

灌溉系統構造物之設計與實例

分水工 Division Works

李 柏 齡

一、概 述

分水工 (Division works) 為灌溉構造物的一種，其目的在量測已定灌溉水量並將其調整分配到計劃灌溉區。一般灌溉事業的良好運營需要依賴水量的適當調節與量測，尤其在耕地的分水地點，其重要性更為顯著，因為這地點是水利用人與水管理人必須聚會的場所。在水的利用上看，僅在較大渠道建造節制構造物調節流量及水位的設施，尚未足用，因為水的浪費往往在系統的末端即小路為多，所以在近於耕地的小給水路建造調節流量及水位的設施，尤為重要。近年來分水設施逐漸被提倡，其數目也逐漸增加，這是水資源開發對水的需要已供不應求所發生的結果，所以以有限的水量作最有效的利用是今後我們必走的道路。本文將對支渠、分渠或給水路起點應設的分水設施加以討論，這種設施不僅能通過已知一定容量的水而且能量測流量，通常也稱為斗門或分水門 (Outlet. Turn-out)。

二、分水工的分類

分水工可依其目的、形態、構造或水理上的觀點加以分類，但現在世界上各地所用的灌溉水分水法或設施，從它能達到設計地步的構想經過來分別時有下列基本的三種：

1. 第一型

不受上、下游水位的影響，大致能自動的將一定流量分水或流量雖受上游水位變化的影響，但不受下游水位變化的影響，能將一定或近於一定的流量自動分水。再有不管上下游水位變化，將流量按一定比率分配為二或以上的分流量。

這種設施的想法是儘量能以設施來自動操作而減少人為操作的範圍，故對這種設施不能隨意加以操動，如故意的被操動也容易發現，它的構想發展於印度、巴基斯坦等地，通常稱為 Punjab 地方，故可稱為「亞洲型」。

2. 第二型

分水設施本身外尚有補助設施以調節上游水位並且使其固定，由這兩者的配合運用，能自動的將一定流量，分水而且在某範圍內分流量不受下游水位變化的影響。

這想法也是儘量減少人為的操作，發展於法國為中心的地中海區域，故可稱為「地中海型」。

3. 第三型

流量受上、下游水位的影響，但將這水位加以人為的量測，而且以人為的操作調節此時的水位差，使所定流量分配出去，根據這種想法的分水設施，在美國最為常見，可稱為「美國型」。

以上分類僅是表示各地區的分水設施所顯示的特徵，當然屬於某型的分水設施在其他型的區域也存在，本文限於篇幅及筆者能力不能將每一型內各種分水設施一一列舉說明，僅述及下列分水工：

1. 一般分水工

A. 水路分水工。

B. 溢流分水工。

C. 急流分水工。

D. 潛流分水 (孔口分水)

A、B、C 項均屬於第一型中的半自動定量分水設施及比率分水設施。

D 項屬於第三型的手動定量分水設施。

2. 特殊分水工

A. 圓形放射式分水 (溢流式、孔口式)

B. 弧形堰分水均屬於第一型。

三、分水工應具備的條件及位置的選定

1. 分水工應具備的條件

一個分水設施，要滿足所有必要條件似不可能，但基本上有下列要求：

A. 構造堅固，不容易發生誤差，避免可動部份以減少檢查的麻煩。

- B. 不易被隨意操動，或故意被操動也容易發現。
- C. 進入的泥砂易流通，不因泥土，雜草而發生誤差。
- D. 小水頭也能有效的開動（如所需水頭過大，給水路需具有較高水位而增加工程費）
- E. 分水精確，不需常加以調整。
- F. 建造費及維持費低廉，維持管理方便。

2. 位置的選定

對於比率分水設施下列位置選定條件尤為重要：

A. 分水土工上游的水路條件：

- (1) 最少有50公尺以上區段為直線流路。
- (2) 水路底縱坡儘量為緩坡或近於水平。
- (3) 水路內無阻礙物跌入或淤積。
- (4) 維持管理方便，無崩潰之慮。

B. 分水土工的位置條件：

- (1) 地盤良好，適合於建造構造物。
- (2) 有充分的空間可建分水土工、靜水池等。
- (3) 避風的地方，不發生水面的動盪。
- (4) 地形適合於分水土工的維持與管理。

