

確率計算の方法（岩井法）

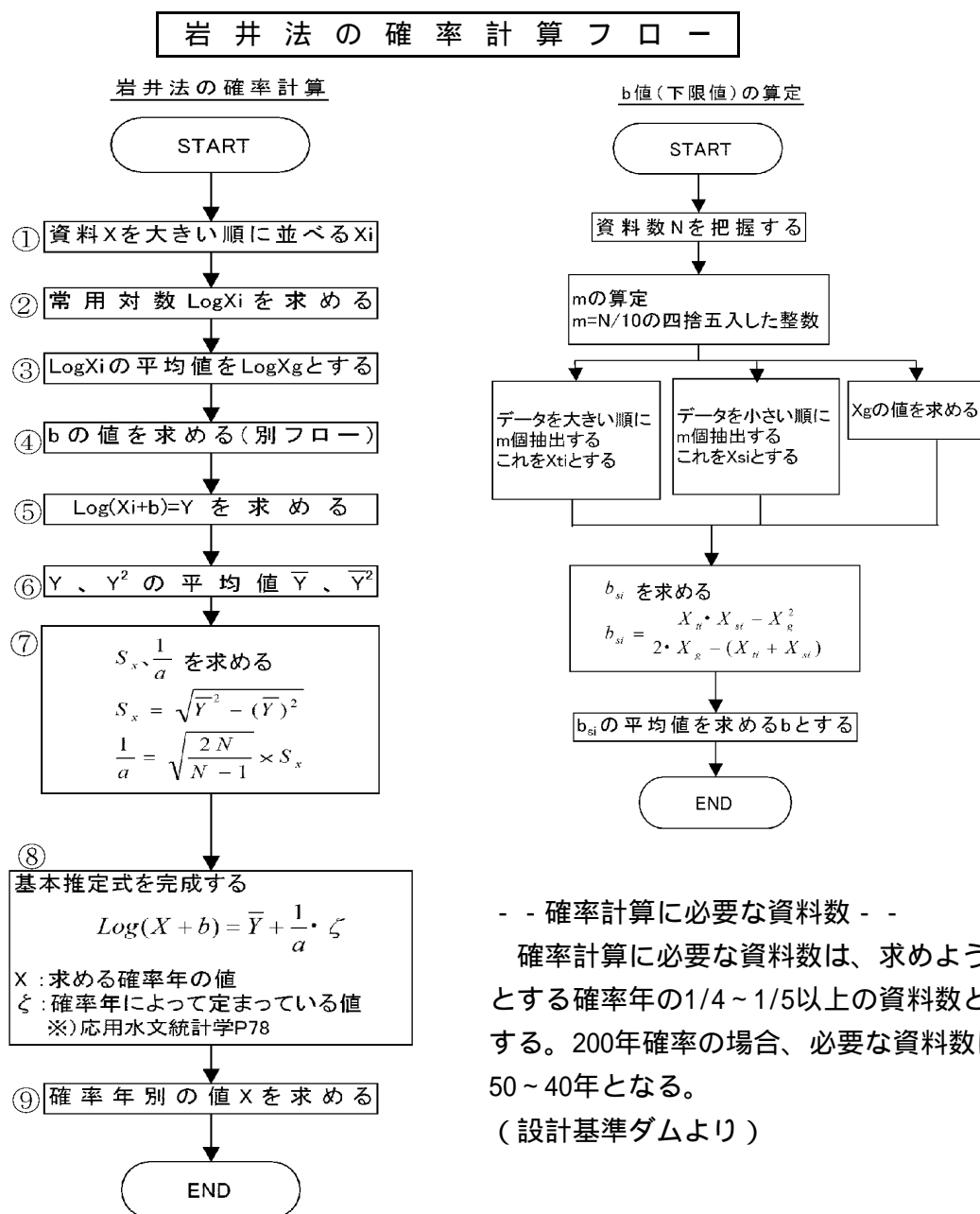
(株)沖橋エンジニアリング

大塚 祐治

1. はじめに

雨量の確率計算には、岩井法、ヘイズプロット、トーマスプロット、グンベル法、チョウの解法、指数分布による確率計算法などがあります。ここでは日本の確率計算法の標準法として最も広く用いられている岩井法について、計算方法と、これに必要な資料収集方法について紹介いたします。

岩井法の計算の流れ図を下記に示します。



- - 確率計算に必要な資料数 - -

確率計算に必要な資料数は、求めようとする確率年の1/4～1/5以上の資料数とする。200年確率の場合、必要な資料数は50～40年となる。
 (設計基準ダムより)

2. 資料の収集

雨量資料は、年最大の日雨量、時間雨量、10分間雨量となります。これらの資料は以前は気象台に出向いて収集したのですが、現在は気象台のホームページより収集できます。インターネットは次の順序で進めば必要なデータが得られます（年最大の値が表示されます）。これを書きとればデータとなります。

気象台ホームページ > 気象統計情報 > 過去の気象データ検索 >
 都道府県の選択 > 沖縄 > 地点選択（名護） > 年ごとの値を表示
 > 詳細（気圧・降水量）
 抽出した例を下記に示します。

雨 量 デ ー タ 名 護 観 測 所

番号	通 年					
	日 雨 量		時 間 雨 量		10 分 間 雨 量	
	雨量 (mm/day)	生起年月日	雨量 (mm/hr)	生起年月日	雨量 (mm/10min)	生起年月日
1	94.0	S.52.11.17	38.0	S.52.11.17	15.5	S.52.07.08
2	171.5	S.53.08.15	57.5	S.53.08.15	20.0	S.53.10.13
3	106.5	S.54.10.18	53.5	S.54.08.08	19.5	S.54.08.08
4	125.5	S.55.09.10	43.0	S.55.04.30	18.5	S.55.04.30
5	128.5	S.56.10.21	37.5	S.56.07.14	13.5	S.56.07.14
6	211.5	S.57.09.23	44.0	S.57.08.09	21.0	S.57.08.09
7	161.0	S.58.08.26	62.5	S.58.08.26	23.0	S.58.08.26
8	234.5	S.59.08.19	46.5	S.59.08.19	16.0	S.59.03.13
9	187.5	S.60.08.13	90.5	S.60.08.14	23.5	S.60.08.14
10	187.0	S.61.08.26	44.0	S.61.11.17	16.5	S.61.06.18
11	114.0	S.62.05.22	54.0	S.62.06.24	18.5	S.62.06.24
12	130.5	S.63.05.01	48.5	S.63.05.02	17.5	S.63.05.01
13	119.5	H.01.05.18	45.5	H.01.05.18	16.0	H.01.01.09
14	163.0	H.02.09.17	59.0	H.02.05.12	20.5	H.02.05.12
15	143.0	H.03.09.13	43.5	H.03.04.28	16.0	H.03.09.13
16	111.5	H.04.08.30	33.0	H.04.06.09	17.5	H.04.06.09
17	88.5	H.05.09.02	33.5	H.05.09.02	15.5	H.05.09.02
18	191.0	H.06.05.31	37.5	H.06.08.11	16.5	H.06.06.15
19	160.0	H.07.03.30	53.5	H.07.08.21	20.0	H.07.09.01
20	107.5	H.08.09.29	36.5	H.08.08.12	16.0	H.08.03.30
21	274.5	H.09.08.07	55.5	H.09.05.17	18.0	H.09.08.07
22	212.0	H.10.10.04	75.5	H.10.10.04	20.0	H.10.09.01
23	233.5	H.11.09.23	58.5	H.11.07.06	17.5	H.11.07.06
24	182.0	H.12.11.09	58.0	H.12.11.09	18.0	H.12.11.20
25	100.5	H.13.05.14	46.5	H.13.08.24	15.0	H.13.08.24
26	216.0	H.14.09.05	52.0	H.14.04.09	20.0	H.14.09.07
27	132.0	H.15.08.07	43.5	H.15.10.10	14.0	H.15.10.07
28	202.0	H.16.09.05	72.0	H.16.07.04	18.0	H.16.06.09
29	100.5	H.17.06.16	34.0	H.17.06.12	16.0	H.17.05.08
30	172.5	H.18.08.06	61.0	H.18.09.03	23.5	H.18.12.07
31	265.0	H.19.08.11	65.0	H.19.06.18	25.5	H.19.08.11
32	61.0	H.20.05.01	55.0	H.20.08.16	14.0	H.20.08.16
33	121.5	H.21.06.12	50.0	H.21.04.21	15.5	H.21.04.21

