

# 灌溉系統構造物之設計與實例

## 跌 水 工 設 計

### Design of Drop

臺灣大學農業工程系講師

洪 有 才

#### 一、概 述

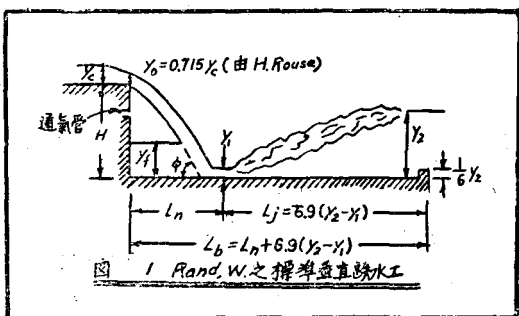
渠道經過地形較陡之處，而渠道縱坡不能依照地形設施陡坡時為減緩渠坡，在渠中設置消滅部份或多餘之能量以防止渠道之冲刷是為消能器 (Energy dissipator) 此種消能器以跌水 (Drop) 或陡槽 (Chute) 最為普遍。一般跌水工依其縱向形狀可分為垂直式 (Vertical Type) 及傾斜式 (Inclined Type) 依其斷面形狀可分為矩形與梯形。茲依其各種形狀加以分析並設計於次，至於陡槽則於下期敘述之。

#### 二、垂直式跌水工 (Vertical Type Drop)

垂直式跌水工之斷面僅有矩形者，故在此僅對垂直式矩形斷面者討論之，垂直式跌水工應用於較小渠道，或因其上下游渠道受地形影響不能設置傾斜式時使用。因由於各人不同之實驗觀點，茲將其設計法分述於次：

##### 1. Rand, W. 之實驗式：

如圖 1 假定其流量與跌水高差 (Height of fall) 為已知。



##### (1) 水理設計 (Hydraulic Design)

- ① 先計算上下游之水力要素
- ② 決定臨界水深  $d_c$

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2g}} \dots\dots\dots (1)$$

式中  $d_c$  = 臨界水深 (ft)

$Q$  = 流量 (c.f.s.)

$b$  = 跌水口之底寬 (ft)

$g$  = 重力加速度 (32.2 ft/sec<sup>2</sup>)

③ 計算  $d_0/H$ ,  $H$  須先大略假定

④ 由以下 Rand, W 最近之實驗式求  $d_1$  及  $d_2$

$$d_1/H = 0.54 (d_0/H)^{1.275} \dots\dots\dots (2)$$

$$d_2/d_1 = \frac{3.07}{(d_0/H)^{0.465}} \dots\dots\dots (3)$$

式中  $d_1$  = 水躍前之水深 (ft)

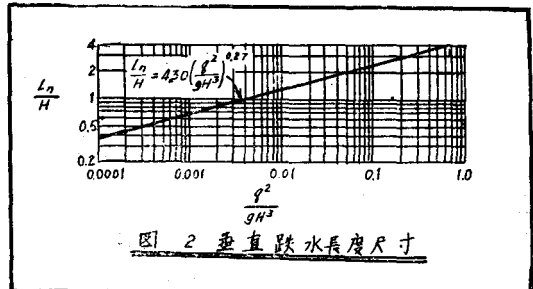
$d_2$  = 水躍後之水深 (ft)

⑤ 由 Rand, W 氏之公式

$$L_n/H = 4.3d \left( \frac{Q^2}{b^2gH^3} \right)^{0.27} \dots\dots\dots (4)$$

⑥ 求  $L_b = L_n + 6.9(d_2 - d_1)$  (ft).....(5)

⑦ 由⑥式求出之  $L_b$ ，在冲刷厲害之渠道中，應略加其長度。



其長度。

⑧ 由 Ippen 氏公式求  $\phi$  角

$$\cos \phi = \frac{1.06}{\sqrt{H/d_0 + 3/2}} \dots\dots\dots (4)$$

⑨ 由 Moore 氏公式求  $d_r$

$$d_r = d_0 [(d_1/d_2)^2 - 2(d_0/d_1) - 3]^{1/2} \text{ (ft)} \dots\dots (5)$$

(2) 結構設計 (Structural design)

①由 Blaisdell 及 Donnelly 氏指示靜水池側壁坡度為垂直，不得緩於1:1。

②若靜水池側壁向外擴展，則縱向池檻 (Longitudinal Sills) 必自池箱 (Box inlet) 起點至終檻(End Sill)為止，其高度亦與終檻相同，並僅須兩條，每一條自池心線距離約為池寬之  $\frac{1}{4}$  倍至  $\frac{1}{6}$  倍。

③翼牆 (Wing Wall) 須建於池終點，以保護側牆因冲刷或渦流所致之破壞。其牆中心線與池中心線成  $60^\circ$  或  $45^\circ$  並自池牆頂沿翼牆向下游呈1:1之坡度，如圖：3所示。

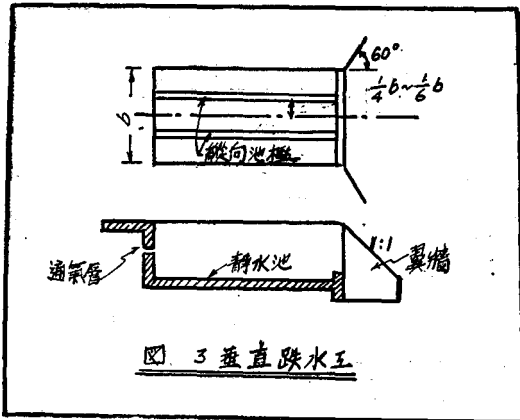


圖 3 垂直跌水工

④通氣管必須嵌入以防止水脈下產生低壓，其管大小可參照量水堰設計。

⑤視跌水尾水者無尾水或尾水甚低時須適當增加靜水池長度，否則水躍未能在池內完成。

⑥其他部份之尺寸參照以下美國墾務局之標準設計圖10。

## 2. Etchevery 改進式

### (1) 公式之演變

如圖-4 Etchevery 對於垂直跌水工靜水池長度有如下之經驗公式：

$$L = C_L \sqrt{hd_c} \text{ (ft)} \dots\dots\dots(6)$$

式中L=靜水池長度 (ft)

$C_L$  = 係數 (3.1~4.5) (英制單位)

$d_c$  = 跌水上游端之臨界水深 (ft)

h = 跌水上下游端之高度差 (ft)

但已被 B.T. Morris 及 D.C. Johnson 證明其  $C_L$  並不須與  $\sqrt{hd_c}$  成比例，得如下之公式

$$C_L = 2.5 + 1.1d_0/h + 0.7 \left( \frac{d_0}{h} \right)^3 \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{而 } L = \left[ 2.5 + 1.1 \frac{d_0}{h} + 0.7 \left( \frac{d_0}{h} \right)^3 \right] \sqrt{hd_c} \text{ (ft)} \dots\dots(8)$$

$$\text{或 } \frac{L}{\sqrt{hd_c}} = 2.5 + 1.1 \frac{d_0}{h} + 0.7 \left( \frac{d_0}{h} \right)^3$$

但要注意此式不能用於  $h/d_0 < 1.0$ ，或跌水上游為射流 (Supercritical flow) 時

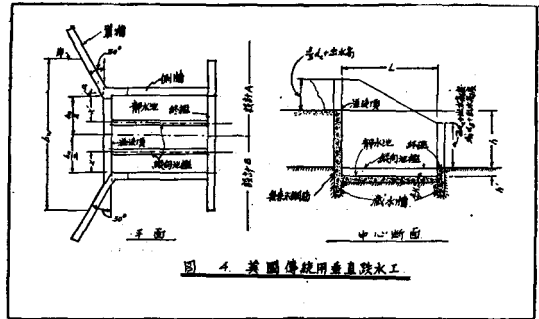


圖 4 美國傳統用垂直跌水工

## (2) 水理與結構設計 (Hydraulic and Structural Design)

①計算上下游之水力要素

②計算跌水直前上游之臨界水深  $d_c$

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2g}} \text{ (ft)}$$

③假定跌水工上下游之高差 h(ft)

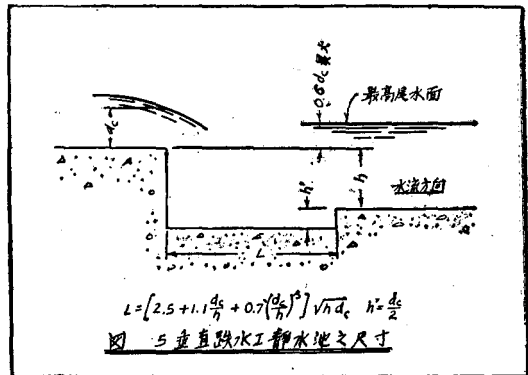


圖 5 垂直跌水工靜水池之尺寸

④檢討最高尾水面與跌水入口高度差  $< 0.6d_c$

⑤利用公式⑥計算靜水池長度

$$L = \left[ 2.5 + 1.1 \frac{d_0}{h} + 0.7 \left( \frac{d_0}{h} \right)^3 \right] \sqrt{hd_c} \text{ (ft)}$$

