

大規模水害による都市空間の浸水特性に関する研究

A NUMERICAL STUDY ON THE INUNDATION PROPERTIES IN URBAN SPACE DUE TO SERIOUS STORM SURGE AND RIVER FLOODING

河海工学分野 森 翔大

River and Coastal Environmental Engineering Shouta MORI

近年，気候変動による台風や降雨の規模の増大により，想定を上回る水災害の発生が示唆されていることから，高潮や河川洪水による大規模水害を想定しておく必要がある．本研究では高潮や河川洪水などの災害事象に対し，多様な構造を有する都市における氾濫を解析可能な数値モデルを構築した．そして，大阪市を対象として高潮および外水氾濫を想定した浸水解析を実施し，浸水時の地上・地下空間における浸水特性，および，排水機能による被害低減効果について検討を行った．

Serious precipitation events in these days and prevision of more powerful and stronger typhoon in near future due to climate change imply the possibility of occurrence of serious water disasters beyond the scope of the assumption. In this study, a numerical model for prediction of flood transmission on the ground and through subway track space under the ground is developed in order to investigate the distribution of inundation depth, flood transmission velocity on and under the ground due to the strong storm surge and flooding of the Yamato-gawa river. In addition, effect of the drainage system on damage alleviation is also investigated.

1. 序論

我が国は幾度となく台風による高潮の被害を受けてきただけでなく，将来の気候変動による台風の強大化¹⁾や海面水位の上昇²⁾による浸水リスクの増大などが懸念されている．一方，都市化の進行に伴い地表面の遊水・保水能力が低下し³⁾，豪雨の発生回数も年々増加する傾向⁴⁾にある．したがって，気候変動により水災害のリスクが増大し，現状の想定を上回る水災害が発生し得ることから，高潮や河川洪水による大規模水害を想定しておくことが必要である．

都市水害においては，地上だけでなく地下空間への浸水が想定される．近年，大都市では地下空間の高度利用により，河道や下水道から溢れた水が地下室や地下街に浸水するという被害が頻発しており^{5,6)}，水害に対する脆弱性が高まりつつあるといえる．地下空間は浸水深が急増しやすく，避難猶予が少ないため，被害が甚大化・長期化する可能性が高いと考えられる．

このような浸水・氾濫災害を想定するためには，数値解析の利用が適しており，高潮や河川洪水による氾濫災害^{7,8)}や地下街における浸水被害⁹⁾などを対象とした数値解析技術の開発・高度化が進められている．しかし，これまでは高潮や河川洪水などの単一の災害事象を対象とし，それらを包括的に解析可能な数値モ

デルは未だ少ない．また，沿岸都市における水害の被災過程を高精度に予測するためには，地下鉄網や下水道などの都市構造を考慮した浸水解析が必要である．

そこで本研究では，大規模水害発生時の円滑な避難の確保，および，浸水被害の低減に資することを目的とし，高潮や河川洪水による地上・地下空間同時氾濫災害を解析可能な数値モデルを構築する．そして数値モデルを都市化が進行した大阪市に適用することで，地形特性や浸水形態により変化する氾濫状況を予測し，都市空間の浸水特性について考察する．また，水害対策のために整備された排水施設による浸水被害の低減効果についても検討を加える．

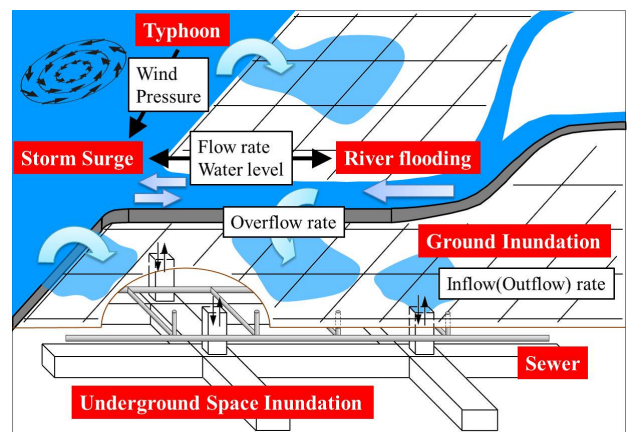


図-1. 解析モデル

2. 解析モデル

本研究では図-1 に示すように、海域の高潮解析、河道内の河川流解析、地上・地下空間の浸水解析、下水道網内の流動解析を統合した数値モデルを構築した。

2.1 高潮解析

高潮解析の基礎式は、下記の連続式と運動方程式を用いた。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fv - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_z \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (3)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_z \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

