

本州内陸都市としての長野・松本・上田 3市の降雨に関する研究

(下水道計画上より見た短時間継続強雨について)

佐々木 八郎*

(昭和38年7月5日受理)

1. ま え が き

長野、松本および上田の3市は本州における最も寡雨地として知られる長野県内有数の都市である。一般に都市下水道計画において、雨水量算定は最も基本的事項の一つに属することは多言を要しないところである。しかして計画雨量として、流域面積の広い河川工の場合は長時間豪雨がその対象となるが、流域面積の狭い都市下水道工の場合は短時間強雨がその対象となることは、これまたD D A 値 (Depth-Duration-Area values) の経験則に従うものとして周知のところである。

掲題の3市は総じて降雨量の点において小ではあるが地域的特殊性¹⁾²⁾³⁾があって、下水道計画にたいする短時間強雨については必ずしも軽視できぬ面のあること等を挙げ前報告を補ないたいと思う。

2. 観 測 資 料

A. 資料観測の地点

i : 長野市	N36°40'	E138°12'	高さ419m (長野気象台)
ii : 松本市	N36°15'	E137°58'	高さ611m (松本測候所)
iii : 上田市	N36°24'	E138°15'	高さ480m (上田気象通報所)

B. 採用せる降雨の資料

i : 長野市	表一1
ii : 松本市	表一2
iii : 上田市	表一3

自記雨量計記録を基にして表一1, 2および3を得るまでの過程は、長野市を例としてすでに報告してあるので重ねて記述することは省略する。松本市(創設1898年)については精度の良いサイホン式に改められて(1938年)以降について集計した分が表一2である。採用の長野、松本両市の資料は比較的よく整い上田市のそれはきわめて不備である。

* 土木工学科教室, 助教授

表—1. 長野市の強雨の回数 (1916~1955の40年)

継続時間 t (分)	強 度 i (mm/hr)													
	5以上	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160以上
10	1,543回	761	301	186	97	65	49	36	32	25	16	9	2	2回
20	1,132	477	179	91	45	34	22	17	9	4				
30	833	347	111	52	29	16	11	5	2					
40	624	230	68	34	17	8	3	1						
50	494	171	42	19	7	3	1							
60	405	129	31	12	4	2	1							
80	297	80	16	3	2									
100	228	58	7	2	1									
120	168	34	2	1										
140	120	20	2	1										
160	92	15	1											
180	86	13	1											

表—2. 松本市の強雨の回数 (1939~1956の18年)

継続時間 t (分)	強 度 i (mm/hr)									
	10以上	20	30	40	50	60	70	80	90	100以上
10	314回	128	67	41	27	18	14	10	7	3回
20	199	69	37	21	13	11	5	1	1	1
30	155	52	23	14	7	2	1	1	1	1
40	114	31	14	7	4	2	1	1		
50	95	26	9	4	2	1				
60	83	16	7	4	2					
70	67	12	5	2						
80	55	10	5	2						

表—3. 上田市の強雨の回数 (1956~1961の6年)

継続時間 t (分)	強 度 i (mm/hr)												
	10以上	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160以上
10	90回	40	28	13	8	4	3	2	1	1	1	1	1回
20	70	23	14	5	3	3	1	1	1	1			
30	50	16	8	3	2	2	1	1					
40	35	11	3	2	2	1	1						
50	28	7	2	2	1	1							
60	23	5	2	2	1								
80	14	3	2	1									
100	9	3	2										

註：表—1, 2, 3には降雪を含まない。

3. 資料の処理と結果

都市下水道計画に必要な「継続時間の短い強雨」についてその強度-継続時間-頻度 (Intensity-Duration-Frequency) 関係を表わす方法に関して、とくに recurrence interval の解析については、早くから⁴⁾⁵⁾⁶⁾ また近年⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾ 諸家の所説が発表されている。

資料をいかに処理するかによって誘導される値が多少変化することは当然のことであるが、その変化は原資料がいかに集められたかという相違に因るものに比すれば遙かに小さいものであるようにみえる。¹⁾ 筆者はさきに最小自乗法による処理の一部を報じ、次に確率紙法による推定を一部報じ²⁾³⁾ たが、本文において3市についてのとりまとめを簡単に紹介する。

