

I 洪水到達時間と流出率及び計画洪水量の算定について

排水計画における適正な洪水到達時間と流出率を求めるために、昭和57年度から(財)日本気象協会沖縄支部に委託し、11箇所で実測してきた。

本資料は、過去9箇年の実測資料を基に解析した流域面積・降雨強度と洪水到達時間の関係、降雨強度とピーク流出率の関係及び計画洪水量の算定方法についての概要である。

詳細については、「流出率解析業務報告書(平成4年3月)」沖縄県農林水産部耕地課・(財)日本気象協会沖縄支部を参照されたい。

1 調査地点

調査地点は、今帰仁村湧川、名護市屋我地、読谷村座喜味、沖縄市池原、玉城村船越、石垣市栄・上原、上野村高山、竹富町波照間、与那城村宮城・伊計の11地点である。

調査地点の土壌、地形の概要を表-1、表-2に示す。

表-1 調査地点の土壌

地点	土壌統	土 壤	土 質	基盤岩	土 性	略 号
湧 川	唐 原	国頭マ-7	強粘性、赤色、強酸性	千枚岩	粘板岩 土 壤	K
屋我地	唐 原	国頭マ-7	強粘性、赤色、強酸性	千枚岩	国 頭 れき層	K
座喜味	糸 洲	島尻マ-7	強粘性、赤色、弱7粘性	琉 球 石灰岩	珊 瑚 石灰岩	S
池 原	矢 田	国頭マ-7	強粘性、黄色、強酸性	段 丘 堆積物	国 頭 れき層	K
船 越	稲 嶺	マ-7	強粘性、灰色、弱7粘性	泥 岩	泥灰岩 土 壤	J
栄	赤 山	島尻マ-7	強粘性、黄色、強酸性	琉 球 石灰岩	珊 瑚 石灰岩	S
上 原	真栄里	島尻マ-7	強粘性、赤色、弱7粘性	琉 球 石灰岩	珊 瑚 石灰岩	S
高 山	摩文仁	島尻マ-7	強粘性、赤色、弱7粘性	琉 球 石灰岩	珊 瑚 石灰岩	SS
波照間		島尻マ-7 (J客土)		琉 球 石灰岩	珊 瑚 石灰岩	S+J
宮城島		島尻マ-7 (J客土)		琉 球 石灰岩	珊 瑚 石灰岩	S+J
伊計1	摩文仁	島尻マ-7	褐色	琉 球 石灰岩	珊 瑚 石灰岩	SS

表-2 調査地点の地形

地点	流域面積 ha	最長流路長 m	高低差 m	地形	観測点標高	平均勾配 (1/1000)
湧川	13.4	900	145	急勾配の山地が主体	2	161
屋我地	7.9	500	18	比較的平坦な圃場	30	36
座喜味	50.8	900	28	比較的平坦だが住宅地を含む	58	31
池原	27.5	1,200	46	一部圃場、流域の半分は原野。多少起伏あり	31	38
船越	39.1	1,500	36	比較的平坦な圃場	45	24
栄	18.8	400	14	比較的平坦な圃場	18	35
上原	26.1	1,100	23	平坦な圃場	35	21
高山	216.0	2,800	50	平坦な圃場	35	18
波照間	6.7	500	13	平坦な圃場	38	26
宮城島	59.3	1,500	7	平坦な圃場	99	5
伊計1	89.2	1,300	25	平坦な圃場	10	19

2 流域面積・降雨強度と洪水到達時間の関係

洪水到達時間は、流域面積の増加とともに、到達時間も長くなるが、逆に降雨強度が大きくなると到達時間は短くなる関係が見いだせた。

この関係を最小自乗法で解析したのが、次の関係式であり、代表的降雨強度との関係を図示したのが図-1である。解析に当たって11観測地点の内上野村高山はライニング水路の伝播速度による到達時間であることから、他の観測地点との差が大きすぎるので解析から除外している。

流域面積・降雨強度と洪水到達時間の関係式

$$t = 280 \times A^{0.33} / r^{0.33}$$

t : 到達時間 (分)
 A : 流域面積 (ha)
 r : 降雨強度 (mm/h)