⑥計算終檻 (End sill) 高度亦即決定池深 (pool depth)

$$h' = \frac{1}{2} d_0$$

⑦縱向池檻之決定

(a) 圖-4,  $b_w = b_n$  亦即跌水工前無收縮時, 不設縱向池檻。

(b) 若  $d_w > b_n$  則縱向池檻應由假定之零位 (即與側牆同平面之位置) 向中心移動, 其距離不能大於池寬之三分之一。

(c) 設  $x$  = 縱向池檻間隔, 利用以下公式得  $x$

$$C_x = \frac{X}{b_n} = 0.6 \frac{d_s - d_o}{d_o} \dots\dots\dots(9)*$$

$$\text{及 } C_x^3 + 0.9C_x^2 = 0.108 \left( \frac{b_w}{b_n} \right)^2 - 1 \dots\dots(10)*$$

式中  $d_s$  = 跌水下游處之水深 (ft or m)

$d_o$  = 跌水下游處之臨界水深 (ft or m)

$$\frac{3}{2} d_o = d_s + \frac{V_s^2}{2g} \dots\dots\dots(11)$$

求  $C_x$  值可利用圖6, 以求之。

(d) 如圖-4, 上游翼牆角為  $30^\circ$  但以上之設計可應用於任何角度。

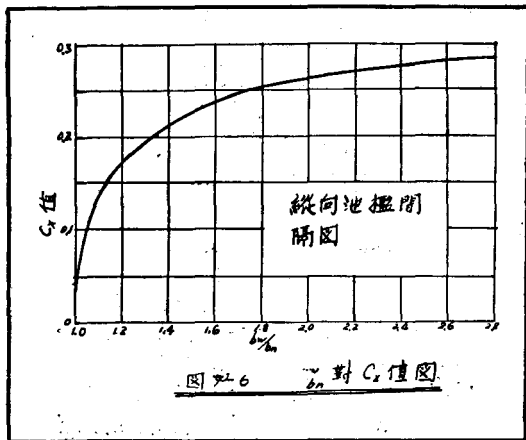


圖 6  $d_s/d_o$  對  $C_x$  值圖

(e) 如圖-4, 設計 A 與設計 B,  $X_1 = X + 3a$

式中  $X_1$  及  $X$  各為設計 A 及 B 縱向池檻之間隔寬 (看圖-4)

但本公式僅應用於  $0 < \frac{9}{b_n} < 0.031$

### 3. C.A. Donnelly 和 F.W Blaisdell 法如圖-7 及圖-8

(1) 計算跌水工上下游水力因素

(2) 計算臨界水深  $d_o$

(3) 決定落差  $F = \frac{y}{d_o}$  (上下游標高差)

