

都市域の内水氾濫解析について

中部大学工学都市建設工学科
准教授 武田 誠

本日の予定 話題提供時間 14:30~15:15 (発表40分、質疑5分)

氾濫解析の質量保存に関する一考察

都市域における氾濫解析

1 内水氾濫解析のモデリング

(1) 下水道モデルの取り扱い

(2) マンホールモデルの取り扱い

2 地表面氾濫解析と下水道解析における落ち込み流量の設定

3 氾濫解析の応用

(1) ハード的対策 名古屋市堀川の河川を下げた解析事例

(2) ソフト的対策 情報発信のための準リアルタイム浸水予測

* 簡易モデルの適用

h-VA氾濫解析モデルの試み

氾濫解析法の質量保存に関する一考察

岩佐・井上・水鳥は、スタガードに配置された流量フラックス、水深を、陽的差分法を用いて展開された平面二次元の運動方程式、連続式から求めており、移動限界水深(運動量方程式を解く水深の判定値、通常0.001m が用いられている)を定めて、

- 1) 運動量定義位置を挟む2つの格子の水深が移動限界水深以下の場合には氾濫水の運動方程式を解かない。
- 2) 水深が移動限界水深以下である格子から流出している流れがある場合にはその流れが無いものとしてゼロに置き換える。
- 3) 連続式の計算において、水深が負となる場合にはその水深をゼロに置き換える。

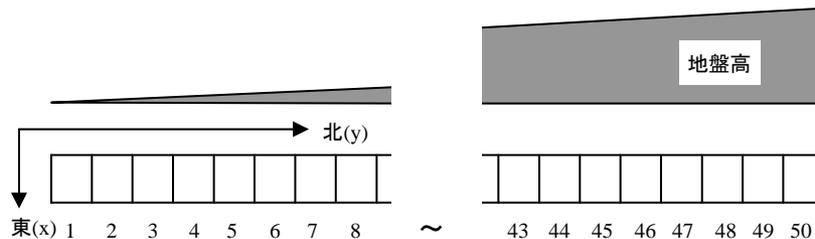
という三つの条件を付加することで氾濫解析を行っている。
ただし、急斜面における解析を実施する場合は、数値解析の安定条件を満足している場合であっても計算が不安定となることがあり、計算時間間隔を小さくする、マニング則などを用い運動量方程式を解かない、などしている。

支配方程式

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$



計算領域

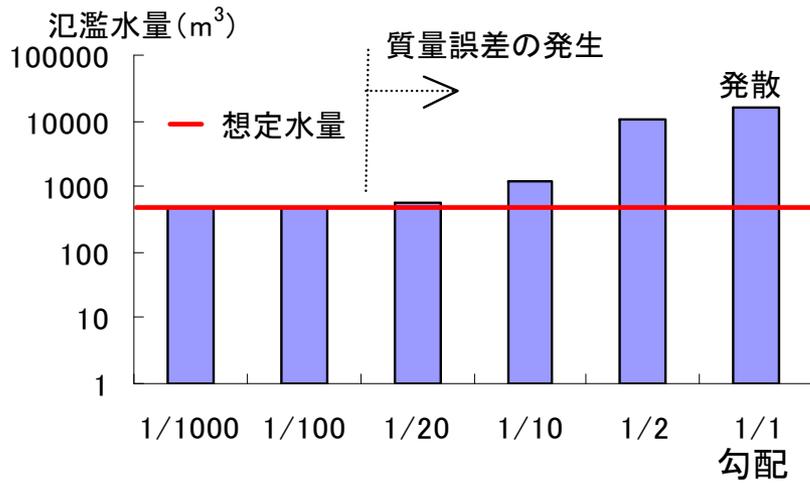
格子幅 $\Delta S=10\text{m}$

計算時間間隔 $\Delta t=0.5\text{sec}$

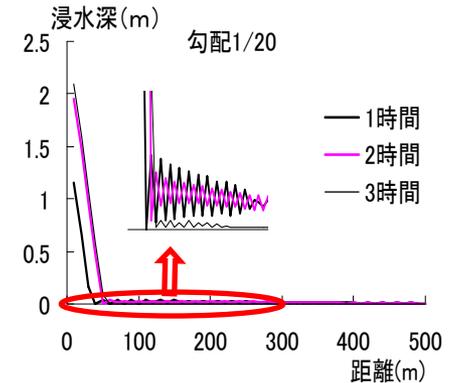
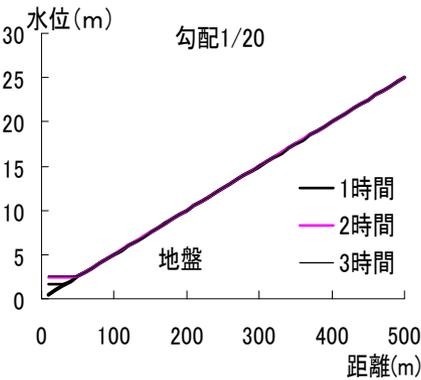
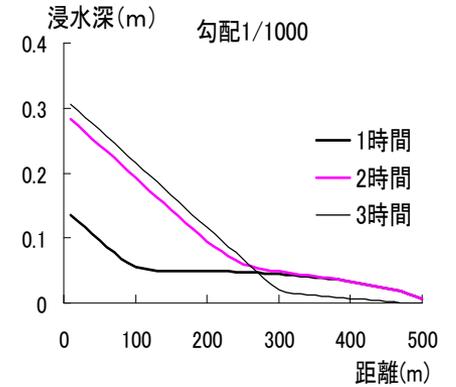
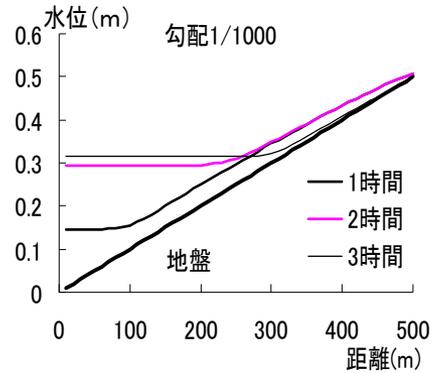
計算条件

全域に50mm/hの雨を2時間降らせ、その後降雨をゼロとし、2時間後までの計4時間の浸水過程を計算した。

地盤勾配は1/1000,1/100,1/20,1/10,1/2,1/1の6ケースであり、周りは壁で覆われている。



計算終了時の氾濫水量



水位の分布

浸水深の分布

氾濫解析における問題点として、以下の3つが挙げられる。

- 勾配が急な場合には安定に計算できなくなること
- 勾配が大きくなれば質量誤差が生じること
- 勾配が大きく水深が浅い箇所では数値振動が生じること

質量誤差の発生のメカニズム

質量誤差の発生のメカニズムは氾濫解析法の付加条件3)に起因するものであり、水深が移動限界水深よりも大きい場合、運動量方程式を用いて流量フラックスが計算されるが、地盤勾配が大きい場合は計算される値が大きくなり、連続式において負の水深が発生する可能性がある。この場合、その水深をゼロに修正することは、新たに水量を加えることを意味し、これが質量誤差になる。

質量誤差の発生条件

CFL条件から $\frac{\Delta S}{\Delta t} > \sqrt{gh} + v$ が得られ、流速の表示に Manning 則を適用して整理すれば

$$I_1 < \frac{n^2}{h^{4/3}} \left(\frac{\Delta S}{\Delta t} - \sqrt{gh} \right)^2 \quad (1)$$

右図を考慮して、 Δt の間に格子内の水量以上が流出しないとすれば、
 $h_{up} \Delta s \geq hv \Delta t$ であり、 $h_{up} = h - I_2 \Delta s / 2 + I_1 \Delta s / 2$ および Manning 則を考慮して整理すれば

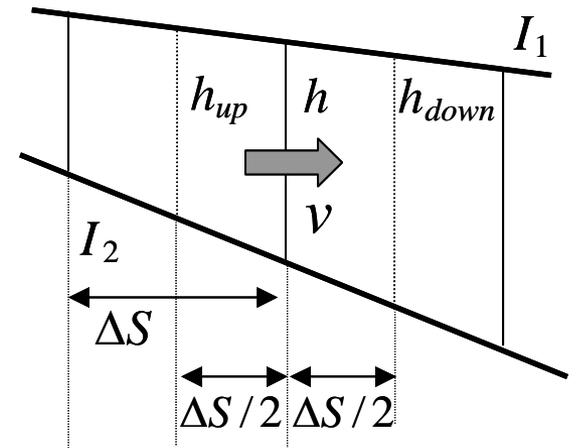
$$F = I_1 - \frac{2}{n} h^{5/3} \frac{\Delta t}{\Delta s^2} I_1^{1/2} + \frac{2h}{\Delta s} - I_2 \geq 0 \quad (2)$$

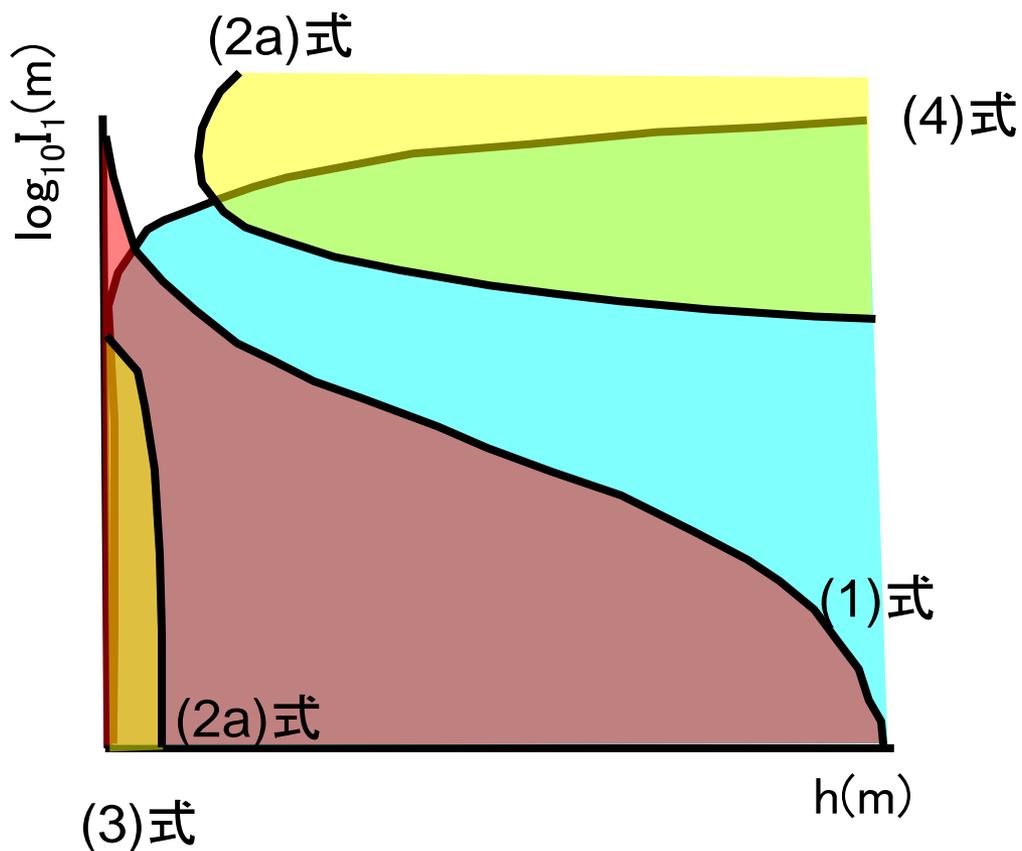
$h_{up} \geq 0$ の条件から

$$I_1 \geq I_2 - 2h / \Delta x \quad (3)$$

$h_{down} \geq 0$ の条件から

$$I_1 \leq I_2 + 2h / \Delta x \quad (4)$$



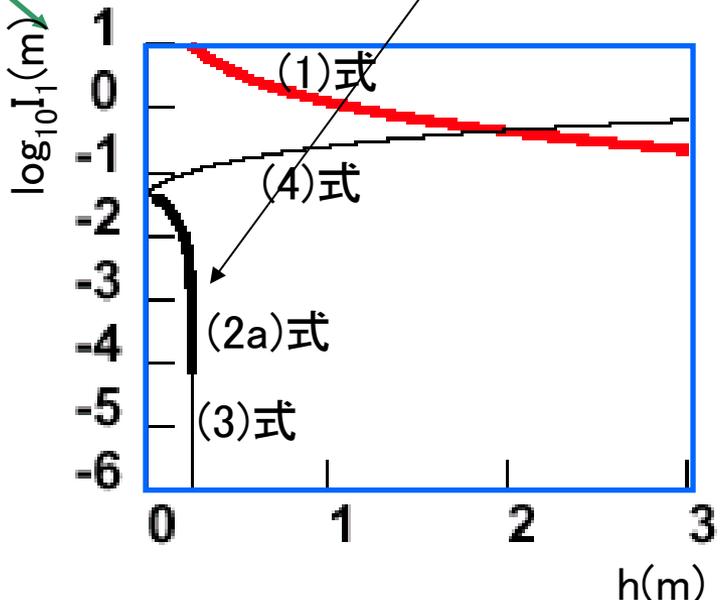
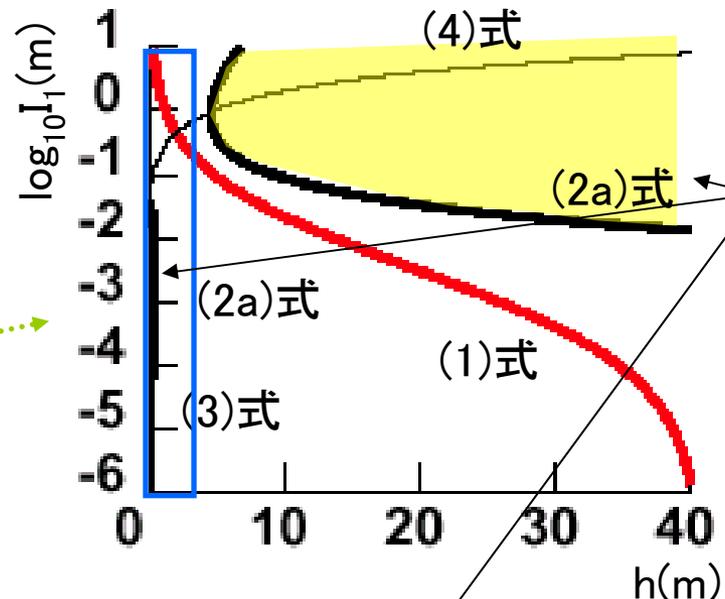
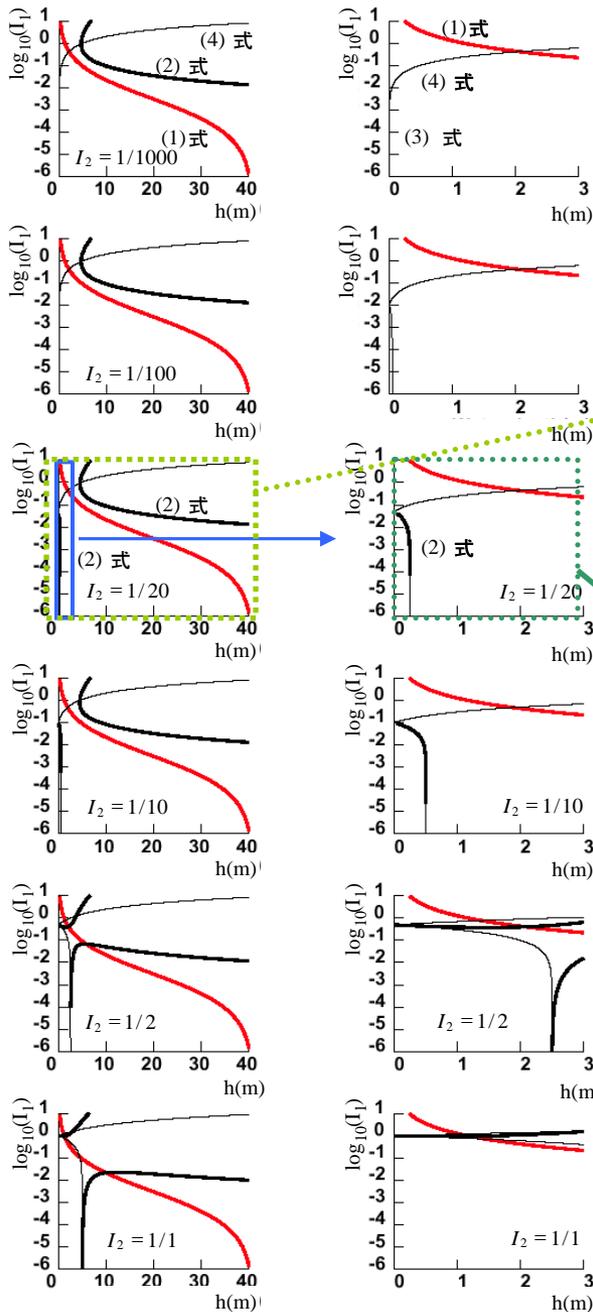


$$(1)式: \quad I_1 < \frac{n^2}{h^{4/3}} \left(\frac{\Delta S}{\Delta t} - \sqrt{gh} \right)^2$$

$$(3)式: \quad I_1 \geq I_2 - 2h/\Delta x$$

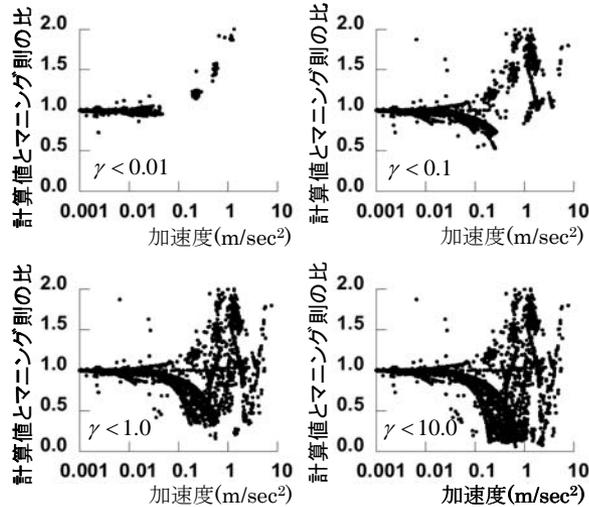
$$(4)式: \quad I_1 \leq I_2 + 2h/\Delta x$$

$$(2a)式: \quad I_1 - \frac{2}{n} h^{5/3} \frac{\Delta t}{\Delta s^2} I_1^{1/2} + \frac{2h}{\Delta s} - I_2 < 0$$



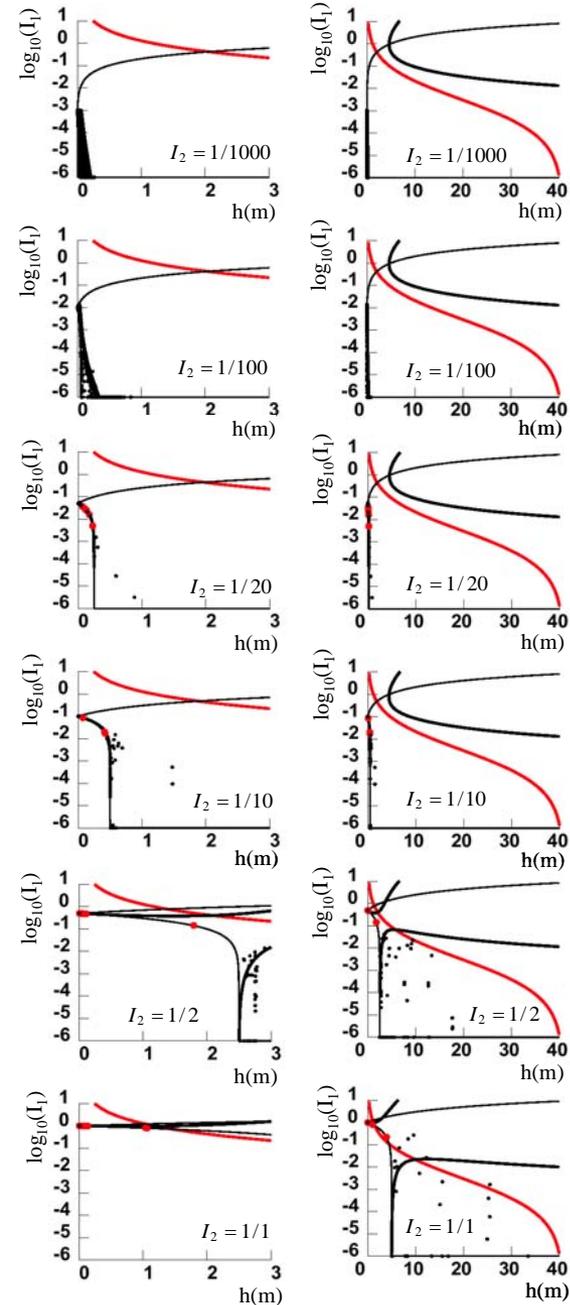
質量誤差の発生する領域

$$\gamma = Dv/Dt / (v^2 / h)$$

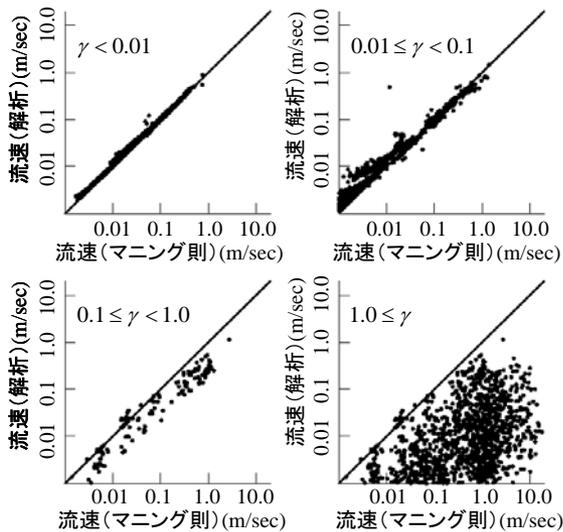


定常状態
 の判定

加速度:
 0.1m/sec²以下
 γ :
 0.1以下



加速度による定常性の検証



指標 γ による定常性の検証

質量誤差が発生していないにも関わらず質量誤差の発生領域に解析点がプロットされる例もみられたが、

●解析で質量誤差の生じない勾配 $1/1000$ と $1/100$ では理論的に質量誤差の発生領域が生じないこと

●解析において質量誤差が生じた点が発生領域内にプロットされること

から、(2a)式で示した質量誤差の発生条件は概ね妥当であるとみなせ、氾濫解析における質量誤差の発生条件が存在することが示された。

結論

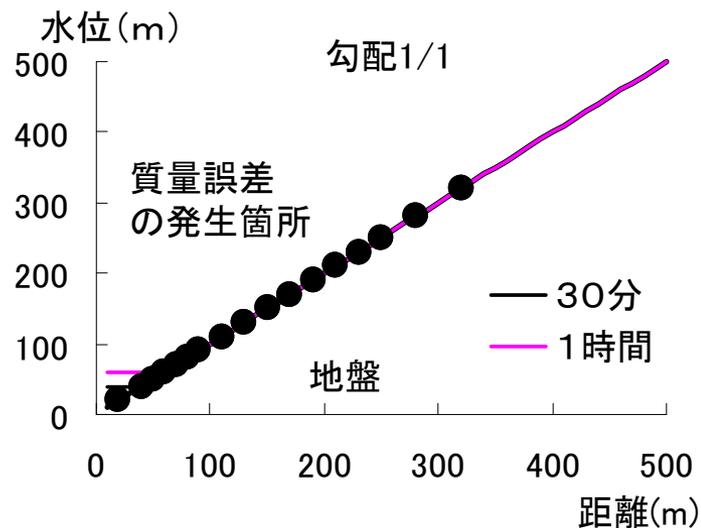
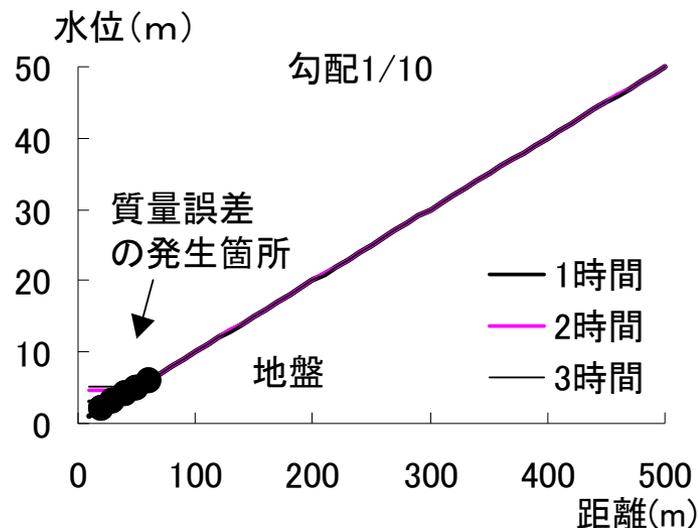
本研究により得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- 1) 汜濫解析法における問題点として、
 - 勾配が急な場合には計算が不安定となること
 - 勾配が大きくなれば質量誤差が生じること
 - 勾配が大きく水深が浅い箇所では数値振動が生じることがあることを示した。
- 2) 本解析により、条件によっては解析結果に多大な質量誤差が含まれる危険性が示されたため、汜濫解析を行う場合には注意が必要である。
- 3) 汜濫解析における質量誤差の発生条件を水深と水面勾配の関係を用いて整理し、(2a)式で得られた領域が質量誤差の発生領域であることを示した。このことから、汜濫解析においては質量誤差が発生する条件が存在することが示された。

$$(2a)式: \quad I_1 - \frac{2}{n} h^{5/3} \frac{\Delta t}{\Delta s^2} I_1^{1/2} + \frac{2h}{\Delta s} - I_2 < 0$$