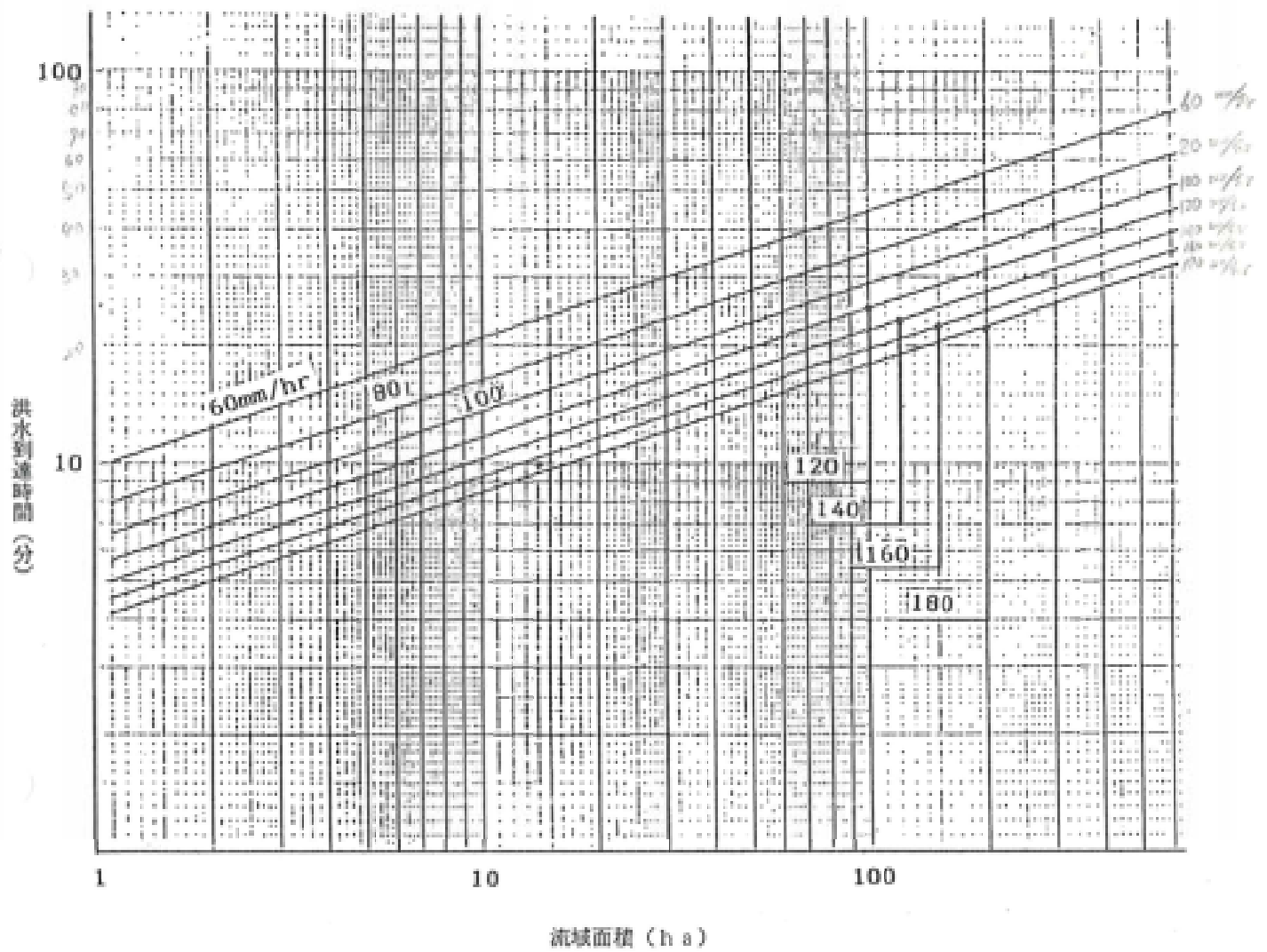


図-1 流域面積と洪水到達時間の関係

3 降雨強度とピーク流出率の関係

一般的に到達時間内降雨強度とピーク流出率は、ある降雨強度以上では一定の流出率に近づくと考えられている。本調査でも、そのような考え方のもとに、土壌別に降雨強度とピーク流出率の関係を解析したのが、表-3である。

