

羽田空港の処理容量拡大策 に関する調査研究報告書

概 要 版

平成22年10月



(社) 日本土木工業協会
海洋開発委員会
空港技術専門委員会

羽田空港の処理容量拡大策 に関する調査研究報告書

概 要 版

平成22年10月



(社) 日本土木工業協会
海洋開発委員会
空港技術専門委員会

目 次

はじめに	1
1. 羽田空港の現状と課題	1
2. 羽田空港の処理容量に関する整理	6
3. A滑走路南側スライド案に関する検討	9
4. C滑走路外側空間の利用可能性の検討	13
おわりに	15

はじめに

首都圏の航空需要は、今後とも国際輸送を主体に大幅な増加が見込まれており、羽田空港の再拡張事業や成田空港の滑走路延長事業等による容量増加を見込んでも、近い将来には再び需給が逼迫し、手をこまねいていると我が国の国際競争力や活力にも大きな支障が生じると言われている。

空港技術専門委員会では、こうした問題を先取りして対応策を検討しておくため、羽田空港の処理容量の問題に着目し、再拡張事業供用後の空港用地とそのごく周辺の空間を利用しての容量拡大策、換言すれば既存ストックを最大限に活用しての容量拡大策について自主研究を実施した。具体的な対策としては、A滑走路を少し南側にスライドしB滑走路との間に離隔を確保する対策と、C滑走路の外側空間を活用する対策を取り上げている。

研究にあたっては、空港の処理容量が、地上の施設だけではなく、上空の飛行ルートや管制方式、空港の運用方法、航空機の性能や機材特性、さらには空港周辺住民の理解といった事項で構成される全体システムとして決まることから、単なる地上における施設計画に陥らないように留意しつつ、各方面の専門家のご意見をうかがうとともに、空港の運用状況等に関する実態調査なども行った。そしてその上で、上記2つの対策について、計画・設計条件の整理、実施上の課題の整理、構造・工法・工程等の概略検討を実施した。

本資料は、研究成果の概要をとりまとめたものである。

1. 羽田空港の現状と課題

(1) 羽田空港の現状

羽田空港は、首都圏の主に国内線の航空需要を取り扱う基幹空港として位置付けられ、全国約 50 の空港とネットワークする我が国最大の国内航空輸送の拠点となっている。羽田空港の旅客数は、2006 年度実績で国内航空旅客数の約 6 割にあたる 6,216 万人に達し、旅客取扱ベースで比較すると世界で第 4 位の旅客利用実績を誇っている。また、羽田空港は航空機の運航・整備の基地空港でもあり、1,274ha の敷地の中に 3 本の滑走路、175 のスポット、約 50 万㎡の国内線旅客ターミナルビル、貨物取扱施設、格納庫等様々な施設がある。国内線の旅客が利用しない夜中の時間帯でも、国際チャーター便や国内貨物専用便が就航し、航空機の整備や滑走路等空港施設の維持管理作業などが 24 時間行われている。

羽田空港の国内航空旅客数の実績および国土交通省における需要予測によると（図1）、羽田空港の年間国内旅客数は2017年度には6,740万人と予想されている。

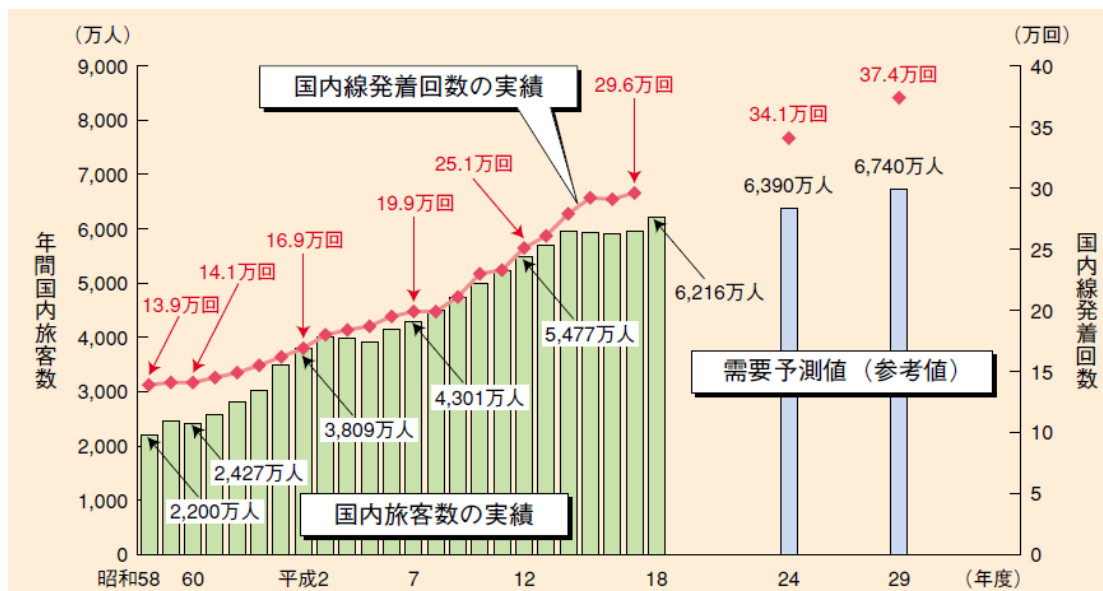


図1 羽田空港の国内旅客数の実績および将来予測

羽田空港では、航空需要の増大に早急に対応するため、現在、新たに4本目のD滑走路と国際線ターミナル等を整備する再拡張事業が行われており、2010年10月21日に供用開始となる予定である。再拡張事業後は年間の発着能力が現在の30.3万回から40.7万回に増強されることになるが、(財)運輸政策研究機構の予測によると、成田も合わせた首都圏の航空需要は、アジア諸国の発展やオープンスカイ等の自由化政策により、2007年国内線6,260万人/年、国際線3,600万人/年、合計9,860万人/年から2030年国内線5,780万人/年、国際線11,000万人/年、合計16,780万人/年と予測されている。現在羽田の年間発着枠は、30.3万回、成田の年間発着枠は20万回で羽田・成田合計年間発着枠50.3万回で9,860万人を捌いている。これから外挿すると16,780万人を捌くには羽田・成田の年間発着枠は85.6万回必要となる。再拡張事業等により羽田・成田の年間発着枠は合計62.7万回に増えるが、早晩、羽田・成田の容量不足が顕在化することは明らかである。

