36cm)は単純支持の正方形版として設計されるので、最大曲げモーメントは着陸する車輪が版中心にきたときに生ずる。着陸時の車輪荷重が死荷重よりもあまりにも大きいため、プレストレスの効果はあまりないが、クラックを減少し、腐蝕に抵抗し、輸送や取扱いに対して堅固であることは確かである。

プレキャスト版を支持するのがデッキフレミングで5.18m×5.18mの正方形網目の鋼製格子でできている。このフレミングは1.524m×1.524mの間隔にある鋼柱で支えられるようになっている。フレミン

グの設計は着陸時の車輪荷重に対してなされる。

柱はデッキ構造を支持し、浮力チャンバーにその荷重を伝達する。垂直柱の他に筋違いの柱を加え、横力に対して抵抗できるようにしてある。これらの柱は、波力や風力を受ける表面を最小にするため、円形の鋼材断面が採用されている。

柱より上の構造はすべて浮力チャンバーによって支持される。浮力チャンバーは垂直荷重に抵抗できる上昇力を持つように密閉された函で、FLAIRでは鉄筋コンクリートを用いている。浮力チャンバーは四方形格子システムからなり、格子の天端と底面は球面シェル構造で、部分的にプレストレスされたプレキャスト鉄筋コンクリートである。格子間の垂直壁は上部柱とけい留ケーブルの間を結び荷重を伝達する。

アンカーシステムはけい留ケーブルとマスアンカーとからなり、垂直・水平両方向に構造物を安定させる働きをする。各モジュールは海底に据えられたマスアンカー1個に4本のけい留ケーブルで緊結される。ケーブルは1.08cmの亜鉛メッキされた船舶用ケーブルである。マスアンカーは正方形のコンクリート函(1.067m×1.067m×4.57m)で、現場で中詰めされると水中重量は980kmになる。

(6) FLAIRの構造組立

このプロジェクトではできるだけプレキャスト部材を用い、空港位置まで曳航された部品を真空室の助けを借りて安全に接合していく。真空室はオス(凸)とメス(凹)の要素からなり、部品接合時の衝撃を吸収する機能をもつ。モジュール組立作業にとってもなれば、種々の問題が予想されるので、あらかじめ模型あるいは実物の実験で確め解決しておくことが大切である。

4. 海上空港の計画・建設の問題点

前章まででは海上空港の計画と建設の現状をとりまとめた。世界各国で広範囲に調査・研究され、新しい構想も次々と提案される海上空港であるが、いずれも大プロジェクトで、多くの経済性ならびに建設技術上の問題があることから、いまだ完全な沖合い海上空港の実現はみていない。ここでは将来の航空交通の切札とも考えられている海上空港の実現にとって、解決されていかねばならない計画ならびに建設上の技術的問題点のいくつかを列挙し、今後の研究の進むべき道を考えてみる。

4.1 計画に関連する問題点

新しいコンセプトの海上空港では、その計画に際して

も分からない面が多く、合理的な計画のために種々の問題点が解決される必要がある。

海上空港の位置選定に際して考慮されるべき項目のうち、騒音や海水汚染などの環境問題について、簡便で正確な騒音領域の推定法や海水汚染の予測法を確立する必要がある。適切なシミュレーションモデルを開発し、コンピュータを利用していくことが一方法として考えられる。一方、騒音や海水汚染などを計画段階でどのように見込み、どのように対策を立てていくかについても研究していく必要があろう。

一部2.4でも述べたが、陸上空港とは種々の面で異なる海上空港であるので、その施設配置も独自のものが考えられよう。最適な施設配置を見出すための基礎調査とともに、新しい計画を科学的に合理的に行なえる計画手法の開発および研究を計る必要がある。

この施設配置計画に関連して、空港完成後の修正がむずかしい海上空港であるので、拡張性・融通性の高いレイアウトを考えていかねばならない。このような特殊性をもつといわれているリニアコンセプトの適用などについて一層の研究が要求される。

