

山坡地滯洪池抽水歷線之研究

余 濬

台北市水利技師公會理事長

一、前言

山坡地之開發將導致地表逕流增加，造成洪峰流量加大，為避免下游排水設施或河川之排洪負荷加重，國內「水土保持技術規範」規定水土保持工程中必需設置滯洪池或相當之滯洪設施（以下稱滯洪池），俾以降低洪峰流量，其允許的最大排放量不得超過開發前的洪峰流量。

一般山坡地開發所施設之滯洪池，其排水方式多採重力式自然排放，這種方式之滯洪池構造簡單、施工容易，維修與管理亦方便，但其必要條件必需是地表有足夠之落差。倘若基地之地勢平坦，沒有足夠之落差可供重力式自然排放時，則需改

以機械抽水之方式予以排放。

現行「水土保持技術規範」及「水土保持手冊」對於重力式排放之滯洪池，已有明確之滯洪量計算方法，惟對於機械抽水之滯洪池其計算方法則未有規定。個人在參與審查若干水土保持計畫時，偶會遇到以機械抽水之滯洪池，發現其中對於抽水機起抽水位及停抽水水位之考量，常有疏忽或錯誤之設計，其結果可能導致抽水機抽停頻繁、容易損壞，或是無法完全發揮滯洪池應有之功能，因此本文想探討抽水歷線對於滯洪池之影響，俾可供作設計或審查時之參考。

二、滯洪池之容量

「水土保持技術規範」中關於滯洪池容量之大小，規定以三角單位歷線圖求算，其圖形如下圖 2.1。在圖 2.1 中，入流歷線與出流歷線間之面積（圖中斜線區塊），亦即是滯洪量 V_s 或稱滯洪體積，其值為

$$V_s = \frac{t_b'}{2} \times (Q_p - Q_1) \times 3600 \quad (2.1)$$

上式 (2.1) 中， Q_p ：開發後洪峰流量(cms)， Q_1 ：開發前洪峰流量(cms)， t_b' ：基期(hr)

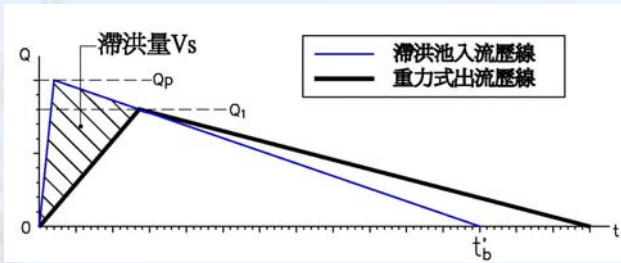


圖 2.1 滯洪池入流歷線與出流歷線示意圖

為利於比較與探討，將圖 2.1 橫座標以時間分表示，縱座標為流量與洪峰流量相比之無因次表示，如圖 2.2 所示，因此縱座標入流歷線之最大值为 $Q_p/Q_p=1$ ，重力式允許排放量以 $Q_1/Q_p=P_{out}$ 表示。

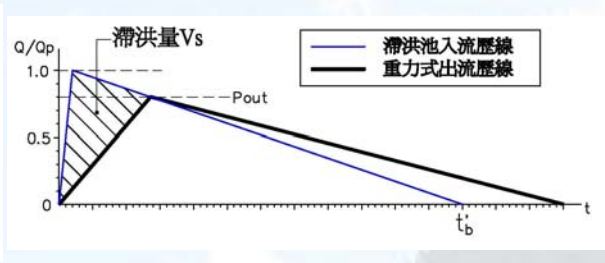


圖 2.2 滯洪池入流歷線與出流歷線圖

「水土保持技術規範」並規定滯洪量設計時必需乘上一安全係數，作為設計時之最小容量，稱之為蓄洪量 V_{sd} 。於永久性滯洪池之安全係數為 1.1，亦即其 $V_{sd}=1.1V_s$ ，而施工中臨時性滯洪池之安全係數為 1.2，亦即其 $V_{sd}=1.2V_s$ 。

