



土 木 研 究 所 資 料

第 678 号

東京都における雨水流出量調査報告書

昭和 46 年 3 月

建設省土木研究所
都市河川研究室

土木研究所資料

第六七八号

東京

都

に

お

け

る

雨

水

流

出

量

調

査

報

告

書

昭和

四十

六年

三月

建設

省

土木

研究

所

都市

河川

研究

室

目 次

第1章 序 論	1
第2章 前年度調査解析結果の概要	3
2・1 前年度の検討結果	3
2・1・1 合理式の理論性とその予測誤差について	3
2・1・2 雨水排除計画への合理式適用上の問題点	5
2・1・3 都市化と流出の予測について	6
2・2 前年度の流出量調査結果	8
2・2・1 流出係数について	8
2・2・2 流達時間、流入時間について	10
2・3 本年度の解析方針	13
2・4 本章の終りに	14
第3章 計画降雨へのアプローチ	15
3・1 気象観測法、統計法の変遷	15
3・2 各気象要素の変遷	15
3・3 東京の降雨記録	16
3・4 水文資料の摘出法	23
3・5 東京都の降雨強度	25
3・5・1 確率降雨強度式の算定	25
3・6 東京における降雨パターンについて	28
3・6・1 計画降雨としてのハイエトグラフ	28
3・6・2 降雨パターンと流出ハイドログラフの関係	33
3・6・3 流域や降雨特性と損失パターンの関係について	33
3・7 本章の終りに	35
第4章 都市域での雨水損失機構の検討	36
4・1 都市域での流出機構	36
4・1・1 都市域の排水システム	36

4・1・2	合理式の流出係数	37
4・2	実流域での損失機構の定量的検討	40
4・2・1	調査の概要	40
4・2・2	雨水流出量調査結果	41
4・2・3	損失機構の解析法	42
4・2・4	損失量の定量的検討	43
4・3	本章の終りに	46
第5章	都市域での流出の実態	48
5・1	調査方法及び排水区の概況	48
5・1・1	調査方法	48
(1)	排水区特性調査	48
(2)	雨量調査	48
(3)	流出量調査	48
5・2	資料解析方法及び結果	56
5・3	解析結果の検討	61
5・3・1	雨水損失機構の検討(雨水損失量の定量的把握)	61
5・3・2	総流出係数とピーク流出係数	63
5・3・3	流達時間の実態	65
5・3・4	流入時間及び単位排水区の等価粗度	65
5・4	本章の終りに	69
第6章	RRL法による流出解析	70
6・1	概 要	70
6・2	流域要素の決定法	70
6・3	流出計算法	71
6・4	実流域での流出解析結果	71
6・4・1	流域要素の決定	73
6・4・2	流出解析手順とその結果	73
6・5	本章の終りに	81
第7章	結 論	82
7・1	本報告書の主要内容	82
参 考 文 献		84

第1章 序

下水道の設計には、汚水量の推定もさることながら、合流式下水道の場合には、雨水流出量の推定が管渠断面の決定や、雨水吐室、雨水用ポンプの規模決定には重要なファクターとなる。雨水流出は多数の因子を含んだ水文現象であり、都市域のように非常に人工的に出来上っている場所でも、流出の予測の精度は決して高くはない。そこで、東京都をはじめ、名古屋・京都・豊橋・岐阜の諸都市では、雨天時の下水排除の合理化を目指し昭和42年来、各々の試験地において雨水流出量の測定、並びに水質調査（昭和42年のみ）を実施し、土木研究所で、これら観測資料のとりまとめを行ってきた。

本報告書は、東京都の谷端川・桃園川での昭和42年度来の雨水流出量調査の昭和45年度の報告書である。雨水流出量把握のためには、降雨損失機構並びに洪水流下機構が明らかにされねばならない。しかし降雨損失に影響するファクターには、流域の工種構成、特に浸透域の雨に対する応答は、前期降雨の状態、土質等によりその変動の巾は相当大きい。又、浸透域と不浸透域の接続状況によっても異なった降雨損失となる。一方、下水管渠内の洪水流下についても、降雨強度、下水管渠の構成等、複雑な様相を程している。

昭和42年来の解析は、主に、現在下水道設計に広く使われている合理式の各項の検討を行ってきた。例えば、ピーク流出係数 (C_p) 流入および流下時間についてである。昭和45年度は、従来からの流達時間等についての解析を、45年度のデータを加えて行うとともに、降雨損失量の解析を行い、ある程度都市域での流出機構を明かにすることができた。更に R.R.L.法による解析を一部行った。

以上の検討の結果、谷端川での降雨の流出実態については、ほぼ明らかにすることができた。しかし、残念なことには、昭和42年来、設計降雨に相当す

るような降雨に恵まれず、以上の解析も、小洪水のみを対象としたものになっている。従って、今回得られた結果がそのまま設計に使用できるわけではなく、他の流域に適用できるといった性質のものでもない。これまでの結果を踏み台として、新たな観測・解析・設計面の検討等を行っていく必要がある。

今後の都市排水上の課題としては、都市河川の整備もさることながら、下水道を含めて水質面の検討が強調されねばならない。特に合流式下水道における雨天時下水処理方法については、昨今の河川水質汚濁の問題とも関係しており、早急に解決を計るべき問題と言える。

第2章 前年度調査解析結果の概要

2・1 前年度の検討結果

前年度までの調査解析方針は、その根幹に合理式（ $Q = CiA$ ）を揚げ、その理論的検討から構成要素の関係及び雨水排除計画への適用性から適用上の問題点の追求等に解析の重点を置き、合理式の合理化に努力した。また、急速な都市化現象の進展に伴う雨水流出現象の変化およびその予測という事が重要な課題になってきた。こういった訳で、前年度後半には都市化現象と流出ハイドログラフの予測法の解明に大半を費やした。その結果ある程度の成果を得られたように思われたが、以後の検討の進行と共に、この問題の複雑さがあらためて再認識させられた。

以下、前年度の主な成果についてその概略を述べよう。

2・1・1 合理式の理論性とその予測誤差について

合理式は水理学的には連続方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = i - f \quad (2.1)$$

および運動方程式

$$\frac{\partial U}{\partial x} = 0$$

に基づいている⁶⁾。図-2.1に示す

ように合理式を計画に用いる場合、対象降雨は矩形降雨（到達時間内の平均降雨強度）であり、雨水の損失は時間的に一定である。また（2.2）式で表わされるように斜面を流下する流速は場所的に一定であるという仮定で成立するものである。このように合理式は次元的にも流量の次元を持ち、多少の理論性もあるが個々の要素をみると現実の現象とははな

はだ矛盾したものであり種々の改善が必要であることは論を待たない。

合理式が一応妥当であるとして、 $Q = CiA$ の構成因子の内、排水面積Aだけがある程度正確に推定できる唯一の因子であり、Aには誤差がないものと考えられるため、流出係数C、

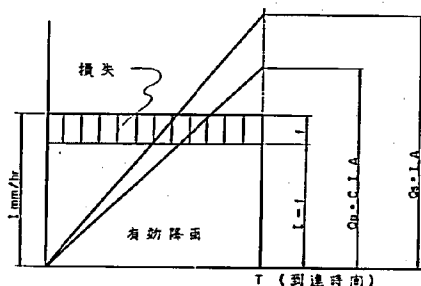


図-2・1 合理式による流出現象図

降雨強度 i の誤差と流出量 Q の誤差との関係は次式で表わせる。

$$\left| \frac{dQ}{Q} \right| = \left| \frac{dO}{O} \right| + \left| \frac{di}{i} \right| \quad (2.3)$$

降雨強度 i は流達時間 t の関数であり、 i と t の誤差の関係は、一般に

$$\left| \frac{di}{i} \right| \doteq 0.5 \left| \frac{dt}{t} \right| \quad (2.4)$$

で表わされ、一般に Q 、 O 、 t の誤差の関係は、

$$\left| \frac{dQ}{Q} \right| = \left| \frac{dO}{O} \right| + 0.5 \left| \frac{dt}{t} \right| \quad (2.5)$$

と表わされる。従って流出量 Q を 5 % の許容誤差率で予測するためには、(2.5) 式の右辺各項が同じウエイトで影響するものとする、各々 $\left| \frac{dO}{O} \right| = 2.5\%$ 、 $\left| \frac{dt}{t} \right| = 5\%$ となる。また流達時間 t は、一般に流入時間 t_1 と流下時間 t_2 の和として求められるが、同様に t_1 と t_2 および t の誤差の関係を求めると、

$$\left| \frac{dt}{t} \right| = \left| \frac{dt_1}{t_1} \right| + \left| \frac{dt_2}{t_2} \right| \quad (2.6)$$

となり、 t が 5 % の許容誤差に対して、 t_1 および t_2 の誤差は各々 2.5 % しか許されないことになる。以上の如く合理式を適用するに当っては、 O および t の予測値の正否が雨水排除計画の妥当性をも左右することがわかる。

O および t の予測値には表-2.1 に示す計画誤差と技術誤差との複合誤差が伴う。一般に技術誤差は技術の及ぶかぎり小さくすることが可能であるが、計画誤差は計画精度が十分高

表-2.1 計算要素と誤差の種類

	代表的な計算要素	誤差の種類	
dc/c	将来の工種面積及び構成比率	計画誤差	計画の科学性
	工種別流出係数、予測計算方法	技術誤差	
di/i	観測誤差、機械誤差（機械のタイプ観測所密度、測定方法）、解析誤差（記録紙読み取り、資料年数）	技術誤差	技術の向上 （予測計算法の改善）
dt/t	流入時間については（工種面積、構成比率）、（工種上の流速、予測計算法）	計画誤差	
		技術誤差	
	流下時間については（管渠への流入量）（管内流速、予測計算方法）	計画誤差	
		技術誤差	

くと計画目標年次が長ければそれだけ誤差は大きくなる。従って複合誤差を小さくするためには、計画誤差を可能な限り小さくすると共に、技術誤差を零とする努力が必要である。

2・1・2 雨水排除計画への合理式適用上の問題点

下水道計画における雨水流出量算定の問題は、河川における高水流量計画と同一の目的を持つものである。ところが都市域では人工的要素が多く、また現象の変化が極めて急激であり、雨水流出量算定においても厳密には不定流としての要素を欠くことはおそらく不可能であろう。また当所に述べたように都市域では天然現象はともかく人為的現象において未来に何が起るか判断できず、これが生活の場を破壊する危険性をはらんでおり、現象の変化に対処できるような計画が要請されるが、合理式はマクロながらこれらの要請を計画時点で折り込むことが可能である。

さて雨水排除計画における合理式運用上の問題特に各構成因子の予測上の問題について簡単にまとめてみると、

- 1) 降雨強度決定のために流達時間の予測
- 2) 1) の予測のために流入時間および流下時間の予測
- 3) 流出係数の予測

等が主な障壁となる。これらの予測以前に計画地域の特性に応じた降雨強度式を算定する必要があるが、これについては後章に譲る。以下上記因子の予測上の問題について概説しよう。

まず流達時間を直接求めるには、実測ハイドログラフから石原・高棹の方法等によって図式的に求めるか、あるいは河川等でより多く使われる経験公式 ($Rz\ iha$ の式あるいは中安等) によることになるが、流出場の変化 (流域の地被状態や地表工種の変化) による流出現象の変化に対処出来るような計画年次における流達時間を予測することは不可能である。

第2の方法は、流達時間を流入時間と流下時間の和として求めるもので、流下時間はある程度計算によって求めることができ、この値は一応流出場の変化には無関係と考えられよう。しかし従来流入時間については経験的に平均7分といった値が一般に採用されていた。また流下時間の算定についても $t_2 = L/U$ として算定される例が多かった。これに対して筆者は、流入時間の算定には

$$t_1 = \frac{698.83(Ne \cdot B_1)^{3/5}}{i^{2/5} \cdot S_1^{3/10}} + \frac{54.92(Ne \cdot L_s)^{3/4}}{138 \cdot (S_2 \cdot i \cdot B_2)^{1/4}} \quad (2.7)$$

(2.7) 式を示し、単位排水区の等価粗度係数 Ne が与えられるなら実態値にほとんど等しい流入時間を求め、また都市化の進行過程と Ne の関係を示し、これによって流入時間の将来予測が可能であることを明らかにした。また一方、流下時間の算定についても、

$t_1 = L/U$ で算定するよりは、矩形渠に対しては、

$$t_2 = L / \left\{ 1 + \frac{2 \cdot B}{3(B + 2h)} \right\} \cdot U \quad (2.8)$$

管渠に対しては、

$$t_3 = L / \left\{ 1 + \frac{2(1 - \cos \frac{\varphi}{2})}{3 \cdot H} \right\} \cdot U \quad (2.9)$$

等の式で算定するのがより合理的であることを示した。

第3番目の流出係数は、予測流量に直接影響する因子である。流出係数について特に雨水損失機構については後章で詳述するが、従来流出係数を工種あるいは用途地域に特有な降雨の減衰係数の如き表わされ方をされていた。ところが実際の流出係数の値は、降雨の強さ、継続時間の大小、降雨パターン、前期降雨の有無や量の大小、土質あるいは植生の有無等々無数の因子に作用されて変化する値であり、その予測は極めて困難である。

その他、工種（主に屋根、庭、道路）の接続の仕方によって流出現象は違ったものになる。下水道の普及した都市域では、各工種は直接下水管渠に接続しているのが普通であるが、屋根や道路（不透域）の水が庭（浸透域）を流れて下水管に流入するような場合には、即ち不透域と浸透域の分断の有無によって同一の降雨でもその雨水流出量は変化するが、流出係数への影響は、中小降雨では大きい、大降雨では小さくなる。

このように合理式を上手に適用していくには、全体計画の立て方として、計画の実施順序等を配慮することが必要で、このような意味で合理式は真に科学的、計画的なものではなく、十分その性格を把握し、熟達した設計者によってのみ円滑に適用せられる。特に合理式による予測精度の良否は流出係数の設定の妥当性にのみかかっているといっても過言ではあるまい。

2・1・3 都市化と流出の予測について

都市化（Urbanization）の進行が雨水流出現象にどのような影響を与えるかを定量的に予測することは、現代水文学の一大課題である。都市化による流出現象の変化をあらためて記述するまでもないが、主要事項を2、3例記すると、

1) 流出率の増加、2) 総流出量、ピーク流出量の増加、3) 流入時間、流達時間の減少などの現象が都市化の進行と共に加速され、流出ハイドログラフは降雨パターンに非常に相似していくことが明らかになった。

都市化現象の影響を定量的に把握するためには、その主要な因子を物理的に表現しなければ流出量の定量的な予測は困難である。筆者は、都市化の代表的な物理的要素として、不透域の増大と下水管密度の大小を取り上げ、両者の積の大小で都市化過程を判断することを

提唱した。即ち都市化過程を次式で表わす。

$$U_r = \delta \cdot I_p$$

(2・10)

次に(2.10)式の U_r と流域の平均勾配 I および斜面の等価粗度係数 N_e の間に有機的な関係があることを実験的に明らかにして、これら3者の関係から、都市化過程 U_r が判明するなら等価粗度係数 N_e を予測することができ、ひいては流出ハイドログラフの予測が可能であることを実降雨による計算例で示した。その計算の1例は図-2.2に示している。図

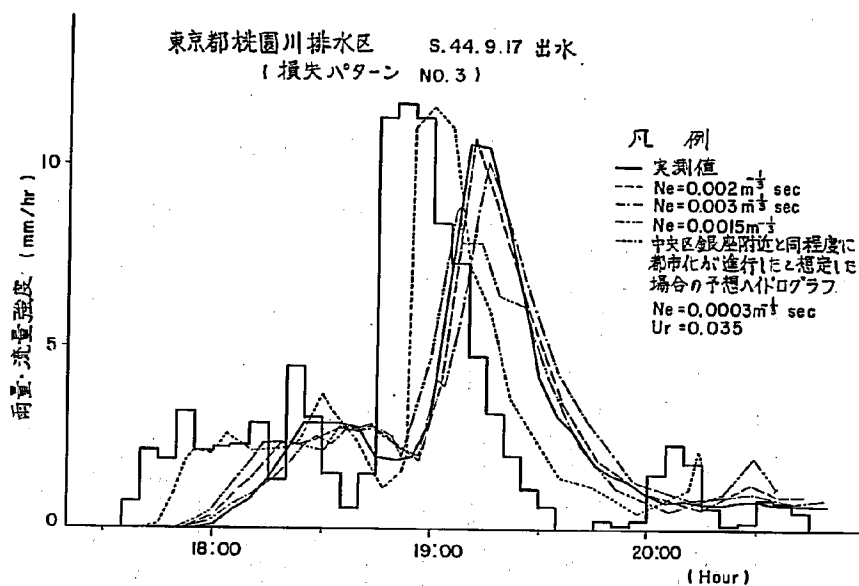


図-2・2 等価粗度法による流出計算例

で明らかな如く、都市化の進行と共に、流出現象は非常に降雨パターンの変化に敏感になり、流出ハイドログラフは降雨パターンに相似していくことが明らかである。

ところがその後の研究の進展につれて上記予測手法にも非常に問題点の多い事が徐々に明らかになった。流域のモデルの作り方や、等価粗度係数 N_e の意味上の問題やモデルと N_e の関係等が明らかになると、都市化による流出量の予測がどんなに複雑懷疑で困難なものであるかをあらためて再認識させられ、苦慮しつつ、モデル化の方法から再出発する決意をあらたにした。

2・2 前年度の流出量調査結果

前年度までの観測結果から主要な要素の解析結果について概述しよう。

2・2・1 流出係数について

承知の如く流出係数には、ピーク流出係数と総流出係数（流出率）の2通りの表わし方が

図-2・2 昭和44年度観測結果

(1)

都 市 名 (排水区名)	観測月日	最大降雨 強度 (mm/hr)	流達時間 (min)	平均降雨 強度 (mm/hr)	ピーク流出 係数 C_p	総流出係数 C_t	不透透率 (%)	摘要
東 京 都 (谷端川上 流)	6.19	39.6	15	26.4	0.045	0.220	47.4	
	6.21	60.0	20	8.4	0.571	0.324		
	6.25	16.8	25	9.1	0.879	0.406		
	8.23	42.0	10	36.0	1.012	0.947		
	9. 2	57.6	10	55.8	0.788	0.970		
	9. 7	54.0	15	41.6	0.692	0.700		
	9.16	56.4	10	54.0	0.763			
東 京 都 (谷端川下 流)	6.19	39.6	20	24.8	0.151	0.373	53.2	
	6.21	60.0	35	8.9	0.506	0.452		
	6.25	16.1	55	10.7	0.467	0.375		
	8.23	27.1	20	17.6	0.864	0.551		
	9. 2	62.3	30	36.8	0.764	0.638		
	9. 7	60.8	20	37.4	0.521	0.662		
	9.16	44.0	35	24.6	0.549	0.588		
東 京 都 (桃園川上 流)	4.30	11.3	35	4.9	0.19	0.16	44.2	
	5.11(1)	13.1	35	5.5	0.30	0.17		
	5.11(2)	13.6	40	8.9	0.74	0.31		
	5.17	62.7	20	39.5	0.85	0.55		
	5.19	8.8	35	5.1	0.50	0.38		
	5.30	20.4	40	11.7	0.76	0.41		
	6. 3(1)	11.3	45	8.7	0.49	0.39		
	6. 3(2)	13.9	30	10.0	0.64	0.53		
	6. 6	8.4	30	6.3	0.45	0.30		
	6.21	13.5	20	9.7	0.608	0.451		
	6.25	12.0	20	9.0	0.670	0.551		
	7. 5	18.0	25	9.6	0.760	0.571		
	7.23	4.2	20	2.5	1.080	0.797		
	8.28	123.0	10	89.4	0.706	0.835		
	9. 2	90.0	15	58.0	0.862	0.892		
	9. 7	102.0	15	52.0	0.775	0.623		
	9.16	78.7	15	57.0	0.895	0.780		
	9.17	35.3	25	22.1	0.832	0.576		
	9.21	26.3	25	19.9	0.759	0.671		
	10. 8	10.2	30	6.8	0.941	0.545		
	10.25	10.6	30	6.6	0.954	0.502		
東 京 都 (桃園川下 流)	4.30	10.7	20	7.7	0.18	0.27	49.0	
	5.11(1)							
	5.11(2)							
	5.17	69.4	40	27.7	0.43	0.28		
	5.19	9.1	40	5.0	0.43	0.38		
	5.30	20.1	60	11.1	0.44	0.34		
	6. 3(1)	10.9	60	8.7	0.36	0.32		
	6. 3(2)	11.6	60	8.0	0.46	0.46		
	6. 6	7.6	45	5.6	0.37	0.29		
	6.21	9.7	50	6.4	0.531	0.301		
	6.25	10.1	45	8.4	0.464	0.338		
	7. 5	15.4	40	11.1	0.495	0.327		
	7.23	8.8	20	6.6	0.606	0.446		
	8.28	99.7	20	66.8	0.346	0.372		
	9. 2	66.4	30	37.2	0.597	0.620		
	9. 7	102.0	20	39.0	0.418	0.453		
	9.16	62.7	25	47.3	0.782	0.570		
	9.17	23.7	30	17.1	0.620	0.435		
	9.21	40.2	30	17.1	0.596	0.413		
	10. 8	12.4	45	7.8	0.487	0.382		
	10.25	10.9	45	7.6	0.750	0.414		

ある。節2.2.1に示したように合理式の理論的裏付けから検討するなら、後述するごとく、両者の値は同一値を示すはずである。ところが実際の観測結果には、遅滞その他の現象が含まれるため両者の値ははなはだ違った結果になる。

ピーク流出係数及び総流出係数の値は、表-2.2に示すように広範囲の値を示しているが、平均降雨強度がある程度大きくなる（大体 10 mm/hr 以上）と大体一定値を示すようになる。他都市での観測結果等も加味して、排水区特性とピーク流出係数の関係を調べてみると表-2.3に示すようになる。図-2.3にはその結果を示しているが、非常にマクロな相関ながら、

表-2.3 排水区特性と C_p

排水区名（都市名）	C_p の平均値		排水面積 (km^2)	都市化率 (U_r)	$U_r/\bar{I}$
	$i > 10$	全観測値			
谷端川上流（東京都）	0.801	0.739	0.72	0.020	1.735
“下流”	0.558	0.471	5.42	0.014	0.939
桃園川上流 “	0.787	0.710	1.042	0.004	0.571
“下流”	0.525	0.510	5.106	0.005	0.262
千年南部（名古屋市）	0.664	0.604	0.8122	0.011	7.048
八 町（豊橋市）	0.763	0.817	0.6837	0.015	2.764
清水川（岐阜市）	0.553	0.526	1.064	0.039	38.500
中部第一（京都市）	0.542	0.631	1.530	0.013	1.585

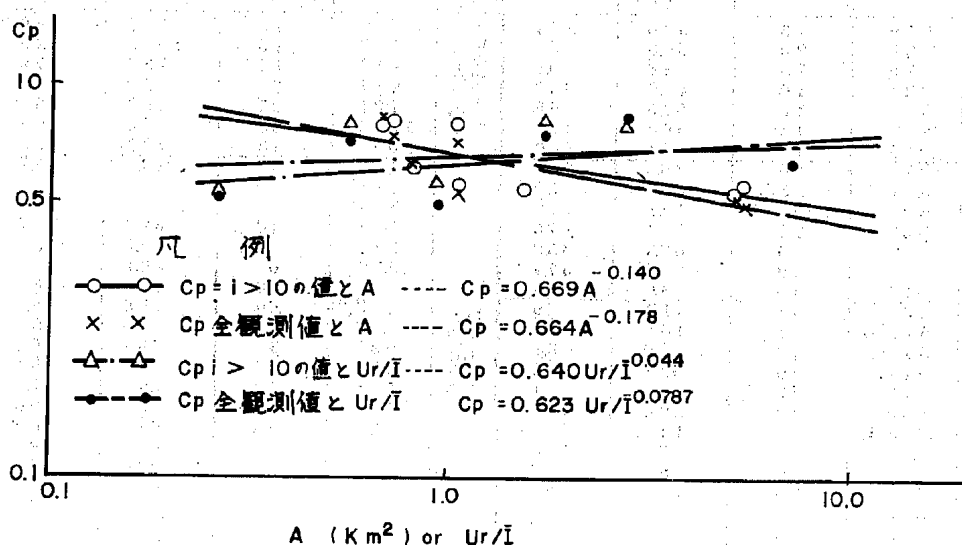


図-2.3 ピーク流出係数と排水区特性との相関

$C_p - A$ あるいは C_p - 都市化過程 ($U_r/\bar{I}$) の間には一定の傾向が見られる。即ち $C_p - A$ の関係では、排水面積が大きくなるほどピーク流出係数は小さくなるが、ある程度以上(大体 2 Km^2) 大きくなるとその値は一定値(大体 0.5 5 位)を示すようになる。このことは、排水面積が小さいほど降雨と流出の対応関係が敏感になり、逆に排水面積が大きくなると流出現象は定常状態に近づき緩慢になってくる。いかえると小流域では流達時間が極めて短かく、降雨の大小が即座に流出量に影響するが、大流域では流達時間はかなり長くなり降雨と流出の対応が非常に緩慢になる。またピーク流出係数は都市化が進むほど大きくなる。これらの損失機構の検討については後章で詳述する。

一方総流出係数は、理論的に(2.11)式で表わされることを示した。(2.11)式の ΣR は総雨量であり、 b は一般に1より小さいため、総雨量が大きくなるほど O_t は1に近づく。都市域では ΣR が $10 \sim 20 \text{ mm}$ 以上になると大体一定値を示すようになり、谷端川の

$$O_t = 1 - a \Sigma R^{b-1} \quad (b < 1) \quad (2.11)$$

例ではほぼ $0.5 \sim 0.6$ ぐらいの値を示すことが明らかになった。

2.2.2 流達時間、流入時間について

流達時間の観測結果は表-2.4に示している。流達時間の測定方法は、他に卓越した方法

表-2.4 昭和44年度観測結果

排水区 名(都 市名)	観測月日	流達時間 T(min)	最大降雨 強 度 (mm/hr)	平均降雨 強 度 (mm/hr)	排水区 名(都 市名)	観測月日	流達時間 T(min)	最大降雨 強 度 (mm/hr)	平均降雨 強 度 (mm/hr)
谷 端 川 上 流 (東京都)	6.19	15	39.6	26.4	桃 園 川 上 流 (東京都)	9.2	15	90.0	58.0
	6.21	20	60.0	8.4		9.7	15	102.0	52.0
	6.25	25	16.8	9.1		9.16	15	78.7	57.0
	8.23	10	42.0	36.0		9.17	25	35.3	22.1
	9.2	10	57.6	55.8		9.21	25	26.3	19.9
	9.7	15	54.0	41.6		10.8	30	10.2	6.8
	9.16	10	56.4	54.0		10.25	30	10.6	6.6
谷 端 川 下 流 (東京都)	6.19	20	39.6	24.8	桃 園 川 下 流 (東京都)	4.30	20	10.7	7.7
	6.21	35	60.0	8.9		5.11(1)			
	6.25	55	16.1	10.7		5.11(2)			
	8.23	20	27.1	17.6		5.17	40	69.7	27.7
	9.2	30	62.3	36.8		5.19	40	9.1	5.0
	9.7	20	60.8	37.4		5.30	60	20.1	11.1
	9.16	35	44.0	24.6		6.3(1)	60	10.9	8.7
桃 園 川 上 流 (東京都)	4.30	35	11.3	4.9		6.3(2)	60	11.6	8.0
	5.11(1)	35	13.1	5.5		6.6	45	7.6	5.6
	5.11(2)	40	13.6	8.9		6.21	50	9.7	6.4
	5.17	20	62.7	39.5		6.25	45	10.1	8.4
	5.19	35	8.8	5.1		7.5	40	15.4	11.1
	5.30	40	20.4	11.7		7.23	20	8.8	6.6
	6.3(1)	45	11.3	8.7		8.28	20	99.7	66.8
	6.3(2)	30	13.9	10.0		9.2	30	66.4	37.2
	6.6	30	8.4	6.3		9.7	20	102.0	39.0
	6.21	20	13.5	9.7		9.16	25	62.7	47.3
	6.25	20	12.0	9.0		9.17	30	23.7	17.1
	7.5	25	18.0	9.6		9.21	30	40.2	17.1
	7.23	20	4.2	2.5		10.8	45	12.4	7.8
	8.28	10	123.7	89.4		10.25	45	10.9	7.6

表-2・5 流入時間の実態

排水区 名(都 市名)	観測月日	流入時間 (分)	流下時間 (分)	最大降雨 強 度	平均降雨 強 度	排水区 名(都 市名)	観測月日	流入時間 (分)	流下時間 (分)	最大降雨 強 度	平均降雨 強 度
谷 端 川 上 流 (東 京 都)	6.19	2.0	13.0	39.6	26.4	桃 園 川 上 流 (東 京 都)	9.2	3.6	11.4	90.0	58.0
	6.21	9.8	10.2	60.0	8.4		9.7	2.7	12.3	102.0	52.0
	6.25	15.2	9.8	16.8	9.1		9.16	3.6	11.4	78.7	57.0
	8.23	3.1	6.9	42.0	36.0		9.17	8.7	16.3	35.3	22.1
	9.2	4.2	5.8	57.6	55.8		9.21	7.4	17.6	26.3	19.9
	9.7	7.1	7.9	54.0	41.6		10.8	7.2	22.8	10.2	6.8
谷 端 川 下 流 (東 京 都)	9.16	1.4	8.6	56.4	54.0	桃 園 川 下 流 (東 京 都)	10.25	7.1	22.9	10.6	6.6
	6.19	- 3.7	23.7	39.6	24.8		6.21	27.6	23.4	9.7	6.4
	6.21	13.1	21.9	60.0	7.8		6.25	22.9	22.1	10.1	8.4
	6.25	32.9	22.1	16.1	9.7		7.5	19.3	20.7	15.4	11.1
	8.23	7.1	12.9	27.1	17.6		7.23	- 2.2	22.2	8.8	6.6
	9.2	17.2	12.8	62.3	36.8		8.28	7.2	12.8	99.7	66.8
桃 園 川 上 流 (東 京 都)	9.7	7.2	12.8	60.8	37.4	桃 園 川 下 流 (東 京 都)	9.2	16.6	13.4	66.4	37.2
	9.16	20.5	14.5	44.0	24.6		9.7	5.8	14.2	102.0	39.0
	6.21	- 2.8	22.8	13.5	9.7		9.16	13.6	11.4	62.7	47.3
	6.25	- 2.5	22.5	12.0	9.0		9.17	12.5	17.5	23.7	17.1
	7.5	3.0	22.0	18.0	9.6		9.21	12.3	17.7	40.2	17.1
	7.23	11.7	8.3	4.2	2.5		10.8	24.2	20.8	12.4	7.8
桃 園 川 上 流 (東 京 都)	8.28	12	8.8	123.7	89.4		10.25	23.6	21.4	10.9	7.6