(2) 羽田空港の滑走路運用状況調査

「羽田空港の滑走路運用状況調査」として、東京航空局が公開している羽田空港の飛行コース公開ホームページから30分毎の航跡図を分析し、定期便が就航している6時～24時を対象に滑走路の運用状況等を集計した。滑走路の風向別運用時間割合と実際の風向き

との関係、風向きによる滑走路の利用割合と離着陸パターン等を調査した。集計期間は平成20年5月～平成21年4月までの1年間である。

滑走路の風向別運用時間割合を分析したところ、約7割が北風運用という結果になった。4月～8月には南風運用が多くなっているが、10月～2月の冬場では約9割が北風運用となっている（図2）。実際の風向きは北寄りの風が約5割であるので、騒音に配慮して、南寄りの風の時にも北風運用が行われていること等の運用の実態を知ることができた。

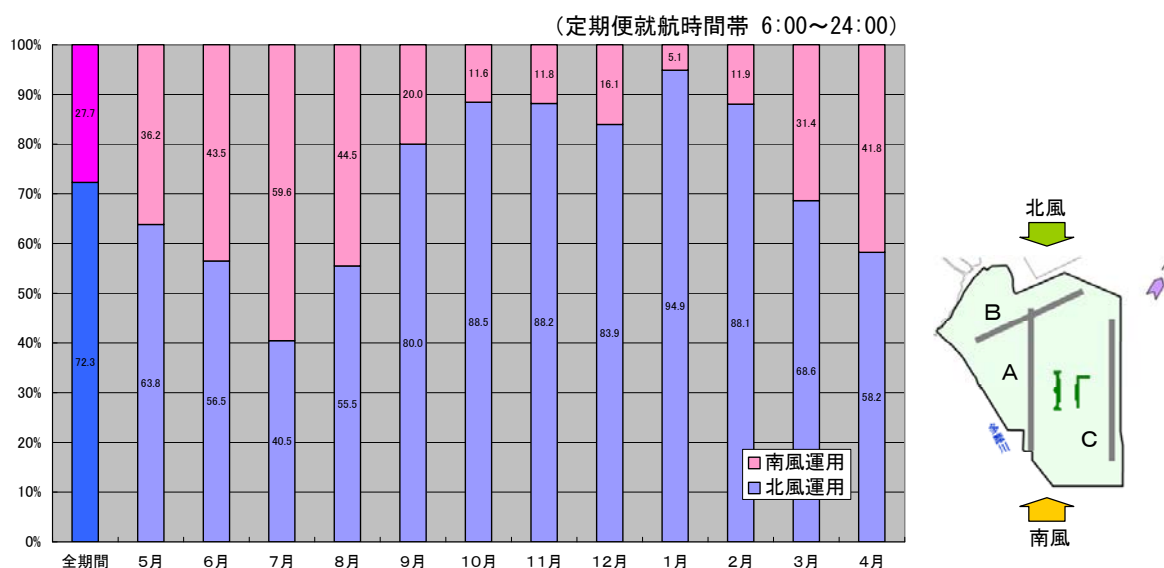


図2 羽田空港における風向別運用時間の比率

(3) 空港での地上走行時間に関する調査

「空港での地上走行時間に関する調査」として、空港技術専門委員会委員を中心とする会員各社の社員が実際に航空機に搭乗した際に、離発着時間や滑走路走行時間を調査票に記入してもらうことでデータを収集した。平成20年5月～平成21年4月までの1年間で1683便のデータを収集し、それらについて分析を行った。

調査は、空港の搭乗ゲートから航空機が動き出した時間、使用滑走路と離着陸方向、離着陸時間、目的地空港での滑走路離脱、ゲート到着時間等を秒単位で記入する方法で行った。

収集データについては、空港別では羽田空港のデータが全体の45%と最も多く、次に福岡13%、新千歳9%、那覇5%、その他28%であった。

離陸時の地上走行時間（搭乗ゲートから航空機が動き出して離陸開始までの時間）を集計すると、羽田空港では平均14.5分で、その他空港の平均10.1分に対して5分程度長く

なっている。また着陸時の地上走行時間（滑走路に着地してからゲートに到着するまでの時間）では、羽田 6.5 分、その他空港 5.5 分と大きな差がないことが分かった。離陸時の地上走行時間を時間帯別に集計すると、特に羽田空港では朝と夜に地上走行時間が長くなっており、この時間帯に羽田空港が混雑している状況がうかがえた。

羽田空港において、利用ターミナル別・利用滑走路別に到着までの地上走行時間を集計すると（図3）、例えばC滑走路北向きに着陸して第1ターミナルに到着する場合は7.6分であり、A滑走路北向きに着陸して第1ターミナルに到着する場合5.4分に比べて2分程度長いことが分かった。

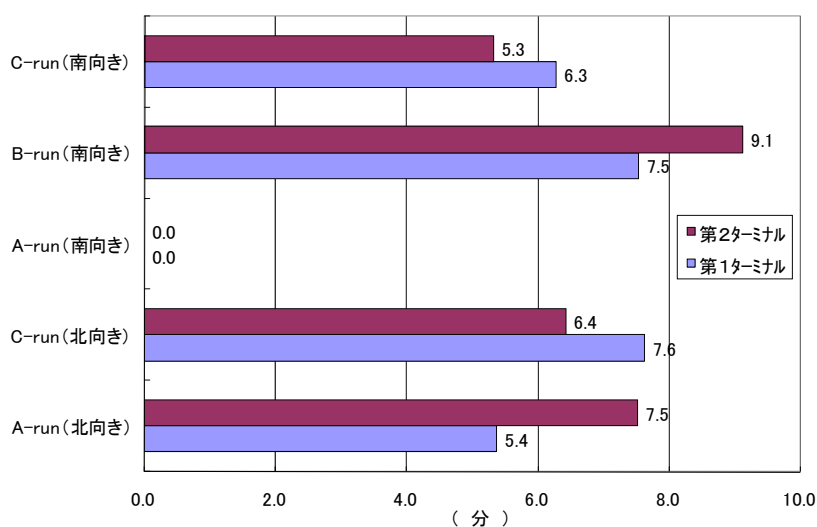


図3 羽田空港着陸時 利用滑走路別・利用ターミナル別到着ゲートまでの平均時間

またB滑走路に着陸して第2ターミナルに到着する場合は9.1分かかっており、当然ではあるが、滑走路とターミナルの位置関係による結果がはっきり示された。また、着陸時にターミナルまで走行する間に30秒程度以上の一旦停止をした割合を分析すると、B滑走路に着陸した場合が最も多く16%の頻度で一旦停止があった。これはB滑走路からターミナルに行くためにはA滑走路を横断する必要があることが要因と考えられる。

