

分布型都市洪水流出モデルの流域要素形状が 流出応答に与える影響について

EFFECT OF SURFACE REPRESENTATION OF DISTRIBUTED URBAN FLOOD RUNOFF MODELS ON FLOOD HYDROGRAPH

天口英雄¹・河村明²・高崎忠勝³・荒木千博⁴・中川直子⁵
Hideo AMAGUCHI¹, Akira KAWAMURA², Tadakatsu TAKASAKI³,
Kazuhiro ARAKI⁴ and Naoko NAKAGAWA⁵

¹正会員 工(博) 首都大学東京 助教 都市基盤環境工学専攻 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail:amaguchi@tmu.ac.jp

²正会員 工(博) 首都大学東京 教授 都市基盤環境工学専攻 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³正会員 工(博) 東京都土木技術支援・人材育成センター (〒136-0075 東京都江東区新砂一丁目9-15)

⁴正会員 工(修) 建設技術研究所 (〒160 東京都新宿区三矢六丁目13-5)

⁵正会員 工(博) 首都大学東京特任 准教授 都市基盤環境工学専攻 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

In order to evaluate the effect of surface representation of distributed urban flood runoff models on flood hydrograph, physically based distributed urban flood runoff model using both advanced GIS delineation and grid based data are applied to urban catchment in Tokyo with actual and hypothetical rainfall events. It is found that the effect of manhole distributions for the grid based model sensitively appears, and advanced GIS delineation based model using 3 classes of surface elements is independent of manhole distribution compared to the grid based model.

Key Words: *geographical feature data, grid based model, spatial resolution, distributed flood runoff model, urban catchment*

1. はじめに

都市流域の雨水流出プロセスは、建物、道路など多くの人工的な構造物からなる流出面と、これらからの雨水を河川まで運ぶ道路の側溝および雨水・下水道管路などから構成され、雨水の流出経路は非常に複雑なものとなっており¹⁾、これらは水循環を構成する全ての素過程に影響を与えている。特に不浸透域からの雨水流出は、雨水・下水道管路を通じて河川に排出され、洪水時のピーク流量形成プロセスを強く支配している²⁾。著者らは都市流域を対象に、洪水流出量を算定する際に最も影響を及ぼす不浸透域の空間情報として、従来のグリッド型には依らない、建物など地物一つ一つの空間情報を用いることにより、浸透・不浸透域を忠実に再現した地物データGISを用いた地物指向分布型都市洪水流出解析モデルを提案している³⁾。

一方、多くの分布型降雨流出モデルでは、入力可能なデータ制約上の理由およびモデル構築の簡便さから、グリッド型が多用されている。グリッド型による分布型流出モデルでは、最小単位のグリッドの大小により生じるスケール問題が流出解析において不可避となることが、山地流域を対象とした研究において報告されている^{4, 5)}。都市流域における分布型流出モデルにおいては、山地流域と同様にスケール問題が生じると思われるが、都市流域では雨水・下水道管路による雨水排水も行われており、

グリッドの大きさの違いが流出解析に与える影響を含めて研究報告された例は著者らの知る限りないようである。また、著者らが提案する地物データGISを用いた分布型流出モデルが既存の土地利用情報を用いたグリッド型流出モデルと比較して、流出特性がどのように異なるかを明らかにすることは、モデルの性能評価の点で非常に重要である。

そこで本論文では、地物指向分布型都市型洪水流出解析モデルと、従来から多用されているグリッド型を用いた分布型洪水流出解析モデルを実流域に適用し、洪水流出シミュレーションによって流出特性の比較検討を行う。まず、グリッド型流出モデルに細密数値情報を用いた場合の評価を行う。次いで、地物データGISによる土地利用データをグリッド型の土地利用に変換し、一定波形の降雨強度を用いた流出解析を行い、得られた流出特性を用いて両流出モデルの比較検討を行う。なお評価に当たっては、前報の地物指向分布型都市洪水流出解析モデルとパラメータによる計算結果を基準に、本論文において新たに作成した3種類(10m, 20m, 50m)のグリッド型都市洪水流出モデルを評価する。

2. 対象流域と分布型都市洪水流出モデルの概要

(1) 江古田川流域の概要

図-1に、本論文で対象とする江古田川流域の概要図を

示す。江古田川流域の流域面積は約6.5km²で、上流部は都市下水路となっており、本研究では、江古田川下流域(流域面積は約1.2km²、対象区間の河道延長は約1km)を対象としている。