三、滯洪設施之入流歷線

「水土保持技術規範」規定滯洪池之入流歷線為三角形，其參數有三，一為集流時間 t_c ，二為洪峰流量 Q_p ，三為基期 t_b 。其中之洪峰流量 Q_p ，在永久性滯洪池為開發後 50 年重現期距，臨時性滯洪池則為開發中 50 年重現期距，可採用合理化公式求算之(Rational Formula)；至於基期 t_b ，則有最小值之規定，當小面積基地其基期 t_b 未滿一小時，需保守以一小時計。

實務上，基期 t_b 之計算常採用之公式為

$$t_p = 0.6t_c + \sqrt{t_c} \quad (3.1)$$

$$t_b = 2.67t_p \quad (3.2)$$

上式 (3.1)、(3.2) 中， t_c ：集流時間

(hr)， t_p ：洪峰流量 Q_p 到達時間(hr)， t_b ：基期(hr)。由 (3.1)、(3.2) 式可計算得知，當 $t_c \leq 5.96$ 分， t_b 皆小於一小時，而必需以一小時計，詳見下表 3.1，表 3.1 之結果可繪如圖 3.1。當 $t_c > 5.96$ 分，則 t_b 以實際所計算為準，本文中僅以 $t_c \leq 5.96$ 分之入流歷線予以探討。

表 3.1 三角形入流歷線基期計算表

t_c (分)	t_c (hr)	t_p (hr)	t_b' (hr)	採用 t_b' (hr)
1.00	0.017	0.141	0.376	1.0
2.00	0.033	0.201	0.537	1.0
3.00	0.050	0.254	0.678	1.0
4.00	0.067	0.299	0.798	1.0
5.00	0.083	0.338	0.902	1.0
5.96	0.099	0.374	0.999	1.0