滑走路に着地してから離脱（誘導路へ進入）するまでの時間については、羽田空港は平均42.4秒、その他空港は46.4秒となっており、羽田空港の方が短い結果であった。これは羽田空港の高速離脱誘導路の整備水準が高いこと等によると考えられる。

2. 羽田空港の処理容量に関する整理

これらの現状を調査した結果から課題を把握した上で、空港の処理容量の考え方を整理するとともに、容量拡大策について、その効果を算定した。

羽田空港の処理容量は、複数の滑走路での運用条件や管制方法を考慮した空港全体の年間もしくは一定時間あたりの定期便の発着回数で示され、平成 19 年 9 月以降は 30.3 万回／年（31 回／時）、D 滑走路供用後は 40.7 万回（40 回／時）とされている。

また滑走路処理容量は、管制のルールに基づき安全間隔を確保した滑走路 1 本あたりの処理容量で示され、空港処理容量を算定する基本データとなる。

今回の検討では、容量拡大策の効果を算定するため、1 本の滑走路処理容量、交差 2 本の処理容量、D 滑走路供用後の処理容量を整理した上で、再拡張後の課題への対応策を実施した場合の処理容量を算定し、対策の効果を試算した。

（1）滑走路 1 本の処理容量

1) 1 本の滑走路を離陸のみに使う場合

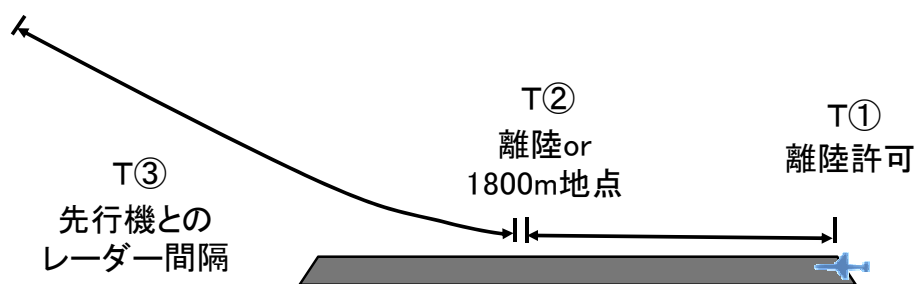


図5 離陸機 1 機当たりの必要処理時間

まず、離陸時の容量であるが、T①＝離陸許可を受けて滑走路上で動き出すまでに 15 秒、T②＝離陸滑走を開始して離陸するか、または滑走開始地点から 1,800m 地点を通過するまでが 35 秒、T③＝離陸してレーダー識別され後続離陸機への出発待機解除まで 45 秒、合計 95 秒が必要とされている（図 5）。但し、羽田空港で約 7 割を占める大型機の場合は、後方乱気流を考慮して 120 秒間隔が必要とされている。双方を考慮すると 1 時間あたりでは $3,600 \div (95 \times 30\% + 120 \times 70\%) = 32$ 回／時となる。

2) 1 本の滑走路を着陸のみに使う場合

着陸時の容量については、L①＝着陸か着陸復行の決断点である滑走路進入端の 1NM（1 nautical mile : 1 海里＝1,852m）手前の地点から滑走路端までの時間が 27 秒、L②＝滑走路端を通過し着地して走行し滑走路を離脱するまで 73 秒、L③＝誘導路の停止線

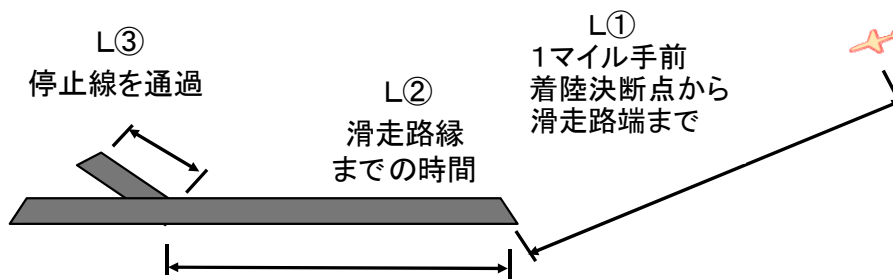


図6 着陸機1機当たりの必要処理時間

を通過するまでに15秒、合計115秒が必要とされている(図6)。1時間あたりでは、 $3,600 \div 115 = 31$ 回/時となり、着陸時容量の方が離陸時容量より小さいため、現在の羽田空港では着陸時で滑走路1本の容量が決まっている。

3) 1本の滑走路を離陸と着陸で交互に使う場合

1本の滑走路を離陸と着陸で交互に使う場合では、着陸する先行機が滑走路から離脱した時点で、後続の離陸機に離陸許可が可能となる。離陸機が離陸または滑走開始地点から1,800m地点を通過するまでの時間は、後続が着陸機のため急に速度を落としたりできないので、離陸時間が長くなることも想定し、離陸だけに使う場合に安全率を考慮して $35 + 2.60\sigma = 48$ 秒とする。この時点で後続着陸機が滑走路進入端の手前1NMにいれば良いことになるので、 $15 + 48 + 27 + 73 = 163$ 秒間隔で離着陸各1回が可能となり、 $3,600 \div 163 \times 2 = 44$ 回/時と離陸または着陸だけに使用するより、かなり容量が増加することになる。

