

東京都土木技術研究所 正員 ○ 和 泉 清

そこで、都内中小河川のうち、山の手台地を流下する神田川及び目黒川を例にとり、合流点付近における実績洪水によって、合理式の適用性について実証的な検討を加えるとともに、式の運用法に新たな考えを導入し、都内中小河川の洪水流出特性について考察するものである。

(1) 対象河川・対象河川は、図-1に示す東京の代表的な中小河川である神田川と目黒川で、解析対象流域は、神田川の場合が妙正寺川との合流点の田島橋より上流域、目黒川の場合が蛇崩川との合流点の日の出橋付近より上流域とするものである。

また、目黒川流域は、流域面積約35.5Km²、河川延長約13.8Km、河川の平均勾配約1/300、下水道の普及率約50%、流域の不浸透率56%、都市化数76という、神田川につぐ都市化流域である。

(2) 対象洪水・対象洪水は、近年、都内の各地点で浸水状況を生起させた次にあげる6洪水である。

1) 昭和53年4月6日の集中豪雨(以下, 4, 6

洪水と略，他の洪水も同様に表わす)

2) 昭和54年3月24日の集中豪雨

3) 昭和54年5月8日の強雨

4) 昭和54年5月14日の集中豪雨

5) 昭和56年7月22日の集中豪雨

6) 昭和56年10月22日の台風24号による豪雨

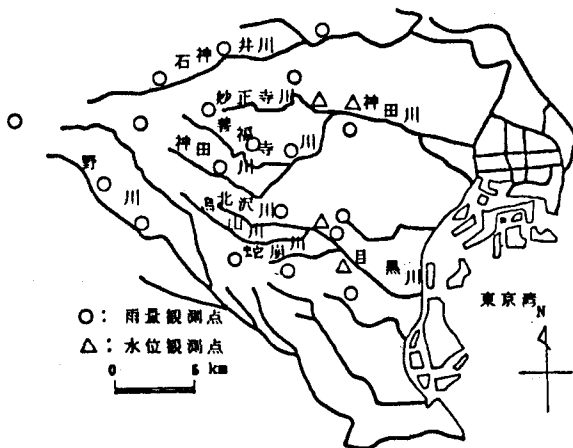


图-1 流域图

神田川及び目黒川における既述 6 洪水時の流出特性について，実測値，計算値により検討する。

各洪水時の対象各流域平均雨量は、図-1に示す各流域内及び近傍の雨量観測点における10分読

みの単純平均値による。また、流量は、各検証点の水位観測点における実測流量観測値あるいは水位流量曲線式からの換算値を実測値として、図-2、図-3のハイドログラフとして示す。

また、図中の計算値は、次の方法により、単位時間10分で計算した結果である。

流域斜面の流出モデルに合理式を使用し、それに使用する洪水到達時間は角屋の式²⁾によるものである。

ただし、角屋の式における定数項Cについては、筆者らが経験的に求めた既述の都市化数から推定する各河川別の値³⁾を使用する。

次に、河道の流出モデルには、簡単な線型水路方式を使用するという計算法⁴⁾である。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \quad (1)$$

ここに、 Q_p : ピーク流量 (m^3/s),
 r_e : 洪水到達時間 (t_e) 内の最大平均有効雨量強度 (mm/hr), A : 流域面積 (Km^2)

$$t_e = C \cdot r_e^{-0.35} \cdot A^{0.22} \quad (2)$$

ここに、C : 定数、ただし、 $C = 270 - 2.5 u_n$, u_n : 都市化数

$$O(t) = I(t - T_e) \quad (3)$$

ここに、 $I(t)$: 流入量, $O(t)$: 流出量, T_e : 河道による輸送時間で
 $T_e = L/v$, L : 河道延長 (m), v : 洪水波の速さ (m/s)

また、以上の他に、 r_e を決めるに際し、流域内の不浸透域と浸透域の2大工種からの流出分として、不浸透域の流出率を0.85、浸透域の一次流出率を0.15、飽和流出率を0.50とする総括流出率によるものである。

