

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

THE EXAMINATION ON AN INFLOW WATER VOLUME TO THE UNDERGROUND SPACE DUE TO THE INUNDATION WITH DIKE BREAK IN THE SHOUNAI RIVER

武田 誠¹・島田嘉樹²・川池健司³・松尾直規⁴

Makoto TAKEDA¹, Yoshiki SHIMADA², Kenji KAWAIKE³, Naoki MATSUO⁴

The flood disaster occurred at the Shounai River basin due to the heavy rain of typhoon 15, 2012. At Shidami area in Nagoya city, the inundation due to overflow from the river dike occurred and evacuation information was issued to 1,000,000 citizens of Nagoya city. The water level of the Shounai River was a very high value. The serious hazard may occur in the case of the dike break. A lot of underground space exists in the Nagoya city region. The underground space has the brittleness of water disaster. In this study, we treated the inundation water behavior due to dike break conditions by using of the numerical analysis. From analysis results, the feature of inundation water behavior by the difference of the dike break point were shown clearly. Moreover, the danger of the underground space due to the inundation of dike break and the difference of inflow discharge to underground area due to dike break point were obtained. And the importance of the dike was discussed from the sense of the danger of underground space.

Key Words : *Underground space, Inundation, Dike break, Shounai River, Nagoya city area*

1. はじめに

近年, 大雨, 洪水による被害が多発している. 平成23年には, 台風15号の影響により庄内川で洪水が発生し, 名古屋市では100万人に対する避難勧告が発令された. 名古屋市志段味地区では越水による被害が生じたが, 幸いにも庄内川の堤防が破堤することは無かった. しかし, 庄内川左岸には大都市名古屋が隣接しており, 地下鉄・地下街などの地下空間が広がっている. 図-1に, 著者らが計測した名古屋駅前の地下空間の入口の情報を示す. 地下空間に氾濫水が流入すれば, 甚大な被害を引き起こすことは容易に想像できる. また, 現在, 名古屋市や国土交通省のホームページ上で, 洪水破堤によるハザードマップや, 東海・東南海・南海地震による津波の浸水被害想定, あるいは, スーパー伊勢湾台風による高潮の浸水被害想定が公開されている. これらによれば, 都市の中に1m以上の浸水が示されているが, それらと関連付



図-1 地下街・地下鉄への入口

けて, 地下空間の危険性が議論されていない. 図-2の名古屋市のハザードマップ¹⁾によれば, 名古屋駅前では, 内水氾濫の場合, 0.2m~1.0mの浸水深が予測されており, 図-1の入口に止水板を設置することで対処可能と考える. しかし, 外水氾濫(破堤に伴う洪水氾濫)の場合, 1m

キーワード: 地下街, 地下鉄, 庄内川, 想定破堤氾濫, 数値解析

¹正会員 中部大学教授 工学部都市建設工学科 Professor, Faculty of Engineering, Chubu University, (E-mail:mtakeda@isc.chubu.ac.jp)

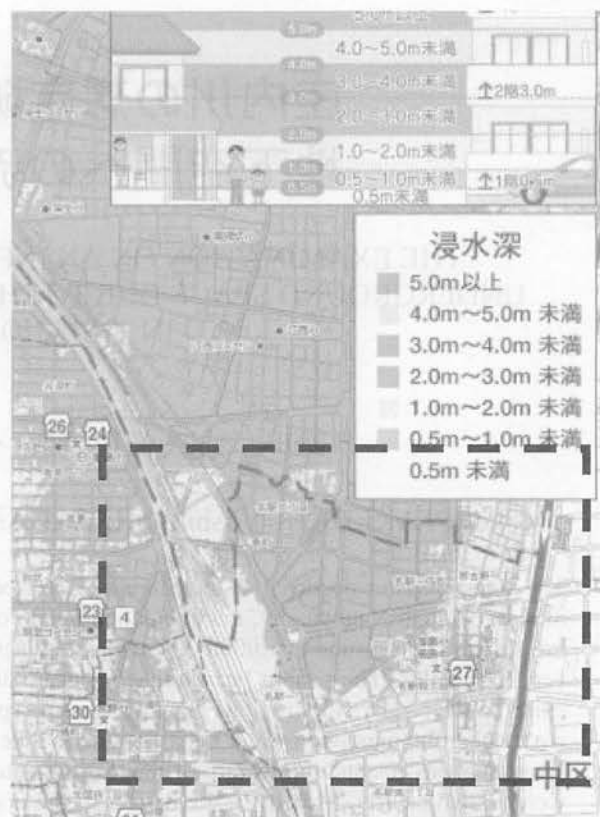
²学生会員 中部大学大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Chubu University.

³正会員 京都大学准教授 工学部 Associate Professor, Faculty of Engineering, Kyoto University.

⁴フェロー 中部大学教授 工学部都市建設工学科 Professor, Faculty of Engineering, Chubu University.



