

地下空間防災システムの高度化に関する検討

STUDY ON THE SOPHISTICATION OF THE UNDERGROUND SPACE DISASTER PREVENTION SYSTEM

西尾 信彦^{1*}・井下 泰具²・伊藤 博幸³・森兼 政行⁴

Nobuhiko NISHIO^{1*}, Yasutomo INOSHITA², Hiroyuki ITO³,
and Masayuki MORIKANE⁴

In recent years, with the increase of the frequency of occurrence of localized torrential rain, there is a growing flood risk to the underground space. In order to address this risk, since the decision as flood fighting activities and evacuation is required in a short time, to grasp the real-time rainfall situation, inundation, it is necessary to appropriately respond. In addition, if the rain water in the basement space flows, connected to underground shopping center and underground station, in order to also cover damage to buildings, etc., is also important cooperation between the facility administrator.

In this study, underground space, flood monitoring system to target the district Umeda Osaka Bill is congested (rain gauge, IP camera) to develop a, between the information and each of the situation more than one facility administrator of the disaster action We have developed an application that can be shared in. We conducted a flood simulation, consider the time line of the flood-fighting activities and evacuation plan from flooded properties of the time series of each doorway, to reflect the results in the flood monitoring system, to support strengthening of the initial response system in the event of a disaster aim was.

Key Words : *Underground space , Urban disaster , Flood simulation , Application, Cooperation of facility administrator , Flood monitoring system*

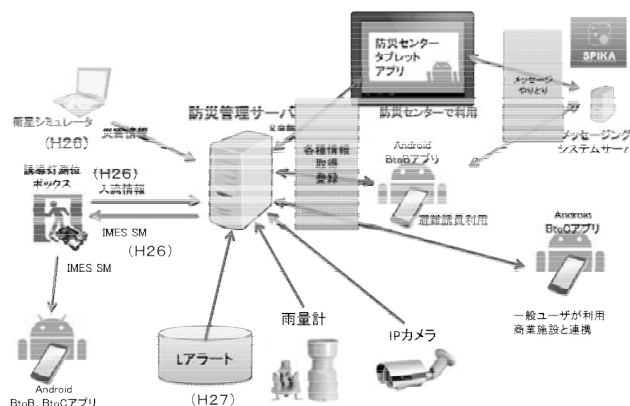
1. はじめに

近年, 局地的集中豪雨の発生頻度の増加に伴い, 地下空間への浸水リスクが高まっている. このリスクに対処していくためには, 水防活動や避難誘導などの判断が短時間で求められることから, リアルタイムかつピンポイントでの降雨状況や道路冠水状況を把握し, 適切に対応することが必要である. また, 地下空間に雨水が流入すると, 接続する地下街や地下駅, ビル等にも被害が及ぶため, 施設管理者間での連携も重要となる.

大阪市では, 『大阪市地下空間浸水対策協議会』を設置し, 大阪駅周辺地区について先行的に検討を進め, 水害時の情報連絡体制や, 水害(内水氾濫, 淀川の氾濫, 津波)ごとの避難誘導方策, 内水氾濫に対する止水対策についてまとめた「大阪駅周辺地区 地下空間浸水対策計画Ver.1」を作成した.

本検討では, この計画を参考にし, 地下街, 地下駅, ビルが輻輳する大阪梅田地区を対象に浸水監視システム

(雨量計, IPカメラ)を整備し, その情報と各々の災害時行動の状況を複数の施設管理者間で共有できるアプリケーションを開発した(図-1, 図-2).



(注) 図中のH26, H27と記した部分はH28年度時点では機能対象外となっている.

図-1 事業全体の概要

キーワード: 地下空間, 都市型災害, 浸水シミュレーション, アプリケーション, 施設管理者間連携, 浸水監視システム

¹ 非会員 立命館大学 情報理工学部 教授 Ritsumeikan Univ. (E-mail: nishio@cs.ritsumei.ac.jp)

² 正会員 大阪地下街株式会社 取締役兼施設部長 Osaka Chikagai Co., Ltd.

³ 非会員 大阪地下街株式会社 施設計画課長 Osaka Chikagai Co., Ltd.

⁴ 正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 環境グループ 統括リーダー Chuo Fukken Consultants Co., Ltd.