(4) 計算  $y_1$  及  $y_1/d_o$

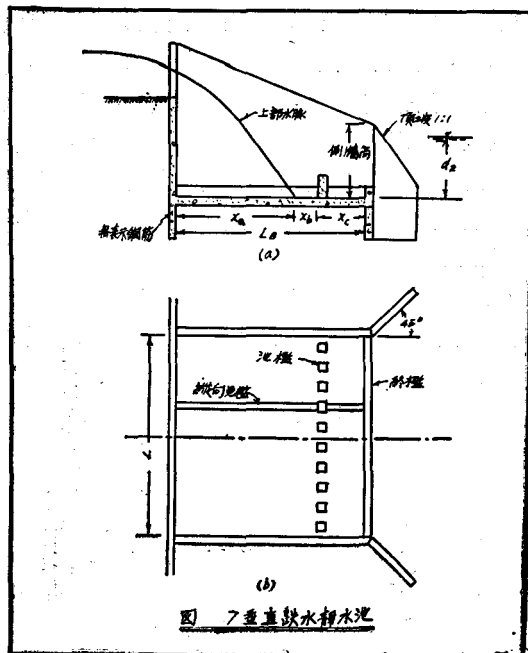


圖 7 垂直跌水靜水池

(5) 由圖-8 查出,  $X_a/d_o$  則  $X_a$  可以求出或利用以下公式計算

$$X_a/d_o = -0.406 + \sqrt{3.195 - 4.386 \frac{y}{d_o}} \dots\dots(12)$$

(6) 決定靜水池長  $L_B$ , 如圖-7

$$L_B = X_a + X_b + X_c = X_a + 2.55d_o \dots\dots(13)$$

$$\text{式中 } X_b = 0.8d_o \dots\dots\dots(14)$$

$$X_c = 1.75d_o \dots\dots\dots(15)$$

(7) 池檻 (Floor Blocks) 之決定

$$\text{① 池檻高度} = 0.8d_o \dots\dots\dots(16)$$

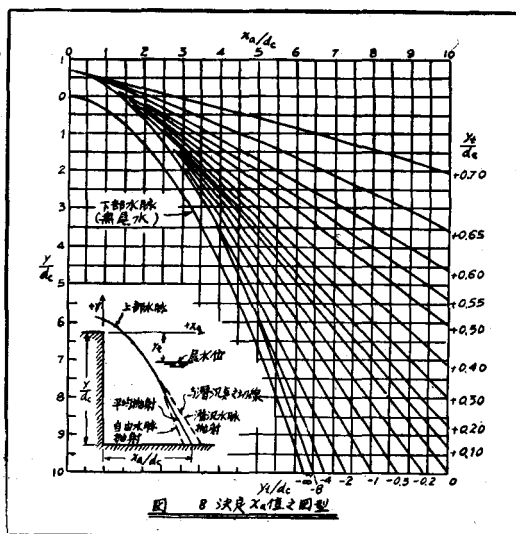


圖 8 決定  $X_a$  值之圖型

$$\text{② 池檻寬與間距} = 0.4d_o \text{ 但 } \dots\dots\dots(17)$$

可以有  $\pm 0.15d_c$  之變化

③池檻之頂面為正方形

④池檻總寬須等於池寬之 50~60%

(8)終檻 (End Sill) 高度 =  $0.4 d_c \dots (18)$

(9)縱向池檻 (Longitudinal sills) 可以用，亦可不用，

如用之，則不得置放於池檻與池檻之間而要經過池檻。

(10)側牆 (Side walls) 須高於尾水位  $0.85d_c$

(11)翼牆須與出口之中心線成  $45^\circ$ ，且其頂坡度亦應以

1:1 坡度向下傾斜。

(12)尾水面離池底應大於  $2.15d_c$

(13)上游漸變渠道 (Approach channel) 之設計

①其底須與越流頂 (Crest) 水平

②如圖-9，護岸脚或其側坡脚 (Toe of the side slope)，須在溢流缺口 (Notch) 末端與漸

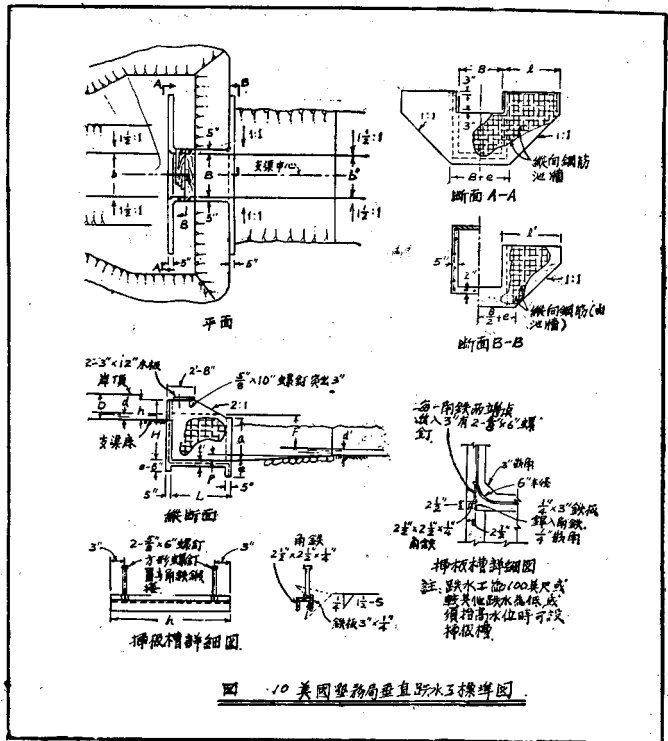


圖 10 美國墾務局垂直跌水標準圖

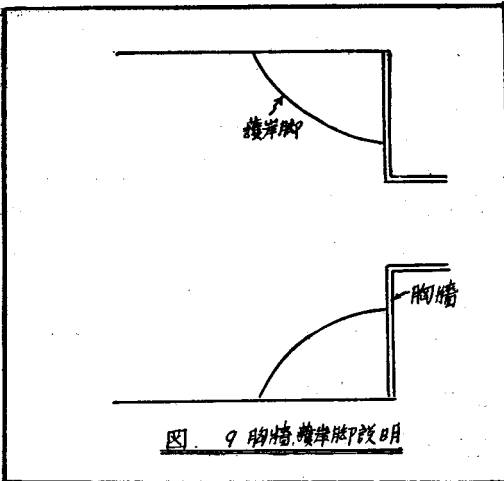


圖 9 脚槽護岸脚改良

變渠道底相交，漸變渠道在溢流缺口底應等於缺口之寬口

③保護工用拋石或鋪石其長度自缺口至上游要等於缺口深之兩倍。

(14)若有漸變渠道，則不須在水脈下設特殊通氣設施。

4. 美國墾務局標準設計 (U.S.B.R. Standard Design) 如圖-10 本設計適用於流量小於  $15 \text{ 呎}^3/\text{秒}$ ，岸高  $D$  小於  $2.5 \text{ 呎}$  ( $D$  = 自渠底至路面之高度)，其設計要點如下：

(1)池長  $L = H + 8 \text{ 吋}$

$$L = H + 8 \text{ 吋} = p + d' + F + 20 \text{ 吋 (ft)} \dots (19)$$

式中  $H$  = 構造物全高 (ft)

$P$  = 池深

$d'$  = 下游水深 (downstream depth)

$F$  = 上下游水水位差

(2)池深：(pood depth)

$$P = \frac{F + d' + q}{7.2} \dots (20)$$

式中  $b = \frac{Q}{B}$ ；單位寬度流量 (c.f.s/ft)

(3)溢流頂寬 (Width of crest)  $B$

$$B = 2 \text{ 呎} - 6 \text{ 呎} > \frac{Q}{d_1^{2/3}}$$

並以  $\frac{D}{3}$  為最小，以  $0.87 \text{ 呎}$  為最大  $\dots (21)$

式中  $d_1$  = 經過溢流頂之能高 (Energy head) (ft)

$D$  = 上游岸高 (ft)

(4)載水牆 (cut-off)

①上游小於  $6''$

②下游大於  $18''$

(5)翼牆 (Wing wall)

$$\text{① 牆高 } a = \frac{H}{2} + 12'' \dots (22)$$

$$\text{② 上游翼牆寬度 } l = H + e - 6'' \dots (23)$$

③下游翼牆寬度  $l_1 = a + e$  .....(24)

(6)池底厚度  $t$

$$t = 0.42 + 0.0169 F^{3/2} \text{ (ft)} \text{ .....(25)}$$

但  $5'' < t < 7''$

(7)鉛直牆 (Vertical walls)厚度均為5''

(8)鋼筋

①排法：一除非有特別之集中荷重或分佈荷重，一般均置放於版中心。

②鋼筋大小：(a)  $H < 4 - \frac{1}{2}$  ft時使用 $\frac{3}{8}$ ''圓鋼筋，兩方向中心至中心距離均為9''。

(b)  $H > 4 - \frac{1}{2}$  ft時亦可用 $\frac{3}{8}$ ''圓鋼筋

，但其中心距離為6''。

(8)鋼筋連接處 (Splice)：一為鋼筋直徑之40倍。

### 三、傾斜式跌水工 (Inclined Type Drop)

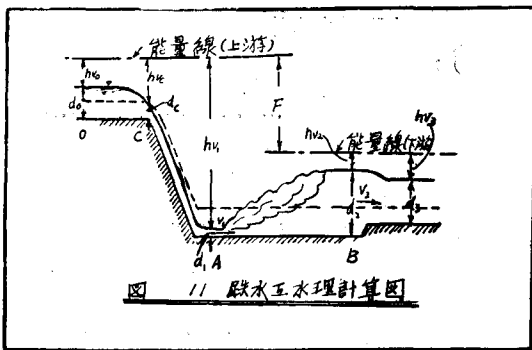
傾斜式跌水工，其斷面可分為矩形與梯形兩種茲分述其設計於後：

(一) 傾斜式矩形斷面跌水工

傾斜式矩形斷面跌水工可應用於任何大小之渠道或渠首工 (Head works) 以消去多餘之能量，其設計之理論與步驟如下：

(1) 水力設計 (Hydraulic Design)，如圖-11。

①計算上下游水力條件。



但注意計算下游水力因素時，如屬土渠應取  $n = 0.02$ ，如屬混凝土內面工則取  $n = 0.012$ ，較為安全。

②計算上下游勢力線 (Energy line) 之高差 =  $F$ 。

③計算跌水口之臨界水深  $d_c$

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2g}} \text{ .....(26)}$$

④決定控制斷面 (Control section)，即跌水口處渠道之高度，使

$$d_0 + hv_0 = d_c + hv_c + 0.2(hv_c - hv_0)$$

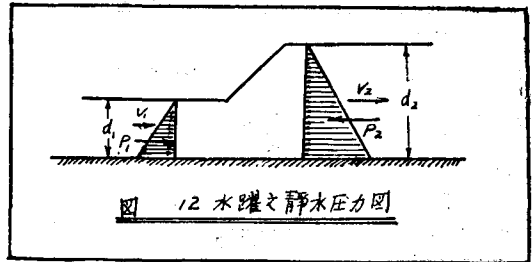
式中  $d_0$  = 上游渠道之水深 (m)

$hv_0$  = 上游渠道之流速水頭 (m)

$d_c$  = 跌水口處之臨界水深

$hv_c$  = 跌水口處之臨界水深之流速水頭

⑤以  $F/d_c$  之值由表 (一) 表出  $d_2/d_1 = K$ ，及  $d_1/d_c$  之值。表一編製之原理如下，參考圖11及12。



設  $Q$  = 計劃流量 (c.m.s)

$g$  = 重力加速度 (9.8m/sec<sup>2</sup>)

$p$  = 靜水壓力 (kg)

$F$  = 上下游勢力線高差。

$d_1$  = 水躍前水深 (m)

$d_2$  = 水躍後水深 (m)

$d_c$  = 與 (26) 同 (m)

$b$  = 跌水口及池寬 (m)

$\frac{QVW}{g}$  任意一斷面之單位時間流水運動能

$K = d_2/d_1$ ,  $V_n$  = 各斷面之流速 (m/sec)

由動量加壓力之理論 (momentum plus pressure theory) 接近兩斷面能量差等於該二斷面之靜水壓之差，將側壁之摩擦力略去不計則得

$$\alpha_1 \frac{QV_1W}{g} - \alpha_2 \frac{QV_2W}{g} = P_2 - P_1 \text{ .....(27)}$$

$$\text{式中式 } P = \frac{1}{2} Wd^2b \quad V_n = \frac{Q}{bd_n}$$

$W$  = 水單位重， $P_1$ ,  $P_2$  及  $V_1$ ,  $V_2$  各為水躍前與後之水壓力及流速， $\alpha_1$  及  $\alpha_2$  各為動能係數，其變化自 1.00~1.10 為方便計取  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.00$  則 (27) 式變為

$$\frac{WQ^2}{gb^3d_1} + \frac{Wbd_1^2}{2} = \frac{WQ^2}{gb^3d_2} + \frac{Wbd_2^2}{2} \text{ .....(28)}$$

$$\therefore \frac{Q^2}{gb^3} = d_c^3, d_2 = kd, \therefore (28) \text{ 式變為}$$

$$\frac{d_c^3}{d_1} + \frac{d_1^2}{2} = \frac{d_c^3}{Kd_1} + \frac{K^2d_1^2}{2}$$

$$\text{或 } 2d_c^3(K-1) = K - b_1^2(K^2-1)$$

$$d_c^3 = \frac{K(K+1)d_1^2}{2} \text{ .....(29)}$$

$$\frac{d_1^3}{d_c^3} = \frac{2}{K(K+1)}$$

或  $\frac{d_1}{d_c} = \sqrt[3]{\frac{2}{K(K+1)}}$  .....(30)

