

流域管理の視点からの都市域の水防災

Urban Flood Disaster Prevention from the Viewpoint of River Basin Management

兪 朝夫¹・末次忠司²

Asao YOO and Tadashi SUETSUGI

¹正会員 工修 (株) 建設技術研究所東京本社 (〒103-8340 東京都中央区日本橋本町4-9-11)

²正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

Urban floods occur frequently in Japan. In order to reduce the risk of urban floods, the traditional method of river development should not be overemphasized. It is important to consider measures that integrate river and sewer system, as well as measures that take into account the river basin. In order to accommodate this wider scope, external factors such as rainfall need to be reasonably configured and a new model called Integrated Urban Area Model, which models complicated urban runoff and floods, is necessary. This paper reviews research on the method of setting design rainfall and the Integrated Urban Area Model, and presents future direction.

Key Words : Urban Flood Disaster, Urban River, Design Rainfall, Flood Model, Basin Management, Urban River Inundation Prevention Act

1. はじめに

近年, 1998年の高知水害, 1999年の福岡および東京水害, 2000年の東海豪雨, 2003年の福岡水害と都市水害が相次いでいる。図-1は, 浸水面積と水害被害密度の経年変化を示したものであるが, 浸水面積は減少しているものの, 被害密度は経年的に増大しており, 都市域の水害が増えていることを物語っている。また, 1970~1999年の30年間で10年単位で区分し, 一般資産等水害被害額における内水原因の割合を算定すると, 45%, 53%, 60%と経年的に増加してきている。

したがって, 我が国の近年における水害の特徴は, 外水だけでなく内水も含めた都市域の水害と言うことができ, 都市水害対策を求める国民の声は大きいものがある。このため2003年6月には「特定都市河川浸水被害対策法」が制定され, 都市域における総合的な浸水被害対策が推進されることになった。特定都市河川浸水被害対策法は, 外水だけでなく内水被害軽減も対象とすることを明示し, 特定都市河川流域を下水道の排水区域もあわせて指定するものとしており, 河川と下水道を一体的に捉えた浸水対策を目指している²⁾。また, 河川管理者による雨水貯留浸透施設の整備や開発行為の許可など, 流域対策もこの法律の眼目のひとつとなっている。

「流域管理の視点」, すなわち流出域, 下水道排水区域での対策も含めて都市域の水害対策を総合的に立案するためには, ①計画あるいは管理の基本となる外力をど

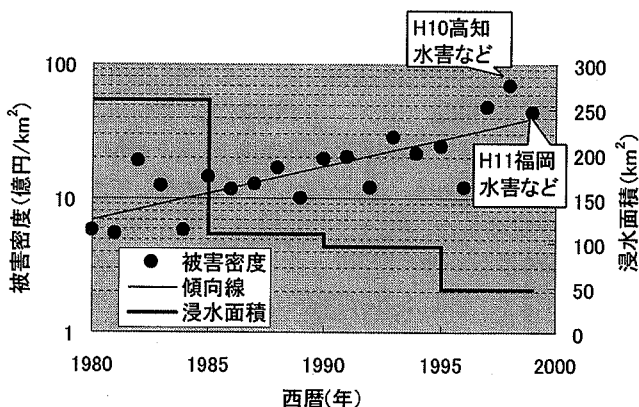


図-1 浸水被害密度の経年変化 (水害統計¹⁾による)

のように設定するか, ②都市域の流出・氾濫現象を正確に表現できるモデルをいかに構築するかが重要と考える。よって本稿では, 計画外力設定方法および都市域の流出・氾濫モデルを対象にこれまでの研究成果をレビューするとともに, その結果を踏まえ今後の方向性を述べることとする。

なお, 都市域の水防災は, ハードな治水対策だけでなく平常時・水災時の情報提供などのソフト対策を含むのはもちろんである。本稿で述べる計画外力設定方法および都市域の流出・氾濫モデルは, これらソフト対策にも有用な情報を提供しようと考えている。また, 本稿では特に断らない限り, 比較的小規模 (100km²程度あるいはそれ以下) の都市河川を念頭に置いている。

