

関西国際空港における 護岸の嵩上・補強工事について

齋藤 祐樹¹・古城 鉄也²

関西エアポート株式会社 関西空港技術部 空港島保全グループ
(〒549-8501 泉佐野市泉州空港北1番地)

関西国際空港では、地盤沈下の影響により護岸が高潮・津波に対する必要高を下回ることのないよう、計画的に護岸の嵩上・補強工事を実施している。現在は、2期島の北西（淡路島側）に位置する延長約6kmの護岸を3m嵩上げする工事を実施しており、2018年6月現在、ほぼ全ての工種が完了し、竣工に向けたラストスパートを迎えている状態である。

本工事は、運用中の滑走路近傍かつ非常に狭隘な作業空間で掘削やコンクリート打設を実施する必要があった為、航空局を始めとした各関係機関との作業調整や、施工機械の選定に十分配慮しながら施工を進めた。

キーワード 津波・高潮対策、護岸、施工

1. 概要

関西国際空港では、地盤沈下の影響により、護岸の天端高が高潮・津波に対する必要高さを下回ることのないように、計画的に護岸の嵩上・補強工事を実施している。

2期島の北西側（淡路島側）に位置するA1～A4護岸は、航空機の離着陸に必要な滑走路や無線施設等を背後に擁し、それらを高潮・津波から防護するためにも特に重要な護岸である。

図-1は2期A1～A4護岸を示したものである。2期島は依然として地盤沈下量が大きく、その影響により当該護岸が高潮・津波に対する必要高を下回ることのないよう、嵩上げが必要な状態であった。そこで現在、2期島A1～A4護岸（総延長6,100m）を2014年秋から2018年にかけて、嵩上工事を行っている。

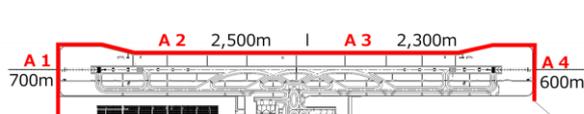


図-1 2期島A1～A4護岸配置

施工はA1護岸・A4護岸を優先的に嵩上げていき、次にA2・A3護岸を嵩上げた。2018年6月現在では、躯体の打設も終わり、ほぼ全ての工種が完了した状態である。

2. 関西国際空港における高潮・津波想定

関西国際空港は1994年に1期島が、2007年に2期島が供用開始された。関西国際空港の主要施設配置を図-2に示す。

1期島には、第1ターミナルや給油施設等があり、2期島には、LCC（ローコストキャリア：格安航空）専用の第2ターミナルがある。

このような施設配置の中で、各護岸に対して、高潮・津波に対する必要高さを設定している。

なお関西国際空港では、地盤高の管理や工事用基準面として、潮位表基準面（C.D.L.：Chart Datum Level）を使用している。



図-2 関西国際空港の主要施設配置

高潮に対する必要天端高とは、HHWL+3.2m において設計波が入射した際に許容越波流量を下回る高さであり、合田による越波流量推定図より設定した。

なお、『空港土木施設設計基準』によると、許容越波流量は $q_a=0.02 \text{ m}^3/\text{m/s}$ 程度とされており、『港湾の施設の技術上の基準・同解説』によると、背後地の重要度からみた許容越波流量は表-1のとおりである。

表-1 背後地の重要度からみた許容越波流量 (m³/m/s)

背後に人家、公共施設等が密集しており、特に越波、しぶき等の侵入により重大な被害が予想される地区	0.01程度
その他の重要な地区	0.02程度
その他の地区	0.02~0.06

当該護岸においては『港湾の施設の技術上の基準・同解説』におけるその他の重要な地区相当であると考え、かつ『空港土木施設設計基準』も満足するように、許容越波流量は $q_a=0.02 \text{ m}^3/\text{m/s}$ として設計を行った。

また、設計波の算定には、昭和30年~平成6年までの資料(台風、低気圧、冬型気圧配置等を対象とした推算波浪)を用い、2期空港島計画周辺5地点及びMT局(実測波との比較用)の計6点において、湾内発生波(確率波、浅水変形考慮)とうねり(確率波、浅水変形考慮)を求め、両者を合成して推算波浪を算定した。なお、MT局とは2期島の西の沖側500mの位置に設置された、気象・海象計測施設のことである。

また、津波に対する必要天端高は、内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の津波断層モデルを用いて、大阪府が実施した津波シミュレーションで計算された関西国際空港での津波高に、地震による地殻沈降量及び地震動による鉛直変位量を足し合わせることで設定した。