bの値を求める

- ・ mの算定・・・資料数を10で除して四捨五入

$$33 \div 10 = 3 \quad (\text{名護の場合})$$

- ・ データの大きい方からm個分を抽出・・・これをXtiとする
- ・ データの小さい方からm個分を抽出・・・これをXsiとする
- ・ b_{si} を求める

$$b_{si} = \frac{X_{ti} \cdot X_{si} - X_g^2}{2 \cdot X_g - (X_{ti} + X_{si})}$$

- ・ bを求める・・・bsiの平均値とする。

ただし、- bがXminより大なるときはマイナスの対数となるので計算不能となるから、その時はb = 0とする。

mの値(N/10)

3

bの値算定

Xti	Xsi	$X_{ti} \cdot X_{si} - X_g^2$	$2X_g - (X_{ti} + X_{si})$	b_{si}
90.5	33.0	517.393	-24.120	-21.451
75.5	33.5	60.143	-9.620	-6.252
72.0	34.0	-21.107	-6.620	3.188
合計				-24.515
平均			b=	-8.172

次の値を求める

$$S_x \sim \frac{1}{a}$$

$$S_x = \sqrt{\overline{Y^2} - (\overline{Y})^2}$$

$$\frac{1}{a} = \sqrt{\frac{2N}{N-1}} \times S_x$$

$$S_x = \sqrt{(y^2 - (\overline{y})^2)} = 0.1242$$

$$1/a = \sqrt{(2N/(N-1))} \times S_x = 0.1784$$

Nは資料数

基本推定式を完成させる

基本推定式を完成する

$$\text{Log}(X + b) = \overline{Y} + \frac{1}{a} \cdot \zeta$$

X : 求める確率年の値
 : 確率年によって定まっている値
)応用水文統計学P78

の値は、次頁の値を用いる。

確率年別の値Xを求める

$$\text{Log}(X + b) = y + 1/a \times \zeta$$

$$X + b = 10^{(y + 1/a \times \zeta)}$$

$$X = 10^{(y + 1/a \times \zeta)} - b$$

通年の時間最大雨量

確率年	ζ	$y + 1/a \times \zeta$	$X + b$	求める値 X(mm)
200	1.8215	1.9403	87.157	95.3
100	1.6450	1.9088	81.059	89.2
50	1.4520	1.8744	74.886	83.1
30	1.2967	1.8467	70.259	78.4
20	1.1630	1.8228	66.497	74.7
10	0.9062	1.7770	59.841	68.0

の値

$$\frac{100}{W(\%)} = N \rightarrow \xi$$

N (年)	ξ	N (年)	ξ	N (年)	ξ	N (年)	ξ	N (年)	ξ
2	0.0000	37	1.3622	72	1.5560	107	1.6629	260	1.8847
3	0.3045	38	1.3702	73	1.5597	108	1.6654	270	1.8936
4	0.4769	39	1.3782	74	1.5635	109	1.6678	280	1.9022
5	0.5951	40	1.3860	75	1.5672	110	1.6701	290	1.9105
6	0.6858	41	1.3932	76	1.5709	111	1.6725	300	1.9184
7	0.7547	42	1.4008	77	1.5745	112	1.6749	310	1.9260
8	0.8134	43	1.4079	78	1.5780	113	1.6772	320	1.9335
9	0.8634	44	1.4145	79	1.5815	114	1.6795	330	1.9407
10	0.9062	45	1.4213	80	1.5849	115	1.6818	340	1.9476
11	0.9442	46	1.4276	81	1.5883	116	1.6841	350	1.9542
12	0.9780	47	1.4342	82	1.5917	117	1.6863	360	1.9606
13	1.0084	48	1.4404	83	1.5950	118	1.6885	370	1.9672
14	1.0361	49	1.4464	84	1.5982	119	1.6907	380	1.9733
15	1.0614	50	1.4520	85	1.6014	120	1.6929	390	1.9792
16	1.0848	51	1.4578	86	1.6046	125	1.7034	400	1.9850
17	1.1065	52	1.4634	87	1.6077	130	1.7135	410	1.9906
18	1.1263	53	1.4693	88	1.6108	135	1.7232	420	1.9961
19	1.1455	54	1.4746	89	1.6138	140	1.7324	430	2.0014
20	1.1630	55	1.4798	90	1.6168	145	1.7414	440	2.0067
21	1.1798	56	1.4849	91	1.6198	150	1.7499	450	2.0118
22	1.1955	57	1.4901	92	1.6228	155	1.7582	460	2.0166
23	1.2102	58	1.4952	93	1.6257	160	1.7662	470	2.0213
24	1.2246	59	1.4999	94	1.6285	165	1.7739	480	2.0260
25	1.2380	60	1.5047	95	1.6314	170	1.7814	490	2.0305
26	1.2509	61	1.5094	96	1.6342	175	1.7885	500	2.0350
27	1.2639	62	1.5141	97	1.6369	180	1.7955	550	2.0565
28	1.2749	63	1.5180	98	1.6396	185	1.8023	600	2.0757
29	1.2861	64	1.5231	99	1.6423	190	1.8089	650	2.0931
30	1.2967	65	1.5274	100	1.6450	195	1.8153	700	2.1094
31	1.3069	66	1.5317	101	1.6476	200	1.8215	750	2.1242
32	1.3170	67	1.5359	102	1.6502	210	1.8332	800	2.1375
33	1.3270	68	1.5400	103	1.6528	220	1.8446	850	2.1506
34	1.3359	69	1.5441	104	1.6554	230	1.8554	900	2.1630
35	1.3453	70	1.5481	105	1.6579	240	1.8656	950	2.1750
36	1.3537	71	1.5521	106	1.6604	250	1.8753	1000	2.1850

時間雨量(通年)【2/2】

mの値(N/10)

3

bの値算定

Xti	Xsi	Xti・Xsi-Xg ²	2Xg-(Xti+Xsi)	b _{si}
90.5	33.0	517.393	-24.120	-21.451
75.5	33.5	60.143	-9.620	-6.252
72.0	34.0	-21.107	-6.620	3.188
合計				-24.515
平均			b=	-8.172

$$S_x = \sqrt{(y^2 - (y)^2)} = 0.1242$$

$$1/a = \sqrt{(2N/(N-1))} \times S_x = 0.1784 \quad N \text{は資料数}$$

推定基本式

$$\text{Log}(X+b) = y + 1/a \times \zeta$$

通年の時間最大雨量

確率年	ζ	$y + 1/a \times \zeta$	X+b	求める値 X(mm)
200	1.8215	1.9403	87.157	95.3
100	1.6450	1.9088	81.059	89.2
50	1.4520	1.8744	74.886	83.1
30	1.2967	1.8467	70.259	78.4
20	1.1630	1.8228	66.497	74.7
10	0.9062	1.7770	59.841	68.0

