

流出解析モデルを活用した浸水対策施設の整備効果に関する検討

(株) 日建技術コンサルタント ○ 柴 田 靖
(株) 日建技術コンサルタント 合 田 吉 孝

論文要旨

A市においては、過去に二度の大規模な浸水被害を受け、三度、浸水させないため、雨水ポンプ場、雨水貯留施設等の浸水対策施設を整備してきた。これらの浸水対策施設は、ゲート操作等の複雑なメカニズムにより運用されており、これまでは対象流域内の水理挙動に関し、不明な点が多かった。

今回、流出解析モデルを活用することにより、流域内における水理挙動が明らかになるとともに、浸水対策施設の整備効果が絶大であることが判明した。また、治水安全度を考慮した効率的な運用方法の提案が可能となったほか、水位周知下水道の指定へ向け、流出解析モデルの活用方法の方向性についても提示できた。

キーワード：浸水軽減効果、想定最大規模降雨、流出解析モデル、水位周知下水道、水防法改正

まえがき

近年、想定を超える豪雨の多発により、浸水被害が頻発しており、浸水被害の軽減が喫緊の課題となっている。

これを受け、平成27年度に改正された水防法では、想定し得る最大規模の豪雨に対する避難体制等の充実・強化を図ることが示され、内水については新たに、「人的被害が発生するおそれがある地下街等が発達している区域を有する公共下水道等の排水施設」を想定した「水位周知下水道の指定」が盛り込まれた。

また、国土交通省においては、浸水対策により安全・安心な暮らしを支える下水道施設について、浸水対策施設を活用した下水道事業のストック効果¹⁾が謳われており、浸水軽減効果の見える化も重要であると考えられる。

このような背景のもと、本論文においては、浸水対策施設の整備効果を検証するとともに、より効率的な運用方法の提案および水位周知下水道の指定へ向けた検討について報告する。

1. 対象流域の概要

(1) 流域概要

A市のターミナル駅であるA駅周辺地区においては、平成11年・15年に地下街への冠水を含む二度の大規模な浸水被害を受け、内水対策として「A駅周辺地区緊急浸水対策事業」を策定し、浸水対策施設の整備を進めてきた。

A駅周辺地区は、大きく分けて、A駅を含む合流式下水道区域であるA排水区、外水位が高い場合にポンプ排水となるB排水区、自然排水区域であるC排水区の3つの排水区に分かれており、B排水区およびC排水区は分流式下水道区域となっている。(図-1)

