

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

川池健司・中川 一・今井洋兵*・山田裕三**

* 大阪府

** 東京海上日動火災保険

要 旨

近年、都市域で短時間集中豪雨が増えており、内水氾濫および外水氾濫による浸水被害発生危険が高まっている。本研究は、浸水被害の予測手法としての数値解析モデルのうち、とくに下水道部分のモデル化を進展させることを目的としている。松江市を対象とした下水道のモデル化において、建物の屋根に降った雨水は枝線下水道を経由して、それ以外の地上の氾濫水は道路側溝に通じるグレーチングを通して、それぞれ幹線下水道に流入するというモデル化を行った。解析の結果、このモデルによって平成18年7月豪雨時の浸水状況を適切に再現することができたものの、屋根からの排水による効果が適切に表現されているかの検証が今後の課題である。

キーワード: 氾濫解析, 下水道システム, 都市域, 松江市

1. はじめに

近年、わが国における短時間集中豪雨は増加傾向にあり、とくに都市域において1時間あたり50mmや100mmを越える豪雨が各地で観測されている。これに伴い、河川の破堤氾濫や、都市河川からの溢水氾濫や、内水氾濫による浸水被害の危険性が增大しているといえよう。このような浸水被害が発生するかどうかを左右する重要な要因として、下水道の機能が挙げられる。下水道が十分な排水能力を有していれば、浸水被害を防ぐことができる場合もあれば、あるいは床下浸水程度の被害で済む場合や短時間の浸水で済む場合もある。しかし、逆に下水道の排水能力を上回るような豪雨や氾濫流量が押し寄せた場合には、深刻な浸水被害に至ることがあり、それには下水道からの排水先となる河川の水位状況なども複雑に影響する。

破堤による河川洪水の氾濫に対しては、その浸水危険性を予測する手法がマニュアル化され、全国画一的な「浸水想定区域図」の整備が国土交通省の主導で進められている。それに対して、内水氾濫についてはまだそのような汎用的な予測手法が確立されていない。その原因として、内水氾濫による被害（とくに人的被害）は相対的に小さいと考えられている

こととともに、下水道を含めた内水氾濫の浸水状況予測の難しさが影響していると考えられる。

以上のような背景から、下水道の影響を含めた内・外水氾濫予測のための数値解析モデルの構築がこれまでもいくつか研究されてきた。例えば戸田ら(1999)は、鴨川からの洪水氾濫および豪雨を外力とした京都市街地の解析モデルを構築し、連続式のみを考慮した簡易な下水道モデルを適用している。川池ら(2004)は大阪府の寝屋川流域を対象として、下水道内部の流れをスロットモデルを用いて解析するとともに、排水先の河川水位をも考慮した流域全体を対象とする解析モデルを構築している。相良ら(2004)は管径30cm以上の非常に細かい下水道までを対象とし、なおかつ下水道から氾濫水の噴き出しをも考慮した解析を行っている。さらにKawaike et al. (2007)は、相良らのモデルのうち下水道への流入部分を、マンホールを介したモデルではなく、道路側溝へのグレーチングを想定したモデルに改良し、島根県松江市に適用している。

本研究は、Kawaike et al. (2007)の研究からさらに改良を進めたものである。地上に降る雨のうち、家屋等の建物の屋根に降った雨水が、雨水ます、枝線下水道を経由して下水道に流入する過程をモデルに加えることによって、下水道モデルの高度化を試

みる。

2. 氾濫解析モデル

本研究では、Kawaike et al. (2007) と同様、Fig.1 で示すように地上部、下水道網、河川網をそれぞれサブモデルとし、これらを統合することで都市域における雨水の排水プロセスをモデル化する。

各サブモデル、およびモデル間の相互作用については、以下のとおりである。

2.1 地上部の平面二次元解析

地上の平面二次元解析には、井上ら (1999) の非構造格子モデルを用いる。基礎式は、通常の氾濫解析において用いられるものとして、水平粘性項を省略した以下の連続式と運動量式である。

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r_e - q_{sew} + q_{up} \quad (1)$$

<運動量式>

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (3)$$

ここに、 h : 水深、 H : 水位、 u, v : x, y 方向の流速、 $M (=uh)$ 、 $N (=vh)$: x, y 方向の流量フラックス、 r_e : 有効降雨量、 q_{sew} : 地上から下水道への単位面積あたりの雨水排水流量、 q_{up} : 下水道から地上への単位面積

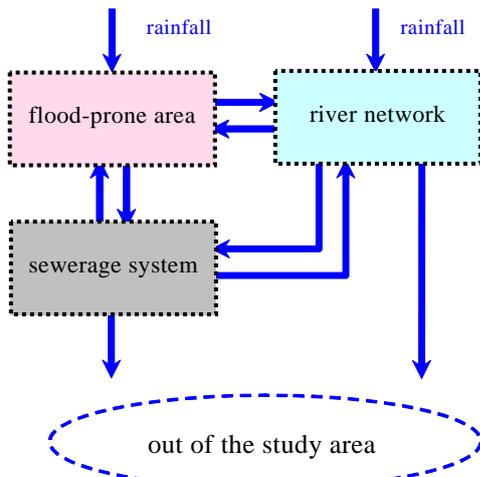


Fig. 1 Framework of the computational model

あたりの雨水噴出流量、 g : 重力加速度、 n : Manning の粗度係数である。

さらに、地上部の解析格子は市街地、道路、河川、耕作地の 4 つの属性に分類し、それぞれの属性ごとに異なる粗度係数の値を設定する。

2.2 下水道網の解析

Fig. 2 は、地上部に降った雨水が氾濫、もしくは下水道に流下する過程を模式的に表したものである。この図によると、地上部に降った雨水が下水道に排水される経路としては、大きく 2 つに分けられることがわかる。1 つは家屋等の建物の屋根から雨水ますを経由して排水される経路、もう 1 つは地上からグレーチングと呼ばれる道路側溝の穴を経由して排水される経路である。そこで本研究では、地上の市街地格子に降った雨水のうち、家屋の面積率を掛けた分の流量が、家屋の屋根から雨水ますに集められて下水道に流下するものとする。各家屋から下水道までの詳細な流路等は不明なので、Fig. 3 に示すように幹線下水道までの最短経路を通る下水道（「枝線下水道」と呼ぶ）を仮定する。それ以外の地上の解析格子に降った雨水は地上を氾濫することになるが、下に幹線下水道が通っている格子では、グレーチングから幹線下水道に雨水が流下する。1 つの格子の下に幹線下水道が複数存在する場合は、全ての幹線下水道に均等な流量が排水されるとする。逆に、下水道の水位が上昇して下水道から地上部へ氾濫水が逆流するときは、グレーチングのみを通して逆流し、雨水ますからの逆流は生じないものとする。

