

インフラ整備 70年講演会(第58回) ～戦後の代表的な100プロジェクト～

首都圏の旺盛な航空需要に対応するために 拡張を続ける 羽田空港

講演内容

はじめに

1. 羽田空港拡張の変遷
2. 工法の選定
3. 設計施工一括発注方式による契約
4. 施工(桟橋部+接続部)
5. 施工(埋立部+維持管理)

全体の統括と今後の展開



藤田武彦

元国土交通省
関東地方整備局 港
湾空港部長



小池慎一郎

元関東地方整備局
首都圏空港調査課
長



池上正春

元関東地方整備局
横浜港湾空港技術
調査事務所長



菊地身智雄
元関東地方整備局
港湾空港企画官／
元国土交通省技監



坂本好謙

鹿島建設株式会社
技師長



野口哲史
五洋建設株式会社
取締役専務土木本
部長

はじめに

羽田空港は、首都圏の旺盛な航空需要に対応するため
に拡張を続けてきた。

初の国営民間航空専用飛行場を羽田に設置したのは
1931年。最初は300m1本の滑走路でスタートした
が、B-run、C-runの整備に続けて、超軟弱地盤(マヨネ
ーズ層)対策技術を駆使した沖合展開事業によって沖合
に新たなC-runを整備したが、さらに次なる首都圏第
三空港の建設が模索された。

多摩川河口に位置する羽田空港は、航空行政を司る運
輸省と河川行政を司る建設省との間で治水上の影響を巡
る長い論争があった。これに対して河口部は桟橋構造を
採用することで国土交通省としての決着を得、4本目の
滑走路(D-run)を計画した。

しかしながら当時不況に喘ぐ造船工業会から浮体構造
(メガフロート)が強く提案されて、新たな技術論争が惹
起された。

最終的には設計施工一括発注方式(デザインビルド)に
よって埋立・桟橋ハイブリッド構造が採用されて今日に至
る。ここではその長い技術論争と、これらを乗り越えて4
本の滑走路を整備し運用している関係者の道程を報告し
たい。

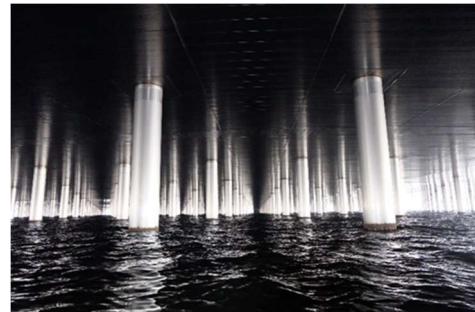


写真1 桟橋部下部工の様子

1. 羽田空港拡張の変遷 ～特に再拡張事業計画～

羽田空港は、1931年に東京飛行場の立川から羽田へ
の移転、進駐軍による拡張工事を経て、1952年に日本
に返還され、運輸省所管の「東京国際空港」となった。高

度成長期には航空需要が急増、空港容量不足となったことから、成田空港を建設、一部を除く国際線が成田空港に移転した。その後も羽田空港の国内航空需要の伸びは衰えず、3本の滑走路のうちA滑走路を誘導路として使うなどして容量不足に対応していたが、滑走路等を沖合に移転させることで、航空需要に対応し、施設の狭隘化や航空機騒音問題の抜本的解決を図ることとし、1984年に「沖合展開事業」に着手した。

俗に「マヨネーズ層」とも言われた超軟弱地盤上での建設という課題を最新の地盤改良技術で克服、水域環境を回復するための浅場造成も併せて行い、新たな3本の滑走路が2000年までに完成するとともに、旅客ターミナルビルや軌道系アクセスの充実も図られた。

一方、航空需要は引き続き旺盛であり、沖合展開事業完了後も早い時期に羽田空港の容量が不足する事態が想定されたことから、2000年6月、首都圏の新たな空港について検討する「首都圏第3空港調査検討会」(座長:中村英夫武蔵工業大学教授(当時))が設置された。検討会では、公募による8か所の海上候補地と羽田空港の再拡張の比較検討を行い、結果、当面の解決策として羽田再拡張が最も優位であるとの結論を得た。

