

## 都市化流域における洪水流出モデルの検証

北川 善廣\*・鈴木 真\*\*・依田 修司\*\*

### Verification of Flood Runoff Model in Urbanizing Basins

*By Yoshihiro Kitagawa\*, Makoto Suzuki\*\* and Shuzi Yoda\*\**

**Synopsis:** In recent years, the urban areas in all parts of Japan are growing at a remarkable rate. As a result, the flood problems have increased rapidly in urban areas. In order to take measure to reduce flood damages resulting from urbanization, it is necessary to estimate the changes of flood runoff due to urbanization.

More recently, Sukegawa and Kitagawa presented a rainfallrunoff model for assessing the effects of urbanization on flood runoff. And the applicabilities of this model are examined by searching their optimum model parameters in actual river basins.

In this paper, the results of verification of this model with data from urbanizing basins are reported.

**要旨:** 近年わが国では急激な都市化の進展に伴い、水害問題が激増している。このような都市化による水害問題に対処するためには、流域の都市化による洪水流出の変化を推定することが必要である。

最近、鮎川・北川は流域の都市化を考慮しうる洪水流出モデルを提案し、本流出モデルを実際河川の流出解析に適用し、パラメーターの同定を試みている。

本文は、現在都市化が進行している河川流域に本流出モデルを適用し、モデルの検証を行った結果について述べたものである。

#### 1. はじめに

わが国では、昭和30年代後半以降の経済の高度成長に伴う人口の都市集中により、都市の周辺では急激な宅地開発が進行した。そのため、都市周辺の河川流域では、屋根や道路などの不透透面の増大、排水施設の整備に伴い、雨水が速やかに河川に流出し、洪水流出量が増大し、水害問題が発生している。このような流域の都市化による水害問題に対処するためには、都市化に伴う洪水流出の変化を推定することが必要である。

雨量と流量の観測資料を用いて自然流域と都市流域における洪水流出特性の違いを比較検討した結果によると、流域の都市化に伴い洪水到達時間が短くなり、洪水ピーク流量が増大することが認められた<sup>1)</sup>。したがって、流域の都市化による洪水流出の変化を推定するためには、洪水到達時間の変化の影響を考慮しうる洪水流出モデルを用いることが必要である。

鮎川・北川<sup>2)~5)</sup>は、洪水到達時間をパラメーターとして含む線型貯水池モデルに基づいて流域の都市化を考慮する洪水流出モデルを提案し、流域の土地利用形態が単一な河川に適用し、モデルに含まれるパラメーターの同定を行った。

本文では、上述の同定されたパラメーターの値を用いて、近年急激に都市化が進行し、流域の土地利用形態が複合した鶴見川および石神井川の流出解析を行い、本流出モデルの妥当性を検証した結果について述べる。

#### 2. 洪水流出モデル

鮎川・北川が提案した洪水流出モデルは、流域斜面に降った雨を直接流出に寄与する有効雨量として求める有効降雨の算定、有効雨量を入力して斜面からの流出量を求める斜面流出計算、および斜面からの流出量を河道内で伝播追跡する河道伝播計算の3つで構成される。

##### 2.1 有効降雨の算定

自然流域と都市流域における有効雨量と累加雨量の関係は図1ようになる。自然流域では洪水初期に有効雨量が小さく、時間が経過するにつれて累加雨量がある限界をこえると有効雨量は大きくなる。都市流域では、有

\*土木工学科講師  
Lecturer, Civil Engineering Division

\*\*土木工学科学生  
Student, Civil Engineering Division

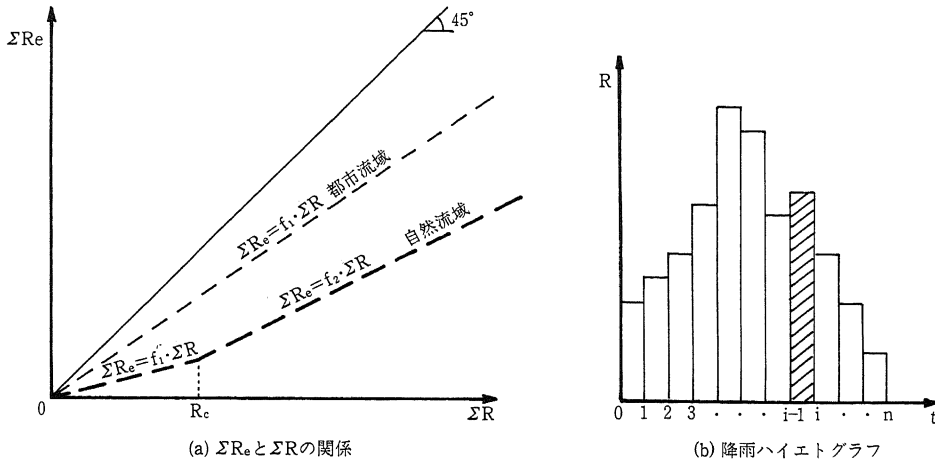


図1 有効降雨モデル

効雨量と累加雨量はほぼ比例関係にあり、流出率は流域の不浸透面積率にほぼ等しい<sup>1),6)</sup>。

このような有効雨量の時間的変化を考慮すると、任意の降雨ハイトグラフにおける時刻 $i$ の有効雨量 $R_e(i)$ の算定式は次のように表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} \Sigma R(i) \leq R_c: R_e(i) &= f_1 \cdot R(i) \\ \Sigma R(i-1) < R_c < \Sigma R(i): \\ R_e(i) &= f_2 \cdot \Sigma R(i) - (f_2 - f_1) R_c \\ &\quad - f_1 \cdot \Sigma R(i-1) \\ \Sigma R(i-1) > R_c: R_e(i) &= f_2 \cdot R(i) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $R_e(i)$ は有効雨量、 $\Sigma R$ は累加雨量、 $f_1$ は一次流出率、 $f_2$ は二次流出率、 $R_c$ は流出率が $f_1$ から $f_2$ に変化するときの限界雨量である。

## 2.2 斜面流出計算

洪水到達時間（雨水到達時間）をパラメーターとして含む流出モデルには、Nash<sup>7)</sup>の線型貯水池モデルがある。 $m$ 段の線型貯水池モデル（図2）の瞬間単位図 $u(t)$ は次式で与えられる。

$$u(t) = \frac{1}{K\Gamma(m)} \left(\frac{t}{K}\right)^{m-1} \exp\left(-\frac{t}{K}\right) \quad (2)$$