(2) 交差滑走路2本の処理容量

次に羽田のC滑走路とD滑走路の位置関係を単純化して、経路が直交する2本の滑走路についての容量を算定する(図7)。検討の条件は、それぞれの滑走路の利用は離陸または着陸のみとし、離陸直後の速度は160ノット(1ノット=1NM/時)、着陸直前の速度を130ノット(B737クラスの場合)とする。

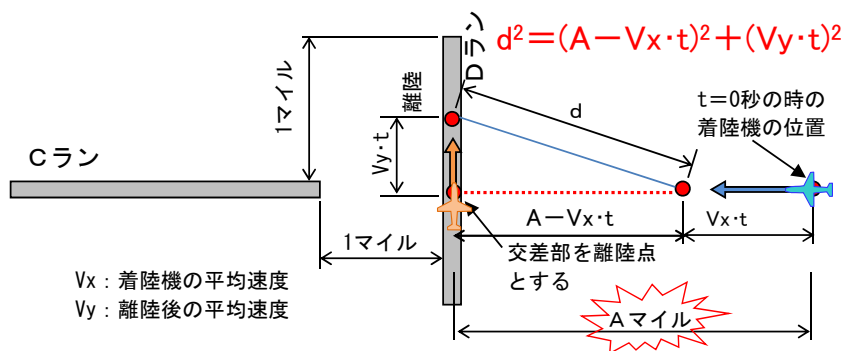


図7 交差2本の滑走路における離陸機・着陸機の関係

C滑走路に着陸、D滑走路から離陸する場合について説明する。D滑走路から離陸した時間を $t=0$ 、交差部からの着陸機の位置をAとして離着陸機間の距離 d の関係式を求める。管制基準から、離陸後1分以内は離陸機と着陸機の離隔2NM以上、1分後には3NM以上とされているので、計算すると $A \geq 3.54\text{NM}$ となる。3.54NMの距離を130ノットで進むと98秒後に交差部を通過するので、離陸または着陸は $15+35+98=148$ 秒間隔(図8)で可能になる。容量は $3,600 \div 148 = 24$ 回/時となり、従属関係がある2本の滑走路では1本あたりの容量が少なくなる。

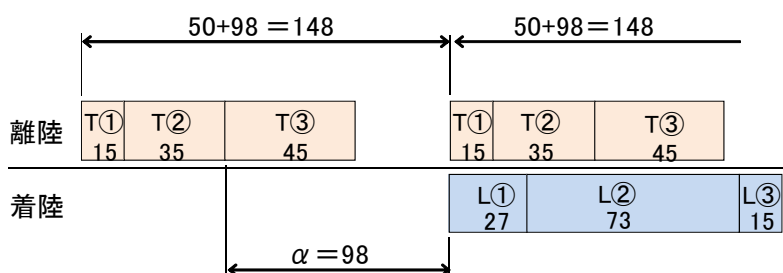
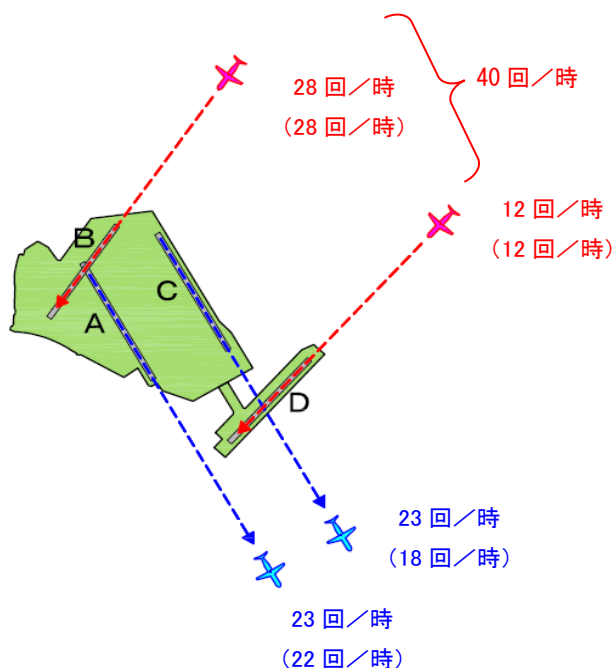


図8 交差2本の滑走路における離陸または着陸のサイクル

(3) 再拡張後の処理容量試算

以上の考え方をを用いて、再拡張後の4本の滑走路での処理容量を算定した。このためには、



※ ()内は公表値

は、A滑走路北側がB滑走路と交差している影響(A滑走路離陸機のブラスト(ジェットエンジンの排気)のB滑走路着陸機への影響)、D滑走路着陸機もしくは着陸復行機(ゴーアラウンド)とC・A滑走路離陸機の相互の後方乱気流の影響などを考慮してサイクルを求めることとなる。試算した結果、再拡張後の4本の滑走路では航空局公表値と同じ40回/時(40.7万回/年)の容量を確認することができた(図9)。

図9 再拡張後の処理容量(南風時)

(4) A滑走路南側スライド、E滑走路増設による処理容量の拡大

このように、比較的簡便な検討で、かなりの精度で容量算定が可能となるため、具体的な「羽田空港の処理容量拡大策」についてもその効果を算定した。その試算結果として、まずA滑走路を南側にスライドしてB滑走路との干渉を無くした場合は43回/時(43.7万回/年)となった(図10)。

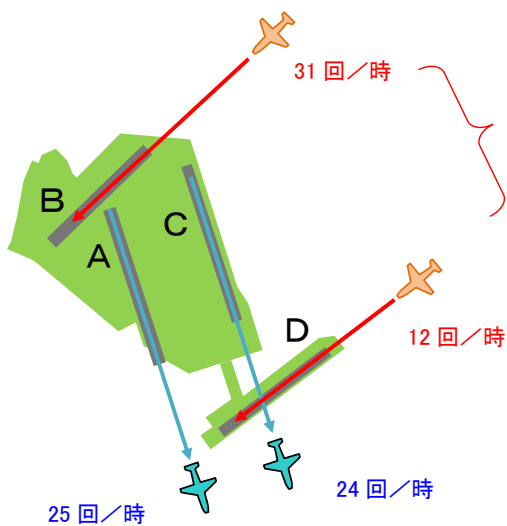


図10 A滑走路南側スライド時の処理容量(南風時)