(2) 分布型都市洪水流出モデルの概要

a) 地物指向型モデルと対象流域のモデル化

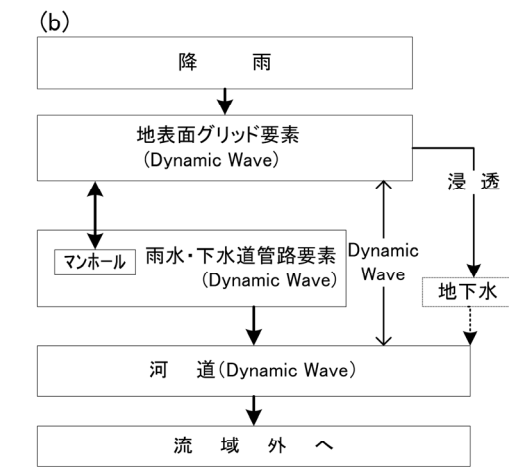
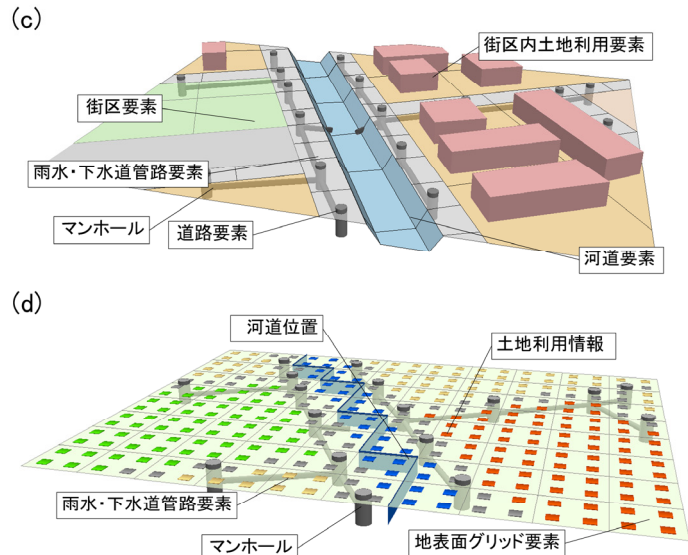
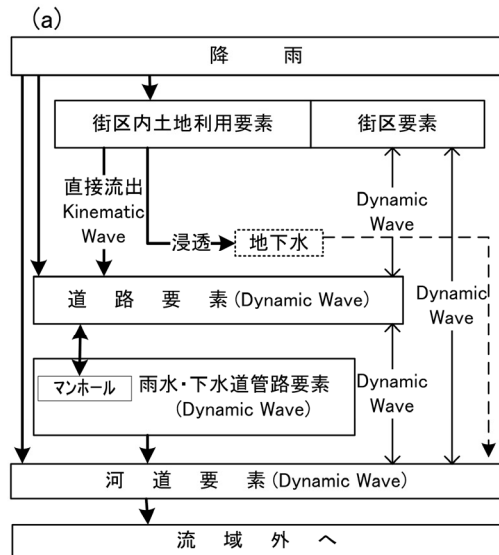
図-2(a)は著者らが構築した地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの雨水流出過程を、図-2(c)は地物データGISを用いた都市流域のモデル化の模式図を、図-2(e)は洪水流出モデルの基礎式を示す。なお、図-2(e)の括弧内には基礎式が利用される分布型流出モデルの名称を示した。図-2(c)に示すように、流域は街区要素、道路要素および河道要素で構成され、さらに街区要素は土地利用種別毎に分割されている。また、管路とマンホールにより構成される雨水・下水道管路要素があり、マンホールは道路要素と、管路は河道に接続している。道路上の雨水は、道路の側溝を通じて雨水・下水道管路に排水されているのが現状であるが、雨水流出のモデル化においては道路の側溝データの収集が困難であるため、マ

ンホールを通じて雨水・下水道管路に雨水が排水されるものとする。

図-2(a)の流出過程において、流域内への降雨は街区内土地利用要素、道路要素および河道要素の微小要素に与えられる。直接流出成分に寄与する有効雨量は、不浸透域(河道、道路、舗装地、建物)では降雨量を、浸透域(林地、緑地、グラウンド、間地)では修正Hortonモデル⁷⁾により表面流出に寄与する水量を算定する。街区内土地利用要素から近傍の微小道路要素への流



図-1 江古田川下流域の概要図



(e)

