

6. 実績降雨に基づく計画基準降雨

(基準、基準の運用第3章 3.3.6 関連)

6.1 確率降雨量

6.1.1 確率年（リターンピリオド）

対象とする水文量、例えば年最大日雨量の特定の値 x_T に対応する確率年（リターンピリオド）は、式（6.1）により求める。

$$T = \frac{1}{P(x_T)} \dots\dots\dots (6.1)$$

ここに、 T : 水文量の特定の値 x_T に対応する確率年

$P(x_T)$: 水文量が x_T に等しいか、又はそれを超える値が生起する確率（これを超過確率という。）。

式（6.1）において、例えば年最大日雨量 $x_T=126\text{mm/d}$ に対する超過確率が $P(x_T)=0.1$ のとき、確率年は10年 ($T=1/0.1$) となる。ここで、 $P(x_T)$ は以下のように定義される。

$$P(x_T) = 1 - F(x_T) = 1 - \int_{-\infty}^{x_T} f(x) dx \dots\dots\dots (6.2)$$

$$\because \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1, F(x_T) = \int_{-\infty}^{x_T} f(x) dx \dots\dots\dots (6.3)$$

ここに、関数 $f(x)$ は確率密度関数であり、水文量（例えば年降水量、月降水量、日降水量）によって関数形が異なる。したがって、確率降雨量を求める際には、水文量に適した関数形を選ぶことが重要である。また関数 $F(x_T)$ は、確率密度関数 $f(x)$ の $x = x_T$ までの積分で、分布関数といわれる。

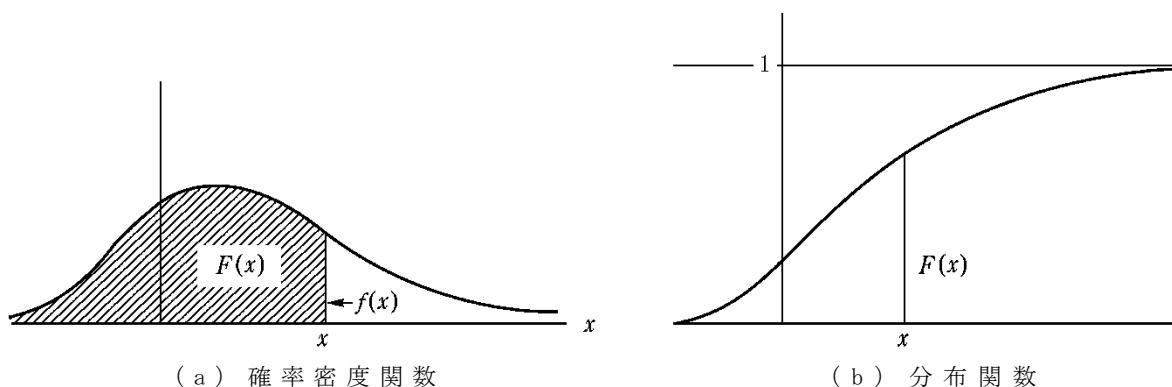


図-6.1 確率密度関数と分布関数

〔参考〕降雨分布と分布関数の例

降雨の分布状態を表す確率密度関数 $f(x)$ は、資料の性質、例えば日雨量、旬雨量、月雨量、年雨量によって図-6.2のような形状を示す傾向が知られている¹⁾。

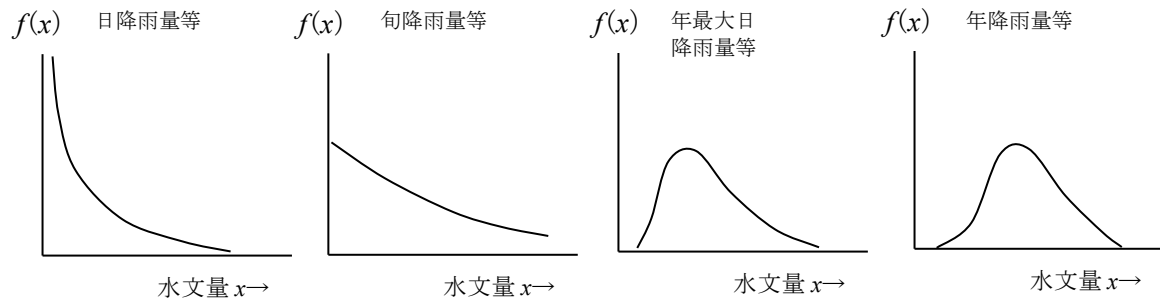


図-6.2 降雨分布の形状

これらの分布状態を表す関数形として、表-6.1がある²⁾。

表-6.1 降雨分布と分布関数

降雨分布		適用	分布関数の例
降雨 分布 の 種 類	正規分布	① 水文量をそのままの値で用いる場合と、対数変換等の変換の後正規分布を当てはめる場合がある。 ② 一般に、月平均流量等の度数分布、毎年最大値、最小値の水文量の分布は、経験的に対数正規分布が適合する例が多い。	正規分布 対数正規分布
	極値分布	① 任意の分布形を持つ母集団からとられた資料群の最大値又は最小値の分布形として理論的に導かれるもので、水文量の解析では、グンベル（Gumbel）分布及び水文量の値を対数変換して適用する対数極値分布が主に用いられる。 ② この分布は、日、時間等の比較的短時間単位の水文要素の年最大値、年最小値の資料によく適合することが知られている。	グンベル分布 対数極値分布
	ガンマ分布	① 比較的短時間の水文量の頻度曲線は双曲線形状の指数関数を示すことが多い。 ② 非毎年資料の分布解析、日雨量等の全数資料の分布解析に使われる。	指数分布 ガンマ分布 対数ピアソンⅢ型分布

6.2 確率降雨量の計算

確率降雨量の計算においては、以下の事項について検討を行う。

- ① 降雨資料の抽出
- ② 適用分布関数の選定
- ③ 資料に含まれる極端な値の取扱い
- ④ 確率降雨量の計算

6.2.1 降雨資料の抽出

確率降雨量の計算に用いる資料は、以下の事項に留意して抽出しなければならない。

(1) 期間の取り方

確率降雨量の計算では、同じ資料から抽出されたものでも、期間の取り方（母集団に対するサンプルデータのサイズ）によって計算結果が大きく異なる場合がある。一般的に、資料の抽出期間はできるだけ長い方が母集団の降雨特性に近似する。しかしながら、降雨資料収集にかかる実務をみると、長期間の均質な降雨資料の収集には多くの困難が伴い、場合によっては長期間の資

料を収集できない場合もある。

ここで、母集団の真値に対する確率降雨量の推定精度には、資料数との間に図-6.3の関係が見られ、①確率降雨量の推定には誤差を含むことが避けられないこと、②資料数を多くしても飛躍的な精度の向上が期待できないこと、を示している。なお、このグラフは、全国主要都市9か所（札幌、仙台、東京、金沢、名古屋、京都、岡山、熊本及び那覇）のそれぞれについて最近年からさかのぼった30個、50個及び100個の資料群より得られた年最大日降雨量の分布関数に、一様乱数を用いて確率降雨量を模擬発生させ、その真値に対する相対誤差を資料個数との関係で表したものである。同図では、推定値が真値に対して過大となった場合又は過小となった場合にグループ分けし、それぞれのグループについて真値に対する誤差の平均を示している。なお、図-6.3で3種類の標準偏差の値は、9都市それぞれについて、3種類の資料群ごとに算出した年最大日降雨量の標準偏差（合計 $9 \times 3 = 27$ ）から求められる最大値、中間値及び最小値を示す。

この確率降雨量の推定精度と資料数との関係から、ここでは確率降雨量の誤差を $\pm 10\%$ まで許容できると想定する。つまり、所定の資料数によって得られた確率降雨量の値が母集団の真値に対して $\pm 10\%$ の誤差の範囲ならば計画基準値として採用できるとするものである。

これにより、確率降雨量を求める場合の資料期間は、リターンピリオド10年に対して最近年からさかのぼった30年以上、リターンピリオド30年に対して40年以上、リターンピリオド50年に対して50年以上を基本とする。

具体的な降雨資料の収集に当たっては、可能な限り長期間の資料を収集することが望ましい。また、計画の対象とする降雨規模や地域における近年の降雨特性を踏まえて検討することが重要である。

(2) 降雨強度の抽出

洪水ピーク流出量を推定する場合は、洪水到達時間内の確率降雨強度が必要となる。確率降雨強度を推定するためには、降雨資料から、年最大雨量を抽出し、式(6.4)により年最大降雨強度に

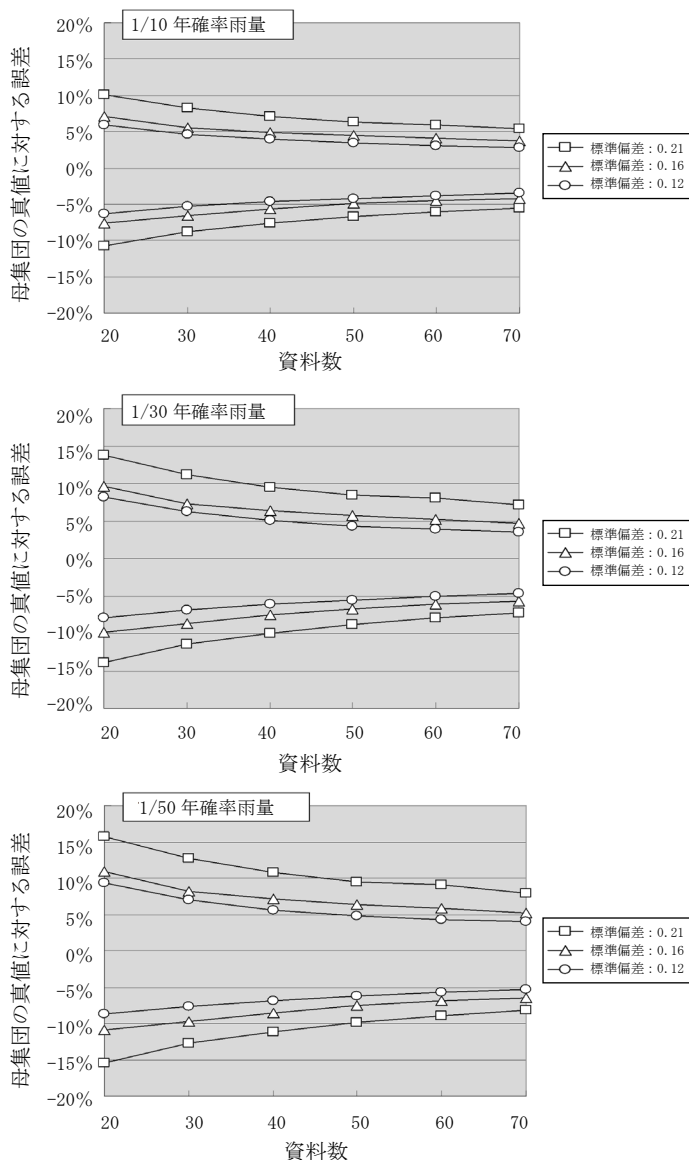


図-6.3 確率降雨量の推定精度と資料数の関係

換算しておく。

$$i_t = \frac{R}{t} \dots\dots\dots (6.4)$$

ここに、 i_t : t 時間降雨強度 (mm/h)