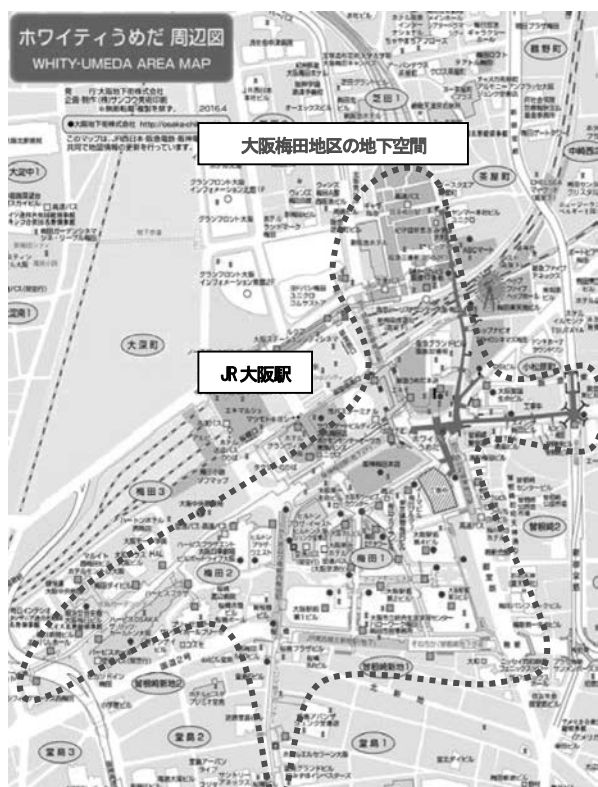


図-2 対象地下街の概略位置¹⁾

一方で、浸水シミュレーションを実施し、出入口ごとの時系列の浸水特性から水防活動・避難誘導計画のタイムラインを検討し、その結果を浸水監視システムに反映させ、災害時の初動体制の支援強化を図った。

2. 浸水シミュレーションの実施

災害時に対応できる職員・警備員等の人数には限りがあるため、複数の出入口に対して、同時に止水活動はできないため、限られた人員で効率的に止水活動を行う必要がある。

そのため、各出入口に対する浸水特性及び止水活動の優先順位を明確化することが重要であり、浸水特性を定量的に評価するため、浸水シミュレーションを実施した。

(1) 流出解析モデル

流出解析モデルの概要は、図-3に示すとおりであり、地表面モデル、下水道管路網モデル及び地上氾濫モデルを組み合わせたものとし、「Infoworks CS」を活用したモデルを用いた²⁾。なお、今回は、地下街への出入口までを解析対象範囲とした。

解析対象範囲は、図-4に示すとおりであり、対象地区を含む下水道処理区（海老江処理区：1,215ha）を対象として、地上氾濫解析を実施し、対象地区の出入口約250箇所について、地下への流入特性（流入順序や流入開始

時間など）を把握するための浸水シミュレーションを実施した。

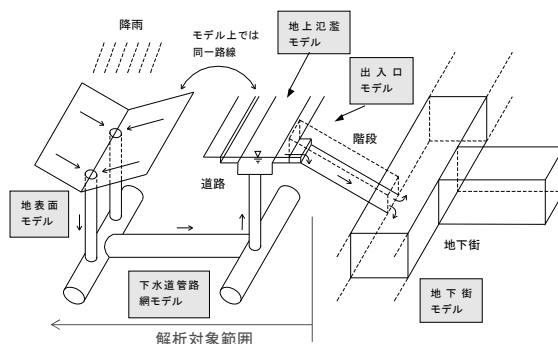


図-3 解析モデルの概要

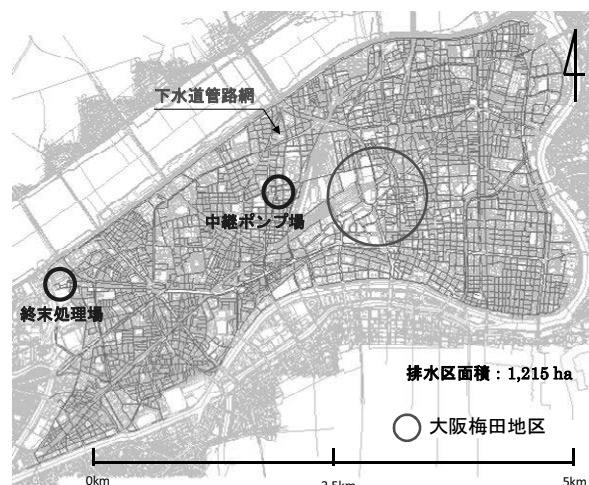


図-4 解析対象範囲

(2) 想定降雨

想定降雨量は、大阪市市内において今後十分に発生しうる降雨を対象とするために、都市部で観測された実績降雨である杉並豪雨（平成17年9月4日：東京都）及び豊中豪雨（平成18年8月22日：大阪府）（図-5）を基に、100mm/hrの2時間継続と150mm/hrの1時間継続の2種類のモデル降雨とした（図-6）。

