

新たな流出計算モデル(案)を用いた 流出計算の実施

※本資料は、第8回分科会の資料11を一部修正したものです。

なお、別添資料については、変更がないものは省略しています。

平成23年6月

現在、新たな流出モデルの構築と並行して、雨量及び流量の点検を進めてきており、本資料はこれまで（平成23年6月8日）の雨量及び流量データの点検結果を用いて作成している。

(1) 検討内容

新たな流出計算モデルを用いて、昭和 55 年の工事实施基本計画改定時と同様に、観測史上最大流量と確率流量の計算を実施した。

それぞれの計算に用いた、流出計算モデルや雨量及び流量データは次のとおりである。

● 観測史上最大流量（昭和 22 年 9 月洪水）

- ・新たな流出計算モデルを用いた。
- ・現時点で収集可能な雨量データを収集し、雨量及び流量データの点検を行い必要に応じて修正して用いた。

● 確率流量（1/200 確率流量）

- ・新たな流出計算モデルを用いた。
- ・近年の洪水を含めて、現時点において収集可能な雨量及び流量データを収集し、雨量及び流量データの点検を行い必要に応じて修正して用いた。

(2) 観測史上最大流量

昭和 55 年工事实施基本計画改定時と同様に、利根川本川における観測史上最大洪水である昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）について試算した。

①計算条件

1) 洪水調節施設

洪水調節施設がないものと仮定して計算を行う。

2) 流出計算モデル

流出計算は、新たな流出計算モデルを用いて行う。資料 7（1）～（3）に示したとおり、貯留関数法により、八斗島上流域について、39 の小流域と 20 の河道に分割したモデルを用いて行う。各小流域の流域面積、 f_1 、初期損失雨量、 R_{sa} 、 K 、 P 、 TI 、基底流量、各河道の K 、 P 、 TI を別添資料 1 1－1 に示す。

ここで、各小流域の f_1 、 K 、 P 、 TI と各河道の K 、 P 、 TI は資料 7（4）と同じ値としており、資料 7（3）で示した方法で求めている。

また、昭和 22 年 9 月洪水については、4）に示すように基底流量の分離等を実施するために必要な流量観測が実施されていないことから、各小流域の初期損失雨量、 R_{sa} 、基底流量は、新たな流出モデルの構築で算出した平均的な値とした。具体的には次のように設定した。

各小流域の初期損失雨量については、中流域ごとに、当該中流域に含まれる全ての f_1 等解析地点の全ての流域定数解析洪水の初期損失雨量の平均値を、当該中流域に属する小流域の初期損失雨量とした。また、各小流域の R_{sa} は、資料 7（3）① 5）に示した、各中流域の平均的な R_{sa} を、当該中流域に属する小流域の R_{sa} とした。

なお、利根川水系及びその周辺地域における昭和 22 年 9 月期の降雨の状況は、別添資料 1 1－2（気象庁 HP より）のとおりであり、カスリーン台風(9/13～15)の以前に降雨が記録されている。

各小流域の基底流量については、資料 7 (3) ① 1) の流域定数解析洪水について、八斗島地点において洪水ごとに流出成分を分離して求めた直接流出開始時点の八斗島地点の流量を平均し、基底流量の開始流量とした。この八斗島地点の基底流量の平均値に八斗島上流域の流域面積における当該小流域の流域面積の割合を乗じた値を、各小流域の開始基底流量とした。

また、基底流量の終了流量については、f1 等解析地点の全ての流域定数解析洪水の基底流量の開始の流量 (Qb1) と基底流量の終了する流量 (Qb2) の差分を f1 等解析地点の上流ごとの面積で割った値を縦軸にとり、f1 等解析地点の上流域における有効降雨を横軸にとって別添資料 1 1 - 3 に示すとおり両者の関係を求め、小流域ごとの有効降雨から小流域ごとの基底流量の終了流量を算出した。

