

想定最大降雨による内水氾濫時の地下街の 浸水危険度について

PLUVIAL FLOOD HAZARD OF UNDERGROUND SPACES BY EXTREME HEAVY RAINFALL

太田和樹¹・石垣泰輔²・尾崎 平³・戸田圭一⁴

Kazuki OTA, Taisuke ISHIGAKI, Taira OZAKI, Keiichi TODA

In recent years the number of occurrences of local downpours has increased. In the future, it is predicted that the occurrence frequency of local heavy rainfall increases. In an urban area, if such rain occurs, the inundation of underground space is induced. The influence of inundation damage to the underground space is affected by rainfall patterns. So, model rainfall with assumed maximum intensity and pattern of rainfall was made and the ground surface and underground space inundation were calculated by InfoWorks ICM. Safety of evacuation was tased by using the specific force per unit width, which is calculated with velocity and water depth. As a result, in the assumed maximum rainfall, inundation areas of 1 m or more depth observed on the ground. In the subway, flood depth more than 5 meters was seen. It was found that the difference of rainfall pattern affects safe evacuation from underground spaces.

Key Words : *underground space, extreme rainfall, safe evacuation, inundation, flooded simulation*

1. はじめに

近年, 局所的な短時間の集中豪雨が発生するようになった。例えば, 福岡水害(福岡県, 1999年)では, 1時間降雨量が77mm, 4時間の総降雨量は128.5mmを記録した。福岡県において, 床上浸水1273棟, 床下浸水4890棟などの被害が発生した。東海豪雨(愛知県, 2000年)では, 愛知県東海市で1時間降雨量は97mm, 2日間で567mmを記録する豪雨となった。

一方, 平成20年8月末豪雨(愛知県, 2008年)では, 愛知県岡崎市において1時間降雨量が146.5mmを記録した。東海地方だけでなく日本各地で記録的な大雨となり, 浸水害, 土砂災害や停電が発生し, 交通機関にも大きな影響が及んだ。平成25年8月27日(2013年)には大阪府で集中豪雨により内水氾濫が生じた。大阪管区気象台(大阪市中央区)によると, 1時間に77.5mmを記録した。これは大阪市の過去最大クラスに並ぶ記録的な降雨であった。床上・床下浸水が発生したほか, 道路の冠水とい

った被害が発生し, 交通機関にも影響が及んだ。また, 大規模地下空間のある大阪市内では, 人的被害はなかったが一部で地下への流入があった。

このように, 短時間で下水道の能力を上回る降雨が発生した場合, 内水氾濫が起これ, 都市部では地下空間への浸水が懸念される。都市域では貴重なスペースを有効活用するために, ビル地下階や地下鉄・地下街といった地下空間の利用が発達している。さらに, 地下空間を有する都市域では, 内水氾濫によって生じた水が地下へ流入する恐れがある。実際に福岡水害では, 御笠川が氾濫し福岡市内が浸水した。その結果, 地下鉄やJRの運休, 道路の冠水だけでなく, 地下階に取り残された従業員が亡くなった。国内で初めて地下空間での人的被害が発生したため, 地下空間の安全性が懸念されるようになった。

また, 近年, 局所的な短時間豪雨の発生回数や雨量の増加が確認されている。さらには, 今後, 局所的な短時間の集中豪雨の発生頻度が増えることや降雨量が増加することが予測されている。そのため, 想定した降雨より

キーワード: 地下空間, 想定最大降雨, 安全避難, 内水氾濫, 氾濫解析

¹学生会員 関西大学大学院理工学研究科 Student, Graduate School of Science and Engineering, Kansai University, (E-mail:k187771@kansai-u.ac.jp)

²正会員 関西大学教授 環境都市工学部 Professor, Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University.

³正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 Associate Professor, Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University.

⁴フェロー会員 京都大学大学院工学研究科教授 Professor, Graduate School of Engineering, Kyoto University.

も多い雨量となり、予想しない浸水被害にみまわれることがある。例えば、平成 29 年 7 月九州北部豪雨(九州北部地方, 2017 年)では、大分県日田市において内水ハザードマップの浸水区域でない地域でも浸水がみられた。今後、降雨量の増加が予測されていることから、このようなことがさらに起こる可能性がある。

そこで本研究では、大規模な地下空間を持つ大阪の海老江処理区を対象とし、複数の降雨形態を用いて内水氾濫解析を行った。本研究では内水氾濫の対象降雨として、国土交通省の想定(洪水, 内水)の作成等のための想定最大外力の設定手法より作成した降雨データを用いる。浸水計算には、InfoWorks ICMを用いることで、下水管路網を考慮した解析を行い、地下空間の水深や流速を求めた。これらを用いて、単位幅比力を求め、地下空間の安全避難度評価を行った。この安全避難度評価とInfoWorks ICMの浸水解析から、想定最大規模の降雨が発生した場合の地下空間の浸水危険度評価について検討した。