2. 都市河川流域における計画外力の設定方法

(1) これまでの計画降雨の設定方法

これまで中小河川では、降雨強度式によって洪水到達時間内の計画降雨量を与え、合理式によって計画流量を算定することが多かった。またダムや遊水地などの治水施設が計画される場合にはハイドログラフが必要となるので、降雨強度式から中央集中型などの計画降雨波形を作成し、この降雨が流域に一樣に降るものとして、流出モデルに入力し、流量ハイドログラフを算出することが一般的である。流出モデルとしては、合成合理式、貯留関数法、準線形貯留型モデル、*kinematic wave*法などを用いられている。

また、降雨強度式は、2級河川を例にとると、県域を降雨特性により幾つかのブロックに分割し、そのブロックごとに作成される。すなわちブロックごとに代表観測所を選定し、その代表観測所の極値を統計処理して降雨強度式が作成されている。このような従来の方法は、以下に述べるような問題点を内包している。

(2) 降雨の流域一樣性を仮定する問題

中小河川の洪水到達時間は、たとえば角屋らによれば、次式で求められる³⁾。

$$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot (r_e)^{0.35} \quad (1)$$

ここに、 t_p :洪水到達時間(min), A :流域面積(km^2), r_e :洪水到達時間 t_p 内の平均有効降雨強度(mm/h), C :土地利用により異なる係数(市街地では60~90)

今、 $r_e = 30\text{mm/h}$, $A = 100\text{km}^2$, $C = 90$ として洪水到達時間 t_p を求めると、75分となり流域面積 100km^2 でも洪水到達時間は1~2時間程度となる。したがって都市の中小河川においては1~2時間程度の雨量でピーク流量が決定されることになる。一般に降雨の時間スケールと空間スケールには強い相関があり、数時間程度の降雨はメソ γ と呼ばれる2~20kmの空間スケールを持つ。これは、ひとつの積乱雲程度のスケールであり、都市域では雷雨性の降雨により水害が発生しやすいことに対応している。また梅雨前線などの1,000km程度の空間スケールを持つ中規模じょう乱であっても、時間雨量はその内部で発達するメソ γ スケールの積乱雲で規定される⁴⁾。このように1~2時間程度の降雨は、その空間スケールが2~20kmであるため、数10 km^2 の流域でも流域内に一樣に降雨が生じることは稀である。図-2は中部地方のある河川(流域面積11.5 km^2)で溢水氾濫を生じさせた雷雨性降雨の1時間雨量の分布を示したものであるが、高々10 km^2 程度の流域でも、降雨の流域一樣性の仮定は成り立たないことがわかる。特にこの例のように、細長い流域形状であれば、流域における降雨分布の空間的な非一樣性はより顕著になる。

福岡らは50 km^2 の仮想流域を対象に空間分布が異なる

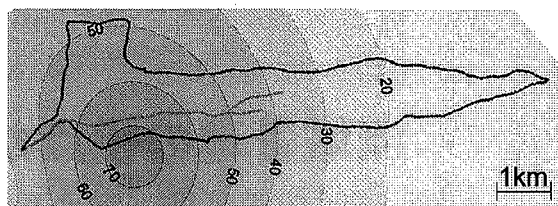


図-2 A川での降雨例(2000年8月降雨の1時間雨量)

降雨を与えて、降雨の空間的な偏差が流出量に与える影響を数値実験的に検討している⁵⁾。矩形流域を上中下流域に分け、いずれかの流域を降雨の集中域として75 mm/hr の降雨を与え、その他のブロックには50 mm/hr , 25 mm/hr の雨を与え、流域平均雨量としては50 mm/hr となるようにして合成合理式法で流出量を算定した。この結果、上流、中流、下流いずれの流域の集中型降雨も流域一樣降雨に比較して1割程度の流出量の増大が見られ、下流集中型の降雨ではピーク生起時刻も、20分(洪水到達時間は90分)早まったとしている。このことは流域一樣降雨を仮定した場合、実際に生起する洪水より過小な流量を与える危険性を示唆している。