基底流量の終了時刻については、原則として貯留関数法において直接流出高が 0 になる時刻とすべきと思われるが、計算された直接流出高が 0 となるまでには、演算時間が非常に長く、実績の基底流量終了時刻と大きく乖離してしまう。このため、実績の基底流量の終了時刻における直接流出高の計算値を許容誤差 ε と定め、 ε と (Qb2 - Qb1) の関係を別添資料 1 1 - 4 に示すように整理し、小流域ごとに直接流出高の計算値が ε に達する時点を演算の終了時点 (基底流量終了時刻) とした。

3) 雨量

昭和22年9月洪水の小流域ごとの流域平均時間雨量は、時間雨量観測所の数が十分に多くないため、次のような方法で求めた。

八斗島上流域における日雨量観測所 (他機関も含む) について、当該洪水の 3 日間 (計画降雨継続時間) の日雨量データを整理し、毎 1 日雨量及び同期間の 24 時間雨量 (10~10 時) の 24 時間雨量データに欠測がない全ての雨量観測所 (毎 1 日間に欠測がない時間雨量観測所も含む) を用いて、クリギング法により等雨量線図を作成し、等雨量線法により、一日ごとに、小流域ごとの流域平均日雨量を求めた。また、流域内の地形、谷の方向、気象条件等を勘案し、時間雨量観測所ごとに当該時間雨量観測所の観測雨量 (欠測がある場合は、別添資料 1 1 - 5 に示す方法で、近傍の欠測がない時間雨量観測所のデータを用いて補正した。) の時間分布を当てはめる区域 (以下「影響区域」という。) を別添資料 1 1 - 6 のように定め、次式により影響区域に属する小流域の流域平均降雨強度を求めた。

$$r(t) = R(d) \times rd(t) \\ rd(t) = r \cdot d'(t) / \Sigma rd'(t)$$

$r(t)$: 流域平均降雨強度 【mm/hr】、 $R(d)$: 流域平均日雨量 【mm/day】

$rd(t)$: 流域平均雨量の時間分布 【無次元】

$rd'(t)$: 時間雨量観測所の観測雨量の時間分布 【mm/hr】

$\Sigma rd'(t)$: $rd'(t)$ について 10~10 時までの 24 時間雨量 【mm/24hr】

このような方法で作成した、昭和22年9月洪水の小流域ごとの流域平均時間雨量を

別添資料 11-7 に、各洪水の時間雨量観測所データをそれぞれ別添資料 11-8 に示す。

また、日雨量観測所データ（日雨量と同期間の 24 時間雨量データ含む）を別添資料 11-9 に、小流域ごとの流域平均日雨量を別添資料 11-10 に、小流域ごとの流域平均日雨量算出に作成した等雨量線図を別添資料 11-11 に示す。

4) 観測流量

昭和 22 年 9 月洪水では、八斗島上流域において、上福島地点（利根川）、岩鼻地点（烏川）、若泉地点（神流川）の 3 地点においてピーク付近について流量観測が行われている。「カスリン颱風の研究」（別添資料 11-12 参照）等では、この 3 川の合流点の最大流量としては、3 地点の算術和より 17,000m³/s と推定されている。

② 計算結果

上記①で示した計算条件によって計算を行った。その結果は、別添資料 11-13 に示すとおりであり、八斗島地点におけるピーク流量は、約 21,100m³/s となった。

（3）確率流量

昭和 55 年の工事実施基本計画改定時と同様に、別添資料 11-14 に示す方法により、確率流量について試算した。

① 確率降雨量の算定

八斗島上流域においては、計画降雨継続時間を 3 日とし、大正 15 年（昭和元年）～平成 19 年までの 83 年間に於いて、流域平均 3 日雨量が 100mm 以上となる洪水が 68 洪水あり、それらを別添資料 11-16 に示すとおり確率処理し、確率降雨量（別添資料 11-17 参照）を算定した。