2. 検討概要

(1) 対象地域の概要

本研究では、大阪市の海老江処理区を対象とする。海老江処理区は、大阪市内にある 12 の処理区の 1 つであり、北区の大部、福島区、此花区の一部の下水処理を担っている。下水処理場の計画処理区面積は 12.15km²、処理能力は 326000m³/day である。また、処理方式には嫌気好気活性汚泥法が採用されており、放流先は海老江処理区の北側を流れる新淀川や西側を流れる正連寺川となっている。処理区内には、北野抽水所、出入橋抽水所、天満堀川抽水所、そして海老江下水処理場の 4 つの抽水所及び処理場が存在する。それぞれの排水能力は、北野抽水所が 28m³/s、出入橋抽水所が 7m³/s、天満堀川抽水所が m³/s、そして海老江下水処理場が 60m³/s である。

この処理区内は東の地盤高は比較的高く、西に向かって低くなっていることがわかる。特に中央部に位置する梅田は、周辺部に比べて 1~2m ほど低くなっている。対象地域には大規模な地下空間が存在する。この大規模地下空間は、東西、南北方向にそれぞれ 1km 四方広がっており、日本を代表する繁華街の 1 つである。周辺には、百貨店やホテル、ショッピングモールやオフィスビルなどが立ち並んでいる。そのため、多くの人が利用し、人々の活動の拠点となっている。また、JR、阪急、阪神、大阪市営地下鉄といった鉄道が乗り入れており、地下街周辺に 7 つの駅が存在している。図 2 に対象となる路線図を示す。このうち、地上駅が 2 駅、地下駅が 5 駅となっている。また、この他にも海老江処理区には地下駅が

16 存在する。また、JR 東西線のように隣接する下水処理区と地下鉄を通じて繋がっている。

海老江処理区の地下空間には、ホワイティうめだ・ディアモール大阪・堂島地下センターといった 7 つの地下街が存在する。また、地下街周辺には地下駅が位置している。いずれの駅も大規模地下街と接続しており、氾濫水が地下に流入した場合、地下街から地下駅、地下駅から地下街のように氾濫水が移動する恐れがある。

本研究では、この梅田地下街と地下鉄の一部を対象に検討を行った。対象とした地下街を図 1 に、地下鉄路線を図 2 に示す。



図 1 対象地下街の位置

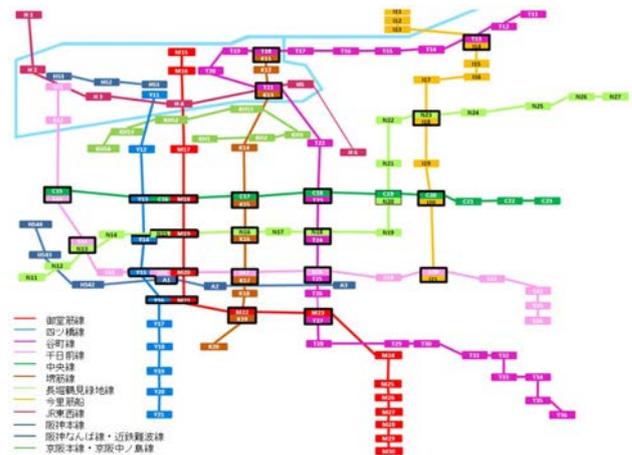


図 2 対象路線の路線図

(2) 外力の設定

森兼ら¹⁾によって短時間の集中豪雨による被害の危険性が明らかにされている。また、今後、局所的で短時間の集中豪雨は、発生頻度や降雨量の増加が予測されている。そこで本研究では、温暖化やヒートアイランド現象の影響により、今後起こりうる最大の短時間集中豪雨を想定したシミュレーションを行うために、短時間豪雨

のモデル降雨の作成を行った。モデル降雨の作成には、国土交通省 水管理・国土保全局の浸水想定(洪水, 内水)の作成等のための想定最大外力の設定手法²⁾と黄ら³⁾によって作られたモデル降雨を用いた。国土交通省の浸水想定(洪水, 内水)の作成等のための想定最大外力の設定手法²⁾をもとに対象地域における想定最大規模降雨を設定する。降雨量の設定にあたり、日本を降雨特性の似ている15の地域に分け、それぞれの地域において観測された最大の降雨量により設定する。地域区分を表1に示す。

表1 地域区分(国土交通省水管理・国土保全局より)

⑧	近畿	三重県のうち、淀川水系に属する河川の流域、滋賀県(⑩に掲げる地域を除く。)、京都府のうち、淀川水系に属する河川の流域、大阪府、兵庫県のうち、明石川の河口点から、明石川水系に属する河川の流域及び加古川水系に属する河川の流域の東側を経て、大阪府との交差点に至る線以東の地域並びに明石川の河口点から南東に引いた線以東の島しょ部、奈良県のうち、淀川水系に属する河川の流域、大和川水系に属する河川の流域及び紀の川水系に属する河川の流域並びに和歌山県のうち、紀の川の河口点から、紀の川水系に属する河川の流域の南側を経て、奈良県との交差点に至る線以北の地域及び和歌山市の島しょ部	淀川、大和川、紀の川
---	----	--	------------