(1) 地上部・下水道の相互関係

(a) 地上部から下水道への排水

まず、建物の屋根から雨水ますを経由して枝線下水道への排水が行われる場合、本研究では、雨水ま

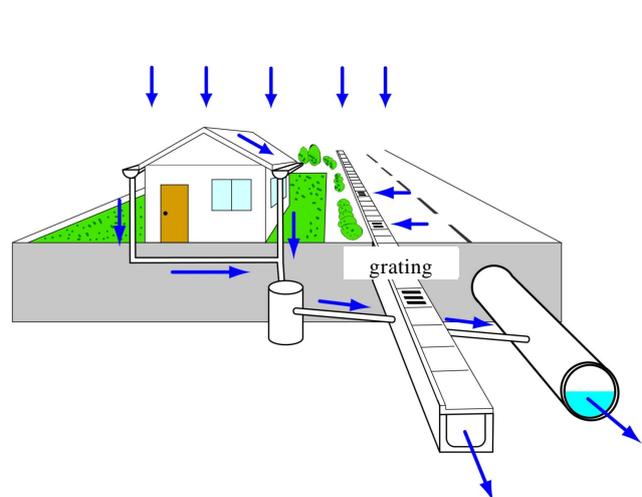


Fig. 2 Process of storm water drainage

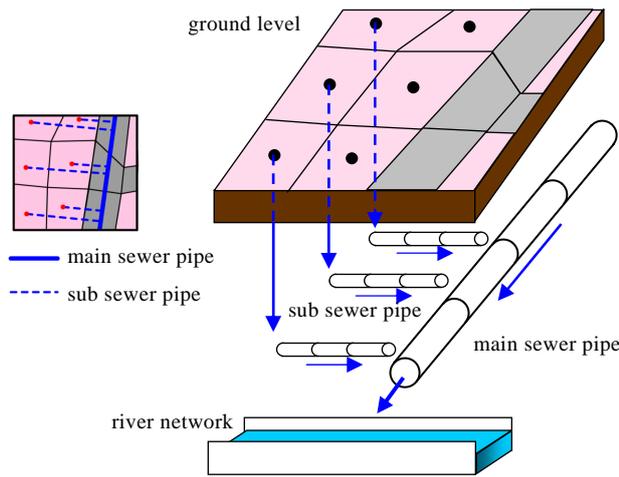


Fig. 3 Framework of sewerage model

すでの滞留や地中への浸透の影響は考慮せず、市街地格子に降った雨水のうち、家屋の面積率 λ に従って瞬時に枝線下水道に流入する。すなわち、式(1)中の q_{sew} は以下のように表される。

$$q_{sew} = \lambda r_e \quad (4)$$

つぎに、グレーチングを経由して地上部から幹線下水道への排水が行われる場合、排水流量を求めるには、下水管を縦断方向に離散化した区間ごとに行う。Fig. 4 (a)に示すように、地上の解析格子から下水管 i の離散化された区間 j へ排水される流量 $Q_{sew,i,j}$ は、 $H_{i,j}$ を下水管水位として、段落ち式に従って以下の式から求める。

$H_{i,j} \leq z_m$ のとき

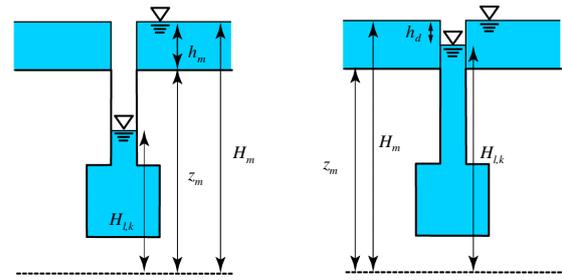
$$Q_{sew,i,j} = \mu\beta\Delta x_i h_m \sqrt{gh_m} \quad (5)$$

$z_m < H_{i,j} \leq H_m$ のとき

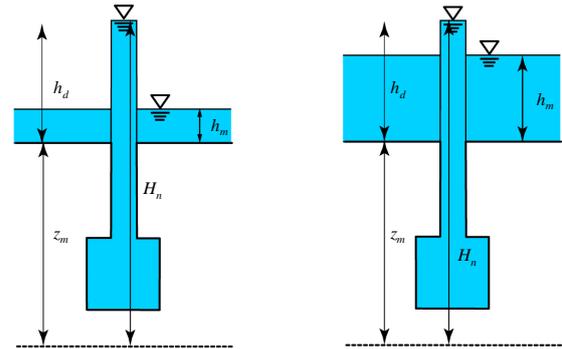
$$Q_{sew,i,j} = \mu\beta\Delta x_i h_d \sqrt{gh_d} \quad (6)$$

ここに、 h_m ：地上部格子水深、 z_m ：地上格子地盤高、 $H_m (=z_m+h_m)$ ：地上部格子水位、 $h_d = H_m - H_{i,j}$ 、 Δx_i ：離散化した下水管 i の区間長、 μ ：流量係数で、 $\mu = 0.544$ とする。また、 β ：下水管の開口率で、グレーチングの長さの下水管格子長に対する割合で定義される。

式(5)、(6)から求めた値を用いることで、ある地上の解析格子から下水管に排水される式(1)中の流量 q_{sew} は、その地上の解析格子の排水先下水管が L 本するとき、以下の式から求める。



(a) Drainage from the ground level to the sewerage system



(b) Overflow from the sewerage system to ground level

Fig. 4 Interaction between the sewerage system and the flood-prone area

$$q_{sew} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^L Q_{sew,i,j} \quad (7)$$

ここに、 A ：地上の解析格子の面積である。

(b) 下水道から地上部への逆流

下水管内の水位が上昇して地上部へ逆流するときは、グレーチングを経由して行われる。逆流は、Fig. 4 (b)のように、下水管水位が地上の解析格子の水位を越えたときに発生するが、その流量は $h_d = H_{i,j}$ （下水管水位） $- z_m$ （地上格子地盤高）として以下に示す越流公式から求める。

