

## 討

## 言義

土木學會誌 第十六卷第六號 昭和五年六月

## 下水管の雨水流下量に関する簡易公式

(土木學會誌第十五卷第六號及び第十號所載)

會員 工學士 米 元 晋 一

故廣中一之氏が雨水流下量に關し合理公式の計算方法を實用上簡易化するの目的を以て所謂簡易公式を紹介せられたるは下水道設計上極めて有益のことと思ふ。氏の簡易公式は其の出發點を合理公式に置いて之れをビュルクリー型に變化し而かもビュルクリー型公式の應用上判斷に最も困る處の  $S$  を省略し、其の代りに雨水流下量に最も大切な役割を持つて居る下水管内の流速と小面積に對しては可成りの重要素たる流入時間並に降雨の性質とを加味したものであるから、自分は本簡易公式は從來世上に行はれて居る幾多のビュルクリー型公式よりも理論上より安心して應用出來ると考へる、固より將來幾多の實驗を重ねた後には公式中の各係數を多少變化したらばより正確なる公式が得られるであらうことは申す迄も無い所である。

而して廣中氏が東京市の場合に就て比較計算せられたものを見るに、同氏の公式で計算した値は合理公式で計算した夫れよりは稍々大なる値を與へて居るが、自分が横濱市の實例に就て比較したものは其の差が一層甚だしい様である。尤も一例のみであるから確たる意見は未だ述べ得ないのである。

廣中氏は合理公式は計算上煩雜を免れずと言はれたけれども一度表を作製し置くときは應用上格別不便を感じないことは東京市又は横濱市の如く合理公式を採用して居る所の關係者は凡て認めて居るので之れを圖表に引き得ることも亦同斷である。依て自分は在來の合理公式による計算法を棄て、直ちに其の簡易公式に歸依せんとする者ではない。尤も合理公式と雖も式中に含まれて居る流下係數、流下時間の數値に就ては將來共充分研究を重ねる必要のあることは否み得無い。

儲此の機會に於てビュルクリー公式應用上の重要點に就て聊か卑見を述べて見る。ビュルクリー公式は從來我邦下水設計に一番廣く使用せられて居り其の公式に依て計算した雨水流下量は合理公式に依る夫れよりも大分小なる値を與へ其の割合が 1:2 或は 1:3 になるから合理公式は徒らに大なる値を與へ實用上不經濟であると批難の聲を往々聞くことがあるけれども之れは

$$\text{ビュルクリー公式} \dots\dots\dots Q = A \cdot c \cdot r \cdot \sqrt[3]{S/A}$$

中の  $r$  の取り方が間違えて居る結果では有るまいか。従来我國で一般に應用されて居る實状を見るに例へば降雨の觀測の成績が次表の如くであるとすれば（横濱市の例）

降雨期間（分）	10	20	30	40	50	60	70	80	90
降雨量（耗/時）	78.0	70.9	65.0	60.0	55.7	52.0	48.7	45.9	43.3
同上（立/秒/ヘクタール）	217	197	181	167	155	144	135	127	120

排水面積  $A$  の大小如何に拘らず何時でも直ちに 52 (mm/hr) 即ち 144 (s. l./ha) の値を當て嵌める習慣になつて居る様であるがためではあるまいか、之れは問題視すべきことと思ふ。

されば一方から言へばビュルクリー型公式は應用を誤まると實に危険であると言はれ得る。例へばワシントン市で 15 分間 35 s. l./ha. 及び 37 分間 38 s. l./ha. の 2 種の降雨の場合に就き既設下水管網のある地點で雨水流下量を測定せられた報告によればビュルクリー公式で計算した値は僅かに 3.9 cb. m. 及び 1.75 cb. m. であるべき筈であるのに實流下量は 8.5 cb. m. 及び 5.1 cb. m. であつたとのことであるが之れは恐らく公式中の  $r$  の撰定に誤があつたがためと思はれる。