対象地域である海老江処理区は⑧の近畿に該当する。そのため、降雨量の設定には、⑧近畿における最大降雨量を用いる。次に、対象地域の面積と降雨継続時間、表2から想定最大規模降雨を算定する。

表2 ⑧近畿の最大降雨量(国土交通省水管理・国土保全局より)

1時間		2時間		3時間		6時間	
面積	雨量	面積	雨量	面積	雨量	面積	雨量
1	147	1	225	1	305	1	471
32	130	32	225	32	305	32	471
64	105	64	198	64	267	64	413
127	99	127	155	127	207	128	334
255	91	255	133	255	187	255	289
509	78	509	117	510	160	510	222
763	68	763	106	765	141	765	203
1,018	62	1,014	98	1,015	133	1,019	184
1,521	56	1,521	88	1,521	120	1,526	171
2,027	52	2,027	78	2,032	110	2,031	170
3,044	47	3,047	71	3,040	91	3,035	162
4,063	44	4,063	67	4,066	83	4,047	154
5,081	42	5,080	62	5,084	78	5,060	146
6,099	39	6,097	58	6,098	73	6,074	139
7,113	36	7,112	55	7,101	71	7,089	136
8,126	33	8,128	51	8,119	68	8,111	133
12,177	26	12,180	42	12,177	60	12,178	115
14,179	23	14,179	38	14,179	56	14,179	107

海老江処理区は面積は12.15km²、降雨継続時間は1時間とする。表2の面積において対象地域と一致するものがないため、一次補間法によって降雨量を求める。表2より、面積1km²のとき降雨量147mm、面積32km²のとき降雨量130mmであるから、面積12.15km²のときの降雨量は、141mmとなった。

次に、対象地域における最大降雨量から黄ら³⁾により作られたモデル降雨の引き伸ばしを行った。黄ら³⁾は、大阪市における降雨強度式から中央集中型の時間降雨60mmのモデル降雨を作成している。この降雨全体を2.3倍し、引き伸ばしを行った。作成したモデル降雨を図3

に示す。本研究では、降雨形態を変えて解析を行っていくために、中央集中型のハイトグラフをもとに前方集中型と後方集中型のハイトグラフも作成した。また、各降雨データは時間間隔5分、降雨継続時間2時間のハイトグラフである。最大の降雨強度は345.6mm/h、2時間の雨量は、198.0mmとなった。これら3つのハイトグラフを用いて、内水氾濫の浸水解析を行った。

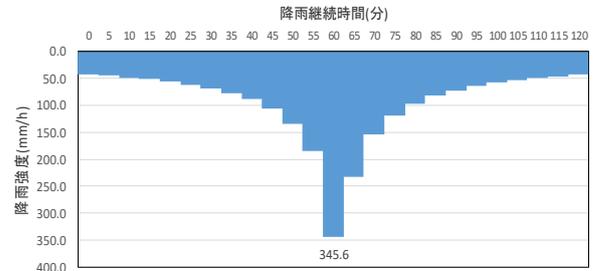


図3 時間降雨141mm、中央集中型のモデル降雨

3. 解析モデル

(1) 内水氾濫解析モデルの概要

内水氾濫は、下水道網の処理能力を上回る降雨が起きた際に、マンホール等から溢水が発生する。この現象を再現するために、下水道管路網を考慮できるモデルが必要である。本研究では、地下空間への氾濫水の流入量を計算するためにInfoWorks ICMを用いた。InfoWorks ICMは、河川と下水道の統合解析を行うことができるシミュレーションソフトウェアである。下水道管路網を考慮し、地上の氾濫解析を行うことができる。なお、本研究では下水道管渠間の水のやり取りをモデル化した数値解析モデルと地表面の氾濫解析モデルを用いた。

下水道管渠間の水のやり取りに関しては、降雨損失考慮後の有効降雨が地表面を流れ、マンホールへ流入する量を算定する地表面流出モデルと、それにより算出された各マンホールでのハイドログラフを用いることによって管路の流れを解析できる下水道管路モデルで表される。本研究では、地表面流出モデルに単一線形貯留池モデルを用いた。

(2) 安全避難度評価

地下が浸水した際の危険度を評価する方法について説明する。地下空間は階段部分で流速が速く、通路部分で水深が高くなることから、これらを同時に評価する指標が必要となる。そこで大西ら⁴⁾の実験より、流体力だけでなく水深を加える単位幅比力が検討された。これは、水圧の影響を考慮して避難困難度を評価できる。そこで

