雨量歷線式之理論分析及其在本省近年雨量應用之檢討

The Theoretical Analysis of Hyetograph and Discussion on Applying the Recent Rainfall in Taiwan

林　　芳　　明

Fang-ming Lin

省立屏東農專農業工程科助教

Summary

There are several methods can be applied to the evaluation of flood discharge and the design of drainage system. All of these analyses should be considered in varying the outflow with time. That is, the hydrograph is one of the major methods to resolve the flood flow at present.

In this paper, it will use the hyetograph to demonstrate the actual rainfall characteristic with series curve, and designated the curve by numerical process. Then apply it to estimate the proposed precipitation and calculate the drainage discharge. It is still necessary for us to establish the most suitable hyetograph of storm precipitation in Taiwan, so that we can find damages trendency in the periods of storms. Many examples have been mentioned in this paper which hope extensively used in this field.

一、緒　　論

往昔之計算洪水流量無不皆以流量之過程變化作爲分析對象，本文目的則在以雨量之過程變化作一數學式之分析來表達演算，故一切均以雨量歷線作爲分析基礎，並檢討本省各地雨量之應用，俾作都市下水道或排水系統設計之參考。

雨量歷線者乃記錄雨量與時間關係之曲線，通常以降水量爲縱座標，時間順序爲橫座標所繪成之曲線即是。有時做成柱狀組體圖 (bar graphs)，因其除可得各次降雨之總雨量外，且能判斷雨量強度的大小，進而藉以演算河川洪水流量。凡此莫不皆與降雨強度有關，因此在探討雨量歷線式之前，乃先將降雨強度曲線予以說明引證。蓋其在各種工程之排水設施中佔有一重要之角色，且應用極廣。

降雨強度者，單位時間之雨量也。而降雨強度一延時一頻率曲線 (Rainfoll intensity-duration-frequency curve) 係將任意連續時間中之降雨量，換算爲降雨強度，再依其發生頻率組合化成之曲線；亦即由很多次暴雨的降雨強度及降雨延時記錄，以橫座標表降雨連續時間 (t_{min})，縱座標表降雨強度 I (mm/hr)，所繪製之曲線。故在某一地區洪水到達時間內之河川洪水流量及下水道設計時所需之計劃降雨量，均可利用該曲線求得；往昔之合理式 (rational formula) 求算雨水流出量亦莫不皆以此爲依據，而供各項水工結構物設計之資料。故用合理式求算洪水流量時係以全流域所集流之雨水現象中，由流域最遠處起至欲求流量地點，將雨水集中流下爲最大時作考慮重心，故仍以最遠點至計算流量地點之流水到達時間 (time of arrival) 相等之降雨連續時間中之平均降雨強度作爲必要條件，依此所作成之

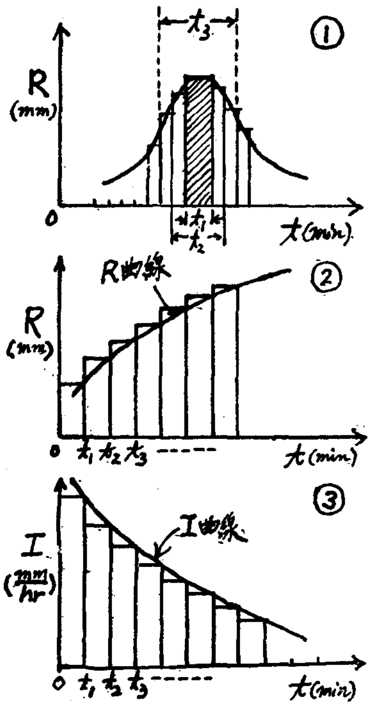
曲線即爲降雨强度曲線。由此可知：降雨强度與降雨延時成反比，雨量强度大之暴雨，不如綿綿細雨之延時。下水道設計，其逕流集中時間如超過降雨延時，在設計區中最遠處之雨量尙未集中於下水道時，雨已停止，下水道中尙未容納最大流量，設計之强度應選用其降雨延時與集中時間相等者。若降雨延時超過集中時間，則集中時流量爲最大值，以後無論延時至何長，設强度不變，其最大流量亦不變，下水道工程壽命應適合該地雨量强度之復現期間，方爲合算。

近年來，因水文學之研究發展，有將合理式及以往計算洪水流量諸種方法加以改善補足其缺陷與欠妥者，提出各種不同實用之洪水流量解法，凡此應用於規劃各種排水工之排洩雨水設計時，亦莫不以流出量之時間變化作爲分析依據，亦即以流量過程線（hydrograph）分析者居多。對於此項過去用降雨强度之資料得知流量計算式之降雨特性（亦卽根據每單位時間之降雨量乘以單位流量圖之基本係數，然後加以共計求出整個流出過程之方法），實尙有欠充分之處；故今以雨量歷線式（hyetograph）取而代之，從降雨一開始，卽將降雨量依時間過程，經尖峰降雨再至降雨停止之實際降雨情形，作連續降雨形曲線之形式來表達實際降雨之特徵，並加數式化（numerical process）而予以應用計算來推求地面逕流量過程變化，則對解決有關排水工程計劃之諸問題，簡便甚多，此卽雨量歷線式應用之動機。

雨量歷線之初期研究，係由上田政義氏於 1922 年開始，後來 Keifer 與 Chu 於 1959 將其與流量過程線用於 Chicago 作下水道設計，均頗有成效。近年，日本石黑氏則將其與降雨强度曲線之相關處加以研究計算解析，得知雨量歷線式之在小流域排水規劃中，有其相當應用之價值，故本文卽在推薦並論述雨量歷線式之計算及其與降雨特性有關之諸種應用，以供參考。同時將本省暴雨記錄加以引證檢討，俾資來者借鏡推展引玉。

二、雨量歷線式之計算

由於面積狹小地區排水設施之容納最大逕流量或流域較小河川之洪水流量，均非長期性者，且降雨强度頻率曲線（以下均簡稱降雨强度曲線）與雨量歷線有着密切之關係，故在推求雨量歷線式時，吾人先用圖一之模型式（Model）來說明短時間降雨强度曲線之性質，再應用其導出各地區正確之雨量歷線式。圖一所列分別爲觀測降雨之雨量組體圖，降雨量曲線R及降雨强度曲線 I 之特性。



圖一　實測降雨與R及I曲線

圖①表示降雨一開始經尖峰部（peak）至降雨停止之一個連續降雨曲線，有時以柱狀體畫之，今設其實測降雨任意連續時間 t_1 中之最大雨量爲 R_1，若按其 t_1 順序依次將降雨量之累加值爲縱座標，時間爲橫座標所繪得之曲線，卽爲降雨量曲線②或稱雨量累積曲線（Rainball mass cuwe），此曲線上任二點之縱座標差，卽代表相對兩時間內之降雨量，其上任一點切線坡度（Slope）卽爲該一時間之瞬間增率。若將各 t_1 之降雨量 R_1（mm）值，概以降雨强度之表示式 $I=R\times\frac{60}{t}$ 式換算爲降雨强度 I_1（mm/hr），再按各 t_1 順序對應之 I_1 值排列，繪成曲線卽得③，亦卽所求 t 與 I 關係式之降雨强度曲線。而正因此一曲線已考慮到降雨强度、頻率、延時等因素在內，故常爲現代下水道設計所使用者也。

但圖一僅係由一次之降雨，求得 R. I 曲線者，通常甚少使用；一般仍應就過去觀測之許多降雨資料加以分類整理，再由各個 t_1 值中，由第1位至第 n 位抽出，實施機率計算而求其 N 年機率强雨强度 I_N。

綜上所述，降雨强度曲線卽表現有如次之降雨特性，卽：

(1)N年機率之任意降雨連續時間 t_1 分鐘之降雨强度值 I_1 爲一連續之曲線式。

(2)各個 t_1之 降雨量資料 R_1，不得以同一次降雨求得，需由多次不同之降雨求之。

(3)降雨强度式爲時間雨量與特性係數（Specific Coefficient）乘積之形式，亦卽一切降雨强度公式均可以 $I_N = R_N \cdot \beta_N$ 之式子表示之（註：參閱參考文獻８）。

