

# 都市域中小河川における洪水水位と雨量の直接的関係を用いた洪水解析

— 東京都神田川の事例 —

Flood Analysis Using the Direct Correlation of Water Level and Rainfall  
in an Urbanized Small River

谷岡 康<sup>\*1</sup>, 福岡 捷二<sup>\*2</sup>, 岩永 勉<sup>\*3</sup>, 北川 明<sup>\*4</sup>

By Yasushi TANIOKA, Shoji FUKUOKA, Tsutomu IWANAGA, and Akira KITAGAWA

This paper studies the flood analysis by the use of direct correlations between precipitation data measured by densely distributed rain gauges and flood water level, and shows the applicability of the proposed method for the small river in an urbanized area. Runoff characteristics in an urbanized river is also discussed on the basis of the estimated discharge.

Keywords : Urbanized Small river, water level, precipitation, runoff characteristics.

## 1. はじめに

都市域中小河川では、流域の市街化、下水道施設の整備が進み、その流出形態は、尖鋭で大きく、台風、集中豪雨等の来襲により毎年のように浸水被害が生じている。このような都市型洪水の流出実態の解明は多くの研究者によりなされており、成果を挙げている。

都市域中小河川においては、洪水流出が速く変化が急激であることから、実際の流量を精度良く観測することが困難で、河道の水位と流量の正確な関係を把握することが難しい。又、一般には、降雨観測所が密に配置されていないため小流域の精度の良い面積雨量値が得られず、局地性の高い集中豪雨などで計算精度が劣る場合が多い。

近年、東京都では、中小河川流域に、水位計、雨量計を密に配置し、より詳細な水文データが得られるようになってきている。これにより都市域中小河川の流出の実態を明らかにし、河川施設の管理システムや防災情報システムへの適用を図ることが期待されている。

本文では、細密に配置された雨量計による雨量記録と水位実績から、流量を介さずに雨量と水位の直接的な関係を調査し、その適応性を示し、都市域中小河川の洪水流量の推算及び流出特性について検討を行った。

---

\* 1 正会員 パシフィックコンサルタンツ（株）水工部

\* 2 正会員 工博、P h . D . 東京工業大学助教授 工学部土木工学科

\* 3 正会員 東京都建設局河川部計画課長

\* 4 正会員 （財）河川情報センター研究第二部部长

## 2. 検討対象

### 2.1 対象流域

一級河川荒川水系神田川は、支川善福寺川、妙正寺川を合流し、都心部を貫流し隅田川に注いでいる。東京都内の区部を流れる中小河川では最大の流域面積（105km<sup>2</sup>）をもつ代表的な都市中小河川である。沿川流域は市街化が進み、下水道施設もほぼ整備されている。神田川流域では、表-1に示すように、9割程度（密集+一般市街地）が市街化されている。

表-1 神田川流域地目表

密集市街地	一般市街地	畑	山	水域
36.0%	49.1%	10.7%	4.1%	0.1%
37.8km <sup>2</sup>	51.6km <sup>2</sup>	11.2km <sup>2</sup>	4.3km <sup>2</sup>	0.2km <sup>2</sup>

(S.62 ランドサットデータから)

### 2.2 対象区間

本研究では、神田川淀橋直上流相生橋（H<sub>1</sub>）、神田川・善福寺川合流直後の和田見橋（H<sub>2</sub>）、合流点上流の神田川方南橋（H<sub>3</sub>）、善福寺川定塚橋（H<sub>4</sub>）地点の水位及び、各水位計間の残流域雨量R<sub>1</sub>（相生橋～和田見橋）、R<sub>2</sub>（和田見橋～方南・定塚橋）を用い、洪水位と雨量の関係を検討する。対象区間の河道は、川幅が平均的に10m、推進4m程度のコンクリート三面張り水路で、河床勾配は1/500程度の中小河川である。対象区間上流端から下流淀橋までの流域は8.7km<sup>2</sup>（和田見橋上流1.6km<sup>2</sup>、下流7.1km<sup>2</sup>）でその上流には、29.0km<sup>2</sup>の流域をもっている。

