

中國農業工程學會

No. 9
第九期

通訊

出版日期民國四十六年三月

C. S. A. E. News

PUBLISHED BY

Chinese Society of Agricultural Engineers

發行所：金城工業大學
編者：金滄
地址：國立台灣大學農工系

傾斜式跌水工之設計 楊建業

Design of Drop (Chute Type)

(一) 前言：渠道經過地形坡度較陡之處，水流湍急，為保護水渠之冲刷與崩坍及消滅其過剩之能量，在渠道設水流減勢工程——跌水工 (Drop)。台灣地形陡峻，渠道水流甚急，故於渠道構造物中跌水工之使用極普遍。跌水工可分為：直落式，階梯式，缺口式，及傾斜式等多種，各種型式都具有其特徵及重要性，茲只概略說明最近最廣用之矩形傾斜式跌水工之水躍計算公式，並列舉最近美國所採用之設計規格及設計順序，及引用設計例以供參考。

(二) 水躍計算公式：

Q = 計劃流量 (C.M.S) V_n = 在各断面之流速 (m/sec)

g = 重力加速度 (9.8m/sec²)

P = 靜水壓

F = 上游與下游勢力水頭高差 (m)

d_1 = 水躍前水深 (m)

d_2 = 水躍後水深 (m)

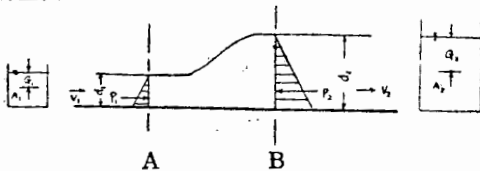
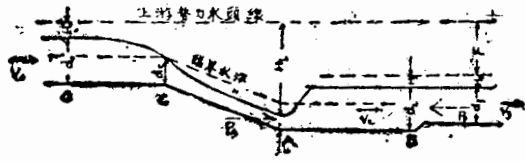
d_c = 臨界水深 = $\sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$ 断面不變時

b = 跌水工開始處及 A, B 兩點之渠道底寬 (m)

$\frac{QV\omega}{g}$ = 任意一断面之單位時間流水運動能量

$K = d_2/d_1$

水躍現象之解說：水躍現象可分為勢力論與動量論，前者以物質不滅，後者以動量不變為討論基礎。



因該現象與其他衝壓現象類似，能量之損失較摩擦損失為大，故依據動量論解說較比 Bernoulli's 定理之勢力論近於實驗數值。

茲依工學上之慣例，不予考慮壁面之摩擦抵抗時於任意一断面之流水運動能量為：

$$\frac{QV\omega}{g} = \frac{AV^2\omega}{g}, \text{ 如以動量論適用於相接}$$

近之兩斷面，A，B時其能量之差等於該二斷面之靜水壓之差，故

$$\omega \frac{QV_1\omega}{g} - \omega \frac{QV_2\omega}{g} = P_2 - P_1$$

$$= \omega A_2 G_2 - \omega A_1 G_1 \dots \dots \dots (1)$$

A為斷面積，G為水面至斷面中心深度， ω 為考慮路面摩擦損失時之係數。

於矩形水路 $P = \frac{\omega d^2 b}{2} \quad V = \frac{Q}{bd}$

又 $\omega = 1.0$ 時上式可變為下式：

$$\frac{\omega Q^2}{gb d_1} + \frac{\omega b d_1^2}{2} = \frac{\omega Q^2}{gb d_2} + \frac{\omega b d_2^2}{2} \dots (2)$$