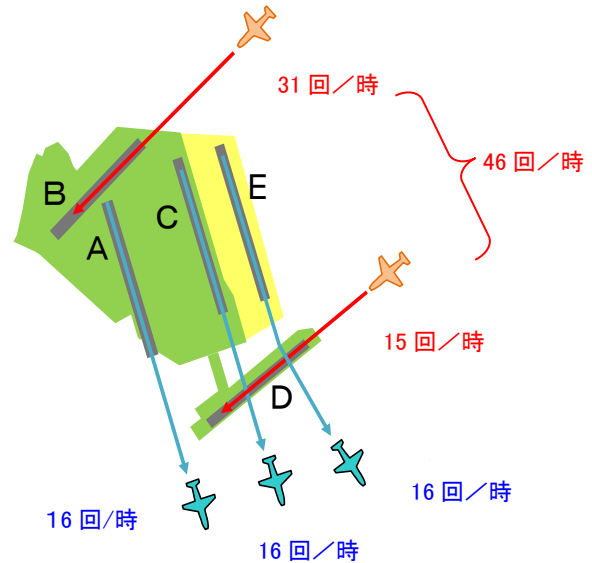


図11 E滑走路増設時の処理容量(南風時)

次に、A滑走路南側スライドに加えて、C滑走路外側空間にE滑走路を増設した場合の処理容量を試算した。現在の空域条件は遵守し、条件として厳しいと考えられる南風時を対象に、C滑走路から760m離れた場合(クローズパラレル)(図11)と1310m離れた場合(オープンパラレル)の両方を試算したが、両方とも46回/時(46.8万回/年)という結果がでた。飛行ルート上の詳しいチェックが必要だが、両方で差がでないのは現在の飛行ルート条件を遵守していることによる。

3. A滑走路南側スライド案に関する検討

(1) A滑走路スライド量

A滑走路のスライド量については、B滑走路を利用する飛行機に対して、A滑走路の出発機のエンジンプラストが影響しないことと、両滑走路間に誘導路を確保することから考える必要がある。(図12)

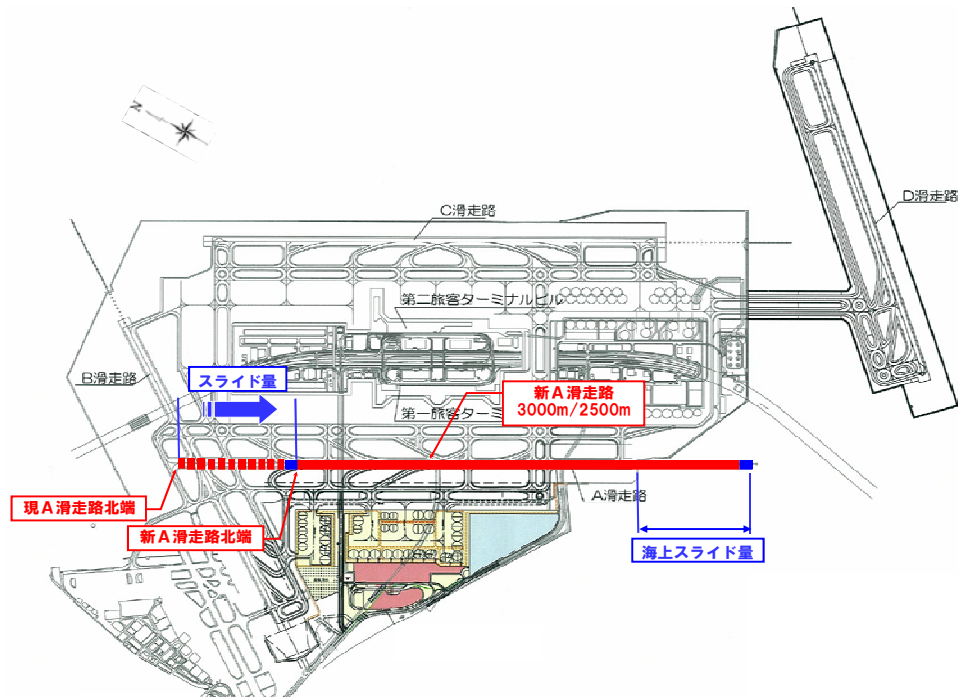


図12 A滑走路スライド（B滑走路との離隔）のイメージ

ブラストの影響を受けない離隔距離については、B滑走路上の飛行機に、風速56km/h以上のブラストによる風が当たる場合に影響があり、550m以上の離隔が必要であると経験上いわれており、550mの離隔を基本とした。B滑走路中心からA滑走路端の離隔距離550mを確保できるスライド量を考えると、A滑走路のスライド量は700mとなる。また、多摩側河口部への影響を小さくするため、スライド後の滑走路を2,500mとして利用することも想定して、スライド量が400mの場合についても検討した。

（2）河積阻害率と揚圧力の検討

A滑走路を南側にスライドした場合、スライド部分の大半は多摩川の河口にかかる。河川上に大型構造物を造ることについては、上流域の洪水防止の観点から大きな問題となり、河積阻害率について河川管理施設等構造令を満足させることが、まず最低限の必要条件となる。したがって、滑走路の河川に張り出す部分の構造は、埋立ではなく、栈橋構造とすることが必然となる（図13）。

また、栈橋構造とした場合、台風来襲時等の波浪により、強い揚圧力を栈橋の下から受けることになり、この想定される揚圧力に耐え得る構造物を造ることができるかどうか、非常に大きな問題点となる。そのため、考え得る何種類かの構造について解析、検討を行い、揚圧力についての試算を行った。荷重、揚圧力等の設計条件、河積阻害率を念頭に置き、スライド部栈橋構造を支える鋼管杭最大径はφ2.0mとし、杭を流行方向に対し平行に配置（26.40m間隔×16.53m間隔）する案とした。防衝工はゴム式とし、杭に抱かせる構