なお、大正 14 年以前は、雨量観測所のデータが収集できなかったことから、流域平均雨量の算出は困難である。

流域平均 3 日雨量が 100mm 以上の洪水の発生年月とその洪水の流域平均 3 日雨量を別添資料 11-15 に、算出された雨量確率図を別添資料 11-16 に、それぞれ示す。

ここで、日雨量の算定に当たっては、大正 15 年～昭和 49 年までは日雨量観測所の 1 日雨量と時間雨量観測所の 24 時間雨量の値が異なっている場合には、観測記録が多い日雨量観測所のデータを採用し、気象庁の観測所がアメダスに移行し、時間観測の整備が整った昭和 50 年以降は、時間雨量観測所の 24 時間雨量（但し、欠測がない場合に限る。）を日雨量とした。このように整理された日雨量データを用いて、原則として、1 日ごとにティーセン分割を行い、小流域ごとの流域平均日雨量を求めた。

また、昭和 20 年代までの洪水については、日雨量観測所数が少ないため、雨量観測所の支配面積が大きくなり、必ずしも実際の降雨分布を反映できない可能性があることから等雨量線法により、1 日ごとに、小流域ごとの流域平均日雨量を求めた。

このようにして算出された小流域ごとの流域平均日雨量から次式により流域平均3日雨量を求めた。

$$\text{流域平均3日雨量} = R_{\text{sum}} + R_0 = R(1\text{day}) + R(2\text{day}) + R(3\text{day})$$

R_{sum} : 総降雨量【mm】(降り始めからの雨量より初期損失雨量を控除したもの)

R_0 : 初期損失雨量【mm】

$R(d)$: 流域平均日雨量【mm/day】($d=1\sim3$ 日)

② 代表降雨波形群の選定

時間雨量観測所のデータが収集できた昭和10年から平成19年までの73年間において、流域平均3日雨量が100mm以上の洪水が62洪水あり、その降雨波形を代表降雨波形群とした。各代表降雨波形の小流域ごとの流域平均雨量の時間分布は、時間雨量観測所の整備状況に応じて、次のように求めた。

1) 昭和50年以降

この期間については、気象庁の観測所がアメダスに移行しており、アメダスデータをそのまま用いて、1日ごとにティーセン分割を行い、小流域ごとの流域平均降雨強度を求めた。

2) 昭和30年～昭和49年

この期間については、時間雨量観測所の数が十分に多くないため、時間雨量観測所(他機関も含む)について、毎1日間(9時日界)に欠測がない全ての時間雨量観測所を用いて、1日ごとにティーセン分割を行い、小流域ごとの流域平均雨量の時間分布を求め、次式に示すとおり、別に求めた流域平均日雨量に乗じることにより小流域ごとの流域平均降雨強度を求めた。

$$r(t) = R(d) \times rd(t)$$

$$rd(t) = r d'(t) / \Sigma r d'(t)$$

$r(t)$: 流域平均降雨強度【mm/hr】、 $R(d)$: 流域平均日雨量【mm/day】

$rd(t)$: 流域平均雨量の時間分布【無次元】

$rd'(t)$: 毎1日間に欠測がない全ての時間雨量観測所を用いて、1日ごとにティーセン分割を行って求めた小流域ごとの流域平均降雨強度【mm/hr】

$\Sigma r d'(t)$: $rd'(t)$ について9～9時までの24時間雨量【mm/24hr】

3) 昭和29年以前

この期間については、時間雨量観測所数が非常に少ないため、ティーセン分割では観測所の支配面積が大きくなることから、隣接する小流域においても降雨のピーク

時間が極端にずれるなど、ティーセン法では必ずしも実際の降雨分布を反映できない可能性がある。そのため、流域平均降雨強度を求める式は上記 2) と同じとするが、流域平均雨量の時間分布を、流域内の地形、谷の方向、気象条件等を勘案し、時間雨量観測所ごとに当該時間雨量観測所の観測雨量の時間分布を当てはめる区域（以下「影響区域」という。）を定め、次式により影響区域に属する小流域の流域平均降雨強度を求めた。