R : t 時間内の年最大雨量 (mm)

t : 降雨継続時間 (h)

洪水到達時間は流域の大きさやピーク流出量の大きさによって変化する。したがって、洪水ピーク流出量を求めるための降雨強度は、表-6.2の例に示すように、同一資料から想定し得る幾つかの降雨継続時間について降雨強度を抽出する必要がある。

図-6.4は、それぞれの降雨継続時間ごとの確率降雨強度にピーク流出係数を乗じて確率有効降雨強度に変換し、それに平分線を挿入した確率有効降雨強度曲線を示す。このグラフ上に、流域の流出特性に支配される有効降雨強度と洪水到達時間の関係を描くと交点の一つできる。この交点が洪水到達時間に対応する確率有効降雨強度となる（詳細は、「8. 洪水ピーク流出量の計算」参照）。

表-6.2 年最大降雨強度の資料抽出例

資料順位		降雨継続時間別の降雨強度 (mm/h)		
		20 分	60 分	180 分
1		109	60	30
2		90	59	27
3		88	58	26
4		88	52	25
:		:	:	:
:		:	:	:
23		52	27	13
24		43	23	12
確率 降雨 強度	$T=5$ 年	86	51	23
	$T=10$ 年	95	57	26.5
	$T=50$ 年	113	71	33

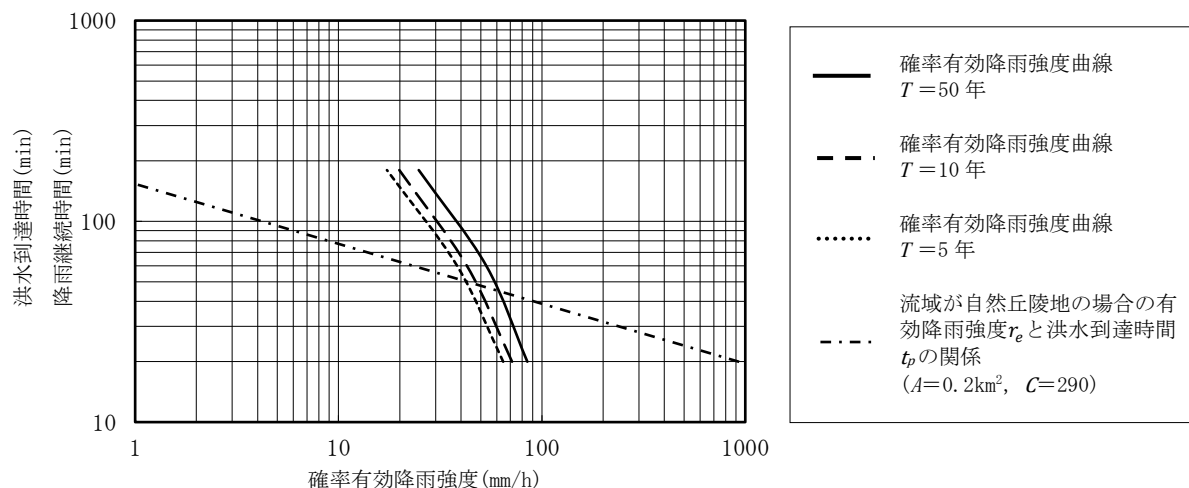


図-6.4 確率有効降雨強度曲線

6.2.2 適用分布関数の選定

確率降雨量の推定に際しては、収集した降雨資料から抽出した年最大の降雨資料に、最も適合する分布関数を選定し、その分布関数のパラメータを推定しなければならない。

一般的には、確率降雨量を推定するには、抽出した資料を確率紙にプロットし、その傾向を目視により判断して分布関数を選定する。水文統計解析に使用される確率紙には、図-6.5のような対数正規確率紙、極値確率紙等がある。これらの確率紙と降雨資料には以下のような関係がある。

- (1) 対数正規確率紙上にプロットした降雨資料が直線的な傾向を示す場合、降雨資料は対数正規分布を示しているとみなし、対数正規分布関数が適用できる。ただし、明確な直線を描くことは少なく、非超過確率（確率紙の縦軸の値）が90%を上回る範囲では、プロットした降雨資料が直線からずれる場合が多い。このずれが大きい場合は極値確率紙へのプロットを試みる。
- (2) 極値確率紙上にプロットした降雨資料が対数正規確率紙へプロットした場合より直線的傾向を示す場合、降雨資料は極値分布を示しているものとみなし、極値分布関数を適用する。

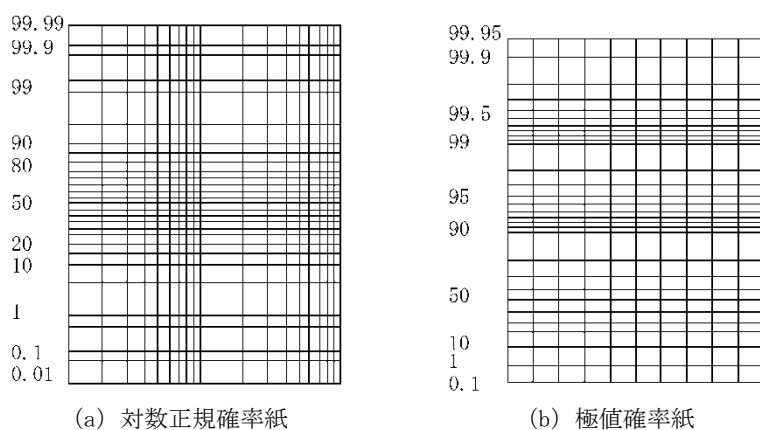


図-6.5 確率紙の例

〔参考〕 確率紙と確率降雨量の概略推定

水文量の確率分布や生起確率などを簡便に知る方法として、確率紙が用いられる。確率紙とは、縦軸に超過（又は非超過）確率が一定の法則によって目盛り、横軸には水文量が算術目盛り、対数

確率紙に、式(6.5)で求めた値をプロット（これをプロットィング・ポジションという。）して直線的な傾向が得られれば、その水文量は用いた確率紙に該当する分布形を示している。また、このグラフから概略の確率降雨量はグラフから読み取って推定することもできる。

ここに、 i ：水文量の小さい方からの順位
 n ：水文量の個数

降雨資料の中に、飛び離れて大きい値（あるいは小さい値）が含まれる場合、その値が実測値なのか計測機器の不具合等によるものなのかを十分に確認の上、取扱いについて検討しなければならない。実測値であって、統計処理の観点から、取り扱う資料と性質が異なると疑われるものについては、必要に応じて資料の棄却検定に関する検討を行う。ただし、棄却検定は機械的に適用するものではなく、資料の分布のばらつき状態や適用分布関数の適合性等についての検討を行い、資料の大きさを考慮して適用しなければならない。また、これによって棄却される資料であっても、地域における近年の降雨特性、計画策定上の重要度等を考慮の上、その取扱いを検討する必要がある。資料の棄却検定法には、棄却限界法を応用した角屋の方法等がある⁴⁾。

排水計画に用いる降雨資料には対数正規分布又は極値分布を当てはめることが多い。これらの分布のパラメータ推定法として、対数正規分布に対する岩井法及び極値分布関数に対するグンベル（Gumbel）法がある。

よく実用に用いられる対数正規分布の確率密度関数及び確率分布関数を式(6.6)で表す⁵⁾。

ここに、 a (又は $k = a \log e = 0.4343a$)、 b 、 x_0 は定数。

式(6.6)の確率変量 v と確率年（リターンピリオド） T との関係は、表-6.3のとおりである。

表-6.3 対数正規分布の T と確率変数 y との関係

T	y	T	y
500	2.0350	25	1.2380
400	1.9850	20	1.1630
300	1.9184	15	1.0614
250	1.8753	10	0.9062
200	1.8215	8	0.8134
150	1.7499	7	0.7547
100	1.6450	6	0.6858
80	1.5849	5	0.5951
60	1.5047	4	0.4769
50	1.4520	3	0.3045
40	1.3860	2	0.0000
30	1.2967		

イ 岩井法

対数正規分布の定数 a 、 b 、 x_0 は、以下のように求める⁶⁾。

まず、幾何平均値 x_g を求め、これより定数 b を推定する。

$$\left. \begin{aligned} x_g &= 10^A \\ A &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_{10} x_i \\ b_s &\equiv \frac{x_\ell \cdot x_s - x_g^2}{2x_g - (x_\ell + x_s)}, \quad (\ell = N - s + 1) \\ b &= \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m b_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.7)$$

N : データ数

m : $N/10$ に近い整数

ここに、 s 、 ℓ はともに大きさの順に並び替えた観測値の順位に対して対称な順位
次に、 $\log_{10}(x_i + b)$ を変数と考えて、その平均値から x_0 を推定する。

$$\log_{10}(x_0 + b) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_{10}(x_i + b) \dots\dots\dots (6.8)$$

標準偏差 S_x を求め、 $1/a$ を推定する。

$$\frac{1}{a} = \sqrt{\frac{2N}{N-1}} S_x, \quad S_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{\log_{10}(x_i + b)^2 - \log_{10}(x_0 + b)^2\}} \dots\dots\dots (6.9)$$

以上により、求めた定数を次の基本式に当てはめて、確率降雨量を推定する。

$$\log_{10}(x + b) = \log_{10}(x_0 + b) + \frac{1}{a} y \dots\dots\dots (6.10)$$

ウ 計算例

岩井法による確率雨量の計算例を以下に示す。

- (ア) 計算の対象となる資料を表-6.4のように整理する。表は、年最大日雨量を大きい順に整理した例であり、トーマス・プロットの値も同時に示している。

- (イ) N 個の資料の対数値を求め、式(6.7)より x_g の値を求める。

$$\log_{10} x_g = 1.9236 \rightarrow x_g = 83.868$$

- (ウ) 表-6.5により式(6.7)の b の値を求める。

- (エ) 表-6.4の③、④、⑤項の計算を行い、式(6.9)より標準偏差 S_x を求め、定数 a の値を求める。

$$S_x = \sqrt{\bar{Y}^2 - \bar{Y}^2} = \sqrt{2.7338 - 1.6362^2} = 0.2373$$

$$\frac{1}{a} = \sqrt{\frac{2N}{N-1}} S_x = \sqrt{\frac{2 \times 35}{35-1}} \times 0.2373 = 0.3405$$

