

各種流速公式對集流時間及設計降雨 強度計算之影響

The Calculating Effect of Various Velocity Equations to Concentration Time and Design Rainfall Intensity

國立臺灣大學農業工程學系副教授

黃 宏 斌

Hung-Pin Huang

摘 要

爲探求不同流速公式之使用對集流時間或降雨強度之影響，本文先比較培真公式、庫特公式與曼寧公式間之參數關係。接着，再以瑞哈公式、克比齊公式、加州公式、克雷恩公式與曼寧公式比較所估算之降雨強度值之差異。結果顯示，當水力半徑小於 2.0 m 時，庫特公式之粗糙參數與曼寧公式者較爲一致。另外，於小水力半徑 ($R < 0.02\text{m}$) 時，曼寧公式之粗糙參數有偏大現象。當河道長度爲 1000m，水力半徑爲 0.1m，計算臺北地區 10 年一次之平均降雨強度時，瑞哈公式、克雷恩公式與克比齊公式分別在曼寧粗糙係數 $n = 0.013, 0.02$ 與 0.033 之某特定坡度範圍內與曼寧公式之計算值有頗爲吻合之現象。

ABSTRACT

In order to study affection of usage of various velocity equations to calculating concentration time and rainfall intensity, this study, first of all, compared the parameter relationships between Bazin, Kutter as well as Manning equations, and, then, the discrepancies of rainfall intensity calculated by Rziha, Kirpich, California, Kraven and Manning equations. The results show that the roughness parameter of Kutter equation has a good match with Manning one when hydraulic radius is smaller than 2.0 m. Moreover, Manning equation has an overestimated values of roughness parameter as hydraulic radius is smaller than 0.02 m. In case of calculating the average rainfall intensity of Taipei area with 10 years recurrence interval at section of 1000 m of river length and 0.1 m of hydraulic radius, Rziha, Kraven and Kirpich equations, respectively, have a phenomenon of good match with Manning one in some special range of slope when Manning's roughness coefficient is equal to 0.013, 0.02 and 0.033.

一、前言

由於洪水量之多寡常影響工程之安全與構築費用，所以在任何地區規劃設計工程構造物時，均需合理估計洪水量，作為計畫之重要依據。雖然洪水量之推算方法有許多種，但因臺灣中、上游集水區，不僅長年之水位、流量資料缺乏，甚至連日雨量都付之闕如。所以，一般均採用合理化公式法估算中，上游集水區之洪水量。

合理化公式係由集水區內之平均降雨強度、集水面積及逕流係數相乘而得，其公式如下

$$Q = \frac{1}{360} CIA \quad (\text{公制}) \quad (1)$$

式中， Q = 洪水量 (cm(s))； C = 逕流係數； I = 降雨強度 mm/hr)； A = 集水面積 (ha)。

由於降雨強度之推估，得自集水區之集流時間。一般來說，集流時間為雨水經地表面自集水區邊界流至河道所需時間 t_0 與雨水流經河道所需時間 t^1 之和，其計算式如下

$$t = t_0 + t^1 \quad (2)$$

雨水自邊界流至河道之流速依集水區之地表覆蓋情形與土壤之入滲能力而定，一般為 0.3~0.6m/s；而雨水在河道中之流下速度應依據各溪段水深、斷面形狀、坡度與河道糙度，以曼寧 (Manning) 公式計算，曼寧公式為

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{公制}) \quad (3)$$

其中， V = 流速 (m/s)； n = 曼寧粗糙係數； R = 水力半徑 (m)； S = 河道平均坡度。當上述資料不全時，則依經驗公式計算流速，再根據此流速與河道長度估算 t^1 。由於經驗公式繁多，而且參數種類不同，為探求不同流速公式之使用對集流時間或降雨強度之影響，本文先比較培真 (Bazin) 公式、庫特 (Kutter) 公式與曼寧公式間之參數關係。接着，再以瑞哈 (Rziha) 公式、克比齊 (Kirpich) 公式、加州 (California) 公式、克雷恩 (Kraven) 公式與曼寧公式比較計算流速與集流時間之關係。

二、公式介紹

本文採用之流速公式大致可分為以粗糙係數，水力半徑與坡度為參數者與以高差和河道長度為參數者兩類，茲分別介紹如下：

(一)以粗糙係數，水力半徑與坡度為參數者

1. 曼寧公式

$$V_m = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{公制}) \quad (3)$$

2. 培真公式

$$V_B = C_B R^{1/2} S^{1/2} \quad (4)$$

其中，粗糙參數

$$C_B = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{R}}}; \alpha, \beta \text{ 為粗糙常數}$$

3. 庫特公式

$$V_K = C_K R^{1/2} S^{1/2} \quad (5)$$

其中，粗糙參數

$$C_K = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

(二)以高差和河道長度為參數者

1. 瑞哈公式

$$V_R = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} = 20 S^{0.6} \quad (6)$$

其中， H = 河段兩端高差 (m)；
 L = 河道長度 (m)；
 S = 河段平均坡度

2. 克比齊公式

$$V_P = 1.196 L^{0.170} S^{0.377} \quad (7)$$

3. 加州公式

$$V_C = 0.855 L^{0.23} S^{0.345} \quad (8)$$

4. 克雷恩公式

當 $S > 0.01$ 時

$$V_v = 3.5 \quad (9a)$$

當 $0.01 > S > 0.005$ 時

$$V_v = 3.0 \quad (9b)$$

當 $S < 0.005$ 時

$$V_v = 2.1 \quad (9c)$$

由此 4 個經驗公式之結構可知，此 4 公式亦可視為平均坡度與河道長度之參數。由於此 4 公式乃用來估算集流時間者；以流速式表示祇是為了方便比較。以這些公式估算流速，而不求集流時間是會發生錯誤的。例如公式(7)與(8)之流速均與河道長度成正比；亦即河道愈長，流速愈快，這是違反平均流速之物理現象的。因此，上列之 4 種經驗流速式是用來求集流時間的，決不能與一般之流速公式相提並論。