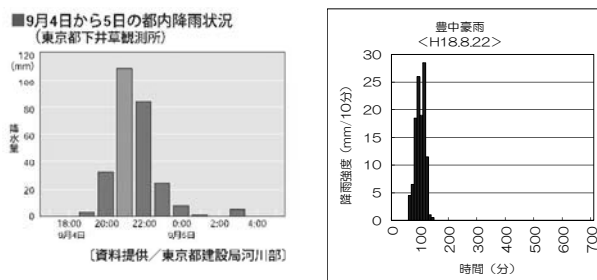


図-5 実績降雨波形（左：杉並豪雨³⁾，右：豊中豪雨）

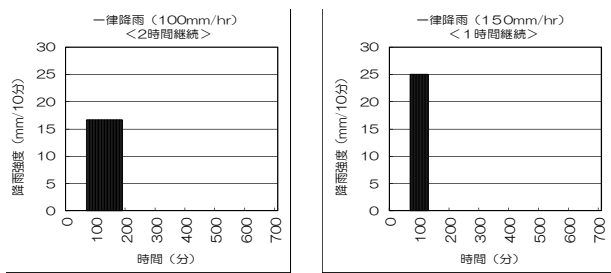


図-6 モデル降雨波形

(3) 出入口別時系列水位の算出

前述した(1)及び(2)で示した条件を基に、地下街出入口ごとの降雨開始からの水位を時系列に算出することで、道路冠水や地下への流入（止水板未設定時）が発生する時間を把握した（図-7）。

図-7に示す出入口のケースでは、降雨開始から50分後に道路冠水（5cm以上）が始まり、その85分後（降雨開始から135分後）に水位が出入口高を超えることを示している。

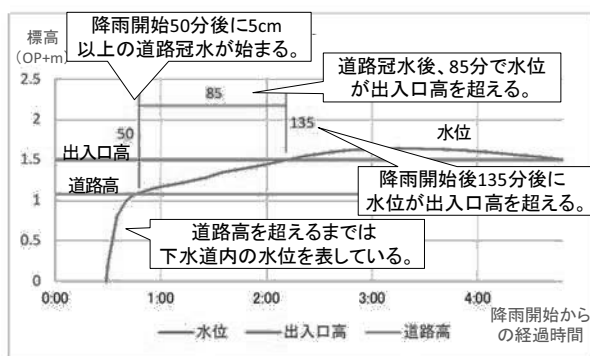


図-7 時系列水位状況図（100mm/hr×1時間降雨の一例）

3. 避難行動計画（タイムライン）の策定

浸水シミュレーションの実施結果及び止水設備に関する情報を基に、避難行動計画（タイムライン）を策定し、止水作業の開始時間の目安や防災センターからの情報提供内容を定めた。

(1) 止水板設置時間の設定

地下街出入口の止水板設置の開始指示を出す際には、浸水シミュレーションから把握した各出入口の浸水特性に加えて、各出入口の止水作業に要する時間及び人員等を踏まえる必要がある。

本来、止水板タイプにより止水板設置時間は多少異なるが、ここでは過去の水防訓練の実績等から「一律20分と設定」した。

(2) 浸水特性

出入口部における時系列的な浸水特性は、大別すると図-8及び以下に示す4タイプに分けることができる。

- ① 道路冠水後、すぐに地下流入が開始される出入口
- ② 道路冠水は比較的早いが、地下流入開始までは比較的期間がある出入口
- ③ 道路冠水は比較的遅いが、その後すぐに地下流入が開始される出入口
- ④ 道路冠水するが、地下流入しない出入口（ただし、出入口高までの余裕がない、またはモデル降雨以上の降雨が継続した場合は流入する出入口）