(a) 内水氾濫の場合



(b) 外水氾濫の場合

図-2 名古屋市のハザードマップ (点線の枠は名古屋駅前)¹⁾

～3mの浸水深が予想されており、止水板では地下空間への流入を防ぐことができない。したがって、大規模浸水における地下空間の危険度評価は、非常に重要な研究課題といえる。

戸田・石垣・尾崎ら²³⁾、関根ら⁴⁵⁾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、避難対策を報告している。さらに、最近では、津波による地下浸水特性の評価⁶⁾、内水モデルによる広域の洪水氾濫解析⁷⁾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。

本研究もこれらの研究と同様に、洪水破堤を対象とした大規模浸水および地下浸水を検討するものであり、大規模な地下空間を有する名古屋市地域を対象とした。まず、地下浸水の研究を始める第一段階として、破堤箇所を想定した氾濫解析 (以後、想定破堤氾濫とする) により、地表面の浸水特性を明らかにした。さらに、地下空間への流入水量を見積もり、破堤箇所による流入水量の違いと、その観点からの破堤箇所の重要性を明らかにした。

2. 都市における洪水氾濫解析

(1) 洪水流解析

河川における洪水流解析には、以下に示す一次元の運動量方程式および連続式を用いた。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial UQ}{\partial x} = -gA \frac{\partial (h_R + z_b)}{\partial x} - \frac{gn^2 Q|U|}{R^{4/3}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2)$$

ここに、 A は断面積(m^2)、 Q は流量(m^3/s)、 q は単位幅あたりの横流入流量(m^2/s)、 U は流速($=Q/A$)(m/s)、 h_R は水深(m)、 z_b は河床高(m)、 g は重力加速度(m/s^2)、 n はマンニングの粗度係数($m^{1/3}s$)、 R は径深(m)、 x は距離、 t は時間である。

(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運動量方程式および連続式を用いた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = -q_o \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = & -gh \frac{\partial (z_G + h)}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial(z_G + h)}{\partial y} \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial N}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{aligned} \quad (5)$$

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 方向のフラックス($M = uh, N = vh$)(m^2/s)、 q_o は単位面積当たりの流出流量(m^2/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(m^2/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(m^2))、 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/m^3)、 g は重力加速度(m/s^2)、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ はそれぞれ x, y 方向の渦動粘性係数(m^2/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、マンニングの粗度係数を用いて、以下の式で表される。

$$\tau_{bx} = \rho g n^2 M \sqrt{u^2 + v^2} / h^{4/3} \quad (6)$$

$$\tau_{by} = \rho g n^2 N \sqrt{u^2 + v^2} / h^{4/3} \quad (7)$$

また、堤防箇所の単位幅横流入流量は以下の式で求めた。

$$h_2 / h_1 \leq 2/3 \quad q = \mu L h_1 \sqrt{2gh_1} \quad (8)$$

$$h_2 / h_1 > 2/3 \quad q = \mu' L h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (9)$$

ここに、外水位を H_r (m)、堤防天端高を H_0 (m)、堤内水位を H_f (m)、越流幅を L (m)、 $h_1 = H_r - H_0$ (m)、 $h_2 = H_f - H_0$ (m)とし、河川に流入する量を正、 μ を0.35、 μ' を0.91とした。

(3) 計算領域および数値解析

図-3に計算領域は示す。本計算では、河口から志段味までの庄内川の河川区間およびそれらを包含する陸域を計算格子とした。下水道、水路は考慮されておらず、図-3の陸域の白色格子には水が浸水しないものとした。庄内川の河川解析には、200m毎に整備されている断面データおよび左岸右岸の位置データを用い、氾濫解析には、5mメッシュの標高値を用い、平均操作により50m格子の地盤高を整備した。その結果、図-4に示すように、鉄道の盛土等を含む格子は周辺の格子に比べて高くなっていた。また、一次元解析および平面二次元解析では、式(8)または式(9)で示した流入流量の受け渡しが必要になる。本研究では、図-5に示すように、河川の断面データが存在する左岸右岸の点と断面位置を中心とする河川格子の境界点および氾濫格子で区分される河川格子の点を用い、対応する河川格子および氾濫格子の水位を用いて計算された堤防区分の単位幅横流入流量に、堤防区分の長さを掛けて、連続式で考慮される受け渡し流量を算出している。

