

## 建築物地下貯留滯洪池進水管之水力計算

鄭 文 明

中興工程顧問股份有限公司 計畫主任/水利技師

### 摘 要

流出抑制設施雨水貯留池之進水管(或稱入流管)設計流量，參照相關技術手冊係採柏努力方程式以滿管流方式計算，然實務上進水管管線之配置會影響管內流況，進水管之流況並不會完全發展成滿管流，因此除以柏努力方程式分析滿管之情況外，應再尋求其他方式分析評估進水管可輸水量，以符合實務需求。本研究參考美國內政部墾務局之「小型壩設計手冊」(Design of small dams, 1987)，當放流管上游入口被浸沒，放流管坡降為緩坡且未達滿管時，若上游設施水深大於放流管內1.2 倍水深將使得放流管上游入口被浸沒，則管內水體之流況是由上游入口水位所控制，此時流況適用孔口流公式來計算。因此本研究以實際案例，分析比較柏努力方程式與孔口流方程式在相同條件下之進水管設計尺寸，確認進水管之設計尺寸何者計算結果較為保守以符合實務需求。

### 一、 流出抑制類別

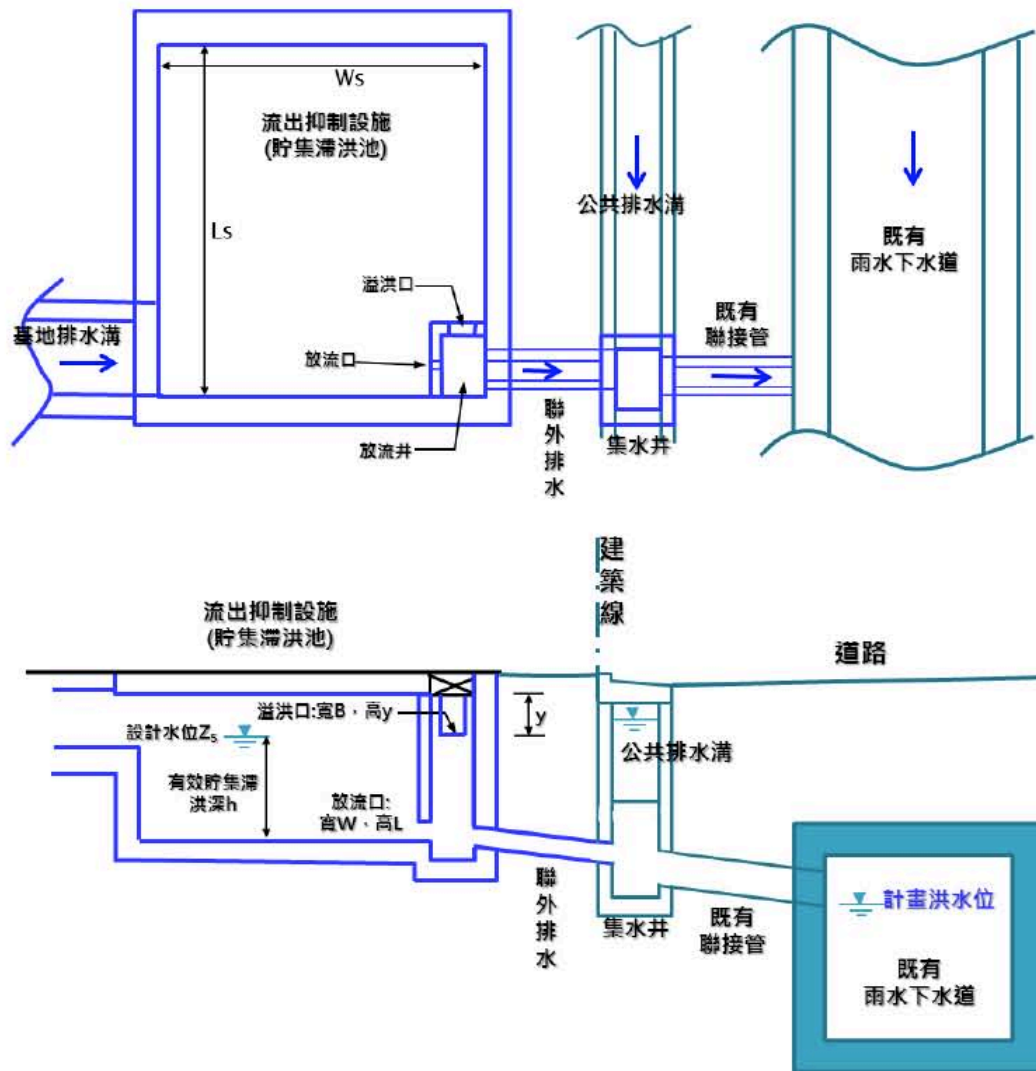
為達到建築基地開發減洪與滯洪，其應設置雨水流出抑制設施，以控制基地向外排放雨水逕流，該設施需符合所訂排入雨水下水道逕流量標準，以發揮雨水流出抑制之效果。