三、方法與討論

(一) 培真公式、庫特公式與曼寧公式之比較

1. 粗糙參數之比較

由於曼寧公式可重組為

$$V = \frac{R^{1/6}}{n} R^{1/2} S^{1/2} = C_M R^{1/2} S^{1/2} \quad (10)$$

與公式(4)、(5)比較可知，三者間之差別僅在於 C_B ， C_K 與 C_M 之不同而已，祇要了解此三組粗糙參數間之關係，便可知道此三公式所得流速值之差別。為了方便討論，本文針對三種大小不同之粗糙度（例如表一）探討 C_B ， C_K 和 C_M 與水力半徑 R （0.1~2m）間之關係，詳如圖1至圖3。為了解此三公式於極淺水深下之水力行為，因此，再以同樣方法於 R 小於 0.2m 之範圍內做比較，得出圖4至圖6。

表一 粗糙參數表

種	類	n	α	β
水泥抹面		0.013	0.00015	0.0000045
砂壤，粘壤土		0.020	0.00028	0.00037
乾 砌 石		0.033	0.00024	0.00006

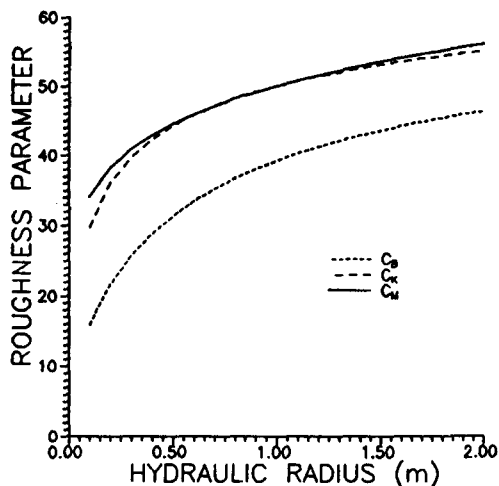


圖2. 粗糙參數與水力半徑之關係圖
($n=0.02$; $R=0.1-2m$)

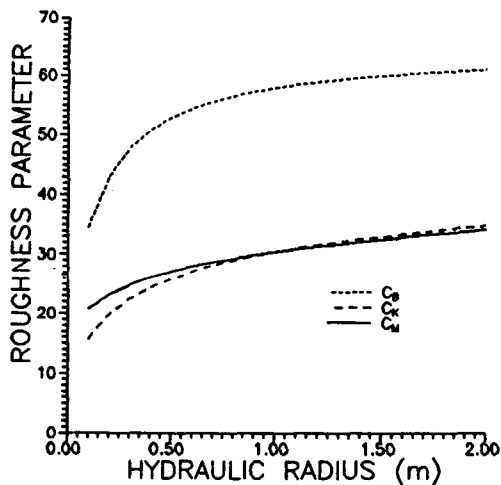


圖3. 粗糙參數與水力半徑之關係圖
($n=0.033$; $R=0.1-2m$)

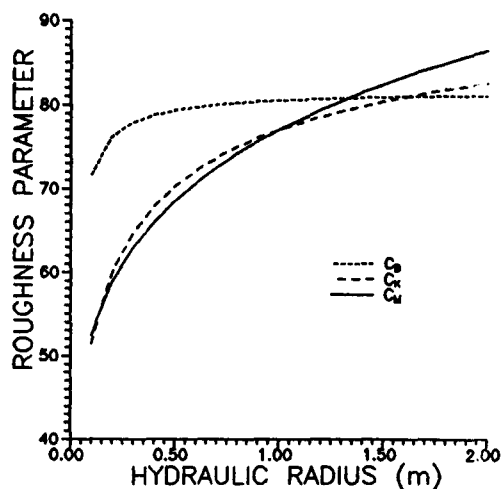


圖1. 粗糙參數與水力半徑之關係圖
($n=0.013$; $R=0.1-2m$)

於小粗糙度 ($n=0.013$) 情況時，三者之粗糙參數曲線斜率均由大轉趨小。其中，以 C_B 之斜率變化率較大；但是，到 $R=0.4m$ 以後之階段，即近乎等值。此外，以 C_M 之斜率變化率最小。

所以，當 $R=2.0\text{m}$ 時，有 C_M 值最值高， C_B 最低， C_K 值介於其間之現象發生。

當 $0.2 < R < 1.0\text{m}$ 時， $C_B > C_K > C_M$ ；而

$1.7 < R < 2.0\text{m}$ 時， $C_M > C_K > C_B$

(如圖 1)。亦即 $R < 1.0$ 時， C_K 與 C_M 近似， C_B

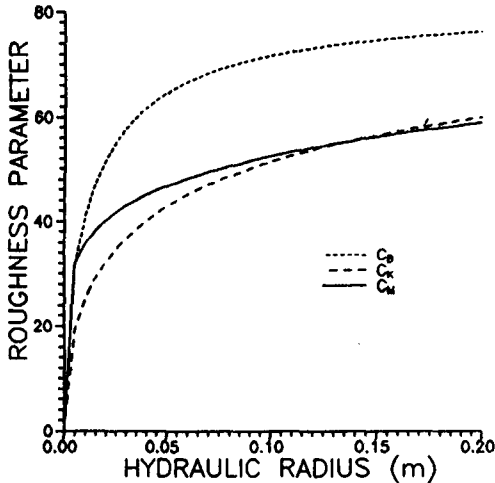


圖 4. 粗糙參數與水力半徑之關係圖
($n=0.013$; $R=0-0.2\text{m}$)