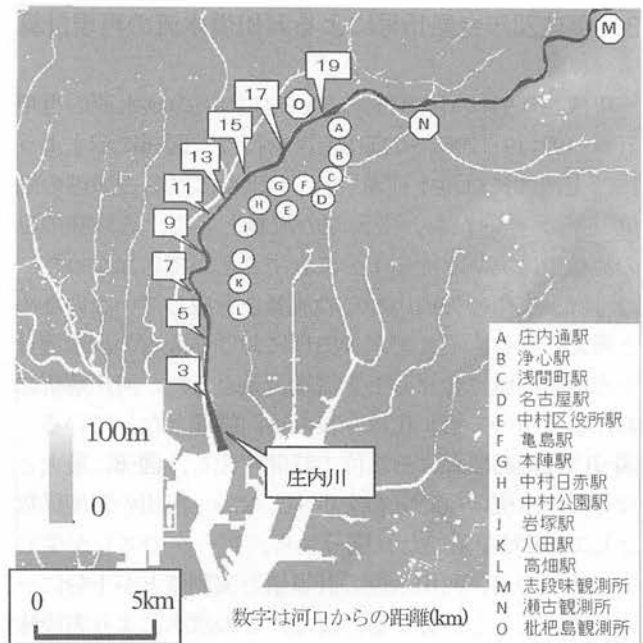


図-3 計算領域

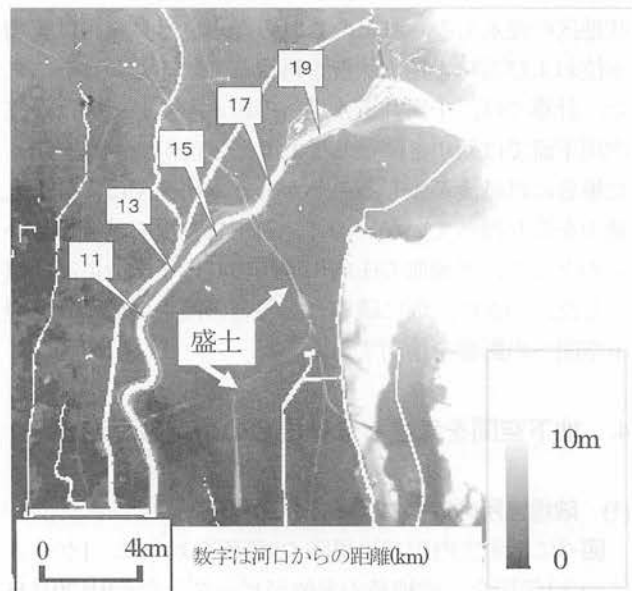


図-4 破堤箇所近傍の地盤高

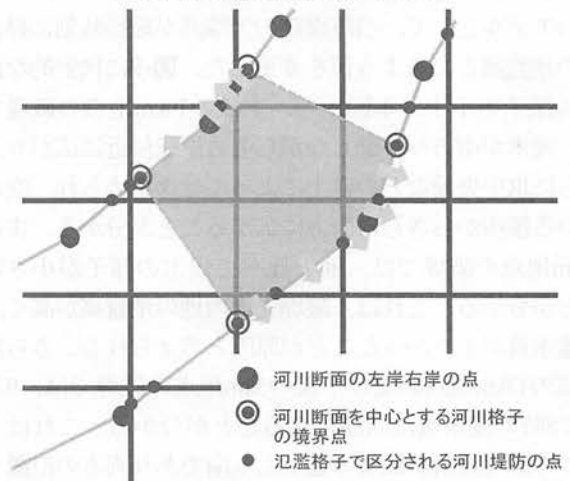


図-5 越流流量の受け渡しのモデル化

3. 平成23年台風15号による河川洪水流の再現計算

平成23年9月の台風15号による庄内川の洪水流の再現計算（9月19日20時～21日8時）を行う。図-6に示すように、上流端には洪水流量⁹⁾を、下流端には名古屋港の潮位⁹⁾を与えた。なお、上流端の流量として、志段味のみ流量では実測水位を十分に表すことができなかった。これは、支川の矢田川からの流量を考慮していないためと考えられる。そこで、矢田川における瀬古の洪水流量を志段味の値に合算して上流端流量とした。河川解析における支川のモデル化は今後の検討課題となっている。図-7に枇杷島における水位の時間変化を、図-8に最大となる河川水位の縦断分布を示す。なお、河川の粗度係数として0.0275を用いた。図-7から、ピークのズレが生じているものの、河川水位の計算値と実測値とが十分に一致していることが分かる。また、この洪水により志段味地区では越水被害が生じており、図-8には越水の様子も再現されている。さらに、後述する浸水解析では、志段味地区の浸水もみられた。これらから、計算結果は実測水位および当時の越水状況を再現しているといえる。また、計算では、小田井遊水地への越水も生じていた。庄内川下流では新川と隣接しており、水位が背割堤を超えた場合には越流が生じる。しかし、本研究では、計算上、新川を取り扱っていないので、新川背割堤の越流は無いものとして、下流側の庄内川堤防の右岸を十分に高い値とした。つぎに、仮に破堤した場合の浸水の広がりや地下空間への影響を検討する。

4. 地下空間を考慮しない場合の想定破堤氾濫

(1) 破堤箇所の違いによる浸水の様子

図-3に示す庄内川左岸堤防の9箇所を対象に、1ケースにつき1箇所を、枇杷島の水位がピークとなる9月20日15時（計算開始19時間後）に100mの幅で破堤させた。破堤のモデルとして、当該堤防の天端高が破堤時刻に堤内地の地盤高となるよう値を変更した。図-9に代表的な浸水の様子を示す。本図から、上流の19km地点の破堤では、浸水が南方へ移動しながら名古屋駅付近に広がり、さらにJR中央線などの盛土によってせき止められ、空いている箇所からさらに南方に広がることが分かる。また、15km地点の破堤では、他と比べて浸水の様子が小さいことが分かる。これは、破堤先堤内地の地盤高が高く、氾濫水量が小さかったことが原因と考えられる。さらに、中流の13km地点および下流の5km地点の破堤では、9月21日8時の浸水域は同様であることが分かる。これは、二つの破堤箇所が鉄道の盛土より南であり両者の氾濫水量は同じ低平地に流入するので、入った水量に応じて浸水が広がり、両者の差が大きく現れなかったと考えられる。