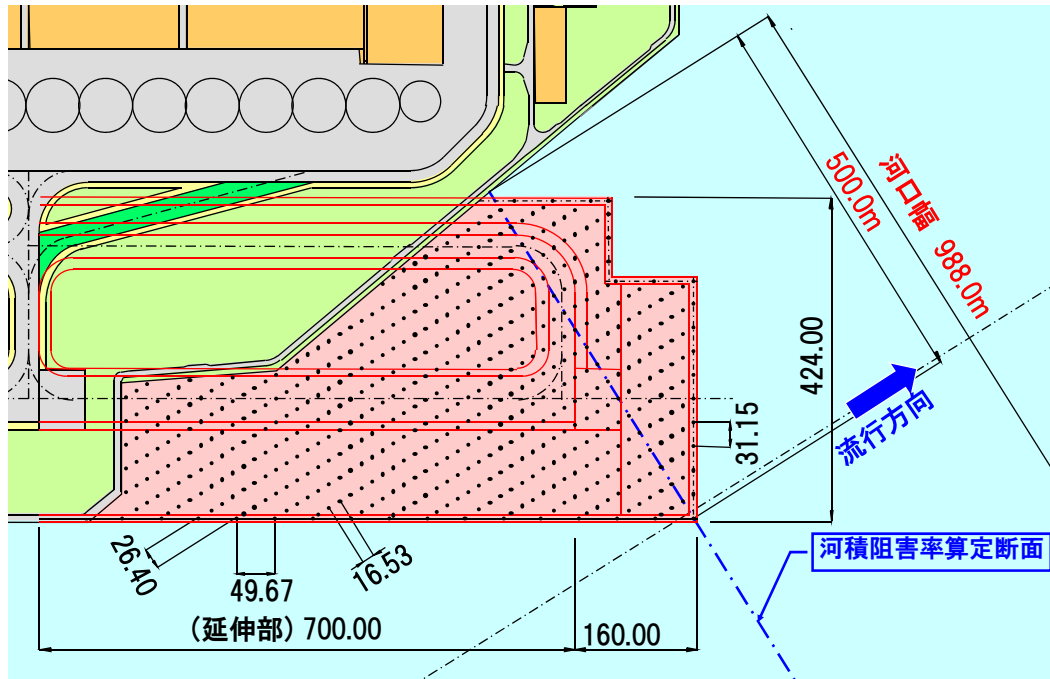


図 1.3 700m スライド部 杭配置平面図

造とし、杭 1 本に対し 0.6m の阻害を考慮した。

これにもとづき、最大阻害幅の断面について河積阻害率を試算した結果は、スライド量 700m の場合で 5.0% となった。これは、許容阻害率 ≤ 5% を満たしており、羽田 D 滑走路設計に使用された特例許容阻害率 ≤ 8% については下回る結果となった。

次に揚圧力の検討であるが、計算の対象とする設計波浪は、A 滑走路スライド部分の水深を -5m とし、暴風時 (100 年確率)、有義波高 3.1m、周期 8.3 秒、卓越方向 135° を使用した。

表 1 主桁構造の選定

	I桁+CP(鋼板)	開断面箱桁	狭小箱桁
概略設計断面			
主桁剛性	× (小)	△ (中)	○ (大)
鋼重	○ (小)	△~○ (中)	△ (大)
耐揚圧力	×	△	○
現場継手誤差吸収	○	△	△
総合評価	×	△	○

この条件での揚圧力に耐え得るかどうか、何種類かの構造形式について解析を行った。その結果、主桁を狭小箱桁とする構造により、揚圧力に耐え得ることが判明した（表 1）。

（3）施工方法の検討

A 滑走路を供用しながらの工事となるため、A 滑走路を使用しない夜間（23：00～6：00）の時間帯での施工を想定する。スライド部分の多摩川河口部は浅瀬になっており、川底の地盤高はほぼ AP±0.0m になっている。施工のために、大型杭打船、大型起重機船を使用せざるを得ず、これらの大型船の使用を可能にするため AP-5.0m まで浚渫する必要が出てくる。また、現在の A 滑走路の進入灯の位置にスライドすることになるので、現在の進入灯は撤去し、仮設の簡易進入灯をやりくりしながら工事を進めることになる。大型杭打船により、杭長約 70m の鋼管杭を打設し、その後、陸上ヤードで製作した 1 ブロックの平面寸法 50.8m×48.19m の狭小箱桁を 2000 t 吊級の大型起重機船で架設する（図 1 4）。

その上に羽田 D ラン工事でも使用した、1 ピース約 3m×5m の Pca 床版または UFC 床版を陸上クレーンにて順次設置していき完成させる。この方式による概略の工程検討では、スライド量 700m の場合で約 5 年の工期がかかる結果となった。

今後、A 滑走路南側スライド計画を進めるにあたっては、詳細な波浪変形解析の実施、揚圧力低減対策の検討、多摩川への影響に関する流況解析や模型実験の実施、多摩川河口部の生態系や環境への影響評価等の課題を克服するための検討が必要となる。

