

# 雨水貯留利用之基本設計理念

羅慶瑞

台灣省水利技師公會 監事

亞洲理工學院 工學博士

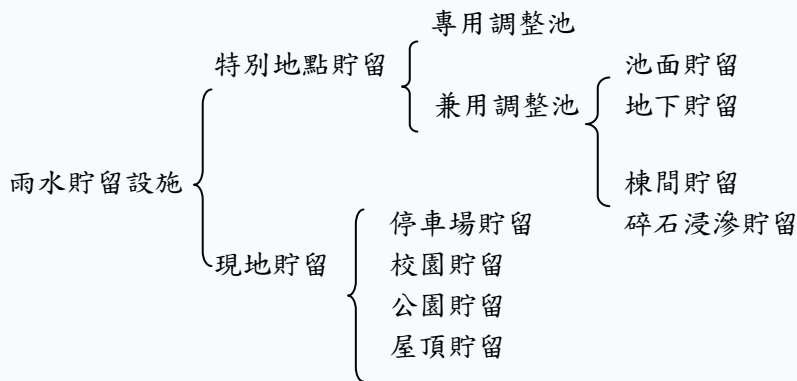
亞太工程師 國際工程師

## 一. 介紹:

由於台灣地區集水區之陡峭，流短而急，再加上其複雜的地質，開發一集水區間之任何行為，均將花費極大之成本，再加上高度開發之結果，使住宅區與集水區間也失去了防災的緩衝區，因此，如何加強地表保護、地下水涵養及建立防災與預警系統便成了重要的工作。地面水的收支平衡，地下水補注與及地下水文的研究應是解決之道。

由於都市化的來到，地表之不透水性，使得雨水入滲減少，地表逕流加大，而且地表特性改變，集流時間縮短，集水區之水害將下移到都會區，因而都會區之防災尤其防止水患，已成刻不容緩之工作。而運用公共空間來貯留雨水，達到分洪減洪之規劃設計工作也因此因應而生。如何利用棟間之空間，綠化公園、停車場，及低床花壇來作為調整池兼作貯雨池，以達到貯雨分減洪之功能，將是本章之主要宗旨。

## 二. 雨水貯留之方式與貯存地點分類:

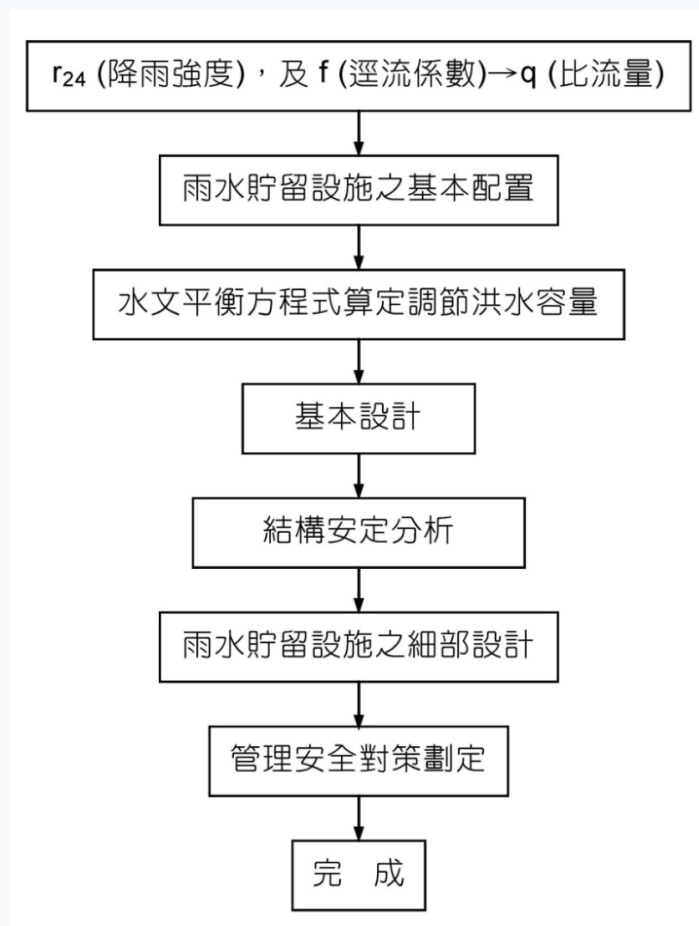


而有關規模大小及地點與方式之選定，則須經過水文與水理方面之推演才可定案。

## 三. 雨水貯留設施之設計步驟:

雨水貯留用在減洪與滯洪或甚至雜用水時，均有其要確定之因素，及安全性之考量，而且其經濟規模常與選定之水文事件標準有極大之關係。例如：用在生活雜用水時，其目的在於減少缺水風險及降低缺水損失亦縮短缺水期間，因此，其設計規模將會與需水量及平均降雨有極大的相關，一年中小