參考106年「臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊」及108年「桃園市雨水流出抑制設施設計參考手冊」，流出抑制設施之設計原則建議優先採全重力式排放，若無法採全重力式排放，才選用機械及重力排放並存方式，若前兩者均無條件，方選用機械抽排。茲將各流出抑制型式之設計說明如下。

#### (一) 全重力方式

貯集滯洪池具重力排放條件：

- 1.基地外排水溝、人孔、區域排水可供基地重力排放。
- 2.貯集滯洪池設於一樓版以上，如屋頂、陽臺、附掛式雨鋪滿、造景水池等。
- 3.貯集滯洪池設於地面下，仍可藉由重力排至公共排水溝者。



圖片來源：108年桃園市政府「桃園市兩水流出抑制設施設計參考手冊」

圖1. 流出抑制設施重力排放示意圖

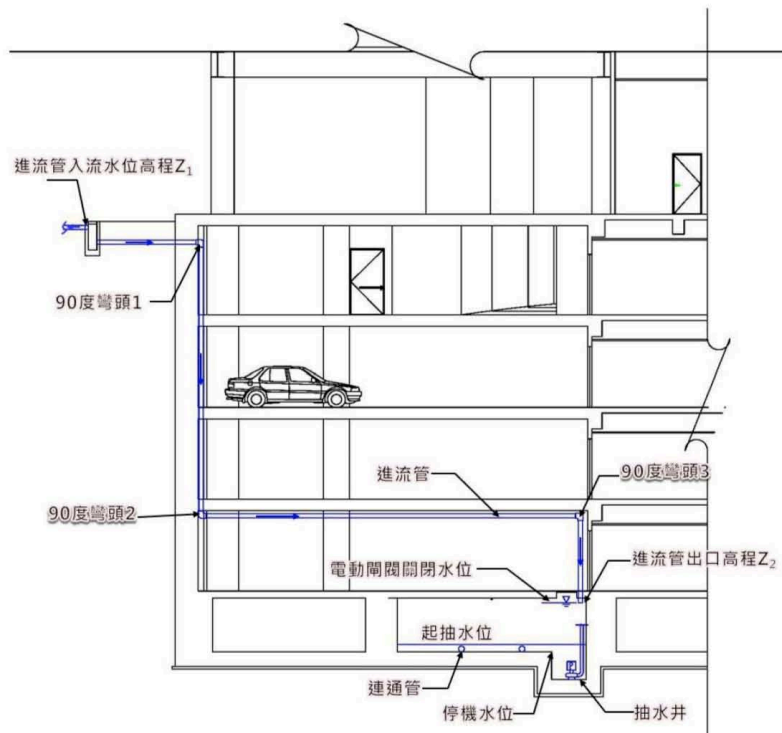
## (二) 機械及重力排放並存

基地內排水溝具重力排放條件，但貯集滯洪池無重力排放條件：

1. 基地外排水溝、人孔、區域排水可供基地排水溝重力排放。
2. 部分貯集滯洪池設於一樓以上。
3. 閘門控制排水溝排放方式。

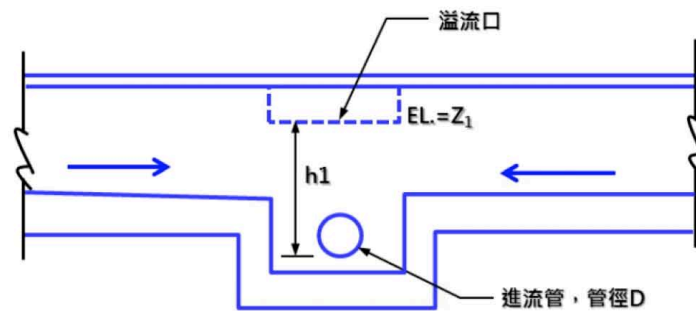
## (三) 機械抽排

基地內排水設施如排水溝或落水管不具重力排放條件，收集逕流水體需完全流入地下貯集滯洪池，藉由機械抽排至公共排水溝。



圖片來源：108年桃園市政府「桃園市雨水流出抑制設施設計參考手冊」

圖2. 流出抑制設施進流管與機械抽排示意圖



圖片來源：108年桃園市政府「桃園市雨水流出抑制設施設計參考手冊」

圖3. 流出抑制設施入流井剖面示意圖

## 二、進水管型態

### (一) 建物內

由建物屋頂落水管收集屋頂逕流後，於建物內直接以專管方式排入建物筏基之地下貯留滯洪設施。

## (二) 建物外

由建物屋頂落水管以專管方式接入建物外排水溝，再由排水溝下游設置之集水井(入流井)，連接入流管排入建物筏基之地下貯留滯洪設施。此即為本研究討論之流況。而集水井有緊鄰建築物者(如圖4)，此時進水管立即接入建築物內，通常埋設長度相當短；或有集水井未與建築物相鄰而有段距離者(如圖5)，此時進水管得埋於建築物外，即有一段進水管埋於基地內建物體外之路面或空地表面下。