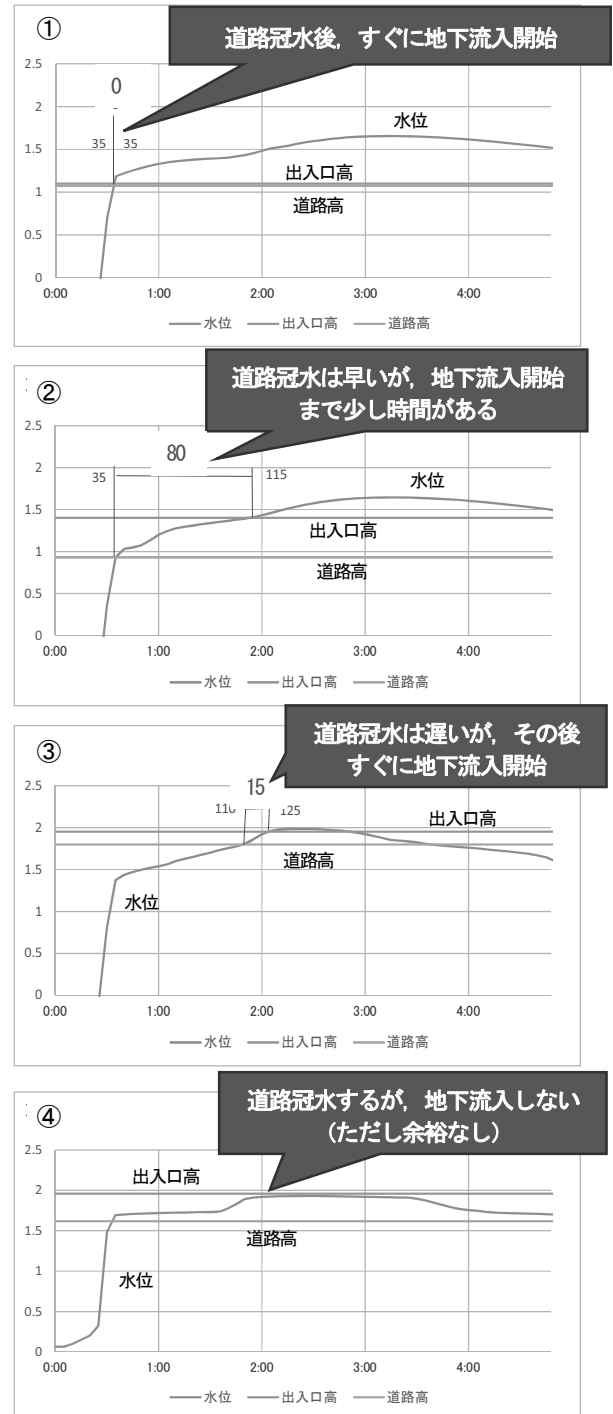


図-8 浸水特性の整理

(3) 出入口ごとのグループ設定

被災時における防災センターからの止水作業等の指示にあたっては、出入口ごとに個別に指示を出すと、情報が錯綜し、作業が煩雑になる恐れがある。そのため、各出入口の浸水特性や止水設備の状況、係員の配置状況等を踏まえた水防活動の優先順位ごとに予めグルーピングし、降雨状況に応じて段階的に指示を出すことが有効であると考えられる。

本検討においては、浸水シミュレーションの結果を踏まえて6グループを作成した(表-1)。

a) A-1グループ

「A-1」グループは、下水道の排水能力（計画上では60mm/hrであるが、実情と安全側を考慮し50mm/hr）相当である8mm/10分（≒ 50mm/hr）を超過する降雨が発生した場合に最初に警戒情報を出すレベルであり、対象は全出入り口としている。

b) A-2グループ

「A-2」グループは、浸水シミュレーションの結果、 $100\text{mm/hr} \times 2$ 時間もしくは $150\text{mm/hr} \times 1$ 時間の降雨（以下「概ね 100mm/hr 相当」という。）が発生した場合に、降雨開始から40分以内に地下への流入が発生する最も緊急性の高い出入口を対象とした（図-8①のタイプ）。

準備時間も含め止水板設置に要する時間を30分（止水板設置に要する時間20分＋準備時間10分）と考え、概ね100mm/hr相当である20mm/10分を閾値として、止水作業を開始する必要がある出入り口である。

c) Bグループ

「B」グループは、概ね100mm/hr相当の降雨が発生した場合に、降雨開始から60分以内に地下への流入が発生する出入口を対象とし、A-2グループの次に緊急性の高い出入口とした。

準備時間も含め止水板設置に要する時間を40分（止水板設置に要する時間20分＋準備時間20分）と考え、概ね100mm/hr相当である30mm/20分を閾値として、止水作業を開始する必要がある出入口である。

d) Cグループ

「C」グループは、概ね100mm/hr相当の降雨が発生した場合に、地下に流入する可能性のある全ての出入口を対象とした。

e) D-1グループ

「D-1」グループは、概ね100mm/hr相当の降雨が発生した場合に、地下へは流入しないが、出入口高と道路冠水高の差が0.1m以下となる出入口を対象とした（図-8④のタイプ）。

f) D-2グループ

「D-2」グループは、概ね100mm/hr相当の降雨が発生した場合に、地下へは流入しないが、東海豪雨並の降雨が発生した場合に地下に流入する可能性のある出入口を

対象とした.

