

「羽田空港第4滑走路のオープンと国際ハブ空港への道」

福手 勤*

1. はじめに

「コンクリートから人へ」の強い逆風が吹くなか、2010年10月に羽田空港に4本目の滑走路（D滑走路）がオープンした。同時に国際線ターミナル地区も供用開始となり、32年ぶりに国際定期便の運航が再開した。（図-1）



図-1 再拡張プロジェクトが完成した羽田空港

これに先立ち首都圏の空の玄関・羽田空港では、増え続ける航空需要に対応するため、1980年代前半から「沖合展開事業」などを通じて3本の滑走路の移設・拡張や旅客ターミナルビルの増設、運用時間の拡大などが進められてきた。しかし図-2に示すように、発着容量の増加を追いかけるように需要が急増し、需要と供給の間で「いたちごっこ」が続き、抜本的な対策が必要となっていた。この解決策として羽田空港再拡張プロジェクトが浮上し、事業として進められた。

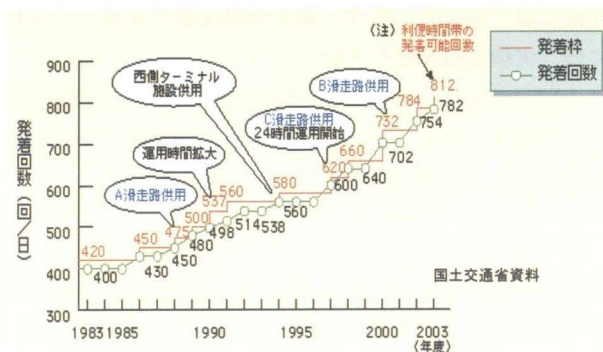


図-2 羽田空港の発着枠と発着回数の推移

再拡張プロジェクトは、主に以下の3つの事業から構成された。

- ① 既存空港の南の沖合に、4本目の滑走路（D滑走路）を新たに建設する。
- ② 当面余裕が生じる発着枠を活用して、多くの国民の要望であった国際線を再開するために、「国際線ターミナル地区」を整備する。
- ③ それらに付随して、京浜急行線や空港モノレールなどのアクセス関連施設を充実する。

上記のうち①、②は国が事業主体となる公共事業、③は鉄道会社などによる民間事業である。本稿では、筆者がプロジェクトの遂行や技術開発の面で関与してきた、上記①、②について主に述べることにする。

2. 羽田空港再拡張プロジェクトの事業スキーム

本プロジェクトは、空港特有の安全性、確実性はもちろんのこと、透明性、公平性、経済性、迅速性などの観点から社会的に大きな注目を浴びていたため、公共事業としての事業実施方法にこれまでとは違った手法が取り入れられた。

- ① 滑走路はデザインビルド方式（設計施工一括発注方式）で建設

社会資本の整備では、設計業務は事業主から設計コンサルタントが受注し、事業主はその成果を基に別途建設会社に建設工事を発注する「設計施工分離発注方式」が採用されることが一般的である。しかし今回のD滑走路の建設には、徹底したコスト縮減と工期遵守の要求とともに、民間の優れた技術とコスト感覚、創意工夫の導入も強く要請されたため、契約方式として「デザインビルド方式（設計施工一括方式）」が採用された。事業の実施に当たっては、事業主である国（国土交通省）から「要求水準書」が出され、企業側からは設計施工の内容を含む「技術提案書」が提出された。技術提案のうち重要なテーマに対しては、第三者機関である技術検討委員会で検討が重ねられた後に、現場への採用が認められた。この方式は、要求水準書の性能レベルを満足することが確認できれば、その材料、構造様式、施工法などは問わないという、技術的自由度が大きい「性能照査型事業」の先駆けであったといえる。

当初、要求水準書を満たす構造形式として、関西国際空港などで多くの実績がある「埋立方式」、米国やポルト

* 理工学部 都市環境デザイン学科

ガルなどで事例がある「栈橋方式」、我が国のメガフロート技術研究組合によって実用化研究が進められた「浮体方式」の提案が想定されたが、実際に提案されたのは、「埋立・栈橋ハイブリッド方式」であった。