表一1 (長野市)、表一2 (松本市) および表一3 (上田市) は、自記雨量計の記録から降雨継続時間の各区分ごとについて或る一定の降雨強度の回数を集計したものである。ここに t は降雨継続時間で分 (minute) で表わし、 i は降雨強度で mm/hr で表わす。

A. 最小自乗法によって得た継続時間別の豪雨式

次式は早くから Sherman 氏型公式として知られ、およそ3時間未満程度の強雨にたいして与えられたものである。⁴⁾⁵⁾

$$i = CT^m(t+d)^{-n} \tag{1}$$

式中の i と t はさきに説明の通りである。 T は再起年である。 C, d および m, n は広い意味の水文学的状态によって地域的に変化する係数および指数とする。筆者はさきに長野市を例に同型式の誘導を詳述した。¹⁾¹¹⁾ いま新たに松本、上田両市について得られたものを加えて結果だけを記せば表一4中 (1)N, (1)M, (1)U (長野20~180分; 松本と上田20~80分の各短時間にたいして) のようになる。

表一4. 継続時間別の豪雨公式 $i = CT^m(t+d)^{-n}$ の適用区分 (佐々木)

都市	適用の降雨期間		C	C _d	n	m	d	式
	t (分)	t _d (日)						
長野	20~180	—	950	—	0.958	0.340	5	(1)N
	1,440	1	174	2.2	0.60	0.20	0	(2)N
	4,320	3	80	2.1	0.50	0.17	0	
	14,400	10	38	1.6	0.43	0.13	0	
	28,800	20	21	1.3	0.38	0.12	0	
松本	20~80	—	990	—	0.928	0.399	8	(1)M
	1,440	1	180	2.4	0.60	0.25	0	(2)M
	4,320	3	100	2.4	0.51	0.21	0	
	14,400	10	45	1.9	0.44	0.17	0	
	28,800	20	30	1.6	0.40	0.16	0	
上田	20~80	—	700	—	0.85	0.30	8	(1)U

さらに筆者はこの型を長時間継続豪雨まで拡張できるように修飾をこころみた。すなわち t を長時間にとるときは(1)式中の d を無視して

$$i = C T^m t^{-n}, \tag{2}_1$$

$$R = (C/60) T^m t^{1-n} \tag{3}_1$$

あるいは

$$i = C_d T^m t_d^{-n}, \tag{2}_2$$

$$R = 24 C_d T^m t_d^{1-n}. \tag{3}_2$$

ここに t_d は降雨継続日数 (日), R は総降雨量 (mm) である。上記の諸係数は、地域によるのみでなく降雨の型種 (熱雷・台風・低気圧・前線など) に関与し、各型種の継続時間の特徴などがこれらの係数に反映するものと考えるのが至当であろう。すなわち t の異った区間では(1)式の曲線型は異ったものとして区分されるべきものとする。いま多年観測資料から最小自乗法によって長野、松本について t のおおまかな区分毎 (1日前後, 3日前後, ……………) にこれらの係数を定めて示せば表-4の(2)のようになる。
4)10)14)16)18)19)20)21)22)

表-5. 60分強雨の記録 (mm/hr)

順位	長野 (1889~1955)	松本 (1939~1956)
1	63.0 (1933. 8.13)	55.2 (1947. 8.28)
2	55.7 (1937. 7.28)	51.5 (1947. 8.27)
……………以下省略……………		

表-6. 60分雨量 (mm/hr) と頻度

T (年)	長野		松本		上田	
	観測	計算 (1)N	観測	計算 (1)M	観測	計算 (1)U
2	24	22	26	26	24	24
5	34	30	37	37	33	32
10	40	38	47	49	—	39
20	50	50	—	65		
50	67	67				

表-7. 日雨量の記録 (mm/日)

順位	長野 (1889~1955 67年間)	松本 (1898~1956 59年間)
1	113.0 (1950. 8. 5)	155.9 (1911. 8. 4)
2	108.2 (1896. 7.21)	132.2 (1906. 7.16)
3	99.5 (1910. 9. 7)	124.5 (1914. 8.13)
4	95.3 (1911. 8. 4)	119.9 (1945.10.10)
5	92.6 (1949. 9.23)	116.8 (1905. 8.17)
……………以下省略……………		