表-1 出入口のグルーピング

グループ	雨量(mm) /時間(分)	コメント表示対象出入口	備考
A-1	8mm以上 /10分	全出入口	下水道の処理能力の限界(50mm/hr)を超過する降雨となる可能性がある
A-2	20mm以上 /10分	浸水シミュレーションの結果、100mm/hr × 2時間もしくは150mm/hr × 1時間の降雨の場合に、降雨開始から40分以内に流水する可能性のある出入口	シミュレーションの結果、以後30分以内に止水作業を実施する必要がある
B	30mm以上 /20分	浸水シミュレーションの結果、100mm/hr × 2時間もしくは150mm/hr × 1時間の降雨の場合に、降雨開始から60分以内に流水する可能性のある出入口	シミュレーションの結果、以後40分以内に止水作業を実施する必要がある
C	50mm以上 /30分	浸水シミュレーションの結果、100mm/hr × 2時間および150mm/hr × 1時間の降雨の場合に、流水する可能性のあるすべての出入口	100mm/hr以上の降雨となる可能性がある
D-1	120mm以上 /60分	浸水シミュレーションの結果、流水は発生しないが、出入口高(道路高>出入口高の場合は道路高)と道路冠水高の差が0.1m以下の出入口	東海豪雨並みの降雨となる可能性がある
D-2		その他、東海豪雨並みの降雨の場合に流水する可能性のある出入口(浸水対策協議会資料参照)	

(4) 出入口ごとの道路冠水・地下流入の順序

設定したグループと道路冠水及び地下街への流入の順序を視覚的に把握するために全出入口を対象として、表-2に示すとおり一覧表として整理した。

整理内容は、100mm/hr×2時間、150mm/hr×1時間の降雨が発生した場合のそれぞれの道路冠水開始時刻、地下流入開始時刻及び表-1に示したグルーピングとし、各出入口の止水活動の優先順位を明確化した。

表-2 道路冠水・地下流入の順序の表示 (一例)

[illegible]

【凡例】100mm/hr × 2 hr : 冠 冠水、冠・流 冠水および地下流入、流 地下流入
150mm/hr × 1 hr : 冠 冠水、冠・流 冠水および地下流入、流 地下流入

(5) 警戒レベルの設定と情報提供内容

表-1で示した各降雨強度が観測された場合、警戒レベルを設定し、関係者に情報提供する必要がある。

警戒レベルは、表-3に示すとおり、出入口のグルーピングに対応させて、非常Ⅰ～非常Ⅳ及び厳戒の5段階を設定した。

また、各警戒レベルが発動された場合の情報提供内容

は、表-3の情報提供内容欄に示すとおりである。本内容を後述するアプリケーションに反映させ、施設管理者への警戒情報を提供する。

表-3 警戒レベルの設定と情報提供内容

警戒レベル	グループ	情報提供内容 (タイムライン表示内容)
非常Ⅰ	A-1	8mm以上/10分の非常に強い雨が降っています。 今後、浸水の可能性があるため注意して下さい。
非常Ⅱ	A-2	20mm以上/10分の降雨を観測しました。 このペースで降れば、今後30分以内に『A-2』グループの出入口から流入するおそれがあります。
非常Ⅲ	B	30mm以上/20分の降雨を観測しました。 このペースで降れば、今後40分以内に『B』グループの出入口から流入するおそれがあります。
非常Ⅳ	C	50mm以上/30分の降雨を観測しました。 このペースで降れば、今後30分以内に『C』グループの出入口から流入するおそれがあります。
厳戒	D	120mm以上/60分の降雨を観測しました。 今後、降雨が継続すれば、『D』グループ(D-1、D-2)の出入口からも流入するおそれがあります。

(6) 警戒レベルの発生頻度

施設管理者にとって、各警戒レベルが発動される頻度を事前に把握しておくことは重要であると考え、これは、過去の降雨実績から各警戒レベルがどの程度、希なケースであるかを直感的に把握することに役立つと考える。

気象庁大阪管区气象台における過去30年（1986年～2015年）の降雨状況⁹⁾を整理した結果、非常Ⅰ、非常Ⅱに相当する降雨が発生した回数は、表-4に示すとおりである。

非常Ⅰ（8mm以上/10分）の降雨が発生したのは、過去30年間で159回あり、年平均では5.3回となり、最大では年10回発生している。

また、非常Ⅱ（20mm以上/10分）の降雨が発生したのは、過去30年間で4回であるが、そのうち3回は2011年以降に発生しており、近年、豪雨傾向が増加している可能性があり、警戒が必要であると言える。なお、非常Ⅱ（20mm以上/10分）の4回の降雨は全て8月に発生しており、8月は特に警戒が必要であると言える。