$h_m / h_d \leq 2/3$ （完全越流）のとき

$$Q_{up} = \mu_1 \beta \Delta x_i h_d \sqrt{2gh_d} \quad (8)$$

$h_m / h_d > 2/3$ （潜り越流）のとき

$$Q_{up} = \mu_2 \beta \Delta x_i h_m \sqrt{2g(h_d - h_m)} \quad (9)$$

ここに、 μ_1, μ_2 ：流量係数で、 $\mu_1 = 0.35, \mu_2 = 0.91$ とする。式(8)、(9)を用いて求めた値から、ある地上部格子にグレーチングから逆流してくる式(1)中の流量 q_{up} は、その地上部格子にグレーチングが N 個あ

る場合は、以下に示す式から求められる。

$$q_{up} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^N Q_{up,k} \quad (10)$$

ここで、 $Q_{up,k}$ ：地上部格子にある k 番目のグレーチングからの逆流流量とする。

(2) 下水道管渠内の解析

本研究では、下水道内の流れは連続式と運動量式を用いて力学的に解析し、下水道が管渠であることを考慮して Preissman のスロットモデルを導入する。このモデルは、Fig. 5 に示すように管路の頂部に仮想的なスロットをとりつけ、管路流れに開水路と同じ基礎式を用いて計算する方法である。本研究では、枝線下水道、幹線下水道ともに以下の基礎式を用いる。なお、下水道の断面積は簡単のため、長方形断面とする。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q}{\Delta x} \quad (11)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial x} = -gA \frac{\partial H_p}{\partial x} - \frac{gn^2 |Q| Q}{R^{4/3} A} \quad (12)$$

ここに、 A ：流水断面積、 Q ：流量、 q ：横流入流量、 Δx ：下水管の離散化された 1 区間長、 u ：流速、 R ：径深である。また、 H_p ：水位であり、 z ：管底高、 h ：水深とすると、 $H_p = z + h$ であるが、 h は、

$$h = \begin{cases} A/B & : A \leq A_p \text{ のとき} \\ B' + (A - A_p)/B_s & : A > A_p \end{cases} \quad (13)$$

で求められる。ここに、 B ：下水道断面を長方形と仮定したときの管路幅、 B' ：管路の天井高、 A_p ：管路の断面積、 B_s ：スロット幅である。

(a) 枝線下水道

枝線下水道は、Fig. 3 で示すように、地上の解析格子の図心から幹線下水道に対して最短距離の線分で表される。勾配、断面は接続する幹線下水道と等しくする。また、枝線下水道では式(11)中の横流入量 q

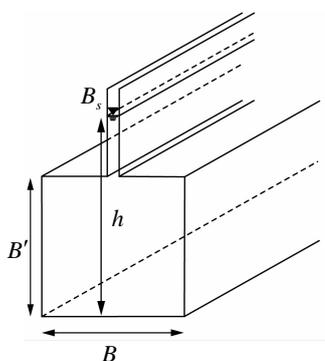


Fig. 5 Slot model

はつねに 0 である。枝線下水道の上流端での流量は式(4)に地上の格子面積をかけた値となる。枝線下水道の下流端、すなわち幹線下水道との境界の流量は式(12)の移流項を省略した式を用いて求める。

(b) 幹線下水道

幹線下水道網はツリーのような接続関係にあるとする。つまり、雨水は上流側の 1 本もしくは複数の幹線下水道から下流側の 1 本の幹線下水道に流下する仕組みになっており、その最も下流に位置する幹線下水道の下流端から地上の河川格子や河川網に排水される。接合部分の流量、幹線下水道下流端の流量はともに式(12)の移流項を省略した式から求める。式(11)中の横流入流量には、枝線下水道下流端からの流量、グレーチングを経由した地上からの流入流量 [式(5)または式(6)]、地上への噴出流量 [式(8)または式(9)] を考慮する。

2.3 河川網の一次元不定流解析

(1) 河川網の解析

河川網では、井上ら (2000) の特性曲線法を用いた一次元不定流解析を適用する。以下に示す連続式と St. Venant 式を特性曲線法を用いて解くことで、一次元不定流解析を行う。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (14)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} = s_0 - s_f \quad (15)$$

ここに、 A ：流水断面積、 Q ：流量、 q ： x 方向の単位長さあたりの横流入量（流入を正、流出を負とする）、 $u = (Q/A)$ ：断面平均流速、 $s_0 = \sin \theta$ ：水路底勾配である。基準面から河床までの高さを z とすると、 $\sin \theta = -dz/dx$ 、 s_f ：摩擦勾配で、抵抗則として Manning 公式を用いるときは、 $s_f = n^2 u |u| / R^{4/3}$ 、 n ：Manning の粗度係数、 R ：径深、 g ：重力加速度である。計算する際には、各断面の水深が分かれば流水断面積と径深が求められるように、前もって、河川の断面特性から水深 0.1m ごとに流水断面積と径深を求めておく。

(2) 下水道・河川間の相互関係

(a) 下水道から河川への流入

下水管のうち、自然流下により排水され下流端で河川と合流する場合はそこで水のやりとりが行われる。 H_{sew} (下水管水位) = h_p (下水管水深) + z_b (下水管底高) としたときに、 H_{sew} が H_p (河川水位) よりも大きい場合は下水管から河川に水が流入する。その流入流量 Q は以下に示す段落ち式から求める。

$$Q = \mu h_{sew} \sqrt{gh_{sew}} \quad (16)$$

ここで、 μ ：流量係数で、 $\mu = 0.544$ とする。



Fig. 6 Hii River basin

(b) 河川から下水道への流入

一方、 H_{sew} が H_p よりも小さい場合は河川から下水管に水が流入する。そのときは、下水管下流端の水位が河川水位と等しくなるような水深を、下水管下流単に与えることで流入を表現する。

