

京都市の地下空間を考慮した浸水解析

佐藤大介^{1*}・武田 誠²・村瀬将隆³・薮下大貴⁴

¹学生会員 中部大学大学院 工学研究科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

E-mail: tc19002-0130@sti.chubu.ac.jp

²正会員 中部大学教授 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

E-mail: mtakeda@sti.chubu.ac.jp

³学生会員 中部大学大学院 工学研究科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

⁴非会員 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 1-8-11)

近年, 日本の大都市では高度な都市化が進んでおり, 地下街, 地下鉄などの地下空間の利用が盛んに行われている. 一方, 長時間にわたり広範囲に降り続く雨により外水氾濫が多発している. このような水害が, 地下空間の発達した地域で発生すると, 人的被害, 交通被害のみならず, 地下鉄の使用不能による経済にも大きな被害を与えかねない. したがって, 外水氾濫時の地上および地下の浸水の様子を知ることは, 重要なことである. 本研究では, 地下空間の発達した都市として京都市に焦点を当て, 地下空間を考慮した氾濫解析を行うことで, 氾濫時の地表面, 地下空間の流水の様子を示すとともに, 止水板の有効性について示した. また, 50m 格子と 10m 格子を用いた解析結果の比較から, 破堤条件によっては範囲や値に差が生じ, 特に浸水域に大きな違いがみられたことから細かい計算格子を用いた解析が必要であることが示された.

Key Words : Underground space, Subway, Inundation, Kyoto City, Numerical analysis

1. はじめに

2015年の鬼怒川における破堤氾濫災害や2017年の九州北部豪雨, 2018年の西日本豪雨など, 近年, 大規模洪水氾濫による浸水被害が生じている. 地球温暖化に伴う気候変動を考慮すれば, さらに大きな外力による洪水災害の発生も懸念されることから, 大規模浸水に対する備えは十分に検討する必要がある.

また, 地下鉄・地下街などの地下空間が高度に発展している都市域で大規模浸水が生じれば, 非常に深刻な被害となることは容易に想像できる. 氾濫水は低い個所へと流れていくことから, ひとたび大規模浸水が生じ, その水が地下空間へ流れ込むことで, 人的被害, 経済被害, 地下鉄などの交通被害を生じさせるだけでなく, 地下鉄を伝って氾濫水が伝播し, 新たな浸水被害が生じる危険性もある. このような被害を想定し, 対策を講じるためには, まず, 大規模浸水における地下空間の浸水状況を明らかにすることが重要である.

尾崎ら¹⁾, 関根・河上²⁾など, 近年, 地下空間の浸水被害を扱った研究は盛んに行われている. これらの研究では, 大阪や東京に位置する地下街を対象に, 豪雨に伴う内水氾濫や避難シミュレーションを実施しており, 地下

空間の浸水特性や現実的な浸水対策, 避難対策の検討を報告している. さらに, 津波による地下浸水特性の評価³⁾, 内水モデルによる広域の洪水氾濫解析⁴⁾など, 広域浸水およびそれによる地下空間の浸水特性が議論されている. また, 本研究で着目している地下鉄の浸水を考慮した氾濫解析に関わる研究も, 関根・関根⁵⁾, 岡部ら⁶⁾により精力的に実施されている. 本研究も同じ目的を持って実施されており, 後述するように, 格子スケールの違いの解析結果に与える影響評価など, モデル化に関する検討が本研究の特徴といえる.

著者らは, これまで地下空間(地下街および地下鉄)を考慮した都市浸水の解析モデルを開発し, 名古屋⁷⁾, 大阪⁸⁾, 東京¹⁰⁾, 福岡¹¹⁾に適用してきた. 本研究では, 解析モデルの適用として京都市を対象とする. ここでは鴨川における京都市内の浸水特性を考察すること, 地下空間を対象とした浸水の特徴を明らかにすること, 氾濫解析における格子スケールの違いによる解析結果の違いを明らかにすることを目的とする.

2. 地下空間への流入を考慮した氾濫解析

(1) 解析モデルの概要

村瀬ら¹⁰⁾の研究では、河川の洪水流には1次元不定流モデルを、都市域の氾濫域にはデカルト座標の平面2次元不定流モデルを、地下鉄線路の流れにはスロットモデル¹¹⁾による1次元不定流モデルを適用し、地下街・地下鉄駅を1つのボックスとして連続式を考慮した水理計算を行っている。スロットモデルは管路における共存する管路流れ、開水路流れを解析するために、管路に仮想のスロットを設置した仮想断面を考え、管路流れを開水路流れとして解析するモデルである。また、河川と氾濫格子の間の堤防では越流現象を考慮し、水位が堤防高よりも高い状況下では自動的に越流流量を求めた。本研究では、戸田ら¹³⁾と同様に、仮定した越流流量を与える想定氾濫解析を行うことから、河川流は解かないものとした。解析モデルを以下に示す。