降雨の流域内一樣性を仮定すると、降雨量と流量は1対1で対応するが、降雨の空間分布を考慮すると、同一降雨量であっても流量は異なることになり、降雨量と流量は1対1で対応しないことになる。したがって降雨の流域一樣性を仮定した確率~雨量・流量関係により実際に生起した洪水を評価すると、雨量評価では1/3だが流量評価では1/5というような差異が生じることになる。このことは、実際に生じた洪水の生起確率を評価する際に混乱を生じさせるとともに、住民への説明も難しくしている。

(3) 点雨量を面積雨量とする問題

中小河川では代表観測所雨量の極値を統計処理して作成した降雨強度式により、計画降雨量を与えている。これは、面積雨量を点雨量で表現していることを意味しており、対象とする流域面積が大きくなればなるほど、確率雨量を過大に与えることになる。

図-3は深見ら⁶⁾が東海豪雨で作成したDAD曲線であるが、降雨継続時間(Duration)が短くなれば、面積(Area)の増加とともに降雨強度(Depth)の低減率は大きくなることからわかる。これは、先述したように降雨の時間スケールと空間スケールが強い相関を持つことを表している。通常、DAD曲線は、DD関係はSherman型、DA関係は拡張Horton式を採用して定式化される⁷⁾。この例では降雨継続時間ごとにパラメータを同定しており、1時間雨量のDAD式は以下のである。

$$P_d = 167 \cdot t^{0.5} \cdot \exp(-0.20 \cdot t^{0.5} \cdot A^{0.26}) \quad (2)$$

ここに P_d :包絡最大雨量(mm), t :降雨継続時間(hr), A :面積(km^2)

この式によると、面積が100 km^2 の降雨強度は、面積10 km^2 の降雨強度の約70%となる。東海豪雨は、秋雨前線

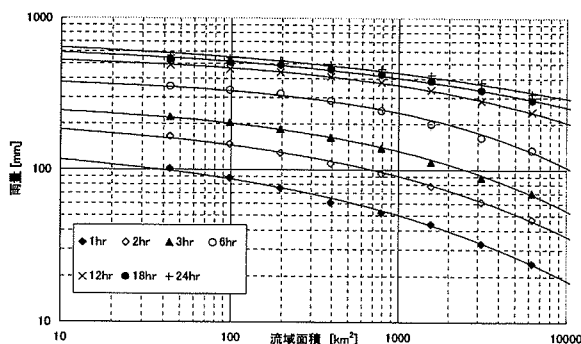


図-3 東海豪雨のDAD関係⁶⁾

に南側から湿潤な空気が台風14号により供給されたことがその発生原因であり、比較的空間スケールの大きい降雨であった。このような大きな空間スケールの降雨であっても、短時間雨量強度は面積の拡大とともに急激に減少することがわかる。

また、WMOのガイドラインでは、流域面積がおおむね25km²を超えると代表観測所の点雨量で流域平均雨量を表現することはできないとし、降雨継続時間ごとに点雨量を面積雨量に補正する曲線を示している⁹⁾。たとえば1時間雨量を例にとると、流域面積が125 km²になると、観測所雨量のほぼ80%となる曲線が示されている。

これまで100km²程度の流域でも、一つの代表観測所の雨量から算定した確率雨量をそのまま用いることが多かったが、確率雨量という観点からはかなり過大な値を与えていたと考えられる。

(4) 都市域における計画降雨の与え方

ここまで、中小河川での従来の計画降雨設定方法の問題点を指摘した。すなわち、流域に空間的一様降雨を仮定する問題点と代表観測所の確率雨量をそのまま流域平均雨量として用いる問題点である。これら2つの問題点は、中小河川流域の洪水流量を規定するのは数時間程度の降雨であり、その空間スケールは数kmでしかないという気象現象に起因している。いずれにしても、現在の計画降雨の与え方では、設定安全度に対応した外力になっておらず、大きな誤差を有していると考えられる。

