

密集市街地における外水氾濫時の 地下空間浸水について

INUNDATION OF UNDERGROUND SPACE BY FLUVIAL FLOOD IN URBAN AREA

増田達紀¹・石垣泰輔²・島田広昭³・戸田圭一⁴

Tatsuki MASUDA, Taisuke ISHIGAKI, Hiroaki SHIMADA, Keiichi TODA

Some parts of Japanese mega cities such as Tokyo, Nagoya and Osaka are below sea level and these areas are prone to floods. Inundation of underground spaces by pluvial and tsunami flood have been investigated in our previous works. The study area in the center of Osaka is also prone to inundation by fluvial flood because the area is surrounded by rivers. Underground inundation when Yodo river will overflow is investigated in this paper. From the results, it is found that 40 to percent of total overtopping discharge intrudes into underground spaces, and that the drainage system is effective when the maximum value of overtopping is under 200 m³/s.

Key Words : fluvial flooding, underground inundation, urban area, drainage system

1. はじめに

近年、地球温暖化による気候変動に伴う異常気象や都市化に起因する局所的な集中豪雨が増加している。それにより内水氾濫、外水氾濫、高潮氾濫が発生する。また南海トラフ巨大地震の発生など大規模地震の発生が懸念されており、津波氾濫が発生する。都市化によって保水・遊水機能が低下し、水災害時の氾濫水の排除は下水道に頼っている。また、都市機能として大規模地下空間をもつ場合もあり地盤の低い地下空間への浸水が懸念されている。近年、福岡(1999年，2003年)、東京(1999年)、名古屋(2000年，2011年)など、大都市の地下において度々浸水被害が発生しており、浸水に対する地下空間の脆弱性が明らかとなった。

本研究対象地域には大規模地下空間が存在し、既往研究において長期間浸水することや避難困難となることが分かっている。しかし既往研究¹⁾²⁾³⁾⁴⁾では外水氾濫に対する検討は行われておらず、本研究では外水氾濫時の地下空間浸水について検討を行うこととした。ここではInfoWorks CSを用い、大規模地下空間がある海老江処理区を対象とし、下水管路網を考慮した解析を行い、内水氾濫時と外水氾濫時の地下空間浸水について検討した。

2. 検討方法および検討条件

(1) 検討対象地域の概要

図-1に示す海老江処理区は大阪市内に12ある処理区の中のひとつであり、市内のほぼ中央に位置し、北区及び福島区の下水处理を担っている。北野抽水所、天満堀川抽水所、出入橋抽水所の3つのポンプ場、終末処理場として海老江処理場をもっている。大阪市北区梅田は西日本で最大の繁華街であり、地上にはホテル・百貨店・オフィスビルが立ち並んでいるほか、主要道路の地下にホワイティうめだ・ディアモール大阪といった地下街がある。梅田地域は地盤高が周辺より1~2m低くなっており、氾濫水が集まり浸水に対して脆弱である。また地下街に流れ込むと人命にかかわる恐れがあるため、浸水対策や安全な避難経路の確保が重要である。

本研究では、下水道ネットワークと地上の氾濫水を同時に計算できるInfoWorks CSを用いた。モデルは、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ている。地表面流出量は管内水理モデルのインプットデータとなり、管渠内水理は、サン・ブナン式(圧力時はプライスマンのスロットモデル)により計算される。管渠については、大阪市が公表している管径φ200mm以上の管渠ネットワークを

キーワード：地下空間，地下空間浸水，外水氾濫，密集市街地，地下鉄駅，氾濫解析

¹学生会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

^{2,3}正会員 博(工) 関西大学教授 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

⁴正会員 Ph.D. 京都大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

用いて計算を行った。また、対象地域内に存在する下水処理場及びポンプ場も考慮した。地盤高データは、航空レーザ測量による地盤高データではなく、マンホールの地盤高データを用いた。理由としてマンホールの地盤高が現地での測量に基づくものであり、航空レーザ測量と同様に精度の高い結果であると判断したためである。地表面氾濫計算は、非構造格子による2次元不定流解析(浅水流モデル)である。マンホールからの格子への溢水量および格子からマンホールへの流入量は、堰の公式を用いており、地表面氾濫計算と管内水理解析は連動している。また、地下街出入口は、モデル内に現地調査に基づく道路面からの高さ、出入口幅を堰で表現した。よって、地下街出入口付近の道路における浸水深が堰高を超えると地下街へ流入する。

図-1 に示す外水氾濫の破堤地点は、淀川河川事務所資料に基づき淀川左岸 9.2km 地点とし、破堤幅は 145m とした。図中の破線は堤防が高く、対象範囲外への流出はしないと、実線の境界では対象範囲外に氾濫水が流出するように設定した。

図-2 に本研究における地下空間の位置を示す。中津・中崎町、天神橋筋六丁目、扇町、南森町・天満橋、福島・新福島、海老江・野田阪神、玉川の 11 駅、破線が大規模地下空間となっており 5 駅が存在する。なお、大規模地下空間を図-3 のように A から F にエリア分けし結果をまとめている。