質量誤差の発生箇所

勾配が緩やかな場合は、浸水深が小さく隣り合う水深が大きく異なる箇所で質量誤差が生じ、勾配が急な場合は、その他の箇所でも質量誤差が生じる。



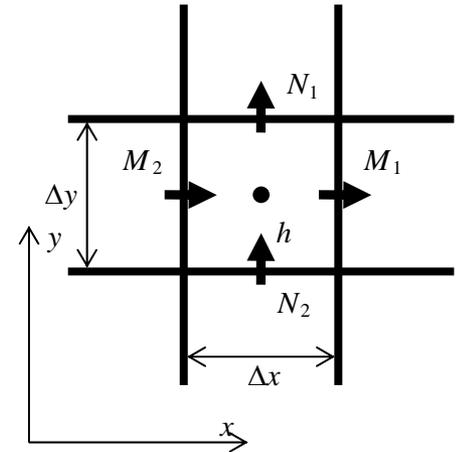
ここでは、岩佐・井上・水鳥の方法を踏襲しつつ、質量保存からみた解析法の修正を行った。前述した条件1)の後で、以下の方法を用いて流速の修正を行っている。

格子から流出する流量フラックスを M_1, M_2, N_1, N_2 (流入する場合はゼロ) とすれば、氾濫域の連続式における差分式は以下のように表される。(この場合の連続式はその格子から流出するもののみを対象としている。)

$$\frac{h^{t+\Delta t} - h^t}{\Delta t} = -\frac{M_1 - M_2}{\Delta x} - \frac{N_1 - N_2}{\Delta y}$$

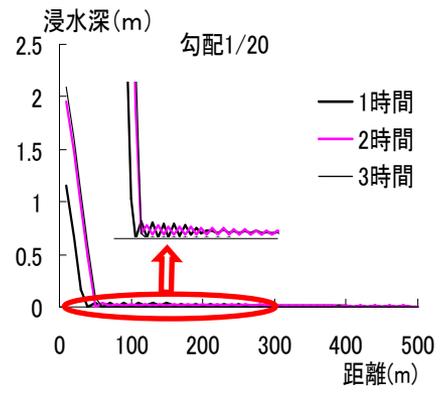
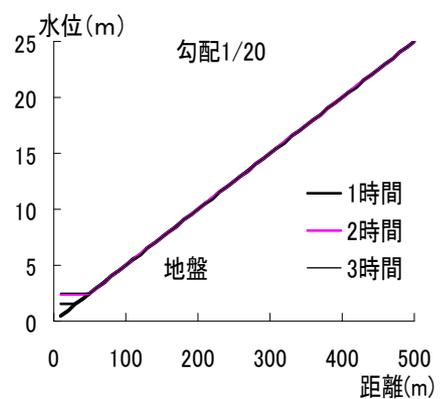
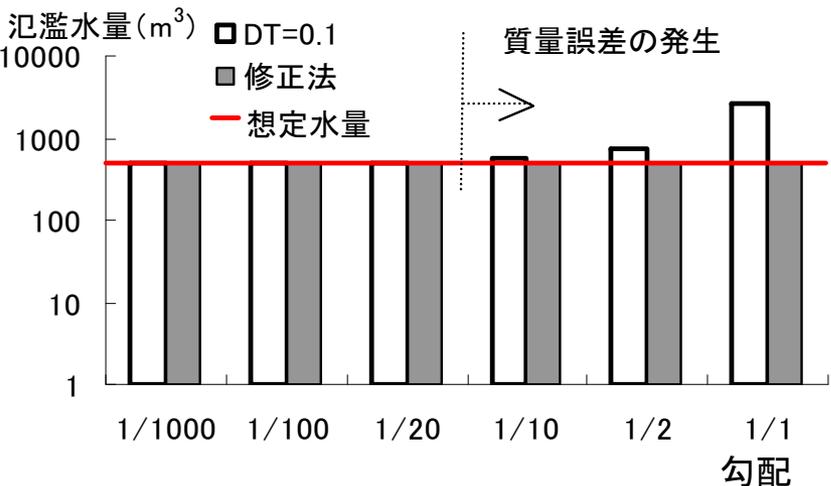
Δt 秒後の水深が負となる場合は、質量保存の観点からその流量フラックス分の水は流れない。 Δt 秒後の水深がゼロとなる流れまでは許容されるため、以下の式から低減係数を求める。

$$\alpha = \frac{-h^t}{\Delta t} \left/ \left(-\frac{M_1 - M_2}{\Delta x} - \frac{N_1 - N_2}{\Delta y} \right) \right.$$

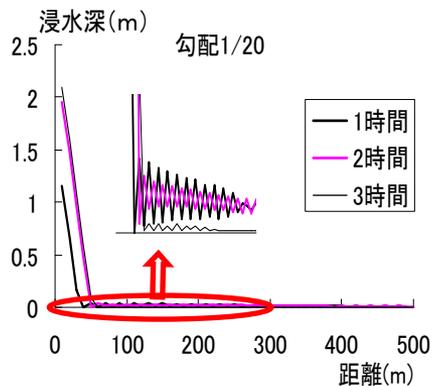


このようにして得られた低減係数 α を用いて、格子から流出する流量フラックスを以下のように補正することで質量保存を満たすように工夫した。

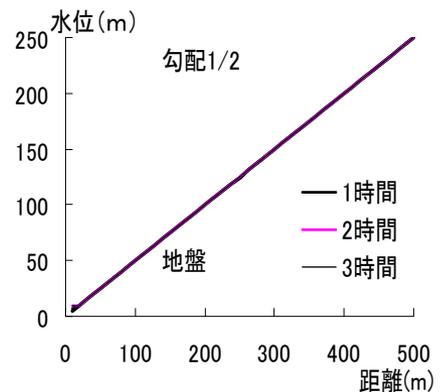
$$M = \alpha M \quad N = \alpha N$$



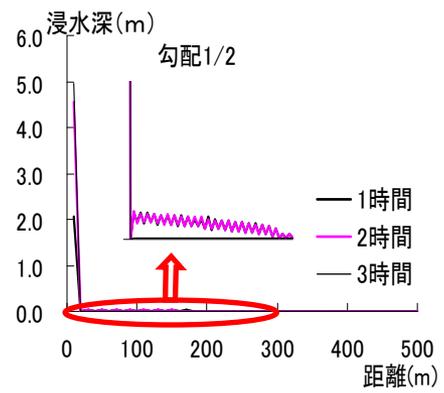
計算終了時の氾濫水量



浸水深の分布 (修正なし)



水位の分布



浸水深の分布

本日の予定 話題提供時間 14:30~15:15 (発表40分、質疑5分)

氾濫解析の質量保存に関する一考察

都市域における氾濫解析

- 1 内水氾濫解析のモデリング
 - (1) 下水道モデルの取り扱い
 - (2) マンホールモデルの取り扱い
- 2 地表面氾濫解析と下水道解析における落ち込み流量の設定
- 3 氾濫解析の応用
 - (1) ハード的対策 名古屋市堀川の河川を下げた解析事例
 - (2) ソフト的対策 情報発信のための準リアルタイム浸水予測
 - * 簡易モデルの適用

h-VA氾濫解析モデルの試み

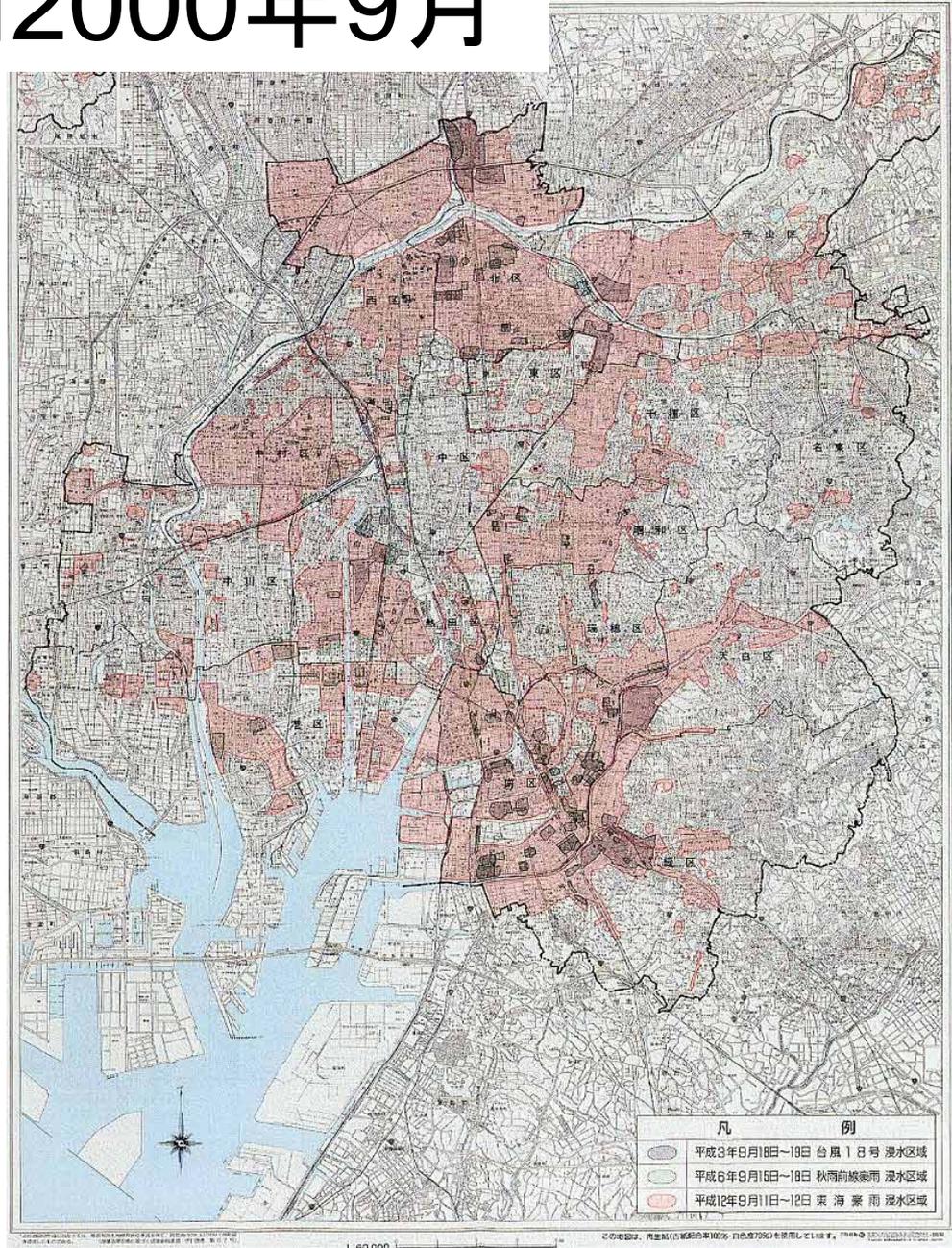
東海豪雨2000年9月



新川破定点近傍



名古屋市西区



INUNDATION ANALYSIS SUBSYSTEM IN URBAN AREA

River
Channel
Urban area
Sewer system



[地表面氾濫、下水道、河川をダイナミックに連成して解析]

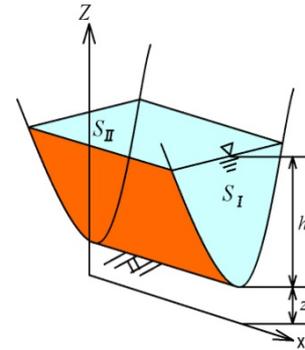
都市型水害予測解析システム

都市域の内水氾濫解析の支配方程式

1) Rivers

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

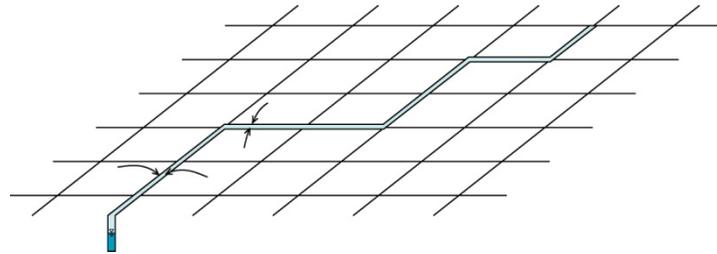
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - g \sin \theta + \frac{gn^2 u |u|}{R^{4/3}} = 0$$



2) Channel

$$A \frac{\partial h}{\partial t} = \sum Q_{in} - Q_{out}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial r} - \frac{gn^2 q |u|}{h^{4/3}}$$



3) Urban area

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho_w}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial N}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho_w}$$

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

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

4) Sewer system

- slot model in sewer pipe

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

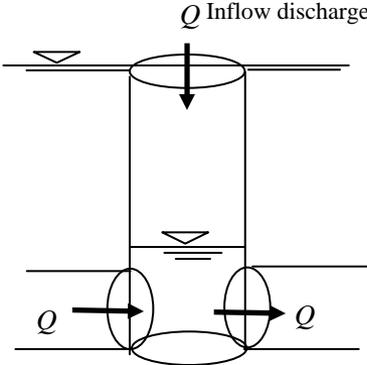
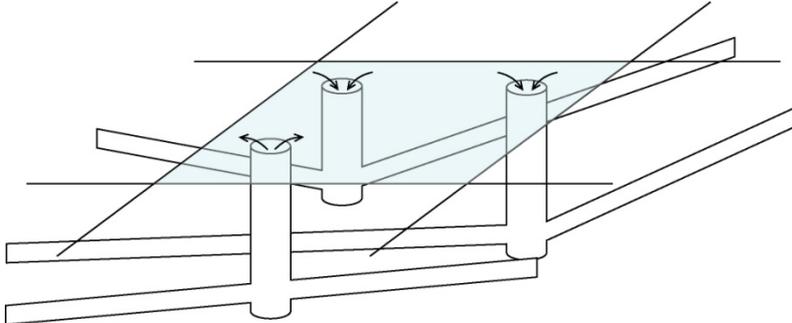
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - g \sin \theta + \frac{gn^2 u |u|}{R^{4/3}} = 0$$

スロット幅 $B = \frac{gA_s}{C^2}$

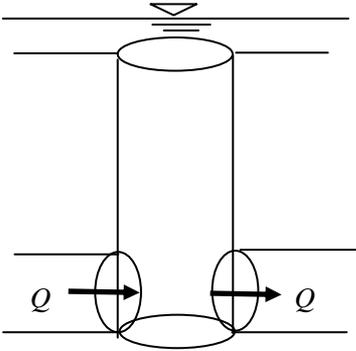
Cは波速、20m/sを使用

- manhole

$$A \frac{\partial H}{\partial t} = \sum Q$$



$H \leq H_B$



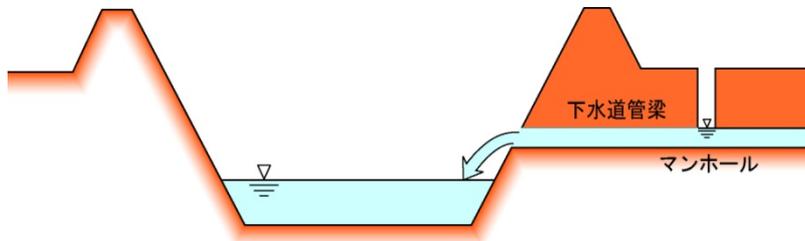
$H > H_B$

- pump station and storage facilities

河川、下水道、氾濫域における複雑な水理現象

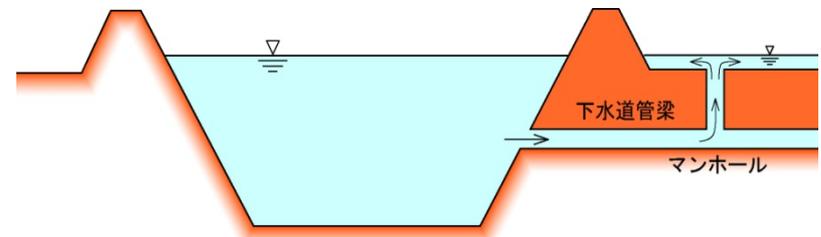
Case1

W. E. of river < W. E. of sewer system



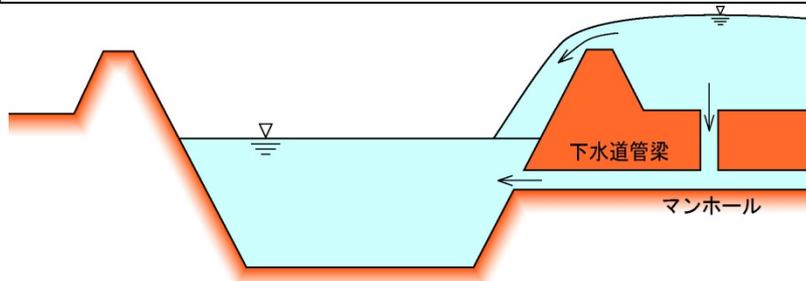
Case2

W.E. of river > W.E. of sewer system



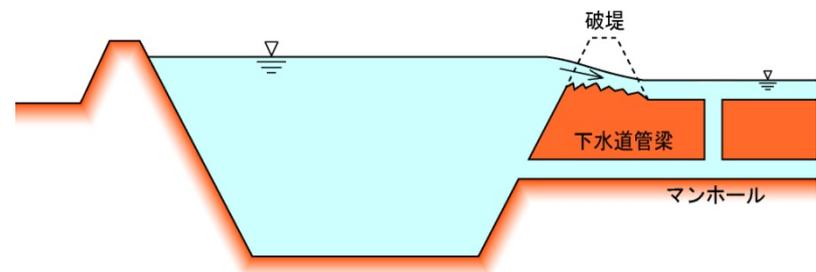
Case3

W.E. of river < W.E. of Urban area



Case4: Dike break

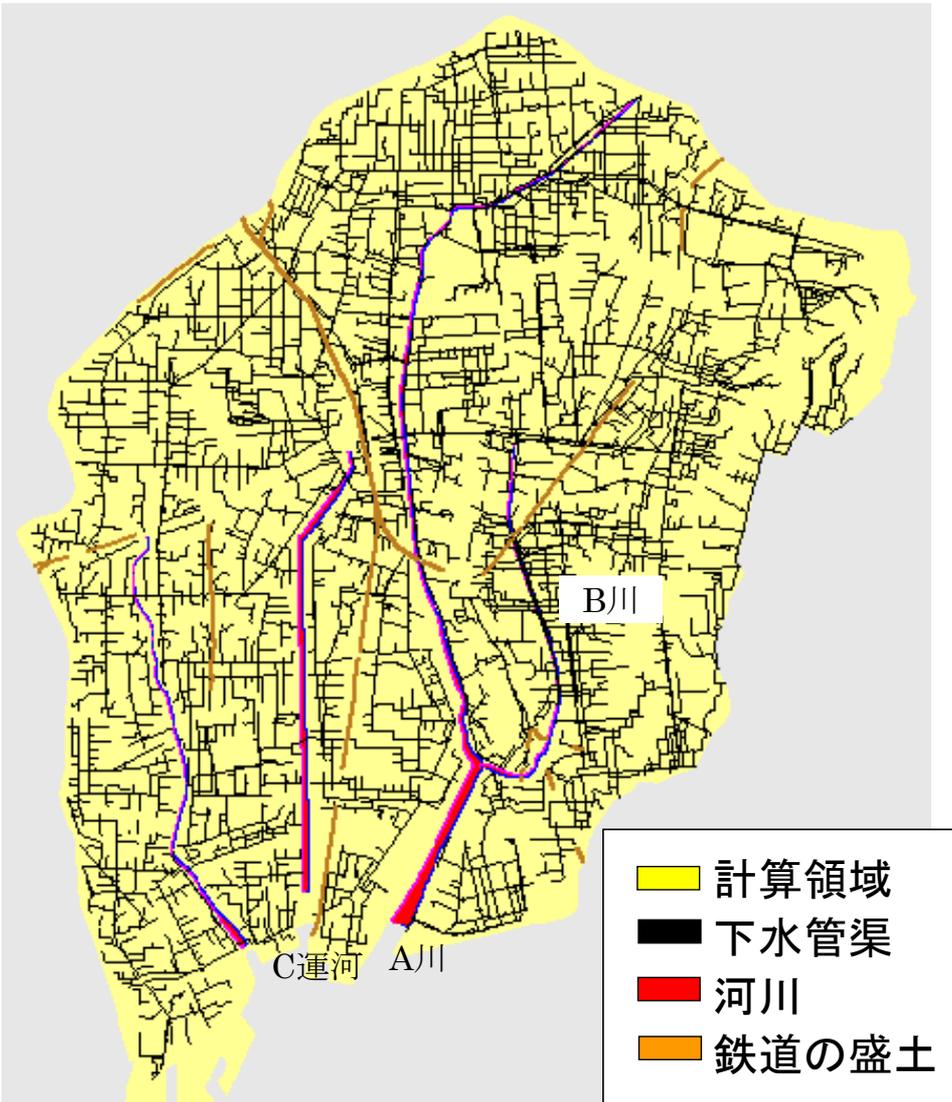
W.E. of river > W.E. of Urban area



W.E. : Water Elevation

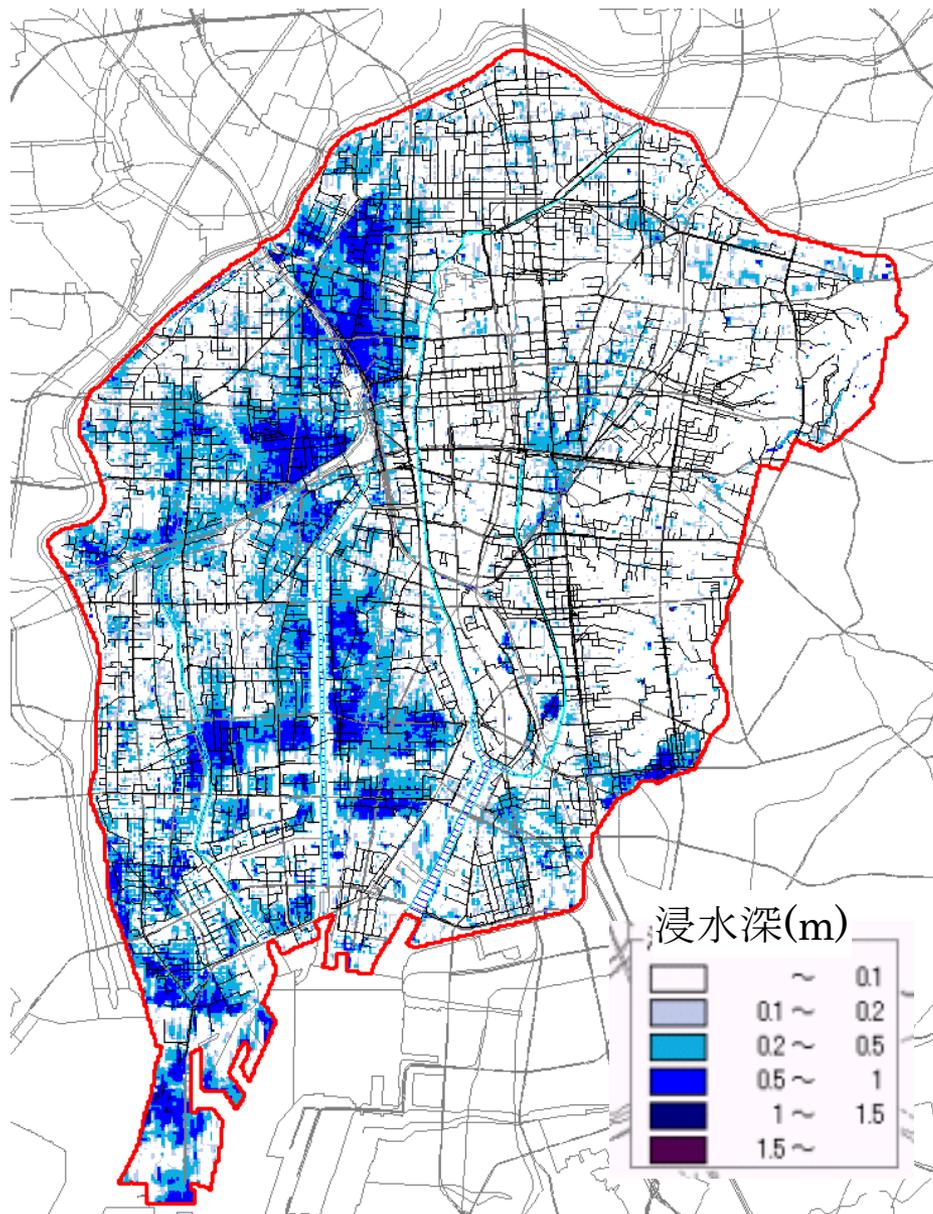
計算条件

計算格子	30m×30m(格子数141,317)
地盤高	下水道人孔(マンホール)標高データを基本
河川	A川、B川、C運河、D川
下水道	マンホール:18,595、管渠:19,380
ポンプ	下水道ポンプ26箇所,その他ポンプ3箇所
貯留施設	雨水調整池15、雨水滞水池2、調整池1
地下鉄浸水	2箇所(80,000m ³ と11,000m ³)
堤防・盛土	鉄道などの盛土を考慮
粗度係数	地表面:0.067、下水道:0.013、河川:0.020
降雨量	21箇所にティーン分割した10分間降雨を各格子に与える。
水位境界条件	A川河口にE港実績潮位を与える。
流量境界条件	D川、C運河はポンプによる排水
計算時間	2000年9月11日2時~9月12日7時
計算時間間隔	氾濫計算:0.1秒、下水道システム:0.05秒

