

密集市街地における地下駅浸水について

INUNDATION OF UNDERGROUND STATION BY PLUVIAL FLOOD IN URBAN AREA

寺田 光宏^{1*}・石垣 泰輔²・島田 広昭³

Mitsuhiro TERADA^{1*}, Taisuke ISHIGAKI², Hiroaki SHIMADA³

There are many subway stations in mega cities such as Tokyo, Nagaya and Osaka. Some parts of these cities are below sea level and the stations are also there. These stations are vulnerable to pluvial, fluvial, storm surge and tsunami floods. In this paper, vulnerability of underground stations to pluvial flood in the center of Osaka is investigated by using a general-purpose software for analyzing hydraulic problems, InfoWorks CS. There are 16 stations in the study area and all stations are prone to inundation when a heavy rainfall of 146.5 mm per hour will come down. It is the reason why the inundation on ground level occurs in all parts of the drainage area in this case. To protect the intrusion to these stations, setting a stop-board at entrance is an effective counter measure against inundation on the basis of calculations.

Key Words : pluvial flooding, underground inundation, subway station, urban area

1. はじめに

近年，地球規模の気候変動の影響により，局所的な集中豪雨が増加している．都市部では下水道の流下能力を上回る集中豪雨（ゲリラ豪雨）の増加により，内水氾濫の発生する事例が見られる．2011年8月と2013年8月に大阪の中心部において内水氾濫による，浸水被害が発生している．

本研究で扱う地下街の浸水に関する研究は現在まで，いろいろな形で研究がなされている．しかし，単独の地下鉄の駅の浸水に関する研究は地下街の研究に比べると少ない．

例えば，森兼ら^{1) 2)}によると海老江処理区においてInfoWorks CSを用いた大規模地下空間を対象とした内水氾濫における地下街への対策の研究がなされている．また尾崎ら³⁾，浅野ら⁴⁾によって同じくInfoWorks CSを用いた海老江処理区の脆弱要因等の研究がなされている．さらに，尾崎ら⁵⁾によって，海老江処理区において短時間集中豪雨に伴う内水氾濫による地下街浸水特性の研究がなされている．

以上のように，同じ地下空間であるが，地下駅の浸水についての研究は今まで，あまりなされてこなかった．そこで，本研究では，地下駅の浸水特性を明らかにするとともに地下街浸水との比較を行う．

2. 対象地区及び対象駅の概要

(1) 対象地区の概要

図-1に対象とする海老江処理区の概要を示す．本研究で対象とする海老江処理区は昭和15年に通水し，大阪駅を含む大阪の北部中心市街地の内水排除を担っている．対象とする区域は福島区の全部，中之島を除く北区の大部分及び此花区の一部である．処理区の面積は1,215haとなっている．処理区内には1つの処理場と3箇所の抽水所があり，これらの施設で最大時間雨量60mm/hrの雨水排水能力がある．対象地域の西側から中心部にかけて地盤高が低く，0m地帯が広がっている．中心部から東側にかけて地盤高が高くなっている．図-1に海老江処理区の概要を，図-2に対象地域の地盤高を示す．

キーワード：内水氾濫，地下浸水，地下駅，市街地

¹正会員 オリジナル設計（株），Kansai branch, One section, Original engineering Consultants.(E-mail:terada-a1314@oec-solution.co.jp)

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

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



図-1 海老江処理区の概要

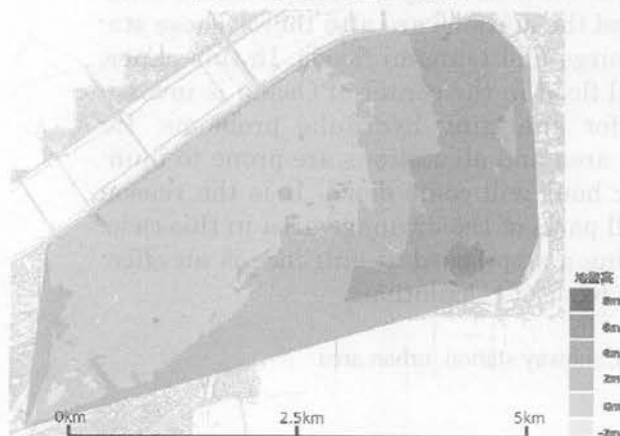


図-2 対象地域の地盤高

(2) 対象駅の概要

海老江処理区内には梅田周辺に5駅及び地下街と地下駅がA駅、B駅、C駅、D駅、E駅、F駅、G駅、H駅、I駅、J駅及びK駅の11駅ある。これらは地下空間を有する駅である。