ここに、 u, v, w : x, y, z 方向流速、 t :時間、 ρ_w :海水の密度、 p :圧力、 ν_x, ν_y, ν_z : x, y, z 方向の渦動粘性係数、 f :コリオリパラメータ、 g :重力加速度、 x, y, z :直交座標の座標系である。本研究では吹送流の鉛直構造を考慮するために多層モデル¹⁰⁾を用い、 x 方向の自由水面上および水底面におけるせん断応力には、次式を用いた。

$$\nu_z \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{up} = \tau_{sx} = \rho_a C_{D_s} W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4)$$

$$\nu_z \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{do} = \tau_{bx} = \frac{\rho_w g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5)$$

ここに、 ρ_a :空気の密度、 C_D :海面抵抗係数、 W_x, W_y :それぞれ海面上 10m における x, y 方向の風速、 n :粗度係数であり、 up, do は水面、水底を表す。 y 方向についても同様である。

計算には Leap-Frog 法を用い、未知量は Staggard に配置した。また、支配方程式の各項は、非定常項には前進差分、水平方向の移流項には MUSCL 法、それ以外の項には中央差分をそれぞれ用いた。

台風モデルは、気圧分布には Schloemer の式を、風速分布には台風の中心付近で生じる Super Gradient Wind を考慮した光田・藤井の式を用いた¹¹⁾。

2.2 河川流解析

河川流解析モデルの基礎式には、開水路非定常流の連続式とエネルギー式を用いた。

$$\frac{\partial A_r}{\partial t} + \frac{\partial Q_r}{\partial \xi} = q_r \quad (6)$$

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v_r}{\partial t} + \lambda \cos \theta \frac{\partial h_r}{\partial \xi} + \frac{\alpha v_r}{g} \frac{\partial v_r}{\partial \xi} = s_0 - s_f \quad (7)$$

ここに、 ξ :下流方向の空間座標、 A_r :流水断面積、 Q_r :

流量、 q_r : ξ 方向の単位長さあたりの横流入流量、 $v_r = Q_r/A_r$:断面平均流速、 $s_0 = \sin \theta$:水路床勾配、 s_f :摩擦勾配 ($= n^2 v_r |v_r| / R_r^{4/3}$, n :粗度係数、 R_r :径深)、 α, β, λ :係数、 h_r :水深である。これらの方程式の離散化には特性曲線法に基づく方法を適用した。

河川と海域の接続は、武田らに倣い¹²⁾ 下流端河川流量を海域への流量フラックスに変換して与えるとともに、海域河口部における水位の平均値を下流端河川水位として与える方法をとった。

2.3 地上・地下空間浸水解析

堤内地の地上における氾濫水の挙動の解析は、高潮解析の多層モデルを単層として計算を実施した。ただし、浸水解析においては台風による吸上げ効果や吹き寄せ効果は考慮していない。また、河道または海域から堤内地への越流量は本間の越流公式を用いた。

地下空間における氾濫水の解析モデルは、スロットモデルを適用し¹³⁾、通路部分(地下鉄軌道部)をリンク、通路の交差点(駅部)をノードとしたネットワークモデルを用いた。リンクにおける一次元不定流の基礎式、および、ノードにおける連続式を下記に示す。

$$\frac{\partial A_L}{\partial t} + \frac{\partial Q_L}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q_L}{\partial t} + \frac{\partial (v_L Q_L)}{x} = -g A_L \frac{\partial H_L}{\partial x} + g A_L S_f \quad (9)$$

$$\frac{dV_N}{dt} = \sum_{k=1}^m Q_{Nk} + Q_{in} \quad (10)$$

ここに、 A_L :流水断面積、 Q_L :流量、 v_L :断面平均流速、 H_L :基準面からの水位であり $H_L = h_L + z_L$ (h_L :水深、 z_L :地下空間の路面高さ)、 S_f :摩擦勾配、 V_N : N 番目のノード内における水の体積、 Q_{Nk} :ノードが有する k 番目のリンクからの流入出流量、 m :ノードと連結するリンク数、 Q_{in} :地上からの流入流量である。

地下空間と地表面の氾濫水の流入はノードを介して行われ、ノード内のピエゾ水頭が地表面セルの水位よりも小さい場合、段落ち式により求めた水量の地上氾濫水が地下空間に流入するとした。一方、ノード内のピエゾ水頭が地表面セルの水位を超えた場合には越流公式により求められる水量の地下空間氾濫水が地上に表出するとした。

2.4 下水道網内流動解析

下水道網による氾濫水の排出過程の計算については、計算点を中心としたコントロール・ボリューム(以下 CV)における体積保存の関係から、水深の時間変化を求めた¹⁴⁾。図-2 に下水道モデルの概略を示す。本解析モデルでは、下水管の接続点を計算点とし、下水道管を断面積の等価な正方形管に置き換えて、ス

