

特集

今後の技術基準改訂に
向けた方向性
～新たな行政ニーズと
技術基準～



性能設計に基づく施工事例

～羽田D滑走路埋立部工事における 性能設計と施工・維持管理～

梯 浩一郎
五洋建設株式会社

小倉 勝利
東洋建設株式会社

川端 利和
若築建設株式会社

大和屋 隆司
東亜建設工業株式会社

1. 事業概要

(1) 工事発注の経緯

羽田空港の再拡張は、航空需要の増加に伴う「首都圏第3空港」建設候補のひとつとして浮上し、2000年に本格的な議論が始まった。2001年には再拡張事業として、現空港の沖合に新たに長さ2,500m、幅60mのD滑走路を新設することになった。D滑走路の完成により、羽田空港の年間発着能力はそれまでの30万回から41万回に増加し、利便性の向上や多様な航空路線網が形成され、国際定期便の受け入れも可能になると期待された。

2002年になると、新滑走路の工法を検討する「羽田空港再拡張事業工法評価選定会議」が設置され、「栈橋工法」、「栈橋・埋立組合せ工法」、「浮体工法」の3工法の優劣が比較、検討された。技術的に大きく異なる3つの工法を評価した結果、いずれの工法も技術的に建設可能であることから、工法を事前に一つに絞り込むことはせず、維持管理を含む設計・施工一括方式によることが妥当であると判断された。

(2) 性能発注の背景

本工事発注に当たり、技術的に大きく異なる3工法が併存したことから、個別の仕様を規定することは困難であり、構造物として必要とされる要求性能を満足することを要件として発注された。

入札は2005年に行われ、「栈橋・埋立組合せ工法」を提案した「羽田再拡張D滑走路建設工事共同企業体」(鹿島・あおみ・大林・五洋・清水・新日鉄エンジ(現・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・若築の15社JV)が落札し、同年3月末に正式契約、2007年に着工、2010年9月に竣工した。

本稿は、性能発注の仕組みとこれに対応した設計、施工およ

び維持管理への対応を、埋立工事部分に着目して報告するものである。

2. 性能発注と契約

2-1 性能規定、要求水準と本契約

(1) 要求水準書に示された基本性能

要求水準書においては、空港に求められる重要な基本性能として、以下の5つの重要な基本性能を定めている。これらの基本性能は、D滑走路の設計、施工、維持管理および環境影響に関して最優先される事項とされ、性能発注の仕様として「要求水準書」に盛り込まれた。

- ① 空港としての使用性
- ② 構造物の安全性
- ③ 工事の施工性
- ④ 構造物の維持管理性
- ⑤ 環境への影響抑制

また、要求水準書では、設計、施工および維持管理の内容の一貫性、すなわち、設計上想定した品質・性能が施工で確実に確保されるような施工計画の策定や、維持管理に係る点検・調査・補修への設計上の十分な配慮を求めている。さらに維持管理においては、設計供用期間100年間を対象とした計画が入札時の技術提案で求められた。

(2) 性能を満足するためのリスク分担

このような要求性能を満足することは受注者の裁量範囲によるところが従来と比較して大きく、その性能を満足していることの証明や説明は原則受注者の責任とされ、必要となる有識者からの意見聴取や実験、試験、資機材の調達、第三者との協議などについても受注者の範疇とされた。なお、入札公告にあたり設計条件については空港運用条件や施設配置や形状、自然条件等が提示されたものの、地盤データは必ずしも全施工区域を



