

# d4PDF に基づく複数の降雨イベントによる 内水氾濫が地下空間の浸水に与える影響

尾崎 平<sup>1</sup>・戸田 敦仁<sup>2</sup>・石垣 泰輔<sup>3</sup>・橋本 彰博<sup>4</sup>・戸田 圭一<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)  
E-mail: ozaki\_t@kansai-u.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup>非会員 元関西大学大学院 理工学研究科環境都市工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

<sup>3</sup>正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

<sup>4</sup>正会員 福岡大学准教授 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

<sup>5</sup>フェロー会員 京都大学経営管理大学院客員教授 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

大都市は水害に対して脆弱な地下空間を有している。気候変動の影響により、これまでに水害による被害を受けていない地下空間でも浸水の被害が懸念される。本研究では、d4PDF をもとに降雨強度式を用いた複数の確率降雨の生成と、対象排水区の雨水排除能力以上の降雨 (=60mm/hr) を抽出し、それらを対象降雨とした内水氾濫解析を実施した。その結果、地下への流入量が多い降雨イベントの特徴を明らかにした。また、降雨イベントと流入箇所数、流入量の関係を考察し、複数の降雨イベントによる氾濫解析に基づく地下空間の浸水対策を検討する重要性を示した。

**Key Words:** pluvial flood, climate change, d4PDF, underground space, flood analysis

## 1. 緒論

平成 30 年 7 月豪雨, 令和元年東日本台風, 令和 2 年 7 月豪雨等, 近年, 豪雨により, 全国各地で, 河川氾濫, 内水氾濫による甚大な被害が発生している。気象庁の日本の気候変動 2020 (令和 2 年 12 月) による日本域の極端現象の将来変化として, 時間降水量 50mm 以上の頻度は, 2 度, 4 度上昇の各シナリオにおいて, それぞれ約 1.6 倍, 2.6 倍に増加, 日降水量 200mm 以上の年間日数は, それぞれ約 1.5 倍, 約 2.3 倍に増加することが予測されている<sup>1)</sup>。長崎大水害 (1982 年) 等に代表される極端気象による都市水害は過去にも度々発生しているが, 今後, 気候変動の影響として, その極端気象の規模や頻度が増大する恐れがある。

内水氾濫対策としては, 平成 27 年に水防法が改正され, 都道府県知事または市町村長は, 内水により相当な被害を生ずるおそれがあるものとして指定した下水道について, 想定最大規模降雨に対する雨水出水浸水想定区域を指定することが必要となった。さらに, 令和 3 年に水防法が改正され, 水位周知下水道以外でも想定最大規模降雨に対する雨水出水浸水想定区域の指定が必要にな

った<sup>2)</sup>。内水浸水想定を行う場合, 内水浸水想定区域図作成マニュアル (案) によれば, 『対象降雨を想定最大規模降雨, 既往最大降雨, 計画降雨などとし, それぞれの降雨に応じた河川水位等を組み合わせたシナリオ』を設定することが望ましいとされている。また, 想定最大規模降雨の設定については, 国土交通省より, 「浸水想定 (洪水, 内水) の作成等のための想定最大外力の設定手法」が示されている<sup>3)</sup>。同資料では降雨波形について, 下水道施設の場合, 『実績降雨の 10 分単位の降雨波形から選定することを基本とする。』とされている。

内水浸水を想定する場合, どのような降雨イベントを用いるかは極めて重要な事項である。上述のように実績降雨をベースに降雨波形を引き延ばす方法や, 実績降雨そのものを用いる方法, あるいは降雨強度式に基づく中央集中型のモデル降雨を用いる方法などが考えられる。しかし, いずれの方法も特定の降雨という課題がある。

それに対して, 近年では文部科学省・気候変動リスク情報創生プログラムで作成された「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース, database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」<sup>4)</sup>などに代表されるようにアンサンブル実験に基づく気象データ

が作成されている。これらにもモデル特有のバイアスがあり、どのように補正するのか等の課題がある<sup>9)</sup>。

将来予測や大規模アンサンブルデータを用いた研究として、武田ら<sup>9)</sup>は、庄内川の流域を対象に検討を行い地下鉄線路の浸水の伝搬や地下空間の浸水の危険性を指摘している。斎藤ら<sup>7)</sup>は、現在気候と将来気候における10年確率降雨を作成し、それらを内水氾濫解析モデルに適用している。米田ら<sup>8)</sup>は、アンサンブルデータを用いた複合確率により降雨波形を評価することで、実績の総雨量のみによる確率評価では把握することができなかった高頻度・高浸水リスクが想定される降雨の存在を指摘している。関根らはXRAINによって観測された2019年の台風19号の実降雨データを用いて、多摩川流域で発生した浸水の再現計算<sup>9)</sup>や、東京都心部を対象とした降雨のみのシナリオと想定される最大の浸水シナリオを用いて浸水解析を行い地下鉄トンネル内の浸水拡大プロセスを示している<sup>10)</sup>。また、筆者ら<sup>11)12)13)</sup>はd4PDFを用いた内水氾濫解析、想定最大規模での地下鉄網の浸水被害の特性などについて検討してきた。