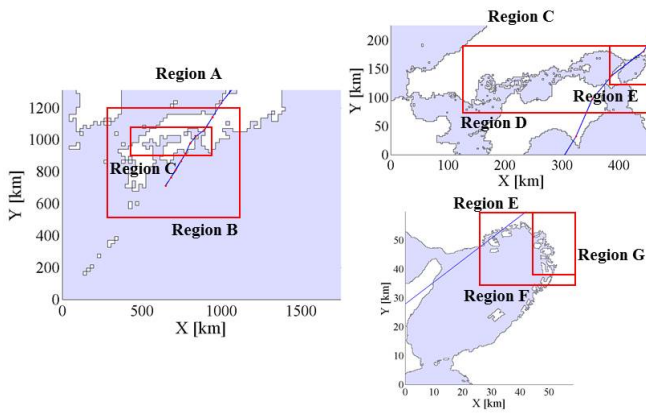


図-3. 計算領域

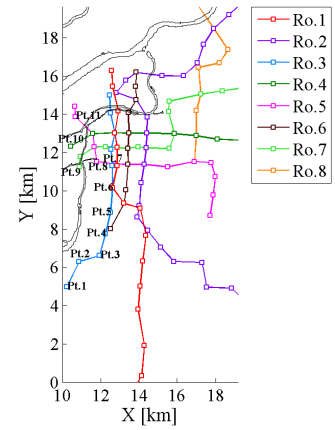


図-4. 地下鉄路線と流入地点

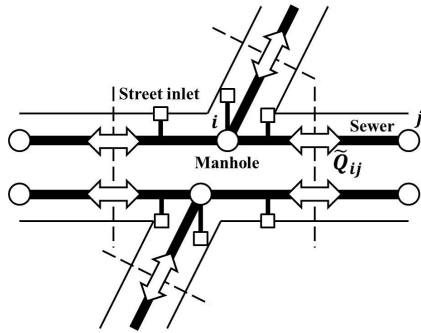


図-2. 下水道網の模式図

表-1. 洪水の解析ケース

Notation	Dike break point
F1-1	2.4km (Right bank)
F1-2	3.4km (Right bank)
F1-3	4.4km (Right bank)

表-2. 高潮の解析ケース

Notation	Central pressure [hPa]	Tide level [m]
S1-1	938.3	T.P+0.90
S1-2		T.P+1.25
S1-3		T.P+1.49
S1-4	930.0	T.P+0.90
S1-5		T.P+1.25
S1-6		T.P+1.49
S1-7	921.7	T.P+0.90
S1-8		T.P+1.25
S1-9		T.P+1.49
S1-10	913.4	T.P+0.90
S1-11		T.P+1.25
S1-12		T.P+1.49

ロットモデルを導入し、解析を行った。基礎式を以下に示す。

$$\tilde{Q}_{ij} = \tilde{B}_{ij} \times \frac{1}{\tilde{n}} \tilde{R}_{ij}^{2/3} \tilde{h}_{ij} |\tilde{i}_{Cij}|^{1/2} \text{sign}(\tilde{i}_{Cij}) \quad (11)$$

$$\frac{\partial \tilde{V}_i}{\partial t} = \left(Q_{inlet i} - \sum_{j=1}^{\tilde{N}} \tilde{Q}_{ij} \right) \quad (12)$$

$$\tilde{h}_i = \begin{cases} \tilde{V}_i / \tilde{A}_i & (\tilde{V}_i < \tilde{V}_{Si}) \\ \tilde{D}_i + (\tilde{V}_i - \tilde{V}_{Si}) / \tilde{A}_{Si} & (\tilde{V}_i \geq \tilde{V}_{Si}) \end{cases}$$

ここに、 \tilde{Q}_{ij} : $i-j$ 間の境界面における流量、 \tilde{n} :粗度係数、 $\tilde{i}_{Cij} = \tilde{i}_{ij} - \Delta H_{ij} / \tilde{L}_{ij}$:動水勾配、 \tilde{B}_{ij} 、 \tilde{L}_{ij} 、 \tilde{i}_{ij} :下水管の幅、距離、勾配、 \tilde{h}_{ij} 、 \tilde{R}_{ij} :水深および径深、 ΔH_{ij} : $i-j$ 間の水深差、 \tilde{h}_i :CVにおける水深、 $Q_{inlet i}$:地表面とCV間の流入出流量、 \tilde{V}_i :CV内における水の体積、 \tilde{A}_i :CVの底面積で、計算点と計算点から接続する下水管の中心までの内容積の総和を下水管の最大幅で除した値、 \tilde{V}_{Si} :スロットを除いたCVの体積、 \tilde{D}_i :CVの天井高さ、 \tilde{A}_{Si} :スロットの面積である。

地表面から下水道への流入量は、地下空間への氾濫水の流入と同様、CVの水位が地表面セルの水位より低い場合は段落ち式に従う。一方、下水道から地表面への流出は、CVでの流入出による水位変化が該当する計算格子に一樣に伝わると仮定し、下水道内水位は地表面水位に一致するものとして流出流量を求めた。