(3) 地上部・河川間の相互関係

(a) 地上部から河川への流入

地上部から河川への溢水氾濫を考慮するために、本研究では、河川に面した地上部格子の標高とその地上部格子の図心に最も近い河川網計算断面の河川水位を比較して溢水かどうかを判定する。河川水位を H_r 、地上部格子の標高を z_m とすると、段落ち水深 $h_1 = z_m - H_r$ であるから、 $h_1 > 0$ のときは地上部から河川への排水が起こり、単位幅あたりの排水流量は、以下に示す段落ち式から求める。

$$q = \mu h_1 \sqrt{2gh_1} \quad (17)$$

ここに、 μ : 流量係数で、 $\mu = 0.544$ とする。この単位幅流量を x, y 方向に分割して、この格子辺での流量フラックス (M, N) とする。

(b) 河川から地上部への流入

一方、 $h_1 < 0$ のときは河川から地上部へ流入が起こるが、そのときは流入流量を計算するのではなく、地上部の水位と河川の水位が等しくなるような水深を地上部の格子に与えることで流入を表現する。

3. 松江市における平成18年7月豪雨の再現計算

3.1 松江市の概要

本研究は、平成18年7月豪雨により、甚大な被害を被った島根県松江市を対象領域とする。Fig. 6に、

松江市が位置する斐伊川流域を示す。松江市は、宍道湖から大橋川が流れ出す出口の低平地付近を中心に、大橋川の両岸に市街地が広がっている。宍道湖から日本海までの水面勾配は非常に緩やかで、宍道湖の水位がなかなか低下せず、この辺りは洪水が長期化しやすい地形になっている。また、二つの湖をつなぐ大橋川は河道断面が小さく疎通能力が小さい河川であり、宍道湖の洪水の排水がスムーズに行われないために、松江市は洪水氾濫の常襲地であった。

2006年の7月15日～24日にかけて、九州から本州にのびた梅雨前線の活動が活発となり全国的に広い範囲で大雨に見舞われ、松江市においても17日朝と18日夜の2回にわたって短時間に集中豪雨があった。最大時間雨量が54mm、7月16日～21日にかけての6日間で総雨量が418mmと、7月の月間平均雨量の2倍を超える大雨だった。この大雨により大橋川の洪水が溢れるなどして、周辺に浸水被害、土砂崩落が発生した。大橋川の松江観測所の水位は、18日に警戒水位(1.2m)、特別警戒水位(1.4m)をとともに超えて、19日の午後3時前には最高水位1.96mを記録した。松江市では、浸水面積205ha、浸水家屋1702戸の被害を受け、特にJR松江駅周辺などの被害が大きかった。Fig. 7に松江地点での降雨強度、ならびに宍道湖と中海の水位、Fig. 8に松江市中心部における浸水域をそれぞれ示す。地域ごとの浸水状況を見ると、大橋川南部では大橋川の水位上昇によって市内の水路網、さらには下水道内の水位が上昇して地上部に逆流している。大橋川北部でも大橋川の水位上昇に伴って浸水が進んでいるが、地盤高の低い地域では降雨が地形的に溜まった内水氾濫が浸水被害の主な原因であると報告されている。

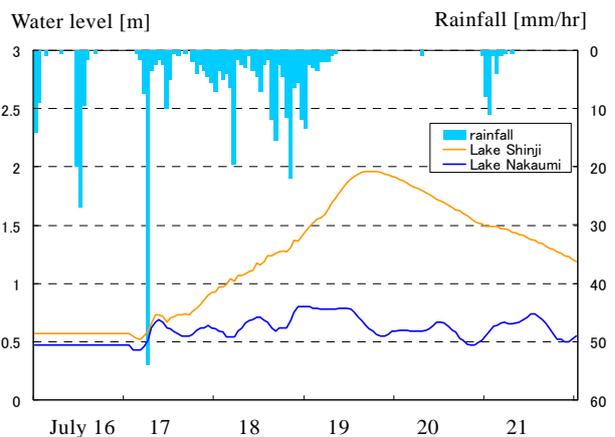


Fig. 7 Rainfall and water level observed in July, 2006

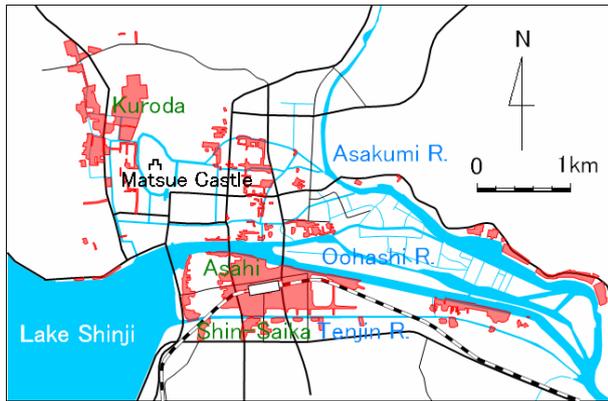


Fig. 8 Inundated area at the disaster of 2006

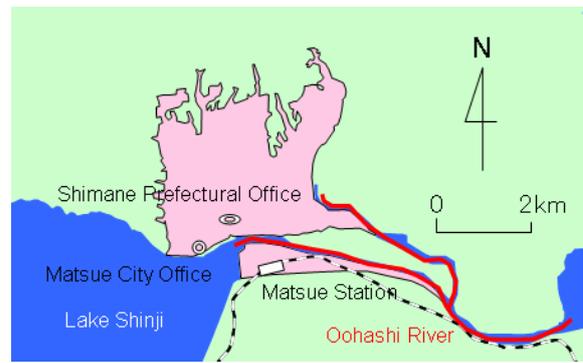


Fig. 9 Study area of sub models

3.2 松江市のモデル化

本研究における計算対象領域は Fig. 9 に示す松江市の中心部である。同図には地上部、河川網のサブモデルによる解析範囲を示しており、下水道網は地上部の下に存在する。

(1) 地上部

Fig. 10 には 2500 分の 1 の都市計画基本図から読み取った各解析格子の標高を示す。地上部の対象領域は大橋川によって北部と南部に分断されており、北部の東側の境界は朝酌川に面している。さらに、この対象領域の地上部の解析格子をそれぞれ市街地格子、道路格子、河川格子、耕作地格子の 4 つの属性に分類した図が Fig. 11 である。道路格子、河川格子の数はそれぞれ 1047 個、525 個であり、全格子数は 4021 個である。それぞれの格子における粗度係数の値は Kawaike et al. (2007) の値を用いて、市街地格子で 0.067、道路格子で 0.043、河川格子で 0.020、耕作地格子で 0.040 と定める。なお、市街地格子の家屋の面積率は、簡単のため一様に $\lambda=0.6$ である。