表-8. 日雨量 (mm/日) と 頻度

T (年)	長 野		松 本	
	観測 $(R_{d=1} = 24 \times 2.2 T^{0.20} t_d^{1-0.60})$	計算 t_d	観測 $(R_{d=1} = 24 \times 2.4 T^{0.25} t_d^{1-0.60})$	計算 t_d
2	58	61	67	68
5	75	73	98	86
10	87	84	116	102
20	98	97	125	121
50	112	116	152	153
100	—	133	—	182

表-9. 20日間降雨量 (mm/20日) と頻度

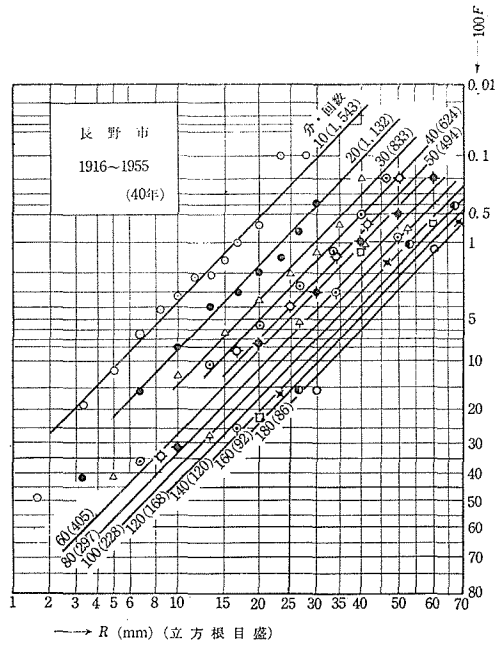
T (年)	長 野		松 本	
	観測 $(R_{d=20} = 24 \times 1.3 T^{0.12} t_d^{1-0.38})$	計算 t_d	観測 $(R_{d=20} = 24 \times 1.6 T^{0.16} t_d^{1-0.40})$	計算 t_d
3	210	228	262	276
5	238	242	287	300
10	273	264	305	335
20	295	287	375	374
50	320	321	445	433
100	—	349	—	484

表-10. 年 降 雨 量 (mm/yr)

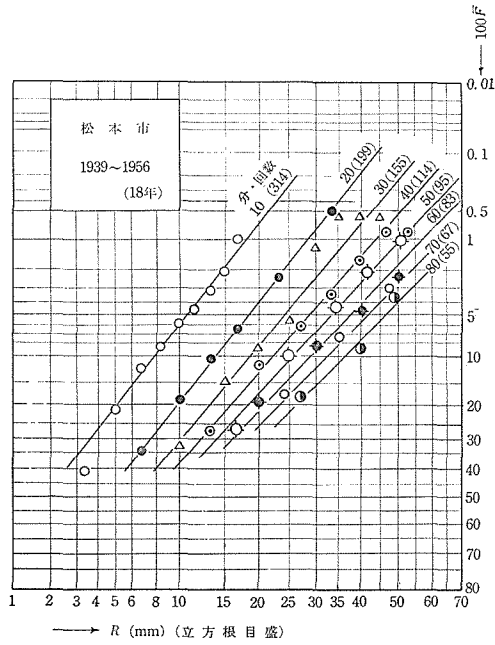
順 位	長 野 (1889~1955 67年間)	松 本 (1898~1956 59年間)
1	1,296.9 (1903)	1,537.3 (1923)
2	1,274.2 (1897)	1,530.1 (1911)
3	1,264.9 (1954)	1,488.3 (1903)
4	1,260.5 (1945)	1,412.8 (1916)
5	1,250.4 (1911)	1,325.3 (1905)
	……………以下省略……………	

表-11. 年 降 雨 量 (mm/yr) と 頻度

T (年)	長 野		松 本	
	観測 $R_{d=1年} = 980 T^{0.07}$	計算	観測 $R_{d=1年} = 1,080 T^{0.10}$	計算
2	990	1,030	1,120	1,160
5	1,115	1,100	1,260	1,270
10	1,190	1,150	1,315	1,360
20	1,240	1,210	1,490	1,460
50	1,280	1,290	1,535	1,600
100	—	1,350	—	1,710