本研究では、地下空間で安全に避難できるかを判断する手段として単位幅比力 M_0 を用いた。以下に式を示す。

$$M_0 = \frac{u^2 h}{g} + \frac{h^2}{2} \quad (1)$$

u : 流速, h : 水深, g : 重力加速度 である。InfoWorks ICM 解析結果より得られた流速と水深を用いて評価する。ここで、それぞれの属性別の指標を表 3 に示す。本研究では、最も早く避難が困難となる高齢女性を対象とし、安全に避難できる限界である $0.08m^2/m$ 、自力での避難が困難となる $0.16m^2/m$ を用いて評価を行った。

表3 避難困難度指標

	非浸水時の 歩行速度 (m/s)	避難困難度指標 (単位幅比力)	
		安全避難限界 (m^2/m)	自力避難困難 (m^2/m)
成人男性	1.4	0.125	0.250
成人女性	1.1	0.100	0.200
高齢男性	1.1	0.100	0.200
高齢女性	0.8	0.080	0.160

(参考: 歩行避難の困難度指標)

4. 解析結果

(1) 地上の浸水結果

下水道処理施設には、雨水を強制的に排除するためにポンプ場を設置している。しかし、排除能力を上回る雨が短時間に降った場合には、排水ポンプが機能を停止する恐れがある。本研究では排水ポンプの稼働時と停止時についての検討を行う。前述した3つの降雨形態を用いて、計6ケースを行った。いずれの場合も降雨開始を解析開始とし、12時間後まで解析を行った。

ポンプが停止している場合の地下街の浸水深の時間変化を図4、図5、図6に示す。図4より、前方集中型の場合、1時間後に対象地域のほぼ全域で浸水が見られる。2時間後にはさらに浸水が広がっている。特に、西側では浸水深が1mを超える場所もある。6時間経過すると東側の氾濫水は引いているが中央部と西側では残ったままである。12時間後も西側では依然として氾濫水が残っていた。図5より、中央集中型の場合、1時間後に処理区内で薄っすら氾濫水が見られる。2時間後浸水は全体に拡がり、浸水深が0.75mを超える箇所が多くなっている。処理区内の西側や中央部の一部で浸水深1mを超えている。3時間後には、東側の浸水深が浅くなっており、氾濫水が引き始めている。6時間後には東側の氾濫水はほぼ収束しているが、12時間経過しても西側では氾濫水が残り、0.5m前後の浸水深となっている。図6より、後方集中型の場合、1時間後に処理区内で0.01m程の浸水が見られる。2時間後には浸水面積・浸水深は増加し、阪急梅田駅付

近や処理区の西側では水深0.5mを超える場所もある。3時間後には、西側で浸水深が増している一方東側では、浸水面積が減少している。その後中央集中型と同様に、東側で氾濫水が収束するものの、西側で氾濫水が残っているという結果が得られた。

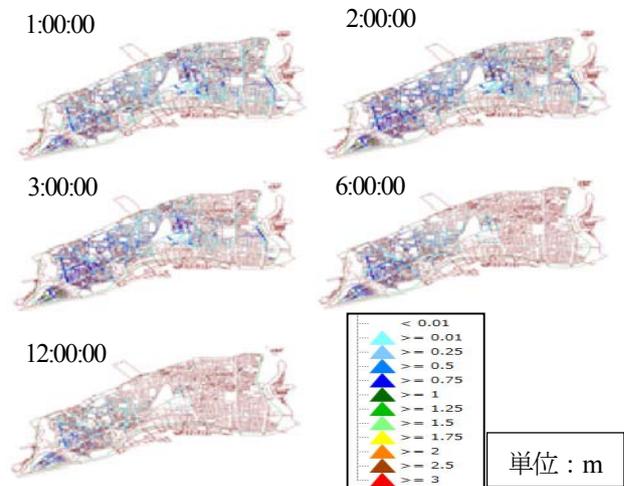


図4 地上の浸水結果(時間降雨141mm 前方集中型)

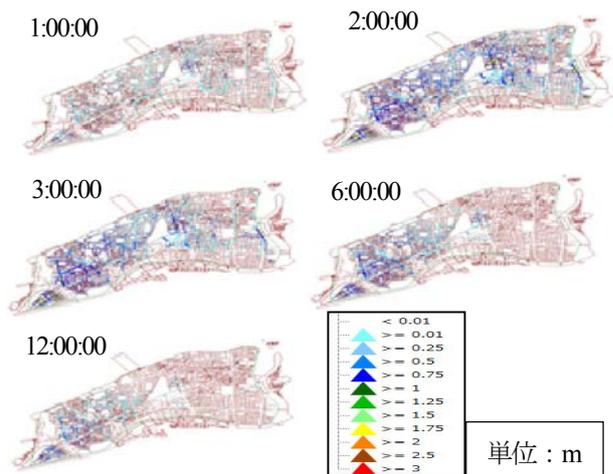


図5 地上の浸水結果(時間降雨141mm 中央集中型)