- 街区内土地利用要素から道路要素への流れ (地物指向型) $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad q = \alpha h^\beta$
- 地表面要素間の流れ (地物指向型, グリッド型) $\frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) - i_0 + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |v|^3}{R^{4/3}} = 0$
- 地表面要素の連続式 (地物指向型, グリッド型) $\frac{\partial h}{\partial t} = (\Sigma Q_i + \Sigma Bq + \Sigma Q_{in} + r_e A) / A$
- 雨水・下水道管路の流れ (地物指向型, グリッド型) $\frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) - i_0 + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |v|^3}{R^{4/3}} = 0$
- マンホール部の連続式 (地物指向型, グリッド型) $\frac{\partial S_m}{\partial t} = \Sigma Q_m - \Sigma Q_{out}$
- 河道の流れ (地物指向型, グリッド型) $\frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) - i_0 + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |v|^3}{R^{4/3}} = 0$

共通の変数: h : 地表面の水深, ΣQ_i : 隣接地表面要素からの流入, r_e : 地表面要素の有効雨量, A : 地表面要素面積, B : 微小土地利用要素の斜面係数, q : 街区内土地利用要素の単位幅流量

S_m : マンホールの貯留量 (マンホール部の貯留量・水位換算式により水位を算出), Q_m : マンホール部流入量, Q_{out} : マンホール部流出量

v : 流速, x : 要素間距離, h : 水深, x : 管路勾配, n : 粗度係数, R : 径深, c : 微小錯乱 (重力波) の伝搬速度 (スロット幅と管路径の関数)

$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - \Sigma q = 0$

→ 代表的な雨水流出過程 ← 浸水時の流れ

図-2 分布型洪水流出モデルの概要。(a) 地物指向型洪水流出モデルの流出過程, (b) グリッド型洪水流出モデルの流出過程, (c) 地物データGISを用いた都市流域のモデル化, (d) グリッド型の都市流域のモデル化, (e) 分布型洪水流出モデルの水理・水文モデルの基礎式

出量はKinematic Wave法により算出する(図-2(e)①)。微小道路要素の水は、その要素内にマンホールが存在する場合には雨水・下水道管路に流下し、マンホールが存在しない場合には道路要素を流下する(図-2(e)②③)。雨水・下水道管路要素に対しては、まず微小道路要素との流入出量および接続管路からの流入出量によりマンホール部においてその水位を算出し、次いでマンホール部の水位と管路断面特性から流量をスロットモデル⁸⁾により計算する(図-2(e)④⑤)。この計算過程において、マンホール内の水位が上昇して道路の地盤高にまで達すると、マンホール内の水は道路要素上に溢水する。このように、雨水・下水道管路内の水は数々の管路網を合流して最終的には河道要素に流出し、河道を流下する(図-2(e)⑥)。なお、地物データGISの構築方法と本モデルに用いた水理・水文モデルの詳細は文献3)を参照されたい。また、表-1には地物指向分布型モデルに用いるパラメータを示す³⁾。

図-3は、対象流域を地物データGISによりモデル化したものである。ここで、図-3(a)は土地利用地物要素(街区内部要素数5181)を、図-3(b)は地表面地物要素(全要素数3208、街区要素数1467、道路要素数1688、河道要素数53)、および、雨水・下水道管路要素(マンホール数、管路数)を示す。道路、河道および街区内部土地利用要素のうち舗装地、建物を不浸透域とすれば、対象流域の不浸透面積率は約60%となる。なお、地表面地物要素の地盤高は、国土地理院発行の5mメッシュ地盤高を用いて要素内の平均地盤高の値を設定し、本研究では窪地処理は行わない。

b) グリッド型洪水流出モデルと対象流域のモデル化

図-2(b)は本研究で新たに構築したグリッド型都市洪水流出解析モデルの雨水流出過程を、図-2(d)はグリッド型を用いた都市流域のモデル化の模式図を、図-2(e)は洪水流出モデルの基礎式を示す。グリッド型を用いた都市流域のモデル化では、流域は地表面グリッド要素とその浸透・不浸透特性を与える土地利用情報で構成される。一般的にグリッド型流出モデルの地表面の流れは、落水線(流向は隣接するグリッドの8方向)に沿って1次元のKinematic Wave法により追跡する手法が多用されている。地表面流の河川への流出は、河川からの越流は考慮せず、横流入量として河道の水位に関係なく流入ものと仮定しているため、河道位置はグリッドの中心を接続する落水線を利用することができる。しかし本研究では河川の越流現象を考慮するために、この落水線を利用してモデル化することはできない。また、グリッド型では地物型のように河道領域を正確に一致させることは困難で、地表面グリッド要素を河道要素として利用するには無理がある。そこで、河道のモデル化としては、図-2(d)に示すように、実河川近傍のグリッド境界上に線データとして河道要素を作成し、これらに河道横断特性および地表面グリッドとの接続に関する情報を設定することで、地表面と河道との間の流れを追跡できるようにしている。