② 国際線地区は民間活力を活かすPFI方式で建設

D滑走路と同様に、国際線ターミナル地区（旅客ターミナル、貨物ターミナル、エプロン）においても、民間の資金、技術力を活用することが要請された。その結果、この事業では、我が国の大規模なインフラ整備事業ではじめて「PFI (Private Finance Initiative)」方式が採用された。

旅客ターミナルおよび貨物ターミナルは「独立採算方式」により、またエプロンの整備は「サービス購入型」により進められた。いずれの方式もPFI事業の事業類型の一つで、「独立採算方式」は民間事業者が自ら調達した資金により施設を設計・建設し、維持管理及び運営を行い、施設利用者からの料金収入のみで資金を回収する事業類型である。これに対し「サービス購入型」では、民間事業者は自ら調達した資金により施設を設計・建設し、維持管理及び運営を行い、国はそのサービスの提供に対して対価を支払う事業類型である。両者を比べると、前者の方がより営利事業の色彩が強いといえる。

サービス購入型PFIであるエプロン整備の契約においては、約30年間の維持管理も含まれた。ここでも舗装構造、橋梁の材料・構造、維持管理計画など、技術的に重要な項目は第三者機関である技術検討委員会でのチェックを踏まえながら、事業が進められた。

3. 再拡張プロジェクトに使われた技術

図-1に示したように、既存の空港施設の南に隣接する海上に建設された長さ2500mのD滑走路は、西端は多摩川の河口部に位置し、東側は東京港への既存の航路と交錯する。そのためD滑走路の建設には、多摩川の流れを阻害しない「栈橋方式」と、新たな航路を掘削する際に発生する浚渫土も活用する「埋立方式」を組み合わせた「埋立・栈橋ハイブリッド方式」が採用された。

設計上多くの詳細な検討がなされ、いくつもの新技術が開発された。また当時世界第4位の利用者数を誇った羽田空港を運用しながらの建設工事は、時間的・空間的に非常に厳しい制約を受けることとなった。

埋立方式はこれまで我が国でも長崎空港、関西国際空港、中部国際空港、羽田空港などでいくつかの事例があったが、再拡張プロジェクトで採用されたハイブリッド

構造は本邦初の試みで、多くの基礎研究、技術開発を経て実現にこぎつけた。

3. 1 埋立部の特徴 (図-3)

埋立部は、軟弱な粘性土からなる海底地盤上に最大45mにもなる高盛土を施工するものである。図-3に示すように外周護岸はサンドコンパクション工法で、また埋立部はサンドドレーン工法で地盤改良された。あらかじめ予測された地盤沈下量は7~8mと非常に大きい上に、建設の工期は41ヶ月と非常に短いため、海底地盤の強度発現や沈下の収束には極めて厳しい時間的制約が課せられた。そのため関西国際空港でも採用されたような情報化施工による「沈下安定管理」や「長期沈下予測」の技術を駆使して工事を進めた。

また埋立材料には、山砂(約3150万m³)や岩ブリ(約1000万m³)をはじめ、石材、浚渫土を活用したセメント固化処理土が用いられた。



図-3 埋立部断面の概要 (社)埋立浚渫協会)

3. 2 栈橋部の特徴 (図-4)

栈橋部に採用された「ジャケット構造」は、簡単に言えば、海上から杭打船によって海底地盤に鋼管杭を打ち込み、その上に工場で組み立てられたジャングルジムのような巨大な鋼製のジャケット(縦45m、横63m、高さ35m、質量1600トン)を落とし込んだ後、それらを平面



図-4 栈橋部に用いられた高さ約35mの鋼製ジャケット

的にいくつも連結して巨大な構造物を構築するものである。据え付けられたジャケットの上に工場で製造されたプレストレストコンクリート床版（PC床版）を敷き詰めて人工地盤とし、その上に舗装を建設した。ジャケットは全体で198基、PC床版は約17600枚にもなった。

また栈橋上の舗装構造の設計に当たっては、たとえ舗装のひび割れなどから海水が浸透しても、PC版や鋼製ジャケット本体の腐食などの耐久性に問題を生じさせないような様々な工夫がなされた。