ここで、 $\Gamma(m)$ はガンマ関数、 $K$ は $K = M/m$ で与えられる係数、 $M$ は降雨ハイトグラフの重心と流出ハイドログラフの重心の時間差である<sup>8)</sup>。

$M$ と雨水到達時間 $t_c$ との間には、図3に示すように $M = t_c/2$ の関係がある<sup>9)</sup>。したがって、係数 $K$ は

$$K = \frac{t_c}{2m} \quad (3)$$

となる。

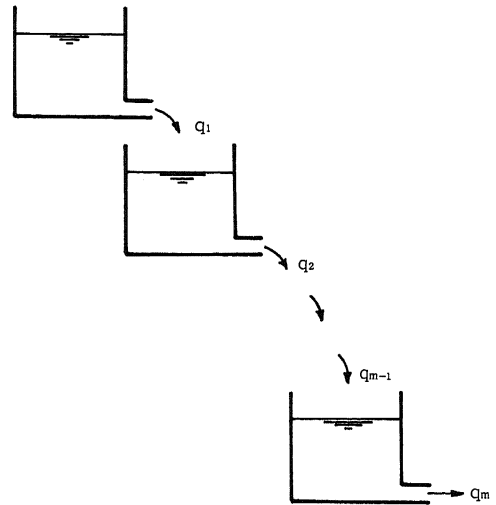


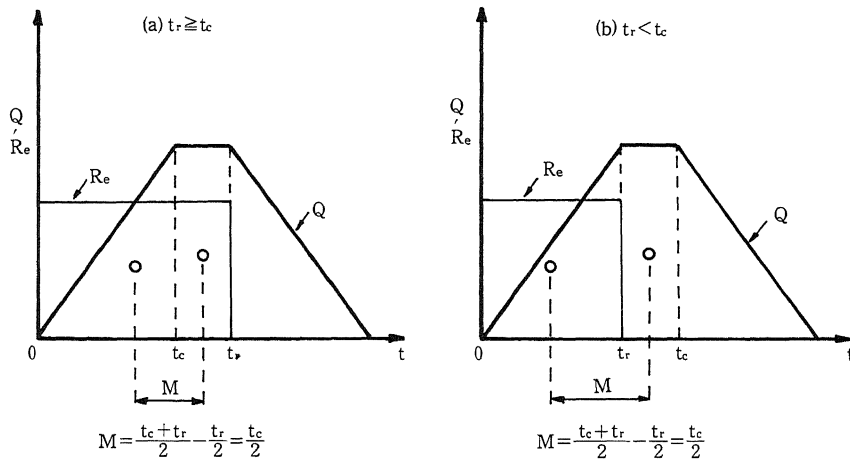
図2 線型貯水池モデル

雨水到達時間 $t_c$ は kinematic wave 理論によると次式で与えられる<sup>9)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} t_r \geq t_c: t_c &= (L/\alpha \cdot R_e^{2/3})^{3/5} \\ t_r < t_c: t_c &= t_r + \frac{3}{5\alpha} (L - \alpha \cdot R_e^{2/3} \cdot t_r^{5/3}) / \\ &\quad (R_e \cdot t_r)^{2/3} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで、 $t_r$ は降雨継続時間、 $L$ は斜面長、 $\alpha = \sqrt{\sin \theta}/N$ 、 $\theta$ は斜面傾斜角、 $N$ は斜面等価粗度、 $R_e$ は有効雨量である。

任意の降雨ハイトグラフ $R_e(t)$ による流出量 $Q(t)$ は、次式により計算される。

図3  $M$  と  $t_c$  の関係

$$Q(t) = \int_0^t u(t-\tau) \cdot R_e(\tau) d\tau \quad (5)$$

線型貯水池の個数  $m$  が土地利用形態によって異なるのではないかと考え、 $m=1\sim 3$  の範囲で検討したが、土地利用形態の違いは  $m$  の値には反映されず、 $K$  の値(すなわち、雨水到達時間  $t_c$ ) に反映されることがわかった。したがって、線型貯水池の個数  $m$  は  $m = \text{const.}$  とし、通常の瞬間単位図の形を与える最も単純な場合の  $m=2$  を採用した<sup>5)</sup>。

$m=2$  (二段の線型貯水池モデル) の場合には、降雨継続時間  $t_r$  の一定強度の有効雨量  $R_e$  による流域斜面からの流出量  $Q(t)$  は、 $m=2$  のときの(2)式を(5)式に代入し、積分することにより次式のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} t \leq t_r: Q(t) &= R_e \left[ \exp\left(\frac{4t}{t_c}\right) - \frac{4t}{t_c} - 1 \right] \\ &\quad \times \exp\left(-\frac{4t}{t_c}\right) \\ t > t_r: Q(t) &= R_e \left[ \left\{ \exp\left(\frac{4t_r}{t_c}\right) - 1 \right\} \right. \\ &\quad \times \left. \left( \frac{4t}{t_c} + 1 \right) - \frac{4t_r}{t_c} \exp\left(\frac{4t_r}{t_c}\right) \right] \exp\left(-\frac{4t}{t_c}\right) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

### 2.3 河道伝播モデル

河道内では、斜面からの流出ハイドログラフを一つ下流の流出点までの河道区間を洪水波の伝播速度に応じて河道伝播させる。なお、洪水波の伝播速度  $\omega$  は、Manning の公式を用い、kinematic wave 理論により導いた次式で算出する。

$$\omega \left( = \frac{dX}{dT} \right) = \frac{5}{3} v, \quad v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (7)$$

ここで、 $dX$  は河道区間長、 $dT$  は伝播時間、 $n$  は Manning の粗度係数、 $R$  は径深、 $i$  は河道勾配である。

本流出モデルには、パラメーターとして有効降雨の算定に關係する  $f_1, f_2$  および  $R_e$ 、流域斜面からの流出計算において雨水到達時間を算定するための斜面等価粗度  $N$ 、および河道伝播計算の Manning の粗度係数  $n$  が含まれる。これらのパラメーターのうち、流域斜面の等価粗度  $N$  は流域の土地利用形態に応じて特有な値として決定されねばならない。銚川・北川は、流域の土地利用形態が単一な河川の流出解析により斜面等価粗度  $N$  の値を表1のように同定した。

流出計算は次のような手順で行う。流域を屋根線や河道によって斜面勾配が単一の傾斜角で代表されるような小流域に分割し、長方形斜面に近似する。任意の降雨ハイエトグラフについて各単位降雨時間の有効雨量  $R_e$  を