大規模地下空間は、公的な地下空間出入口だけでも129箇所存在し、飲食店や衣料品店などが601店舗（工事中も含む）も存在する。また、大規模地下空間の隣接ビルや地下ショッピング街などと結合し、日本最大級の地下空間を形成している。大規模地下街には地下鉄が通っており、大阪市営地下鉄、JR、私鉄の5駅が存在する。その位置を図-3に示す。

(3) 対象降雨

対象降雨は岡崎市美合町で観測された8月29日午前0時～3時までの降雨（以下、岡崎豪雨）を用いた。この時間帯を選定したのは、1時間降雨量が観測1位を更新したためである。この降雨でデータは気象庁のアメダスによる10分間降雨観測データを60分間降雨強度に変換してInfoWorks CSにインプットし、計算した。図-4に平成20年8月末豪雨のハイレートグラフを示す。



①	L 駅
②	M 駅
③	N 駅
④	O 駅
⑤	P 駅

図-3 大規模地下空間の概要

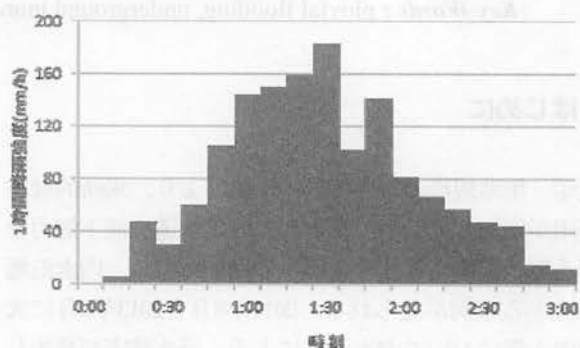


図-4 平成20年8月末豪雨のハイレートグラフ

3. 解析方法

(1) 数値解析モデルの概要

浸水量の算出には下水道ネットワーク内と地上の氾濫水を同時に計算することができるInfoWorks CS（英国：Wallingford Software 社製）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。降雨データをインプットデータとし、各地表面（道路、屋根、浸透域）に応じて有効降雨を算定し、単一貯留池モデルにより地表面流出量を算定する。地表面流出量が管内水理モデルのインプットデータとなり、管きょ内水理は、サンブナン式により計算される。

(2) 地下空間の出入口のモデル化

地下空間の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。それを図-5に示す。図に示したように、地下空間出入口付近の道路における水深が堰高を超えると地下空間へ流入するように、本研究では地下への出入口をモデル化した。

また、L～P駅の雨水の流入量は地下鉄の出入口の他に地下街の出入口からも流入するものとして、モデル化を行った。

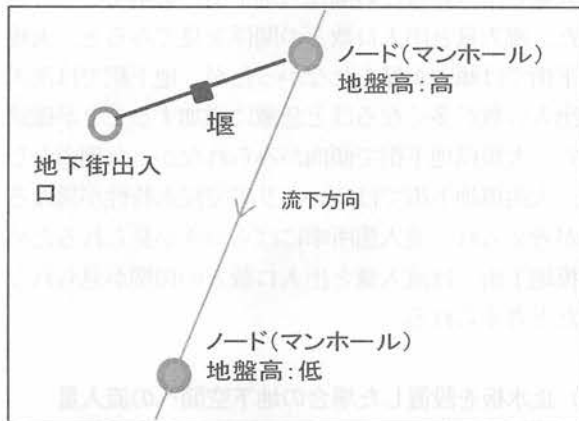


図-5 地下空間への出入口の設定方法

4. 解析結果

(1) 現況における地下空間への流入量

現況の氾濫解析モデルに岡崎豪雨の降雨を降らせた結果を次に示す。

表-1に地下駅出入口の流入結果を、表-2に大規模地下空間出入口の流入結果を示す。また、図-6に地下駅の流入箇所率を、図-7に地下駅の流入量を、図-8に大規模地下街の流入箇所率を、図-9に大規模地下街の流入量を示す。