- (オ) 上記によって得られた値から次の基本式を作成する。

$$\log_{10}(x - 37.6) = 1.6362 + 0.3405y$$

- (カ) 確率年に対する変数 y の値(表-6.3)より、確率日雨量を求める。(表-6.6)

表-6.4 計算例

順位	トーマス プロット	x_i ①	$\log_{10} x_i$ ②	$x_i + b$ ③	$\log(x_i + b)$ ④	$(\log(x_i + b))^2$ ⑤
1	0.028	199.8	2.3006	162.2	2.2100	4.8839
2	0.056	164.9	2.2172	127.3	2.1047	4.4298
3	0.083	135.2	2.1310	97.6	1.9893	3.9573
4	0.111	132.4	2.1219	94.8	1.9767	3.9072
5	0.139	123.7	2.0924	86.1	1.9318	3.7136
6	0.167	107.9	2.0330	70.3	1.8467	3.4105
7	0.194	104.9	2.0208	67.3	1.8278	3.3408
8	0.222	103.0	2.0128	65.4	1.8154	3.2955
9	0.250	100.5	2.0022	62.9	1.7984	3.2343
10	0.278	98.9	1.9952	61.3	1.7872	3.1942
11	0.306	94.2	1.9741	56.6	1.7526	3.0715
12	0.333	94.0	1.9731	56.4	1.7510	3.0661
13	0.361	90.0	1.9542	52.4	1.7191	2.9551
14	0.389	87.7	1.9430	50.1	1.6995	2.8885
15	0.417	84.9	1.9289	47.3	1.6746	2.8041
16	0.444	83.1	1.9196	45.5	1.6577	2.7479
17	0.472	80.5	1.9058	42.9	1.6321	2.6638
18	0.500	80.0	1.9031	42.4	1.6270	2.6472
19	0.528	78.5	1.8949	40.9	1.6114	2.5965
20	0.556	78.5	1.8949	40.9	1.6114	2.5965
21	0.583	74.0	1.8692	36.4	1.5607	2.4358
22	0.611	73.0	1.8633	35.4	1.5486	2.3981
23	0.639	73.0	1.8633	35.4	1.5486	2.3981
24	0.667	71.6	1.8549	34.0	1.5310	2.3441
25	0.694	71.0	1.8513	33.4	1.5233	2.3205
26	0.722	68.1	1.8331	30.5	1.4838	2.2017
27	0.750	64.8	1.8116	27.2	1.4340	2.0564
28	0.778	63.6	1.8035	26.0	1.4144	2.0006
29	0.806	60.9	1.7846	23.3	1.3667	1.8679
30	0.833	60.2	1.7796	22.6	1.3535	1.8319
31	0.861	58.9	1.7701	21.3	1.3277	1.7628
32	0.889	58.7	1.7686	21.1	1.3236	1.7519
33	0.917	57.6	1.7604	20.0	1.3003	1.6908
34	0.944	56.9	1.7551	19.3	1.2848	1.6507
35	0.972	55.0	1.7404	17.4	1.2397	1.5369
計		3089.9	67.328		57.268	95.682
1/N		88.3	1.9236		1.6362	2.7338

表-6.5 b の値の計算

ℓ	s	x_ℓ	x_s	$x_\ell \cdot x_s - x_g^2$	$2x_g - (x_\ell + x_s)$	b_s
1	35	199.8	55.0	3955.159	-87.064	-45.4
2	34	164.9	56.9	2348.969	-54.064	-43.4
3	33	135.2	57.6	753.679	-25.064	-30.1
4	32	132.4	58.7	738.039	-23.364	-31.6
						$b = -37.6$

表-6.6 確率雨量

T 年	y	$\log_{10}(x - 37.6)$	確率雨量 x
50	1.4520	2.1306	172.7
30	1.2967	2.0777	157.2
10	0.9062	1.9448	125.7
5	0.5951	1.8388	106.6
2	0.0000	1.6362	80.9

(2) グンベル法による確率降雨量の計算

ア グンベル分布の基礎式

グンベル分布の確率密度関数及び確率分布関数は、式(6.11)で表される。

$$\left. \begin{aligned} \text{確率密度関数: } f(x) &= a \cdot \exp(-y - e^{-y}) & y &= a(x - x_0) \\ \text{確率分布関数: } F(x) &= \exp(-e^{-y}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.11)$$

ここに、 a 、 x_0 ：定数

式(6.11)の平均、分散は、式(6.12)で定義される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{平均: } \mu = \frac{\gamma}{a} + x_0 \\ \text{分散: } \sigma^2 = \frac{\pi^2}{6a^2} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (6.12)$$

ここに、 γ : オイラー定数 (≈ 0.5772)

式(6.11)の極値変数 y と確率年(リターンペリオド) T との関係は、表-6.7のとおりである。

表-6.7 グンベル分布の T と極値変数 y との関係

T	y	T	y
500	6.21361	25	3.19853
400	5.99021	20	2.97020
300	5.70212	15	2.67375
250	5.51946	10	2.25037
200	5.29581	8	2.01342
150	5.00730	7	1.86982
100	4.60015	6	1.70199
80	4.37574	5	1.49994
60	4.08596	4	1.24590
50	3.90194	3	0.90273
40	3.67625	2	0.36651
30	3.38429		

イ グンベル法⁷⁾

グンベル分布の定数 a 、 x_0 は、資料数(サンプルサイズ) N が有限の時、 N の影響を考慮して、式(6.13)で推定する。

$$\frac{1}{a} = \frac{s_x}{s_y}, \quad x_0 = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{a} \dots\dots\dots (6.13)$$

ここに、 s_x 、 $\bar{x}$ は、資料数 N 個の標準偏差及び平均の値である。また、 s_y 、 $\bar{y}$ の値について、グンベルは表-6.8を示している。

表-6.8 グンベル分布当てはめのための数表

N	$\bar{y}$	s_y	N	$\bar{y}$	s_y	N	$\bar{y}$	s_y	N	$\bar{y}$	s_y
15	0.5128	1.0206	31	0.5371	1.1159	47	0.5473	1.1557	66	0.5538	1.1814
16	0.5157	1.0316	32	0.5380	1.1193	48	0.5477	1.1574	68	0.5543	1.1834
17	0.5181	1.0411	33	0.5388	1.1226	49	0.5481	1.1590	70	0.5548	1.1854
18	0.5202	1.0493	34	0.5396	1.1255	50	0.5485	1.1607	72	0.5552	1.1873
19	0.5220	1.0565	35	0.5403	1.1285	51	0.5489	1.1623	74	0.5557	1.1890
20	0.5236	1.0628	36	0.5410	1.1313	52	0.5493	1.1638	76	0.5561	1.1906
21	0.5252	1.0696	37	0.5418	1.1339	53	0.5497	1.1653	78	0.5565	1.1923
22	0.5268	1.0754	38	0.5424	1.1363	54	0.5501	1.1667	80	0.5569	1.1938
23	0.5283	1.0811	39	0.5430	1.1388	55	0.5504	1.1681	82	0.5572	1.1953
24	0.5296	1.0864	40	0.5436	1.1413	56	0.5508	1.1696	84	0.5576	1.1967
25	0.5309	1.0915	41	0.5442	1.1436	57	0.5511	1.1708	86	0.5580	1.1980
26	0.5320	1.0961	42	0.5448	1.1458	58	0.5515	1.1721	88	0.5583	1.1994
27	0.5332	1.1004	43	0.5453	1.1480	59	0.5518	1.1734	90	0.5586	1.2007
28	0.5343	1.1047	44	0.5458	1.1499	60	0.5521	1.1747	92	0.5589	1.2020
29	0.5353	1.1086	45	0.5463	1.1519	62	0.5527	1.1770	94	0.5592	1.2032
30	0.5362	1.1124	46	0.5468	1.1538	64	0.5533	1.1793	96	0.5595	1.2044

ウ 計算例

グンベル法による確率降雨量の計算例を以下に示す。

- (ア) 計算の対象となる資料を表-6.9に示すように整理する。なお、表は年最大日雨量を大きい順に整理した例であり、トーマス・プロットの値を同時に示している。

- (イ) 資料 N 個の平均値及び二乗平均値を求める。

$$\text{平均}=88.3\text{mm}、\text{二乗平均}=8776.9$$

- (ウ) 資料 N 個の標準偏差を求める。

$$S_x = \sqrt{x^2 - \bar{x}^2} = \sqrt{8776.9 - 88.3^2} = 31.305$$

- (エ) 表-6.8より、資料数 $N=35$ の時の S_y 、 $\bar{y}$ の値を定める。

$$S_y=1.1285、\bar{y}=0.5403$$

- (オ) 分布関数の定数項を求める。

$$\frac{1}{a} = \frac{S_x}{S_y} = \frac{31.305}{1.1285} = 27.740$$

$$x_0 = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{a} = 88.3 - \frac{0.5403}{0.0360} = 73.291$$

- (カ) 基本推定式を求める。

$$x = x_0 + \frac{y}{a} = 73.291 + 27.740y$$

- (キ) 確率年に対する極値変数 y の値(表-6.7)より、確率日降雨量を求める。(表-6.10)

表-6.9 計算例

順位	トーマス プロット	x_i ①	x_i^2 ②
1	0.028	199.8	39,920.0
2	0.056	164.9	27,192.0
3	0.083	135.2	18,279.0
4	0.111	132.4	17,529.8
5	0.139	123.7	15,301.7
6	0.167	107.9	11,642.4
7	0.194	104.9	11,004.0
8	0.222	103.0	10,609.0
9	0.250	100.5	10,100.3
10	0.278	98.9	9,781.2
11	0.306	94.2	8,873.6
12	0.333	94.0	8,836.0
13	0.361	90.0	8,100.0
14	0.389	87.7	7,691.3
15	0.417	84.9	7,208.0
16	0.444	83.1	6,905.6
17	0.472	80.5	6,480.3
18	0.500	80.0	6,400.0
19	0.528	78.5	6,162.3
20	0.556	78.5	6,162.3
21	0.583	74.0	5,476.0
22	0.611	73.0	5,329.0
23	0.639	73.0	5,329.0
24	0.667	71.6	5,126.6
25	0.694	71.0	5,041.0
26	0.722	68.1	4,637.6
27	0.750	64.8	4,199.0
28	0.778	63.6	4,045.0
29	0.806	60.9	3,708.8
30	0.833	60.2	3,624.0
31	0.861	58.9	3,469.2
32	0.889	58.7	3,445.7
33	0.917	57.6	3,317.8
34	0.944	56.9	3,237.6
35	0.972	55.0	3,025.0
計		3,089.9	307,190.0
1/ N		88.3	8,776.9