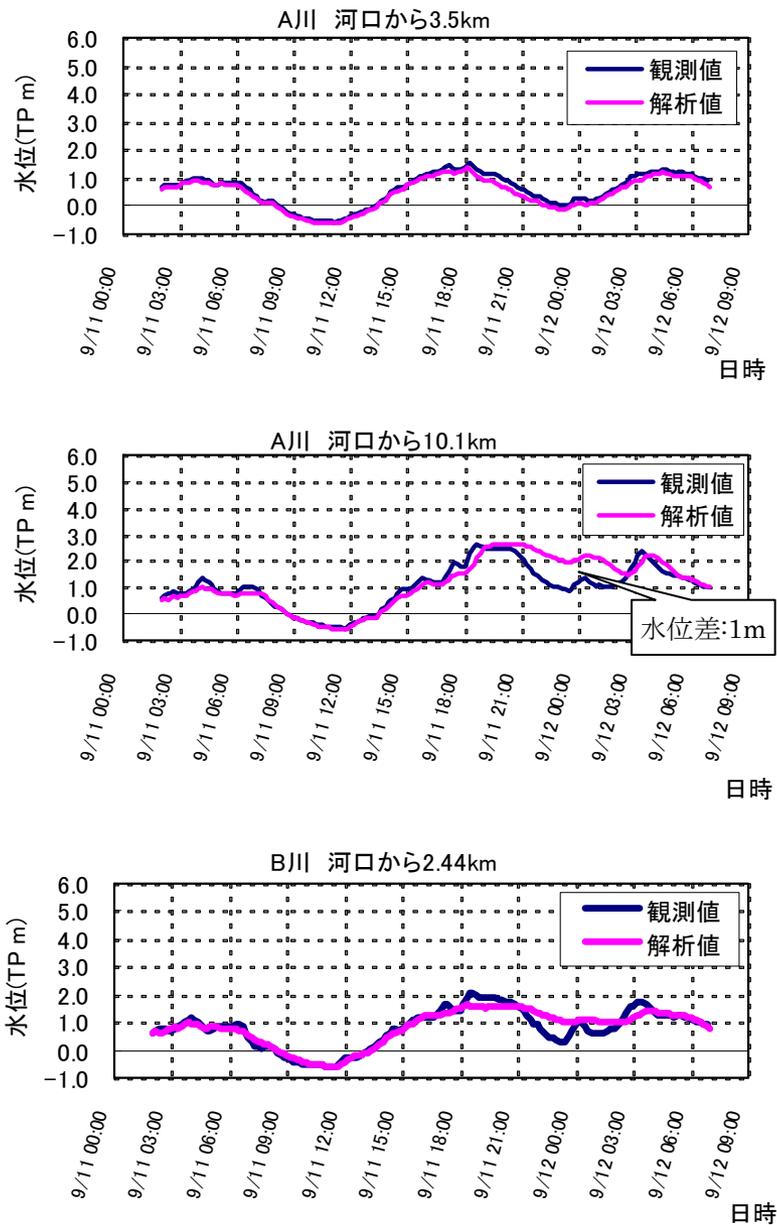


- 計算領域
- 下水管渠
- 河川
- 鉄道の盛土

計算領域

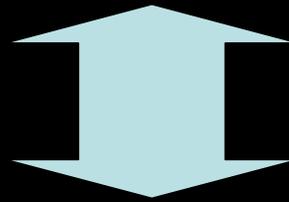


最大浸水深の分布



河川水位

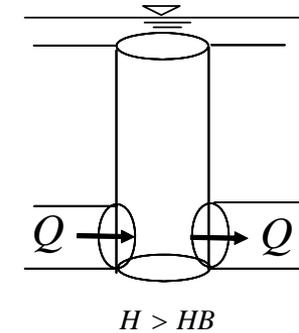
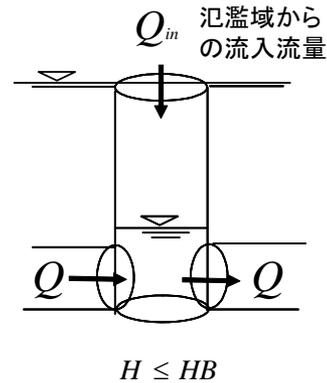
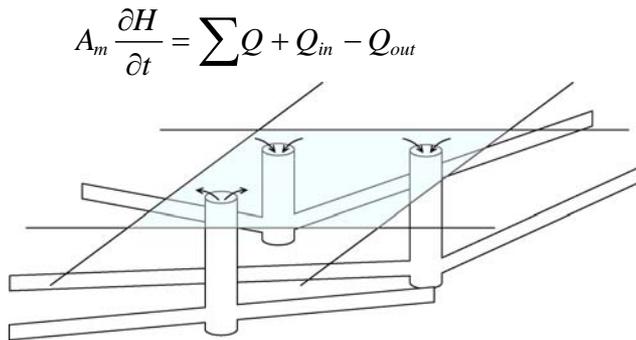
地表氾濫解析



下水道流入モデル
新たな境界条件となる.

下水道および河川の解析

下水道流入モデルの重要性



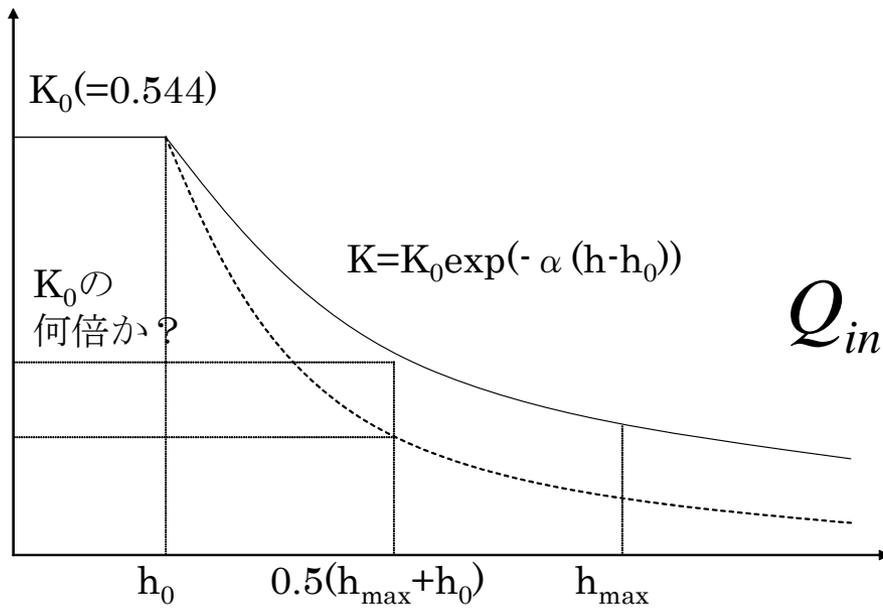
H :マンホールの水位
 HB :地盤高

マンホール部のモデル化

$$Q_{in} = KLh\sqrt{gh}$$

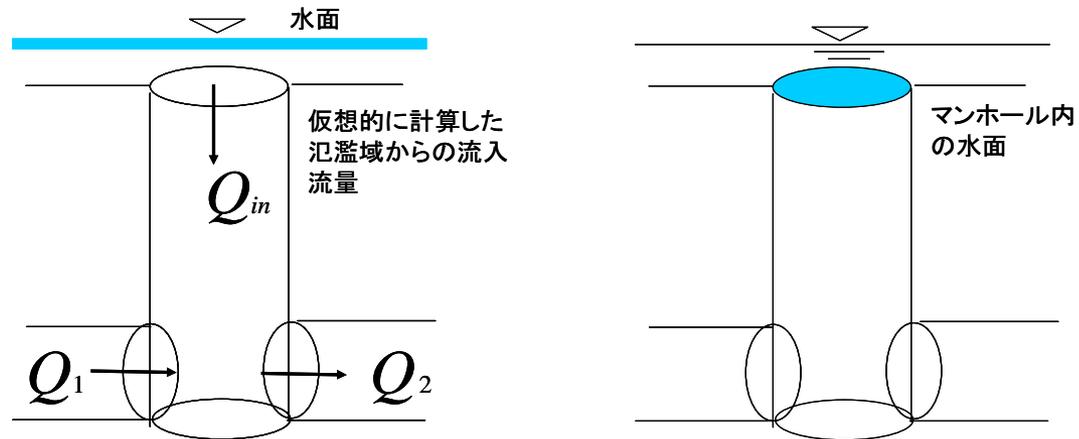
ここに、 K は流量係数(0.544^2), L はマンホールの円周,
 h は水深, g は重力加速度.

マンホール部の落ち込み流量の算定



$$Q_{in} = KLh\sqrt{gh}$$

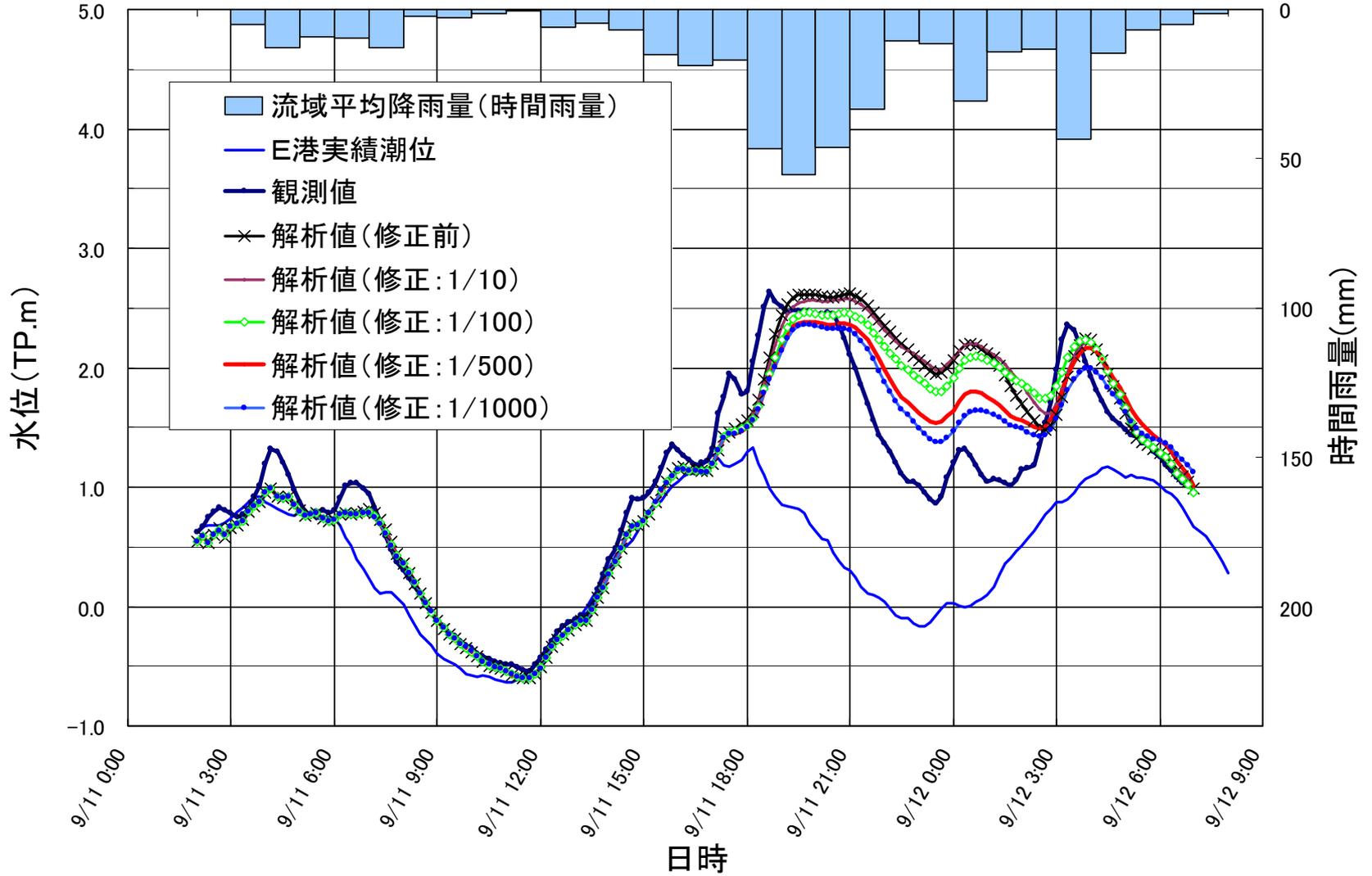
流量係数のモデル化



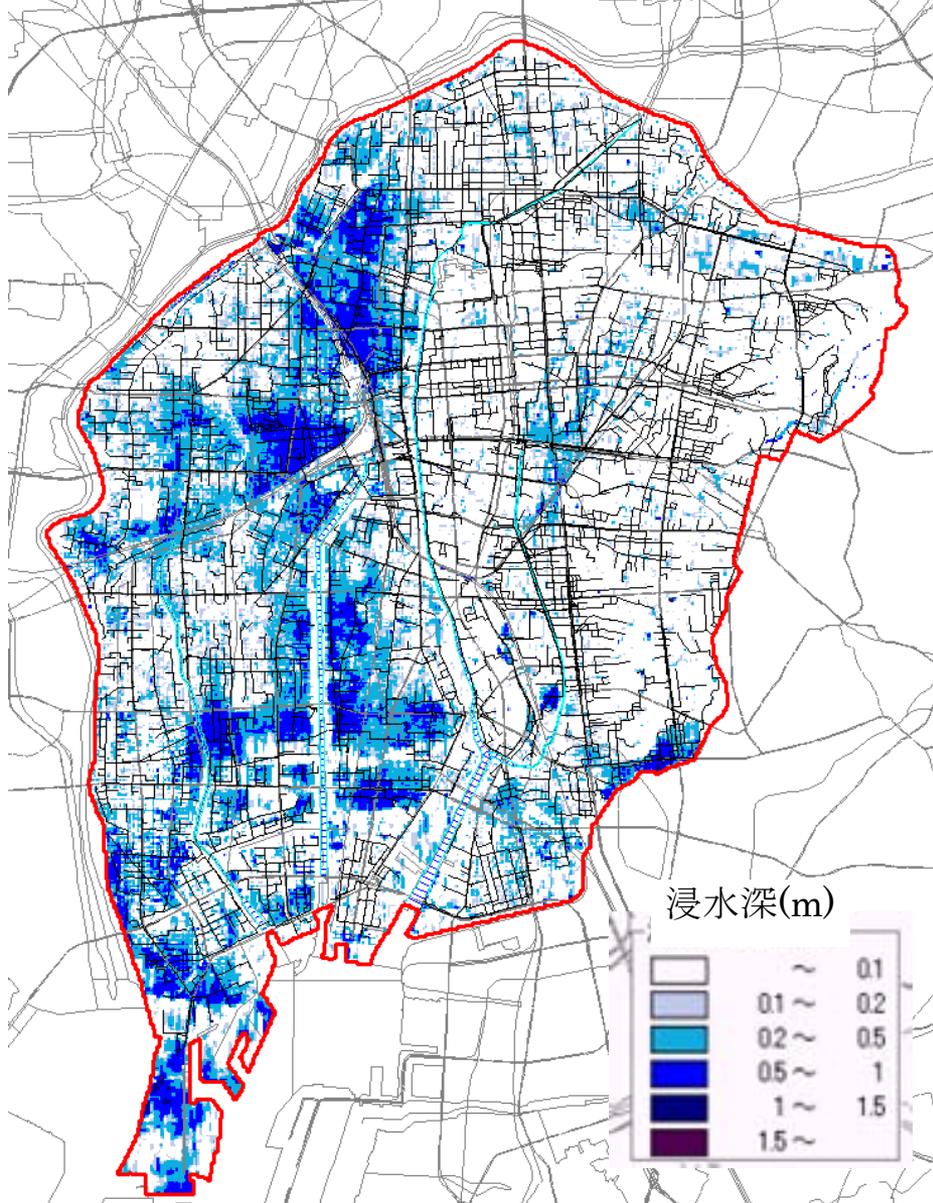
マンホールにおける下水管からの流出流量(この場合, $Q_2 - Q_1$)が, 落ち込み流量 Q_{in} よりも大きい場合, 1ステップ前の水深を“地盤高からマンホール底面までの水深”に置き換え, 計算を行った.

AJII 10.1km

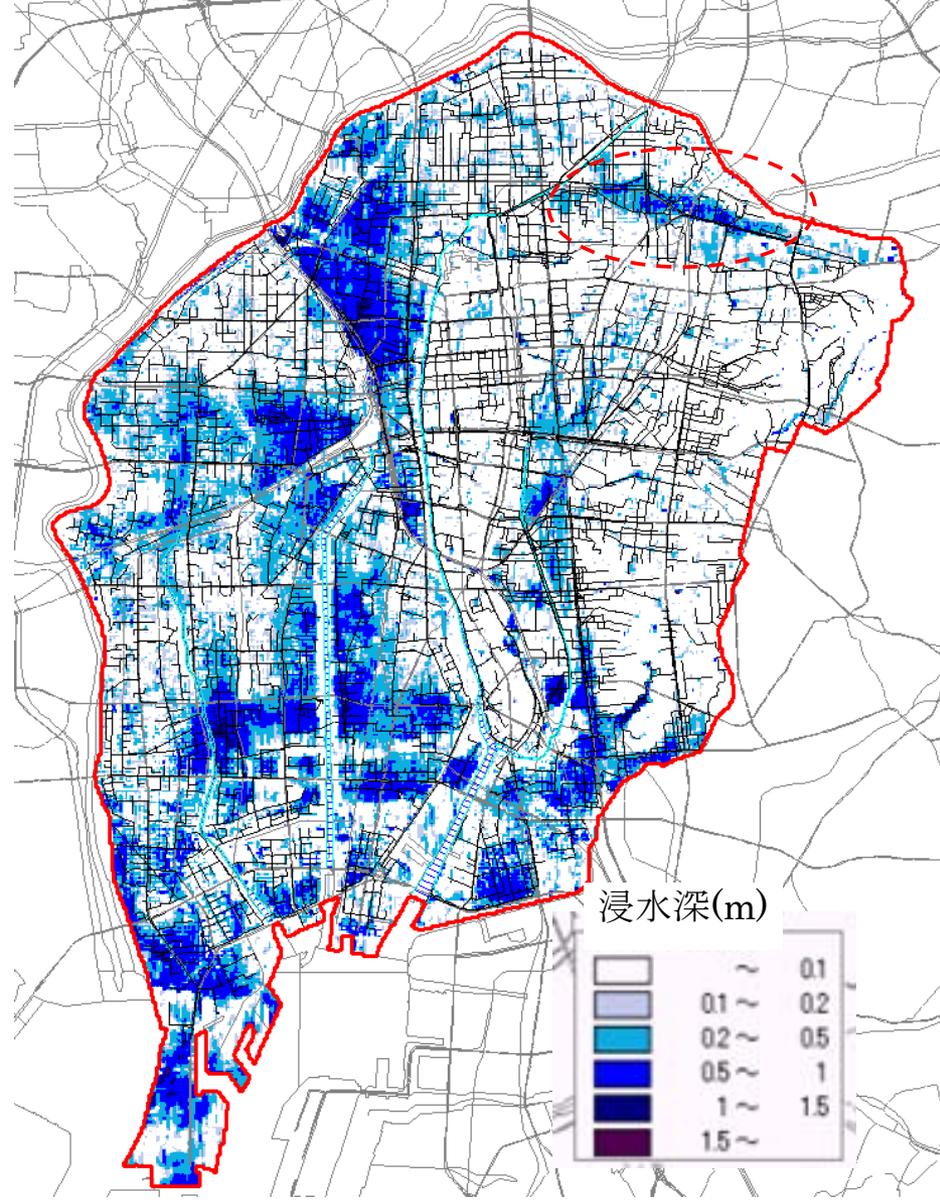
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33



河川水位



下水道流入モデル修正前



下水道流入モデル修正後

浸水深の空間分布(2000.9.11 24:00)

堀川流域における浸水の特徴

✓ 計算を実施したなかで、堀川から水が溢れることが無かった。
堀川から溢れる前に、どこかで内水氾濫が生じている。

また、数値解析で表現する場合、下水道への落ち込み流量の評価が非常に重要である。

計算領域内の堀川流域のみを対象とし、実際に合うように地盤高の修正、カルバートの考慮、下水道データの修正を行った後で、以下の課題が生じた。

課題1

すべての下水道ネットワークを取り扱うことは計算機の能力上または計算時間の観点から実用的ではない。ここで取り扱った解析事例でも、幹線および管径600mm以上のものを対象としており、それ以外の下水道システムは省略されている。⇒**落ち込み流量の評価**に関係

計算上排水施設が存在せず、実際には下水道システムが存在する箇所では、水が留まりやすくなっている。

課題2

マンホールの中には、堰が設けられているものもあり、水道が設定されている。浸水の初期には通常の下水道処理施設へ流れるが、浸水が激しくなれば、水位が上がり、別の管へ水が流れることがある。このような**複雑な水路を表現できていない。**

落ち込み流量の表現



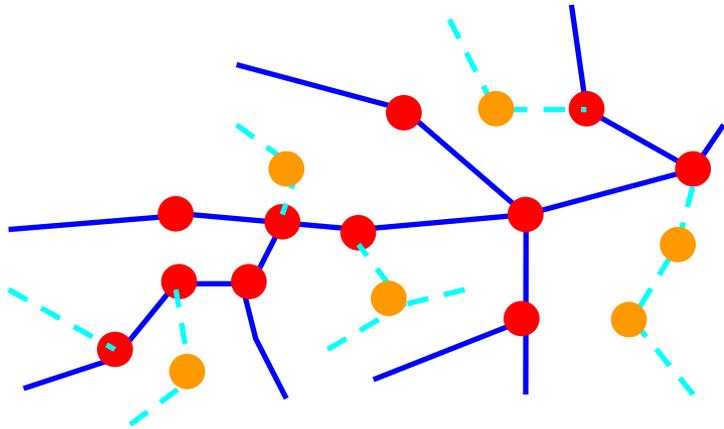
道路上のマンホール



道路上の側溝



課題1への対処



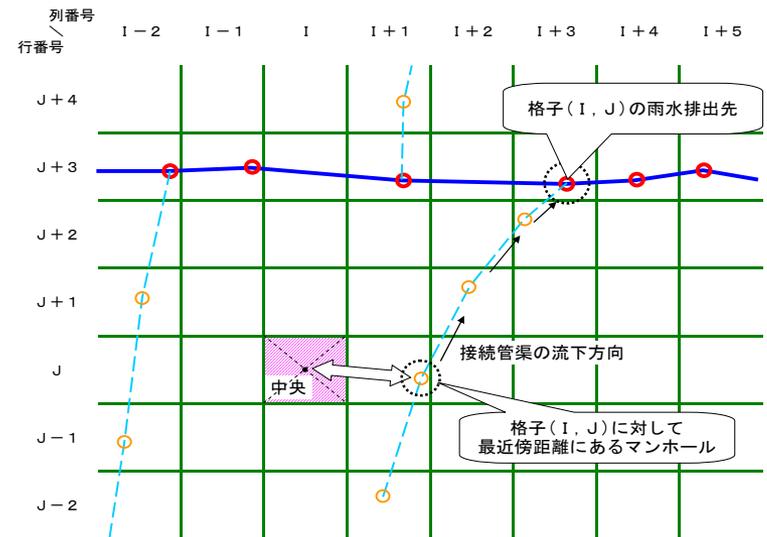
- 解析で表現されている下水道管
- 解析で表現されているマンホール
- - - 解析で表現されていない下水道管
- 解析で表現されていないマンホール