(4)由降雨强度式算出之値，卽爲任意連續時間中之平均降雨强度（mm/hr）。

(5)降雨强度曲線不能表示出降雨一開始至降雨停止間在實際時間上連續變化的情形。

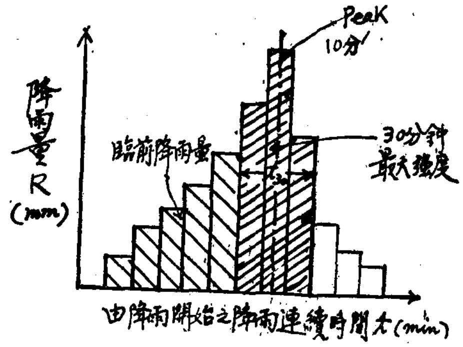
又在解析洪水逕流量問題時，從水文觀點分析降雨現象之情況，其影響上述降雨特性有關流出現象最爲顯著者，爲下列三要項：

(1)於降雨連續期間，任意時間之最大雨量（最大强度亦可）及其所發生之頻率。

(2)於一連續降雨期中，尖峰（peak）最大降雨部發生時間之位置。（此尖峰爲水文曲線一瞬間之最高値，在此與單位流量過程線之流量尖峰不同）。

(3)任意强度前之降雨量均爲其臨前降雨量（antecedent--precipitation）。

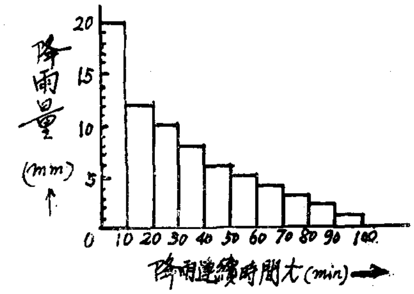
故雨量歷線式（hyetograph）乃根據此三要素將其予以數式化，而用以表達降雨在時間上變化之曲線。至降雨强度曲線 I_N 則僅在表現出此三要素中之第一項而已，兩者廻然相異。一般含有此三要項目之標準雨量組體圖形式卽爲圖二所示者。



圖二　準標雨量組體圖形式

今若欲根據以往之降雨强度曲線正確表現降雨實情者，則有賴成立雨量歷線式之流出解析，通常由降雨開始之連續時間 t 與降雨强度 i 之關係以 $i = f(t)$ 之形式表之。雖一般表示實際降雨之變動甚爲複雜，然以雨量歷線式之形式來表達且甚簡單，亦卽一切尖峰前之强度可以 $i_b = f(t_b)$ 及尖峰後之强度可以 $i_a = f(t_a)$ 兩不同分隔形式表之。

爲簡化解說計，首先，吾人先將尖峰置於起始處考慮其强度隨時間變化而漸爲減弱之情況。圖三卽係每隔10分鐘之降雨量，由此求得之降雨强度曲線 I，爲圖四中之實線，其降雨量曲線 R 則以鎖線表示，而連續降雨之雨量歷線式曲線 i 用虛線表之，此卽依每隔 10 分鐘降雨量之各個單位時間之强度組合繪成者，其計算値如表一所列。



圖三　每隔 10 分鐘之降雨量
（按尖峰置於起始）

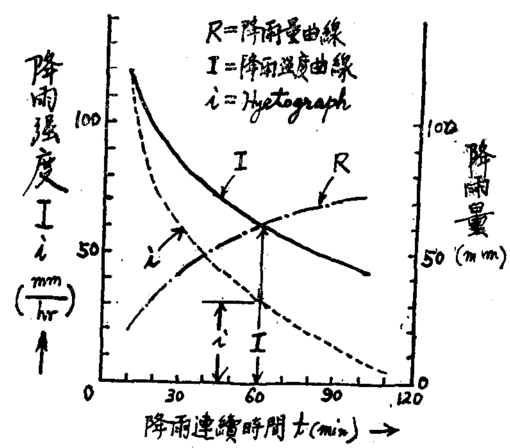


圖　四

表一　單位時間降雨强度計算表

① t (min)	② r	③ R	④ 60/t	⑤ I(③×④)	⑥ $i\left(r\times\frac{60}{10}\right)$
10	20	20	6.00	120	120
20	12	32	3.00	96	72
30	10	42	2.00	84	60
40	8	50	1.50	75	48
50	6	56	1.20	67.2	36
60	5	61	1.00	61.0	30
70	4	65	0.86	55.7	24
80	3	68	0.75	51.0	18
90	2	70	0.67	46.7	12
100	1	71	0.60	42.6	6

通常降雨延時在2小時以下者，其強度公式常用 Talbot 型公式 $I=\frac{a}{t+b}$ 爲宜，此多屬短時間性之雷雨，尤適本省降雨情形。若延時超過2小時以上者，常用 Sherman 型公式 $I=\frac{a}{t^n}$。而此處所舉 I 曲線之例，係以石黑型公式 $I=\frac{a}{\sqrt{t}\pm b}$ 來求算者（此型係日本石黑氏所創），各公式中之 a, b, n 均爲與地域因素有關之常數，今以降雨強度之表示式 $I=R\times\frac{60}{t}$ 再變形之，則由 $R=I\times\frac{t}{60}$ 得：

$$R=\left(\frac{a}{\sqrt{t}\pm b}\right)\left(\frac{t}{b}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

又由圖四所示之 I 與 i 兩曲線之關係，可知由 I 求得之 R 與由 i 曲線下全面積所求得之 R 應相等，故

$$R=\frac{1}{60}\int_0^t idt$$

將上式微分之

得 $$\frac{dR}{dt}=\frac{i}{60}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

又將 (1) 式微分之

卽 $$\frac{dR}{dt}=\frac{a}{60}\cdot\frac{[(1-0.5)t^{0.5}\pm b]}{[t^{0.5}\pm b]^2}\cdots\cdots\cdots (3)$$

則 (2) 式應與 (3) 式相等，卽

$$i=\frac{a[0.5\sqrt{t}\pm b]}{[\sqrt{t}\pm b]^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

此卽爲圖三，圖四於尖峰置於起始處分析出來之雨量歷線式。

同理，依 Sherman 型之降雨強度公式 $I=\frac{a}{t^n}$ 可得

$$R=\left(\frac{a}{t^n}\right)\left(\frac{t}{60}\right)$$

微分之 $$\frac{dR}{dt}=\frac{a}{60}\cdot\frac{[(1-n)t^n]}{[t^n]^2}\cdots\cdots\cdots (5)$$

(2) 式與 (5) 式等之，得

$$i=\frac{a(1-n)}{t^n}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

同理，再由 Talbot 型之降雨強度公式 $I=\frac{a}{t+b}$

可得 $$R=\left(\frac{a}{t+b}\right)\left(\frac{t}{60}\right)$$

微分之 $$\frac{dR}{dt}=\frac{a}{60}\left[\frac{b}{(t+b)^2}\right]\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

將 (2) 式與 (7) 式等之，得

$$i=\frac{a\cdot b}{(t+b)^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

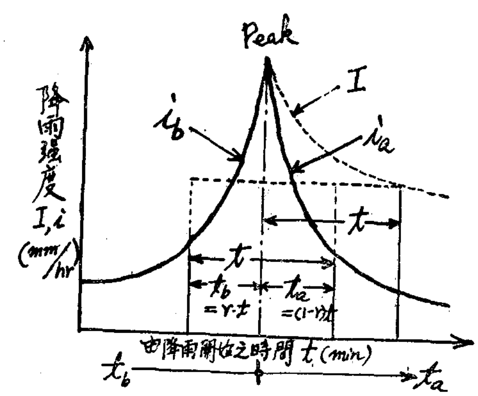
此 (4)，(6)，(8) 三式卽爲圖三所示於尖峰置於起始處之場合分析所得之雨量歷線式也。

其次，將尖峰誘導於任意時刻之一般式，亦卽由實際降雨一開始卽分析之。今假設全降雨連續時間爲 t，開始降雨時刻爲 0.0，終止時刻爲 1.0，而以尖峰雨量之最高點爲原點，尖峰前之 t 爲 t_b，尖峰後之 t 爲 t_a，則由圖五所示，吾人可得如次之關係：

$$t_b=r\cdot t\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

$$f_a=(1-r)\,t\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

此處 $\frac{t_b}{t}=r$ 應表示一連續降雨期間中，其尖峰雨量部發生之位置。



圖五 雨量歷線式之一般形式圖圖

故尖峰前之雨量歷線式應爲 i_b，尖峰後之雨量歷線式則爲 i_a，故由 (9)，(10) 兩式，可依次分別來表示 (4)，(6)，(8) 三式之雨量歷線式。今由降雨強度之型式，若按第一情況以 $I=\frac{a}{t+b}$ 表之，第二情況以 $I=\frac{a}{t^n}$ 表之，第三情況以 $I=\frac{a}{\sqrt{t}\pm b}$ 表之的順序述之，則在；

