

集水區流量面積比之研究

Study on Watershed Discharge-Area Ratio

國立台灣大學生物環境系統工程學系
教授兼水工試驗所特約研究員

黃 宏 斌

Hung-Pin Huang

摘 要

爲了瞭解集水區流量面積比之特性，本研究針對其相關之形狀因子、坡度、面積、集流時間和降雨強度比值等參數一一加以探討，得到在相同集水區面積時，集流時間比與其變化率會隨其相應形狀因子之增加而減少。相反地，降雨強度比值會隨其相應形狀因子之增加而增加，增加率也越來越小。同一形狀因子時，低集流時間之降雨強度比值會較高集流時間者大，且其變化率較小。另外，年平均雨量較大之雨量站，在降雨強度比值和形狀因子之關係中，會呈現和低集流時間者相同之趨勢。而且，蘭陽溪上游 10 個小集水區之流量面積比與其面積成反比；坡度和形狀因子成正比。

關鍵詞：流量面積比，形狀因子，集水區。

ABSTRACT

In order to explore the characteristic of watershed discharge-area ratio, this study analyzed its relative variables of form factor, slope, area, concentration time and rainfall intensity ratio, respectively and got the following results. For the same watershed area, concentration time and its changing rate decreased with increasing form factor. Contrarily, rainfall intensity ratio increased with form factor but its changing rate decreased. With the same form factor, rainfall intensity ratio of lower concentration time was larger than that of higher one, but the changing rate of lower concentration time was smaller. Besides, rainfall station with higher annual average amount had the same tendency of lower concentration time in the relationship of rainfall intensity ratio and form factor. Moreover, from ten small watersheds in upstream Lanyang Creek, their discharge-area ratio was proportional to its area inversely while to its slope and form factor positively.

Keywords: Discharge-area ratio, Form factor, Watershed.

一、前言

由於國內山坡地地區常無流量站之設置，因此很難以該集水區歷年來之流量記錄求得代表雨型或推導單位歷線去求得不同頻率年之尖峰流量，以為工程設計之水文參數。在現場踏勘時，工程師常會使用流量面積比值去粗估集水區之設計流量，而且，以往之經驗法則是流量面積比會隨著面積之增加而減少；亦即大面積之流量面積比會較小，小面積之流量面積比則會較大。然而，在經過計算幾個大小集水區後，發現集水區之形狀因子和平均坡度大小也會影響此一趨勢。其實從合理化公式之架構中也可以瞭解到流量面積比就是逕流係數和降雨強度計算值之乘積。由於降雨強度計算值是以集流時間為其主要因子，而且，影響集流時間參數之因子則是集水區之河道長度和坡度。所以，包含集水區主流長度之集水區形狀因子、集水區平均坡度和集水區面積等因子變成了流量面積比之影響參數了。

二、研究方法

首先，本研究以相同之集水區面積，A，探討不同主流長度，L，溪流縱斷高差，H，和漫地流對主流長度比，r，間之關係，在瞭解這些地文參數間之關係後，再藉著三雨量站之水文資料，探討不同年平均雨量之雨量站在不同集流時間情況時之降雨強度比，瞭解水文因子間之關係。最後，以蘭陽溪上游 10 個小集水區為例，針對不同形狀因子作集水區面積、坡度和流量面積比之計算和討論，以瞭解這些因子對流量面積比之影響程度。

其中，計算各參數之計算式如下所示：

(一) 洪峰流量

合理化公式常用來計算小集水區之洪峰流量，其計算式如下：

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA \dots\dots\dots(1)$$

式中， Q_p 為洪峰流量 (cms)； C 為逕流係數 (無

單位)； I 為降雨強度 (mm/hr)； A 為集水區面積 (ha)。

(二) 降雨強度

水土保持技術規範第二十三條所規定之無因次降雨強度公式為

$$\begin{aligned} \frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} &= (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^C} \\ I_{60}^{25} &= \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2 \\ A &= \left(\frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2 \\ B &= 55 \dots\dots\dots(2) \\ C &= \left(\frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2 \\ G &= \left(\frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2 \\ H &= \left(\frac{P}{-65.33 + 1.836P} \right)^2 \end{aligned}$$