表1 斜面等価粗度の値

土 地 利 用 形 態		等 価 粗 度 $N$
山 地		0.7
丘 陵 山 林		0.3
畑		0.2
水田(階段状を呈する)		0.1
造 成 地		0.05
市街地	家屋がまばらで下水道が不完全	0.02
	家屋が密集し下水道が完備	0.007

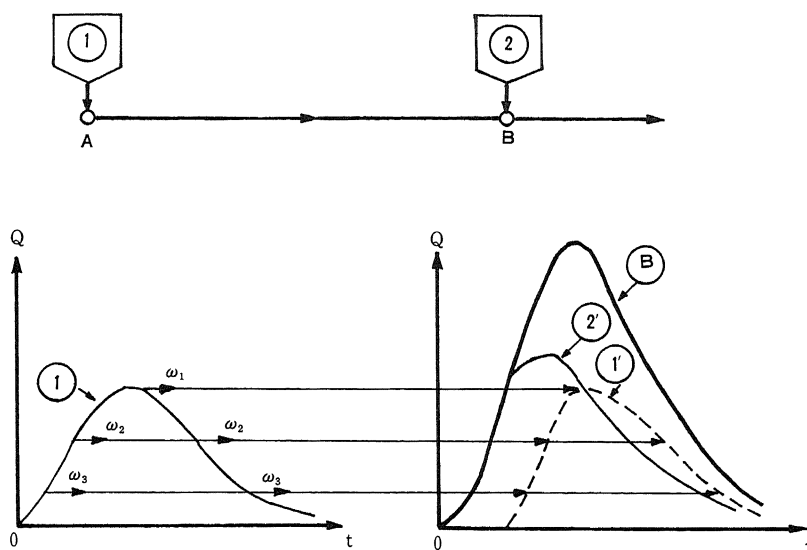


図4 河道内の合成・伝播の説明図

(1)式で求め、有効雨量  $R_e$  に対する雨水到達時間  $t_e$  を(4)式により算出し、(6)式で単位降雨時間ごとの流出量を計算すれば任意の降雨ハイトグラフに関する各小流域の流出ハイドログラフが求まる。次に、図4のように最上流の小流域からの流出ハイドログラフ①を、一つ下流の流出点Bまでの河道区間を(7)式により河道伝播させ(伝播後のハイドログラフ①'), 流出点Bにおける小流域の流出ハイドログラフ②と重ね合わせれば流出ハイドログラフ③が求まる。以下、順次この計算を繰り返す、所定の地点の流出ハイドログラフを求める。

なお、本文では計算ハイドログラフと観測ハイドログラフの適合性、その形状、ピーク流量および総流出高(=総流出量/流域面積)により比較検討し、本流出モデルによる流出解析の妥当性を検証するものとする。

### 3. 対象流域の概要

#### 3.1 鶴見川流域

鶴見川はその水源を東京都町田市に発し、横浜市鶴見区で東京湾に注ぐ(図5)。流量観測地点末吉橋より上流の流域面積は  $225 \text{ km}^2$ 、流路延長  $28.4 \text{ km}$  の一級河川である。流域の地形はそのほとんどが多摩丘陵地帯で構成され、表層は関東ローム層で覆われている。鶴見川流域は、東京、川崎、横浜の大都市に近く、鉄道網が縦横に張りめぐられており、かつ宅地開発が容易な地形条件であるために昭和40年以降急激に宅地開発が進行した。流域に占める市街地面積の割合は、昭和50年現在60%であ

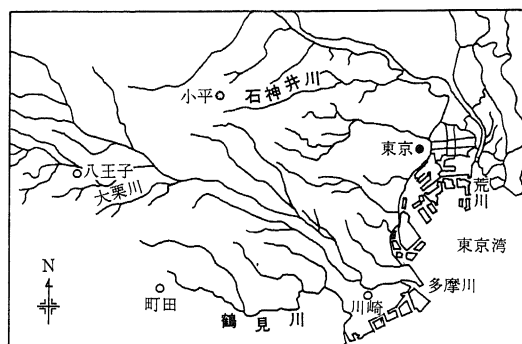


図5 鶴見川・石神井川の位置図

り、近い将来80%になると予想されている。

#### 3.2 石神井流域

石神井川はその水源を東京都小平市に発し、途中富士見池、三宝寺池などの湧水を集め、板橋区西部において支川の田柄川を加え、北区王子付近で一級河川隅田川に注ぐ(図5)。流量観測地点根村橋より上流の流域面積は  $48 \text{ km}^2$ 、流路延長は  $19 \text{ km}$ 、流路勾配は  $1/400 \sim 1/500$  である。流域の地形は、武蔵野台地を主体とし、流域の表層は武蔵野ローム、立川ロームで被覆されている。流域に占める市街地面積の割合は、昭和50年現在約70%である。