表1 リスク分担表

大項目	小項目	対象事項(代表的事項)	リスク分担先	
			発注者	請負者
技術条件	工事一般	工事的物の性能確保		○
		使用材料の品質		○
		羽田空港の運用		○
	詳細検討に伴う設計変更	設計の誤り、構造強化のための設計変更	■	→ ○
		新たな動植物の発見等	○	
		航空法、港湾法等関係法令の遵守		○
		施工段階における技術提案		○
自然条件	作業用道路、作業ヤード	工事中道路、運搬距離、作業スペースの制約	■	→ ○
		地盤及び地下条件の現場不一致	■	→ ○
	気象、海象	雨、雪、風、気温、波浪等	■	→ ○
	その他	河川・海域における水流、潮流、潮汐の影響	■	→ ○
社会条件	海中、海底障害物	地下埋設物等の海中、海底内の作業障害物		○
	騒音、振動	周辺住民に対する配慮		○
	水質汚濁	周辺水域環境に対する配慮		○
	作業用道路、海上交通	資材搬出入及び海上運搬路の確保		○
		作業ヤード	羽田空港外での作業スペースの確保	
	価格変動	賃金水準又は物価水準の変動	○	
		急激なインフレーション	○	
		急激なデフレーション		○
	その他	電波障害対策		○
		環境対策、廃棄物処理、ガス、水道、電線移設		○
工事作業に伴う マネジメント特性	他工事調整	他工事との調整	■	→ ○
	住民、漁業関係者の対応	近隣住民の苦情対応、漁業関係者対応	■	→ ○
	関係機関対応	道路管理者、港湾管理者・海上保安庁、空港管理者等対応	■	→ ○
	安全管理、対策	夜間作業に伴う安全対策、航行安全対策		○
	その他	土取場の確保・変更	■	→ ○
その他	関係機関対応	公有水面埋立申請、海面占有許可申請、環境アセスメント、漁業影響補償等	○	
	不可抗力	提示条件を超える自然条件	○	
		テロ行為、住民運動	○	
	法律、基準等の改正	法令改正、設計基準の改正	○	
	その他	契約不履行、労働争議		○

データ量の不足により従来通り発注者側とされた

注) ■印は従来の設計・施工分離発注の場合を示す。この大部分が受注者リスクへと移転された。本表は、羽田D滑走路工事契約図書を基に筆者作成。

カバーしていなかったため、「表1 リスク分担表」に示すように実際の地盤条件が悪い場合には発注者負担とされた。

しかしながら表中、■印→○印に示したように従来の設計・施工分離発注よりも、かなりの分野が受注者側のリスク負担とされ、性能に係る自由裁量を与えられたものの、責任範囲も十分に広くされた。

2-2 中間検査、竣工検査と維持管理契約

設計・施工・維持管理の流れを図1に示す。本工事は、公示から供用開始までに4つのフェーズがあった。すなわち、基本設計と維持管理計画と価格提示で契約する「フェーズ1」、契約後にこれらを詳細検討し、着工可能な状態に具体化する

「フェーズ2」、施工を進め、これに対応して随時設計も修正する「フェーズ3」、発注者に目的物を引渡し、供用開始、維持管理に移る「フェーズ4」の4段階である。従来にない中間検査が設けられた。これは設計から施工への移行を、竣工検査は施工から維持管理への移行を検査、承認する手続きとして必要であった。

また自由度の高い設計は施工とともに変わる可能性があったので竣工検査に合格した時点で完了すること、維持管理計画は基本設計および実施設計と並行して行うこととされたことが本工事の特徴である。