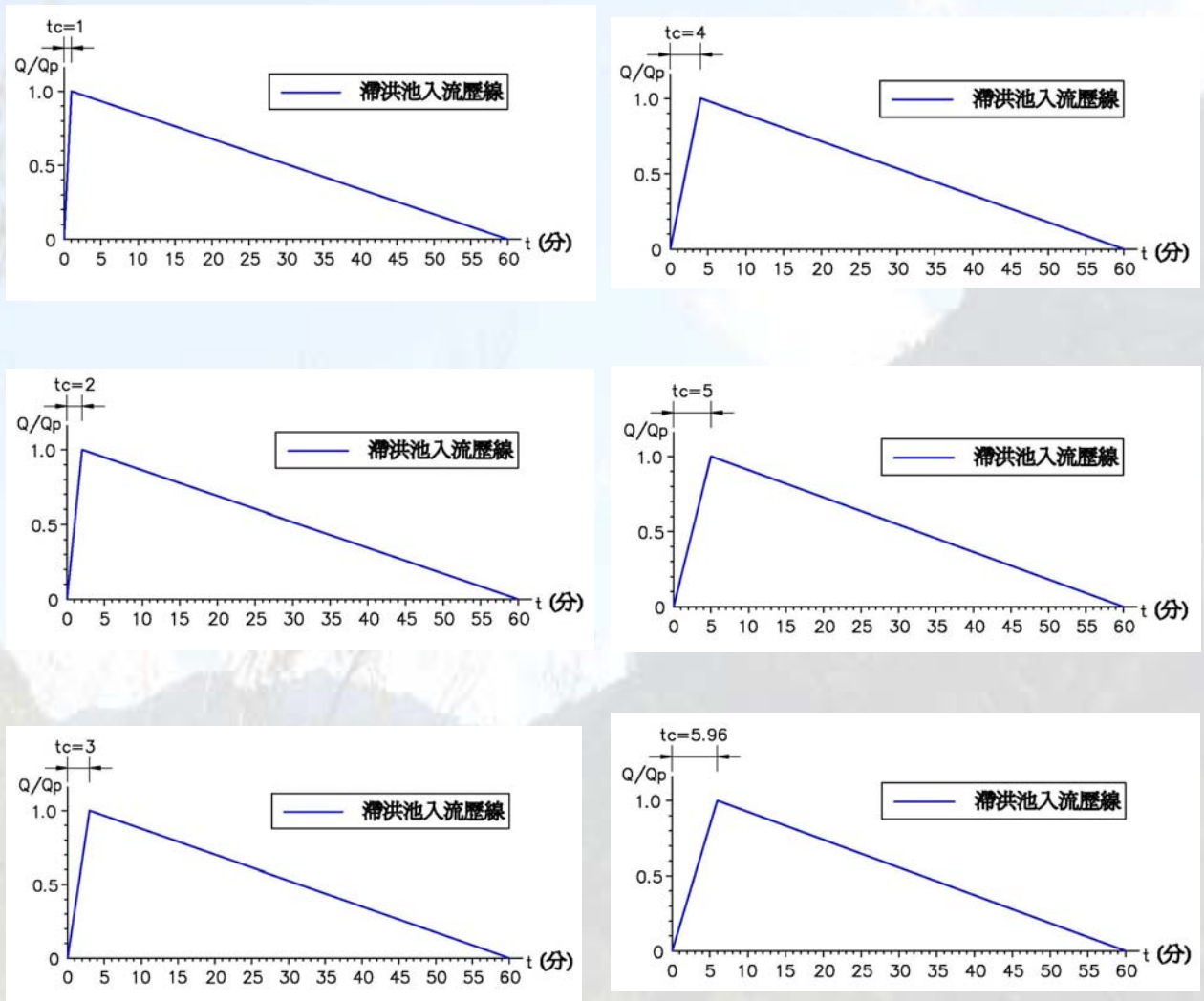


圖 3.1 滯洪池不同集流時間入流歷線示意圖

四、抽水歷線

「水土保持技術規範」規定滯洪池重力式排水之最大允許排放量，其要件有二且必需同時滿足，一為不超過 25 年重現期距之開發前洪峰流量，另一為不超過 50 年重現期距開發後洪峰流量之 80%。當重力式允許排放量為 P_{out} ，而抽水機之抽水量亦為 P_{out} 時，抽水機最遲開始抽水時間為 t_3 ，其示意如圖 4.1。

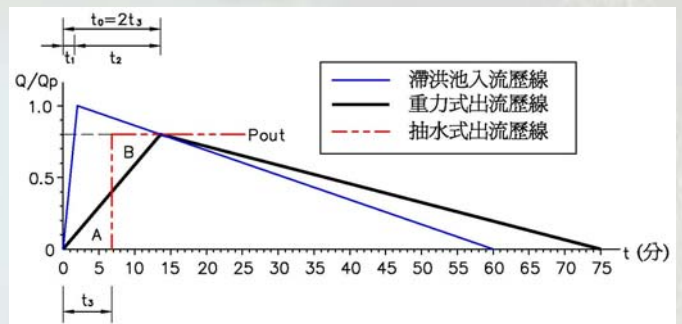


圖 4.1 滯洪池抽水歷線示意圖

圖 4.1 中，抽水機所需滯洪量等於重力式排水滯洪池之滯洪量 V_s ，亦即區塊 A

等於區塊 B，兩者形狀完全相等。首先求滯洪量 V_s ，參考 (2.1) 式，由圖 4.1 得

$$V_s = \frac{60}{2} \times (1 - P_{out}) \quad (4.1)$$

(4.1) 式中， V_s ：滯洪量 (分·cms/cms，或分)

其次求入流歷線與重力式出流歷線之相交點時間 t_0 ，

$$t_0 = t_1 + t_2 = t_c \times P_{out} + 60 \times (1 - P_{out}) \quad (4.2)$$

$$t_3 = 0.5 t_0 \quad (4.3)$$

上式 (4.2)、(4.3) 中， t_c ：集流時間(分)， t_3 ：抽水機最遲開始抽水時間(分)。由圖 4.1 當抽水機於 t_3 開始抽水時，滯洪池已貯存之水量 V_0 ， V_0 為圖 4.2 之區塊 C 與區塊 D 兩面積之和，其值如 (4.4) 式，