表-4 警戒レベルの発生頻度

警戒レベル	発生回数	備考
非常Ⅰ (8mm以上/10分)	159回/30年	・平均5.3回/年 ・最大10回/年
非常Ⅱ (20mm以上/10分)	4回/30年	・全て8月 ・2011年以降に3回

注) 大阪管区における過去30年（1986～2015年）の降雨状況

4. 避難行動計画（タイムライン）をアプリケーションに反映させるための機器の設置

(1) 雨量計の設置

地下街管理者等において、対象地下街周辺でのピンポイントの降雨情報をリアルタイムに入手できた方が、迅速な初動体制の構築に寄与できる。

例えば、国土交通省がWebで公表している「川の防災情報」³⁾においては、当該地下街が存在する大阪市北区でのリアルタイムでの降雨情報が公表されていないため、ピンポイントでの情報を得るためには、独自に雨量計を設置する必要がある。

当該地下街周辺では、地下街管理者により既に1台の雨量計が設置済みであるが、リダンダンシーの観点や集中豪雨の局所性にも対応できるように、さらにもう1台の雨量計設置を行った。

(2) IPカメラの設置

出入口部における浸水状況をアプリケーション上で把握可能とするために、IPカメラを6基設置した。IPカメラの設置位置にあたっては、以下の観点で設置した。

- ① 地下街のエリアごと（計5エリア）に基本1カ所設置する。
- ② 出入口高と想定浸水高（東海豪雨級）を比較し、止水対策を実施しない場合に、地下への流入が生じる可能性が高い出入口付近を重視する。
- ③ 冠水開始段階の状況把握が重要であるため、各管理エリア内でも道路高の低い箇所を重視する。

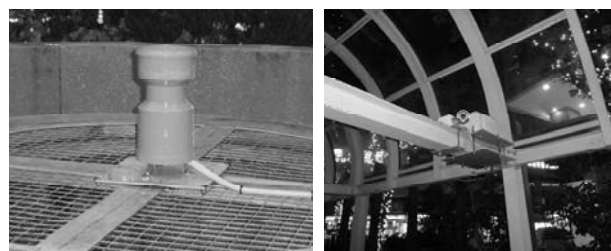


図-9 雨量計及びIPカメラの設置例

5. 災害時におけるアプリケーションの活用方法

災害時においては、避難行動計画に基づき、職員・警備員等が迅速に行動し、止水作業及び避難行動にあたるのが重要である。

本システムにおいては雨量計やIPカメラを用いて把握した降雨・被災状況を迅速に地下街管理者間で共有し、円滑な避難行動を適切に実施するために、図-10に示す4段階でのアプリケーションの活用方法を検討した。

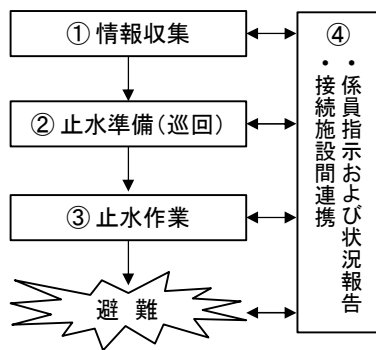


図-10 アプリケーションの活用段階

(1) 情報収集

浸水の危険性を把握するためには、気象や河川、水防警報等の情報を随時把握する必要がある。

本システムにおいては、主に雨量計及びIPカメラから各情報を収集することとした。本システムにおいて収集する情報の具体的な内容及びアプリケーションでの表示イメージを図-11、12に示す。

a) 雨量計情報の表示

雨量計の情報は、直近の10分間、20分間、30分間、40分間、60分間の雨量がリアルタイムで表示される。また、各時間帯における直近3時間最大が表示されるとともに、グラフ表示を行い、1分単位で情報が更新される仕組みとしている。グラフ中には非常Ⅰの指標である下水道排水能力(50mm/hr)のラインを明示することで視覚的にも現在の降雨強度の状況がどの程度危険であるかをイメージし易くしている。

さらに、各時間帯(10分～60分)において警戒レベルの設定値を設定しており、設定値を超える雨量が観測されると警戒レベルの表示及びアラームが鳴り、タイムライン欄にも表-3の情報提供内容が表示される。なお、タブレットがスリープモードであってもアラームが鳴るため見逃しを防止できる仕組みとなっている。