C. 分水土工下游的水路條件：

- (1) 溢流式分水土工，其下游與上游水路間應有充分的落差以使發生完全溢流。
- (2) 水路不因流水而發生冲刷與破壞。

四、分水土工的水理及設計

1. 水路分水土工

這種分水土工在緩流渠道中為多，一般要將緩流按照比率分水時，可以將渠道寬度按分水量之比例以階牆加以分隔。因這種分水為近似的方法，故為減少誤差，隔牆應儘量延長到數十公尺以上，而水深儘量採用淺的較好如圖1：

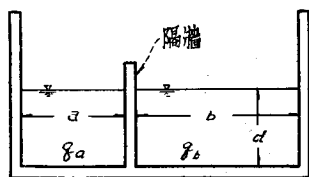


圖1：水路分水土工

設寬度為 a 、 b ($b > a$)，其分流量各為 q_a 、 q_b 則：

$$q_a = C_1 a d \sqrt{SR_1}$$

$$q_b = C_2 b d \sqrt{SR_2}$$

$$\text{如果 } d < \frac{1}{20}a \quad R_1 = R_2, \quad C_1 = C_2$$

$$\text{即 } \frac{q_a}{q_b} = \frac{a}{b} \dots \dots \dots (1)$$

所以分流量與水路分隔寬度約成比例，這種方法需要流速在橫斷面的分布均勻，但實際上為不可能且隔牆在分水土路內易發生邊收縮的影響，所以隔牆儘量要薄兩端要尖銳。如圖1在寬度 a 邊，其週邊的摩擦影響較大，實際流量將比設計的為小。如果採用如圖2，需分流為1、2的比例時先分為三等分後再取其1與2則較為正確，由此可見分水比愈大，其分水誤差也愈大。

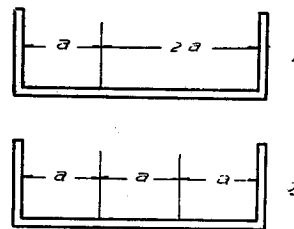


圖2：水路分水土工

2. 溢流分水土工

這種分水土工是利用一般溢流堰來分水的，即在上游設置溢流堰，堰頂的長度按分水流量的比率分隔，或在堰的下游按照分水流量的比率設置隔牆之位置與間隔，以使主流按所需分水量分水。這種分水土工必須將影響溢流要素即溢流水深，接近流速及流速係數等在各溢流口（分水口）設計為同一情形而且不發生邊收縮，所以堰兩邊之上游邊牆，以流線形為佳。此時下列的溢流堰流量公式可以適用。

$$Q = mB(H^{3/2} - h_a^{3/2}) \dots \dots \dots (2)$$

此時， $m = \text{溢流係數} = \frac{2}{3} C \sqrt{2g}$ （銳緣時 $C = 0.62$ ）

$B = \text{堰頂寬度}$

$H = h + h_a$

$h = \text{溢水深}$

$h_a = \text{接近流速水頭。}$

關於溢流水堰請參照「灌溉水量量測設備之設計」(一)（本學報第9卷第2、3期）。

3. 急流分水土工

A. 急流分水土工為利用設置在水路內的溢流部寬度的比例，將水路的流量不管其增減按一定的比率分水。急流分水土工的主體為寬頂堰，當溢流時，水流從緩流變為急流，在其變遷斷面水流不受下游水位的影响而且溢流於堰上的急流，其水平橫斷面上的流速分佈幾乎均勻。所以在急流內設置平行於水流的隔牆（銳緣端）時，水流即按照分隔寬度的比例相當精確的分水。此種分水土工的堰高不需要太大，所以建造費低，上游面的泥沙不會過於淤積，其下游面的冲刷力不致於過強，在落差很

