

串聯滯洪池體積增減率之研究

余 濬

台灣省水利技師公會常務理事

摘要

國內山坡地開發時，為避免造成下游排水設施或河川之排洪負荷加重，規定皆需設置滯洪池，通常其滯洪池係單獨設置，惟當受地形、位置、高程或其他因素影響，致使滯洪池需分為兩個予以串聯時，串聯滯洪池之體積較單一滯洪池之體積係增加或減少，本文以「水土保持技術規範」規定之三角單位歷線法予以探討比較。經以公式推導可知，串聯滯洪池所需體積較單一滯洪池要大，且最大體積增率 S 隨著洪峰調節係數 $\beta=q_p/Q_p$ (q_p 為第二滯洪池出流之洪峰流量， Q_p 為第一滯洪池入流之洪峰流量) 愈小，其 S 值愈大，另串聯滯洪池之第一滯洪池當其洪峰調節係數 $\alpha=Q_1/Q_p$ (Q_1 為第一滯洪池出流之洪峰流量)，約在 100% 與 β 之中間時，亦即 $0.5(1+\beta)$ 中間處，串聯滯洪池之體積增率最大。

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，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或是開發後洪峰流量之 80%。

通常山坡地一個基地之開發，其滯洪池係單獨設置，惟受地形、位置、高程或其他因素影響，致使滯洪池需分為兩個予以串聯時，一般設計方法係將單一滯洪池所需之體積，對半分配給兩個滯洪池，總量並未增加或減少，本文即是探討單一滯洪池若是分成兩個滯洪池串聯時，其所需的體積增減之變化情形，文中滯洪池體積之求算方法係採用「水土保持技術規範」規定之三角單位歷線法。

二、三角單位歷線法計算滯洪池體積

依據國內「水土保持技術規範」規定，滯洪池體積(又稱滯洪量或蓄洪量)之求算係採用三角單位歷線法，適用於單一滯洪池之體積求算，其方法如下(詳見圖 2.1)，

假設入流歷線為三角形時，其洪峰流量為 Q_p ，進入滯洪池經調節後之出流歷線簡化亦為三角形，其洪峰流量為 q_p 。

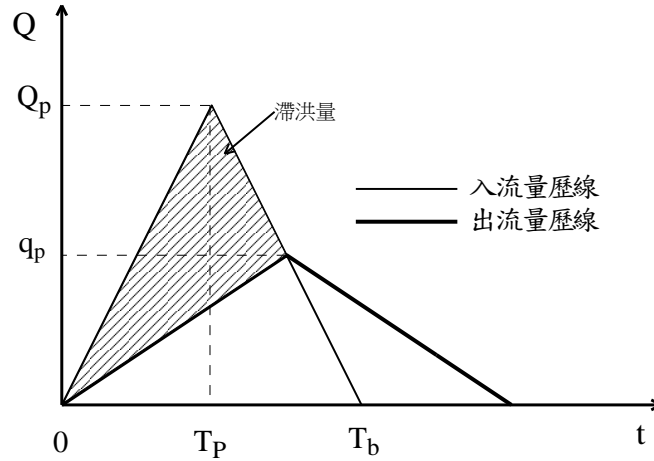


圖 2.1 滯洪池入流量及出流量歷線圖

由圖2.1，斜線之面積即為滯洪池所需之體積 V_s ，

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{T_b \times Q_p}{2} - \frac{T_b \times q_p}{2} \\ &= \frac{T_b}{2} (Q_p - q_p) \quad (2.1) \end{aligned}$$