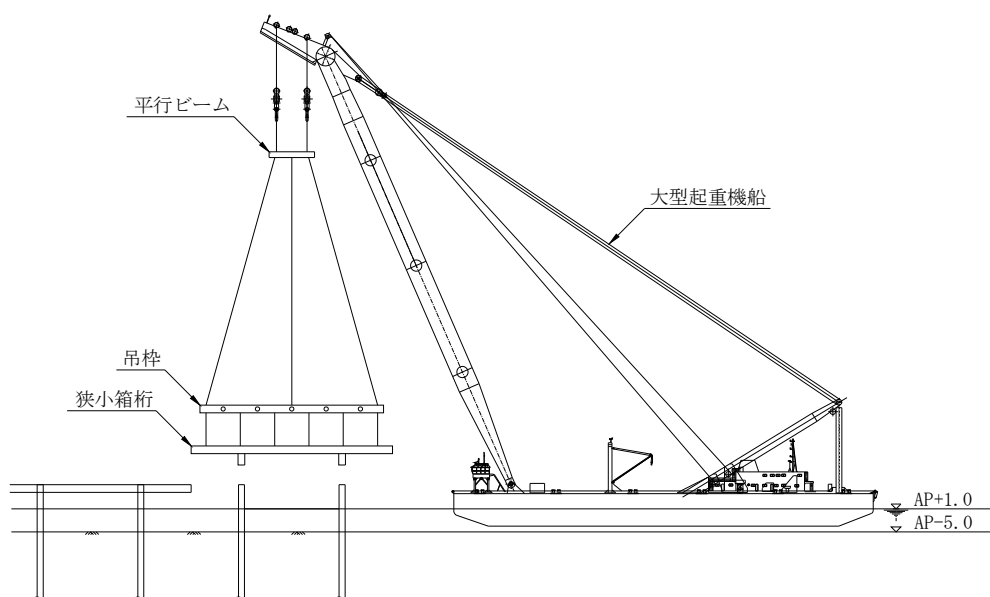


図 1 4 鋼製桁枠設置作業状況図

4. C滑走路外側空間の利用可能性の検討

羽田空港の用地不足の改善に資するとともに、新たな滑走路（E滑走路と呼ぶ）を造り得る可能性のある場所としてC滑走路外側空間がある。

滑走路を新たに造るときは、周囲の高い構造物や航路を通る船のマスト等に対し航空機の安全を確保しなければならない。そのため、空港制限表面が制定されている。E滑走路を造る場合に干渉する既存施設としては、大井・青海埠頭のガントリークレーンがあり、また、第一航路を航行する大型船舶も対象となる。

空港制限表面をクリアしながら、C滑走路外側空間をどこまで利用することができるか、また、その時の容量拡大効果等を検討した。

（1）新C滑走路案とE滑走路案

利用空間の特性から、空間の利用方法としては大きく3つの案が考えられる。

第1案は、300m沖合に新C滑走路を造り、現C滑走路は廃止して、夜間駐機場等の諸施設に利用し、より使いやすい空港を目指す案である。

第2案は、現C滑走路はそのまま使用し、クローズパラレルの滑走路として新たにE滑走路を造る案である。クローズパラレルとは、2本の平行滑走路がある場合に空域を自由に利用できれば、同時着陸以外はほぼ独立して運用が可能となる方式をいい、そのための滑走路中心間隔は760m以上必要となる。

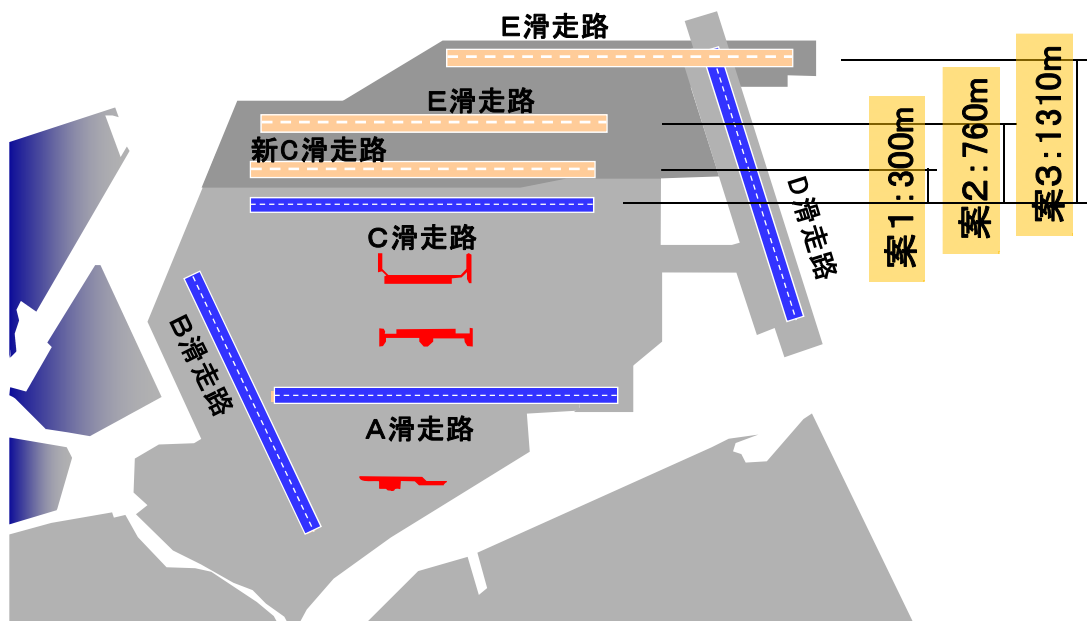


図15 各案の滑走路配置

第3案は、現C滑走路はそのまま使用し、オープンパラルレルの滑走路として新たにE滑走路を造る案である。オープンパラルレルとは、2本の平行滑走路がある場合に空域を自由に利用できれば、同時着陸もでき、完全な独立運用が可能となる方式をいい、そのための滑走路中心間隔は1,310m以上必要となる（図15）。

これら3つの案について、空港制限表面と大井・青海埠頭のガントリークレーンや第1航路との関係を満足する位置と滑走路高さを検討した。

既設構造物や通航船舶と制限表面の関係は、滑走路が沖に出てくるにつれて既存構造物や通行船舶との離隔距離が短くなり、厳しくなる。既設構造物や通行船舶の位置と高さが決まっているから、それらをクリアする方策としては新設滑走路の高さを上げ、それにつれての制限表面の高さを高くすることを考える。

その検討の結果、第1案の新C滑走路高さは、ほぼ現在の羽田空港の滑走路高と同じAP+7.5mが必要、クローズパラルレル方式の第2案のE滑走路高さは、AP+11.8mが必要となる。また、オープンパラルレル方式の第3案は、沖会い1,310mまで沖出しする関係から、単純に沖出しすれば、直接第一航路に悪影響を及ぼす。このため、E滑走路をD滑走路と交差するまで南側に寄せる必要が出てき、さらに滑走路高さはAP+17.1mの高さを満足する必要がある。ちなみに、AP+17.1mはD滑走路の高さとほぼ同じである（図16、図17）。