(2) 浸水解析

陸域における浸水解析には、以下に示す平面二次元の連続式および運動量方程式を用いた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = -q_o \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = & -gh \frac{\partial(z_G + h)}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = & -gh \frac{\partial(z_G + h)}{\partial y} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial N}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 u, v はそれぞれ x, y 方向の流速(m/s)、 h は水深(m)、 M, N はそれぞれ x, y 方向の流量フラックス($M = uh$, $N = vh$)(m²/s)、 q_o は単位面積当たりの流出流量(m/s)であり、 $q_o = \sum q_n l_n / \Delta x \Delta y$ (q_n : 単位幅あたりの横流入流量(m²/s)、 l_n : 格子にある河川区分の長さ(m)、 $\Delta x \Delta y$: 格子の面積(m²))、 z_G は地盤高(m)、 τ_{bx}, τ_{by} はそれぞれ x, y 方向の底面のせん断応力(Pa)、 ρ は水の密度(kg/m³)、 g は重力加速度(m/s²)、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ はそれぞれ x, y 方向の渦動粘性係数(m²/s)であり、本研究では0とした。 x, y は平面の座標、 t は時間である。

底面のせん断応力は、マニングの粗度係数を用いて、以下の式で表される。

$$\tau_{bx} = \rho g n^2 M \sqrt{u^2 + v^2} / h^{4/3} \quad (4)$$

$$\tau_{by} = \rho g n^2 N \sqrt{u^2 + v^2} / h^{4/3} \quad (5)$$

本研究では、大規模浸水を対象とし、50mの幅を持つ計算格子で都市空間(地盤高)を表現している。なお、この格子は、5mメッシュの地盤高データを平均し、1つの格子の値としている。したがって、数m程度の地下空

間(地下街・地下鉄駅)の入口の浸水過程を詳細に表現することは難しいため、つぎの方法で地下空間の入口の流入流量を求めた。

地下空間の入口の情報(道路から歩道の段差($d2$)、歩道から地下空間の入口の段差($d3$)、止水板(溝)の高さ($d4$)、横幅(B))は、後述するように現地調査により求めた。予め5mメッシュ標高値より地下鉄の入口付近の地盤高($z1$)を求め、これを道路面とした。数値計算において氾濫水位(H)を求めた後で、入口の水深を以下の方法で求める。

$$h_{in} = H - (z1 + d2 + d3) \quad (6)$$

ただし、 h_{in} が計算された水深よりも大きい場合には、 h_{in} を水深に置き換えた。この値を用いて地下空間への流入流量を求めている。

(3) 地下空間のモデル化の概要

本研究では、地下街・地下鉄駅を一つのボックスとしてとらえ、線路を約50mの長さで分割して地下鉄線路の計算格子を設定した。氾濫水は複数ある地上の入口から地下街・地下鉄駅へ流入・流出し、地下街・地下鉄駅では地上からの流入・流出流量と鉄道線路への流入・流出流量を考慮して連続式により水の収支が計算される。また、地下街・地下鉄駅に繋がっている線路では流入・流出流量が考慮され、その他の線路では考慮せずに、スロットモデルを用いた一次元不定流解析で水の流れを表現した。さらに、乗換駅のように一つの駅に複数ある線路間の水の輸送も考慮している。

a) 地下街と地下鉄駅の水輸送

地下街・地下鉄駅の連続式には以下の式を用いた。

$$A_u \frac{\partial h_u}{\partial t} = \sum Q_e - \sum Q_o \quad (7)$$

ここで、 A_u は地下街・地下鉄駅の平面面積、 h_u は地下街・地下鉄駅の水深、 Q_e は地下空間への流入流量、 Q_o は線路への流入流量である。

地下空間の入口では、入口のステップにおける地下街・地下鉄駅の水深を $h_{in_u} = h_u + z_{bu} - (z1 + d2 + d3)$ (ここに、 h_u : 地下街・地下鉄駅の水深、 z_{bu} : 地下街・地下鉄駅の底面高) から求め、式(6)の h_{in} と h_{in_u} の大きい方を h_1 、小さい方を h_2 として以下の越流公式から流入流量 Q_e を求めている。なお、完全越流の流量係数 μ を 0.35、もぐり堰の流量係数 μ' を 0.91 とし、 B は入口の幅である。 h_{in} および h_{in_u} は図-2に示す。

$$\begin{aligned} h_2/h_1 \leq 2/3 & \quad Q_e = \mu B h_1 \sqrt{2g h_1} \\ h_2/h_1 > 2/3 & \quad Q_e = \mu' B h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \end{aligned} \quad (8)$$

また、地下街・地下鉄駅と線路においても地下空間の入口と同様に、地下街・地下鉄駅の底面からの水深を求め、以下の式で Q_o を求める。

$$\begin{aligned} h_2/h_1 \leq 2/3 & \quad Q_o = \mu L h_1 \sqrt{2g h_1} \\ h_2/h_1 > 2/3 & \quad Q_o = \mu' L h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、地下街・地下鉄駅の水深 h_u 、地下街・地下鉄駅の底面高からみた線路の水深 $h_{s_u} = h_s + z_{bs} - z_u$ (h_s は線路の水深、 z_{bs} は地下鉄線路の底面高)の大きい方を h_1 、小さい方を h_2 とし、入口の周長を L 、完全越流の流量係数 μ を0.35、もぐり堰の流量係数 μ' を0.91とした。

b) 地下鉄線路

地下鉄トンネルではスロットモデル¹²⁾を導入し、次式を考慮している。

$$\frac{\partial A_s}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = q_o \quad (10)$$

$$\frac{\partial Q_s}{\partial t} + \frac{\partial U_s Q_s}{\partial x} = -g A_s \frac{\partial (h_s + z_{bs})}{\partial x} - \frac{g n_s^2 Q_s |U_s|}{R_s^{4/3}} \quad (11)$$

