

東京国際空港D滑走路

設計・施工から維持管理までを担当

巨大な海上土木プロジェクトが新しい文化をもたらす

2001年に構想が持ち上がり、2年の準備期間を経た2007年春から着工し約3年半という短期間で完成させた東京国際空港(羽田空港)の「D滑走路」。国際都市・東京の発展に大きく貢献したこの新滑走路の建設は、設計から施工、維持管理までの責任を任せられ、しかも計15社という大規模のJV(ジョイントベンチャー)で実行するという、五洋建設ばかりでなく、日本の建設会社がかつて経験したことのない巨大な海上土木プロジェクトだった。

Tokyo International Airport
Runway D
東京国際空港D滑走路

東京国際空港(羽田空港)の4本目の滑走路となるD滑走路の供用が始まったのは、2010年10月のことだった。

D滑走路の供用開始により、羽田空港の年間発着能力は大幅に増加した。定期国際便も増え、国際都市・東京の発展に、D滑走路は大きく貢献している。

◎15社JVによる大型プロジェクト

新滑走路建設の構想が持ち上がったのは、2001年だった。当初は羽田空港の拡張ではなく、「東京湾内外に新空港を新造する、ということで検討が始まった」とD滑走路の五洋建設の技術統括責任者を務めた取締役(兼)専務執行役員、土木本部長の野口哲史は振り返る。しかし、空港へのアクセス網構築のための費用負担が少ない、といった経済的要因により、羽田空港拡張で見解はまとまっていく。

羽田空港拡張の決定後も、新たな試みがいくつも導入された。まずは、設計・施工をまとめて発注する「設計・施工一括方式」が採用され、別発注の維持管理と共に請負者と契約されたこと。しかも維持管理では、30年間という極めて長い期間(新滑走路の設計供用期間は100年)も設定された。さらに周辺環境を守るため、既存の航路や漁業、埋立材となる土を掘削する周辺の山地などへの影響をできる限り排除することなども要求水準として示された。

こうした新たな施策をいくつも盛り込んだ結果、2005年3月に結んだ契約では、これまで当社が経験したことのない、前代未聞の大型JV(ジョイントベンチャー)で受注することが決まった。当初の予算は約6000億円。そして埋立工区の中心は、当社が担うことになった。

費用や工期の要求は、かつてない厳しいものだった。通常は7年かかる工事だが、実質的な工期は約3年半しかない。埋立工区の現場責任者だった九州支店の佐藤謙二は、「リスクがあまりに高く、各担当工区の数値を持ち寄り実行予算を作成したところ、契約額を大きく超えた。工期も費用も不安だらけだった」と打ち明ける。

概要

工事名称:東京国際空港D滑走路建設外工事/
護岸・埋立1工区/連絡誘導路工区

工期:2005年3月29日~2010年8月30日

発注者:国土交通省 関東地方整備局

施工者:鹿島・あおみ・大林・五洋・清水・新日鉄
エンジ・JFEエンジ・大成・東亜・東洋・西松・前
田・三菱重工・みらい・若築異工種建設工事 共
同企業体

施工場所:東京都大田区羽田空港地先

受賞:平成22年度土木学会 技術賞、平成22
年度地盤工学会 環境賞部門 地盤環境賞、平
成22年度地盤工学会 技術賞部門 技術業績賞
(いずれも2011年)

護岸・埋立1工区(五洋建設担当工区)

地盤改良工
捨石工
管中混合固化処理工
掘土工

連絡誘導路工区(五洋建設担当工区)

基礎杭工
ジャケット据付工
上部(PC)床版工
連絡誘導路・場周道路橋梁部上部工製作・輸送・架設

今日の港湾構造物予防保全の基礎となった“百年の計”

◎埋立部の設計・施工・維持管理の中心担う

東京・羽田におけるD滑走路の設計・施工は苦労の連続だった。

設計・施工・維持管理を一貫受注したD滑走路は、現空港との連絡誘導路、そして滑走路本体を設置する棧橋部と埋立部に分かれていた。連絡誘導路部は、既存の空港側と、D滑走路が建設される新空港島との間の海上部、約620mを結ぶ役目を担う。そのためには航空機が移動する幅約60mの誘導路本体2本と、交通車両が移動する幅約10mの場周道路2本、計4本の並列する橋が必要となる。