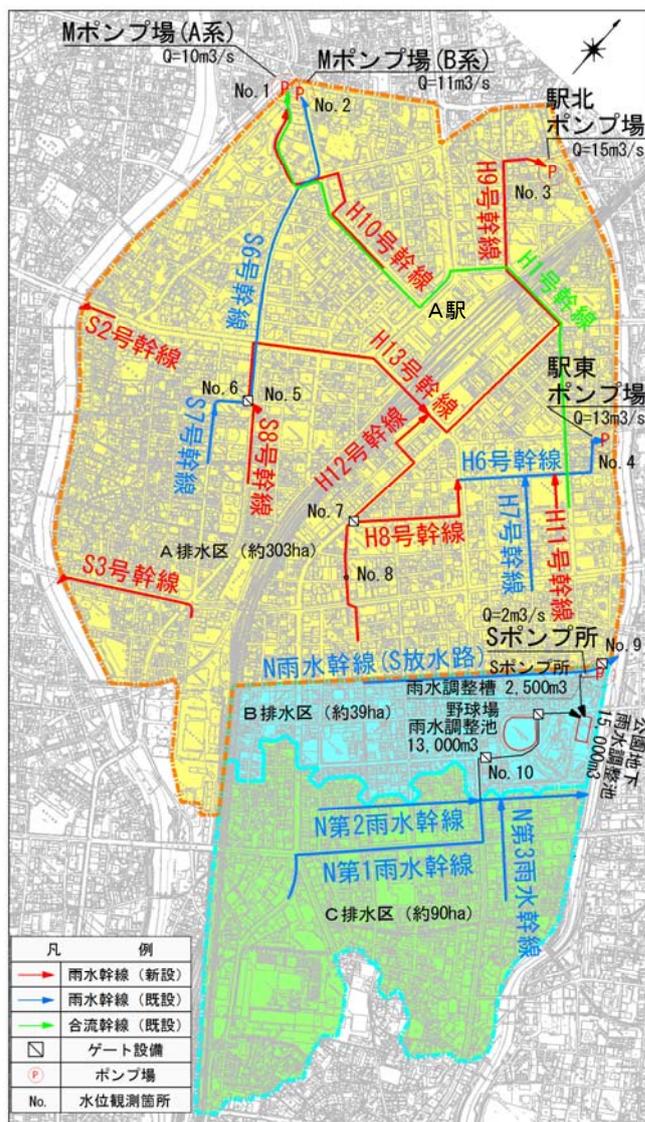


図-1 流域概要

(2) 浸水対策施設概要

A排水区の主要な浸水対策施設は、φ3000mm～φ5000mmの雨水貯留管と雨水ポンプ場から構成されており、平成24年度に概ねの施設が完成している。(表-1、表-2)

表-1 雨水貯留管の施設概要

幹線名	管径 (mm)	延長 (m)	貯留容量 (m ³)	備考
H9号幹線	5000	965	18,900	貯留流下併用
H12号幹線	3000	478	3,400	貯留流下併用
H13号幹線	3000	765	5,400	貯留流下併用
計	-	2,208	27,700	

表-2 雨水ポンプ場の施設概要

ポンプ場名	整備前能力 (m ³ /s)	整備後能力 (m ³ /s)	備考
駅北ポンプ場	-	15	新設
駅東ポンプ場	10	13	増強
Mポンプ場	A系	13	増強
	B系	11	
	計	21	

B排水区およびC排水区の主要な浸水対策施設は、野球場雨水調整池と公園地下雨水調整池から構成されており、計画し、両排水区の必要容量を共有する施設となっている。野球場雨水調整池は主にC排水区の雨水を貯留するための施設であり、公園地下雨水調整池は主にB排水区の雨水を貯留するための施設として計画されているが、実運用上は公園地下雨水調整池が優先的に利用されている。

なお、これらの雨水調整池群は、平成16年～平成18年にかけて整備された。(図-2～図-5、表-3)

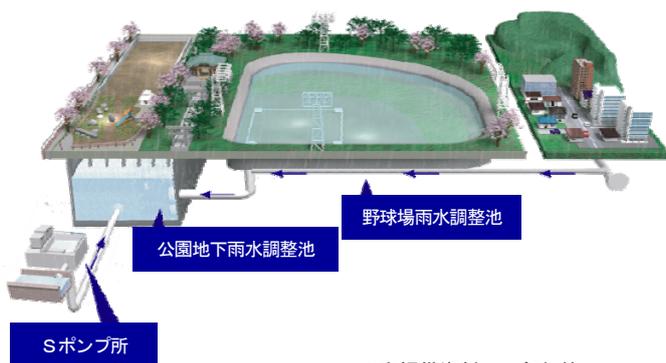


図-2 雨水調整池イメージ

表-3 雨水調整池容量内訳

施設名称	貯留容量 (m ³)	排水区別 貯留量内訳 (m ³)	排水区別 貯留容量 (m ³)	対象排水区
野球場雨水調整池	13,000	13,000	16,850	C排水区(90.38ha)
		3,850		
公園地下雨水調整池	15,130	11,280	13,780	B排水区(38.50ha)
Sポンプ所調整槽	2,500	2,500		