図一. $F \sim R \sim t$: 長野市



図二. $F \sim R \sim t$: 松本市

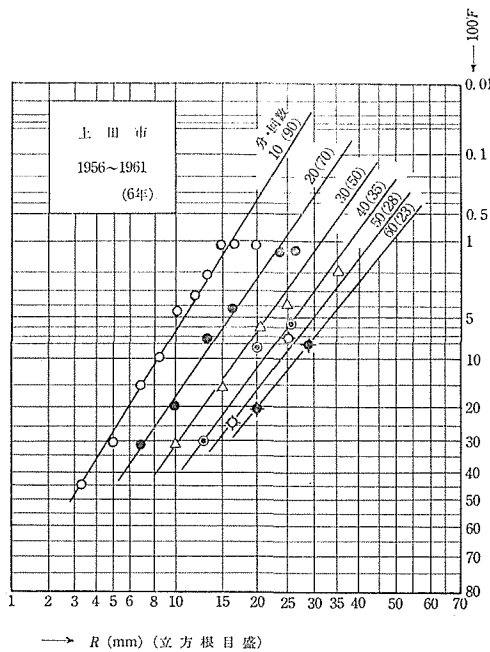


図-3. $F \sim R \sim t$: 上田市

表-5, 6は60分雨量, 表-7, 8は1日雨量, 表-9は20日間雨量, 表-10, 11は年雨量を例にとって, それぞれ観測と計算とを比較したものである。もし, 水文気象学は envelope を求めるのであるから既往の平均値に対するものでなく, 将来起りうべき最大可能値に関心を寄せるべきであるとすれば, 本項のごとき処理では勿論不十分であろうが, 一応如上の例によれば, 筆者の豪雨公式は短時間の降雨にも, そしてまた長期間のそれにも良く合うようにみえる。

B. 確率紙法による結果とタルボット型に化した強雨公式

図-1, 2, 3はそれぞれ表-1, 2, 3を基にしこれらを確率紙にプロットしたものである*。縦欄にFをとり横欄にRを立方根目盛**でとっている。ここにFは超過確率,

*いま確率紙上の諸点をプロットし斜線を作る方法を説明しよう。図-1中の $t=20$ 分 (1,132回)の斜線を例にとる。もし $R=10$ mmとすれば (これは $i=30$ mm/hrに相当す $\therefore R=it/60$) このRの縦線と, これに対応する $100F=8$ (表-1の $t=20$ 分欄で i_{90} の回数 \div 全回数 $= 100 \times 91 \div 1,132 = 8\%$ なるゆえ)なる横線との交点が, 求むるところの $t=20$ 分 (1,132回)の斜線が通るべき一つの点となる。

次にこの得たる斜線を利用して確率雨量を求めよう。式 $F=1/(N \cdot T)$ は確率紙では $100F=100/(N \cdot T)$ で表わされてある。ここに $N=(\text{出現回数の総累計数})/(\text{資料年数})$ 。いま, 10分の場合を例にとれば $N=1,543 \div 40=38.6$, それでもし $T=10$ 年を求めるとすれば $100F=100/(38.6 \times 10)=0.26$ 。よって $100F$ 目盛の0.26なる横線と $t=10$ 分斜線との交点を見出して, これに相当するR値をよめば $R=24$ mmを得。これは $i=144$ mm/hrに当る。

** Stidd氏は, 海洋の影響のとくに顕著な地点を除けば, 降雨量の立方根度数分布は正規型に従うことが多いと述べている¹⁹⁾。正務氏は, わが国諸地点の日, 月, 季節降雨量を概観して立方根度数分布は直線化され, これに対し対数度数分布は下方に凸型に彎曲した曲線状に分布することを例示して Stidd説を支持している¹⁰⁾。筆者は同一資料を対数分布法によって比較を行なったが, 正規化に関し上記の明確な優位は認めかねた。結果としてR値に少量の変化がみられた(図例の掲載は省略する)。