表-6.10 確率降雨量

T 年	y	$27.740y$	x
50	3.90194	108.240	181.5
30	3.38429	93.8802	167.2
10	2.25037	62.4253	135.7
5	1.49994	41.6083	114.9
2	0.36651	10.1669	83.5

6.3 確率降雨の時間分布

排水計画の作成に当たって、受益区域の湛水解析等の目的で洪水ハイドログラフを必要とする場合は、確率連続降雨量(1～3日連続雨量)の時間分布を求める必要がある。連続降雨の時間配分を定める手法には、以下の三つの方法がある。

- ① 日降雨分布については各確率降雨量(日降雨量、2日連続降雨量、3日連続降雨量)を満足するように配分し、日降雨量に対する時間分布は過去の実績降雨パターンに基づいて比例配分する方法
- ② 日降雨分布については各確率降雨量(日降雨量、2日連続降雨量、3日連続降雨量)を満足す

るように配分し、日降雨量に対する時間分布は、シャーマン型降雨強度式、単峰型降雨強度式を組み合わせる複峰型降雨波形を求める手法⁸⁾等を用いて配分する方法

- ③ 必要となる確率連続降雨量を、過去の実績降雨パターンに基づいて全体を比例配分する方法
それぞれの配分方法の特徴は、表-6.11 のとおりである。

表-6.11 配分方法の特徴

配分方法	特 徴
①、②の方法	・各々の日降雨量が、確率計算により求められた各確率連続降雨量を満たしている。 ・①の方法については、降雨資料から、短時間の豪雨についても確率雨量に近い実績降雨を選定することができれば、ピーク付近雨量の過大又は過小評価を避けることができる。 ・②の方法については、時間雨量の資料が利用できない場合の便法であり、降雨配分式の係数に関する資料があれば適用できる。
③の方法	実際の降雨パターンを忠実に再現できる。ただし、短時間の豪雨を表しにくい。

ここでは、①の方法による連続降雨の時間配分を定める方法について以下に示す。

6.3.1 連続降雨量に対する日降雨分布の検討

確率連続降雨量に対する時間配分は、まず過去の実績降雨から日降雨パターンを分析し、そのパターンを当てはめて定める。この検討に当たっては、以下の事項に留意する。

- (1) 既往の降雨の選定に当たっては、大洪水をもたらしたものと対象流域において特に生起頻度の高いパターンに属する降雨を落とさないように注意する。
- (2) 選定すべき降雨は資料の存在期間の長短に応じて変化するが、通常 10 降雨以上とする。

日降雨パターンの分析には、特に定まった方法はないが、3 日連続降雨量の日降雨分布パターンを検討した事例を以下に示す。

<日降雨パターンの分析例>

既往の 3 日連続降雨量から比較的大きな雨量（上位 20 位）を抽出し、表-6.12 に示すようにパターン化してその発生頻度を調べる。この分析例では、表に示すように中央山型の生起頻度が最も高く、かつ「3・1・2」のパターンが圧倒的に高い。

表-6.12 3 日連続雨量の日分布パターン生起頻度例

分布型	前方山型		中央山型		後方山型	
	1・2・3	1・3・2	2・1・3	3・1・2	2・3・1	3・2・1
模式図						
頻度	1 (5%)	1 (5%)	5 (25%)	9 (45%)	0 (0%)	4 (20%)
	2 (10%)		14 (70%)		4 (20%)	

注：日分布のパターン化は、最大日雨量にインデックス 1 を、中位の日雨量にインデックス 2 を、さらに最小日雨量にインデックス 3 を付けて、分類している。

次に、特定した日降雨パターンに対する雨量は、日降雨量、2日連続降雨量及び3日連続降雨量のそれぞれについて確率降雨量を求め、それぞれの差分から表-6.13のように求める。

表-6.13 3日連続雨量の日配分(mm)

確率雨量	日配分雨量	備 考
日雨量 239.1	239.1	
2日連続雨量 333.8	94.7	$333.8 - 239.1 = 94.7$
3日連続雨量 381.8	48.0	$381.8 - 333.8 = 48.0$

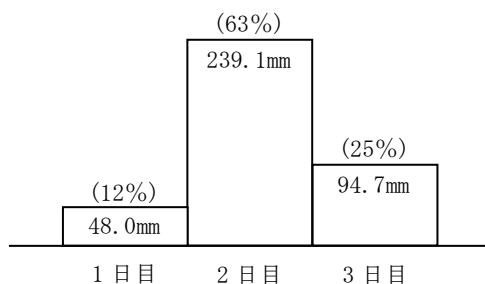


図-6.6 確率雨量の日配分

注：この例は、我が国の降雨パターンは、統計的に見て最大日、2日、3日連続とも隣り合わせに発生する確率が多いことから、3日連続の波形は同一確率の日雨量、2日、3日連続が隣り合わせに発生するとの考えで求めたものである。

6.3.2 日降雨量に対する時間分布の検討

「6.3.1 連続降雨量に対する日降雨分布の検討」によって定めた、日配分雨量に対する時間配分は、既往の降雨パターンを当てはめて求めるが、検討に当たっては以下の事項に留意する。

- (1) 選定された実績降雨の継続時間が計画降雨に一致することは極めてまれであるが、原則として実績降雨の継続時間を基本に降雨量の引き伸ばしを行う。
- (2) 実績降雨の継続時間が計画降雨より相当長い場合は、引き伸ばし後の計画降雨について不合理が生じないか十分検討する。

既往の時間分布の当てはめについて、事例を以下に示す。

<時間分布の検討例>

既往の実績降雨から、以下の4点を考慮して選定し、表-6.14に示すような配分率で引き伸ばしを行う。

- ① 総雨量が計画基準雨量に近いこと。
- ② 降雨の日分布パターンが同じであること。
- ③ 実測降雨の分布率が標準的であること。
- ④ 実測降雨記録に欠測が無いこと。

$$\text{計画降雨の時間雨量} = \text{実績降雨の時間雨量} \times \frac{\text{計画日雨量}}{\text{実績日雨量}}$$

表-6.14 時間配分比率

	1/20 確率 3 日連続雨量		
	1 日目	2 日目	3 日目
計画雨量	48.0mm	239.1mm	94.7mm
実績雨量	79.0mm	165.0mm	134.5mm
比 率	0.6076	1.4491	0.7041

計画降雨の時間配分計算結果は、図-6.7のとおりである。

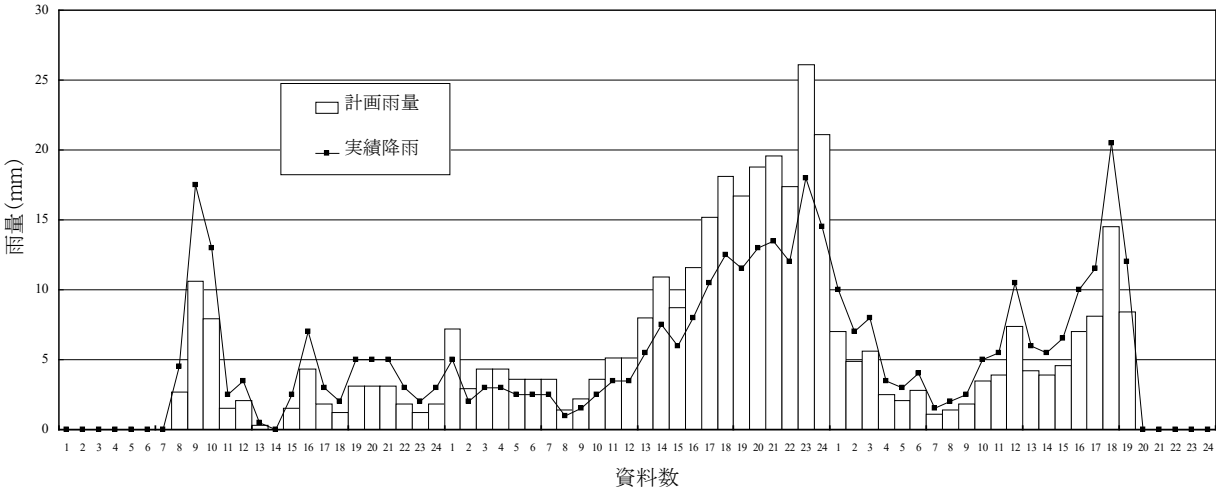


図-6.7 3日連続降雨のハイトグラフ

6.4 計画基準降雨の決定

前項までの検討を基に、傾斜地など洪水ピーク流出量を計画の基礎とする場合は短時間降雨強度を、氾濫域など洪水ハイドログラフを計画の基礎とする場合は適当な波形を持った連続降雨をそれぞれ対象とし、計画排水量を決定する。計画排水量の算定に採用した降雨を計画基準降雨とする。

〔参考〕実績降雨の引き伸ばしに当たり短時間降雨を考慮した事例（D地区）

日降雨量に対する時間分布の検討において、実績降雨の引き伸ばしを行う場合に、実績降雨の選定に当たって、3日連続降雨量とともにピーク時間雨量に留意した事例を以下に示す。なお、本事例では実績降雨のピーク時間雨量が1/10年確率の時間雨量に近いものを選定したが、引き伸ばし後の計画降雨が1/10年確率の時間雨量に近いものとなっているか確認することが望ましい。

D地区では、過去の大雨を分析した結果、生起頻度が最も高かった降雨の日分布パターンが「3・2・1」のパターンとなったことから、同パターンの1/2年確率以上の大雨のうち、無降雨日のない降雨を抽出した。

次に、実績降雨の波形を遵守する観点から、引き伸ばしによる調整量が少ない降雨を検討した結果、表-6.15のとおり、3日連続降雨量が1/10年確率に近い降雨はNo. 3, 4, 5, 6, 10となり、ピーク時間雨量が1/10年確率に近い降雨はNo. 4となったことから、No. 4の降雨を引き伸ばしの基となる実績降雨として採用した。

表-6.15 実績降雨の1/10年確率雨量に対する割合

No.	発生年月日	実績雨量(mm)					1/10年確率雨量に対する割合				
		1日目雨量	2日目雨量	3日目雨量	計	ピーク雨量	1日目雨量	2日目雨量	3日目雨量	計	ピーク雨量
0	1/10年確率雨量	23.3	66.2	209.6	299.1	41.9	-	-	-	-	-
1	S55 7月8日 7月10日	24.0	76.0	79.0	179.0	32.0	1.03	1.15	0.38	0.60	0.76
2	S55 10月12日 10月14日	16.0	17.0	129.0	162.0	25.0	0.69	0.26	0.62	0.54	0.60
3	H2 9月17日 9月19日	20.0	111.0	134.0	265.0	32.0	0.86	1.68	0.64	0.89	0.76
4	H10 10月15日 10月17日	3.0	49.0	282.0	334.0	50.0	0.13	0.74	1.35	1.12	1.19
5	H16 9月27日 9月29日	5.0	17.0	245.0	267.0	53.0	0.21	0.26	1.17	0.89	1.26
6	H17 9月4日 9月6日	10.0	48.0	208.0	266.0	16.0	0.43	0.73	0.99	0.89	0.38
7	H19 7月12日 7月14日	13.0	48.0	125.0	186.0	19.0	0.56	0.73	0.60	0.62	0.45
8	H23 5月27日 5月29日	2.5	26.5	164.5	193.5	15.0	0.11	0.40	0.78	0.65	0.36
9	H25 9月2日 9月4日	14.0	36.0	141.5	191.5	24.0	0.60	0.54	0.68	0.64	0.57
10	H25 10月23日 10月25日	27.5	103.5	152.0	283.0	21.5	1.18	1.56	0.73	0.95	0.51