既往研究においては特定の降雨において氾濫特性を明らかにするものが多い。また、アンサンブルデータを用いて高頻度・高浸水リスクの降雨を指摘する研究はみられるが、複数の降雨イベントを用いた地下空間の浸水影響などの研究はなされていない。

以上の背景のもと、本研究の研究仮説は、「地下空間の浸水対策を考える場合に、特定の降雨を用いた解析結果に基づく検討・考察で十分なのか」ということである。d4PDFのデータが作成され、複数の降雨イベントを用いた解析が可能となり、各種の降雨波形の影響などが評価できるようになった。本研究では複数の降雨イベントによる内水氾濫解析を実施し、降雨イベントと地下への流入量の関係から上記の研究仮説を明らかにすることを目的とする。

## 2. 方法

### (1) 対象地域

対象地域は淀川と大川・堂島川・安治川の間位置する大阪市の海老江処理区(約1,215ha)であり、同処理区の計画雨水排除能力は約60mm/hrである。図-1(a)に示すとおり、本地域の標高は低く、雨水は4か所の雨水ポンプにより排除される。本エリアは大阪の中心部であり、図-1(a)の赤丸周辺には、大阪駅、梅田駅といった主要ターミナル駅、地下(図-1(b))には大規模地下街、地下駅が位置している。地下街への公的な出入口数(接続ビルからの出入口除く)は137カ所、地下駐車場の出入口が15カ所存在する。

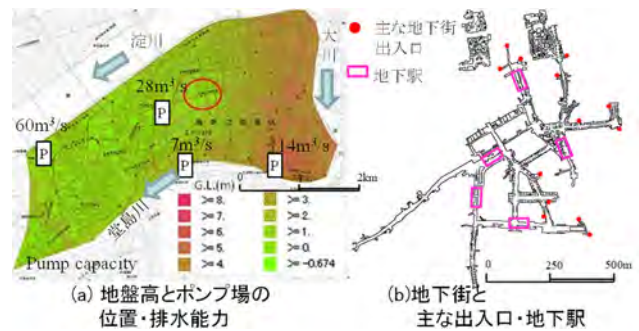


図-1 対象地域

### (2) 解析モデル

氾濫解析モデルは、下水道施設と地上の氾濫水を同時に計算可能なInfoWorks ICMを用いる。このソフトは「有効降雨モデル」「地表面流出モデル」「管内水理モデル」「地表面氾濫計算モデル」から構成される。有効降雨モデルにより算出された有効降雨が地表面を流れ、地表面流出モデルによりマンホールへの流入量を算定する。これが管内水理モデルの入力データとなる。管内水理は、サンブナン式で計算され、管きよの流れを解析している。地表面氾濫計算モデルでは、浅水方程式を用いて、下水道から地表面へ溢れた水の流れを解析しており、管内水理計算と地表面氾濫計算は連動して行われる。詳細は、既往研究<sup>14)15)</sup>に示しているため、モデル化の要点のみ示す。本対象地域は、ビル群が高密度に分布していることから、氾濫水の多くが道路面を流下すると考え、道路と住区を区分し、住区内に水は浸入せず、道路面のみを流れるとした。また、地下出入口の137カ所、地下駐車場の15カ所は堰(堰長を出入口の幅、高さを道路からのマウンドアップ高)によりモデル化を行った。なお、本モデルは、2011年8月末の豪雨を用いた検証を行っており、現地調査を実施した5地点における浸水深は概ね妥当な結果を得ている<sup>14)</sup>。また、ポンプ場におけるポンプの吐出量、稼働時間についても精度良く再現している<sup>15)</sup>。

### (3) 将来気候データ

本研究では、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)においてd4PDF(20km)の領域モデルから過去実験で12メンバ、4°C上昇実験で6SST×2メンバを抽出し、ダウンスケーリングしたd4PDF(5km, SI-CAT)<sup>16)</sup>を用いる。過去実験は、1980年9月～2011年8月の31年間の気候を、4°C上昇実験は、2080年9月～2111年8月の31年間の気候を再現しており、それぞれ合計372年分の1時間降雨量データである。