これらより、2期島における高潮・津波に対する必要高さを整理したものが図-3である。



図-3 2期島における高潮・津波に対する必要高さ

表-2は2期島A1~A4護岸における高潮・津波に対する必要高さである。2期島A1~A4護岸では、津波に対する必要高さよりも、台風時の高潮に対する必要高さの方が高くなっているため、この高さを必要天端高として設計を実施した。

表-2 2期島A1~A4護岸の高潮・津波に対する必要高さ

区間	必要高さ (高潮)	必要高さ (津波)	護岸延長
A1護岸	C.D.L.+5.9m	C.D.L.+4.1m	719m
A2護岸	C.D.L.+5.5m	C.D.L.+4.0m	2,533m
A3護岸	C.D.L.+5.5m	C.D.L.+4.0m	2,266m
A4護岸	C.D.L.+5.1m	C.D.L.+3.8m	565m

施工高さに関しては、嵩上げ後の護岸が制限表面を突出しない範囲で、不同沈下の影響も考慮し対応年数を定め、高さを確定している。制限表面の説明に関しては、後述する。

今回は設計時より概ね20年対応の嵩上げを想定した。20年後に必要な天端高を下回る箇所がないようにするためには最大3.0mの嵩上げが必要であり、長大な施工区域での施工性を考慮して、今回は各躯体を一律3.0mずつ嵩上げすることとした。

3. 工事の制約

本工事では、運用中の滑走路の近傍での施工が大部分を占め、施工に際しては空港特有の様々な制約があった。ここでは、施工に際してのいくつかの制約を紹介する。

(1) 施工場所の制約

本工事は、写真-1のように施工場所が非常に狭隘である。特にA2・A3護岸では、施工可能範囲が5m程度の幅しかない状況である。そのため護岸側のみのスペースでは、十分な施工スペースが確保できず、著しく施工性が悪くなるため、一連の作業工程の中で撤去工、土工を除く作業を、制限区域内からクレーン、ポンプ車等を用い、制限フェンス越しの施工を行うこととした。制限区域内からの作業を実施することで、航空局を始めとした、各関係機関との作業調整を行う必要がある。



写真-1 2期島A3護岸施工前風景

(2) 制限表面

航空機が安全に離着陸するために、空港周辺の一定の空間は障害物が無い状態しておく必要がある。このため、航空法において、**図-4** のような制限表面が定められている。この制限表面は建造物だけでなく、**施工中の重機等も突出しないようにする必要がある。**

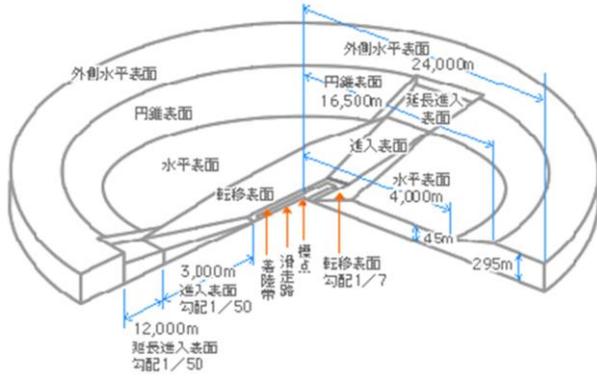


図-4 制限表面

本工事では、運用中の滑走路と施工エリアの関係上、特に**転移表面**と**進入表面**に留意して施工を行う必要があった。

転移表面とは航空機の進入方向に対して直角方向に勾配を持つ制限表面のことであり、本工事ではA2・A3護岸のほぼ全域が転移表面下の作業となる。

進入表面とは航空機の進入方向に勾配を持つ制限表面のことであり、本工事ではA1護岸・A4護岸全域とA2・A3護岸の一部が進入表面下の作業となる。

工事の実施に当たっては、航空機の運航の安全確保と工事の安全管理について常に留意するとともに、当該工事の実施に伴う航空機の運航制限を最小にとどめるように、重機の選定等の工夫を行う必要がある。

(3) ILS制限区域

天候不良等により視程が悪くなった場合には、着陸進入する航空機に対して、空港から**ILS**（計器着陸装置）と呼ばれる指向性誘導電波を放射し、安全に航空機が着陸できるように滑走路までの誘導を行っている。