設 OA 間之摩擦損失不考慮時，A，B 兩斷面可成下式

$$d_1 + hv_1 = d_2 + hv_2 + F \text{ .....(31)}$$

式中  $hv =$  流速水頭

$$\text{因 } hv + \frac{V^2}{2g} = \frac{Q^2}{2gb^2d^3} = \frac{d_c^3}{2d^3} \text{ .....(32)}$$

故 (31) 式變為

$$d_1 + \frac{d_c^3}{2d_1^3} + Kd_1 = \frac{d_c^3}{2d_2^3} + F \text{ .....(33)}$$

將 (29) 式代入 (33) 式化簡則得

$$d_1(K^3 - 3K^2 + 3K - 1) = 4KF$$

$$\therefore F/d_1 = \frac{(K-1)^3}{4K} \text{ .....(34)}$$

又由 (30) 式可得：

$$d_c = \frac{d_1}{\sqrt[3]{\frac{2}{K(K+1)}}} \text{ .....(35)}$$

$$\text{由 (34) 式得：} F = \frac{(K-1)^3 d_1}{4K} \text{ .....(36)}$$

(35) 式除 (36) 式得

$$F/d_c = \frac{(K-1)^3}{4K} \sqrt[3]{\frac{2}{K(K+1)}} \text{ .....(37)}$$

$\therefore F/d_c$  已知則可由 (37) 式得 K 值， $\therefore$  從而由 (34) 式算  $d_1$  又由  $d_2/d_1 = K$  得  $d_2$  值，為方便計將  $F/d_c$ ， $d_2/d_1$  及  $d_1/d_c$  之對應值列於表一，以便設計者應用。

表一、矩形跌水工水躍前水深  $d_1$  及水躍水深  $d_2$  表

F/d <sub>c</sub>	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		
	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>
0	1.0	1.0	2.07	.680	2.48	.614	2.81	.572	3.09	.541	3.35	.516	3.60	.494	3.82	.477	4.04	.461	4.24	.448	
1	4.44	.436	4.64	.425	4.82	.415	5.00	.405	5.18	.397	5.36	.389	5.53	.381	5.69	.375	5.86	.368	6.02	.362	
2	6.18	.356	6.33	.351	6.49	.345	6.64	.340	6.79	.336	6.94	.331	7.09	.327	7.23	.323	7.38	.319	7.52	.315	
3	7.66	.311	7.80	.308	7.94	.304	8.07	.301	8.21	.298	8.34	.295	8.48	.292	8.61	.289	8.74	.286	8.87	.284	
4	9.00	.281	9.13	.278	9.26	.276	9.39	.274	9.51	.271	9.64	.269	9.76	.267	9.89	.265	10.01	.263	10.13	.261	
5	10.25	.259	10.38	.257	10.50	.255	10.62	.253	10.73	.251	10.85	.250	10.97	.248	11.09	.246	11.21	.244	11.32	.243	
6	11.44	.241	11.55	.240	11.67	.238	11.78	.237	11.90	.235	12.01	.234	12.12	.233	12.24	.231	12.35	.230	12.46	.228	
7	12.57	.227	12.68	.226	12.79	.225	12.90	.223	13.01	.222	13.12	.221	13.23	.220	13.34	.219	13.45	.218	13.56	.216	
8	13.66	.215	13.77	.214	13.88	.213	13.98	.212	14.09	.211	14.19	.210	14.30	.209	14.41	.208	14.51	.207	14.61	.206	
9	14.72	.205	14.82	.204	14.93	.203	15.03	.202	15.13	.202	15.23	.201	15.34	.200	15.44	.199	15.54	.198	15.64	.197	
10	15.74	.197	15.84	.196	15.95	.195	16.05	.194	16.15	.193	16.25	.193	16.35	.192	16.45	.191	16.54	.191	16.64	.190	
11	16.74	.189	16.84	.188	16.94	.187	17.04	.187	17.13	.186	17.23	.185	17.33	.185	17.43	.184	17.52	.183	17.62	.183	
12	17.72	.182	17.82	.181	17.91	.181	18.01	.180	18.10	.180	18.20	.179	18.29	.178	18.39	.178	18.48	.177	18.58	.176	
13	18.67	.176	18.77	.175	18.86	.175	18.95	.174	19.05	.174	19.14	.173	19.24	.173	19.33	.172	19.42	.171	19.52	.171	
14	19.61	.170	19.70	.170	19.79	.169	19.89	.169	19.98	.168	20.07	.168	20.18	.167	20.25	.167	20.34	.166	20.44	.166	
15	20.53	.165	20.62	.165	20.71	.164	20.80	.164	20.89	.164	20.98	.163	21.07	.163	21.16	.162	21.25	.162	21.34	.161	
16	21.43	.161	21.52	.160	21.61	.160	21.70	.160	21.79	.159	21.88	.159	21.97	.158	22.05	.158	22.14	.157	22.23	.157	
17	22.32	.157	22.41	.156	22.50	.156	22.58	.155	22.67	.155	22.76	.155	22.85	.154	22.93	.154	23.02	.154	23.11	.153	
18	23.19	.153	23.28	.152	23.37	.152	23.45	.152	23.54	.151	23.63	.151	23.71	.151	23.80	.150	23.89	.150	23.97	.150	
19	24.06	.149	24.14	.149	24.23	.148	24.31	.148	24.40	.148	24.49	.147	24.57	.147	24.66	.147	24.74	.146	24.83	.146	
20	24.91	.146	24.99	.145	25.08	.145	25.16	.145	25.25	.145	25.33	.144	25.42	.144	25.50	.144	25.58	.143	25.67	.143	
21	25.75	.143	25.83	.142	25.92	.142	26.00	.142	26.08	.142	26.17	.141	26.25	.141	26.33	.141	26.42	.140	26.50	.140	
22	26.58	.140	26.66	.139	26.75	.139	26.83	.139	26.91	.139	26.99	.138	27.08	.138	27.16	.138	27.24	.138	27.32	.137	
23	27.40	.137	27.48	.137	27.57	.136	27.65	.136	27.73	.136	27.81	.136	27.89	.135	27.97	.135	28.05	.135	28.13	.135	
24	28.22	.134	28.30	.134	28.38	.134	28.46	.134	28.54	.133	28.62	.133	28.70	.133	28.78	.133	28.86	.132	28.94	.132	
25	29.02	.132	29.10	.132	29.18	.131	29.26	.131	29.34	.131	29.42	.131	29.50	.131	29.58	.130	29.66	.130	29.74	.130	
26	29.82	.130	29.89	.129	29.97	.129	30.05	.129	30.13	.129	30.21	.128	30.29	.128	30.37	.128	30.45	.128	30.52	.128	
27	30.60	.127	30.68	.127	30.76	.127	30.84	.127	30.92	.127	31.00	.126	31.07	.126	31.15	.126	31.23	.126	31.31	.126	
28	31.38	.125	31.46	.125	31.54	.125	31.62	.125	31.69	.125	31.77	.124	31.85	.124	31.93	.124	32.00	.124	32.08	.124	
29	32.16	.123	32.23	.123	32.31	.123	32.39	.123	32.46	.123	32.54	.122	32.62	.122	32.69	.122	32.77	.122	32.85	.123	
30	32.92	.121	33.00	.121	33.03	.121	33.15	.12	33.23	.121	33.31	.121	33.38	.120	33.46	.120	33.53	.120	33.61	.120	
31	33.68	.120	33.76	.119	33.84	.119	33.91	.119	33.99	.119	34.06	.119	34.14	.119	34.21	.118	34.29	.118	34.36	.118	
32	34.44	.118	34.51	.118	34.59	.118	34.66	.117	34.81	.117	34.89	.117	34.96	.117	34.96	.117	35.04	.117	35.11	.116	
33	35.19	.116	35.26	.116	35.34	.116	35.41	.116	35.49	.116	35.56	.115	35.63	.115	35.71	.115	35.78	.115	35.86	.115	
34	35.93	.115	36.00	.115	36.08	.114	36.15	.114	36.23	.114	36.30	.114	36.37	.114	36.45	.114	36.52	.113	36.59	.113	
35	36.67	.113	36.74	.113	36.81	.113	36.89	.113	36.96	.112	37.03	.112	37.11	.112	37.18	.112	37.25	.112	37.33	.112	
36	37.44	.112	37.47	.112	37.55	.111	37.62	.111	37.68	.111	37.76	.111	37.84	.111	37.91	.111	37.98	.111	38.05	.110	
37	38.13	.110	38.20	.110	38.27	.110	38.34	.110	38.42	.110	38.49	.110	38.56	.110	38.63	.110	38.70	.110	38.78	.110	
38	38.85	.109	38.92	.109	38.99	.109	39.06	.109	39.14	.108	39.21	.108	39.28	.108	39.35	.108	39.42	.108	39.49	.108	
39	39.56	.108	39.64	.107	39.71	.107	39.78	.107	39.85	.107	39.92	.107	39.99	.107	40.06	.107	40.14	.107	40.21	.106	
40	40.28	.106	40.35	.106	40.42	.106	40.49	.106	40.56	.106	40.63	.106	40.70	.106	40.77	.105	40.84	.105	40.91	.105	