式中， T 為重現期距 (yr)； t 為降雨延時 (min)； I_t^T 為重現期距 T 年，降雨延時 t 分鐘之降雨強度 (mm/hr)； I_{60}^{25} 為重現期距 25 年，降雨延時 60 分鐘之降雨強度 (mm/hr)； P 為年平均降雨量 (mm)； A 、 B 、 C 、 G 、 H 為係數。

(三) 集流時間

集流時間係指逕流自集水區最遠一點到達工程地點出水口所需時間，一般為漫地流時間與渠道流時間之和。其計算式如下：

$$t = t_1 + t_2 \dots\dots\dots(3)$$

式中， t 為集流時間； t_1 為漫地流時間； t_2 為渠道流時間。

一般而言，除了漫地流時間較不易估算，以經驗法則得到之漫地流流速 (一般為 0.3~0.6 m/sec) 計算外；河道流時間常以 Rziha 經驗公式估算之。如果自稜線至集水點間之距離，即主流長度，為 L 時，則有

$$L = L_1 + L_2 \dots\dots\dots(4)$$

其中， L_1 為漫地流長度； L_2 為渠道流長度。由於

各集水區之漫地流長度不盡相同，因此再令漫地流對主流長度之比， r

$$r = L_1/L \dots\dots\dots(5)$$

而 Rziha 公式可以下式表示

$$t_2 = L_2/\omega \dots\dots\dots(6)$$

$$\omega = 20 \left(\frac{H}{L_2} \right)^{0.6} \dots\dots\dots(7)$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{L_2^{1.6}}{20H^{0.6}}$$

式中， ω 為河道流流速(m/s)； H 為溪流縱斷平均高度差(m)。

(四) 形狀因子

在集水區之特性中，形狀因子 (Form factor) 為表現集水區形狀之重要因子。在形狀因子為 1 時，流域呈正方形，隨著形狀因子越小，則呈現形狀越狹長之矩形。集水區之形狀因子為 1932 年由 Horton 氏所提議，定義為集水區之寬度和該集水區主流長度之比值。可表為

$$F = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots(8)$$

$$\Rightarrow L = \sqrt{\frac{A}{F}}$$

式中， F 為集水區之形狀因子； B 為集水區寬度。

三、結果與討論

如果將漫地流之流速取平均值，即 0.45m/s 時，則式(3)至式(7)可推導出集流時間之計算通式：

$$t = \frac{L_1}{0.45} + \frac{L_2}{20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6}}$$

$$= \frac{rL}{0.45} + \frac{(1-r)L^{1.6}}{20H^{0.6}} \dots\dots\dots(9)$$

$$= \frac{20rLH^{0.6} + 0.45(1-r)L^{1.6}}{9H^{0.6}}$$

另外，當集水區面積相同，形狀因子不同

時，可藉由式(8)推得形狀因子不等於 1 和等於 1 之主流長度比， $L_F/L_{F=1}$ ：

$$\frac{L_F}{L_{F=1}} = \frac{\sqrt{A/F}}{\sqrt{A/F(=1)}} = \frac{1}{\sqrt{F}} \dots\dots\dots(10)$$

式中， L_F 為形狀因子不等於 1 時之主流長度； $L_{F=1}$ 為形狀因子等於 1 時之主流長度。如果 t_F 為形狀因子不等於 1 時之集流時間； $t_{F=1}$ 為形狀因子等於 1 時之集流時間，則溪流縱斷平均高度差相同之兩集水區之 $t_F/t_{F=1}$ 可以下式表示：

$$\frac{t_F}{t_{F=1}} = \frac{\frac{20rL_F H^{0.6} + 0.45(1-r)L_F^{1.6}}{9H^{0.6}}}{\frac{20rL_{F=1} H^{0.6} + 0.45(1-r)L_{F=1}^{1.6}}{9H^{0.6}}} \dots\dots\dots(11)$$

$$= \frac{20rL_F H^{0.6} + 0.45(1-r)L_F^{1.6}}{20rL_{F=1} H^{0.6} + 0.45(1-r)L_{F=1}^{1.6}}$$