表-2・6 単位排水区の等価粗度

排水区 名(都 市名)	観測月日	等価粗度Ne ($m^{-3} \cdot sec$)	流入時間	平均降雨 強 度	排水区 名(都 市名)	観測月日	等価粗度Ne ($m^{-3} \cdot sec$)	流入時間	平均降雨 強 度
谷 端 川 上 流 (東 京 都)	6.19	0.0029~0.0010	2.0	26.4	桃 園 川 上 流 (東 京 都)	9.2	0.0121~0.0036	3.6	58.0
	6.21	0.0177~0.0069	9.8	8.4		9.7	0.0065~0.0021	2.7	52.0
	6.25	0.0332~0.0125	15.2	9.1		9.16	0.0115~0.0034	3.6	57.0
	8.23	0.0066~0.0026	3.1	36.0		9.17	0.0214~0.0082	8.7	22.1
	9.2	0.0151~0.0057	4.2	55.8		9.21	0.0156~0.0052	7.4	19.9
	9.7	0.0283~0.0110	7.1	41.6		10.8	0.0075~0.0027	7.2	6.8
谷 端 川 下 流 (東 京 都)	9.16	0.0028~0.0014	1.8	54.0	桃 園 川 下 流 (東 京 都)	10.25	0.0071~0.0027	7.1	6.6
	6.19	- 3.7	24.8	24.8		6.21	0.0935~0.0283	27.6	6.4
	6.21	0.0342~0.0142	13.1	8.9		6.25	0.0863~0.0342	22.9	8.4
	6.25	0.1780~0.0672	32.9	10.7		7.5	0.0778~0.0297	19.3	11.1
	8.23	0.0193~0.0071	7.1	17.6		7.23	0	- 2.2	6.6
	9.2	0.1240~0.0507	17.2	36.8		8.28	0.0698~0.0285	7.2	66.8
桃 園 川 上 流 (東 京 都)	9.7	0.0325~0.0121	7.2	37.4	桃 園 川 下 流 (東 京 都)	9.2	0.1280~0.0505	16.6	37.2
	9.16	0.1270~0.0521	20.5	24.6		9.7	0.0252~0.0094	5.8	39.0
	6.21	- 2.8	9.7	9.7		9.16	0.1050~0.0421	13.6	47.3
	6.25	- 2.5	9.0	9.0		9.17	0.0518~0.0201	12.5	17.1
	7.5	0.0024~0.0008	3.0	9.6		9.21	0.0642~0.0240	12.3	17.1
	7.23	0.0038~0.0032	11.7	2.5		10.8	0.0923~0.0271	24.2	7.8
桃 園 川 上 流 (東 京 都)	8.28	0.0028~0.0017	1.2	89.4		10.25	0.0866~0.0261	23.6	7.6

もなく石原・高棹の理論に基づいて雨量・流量図から図式的に求めた。流達時間と平均降雨強度との間には $T = K \cdot i_{ave}^*$ なるかなり明確な関数関係があり、大体下水道管渠設計で採用される降雨強度程度になるとおおむね一定値に近づくことがわかった。流達時間は一般に流入時間と流下時間の和として表わされるが、これらの算定法や分離の仕方については、節 2.1.2 で若干ふれた。

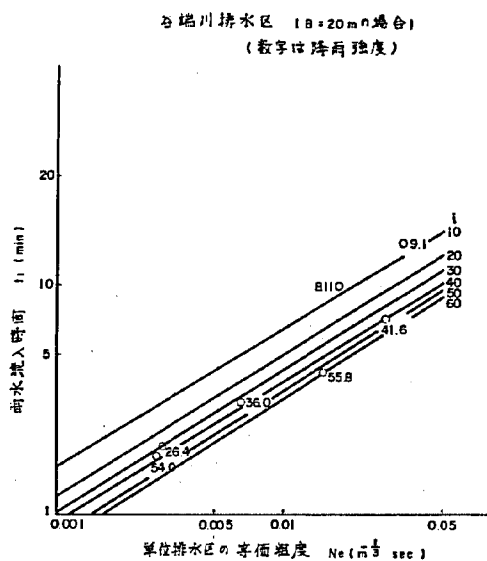


図-2・4 流入時間と等価粗度の相関

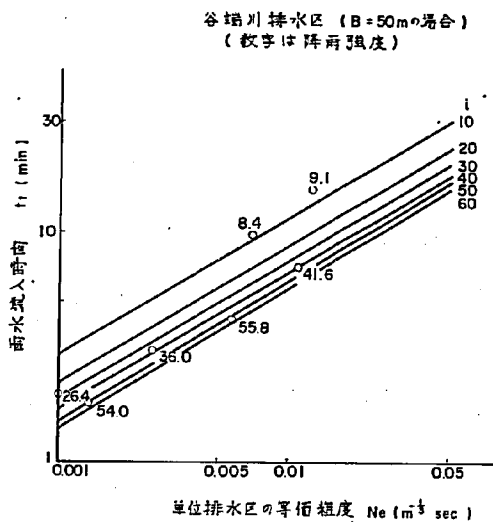


図-2・5 流入時間と等価粗度の相関

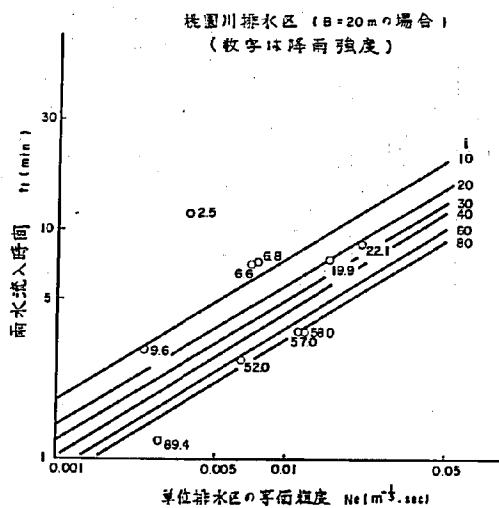


図-2・6 流入時間と等価粗度の相関

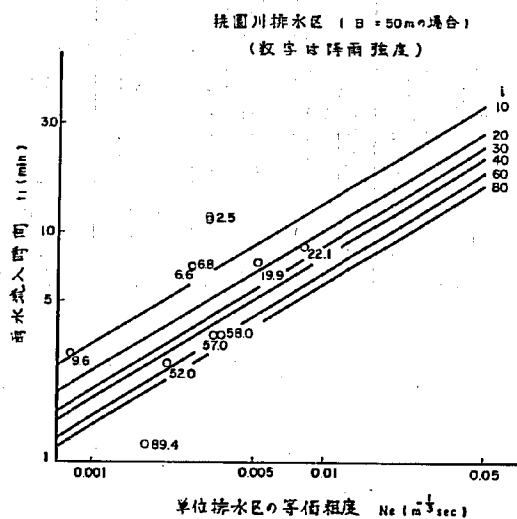


図-2・7 流入時間と等価粗度の相関

流入時間の観測結果は表-2.5のようになり、流入時間の算定式として筆者が提唱した(2.7)式の関係から、 t_i 、 N_e および i の関係を示すと図-2.4~図-2.7のようになる。このように対象流域の単位排水区の等価粗度係数が与えられるなら、(2.7)式から実際にそくした流入時間を計算上算定できることを明らかにした。単位排水区の等価粗度係数の値は表-2.6に示している。単位排水区の等価粗度係数の値は、モデルの大きさや形に左右されるためここでは単位排水区の規模を0.04~0.1 haとして矩形モデルに置き換えている。

2・3 本年度の解析方針

従来、下水道管渠設計には合理式以前の実験公式が採用され、その間に合理式の有用性が認められ現在ではほとんどの都市で合理式が採用されており、この傾向は将来共続くであろう。また処理場の維持管理や排水機場の設計や運転計画あるいは水質保全対策上からも、ピーク流量以外に時間流量曲線(ハイドログラフ)の必要性から、水文学的手法あるいは水理学的手法を取り入れた各種流出計算法が研究され、その一部はすでに実用の段階に達している。ところがいずれの算定法にしても都市域での損失機構が不明確なため、合理式においては流出係数、他の流出計算法においても有効降雨の算定法が極めてあいまいなものであった。筆者らの試算結果によると、損失パターンの与え方の違いによって、図-3.20に示すように計算された流出ハイドログラフは非常に異なったものになり、実流出に合致するようなハイドログラフを算出するには何度もの試算が必要であった。欧米では極めてミクロな下水管追跡法(例えばシカゴ法)が研究され、都市域での損失機構についても定量的な検討がなされた例があるが⁸⁾、我が国ではこの例を見ない。合理式をより合理的にしかも科学的、計画的に適用するためにも、また各種流出計算法にしても、損失機構の定量的な解明が、科学的運用にも精度向上にも大きなウエイトを召めていることは明らかである。

一方、都市化現象の急速な進展に伴ない、資産の増加や集中、流通経済やビジネスの都市への集中は、ひとたびの洪水で暴大な被害を蒙む。これに対して計画に用いるインプット即ち、降雨は極めて任意性に富んだものであり、そのパターンや強度は千差万別である。しかもアウトプットである雨水流出量は降雨パターンや強度に大きく左右される。こういった事を加味すると、特に都市域では、あらゆる洪水を包含するような降雨パターンなり強度を計画降雨として採用するのが安全であるし、それが安全過ぎるとは言えまい。

また都市化現象に関連して、都市化による流出量の予測手法の究明も都市水文学の一大課題であることは前にも述べた。がこの問題は現在の水文学の範囲では極めて難題であり、前年度の検討結果を反省しつつモデル化の手法から検討し直す必要がある。

以上のように、本年度の主な解析方針としては、主に、

- 1) 都市域での損失機構の解明
- 2) 計画降雨の検討
- 3) 流出の予測手法の検討

等に傾注する。都市域での流出解析はまだまだこれから解明すべき問題が非常に多く、一段一段ステップを昇っていかないと都市水文学の体系付けは難しい。

2・4 本章の終りに

本章では、前年度までの雨水流出量調査結果及び解析結果を概述し、今後に残された問題の多いことを指適した。そして水文学上の多様な問題を解決するためには、一段一段ステップを昇って行くことが必要であり、本年度の主要な解析目標を掲げて、その解明に努力する意向を示した。

第3章 計画降雨へ アプローチ

3・1 気象観測法、統計法の変遷

我が国で気象観測が、組織的に行なわれるようになってから現在までの期間に、気象観測上3つの大きな変更が行なわれている。

1つは、1886年における気象観測法の制定であり、2は1938年～1939年にかけて行なわれた国営移管に伴う変更であり、3は、1953年に行なれた気象観測法の分化である。これら観測法統計法の変遷について概略を述べると、

1) 我が国で最初に測候所が開設された時から、「気象観測法」が刊行された時まで(1872～1885年)。

測候所の数は30ヶ所で、観測回数は3～8回であった。観測時刻はまちまちで、地方時等によっていた。

2) 「気象観測法」が刊行されてから国営移管まで(1886～1939年)。

1886年 1月……観測時は京都時となり、観測回数は6回(2,6,10,14,18,22時)となり5捨6入。

1887年 8月……一等観測所では毎時観測となる。

1888年11月……観測時刻に日本中央標準時を採用。

1915年 9月……24時制が取られ、計算は4捨5入法になる。この頃から自記観測が行なわれるようになった。

3) 国営移管から普通気候観測の発足まで(1940～1952年)。

1940年 1月……観測時刻は定時観測3回(6,14,22時)。

1946年 1月……3回の定時観測の他に、8回(3,6,9,12,15,18,21,24時)の通報観測を実施。

4) 普通気候観測の分化から現在まで(1953年～現在)。

1956年……中央気象台は運輸省の外局となり気象庁と改名された。

1961年 1月……地上気象統計値の「平均値」の定義が定められる。

1963年……地上気象原簿類のマイクロフィルム化が進む。

3・2 各気象要素の変遷

各気象要素の中でも、特に降水量の変遷について概述すると、

1940年……読み取りの最小位数は1/100mm、月報原簿等では、1/10mmとしている。

観測は1日3回とし、観測時には前8時間の量を測り、別の雨量計で10時に前24時間の量を観測。

日雨量は3回の合計。日界は22時。

極値は任意時刻の日最大10分間、日最大1時間を読みとる。

1953年……………観測は1日4回(3,9,15,21時)。日界は9時(当日9時から翌日の9時まで)となる。

以上の如く、信頼される降雨資料は、1940年以降のものであり、本章で使用了データは、25～30年間の資料に依存したものである。

3・3 東京の降雨記録

1) 観測場所及び測器の高さの移動

東京管区気象台(気象庁)は、過去何回かの場所の移動と共に、観測計器の高さも表-3・1に示すように変遷している。東京における雨量の自記観測は1923年以降である。

表-3・1 東京の観測の位置及び測器の高さの移動一覧表

自年月日	北緯	東経	気象台海面 上の高さ (m)	気圧計海面 上の高さ (m)	温度計地上 の高さ (m)	自記雨量計 地上の高さ (m)	風向計地上 の高さ (m)	風速計地上 の高さ (m)	ダインス自記風 圧計地上の高さ (m)
明治8年(1875) 6月1日	35°49'	139°45'	19.1	20.4	1.1				
明治15年(1882) 7月1日	35°41'	◇	21.0	21.0	1.1			15.0	
明治18年(1885) 1月1日	◇	◇	◇	◇	0.9			◇	
明治27年(1894) 1月1日	◇	◇	19.7	21.3	1.2			18.0	
大正12年(1923) 1月1日	◇	139°46'	4.1	5.8	1.2	3.2	27.0	26.9	
昭和12年(1937) 1月1日	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	27.0

2) 主要な降水記録

表-3.2は日降水量の月最大値、表-3.3は1時間降水量の月最大値、を示し、表-3.4～表-3.6は日降水量が各々30mm, 50mm, 100mm以上の発生日数を示している。図-3.1は表-3.4～6の結果から日雨量特定値以上の度数分布図を示しているが、これによると、日雨量30mm以上では年間平均15日、50mm以上でも平均5日は発生することになる。ま

表-3・2 日降水量の月最大値

年	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年最大値	月	日
1876	明治 9	27.5	26.6	50.9	32.8	46.5	55.6	30.7	30.5	76.2	61.5	29.7	28.0	76.2	9	15
1877	10	17.1	14.7	43.6	11.9	34.5	44.7	43.9	19.4	72.0	78.3	43.2	66.4	78.3	10	21
1878	11	22.2	30.0	18.5	16.0	37.9	90.2	25.4	65.4	132.2	56.1	39.5	3.0	162.2	9	15
1879	12	22.7	58.5	23.8	34.4	50.5	68.9	53.9	45.2	42.8	59.9	28.0	32.3	88.9	6	4
1880	13	12.1	21.3	34.0	37.1	79.2	52.1	48.7	31.5	29.6	104.4	26.5	0.2	104.4	10	4
1881	14	33.8	20.8	51.2	22.7	15.6	84.1	15.1	34.6	46.9	23.0	109.5	30.5	109.5	11	5
1882	15	21.1	37.1	7.4	36.6	31.1	45.0	52.0	25.5	73.7	109.7	30.5	7.9	109.7	10	1
1883	16	29.6	90.8	41.5	40.6	70.0	21.4	71.6	53.0	45.3	41.1	16.6	26.5	90.8	2	8
1884	17	24.2	25.7	30.9	56.4	52.7	43.5	38.7	36.9	82.5	30.1	50.1	7.8	82.5	9	15
1885	18	19.0	10.4	36.3	27.6	14.1	79.6	114.6	32.0	47.3	151.7	31.1	25.7	151.7	10	16
1886	19	15.6	13.1	21.4	28.2	39.3	20.7	19.4	48.6	70.5	69.4	69.6	20.6	70.5	9	26
1887	20	29.9	1.5	61.6	30.1	22.3	62.9	19.6	23.4	39.6	69.5	14.5	7.9	69.5	10	8
1888	21	2.0	14.6	15.0	18.1	33.4	46.6	50.2	52.2	56.0	80.0	78.9	12.1	80.0	10	6
1889	22	16.5	17.3	21.2	34.3	81.2	19.5	146.2	34.9	49.0	34.8	23.4	38.2	146.2	7	10
1890	23	27.2	21.8	44.9	36.2	64.4	73.7	21.9	54.8	14.7	123.8	66.3	24.0	123.8	10	6
1891	24	20.0	25.1	87.1	43.6	25.0	69.4	22.0	27.6	109.0	11.1	60.4	27.4	109.0	9	13
1892	25	4.5	47.1	39.7	30.5	84.5	54.8	23.6	11.3	59.2	29.7	53.8	3.2	84.5	5	25
1893	26	23.3	15.2	16.4	33.0	56.3	23.1	40.2	29.6	54.5	34.5	25.9	1.7	56.3	5	26
1894	27	18.1	27.4	23.1	54.1	49.2	23.5	25.9	132.8	59.7	44.6	31.7	61.8	132.8	8	10
1895	28	24.3	22.0	17.4	35.2	28.2	67.9	133.0	37.5	36.1	41.2	40.5	26.9	133.0	7	22
1896	29	18.0	25.6	24.3	32.0	55.5	27.0	13.0	59.3	55.3	51.7	74.0	10.9	74.0	11	26
1897	30	29.7	17.9	10.3	43.5	44.3	46.2	47.0	15.1	73.2	50.9	24.3	0.1	73.2	9	8
1898	31	47.7	44.2	29.1	34.2	25.9	159.4	28.4	76.7	36.7	53.4	37.0	159.4	6	5	
1899	32	12.7	24.2	31.5	25.4	46.8	28.3	110.1	23.1	32.2	93.5	7.9	22.5	110.1	7	25
1900	33	18.8	13.8	28.0	45.0	36.8	47.5	56.9	44.7	56.2	27.0	35.2	17.7	56.9	7	8
1901	34	37.9	15.9	61.3	31.0	74.4	31.3	39.5	28.0	65.3	51.5	26.4	80.5	80.5	12	26
1902	35	15.1	8.2	16.5	29.8	38.5	36.6	66.3	64.0	43.3	31.0	33.8	66.3	8	3	
1903	36	21.5	36.8	27.2	34.2	47.7	34.8	47.6	10.5	164.8	120.0	45.8	28.9	164.8	9	23
1904	37	3.3	24.1	27.3	25.2	41.8	32.0	61.4	61.8	60.5	126.1	9.1	26.4	126.1	10	10
1905	38	15.7	28.3	32.4	34.9	55.1	41.6	35.7	106.8	34.2	42.5	21.7	22.4	106.8	8	17
1906	39	48.4	37.6	16.5	16.3	29.9	75.8	50.8	171.5	58.6	72.5	16.5	19.6	171.5	8	24
1907	40	21.4	1.9	50.4	51.5	46.5	62.8	32.2	49.0	111.7	110.4	36.7	19.0	111.7	9	18
1908	41	16.0	18.7	48.8	58.7	43.2	59.5	55.2	59.1	89.2	46.5	11.6	16.3	89.2	9	30
1909	42	31.5	15.8	45.0	40.3	39.4	28.2	44.8	21.2	74.1	22.6	38.8	0.8	74.1	9	27
1910	43	15.8	17.2	26.5	18.8	81.8	35.0	34.8	146.6	36.6	78.1	23.7	20.4	146.6	8	10
1911	44	36.9	12.4	27.9	25.6	30.8	60.2	62.1	129.2	59.1	37.1	13.6	14.4	129.2	8	10
1912	45	35.1	27.5	40.2	79.9	29.3	133.5	40.2	40.5	101.2	40.7	20.0	32.6	133.5	6	17
1913	大正 2	46.1	37.9	14.5	23.1	45.6	48.4	39.0	158.7	81.2	92.5	32.4	19.6	158.7	8	27
1914	3	13.6	19.6	53.7	61.9	43.8	24.8	7.6	165.9	130.5	72.6	21.6	17.6	165.9	8	29
1915	4	31.1	32.4	30.5	48.3	57.5	35.0	6.9	96.0	42.9	82.7	32.1	12.5	96.0	8	10
1916	5	10.9	69.7	30.2	51.7	36.0	71.9	115.7	79.7	52.2	59.2	57.6	22.1	115.7	7	29
1917	6	15.3	15.4	60.0	27.6	13.2	31.2	5.3	16.8	76.5	113.8	62.7	2.5	113.8	6	10
1918	7	4.7	25.6	62.3	38.4	39.6	50.2	42.0	28.5	56.9	22.1	37.5	15.9	62.3	3	16
1919	8	20.6	44.2	32.5	33.9	19.6	29.0	69.9	47.0	62.5	53.2	28.0	20.4	69.9	7	29
1920	9	31.5	23.2	28.8	58.0	70.4	62.0	52.6	53.6	193.7	63.9	16.0	44.5	193.7	9	30
1921	10	14.9	25.9	31.9	55.4	104.3	55.2	107.6	60.5	68.3	100.8	4.4	40.3	107.6	7	25
1922	11	13.3	86.2	26.2	53.0	53.1	68.5	88.8	87.7	23.9	58.4	24.3	6.1	88.8	7	4
1923	12	21.4	65.2	40.8	34.9	50.5	97.9	46.7	23.5	74.7	91.5	40.6	29.1	97.9	6	9
1924	13	6.6	38.9	27.7	43.5	41.5	45.0	11.9	124.8	141.5	62.2	24.7	10.4	141.5	9	16
1925	14	16.8	15.0	12.3	23.8	28.1	39.6	62.2	138.2	137.1	133.1	34.5	40.6	138.2	6	26
1926	15	5.1	16.9	19.9	25.0	60.1	61.3	23.6	37.7	70.5	29.1	19.8	49.6	138.2	8	17
1927	昭和 2	10.6	21.2	48.6	41.6	60.6	67.5	81.3	50.1	94.2	55.6	38.7	18.2	94.2	9	14
1928	3	36.0	50.3	61.4	81.1	47.4	101.7	58.3	41.5	26.1	77.6	24.3	9.7	101.7	6	2
1929	4	1.7	2.5	10.9	59.2	120.8	64.8	31.7	24.5	175.9	140.7	48.7	47.3	175.9	9	10
1930	5	17.5	22.7	42.3	43.9	38.0	53.4	92.9	41.2	62.5	75.6	34.0	30.2	92.9	7	30
1931	6	16.1	23.6	32.6	15.0	101.9	57.7	34.2	23.5	143.7	150.4	28.5	17.0	150.4	10	13
1932	7	13.2	22.1	52.6	48.1	24.4	69.2	47.0	20.0	83.0	51.2	168.5	36.5	168.5	11	14
1933	8	21.0	12.5	32.2	46.3	22.9	9.7	13.1	16.5	11.0	122.2	22.2	17.9	122.2	10	20
1934	9	12.3	22.3	29.4	38.9	47.2	56.9	46.1	14.3	58.4	43.7	67.0	30.9	67.0	11	2
1935	10	20.0	30.2	33.2	46.0	31.6	48.7	49.3	33.4	123.8	163.6	22.7	19.2	163.6	10	27
1936	11	28.1	62.9	12.5	68.8	38.3	45.7	68.2	23.9	93.6	62.1	24.9	19.1	93.6	9	27
1937	12	21.2	44.8	62.6	33.0	46.5	32.5	27.0	5.6	40.2	58.7	29.2	37.1	62.6	3	11
1938	13	14.8	39.8	29.2	44.8	50.3	278.3	88.3	41.3	126.7	101.6	9.0	41.7	278.3	5	29
1939	14	25.6	22.7	47.8	47.4	39.4	100.8	147.0	84.3	59.0	51.4	25.3	5.6	147.0	7	31
1940	15	0.0	17.0	26.7	72.9	23.6	76.6	16.1	55.6	67.8	30.3	23.4	4.4	76.6	6	17
1941	16	19.7	21.5	41.6	30.6	48.2	60.9	139.7	57.5	46.6	27.3	66.9	7.0	139.7	7	22
1942	17	4.0	32.3	29.2	33.0	47.0	30.2	4.0	109.6	116.1	43.6	39.1	15.2	116.1	9	19
1943	18	43.5	49.8	10.5	36.4	42.9	78.0	53.5	53.8	83.6	122.6	12.3	8.6	122.6	10	10
1944	19	6.0	7.2	33.0	42.4	22.6	24.5	23.7	23.6	31.4	161.9	60.5	15.5	161.9	10	7
1945	20	1.9	27.1	17.2	24.7	28.6	23.7	73.1	50.6	49.2	158.7	41.1	26.2	158.7	10	4
1946	21	15.5	39.0	38.0	55.0	25.7	29.2	36.6	22.3	70.9	57.9	61.4	20.4	70.9	9	18
1947	22	42.6	21.7	21.4	29.9	30.0	22.5	5.8	78.3	123.2	35.9	13.3	17.8	123.2	9	15
1948	23	16.6	35.1	15.6	33.0	34.6	51.1	79.7	46.6	158.0	32.5	70.1	20.4	158.0	9	16
1949	24	47.8	50.7	19.5	30.1	31.3	98.7	50.7	141.0	95.4	78.7	53.4	32.7	141.0	8	24
1950	25	22.9	18.9	35.6	47.4	28.9	92.9	151.3	53.8	27.9	84.9	41.2	59.5	151.3	7	29
75年最大値		48.4	90.8	87.1	81.1	120.8	278.3	151.3	171.5	193.7	163.6	168.5	59.5	278.3	昭和13	1129
30年最大値		47.8	86.2	62.6	81.1	120.8	278.3	151.3	141.0	175.9	163.6	168.5	59.5	278.3	昭和13	1129
1951	26	21.6	48.6	52.0	42.0	45.0	53.0	33.0	103.5	43.6	36.4	28.4	15.8	103.5	8	21
1952	27	33.1	16.2	64.9	48.9	31.0	71.5	26.2	22.4	46.1	31.5	42.6	11.4	71.5	6	24
1953	28	17.0	15.0	27.5	13.1	42.6	60.0	58.0	43.5	57.0	45.0	10.7	24.6	60.0	6	24
1954	29	32.5	18.8	30.2	42.0	45										

表-3・3 1時間降水量の月最大値

年	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年最大値	月	日
1886	明治19	5.6	12.8	11.7	11.0	13.7	7.6	11.6	36.1	18.5	14.8	7.3	8.4	36.1	8.	27
1887	20	5.0	0.8	20.5	8.9	8.1	16.5	9.1	19.9	8.6	13.3	6.9	5.4	20.5	3.	18
1888	21	1.6	5.0	9.7	8.2	4.1	9.4	15.7	15.8	19.7	15.9	19.2	3.3	19.7	9.	12
1889	22	2.1	2.9	4.7	10.4	22.0	4.3	21.3	7.0	12.2	6.2	2.9	8.2	22.0	5.	15
1890	23	4.5	6.6	6.9	9.2	11.6	7.4	4.5	18.0	9.6	15.0	9.9	10.6	18.0	8.	21
1891	24	4.0	6.0	10.6	9.3	19.8	16.3	19.5	7.9	23.2	6.2	8.6	16.1	23.2	9.	13
1892	25	1.9	9.1	20.5	7.9	11.5	13.3	9.9	3.2	18.5	9.9	13.2	1.5	20.5	3.	13
1893	26	4.4	3.8	2.9	21.8	24.4	4.0	28.1	10.5	8.5	6.3	18.0	0.5	28.1	7.	20
1894	27	4.0	6.3	12.9	7.5	17.4	19.4	12.8	52.9	24.7	6.1	4.8	13.2	52.9	8.	10
1895	28	11.3	7.4	3.3	9.0	6.5	11.2	22.6	15.9	6.1	13.4	7.8	9.3	22.6	7.	22
1896	29	5.5	7.7	4.5	5.6	6.9	11.5	7.9	19.1	15.8	8.5	22.2	5.6	22.2	11.	26
1897	30	6.9	4.5	4.0	6.3	11.0	24.2	18.4	8.6	34.1	14.0	10.1	0.1	34.1	9.	30
1898	31	5.7	7.8	4.1	8.5	4.7	22.9	13.0	25.8	12.6	4.6	7.2	8.9	25.8	8.	14
1899	32	2.9	3.0	15.2	6.6	7.9	10.9	27.5	9.7	6.9	21.7	1.4	4.4	27.5	7.	25
1900	33	6.0	5.4	8.2	7.2	11.5	20.1	17.2	18.4	20.6	12.5	12.0	2.7	20.6	9.	19
1901	34	2.3	4.1	22.7	13.1	7.2	20.2	11.3	8.0	18.3	11.1	5.5	25.8	25.8	12.	26
1902	35	5.2	2.0	8.0	6.1	7.0	13.4	16.4	13.4	24.1	4.9	6.5	13.0	24.1	9.	28
1903	36	4.9	4.0	11.4	16.5	15.2	13.0	11.0	2.9	26.9	23.2	9.7	5.9	26.9	9.	23
1904	37	1.3	6.4	6.2	5.6	5.6	10.1	14.0	14.1	9.8	18.6	2.1	3.0	18.6	10.	10
1905	38	4.6	3.6	6.7	5.8	28.2	9.6	8.6	22.7	4.7	6.5	3.1	5.4	28.2	5.	18
1906	39	22.0	6.9	3.5	5.6	5.2	24.1	26.2	34.0	12.3	11.8	3.2	10.2	34.0	8.	24
1907	40	4.0	0.9	11.3	8.5	11.5	8.5	10.3	11.4	14.9	11.4	13.1	4.7	14.9	9.	18
1908	41	4.6	9.0	6.6	6.3	6.9	26.0	33.6	9.5	55.7	6.2	3.5	4.3	55.7	9.	30
1909	42	7.3	2.9	7.1	12.3	9.8	13.6	5.6	12.3	39.0	5.1	10.9	0.7	39.0	9.	12
1910	43	4.0	3.7	4.3	8.8	17.2	13.4	14.6	45.1	7.5	11.9	4.8	6.5	45.1	8.	11
1911	44	12.3	4.4	10.2	7.1	8.1	15.9	50.0	69.2	14.5	5.1	7.1	4.2	69.2	8.	10
1912	45	5.4	6.7	5.4	20.1	9.4	20.8	14.7	35.3	20.1	16.3	7.6	3.5	35.3	8.	14
1913	大正2	9.0	12.9	5.9	5.5	12.2	10.8	18.7	35.4	15.6	22.7	18.4	5.3	35.4	8.	27
1914	3	3.3	3.5	11.6	13.3	11.6	10.1	3.0	22.8	44.8	23.8	12.1	5.2	44.8	9.	17
1915	4	5.6	10.3	10.7	10.2	13.5	15.4	1.7	30.8	23.9	14.0	5.1	5.8	30.8	8.	10
1916	5	4.8	15.1	5.9	4.8	15.7	8.7	16.8	18.5	12.0	14.3	6.7	3.6	18.5	8.	22
1917	6	4.6	2.8	8.4	4.4	6.3	5.8	2.9	8.4	17.7	20.2	14.2	1.8	20.2	10.	25
1918	7	1.7	2.2	12.4	14.8	7.4	12.0	15.2	13.0	21.2	8.2	12.3	4.6	21.2	9.	24
1919	8	8.1	5.7	6.4	13.5	7.9	21.8	14.3	11.3	14.5	9.0	7.1	5.5	21.8	6.	30
1920	9	7.8	4.7	5.5	13.3	18.4	11.5	14.5	27.8	27.3	31.9	2.7	10.4	31.9	10.	4
1921	10	5.6	4.0	4.6	28.5	17.2	13.5	27.4	16.8	23.0	15.3	2.4	4.3	28.5	4.	3
1922	11	4.6	11.8	6.9	28.1	10.5	13.7	10.4	18.7	5.0	10.1	6.1	22.2	28.1	4.	18
1923	12	8.1	12.2	5.7	5.0	8.3	14.2	10.2	12.0	17.6	28.7	8.2	11.8	28.7	10.	10
1924	13	1.9	4.6	8.2	11.0	8.8	13.4	6.5	37.9	23.2	20.4	7.9	2.8	37.9	8.	26
1925	14	3.1	1.9	4.4	5.8	7.9	11.0	11.0	45.9	16.4	44.0	6.1	6.7	45.9	8.	26
1926	15	2.9	8.4	4.1	6.5	27.5	18.9	17.4	22.9	27.5	4.9	6.3	21.6	27.5	5.24	9.15
1927	昭和2	2.7	4.2	12.7	16.6	17.4	8.9	25.3	12.1	33.4	16.1	7.2	2.7	33.4	9.	14
1928	3	9.4	5.9	6.5	10.6	8.3	12.5	8.9	24.7	14.1	20.5	7.1	2.5	24.7	8.	23
1929	4	1.0	0.8	5.8	15.0	35.5	15.9	5.1	18.7	37.6	12.5	12.9	15.5	37.6	9.	10
1930	5	3.2	3.4	13.5	9.8	19.2	8.3	16.2	12.4	21.7	22.6	9.2	4.7	22.6	10.	21
1931	6	4.5	4.0	6.0	5.1	34.1	8.0	8.9	7.5	42.7	29.5	5.3	8.2	42.7	9.	27
1932	7	6.2	3.7	7.4	36.2	8.0	18.1	16.4	18.6	35.8	7.7	24.8	3.9	36.2	4.	19
1933	8	2.9	2.4	4.5	13.8	9.1	2.2	5.9	7.7	6.4	24.0	4.7	6.2	24.0	10.	20
1934	9	3.1	4.7	7.2	7.5	9.3	10.9	6.3	9.0	12.0	34.9	5.8	5.8	34.9	11.	2
1935	10	6.1	7.6	5.8	7.9	25.5	8.5	16.6	20.8	18.4	70.5	5.9	5.3	70.5	10.	27
1936	11	3.8	14.5	3.0	9.9	11.3	11.7	10.6	16.5	20.8	29.8	9.8	2.7	29.8	10.	3
1937	12	5.6	8.0	14.4	10.4	10.2	27.6	24.5	5.6	11.3	15.0	3.9	10.2	27.6	6.	18
1938	13	2.1	12.7	4.3	4.5	9.2	24.6	17.1	15.1	30.2	17.6	3.9	11.7	30.2	9.	1
1939	14	6.4	6.7	11.2	13.3	33.7	12.1	88.7	20.7	20.5	18.1	8.7	1.7	88.7	7.	31
1940	15	—	4.1	10.5	23.1	3.8	53.0	9.0	14.5	12.9	7.1	6.7	4.8	53.0	6.	20
1941	16	3.6	5.9	8.4	11.0	10.8	27.0	27.0	36.4	17.1	9.9	15.1	3.9	36.4	8.	3
1942	17	1.4	4.3	16.6	7.4	10.5	24.6	3.2	30.8	37.4	15.3	12.4	2.4	37.4	9.	22
1943	18	11.3	9.0	2.3	9.1	5.4	17.8	14.7	40.6	30.7	18.7	3.9	1.9	40.6	8.	15
1944	19	2.4	2.7	5.4	15.4	3.9	7.0	11.6	14.9	7.3	22.3	11.3	3.1	22.3	10.	7
1945	20	0.7	7.1	5.6	6.9	11.3	9.5	26.1	17.2	10.5	16.6	12.1	6.8	26.1	7.	21
1946	21	3.3	7.7	6.0	13.2	10.6	6.4	14.3	21.3	21.9	27.1	38.4	6.2	38.4	11.	27
1947	22	10.3	4.5	4.3	5.1	6.2	4.4	6.3	62.7	34.7	11.9	3.4	6.5	62.7	7.	28
1948	23	6.3	8.2	3.4	10.2	5.7	13.2	59.7	12.3	38.8	4.9	14.4	4.6	59.7	7.	23
1949	24	14.2	9.4	5.4	13.5	8.2	22.6	13.3	71.5	35.4	13.4	7.4	4.6	71.5	8.	24
1950	25	11.0	9.1	7.8	19.7	12.7	22.1	41.6	37.9	8.2	11.6	13.6	16.6	41.6	7.	29
45年最大値		22.0	15.1	22.7	34.2	35.5	53.0	88.7	71.5	55.7	70.5	38.4	25.8	88.7	昭和14.VI.	31
30年最大値		14.2	14.5	16.6	34.2	35.5	53.0	88.7	71.5	42.7	70.5	38.4	21.6	88.7	昭和14.VI.	31
1951	26	2.6	9.0	12.3	7.3	6.2	9.5	12.5	64.4	14.2	9.5	6.2	11.0	64.4	8.	21
1952	27	9.3	2.7	30.9	14.0	12.0	28.1	8.6	13.5	20.5	13.8	8.6	2.5	30.9	3.	31
1953	28	3.7	4.5	6.2	4.4	15.3	19.2	10.7	33.8	21.9	15.3	4.0	5.3	33.8	8.	23
1954	29	8.6	9.7	11.1	8.5	10.4	13.0	8.9	34.8	17.1	16.4	11.2	8.4	34.8	8.	31
1955	30	6.2	11.9	7.7	4.9	16.4	11.0	23.8	34.7	17.9	21.5	14.7	5.0	34.7	8.	26