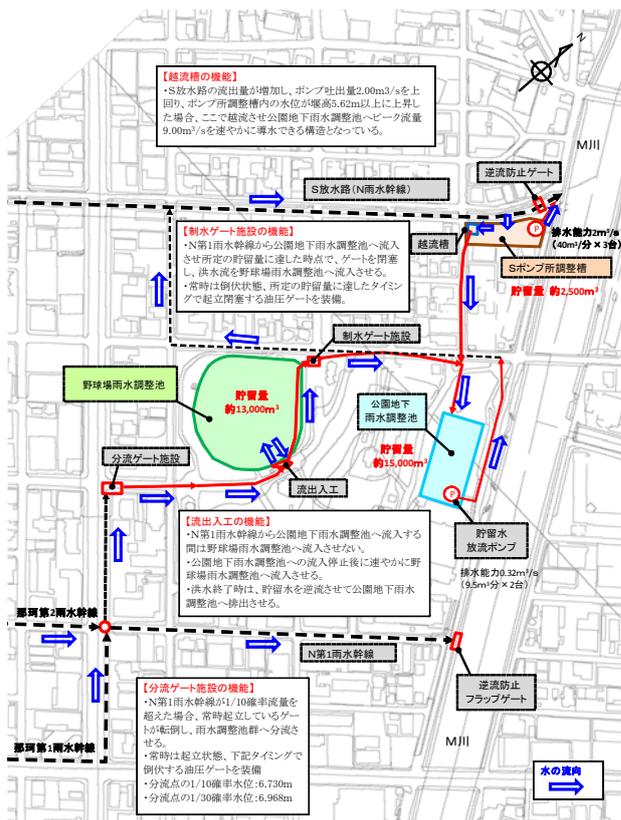


図-3 B・C排水区雨水調整池の概要

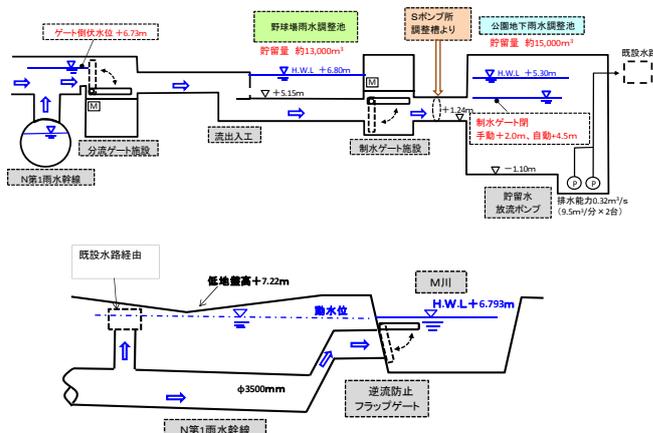


図-4 C排水区系統の概略縦断面図

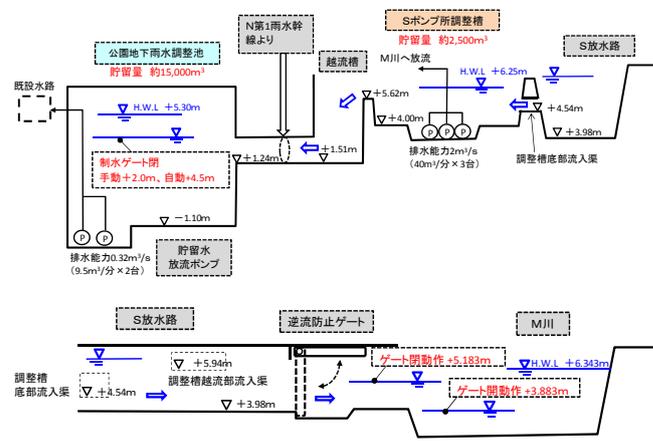


図-5 B排水区系統の概略縦断面図

2. 浸水対策施設の整備効果検証

浸水対策施設の整備前後におけるモデルを構築し、シミュレーション(流出解析)を行い、整備効果の検証を行った。流出解析ソフトは、*InfoWorks ICM* を用いた。

構築したモデルの妥当性を検証するため、平成28年6月～11月に実施した水位観測結果を適用したキャリブレーションを実施した結果(図-6)、実測地点の水位が実績値と解析値とで概ね一致し、モデルの妥当性を確認した。