2.6では海上空港のアクセス交通の特殊性と現在あるあるいは考えられているアクセスモードについて説明を加えた。アクセスを空港システムの一部と考えた総合的な計画のための研究が要求される。航空機の大型化や航行援助施設の進歩にともなう全天候運航は、アクセスモードの選択にも影響を与え、海上空港のアクセスとして要求される他の諸条件にとっても都合のよい新しいモードの開発なども心がけていく必要がある。

すでに繰返し述べてきたことであるが、海上空港のよってくるころは、近年深刻化している環境問題や用地問題の解決にある。2.7で述べたように多くの代替案から最終計画を決めるときは経済性の比較を行なうが、現段階では適切な環境コストの評価法はない。関連する全ての要素を合理的に取り入れた経済性比較モデルの開発研究が待たれる。

4.2 建設に関連する問題点

沖合いの海上空港の建設は、従来の沿岸空港などの場合に比べて、はるかに過酷な自然条件下での大規模工事に成り、建設技術上の多くの問題がある。海上空港の実現には、これら建設上の問題点の解決が何よりも優先する。

他の土木工事と同様に、海上空港の建設もケースバイケースで問題点も異なるが、ここではそのような個々の問題を論ずることは不可能であるので、全体的な問題に

だけのを絞ってみる。

盛土方式では、埋立てあるいは盛土に必要な大量の土砂の確保とその運搬が最大のポイントになる。計画中の関西新国際空港が盛土方式になれば、所要土量は第1期工事だけでも神戸沖のポートアイランドの数倍という膨大なものとなる。このような大土量を効率よく処理するためのシステムの開発が要求される。

このシステム化に付随して、大型の高性能重機の開発が推進される必要がある。埋立てあるいは盛土土砂を陸上に求める場合には、掘削が大きなウェイトをもつ。効率のよい連続掘削のしかも積込み装置も有する機械が適しよう。掘削土砂運搬のためにいくつかの方法があるが、このうち大型のベルトコンベアがポートアイランドなどで実績を示しており、現段階では最適なものであろう。ベルトコンベアは大型化・高速化の効果が図-4.1²⁸⁾のように顕著で、膨大な土量の海上空港の建設には、一層機械の改良を計っていく必要がある。このほかダンプトラックやタイヤショベルなどの使用も当然予想され、これら機械の大型化の要求もある。

盛土方式と干拓方式の場合、海底の基礎地盤の上に大量の土砂が載るため、地盤の沈下が問題になる。地盤が軟弱でこの沈下が極端に大きくなる場合には、3.2で述べたように沈下防止のための手段をとるか、他の工法の適用を考える必要がある。大水深軟弱地盤の適切な改良

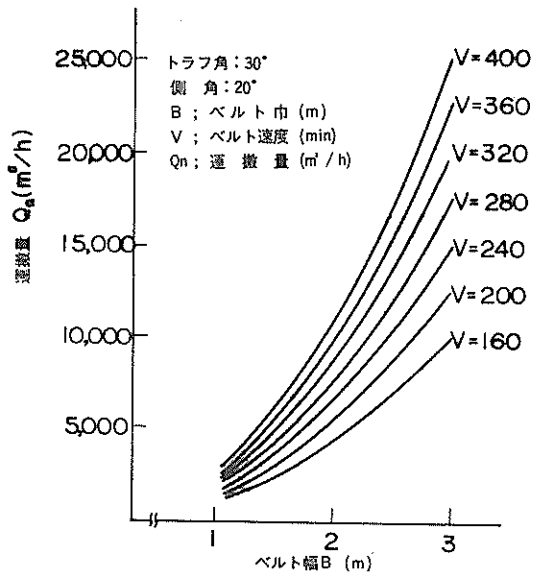


図4.1 ベルトコンベアの効率

工法の開発が望まれている。土中深くで生石灰を混合して地盤を改良する深層石灰混合処理工法の開発は、この面での1つの進歩であろう。これによれば水面下約20mまでの軟弱地盤を短期間のうちに相当程度まで改良し、盛土などによる有害な沈下を防止する効果がある。しかし、大量土砂の盛土の海上空港の場合、より深い所の軟弱地盤の改良もせねばならず、この工法の一層の進歩と同時に、新しいアイデアも待たれる。