谷岡らは、このような従来の計画降雨設定方法の課題を指摘し、新しい計画降雨の与え方として、降雨成因別にDAD解析を行い、確率規模別に降雨成因、降雨継続時間、および流域面積に対応した計画降雨量を求めるとともに、降雨の時空間分布は実績降雨に基づくことを提案している⁹⁾。この方法により、上記のような問題点は解消可能であろう。ただし、DAD解析を行う十分なデータが得られない場合は、これまで用いてきた代表観測所のDD (Depth-Duration) 関係をそのまま採用し、DA (Depth-Area) 関係だけを地域別に検討し、この関係を用いて、流域面積に応じて代表観測所の確率雨量を減じるという方法も、これ

までの計画論との連続性という観点から、有力な選択肢になり得ると考えられる。

今後、計画降雨の時空間分布については、既に大河川で行われているように実績降雨の時空間分布を用いる方法がとられるであろうが、中小河川流域では観測値が乏しく、実績降雨に適当なものがないこともあり、その場合には、近傍流域の実績降雨をあてはめることも一方法である。他流域の実績降雨を、当該流域にどのように空間的にあてはめるかについては、谷岡らの提案がある⁹⁾。

3. 都市域での雨の降り方は変わったか

我が国で最初に都市水害が注目されたのは、狩野川台風（昭和33年9月）による東京西郊の山手水害と言われている¹⁰⁾。都市化による流出量の増大、人口・資産の集積による被害ポテンシャルの増大、及び土地価格の高騰と沿川の高度利用による河川改修の遅れという、都市水害の構図は昭和30年代から変わらないが、最近では新たな側面として都市気候が降雨現象へ及ぼす影響が指摘されている。このことは都市化が都市水害の外力にまで影響を及ぼしていることを意味しており、都市化が水害に及ぼす影響はより広範囲になり、かつ深刻化しているといえることができる。

都市域の水害対策を流域住民に説明すると、住民からは雨の降り方が変わったのではないかという質問がなされる。これは、ヒートアイランド現象などによる都市型集中豪雨という概念が市民権を得ているということもあろうが、必ずしもそのような知識だけでなく、都市域の降雨現象の変化を住民が実感しているからと思われる。都市域の水防災を考える際、都市化にともなう降水現象の変化をどう考えるかは、今後、益々重要になっていくであろう。

都市化による降水強度増大の要因としては、①ヒートアイランド現象による静的安定度の減少、②大気汚染による凝結核の増大、③地表面摩擦の増加による強制上昇などが挙げられるが、どの要因がどの程度寄与するかの量的な検討は不十分で、都市降水のメカニズム論は定性的な段階にとどまっている¹¹⁾。

過去100年間（1991～2000）の気温変化を見ると、地球全体では年平均気温はほぼ0.7℃、日本では1.0℃上昇している¹²⁾。一方、日本の大都市では100年間で2.5℃、東京では3℃上昇しており、おおまかに言えば地球温暖化で0.7～1℃、都市化で1.5～2.0℃の年平均気温の上昇が、この100年であったことになる。このように都市のヒートアイランド化は着実に進んでいる。

しかし統計的には、気温、湿度ほど都市化にともなう降水現象の変化は顕著でなく、実証的には米国のセントルイス周辺での5年間の精密観測から得られた結果が報

告されている程度である¹³⁾。この報告では、都市化にともない明らかに強雨の発生頻度が増大していることが示されている。末次は、過去20年間のアメダスデータ（全国約1,300箇所）を用いて、時間70mm以上の豪雨の発生特性を調査し、これら豪雨の発生する頻度は経年的に増加傾向でもないし、都市部に偏っていることもないとしている¹⁴⁾。また、沖は東京（気象庁）の長期（1890～1999年）にわたる降水量資料から、東京では時間降水量は近年増加傾向にあるものの、1950年前後にもこのような傾向があり長期的に見ると必ずしも、都市化による豪雨の増加は明らかでないとしている¹⁵⁾。