當漫地流長度為零時，亦即 $r=0$ ，則式(11)可化簡為

$$\frac{t_F}{t_{F=1}} = \left(\frac{L_F}{L_{F=1}} \right)^{1.6} \dots\dots\dots(12a)$$

或直接由式(7)推得

$$\frac{t_F}{t_{F=1}} = \frac{\frac{L_F^{1.6}}{20H^{0.6}}}{\frac{L_{F=1}^{1.6}}{20H^{0.6}}} = \left(\frac{L_F}{L_{F=1}} \right)^{1.6} \dots\dots\dots(12b)$$

如果將形狀因子自 0.3 至 1 代入式(12)時，其結果如表 1 所示。自表中知，流域愈狹長，形狀因子越小，集流時間比越大，而且，其增加率會越來越大。

由於式(11)之結構較為複雜，因此，假設 L 有 1000, 2000, 3000, 5000 和 10000 公尺五種； H 有 100, 200, 300, 500 和 1000 公尺五種； r 有 0, 0.1, 0.2, 0.3 和 0.5 五種，分別以圖 1 至圖 3 來呈現各參數間之關係。由圖 1a 知，當漫地流對主流長度之比值 r ，和溪流縱斷平均高度差 H 值固定時，集流時間比會隨著形狀因子增大而減小，亦即呈現一上凹之拋物線，而且，當形狀因子為定值時，主流長度越長，其集流時間比越大，而且，其間之差異則會隨著形狀因子增

表 1 形狀因子對主流長度與集流時間影響之分析表($r=0$)

形狀因子 F	主流長度比 $L_F / L_{F=1}$	集流時間比 $t_F / t_{F=1}$
1	1	1
0.9	1.054	1.088
0.8	1.118	1.195
0.7	1.195	1.330
0.6	1.291	1.505
0.5	1.414	1.741
0.4	1.581	2.081
0.3	1.826	2.620

加而減少，並且在形狀因子為 1 時形成一收斂點。此乃因為 $L_F / L_{F=1}$ 值和形狀因子間之關係亦呈一上凹之拋物線趨勢，在式(11)中成爲一主要之影響因素，也就是當兩個集水區形狀相似，而且其溪流縱斷高差一樣時，長主流之集流時間會比短主流者大。此項關係也可由表 1 得知。而比較圖 1a 和圖 1b 後顯示，當 r 值增加，也就是漫地流長度較長時，不僅 $t_F / t_{F=1}$ 值變小，而且，主流長度不同所導致各曲線點間之差異空間也較小。這亦表示，在非常上游之小集水區，其漫地流之長度常較河道流者大很多，這時候，集流時間就比較不受主流長度，也就是集水區形狀之影響。

圖 2a 則是主流長度， L ，爲 1 公里，溪流縱斷高差， H ，爲 100 公尺時，不同形狀因子之集流時間比之趨勢關係圖。由圖中知，集流時間比除會隨著形狀因子增大而減小外，當 r 值增加時， $t_F / t_{F=1}$ 值變小，而且，減少之幅度隨著 r 值之增加而大幅縮減。也就是長漫地流之集流時間會較短漫地流者小。當然，此一結果也可以對照圖 1a 和圖 1b 而得；只是主流長度不同時，不同漫地流長度對集流時間之影響就必須由圖 2a 和圖 2b 之突顯了。如圖 2b 所示，當 L 增加， H 不變時， $t_F / t_{F=1}$ 值隨 r 值增加而減少之幅度卻沒有小 L 值時那樣明顯。此乃因為當 $r=0$ 時，如式(12)所示，集流時間比僅爲主流長度比之 1.6 次方。所以，當主流長度越長時， r 值不等於 0 之曲線