下水道管ネットワークのイメージ

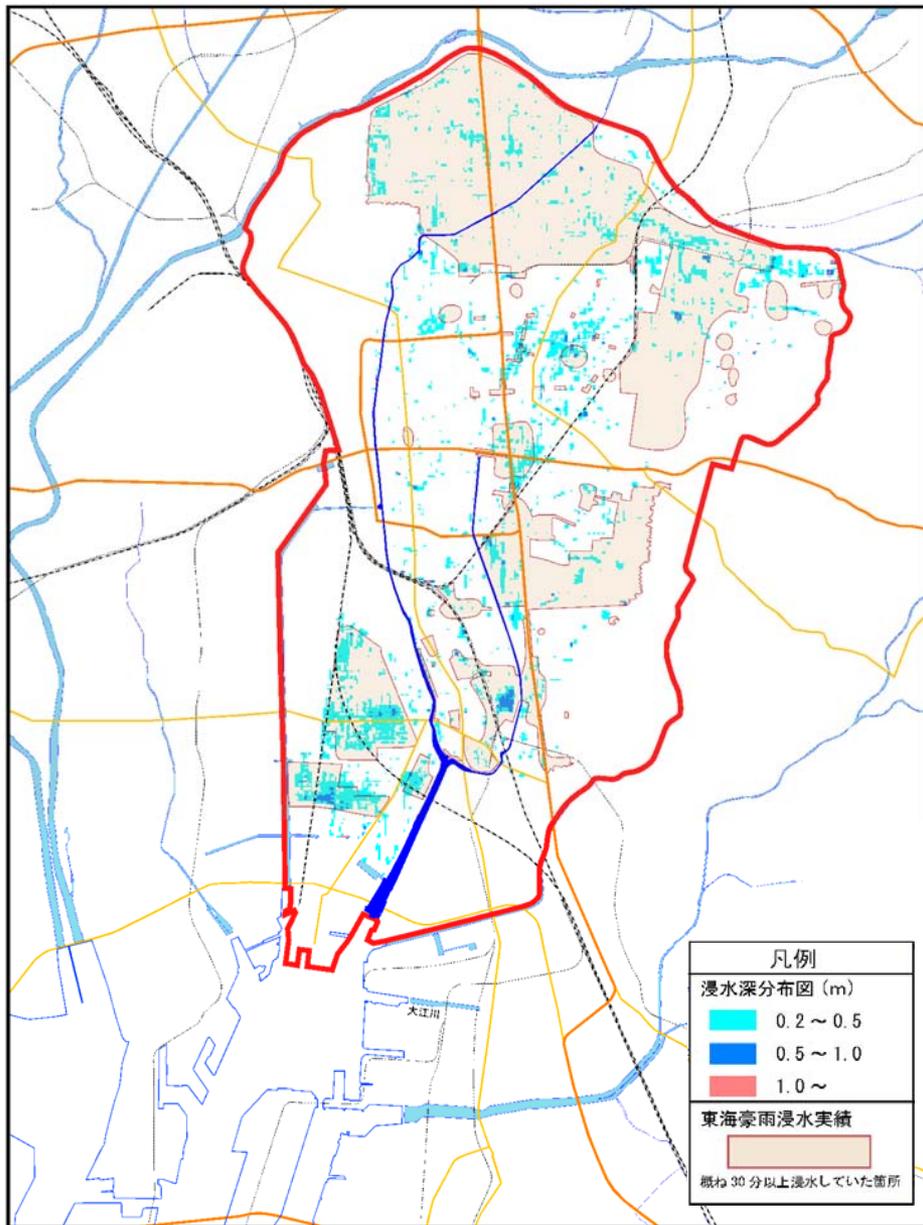
側溝などを考えると、解析で表現されていない下水道ネットワークは無数に存在する。

モデル化

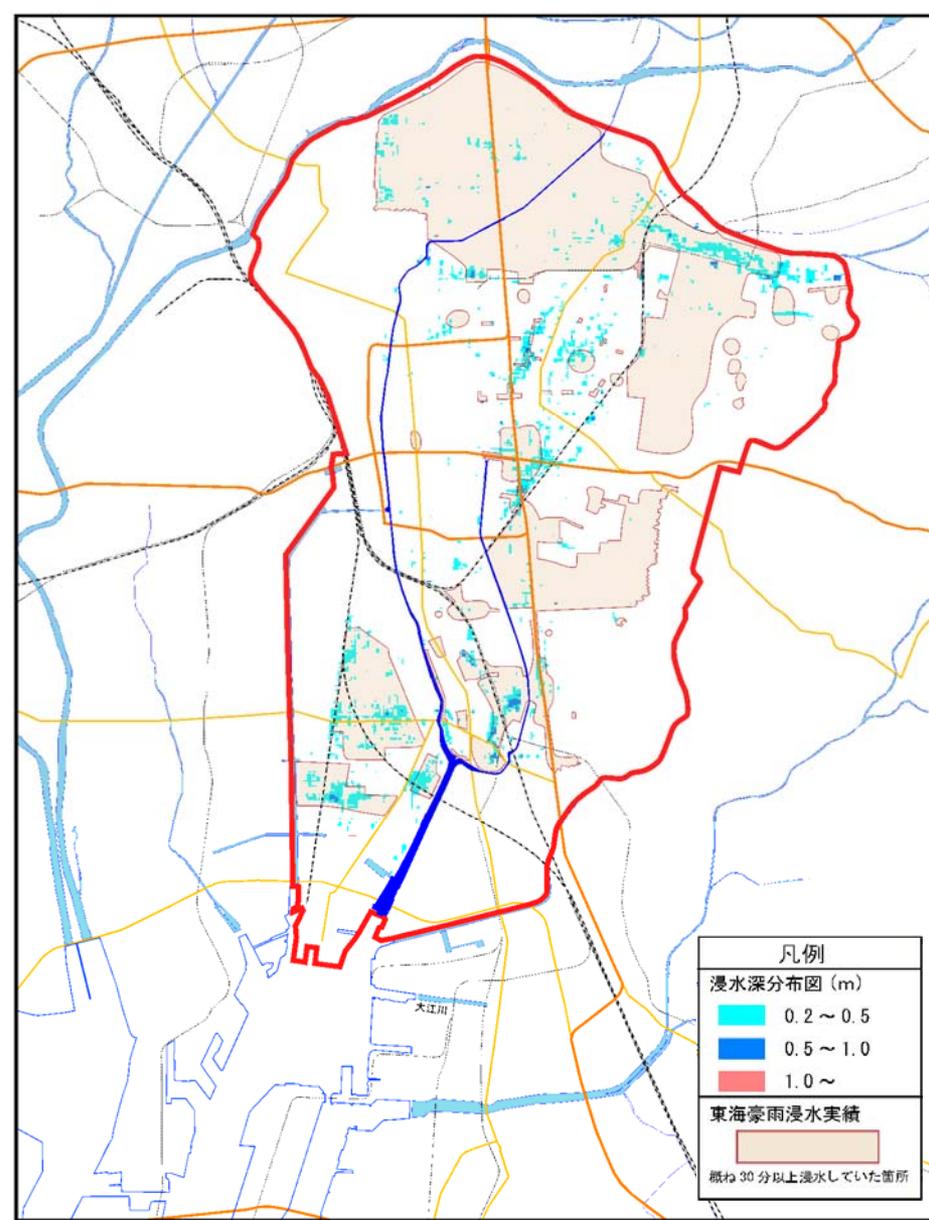
- マンホール部で段落ちの式から得られる落ち込み流量の算出を行わない。
- すべての下水道ネットワークを用い、解析で取り扱っているマンホールに流入する範囲(格子, 範囲Aとする)を決定する。
- 範囲Aに存在する水量を計算時間間隔で割ることにより、落ち込み流量を決定する。ただし、値の最大値は想定した。



マンホールに対応する氾濫格子の設定

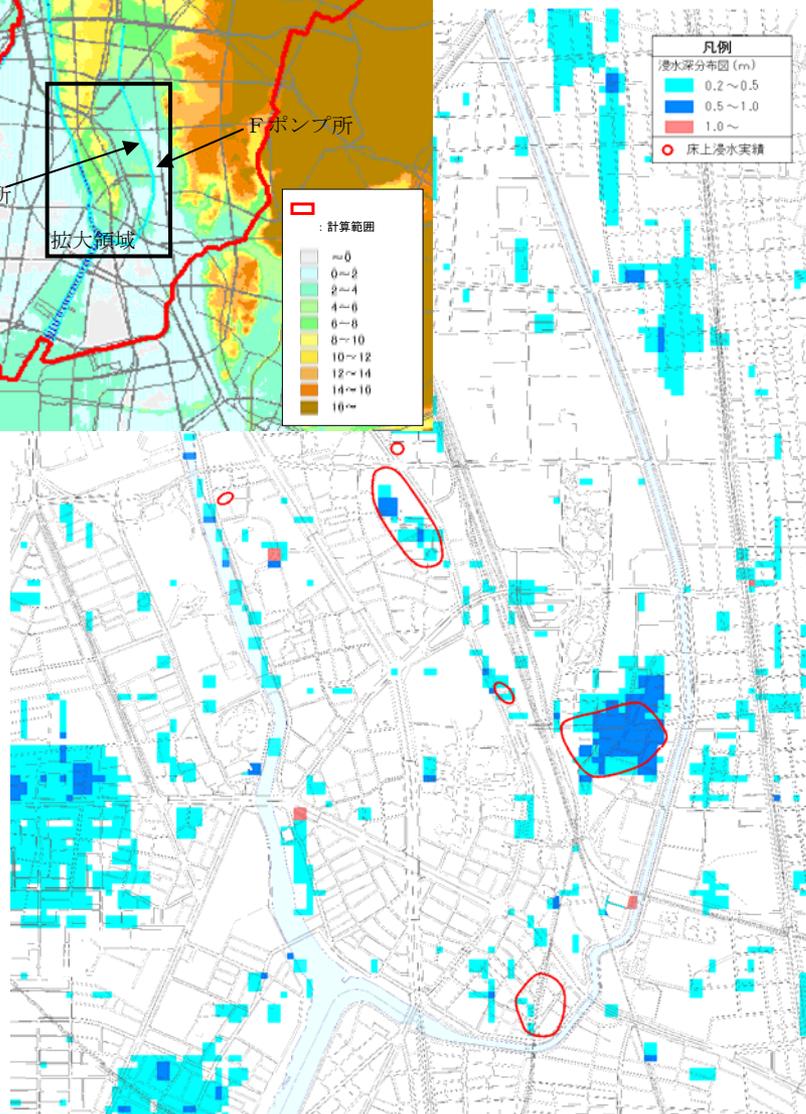
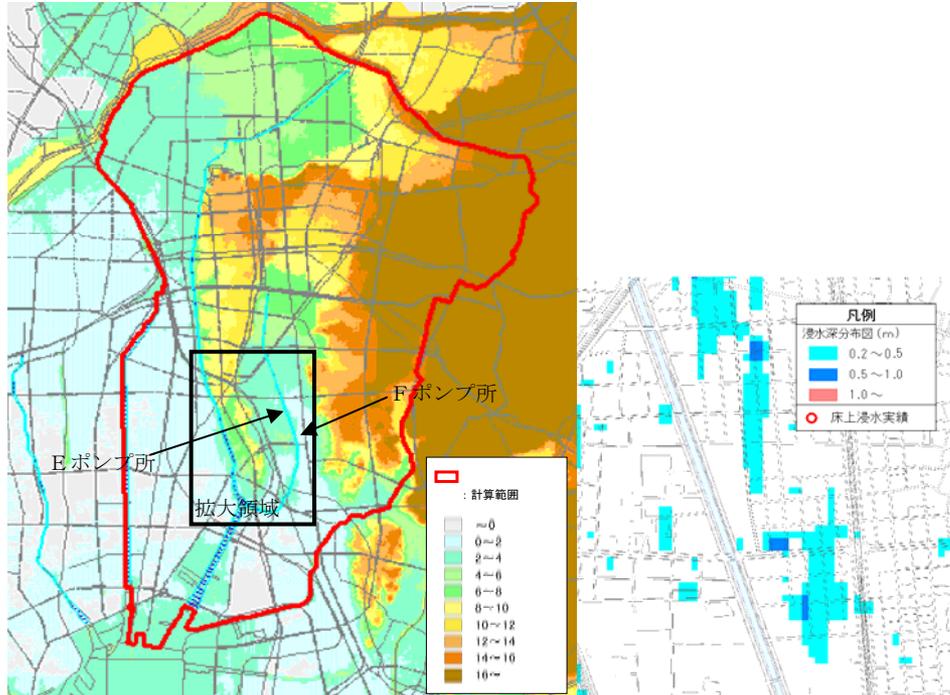