なお、受注者が担当する維持管理は供用30年間の性能を担保するものではなく、維持管理計画書に基づき、忠実に点検・

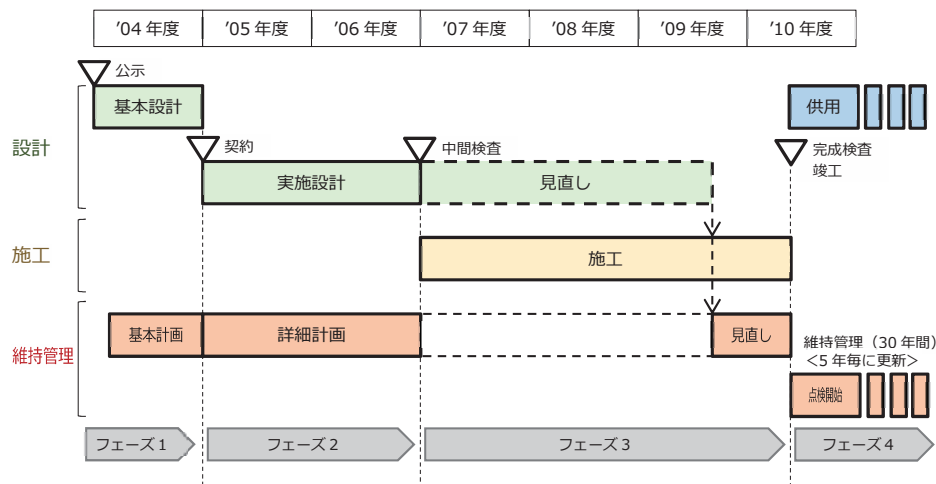


図1 基本設計から維持管理までの流れ

調査を行うことが義務付けられた。そのため、当初より想定される標準的な維持補修費用は契約に含まれるが、明らかに想定外と判断される事象に起因する補修費用等については当初契約に含まれず、変更の対象とされた。

3. 設計と施工管理

3-1 最適護岸断面の選定と圧密沈下

(1) 傾斜堤護岸の最適化

埋立部の原地盤はA.P.-12.0m~-20.0mと大水深であり、海底には軟弱な粘性土が厚く堆積している。このような条件下では軟弱な粘性土層を深層混合処理工法(CDM)や高置換型のサンドコンパクション(SCP)改良等により改良し、その上に重力式護岸(ケーソンなど)を構築する考えもあった。しかしながら、急速施工に対応するためのプレキャスト系の重力式護岸の採用は、かえって地盤改良費用を増大させることが懸念された。そこで、本工事では要求性能を満足できる範囲内に残留沈下量を抑えることができることを確認した上で、「図2 埋立部標準断

面(イメージ)」に示すような地盤の圧密沈下等に対する追随性が高い捨石式傾斜堤護岸を採用することとした。地盤改良には当時あまり適用されていなかった低置換型(改良率30%)のサンドコンパクションパイル(SCP)改良を採用することで沈下による原地盤の強度増加に期待した安定確保策をとった。

大水深での傾斜護岸の安定性を向上させるためには、護岸前面側をなるべく重く、背面側をなるべく軽くする必要があった。そのため、護岸前面の軟弱な粘性土地盤を床掘りして、粘性土地盤よりも重量の重い砂質土系の材料に置き換えた。床掘りで発生した重量の軽い粘性土は、砂質土系の材料よりも軽量のセメント固化処理土として背面側に埋立て再利用した。これにより、軟弱層である②-C層を一部未改良で残したまま護岸全体の安定性が向上することが可能となったため、工期の大幅な短縮だけでなく工費の削減も実現した。

(2) 圧密沈下の影響

埋立部の圧密沈下量とその速度に影響を及ぼす主要因に

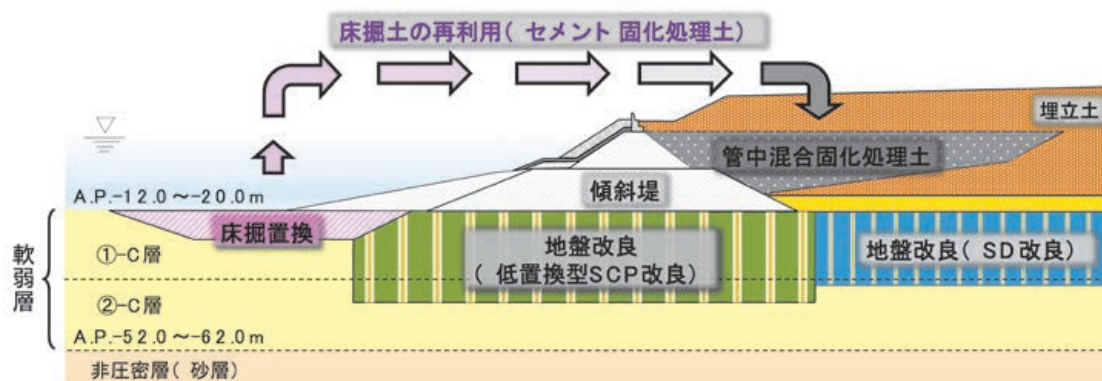


図2 埋立部標準断面(イメージ)

