

都市流域における浸透域の扱いが河川流量に及ぼす影響に関する研究

中央大学大学院 学生員○宮本 守 国土交通省 正会員 海野 修司
中央大学理工学部 学生員 香川有紀 中央大学理工学部 正会員 山田 正

1 はじめに：近年，都市化が進むことによりこれまで浸透域が多く存在した流域に家屋や道路などの不浸透域が増加し都市流域となってきている．しかしそのような都市流域の上流部には浸透域が残っており完全に都市域と見なす事が出来ない流域も数多くある．そのような浸透域が無視できない流域で且つ災害ポテンシャルの高い都市域での集中豪雨時の流出形態を解明することを目的として，台風時に集中観測を行いその実測値と流出解析により得た計算値とを比較した．

2 観測概要：著者らは，2000年に7月7日から7月9日までの台風3号，2001年に8月21日から23日までの台風11号と，9月9日から9月12日までの台風15号，2002年に7月16日の台風7号の計4回にわたり集中観測を行った．観測項目は降雨量，流速，水位である．これらの観測は，横浜市栄区に位置し中小規模の都市河川であるいたち川を対象とした．いたち川流域の概略図を図-1に示す．いたち川には，複数の管渠が合流しているため，流域は開水路と管路の2種類を持つ水路網になっている．水路形態は，当初コンクリートの3面張りであったが，コンクリートの護岸上に低水路の設置とその蛇行化を図り，さらに多種の植物を植えるなどの多自然化が施されている．観測地点は，2級河川の柏尾川との合流地点から1.0km上流の水神橋(下流側)とB川との合流地点から2.2km上流の城山橋(上流側)の2地点である．

3 解析手法：本モデルは，流域全体を複数のサブ流域に分けて計算する分布型流出モデルであり，実降雨が地表面流としてマンホールや側溝へ流入するまでを解析する地表面流出解析と管路もしくは水路内における流出過程を解析する管路流解析の2段階で構成される．

3-1 地表面流出解析：地表面流出解析は非線形貯留法を用いている．有効降雨は実降雨から湿潤損失，浸透損失，表面貯留量を差し引いて算出している．浸透損失量はホートン式により求め，逆ホートン式により降雨終了後の乾燥期も考慮している．本計算手法では地表面流のみ計算しており浸透損失量は流出しないものとしている．流出量は Manning式と連続の式により算出している．

3-2 管路流解析：管路流解析は，1次元不定流解析の基礎式であるサンヴナン式と連続式を用いている．この基礎式を表-1に示す．差分法は水位計算点と流量計算点を交互に配置するスタッガード法により差分化し，陰解法6点アボットスキームにより解いている．

4 解析結果：図-2は2000年台風3号，図-3は2001年台風11号，図-4は2001

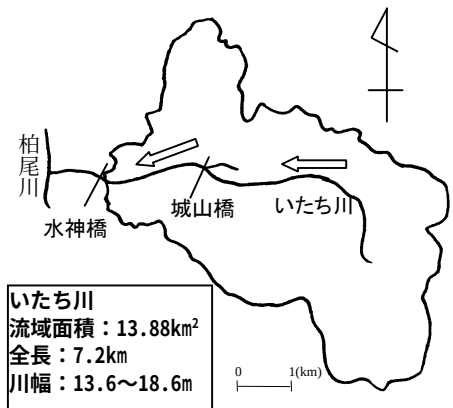


図-1 いたち川流域概略図

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]}{\partial x} + g \cdot A \frac{\partial y}{\partial x} = g \cdot A (I_0 - I_f)$$

Q : 流量 $[m^3/s]$, A : 流水断面 $[m^2]$
 y : 水深 $[m]$, g : 重力加速度 $[m/s^2]$
 x : 流水方向の距離 $[m]$, t : 時間 $[s]$
 α : 速度分配係数 , I_0 : 底勾配
 I_f : 摩擦勾配