(a) 旧モデル

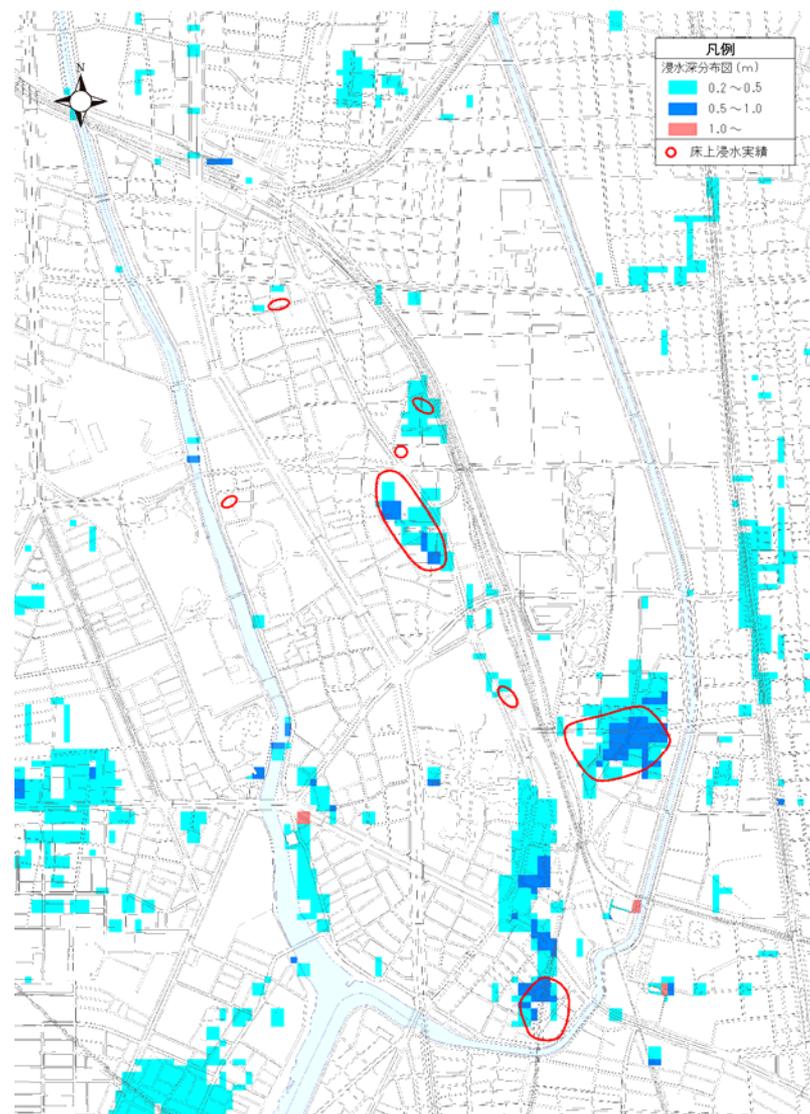


(b) 改良モデル

最大浸水深の分布

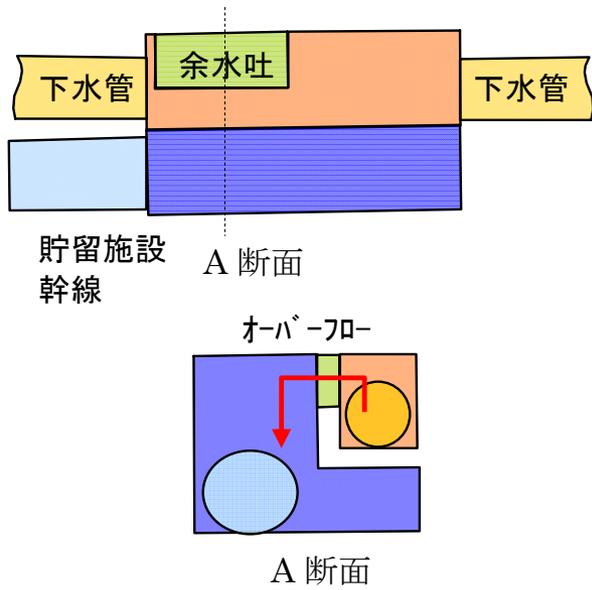


(a)旧モデル

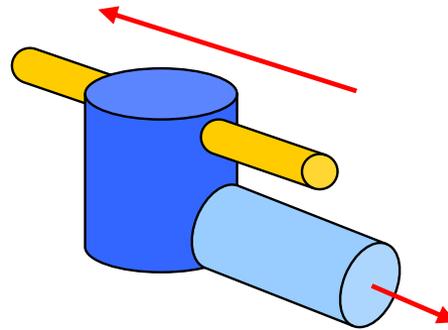


(b)改良モデル

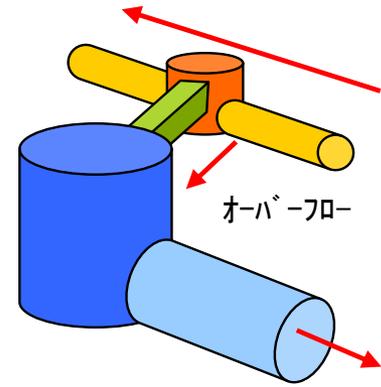
課題2への対処



雨水吐室のあるマンホール

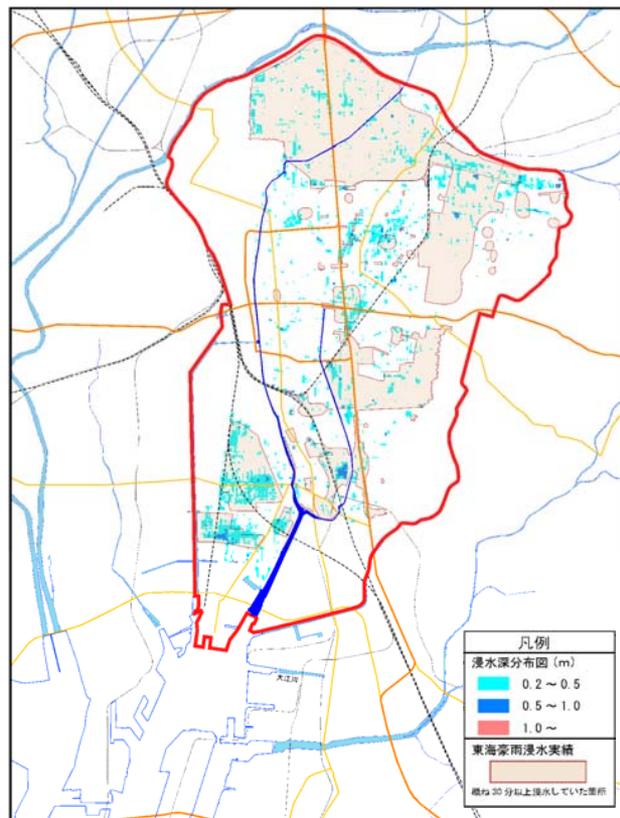


考慮しない場合

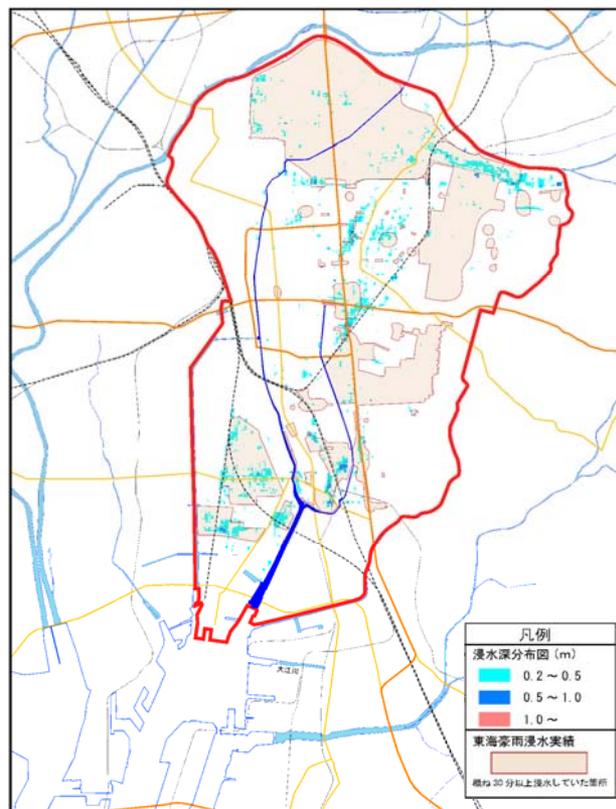


考慮した場合

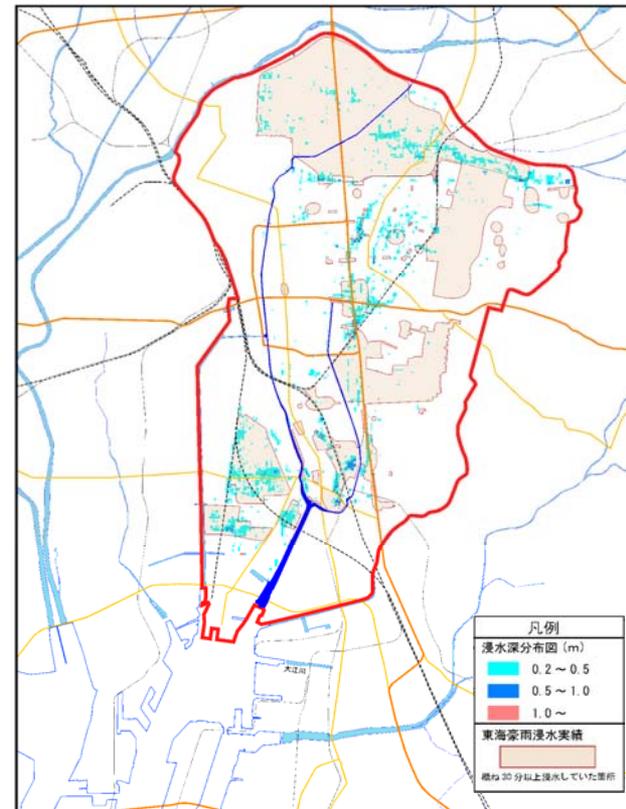
マンホール内の水輸送モデルの高度化



(a) 旧モデル

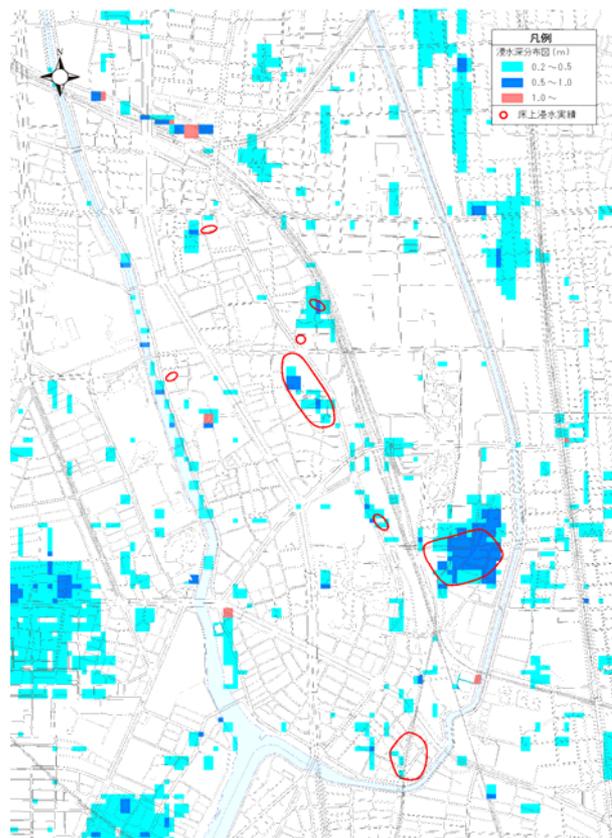


(b) 改良モデル

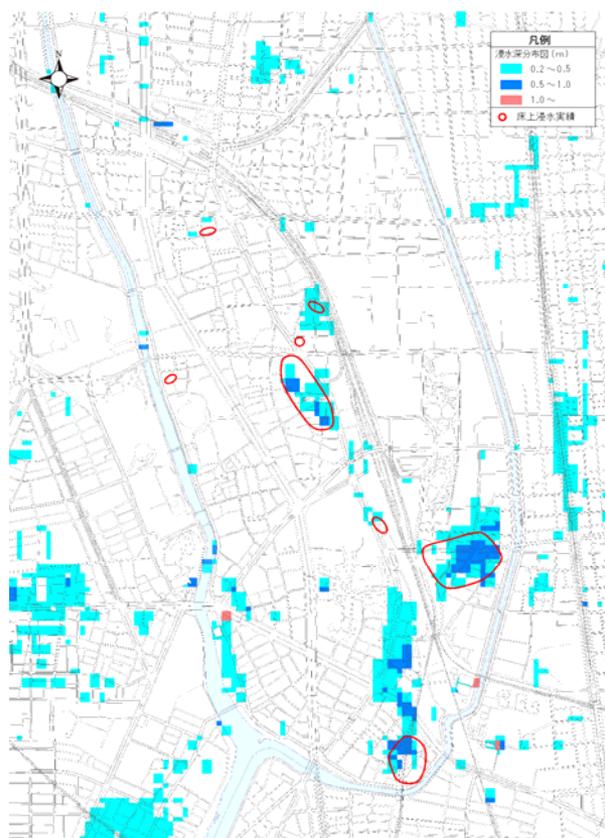


(c) マンホールモデルの高度化

最大浸水深の分布



(a)旧モデル

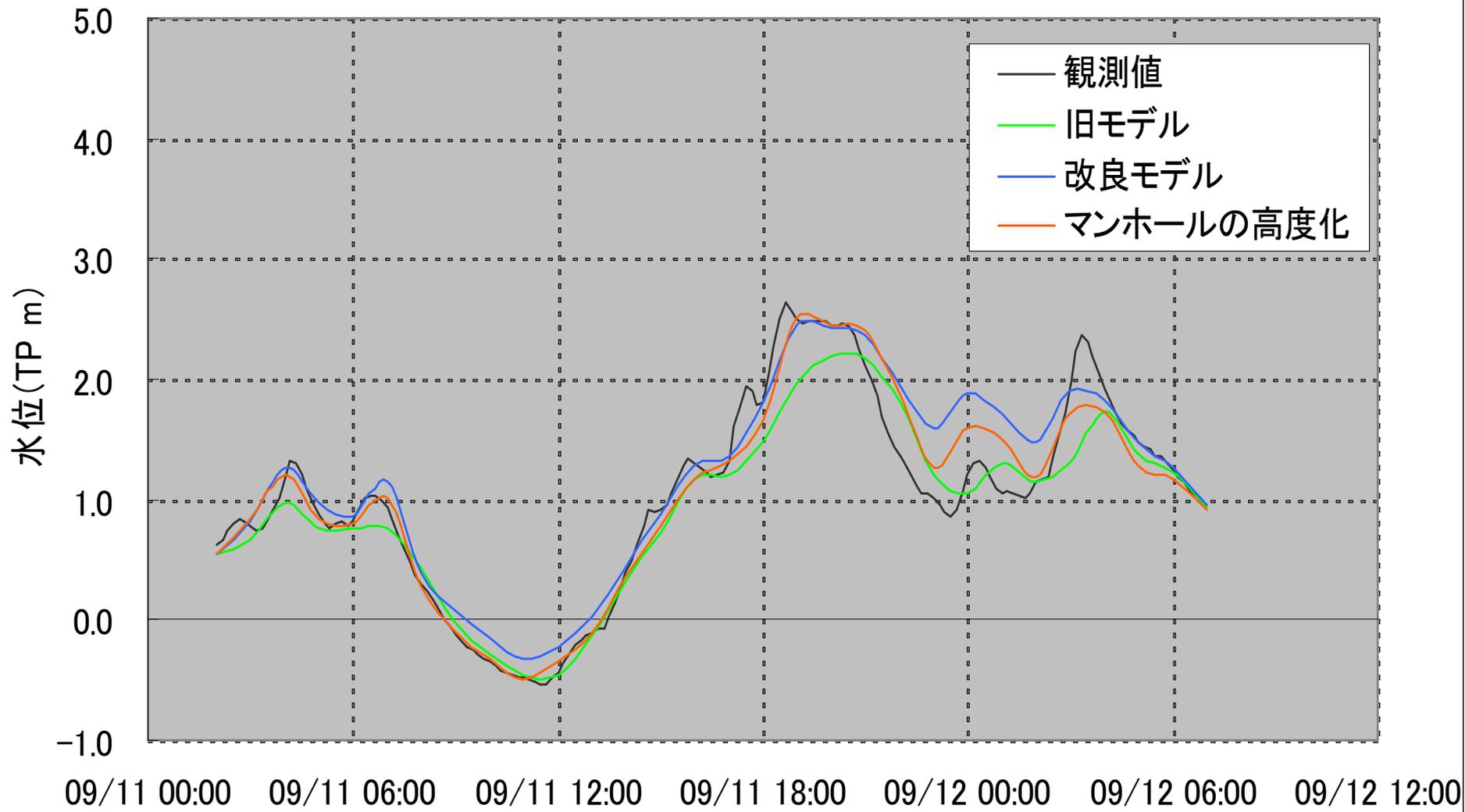


(b)改良モデル

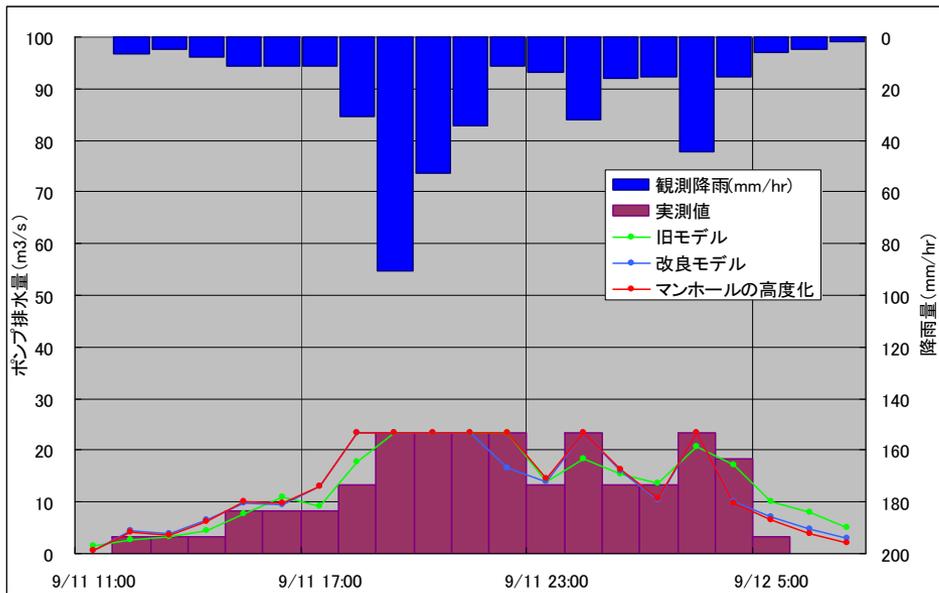


(c)マンホールモデルの高度化

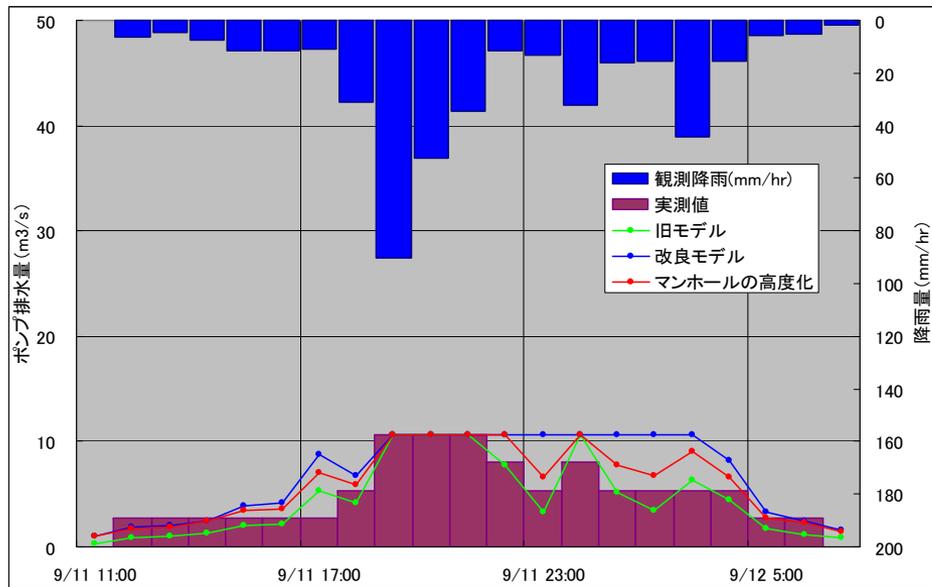
最大浸水深の分布 (拡大領域)



堀川の河川水位

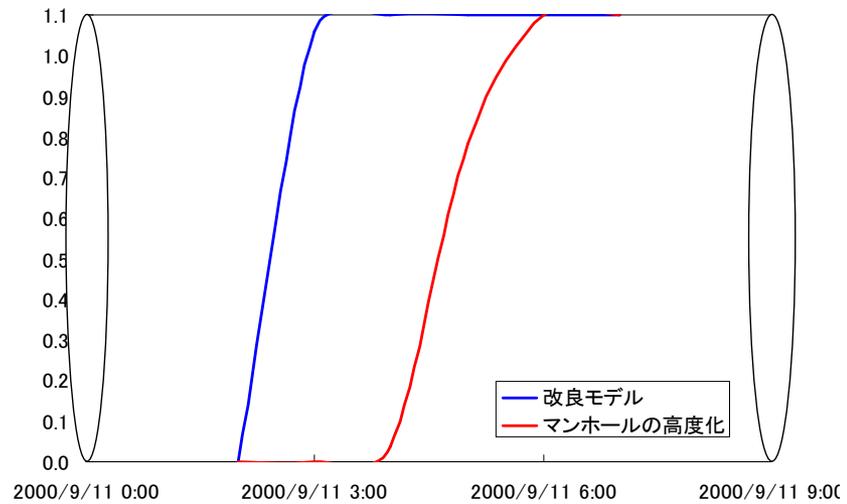


Eポンプ場



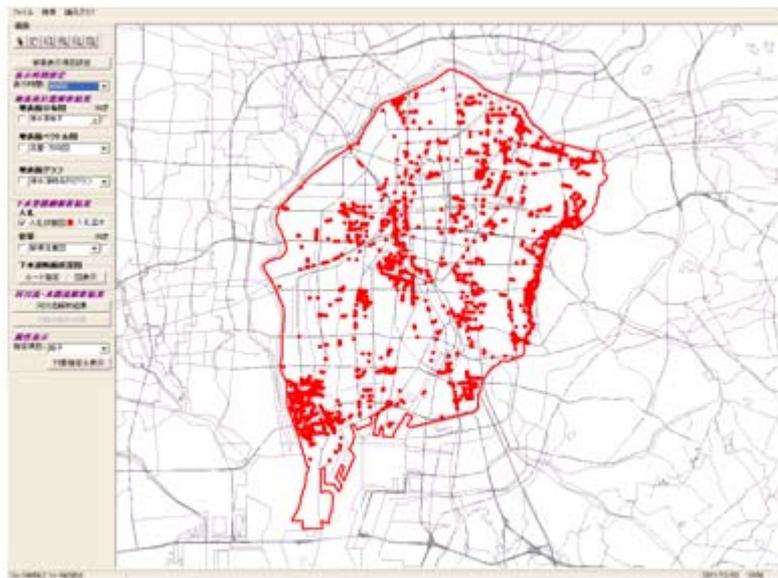
Fポンプ場

ポンプの排出流量



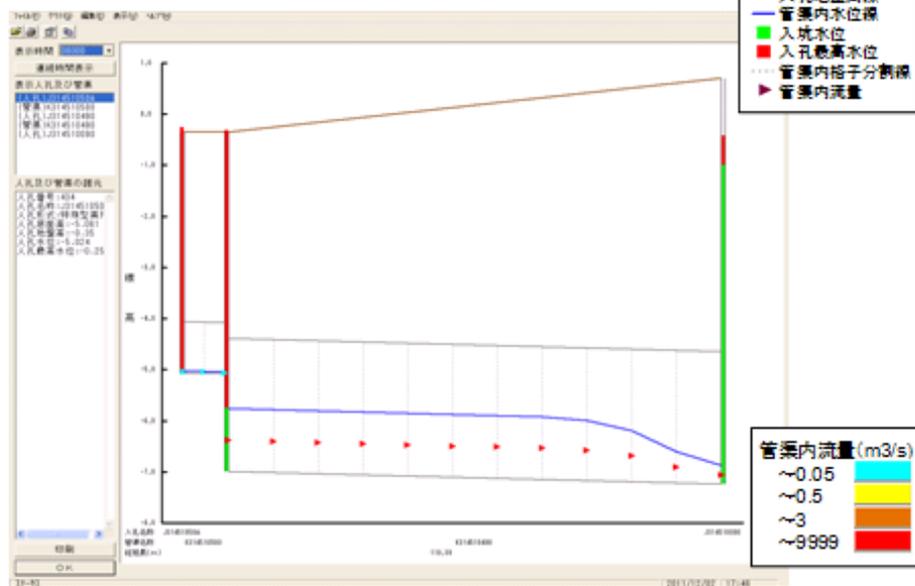
貯留施設の水位

マンホールの吹き出し箇所(降雨ピーク時)

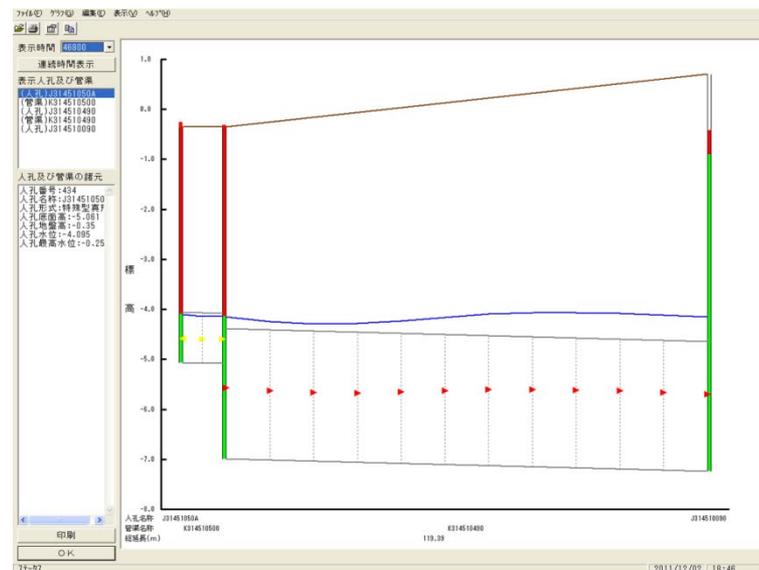


対象管渠

下水道管内の水位



降雨ピーク時



モデルの妥当性

落ち込み流量の計算方法を改良することで、床上浸水の地域が再現でき、広域の浸水域も精度の向上が見られた。さらに、河川水位も良好な結果が得られた。

⇒ このことから、本モデルのような粗い手法を用いても、細かな下水道ネットワークを考慮することによって、解析結果が向上することが示された。

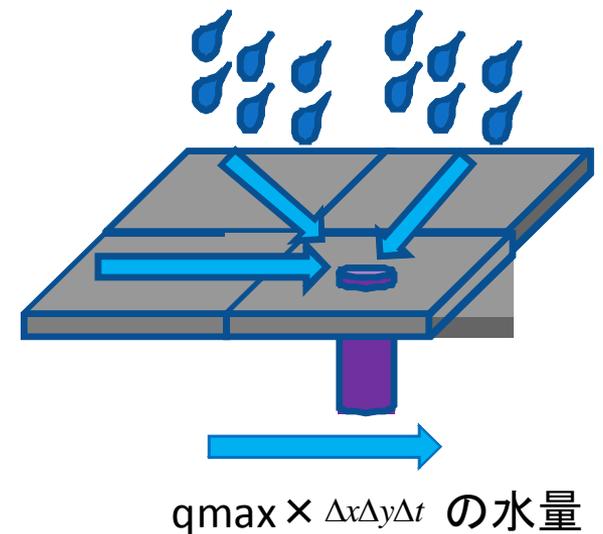
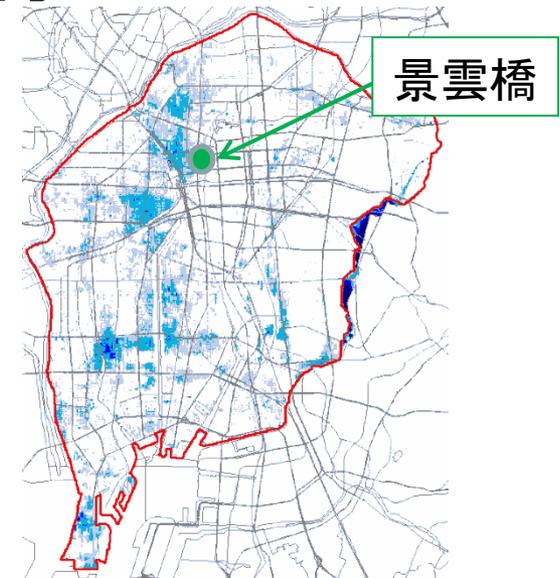
マンホール内の堰室を考慮することで、最大浸水深の分布に大きな変化が現れなかったが、河川水位が実際に近い値となり、実際にも想定される貯留施設の水位変化の時間遅れも現れている。

⇒ モデル化が妥当であったと考えられ、貯留施設などの効果を検討する場合には、堰室の効果を取り入れる必要がある。

氾濫域から下水道システムへの落ち込み流量の検討

- 氾濫域から下水道システムへの落ち込み流量を検討する。
- 落ち込み流量の最大値を
50,60,120,250,500,750,1000
(単位:mm/h)
と変化させて解析を実行する。

[マンホールが受け持つエリアにおける $q_{max} \times \Delta x \Delta y \Delta t$ の水量の総和がマンホールに流れ込むものとしている]



- ✓ 本研究から名古屋市の落ち込み流量の最大値は500mm/hが適切であるといえる。
 - ✓ 都市域の下水道能力は氾濫域から下水道システムへの落ち込み能力よりも下水道の流下能力に強く支配されていると推察される。
- ・また、MOUSEやXP-SWMMなどの下水道解析から波及した氾濫解析は、降った雨を下水道へ入れ、はけないものを表面流として扱っている。500mm/hが相当大きな値であることから、本研究によってこれらの取扱いの妥当性も示されたと考えられる。

浸水実績・降雨記録を用いた 機械学習に基づく 簡易浸水予測システム

高橋俊彦(鹿島 技術研究所)

平山康典(鹿島 ITソリューション部)

天野玲子(鹿島 土木管理本部)

武田 誠(中部大学工学部都市建設工学科)

松尾直規(中部大学工学部都市建設工学科)

発表内容

1. 機械学習(線形SVM)による浸水予測
 - ★基本的なアイデア
2. 東京23区版簡易浸水予測システム
3. 適用例
 - ★中野区洪水ハザードマップとの比較
 - ★北区堀船周辺浸水実績(2010/7/5)への適用
4. 結論 & 今後の課題

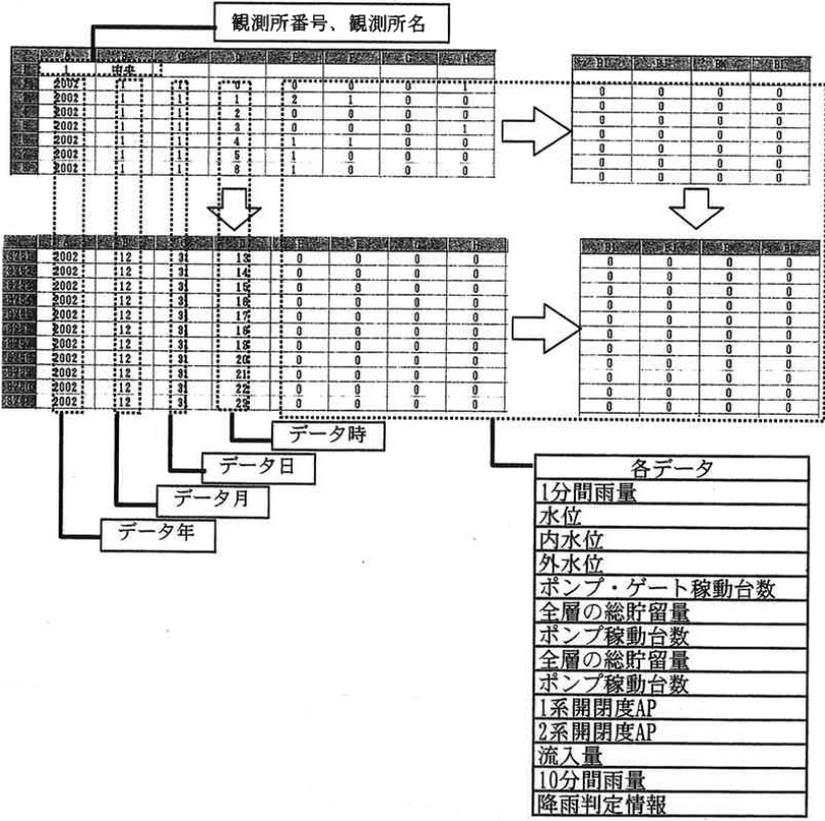
機械学習による浸水予測のアイデア (I)

入力: 降雨量

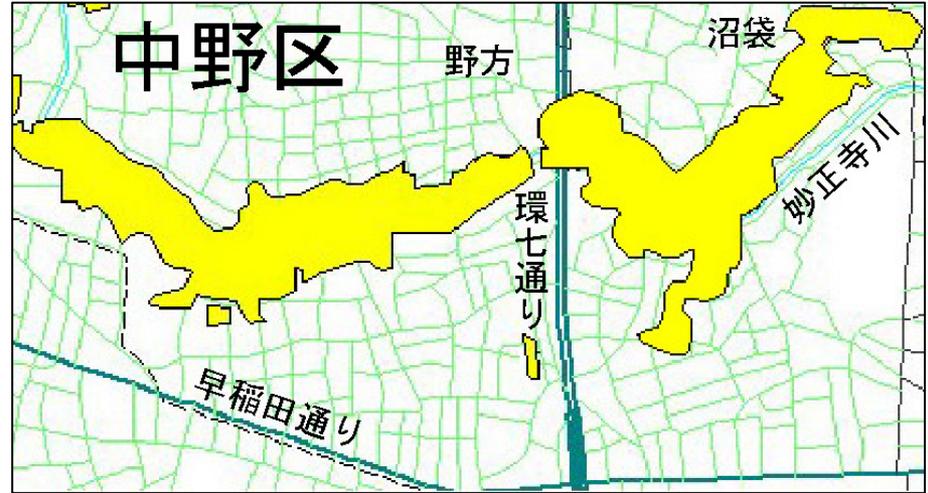


出力: 浸水範囲

各観測所における降雨観測記録



各豪雨時における浸水実績図



浸水実績図 (2005/9/4杉並豪雨) の例

機械学習による浸水予測のアイデア(Ⅱ)