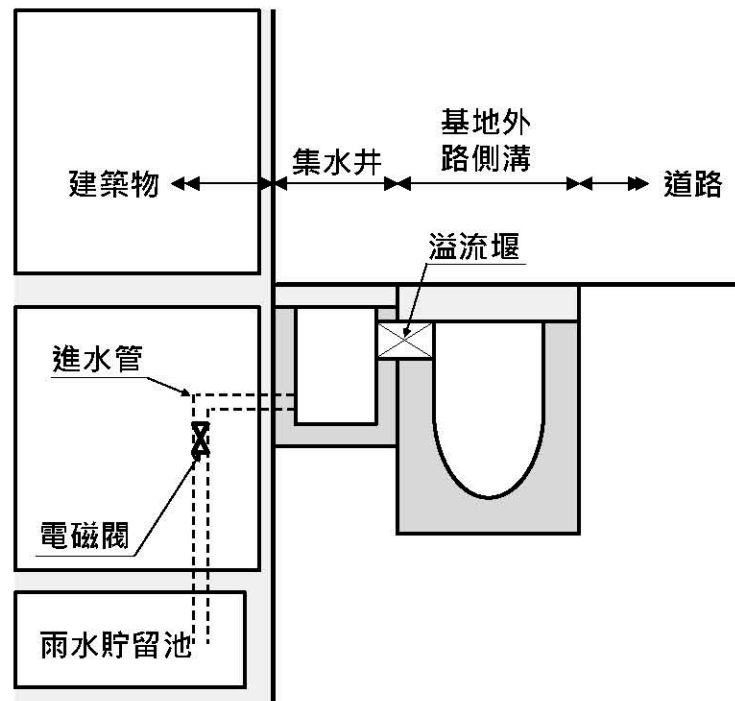


圖4. 集水井緊鄰建築物示意圖

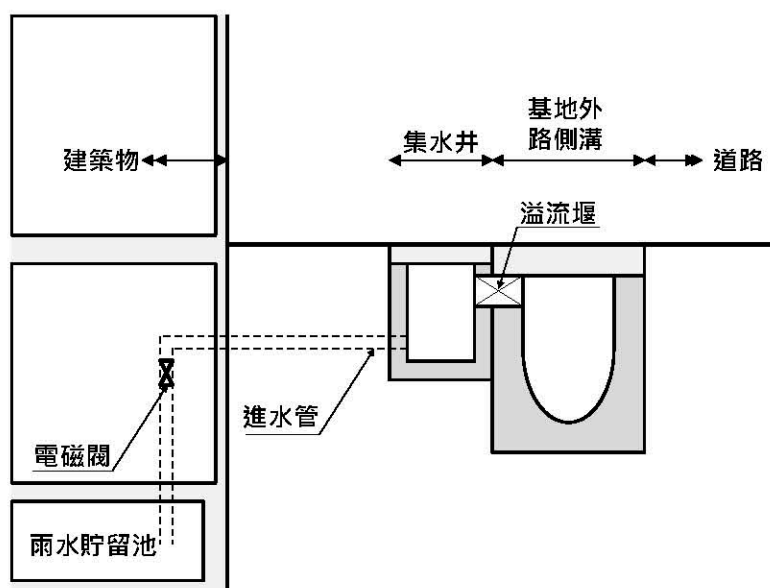


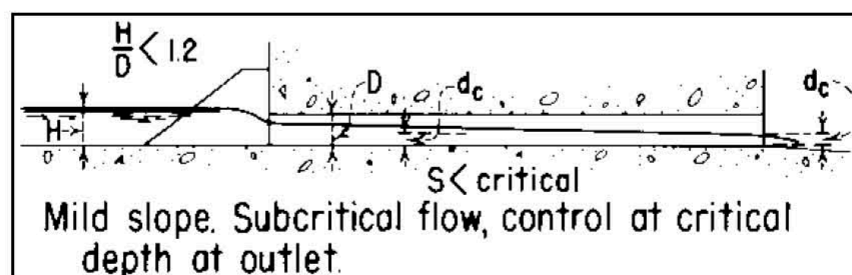
圖5. 集水井未與建築物相鄰而有段距離者示意圖

### 三、進水管水力計算目的

進水管水力計算目的主要係確認進水管設計尺寸，是否可容納法規所需逕流量。參考106年台北市政府「臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊」，採用慣用之柏努力方程式，檢算其滿流流況之流量是否大於法規所需逕流量，惟進水管管線配置狀況會影響管內流況，應再檢算進水管入口處之所需水頭是否低於溢流堰堰頂高程(如圖3之 $h_1$ 所示)，因此建議所需水頭之檢算方式可參考「小型壩設計手冊」(Design of small dams, 1987)，該手冊為美國內政部墾務局相關水資源技術文件，於1987年發表第3版，說明壩體蓄水之洩放係透過低處箱涵(管涵)，其洩放流量之變化主要受到洩放箱涵(管涵)坡降、尺寸、形狀、長度、粗糙度與出入口之幾何形狀所影響，相較建物流出抑制設施之入流井，藉由入流管將水體排至建物筏基之地下貯留滯洪設施，其流入過程之物理機制與上述壩體蓄水之洩放係透過低處箱涵(管涵)相同，唯一之差別在於兩者尺度大小不同，因此兩者計算之物理公式可謂一致。茲將「小型壩設計手冊」洩放水體過程之各種流況說明如下。