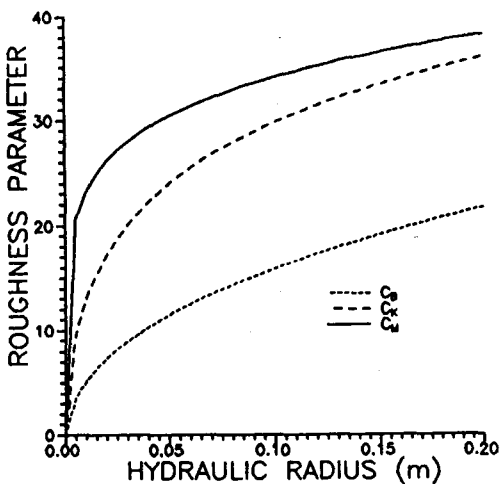


圖 5. 粗糙參數與水力半徑之關係圖
($n=0.02$; $R=0-0.2\text{m}$)

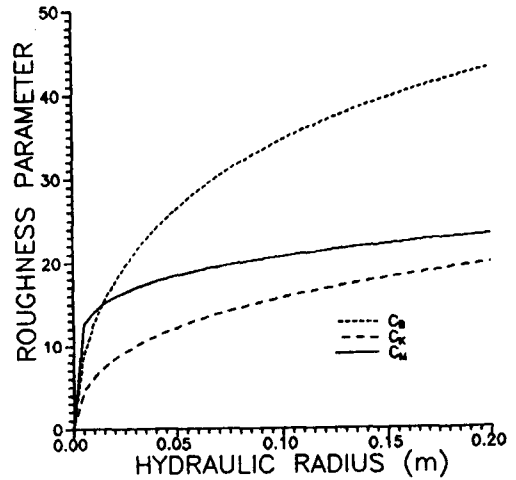


圖 6. 粗糙參數與水力半徑之關係圖
($n=0.033$; $R=0-0.2\text{m}$)

大於它們； $R > 1.7$ 時， C_K 與 C_B 近似， C_M 大於它們；而於 1.0 至 1.7 之間時，則三者相差不多。

於中粗糙度 ($n=0.02$) 情況時， C_M 與 C_K 曲線幾乎與 C_B 平行；但其值較 C_B 大。而且， C_M 與 C_K 於水力半徑 R 在 0.5 與 1.3m 之間時，幾近相等。當 R 介於 0.1 和 2m 間時，三者大致呈 $C_M > C_K > C_B$ 之關係 (如圖 2)。

於大粗糙度 ($n=0.033$) 情況時， C_B 值最大， C_M 與 C_K 曲線於 $R=1.0\text{m}$ 附近交叉。因此，如圖 3 所示，

$R < 1.0\text{m}$ 時， $C_B > C_M > C_K$ ，而

$R > 1.0\text{m}$ 時， $C_B > C_K > C_M$

於圖 4 中，除了 $R=0.005\text{m}$ 時 $C_M > C_B$ 外， C_B 在 R 小於 0.2m 之範圍內，均大於 C_M 與 C_K 值。其中， C_M 與 C_K 曲線在 $R=0.135\text{m}$ 處交叉。因此，有

$R < 0.135\text{m}$ 時， $C_B > C_M > C_K$ ，而

$R > 0.135\text{m}$ 時， $C_B > C_K > C_M$

於中粗糙度情況 (如圖 5) 中，祇要 R 小於 0.2m ，三者均呈 $C_M > C_K > C_B$ 之關係。圖 6 則顯示 C_K 值於 $0 < R < 0.02\text{m}$ 時，小於 C_B 或 C_M 值，其中， C_B 與 C_M 曲線於 $R=0.015\text{m}$ 處交會，造成 $R < 0.015\text{m}$ 時， $C_M > C_B$ ，而 $R > 0.015\text{m}$

時， $C_B > C_M$ 。

綜合以上 6 圖知， C_M 於小水力半徑 ($R < 0.02m$) 時，似乎有偏大之嫌。於小粗糙度 ($n = 0.013$) 情況時 C_B 於 $R < 1.0m$ 時，有偏大現象，而 $1.7 < R < 2.0m$ 時，則 C_M 有偏大現象。於中粗糙度 ($n = 0.02$) 時， C_B 有偏小之趨勢；相反

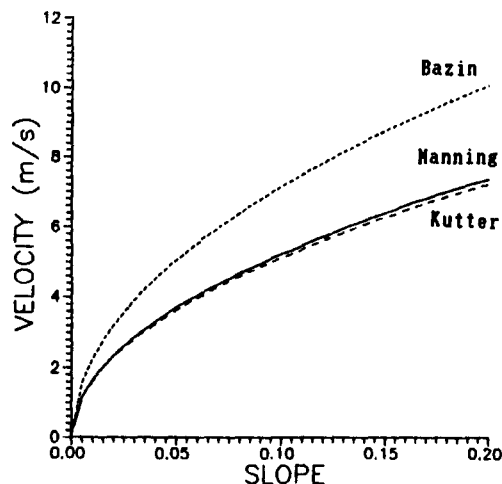


圖 7. 曼寧、培真和庫特公式之速度與坡度關係圖 ($n=0.013$)