### (4) バイアス補正

バイアス補正は数値計算モデルがもつ系統誤差を減らすため、実験や観測結果などによる関係式を用いて計

算結果を補正するものである。使用する降雨量データは、d4PDF (5km, SI-CAT) の格子点データを用いて、大阪管区気象台に対応した値を空間内挿により算出し、気象台でバイアス補正したものを用いる。なお大阪管区気象台は、図-1(a)内の赤丸の中心から南東約3kmの所に位置している。内挿の方法は、大野ら<sup>17)</sup>を参考に、気象台近傍4点で距離逆数の3乗の重み付け平均を行い、気象台に対応した値を算出した。バイアス補正は、飯泉ら<sup>18)</sup>において適用された累積密度関数 (cumulative density function : CDF) 法を用いる。

### (5) T年確率降雨の作成

将来気候下における確率降雨を作成する。作成方法の詳細は既往研究<sup>11)</sup>において示しているため、概要のみ説明する。各アンサンブルメンバから得られる30年の年最大雨量を1標本として水文統計ユーティリティ<sup>19)</sup>よりGEV分布で12通りの確率雨量を算出した。なお、確率分布の適合度を示すSLSCが0.04よりも大きくなるケースは、標本に対して確率分布モデルの適合度が低いことから除外し、SLSC≦0.04となる9通りの結果のみを平均した。表-1にT年確率1時間雨量の結果を示す。過去と観測 (大阪管区気象台の1981年~2010年) の結果は再現期間が短い場合、概ね一致している。

次に、特性係数法に従って<sup>20)</sup>、再現期間毎に将来の10分雨量と1時間雨量から降雨強度式を作成した (式(1))。ここでは一例として、10年確率の結果を示す。Iは降雨強度 (mm/hr)、tは降雨継続時間 (min) である。

$$I = \frac{4102}{t + 16.625} \quad (1)$$

次に、降雨データの時間間隔10分、降雨継続時間2時間の中央集中型のハイトグラフを作成した (図-2)。総降雨量は10年確率で60.0mm、50年確率で88.5mm、100年確率で103.3mmであった。

## 3. 結果

### (1) 将来気候の確率降雨ならびに各降雨イベント

本研究における対象降雨は、d4PDFの将来実験の結果より作成した図-2に示したT年確率降雨と、同結果より、対象排水区の下水道の計画規模である時間雨量60mm以上の降雨イベント (以下、計画規模以上の降雨イベント) とした。なお、各降雨は対象領域に対して一様に与えている。

確率降雨は、中央集中型、継続時間を2時間とし、T年を10, 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200年とした計8降雨とした。d4PDFより抽出した計画規模以上の降雨イベントは26降雨抽出され、継続時間や降雨波形は、降雨

表-1 T年確率1時間雨量 (mm) の算定結果

	10年	20年	30年	50年	80年	100年	150年	200年
将来	53.5	63.7	70.2	78.9	87.7	92.1	100.6	107.0
過去	46.4	53.8	58.2	64.0	69.4	72.1	76.9	80.4
観測	48.3	53.8	56.8	60.4	63.5	65.0	67.4	69.1

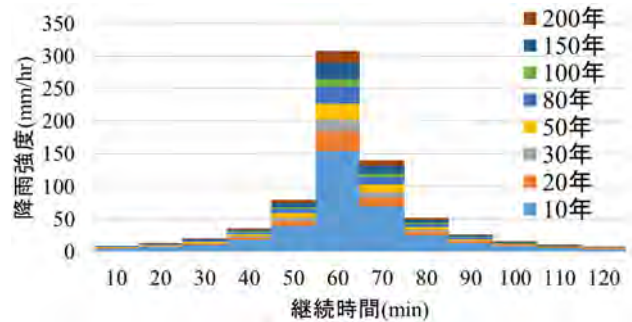


図-2 再現期間毎の中央集中型ハイトグラフ

表-2 対象とした計画規模以上の降雨イベントの一覧

降雨イベント	時間最大雨量(mm/hr)	3時間最大雨量(mm/3hr)	総降雨量 (mm)	継続時間 (hr)
CC_ml01_1	67.5	149.0	202	10
GF_ml01_1	67.5	106.5	264	26
GF_ml01_2	60.5	123.0	127	5
GF_ml01_3	64.0	162.5	339	25
GF_ml01_4	86.5	161.0	168	5
GF_ml05_1	66.0	84.0	135	18
HA_ml01_1	76.5	133.0	146	5
HA_ml05_1	107.0	189.0	271	10
HA_ml05_2	60.5	98.0	193	41
MI_ml01_1	103.0	196.5	302	9
MI_ml01_2	79.0	122.0	139	11
MI_ml01_3	63.0	124.5	159	16
MI_ml01_4	61.5	85.5	88	4
MI_ml01_5	64.5	89.5	178	19
MI_ml05_1	61.5	123.0	161	9
MI_ml05_2	90.5	163.5	174	9
MI_ml05_3	73.0	103.0	133	12
MP_ml01_1	79.0	141.0	184	9
MP_ml01_2	70.0	171.0	396	23
MP_ml01_3	61.5	178.5	464	48
MP_ml05_1	89.5	256.5	360	7
MP_ml05_2	66.5	115.5	124	5
MR_ml01_1	74.5	144.5	181	8
MR_ml01_2	87.0	155.5	406	41
MR_ml01_3	67.5	156.0	259	16
MR_ml05_1	85.0	168.5	252	21