(2) 下水道網

本研究で用いた下水道網を Fig. 12 に示す。下水道管渠内では粗度係数を一様に 0.015 とする。下水管の断面形状は長方形と仮定し、開口度は現地踏査の結果から 0.1 とする。

(3) 河川網

大橋川の対象区間は、宍道湖から中海までの全区間、朝酌川は百足橋から大橋川との合流点までで、区間長はそれぞれ 7.5km、3.7km である。それぞれの川に沿って、大橋川は 50m 間隔で 150 の計算断面を、朝酌川は 100m 間隔で 37 の計算断面を設ける。

3.3 解析結果と考察

本研究では、2006 年に松江市で発生した平成 18 年 7 月豪雨による氾濫状況の再現を試みた。解析の条件として、Fig. 7 で示す松江での降雨を対象領域全

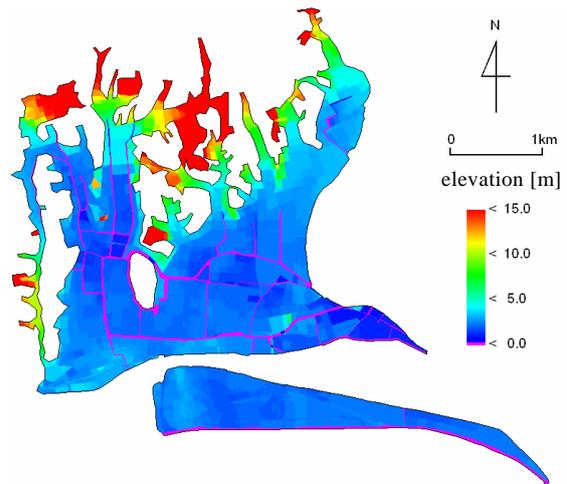


Fig. 10 Computational meshes and their elevation

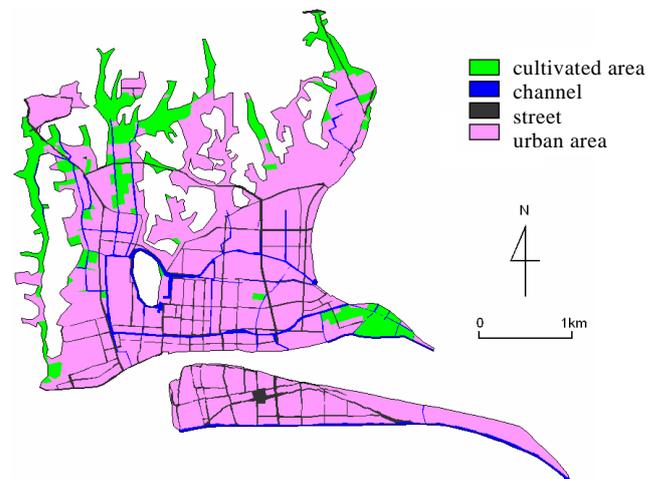


Fig. 11 Categories of computational meshes

体に与える。大橋川の上・下流端には、Fig. 7 に示す宍道湖、中海の実測水位を、朝酌川の上流端には朝酌川流域での降雨流出解析結果 (Kawaike et al., 2007) を与える。計算時間は 16 日 0 時から 22 日 0 時の 6 日間である。

解析の結果得られた最大浸水深を Fig. 13 に示す。

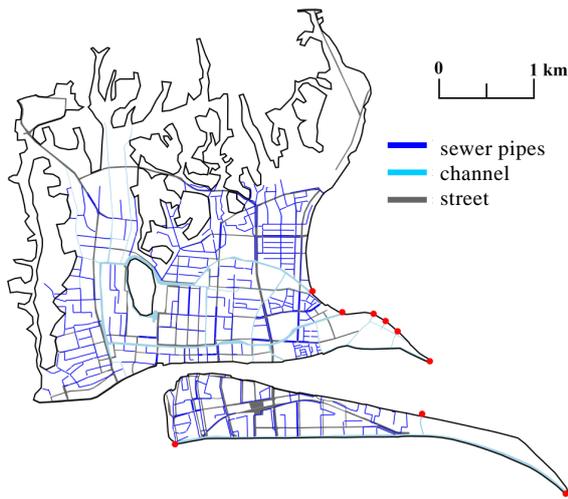


Fig. 12 Sewerage network

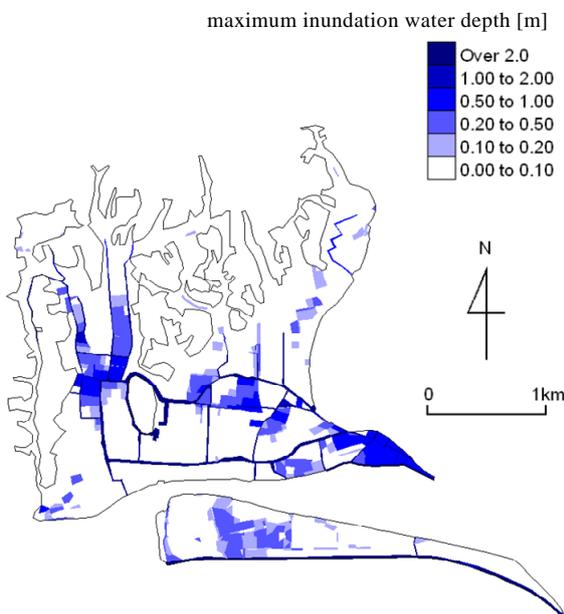


Fig. 13 Maximum inundation water depth

この解析結果と Fig. 8 の浸水実績を比較すると、解析により大橋川より左岸側と右岸側ともに浸水実績をおおむね再現できていることがわかる。しかし、左岸側と右岸側で数値解析の結果の傾向が大きく異なっている。つまり、北部では数値解析結果のほうが浸水実績よりも過大に、南部では過小に評価している。これは、北部の浸水は、市内河川網が大橋川の水位上昇に伴い氾濫したもので、南部は、大橋川の水位上昇に伴って下水道内の水位が上昇して地上部へ噴出したものだと考えられるが、地上部と下水道網の流出入が全て段落ち式および越流式で扱われているため、その係数の設定方法に問題があったと考えられる。

