

関西国際空港の越波防止対策における 早期強靱化について

田中 さち・江川 祐輔

関西エアポート株式会社 基盤技術部 空港島保全グループ

(〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

関西国際空港1期島では、2018年台風21号により未曾有の浸水被害が発生した。1期島の大部分が浸水したことによって空港機能が麻痺し、旅客ターミナルの全面復旧まで2週間以上を要する甚大な被害となった。被害の復旧を果たすと同時に、関西エアポート株式会社は、被災の原因究明を行い、二度と同様の被害を繰り返さぬよう、防災機能強化対策に取り組んできた。同事業のうち、護岸部での越波対策では、その施工にあたり航空当局や周辺事業者と調整し、施工条件を整えることで、空港の強靱化を早期に実現することができた。本論文では、これら一連の取り組みについて報告する。

キーワード 空港, 越波防止対策, 強靱化

1. はじめに

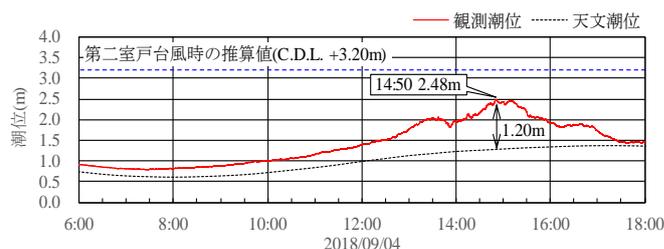
関西国際空港（以下、関西空港）では、2018年台風21号の襲来により、滑走路等の施設や航空機給油施設、貨物地区、ターミナル地区といった1期島の大部分が冠水した。その結果、第1ターミナルビルの約50%の電源喪失等が発生したことで各種機能が麻痺し、全面復旧まで約2週間を要する甚大な浸水被害が発生した。このような長期にわたる空港機能の停止は、関西圏の人流・物流に大きな影響を与えることとなった。

関西空港の空港運営者である関西エアポート株式会社（以下、当社）は、空港の設置管理者である新関西国際空港株式会社と共同で、二度と同様の被害を起さぬよう、空港の強靱化に取り組んできた。同事業のうち延長6km以上にわたる護岸部での越波対策では、設計条件を新たに設定し、既設護岸の嵩上げおよび護岸前面への消波ブロックの追加設置等を実施した。早期の強靱化が求められるなか、これらの対策では、航空当局との調整を行い、航空の安全を確保したうえで施工に有利な条件を整えたとともに、消波ブロックの施工においては大量の資材供給を可能にし、急速施工を実現するなどの工夫を取り入れた。以上の取り組みにより、当初想定より大幅に工期を短縮し、空港の強靱化を実現することができた。本論文では、これら一連の取り組みを報告する。

2. 台風21号による被災状況および災害対策¹⁾²⁾

(1) 台風21号の概要および被災状況

台風21号は、2018年9月4日13時過ぎに、関西空港のすぐ西側を中心気圧約955hPaのまま、時速約60km/hで通過し、想定を超える高波を発生させた。関西空港2期島の南西沖に設置されている観測塔での潮位記録は、天文潮位を1.20m上回る最高潮位C.D.L.+2.48mを記録した（図-1）。



* C.D.L.00m=TP.-0.816m

図-1 潮位の時系列変化

(2) 被災状況

図-2は台風21号通過後、撮影された航空写真である。関西空港1期島の広範囲が冠水していることが分かる。

図-3（左図）に示すのは、1期島東側に位置するVOR/DME部での護岸が海側に大きく転倒したものである。このような護岸の損傷は、関西空港島内への浸水を助長した原因のひとつであった（図-3（右図））



図-2 冠水した関西空港1期島



図-3 被災状況

(3) 災害対策の方針

2018年台風21号での被災を受け、当社および新関西国際空港株式会社は災害発生原因の究明と今後の災害対策の方針を策定するため、京都大学防災研究所の平石哲也教授を委員長とした「台風21号越波等検証委員会」（以下、委員会）を立ち上げた。委員会による調査の結果、島内への総浸水量は約230万～270万 m^3 で、浸水の主要因は想定を超える高波が護岸を越波したことであることが明らかになった。

