

空港施設の水害リスク診断及びA2-BCP作成支援手法の開発

パシフィックコンサルタンツ株式会社

国土基盤事業本部 河上展久

国土基盤事業本部 防災危機管理部 危機管理室 飯田進史

nobuhisa.kawakami@tk.pacific.co.jp shinji.iida@tk.pacific.co.jp

1. はじめに

近年、我が国ではインフラ整備の計画や設計の基準としてきた外力規模を上回る高潮、河川氾濫、土砂災害などによる水害が全国各地で発生しており、その被害の甚大さが顕著になってきている。令和元年の台風第19号では、東日本の広範囲で河川の氾濫、土砂災害や暴風等により、人的被害や住家被害、電気・水道・道路などのライフラインへの被害、航空機や鉄道の運休等の交通障害も発生¹⁾するなど大規模災害へと発展した。

空港における近年の風水害としては、平成30年9月台風第21号の高潮による関西国際空港の例が挙げられる。既往最高潮位(第2室戸台風の潮位)は下回ったものの、波高が既往最高を記録し、護岸を越波して、空港施設に浸水被害をもたらした。総浸水量は約230~270万m³にも上り、関空1期島内で広範囲にわたり大規模な浸水が発生し、A滑走路等の水没に伴う航空機の離着陸不能、第1旅客ターミナルビルの地下区画の高圧電気設備3基の損傷に伴う電力供給の停止、排水ポンプの受配電盤の破損に伴う排水ポンプ3カ所の機能喪失等の被害が発生した。これを受け、関西国際空港では、「防災機能強化対策事業計画」を策定し、越波防止対策、浸水被害防止対策、排水機能確保対策等を柱として総合的かつ計画的な防災機能強化対策を実施することとしている²⁾。令和元年9月台風第15号では、新東京国際空港において、鉄道各社の運休等の公共交通機関の影響等により1万人を超える利用者が空港施設で一時孤立するといった事案も報道³⁾され、いわゆる帰宅難民を出すなど空港ア

クセスに支障⁴⁾を来した。

空港は航空旅客のみならず国内外の多くの利用者が訪れる一大交流拠点となるべきものであり、空港アクセスも含め空港機能の停止という事態は極力避けるべきであることから、直接的な風水害被害が生じていない空港においても、広義の意味での災害対応を行い、空港業務を継続、あるいは可能な限り早期に復旧させることが社会的な要請事項となっていることが明らかになった。空港管理者には高潮、河川氾濫や集中豪雨による内水氾濫、土砂災害など激甚化・多様化が想定される風水害のリスクを正確に把握し、空港施設の直接被害だけでなく、周辺交通の停止・途絶に伴う間接被害といったことも想定し、空港周辺も含めた大規模災害に強い空港づくり⁵⁾が求められている。

本取組は、災害に強い空港づくりを実現するための一つの方策となるA2-BCPの策定を支援するものであり、策定のみならず実効性の高い計画とするためのPDCAサイクルを念頭に置いた取組としてその手法を開発した。

2. 本取組の概要と検討手順

防災対策や計画を検討する場合、対象とする施設や周辺地域にどのようなリスクがあるかを正確に把握しなければならない。あらゆるリスクを踏まえた上で、被害想定や実施すべき対応について優先順位を付けて計画・対応していく必要がある。

本取組は、第一段階として行政によって公表されている情報も参考にしつつ、水理シミュレーションを用いた空港の水害リスク評価を定量的に行

い、空港及び周辺地域のどこにどのような水害リスクがあるかを把握する。第二段階では、定量化された水害リスクを踏まえ、旅客輸送事業者やアクセス交通事業者も含めた多様な空港関係者の参画を得たワークショップを企画・運営し、A2-BCP 作成支援を行う。

BCP は作成自体が目的ではなく、発災時に適切に運用され、早期の事業再開を実現することが目的であり、計画したことを実際に実現できる実効性を高めることが重要である。本取組の第二段階では、空港管理会社だけでなく、空港業務に関わるステークホルダーの参画を得てあらゆる視点で様々なチェックを加えながら取組を進めていく。本取組は、このような多方面からのチェックを BCP 作成後も継続的に実施していくことを前提にした取組であり、計画策定後の PDCA サイクルを実現するものである。