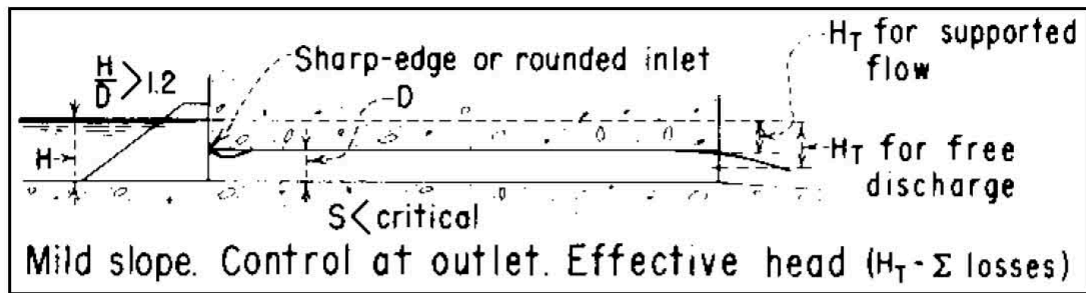
#### (一) 放流管上游入口未被浸沒

當放流管上游入口未被浸沒，放流管坡降為緩坡且未達滿管時，則管內水體之流況係由下游出口尾水位所控制。(1)當出口尾水為自由流時，則會在管中形成臨界水深如圖6所示；(2)當出口尾水被浸沒時，管內之流況會開始逐漸形成滿管，並向上游延伸至入口，此時流況適用柏努力方程式來計算如圖7所示，而在滿管前其流況屬亞臨界流。



圖片來源：1987年美國內政部墾務局「小型壩設計手冊(Design of small dams)」

圖6. 放流管上游入口未被浸沒出口尾水為自由流之流況圖

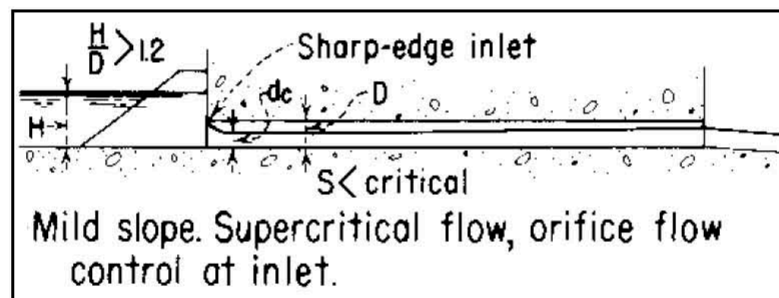


圖片來源：1987年美國內政部墾務局「小型壩設計手冊(Design of small dams)」

圖7. 放流管上游入口與出口尾水皆被浸沒之流況圖

## (二) 放流管上游入口被浸沒

當放流管上游入口被浸沒，放流管坡降為緩坡且未達滿管時，上游設施水深大於放流管內1.2倍，將水深使得放流管上游入口被浸沒，則管內水體之流況是由上游入口水位所控制，此時流況適用孔口流公式來計算，如圖8所示。



圖片來源：1987年美國內政部墾務局「小型壩設計手冊(Design of small dams)」

圖8. 放流管上游入口被浸沒放流管未達滿管之流況圖

## 四、 對應水力計算對應水力計算

### (一) 慣用計算方式-柏努力方程式

參考106年台北市政府「臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊」，依據Bernoulli equation，進水管滿管流計算可採下列公式計算，公式如下：

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_L + H'_L$$

式中  $P$ ： 壓力

$Z$ ： 位置水頭

$V$ ： 流速

$H_L$ : 水頭損失

$g$ : 重力加速度

水頭損失分為摩擦損失及配件損失，建議以Darcy-Weisbach equation 計算摩擦損失：

$$H_L = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$\lambda = 0.02 + \frac{1}{2000 \times D}$$

$$H'_L = \left( \sum_i K_i \right) \times \frac{V^2}{2g}$$

式中  $H_L$ : 水頭損失

$\lambda$ : 摩擦損失係數

$L$ : 直管長度

$V$ : 平均流速

$D$ : 管徑

$g$ : 重力加速度

$H'_L$ : 次要水頭損失

$K$ : 次要損失係數，入口損失係數 $K=0.5$ ，出口損失係數 $K=1.0$

表1. 次要損失係數一覽表

口徑 (in)	口徑 (mm)	90度彎頭(SUS)	90度彎頭(PVC)	45度彎頭	閉閘 防震接頭	逆止閘 電動(磁)閘
2"	50	1.26	0.84	0.72	0.23	5.04
2.5"	65	1.02	0.75	0.64	0.20	4.35
3"	80	0.98	0.71	0.59	0.20	3.94
4"	100	1.05	0.64	0.60	0.20	4.13
5"	125	0.98	0.58	0.58	0.19	4.03
6"	150	0.93	0.52	0.56	0.19	3.73