(2) 淀川氾濫解析結果による解析条件の決定

従来行われている外水氾濫シミュレーションとして淀川河川事務所による被害想定がある。過去に淀川水系に大きな被害をもたらした1953年(昭和28年9月)の2日間の総雨量の2倍(約500mm)の雨量があった場合を想定した計算を行っている。

そこで本研究ではInfoWorks CSで行った外水氾濫解析結果と比較することによってモデルの検証を行った。解析条件を淀川河川事務所が行った被害想定条件と同様のものとするために、モデル内に住区と構造物、氾濫水の地下空間への流入、雨水排除施設を考慮せずに解析を行った。ハイドログラフの設定条件として図-4 に示す淀川河川事務所が扱った淀川洪水波形から図に示す直線上側をピーク流量4000 m^3/s のハイドログラフ(以下：東海豪雨級)として用いた。氾濫時間は10.9時間、氾濫量は9323万 m^3 、解析時間は24時間としている。

図-5 に淀川河川事務所が行った被害想定とInfoWorks CSで行った外水氾濫解析結果の比較を示す。浸水域の拡がり、浸水深ともに同様な結果となり解析条件が得られたと判断した。

次に、より現実的な解析を行うために、モデル内に住



図-1 海老江処理区



図-2 地下空間の位置

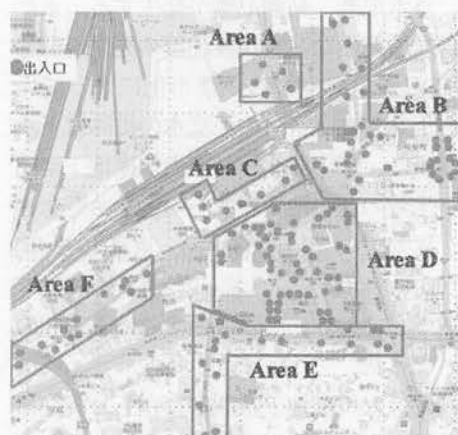


図-3 大規模地下空間のエリア分け

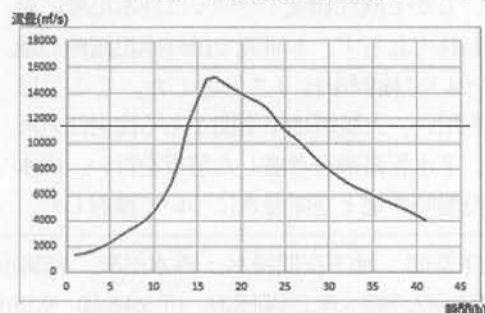


図-4 淀川洪水波形

区と構造物、氾濫水の地下空間への流入、雨水排除施設のポンプの稼働を考慮し解析を行った。

表-1および表-2 に地下空間への流入量を示す。氾濫量の9300万 m^3 に対して、約40%の氾濫水が地下空間へ流入し、氾濫量の18%が大規模地下空間へ流入することが分かった。エリア別ではエリアBの流入量が最も多く、大規模地下空間の流入量のうち約55%の氾濫水の流入がみられた。

また氾濫水の挙動としてエリアBが氾濫地点から最も近く、氾濫水の流入はエリアBが最初に流入することが

分かった。地下鉄駅は中津・中崎町、天神橋筋六丁目の流入量が多くなっており、地下街と同様に氾濫地点から近いためであると考えられる。氾濫量の約10%が中津・中崎町へ流入し、氾濫量の約9%が天神橋筋六丁目へ流入することが分かった。

図-6 は地下空間を考慮した場合としない場合の解析結果である。それぞれの解析結果を比較すると、地下空間を考慮した場合の方が浸水域、浸水深ともに小さくなっており、多くの氾濫水が地下空間に流入していることが分かる。