3. 解析対象領域と解析条件

本研究で解析対象とする大阪市は、地理的特性から

台風による高潮災害を被りやすい地域であり、地盤高の低い低平地であるために内水・外水氾濫の危険性が高い地域でもある。さらに、大阪市には地下鉄網や地下街が形成され、わが国でも最大級の地下空間を有する都市である。したがって、大阪市は大規模水害のリスクが高い地域であるといえる。

計算領域は図-3に示すRegion AからRegion Gとし、ネスティング計算により領域間の接続を行った。各計算領域の格子間隔は、それぞれ21870mから30mまで1/3ずつ変化させた。地下空間は大阪市内の地下鉄網を対象とし、図-4に地下鉄の各路線と駅の配置を示す。地下空間のリンク(地下鉄軌道部)は幅9m、高さ5mの長方形断面、ノード(駅部)は長さ195m、幅32m、高さ5mの空間とし、地上とノードの接続断面(出入口)は高さ3.0m、幅2.5m、地表面からの高さ0.15mとした。下水道網については大阪市内に敷設されている幹線下水道を対象とし、下水道内を流下する氾濫水が排水機場に到達した時点で排水機場のポンプ

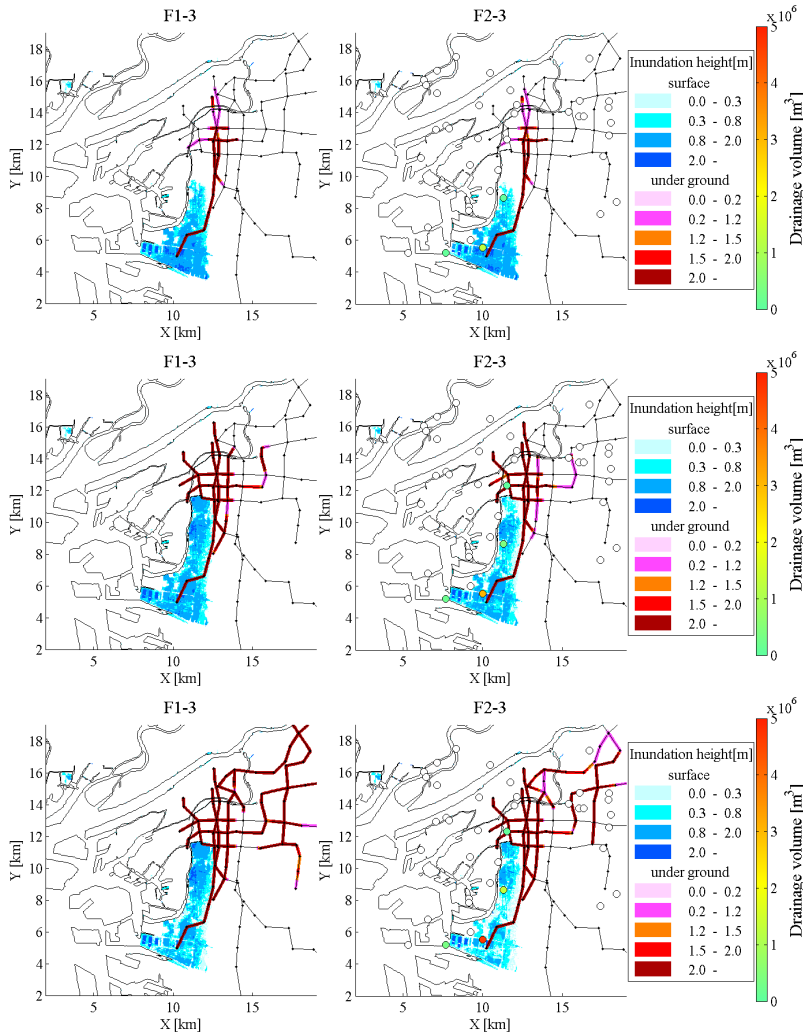


図-5. 洪水氾濫の浸水状況 (上から氾濫開始後 6, 12, 20 時間)

の設計排水量分だけ下水道内の水量を差し引いた。

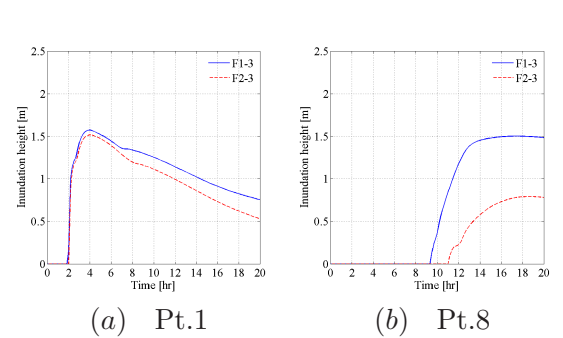
河川洪水については、大和川を対象として洪水の計算を行い、河道内水位が計画高水位に達した時点で破堤・氾濫するものとした。洪水の解析では大和川における計画洪水流量(ピーク流量 5180m³/s)を河口から 17.4km の柏原地点で与え、想定破堤地点は河口より右岸側 2.4km, 3.4km, 4.4km の 3 ケースを設定した。