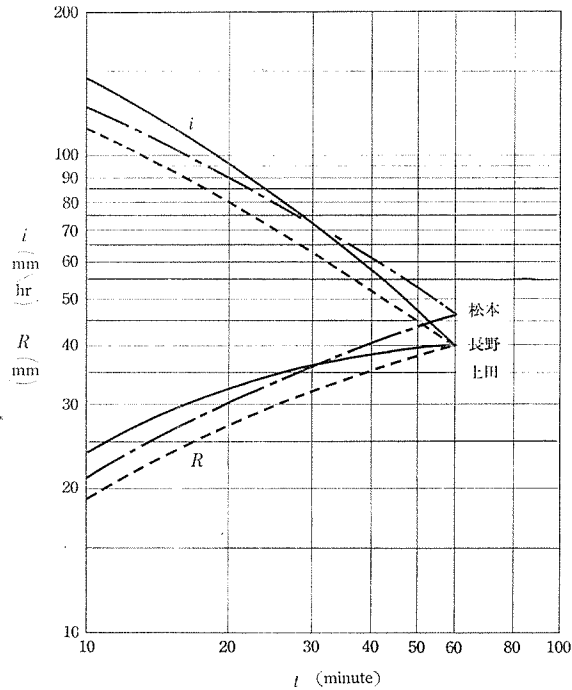


図-4. 長野・松本・上田3市の短時間雨量と強度 ($T=10$ 年)

R は雨量 (mm) を表わす。

本例の場合点の分布はかなり直線的であるように見える。すなわち、ほぼ正規変換せられたものと認められようか。いま年間平均出現度数を N 、再起年を T とすれば一般に

$$F = 1/(N \cdot T)$$

の関係がある。この式より F を求め正規化されたものとして未経験域まで外挿することが許されるならば、 F にたいする R の値を読みとってそれぞれ表-12に掲げるような各種の継続時間 t についての T -年降雨量 R を得る。

図-4は、表-12の一部をプロットし3市比較の便に供したものである。

降雨強度公式の型についてはいろいろの種別があるが、下水道においては継続時間が20分から60分ぐらいの狭い範囲に適用するものであるから、 $n=1$ と考えても実用に十分であろう。それでいわゆる Talbot 氏型がわが国をも含めて各国で広く使用されている。すなわち

$$i = \frac{a}{t + b} \quad (4)$$

いま表-12の数値をかなり満足するような(4)型式を作ることは容易である。すなわち表-13に掲げるところの式(4)N, (4)M, (4)Uは、得られたその一例である。

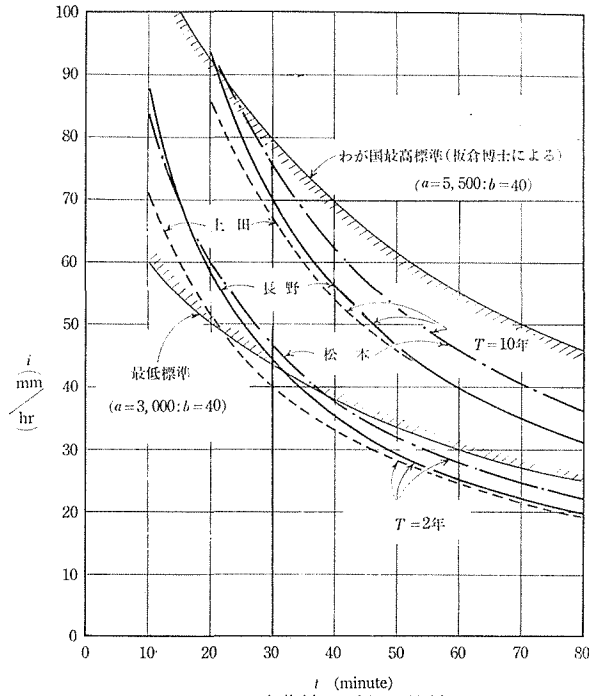


図-5. i 曲線の反りの比較

表-12. 確率紙法によりたる雨量と強度

都市	t (分)	R (mm)					i (mm/hr)				
		T (年)					T (年)				
		2	5	10	20	50	2	5	10	20	50
長野	10	15	20	24	28	34	90	120	144	168	204
	30	23	30	36	41	48	46	60	72	82	96
	60	25	34	40	48	60	25	34	40	48	60
松本	10	13	18	21	25	29	78	108	126	150	174
	30	24	30	36	42	50	48	60	72	84	100
	60	28	39	46	56	67	28	39	46	56	67
上田	10	12	16	19	21	24	72	96	114	126	144
	30	21	26	31	35	41	42	52	62	70	82
	60	24	33	40	46	55	24	33	40	46	55