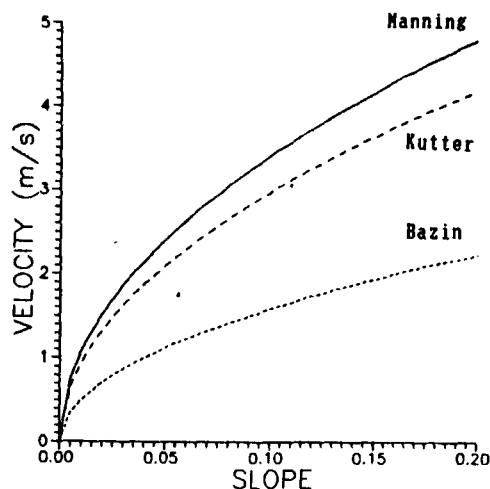


圖 8. 曼寧、培真和庫特公式之速度與坡度關係圖 ($n=0.02$)

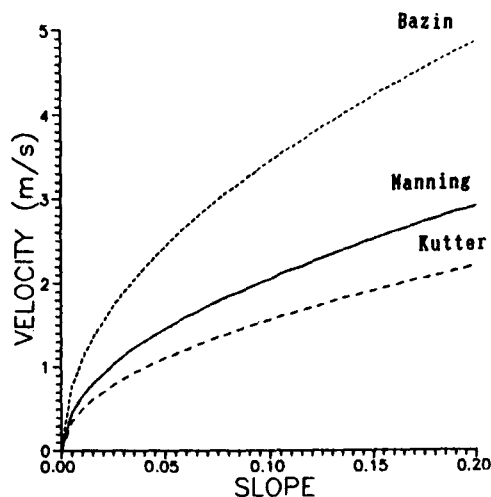


圖 9. 曼寧、寧真和庫特公式之速度與坡度關係圖 ($n=0.033$)

的，於大粗糙度 ($n=0.033$) 時， C_B 又再度有偏大現象。但是，總而言之，大致上， C_K 與 C_M 是較為一致的。

2. 流速與坡度之關係

由圖 1 至圖 6 可知， V_B 、 V_K 與 V_M 之關係隨 R 值與粗糙度之不同而有不同。為配合上游河川之水深及方便討論起見，選取 $R=0.1m$ ，並針對不同坡度 ($S = 0 \sim 0.2$) 對此三公式之流速值作關係探討 (如圖 7 ~ 圖 9)。很顯然地，圖 7 至中圖 9 之各流速關係與圖 4 至圖 6 之曲線關係相當脛各，亦即

$n=0.13$ 時， $C_B > C_M > C_K$ ，或

$V_B > V_M > V_K$ ；

$n=0.02$ 時， $C_M > C_K > C_B$ ，或

$V_M > V_K > V_B$ ；

$n=0.033$ 時， $C_B > C_M > C_K$ ，或

$V_B > V_M > V_K$ ，

由於三公式中，以曼寧公式較為常用，本文便以曼寧公式與下列幾個求集流時間之流速公式相比較。

(二) 瑞哈公式、克比齊公式、加州公式、克雷恩公式與曼寧公式之比較

由公式(6)至(9)知，瑞哈與克雷恩公式之變數為

坡度 S ；而克比齊與加州公式之變數則是除了 S 外，還有河道長 L 。因此，在討論前，應先針對此二公式，探討其對 L 之關係。

由圖10與圖11知，克比齊與加州公式之速度 V 與坡度 S 之曲線關係極為相似；同時， V 值均隨 L 值之增大而增大，並呈曲線斜率漸減之趨勢。為配合上游河川之平均河道長度及方便討論，採取 $L =$

1000m 為此二公式之代表。

接着，將瑞哈公式，克比齊公式 ($L = 1000\text{m}$)，加州公式 ($L = 1000\text{m}$)，克雷恩公式與曼寧公式 ($R = 0.1\text{m}$) 之速度與坡度關係以不同粗糙度 ($n = 0.013、0.02$ 與 0.033) 分別於圖12至圖14中表示。

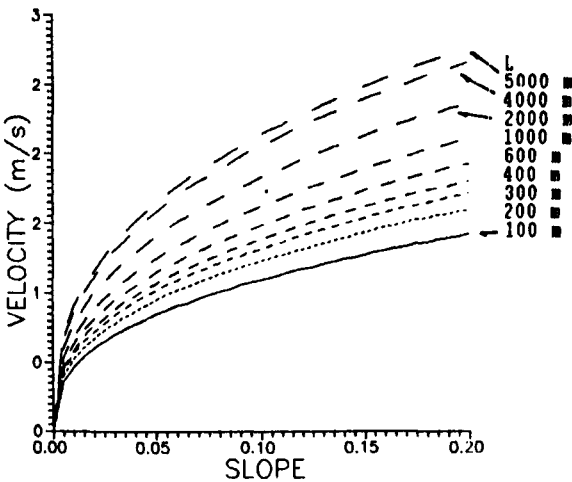


圖10. 克比齊公式之速度與坡度關係圖

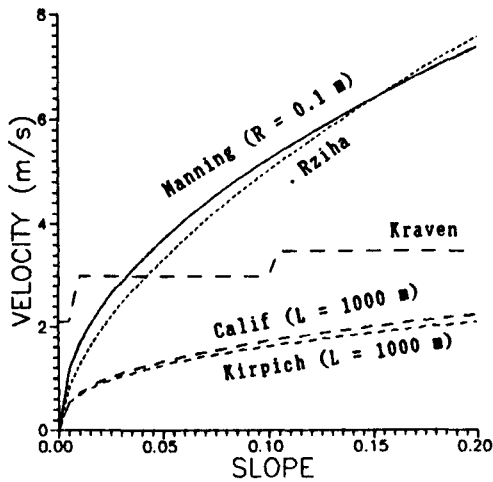


圖12. 曼寧與各公式之速度與坡度關係圖
($n = 0.013$)