F = 上游總水力水頭與下游總水力水頭之差  $d_c =$  臨界水深  $d_1 =$  於水躍前水深  $d_2 =$  於水躍時水深

⑥以 $d_1/d_c$ 求得 $d_1$ 以 $d_2/d_1$ 值求得 $d_2$ 。

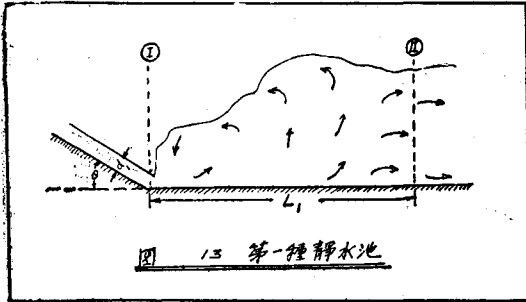
⑦檢討靜水池中勢力水頭

由 $d_1b$  ;  $d_2b$  ; 及 $Q$  , 求出 $V_1$ 及 $V_2$ 然而利用  
 $d_1 + hv_1 = d_2 + hv_2 + F$

檢討所計算之水理條件有無錯誤

⑧靜水池：靜水池之型式約有七種（參看 US.B.R.

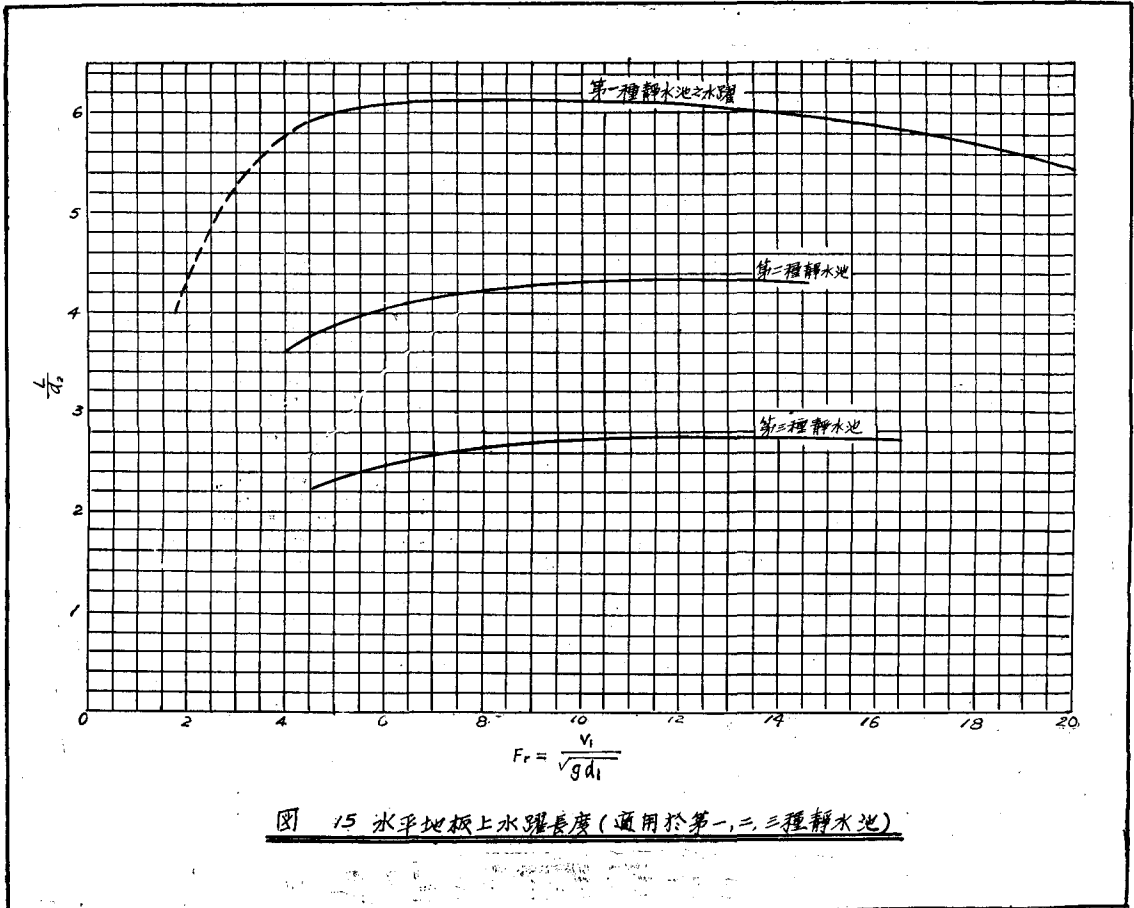
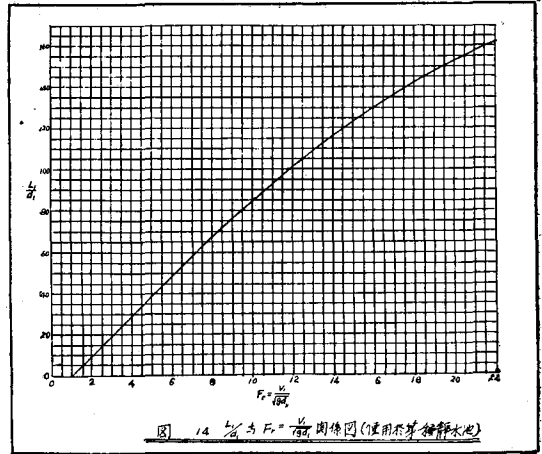
Hydraulic Design of stilling Basin and Bucket Energy Dissipators), 惟在跌水工之靜水池之型式常為下列之三種，茲將其型式及適用範圍列述如下：



第一種靜水池(Type 1. Stilling Basin)

如圖13為一平底之靜水池，不具有射檻 (Chute Blocks)，池檻 (Floor Blocks) 及終檻 (End sills)，所需長度過長不適於實際使用。其池長可由圖 $L_1/d_1$ 與 $F_r = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$ ，或 $L_1/d_2$ 與 $F_r = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$

由圖 $L_1/d_1$ 與 $F_r = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$ ，或 $L_1/d_2$ 與 $F_r = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$



所繪成之圖-14及圖-15求得。

式中  $F_r$  = 福祿數 (Froude Number)

$$b = \frac{18.5\sqrt{Q}}{Q+10} \dots\dots\dots(38)$$

式中  $Q$  = 流量 (.m.s)

$b$  = 池寬 (m)

v. 靜水池附屬建築物，如射檻，池檻，終檻之尺寸可由圖-13, 16,17及圖-18求出。

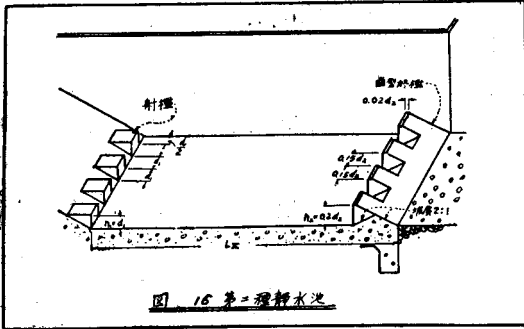


圖 16 第二種靜水池

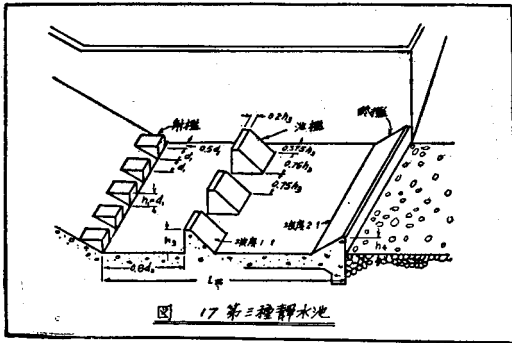


圖 17 第三種靜水池

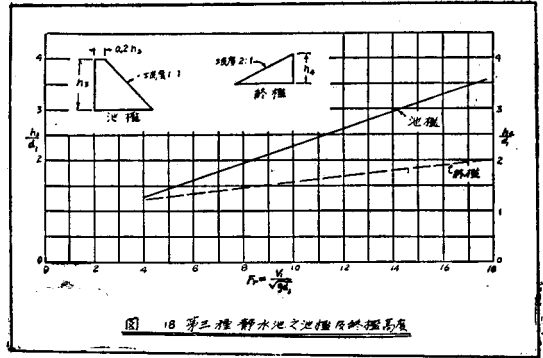


圖 18 第三種靜水池之池堰及終檻高度

ii. 第二種靜水池 (Type II Stilling Basin)