於平均降雨之日數有多少天，便決定了風險大小，而水文特性又決定了貯雨方式係“有多少蓄多少”或“邊蓄邊用”之理念。由於在台灣南部降雨日數少，故其收集雨水方式應是盡量全部蓄存，因此，其設計容量必大，成本亦高，但因台灣的工業區多在南部，似乎此一方式不可避免，幸好，工業區有許多樓板可以作為集水面積，又有許多空地可以作為貯留雨水之貯水槽，因此，善用雨水便為一可省去缺水之苦，也獲得不少的利益，事實上，以十年為一期，其成本必可回收。而且此一種大容量之設計，也可貯存洪水，以收滯洪、減洪之功效。而本省北部因有東北季風之作用，雨量較平均，因此其缺水日數較少，可以考量“邊蓄邊用”之方式，但又恐秋颱作祟，似乎較大容量之貯存空間也有其思考之必要；尤其北部地區高度開發，地表特性更迭，滲透能力降低，逕流量加大，因此，以比流量方式進行總量管制及貯留雨水之指標的理念，應是當務之急。以全集水區之比流量來進行規劃控制總量指標，則可以防止各案之總合排水量太大，使河川排洪能力得以確保，亦可將此指標用在決定貯留雨量之大小與容量，如此才可收分洪與減洪之成效，減少洪災之損失。有關設計之基本步驟如下之流程圖：



圖一 設計之基本步驟之流程圖

在步驟一中，最主要的是定出降雨強度  $I$  (mm/hr) 及  $f$  (降雨量與地表逕流之比值) 兩者，若能決定則集水區之比流量 便可確定，式中  $Q$  為流量 (c.m.s) 而  $A$  為集水面積 (km<sup>2</sup>)。一般常用降雨強度公式有 Honor 公式及物部公式如下：

$$\text{Honor} : r = \frac{A}{(T_c + B)^n}$$

$$\text{物部} : r_{24} = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c}\right)^{C^*} = C_r \cdot R_{24}$$

然而在降雨強度中，最基本之因素為集流時間  $T_c$ ， $T_c$  一定要以一個流域之角度來定，而不可以流域中之一小塊面積自己去定，再總加起來，因為這樣作，其  $T_c$  變小， $r$  變大，則  $q$  不合理，當然  $Q$  亦變大，試想，如此大的流量往下排，是否是集水區域之特性表象，又是否可以完全排入下游河道中？無怪乎，以流域之比流量  $q(\text{cms}/\text{km}^2)$  作為控制之總量管制指標是有其必要的。因為，惟有如此，全區之排出水量才得以控制，也才能由下游河川容納，排放出海，而比  $q$  大之量，便是要暫貯之量，以便能滯洪及減洪，這便是作為貯雨防洪之基本觀念。此外，逕流係數  $f$  一般亦可用  $f = 1 - \frac{k}{R_{24}^{1/2}}$  來表示，其中  $R_{24}$  表示一日暴雨量（相對應之頻率年代表值），而  $k$  為一待定常數。當然，在前式 Honor 式中亦有  $A$ 、 $B$  及  $n$  之待定數存在，不過 Honor 式中，也已依頻率降雨強度予以迴歸出各值。在台灣各河川之測站，也均已有了此一公式可供應用，極為方便。

在上式中  $k=5.65$  是日本用在普通河川者，其他亦有常數值可供參考，此不贅述，最重要的是，在台灣，我們要建立出自己一套可用公式才是。

步驟三中，有關水文平衡方程式，是一種常用於推求貯蓄體積之公式，其式為：

$$\left(\frac{I_n + I_{n+1}}{2}\right)\Delta t - \left(\frac{O_n + O_{n+1}}{2}\right)\Delta t = V_{n+1} - V_n$$

$$\text{或由} : \bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

一般常用之方式有 Pulse 法、工作係數法及馬斯金甘法。Pulse 法要有  $V - O$ 、 $(V + \frac{1}{2}\Delta t \cdot O) \sim O$  及  $(V - \frac{1}{2}O\Delta t) \sim O$  之曲線組，而且要由等高線圖建立出高程～集水面積～集水體積之曲線，以供使用。而出口處之形狀與位置也將決定出流歷線線  $O$  之大小與時間，因此，滯洪之分析與設計決非一個簡單公式便可說明。此外，馬斯金甘之公式，其待定之值有時間因素  $K$  及入出流權重  $X$ ；而且有下列之關係式之限制：