4 . 施設設計と確率計算

施設の改修（河川や水路が主体）を行う場合、本川・支川を含めた流域全体のバランスと川（水路）沿いの自然条件や社会条件を考えながら各河川（水路）の重要度、過去の災害履歴などを考慮して、どのくらいの流量を流せるようにするかを決定する必要があります。

- - 計画規模（治水安全度） - -

河川改修

河川改修の計画規模は「何年に一度の割合で発生する洪水に対して安全な川にするか」という目標値で表わされます。この計画規模を治水安全度ともよびます。国の管理河川では100年に一度（1/100）としています。

昭和の代までは50年に一度（1/50）と言われていました。これは、「人生50年」と言われていた時代からの流れだと思います。すなわち、「生きていて一度見られるかどうか」の確率なのです。石垣の真栄里ダムの洪水調節も50年確率で行われたことを覚えています。

農業用排水路や山地河川

農業用排水路や山地河川の計画規模は10年に一度（1/10）で行われているのが一般です。これは、施設の重要度や周辺に与える影響が少ないことによるものだと思います。

ダムやため池

ダムやため池の計画規模は200年に一度（1/200）で行われます。この確率年は国内では最大です。これは、施設（ダムやため池）が決壊した場合の周辺に与える影響が大きくなることによるものです。よって、ダムは200年確率ですが、この下流の河川は10年確率で計画されていることは、よくあることです。200年確率の洪水は殆んどみることが出が出来ません。近年では福岡市で平成9年に発生した降雨が200年確率相当（時間雨量95mm）でした。この数値は那覇では20年確率相当です（那覇では近年の記録として下記に示すような時間雨量があります）。

- - 那覇の降雨記録（時間雨量） - -

- | | |
|------------------|-------------------|
| ・ 昭和60年・・・95.0mm | ・ 昭和61年・・・94.0mm |
| ・ 平成4年・・・102.5mm | ・ 平成10年・・・110.5mm |
| ・ 平成12年・・・89.0mm | |

- - 参考（1時間雨量と1時間降雨強度の違い） - -

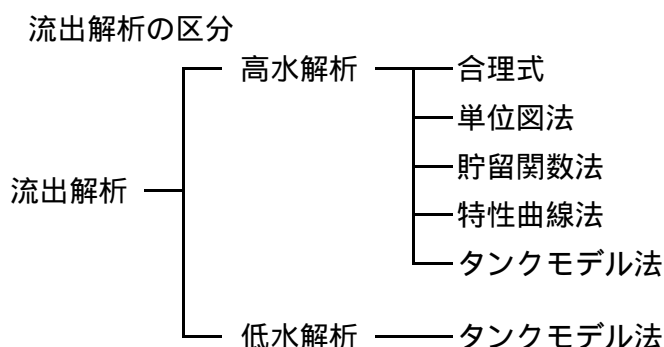
1時間雨量と降雨強度は、ともに単位はmm/hrで表わされます。違いは、1時間に降った雨（1時間雨量）と、この勢い（強度）で振り続けられれば1時間相当で mmになるであろうと言う雨（1時間降雨強度）の違いです。車で言えば、1時間に走った距離と走っている途中のメーターが示す速度との違いのことです。

5．流出解析で使用する用語

前述以外に流出解析でよく使用する用語について概説するとともに、計算手法について下記に添付します。

5 - 1．流出解析

流出解析とは、雨量を流量に変換する解析であり、高水解析と低水解析があります。洪水を対象にしたものが高水解析であり1時間から数日までの流出量を求めるのに対し、日単位の流量を比較的長期にわたって取り扱うものが低水解析となります。また、高水解析はいくつかの手法があるのに対し(下記に示す区分参照)、低水解析はタンクモデル法のみとなります。高水解析のうち合理式はピーク洪水量のみを把握するもので、これ以外は流量分布(ハイドログラフ)を把握するための解析方法です。



5 - 2．確率計算に用いる雨量データ

確率計算は、日雨量・時間雨量・10分間雨量を行います。これは、次のような使い分けをします。

流域面積が大きく、洪水到達時間が長い場合(60分以上)

日雨量と時間雨量より洪水量を把握します。

流域面積が小さく、洪水到達時間が短い場合(120分以内)

時間雨量と10分間雨量より洪水量を把握します。

洪水到達時間が上記 と の両方の範囲となる場合(60~120分)

上記 と の両方で洪水量を算定し、大なる方を採用します。

5 - 3．特性係数

特性係数は長時間と短時間の2種類があります。日雨量と時間雨量の関係から求められるものが長時間特性係数 N^1 で、1時間と10分間雨量の関係から求められるものが短時間特性係数 N^{10} です。

$$\text{長時間特性係数 } N^1 = \frac{24 \times R_N^1}{R_N^{24}}$$

R_N^1 : N年確率の時間雨量

R_N^{24} : N年確率の日雨量

$$\text{短時間特性係数 } N^{10} = \frac{6 \times R_N^{10}}{R_N^{60}}$$

R_N^{10} : N年確率の10分間雨量

R_N^{60} : N年確率の時間雨量

5 - 4 . 降雨強度式

降雨強度式は、下記の3種類があります。採用する式は地域によって違います。
沖縄は、石黒式を適用しているようです。

$$I_{10}^t = \frac{a}{t + b} \quad \text{タルボット式}$$

$$I_{10}^t = \frac{a}{t^n} \quad \text{シャーマン式}$$

$$I_{10}^t = \frac{a}{t + b} \quad \text{石黒式}$$

5 - 5 . 短時間降雨強度式 (本部の10年確率を例として行う)

ここでは、設計洪水量を算定するための基本となる短時間降雨強度式の例を添付します。短時間降雨強度式は、1時間雨量と10分間雨量から求められるものであるが、本部観測所に10分間雨量がないため、名護観測所の短時間特性係数を用いて本部の短時間降雨強度式を求めます。

1) 短時間特性係数 (10年確率の場合)

特性係数は、本部に10年確率値がないため、名護の値を用いる。

$$I_{10}^{10} = \frac{6 \times R_{10}^{10}}{R_{10}^1} = \frac{6 \times 21.9}{68.0} = 1.93$$

$$\text{10年確率1時間雨量} \quad R_{10}^1 = 68.0 \quad \text{mm/hr} \quad \text{名護}$$

$$\text{10年確率10分間雨量} \quad R_{10}^{10} = 21.9 \quad \text{mm/hr} \quad \text{名護}$$

2) 短時間特性係数式

ピーク流量を把握するため短時間特性係数は、石黒式とする。

$$I_{10}^t = \frac{a}{t + b} \quad \text{石黒式}$$

係数 (a, b) の把握

$$b = \frac{60 - I_{10}^{10} \times 10}{I_{10}^{10} - 1} = \frac{60 - 1.93 \times 10}{1.93 - 1} = 1.77$$

$$a = 60 + b = 60 + 1.77 = 9.52$$

$$I_{10}^t = \frac{9.52}{t + 1.77}$$

3) 降雨強度式

降雨強度式は短時間特性係数式に1時間雨量を乗じて求める。

$$\begin{aligned} I_{10}^t &= I_{10}^t \times R_{10}^1 && R_{10}^1 ; \text{係数の1時間雨量 } 67.5 \text{ mm} \\ &= \frac{9.52}{t + 1.77} \times 67.5 \\ &= \frac{642.6}{t + 1.77} \end{aligned}$$