### 4. 流出解析

都市化流域の鶴見川と石神井川において流出解析した

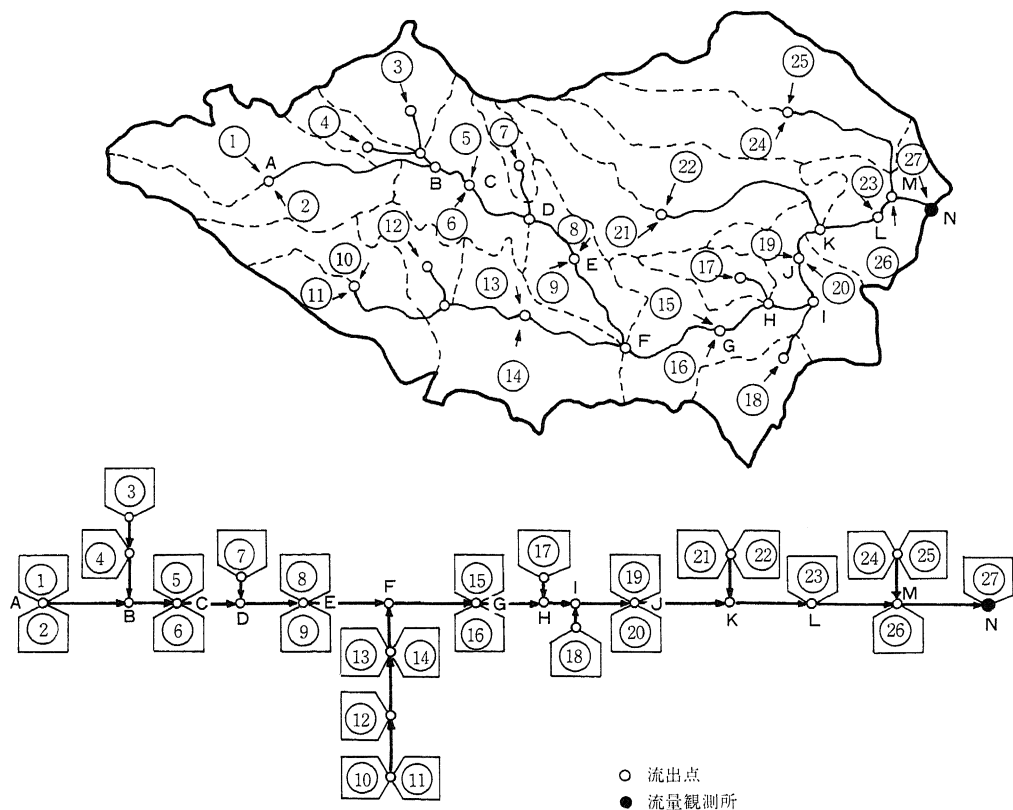


図6 鶴見川の流域分割図

表2 鶴見川の解析対象洪水一覧表

洪水番号	洪水期間	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m³/s)	雨量観測所名																		流量観測所名
				鶴川(建)	玉川学園(学)	本町田(建)	町田(消)	柿生(消)	寺家橋(建)	長津田(消)	元石川(消)	荏田(建)	川和田(消)	都田(建)	鴨居(消)	新作川(消)	野川(建)	日吉(消)	綱島(消)	篠原(消)	川崎(建)	
1	昭和47年7月14日～17日	164	321		○								○				○		○	○		
2	9月15日～17日	168	321		○								○				○		○	○		
3	昭和51年9月8日～11日	233	722	○	○		○	○		○	○		○	○	○		○	○	○	○		
4	昭和52年9月8日～10日	200	591	○		○			○	○		○		○		○		○		○		
5	9月18日～19日	110	294	○		○			○	○		○		○		○		○		○		
6	昭和54年10月17日～19日	139	396	○		○			○	○		○		○		○		○		○		
7	昭和56年10月22日～23日	181	755	○		○			○			○		○		○		○		○		

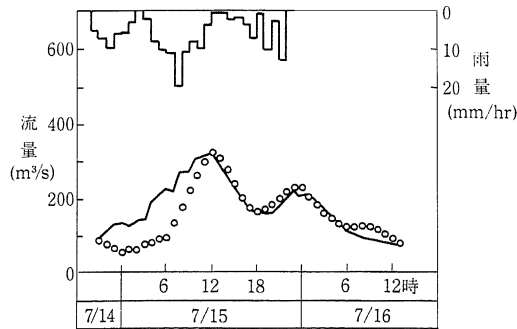
(注) 各観測所の所属は (建)一建設省, (学)一玉川学園, (消)一消防署である。

結果を以下に示す。

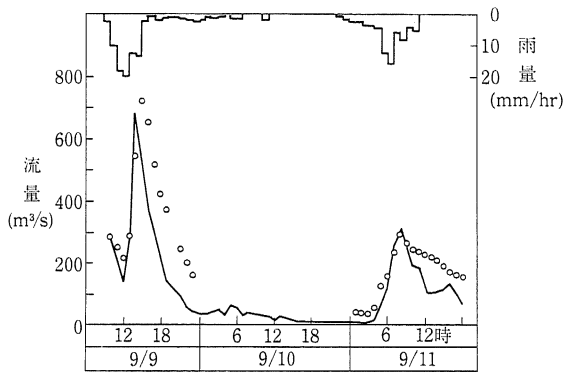
#### 4.1 鶴見川の流出解析

流域を図6に示すように27の小流域に分割した。各小流域の土地利用面積率は建設省関東地方建設局京浜工事

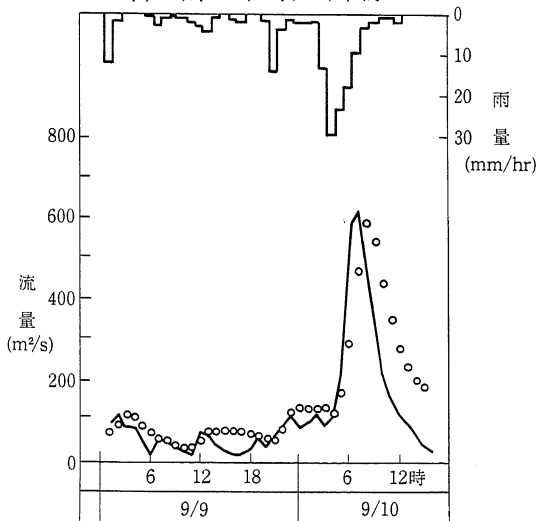
事務所の資料<sup>10)</sup>を参考にした。同工事事務所より提供して頂いた表2の7洪水を対象として流出解析を行った。流域における雨量観測所の位置を図7に示す。流出計算



(a) 昭和47年7月15日出水



(b) 昭和51年9月9日出水



(c) 昭和52年9月10日出水

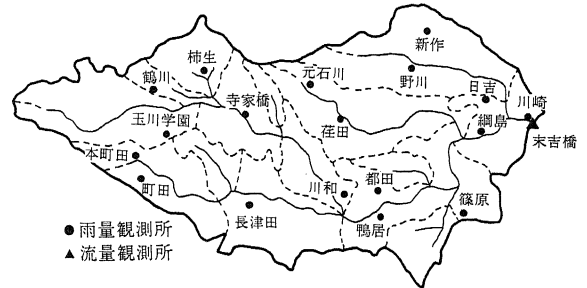
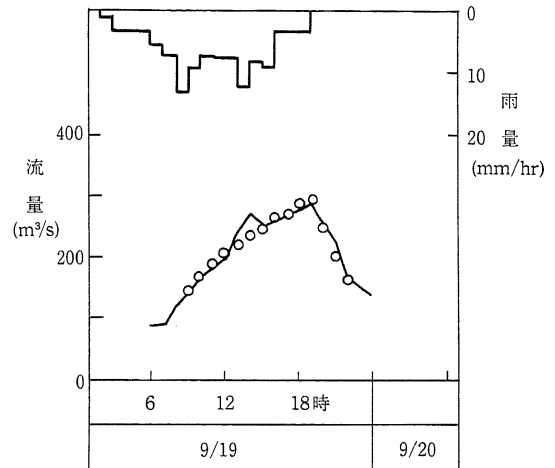
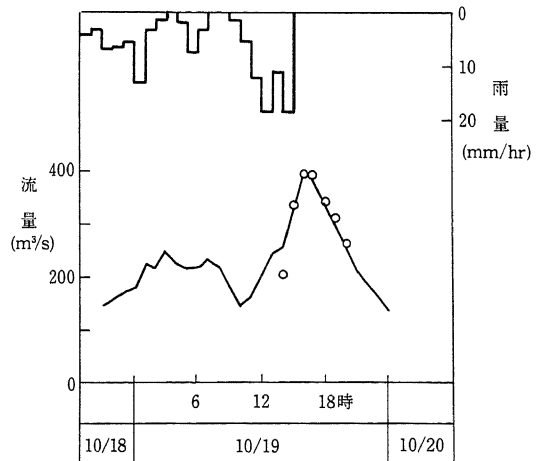


