

都市中小河川の流域規模と洪水到達時間
Relation Between Concentration Time and the scale of Urbnized Basins

東京都都市計画局施設計画部 正会員 佐藤一夫
東京都土木技術研究所技術部 正会員 ○和泉 清

1. はじめに
中小河川や下水道の流量設計には、合理式が使用されている。
この合理式における洪水到達時間は、都内中小河川の場合、斜面からの流入時間と河道の流下時間との和として表されている。
ところで、最近の都内中小河川の洪水現象は、下水道の整備に伴う雨水の集中化による影響が顕著な形で表れている。
都市域の排水施設としての中小河川と下水道で、洪水到達時間の算定法の違いなどがもたらす整合性の問題が指摘されている。また、洪水調節池の設計や調整池の有効な活用方途を検討するため、洪水到達時間の実態を知ることの重要性が高まっている。
本文は、都内中小河川の洪水到達時間の実態について検討し、洪水調節池や放水路等の治水施設の設計に供する参考資料とされることを目的としている。

2. 対象河川と対象洪水
本文で対象とした河川は、図- 1 に示す都内台地部を流下している神田川と目黒川である。神田川流域は、流域面積 105.0 km²、河川延長 24.6 kmの東京を代表する中小河川のひとつである。

現状の神田川は、ほぼ下水道の整備が完了し、計画降雨規模50mm/hr、流出係数0.8の河道改修が約50%程度進捗し、流域の都市化状況を表す指標のひとつ

である都市化数 (Un)¹⁾が、85程度の都市施設整備水準にあるところである。
一方、目黒川は、流域面積45.5 km²の二級河川で、下水道の整備率が60%程度、都市化数も75程度と、神田川に比べ都市化のレベルが低い流域である。

この両河川における実績降雨と水位、流量資料にもとづき、つぎのような洪水を対象とした。
目黒川については、昭和41年から昭和58年の期間に得たデータを図- 1 に示す3つの観測点において検討した。神田川については、昭和48年から昭和58年の10か年間の資料を目黒川の場合と同様に4つの観測点を対象とした。流域平均雨量は、同期間の観測値 (10分単位) の単純平均値をもって表した。ま

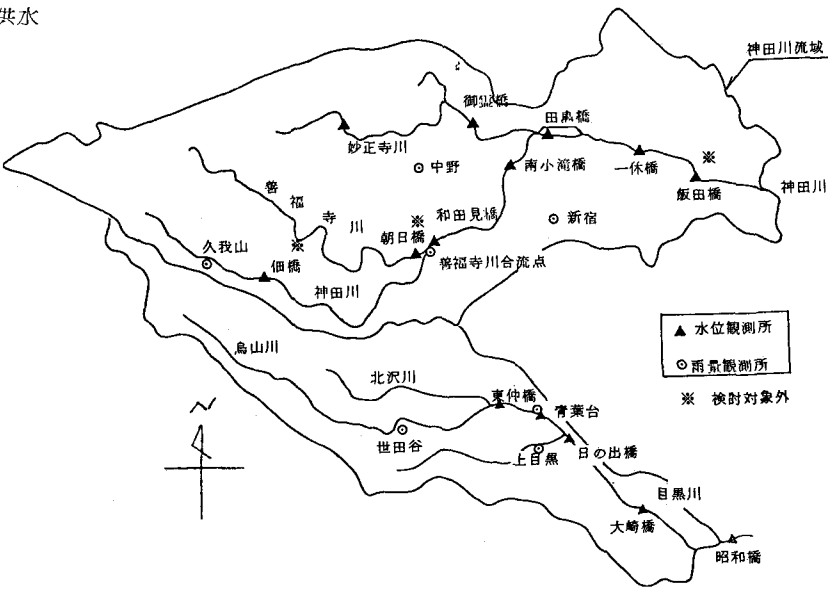


図- 1 対象河川と河川基準点

た、対象洪水は、主要雨量観測点において、日最大 50mm 以上、時間最大 10mm/hr 以上の降雨のうちテレメータ雨量およびデータの有無によって選択した。

その結果、昭和41年から昭和52年の間の29出水、テレメータによる記録が開始された昭和53年から昭和58年までの31出水の計60出水例を対象洪水とした。

3. 洪水到達時間の実態

神田川および目黒川の図-1に示す各対象観測点において得られた各洪水ごとに以下の方法により洪水到達時間(以下、 t_p と表す)を推定した。

ピーク雨量発生時刻からピーク流量発生時刻までの時間、すなわち遅れの時間の2倍の所要時間をもって t_p とする方法(以下、2Tg法と呼ぶことにする)による場合とピーク流量発生時刻(t_2)に記録されている雨量(r_2)とピーク雨量発生時刻に先行する時間帯で r_2 と等しい雨量が生起している時刻(t_1)から $t_p = t_2 - t_1$ で表す方法(以下、角屋法と呼ぶことにする)による場合の両方法によって t_p を推定した。