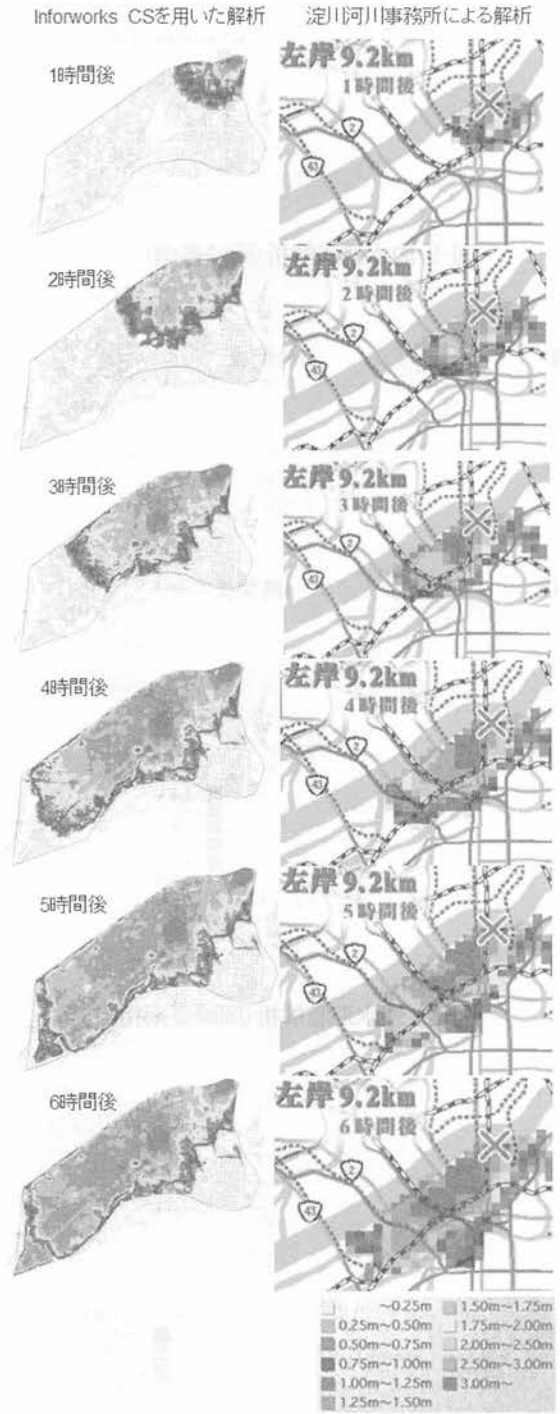


図-5 解析結果の比較

表-1 大規模地下空間の流入量(東海豪雨級)

外水(東海豪雨級)	流入箇所	エリア	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	Area F	合計
129箇所	総流入量(m^3)		2339349	9179462	1115145	3078983	670087	237687	16812823

表-2 地下鉄駅の流入量(東海豪雨級)

外水(東海豪雨級)	玉川	海老江野田阪神	福島新福島	中津中崎町	天神橋筋六丁目	福町	南森町天満橋	合計
	130000	330000	690000	10000000	8700000	730000	17000	20597000



図-6 地下空間を考慮した場合としない場合

3. 外水氾濫特性

(1) 内水氾濫との比較

外水氾濫特性を検討するにあたり、内水氾濫と外水氾濫とではどのような氾濫特性の違いがあるか検討するために、既往研究で対象とされた海老江処理区に多大な被害をもたらすとされている平成20年8月に愛知県岡崎市で発生した豪雨(以下：岡崎豪雨)を対象とし内水氾濫解析を行った。図-7 にハイトグラフを示す。降雨継続時間は3時間、最大1時間降水量は146.5mm、総降雨量は242.0mmとなっている。

外水氾濫には岡崎豪雨の総降雨量と同量を外水氾濫量297万 m^3 とし、淀川洪水波形のピーク前後と相似形となるハイドログラフを用いた(図-8)。氾濫時間は2.4時間、氾濫量は2965319 m^3 、解析時間は24時間とした。

図-9 に内水氾濫解析結果、図-10 に外水氾濫結果を示す。浸水域の時間変化についてみると、内水氾濫計算結果では降雨開始から30分後では氾濫がみられないのに対して、外水氾濫では破堤地点周辺に氾濫している。内水氾濫では降雨30分後にはまだ雨水排除が効いているために氾濫が発生していないためである。2時間後における解析結果では氾濫域は内水氾濫のほうが大きくなっているが、内水・外水氾濫ともに大規模地下空間をもつ梅田地域の浸水がみられ、その後長期間にわたり浸水している。内水氾濫での最大道路冠水面積は約252ha、外水氾濫では約113ha となっている。浸水深については外水氾濫のほうが大きく、梅田周辺では内水氾濫よりも約0.5m高く、1.70mを超える地点もある。最大流速の分布を図-11 に示す。外水氾濫では氾濫地点から大規模地下空間へ流速が高くなっていることが分かる。また、内水氾濫解析よりも流速が大きくなっている。