図7 鶴見川流域の雨量観測所の位置図



(d) 昭和52年9月19日出水



(e) 昭和54年10月19日出水

図8 鶴見川の流出解析例

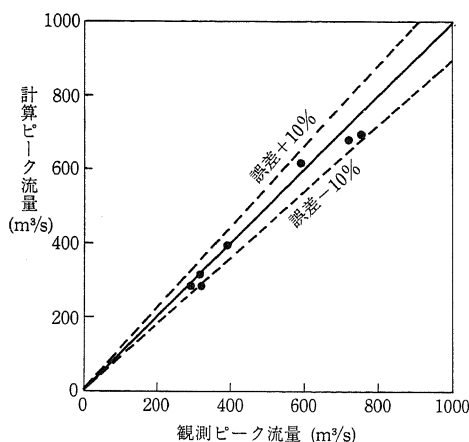


図9 ピーク流量の計算値と観測値の比較(鶴見川)

では、各観測所近傍の小流域に各々の雨量資料を配分した。

流域の土地利用を、丘陵山林、畑、水田および市街地（下水道がほぼ整備されている）に分類し、流出計算では、斜面の等価粗度 $N$ は表1に示された値を使用した。鶴見川は多摩川の支川大栗川と流域を接し、地形・地質が類似しているため、有効降雨のパラメーターである $f_1, f_2$ および $R_c$ の値は、大栗川の場合<sup>5)</sup>と同様に丘陵山林： $f_1 = 0.2, f_2 = 0.5, R_c = 75 \text{ mm}$ 、畑： $f_1 = 0.3, R_c = \infty$ 、水田： $f_1 = 0.0, f_2 = 0.6, R_c = 20 \text{ mm}$ 、市街地： $f_1 = 0.5, R_c = \infty$ とした。Manningの粗度係数 $n$ は、河道の状態から推定し、本川下流部は $n = 0.035 \sim 0.04$ 、本川上流部は $n = 0.05 \sim 0.06$ 、支川は $n = 0.04 \sim 0.06$ とした。

流出計算による流出ハイドログラフの計算値と観測値の比較例を図8に示し、ピーク流量の計算値と観測値の比較を図9に示す。なお、総流出高の計算値と観測値の比較図については、観測ハイドログラフの一部が欠測しているため図示しなかった。

図8によると、流出計算により求めたハイドログラフの形状は幾分シャープである。この原因としては、流域の土地利用区分において市街地を下水道がほぼ整備された状態として流出計算したためであると思われる。したがって、市街地については下水道の整備状況を考慮して流出計算する必要があると考えられる。しかし、図9によると、ピーク流量の計算値は誤差 $\pm 10\%$ の範囲内にあり、妥当な結果を与えている。

#### 4.2 石神井川の流出解析

流域を図10に示すように17の小流域に分割した。建設

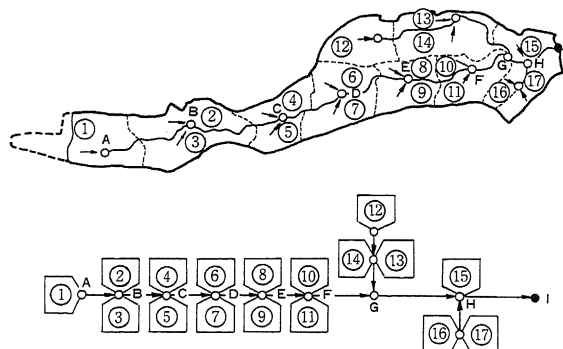


図10 石神井川の流域分割図

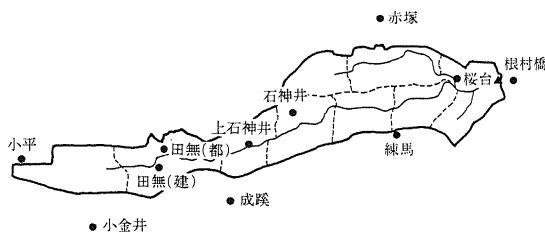


図11 石神井川流域の雨量観測所の位置図

省土木研究所が公表した洪水資料<sup>11), 12)</sup>から表3の20洪水を選んで流出解析を行った。表3に示した雨量観測所の位置を図11に示す。流出計算では、各観測所の雨量資料をその近傍の小流域に各々配分し、当該観測所で雨量資料が欠測している場合には東京都建設局河川部より提供して頂いた雨量資料<sup>13)</sup>を補足した。地形図によると、流域の土地利用状態は市街地と畑で構成され、市街地は家屋が密集した地帯（下水道完備）と家屋がまばらな地帯が混在しているので、ここでは各々区分して流出計算を行うことにした。各小流域の土地利用面積率は、昭和41年と昭和51年について縮尺1/25000の地形図により算出した。

斜面等価粗度 $N$ は表1の値を用い、有効降雨のパラメーターである $f_1, f_2$ および $R_c$ の値は、家屋が密集した地帯： $f_1 = 0.5, R_c = \infty$ 、家屋がまばらな地帯： $f_1 = 0.4, R_c = \infty$ 、畑： $f_1 = 0.3, R_c = \infty$ とした。河道のManningの粗度係数 $n$ は、本川下流部が $n = 0.03 \sim 0.035$ 、本川上流部および支川は $n = 0.04$ とした。なお、石神井川の上流域では昭和51年に北多摩下水道1号幹線が完成しており、雨水が流域外に排水されるものと考え、昭和51年以降の洪水については上流域の一部を流域から削除して流出計算した。