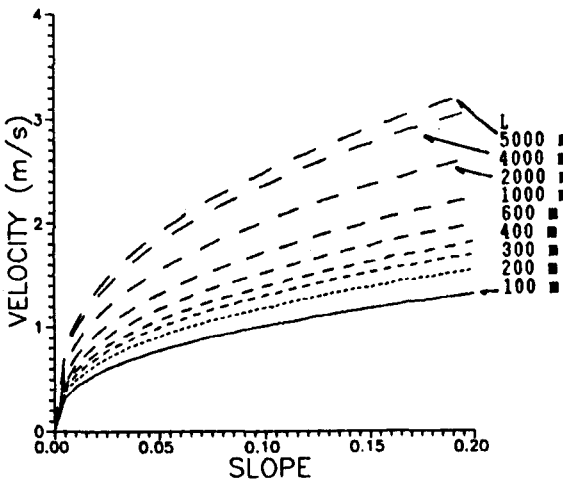


圖11. 加州公式之速度與坡度關係圖

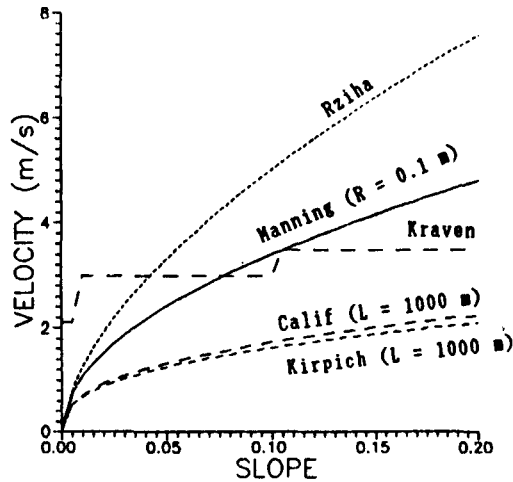


圖13. 曼寧與各公式之速度與坡度關係圖
($n = 0.02$)

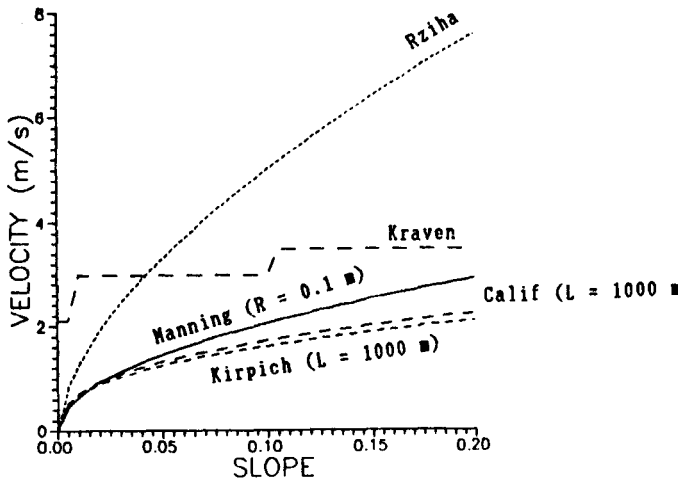


圖14. 曼寧與各公式之速度與坡度關係圖
($n=0.033$)

由此三圖知，除了克雷恩公式呈階梯式之常數外，其餘均顯現斜率漸趨減小之曲線。

於緩坡時 ($S=0.05$)

$n=0.013$ 時, $V_M > V_R > V_V > V_C > V_P$

$n=0.02$ 時, $V_R > V_V > V_M > V_C > V_P$

$n=0.033$ 時, $V_R > V_V > V_M > V_C > V_P$

於陡坡時 ($S=0.2$)

$n=0.013$ 時, $V_R > V_M > V_V > V_C > V_P$

$n=0.02$ 時, $V_R > V_M > V_V > V_C > V_P$

$n=0.033$ 時, $V_R > V_V > V_M > V_C > V_P$

由上述關係知， V_C 與 V_P 值於 $0 \sim 0.2$ 之坡度間均為最小。緩坡時，當 n 介於 0.02 至 0.033 之間時， V_R 、 V_V 、 V_M 、 V_C 與 V_P 間之大小趨勢是固定的；相同的，於陡坡時，當 n 位於 0.013 至 0.02 間時，上述 5 公式間之大小趨勢也是不變的。

為了解各公式間之差異，以 V_M 為基準值，並令相對誤差

$$E_r = \frac{(V - V_M)}{V_M} \quad (11)$$

而且，將 E_r 與 S 之關係圖以圖15~圖17表示。此三圖更能顯示出各公式之計算流速——坡度關係與曼寧公式者之相關情形。例如，圖15 ($n=0.013$) 中可知，當 $S < 0.3$ 時， $V_V > V_M$ ，而且大到 V_M 之80%左右；其餘公式在 $S = 0$ 至 0.20 間，均小於

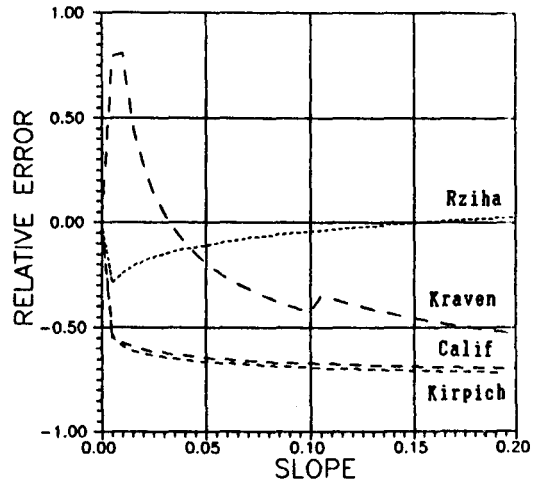


圖15. 各公式與曼寧公式之速度相對誤差與坡度關係圖 ($n=0.013$)