これらの結果より、地下空間への出入口数が多く、地盤高が低い、大規模地下街の方が、単独の地下駅と比較し、流入量が多い。また1箇所あたりの流入量も大規模地下街の方が多い。これも大規模地下街の方が、地盤高が低く、浸水に対して脆弱な地区であるためと考えられる。

さらに、海老江処理区では、周辺部より中心部の方が浸水に対するリスクが高いことがわかった。地下駅に着目すると、周辺部の中でも梅田近辺のF駅・G駅、A駅・B駅の方が、他と比べ、流入量が多いことがわかった。

次に、地下駅と地下街の流入量と流入箇所率との関係を見てみると、大規模地下空間の流入箇所率100%の値を除くと、流入量は流入箇所率が高いほど急激に増加する。このことより、事前の水防活動によって、少しでも雨水が流入する出入口を減らせるかが浸水被害

表-1 地下駅出入口の流入結果

	C駅	D駅、E駅	F駅、G駅	A駅、B駅
全出入口数	6	9	5	14
流入した出入口(内水)	2	4	3	13
流入箇所率(%) - 内水 -	33	44	60	93
流入量(m³) - 内水 -	783	2204	10653	88322
1箇所あたりの流入量(m³) - 内水 -	391	551	3551	6794
	H駅	I駅	J駅、K駅	合計
全出入口数	12	9	9	64
流入した出入口(内水)	8	2	3	35
流入箇所率(%) - 内水 -	67	22	33	55
流入量(m³) - 内水 -	15707	13294	451	131414
1箇所あたりの流入量(m³) - 内水 -	1963	6647	150	

表-2 大規模地下空間出入口の流入結果

	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	Area F	合計
全出入口数	5	34	8	50	19	13	129
流入した出入口(内水)	5	26	2	11	6	1	51
流入箇所率(%) - 内水 -	100	76	25	22	32	8	40
流入量(m³) - 内水 -	74452	112283	4066	16105	1452	180	208538
1箇所あたりの流入量(m³) - 内水 -	14890	4319	2033	1464	242	180	

