

市街化率の上昇が洪水流出特性に与える影響

中央大学大学院 学生員 ○赤羽 祐也
中央大学大学院 正会員 山内 格

中央大学大学院 学生員 呉 修一
中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに：近年，都市域における集中豪雨により，都市河川の氾濫が大きな問題になっている．都市域は地表面がアスファルト舗装や家屋などの不浸透域が多く，山地流域と比較して降雨の貯留および浸透能力が極めて小さい．そのため降雨に対する流出量の応答が早く，都市河川特有の流出特性を有している．このように都市化により都市域の土地利用形態は急速に変化・複雑化している．**図-1**は鶴見川の河口から6.5km地点における実測の市街化率の変化と洪水到達時間の関係を示したものである¹⁾．市街化率が30%までは洪水到達時間がほぼ一定であるが，市街化率が30%から60%にかけて洪水到達時間が非線形的

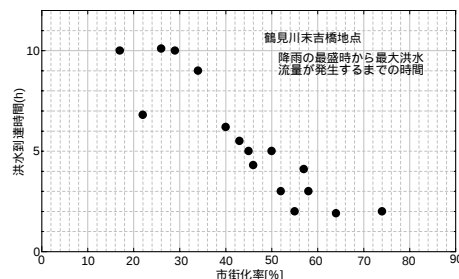


図-1 実測値の市街化率と洪水到達時間の関係

に減少していることがわかる．このように鶴見川流域においては市街化率と洪水到達時間の関係が非線形性を示している．本研究は都市流域の特徴の一つである市街化率に着目し，市街化率の変化が洪水流出特性に与える影響を定量的に把握することを目的としている．

2. 降雨流出計算手法の概要：**図-2**は本研究で対象とした鶴見川の概略図である．鶴見川は流域面積 235km²，流路長 42.5km の都市河川である．本研究では市街化率の変化が洪水流出特性に与える影響を見ることを目的とし，地表面流出計算を時間・面積法と非線形貯留法，集中定数系方程式の3通りの手法で計算を行った．地表面流出計算では62個のサブ流域に分割し，各サブ流域ごとに河道への流入する地表面流出量を算定する．河道部は不定流計算を行った．降雨は，各Caseともピーク降雨強度 20mm/h，降雨継続時間 10時間の単峰性正弦関数の降雨を空間的に一様に与えている．以下に地表面流出モデルの概要を示す．

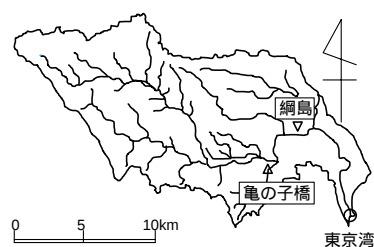


図-2 対象流域とした鶴見川流域〔32河川・62サブ流域〕

2.1 時間・面積法を用いた地表面流出計算：時間・面積法は，降雨の初期損失量及び流出率，分割されたサブ流域の最遠部から河道までの到達時間を与え有効雨量を算定し，時間・面積曲線によって流域内の地表面流出量を計算する．時間・面積法では市街化率の変化を不浸透域面積率のみのパラメータを用いて表現している．時間面積曲線は Type1: 矩形流域，Type2: 二等辺三角形流域，Type3: 逆二等辺三角形流域の3タイプとする．本研究では，Type1の時間面積曲線を用いて計算している．

2.2 非線形貯留法を用いた地表面流出計算：非線形貯留法の地表面流出は開水路の流れとして計算し，重力と摩擦力のみを考える．流域の斜面長や勾配を決定し，流出量は有効流域面積と実降雨からそれぞれの水文損失を差し引いた有効降雨量により支配される．非線形貯留法の土地利用形態は最大で5種類あり，本研究では不浸透域・浸透域の2種類の土地利用形態を用いた．