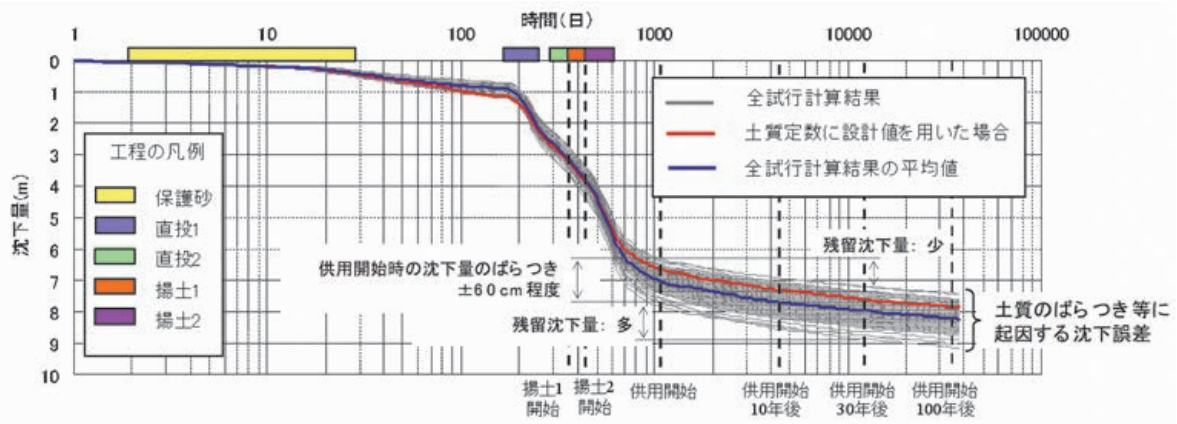


図3 沈下量試算結果の例(時間～沈下曲線)

は、土質のばらつき、サンドドレーンの仕様、サンドマット材・埋立材の仕様、長期圧密沈下量(二次圧密)、施工履歴などがある。これらの要因に対してはそれぞれのパラメータに対して感度分析を実施し、想定される沈下に対して問題がないことを確認しながら設計上の仕様を決定した。土質のばらつきを例に挙げると、「図3 沈下量試算結果の例(時間～沈下曲線)」に示すように沈下量に与える影響は全沈下量が7m～8m程度であるのに対し、供用開始時の沈下量が±60cm程度、供用開始からの30年間の残留沈下量で±20cm程度の影響があることを事前に確認した。また、施工履歴や埋立材の仕様などに起因する不同沈下についても予測し、供用開始10年後にはほぼ一定値に収束することや、滑走路横断方向よりも滑走路縦断方向に発生する不同沈下が顕著であることなども後述の三次元モデルにより事前に確認した。これらの事前検討により、最大の懸案事項であった埋立部と栈橋部との接続部に発生する段差についても、供用開始後の集中的な舗装オーバーレイで十分に対応できるものと判断した。この判断により維持管理コストの上限に目安が立った。

