

# 密集市街地を対象とした氾濫解析モデルと 浸水想定区域図の作成方法の提案

THE STUDY ON INUNDATION FLOW MODEL IN HIGHLY URBANIZED AREA  
AND MAKING A FLOOD PROJECTION MAP

鈴木篤<sup>1</sup>・大滝裕一<sup>2</sup>・西村達也<sup>3</sup>・真栄平宜之<sup>4</sup>

Atushi Suzuki, Yuichi Otaki, Tatsuya Nshimura and Takayuki Maehira

<sup>1</sup>正会員 修(工) 国土交通省総合政策局国際建設課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

<sup>2</sup>正会員 修(工) 京都府土木建築部河川課 (〒602-8570 京都市上京区下立売通新町西入藪ノ内町)

<sup>3</sup>正会員 博(工) (株)建設技術研究所 東京本社 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町 4-9-11)

<sup>4</sup>正会員 修(工) (株)建設技術研究所 大阪支社 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1-2-15)

Because Kyoto city's highly urbanized area is in Kamo river's inundation area, it is of urgent necessity to make and be officially announced Kamo river's flood projection map.

In this study, the one dimensional flow inundation model in which rivers, streets and blocks are treated as channel networks of nodes and links has been developed, and the inundation process in a highly urbanized area is simulated to make Kamo river's flood projection map.

In this paper, a method making a flood projection map of a highly urbanized area using the one dimensional inundation flow model has been proposed based on the study of the Kamo river's case.

**Key Words:** one dimensional flow inundation model, nodes and links, flood projection map,  
Kamo river

## 1. はじめに

国土交通省、都道府県では、全国各地で毎年のように発生している洪水氾濫被害を減少させるため、治水施設の整備を進めているが、完成までには長い時間と多くの費用を要する状況にある。そこで、万が一洪水による氾濫が生じた場合でも、被害をできるだけ少なくするため、事前に地域住民に対して河川の氾濫に関する情報を提供するというソフト面での対策が重要となっている。平成13年に、水防法の一部を改正する法律が施行され、河川を管理する国又は都道府県知事が、洪水予報河川を指定し、指定された河川では、浸水想定区域図の作成、公表を行っている。

京都市の中心部を流れている鴨川は、桂川に合流する淀川水系の二次支川であり、その氾濫域は、道路網が基盤目状に形成され、道路格子内では家屋、建物が密集している状況にある。鴨川では、昭和10

年に発生した大洪水によって大規模な越水氾濫の被害が発生していること、近年地下街や地下鉄の整備など地下利用が盛んであることから、浸水想定区域図の作成、公表、関係市町におけるハザードマップの作成が急務となっている。

避難などの水害対策を考える上では、氾濫した水がどのような挙動を示すかを精度よく予測することが重要であるが、特に密集した市街地では道路や建物といった構造物が多数存在し、それらが氾濫水の挙動に及ぼす影響は複雑である。このような都市域における氾濫特性を考慮した氾濫解析モデルとして、末次・栗城<sup>1)</sup>は建物による流れへの影響を表す方法として建物占有率や浸水深の関数とした合成粗度係数を用いる方法を提唱している。福岡ら<sup>2)</sup>は家屋などの構造物に作用する流体力項を運動量式中で評価した一般曲線座標系のモデルを導入することで計算精度の向上を図っている。戸田・井上ら<sup>3)</sup>は、「都市域の豪雨氾濫解析モデル」として、中小河川網、下

水道網、道路網をネットワーク化した氾濫解析モデルの提案を行っている。また、川池・井上ら 4)は、道路網をネットワーク化した一次元不定流計算モデル、道路に関係なくメッシュ分割を行った直交座標系の平面二次元モデル、道路に沿ってメッシュ分割した一般座標系の平面二次元モデル、非構造格子を用いた平面二次元モデルの4種類のモデルを比較し、密集市街地における氾濫解析モデルとしては、ネットワーク型の一次元不定流計算モデルが望ましいことを示している。

密集市街地においてハザードマップ作成を行う場合、河川から氾濫した水がどこを流れるかという情報が重要である。そのため、河道から氾濫した水が単に氾濫原を流下するだけではなく、道路を流下し、道路から溢水して家屋、建物が浸水するといった現象を表現することが可能なモデル作成が必要である。