第一情況之場合 (Talbot type)：

$$i_b=\frac{a\cdot b}{\{(t_b/r)+b\}^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

$$i_a=\frac{a\cdot b}{\{(ha/(1-r)+b\}^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

第二情況之場合 (Shrman type):

$$i_b=\frac{a\,(1-n)}{(t_b/r)^n}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

$$i_A=\frac{a\,(1-n)}{\{t_a/1-r)\}^n}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

第三情況之場合 (石黑氏 type)

$$i_b = \frac{a\{0.5\sqrt{(t_b/r)} \pm b\}}{\{\sqrt{(t_b/r)} \pm b\}^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

$$i_a = \frac{a\{0.5\sqrt{t_a/(1-r)} \pm b\}}{\{\sqrt{t_a/(1-r)} \pm b\}^2} \cdots\cdots (16)$$

倘尖峰雨量部之位置適爲該降雨連續時間之中央時，則 $r=0.5$，由是各式可依次改寫爲：

ⓐ第一情況之場合：

$$i_{ab} = \frac{a \cdot b}{(2 \cdot t_{ab} + b)^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

ⓑ第二情況之場合

$$i_{ab} = \frac{a(1-n)}{(2 \cdot t_{ab})^n} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

ⓒ第三情況之場合：

$$i_{ab} = \frac{a\{0.5\sqrt{2 \cdot t_{ab}} \pm b\}}{\{\sqrt{2 \cdot t_{ab}} \pm b\}^2} \cdots\cdots (19)$$

此處之 i_{ab} 與 t_{ba} 均係爲 i_a, t_a 與 i_b，t_b 於尖峰雨量部適在全降雨期中心，而成對稱相等時之情況，故在演算時，僅計算任一方之曲線即可，

以上各種情況乃就 i, i_b, i_a, i_{ab} 加以誘導者，各式中之 a, b, n 等係數須與降雨强度公式 I 中所取用者之數值一致，故 I 之形式及各係數值（或稱常數）亦應按各地域降雨特性準確求之。且由圖四之關係可知由 I 曲線求得之 i_a, i_b 兩曲線之各係數值，仍亦應比照其選用。

然在 i_a, i_b 式中，應共同求算者爲 r 值，此 r 值卽爲前述由降雨開始至降雨終止間所發生尖峰部位之確實位置，故各地區之降雨資料應分別檢討求之。

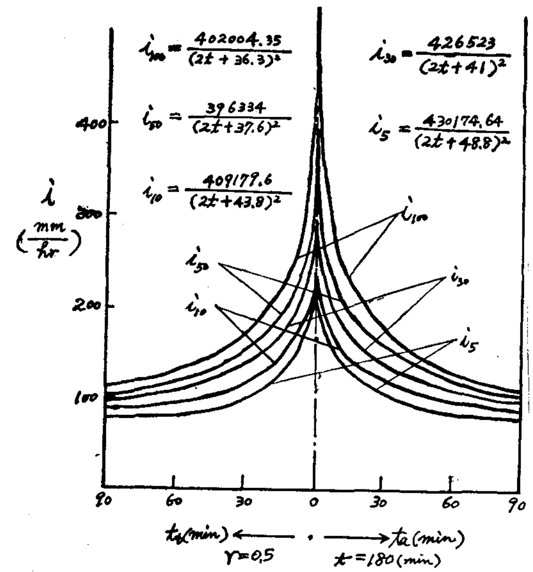
筆者曾將本省高屏地區轄內19個雨量測站地點作短時間降雨特性之分析，分別對其 5 分鐘，10分鐘，20分鐘，……… 60分鐘，80分鐘，120分鐘止之各連續時間作機率降雨計算，經檢討其所發生尖峰雨量部位之 r 值，一般平均值以採 0.5 爲佳；當然，各地區之各測站地點應分別檢討始較精確。惟在一般無法獲得降雨資料之地區，普通吾人均取 $r=0.5$ 作爲判斷較爲適切，且在雨量歷線式之演算上亦較迅速簡化。

今以臺南地區爲例，由臺南地區短時間降雨强度公式 I_N 來計算其各機率年別之雨量歷線式，並以採較適本省短時間性之雷雨降雨情形之 Talbot 型(17)式求之，亦卽第一情況之場合，其在之 $r=0.5$ 情況下，所求得之各機率年之雨量歷線式之結果，分別註明於圖六中各曲線式所示。各該計算所利用之降雨公式 I_N 值分別爲：

$I_{100} = \dfrac{11074.5}{(t+36.3)}$，$I_{50} = \dfrac{10540.8}{(t+37.6)}$，

$I_{30} = \dfrac{10403}{(t+41.0)}$，$I_{10} = \dfrac{9342}{(t+43.8)}$，

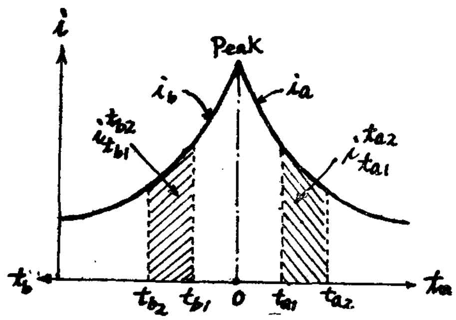
$I_5 = \dfrac{8812.8}{(t+48.8)}$ （資料來源可參閱參考文獻 8，張玉田教授著：特性係數推算臺南地區機率降雨公式之究研一文）。



圖六　臺南地區機率年別之雨量歷線式

三、利用雨量歷線式計算任意時間之降雨量

吾人若用單位過程線法，合成單位過程線法，面積指數法，貯蓄函數解法……等求解流出量之問題時，均須先求得降雨開始至降雨停止每單位時間之降雨量，此不待贅述。而吾人若利用雨量歷線式時，則可由其誘導求出任意時間中之降雨量之計算式，藉此計算式又能算出各連續時間之降雨量，實方便不少。亦卽如圖七中所示者，因 $t_{b2} > t_{b1}$，$t_{a2} \geq t_{a1}$，故由



圖七　由雨量歷線式誘導求任意時間之降雨量

i_b i_a 之積分，可得該時間內之降雨强度 i (mm/hr)

，再由此 i 可求出降雨量 R (mm) 也。玆依前述各種情況之順序分述其誘導式如下：

1. 第一情況形式 (Talbot type) 之場合

積分 (11) 式之 i_b，並假設其分母 $\left(\frac{t_b}{r}\right)+b=T_b$，則 $dt_b=rdT_b$，故 (11) 式可變形爲

$$i_b=\frac{a\cdot b}{(T_b)^2}$$

再按 $t_{b2}>t_b>t_{b1}$ 積分之，得

$$i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=\int_{t_{b1}}^{t_{b2}} i_b\,dt_b=\int_{t'_{b1}}^{t'_{b2}}\left\{\frac{ad}{(T_b{}^2)}\right\} r\cdot dT_b$$

$$=\left[-\frac{abr}{T_b}\right]_{t'_{b1}}^{t'_{b2}}$$

但 $\quad t'_{b2}=\left(\frac{t_{b2}}{r}\right)+b,\quad t'_{b1}=\left(\frac{t_{b1}}{r}\right)+b$

故
$$\left.\begin{aligned} i_{t_{b1}}^{t_{b2}}&=\left[-\frac{-abr}{\left(\frac{t_b}{r}\right)+b}\right]_{t_{b1}}^{t_{b2}}\\ &=abr\left\{\left[\frac{1}{(t_{b1}/r)b}\right]-\left[\frac{1}{(t_{b2}/r)+b}\right]\right\}\\ &=abr\left(\frac{1}{t_{b1}+br}-\frac{1}{t_{b2}+br}\right)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots \quad (20)$$

同理，由 (12) 式之 i_a 可求得

$$\left.\begin{aligned} i_{t_{a1}}^{t_{a2}}&=ab(1-r)\left\{\frac{1}{[t_{a1}/(1-r)]+b}-\frac{1}{[t_{a2}/(1-r)]+b}\right\}\\ &=ab(1-r)^2\left\{\frac{1}{t_{a1}+b(1-r)}-\frac{1}{t_{a2}+b(1-r)}\right\}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots \quad (21)$$