ここで、 A_s は流水断面積、 Q_s は流量、 q_o は単位幅横流入流量であり $q_o = Q_o / \Delta x_s$ 、 h_s は線路の水深、 U_s は流速、 n_s はマンニングの粗度計数、 R_s は径深である。

なお、スロット幅は $g A_{ss} / C^2$ から求めており、 A_{ss} は地下鉄の断面積、 C は満管時の波速(20m/sと仮定)である。

地下鉄の断面は、幅 7.75m、高さ 4.35m の矩形断面を想定している。本研究では乗換駅の水輸送も考慮している。乗換駅では、関連するすべての線路で式(9)の流量が計算される。また、地下鉄線路に侵入した氾濫水が、乗換駅で吹き出し地下街・地下鉄格子に氾濫水が浸入して別の路線へ浸水が生じることもモデル化している。

(4) 計算領域の設定

本研究の計算領域を図-1に示す。50mとして地盤高情報を整理している。考慮した地下街・地下鉄駅の面積および底面高と各駅の線路高は以下のように求めた。地下街・地下鉄駅の面積はWebにある数値地図¹⁴⁾より入手した。また、駅における地下鉄線路高を基礎として、縦4.35m×横7.75mの地下鉄断面があり、駅間の線路の平面線形はwebとGISを活用して求め、駅間の線路高は直線的に変化するとした。また、線路断面の天井の上0.5mに地下街・地下鉄の底面高があると仮定した。なお、乗換駅では複数の底面高が現れるので、一番高い値を地下街・地下鉄駅の底面高とし、地下鉄線路とは周長20mの入口で接続されているとみなしている。なお、このように、地下街・地下鉄駅を一つのボックスでモデル化していることから、今後、詳細化が必要と考える。

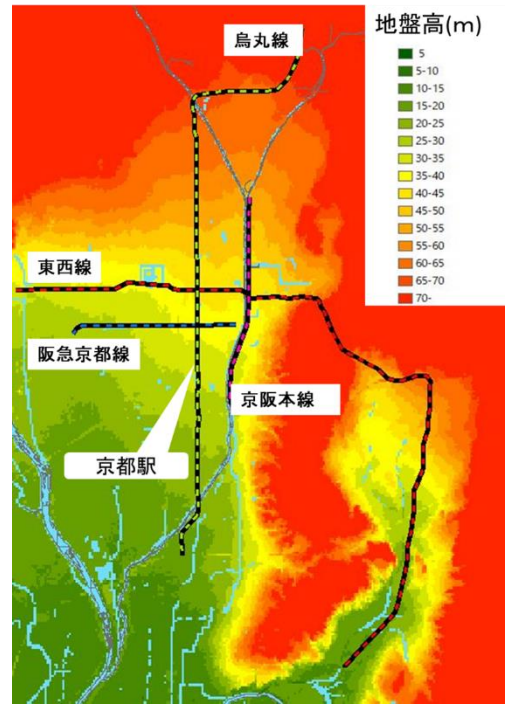


図-1 計算領域

表-1 京都市の地下鉄駅と出入口の個数

烏丸線	出入口	東西線	出入口	阪急京都線	出入口	京阪本線	出入口
国際会館	5	太秦天神川	4	西院	5	出町柳	7
松ヶ崎	2	西大路御池	4	大宮	7	神宮丸太町	4
北山	4	二条	3	烏丸	14	三条	14
北大路	6	二条城前	3	河原町	12	祇園四条	6
鞍馬口	2	烏丸御池	8			清水五条	5
今出川	5	京都市役所前	7			七条	6
丸太町	7	三条京阪	6				
烏丸御池	7	東山	2				
四条	4	蹴上	2				
五条	6	御陵	4				
京都	34	山科	7				
九条	4	東野	6	醍醐	3		
十条	3	柳辻	2	石田	4		
くいな橋	2	小野	2	六地藏	4		
					合計	41駅	242箇所

3. 京都市の地下空間の入口調査

京都市における地下空間を考慮した都市浸水解析を実施するために、平成30年7月26日、27日に、京都市にある地下鉄および地下街の入口の情報を調査した。表-1に対象とした駅を、図-2に入口で測定した諸量を示す。表-1から地下への入口の数は、京都駅が際立って多い。また、破堤地点よりも地盤高が低く、南下してくると考えられる氾濫水に対して、京都駅は北側に駅の入り口が多くある。したがって、仮に浸水が発生した場合浸水の様子にも影響を受けることはもちろんであるが、地表面から地下への水の流入は、京都駅からのものが最も多くなると考えられる。また、図-3で示した阪急京都線烏