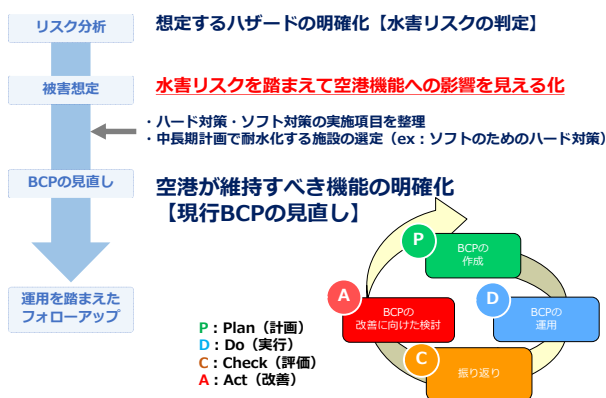


図 1 検討手順 PDCA

3. 水理シミュレーションを用いた水害リスクの定量評価手法

(1) 水理シミュレーションの目的

風水害には、高潮、河川氾濫（大河川・中小河川）、内水氾濫、土砂災害、風害があり、行政によって浸水想定区域図やハザードマップという静的な事前情報としてのリスク情報が公開されているものもあるが、比較的高頻度の確率で発生しうる内水氾濫については令和元年 10 月時点において、多くの自治体で公表に至っておらず、空港及び周辺にお

ける内水氾濫リスクを把握するためには水理シミュレーションを実施する必要がある。本取組では、空港立地条件や行政の公開する浸水想定区域図や水害ハザードマップ等も参考に対象空港において考慮すべき水害リスクの種類を見定め、その上で空港及び周辺地域も含めた水害リスクの種類とその程度を定量的に評価するために必要なシミュレーションモデルを検討する。

ここでは、それぞれ目的とアウトプットの異なる比較的容易に構築可能な概略シミュレーションモデル（以下、「概略モデル」という。）と、空港施設及び地下空間・地下鉄なども対象とした詳細シミュレーションモデル（以下、「詳細モデル」という。）について記述する。

(2) 概略モデルの概要

水害リスクを検討する上で最も支配的な要因は地盤高であり、地盤高を再現したシミュレーションモデルを構築することで、空港及び周辺地域のおおよその水害リスクを想定することが可能である。他方で、令和元年現在、国土地理院が「基盤地図情報 数値標高モデル」として、5m メッシュあるいは 10m メッシュの精度でほぼ日本全国の地盤高を無料でウェブ提供⁶⁾しており、高精細な地盤高データを安易に入手できる環境にある。

概略モデルは、地表面のみを対象としてシミュレーションを行うモデルとする。その計算メッシュは、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」⁷⁾で目安とされている 25m の直交格子でモデル化することを基本とし、国土地理院の提供する地盤高データ等を用いて 25m メッシュ平均地盤高を算出することでモデル化を行う。ただし、空港及び周辺地域の雨水排水能力を無視することはできないため、簡易モデルでは、対象空港の整備上の排水能力（時間 50mm までは排水できるなど）や周辺地域の下水道排水能力を一定値で考慮することで排水機構を簡略的にモデル化する。その他のモデル化に必要な諸パラメータは同マニュアルを参考にして適宜設定する。なお、地盤高データ等は別途対象空港の

保有するデータや図面類を活用することも可能であり、現状の地盤高だけでなく、例えば滑走路等の新設・改修後の地盤高を考慮したモデル化も可能である。

(3) 詳細モデルの概要

概略モデルは地表面の水害リスクを評価することを目的としているが、下水道等の排水施設の影響や地下空間への浸水などもモデル化の対象に含めた詳細モデルを構築することで、地表面に加えて下水道排水機構、貯留池の影響評価、地下空間への浸水、地下空間内での浸水の拡大経路なども検討可能になる。

詳細モデルは、地表面と下水道、排水・貯留施設、地下空間などあらゆる地物のモデルを連動させ、一体的に解くことができるようモデル化を行うため、モデル条件を変更することで排水施設の設置効果を定量的に⁸⁾評価したり、地下空間出入口に止水板を立てる事による地下浸水の低減効果を定量的に評価したりすることもでき、浸水対策の費用対効果などの検討ツールにも用いる事ができ、対象空港のリスクを知る共通基盤として合意形成に資するものとなり得る。

(4) 外力条件の考え方

上記までで記述した概略モデル及び詳細モデルは地物のモデル化であり、シミュレーション実施にあたっては外力条件(高潮、洪水、降雨の規模等)