入力: 降雨量



出力: 浸水範囲

【代表値】

各観測所における時間最大雨量

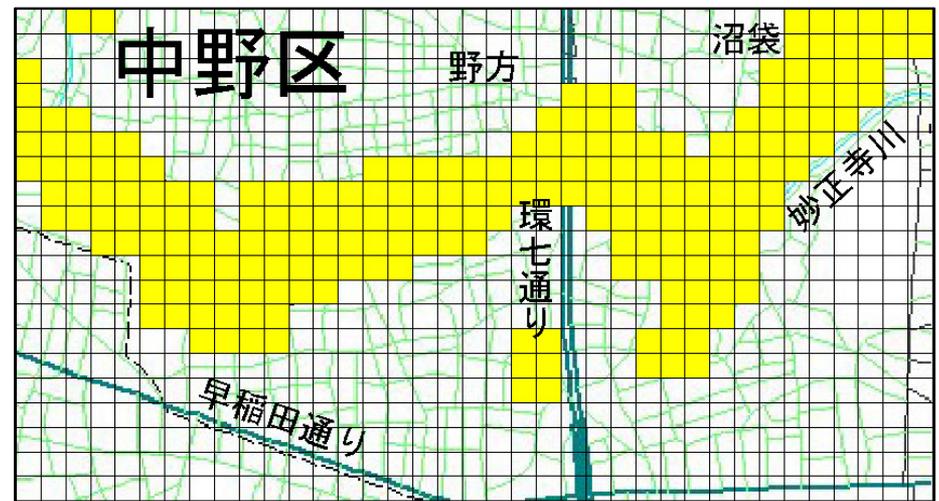
(例)

58
105
・
・
・
・
36

【代表値】

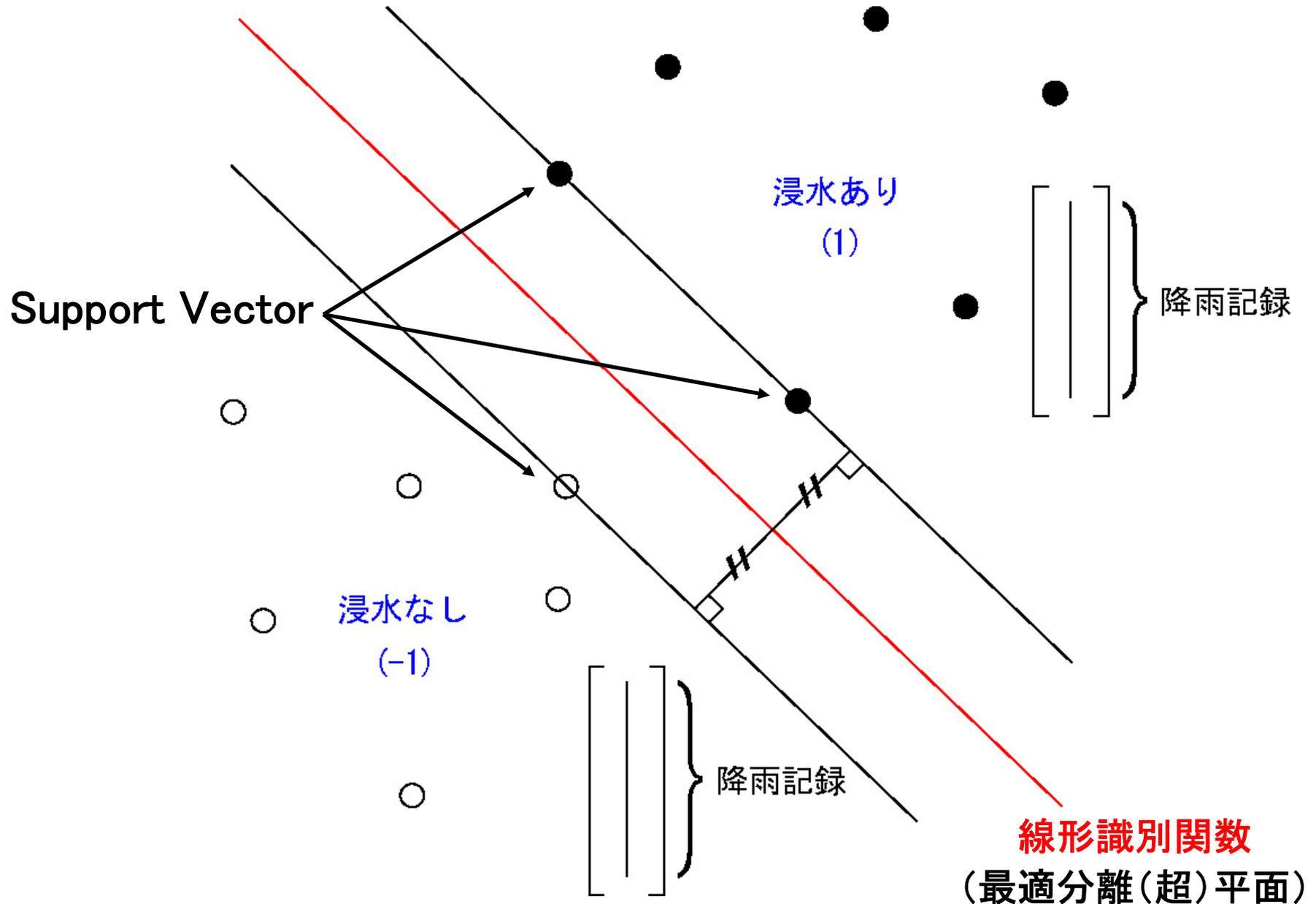
各格子における浸水の有無

(例)

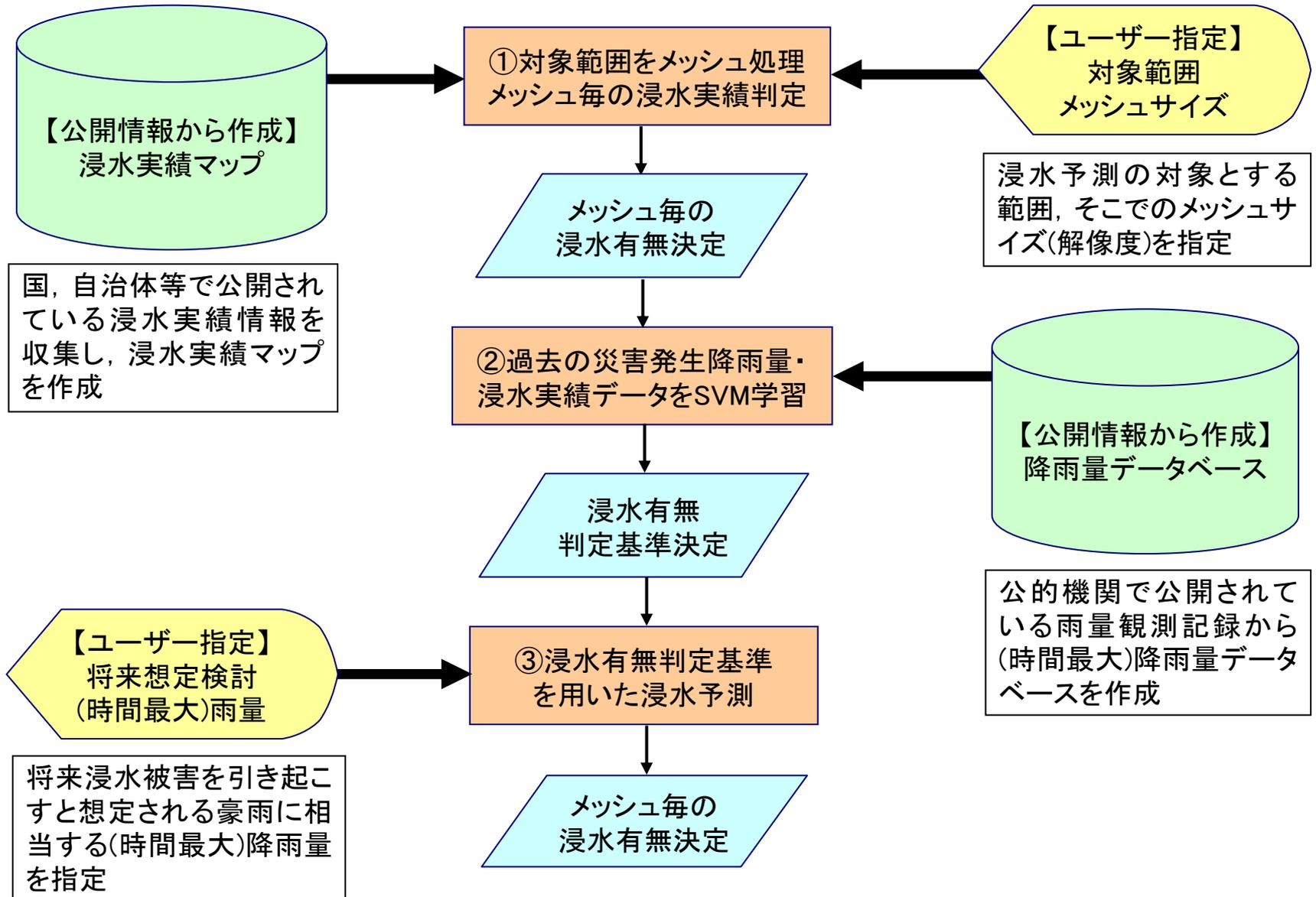


浸水実績図(2005/9/4杉並豪雨)
のメッシュ処理例

SVM (Support Vector Machine) の基本的概念



簡易浸水予測システム



東京23区版簡易浸水予測システム

簡易浸水

画面



表示項目設定

メッシュ化処理

メッシュ設定

X-メッシュ幅 m

Y-メッシュ幅 m

画面指示

X-左上座標

Y-左上座標

X-メッシュ数

Y-メッシュ数

入力値設定

諸元読込 諸元保存

浸水ON-OFF基準面積率

%

メッシュ計算

SVM学習

予測計算

被害額計算

終了

降雨量(mm/h)

● n > 80

● n ≦ 80

● n ≦ 50

● n ≦ 30

● n ≦ 20

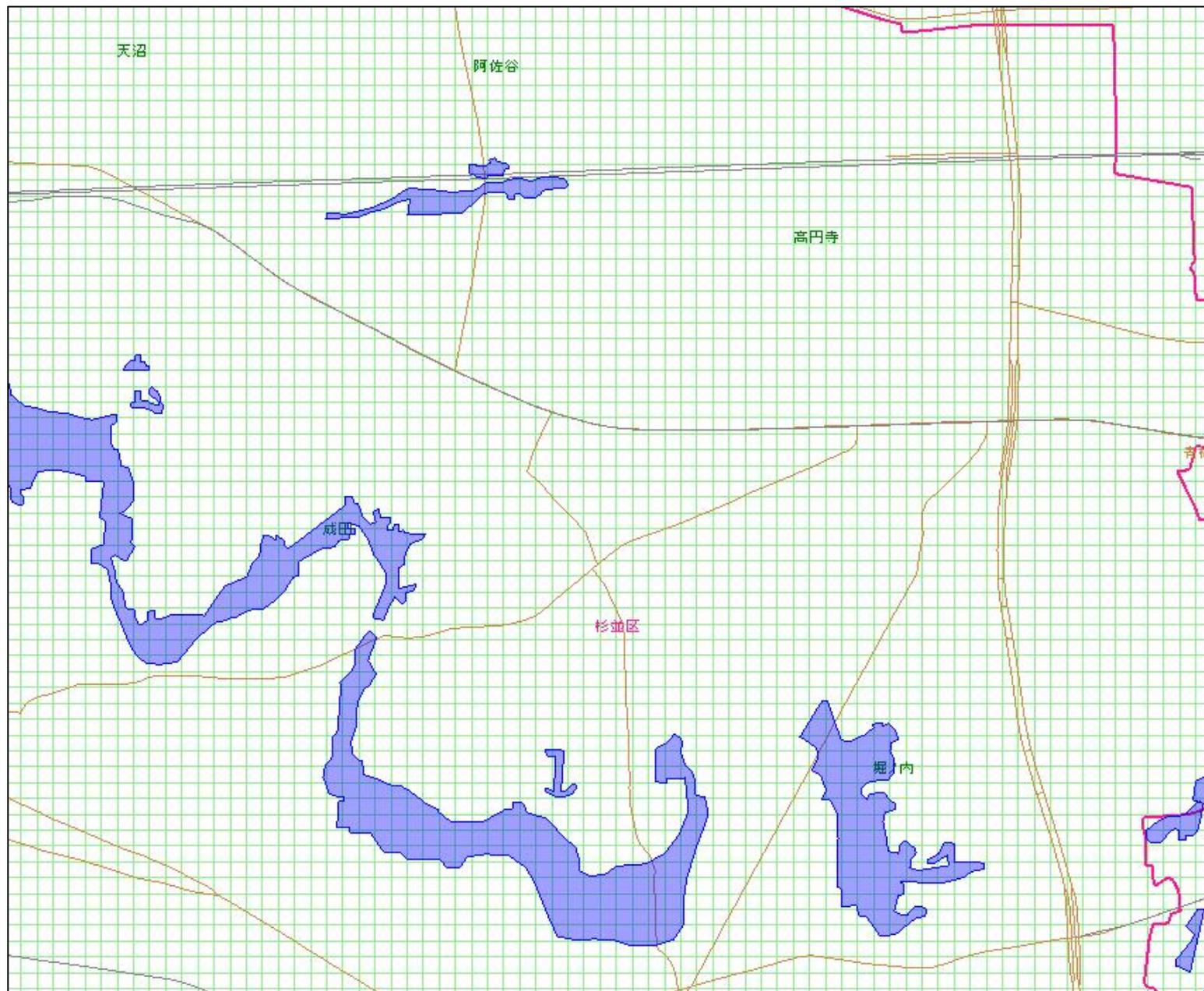
● n ≦ 10

● n ≦ 5

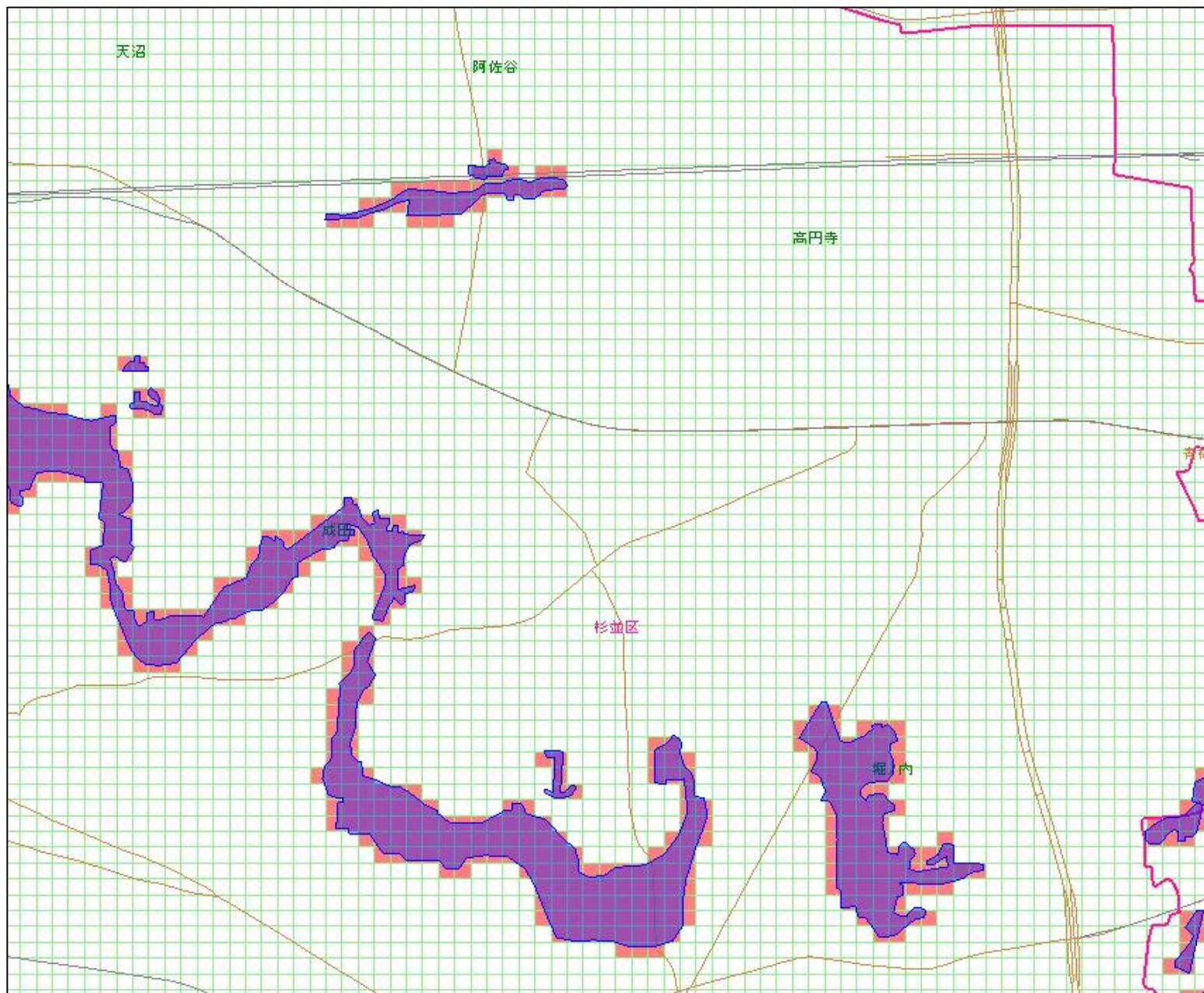
○ n ≦ 1

2005/9/4
杉並豪雨

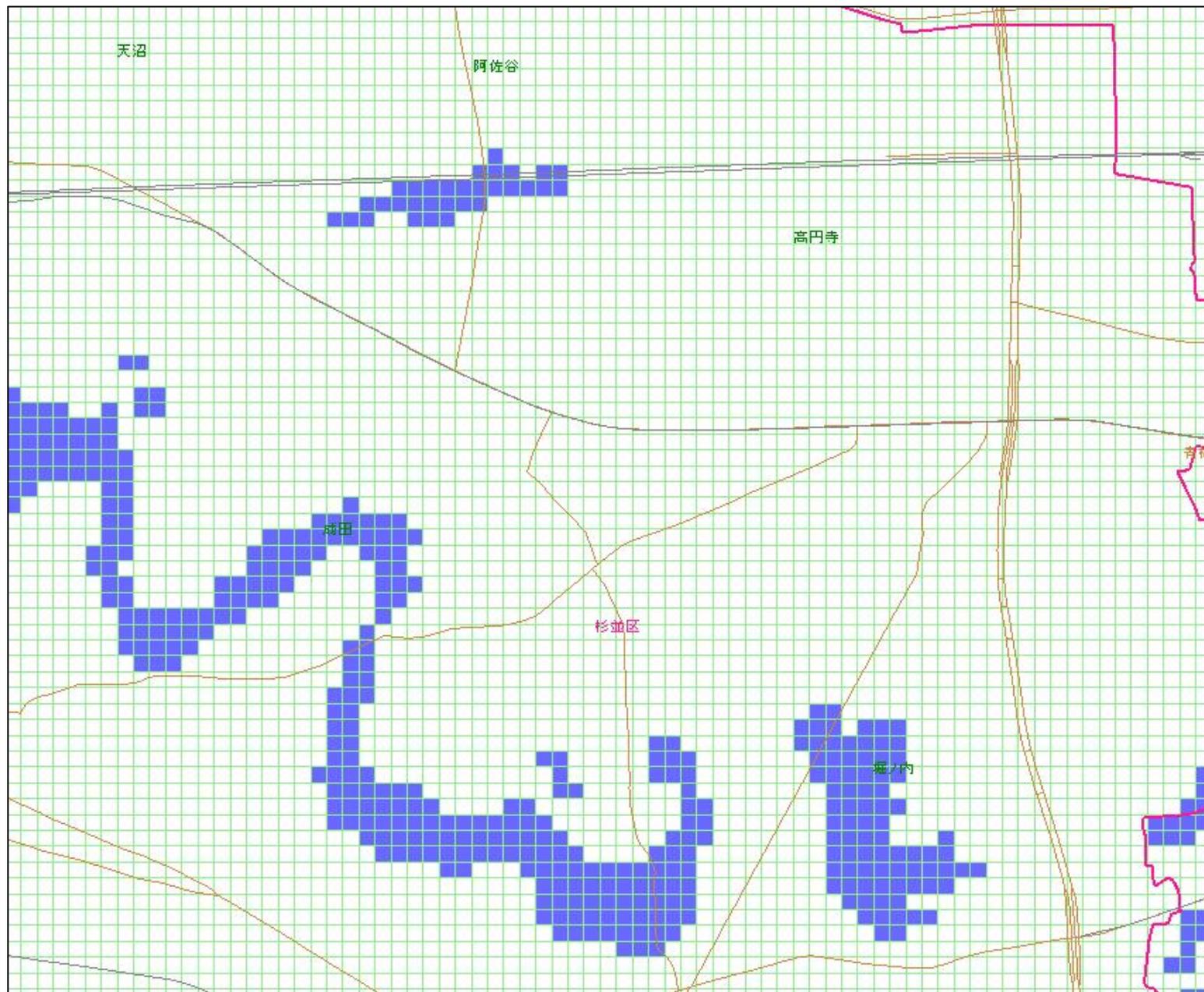
雨量観測所:
31地点



浸水実績図(2005/9/4杉並豪雨)

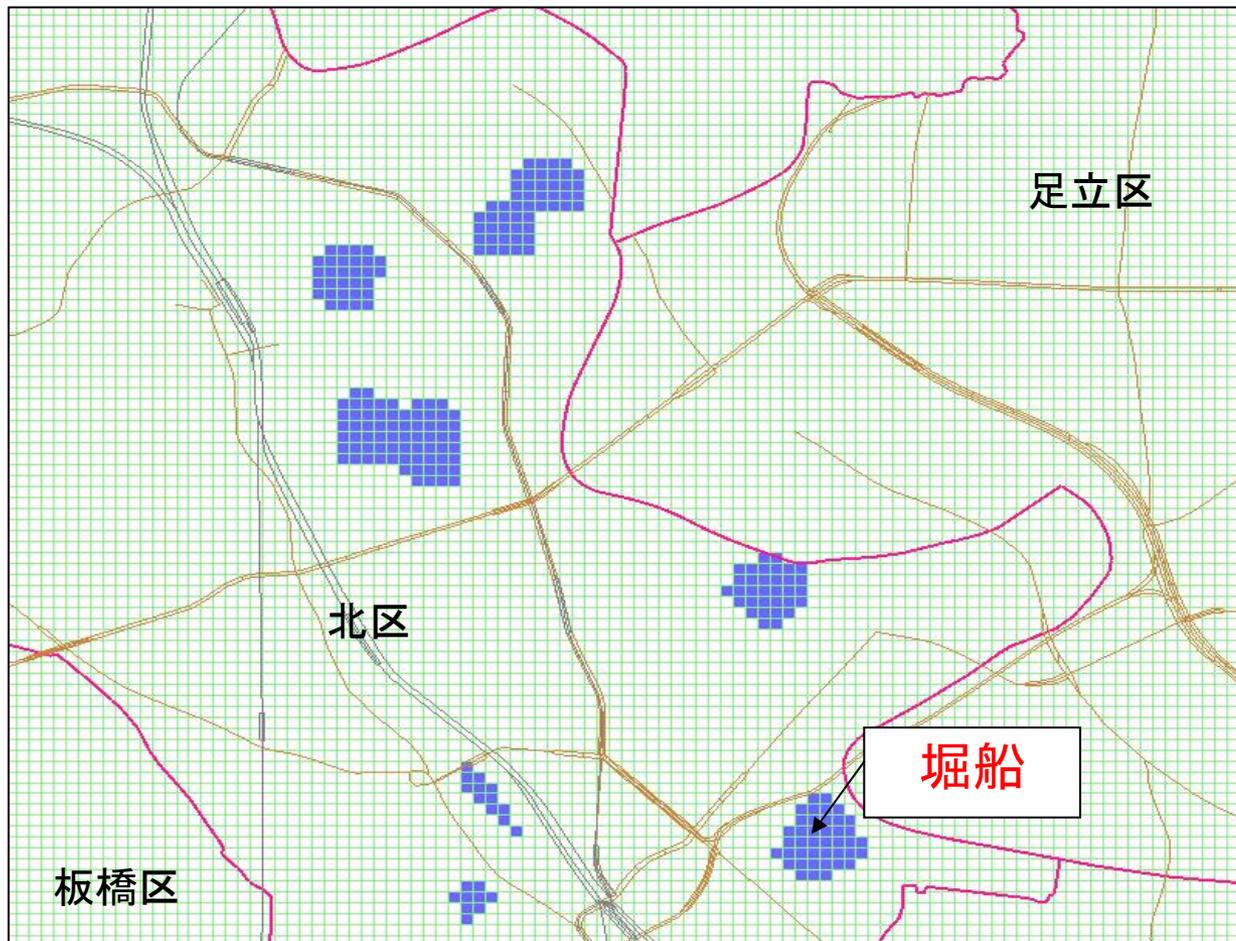


浸水実績図(2005/9/4杉並豪雨)→メッシュ処理(10%)



線形SVMによる再現(2005/9/4杉並豪雨)

適用例(Ⅱ): 北区堀船周辺浸水実績(2010/7/5)