5 - 6 . 設計洪水量

ここでは、洪水到達時間の算定方式と設計洪水量の算定例を添付します。

短時間降雨強度式は、5 - 5 項の式を用います。

1) 洪水到達時間 t の算定式

$$t = C \times A^{0.22} \times re^{-0.35} \quad (\text{門屋・福島式})$$

$$re = f \times r$$

$$r = \frac{642.6}{t + 1.77} \quad r ; \text{降雨強度式 (5 - 5 項より)}$$

$$C = 141.0 \quad f = 0.62 \quad A = 100.0 \text{ ha} = 1.00 \text{ km}^2$$

流域係数の算定表表

地目	面積	係数 C	A × C	係数 f	A × f
畑	30.0	90	2,700.0	0.53	15.90
原野	50.0	200	10,000.0	0.63	31.50
住宅地域	20.0	70	1,400.0	0.75	15.00
計	100.0		14,100.0		62.40
平均			141.0		0.62

地目別の係数 C、f は、設計基準計画「排水」p 206～209による。

$$\begin{aligned} t &= 141.0 \times 1.00^{0.22} \times re^{-0.35} \\ &= 141.0 \times re^{-0.35} \\ &= 141.0 \times \left[0.62 \times \frac{642.6}{t + 1.77} \right]^{-0.35} \end{aligned}$$

上式より t を試算し、洪水到達時間 t = 35.47 (min) を得る。

2) ピーク洪水量

・洪水到達時間内平均有効降雨強度 re

$$re = 0.62 \times \frac{642.6}{35.47 + 1.77} = 51.6 \text{ mm/hr}$$

・洪水量 (合理式による)

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{3.6} \times re \times A \\ &= \frac{1}{3.6} \times 51.6 \times 1.00 \\ &= 14.33 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

3) ピーク洪水量 (降雨強度式がタルボット式の場合)

$$10^t = \frac{a}{t + b} \quad \text{タルボット式}$$

係数 (a, b) の把握

$$b = \frac{60 - 10^{10} \times 10}{10^{10} - 1} = \frac{60 - 1.93 \times 10}{1.93 - 1} = 43.76$$

$$a = 60 + b = 60 + 43.76 = 103.76$$

$$10^t = \frac{103.76}{t + 43.76}$$

降雨強度式

降雨強度式は短時間特性係数式に 1 時間雨量を乗じて求める。

$$\begin{aligned} I_{10^t} &= 10^t \times R_{10^t}^1 && R_{10^t}^1 ; \text{ 係数の 1 時間雨量 } 67.5 \text{ mm} \\ &= \frac{103.76}{t + 43.76} \times 67.5 \\ &= \frac{7003.8}{t + 43.76} \end{aligned}$$

洪水到達時間 t の算定式

$$t = 141.0 \times \left[0.62 \times \frac{7003.8}{t + 43.76} \right]^{-0.35}$$

上式より t を試算し、洪水到達時間 t = 34.59 (min) を得る。

洪水到達時間内平均有効降雨強度 re

$$re = 0.62 \times \frac{7003.8}{34.59 + 43.76} = 55.4 \text{ mm/hr}$$

ピーク洪水量

$$Q = \frac{1}{3.6} \times 55.4 \times 1.00 = 15.39 \text{ m}^3/\text{s}$$

4) ピーク洪水量 (降雨強度式がシャーマン式の場合)

$$I_{10}^t = \frac{a}{t^n} \quad \text{シャーマン式}$$

係数 (a、n) の把握

$$b = \frac{\text{Log } 10^{10}}{\text{Log}60 - \text{Log}10} = \frac{\text{Log } 1.93}{\text{Log}60 - \text{Log}10} = 0.37$$

$$a = 60^n = 60^{0.37} = 4.55$$

$$I_{10}^t = \frac{4.55}{t^{0.37}}$$

降雨強度式

降雨強度式は短時間特性係数式に1時間雨量を乗じて求める。

$$\begin{aligned} I_{10}^t &= I_{10}^t \times R_{10}^1 && R_{10}^1 ; \text{係数の1時間雨量 } 67.5 \text{ mm} \\ &= \frac{4.55}{t^{0.37}} \times 67.5 \\ &= \frac{307.1}{t^{0.37}} \end{aligned}$$

洪水到達時間 t の算定式

$$t = 141.0 \times \left[0.62 \times \frac{307.1}{t^{0.37}} \right]^{-0.35}$$

上式より t を試算し、洪水到達時間 t = 23.39 (min) を得る。

洪水到達時間内平均有効降雨強度 re

$$re = 0.62 \times \frac{307.1}{t^{0.37}} = 59.3 \text{ mm/hr}$$

ピーク洪水量

$$Q = \frac{1}{3.6} \times 59.3 \times 1.00 = 16.47 \text{ m}^3/\text{s}$$

5) ピーク洪水量 (まとめ)

項目	降雨強度式 I_{10}^t	洪水到達時間 t (min)	有効降雨強度 re (mm/hr)	ピーク洪水量 Q (m ³ /s)
タルボット式	$\frac{103.8}{t + 43.76}$	34.59	55.4	15.39
シャーマン式	$\frac{307.1}{t^{0.37}}$	23.39	59.3	16.47
石黒式	$\frac{642.6}{t + 1.77}$	35.47	51.6	14.33

5 - 7 . ハイエトグラフ

ハイエトグラフとは雨量分布図のことで、洪水計画では24時間の雨量分布図を作成します。近年では降雨到達時間を考慮した方法が提案されていますが、解り難いため従来の方法について紹介します。

この方法は、防災ダムの計画降雨として採用されていたもので、後方山形を降雨パターンとしています（降雨のピークが全体の8割の位置にある「後方8割」を採用しています）。特性係数式は地域に関係なくタルボット式とします。

計算例（本部の10年確率雨量）を以下に添付します。

計算例

1) 日雨量と時間雨量（本部）

$$\text{10年確率日雨量 } R_{10}^{24} = 226.2 \text{ mm/日}$$

$$\text{10年確率時間雨量 } R_{10}^1 = 67.5 \text{ mm/hr}$$

2) 日雨量と時間雨量

$$\text{特性係数値 } 10^1 = \frac{24 \times R_{10}^1}{R_{10}^{24}} = \frac{24 \times 67.5}{226.2} = 7.162$$

$$\text{特性係数式 } 10^t = \frac{a}{t + b} \quad \text{タルボット式}$$

t = 時間 a , b = 係数
 係数a,bは、t = 24のとき $10^{24} = 1.00$, t = 1のとき $10^1 = 7.162$ となる性質を持つことを利用して把握する。

$$10^{24} = \frac{a}{24 + b} = 1.0 \quad \Leftrightarrow \quad a = 24 + b \quad \dots (1)$$

$$10^1 = \frac{a}{1 + b} = 7.162 \quad \Leftrightarrow \quad a = 7.162 + 7.162 b \quad \dots (2)$$