危険のない安全な空港の建設には、いずれの方式による場合もまず十分に基礎地盤条件が把握されねばならない。特に盛土、干拓、棧橋方式では、海底面下相当深くまでの地盤の状態が分かっている必要がある。盛土や干拓堤防は各方面からその安定性がチェックされるが、そのためには地盤の強度や圧密沈下の諸定数が十分正確にとらえられている必要がある。従来海上やぐらによるボーリングおよびサンプリングではせいぜい水深10数mが限度で、しかも風や波の影響と人為的な面などから採取試料が乱されている恐れが多分にある。より大きな水深にも適用でき、種々の悪影響を取り除き、できるだけ自然堆積状態を破壊しないで試料をとるボーリングお



写真-4.1 海底着座型不攪乱試料自動採取装置

びサンプリング装置が開発された。³⁰⁾ 写真-4.1がこれで、2.5mに1mの割合で試料をとるが、将来は連続サンプリングや現位置で簡単に強度を判定するための水中サウンディング機器などの開発のための努力が望まれる。

盛土あるいは堤防の法面は護岸によって保護される。建設に先立ち、護岸の設計に影響を及ぼす種々の要素が十分に判明している必要があるが、水深の大きな海域の水理学的ならびに海洋学的研究は不十分で今後の研究に待つ所が多い。護岸背後の盛土や堤体材料は一般に砂質土になる。砂質地盤についてはそれが地震時に流動化するかどうかについて検討し、対策を立てていく必要がある。この流動化の予測に関しては多くの研究と進歩をみているが、その対策をどうするかという点では今後の一層の研究が望まれている。

盛土方式と干拓方式の場合、海上部に作られる滑走路、誘導路、エプロンなどの舗装が1つの大きな問題である。盛土方式では、基礎地盤の沈下の他に盛土材料の沈下も考慮した舗装を考えていかねばならない。干拓方式では排水後の干拓地は一般に軟弱で、その処理方法を考えていかねばならない。不十分な地盤上の舗装をどのように取り扱うかの研究も必要であろう。

パイルやケーソンによる棧橋方式では、前記盛土および干拓方式とは異質の多くの問題がある。まず構造物に作用する外力に分らない面が多い。離発着航空機の衝撃荷重もその1つで、特に墜落時の荷重などは推測の領域を出ない。波力や地震力なども含めて総合的な調査・研究が必要である。

構造物に作用する外力の正確なデータはないけれど、パイル方式では大口径の長大杭が必要となることは明らかである。自然条件の厳しい海上での打込みは大変困難な作業で、施工機械や技術の進歩が計られねばならない。

パイル方式にも図-4.2に示すような種々の構造が考

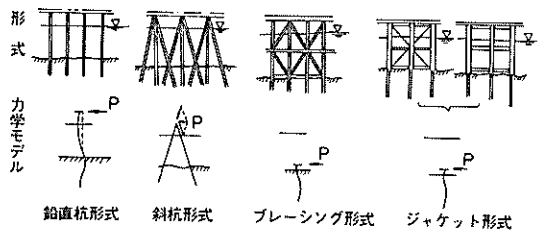


図-4.2 パイル方式の構造型式の例

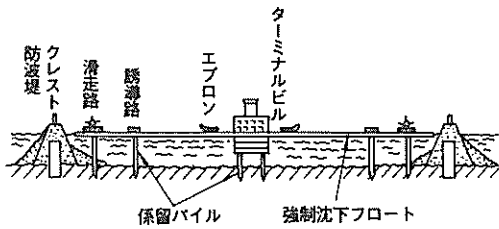


図-4.3 フローティング方式における消波装置の例

えられる。各々の構造解析法の開発と相互の比較検討を行ない、最適構造形式について考えていく。2.1, 3.4などで述べたが、棧橋方式では単層構造とともに多層構造も考えられる。複雑な構造の解析には、有限要素法の適用なども考えていく必要がある。