イベントごとで異なっている (表-2)。一覧として時間最大雨量と総降雨量の関係を図-3に示す。

確率降雨は、再現確率に応じて右肩上がりとなっており、200年確率の場合で時間最大降雨量が107mm/hr、総降雨量が120mmである。また、計画規模以上の降雨イベントの中で、時間最大降雨量、3時間最大雨量、総降雨量が最大値をとる降雨イベントはそれぞれ、HA\_ml05\_1 (107mm/hr)、MP\_ml05\_1 (256.5mm/3hr)、MP\_ml01\_3 (464mm) である。

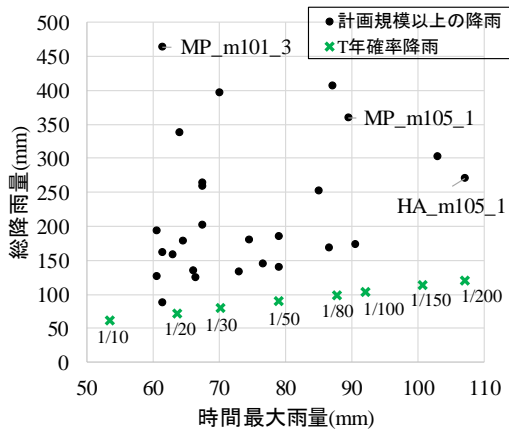


図-3 対象降雨の時間最大雨量と総降雨量の関係

## (2) 各降雨による内水氾濫水の地下への流入量

全対象降雨 34 イベント（確率降雨:8 と計画規模以上の降雨:26 の計 34）を用いて対象エリアの内水氾濫解析を実施した。時間最大降雨量と地上の最大湛水量および地下への流入量の関係を図-4 に示す。地上の最大湛水量は、MP\_m105\_1 を除き、概ね時間最大降雨量に比例して増大している。

なお、計画規模以上の降雨イベント 26 降雨について、時間最大降雨量と最大湛水量および地下流入量の相関係数はそれぞれ 0.75, 0.56 である。また、最大湛水量、地下流入量ともに 3 時間最大降雨量と相関が高く、相関係数は、それぞれ 0.95, 0.89 であった。地下流入量と 3 時間最大降雨量の関係を図-5 に示す。図-4、図-5 より地下への流入量は、T 年確率降雨の場合は時間最大降雨量に比例し、計画規模以上の降雨の場合は 3 時間最大降雨量に比例している。また、地上の最大湛水量と地下空間流入量の関係を図-6 に示す。本結果より、地上の湛水量と地下への流入量には極めて高い相関があることが再確認できた。

## 4. 考察

### (1) T 年確率降雨による評価のみの不十分さ

図-4 より、T 年確率降雨よりも、計画規模以上の降雨イベントを用いた解析結果の方が、ほとんどの場合において、最大湛水量ならびに地下への流入量が多い。地上、地下の内水氾濫対策を検討する際には、中央集中型の計画降雨がよく用いられるが、本結果より、確率降雨を用いた評価では、実際の降雨イベント（ここでは d4PDF より抽出した計画規模以上の降雨イベント）を用いた結果よりも過少評価となる場合がある。すなわち、中央集中型の確率降雨のみによる評価、対策の検討では不十分な場合があることが示唆された。