丸駅と地下鉄烏丸線の四条駅は一つの駅とし、阪急京都線河原町駅は別の一つの駅として表現した。

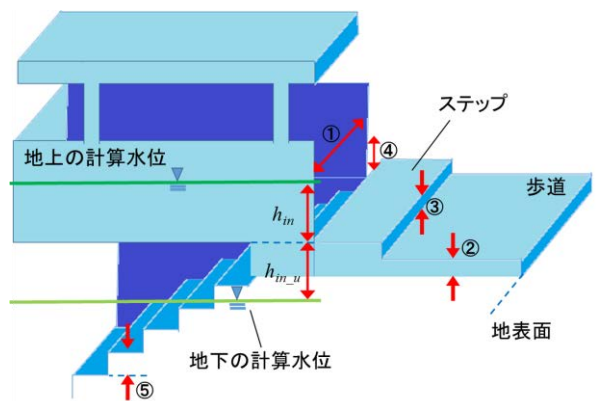
4. 計算条件および計算結果

(1) 計算条件

本研究では京都市の鴨川流域を対象に、鴨川の洪水が越流した場合の想定氾濫解析を実施する。このような研究を遂行するためには、鴨川の流域における流出解析および洪水流解析を実施して、河川断面の洪水に対する安全度を評価し、仮に危険が想定される場所の越流流量を求めて想定氾濫解析を実施することが望ましいが、本研究では、まず、地下鉄を有する京都市内の浸水特性を明らかにすることを目的とした。そこで、本研究では、戸田ら¹³⁾の研究と同様に、一定の越流流量（50m³/s）三条大橋～御池大橋間(約200m)の右岸側(図-4の越流箇所Ⅰ)から180分間流入させ、10時間の氾濫計算を実施した。また、越流箇所の違いによる浸水状況の比較を行うために、図-4に示した他2地点の越流箇所（越流箇所Ⅱと越流箇所Ⅲ）を想定し、氾濫計算を実施した。なお、越流箇所Ⅱと越流箇所Ⅲのその他の計算条件は同じである。

(2) 計算結果

計算結果として、越流発生から1時間後、5時間後、



調査項目	
地下入り口の場所確認	地下～駅構内の階段1段の高さ:⑤
入り口の幅(B):①	地下～駅構内の階段の段数
地表面から歩道までの高さ(d2):②	駅構内～ホームの階段1段の高さ
歩道からステップまでの高さ(d3):③	駅構内～ホームの階段の段数
止水板の高さ(d4):④	