小的地方較為適合。

急流分土工由下列各部所成：

- (1)入口漸變段
- (2)整流部
- (3)溢流部
- (4)靜水池
- (5)出口漸變段

B.入口漸變段設置在渠道直接部份，連接漸變段與整流部時邊牆與渠道中心線的角度 (θ) 應比下式為小

$$\tan \theta = \frac{1}{3} F \dots\dots\dots (3)$$

此處 $F = \text{Froude Number} = \frac{V^2}{gh}$

C.整流部為矩形，長度照上游渠道的流速比率增減，通常在水深之 3 至 6 倍的範圍或採用分土工寬度的 1.0~1.5 倍。

D.溢流部，依照寬頂堰設計，急流分土工的寬頂堰設計主要能發生急流即可，其高度自建造費及管理上看，在必要範圍內儘量低為佳。普通在渠道上設置堰而水流自堰上溢流時，堰上的水流在比能達到最小的斷面處成為臨界水深，其下游即成為急流。如果堰下游的水位超過某一高度以上時，則不會發生臨界水深而成為潛流狀態，於是下游水深將影響到堰的上游。因急流分土工必須為完全溢流，故堰高的設計必須以此為設計要點，於圖 3。

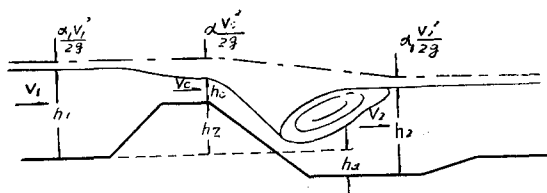


圖 3：急流分土工

先試算堰高使能滿足下列條件

$$\frac{2}{3} (h_1 - h_2 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}) \geq h_2 - h_3 - h_4 + \frac{\alpha_1 V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (4)$$

此處 α 為依斷面形狀及水流情況而定的係數

α_1 = 對於緩流的係數 = 1.1

α = 對於急流的係數 = 1.05

上式對於分水路中 h_2, v_2 最高者應該能適合由上式決定堰高後，控制斷面 (Control section) 處的寬度可由下式決定

$$h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = h_0 + h_z + \frac{\alpha V_0^2}{2g} \dots\dots\dots (5)$$

$$V_0 = \left\{ \frac{2g}{\alpha} (h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_0 - h_z) \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

$$b_0 \left\{ \frac{2g}{\alpha} h^2 (h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_0 - h_z) \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{此處 } h_0 = \frac{2}{3} (h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_z) \dots\dots\dots (8)$$

溢流部的寬頂堰，其上游坡的坡度宜小於 1:6，下游坡為 1:4 左右。

E.靜水池：依照一般靜水池之設計方法設計，其寬度宜與溢流部同寬。

F.隔牆：分水隔牆應設置在溢流部下游面上，其分隔寬度按分水重之比率設定如水路式分水。隔牆起點在下游跳水起點 0.3 公尺以上之上游，其尖端厚度最好為 2 公尺以下之圓形或尖銳的形狀。

G.下游漸變段比照上游漸變段設計。

4. 潛流分土工

A. 孔口 (Orifice)

(1) 小型

如無接近流速，射出的水。其 Control section 與自由水面受同壓力時，放出於自由大氣中的流量為

$$q = C A_P \sqrt{2g H_0} \dots\dots\dots (9)$$

此外 A_P, C 各為孔口斷面積，流量係數， C 依孔口直徑、形狀、水頭及孔口周緣形狀等而異，在縮流充份的情形， C 值約為 0.6，至 Control section 處之損失水頭為 $0.04 H_0$ 。

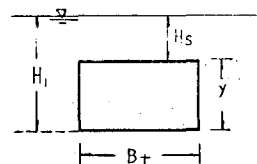
(2) 大型

$H_0 \geq 2 Y$ 時實用上可以使用 (9) 式， $H_0 < Y$ 時流量可以下式計算

$$q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C B_t (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \dots\dots\dots (10)$$