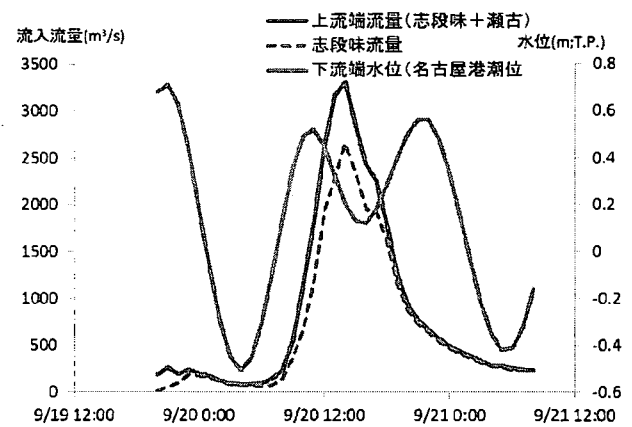


図-6 庄内川洪水流解析の上流端流量と下流端水位

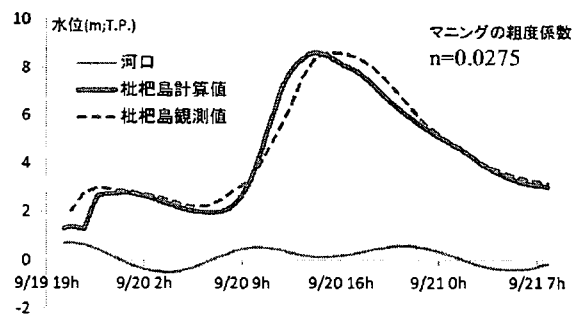


図-7 水位の計算結果比較

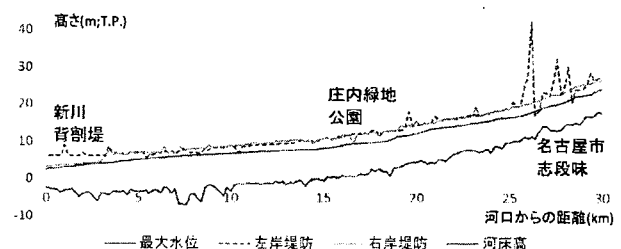


図-8 計算水位の最大値の縦断分布

このように北部の名古屋駅周辺の盛土の影響、堤防箇所の堤内地地盤高による浸水の違い、低平地における浸水の広がりや類似性など、破堤点毎に浸水の広がりや特徴があることが示された。

(2) 破堤箇所による最大浸水深の分布

図-10に最大浸水深の分布から得た0.5m（床上浸水の目安）以上、1.0m以上、1.5m以上の浸水面積と計算終了時の地表面の氾濫水量を示す。本図から、4(1)と同様に、破堤箇所による氾濫面積および氾濫水量の違いが分かる。破堤モデルとして、枇杷島の水位のピーク時間に対象とする堤防高が堤内地の地盤高まで低下するので、堤内地の地盤高が高く水位との差が小さければ、流入する水量は少なくなり、その結果、氾濫水量も小さくなる。さらに、破堤箇所の堤内地の地盤高特性（分布）により浸水