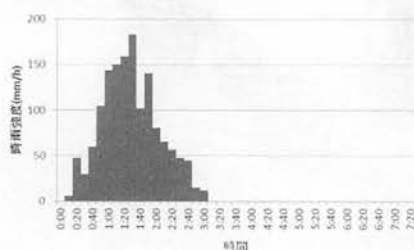


図-7 岡崎豪雨のハイトグラフ

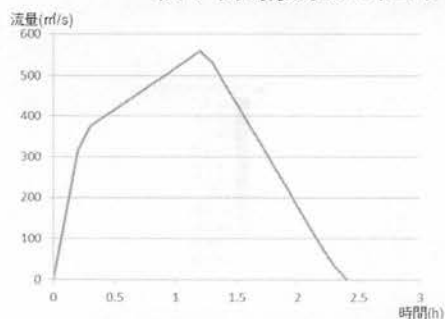


図-8 岡崎豪雨相当の外水氾濫ハイドログラフ

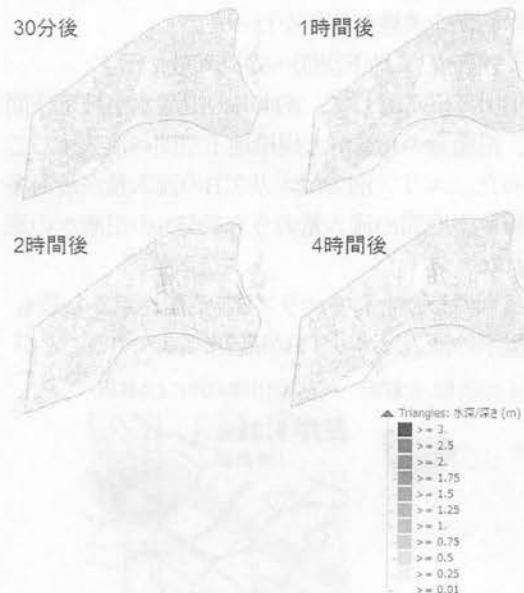


図-9 内水氾濫解析(岡崎豪雨)

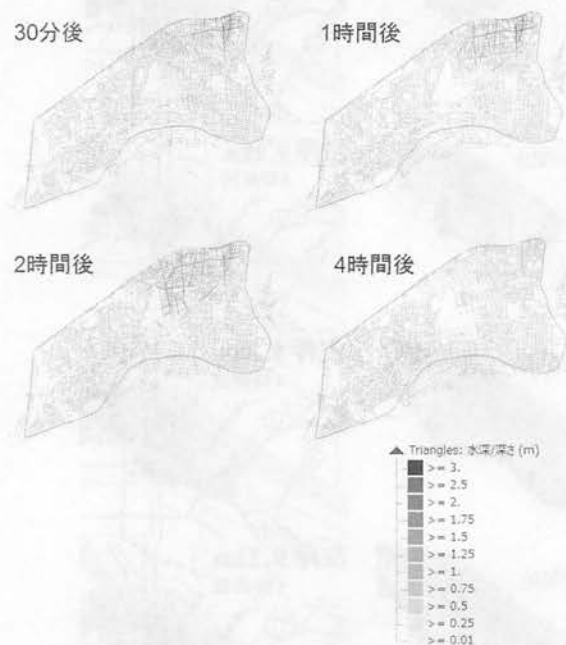


図-10 外水氾濫解析(岡崎豪雨相当)



図-11 最大流速の分布(左：内水氾濫、右：外水氾濫)

(2) ピーク流量を変化させた検討

氾濫規模による特性の違いについて検討するため、本研究ではピーク流量を変化させ外水氾濫解析を行った。ピーク流量4000m³/sに加え、3000m³/s、2000m³/s、1500m³/s、1000m³/s、500m³/s、400m³/s、300m³/s、200m³/s、100m³/sの9種の条件で外水氾濫解析を行った。用いたハイドログラフを図-12に示す。またそれぞれの流入時間、総流入量を表-3に示す。また、雨水排水施設の効果について検討するために、ポンプを稼働した場合としない場合について解析を行った。

図-13に最大浸水時の解析結果を示す。結果より、大規模地下空間に氾濫水が達し、流入していると考えられる氾濫規模はピーク流量200m³/sよりも大きい外水氾濫時であり、次章で地下空間浸水について検討する。解析結果より海老江処理区南東地域には氾濫水が達していないが、これは地盤が高く氾濫水が到達しないためであると考えられる。

図-14に雨水排水施設のポンプの稼働を停止した場合の解析結果を示す。図-13のポンプを稼働した場合と比較すると、浸水域が海老江処理区全体に広がっており、図-15に示した最大浸水面積の比較から、ポンプ稼働による減災効果がピーク流量1500m³/s以下の条件で認められる。ポンプを稼働することにより、浸水面積が約70%から約3%減少するが、その効果はピーク流量が小さい場合に限られる。

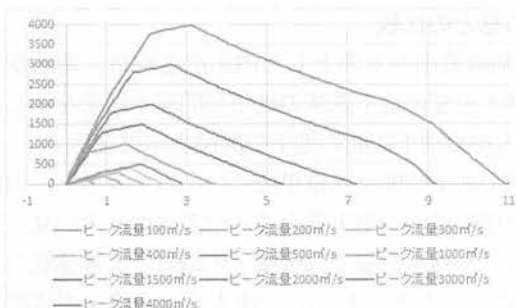


図-12 ピーク流量別ハイドログラフ

表-3 各流入時間と総流入量

氾濫規模	流入時間(h)	総流入量(m ³)
ピーク流量100m ³ /s	0.7	128080
ピーク流量200m ³ /s	1.4	512304
ピーク流量300m ³ /s	1.9	1083616
ピーク流量400m ³ /s	2.4	1853245
ピーク流量500m ³ /s	2.9	2909040
ピーク流量1000m ³ /s	3.7	8142233
ピーク流量1500m ³ /s	5.4	15743141
ピーク流量2000m ³ /s	7.1	27120849
ピーク流量3000m ³ /s	9.1	47655316
ピーク流量4000m ³ /s	10.9	93234867