如圖-16 為平底具有射檻 (Chute Blocks) 及鋸齒狀終檻 (Dentated Sills), 其長度可較第一種靜水池減短百分之三十三, 應用於高溢水道與福祿數  $F_r > 4.5$ , 其長度可用圖-15,  $L_{II}/d_1$  與  $F_r$  之關係求得。

iii. 第三種靜水池 (Type III Stilling Basin)

如圖-17 為平底具有射檻, 池檻及條狀終檻 (Solid End Sill), 其池長可較第一種靜水池節省百分之六十。應用於流速小於 15m/sec,  $F_r > 4.5$  之小溢水道及渠道或出水口 (Outlet works) 其長度可由圖-15, 由  $L_{III}/d_1$  與  $F_r \sqrt{\frac{V_1}{gd_1}}$  之關係求得。

iv. 靜水池寬度:

a. 普通其寬度與接近渠道 (Approach channel) 底寬相等。

b. 若  $d_1 > 10m/sec$  應擴大靜池寬度, 其擴大角  $< 5^\circ 43'$  即 1:10 (渠道斷面垂直方向之寬度比渠道縱向之長度)

C. 若  $Q$  在 0.2c.m.s ~ 3.0c.m.s 時則下列公式可作為計算池寬之參考。

⑨ 急流槽之坡度一般當落差  $F$  小於 1.5m 時, 採用 1:15 當落差  $F > 15m$  時採用 1:2.0 不得陡於 1:1.5。

⑩ 跌水入口及漸變段長度:

i. 入口漸變段 (Inlet Transition):

如圖-19, 由下式求之

$$L_1 = \frac{y_1}{2 \tan \theta} \dots\dots\dots(39)$$

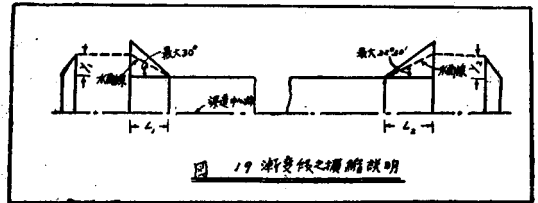


圖 19 漸變段之構造說明

式中  $L_1$  = 入口漸變段長 (m)

$y_1$  = 入口漸變段起點與終點水面寬差 (m)

(注意非構造物擴大長度差)

$Q$  = 漸變段水面變化角度。

據實驗得  $Q$  不得大於  $30^\circ$  即  $y_1/L_1 \leq \tan 30^\circ$

$$\therefore L_1 \geq y_1 / \tan 30^\circ = y_1 / 0.577$$

ii. 出口漸變段 (Outlet Transition)

利用 (39) 式, 並限  $Q > 22^\circ 30'$ ,  $y_1$  = 出口漸變段起點與終點水面寬差。

$$\text{即 } y_2/L_2 \leq \tan 22^\circ 30' \quad L_2 \geq y_1 / 0.4141,$$

⑪ 出水高度 (Freeboard)

i. 入口漸變段之出水高



水深 (m)	出水高 (m)
0~1.5	0.35~0.4
1.5~2.0	0.45
2.0~3.0	0.50

ii. 在急流槽之出水高

流量 (c.m.s)	出水高 (m)
0~0.3	0.40
0.3~0.6	0.45
0.6~1.0	0.50
1.0~1.5	0.55
1.5~2.0	0.60

iii. 若流量起出上述範圍時，可利用  $\frac{Qvd}{A}$  之值由圖-20求之。

iv. 靜水池出水高：

求  $d_1$  處之流速  $V_1 = \frac{Q}{bd}$  及求  $\frac{QV_1d}{A_1} = V_1d$  之

表 二

縱方向之鋼筋量為混凝土斷面之 0.35% 時所需之間隔表

靜水池 底寬公分	底厚公分	φ13mm 鋼筋於底 所需數	度線以上牆 之垂直高度	牆厚以公分計		底牆 鋼	線所 需筋 φ13mm 數	渠 槽
				頂	底			
30	10	2	40 cm	10	10			梯形 1:15
45~60	10	3	41~60	10	10			"
75~90	10		61~70	10	10			"
105~120	10	5	71以上	10	10			"
60	13	4	51~60	13	13			矩 形
75	13	5	61~80	13	13			"
90~105	13	6	81~100	13	13			"
120~135	13	7	101~130	13	13			"
150	13	8	131~160	13	13			"
90	14~15	6	161~190	13	13			"
105	14~15	7	81~100	13	14~15			"
120~135	14~15	8	101~120	13	14~15			"
150~165	14~15	9	121~150	13	14~15			"
180~195	14~15	11	151~170	13	14~15			"
120~135	17~18	9	171~190	13	14~15			"
150	17~18	10	110	15	15			"
165~180	17~18	12	100~130	15	15			"
195~210	17~18	13	131~150	15	15			"
225~240	17~18	15	160~180	15	15			"
120	19~20	10	181~200	15	15			"
135~150	19~20	12	201~220	15	15			"
165~180	19~30	14	221~240	15	15			"
195~210	19~20	15	120	15	17~18			"
225~240	19~20	17	120~140	15	17~18			"

底 牆

值由圖-20求之。

(2) 靜水池之牆高 (Height of walls)，依下式

$$H = d_2 + hv_2 + f_b$$

式中  $f_b$  = 出水高。

(2) 結構設計 (Structural Design)

結構設計可參考圖-21，美國墾務局之標準設計，若其流量大於 2c.m.s (或 70c.f.s) 時則其池版 (floor slab) 及側牆 (walls) 之厚度及鋼筋可略如之，或利用以下之原則。

- ① 主鋼筋與邊牆垂直排列而以其水平間隔為間隔。
- ② 矩形斷面之寬度在 0~1.8 公尺而牆高為 0~2.3 公尺時要有 5 公分之嵌角 (fillet)，若斷面更大或牆高更高時要有 8 公分或更大之嵌角。
- ③ 一般縱向排列之鋼筋量為混凝土斷面積之 0.35%，並平均排列之 (參考表二)。

④當水深為0~1公尺時混凝土末端截水牆 (Cut off)之尺寸應為15cm×60cm。水深為1m~2m時則截水牆為20cm×75cm

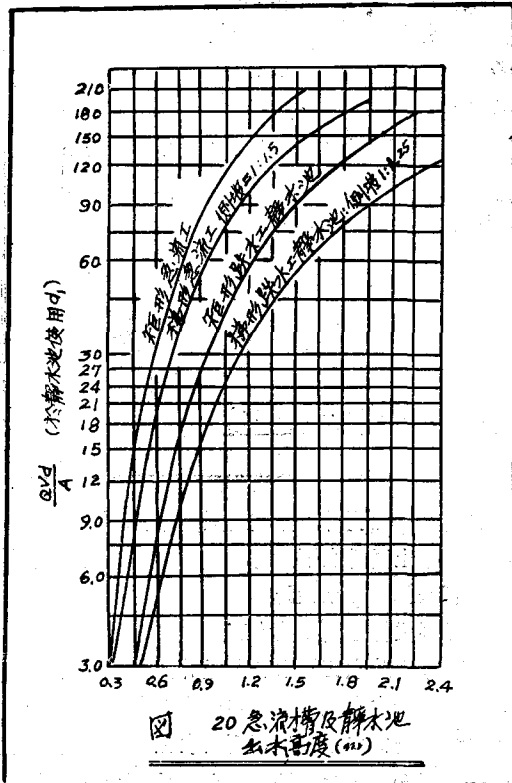
⑤靜水池之主鋼筋為 $\geq 13\text{mm}$ 其中心距離 $\leq 15\text{cm}$   
⑥其餘部份參考表三，但當鋼筋量為0.35%時表三不適用。