但 $d_2 = k d_1 \quad d_c^3 = \frac{Q^2}{b^2 g}$

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

或 $2d_c^3 (k-1) = k d_1^3 (k^2-1)$

$$\therefore d_c^3 = \frac{k(k+1)d_1^3}{2} \dots \dots \dots (3)$$

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

或 $\frac{d_1}{d_c} = \sqrt[3]{\frac{2}{k(k+1)}} \dots \dots \dots (A)$

設OA間之摩擦損失不予考慮時，於A，B兩斷面可成立下式： $d_1 + H_1 = d_2 + H_2 + F \dots \dots \dots (A)$

式中H為流速水頭

因 $H = \frac{V^2}{2g} = \frac{Q^2}{2gb^2 d^2} = \frac{d_c^3}{2d^2}$

故(4)式變為 $d_1 + \frac{d_c^3}{2d_1^2} = k d_1 + \frac{d_c^3}{2d_2^2} + F$

將(3)式代入上式得 $d_1 + \frac{k^2 d_1^3 + k d_1^3}{4 d_1^2}$

$$= k d_1 + \frac{k^2 d_1^3 + k d_1^3}{4 k^2 d_1^2} + F$$

或 $d_1 (k^3 - 3k^2 + 3k - 1) = 4kF$

$$\therefore \frac{F}{d_1} = \frac{(k-1)^3}{4k} \dots \dots \dots (B)$$

又(A)式可變為 $d_c = \frac{d_1}{\sqrt[3]{k(k+1)}}$

(B)式可變為 $F = \frac{(k-1)^3 d_1}{4k}$

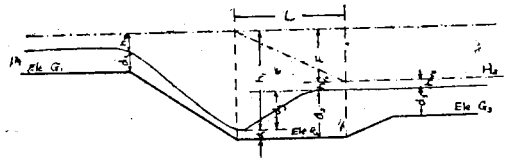
則 $\frac{F}{d_c} = \frac{(k-1)^3}{4k} \sqrt[3]{\frac{2}{k(k+1)}} \dots \dots (C)$

以上(A)，(B)，(C)，三式中由(C)式可求得k值，再由(A)，(B)二式各求得 d_2 及 d_1 (Fig.5)。

(三) 設計順序——傾斜式跌水工之設計順序如下：

(1) 求上游水深 d_o 及流速水頭： $h_{v_o} = \frac{V_o^2}{2g}$

則勢力水頭為 $d_o + \frac{V_o^2}{2g}$



(2) 求下游水深 d_3 及流速水頭 $h_{v_3} = \frac{V_3^2}{2g}$ 則

勢力水頭為 $d_3 + \frac{V_3^2}{2g}$

註：在靜水池下游之渠道，若無有效之控制或流量依水深而改變，則應用較小之 Kutter's n 值計算新的深度及能量高度。例如：土渠原設計之n值為0.030或0.025而今則宜用0.020；有混凝土內面工之渠道設計通常用0.014而今則改用0.012。所以用較小之值，則較為安全。

(3) 計算上下游勢力水頭高差 = F

(4) 計算臨界深度 $d_c = \sqrt[3]{\frac{Q_1^2}{b^2 g}}$ 矩形斷面。

(5) 控制斷面之決定：根據美國墾務局設計手冊，對於直的漸變段，決定控制斷面標高，應使在臨界深度時正常流量的能量高度比漸變段起點同樣流量的能量高度低于兩點（控制點及漸變段起點）流速水頭差額的百分之二十，則 $d_o + h_{v_o} = d_c + h_{v_c} + 0.2 (h_{v_c} - h_{v_o})$

(6) 以 F/d_c 之值由 Fig.5 求出 $d_2/d_1 = k$ 及 d_1/d_c 之值

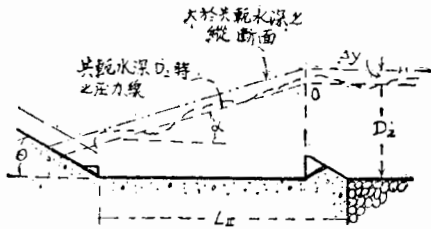
(7) 以 d_1/d_c 之值求得 d_1

(8) 以 d_2/d_1 之值求得 d_2

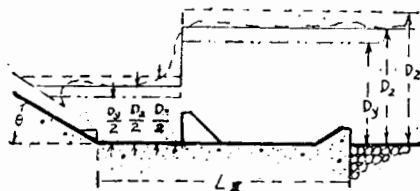
(9) 靜水池之設計 現在常見之靜水池型式有下列三種：

(A) 第一種靜水池：——水躍發生于無設置 Chute Blocks, Baffle Blocks, 及 end sill 之水平池底上，故所需水池長度太長，不適于實際使用。(Fig.1)

(B) 第二種靜水池由于 Chute Blocks 與有缺口之 end sill 之設置，可縮短池底長約百分之三十三。這種靜水池用於 Froude



水躍水面及壓力線圖 (第一種)



水躍水面及壓力線圖 (第二種)