高潮の計算においては大阪湾高潮対策で想定される計画台風¹⁵⁾(伊勢湾台風規模, 室戸台風コース)を基本とし、気候変動後の高潮災害を想定した検討を行うため、台風の中心気圧および初期水位が異なる複数のケースを設定した。高潮および洪水の解析条件を表-1, 表-2 に示す。ただし、排水機能の効果を検討するため、排水機能がないケースを F1-1 から S1-12, 排水機能があるケースを F2-1 から S2-12 とした。

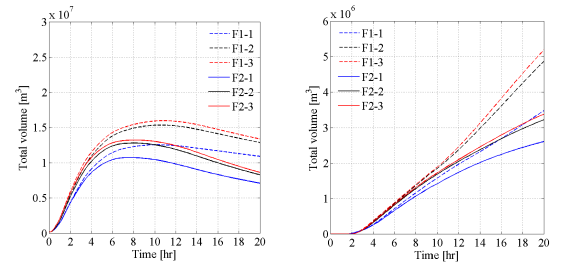
4. 解析結果

4.1 洪水氾濫の地上・地下空間における浸水過程

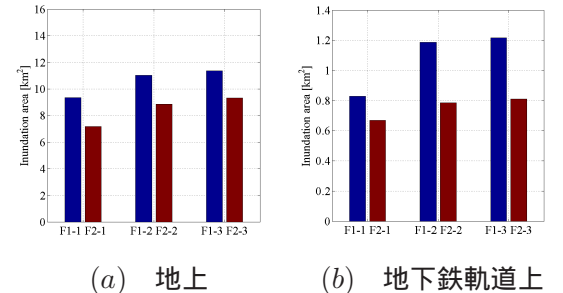
図-5 に地上・地下鉄軌道上における浸水状況、および、排水機場からの排水量を示す。洪水氾濫においては、地上よりも地下鉄軌道上の浸水域が早期に遠方まで到達している。また、排水により地上、地下鉄軌道



(a) Pt.1 (b) Pt.8
図-6. 流入地点の浸水深



(a) 地上 (b) 地下鉄軌道上
図-7. 洪水氾濫の氾濫水量



(a) 地上 (b) 地下鉄軌道上
図-8. 避難困難水深に達する最大浸水面積

上ともに浸水深が低下し、浸水域が縮小しており、その効果は氾濫開始から時間の経過に従い大きくなることわかる。特に浸水範囲は自然排水され難い地形を有しているため、排水施設が稼働しない場合、時間が経過しても地上では浸水深が高いままであり、多量の氾濫水が地下鉄軌道上に流入することにより、地下鉄軌道上では氾濫水の伝播が広範囲に及んでいる。一方、排水施設が稼働する場合、地上の浸水深が低下しており、地下鉄軌道上の浸水においては、Ro.4, Ro.5 の西側へ氾濫水が流入せず、浸水域の拡大が低減されている。また、排水は 4 箇所の排水機場から行われ、氾濫水の大部分は破堤箇所に最も近い排水機場から排水される。しかし、この排水機場は周辺の浸水深が高く、浸水継続時間も長いため、排水設備の浸水対策や電源確保手段の検討が必要である。

図-6 に Pt.1, Pt.8 における地表面の浸水深を示す。同図より破堤箇所から遠い Pt.8 の方が排水による浸水深の低下が大きく、氾濫水の到達も遅いことがわかる。以上より、洪水氾濫では排水により地表面および地下鉄の浸水深や氾濫水の伝播速度が低減され、その効果は破堤箇所から離れるほど大きくなるといえる。