資料來源：106年台北市政府「台北市雨水流出抑制設施設計參考手冊」

## (二) 管流入口控制

參考「小型壩設計手冊」(Design of small dams, 1987)在上述流況下，若放流管為管涵(即圓管)，水頭-流量-管徑之關係則可繪製如圖9所示，圖中曲線A即為實務上

入流管連接上游設施入流井設施採矩形邊(square-edged)方式銜接，當入流井水位上升入流管將水體排至建物筏基之地下貯留滯洪設施。而在計算設計放流管徑 $D$ 時以不同管徑 $D$ 試誤，計算設計流量 $Q$ 之 $Q/D^{5/2}$ 之值，並查詢該值於曲線A所對應 $H/D$ 之值，由此可推求上游設施所需水深 $H$ ，再由水深 $H$ 判斷是否符合所需，若不符則重新假設管徑 $D$ ，重複上述步驟直至所需符合之水深 $H$ 。

除上述計算方式外，亦可透過孔口流公式，考量設計流量 $Q$ 與入流井水深 $H$ ，推求所需入流管尺寸，其中孔口係數可由圖10查得。

圓形管：
$$Q = C_d \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH}$$

矩形管：
$$Q = C_d w D \sqrt{2gH}$$

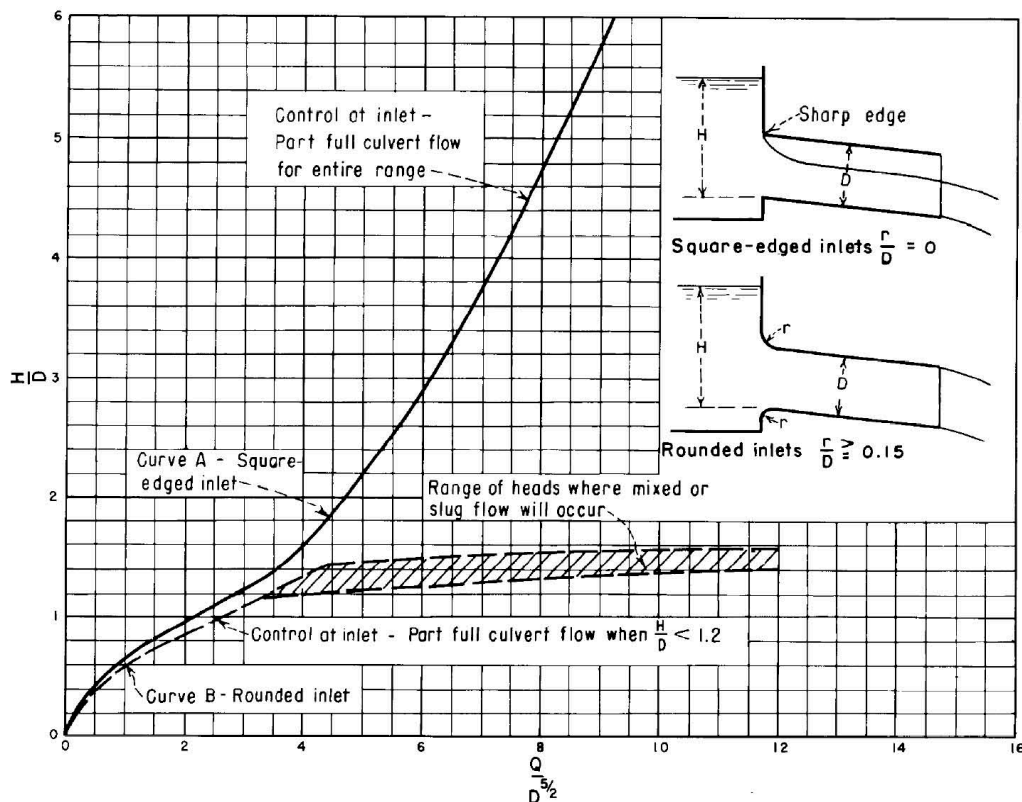
其中  $Q$ ：設計流量

$C_d$ ：孔口係數

$D$ ：管徑或管高

$w$ ：管寬

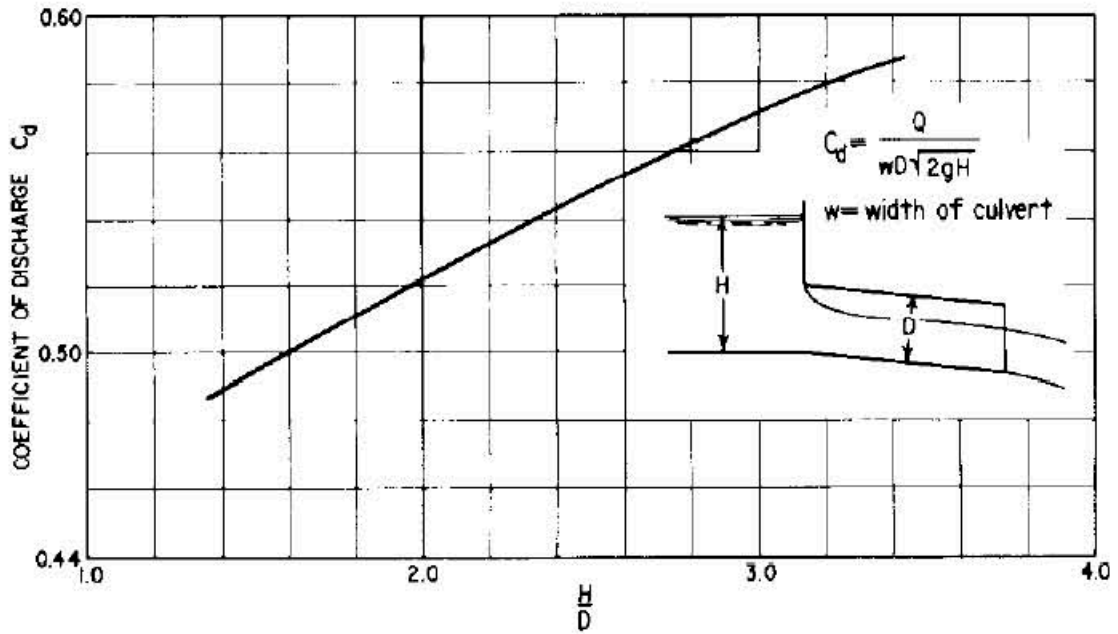
$H$ ：入流井水深



圖片來源：1987年美國內政部墾務局「小型壩設計手冊(Design of small dams)」