図-2(b)の地表面グリッド要素の直接流出成分は、降水量と土地利用情報から求めた不浸透面積率を用いて算定する。地表面グリッド要素内の直接流出量は、要素内

にマンホールが存在する場合には雨水・下水道管路要素に流下し、マンホールが存在しない場合には隣接する水位の低い地表面グリッド要素に流下(図-2(e)②③)する。雨水・下水道管路の流れと河道の流れの基礎式とデータは地物指向型と同一である。

グリッド型洪水流出モデルに用いる土地利用は、都市

表-1 地物指向型洪水流出モデルのパラメータ

パラメータ名	設定値
初期浸透能(mm/hr)	林地 : 150
	緑地 : 30
	グラウンド : 10
	間地 : 10
終期浸透能(mm/hr)	林地 : 100
	緑地 : 20
	グラウンド : 5
	間地 : 5
浸透能の減衰係数(hr ⁻¹)	4.14
土地利用地物要素の斜面勾配	1/350(流域平均勾配)
土地利用地物要素の等価粗度係数	浸透域 : 0.070
	不浸透域 : 0.035
地表面地物要素間 モデルの粗度係数	道路要素 : 0.043
	街区要素 : 0.067
雨水・下水道管路の粗度係数	0.013
河道の粗度係数	0.0225

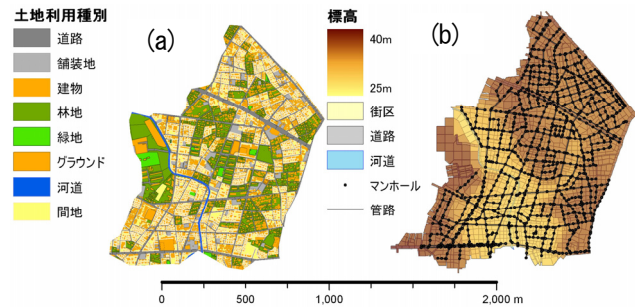


図-3 対象流域の地物データGISによるモデル化。(a)土地利用地物要素、(b)地表面地物要素と雨水・下水道管路要素

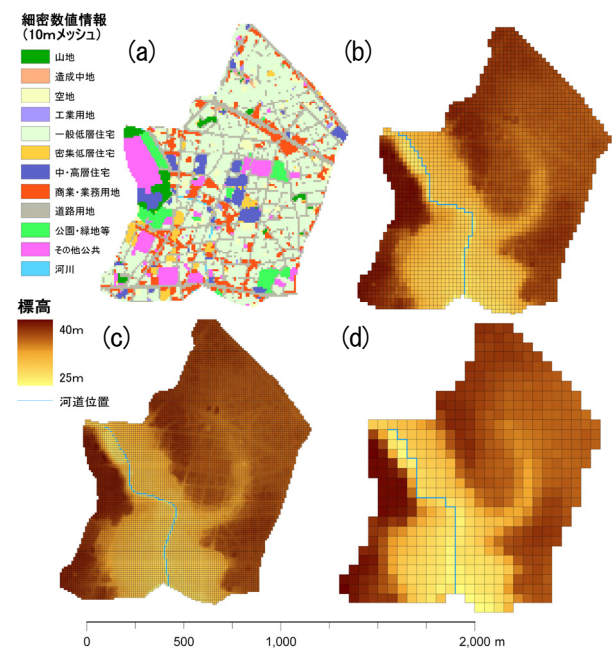


図-4 対象流域のグリッド型によるモデル化。(a)細密数値情報による10mメッシュ土地利用、(b)10mグリッド、(c)20mグリッド、(d)50mグリッド

流域の雨水流出解析に多用^{9),10),12)}されている細密数値情報を用いる。対象流域の土地利用分布は図-4(a)に示すように、工業用地、一般低層住宅地等々の12種類の用途種別に区分される。図-4(b)～(d)は本論文で構築した対象流域のグリッド型によるモデル図で、それぞれ10mグリッド(要素数11614)、20mグリッド(要素数2982個)、50mグリッド(要素数511個)によりモデル化されている。各グリッド長の特徴として、10mグリッドについては細密数値情報と整合しており、20mグリッドについては地物データGISの地表面要素数と概ね一致し、50mグリッドについては都市流域の雨水流出解析に多用されていることがあげられる。地表面グリッドの地盤高は地物データGISの場合と同様に、グリッド内の平均値を与え窪地処理は行わない。