これは中央集中型の確率降雨の波形の場合、図-2 に示すように、時間最大降雨量は大きいものの 2 時間、3

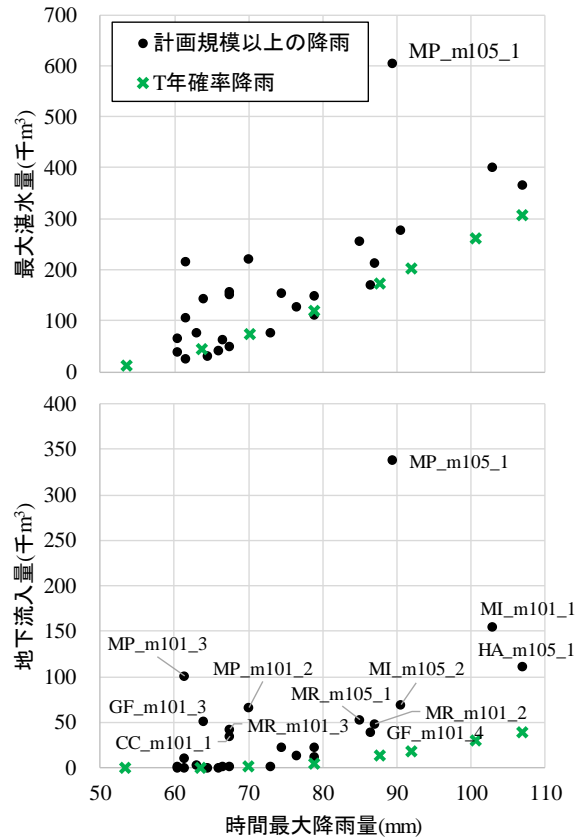


図-4 内水氾濫解析結果

(上段：地上の最大湛水量，下段：地下への流入量)

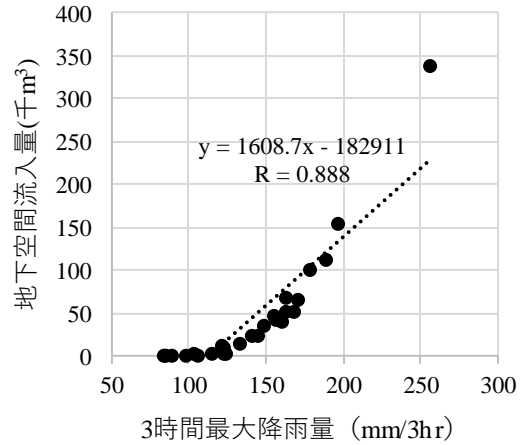


図-5 地下への流入量と 3 時間最大降雨量の関係

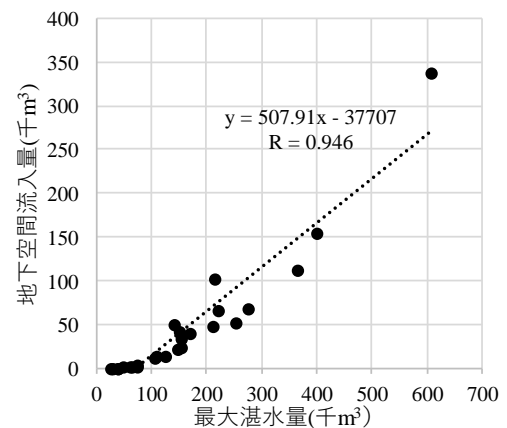


図-6 地下への流入量と最大湛水量の関係

時間と連続した雨の降り方を表現できない。一方、計画規模以上の降雨のケースで地下への流入量が最大となる降雨イベント（MP\_m105\_1）の場合、図-7に示すように計画規模である60mm以上の降雨が4時間連続している。この違いが図-4に示すようにT年確率降雨と計画規模以上の降雨を用いた場合で、最大湛水量、地下への流入量に差を生んでいる。

### (2) 地下への流入量が多い降雨イベントの特徴

上述のとおり降雨波形が地下流入量に影響していることが示唆された。そのため、ここでは計画規模以上の降雨イベントを用いた内水氾濫解析結果を用いて考察を行う。図-8に計画規模以上の降雨を用いた解析結果について、地下への流入量が多い順（降順）に並べた結果を示す。同図中には合わせて、3時間最大雨量ならびに地上の最大湛水量の結果も併せて示す。

上位3降雨については、3時間最大雨量、最大湛水量、地下流入量ともに降順となっている。しかし、4～10番目までについては、最大湛水量は上下（変動）している。4番目の降雨（MP\_m101\_3、図-9（左））は5番目の降雨（MI\_m105\_2、図-9（右））よりも3時間最大雨量は小さいものの地下への流入量は多くなっている。

4～10番目までの降雨イベントと地上の最大湛水量と地下への流入量の関係を以下で考察する。地上の最大湛水量が多い降雨イベントの特徴は時間最大雨量が80mmを超えている。一方、地下への流入量が多い降雨イベントの特徴は3時間降雨量は、やや少ないものの60mm/hr程度の降雨が2時間続き、その前後の1時間に40mm/hr以上の降雨がある場合に地下への流入量は多くなっている。図-9を例に説明すると、MI\_m105\_2のように時間最大降雨量は80mm/hrを上回っているものの強い雨の継続時間は2時間にとどまっている。一方、MP\_m101\_3は、時間最大降雨量は60mm/hrをわずかに上回る程度であるが、その後、2時間継続して、60mm/hr弱の雨が降っている。対象地域のようなポンプ排水区の場合、計画規模と同程度の雨が連続と、降った雨は排除できず、地下への出入り口の低い個所から水が流入し、地上の湛水量は増えないものの地下への流入量が増大することになる。すなわち、対象地域においては、単純に3時間最大雨量が多い場合というわけではなく、計画規模を上回る降雨の継続時間が地下への流入量に影響を与えている。