$$0 \leq x \leq \frac{1}{2}, \text{ 且 } 2kx \leq \Delta t \leq 2k(1-x)$$

其中  $\Delta t$  即表示待分析之時段，可為  $1^{\text{hr}}$ ， $2^{\text{hr}}$ ， $3^{\text{hr}}$ ，…… $K$  與  $X$  可以由以往資料予以求出，但需反覆試算，而也可由資料運用統計方式，一次算出，何種方法方便，端視個人之習慣。在馬斯金甘公式中，其中出流歷線公式如下：

$$O_{n+1} = C_0 I_{n+1} + C_1 I_n + C_2 O_n$$

$$C_0 = \frac{\frac{1}{2}\Delta t - kx}{k(1-x) + \frac{1}{2}\Delta t} ; C_1 = \frac{\frac{1}{2}\Delta t + kx}{k(1-x) + \frac{1}{2}\Delta t} ; C_2 = \frac{k(1-x) - \frac{1}{2}\Delta t}{k(1-x) + \frac{1}{2}\Delta t}$$

且  $C_0 + C_1 + C_2 = 1$

若定  $K$  與  $X$ ，而且有入流歷線  $I$ ，則只要定一個出流起始值  $O_1$ ，便可算出相對之出流歷線分佈圖  $O(t)$ 。

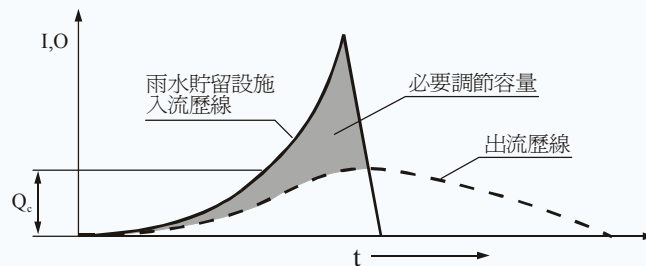
由步驟一～步驟三，便可決定基本設計，並核算安定性，再進一步作有關之放流孔、側溝、出水高等之細部設計與及相對應之安全管理對策及組織。

#### 四. 雨水貯留或洪水調節設施之基本算例:

(一) 需要條件:

1. 頻率降雨強度公式：Honor 式或物部氏公式均可。
2. 降雨雨型分佈圖：可配合單位歷線求取合成之流量歷線。
3. 流域之逕流係數：可由  $R_{24}$  求出
4. 組成流域之可放流比流量： $q(\text{cms}/\text{km}^2)$ ，此值係相對應於所取頻率之降雨強度公式值與相對應頻率之  $R_{24}$  所求出之逕流係數之組合值，可用於總量管制。

(二) 用貯蓄公式（水文平衡方程式）推求其有關之出流歷線及蓄水容量大小，如下圖所示：



圖二 雨水貯留設施推求基本圖

運用  $\bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt}$  知：

$$\bar{I}(t) : \text{表示入流歷線} = \frac{1}{2}(I_1 + I_2)$$

$$\bar{O}(t) : \text{表示出流歷線} = \frac{1}{2}(O_1 + O_2)$$

或用：

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t = (V_2 - V_1) + \frac{1}{2}(O_1 + O_2)\Delta t$$

## §學術天地§

雨水貯留利用之基本設計理念

$$\text{令 } \phi = \frac{V}{\Delta t} + \frac{1}{2}O ; \varphi = \frac{V}{\Delta t} - \frac{1}{2}O$$

$$\text{因此： } \phi_1 = \frac{1}{2}(I_0 + I_1) + \varphi_0$$

$$\phi_{n+1} = \frac{1}{2}(I_n + I_{n+1}) + \varphi_n$$

$$n=1, 2, 3, \dots$$

當  $\Delta t$  為一定時，則可由貯雨深度  $H$  (由  $V$  除以貯雨池底面積即得) 與  $\phi$ ， $\varphi$  分別建立相關之圖形。有關水文平衡方程式推算流程圖請看下圖三。

例如： $A_c$  = 集水面積 = 19.8 公頃

$$r_t = \frac{1355}{t_c^{2/3} + 6.63}$$

$$q = 3 \text{ cms/km}^2$$

$$\therefore Q_c = q \cdot A = 0.61 \text{ cms} \quad f = 0.90$$

降雨延時為 24 小時

1. 先定  $t_c$  值為何？(若令  $t_c = 60 \text{ min}$ )
2. 求出入流值為何？
3. 建立  $H$ 、 $\phi$ 、 $\varphi$  相關圖。
4. 計算  $H$ (即  $V$ )值

$$Q_1 = \frac{1}{1,000} \times f \times r \times A = \frac{1}{1,000} \times 0.9 \times r \times 198,000 = 178.2r (\text{m}^3/\text{hr})$$