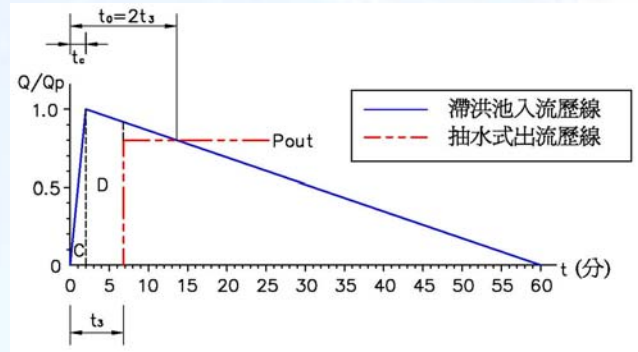


圖 4.2 滯洪池最遲抽水時已貯存之水量示意圖

$$V_0 = \frac{t_c}{2} + \frac{(60 - t_c)}{2} \times \left[1 - \left(\frac{60 - t_3}{60 - t_c} \right)^2 \right] \quad (4.4)$$

上式 (4.4) 中， V_0 ：抽水機於 t_3 開始抽水時滯洪池已貯存之水量 (分·cms/cms，或分)。茲將 $t_c=1、2、3、4、5、5.96$ 分，允許排放量比例 $P_{out}=80\%、75\%、70\%、65\%、60\%$ ，以及 $V_0、V_0/V_s$ (亦即水深比) 計算如表 4.1。

表 4.1 抽水機最遲抽水時水深比計算表

P_{out}	t_c (分)	t_1 (分)	t_2 (分)	t_0 (分)	t_3 (分)	區塊 C (分)	區塊 D (分)	V_0 (分)	V_s (分)	水深比
0.80	1	0.80	12	12.80	6.40	0.50	5.15	5.65	6.00	0.94
0.80	2	1.60	12	13.60	6.80	1.00	4.60	5.60	6.00	0.93
0.80	3	2.40	12	14.40	7.20	1.50	4.05	5.55	6.00	0.93
0.80	4	3.20	12	15.20	7.60	2.00	3.48	5.48	6.00	0.91
0.80	5	4.00	12	16.00	8.00	2.50	2.92	5.42	6.00	0.90
0.80	5.96	4.77	12	16.77	8.39	2.98	2.38	5.36	6.00	0.89

P_{out}	t_c (分)	t_1 (分)	t_2 (分)	t_0 (分)	t_3 (分)	區塊 C (分)	區塊 D (分)	V_0 (分)	V_s (分)	水深比
0.75	1	0.75	15	15.75	7.88	0.50	6.48	6.98	7.50	0.93
0.75	2	1.50	15	16.50	8.25	1.00	5.91	6.91	7.50	0.92
0.75	3	2.25	15	17.25	8.63	1.50	5.35	6.85	7.50	0.91
0.75	4	3.00	15	18.00	9.00	2.00	4.78	6.78	7.50	0.90
0.75	5	3.75	15	18.75	9.38	2.50	4.21	6.71	7.50	0.89
0.75	5.96	4.47	15	19.47	9.74	2.98	3.65	6.63	7.50	0.88

P_{out}	t_c (分)	t_1 (分)	t_2 (分)	t_0 (分)	t_3 (分)	區塊 C (分)	區塊 D (分)	V_o (分)	V_s (分)	水深比
0.70	1	0.70	18	18.70	9.35	0.50	7.76	8.26	9.00	0.92
0.70	2	1.40	18	19.40	9.70	1.00	7.19	8.19	9.00	0.91
0.70	3	2.10	18	20.10	10.05	1.50	6.61	8.11	9.00	0.90
0.70	4	2.80	18	20.80	10.40	2.00	6.03	8.03	9.00	0.89
0.70	5	3.50	18	21.50	10.75	2.50	5.45	7.95	9.00	0.88
0.70	5.96	4.17	18	22.17	11.09	2.98	4.89	7.87	9.00	0.87