図-2 入口の計測の諸量



図-3 特殊な駅のモデル化

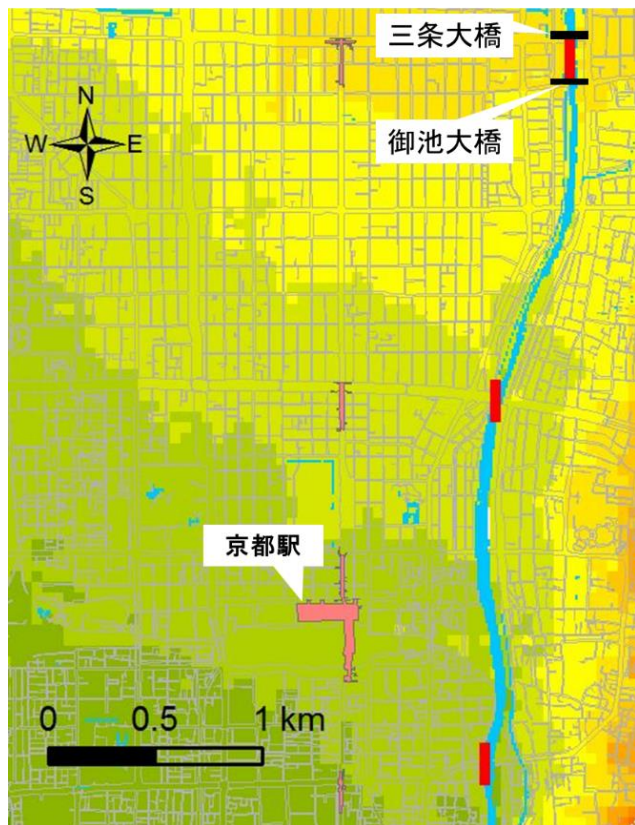


図-4 越流箇所

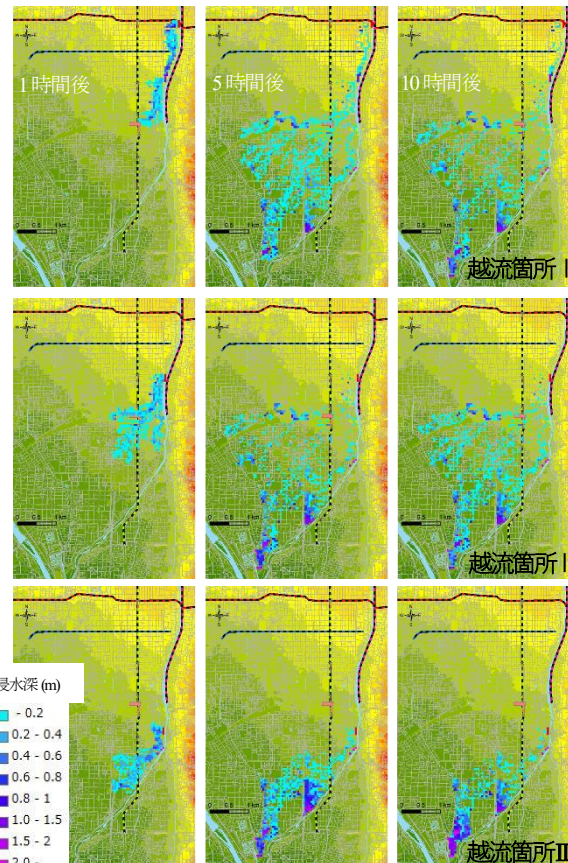


図-5 各時間ごとの浸水深

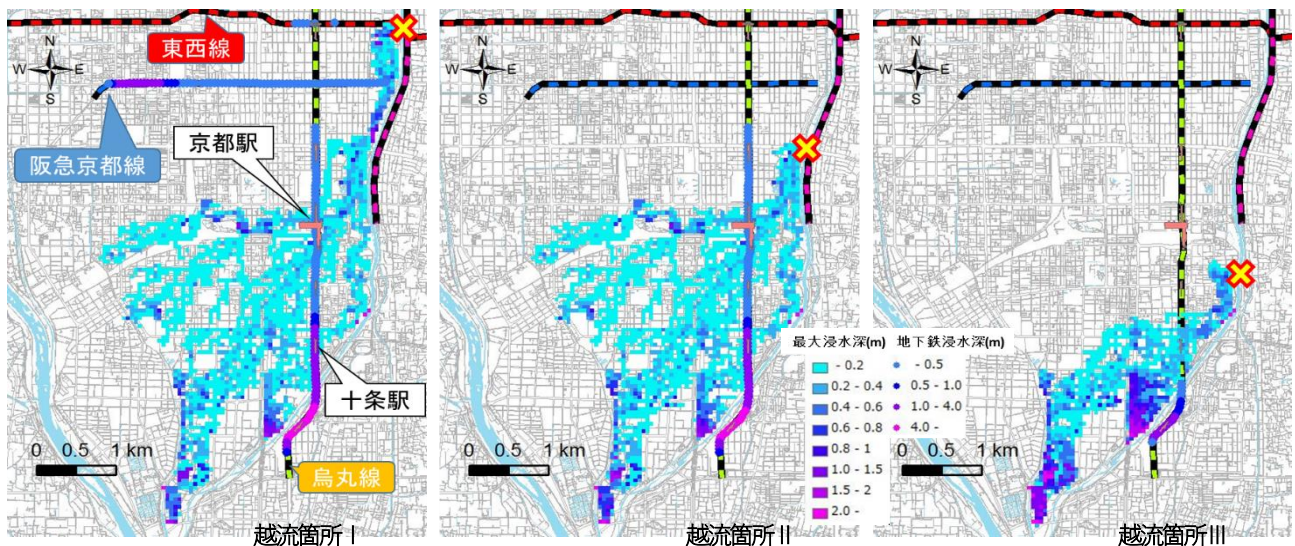


図-6 最大浸水深と地下浸水深の様子

10 時間後における浸水深を図-5 に、最大浸水深の分布と地下鉄の浸水の様子を図-6 に示す。これらの図から越流した氾濫水は鴨川沿いを南下し、越流箇所 I および越流箇所 II の条件では、京都駅北部で氾濫水が西側へ広がる様子が分かる。このことから、越水箇所 I と越水箇所 II の最大浸水深の分布は京都駅付近から南西で同様の結果となった。一方、越水箇所 III は、京都駅よりも南に位置しており、西側への浸水も大きくないことが分かる。このように越水箇所に伴う浸水の違いが明らかとなった。また、越水箇所 I と越水箇所 II に比べて、越水箇所 III の結果は、浸水深が深いことが分かる。これは、氾濫水の集中など地形とそれによる浸水特性に加え、地下への水の流入水量の違いが影響すると考えられる。ここで、図-6 にある地下浸水の様子をみれば、越水箇所 I では東西線、阪急京都線と烏丸線で浸水が生じ、阪急京都線と烏丸線の浸水が大きい。これは、地盤高の影響で、浸水域が破堤地点から西に広がるよりも南下する流量が多いことから東西線への流入量が抑えられ、烏丸線、阪急京都線への流入が増加したと考えられる。越水箇所 II では烏丸線のみが浸水している状況となっている。さらに、越水箇所 III では烏丸線のみ浸水となっており、その浸水の様子は越水箇所 II の結果より小さい。これらのことから、越水箇所の違いにより、地下空間の浸水の様子が大きく異なることが示された。ここで、越水箇所 I における、計算終了時の烏丸線の浸水の様子を図-7 に示す。本図から、本計算条件の場合、十条駅から南で地下浸水が生じていることが分かる。この様子は図-6 から理解できる。なお、越流箇所 I の計算結果は戸田ら¹³⁾の計算結果と比較した結果、地上の氾濫解析の格子サイズが異なることから完全に一致する結果とはならなかったが、地上の浸水の拡がりの様子および地下鉄の浸水の様子が同様であり、解析モデルの妥当性が確認できた。