表-3 降雨強度別ピーク流出率

土壌 降雨強度	国頭マ-ジ	ヲ+ - イト	島尻マ-ジ	島尻マ-ジ + ヲ+ - イト	備 考
mm/hr					
50	0.45	0.56	0.22	0.28	
60	0.47	0.58	0.23	0.28	
80	0.49	0.61	0.24	0.29	
100	0.50	0.63	0.25	0.30	
120	0.51	0.64	0.25	0.30	
140	0.52	0.65	0.26	0.30	
160	0.53	0.66	0.26	0.30	
180	0.54	0.67	0.27	0.31	
200	0.54	0.68	0.27	0.31	

4 洪水到達時間と降雨強度の関係

洪水到達時間と確率降雨強度の最適式について、沖縄総合事務局農林水産部と琉球大学農学部の吉永安俊氏によって解析されたのが表-4である。その関係式により、各地域の洪水到達時間別確率降雨強度を求める。

10年確率降雨強度を求める場合、再現期間10の係数を最適式に代入し、洪水到達時間 t を分の値で計算する。その計算結果を表-5に示す。

表-4 洪水到達時間と確率降雨強度の関係式

区分	適用範囲 (t = 5 ~ 120 分)				観測期間
	最適式	再現期間	係数		
		T年	a	b又はn	
名 護	久野・石黒式 $r = a / (t^{1/2} + b)$	2	494	0.83	1967 ~1978
		5	698	1.41	
		10	835	1.74	
		30	1,061	2.29	
		100	1,311	2.77	
那 覇	久野・石黒式 $r = a / (t^{1/2} + b)$	2	470	1.04	1953 ~1978
		5	629	1.64	
		10	741	2.06	
		30	896	2.54	
		100	1,065	3.03	
久 米 島	タルボット式 $r = a / (t-b)$	2	5,399	38	1959 ~1978
		5	6,786	39	
		10	7,561	38	
		30	8,524	37	
		100	9,261	34	
宮 古 島	シャーマン式 $r = a / t^n$	2	288	0.39	1947 ~1978
		5	329	0.37	
		10	353	0.36	
		30	389	0.34	
		100	423	0.33	
石 垣 島	シャーマン式 $r = a / t^n$	2	298	0.41	1948 ~1978
		5	346	0.38	
		10	376	0.37	
		30	421	0.36	
		100	470	0.35	
与 那 国 島	タルボット式 $r = a / (t+b)$	2	5,839	39	1957 ~1972
		5	7,737	45	
		10	8,849	47	
		30	10,528	50	
		100	12,122	51	
南 大 東 島	タルボット式 $r = a / (t+b)$	2	4,487	33	1947 ~1972
		5	5,829	36	
		10	6,640	36	
		30	7,765	37	
		100	8,770	36	

表-5 洪水到達時間内10年確率降雨強度

区分	最適式	降雨強度 (mm/hr)						備考
		10分	20分	30分	40分	50分	60分	
名護	$r=835/(t^{1/2}+1.74)$	170	134	116	104	95	88	
那覇	$r=741/(t^{1/2}+2.06)$	142	113	98	88	81	76	
久米島	$r=7,561/(t+38)$	158	130	111	97	86	77	
宮古島	$r=353/t^{0.38}$	154	120	104	94	86	81	
石垣島	$r=376/t^{0.33}$	161	124	107	96	88	83	
与那国島	$r=8,849/(t+47)$	155	132	115	102	91	83	
南大東島	$r=6,640/(t+36)$	144	119	101	87	77	69	

5 洪水到達時間の求め方

洪水到達時間は、降雨強度と流域面積の関数であるから、土地改良事業計画指針の排水計画による方法で求めるか、表-4で求めた到達時間と降雨強度が図-1の流域面積に対する降雨強度と到達時間が合うところの時間を洪水到達時間としてもよい。このとき、洪水到達時間は10分刻みとし、グラフ上での降雨強度は、最も近い値のグラフで読み取るものとする。

実際に現場で使う場合は、10分刻みで流域面積の範囲を決めておいて、その範囲内は同じ到達時間の降雨強度を使えばいい。表-6は、地域別に洪水到達時間と流域面積の範囲を計算した結果である。

