

九州南部地域の洪水比流量について

河原田礼次郎・長 勝史

(農業水利学研究室)

昭和54年8月20日 受理

On the Specific Flood-Discharge in South Kyushu

Reijirō KAWAHARADA and Katsushi CHO

(Laboratory of Irrigation and Drainage Engineering)

緒 言

ダム・頭首工などの河川構造物の設計には、その地点の最大洪水量が必要となるが、これを推定するのに洪水比流量曲線をを用いることが提案されている。すなわち Creager (1941) の洪水比流量曲線をメートル単位系になおした次式である。

$$q = CA^{(0.9784A^{-0.0468} - 1)} \quad (1)$$

ここで q : 洪水比流量 ($m^3/sec/km^2$), A : 流域面積 (km^2), C : 地域によって定まる定数で、この式をわが国の河川に適用し、過去の事例をすべて包絡するように定めてあるが、ほかの関係要素が流域面積だけであるために、ピーク流量を支配する豪雨特性、流域特性が十分に反映されず、特に流域面積の小さいときにあまりにもかけ離れた数値を示し現実的でない。

このようなことから、角屋らは次のような考え方で新しい提案式 (7) を誘導した³⁾⁴⁾。すなわち、ある流域の DA の式として

$$\text{Horton 型} \quad P/P_0 = \exp(-\alpha A^\beta) \quad (2)$$

DD 式として

$$\text{Sherman 型} \quad r_0 = a/t^b \quad (3)$$

洪水到達時間式として

$$\text{角屋・福島式} \quad t = C_p A^{0.22} r_e^{-0.35} \quad (4)$$

を用いる。

ここで P_0, P : 点および流域平均最大雨量, r_0 : 点最大降雨強度, α, β, a, b, C_p : 定数, r_e : 流域平均有効降雨強度は、流域平均降雨強度 r にピーク流出係数 f を用いて $r_e = fr = f(P/P_0)r_0$ より求まるものとし式 (3) の t に式 (4) を用いると

$$r_e = \frac{fa}{C_p^b A^{0.22b} r_e^{-0.35b}} \exp(-\alpha A^\beta) \quad (5)$$

一方、合理式を用いると

$$\text{洪水比流量} \quad q = r_e/3.6 \quad (6)$$

と表わせるから式 (7) をうる。

$$\left. \begin{aligned} q &= KA^{-\gamma} \exp(-\delta A^\beta) \\ \text{ここで} \quad K &= \frac{1}{3.6} \left(\frac{fa}{C_p^b} \right)^u, \quad \gamma = 0.22bu \\ \delta &= \alpha u, \quad u = \frac{1}{1-0.35b} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

この式 (7) を、式 (1) と比較検討するのが本論の目的である。

DAD 解析と洪水比流量曲線

九州南部地域の洪水比流量をもとめるため比較的資料の整っている川内川および大淀川流域の豪雨時の時間雨量を収集し DAD 解析を行ない、これから洪水比流量曲線を以下のようにもとめた。

1. 川内川流域の DA および DD 解析

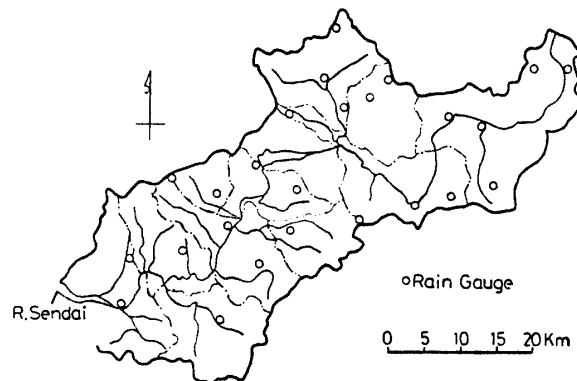


Fig. 1. Sendai river basin.

Fig. 1 に示すように流域面積 1,409 km² に対し降雨観測所 25カ所 (ただし昭和40年以前は 9~12カ所) があり昭和30~51年の豪雨時の時間雨量を収集した. 対象降雨としてはこれらのうち大洪水の記録されたものみにしぼったため資料箇所数は14箇所である. なお本流域は形状係数 $f=0.129$, 密集度 $C=0.593$ である.

(1) DA 解析

流域の平均雨量は, 1, 3, 6, 12 hr の各継続時間 t 毎に Thiessen 法によって求め, その値の大きい順にブロックを累加していく方法によって流域平均雨量 $P-A$ 曲線をえがき, この曲線の内挿値として各面積に対応する流域平均雨量を算定した. Table 1 には, それを大きさの順に並べかえ, 上位5位までを示す. これらの分布をしらべてみるといずれも対数正規分布に近いことがわかった (Fig. 2). そこでこれらのデータを

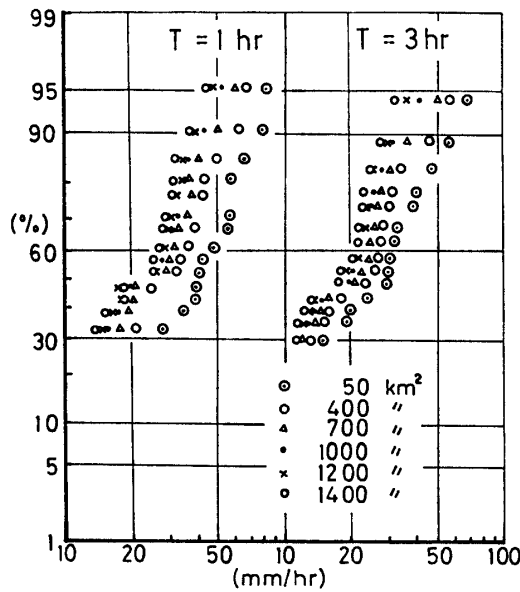


Fig. 2. Probability plotting of mean rainfall depth in every catchment area.