3.3 接合部の特徴

さらに技術上の大きな課題として、埋立部と栈橋部の接続方法があった。両者の長期的な沈下量の違いによる平坦性の低下のほか、両者の間には剛性や固有振動数に違いがあるため、地震時の挙動に大きな差が生じ、構造的な弱点となることが予想された。もし接合部に構造的な損傷が発生すれば2500mの滑走路そのものが使用不能に陥る。これらの課題に対処するため、図-5に示すように、両者の間に鋼管矢板井筒型護岸を介するとともに、相対変位を吸収できる「ローリングリーフジョイント」（図-6.1、図-6.2）と呼ばれる伸縮装置によって両者を連結することにした。このジョイントは水平方向に±60cmの変位を吸収することができるため、通常の「レベル1地震動」に対しては構造物が損傷を受けることはない。またそれを上回るようないわゆる「レベル2地震動」に対しては、埋立側の舗装に部分的な損傷が生じるものの、ジャケット本体には損傷を生じないような設計になっていて、震災後の早期の復旧が可能となっている。ちなみに2011年3月11日に発生した東日本大震災においてもこの部分には全く不具合は生じておらず、構造の妥当性が実証された。

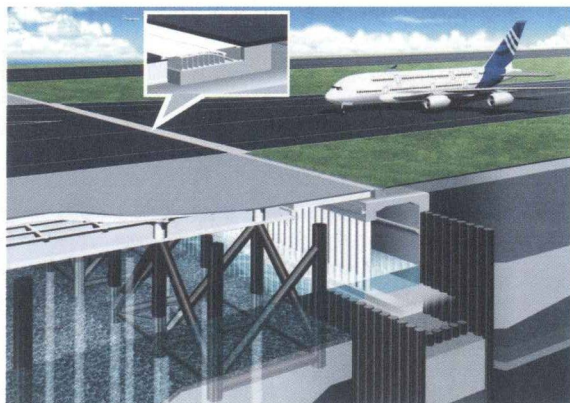


図-5 埋立・栈橋の接合部の概要

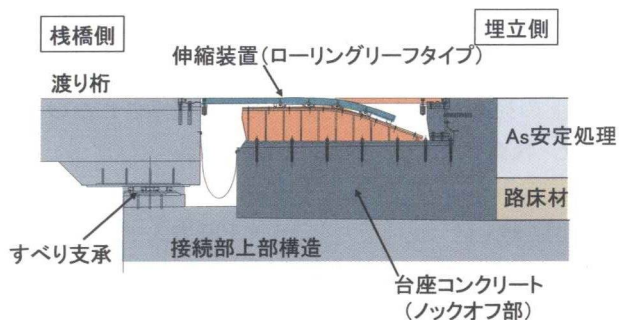


図-6.1 ローリングリーフジョイントの断面図



図-6.2 施工中のローリングリーフジョイント

3.4 100年耐久性

D滑走路は、鋼材にとって非常に厳しい海洋環境下において、維持管理をしながら100年間供用し続けることが求められた。

このためジャケットの下部工の飛沫帯、干満帯は、耐食性に優れる特殊なステンレス（SUS312L）板で被覆する新工法を採用した。また海中部はこれまでも港湾構造物で実績がある犠牲陽極方式の電気防食工法を採用した。

上部工は、上部工下面をチタン製のカバープレートで覆うことに加え、上部のPC版との間の鋼材には防食塗装を施すとともに、内部空間は除湿によって湿度を低下させることで腐食の危険性を低減した。

ジャケットの上部工と海面の間の空間は、図-7に示すように、パルテノン神殿を彷彿とさせる極めて壮大で美しいものである。

滑走路全体の維持管理については、施設や部材の重要度に応じて、「予防保全」、または「事後保全」を使い分けて、維持管理にメリハリをつけられるような、合理的な維持管理システムを構築した。



図-7 棧橋上部工と海面の間の美しい空間

3.5 エプロン舗装の特徴

国際線エプロン地区は、過去に埋め立てて造成された土地に整備されたため、不同沈下の発生が懸念された。また30年間の維持管理も含めた契約がPFI会社と結ばれることとなったので、以下のようなメンテナンスに関する技術が開発された。

①高強度RC（鉄筋コンクリート）プレキャスト版による大規模補修工法³⁾：エプロン勾配が管理値を逸脱した場合を想定し、空港機能を損なわないよう即日開放できる高強度RCプレキャスト版補修工法が開発された。