### 2.3 対象洪水

対象とした洪水は、雨量、水位データが得られている平成3年の3洪水で、それぞれの降雨要因は、局地性の高い雷雨と2つの台風性降雨である。

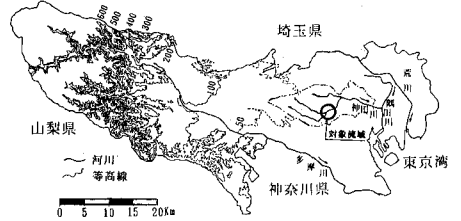


図-1 検討対象位置図

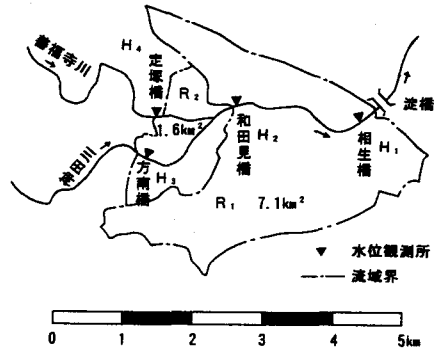
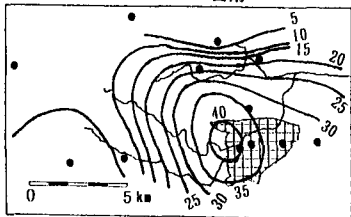
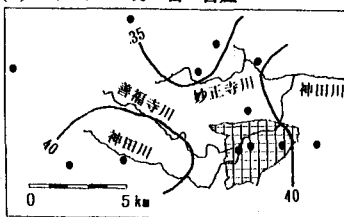


図-2 対象流域図

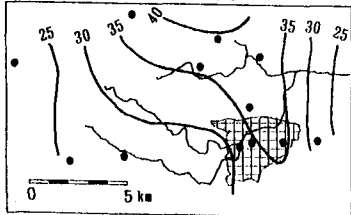
(a)平成3年 8月1日 雷雨



(c)平成3年 9月18日 台風



(b)平成3年 8月20日 台風



#### 凡例

- 等雨量線
- 河川
- 対象流域
- 雨量観測所

図-3 60分最大雨量分布図

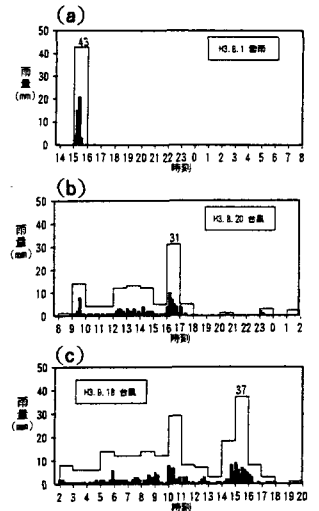


図-4 ハイエットグラフ

### 3. 検討方法

洪水予報の手法として、上流水位と下流水位の関係に加えて横流入量を考慮した水位相関をとる方法が、西原<sup>1)</sup>によって提案されている。本検討では、これを応用して、横流入量のかわりに雨量値を直接用いることとした。

#### 3.1 流域平均雨量

流域の平均雨量は、対象流域に500mの格子を作成し、雨量観測所の10分毎のデータに基づき、各格子点と観測所の距離による重みで荷重平均した値を、流域で平均することで求めた<sup>2)</sup>。又、残流域の到達時間は下水道諸元等から30分程度と推定されるため、10分雨量をもとに30分間の移動平均値を各時刻の雨量として扱った。

#### 3.2 上流2地点水位(H<sub>3</sub>・H<sub>4</sub>)と合流後水位(H<sub>2</sub>)

上流の2地点の水位(H<sub>3</sub>:神田川方南橋、H<sub>4</sub>:善福寺川定塚橋)は図-5に示すように、片方の水位が高いときは、もう一方の水位も高いという関係にある。このときH<sub>3</sub>とH<sub>4</sub>の関係を合流後水位(H<sub>2</sub>:和田見橋水位)でランク分けしてみると、右下がりの直線で範囲が仕切られる。上流2地点(H<sub>3</sub>、H<sub>4</sub>)の水位の組み合わせを表わす高さをH<sub>0</sub>とし、2地点の河道断面幅の比1:1.2をもとに、