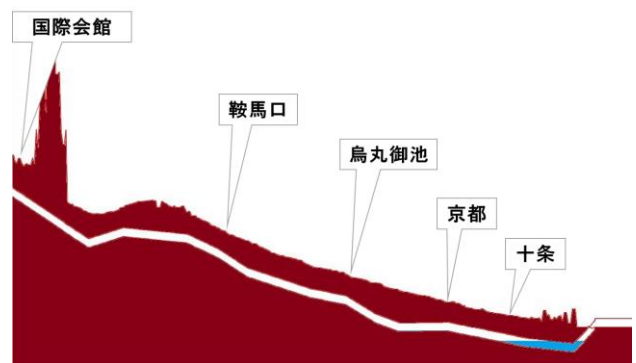


図-7 地下浸水の様子（越流箇所 I）

5. 止水板を考慮した数値実験

地下空間の入口にある止水板（現地調査の情報を使用（場所により50cm～1mの値））を考慮し、4. (1)と同様の計算条件を用いて、浸水解析を実施した。図-8に越流箇所毎の最大浸水深と地下鉄内の浸水の様子を示す。本図から、地下浸水が生じていることが分かるが、止水版を考慮していない図-6と比べると、越水箇所 I では、若干浸水域が広がっており、東西線および阪急京都線は地下鉄の浸水が発生していないことが分かる。計算における最大浸水深は、東西線付近では20cm以下、阪急京都線付近では約80cmほどであり、止水版があることによって浸水は発生しなかったと考えられる。また、表-2に、越水箇所 I における駅で生じた地下への流入水量を示す。本表から、烏丸線については京都駅以外からの流入がなくなり、京都駅においても流入流量が止水板無しの場合の約8%に減少していることが分かる。さらに、越水箇所 III の場合、止水版を設置することで地下浸水は発生しなかった。これらのことから、止水板の設置の重要性が改めて示された。

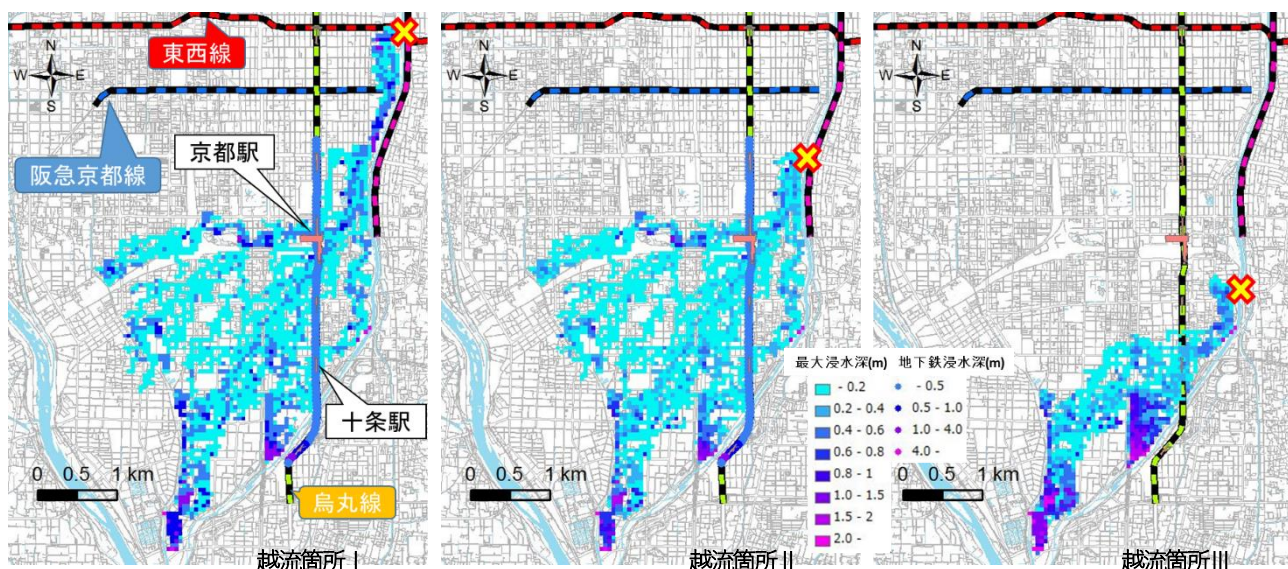


図-8 最大浸水深と地下浸水深の様子(止水版有り)

6. 格子スケールの影響評価

本研究では、河川から越水が生じ、それが都市域に広がる過程で地下街・地下鉄に流入する可能性があることから、それらの特徴を抽出する目的で数値解析的な検討を行っている。これまで議論してきた地上の氾濫解析では50mの分解能を持つ計算格子を用いており、道路に沿う流れの表現や地下空間の入口幅の数mのスケールからは解析精度が粗いといえる。そこで、ここでは、地表面の氾濫解析に10m格子を適用し、解析精度を上げて、地下空間を有する都市浸水解析に与える影響を検討する。計算条件は4。(1)と同様であり、越流箇所も同じ場所を設定した。越流箇所毎の最大浸水深の分布と計算終了時の地下鉄浸水の様子を図-9に示す。また、止水版を考慮した場合の同様の計算結果をを図-10に示す。図-9と図-7を比較すると、図-9の越流箇所Iと越流箇所IIの計算結果には、図-7でみられた京都駅北部から西側への氾濫水の拡がりが見えていない。その一方で、越流箇所IIIでは、図-7と図-9は同様の最大浸水深の分布を示している。また、地下浸水の様子をみれば、10m格子を用いて計算した方は東西線で浸水がみられず、阪急京都線と烏丸線では地下鉄の浸水エリアが大きくなっている。本研究の計算条件では、地表面氾濫解析の格子幅の違いにより、越流箇所によって、地表面の浸水深の分布と地下空間への水量に違いが生じた。また、10m格子を用いた場合でも、地下浸水に対する止水版の効果が示された。

7. おわりに

本研究では、京都市を対象に、大規模浸水における地下空間を有する都市の浸水について数値解析的な検討を

表-2 流入流量(m³) (越流箇所 I)