つぎに、合理式から有効降雨強度(r_e)を推定する。

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

ここに、 Q_p :実績洪水のピーク流量(m^3/s)、 A :対象流域面積(km^2)

また、 r_m を洪水到達時間内流域平均降雨強度(mm/hr)とし、2Tg法および角屋法による t_p と r_e の関係、 t_p と r_m の関係について、検討した。

図-2は、角屋法による t_p と r_e の関係を目黒川において整理した結果である。

図中、青葉台地点における t_p は、年代を4年代に分割し整理した。

目黒川の t_p の実態は、昭和40年代に比べ昭和50年代のそれが平均的に短縮化していることを青葉台地点においてみる事ができる。

また、日の出橋地点の場合は、テレメータ観測記録(昭和54年以降のデータ)による t_p と r_e の相関を両対数紙にプロットした結果である。

両図から t_p と r_e の相関が高いことが判る。ところで、青葉台地点及び日の出橋地点のそれぞれの諸元は、表-1に示すとおりであるが、日の出橋地点の流域面積が青葉台地点のそれより大きいにもかかわらず、 t_p の値は、青葉台地点のそれよりも大きくはない。

日の出橋地点は、図-1から判るように支川である蛇崩川が合流しているところである。この地点の t_p の実態が、蛇崩川の雨水に支配されていることが推測される。

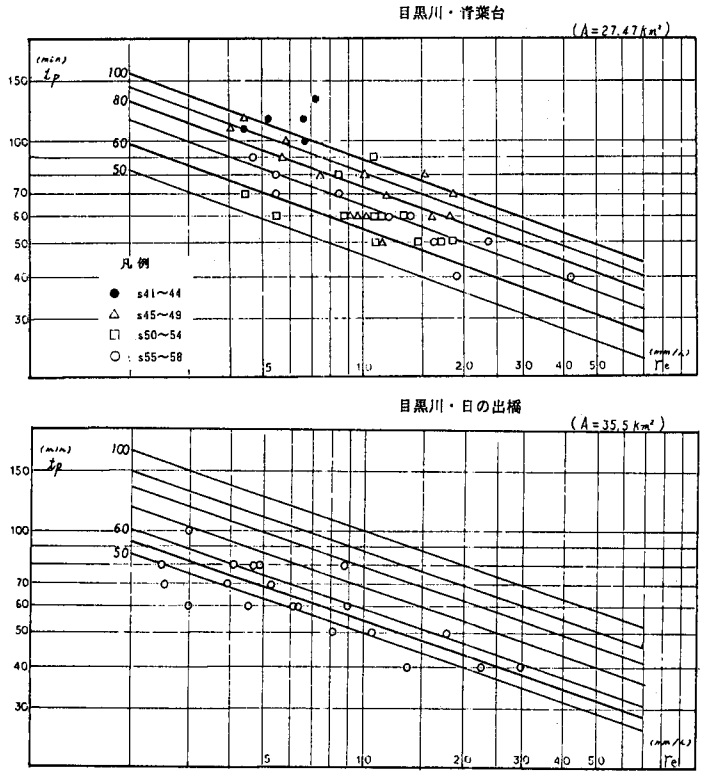


図-2 目黒川の洪水到達時間と有効降雨強度の関係

また、図- 2の
 t_p と r_e の相関図
 に示すCの値は、
 つぎの式による洪水
 到達時間係数で
 同式から逆算した
 値である。

表- 1 神田川および目黒川の流域諸元

項 目	神 田 川						目 黒 川		
	神 田 川	山 川	妙 正 寺 川	東 仲 橋	青 葉 台	目 出 橋	東 仲 橋	青 葉 台	目 出 橋
観 測 所	和田見橋	南小笠橋	一休橋	鷺盛橋	御霊橋				
対象流域面積A (km ²)	29.1	45.6	80.6	9.0	19.2		24.75	27.45	35.5
流域平均傾斜 R I	5.6	9.7	21.5	1.7	3.8		6.68	7.91	10.59
流路長 L (km)	10.4	14.1	18.3	2.8	7.7		8.5	9.8	10.7
流路勾配 I	1/710	1/450	1/400	1/670	1/470		1/330	1/290	1/290
不透流域面積率(%)	47.2	50.0	51.0	49.0	51.9		47.1	48.7	48.9
下水道面積整備率(%)	92.7	95.5	97.1	97.2	98.5		55.3	54.2	60.9

$$t_p = C A^{0.22} r_e^{0.58} \quad (2)$$

目黒川のC値は、現状では
 50~60程度と評価される。また、
 青葉台地点においてのC
 値は、昭和40年代初期 100程
 度、現状のそれが60と減少し
 ていることが判る。

つぎに、神田川における
 t_p と r_e の相関図を図- 3に
 示す。神田川の場合はテレメ
 ータ設置後のデータによる最近
 の t_p の実態である。

t_p と r_e の相関は、目黒川
 の例と同様、高い。

相関係数で評価すれば、
 0.60~0.88となっている。

因に、2 T g 法による t_p
 と r_e の相関係数は、0.60~
 0.80である。

ところで、 t_p と r_m の相関
 は t_p と r_e の相関関係より高
 い。既述の(1)式による
 r_e の推定の仕方、いかえ
 れば、 Q_p の値に問題がある
 と思われる。