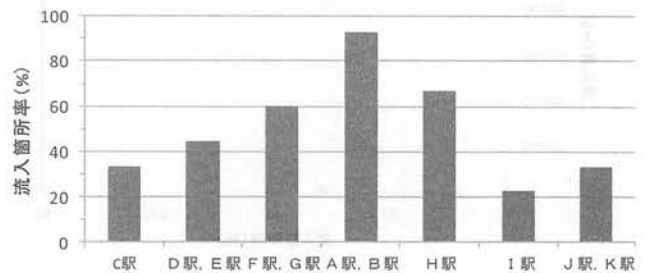


図-6 地下駅の流入箇所率

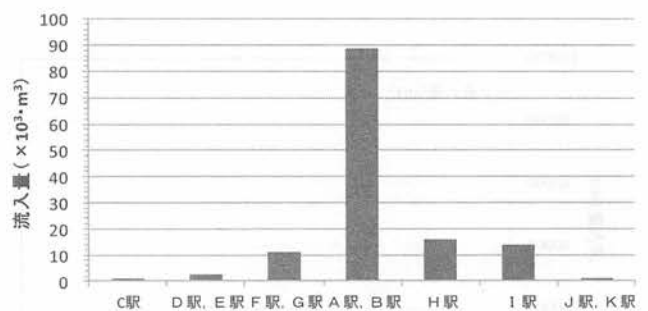


図-7 地下駅の流入量

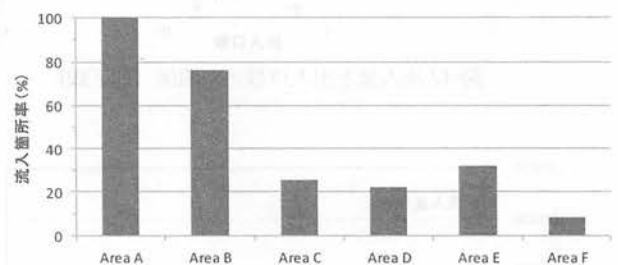


図-8 大規模地下街の流入箇所率

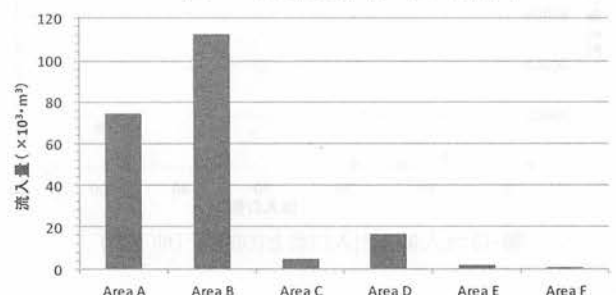


図-9 大規模地下街の流入量

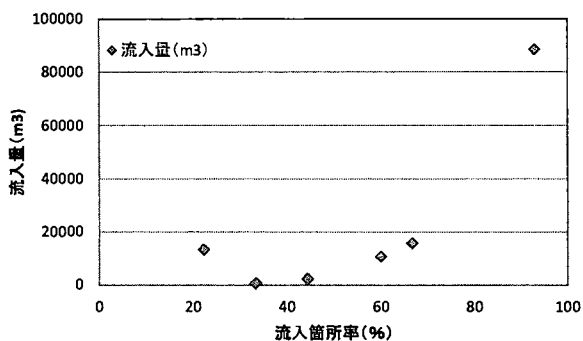


図-10 流入量と流入箇所率との関係（地下駅）

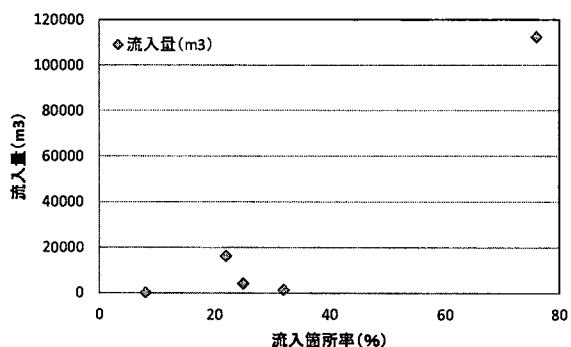


図-11 流入量と流入箇所率との関係（地下街）

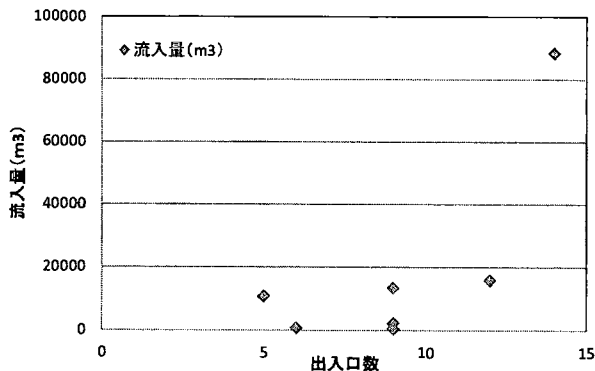


図-12 流入量と出入口数との関係（地下駅）

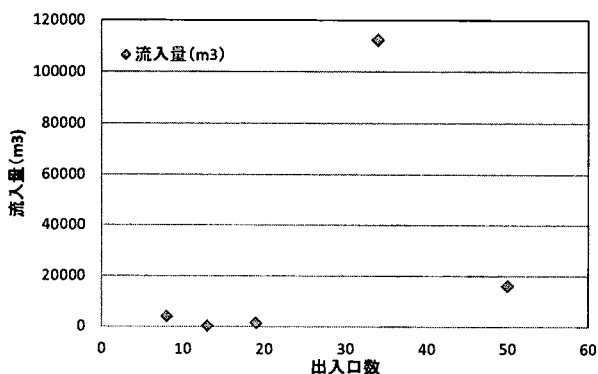


図-13 流入量と出入口数との関係（地下街）

の大小に大きく関わることがわかった。地下駅では、地下街と比較し、出入口が少ないため、水防活動も大規模地下街と比較し、容易であると考えられ、減災効果が大きいことがわかる。