式中

V_s = 滯洪池所需之體積，

Q_p = 滯洪池之入流洪峰流量，

q_p = 滯洪池之出流洪峰流量，

T_b = 入流量歷線之基期。

當 Q_p 與 q_p 之單位為 cms， T_b 之單位為 hr， V_s 之單位為 m^3 ，則(2.1)式變為

$$V_s = \frac{T_b}{2} (Q_p - q_p) \times 3600 \quad (2.2)$$

若定義洪峰調節係數為 C_0 ， $C_0 = q_p / Q_p = \beta$ （「水土保持技術規範」規定 β 不得大於80%），則(2.2)式變為

$$V_s = T_b (1 - \beta) Q_p \times 1800 \quad (2.3)$$

此(2.3)式即為單一滯洪池所需之體積。

三、串聯滯洪池體積計算

若因地形、位置、高程或其他因素，致使滯洪池需分為兩個予以串聯，假設第一滯洪池出流之洪峰流量先降為 Q_1 ，定義第一滯洪池洪峰調節係數為 $C_0=Q_1/Q_p=\alpha$ ，亦即 $Q_1=\alpha Q_p$ ，然後再經由第二滯洪池將出流之洪峰流量降至 q_p ，其洪峰調節係數為 $\beta=q_p/Q_p$ ，第一滯洪池與第二滯洪池之入流歷線、出流歷線如圖3.1、圖3.2所示。



圖3.1 第一滯洪池入流量及出流量歷線圖



圖3.2 第二滯洪池入流量及出流量歷線圖

依據圖3.1與參考(2.3)式，可得第一滯洪池所需之體積，

$$V_{SI} = T_b(1-\alpha)Q_p \times 1800 \quad (3.1)$$

假設第一滯洪池出流歷線之基期為 T_1 ，由於滯洪前後之體積相同，由圖3.1可得 T_1 ，

$$\frac{Q_p \times T_b}{2} = \frac{\alpha Q_p \times T_1}{2}$$

$$T_1 = \frac{T_b}{\alpha} \quad (3.2)$$

依據圖3.2與參考(2.3)式，可得第二滯洪池滯洪池所需之體積，

$$\begin{aligned} V_{S2} &= \frac{T_b}{\alpha} (\alpha - \beta) Q_p \times 1800 \\ &= T_b \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) Q_p \times 1800 \end{aligned} \quad (3.3)$$

第一與第二滯洪池滯洪池合計所需之體積，亦即(3.1)式加上(3.3)式

$$\begin{aligned} V_{S1+2} &= V_{S1} + V_{S2} \\ &= T_b (1 - \alpha) Q_p \times 1800 + T_b \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right) Q_p \times 1800 \\ &= T_b \left(2 - \alpha - \frac{\beta}{\alpha}\right) Q_p \times 1800 \end{aligned} \quad (3.4)$$

因此串聯滯洪池與單一滯洪池所需之體積比為S，將(3.4)式除以(2.3)式得，

$$S = \frac{V_{S1+2}}{V_s} = \frac{2 - \alpha - \frac{\beta}{\alpha}}{1 - \beta} \quad (3.5)$$

(3.5)式無法直接判別體積比為 $S > 1$ (亦即體積增加)，或 $S < 1$ (亦即體積減少)，或是有時增加有時減少，茲將(3.5)式再予以整理，

$$S = 1 + \frac{(1 - \alpha) \left(1 - \frac{\beta}{\alpha}\right)}{1 - \beta} \quad (3.6)$$

由於 $0 < \alpha < 1$ ， $0 < \beta < 1$ ，且 $\alpha > \beta$ ，因此(3.5)式中 $(1 - \alpha) > 0$ ， $(1 - \beta) > 0$ ， $(1 - \beta/\alpha) > 0$ ，因此(3.6)式一定大於0，亦即串聯滯洪池所需體積一定大於單一滯洪池所需體積。

四、串聯滯洪池體積增率計算

依據(3.6)式可知，串聯滯洪池所需體積較單一滯洪池要大，為比較串聯滯洪池之體積增率，茲以洪峰調節係數 $\beta = 80\%$ 、 70% 、 60% 、 50% 等四種情況，第一滯洪池洪峰調節係數 α 之間距為 $\Delta\alpha = 0.01$ ，為簡便計刪去相同之參數 $Q_p \times T_b \times 1800$ ，計算結果如表4.1與圖4.1~表4.4與圖4.4，另為方便比較將圖4.1~圖4.4合併繪於圖4.5。於表4.1~表4.4中當 $\alpha = 100\%$ 即表示第一滯洪池沒有滯洪，體積為0。