さらにちょうど多摩川河口にあたることもあって、多摩川の漁業に対する影響をなくすことが求められた。緊急時に小型船が通航できる2本の航路も考慮しなければならない。このため費用や期間は多少かかって、鋼管杭で支持したジャケット構造の基礎の上部に4本の橋を設け、さらにその上に航空機や交通車両が通行するコンクリートの厚板を誘導路本体に設置するという、複雑な構造を採用せざるを得なかった。

このうちJVの中で、当社が中心となって設計・施工を実施した埋立部では、行政機関などが受け持つことが一般的だった埋立用の土の手配も、受注者側に責任があった。

先端部を含む埋立工区の設計責任者の一人だった土木営業本部第一営業部の河村健輔らは、異なる土源から採集された埋立材と粘性土が厚く堆積する広大な施工区域の沈下量の予測に頭を悩ませ

た。埋立材は千葉県の東京湾近く25カ所から調達することは決まっていたが、100年先の沈下まで推定しながら掘削量を決めていくことになる。埋立工事を担当した洋上風力事業本部プロジェクト部の仁井克明は、「精度良く沈下量を計算するために、当プロジェクトでは、沈下計算プログラムHASP*など3～4種類のプログラムを用いて検証した。埋立記録を入力し、沈下予測の精度確認に約半年を費やしている」と振り返る。

埋立工事開始後も、土の搬入には苦しめられる。九州支店の野谷斎らは、ピーク時の必要土量を調達するため、積出岸壁周辺にストックヤードを確保するなど、事前準備に奔走した。それだけではなく、鉱山関係者への掘削現地の講習会や現地で開催される沿道対策のパトロール、鉱山跡地の現場緑化といった環境維持活動の指導のため、現地には、何度も足を運ばなければならなかった。一方で新しい技術も導入された。「1日当たり延べ約7000台のダンパーが積出岸壁に出入りする中で、迅速かつ的確に積込土量を計測するため、現地には技術研究所が開発したレーザーで運搬船の積込量を測定する検収システムを設置した」と土木本部土木部の堀内大廉は説明する。

維持管理には予防保全の考え方を取り入れた。部材の劣化が進む前に対処し、大規模な補修を回避して維持コストをトータルで削減する方法だ。佐藤は「30年間維持管理するためには、設計段階から点検しやすい構造が重要となる。特に鉄は錆びやすいので、鉄を多く使っている場所には点検用通路を最初から用意した」と説明する。

日本各地から作業船が一堂に会し、サンドコンパクションパイル工法やサンドドレーン工法などの地盤改良を施工した



埋立の施工現場。掘削した海底の浚渫土を埋立用材料に転用する、「管中混合固化処理工法」で納期と費用を抑えた



◎地盤沈下にも苦しんだ先端部分の施工

さらに大きな問題となったのは、先端部分も含む埋立部設計・施工だった。埋立部分の設計の責任者を務めた土木本部の梯浩一郎は、「埋立部の前面は航路。大型客船が東京港に寄港することも考えられるので、沈下量を見越すと45mもの高さが必要となり、通常よりはるかに高い埋立部を建造しなければならないことが分かっていた。100年という供用期間を考えると、埋立部の地盤沈下への対応を考えなければならないが、工期や予算には限りがある。そう考えると、現場は『最初から無理』とあきらめるような構想だった」と振り返る。

無理かと思われた難題を、ある「ひらめき」が解決することになる。それは中部国際空港の建設でも用いた「管中混合固化処理工法」。これを進化させて活用することで、工期と費用を大幅に短縮させると、画期的なアイデアだった。

管中混合固化処理工法は、浚渫土を利用する工

法だ。千葉県で調達した土を埋立用材料として活用するのではなく、羽田で掘削した浚渫土にセメントを混ぜて埋立用材料を製造する。埋立のための土を千葉から羽田まで運ぶための期間を短縮できるうえ、浚渫土を活用するため、環境にも優しく、費用も大幅に削減することができる。結果的に、D滑走路建設工事全体では、約3000万㎡のうち約18%に相当する約550万㎡で管中混合固化処理工法を用いることとなった。

ただし、同じ浚渫土といっても、掘削する場所によって粘性が異なる。現場では中部国際空港の経験がそのまま生かせるわけではなかった。埋立工区の現場管理を担った九州支店土木部の渡邊雅哉はこう説明する。「粘性が高すぎると、埋立中に固まってしまうので、施工工事の遅れにつながりかねない。固化材は価格も高いので、逆に粘性を低くすると費用は抑えられ、作業もやりやすくなるが、今度はそれが地盤沈下につながる。適切な粘性を算定するのに、試行錯誤を繰り返した」。