をインプットする必要がある。外力条件は目的に応じて台風性の豪雨や局地的集中豪雨などあらゆる条件設定が可能である。また、一般的に行政が公表している水害ハザードマップ等は、50年あるいは100年に一度といった低頻度であるが大規模な外力を想定したシミュレーション結果に基づき作成されている場合が多い。ハザードマップのような低頻度だが大規模な外力条件下の水害リスクに加えて、高頻度だが小規模の外力条件下における水害リスクも併せて検討することも可能であり、発生確率も踏まえた水害リスクを定量的に把握することができる。これにより、小規模な外力条件下であっても浸水が生じ得る箇所や、高い頻度で深刻な被害を生じ得るリスク箇所等を発現させることも可能となる。

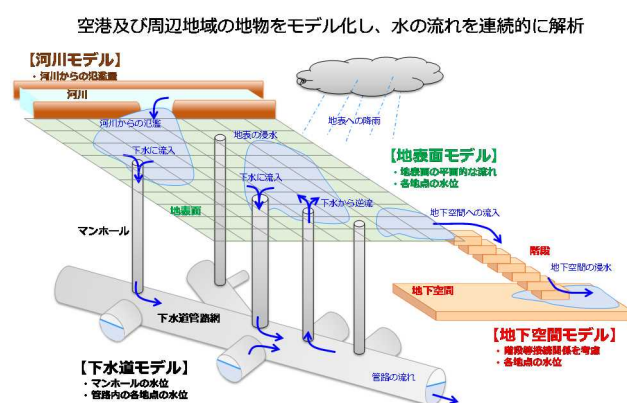


図 2 シミュレーションモデルのイメージ

表 1 概略モデルと詳細モデルの概要及び検討アウトプット比較

	概略モデル	詳細モデル
検討概要	空港及び周辺地域の地表面を対象にシミュレーションを実施し、地上の水害リスクを定量的に評価	地表面に加え、下水道網、地下空間等をモデル化し、各モデルの接続関係も再現したシミュレーションを実施し、地上・地下含めた空港施設全体の水害リスクを定量的に評価
モデル化対象	地表面、下水道 (処理能力のみ)	地表面、下水道 (マンホール・管路・貯留施設)、地下空間 (階段、トンネル、ビル地階、地下鉄等)
アウトプット例	<ul style="list-style-type: none"> 様々な降雨規模による浸水深・浸水位 地上の任意箇所の浸水深・浸水位の数値、時間変化 各降雨規模空港内浸水図 現状の水害リスク評価 (降雨規模別評価) 	<ul style="list-style-type: none"> 概略検討結果のすべて 施設内・地下空間の浸水深 地上から地下、地下空間内の浸水伝播経路 排水施設や止水施設の影響評価

4. 多様な空港関係者の参画を得たワークショップによる A2-BCP 策定支援

(1) ワークショップの企画・運営

空港は多様な利用者や関係機関が複数存在する都市そのものであり、空港は運営主体のみならず多様なステークホルダーの参画を得て防災計画を作成あるいは見直すことが計画の実効性を高める上で重要な手段になる。

本取組では、空港管理者と関係機関が一堂に会して、水理シミュレーションによって定量化された対象空港の水害リスクから現実的な水害シナリオを仮定し、想定される被害を網羅的に抽出、時系列の防災行動であるタイムラインによる対応順序と役割分担を明確化、課題を解決するための方法について実現性と優先度等について検討するワークショップを企画・運営することで、A2-BCP 作成支援を行う。

ワークショップは、「被害・影響分析」、「行動分析」、「課題・ニーズ分析」を段階的に検討するため、複数回に分けて実施する。表 2 には標準的なワークショップの段階的实施例を示しているが、必要に応じてサブワーキングを設けるなど対象空港の実情に合わせ柔軟なワークショップ運営も可能である。また、必要に応じて、実際の危険箇所を関係者合同で現地視察するなど、さらに共通認識を高める方法もワークショップの一環として実施することも有効な手段となる。

(2) 事前ヒアリング・準備・企画

ワークショップを運営する前段階として、対象空港施設の図面類及び水害以外の災害等を対象とした既存の BCP や防災計画、被災実績等の情報も含めて資料収集を行い、十分な机上調査を実施する。また、ワークショップの主体となる空港管理者へのヒアリングも併せて行い、対象空港の現状把握をした上で、ワークショップの準備・企画を行う。