P_{out}	t_c (分)	t_1 (分)	t_2 (分)	t_0 (分)	t_3 (分)	區塊 C (分)	區塊 D (分)	V_o (分)	V_s (分)	水深比
0.65	1	0.65	21	21.65	10.83	0.50	9.01	9.51	10.50	0.91
0.65	2	1.30	21	22.30	11.15	1.00	8.43	9.43	10.50	0.90
0.65	3	1.95	21	22.95	11.48	1.50	7.85	9.35	10.50	0.89
0.65	4	2.60	21	23.60	11.80	2.00	7.26	9.26	10.50	0.88
0.65	5	3.25	21	24.25	12.13	2.50	6.67	9.17	10.50	0.87
0.65	5.96	3.87	21	24.87	12.44	2.98	6.09	9.07	10.50	0.86

P_{out}	t_c (分)	t_1 (分)	t_2 (分)	t_0 (分)	t_3 (分)	區塊 C (分)	區塊 D (分)	V_o (分)	V_s (分)	水深比
0.60	1	0.60	24	24.60	12.30	0.50	10.22	10.72	12.00	0.89
0.60	2	1.20	24	25.20	12.60	1.00	9.63	10.63	12.00	0.89
0.60	3	1.80	24	25.80	12.90	1.50	9.04	10.54	12.00	0.88
0.60	4	2.40	24	26.40	13.20	2.00	8.44	10.44	12.00	0.87
0.60	5	3.00	24	27.00	13.50	2.50	7.84	10.34	12.00	0.86
0.60	5.96	3.58	24	27.58	13.79	2.98	7.26	10.24	12.00	0.85

由表 4.1 所示，在相同之 P_{out} 情況下， t_c 愈大，起抽時間 t_3 可以愈大(愈晚)，但已貯存的水量 V_o 較少。在表 4.1 中，也可得知在 P_{out} 愈小情況下，起抽時之滯洪量體

積比(即水深比)愈低。僅以 $P_{out}=0.60$ 為例，貯存水量之水深比仍高達 85%，此亦即「水土保持技術規範」規定之滯洪量，若以抽水機排放時，其量體綽綽有餘。

五、案例探討

茲以某基地位於山坡地，基地之集流時間 $t_c=2$ 分，假設其允許排放量比例 $P_{out}=80\%$ ，滯洪池將採抽水機排放，由表 4.1 知， $P_{out}=80\%$ ，水深比最保守可採用至 0.89，於設計時為安全計，僅採用水深比

0.80 開始抽水，另為考慮抽水機浸沒水深，設計當水深比降至 20% 時停抽，以下演算其抽水歷線與水深比，繪如圖 5.1、圖 5.2。

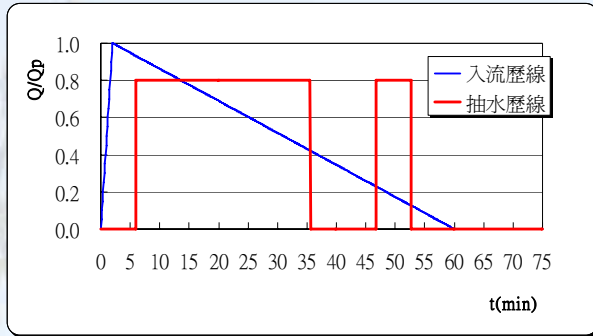


圖 5.1 滯洪池入流歷線與抽水歷線圖
($V_0/V_s=0$)

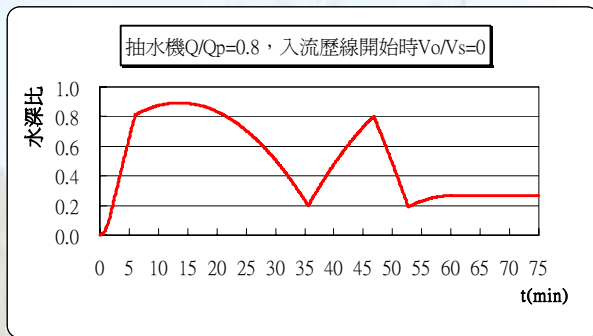


圖 5.2 滯洪池抽水時水深比圖 ($V_0/V_s=0$)