もとに地点最大雨量 P_0 で P/P_0 に換算すると Table 2 がえられ式 (2) に適用するため $\alpha A^\beta = y$ とおき $y-A$ の関係をプロットすると, 各継続時間によってかなりばらつくが, 大体直線関係に近い (Fig. 3). これから最小二乗法によって $y-A$ 直線をもとめ式 (2) の α, β をもとめたのが Fig. 4 である. これをみても分かるように定数は $\beta = \epsilon \alpha^{-\gamma}$ の関係にあるが順位によって統一的な値を示していないし同順位でも継続時間によって適合度が異なり全平均 $\bar{F} = 12\%$ となった. Table 3 に順位 1 位の場合の適合度を示す.

(2) DD 解析

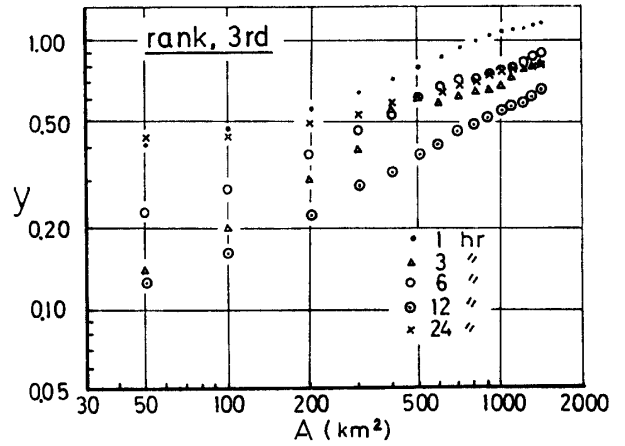


Fig. 3. Relationship between y and A (Sendai river).

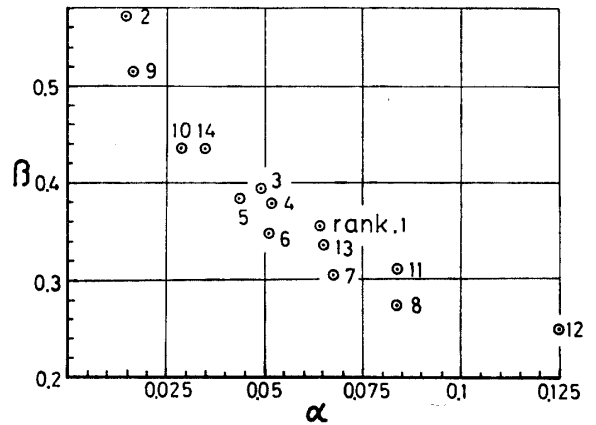


Fig. 4. Values of α and β (Sendai river).

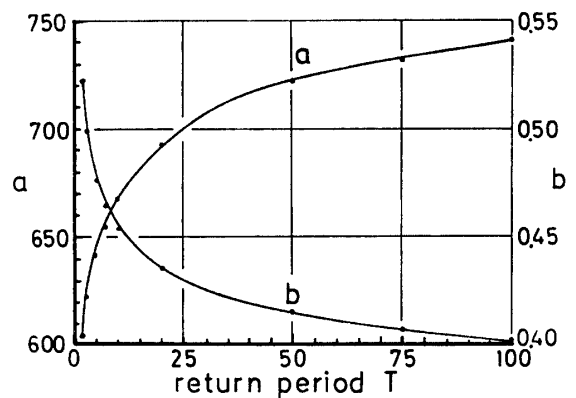


Fig. 5. Values of a and b , where unit of duration of rainfall t is min. (Sendai river).

降雨強度式として式 (3) の Sherman 型を選び, 各継続時間 t 毎の降雨強度 r の順位表をつくり T 年確率雨量をもとめた. この結果の定数 a, b が Fig. 5 で, 適合度 \bar{F} はよく 6% 以内であった. ここで t の単位は (min) である.