C 值依 Y 與 B_t

之比而變，概算時可用 0.62，參照圖 5。



(3) 管型

孔壁較厚，即孔壁厚度約為孔口直徑的 2.5~3 倍而 H_0 相當

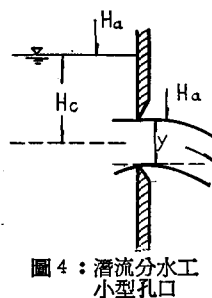


圖 4：潛流分土工小型孔口

圖 5：潛流分土工——大型孔口

大時流量為

$$q = CA_F \sqrt{2gH_0} \dots\dots\dots (11)$$

此時係數 C 為 0.815，流入損失為 $0.33H_0$ 參照圖 6。

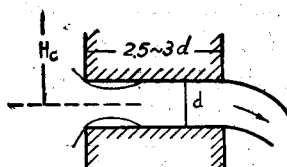


圖 6：潛流分水工管形孔口

B. 潛孔口 (Submerged Orifice)

(1) 銳緣孔口，如圖 7

$$q = CA_F \sqrt{2gH_w} \dots\dots\dots (12)$$

係數 C 略小於 0.6。

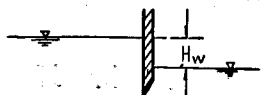


圖 7 潛流分水工—銳緣潛孔口

(2) 管形，如圖 8

$$Q = A \sqrt{\frac{2gH}{1 + f_0 + f \frac{l}{R}}} \dots\dots\dots (13)$$

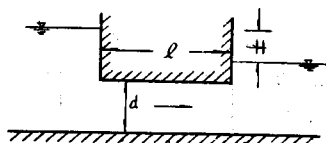


圖 8：潛流分水工——管形潛孔口

此處

H = 內外水位差

f = 管路的摩擦係數

f_0 = 入口損失，0.5

R = 管路之水力半徑

C. 單層及雙層孔口型分水工

(1) 單層孔口

如圖 9，以潛流孔口閘門調節流量，需設置量水計時應裝在管出口 A 處，但上下游的水位差 h 大小大致有下列標準：

(-) 自幹渠分水入支渠 30cm

(-) 其他分水設施，無量水計 10cm (min)

(-) 同上，備有量水計 30cm

一般孔口與量水堰，或巴歇爾水槽等量水設備常配合建造，以能分水亦能量水，如圖 10：

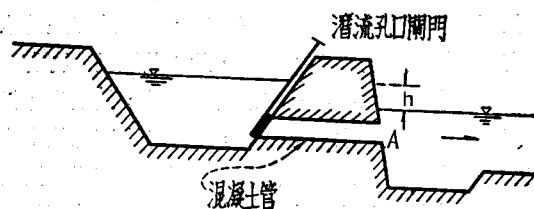


圖 9：單層孔口分水工 (一)

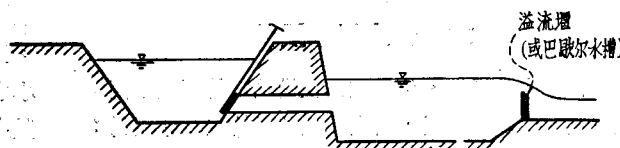


圖 10：單層孔口分水工 (二)

至於量水堰，巴歇爾水槽之設計請參照「灌溉水量測設備之設計 (-)」（本學報第 9 卷第 2、3 及 4 期）

(2) 雙層孔口

自幹渠分水入支渠時，在幹渠之邊坡設一方形水箱 A 並附有孔口 O_1 及 O_2 ，如圖 11。於孔口 O_1 ，事先給予適當的開度以對所定流量能適應各種水位而量水。水箱內之水位可由孔口 O_2 之操作而變化。所定分流量，可由水位差 h 及孔口 O_1 求出。此時按潛孔口流量公式計算，流量係數沒有太大的變化，約為 0.6。然而，水箱內與幹渠的水位差常以約 6 公分為標準計算分水量。

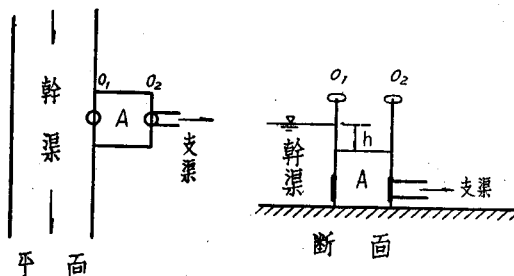


圖 11 雙層孔口分水工

五、特殊分水工

特殊分水工為上述溢流分水工或孔口分水工的變

化構造，即將上游幹渠的水流以倒虹管導入地下，使其在圓形分水槽的中央噴流出來，然後經過圓形分水槽週邊的堰頂（或孔口），使其放射狀的分流。此時，堰頂之長度（或孔口大小）按分水量的比率分隔。此種分水工的水理與溢流分水工（或孔口分水工）同，但倒虹吸管之方向限於一個方向，其噴流出來的水流向周圍擴散時有偏向之趨勢，此為其缺點。再有噴流出來的水使分水槽的水流常發生擾亂，故噴出部份的周圍常需加設整水牆。總之，此種分水工應使水流在圓形堰頂任何一點其溢流水深與接近流速為相同而適合於通水量的分水槽大小與倒虹吸管斷面的關係需加注意。