表-3・4 日降水量3 0.0 mm以上の日数

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
1876 明治 9	0	0	1	1	2	2	1	1	4	2	0	0	14
1877 10	0	0	1	0	1	1	1	0	3	2	2	0	12
1878 11	0	0	0	0	1	2	3	1	4	2	3	0	15
1879 12	0	1	0	1	2	1	2	1	1	3	0	1	13
1880 13	0	0	1	2	1	3	5	1	0	3	0	0	16
1881 14	1	0	2	0	0	2	0	1	2	0	2	1	11
1882 15	0	1	0	1	0	2	0	0	1	0	2	1	11
1883 16	0	1	2	1	2	1	2	1	2	1	0	1	16
1884 17	0	0	2	2	0	1	4	0	2	1	1	0	16
1885 18	1	0	1	0	0	1	2	0	1	1	1	0	13
1886 19	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	2	0	9
1887 20	0	0	2	1	0	3	0	0	1	2	1	0	9
1888 21	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	3	0	10
1889 22	0	0	0	0	2	0	1	1	2	2	0	1	9
1890 23	0	0	3	1	3	1	0	3	0	4	2	0	17
1891 24	0	0	2	1	0	2	0	0	2	0	2	0	9
1892 25	0	1	1	1	5	3	0	0	3	0	2	0	16
1893 26	0	0	1	1	3	1	0	1	1	1	0	0	7
1894 27	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	2	9
1895 28	0	0	0	1	0	1	0	2	1	2	2	0	11
1896 29	0	0	0	1	1	0	0	1	2	2	0	0	10
1897 30	0	0	0	1	1	1	0	0	2	2	0	0	11
1898 31	1	1	0	1	0	1	0	0	3	3	0	1	12
1899 32	0	0	1	0	1	2	0	0	1	1	0	0	12
1900 33	0	0	0	1	1	1	2	1	2	2	2	0	10
1901 34	1	0	1	1	1	2	2	0	1	5	0	1	15
1902 35	0	0	0	0	2	2	2	5	3	1	1	1	17
1903 36	0	1	0	0	2	1	4	0	1	1	2	0	14
1904 37	0	0	0	6	1	1	3	1	1	2	0	0	9
1905 38	0	1	1	2	0	3	1	1	1	1	0	0	11
1906 39	1	0	0	0	0	1	1	2	2	1	0	0	9
1907 40	1	0	2	2	1	2	2	2	2	2	1	0	14
1908 41	0	0	1	1	2	2	2	3	5	1	0	0	17
1909 42	1	0	0	0	2	0	1	0	6	1	1	0	14
1910 43	0	0	0	1	2	1	2	4	3	0	0	0	13
1911 44	1	0	0	0	2	2	4	4	1	1	0	0	15
1912 45	1	0	1	1	0	1	1	4	4	2	0	0	13
1913 大正 2	1	1	0	0	3	1	1	1	3	3	1	0	15
1914 3	0	0	3	2	2	0	0	2	3	2	0	0	14
1915 4	1	1	1	1	1	4	4	4	2	5	1	0	21
1916 5	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	0	21
1917 6	0	0	2	0	0	1	0	0	3	3	1	0	10
1918 7	0	0	1	1	1	2	0	2	3	0	1	0	9
1919 8	0	1	0	1	0	0	3	1	3	1	0	0	12
1920 9	1	0	0	2	2	3	1	6	4	3	0	1	23
1921 10	0	0	2	2	2	3	2	1	6	2	0	1	21
1922 11	0	3	0	2	1	1	3	0	0	2	0	0	13
1923 12	0	1	1	1	3	2	2	0	3	1	1	0	15
1924 13	0	1	0	3	3	1	0	1	3	2	0	0	14
1925 14	0	0	0	0	0	1	1	4	4	2	0	1	14
1926 15	0	0	0	0	4	1	0	1	2	0	1	1	9
1927 昭和 2	1	1	4	2	4	2	1	1	4	1	1	0	20
1928 3	1	0	2	2	1	4	1	2	0	3	0	0	16
1929 4	0	0	2	1	2	2	1	0	6	3	2	2	17
1930 5	0	0	2	2	1	1	1	1	3	4	1	1	19
1931 6	0	0	1	0	3	1	1	0	2	2	0	0	10
1932 7	0	0	1	2	0	2	3	0	5	2	0	1	18
1933 8	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	2	0	5
1934 9	0	0	0	1	1	1	1	0	2	3	2	0	13
1935 10	0	1	1	1	1	2	2	2	4	1	0	0	15
1936 11	0	2	0	3	1	1	2	0	4	4	0	0	15
1937 12	0	2	2	1	1	2	0	0	3	2	0	2	15
1938 13	0	1	0	1	1	5	3	1	2	4	0	1	19
1939 14	0	0	1	2	2	3	1	3	4	2	0	0	18
1940 15	0	0	0	1	0	0	0	2	2	1	0	0	8
1941 16	0	0	2	1	2	2	7	3	2	0	1	0	20
1942 17	0	1	0	1	2	1	2	2	2	2	1	0	12
1943 18	1	2	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	16
1944 19	0	0	1	2	0	0	0	2	1	4	1	0	9
1945 20	0	0	0	0	0	0	0	2	1	4	0	0	11
1946 21	0	2	1	2	0	0	0	0	1	2	1	0	10
1947 22	1	1	0	0	1	0	3	1	2	2	0	0	20
1948 23	0	0	0	2	1	4	4	1	1	1	2	1	17
1949 24	1	0	1	1	1	2	1	2	4	1	2	2	17
1950 25	0	1	0	1	0	5	2	3	0	1	2	0	14
平均 (75年)	0.2	0.4	0.8	1.0	1.3	1.6	1.4	1.4	2.3	2.1	0.8	0.3	13.5
平均 (30年)	0.1	0.6	0.7	1.3	1.3	1.8	1.5	1.3	2.4	2.3	0.7	0.5	14.5
1951 26	0	1	2	2	1	2	2	2	3	2	0	0	17
1952 27	1	0	3	2	1	3	1	2	1	1	0	0	13
1953 28	0	0	0	1	2	1	2	3	3	2	0	0	13
1954 29	1	0	1	2	1	2	2	1	2	2	2	0	14
1955 30	0	1	1	0	2	0	1	2	2	4	1	0	14

表-3・5 日降水量 5 0.0 mm 以上の日数

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
1876 明治 9	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	4
1877 10	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	3
1878 11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	6
1879 12	0	1	0	0	0	1	2	1	0	1	0	0	6
1880 13	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	4
1881 14	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	2	0	5
1882 15	0	0	0	0	2	0	1	0	1	3	0	0	7
1883 16	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4
1884 17	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4
1885 18	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	4
1886 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
1887 20	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	4
1888 21	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	5
1889 22	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
1890 23	0	0	0	0	1	1	1	0	2	1	1	0	6
1891 24	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	4
1892 25	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	1	0	7
1893 26	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	4
1894 27	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	4
1895 28	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2
1896 29	0	0	0	0	1	0	0	2	2	1	1	0	7
1897 30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
1898 31	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	4
1899 32	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	5
1900 33	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2
1901 34	0	0	1	0	1	0	0	0	1	2	0	1	6
1902 35	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	4
1903 36	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
1904 37	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	5
1905 38	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
1906 39	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	0	0	6
1907 40	0	0	1	1	0	1	1	0	2	2	0	0	7
1908 41	0	0	0	1	0	1	1	2	3	0	0	0	8
1909 42	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2
1910 43	0	0	0	0	2	0	0	2	0	1	0	0	5
1911 44	0	0	0	0	0	2	4	3	1	0	0	0	10
1912 45	0	0	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	6
1913 大正 2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	4
1914 3	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	7
1915 4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3
1916 5	0	1	0	1	0	0	1	1	1	3	1	0	10
1917 6	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	1	0	6
1918 7	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3
1919 8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	3
1920 9	0	0	0	1	1	1	1	2	1	2	0	0	9
1921 10	0	0	0	1	1	2	1	1	2	2	0	0	10
1922 11	0	1	0	1	1	1	1	2	0	1	0	0	8
1923 12	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	5
1924 13	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	6
1925 14	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	0	0	4
1926 15	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	4
1927 昭和 2	0	0	1	1	1	1	1	1	2	3	0	0	7
1928 3	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	8
1929 4	0	0	0	1	1	1	0	0	4	2	0	0	9
1930 5	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	0	0	5
1931 6	0	0	0	0	2	1	0	0	2	2	0	0	7
1932 7	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	1	0	6
1933 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
1934 9	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3
1935 10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	7
1936 11	0	1	0	1	0	0	2	0	1	2	0	0	2
1937 12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10
1938 13	0	0	0	0	1	3	2	1	2	3	0	0	7
1939 14	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	6
1940 15	0	0	1	1	2	2	1	0	1	0	0	0	9
1941 16	0	0	0	0	0	1	6	1	0	0	1	0	5
1942 17	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	7
1943 18	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	0	0	5
1944 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3
1945 20	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	4
1946 21	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	2
1947 22	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	5
1948 23	0	0	0	0	0	1	4	0	1	0	0	0	6
1949 24	0	1	0	0	0	2	2	1	0	1	0	1	7
1950 25	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
平均 (75年)	-	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	1.1	1.0	0.2	0.1	5.2
平均 (30年)	-	0.2	0.1	0.2	0.3	0.8	0.8	0.7	1.1	1.3	0.2	0.1	5.8
1951 26	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3
1952 27	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
1953 28	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	3
1954 29	0	0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	5
1955 30	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	4

表-3・6 日降水量100mm以上の日数

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
1876 明治 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1877 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1878 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1879 12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1880 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1881 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1882 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1883 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1884 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1885 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1886 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1887 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1888 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1889 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1890 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1891 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1892 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1893 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1894 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1895 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1896 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1897 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1898 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1899 32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1900 33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1901 34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1902 35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1903 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1904 37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1905 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1906 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1907 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1908 41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1909 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1910 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1911 44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1912 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1913 大正 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1914 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1915 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1916 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1917 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1918 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1919 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1920 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1921 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1922 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1923 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1924 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1925 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1926 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1927 昭和 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1928 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1929 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1930 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1931 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1932 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1933 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1934 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1935 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1936 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1937 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1938 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1939 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1940 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1941 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1942 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1944 19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1945 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1946 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1947 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1948 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1949 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1950 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平均 (75年)	—	—	—	—	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.0	—	0.8
平均 (30年)	—	—	—	—	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4	0.0	—	1.3
1951 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1952 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1955 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表3-7 無降水最大連続日数

年	月日	自 月 日	至 月 日	日数
1876	明治 9	7. 23	8. 19	28
1877	10	6. 18	7. 4	17
1878	11	1. 8	1. 25	18
1879	12	11. 21	12. 4	14
1880	13	12. 8	12. 31	24
1881	14	8. 18	8. 30	13
1882	15	11. 29	12. 16	18
1883	16	12. 15	12. 28	14
1884	17	11. 19	12. 13	25
1885	18	11. 28	12. 16	19
1886	19	1. 1	1. 14	14
1887	20	1. 31	2. 26	27
1888	21	11. 13	12. 9	27
1889	22	7. 27	8. 10	14
1890	23	7. 11	7. 21	11
1891	24	1. 5	1. 30	26
1892	25	1. 6	1. 25	20
1893	26	12. 1	12. 26	26
1894	27	1. 8	1. 24	17
1895	28	11. 23, 12. 6	12. 3, 12. 16	11
1896	29	1. 3	1. 18	16
1897	30	12. 13	12. 31	19
1898	31	7. 14	7. 31	18
1899	32	11. 13	12. 2	20
1900	33	12. 8	12. 19	12
1901	34	12. 3	12. 18	16
1902	35	2. 15, 12. 23	2. 28, 1. 5	14
1903	36	11. 9	11. 25	17
1904	37	8. 6	8. 29	24
1905	38	2. 3	2. 18	16
1906	39	12. 18	1. 1	15
1907	40	12. 13	1. 1	20
1908	41	12. 8	12. 25	18
1909	42	12. 1	12. 30	30
1910	43	12. 3	12. 15	13
1911	44	12. 4	12. 24	21
1912	45	11. 25	12. 11	17
1913	大正 2	12. 18	1. 6	20
1914	3	11. 23	12. 5	13
1915	4	11. 28	12. 20	23
1916	5	12. 13	12. 31	19
1917	6	12. 4	1. 22	50
1918	7	7. 20	7. 31	12
1919	8	8. 19	9. 2	15
1920	9	4. 7	4. 19	13
1921	10	11. 2	11. 20	19
1922	11	12. 6	12. 27	22
1923	12	12. 16	1. 25	41
1924	13	11. 3	12. 6	34
1925	14	1. 11	1. 29	19
1926	15	1. 20	2. 9	21
1927	昭和 2	1. 19	2. 4	17
1928	3	2. 16	2. 29	14
1929	4	12. 30	1. 27	29
1930	5	12. 12	12. 28	17
1931	6	7. 24	8. 11	19
1932	7	7. 22	8. 4	14
1933	8	1. 23	2. 16	25
1934	9	2. 12	3. 2	19
1935	10	1. 19	1. 28	10
1936	11	1. 4	1. 24	21
1937	12	11. 25	12. 17	23
1938	13	11. 25	12. 20	26
1939	14	1. 5	1. 17	13
1940	15	12. 27	2. 1	37
1941	16	10. 19	11. 12	21
1942	17	7. 5	7. 29	25
1943	18	2. 8	3. 19	40
1944	19	1. 6	1. 24	19
1945	20	12. 14	1. 10	28
1946	21	12. 4	12. 25	22
1947	22	8. 8	8. 26	19
1948	23	10. 11	10. 29	19
1949	24	1. 4	2. 1	29
1950	25	7. 14	7. 26	13
1951	26	7. 26	8. 9	15
1952	27	12. 17	1. 4	19
1953	28	1. 13, 1. 28	2. 2, 2. 10	14
1954	29	1. 26	2. 11	17
1955	30	12. 1	12. 20	20

表3-8 降水最大连续日数

月 日	自 月 日	至 月 日	日数
9. 9	9. 30	22	9
9. 30	9. 11	9	9
6. 20	7. 13	24	24
5. 11	6. 4	25	25
6. 16	7. 10	25	25
9. 19	10. 1	13	13
6. 8	6. 18	11	11
9. 30	10. 13	14	14
9. 12	9. 28	17	17
3. 30	4. 22	24	24
10. 19	11. 2	15	15
9. 29	10. 8	10	10
4. 29	5. 11	13	13
8. 17	9. 3	18	18
7. 24	8. 23	31	31
6. 10	6. 21	12	12
7. 21	8. 3	14	14
5. 16	5. 31	16	16
4. 23	5. 1	9	9
11. 23	12. 3	11	11
6. 20	7. 7	18	18
6. 3	6. 17	15	15
6. 11	6. 28	18	18
8. 29	9. 8	11	11
9. 18	9. 30	13	13
6. 30	7. 17	18	18
7. 14	8. 5	23	23
6. 20	6. 28	9	9
5. 21	6. 1	12	12
6. 9	7. 2	24	24
9. 6	9. 23	18	18
7. 6	7. 19	14	14
6. 10	7. 5	26	26
6. 19	7. 9	21	21
7. 2, 8. 1	7. 18, 8. 17	17	17
9. 10	9. 22	13	13
6. 8	7. 5	28	28
4. 13	4. 29	17	17
6. 12	6. 22	11	11
8. 13	8. 27	15	15
6. 14	7. 7	24	24
8. 30	10. 1	33	33
5. 17	6. 4	19	19
9. 9	9. 19	11	11
6. 12	6. 29	18	18
9. 22	10. 13	22	22
10. 1	10. 8	8	8
9. 30	10. 12	13	13
6. 10	6. 18	9	9
5. 27	6. 6	11	11
8. 16	8. 25	10	10
3. 8	3. 15	8	8
6. 13	7. 4	22	22
12. 10	12. 22	13	13
4. 8, 6. 21	4. 16, 6. 29	9	9
7. 1	7. 16	16	16
7. 6	7. 21	16	16
10. 6	10. 16	11	11
7. 15	7. 27	13	13
8. 2	8. 17	16	16
5. 14	6. 6	24	24
5. 20	6. 1	13	13
10. 10	10. 25	16	16
6. 22, 9. 17	6. 29, 9. 24	8	8
3. 6	3. 14	9	9
7. 11	8. 3	24	24
6. 18	6. 30	13	13
9. 2	9. 16	15	15
4. 13	4. 30	18	18
7. 11	7. 23	13	13
4. 28	5. 18	21	21
6. 2	6. 17	16	16
4. 21	4. 30	10	10
3. 26	4. 6	12	12
11. 21	12. 2	12	12
7. 4	7. 18	15	15
9. 6	9. 22	17	17
8. 19	9. 19	32	32
6. 19	7. 15	27	27
9. 27	10. 11	15	15

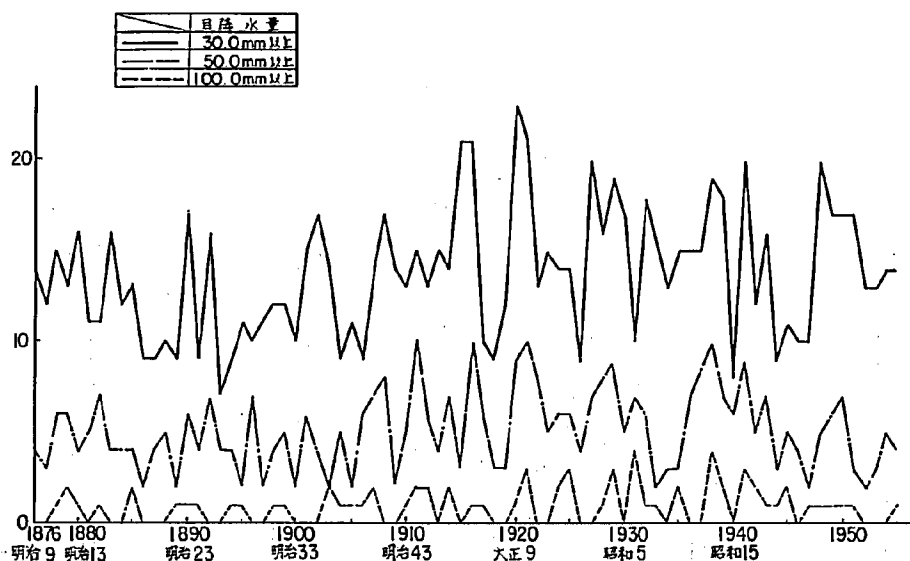


図-3・1 日雨量特定値以上度数分布(東京都)

た、降水、無降水の継続日数を示すと表-3.7、表-3.8のように、最大無降水継続日数は50日、降水最大継続日数は33日にもなることがわらう。この大正6年に発生した最大無降水継続日数をつい近年(S44.12.8~45.1.29まで)無降水記録53日という記録が発生していることを付記しておく。

3・4 水文資料の抽出法

降雨量に限らず洪水流量などの水文諸量を水文統計的に解析する場合に、1) 毎年最大値 2) 多年間年数最大値(非毎年)、3) 特定値以上最大値 4) 全資料の4種類が考えられる。これら4通りの資料抽出法について簡単に説明すると、

1) 毎年最大値(AM)

永年にわたって観測された資料から1年づつを単位期間と考えて1年間でもっとも大きい値を1個づつ抽出する。資料数は観測資料年数と同数になる。この方法で抽出された資料値に対しては古くから多くの研究論議がなされ、確率洪水量や確率日雨量などの計算ではすべてこのAMを用いた解析が実用化されている。この資料を用いた統計解析の結果は、確率何年として厳密に1年1回発生する値となって水文学的、あるいは経済的に1年の循環を考え

る場合はもっとも合理的であり、また資料蒐集も他の方法に比べて容易である。図-3.2に示す○印がAMで30年間30個が対象となっている。

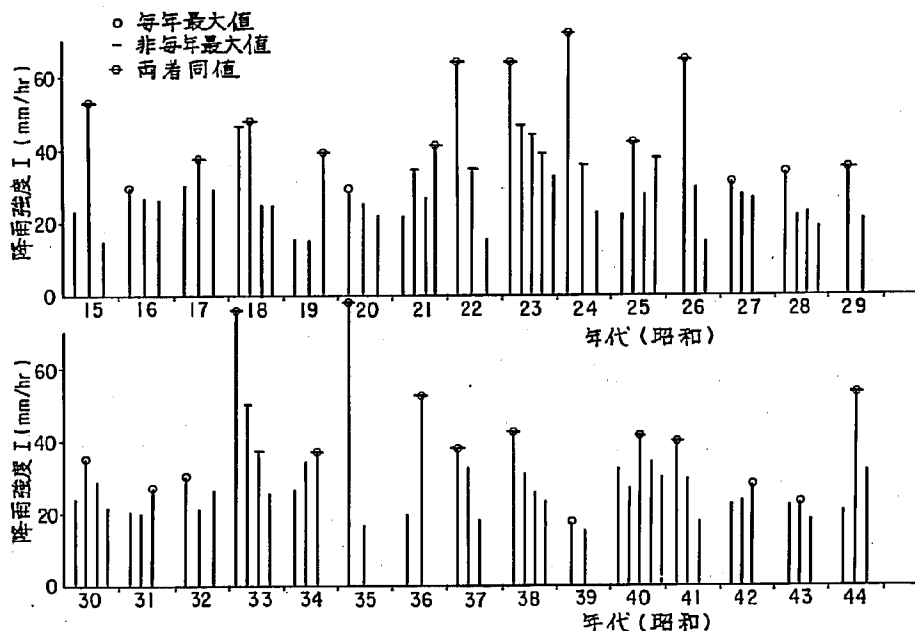


図-3.2 年代順の特定値以上降雨発主配列図

II) 多年間年数最大値 (AE)

一名非毎年最大値とも呼び、AMのように毎年1個ずつでなく、発生年の考えず、全記録期間中に発生した第1位から資料記録年数位までを抽出するもので資料数はAMと同数になる。従って同一一年中に2個または3個が資料として取り上げられることになり逆にその数に等しく資料を全然取り上げられない記録年を生ずる。図-3.2で横棒印で示したのがAEであるが当然AMと同値も存在するわけである。この方法ではAMのような厳密な意味の確率値ではなく、無抽出年にも降雨が発生したように考えてランダムに分配する平均期待値が算出されることになる。

III) 特定値以上最大値 (BM)

全資料中のある特定値以上すべてを取り上げるので、抽出資料数は記録年数に無関係である。

IV) 全資料値 (AO)

全観測期間中の最小値から最大値まで全資料を抽出する方法である。

以上のように水文資料の解析のための資料抽出法としては、4種類が考えられるが、排水計画などの降雨強度算定や河川の洪水流量推定では、AOのように非常に小さい水文量まで考慮する必要はないので、結局AM、AE、BMの3者の内いずれかによって解析することになる。中でもAEとAMは資料数が十分多ければ同類のものになるが⁹⁾、現在まで蒐集された観測年数では次節以下で示すごとく、かなり異なったものとなる。

3・5 東京都の降雨強度

従来、東京都における下水道計画で採用されている降雨強度式は、5年確率で $i = \frac{5000}{t+40}$ という式である。本節では前述したように、毎年確率値(AM)と非毎年確率値(AE)との比較もかねて検討したものである。

資料年数は30年間(気象庁資料)の資料から上記2通りの抽出法によって抽出し、確率計算手法は1)岩井法(下限値0, 上限値 g_0)、2)Gumbel法の2通りで行なったが、強度式算定にはGumbel法による値を採用した。

表-3・9 N年確率降雨強度(東京)30年間資料

T(x)	Gumbel 法				岩 井 法				Gumbel			
	毎 年		非毎年		毎 年		非毎年		$I_A^0 = R_{10} \times 6$		$I_A^0 / R_{60} = \beta^{10}$	
	R_{60}	R_{10}	R_{60}	R_{10}	R_{60}	R_{10}	R_{60}	R_{10}	毎 年	非毎年	毎 年	非毎年
1.1	25.7	9.9	33.3	13.0	—	—	—	—	59.4	78.0	2311	2342
2.0	40.6	16.5	45.3	16.4	40.6	16.4	—	18.6	99.0	110.4	2438	2437
3.0	47.3	19.5	50.7	20.8	47.5	19.4	—	21.8	117.0	124.8	2474	2462
5.0	54.7	22.8	56.6	23.4	54.6	22.8	—	24.7	136.8	140.4	2501	2481
10.0	64.1	26.9	64.1	25.8	62.7	26.9	—	27.4	161.4	160.8	2518	2509
20.0	73.0	30.8	71.3	30.1	69.7	30.7	—	29.3	184.8	180.6	2532	2533
30.0	78.3	33.2	75.5	31.9	73.4	32.9	—	30.2	199.2	191.4	2544	2535
50.0	84.6	36.0	80.5	34.2	77.7	35.6	—	31.1	216.0	205.2	2553	2549
100.0	93.2	39.8	87.4	37.3	83.1	39.1	—	32.1	238.8	223.8	2562	2561
200.0	101.8	43.6	94.4	40.4	88.0	42.6	—	32.9	261.6	242.4	2570	2568

(注) Gumbel 法を採用)

N年確率60分強度及び10分間強度の値は表-3.9に示すとおりである。図-3.3は、毎年確率値と非毎年確率値を比較したものであるが、両者の関係は確率年10年を境に逆転している。

3・5・1 確率降雨強度式の算定

確率降雨強度式を厳密に算定するには、一般に降雨継続時間 t (min)として5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 120, minに対応する最低8組の降雨資料 $R_t(I_t)$ が用いられる。各 t ごとに確率計算を行ない、同一確率年値を5, 10, ……120 minから1個づつ取り出し、降雨

強度式の常数を求めることになるが、石黒⁹⁾¹⁰⁾が発表した特性係数法によると、10分と60分の降雨資料のみで確率降雨強度式が簡便かつ高精度で求められる。

即ち、降雨強度式形には種々あるが、すべての式は次の特性係数式で表わされる。

$$I_N = R_N \cdot \beta_N \quad (3-1)$$

ここで、 I_N はN年確率降雨強度式(mm/hr)， R_N はN年確率60分雨量強度(mm/hr)， P_N はN年確率特性係数である。このように降雨強度式は、1時間雨量Rに曲線形状を左右する特性係数

β を乗じて表現される。 β_N は既往の各式形と同形をとる。いまタルボット形をとるとすれば、(3-1)式は次式のようになる。

$$I_N = R_N \cdot \beta_N = R_N \cdot \frac{a^1}{t+b} \quad (3-2)$$

R_N の値は確率時間雨量値として容易に算出できる。そして a^1 、 b の各常数は $t=60\text{min}$ で $\rho_N=1$ という条件から、60分と他の任意時間 $t\text{min}$ の値が与えられると次式で求められる。

$$\begin{aligned} a^1 &= b + 60 \\ b &= (60 - \rho_N^1 \cdot t) / (\beta_N^1 - 1) \end{aligned} \quad (3-3)$$

ここで β_N^1 は、 t 分間N年確率特性係数値と呼ばれ、N年確率の t 分強度 I_N^1 に対する60分降雨強度 I_N^0 の比である。

$$\beta_N^1 = I_N^1 / I_N^0 \quad (3-4)$$

(3-4)式より降雨資料として60分と t 分間の2つから β_N^1 が求まり、(3-3)式から a^1 、 b が求まるので、さらに(3-2)式から、降雨強度式 I_N が算定できる。

