

坡地排水溝水理試驗之研究

Hydraulic Investigation on Drainage Ditches for Slopeland Watersheds

國立臺灣大學農工系講師

陳 增 壽

Tzen-show Chen

國立臺灣大學農工系教授

施 嘉 昌

Charles C. C. Shih

國立臺灣大學農工系教授

吳 銘 塘

Ming-tarng Wu

國立臺灣大學土木工程教授

顏 清 連

Chin-lien Yen

摘 要

坡地集水區如欲妥善設置排水設施，對水土保持將有甚大效果。本計畫自實地調查及瞭解本省各地山坡地簡易排水系統着手，進而着手試驗較標準之排水系統。試驗設施係利用內徑 0.3m，長 20m 之半圓形混凝土槽，下游端銜接長方形消能池，其長度 (L)、上游牆高 (P) 及下游牆高 (h)，均可在有限範圍內作適當之調整；並分別在坡度 30%、40%、50%、60%、80% 及 100% 之坡地上，以各種不同流量進行水理試驗，藉以研究各種不同 L、P 及 h 值之消能池對消能之效果。

由原始觀測資料，應用統計複迴歸分析法分析，所得結論為：(一)消能池之上游牆高度 (P) 愈高，對消能之效果愈佳，但下游牆高度 (h) 愈高，對消能效果反而有消弱之作用。(二)消能池長度 (L) 之長短，對消能之效果，在本試驗中無顯著作用。其複迴歸方程式為：

$$\text{坡度 30\%: } E_L/E = 73.44 + 16.44 \frac{P}{d_c} - 14.88 \frac{h}{d_c}$$

$$\text{坡度 40\%: } E_L/E = 60.99 + 14.34 \frac{P}{d_c} - 12.53 \frac{h}{d_c}$$

$$\text{坡度 50\%: } E_L/E = 99.757 + 10.56 \frac{P}{d_c} - 10.476 \frac{h}{d_c}$$

$$\text{坡度 60\%: } E_L/E = -7.634 + 13.05 \frac{P}{d_c} - 9.392 \frac{h}{d_c}$$

$$\text{坡度 80\%: } E_L/E = -1.869 + 10.91 \frac{P}{d_c} - 9.361 \frac{h}{d_c}$$

$$\text{坡度 100\%: } E_L/E = 1.712 + 9.316 \frac{P}{d_c} - 7.706 \frac{h}{d_c}$$

Abstract

Good planning of drainage system in slopeland watersheds is very essential for soil and water conservation. This project was begun with a field survey of drainage system of slopeland in Taiwan, and then a more or less standard system was taken for experiments. The cross section of the experimental drainage system is semicircular

concrete channel having a diameter of 0.3 m and a length of 20 m, with a stilling basin at the end. The basin has adjustable length L , heights of wall at upstream end P and at downstream h . Channel slopes of 30%, 40%, 50%, 60%, 80% and 100% are adopted. The effects of different L , P , h values on dissipation of energy in the flow have been investigated.

From measured data for different discharges and sizes of stilling basin and by using multiple regression analysis, the following results were got:

1. The higher the upstream wall of stilling basin, the more effective the energy dissipation, inversely, the higher the downstream wall, the less effective the energy dissipation.
2. The length of stilling basin is not very significant in dissipating energy.

The multiple regression equations are:

$$30\% \text{ slope: } E_L/E = 73.44 + 16.44 \frac{P}{d_c} - 14.88 \frac{h}{d_c}$$

$$40\% \text{ slope: } E_L/E = 60.99 + 14.34 \frac{P}{d_c} - 12.53 \frac{h}{d_c}$$

$$50\% \text{ slope: } E_L/E = 99.757 + 10.56 \frac{P}{d_c} - 10.476 \frac{h}{d_c}$$

$$60\% \text{ slope: } E_L/E = -7.634 + 13.05 \frac{P}{d_c} - 9.392 \frac{h}{d_c}$$

$$80\% \text{ slope: } E_L/E = -1.869 + 10.91 \frac{P}{d_c} - 9.361 \frac{h}{d_c}$$

$$100\% \text{ slope: } E_L/E = 1.712 + 9.316 \frac{P}{d_c} - 7.706 \frac{h}{d_c}$$