3-2 施工層厚の管理と沈下量の想定

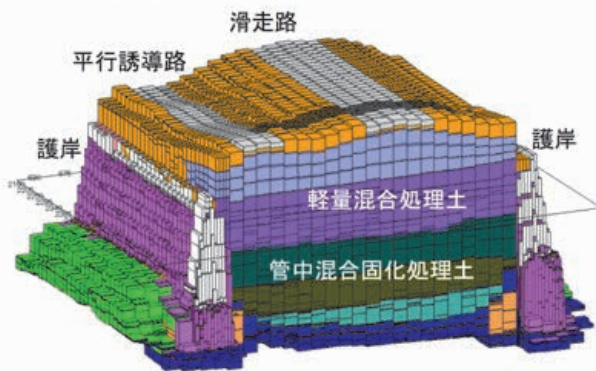
(1) 施工層厚の管理と投入可否判断

施工計画どおりに埋立部の総沈下量や不同沈下を想定の範囲に抑える必要があり、①一定層厚ずつ計画的に仕上げていくこと、②圧密による強度の増加を確認しながら進めることの2点が重要である。そのためには、面的に現地盤の沈下量を可視化する必要があるため、ナローマルチビームによる深淺測量や沈下板、層別沈下計、水圧式沈下計等の機器による沈下計測、コーン貫入試験等による地盤強度の確認を計画的に進めた。これらの情報を考慮した安定解析(円弧すべり等)により所定の安全率が確保されていることを確認した上で、次段階の投入可否を判断した。

(2) 三次元的な沈下管理

供用開始後の残留沈下量と不同沈下量の大小は、後々の維持管理に与える影響が大きく、これを施工中に予測しておく必要がある。まず、日々計測された情報を用いて算出した施工中の埋立層厚および沈下量を三次元コンターとして面的に可視化す

■鳥瞰図(接続部背面)



■断面図(埋立一般部)