3. 細密数値情報を用いた流出特性評価

(1) 分布型流出モデルの設定条件

細密数値情報を用いたグリッド型洪水流出モデル(グリッド型と呼ぶ)の流出特性を評価するため、3つの大きさ(10m, 20m, 50m)のグリッドを用いて、対象流域の計画規模である50mm/hrの降雨強度(60分間1分単位で与える)によるシミュレーションを行う。

細密数値情報の分布型流出モデルへの適用に対しては、通常、土地利用用途種別毎に対して不浸透面積率を設定して利用されている。しかし、ここでは単純に土地利用用途種別を浸透域か不浸透域かのいずれかに分類する。すなわち、土地利用用途のうち工業用地、一般低層、密集、中・高層、商業、道路、その他の公共、河川を不浸透域として取り扱う。この結果、対象流域の不浸透域面積率は0.88となる。

地物型のモデルパラメータは表-1に示す値³⁾を用いる。グリッド型に対しても同様に、粗度係数は表-1の地表面、雨水・下水道管路および河道の値を用いる。なお、地表面の粗度係数は、マンホールが存在するグリッド要素同士を接続する地表面境界要素には0.043を、その他の地表面境界要素には0.067の値を与えた。両モデルの河道の初期条件としては平水時の流量を与え、河川上流端の境界条件は上流からの流量をゼロと設定する。

(2) 解析結果と考察

本論文で用いている地物型およびグリッド型の洪水流出モデルの結果は、地表面要素、雨水・下水道管路要素、河道要素の全要素で比較可能であるが、まずは両モデルの特性を評価するため、河道流量に対して考察を行う。

図-5は地物型とグリッド型(10m, 20m, 50m)の洪水流出モデルに対して得られた河道の最下流端の流量ヒドログラフである。表-2には各モデルにより得られた流出率およびピーク流量を示す。

まず、流出率について考察する。対象流域の不浸透面積率は、細密数値情報では88%、地物データGISでは60%で、基本的にはこの差28%が流出に影響する。地物型の場合、図-2(a)に示すように、街区内土地利用土地利用要素への降雨はkinematic wave法により近傍の道路要素へ流出することに加え、浸透域からの直接流出量も

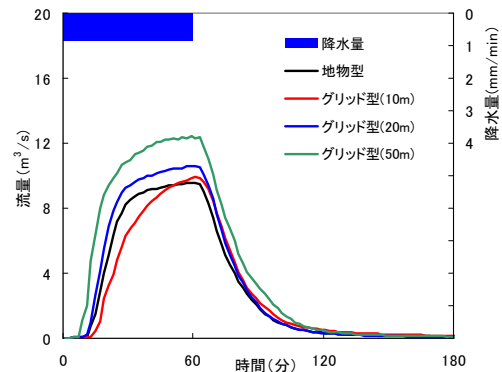


図-5 河道下流端の流量ヒドログラフ

表-2 各モデルの洪水流出特性

	地物型	グリッド型		
		10m	20m	50m
流出率 (%)	59	62	70	85
時間180分時の流域貯留率 (%)	7	26	16	3
河道ピーク流量 (m³/s)	9.60	9.90	10.60	12.50
雨水・下水道管路から河道への合成流量波形のピーク流量 (m³/s)	9.34	9.58	10.04	11.08
地表面から河道への合成流量波形のピーク流量 (m³/s)	0.27	0.41	0.63	1.59

考慮しているので、直接流出率は表-2に示すように、66%(流出率59%と流域内貯留率7%)となっている。グリッド型の場合、流出率と180分時の流域内貯留量を考慮した率の合計はグリッドの大きさに依らず88%であるが、グリッドが大きいほど河川へ流出する率は高くなっている。以上の結果より、50mm/hrを用いたシミュレーションでは、地物型に比べグリッド型の流出率は最大で約20%程度過大評価する可能性がある。