従来我邦諸都市の下水管徑決定にビュルクリー公式を使用し雨水氾濫等致て差したる不都合が無いから、同公式は我邦に甚だよく適合するとの説を聞くことがあるけれども、之れは一方  $r$  には過少の値を採用して居るが他方  $c$  の値を 0.3 位に取ても差聞ない場所に 0.5 とか 0.6 の如き過大の値を採用したがために偶々過不足相殺の結果差したる不都合を來さなかつたのではあるまいか。又宅地内の排水施設が未だ充分に行渡らないがために不自然なる貯水作用が行はれ従て下水管内への流出が若干阻止せらるゝのであらうことも亦想像せられぬでも無いのである。

ビュルクリー型公式は其の組成から見ても又同公式の發祥地にして我邦に比して降雨量の少いチユウリツヒ市で  $r$  の値に 125-200 (s. l./ha.) を採用すべしと言はれて居る點から考へても、 $r$  には 10 分とか 20 分とか短時間の降雨（量にあらず強さなり）を採用すべきであると思ふ。此の點に就て廣中氏が道破せられた意見（廣中氏所論第七章）は至極尤もと考へる。斯様な考慮を拂ふて公式を用ふればビュルクリー公式必ずしも甚だ少なる値を與へるものではないことも亦自分は同氏の説に賛成するものである。

若し排水面積が廣大で上流から下流への雨水の流達時間が 1.5 乃至 2.0 時間或は夫れ以上を要する様な場所では、我邦で従来慣行の如くなつて居る様に  $r$  に單に 1 時間の實降雨量を與へてビュルクリー公式で算出した流下量は却て合理公式で計算した夫れよりも大なる値を與ふるものであることも序ながら附記して置く。

元來ビュルクリー型公式の  $\frac{1}{\sqrt[3]{A}}$  なる因子はある強さの降雨がある廣さの面積上に降つた

と假定し、而かも其の面積の廣さが下水管組織の一地點に全面積の雨水を同時に流達せしむるには餘りに大なる場合に始めて考へらるゝ所の遲滯係數 (Verzögerung Koef.) を示すものであつて、反之  $r$  に降雨時間が長い比較的強さの小さい數値を與へて差問無き如き場合には遲滯は殆んど起らないから  $\frac{1}{\sqrt[n]{A}}=1$  又は之に近くなり本式の妙味は消失するのである。依て本式を應用する場合には  $r$  には 10 分とか 20 分とか降雨時間の短い強さの大なる數値を撰定すべきであると思ふ、即ちベルリン市第 11 排水區の下水管の斷面を決定するには 1 分間の降雨量を 0.55 耗、其の繼續期間を 20 分とし  $r=33$  (耗/時) を採り、又フランクフルト・アム・マイン市の一部では降雨量  $r$  を降雨時間 10 分間の 150 (s. l./ha) に採つた如き例に倣ふべきである。然るに従來  $r$  の値の採り方が當を得なかつたがために  $Q$  に對してビュルクリー型公式は合理式に比較して過小の値を與へ、反對に言へば合理式が過大の値を與へると言はれるに至つたことと思ふ、即ち  $r$  に上表中の 217 又は 197 を撰定すべき筈の處に 144 を採用したことに原因すると思ふのである。尙ビュルクリー型公式は  $\sqrt[n]{S}$  に依て變化し、 $S$  の値小なるに従ひ  $Q$  の値は割合に小となるから土地が平坦で而かも流域大なる幹線に對しては  $n=4$  の代りに  $n=5$  又は  $n=6$  を與へないと屢々見込流量が實流下量に比して過少となり、從て氾濫を來すを免れないから留意すべきである。

自分は現今行はれて居る種々なる雨水流下量計算法の内合理式に則るのが最良と信する者であるが去り逆必ずしも無碍にビュルクリー公式を排斥せんとする者では無い、但し其の應用に當つては  $r$  の撰定に注意を拂ひ同時に土地の傾斜に順應して  $\sqrt[n]{\frac{S}{A}}$  の  $n$  の撰定を誤まらざることを條件としての左袒者であるのである。而して現在我邦では大體降雨の性質は判つて居るから若し  $r$  の値が 1 時間内の實量のみしか觀測せられて居ない土地では此の性質を利用して短時間内の  $r$  の近似値を推定することは敢て困難では無いと信する。

次に掲ぐる數種の附表及び附圖は自分が關係して居る横濱市下水道計畫區域内の一部入江川流域の幹枝線 (附圖第一参照) に對し合理公式とビュルクリー公式並に廣中氏簡易公式とで計算した雨水流下量の比較を試みたもので之れには次の説明を要する。