### (3) 複数の降雨イベント解析による出入口の脆弱性評価

計画規模以上の降雨による解析のうち、地下への流入量が一定量（10千m<sup>3</sup>）以上確認できた上位17降雨を対象に地下への流入個所数（出入口数）について考察する。なお、今回は止水板などの対策は行わない場合を例として説明する。対象となる出入口数は地下街出入口137カ

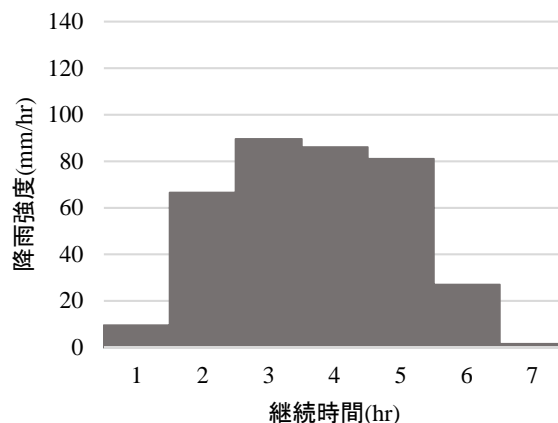


図-7 計画規模以上の降雨の一例：MP\_m105\_1

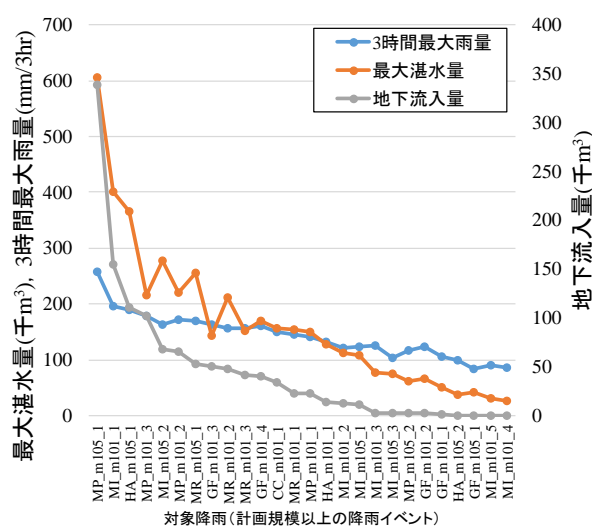


図-8 計画規模以上降雨による内水氾濫解析結果

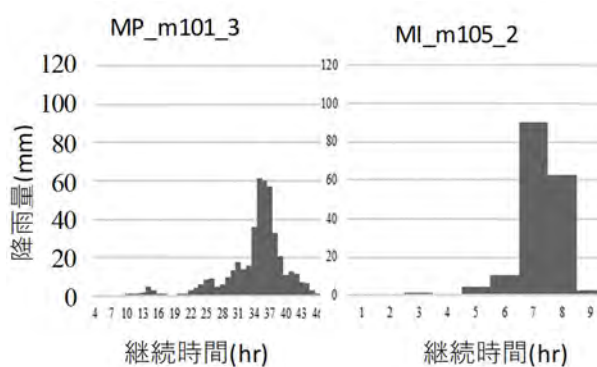


図-9 計画規模以上の降雨 (左:MP\_m101\_3, 右:MI\_m105\_2)

所、地下駐車場出入口が15カ所の計152カ所である。152カ所の出入口に対して110カ所（72%）は、いずれの降雨イベントでも氾濫水の流入は確認されなかった。一方、対象とした17降雨イベントすべてにおいて氾濫水が流入する出入口は9カ所（6%）確認された。また、15カ所はワーストケース（降雨イベント：MP\_m105\_1）の

場合にのみ流入が確認され、他の降雨での流入は確認されなかった。

この結果より、対象地域においては全体の7割の出入口は浸水に対して頑健であり、一方で、9カ所は(6%)非常に脆弱であることが明らかとなった。このように複数の降雨イベントを用いて評価することにより、相対的に脆弱な出入口や頑健な出入口の特定が可能であることがわかった。また、MP\_m105\_1のような極端降雨イベントにおいては、浸水を想定していない出入口からも氾濫水が流入する可能性があることが示された。

次に流入箇所数と地下への流入量の関係を図-10に示す。両者には極めて高い相関があり、想定どおりの結果が示された。既往研究では、特定の雨に対する止水板の効果を検証したが、今回の複数の降雨イベントを用いた解析結果からも止水板の設置による流入箇所数を低減させることが地下空間の浸水対策として有効であることが示された。