観測精度あるいは水位流量
 曲線の精度の問題とも考えら
 れる。

以上のように、多少問題が
 残されているとはいえ、都内
 中小河川の t_p の実態を把握
 することができた。

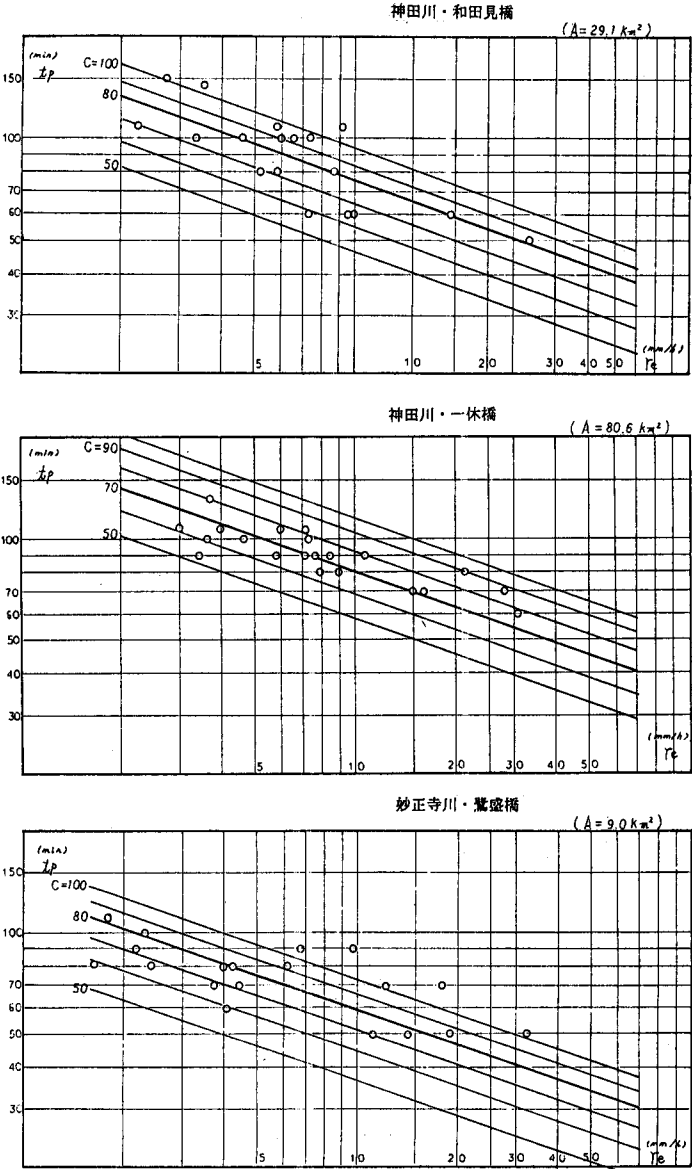


図- 3 神田川の洪水到達時間と有効降雨強度の関係

4. 流域規模と洪水到達時間

神田川と目黒川は、密集市街地である都内台地部を流下する中小河川という特殊な場合ではあるが、流域規模と t_p の関係について以下考察する。

神田川の場合、対象流域面積（以下、 A と表す）は、 $9.0\text{km}^2 \sim 80.0\text{km}^2$ 、目黒川の場合が $27.0\text{km}^2 \sim 35.0\text{km}^2$ と比較的小規模な流域を対象としているが、図-2および図-3から判るように、両河川の t_p は、概ね、100分以下という状況にある。

そして、 A の規模と t_p の関係を明確に知ることはできないが、 A の規模が t_p の長短に関与している程度は、この両河川の場合、小さいことが判る。

対象洪水の降雨状況が必ずしも一様な状態ではない資料による問題もあるが、 A の規模の違いによる t_p への影響を顕著な形でみることができない。流域面積以外の流域要素の影響が、この両河川の場合 t_p の長短に関与していることが推察される。

各河川基準点の状況から推定されることは、対象河川基準点が下流側にある場合で、そこが本支川の合流点であるような場合、降雨状況にもよるが、支川からの雨水による影響が卓越してピーク流量生起時刻を支配する現象が起り、上流側の河川基準点のピーク発生時刻に先行する現象が起る⁴⁾。

この現象を図-2の日の出橋地点と図-3の一休橋地点においてみることができる。

図-1から明らかなように、日の出橋地点には、蛇崩川が合流し、神田川の一休橋地点には支川妙正寺川が分水路をへて合流している。このように、 t_p の長短に影響を及ぼす要素として、流域平均勾配がほぼ同程度の両河川の場合、流域形状の違いによることが考えられる。