表4.1 串聯滯洪池體積增率($\beta=80\%$)

$\alpha(\%)$	Vs1	Vs2	串聯 Vs	單一 Vs	S=串聯 Vs/單一 Vs	備註
100	0.0000	0.2000	0.2000	0.2000	1.0000	
99	0.0100	0.1919	0.2019	0.2000	1.0096	
98	0.0200	0.1837	0.2037	0.2000	1.0184	
97	0.0300	0.1753	0.2053	0.2000	1.0263	
96	0.0400	0.1667	0.2067	0.2000	1.0333	
95	0.0500	0.1579	0.2079	0.2000	1.0395	
94	0.0600	0.1489	0.2089	0.2000	1.0447	
93	0.0700	0.1398	0.2098	0.2000	1.0489	
92	0.0800	0.1304	0.2104	0.2000	1.0522	
91	0.0900	0.1209	0.2109	0.2000	1.0544	
90	0.1000	0.1111	0.2111	0.2000	1.0556	最大值
89	0.1100	0.1011	0.2111	0.2000	1.0556	最大值
88	0.1200	0.0909	0.2109	0.2000	1.0545	
87	0.1300	0.0805	0.2105	0.2000	1.0523	
86	0.1400	0.0698	0.2098	0.2000	1.0488	
85	0.1500	0.0588	0.2088	0.2000	1.0441	
84	0.1600	0.0476	0.2076	0.2000	1.0381	
83	0.1700	0.0361	0.2061	0.2000	1.0307	
82	0.1800	0.0244	0.2044	0.2000	1.0220	
81	0.1900	0.0123	0.2023	0.2000	1.0117	
80	0.2000	0.0000	0.2000	0.2000	1.0000	

註：本表之S值亦可採用(3.5)式或(3.6)式計算。

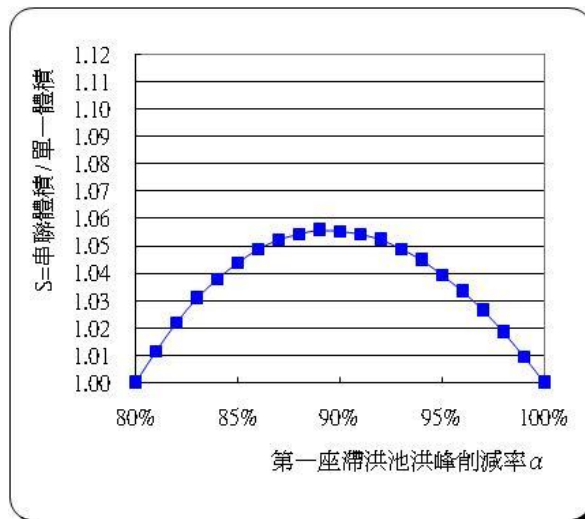


圖4.1 串聯滯洪池體積增率($\beta=80\%$)

表4.2 串聯滯洪池體積增率($\beta=70\%$)