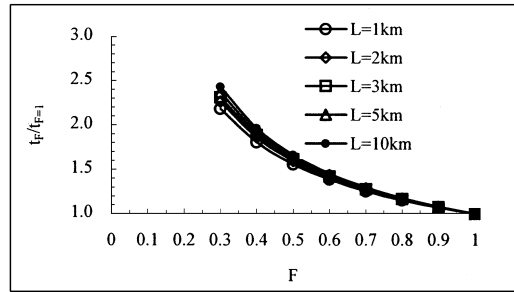


圖 1a 不同形狀因子之集流時間比 ($r=0.1, H=100m$)

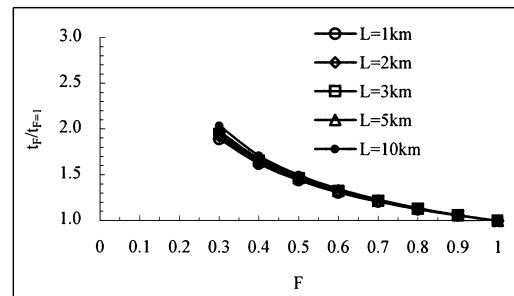


圖 1b 不同形狀因子之集流時間比 ($r=0.5, H=100m$)

就會向 $r=0$ 之曲線靠近。當然，形狀因子越趨近於 1 時，不同 r 值對集流時間之差異就越來越小。

圖 3a 和圖 3b 則是漫地流長度比例爲 0.1，主流長度不同之集流時間比對形狀因子之關係圖。由這兩圖中可看出，無論高差多少，集流時間比都會隨形狀因子增加而減少至 1.0。此外，溪流縱斷高差較小者會有較高之集流時間比，此乃高差大者，河道流速較快，造成集流時間縮短之結果；然而，此一差異現象會隨形狀因子之增加，也就是主流長度縮短，而漸漸消失。除了長主流之集流時間比較短主流者高以外，兩圖之曲線趨勢幾乎是一致的。

爲探討不同年平均雨量之雨量站在不同集流時間情況時之降雨強度比，本研究選取水利局所屬各測站中最大年平均降雨量之火燒寮站，其年平均降雨量爲 5547.5 mm；最小之褒忠(2)站(1096 mm)；接近台灣平均之年平均降雨量之照興(2)站(2625.5 mm)爲代表，各雨量站之係數如表 2 所示。

表 2 各測站之係數表

站名	A	B	C	G	H	I_{60}^{25} (mm/hr)	P (mm)
火燒寮	18.66015	55	0.59330	0.58439	0.28887	102.27	5547.5
褒忠 (2)	34.03808	55	0.74349	0.52951	0.32707	72.96	1096.0
照興 (2)	20.68110	55	0.61739	0.60212	0.27605	92.62	2625.5

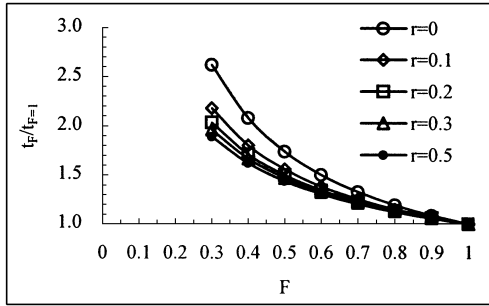


圖 2a 不同形狀因子之集流時間比 ($L=1\text{km}$, $H=100\text{m}$)

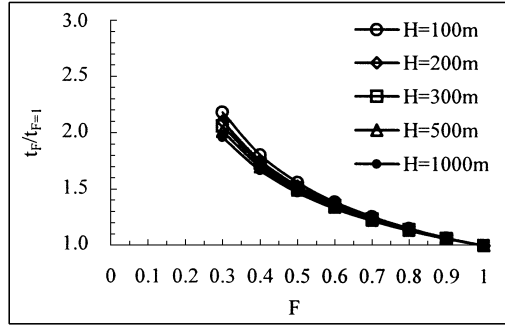


圖 3a 不同形狀因子之集流時間比 ($r=0.1, L=1\text{km}$)