当社は、委員会の助言のもと、今後同様の被害を繰り返さないよう台風等の高潮・高波時に対する「越波防止対策」に加え、想定外の浸水が発生した場合においても主要な空港機能を守るための「浸水被害防止対策」、さらには、被災後の早期復旧を果たすための「排水機能確保対策」という3本柱で防災機能強化を行う方針を策定した（図-4）。

越波防止対策は、図-5に示す護岸嵩上げ、消波ブロック設置、防潮壁の整備からなるものである。越波防止対策の計画にあたっては、1955年以降、2018年台風21号を含む63年間の波浪に関するデータ（429データ）を統計解析して、新たな設計波浪条件を設定している。

護岸嵩上げの対象区域は、台風21号で著しい越波があった東側・南側護岸に加えて、調査で今後の越波リスクが明らかになった北側を含んでおり、総延長6km以上に及ぶ。一方、消波ブロック設置の対象区域は、航空機の安全運航確保の観点から、護岸の嵩上げに制約がある東側護岸の大部分と南側護岸の全区間を含んでおり、総延長4.7kmに及ぶ。また、南側については、護岸を越波した水が滑走路側へ浸水しないよう、控え堤として防潮壁を新設した。

各護岸での旧設計条件および新設計条件の設計波浪高

さと護岸および消波ブロックの必要高さ、新設計条件の断面図を図-6に示す。なお、新設計条件では今後20年程度の気候変動による海面上昇量を考慮している。いずれの護岸も、新設計条件による必要高さの方が高くなったことが分かる。

これらの越波防止対策の効果をシミュレーションで検証した結果を図-7に示す。2018年台風21号のクラスの台風が再来する場合、約230万～270万 m^3 の浸水量が想定されていたが、新条件に対応した越波防止対策により浸水量が約1万 m^3 にまで抑えられる結果となっている。

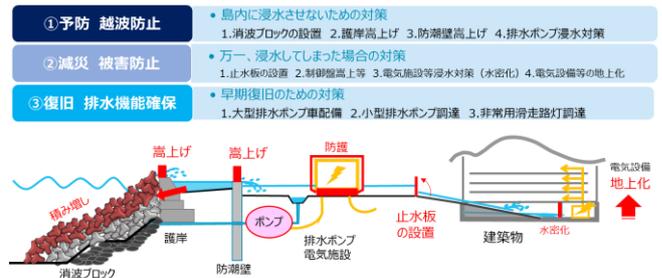


図-4 防災機能強化における方針

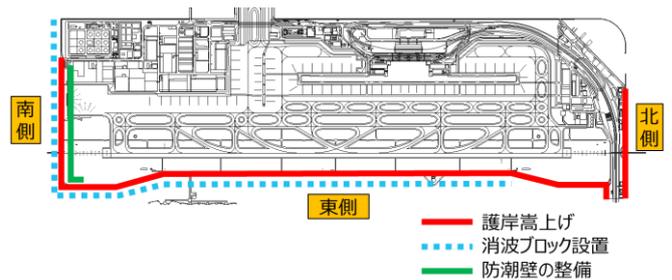


図-5 越波防止対策

エリア	南側護岸		東側護岸		北側護岸	
	旧	新	旧	新	旧	新
設計条件	なし	あり	なし	なし	あり	なし
消波工の有無	なし	あり	なし	なし	あり	なし
①設計波高(50年確率波)	3.6 m	3.9 m	1.7 m	2.2 m	2.8 m	3.4 m
②護岸必要高CDL	+6.0 m	+6.3 m	+4.5 m	+5.6 m	+4.6 m	+5.0 m
③消波ブロック必要高CDL	-	+4.8 m	-	-	+3.4 m	-
(参考)嵩上げ量	-	1.5 m	-	2.7 m	1.7 m	2.7 m