$\alpha(\%)$	Vs1	Vs2	串聯 Vs	單一 Vs	S=串聯 Vs/單一 Vs	備註
100	0.0000	0.3000	0.3000	0.3000	1.0000	
99	0.0100	0.2929	0.3029	0.3000	1.0098	
98	0.0200	0.2857	0.3057	0.3000	1.0190	
97	0.0300	0.2784	0.3084	0.3000	1.0278	
96	0.0400	0.2708	0.3108	0.3000	1.0361	
95	0.0500	0.2632	0.3132	0.3000	1.0439	
94	0.0600	0.2553	0.3153	0.3000	1.0511	
93	0.0700	0.2473	0.3173	0.3000	1.0577	
92	0.0800	0.2391	0.3191	0.3000	1.0638	
91	0.0900	0.2308	0.3208	0.3000	1.0692	
90	0.1000	0.2222	0.3222	0.3000	1.0741	
89	0.1100	0.2135	0.3235	0.3000	1.0783	
88	0.1200	0.2045	0.3245	0.3000	1.0818	
87	0.1300	0.1954	0.3254	0.3000	1.0847	
86	0.1400	0.1860	0.3260	0.3000	1.0868	
85	0.1500	0.1765	0.3265	0.3000	1.0882	
84	0.1600	0.1667	0.3267	0.3000	1.0889	最大值
83	0.1700	0.1566	0.3266	0.3000	1.0888	
82	0.1800	0.1463	0.3263	0.3000	1.0878	
81	0.1900	0.1358	0.3258	0.3000	1.0860	
80	0.2000	0.1250	0.3250	0.3000	1.0833	
79	0.2100	0.1139	0.3239	0.3000	1.0797	
78	0.2200	0.1026	0.3226	0.3000	1.0752	
77	0.2300	0.0909	0.3209	0.3000	1.0697	
76	0.2400	0.0789	0.3189	0.3000	1.0632	
75	0.2500	0.0667	0.3167	0.3000	1.0556	
74	0.2600	0.0541	0.3141	0.3000	1.0468	
73	0.2700	0.0411	0.3111	0.3000	1.0370	
72	0.2800	0.0278	0.3078	0.3000	1.0259	
71	0.2900	0.0141	0.3041	0.3000	1.0136	
70	0.3000	0.0000	0.3000	0.3000	1.0000	

註：本表之S值亦可採用(3.5)式或(3.6)式計算。

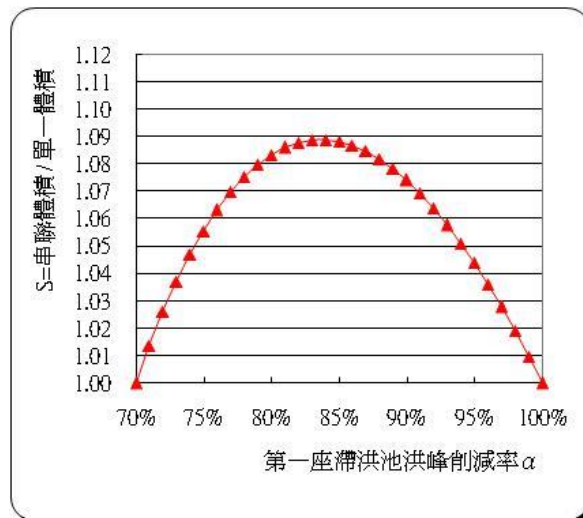


圖4.2 串聯滯洪池體積增率($\beta=70\%$)

表4.3 串聯滯洪池體積增率($\beta=60\%$)