一、前 言

臺灣平地之可耕地面積原本已感不足，又因人口不斷增加，為擴充耕地面積以增加農產，開發利用山坡地乃必然之趨勢。近二十餘年來，在農發會及臺灣省山地農牧局共同努力下，臺灣各地之山坡地開發及利用，已有顯著之成就。

山坡地一經開發，勢必多少破壞原有自然的平衡，因此水土保持及妥善排水設施之設置，實為迫切需要而不可忽視之工作，此等工作如果沒有做好或者不做，不僅造成坡地沖蝕，水土流失；毀壞耕地，發生各種嚴重災害；同時下游平原地區之安全，亦將感受威脅。故水土保持及妥善之排水設施，實為開發山坡地之首要工作。

農業山坡地之安全排水設施為水土保持重要方法之一；若排水設施設計妥當，則水土保持之效果必定良好；反之，仍難避免遭受沖蝕破壞之危險。

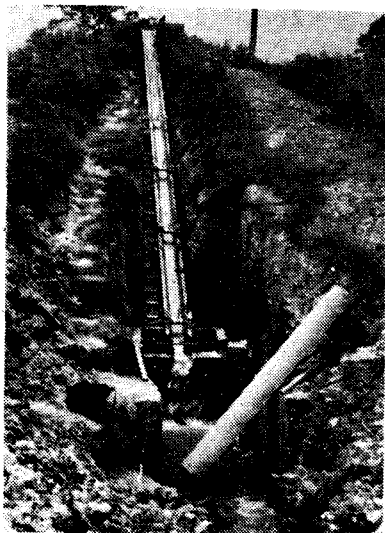
因此，為研究妥適之安全排水設施，以供現地應用設計之參考，爰提出本計畫。

本計畫共分兩年實施，第一年包括實地調查及瞭解本省山坡地現有之簡易排水設施，以及30%，40%及50%坡度排水溝之水理試驗（自民國67年7月1日起至68年6月30日止）。第二年計畫包括60%，80%及100%坡度排水溝之水理試驗（自民國68年7月1日起至69年6月30日止），本年度除作消能池寬度 $W=0.8\text{m}$ （與第一年計畫同）之消能試驗外，另增加 $W=1.2\text{m}$ 之消能試驗；此外，亦增加排水溝本身之充氣量試驗，借以瞭解排水溝在高速渠流（超臨界流）情況下水流因充氣造成水深增加之情形，以作為爾後設計坡地排水溝時之參考。

二、坡地排水溝水理試驗

(一)、試驗佈置及方法

本試驗地點設於高雄縣鳳山熱帶園藝試驗分所。排水溝係用內徑 $D=0.3\text{m}$ 之半圓形鋼筋混凝土鑄造而成，每節長 2.5m ，共計 8 節銜接而成；排水溝長度係依排水溝坡度以及配合現場地形之實際狀況而作適當之取捨，其最長長度共計八節為 20m ；下游端銜接長方形之消能池，如圖一所示。試驗時以不同流量分別對各種坡度之排水溝進行觀測試驗，以測取所需之資料。試驗用水源係利用一部 15 匹馬力之抽水機抽取澄清湖湖水，經由管路輸送至



圖一 試驗槽之工程設施 (1.量水堰 2.消能池
3.混凝土半圓形渠道 4.水尺 5.活動柵板)

試驗場山頂靜水池後，流入銜接之標準束縮矩形量水堰，進入排水溝後進行觀測試驗。消能池寬度，及其上、下游牆高，以及消能池長度，均可作適當調整，藉以觀測其水力特性並比較其消能效果。