$$H_0 = H_3 + 1.2H_4 \quad \dots\dots(1)$$

とした。このH<sub>0</sub>と合流後水位(H<sub>2</sub>)と比較した結果を図-6に示す。この時、上流水位は流下時間の10分間を移相させて比較した。残流域の雨量でランクに分けて、プロットすると、降雨量が0のときはひとつの直線で表わせ、雨量が大きい程、この直線より離れる傾向にあることがわかる。この直線式を図上より求めると(2)式となる。

$$H_2(10) = 0.511H_0(0) - 7.517 \quad (R_2=0の場合) \quad \dots\dots(2)$$

ここに( )内は時差(分)

上・下流水位の関係において、雨量が0の場合の直線からの離れ $\Delta h_2$ と残流域雨量の関係調べたものが図-7である。バラツキはあるが、ほぼ直線関係で示され、この直線の回帰式は次式で示される。

$$\Delta h_2 = 0.044R_2 \quad \dots\dots(3)$$

ここに、R<sub>2</sub>:残流域雨量(mm/10分)

以上より、合流後の水位は、上流2点の水位より、

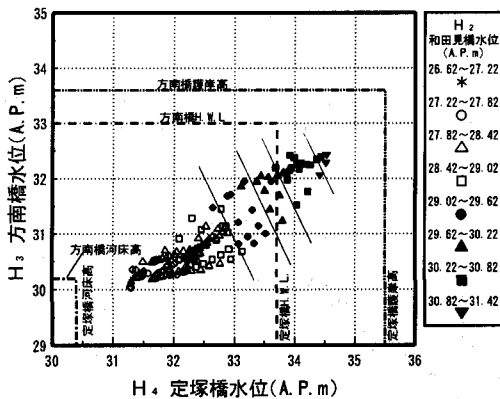


図-5 上流2地点水位の関係

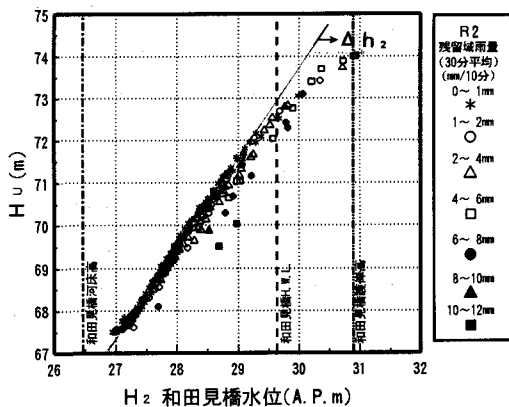


図-6 上流2地点と合流後水位

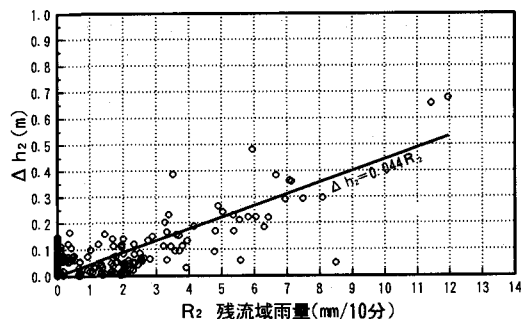


図-7 残流域雨量R<sub>2</sub>と $\Delta h_2$

$$H_2(10) = 0.511 H_0(0) + 0.044 R_2(10) - 7.517 \quad \dots\dots(4)$$

で示すことができる。

### 3. 3 合流後水位 ( $H_2$ ) と下流水位 ( $H_1$ )

同様に、合流後水位と下流水位の関係を式に表し、雨量が0の場合の直線式と、雨量と $\Delta h_1$ の関係より水位-雨量関係式を作成した結果が式(5)である。