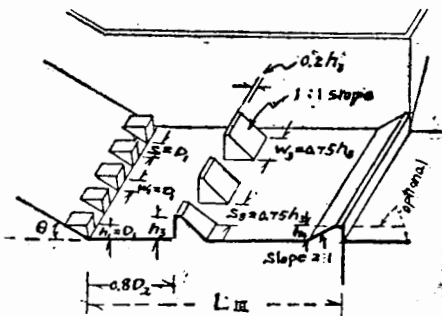


Fig.3 第三種靜水池

(I) 靜水池寬度：

(a) 普通靜水池之底寬與漸變槽相等。

(b) 若 d_1 之流速超過 10m/sec 以上時，應擴大靜水池斷面，其擴大角度不得大於

Number $(Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}})$ 為 4.5 以上之大渠道或高溢水道。(Fig.2)

(C) 第三種靜水池以 Chute Blocks, Baffle Blocks, 及 end sill 的作用可縮短池底長約百分之六十。用於流速超過 15—20 每秒公尺及 Froude Number 為 4.5 以上之出水口或小渠道。(Fig.3)

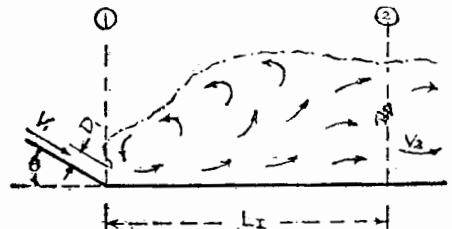


Fig.1: 第一種靜水池

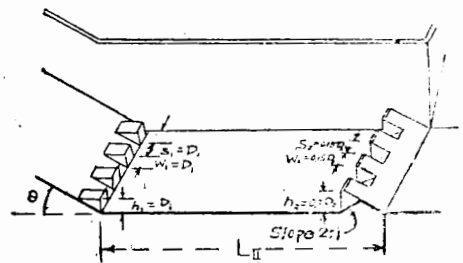


Fig.2: 第二種靜水池

5° 43' 即 10 : 1。

當流量小於 3.0 C.M.S. 時下列公式可作為計算矩形水池之準繩 $b = \frac{60}{Q+10} \cdot Q^{1/2}$

式中 Q = 流量 b = 池寬

射流部份之傾料坡度通常為 1:1.5—2.0，不得陡於 1:1.5

(I) 以下式求靜水池池底之標高

$$\text{Ele. } G_2 = \text{Ele } G_3 + d_3 + h_{v3} - h_{v2} - d_2$$

若於分支線溢流水道等跌工則

$$\text{Ele. } G_2 = \text{Ele } G_3 + d_3 + h_{v3} - (0.85 d_2 + h_2)$$

(II) 靜水池長度以 Froude Number

之值 $Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$ 由 Fig.6 求得靜水池之長度。

(IV) Chute Blocks, Baffle Blocks 及 end sill 之尺寸與設置：

① Chute Blocks 之尺寸如 Fig.3 所示。

② Baffle Blocks 及 end sill 由 Fig.7 求出 h_3 及 h_4 後就可按 Fig.2 及 Fig.3 決定其尺寸。

(10) 拋射槽底曲線：

拋射槽底曲線可由拋物線公式求之。

$$\begin{cases} y = x \tan \phi + \frac{kx^2}{4h_v \cos^2 \phi} \dots\dots\dots (1) \\ S = \frac{dy}{dx} = \tan \phi + \frac{kx}{2h_v \cos^2 \phi} \dots\dots\dots (2) \end{cases}$$

式中 y = 拋射槽上各點之縱坐標

曲線起點之求法：

P_t 點之求法： S = 拋射槽坡度 $\phi = 0$

設用 $k = 0.5, 0.4, 0.3, 0.2$ 時 P_t 之坐標如下：——

$k=0.5$	$k=0.4$	$k=0.3$	$k=0.2$
$\begin{cases} x = 4Sh_v \\ y = 2S^2h_v \end{cases}$	$\begin{cases} x = 5h_v S \\ y = 2.5S^2h_v \end{cases}$	$\begin{cases} x = 6.97Sh_v \\ y = 3.34S^2h_v \end{cases}$	$\begin{cases} x = 10Sh_v \\ y = 5S^2h_v \end{cases}$

P_c 點之求法：

P_c 點在上游距離 O 點 $x = \frac{y}{S}$ 處，故當

$k = 0.5 \sim 0.2$ 等值時其坐標如下：

$k=0.5$	$k=0.4$
$x = \frac{y}{S} = 2Sh_v$	$x = \frac{y}{S} = 2.5Sh_v$
$k=0.3$	$k=0.2$
$x = \frac{y}{S} = 3.34Sh_v$	$x = \frac{y}{S} = 5Sh_v$