なお、時間雨量観測所の観測データに欠測等がある場合には、近傍の欠測等がない時間雨量観測所のデータを用いるなどの補正等を行った。

$$r(t) = R(d) \times rd(t)$$

$$rd(t) = r \cdot d'(t) / \Sigma rd'(t)$$

$r(t)$: 流域平均降雨強度【mm/hr】、 $R(d)$: 流域平均日雨量【mm/day】

$rd(t)$: 流域平均雨量の時間分布【無次元】

$rd'(t)$: 時間雨量観測所の観測雨量の時間分布【mm/hr】

$\Sigma rd'(t)$: $rd'(t)$ について 10～10 時までの 24 時間雨量【mm/24hr】

③ 計算条件

1) 洪水調節施設

洪水調節施設がないものと仮定して計算を行う。

2) 流出計算モデル

流出計算は、新たな流出計算モデルを用いて行う。資料 7 (1) ～ (3) で示したとおり、貯留関数法により、八斗島上流域について、39 の小流域と 20 の河道に分割したモデルを用いて行う。各小流域の流域面積、 $f1$ 、初期損失雨量、 Rsa 、 K 、 P 、 Tl 、基底流量、各河道の K 、 P 、 Tl を別添資料 11-1 に示す。

ここで、各小流域の流域面積、 $f1$ 、 K 、 P 、 Tl と各河道の K 、 P 、 Tl は、資料 7 (3) で示した方法で求めた。

各小流域の初期損失雨量は、資料 7 (3) ④ 4) で求めた各 $f1$ 等解析地点における流域定数解析洪水ごとの初期損失雨量を用いて、中流域ごとに、当該中流域に含まれる全ての $f1$ 等解析地点の全ての流域定数解析洪水の初期損失雨量の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の初期損失雨量とした。

各小流域の Rsa は、資料 7 (3) ④ 5) で求めた各中流域の平均的な Rsa を、当該中流域に属する小流域の Rsa とした。

各小流域の基底流量は、八斗島地点における全ての流域定数解析洪水の基底流量の平均値に八斗島上流域の流域面積における当該小流域の流域面積の割合を乗じた値を、各小流域の開始基底流量とした。

また、基底流量の終了流量については、 $f1$ 等解析地点の全ての流域定数解析洪水の基底流量の開始の流量 ($Qb1$) と基底流量の終了する流量 ($Qb2$) の差分を $f1$ 等解析

地点の上流ごとの面積で割った値を縦軸にとり、f1 等解析地点の上流域における有効降雨を横軸にとって別添資料 1 1－3 に示すとおり両者の関係を求め、小流域ごとの有効降雨から小流域ごとの基底流量の終了流量を算出した。

基底流量の終了時刻については、原則として貯留関数法において直接流出高が 0 になる時刻とすべきと思われるが、計算された直接流出高が 0 となるまでには、演算時間が非常に長く、実績の基底流量終了時刻と大きく乖離してしまう。このため、実績の基底流量の終了時刻における直接流出高の計算値を許容誤差 ε と定め、 ε と ($Qb2 - Qb1$) の関係を別添資料 1 1－4 に示すように整理し、小流域ごとに直接流出高の計算値が ε に達する時点を演算の終了時点（基底流量終了時刻）とした。

3) 雨量

八斗島上流域の流域平均 3 日雨量が任意の 3 日雨量 (100mm、200mm、300mm、350mm、400mm 及び 500mm) となるよう、上記②で求めた各代表降雨波形の小流域ごとの流域平均雨量の時間分布を引き伸ばし (引き縮め)、それぞれの任意の 3 日雨量における各代表降雨波形における小流域ごとの流域平均時間雨量を求めた。