六、分水量的誤差

灌溉水的量測，依其裝置及構造物的形狀不同，其準備度多少有差異，發生該項差異的主要原因為：

1. 關於容積、流速等測定的基本事項。
2. 流量係數的精密度。
3. 設施建造時的不小心。
4. 設施對地點條件適合與否。
5. 假定與接近、放出水流所具有的條件適合與否。
6. 維護管理的良否。
7. 工程費。
8. 獲得最後結果的方法（直接測流量或先測水頭再計

算流量）

（無論如何，灌溉水量之測定總不能得到絕對正確的結果，但應該十分考慮關係因素，使誤差為最小。一般，誤差有下列二類：

1. 定誤差：以充份且有秩序的調查可以避免的誤差。
2. 偶然誤差：不可避免的誤差。

流量的或然率（偶然）誤差，可由包含於流量式的各因素的誤差算出，即

$$E_Q = \sqrt{E_m^2 + E_b^2 + (aE_H)^2} \dots\dots\dots (14)$$

E_Q ， E_m ， E_b 及 E_H 各為流量，流量係數，長度及水頭的或然率誤差，量水設施的常數 a （長方形堰時為 $3/2$ ）為水頭 H 的指數。相對的或然率因與水頭成反比，低水頭的量水設施精密度較差，所以量水時所用最小水頭，對於各分水設施，做為許可或然率誤差的因數來決定。

七、設 計 例

上述各種分水工中，水路分水工較為簡單而溢流分水工，潛流分水工可參照溢流堰，巴歇爾水槽，潛孔口等設計（本學報第9卷第2、3及4期），本文僅舉急流分水工的設計例以供參考：

1. 已知條件

A. 分水前後的渠道條件

項 目	單 位	分 水 工 上 游 渠 道	分 水 後 下 游 渠 道			
			A	B	C	D
最 大 流 量	c.m.s	7.37	0.95	3.24	2.12	1.06
斷 面 積	m ²	4.021	0.888	2.748	1.848	1.008
水 深	m	1.38	0.60	0.60	0.60	0.60
水 力 半 徑	m	0.747	0.347	0.486	0.445	0.366
平 均 流 速	m/s	1.839	1.091	1.179	1.174	1.057
粗 糙 係 數		0.02	0.017	0.017	0.017	0.017
縱 坡		1/500	1/700	1/950	1/850	1/800
能 量 線 標 高		219.432	218.592	218.592	218.592	218.592

B. 分水比率

項 目	渠 道	A	B	C	D	計
流 量	c.m.s	0.95	3.24	2.12	1.06	7.37
百 分 比	%	12.89	43.96	28.77	14.38	100.00
比 率		1	3.41	2.23	1.11	

2. 設計計算

A. 堤高

先假定堤高，再由（4）式試算堤高是否適合

$$h_1 = 1.38$$

$$V_1 = 1.839$$

$$\frac{\alpha_1 V_1^2}{29} = 1.1 \times 0.172 = 0.19 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{上游渠底標高} &= 219.432 - 1.38 - 0.19 \\ &= 217.862 \text{ m} \end{aligned}$$

設堤高 $h_z = 1.00 \text{ m}$

即其標高為 218.862 m

$$\frac{2}{3} (h_1 - h_z + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}) = -\frac{2}{3} \quad (\text{上游能量線標高} - \text{堤頂標高})$$