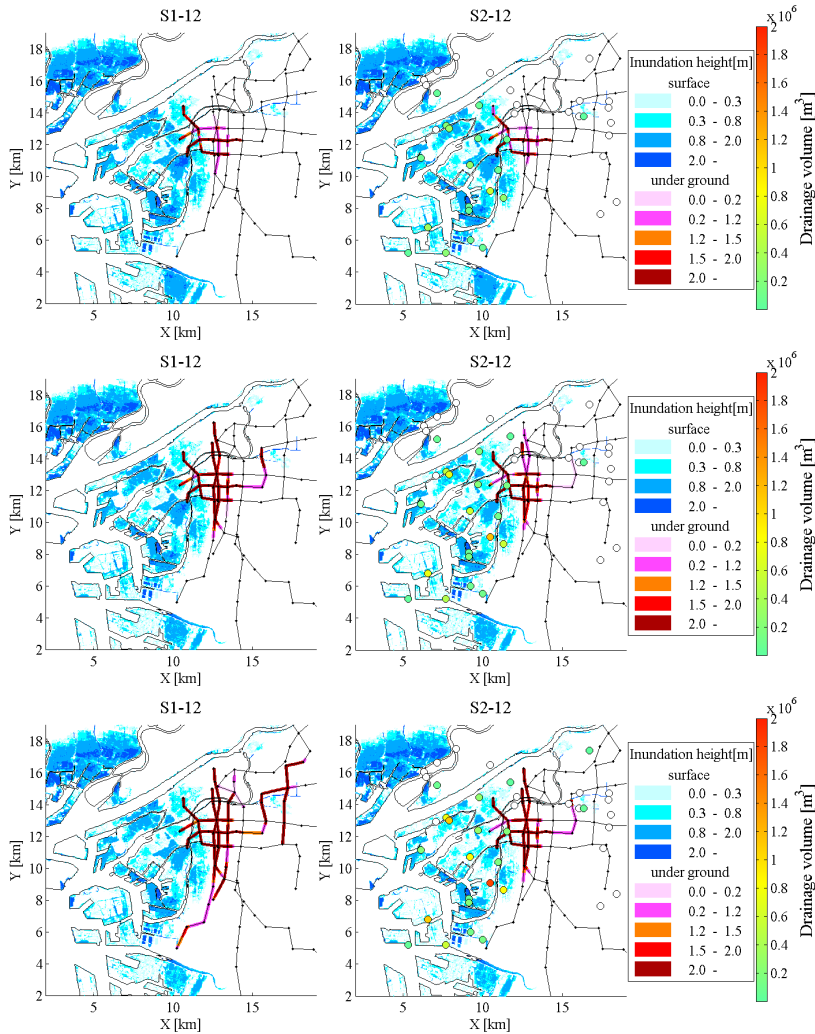
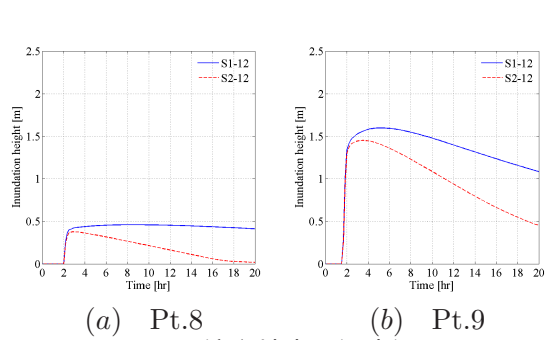


図-9. 高潮氾濫の浸水状況 (上から氾濫開始後 6, 12, 20 時間)

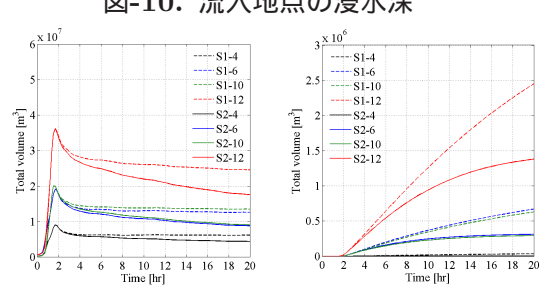
4.2 洪水氾濫の地上・地下空間への流入特性

図-7 に地上・地下鉄軌道上における氾濫水量を示す。地上の氾濫水量に対する排水の影響は、氾濫水量がピークに達する前から表れている。また、地下鉄軌道上については、排水により氾濫水量の増加が緩やかになっている。これは、地下鉄軌道上への流入地点の浸水深が小さくなり、浸水継続時間が短縮されるためである。すなわち、排水施設の稼働は、地上の浸水深を低下させ地下空間への氾濫水の流入を抑える効果を有していることがわかる。

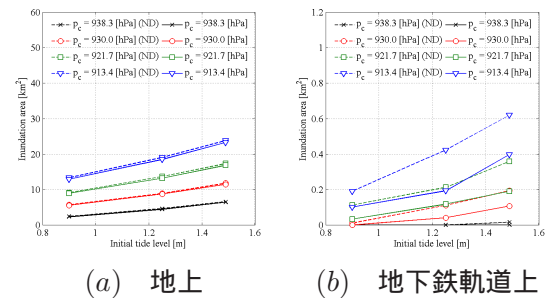
図-8 に地上の浸水深が 0.8m に、地下鉄軌道上の浸水深が 2.0m に達する最大浸水面積を示す。なお、浸水深 0.8m は成人男性の避難困難水深であり、浸水深 2.0m は地下鉄駅のホーム上で避難困難水深に達することを意味している。排水を考慮しないケースに対する排水による変動量を低減効果とすると、地上の最大浸水面積の低減効果は F2-1 で 23.1%、F2-2 で 19.5%、F2-3 で 17.8% であり、低減効果は地上の氾濫水量が少ないほど大きいことがわかる。これは、氾濫水量が少ない場合には浸水域の拡大に時間を要し、排水の影響を受けやすくなるためであると考えられる。