地盤沈下を防ぐため、盛土工の施工現場では新たな技術開発も必要となる。これまでは高さ30cmおきに放射性同位元素（ラジオアイソトープ=RI）を活用したセンサーで測定・管理していたが、これでは期間も費用もかかりすぎる。そこで土木営業本部第一営業部の豊田泰晴らは妙手を思い付く。大型のブルドーザーを入手し、当初はRIで高さ90cmの盛土を測定。さらにブルドーザーで何回踏み固めたのかを、ブルドーザーに組み込んだGPS（衛星利用測位システム）で測定しておく方法だ。

D滑走路の埋立施工では、100年先の沈下量を見越して45mもの高盛土が必要だった



* HASP (ハスプ) : Haneda Airport Settlement Prediction Programの略称。
当工事のためにJVにて開発された、精密な圧密沈下予測・管理が可能な沈下計算プログラム

設計と施工が一丸となり工程短縮と品質確保を実現

実際に埋立工事が始まった後は、高さ90cmの盛土を8回転圧することを施工条件とし、発注者の承諾を得て施工した。重機操作室内に、GPSと転圧平面の転圧回数を自動管理するパソコンを導入し、転圧回数の不足を回避して、工程短縮と品質の確保を図った。

◎プレキャスト受梁の新工場も建設・運営

一方、連絡誘導路では使用するプレキャストコンクリート工場の建設・運営までを担うことも必要となる。これだけ大規模なコンクリート構造物を製作できる工場がなかったため、自分たちで工場を造るしか選択肢はなかった。



D滑走路は多くの協力会社の力で完成した

工場の責任を任されたのが、東京土木支店土木プロジェクト部の山本省吾だ。「1個の受梁は約120トン。全部で500トンほどのプレキャスト受梁を約3年半という工期の中で製造しなければならなかった。調達量と工期を考えると、当社の専門部隊が千葉県の東京湾近郊に専門工場を造るのが最も適している」と判断した」と山本は言う。

山本自身が連絡誘導路の構造や仕組みにそれほど詳しくはなかったわけではない。それでも「現地の見学会、設計者や関連事業者と会議を通じて専門の知識を深めていった」と回想する。工場は工事完了後に撤去し、建設地をさらけ戻したうえで、地権者に返還したという。

◎設計と施工が両輪となった工事を完了

設計と施工部隊が苦労を重ねながら、工事は完了に近づいていく。「作業船を見たことがない職員が多く、船の見学会を開催していた」と工事開始直後の様子を堀内は懐かしむ。

当工事には、技術研究所や設計部署などから現場経験の少ない職員も多く工事に携わった。そのため、施工では苦労した面もある。一方では、現場事務所の中で設計と施工が一体で取り組むことにより、経済的な施工が継続され、要求水準の達成と



100年先までの供用が求められたD滑走路の埋立工事では、GPSのデータを用いる新しい工法にも取り組んだ



D滑走路は埋立部と多摩川河口部の通水性を確保するための桟橋構造部から構成される日本初のハイブリッド構造となった

コストの圧縮・工期の短縮という、互いに両立しがたい課題をクリアすることができた。

埋立施工の現場責任者だった佐藤は「2010年10月のD滑走路供用開始の直前まで、納期に本当に間に合うのか疑心暗鬼だった」と打ち明ける。しかし、現場技術者たちのさまざまなアイデアと懸命な努力により、D滑走路は8月に完成、当初の予定通り、検査完了後の10月21日から供用が始まった。

◎巨大プロジェクトに大きな感慨を抱く

施工だけでなく、設計や維持管理まで一括で担い、しかも15社というこれまで経験したことのない大型JVで完成させた羽田のD滑走路。当社はさまざまな技術を駆使し、多くの検討を重ねて挑んだ。この工事に参画した技術者たちは、その後、どんな思いを抱いたのだろうか。