海上空港に限らず海洋構造物の存在する環境は大変に厳しい、繰返して作用する荷重に対する構造物および部材の耐久性について十分調査・研究が望まれる。海水による腐蝕も従来の沿岸構造物と異なる面があり一層の研究が要求されよう。十分な耐用年数をもつペイントの開発や水中塗装などの技術の開発にも努める必要がある。

フローティング方式で最も大きな問題は、アンカリングあるいはムアリングであろう。潮流や風浪による異常に大きな水平力を受けるフロートを固定するためのアンカーについて、その配置、チェーンのたるみによる移動防止、チェーンのもつれ、シンカーの設置方法などの事柄について検討する必要がある。

フローティング方式による大空港の場合、必要な鋼材量は莫大なものになる。鋼材供給能力も大きなポイントになるであろう。3.5ではFLAIRの説明をしたが、多数のモジュールを厳しい海象条件の下で接合することは大変困難で、このための技術の開発がこの方式による空港実現にとっては最優先となる。

アンカリングの研究の他、波力などの水平力を緩和するための消波装置についても考えていく必要がある。図-4.3は文献(32)に述べられている一案で、今後の研究開発が待たれる。

アンカリングや消波装置にもかかわらず、フローティング方式においては多少の移動や動揺は避けられないであろう。海上空港へのアクセスとして沈埋トンネルや橋梁を考えたとき、空港本体とアクセスとの連結部の問題を解決しなければならない。

最後に海上空港と沿岸都市とを結ぶアクセス交通路について少々考えてみる。航空輸送や水上輸送方式ではアクセス交通路の建設はない。しかしこれらの方式は天候に左右されやすく、前節で述べた全天候運航と大量輸送のためには、陸上輸送方式によるアクセスを採用した方がよからう。この場合には橋梁やトンネルといった交通路の建設が必要になる。

橋梁か水底トンネルかは水路部の長短や施工性によるが、航路および航空制限の問題からはトンネルが優れる。トンネルの場合湾域部の軟弱地盤中の施工に適する沈埋トンネルが有力である。この沈埋トンネルの施工は世界でいくつかあり、日本でも衣浦港で実施され、技術的蓄積も増えている。しかし、大水深海域での施工や耐震設計などで多くの問題が残されており、今後一層の研究が望まれている。

この他、水や航空機燃料の輸送のためのパイプラインの建設についても、前記沈埋トンネルと併せて広汎な研究が必要である。

以上海上空港の計画・建設にともなう問題点のうち、一般的ななしかも技術的なものにだけ絞って述べてきた。非常に多くのファクターを含む大システムの海上空港で、いまだその完全な実現をみていないということから、ここでとり上げた問題点は全体のほんの一部にすぎない。まだまだ多くの問題があり、海上空港の実現にはそれらの解決のために多大の努力が要求される。実際に海上空港の計画に当たっては、第2章と第3章で示したような従来の経験を参考にしつつ、本章にあるような問題点をピックアップし、綿密な過程に従って一步一步着実に計画を進めていくことが大切であろう。

5. あとがき

世界で現在までに計画あるいは提案された海上空港についての資料を調査し、海上空港の計画および建設方法を取りまとめ、今後この種の計画を実施していくときの手引を作った。現段階では技術的・経済的に多くの難問題が山積する海上空港であるので、現状を単にまとめて紹介したこの資料も当然完全なものではあり得ない。しかし、未来のより良いより実現性のある海上空港計画は、今までになされた成果と現状の正しい認識の上に初めて可能なもので、この資料作成の目的もそこにある。