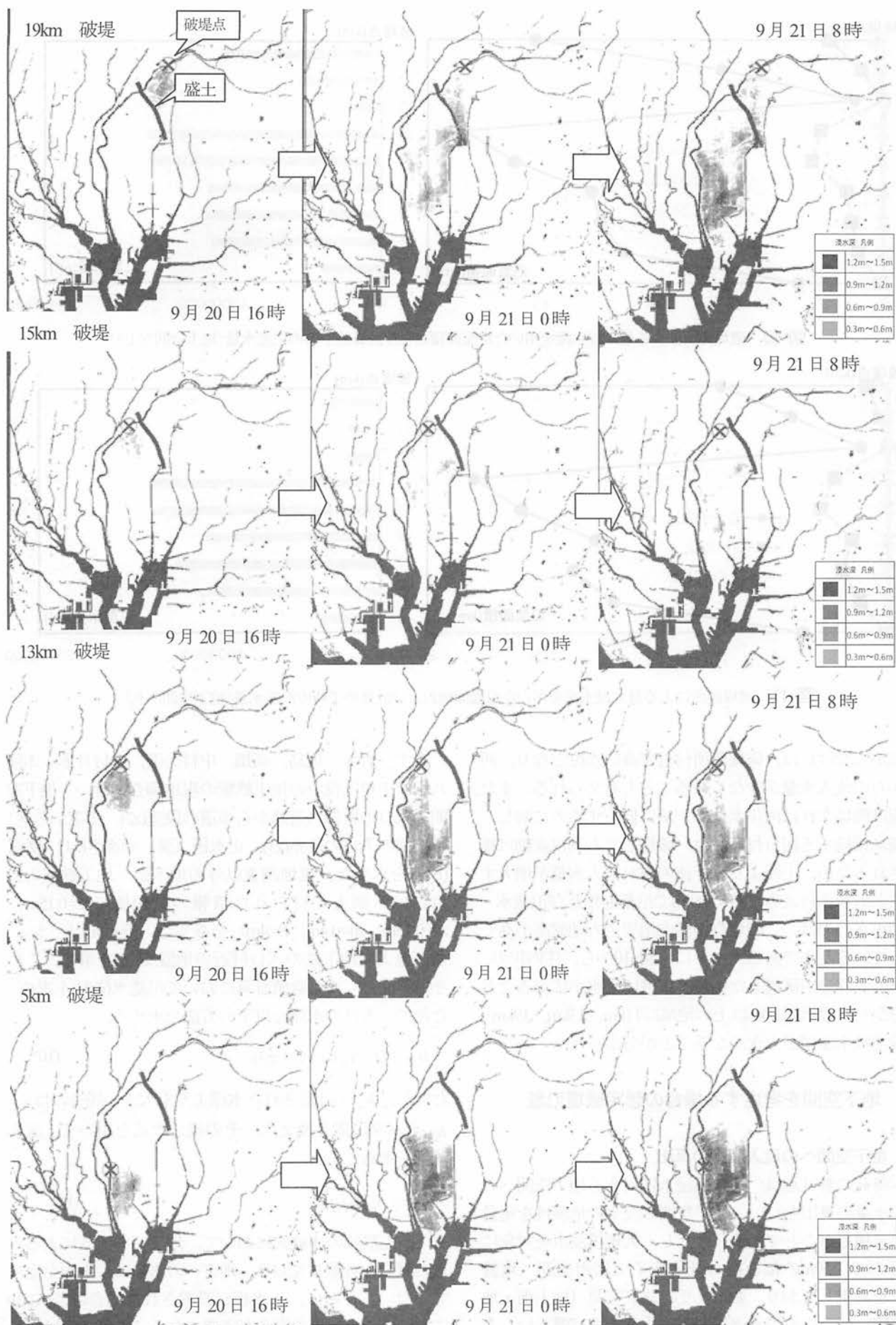


図-9 19km 地点、13km 地点および5km 地点の想定破堤による浸水の様子

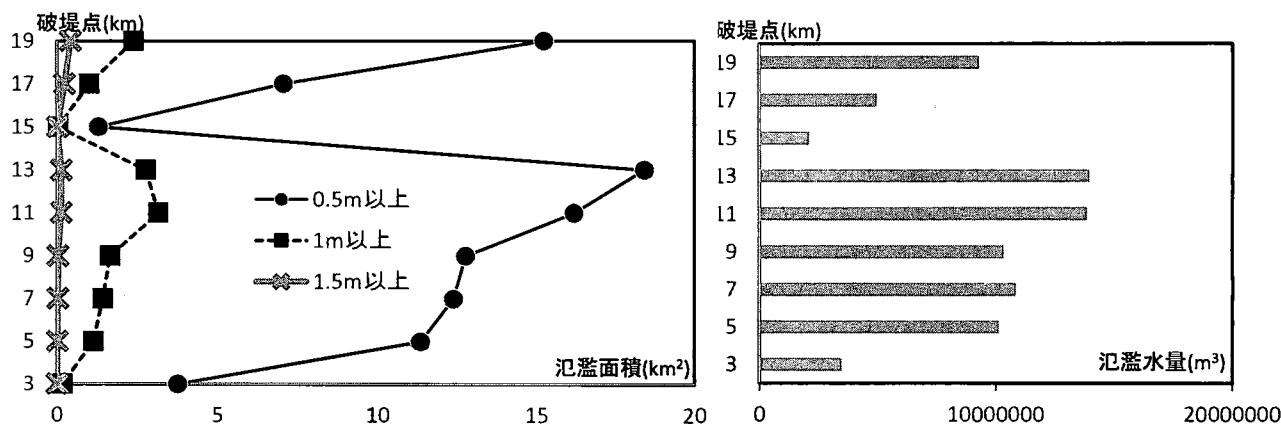


図-10 破堤箇所による最大浸水深を用いた氾濫面積および計算終了時の氾濫水量(地下空間なし)

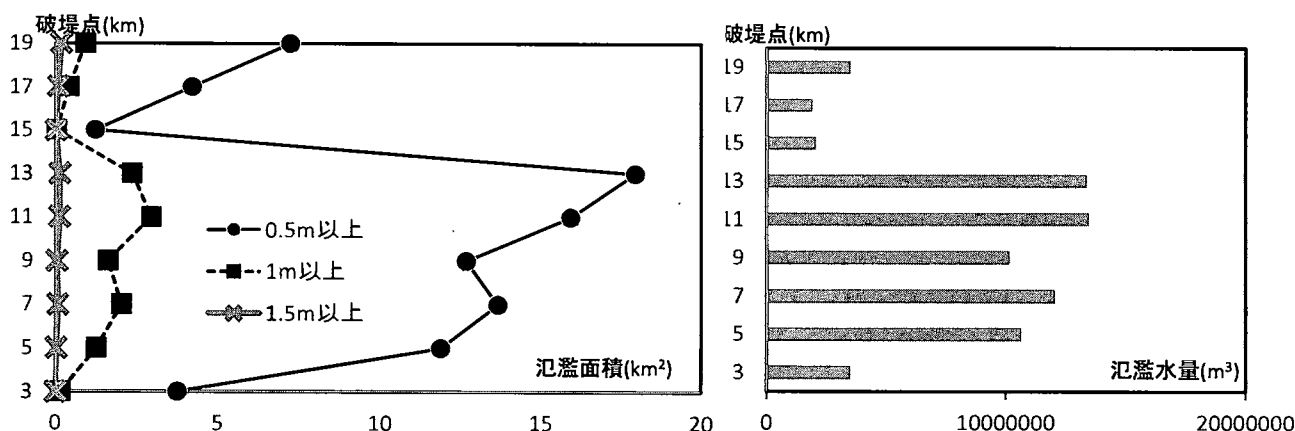


図-11 破堤箇所による最大浸水深を用いた氾濫面積および計算終了時の氾濫水量(地下空間あり)

が広がらなければ、破堤箇所付近で高い水位となり、河川からの流入水量が少なくなることも考えられる。また、上流は破堤すれば河川水位は一気に低下するのに対し、海域に接続する河口付近では、破堤しても潮汐変動は維持されるため、上流よりも下流の方が流入水量が増大することも考えられる。特に15kmで氾濫面積及び氾濫水量が小さいのは、この地点の堤内地周辺の地盤高が高くなっているためである。さらに、図-10から、庄内川の堤防の大部分が破堤した場合、広域に浸水が広がることが分かり、浸水深1.0m以上の地域は11km、13km、19km破堤で浸水面積が大きくなることが分かった。

5. 地下空間を考慮する場合の想定破堤氾濫

(1) 地下空間への流入流量の算出

本研究の着目点は、大規模浸水に対する地下空間への流入水量の算出を行い、地下空間の浸水の危険性を定量的に見積もることである。ただし、大規模浸水を対象にするので、50mの幅を持つ計算格子で都市空間（地盤高）を表現しており、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表現することは難しい。ここでは次の方法で地下空間の入口の流入流量を求めた。

まず、岩塚、亀島、高畑、中村公園、中村日赤、本陣八田、中村区役所の地下鉄駅の現地調査を行い、地下空間の入口の情報（道路から歩道の段差(z2)、歩道から地下空間の入口の段差(z3)、止水板（溝）の高さ(z4)、横幅(B)）を求めた。現地調査以外の地下街・地下鉄駅の入口には、調査で得られた情報の最頻値（z2=0.15m, z3=0.15m, z4=0.4m, B=4m）を与えた。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。

$$h_{in} = H - (z1 + z2 + z3) \quad (10)$$

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。その後、次式を用いて、流入流量を求めた。

$$Q_{in} = h_{in} B \sqrt{gh_{in}} \quad (11)$$

また、氾濫域の連続式において、地下への流入による水量の減少を考慮しており、地下への水量には上限を定めていない。さらに、止水板が設置された場合は、式(10)において、止水板の高さが考慮される。本解析では、2(3)で示したように5mメッシュの標高値を用い、50m格