今、計算例として確率年5年に対する降雨強度式を求めると、

$$b = \frac{60 - \rho_N^1 \cdot 10}{\rho_N^1 - 1} = \frac{60 - 2501 \times 10}{2501 - 1} = 23$$

$$a^1 = b + 60 = 23 + 60 = 83$$

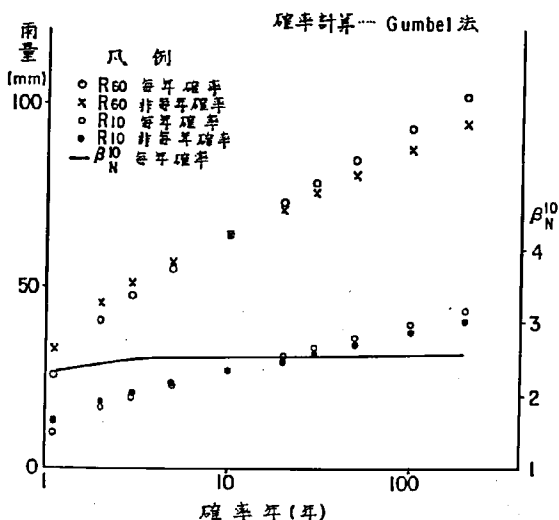


図-3・3 水文資料摘出法の違いと確率降雨の差

$$\rho_s = \frac{a^1}{t+b} = \frac{83}{t+23}$$

$$I_s = R_N \cdot \rho_N = 54.7 \times \frac{83}{t+23} = \frac{4540}{t+23}$$

表-3.10 N年確率降雨強度式

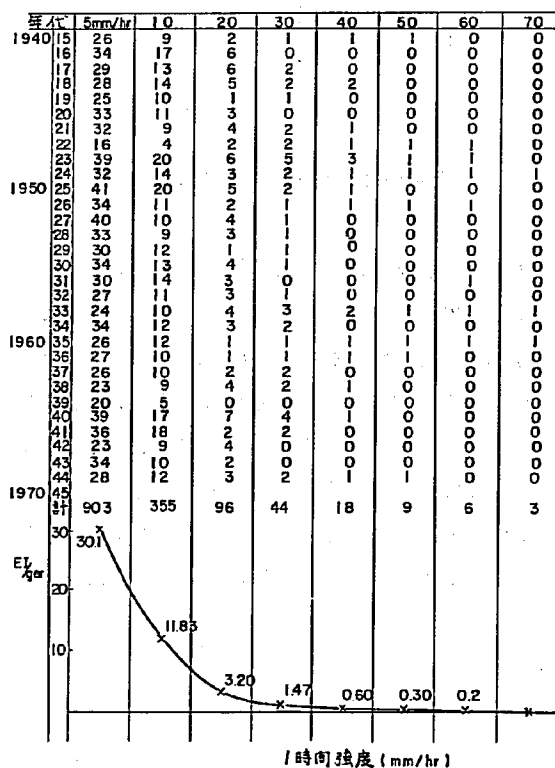
確率年	1.1	2.0	3.0	5.0	10.0	20.0	30.0	50.0	100.0	200.0
毎 年	$\frac{2262}{t+28}$	$\frac{3451}{t+25}$	$\frac{3973}{t+24}$	$\frac{4540}{t+23}$	$\frac{5320}{t+23}$	$\frac{6059}{t+23}$	$\frac{6421}{t+22}$	$\frac{6937}{t+22}$	$\frac{7642}{t+22}$	$\frac{8348}{t+22}$
非 毎 年	$\frac{2897}{t+27}$	$\frac{3851}{t+27}$	$\frac{4259}{t+24}$	$\frac{4754}{t+24}$	$\frac{5320}{t+23}$	$\frac{5918}{t+23}$	$\frac{6267}{t+23}$	$\frac{6601}{t+22}$	$\frac{7167}{t+22}$	$\frac{7741}{t+22}$

東京における確率強度式の算定結果は表-3.10に示すとおりである。図-3.4は上表の結果から毎年・非毎年別の強度曲線を示している。表-3.11は過去30年間の降雨資料から1分強度の発生頻度日数を調べたものである。

表-3.10, および図-3.4の結果と表-3.11の結果とは当然ながら相拮抗した値を示しているが、資料年数の摘出法の違いによって、図-3.5に示す如く統計年数30年位では、かなり異なった値になる。

都市域では、急激な資産の増加と共に、流通経済が都市機能の大きな要素となっている反面、下水道計画等に採用される対象降水の確率年は10年以下である。図-3.3に見るように確率

表-3.11 1時間強度の発生頻度日数



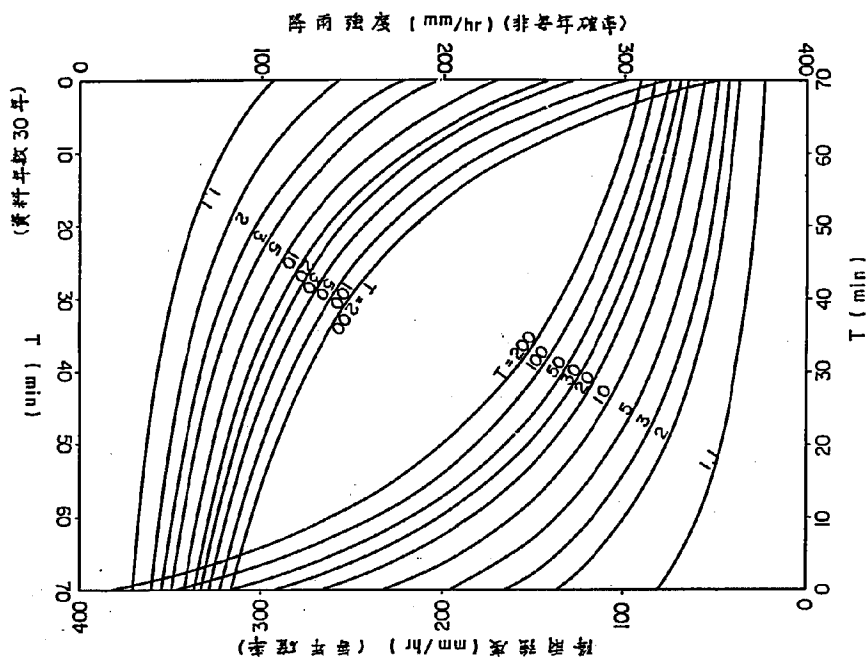


図-3・4 毎年・非毎年確率降雨強度曲線(東京都)(資料年数30年)

年10年以下では毎年確率と非毎年確率の確率強度は後者の方が大きな値を示す。統計年数が非常に長い場合には、前にも述べた如く両者は一致するはずだが、現在ではそのような長期に渡る統計資料がなく、現時点で特に下水道計画における確率計算方法には非毎年確率を採用するのが望ましいと考えられる。なんとならば3～5年確率降雨位の雨は、多雨年では年に2～3回発生する可能性が十分考えられる。毎年確率の場合には1暦年を単位とみてその中で生じた最大値を確率変数とっている。農業のように年周期で行なっている生産活動に対してはそれでもよいが、都市のように激しい生産活動をし、しかも資産も増加し集積している都市域では、毎年確率では実状に合わない。

3・6 東京における降雨パターンについて

3・6・1 計画降雨としてのハイエトグラフ

東京における過去の降雨観測記録から大表的な降雨16降雨を抽出し、最大強度と降雨開

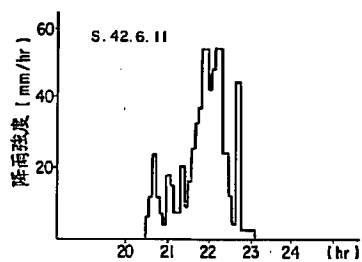


图 3-5.

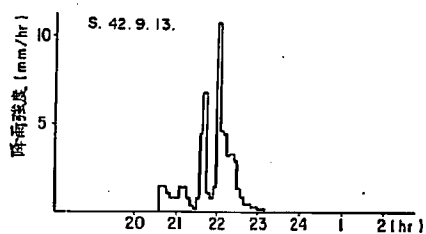


图 3-6

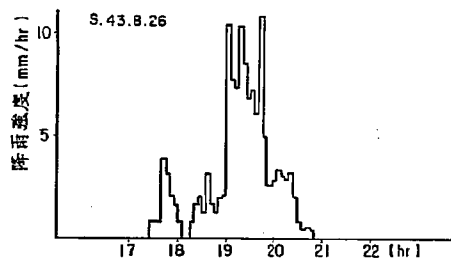


图 3-7

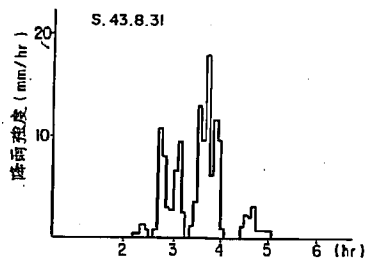


图 3-8

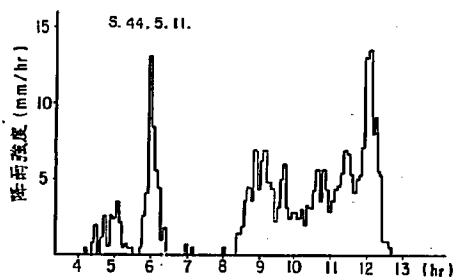


图 3-9

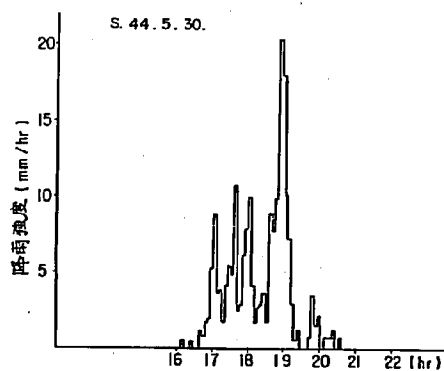


图 3-10

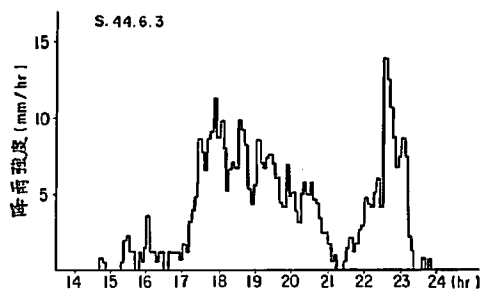


图 3-11

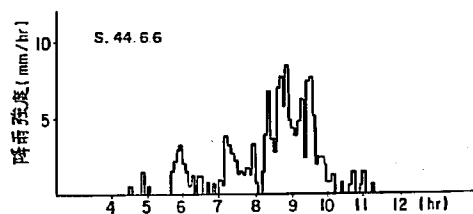


图 3-12

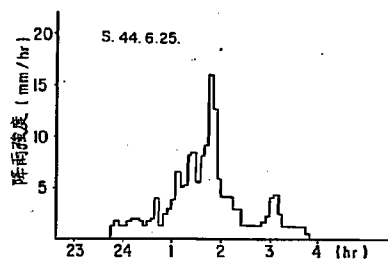


图 3-13

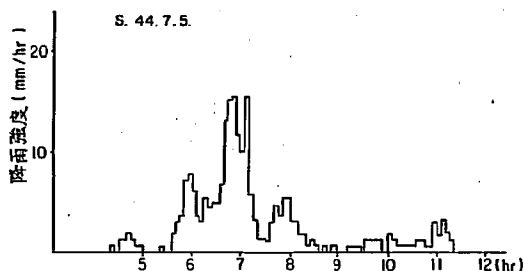


图 3-14

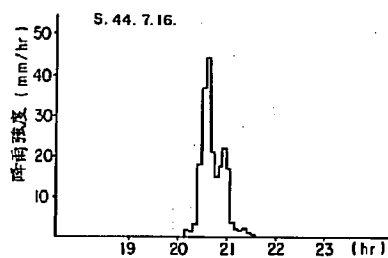


图 3-15

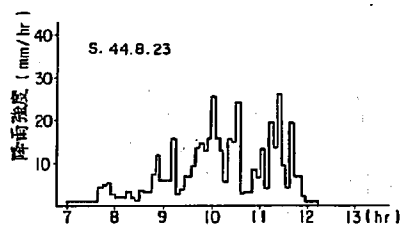


图 3-16

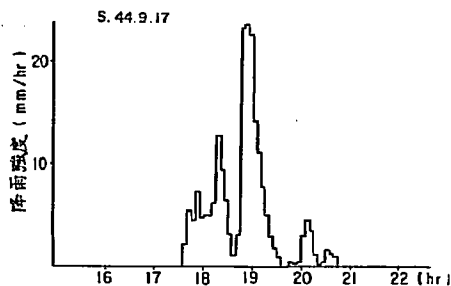


図 3 - 17

表-3・12 東京における降雨パターン

観測年月日	継続時間 T(hr)	最大強度 $i_{max}(mm/hr)$	降雨開始から i_{max} までの時間 $t_b(hr)$	$\gamma = t_b/T$
S42. 6. 11	2.6	5.4	1.4	0.539
" 9. 13	2.6	1.1	1.5	0.577
43. 8. 26	3.4	1.1	2.5	0.735
" 8. 31	3.0	1.8	1.6	0.533
44. 5. 11	2.3	1.3	1.9	0.825
" " "	4.5	1.3	4.0	0.889
" " 30	4.5	2.0	3.0	0.668
" 6. 3	6.8	1.2	3.2	0.471
" " "	2.0	1.4	1.4	0.700
" " 6	6.2	0.8	3.8	0.613
" " 25	4.0	1.6	2.0	0.500
" 7. 5	7.0	1.5	2.5	0.357
" 8. 23	5.2	2.6	3.0	0.577
" " 26	3.4	1.1	1.6	0.470
" 9. 16	1.3	4.4	0.5	0.385
" " 17	3.1	2.4	1.4	0.452
$n=16$ 61.9 $T=3.85 \div 4 \text{ hr} = 240 \text{ min}$				9.291 $\bar{\gamma}=0.581$ $\gamma=7/12 \div 3/5$

始からの時間及び継続時間等を調べる図-3.5～図-3.17に示すようであった。観測期間中に大降雨が少なく、一般に用いられる計画降雨強度近く大きな降雨は16降雨中2降雨しかないが、これらを表にまとめると表-3.12のようになる。これから最大強度の位置 γ を求めると $\gamma=0.581$ となり、大体 $\gamma=7/12 \div 3/5$ と表わされる。また降雨継続時間は平均4時間であった。

計画として設定すべき降雨ハイドログラフは、節2.3でも指適した如く、ある確率降雨に対してあらゆる洪水を包含できるような降雨パターンを計画降雨として設定するのが安

全であるし、それが都市域では安全すぎることはない。そこで独立した降雨から選び出したある継続時間の降雨強度についての確率計算を継ぎ合わせたようなハイエトグラフの式(3.5), (3.6)からのハイエトグラフを計画降雨として用いることを提唱する。

$$\text{〔ピーク前に対して〕 } i = \frac{a \cdot b}{\left(\frac{t_B}{r} + b\right)^2} \quad (3.5)$$

$$\text{〔ピーク後に対して〕 } i = \frac{a \cdot b}{\left(\frac{t_A}{1-r} + b\right)^2} \quad (3.6)$$

ここで係数 a , b はタルボット型の降雨強度式 $i = \frac{a}{t+b}$ の係数 a , b と同一値である。また t_B , t_A は降雨ピークの位置を原点として前方に測った時間を t_B (分), 後方に測った時間を t_A (分) とする。従って降雨継続時間を t_d とすると, $t_B = 0 \sim r \cdot t_d$, $t_A = 0 \sim (1-r) \cdot t_d$, となる。故に計画対象確率年の降雨強度式が前節 3.5.1 によって計算されるなら計画降雨としてのハイエトグラフが求まる。これによって多様な流出計算法が

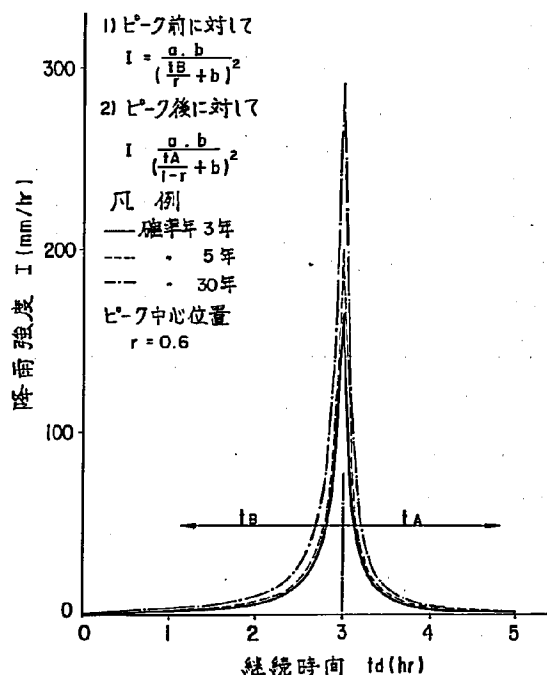


図-3.18 計画降雨ハイエトグラフ

適用でき、下水管渠の設計からポンプ場の設計・運転計画、あるいは滞水池の設計・調節計画等に適用されるだろう。東京での確率降雨強度式から3年、5年、30年のハイレトグラフを $t_d=5\text{ hr}$ として計算すると図-3.18に示すようになる。

3・6・2 降雨パターンと流出ハイドログラフの関係

降雨は極めて任意性に富んだ自然現象であり、そのパターンや強さは地域特性に大きく作用され、その地域特有のパターンを示すことが多い。また梅雨性か台風性か雷雨性の降雨かの相違によっても違ったパターンを与える。このような降雨パターンの変化が流出量にどのような影響を与えるかということは非常に興味があるし、また設計計画の思想としてこの変化を厳密に取り入れるという方向に進むのが望ましい。ではたしてどれくらいの影響があるものか若干検討した結果について述べよう。

都市域での損失能は降雨期間中の蒸発・遮断等を見放すと不浸透域では凹地貯留だけ、浸透域では凹地貯留に加えて浸透損失が考えられる。凹地貯留はある限られた絶対量であり、浸透損失についてもホルトンの浸透能式が適用できるとするならある程度時間の関数ではあるが絶対量である。従って不浸透域が50%以上にもなる都市域では降雨パターンの変化による流出量への影響が小さいように考えられるが、モデル計算結果(降雨ハイレトグラフのピークの位置を $r=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ と変化させ、浸透損失の取り方は、浸透域での表面流と凹地貯留への供給は、それに先立つ降雨量が浸透損失量に等しくなったときに始まると仮定して計算した結果によると、ピーク発生位置はもちろんその量においても極めて影響力の大きな事が明らかになった。 r の変化に対するピーク流量の変化はほとんど直線的に変化し、 $r=0$ に対する $r=1$ の増加割合を見ても5割以上の増加が見られ、浸透域の面積が大きくなるほどこの影響は大きくなり無視出来ない要素となるだろう。この場合には浸透損失の考え方即ち浸透能式の定数を降雨パターンに関係なく一定として計算したが、現実には浸透能式自体も変化する可能性のあることを考えると厳密に定量的な値を示すことはなかなか困難である。しかし実際に降雨パターンの影響が大きいことを設計者は自覚する必要がある。

3・6・3 流域や降雨特性と損失パターンの関係について

流出計算法で重要なネックになるのは、実降雨から有効雨量の算出の段階であるといっても過言ではなからう。現実の現象に最っとも近い損失パターンを与えるのが望ましいが、雨水の損失機構についてはなかなか不明確な部分が多く、これと言った卓越した方法がなく種々な方法が適用されるが、それにしても流域や降雨特性にマッチした方法を採用するのが望ましい。

本節では5ケースの損失パターンに対する有効雨量から同様の流出計算を行なって流出ハ

イドログラフへの影響度を検討し妥当な損失パターンの与え方について初歩的な検討を試みた。

即ち損失パターンとして

- 1) ケースⅠ: $F = \sum R(1-f)$ を全部初期損失として降雨初期から差し引く。
- 2) ケースⅡ: $F = f_0 + \sum R_i(1-f)$ とし, f_0 を初期損失として降雨初期から差し引き, 残りは R_i から $(1-f)$ に相当する量を順次差し引く。
- 3) ケースⅢ: $\sum R_i = K \sum R_i^P$ から R_i に対する有効雨量を求める。K, P は流域に特有な定数。
- 4) ケースⅣ: 不浸透率 I_{mp} から流域を浸透域と不浸透域に2分し, 不浸透域の $f=1$ とし, 浸透域からは $(1-f)$ に相当する量が流出するものとする。即ち有効雨量を $R_e(t)$ とすると,

$$R_e(t) = R(t) \cdot I_{mp} + R(t)(1-I_{mp})(1-f)$$
 となる。t は時刻を表わす。
- 5) ケースⅤ: 基本的な考え方はケースⅣと同じだが, 浸透域, 不浸透域で各々初期損失として $3mm, 1.5mm$ を見込んでいる。

以上の5ケースによる計算結果は図-3.19に示している。同図のb), c)に示すようにケースⅢ, Ⅳは有効降雨のパターンも流出ハイドログラフも然んど同一値を示し, 実測流出ハイドログラフともかなり良く一致している。特に都市域ではケースⅣ以下の方が合理的であるようだが, ケースⅢはある程度の量の流出観測データがないと適用できない。またケースⅠ, Ⅱは山地河川等の流出解析には適用できようが, 不浸透率が50%以上にもなる都市域での流出現象とは矛盾している。即ち都市域では非常に小さな降雨でもかなりの流出が現実に起っており, この事は損失が然んど浸透域によるものであり, 不浸透域からはすぐ流出すると考えれば説明がつく。都市域での

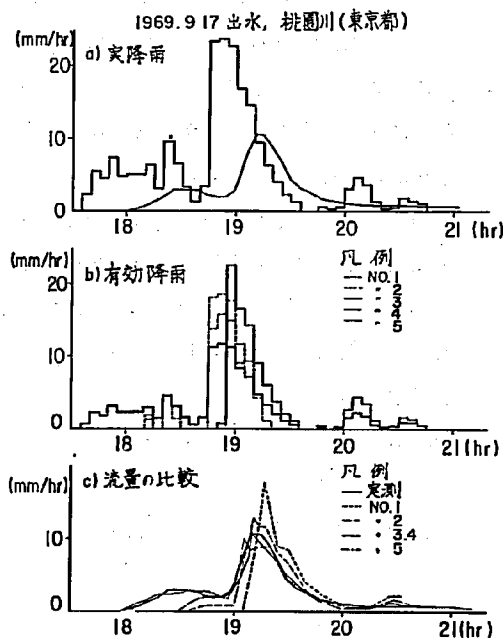


図-3.19 損失パターンとハイドログラフの関係

損失機構の検討については後章で詳述することにする。

3・7 本章の終りに

雨水排除計画において、まず重要な因子はインプットである降雨の大きさなりパターンの決定であろう。降雨は極めて任意性に富んだ自然現象であり、地域特性に大きく左右される。従って、従来統計的手法が採用され、降雨強度曲線が作成され流達時間からある確率年に対する設計降雨強度が決定される。ところが本章で示した如く、同一年の統計資料からでその資料抽出法の相違によっても確率強度は違ってき、当然強度曲線式も異なったものになる。また確率計算手法によってもその値に相違が見られ不確定要素を取り除く事は困難であろう。

また、都市の特異性からあるいは雨水排除計画の多様性（管渠の設計はもちろん、ポンプ場、滞水池や人工湖、雨水吐、処理場等）から、従来のピーク流出量だけに頼れなくなり、時間一流量曲線（Hydrograph）が必要になってきた。このような事から従来のピーク流出量算定公式（合理式や実験公式）だけによる雨水流出量算定法から脱皮し、ハイドログラフの算定が可能な流出計算法を適用せざるをえなくなる。この場合、計画インプットとなる降雨ハイトグラフが必要になる。

降雨パターンは降雨特性（台風性か、前線性か、梅雨性か等）にも左右されるが、地域特性によっても大きく変化する。このような事から東京での降雨パターン、ここでは降雨ピークの位置がどこにあるかを実態的に調査し、そのピーク位置の変化が流出ハイドログラフに与える影響を述べて、その影響の大であることを示した。最後に流出計算において最大のネックである有効降雨の算定結果の適否が流出計算結果を絶対的に左右することを強調した。

計画降雨として降雨ハイトグラフ算定に降雨強度公式を採用することの是非もあるが、安全側を与える（都市域ではかならずしも安全過ぎるとは云えまい）という意味から、設計値として用いることを筆者は提唱したものである。

第4章 都市域での雨水損失機構の検討

4・1 都市域での流出機構

雨水流出現象は多種多様な要素に支配され極めて複雑である。降雨特性として強度、継続時間、時間的ならびに地域的分布などと、流域特性として面積、形状、勾配、地質、地被状態および湿潤の初期状態などが複雑にからみ合い、これらの諸要素が流出現象にどのような影響を与えるかということを定量的に解明することは水文学上の重要課題である。これら個々の要素を1つ1つ考察することが1つの解決方法ではあろうが、流出現象の複雑さからきわめて困難である。特に都市域では損失の面から見た場合、浸透域と不浸透域の2大工種に2分される面的特性が流出現象を支配する顕著な要素と考えられ、両者でははなはだ違った現われ方を示す。後述する如く、都市域では下水管網の稠密な配置によって不浸透域はほとんど下水管へ直結しており、流出現象は降雨パターンの変化に極めて敏感に反応する。反面浸透域では、初期降雨のほとんどが凹地貯留や浸透損失に補給されるため、流出現象は前者に比べて非常に緩慢になる。都市域での流出はこれら2様の現象が合成された形で現われるものと考えられよう。

このような観点から、以下の解析では弱雨の流出がほとんど不浸透域からの流出で代表出来るとし、強雨の場合には、両者の合成された現象としてとらえ、実都市（ここでは主に谷端川排水区）での雨水流出量調査結果から諸要素の関係を定量的に解析したものである。こうした解析結果から、従来の合理式運用上の問題点、特に流出係数の意味上の問題から計画面での値の取り方などある程度計画面へのアプローチが可能となろう。

4・1・1 都市域の排水システム

都市域は多種多様の表面工種から構成されている。それらを降雨に対する損失の面から見れば浸透域と不浸透域の2つの2大工種に2分される。即ち降雨期間中の蒸発散量、しゃ断量を無視すると、両工種における総損失量 F は各々次のようになる。

$$F_{imp} = D_{imp} \quad (4 \cdot 1)$$

$$F_p = D_p + f(t) \quad (4 \cdot 2)$$

ただし、 F ：総損失量、 D ：凹地貯留量、 f ：浸透能、添字の imp は不浸透域、 p は浸透域を示している。これら個々の損失について以下簡単に説明すると、

D_{imp} ：コンクリート、屋根等における凹地貯留量で、総雨量 $R \geq D_{imp}$ なら一雨ごとに一定値である。しかし凹地が総べて満たされた後に流出するのではないから総雨量が D_{imp} に達しない降雨でも流出が認められる。

D_p ：裸地や草地等での凹地貯留量を表わし、常時浸透能より大きな降雨で D_p 以上に凹地貯留への供給があった場合には一定値である。もちろん雨が途中で止むよう

な場合には浸透により凹地貯留が減少し、一雨では D_p より大きくなることもある。

$f(t)$: 常に浸透能 f を上回る強度の雨が供給された場合には、降雨継続時間 t の関数であり、 $f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$ から $f(t) = f_c + t + \frac{(f_o - f_c)}{k}(1 - e^{-kt})$ となる。但し、 f_c : 最終浸透能、 f_o : 初期浸透能、 k : 定数である。従って降雨強度が f を下回る場合があれば厳密には $f(t)$ を上式で表わすことができない。

都市域では、工種の接続方法の如何によって、不浸透域の水が浸透域を流れる場合や、その逆の場合も起りうるが、一般に不浸透域である道路、屋根等の排水は下水管に直結されている場合が普通である。都市化のかなり進んだ地域では、おおよそ20~50m間隔に下水管渠が施設され各工種からの排水を受けている。この配置間隔は集水

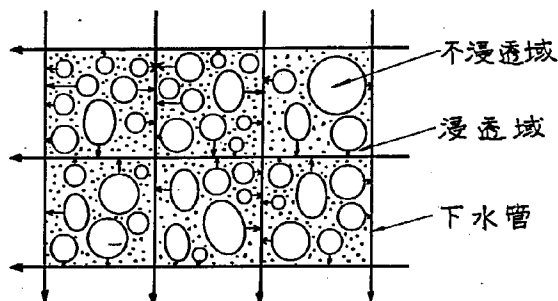


図-4.1 都市流出モデル

区域に比べて相当稠密な配置と言え、下水道が整備された都市域では、浸透域と不透透域が街区に混在し、下水管にそれぞれ独立に接続している図-4.1に示すモデルとして把握できる。

4.1.2 合理式の流出係数

都市域での流出機構を浸透、不透透域に2分して考える際にはたして合理式の流出係数がどんな意味を持つのか、従来からの慣用値と比較しながら検討を進める。

合理式の理論性については節2.1.1でも述べたように、合理式を計画として用いる場合、対象降雨は矩形降雨（流速時間内の平均強度）であり、損失は時間的にも場所的にも一定であるという仮定及び斜面上を流れる流速が場所的に一定であるという仮定の下に適用される。従って図-4.2に示すように流出量の変化はLinearに変化し

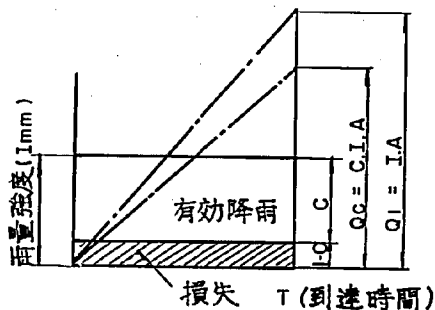


図-4.2 合理式による流出想定図

流達時間 T でピークになる。以上のような仮定の下では合理式で言う流出係数、即ちピーク流出係数($C_p=Q_p/iav \cdot A$)と総流出係数(一名流出率 $C_t=\Sigma Q/\Sigma R$)の値は同一値を示すことになる。以下の解析ではこのような観点から流出係数の値について検討したものである。

従来、下水道関係で使用されている合理式の流出係数は表-4.1にその1例を示しているが、流出係数の値は総雨量に対する有効雨量に対する有効雨量の割合を示しており、用途地域あるいは工種に特有な降雨の減衰係数の如き表現の仕方であるといえる。

しかしながら現実の損失の仕方は、2大工種(浸透域と不浸透域)で非常に異なっているため、実際には不浸透面積率や降雨強度等の変化により流出係数 C の値は変化するものと思われる。そこで降雨強度や損失量を仮定して流出係数 C の値について検討してみよう。

i) 不浸透域からの流出

不浸透域における凹地貯留量 D_{imp} を Tholin and Keifer⁸⁾ から $1.59mm$ と仮定し、この損失が総べて降雨初期に生じるものとする。

流達時間を1時間降雨強度を $30, 50, 70mm/hr$ とした場合の流出係数は表-4.2に示すように、不浸透域の流出係数は 0.94 以上となり、降雨強度が大きくなるほど大きくなる。