Table 1. Mean rainfall depth of each catchment area in duration of rainfall (Sendai river) (mm)

Duration of rainfall	Rank	Catchment area (km ²)									
		0	50	100	200	300	500	700	900	1100	1400
1 hr	1	116.0	85.8	82.0	76.2	73.0	67.2	61.8	56.0	51.2	46.0
	2	115.0	82.0	80.0	76.2	70.2	60.0	52.0	46.0	42.0	37.8
	3	101.0	67.0	64.0	58.2	54.0	46.2	40.2	36.2	34.5	33.0
	4	78.0	59.0	58.0	52.0	48.2	43.0	39.1	36.0	34.0	32.4
	5	70.0	59.0	59.6	50.9	47.0	41.9	38.2	35.8	34.0	32.0
3 hr	1	219.5	212.1	207.9	198.0	188.1	170.4	153.9	136.8	121.5	99.9
	2	197.0	176.1	171.0	161.1	151.5	131.1	112.5	96.0	85.8	84.9
	3	166.3	144.9	137.1	122.7	112.2	98.1	90.3	87.9	81.6	75.9
	4	158.3	123.0	118.8	110.7	103.5	92.1	84.6	79.5	77.1	72.0
	5	131.4	120.0	114.9	105.9	99.9	89.7	82.8	78.9	76.8	69.9
6 hr	1	323.8	259.8	253.2	243.6	232.2	217.2	199.8	184.2	169.2	148.8
	2	288.0	258.0	250.8	235.2	220.2	192.0	166.8	145.8	132.0	124.8
	3	285.5	226.8	216.0	198.0	181.8	156.6	142.2	136.8	130.8	118.2
	4	269.0	181.8	175.8	167.4	160.2	150.0	139.8	126.0	115.8	107.4
	5	222.4	171.0	166.2	156.6	148.2	133.8	123.0	115.8	112.2	103.8
12 hr	1	521.1	366.0	351.6	326.4	302.4	279.6	261.6	243.6	228.0	207.6
	2	463.0	324.0	318.0	308.4	298.8	264.0	234.0	210.0	192.0	181.2
	3	333.0	294.0	283.2	266.4	252.0	230.4	212.4	200.4	190.8	176.4
	4	329.0	229.2	225.6	217.2	208.8	194.4	180.0	165.6	153.6	141.6
	5	300.0	206.4	201.6	193.2	186.0	170.4	159.6	150.0	145.2	135.6

Table 2. P/P_0 values of high rank rainfall (Sendai river)

Duration of rainfall	Rank	Catchment area (km ²)								
		50	100	200	300	500	700	900	1100	1400
1 hr	1	0.740	0.707	0.657	0.629	0.579	0.533	0.483	0.441	0.397
	2	0.713	0.696	0.661	0.610	0.522	0.452	0.400	0.365	0.329
	3	0.663	0.634	0.576	0.535	0.457	0.398	0.358	0.342	0.327
	4	0.756	0.744	0.667	0.618	0.551	0.501	0.462	0.436	0.415
	5	0.843	0.802	0.727	0.671	0.599	0.546	0.511	0.486	0.457
3 hr	1	0.966	0.947	0.902	0.857	0.776	0.701	0.623	0.554	0.455
	2	0.894	0.868	0.818	0.766	0.665	0.571	0.487	0.436	0.431
	3	0.871	0.824	0.738	0.675	0.590	0.543	0.529	0.491	0.456
	4	0.777	0.750	0.699	0.654	0.582	0.534	0.502	0.487	0.455
	5	0.913	0.874	0.806	0.715	0.655	0.610	0.600	0.584	0.532
6 hr	1	0.802	0.782	0.752	0.717	0.671	0.617	0.569	0.523	0.460
	2	0.896	0.871	0.817	0.765	0.667	0.579	0.506	0.458	0.433
	3	0.794	0.757	0.694	0.637	0.549	0.498	0.479	0.458	0.414
	4	0.676	0.654	0.622	0.596	0.558	0.520	0.468	0.430	0.399
	5	0.769	0.747	0.704	0.666	0.602	0.553	0.521	0.504	0.467
12 hr	1	0.702	0.675	0.626	0.580	0.537	0.502	0.467	0.438	0.398
	2	0.700	0.687	0.662	0.645	0.570	0.505	0.454	0.415	0.391
	3	0.883	0.850	0.803	0.757	0.692	0.638	0.602	0.573	0.530
	4	0.697	0.686	0.660	0.635	0.591	0.547	0.503	0.467	0.430
	5	0.688	0.672	0.644	0.620	0.568	0.532	0.500	0.484	0.452

Table 3. Fitness at rank 1st (Sendai river) (%)

Duration of rainfall	Catchment area (km ²)									
	50	100	200	300	500	700	900	1100	1400	\bar{F}
1 hr	4.5	1.8	0.1	2.3	3.7	2.8	0.9	4.5	8.7	3.5
3	20.0	24.0	27.3	28.3	28.2	26.1	21.9	16.7	5.5	21.3
6	3.6	7.9	12.8	14.4	16.8	16.2	14.3	11.6	6.4	12.2
12	10.1	6.5	4.9	5.7	3.8	3.0	4.0	5.4	7.9	5.3

2. 大淀川流域の DA および DD 解析

大淀川の流域 2230 km² のうち綾北・綾南支流流域の 388 km² を対象流域とした。Fig. 6 に示すように

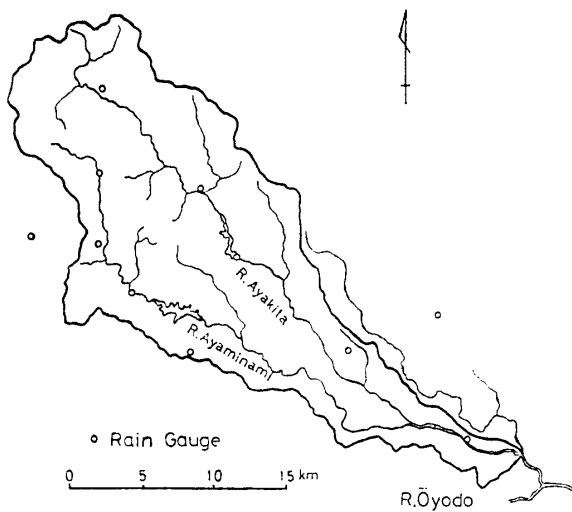


Fig. 6. Oyodo river basin.