流出計算による流出ハイドログラフの計算値と観測値

表3 石神井川の解析対象洪水一覧表

洪水番号	洪水期間	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m³/s)	雨量観測所名										流量観測所名
				小平(都)	小金井(都)	田無(建)	成蹊(気)	上石神井(建)	石神井(区)	練馬(区)	赤塚(都)	桜台(建)	根村橋(建)	根村橋(建)
1	昭和41年6月27日～28日	282	112	○			○					○		○
2	昭和43年5月19日～20日	40	12			○			○			○		○
3	6月10日～11日	38	44	○					○			○		○
4	8月29日～30日	19	17			○			○			○		○
5	昭和44年3月29日～30日	54	18		○					○	○			○
6	昭和45年1月30日～31日	65	39	○						○				○
7	昭和48年7月2日～3日	65	116	○					○				○	○
8	9月5日	54	45	○					○				○	○
9	10月13日～14日	70	92	○					○				○	○
10	10月28日	51	42	○					○				○	○
11	昭和49年5月31日	38	27					○					○	○
12	7月7日～8日	47	32					○					○	○
13	7月10日～11日	85	50	○					○				○	○
14	7月20日～21日	113	85	○					○				○	○
15	9月9日～10日	72	90	○					○				○	○
16	昭和50年3月20日～21日	44	44			○			○				○	○
17	7月3日～4日	68	84	○				○					○	○
18	10月5日	76	101			○			○		○			○
19	11月14日～15日	57	52			○			○				○	○
20	昭和52年8月18日～19日	125	169			○			○		○			○

- (注) 1. 各観測所の所属は (建)一建設省土木研究所, (都)一東京都, (区)一練馬区, (気)一気象庁である。  
 2. 田無観測所における雨量資料は, 昭和45年以前は建設省土木研究所, 昭和45年以降は東京都のものである。  
 3. 昭和46年11月～昭和48年3月の間, 河川改修工事の為流量観測所を移設

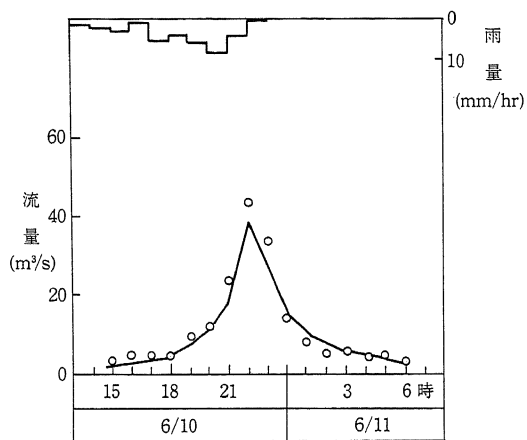
の比較例を図12に, ピーク流量および総流出高の計算値と観測値の比較を図13および図14に各々示す。

図12によると, 流出計算によるハイドログラフの再現性は妥当であり, 図13および図14に示したピーク流量および総流出高の計算値と観測値の比較図も全体としてはば妥当な結果を与えている。しかし, 解析対象とした洪水のうち, ピーク流量が最も大きい昭和52年8月18日～19日洪水の場合はピーク流量の計算値が小さい。この原因としては, 流域における降雨の時間的・空間的な分布の

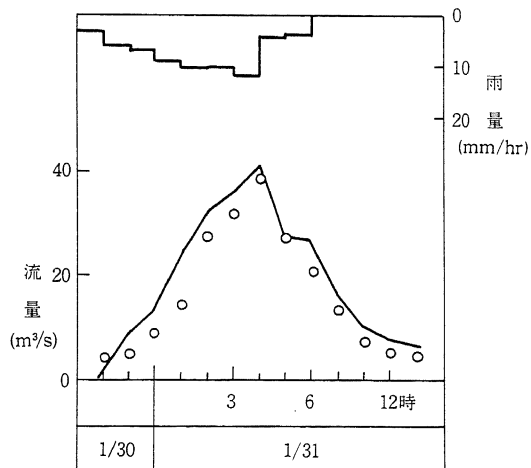
影響が考えられ, 流域内の他観測所の雨量資料を加味した流出計算が必要であると思われる。

石神井川は鶴見川に較べて流域面積が小さく, 降雨から出水までの時間がきわめて短い。したがって, 流出計算の単位時間は短い方が好ましいが, 洪水資料には10分ごとの雨量資料が少ない。ここでは, 表3の洪水資料のうち, 単位時間が10分として計算可能な洪水番号9, 12, 15, 16, 17の5洪水について流出解析したハイドログラフの計算値と観測値の比較例を図15に示す。なお,