ただし、飽和雨量は、50mmとし、不浸透域の凹地貯留等は見込まない。

(1) 神田川の場合・神田川の検証点は、図-1に示す妙正寺川の最下流点(久保橋付近)と神田川との合流点直下の田島橋付近の2地点である。

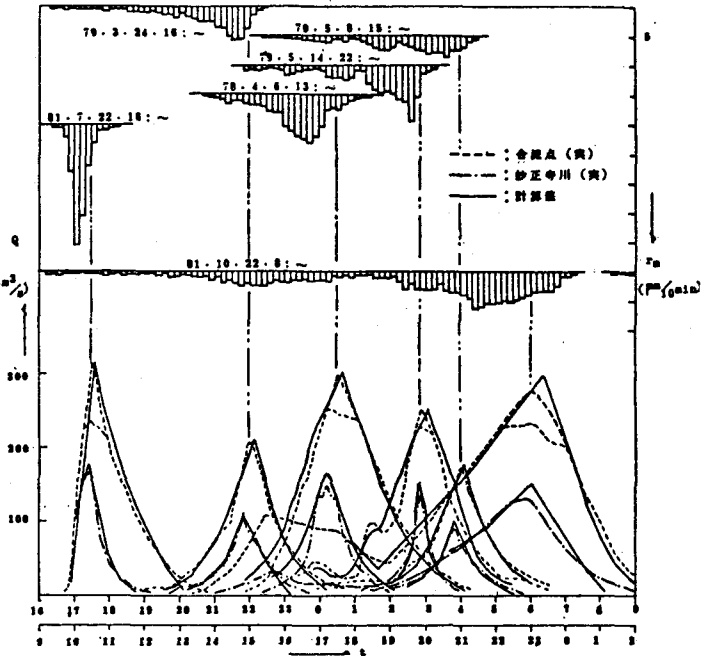


図-2 神田川のハイドログラフ

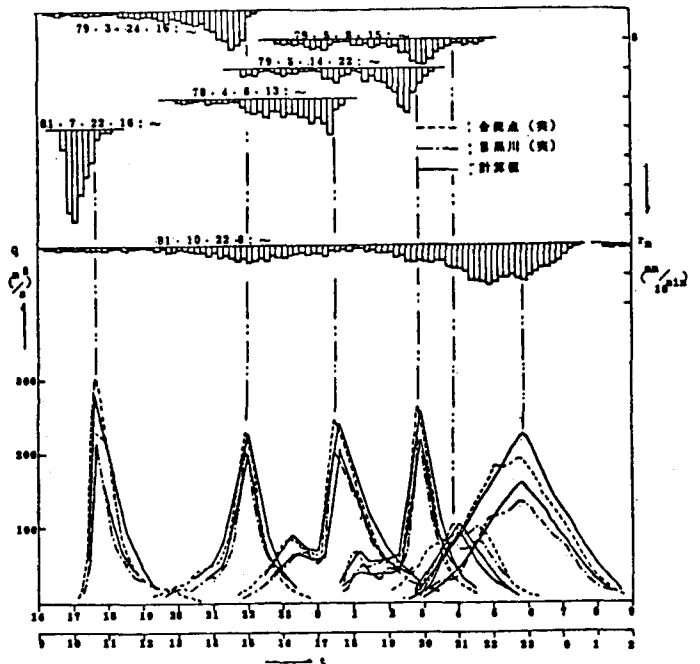


図-3 目黒川のハイドログラフ

神田川の流出状況を見ると7.22洪水の例が示すように、降雨継続時間の関係からも合流点及び妙正寺川のピーク流量は、合流点までの洪水到達時間が約60分程度の集水区域からの雨水によって構成されていることが明らかである。このことは、到達時間が50～60分程度と実測値ならびに計算結果からも推定することができる。降雨継続時間が短時間(前方集中型降雨波形は、この部類)の場合のみならず、後方集中型の降雨波

形の3.24洪水, 5.14洪水などの例も, 7.22洪水と同様, 到達時間が約60分程と推定される。

したがって, 合流点ピーク流量は, 合流点までの到達時間が約60分程度の集水区域からの雨水で, ほとんど支配されているものと推定できる。一方, 4, 6洪水や10.22洪水は, 降雨継続時間ばかりか, その強雨部の継続時間も比較的長く, 合理式で定義する洪水到達時間を上まわっており, 流域が一様な降雨状況にあると考えられる。したがって, これら洪水の到達時間は, 100分程度と推定され, 一般的な解釈による合理式での到達時間の見積り値とほぼ同程度の時間となっている。すなわち, 現実も, 流域最遠点の雨水が懸案地点まで流下してくるに要する時間として見積った値に等しく, 合理式の適用性が良い事例といえる。