圖9. 放流管上游入口被浸沒放流管未達滿管水頭-流量-管徑關係圖



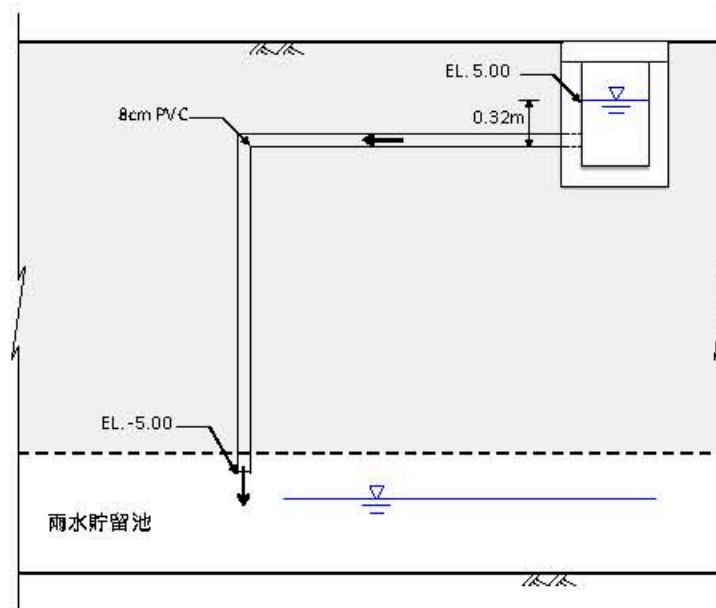


圖片來源：1987年美國內政部墾務局「小型壩設計手冊(Design of small dams)」

圖10. 放流管上游入口被浸沒放流管未達滿管孔口係數-水深-管徑之關係圖

### 五、 案例研析

如圖11所示設計之集水井入流案例，其中集水井水位為EL. 5.00m，井內水深由入流管底計0.32m，入流管流至雨水貯留池之出口高程為EL. -5.00m，茲以柏努力方程式及孔口流方程式計算PVC管內可通過流量。



圖片來源：本研究繪製

圖11. 進流管案例示意圖

**(一)以柏努力方程式計算**

柏努力方程式套用本案例之相關數據整理如表2，其中參考表1在8cm管徑下，轉彎處之次要損失係數K值為0.71。經柏努力方程式計算，管內流量為0.021cms。

表2. 以柏努力方程式計算進水管輸水能力表

項次	項目	進水管數據	備註
1	$Z_1(\text{m})$	5.00	集水井內水位
2	$Z_2(\text{m})$	-5.00	進水管出口高程
3	$Z_1-Z_2(\text{m})$	10.00	淨水頭差
4	$D(\text{m})$	0.08	管徑(m)
5	$Q(\text{cms})$	0.021	管內流量
6	$\lambda \frac{L}{D}$	8.13	摩擦損失係數
7	$K_1$	0.50	入口損失係數
8	$K_2$	1.00	出口損失係數
9	$K_3$	0.71	彎管損失係數
10	$K$	10.34	總損失係數