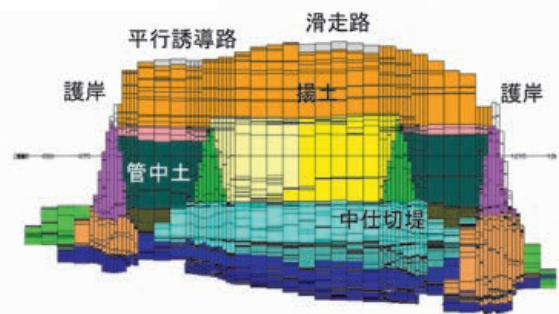


図4 埋立層厚履歴モデル

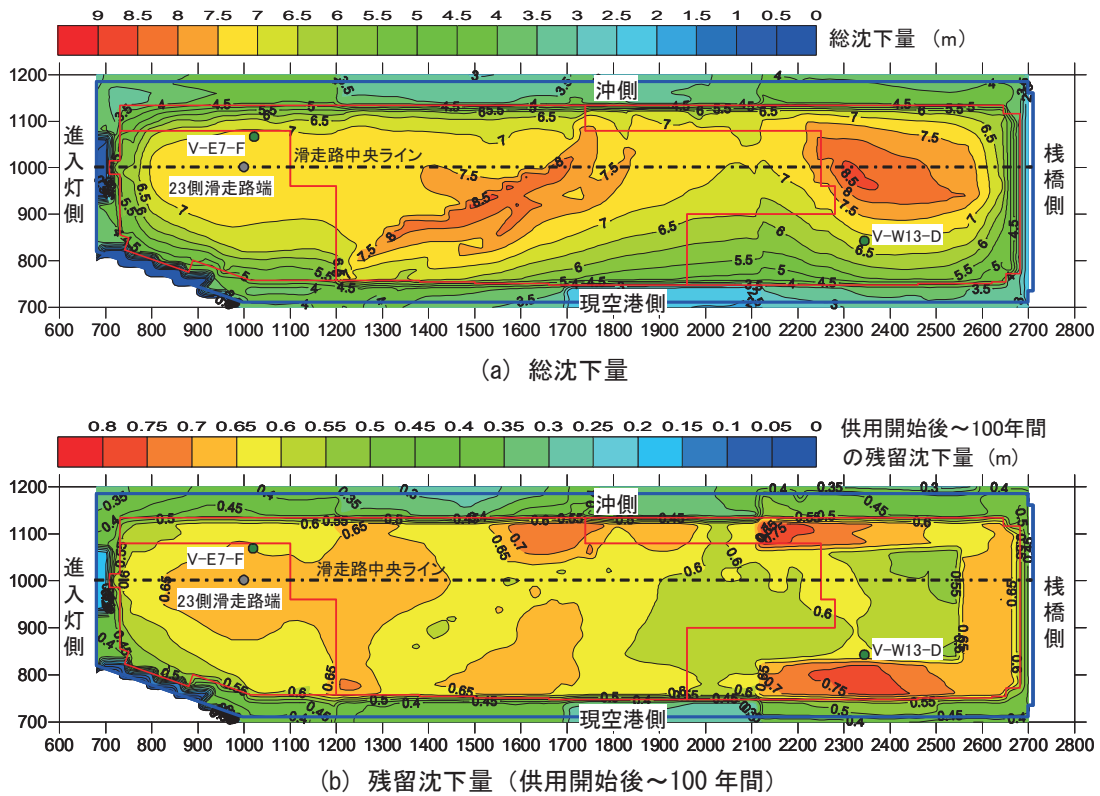


図5 沈下予測解析結果(例)

ることで、沈下傾向異常個所の早期発見につなげることができた。さらに、得られた施工層厚に材料特性や時間的パラメータを持たせることで、「図4 埋立層履歴モデル」に示すように三次元的な埋立層履歴をモデル化し、その情報を荷重条件として空港島全体の長期沈下予測解析を実施した。「沈下予測解析結果(例)」を図5に示す。これらの結果を基に残留沈下量や不同沈下量が想定範囲内であることを確認するとともに、予測した残留沈下を用いて滑走路島全体の最終天端高を設定した。また、予測沈下量に基づき供用期間中の舗装の補修時期や回数、範囲などを求め、維持管理計画に活用した。

4. 維持管理契約と予防保全

(1) 予防保全の考え方と維持管理計画

維持管理は致命的な破綻が起きる前に保全措置をとる、いわゆる予防保全を柱として立案した。その手順は、①維持管理対象のリスクを見積もり、予防保全の必要な区域と事後保全で構わない区域に分割する、②劣化指標を数値化する、③点検・調査結果をデータベース化し、劣化速度を予測し、必要な時期にあらかじめ補修するという3点で進めた。

埋立工事区域はそのほとんどが事後保全で対応できると考えたが、「図6 予防保全と事後保全のエリア」に示すように滑走路および誘導路の舗装と、進入灯橋梁、栈橋との接続部等につい

ては予防的な保全措置が必要であるとの判断であった。

(2) 長期モニタリングと補修

埋立工事区域においても供用開始後、沈下・目開きの補修、舗装ひび割れの補修などの維持補修項目が発生しており、受注者の責任でこれに対応している。沈下量等計測項目のいくつかは、現時点でも計測を継続しており、想定どおりに沈下が進んでいることを確認している。施工時の工事管理システムから引き継いだデータに加えて、その後の維持管理データを随時追加することで、供用後の維持管理および補修を実施している。供用開始後数年で埋立部に発生した接続部との段差も、予定どおりのタイミングで「写真1 維持補修(例)」に示すような切削・オーバーレイで実施した。

5. 性能発注と設計・施工の対応

(1) 性能発注の効果

本稿では、羽田D滑走路工事で実施された性能発注に対して、埋立工事としての対応を整理した。性能発注されたことで、①設計、施工、維持管理計画を並行して立案することによる工期短縮、②受注者の技術力を最大限引き出すことによるコストダウン、③施工から維持管理へのスムーズな移行を可能としたことなどがその効果として考えられる。また、この効果を確