由圖 5.1、圖 5.2 可知，抽水機在抽水過程之最後階段，由於池中水深未達起抽水水位，因而殘留若干水體於池中，此水體佔用部份滯洪空間，可能影響下一次降雨時之滯洪功能，因此必需予以檢算。茲以上述之案例，惟假定前次降雨殘留的水體，其水深比為 0.7999，亦即抽水機起抽前之最大值（小於起抽水深比 0.80），當入流歷線開始瞬間，水位即達水深比 0.8 而

六、抽水機馬力節省

經由前述之探討可知，「水土保持技術規範」所規定之 V_s ，如改以抽水機抽水之方式排除，其 V_s 顯的綽綽有餘。因此抽水機之抽水量(或馬力)可酌予減少，例如允

開始抽水，詳見圖 5.3、圖 5.4。由圖 5.3、圖 5.4 可知，本案例即使在滯洪池未抽水之前，已殘留最大水深比之水體時，仍不致失去其滯洪功能。

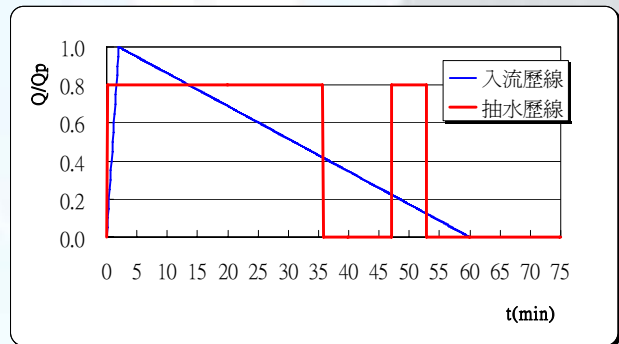


圖 5.3 滯洪池入流歷線與抽水歷線圖
($V_0/V_s=0.7999$)

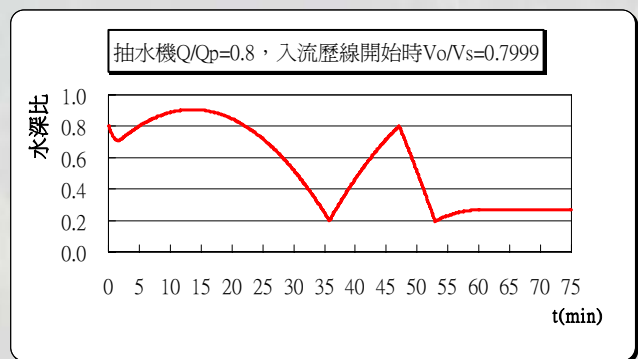


圖 5.4 滯洪池抽水時水深比圖
($V_0/V_s=0.7999$)

許排放量比例為 $P_{out}=0.80$ ，但抽水機之抽水量卻可以降低為 0.75、0.70 或更小等等，降低之 P_{out} 值以 P_{save} 表示， $P_{save} < P_{out}$ ，以 P_{save} 抽水不僅抽水機設備費用可以節

省，且排放量也更低，一舉兩得，惟 P_{save} 有其限度，否則將會影響滯洪功能，以下探討 P_{save} 之限度。

為便於分析，假設起抽水水位是在 t_c 時之水位，其抽水歷線如下圖 6.1 所示。

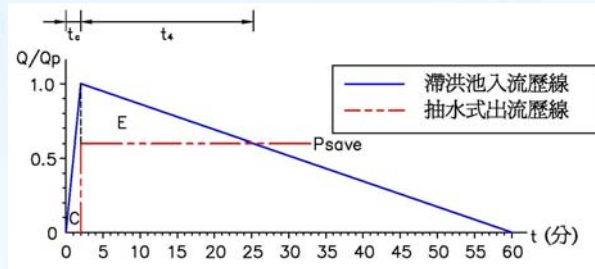


圖 6.1 滯洪池抽水機減小抽水量示意圖

在圖 6.1 中抽水機減小抽水量，其抽水歷線之滯洪量必需等於重力式排放滯洪池之滯洪量 V_s ，

$$V_s = C \text{ 區塊面積} + E \text{ 區塊面積}$$

$$\frac{60}{2} \times (1 - P_{out}) = \frac{t_c}{2} + \frac{(60 - t_c)}{2} \times (1 - P_{save})^2 \quad (6.1)$$