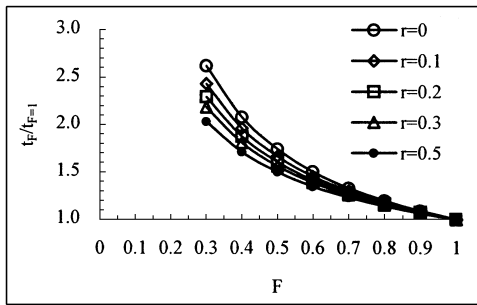


圖 2b 不同形狀因子之集流時間比 ($L=10\text{km}$, $H=100\text{m}$)

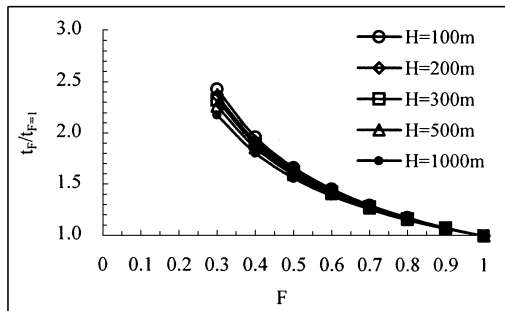


圖 3b 不同形狀因子之集流時間比 ($r=0.1, L=10\text{km}$)

當瞭解到不同形狀因子等地文因子對集流時間比之關係後，接著，便將表 1 之結果代入式 (2)，計算三雨量站中，各該雨量站在不同形狀因子下，重現期距 50 年，集流時間 2 分鐘和 60 分鐘之降雨強度值及其與形狀因子為 1 之比值， $I_F / I_{F=1}$ ，所得結果如表 3 至表 5。

圖 4 為火燒寮站 2 分鐘和 60 分鐘集流時間之降雨強度比值與形狀因子之關係圖，由圖中數據點之趨勢知，當集流時間為 2 分鐘時，形狀因子對降雨強度比值之影響較小；然而，當集流時間為 60 分鐘時，降雨強度比值將隨形狀因子之

增加而增加，但其增加率會越來越小，直到降雨強度比值為 1 為止。而且，同一形狀因子時，低集流時間之降雨強度比值會較高集流時間者大。另外，低集流時間降雨強度比值之變化率較高集流時間者小。當然，其他雨量站也有同樣之趨勢表現。如果將三雨量站同樣集流時間之降雨強度比值與其相對應之形狀因子繪製成圖，則如圖 5 和圖 6 所示，雖然降雨強度比值都隨其相應形狀因子之增加而增加，增加率也越來越小，可是，其間仍有一些相異之處。例如，年平均雨量較大之雨量站，在同樣形狀因子時，其降雨強度

表 3 火燒寮雨量站形狀因子、集流時間與降雨強度之關係

形狀因子 F	集流時間 比 $t_F/t_{F=1}$	集流時間 t(min)	降雨強度 I_t^{50}	降雨強度 比 $I_F/I_{F=1}$
1	1.000	2.000	186.371	1.000
0.9	1.088	2.176	186.030	0.998
0.8	1.195	2.390	185.619	0.996
0.7	1.330	2.660	185.102	0.993
0.6	1.505	3.010	184.439	0.990
0.5	1.741	3.482	183.554	0.985
0.4	2.081	4.162	182.300	0.978
0.3	2.620	5.240	180.357	0.968
1	1.000	60.000	122.893	1.000
0.9	1.088	65.280	119.663	0.974
0.8	1.195	71.700	116.028	0.944
0.7	1.330	79.800	111.839	0.910
0.6	1.505	90.300	106.971	0.870
0.5	1.741	104.460	101.229	0.824
0.4	2.081	124.860	94.251	0.767
0.3	2.620	157.200	85.444	0.695