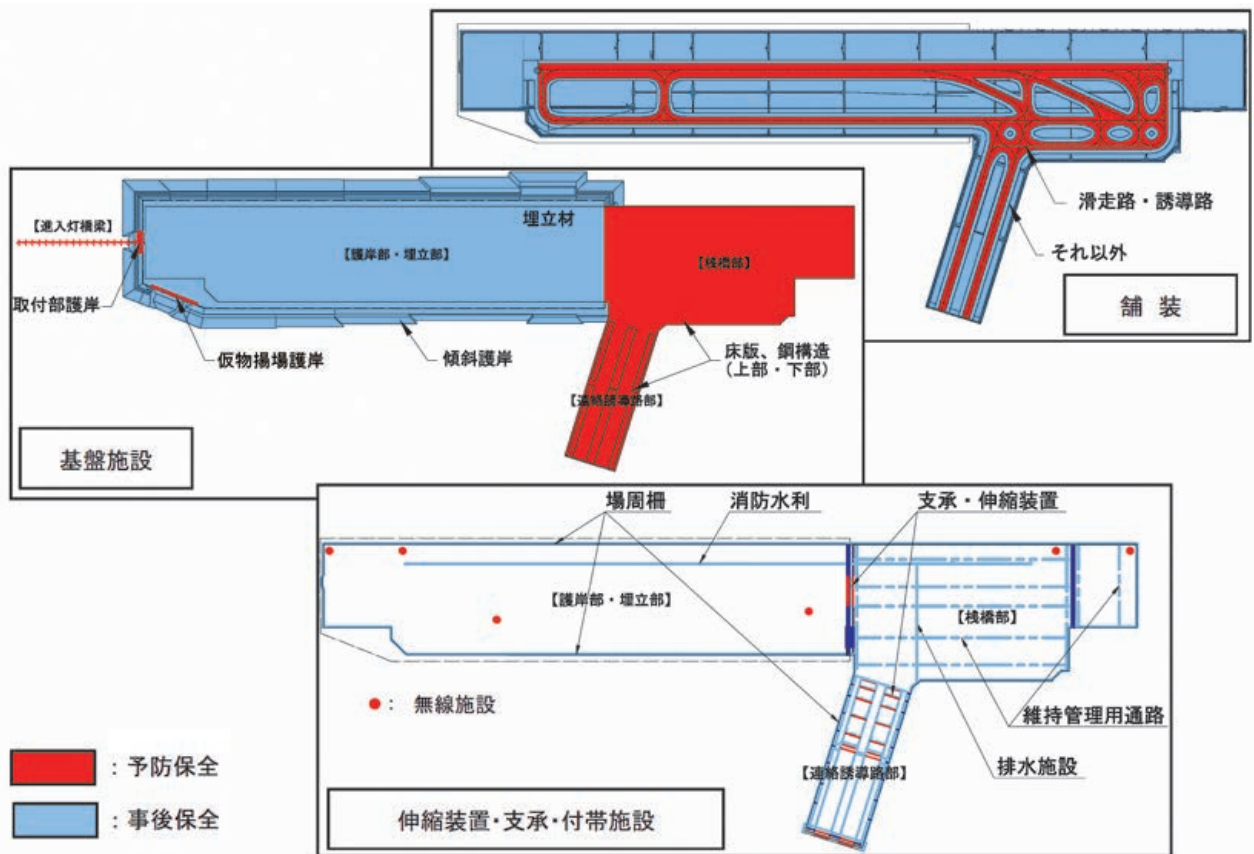


図6 予防保全と事後保全のエリア



写真1 維持補修(例)

実とするために、2-1章で示したような要求性能とリスク分担が適切に提示されたこと、2-2章で示したような中間、竣工検査の仕組みがあらかじめ用意されたこと、今回詳述しなかったが、受発注者双方がアクセスできる工事管理システムという情報共有データベースを構築したことが大きな効果を発揮した。

(2) 設計・施工の工夫

この結果、埋立部に従事した我々も数々の工夫を行った。大きな圧密沈下や固化処理の配合、埋立材の動的特性などについて室内試験による検証で安定性を確保したこと、施工中の沈下

を考慮して多数の計器計測を並行しながら施工したことで工期短縮に努めたこと、点検歩廊を設けるなど維持管理しやすい構造設計を心掛けたことで維持管理を容易にしたこと、などである。

発注段階で性能発注の目的・方針・検査の仕組みが予め準備され、契約後も情報共有、フィードバックの体制が1つの方針に基づき整理されたことが大きい。結果的に①空港としての使用性、②建造物の安定性、③工事の施工性、④建造物の維持管理性、⑤環境への影響抑制をもたらし、性能を満足させることができたと考える。