(1) , (2)式より

$$b = \frac{24 - 7.162}{7.162 - 1} = 2.733$$

(1)式より

$$a = 24 + 2.733 = 26.733$$

特性係数式 10^t は、次のとおりとなる。

$$10^t = \frac{26.733}{t + 2.733}$$

長時間降雨強度式 I_{10}^t

$$\begin{aligned} I_{10}^t &= 10^t \times R_{10}^{24} \\ &= \frac{26.733}{t + 2.733} \times 226.2 = \frac{6,047.0}{t + 2.733} \end{aligned}$$

3) 降雨ハイトグラフの作成

ピーク前の降雨強度 I

$$I = a \times b \times r^2 \times \left(\frac{1}{t_1 + b \times r} - \frac{1}{t_2 + b \times r} \right)$$

 a, b : 長時間降雨強度式の係数

$$a = 6,047.0 \quad b = 2.733$$

 r : ピーク時の位置 (後方 8 割の場合 $r = 0.8$) t_1 : 降雨強度を求める時の初めの時刻 0, 0.8, 1.8, 2.8, ..., 17.8 t_2 : " 終わりの時刻 0.8, 1.8, 2.8, 3.8, ..., 18.8

$$a \times b \times r^2 = 6,047.0 \times 2.733 \times 0.8^2 = 10,576.9$$

$$b \times r = 2.733 \times 0.8 = 2.186$$

上記より降雨強度式は次のとおりとなる。

$$I = 10,576.9 \times \left(\frac{1}{t_1 + 2.186} - \frac{1}{t_2 + 2.186} \right)$$

-1. $t_1 = 0, t_2 = 0.8$ の場合

$$I = 10,576.9 \times \left(\frac{1}{0 + 2.186} - \frac{1}{0.8 + 2.186} \right) = 1,296.3$$

時間雨量

$$r = \frac{1,296.3}{24} = 54.0 \text{ (mm/hr)}$$

-2. $t_1 = 0.8, t_2 = 1.8$ の場合

$$I = 10,576.9 \times \left(\frac{1}{0.8 + 2.186} - \frac{1}{1.8 + 2.186} \right) = 888.7$$

時間雨量

$$r = \frac{888.7}{24} = 37.0 \text{ (mm/hr)}$$

ピーク後の降雨強度 I

$$I = a \times b \times (1-r)^2 \times \left\{ \frac{1}{t_1 - b \times (1-r)} - \frac{1}{t_2 - b \times (1-r)} \right\}$$

係数はピーク前に同じ。ただし、 t_1, t_2 は次のとおりとなる。 t_1 : 降雨強度を求める時の初めの時刻 0, 0.2, 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 t_2 : " 終わりの時刻 0.2, 1.2, 2.2, 3.2, 4.2, 5.2

$$a \times b \times (1-r)^2 = 6,047.0 \times 2.733 \times (1-0.80)^2 = 661.1$$

$$b \times (1-r) = 2.733 \times (1-0.80) = 0.547$$

上記より降雨強度式は次のとおりとなる

$$I = 661.1 \times \left(\frac{1}{t_1 + 0.547} - \frac{1}{t_2 + 0.547} \right)$$

-1. $t_1 = 0, t_2 = 0.2$ の場合

$$I = 661.1 \times \left(\frac{1}{0 + 0.547} - \frac{1}{0.2 + 0.547} \right) = 323.6$$

時間雨量

$$r = \frac{323.6}{24} = 13.5 \text{ (mm/hr)}$$

ピーク前の時間雨量 54.0 (mm/hr)に 13.5 を加えて 67.5 (mm/hr)となる。

これは、確率計算結果の10年確率の時間雨量値と一致するものであり、本法の算定が妥当であることの証明になる。

$$r = 54.0 + 13.5 = 67.5 \text{ (mm/hr)}$$

-2. $t_1=0.2$, $t_2=1.2$ の場合

$$I = 661.1 \times \left(\frac{1}{0.2 + 0.547} - \frac{1}{1.2 + 0.547} \right) = 506.6$$

時間雨量

$$r = \frac{506.6}{24} = 21.1 \text{ (mm/hr)}$$

以下、同様な算定で降雨分布を表5 - 1で算定する(結果を図に添付)。

表5 - 1. ハイエトグラフの作成表

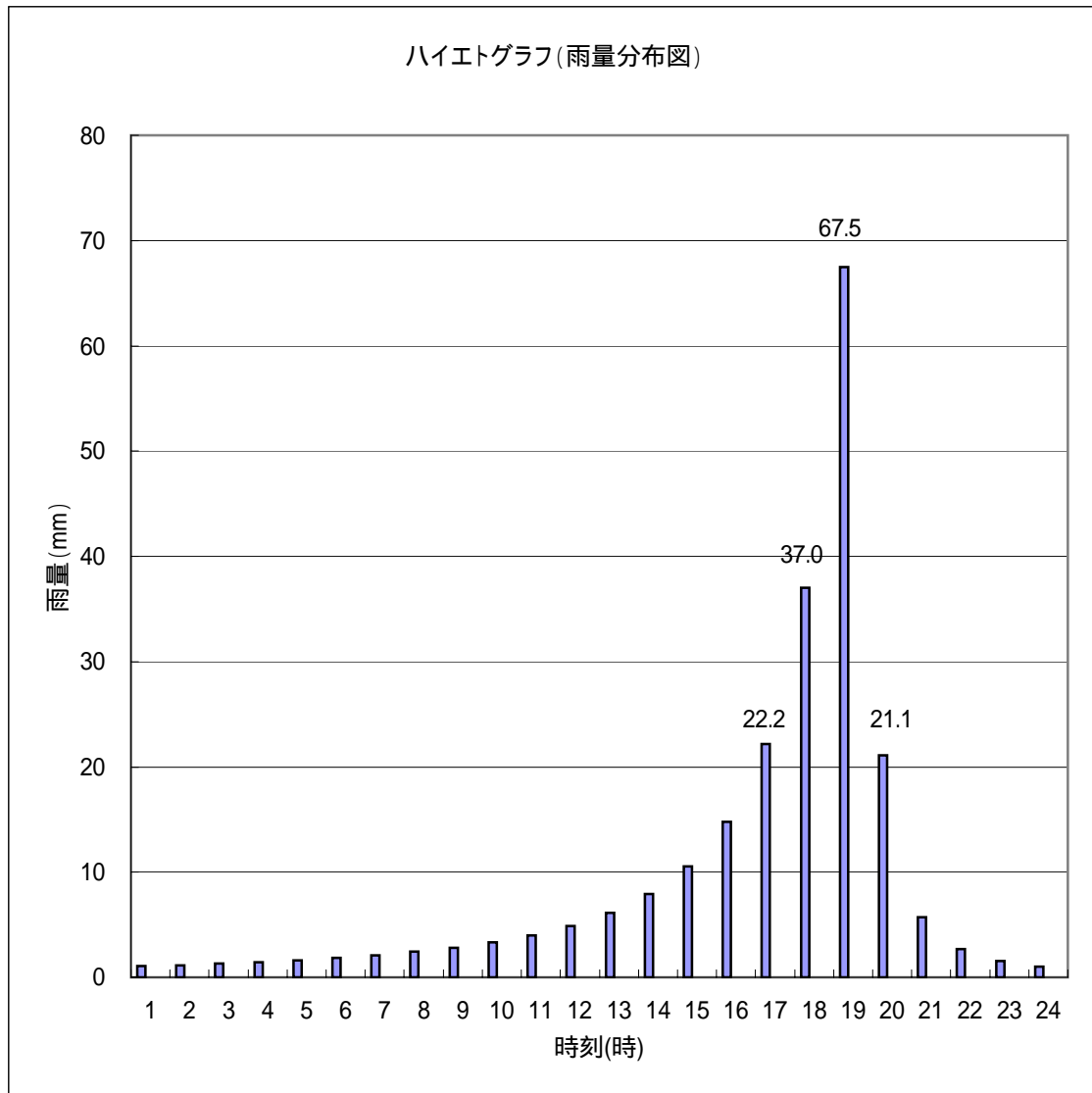
時刻	ピーク前の時間		ピーク後の時間		降雨強度 (mm/24hr)	時間雨量 (mm/hr)
	t_1	t_2	t_1	t_2		
1	17.8	~ 18.8			25.22	1.1
2	16.8	~ 17.8			27.87	1.2
3	15.8	~ 16.8			30.97	1.3
4	14.8	~ 15.8			34.62	1.4
5	13.8	~ 14.8			38.95	1.6
6	12.8	~ 13.8			44.15	1.8
7	11.8	~ 12.8			50.46	2.1
8	10.8	~ 11.8			58.24	2.4
9	9.8	~ 10.8			67.95	2.8
10	8.8	~ 9.8			80.32	3.4
11	7.8	~ 8.8			96.41	4.0
12	6.8	~ 7.8			117.87	4.9
13	5.8	~ 6.8			147.39	6.1
14	4.8	~ 5.8			189.58	7.9
15	3.8	~ 4.8			252.93	10.5
16	2.8	~ 3.8			354.38	14.8
17	1.8	~ 2.8			532.19	22.2
18	0.8	~ 1.8			888.65	37.0
19	0.0	~ 0.8			1296.31	67.5
			0	~ 0.2	323.59	
20			0.2	~ 1.2	506.59	21.1
21			1.2	~ 2.2	137.76	5.7
22			2.2	~ 3.2	64.23	2.7
23			3.2	~ 4.2	37.17	1.6
24			4.2	~ 5.2	24.23	1.0
計						226.2