本論文では、密集市街地におけるハザードマップ作成にも適用可能なモデルとして、川池・井上ら 4)が提案した氾濫域を道路と住区（建物、家屋等の道路以外の部分）に分類し、河道と道路をネットワークとしてつなぐ一次元不定流計算モデルを、道路から住区への氾濫流の計算方法と住区における建物占有率（道路で囲まれた住区内の建物比率）の設定方法について変更した鴨川流域の氾濫解析モデルの作成を行った。

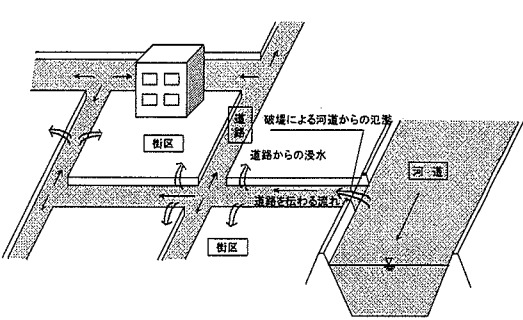
さらに、作成した氾濫解析モデルを用いて氾濫計算を実施し、その結果にもとづき、鴨川浸水想定区域図の作成と密集市街地における浸水想定区域図の作成方法の提案を行ったものである。

2. 氾濫解析モデルの作成

(1) ネットワーク型一次元不定流計算モデル

家屋、建物が密集した市街地における氾濫現象を表現することができる氾濫解析モデルとして、図-1に示すような河道、道路、街区（道路で囲まれた家屋、建物のエリア）を点（ノード）と線（リンク）で連結したネットワーク型の一次元不定流計算モデルを構築する。道路と道路によって囲まれた街区については、川池・井上ら 4)と同様に、河道から氾濫した水が道路に流れ込み、道路から街区へ溢水した氾濫流が一時的に貯留されることによる流量低減効果を現すため、道路ノードと街区ノードを結ぶことによってモデルに組み込む。この場合、街区ノードの大きさは、道路によって囲まれた街区の広さによって決まる。図-2に河川・道路・街区におけるノードとリンクの接続イメージ図を示す。ノードで水位、リンクで流速または流量の算定を行う。

(2) 鴨川氾濫域のモデル化



モデル化

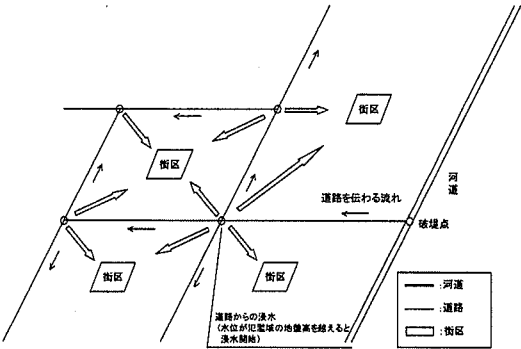


図-1 モデル化のイメージ  
(ネットワーク型一次元不定流計算モデル)

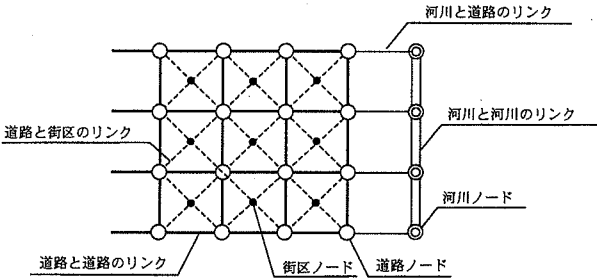


図-2 ノードとリンクの接続イメージ

(a) モデル化の対象範囲

鴨川は京都市の中心部を北から南に向いて流れ、桂川に合流している。氾濫域の地形特性としては、南北方向の地盤勾配が卓越しており、西側を桂川の堤防で、北側および東側を山地で、南側を宇治川の堤防で囲まれている。また、昭和 10 年洪水における浸水実績では、氾濫した水は大きく拡散せず南下しており、流下型の氾濫形態を示している。