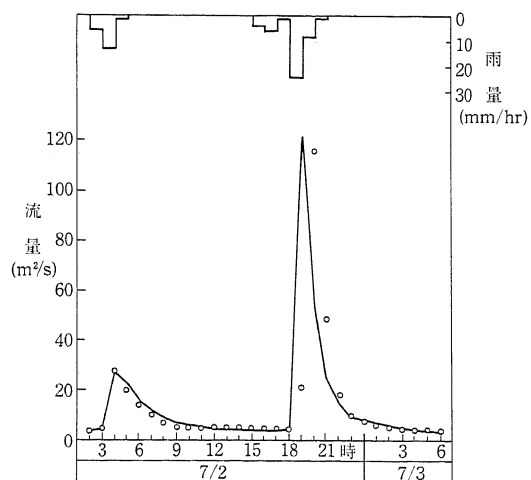




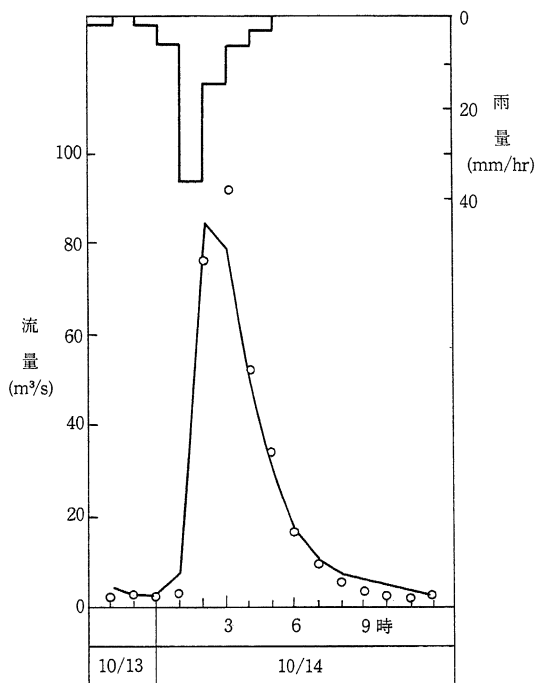
(a) 昭和43年6月10日出水



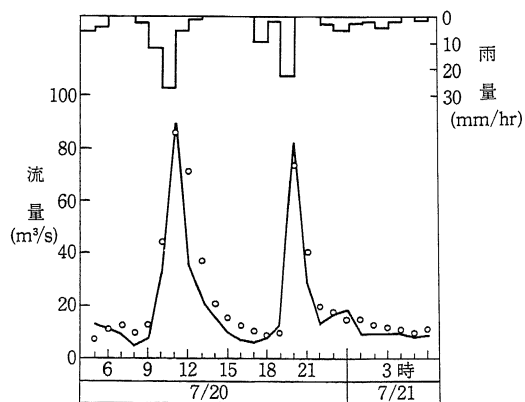
(b) 昭和45年1月31日出水



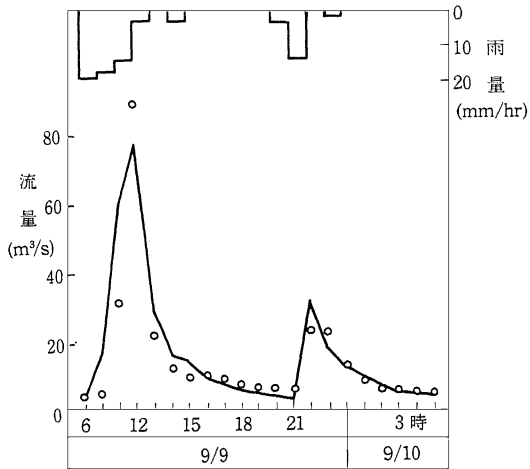
(c) 昭和48年7月2日出水



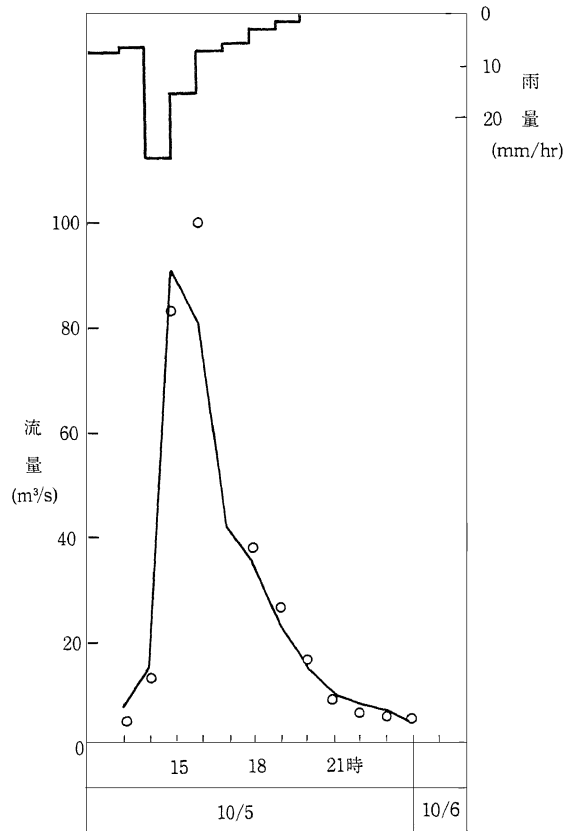
(d) 昭和48年10月14日出水



(e) 昭和49年7月20日出水

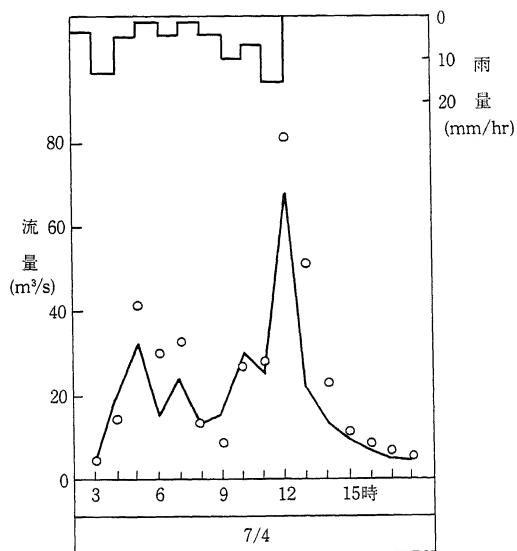


(f) 昭和49年9月9日出水

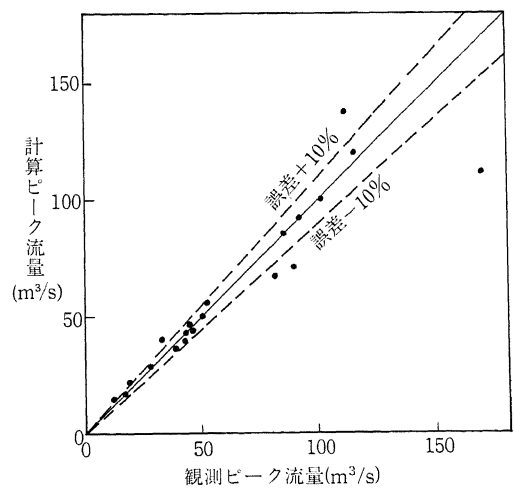


(h) 昭和50年10月5日出水

図12 石神井川の流出解析例



(g) 昭和50年7月4日出水

図13 ピーク流量の計算値と観測値の比較  
(石神井川)

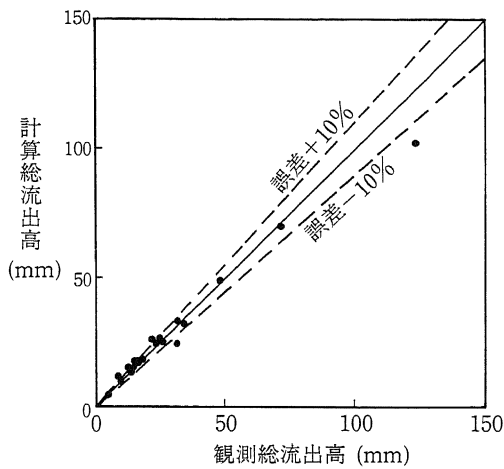
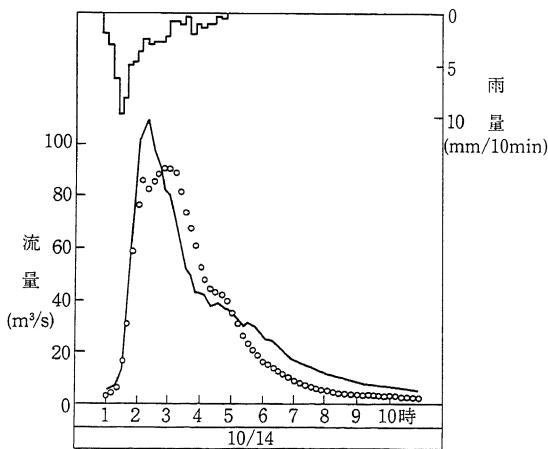