観測点 9 カ所、資料は昭和43~50年の 8 年間の時間雨

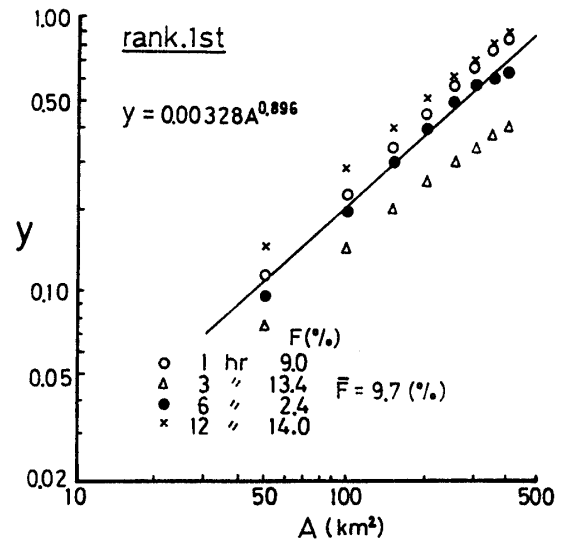


Fig. 7. Relationship between y and A (Oyodo river).

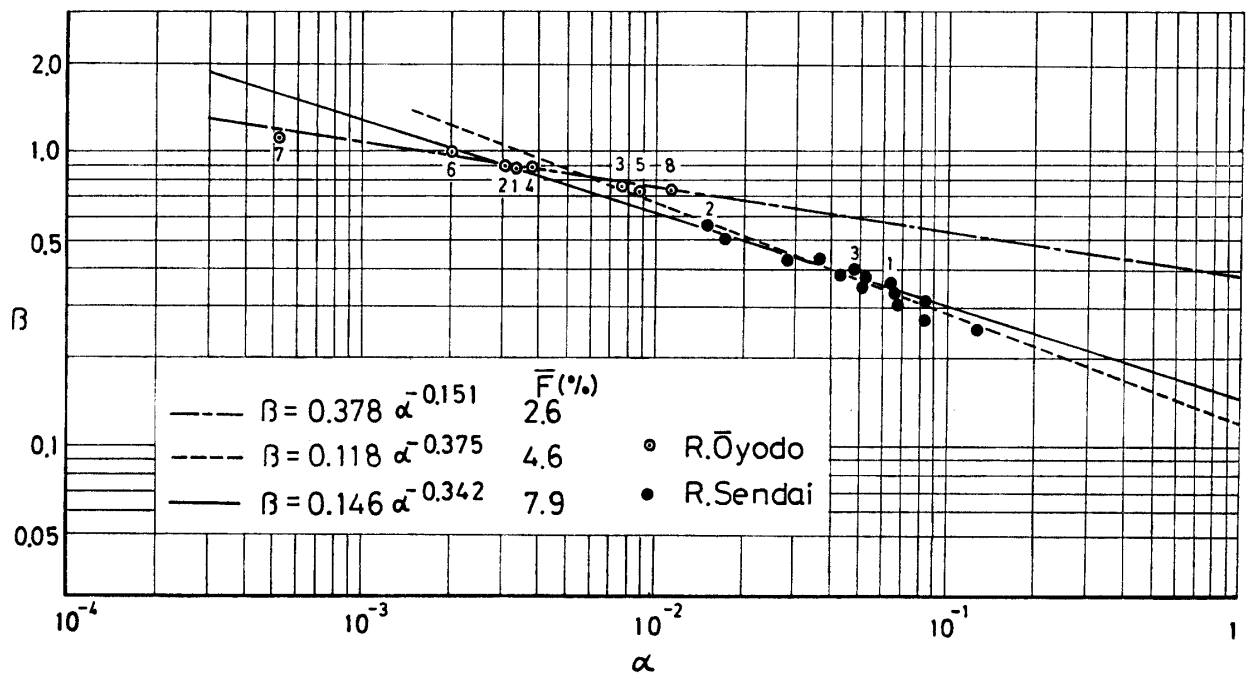


Fig. 8. Values of α and β (Oyodo and Sendai river).