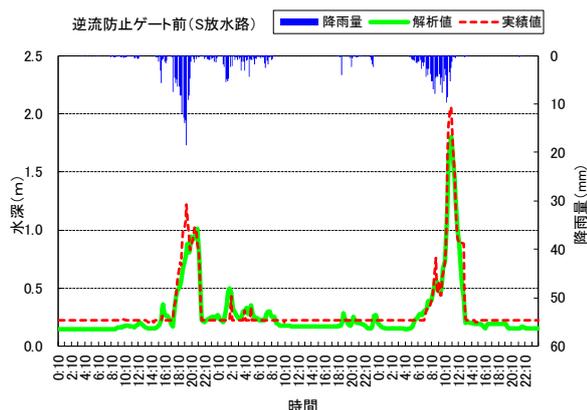


図-6 キャリブレーション結果例

整備効果を検証するための適用降雨は、想定し得る最大規模の降雨として、既往最大降雨(116mm/hr)を引き延ばした想定最大規模降雨(153mm/hr)を適用した。(図-7)

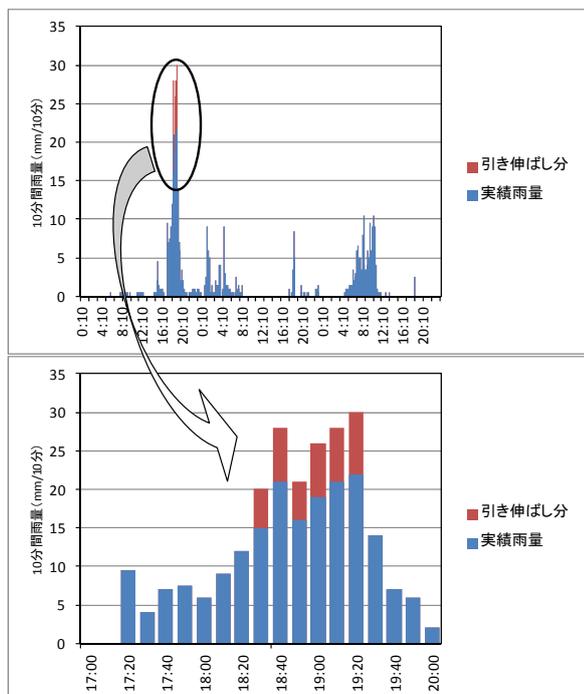


図-7 想定最大規模降雨

最大規模降雨を適用した解析結果より、浸水対策施設の整備前では流域全体で354,900 m³の浸水量があったが、整備後では112,100 m³まで242,800 m³減少し、約68%の浸水軽減効果が確認できた。(図-8)

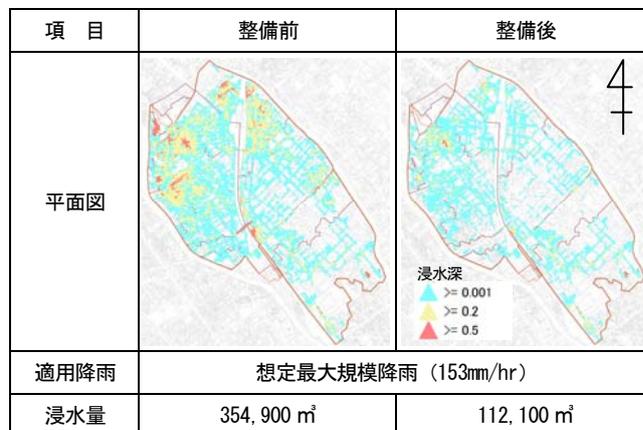


図-8 浸水対策施設整備前後の解析結果

なお、浸水対策施設の整備水準対象降雨である79.5mm/hrを適用した場合の浸水軽減効果は、整備前では113,700 m³の浸水量が整備後では6,400 m³まで107,300 m³減少し、約94%の浸水軽減効果が確認されており、雨水ポンプ場、雨水貯留管、雨水調整池等の浸水対策施設について、絶大な整備効果を有することが明白となった。

3. 効率的な運用方法の提案

(1) 現状における課題整理

A排水区においては、ゲート操作等に関する複雑な運用ルールは特に存在せず、現状の運用方法で問題はないが、B排水区およびC排水区においては、雨水調整池を共有し、ゲート設備等の複雑なメカニズムにより運用されているため、運用方法について確認を行った。