(二)、觀測項目：

本試驗之觀測項目包括：

- (1)、 h_w ——量水堰水頭 (m)，用以計算流量 Q (cms)。
- (2)、 L ——消能池長度(m)。
- (3)、 P ——消能池上游牆高(m)。
- (4)、 h ——消能池下游牆高(m)。
- (5)、 d_1 ——排水溝下游端水深(m)。
- (6)、 d_2 ——消能池出口處水深(m)。
- (7)、 S ——排水溝坡度 (共計30%，40%，50%，60%，80%及100%六種)。
- (8)、 B ——量水堰寬度 (0.3m)。
- (9)、 n ——排水溝糙率 (roughness)，採用 0.012。
- (10)、 D ——排水溝內徑 (0.3m)。
- (11)、 W ——消能池寬度 (0.8m及1.2m兩種)。

上列第(1)至第(6)諸項係可調整之觀測資料。有關試驗觀測資料之範圍，如表一所示。

表一 試驗觀測資料範圍

觀測資料組數 n	坡度 S	消能池寬度 W (m)	流 量 Q (cms)	消能池長度 L (m)	上 游 牆 高 P (m)	下 游 牆 高 h (m)	備註
129	30%	0.8	0.005872~0.015512	0.90~1.50	0.74~0.95	0.298~0.711	第一 年 計 畫
92	40%	0.8	0.003966~0.011982	0.87~1.35	0.715~0.925	0.298~0.711	
69	50%	0.8	0.002808~0.01435	0.72~1.32	0.75~0.96	0.298~0.711	
285	60%	0.8	0.003335~0.012672	0.773~1.373	0.8563~1.1363	0.173~0.850	第 二 年 計 畫
291	60%	1.2	0.004389~0.012759	0.773~1.373	0.8563~1.1363	0.176~0.855	
161	80%	0.8	0.002654~0.009938	0.800~1.400	0.9824~1.2524	0.183~0.850	
174	80%	1.2	0.003736~0.009756	0.800~1.400	0.9824~1.2524	0.186~0.855	
166	100%	0.8	0.004923~0.008566	0.800~1.400	1.0399~1.2986	0.1943~0.850	
141	100%	1.2	0.005223~0.011135	0.800~1.400	1.0399~1.2986	0.1943~0.850	

(二)、計算項目：

應用電子計算機讀入 $h_w, L, h, P, d_1, d_2, n, D, B, W, S$ 及 θ (符號見圖二及圖三) 等觀測或已知資料，可計算而得下列各值：

(1)、流量， Q (cms)：

依 Francis Weir Formula

$$Q = 1.838 (B - 0.2 h_w) h_w^{3/2}$$

(2)、斷面①處之總能量， E_1 (m)；亦即流入消能池前之總能量：

$$E_1 = d_1 \cos\theta + \frac{V_1^2}{2g} + P$$

式中：

$$V_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$A_1 = \frac{D^2}{4} \left[\frac{\pi\phi}{360} - 2\left(1 - 2 \frac{d_1}{D}\right) \sqrt{\frac{d_1}{D} - \left(\frac{d_1}{D}\right)^2} \right]$$

$$\phi = 2 \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{d_1}{D} \right)$$

(3)、斷面②處之總能量， E_2 (m)：

$$E_2 = d_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h$$

式中：

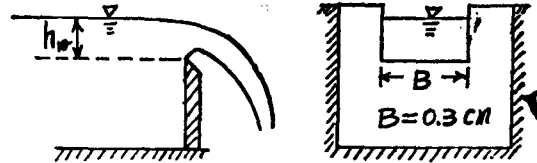
$$V_2 = \frac{Q}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{D^2}{4} \left[\frac{\pi\phi}{360} - 2\left(1 - 2 \frac{d_2}{D}\right) \sqrt{\frac{d_2}{D} - \left(\frac{d_2}{D}\right)^2} \right]$$