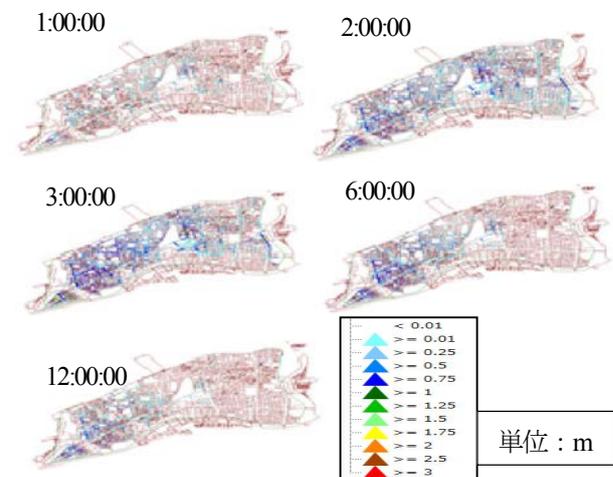


図6 地上の浸水結果(時間降雨141mm 後方集中型)

(2) 地下の浸水結果

地下の浸水結果では、対象とした地下街と地下鉄における浸水深の結果を述べる。また、紙面の制約により、地下街、地下鉄それぞれ1つの箇所について示す。地下街は泉の広場、地下鉄は御堂筋線とする。

ポンプが停止している場合の地下街の浸水深の時間変化を図7、図8、図9に示す。図7より、前方集中型では1時間後には浸水し始める。その後、浸水深は上昇していき最大で約1.3mにまで達する。その後は、全ての地下街で浸水深は減少していき5時間後には1つの地下街を除き、1mほどに収束する。そのため、氾濫水は12時間経過後も残り続けることが分かる。図8より、中央集中型でも前方集中型と同様の浸水深の推移が見られた。前方集中型と異なるのは、浸水深と流入開始時刻である。1時間経過後から浸水が見られ、最大で約1.5mにまで浸水深が増加する。これは、前方集中型よりも大きな値となっており全ての地下街でこのような傾向が見られた。図9より、後方集中型でも、先に述べた2つの降雨形態と同じ浸水深の変化が見られた。氾濫水の流入は中央集中型よりも遅くなることが分かった。浸水深に関しては、中央集中型と同様の値となる。全ての降雨形態で地下街-2.1が他の地下街よりも浸水深が低くなっている。これは、地下街-2.1が離れた場所にあるためと考えられる。これらのことから、泉の広場において中央集中型、後方集中型での浸水深が最も大きな値となることが分かった。また、降雨形態によって氾濫水が流入する時間も異なり、降雨のピークが早いほど流入も早くなることも分かった。

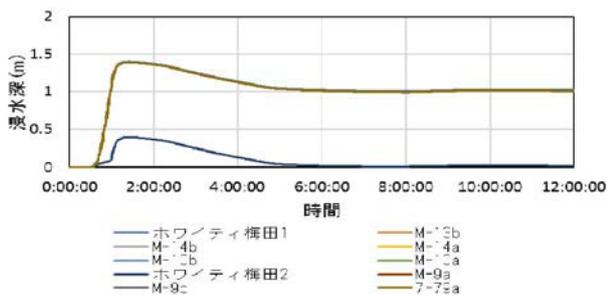


図7 浸水深の時間変化(泉の広場 前方集中型)

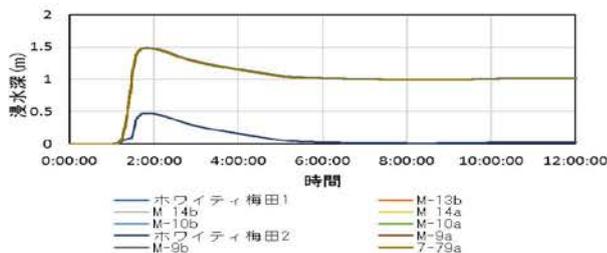


図8 浸水深の時間変化(泉の広場 中央集中型)

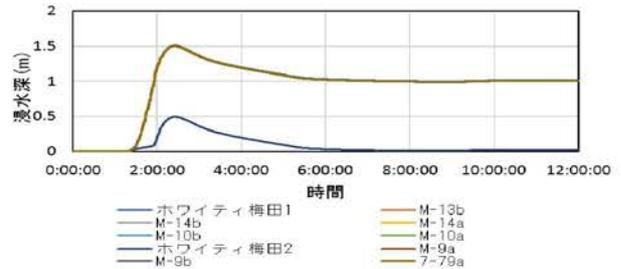


図9 浸水深の時間変化(泉の広場 後方集中型)