ILSには滑走路との左右のズレを示すローライザー、上下のズレを示すグライドパス、滑走路との距離を示すマーカービーコン等がある。

ILSを使用した滑走路運用には、滑走路上の視距離や雲高に応じてカテゴリーが定められており、関西国際空港では**図-5**のCAT-I及びCAT-IIでの運用が可能である。それぞれのカテゴリーにDH（決心高度：着陸に必要な視覚目標物が確認できる高さの最低値）およびRVR（滑走路上の視距離）のミニマム、すなわち最低値が定められている。例えばCAT-II運用時は、高度約70mまで降下したところで視覚目標物が確認でき、かつ滑走路が550m先まで見通せる状態であれば、航空機は着陸を実行することができ、逆にそのどちらかの条件が整っていなければさらに高カテゴリーでの運用に切り替える、若しくはそれが不可能な滑走路であれば、航空機は着陸を実行できないということになる。

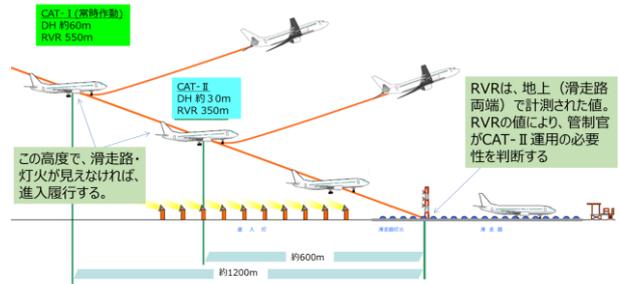


図-5 計器飛行方式の仕組み

ILSの電波の影響が及ぶ範囲を**ILS制限区域**と呼び、ILS制限区域内で作業を実施する際には、ILSの電波への支障の有無を確認する必要がある。当該工事の施工範囲ではA2・A3護岸の一部がILS制限区域に含まれる。

また、それら計器を用いた航空機の離着陸（計器飛行方式）に影響を及ぼす高さについても留意する必要がある。各計器飛行方式に影響を及ぼさない高さ以下の作業実施、若しくはそれが困難な場合は計器飛行方式の一時変更の手続きが必要となる。

4. 工事に際しての調整・工夫

(1) 狭隘箇所での施工性の向上

A2・A3護岸では車道幅が狭いため、土砂を運搬するダンプトラック等の方向転換が出来ない。またA2・A3護岸延長がおよそ4,800mあり、適宜方向転換できる場所が必要であった。そのため、**写真-2**のような、通常トンネル工事等の現場で用いられるターンテーブルを設置することで、ダンプトラックの方向転回が可能になり、土工における土砂運搬作業の効率化を図ることができた。

ターンテーブルは100mピッチで設置箇所を設け、工事の進捗状況に合わせて随時移動させながら施工した。



写真-2 ターンテーブル使用状況

(2) 施工高さ管理

a) A1・A4護岸の制限高さ

写真-3はA1・A4護岸での施工の様子である。本区間は進入表面下での作業となるため、進入表面を越えない作業制限高さを厳守した。作業制限高さはA1護岸では施工地盤面からおよそ4.5～6.0m、A4護岸では施工地盤面からおよそ7.7～9.5mである。



写真-3 A1護岸施工風景

b) A2・A3護岸の制限高さ

A2・A3護岸（延長4,800m）は施工箇所が非常に狭隘で、護岸側のみでは施工スペースが確保出来ず、また一旦掘削すると、工事車両が通行出来なくなることもあり、制限区域内からクレーンやバックホウ、ポンプ車等を用いた作業を実施する。写真-4はA2・A3護岸での施工の様子である。



写真-4 A2護岸施工風景

クレーン作業は作業制限高さとして作業範囲を設け、制限表面（内側転移表面）高さを厳守した。A2・A3護岸では作業制限高さは施工地盤面から20mの高さである。

このような制限の中で、重機作業高さの管理方法として、事前に既設舗装面の測量を行い、制限高さまでの作業可能高さを確認した。

掘削・埋戻し・舗装の際、それぞれの区間の作業可能高さに合わせて、バックホウ・ダンプトラックの種類を変えて施工を行った。

バックホウの高さ管理では、図-6のように①ブームを

最大まで上げた状態の高さ、②アームをおりまげた状態でのオペレーターの最大可視高さ、③アームを伸長した状態でのオペレーターの可視高さの3種類を測定した。

②③が①より低い場合には、②③の高さを使用し、オペレーターはバケットの見える範囲での作業を遵守する。

②③が①より高い場合には①の高さを使用し、キャビネットの全面ガラスに高さ管理用テープを張り、バケットがテープを越えないように注意して施工を行う。



図-6 バックホウの作業高さ管理

また、図-7のように各バックホウの最大到達高さを事前に測定し、作業可能高さが低い範囲では小さい重機を使用し、作業可能高さが高い範囲では施工性を高めるためにも大きな重機を使用した。