表-4.1 合理式の流出係数

商業地区	0.7 ~ 0.9
工業地区	0.4 ~ 0.6
住宅地区	0.3 ~ 0.5
公園地区	0.1 ~ 0.2

ii) 浸透域からの流出

浸透域においても上記参考文献から $D_p = 6.35mm$ とし、浸透損失 f を最終浸透能 $f_c = 1.34mm/hr$ に等しいと仮定して同様の計算をして比較したのが表-4.3である。i)

ii) いずれも図-4.3、図-4.4に示す如く凹地貯留量は、実際には凹地が総べて満たされた後に流出するのではなく、凹地は除々に満たされながら流出も除々に生じるものであろうが、ここでは凹地が総べて満たされた後に流出するという仮定に立っている。浸透域では不浸透域以上に降雨強度の影響が大きく、また流達時間の長短によっても流出係数は変化する。これは損失量が時間の関数ではあるがある程度絶対量であるためであろう。

表-4.2 不浸透域の流出係数

降雨強度 $I(mm/hr)$	D_{imp} (mm)	流出係数 C
30	1.59	0.947
50	1.59	0.968
70	1.59	0.977

さて現実の都市域では、上述した2大工種

表-4・3 浸透域の流出係数

降雨強度 I (mm/hr)	Dp (mm)	f _c (mm/hr)	C
30	6.35	13.4	0.341
50	6.35	13.4	0.606
70	6.35	13.4	0.717

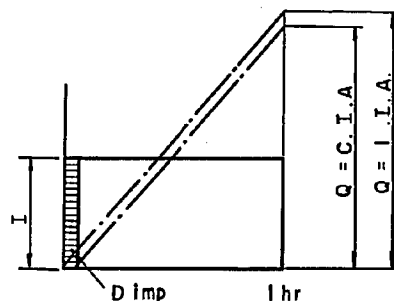


図-4・3 不浸透域からの流出

が複雑に混入し、その割合（以下、不浸透面積率＝不浸透域の面積／排水区全面積と呼ぶ）もまちまちである。そこで種々の不浸透面積率に対する合成流出係数を求めたのが表-4.4である。以上の仮定計算は流出係数の性格を示すためのものであり数値そのものにさほどの正確さはない。例えば参考文献⁸⁾によると、浸透域の f_0 は76.2 mm/hrであり、1時間に28.5 mmの損失となる。これを時間的に一様に損失するものとする表-4.4の括弧書きの数字となる。しかし上記文献での実測値は、浸透域

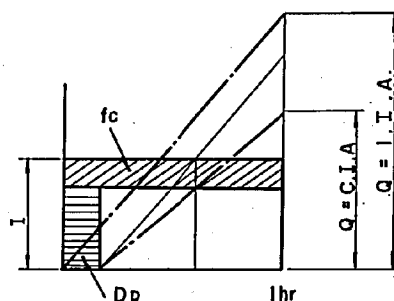


図-4・4 浸透域からの流出

表-4・4 不浸透面積率の相違による流出係数

不浸透面積率 I (mm/hr)	0	20	40	60	80	100
30	(0.0) 0.341	(0.189) 0.462	(0.379) 0.515	(0.568) 0.705	(0.758) 0.826	0.947
50	(0.303) 0.606	(0.436) 0.678	(0.569) 0.751	(0.702) 0.823	(0.835) 0.896	0.968
70	(0.502) 0.717	(0.597) 0.769	(0.692) 0.821	(0.787) 0.873	(0.882) 0.925	0.977

が芝生の場合であり我が国の実例と比較した場合、多少大きめの感がある。従っておおよその流出係数値は表-4.4の括弧書きと括弧外の数値の中間にあるものと思われる。このように実際の流出係数の値は、降雨の強さや継続時間あるいは排水区の面的特性や工種の接続の仕方によって大幅に変化するものである。ところが従来の慣用値は、降雨の強さや

継続時間には無関係に、あたかも工種や用途地域に特有な降雨の減衰係数のような一定の割合で示され、しかも計画面でのアッパーリミットとしては小さめの感がある。

4・2 実流域での損失機構の定量的検討

4・2・1 調査の概要

雨水流出現象を長期的に確実に観測することは、降雨の任意性からしてきわめて困難である。土木研究所では我が国の主要5都市でS42年度から雨水流出量調査を実施して来たが、水位自動測定器の開発などによってある程度確実な資料を得ることができた。ここでは本論の解析に当たった東京都谷端川排水区(図-4.5)の概要について述べよう。

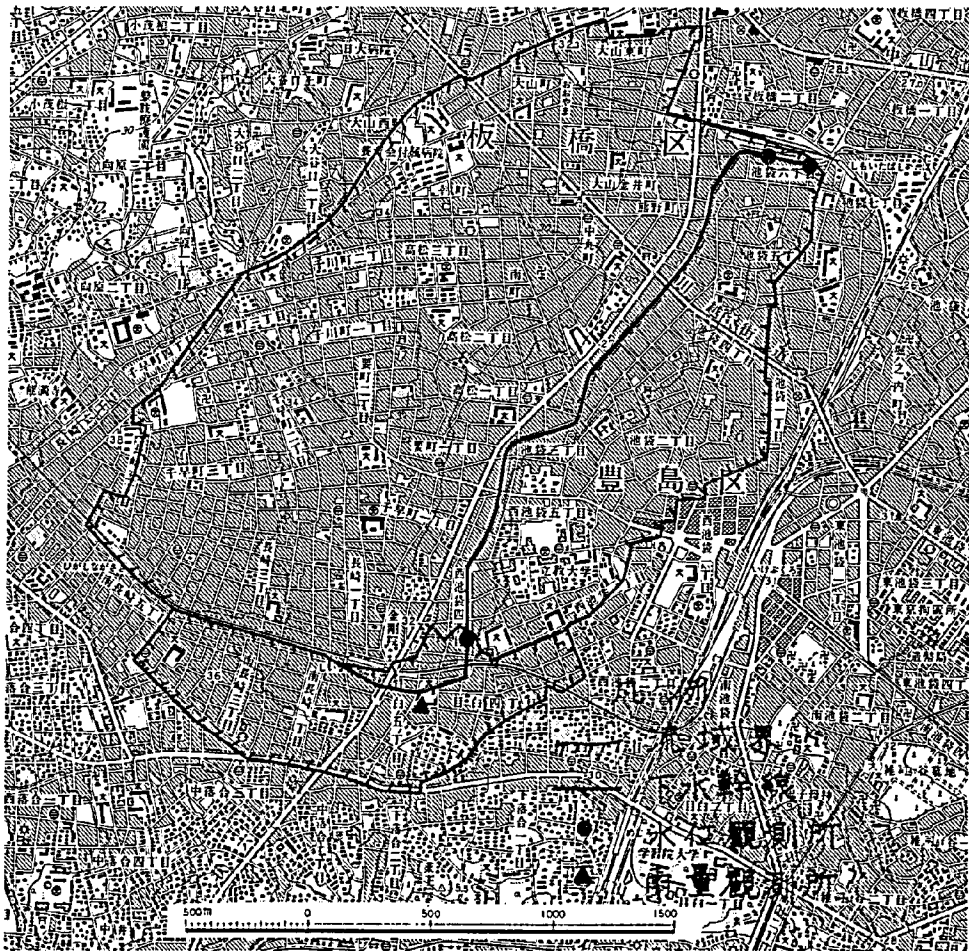


図-4・5 谷端川排水区の概要

表-4・5 調査排水区の概況

排水区名	総面積	工種別面積				地盤平均 勾配(%)	幹線延長 (%)	幹線平均 勾配(%)	総世帯数	総人口	人口密度	備考
		a	b	c	d							
谷端川	542.0 hr	(31.7) 171.4	(21.5) 116.6	(42.0) 228.0	(4.8) 26.0	1.44	3940	0.36	戸 60,227	人 155,091	人/ha 286	

(注) 工種区分は a. 建物(屋根) b. 簡易舗装, 高級舗装, 駐車場等
c. 未舗装, 間地, 鉄道敷, 運動場等, d. 公園, 芝生, 庭園, 畑, 等

排水区特性調査としては、排水区域面積、工種別面積、地盤平均勾配、晴天時平均汚水量
その他雨水流出量調査解析に必要な基礎調査を行なった。特性調査結果(表-4.5)に示す
ように同排水区はほとんど住宅地であり、不透水面積率は約53%になる。晴天時汚水量は
曜日や時間滞によってかなり変動するものであり、本解析では原則として降雨時の1日前あ
るいは1週間前等の同時刻の晴天時汚水量を雨天時流量から差し引いた。降雨資料はティー
セン法によって流域平均雨量を求めた。

4・2・2 雨水流出量調査結果

雨水流出現象に作用する個々の要素をある程度ミクロに追求する場合、データの信頼度が
その結果に大きく作用する。この解析に当り過去の観測結果を総点検し、明らかに不明確な
データは削除するか解析し直した。これらの不明確な主要点は、特に雨量計の時間のずれ、

表-4・6 雨水流出量調査結果(東京都谷端川流域)

No	観測年月日	ΣR (mm)	ΣQd (mm)	F (mm)	f _t	継続時間 (hr)	最大強度 (mm/hr)	平均強度 (mm/hr)	48時間内 前期雨量(mm)	備考
1	42. 5.10	37.50	19.04	18.46	0.51	4.0		93.7	0	
2	◇ 6.15	24.50	17.66	6.84	0.72	0.9	84.00	34.10	0	
3	◇ 6.22	12.72	7.89	4.83	0.62	9.5	11.50	1.30	7.5	12時間内
4	◇ 6.28	25.41	11.00	14.41	0.43	9.5	7.60	2.60	0	
5	◇ 7. 3	10.09	4.00	6.09	0.40	4.0	4.80	2.50	1.5	
6	◇ 7. 9	24.59	16.87	7.73	0.68	4.9	10.30	5.00	4.5	3時間から
7	◇ 7.24	8.87	3.56	5.31	0.40	2.2	10.10	4.00	0	
8	◇ 9.12	30.86	18.63	12.23	0.60	22.0	42.50	4.02	12.5	12時間後
9	◇ 9.18	11.98	4.96	7.02	0.42	9.6	3.40	1.25	0.22	24時間後
10	◇ 9.20	54.60	35.15	19.45	0.64	24.0	22.10	2.27	8.5	6時間1mm
11	◇ 9.30	11.94	6.89	5.05	0.58	5.2	6.97	2.30	4.4	12時間内
12	◇ 10.17	17.75	10.45	7.30	0.59	2.0	9.06	8.90	0	
13	◇ 10.27	80.93	37.75	43.18	0.47	21.5	40.50	3.76	0	
14	43. 6.21	11.82	5.74	6.08	0.49	1.1	4.120	10.70	5.6	24時間後
15	◇ 8.13	37.30	21.20	16.10	0.57	2.5	45.50	14.90	55.2	12時間後
16	◇ 8.26	20.40	11.87	8.53	0.58	6.5	14.80	3.14	17.5	24時間内
17	◇ 8.31	11.37	7.59	3.78	0.67	3.0	14.05	3.79	26.1	6時間内
18	◇ 9. 8	8.22	4.90	3.32	0.60	2.5	16.90	3.30	21.2	12時間内
19	◇ 9.24	12.90	6.64	6.30	0.51	3.6	9.90	3.60	0	
20	44. 6.21	34.09	15.43	18.66	0.45	8.0	24.00	4.30	0	
21	◇ 8.23	37.93	20.91	17.02	0.55	5.2	27.10	7.10	0	
22	◇ 9. 2	34.15	21.78	12.37	0.64	2.0	62.30	17.00	0	
23	◇ 9. 7	14.59	9.66	4.93	0.66	0.6	60.80	24.30	0	
24	◇ 9.16	16.32	9.60	6.72	0.59	1.3	44.00	12.60	0	
25	◇ 10. 8	41.25	20.20	21.05	0.49	11.7	13.11	3.52	0	
26	◇ 10.25	75.22	39.40	35.82	0.52	20.0	14.22	3.76	0	

及び晴天時汚水量の取り方に集約される。以下の解析に使用したデータは表-4.6に示しているが、観測期間中に設計降雨に匹敵するような大きな降雨が然んど無いため、大降雨での現象の解釈が困難であり推定の域を出ない。

4・2・3 損失機構の解析法

排水区域を浸透域と不浸透域に2分し、不浸透域からの直接流出量を Q_{imp} 、浸透域からの直接流出量を Q_p とすると、全流域からの直接流出総量 Q_T は、次式で表わされる。

$$Q_T = Q_{imp} + Q_p \quad (4.3)$$

そして(4.3)式の右辺各項は各々、

$$Q_{imp} = R_{imp} - D_{imp} \quad (4.4)$$

$$Q_p = R_p - D_p - \int_0^t f(t) dt \quad (4.5)$$

ただし、 R_{imp} : 不浸透域への降雨

D_{imp} : 不浸透域での凹地貯留量

R_p : 浸透域への降雨

D_p : 浸透域での凹地貯留量

$f(t)$: 浸透能

いま、凹地貯留量 D_{imp} 、 D_p を各々一定値と考えると全損失量 F は、 $F = K + \int_0^t f(t) dt$ で表わすことができる。

さて、浸透域からの流出が零と考えられるような弱雨を対象にした場合、流出に関与するのは $R_{imp} - D_{imp}$ だけとなり、(4.3)式は次のようになる。

$$Q_T = R_{imp} - D_{imp}$$

$$\therefore D_{imp} = R_{imp} - Q_T \quad (4.6)$$

また、必らず浸透域からも流出があり、しかも降雨継続時間の短い場合を考えると、

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_{imp} + Q_p = R - D_{imp} - D_p - \int_0^t f(t) dt \\ &= R - (D_{imp} + D_p + f_c \cdot t) \end{aligned} \quad (4.7)$$

ここで R : 総雨量、 f_c : 最終浸透能で近似、 t は降雨継続時間とする。以上のような考え方の基本点は、当所に述べたように都市域での流出機構が面的な2重構造に代表され、両者の流出現象がはなはだ違った現われ方をするということに帰する。次節次下の解析では、このような基本的な考え方を基礎にして実資料を定量的に解析したものである。かかる解析法を適用するに当っては排水区内の代表工種(不浸透域、浸透域)と下水管渠との接続の仕方が実際どうなっているかという事が重要なポイントである。こゝで解析した谷端川排水区では節4.1.1.でも述べたように各工種がそれぞれ独立に下水管に直結している場合がほとんどであるが、都市(あるいは地域)によっては不浸透域の雨水が一端浸透域を通過して下水管へ

流入するような場合も見られる。しかる場合には前述のような解析法（流出現象）とはかなり異なったものになる。

4・2・4 損失量の定量的検討

表-4.6に示す雨水流出量調査結果から、前節の考え方に立脚して浸透域からの流出が零と考えられるような弱雨（降雨継続時間内の平均雨量強度が 5 mm/hr 以下）と、必らず浸透域からの流出も発生すると思われ、しかも降雨継続時間の短かい強雨（降雨継続時間内の平均雨量強度が 10 mm/hr 以上）の2組のデータを抽出した。また前者の弱雨については降雨前48時間以内に前期降雨がある場合とない場合の2組に明確に区分される。

このように区分した資料について、総雨量（ ΣR ）と総損失量（ F ）の関係をプロットすると、図-4.6に示すように、弱雨については前期降雨の有無別に明確な直線関係にあることが伺える。ちなみに両者の ΣR と F の関係を直線近似して回帰式を求めると、

i) 48時間以内に前期降雨が無い場合

$$F = 0.50 \Sigma R + 0.94 \quad (4 \cdot 8)$$

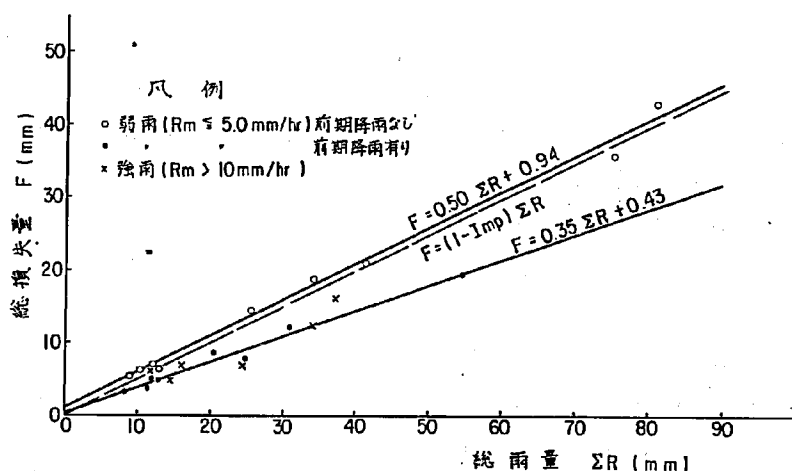


図-4・6 総雨量 ΣR と総損失量 F の相関

ii) 48時間以内に前期降雨がある場合

$$F = 0.35 \Sigma R + 0.43 \quad (4 \cdot 9)$$

また、強雨の場合には前期降雨の有無による影響はほとんど見られず、弱雨で前期降雨がある場合とほとんど等しい傾向を示している。

以上の如く、弱雨で前期降雨が無い場合には、まったく浸透域からの流出がないものと見

なすことができよう。この場合、 $\Sigma R = 0$ の時 $F = 0.94$ となり、この値を不透透域での凹地貯留量 D_{imp} と解釈できる。前記参考文献によると、不透透域での $D_p = 6.35mm$ 、初期損失能 $f_0 = 76.2mm/hr$ 、最終不透透能 $f_c = 13.4mm/hr$ という値が報告されており、ここで検討したような平均強度が $5mm/hr$ 以下という弱雨の場合には、まったく不透透域からの流出が発生しないという仮定は正当であろう。また同文献によると Pavement (舗装)の凹地貯留量の平均値は $1.59mm$ と報告されている。この値と上記の $D_{imp} = 0.94mm$ とを直接には比較できないが、おおよそ妥当な値を示しているものと思える。一方、図-4.6の直線の勾配が $(1 - imp)$ を示しているものとも考えることもできよう。排水区特性調査結果(表-4.5)によると、不透透面積率 $imp = 0.53$ となり、(4.8)式の $imp = 0.50$ とほぼ同一値を示し上記の見解が正しいことを示すものである。

このように弱雨でしかも前期降雨が無い場合には、不透透域からの流出はほとんどなく、流出係数は排水区の不透透面積率 imp にほぼ等しいと考えて大過ないだろう。ただ弱雨(前期降雨無し)でも総雨量の非常に大きな降雨データがないため、総雨量が極めて大きくなった場合、 $\Sigma R - F$ の直線関係がどうなるか実証するすべもないが、ホルトンの不透透能式が肯定される以上、即ち、最終不透透能 f_c が存在する以上 $\Sigma R - F$ の間には直線関係が保持されよう。しかし最終不透透能 f_c の存続は怪しいもので本年度(S45年度)の解析結果を見ても ΣR がある程度大きくなると頭打ちになる傾向が見られる。これらの実証のためにも大降雨の実測資料が是非有用で今後の観測の続行が望まれる。

一方、弱雨の場合でも前期降雨がある場合(強雨の場合もほぼ等しい傾向を示す)には、不透透域からの流出も合成されたものであると考えられ、流出係数は 0.65 前後になるものと思える。前述のように直線の勾配が $(1 - imp)$ を示していると解釈すると、降雨の強度や前期降雨の有無によって不透透面積率(imp)は変化するものであると考えられよう。即ち不透透域の1部は粗度の大きな不透透域と看做されるようになる。

表-4.7 降雨別平均流出係数

前述した弱雨で前期降雨の有無、強雨および両者の中間的な降雨の4通りについて表-4.6の調査結果から各々流出係数の平均値を求めると表-4.7のようになる。上述した値に凹地貯留量を加味するとほぼ妥当な値を示しているものと思われる。例えば、弱雨で前期降雨がなく、総雨量が $20mm$ の場合の流出係数を求めると、(4.8)式から $F = 10.94mm$ となり、流出係数は $f = 9.06/20 = 0.453$ と

降雨分類	流出係数
弱雨・前期降雨無し	0.45
" " 有り	0.62
強雨(平均強度 $10mm/hr$ 以上)	0.61
中間	0.55

なる。

次に強雨の場合について、降雨継続時間(t)と総損失量 F の関係を図示すると図-4.7のようになる。降雨初期の段階では浸透損失に加えて、凹地貯留に供給される量が総損失量となるため、はなはだ複雑で不明瞭であるが、凹地貯留量は限られた量である。しかも強雨ではほとんどの場合が降

雨開始から1時間前後で最終浸透能に近づいている(参考文献)、という実測結果を参照して図-4.7を検討してみた。

強雨の観測値が非常に少ないため、確たることは言えないが、継続時間のある程度長い部分(大体1時間以上)に着目すると、 $t-F$ の関係はほとんど直線になっている。前にも述べ

たようにホルトン浸

透能式を肯定するならば、この直線の勾配を最終浸透能 f_c と看做することができよう。図から判断すると谷端川排水区での最終浸透能 f_c は $6 \sim 8 \text{ mm/hr}$ 程度と解釈される。前述したように参考文献によると $f_c = 13.4 \text{ mm/hr}$ という値が示されているが、この場合は浸透域が芝生である。ところが谷端川排水区では、浸透域の大半が締め固まった裸地が多いことなどを勘案すると上記の値がそんなにおかしな値でもなさそうである。ちなみに我が国の宅地(吉原市)での観測結果によると $f_c \approx 6 \text{ mm/hr}$ という値が報告されている。⁴⁾ 弱雨の場合でも同様であるが、特に強雨になるとその観測資料が非常に少なくなり解析が極めて困難である。降雨初期状態についてはほとんど解析することが出来なかった。今後、より正確な観測資料の蒐集によって初期浸透能の定量的検討等を進める必要がある。ここで本節での解析結果を簡単にまとめてみると、

1) 都市域ではその流出構造が浸透域と不透透域の2大工種で代表される2重構造である。

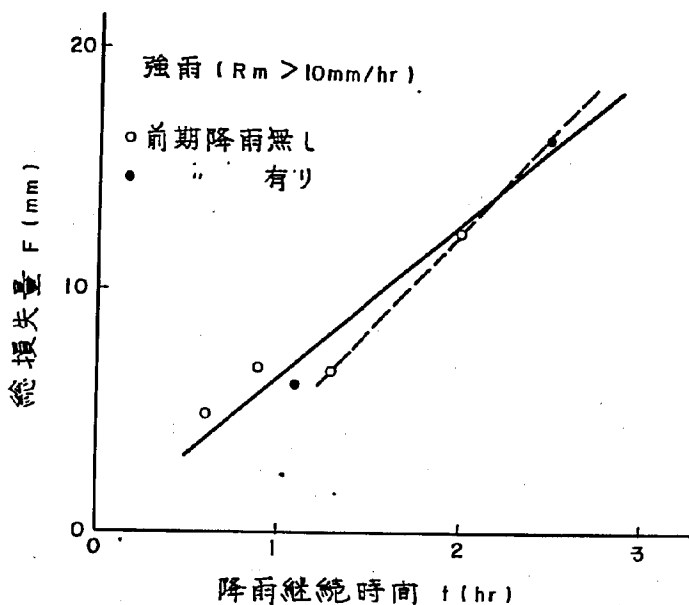


図-4.7 継続時間 t と F の関係(強雨の場合)

2) 不浸透域での雨水損失は凹地貯留による損失が1mm前後であり、流出係数はほぼ1に近い。

3) 弱雨でしかも前期降雨が無い場合には、流出係数は排水区の不浸透面積率 imp にほぼ等しい。

4) 浸透域では住宅地等の最終浸透能がほぼ7mm/hr前後である。

5) 弱雨では前期降雨の有無によって流出現象は一変するが、強雨ではその影響があまりない。

6) 不浸透率 imp は一定不変のものではなく、雨が強くまた総量が大きくなると、浸透域の一部も粗度の大きな不浸透域と看做されるようになり、不浸透率 imp は雨の強さや大きさによって変化すると解釈される。

このように都市域では非常に小さな降雨時でも表面流出が見られる過去の観測結果とも良く適合している。

4・3 本章の終りに

下水道計画における雨水流出量算定の問題は、河川における高水流量計画と同じ目的を持つものである。両者の主な相違点は河川流域が自然的要素を多く含んでいるのに対して、都市域では人工的要素が多いこと及び流域の広狭の他、河川では現象の変化が緩慢なのに比して、都市域では極めて急激である。この事実は本解析の着眼点である。即ち都市域での流出構造が浸透域と不浸透域の2大工種からなる2重構造で、各工種は各々下水管に直結しているため、不浸透域への降雨のほとんどが短時間に流出するためである。浸透域についても山地河川に比して植生が少なく、締め固められた裸地が多く、浸透能は植生のある場合に比して1/3~1/7.5に減少することがあると言われている。⁷⁾ 事実、谷端川排水区での流出量観測結果から通減係数 α を求めてみると、大体 $\alpha = 0.05 \sim 0.1$ 位の値を示し浸透能の回復にもかなりの時間を要することが解った。通減係数 α の大小によってある程度浸透能の回復速度を知ることができる。即ち、浸透能回復曲線はホルトンの浸透能式から次式で表わされる。⁹⁾

$$f = (f_0 - f_c) (1 - e^{-\alpha t}) + f_c \quad (4.10)$$

前述したように(4.10)式中の $e^{-\alpha t}$ は排水区の保水状態を表わすものであり、 $(1 - e^{-\alpha t})$ は損失能回復特性を示すと考えられる。図-4.8は $(1 - e^{-\alpha t})$ と t の関係を示したものである。谷端川排水区 ($\alpha = 0.05 \sim 0.1$) では浸透能の回復に長時間を要することがわかり、本節で検討した降雨初期状態の示標として降雨前48時間内の前期雨量を取ったが、上述のような浸透能回復時間と勘案しても妥当なところであるようだ。

現在まで、いや将来においてもピーク流量算定公式としての合理式の有用価値は大きいだろう

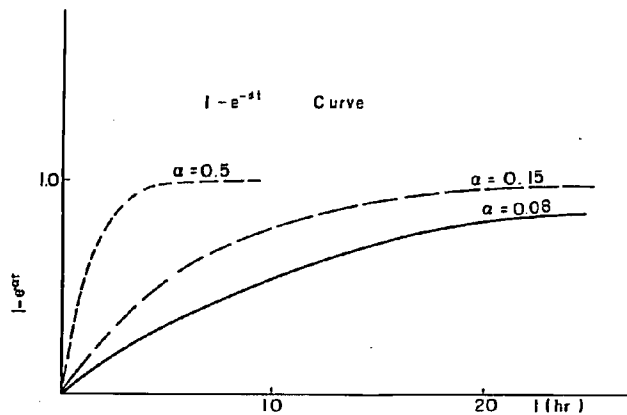


図-4・8 損失回復特性曲線

りが、従来、合理式 ($Q = C i A$) の構成要素の内、最っとも不明確でしかも影響力の大きな流出係数 C の取り方があいまいであったことは隠せない。節 4.1.2 でも指摘した如く、雨の強さや継続時間の変動につれて変化する値である。従って、都市域での流出計算法は、マクロな合理式によるにしても、浸透域と不浸透域に対して有効雨量が 2 種になり、貯留関数等による場合にはさらに流出常数が 2 種加わってこれらの合成された形で計算することになる¹⁷⁾。その方がより合理的であろう。

いずれにしても都市域では、従来の従来の流出計算法をそのままの形で適用できないことはないが、計画面からの将来予測という観点に立つと、現状の流出計算法では不適確なことは明らかであり、都市化現象を包含できるような流出計算法の解明が要望される。

第5章 都市域での流出の実態

〔要旨〕

本章は、実排水区における総合的な流出の実態として流出係数、流達時間、流入時間等の実態を中心に、第4章の解析法に準じて、実排水区での損失機構の実態をより定量的に解明しようとしたものである。本章は、前年度の調査と内容的にも継続するものであり、今年度の調査結果と合わせて、2ケ年間の資料に基づいて検討している。

5・1 調査方法及び排水区の概況

5・1・1 調査方法

(1) 排水区域特性調査

特性調査としては、排水区域面積、工種別面積、地盤平均勾配、排水区域内総人口、人口密度、晴天時平均汚水量、その他雨水流出量調査解析に必要な排水区特性の基礎的な調査を行なう。

工種面積区分は、下記のとおりとした。

- (a) 建物（屋根）
- (b) 簡易舗装、高級舗装、駐車場等
- (c) 未舗装、間地、鉄道敷、運動場等
- (d) 公園、芝生、庭園、田畑等

尚、総人口は住民登録人口とし、晴天時平均汚水量は晴天時の平均水量とする。調査排水区の概況は表－5.1～表－5.3に示している。相対的に見て都市化の進行状態は谷端川排水区の方が進んでいる。尚調査排水区的位置は図－5.1に示している。図－5.2、5.3は谷端川・桃園川排水区の観測所の配置及び幹線的位置などの概略を示している。

(2) 雨量調査

雨量調査は、定常観測として日巻貯水型雨量計を使用し、内1ヶ所は長期巻（1ヶ月）雨量計を併設した。雨量観測所の位置は、図－5.1、5.2に示す如く、排水区内に3～4ヶ所が均等に配分されるような場所を選定した。観測データはティーセン法によって流域平均雨量を求める。尚、ティーセン分割の比率は表－5.4～5.5に示すようになっている。

(3) 流出量調査

a) 洪水流量観測とH-Q曲線の作成

表－5.3および図－5.1、図－5.2に示すように、谷端川、桃園川両排水区とも上下流2ヶ所の定常時水位観測地点において、洪水流量観測を実施して同地点でのH-Q曲線を作成する。洪水流量の観測方法は、直線区間でのマンホールを利用して通常の河川

表-5・1 調査排水区の概況

調査排水区	総面積	工 種 別 面 積				公 園 児童遊園等	総世帯数	総 人 口			人 口 密度	摘 要
		a	b	c	d			男	女	合 計		
谷端川 (上)	ha 72.0	ha 19.9	ha 14.2	ha 26.4	ha 11.5	m ²	戸	人	人	人	人/ha	
	(全)	542.0	171.4	116.6	228.0							
桃園川 (上)	104.2	33.9	12.2	53.6	4.5							
	(全)	510.6	184.3	65.9	243.0							
注) 工種区分は下記のとおりとする。 (a) 建物(屋根) (b) 簡易舗装, 高級舗装, 駐車場等 (c) 未舗装, 間地, 鉄道構内, 運動場等 (d) 公園, 芝生, 庭園, 畑等												
調査排水区	地 盤 平 均 勾 配 (%)		下 水 管 渠 幹 線 延 長 (m)		幹 線 平 均 勾 配 (%)							
谷端川 (上)	1.13		920		0.25							
	(全) 1.44		73,380		0.27							
桃園川 (上)	0.70		1,910		0.26							
	(全) 1.72		3,940		0.36							
注) 地盤平均勾配は下式によった。 $S = D \cdot L / A$ ただし, S : 地盤平均勾配												

表-5・2 幹線管渠の設計概要

	排除方式	降雨強度	確立年	確立強度式	流出係数	1人1日最大汚水量	時間最大汚水量	
東京都	合流式	50 mm/hr	35年	$i = \frac{5,000}{40+t}$	$f = 0.5$	540ℓ/人/day	810ℓ/人/hr	

S・40年版公共下水道統計による。

(注) S 42, 43年度調査結果によると $f = 0.7$ 位になっている。

表-5・3 観測地点概要

排水区名	区分	管渠形状、規模	直線距離	勾配	横流入状況	交通量状況	雨量計設置場所と状況	備考
谷端川	下流	矩形 6.0×3.3(m)	300 m	1.38 %	極小	小	板橋第二小学校校庭 板橋第五小学校 ◇	水位2点観測
	上流	◇ 3.5×4.9	400	1.60	小	無	真和中学校屋上	水位1点観測
桃園川	下流	◇ 3.3×4.7	350	2.76	極小	◇	桃園第三小学校校庭 馬橋小学校校庭	◇
	上流	◇ 3.0×3.9	130	3.02	小	◇	若杉小学校 ◇	◇