これと並行して、再拡張実現に向けて、船舶航行(特に東京港第一航路を航行する大型船舶の航行)への影響、港湾機能への影響、多摩川への影響等の課題について、それぞれの関係者間で議論、調整がなされた。

このうち、船舶航行への影響については、第一航路航行時の操船性や、海域が制限されることによる航行の困難度、危険度等について有識者や関係者の意見も踏まえ検討が行われ、航行安全対策を具体的に検討、設定することが必要との方針が示された。

また、多摩川の河口部に滑走路等が建設されることから、その位置や構造形式、また多摩川の治水への影響等について検討が行われた。多摩川からの流れに影響しないよう、滑走路位置を現空港の敷地から沖合とし橋梁等の誘導路で接続するとともに、滑走路自体の一部を通水性が確保できる構造とし、そ



図1 羽田再拡張の基本的考え方

の前提で河川構造令への適合や、洪水シミュレーションによる多摩川への影響を確認するなどの検討を行った。

これらの検討を踏まえ、2001年12月に「羽田空港の再拡張に関する基本的考え方」、すなわち「D滑走路計画」が国土交通省から公表され、建設工法(構造)の検討に進むこととなる。

なお、再拡張に関する上記の課題については、その後も引き続き検討が行われ、必要に応じD滑走路の位置、構造などにフィードバックされた。

2.工法の選定

羽田空港の沖合展開事業は、東京湾の埋立てにより実施された。埋立工法は、空港整備のみならず、都市開発、港湾整備等のおよそあらゆる事業において、一般的な工法である。空港においても、対象航空機の大型化等に伴う空港施設設計変更への対応性、荷重の増加等に対する追従性、経済性等の観点から、我が国においては、古くは長崎空港、新しくは、関西国際空港、中部国際空港等において採用されてきた。海外においても最新の海上空港であるシンガポールチャンギ国際空港、香港新空港等でもごく一般的であり、数少ない例外は、ニューヨークのラガーディア空港及びポルトガルのマデイラ空港等における桟橋工法である。

再拡張事業、D滑走路計画においては、その平面計画の一部が多摩川河口部にかかることから、河川の流下を阻害しない工法が必要とされる、我が国では初めてのケースとなった。

D滑走路整備における最適な工法を見極めるべく、外部有識者で構成する「羽田空港再拡張事業工法評価選定会議(以下、工法評価選定会議という)」(座長 椎名武雄 日本アイ・ビー・エム(株)最高顧問)が設置され、客観的、中立的、かつ透明性をもって工法の評価選定作業が行われた。

工法評価選定会議においては、これまでの施工実績、新たな技術開発動向等を踏まえ、①桟橋工法、②埋立・桟橋組合せ工法、③浮体工法の3工法を基本的な検討対象として、評価作業を進めることとなった。

工法の評価に当たっては、建設業界等の団体による提案およびヒアリングが実施された。

3工法の提案者と特徴は以下のとおり。

(1)桟橋工法:(社)日本海洋開発建設協会

・土中に、複数の杭を打ち込み、これを基礎構造として、上部に滑走路、誘導路等の空港施設を建設する工法

- ・港湾施設としては豊富な施工実績、海外では、前述の2空港等での施工実績がある
- ・滑走路が単一構造であり、勾配の不連続が発生しない。
- ・支持地盤まで杭を打ち込むことにより、長期的に沈下が発生しない。
- ・地盤により荷重を支えており、地震の影響を受ける。
- ・海中および海上に金属が長期間存置されるため、錆による長期耐久性の課題がある。

(2)埋立・桟橋組合せ工法:(社)日本埋立浚渫協会

- ・我が国の関西国際空港、中部国際空港の他世界の海上空港整備に実績のある埋立て工法と多摩川流域には桟橋工法を組合せた工法
- ・滑走路上に埋立部と桟橋部の接続部があり、埋立部において長期的な沈下が予想されることから勾配変化が生じる
- ・地盤により荷重を支えており、地震の影響を受ける。
- ・第一航路浚渫土砂を埋立材として活用することが可能
- ・桟橋部の特徴は①に同じ