ここで着目したのが制水ゲートの操作条件であるが、制水ゲートの目的として、B排水区の必要貯留量とC排水区の必要貯留量をバランスよく制御することがあげられる。

制水ゲートを閉じることにより、B排水区とC排水区が分断されることになるが、制水ゲートを閉じる条件は、公園地下雨水調整池の水位により制御されている。

制水ゲートを閉じる水位が高い場合は、公園地下雨水調整池に優先的に雨水が流入し、野球場雨水調整池に余裕がある状態となる。(図-9)

一方、制水ゲートを閉じる水位が低い場合は、公園地下雨水調整池にある程度まで雨水が溜まると制水ゲートが閉じられるため、C排水区の雨水は優先的に野球場雨水調整池に流入し、B排水区の雨水は公園地下雨水調整池に流入する状態となる。(図-10)

現状においては、野球場が水浸しとにならないように維持管理面等も考慮して、制水ゲートを閉じる水位が高く設定されていたが、治水安全度上、C排水区を優先的に浸水軽減させ、B排水区が危険な状況であることが判明した。

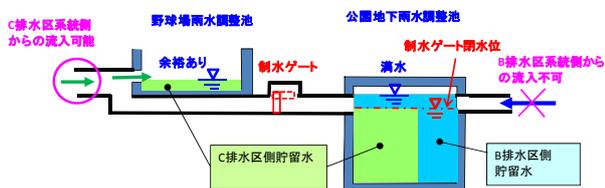


図-9 制水ゲート閉水位が高い場合のイメージ

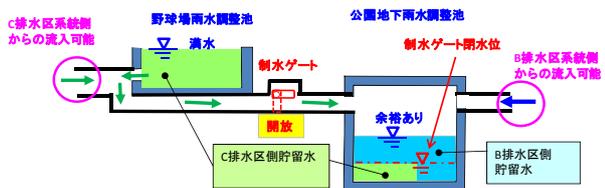


図-10 制水ゲート閉水位が低い場合のイメージ

(2) 制水ゲートの効率的な運用方法

制水ゲートの閉水位は、現状では+4.50mと高く設定されていたが、流出解析モデルのリアルタイムコントロールを用いて概ね1m単位で操作水位を変化させることにより、各操作水位の浸水量を算出し、安全性の高い操作水位を選定した。(図-11)

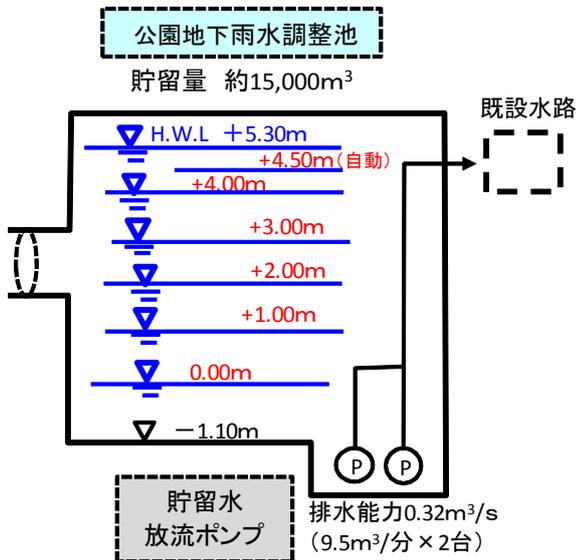


図-11 制水ゲートの操作水位検討

検討の結果、いずれの水位においても野球場雨水調整池および公園地下雨水調整池は満水となり、制水ゲート閉水位を4.5mから0.0mに下げることにより、浸水量が減少することが確認できた。(表-4、図-12)

表-4 制水ゲート閉水位と浸水量・貯留量の関係

制水ゲート閉水位 (m)	浸水量 (m³)		
	B排水区	C排水区	計
4.5	9,204	23,919	33,123
4.0	9,217	23,918	33,135
3.0	9,135	23,942	33,077
2.0	8,986	23,977	32,963
1.0	8,841	24,024	32,865
0.0	8,629	24,070	32,699