表-1 地下空間の概要（平面面積の単位：m²）

	高畑	八田	岩塚	中村公園	中村日赤	本陣	亀島	中村区役所	名古屋	浅間町	浄心	庄内通
入口の数	5	4	4	6	2	4	4	4	71	4	5	2
平面面積	4,282	4,979	3,362	3,872	2,856	2,972	2,836	4,596	89,684	4,633	8,968	2,925

表-2 地下への流入水量(m³)（止水板なし）

破堤箇所	高畑	八田	岩塚	中村公園	中村日赤	本陣	亀島	中村区役所	名古屋	浅間町	浄心	庄内通
19km	-	-	-	-	-	-	-	-	5,632,617	57,888	112,837	11,582
17km	-	-	-	-	-	-	-	-	3,065,983	15,184	9,198	-
15km	-	-	-	38,750	34,280	3,612	141	-	-	-	-	-
13km	202,040	6,098	35,595	444,075	-	-	-	-	-	-	-	-
11km	368,409	4,596	8,168	47,654	-	-	-	-	-	-	-	-
9km	193,329	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7km	256,348	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5km	138,858	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

10⁶～ 10⁴～10⁶ ～10⁴

表-3 流入水量を平面面積で除した値(m)（止水板なし）

破堤箇所	高畑	八田	岩塚	中村公園	中村日赤	本陣	亀島	中村区役所	名古屋	浅間町	浄心	庄内通
19km	-	-	-	-	-	-	-	-	62.81	12.50	12.58	3.96
17km	-	-	-	-	-	-	-	-	34.19	3.28	1.03	-
15km	-	-	-	10.01	12.00	1.22	0.05	-	-	-	-	-
13km	47.18	1.22	10.59	114.70	-	-	-	-	-	-	-	-
11km	86.04	0.92	2.43	12.31	-	-	-	-	-	-	-	-
9km	45.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7km	59.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5km	32.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

10～ 5～10 ～5

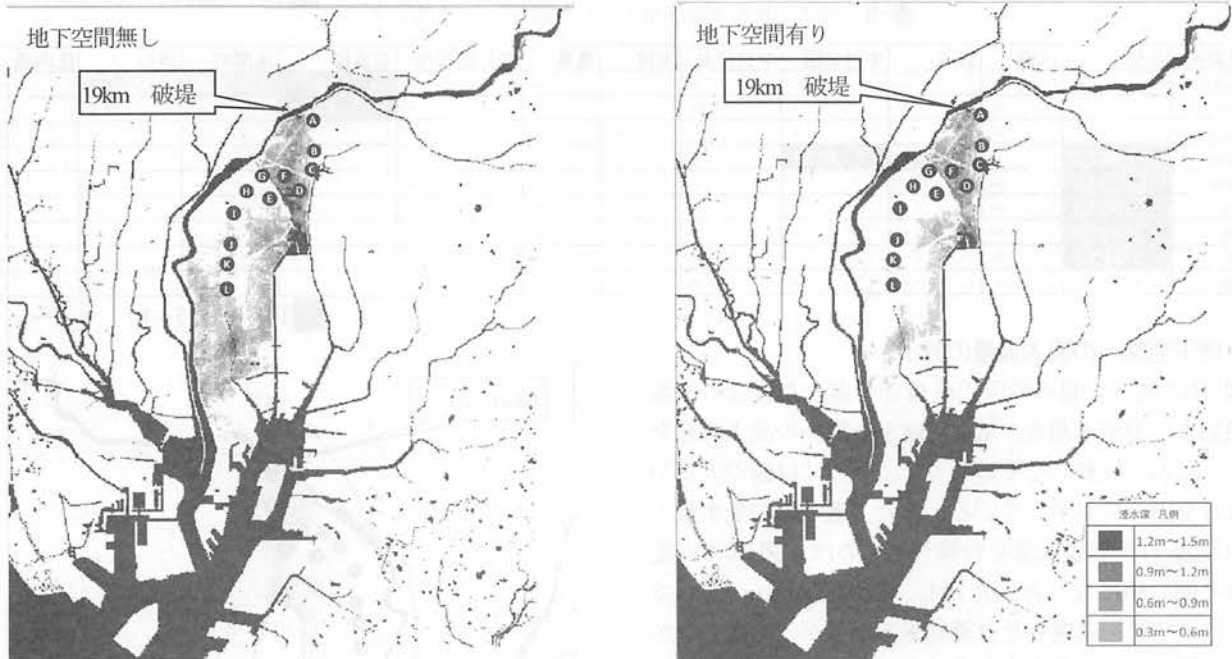


図-12 地下浸水の有無による最大深水深の変化

子の地盤高を作成した。格子内の地盤高の凸凹が大きい場合には、式(10)および式(11)の取り扱いに実際との大きなズレが生じると考えられる。検証のため、地下空間への入口が存在する地域の、5mメッシュ標高値の標準偏差を算出した。その結果、地盤高の標準偏差が0.3m以下となっていた。このことは、本モデル化のある程度の妥当性を示していると考えられる。

取り扱った地下空間の概要を表-1に示す。名古屋駅は駅前に地下街が広がっていることから、他と比べて、平面面積が大きく、入口も多い。一方、他の地下鉄駅の入口は概ね4か所程度存在する。なお、地下空間の平面面積は、WEBの地図¹⁰⁾からGISを用いて整理し、解析結果の目安として考察に用いている。