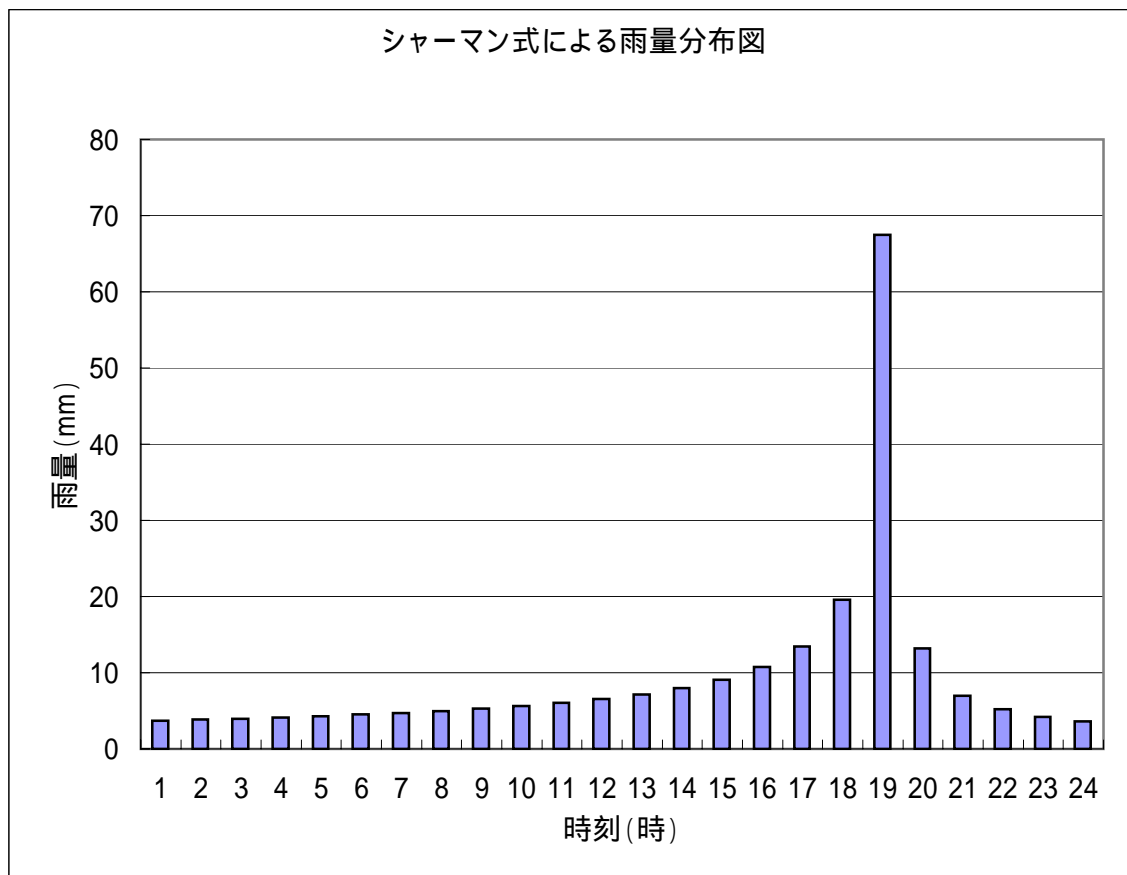
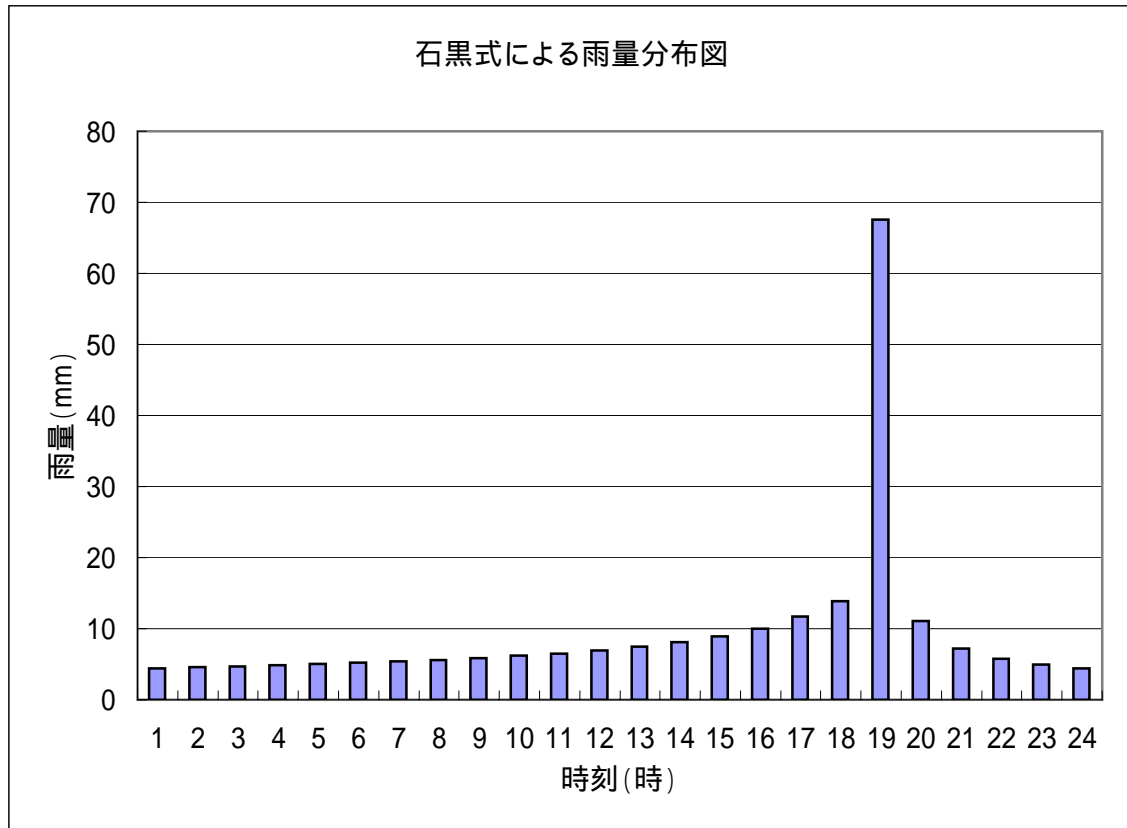
降雨強度