由(6.1)式可求得 P_{save} ，再將 P_{save} 代入(6.2)式可求得 t_4 ，

$$t_4 = (60 - t_c) \times (1 - P_{save}) \quad (6.2)$$

茲將 $t_c=1、2、3、4、5、5.96$ 分， $P_{out}=80\%、75\%、70\%、65\%、60\%$ ，起抽水時間為設定為 t_c ，茲計算其 P_{save} 、馬力比例（亦即 P_{save}/P_{out} ）、起抽水深比、 t_4 等如下表 6.1。

表 6.1 抽水機節省馬力計算表

P_{out}	t_c (分)	V_s (分)	區塊 C (分)	區塊 E (分)	P_{save}	起抽水 深比	t_4 (分)	馬力 比例
0.80	1	6.0	0.5	5.5	0.5682	0.08	25.48	0.71
0.80	2	6.0	1.0	5.0	0.5848	0.17	24.08	0.73
0.80	3	6.0	1.5	4.5	0.6026	0.25	22.65	0.75
0.80	4	6.0	2.0	4.0	0.6220	0.33	21.17	0.78
0.80	5	6.0	2.5	3.5	0.6432	0.42	19.62	0.80
0.80	5.96	6.0	3.0	3.0	0.6657	0.50	18.07	0.83

P_{out}	t_c (分)	V_s (分)	區塊 C (分)	區塊 E (分)	P_{save}	起抽水 深比	t_4 (分)	馬力 比例
0.75	1	7.5	0.5	7.0	0.5129	0.07	28.74	0.68
0.75	2	7.5	1.0	6.5	0.5266	0.13	27.46	0.70
0.75	3	7.5	1.5	6.0	0.5412	0.20	26.15	0.72
0.75	4	7.5	2.0	5.5	0.5568	0.27	24.82	0.74
0.75	5	7.5	2.5	5.0	0.5736	0.33	23.45	0.76
0.75	5.96	7.5	3.0	4.5	0.5910	0.40	22.10	0.79

P_{out}	t_c (分)	V_s (分)	區塊 C (分)	區塊 E (分)	P_{save}	起抽水 深比	t_4 (分)	馬力 比例
0.70	1	9.0	0.5	8.5	0.4632	0.06	31.67	0.66
0.70	2	9.0	1.0	8.0	0.4748	0.11	30.46	0.68
0.70	03	9.0	1.5	7.5	0.4870	0.17	29.24	0.70
0.70	4	9.0	2.0	7.0	0.5000	0.22	28.00	0.71
0.70	5	9.0	2.5	6.5	0.5138	0.28	26.74	0.73
0.70	5.96	9.0	3.0	6.0	0.5280	0.33	25.51	0.75

P_{out}	t_c (分)	V_s (分)	區塊 C (分)	區塊 E (分)	P_{save}	起抽水 深比	t_4 (分)	馬力 比例
0.65	1	10.5	0.5	10.0	0.4178	0.05	34.35	0.64
0.65	2	10.5	1.0	9.5	0.4276	0.10	33.20	0.66
0.65	3	10.5	1.5	9.0	0.4380	0.14	32.03	0.67
0.65	4	10.5	2.0	8.5	0.4490	0.19	30.86	0.69
0.65	5	10.5	2.5	8.0	0.4606	0.24	29.67	0.71
0.65	5.96	10.5	3.0	7.5	0.4724	0.28	28.51	0.73