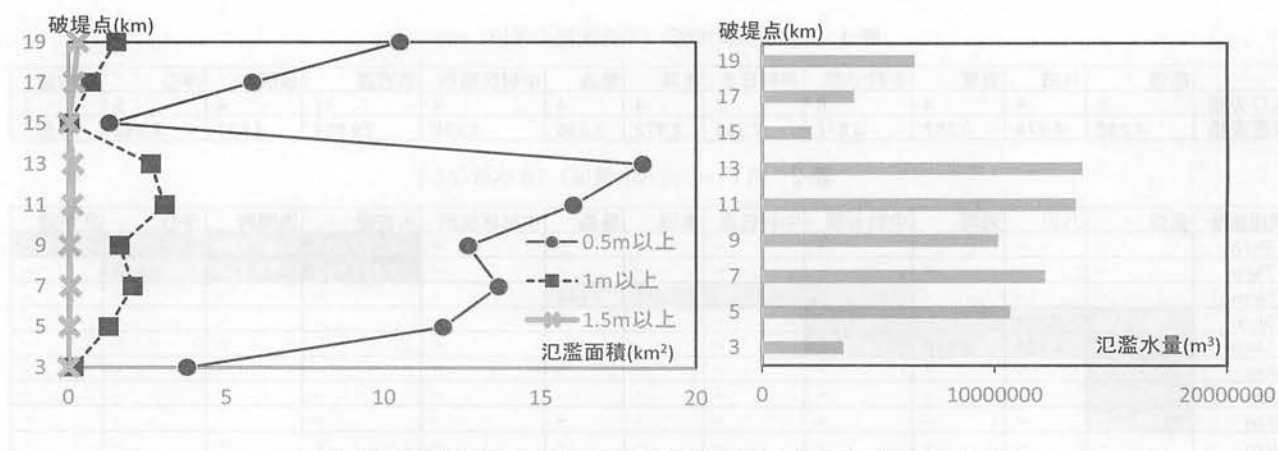


図-13 破堤箇所による地表面での氾濫面積及び氾濫水量(止水板あり)

表-4 地下への流入水量(m³) (止水板あり)

破堤箇所	高畑	八田	岩塚	中村公園	中村日赤	本陣	亀島	中村区役所	名古屋	浅間町	浄心	庄内通
19km	-	-	-	-	-	-	-	-	2,706,165	4,924	302	-
17km	-	-	-	-	-	-	-	-	1,018,277	-	-	-
15km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13km	191,905	-	210	53,985	-	-	-	-	-	-	-	-
11km	314,864	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9km	169,502	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7km	219,848	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5km	123,467	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表-5 流入水量を平面面積で除した値(m) (止水板あり)

破堤箇所	高畑	八田	岩塚	中村公園	中村日赤	本陣	亀島	中村区役所	名古屋	浅間町	浄心	庄内通
19km	-	-	-	-	-	-	-	-	30.17	1.06	0.03	-
17km	-	-	-	-	-	-	-	-	11.35	-	-	-
15km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13km	44.82	-	0.06	13.94	-	-	-	-	-	-	-	-
11km	73.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9km	39.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7km	51.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5km	28.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(2) 地下空間への流入流量の算出

図-11に地下空間への流入流量を考慮した場合の氾濫面積および氾濫水量を、表-2に地下空間への流入水量を示す。なお、理解しやすいように、表-2には値の大まかな区分を濃淡で表示している。また、表-2の氾濫水量の総和と図-11の氾濫水量を合算したものは、図-10の氾濫水量と同じ値になった。ただし、破堤箇所5kmと7kmでは、地下空間を考慮した計算結果の水量が、考慮しなかった計算結果の水量よりも多くなった。これは、地上での氾濫水が地下空間に入った分だけ堤内地の水位が下がり、より多くの水が入り込んだためと考えられる。このことは、海拔ゼロメートル地帯の破堤とそれによる浸水の注意すべき点である。なお、地下空間を考慮した場合、7km地点および5km地点の破堤の氾濫水量と地下空間の流入水量の合計は、地下空間を考慮しない場合の氾濫水量の1.13倍および1.06倍となっている。

表-2から、破堤箇所と流入水量の関係が理解できる。17km地点や19km地点の破堤では、浸水が名古屋駅前に

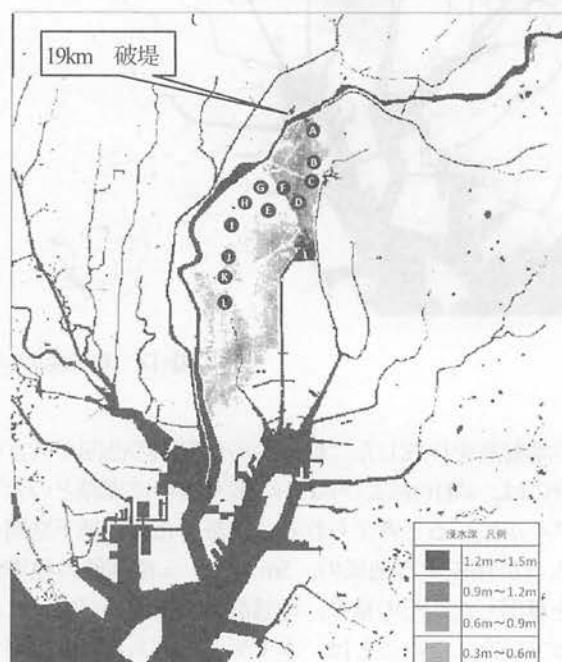


図-14 最大浸水深の分布 (止水板を考慮)