$$\text{ピーク前} \quad 10576.9 \times \{1/(t_1 + 2.186) - 1/(t_2 + 2.186)\}$$

$$\text{ピーク後} \quad 661.1 \times \{1/(t_1 + 0.547) - 1/(t_2 + 0.547)\}$$

時間雨量 = 降雨強度 / 24





5 - 8 . ハイドログラフ

ハイドログラフとは流量分布図のことで、作成方法は前述の単位図法、貯留関数法、特性曲線法、タンクモデル法などがあります。

農政で扱う場合、流域面積が小さく、流域が単一の場合がほとんどであるため単位図法によるハイドログラフで十分である。ここでは前述のハイドログラフ（表 5 - 1）を用いてハイドログラフを作成する。このグラフのピークは、5 - 6 項のピーク洪水量 14.33m³/sになるようにします。

1) . 単位図の係数決定方法

単位図法は雨量 1 mm に対する流出量（時間分布）を算定して、実際の雨量を乗じて流量を算定するものである。算定の基本式（「排水」p.221の単位図）には、流出率が考慮されていないので、これを考慮したものとする。

- - - 中安の総合単位図法 - - -

$$Q_{\max} = 0.2778 \times \frac{A \times R_0}{0.3 \times T_1 + T_{0.3}} \times f$$

R_0 : 単位雨量 (1mm とする) , A : 流域面積 1.00 km²

Q_{\max} : ピーク流出量 (m³/s)

T_1 : ピーク到達時間 (設計洪水量算定の値 35.47 分 (0.591 hr) とする)

$T_{0.3}$: Q_{\max} が 0.3 Q_{\max} になる時間

f : 流出率 (設計洪水量で算定した値 f : 0.62)

$$Q_{\max} = 0.2778 \times \frac{1 \times 1.0}{0.3 \times 0.591 + T_{0.3}} \times 0.62$$

$$= \frac{0.1722}{0.177 + T_{0.3}}$$

上昇曲線

$$Q_a = Q_{\max} \times \left[\frac{t}{T_1} \right]^{2.4}$$

t : 上昇時はピーク値のみであるので、 $t = T_1 = 0.591$ となる。

減水曲線

Q_d 0.3 Q_{\max} の場合

$$Q_d = Q_{\max} \times 0.3 \left[\frac{t - T_1}{T_{0.3}} \right] \dots \dots$$

0.3 Q_{\max} Q_d 0.3² Q_{\max} の場合

$$Q_d = 0.3 \times Q_{\max} \times 0.3 \left[\frac{t - (T_1 + T_{0.3})}{1.5 \times T_{0.3}} \right] \dots \dots$$

0.3² Q_{\max} Q_d の場合

$$Q_d = 0.3^2 \times Q_{\max} \times 0.3 \left[\frac{t - (T_1 + 2.5 \times T_{0.3})}{3 \times T_{0.3}} \right] \dots$$

2) . 単位図法によるハイドログラフ

前項より、 Q_{max} は $T_{0.3}$ が決まれば求まることになる。ここでは、 $T_{0.3}$ を任意の値を代入洪水波形のピークの値が設計洪水量 $Q = 14.33 \text{ m}^3/\text{s}$ に一致するような $T_{0.3}$ を求める。算定は表 5 - 2 で行う。その結果 $T_{0.3} = 0.781 \text{ hr}$ を得た。

単位雨量 1.0mm に対する流出量を以下に示す。

- - - 単位雨量 $R_0 = 1.0\text{mm}$ に対する時間毎の流出量 - - -

・ ピーク流出量

$$Q_{max} = \frac{0.1722}{0.177 + 0.781} = 0.1797 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

到達時間が 1 時間以内 ($t = 0.591 \text{ hr}$) であるので、このピーク流出量を初期 ($t = 1 \text{ 時}$) の流出量とする。

・ $t = 2$ 時の流出量 ($t = 1.591 \text{ hr}$ として算定)

$$Q_d = Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - T_1}{T_{0.3}} \right]$$

$$= 0.1797 \times 0.3 \left[\frac{1.591 - 0.591}{0.781} \right]$$

$$= 0.0385$$

$$0.3 \times Q_{max} = 0.3 \times 0.1797 = 0.0539$$

$Q_d = 0.3Q_{max}$ となるので、減水曲線 で算定

$$Q_d = 0.3 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - (T_1 + T_{0.3})}{1.5 \times T_{0.3}} \right]$$

$$= 0.3 \times 0.1797 \times 0.3 \left[\frac{1.591 - (0.591 + 0.781)}{1.5 \times 0.781} \right]$$

$$= 0.043$$

・ $t = 3$ 時の流出量 ($t = 2.591 \text{ hr}$ として算定)

$$Q_d = 0.3 \times Q_{max} \times 0.3 \left[\frac{t - (T_1 + T_{0.3})}{1.5 \times T_{0.3}} \right]$$

$$= 0.3 \times 0.1797 \times 0.3 \left[\frac{2.591 - (0.591 + 0.781)}{1.5 \times 0.781} \right]$$

$$= 0.0154$$

$$0.3^2 \times Q_{max} = 0.09 \times 0.1797 = 0.0162$$

$Q_d = 0.3^2 Q_{max}$ となるので、減水曲線 式で算定する。

$$\begin{aligned}
 Q_d &= 0.3^2 \times Q_{\max} \times 0.3 \left[\frac{t}{3} \times \frac{(T_1 + 2.5 \times T_{0.3})}{T_{0.3}} \right] \\
 &= 0.3^2 \times 0.1797 \times 0.3 \left[\frac{2.591}{3} \times \frac{(0.591 + 2.5 \times 0.781)}{0.781} \right] \\
 &= 0.0158
 \end{aligned}$$

・ t = 4時の流出量 (t = 3.591 hrとして算定)

$$\begin{aligned}
 Q_d &= 0.3^2 \times 0.1797 \times 0.3 \left[\frac{3.591}{3} \times \frac{(0.591 + 2.5 \times 0.781)}{0.781} \right] \\
 &= 0.0094
 \end{aligned}$$

以下同様にして、 t = 5 ~ 15時の単位流出量を算定する。結果を下表に添付する。

単位雨量 R₀ = 1.0mmより時間毎の流出量

時間 t (時)	1	2	3	4	5	6	7	8
流出量 (m ³ /s)	0.17975	0.04306	0.01579	0.00944	0.00565	0.00338	0.00202	0.00121
時間 t (時)	9	10	11	12	13	14	15	
流出量 (m ³ /s)	0.00072	0.00043	0.00026	0.00015	0.00009	0.00006	0.00003	