2. 第二情況形式 (Sherman type) 之場合

積分 (13) 式之 i_b，但 $t_{b2}>t_{b1}$，則

$$\int_{t_{b1}}^{t_{b2}} i_b\,dt_b=\int_{t_{b1}}^{t_{b2}}\frac{a(1-n)}{(t_b/r)^n}dt_b$$

$$=a\left[(1-n)r^n\frac{-t_b{}^{-(n-1)}}{(n-1)}\right]_{t_{b1}}^{t_{b2}}$$

$$=\left[ar^n t_b{}^{-n+1}\right]_{t_{b1}}^{t_{b2}}$$

$$\therefore\quad i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=ar^n\left(t_{b2}{}^{1-n}-t_{b1}{}^{1-n}\right)=ar^n\left(\frac{1}{t_{b2}{}^{n-1}}-\frac{1}{t_{b1}{}^{n-1}}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (22)$$

同理，由 (14) 式之 i_a 可求得

$$i_{t_{a1}}^{t_{a2}}=a(1-r)^n(t_{a2}{}^{1-n}-t_{a1}{}^{1-n})=a(1-r)^n\left(\frac{1}{t_{a2}{}^{n-1}}-\frac{1}{t_{a1}{}^{n-1}}\right)\cdots\cdots\cdots \quad (23)$$

3. 第三情況形式 (石黑 type) 之場合

吾人先求 (14) 式之 i_b 於 $+b$ 之場合，則

$$i_b=\frac{a(0.5\sqrt{(t_b/r)}+b)}{(\sqrt{(t_b/r)}+b)^2}\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (24)$$

$$\int_{t_{b1}}^{t_{b2}}=\int_{t_{b1}}^{t_{b2}} i_b dt_b$$

$$=\int_{t_{b1}}^{t_{b2}}\frac{a(0.5\sqrt{t_b/r}+b)}{(\sqrt{t_b/r}+b)^2}dt_b\cdots\cdots\cdots \quad (25)$$

積分 (25) 式，先將其常數 a 保留，餘式則分解爲部分分數，即

$$\frac{0.5\sqrt{t_b/r}+b}{(\sqrt{t_b/r}+b)^2}=\frac{0.5(\sqrt{t_b/r}+b)+0.5b}{(\sqrt{t_a/r}+b)^2}$$

$$=\frac{0.5}{(\sqrt{t_b/r}+b)}+\frac{0.5b}{(\sqrt{t_b/r}+b)^2}\cdots\cdots \quad (26)$$

將此 (26) 式之第一項及第二項分別積分之，且設 $\sqrt{t_b}=x$，則

$t_b=x^2$， $\quad\therefore\ dt_b=2xdx$

$$\therefore\int_{t_{b1}}^{t_{b2}}\frac{0.5\,dt_b}{\sqrt{t_b/r}+b}=0.5\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}\frac{2xdx}{(x/r+b)}$$

$$=0.5\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}\frac{2\sqrt{r}\,x\cdot dx}{x+b\sqrt{r}}$$

由上式右邊分子改寫爲 $2\sqrt{x}\cdot x=2\sqrt{r}\,(x+b\sqrt{r})-2br$

$$=0.5\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}2\sqrt{r}\,dx-0.5\cdot 2br\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}\frac{bx}{x+b\,r}$$

$$=\sqrt{r}\,[x]_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{tb_2}}-br\left[\log(x+b\sqrt{r})\right]_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}$$

$$=\sqrt{r}\left(\sqrt{t_{b2}}-\sqrt{t_{b1}}\right)-br\cdot\log\frac{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (27)$$

同理：
$$\int_{t_{b1}}^{t_{b2}}\frac{0.5b}{(\sqrt{t_b/r}+b)^2}dt_b$$

$$=0.56\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}\frac{2x\cdot dx}{\left\{\left(x/\sqrt{t}\right)+b\right\}^2}$$

$$= 0.5\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}\frac{2r(x+b\sqrt{r})-2br\sqrt{r}}{(x+b\sqrt{r})^2}dx$$

$$= rb\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}\frac{dx}{(x+b\sqrt{r})}$$

$$-b^2\cdot r\sqrt{r}\int_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}\frac{1}{(x+b\sqrt{r})^2}dx$$

$$= rb\left[\log(x+b\sqrt{r})\right]_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}$$

$$+b^2r\sqrt{r}\left[\frac{1}{(x+b\sqrt{r})}\right]_{\sqrt{t_{b1}}}^{\sqrt{t_{b2}}}$$

$$=rb\log\frac{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}+b^2r\sqrt{r}$$

$$\left(\frac{1}{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}-\frac{1}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}\right)\cdots\cdots\cdots \tag{28}$$

將(27)，(28)兩式代回 (25) 式

$$i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=a\left[\left\{\sqrt{r}(\sqrt{t_{b2}}-\sqrt{t_{b1}})\right.\right.$$

$$\left.-br\log\frac{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}\right\}$$

$$+rb\left\{\log\frac{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}\right.$$

$$\left.\left.+br\left(\frac{1}{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}-\frac{1}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}\right)\right\}\right]$$

$$=a\sqrt{r}\left\{(\sqrt{t_{b2}}-\sqrt{t_{b1}})\right.$$

$$\left.+rb^2\left(\frac{1}{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}-\frac{1}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots \tag{29}$$

同理，積分 (16) 式之 i_a，得

$$i_{t_{a1}}^{t_{a2}}=a\sqrt{1-r}\left\{(\sqrt{t_{a2}}-\sqrt{t_{a1}}\right.$$

$$+(1-r)b^2\left(\frac{1}{\sqrt{t_{a2}}+b\sqrt{1-r}}\right.$$

$$\left.\left.-\frac{1}{\sqrt{t_{a1}}+b\sqrt{1-r}}\right)\right\}\cdots\cdots\cdots \tag{30}$$

又 (15)，(16) 兩式遇 $-b$ 之情況時，僅須將 (29)，(30) 兩式中之 $+b$ 符號改換 $-b$ 符號即可。至取正負之場合，則依各地區之情況擇一定之。

依以上所求得雨量歷線之各基本形式之 (20)，(21)，(22)，(23)，(29)，(30)式，即可算出任意時間中之降雨強度，而欲求降雨量時，若 i 以小時爲單位之強度 (mm/hr)，則僅將上式算出之值乘以 $\frac{1}{60}$ 即可；若 i 係以日雨量爲單位之強度 (mm/hr) 時，則將上式乘以 $\frac{1}{24}$。如此，各連續時間中之降雨量即可求得。

又因在解析流出量時，雨量歷線式之尖峰部降雨量佔有極重要之角色，例如，於計算每單位時間之降雨量時，最初均須先要算出單位時間之尖峰雨量，然後再由再左右兩端順次分割，而一一加以計算，始能統計求其總流出量爲若干？若 r 爲 0.5 時之尖峰雨量，亦即尖峰在中心之狀況時，則取其單位時間 t 之 $\frac{1}{2}$，分前後計算即可；而 r 爲 0.5 以外時，應設其全降雨期爲一單位時間 t，其產生尖峰雨量前部應取之時間爲 t_b，尖峰後部應取之時間爲 t_a，故

$t_b=t\cdot r$，　$t_a=t(1-r)$，　$\therefore t=t_a+t_b$

然後取 t_b, t_a，時間內之雨量予以計算，即得尖峰部雨量，再由此 t_b，ta 時間順次以等間隔向左右分割計算，即可求得降雨開始至終止間全部之雨量組體圖。

〔**例題 1**〕：有一 50 年機率 20 分鐘之雨量歷線式 i_{50} 係由第三型（石黑 type）降雨強度公式 $I_{50}=\frac{1310}{\sqrt{t}+3.3}$ 求得者，設其 $r=0.5$，試計算每隔 20 分鐘降雨量，並繪成雨量組體圖。