表 三

混凝土厚度及副鋼筋由下表求之：

條 件	項 目	位 置	牆 頂 厚 度	牆 底 厚 度	底 厚	縱向鋼筋所需之 間 隔
高 0~120cm	垂 直 牆		13cm最小	13cm最小		表 二
高 121~180cm	"		"	15cm最小		"
高 181~300cm	"		15cm最小			"
高 200cm或大於	"			18cm最小		"
垂直高 0~150cm	$1\frac{1}{4}$ 或 $1\frac{1}{2}$ ~1		10cm最小	10cm最小		"
垂直高180~200cm	"		13cm最小	13cm最小		"
10cm 控制點之頂	渠 尾 入 口		10cm	10cm	10cm	"
13cm 控制點之頂	" "		13cm	13cm	13cm	$\phi 13\text{mm} @ 30\text{cm}$
13cm 靜水池牆頂	" 出 口		13cm	13cm		$\phi 13\text{mm} @ 25\text{cm}$
15cm 靜水池牆頂	" 出 口		15cm	15cm		$\phi 13\text{mm} @ 30\text{cm}$
流量 0~3.C.M.S.	" 出 口				與靜水池頂同	與靜水池底同
堰	入 口			頂厚+5cm最小	最 小	表 二
流量 0~2.C.M.S.	靜 水 池	矩形斷面			最小厚度	表 二

註：使用0.35%鋼筋時表三不適用。



2. 美國墾務標準設計

本設計圖適用於流量 5c.f.s~70c.f.s (0.142c.m.s~2c.m.s)

(1)說明：如圖-21 (尺寸英制)

b : 跌水工上游渠道底寬 (ft)

b' : 跌水工上游渠道底寬 (ft)

B : 池寬  $B = 0.176 \frac{Q}{D^{3/2}}$  (最小2.0')

d : 上游渠道水深 (ft)

d' : 下游渠道水深 (ft)

$D = 0.571d + 0.086$

F : 跌水落差 (最大15')

f : 池之出水高  $f = 1 + 0.34D^{3/2} + 0.03F$

H : 跌水入口牆高 (d+12), 24'' 最小

H' : 池牆高 (d'+P+f)

l<sub>s</sub> : 急流槽水平長度  $S(F+P+d'-d)$

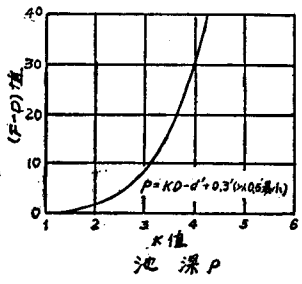
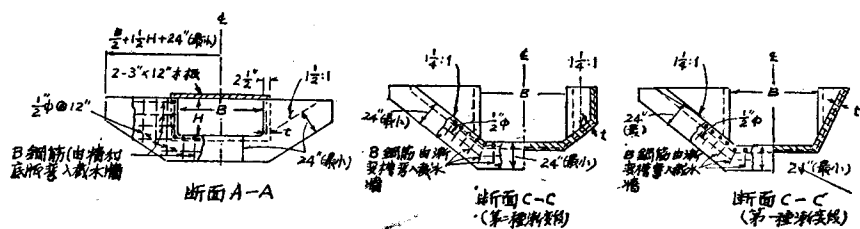
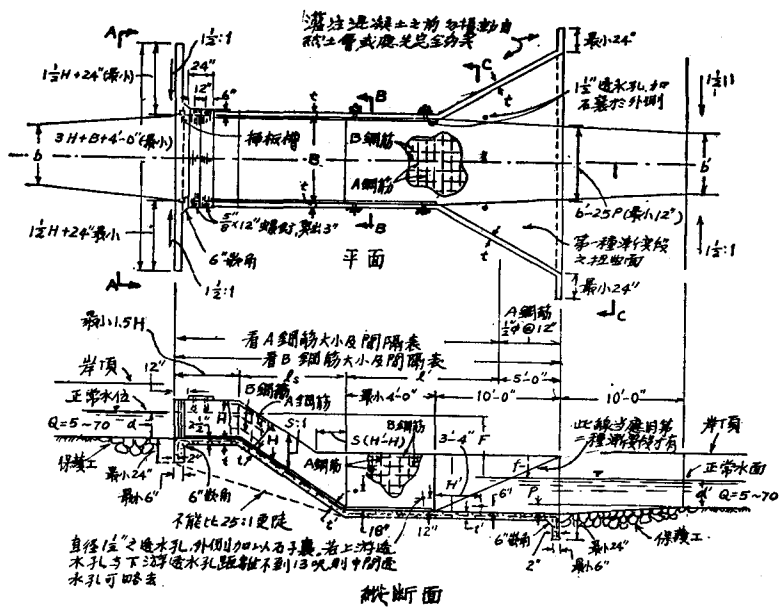
l' : 靜水池長,  $4(d'+P) + \frac{F}{4}$  (9' 最小)

h : 池深下游渠道起點與池底高差

Q : 流量 (c.f.s)

t : 看鋼筋間隔表

t' :  $0.5 + 0.007 D^{3/2} F$  (ft, 使用最接近於  $\frac{1}{2}$ )



鋼筋間隔表

t	H或H'	A鋼筋	B鋼筋
5"	20-40'	1/2" @ 12" c/s	1/2" @ 9" c/s
6"	41-54'	3/8" @ 12" c/s	1/2" @ 8" c/s
6"	55-70'	3/8" @ 7 1/2" c/s	1/2" @ 8" c/s
6"	70-75'	1/2" @ 5 1/2" c/s	1/2" @ 8" c/s

圖 21 美國墾務局傾斜式跌水工標準設計 (Q=5~70 c.f.s.)

S : { 當 F < 5' 用 1.5  
       { 當 F < 5 用 2.0

K : 重力加速之一部份所引起垂直方向之分加速 (0.5或更小)

- (2) ① 插板槽 (Flashboard grooves) 可以不要
- ② 混凝土厚度依所示尺寸均勻變化
- ③ 漸變槽第一種與第二型式可用於出口處
- ④ 鋼筋接處須重疊32倍於鋼筋直徑

- ⑤ 除有特別註明外, 保護層只少等於2''
- ⑥ 若該地土質排水不良時, 在傾斜槽下須置放粗骨材 (Coarse gravel)

(二) 傾斜式梯形断面跌水工

梯形断面跌水工於過去曾設計很多, 由於在其內不能產生完全之水躍, 故其中僅能消去一部份之能量。美國墾務局曾作過梯形断面跌水工, 可省去多量之鋼筋及模型費用。並曾於 Cald well Idaho 附近建

立一座並推薦，型狀如圖-22用於流量小於200c.f.s.

並推薦流量小於之標準設計如圖-23。

(1)圖-23說明 (尺寸英制)

b : 上游渠道底寬 (ft)

b' : 下游渠道底寬 (ft)

B : 靜水池底寬(看曲線圖)，(以b為最大) (ft)

B' : 入跌水進口之底寬( $B+1-\frac{1}{2}d$ )，(以b為最大) (ft)

d : 跌水上游水深 (ft)

d' : 跌水下游水深 (ft)

e :  $S(5/8H'-3/4H)$

F : 落差 (以15'最大)

H : 入跌水進口之牆高 ( $1.2d+6''$ )，以18''最小)

H' : 靜水池牆高 ( $d'+f+P$ )

$l_s$  : 急水槽之水平長度 $S(F+P+d'-d)$

$l'$  : 靜水池長度 $4.5(d'+P)$ ，(以4''最小)

P : 池深 $\frac{1}{4}\sqrt{d'F}$ ，即池底與下游渠道起高差

f :  $0.75'+0.05F$  (以12''最小)

S :  $\begin{cases} F < 5' \text{時用} 1.5 \\ F > 5' \text{時用} 2.0 \end{cases}$

(2)其他

- ①兩向鋼筋均用 $\phi=3/8''$ ，12''
- ②鋼筋連接處之重疊(cap)=13''
- ③所有縱向鋼筋均插入截水牆
- ④若該地土質排水不良，在傾斜部下應放粗骨材 (coarse grauel)