P_{out}	t_c (分)	V_s (分)	區塊 C (分)	區塊 E (分)	P_{save}	起抽水 深比	t_4 (分)	馬力 比例
0.60	1	12.0	0.5	11.5	0.3756	0.04	36.84	0.63
0.60	2	12.0	1.0	11.0	0.3841	0.08	35.72	0.64
0.60	3	12.0	1.5	10.5	0.3930	0.13	34.60	0.66
0.60	4	12.0	2.0	10.0	0.4024	0.17	33.47	0.67
0.60	5	12.0	2.5	9.5	0.4122	0.21	32.33	0.69
0.60	5.96	12.0	3.0	9.0	0.4222	0.25	31.22	0.70

七、結論與建議

1. 國內現行「水土保持技術規範」關於山坡地滯洪池之滯洪量，採用三角單位歷線法同底不同高之計算方法，此係針對重力式自然排放之滯洪池而規定。至於因地形關係無法採用重力式自然排放之滯洪池，則必需改以抽水方式予以排放，有關此種抽水方式排放之滯洪池，需於何種水深開始抽水或停止抽水之文

獻付之闕如，因此有其研究之必要。

2. 依據文中之研究結果，以重力式自然排放之滯洪池，若改採機械抽水排放，其起始抽水水位之水深比由表 4.1 可知，在允許排放量比例 $P_{out}=0.80$ 時最小水深比為 0.89、 $P_{out}=0.75$ 時最小水深比為 0.88、 $P_{out}=0.70$ 時最小水深比為 0.87、 $P_{out}=0.65$ 時最小水深比為 0.86、 $P_{out}=0.60$

時水深比為 0.85，於設計時可做為起抽、停抽之參考。

- 3.由表 4.1 可知，在「水土保持技術規範」規定之重力式排放滯洪池所需滯洪量條件下，若改採抽水方式排放，其餘裕空間尚多。若將抽水機抽水量降低，不僅可節省抽水機設備費，且可更為降低尖峰流量。依據表 6.1，在允許排放量比例 $P_{out}=0.80$ 時減小馬力比例達 0.83、 $P_{out}=0.75$ 時減小馬力比例達 0.79、 $P_{out}=0.70$ 時減小馬力比例達 0.75、 $P_{out}=0.65$ 時減小馬力比例達 0.73、

$P_{out}=0.60$ 時減小馬力比例達 0.70，於設計時可做為參考之用。

- 4.本文中所採用之滯洪池三角形入流歷線，係依據「水土保持技術規範」所規定者，其 t_b 不滿一小時則以一小時計，且 t_b 之計算乃沿用常見之經驗公式，倘「水土保持技術規範」有所修訂，則本文研究結果必需重新演算。
- 5.於颱風豪雨時，機械抽水式滯洪池之抽水機可能遇到故障，而無法抽水滯洪，因此設計時宜加設備用抽水機。

參考文獻

- 1.台北市政府工務局(1989)，台北市山坡地開發建築基地規劃設計技術規範。
- 2.吳瑞賢、余濬(1996)，「台灣地區山坡地滯留池容量計算方法之比較研究」，台灣水利季刊，第 44 卷第 1 期，pp.53-63。
- 3.鄭克聲、陳葦庭、葉惠中(1999)，「坡地開發滯留池之水文設計探討」，台灣水利季刊，第 47 卷第 4 期。
- 4.行政院農業委員會(2010)，水土保持技術規範。
- 5.Akan, A. O. (1990), "Single-Outlet Detention-pond Analysis and Design," J. Irrigation and Drainage Engrg., ASCE, 116(4), pp.527-536.
- 6.下水道雨水調整池技術基準(案)(昭和 59 年)，日本下水道協會。
- 7.雨水貯留施設之計畫與設計(昭和 61 年)，都市水文研究，山海堂。
- 8.調節池之計畫與設計(昭和 63 年)，都市水文研究，山海堂。

收稿：100 年 5 月 5 日
修改：100 年 5 月 10 日
接受：100 年 5 月 13 日