(3)浮体工法:(社)日本造船工業会、(財)日本造船技術センター

- ・金属製の箱型および檜型(多摩川河川部)の構造体の浮力により、滑走路、誘導路等の空港施設を支える工法で、係留施設(ドルفين)により地盤に固定
- ・空港としての利用は、世界的に見ても、横須賀における実証実験のみ
- ・滑走路部が単一構造であるため、勾配の不連続が発生しない
- ・浮体構造であるため、地震の影響を受けづらい
- ・潮汐による浮体の上下動や波浪、潮流等による動搖がある。
- ・海中および海上に金属が長期間存置されるため、錆による長期耐久性の課題がある。

また、3工法の工費・工期に大きな差は認められなかった。

表 3工法の比較

	桟橋工法	埋立桟橋工法	浮体工法
工費	6,080 億円	5,780 億円	5,897 億円
工期	2.5 年	2.6 年	2.5 年

工法選定会議の結論としては、「3工法とも「空港として長期・安定的に機能すること」等の観点から致命的な問題がないこと、工費・工期については、検討の結果、大きな

差が認められないとの見極めがついた」として、一つの工法の選定までに至らなかった。

さらに、会議の提案として、「工費(維持管理費を含む)・工期の確実性を担保するための契約方式として、設計と施工を一体的に発注することを基本とする契約方式の採用を提案することとされた。

3. 設計施工一括発注方式による契約

工法評価選定会議の結論として、①本会議の検討により、3工法とも、本会議で指摘された留意点を踏まえ、適切な設計を行うことにより建設が可能である、②今後は、三工法に限定し、今後の契約発注手続きの中で、その解決を求めることがある、③本会議は、工費(維持管理費を含む)・工期の確実性を担保するための契約方式として、設計段階における工費・工期を施工段階及び維持管理段階においても保証させることのできるよう、設計と施工を一体的に発注することを基本とする契約方式の採用を提案する、とされたことを受け、発注者において様々な契約形態を検討した結果、最善の策として工法評価選定会議の提案通り、設計・施工一括発注方式を採用した。

D 滑走路建設工事の入札契約における特徴は以下の通りである。

(1)入札実施方針の公表

入札公告前に、入札・契約方式を「調達方式(案)」として、技術提案書を作成するにあたって必要となる基本的情報、技術提案の前提条件および検討が必要となる事項を「要求水準書(案)」としてとりまとめ公表し、民間等からの質問及び意見を募集し、その結果を入札実施方針に反映した。

(2)維持管理契約を含めた総合評価落札方式

今回の総合評価では技術提案に対して得点を付けず、性能を満たしているか否かを評価し、提案の妥当性・的確性を認めた上で価格評価のみの入札とし、技術提案に定める100年間の維持管理計画に基づく30年間の維持管理費を見積もり、工事価格と合算した価格が最小となる提案者を落札者とした。

(3)停止条件付き維持管理契約

技術提案時の維持管理費を担保するため、1) 技術的競争性がないとの国の判断、2) 国会の議決(維持管理費用に係る国庫債務負担行為の承認を含む。)に基づいてなされる国の請求を停止条件とする停止条件付契約として契約書の特則に盛り込んだ。

(4)性能規定発注方式

本件工事においては、工法が大きく異なる3工法が並立・競合しており応札者毎に設計方針、施工方法等が異なると考えられ同一の仕様発注はほぼ不可能であると考えられること、民間のノウハウを最大限取り入れて設計施工費及び維持管理費の低減を図るという方針から、性能規定発注方式が最適と判断した。

(5)瑕疵担保

本件工事に係る構造物に100年間の設計供用期間を担保する設計施工及び維持管理について設計段階から綿密な維持管理計画を策定することとしているが、空港として類を見ない工法を採用するにあたり維持管理段階でどのような瑕疵が発生しうるか契約時点では明確に想定することが困難であることや前例のない高度な技術を活用した工法であることから設計施工の請負者でなければ維持管理を実施することができないことも想定されたため、本件工事の瑕疵担保責任の期間については民法上の最長の期間である10年間とともに、請負者に瑕疵担保保証の付保を義務付けた。