図-16にポンプの稼働状況を示す。北野抽水所のポンプはピーク流量200m³/s以上の規模より稼働限界となっており、天満堀川抽水所ではピーク流量1000m³/sで稼働限界、出入橋抽水所ではピーク流量500m³/sで稼働限界、海老江処理場ではピーク流量1500m³/sで稼働限界となっている。

以下のことから外水氾濫の規模の程度により、それぞれの集水域への負荷は異なり、破堤地点に近い集水域をもつ抽水所の負荷が大きくなり、北野集水域への負荷がいつれの場合においても最も大きいなるということが分かる。

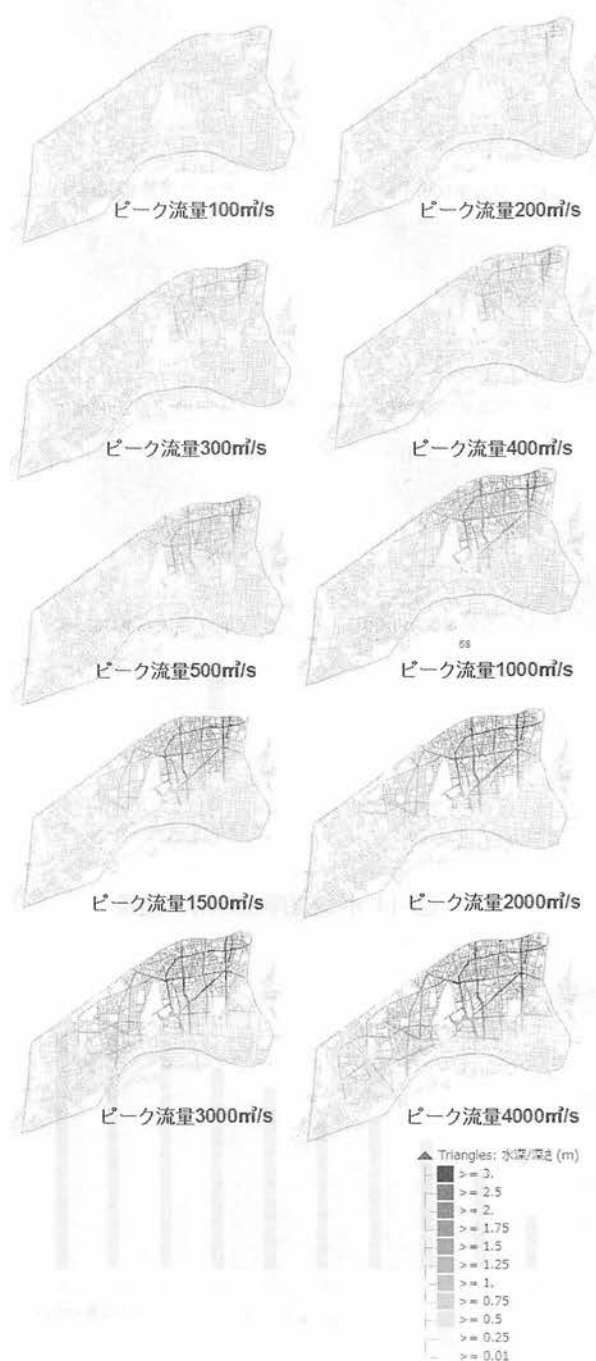


図-13 最大浸水時解析結果

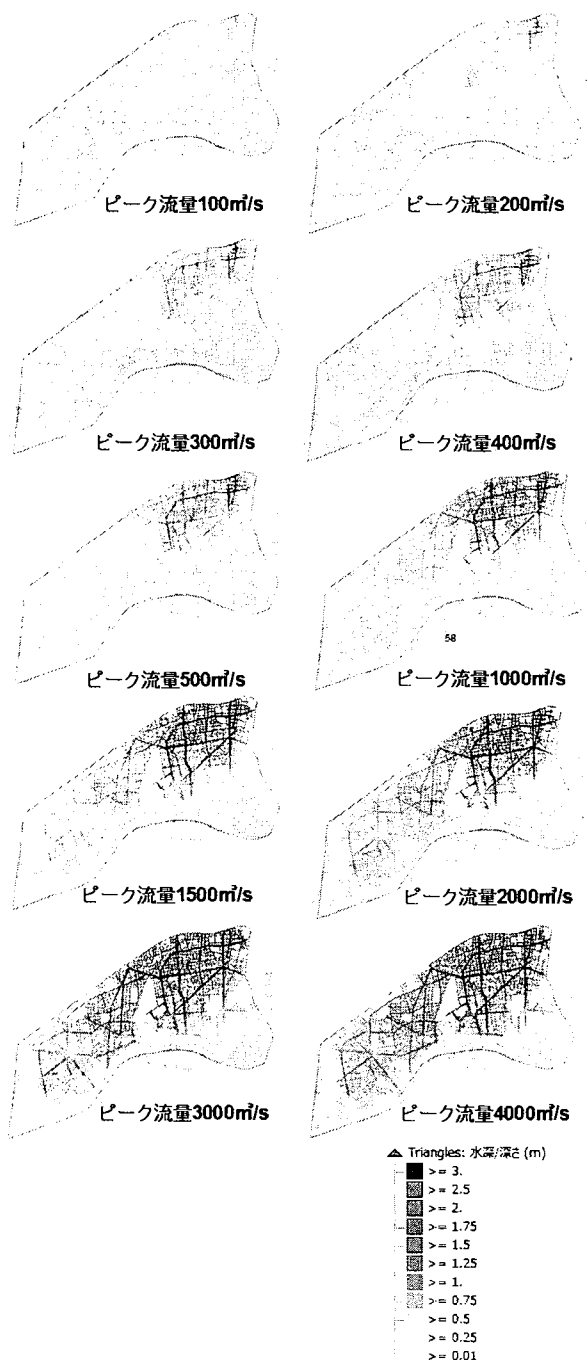


図-14 ポンプ停止時解析結果

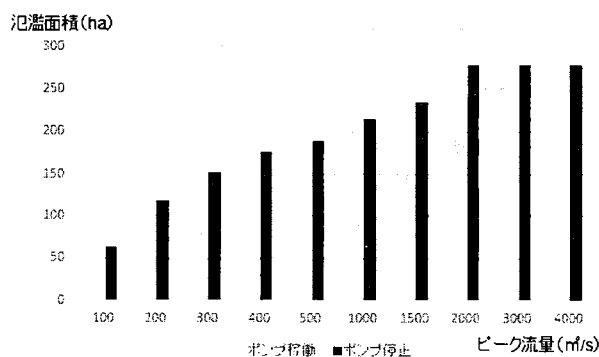


図-15 最大浸水面積比較

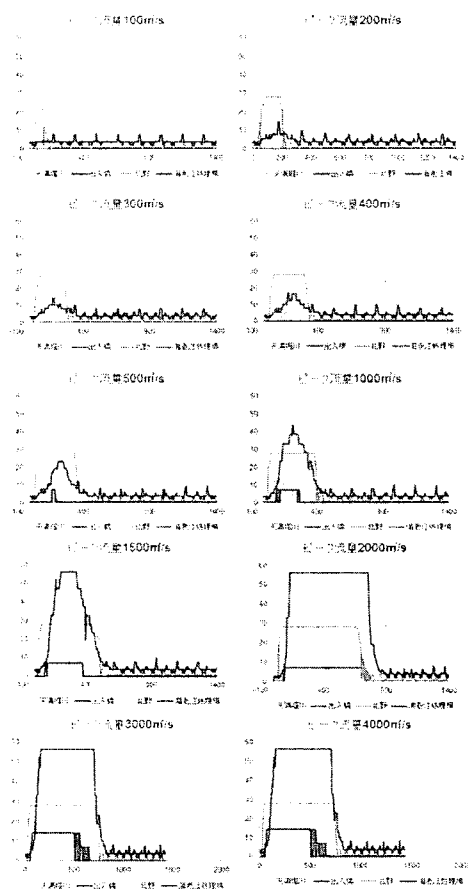


図-16 ポンプ稼働状況

4. 地下空間浸水

(1) 氾濫形態との比較

表-4 に岡崎豪雨を対象とした内水氾濫解析、岡崎豪雨相当の外水氾濫の地下鉄駅の地下空間浸水結果を示し、表-5 に大規模地下空間の地下空間浸水結果を示す。

地下鉄駅の地下空間浸水結果についてみると、内水氾濫では扇町以外の地下鉄全てに氾濫水の流入が見られるのに対し、外水氾濫では中津・中崎町、天神橋筋六丁目の2駅のみである。しかし、流入量は中津・中崎町では内水氾濫の88646m³の約5倍の405959m³が流入し、天神橋筋六丁目では内水氾濫の13056m³の約18倍の239690m³の氾濫水が流入しており、全体では内水氾濫の115829m³の約6倍の645649m³が流入している。

大規模地下空間の地下空間浸水結果についてみると、内水氾濫では全てのエリアに流入がみられ、流入箇所数は49箇所となっている。外水氾濫では流入がみられるのはエリアAからエリアDであり流入箇所数も41箇所と内水氾濫に比べて少ないが、大規模地下空間の総流入量は内水氾濫の206045m³の約2倍の426375m³となっている。