また、2基の雨量計について、どちらにも表示を切り替えることが可能であり、2基の最大値をリアルタイムに表示させることも可能である。

b) IPカメラ情報の表示

IPカメラの表示はマップ上やアイコン一覧から表示させる箇所をタップすることにより、出入口付近の状況を画面に表示させることができる。

この画面表示により、例えば地下にいても地上部の浸水状況等を比較的広域に把握することが可能となる。

通常は、静止画として情報を提供し、10秒ごとに画面が更新される設定としている。

またカメラ本体には赤外線LED照明が付属されているため、夜間においても比較的鮮明な画像が送信される。



図-11 雨量計データの表示イメージ

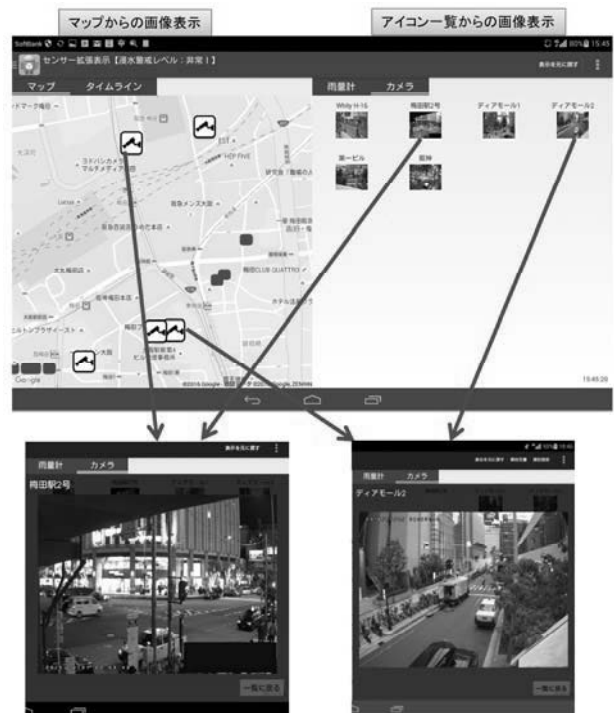


図-12 IPカメラ情報の表示イメージ

(2) 止水準備（巡回）

雨量計やIPカメラから収集した情報を基に、地下街への浸水の危険性がある出入口については、係員が巡回及び止水準備を行うこととなる。

本システムでは、係員が携行するスマホに屋内測位機能を開発し、防災センターに配置されているタブレット端末及び係員のスマホ相互で各係員の現在地を把握できる機能を有している。また、地図上に表示されている係員に対して文字や写真によるメッセージを送付・受領できるため、災害発生箇所と各係員の位置関係の全体像をビジュアル的に把握可能となっている（図-13）。



図-13 係員位置の表示イメージ

(3) 止水作業

止水作業が必要な段階においては、マップ上に「止水板設置完了」のアイコンを表示させることが可能であり、止水板設置情報を関係者で共有することが可能である（図-14）。

なお、止水設備の設置状況の他にも、火災等の災害状況も表示することが可能である。



図-14 止水状況の表示イメージ

(4) 係員への指示及び状況報告

係員間での連絡については、携行するスマホアプリのメッセージ機能と、防災センターのタブレットからの係員全員への一斉指示機能を開発している。一斉指示機能では、事前に定型文を設定しておくことにより、災害時の入力手間を軽減させることを可能としている（図

-15）。

さらに、メッセージ機能では現場での写真を送付でき、現場状況を共有することができる（図-16）。



図-15 係員への指示入力イメージ（タブレット端末）

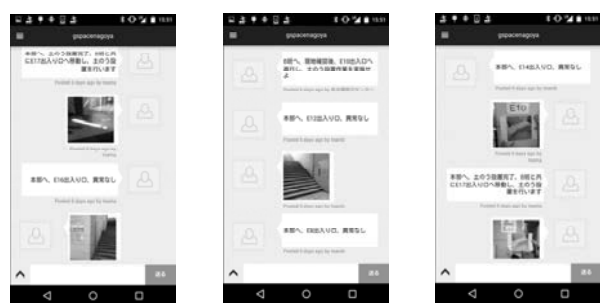


図-16 係員用端末画面イメージ（スマートフォン端末）

(5) 施設間連携

地下街において、1つの出入口から流入が発生した場合には、接続している地下街やビルに被害が及ぶため、それぞれの施設管理者間で情報を共有する必要がある。

本システムでは、防災センター相互と防災センター及び係員が相互に情報を共有できるシステムを構築しており、指示系統に合わせた連携階層を構築することが可能である（図-17）。