(6)出来高部分払方式の採用

本件工事は約3年間の施工期間で約6000億円の工事を実施するものであり、請負者にとっても資金繰りは相当困難であることが予想されたことから、各年度の出来高予定額に対して4割の前払金(請求時2割支払、2割の進捗確認後残りの2割支払)と、短い間隔(3ヶ月毎に1回)で出来高に応じた部分払いを実施した。

(7)JV構成要件

本件工事は設計・施工一括発注方式であり工事に含まれる工種が5工種(空港等土木工事、港湾土木工事、港湾等しうんせつ工事、空港等舗装工事、港湾等鋼構造物工事)となること、それぞれの工種の規模が大きいことから、単一工種の構成員からなる共同企業体での施工は困難であり、異なる工種の構成員による「異工種共同企業体」とすることとし、1工種毎に2ないし3社の共同企業体を考え、異工種共同企業全体として8~15社の構成員とした。

予定価格と落札者の決定方法は以下の通りである。発注者において要求水準書に基づいた標準的な基本設計(維持管理計画を含む)を3工法について実施した後、それぞれの概算数量を算出し、請負工事積算基準に基づいて設計施工費及び30年間の維持管理費を3工法それについて算出した。設計施工費の積算額と30年間の維持管理費の積算額を合計した額(総コスト積算額)が最小となる工法の設計施工費の積算額を予定価格とし、当該工法の総コスト積算額を総コスト上限額とした。

策札者の決定に当たっては、入札価格が予定価格内かつ総コスト価格が総コスト上限額の範囲内で総コスト価格が最小となる提案を行った応札者を落札者とした。

設計変更に関しては、設計・施工一括発注方式では、受注者が設計と施工を一体的に行うため、原則として設計に関するリクスは受注者が負うこととなる。発注者から追加変更契約がなされた場合以外は、原則として設計変更は行われない。設計変更が可能なケースは①コスト縮減に寄与するVE提案がなされた場合、②発注者のリスクとした条件変更があった場合、③工期短縮等の発注者側からの要請があった場合等に限定される。

本件工事では、あらゆる段階でコスト縮減が図られる機会を設けるため、技術提案がなされたのちの入札前VE、落札後契約前VE及び契約後VEについても試行工事として採用した。

設計・施工一括発注方式においては、①利益を追隨する施工に対して如何に品質を確保した設計が提案されるか、②受注者が自らのコスト圧縮を図るあまりに品質や安全性の低下等に繋がる設計に走ることを防止できるか、といった難点が指摘されている。このため、本件工事では①特記仕様書に設計・施工・維持管理・環境の要求性能を規定し、照査方法及び参考基準を詳細に明記し、それを確保することを保証させている、②適切な施工状況、工程および工事安全の確認、出来形検査については、従来の直轄工事の枠組みを活用し、確実に実施する等によりこれらに対応した。

発注者のアカウンタビリティと透明性を確保するため、第3者委員会(コスト縮減検討委員会、技術検討委員会)を設置し、入札契約手続きの透明性を高めるとともに、プロジェクト全体のコストを縮減するために、契約前、契約後を通じ提言を頂いた。

第3者委員会における検討結果や提言内容については公表し、透明性を確保している。

4. 施工(棧橋部+接続部)

4.1 工事概要

- (1)工事名: 東京国際空港D滑走路建設外工事
- (2)工事内容: 東京国際空港D滑走路(2,500m)及び連絡誘導路の建設、東京港第一航路の移設等に係わる設計及び施工

(3)主要工事数量

- ・埋立材料 : 5,340万m³
- ・鋼材 : 53万t
- ・PCa床版 : 10,740枚

・UFC 床版 : 6,900 枚

(4)履行期間:2005年3月29日~

2010年8月30日(5年5か月)