次いで、河川の洪水流出波形について考察する。図-5より、流量ヒドログラフの形状は、地物型とグリッド型(20m)の減水部が概ね一致している。また、総流出量とピーク流量の相対誤差は、グリッド型(10m)のそれが地物型の結果に近いが、流量ヒドログラフは異なっている。本解析では地物型とグリッド型の地表面要素の地盤高は窪地処理を行っていないため、マンホールの存在しない窪地の地表面要素の雨水は、周囲の水位より高くならなければ流出しない。グリッド型の場合、グリッド長が小さいほど河川流出に寄与せずに窪地の地表面に貯留される要素数が多く存在するため、計算終了時の流域貯留量が大きくなる。グリッド長が大きくなるにつれて、地表面要素内部にはマンホールが存在する割合が高くなり、地表面グリッドの降雨はマンホールを介して河川に流れるために流出率も大きくなる。すなわち、グリッド型の地表面要素においては、マンホールが1カ所以上含まれている地表面要素数と全地表面要素数の割合は、10mでは8%、20mでは29%、50mでは75%となっている。例えば、グリッド型(50m)では75%が地表面グリッドのマンホールに流入する。一方10mおよび20mグリッド型では、地表面要素から雨水・下水道管路に直接流下可能な直接流出量の割合はそれぞれ8%と29%で、残りの雨水は地表面要素を流下してマンホールのある地表面要素に到達した後に、雨水・下水道管路へと流下することになる。このように、グリッドのスケールは、窪地貯留と

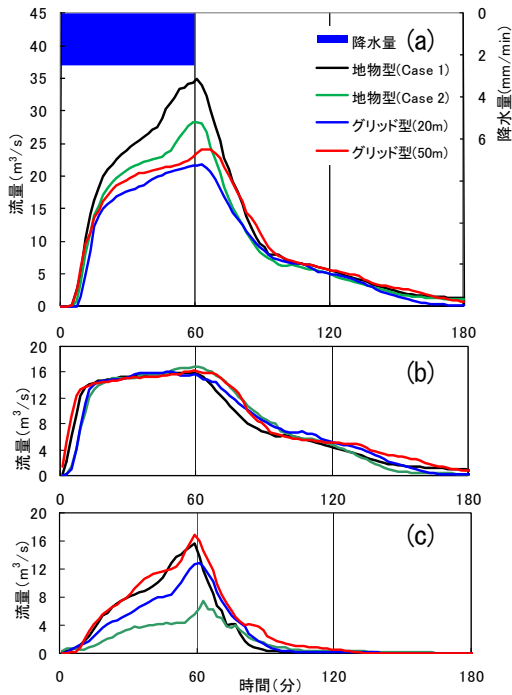


図-6 洪水流出解析結果(150mm/hr). (a) 河川下流端, (b) 雨水・下水道管路から河道への合成流量, (c) 地表面から河道への合成流量

マンホールの有無による効果が互いに流出特性に影響し、スケールが大きいくほど流出率が高く、かつ流出が早くなる傾向がある。

4. 降雨強度の違いによる比較

(1) 分布型流出モデルの設定条件

地物型の解析条件は前項と同様である。一方、グリッド型の洪水流出モデルに対しても地物データGISで作成した土地利用データを用いることで、浸透域からの直接流出量を地物型と同じように評価する。すなわち、グリッド型の土地利用種別は、グリッドを土地利用地物要素に重ね、グリッド内部に対して地物データGISによる土地利用種別の割合として設定した。対象とする降雨は30mm/hr, 50mm/hr, 75mm/hr, および150mm/hrを与え、洪水流出シミュレーションによる評価を行う。

(2) 結果と考察

流出特性の違いが顕著である、降雨強度150mm/hrを対象とした洪水流出解析結果を図-6に示す。図-6(a)は河道流量、図-6(b)は雨水・下水道管路要素から河道要素の流量、そして図-6(c)は地表面要素(道路・街区要素)から河道要素への流量である。図-6(b)の雨水・下水道管路要素から河道要素への流量はグリッド型(20m)の結果は hidrograph の立ち上がりに遅れがあるものの、全体の形状としてはあまり違いが見られない。一方、図-6(c)より、ピーク流量は地物型では降雨終了直前に発生しているのに対し、グリッド型では降雨終了後に発生している。hydrographの形状は、地物型では計算時間40分頃から急激に上昇してピーク流量となり、降雨終了後には急に減少しているが、グリッド型ではこのよう