【北区防災課記録】

床下・床上浸水:
全567世帯中,
堀船周辺が461世帯,
それ以外はごく少数で
広く分布

想定降雨: 2010/7/5豪雨

(志茂橋, 西新井, 荒川: 100mm/h, それ以外の観測所: 50mm/h)

詳細な物理モデルは、貯留施設などの治水施設における水理現象を適切に再現できるが、多大な時間を要する。

一方で、災害発生時にはリアルタイムに、あるいは予想情報として浸水を表現することも求められる。

①都市型水害予測解析システムの計算結果から、0.2m以上、0.5m以上、1.0m以上の浸水コンター図を作成する。

②解析に用いた10分間雨量から時間雨量を求め、時間最大雨量と格子の0.2m以上、0.5m以上、1.0m以上の浸水の有無との関係をSVM(サポート・ベクター・マシーン)で学習して、簡易浸水予測システムを構築する。

ここで、本検討は、浸水域の情報(浸水の有無)を対象にした高橋らの研究とは異なり、浸水深の情報までも含めて表示していることに特徴がある。

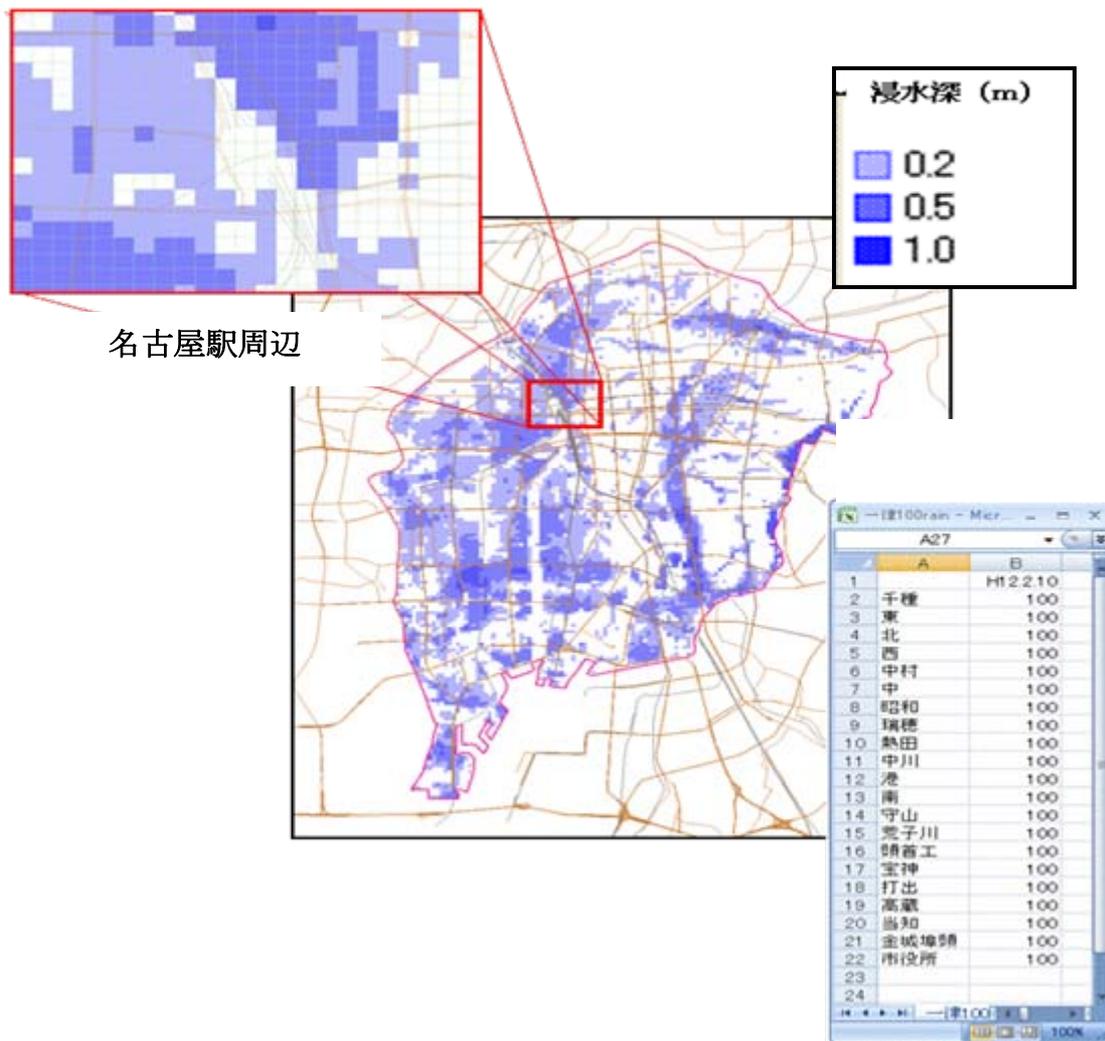
対象とした降雨:

東海豪雨や平成16年度豪雨, 平成20年度8月末豪雨の実測雨量を, それぞれ0.5倍, 1.0倍, 1.5倍, 2.0倍, 2.5倍とした
 $3 \times 5 = 15$ ケースに, 東海豪雨の時間雨量が最も大きかった港区と最も小さかった当知の降雨が全域に降った2ケースの合計17ケースを対象とした.

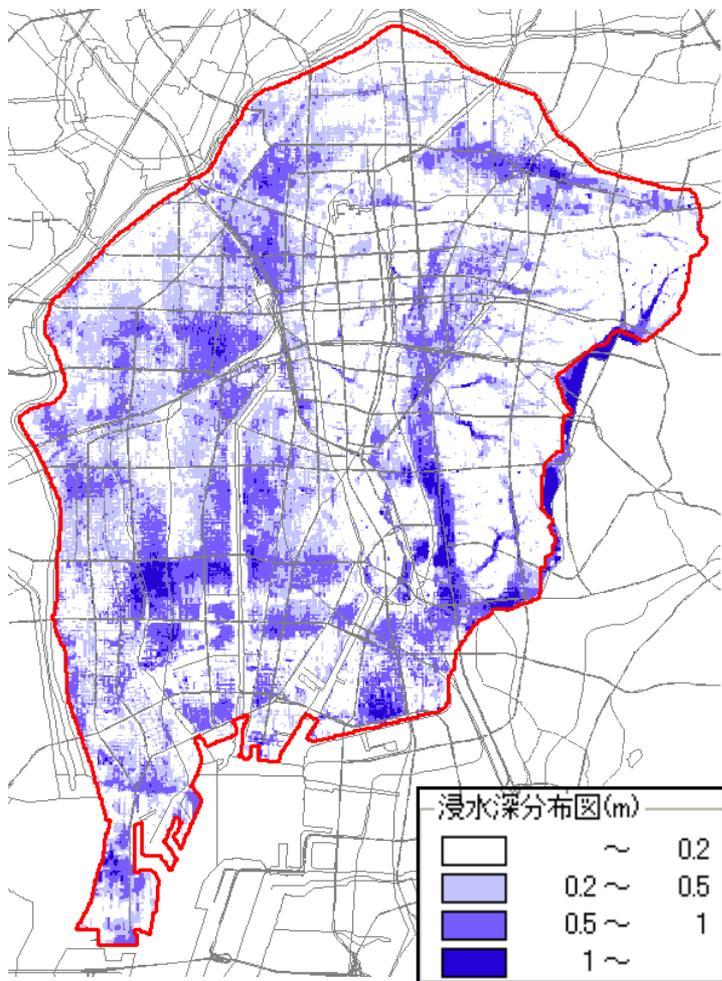
河口水位:

降雨ピークと潮位ピークが重なるように大潮を想定し, 振幅1mの潮位変化を堀川河口に与えた.

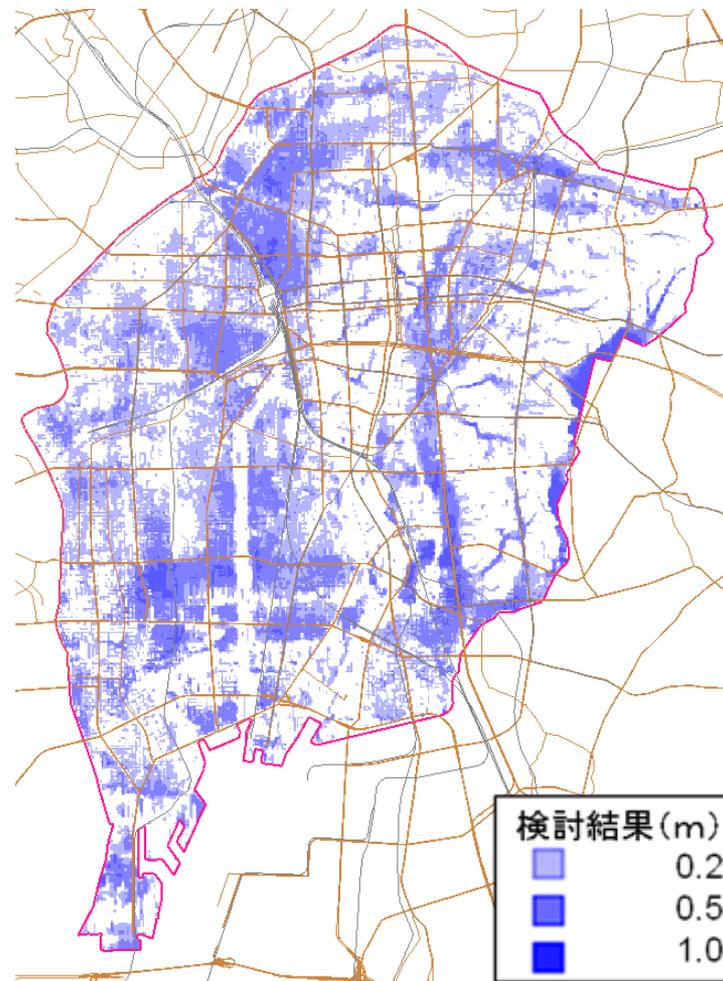
SVMの学習には東海豪雨の1.5倍の条件を除いた16ケースを使用し, 東海豪雨の1.5倍の計算結果は, 簡易モデルの検証に使用した.



予測解析（全域に100mm/hの降雨）

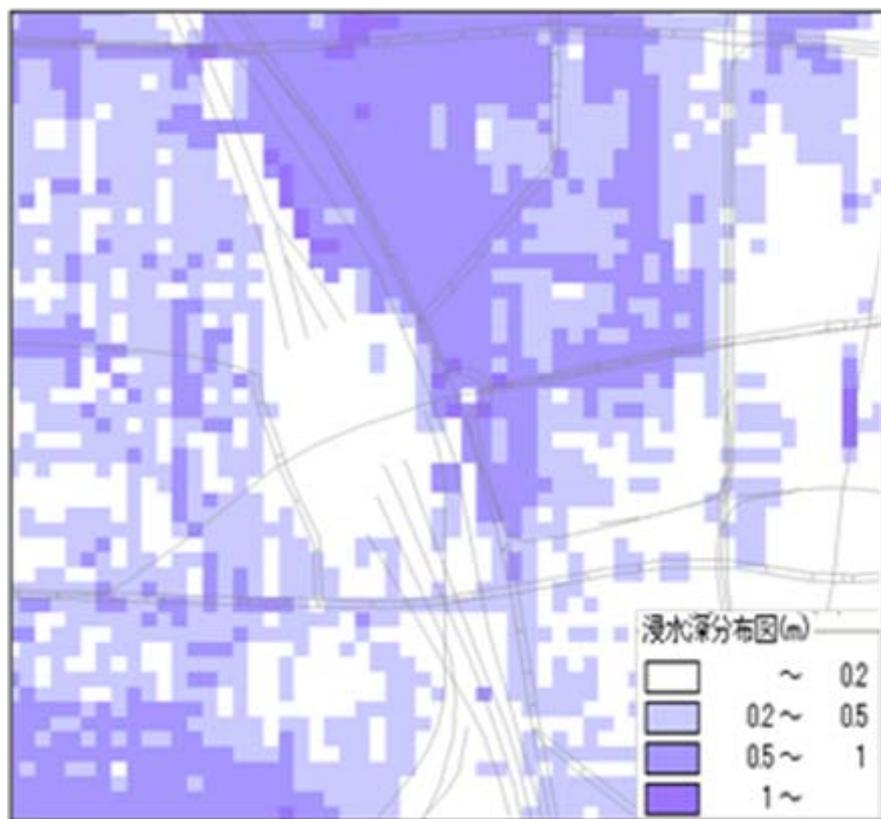


都市型水害予測解析システム

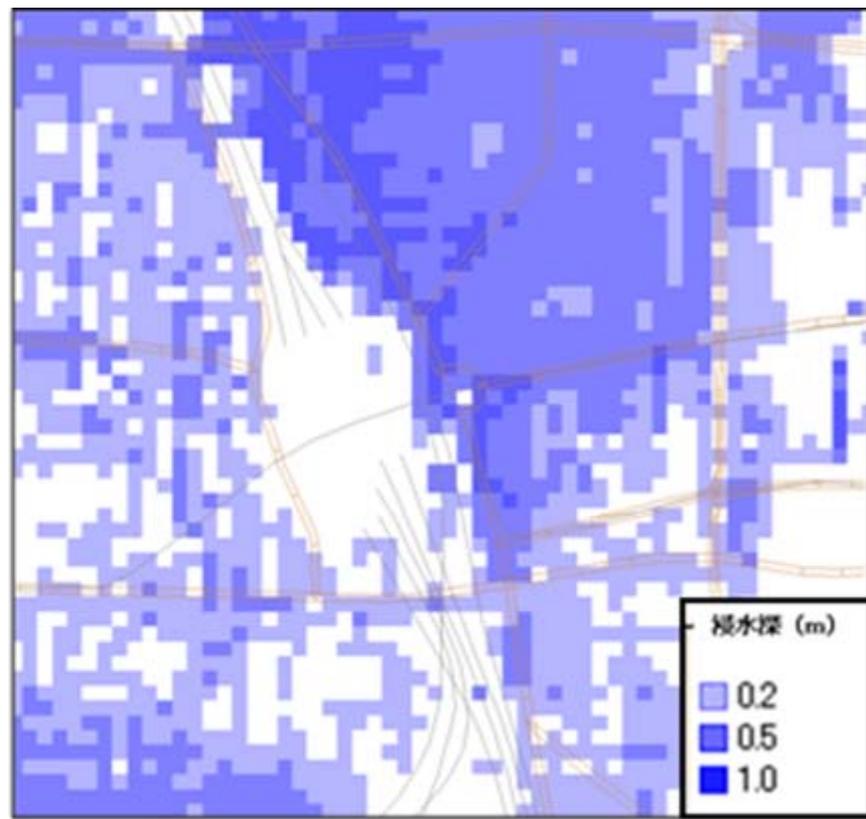


簡易浸水予測システム

東海豪雨の1.5倍の降雨による最大浸水深



都市型水害予測解析システム



簡易浸水予測システム

図-6 最大浸水深の分布 (東海豪雨の 1.5 倍の降雨)

本日の予定 話題提供時間 14:30~15:15 (発表40分、質疑5分)

氾濫解析の質量保存に関する一考察

都市域における氾濫解析

1 内水氾濫解析のモデリング

(1) 下水道モデルの取り扱い

(2) マンホールモデルの取り扱い

2 地表面氾濫解析と下水道解析における落ち込み流量の設定

3 氾濫解析の応用

(1) ハード的対策 名古屋市堀川の河川を下げた解析事例

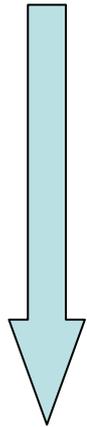
(2) ソフト的対策 情報発信のための準リアルタイム浸水予測

* 簡易モデルの適用

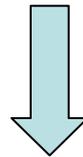
h-VA氾濫解析モデルの試み

本研究の着眼点

- 一般的な氾濫解析の計算格子は50m～100m
- レーザープロファイラーなどにより詳細な地盤高データが入手可能となっているが、計算に用いる場合には、格子内の平均地盤高を作成して用いており、**比較的大きな格子スケールの場合では詳細な地盤高データを活用しきれていない。**



詳細な氾濫解析を行う場合には、従来の方法では、格子スケールを小さくする必要があり、その場合には、**計算時間が多大**となってしまうことから、**実用的ではない。**
⇒河川・下水道解析を含めると更に時間が必要。

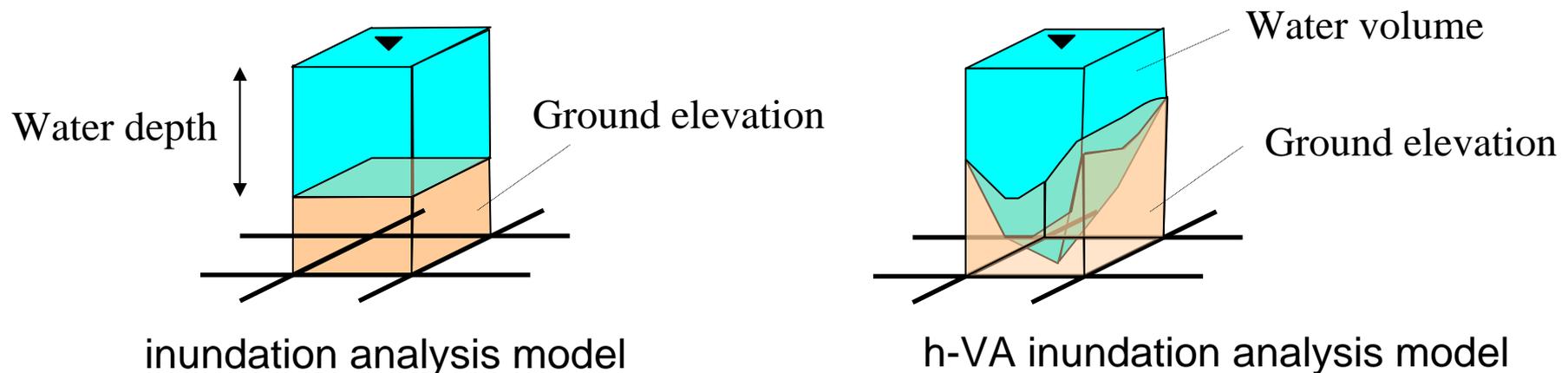


格子の大きさを小さくせずに、解析法の中に地盤高の特性を反映できないか？

提案する氾濫解析法 (h-VA氾濫解析法)

仮定

- 格子内に流入した水は、格子内で地盤高の低いほうへ瞬時に流れ、未知量を水量(体積)で表現する。
- 運動量方程式において、氾濫水の挙動に与える移流項と粘性項の影響は小さいと仮定し、省略する。



h-VA氾濫解析法

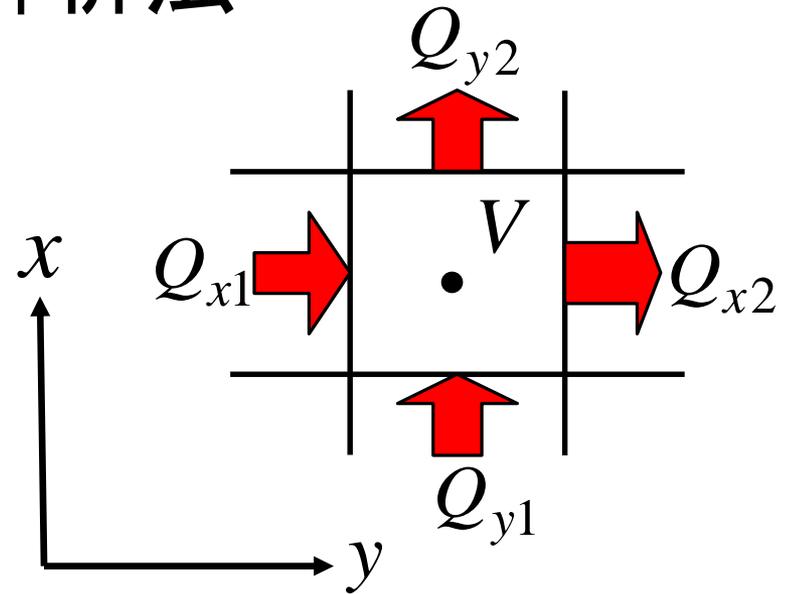
連続式

$$\frac{\partial V}{\partial t} = Q_{x1} - Q_{x2} + Q_{y1} - Q_{y2}$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} = -gA_x \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 Q_x \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

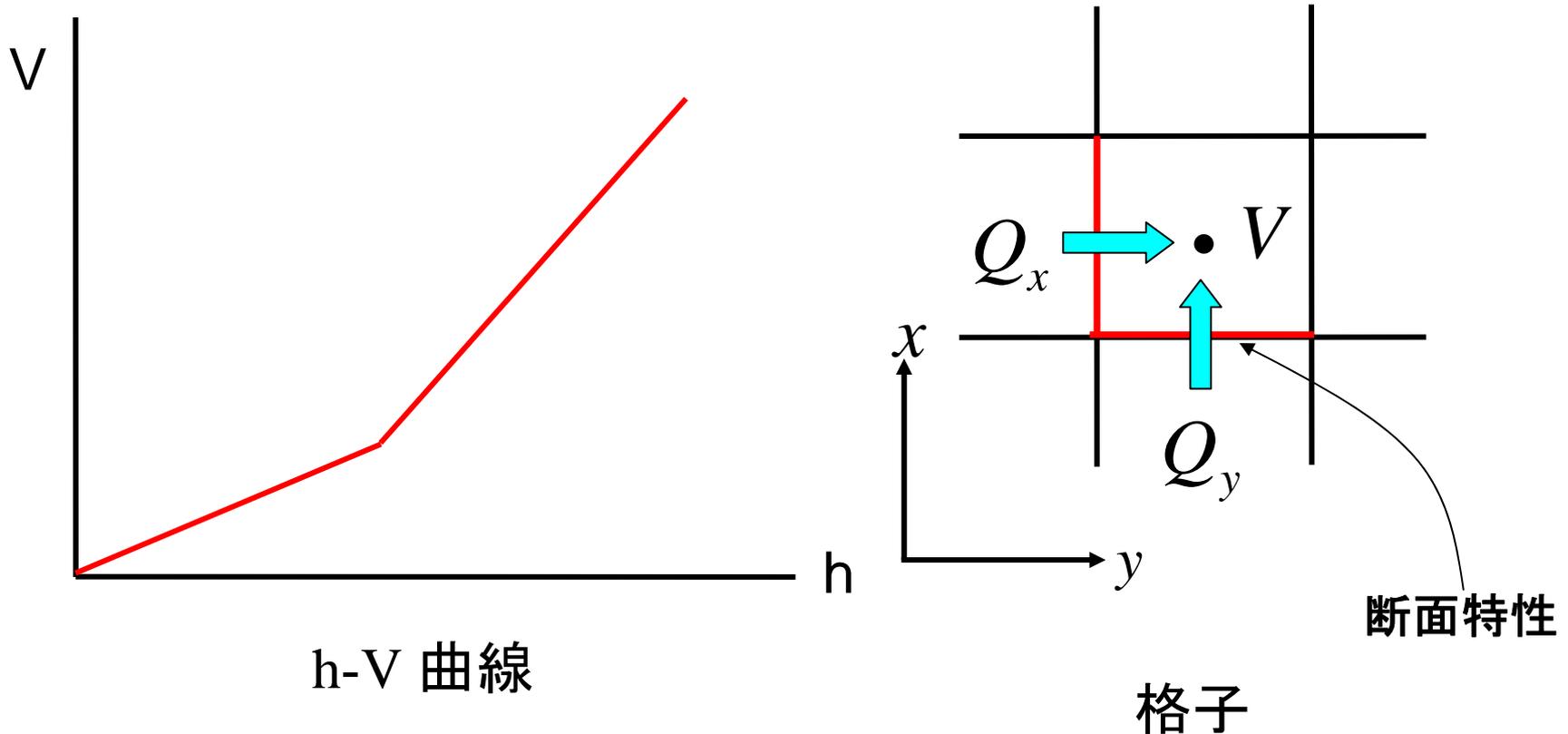
$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} = -gA_y \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 Q_y \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$



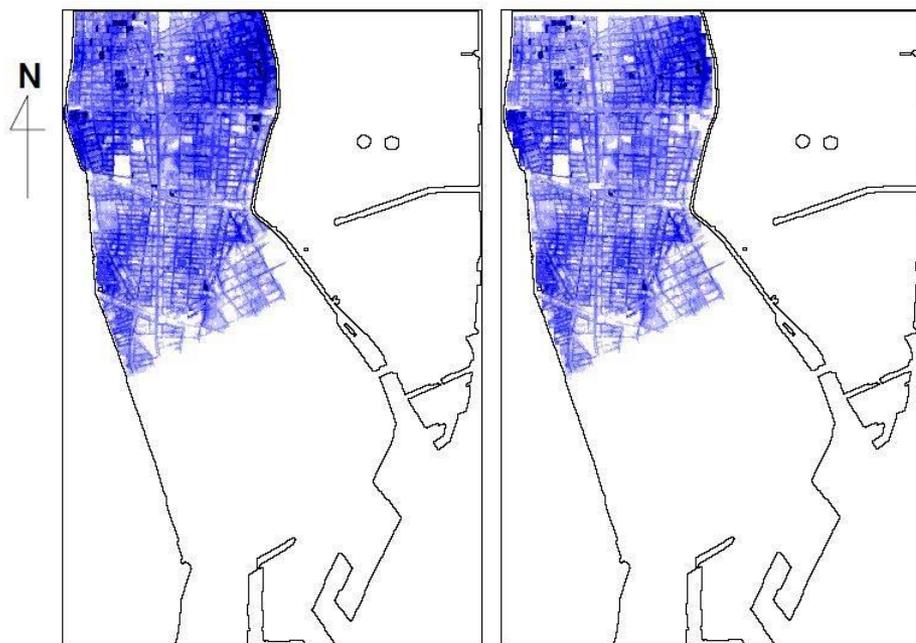
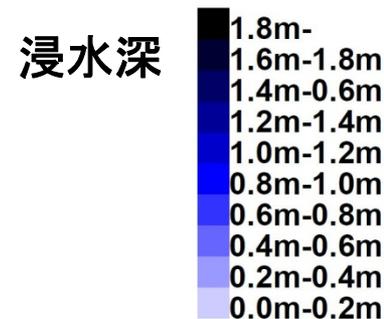
未知量Qの設定位置

V :水量、 Q :流量、 A :面積、 H :水位、 u, v :流速

解析においては、格子内の最低地盤高からの水深(h)と水量(V)の関係(h - V 曲線)と流量定義断面における最低地盤高からの水深(h)と断面積(A)の関係(h - A 曲線)を用いている。

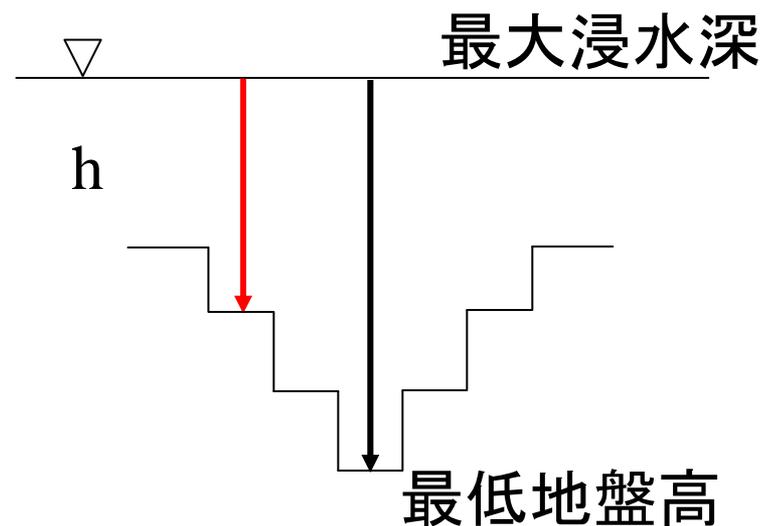


破堤 最大浸水深の分布 (h-VA氾濫解析法)



10m × 10m
従来モデル

50m × 50m
h-VA氾濫解析モデル



h-VA氾濫解析法における
浸水深の算出

1. H-VA氾濫解析法の検討

⇒概念の提示と妥当性評価

武田誠, 小寺大輔, 松尾直規: 格子内の地盤高特性を考慮した簡便な氾濫解析法に関する研究, 水工学論文集, 第52巻, pp.853~pp.858, 2008.