図-10 に流入量と流入箇所率との関係（地下駅）を、図-11 に流入量と流入箇所率との関係（地下街）を、図-12 に流入量と出入口数との関係（地下駅）を、図-13 に流入量と出入口数との関係（地下街）を示す。

また、流入量と出入口数との関係を見てみると、大規模地下街では傾向が見られなかったが、地下駅では流入量は出入口数が多くなるほど急激に増加することが確認できた。大規模地下街で傾向がみられなかった理由としては、大規模地下街では広いエリアで浸水特性が異なることが考えられ、流入箇所率にばらつきが見られるため、大規模地下街では流入量と出入口数との相関が見られなかったと考えられる。

(2) 止水板を設置した場合の地下空間への流入量

実際の水防活動を想定し、地下への出入り口に 50cm の一律の止水板を設置した場合に、岡崎豪雨の降雨を降らせた氾濫解析を行った結果を次に示す。モデル化には地下空間への出入り口の堰高を一律 50cm 上げ、降雨等の条件は現況と同様の条件で設定した。図-14 に止水板の設定方法を示す。図-15 に止水板設置前後の流入量の比較（地下駅）を、図-16 に止水板設置前後の流入量の比較（地下街）を、図-17 に止水板設置前後の流入箇所率の比較（地下駅）を、図-18 に止水板設置前後の流入箇所率の比較（地下街）を示す。

この結果から、止水板を設置することにより、流入箇所および流入量ともに大幅に削減することができることがわかった。このことより、止水板設置には効果があるため、浸水時により多くの出入り口に止水板を設置することが重要であることが確認できた。特に、C 駅、F 駅・G 駅、J 駅、K 駅や area E 及び Area F では地下空間への流入量が 0 になっている。これらの地下空間は浸