(3) WS1：被害・影響分析の進め方

被害・影響分析のワークショップにおいては、水理シミュレーションによって定量化した水害リスクをもとにした被害想定を行い、浸水が空港内施設の機能不全や利用者の安全、テナントの営業、鉄道運行などに与える影響と、その影響によってさらに波及が想定されるものまで含めて連鎖的な被害もイメージーションし、被災要因図⁹⁾としてとりまとめる。

被災要因図を検討する際には、複数の関係者がそれぞれの立場から幅広い議論をしていくことで、空港管理者だけでは気づけないような事柄を可能な限り抽出し、空港全体で起こりうる被害想定に漏れが生じないよう網羅的な検討を行う。

多くの関係者が一堂に会し、空港機能に重大な被害を発生させる要因は何かを分析し、空港機能への障害が懸念される箇所を図上に記載することで関係者間の認識の共有を図る。

表 2 ワークショップの実施手順

WS1：被害・影響分析	<ul style="list-style-type: none">想定場面に対して、被害や対応をイメージし、それらを参加者全員で地図上で共有し議論することで、水害への理解だけでなく、関係者の認識や行動も共有する。一堂に会しているメリットを生かし、空港全体で起こりうる被害想定に漏れが生じないよう網羅的な検討を行う。
WS2：行動分析	<ul style="list-style-type: none">WS1で整理した被害像をもとに、起こりうる時系列の事象に対して、各関係者が対処すべき防災行動を抽出し、対応順序と役割分担を明確にする。それぞれの防災行動を時系列に羅列するのではなく、防災行動の関連性や行動順序などについて議論する。
WS3：課題・ニーズ分析	<ul style="list-style-type: none">WS2で整理したタイムラインを実現するための課題や必要な技術や情報、優先度（重要度・緊急度）などを評価する。選定した課題に対して本来あるべき理想の状況とのギャップ分析を行う。

(4) WS2：行動分析の進め方

行動分析のワークショップでは、WS1 で整理した被害像と水害リスク分析によって明らかになった水害シナリオをもとに、関係機関が対処すべき行動を時系列で列記したタイムラインを整理する。関係者間それぞれの防災行動を時系列に羅列するのではなく、それぞれの防災行動の関連性や合理的な行動順序などについて関係機関で議論をしながら整理する。例えば、情報収集した内容を共有するという行動があれば、同じ内容をバラバラに収集する必要はなくなるなど、重複する内容や共通で行える事項などを洗い出し、いつ・だれが・何をするかを明確にして共有する。空港管理者が中心となって空港全体で最大限の防災効果が発揮できる対応順序と役割分担を持ったタイムラインとなることを念頭に置いて検討する。

(5) 課題・ニーズ分析の進め方

課題・ニーズ分析のワークショップでは、WS2 で整理したタイムライン及び WS1 で作成した要因分析図を踏まえ、優先的に対応すべき課題を選定し、その課題に対して本来あるべき理想の状況とのギャップ分析を行い、課題解決への要求事項、実現方法、実現可能性、導入効果を評価する。

評価結果は、例えば下図のような事業化に向けた方向性を整理するためのマッピングをするなど、成果の見える化を行うことで、関係者で共通の認識を持って、計画策定等に役立てる。

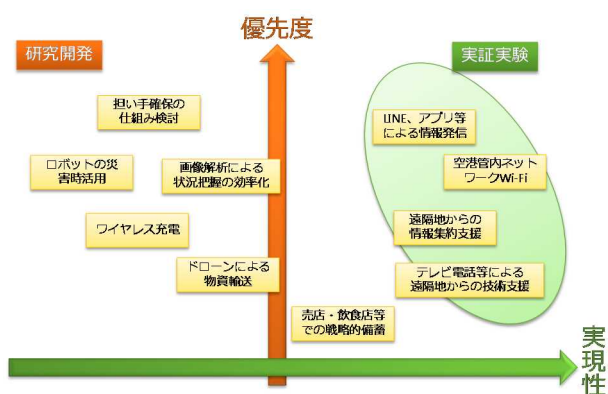


図 3 事業化の方向性のイメージ

(6) 水害リスク診断

本取組では、水理シミュレーションによって得られた結果とワークショップによる検討を踏まえ、現状の空港が抱えている水害リスクと対応力とをとりまとめた「水害リスク診断」を実施する。

ここでいう水害リスク診断とは、定量化された水害リスクが空港機能に与える影響や、対象空港の現状の防災力を見える化するものである。例えば「大雨・浸水を把握する」、「浸水を防止する」、「安全に避難する」等の診断項目を設定し、これらについてランク評価した結果をチャート形式でとりまとめる。