V_M ，所以，其 E_r 值為負值。當然，除了部份 V_R 於陡坡 ($S=0.155$) 附近稍大於 V_M 外，前述之推論及觀察是可以成立的。差異最大者約為 V_M 之80%左右。

於 $n=0.02$ (圖16) 中，可知 V_R 於 $S = 0 -$

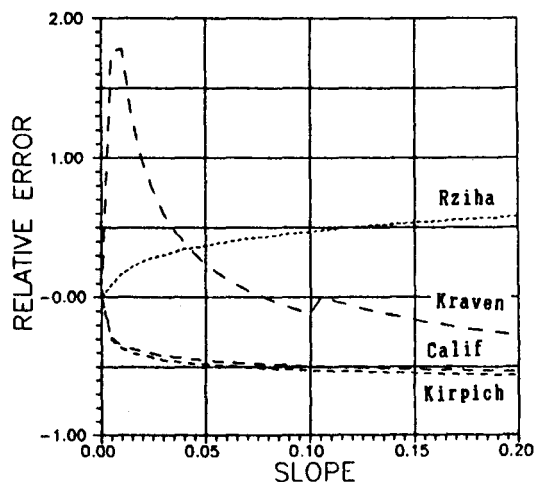


圖16. 各公式與曼寧公式之速度相對誤差與坡度關係圖 ($n=0.02$)

表二 各公式所求得之集流時間

Slope	Concentration Time (min)						
	Rziha	Calif.	Kirpich	Kraven	Manning n=0.013	Manning n=0.022	Manning n=0.033
.005	20.08	31.45	30.86	7.94	14.25	21.93	36.23
.010	13.23	24.51	23.47	5.56	10.04	15.43	25.64
.015	10.35	21.10	20.08	5.56	8.21	12.63	20.83
.020	8.73	18.73	17.92	5.56	7.12	10.96	18.12
.025	7.61	17.36	16.50	5.56	6.36	9.80	16.18
.030	6.83	16.18	15.29	5.56		8.91	14.75
.035	6.22	15.29	14.49	5.56	5.38	8.25	13.66
.040	5.75	14.49	13.77	5.56	5.04	7.75	12.72
.045	5.36	13.89	13.12	5.56	4.73	7.28	12.08
.050	5.04	13.33	12.63	5.56	4.49	6.92	11.42
.055	4.75	12.82	12.17	5.56	4.28	6.59	10.89
.060	4.50	12.44	11.74	5.56	4.11	6.31	10.42
.065	4.30	12.08	11.42	5.56	3.94	6.06	10.04
.070	4.11	11.74	11.11	5.56	3.81	5.85	9.63
.075	3.94	11.42	10.82	5.56	3.67	5.65	9.31
.080	3.80	11.19	10.55	5.56	3.55	5.46	9.01
.085	3.65	10.89	10.29	5.56	3.45	5.31	8.77
.090	3.53	10.68	10.04	5.56	3.35	5.16	8.50
.095	3.42	10.48	9.86	5.56	3.26	5.02	8.29
.100	3.32	10.29	9.63	5.56	3.18	4.89	8.09
.105	3.22	10.10	9.47	4.76	3.10	4.78	7.86
.110	3.13	9.92	9.31	4.76	3.03	4.57	7.68
.115	3.05	9.75	9.16	4.76	2.97	5.57	7.54
.120	2.98	0.58	9.01	4.76	2.90	4.57	7.37
.125	2.90	9.42	8.87	4.76	2.84	4.37	7.22
.130	2.83	9.31	8.73	4.76	2.79	4.30	7.09
.135	2.77	9.19	8.59	4.76	2.74	4.21	6.94
.140	2.71	6.06	8.50	4.76	2.69	4.14	6.83
.145	2.65	8.91	8.38	4.76	2.64	4.07	6.69
.150	2.60	8.82	8.25	4.76	2.60	4.00	6.59
.155	2.55	8.68	8.17	4.76	2.56	3.93	6.49
.160	2.50	8.59	8.05	4.76	2.51	3.87	6.39
.165	2.46	8.50	7.97	4.76	2.48	3.81	6.29
.170	2.41	8.42	7.86	4.76	2.44	3.71	6.20
.175	2.37	8.29	7.79	4.76	2.41	5.70	6.11
.180	2.33	8.21	7.72	4.76	2.37	3.65	6.02
.185	2.29	8.13	7.61	4.76	2.34	3.60	5.93
.190	2.26	8.05	7.54	4.76	2.31	3.55	5.85
	2.22	7.97	7.47		2.28	3.50	5.79
.200	2.19	7.90	7.41	4.76	2.25	3.46	5.71

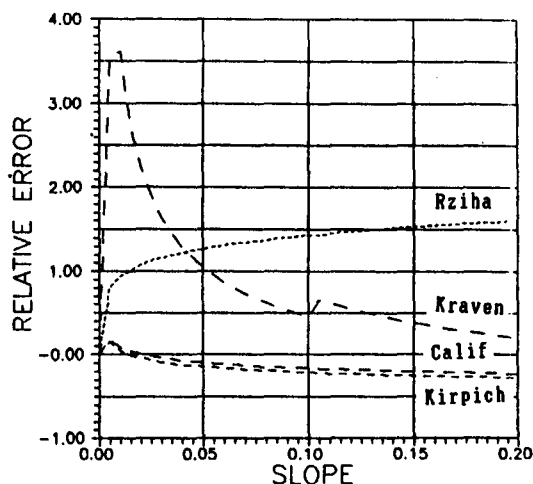


圖17. 各公式與曼寧公式之速度相對誤差與坡度關係圖 ($n=0.033$)