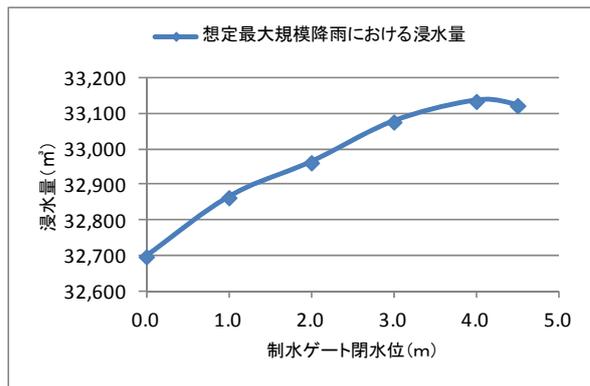


図-12 制水ゲート閉水位と浸水量の関係

4. 水位周知下水道の指定へ向けた検討

(1) 水位計測に関する課題

今回、既存の水位計を用いて、6ヵ月間の水位計測を実施したが、既存の水位計は、主にポンプ運転およびゲート操作の運用管理を目的としたものであり、また、観測期間中は貯留管が満水状態になるような豪雨も発生しなかったため、各幹線の水位状況を的確に捉えるには不十分であったといえる。

水位周知下水道では、地下空間利用者に対し、避難開始等の情報提供を行う義務があり、今後、モデル精度向上のために必要な水位計を設置し、シミュレーションモデルの更なる精度向上を図ったうえで、最終的に内水氾濫危険水位の判断のための水位計設置箇所を決定することが不可欠である。

そのため、今回は得られた情報の中で各幹線の水位状況、特に地下街を有するA排水区の主要な幹線系統について水位計設置箇所の検討を行った。

また、A駅周辺には地下街への出入口が30箇所程度存在するが、すべての出入口に止水板が設置されている。止水板を機能させるにはある程度の時間を要するが、人孔部から溢れ出た地表面氾濫流がどのような経路をたどって、地下街へ流入するまで何分程度かかるのかについても確認する必要があるため、地表面氾濫流等の挙動についても検討を行った。

(2) 水位設置箇所の検討

本検討対象区域内の浸水原因は、幹線の背水の影響により全体的に水位上昇が発生することが判明していたが、想定最大規模降雨に対し、主要な幹線のうち、どの幹線が最も早く浸水するのかを確認した。

検討の結果、H1号幹線およびH10号幹線の浸水発生時刻が最も早く、A排水区の主要な貯留管であるH9号幹線よりも40分程度早く浸水が発生することが確認できた。

(表-5、図-13)

表-5 幹線別浸水発生時刻

時刻	雨量 (mm)	幹線名					
		H1号	H10号	H9号	H6号	S6号	S7号
18:30	28.0	-0.525	-0.603	-14.472	-4.523	-9.645	-5.563
18:40	21.0	0.071	0.024	-13.975	-3.995	-9.376	-5.327
18:50	26.0	0.093	0.052	-12.491	-3.503	-7.692	-5.310
19:00	28.0	0.127	0.089	-6.900	-3.033	-5.051	-5.256
19:10	30.0	0.257	0.204	-0.150	-0.089	-0.158	-0.013
19:20	14.0	0.341	0.284	0.015	0.109	0.086	0.130
19:30	7.0	0.371	0.310	0.026	0.081	0.178	0.148
19:40	6.0	0.373	0.307	-0.052	-0.121	0.201	0.095
19:50	2.0	0.357	0.287	-0.244	-0.455	0.186	-0.060
20:00	0.0	0.289	0.213	-0.758	-1.187	0.070	-0.576
20:10	3.5	0.018	-0.049	-2.315	-2.541	-0.696	-2.080
20:20	2.0	-0.599	-0.679	-3.972	-3.960	-3.216	-3.802
20:30	0.0	-1.003	-1.091	-5.852	-4.710	-5.252	-5.402