このように統計的には都市域における豪雨の発生頻度の増加は明らかでないが、これはもともと豪雨そのものが時空間的に変動の大きい現象であり統計的に有意な形で都市域における降雨量の増加、特に豪雨の発生頻度の増加を示すことが難しいためと考えられる。この方面での今後の研究の進展を待つ必要があるが、都市部における熱環境の変化が降水現象に何らかの影響を与えるのは間違いない。例えば、小林は東京周辺における積乱雲の発生・発達状況をレーダで観測し、東京周辺の平野部では午後から夕方にかけて積乱雲が発生しやすく、またその積乱雲は発達しやすく急成長し局地的な集中豪雨をもたらすとしている¹⁶⁾。

もし都市部において、集中豪雨が生じやすいとするなら、何らかの方法でその現象を、都市河川の治水計画や管理に取り込んでいく必要がある。たとえば、地形条件や市街地構造から豪雨の生じやすい地域が明確になれば、それを考慮した降雨の空間分布を計画降雨として与えることなどが考えられる。いずれにしても、中北¹⁷⁾の言うように継続的な詳細観測と数値実験により、都市が降水に及ぼす影響を、今後定量的に明らかにしていく必要がある。

4. 河川と下水道の整合

従来は下水道が整備されている都市流域であっても、合理式、kinematic wave法、準線形貯留型モデルなどの流出モデルで流出量を算定してきたが、これらの方法では、下水道施設は考慮されていない。都市域の治水対策を考える上では、河川と下水道を一体的に捉えることが不可欠であり、河川と下水道の整合を図る必要がある。河川と下水道の整合とは、①まず河川と下水道が、計画や管理に相互の施設条件を反映させることであり、②次に河川と下水道の安全度のバランスをとることであり、③最後に、河川と下水道いずれにとっても有効な治水対策を効率的に推進すること、と考えられる。都市域においては、下水道施設をはじめ多くの人工構造物により、雨水は複雑な流出、流下および氾濫形態をとるため、河川と下水道の整合をとりながら、治水計画を策定するに

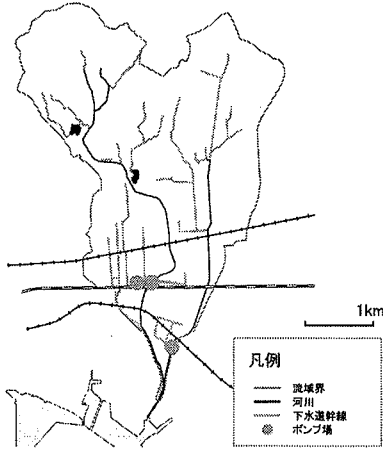


図-4 対象流域と河川および下水道網

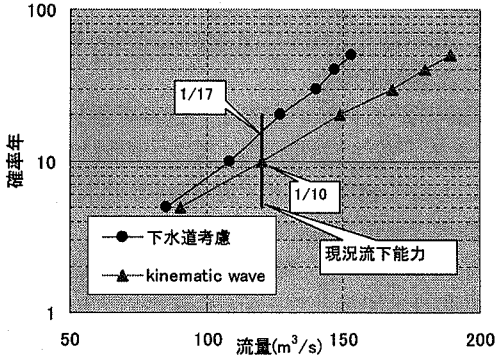


図-5 下水道の考慮の有無による安全度評価の違い

は、後述する「都市域総合モデル」が必要となる。

前述したように、これまで都市河川であっても、河川への流出量は下水道の整備状況に依存しないものとしていた。しかし都市河川と下水道施設の関係は、河川の本支川関係や上下流関係と本質的に同じであり、連続した水路ネットワークとして捉えるべきで、下水道施設を考慮せずに算定した流出量は実態と大きく乖離する可能性がある。下水道施設の能力により河川への流出量は規定されてしまうので、集中型流出モデルを用いて算定した流出量により評価した安全度は、実際の安全度よりかなり低くなる可能性がある。