駅名	五条	京都	十条	京都市役所	河原町
止水版無し	2	60294	1417	800	10775
止水版有り	0	4890	0	0	0

行った。特に地下鉄の浸水による水の拡がりを定量的に明らかにした。本研究で得られた成果を以下に記す。

- 1) 洪水越流による都市浸水、地下への流入と地下鉄による浸水の拡がりを求める数値解析モデルを、京都市鴨川の洪水氾濫に適用した。解析結果は戸田ら¹³⁾の計算結果と同様であり、解析モデルの妥当性が示された。
- 2) 越流箇所が異なる場合の京都市の浸水特性を考察した。越流箇所Iおよび越流箇所IIの場合、鴨川右岸を南下した氾濫水は京都駅北部で西にも広がり、京都市の南西部へ広域に拡がること示された。越流箇所IIIでは、越流箇所Iおよび越流箇所IIと異なる拡がりをみせた。また、越流箇所Iでは、地下鉄東西線や阪急京都線、地下鉄烏丸線に地下浸水がみられた。一方、越流箇所IIと越流箇所IIIでは烏丸線に浸水がみられた。
- 3) 止水版が有る場合の計算結果では、止水版が無い場合に比べて地下空間の浸水が小さくなっており、止水版の効果が改めて示される結果となった。
- 4) 地表面の氾濫解析に用いる計算格子の影響を検討するため、10m格子を用いて同様の計算を行い、50m格子を用いた解析との比較を行った。その結果、越流箇所Iおよび越流箇所IIでは、10m格子を用いた解析結果では浸水が西側へ拡がらない様子となった。また、10m格子を用いた方が、地下空間への流入水量も多くなった。これら

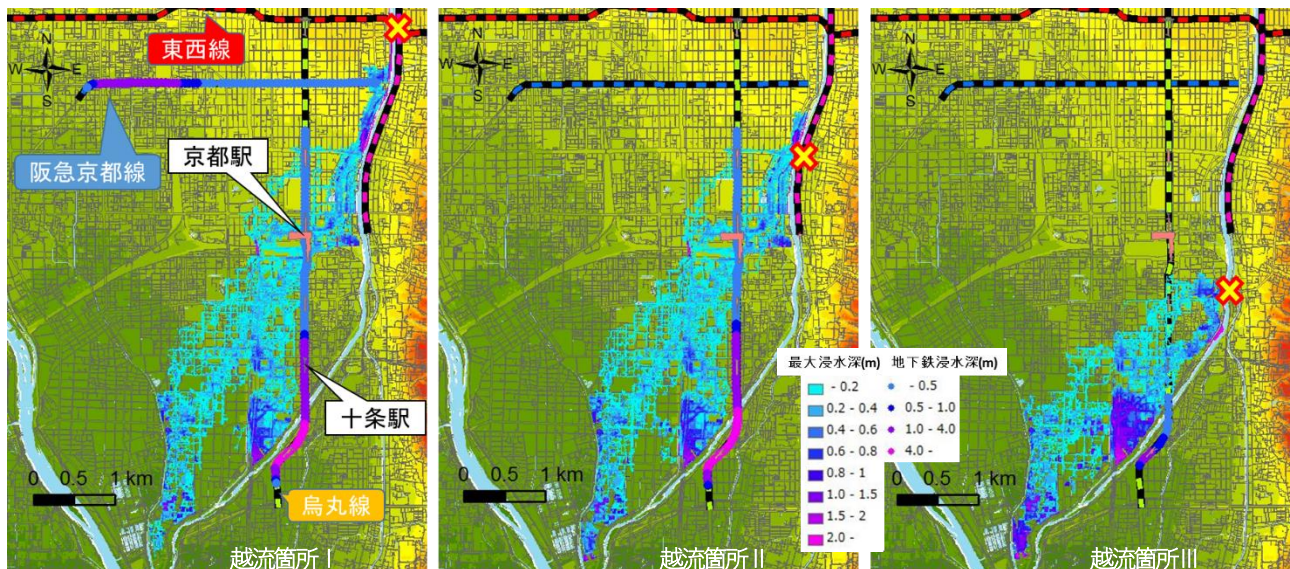


図-9 最大浸水深と地下浸水深の様子(10m 格子の場合、止水版無し)