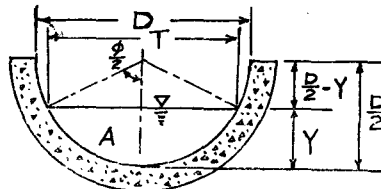
$$\phi = 2 \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{d_2}{D} \right)$$

(4)、能量損失， E_L (m)：

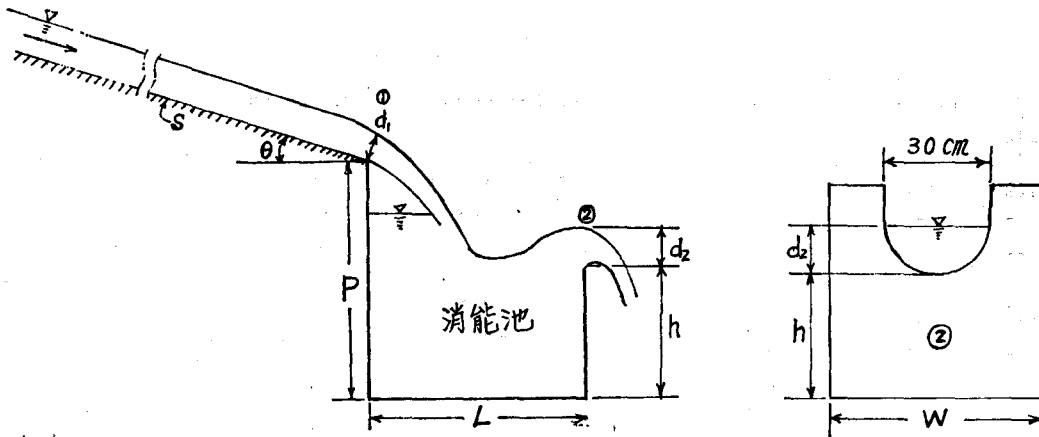
$$E_L = E_1 - E_2$$



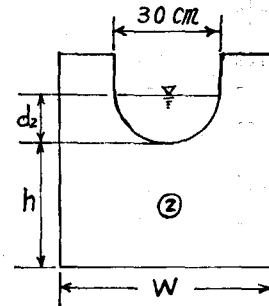
圖二 標準矩形束縮堰圖



半圓形排水溝斷面圖



圖三 試驗槽縱斷面圖



消能池出口橫斷面圖

(5)、定量均勻流 (steady-uniform flow)

水深, y (m):

設渠流斷面 $A = \alpha D^2$

水力半徑 $R = \frac{A}{P} = \beta D$

$$\text{則 } Q = AV = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{n} (\alpha D^2)^{2/3} S^{1/2}$$

$$(\beta D)^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{n} \alpha \beta^{2/3} D^{4/3} S^{1/2}$$

$$\text{或 } \frac{Q \cdot n}{S^{1/2} D^{4/3}} = \alpha \beta^{2/3} \dots \dots \dots (a)$$

式中:

$$\alpha = \frac{A}{D^2} = \frac{1}{4} \left[\frac{\pi \phi}{360} - 2 \left(1 - 2 \frac{y}{D} \right) \sqrt{\frac{y}{D} - \left(\frac{y}{D} \right)^2} \right] \dots \dots \dots (b)$$

$$\beta = \frac{R}{D} = \frac{A}{PD} = \frac{1}{4} \left[1 - \frac{720}{\pi \phi} \left(1 - 2 \frac{y}{D} \right) \sqrt{\frac{y}{D} - \left(\frac{y}{D} \right)^2} \right] \dots \dots \dots (c)$$

$$\phi = 2 \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{y}{D} \right) \dots \dots \dots (d)$$