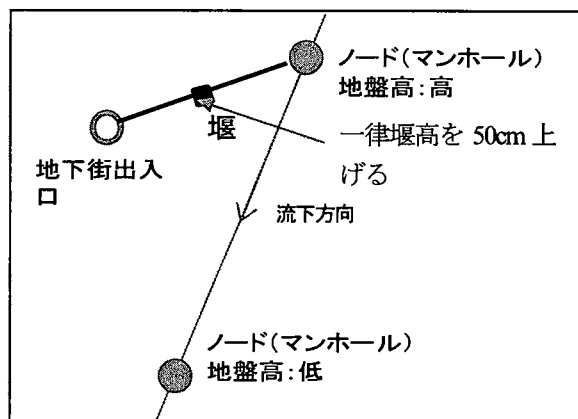


図-14 止水板の設定方法

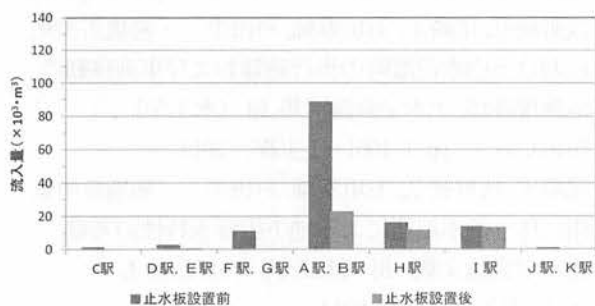


図-15 止水板設置前後の流入量の比較（地下駅）

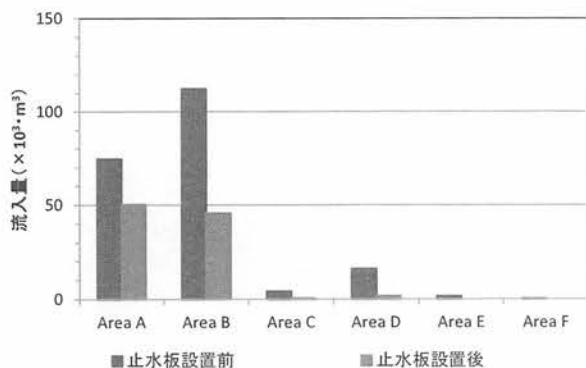


図-16 止水板設置前後の流入量の比較（地下街）

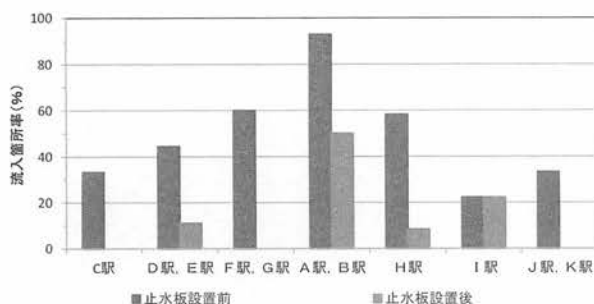


図-17 止水板設置前後の流入箇所率の比較（地下駅）

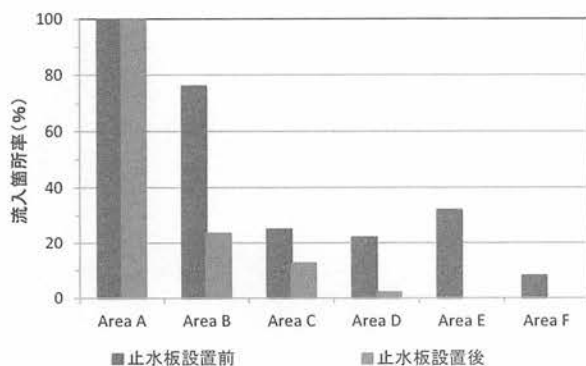


図-18 止水板設置前後の流入箇所率の比較（地下街）

水に対して比較的強い地区で止水板を設置することにより、浸水を防止することができることがわかった。

また、area A及びI駅では、流入量は減っているものの箇所率は変化しなかった。これは、area A及びI駅の周辺地盤が低くなっており、浸水に対して脆弱な地形であることによると考えられる。このように、止水板の効果も地形的な要素等から、ばらつきがあることがわかった。

5. おわりに

本研究によって得られた結果をまとめると以下のようになる。

- ①地下駅と大規模地下街では地形の影響より、大規模地下街の方が雨水の地下空間への流入量が多い。
- ②地下駅でも地盤高が低いことより、周辺部より梅田地区近辺の方が流入量が多い。
- ③地下駅及び大規模地下街ともに、地下空間への流入量は流入箇所率の大きいほど急激に増加する。
- ④地下駅では地下空間への流入量は出入口数が多いほど急激に増加する。
- ⑤出入口に止水板を設置することにより、流入箇所数及び流入量ともに大幅に減らすことができる。このことより水防活動の重要性が改めて確認された。
- ⑥止水板の効果が大きい箇所が多数であるが、地形等の要因によっては効果が小さい箇所もみられた。

これらの結果より、地下駅では、水防活動による止水板設置により、雨水が流入する地下空間への出入口を減らすことが重要である。また地下街においても、地下空間への出入口は多く、様々な制約が出てくることが予想されるが、雨水が流入する出入口を可能な限り減らすことが重要である。

今後の予定としては、外力を大雨から津波に変え、津波の流入による氾濫解析を行い、地下街や地下駅への流入量を確認する。また、内水と津波の結果の比較することを考えている。さらに、地下空間への流入量と流入箇所率や出入口との間に相関が見られるのかを検証していきたいと考えている。内水氾濫同様に、外力が大きいため効果が少ないことが予想されるが、止水板の効果についても検証し、止水板以外の対策も提案していきたいと考えている。

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, pp. S967-S972. 2011.
- 2) 森兼政行, 井上知美, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一：地下駅を考慮した大規模地下空間での浸水特性と浸水対応策の効果に関する検討：土木学会論文集B1（水工学）, Vol. 68, No. 4, pp. I_1003-I_1008, 2012.
- 3) 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：土木学会論文集B1（水工学）, Vol. 68, No. 4, pp. I_1009-I_1014.
- 4) 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, pp. I_1561-I_1566, 2013.
- 5) 尾崎平, 浅野統弘, 石垣泰輔, 戸田圭一：短期集中豪雨に伴う内水氾濫による地下街浸水特性の考察, 土木学会論文集, B1（水工学）Vol. 70, No. 4, pp. I_1417-I_1422, 2014.