0.20範圍內均大於 V_M ，以及 V_V 於 $S < 0.075$ 時也大於 V_M 外（其 E_r 值為正），其餘者皆小於 V_M 。差異最大者約為 V_M 之 1.8 倍左右。

最後，於大粗糙度 ($n=0.03$ ，圖17) 之情況中可知，當 $S > 0.01$ 時， V_C 與 V_F 仍小於 V_M 外，其餘者皆大於 V_M 。差異最大者約為 V_M 之 3.5 倍。

(三) 集流時間

由於集流時間 t 為 t_0 與 t^1 之和，以及與流速公式較為相關者為 t^1 ，所以，此處僅討論 t^1 與各公式間之關係，亦即使用不同流速公式對集流時間會有何影響。同時，為配合克比齊與加州兩公式，將河道長度定為 1000m，計算出各公式之集流時間值如表二及圖18。由圖中知，緩坡 ($S < 0.1$) 時，各公式所求得之 t^1 值差異較大； $S < 0.1$ 之後，不僅各公式所求得之 t^1 值差異較小，而且各公式所求得值有互相平行（以 S 為橫軸時）之趨勢。

(四) 平均降雨強度

由於上述各公式主要用來求平均降雨強度公式中之集流時間，因此，平均降雨強度公式中集流時間之指數常小於 1。所以各公式間之差異性會因此而減低。因為降雨強度公式之常數項因地區而異，為便於討論，以臺北地區，10年一次之平均降雨強

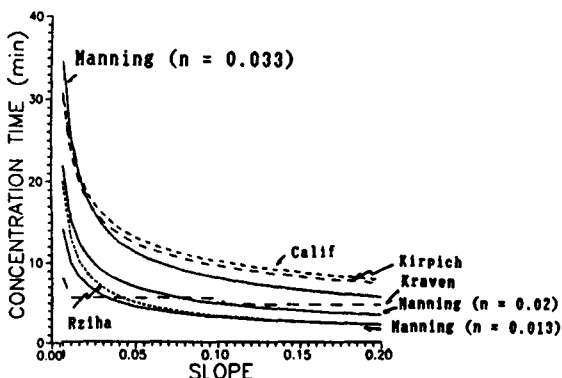


圖18. 曼寧與各公式之集流時間與坡度關係

度公式

$$I = \frac{1688}{(t + 21)^{0.6914}} \quad (12)$$

為例，並且假設 $t_0 = 0$ ；亦即雨水不經過地表，直接流入河道。此平均降雨強度亦可視為裸露地之單位面積洪水量。將不同公式所求得之 t 值代入上式，將可求得各公式之計算降雨強度。

同理，以 V_M 所求得之降雨強度 I_M 為基準，以圖19至圖21顯示各公式之相對誤差值。其趨勢與圖15—圖17十分一致，但其值則大為減小。例如， $n=0.013$ 時，最大之 E_r 值為 $0.25 I_M$ ；速度方面，最大 E_r 值則為 $0.80 V_M$ ；於 $n=0.02$ 時， $\text{Max. } E_r = 0.3 I_M$ ；速度方面， $\text{Max. } E_r = 1.8 V_M$ ；於 $n=0.033$ 時， $\text{Max. } E_r = 0.6 I_M$ ；速度方面， $\text{Max. } E_r = 3.5 V_M$ 。

從圖19至圖21中可知，在 $n=0.013$ 時，瑞哈公式所求得之降雨強度在 $S > 0.08$ 後與曼寧公式極為相近；於 $n=0.022$ 時，亦是以瑞哈公式與克雷恩公式最為相近，約在 5% 之內；而於 $n=0.033$ 時，則以加州公式與克比齊者較為接近，亦為 5% 左右。

綜合圖15—圖17和圖19—圖21可知，公式間速度之相對誤差值之趨勢與降雨強度之相對誤差值者完全一致，祇是數值小很多，亦即較為接近。此一現象說明了集流時間之指數於此扮演了非常重要之

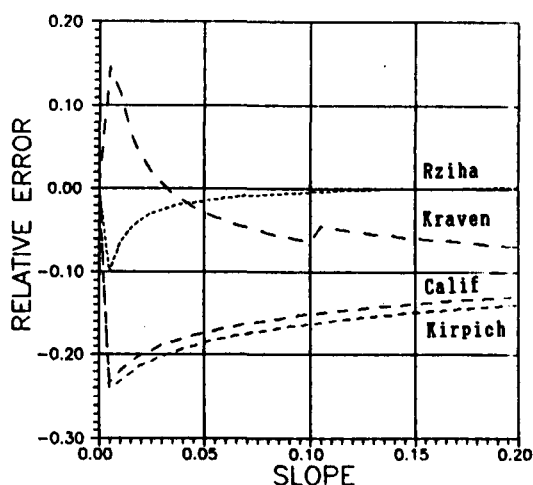


圖19. 各公式與曼寧公式之降雨強度相對誤差與坡度關係圖 ($n=0.013$)

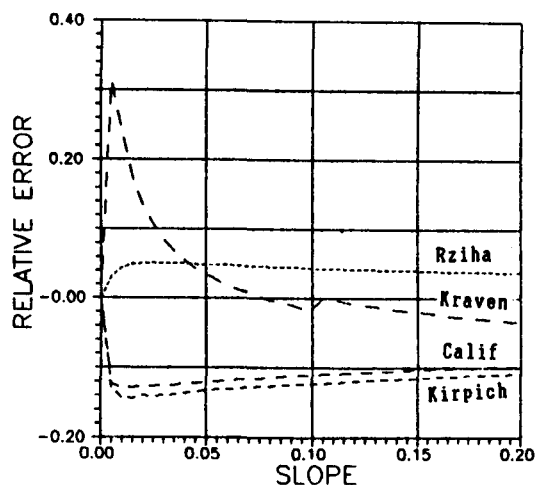


圖20. 各公式與曼寧公式之降雨強度相對誤差與坡度關係圖 ($n=.002$)