以上, 6洪水例にみる神田川の場合の合流点ピーク流量は, 局地的な集中豪雨という降雨継続時間が短時間の降雨状況は勿論のこと, 降雨継続時間が比較的長い中央集中型や後方集中型の降雨波形の場合で, その強雨部の継続時間が短時間であれば, 集中豪雨の場合と同様な現象, すなわち, 強雨部継続時間に支配される合流点までの到達時間が等しい本川及び支川流域からの雨水によってピーク流量の多寡が左右されているのである。神田川の場合, 支川, 妙正寺川流域の雨水が合流点ピーク流域の多寡を支配することが多く見られるのである。神田川流域のように, 本川, 支川流域が共に不浸透域が50%をこえ, 下水道普及率が100%など流域排水施設網が整備されているような都市化流域においては, 自然流域からの雨水流に比べ, より合理的な形で流下現象が生起するはずである。すなわち, 合流点ピーク流量は, 本川, 支川の規模に応じた時差流下が生起する。しかし, 流域が都市化進行過程においては, 不浸透域の拡大や排水施設網の整備によって, 流出率の増加と到達時間の短縮が生起し, 集水区域の拡大化現象から, 局地的な集中豪雨などによる過大な雨水流が時差なく一挙に集水することになり, 地形的に弱点のある合流点で浸水状況が生起する。

流域全域が一様な治水安全度で整備された結果, その整備水準をこえる降雨状況が生起した場合, 古来, 地形的な弱点である低地部に雨水が集中することは, 都市域といえども自然の理で, それに抗することは出来ない。現状の神田川流域は, 整備水準の向上過程にあり, 浸水対策に苦慮するところが多い。

(2) 目黒川の場合・目黒川の検証点は, 図-1に示す蛇崩川との合流点(日の出橋付近)とこの地点より500m上流の千歳橋付近の2地点である。

目黒川の流出状況も神田川の例と同様, 図-3のハイドログラフにみるように, 7.22洪水は勿論のこと, 降雨継続時間が比較的長い他の洪水例においても, 到達時間は, 40~60分程度と推定される。

目黒川の例では, 10.22洪水の場合も到達時間が実測値でも約60分程度となっている。神田川の場合と相違する。その理由は, 流域内の下水道整備等排水施設網の普及状況の差によるものと考えられる。

目黒川の当該地点までの到達時間は, 降雨強度50mm/hr規模において約90分程度として見積られているところである。しかし, 現実には, 60分程と推定される。この現象は, 排水施設網が整備されている区域の内, 合流点までの到達時間が約60分程度の区域からの雨水によって現実面で, 合流点ピーク流量が支配されていることを意味する。この点, 都市化流域とはいえ改修途上にあるような目黒川の場合は, 下水道等が完備されている神田川流域のような都市化流域からの流況とは多少異なる。両河川の流域形状や地形勾配等による相異とは, 降雨強度50mm/hr程度の降雨規模の下では考えにくい。排水施設の影響が大きい。

したがって, 目黒川のように下水道等が整備過程にある都市流域にあっては, 合流点に限らず, 懸案地点のピーク流量は, 降雨の規模, 波形, 強度等の他に降雨継続時間の長さにもよるが, 排水施設の整備状況に支配されるのである。実測値にもとづけば, 5.14洪水などにみられるように, 集水区域が等到達時間40分程度の部分流域の, その雨水で, 合流点, その他のピーク流量が支配されているのである。

(3) 都市化指標と流出係数・ここで, 本稿で例示した各洪水の流出係数を以下の方法により算出する。

神田川の都市化数が85であることから, 角屋の式の定数Cの値は, 60となる。また, 目黒川の場合, 都市化数76より, 同様にCは80となる。そして, 各洪水について, 既述の総括流出係数の算定法による流域平均雨量から有効雨量 r_e を求め, 到達時間を算定する。この到達時間内の実測流域平均降雨強度(r_m)とピーク流量から逆算した r'_e と先の r_e との整合を図りながら, $f_p = r'_e / r_m$ を求める。

その結果、 f_p は、図-4に示すとおりであるが、神田川の場合、0.58~0.66、目黒川の場合、0.45~0.68と推定される。両河川とも、到達時間を45~60分と算定しその間の流域平均雨量を利用した結果であるが、比較的小さい f_p と考えている。

筆者らは、ピーク流量の多寡を支配する都市化要因として、流域内不透透域率と側溝、下水道、河道等の整備状況である流域内排水施設網の整備率という2大要因を説明変数とする都市化数という指標を作成し、この指標とピーク流量の関係を追究しているところである。しかし、従前、下水道普及率とピーク流量の関係について調査した結果⁵⁾を参考に、再度、流域内排水施設網の整備状況と