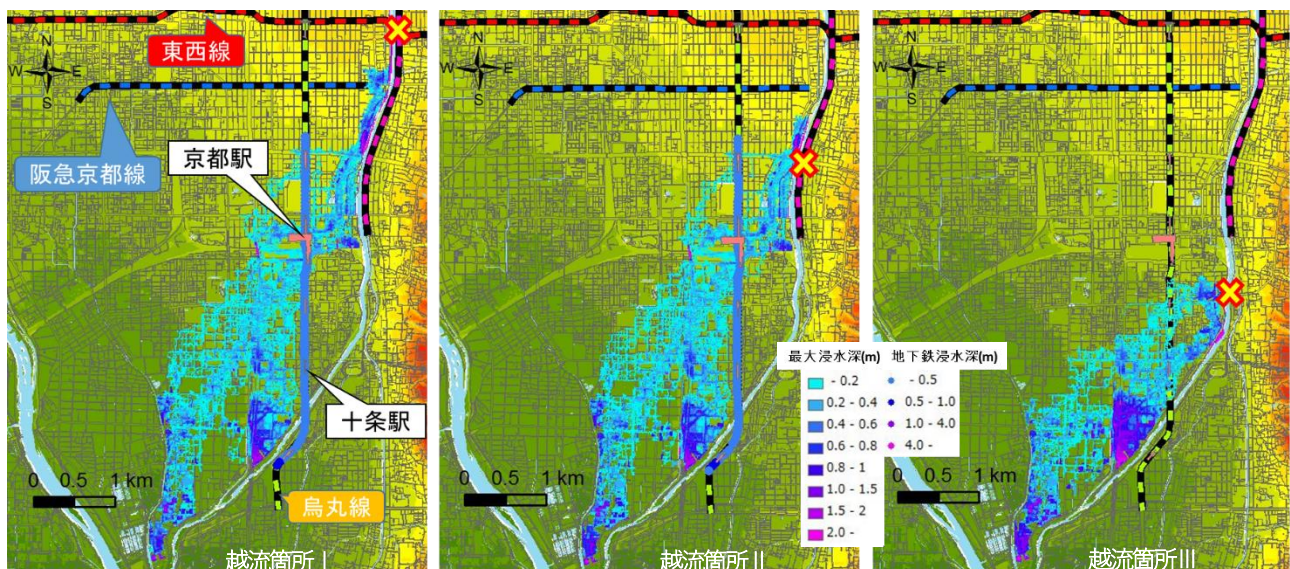


図-10 最大浸水深と地下浸水深の様子(10m 格子の場合、止水版有り)

は、微地形の効果が影響を与えたものとする。したがって、計算量の負荷というデメリットはあるが、地表面氾濫格子の大きさを小さくして、地上の氾濫の様子を適切に表現し、地下空間への流入水量を適切に見積もることは重要であるといえる。

謝辞：本研究は、文部科学省委託事業統合的気候モデル高度化研究プログラムの支援を受けて実施されました。

参考文献

- 1) 尾崎平, 浅野統弘, 石垣泰輔, 戸田圭一：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考察, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, I_1417-I_1422, 2014.
- 2) 関根正人, 河上展久：都市における内水氾濫と地下街浸水の被害予測に関わる数値解析, 水工学論文

集, 第47巻, pp889-894, 2003.

- 3) 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来襲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, No.4, I_1435-I_1440, 2014.
- 4) 関根正人, 池田遼：東京東部低平地を対象とした浸水・氾濫の数値解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, I_1429-I_1434, 2014.
- 5) 関根正人, 関根貴広：東京都心部の地下空間への氾濫水の流入危険度とトンネル内の浸水域拡大過程に関する検討, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.72, I_1369-I_1374, 2016.
- 6) 岡部良治, 寺田光宏, 土井峻平, 石垣泰輔：外水氾濫における地下鉄軌道を伝播する氾濫水の挙動予測に関する検討, 土木学会第71回年次学術講演会, II-116, 2016.

- 7) 武田誠, 島田嘉樹, 川池健司, 松尾直規: 庄内川の想定破堤氾濫による地下空間への流入水量の検討, 第20回地下空間シンポジウム論文・報告集, pp155-164, 2015.
- 8) 武田 誠, 西田貢士郎, 村瀬将隆, 川池健司: 地下鉄を考慮した都市の浸水解析, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第21巻, pp.153-160, 2016.
- 9) 村瀬将隆, 中島勇介, 武田 誠, 川池健司, 松尾直規: 地下鉄を考慮した名古屋と大阪の大規模浸水解析, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.73, No.4, I_1441-I_1446, 2017.
- 10) 村瀬将隆, 中島勇介, 武田 誠, 川池健司: 洪水破堤による三大都市圏の浸水解析, 地下空間シンポジウム論文・報告集, pp.97-102, 第23巻, 2018.
- 11) 武田 誠, 村瀬将隆, 三木研弥, 中島勇介: 福岡市の地下空間を考慮した浸水解析, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第24巻, pp.18-26, 土木学会, 2019.
- 12) 渡辺政広, 江藤剛治, 室田明: 取付管の調圧効果を考慮した下水道管網内の遷移流計算法, 土木学会論文集, 第411号II-12, 1989.
- 13) 戸田圭一, 大八木亮, 井上和也, 間島信嗣: 都市水害時の地下空間の浸水過程について, 京都大学防災研究所年報第47号B, pp.293-302, 2004.
- 14) yahoo!地図 <https://map.yahoo.co.jp>

INUNDATION ANALYSIS CONSIDERING THE WATER BEHAVIOUR OF UNDERGROUND SPACE IN KYOTO CITY

Daisuke SATO, Makoto TAKEDA, Masataka MURASE and Daiki YABUSHITA

Recently, the risk and the countermeasures of the water disaster has been examined for the underground space in urban areas. In metropolitan areas subways and underground shopping centers are highly constructed. If large scale inundation occurs there, flood damage becomes serious in the underground space. In Kyoto city, which is the target area of this study, there is a risk of inundation due to the Kamogawa river flood, and Kyoto city has four subway line and underground shopping center mole. Moreover, in our study group, the urban inundation analysis model was developed with consideration of the analysis on the water behavior in the underground space and subway lines. In this study, the developed analysis model was applied to the inundation situations in Kyoto city. From this study, analysis results show the feature of the inundation in Kyoto city. Moreover, the effect of the water stop board at the entrance of the underground space are shown. In addition, in the inundation analysis, the analysis results using 10m grid are different from the analysis results using 50m grid, so the importance of detailed analysis is shown clearly.