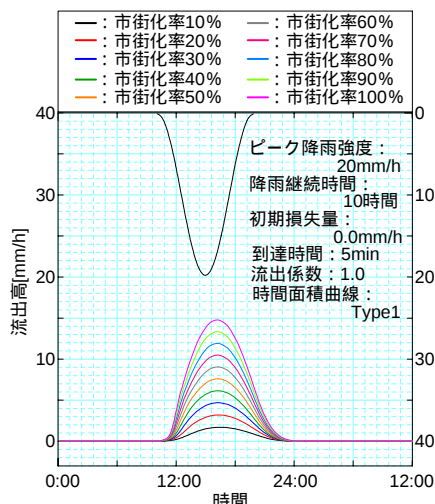


図-3 時間・面積法による流出高
ハイドログラフ
〔不浸透面積率を10%-100%まで変化させ求めた流出高〕

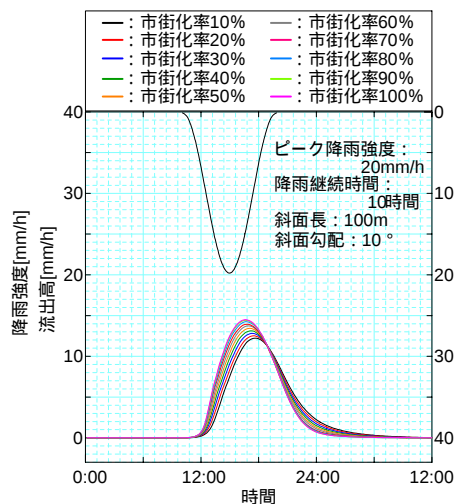


図-4 非線形貯留法による流出高
ハイドログラフ
〔不浸透面積率を10%-100%まで変化させ求めた流出高〕

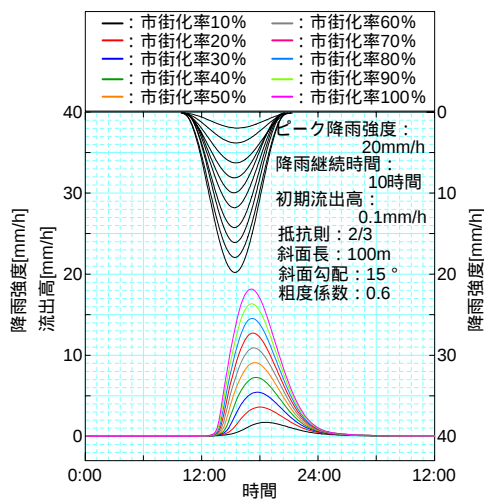


図-5 集中定数系方程式による流出高
ハイドログラフ
〔流出係数を0.1-1.0まで変化させ求めた流出高〕

キーワード 都市流出，市街化率，流出解析，流出特性

連絡先 〒112-8551 東京文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL 03-3817-1805

2.3 集中定数系方程式を用いた地表面流出計算：集中定数系方程式は著者等²⁾が従来から提案している手法であり、斜面流下方向流れに関して断面平均流速を水深のべき乗形式で表現するとともに、流れを Kinematic Wave として取り扱う。流れの抵抗則を変化させることにより、表面流や中間流等の異なる流れの形態の表現が可能である。

3.各地表面流出手法を用いた計算結果の比較：本研究では3通りの地表面流出計算法で降雨流出計算を行った。3通りそれぞれの市街化率の与え方は(1)時間・面積法では、市街化率の変化は不透透面積率の違いを流域一様に与えることにより流出寄与面積率の違いで表現した。(2)非線形貯留法は市街化率の変化を浸透・不透透面積率を変化させ土地利用形態ごとの水文損失量・粗度係数の違いで表現した。(3)集中定数系方程式では、市街化率の変化は流出係数の変化を流域一様に与えることにより有効降雨量の違いで表現した。また、他のパラメータである(1)時間・面積法での到達時間、初期損失、流出率は流域一様に与えている。(2)非線形貯留法での各サブ流域の斜面長はサブ流域面積を河道長で割った値を用い、他のパラメータである斜面勾配、初期損失量、マンニングの粗度係数は流域一様に与えている。(3)集中定数系方程式での初期流出高、斜面長、抵抗則、斜面勾配、マンニングの粗度係数は流域一様に与えている。この計算で求めた河口から13.8km地点の各降雨流出計算結果の流出高ハイドログラフを図-3,4,5に示すとともに市街化率の変化によるピーク流出高と遅れ時間との関係を図-6に示す。本研究でのピーク流出高は基底流量を引いた直接流出高とし、遅れ時間はピーク降雨時から最大洪水流量が発生するまでの時間と定義している。各降雨流出計算においても、本研究で設定した市街化率の与え方の条件のもとでは、市街化率が上昇するに従ってピーク流出高は線形的に上昇している。これは市街化率の変化を不透透面積率で表したことによる地表面流出寄与面積の線形性に起因するためである。また、市街化率が上昇するにともなって約50%までは遅れ時間が非線形的に減少し、市街化率が50%以降は実測値と同様にほぼ一定値に収束していることがわかる。この実測値と計算結果の違いは、実測の流域は市街化の変化にともなって地表面の粗度係数や水文損失量、河道形状、河道内の粗度係数が変化しているのに対し、計算に用いた値は一定値として計算を行っていることと、市街化率を空間的に一様に線形的に与えたためと考えられる。よって、以下に市街化率の進行に空間分布を持たせ計算を行う。