④ 確率流量の算定

上記③で示した計算条件で、別添資料 1 1－1 4 の方法により計算を行った。

年超過確率流量は別添資料 1 1－1 7 に、流量確率図は別添資料 1 1－1 8 に、それぞれ示すとおりであり、八斗島地点における 1/200 確率流量は、約 24,000m³/s となった。

【別添資料 11-15 の追加】

現行計画において、確率降雨量を求める際に用いた雨量データを以下に示す。

no.	年月日	3日雨量(mm)	no.	年月日	3日雨量(mm)
1	M34.08.21	107.4	35	S12.07.14	184.2
2	M36.09.21	106.3	36	S13.08.01	113.0
3	M37.07.09	133.9	37	S13.08.30	110.7
4	M37.09.15	115.8	38	S15.08.24	110.3
5	M39.07.14	166.0	39	S16.07.10	101.5
6	M39.07.25	138.1	40	S16.07.19	153.2
7	M39.09.10	117.1	41	S18.10.01	122.1
8	M40.08.23	168.3	42	S19.10.05	137.0
9	M43.08.08	234.6	43	S20.10.03	169.5
10	M43.08.12	100.1	44	S21.07.30	112.4
11	M43.10.10	109.3	45	S22.09.13	317.6
12	M44.08.02	133.6	46	S23.07.15	103.6
13	T2.08.25	132.9	47	S23.09.14	203.7
14	T3.08.11	183.6	48	S24.08.29	204.4
15	T3.08.27	151.5	49	S24.09.21	110.6
16	T5.07.28	144.7	50	S25.07.27	169.9
17	T6.09.28	138.3	51	S25.08.02	150.8
18	T7.09.22	104.6	52	S28.09.23	113.8
19	T8.09.14	165.5	53	S33.09.16	168.1
20	T9.05.07	100.1	54	S33.09.23	149.3
21	T9.08.03	134.4	55	S34.08.12	213.8
22	T9.09.02	110.8	56	S34.09.24	169.3
23	T10.07.22	155.0	57	S36.06.26	174.7
24	T11.08.23	184.1	58	S39.07.07	113.7
25	T12.06.08	100.5	59	S40.05.26	116.3
26	T12.09.13	131.4	60	S40.09.15	116.0
27	T14.08.14	147.0	61	S41.06.26	162.1
28	T14.08.24	101.4	62	S41.09.22	130.3
29	S3.07.30	120.4	63	S43.07.27	112.8
30	S3.10.06	144.3	64	S46.08.29	147.2
31	S4.09.08	141.7	65	S46.09.05	123.2
32	S5.07.30	176.8	66	S47.09.14	168.0
33	S8.08.05	116.4	67	S49.08.30	118.8
34	S10.09.23	219.1			

【別添資料 11-15 の差し替え】

このたびの試算において、確率降雨量を求める際に用いた雨量データを以下に示す。

no.	年月日	3日雨量(mm)	no.	年月日	3日雨量(mm)
1	S03.07.30	118.18	35	S41.09.22	132.35
2	S03.10.06	137.73	36	S43.07.27	118.21
3	S04.09.08	142.91	37	S46.08.29	148.55
4	S05.07.30	191.68	38	S46.09.05	120.91
5	S08.08.05	118.73	39	S47.09.14	172.34
6	S10.09.23	215.72	40	S49.08.30	118.83
7	S12.07.14	173.33	41	S56.08.21	235.47
8	S13.08.01	114.18	42	S57.07.31	221.59
9	S13.08.30	118.65	43	S57.09.10	213.86
10	S15.08.24	118.99	44	S58.08.15	209.60
11	S16.07.20	162.58	45	S58.09.26	139.38
12	S18.10.01	122.86	46	S60.06.28	134.23
13	S19.10.05	146.49	47	S61.09.01	142.96
14	S20.06.06	101.31	48	H02.08.08	143.65
15	S20.10.03	176.05	49	H03.08.19	143.10
16	S21.07.30	115.55	50	H03.08.29	109.30
17	S22.09.13	308.60	51	H06.09.15	122.27
18	S23.09.14	206.64	52	H06.09.27	100.07
19	S24.08.29	200.97	53	H07.09.15	110.12
20	S24.09.21	108.28	54	H10.08.28	164.10
21	S25.07.27	172.38	55	H10.09.14	186.01
22	S25.08.02	157.26	56	H11.07.12	104.72
23	S28.09.23	109.51	57	H11.08.13	212.69
24	S33.07.22	109.02	58	H11.09.20	107.84
25	S33.09.16	172.28	59	H12.09.10	153.75
26	S33.09.24	149.17	60	H13.08.21	140.04
27	S34.08.12	207.84	61	H13.09.09	246.20
28	S34.09.24	167.09	62	H14.07.09	183.15
29	S36.06.26	167.60	63	H14.09.30	112.89
30	S36.10.26	104.11	64	H16.10.08	108.94
31	S39.07.07	109.24	65	H16.10.19	120.49
32	S40.05.26	116.39	66	H17.07.25	108.57
33	S40.09.15	119.88	67	H18.07.17	189.04
34	S41.06.26	147.85	68	H19.09.05	265.40