これらの結果は、Kawaike et al. (2007) の解析結果とほぼ同様であり、この水害時の浸水状況を再現

することには成功しているが、この結果からは本モデルの改良による影響が見られないため、モデル改良の是非については不明である。

4. 短時間集中豪雨への適用

本章では、短時間集中豪雨を用いて Kawaike et al. (2007) による氾濫解析モデル（以下、旧モデル）との解析結果の比較を行うことで、家屋から下水道への排水を考慮した本モデルの改良の影響について検討する。

4.1 解析条件

対象領域は、前章で扱った松江市とする。ただし、大橋川の水位の影響を受けないようにするために、宍道湖、中海の水位および、朝酌川上流からの流出流量は7月16日0時の値で一定とし、河川水位上昇による下水道の雨水排水機能の低下が起こらないようにする。対象とする災害外力は、2000年9月11日から12日にかけて東海地方を中心に集中的に発生した東海豪雨とする。Fig. 14 は名古屋雨量観測所にて観測された東海豪雨の時間雨量を示す。その他の解析条件は、3.2 と同様とする。

4.2 結果と考察

4.1 で述べた解析条件のもと、本研究において提案したモデルと旧モデルを適用した。解析結果として、Fig. 15 (a), (b)に両モデルによる最大浸水深を示す。この図から、家屋からの排水の影響を考慮した氾濫解析の方が、氾濫水の拡がり大きいことがわかる。この浸水過程を比較するために、それぞれの地点を通る下水道内の水深の時間変化に着目した。Fig. 15 (a)に示す下水管 N1, N2, N3, S1, S2, S3 内の水深の時間変化を Fig. 16 に示す。これらの水深の変化を見てみると、本研究における解析モデルのほうが、降雨強度の変化に伴う水深の変化率が大きい

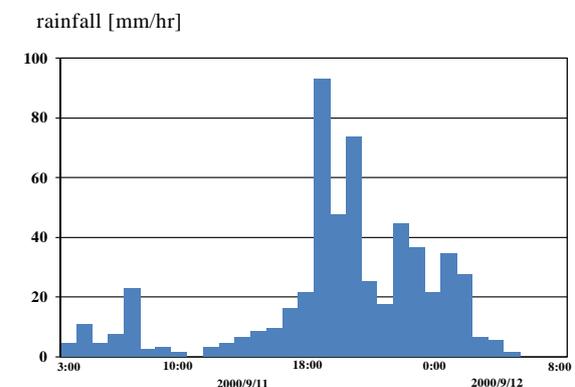


Fig. 14 Rainfall observed at Nagoya in 2000

ことがわかる。これは、枝線下水道から幹線下水道へは強制的に流入させ、幹線下水道から枝線下水道への逆流を考慮していないため、家屋からの排水が幹線下水道の水深の変化に大きな影響を与えていると考えられる。さらに、旧モデルでは、地上部での氾濫も下水道網内の流れも本研究のモデルによる解析結果に比べて少なくなっているが、これは地上部において氾濫水が河川格子に排水されているか、下水道網により排水されているからだと考えられる。

本研究における解析モデルでは、各家屋の雨水ますの影響を考慮していない。つまり、雨水ます内での地下への浸透や、一時的な貯留によるタイムロスをモデル化していないため、幹線下水道への到達時間が早くなっていると考えられる。

以上より、家屋からの排水が都市域の氾濫に影響を及ぼすことが示された。しかしながら、解析結果に差が出ることはわかったものの、どちらの解析モデルがより精度が高いかの検証が、今後の課題として残されたといえる。

5. おわりに

本研究では、家屋からの雨水排水過程を考慮した氾濫解析モデルを構築し、松江市に適用した。その結果、平成18年7月豪雨時の浸水状況が旧モデルと同様に再現可能であること、さらに旧モデルで表現されていなかった家屋からの排水が氾濫水に影響を及ぼすことがわかった。

しかしながら、両モデルの間で結果に差が出ることはわかったものの、検証材料が存在しないことから、本モデルによって精度が向上したと結論付けることはできなかった。したがって今後、模型実験や現地

での観測を行うことによってモデルの検証を進めていくことが、今後の課題である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、国土交通省出雲河川事務所の方より平成18年7月豪雨での浸水状況に関するデータを、また松江市下水道課の方より下水道に関するデータを快く提供いただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 井上和也・川池健司・戸田圭一（1999）：非構造格子による氾濫解析モデル，京都大学防災研究所年報，第42号 B-2，pp.339-353.
- 井上和也・戸田圭一・前田 修（2000）：河川網が発達した領域での氾濫解析法とそのメコンデルタへの適用，水工学論文集，第44巻，pp.485-490.
- 川池健司・井上和也・戸田圭一・野口正人（2004）：低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析，土木学会論文集，No.761/II-67，pp.57-68.
- 相良亮輔・錦織俊之・井上和也・戸田圭一（2004）：枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析，水工学論文集，第48巻，pp.589-594.
- 戸田圭一・井上和也・村瀬 賢・市川 温（1999）：豪雨による都市水害の水理モデルの開発，京都大学防災研究所年報，第42号 B-2，pp. 355-367.
- Kawaike, K. and Nakagawa, H. (2007): Flood Disaster in July 2006 in the Matsue City Area and its Numerical Modeling, Proc. 32nd IAHR Congress.