※1/10年確率ピーク雨量は3日目雨量に含まれる。

※網かけは1/10年確率雨量に対して±20%以内のもの。

参考文献

- 1) 角屋 睦：水文統計論、水工学シリーズ64-02、p.2（1964）
- 2) 建設省河川局監修：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説調査編、技報堂出版、pp.66～67（1997）
- 3) 角屋 睦：水文統計論、水工学シリーズ64-02、p.4（1964）
- 4) 角屋 睦：水文統計論、水工学シリーズ64-02、pp.22～23（1964）
- 5) 角屋 睦：水文統計論、水工学シリーズ64-02、p.28（1964）
- 6) 角屋 睦：水文統計論、水工学シリーズ64-02、p.35（1964）
- 7) 角屋 睦：水文統計論、水工学シリーズ64-02、p.13（1964）
- 8) 角屋睦・増本隆夫・田中丸治哉：複峰型豪雨波形の一表現法、農土論集、164、pp.115～123（1993）

表-6.16 地区事例：雨量波形（時間配分）の具体的手法

地区名	地方	都道府県	事業主体	事業名	年度		降雨						備考	
					調査計画	全体裏 施計画	確率年	計画降雨量	確率計算	資料数	観測期間	日配分	時間配分	
樺戸	北海道	北海道	国	かんがい排水	S49～S53	S54～S61	1/10	157.0mm/2日	岩井法	30年	S34～S63	実績降雨	S50.8—実績型	- 過去の大雨（日雨量80mm以上）より選定。 - 降雨量、外水位ともに1/10に近い。 - 過去の記録の中で災害の大きかった年。 - 他事業との関連。
幌延		北海道	国	農地防災 （農地機能保全型）	H21～H29	—	1/10	89mm/日	岩井法	30年	S62～H28	—	H26.8—実績型	計画基準降雨の継続時間1日。
稚内中部		北海道	国	農地防災 （農地機能保全型）	H13～H16	—	1/10	95mm/日	—	—	—	—	中央山型	確率等雨量線図より計画雨量を算定。
角田	東北	宮城	国	かんがい排水	S55～S57	S58	1/10	187.6mm/2日	岩井法	57年	S元～S57	確率雨量	理論型	降雨の時間配分は、シャーマン型降雨強度式により雨量から配分。
男鹿東部		秋田	国	干拓事業 排水対策特別	H6	H7～H8	1/30	198.3mm/3日	岩井法	18年	S52～H6	不明	不明	関連事業（S54 県営排水）で採用された波形を、計画雨量に併せて拡大している（原波形の出典は不明）。
江合川		宮城	国	農業水利	S61～H元	H2～H5	1/10	167.9mm/3日	岩井法	45年	S18～S62	確率雨量	降雨強度式	
細待井	関東	宮城	県	治水防除	H8	H9	1/20	185.3mm/3日	岩井法	48年	S23～H7	確率雨量	H3.10—実績型	
大利根用水		千葉	国	かんがい排水	S41～S43	S44	1/10	210.7mm/2日	—	20年	S32～S52	実績降雨	S42.9—実績型	- 近傍の観測所資料より選定する。 - 過去180(mm/2日)以上の8降雨より選定。 - 時間集中度（物部曲線、伊藤AB曲線）より選定。
東葛北部		千葉	県	かんがい排水	S53	S54～H14	1/10	254.0mm/3日	ポンプ法	43年	S6～S48	実績降雨	S46.8—実績型	- 最近10か年で被害が最も顕著であったこと。 - 地区の基幹施設（ポンプ）設置後の降雨であること。
坪井	関東	静岡	県	治水防除	H7	H8	1/20	381.3mm/3日	岩井法	91年	M37～H6	確率雨量	S57.9—実績型	- 総雨量が計画基準雨量に近いこと。 - 降雨の日分布型が同じであること。 - 実測降雨の分布率が標準的であること。 - 実測降雨記録が完全であること。
栃木南部		栃木	国	かんがい排水	H15～H19 H22～H26	H27	1/10	197.0mm/3日(栃木) 174.1mm/3日(小山市) 189.5mm/3日(古河)	岩井 角屋法	57年 (3日) 34年 (時間)	S30～H23 S53～H23	実績降雨	S57.9—実績型	3日連続雨量と時間雨量が1/10になるように引き伸ばし。 3観測所の計画基準降雨をティーンセン法で合成。
渡良瀬川中央		群馬 栃木	国	農地防災 （一般型）	H9～H11	—	1/10	160mm/3日(桐生) 190mm/3日(足利) 178mm/3日(館林)	岩井 角屋法	39年	S30～H6	実績降雨	S57.9—実績型	日、2日、3日雨量が1/10になるように引き伸ばし。 3観測所のティーンセン分割内にある小ブロックに計画降雨を適用。
阿賀野川右岸	北陸	新潟	国	かんがい排水 農地防災	S59～S61	S62	1/10 1/50	223.0mm/3日 359.0mm/3日	岩井法	50年	S10～S59	確率雨量	物部降雨強度式	- 実績降雨波形と比較検討した結果、理論波形において流出量、湛水面積、湛水時間が大きくなった。 - 水田の汎用農地を積極的に推進することを基本とするため、排水能力の増強につながる理論型を採用する。 - 最大湛水被害をもたらした降雨。
白根郷		新潟	国	農地防災	S61～H3	H4～H5	1/30	268.3mm/3日	岩井法	47年	S15～S61	確率雨量	シャーマン型 降雨強度式	
亀田郷		新潟	県	かんがい排水 農地防災	S60～S62	S63	1/10 1/50	192.1mm/3日 283.0mm/3日	岩井法	47年	S14～S60	実績降雨	S53.6—実績型	
庄川左岸		富山	国	農地防災 （一般型）	H4～H18	H19～H20	1/15	145.3mm/日	岩井 角屋法	50年	S31～H17	—	中央山型	年最大日雨量の最大時間雨量を確率処理した時間雨量をピーク時間雨量に採用。
射水郷		富山	国	農地防災 （一般型）	S60～H元	H2～H3	1/30	259mm/3日	岩井 角屋法	53年	S8～S60	中央山型	シャーマン型 降雨強度式	時間配分のピーク発生時間は実績より決定。

6. 実績降雨に基づく計画基準降雨

217

地区名	地方	都道府県	事業主体	事業名	年度		降雨						備考	
					調査計画	全体実施計画	確率年	計画降雨量	確率計算	資料数	観測期間	日配分	時間配分	
加賀三湖周辺	北陸	石川	国	農地防災 (一般型)	H4～H5	H5～H6	1/10	250.4mm/4日	—	16年	S10～S25	実績降雨	M35.7—実績型	・10～20年に1回程度の降雨を想定して当時の稲作期間中過去4番目に大きい4日雨量250.4mmを計画雨量とした。
					S52～H4	H5～H6	1/15 1/10 1/30	253.3mm/3日 225.5mm/3日 304.3mm/3日	岩井法	60年	S元～S63 (欠測3年)	中央山型	シャーマン型 降雨強度式	・自然排水、機械排水で確率規模を変えており、自然排水：1/15、機械排水：1/10、自然機械排水、農地防災排水：1/30。
尾張西部 (一宮)	東海	愛知	国	かんがい、排水 地盤沈下排対	S50～S53	S54～S59	1/10	259.0mm/2日	岩井法	32年	S17～S51	実績降雨	S51.9—実績型	・最近の降雨から流出解析を行い、ピーク流出量の平均値に近い降雨パターンを選定。一宮、津島各々の降雨パターンを使用している。
					H6～H9	H9～H10	1/10	259mm/2日(一宮) 205mm/日(名古屋)	岩井法	35年 61年	S17～S51 S15～H12	実績降雨 —	S51.9—実績型 中央集中型	・施設により計画降雨が異なる。 ・河川で用いられている降雨強度式を採用。
巨椋池	近畿	京都	国	農地防災	H8	H8～H9	1/20	260.6mm/3日	岩井 角屋法	43年	S28～H7	確率雨量	石黒型降雨強度式	
					H22～H24	H25	1/10	254mm/3日 (ディレーセン比 で合成)	岩井 角屋法	和歌山 109年 かつらぎ 31年	和歌山 M34～H21 M34～H21 S54～H21	実績降雨	H5.9—実績型	・観測所ごとに実績降雨を引き伸ばし後、計画基準降雨をディレーセン比で合成。
児島湾周辺	中国	岡山	国	かんがい、排水	S55～S56	S57～S60	1/10	170.8mm/3日	岩井法	68年	T5～S58	確率雨量	S42.7—実績型	・S25～S55までの過去31年間から選定する。 ・総雨量が計画基準雨量に近い降雨。 ・引き伸ばし後のピーク時間降雨強度が確率雨量に近いもの。
		島根	国	緊急農地再編整備	H27～H29	—	1/10	252mm/3日	岩井 角屋法	37年	S54～H27	実績降雨	S59.6—実績型	・3日連続雨量と時間雨量が1/10になるように引き伸ばし。 ・区画整理と一体整備。
道前平野	九州	愛媛	国	緊急農地再編整備	H24～H27	—	1/10	299mm/3日	岩井法	39年	S50～H25	実績降雨	H10.10—実績型	・日、2日、3日雨量が1/10になるように引き伸ばし。 ・区画整理と一体整備。
		福岡	国	かんがい、排水	S45～S46	S47～S49	1/10	370.0mm/3日	岩井法等	43年	S4～S46	確率雨量	特性係数法	
筑後川下流	九州		国	かんがい、排水	H8	H9	1/10	321.0mm/3日	岩井法等	80年	M24～S45	確率雨量	特性係数法	
	佐賀	国	農地防災	S57～S63	H元	1/30 1/10	389.2mm/3日 312.8mm/3日	岩井法	92年	M24～S57	確率雨量	S55.8—実績型 S47.7—実績型	・過去48年間における主要洪水について、被害の発生状況と降雨の発生原因及び2観測所のハイエトエックを行い決定した。 ・時間雨量資料が少ないため関連事業の降雨波形を採用。	
出水(東)	九州	鹿児島	国	海岸保全	H元	—	1/10	374.5mm/3日	岩井法	20年	S41～S60	確率雨量	S46.7—実績型	・降雨総量(3日雨量)が近いもの。 ・雨量が3日間まんべんなくあるもの。 ・ピーク時間雨量が近いもの。
		福岡	国	施設機能保全	H23～H28	—	1/20	460.2mm/3日	岩井 角屋法	31年	S41～H8	実績降雨	H7.7—実績型	
筑後川下流 福岡	九州	熊本	国	かんがい、排水	H25～H29	—	1/10	370mm/3日	岩井法	87年	S4～H27	中央山型	降雨強度式 (特性係数法)	
							1/10	364mm/3日	岩井 角屋法	39年	S51～H26	実績降雨	H23.8—実績型	・3日連続雨量と時間雨量が1/10になるように引き伸ばし。