※新条件は、今後20年程度の海面上昇量0.1mを考慮

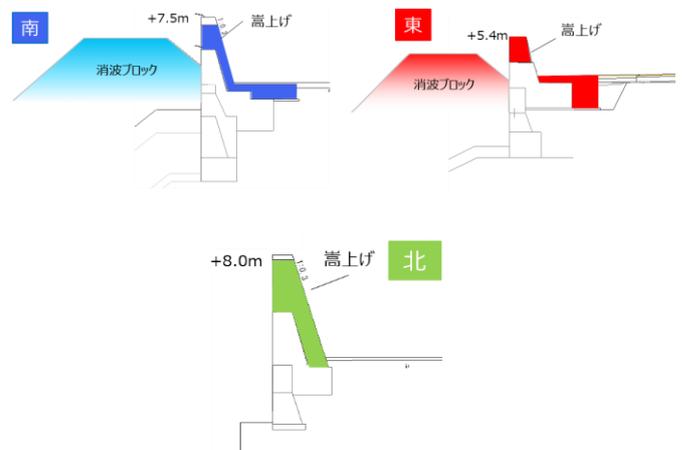


図-6 設計波浪高さと断面図



(a) 対策前



(b) 対策後

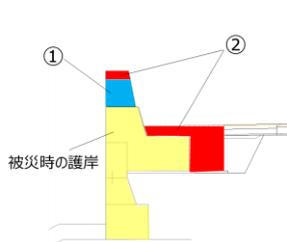
図-7 越波防止対策シミュレーション結果

3. 早期強靱化のための取り組み

(1) 護岸嵩上げの早期着工

約4.3kmと延長が長く、台風21号の際に最も越波量の多かった東側護岸については、台風被災時に既に旧設計波による嵩上げ計画が存在していた。そこで新設計波に対する断面設計を進めつつ、早期に越波に対する性能を確保するために2019年5月より図-8 (a)中の見直し前の嵩上げ計画断面①を先行着工することとした。さらに新設計波に対応する嵩上げ計画断面②の形状が確定した段階で速やかに2段階目の施工を行った。この結果、東側護岸については断面①の先行嵩上げが2019年11月に完了し、断面②の2段階目の嵩上げが2020年11月に完了した(図-8 (b))。

それぞれ延長が約2.0kmの南側護岸および北側護岸については、新設計波を考慮した設計断面を施工し、2021年4月に嵩上げが完了した(図-8 (c) (d))。なお、2019年の夏以降、台風の接近はあったものの、顕著な越波被害は発生していない。



(a) 東側護岸断面



(b) 東側護岸嵩上げ後



(c) 南側護岸嵩上げ後 (d) 北側護岸嵩上げ後

図-8 各護岸嵩上げ状況

(2) 消波ブロックの大量急速施工

越波防止対策の一つとして1期島の南側および東側の延長約4.7kmに対して、約4万個もの大量の消波ブロックを設置する計画となっていた。極力早期に強靱化を実現するには、消波ブロックの1日あたりの製作個数を増やす必要があった。当初消波ブロックの製作ヤードとして計画していた関西空港2期島ではコンクリート供給元となるプラントが限定され、大量かつ安定した供給が困難な状況であった。そこで、関西空港島外での製作ヤード用地について大阪府と調整し、阪南二区(岸和田市)を使用することとした。この結果、関西空港島内と岸和田の2箇所での製作が可能となり、1日あたり約1,100m³のコンクリートの大量安定供給を実現することができた(図-9 (a)~(c))。

消波ブロックの発注にあたっては、断面諸元や施工条件、波浪条件等の基本的条件を示しつつ、施工業者のより自由度の高い提案を引き出せるRFP(提案依頼書)を発出する方式を採用した。その結果、空隙率が高く経済性に有意な消波ブロックが各社から提案されたため、コンクリート量を大幅に削減することができ、工期の短縮およびコスト削減を実現できた。