②コンクリート舗装の付着オーバーレイ工法⁴⁾：エプロン勾配が管理基準値を逸脱した場合や荷重条件の変更などに対処するために、エポキシ樹脂を用いたコンクリート付着オーバーレイ工法が開発された。

3.6 プロジェクトおよび技術の外部評価

以上のように、陸地・海域ともに極めて高度に利用され、しかも近い将来に大地震の発生が懸念される首都圏で、増え続ける航空需要をまかなうために、再拡張プロジェクトには多くの困難を克服して技術開発がなされた。これらの技術開発、研究成果に対して、多くの学術団体から以下のような賞が授与された。

○土木学会

技術賞 Iグループ「羽田空港国際線エプロンPFI事業」
 技術賞 IIグループ「東京国際空港新滑走路の建設－棧橋と埋立の複合構造を有する大規模海上空港の設計および施工－」

○日本コンクリート工学会

作品賞「羽田空港D滑走路 埋立/棧橋接続部 鋼管矢板井筒護岸」
 技術賞「高耐荷 UFC床版構造と量産化システムの開発」

○地盤工学会

地盤環境賞「浚渫土を用いたリサイクル材による人工島の大量・急速施工」

技術業績賞「軟弱地盤上における大きな盛土荷重下における埋立人工島の情報化施工」

○ステンレス協会

協会賞「羽田空港D滑走路 ステンレスライニングジャケット」

○セメント協会

論文賞「エポキシ樹脂接着剤を使用したフレッシュコンクリートの接着接合の高耐久性に関する研究」

4. 再拡張プロジェクトの効用と課題

4.1 再国際化

多くの技術者の努力と技術開発の結果、D滑走路が完成した。その結果、当面生じた発着枠の余裕分を活用し、成田空港がクローズする深夜早朝の時間帯を利用して、羽田からパリやニューヨークなどへ国際便の運行が再開した。また昼間の時間帯も、都心からのアクセスの利便性を活かすべく、近距離アジアのビジネス路線を中心に羽田空港から飛ぶようになった。このような羽田空港と成田空港の「連携リレー」(図-8)によって、成田空港の運用時間の制約を解消し、わが国首都圏空港の24時間化がひとまず達成された。これによって、首都圏で働く人々は金曜日の仕事を終えて羽田に向かい、夜行便で東南アジアに飛び、土曜の朝から日曜の夕方まで丸2日間現地でリフレッシュした後、そのまま帰国し、月曜朝から仕事に取り組むことが可能となった。

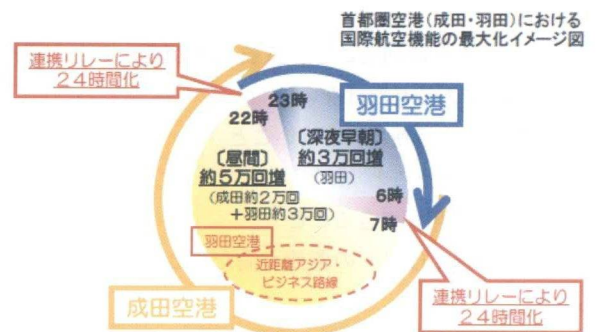


図-8 羽田と成田の連携リレーによる24時間化

4.2 国際ハブ空港への道（羽田空港 vs 成田空港）

再拡張プロジェクトの完成により、羽田空港は最終的には年間44.7万回の発着回数となる。一方成田空港も現在の2本の滑走路の「同時離着陸方式」を採用することにより、現在の22万回から30万回へと増加する計画である。

現在成田空港は国際線のハブ空港としてはそれなりに機能しているが、わが国の国内線との乗継ぎは極めて不便である。つまり成田空港の発着容量制限により、地方空港と成田空港の間を結ぶ便が限られているのである。一方、羽田空港はいうまでもなくわが国の国内線のハブ空港であるが、再拡張後も国際線の便数は限られているため、国内線・国際線の乗継ぎはやはり不便である。

これに目をつけたのが韓国・仁川空港である。成田空港と国内他空港との路線が9路線にとどまるのに対し、仁川空港と日本の空港との路線は29路線に上る。つまり、わが国の地方の人々を成田空港ではなく仁川空港へ誘導し、そこから第3国に向かわせようというビジネスモデルを狙っている。もちろんその成否は、「以遠権」の相互承認など、わが国の空港政策オープンスカイ政策の今後の進展にかかっているが、少なくとも韓国はハードなインフラ面では必要条件を整えつつある。