7. 計画基準外水位

(基準、基準の運用第3章 3.3.6 関連)

7.1 基本事項

受益区域の過剰水の排出先となる排水本川には、表-7.1 に示すようなタイプがある。これらの水位（すなわち、外水位）は受益区域の排水計画の規模を支配する外的要因であるため、排水計画に採用する計画基準外水位の決定に当たっては、以下の事項に留意し、受益区域と排水本川との関係を慎重に検討しなければならない。

- ① 計画基準外水位の規模
- ② 排水本川に与える影響
- ③ 関係機関との調整及び協議

表-7.1 排水本川の形式

排水本川の形式	河川	内部流域の面積に比べて同等かそれ以下の場合
		内部流域の面積に比べて大きい場合
	湖沼	内部流域の面積に比べて同等かそれ以下の場合
		内部流域の面積に比べて大きい場合
	海	

7.1.1 計画基準外水位の規模

排水本川の計画基準外水位は、受益区域内に設定した降雨の確率年 T と同規模の確率外水位としなければならない。特に、排水本川が河川の場合、その計画水位の確率年は、一般的に河川等級（一級河川、二級河川、等）に応じて30～100年確率程度といった大きな値が採用されるため、その水位を直接排水計画の計画基準外水位とすることはできない（排水計画の内容が過大規模となる。）。

7.1.2 排水本川に与える影響

受益区域の排水計画は、排水系統の整備等によって、その排水量が排水本川の流水に何らかの影響を与える。特に、排水本川が河川の場合は、排水口からの排水量が局所的な河床洗掘を引き起こし、排水本川の正常な流水を阻害することもある。

したがって、計画基準外水位は、適正な排水口の位置を踏まえて検討し、また計画排水量が排水本川の流水に影響を与えるおそれがある場合には、その状況を数量的に明らかにし、対応策を具体的に検討しておかなければならない。

7.1.3 関係機関との調整及び協議

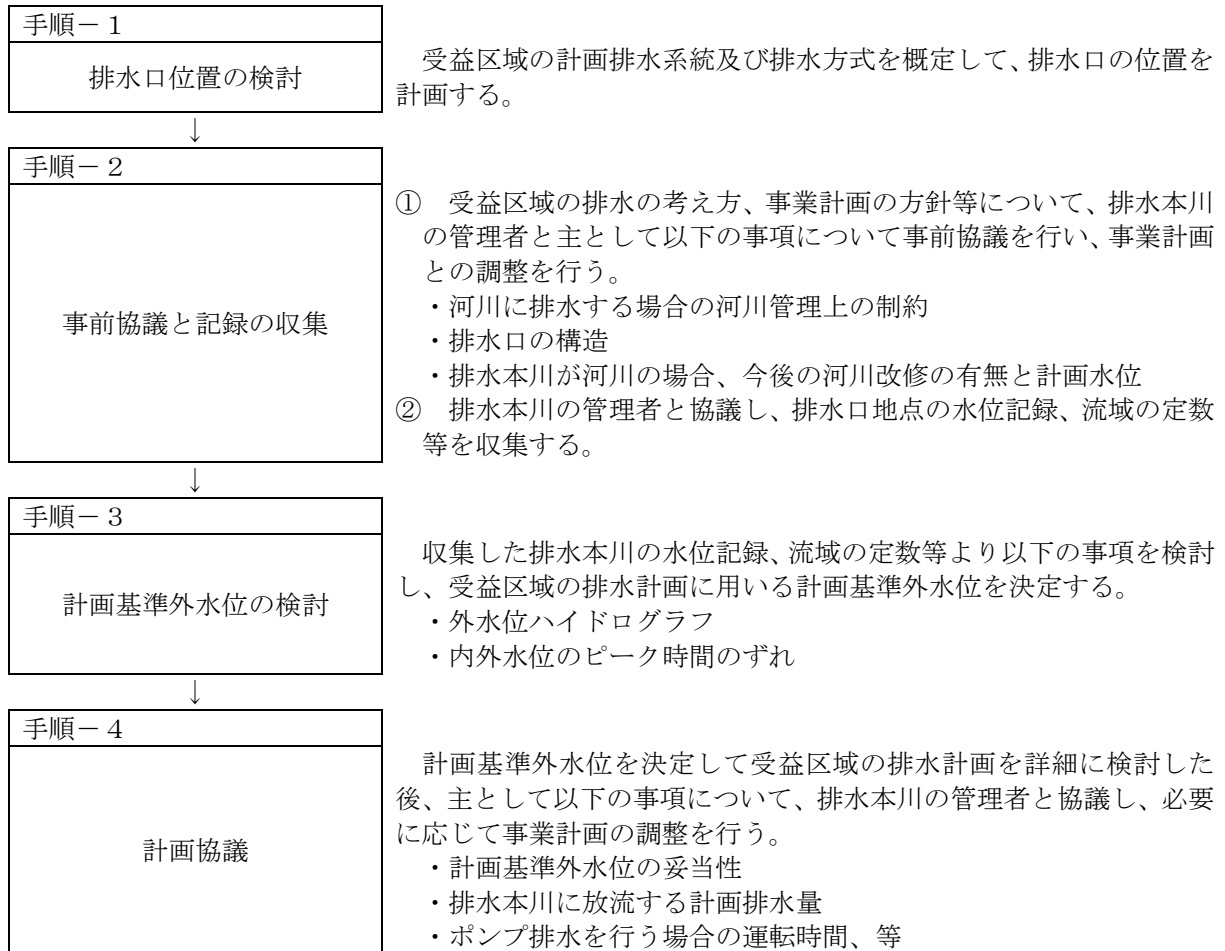
受益区域の排水計画の立案に当たっては、排水本川の管理主体者と以下の事項について調整及び協議を十分にしておくことが重要である。特に、排水本川が河川の場合は、河川管理者との協議を密にして、受益区域の排水計画が排水本川の流水を阻害しないようにしなければならない。また、排水本川が海の場合は、海岸管理者及び近隣漁業者との協議を十分に行う必要がある。

- ① 排水口の位置
- ② 排水計画に用いる計画基準外水位とその採用の考え方

- ③ 排水本川に放流する計画排水量
- ④ 計画排水量が排水本川の流水や環境に与える影響の有無

7.2 計画基準外水位の検討手順

計画基準外水位は、おおむね以下の手順に沿って検討を進める。



7.3 計画基準外水位の検討

計画基準外水位は、排水本川のタイプに関わらず、以下の事項について検討する。

- ① 受益区域の排水計画確率年相当の外水位ハイドログラフ
- ② 内外水位のピーク時間のずれ

7.3.1 排水本川が河川の場合

排水本川が河川の場合、計画基準外水位ハイドログラフの検討は、おおむね表-7.2の二つの方法がある。

表-7.2 外水位ハイドログラフの検討手法

検討手法	水位記録から求める場合	一般的に、外部流域が内部流域よりはるかに大きい流域に対して適用する。
	外部流域の流出解析から求める場合	一般的に、外部流域が内部流域と同程度又はそれより小さい流域に適用する。

(1) 水位記録から求める場合

排水本川の流域（外部流域）が内部流域よりはるかに大きい一級河川等では、一般に河川水位の観測網が整備されている場合が多い。この場合は、以下のようにして計画基準外水位を定める。

ア 確率降雨量の計算（「6. 実績降雨に基づく計画基準降雨」及び「19. 将来の降雨予測に基づく計画基準降雨」参照）により、受益区域に採用するT年確率降雨量を求め、それに最も近似する実降雨の発生年月日を特定する（例えば、受益区域のT年確率3日連続雨量が382mm（期間：0～72時）であった場合、382mmに最も近似する実降雨の発生年月日を特定する。）。

イ 河川管理者から、計画の排水口地点に最も近い河川水位観測所の記録を収集し、アで特定した実降雨の発生年月日に該当する期間の水位の連続記録を抽出する。

ウ 実績降雨から求めた確率降雨量の時間配分パターン（ハイトグラフ）と河川水位記録から抽出した水位の時間軸を整合させ、基準外水位として定める。

エ 水位観測記録が排水口を計画する地点から離れている場合は、上記によって抽出した水位から不等流計算によって計画の排水口地点の水位を求める。

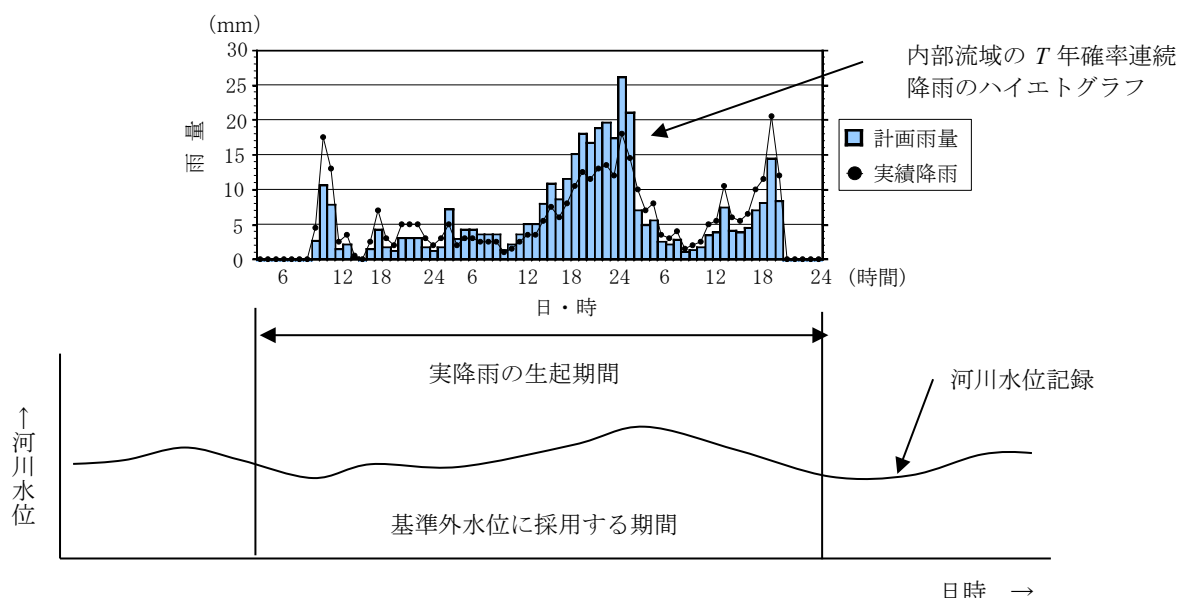


図-7.1 水位記録の抽出

(2) 外部流域の流出解析から求める場合

排水本川の水水位記録がない場合は、以下のようにして排水本川の流出解析を行い、計画基準外水位を求める。

ア 河川管理者と協議して流出解析のための流域の定数を入手し、その定数を用いて外部流域の流出解析を行う。流域の定数が定まっていない場合は、「9. 洪水ハイドログラフの計算」に示す手法を用いて外部流域の流出解析を行う。