量である。本流域は、形状係数 $f=0.158$, 密集度 $C=0.608$ である。

(1) DA 解析

川内川流域と同じように各継続時間毎に Thiessen 法によって流域平均雨量および P/P_0 の値をもとめた。何れも上位5位までを Table 4, Table 5 に示す。この P/P_0 に式 (2) の DA 式を Fig. 7 のようにあてはめ、 α, β をもとめたのが Fig. 8 の鎖線上の点である。順位によって統一した値を示していないし、Table 6 に示すように継続時間によって適合度が異なり全平均 $\bar{F}=9\%$ である。Fig. 8 には前述の川内川流域の値も点線の上に再掲し、それぞれの線式およびその精度も示しておいた。実線は両流域の全数値22箇を対象にもとめたものである。この図から分るように大淀川流域の方が α が小さく β が大きい値を示しており流域面積の増大による平均降雨の減少割合が大きいこと、すなわち局地性の降雨であることを意味している。

(2) DD 解析

資料箇数が川内川流域より少ないが同じ手法によって各継続時間 t 毎の T 年確率雨量をもとめた。この結果より式 (3) の Sherman 型の定数 a, b をもとめたのが Fig. 9 で適合度 \bar{F} は3.2%である。ただし t の単位は (hr) で川内川流域の Fig. 5 の (min) も (hr) に換算して点線で再掲した。これを見ると分るように

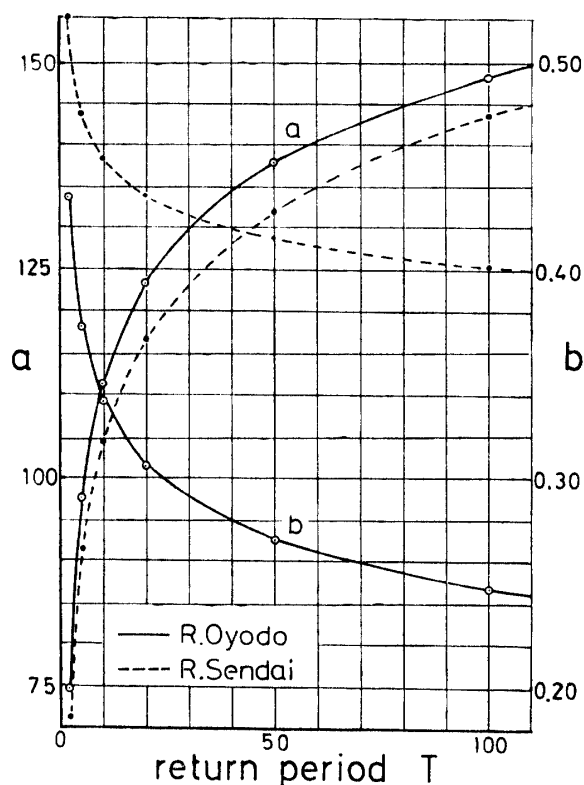


Fig. 9. Values of a and b , where unit of duration of rainfall t is hour (Oyodo and Sendai river).

Table 4. Mean rainfall depth of each catchment area in duration of rainfall (Oyodo river) (mm)

Duration of rainfall	Rank	Catchment area (km ²)								
		0	50	100	150	200	250	300	350	400
1 hr	1	122.0	108.9	97.4	87.3	78.0	69.2	62.2	56.5	52.3
	2	84.7	78.9	73.0	67.1	61.2	54.5	48.0	40.8	39.0
	3	82.2	70.5	63.7	57.5	52.2	47.5	43.6	40.7	38.5
	4	81.8	69.5	59.5	53.5	49.3	46.0	43.1	40.2	33.2
	5	78.5	68.6	58.5	52.1	46.7	42.0	38.0	34.4	30.8
3 hr	1	207.1	190.8	178.1	168.6	160.4	153.3	147.1	141.9	137.7
	2	205.5	171.4	146.2	127.0	113.5	105.7	97.9	90.4	85.7
	3	184.2	157.0	138.2	122.1	113.3	102.8	96.2	90.1	81.9
	4	140.3	133.8	127.4	120.5	110.7	102.7	93.2	84.5	79.9
	5	140.3	116.5	106.8	101.5	96.4	91.6	87.3	83.5	76.8
6 hr	1	376.2	341.5	309.0	279.0	252.0	228.0	211.8	204.2	198.3
	2	338.5	303.4	271.5	248.4	231.6	220.9	205.0	182.5	162.0
	3	319.5	276.0	237.8	207.8	188.0	175.2	164.7	155.5	147.9
	4	244.2	208.4	180.2	158.0	139.9	123.7	114.5	108.3	102.3
	5	225.7	190.8	162.2	141.8	131.0	122.3	109.0	98.8	92.8
12 hr	1	674.0	582.5	508.0	451.0	405.0	367.0	333.5	303.0	277.0
	2	373.4	344.7	318.2	294.2	274.9	260.8	250.8	243.7	238.0
	3	355.4	311.0	272.8	243.7	222.8	207.6	193.5	180.0	167.2
	4	342.0	292.1	252.3	221.9	202.3	188.5	177.3	168.0	159.9
	5	276.2	245.0	221.5	203.3	191.1	181.5	172.6	165.0	158.1

Table 5. P/P_0 values of high rank rainfall (Öyodo river)