(1) 圖表及び計算表の説明 (附圖第二及び附表参照)

附圖第二中曲線 A は附表 (A) の如く合理公式に依り計算した流下量とす。

同 B は附表 (B) の如くビュルクリー公式を用ひ  $r$  に 144.4 (s. l./ha) 即ち 52 (mm/hr.) を與へ且 C には (A) の場合と同一數値を與へて計算した流下量とす。

同 C は附表 (C) の如く C に一樣に 0.5 を與へた外凡て (B) の場合と同じ。

同 D は附表 (D) の如く  $r=196.6$  (s. l./ha) 即ち 70.9 (mm/hr.) を與へた外凡て (B) の場合と同じくして計算した流下量とす。

同 E は附表 (E) の如く C に一樣に 0.5 を與へた外凡て (D) の場合と同じ。

同 F は附表 (F) の如く  $\tau=216.7$  (s. l./ha) 即ち 78 (mm/hr) を與へた外凡て (B) の場合と同様に計算した流下量とす。

同 G は附表 (G) の如く C に一樣に 0.5 を與へた外凡て (F) の場合と同じ。

同 H は附表 (H) の如く廣中氏方法に依る簡易合理公式を用ひて計算した流下量とす。

### (2) 附表中 $S$ の出し方

ピュルクリー公式使用に當り適當なる  $S$  の値を求むることは比較的平坦な土地では困難で無い様であるが、土地の傾斜が不規則なときは極めて困難と思はれる。而して本問題に用ひた流域は土地の傾斜が極めて不規則であるから、各附表中の  $S$  の値は次の如くして求めた。即ち高低線入り平面圖上で各地點より上流の幹線に沿ひて傾斜の變化毎に各勾配を求め、之れを總和して勾配の變化數にて除したものを幹線に沿へる土地の平均勾配と假定し、且同幹線に合流する上流各枝線に沿ふて枝線毎に平均勾配を求めたる上、前記幹線の平均勾配及び後記各枝線の平均勾配を加へ、之れを (1+枝線數) にて除した商 (分數) を 1/1 000 單位で表はし其の分子の數値を採つたのである。

(3) 廣中氏簡單公式は先づ横濱市雨量曲線  $I=\frac{7800}{90+t}$  から之れに近似なる指數公式  $I=142/t^{0.25}$  を誘導し、次に廣中氏が示された如き順序に従ひて求めたもので、其の結果は  $Q=0.276 A \cdot C \cdot V^{0.25}/(A+10)^{0.125}$  となつた。 (終)

附表 入江川流域幹枝線雨水流下量計算表

(A)

管記號	面積(A)		延長		流下係數 C(平均)	雨水流下量		摘要
	各線 (m <sup>2</sup> -L)	延加 (m <sup>2</sup> -L)	各線 (米)	延加 (米)		雨量 (mm)	Q總量 (立方公尺)	
1	566	566	960	960	0.3	53.1	3006	計算公式下記如シ $Q = A \times C \times q \times \gamma$ $= A \times q'$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係數 0.3 ~ 0.35 q = 降雨不均等 係數 = 別表 引採ル q' = 單位面積排水 雨水流下量 = 排水 管延長及C 係數 = 別表 引採ル V = 1.8 m <sup>3</sup> /採ル
2	668	1234	393	1353		47.9	5909	
3	323	1557	980	2333		42.5	6619	
4	936	936	1470	1470		47.9	4482	
5	489	1425	680	2150		42.5	6058	
6	437	3419	389	2722		39.3	13436	
7	351	351	1100	1100		50.3	1765	
8	74	425	240	1340	0.35	55.8	2374	
9	223	4073	320	3042	0.3	37.9	15435	
10	481	4554	680	3722		33.9	15439	
11	536	5090	400	4122		32.8	16694	
12	769	769	1050	1050		53.1	4082	
13	518	1287	800	1850		44.0	5662	
14	247	247	590	590		59.2	1463	
15	55	302	190	780		55.7	1680	
16	21	323	200	980		55.7	1799	
17	377	1987	470	2320		42.5	8446	
18	108	2095	290	2610		41.3	8651	
19	108	108	590	590	0.35	69.1	0748	
20	251	2454	450	3060	0.3	37.9	9302	
21	50	7594	180	4302		31.8	24148	
22	52	7646	180	4482		31.8	24315	