履行期間については、設計期間が約2年間、その後本工事に着手し、約41か月で竣工となった。



図2 全体工程

本工事着手後は、ほぼ全期間に渡る昼夜間作業を実施し、竣工から2か月後の2010年10月21日D滑走路供用開始とすることことができた。

(5)請負者及び施工体制

請負者は計15社からなる異工種JVとした。JV構成員の工事分担としては、工事種別毎かつ工区分担施工方式を採用し、構成員の出資比率を定めて共同施工する乙型運営とした。

(6)プロジェクトマネジメント

本工事に伴う他工事との調整、港湾管理者・海上保安庁・空港管理者との対応等のプロジェクトマネジメントについては請負者の所掌とされた。

4.2 設計及び施工(桟橋部+接続部)

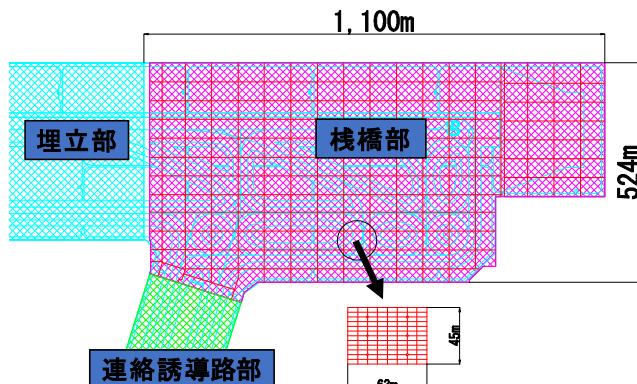
(1)全体構造

D滑走路は、コスト上最も有利な埋立構造と、一部多摩川下流域に位置するため、多摩川河口法線内の構造を河積阻害率を満たす桟橋構造と併用した、埋立・桟橋ハイブリッド構造を採用した。また、D滑走路と現空

港を接続する連絡誘導路部については、環境保全のため通水性を有する桟橋構造とした。

(2)桟橋部の構造及び施工

桟橋部の構造については、多摩川河口部の通水性を確保し、高速施工を実現するため全面プレキャスト工法となるジャケット+床板構造を採用し、前例のない連続した大平面を実現させている。施工は、工場制作によるジャケット据付に先立ち、基礎杭の先行打設を行い、ジャケット据付の後、上部工はPCa床板を設置することとした。桟橋部鋼材の防食対策としては、鋼杭には特殊ステンレス鋼にて被覆し、また鋼桁には下面をチタン製カバーブレートにより全面被覆し内部空間を除湿管理することにより100年間の供用を担保している。



ジャケット諸元

	標準仕様	主要数量
ジャケット	45m × 63m × 31m	198基
鋼桁	BH2500 BH2000 BH700	約17万トン
下部ジャケット	レグ: ϕ 1600~1960 プレース: ϕ 700~1422.4	約9万トン
基礎杭(鋼管杭)	ϕ 1600 ϕ 1422.4 × 85~90m ϕ 1320.8	1165本 約10万トン