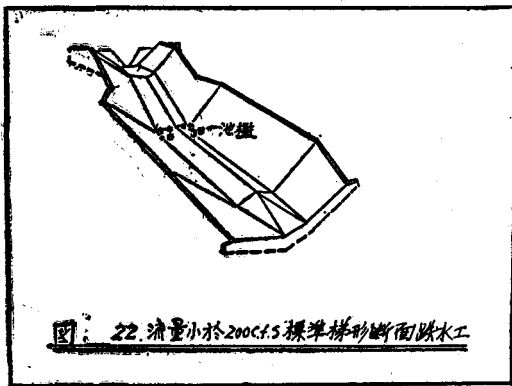


圖 22. 流量小於200c.f.s標準梯形断面跌水工

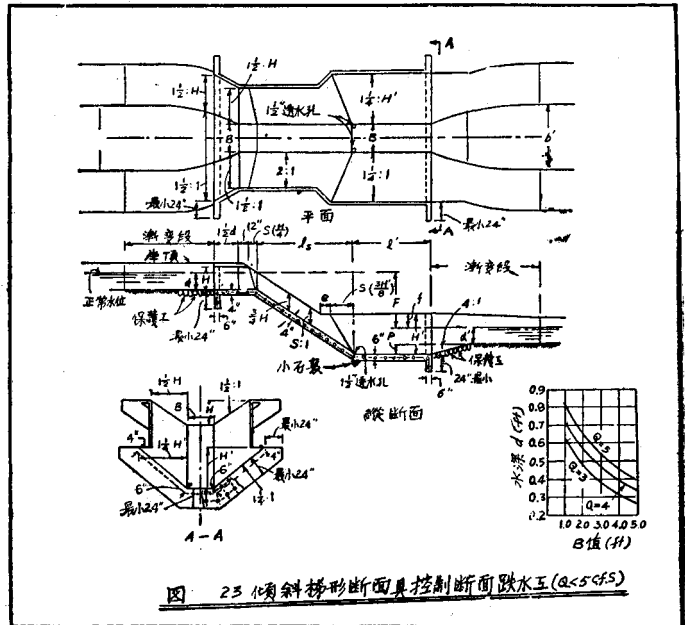


圖 23 傾斜梯形断面控制断面跌水工 ( $Q < 50 \text{ c.f.s.}$ )

#### 四、設計例 (傾斜式矩形断面)

設計下記幹線渠道間之跌水工：

	上游渠道終點	跌水後下游渠道起點	
測點 Station	600m	619m	619m
計劃標高 EL	500m	498m	498m
渠道坡度 S	1 : 1000	1 : 2000	1 : 2000
水深 d	1.5m	1.4m	1.77m
流速 v	0.94m/sec	1.04m/sec	0.733m/sec
流量 Q	6,00C.M.S.	6,00C.M.S	6,00C.M.S
粗糙率 n	0.03	0.02	0.03
斷面積 A	6.375m <sup>2</sup>	5.74m <sup>2</sup>	8.15m <sup>2</sup>

註：為安全計  
採用  $n=0.020$

①於Station 600m處之 $d_0=1.5\text{m}$

$$\therefore hv_0 = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{0.94^2}{19.6} = 0.045\text{m}$$

②於Station 625m處之 $d_2=1.4\text{m}$

$$\therefore hv_2 = \frac{V_2^2}{2g} = \frac{1.04^2}{19.6} = 0.0552\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{③ } E &= (ELG_1 + d_0 + hv_0) - (ELG_2 + d_2 + hv_2) \\ &= (500 + 1.5 + 0.045) - (498 + 1.4 + 0.0552) \\ &= 2.0898 \end{aligned}$$

$$\text{④ 臨界水深} : d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = \sqrt[3]{\frac{6^2}{2^2 \cdot 9.8}} = 0.972\text{m}$$

則假定控制断面寬為2.0m時臨界水深為0.972m

⑤控制断面：控制断面處之能線高度要比漸變段處之能線高度低  $0.2\Delta h_v$ 則

$$d_0 + hv_0 = d_c + hv_c + 0.2(hv_c - hv_0)$$

$$d_0 + hv_0 = 1.5 + 0.045 = 1.545\text{m}$$

當控制斷面寬為2.0m時， $d_c = 0.972\text{m}$

$$hv_c = \frac{d_c}{2} = 0.486\text{m}$$

$$\therefore d_c + hv_c + 0.2\Delta hv = 0.972 + 0.486 + 0.2(0.486 - 0.045) = 1.546\text{m}$$

故其能線高度為平衡，並其控制斷面寬為2.0m

$$\textcircled{6} F/d_c = \frac{2.0898}{0.972} = 2.15 \quad \text{利用表一 } F/d_c = 2.15 \text{ 值}$$

$$\text{得 } d_1/d_c = 0.348 \quad d_2/d_1 = 6.41$$

$$\textcircled{7} d_1/d_c = 0.348 \quad \therefore d_1 = 0.348d_c = 0.348 \times 0.798$$

$$\therefore d_1 = 0.338\text{m}$$

$$\textcircled{8} d_2/d_1 = 6.41 \quad \therefore d_2 = 6.41 \times d_1 = 6.41 \times 0.338 = 2.165\text{m}$$

⑨ 靜水池之設計：

(I) 靜水池寬度：

$$V_1 = \frac{Q}{bd_1} = \frac{6}{2 \times 3.38} = 8.88\text{m/sec} < 10\text{m/sec}$$

故可設靜水池底寬與控制斷面底寬相等。

$$b = 2.0\text{m}$$

$$V_2 = \frac{Q}{bd_2} = \frac{6}{2 \times 2.165} = 1.385\text{m/sec}$$

$$\therefore hv_2 = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{1.385^2}{19.6} = 0.098\text{m}$$

(II) 靜水池之計劃高度：

$$\begin{aligned} ELG_2 &= (ELG_3 + d_3 + hv_3) - (hv_2 + d_2) \\ &= (498 + 1.4 + 0.0552) - (0.098 + 2.165) \\ &= 497.192\text{m} \end{aligned}$$

(III) 靜水池之長度：

$$\begin{aligned} \text{Froude Number} = F_r &= \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} \\ &= \frac{8.88}{\sqrt{9.8 \times 0.338}} = 4.88 < 4.5 \end{aligned}$$

故採用第三種靜水池

由圖-15 Type III 靜水池曲線，由 $F_2 = 4.88$ 值得

$$L_3/d_2 = 2.3$$

$$\therefore L_3 = 2.3 \times d_2 = 2.3 \times 2.165 = 4.98\text{m} \text{ 採用 } L_3 = 5.0\text{m}$$

(III) Chute Blocks, Floor Blocks 及 end sills 之設計

① Chute Blocks:

如圖-17所示  $h_1 = W_1 = S_1 = d_1 = 0.338\text{m}$ 。

② floor Blocks

由圖-15  $F_r = 4.88$  值得  $h_3/d_1 = 1.45$

$$\therefore h_3 = 1.45 \times d_1 = 1.45 \times 0.338 = 0.49\text{m}$$

如圖-17所示  $S_3 = W_3 = 0.75 h_3 = 0.397\text{m}$

Floor Blocks 與 Chute Blocks 間之距離：

$$0.8d_2 = 0.8 \times 2.165 = 1.73\text{m}$$

Floor Blocks 之頂寬  $2h_3 = 0.098\text{m}$

終檻 (Endsills):

由圖-15,  $F_r = 4.88$  得  $h_4/d_1 = 1.255$

$$\therefore h_4 = 1.255 \times d_1 = 1.255 \times 0.338 = 0.424\text{m}$$

終檻面臨上游之邊坡為 2:1 (橫比豎)

(10) (A) 入口漸變段長度之決定：

入口水面變化角度為 $30^\circ$ 時

$$L_1 = \frac{65-2}{2\tan 30^\circ} = \frac{2.25}{0.576} = 3.91\text{m} \text{ 採用}$$

$$L_1 = 4.0\text{m}$$

(B) 出口漸變段長度之決定：

出口水面變化角度為 $22^\circ 30'$ 時

$$L_2 = \frac{6.2-2}{2\tan 22^\circ 30'} = \frac{2.1}{0.413} = 5.10\text{m}$$

採用  $L_2 = 5.883\text{m}$

(11) 出水高度：

(A) 漸變段與渠道接合處之出水高度：

$$f_1 = 0.4\text{m}$$

(B) 急流槽之出水高度：

$$V_c = \frac{Q}{Ac} = \frac{6}{2 \times 0.972} = 3.08\text{m/sec}$$

$$\therefore \frac{Qv_c d_c}{Ac} = V_c^2 d_c = 3.08^2 \times 0.972 = 9.22$$

$$\text{由 } \frac{Qvd}{A} = 9.22 \text{ 值由圖-20 得出水高度 } f_2 =$$

0.38m 但採用 0.4m

(C) 靜水池之出水高度：

$$V_1 = 8.88\text{m/sec}$$

$$\therefore \frac{Qvd_1}{A_1} = V_1^2 d_1 = 8.88^2 \times 0.338 = 26.7$$

由圖-20  $\frac{Qvd}{A} = 26.7$  值由短形跌水工靜水池曲

線得其出水高度  $f_3 = 0.9\text{m}$

(12) 靜水池兩邊之牆高：

$$H = d_2 + hv_2 + f_3 = 2.165 + 0.098 + 0.9$$

$$\therefore H = 2.863\text{m}$$

$\therefore$  靜水池牆頂標高 = 靜水池壑標高 + 牆高，

$$3497.192 + 2.893 = 500.085\text{m}$$

(下轉第57頁)