如已知 Q , n , S 及 D , 則可由 (a), (b), (c) 及 (d) 四式之關係, 求得 y 值。

(6)、比能量 (specific energy), E (m):

$$E = y \cos \theta + \frac{V^2}{2g}$$

式中:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{D^2}{4} \left[\frac{\pi \phi}{360} - 2 \left(1 - 2 \frac{y}{D} \right) \sqrt{\frac{y}{D} - \left(\frac{y}{D} \right)^2} \right]$$

$$\sqrt{\frac{y}{D} - \left(\frac{y}{D} \right)^2}$$

(7)、臨界水深 (critical depth), d_c (m):

設渠流斷面 $A_c = \alpha_c D^2$

水面寬 $T_c = \tau_c D$

則臨界渠流時

$$\frac{Q^3}{g} = \frac{A_c^3}{T_c} \cos \theta = \frac{(\alpha_c D^2)^3}{\tau_c D} \cos \theta$$

$$= \frac{\tau_c^3 D^5}{\tau_c} \cos \theta$$

$$\text{或 } \frac{Q}{D^{2.5}} = \sqrt{\frac{\alpha_c^3}{\tau_c} g \cos \theta} \dots \dots \dots (e)$$

式中:

$$\alpha_c = \frac{1}{4} \left[\frac{\pi \phi}{360} - 2 \left(1 - 2 \frac{d_c}{D} \right) \sqrt{\frac{d_c}{D} - \left(\frac{d_c}{D} \right)^2} \right] \dots \dots \dots (f)$$

$$\tau_c = \frac{T_c}{D} = 2 \sqrt{\frac{d_c}{D} - \left(\frac{d_c}{D} \right)^2} \dots \dots \dots (g)$$

$$\phi = 2 \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{d_c}{D} \right) \dots \dots \dots (h)$$

如 Q , D 及 θ 為已知, 則可由 (e), (f), (g) 及 (h) 四式之關係, 求得 d_c 之值。

四、計算機輸出之資料:

本計算資料第一年部分共輸入 290 組資料, 其中坡度 30% 者 69 組, 坡度 40% 者 92 組, 坡度 50% 者 129 組。第二年部分共輸入 1218 組資料, 其中坡度 60%, $W = 0.8m$ 者計 285 組, $W = 1.2m$ 者計 291 組; 坡度 80%, $W = 0.8m$ 者計 161 組, $W = 1.2m$ 者計 174 組; 坡度 100%, $W = 0.8m$ 者計 166 組, $W = 1.2m$ 者計 141 組。

計算機輸出之計算資料:

- | | |
|------------------------------|-------------------|
| (1)、 Q (cms) | (12)、 V (m/s) |
| (2)、 A_1 (m ²) | (13)、 E (m) |
| (3)、 A_2 (m ²) | (14)、 E_L/E |
| (4)、 V_1 (m/s) | (15)、 $Q/D^{2.5}$ |
| (5)、 V_2 (m/s) | (16)、 d_c (m) |
| (6)、 E_1 (m) | (17)、 P/d_c |
| (7)、 E_2 (m) | (18)、 h/d_c |
| (8)、 E_L (m) | (19)、 L/d_c |
| (9)、 $nQ/D^{2.5}S^{1/2}$ | (20)、 d_2/y |
| (10)、 y (m) | (21)、 W/d_c |
| (11)、 A (m ²) | |

四、試驗結果分析:

本試驗取其計算後之 E_L/E , P/d_c , h/d_c , L/d_c , d_2/y 及 W/d_c 等無因次參數值, 應用複迴歸分析法加以分析, 選擇最具意義而良好之迴歸方程式 (因分析獲得之迴歸方程式甚多, 故加以省略), 整理後如表二所示。

四、排水溝充氣量觀測試驗:

本試驗排水溝之充氣量, 筆者將其定義為排水溝水流之實際水深與其未充氣時定量均勻流水深之差值, 與其定量均勻流水深之比值。換言之, 即排水溝充氣時水深增加之百分比。試驗分析結果, 如表三所示。由分析結果得知: 由於高坡度所造成之高速水流, 夾帶多量之氣體, 以致實際水深高於未充氣時正常水流之水深, 其增加之幅度約為 30%。此項結果可提供山坡地排水溝設計者之參考, 俾可避免渠流之溢流。