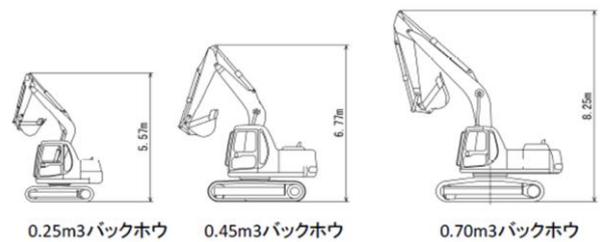


図-7 バックホウの選定

資機材揚重の際のクレーン付きトラックも作業可能高さを確認して作業を行った。図-8はラフタークレーンの作業高さ管理を示したもので事前に角度と高さの関係を把握した。また、ラフタークレーンはブーム高さ制限装置の機械を使用し、作業開始前に作業高さを確認し入力の際、作業を行った。

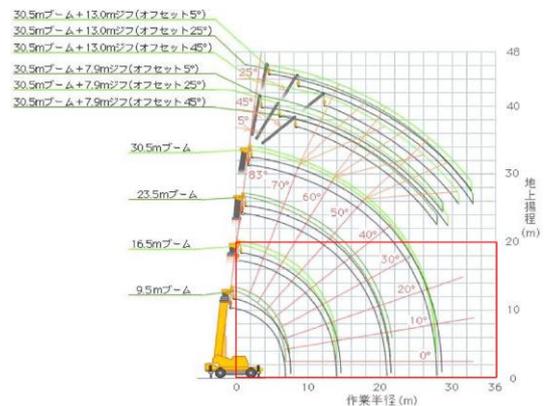


図-8 ラフタークレーンの作業高さ管理

コンクリート打設の際のポンプ車に関しても、バックホウ同様に図-9のように各ポンプ車の作業高さを確認し、作業可能高さに応じて適切なポンプ車の選定を行い施工を実施した。

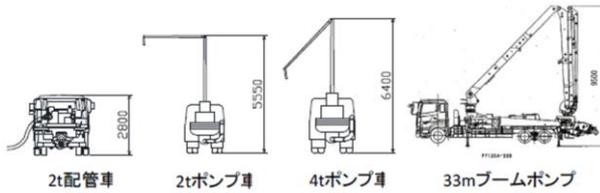


図-9 ポンプ車の選定

(3) フライトチェック

前述したように、本工事では多くの制約がある中で、様々な調整を行い、滑走路を運用したままの日中施工を行っている。

A2・A3護岸の施工においては、ILS制限区域内での作業が予定されていることから、当該作業に先立ち、ILSの電波への支障の有無を確認するため、航空局に飛行検査（フライトチェック）の実施を依頼した。

フライトチェックでは、南北の2箇所のILS影響区域の図-10及び写真-5・写真-6のように10tダンプを50mの間に5台配置し、そのうちGSアンテナに近いダンプトラックをダンプアップさせた状態とした。南北のそれぞれのILS制限区域において、最大3箇所で開催を実施した。

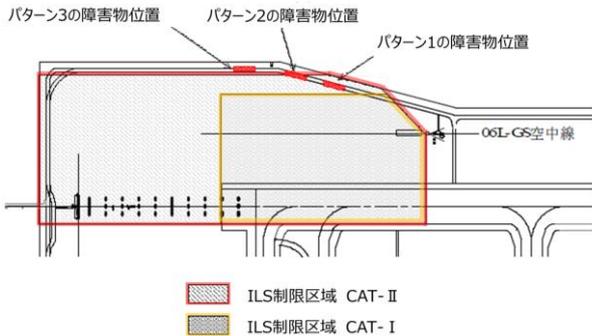


図-10 フライトチェック概要



写真-5 フライトチェックの様子



写真-6 フライトチェック時のダンプ配置の様子

フライトチェックを実施した結果、南北のILSともに2箇所の測定結果が良好であったため、ILSの電波に支障を与えることなく当該作業の実施が可能であることがわかった。

(4) ミニマム変更および作業中の気象管理

前項で述べた通り、当該作業がILSの電波に支障を与えないことを確認した。一方で、本工事におけるクレーン作業やコンクリート打設作業実施時の作業高さを検討した結果、計器飛行方式に影響を及ぼさない高さでの作業が困難であることが分かったため、航空局やエアライン等との調整を経て、以下の通り対応した。