〔**解**〕：因雨量歷線式 i_{50} 係由第三型（石黑 type）降雨強度公式 $I_{50}=\frac{1310}{\sqrt{t}+3.3}$ 求得者，其雨量歷線式依 (15) 式可得

$$i_{50}=\frac{1310\{0.5\sqrt{t_b/0.5}+3.3\}}{\{\sqrt{t_b/0.5}+3.3\}^2}$$

$$\text{或 } i_{50}=\frac{1310\{0.5\sqrt{2t}+3.3\}}{\{\sqrt{2t}+3.3\}^2}$$

故代入 (29) 式分別依下列計算之：

① 求算尖峰部雨量，即 $\left(i_{t_{b0}}^{t_{b10}}+i_{t_{a0}}^{t_{a10}}\right)$

由 (29) 式 $i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=a\sqrt{r}\left\{(\sqrt{t_{b2}}-\sqrt{t_{b1}}\right.$

$$\left.+rb^2\left(\frac{1}{\sqrt{t_{b2}}+b\sqrt{r}}-\frac{1}{\sqrt{t_{b1}}+b\sqrt{r}}\right)\right\}$$

式中： $t_{b1}=0$， $t_{b2}=10$， $a=1310$， $b=3.3$
$r=0.5$ 代入上式解之得

$$i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=1692.8\text{mm/hr}$$

$$\therefore\ R_{t_{b0}}^{t_{b10}}=\frac{1692.8}{60}=28.2\text{mm}$$

因 $r=0.5$， 故尖峰部雨量爲 $R_{t_{b0}}^{t_{b10}}$ 之兩倍

即 $R_p=28.2\times2=56.4\text{mm}$

② 求算尖峰前 10 分鐘至 30 分鐘之雨量

$$i_{t_{b10}}^{t_{b30}}=1887.9\text{mm/hr}$$

$$\therefore\ R_{t_{b10}}^{t_{b30}}=31.5\text{mm}$$

以下同理求算之

③ $R_{t_{b30}}^{t_{b50}}=22.8\text{mm}$

④ $R_{t_{b50}}^{t_{b70}}=19.0\text{mm}$

⑤ $R_{t_{b70}}^{t_{b90}}=16.6\text{mm}$

圖八所示卽爲由②，③，④，⑤以尖峰雨量 R_p ①爲中心對稱組合所繪成降雨開始至降雨停止每隔20分鐘降雨量之雨量組體圖，其連續降雨時間爲 180 分鐘。

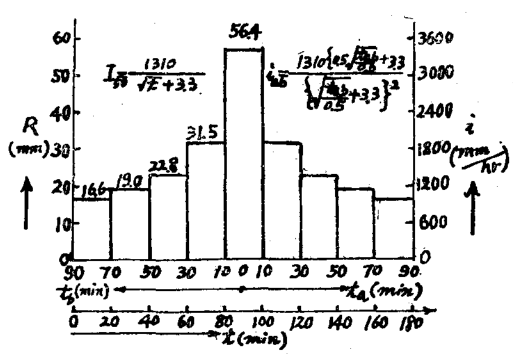


圖　八

〔例題 2〕：試依本省公共工程局都市下水道規劃資料，臺北區五年暴雨之雨量強度公式 (Talbot type) $I_5=\dfrac{8598}{t+48.3}$（摘自臺灣水利氣象與水文專輯 P182），求算該地區 5 年機率 20 分鐘之雨量歷線式 i_5，設其 $r=0.5$，試計算每隔 20 分鐘之降雨量，並繪成雨量組體圖。

〔解〕： 因雨量歷線式 i_5 係由第一型(Talbot type) 降雨強度公式 $I_5=\dfrac{8598}{t+48.30}$ 求得者，其雨量歷線式當可依 (11) 式可得

$$i^5=\frac{414283.4}{\{t_b/0.5+48.3\}^2}$$ 或直接由 (17) 式得

$$i_5=\frac{414283.4}{(2t+48.3)^2}$$

故代入 (20) 式分別依下列計算之：

① 求算尖峰部雨量，卽 $\left(i_{t_{b0}}^{t_{b10}}+i_{t_{a0}}^{t_{a10}}\right)$

由 (20) 式 $$i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=abr^2\left(\frac{1}{t_{b1}+br}-\frac{1}{t_{b2}+br}\right)$$

式中：$t_{b1}=0$， $t_{b2}=10$， $a=8598$， $b=48.30$， $r=0.5$，將之代入上式得

$$i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=1258.85\text{mm/hr}$$

$$\therefore\ R_{t_{b0}}^{t_{b10}}=\frac{1258.85}{60}=20.97\text{mm}$$

因 $r=0.5$，故尖峰部雨量爲 $R_{t_{b0}}^{t_{b10}}$ 之兩倍。

卽 $R_p=20.97\times2=41.94\text{mm}$

② 求算尖峰前 10min 至 30min 之雨量

$$i_{t_{b10}}^{t_{b30}}=1130\text{mm/hr}$$

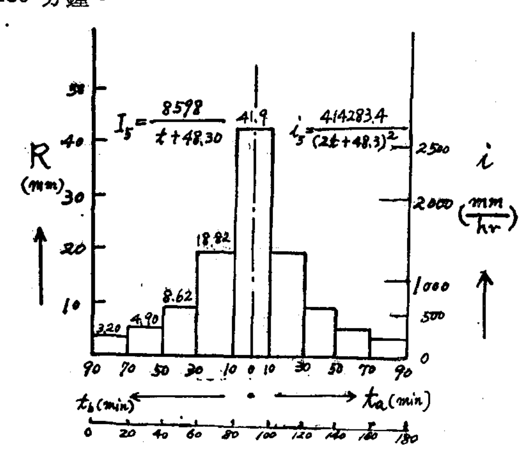
$$\therefore\ R_{t_{b10}}^{t_{b30}}=18.82\text{mm}$$

同理：③ $R_{t_{b30}}^{t_{b50}}=8.62\text{mm}$

④ $R_{t_{b50}}^{t_{b70}}=4.90\text{mm}$

⑤ $R_{t_{b70}}^{t_{b90}}=3.20\text{mm}$

圖九所示卽爲由②，③，④，⑤以尖峰雨量 R_p ①爲中心對稱組合所繪成降雨開始至降雨停止每隔20分鐘短時間降雨量之雨量組體圖。其連續降雨時間爲 180 分鐘。



圖九　臺北區 5 年機率 20 分鐘之雨量組體圖

四、長期間降雨雨量歷線式之計算

對於流域較大的河川洪水流量，自應研究其長期間降雨之雨量歷線式，一般均以日雨量爲單位，再根據以日雨量爲單位的機率降雨公式，求算以日雨量爲單位之雨量歷線式及組體圖。

然於日雨量爲單位之降雨强度最簡單之形式，通常以第一種情形之 Talbot 型即足代表，故爲方便計，在實際計算之場合，以日雨量爲單位之雨量歷線式，均先用特性係數法（Characteristic Method）之式子先予演算記入，俟求得機率降雨公式後，即可求算其相對應之雨量歷線式。即

$$I^{24}_{N} = R^{24}_{N} \cdot \beta_N$$
$$= R^{24}_{N}\left(\frac{a'}{t+b}\right) = \frac{a}{t+b} \cdots\cdots\cdots (31)$$

（請參閱參考文獻 8，張玉田教授著：特性係數推算臺南地區機率降雨公式之研究一文）。

式中，I^{24}_{N} 爲 N 年機率日雨量之降雨公式（mm/24hr），R^{24}_{N} 爲 N 年機率 24 小時之雨量，β_N 爲 N 年機率特性係數。係數 a′, b 可用特性係數計算法求得，很容易的求出如下式，但 t=24時，β_N 爲 1.0。

$$\left.\begin{array}{l} a' = b+24，\quad b = \dfrac{24 - \beta^{t}_{N} \cdot t}{\beta^{t}_{N} - 1} \\[2ex] \beta^{t}_{N} = I^{t}_{N} \Big/ I^{24}_{N}，\beta_N = a' \big/ (t+b) \end{array}\right\} \cdots\cdots (32)$$

$^{t}_{N} = R^{t}_{N} \cdot (24/t)$，$I^{24}_{N} = R^{24}_{N}$，$R^{t}_{N}$ 爲 N 年機率 t 小時之雨量（mm），R^{24}_{N} 爲 N 年機率 24 小時之雨量，β^{24}_{N} 係由 N 年機率 t 小時降雨强度 I^{t}_{N} 與 N 年機率 24 小時降雨强度 I^{24}_{N} 之比求得之特性係數值。