ポンプが停止している場合の地下鉄の最大浸水深の結果を図10、図11、図12に示す。図10より、前方集中型では、中津駅、梅田駅、淀屋橋駅、本町駅、心斎橋駅、なんば駅、大国町駅、動物園前駅で浸水が見られた。特に浸水深の大きな駅は中津駅、梅田駅、淀屋橋駅である。最大浸水深は、4mを超えていることが分かった。図11より、中央集中型でも前方集中型と同様の駅で浸水が見られた。最大浸水深は前方集中型とほとんど変わらない。図12より、後方集中型でも浸水が見られた駅は変わらず、また最大浸水深も同様の値となった。浸水が動物園前駅までしか見られなかったのは、隣駅である天王寺駅が比較的高い位置にあるためである。このため、氾濫水は動物園前駅までしか流入しなくなる。また、中津駅、梅田駅、淀屋橋駅での浸水深が大きくなるのは他の駅より地盤高の低い場所に存在するからである。隣接する駅が高く、梅田駅などの位置が低い場合氾濫水が溜まりやすくなり浸水深が高くなると考えられる。また、中津駅と西中島南方駅間にトンネル坑口が存在するため、そこからの流入も考えられる。これらのことから、御堂筋線では地盤高の低い位置にある駅での浸水が見られた。天王寺駅は高い位置に駅があるため浸水の無いことが分かった。このため、天王寺駅より南にある駅でも浸水は見られない。

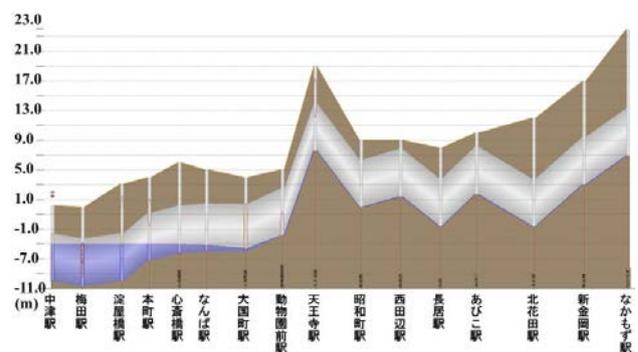


図10 最大浸水深(御堂筋線 前方集中型)

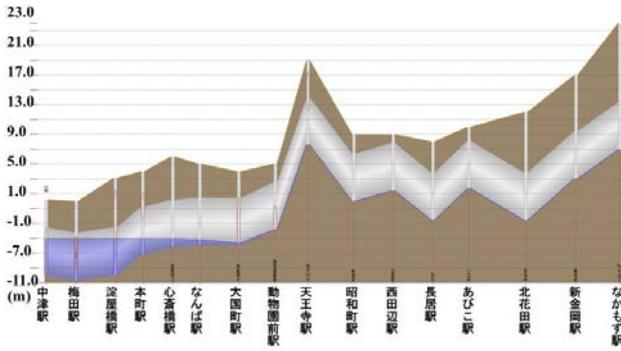


図 11 最大浸水深(御堂筋線 中央集中型)

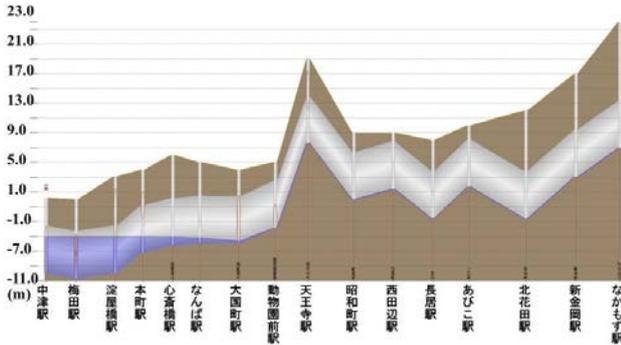


図 12 最大浸水深(御堂筋線 後方集中型)

(3) 安全避難度評価結果

ポンプが停止している場合の地下街の浸水深の時間変化を図 13, 図 14, 図 15 に示す。図 13 より, 前方集中型では, 全ての地下街で安全避難困難を上回ることが分かった。約 30 分後から単位幅比力の値が上昇し, すぐに安全に避難ができなくなり, 自力での避難も困難になる。1 時間ほど単位幅比力が上昇した後減少するが, 12 時間後まで自力避難限界を上回る値になる。このため, 長時間危険であることが言える。また, 地下街-2.1 では, 安全避難困難になるものの約 25 分であり, すぐに安全に避難が可能となる。また, 他の地下街よりも流入するまでの時間が遅くなっている。図 14 より, 中央集中型でも全ての地下街で安全避難困難を上回ることが分かった。さらに, ホワイティ梅田 2 を除く全ての地下街で自力避難限界も上回る値となった。約 1 時間後に単位幅比力の値が上昇し始めている。その後, 急激に増加していき 30 分以内に自力避難限界を上回る。ピークを過ぎた後は前方集中型のととき同様な値の推移が見られた。また, 12 時間経過後の単位幅比力の値は前方集中型とほとんど同じであった。しかし, 全体的に中央集中型での単位幅比力の値が前方集中型より高くなっている。地下街-2.1 において, 前方集中型よりも安全避難困難状態が 25 分ほど長く, 危険度が高くなっていることが分かった。図 15 より, 後方集中型でも全ての地下街で安全避難が困難となり, ホワイティ梅田 2 を除いた地下街で自