表二 觀測資料迴歸分析表

坡 度 S (%)	消能池 寬 度 W(m)	觀測資 料組數 n	複 迴 歸 係 數					複相關係 數 R	計算之 F 值	計 算 之 t 值					複 迴 歸 方 程 式
			a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄			a ₅	P/d _c	h/d _c	L/d _c	d ₂ /y	
*30	0.8	69	73.44	16.44	-14.88			0.899	138.42	16.45	-13.61				E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c)
*40	0.8	92	60.99	14.34	-12.53			0.988	1897.8	51.9	-51.0				"
*50	0.8	129	99.75	10.56	-10.48			0.855	228.19	21.33	-16.33				"
30及40	0.8	161	86.73	12.95	-12.49			0.915	404.55	25.10	-20.48				"
60	0.8	285	0.0081	12.383	-8.769			0.928	877.01	41.88	-29.13				"
60	1.2	291	-9.51	13.34	-10.01			0.976	2874.01	74.8	-52.45				"
80	0.8	161	-43.01	8.348	-8.292			0.975	996.01	23.23	-34.93			10.42	E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c) +a ₅ (W/d _c)
80	0.8	161	-10.43	11.34	-9.108			0.957	856.42	40.38	-31.35				E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c)
80	1.2	174	-18.386	7.144	-8.479			3.956	1558.34	22.45	-43.65			12.57	E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c) +a ₅ (W/d _c)
80	1.2	174	5.600	10.53	-9.595			0.966	1177.56	44.99	-40.11				E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c)
100	0.8	166	-15.37	8.214	-7.347			2.610	1128.50	31.59	-46.36			6.15	E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c) +a ₅ (W/d _c)
100	0.8	166	-1.052	9.353	-7.670			0.971	1365.71	46.53	-46.36				E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c)
100	1.2	141	-15.72	8.218	-7.468			2.076	635.37	23.60	-36.19			5.76	E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c) +a ₅ (W/d _c)
100	1.2	141	1.142	9.646	-7.760			0.957	759.51	35.45	-34.93				E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c)
*60	0.8及1.2	576	-7.634	13.05	-9.392			0.952	2791.62	74.65	-50.96				"
*80	0.8及1.2	335	-1.869	10.91	-9.361			0.959	1923.65	59.11	-49.35				"
*100	0.8及1.2	307	1.712	9.316	-7.706			0.960	1795.91	53.95	-53.69				"
60-80及100	0.8	612	-26.71	9.052	-5.926			4.568	365.68	11.55	-19.61			14.98	E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c) +a ₅ (W/d _c)
60-80及100	0.8	612	25.00	8.55	-6.51			0.715	319.25	24.95	-18.56				E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c)
60-80及100	1.2	606	-23.33	6.052	-6.868			4.812	938.56	16.69	-31.71			20.56	E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c) +a ₅ (W/d _c)
60-80及100	1.2	606	23.12	9.239	-8.040			0.844	748.32	36.96	-29.52				E _L /E=a ₀ +a ₁ (P/d _c)+a ₂ (h/d _c)

表三 充氣量觀測結果

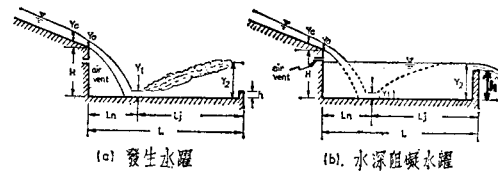
測站 充氣量(%) 坡度(%)	組數	a	b	c	d	平均	組數	a	b	c	d	平均	總平均
	n						n						
60	291	26	27	31	30	28.5	285	20	23	23	22	22.0	25.3
80	174	36	31	31	38	34.0	161	34	31	30	35	32.5	33.3
100	141	35	37	37	35	36.0	166	38	41	40	39	39.5	37.9
平均		31.0	30.5	32.4	33.5	31.8		28.6	29.9	29.5	30.0	29.5	30.6