調整池流出量  $Q_0$  計算如下：

$$Q_0 = C \times a \times \sqrt{2gH}$$

$Q_0$  : 調整池流出量 ( $0.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ )

$g$  : 重力加速度 ( $9.8 \text{ m/sec}^2$ )

$C$  : 出流孔形狀係數 (0.60)

$H$  : 水面到孔口中心之距離 (4.2m)

$a$  : 流出斷面積 ( $\text{m}^2$ )

斷面之計算

$$a = \frac{Q_2}{0.6 \times \sqrt{2gH}} = \frac{0.61}{0.6 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 4.2}} = 0.1112 \text{ m}^2$$

正方形斷面邊長  $D = \sqrt{a} = \sqrt{0.1112} = 0.333 \text{ m}$  取  $D = 0.34 \text{ m}$

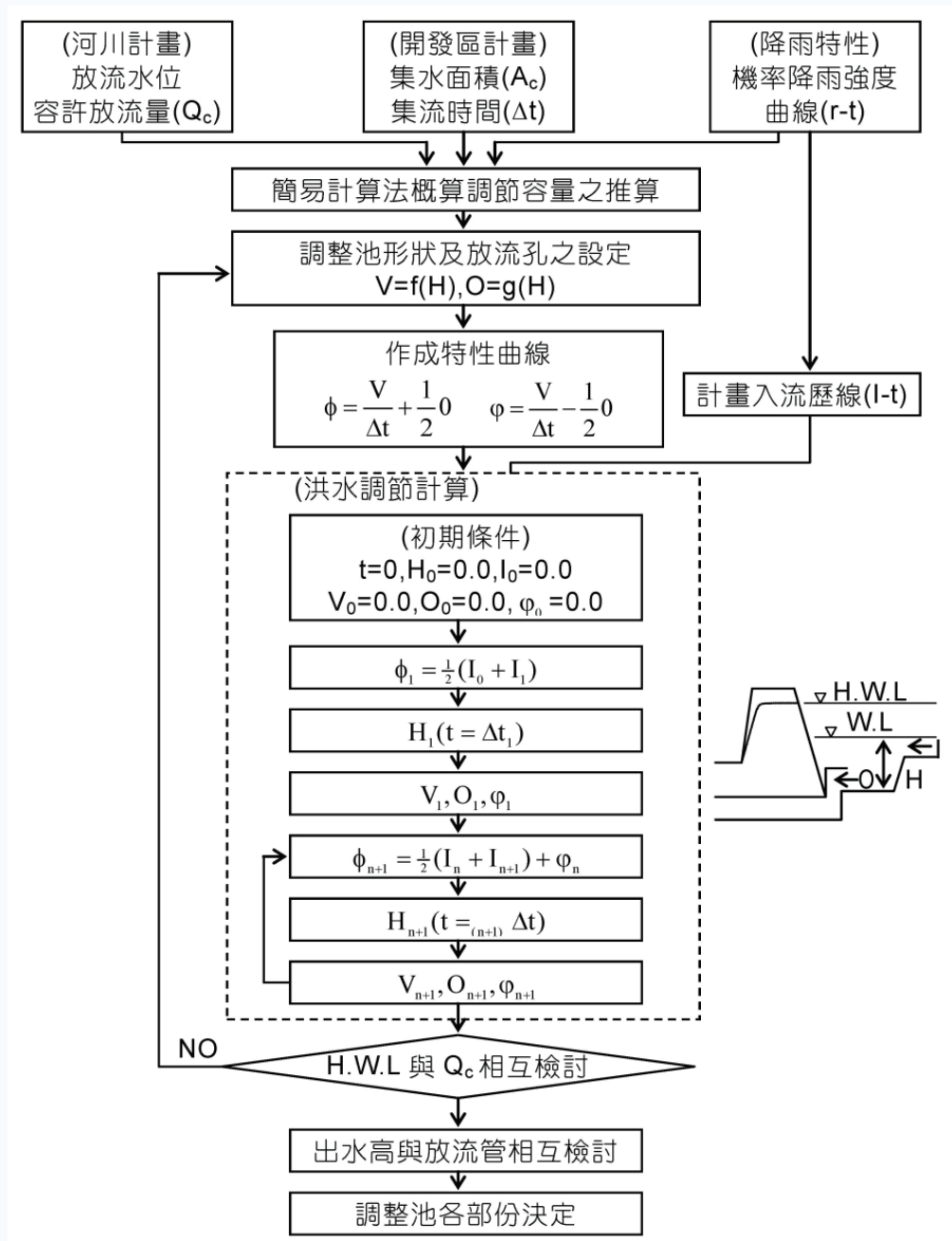
每小時流出量  $Q_0$  與水深  $H$  之關係

$$Q_0 = C \times a \times \sqrt{2gH} \times 3,600 = 0.6 \times 0.34 \times 0.34 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times H} \times 3,600 = 1105.45H^{1/2}$$