Duration of rainfall	Rank	Catchment area (km ²)							
		50	100	150	200	250	300	350	400
1 hr	1	0.893	0.798	0.716	0.639	0.567	0.510	0.463	0.429
	2	0.932	0.862	0.792	0.723	0.643	0.567	0.482	0.460
	3	0.858	0.775	0.790	0.635	0.578	0.530	0.495	0.468
	4	0.850	0.727	0.654	0.603	0.562	0.527	0.491	0.406
	5	0.874	0.745	0.664	0.595	0.535	0.484	0.438	0.392
3 hr	1	0.921	0.860	0.814	0.775	0.740	0.710	0.685	0.665
	2	0.834	0.711	0.618	0.552	0.514	0.476	0.440	0.417
	3	0.852	0.750	0.663	0.615	0.558	0.522	0.489	0.445
	4	0.954	0.908	0.859	0.789	0.732	0.664	0.602	0.569
	5	0.830	0.761	0.723	0.687	0.653	0.622	0.595	0.547
6 hr	1	0.908	0.821	0.742	0.670	0.606	0.563	0.543	0.527
	2	0.896	0.802	0.734	0.684	0.653	0.606	0.539	0.479
	3	0.896	0.802	0.734	0.684	0.653	0.606	0.539	0.479
	4	0.853	0.738	0.647	0.573	0.507	0.469	0.443	0.419
	5	0.845	0.719	0.628	0.580	0.542	0.483	0.438	0.411
12 hr	1	0.864	0.754	0.669	0.601	0.545	0.495	0.450	0.411
	2	0.923	0.852	0.788	0.736	0.698	0.672	0.653	0.637
	3	0.875	0.768	0.686	0.627	0.584	0.544	0.506	0.470
	4	0.854	0.738	0.649	0.592	0.551	0.518	0.491	0.468
	5	0.887	0.802	0.736	0.692	0.657	0.625	0.597	0.572

Table 6. Fitness at rank 1st (Öyodo river)

(%)

Duration of rainfall	Catchment area (km ²)								\bar{F}
	50	100	150	200	250	300	350	400	
1 hr	0.5	2.3	4.5	7.3	11.3	14.1	16.0	15.8	9.0
3	2.6	5.0	8.2	11.4	14.7	18.1	21.6	25.4	13.4
6	1.2	0.6	0.8	2.4	4.2	3.4	1.1	5.8	2.4
12	3.8	8.4	11.7	14.2	15.9	17.6	19.5	20.8	14.0

b の値の差が大きく大淀川流域の方が継続時間の増加による降雨強度の減少割合が小さいことを示している。

3. 洪水比流量曲線

(1) 川内川流域の洪水比流量曲線

前述 1. で得られた値のうち順位 1 のときの $\alpha = 0.0639$, $\beta = 0.356$, $T = 10$ 年確率の $a = 104.3$, $b = 0.453$ を用いピーク流出率 $f = 1$, C_p (山林) = 290/60 として式 (7) を計算すると次式をうる。

$$q = 29.8A^{-0.118} \exp(-0.0759A^{0.356})$$

この曲線式を九州・沖縄地域の実測洪水比流量¹⁾ と対比すると観測期間が短かいため過小値を与えるので観測最大比流量の包絡線となるよう上にずらせると次式をうる。

$$q = 50.7A^{-0.118} \exp(-0.0759A^{0.356}) \quad (8)$$

これは Fig. 10* の小杉谷 ($A = 28.0 \text{ km}^2$, $q = 26.66 \text{ m}^3/$

s/km^2) で合致する点線で示されるがダム設計基準の Creager 型曲線式²⁾ と比べるとよい適合性を示している。

次に、順位 1 ~ 3 位の平均をとって $\alpha = 0.0362$, $\beta = 0.440$ とし a, b は同じく 104.3, 0.453 とすると $K = 29.8$ で、やはり実測流量値より下側になるので上にずらせると式 (9) をうる。

$$q = 47.7A^{-0.118} \exp(-0.0430A^{0.440}) \quad (9)$$

式 (9) で表わされる曲線は Fig. 10 の実線で示すように非常に適合性がよい。なおこのときの $K = 47.7$ に対応する a, b は外挿するとおよそ $T = 200$ 年のものに相当する。

* Fig. 10 の $A = 6 \text{ km}^2$ 付近に Fig. 11 にも示すように岸川 (佐賀) があるが、この値は不確実なものであると言われているので本論では対象からはずした。