(備考) 管記號及面積(延加)並=雨水流下量總量欄(數字)下=横線引採ル

幹線ヲ表ハセルモノトス

(B)

管記號	面積(A)		流下係數 C(平均)	勾配 S(平均)	雨水流下量 Q(立方公尺)	摘要
	各線 (m <sup>2</sup> -L)	延加 (m <sup>2</sup> -L)				
1	566	566	0.3	9.1	1553	計算公式下記如シ $Q = C \times \gamma \times A \times \sqrt{S}$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係數 0.3 ~ 0.35 $\gamma = 14.44 (A/A_n)$ S = 平均勾配 (千分一單位)
2	668	1234		11.1	2928	
3	323	1557		11.1	3485	
4	936	936		8.3	2213	
5	489	1425		12.5	3359	
6	437	3419		7.7	5738	
7	351	351		12.5	1175	
8	74	425	0.35	7.0	1173	
9	223	4073	0.3	9.8	6949	
10	481	4554		6.7	6871	
11	536	5090		5.1	6976	
12	769	769		12.5	2115	
13	518	1287		15.4	3279	
14	247	247		20.0	1015	
15	55	302		15.4	1106	
16	21	323		14.3	1142	
17	377	1987		12.5	4361	
18	108	2095		9.5	4188	
19	108	108	0.35	3.8	0360	
20	251	2454	0.3	6.7	4321	
21	50	7594		4.8	9276	
22	52	7646		4.2	9017	

(備考) 管記號及面積(延加)並=雨水流下量 欄(數字)下=横線引採ル

幹線ヲ表ハセルモノトス。(C)表以下同斷

附 表 入江川流域幹枝線雨水流下量計算表

( C )

管記號	面積(A)		流下係數 C(平均)	勾配 S(平均)	雨水流下量 Q(立方米/秒)	摘 要
	各線 ( $\times 22-11$ )	總和 ( $\times 22-11$ )				
1	566	566	0.5	9.1	2588	計算公式下記ノ如シ $Q = C \times Y \times A \times \sqrt{S/A}$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係數 0.5 $Y = 144.4$ (立/秒/ $\sqrt{22-11}$ ) S = 平均勾配 (千分-單位)
2	668	1234		11.1	4881	
3	323	1557		11.1	5810	
4	936	936		8.3	3689	
5	489	1425		12.5	5600	
6	437	3419		7.7	9565	
7	351	351		12.5	1958	
8	74	425		7.0	1676	
9	229	4073		9.8	11584	
10	481	4554		6.7	11453	
11	536	5090		5.1	11630	
12	769	769		12.5	3526	
13	518	1287		15.4	5446	
14	247	247		20.0	1692	
15	55	302		15.4	1843	
16	21	323		14.3	1904	
17	377	1987		12.5	7270	
18	108	2095		9.5	6985	
19	108	108		3.8	0515	
20	251	2454		6.7	7204	
21	50	7594		4.8	15463	
22	52	7646		4.2	15032	

( D )

管記號	面積(A)		流下係數 C(平均)	勾配 S(平均)	雨水流下量 Q(立方米/秒)	摘 要
	各線 ( $\times 22-11$ )	總和 ( $\times 22-11$ )				
1	566	566	0.3	9.1	2188	計算公式下記ノ如シ $Q = C \times Y \times A \times \sqrt{S/A}$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係數 0.3 ~ 0.35 $Y = 196.9$ (立/秒/ $\sqrt{22-11}$ ) S = 平均勾配 (千分-單位)
2	668	1234		11.1	3994	
3	323	1557		11.1	4754	
4	936	936		8.3	3018	
5	489	1425		12.5	4582	
6	437	3419		7.7	7826	
7	351	351		12.5	1602	
8	74	425	0.35	7.0	1600	
9	229	4073	0.3	9.8	9478	
10	481	4554		6.7	9372	
11	536	5090		5.1	9516	
12	769	769		12.5	2885	
13	518	1287		15.4	4473	
14	247	247		20.0	1385	
15	55	302		15.4	1508	
16	21	323		14.3	1558	
17	377	1987		12.5	5949	
18	108	2095		9.5	5714	
19	108	108	0.35	3.8	0492	
20	251	2454	0.3	6.7	5894	
21	50	7594		4.8	12652	
22	52	7646		4.2	12300	