鴨川氾濫域の地形特性および鴨川の浸水想定区域図作成対象区間（鴨川 0.0k～17.93k、高野川 0.0k～5.283k）を考慮して、図-3に示す範囲の道路網、街区についてモデル化を行った。河川については、鴨川および高野川を対象とし、道路網については、3種5級および4種4級以上(幅5.5m以上)の道路の中から比較的幅員の大きい(10m程度以上)道路を選定してネットワークを作成し、ネットワークが平面

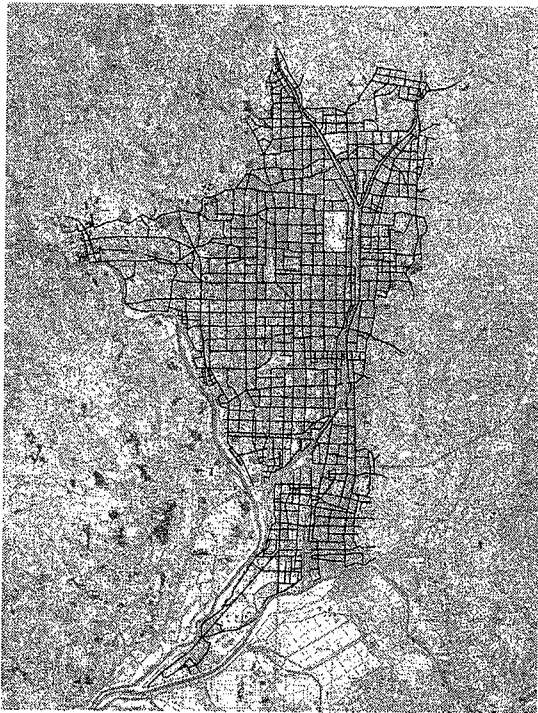


図-3 鴨川氾濫域でモデル化を行った道路

的に不足している箇所については、幅 5.5m 以下の道路もネットワークに組み込むものとした。

#### (b) 河川網のモデル化

河川網は、鴨川と高野川の横断測定の距離標位置(約 200m 間隔)および橋梁断面位置にノードを設定し、当該地点の川幅および河床高を与え、河道断面形状を有する水路(リンク)によりノード間を連結することで、モデル化を行った。

河道からの氾濫を表現するため、河川ノードと道路ノードとのリンクは、堰モデルで連結を行った。堰の天端高は、有堤部では堤防高、掘込部では堤内の路面高とし、越流幅は、河川ノード間の区間距離として設定した。

#### (c) 道路網のモデル化

道路網は、図-4 に示すように交差点をノード、交差点間を結ぶ道路をリンクとして取り扱い、ノードでは路面高をリンクでは道路の幅員を与え、モデル化を行った。

路面高は、1/2,500 都市計画図から読み取りを行い、都市計画図に記載されていない箇所については、周辺の路面高を用いて内挿することで設定した。また、道路幅員は、1/2,500 都市計画図から読み取りを行い、リンクの道路断面は所定の幅員を有する矩形断面とした。

#### (d) 街区のモデル化

街区ノードは、道路で囲まれた区画内の中心に設定し、平均地盤高および浸水可能面積(建物内への浸水量は少ないものと判断し、全面積から家屋、建物

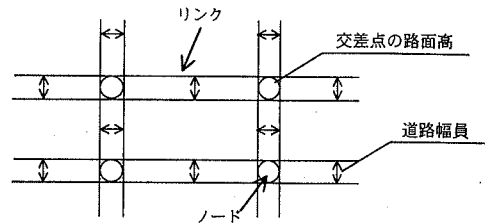


図-4 道路網のモデル化イメージ

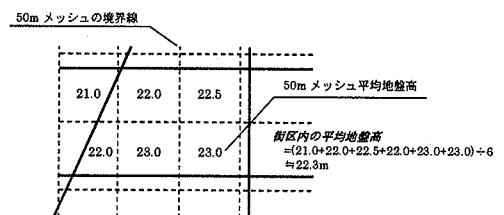
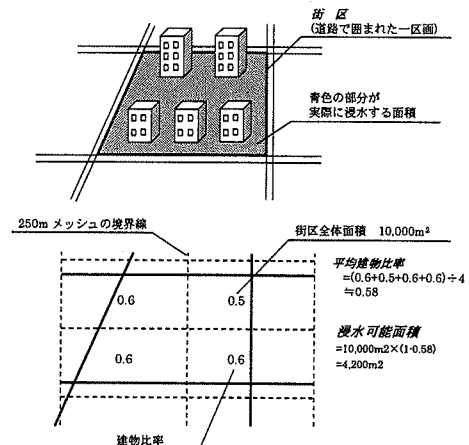