注)ジャケット1基当り 平均1,300トン

図4 桟橋部平面図と主要諸元

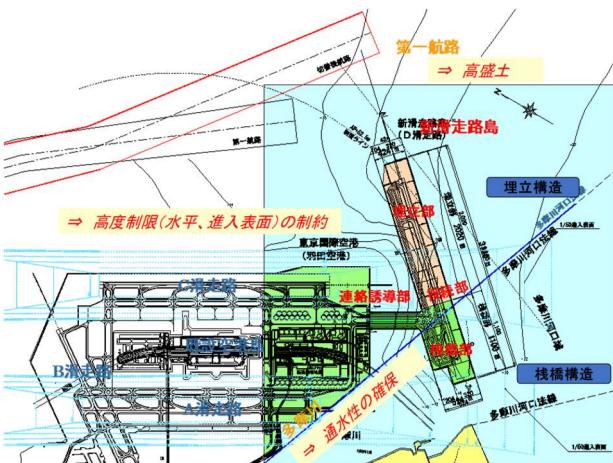


図3 D滑走路平面図



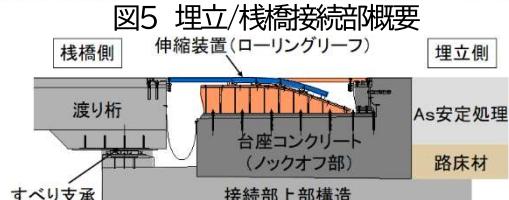
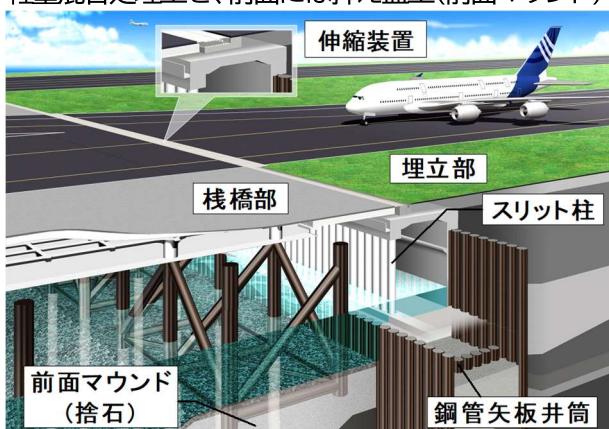
写真2 完成ジャケット全景

桟橋部のジャケット据付については、一体化されたジャケットを現地まで海上輸送し、水平表面を侵さずに据付が可能となるよう、ブーム部分を艤装した3,000t低頭起重機船を使用して据付を行った。



(3)埋立/桟橋接続部構造及び施工

埋立・桟橋接続部においては、埋立による沈下および側方流動の桟橋杭への影響を最少化すべく、剛性の高い鋼管矢板井筒護岸を採用した。さらに、埋立背面部には軽量混合処理土を、前面には押え盛土(前面マウンド)を

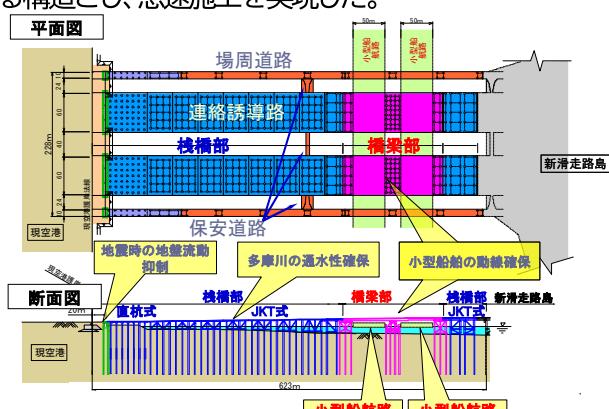


配して護岸の変形を極力低減するよう配慮した。また、護岸上部には埋立部と桟橋部の相対変位を吸収する伸縮装置を設置して渡り桁で接続し、滑走路の連続性を確保するものとしている。



(4)連絡誘導路部構造及び施工

連絡誘導路部については、通水性を確保した“桟橋部”と、小型船舶の通行が可能な航路を確保した“橋梁部”による構造とし、急速施工を実現した。



5. 施工(埋立部+維持管理)

5.1 埋立部の構造と施工

(1) 浪渫土の活用と浮き基礎断面

滑走路島の東京港航路側は緩傾斜堤による埋立形式を採用した。原地盤は軟弱粘土を有する地盤であるため、砂杭による改良を基本とし、堤体の前面は床堀・砂置換により、堤体部はサンドコンパクション及びサンドドレンの浮基礎タイプで安定性を確保した。

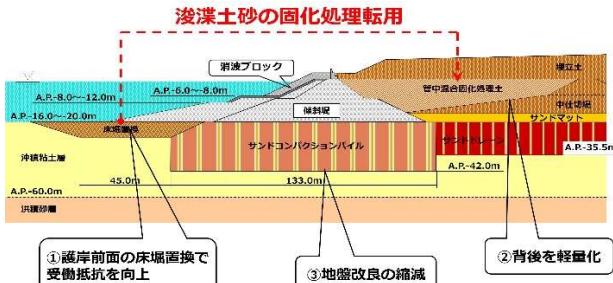


図8 滉渫土の転用による緩傾斜堤

(2) 固化処理土による背後の軽量化

床堀土や同時に進行する航路浚渫土砂を固化処理により背後裏込めから中仕切り堤の間に再利用することで背後の主働土圧の軽減を図った。中仕切り堤より背後(中央側)は山土による埋立として進めた。