広がるので、その地域の地下空間に氾濫水が流入し、地形の影響および入口の多さも関係して、流入水量も多大となる。また、15km以南の破堤では、名古屋駅前の浸水は生じないが、他の地下鉄駅には浸水が生じる。なお、表-2から高畑駅は、比較的多くの箇所の破堤によって、流入水量が生じていることが分かる。さらに、流入水量をそれぞれの地下鉄駅・地下街の平面面積で除して浸水深を求めたものが表-3である。本図から、名古屋駅のみでなく、高畑駅や中村公園駅など、浸水深が多大なものも多くみられる。狭い地下空間であれば、一気に水位上昇が生じる可能性もあるので、注意が必要である。現時点では、各地下空間の空間構造の情報を入手できていないため、詳細な検討はできないが、個々の地下空間の危険性は示されたと考える。さらに、大量な氾濫水が入る場所では、地下での氾濫水はその場所に留まらずに、地下鉄の線路を伝って水量が伝播することも考えられる。このように、実際の水害では、地下空間における浸水の広がりも重要になる。地下空間への浸水を入口の止水板で防ぐことができたとしても、他地点からの流入によって、地下鉄の線路内を浸水が伝播して、ホームから逆に溢れることも考えられる。本研究では議論できないが、このような複雑な水の挙動は十分に検討する必要がある。

また、表-2に示すように、名古屋駅前の地下空間の流入水量が大きいことから、地下空間への流入の地表面浸水過程への影響を検討した。図-12に地下空間への流入が無い場合と有る場合の、19km地点の破堤による最大浸水深の分布を示す。本図から、地下空間を考慮した方が、考慮しないものよりも浸水の広がり小さくなっていることが分かる。このことから、多大な地下空間への流入水量は氾濫形態を変化させることも明らかとなった。ただし、前述したように、実際には地下空間への流入は無限ではなく、ある水量で留まり、また、地下鉄への流入によって、線路を氾濫水が伝播し、別の駅で噴き出して、広がることも考えられる。このように、図-12の結果には実際との差に注意が必要であるが、地下空間における危険性やその地表面氾濫への影響という観点からは、重要な結果といえる。

(3) 地下空間への流入流量に関する止水板設置の効果

地下空間の入口に止水板を設置した場合の氾濫面積と氾濫水量の様子を図-13に、地下空間への流入水量を表-4と表-5に、最大浸水深の分布を図-14に示す。まず、図-13と図-11を比較すれば、止水板の設置により、地上での氾濫面積と氾濫水量が大きくなっている。これは、特に17kmと19kmの破堤の結果で顕著である。また、表-4および表-5に示した地下空間への流入水量は表-2および表-3に比べれば大きく低下しており、止水板の効果が大

きく現れている。しかし、名古屋、中村公園は相当量の水量が流入しており、注意が必要である。高畑でも大きな浸水が生じている。現地調査において、高畑には止水板の設置の溝がない入口があり止水板無しとしたが、土嚢などを使用した設置も考えられる。今後はより精緻な情報収集および解析を実施して、地下空間の水害対策に関する、より現実的な現象の解明と対策の検討を進めていきたい。

6. おわりに

本研究では、名古屋市の地下空間における浸水の危険度評価を目指して、数値解析的な検討を進めた。得られた成果をまとめれば、以下のようである。

- 1) 河川洪水流を一次元解析で、氾濫水を平面二次元解析で解く解析モデルを構築し、平成23年台風15号による庄内川の洪水流解析を行った。解析結果と実測の河川水位および越水状況の比較から、解析モデルの妥当性を示した。
- 2) 庄内川の3km～19kmの左岸を100m破堤させた、想定氾濫解析を実施した。その結果、3km地点や15km地点は堤内地の地盤特性の影響を受けて、あまり浸水が広がらないが、それ以外は広く浸水が生じることが分かった。また、17km地点や19km地点の破堤による氾濫水は、南下して名古屋駅周辺に集まり、JRの盛土構造物に沿って南下する。一方、下流域の破堤では、最終的な浸水エリアは大きく異ならないことが示された。これらから、対象地域の浸水特性に違いがあることが分かった。
- 3) 地下空間への流入水量を考察し、17km地点および19km地点の破堤により、名古屋駅周辺の浸水が生じ、そこからの地下空間への流入水量が甚大な量になることが示された。また、地下空間への流入水量は、地下鉄駅に流入し、線路を伝って水が伝播することも示唆された。このことから名古屋駅周辺から流入する地下流水にとって17km地点、19km地点の堤防が重要であることが示された。
- 4) 地下空間への流入水量の抑制に関して、止水板の効果は大きいことが示された。しかし、名古屋駅前の地下街、中村公園や高畑の地下鉄駅への流入水量は多いので、それらの流入水量が地下鉄線路を通って広がることも十分に考えられる。これらの解明には、さらに解析のためのデータを収集して、地下街から駅、ホーム、線路を通過する水の挙動を表現する必要がある。

謝辞：本研究は文部科学省・気候変動リスク情報創生プログラムの支援を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 名古屋市洪水ハザードマップ：名古屋市ホームページ，<http://www.city.nagoya.jp/kurashi/category/20-2-6-6-0-0-0-0-0-0.html>.（平成26年10月29日確認）
- 2) 井上知美，川中龍児，石垣泰輔，尾崎平，戸田圭一：内水氾濫によ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，第55巻，pp.973-978，2011.
- 3) 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.
- 4) 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，pp.889-894，2003.
- 5) 関根正人，本山量啓：地下浸水時の避難誘導に関する数値解析，水工学論文集，第52巻，pp.847-852，2008.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 国土交通省 水文水質データベース 庄内川 志段味：<http://www1.river.go.jp/>.（平成26年10月29日確認）
- 9) 国道交通省 気象庁 潮位表 名古屋：http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/index_tide.html.（平成26年10月29日確認）
- 10) 例えば、YAHOO!JAPAN 地図，鉄道路線：<http://map.yahoo.co.jp/>.（平成26年10月29日確認）