※網掛けは溢水開始時刻を示し、赤字はMax溢水深を示す
マイナス値は地盤高より水位が下にあることを示し、0.0より大きくなると溢水を示す

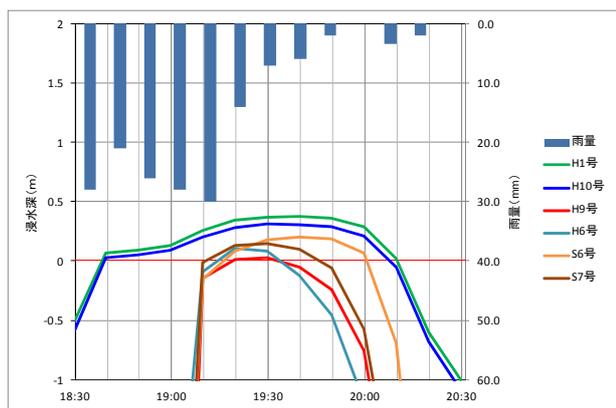


図-13 幹線別浸水発生時刻

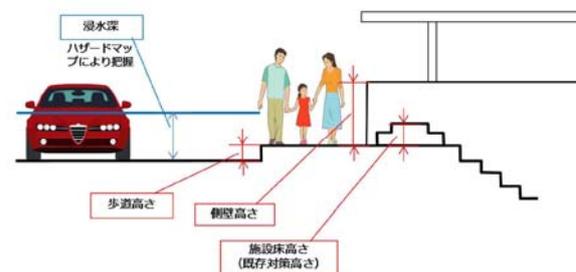
現状において、H1号幹線およびH10号幹線では水位計が設置されていないことから、これらの幹線にモデル精度向上のために必要な水位計の設置を提案した。

(3) 地表面氾濫挙動の検討

大規模地下空間における浸水解析手法²⁾については、様々な手法が開発されているが、本検討においては地下街内部までの解析は不要であったため、「地下街等における浸水防止用設備整備のガイドライン³⁾」を参考にInfoWorks ICMを活用して仮想の地下街出入口をモデル化する手法を提案した。

本手法は、歩道高さあるいは地下街出入口階段の施設床高さ等を調査し、メッシュ地盤高にこれらの調査高さを加えた標高に仮想の人孔をモデル化するとともに、仮想の地

下空間に見立てた管渠をモデル化することにより、氾濫流の解析結果を用いて簡便かつ容易に地下空間への総流入量を算定することができる。(図-14、図-15)



出典：「地下街等における浸水防止用設備整備のガイドライン³⁾」

図-14 仮想地下街出入口モデル化イメージ

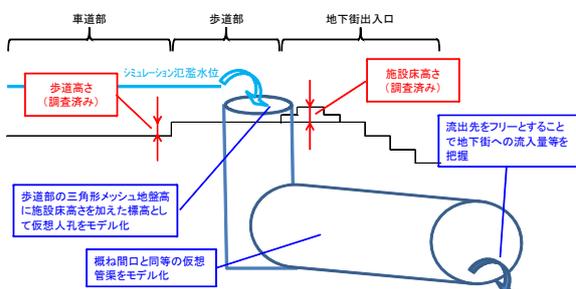


図-15 仮想地下街出入口モデル化イメージ

以上の手法を用いた解析結果より約30箇所の出入口のうち、3箇所において地下街への浸水のおそれがあることが判明した。

東2番出入口については、歩道高さが35cmと比較的高いため、周辺の人孔から溢水した地表面氾濫流が、地下街へ流入するまで、約27分と比較的余裕があった。

西4番出入口については、施設床高さが20cmであり、地下街流入までの時間は約7分であった。

地下駐車場出入口については、車道との段差がなく直接地下駐車場へのスロープとなるため、人孔部からの溢水と同時に地下駐車場への流入が確認できた。

これら3箇所から地下街・地下駐車場への総流入量は、合計約2,700m³となった。(図-16)

しかしながら、これら3箇所の出入口においては、止水板が機能していれば、地下街への流入はないことが確認できたため、止水板を適切に機能させることの重要性が認識された。

また、地下駐車場のように人孔部からの溢水と同時に地下空間へ流入する現象が確認できたため、このような出入口については、幹線の水位状況を確認し、早めの止水板設置を心がける必要がある。