附 表 入江川流域幹枝線雨水流下量計算表

( E )

管記号	面積(A)		流下係数 C(平均)	勾配 S(平均)	雨水流下量 Q(立米毎分)	摘 要
	各 管(22-1)	並 進(22-1)				
1	566	566	0.5	3.1	353.0	計算公式下記如し $Q = C \times Y \times A \times \sqrt{S}$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係数 0.5 $Y = 196.9(\text{立/秒}/\sqrt{H-n})$ S = 平均勾配 (千分一單位)
2	668	234		1.1	665.7	
3	323	155.7		1.1	792.4	
4	936	936		8.3	503.1	
5	489	142.5		12.5	763.3	
6	437	341.9		7.7	1304.7	
7	351	351		12.5	267.1	
8	74	42.5		7.0	228.6	
9	229	407.3		9.8	1580.1	
10	481	155.4		6.7	1562.2	
11	536	509.0		5.1	1586.3	
12	769	769		12.5	481.0	
13	518	128.7		15.4	745.6	
14	247	24.7		20.0	230.8	
15	55	30.2		15.4	251.4	
16	21	32.3		14.3	259.7	
17	377	198.7		12.5	991.7	
18	108	209.5		9.5	952.5	
19	108	108		3.8	070.3	
20	251	245.4		6.7	982.6	
21	50	753.4		4.8	2109.1	
22	52	764.6		4.2	2050.3	

( F )

管記号	面積(A)		流下係数 C(平均)	勾配 S(平均)	雨水流下量 Q(立米毎分)	摘 要
	各 管(22-1)	並 進(22-1)				
1	566	566	0.3	9.1	233.0	計算公式下記如し $Q = C \times Y \times A \times \sqrt{S}$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係数 0.3 ~ 0.35 $Y = 216.7(\text{立/秒}/\sqrt{H-n})$ S = 平均勾配 (千分一單位)
2	668	234		1.1	439.5	
3	323	155.7		1.1	523.1	
4	936	936		8.3	332.1	
5	489	142.5		12.5	504.3	
6	437	341.9		7.7	816.12	
7	351	351		12.5	176.3	
8	74	42.5	0.35	7.0	176.1	
9	229	407.3	0.3	9.8	1043.1	
10	481	155.4		6.7	1031.3	
11	536	509.0		5.1	1047.2	
12	769	769		12.5	311.5	
13	518	128.7		15.4	492.2	
14	247	24.7		20.0	152.4	
15	55	30.2		15.4	166.0	
16	21	32.3		14.3	171.4	
17	377	198.7		12.5	654.6	
18	108	209.5		9.5	628.6	
19	108	108	0.35	3.8	054.1	
20	251	245.4	0.3	6.7	648.6	
21	50	753.4		4.8	1392.3	
22	52	764.6		4.2	1353.5	

附 表 入江川流域幹枝線雨水流下量計算表

( G )

管記號	面積 (A)		流下係數 C(平均)	勾配 S(平均)	雨水流下量 Q(立方尺/秒)	摘 要
	各 (27-2)	積 (27-2)				
1	566	566	0.5	9.1	3385	計算公式下記ノ如シ $Q = C \times Y \times A \times \sqrt{\frac{S}{A}}$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係數 0.5 $Y = 2167 (\text{立方尺}/\text{秒} / \text{平方尺})$ S = 平均勾配 (千分一單位)
2	668	1234		11.1	7326	
3	323	1557		11.1	8720	
4	936	936		8.3	5537	
5	489	1425		12.5	8406	
6	437	3413		7.7	14357	
7	351	351		12.5	2939	
8	74	425		7.0	2516	
9	229	4013		9.8	17388	
10	481	4554		6.7	17191	
11	536	5090		5.1	17456	
12	769	769		12.5	5293	
13	518	1287		15.4	8205	
14	247	247		20.0	2540	
15	55	302		15.4	2466	
16	21	323		14.3	2858	
17	377	1987		12.5	10913	
18	108	2095		9.5	10479	
19	108	108		3.8	0773	
20	251	2454		6.7	10813	
21	50	7594		4.8	23209	
22	52	7646		4.2	22563	