表-13. 3市の降雨強度公式 (佐々木)
(タルボット型で表わした例) i : mm/hr t : minute

都市	$T=2$ -年	$T=10$ -年	適用範囲
長野	$i = \frac{1,750}{t+10}$ (4) $N_{2年}$	$i = \frac{2,800}{t+10}$ (4) $N_{10年}$	$10 \leqq t \leqq 60$
松本	$i = \frac{2,100}{t+15}$ (4) $M_{2年}$	$i = \frac{3,450}{t+15}$ (4) $M_{10年}$	$10 \leqq t \leqq 60$
上田	$i = \frac{1,800}{t+15}$ (4) $U_{2年}$	$i = \frac{3,000}{t+15}$ (4) $U_{10年}$	$10 \leqq t \leqq 60$

表—14. 60分強雨と他の短時間強雨の強度の比

t (分)	長野市	松本市	上田市	東京都	名古屋市	宮崎市	高知市	U.S.A. Kentucky	Illinois ¹⁷⁾		
	$T=2, (4)$ 式			1)	1)	$T=2$ ⁸⁾		$T=2$ ¹⁴⁾	$T=2$ ¹⁵⁾	地点	地域
5	(4.7)	(3.8)	(3.8)	—	—	—	—	—	—	3.1	2.1
15	2.8	2.5	2.5	1.8	1.8	1.6	1.7	2.3	2.4	1.7	1.5
30	1.8	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3	1.5	1.6	1.0	1.0
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—	—
90	0.70	0.71	0.71	0.77	0.80	0.80	0.85	0.75	—	—	—

板倉博士は、 i 曲線が急であるとか緩であるとか中庸であるとかという3つの型を一連のつながりをもたせて標準公式を提案されている。すなわち、夕立型の強雨、台風型の豪雨等それぞれ地域的関連性をもって、しかも平易に合理方式 (rational method) を採用しうる便利な式として、 a を3,000~6,000の範囲で数種類、 b を40 (急), 50 (中), 60 (緩) の3種類に分類して示された。図—5は、同博士による i 曲線の最も反りの急な群と、筆者による3市とを比較したものである。これによってもわが国における内陸都市の特殊性の一端が看取せられよう。

長野、松本60分強雨の記録は表—5のように多く夏季に現われている。また60分強雨と他の短時間強雨の強度比をとると表—14にみられるように他の地方の例よりも大きな比となり、雷性強雨の軽視できぬ面がうかがえよう。

4. む す び

わが国における降雨特性を最近石黒博士は特性係数値によって総括的に判定する貴重な報告を出しておられる。また先年、板倉博士は概観的にわが国下水道標準雨を示しておられる。これらの報告にみられるものに比較すればわが国本州において代表的内陸型気候をもつ掲題の3市は局地的特殊性を濃く有していることがうかがえる。太平洋沿岸支配の幾分優位な松本では、長野よりも60分雨量は年雨量におけると同傾向に幾分大である。しかしより短時間強度においてはこれと逆の関係がみられる。これは後者において熱界雷性強雨が前者よりも顕著に影響するためであろう。しかしていずれも短時間強雨は寡雨の地であるほどには小さく評価することはできないものと思ふ。3市において屢々市街地溢水を聴くが、急傾斜市街地では遅滞係数はかなり大きな値をとり、併せて、ビル・舗装の整備にともない流出係数も逐年大きくなるのであるから、重要な街区については T を区分し標準雨を変えるなど適切な排水計画をたてることが肝要であろう。

なお贅言を附せば、県都長野市は分流方式を採用しその汚水処理場は完備せんとし汚水管渠系の敷設も年を逐って拡張していることは慶ばしいが、他方雨水管渠系の系統的建設は未だ無く、これを市街を流れる農業用水路に依存するものを見る。下流にゆくほど先細りとなる用水路をもって、先太りとなるべき排水路に代替せしめることは素より本末を顛倒せるものであろう。松本市は合流方式を採用し処理場の建設も見られたが新

たにわが国産業都市の指定を受けたについても完全下水道の実現に努められることが大切であろう。上田市はまさに近代式下水道を敷設せんとする機運にあるが、いまや首都圏とは門戸を接するに至った。筆者は、たまたま上記の3市を命題に選んだが、文化・産業・観光の各面において新しく見直されつつある多くの信州諸都市が各々その下水道施設の新設さらに完設の日を一日も早く迎えられんことを祈ること切なるものがある。