仁川空港には現在3本の滑走路があるが、将来5本の滑走路が建設可能な用地を確保している。2020年を目前に、年間発着容量48万回、旅客受容数1億人となるといわれている。日本に比べ経済活動がソウル首都圏地区に集中している韓国は、わが国に比べ国内線の需要が少ないと言われる。つまり国内・国際線の乗り継ぎの需要がわが国ほど高くはないにもかかわらず48万回の発着容量を確保し、羽田空港、成田空港の容量を凌駕するのである。

これ以外にも東アジアには、北京、上海、香港に巨大な空港がオープンし、ハブ空港として存在感を増してきている。

ハブ空港の条件としては以下のようなものが挙げられる。

①乗り継ぎが便利なこと／就航都市が多いこと（必ずしも目的地である必要はない）

②着陸料・空港使用料が安いこと

③発着枠が多いこと

④24時間運用ができること

さらに欲を言えば以下の条件も満たすことが望まれている。

⑤背後地の魅力（経済力、観光資源）

⑥都心へ近いこと

羽田空港は我が国の国内航空ネットワークの要石であり、日本の首都圏という世界最大級の経済圏を支えている空港である。再拡張プロジェクトにより、羽田空港の年間発着容量は30.3万回から、最終的には44.7万回へと増加した。夜間の離着陸が厳しく制限される成田空港

（発着容量は最終的に年間30万回）と有機的にリンクさせることで、合わせて74.7万回の容量となる。成田空港との運用の一体化を図りつつ、羽田空港を内際（国際+国内）ハブ空港とする道筋を構築することは、我が国の国家戦略上、また国民の満足度の増大を図る上での最重要課題のひとつである。

6. おわりに

これまでにない事業スキーム、工事内容、供用中の空港施設の近傍での工事という制約の中で、わずか3年5ヶ月という短期間で世紀の大プロジェクトを完成することができたのは、延べ280万人以上と言われる、これまでこのプロジェクトに関与された方々の努力の結集である。私もその中の一人として、再拡張プロジェクトが完成に至る課程に関与できたことは、技術者としてこの上ない幸せなことと実感している。

2011年3月12日、私は札幌からの帰路に偶然飛行機の左窓側に席を取った。飛行ルートは東北地方の太平洋側の海岸線のわずか陸側だった。機体の窓を通して、前日発生した東日本大震災の被災地の惨状が手に取るように分かり、思わず黙祷した。同時に情報が少ないなか、D滑走路が大丈夫かどうかとても気になったが、羽田空港への着陸時にD滑走路上で航空機が離陸を待っているのを見て、心から安堵した。

空港に限らず社会資本は、造ることが目的ではなく、それが多くの人々に利用され、人々の役に立つことを目的とする。

国際化を避けて通れない日本の将来の発展を支え、人々が安全で安心、快適で便利な生活を送るためにはもちろんのこと、さらには災害時の人・物の輸送拠点として、羽田空港が果たす役割は今後ますます重要となることは間違いない。

「生き残るのは優れた港湾と空港を持つ国だけだ！」
by Lee Kuan Yew, The First Prime Minister of Singapore

参考文献

- 1) 武者浩透ほか：UFCを用いたGSE橋梁の設計と実験、プレストレストコンクリート、Vol.50、No.6、2008
- 2) 伊藤友一ほか：高強度コンクリートを用いた空港舗装の曲げ疲労特性に関する研究、土木学会舗装工学論文集、2009.12
- 3) 伊藤彰彦ほか：空港舗装におけるPRC舗装版の適用に関する検討、土木学会年次学術講演会、2008.9
- 4) 児玉孝喜ほか：東京国際空港国際線エプロン整備事業における付着オーバーレイ工法の適用に関する検討、舗装、Vol.45、No.4、2010

その他

- ・唐津雅人：羽田vs成田、p239、マイコミ新書、(2011)
- ・杉浦一機：生まれ変わる首都圏の空港、p254、交通新聞社、(2009)
- ・アン・グラハム（中条潮ほか訳）：空港経営・民営化と国際化、p299、中央経済社、(2010)