図-5 街区のモデル化イメージ

の面積を差し引いた面積を街区における浸水可能面積とした)を与える。

道路に囲まれた街区における浸水は、図-5 に示すように家屋、建物以外の部分で発生するため、1/10,000 都市計画図で計測した街区面積を、別途国土数値情報を用いて整理した 250m メッシュ毎の建物比率を用いて補正を行った(川池・井上ら<sup>4)</sup>は、街区内の建物比率を一定として取り扱っていたが、この方法を用いることによって、街区の状況に応じた建物比率の設定を行うことが可能になる)。

また、街区の平均地盤高は、街区内に含まれる別途整理した 50m メッシュの平均地盤高を平均することで設定した。道路から街区への氾濫を表現するための道路ノードと街区ノードのリンクは、堰モデルで連結を行った。堰の天端高は、街区ノードの地盤高もしくは、連結する道路ノードの路面高の高い方の高さとし、越流幅は街区を正方形と見直した場合の一辺の長さとして設定した(川池・井上ら<sup>4)</sup>は、慣性項を無視した運動方程式を用いて道路から街区への流れ計算を行っているが、道路と街区間の格子間距離の設定が煩雑であることから、堰モデルを用

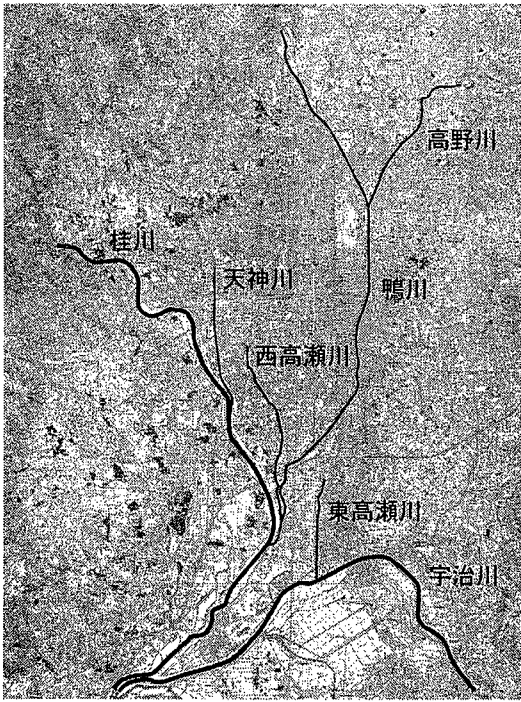
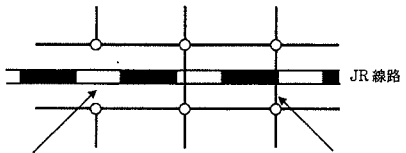


図-6 鴨川氾濫域における主要河川



写真-1 JR 線路と立体交差する道路の状況



高倉通については、高架橋で JR 線路と交差しており、下流側へ氾濫が伝わらないものとして、ノードをリンクさせない。

線路の下をくぐる道路については、ノードをリンクさせる。

図-7 JR 線路と交差する道路の扱い

いることにした)。

(e) 境界部等の扱い

鴨川氾濫域の西側および南側の境界は、桂川と宇治川の堤防で囲まれているため、氾濫した水が地形勾配から南西方向へ流下し、上記境界部で湛水するものと考えられる。堤防境界部に氾濫水がたまり浸水水位が近傍の堤防高を上回ると越流し氾濫域外へ排