$$H_1(20) = 1.042 H_2(10) + 0.135 R_1(20) - 28.125 \quad \dots\dots(5)$$

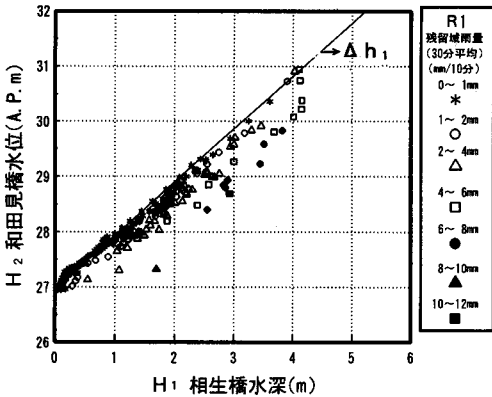


図-8 合流後水位と下流水位

### 3. 4 上流 2 地点水位 ( $H_3, H_4$ ) と下流水位 ( $H_1$ )

(4), (5)式を合成し、上流 2 地点の水位から下流の水位を求めると次式が導かれる。

$$H_1(20) = 0.532 H_3(0) + 0.639 H_4(0) + 0.135 R_1(20) + 0.046 R_2(10) + 29.211 \quad \dots\dots(6)$$

(6)式により、20分後の下流水位 $H_1$ は20分後の雨量 $R_1$ 、10分後の雨量 $R_2$ 及び現時刻の上流 2 地点の水位 $H_3, H_4$ の一次式で示せるものとした。

## 4. 検討結果

以上の水位-雨量関係式(6)を用い、上流 2 地点水位と残流域雨量を用いて計算した下流水位と、10分毎の実績水位記録の比較を図-10に示す。どの洪水においても計算された水位の実績水位に対する標準偏差は10cm程度であった。

台風(図-10(c))の場合、ピーク付近で、水位計設置位置近傍の橋梁桁下高まで水位が上昇し、堰上げ、もしくは、上流で氾濫を起している可能性があるため、若干水位の関係式が合わない部分が出ているが、ほぼ良好に水位波形を再現していることがわかる。局地性の高い雷雨型洪水(図-10(a))に関しても、良好な対応を示す。これより残流域の流出形態が降雨波形と線形的で強い関係があることが伺える。水位の関係式によると、残流域雨量の1mm/10分の差は、水位で

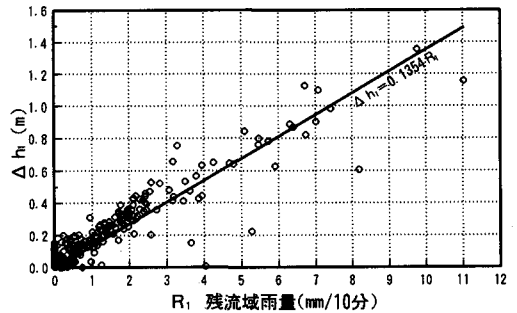


図-9 残流域雨量 $R_1$ と $\Delta h_1$

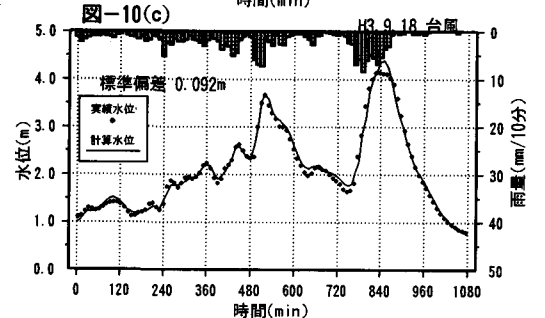
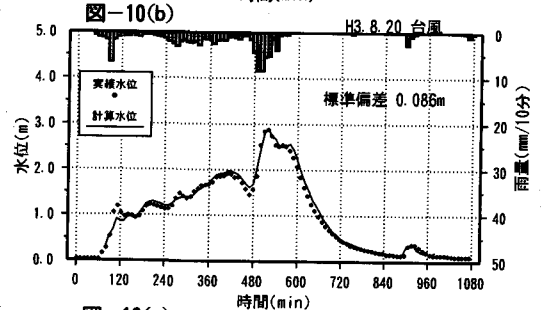
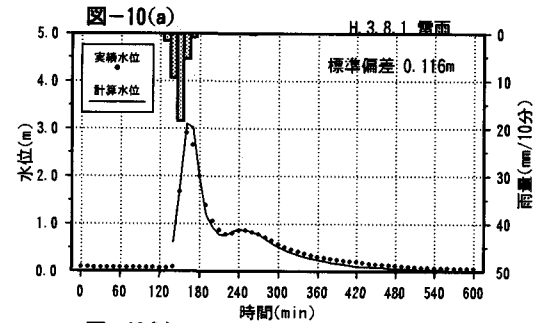