また、もう一つの要因として、流域内の都市施設の整備状況、とくに公共下水道等の排水施設網の整備水準の違いによる影響が考えられる⁵⁾。

表-1にみられるように、神田川における公共下水道等の排水施設の整備水準は、目黒川に比べ高い。その結果、対象流域の A の大きい神田川の t_p と神田川に比べ A の小さい目黒川の t_p とにあまり差異を生じない現象が出現していることが考えられる。

図-4は、既述の(2)式における洪水到達時間係数 C と神田川および目黒川の公共下水道の普及率(S_d)との関係を示したものである。

都市化が進み不浸透域面積率が50%程度となった流域においては、下水道の普及率が数%から100%に増大すると(2)式の洪水到達時間係数 C の値が100以上の値から60程度の値に減少する。

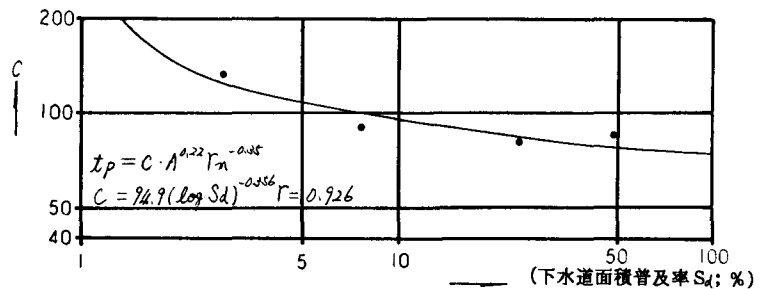


図-4 洪水到達時間係数 C と下水道普及率 S_d との関係

t_p は40%短縮していることが判る。この現象は、都内中小河川（8つの中小河川）の都市化進行過程と t_p の短縮状況に関して、都市化数(U_n)により評価するつぎの方式による結果と符合する⁶⁾。

昭和41年当時の都内中小河川流域の都市化状況を U_{n41} とし、被比較対象年代の流域の都市化状況を U_{nx} とし、この両年代間の変化度を X とすれば、 $X = U_{nx} / U_{n41}$ (3)

一方、この期間における t_p の変化について、基準年当時の平均的な t_{p1} と被比較年代の t_{p2} とから t_p の短縮度を Y とすれば、 $Y = (t_{p2} - t_{p1}) / t_{p1}$ (4)

この t_p の短縮度 Y と流域の都市化進展の度合 X との関係は、 $Y = 0.96 X^{-1.35}$ (5)