#### (4) 複数の降雨イベント解析による各出入口からの流入量に基づく考察

対象地域のように地下空間の出入口が複数存在する場合、どの出入口から地下空間に水が流入するのかを把握することは、止水板設置の対策等を検討する上でも重要である。ここでは一例として、100年確率降雨(以下、HFB\_100年)をベースとし、同確率降雨による地下への流入量の多い順に出入口(対象数:14カ所)を並び、計画規模以上の降雨イベントでの地下への流入量と比較を行った(図-11)。計画規模以上の17の降雨中12降雨はHFB\_100年では流入が確認されなかった出入口からの浸水があった。ただし、17降雨中10降雨(図-11中のGF\_ml01\_3~MI\_ml05\_1)では、HFB\_100年の流入箇所からの合計が流入量比95%以上となっており、HFB\_100年の流入箇所概ねカバーできている。

一方、上位7降雨(図-11中のMP\_m105\_1~MR\_m105\_1)では、流入量比67~92%のカバーにとどまっている。すなわち、中央集中型の確率降雨に基づく解析だけでは、流入が想定される出入口の見逃しがあることを意味しており、同降雨のみによる検討では不十分である。特に計画規模以上の降雨イベントのワーストケース(MP\_m105\_1)では、他の降雨では流入しない箇所からの流量も多い。降雨イベントMP\_m105\_1は図-7に示すとおり、計画規模60mm以上の雨が4時間あたり降り、そのうち3時間は一時間当たりの降雨量が80mm程度と極端な降雨イベントである。そのため、短時間の集中豪雨では浸水しない出入口も、ワーストケースでは、その閾値を超えるため、他の出入口からの流入量が増大している。以上のように流入量ベースでも、複数の降雨イベントによる評価は重要であることが確認された。

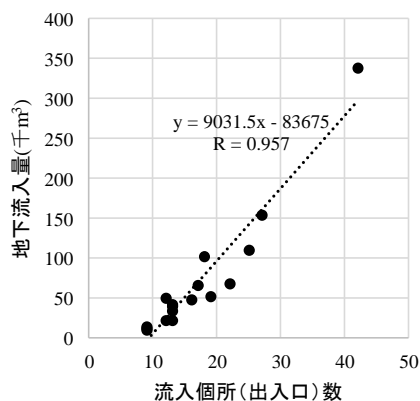
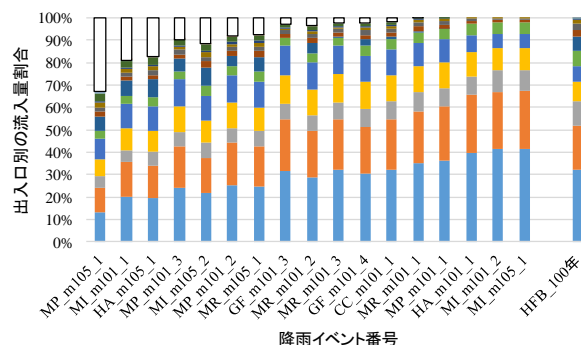


図-10 流入箇所数と地下の流入量の関係



(注)色付き部は100年確率降雨において流入が確認された出入口(14カ所)別の流入量割合を表し、白抜き部は同確率降雨では流入がなく各降雨イベントで他の出入口からの流入割合を表す

図-11 各降雨に対する出入口別の流入量割合

## 5. 結論

本研究では、「地下空間の浸水対策を考える場合に、特定の降雨を用いた解析結果に基づく検討・考察で十分なのか」という研究仮説に対して、d4PDFより作成したT年確率降雨と計画規模以上の降雨を用いて内水氾濫解析を実施し、考察を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 複数の降雨イベントを用いて評価することにより、相対的に脆弱な出入口や頑健な出入口の特定が可能である。
- 2) 地下への流入量が多い降雨イベントの特徴として、対象地域においては、単純に1時間最大降雨量が多い場合、あるいは3時間最大降雨量が多い場合というわけではなく、計画規模を上回る降雨の継続時間が地下への流入量に影響を与えていることが示された。
- 3) 今回の複数の降雨イベントを用いた解析結果からも止水板等の設置による流入箇所数の低減が、地下空間の浸水対策として有効であることが示唆された。
- 4) 極端降雨イベントにおいては、浸水を想定していない出入口からも氾濫水が流入する可能性があることを示した。想定外とならないように特定の降雨だけではなく、複数の降雨イベントに基づく解析により、地下の浸水対策を検討することが重要である。

謝辞：本研究は科研費（20K05034），文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム「気候変動の影響評価等技術の開発に関する研究」JPMXD0715667165ならびに関西大学 先端科学技術推進機構 気候変動に適応した健康まちづくり研究グループの助成を得て行ったものである。