近年の騒音をはじめとする環境問題や用地取得難から、空港計画および建設の動向は、いやおうなしに海上空港へと向っている。秩序ある人間社会の発展に寄与し、正しい航空交通の発展にとって、海上空港への期待は大き

い。大プロジェクトになる海上空港の実現には、それぞれのケースごとに、その計画および建設に関連する種々の問題がまず解決されねばならない。海上空港建設の前面に立ちふさがる困難な問題を打ち破る十分な調査と優れた研究が要求される。

この資料は、筆者が科学技術庁派遣の在外研究員として昭和47年9月から1年間米国に留学している間に得た資料と情報を中心に、滑走路研究室の海上空港に関する文献調査結果なども加味してとりまとめたもので、終始御協力を戴いた森口前滑走路研究室長に深く謝意を表する次第である。
(1974年4月1日受付)

参 考 文 献

- 1) Quandt R.E.: The Demand for Travel: Theory and Measurement, Heath Lexington Books, Lexington, Massachusetts, 1970, 304pp.
- 2) Class Note, Air Transportation, Univ. of California.
- 3) Paullin R.L. and J.F. Miller: Aircraft Noise Abatement—The Prospects For A Quieter Metropolitan Environment, AIAA Aircraft Design and Operations Meeting, AIAA Paper 69-800, Los Angeles, Calif, July 1969, P.6
- 4) The Ralph M. Parsons Company: Offshore Airport Planning, SRDS Report 66 RD-69-41, Los Angeles, Calif., Aug. 1969, p. E-15.
- 5) 4) と同じ, P. 13.
- 6) Federal Aviation Administration: Airport Master Plans, AC 150/5070-6, Feb. 1971, P. 62.
- 7) The Ralph M. Parsons Company: Evaluation of Construction Methods For Offshore Airports, SRDS Report 66 RD-69-42, Los Angeles, Calif, Aug. 1969, P. 23.
- 8) Dudley R.: Designing for the Supersonic Era, Architectural & Engineering News, May 1968, P. 27.
- 9) Blanc M.: An Airport In One Third The Space, Progressive Architecture, Sept. 1969, P. 102.
- 10) 9) と同じ, P. 104.
- 11) Kanafani A. and H.A. Kivett: The Planning of Passenger Handling Systems, The Second Course on Airport Planning and Design, Univ. of Calif., Berkely, June. 1972, pp. 13~17.
- 12) 4) と同じ, pp. 21~32.
- 13) 4) と同じ, pp. D-17~D-29.
- 14) 4) と同じ, p. 6.
- 15) 4) と同じ, pp. 7~8
- 16) Stepanek O. et al.: Comparison Of Offshore Airport Construction, Offshore Technology Conference, May 1969.
- 17) 4) と同じ, pp. A-7~A-8.
- 18) 7) と同じ, Appendix A
- 19) 雨宮武男: 世界の海上空港—計画と構想—, カラム 644, P. 57
- 20) 7) と同じ, P. 133.
- 21) I.T. ベリー: 特殊な空港計画の例, シドニーとメルボルン空港, これからの空港, 航空新聞社, 昭和44年10月, pp. 228~232.
- 22) City of Chicago: A Lake Michigan Site For Chicago Third Major Airport, Feb. 1970.
- 23) Pikarsky M. and J.B.W. Corey: An Airport in Lake Michigan for Chicago, Civil Engineering, ASCE, Sept. 1968. pp. 52~54.
- 24) Lier A. and E.J. Fasullo: La Guardia Runways Extended Over Water, Civil Engineering, ASCE, Aug. 1966, pp. 32~37.
- 25) Quick L.H.: Seadrome—Phase I Report, Transportation Systems Corporation, July 1967.
- 26) 7) と同じ, Appendix A pp. A-115~A-117.
- 27) Weidinger P.: FLAIR, Sept. 1969.
- 28) 川嶋栄一: 海上空港に関する技術的問題点, Airport Review, 612, 1971, P. 32.
- 29) 奥村樹郎他: 石灰による深層混合処理工法 (第3報), 港湾技術研究所報告, Vol. 12, 63, 1974年6月 (予定)