表-1 氾濫シミュレーション条件一覧

| 条件項目     | 設定方法                                                                                                     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 外力       | 改修計画相当 (1/100 確率規模) および東海豪雨規模相当の 2 ケース                                                                   |
| 流量       | 等価粗度法の流出計算モデルによって算出された流量ハイドログラフを、河川上流端および合流地点のノードに与える。                                                   |
| 破堤地点     | 改修計画規模：25 地点<br>東海豪雨規模：34 地点                                                                             |
| 河道       | 現況河道 (平成 13 年度測量)                                                                                        |
| 河道の粗度係数  | 現況流下能力の算定で使用した粗度係数 (既往洪水の水位と流量から求めた粗度係数)                                                                 |
| 出発水位     | 鴨川 0.0k 地点の等流水位                                                                                          |
| 堤内地の粗度係数 | 堤内道路網の粗度係数は、路面をコンクリートと想定して設定 ( $n=0.0133$ )                                                              |
| 境界排水条件   | 宇治川、桂川の堤防の境界においては、浸水深が大きくなり浸水位が堤防高を上回ると系外へ排水されるものとして扱う。<br>天神川、西高瀬川等の支川については満水状態とし、支川を通しての排水は行われないものとする。 |

水されるものと考え、モデル上では越流式によりモデル系外へ排水を行うものとした。

鴨川の氾濫域には、図-6 に示すように宇治川、鴨川、桂川へ排水する東高瀬川 (宇治川へ排水)、西高瀬川 (鴨川へ排水)、天神川 (桂川へ排水)をはじめ、その他支川、排水路が多数存在する。氾濫シミュレーションでは、上記支川および排水路は洪水氾濫時において満水状態として取り扱い、氾濫した水がこれら支川、排水路を伝わり排水されないと考え、モデル化は行わないものとした。ただし、鴨川から氾濫してきた水位が高くなると、支川の堤防高を越えて対岸に流れ込むことがあるため、氾濫した水が堤防を越流して対岸へ伝わるように道路ノードの連結を行った。

JR 京都駅周辺では、南北に走る道路と JR 線路とが交差している。これらの地点においては、写真-1 に示すように道路が線路の下をくぐるような形で立体交差していることから、モデル上では JR 線路との境界付近に道路ノードを設定し、1/2,500 都市計画図をもとに道路幅、路面高を与え、これをリンクさせた。高倉通については、高架橋により JR 線路と交差しており、高架橋をのりこえて下流側へ氾濫が伝わらないものと考え、道路ノードのリンクは行わないものとした。(図-7 参照)

3. 浸水想定区域図の作成

(1) 氾濫シミュレーション条件

鴨川の浸水想定区域図の作成にあたり、表-1 に示す条件のもとで氾濫シミュレーションを行った。

外力となる流量ハイドログラフは、昭和 28 年 9 月 25 日の実績降雨波形を改修計画規模 (1/100)

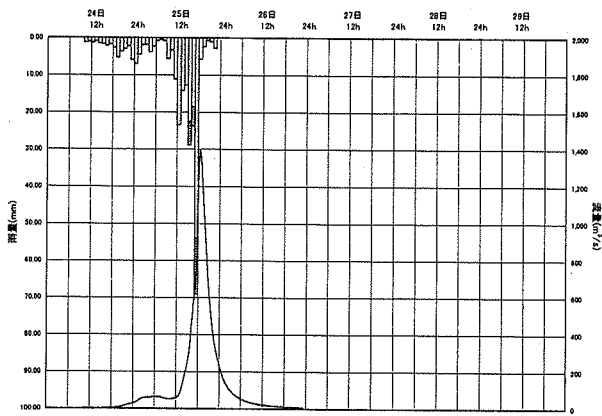


図-8 荒神橋地点の流量ハイドログラフ  
(改修計画規模)

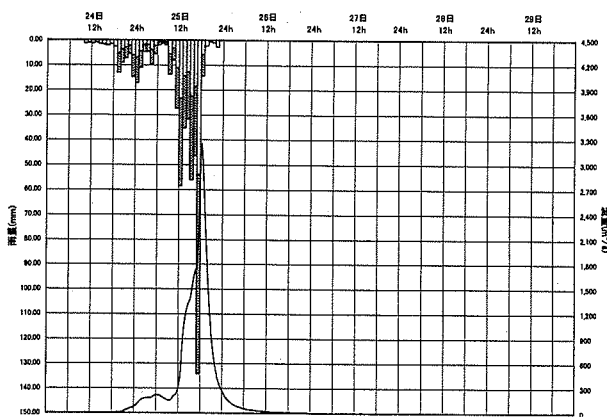


図-9 荒神橋地点の流量ハイドログラフ  
(東海豪雨規模)