表 5 照興(2)雨量站形狀因子、集流時間與降雨強度之關係

形狀因子 F	集流時間 比 $t_F/t_{F=1}$	集流時間 t(min)	降雨強度 I_t^{50}	降雨強度 比 $I_F/I_{F=1}$
1	1.000	2.000	169.071	1.000
0.9	1.088	2.176	168.749	0.998
0.8	1.195	2.390	168.360	0.996
0.7	1.330	2.660	167.873	0.993
0.6	1.505	3.010	167.247	0.989
0.5	1.741	3.482	166.412	0.984
0.4	2.081	4.162	165.229	0.977
0.3	2.620	5.240	163.397	0.966
1	1.000	60.000	109.616	1.000
0.9	1.088	65.280	106.620	0.973
0.8	1.195	71.700	103.251	0.942
0.7	1.330	79.800	99.375	0.907
0.6	1.505	90.300	94.878	0.866
0.5	1.741	104.460	89.584	0.817
0.4	2.081	124.860	83.167	0.759
0.3	2.620	157.200	75.096	0.685

表 4 褒忠(2)雨量站形狀因子、集流時間與降雨強度之關係

形狀因子 F	集流時間 比 $t_F/t_{F=1}$	集流時間 t(min)	降雨強度 I_t^{50}	降雨強度 比 $I_F/I_{F=1}$
1	1.000	2.000	133.373	1.000
0.9	1.088	2.176	133.068	0.998
0.8	1.195	2.390	132.699	0.995
0.7	1.330	2.660	132.237	0.991
0.6	1.505	3.010	131.643	0.987
0.5	1.741	3.482	130.852	0.981
0.4	2.081	4.162	129.732	0.973
0.3	2.620	5.240	128.002	0.960
1	1.000	60.000	79.147	1.000
0.9	1.088	65.280	76.549	0.967
0.8	1.195	71.700	73.646	0.930
0.7	1.330	79.800	70.330	0.889
0.6	1.505	90.300	66.515	0.840
0.5	1.741	104.460	62.072	0.784
0.4	2.081	124.860	56.758	0.717
0.3	2.620	157.200	50.192	0.634

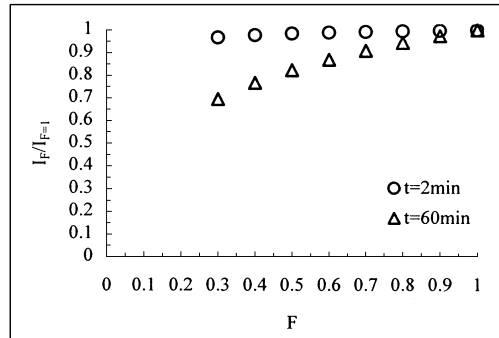


圖 4 火燒寮站 2 分鐘和 60 分鐘集流時間之降雨強度比值與形狀因子之關係

比值會較高。而且，不同雨量站間之差值會隨形狀因子之增加而減少，直到形狀因子等於 1，差值為 0 為止。另外，同一形狀因子時，此一差值在高集流時間時會較低集流時間者大。