容量 V 與水興 H 之關係

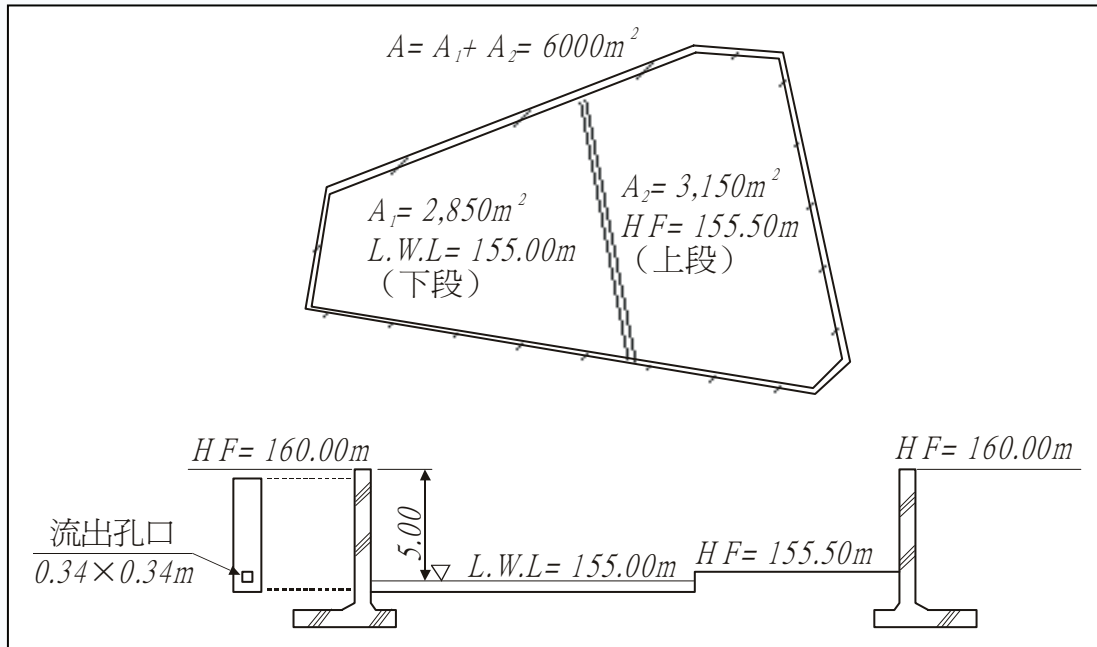
$$0 < H \leq 0.5\text{m} \quad , \quad V = 2,850H$$

$$H > 0.5\text{m} \quad , \quad V = 6,000(H - 0.5) + 1,425$$



圖三 水文平衡方程式推算流程圖

調整池形狀見圖四。每小時降雨量見表一，降雨雨型見圖五。 $\phi, \phi \sim H$ 之計算表見表二及表三， $\phi, \phi \sim H$ 曲線見圖六、圖七。貯留追跡計算結果見表四。計算之順序始於每小時降雨量圖五之降雨雨型之設定。



圖四 調整池型狀圖

表一 每小時降雨量  $r_1 = \frac{1,355}{T^{2/3} + 0.63}$

時間		$r_1$ (mm/hr)	rxt	每小時降雨量(mm)
Hr	min			
1	60	61.714	61.714	61.714
2	120	43.768	87.536	25.822
3	180	35.186	105.558	18.022
4	240	29.945	119.780	14.222
5	300	26.339	131.695	11.915
6	360	23.674	142.044	10.349
7	420	21.606	151.242	9.198
8	480	19.946	159.568	8.326
9	540	18.576	167.184	7.616
10	600	17.424	174.240	7.056
11	660	16.437	180.807	6.567
12	720	15.582	186.984	6.177
13	780	14.830	192.790	5.806
14	840	14.165	198.310	5.520
15	900	13.571	203.565	5.255
16	960	13.036	208.576	5.011
17	1,020	12.551	213.367	4.791
18	1,086	12.110	217.980	4.613
19	1,140	11.705	222.395	4.415
20	1,200	11.334	226.680	4.285
21	1,260	10.991	230.811	4.131
22	1,320	10.672	234.784	3.973
23	1,380	10.377	238.671	3.887
24	1,440	10.101	242.424	3.753
				242.424