- 30) 松本一明：海底着座型不攪乱試料自動採取装置 (MAS-73) の開発, 土と基礎 Vol. 22, No. 5, March 1974, pp. 102~104.
- 31) たとえば, 土田肇：砂質地盤の流動化の予測と対策, 昭和45年度港研講演会講演概要, 1970年12月, pp. 3-1~33.
- 32) 雨宮武男：開けゆく海上空港, トランスポート, 運輸省広報, 昭和46年2月, pp. 19~20.

付録 STOL用空港

1. 概 論

優れた長所を持つ大型VTOLやSTOLの出現は, 航空輸送のみならず全交通輸送体系にとって, 大きな期待を持って待たれている。本文のまえがきでも述べたように, 近年VTOLやSTOLの開発は積極的に推進され, 付随する多くの問題が解決されてきており, 近い将来民間航空輸送にその大型機が姿をみせよう。

V/STOLの持つ特殊性から, それらの機種は主として航空需要の多い短距離都市間の輸送に投入されよう。そのほか, 離島あるいは僻地と都市を結ぶ交通モードとしての活躍も期待できる。都心から離れた大空港へのア

クセスとしての利用も考えられているが, 特に海上空港の場合には利用価値が高い。

従来の航空機とは機能ばかりでなく利用のされ方も大きく異なるV/STOLでは, それらの基地となる空港にも特別な配慮が要求される。空港の位置, 諸施設の配置とそれらの規模, 航行援助施設などの計画に特種性が現われる。前述のようにV/STOLは研究段階で, 本格的な出現はまだ見ないが, 航空機製造会社が発表した仕様などに基づいて, V/STOL用空港の計画, 設計についても研究が進んでいる。

この付録では, 開発中のSTOLの機能とそれら機種に対応できるSTOL用空港の計画および設計について, 米国のFAA(連邦航空庁)の研究を中心に概説する。ここで述べられる基準などはあくまでも暫定的なもので, 将来V/STOLの開発が進みそれらの諸元が変わったり, 社会環境あるいは交通事情などが変化すれば, それらにともなって変わり行くものであることをことわっておく。

2. STOL 機 諸 元

付表-1には, 提案されたSTOL機のうちのいくつかについて, その航空機諸元が示されている。

付表-1 STOL機諸元

	ロ ッ キ ー ド LG 100-107D	ダ グ ラ ス DA-188F	ノース アメリカン ロックウェル NR 260C
全 長 (m)	3 2.5 4	2 4.5 9	3 5.9 7
翼 長 (m)	4 1.6 4	2 3.9 2	3 8.5 6
全 高 (m)	1 2.1 9	1 0.1 1	1 3.4 4
車 輪 配 置	複 々 車 輪	複 々 車 輪	複 々 車 輪
ホイールベース(m)	1 2.1 9	7.2 1	1 3.2 0
ト レ ッ ド (m)	4.8 2	6.1 0	5.2 7
全 備 重 量 (kg)	5 1 7 0 0	2 6 5 0 0	6 3 5 0 0
最大脚荷重(kg)	2 2 5 0 0	主 脚 1 1 2 0 0 ノーズ 4 2 0 0	2 8 3 0 0
最大衝撃脚荷重(kg)	6 4 6 0 0	2 6 5 0 0	4 2 6 0 0
水平制動力(kg)	3 5 8 0 0	6 6 0 0	1 9 1 0 0
タイヤ接地面積(cm ²)	1 1 6 1	7 0 3	1 4 3 9
回 転 半 径 (m)	1 3.1 1	1 5.4 7	1 3.4 1
エ ン ジ ン 数	4	4	4
エンジンタイプと馬力	Allison 501 D22A 4 2 9 1 SHP	General Electric CT58-16 SHP1600	ターボファン 2 1 0 0 0 1 b
座 席 数	乗員 5, 乗客 8 0	乗員 4, 乗客 7 2	乗員 6, 乗客 1 5 0
最大装備燃料(kg)	5 9 0 0	7 2 0 0	2 1 3 0 0
最大積載荷物(kg)	N A	N A	9 1 0 0
エンジン高さ(m)	1.7 5	3.4 3	2.1 0
翼先端高さ(m)	4.8 5	5.1 6	5.3 9