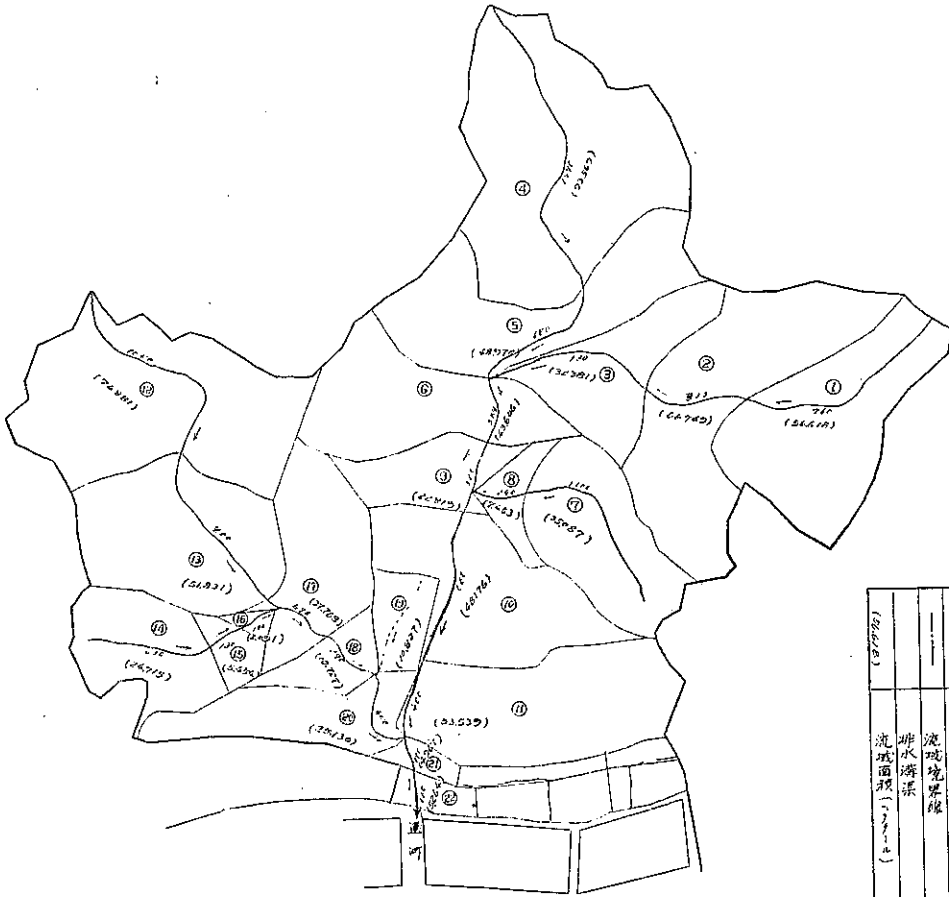
( H )

管記號	面積 (A)		流下係數 C(平均)	雨水流下量 Q(立方尺/秒)	摘 要
	各 (27-2)	積 (27-2)			
1	566	566	0.3	3209	計算公式下記ノ如シ $Q = A \times C \times 276 \times \sqrt{\frac{S}{A+10^6}}$ 式中 A = 排水面積 C = 平均流下係數 0.3~0.35 $V = 1.8 (\text{米}/\text{秒}) = \text{採リ}$
2	668	1234		6956	
3	323	1557		7882	
4	936	936			
5	489	1425			
6	437	3413		15753	
7	351	351			
8	74	425	0.35		
9	229	4013	0.3		
10	481	4554		20262	
11	536	5090		22335	
12	769	769			
13	518	1287			
14	247	247			
15	55	302			
16	21	323			
17	377	1987			
18	108	2095			
19	108	108	0.35		
20	251	2454	0.3		
21	50	7594		31726	
22	52	7646			

(備考) 枝線-対此Qノ圖表作製上心等+Y+就テ省略セリ.