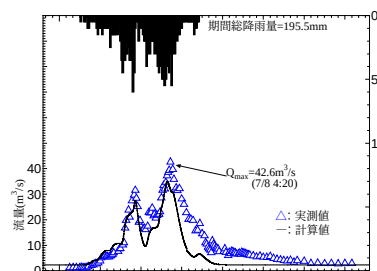


図-2 2000年台風3号での計算値と実測値の比較

最初のピーク時までは実測値と計算値は一致しているが、その後の減衰は早く低い値になっている

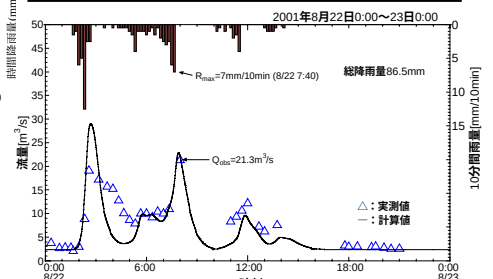


図-3 2001年台風11号での計算値と実測値の比較

ピーク後の減衰が早く表われ、8/22 10時以降はピークも低い値になっている

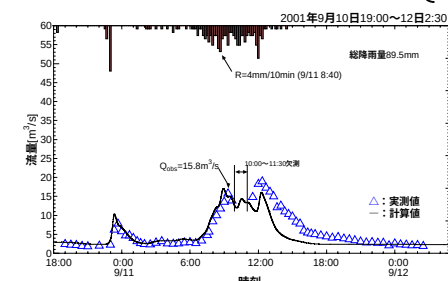


図-4 2001年台風15号での計算値と実測値の比較

9/11 10時までは実測値と計算値はよく一致しているが、その後は計算値が低くなっている

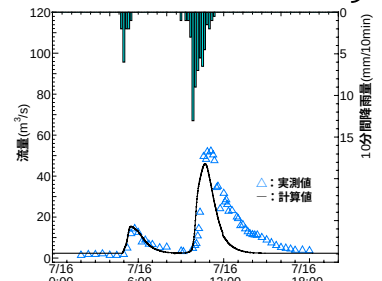


図-5 2002年台風7号での計算値と実測値の比較

7/16 10時までは実測値と計算値はよく一致しているが、その後は計算値が低い値になっている

キーワード 都市流域，洪水追跡，浸透損失量，中間流

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部 TEL03(3817)1805, FAX03(3817)1803

年台風15号、**図-5**は2002年台風7号における水神橋での流量の実測値と解析結果の比較である。4降雨全てにおいて計算条件は等しくパラメータも全て同じ数値を用いている。4降雨全て2つ以上のピークを持つハイドログラフであるが、実測値と計算値は1つ目の山のピーク時まではよく一致している。計算値はその後早く通減し2つ目以降のピークでは全て実測値に比べ低い値を示している。このことから、単峰性の降雨であれば再現できることがわかる。

5 中間流を含んだ流出解析：いたち川流域では上流部に山林や畑地が存在する。全流域面積のうち浸透域の占める割合は32.9%でありその内訳は山林が23.3%、畑地が9.2%、水田が0.4%である。さらに**図-2**、**図-3**、**図-4**、**図-5**のいずれにおいても実測値に比べ計算値はピーク後の通減が早く表われている。これらを受けて浸透域が存在するサブ流域では中間流を含んだ流出計算を行った。余剰水に対する地表流強度と中間流強度の式を**表-2**に示す。地表流と浸透は表面貯留が最大値 U_{max} を上回った時点で発生し、これらを余剰水 P_n として考え地表流強度 OF は P_n に正比例し地表流流出係数 CQ_{OF} によって決まる。中間流強度 IF は表面貯留量 U に比例し相対含水量 L/L_{max} に従って線形に変化すると仮定している。地表流と中間流は共に直列に繋いだ2つの線形貯水池を仮定することで計算している。パラメータは4降雨において全て等しい値を用いて計算を行った。

6 流出解析結果の比較：中間流を含んだ流出解析の結果を実測値、地表流のみを扱った解析結果の2つと比較した。そのハイトハイドログラフを**図-6**、**図-7**、**図-8**、**図-9**に示す。それぞれ2000年台風3号、2001年台風11号、2001年台風15号、2002年台風7号でのハイトハイドログラフである。中間流を含んだ流出計算は地表流のみの計算に比べピークは遅れて

表われるが、全てにおいて地表流のみの計算に比べ精度良くピークを捉え、さらにピーク後の通減も実測値と良く一致している。長時間続いた降雨に対しても確実に応答している。2001年台風15号において12時20分のピークでは実測値 $18.96\text{m}^3/\text{s}$ に対して中間流を含んだ流出計算では $18.91\text{m}^3/\text{s}$ 、地表流のみの流出計算では $16.06\text{m}^3/\text{s}$ となり、中間流の影響で精度良くピークを捉えたことがわかる。これらから、正確にピーク流量を算出しハイドログラフを得るためには中間流を考慮して解析を行うべきであることがわかった。