角色，也就是許多公式所求得之速度差異性，在代入降雨強度公式中估算平均降雨強度時，便不再那麼顯著。

當水力半徑 $R=0.1\text{m}$ ，河道長度 $L=1000\text{m}$

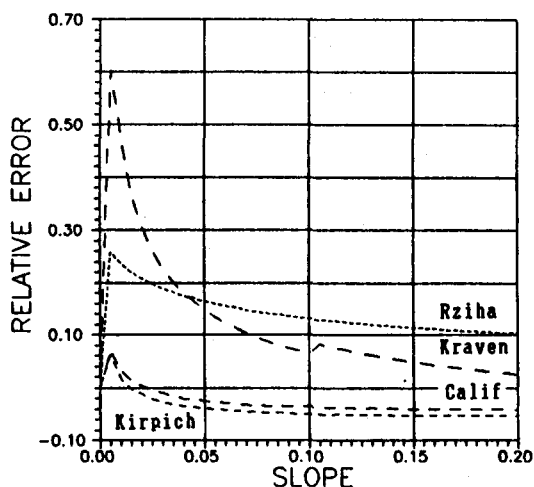


圖21. 各公式與曼寧公式之降雨強度相對誤差與坡度關係圖 ($n=0.033$)

時，計算臺北地區10年一次之降雨強度時，在 $n=0.013$ ， $0.04 < S < 0.2$ 時，瑞哈公式與曼寧公式有較相近之計算值（相對誤差 < 0.02 ）；在 $n=0.02$ ， $0.06 < S < 0.145$ 時，克雷恩公式與曼寧公式會有較相似之計算結果；在 $n=0.033$ 時，大部份公式之計算值與曼寧公式者相差較大，祇有克比齊公式於 $0.015 < S < 0.035$ 時，具有與曼寧公式較小之相對誤差值。

四、結 論

根據上述之討論，可以得到以下4點結論：

1. 當在本文研究範圍內，水力半徑小於 2.0m 時，庫特公式之粗糙參數 C_K 與曼寧公式之粗糙參數 C_M 較為一致。

2. 於小粗糙度 ($n=0.013$) 及小水力半徑 ($R < 1.0\text{m}$) 時，培真公式之粗糙參數 C_B 有偏大現象；另外， C_B 於 $n=0.02$ 時有偏小； $n=0.033$ 時則有偏大現象。

3. 於小水力半徑 ($R < 0.02\text{m}$) 時，曼寧粗糙參數 C_M 有偏大現象。

4. 當河道長度為 1000m ，水力半徑為 0.1m ，計算臺北地區10年一次之平均降雨強度時，有

$n=0.013$ ， $0.04 < S < 0.2$ 時，

瑞哈公式與曼寧公式所計算之降雨強度
值較為接近；

$n=0.02$ ， $0.06 < S < 0.145$ 時，

克雷恩公式與曼寧公式會有較相似之計
算結果；

$n=0.033$ ， $0.015 < S < 0.035$ 時，

克比齊公式與曼寧公式所得之計算值較
為接近。

參 考 文 獻

1. 山口伊佐夫（陳信雄等譯），防砂工程學，
pp. 54-56，1988。

2. 王如意，易任，應用水文學（下冊），pp.
518-522，1987。
3. 王如意、簡振和，「小集水區設計逕流量之推
估」，土壤沖蝕及河川沖淤研討會論文集，
pp. 167-182，1990。
4. 臺灣省山地農牧局，水土保持工程手冊，pp.
197-204，1988。
5. 洪楚寶，水土保持，pp. 179-184，1987。

收稿日期：民國79年10月23日

修正日期：民國79年10月30日

接受日期：民國79年11月7日

（上接第78頁）

- Energy Thermal Processes, John
Wiley & Sons, Inc, New York, U.S.A.
13. Gerald, C.F., 1983. Applied Numerical
Method. McGRAW-HILL BOOK CO.
U. S. A.
 14. Hall, C.W., 1980. Drying and Storage
of Agricultural Crops. AVI. Publishing
Company, INC., Westport, Connecticut,
U.S.A.
 15. Hollman, J.P., 1980. Heat Transfer.
McGRAW-HILL BOOK CO., U.S.A.
 16. Lerew, L.E., 1972. Grain Dryer Simu-
lation. Research Bull. Agricultural
Experimental Station, Michigan State
University, East Lansing, Michigan,
U.S.A.
 17. Oliphant, M.V., 1980. Measurement of
Wind Speed Distributions Across A
Sollar Collector. Sollar Energy Vol.
24, P 403-405.
 18. Siegel, R. & Howell, J.R., 1963. Thermal
Radtion Heat Transfer McGRAW-
HILL BOOK CO., U.S.A.
 19. VON K'AR'MAN. T., 1931. Reynolds
Number for Turbulent Flow in Rough
Circular Tube. NACA TM 611.
 20. Welty, J.R., C.E., Wick, & R.E., Wilson,
1970. Fundamentals of Momentum, Heat,
And Mass Transfer. John Wiley &
Sons, Inc., New York, U.S.A.
 21. Whiller, A., 1963. Plastic Cover For
Solar Collector. Solar Energy Vol. 7,
P: 147-151.
- 收稿日期：民國78年10月30日
修正日期：民國79年3月15日
接受日期：民國79年9月13日