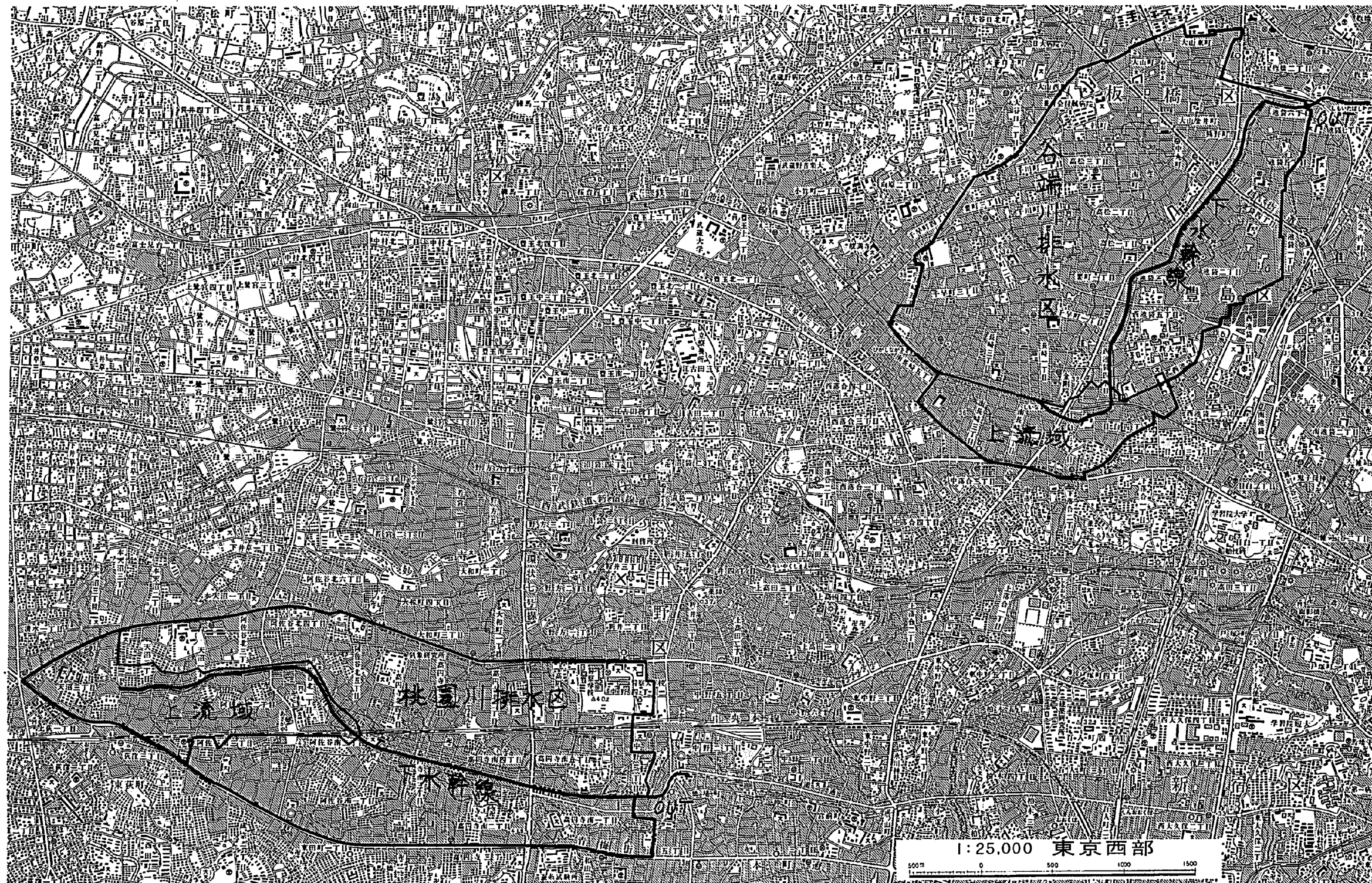


图5-1 調査排水区位置图

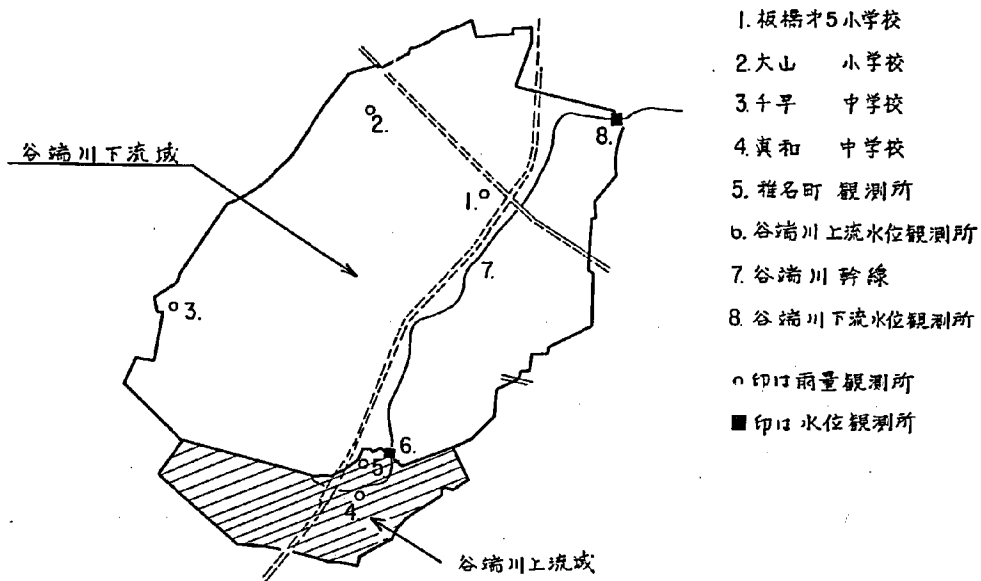


図-5・2 谷 端 川 流 域

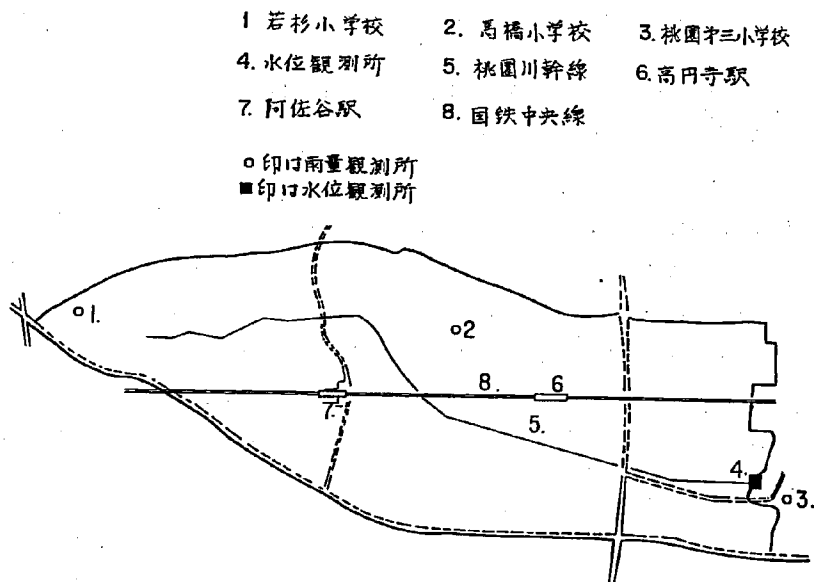


図-5・3 桃 園 川 流 域

表-5・4 谷端川ティーンセン係数表

大山小学校	板橋第5小学校	千早中学校	稚名町観測所
0.16	0.33	0.20	0.31
	0.47	0.22	0.31
0.43		0.20	0.37
0.23	0.32		0.45
0.16	0.44	0.40	
		0.41	0.59
0.49			0.51
0.36	0.64		
	0.52		0.48
0.53		0.47	
	0.58	0.42	

表-5・5 桃園川ティーンセン係数表

若杉小学校	馬橋小学校	桃園第3小学校
0.182	0.592	0.227
	0.773	0.227
0.475		0.525
0.182	0.813	

(斜線は欠測の場合)

(斜線は欠測の場合)

や水路で行なり観測方法を若干変更した方法によったが詳細は前年度の報告書を参照されたい。以下の流出量解析には、上記のH-Q曲線を下式によって水位一流出量強度に換算したH-q曲線が基礎になる。

$$q = \frac{Q}{A} \times 3.6 \times 10^6 \quad (5 \cdot 1)$$

ただし、Q：流出量 (m³/s)，A：排水区面積 (m²)

q：流出量強度 (mm/hr)

b) 定常時水位観測

降雨は極めて任意性に富んだ自然現象であり、それに伴う雨水流出量を長期的に確実に観測を行なうには、幾多の制約条件を克服しなければならない。即ち、降雨がいつ始まっていつ終るかの正確な予測ができないこと。また都市域では、降雨と流出の時間差が極めて短かく短時間間隔の連続測定を行なわねばならないこと。あるいは設計降雨条件を満足する降雨が少ないこと。またきわめて悪条件の作業であり、夜間作業が多くなる等の労働条件の制約等から、長期的に確実に観測を行なうためには、自動観測が必要であることは言うまでもないことである。

このようなことから定常時水位観測には、土木研究所で開発した雨水流出量自動測定器を設置し、上記の制約を克服しえた。本装置の機構の詳細については、参考文献「雨水流出量測定の自動化」¹³⁾に譲ることにするが、本器について簡単に説明すると、図-5.4に示すように送信部、受信部および記録計とから主機構はなっており、2分または10

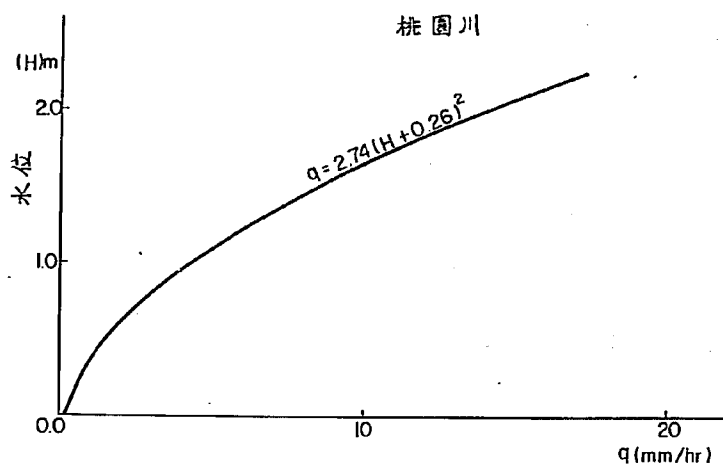


圖 5 - 5 H - q 曲線

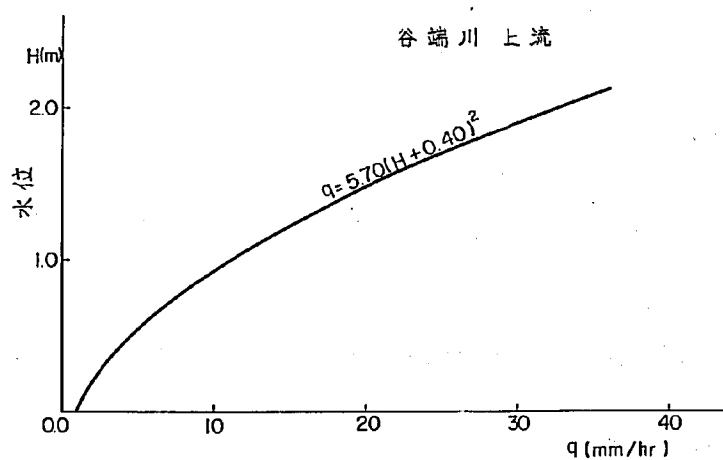


圖 5 - 6 H - q 曲線

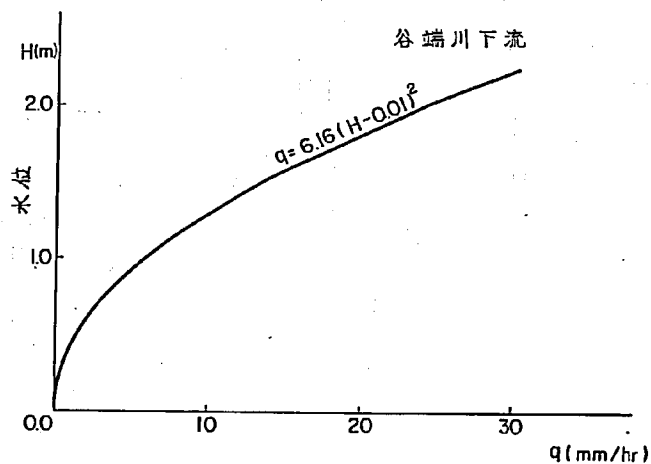


圖 5 - 7 H - q 曲線

分間隔に水位の測定を自動的に行なうものである。本観測では2分間隔に水位を自動測定するようにセットしている。写真1～4は、各観測地点の様子を示したものである。これらの観測結果による水位データの整理方法は、対象にした降雨の出水時の記録紙から5分間隔に

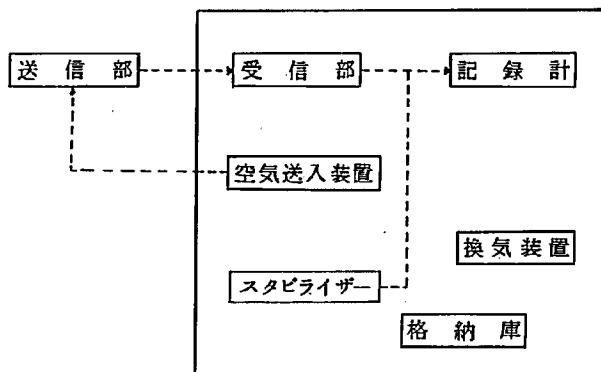


図-5.4 水位自動測定器構成図

水位を読みとり、前述したH-q曲線から流出量強度に換算する。本年度の解析に使用したH-q曲線式は各々図-5.5～図-5.7に示している。

5.2 資料解析方法及び結果

前節の方法で得られたデータをもとに、合理式の流出係数、流達時間、流入時間、単位排水区の等価粗度係数等の計算結果は、表-5.6～表5.8および表-5.9～表-5.11に示している。

1) ピーク流出係数 (Op)

石原・高棹の理論及び一般河川で用いられる方法で図-5.8に示すようにして図式的に求めた。ここで

$$\left. \begin{aligned} Op(1) &= q_{max}/iave(1) \\ Op(2) &= q_{max}/iave(2) \end{aligned} \right\} (5.2)$$

ただし、iave(1)はt内の平均降雨強度(mm/hr)
iave(2)は2tg内の平均降雨強度(mm/hr)

2) 総流出係数 (Ot)

総流出係数は次式によって求めた。

$$Ot = \frac{\text{直接流出総量}(Q_r)}{\text{総雨量}(\Sigma R)} (5.3)$$

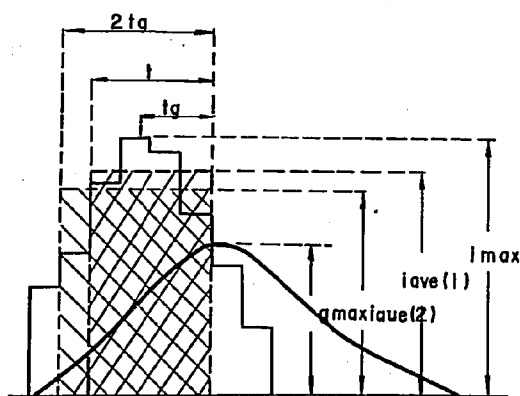


図-5.8 流達時間及び平均強度の図式法

表-5.6 調査結果一覧表(桃園川排水区)

No	観測月日	総雨量 ΣR (mm)	直接流出 総量 Q_T (mm)	総損失量 F (mm)	総流出 係数 C_t	降雨継続 時間 T (hr)	最大強度 i_{max} (mm/hr)	T内平均 強度 (mm/hr)	流速時間		平均強度		q_{max} (mm/hr)	ピーク流出 係数 C_p		前期雨量				t_2 (min)	t_1 (min)	備考
									t (min)	2tg (min)	① i_{ave} (mm/hr)	② i_{ave} (mm/hr)		①	②	6	12	24	48			
1	45. 3.15	23.98	8.10	15.88	0.338	11.17	9.20	2.15	45	25	6.19	6.56	2.70	0.436	0.412	0.0	0.0	0.0	0.0	23.9	21.1	
2	5.20	33.58	14.36	19.17	0.428	5.25	13.60	63.9	30	15	12.12	11.90	7.40	0.610	0.622	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	10.6	
3	5.26	8.08	2.61	5.47	0.323	1.83	16.32	4.42	25	35	11.32	8.66	3.50	0.309	0.404	0.9	0.9	0.9	0.9	22.5	2.5	
4	7. 3	7.10	3.42	3.68	0.482	4.67	12.00	1.52	30	45	4.80	3.20	2.25	0.469	0.703	0.0	0.0	8.7	73.8	24.0	6.0	
5	7. 6	15.60	11.15	4.45	0.660	8.25	18.00	2.58	50	55	8.16	8.17	5.05	0.619	0.618	7.7	7.7	8.4	15.1	21.7	28.3	
6	9.15	12.13	3.82	8.31	0.315	1.25	25.08	9.70	30	35	14.65	12.90	6.40	0.437	0.496	4.4	4.6	5.1	10.5	20.0	10.0	
7	9.19	10.42	3.09	7.33	0.297	4.3	11.40	2.42	45	25	4.08	5.76	1.95	0.478	0.338	0.2	1.0	2.9	3.0	25.0	20.0	

表-5.7 調査結果一覧表(谷端川下流排水区)

No	観測月日	総雨量 ΣR (mm)	直接流出 総量 Q_T (mm)	総損失量 F (mm)	総流出 係数 C_t	降雨継続 時間 T (hr)	最大強度 i_{max} (mm/hr)	T内平均 強度 (mm/hr)	流速時間		平均強度		q_{max} (mm/hr)	ピーク流出 係数 C_p		前期雨量				t_2 (min)	t_1 (min)	備考
									t (min)	2tg (min)	① i_{ave} (mm/hr)	② i_{ave} (mm/hr)		①	②	6	12	24	48			
1	45. 6. 1	39.73	18.77	20.96	0.472	6.58	21.60	6.04	30	45	10.82	12.54	7.05	0.652	0.562	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	20.8	A'
2	7. 1	103.29	62.47	40.82	0.605	31.50	16.70	3.28	35	45	12.50	12.77	9.21	0.737	0.721	0.3	2.2	2.2	2.3	9.7	25.3	B'
3	7. 3	12.89	6.95	5.94	0.539	2.67	14.50	4.85	35	45	6.33	5.70	3.93	0.621	0.689	0.1	0.1	5.7	104.9	12.4	22.6	C'
4	7. 6	29.11	21.24	7.87	0.730	12.42	14.80	2.34	50	60	9.35	8.75	6.58	0.704	0.752	0.0	0.15	0.4	0.5	11.4	38.6	
5	7.19	5.43	1.19	4.24	0.220	0.67	20.89	8.14	40	45	8.15	7.24	2.18	0.267	0.301	0.0	0.0	0.0	0.5	14.8	25.2	
6	8. 2	7.27	5.23	2.04	0.719	4.00	13.60	1.82	25	25	10.46	10.46	6.00	0.574	0.574	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	15.1	D'
7	9. 3	15.00	6.58	8.42	0.439	0.75	30.20	20.00	25	25	29.96	29.96	13.70	0.457	0.457	0.0	0.1	0.3	0.4	7.3	17.7	E'
8	10.10	11.14	4.69	6.45	0.421	3.25	14.40	2.13	55	55	8.56	8.56	3.65	0.426	0.426	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	42.9	
9	10.13	13.75	6.34	7.41	0.461	9.50	10.70	1.45	35	45	6.70	8.00	3.40	0.507	0.425	0.0	0.0	0.1	0.4	12.2	22.8	
10	10.17	26.21	10.58	15.63	0.404	13.00	12.00	2.02	50	55	6.29	6.11	3.15	0.501	0.516	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	36.7	

表5・8 調査結果一覧表(谷端川上流排水区)

No.	観測月日	総雨量 YR (mm)	直接流出 総量 Q _r (mm)	総損失量 F (mm)	総流出 係 C _t	降雨継続 時間 T(hr)	最大強度 i _{max} (mm/hr)	T内平均 強度 (mm/hr)	流速時間		平均強度		q _{max} (mm/hr)	ピーク流出 係数 C _p		前期雨量				t ₂ (min)	t ₁ (min)	備考
									t (min)	2tg (min)	① j _{ave} (mm/hr)	② j _{ave} (mm/hr)		①	②	6	12	24	48			
1	43. 6.10	671.0	35.35	31.75	0.526	11.58	39.60	5.79	25	15	28.32	28.00	23.00	0.812	0.821	0.0	1.5	3.0	15.4	12.2	12.8	
2	6.16	32.90	12.23	20.67	0.338	10.33	26.40	3.18	35	15	10.46	16.40	7.25	0.693	0.442	4.5	4.5	5.3	5.9	11.9	23.1	
3	6.21	11.50	4.07	7.43	0.354	2.08	27.60	5.53	20	30	18.00	14.00	9.25	0.514	0.661	0.0	0.0	0.8	5.8	12.1	7.9	
4	6.22	7.40	3.08	4.32	0.416	1.00	24.20	7.40	35	30	11.48	12.60	8.90	0.775	0.706	0.0	0.0	0.2	11.4	12.0	23.0	
5	6.25	6.20	1.80	4.40	0.290	0.92	21.60	6.73	20	35	6.60	3.94	2.50	0.379	0.634	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	8.6	
6	8.26	45.70	13.55	32.15	0.296	19.83	24.00	23.0	(30)	(20)	12.80	14.70	(4.10)	0.320	0.279	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	18.1	
7	44. 5.11	26.50	7.28	19.22	0.275	8.42	21.60	3.15	35	25	12.00	10.32	5.30	0.442	0.514	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	22.9	
8	5.17	17.30	8.26	9.04	0.477	2.50	48.00	6.92	20	25	11.48	13.92	8.45	0.736	0.607	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	8.7	
9	5.19	5.00	1.40	3.60	0.280	1.00	14.40	5.00	25	25	27.90	22.80	18.00	0.645	0.789	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	15.8	
10	5.30	15.70	7.07	8.63	0.450	2.83	24.00	5.55	20	25	8.64	8.64	2.45	0.284	0.284	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	8.2	
11	8.23	38.50	17.95	20.55	0.466	3.58	43.20	10.74	30	25	20.10	17.04	12.40	0.617	0.728	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	19.1	
12	8.28	9.40	3.34	6.06	0.355	0.83	42.00	11.32	25	25	23.20	24.72	22.70	0.978	0.918	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	13.6	
13	9. 4	8.70	3.24	5.46	0.414	2.50	18.00	3.48	40	40	17.28	17.28	13.80	0.799	0.799	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	28.1	
14	9. 7	12.00	8.10	3.90	0.675	0.92	5.400	13.04	15	15	9.90	9.90	3.75	0.379	0.379	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	4.9	
15	9.16	15.20	5.16	10.04	0.339	1.42	30.00	10.73	25	40	40.27	40.27	29.50	0.732	0.732	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	13.0	
16	9.17	24.00	11.98	12.02	0.499	3.67	50.40	6.54	20	25	22.56	14.10	8.25	0.366	0.585	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	17.1	
17	9.20	22.90	5.64	5.64	0.306	4.25	46.80	5.39	30	35	27.60	22.48	19.45	0.705	0.865	0.8	1.1	17.1	17.1	11.2	8.8	
18	10. 8	41.80	12.59	29.21	0.301	11.58	13.20	3.61	30	25	26.40	23.48	13.15	0.498	0.560	0.2	0.2	0.2	0.4	11.8	18.2	
19	10.25	72.00	28.71	43.29	0.339	23.42	25.20	3.07	20	25	9.00	9.12	5.15	0.572	0.565	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	17.9	
20	45. 5.17	49.00	19.25	29.75	0.393	15.08	12.00	3.25	35	45	18.90	16.32	11.80	0.624	0.723	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	7.8	
21	5.20	38.20	14.79	23.41	0.387	4.58	16.80	8.34	40	35	8.57	8.13	4.85	0.566	0.596	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	23.2	
22	5.26	10.00	3.12	6.88	0.312	0.75	31.20	13.33	25	35	14.10	13.88	7.85	0.557	0.566	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	28.0	
23	6. 1	40.90	13.92	26.98	0.340	6.42	21.60	6.37	20	25	21.76	16.46	6.10	0.280	0.370	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	13.0	
24	6.14	(13.10)	(2.95)	(10.15)	(0.225)	(7.00)	(13.20)	(18.7)	25	15	16.20	14.88	7.70	0.475	0.517	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	6.0	A
25	6.21	45.70	18.80	26.90	0.412	22.50	13.20	2.03	15	15	9.36	9.60	4.40	0.470	0.458	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	12.9	
26	7. 1	102.70	44.81	57.89	0.436	25.25	19.20	4.07	35	35	43.60	43.60	13.90	0.319	0.319	0.1	5.1	5.6	10.6	11.6	3.4	
27	7. 6	31.80	12.59	19.21	0.396	17.67	18.00	1.80	15	15	16.46	16.46	10.60	0.644	0.644	0.7	0.7	0.7	0.7	15.7	19.3	B
28	8. 2	5.60	2.79	2.81	0.482	0.50	14.40	11.20	20	20	10.40	10.40	5.65	0.543	0.543	4.4	4.5	4.9	5.0	12.0	3.0	C
29	9. 3	7.10	2.18	4.92	0.307	0.50	5.400	14.20	15	25	13.50	13.50	8.50	0.630	0.630	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	7.8	D
30	9.15	8.20	1.89	6.31	0.230	3.42	24.00	2.40	15	15	26.40	15.84	8.75	0.331	0.552	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	2.8	E
31	9.19	14.20	4.75	9.45	0.334	3.00	13.20	4.73	25	15	11.60	11.60	3.10	0.267	0.267	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	3.1	
											9.84	8.40	5.75	0.684	0.584	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	12.9	

表-5・9 単位排水区の等価粗度係数値

(桃園川)

No	観測月日	流入時間 t_1 (sec)	平均降雨強 度(mm/hr)	等価粗度係数 $Ne(m^{-1/3} \cdot sec)$	備考
1	45. 3.15	1266	6.19	0.0245 ~ 0.0635	
2	5.20	636	12.12	0.0118 ~ 0.0318	
3	5.26	150	11.32	0.00106 ~ 0.00286	
4	7. 3	360	4.80	0.00260 ~ 0.00700	
5	7. 6	1698	8.16	0.0475 ~ 0.121	
6	9.15	600	14.65	0.0124 ~ 0.0325	
7	9.19	1200	4.08	0.0174 ~ 0.0456	

表-5・10 単位排水区の等価粗度係数値

(谷端川下流)

No	観測月日	流入時間 t_1 (sec)	平均降雨強 度(mm/hr)	等価粗度係数 $Ne(m^{-1/3} \cdot sec)$	備考
1	45. 6. 1	1248	10.82	0.0325 ~ 0.0815	
2	7. 1	1518	12.50	0.0487 ~ 0.119	
3	7. 3	1356	6.33	0.0261 ~ 0.0665	
4	7. 6	2316	9.35	0.0810 ~ 0.199	
5	7.19	1512	8.15	0.0365 ~ 0.0939	
6	8. 2	906	10.46	0.0186 ~ 0.0471	
7	9. 3	1062	29.96	0.0483 ~ 0.115	
8	10.10	2574	8.56	0.0900 ~ 0.225	
9	10.13	1368	6.70	0.0275 ~ 0.0699	
10	10.17	2202	6.29	0.0580 ~ 0.145	

表-5・11 単位排水区の等価粗度係数値

(谷端川上流)

No	観測月日	流入時間 t_1 (sec)	平均降雨強 度(mm/hr)	等価粗度係数 $Ne(m^{-1/3} \cdot sec)$	備考
1	43. 6.10	768	28.32	0.0228 ~ 0.0572	
2	6.16	1386	10.46	0.0319 ~ 0.0834	
3	6.21	474	18.00	0.00750 ~ 0.0202	
4	6.22	1380	11.48	0.0338 ~ 0.0850	
5	6.25	516	6.60	0.00470 ~ 0.0125	
6	8.26	1086	12.80	0.0246 ~ 0.0630	
7	44. 5.11	1374	11.48	0.0335 ~ 0.0861	
8	5.17	522	27.90	0.0145 ~ 0.0380	
9	5.19	948	8.64	0.0152 ~ 0.0395	
10	5.30	492	20.10	0.00890 ~ 0.0235	
11	8.23	1146	23.20	0.0392 ~ 0.0980	
12	8.28	816	17.28	0.0187 ~ 0.0470	
13	9. 4	1686	9.90	0.0424 ~ 0.108	
14	9. 7	294	40.27	0.00610 ~ 0.0152	
15	9.16	780	22.56	0.0211 ~ 0.0535	
16	9.17	528	27.60	0.0123 ~ 0.0312	
17	9.20	1092	26.40	0.0394 ~ 0.0980	
18	10. 8	1074	9.00	0.0192 ~ 0.0498	
19	10.25	468	18.90	0.0078 ~ 0.0200	
20	45. 5.17	1392	8.57	0.0285 ~ 0.0730	
21	5.20	1680	14.10	0.0544 ~ 0.1340	
22	5.26	780	21.76	0.0199 ~ 0.0509	
23	6. 1	360	16.20	0.00460 ~ 0.0122	
24	6.14	774	9.36	0.0114 ~ 0.0300	
25	6.21	204	43.60	0.00345 ~ 0.00900	
26	7. 1	1158	16.46	0.0315 ~ 0.0810	
27	7. 6	180	10.40	0.00110 ~ 0.0030	
28	8. 2	468	13.50	0.00635 ~ 0.0167	
29	9. 3	168	26.40	0.00180 ~ 0.00475	
30	9.15	186	11.60	0.00127 ~ 0.00340	
31	9.19	774	9.84	0.0120 ~ 0.0310	

ただし, $Q_r = \Sigma R - F = \Sigma Q_r - \Sigma Q_f$

F : 総損失量 (mm)

Q_r : 出水時流量 (mm)

Q_f : 晴天時汚水量 (mm)

尚, 晴天時汚水量は, 出水時の1日前あるいは1週間前等の晴天時の同時刻の流量とした。

3) 流達時間(t)および流下時間(t_2)

流達時間は図-5.8に示す t として図式的に求めた。一般に流達時間は流入時間(Inlets time)と流下時間(Time of flow in the storm drainage above the point in question)の和で構成される。こう言った訳で直接流達時間を測定することは厳密には不可能である。特に流入時間の測定ははなはだ困難である。この流入時間の算定法については前年度の報告書で詳述した。この算定式を導入するためにも流達時間あるいは流入時間の実態値の集積が重要な布石となる。即ち, これらの実態値から単位排水区の等価粗度係数を知ることができ, この等価粗度係数をあらゆる排水区について集積することによって(2.7)式を普遍的に適用可能となる。河道の流下時間 t_2 は, (2.8)あるいは(2.9)式によって求めた。また, 流入時間は, $t_1 = t - t_2$ として求める。

4) 単位排水区の等価粗度係数の算定

次式の Ne を逆算して求めた。尚, Ne には側溝などの粗度も含めたものである。

$$t_1 = \frac{698.83 (Ne \cdot B_1)^{3/5}}{i^{2/5} \cdot S_1^{3/10}} + \frac{54.92 (L_s \cdot Ne)^{3/4}}{I^{3/8} (S_2 \cdot i \cdot B_2)^{1/4}} \quad (5.4)$$

ここに, t_1 : 流入時間 (sec)