このように防災リスクを見える化しておくことで、計画策定後 (P) の防災訓練 (D) などの効果をモニタリング (C) が容易になり、課題への対応 (A) を的確に検討することができ、PDCA サイクルの実現に資するものとなるとともに、ソフト・ハードの対策効果の感度分析にも資するものとなる。

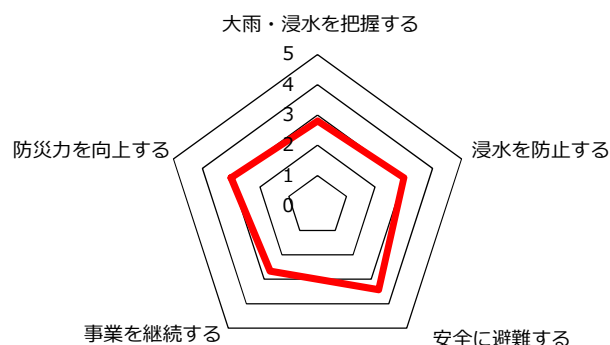


図 4 ランク評価のチャート形式イメージ

5. リアルタイム予測技術の活用

本取組では、外力条件を想定降雨や過去の降雨とすることを前提とした水害リスク検討と BCP 策定支援について記述しているが、実際の災害対応では、気象庁や国土交通省、報道などの情報を入手しながら、タイムラインを発動させることとなる。台風性の降雨であれば数日前からの対応が可能であるが、いわゆるゲリラ豪雨のような突発的な降雨に対しては十分な準備時間を取れない可能性もあり、リアルタイム情報として気象庁の予測降雨

なども活用することが望ましい。

大沼・飯田らの、気象庁の配信する予測雨量データである高解像度降水ナウキャストや国土交通省の配信する XRAIN のメッシュ雨量データを用いた高速演算モデルを使った浸水予測情報配信システムの構築¹⁰⁾など、予測降雨データを用いたリアルタイム浸水予測技術などを活用することも有効な手段になり得る。

実効性の高い BCP の策定と併せ、リアルタイム浸水予測技術を活用することも空港の防災力向上に一層寄与するものと考えられる。

6. おわりに

全国主要空港では、各空港の空港長を中心とした「統括的災害マネジメント」という考え方を共有し、大規模自然災害に強い空港づくりを目指していく⁵⁾こととなるが、本取組は、これを実現するための具体的な方策になり得るものである。本取組を通じて、空港の A2-BCP 策定あるいは見直しによって空港機能全体の防災力を高めるだけでなく、空港業務に関わる様々な関係者が空港に求められている社会的要請事項や現状の技術や情報を再認識し、空港長を中心とした強固なネットワーク構築や交流の場の形成にも寄与するものと考えられる。

また、本取組によって形成された関係機関間ネットワークは取組後にも防災訓練などの枠組みで活用することもでき、BCP 策定後も様々な想定シナリオで継続的に訓練を重ねることで、より強固な防災力向上を実現し、空港の統括的災害マネジメントの実現に資するものとなることが期待される。

参考文献

- 1) 気象庁：台風第 19 号による大雨、暴風等, 2019. 10. 15
- 2) 関西国際空港：災害対策（ハード面）について（関西国際空港の防災機能強化対策事業計画）, 2019. 05. 31
- 3) 日本経済新聞：成田空港が孤立、1.3 万人足止め, 2019. 9. 10 朝刊
- 4) 内閣府：令和元年台風第 15 号に係る関係省庁災害対策会議議事次第, 2019. 9. 10
- 5) 国土交通省：災害多発時代に備えよ!!~空港における「統括的災害マネジメント」への転換~, 2019. 4
- 6) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 7) 国土交通省：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第 4 版）, 2017. 10. 6
- 8) 武富一秀, 舘健一郎, 安田浩保, 金木誠, 飯田進史, 平川了治, 谷岡康, 高木茂知：地下空間のリスク評価手法の検討, 河川技術論文集, 第 9 巻, 2003. 6
- 9) 大規模水災害時の避難手法検討会：大規模水災害時の避難手法検討ガイドブック（案）, 2015. 3
- 10) 大沼克弘, 伊藤弘之, 小林正和, 堀江真, 五十嵐孝浩, 松原健二, 小林隆洋, 飯田進史：高速演算モデルを使った浸水予測情報配信システムの構築, 河川技術論文集, 第 23 巻, 2017. 6