ここでは、実河川を対象に下水道施設を考慮する場合としない場合での河川の安全度評価を比較した例を示す。対象とするのは、図-4に示すような流域面積11.5km²の市街化率90%の都市河川流域であり、市街地は1/6の計画規模でほぼ100%下水道が整備されている。中央集中型計画降雨波形を与え、①kinematic waveモデルと②河川と下水道を一体的に解析するネットワークモデルの2つのモデルで河道への流出量を算定した。

この結果は図-5に示すとおりであるが、河川の安全度評価で両者に大きな差が見られ、下水道施設を考慮しないkinematic wave法では、河川の現況安全度を過小に評価してしまう。このように河川と下水道の整合のまず第一は、河川と下水道を一体的に解析し、河川と下水道施設の相互の影響を正しく把握することである。

5. 都市域総合モデル

(1) 都市域総合モデルの必要性と枠組み

都市域に降った雨は、自然流域のように地形・地質条件だけで流下形態が定まるわけではなく、雨水排水を担う下水道網、高密度に存在する建築物および地下街などの人工構造物の存在により、複雑な動きを呈しながら市街地を流下する。すなわち都市域に降った雨は下水道等を通じて河川に排水されるが、下水道の施設能力を超えた雨水は地表面上を流下し、人孔を通じて再び下水道に戻ったり、河川に直接流入する。また地表面の浸水深が大きくなれば、地下鉄、地下街などの地下空間の浸水が始まり、地下空間に侵入した氾濫水はポンプにより下水道に排水される。また下水道から河川への排水量そのものも、河川水位に規定される。このように都市域における豪雨時の水の挙動は複雑であり、このことが都市域における浸水対策を難しくしている。したがって、このような都市域の流出・氾濫現象を表現できるモデルが、河川と下水道の整合のとれた計画や管理を行うために不可欠となる。このような都市域における複雑な流出・氾濫現象を表現できるモデルをここでは「都市域総合モデル」と呼ぶ。都市域の上流に、山地などの流出域があれば、流出域の流出現象を表す流出モデルを加えて都市域総合モデルを構成する。また、治水対策を検討するためには、流域貯留施設やポンプなどの治水施設の効果もあわせて評価できることが都市域総合モデルの要件である。

(2) 地表面氾濫モデル

都市域総合モデルにおいて、河川、下水道は、1次元不定流によりモデル化されるのが一般的であるが、地表面氾濫モデルは種々のものが開発され実用に供されている。現在、地表面氾濫モデルとしては、デカルト座標系モデル¹⁸⁾、一般曲線座標系モデル¹⁹⁾、非構造格子モデル²⁰⁾、街路ネットワークモデル²¹⁾が用いられているが、それぞれ一長一短がある。デカルト座標系モデルは、格子形成が容易でかつモデル作成に使われる国土数値情報や統計データがデカルト座標系で整理されているため、モデル作成に要する時間は最も短く、計算後の結果表示や被害額の計算にも有利である。しかし、密集市街地において道路上を流下する氾濫流の動きを表現することは難しい。一般曲線座標系モデルは、座標系 ξ, η を主要道路にあわせることによりデカルト座標系より精度よく市街地形状を表現できるが、考慮できる道路の数は、制約される。非構造格子モデルは複雑な市街地構造を忠実に表現することが可能だが、モデル構築にかなりの労力を要する。街路ネットワークモデルは、道路網を1次元不定流モデルで解き、建物部を連続式だけのいわゆるポンドモデルで表す。