これらのことから地下空間の氾濫水の流入は内水氾濫は外水氾濫に比べて流入箇所は多いが、外水氾濫のほうが流入量が多くなることが分かる。

表-4 地下鉄駅の地下空間浸水結果

地下鉄駅名	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)
	内水氾濫(岡崎豪雨)	外水氾濫(岡崎豪雨相当)	外水氾濫(東海豪雨襲)
玉川	764	0	130000
海老江、野田阪神	2187	0	330000
福島、新福島	10659	0	690000
中津、中崎町	88646	405959	10000000
天神橋筋六丁目	13056	239690	8700000
扇町	0	0	730000
南森町、天満橋	518	0	17000
合計	115829	645649	115829

表-5 大規模地下空間の地下空間浸水

流入箇所	エリア	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	Area F	合計
内水氾濫 49箇所	総流入量 (m³)	74751	108845	4067	16665	1534	183	206045
外水氾濫 41箇所	総流入量 (m³)	158769	248503	17904	1199	0	0	426375

(2) ピーク流量を変化させた検討

表-6に各ピーク流量別外水氾濫の地下鉄駅の地下空間浸水結果を示す。表-7に大規模地下空間の地下空間浸水結果を示す。図-17に地下空間流入率を示す。

図-17より氾濫規模が大きくなるにつれて地下空間の総流入量、総氾濫量に対する梅田地下街の流入割合は大きくなっていることが分かり、ピーク流量1500m³/s以上の規模では総氾濫量の約40%がほぼ一定の割合で地下空間に流入し、また梅田地下街には総氾濫量のうち約18%が流入することが分かった。

表-6より氾濫規模が大きくなるにつれて、地下鉄駅の流入量が多くなっている。ピーク流量100m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の約1%、ピーク流量200m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の約8%、ピーク流量300m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の約17%であるがピーク流量400m³/s 規模以上の外水氾濫すべてにおいて流入量は総氾濫水量の約20%となる。

表-7より大規模地下空間の氾濫水の流入ではすべての氾濫規模においてエリアBの流入量が大きくなっており、ピーク流量200m³/s以上の規模より流入が見られた。エリアDからエリアFにおいては段階的な氾濫水の流入が見られた。ピーク流量100m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の0%、ピーク流量200m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の0.1%、ピーク流量300m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の3%、ピーク流量400m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の11%、ピーク流量500m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の13%、ピーク流量1000m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の32%、ピーク流量1500m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の33%、ピーク流量2000m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の17%、ピーク流量3000m³/s 規模の外水氾濫では流入量は総氾濫水量の15%、ピーク流量4000m³/s 規模の外水氾濫

表-6 地下鉄駅の地下空間浸水結果

地下鉄駅名	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)
	100m³/s	200m³/s	300m³/s	400m³/s	500m³/s	1000m³/s	1500m³/s
玉川	0	0	0	0	0	0	0
海老江、野田阪神	0	0	0	0	0	0	0
福島、新福島	0	0	0	0	0	0	1296
中津、中崎町	0	11557	100118	228939	410480	1049818	2067241
天神橋筋六丁目	1324	31760	78685	142506	224415	668668	1444016
扇町	0	0	315	1660	4847	20316	79093
南森町、天満橋	0	0	0	0	0	0	0
合計	1324	43317	179118	373105	63972	1738902	3591646

地下鉄駅名	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)	流入量 (m³/s)
	2000m³/s	3000m³/s	4000m³/s
玉川	55095	25068	130000
海老江、野田阪神	90697	113298	330000
福島、新福島	171749	33553	690000
中津、中崎町	368949	6503435	10000000
天神橋筋六丁目	554344	5309964	8700000
扇町	85857	1842	730000
南森町、天満橋	584	358	1700
合計	1362385	12672996	20597000

表-7 大規模地下空間の地下空間浸水

	エリア	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	Area F	合計
100m³/s	総流入量 (m³)	0	0	0	0	0	0	0
200m³/s	総流入量 (m³)	0	463	0	0	0	0	463
300m³/s	総流入量 (m³)	9	35487	0	0	0	0	35496
400m³/s	総流入量 (m³)	94569	109962	2409	0	0	0	206940
500m³/s	総流入量 (m³)	151281	205752	12499	297	0	0	369829
1000m³/s	総流入量 (m³)	353409	726207	78772	62867	80	0	1221335
1500m³/s	総流入量 (m³)	625275	1592413	167416	25391	15137	703	2676334
2000m³/s	総流入量 (m³)	951418	2740733	329159	564214	60886	18846	4665257
3000m³/s	総流入量 (m³)	1641083	5714646	692582	154722	268821	106103	8577957
4000m³/s	総流入量 (m³)	2336348	9179492	1115145	3078863	670087	237687	16617623

流入率 (%)