流域面積の範囲は、洪水到達時間の大きい方を採用して、それ以下の範囲としているから、流域面積の小さくなる分、到達時間は短くなり降雨強度は大きくなるが、その分は排水路の余裕量の範囲内で処理する。

表-5で各地域の10分と20分の降雨強度の比を求めると1.17~1.30の範囲である

ので、本基準では余裕率 1.3 とし、一時的に増える洪水量进行处理する。

10/27/2017

2017

表-6 洪水到達時間別流域面積の範囲

区分	到達時間	降雨強度	流域面積の範囲	備考	区分	到達時間	降雨強度	流域面積の範囲	備考
名護	min	mm/h	ha		那覇	min	mm/h	ha	
	10	170	0 ~ 14			10	142	0 ~ 9	
	20	134	14 ~ 65			20	113	9 ~ 40	
	30	116	65 ~ 160			30	98	40 ~ 100	
	40	104	160 ~ 280			40	88	100 ~ 190	
	50	95	280 ~ 450		那覇	50	81	190 ~ 300	
	60	88	450 ~ 640			60	76	300 ~ 440	
久米島	10	158	0 ~ 12		宮古島	10	154	0 ~ 11	
	20	130	12 ~ 60			20	120	11 ~ 50	
	30	111	60 ~ 140			30	104	50 ~ 120	
	40	97	140 ~ 240			40	94	120 ~ 220	
	50	86	240 ~ 350			50	86	220 ~ 350	
	60	77	350 ~ 460			60	81	350 ~ 520	
石垣島	10	161	0 ~ 13		与那国島	10	155	0 ~ 11	
	20	124	13 ~ 50			20	132	11 ~ 60	
	30	107	50 ~ 130			30	115	60 ~ 150	
	40	96	130 ~ 230			40	102	150 ~ 270	
	50	88	230 ~ 370			50	91	270 ~ 400	
	60	83	370 ~ 550			60	83	400 ~ 550	
南大東島	10	144	0 ~ 10						
	20	119	10 ~ 50						
	30	101	50 ~ 110						
	40	87	110 ~ 180						
	50	77	180 ~ 260						
	60	69	260 ~ 350						

6 計画洪水量

計画洪水量は、表-6の流域面積に対する洪水到達時間と降雨強度及び表-3の流出率で、合理式により求める。

合理式

$$Q = 0.2778 \times A \times f \times r \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec} \quad (A : \text{ha})$$

それぞれ該当する降雨強度と流出率で合理式により、1ha当りの計画洪水量を計算したのが、表-7である。この表により計画洪水量を求めるときに、流域面積の接点部分で流域面積が大きいのに単位洪水量の減によって計画洪水量が小さくなる場合の取り扱いについては、前の最大計画洪水量を越えるまではその前の値を計画洪水量とすればよい。

表-7 地域・土壌別単位面積計画洪水量

区分	到達 時間 min	降雨 強度 mm/h	1ha当り計画洪水量 (m ³ /sec)							
			国頭マージ		ジャーガル		島尻マージ		麒麟マージ	
			f	q	f	q	f	q	f	q
名 護	10	170	0.54	0.255			0.27	0.128	0.31	0.146
	20	134	0.52	0.194			0.26	0.097	0.30	0.112
	30	116	0.51	0.164			0.25	0.081	0.30	0.097
	40	104	0.50	0.144			0.25	0.072	0.30	0.087
	50	95	0.50	0.132			0.25	0.066	0.30	0.079
	60	88	0.50	0.122			0.25	0.061	0.30	0.073
那 覇	10	142	0.52	0.205	0.65	0.256	0.26	0.103	0.30	0.118
	20	113	0.51	0.160	0.64	0.201	0.25	0.078	0.30	0.094
	30	98	0.50	0.136	0.63	0.172	0.25	0.068	0.30	0.082
	40	88	0.50	0.122	0.62	0.152	0.25	0.061	0.30	0.073
	50	81	0.49	0.110	0.61	0.137	0.24	0.054	0.29	0.065
	60	76	0.49	0.103	0.61	0.129	0.24	0.051	0.29	0.061
久 米 島	10	158	0.53	0.233			0.26	0.114		
	20	130	0.52	0.188			0.26	0.094		
	30	111	0.51	0.157			0.25	0.077		
	40	97	0.50	0.135			0.25	0.067		
	50	86	0.50	0.119			0.25	0.060		
	60	77	0.49	0.105			0.24	0.051		