因此，對於不同雨量站而言，集流時間和形狀因子都能夠影響降雨強度比值，也就是流量面積比值。尤其是狹長之大集水區（如蘭陽溪流

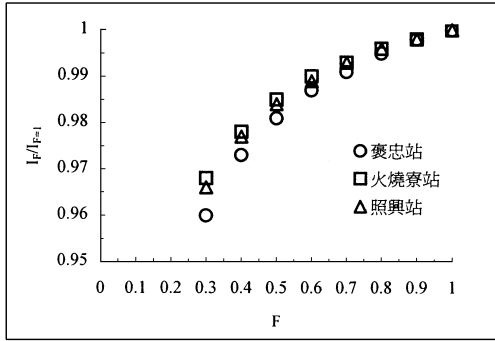


圖 5 三雨量站 2 分鐘集流時間之降雨強度比值與形狀因子之關係

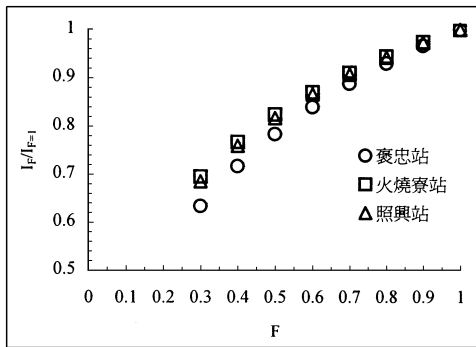


圖 6 三雨量站 60 分鐘集流時間之降雨強度比值與形狀因子之關係

域) 時, 此一影響度會更為顯著。而各雨量站之年平均雨量值則會影響降雨強度比值隨形狀因子改變之速率。

爲了瞭解同一雨量站、不同面積、形狀因子、集流時間之集水區流量面積比值之變化, 本研究選取蘭陽溪上游實谷富溪、夫布爾溪、米摩登溪、馬當溪、逸久溪、月桂溪、茲那谷溪、美羅溪、美優溪和編號一溪等 10 條溪爲對象(如圖 7 所示), 由地形圖計算出各該集水區漫地流和河道流之長度、高差後, 再代入式(9)求算集流時間; 在經過式(2)計算出降雨強度之後, 再配合各該集水區之面積值, 由式(1)求出流量。表 6 即列出各參數值, 形狀因子和流量面積比值。如果將面積、坡度、形狀因子和流量面積比值做複變數迴歸時, 則可得到下式:

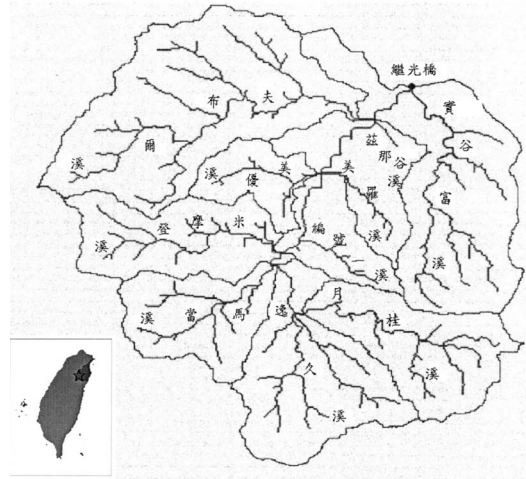


圖 7 蘭陽溪上游小集水區位置圖

$$\frac{Q}{A} = 0.800A^{-0.120}S^{0.147}F^{0.243} \quad R^2=0.95 \dots\dots(13)$$

由式(13)知, 流量面積比和面積成反比, 和坡度、形狀因子成正比。這從圖 8、9、10 和表 6 均可以明顯地呈現出來, 而且形狀因子之權重相對比坡度和面積者高。由圖 10 和式(13)可知, 以往在粗估一集水區之洪峰流量時, 僅以面積參數去取得流量面積比, 再以流量面積比去求得流量之作法, 已經產生明顯之不足。因爲形狀因子和坡度參數會對流量面積比和面積所形成之曲線造成不同程度大小之波動, 因而會影響其估算之準確度。

四、結論

在經過分析比較以後, 本研究得到以下結論:

1. 在相同集水區面積、不同形狀因子下, 集流時間比會隨其相應形狀因子之增加而減少, 而且, 其減少率會越來越小。相反地, 降雨強度比值會隨其相應形狀因子之增加而增加, 增加率也越來越小。
2. 同一形狀因子時, 低集流時間之降雨強度比值會較高集流時間者大, 且其變化率較小。
3. 年平均雨量較大之雨量站, 在同樣形狀因子時, 其降雨強度比值會較高, 且其變化率較

表 6 蘭陽溪上游小集水區 50 年頻率之水文參數

(C=0.75)