上表の値に計画降雨 (表 5 - 1) を乗じて流出量を求める。雨量が 2 mm の場合、上記の値が 2 倍となる。また、時間雨量の時刻が 1 時間ずれた場合は、1 時間ずらして算定し、それぞれの時刻における流出量を合計して毎正時の流出量とする (表 5 - 2 参照)。毎正時の流出量を以下に示す。

時間雨量と計算流量

時刻	時間雨量	計算流量
	mm	m ³ /s
1	1.1	0.19
2	1.2	0.25
3	1.3	0.30
4	1.4	0.34
5	1.6	0.39
6	1.8	0.45
7	2.1	0.51
8	2.4	0.59
9	2.8	0.68
10	3.4	0.80
11	4.0	0.96
12	4.9	1.16
13	6.1	1.44
14	7.9	1.84
15	10.5	2.42
16	14.8	3.35
17	22.2	4.93
18	37.0	8.03
19	67.5	14.33
20	21.1	7.64
21	5.7	3.57
22	2.7	2.04
23	1.6	1.27
24	1.0	0.81
25		0.41
26		0.23
27		0.14
28		0.08
29		0.05
30		0.03
31		0.02
32		0.01
33		0.01
計	226.2	54.77

*

* : ピーク流量

時間雨量は、表5 - 1 に示す雨量である。
 計算流量は、表5 - 2 で求めたものである。

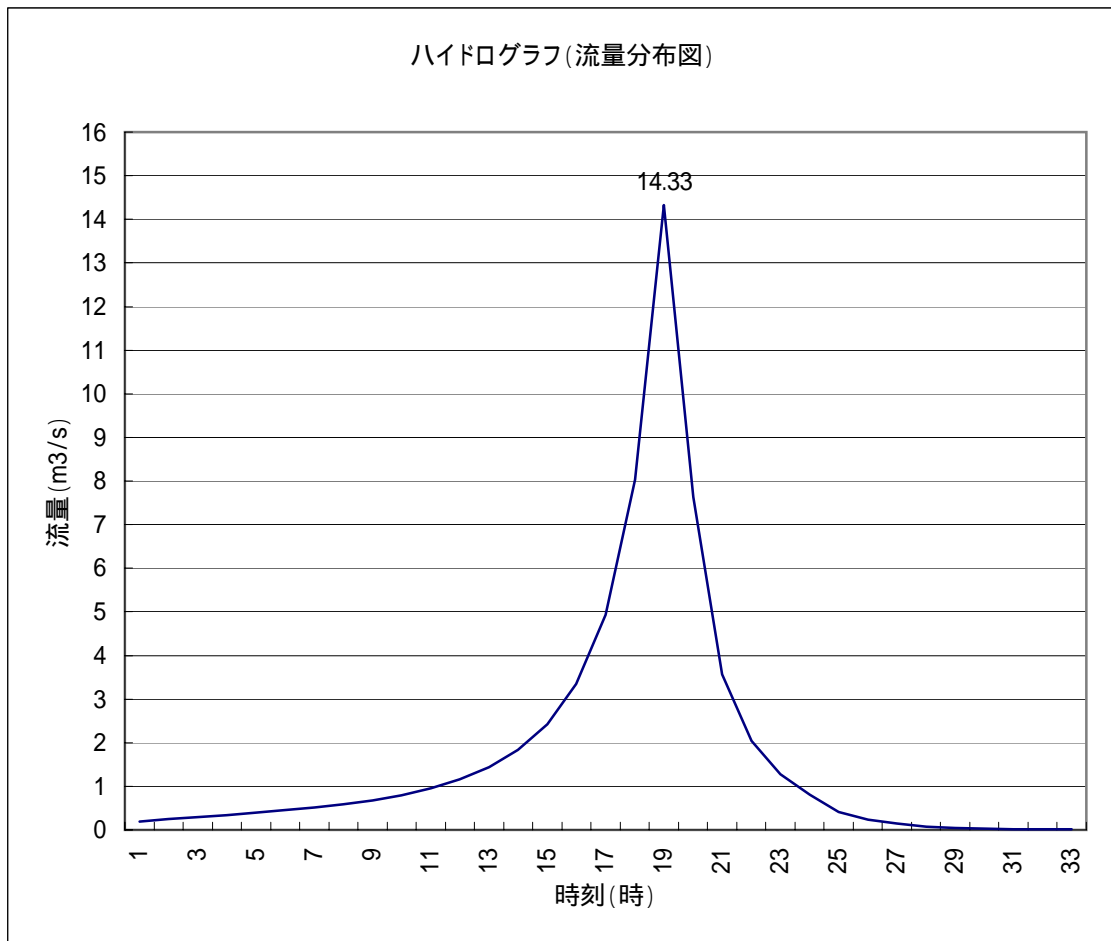


表5-2. ハイドログラフ(単位図法による計算書)

時刻(hr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
時間雨量(mm)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1	2.4	2.8	3.4	4.0	4.9	6.1	7.9	10.5	14.8	22.2	37.0	67.5	21.1	5.7	2.7	1.6	1.0
計算時刻(時)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.1887																							
2	0.0452	0.2085																						
3	0.0166	0.0499	0.2319																					
4	0.0093	0.0183	0.0555	0.2588																				
5	0.0059	0.0110	0.0204	0.0620	0.2912																			
6	0.0035	0.0066	0.0122	0.0227	0.0698	0.3307																		
7	0.0021	0.0039	0.0073	0.0136	0.0256	0.0792	0.3775																	
8	0.0013	0.0023	0.0044	0.0081	0.0153	0.0290	0.0804	0.4368																
9	0.0008	0.0014	0.0026	0.0049	0.0092	0.0174	0.0332	0.1046	0.5087															
10	0.0005	0.0008	0.0016	0.0029	0.0055	0.0104	0.0198	0.0384	0.1219	0.6022														
11	0.0003	0.0005	0.0009	0.0017	0.0033	0.0062	0.0119	0.0229	0.0447	0.1442	0.7226													
12	0.0002	0.0003	0.0006	0.0010	0.0020	0.0037	0.0071	0.0137	0.0267	0.0529	0.1731	0.8826												
13	0.0001	0.0002	0.0003	0.0006	0.0012	0.0022	0.0042	0.0082	0.0160	0.0316	0.0635	0.2114	1.1037											
14	0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	0.0007	0.0013	0.0025	0.0049	0.0096	0.0189	0.0380	0.0775	0.2644	1.4200										
15	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	0.0008	0.0015	0.0029	0.0057	0.0113	0.0227	0.0464	0.0969	0.3401	1.8946									
16	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0003	0.0005	0.0009	0.0018	0.0034	0.0068	0.0136	0.0277	0.0560	0.1247	0.4538	2.6549								
17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0005	0.0011	0.0020	0.0041	0.0081	0.0166	0.0347	0.0746	0.1684	0.6359	3.9850							
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
29																								
30																								
31																								
32																								
33																								
34																								
35																								
36																								
37																								
38																								

単位図法による単位流出量 (0.88km², R0=1.0 mm による流出量) (m³/s)

時間 t (時)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
流出量 Q (m ³ /s)	0.17975	0.04306	0.01579	0.00844	0.00665	0.00338	0.00202	0.00121	0.00072	0.00043	0.00026	0.00015	0.00009	0.00006	0.00003	0.00002	0.00001

ピーク到達時間 T₁ = 0.581 (hr)
 ピークが3割流量になる期間 T_{0.3} = 0.781 (hr)

ピーク値 14.33