3. STOL用空港の計画

短距離用航空機であるSTOLの機能からして、大都市のSTOL用空港を、アクセスに多大な時間を必要とするような都心から遠く離れた場所に作ることは無意味である。アクセスタイムを少なくし、他の交通機関と直接結ぶことのできるようなSTOL用空港が計画されねばならない。

コンパクトな施設ですむSTOL用空港では、鉄道の駅の屋上あるいは高速道路や河川の上を利用するか、湾内の海上空港を港湾施設の一部として併用するかい

ったアイデアが適用できる。付図-1はSTOL用空港を屋上にもつ総合交通センターの模型で、将来の交通システムのあるべき姿を示すものといえよう。

STOL用空港における土木施設の基本的な配置計画が付図-2で、従来の平面的配置の空港に対し、立体的な空港のアイデアが取り入れられている。STOL用空港においては、航空機の滑走路・誘導路などでの所要時間が短くなるため、ゲートタイムが著しく短縮されない限り、従来の空港に比べゲート数を相対的に増やす必要があらう。

付表-2 S T O L 用 空 港 の 設 計 基 準

設 計 項 目	基 準	備 考
a. 滑走路長 (海面高, 32℃)	450~550m	標高・温度に対する補正
b. 滑 走 幅	30m	
c. 滑走路安全帯幅	60m	
d. 滑走路安全帯長	520~610m	
e. 誘 導 路 幅	18m	
f. 滑走路・誘導路中心間隔	60m	
g. 滑走路中心と駐機航空機の間隔	75m	
h. 滑走路中心と建物の間隔	90m	
i. 誘導路中心と障害物の間隔	30m	
j. 滑 走 路 中 心 と	45m	
k. 平 行 滑 走 路 間 隔	200m (VFR) (IFR)	
l. 制 限 表 面		
1) 基 準 表 面 長 さ	滑走路長 + 両端 30m	
2) 基 準 表 面 幅	90m	
3) 進 入 表 面 長 さ	3050m	
4) 進 入 表 面 傾 度	15:1	
5) 進 入 表 面 幅	始まり } 90m 3050m } 1040m	
6) 転 移 表 面 傾 度	4:1	
7) 転 移 表 面 最 大 高 さ	30m	
m. ク リ ア ー ゾ ーン		
1) 長 さ	230m	
2) 内 幅	90m	
3) 外 幅	160m	
n. 舗 装 強 度	航 行 予 定 航 空 機	
o. マ ー キ ン グ		5. 参 照
p. 照 明		5. 参 照

5. STOL用空港の航行援助施設

STOL用空港の滑走路のマーキングは、次の諸項目について適切な基準に基づいて行なう。マーキングの一例が付図-6に示されている。

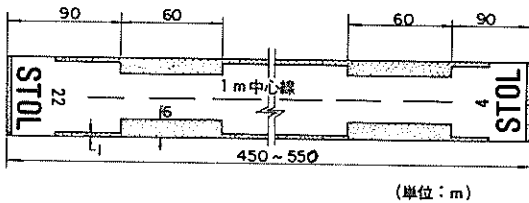
- (i) 滑走路末端
- (ii) 滑走路番号
- (iii) 滑走路中心線
- (iv) 滑走路縁端