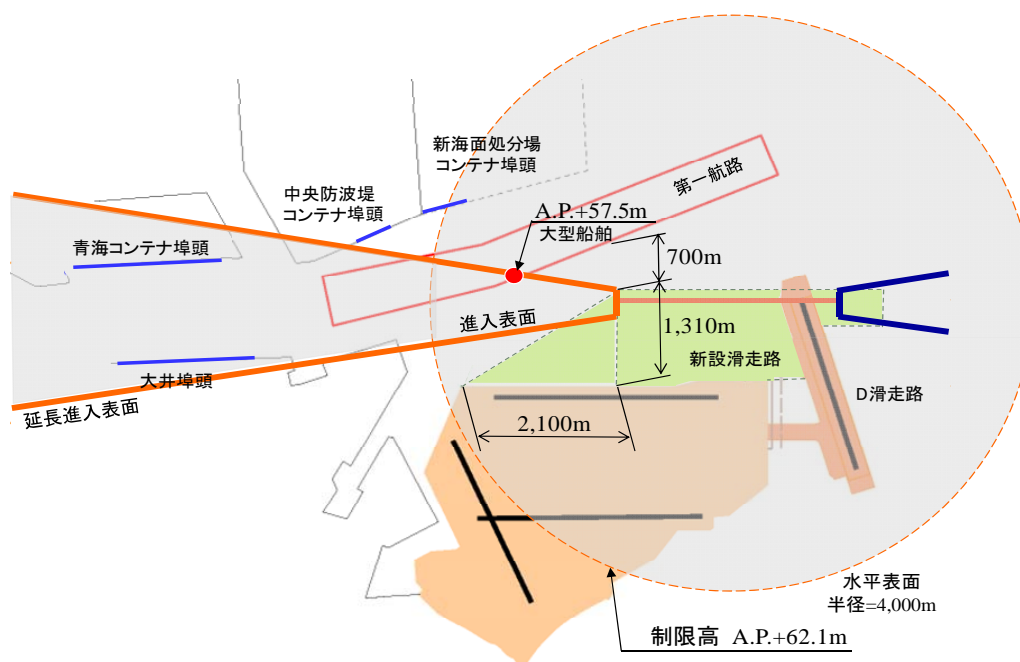


図16 制限表面と障害物の関係 平面図（案3）

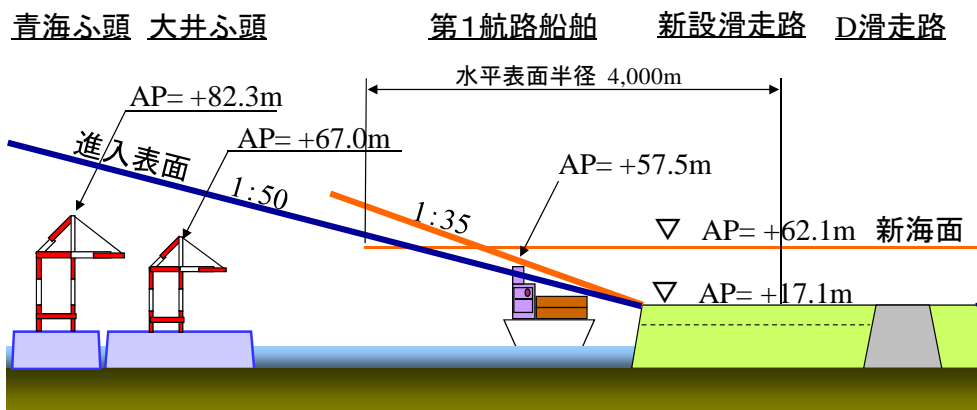


図 1 7 制限表面と障害物と滑走路高さ (案 3)

(2) 施工方法の検討

建設工法については、現地条件から、建設経済性に優れる羽田 D 滑走路埋立部と同様の、捨石式傾斜堤による護岸、山砂、浚渫土を主体とする埋立方式を想定した。

埋立工法による場合の留意点として、既設空港と新空港をつなぐ付近の不同沈下により、舗装、排水施設が損傷を受ける恐れがあるが、それらへの対策としては、地盤改良、軽量盛土による埋立等を行う。また、オープンパラレルの第 3 案の場合、単純に埋立ると、C 滑走路と D 滑走路間の水路を塞いでしまうことになるので、一部分を橋梁形式などとして小型船の通航路と、環境保全のための通水性の確保等を図る。

工事規模は、案 1 では、埋立面積 110ha、埋立土量 1,100 万 m^3 (沈下量を除く土量、他の案も同様)、案 2 では、埋立面積 280ha、埋立土量 5,300 万 m^3 、第 3 案では、埋立面積 460ha、埋立土量 1 億 2,400 万 m^3 となる。ちなみに、羽田 D 滑走路の埋立部分工事の規模が、長さ 2,020m×幅 424m で、埋立土量が 3,800 万 m^3 である。クローズパラレルの第 2 案について考えると、実工事期間は、D 滑走路並みの急速施工でも約 5 年かかる。

また、現在の羽田空港の航路側護岸には環境保全等の観点から浅場が造成されているが、いずれの案の場合も、この浅場の機能の代替が求められるものとする。

おわりに

2つの処理容量拡大策について検討し、両案とも相応の効果が期待でき、実行可能性はあるものとの結果を得たが、当然のことながら、まだ多くの検討課題が残されている。

A 滑走路の南側スライド案と C 滑走路外側空間利用案に共通する課題として、環境への影響評価と対策、詳細な波浪変形解析、設計条件、作業方法、工程、作業時間等に関する詳細検討、概略工費の算定、費用便益分析、関係者の合意形成等の問題がある。

A 滑走路の南側スライド案に関連する課題としては、多摩川への影響評価と対策、揚圧力低減対策、浚渫土砂対策、栈橋構造に関する技術課題、現空港との接続に関する技術課題、施工中の進入灯機能の確保策等の問題がある。

C 滑走路外側空間利用案に関連する課題としては、不同沈下対策、浅場の機能確保策、小型船航路及び通水性の確保策、埋立材の確保策、航行船舶への安全対策、ターミナル、エプロン等の配置計画の検討等の問題がある。

また、今回の検討では対象としていない視点からも、上空の飛行ルートの問題や騒音対策、国際旅客の増加に伴う際・内乗り継ぎ機能の強化策やターミナルの増強策、深夜早朝時間帯のアクセスの問題、航空機の機材構成の変化やエアラインのサービスの多様化等への対応、さらには、より抜本的な能力拡大策の可能性に関する検討など、羽田空港に対しては様々な課題が指摘されている。

空港技術専門委員会では、今後ともこれらの課題の中からテーマを選び、羽田空港の処理容量拡大策と機能性や利便性の向上策について研究を続ける所存である。

最後に、ご多忙中の中、当専門委員会のために貴重な時間と情報を提供していただいた関係者の皆様に心より感謝申し上げます。