Ne : 等価粗度係数 ($m^{-1/3} \cdot sec$)

B_1 : 排水区の斜面長 15 m と 45 m

B_2 : 排水区の集水幅 20 m と 50 m

L_s : 排水区の流路長 20 m

i : 平均降雨強度 (石原・高棹の理論) (mm/hr)

S_1, I : 地盤平均勾配

S_2 : 道路側溝の横断勾配 10 %

上記の単位排水区の規模は, ある程度仮定する必要がある, 排水区内の下水管網や雨水ます配置等の調査結果から, その面積を0.04~0.1 ha として矩形流域にモデル化している。

5・3 解析結果の検討

本節での主要な検討事項は、第4章での損失量の定量的検討結果をより確実なものにし、しかも他排水区でも同様な検討を進めて、都市域での雨水損失機構をより明確なものにするよう努力したものである。尚、流達時間あるいは流入時間と降雨強度および等価粗度との関係等3者の相互関係を明らかにした。

5・3・1 雨水損失機構の検討（雨水損失量の定量的把握）

表-5.6～表-5.8に示した解析結果から、第4章で検討した解析方法に準じて同様の検討を行なった。尚、桃園川上流域については水位観測地点の条件が良好でなく、観測されたH-Q曲線にも全腹の信頼がおけないので本年度の解析は見合わせた。従って谷端川上下流及び桃園川下流での観測結果から、弱雨の場合について、総雨量 ΣR と総損失量 F の関係を図示すると、図-5.9～図-5.11に示すようになる。図に示す如く、谷端川上下流については前期降雨の有無による影響がある程度明確に現われているが、桃園川下流についてはその影響がはっきり見られない。弱雨でしかも前期降雨がない場合について各排水区の $\Sigma R-F$ の関係を比較してみると、

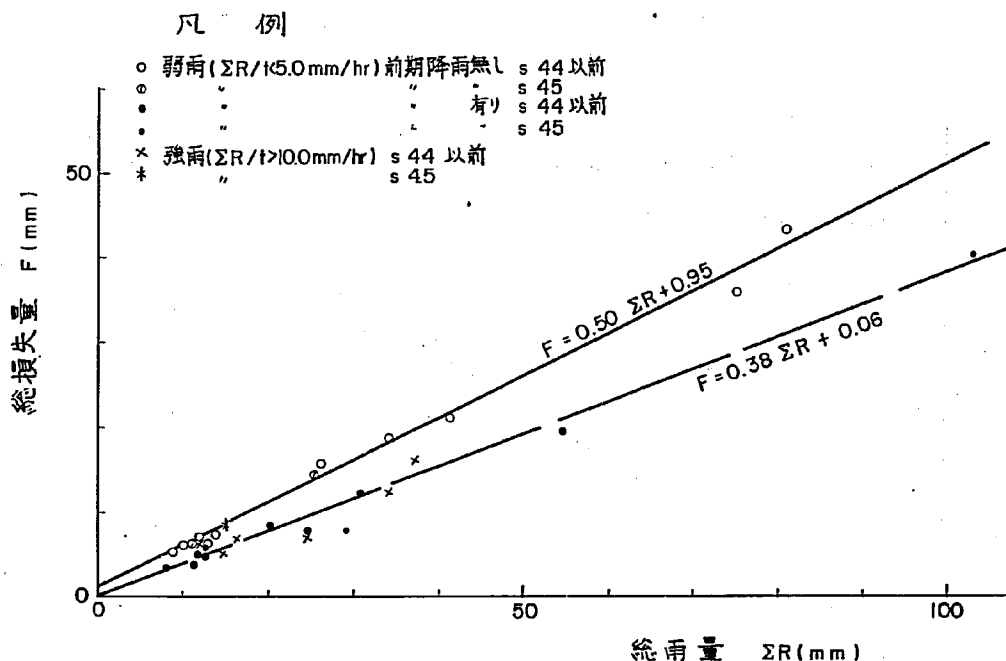


図-5・9 谷端川下流 $\Sigma R-F$ の相関

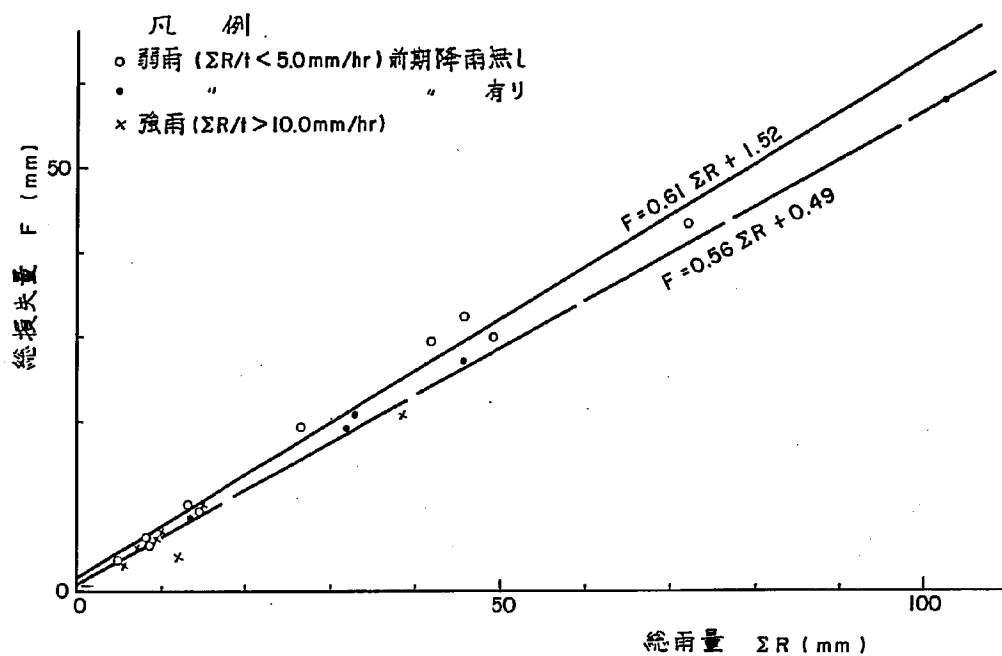


図-5・10 谷端川上流 $\Sigma R - F$ の相関

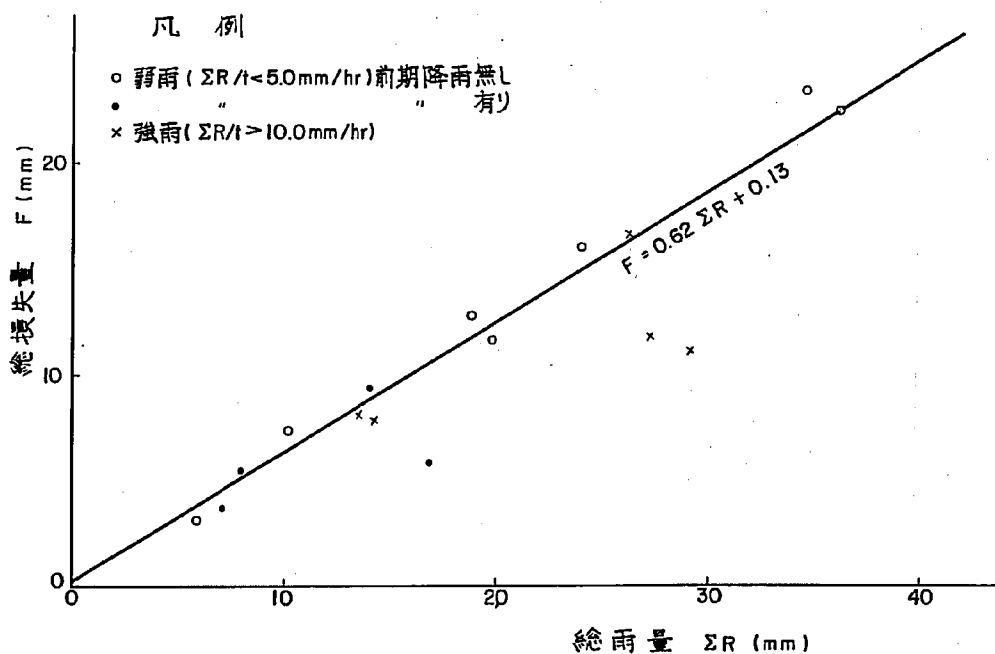


図-5・11 桃園川下流 $\Sigma R - F$ の相関

1) 谷端川下流において、

$$F = 0.50 \Sigma R + 0.95 \quad (5.5)$$

2) 谷端川上流において

$$F = 0.61 \Sigma R + 1.52 \quad (5.6)$$

3) 桃園川下流におい

$$F = 0.62 \Sigma R + 0.13 \quad (5.7)$$

これらの検討結果に第4章での検討過程をそのまま適用すると、谷端川下流については問題ないとして、谷端川上流、桃園川下流については排水区特性調査結果と比較した場合、多少の開きが見られる。雨水の流出場である流域、特に都市域で下水道の完備している排水区では、各工種に不透透域は下水管に直結しているという仮定の下に検討して来た。しかし(5.6)(5.7)式等の結果を見る限りもっと厳密な調査が必要であろうし、工種面積の測定にしても精度の高い測定が必要であることを反省させられる。流出量調査結果をそのまま信頼するとするなら谷端川上流、桃園川下流については不透透率が40%弱という結果になり、弱雨での流出率はおおよそ0.4前後になる。後述するように総流出係数を整理すると両流域共0.4前後の値を示すことが見出され、上述の解析方法あるいはその解釈の仕方には大きな相違のないことが立証される。このような結果から流出量解析をよりミクロに定量的に検討するためには、より厳密な工種面積の測定、より詳細な工種の接続の仕方等を調査することが重要である。

強雨については然んど観測データが少なく第4章以上に進んだ解析を進めることができなかった。ただ、最終浸透域 f_c の存在の有無が問題になり f_c の存在の有無によって $F-\Sigma R$ の直線関係が ΣR のある値以上から頭打ちになるかならないかの問題、即ち雨の総量の大小によって不透透率は変化する可能性がある。というのは浸透域の一部が粗度の大きな不透透域と看做されるようになる。

5.3.2 総流出係数とピーク流出係数

流出係数という意味には、一般に下記のように2通りの表現の仕方が取られている。

$$\text{ピーク流出係数} = \frac{\text{ピーク流出量}}{\text{平均降雨強度} \times \text{排水面積}} \quad (5.8)$$

$$\text{総流出係数} = \frac{\text{総流出量}}{\text{総雨量}} \quad (5.9)$$

第4章でも指摘した如く、合理式を計画として用いる場合、理論的には両者の値は一致するという事を述べたが、現実には、貯留や遅滞現象あるいは降雨の不均一性から両者の値は

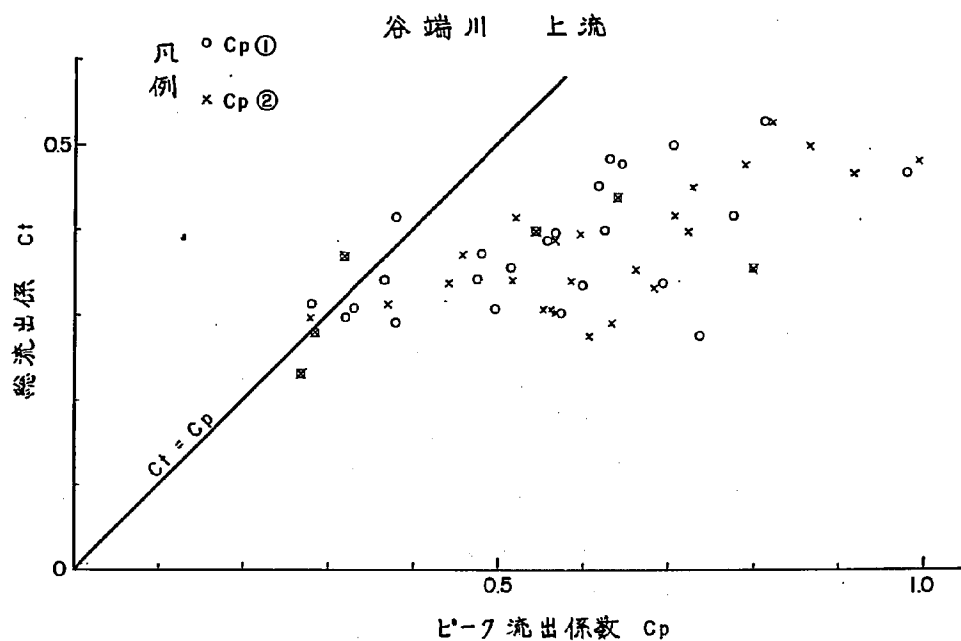


図 5-12 $C_t - C_p$ の関係

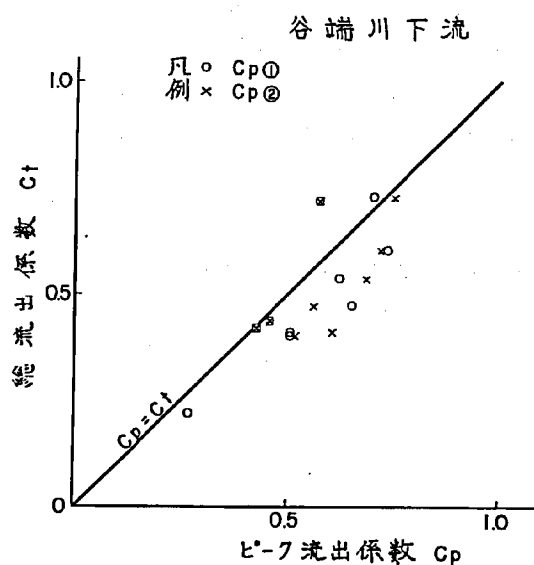


図 5-13 $C_t - C_p$ の関係

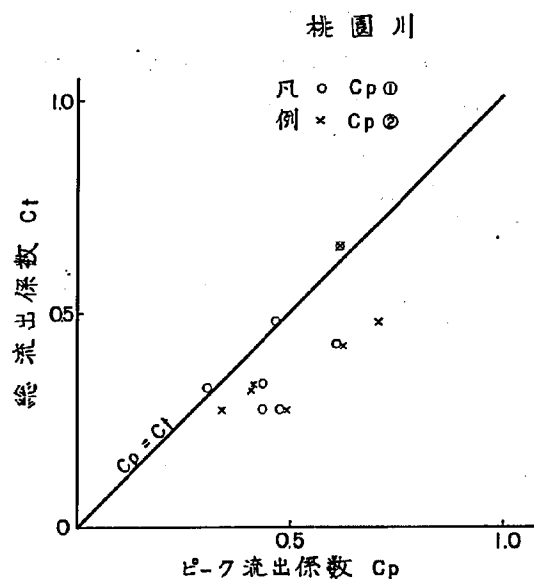


図 5-14 $C_t - C_p$ の関係

かなり異なった値を示す。表— 5.6～表— 5.8の観測結果から総流出係数 O_t とピーク流出係数 O_p との関係を示すと図— 5.12～図— 5.14に示すようになる。これら O_p-O_t の相関と総雨量の関係を調べてみると、総雨量の小さいほど相対的に O_p/O_t の比は1に近いことがわかる。

次に第4章でも指摘した如く、流出係数は多様な要素に左右されて変化するものであり、これらの定量的な関係を明らかにすることは非常に難しい問題である。

5・3・3 流達時間の実態

流達時間の測定は、図— 5.8の t および $2tg$ の2通りの方法について求めて見たが、相対的に $2tg$ の値が長めの値を示している。いずれも図式的に求めたものであり5分～10分の誤差は覚悟せねばならないだろうが、どちらの方法が良いという断定は出来ない。各排水区について流達時間と流達時間内の平均降雨強度との関係を示すと図— 5.16～図— 5.18のようになる。両者の相関は非常にばらつきが大きいが、設計降雨強度程度の強い雨になると谷端川上流では10分位、谷端川下流、桃園川下流では20～25分になりその変化も少ないようだ。

いずれにしても合理式適用上は重要な因子であるが、確たる定量的な検討は困難である。しかし、前にも述べたように流達時間を構成する主要因子が、一つは管路に流入するまでの流入時間と、二つは管路を懸案地点まで流下するまでの流下時間である。

次に、降雨継続時間内平均強度(mm/hr)と総流出係数 O_t との関係をデータの信頼度が高く数も多い谷端川下流排水区についてプロットしてみると、図— 5.15のようになる。この結果は前節あるいは第4章での解析結果の正当であった事を立証している。

即ち、弱雨では、前期降雨の有無によって流出係数の値には0.1～0.2位の開きが見られる。しかし継続時間内の平均強度がある程度以上($10mm/hr$)になると O_t の変化は非常に小さくなる。前期降雨がある場合には弱雨においても強雨の場合とほぼ等しい値を示し、流出係数の値もほぼ0.65前後の値を示している。また平均強度が大きくなるにつれて除々に O_t の値も増加する傾向が見られ、現実の現象を良く表現しているといえよう。流達時間はこれら2つの和で構成されているが、前述のように計画降雨程度の強い雨になると、流入時間に比して流下時間が卓越してくる。従って人工物である管渠の流下時間の算定はある程度水理学的に正確に解析可能であり、この値に流入時間(観測結果では大体4分前後)を加えた時間としてある程度妥当な値を算定することが可能であろう。

5・3・4 流入時間及び単位排水区の等価粗度

節5.2で示した流入時間と流下時間との分離の仕方に従って流入時間を求めた結果は表— 5.6～表— 5.8に示している。また(5.4)式によって求めた単位排水区の等価粗度係数の

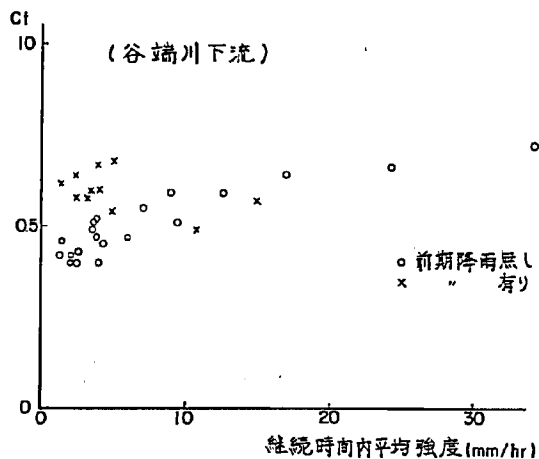


図 5・15 継続時間内平均強度と Ct の相関

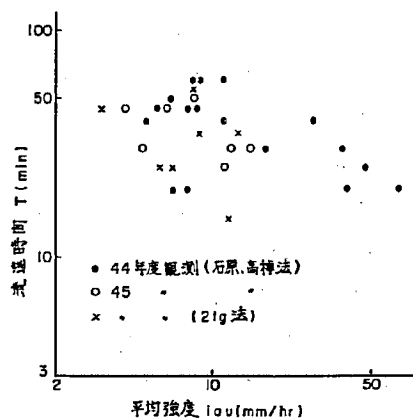


図 5・16 T- i_{av} 相関 (桃園川下流)

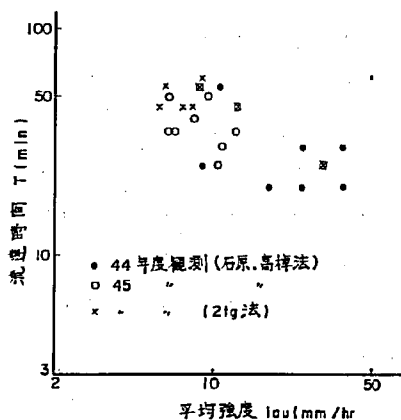


図 5・17 T- i_{av} 相関 (谷端川下流)

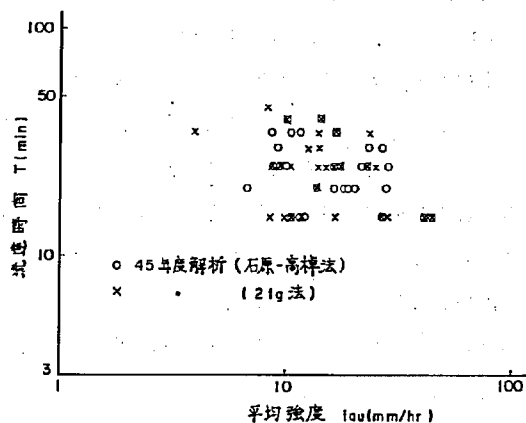


図 5・18 T- i_{av} 相関 (谷端川上流)

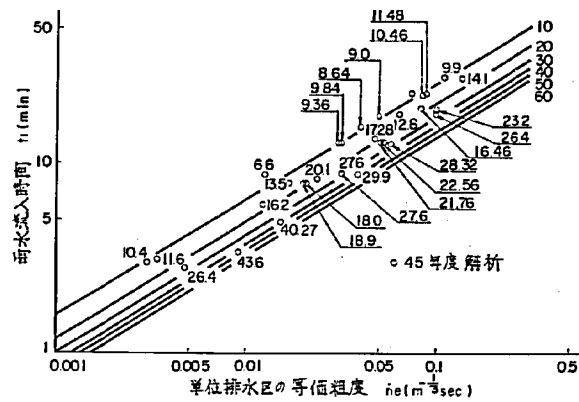


図 5・19 谷端川上流 ($B = 20$ m の場合)

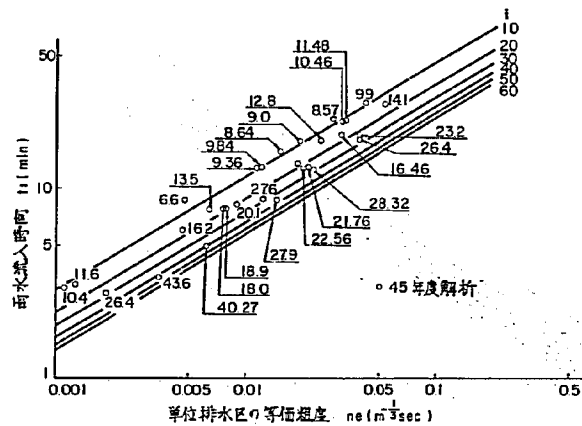


図 5・20 谷端川上流 ($B = 50$ m の場合)

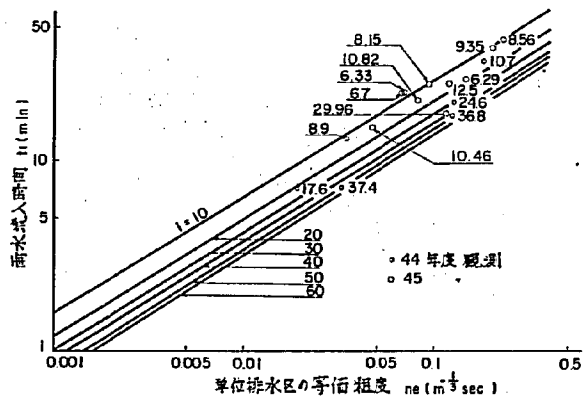


図 5・21 谷端川下流 ($B = 20$ m の場合) 流入時間と等価粗度の相関

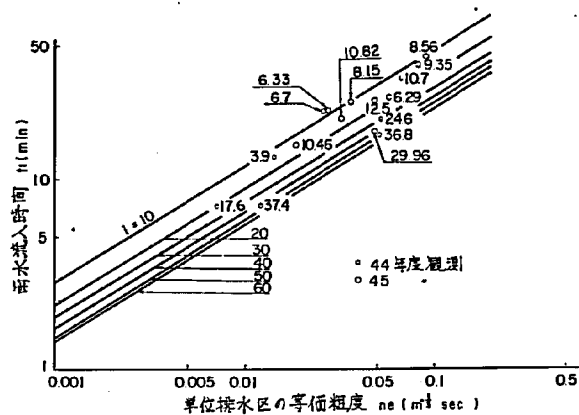


図 5・22 谷端川下流 ($B = 50 \text{ m}$ の場合)

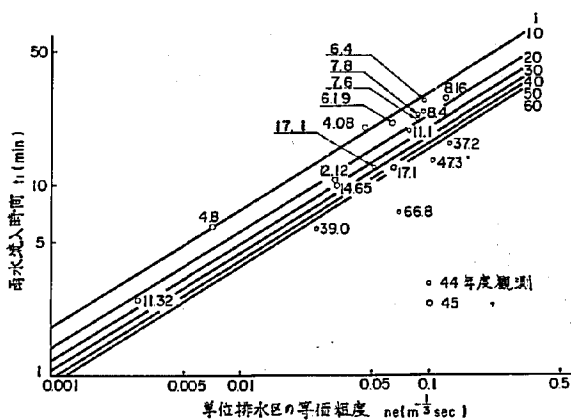


図 5・23 桃園川排水区 ($B = 20 \text{ m}$ の場合)

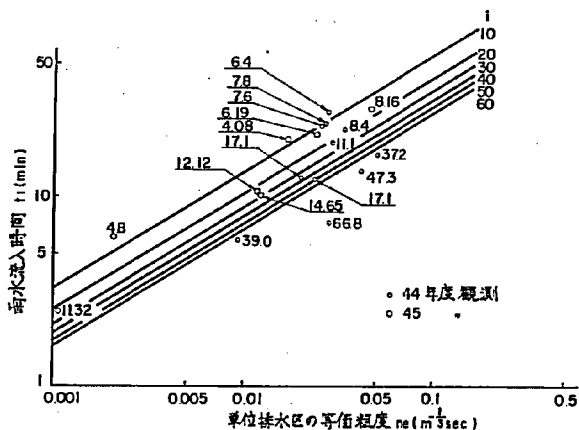


図 5・24 桃園川排水区 ($B = 50 \text{ m}$ の場合) 流入時間と等価粗度の相関

値については、表-5.9～表-5.11に示した。これらの解析結果から流達時間内の平均降雨強度をパラメータに取り、流入時間と単位排水区の等価粗度係数の関係を示すと図-5.19～図-5.24のようになる。図中の数字は流達時間内の平均降雨強度であり、図中の実線は(5.7)式による理論曲線を示している。これら3者の定量的な関係のある程度上図から理解することができよう。ただ単位排水区のモデル化(大きさの仮定)によって等価粗度係数の値は変化するものであるが、本節で検討した斜面幅20mと50mの両者の場合の実態値と理論曲線を比較検討すると、斜面幅20mの場合が理論曲線との一致も高い。従って単位排水区の規模は、大体0.04ha位に仮定するのが妥当であるようだ。

5・4 本章の終りに

本章では、前年度及び本年度の観測結果と合わせて、都市域での流出の実態をより定量的に解析しようと努力した。その結果、都市域での流出が浸透域と不浸透域で代表される2大工種で合成された2重構造であることが立証された。また弱雨の場合には、ほとんど不浸透域からのみの流出であり、流出係数もほぼ不浸透率に等しいと思つて大差ない。反面、工種面積あるいは工種接続の仕方についてのわずかの観測誤差が解析結果に大きな影響力のあることを痛感した。このように都市化の進行による不浸透率等の増加が直接雨水流出量の増加に継がることになり、計画のめん密さが要望される。調査期間中に強くて大きな降雨が然んど無く、そのような場合どのような現象を示すかは予測の域を出ないものであり、今後も引続き雨水流出量調査が続行されることが望まれる。

第6章 RRL法による流出解析

6・1 概 要

古来、雨水流出に関する研究は永々と行なわれて来た結果、多くの学者や研究者によって幾多の経験公式や理論式が発表され、近年では水文学的手法や水理学的手法を取り入れた新しい理論公式が発表され、その一部は既に広く実用化されている。

はからずも、前年度は、これらの流出計算法のうちから水理学的手法を取り入れた特性曲線法あるいは特性曲線を利用した等価粗度法によって流出解析を試みた。しかし第2章でも述べたように等価粗度法による流出解析を進めるに従い幾多の難問に突当たり、その後の進展が思うにまかせなかった。

ここで実排水区の流出現象を忠実に再現し、方法論的にも簡単なものとしてRRL法(The Road Research Laboratory Method)によって流出解析を試みることにした。¹⁵⁾

RRL法は、インプットハイドログラフの算定に単位図法の要素を含んでいるが、流出ハイドログラフの算定は貯留関数的に解くものであり、計算自体は極めて簡単である。

6・2 流域要素の決定法

RRL法を適用するには、3つの物理的量を評価する必要がある。第1番目は、排水区の不浸透面積率を決定する。第2番目は、懸案地点までの流下時間の算定が必要である。最後に懸案地点での貯留量曲線を決定する必要がある。

流下時間の算定は、下水管(幹線、支線、枝線)をそれぞれ満管流としてManningの公式を適用する。このためには、管径区間距離、勾配が明記された下水管網図を用意する必要がある。流下時間が算定されると、排水区に対して時間-面積図を作成する(図-6.1(a))。時間-面積図を作成する時の時間間隔はインプットデータの時間間隔に

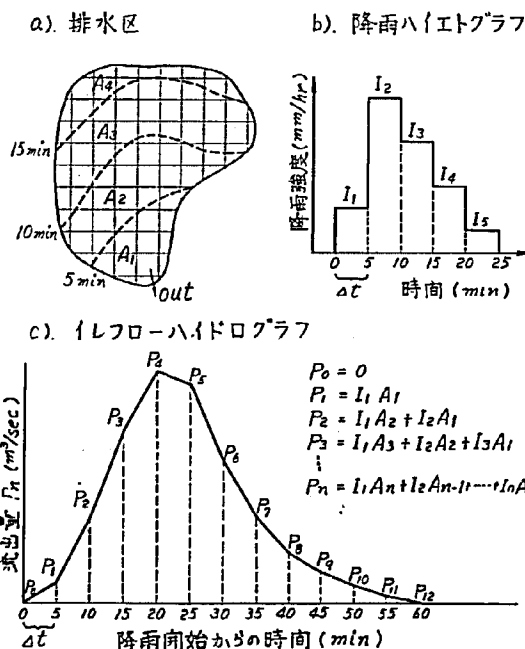


図-6.1 インフローハイドログラフの算法

合せる(図-6.1)。

貯留量曲線は、数多くの流出観測データがある場合には、ピーク流出量と降雨終了後の直接流出量を貯留量とすることによってQ-Sの関係をプロットすると貯留量曲線を求めえる。

6・3 流出計算法

時間-面積図から time-zones $A_1, A_2, \dots, A_n$ の面積が測定される。降雨ハイトグラフ $I_1, I_2, \dots, I_n$ と集中面積 $A_1, A_2, \dots, A_n$ からインフローハイドログラフを求められるが、これを $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ とすると、次の手順による。

$$P_0 = 0$$

$$P_1 = I_1 \cdot A_1$$

$$P_2 = I_1 \cdot A_2 + I_2 \cdot A_1$$

$$P_3 = I_1 \cdot A_3 + I_2 \cdot A_2 + I_3 \cdot A_1$$

$$P_n = I_1 \cdot A_n + I_2 \cdot A_{n-1} + \dots + I_n \cdot A_1$$

流出ハイドログラフ算定のための基本式は

$$P - Q = \frac{ds}{dt} \quad (6.1)$$

から次式で表わされる。

$$\frac{P_1 t}{2} = S_1 + \frac{Q_1 t}{2} \quad (6.2)$$

P_1 と t の値は既知であるから(6.2)式の右辺を決定することが可能である。この簡単な解法は、 $Q - (S + (Q_1 t / 2))$ の関係を貯留量曲線から求められると、手計算で演算が可能である。実際の計算は(6.2)式を差分化した(6.3)式または(6.4)式によって行なう。

$$\frac{t}{2} (P_1 + P_2) = \frac{t}{2} (Q_1 + Q_2) + (S_2 - S_1) \quad (6.3)$$

$$\frac{t}{2} (P_1 + P_2 - Q_1) + S_1 = \frac{t}{2} Q_2 + S_2 \quad (6.4)$$

(6.4)式の左辺 Q_1, S_1 の初期条件は $Q_1 = S_1 = 0$ であり、左辺は既知であるから、逐次計算によって流出ハイドログラフ Q_2 を求めることができる。