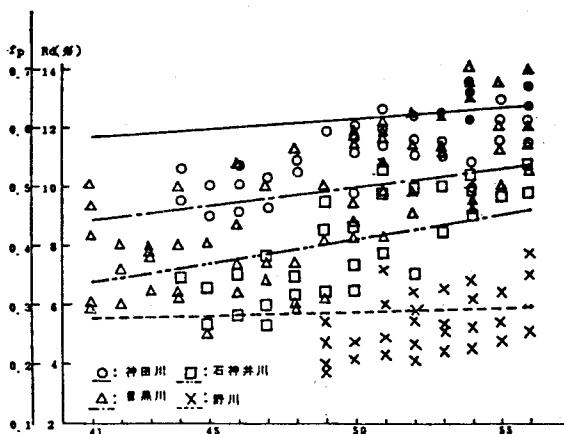


図-4 道路普及率と流出係数

ピーク流量の関係を調べ、都内中小河川にあつては、雨水流が道路を水みちとして集水されてくることから、排水施設網の基盤を道路普及率とし、流域内平均道路普及率と実測ピーク流出係数の関係について経年的に求めてきた結果、図-4に示す両者の関係を得た。対象とした流域は、神田川、目黒川の他に、山の手台地を流下する石神井川(対象面積約44.1Km²)と野川(対象面積約30.6Km²)の4河川である。そして、図中の中塗りしたポイントは、本稿で対象とした洪水例のものである。

総じて、流出係数が経年的に増加している傾向をみることができる。道路普及率との関係をみると普及率の小さい野川流域(多摩地域が主)や石神井川流域での f_p は小さく、神田川や目黒川のような都市化流域での f_p が大きいことは、他の都市化指標(例えば、不透透域率など)と同様の関係にある。道路普及率(以下、 R_d と略す)を3~5倍した値が f_p の大きさとなっている。

ここで、注目されることは、 R_d が小さい状況にあるときは、 f_p の R_d に対する倍率が小さく、すなわち、3倍に近く、 R_d が大きくなるに従い、 f_p の R_d に対する倍率が大きい、5倍に近いことにある。

R_d の規模によって、 f_p の大小が左右されているこの状況は、道路が普及することによってピーク流量の多寡を支配する集水区域の拡大を意味している。また、 f_p の値が R_d の3倍から5倍へと増加している経年的な推移が意味することは、道路に隣接する家屋等の増加に伴う排水施設の整備が進行していることであり、最近の排水施設の著しい整備状況を図-4の f_p の規模から知ることができる。

筆者らは、ピーク流量を支配するのが流域全域からの雨水ではなく、対象流域のある部分からの雨水によるものとして、有効流域面積⁶⁾という概念による流出係数の決め方を検討しているところである。

この有効流域面積は、道路を水みちとする道路及びその隣接する区域によって構成されるものとしている。 f_p が R_d の3~5倍になっていることは、道路に隣接する区域の中が平均的にみて3~5倍の区域からの雨水でピーク流量が支配されているものと考えるのである。

4. 合理式の適用性について

これまでの神田川及び目黒川の合流点における流出特性を踏まえ、この項では、合理式による合流点の流量算定の運用面に着目し、実証的な見地から合理式の適用性について検討する。

一般に、合理式により計画高水流量を算定する場合、流域形状により色々と工夫が図られてはいるが、支川合流点における流量計算は、各支川ごとに合理式を適用し、合流点の合成流量は、一般にそれより上流域の本川と支川を合せた流域面積と本川または支川のうち到達時間の長い方の到達時間による降雨強度(確率降雨強度式による)の値による算法で運用されている。しかし、現実の洪水は、降雨波形、降雨の規模、先行降雨の有無と多寡、流域の湿潤状況などにより、仮りに、計画時の降雨強度の降雨状況にあつても、計画

時の流量規模のものとは一致しないことは当然であり、一致することの方がまれである。とくに、局地的な集中豪雨などを想定することは、計画の範ちゅうをこえている。しかし、都内中小河川の水害は、近年、そのほとんどが集中豪雨による現実も無視できない。

そこで、こうした集中豪雨による合流点の流況から合理式の適用性を検討することが必要となる。

(1) ピーク流量とその雨域・図-5の1～5は、本稿で例示した洪水のうち、5洪水の時間最大降雨時の等雨量線図である。4.6洪水、5.14洪水、7.22洪水の例にみられるように、この3洪水は、神田川流域の合流点直上流域に強雨域が集中している。