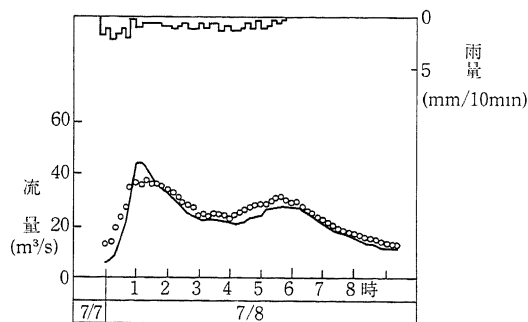
図14 総流出高の計算値と観測値の比較  
(石神井川)

流出計算では上石神井と根村橋の2観測所における降雨継続時間10分のときの雨量資料を用いた。図15によると、流出ハイドログラフの形状はほぼ妥当であるが、ピーク流量およびその発生時刻に若干ズレが生じている。この原因としては、石神井川は流域の形状が細長いために、降雨の時間的・空間的分布が流出計算に影響するものと考えられる。したがって、計算の単位時間が10分の場合には、上石神井(中流域)および根村橋(下流域)のほかに上流域の雨量資料を用いる必要があると思われる。

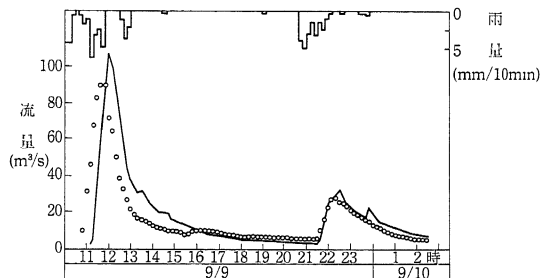
以上の流出解析の結果によると、本流出モデルによる流出ハイドログラフの再現性は良く、ピーク流量および総流出高について示した計算値と観測値の比較図も解析洪水全体でほぼ妥当な結果を与えている。



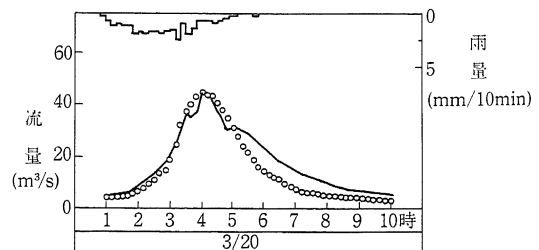
(a) 昭和48年10月14日出水



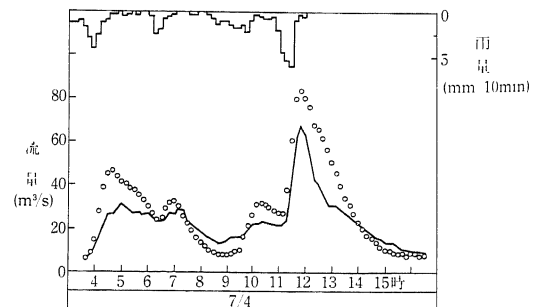
(b) 昭和49年7月8日出水



(c) 昭和49年9月9日出水



(d) 昭和50年3月20日出水



(e) 昭和50年7月4日出水

図15 石神井川の流出解析例(単位時間10分のとき)

## 5. ま と め

本流出モデルを用いて都市化流域の流出解析を試みた結果について要約すると次のようになる。

都市化流域の鶴見川と石神井川に本流出モデルを適用した結果、流出ハイドログラフの再現性は良く、流出解析の妥当性が検証された。なお、鶴見川の場合は流域の土地利用区分を細かくする必要があり、また、石神井川の場合は流域における降雨の時間的・空間的な分布の影響を考慮して流出計算する必要があり、今後の検討課題としたい。

今後、さらに多くの都市化流域に本流出モデルを適用してモデルの検証を行い、河川の計画高水流量策定において基本となる流域の都市化に伴う洪水流出量の変化の推定を試みるつもりである。

謝辞：本文を作成するにあたり、早稲田大学理工学部 鮎川登教授には終始懇切なるご指導を頂いた。また、建設省土木研究所水文研究室長（現木曽川下流工事事務所長）石崎勝義氏をはじめ、建設省関東地方建設局京浜工事事務所および東京都建設局河川部の関係各位には貴重な資料を提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

（原稿受付 昭和57年 9 月18日）

## 参 考 文 献

- 1) 鮎川登・北川善廣・松井貢：都市流域と自然流域における洪水流出特性の違い，第8回土木学会関東支部年次研究発表会講演概要集，Ⅱ-3，pp. 31～32，昭和56年1月
- 2) 鮎川登・北川善廣・下村哲生：流域の都市化

- に伴う洪水流出量の変化の予測法に関する研究，第16回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，pp. 159～162，昭和54年9月
- 3) 鮎川登・北川善廣・下村哲生：流域の土地利用形態が洪水流出におよぼす影響の算定法に関する研究，第24回土木学会水理講演会論文集，pp. 391～396，昭和55年2月
- 4) 鮎川登・北川善廣・錦織和紀郎：庄内川流出試験地の洪水特性と流出解析，第17回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集，pp. 193～196，昭和55年10月
- 5) 鮎川登・北川善廣：都市化流域の洪水流出モデル，土木学会論文報告集，No. 325，pp. 51～59，昭和57年9月
- 6) 山口高志・益倉克成・山守隆・綿貫克彦：市街地雨水の量的制御一下水道と雨水貯留一，土木技術資料，Vol. 21，No. 7，pp. 45～50，昭和54年7月
- 7) Nash, J. E.: The form of the instantaneous unit hydrograph, IASH, pub. 45, Vol. 3, pp. 114～121, 1957
- 8) Chow, V. T.: Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Co., Inc., pp. 14～29, 1964
- 9) Eagleson, P. S.: Dynamic Hydrology, McGraw-Hill Book Co., Inc., pp. 337～344, 1970
- 10) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所：鶴見川流出解析報告書，昭和54年3月
- 11) 建設省土木研究所：石神井川流域水文観測資料（昭和33年～46年），土木研究所資料第714号，昭和47年2月
- 12) 建設省土木研究所：石神井川流域水文観測資料（その2），昭和46年～52年，土木研究所資料第1524号，昭和54年4月
- 13) 東京都建設局河川部：雨量年表，昭和40年～52年