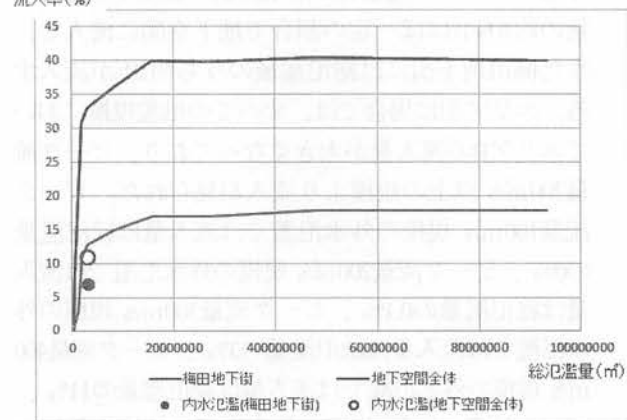


図-17 地下空間流入率

では流入量は総氾濫水量の18%となった。また各ピーク流量の大規模地下空間の流入箇所数では、ピーク流量100m³/sでは0箇所、ピーク流量200m³/sでは2箇所、ピーク流量300m³/sでは14箇所、ピーク流量400m³/sでは17箇所、ピーク流量500m³/sでは40箇所、ピーク流量1000m³/sでは68箇所、ピーク流量1500m³/sでは71箇所、ピーク流量2000m³/sでは92箇所、ピーク流量3000m³/sでは112箇所、ピーク流量4000m³/sでは143箇所すべての出入り口に流入が見られた。

5. まとめ

以上、密集市街地における外水氾濫時の地下空間浸水について、種々の規模の外水氾濫条件で検討を行った。得られた主な結論は以下のとおりである。

- 1) 既往研究で扱われた岡崎豪雨を対象とした内水氾濫解析と同規模の外水氾濫解析結果では、大規模地下空間をもつ梅田地域の浸水がみられ、その後長期間にわたり浸水する。内水氾濫の最大浸水面積は約252ha、外水氾濫では約113haとなり内水氾濫のほうが浸水面積が大きくなる。しかし、浸水深については外水氾濫解析のほうが大きく、梅田周辺では内水氾濫解析よりも約0.5m高く、1.70mを超える地点もみられた。地下空間浸水については、地下空間の氾濫水の流入は内水氾濫は外水氾濫に比べて流入箇所は多いが、外水氾濫のほうが流入量が多くなる。
- 2) 地下鉄駅への氾濫水の流入はピーク流量100m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の約1%、ピーク流量200m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の約8%、ピーク流量300m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の約17%であるが、ピーク流量400m³/s規模以上の外水氾濫すべてにおいて流入量は総氾濫量の約20%となる。
- 3) 氾濫規模が大きくなるにつれて地下空間の総流入量、総氾濫量に対する梅田地下街の流入割合は大きくなり、ピーク流量1500m³/s以上の規模では総氾濫量の約40%がほぼ一定の割合で地下空間に流入し、また梅田地下街には総氾濫量のうち約18%が流入する。エリア別の場合では、すべての氾濫規模においてエリアBの流入量が大きくなっており、ピーク流量200m³/s以上の規模より流入が見られた。ピーク流量100m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の0%、ピーク流量200m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の0.1%、ピーク流量300m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の3%、ピーク流量400m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の11%、ピーク流量500m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の13%、ピーク流量1000m³/s規模の外水氾濫

では流入量は総氾濫量の32%、ピーク流量1500m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の33%、ピーク流量2000m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の17%、ピーク流量3000m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の15%、ピーク流量4000m³/s規模の外水氾濫では流入量は総氾濫量の18%となった。また各ピーク流量の大規模地下空間の流入箇所数では、ピーク流量100m³/sでは0箇所、ピーク流量200m³/sでは2箇所、ピーク流量300m³/sでは14箇所、ピーク流量400m³/sでは17箇所、ピーク流量500m³/sでは40箇所、ピーク流量1000m³/sでは68箇所、ピーク流量1500m³/sでは71箇所、ピーク流量2000m³/sでは92箇所、ピーク流量3000m³/sでは112箇所、ピーク流量4000m³/sでは143箇所すべての出入り口に流入が見られた。

6. 今後の課題

これまで、対象地区の内水氾濫、津波氾濫および高潮氾濫時の地下空間浸水について検討してきた。今後は、本論文で得られた結果と他の水災害時の結果との比較検討および減災対策について考慮する予定である。

参考文献

- 1) 浅野統弘, 尾崎平, 石垣泰輔, 戸田圭一: 密集市街地における内水氾濫時の歩行避難および車両移動の危険度評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.4, I_1561-I_1566, 2013.
- 2) 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特性とその対策, 水工学論文集, Vol.55, pp.967-972, 2011.
- 3) 井上知美, 川中龍児, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一: 内水氾濫における大規模地下街の浸水過程と避難の安全性に関する検討, 水工学論文集, Vol.55, pp.973-978, 2011.
- 4) 浅野統弘・尾崎平・石垣泰輔・戸田圭一: 南海トラフ巨大地震による津波襲来時の大規模地下空間の浸水予測, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 70, No4, I_1435-I_1440, 2014.