街路ネットワークモデル以外では、建物の抵抗を運

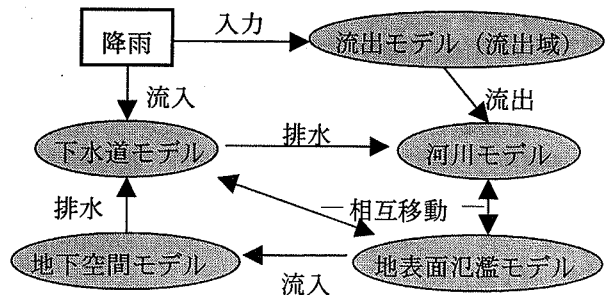


図-6 都市域総合モデルの枠組み

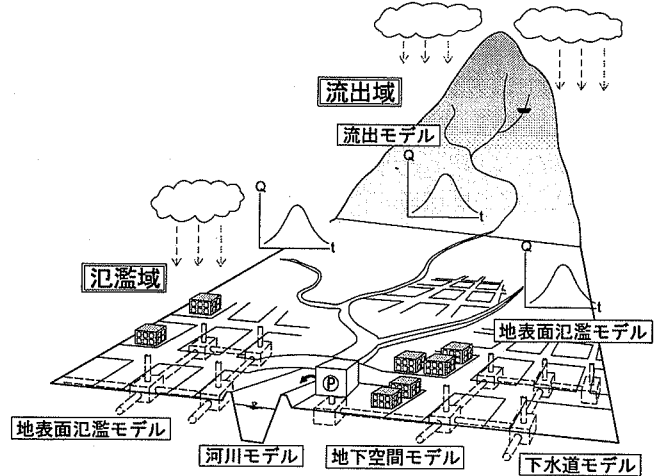


図-7 都市域総合モデル概念図

動方程式の中で表現する必要がある、等価粗度係数が抗力あるいはこの組合せとして表現される。また等価粗度係数は建物占有率や浸水深の関数とするなど精度を高めるための工夫が凝らされている。黄らは、模型実験の結果に基づき、 x, y 方向の建物の遮蔽率により抵抗則を補正する提案を行っている²²⁾。

都市域総合モデルでは、氾濫原の土地利用、市街地構造、必要な精度、計算時間、またモデル構築のために入手できるデータの制約などから判断して、最も相応しい地表面氾濫モデルを選択していくことが重要と考えられる。また場合によっては、複数の地表面氾濫モデルを組合せることも必要になる。たとえば、密集市街地では、街路ネットワークモデルが氾濫流の挙動をかなりの精度で表現可能であるが、農業地区などでは道路はむしろ盛土されており、氾濫水は道路上を流下せず、街路ネットワークモデルの適用は不適切である。また、非格子構造モデルは、市街地にも農村地域にも適用可能な汎用性の高いモデルであるが、モデル構築に際しては、詳細な土地利用および地形情報が必要となり、そのような情報が入手できない場合はかえって精度を落とすこともある。

(3) 都市域総合モデルの適用例

ここで述べた都市域総合モデルは既に幾つか開発されている。例えば戸田らは、流出モデルとして改良型の kinematic wave モデル、河川・下水道は1次元不定流モデル、地表面は街路ネットワークモデルを採用して総

合モデルを構築し、京都市域に適用している²³⁾。愛知県では東海豪雨を契機に、大きな氾濫被害が発生した新川、境川、日光川について都市域総合モデルを構築している²⁴⁾。この総合モデルは流出モデルとして分布型モデル、河川・下水道は1次元不定流モデル、地表面はデカルト座標系モデルを採用し、水災シナリオを想定して氾濫計算を行い、その結果を防災情報として流域市町村に提供している。

平成13年に水防法が一部改正され、洪水予報河川では浸水想定区域を指定し公表することが義務付けられた。鈴木らは、これまでデカルト座標系の氾濫モデルにより作成されていた浸水想定区域図を、京都市内を貫流する鴨川を対象に、はじめて街路ネットワークモデルにより作成した²⁵⁾。また、戸田らは約1km²の下水道排水区域を対象に、地表面には非構造格子モデルを、下水道には1次元不定流モデルを用いて都市域総合モデルを構築し各戸貯留といった小規模な雨水貯留施設の効果を検討している²⁶⁾。このように、対象地域の特性や解析の目的に応じた都市域総合モデルを構築し、氾濫現象や治水対策の効果を表現することが、都市域の水防災では極めて重要となっている。