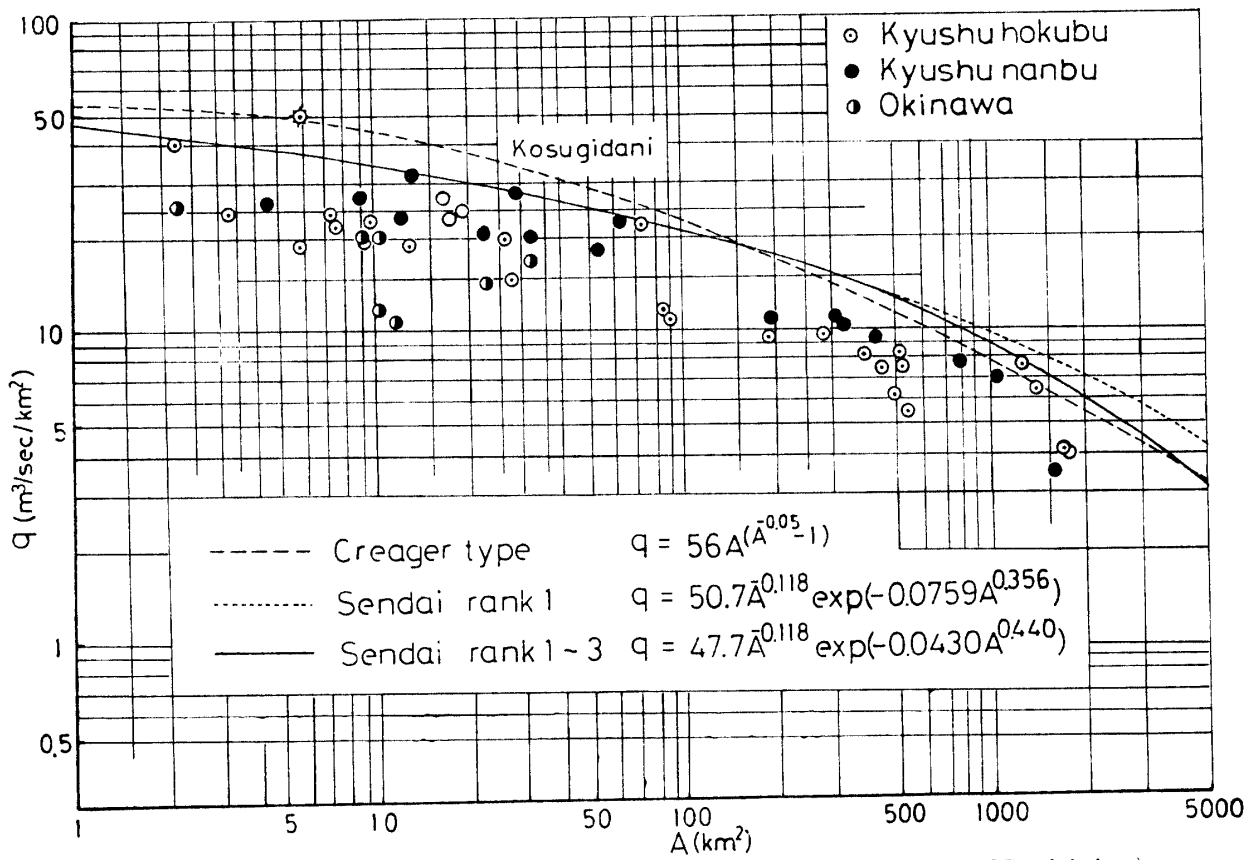


Fig. 10. Specific flood-discharge curve in Kyushu and Okinawa (using DAD of Sendai river).