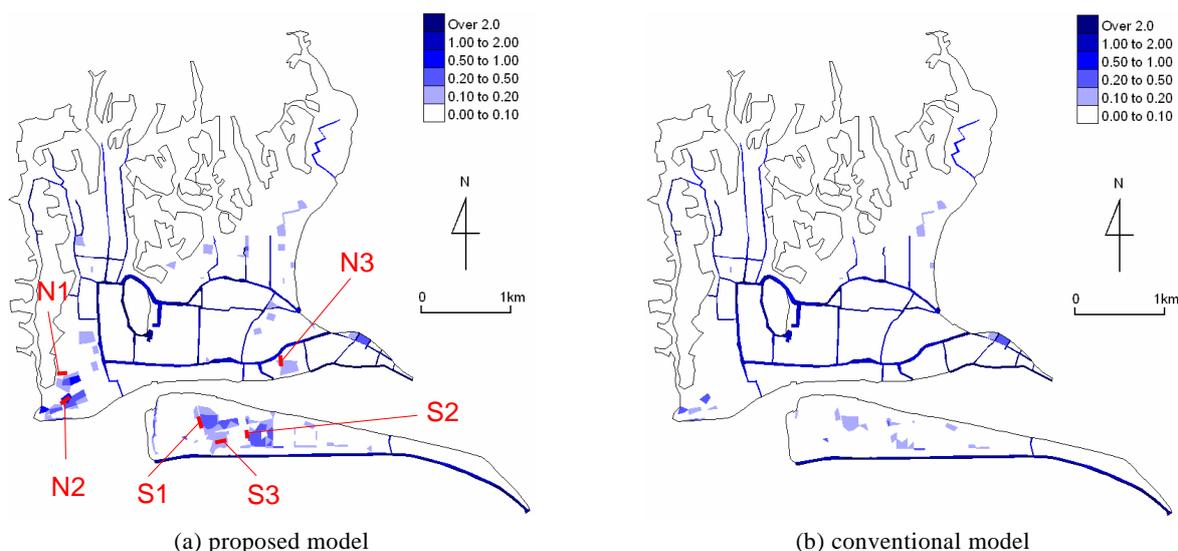
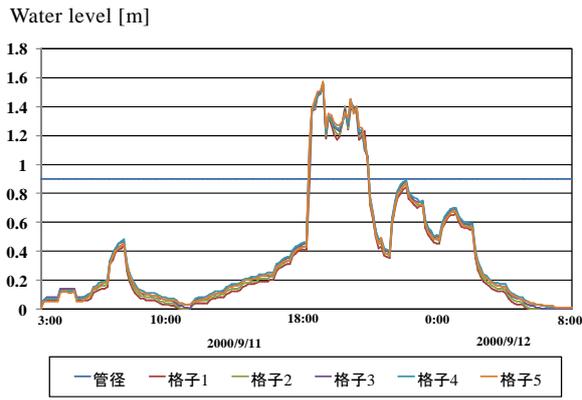
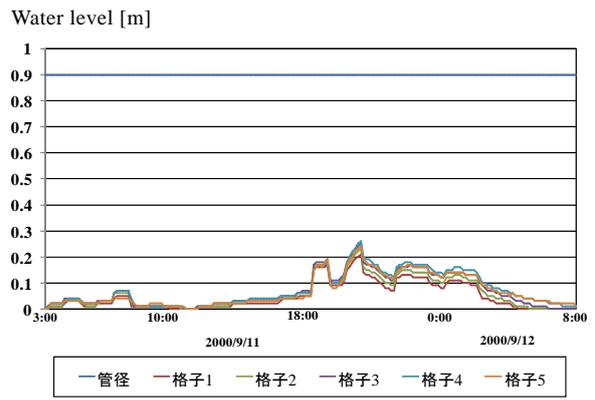


Fig. 15 Comparison of maximum inundation water depth between the proposed model and the conventional model

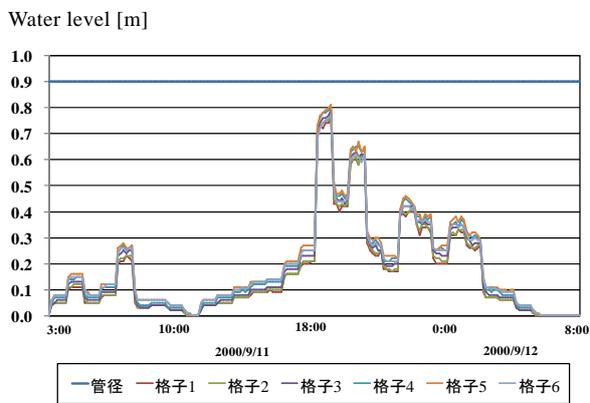


proposed model (N1)

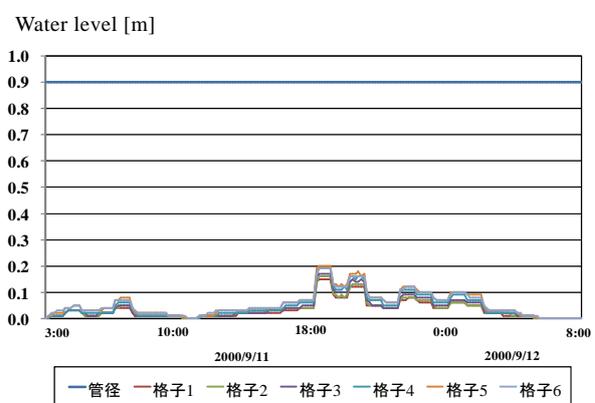


conventional model (N1)

(a) N1

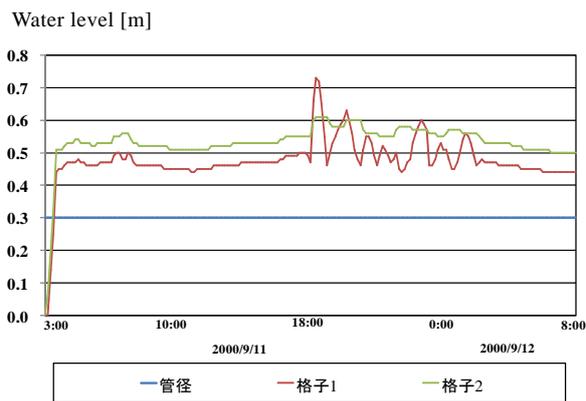


proposed model (N2)

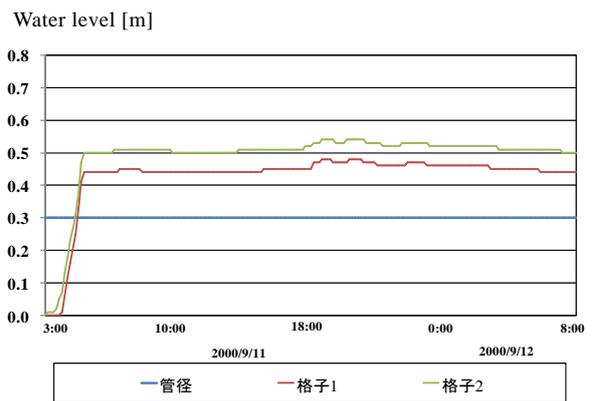


conventional model (N2)