と式化される。この(5)式から、目黒川と神田川の場合について、 t_p の短縮率を推定すれば、50%となる。ほぼ、角屋法の C の変化による値と同じ結果をうることができる。

つぎに、流域諸元として斜面の等価粗度(N)、平均流域長(ℓ)、流域平均勾配(I)をもって、つぎの式により t_p を表し、目黒川等の都内中小河川の t_p の実態とを照合した結果、図- 5 に示す結果が得られた。

$$t_p=\alpha \left(\frac{\ell N}{\sqrt{I}}\right)^{\beta} \tag{6}$$

洪水到達時間の短縮化状況と(6)式との関係を見ると以下のようになる。

昭和48年当時の(6)式は、 $\alpha = 3.21$ 、 $\beta = 0.39$ である。

現況(昭和57年)においては、 $\alpha = 5.28$ 、 $\beta = 0.28$ となる。ただし現況の場合、 ℓ に河道長を、 S に河道平均勾配を適用しなければ、現況の t_p の実態とはならない。

N の値は、各河川によって異なるが $0.025 \sim 0.03^{7)}$ である。 N の変化による t_p への寄与率より、 $\ell / \sqrt{I}$ の変化による t_p への寄与率の方が大きい。都市施設の整備による影響と考えられないこともない。

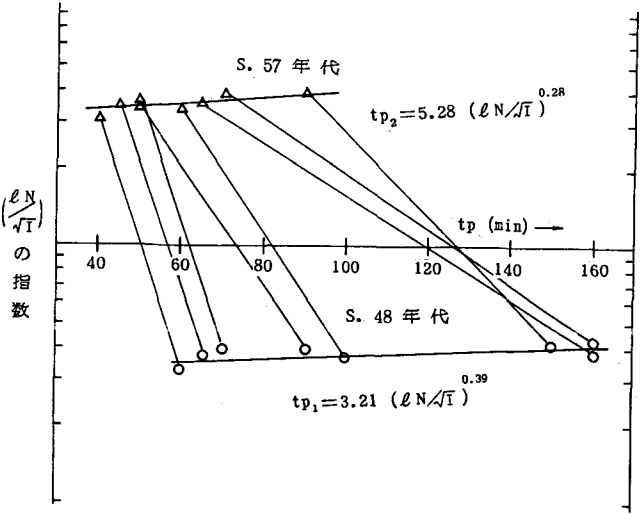


図- 5 都内中小河川の流域諸元($\ell N / \sqrt{I}$)と t_p の関係

5. 洪水到達時間の推定法

都内中小河川の洪水到達時間の実態について、2 Tg法と角屋法による実用式との関係を検討してきたが、ここで一つの試みとして t_p に直接関わりをもつ要因として、考えられるいくつかの流域諸元をファクターに選定し、目黒川および神田川の t_p との実態との相関について分析した。

説明変数として流域面積(A 、 km^2)、河道長(L 、 km)、下水道普及率(S_d 、 $\%$)、河道勾配(i)、流域平均勾配(I)を用い、つぎの式の X にこれらファクターを用いた場合の式形と相関度を表- 2 に示す。 $t_p=C_2 X^{\beta} r m^{-0.35}$ (7) 表- 2 t_p の推定(式形と相関係数)

ケース	$X=A \text{ (km}^2\text{)}$		$X=L \text{ (km)}$		$X=S_d \text{ (\%)}$		$X=i$		$X=I$	
	$C_2 = X^{\beta}$	r	$C_2 = L^{\beta}$	r	$C_2 = S_d^{\beta}$	r	$C_2 = i^{\beta}$	r	$C_2 = I^{\beta}$	r
2 Tg ~ r_m	$62.7 A^{0.28}$	0.74	$56.4 L^{0.40}$	0.76	$119 S_d^{0.00}$	0.47	$33.0 i^{-0.30}$	0.54	$165 I^{-0.46}$	0.21
$t_p \sim r_m$	$109.0 A^{0.10}$	0.54	$98.0 L^{0.27}$	0.59	$150 S_d^{0.00}$	0.41	$30.4 i^{-0.31}$	0.78	$184 I^{-0.04}$	0.40