4.市街化率の空間分布の違いによる計算結果の比較：時間・面積法において、流域における市街化の進行の空間分布の違いが洪水流出特性に及ぼす影響を見るため、(1)不透透域を全サブ流域に一様に与えた場合(2)市街化が下流域側から進行していく場合(3)市街化が中流域から進行していく場合(4)市街化が上流域側から進行していく場合の市街化率とピーク流出高の関係を図-7に示す。計算結果より市街化が下流域側から進行していく場合、市街化率が上昇するに伴って市街化が流域一様に分布していく場合と比べてピーク流出高が低い値で非線形的に上昇することがわかる。これは上流域の浸透域の遅い応答の流れが検討地点まで到達する以前に下流側の不透透域の早い応答の流れが流出するため、ピーク流出高は相対的に小さくなるためである。市街化が中流域・上流域側から進行していく場合は市街化率が上昇するに伴って市街化が流域一様に分布していく場合と比べてピーク流出高が大きい値で非線形的に上昇していくことがわかる。これは上流側の不透透域の早い応答の流れが検討地点に到達するときに下流側の浸透域の遅い応答の流れと合流するため、ピーク流出高は相対的に大きくなるためである。

5.まとめ：市街化率の進行の空間分布の偏り、つまり浸透域・不透透域の空間分布の違いによる検討地点までの洪水流の到達時間の差により、遅れ時間の非線形性が表れることがわかった。これは地表面から河道への雨水の到達時間と河道部における流れの到達時間の組み合わせにより、洪水流の特性が決定されるためである。

参考文献：1) 鶴見川流域総合治水対策協議会基本問題検討専門部会報告書

2) 山田正：山地流出の非線形性に関する研究，水工学論文集第47巻，pp.259-264,2003.

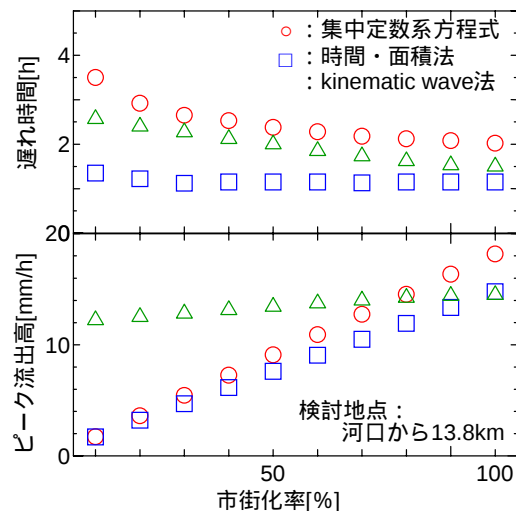


図-6 市街化率と遅れ時間(上)・ピーク流出高(下)の関係

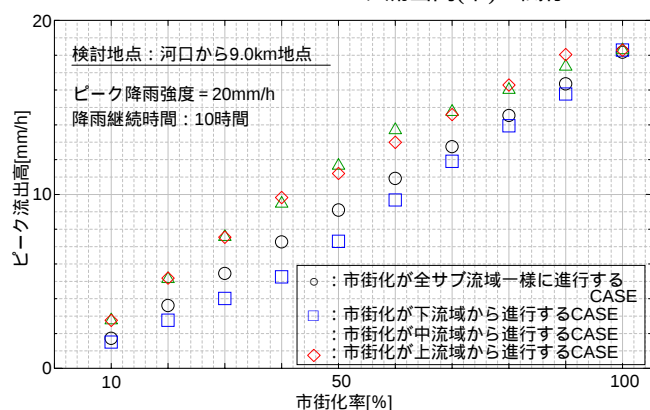


図-7 市街化の進行の空間分布の違いにおける市街化率とピーク流出高との関係