(11) 跌水入口及出口漸變段長度：

$$L_n = \frac{y_n}{\tan \theta}$$

式中 L_n = 入口或出口漸變段之長度

y_n = 入口或出口漸變段起點與末點水面寬差之半

θ = 漸變段水面變化角度

(A) 入口漸變段水面變化角度根據實驗或慣用上應為 30° 以內即 $\tan 30^\circ = \frac{y_1}{L_1}$

$$\therefore L_1 \geq \frac{y_1}{0.577}$$

(B) 出口漸變段水面變化角度亦根據實驗或慣用上，應為 $22^\circ 30'$ 以內

x = 拋射槽上各點之橫坐標

ϕ = 拋射槽起點處之渠底面與水平面之交角

h_v = 拋射槽起點處之流速水頭

S = x 點之比降

k = 比率 (≤ 0.5) 代表形成垂直加速度的重力分力與重力之比

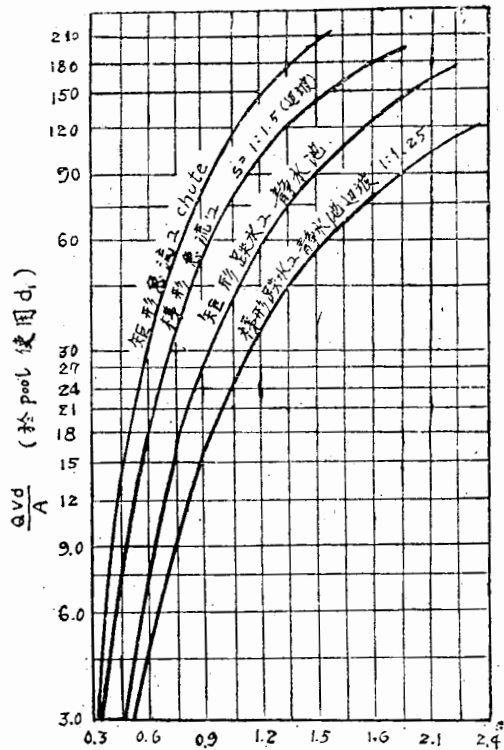
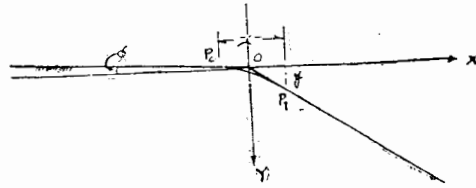


Fig.4 chute 及 pool 之出水高度 (m)

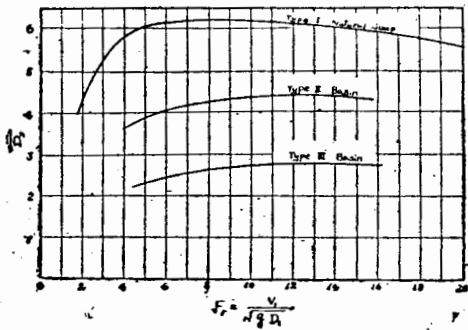


Fig. C: 平底型靜水池之水深(第一、二種靜水池)

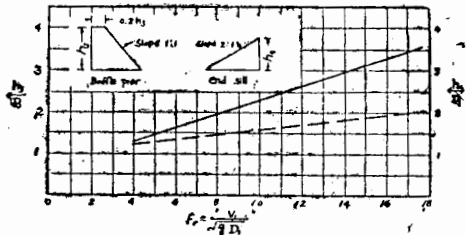


Fig. 7: 第二種靜水池之Baffle Blocks及End Sill高度

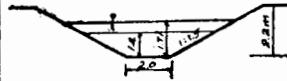
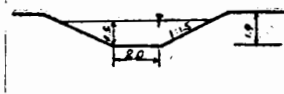
跌水工計算例

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	0.733
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 ²	5.74m ²	8.15m ²



註：如106頁所述
為安全計採用
n=0.020

(1) 於Station 600m處之 $d_0=1.5$ m

$$\therefore h_{v_0} = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{0.94^2}{19.6} = 0.045\text{m}$$

(2) 於Station 625m處之 $d_3=1.4$ m

$$\therefore h_{v_3} = \frac{V_3^2}{2g} = \frac{1.04^2}{19.6} = 0.0552\text{m}$$

$$\begin{aligned} (3) F &= (EL G_1 + d_0 + h_{v_0}) - (EL G_3 + d_3 + h_{v_3}) \\ &= (500 + 1.5 + 0.045) - (498 + 1.4 + 0.0552) = 2.0898 \end{aligned}$$

$$(4) \text{ 臨界水深: } d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} =$$

$$\sqrt[3]{\frac{6^2}{2^2 \times 9.8}} = 0.972\text{m.}$$

則假定控制斷面寬為 2.0m 時臨界水深為 0.972m.