CATI運用時については表-3の通り前述のミニマムを一時変更することで対応した。

CATII運用時のミニマムは現行通りとし、気象条件が悪化してCATII運用となる際には作業中断することとした。

表-3 計器飛行方式への対応

カテゴリー	CAT I	CAT II
最低気象条件	昼間 (7:00~18:00) MNm一時改訂	夜間 現行どおりのMNm
作業	継続	中断
運用	改訂MNm適用	現行MNm適用 SSP体制による
備考	OMNM改定値 (予定) 06L運用 DH(m): 61~69 RVR(m): 550~600 24R運用 DH(m): 64~70 RVR(m): 550~600	ORVR<1800mで中断開始 (20~25分で撤収) ○作業は昼間 (7:00~18:00) のみ

天候急転時には、運航に支障のないように、退避を含めた作業中断時間（最大 25 分）を厳守することとした。本工事ではコンクリートの打設が多く、コンクリート打設時は作業の中断に時間を要する。そのため、作業前・作業中の気象予報の確認には十分留意した。

作業前には、気象予報を確認の上、視程<2,000m が予想される場合には、作業の開始時刻の延期または休工とした。

作業中においては、視程の低下が見込まれる日は、現場責任者が滑走路上の気象情報（RVR等）を常時確認できる端末を保有することとし、RVR<1,800mとなった場合には、CATIIでの計器飛行方式に影響のある全作業の中断、ILS制限区域からの完全退去を厳守した。

以上の調整や周知には多大な時間を費やしたが、航空機の安全運航を絶対に侵すことのないよう、確実に施工調整を行うことを心掛けた。また、着工後も作業内容に応じて現場ルールや気象管理方法の見直しを適宜行った。

(5) 沈下への対応

関西国際空港では依然として地盤沈下が進行しており、2期島においては年間およそ30cmの沈下が発生している。本工事は4年半という長い工期であるため、品質管理、出来形管理、安全管理すべての面において地盤沈下の管理が重要である。ここでは施工の際に、留意した点をいくつか紹介する。

a) 沈下計測点の管理方法

関西国際空港では、毎年沈下状況を把握する為に地盤高測量を実施している。2期島A1～A4護岸の天端にもおよそ200m間隔で測量点がある。

そのため、今回の嵩上げで消失する護岸天端上の測量点を適宜盛替える必要があった。施工前に既設計測点の確認を行い、付近に仮計測点を設置した。施工期間中は前述の地盤高測量には仮計測点を用いることとし、当該箇所の上部工が完成後、計測点を復旧した。このような管理を行うことで工事の前後で、沈下計測が途切れないようにした。

さらに、嵩上げの影響により局所的に沈下が加速していないかもあわせて確認を行いながら施工を行った。

また嵩上げ前の護岸が不同沈下の影響により個々のブロックで天端高さが異なっている状態であった。本工事では、嵩上げ高さを一律3.0mとしているが、完成後の高さがあまりにもバラバラにならないように、出来形の許容範囲内で天端がなるだけ揃うようにブロックごとに嵩上高さを設定した。

b) 制限フェンスの移設

関西国際空港では、不同沈下の影響により護岸側より島内側の方が沈下大きい傾向にある。そのため、年々護岸際では転移表面が相対的に近づいてきているような状態であり、制限フェンスも転移表面に抵触するおそれがあるため、本工事において制限フェンスの移設をあわせて実施した。

制限フェンスを護岸近くに移設する方法もあるが、護岸の上部工が3.0m嵩上げされるため、それ自身がフェンスの機能を兼ねられ（制限フェンスは3.0mの高さ+忍び返し部を有する必要がある）、フェンスの本体・基礎の新設費用がほとんど不要となることから護岸上部に忍び返しのみを設置することとした。

5. まとめ

以上のように、関西国際空港では、地盤沈下の影響により、護岸の天端高が高潮・津波に対する必要高さを下回ることのないように、計画的に護岸の嵩上・補強工事を実施している。本工事では延長およそ6kmの2期島A1～A4護岸を嵩上げを実施した。写真-7は嵩上げ後の2期島護岸の様子である。現在は竣工に向けたラストスパートを迎えている状態で、残りわずかの工種も安全に成し遂げられるよう工事を進めたい。



写真-7 嵩上げ後の2期島護岸（制限フェンス移設前）

また、今後も沈下の状況を適切に把握し、高潮・津波に対する護岸の必要高さを下回らないように計画的に嵩上げを実施していく必要がある。

参考文献

1) 合田良実, 岸良安治, 神山豊: 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第4号, pp.3-44, 1975.