地下街に関連する施設管理者は、接続する複数の地下街があり、各地下街には接続ビルがあり、地下街及び接続ビルにはそれぞれ防災センター及び現場担当者がいる。

情報伝達の範囲を考える場合、全ての関係者に一斉に情報伝達するよりも必要な機関に必要な情報を伝達するため、2階層連携モデルとして定義した。

2階層のうち、第1階層（親階層）は接続した地下街管理者同士及び情報配信者が有する現場担当者との連携（親階層による横連携）を想定している。また、第2階層として、地下街と接続ビルとを親子関係による縦連携として定義する。

横連携や縦連携の情報配信先を指定することができ、配信する情報の内容により、使い分けることが可能となる。

なお、横連携の基本となる地下街等の防災センター用

にはタブレット端末用のアプリを使用し、縦連携の現場用にはスマートフォン用のアプリが使用できるようにしている。

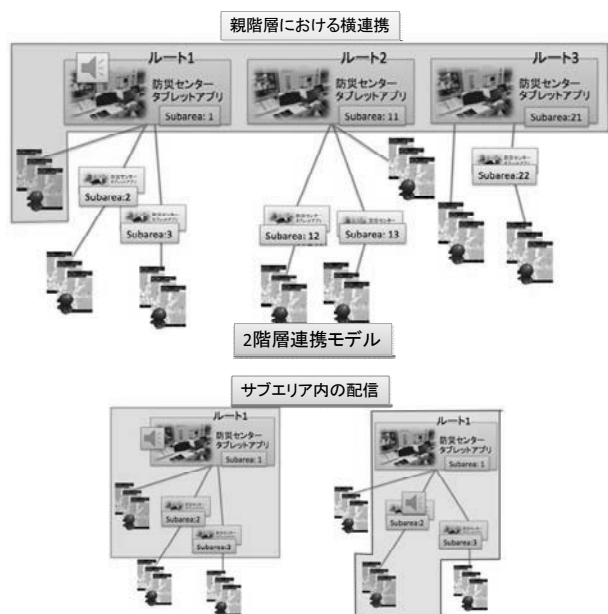


図-17 連携階層の概念

6. 本検討の成果と実用化に向けた検討会の設立

本検討においては、地下空間防災システムの高度化に向けて、浸水シミュレーションによる地下街出入口の浸水特性を把握し、災害時の止水活動の優先順位を明確化した。

また、現地でのピンポイントの災害関連情報を収集するため、雨量計及びIPカメラを設置するとともに、複数関係者間で迅速に情報共有するためのインフラ（防災アプリケーション）を構築し、災害時の初動体制の支援強化を図ることができた。

ただし、現段階ではシステムの基本的な構成の検討及び試行段階にとどまっているため、今後の実用化に向けて、大阪梅田地区の全地下街管理者の協力を得ながら、現地の状況に応じて効果的に初動体制の支援強化が図れるようシステムの改良を行う必要がある。

また、本システムを継続的に維持・運用していくためには、安定したシステム運用体制を構築する必要がある。

現在、これらを目的とした検討会を設立し平成29年度からの本格実施を目途として、大阪梅田地区の地下空間

の管理者間調整を進めているところである。

謝辞：検討に当たっては、大阪市危機管理室及び関西大学環境都市工学部石垣泰輔教授からご助言をいただく等、多大なご協力を賜ったことに対し、ここに記して謝意を表する。

また、本検討は、総務省の平成26年度補正予算「G空間情報を活用したLアラート高度化事業／G空間地下街防災システムの高度化・実証と普及・展開」の成果である。

本検討においては、立命館大学を代表とする以下メンバーによるコンソーシアムを構成し、各機関協力のもと検討した成果である。

コンソーシアムメンバー

- ・立命館大学（代表）
- ・クウジット株式会社
- ・メタプロトコル株式会社
- ・株式会社メディアプラットフォームラボ
- ・中央復建コンサルタンツ株式会社
- ・西日本電信電話株式会社 名古屋支店
- ・特定非営利活動法人位置情報サービス研究機構
- ・株式会社日建設計総合研究所

（フィールド提供・関係機関調整等：大阪地下街株式会社）

参考文献

- 1) 大阪地下街株式会社：「ホワイティうめだ周辺図」を基に作成
<http://whity.osaka-chikagai.jp/common/images/floor02.pdf>
- 2) 森兼政行,浅見ユリ子,桑原正人,速水義一：浸水シミュレーションを活用した都市地下空間における水防・避難誘導の検討,河川技術論文集,第15巻,2009.
- 3) 国土交通省：検証 2005年の自然災害：
http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/2006/12-13.pdf
- 4) 国土交通省：川の防災情報：
<http://www.river.go.jp/kawabou/ipTopGaikyo.do?init=init&gameId=01-0101&fldCtlParty=no>