写真7 中仕切り堤による埋立の区分

(3) 圧密沈下の予測による埋立天端高の設定

埋立は周囲から中央部に進め、最後に沖側の開口部に向かって終了するという手順で終わる。滑走路設計高の高い航路側が大きく沈下し、早く埋め立てたところは早く沈下が進む。よって決められた滑走路の設計高さに仕上げるために、開港時点の高さは海底の土質、施工手順、

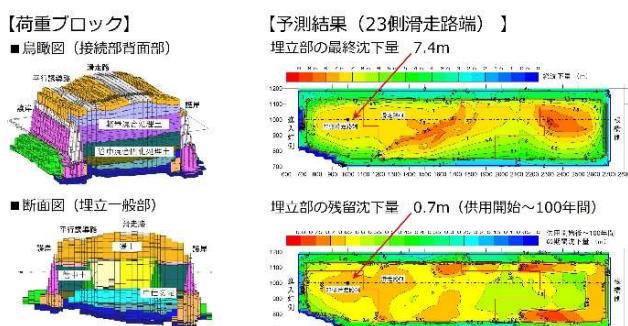


図9 圧密解析の荷重と沈下予測結果

載荷盛土量に対応した圧密沈下量を予測して、埋立高さを設定しておく必要があった。

これらの条件を満たすために、荷重量も載荷順序を施工の手順通り設定した3次元シミュレーションを実施した。沈下に見合う上げ越しを見込んだ盛土高により埋立を進めた。

5.2 維持管理計画と実際

本工事の特徴として、要求性能で定められた性能を満たすために必要な維持管理計画書を契約時点で提出し、その履行を30年間の維持管理期間で実施する義務を請負者が負った。

(1) 施設のリスク評価

リスクの大きい施設は予め部品を取替え、補修を早めに行う予防保全とし、そうではないものは劣化や破損を発見してから補修で対応する事後保全とした。

(2) 予防保全施設の選定と点検頻度

このような分類を行った結果、予防保全を行うのは桟橋部、接続部と滑走路舗装の部分だけとし、それ以外の埋立部等は事後保全で対応することとした。予防保全部分は比較的点検頻度を高くし、また目視点検し易いように点検歩廊(接続部内部)や点検孔(床版設置枠)を設けた。どうしても点検困難な部位、例えば橋脚支承ゴム等は点検し易い供試体を現場の同じ環境に設置し、劣化の程度を把握・予測しやすくした。

劣化の予測データが蓄積され、劣化程度が当初予測通りならば設定どおりの点検を継続するが、次第に劣化のばらつきが大きくなり当初予想よりも劣化度が大きくなる場合は点検頻度を増やし、本核的な補修に備える計画とした。

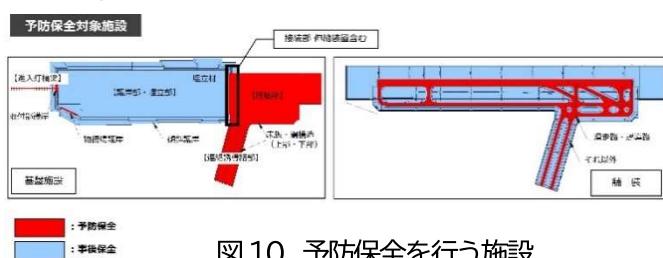


図10 予防保全を行う施設

(3) 維持管理の実際

写真はそれぞれ、桟橋部カバーリート内部の点検、接続部直下の点検である。予防保全が必要とされた部位で点検頻度も多いので予め点検足場が設けられ、点検し易くしてある。このような配慮が出来たことは設計施工・維持管理契約が一体になっていることの利点である。