三、討論及結論

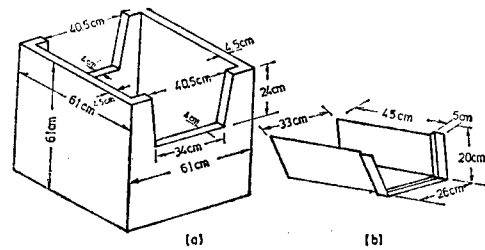
(一)、由試驗分析結果(表二)得知,就複相關而言, P/d_0 、 h/d_0 、 L/d_0 、 d_s/y 及 W/d_0 各值對 E_L/E 值之綜合影響,以 t 值分別測驗結果,顯示 P/d_0 及 h/d_0 計算之 t 值遠大於理論 t 值,而 L/d_0 及 d_s/y 計算之 t 值遠小於理論 t 值;至於 W/d_0 計算之 t 值雖然略大於理論 t 值,但不明顯,因 W 僅有兩種尺寸,不足以構成統計分析上之變量,在此僅供參考。以上所討論者,係就全部分析出來之迴歸方程式而言,僅就表二所列討論時,則 P/d_0 及 h/d_0 對 E_L/E 分別具有極顯著之正負相關,而 L/d_0 及 d_s/y 對 E_L/E 之關係,則顯示不相關。亦即 P 愈高時,能量消耗愈大,消能效果愈佳;但 h 增高時,能量消耗愈小,消能效果減弱。 L 之增減對能量之消耗,並無顯著之差異。

(二)、依渠道水力學原理,渠流在靜水池中發生水躍(Hydraulic jump)現象時,必消耗甚多能量,欲使產生正常之水躍現象,以消耗大量之能量,則應將靜水池下游牆高 h ,適當地降低[圖四(a)],方可促成正常水躍之形成。若下游牆 h 增高,則靜水池之水面亦將相對提升[圖四(b)],此時即不易促成正常之水躍現象以消去大量之能量。故本試驗以統計方法分析結果,指出下游牆 h 愈高,靜水池消能效果愈差之結論,從以上發生水躍現象之原理,得以驗證。

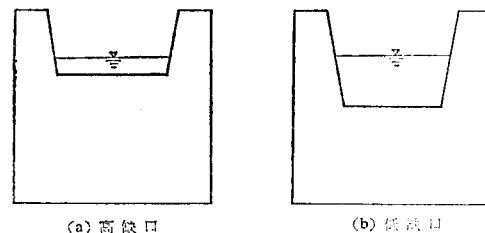
(三)、目前各地之坡地農場到處均已採用混凝土預鑄排水溝及預鑄消能(跌水)池。跌水池係由前、後、左、右及底板共五片鋼筋混凝土板所組成。跌水池之進出口有一高低不同之梯形缺口如圖五(a)及(b)所示。現場農民有將缺口較



圖四 消能池與水躍現象



圖五 預鑄跌水及排水渠道



圖五 預鑄距水池進出口斷面

高之混凝土板放在下游作為出口,而將缺口較低之板放在上游作為進口;亦有將高低缺口之前後位置與上述情形相互調換者,乃至於前後均採用同一高低之缺口者;究竟孰是孰非,成為一時相互爭論未決之問題。此項爭論,可由本試驗所得之結論,而獲得解釋。亦即欲達消能之目的,將高缺口板放置於上游作為進口,而將低缺口之板放置於下游作為出口,方可獲得較佳之消能效果。