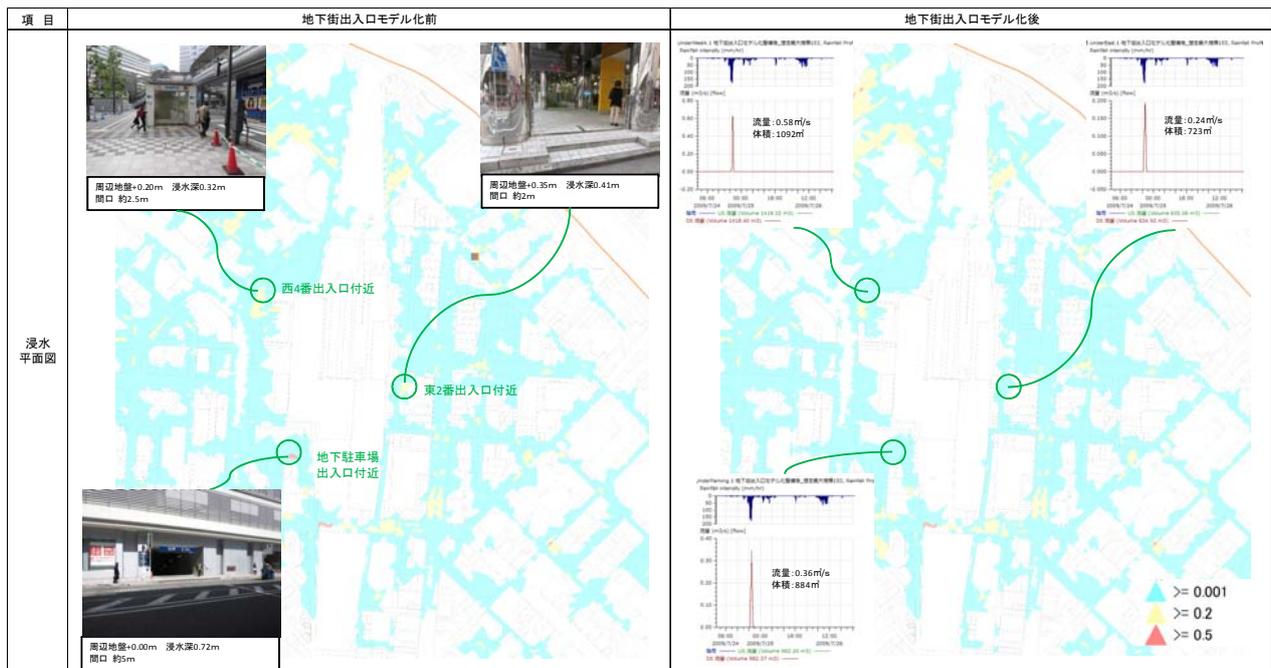


図-16 仮想地下街出入口モデル化前後の解析結果

あとがき

本検討結果より得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 流出解析モデルを活用することにより、流域内の水理挙動が視覚的に確認することができ、浸水対策に効率的なゲート設備等の運用ルールを提案できた。
- (2) 水位周知下水道の指定には今後、水位計設置箇所の絞り込みおよび内水氾濫危険水位設定等の課題は残るが、指定に向けた端緒として、流出解析モデルの活用方針を提示できた。
- (3) 下水道施設の雨水管は、特に都市部などでは暗渠で整備されたり、蓋掛けされるなど、地上から見えない施設であるため、水位状況がどのようになっているかは判断しにくい。

このような状況において、水位の見える化、情報伝達の重要性等を鑑みて水位周知下水道が位置付けられたが、今後、水位観測の重要性を認識し、水位周知下水道が安全・安心なくらしに寄与することが望まれる。

謝辞：

水位観測をはじめ、資料提供等にご協力いただいた A 市関係者に謝意を表す。

参考文献・引用文献

- 1) 洪尾欣弘：都市浸水対策の高度化，情報管理，2017 Vol.60, No2, p100-109
- 2) 関根正人，竹順哉：大規模地下空間を抱える東京都心部を対象とした内水氾濫ならびに地下浸水の数値解析，土木学会論文集 B1(水工学)，2013, Vol.69, No.4, I_1567-I_1572
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室：地下街等における浸水防止用設備整備のガイドライン，H28.8, 9p.