合流点ピーク流量が、妙正寺川流域及び妙正寺川と等到達時間の神田川の部分流域からの雨水によって支配されている状況が明白である。

合理式が河川のある地点の河積の規模を決める一手法にすぎず、色々な仮定条件の下での流量算定法であり、現実の降雨状況のすべてに対応し得ないものであるとはいえ、現実集中豪雨による洪水現象の発生ひん度が多ければ、これに対する合理式の運用方法を図り、より現象に適合させる工夫が必要である。

合理式の使用に際し、対象流域の規模と降雨強度の

値の
関係
が、降雨
継続時間
(洪水到達時間)
の規模に
応じ両者
の増加率
と減少率
が均衡し
ているか、

あるいは、
対象流域の
規模増が降雨
強度の値
(確率降雨
強度式による)
の減少量をはるかに
こえているような場
合などは、
両者の相乗
値としての

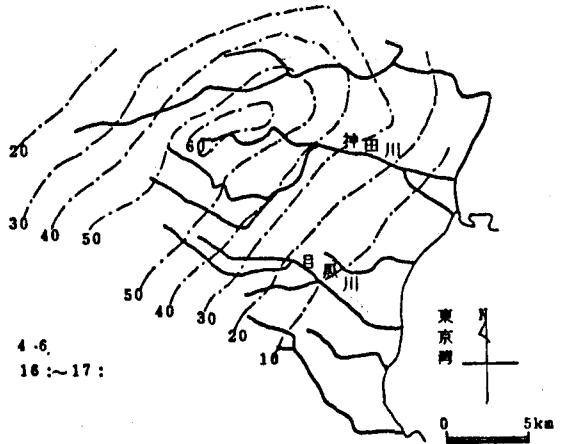


図-5-1 4.6洪水

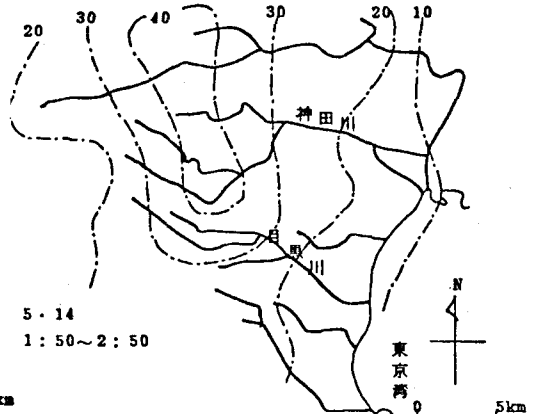


図-5-2 5.14洪水

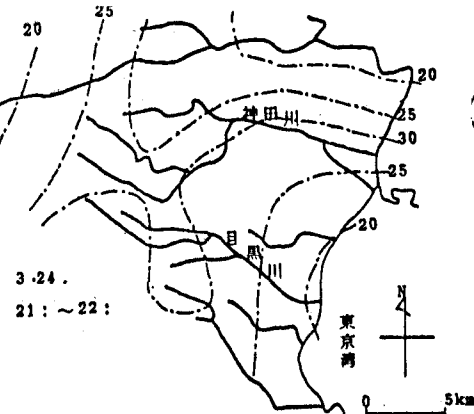


図-5-4 3.24洪水

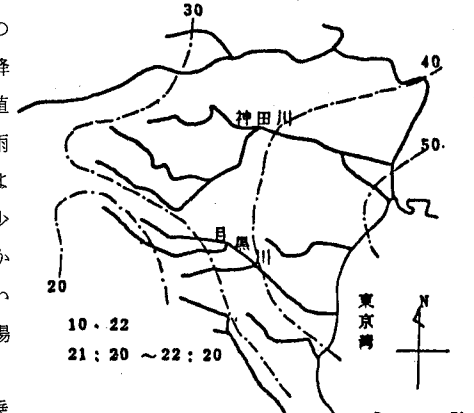


図-5-5 10.22洪水

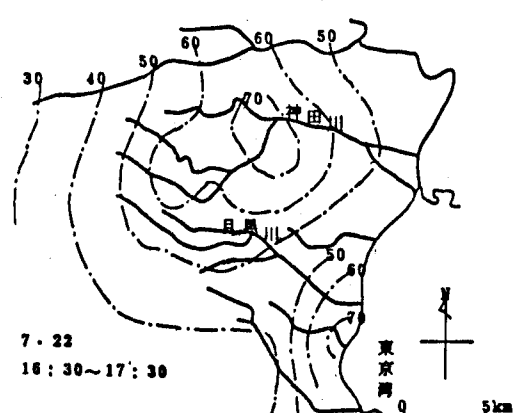


図-5-3 7.22洪水

流量規模は、安全側に算定される。

しかし、到達時間が短い流域の場合、対象流域の形状にもよるが、降雨強度式による値の減少分と対象流域の増加分との関係で、必ずしも流域増によって合理式による算定流量が安全側になるとは限らない。こうした合理式の適用性の問題が神田川の合流点などで起っている。到達時間が60分をこえる都市化流域においては、懸案地点から30～60分程度の流域の規模と降雨強度の値の關係に留意する必要がある。

(2) 集中豪雨における合流点ピーク流量の算定法・集中豪雨における合流点ピーク流量は、支川流域に支配される現実が多くあることをみてきた。そこで、合理式による現象との適合性を図るための式の運用方法に、つぎのような考えを導入する。一般に、図-6に示すように、合流点における流量算定は、雨域1の降雨強度の値を採用し、支川のそれは、雨域2の同じ強度の値によることになる。

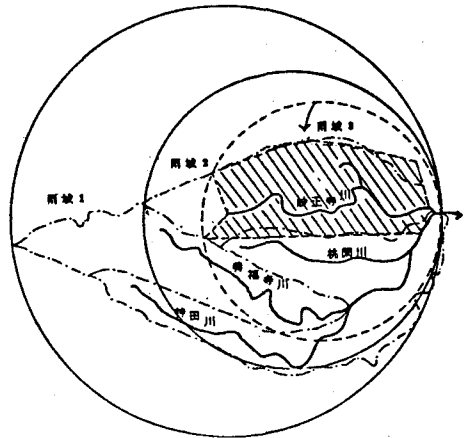


図-6 流域モデル化による雨域

この方法では、同程度の降雨強度の集中豪雨という現象に対応し得ないことが生起する。