(5) 控制斷面： 控制斷面處之能線

高度要比漸變段處之能線高度低 $0.2\Delta h_v$ 則

$$d_0 + h_{v_0} = d_c + h_{v_c} + 0.2(h_{v_0} - h_{v_c})$$

$$d_0 + h_{v_0} = 1.5 + 0.045 = 1.545\text{m.}$$

當控制斷面寬為 2.0m 時， $d_c = 0.972$ m

$$h_{v_c} = \frac{d_c}{2} = 0.286\text{m.}$$

$$\therefore d_c + h_{v_c} + 0.2\Delta h_v = 0.972 + 0.286 + 0.2 \times (0.486 - 0.045) = 1.546\text{m.}$$

故其能線高度為平衡，並其控制斷面寬為 2.0m

$$(6) F/d_c = \frac{2.0898}{0.972} = 0.15 \quad \text{利用}$$

Fig.5 $F/d_c = 2.15$ 值

$$\text{得 } d_1/d_c = 0.348 \quad d_1/d_0 = 6.41$$

$$(7) d_1/d_c = 0.348 \quad \therefore d_1 = 0.348 \times d_c =$$

$$0.348 \times 0.972$$

$$\begin{aligned} \therefore d_1 &= 0.338\text{m} \\ (8) \quad d_2/d_1 &= 6.41 \quad \therefore d_2 = 6.41 \times d_1 = \\ &= 6.41 \times 0.338 \end{aligned}$$

$$\therefore d_2 = 2.165\text{m}$$

(9) 靜水池之設計：

(I) 靜水池寬度

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

<10m/sec

故靜水池底寬與控制断面底寬相等。

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

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

$$\therefore h_{v2} = \frac{V_2^2}{2g} = \frac{1.41^2}{19.6} = 0.098\text{m}$$

(II) 靜水池之計劃高度：

$$\begin{aligned} EL \ G_2 &= (EL \ G_3 + d_3 + h_{v3}) - (h_{v2} \\ &+ d_2) \\ &= (498 + 1.4 + 0.0552) - (0.098 + \\ &2.165) = 497.192\text{m} \end{aligned}$$

(III) 靜水池之長度：

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

故採用第三種靜水池 (Fig.3)

由 Fig.6 Type III Basin 曲線，由 $Fr = 4.88$ 值得 $L_3/d_2 = 2.3$

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

採用 $L_3 = 5.0\text{m}$

(IV) Chute Block, Baffle Blocks, 及 end sill 之設計：

① Chute Blocks：

$$\begin{aligned} \text{如 Fig.3 所示} \quad h_1 = w_1 = S_1 = d_1 = \\ 0.338\text{m} \end{aligned}$$

② Baffle Blocks：

$$\begin{aligned} \text{由 Fig.7} \quad Fr = 4.88 \quad \text{值得} \\ h_3/d_1 = 1.45 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{如 Fig.3 所示} \quad S_3 = W_3 = 0.75h_3 = \\ 0.367\text{m} \end{aligned}$$

Baffle Blocks 與 Chute Blocks 間

之距離：

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

$$\begin{aligned} \text{Baffle Blocks 之頂寬} \quad 0.2h_3 = \\ 0.098\text{m}. \end{aligned}$$

End Sill：

由 Fig.7 $Fr = 4.88$ 值得

$$h_4/d_1 = 1.255$$

$$\therefore h_4 = 1.255 \times d_1 = 1.255 \times 0.338 = 0.424$$

End Sill 面臨上游之邊坡為 2:1 (橫比豎) 如 Fig.3 所示。

(10) 拋射槽底曲線之設定：

$$\text{拋射槽底邊坡為 } 1:1.5 \text{ 即 } S = \frac{1}{1.5} =$$

$$0.667 \quad \text{令 } k = 0.5$$

故 P_1 之坐標為：

$$\begin{cases} x = 4h_{v0}S = 4 \times 0.045 \times 0.667 = 0.12\text{m} \\ y = 2h_{v0}S^2 = 2 \times 0.045 \times (0.667)^2 = \\ 0.04\text{m} \end{cases}$$