$\alpha(\%)$	Vs1	Vs2	串聯 Vs	單一 Vs	S=串聯 Vs/單一 Vs	備註
100	0.0000	0.4000	0.4000	0.4000	1.0000	
99	0.0100	0.3939	0.4039	0.4000	1.0098	
98	0.0200	0.3878	0.4078	0.4000	1.0194	
97	0.0300	0.3814	0.4114	0.4000	1.0286	
96	0.0400	0.3750	0.4150	0.4000	1.0375	
95	0.0500	0.3684	0.4184	0.4000	1.0461	
94	0.0600	0.3617	0.4217	0.4000	1.0543	
93	0.0700	0.3548	0.4248	0.4000	1.0621	
92	0.0800	0.3478	0.4278	0.4000	1.0696	
91	0.0900	0.3407	0.4307	0.4000	1.0766	
90	0.1000	0.3333	0.4333	0.4000	1.0833	
89	0.1100	0.3258	0.4358	0.4000	1.0896	
88	0.1200	0.3182	0.4382	0.4000	1.0955	
87	0.1300	0.3103	0.4403	0.4000	1.1009	
86	0.1400	0.3023	0.4423	0.4000	1.1058	
85	0.1500	0.2941	0.4441	0.4000	1.1103	
84	0.1600	0.2857	0.4457	0.4000	1.1143	
83	0.1700	0.2771	0.4471	0.4000	1.1178	
82	0.1800	0.2683	0.4483	0.4000	1.1207	
81	0.1900	0.2593	0.4493	0.4000	1.1231	
80	0.2000	0.2500	0.4500	0.4000	1.1250	
79	0.2100	0.2405	0.4505	0.4000	1.1263	
78	0.2200	0.2308	0.4508	0.4000	1.1269	
77	0.2300	0.2208	0.4508	0.4000	1.1269	
76	0.2400	0.2105	0.4505	0.4000	1.1263	
75	0.2500	0.2000	0.4500	0.4000	1.1250	
74	0.2600	0.1892	0.4492	0.4000	1.1230	
73	0.2700	0.1781	0.4481	0.4000	1.1202	
72	0.2800	0.1667	0.4467	0.4000	1.1167	
71	0.2900	0.1549	0.4449	0.4000	1.1123	
70	0.3000	0.1429	0.4429	0.4000	1.1071	
69	0.3100	0.1304	0.4404	0.4000	1.1011	
68	0.3200	0.1176	0.4376	0.4000	1.0941	
67	0.3300	0.1045	0.4345	0.4000	1.0862	
66	0.3400	0.0909	0.4309	0.4000	1.0773	
65	0.3500	0.0769	0.4269	0.4000	1.0673	
64	0.3600	0.0625	0.4225	0.4000	1.0563	
63	0.3700	0.0476	0.4176	0.4000	1.0440	
62	0.3800	0.0323	0.4123	0.4000	1.0306	
61	0.3900	0.0164	0.4064	0.4000	1.0160	
60	0.4000	0.0000	0.4000	0.4000	1.0000	

註：本表之S值亦可採用(3.5)式或(3.6)式計算。

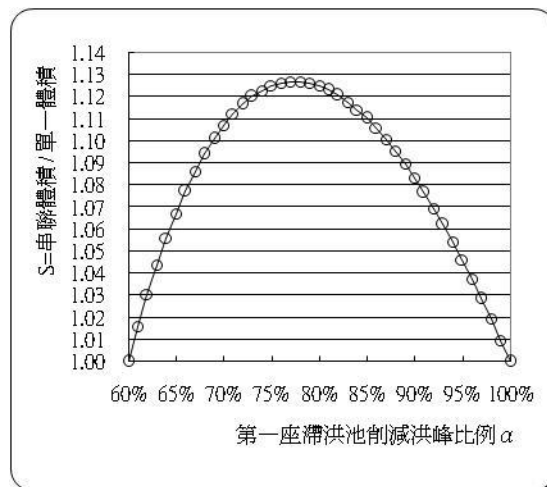


圖4.3 串聯滯洪池體積增率($\beta=60\%$)

表4.4 串聯滯洪池體積增率($\beta=50\%$)