図-10 計算水位と実績水位の比較

は、約0.2mとなって現れるため、残流域の雨量の大きさが水位波形を支配する主要因のひとつであり、いかに正確に残流域雨量を把握するかが計算精度を左右することになる。

### 5. 流量の推定と流出特性の検討

降雨と水位の関係が線形性の強い関係が存在することを利用して流量の推定を行い、これを用いて当該区間の上流流量と残流域流出量の重なり方、下流洪水流量に占める残流域流出量の影響度合等流出特性の検討を行った。

#### 5. 1 流量推定方法

流量の推定方法の模式図を図-11に示す。上流流量( $Q_2$ )は、等流計算でH-Q関係式を作成し実績水位( $H_2$ )を用いて求めた。又、残流域流出量( $q$ )は、流域平均雨量より合理式(流出係数0.5, 到達時間30分)を用いて算定した。この上流からの流量と残流域流出量の合計を下流計算流量( $Q_1$ )とした。下流の実績流量は、上流と同様にH-Q関係式により、実績水位( $H_1$ )を用いて求めた。

以上の方法で求めた下流計算流量( $Q_1$ )は図-12に示すように洪水波形、流量規模ともに実績流量を、良好に再現出来ることがわかる。残流域流出量と上流流量の推定結果がともに洪水現象をよく再現出来ているため、その合計である下流の流量規模や波形が良く実現象を説明していると考えられる。

#### 5. 2 流出特性

当該区間で対象とした3洪水より、神田川の流出特性は、以下のように整理出来る。

- ① 残流域流出量は、降雨量と線形的な関係でほぼ表せる。
- ② 対象河道の洪水流は水面勾配や粗度係数が一定の等流的な流れとなっているため、流量-水位の関係が一義的に決まる。

残流域流出量( $q = Q_1 - Q_2$ )の下流の流量( $Q_2$ )に対する割合( $q/Q_1$ )は、図-12(a)の雷雨では、ピーク時で約40%を占めている。又、図-12(b)の台風では、下流地点の流量波形は、上流地点の流量波形と異なりピークの生起時刻も残流域流出量により支配されていることがわかる。

対象とした洪水においては、上流流量波形の上上がり部に残流域の速い流出量に加わり、より立上がりを

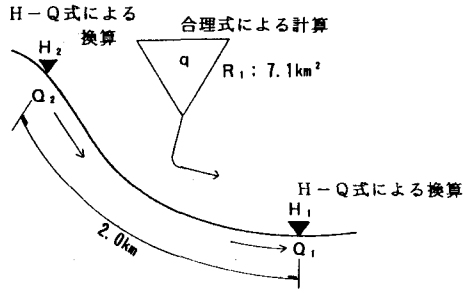


図-11 流量推定模式図

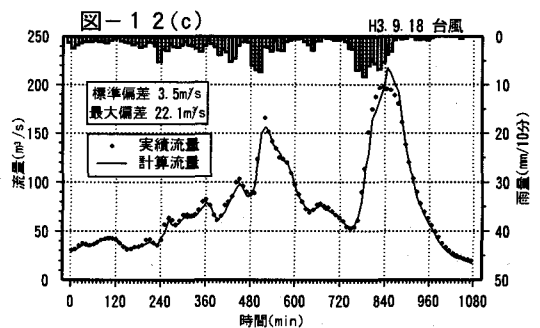
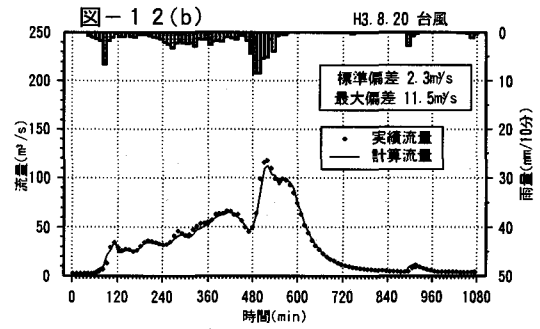
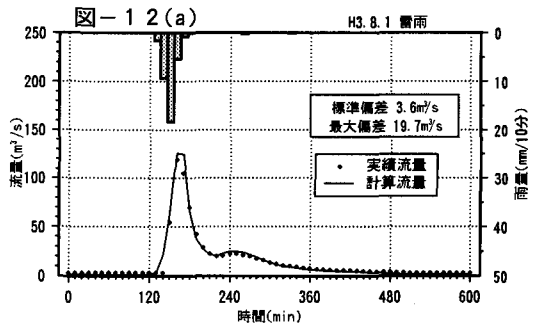