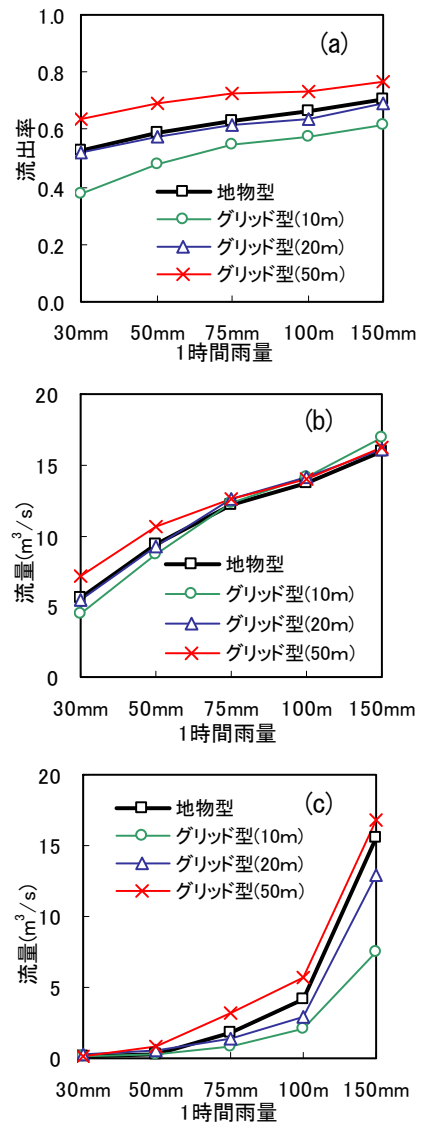


図-7 シミュレーションによる地物型とグリッド型の洪水流出特性。(a) 河川下流端での流出率, (b) 雨水・下水道管路から河道への合成流量波形のピーク流, (c) 地表面から河道への合成流量波形のピーク流量

な急激な流量の上昇や現象はみられない。図-6(b)に示す雨水・下水道管路から河道要素への流量は概ね一定なので、図-6(a)に示す河道の流量hydrographは、図-6(c)に示す地表面要素から河道要素への流量hydrographの特性を反映したものとなっている。

次に、降雨強度の違いにより流出特性がどのように変化するのかについて考察する。30mm/hrから150mm/hrの5つの一定降雨強度を地物型と3つのグリッド型の洪水流出モデルに与えてシミュレーションを行い、その結果を図-7に示した。なお、図には示していないが、河川下流端でのピーク流量の大小は概ね流出率と同様の傾向がある。まず、図-7(a)より、地物型の流出率を基準とすれば、グリッド型(20m)は1~4%低い程度であるが、グリッド型(50m)では10~20%高く、グリッド型(10m)では10~30%低くなっている。次いで図-7(b)の雨水・下水道管路から河道へのピーク流量は時間雨量75mm以上では全モデルがほぼ一致しているが、図-7(c)の地表面から河道へのピーク流量は時間雨量75mm以上においては

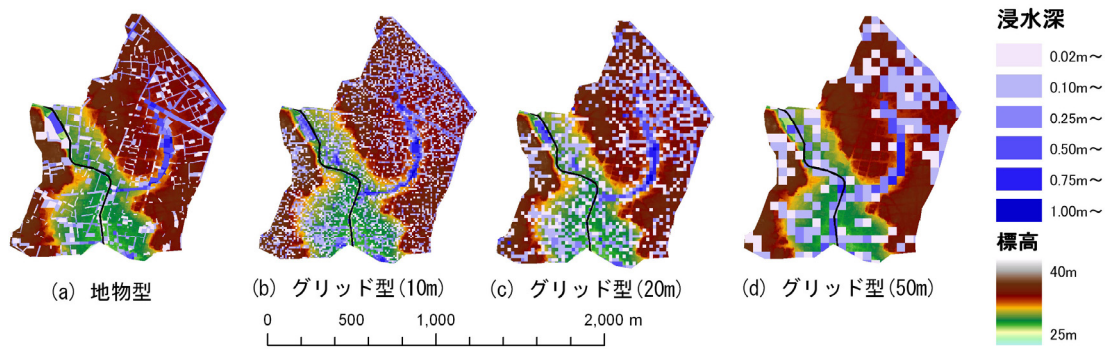


図-8 ピーク流量時の浸水状況(150mm/hr)