7 まとめ：本研究では、上流部に浸透域が存在し完全な都市域とみなす事のできないいたち川流域において観測から得られた実測値と表面流のみを扱った解析結果とを比較し、さらに中間流を含んだ解析を行いそれらの全てを比較検討した。それにより得られた知見を以下に示す。1) 表面流のみを扱った流出解析では実測値と近いピーク流量を得ることができ洪水予測は可能であると言えるが、計算値はピーク後の通減が早く表われることがわかった。2) 表面流に加え中間流を含んだ流出解析を行うことでより精度良くピーク流量を捉えることができた。これにより上流部に存在する浸透域の影響を精度良く再現できたことが言える。

謝辞：本研究の流出計算においてDHI(Danish Hydraulic Institute)が開発した水理計算ソフト MIKE MOUSE を用いている。

このソフトウェアを無償で提供していただいたDHIに対して、ここに深甚なる謝意を示す。

参考文献：(1) 小川進，和泉清：都市域の浸透パラメータの空間分布と土地利用，水文・水資源学会 1990 年研究発表会要旨集，pp54-57,1990。

表-2 浸透域での地表流量と中間流量の算定

$$\text{地表流: } OF = CQ_{OF} \frac{\frac{L}{L_{max}} - T_{OF}}{1 - T_{OF}} P_n$$

OF : 地表流強度 T_{OF} : 相対含水比率
 CQ_{OF} : 地表流流出係数 P_n : 余剰水
 $\frac{L}{L_{max}}$: 相対土壌水分

$$\text{中間流: } IF = (CK_{IF})^{-1} \frac{\frac{L}{L_{max}} - T_{IF}}{1 - T_{IF}} U$$

IF : 中間流強度 T_{IF} : 相対含水比率
 CK_{IF} : 流出孔定数 U : 表面貯留量

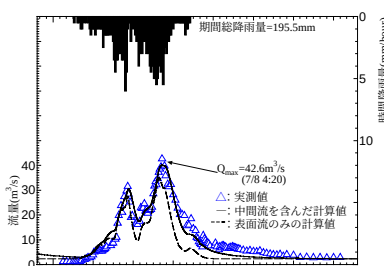


図-6 2000 年台風 3 号での実測値と中間流を含んだ計算値、表面流のみの計算値の比較

（中間流を含んだ計算では地表流のみの計算より精度良くピークを捉え、その後の通減も実測値に近い値を示している。）

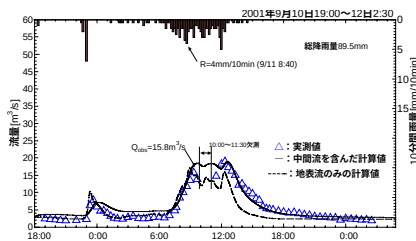


図-7 2001 年台風 11 号での実測値と中間流を含んだ計算値、表面流のみの計算値の比較

（中間流を含んだ計算では地表流のみの計算より精度良くピークを捉え、その後の通減も実測値に近い値を示している。）

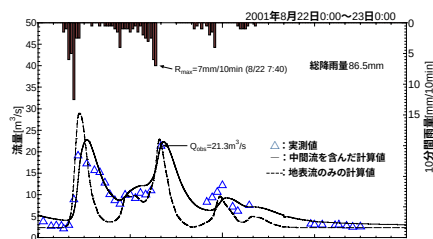


図-8 2001 年台風 15 号での実測値と中間流を含んだ計算値、表面流のみの計算値の比較

（中間流を含んだ計算では地表流のみの計算よりピークは遅く出ているが、その後は実測値と良く一致しており中間流を考慮すべき流域だということがわかる）

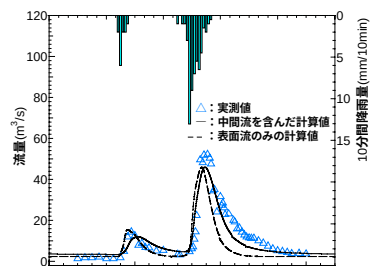


図-9 2002 年台風 7 号での実測値と中間流を含んだ計算値、表面流のみの計算値の比較

（中間流を含んだ計算では地表流のみの計算よりピーク後の通減がより実測値に近い値を示している。）