(a) 消波ブロック製作ヤード位置図



(b) 関西空港2期島ヤード



(c) 阪南二区 (岸和田市)
図-9 消波ブロック製作ヤード

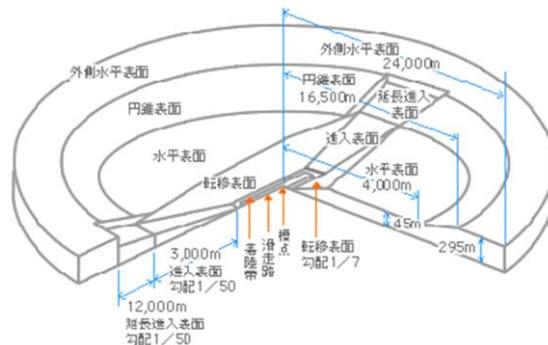


図-10 制限表面

(3) 空港特有の制約への対応

航空法では、航空機が安全に離着陸するために、滑走路を中心として障害物がない一定の空間として制限表面が定められている(図-10)。空港内の工事においてはこの制限表面を確保するという空港特有の制約がある。護岸の嵩上げにおいてはこの制約によって、滑走路閉鎖時の夜間かつ週3日という限られた時間での作業となり、必要工期が長くなる懸念があった。そこで、大阪航空局と事前に十分な調整を行い、進入表面および内側転移表面(図-11)の確保を必須とするとともに航空機の安全な離着陸を確保できる条件を設定することで、航空機の離着陸している昼間の時間帯においても施工できることとなった。具体的には、図-12に示すように施工エリアを計14のエリアに細分し、各細分エリアで作業可能な重機の高さや気象条件を詳細に設定した。

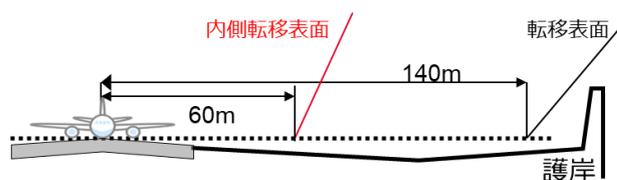


図-11 転移表面と内側転移表面

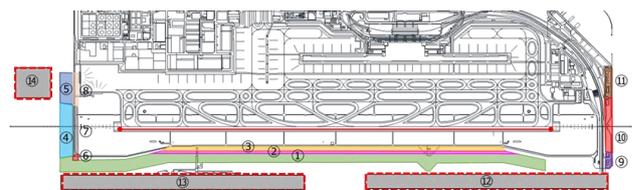


図-12 施工エリア

また、制限表面のみならず、空港には航空機を安全に離着陸させる様々な通信機器や無線施設等などがあり、重機作業のシミュレーションにより電波に影響がない高さを検証しながら施工を進めた。

このように空港を運用しながらの工事であったが、一連の工夫と多くの関係者・事業者の協力により、当初計画の2023年3月完成予定に対し、2021年10月に災害対策工事が完了し、早期強靱化が実現できた(図-13)。

4. おわりに

関西空港では、2018年台風21号による被災を受けて、被災直後から約3年に渡り防災事業として越波防止対策を進めてきた。騒音問題の観点から沖合5kmにつくられた関西空港では、全周海に囲まれた立地条件であることから越波対策は切り離せない問題である。本論文で示した越波防止対策における早期強靱化の一連の取り組みによって関西空港は現在、2018年台風21号クラスの台風・高波が再来しても、顕著な被害を受けることなく空港機能を維持できるようになった。今後はこれらの対策施設が所定の機能を発揮できるようにモニタリングおよび維持管理に努める予定である。引き続き、空港を安全・安心にご利用いただくための環境づくりを進めていきたい。

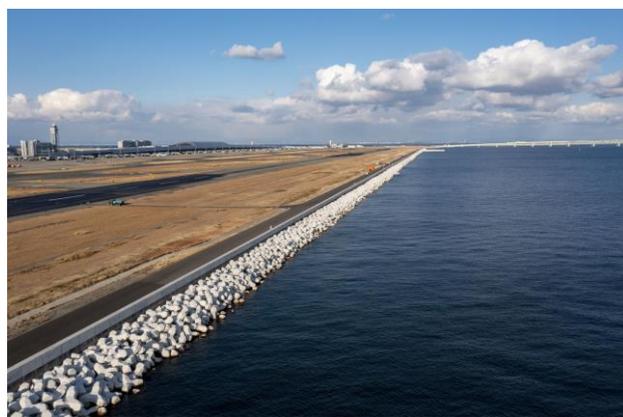


図-13 消波ブロックの設置完了状況

参考文献

- 1) 伊藤康佑, 片木聖樹, 水上純一, 熊谷健蔵: 「関西国際空港における台風201821号による浸水要因と浸水状況の再現」, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.75, No.2, pp.307-312, 2019
- 2) 塚野裕太, 瀬口均: 「2018年台風21号による被災を受けた関西国際空港の越波対策について」, 令和2年度近畿地方整備局研究発表会