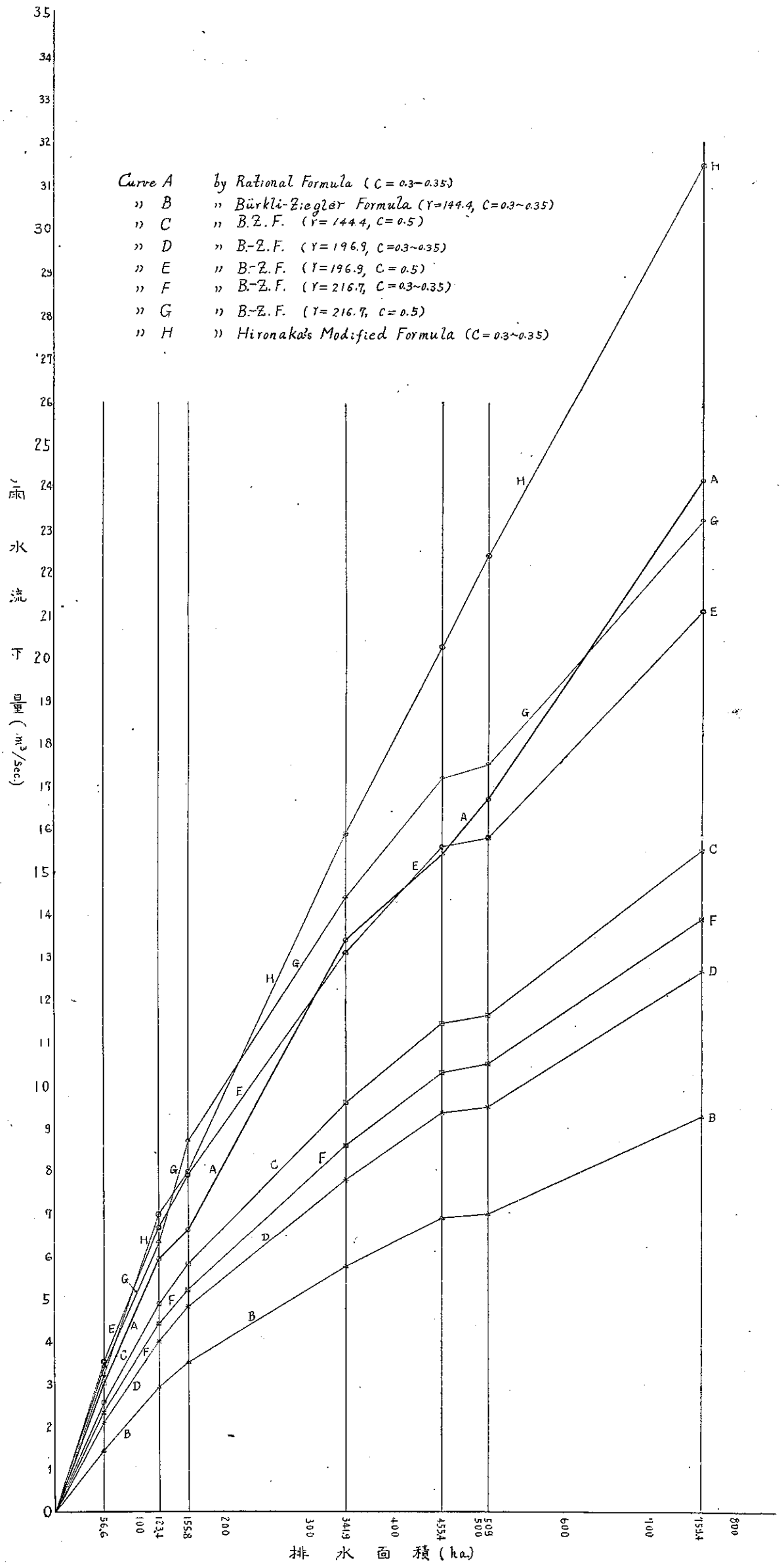
附圖第一 入江川流域



元	
②	流域面積
—	排水路延長(米)
—	流域合色管線線
—	流域境界線
—	排水溝渠
(24618)	流域面積(一、二、三)

(土木學會誌第十六卷第六號附圖)

附圖第二 入江川幹線雨水流下量比較圖表



(土木學會誌第十六卷第六號附圖)

111-6