$\alpha(\%)$	Vs1	Vs2	串聯 Vs	單一 Vs	S=串聯 Vs/單一 Vs	備註
100	0.0000	0.5000	0.5000	0.5000	1.0000	
99	0.0100	0.4949	0.5049	0.5000	1.0099	
98	0.0200	0.4898	0.5098	0.5000	1.0196	
97	0.0300	0.4845	0.5145	0.5000	1.0291	
96	0.0400	0.4792	0.5192	0.5000	1.0383	
95	0.0500	0.4737	0.5237	0.5000	1.0474	
94	0.0600	0.4681	0.5281	0.5000	1.0562	
93	0.0700	0.4624	0.5324	0.5000	1.0647	
92	0.0800	0.4565	0.5365	0.5000	1.0730	
91	0.0900	0.4505	0.5405	0.5000	1.0811	
90	0.1000	0.4444	0.5444	0.5000	1.0889	
89	0.1100	0.4382	0.5482	0.5000	1.0964	
88	0.1200	0.4318	0.5518	0.5000	1.1036	
87	0.1300	0.4253	0.5553	0.5000	1.1106	
86	0.1400	0.4186	0.5586	0.5000	1.1172	
85	0.1500	0.4118	0.5618	0.5000	1.1235	
84	0.1600	0.4048	0.5648	0.5000	1.1295	
83	0.1700	0.3976	0.5676	0.5000	1.1352	
82	0.1800	0.3902	0.5702	0.5000	1.1405	
81	0.1900	0.3827	0.5727	0.5000	1.1454	
80	0.2000	0.3750	0.5750	0.5000	1.1500	
79	0.2100	0.3671	0.5771	0.5000	1.1542	
78	0.2200	0.3590	0.5790	0.5000	1.1579	
77	0.2300	0.3506	0.5806	0.5000	1.1613	
76	0.2400	0.3421	0.5821	0.5000	1.1642	
75	0.2500	0.3333	0.5833	0.5000	1.1667	
74	0.2600	0.3243	0.5843	0.5000	1.1686	
73	0.2700	0.3151	0.5851	0.5000	1.1701	
72	0.2800	0.3056	0.5856	0.5000	1.1711	
71	0.2900	0.2958	0.5858	0.5000	1.1715	最大值
70	0.3000	0.2857	0.5857	0.5000	1.1714	
69	0.3100	0.2754	0.5854	0.5000	1.1707	
68	0.3200	0.2647	0.5847	0.5000	1.1694	
67	0.3300	0.2537	0.5837	0.5000	1.1675	
66	0.3400	0.2424	0.5824	0.5000	1.1648	
65	0.3500	0.2308	0.5808	0.5000	1.1615	
64	0.3600	0.2188	0.5788	0.5000	1.1575	
63	0.3700	0.2063	0.5763	0.5000	1.1527	
62	0.3800	0.1935	0.5735	0.5000	1.1471	
61	0.3900	0.1803	0.5703	0.5000	1.1407	
60	0.4000	0.1667	0.5667	0.5000	1.1333	
59	0.4100	0.1525	0.5625	0.5000	1.1251	
58	0.4200	0.1379	0.5579	0.5000	1.1159	
57	0.4300	0.1228	0.5528	0.5000	1.1056	
56	0.4400	0.1071	0.5471	0.5000	1.0943	
55	0.4500	0.0909	0.5409	0.5000	1.0818	
54	0.4600	0.0741	0.5341	0.5000	1.0681	
53	0.4700	0.0566	0.5266	0.5000	1.0532	
52	0.4800	0.0385	0.5185	0.5000	1.0369	
51	0.4900	0.0196	0.5096	0.5000	1.0192	
50	0.5000	0.0000	0.5000	0.5000	1.0000	

註：本表之S值亦可採用(3.5)式或(3.6)式計算。

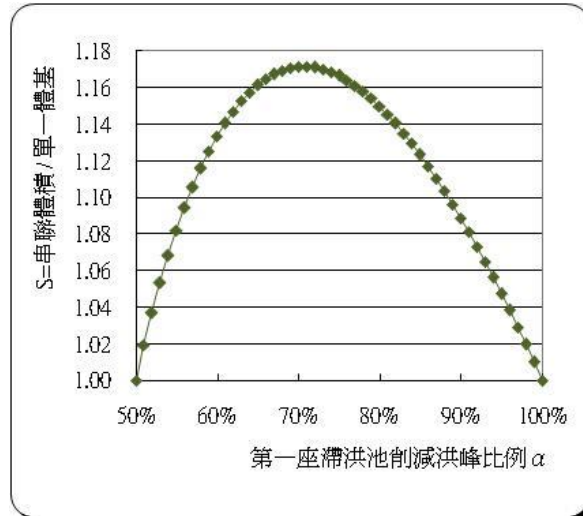


圖4.4 串聯滯洪池體積增率($\beta=50\%$)