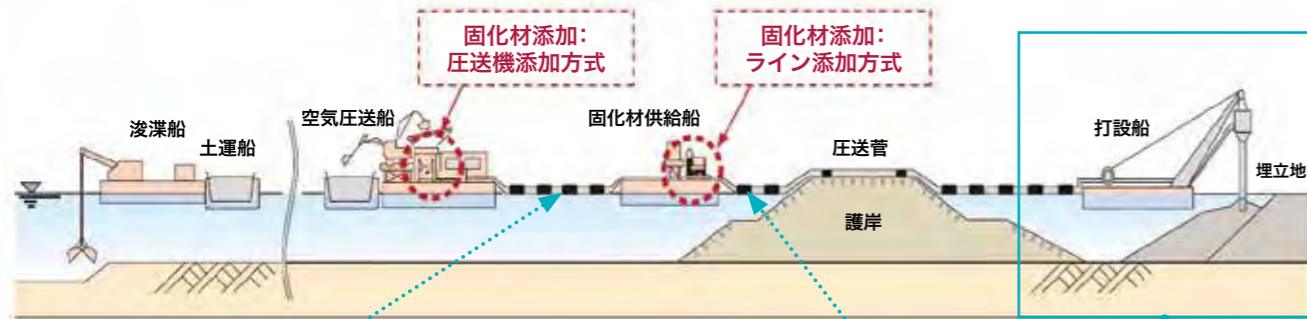
1983年に入社した野口は「入社以来、直接手掛けた中では、D滑走路の建設が最大のプロジェクトだった。それもあって、とても印象に残っているプロジェクトになった」と感慨深そうに語る。梯は「JVを通じて、これだけ多くの同業他社の人たちと付き合ったのは初めての経験だった。同じ建設会社でも、文化はこんなに違うんだ、ということがよく理解できた貴重な経験だった」と言う。

逆に若い技術者はどんな印象を持っているのだろうか。当時、入社4年目という一番の若手で、D滑走路建設が初めての施工現場だったと打ち明ける仁井は「工事終了後はずっと設計部門に配属されるが、D滑走路の建設で培った現場経験は、その後の設計業務に生かされていると思う。D滑走路の建設で学んだ技術は、その後のさまざまなプロジェクト推進に役立っている」と締めくくった。

TEC 01 管中混合固化処理工法

浚渫土を有効活用し護岸背面を埋立

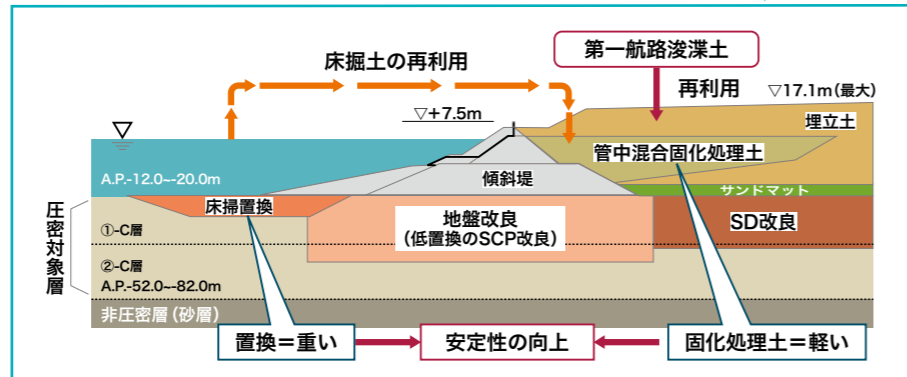
■管中混合固化処理の施工方法



POINT
圧送 | 護岸前面から取り出した土や隣接航路の移設により発生する浚渫土を、異物を除去したうえで、ポンプ圧送するとともに、圧縮空気を注入して圧送する。

POINT
固化材添加・混合 | 固化材供給船からスラリー状で固化材を添加。圧送管内の土と固化材は、圧縮空気の連続注入によってプラグ流を形成し、均一に混練りされる。

■埋立部の構造



前を重く、後ろを軽く。
 単純だけど、それを
 思い付いた人がいた

管中混合固化処理工法とは、空気圧送中の浚渫土に圧送管内で固化材を混ぜ、埋立用材にする工法のこと。D滑走路が整備されたのは、粘性土層が厚く堆積した埋立地である。一般的には粘性土層を全て地盤改良することが望ましいが、この粘性土層は非常に厚く、完全に改良するのは工期・工費の面からも難しい。そこで護岸は、地盤沈下にも柔軟に対応できる傾斜堤構造を採用し、地盤改良は、護岸部でサンドコンパクションパイル(SCP)工法、埋立部にはサンドドレーン(SD)工法で行った。SCP工法は軟弱な地盤に良質な砂を杭として打設し、地盤を強くする工法。SD工法は砂の鉛直ドレーンと盛土载荷で地盤の圧密沈下を促進し、地盤強度を増加させる工法だ。