写真8 力バー・プレート内部点検廊(左)
/接続部の点検(右)

最も補修が難しいだろうと予想していた接続部の舗装部分は沈下予測が想定通りであったので、事前に多数の舗装機械を確保することが可能となり、夜間工事で一気に勾配修正が実施できた。



写真9 接続部の夜間舗装工事

全体の総括と今後の展開

我が国首都圏の航空需要は今後とも大幅な拡大が見込まれる。

これに対応して、首都圏空域全体の更なる有効活用や管制技術のより一層の高度化、首都圏と地方空港の接続改善等が求められる。

国土交通省では、成田空港のC滑走路新設等の機能強化により、年間発着容量50万回化の実現を目指している。これらにより、我が国首都圏の空港容量はおよそ100万回に達すると見込んでいる。

首都圏空港の航空需要予測(発着回数)

■ 平成25年9月の基本政策部会で示された需要予測は以下のとおり。
■ 首都圏空港の発着回数(国内線+国際線)は、上位・中位ケースでは2022年度、下位ケースでは2027年度に現在の計画処理能力を超過する見込みとなった。(2032年度には7.8~9.4万回と予測。)



図11 首都圏空港の航空需要予測(発着回数)

これは容量面ではアジア諸国的主要都市トップクラスであり、世界と比較しても遜色はないとしている。

この様な形で機能強化と容量の拡大が図られてなお航空需要が伸び続けるならば、早晚羽田空港における滑走路の新增設が議論の俎上に上ることは避けられないであろう。

関係者の不断の議論と努力に期待する所以である。

首都圏空港の機能強化について

- 羽田空港・成田空港は旺盛な航空需要に対応するため、これまで段階的に増枠を実施。
- 2030年訪日外国人旅行者数6,000万人の政府目標の達成や、我が国国際競争力の強化等の中長期的観点から、首都圏空港の機能強化は必要不可欠。

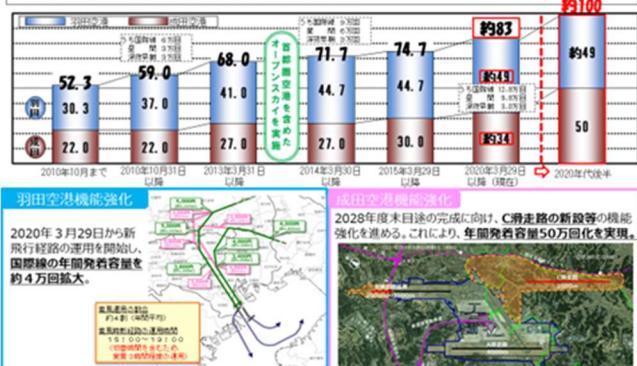


図12 首都圏空港の機能強化

世界各国内の空港の就航都市数・発着回数・旅客数

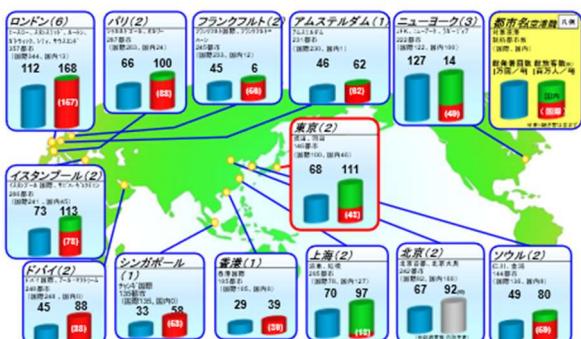


図13 世界各国内の空港の発着回数・旅客数

【出典・提供・参照】

図1:国土交通省ウェブサイトを加工して作成

(https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000703.html)

図11~13:国土交通省 提供

図2~10/写真2~9:羽田再拡張D滑走路建設工事共同企業体資料

タイトル写真/写真1:国土交通省 関東地方整備局 東京空港整備事務所 提供

第2章: AIRPORT REVIEW2010-NO.117((株)日本空港コンサルタント) 参照