P_0 點之，坐標為：

$$\begin{cases} x = X - \frac{Y}{S} = 2h_{v0}S = 2 \times 0.045 \times \\ 0.667 = 0.06\text{m} \\ y = 0 \end{cases}$$

(11)(A) 入口漸變段長度之決定：

入口水面變化角度為 30° 時

$$L_1 = \frac{6.5 - 2}{2 \tan 30^\circ} = \frac{2.25}{0.576} = 3.91\text{m}$$

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 $L_2 = 5.883\text{m}$

(12) 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：

$$V_0 = \frac{Q}{A_0} = \frac{6}{2 \times 0.972} = 3.08\text{m/sec}$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{QV_0 d_0}{A_0} = V_0^2 d_0 = (3.08)^2 \times 0.972 \\ = 9.22 \end{aligned}$$

由 Fig.4 $\frac{QVd}{A} = 9.22$ 值由矩形射流工

曲線得其出水高度
 $f_2 = 0.38\text{m}$ 但採用 0.4m
 (c) 靜水池之出水高度：
 $V_1 = 8.88\text{m/sec}$

$$\therefore \frac{QV_1 d_1}{A_1} = V_1^2 d_1 = (8.88)^2 \times 0.338 = 26.7$$

由 Fig. 4 $\frac{QVd}{A} = 26.7$ 值由矩形跌水

工靜水池曲線得，其出水高度 $f_3 = 0.9\text{m}$

(13) 靜水池兩邊之牆高：

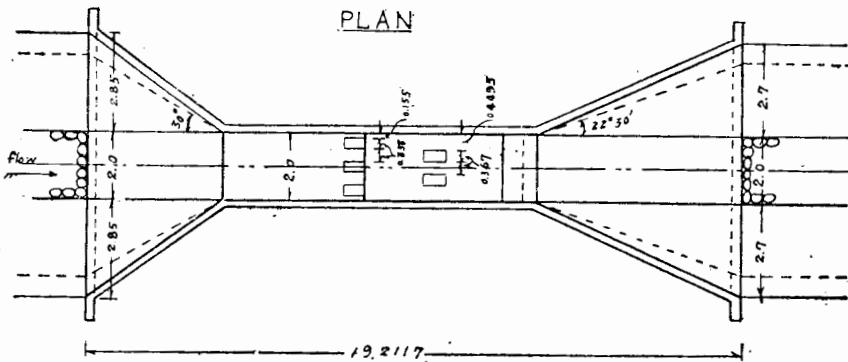
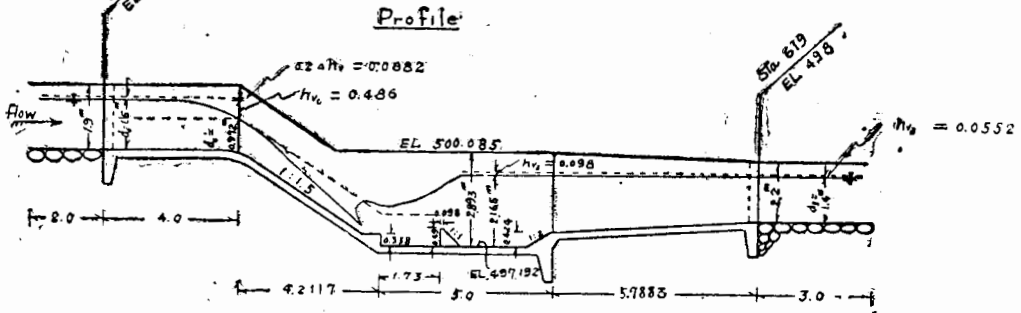
$$H = d_2 + h_{v2} + f_3 = 2.165 + 0.098 + 0.9$$

$$\therefore H = 2.893\text{m}$$

$$\therefore \text{靜水池牆頂標高} = \text{靜水池底標高} + \text{牆高} \\ = \text{EL}497.192 + 2.893 = 500.085\text{m}$$

傾斜式跌水工設計圖

$S = 1 : 200$



大昌祥營造廠

承包土木工程

地址 台北市重慶南路一段十二號三樓

電話 二五三六七