每小時降雨量  $r$  推求；流入量  $I$  值計算； $\frac{1}{2}(I_n + I_{n+1})$  計算值；令初期條件 ( $t=0$  ,  $H_0=0$  ,  $I_0=0$  ,  $V_0=0$  ,  $O_0=0$  ,  $\phi_0=0$  ) ；且  $T=0$  ,  $\phi_0=0$  。

$$\phi_1 = \frac{1}{2}(I_0 + I_1) + \phi_0 = \frac{1}{2}(I_0 + I_1)。$$

由  $\phi_1$  求  $H_1$  見圖六、圖七  $\phi \sim H$  曲線建立；放流量  $O_1$  之決定及貯留量  $V_1$  由  $\sim$  求得。調整池容量是中  $V$  之累計值。

表四中，設計調整池容量是中  $\Sigma V$  之最大值，即  $T=24$  小時之  $20,533\text{m}^3$ ，最大放流量是中  $O$  之最大值  $2,154 \text{m}^3/\text{hr}$  ( $0.598 \text{m}^3/\text{sec}$ )，小於容許放流量

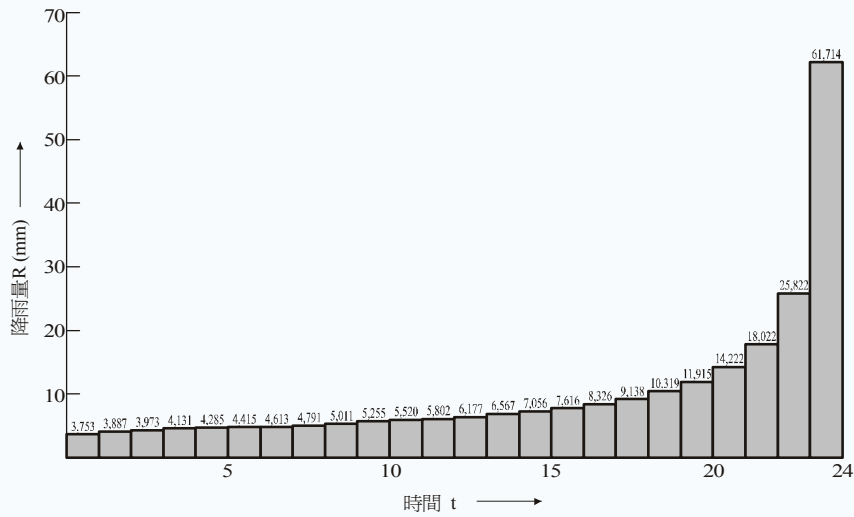
表二  $\phi, \varphi \sim H$  計算表

	水深 H(m)	調整池容量 V(m <sup>3</sup> )	$Q_0/2$	$\phi = V + Q_0/2$	$\varphi = V - Q_0/2$
$Q_0=1, 105.45H^{1/2}$ $V=2, 850H(0 < H \leq 0.5)$ $V=6, 000(H-0.05)+1, 425(0.5 < H)$	0.02	57	78	135	—
	0.04	114	111	225	3
	0.06	171	135	306	36
	0.08	228	156	384	72
	0.10	285	175	460	110
	0.13	371	199	570	172
	0.16	456	221	677	235
	0.19	542	241	783	301
	0.22	627	259	886	368
	0.25	713	276	989	437
	0.28	798	292	1,090	506
	0.31	884	308	1,192	576
	0.34	969	322	1,291	647
	0.37	1,055	336	1,391	719
	0.40	1,140	350	1,490	790
	0.50	1,425	391	1,816	1,034
0.60	2,025	428	2,453	1,597	
0.70	2,625	462	3,087	2,163	