イ 外部流域の流出解析に必要な降雨は、内部流域の計画基準降雨を用いる。

ウ 上記によって求めた外部流域の洪水流出量について、排水本川の水水位－流量曲線を用いて排水口地点の外水位を推定する。なお、排水本川について水水位－流量曲線がない場合は、流量観測によってこれを検討する。

7.3.2 排水本川が海の場合

海に排水口を設けるような排水計画では、外水位ハイドログラフは、以下のとおり求める。

- (1) 海象調査結果から、上下弦(小潮)又は朔望(大潮)時の平均潮位曲線を外水位ハイドログラフとする。
- (2) 内外水位のピーク時間のずれは、いくつかのパターンを想定して、排水施設規模を概定する。
そのうち、最も危険側のパターンを採用する。

8. 洪水ピーク流出量の計算

(基準、基準の運用第3章 3.3.7 関連)

8.1 基本事項

洪水ピーク流出量は合理式又は流出モデルから求める。本章では合理式による方法を示す。流出モデルから求める場合は「9. 洪水ハイドログラフの計算」を参照する。

8.1.1 合理式

傾斜地における排水路の規模決定等、洪水ピーク流出量を計画洪水時排水量とする場合には、次の合理式¹⁾により計算することができる。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \quad \dots\dots\dots (8.1)$$

ここに、 Q_p : 洪水ピーク流出量 (m³/s)

r_e : 洪水到達時間内の平均有効降雨強度 (mm/h)

A : 流域面積 (km²)

ただし、合理式を使用する場合は、以下の事項について留意しなければならない。

- (1) 合理式を用いる場合には、洪水到達時間と洪水到達時間内の平均有効降雨強度を決める必要があるが、概査や精査で得られる資料は現況の流況を表しているものであり、計画で使用する数値は事業実施後の変化を考慮したものとする必要がある。
- (2) 合理式の適用範囲の上限は、降雨のスケールによって異なるが、流域平均降雨という概念が物理的に許される10km²～40km²までと考えられる。
- (3) 河道貯留効果があるような場合でも合理式を適用することができるが、事業実施後に流域内に氾濫又は一時貯留が起こらない場合や下流水位による堰上げ背水等の影響がない場合に適用できる。

8.1.2 有効降雨強度（ピーク流出係数）

洪水到達時間内の平均有効降雨強度を求める際の有効降雨強度は、降雨強度より地表の最終浸入能を差し引いた値と考えられる。有効降雨強度は、以下により求める。

$$r_e = r - f_c \quad \dots\dots\dots (8.2)$$

又は、洪水到達時間内の降雨強度と有効降雨強度の比であるピーク流出係数で洪水到達時間内の平均有効降雨強度を表すと以下のとおりとなる。

$$r_e = f_p \cdot r \quad \dots\dots\dots (8.3)$$

ここに、 r_e : 有効降雨強度 (mm/h)

f_c : 最終浸入能 (mm/h)

f_p : ピーク流出係数

r : 降雨強度 (mm/h)

ピーク流出係数は、地域の地質、地被、先行降雨等の諸条件により異なるので、それぞれの流域についての観測値に基づき定めるのが妥当である。しかし、事業実施後のピーク流出係数を推定す

る場合や、実測資料の乏しい場合には表-8.1、8.2に示す値を参考としてもよい。表-8.1は物部が河川の洪水時の値として与えたものであるが、流域の状況によって変化するとともに、安全係数に類するものも含めてあり、さらに対象とした洪水が大きなものであるため、土地改良事業で対象とする降雨に対しては大きな値となる傾向がある。特に水田の場合には、0.7～0.8をとることはほとんどなく、大略0.4～0.5の範囲内と考えてよい。

表-8.1 ピーク流出係数

地形の状態	f_p
急峻な山地	0.75 ～ 0.9
三紀層山地	0.7 ～ 0.8
起伏のある土地及び樹林地	0.5 ～ 0.75
平らな耕地	0.45 ～ 0.6
かんがい中の水田	0.7 ～ 0.8
山地河川	0.75 ～ 0.85
平地小河川	0.45 ～ 0.75
流域のなかば以上が平地である大河川	0.5 ～ 0.75

—物部の調査による日本内地の洪水時の値—

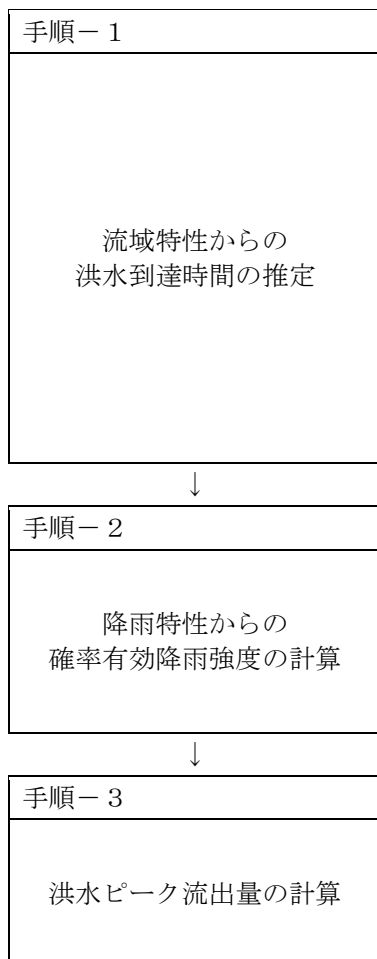
表-8.2 ピーク流出係数

地形の状態	f_p
路面及び法面	0.70～1.00
市街	0.60～0.90
森林地帯	0.20～0.40

—道路土工 排水工指針(昭和62年6月)—

8.1.3 洪水ピーク流出量の計算手順

合理式によってある確率年 T に対するピーク流出量を求めるためには、以下の手順によって計算する。



① 実測値による場合

過去の洪水記録より、出水ごとに洪水到達時間(t_p)と洪水ピーク流出高を推定する。この洪水ピーク流出高を洪水到達時間内の平均有効降雨強度(r_e)と見なし、洪水到達時間と洪水到達時間内の有効降雨強度の関係を両対数グラフにプロットし、関係曲線(r_e-t_p 曲線)を描く。

② 計算による場合

角屋・福島の式より有効降雨強度に対する洪水到達時間とその間の平均有効降雨強度の関係(洪水到達時間 t_p と洪水到達時間内の有効降雨強度 r_e の関係)を両対数グラフにプロットし、関係曲線(r_e-t_p 曲線)を描く。

任意の降雨継続時間に対する降雨強度の確率計算を行い、降雨継続時間 t_r と確率降雨強度 r_T の関係(r_T-t_r 曲線)を求める。流域の最終浸入能やピーク流出係数より確率有効降雨強度を求め、 r_e-t_p 曲線のグラフ上に確率有効降雨強度曲線($r_{eT}-t_r$ 曲線)を重ねてプロットする。

① 上記グラフ上の両曲線(r_e-t_p 曲線と $r_{eT}-t_r$ 曲線)の交点の値が、確率有効降雨強度となる。

② 求めた確率有効降雨強度を合理式に代入して洪水ピーク流出量を求める。この値を、計画洪水時排水量とする。

8.2 洪水到達時間 t_p の推定

8.2.1 実測値による推定

洪水到達時間とは、概念的には「流域の最遠点（距離ではなく時間）に降った雨水が最下流端に伝播する時間」と定義され²⁾、流域の地形、流路網の構成及び配列、地被等により異なり、概して流量が大きくなるほど短くなる。

洪水到達時間は、有効降雨強度曲線と流出ハイドログラフの関係より、図-8.1に示すように、時刻 t_1 と時刻 t_2 の差 t_p で定義されることが理論的に証明されている²⁾。実測により洪水到達時間を推定する場合は、以下の手順による。

- (1) 有効降雨強度曲線とそれに対応する流出ハイドログラフを図-8.1のように描く。
- (2) 流出ハイドログラフから流出量のピーク時刻 t_2 を求める。
- (3) 時刻 t_2 における有効降雨強度曲線上の点から水平線を引き、降雨ピーク前で有効降雨強度曲線と交わる点の時刻を t_1 とする。
- (4) 得られた t_1 と t_2 の時間差が洪水到達時間 t_p となる。

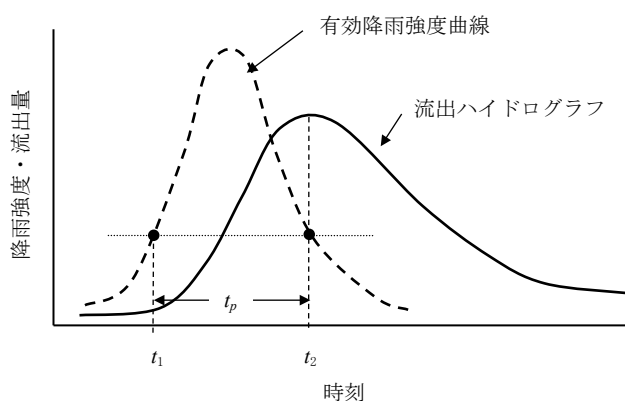


図-8.1 洪水到達時間の定義

上記の手順において、有効降雨強度曲線を前提としているが、大きなピーク流出量は降雨後半の強度によってもたらされることが多いことから、流出のピーク近傍において、観測降雨を用いた式(8.2)、式(8.3)が適用できる。なお、推定に当たっては、以下の事項に留意しなければならない。