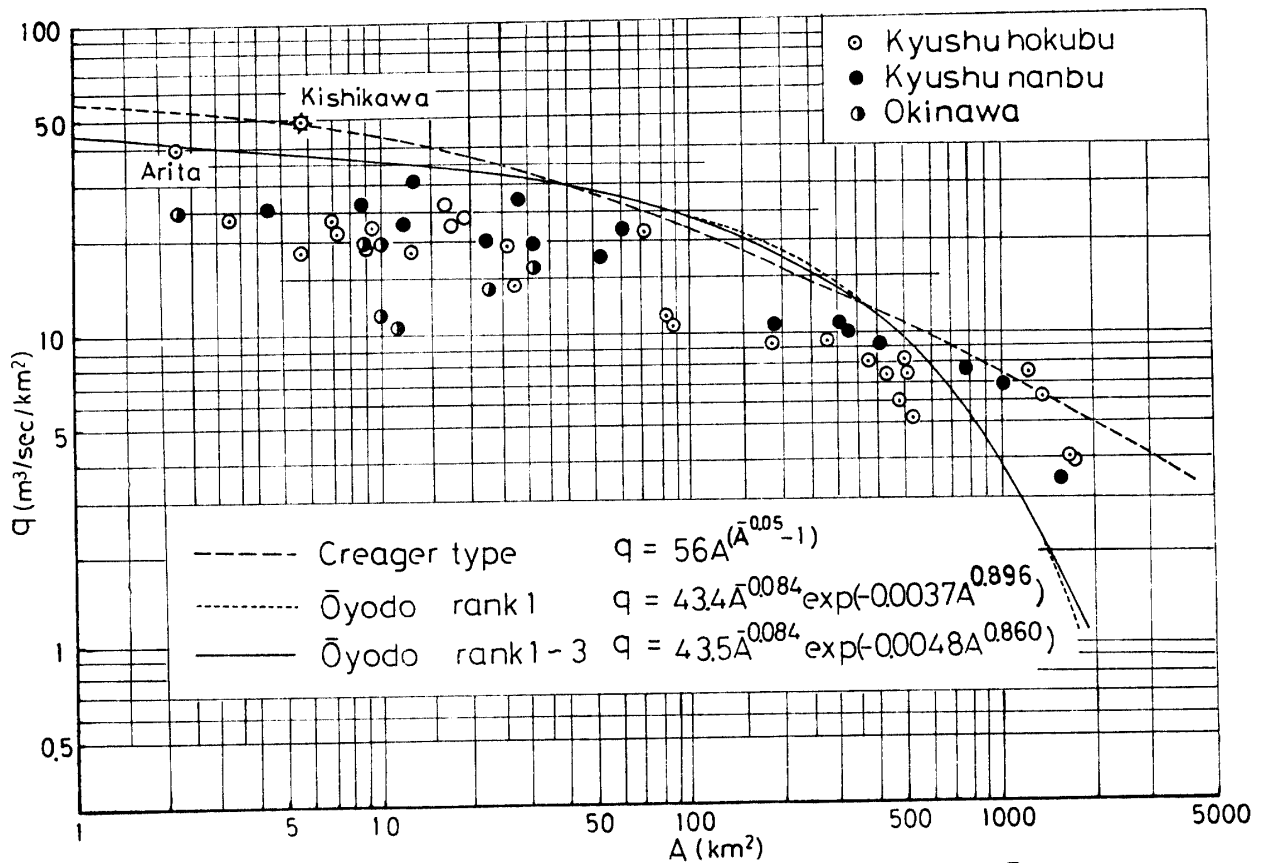


Fig. 11. Specific flood-discharge curve in Kyushu and Okinawa (using DAD of Ōyodo river).

(2) 大淀川流域の洪水比流量曲線

前述 2. で得られた値のうち順位 1 のときの $\alpha = 0.00328$, $\beta = 0.896$, さらに 10 年確率のときの $a = 111.3$, $b = 0.337$ を使って式 (7) を適用すると $K = 31.8$ となり, 実測値を下廻るので上にずらせると次式をうる.

$$q = 43.4 A^{-0.084} \exp(-0.0037 A^{0.896}) \quad (10)$$

これは Fig. 11 の点線で順位 1~3 の平均をとった ($\alpha = 0.00427$, $\beta = 0.860$, $a = 111.3$, $b = 0.337$) ときの次式 (Fig. 11 実線) と同様, 有田 ($A = 2.23 \text{ km}^2$, $q = 40.27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) を通る曲線となり, 40 km^2 以下では

$$q = 43.5 A^{-0.084} \exp(-0.0048 A^{0.860}) \quad (11)$$

Creager 型曲線よりも実測値に近いが $40 \sim 350 \text{ km}^2$ ではむしろ過大で, さらにそれ以上の流域の大きい場合には急激に下がり適合性を失う. これは調査対象の流域が 400 km^2 以下と小さかったこと, 観測資料年数が短かったこともあろうが, この資料による限り 1. (1) および (2) でのべたような大淀川流域の DA, DD 特性によるものと思われる.

以上の曲線のほか Fig. 8 に示した実線上のもの, あるいは点線, 鎖線上の任意の点を選んでみたが, 結果的には川内川流域の順位 1~3 の平均をとった式 (9) が, 実測洪水比流量の包絡線としては最良のものであった. すなわち九州南部地域の洪水比流量曲線としては式 (9) を提案したい.

摘 要

九州南部地域の洪水比流量をもとめるため, 比較的

資料の整っている川内川および大淀川流域の豪雨時の時間雨量を収集し, DAD 解析をおこない, これから洪水比流量曲線をもとめた.

その結果, 川内川流域の順位 1~3 の平均をとった式 (9) が, 九州南部地域の洪水比流量曲線としては最良のものであった.

謝辞 最後に, 本研究は京都大学教授角屋睦博士を代表とする昭和 52, 53 年度文部省科学研究費の補助によるものであることを付記し謝意を表する.

また本研究を行うにあたり多方面の方々の協力を得た. 特にここで用いた豪雨資料は鹿児島気象台, 宮崎気象台のほか建設省九州地方建設局河川管理課, 川内川工事々務所, 鶴田ダム管理所, 宮崎工事々務所, 宮崎県企業局に負うところが大きい. また膨大な資料の整理, 計算には本学々生, 森重彰彦, 上野一範, および山下敏郎君を煩わした. 記して謝意を表する.

文 献

- 1) 建設省土木研究所: 全国ダム地点地域別比流量図. 土木研究所資料 1~20, No. 1093 (1976)
- 2) 日本大ダム会議: 第 2 次改訂ダム設計基準, 5 (1978)
- 3) 角屋 睦・永井明博: DA 曲線式の議論, 昭和 52 年度科学研究費「ダム・頭首工の安全設計資料としての洪水比流量に関する研究」研究報告, 19~21 (1978)
- 4) 角屋 睦・永井明博: 洪水比流量曲線へのアプローチ, 3) 文献, 32~39 (1978)
- 5) 角屋 睦・永井明博・野口美具: 中小河川洪水の極値について, 第 15 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 525~528 (1978)
- 6) 河原田礼次郎: 川内川流域の洪水比流量曲線について, 第 52 回農業土木学会九州支部講演会講演集, 31~32 (1978)

Summary

In order to determine the specific flood-discharge in south Kyushu, the data of rainfall-depth per an hour in case of heavy rain were assembled at the Sendai and Ōyodo river basins where the data of rainfall were comparatively well available, and DAD analyses were carried out, and thereby the curve of specific flood-discharge was obtained.

As the result, Eq. (9) formed by averaging the ranks 1~3 at the Sendai river basin was ascertained to be most adapted for the curve of specific flood-discharge in south Kyushu.