	L M	H m	t ₁ min	t ₂ min	t min	S (=H/L)	A ha	F	Q/A cms/ha
實谷富溪	11060	870	24.24	120.74	144.98	0.078662	2343.5	0.19	0.146
夫布爾溪	9910	700	21.65	118.89	140.54	0.070636	1697.83	0.17	0.148
米摩登溪	7098	471	14.34	97.56	111.90	0.066357	1507	0.30	0.161
馬當溪	9046	858	13.86	132.37	146.23	0.094849	1349.7	0.16	0.145
逸久溪	5000	375	10.24	62.22	72.46	0.075	1008.7	0.40	0.187
月桂溪	5870	475	12.65	64.07	76.72	0.08092	897.1	0.26	0.184
茲那谷溪	3970	640	7.18	26.67	33.85	0.161209	383.2	0.24	0.228
美羅溪	3800	510	5.55	46.67	52.21	0.134211	288.3	0.20	0.206
美優溪	3550	80	1.25	112.96	114.21	0.022535	231.6	0.18	0.160
編號一溪	2050	300	2.30	31.48	33.78	0.146341	86	0.20	0.228

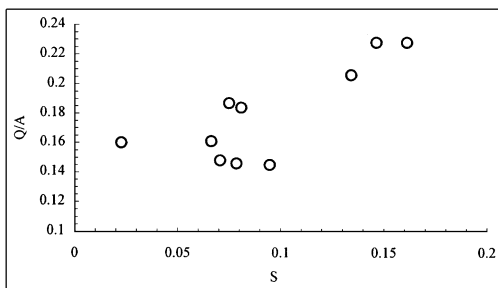


圖 8 流量面積比和坡度之相關圖

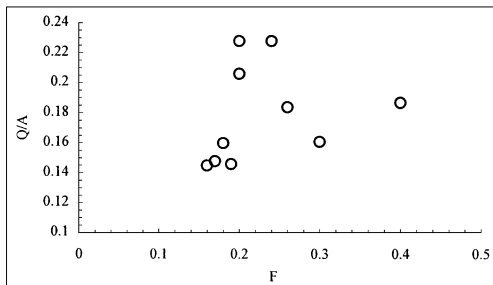


圖 9 流量面積比和形狀因子之相關圖

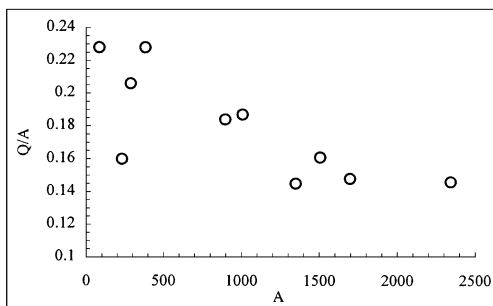


圖 10 流量面積比和面積之相關圖

小。而且，不同雨量站間之差值會隨形狀因子之增加而減少，直到形狀因子等於 1 為止。而且，此一差值會隨集流時間變小或形狀因子變大而減小。

4. 蘭陽溪上游 10 個小集水區流量面積比與其相對應之面積、坡度和形狀因子間之關係如下：

$$\frac{Q}{A} = 0.800A^{-0.120}S^{0.147}F^{0.243}$$

誌 謝

本研究有賴行政院農委會張三郎技正、水土保持局李木青組長和前林務局技正吳邦雄先生等人在現場經年累月之不吝指導，農工系碩士陳立斌之資料整理，使得本研究能夠順利完成，謹致由衷之謝忱。

參考文獻

1. 中華水土保持學會，1998.05，水土保持技術規範，pp.10-22。
2. 陳明杰，1994，應用合理化公式推算洪峰流量之相關條件研究，83 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編，pp.411-438。
3. 林親義，1991.06，石門水庫集水區降雨特性與洪峰流量推估方法之研究，國立台灣大學森林研究所博士論文。

收稿日期：民國 89 年 9 月 26 日

修正日期：民國 90 年 4 月 23 日

接受日期：民國 90 年 5 月 3 日