注目は、護岸背面埋立部に「管中混合固化処理土」を使用した点だ。斜面になっている護岸の前面は円弧すべりが起きやすい。これに有効な対策が、前を重くして後ろを軽くすること。護岸の前面を掘って土(重い)に置き換え、前面から取り出した土にはセメントを混ぜて管中混合固化処理土(軽い)に変換し、護岸背面の埋立材料に有効利用したのだ。



空気圧送で送られてきた処理土を、打設船で埋立地に打ち込む

セメントを混ぜて管中混合固化処理土(軽い)に変換し、護岸背面の埋立材料に有効利用したのだ。

TEC 02 大量急速施工の厚層転圧

性能設計に対応する陸上盛土の転圧

D滑走路の埋立は、「揚土1工」と「揚土2工」の順に進められた。揚土1工は水面下での埋立材投入による造成、揚土2工は陸上盛土だ。滑走路や誘導路など空港の基本施設になるため、転圧締め固めによる強固な支持地盤を造る必要があった。



揚土2工の仕上げ中

POINT
工期を3分の1に短縮 | 転圧は、通常は30cmで行うが、この広さの場合、50回の転圧が必要になり工期に間に合わない。そこで編み出されたのが、90cm層厚の巻き出し施工。350kN級の振動ローラをはじめ国内最大級の重機を集め、施工時間を一気に短縮した。

POINT
ICT土木のはしり | 当時、土木の現場でもGPSが使われ始めていたが、まだまだ一部。本プロジェクトでは転圧の品質証明のために、施工機械には全てGPSを搭載し、どの場所を、何回踏んだ(転圧した)のか、全て自動で記録、施工層厚や転圧回数を管理していた。



50t級ダンプトラック

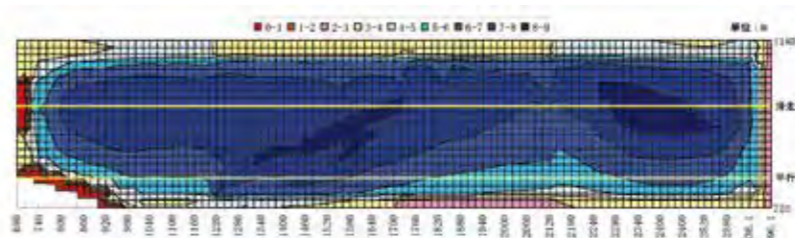


GPS搭載の振動ローラ

TEC 03 沈下予測の技術

埋立部の沈下管理と予防保全の取組

■埋立部の最終沈下予測



POINT

予防保全の基礎 | 30年間の維持管理を請け負った初めての大規模工事だったため、維持管理における予防保全を体系的に考案。この考え方が標準化され、今日の基礎になった。

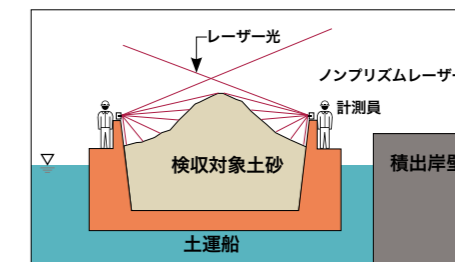
本工事では、沈下量を見越して45mの高い盛土が必要だった。普通の埋立なら十数mなので倍以上、しかも施工中も沈んでいく。沈下量を見込んで最終形を予測するのは至難の業だった。そのうえ沈下管理は長期にわたる。30年間高さを守りつつ、最大100年間の沈下量を計算しなければならなかったのだ。計算にはモンテカルロシミュレーションを用い、数種類のプログラムを併用してこれにあたった。

TEC 04 工事管理システム

土の安定調達とシステム構築運用

1本の滑走路を造るためには莫大な土量が必要だ。D滑走路新設では、2年間にわたって合計2800万m³もの土を安定的に供給しなければならなかった。実に東京ドーム約30個分である。房総半島に25カ所ある土源から、1日に延べ7000台のダンプが行き来した。環境アセスメントを行い、運行ルートが見える化、ダンプ1台ごとのトレーサビリティ管理、レーザーによる土量検収、各種振動・騒音対策など、現在の入札技術提案に見られる、施工管理の原型は、このとき形作られた。

■計測イメージ



現場で断面を計測しデータ送信。各工区事務所データ処理と検収土量を登録

POINT

可搬式レーザーシステム | 短時間に大量の埋立材を供給しなければならない。安全かつ効率的に土量を把握するため、山積みした土の表面をレーザーで測り、パソコンの自動計算で割り出すシステムを作った。全区で採用。