区分	到達 時間 min	降雨 強度 mm/h	1 h a 当り計画洪水量 (m ³ /sec)							
			国頭マージ		ジャ－ガル		島尻マージ		麒麟マージ	
			f	q	f	q	f	q	f	q
宮古島	10	154			0.66	0.282	0.26	0.111	0.30	0.128
	20	120			0.64	0.213	0.25	0.083	0.30	0.100
	30	104			0.63	0.182	0.25	0.072	0.30	0.087
	40	94			0.62	0.162	0.25	0.065	0.30	0.078
	50	86			0.62	0.148	0.25	0.060	0.30	0.072
	60	81			0.61	0.137	0.24	0.054	0.29	0.065
石垣島	10	161	0.53	0.237	0.66	0.295	0.26	0.116	0.30	0.134
	20	124	0.51	0.176	0.64	0.220	0.25	0.086	0.30	0.103
	30	107	0.51	0.152	0.63	0.187	0.25	0.074	0.30	0.089
	40	96	0.50	0.133	0.63	0.168	0.25	0.067	0.30	0.080
	50	88	0.50	0.122	0.62	0.152	0.25	0.061	0.29	0.071
	60	83	0.49	0.113	0.61	0.141	0.24	0.055	0.29	0.067
与那国島	10	155	0.53	0.228			0.26	0.112		
	20	132	0.53	0.194			0.26	0.095		
	30	115	0.51	0.163			0.25	0.080		
	40	102	0.50	0.142			0.25	0.071		
	50	91	0.50	0.126			0.25	0.063		
	60	83	0.49	0.113			0.24	0.055		
南大東島	10	144					0.26	0.104		
	20	119					0.25	0.083		
	30	101					0.25	0.070		
	40	87					0.25	0.060		
	50	77					0.24	0.051		
	60	69					0.24	0.046		

7 計画通水量

「土地改良事業設計基準水路工（その1）昭和61年5月改定」3.2.6 余裕高によると、「余裕高を含んだ断面での通水可能量と設計流量との比は、1.25～1.35程度として、この比は少なくとも1.2を下ってはいならない。」とあるので、本基準では、5の洪水到達時間の求め方で説明したように、その比を1.3として計算する。圃場内の集水路に一般的に使われているU字溝等の標準的な水路の計画通水

量を試算したのが、表-8~表-11である。

表-8 U字溝の計画通水量

呼び名	300A	300B	300C	360A	360B	450	600	
上幅 (m)	0.30	0.30	0.30	0.36	0.36	0.45	0.60	
底幅 (m)	0.26	0.26	0.26	0.31	0.31	0.40	0.54	
高さ (m)	0.24	0.30	0.36	0.30	0.36	0.45	0.60	
断面積 (㎡)	0.0672	0.0840	0.1008	0.1005	0.1206	0.1913	0.3420	
潤辺 (m)	0.74	0.86	0.98	0.91	1.03	1.30	1.74	
R	0.0903	0.0977	0.1029	0.1104	0.1171	0.1472	0.1966	
$R^{1/2}$	0.202	0.212	0.220	0.230	0.239	0.279	0.338	
粗度係数	n = 0.015 1/n = 66.67							
勾配	$I_s = 0.01$		$(I_s)^{1/2} = 0.1000$					
	$I_s = 0.02$		$(I_s)^{1/2} = 0.1414$					
	$I_s = 0.03$		$(I_s)^{1/2} = 0.1732$					
	$I_s = 0.04$		$(I_s)^{1/2} = 0.2000$					
	$I_s = 0.05$		$(I_s)^{1/2} = 0.2236$					
最大通水量 Q_m	I_s	0.061	0.119	0.148	0.154	0.192	0.356	0.771
	I_s	0.128	0.168	0.209	0.218	0.272	0.503	1.090
	I_s	0.157	0.206	0.256	0.267	0.333	0.616	1.335
	I_s	0.181	0.237	0.296	0.308	0.384	0.712	1.541
	I_s	0.202	0.265	0.331	0.345	0.430	0.796	1.723
計画通水量 $Q_u/1.3$ (m^3/sec)	I_s	0.07	0.09	0.11	0.12	0.15	0.27	0.59
	I_s	0.10	0.13	0.16	0.17	0.21	0.39	0.84
	I_s	0.12	0.16	0.20	0.21	0.26	0.47	1.03
	I_s	0.14	0.18	0.23	0.24	0.30	0.55	1.19
	I_s	0.15	0.20	0.25	0.27	0.33	0.61	1.33