本文中、上田市に関しては乏しい資料をもとにしたものであって、とくに欠陥が多いと思われるので後年検討批判をうけることができれば幸と思う。

本稿の資料の整理にあたり、長野については前に本学土木工学科学生たりし中村長蔵・高木正二、松本については同じく寺沢 広・津山浄憲・竹内郁雄、上田については同じく鈴木 徹・猪熊 浄・羽生田嘉宏の諸君の協力を煩わした。また資料の閲覧にあたり長野気象台の少なからぬご厚意を受けた。ここに録して深い謝意を表する。

文 献

- 1) 佐々木八郎, 主として下水道計画より見たる長野市の降雨強度に関して, 信州大学工学部紀要, No. 6, 1956.
- 2) 佐々木八郎, 長野市・松本市の降雨の強度に関して, 土木学会第12回年次学術講演会講演概要, pp. 291~292, 1957.
- 3) 佐々木八郎, 内陸都市の降雨強度公式の一考察, 水道協会雑誌, No. 278, 1957.
- 4) Bernard M. M., *Trans. ASCE*, Vol. 96, pp. 592~624, 1932.
- 5) Fair G. M. & J. C. Geyer, "*Water Supply and Waste-Water Disposal*", pp. 167~174, 1954.
- 6) Linsley R. K., M. A. Kohler & J. L. H. Paulhus, "*Applied Hydrology*", pp. 544~559, 1949.
- 7) 岩井重久, 確率降雨曲線とその下水道計画への応用, 水道協会雑誌 No. 175, 1949.
- 8) 川上謙太郎, 石黒政儀, 第7回日本工学大会講演概要, III, 1956.
- 9) 石黒政儀, "下水道計画における降雨強度算定の水文統計学的研究" pp. 1~427, 1961 : および同氏, 水道協会雑誌, No. 320, No.323 (1961), No.331, No.333, No.339 (1962).
- 10) 正務 章, 草間宗三, 松本の確率雨量について, 気象庁研究時報, Vol. 7, No. 5, pp. 21~26, 1955.
- 11) 鶴見一之, "下水道" pp. 44~58, (水道協会), 1959.
- 12) Fletcher R. D., *Trans. AGU*, Vol. 31, No. 3, pp. 344~348, 1950.
- 13) Stidd C. K., Cube-Root-Normal Precipitation Distributions, *Trans. AGU*, Vol. 34, No. 1, pp. 31~35, 1953.
- 14) Hershfield D. M., L. L. Weiss & W. T. Wilson, Synthesis of rainfall intensity frequency regimes, *Proc. ASCE*, No. 744, 1955.
- 15) Sammons W. H., Do., Discuss., *Proc. ASCE*, No. 881, pp. 31~35, 1956.
- 16) Corn H. M., Rainfall depth-duration relationship, *Proc. ASCE*, Vol. 81, No. 840, 1955.
- 17) Huff F. A. & J. C. Neill, *Trans. AGU*, Vol. 37, No. 6, pp. 679~681, 1956.
- 18) Alexandar G. N., Return Period Relationship, *J. of Geophysical Research*, Vol.

- 64, No. 6, pp. 675~682, 1959.
- 19) Meyer A. F., "*The Elements of Hydrology*", 1917.
- 20) 鶴見一之, 土木学会誌, Vol. 37, No. 6, 1952.
- 21) 鶴見一之, 水道協会雑誌, No. 215, 1952.
- 22) 物部長穂, "水理学" p. 355, 1954.
- 23) 正務 章, 草間宗三, 降水に関する二, 三の統計, 気象庁研究時報, Vol. 6, No. 12, pp. 19~28, 1955.
- 24) 板倉 誠, 滞流式雨水流出量算定方法の研究, 土木学会論文集, No. 28, 1955.

Summary

A Study on Rainfall in Three Cities, Nagano, Matsumoto and Ueda, Situated in Inland Areas in Honshū of Japan.

(On Intense Precipitations in a Short Duration Concerned with Sewerage Planning.)

Hachiro SASAKI

(Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.)

The author tried a study, viewed mainly from the plan of sewerage, on the precipitations related to three cities—Nagano, Matsumoto and Ueda—having representative inland meteorology in Honshū, Japan.

Though these cities are among the regions where the annual amount of rainfall is so little, it is observed that an intense precipitation of a short duration, an indispensable subject to be taken into consideration in making a design of municipal drainage work, of these three cities is not to be evaluated to be so small as in the case of the annual rainfall.