(b) N2



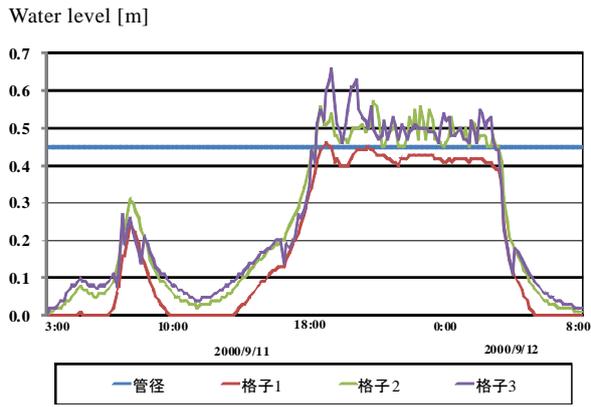
proposed model (N3)



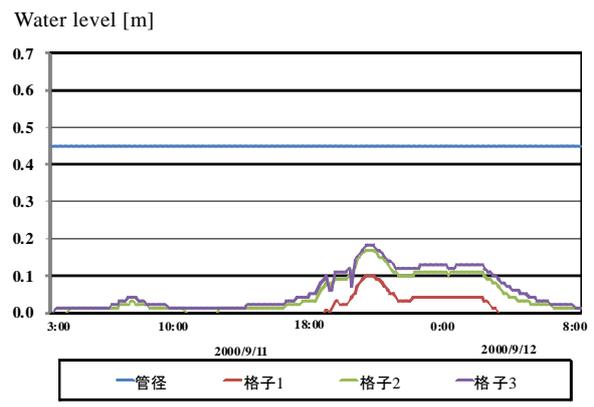
conventional model (N3)

(c) N3

Fig. 16 Comparison of temporal change of sewer pipe water depth between the proposed model and the conventional model (1)

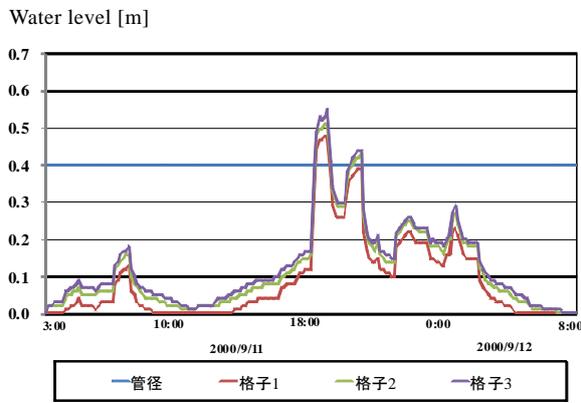


proposed model (S1)

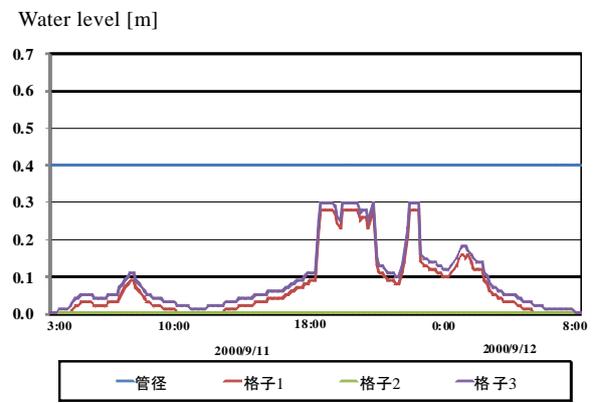


conventional model (S1)

(d) S1

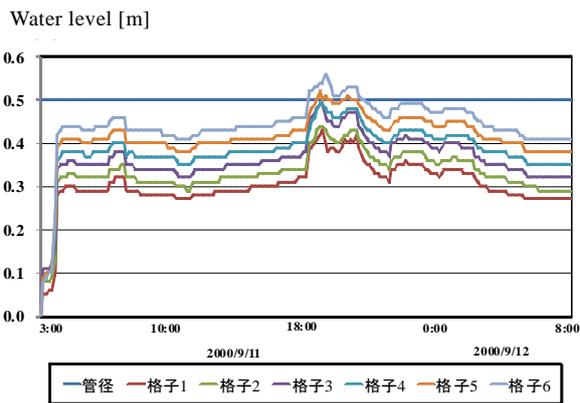


proposed model (S2)

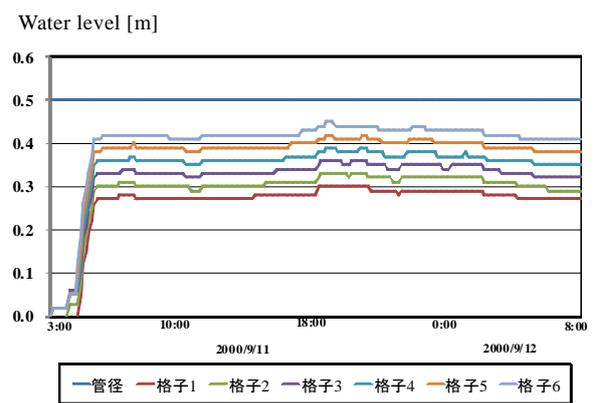


conventional model (S2)

(e) S2



proposed model (S3)



conventional model (S3)

(f) S3

Fig. 16 Comparison of temporal change of sewer pipe water depth between the proposed model and the conventional model (2)

Modeling of Sewerage System in Numerical Simulation of Inundation Flow in Urban Area

Kenji KAWAIKE, Hajime NAKAGAWA, Yohei IMAI* and Yuzo YAMADA**

* Osaka Prefectural office, Japan

** Tokio Marine & Nichido Fire Insurance, Ltd., Japan

Synopsis

Recently, inundation disaster due to heavy rainfall is a serious problem especially in urban area. In this study, to predict its hazardousness appropriately, the conventional numerical simulation model is revised in the model of sewerage system. Storm water given to buildings roofs is drained through sub-sewer, and inundation water on the ground is drained through grating of street gutter into main sewer pipes. This simulation model is applied to the Matsue City area, Japan. As the simulation results, the inundation area and water depth at the disaster of 2006 are reproduced well, but validation of the effects of drainage process expressed in this study should be done in the future.

Keywords: numerical simulation of inundation flow, sewerage system, urban area, Matsue City