## 参考文献

- 1) 気象庁：日本の気候変動 2020-大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書-, 2020.
- 2) 国土交通省：内水浸水想定区域図作成マニュアル（案），2021.
- 3) 国土交通省：浸水想定（洪水，内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法，2015.
- 4) 文部科学省他：実験デザイン・利用手引き|地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース，<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html>（閲覧日：2022年1月）
- 5) 渡部哲史，鼎信次郎，平林由希子，クオンタイルマッピング型補正を用いた気候変化影響評価に関する考察，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.73, No.4, I\_115-I\_120, 2017
- 6) 武田誠，大溝諒介，川池健司，田中智大，立川康人：将来予測における大規模洪水を対象とした想定浸水の検討，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.77, No.2, pp.I\_7-I\_12, 2021
- 7) 斎藤芳樹，川池健司，山野井一輝，武田誠，中川一：NHRCM2km 降水量データを用いた内水氾濫の将来変化，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.77, No.2, pp.I\_499-I\_504, 2021
- 8) 米田駿星，川村育，大川重雄，佐藤誠，山田朋人：大量アンサンブル気候データを活用した複合確率による降雨外力評価方法の提案，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.77, No.2, pp.I\_1285-I\_1290, 2021
- 9) 関根正人，藤原史沙，江本健太郎，細田和希，吉野萌：東京都多摩川流域で発生した浸水とこれに及ぼす樋管・樋門の影響，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.77, No.2, pp.I\_535-I\_540, 2021.
- 10) 関根正人，磯谷朗太，勝又海渡：大規模水害時を想定した地下鉄トンネル内の浸水拡大プロセスの予測，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.77, No.2, pp.I\_1447-I\_1452, 2021.
- 11) 戸田敦仁，尾崎平，石垣泰輔，橋本彰博，戸田圭一：d4PDF を用いた内水氾濫解析に基づく将来降雨の類型化，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.77, No.2, I\_505-I\_510, 2021.
- 12) 草野魁叶，石垣泰輔，尾崎平：内水氾濫に伴う地下鉄網を介した浸水被害の特性に関する考察，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.77, No.2, pp.I\_511-I\_516, 2021.
- 13) 戸田敦仁，尾崎平，石垣泰輔，橋本彰博，戸田圭一：d4PDF を用いた将来降雨に基づく内水氾濫解析，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.76, No.2, pp.I\_727-I\_732, 2020.
- 14) 尾崎平，石垣泰輔，戸田圭一：高密度商業地域における内水氾濫の脆弱要因に関する考察—2011年8月27日大阪の豪雨を対象として—，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.68, NO.4, pp.I\_1009-I\_1014, 2012.
- 15) 尾崎平，石垣泰輔，戸田圭一：降雨イベントの積算時間間隔と内水氾濫解析精度に関する考察，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.71, No.4, pp.I\_1447-I\_1452, 2015.
- 16) 佐々井崇博：大気近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ（東北から九州）by SI-CAT [Data set]. データ統合・解析システム(DIAS). <https://doi.org/10.20783/DIAS.562>, 2019.
- 17) 大野宏之，佐々木華織，大原源二，中園江：実況値と数値予報，平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成，生物と気象（Climate in Biosphere），16, pp.71-79, 2016.
- 18) 飯泉仁之直，西森基貴，石郷岡康史，横沢正幸：統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門，農業気象，66（2），pp.131-143, 2010.
- 19) 財団法人 国土技術研究センター：水文統計ユーティリティ Ver1.5, <http://www.jice.or.jp/tech/software/rivers/hydrology>.
- 20) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説前編，pp.68-71, 2009

## FLOODING IMPACT ON UNDERGROUND SPACE BASED ON PLUVIAL FLOOD ANALYSIS FOR MULTIPLE RAINFALL EVENTS EXTRACTED FROM d4PDF

Taira OZAKI, Atsuhito TODA, Taisuke ISHIGAKI, Akihiro HASHIMOTO and Keiichi TODA

Large cities have underground spaces that are vulnerable to flooding. Due to climate change, even underground spaces that have not previously experienced flood damage may be susceptible to flooding. In this study, The authors generated multiple planned rainfall events using the rainfall intensity equation based on d4PDF, and extracted rainfall events above the rainfall exclusion capacity (=60 mm/hr) of the target drainage area from d4PDF. Pluvial flood analyses were performed for those multiple rainfall events. The results revealed the characteristics of rainfall events with high inflow into the underground. The relationship between rainfall events, number of inflow points, and inflow volume were analyzed, indicating the importance of studying flood control measures for underground spaces based on flooding analysis of multiple rainfall events.