(v) 着陸区域標識

計器飛行あるいは夜間飛行のあるSTOL用空港では、次の項目のライティング（照明）が必要である。

- (i) 滑 走 路 灯
- (ii) 滑 走 路 末 端 灯
- (iii) 滑 走 路 末 端 識 別 灯
- (iv) 距 離 灯
- (v) V A S I

このほか、場合によって進入灯の必要もある。



付図-6 STOL用空港のマーキングの例

誘導路、エプロンなどにもマーキング、ライティングが施されるが、従来の空港での基準等を参考にしつつ適切な設置計画を立てる。このほか、障害物に適切なマーキング、ライティングなどを施し、航行の安全が計られねばならない。

6. 屋上空港の適用

前述のように鉄道の駅の屋上や河川あるいは道路の上にSTOL用空港を作ることが考えられる。この場合いくつかの特種な問題が生じてくるので、それらの解決がその種の空港の建設の前提となる。

空港が作られる構造物の長さや幅は、航空機の離着陸の安全性が保てる程度でなければならず、それはこの種の空港に設置される航空機緊急捕獲システム(Aircraft Emergency Arresting System)によって変わる。航空機の屋上からの落下はどんな場合にも防がれねばならず、滑走路末端と両縁端には航空機落下防止装置をとり付ける。高い信頼性を持つこの種の装置が開発される必要がある。

高い構造物や建物の場合、その周辺に強い空気の流れが生じ、航空機の航行に少なからぬ影響を与える。屋上空港周辺に生ずる風や渦についての十分な研究がなされ、航行の安全を保つための十分な対策が立てられねばならない。

屋上空港の施けられる構造には、当然多くの航空機が乗り、これらの荷重に耐える構造物を設計しなければならない。この場合、単に静的な荷重だけを考えるだけでなく、動的あるいは衝撃荷重についても考慮してやる必要がある。特に問題になるのは、航空機が墜落した時の衝撃荷重であるが、この種の荷重については分からない面が多いので、今後の研究が待たれる。このほか、構造物の設計には航空機の走行あるいは制動による水平荷重も考慮しなければならないが、この荷重もよく分からないので鋭意解明に努めねばならない。

効率のよい交通輸送体系の確立のために、この屋上空港のコンセプトは興味深いものであるが、前述のように多くの問題が解決されねばならない。航空輸送を含めて全交通輸送システムの発展のために、海上空港およびこの屋上空港に関する技術開発が待たれている。

7. V/STOL用海上空港

多くの都市は周辺に海・湖・川などの水域を持ち、空港はそれら水域の沿岸に作られることが多かった。従来のこのような傾向も、本文で述べてきたように、大空港の場合騒音などの問題から沖合いの海上空港へと移行する動きがある。V/STOL用空港の場合、その機能から空港を都心から遠く離れて作ることは無意味で、V/STOL海上空港の可能性もその前提条件内に限られる。

進入角を大きく取れるV/STOLでは、周辺地域に与える騒音の影響もかなり軽減されるが、できれば騒音問題の生じない水域へ空港を作ることが理想的であろう。沿岸からのアクセスが容易で、騒音の影響の少ない水域を利用したV/STOL用空港の構想もある。たとえば、港湾地域の一角にV/STOL用空港を併設するとか、港湾構造物と兼用するとかいったアイディアはこれである。実際に米国、ニューヨーク都市圏では、マンハッタン島の港湾棧橋をSTOL用空港に転用しようという計画が進められている。

この種の海上(あるいは水上)空港の場合、その建設方式としては、棧橋あるいはフローティング方式が盛土や干拓方式などよりも合理的なものとして浮び上がってくる。小規模工事で棧橋やフローティング構造の方がかえって経済的になる場合もあることと、沿岸に近い水域では水質汚染問題が特に厳しく、盛土や干拓ではその危険性が大きいことなどが理由である。

港湾技研資料 No.188

1974・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 日青工業株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.