および東海豪雨規模で引き伸ばし、等価粗度法の流出モデルを用いて作成を行った。流出計算モデルによる荒神橋地点における流量ハイドログラフを図-8および図-9に示す。

## (2) 浸水深の算定

氾濫計算では、等価粗度法の流出モデルによって算出された流量ハイドログラフを河川の上流端と支川等の合流地点の河川ノードに流入させて計算を行うことになる。この場合、氾濫水位は河川、道路、街区のノード地点だけで算定される。ノードは、交差点や街区などアトランダムに設定されているため、その水位だけでは、浸水想定区域図を作成することができず、浸水想定区域図の作成のためには、密な浸水位または浸水深のデータが必要である。そこで、図-10の浸水想定区域図作成フローに示すように、氾濫シミュレーションによって計算された各ノード上の最高水位をGISにより面的に内挿補間することで、50mメッシュ毎の水位を求め、別途整理した50mメッシュ平均地盤高を差し引くことで各メッシュの浸水深を算定した。(図-11参照)

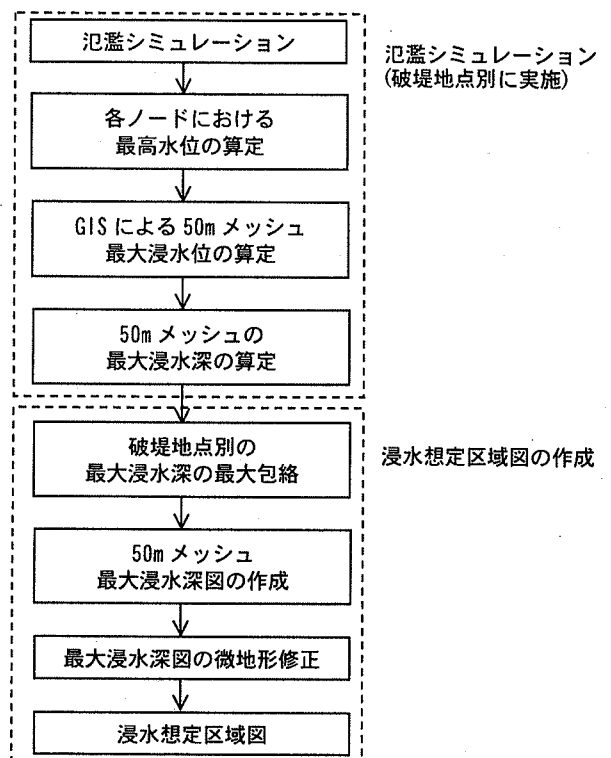


図-10 浸水想定区域図作成フロー

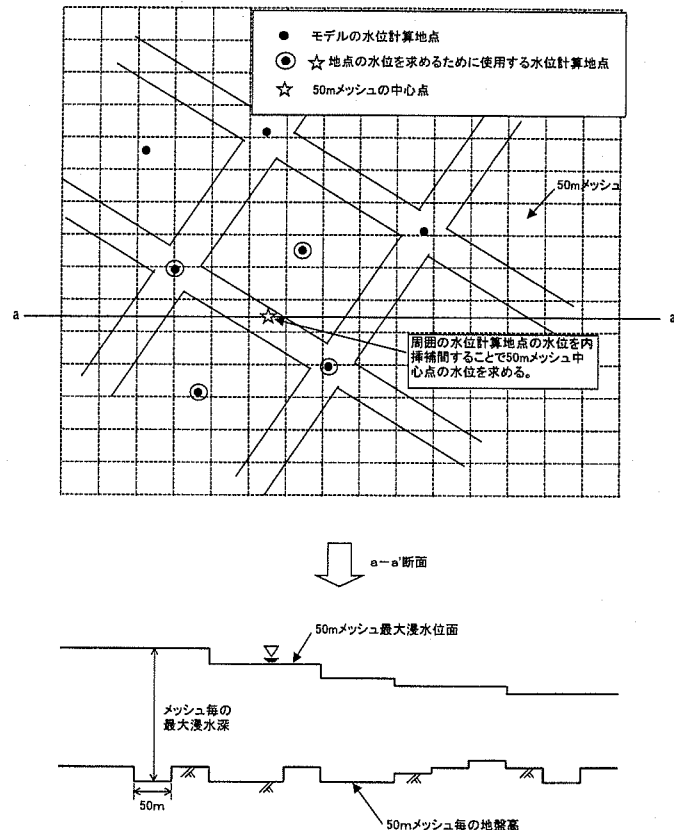


図-11 50mメッシュ浸水深の算定方法

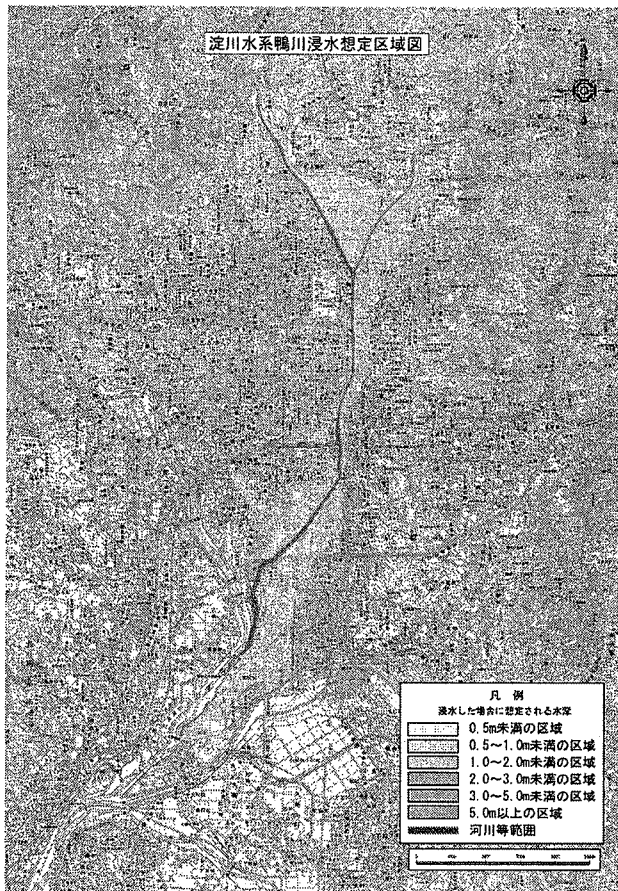


図-12 鴨川浸水想定区域図(改修計画規模の外力)

### (3) 浸水想定区域図の作成

破堤地点毎に氾濫シミュレーションを実施し、前述した方法により 50m メッシュの最大浸水深を求める。全ての破堤地点によるメッシュ毎の最大浸水