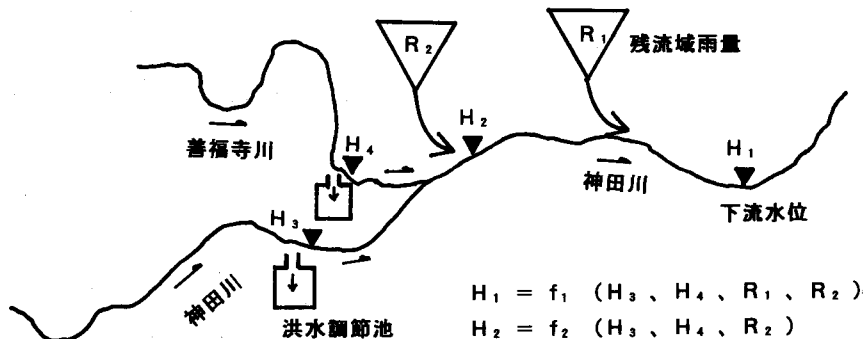
図-12 流量推定図

急激にしている傾向がみられた。これに対し、洪水低減部は残流域の流出が終わり、上流からの流量のみでゆっくりと下がっていく傾向がある。流域で一様に降雨がある場合には、前倒しの流出ハイドログラフが形成され、下流へ行く程、その傾向が強まると考えられる。

## 6. 考 察

本検討で対象とした都市域中小河川では、降雨と水位、流出量の関係がほぼ線形的であることがわかった。又、残流域の流出量、すなわち、水位観測位置近傍流域の流出がハイドログラフ形成に大きく影響することがわかった。水位実績を上流から順に並べてみたときに、そのピークの生起時刻が洪水によっては下流の方が早いことが往々にしてあることも、この残流域の速い尖鋭な流出に影響されているためと考えられる。密に配置された降雨観測所の10分間データが得られれば、7km<sup>2</sup>程度の単流域で精度良く洪水水位が計算出来ることがわかった。本解析法は、市街化が進んでおり、通常の流域における浸透、貯留現象が小さい流域で、河道の勾配が急であり等流的な流れが想定できる様な都市域中小河川で適用出来るものとする。今後は、適用事例を広げるとともに、その適用範囲を明確にすることを課題としている。

東京都では、神田川、善福寺川の合流直後の相対的に流下能力の低い区間の洪水氾濫を防ぐために、合流前の2ヶ所に地下調節池を設置する計画がある。この際に、時々刻々の洪水状況に合わせて洪水調節量を制御することで、限られた調節池の容量を有効に活用出来る管理システムを検討している。当システムにおいて、合流前2地点の水位（ここでは調節池地点水位）と残流域の雨量から合流後の下流水位を精度良く計算する、あるいは予測することは管理上重要な課題である。本解析法のこのような管理システムへの適用性を洪水予測方法も含めて、さらに検討してゆく。



## 7. おわりに

本報は、「東京都地下河川統合管理システム開発委員会（委員長 吉川秀夫氏）平成4年度」における調査内容の一部をもとに整理したものである。吉川委員長、各委員の方々の御指導のもとでの成果であることを記し、謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 西原巧編：洪水予報，全建技術シリーズ23，社団法人 全日本建設技術協会，1976年2月
- 2) 福岡捷二・谷岡康・高本正彦：都市中小河川流域における雨量観測所の密度が面積雨量精度に与える影響，水工学論文集第37巻，1993年2月
- 3) 谷岡康・伊藤重文・渡辺毅・福岡捷二・高本正彦：神田川流域における面積雨量精度，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第2部，1993年9月