線標高 - 堤頂標高)

$$= -\frac{2}{3} (219.432 - 218.862)$$

$$= 0.38 \text{ m}$$

$$h_2 - h_z - h_d + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = (\text{下游能量線標高} - \text{堤頂標高})$$

$$= 218.592 - 218.862$$

$$= -0.27$$

代入 (4) 式, 得

$$0.38 > 0.27$$

可知假定堤高尚可采用

B. 臨界水深

由 (8) 式, 得

$$h_c = \frac{2}{3} (h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} h_z)$$

$$= \frac{2}{3} \times 0.57 = 0.38$$

C. 控制斷面的寬度

由 (7) 式, 得

$$b_c = \left\{ \frac{Q}{\frac{2g}{\alpha} h_c^3 (h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_c - h_z)} \right\}^{1/3}$$

$$= \left\{ \frac{2 \times 9.81}{1.05} \times (0.38)^3 \times (1.38 + 0.19 - 0.38 - 1.00) \right\}^{1/3}$$

$$= 10.29 \text{ m}$$

採用 $b_c = 10.30 \text{ m}$

依分水率分隔此項寬度並設置隔牆

項目	道渠	A	B	C	D	計
分水百分比%		12.89	43.96	28.77	14.38	100.00
隔牆間隔m.		1.33	4.53	2.96	1.48	10.30

D. 整流部的長度

整流部的長度為上游水深的 3~6 倍, 即

$$l = 1.38 \times 3 = 4.14 \text{ m}$$

$$l = 1.38 \times 6 = 8.28 \text{ m}$$

或分水工寬度的 1~1.5 倍, 即

$$l = 10.30 \times 1 = 10.30 \text{ m}$$

$$l = 10.30 \times 1.5 = 15.45 \text{ m}$$

長度在 $4.14 \text{ m} \sim 15.45 \text{ m}$ 的範圍

茲採用 $l = 10.00 \text{ m}$

E. 靜水池

(1) 跳水

$$F = 219.432 - 218.592 = 0.84$$

$$F/h_c = 0.84/0.38 = 2.21$$

由跌水工圖表可查得

$$h_2/h_1 = 6.5 \quad h_1/h_c = 0.345$$

$$h_1 = 0.345 \times 0.38 = 0.131 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.131 \times 6.5 = 0.852 \text{ m}$$

$$V_1 = 7.37/10.30 \div 0.131 = 5.545 \text{ m/sec}$$

$$V_2 = 7.37/10.30 \div 0.852 = 0.839 \text{ m/sec}$$

$$h_{v1} = 1.513 \text{ m} \quad E = 0.131 + 1.513 = 1.644 \text{ m}$$

$$h_{v2} = 0.036 \text{ m} \quad E = 0.036 + 0.852 = 0.888 \text{ m}$$

(2) 池底標高

$$\text{池底 El.} = 218.592 - 0.888 = 212.704$$

(3) 池長

$$h_j = h_2 - h_1 = 0.852 - 0.131 = 0.721 \text{ m}$$

$$L_j/h_i = \frac{11.5}{\left(\frac{2h_{v1}}{h_1} \right)^{0.2}} \geq 5$$

$$L_j/h_j = \frac{11.5}{\left(\frac{2 \times 1.513}{0.131} \right)^{0.2}} = 6.14 > 5$$

$$L_j = 6.14 \times 0.721 = 4.43 \text{ m}$$

採用 $L_j = 5.00 \text{ m}$

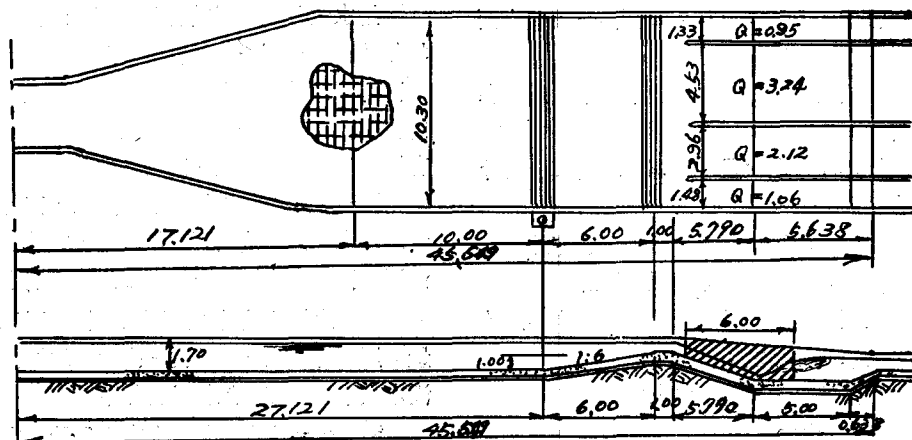


圖12: 急流分水工設計例