各説明変数と t_p の実態で相関係数の比較的大きい場合は、 A 及び L であるが、2 Tg法と角屋法では相関係数の大きい説明変数が異なっている。

つぎに説明変数として、流域勾配(I)を除く A 、 L 、 S_d 、 i を用いてつぎの式で表した場合の相関度を調べた。その結果は、次頁の表- 3 に示すとおりである。

$$t_p=C_3 A^{\beta_1} L^{\beta_2} S_d^{\beta_3} i^{\beta_4} r m^{-0.35} \tag{8}$$

河道勾配(i)との相関が高く、2 Tg法と角屋法を比較した場合、後者の関係が高い相関を示している。最も相関度の高い説明変数の組合せは、角屋法による流域面積と下水道普及率、河道勾配による場合で、この場合の重相関係数は、0.955 である。

以上のような結果から、説明変数の数が少なく相関度の高い実用式として、つぎの式が考えられる。

$$t_p=20.6 L^{0.23} i^{-0.28} r m^{-0.35} \tag{9}$$

最後に、既述のように目黒川や神田川の t_p がある降雨規模以下の降雨状況を除き、 r_e や r_m との関係が認められることから、 t_p と r_m との関係について、つぎの式による相関度を各河川基準点において求めた。

$$t_p = \alpha r_m^\beta \quad (10) \quad t_p = \alpha r_m^{0.35} \quad (11)$$

その結果は、表- 4 に示すとおりである。

この場合も、2Tg法に比較し角屋法による結果の方が相関度は高い。

また、 β の値を-0.35に固定した(11)式の場合と(10)式による場合との結果を比較してみても両者に差異は認められない。

さらに、 β の値も-0.35前後に集中しており、既述のように(2)式における r_e を r_m に置換した場合においても、 β の値を-0.35としての実用性は高いものと考ええる。

したがって、以上の結果を踏まえ都内中小河川の t_p の推定法としては、 i が $1/200 \sim 1/1000$ 程度の地形状態にあれば、既述の(9)式が実用的な方法と考える。

表- 4 t_p と r_m の相関

説明変数	2Tg 法	角屋法
A	0.746	0.542
L	0.761	0.593
Sd	0.465	0.406
i	0.539	0.782
A, L	0.762	0.652
A, Sd	0.790	0.602
A, i	0.891	0.922
L, Sd	0.806	0.645
L, i	0.878	0.923
Sd, i	0.566	0.787
A, L, Sd	0.808	0.708
A, L, i	0.892	0.923
A, Sd, i	0.892	0.955
L, Sd, i	0.878	0.948
A, L, Sd, i	0.759	0.948

6. おわりに

東京都では、現在、生起確率3年の計画規模である降雨強度 50 mm/hr ($f_p=0.8$) の河川改修が実施されている。そうした中で、先行的に、より治水安全度の高い治水施設の整備が経済性の面からも得策であり、また、そうした施設を暫定的に有効利用することで現状の治水安全度の向上が図られることなどの理由で、大規模な調節池や放水路が計画され実施されようとしている。

本文は、こうした施設の現状を踏まえた有効活用を図るための判断資料として、現況洪水の特性のひとつ、洪水到達時間の実態について検討してきた。

したがって、洪水流量や氾濫量、調節量等についての分析を欠いている。次回において、等危険度線を利用した河道疎通能力と調節量や流域抑制対策量などの関係について検討したい。

参 考 文 献

- 1) 和泉 清 (1977) 都市化と河川流出変化の定量的分析、都土木技研年報、2) 角屋 睦、福島 晟 (1976) 中小河川の洪水到達時間、京大防災研究所年報第19号B、3) 2) に同じ、4) 石川金治、佐藤一夫、和泉 清 (1982) 都内中小河川にみる合理式の適用性について、第26回水理講演会、5) 佐藤一夫、和泉 清 (1983) 公共下水道の普及と洪水到達時間の変化について、第27回水理講演会、6) 石川金治、佐藤一夫、和泉 清 (1981) 都内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回土木学会年次講演会、7) 西沢満男、和泉 清、沼井信親 (1971) 目黒川の流出解析 (一特性曲線法による一)、都土木技研年報、8) 総合治水対策調査委員会 (座長、吉川秀夫) (1984) 東京都における総合的な治水対策のあり方について、中間報告、9) 中西祐啓、江藤剛治、室田 明 (1984) 等危険度線による遊水池計画の安全度評価の例、近大理工学部研究所報告第20号