(a) Pt.8 (b) Pt.9
図-10. 流入地点の浸水深



(a) 地上 (b) 地下鉄軌道上
図-11. 高潮氾濫の氾濫水量



(a) 地上 (b) 地下鉄軌道上
図-12. 避難困難水深に達する最大浸水面積

また、地下鉄軌道上の最大浸水面積の低減効果は F2-1 で 19.2%、F2-2 で 33.7%、F2-3 で 33.3% であり、地下空間では氾濫水量が多い場合に対する低減効果大きい。したがって、地下空間の浸水において、排水機能は氾濫水量が大きい場合に人的被害が発生する危険性の高い浸水域を減少させる効果が高いといえる。

4.3 高潮氾濫の地上・地下空間における浸水過程

図-9 に地上・地下鉄軌道上における浸水状況、および、排水機場からの排水量を示す。高潮氾濫では、地上の浸水域が氾濫開始直後から急激に拡大しているが、地下鉄軌道上では浸水域の拡大が洪水氾濫の場合と比べて緩やかである。また、地上の浸水については、排水機能が浸水域の拡大に及ぼす影響は小さいものの、時間が経過するにつれて浸水深が全領域で減少している。しかし、排水を考慮したケースでも水深 0.3m 未満の浸水域が広範囲にみられ、局所的に浸水深が大きい地域がある。地下鉄軌道上の浸水については、排水により Ro.2, Ro.6, Ro.7 上の浸水域が低減され、Ro.8 まで氾濫水が到達していない。また、排水は 21 箇所の排水機場から行われ、氾濫水量が多い集水区域を有する排水機場からの排水量が多いことがわかる。

図-6 に Pt.8, Pt.9 における地上の浸水深を示す。同図より Pt.8, Pt.9 とともに排水による浸水開始時刻の変化はほとんどみられない。しかし、浸水深については排水により両地点で減少し、その減少量は最大浸水深の高い Pt.9 の方が大きいことがわかる。以上より、高潮氾濫において排水機能は、地上の浸水面積の低減効果は小さいものの、氾濫水を排出することで早期の復旧に寄与し、地下鉄軌道上の浸水では洪水氾濫と同様に、浸水深や氾濫水の伝播速度を低減する効果があるといえる。

4.4 高潮氾濫の地上・地下空間への流入特性

図-11 に地上・地下鉄軌道上における氾濫水量を示す。高潮氾濫では、堤内地への流入量が急増するため、排水の有無にかかわらず、地上の氾濫水量のピークにほとんど変化はみられない。一方、高潮氾濫においても、ピーク以降の排水効果は時間の経過に従い大きくなっている。地下鉄軌道上では、排水施設が稼働する場合、20 時間後には氾濫水量の増加量が大きく減少しており、氾濫水量が少ない場合、地下鉄軌道上への浸水が発生していない。したがって、高潮氾濫においては、排水施設を適切に稼働することで地下鉄軌道上への浸水を防ぐことが可能であると考えられる。

図-12 に地上の浸水深が 0.8m に、地下鉄軌道上の浸水深が 2.0m に達する最大浸水面積を示す。なお、図中では排水を考慮しないケースを ND と表記している。地上では、浸水域が排水の影響を受けるよりも早期に拡大するために、最大浸水面積の低減効果が概ね 3% と非常に小さい。一方、地下鉄軌道上の最大浸水面積の低減効果は、ケースごとの変動が大きいものの、概ね 50% と高い値を示した。したがって、高潮氾濫においては、地上よりも地下空間の浸水に対して、排水による被害低減効果が大きいといえる。

5. 結論

本研究では、数値解析を用いて高潮や河川洪水の浸水特性、および、下水道網などの排水機能が有する被害低減効果について検討を行った。以下に結論を示す。

- 洪水氾濫においては、排水機能は地上と地下空間における氾濫水の伝播速度を低減し、その効果は浸水開始地点から離れるにつれて大きくなる。
- 排水機能は、洪水の氾濫水を排出することで地下鉄軌道上への流入量を減少させ、地上と地下鉄軌道上において浸水深の高い浸水面積を減少させる効果が大きいことが明らかとなった。
- 排水機場の立地によっては、排水量の多い排水機場の周辺が長期間浸水することが示唆され、排水設備の浸水対策などを検討しておく必要がある。

- 高潮の地下鉄軌道上への浸水においても洪水氾濫と同様、排水により浸水深や氾濫水の伝播速度が低減され、地上と比べて高い浸水被害低減効果があることが示された。
- 高潮氾濫においては、氾濫水量が急増するために排水による地上の浸水面積の低減効果は小さいものの、氾濫水が排出されることで早期の復旧が可能となる。