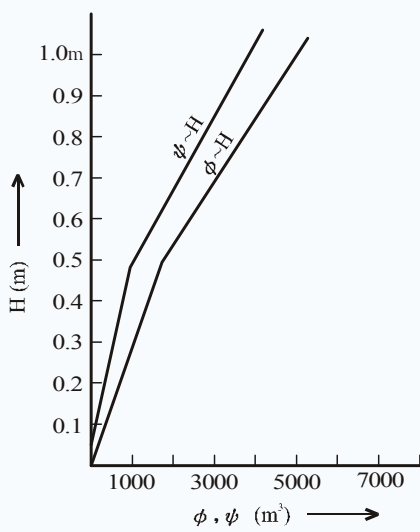
表三  $\phi, \varphi \sim H$  計算表

	水深 H(m)	調整池容量 V(m <sup>3</sup> )	$Q_0/2$	$\phi = V + Q_0/2$	$\varphi = V - Q_0/2$
$Q_0=1, 105.45H^{1/2}$ $V=2, 850H(0 < H \leq 0.5)$ $V=6, 000(H-0.05)+1, 425(0.5 < H)$	0.10	285	175	460	110
	0.30	855	303	1,158	552
	0.50	1,425	391	1,816	1,034
	0.80	3,225	494	3,719	2,731
	1.00	4,425	553	4,978	3,872
	1.20	5,625	605	6,230	5,020
	1.40	6,825	654	7,479	6,171
	1.60	8,025	699	8,724	7,326
	1.80	9,225	742	9,967	8,483
	2.00	10,425	782	11,207	9,643
	2.20	11,625	820	12,445	10,805
	2.40	12,825	856	13,681	11,969
	2.60	14,025	891	14,916	13,134
	2.80	15,225	925	16,150	14,300
	3.00	16,425	957	17,382	15,468
	3.50	19,425	1,034	20,459	18,391
	4.00	22,425	1,105	23,530	21,320
	0.51	1,485	395	1,880	1,090
0.55	1,725	410	2,135	1,315	

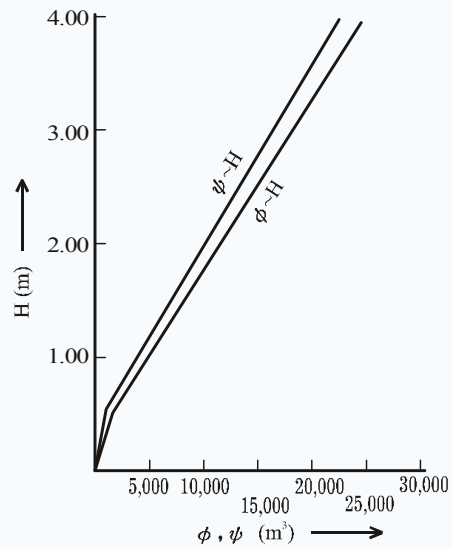




圖五 雨型圖



圖六  $\psi, \phi \sim H$  曲線



圖七  $\psi, \phi \sim H$  曲線

$Q_c=0.61 \text{ m}^3/\text{sec}$ 。最大水深為 3.80m，亦在設定 4.2m 以下，均滿足所有條件。圖八是各小時中之流入量(I)、流出量(O)、貯留量( $\Sigma V$ )的變化情形。

## 五. 結論

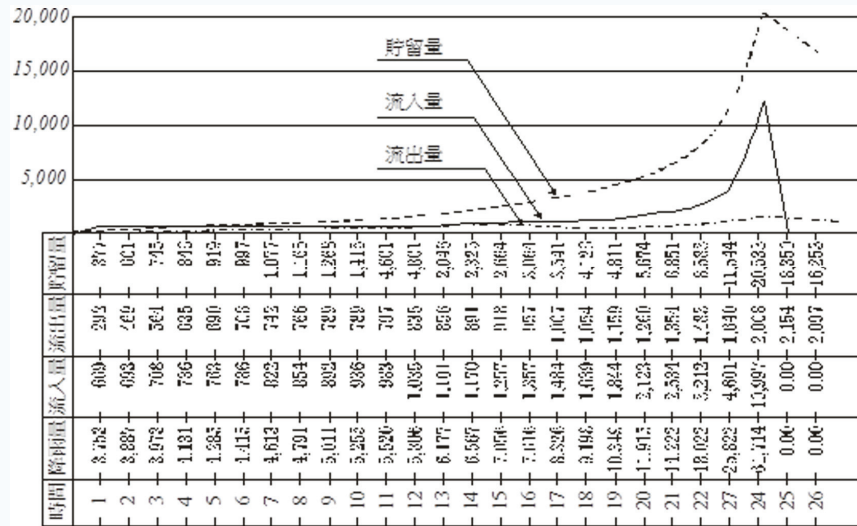
“雨水貯留”在台灣這個水文、地質與地形均是特殊的島嶼，是一個必需具有的設備。水庫是一種救窮的長期供水泉源，但是雨水貯留卻是一個救急及減少缺水風險，並可替代水庫部份功能之最佳設施，兩者可說是相輔相承。