故求得長期間之降雨强度公式後，即按其相關對應之各係數值，與 (31) 式完全相同者，進而依下列推求其對應之雨量歷線計算式。即：

$$i_b = \frac{a \cdot b}{\{(t_b/r)+b\}^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (33)$$

$$i_a = \frac{a \cdot b}{[\{t_a/(1-r)\}+b]^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (34)$$

$$r = \frac{t_b}{t} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (35)$$

式中，i_b 爲尖峰雨量前之雨量歷線式，i_a 爲尖峰雨量後之雨量歷線式，t_b 與 t_a 各爲尖峰前與尖峰後之時間，a，b 爲常數，r 爲一連續降雨中表示尖峰雨量之位置，t_a，t_b 爲以一小時爲單位者，t 則爲全降雨時間。

再由 (20)，(21) 式即可求算任意連續時間中降雨强度之降雨量，唯降雨强度應以日雨量爲單位，即 mm/24hr，其連續時間爲 hr。今舉一例以日雨量爲單位之雨量歷線式計算如下：

〔例題 1〕：臺南地區過去 32 年間，以中央氣象局所觀測之 24 小時及 1 小時之每年最大雨量，作各項機率雨量計算，其值如表所列，試求該地區 100 年機率日雨量之雨量歷線式及組體圖。但 r=0.5 。

N(年)	5	10	20	30	50	100	200
R^{24}_{N}	275	329	380	410	446	496	546
R^{1}_{N}	81	90	98	103	108	115	121
β^{1}_{N}	7.07	6.57	6.19	6.03	5.81	5.56	5.32

（註：資料來源：參考文獻 8）

〔解〕：將 100 年機率之各數值記入，先求得其降雨强度公式

$R^{24}_{100} = I^{24}_{100} = 496$(mm/24hr)

一小時雨量强度 $I^{1}_{100} = R^{1}_{100} \times 24 = 115 \times 24 = 2760$(mm/24hr)

特性係數值 $\beta^{1}_{100} = 5.56$

$$\therefore\ b = \frac{24 - \beta^{1}_{N} \times 1}{\beta^{1}_{N} - 1} = \frac{24 - 5.56 \times 1}{5.56 - 1}$$
$$= 4.0，\quad a' = b+24 = 28.0$$

$$\therefore\ 特性係數式\ \beta_{100} = \frac{a'}{t+b} = \frac{28.0}{t+4.0}$$

$$故機率降雨公式\ I_{100} = R^{24}_{100} \cdot \beta_{100}$$
$$= \frac{496 \times 28}{t + 4.0} = \frac{13888}{t + 4.0}$$

由 (33)，(34)，(35) 式得：

$$\left.\begin{aligned} i_b &= \frac{13888\times 4.0}{\{(t_b/0.5)+4.0\}^2} = \frac{55552}{\{(t_b/0.5)+4.0\}^2} \\ i_a &= \frac{13888\times 4.0}{\{t_a/0.5)+4.0\}^2} = \frac{55552}{\{(t_a/0.5)+4.0\}^2} \end{aligned}\right\}$$

或 $i_{ab} = \dfrac{55552}{(2t+4.0)^2}$

依此 i_b，i_a 之雨量歷線式，即可由 (20)，(21) 式求算降雨開始至降雨終止間每隔一小時之時間雨量。

① 求算 r=0.5 處之尖峰雨量，即 $i_{b0}^{0.5} + i_{b0}^{0.5}$

$$i_{t_{b1}}^{t_{b2}} = abr^2\left(\frac{1}{t_{b1}+br} - \frac{1}{t_{b2}+br}\right)$$

$$= 13888\times 4.0 \times (0.5)^2\left(\frac{1}{0+4.0\times 0.5} - \frac{1}{0.5+4.0\times 0.5}\right) = 1388.8\text{mm/24hr}$$

$$i_{t_a}^{t_{a2}} = a\cdot b(1-r)^2\left\{\frac{1}{t_{a1}+b(1-r)} - \frac{1}{t_{a2}+b(1-r)}\right\} = 1388.8\text{mm/24hr}$$

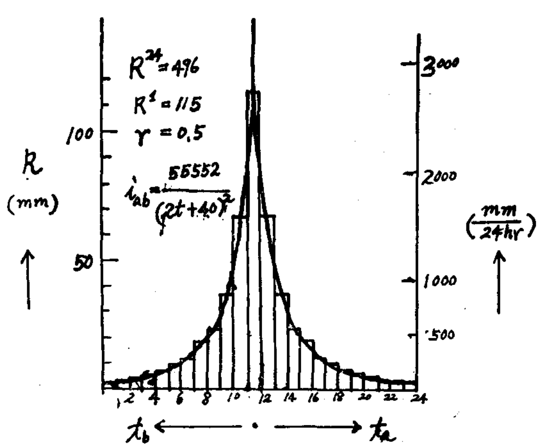
$$i_p = 1388.8 + 1388.8 = 2777.6$$

$$\therefore\ R_p = \frac{2777.6}{24} = 115.7\text{mm}$$

② $i_{t_{b0.5}}^{t_{b1.5}} = 1587.2 \qquad \therefore\ R_{0.5}^{1.5} = 66.13\text{mm}$

③ $i_{t_{a0.5}}^{t_{a1.5}} = 1587.2 \qquad \therefore\ R_{0.5}^{1.5} = 66.13\text{mm}$

以下同樣可算出 t_b，t_a 每隔一小時之雨量，其結果如圖十所示及表二所列：



圖十 臺南地區年機率日雨量之雨量歷線式及組體圖 (r=0.5)

表二 每隔一小時降雨量表

t	R (mm)	t	R (mm)
1	3.40	13	66.13
2	3.80	14	36.75
3	4.70	15	23.40
4	5.80	16	15.84
5	7.12	17	11.70
6	9.04	18	9.04
7	11.70	19	7.12
8	15.84	20	5.80
9	23.40	21	4.70
10	36.75	22	3.80
11	66.13	23	3.40
12	115.70	24	3.00

〔例題 2〕：某市以其過去 43 年間所觀測之每年最大日雨量及每 1 小時時間雨量，實施各項機率雨量計算，所得結果如表所列，試求該市 100 年機率日雨量之雨量歷線式及組體圖。但 r=0.8。（本例重在說明 r 位置值不爲中央情況時之演算應用）。

N(年)	5	10	20	30	50	75	100
R_N^{24}	243.1	302.2	365.4	404.7	456.6	500.1	532.4
R_N^1	63.0	74.4	85.7	92.4	100.9	107.8	112.8
β_N^1	6.2	5.9	5.6	5.5	5.3	5.2	5.1

〔解〕：將 100 年機率之各數值例記，求其降雨強度公式

$$R_{100}^{24} = I_{100}^{24} = 532.4\ ,\quad I_{100}^{1} = R_{100}^{1}\times 24$$

$$= 112.8\times 24 = 2707.2\ ,\quad \beta_{100}^{1} = 5.1$$

$$\therefore\ b = \frac{24 - 5.1\times 1}{5.1\times 1} = 4.6$$

$$a' = b + 24 = 28.6$$

$$\therefore \text{特性係數式}\ \beta_{100} = \frac{a'}{t+b} = \frac{28.6}{t+4.6}$$

故機率日雨量降雨強度式爲 $I_{100} = R_{100}^{24}\cdot\beta_{100}$

$$= \frac{532.4\times 28.6}{t+4.6} = \frac{15227}{t+4.6}$$

$$i_b=\frac{15227\times 4.6}{\{(t_b/0.8)+4.6\}^2}=\frac{70044}{\{(t_b/0.8)+4.6\}^2}$$

$$i_a=\frac{15227\times 4.6}{\{(t_a/0.2)+4.6\}^2}=\frac{70044}{\{(t_a/0.2)+4.6\}^2}$$

依此 i_b，i_a 求算降雨開始至降雨 終止每隔 1 小時之降雨量。

① 求算尖峰部 $r=0.8$ 之雨量，即 $i_{b0}^{0.8}+i_{a0}^{0.2}$

$$i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=abr^2\left(\frac{1}{t_{b1}+br}-\frac{1}{t_{b2}+br}\right)$$

$$=15227\times4.6\times(0.8)^2\ \{1(4.6\times0.8)-1/(0.8+4.6\times0.8)\}\doteqdot2162\text{mm/24hr}$$

$$i_{t_{a1}}^{t_{a2}}=a\cdot b(1-r)^2\left\{\frac{1}{t_{a1}+b(1-r)}-\frac{1}{t_{a2}+b(1-r)}\right\}$$

$$=15227\times4.6\times(0.2)^2\ \{1/(4.6\times0.2)-1/(0.2+4.6\times0.2)\}\doteqdot545\text{mm/24hr}$$