6・4 実流域での流出解析結果

実流域での流出解析には、谷端川排水区上流域を解析対象に選定し、数降雨(今後の解析の進展を考慮して、谷端川上下流で同時に流出記録が取れている降雨)について流出解析を試み

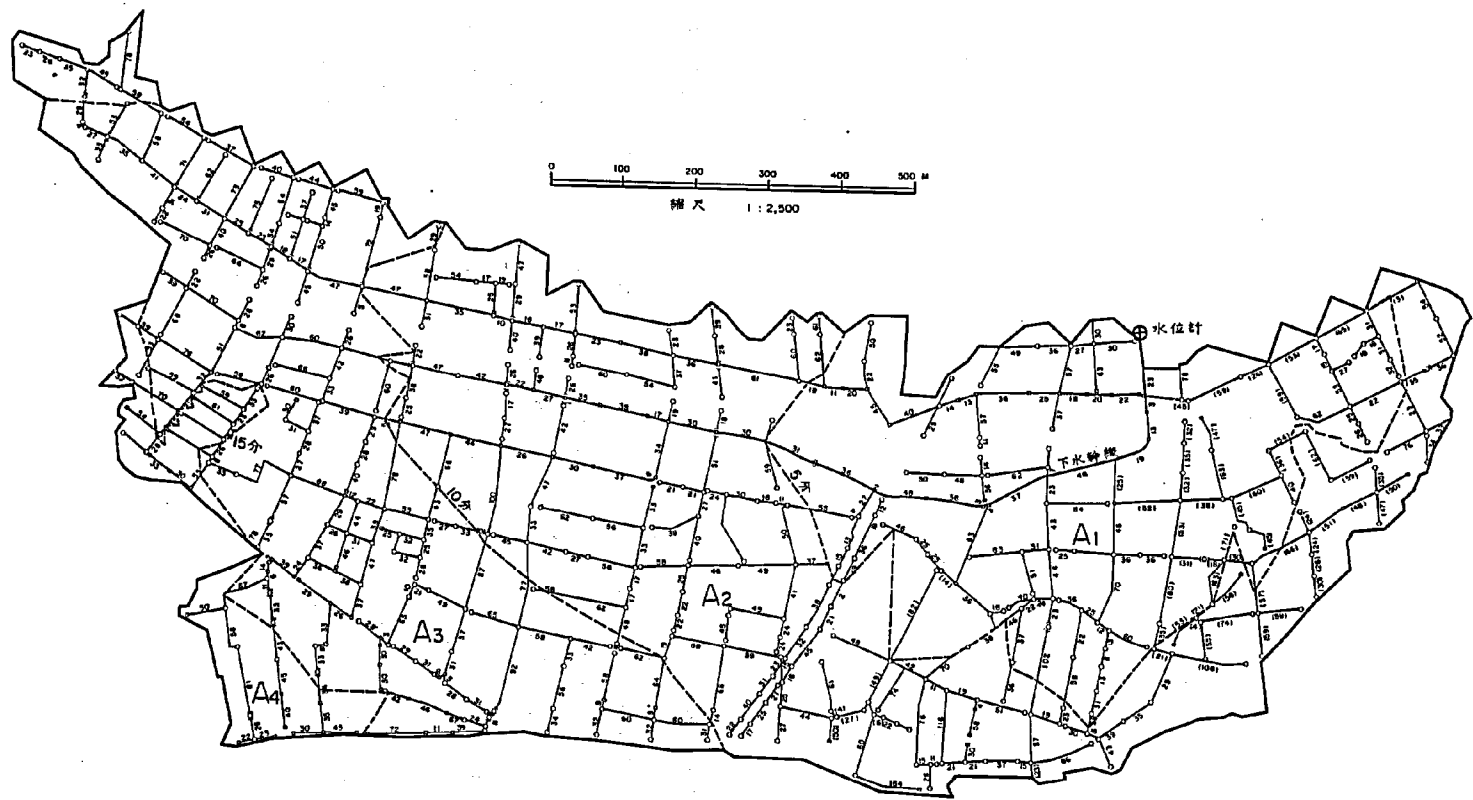


图 6-2

たが、かなり適合度の高い事が判明した。ここではそのうちの一例として、昭和45年6月1日に出水について解析した計算例について、流域要素の決定から流出計算例について示そう。但し、流域要素については一度決定されると、排水区内の工種構成や下水管密度等が変化しない限り変化することはない。

6・4・1 流域要素の決定

谷端川上流域の排水区特性その他については、第5章を参照されたい。流域要素決定の第2の問題として時間-面積図(time-Area)の算定結果は、図-6.2に示している。管網図中の数字は各区間の管渠流下時間(秒)を示している。⊕印が水位計設場所を示し、この流出地点までのTotalの時間として点線で示す等流集時間線を5分間隔で示した。各等流集時間線で囲まれた面積がΔt時間での集中面積を表わし、 $A_1, A_2, \dots, A_n$ を決定した。

第3の問題である流出量
観測地点での貯留量曲線は、
過去の実測データから、
S 4 3.6.1 1, S 4 3.6.1 6,
S 4 3.6.2 1の各出水より、
流出量(mm/hr)と貯水量
の関係をプロットすると、
図-6.3のようになり、2
本の直線で折れ線近似した。
実際の流出計算は図-6.3
の結果から、 $(Q_n) - (Q_n + S_n / 150)$ の関係(図
6.4)を求めて逐次計算を
行なった。尚本解析で使用
した時間間隔は5分間隔と
している。

6・4・2 流出解析手順とその結果

表-6.1は、昭和45年
6月1日出水に対して計算
した計算手順及びその結果
を示している。降雨強度は

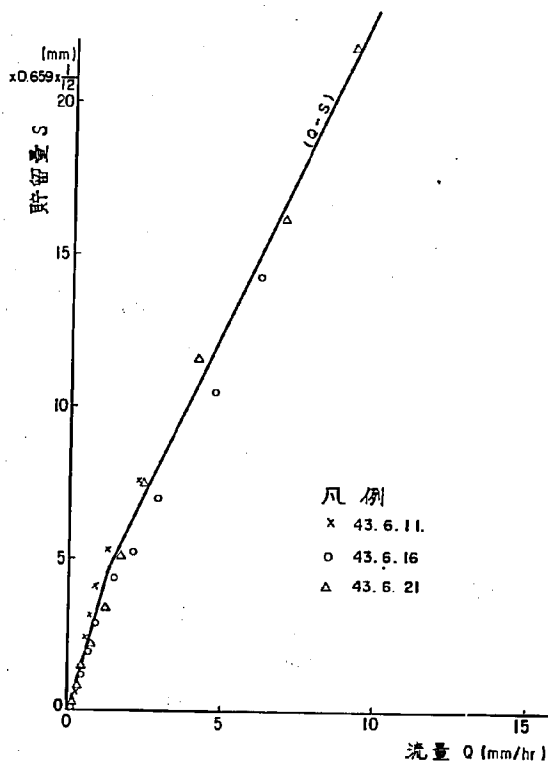


図-6・3 Q-S曲線(谷端川上流)

谷端川上流 $A = 1.092 \text{ km}^2$ 昭和45年6月1日 総雨量 40.9 mm 総流出係数 $C_r = 0.235$

時刻	降雨強度 mm/hr	流集時間帯別面積 $\times C_r / 3.6$						P_n m ³ /sec	$P_n + P_{n-1}$	$Q_n + \frac{S_n}{150}$	$\frac{S_n}{150}$	Q _n	
		5	10	15	20	25	30分					m ³ /sec	$\frac{3.6}{A} \text{ mm/hr}$
		0.0188	0.0283	0.0197	0.0042								
8:00	4.8	0.0902	0.1019	0.0236	0.0050			0.2207	0.3510	1.6351	1.4321	0.203	0.6692
:05	6.0	0.1128	0.1358	0.0709	0.0050			0.3245	0.5452	1.7743	1.5543	0.220	0.7253
:10	4.8	0.0902	0.1698	0.0946	0.0151			0.3697	0.6942	2.0285	1.7775	0.251	0.8275
:15	3.6	0.0677	0.1358	0.1182	0.0202			0.3419	0.7116	2.2381	1.9501	0.288	0.9494
:20	3.6	0.0677	0.1019	0.0946	0.0252			0.2894	0.6313	2.2934	1.9954	0.298	0.9824
:25	4.8	0.0902	0.1019	0.0709	0.0202			0.2832	0.5726	2.2700	1.9760	0.294	0.9692
:30	4.8	0.0902	0.1358	0.0709	0.0151			0.3120	0.5952	2.2772	1.9822	0.295	0.9725
:35	3.6	0.0677	0.1358	0.0946	0.0151			0.3132	0.6252	2.3124	2.0114	0.301	0.9923
:40	3.6	0.0677	0.1019	0.0946	0.0202			0.2844	0.5976	2.3080	2.0070	0.301	0.9923
:45	9.6	0.1805	0.1019	0.0709	0.0202			0.3735	0.6579	2.3639	2.0519	0.312	1.0286
:50	7.2	0.1354	0.2717	0.0709	0.0151			0.4931	0.8666	2.6065	2.2375	0.369	1.2165
:55	8.4	0.1579	0.2038	0.1891	0.0151			0.5659	1.0590	2.9275	2.5075	0.420	1.3846
9:00	9.6	0.1805	0.2377	0.1418	0.0403			0.6003	1.1662	3.2537	2.7717	0.482	1.5890
:05	16.8	0.3158	0.2717	0.1655	0.0302			0.7832	1.3835	3.6732	3.1122	0.561	1.8494
:10	21.6	0.4061	0.4754	0.1891	0.0353			1.1059	1.8891	4.4403	3.7423	0.698	2.3011
:15	13.2	0.2482	0.6113	0.3310	0.0403			1.2308	2.3367	5.3810	4.5000	0.881	2.9044
:20	13.2	0.2482	0.3736	0.4255	0.0706			1.1179	2.3487	5.9677	4.9757	0.992	3.2703
:25	10.8	0.2030	0.3736	0.2600	0.0907			0.9273	2.0452	6.0289	5.0289	1.000	3.2967
:30	14.4	0.2707	0.3056	0.2600	0.0554			0.8917	1.8190	5.8479	4.8789	0.969	3.1945
:35	13.2	0.2482	0.4075	0.2128	0.0554			0.9239	1.8156	5.7255	4.7785	0.947	3.1220
:40	12.0	0.2256	0.3736	0.2837	0.0454			0.9283	1.8522	5.6637	4.7287	0.935	3.0824
:45	8.4	0.1579	0.3396	0.2600	0.0605			0.8180	1.7463	5.5400	4.6290	0.911	3.0033
:50	6.0	0.1128	0.2377	0.2364	0.0554			0.6423	1.4603	5.1783	4.3353	0.843	2.7791
:55	13.2	0.2482	0.1698	0.1655	0.0504			0.6329	1.2762	4.7685	4.0025	0.766	2.5253

谷端川上流 $A = 1.092 \text{ km}^2$ 昭和 45 年 6 月 1 日 総雨量 40.9 mm 総流出係数 $C_r = 0.235$

時 刻	降雨強度 mm/h r	流域時間帶別面積 × C _r / 3.6						P _n m ³ /sec	P _n +P _{n-1}	Q _n + $\frac{S_n}{150}$	$\frac{S_n}{150}$	Q _n	
		5	10	15	20	25	30分					m ³ /sec	3.6 A mm/h r
10:00	10.8	0.0188	0.0283	0.0197	0.0042			0.7301	1.3640	4.6005	3.8655	0.735	24231
:05	6.0	0.2030	0.3736	0.1182	0.0353			0.7036	1.4337	4.5642	3.8362	0.728	24000
:10	6.0	0.1128	0.3056	0.2600	0.0252			0.5508	1.2544	4.3626	3.6716	0.691	22780
:15	4.8	0.1128	0.1698	0.2128	0.0554			0.4236	0.9744	3.9550	3.3370	0.618	20374
:20	7.2	0.0902	0.1698	0.1182	0.0454			0.4146	0.8382	3.5572	2.9892	0.568	18725
:25	8.4	0.1354	0.1358	0.1182	0.0252			0.4815	0.8961	3.3173	2.7793	0.538	17736
:30	12.0	0.1579	0.2038	0.0946	0.0252			0.6253	1.1068	3.3481	2.8051	0.543	17901
:35	10.8	0.2256	0.2377	0.1418	0.0202			0.7383	1.3636	3.6257	3.0487	0.577	19022
:40	13.2	0.2030	0.3396	0.1655	0.0302			0.8255	1.5638	4.0355	3.4115	0.624	20571
:45	10.8	0.2482	0.3056	0.2364	0.0353			0.8398	1.6653	4.4528	3.7458	0.707	23308
:50	10.8	0.2030	0.3736	0.2128	0.0504			0.8140	1.6538	4.6926	3.9406	0.752	24791
:55	8.4	0.2030	0.3056	0.2600	0.0454			0.7317	1.5457	4.7343	3.9753	0.759	25022
11:00	7.2	0.1579	0.3056	0.2128	0.0554			0.7313	1.4630	4.6793	3.9293	0.750	24725
:05	6.0	0.1354	0.2377	0.2128	0.0454			0.5275	1.2588	4.4381	3.7341	0.704	23209
:10	3.6	0.1128	0.2038	0.1655	0.0454			0.4146	0.9421	3.9722	3.3522	0.620	20440
:15	4.8	0.0677	0.1698	0.1418	0.0353			0.3405	0.7551	3.4873	2.9273	0.560	18462
:20	6.0	0.0902	0.1019	0.1182	0.0302			0.3447	0.6852	3.0525	2.6085	0.444	14637
:25	4.8	0.1128	0.1358	0.0709	0.0252			0.3677	0.7144	2.8789	2.4689	0.410	13516
:30	4.8	0.0902	0.1698	0.0946	0.0151			0.3419	0.7116	2.7705	2.3805	0.390	12857
:35	3.6	0.0677	0.1358	0.1182	0.0202			0.3119	0.6538	2.6443	2.2783	0.366	12066
:40	4.8	0.0902	0.1019	0.0946	0.0252			0.3171	0.6290	2.5433	2.1973	0.346	11407
:45	3.6	0.0677	0.1358	0.0709	0.0202			0.3132	0.6303	2.4816	2.1466	0.335	11044
:50	3.6	0.0677	0.1019	0.0946	0.0202			0.2844	0.5976	2.4092	2.0882	0.321	10582
:55	4.8	0.0902	0.1019	0.0709	0.0202			0.2832	0.5676	2.3348	2.0288	0.306	10088

谷端川上流 $A = 1.092 \text{ km}^2$ 昭和45年6月1日 総雨量 40.9mm 総流出係数 $C_r = 0.235$

時刻	降雨強度 mm/hr	流集時間帯別面積 $\times C_r / 3.6$						P_a m ³ /sec	$P_a + P_{a-1}$	$Q_a + \frac{S_a}{150}$	$\frac{S_a}{150}$	Q.	
		5	10	15	20	25	30分					m ³ /sec	$\frac{3.6}{A} \text{ mm/hr}$
		0.0188	0.0283	0.0197	0.0042								
12:00	3.6	0.0677	0.1358	0.0709	0.0151			0.2895	0.5727	2.2955	1.9965	0.299	0.9857
:05	2.4	0.0451	0.1019	0.0946	0.0151			0.2567	0.5462	2.2437	1.9557	0.288	0.9494
:10	1.2	0.0226	0.0679	0.0709	0.0202			0.1816	0.4383	2.1060	1.8250	0.281	0.9264
:15	1.2	0.0226	0.0340	0.0473	0.0151			0.1190	0.3006	1.8446	1.6156	0.229	0.7549
:20	1.2	0.0226	0.0340	0.0236	0.0101			0.0903	0.2093	1.5959	1.3979	0.198	0.6527
:25	1.2	0.0226	0.0340	0.0236	0.0050			0.0852	0.1755	1.3754	1.2054	0.170	0.5604
:30	0.0	0	0.0340	0.0236	0.0050			0.0626	0.1478	1.1832	1.0362	0.147	0.4846
:35	0.0	0	0	0.0236	0.0050			0.0286	0.0912	0.9804	0.8584	0.122	0.4022
:40	0.0	0	0	0	0.0050			0.0050	0.0336	0.7700	0.6900	0.080	0.2637
:45	0.0	0	0	0	0			0	0.0050	0.6150	0.5400	0.075	0.2473
:50	0.0	0	0	0	0			0	0	0.4650	0.4080	0.057	0.1879
:55	0.0	0	0	0	0			0	0	0.3510	0.3080	0.043	0.1418
13:00	0.0	0	0	0	0			0	0	0.2650	0.2330	0.032	0.1055
:05	0.0	0	0	0	0			0	0	0.2010	0.1760	0.025	0.0824
:10	0.0	0	0	0	0			0	0	0.1510	0.1330	0.018	0.0593
:15	0.0	0	0	0	0			0	0	0.1150	0.1020	0.013	0.0429
:20	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0890	0.0780	0.011	0.0363
:25	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0670	0.0590	0.007	0.0231
:30	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0520	0.0460	0.006	0.0198
:35	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0400	0.0360	0.004	0.0132
:40	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0320	0.0290	0.003	0.0099
:45	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0260	0.0230	0.003	0.0099
:50	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0200	0.0180	0.002	0.0066
:55	0.0	0	0	0	0			0	0	0.0160	0.0140	0.002	0.0066

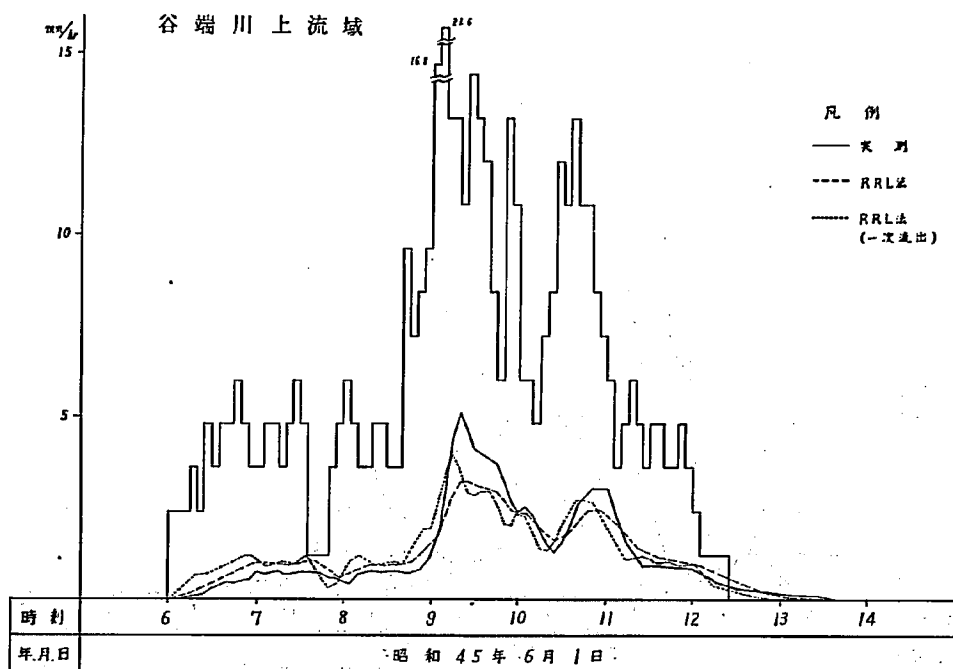


図6-5

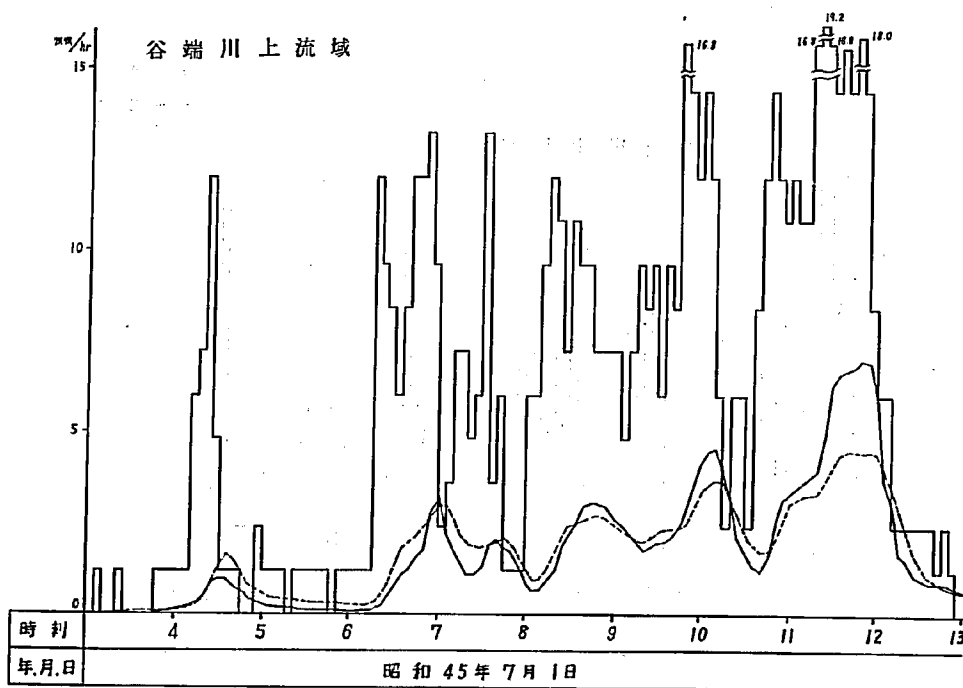


図6-6

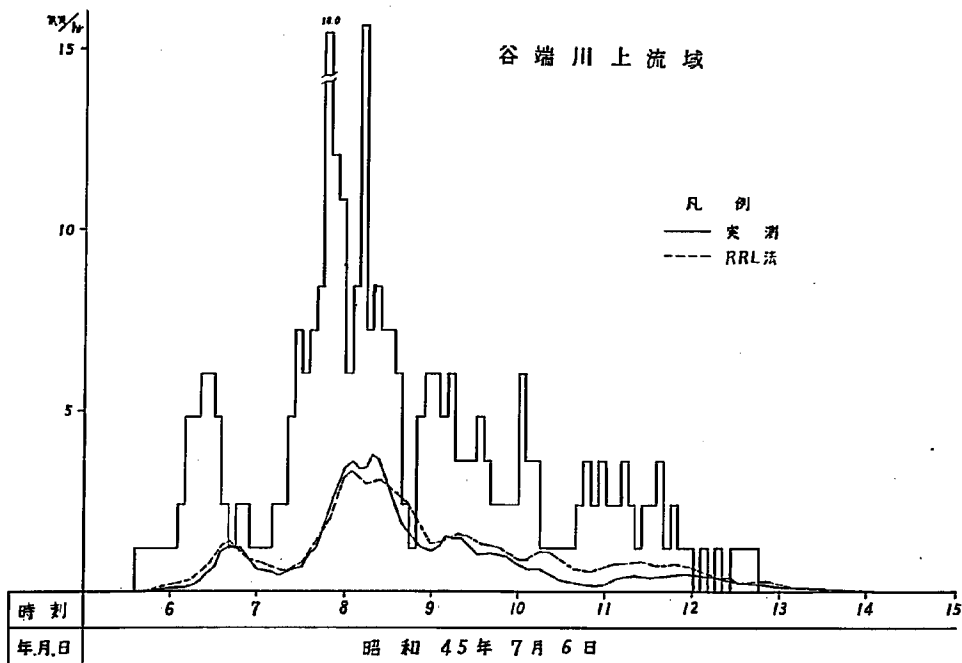
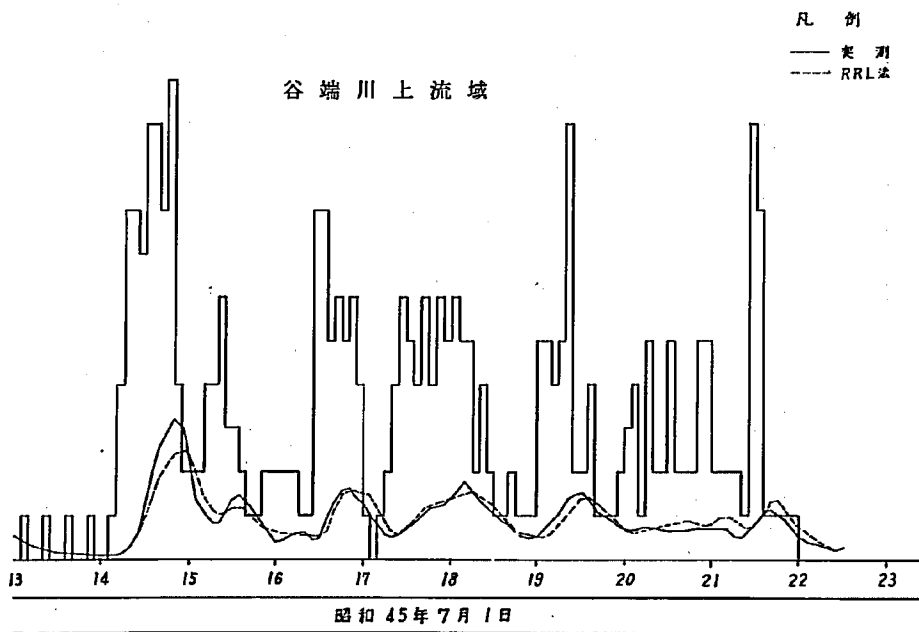


図6-7



6・5 本章の終りに

本章では、実際の流出現象をある程度忠実に反映し、しかも計算手法が極めて簡単であるという事からRRL法による流出解析手法を説明し、実降雨による流出解析結果について報告した。

これらの流出解析結果は、極めてその適合度も高く満足さるべきものであった。RRL法のもう一つの利点は、都市化現象による流出量の変化を予測することが可能であることである。このために要する手順は、時間一面積図、および貯留量曲線を加減することだけで事たりる。これら2つの要素は都市域が人工的要素が卓越しているということから、ある程度水理学的手法によって解決されるものである。ただ後者については、実測データが無い場合の $Q-S$ の関係を求める手法を今後究明する必要があるが、貯留量の大半が下水管渠内で代表される都市域では、この解明もさして困難ではなからう。

ただRRL法は流域の大半が不透透域であり、しかも下水管が稠密に配置されている都市域では、然んど問題なく適用できるが、透透域が卓越し下水管密度も小さい地方都市あるいは極端には山地等の流出解析に適用する場合には、流集時間算定法の選択やその算定精度によって流出解析結果の正否が左右されるように思われる。いずれにしても都市域での流出解析には非常に適した解法であろう。

第7章 結 論

7・1 本報告書の主要内容

この報告書は、前年度に引続き都市域における雨水排除施設や設計計画の合理化という観点から、流出の実態を把握し、種々の考察を加えて、都市域での流出現象を究明すると共に、その流出解析法についても論及したものである。ここに本調査から得た主要な成果をとりまとめ、本報告書の結論としたい。

第2章では、前年度に実施した調査解析結果についてその概略を述べ、その反省と合わせて本年度に行なうべき解析方針をしぼり、その究明に努力する旨を明示した。

第3章は、計画降雨へのアプローチとして、計画降雨設定の前段階的な研究に止まった。即ち、計画降雨設定には、本来降雨特性の検討あるいは統計的処理はもちろんであるが、他方、地域の特性、特に経済性や将来の発展性等の経済学的、人文学的研究とを融合させ、これら総合的な見地から決定さるべき性格のものであろう。本章では後者についてまったく触れることができなかった。

第4章は、都市域での雨水損失機構の検討である。都市域での流出解析を行なう際、雨水損失機構の定量的究明が、流出解析の精度向上に、また計画論にもアプローチできるものである。本章での解析の結果、都市域での流出構造が浸透域と不浸透域の2大工種の合成されたものとして解析できることが判明した。谷端川排水区での解析結果によると、弱雨でしかも前期降雨の無い場合には、ほとんど不浸透域からだけの流出で代表され、不浸透域の凹地貯留量はほぼ1mm前後であり、このような場合の流出係数はほぼ排水区の不浸透率に等しいと解釈できる。また、弱雨でも前期降雨がある場合及び強雨の場合には、両工種からの流出が合成されたものである。そして浸透域での最終浸透能 f_c は大体7mm/hr前後であることが究明された。このように都市域では浸透域と不浸透域でその流出現象ははなはだ異なったものになり、合理式のようなマクロな流出計算法によるにしても有効降雨が2種になり、貯留関数法等によって流出解析を行なう場合には、さらに流出常数が2種加わってこれらの合成された形で計算することになり、都市域ではこのような流出構造を取り入れないと厳密な流出解析は不可能に近い。

第5章は都市域での流出の実態である。本章では前年度の調査結果も加味して、流出係数や流達時間及び流入時間と単位排水区の等価粗度係数値との関係等の実態を解明したものである。さらに第4章での解析方針に従い他流域での損失量を定量的に検討し、都市域での損失機構をより明確なものにするよう努力したものである。

第6章は、実降雨による流出解析結果を示した。ここで流出解析の新たな手法としてRRL法(Road Research Laboratory Method)を採用した。その結果、実測のハイドログラフにある程度合致することが確かめられた。本方法は、考え方がやさしく種々の要素を組み入れられるので、もし実用性が確かめられれば有効と言えよう。しかし、本法は線型の流出計算法なので当然、限界があると思われる。今後もう少し検討を加えてみる予定でいる。

参 考 文 献

1. 雨天時下水排除の合理化に関する調査研究報告書：土木研究所資料第435号，土木研究所下水道研究室，S44.3
2. 東京都における雨水流出量調査報告書：土木研究所資料第599号，土木研究所下水道研究室，S45.3
3. 国土と開発：大野盛雄，山名伸作著，日本放送出版協会
4. 都市水文学：根 勇，水处理技術，Vol 8, No. 1, 1967
5. 都市域での雨水損失機構の検討：松原重昭，横尾将位，第7回衛生工学研究討論会講演論文集。1971. 1月
6. 上下水道における集配水の合理化に関する基礎的研究：末石富太郎，京都大学学位論文，S36.7
7. 下水管渠の設計と施工(WPCFマニュアル)：日本下水道協会，S44.7
8. Hydrology of urban runoff: by A.L. Tholin, M.A.S.C.E. and Clint J. Keifer, A.M.A.S.C.E., A.S.C.E., 1959
9. 排水計画における降雨強度算定法：石黒政儀
10. 下水道雨水流出量に関する研究報告書：土木学会，S42.
11. 東京都の気候：東京管区气象台編，気象協会出版S32.
12. 下水道計画の降雨と流出に関する実測的研究(第3報)：石黒政儀，伊藤澄夫，本山彰彦
土木学会関西支部研究発表会 1962.2
13. 雨水流出量測定の自動化：柏谷 衛，村上 健，稲場紀久雄，下水道協会誌，Vol. 4,
No. 43. 1967. 12月
14. 気象災害論：高橋浩一郎著，地人書館
15. Urban Runoff by Road Research Laboratory Method: by Michael L. Terstriep, A. M. A.S.C.E. and John B. Stall, F.A.S.C.E. Proceeding of the A.S.C.E. November, 1969
16. 水理公式集(38年改訂版)：土木学会編
17. 都市域の雨水流出現象に影響する2,3の要素の実験的検討(第一報，第2報)：稲場紀久雄，松原重昭，横尾将位，第25回年次学術講演会講演集，土木学会編
18. Synthetic Storm Pattern for Drainage Design: Clint J. Keifer and Henry Hsien Chu, Proceeding of the A.S.C.E. August, 1967.