そこで、支川流域を河道長に応じ矩形型にモデル化を行い、この矩形流域を包含する図に示す雨域3による降雨強度の値を支川流域及び支川流域と等到達時間（合流点から）の本川部分流域の両流域に適用し、合流点ピーク流量を算定する際に、必要な検証として留意する必要がある。

最近、対流現象に視点をおき都市域における降水量の特異性についての分析から、東京都の都市域における大雨の日数が増加傾向にあるという指摘もあり、⁷⁾雨域の取扱いがとくに重要となっている。

合せて、神田川や目黒川のような都市化流域においては、雨域3による対象範囲にある流域のうち、合流点ピーク流量に限らないが、既述の有効流域面積の概念を導入した算法によって、集中豪雨に限らず、洪水現象を比較的良好に表現できると考えている。

すなわち、

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot r_m \cdot A_e \quad (4)$$

ここに、 r_m ：雨域3内の実測流域平均降雨強度(mm/hr)， A_e ：有効流域面積(Km²)による方法である。

5. おわりに

都内中小河川の流量算定は、現状において、合理式に頼らざるを得ない。合理式の適確な運用方法によって、より精確な流出現象の把握が望まれている。東京都では、雨量水位観測網の充実とテレメータ化によるデータの質的向上から流域情報として正確な道路普及率や下水道普及率などの入力データを使用することによって、流出現象を合理式とはいえ、比較的良好に再現することができるようになっている。

本稿は、地形的な弱点におかれた合流点を対象に、流域平均降雨強度が50mm/hr程度までの範囲における特異な解析事例とはいえ、他の都内中小河川への示唆を得たものと考えている。

参 考 文 献

- 1) 和泉清(1978)：都内中小河川のテレメータ化と洪水流出予測モデルの開発，第32回建設省技術研究会
- 2) 角屋睦，福島晟(1976)：中小河川の洪水到達時間，京都大学防災研究所年報第19号
- 3) 1)と同じ
- 4) 石崎勝義，橋本健(1976)：土地利用の変化に伴う流出機構に関する調査，建設省土研河川事業調査
- 5) 東京都建設局河川部(1977)：都市河川の流出特性に関する調査報告書
- 6) 石川金治，佐藤一夫，和泉清：(1981)都市中小河川の都市化に伴う流出率と洪水到達時間について，第36回年次講演会
- 7) 米谷恒春：(1981)東京都の都市域における降水量の特異性，科学技術庁防災センター研究報告第25号