深を最大包絡し、図化することで 50m メッシュの最大浸水深図の作成を行った。さらに 50m メッシュの最大浸水深図を道路、支川、街区の線形や高さに合わせて微地形修正することで、鴨川浸水想定区域図を作成した。図-12 に作成した改修計画規模の外力による鴨川浸水想定区域図を示す。

## 4. 結論

河道から氾濫した水が密集した市街地を流下する氾濫域においては、河道、道路網、街区を連結した一次元不定流計算ネットワークモデルが必要であり、そのモデル化と解析方法を提案した。

氾濫解析モデルによるシミュレーション結果と GIS を利用した浸水想定区域図の作成方法を提案した。

## 参考文献

- 1)末次忠司, 栗城稔:改良した氾濫モデルによる氾濫流の再現と防災への応用に関する研究, 土木学会論文集, No.593/Ⅱ-43,pp.41-50,1998
- 2)福岡捷二, 川島幹雄, 横山洋, 水口雅教:密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究, 土木学会論文集, No.600/Ⅱ-44,pp.23-36,1998
- 3)戸田圭一, 井上和也, 村瀬 賢, 市川 温: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, 1999
- 4)川池健司, 井上和也, 林秀樹, 戸田圭一:都市域の氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集, No.698/Ⅱ-58,pp.1-10,2002

(2004. 4. 7受付)