参考文献

- 1) 安田誠宏・安藤圭・森信人・間瀬肇 (2009) : 地球温暖化予測に基づく将来台風変化予測とその確率モデリング, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.1281-1285.
- 2) 国土交通省 (2008) : 水災害分野における地球環境温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について (答申), p.24.
- 3) 角谷睦 (1985) : 都市化に伴う流出の変化, 土木学会論文集, Vol.363, pp.23-34.
- 4) 気象庁 (2013) : 気候変動監視レポート 2012, pp.30-31.
- 5) 間島真嗣・戸田圭一・大八木亮・井上和也 (2005) : 都市域の地上・地下空間を統合した浸水解析, 水工学論文集, Vol.49, pp.601-606.
- 6) 三上貴仁・柴山知也・Miguel ESTEBAN (2013) : 2012 年ハリケーンサンディによる高潮災害のニューヨークにおける現地調査に基づく臨海都市域の浸水災害と減災策に関する考察, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.B3-69, No.2, pp.982-987.
- 7) 秋山壽一郎・重枝未玲・小園裕司 (2010) : 流域特性を考慮した都市域氾濫解析モデルと都市域での浸水プロセスの予知, 水工学論文集, Vol.54, pp.919-924.
- 8) 鈴木武・根木貴史・柴木秀之 (2011) : 地球温暖化による高潮変化シナリオを使った浸水被害の予測, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.67, No.2, pp.I-997-I-1002.
- 9) 森兼正行・井上知美・石垣泰輔・尾崎平・戸田圭一 (2012) : 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.B1-68, pp.1003-1008.
- 10) 武田誠・井上和也・中川一・松村貴義 (1995) : レベルモデルを用いた高潮解析 - 2 次元モデルとの比較 -, 京都大学防災研究所年報 B, Vol.B-38, pp.501-515.
- 11) 光田寧・藤井健 (1997) : 台風による風災害の予測, 日本風工学会誌, Vol.72, pp.73-91.
- 12) 武田誠・平山克也・井上和也・戸田圭一 (1998) : 高潮と洪水の重畳災害に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, Vol.44, pp.829-834.
- 13) 川池健司・中川一・今井洋平・山田裕三 (2008) : 都市域の内・外水氾濫解析における下水道システムのモデル化, 京都大学防災研究所年報 B, Vol.B-51, pp.591-601.
- 14) 関根正人・河上展久 (2005) : 地下街を抱える高度に都市化された地域の内水氾濫に関する数値解析, 土木学会論文集, No.789, II-71, pp.47-58.
- 15) 大阪湾高潮対策協議会 (2010) : 大阪湾高潮対策危機管理行動計画ガイドライン, p.26.

討議

討議 [大島昭彦教授]

1. 地下空間は地下鉄のみを考慮しているのか。もし、地下鉄に隣接する地下街を考慮すると解析結果はどうなるか。
2. 大和川の洪水氾濫が東大阪で発生する場合は想定しないのか。

回答

1. 本研究では、地下鉄軌道と駅のホームのみを解析対象としています。地下街を考慮する場合、地下空間の容積が大きくなるために浸水深や氾濫水の伝播速度が小さくなり、地下空間の浸水域が縮小する可能性が高いと思われれます。しかし、新たに地下街の出入口等からの氾濫水の流入が発生すると想定されるため、地下空間の氾濫水量は増加すると考えられます。
2. 東大阪地域においても、大和川の洪水氾濫の危険性は高いと考えられますが、本研究では高潮・洪水氾濫両方の浸水が起こり得る地域を対象としているため、東大阪地域の洪水氾濫は想定していません。

討議 [水谷聡准教授]

下水施設の排水能力はどの程度か。また、現状の排水施設で十分であると考えるか。

回答

本研究では、各下水処理場および抽水所に設けられている排水ポンプの公称排水能力分の水量を下水道内から排出しており、実際に氾濫災害が発生した場合には排水施設の浸水等が起こり得ることを考慮すると、排水量を過大に評価していると考えられます。特に、解析結果から排水量の多い排水機場の周辺が長期間浸水する可能性があることが示されたため、現状の排水施設を適切に運用することに加えて、浸水が発生しない地域に新たな排水施設を設けることを検討する必要があります。

討議 [重松孝昌教授]

洪水と高潮の氾濫水の流入時間はどの程度か。

回答

洪水が約 14 時間、高潮が約 3 時間です。

討議 [瀧澤重志准教授]

津波の検討はしていないのか。また、津波の氾濫水の流入時間は高潮と同程度か。

回答

津波は検討していません。また、津波や高潮の氾濫水の流入時間は、海岸堤防の破堤の有無により大きく異なります。海岸堤防は越流による法尻の洗掘等により破堤しやすいため、津波や高潮などの災害事象にかかわらず、堤防が破堤する場合には流入時間は長くなります。