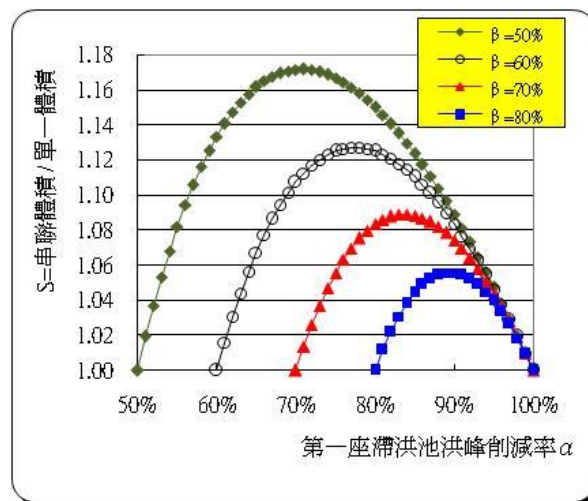


圖4.5 串聯滯洪池體積增率($\beta=50\%$ 、 60% 、 70% 、 80%)

五、 結論與建議

1. 依據本文所推導之(3.6)式可知，串聯滯洪池所需體積較單一滯洪池要大。
2. 串聯滯洪池較單一滯洪池之最大體積增率 S ，隨著洪峰調節係數 $\beta=q_p/Q_p$ (式中 q_p =第二滯洪池出流之洪峰流量， Q_p =第一滯洪池入流之洪峰流量) 愈小，其值愈大。例如當 $\beta=80\%$ 時最大體積增率 $S=1.0556$ ， $\beta=70\%$ 時最大體積增率 $S=1.0889$ ， $\beta=60\%$ 時最大體積增率 $S=1.1269$ ， $\beta=50\%$ 時最大體積增率 $S=1.1715$ 。
3. 串聯滯洪池之第一滯洪池當其洪峰調節係數 α 約在 100% 與 β 之中間時，亦即 $0.5(1+\beta)$ 中間處，串聯滯洪池之體積增率最大，例如當 $\beta=80\%$ 時，採用 $\alpha=89\%$ 與 $\alpha=90\%$ (中間處為 90%) 體積增率最大；當 $\beta=70\%$ 時，採用 $\alpha=84\%$ (中間處為

85%)體積增率最大；當 $\beta=60\%$ 時，採用 $\alpha=78\%$ 與 $\alpha=79\%$ (中間處為 80%)體積增率最大；當 $\beta=50\%$ 時，採用 $\alpha=71\%$ (中間處為 75%)體積增率最大。

4. 本文所探討之串聯滯洪池其體積增率，係建構在「水土保持技術規範」規定之三角單位歷線法求算滯洪池體積，其假設條件為滯洪池出流歷線為三角形，實際上滯洪池出流歷線依排放口之形狀、高度不同而有變化，並非一三角形，若另採用較嚴謹之方法分析串聯滯洪池其體積增率以做比較，可做為更進一步之探討。

六、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(2013)，水土保持技術規範。
- 5.余濬(2014)，山坡地排水與滯洪設計(三版)，科技圖書股份有限公司。
- 6.Akan, A. O. (1990), "Single-Outlet Detention-pond Analysis and Design," J. Irrigation and Drainage Engrg., ASCE, 116(4), pp.527-536.
- 7.下水道雨水調整池技術基準(案)(昭和 59 年)，日本下水道協會。
- 8.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。
- 9.調節池之計畫與設計(昭和 63 年)，都市水文研究，山海堂。

投稿 105.05.11
校稿 105.05.20
定稿 105.05.23