表-9 巾広水路の計画通水量（改良型）

呼 び 名	400	500	600	700	800	900	1,000	
上幅 (m)	0.46	0.56	0.66	0.76	0.86	0.96	1.06	
底幅 (m)	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	
高さ (m)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	
断面積 (㎡)	0.0516	0.0636	0.0756	0.0876	0.0996	0.1116	0.1236	
潤 辺 (m)	0.64	0.74	0.84	0.94	1.04	1.14	1.24	
R	0.0806	0.0859	0.0900	0.0932	0.0958	0.0979	0.0997	
$R^{1/2}$	0.187	0.195	0.201	0.206	0.209	0.212	0.215	
粗 度 係 数	$n = 0.015$ $1/n = 66.67$							
勾 配	$I_1 = 0.01$	$(I_1)^{1/2} = 0.1000$						
	$I_1 = 0.02$	$(I_1)^{1/2} = 0.1414$						
	$I_1 = 0.03$	$(I_1)^{1/2} = 0.1732$						
	$I_1 = 0.04$	$(I_1)^{1/2} = 0.2000$						
	$I_1 = 0.05$	$(I_1)^{1/2} = 0.2236$						
最大通水量 Q_m	I_1	0.064	0.083	0.101	0.120	0.139	0.158	0.177
	I_1	0.091	0.117	0.143	0.170	0.196	0.223	0.251
	I_1	0.111	0.143	0.175	0.208	0.240	0.273	0.307
	I_1	0.129	0.165	0.203	0.241	0.278	0.315	0.354
	I_1	0.144	0.185	0.227	0.269	0.310	0.353	0.396
計画通水量 $Q_m/1.3$ (m^3/sec)	I_1	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14
	I_1	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
	I_1	0.09	0.11	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24
	I_1	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27
	I_1	0.11	0.14	0.17	0.21	0.24	0.27	0.30

表-10 巾広水路の計画通水量（従来型）

呼 び 名	200	300	400	500	600	800	1,000	
上幅 (m)	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	
底幅 (m)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00	
高さ (m)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
断面積 (㎡)	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	
潤 辺 (m)	1.09	1.19	1.29	1.39	1.49	1.69	1.89	
R	0.1101	0.1176	0.1240	0.1295	0.1342	0.1420	0.1481	
$R^{2/3}$	0.2297	0.2400	0.2486	0.2559	0.2621	0.2722	0.2799	
粗 度 係 数	n = 0.015 1/n = 66.67							
勾 配	$I_1 = 0.01$		$(I_1)^{2/3} = 0.1000$					
	$I_2 = 0.02$		$(I_2)^{2/3} = 0.1414$					
	$I_3 = 0.03$		$(I_3)^{2/3} = 0.1732$					
	$I_4 = 0.04$		$(I_4)^{2/3} = 0.2000$					
	$I_5 = 0.05$		$(I_5)^{2/3} = 0.2236$					
最大 通水 量 Q_w	I_1	0.184	0.224	0.265	0.307	0.349	0.436	0.523
	I_2	0.260	0.317	0.375	0.434	0.494	0.616	0.739
	I_3	0.318	0.388	0.459	0.532	0.605	0.754	0.905
	I_4	0.368	0.448	0.530	0.614	0.699	0.871	1.045
	I_5	0.411	0.501	0.593	0.687	0.781	0.974	1.168
計 画 通 水 量 $Q_w/1.3$ (m^3/sec)	I_1	0.14	0.17	0.20	0.24	0.27	0.34	0.40
	I_2	0.20	0.24	0.29	0.33	0.38	0.47	0.57
	I_3	0.24	0.30	0.35	0.41	0.47	0.58	0.70
	I_4	0.28	0.34	0.41	0.47	0.54	0.67	0.80
	I_5	0.32	0.39	0.46	0.53	0.60	0.75	0.90