らつきがある。このように、河川のピーク流量は、対象流域の雨水・下水道管路の排水能力が50mm/hr程度であるために、50mm/hr以下では雨水・下水道管路からの流出特性、75mm/hr以上では地表面からの流出特性に依存することが示されている。また、グリッド型の洪水流出モデルの場合、グリッド要素の地盤高およびマンホールとの配置が流出に与えることを前項で指摘したが、本シミュレーションにおいてもグリッド長が大きいほど流出率が上昇することが図-7により確認できる。

図-8は、150mm/hr時の地表面の最大浸水深の状況を示したものである。地物型の浸水の分布は流域中央から東部に位置する谷地部とその上流部の道路一帯と、標高30m以下の河川沿いの道路を中心に浸水が発生している。50mグリッド型では流域東部の谷地部とその上流部の道路を中心に浸水が発生しており、地物型の浸水状況を概ね捕えている程度である。20mグリッドでは、流域全体に浸水が分布しているため地物型との誤差は大きいものの、0.1m以上の浸水に限ってみると概ね地物型の浸水状況をとらえている。このように、地物型とグリッド型の浸水深の分布は地表面要素の形状に依存しているので、地物型では主に道路上の浸水が目立つことが読み取れるが、グリッド型では浸水した区域の土地利用形態は不明瞭であることがわかる。

5. むすび

本論文では、地物指向分布型都市洪水流出解析モデルとグリッド型流出モデルを都内中小河川である江古田川下流域に適用し、降雨強度一定の降雨波形を用いた洪水流出解析を行い、両モデルの流出特性の比較について検討を行い、以下に示す結果を得た。

①都市流域を対象に、河道に至るまでの流出経路を地表面流に加えて雨水・下水道管路の流れを考慮した分布型洪水流出モデルの構築に当たっては、流域要素スケールは地表面要素の大きさだけでなくマンホールの配置が流出特性に大きな影響を与えている。②都市流域においてグリッド型流出モデルを適用する場合、地表面要素が小さくなるほど地盤高の窪地処理が重要となる。③地物指向型流出モデルでは、街区要素、道路要素、河道要素など明確に区分した地表面要素により構成されているので、街区内土地利用地物要素の雨水の流出先を柔軟に設定することができ、流出率に影響する窪地処理の必要性が低いことが特徴である。

謝辞：本研究を遂行するにあたって科学研究費(若手研究(B), 課題番号：21760389および一般研究C, 代表：河村明, 課題番号：21560545)の補助を受けました。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 豊國永次, 渡辺政広：都市流出シミュレーションモデルとその調査流域への適用, 第29回水理講演会論文集, pp.43-48, 1985.
- 2) 守田優, 和泉清：都市化と洪水流出変化の定量的分析, 第29回水理講演会論文集, pp.19-23, 1985.
- 3) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝：地物データGISを用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案, 土木学会論文集B, Vol63 No.3, pp.206-223, 2007.
- 4) 砂田憲吾, 青木謙治, 藤村拓生：分布型流出モデルの応答に及ぼす流域要素スケールの影響について, 水工学論文集, 第45巻, pp.145-150, 2001.
- 5) 嶋田啓一, 山田正, 藤田陸博, 洪延芳：流域の地形特性が流出降雨に及ぼす影響について, 第32回水理講演会論文集, pp.43-48, 1988.
- 6) 安藤義久, 高橋裕, 和泉清, 金尾健司：土地利用別の浸透能特性を考慮した都市流域の洪水流出解析, 第29回水理講演会論文集, pp.49-54, 1985.
- 7) Huber, W.C., Dickinson, R.E.: Storm Water Management Model Version4, User's manual, EPA/600/3-88/001a, Environmental Protection Agency, USA, 1988.
- 8) 渡辺政広, 江藤剛治, 室田明：取付管の調圧効果を考慮した下水道網内の遷移流計算法, 土木学会論文集, No.411/II-12, pp.81-90, 1989.
- 9) 中村茂：グリッド型水循環系解析モデルの開発～海老川流域を対象として～, 水工学論文集, 第45巻, pp.103-108.
- 10) 賈仰文：分布型モデルを用いた都市河川流域における流出抑制施設の効果の比較, 水工学論文集, 第45巻, pp. 109-114, 2001.
- 11) 天口英雄, 安藤義久：SMPTモデルを用いた分布型水循環モデルの改良について, 水工学論文集, 第46巻, pp. 265-270, 2000.
- 12) 市川新：新しい雨水流出モデルーメッシュ法ーの提案, 京都大学防災研究所年報, 第29号, B-2, pp.1-12, 1986.

(2009.9.30 受付)