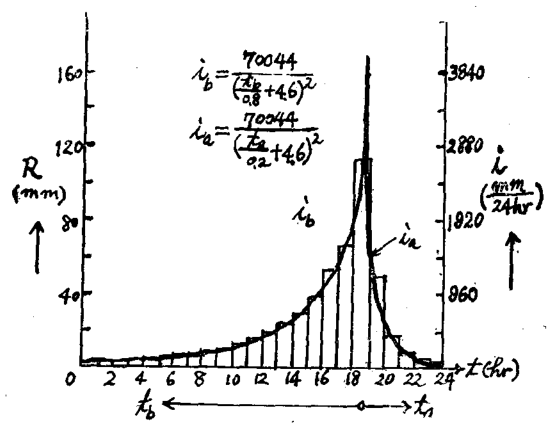
$\therefore\ i_p=2162+545=2707$，

$\therefore\ R_p=2707/24=112.8\text{mm}$

② $i_{t_{b0.8}}^{t_{a1.8}}=1826$ $\qquad\therefore\ R_{0.8}^{1.8}=76.1\text{mm}$

③ $i_{t_{a0.2}}^{t_{a1.2}}=1180.8$ $\qquad\therefore\ R_{0.2}^{1.2}=49.2\text{mm}$

同理可推算出 t_b，t_a 每隔 1 小時之雨量，其結果如圖十一及表三所列：



圖十一 機率 100 年日雨量之雨量歷線式及組體 ($r=0.8$)

表三 每隔一小時之雨量表

t	R (mm)	t	R (mm)
1	3.9	13	18.8
2	4.3	14	23.3
3	4.7	15	29.5
4	5.2	16	38.5
5	5.8	17	52.8
6	6.5	18	76.1
7	7.4	19	112.8
8	8.4	20	49.2
9	9.6	21	17.7
10	11.1	22	9.1
11	13.1	23	5.6
12	15.5	24	3.7

五、本省暴雨災害時之雨量歷線式及設計雨量歷線式

今利用本省近年來較著名颱風災害之時間雨量記錄資料，求算其以日雨量爲單位之雨量歷線式，並藉此檢討本省暴雨災害時之降雨特性。

〔例一〕：1956年 7 月 31 日，石門水庫壩址萬達颱風，降雨實測記錄爲 31 日上午 9 時至 8 月 1 日上午 8 時止之雨量如后：6.58 (mm)，13.64，17.38，14.05，15.35，18.50，20.30，24.20，28.00，26.10，37.90，28.00，32.00，26.00，34.00，28.00，26.00，27.00，22.00，21.00，18.00，15.00，18.00，14.00，試根據此項記錄算出該日之雨量歷線式（即該次暴雨之雨量歷線式），並藉此推算其每隔 1 小時之雨量而與實測值比較之。

〔解〕：24小時之雨量總和，即此暴雨之日雨量 $R^{24}=531$ mm

最大時間雨量（即記錄最高者）爲 $R^1=37.90$mm

此尖峰雨量係第 11 個時間發生，$\therefore\ r=11/24\doteqdot0.5$

由 (31)，(32) 式知，$I^1=37.9\times24=909.6$，

$I^{24}=531$，$\beta_N^1=I^1/I^{24}=909.6/531=1.7$，

$$b=\frac{24-\beta_N^1\times t}{\beta_N^1-1}=\frac{24-1.7\times1}{1.7-1}=32,$$

$a'=b+24=56$，$\beta_N=\dfrac{56}{t+32}$，

故求得日雨量單位之機率降雨公式

$$I_N^{24}=R_N^{24}\cdot\beta_N=\frac{531\times56}{t+32}=\frac{29736}{t+32}$$

故雨量歷線式，由 (33)，(34)，式可知爲

$$\left.\begin{aligned}i_b&=\frac{29736\times32}{\{(t_b/0.5)+32\}^2}=\frac{951552}{\{(t_b/0.5)+32]^2}\\ i_a&=\frac{29732\times32}{((t_a/0.5)+32\}^2}=\frac{951552}{\{(t_a/0.5)+32\}^2}\end{aligned}\right\}$$

或依 (17) 式 $\quad i_{ab}=\dfrac{951552}{(2t+32)^2}$

① 求尖峰部 $r=0,5$ （即 $i_{b0}^{0.5}+i_{a0}^{0.5}$ ）之雨量：

即代入 (20)，(21) 式得 $i_{t_{b1}}^{t_{b2}}=451mm$,

$i_{t_{a1}}^{t_{a2}}=451mm$

∴ $i_p=451+451=902mm$

與 $R_p=\frac{902}{24}=37.6\,mm$……… 故此與實測記錄 37.9mm 相差甚微，O. K

以下類推，可算出 t_b，ta 每隔 1 小時之雨量，其結果與實測值甚為接近，如圖十二所示，圖中柱狀體為實測值，實曲線則係上式計算所得之雨量歷線式。

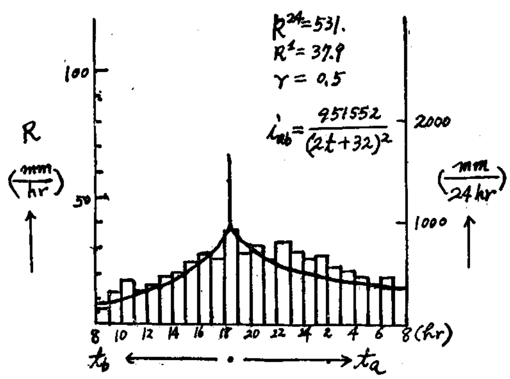


圖 十 二

〔例二〕 1959年「八七」水災暴雨，根據臺中測候所觀測 8 月 8 日之雨量，自 8 日上午 1 時至晚間 24時止之記錄為，48.4 (mm)，51.7，29.1，30.9，42.4，76.0，87.1，29.2，26.3，88.0，19.5，26.8，21.2，6.8，5.1，4.3，6.5，9.0，4.2，4.1，5.1，3.5，3.3，1.7。其所算出之雨量式如圖十三所示，經檢算其尖峰雨量完全吻合。（計算經過同前，略）

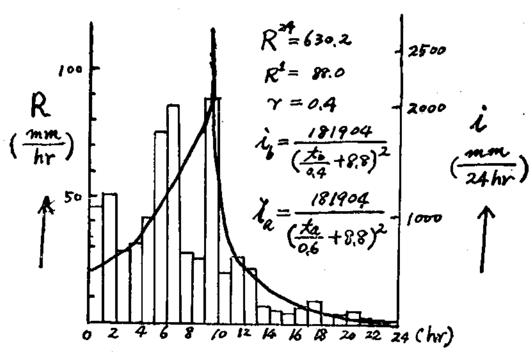


圖 十 三

〔例三〕 1967年 11 月 17 日吉達颱風，大甲溪達見流域所測平均每小時雨量記錄，自 17 日午後 7 時至 18 日午後 6 時止共 24 小時之每小時降雨量依次為 2.50(mm)，2.49，2.60，4.67，6.94，6.99，6.79，7.90，6.11，10.3，54.5，65.3，75.2，65.70，48.55，18.26，14.28，15.67，12.83，6.95，5.34，5.76，1.15，1.29。其所算出之雨量歷線式結果如圖十四所示，

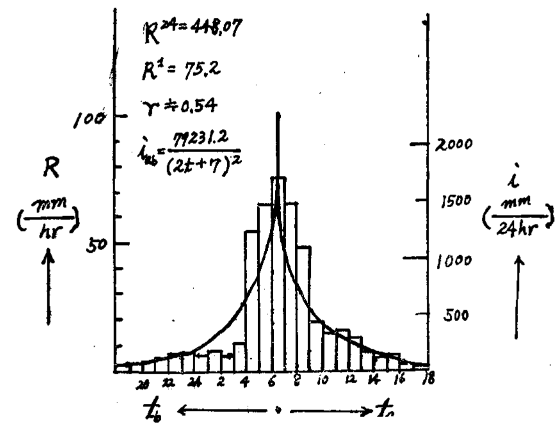


圖 十 四

〔例四〕 1910年 9 月 4 日臺南雨量站最大時間雨量記錄自上午 1 時至 24 時止依次為：7.5(mm)，4.3，11.8，8.0，9.1，12.4，10.4，6.4，10.2，28.7，12.5，3.2，11.2，5.0，12.5，20.0，20.0，18.5，14.2，23.5，8.7，13.8，12.8，20.5。其所算出之結果如圖十五所示。