力避難が困難となっている。1 時間後から単位幅比力の値に変化が見られ, その 50 分後には, 自力避難限界を上回ることが分かった。また, 単位幅比力の値としては後方集中型が最も大きくなっている。地下街-2.1 において, 単位幅比力の最大値は全ての降雨形態の中で最も大きくなるが, 安全避難困難である時間は, 中央集中型より 5 分ほど短くなっている。これらの結果より, 想定される最大規模の降雨では, 泉の広場において, 自力避難限界となり危険となることが分かった。また, 降雨形態により危険度や危険となる時間が異なることも分かった。

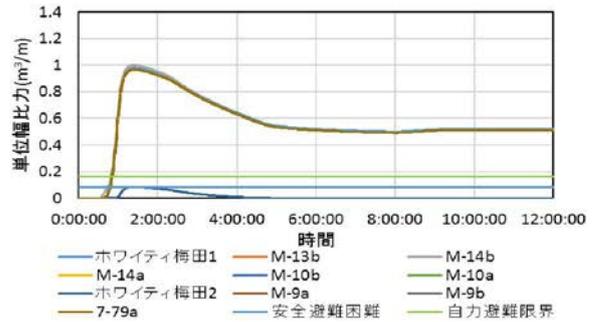


図 13 単位幅比力の時間変化(泉の広場 前方集中型)

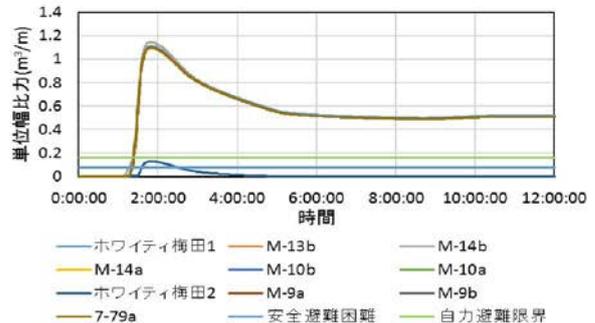


図 14 単位幅比力の時間変化(泉の広場 中央集中型)

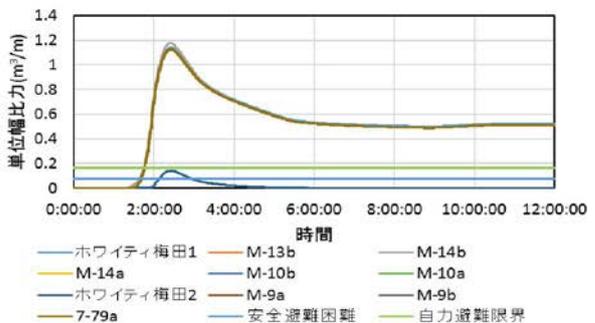


図 15 単位幅比力の時間変化(泉の広場 後方集中型)

ポンプが停止している場合の地下街の浸水深の時間変化を図 16, 図 17, 図 18 に示す。図 16 より, 前方集中型では, 中津駅, 梅田駅, 淀屋橋駅, 本町駅, 心齋橋駅, なんば

駅、大国町駅で単位幅比力の値が安全避難困難を上回った。さらに、大国町駅を除く各駅では、自力避難限界も上回ることが分かった。中津駅では、降雨開始15分後には単位幅比力の値が変化し始めている。次いで梅田駅となっている。両駅は50分後には、自力での避難が限界となっている。自力避難限界となる駅は12時間後も同様の状況となっている。しかし、大国町駅は、時間の経過によって安全避難困難を下回る。図17より、中央集中型でも前方集中型と同様の駅で安全避難困難、自力避難限界を超える値となった。しかし、中央集中型において、大国町駅では、12時間後も安全避難困難となっている。また、他の駅でも、前方集中型よりも高い値を取っている傾向にある。中津駅、梅田駅において、前方集中型よりも単位幅比力の値に変化が見られ始めるのは約35分遅くなっている。図18より、後方集中型でも他の降雨形態と同様の駅で危険性があると分かった。しかし、後方集中型において、大国町駅では時間が経過すると安全避難困難を下回るため危険箇所でなくなる。前方集中型よりも25分ほど早くに危険度が下がる。後方集中型でも単位幅比力の値に変化が見られるのは中津駅と梅田駅が早く、約1時間後に増加し始めている。また、他の降雨形態よりも単位幅比力の値が低くなる傾向が見られた。これらのことから、想定される最大の降雨において、御堂筋線では特に、中津駅、梅田駅、淀屋橋駅が危険となる。また、降雨形態による影響があることも分かった。

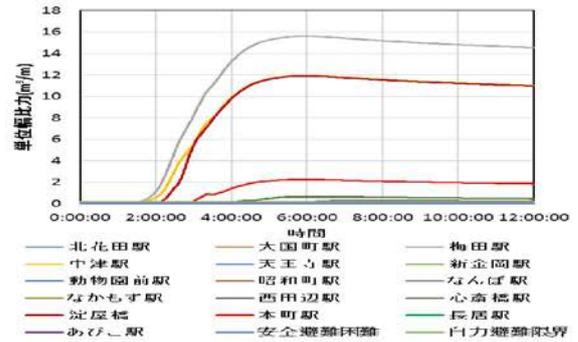


図18 単位幅比力の時間変化(御堂筋線 後方集中型)