6. まとめ

本稿ではまず計画あるいは管理の基本となる外力の設定方法について論じ、①中小河川においても降雨の流域一様性は成り立たず、実績降雨の時空間分布に基づき外力を設定する必要があること、②代表観測所の確率雨量をそのまま用いることは過大でありDA関係を考慮する必要があること、を述べた。

次に洪水時の雨水の挙動が複雑な都市域においては、①計画や管理に「都市域総合モデル」が必須であり、②土地利用、市街地構造、入手可能データの制約等から判断して、対象流域で最も相応しいモデルを選択する必要があること、を強調した。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：平成11年版水害統計，p179，2001.
- 2) 塩路勝久，緒方和之：特定都市河川浸水被害対策法の概要，河川技術に関する論文集(本論文集)，Vol.10，2004.
- 3) 角屋睦，福島晟：中小河川の洪水到達時間，京都大学防災研究所年報，No.192-B，pp.143-152，1976.
- 4) 武田喬男：豪雨の特徴とメカニズム，第20回水工学に関する夏期研修会講義集A-6，1984.
- 5) 谷岡康，福岡捷二：都市中小河川・下水道の連携した治水計画-台地部既成市街地を対象として-，土木学会論文集，No.733/II-63，pp21-35，2003.
- 6) 深見和彦，松浦直，吉谷純一，金木誠：2002年東海豪雨のDAD特性に関する一考察，水文・水資源学会研究発表会要旨集，pp.102-103，2002.
- 7) 桑原英夫：日本における最大級豪雨の時間的空間的集中特性に関する実証的研究，学位論文，pp.50-118，1988.
- 8) World Meteorological Organization : GUIDE TO HYDROLOGICAL PRACTICES WMO-No.168 pp.404-405，1994.
- 9) 谷岡康，福岡捷二：都市域の貯留施設を含めた治水計画について，河川技術に関する論文集(本論文集)，Vol.10，2004.
- 10) 高橋裕：国土の変貌と水害，岩波新書，1971.
- 11) 藤部文昭：ヒートアイランドが降水におよぼす影響-夏の対流性降水を中心にして-，天気，Vol.51，No.2，pp.109-115，2004.
- 12) 気象庁編：20世紀の日本の気候，2002.
- 13) 中北英一：都市化が降水に及ぼす影響，水文・水資源ハンドブック，pp145-146，1997.
- 14) 末次忠司：地下水害の実態から見た実践的対応策 地下防災を考える-特に都市における水害対策への提案- (社)土木学会地下空間研究会，pp.3-10，2000.
- 15) 沖大幹：都市型水害と都市の豪雨，河川，No.687，pp.12-17，2000.
- 16) 小林文明：ヒートアイランドが降水におよぼす影響-東京周辺における積乱雲の発達-，天気，Vol.51，No.2，pp.115-117，2004.
- 17) 中北英一：都市河川流域が対象とする降雨現象，河川技術に関する論文集(本論文集)，Vol.10，2004.
- 18) たとえば末次忠司，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，pp41-50，1998.
- 19) 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，pp23-36，1998.
- 20) 秋山壽一郎，重枝末玲：市街地構造を考慮した氾濫モデル，都市水害モデルの総合比較に関するワークショップ資料，pp15-21，2003.
- 21) 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，pp1-10，2002.
- 22) 黄光偉，渡辺正明，泉宮尊司：都市域における洪水氾濫に関する実験的研究，河川技術に関する論文集(本論文集)，Vol.10，2004.
- 23) 戸田圭一，井上和也，村瀬賢，市川温，横尾英男：豪雨による都市域の洪水氾濫解析，土木学会論文集，No.663/II-53，pp1-10，2000.
- 24) 愛知県建設部：水災シナリオに即した浸水情報の在り方，2003
- 25) 鈴木篤，大滝裕一，西村達也，真栄平宜之：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，河川技術に関する論文集(本論文集)，Vol.10，2004.
- 26) 中川吉人，戸田圭一，錦織俊之，井上和也：都市域における小規模貯留施設の氾濫抑制効果，河川技術に関する論文集(本論文集)，Vol.10，2004.

(2004.4.7受付)