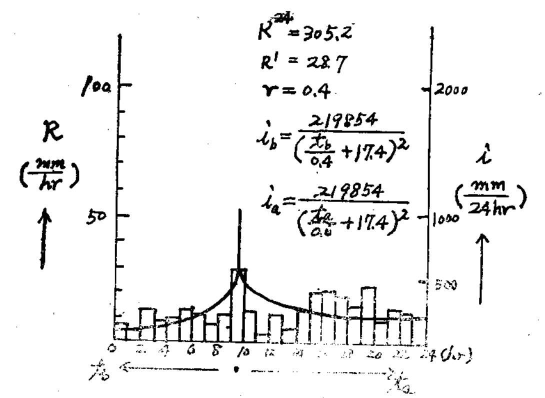


圖 十 五

〔例五〕 1970年 8 月 4 日淡水河流域實測小時平均雨量記錄，自 4 日 16 時至 5 日 12 時止依次為 0.8 (mm)，0，0，3.1，1.5，2.7，2.1，6.7，17.4，

29.1，22.0，27.0，25.4，17.8，17.5，21.3，10.7，1.5，2.4，0 2，0.1。其所算出之結果如圖十六所示。

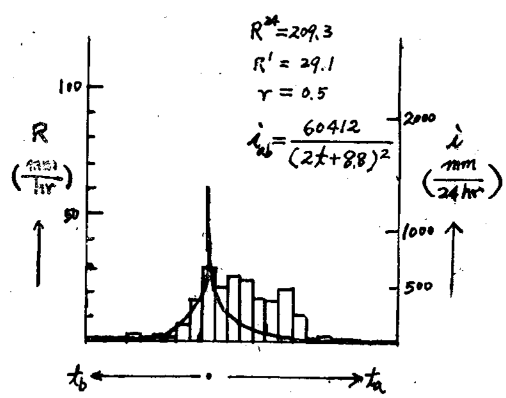


圖 十 六

綜合以上計算實例，無非係由每小時之實測雨量記錄，按其日雨量 R^{24}，最大時間雨量 R^{1} 及發生尖峰雨量位置 r 三者，即可算出雨量歷線式，且以此式所算之雨量與實測值比較之結果，其適合程度頗為良好接近。尤以普通雨量站僅測全日雨量，但本省各河川流域面積不大，且影響發生最大洪水量之降雨時間極短，很難求出實際影響洪水量之降雨量，此在檢討使用合理式求算洪水流量時，甚為顯著；然若以雨量歷線式法，則不難預推各地區暴雨洪水之降雨情形，其應用價值當由此可見一斑。

六、檢 討 及 結 論

(一) 檢　討

(1)由前述各項內有關本省雨量之示例及本省一連串暴雨降雨示例中，統計其尖峰部雨量發生之位置，大約均在 0.4～0.5 間，此一事實告知吾人本省近年降雨發生水害係集中於全降雨期之中間或稍前點，此亦即暴雨尖峰雨量集中之位置；且由此雨量歷線式之計算方法亦可說明流出現象，可迅速而明確地表示出任意雨量之降雨剩餘之霍頓氏（Horton's）滲透能（Infiltration Capacity）之一般概要，又能考慮洪水期間中流出率之增大等重要特性，均以使用雨量歷線式為便。

(2)由各豪雨示例比較，豪雨較易發生於臺灣中部，為量亦大，故尖峰雨量愈高，主要原因乃係由於溫暖重濕而不穩定之空氣，進入輻合作用最強且有助於氣流阻塞與抬升之中部地區有以致之。

(3)在本省使用降雨量求算計劃洪水流量時，一般採用之合理式法及單位流量過程線（unithydrograph）法，僅能求算以一小時為單位之最小實測時間雨量，然若以雨量歷線式求算任意時間中之降雨量之方式，則對其他 30 分鐘或 90 分鐘等之任何時間雨量，亦可迎刃而解。

(4)在檢討小流域排水計劃之短時間降雨，若遇上無降雨資料獲得之情況時，一般之 r 值則取 0.5 較為適當，且計算起來亦較簡單而又方便。由此可知，最好能建立各地區之雨量歷線式。

(5)在排水設計時，除雨量特性外，應計及當地地形特性之影響並加鑑定之。

(6)雖然在某一實際降雨情形中，有同一日雨量與同一尖峰時間雨量時，但其尖峰部位置發生在後半部時，其流出量之洪峰將亦隨之增大，故此時之降雨將形成危險之降雨形態。

(7)在流達時間不長之中小河川，若不使用他法，而使用以日雨量為單位之雨量歷線式，由降雨開始之降雨量順次算出總雨量，再減去各種損失雨量（water losses），即為有效雨量（effective rainfall），而以此實施之出水解析亦可較為適當。

(8)在本省遇有集中暴雨之災害，如颱風期內之雨量，流至都市之場合時，其下水道之計劃及市內中小河川之流出量解析時，應將長期間降雨之尖峰段取出，設為短時間之降雨型態作為模型，而其最危險之狀態仍取在 r=0.4～0.5 為宜。蓋因本省河流坡度流急，且雨量集中，不論在任何地區，由此一 r 值即可反映出逕流之危害極其顯明且甚迅速。

(9)綜合本省暴雨常發生於夏季，若要明瞭某一區域性之降雨型態在記錄上發現有失常情形，應根據雨量歷線式詳細檢討其觀測值是否有誤。按前述實例益可證實本省河流短促而彎曲之一雨成災，每易山洪暴發，其勢驚人，於防洪工程上不可不慎。

(二) 結　論

(1)計算機率雨量歷線式時，按計劃降雨之機率年，以其同一機率年之日雨量與時間雨量值，由(31)～(32)式之特性係數法，先求其機率降雨強雨公式，再按(11)～(16)式即可求得雨量歷線式。

(2)選用某地區之以往降雨型態時，須先確定其 r 值後，始能求算其雨量分佈。

(3)由前述之暴雨實例演算，可知 b 值愈小，其尖峰部之時間雨量愈大。

(4)在全降雨連續時間中，利用本文計算降雨強度

時，應視各種計劃規模大小，算出多種機率年別之降雨强度公式，選用其對應之最佳形式加以比較檢討爲之，方合經濟原則。

(5)時間雨量單位若以 3 小時之雨量計算者，亦可使用(31)，(32)式計算，唯以 t=3 代之卽可。

(6)本文之雨量歷線式分析僅選代表性地區檢討，若能配合全省雨量資料，建立整套之雨量歷線式資料，當更具實用價值。若於降雨資料無法取得時，更可利用該項整套之全省機率年別日雨量分布圖及每小時特性係數分布圖推求之。

七、參考文獻

(1)徐世大等著：實用水文學，東華書局，民國 59年版。(1970).

(2)宋希尙：水文學，商務印書館，民國 60 年9月版。(1971).

(3)姜承吾：水文學，民國 55 年版。(1966).

(4)石橋豐等：農業水文，昭和 44 年。(1969).

(5)金子良：農業水文學，土木雜誌社。(1962).

(6)川烟幸夫：水文氣象學。(1961).

(7)岩井重久等：應用水文統計學，森北出版株式會社，昭和 47 年。(1972).

(8)張玉田：特性係數推算臺南地區機率降雨公式之研究，臺灣水利季刋 21 卷1期。(1973).

(9)水新猷：應用單位流量過程線演算溢洪壩最大設計洪水量，臺灣水利7卷3期抽印本。

(10)李濤白：降雨入滲量之推定及流量過程線之分析，臺灣水利 10 卷5期。

(11)V. T. Chow: Handbook of Applied Hydrology (1969年翻版)。

(12)Linsley: Water Resources Engineering (1963).

(13)Johnstone: Elements of Applied Hydrology (1949).

(14)U. S. B. R : Unitgraph Procedures, (1965).

(15)C. J.Wiesner: Hydrometeorology (1970).

(16)臺灣省降水記錄：經濟部水資源統一規劃委員會出版。

(17)臺灣水利氣象與水文專輯：臺灣水利出版委員會出版。