(四)、關於靜水池長度(L)之決定,依各文獻^{(2),(3)},

(4),(7),(8),(10),(11),(12),(14),(17) 提出之各種公式，決定靜水池長度之水力因素，歸納言之，除各不同之經驗係數外，包括渠流流量、比能量 (Specific energy)、靜水池落差 (上游牆高 P)、福祿指數 F、水躍前後水深以及臨界水深等等。惟本試驗由1508組觀測資料統計分析結果，指出靜水池之長短 (自0.72m 至 1.50 m) 對消能之效果，並無顯著之差異。

四、綜上所論，本試驗結果可以下列迴歸方程式表示：

(1) 坡度 30%:

$$E_L/E = 73.44 + 16.44P/d_c - 14.88 h/d_c$$

(2) 坡度 40%:

$$E_L/E = 60.99 + 14.34P/d_c - 12.53 h/d_c$$

(3) 坡度 50%:

$$E_L/E = 99.757 + 10.56P/d_c - 10.476 h/d_c$$

(4) 坡度 60%:

$$E_L/E = -7.634 + 13.05P/d_c - 9.392 h/d_c$$

(5) 坡度 80%:

$$E_L/E = -1.869 + 10.91P/d_c - 9.361 h/d_c$$

(6) 坡度100%:

$$E_L/E = 1.712 + 9.316P/d_c - 7.706h/d_c$$

五、由於高速渠流造成排水溝水流夾帶氣體，致實際水深因而增加，其增加幅度約為正常渠流水深之三分之一，為避免渠流發生溢流，設計坡地排水溝時應謹慎從事。

四、誌 謝

此次參觀調查，承蒙農發會李技正三畏，農牧局郭技正長庚安排日程、地點、協助聯絡等。反蒙農牧局各地工作處暨各縣政府水土保持課同仁熱心協助與引導，使本工作得能順利進行，筆者衷心銘感，除藉此向以上兩位技正誌謝外，特再向各地工作處暨縣府水土保持課熱心引導之各位先生致最深摯之謝意。

本研究之完成，承農發會補助經費，試驗進行中蒙農發會廖博士綿濤之指導，現場試驗承張賢明先生協助，又電子計算機程式及計算由臺大生物統計研究室謝英雄先生協力，謹此一併致謝。

參 考 文 獻

1. 鄧先仁「能量線與水面曲線之關係」臺灣水利季刊叢書之14 (46年11月10日出版)
2. 薛履坦「靜水池及消能器之設計標準」臺灣水利季刊叢書之10 (46年7月1日出版)
3. 農發會、山地農牧局「水土保持手冊」XXIV-1~9, (67年4月出版)
4. 洪有才「灌溉排水系統構造物之設計」農工學報叢刊第2號 (60年3月15日)
5. 中國工程師學會「流體力學」中國工程師手冊土木類第6篇
6. 何智武等「臺灣蝕溝控制及排水方法之調查研究」水土保持學報8卷1期 (66年7月1日)
7. 柴田道生「農田水路構造物の實用設計と解説」p. 173 落差工 (昭和39年)
8. 臺灣省水利局「灌溉排水工程設計訓練教材」(1976)
9. 葉樹藩「試驗設計學 (第一部份)」生物統計學第8,9章臺大農學院生物統計學研究室
10. Schwab, Frevert, Edminster, Barnes "Soil and Water Conservation Engineering" 2nd Ed. (1966).
11. Elevatorski "Hydraulic Energy Dissipators" (1959)
12. U. S. Department of the Bureau of Reclamation "Bucket Energy Dissipators" (1958)
13. U. S. Department of the Bureau of Reclamation "Design of Small Canal Structures" (1974)
14. Ven Te Chow "Open-Channel Hydraulics" (1969)
15. Henderson "Open Channel Flow" (1966)
16. Kuo "Computer Applications of Numerical Methods" (1971)
17. Simon "Practical Hydraulics" John Wiley & Sons. (1976)
18. Moore "Energy Loss at the Base of a Free Overfall" Transactions, ASCE, Vol. 108, pp. 1343-1392, (1943)