- (1) 降雨波形と流出量波形の対応が十分でないと洪水到達時間を過小評価しがちである。そこで、有効降雨強度曲線は単位時間を小流域では10～20分、大流域では20～60分程度にとり、適当な移動平均によって降雨波形を流量波形に対応させるような工夫が必要である。
- (2) 採用する資料は、ピーク流出量が $1.0\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 以上の大きいものに限定した方がよい。これより小さな出水では洪水到達時間の推定は難しい。
- (3) 降雨の時間分布が場所的に一様でない資料による洪水到達時間の推定は避けた方がよい。
- (4) 総雨量の少ない記録や降雨継続時間の短い記録は推定に使用しない方がよい。また、流出のピーク直後に降雨が終了している記録も好ましくない。これらは、洪水到達時間を過小評価しがちである。

次に、推定した洪水到達時間と有効降雨強度の関係を示す有効降雨強度曲線 ($r_e - t_p$ 曲線) を両対数紙にプロットする。いま、図-8.2に示すように、流域面積 0.5km^2 の基準点で表-8.3に示すようなピーク流出量が観測され、それに対応した降雨強度が得られたとする。

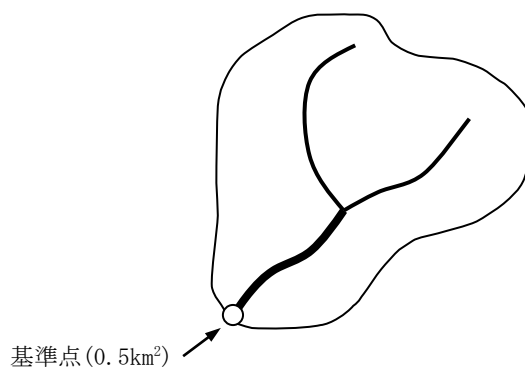


図-8.2 流域の例

表-8.3 流量観測記録

流域面積：50ha

No.	観測月日	ピーク 流出量 Q_p (m^3/s)	到達時間 t_p (min)	到達時間 内降雨量 Σr (mm)	平均 降雨強度 r (mm/h)	平均有効 降雨強度 r_e (mm/h)	ピーク 流出係数 f_p
1	00/00/00	0.597	145	16	6.8	4.3	0.63
2	00/00/00	0.833	90	14	9.1	6.0	0.66
3	00/00/00	1.028	100	18	10.7	7.4	0.69
4	00/00/00	1.528	90	25	16.9	11.0	0.65
5	00/00/00	2.500	60	25	25.0	18.0	0.72
6	00/00/00	3.472	50	29	35.2	25.0	0.71

この記録から、基準点の $r_e - t_p$ 曲線は、以下のように求める。

- (1) 観測されたピーク流出量 (m^3/s) を式(8.4)に代入して計算し、洪水到達時間内の平均有効降雨強度 (mm/h) を求める。

$$r_e = \frac{3.6 \cdot Q_p}{A} \dots\dots\dots (8.4)$$

ここに、 r_e : 洪水到達時間内の平均有効降雨強度 (mm/h)

Q_p : 洪水ピーク流出量 (m^3/s)

A : 流域面積 (km^2)

- (2) 図-8.3 に示すように、洪水到達時間 t_p と洪水到達時間内の平均有効降雨強度 r_e の関係を両対数グラフにプロット (グラフの“○” マーク) し、その平分線 (グラフの破線) を挿入する。この平分線が 0.5km^2 の流域に対する洪水到達時間 t_p と洪水到達時間内の平均有効降雨強度 r_e の関係を表す。

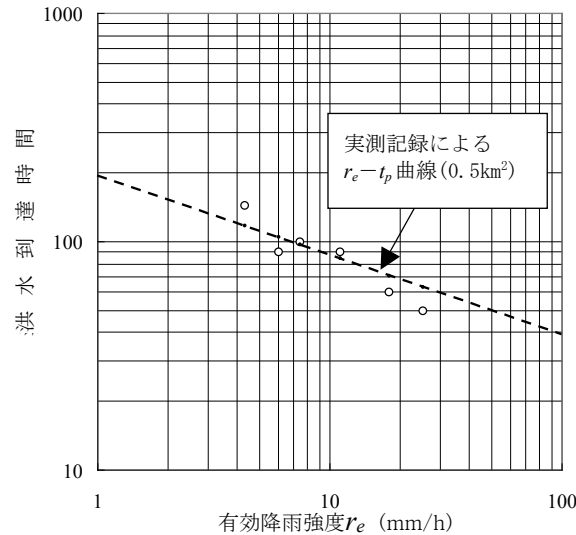


図-8.3 有効降雨強度曲線

8.2.2 計算による推定

洪水到達時間は、実測に基づいて定めることを原則とするが、流域に十分な水文観測資料が得られない場合は式(8.5)により推定してもよい。

$$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35} \dots\dots\dots (8.5)$$

ここに、 t_p : 洪水到達時間 (min)

C : 土地利用係数

A : 流域面積 (km^2)

r_e : 平均有効降雨強度 (mm/h)

表-8.4 土地利用係数 (C) の値^{2)~4)}

土地利用の状態	土地利用係数 (C)
自然山地	250~350 ≒ 290
放牧地	190~210 ≒ 200
ゴルフ場	130~150 ≒ 140
粗造成宅地(水路道路整備)	90~120 ≒ 100
開畑地(数 ha 程度の小面積)	50~130 ≒ 90
運動場	80
市街地	60~ 90 ≒ 70

式(8.5)は、角屋・福島により東北、近畿、中国、四国及び九州の山地丘陵地流域の14河川(流域面積： $A=0.13\sim740\text{km}^2$)での観測結果より導かれた式である。

また、観測記録がある場合においても、その観測記録が計画対象流域の一部(例えば、支川の範囲)であり、計画対象の全流域について洪水到達時間を推定する必要がある場合は以下のようにして洪水到達時間を推定する。

前述の「8.2.1 実測値による推定」により存在する観測資料、すなわち洪水到達時間 t_p と洪水到達時間内の平均有効降雨強度 r_e を用いて、式(8.6)から土地利用係数 C の値を特定する。特定した値と計画対象の流域面積 A を用いて、式(8.5)より洪水到達時間を推定する。

$$C = t_p \cdot A^{-0.22} \cdot r_e^{0.35} \dots\dots\dots (8.6)$$

ここに、 t_p : 洪水到達時間 (min)

C : 土地利用係数

A : 流域面積 (km²)

r_e : 平均有効降雨強度 (mm/h)

8.3 確率有効降雨強度曲線 (r_{eT} — t_r 曲線) の推定

確率有効降雨強度曲線は、降雨継続時間と確率有効降雨強度との関係を表した曲線であり、以下のようにして求める。

- (1) 降雨継続時間 t_r を20分間、1時間、2時間など3種類以上想定する。想定する範囲は、図-8.3に示すような流域特性に支配される洪水到達時間から定める。
- (2) 長期間の降雨記録(過去30年程度)からそれぞれの t_r に対応する年最大降雨強度(mm/h)を求め、整理する。
- (3) それぞれの t_r に対応するデータを確率計算し(「6. 実績降雨に基づく計画基準降雨 6.2 確率降雨量の計算」参照)、降雨継続時間 t_r ごとにある確率年 T に対する確率降雨強度 r_T を求める。確率降雨強度式が定まっている場合は、それを利用する。
- (4) 上記で求めた降雨継続時間 t_r ごとの確率降雨強度 r_T に対して、式(8.7)により確率有効降雨強度 r_{eT} を求める。この場合のピーク流出係数は、原則として流域の流量観測結果から得られた値を用いる。

$$r_{eT} = f_p \cdot r_T \dots\dots\dots (8.7)$$

ここに、 r_{eT} : 確率有効降雨強度 (mm/h)

f_p : ピーク流出係数

r_T : 確率降雨強度 (mm/h)

- (5) ピーク流出係数 f_p は、地域の地質、地被、先行降雨等の諸条件により異なるので、それぞれの流域についての観測記録に基づき、種々の降雨に対する洪水ピーク流出量と洪水到達時間から求める。求める時は、式(8.1)と式(8.3)から導かれる式(8.8)を用いる。この場合、排水計画に用いる f_p の値は、大規模洪水時の値又はピーク流出係数の最大値に注目する(表-8.3の例の場合、 f_p は0.72となる)。

$$f_p = \frac{3.6 Q_p / A}{r} \dots\dots\dots (8.8)$$

ここに、 Q_p : 実測されたピーク流出量 (m³/s)

r : 到達時間内の実測平均降雨強度 (mm/h)

A : 流域面積 (km²)

- (6) このようにして求めた降雨継続時間 t_r ごとの確率有効降雨強度 r_{eT} に、図-8.4に示すような滑らかな曲線を挿入する。

8.4 洪水ピーク流出量の計算

洪水ピーク流出量 Q_p は、洪水到達時間 t_p に等しくなるような降雨継続時間に対応する確率有効降雨強度 r_{eT} を求め、これを式(8.1)に代入すれば求められる。

すなわち、図-8.4のように、洪水到達時間($r_e - t_p$ 曲線)と確率有効降雨強度曲線($r_{eT} - t_r$ 曲線)を同一グラフ上に描くと、両曲線の交点の値が合理式に用いるべき確率有効降雨強度になる(図の結果では、50mm/hを示している)。

この交点の確率有効降雨強度 r_e を式(8.1)に代入し、基準点における洪水ピーク流出量 Q_p を求める。

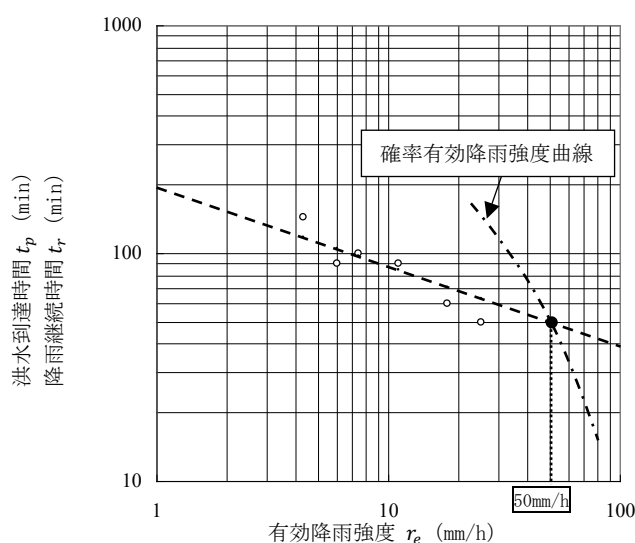


図-8.4 確率有効降雨強度の推定グラフ

参考文献

- 1) 水理公式集等
- 2) 角屋 睦：流出解析手法(その8)―洪水到達時間と合理式―、農土誌 48(8)、pp. 39～44 (1980)
- 3) 杉山博信、田中宏宣：丘陵地開発に伴う流出変化、農土誌 56(11)、pp. 17～23 (1988)
- 4) 四方田穆、奥谷順彦：開発農地の流出特性―表面流モデルによる縦畦の影響の検討―、農土誌 56(11)、pp. 39～44 (1988)