現行計画では、明治 34 年～昭和 49 年までの 74 年間に、八斗島地点上流域の流域平均 3 日雨量が 100mm 以上の降雨群（非毎年値）を標本として確率雨量を求めている。

具体的には、これらの降雨群について、プロットイングポジションにハーゼン法： $(i-0.5)/n$ （ i ：降雨群を大きい方から並べかえた順序、 n ：八斗島地点上流域の流域平均 3 日雨量が 100mm を超える降雨数）を用いて片対数グラフにプロットし、最小 2 乗法により非毎年値の超過確率を求めた。

$$G(R) = e^{-0.02374(R-100)}$$

次に非毎年値の超過確率と年超過確率には、次式の関係があることから

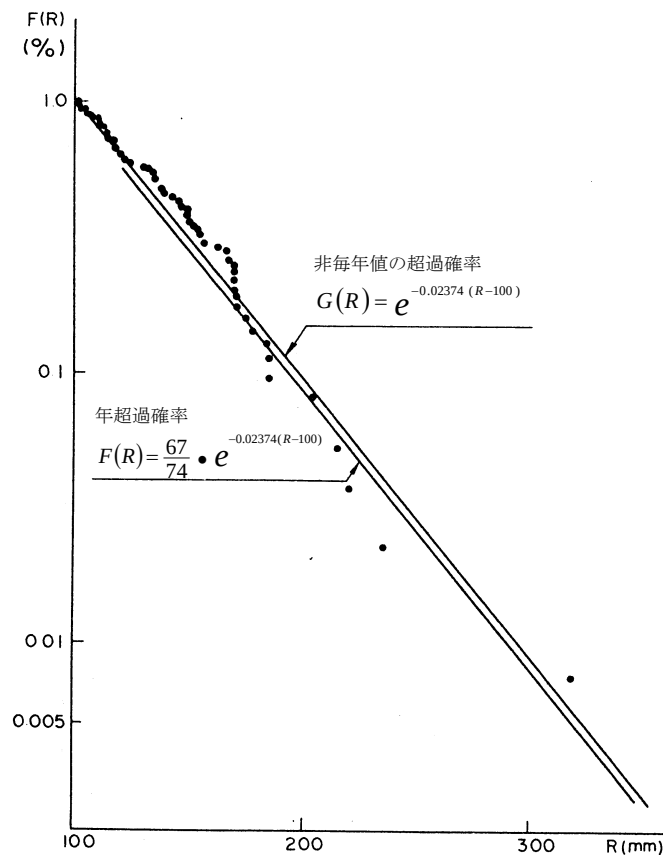
$$F(R) = G(R) \cdot \frac{n}{N_y}$$

N_y ：観測期間

n ：八斗島地点上流域の流域平均 3 日雨量が 100mm を超える降雨数

この関係より、年超過確率として次式を算定している。

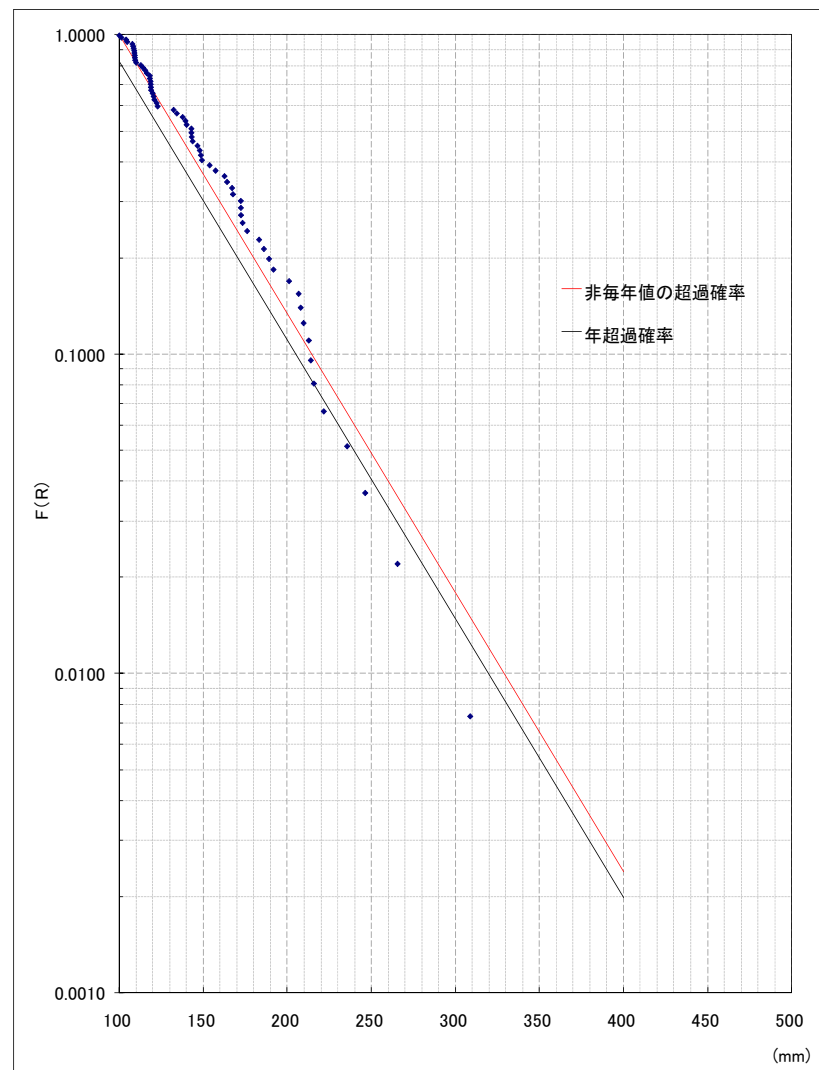
$$F(R) = \frac{67}{74} \cdot e^{-0.02374(R-100)}$$



このたびの試算においては、現行モデルと同様の手法により雨量データ収集期間（大正 15 年～平成 19 年までの 82 年間）と八斗島地点上流域の流域平均 3 日雨量が 100mm を超える降雨数（68 降雨）のみを変更して計算を行い次のような結果を得ている。

$$G(R) = e^{-0.020118(R-100)}$$

$$F(R) = \frac{68}{82} \cdot e^{-0.020118(R-100)}$$



別添資料11－17

年超過確率	雨量(mm)	流量(m ³ /s)
1/10	205	8,213
1/20	240	11,030
1/30	260	12,923
1/50	285	15,630
1/100	320	19,612
1/150	340	22,113
1/200	354	23,969
1/300	374	26,711
1/400	389	28,729
1/500	400	30,346

別添資料11－18