5. おわりに

本研究では、大阪市の海老江処理区内にある地上と地下空間を対象とした内水氾濫解析を行った。気候変動などの影響を考慮し、今後対象地域で起こると予測される最大の1時間降雨量である141mmの降雨を外力とした。また、降雨形態の違いによる影響も考慮するため前方集中型、中央集中型、後方集中型の3つの降雨形態を用いて各降雨形態の地上と地下の解析を行ったその結果を用いて、地下街の安全避難評価を行い、想定最大の降雨や降雨形態の違いによる影響を検討した。得られた結果を以下にまとめる。

地上の氾濫解析については、InfoWorks ICMを用いて、3つの降雨形態を対象として内水氾濫解析を行い、地上の浸水状況を把握した。前方集中型の場合、1時間後には、対象地域全域で浸水が見られた。中央集中型と後方集中型でも2時間後には、同様な浸水域となった。また、最大浸水深はそれぞれ1mを超えた。全ての降雨形態で6時間後には東側では収束し、12時間経過しても西側に氾濫水が残った。降雨のピークが早い時間にあると浸水するまでに時間がかからないことが分かった。そのため、降雨形態によって浸水開始から収束するまでの時間にずれが乗じることも分かった。

地下の氾濫解析については、地下街と地下鉄における氾濫水の広がり、任意地点での流速と水深を求めた。地下街では、泉の広場などで1mを超える浸水深が見られた。地下鉄では、御堂筋線の梅田駅や谷町線の天神橋筋六丁目駅などでの浸水深が大きくなることが分かった。JR東西線の御幣島駅などのような対象地域外に位置する駅でも浸水が及んでいることを確認した。また、降雨形態によって浸水深に違いが生じることが分かった。特に、中央集中型において浸水深の大きくなる傾向が見られた。

地下街と地下鉄の安全避難度評価については、単位幅

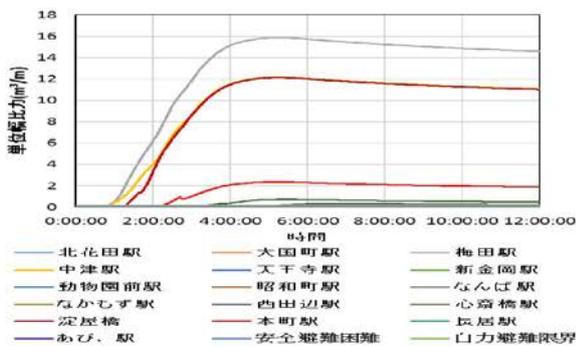


図16 単位幅比力の時間変化(御堂筋線 前方集中型)

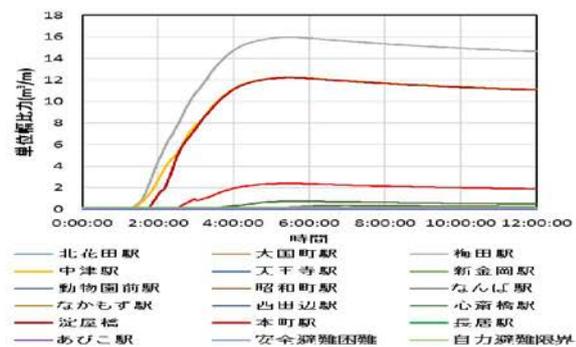


図17 単位幅比力の時間変化(御堂筋線 中央集中型)

比力を用いて評価した。避難者属性は高齢女性とし、避難困難度指標を用いた。地下街では、泉の広場などが危険であることが分かった。長時間危険となる場所や短時間で安全になる場所など地下街によって差が見られた。地下鉄では、御堂筋線の梅田駅や谷町線の天神橋筋六丁目駅などが危険となることが分かった。降雨形態によって危険か安全か違う駅もあり、降雨形態によって危険性が異なるということが分かった。これにより、降雨形態の違いによって安全避難に影響することが分かった。避難が困難になる地下街や地下鉄が多い、つまり危険となりやすいのは中央集中型であることも分かった。

謝辞：最後に本研究を遂行するにあたり、多数の方々にお力添えを頂きました。ここで感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森兼政行, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一：大規模地下空間を有する都市域における地下空間への内水氾濫水の流入特性とその対策, 水工学論文集, 第 55 巻, pp967-972, 2011.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局：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.
- 3) 黄碧蕊, 齋藤千夏, 尾崎平, 石垣泰輔, 戸田圭一：極端気象下での地下街浸水時の安全避難について, 土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 23 巻, pp.103-112, 2018.
- 4) 大西良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：地下空間浸水時の避難困難度と利用者の水防意識について, 水工学論文集, 第 51 巻, pp559-564, 2007.