2. H-VA氾濫解析法を用いたネスティングモデルの検討

⇒粗い格子においても水位が適切に評価できる利点を活かして, 氾濫解析法におけるネスティングモデルを構築し, その有用性を検証.

武田誠, 松尾直規, ポカレルパラメソル: h-VA氾濫解析法を用いたネスティングモデルに関する検討, 水工学論文集 第53巻, pp.835~840, 2009.

3. 下水道解析を考慮したH-VA氾濫解析法の検討

⇒下水道解析を組み込んだ場合のH-VA氾濫解析法(ネスティングモデルも含む)の検討

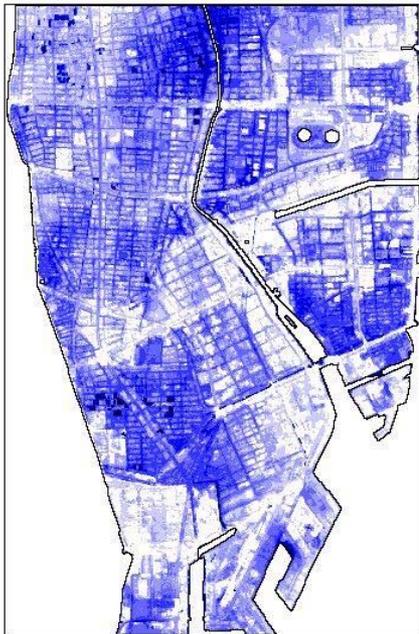
武田誠, 松尾直規: 下水道解析を考慮したh-VA氾濫解析モデルに関する検討, 水工学論文集 54巻, pp.895-900, 2010.

●破堤による浸水を対象とした場合、10m格子の従来の氾濫解析の結果と50m格子のh-VA氾濫解析の結果が一致した。降雨を扱う場合、格子内の高台の降水量が格子内の低い場所に集まって計算されるため、h-VA氾濫解析の結果が高めに現れた。

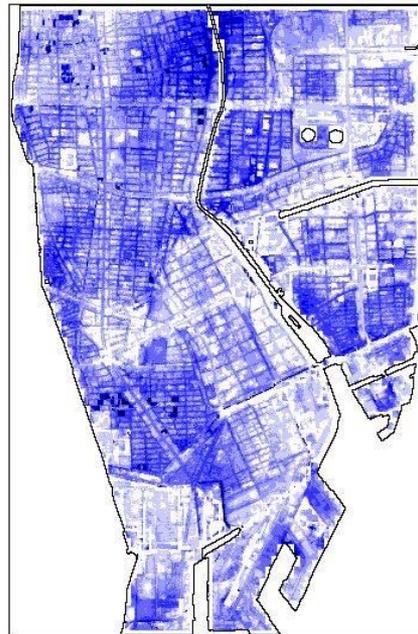
⇒低い個所を水が流れる破堤による浸水の場合は、h-VA氾濫解析でも問題ないものとする。

地盤勾配がある場合

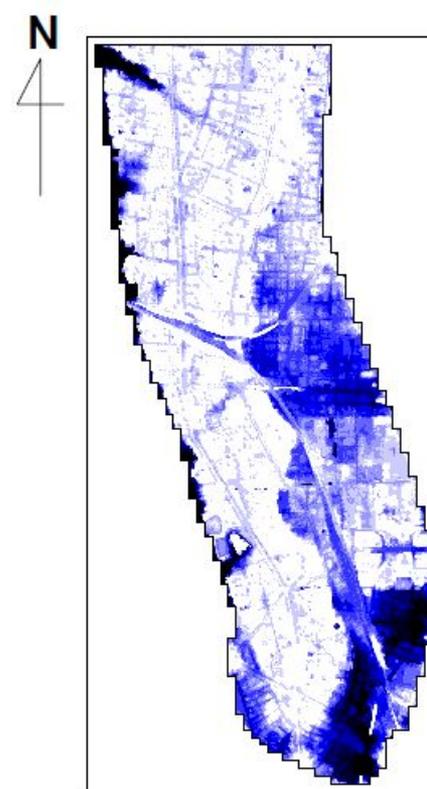
低平地



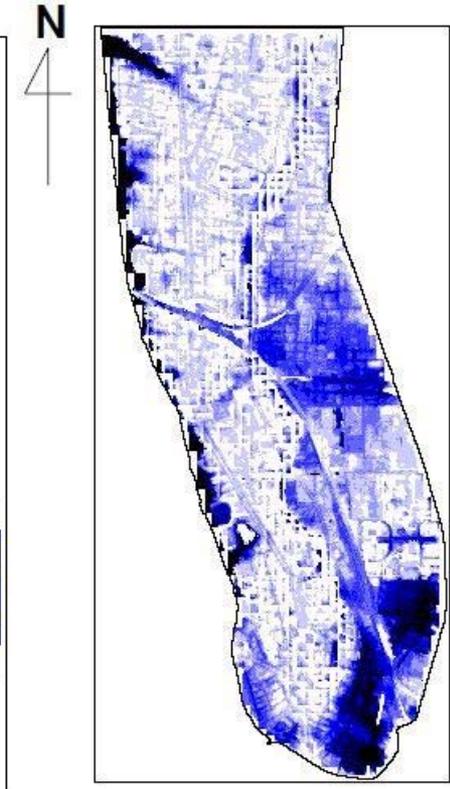
従来の氾濫解析



h-VA氾濫解析

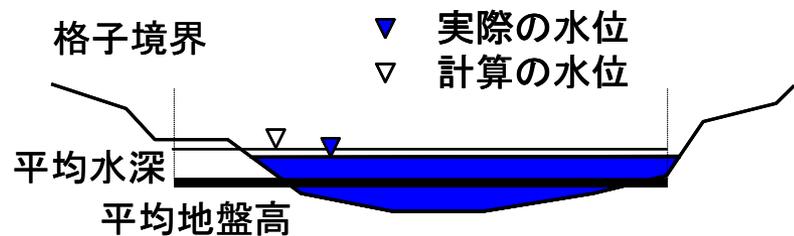


従来の氾濫解析

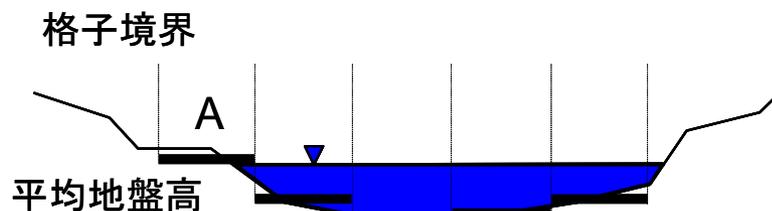


h-VA氾濫解析

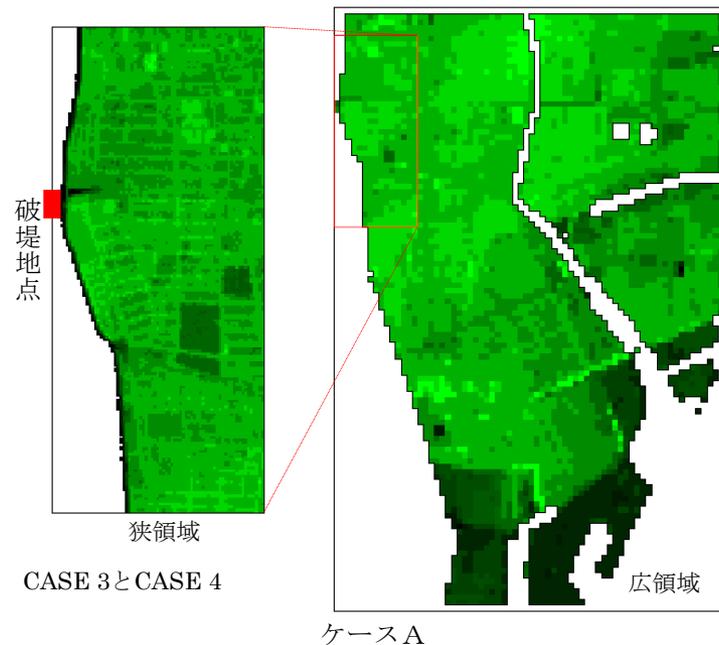
●h-VA氾濫解析は、格子内の地盤特性を考慮した解析であるため、詳細な格子と粗い格子の間に氾濫水量と浸水深に関する関係の矛盾が生じず、したがって、氾濫解析におけるネスティングモデルが構築できる。



(a) 大格子による表現



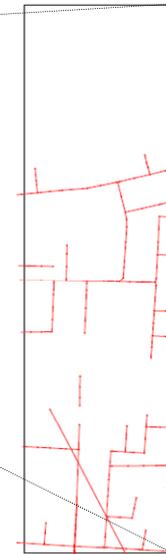
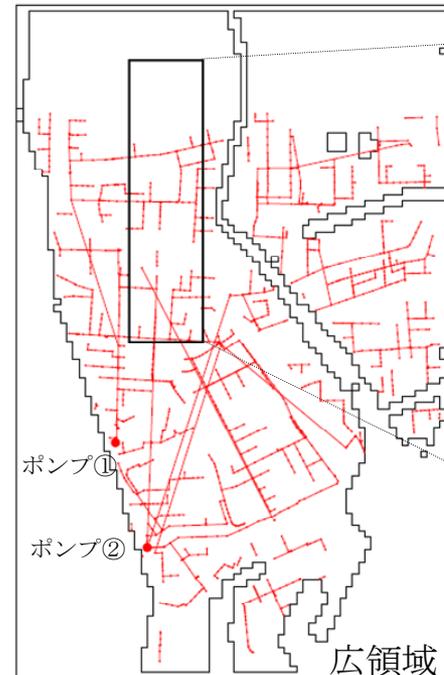
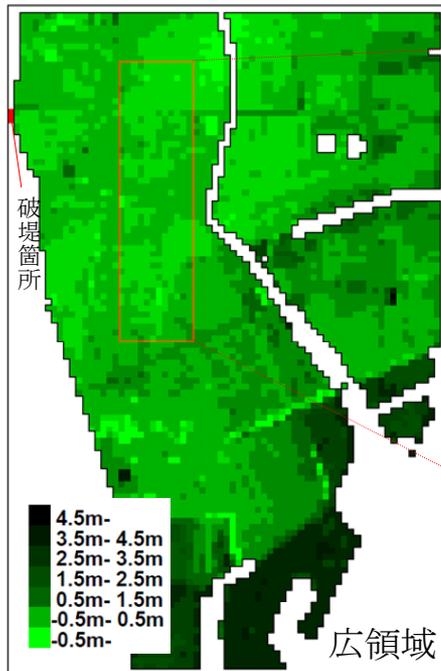
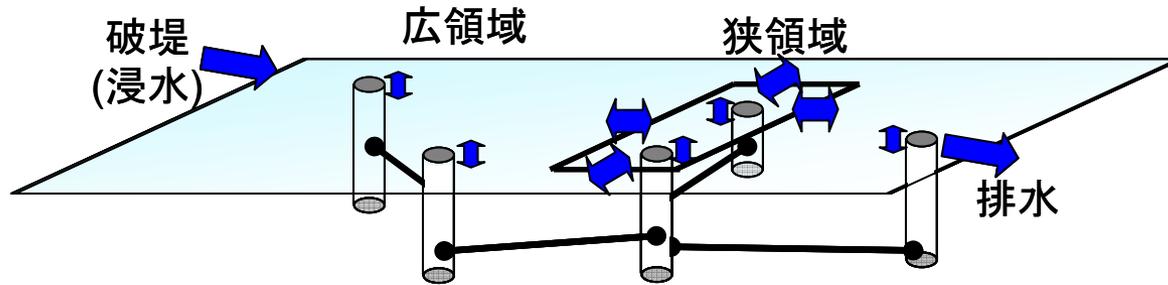
(b) 小格子による表現

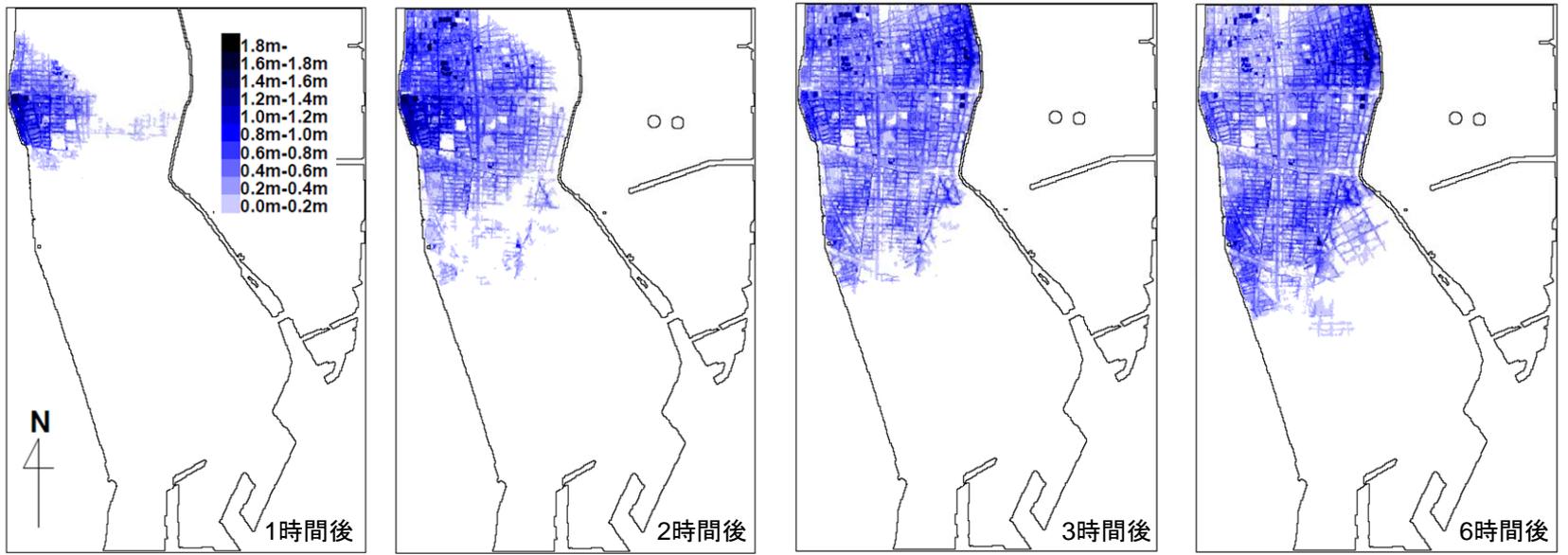


従来の氾濫解析におけるネスティングモデルの問題点

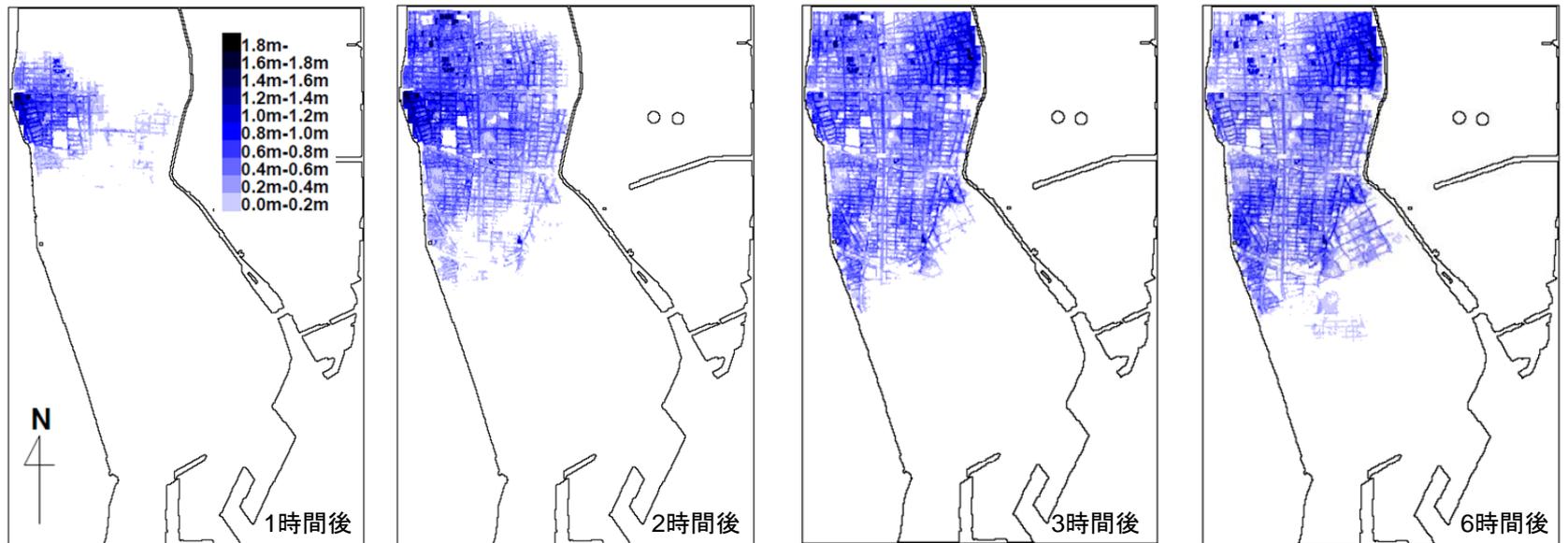
破堤箇所は詳細な格子を配置し、
その他は粗い格子を配置

●下水道システムの解析、ネスティングモデルを考慮したh-VA氾濫解析：
全域を精度よく解析でき、検討対象の領域をさらに細かい格子で計算できる。

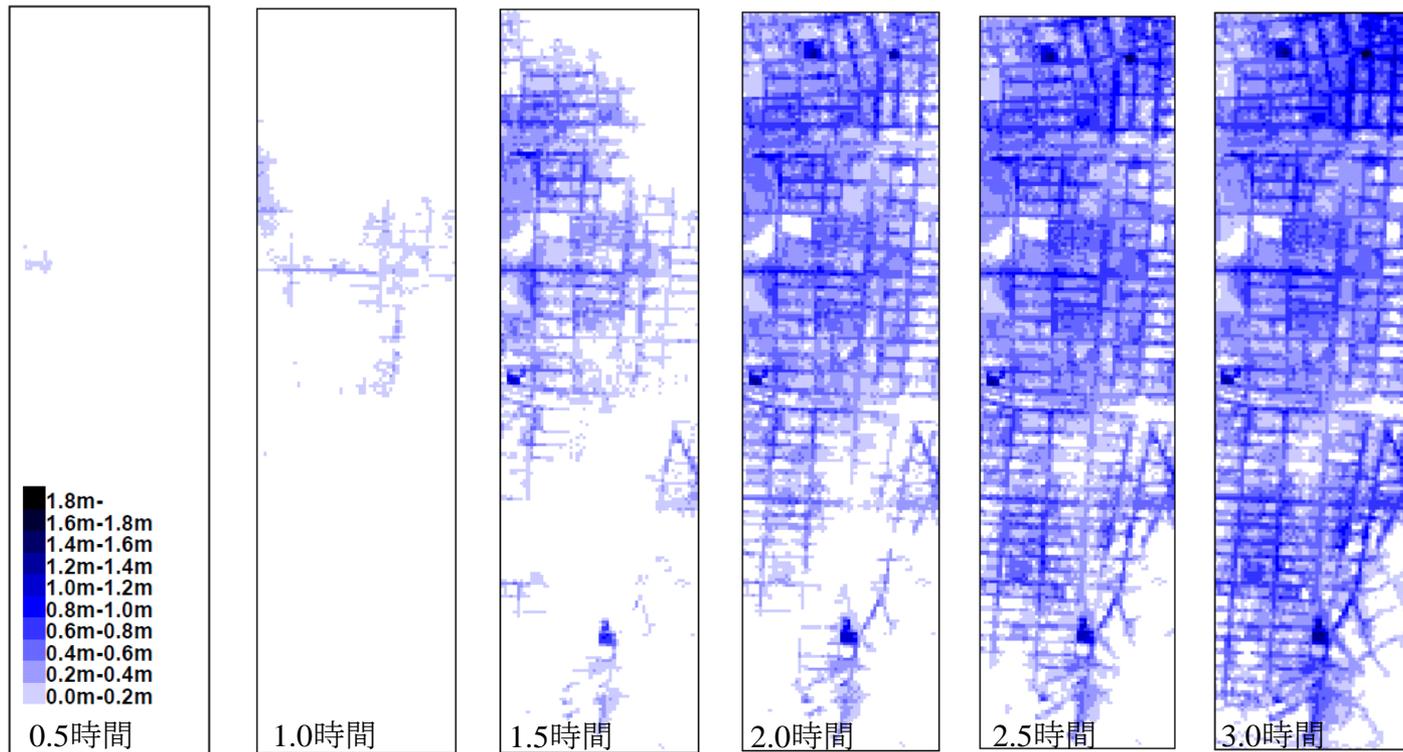




浸水深の時間変化(10m格子 従来の氾濫解析 下水道モデルあり)



浸水深の時間変化(50m h-VA氾濫解析 ネスティング、下水道モデルあり)



浸水深の分布（狭領域）

計算時間（分）

CASE A	CASE B	CASE C	CASE D
487	14	19	184

1

1/25.6

1/2.6

ご清聴、ありがとうございました。