常有人提及：

- 一. 雨水貯留可否取代水庫？
- 二. 在台灣，雨水貯留與利用在現今的社會價值觀及文化背景上；其可行性為何？

**表四 貯留追蹤計算表**

T(hr)	r(mm/hr)	178.2r In(m <sup>3</sup> )	$\frac{1}{2}(I_n + I_{n+1})$	H(m)	$\Phi$ (m <sup>3</sup> )	$\Phi = \frac{1}{2}(I_n + I_{n+1}) + \Phi_n$	1.105.45 H <sup>1/2</sup> (m <sup>3</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	$\Sigma V$ (m <sup>3</sup> )
0	0.0	0.0	0	0.00	0	0	0	0	0
			335		0				
1	3.753	669	681	0.07	50	335	292	377	377
2	3.887	693	701	0.18	270	731	469	224	601
3	3.973	708	722	0.26	500	971	564	144	745
4	4.131	736	750	0.33	630	1,222	635	101	846
5	4.285	763	775	0.39	770	1,380	690	73	919
6	4.415	786	804	0.41	830	1,545	708	78	997
7	4.613	822	838	0.45	930	1,634	742	80	1,077
8	4.791	854	873	0.48	1,000	1,768	766	88	1,165
9	5.011	892	864	0.51	1,030	1,873	789	103	1,268
10	5.255	936	960	0.51	1,030	1,894	789	147	1,415
11	5.520	983	1,009	0.52	1,200	1,990	797	186	1,601
12	5.806	1,035	1,068	0.57	1,400	2,209	835	200	1,801
13	6.177	1,101	1,136	0.60	1,600	2,468	856	245	2,046
14	6.567	1,170	1,214	0.65	1,800	2,736	891	279	2,325
15	7.056	1,257	1,307	0.69	2,100	3,014	918	339	2,664
16	7.616	1,357	1,421	0.75	2,500	3,407	957	400	3,064
17	8.326	1,484	1,562	0.33	2,900	3,921	1,007	477	3,541
18	9.198	1,639	1,742	0.91	3,300	4,462	1,054	585	4,126
19	10.349	1,844	1,983	1.10	4,250	5,042	1,159	685	4,811
20	11.915	2,123	2,329	1.30	5,500	6,233	1,260	863	5,674
21	14.222	2,534	2,873	1.50	7,000	7,829	1,354	1,180	6,854
22	18.022	3,212	3,907	1.80	8,500	9,873	1,483	1,729	8,583
23	25.822	4,601	7,799	2.20	11,000	12,407	1,640	2,961	11,544
24	61.714	10,997	5,499	3.30	17,000	18,799	2,008	8,939	*20,533
25	0.0	0.0	0.00	*3.80	21,000	22,499	*2,154	-2,183	18,350
26	0.0	0.0	0.00	3.60	19,000	21,000	2,097	-2,097	16,253
27	0.0	0.0	0	3.30	0	19,000	2,008	-2,008	14,245



圖八 流入、流出、貯留量的時間變化

### 三. 雨水可否成為飲用水？雨水之水質如何改善？

事實上，雨水貯留與利用，是基於各區域之水文特性與地形特質而去做不同型態及不同供需之規劃與設計，而基本上“貯留城市區域在豐水期之降雨，邊貯邊用，減少對水庫庫存量之依靠，以降低枯水期缺水風險，縮短缺水期限”，是一個規劃與設計之理念。

基於台灣居民對水資源是一種“公共財”及“資源財”的觀念，未有足夠認知。而政府部門也未能“真正反映開發水源成本”，又未能催生“使用者付費”之理念，因此，才會造成“用水之浪費”，這便是一般現今之社會價值觀與文化背景所造成的後果。

雨水貯留在初期推展上，若配合中水道系統規劃，可用在公共建築物及工業區，因其可收集及貯留之空間大，況且台灣本島在經濟推展中，工業用水是大宗，其可行性必大，而且可減少對環境之衝擊，常保綠色大地。

談到雨水貯留與利用之成本為何？則我們要反問：以那一種價格為比較之基準面？是以售水水價？或以水庫開發成本？抑或以對環境衝擊最少者來比之？似乎未有一個定見；但是“高水價顯現高生活水準”卻是世界先進國家之生活指標，這是無可否認的事實。

在科技發達的今日，有許多基本水質之測定儀器，可一次測出七或八種基本水質資料，若將此種儀器裝上感應裝置，加裝在雨水貯留進水口，則在達到設定之基本水質時，打開活塞，取入雨水，相信水質可以受到監測與保障。自來水是否也經過了水質處理？當然，而且其流程越長，處理費用必越大，而雨水貯留與利用，初步以供作雜用水為主，水質處理費不大，即使日後要供作飲用水，其處理成本也不

會比現今自來水水質處理費用高。

“坐而言，不如起而行”，是我們必需接受的觀念，“非不能也，乃不行耳”是我們要自我認知的，謹向大地山川致上最真心的祈求，順天時之運行，取四時之協調，才可得萬物之共生，以期共榮常綠之地球。

#### 參考文獻

1. “實用暴雨洪水預報理論與方法” 張文華 水利電力出版社 (1990)
2. “常用水文預報算法和計算程序” 翟家瑞 黃河水利出版社 (1995)
3. “讓我們來作雨水利用”(日文) 日本北斗出版 (1994)
4. ”模糊水文學與水資源系統模糊優化原理” 陳守煜 大連理工大學出版社 (1990)

投稿 104.04.24  
校稿 104.05.08  
定稿 104.05.12