11	$V(\text{m/s})$	4.16	管內流速
12	$Q(\text{cms})$	0.021	管內流量

**(二)以孔口流方程式計算**

本案例集水井內進水管上水深為0.32m，故水深與管徑比 $H/D=4.0$ ，經查圖10可知所需採用之孔口係數為0.60，將孔口流方程式套用本案例之相關數據整理如表3，求得管內流量為0.008cms。

表3. 以孔口流方程式計算進水管輸水能力表

項次	項目	進水管數據	備註
1	$C_d$	0.60	孔口係數
2	$H(m)$	0.32	進水管上水深
3	$D(m)$	0.08	管徑(m)
4	$Q(cms)$	0.008	管內流量

## 六、 結論與建議

本研究以柏努力方程式以及孔口流方程式，分別分析流出抑制設施進水管在上游浸沒之條件下，進水管呈現滿管與未滿管之輸水能力。實務上進水管管線之配置會影響管內流況，進水管之流況並不會完全發展成滿管流，因此除以柏努力方程式分析滿管之情況外，應再以孔口流方程式分析其可輸水量，最後比較兩公式所計算取保守者，以確認進水管設計尺寸是否符合需求。以本研究案例計算可知，柏努力方程式所計算之可輸水量約為孔口流公式之3倍，即以柏努力方程式評估後所配置管徑，有可能高估可輸水量之情況。未來建議可以透過實驗，驗證在何種管徑、流況與配置條件下，使用柏努力方程式或孔口流方程式，較符合實務需求。

## 七、 參考文獻

1. 台北市政府，「臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊」，2017。
2. 桃園市政府水務局，「桃園市雨水流出抑制設施設計參考手冊」，2019。
3. 內政部營建署，「下水道工程設計規範」，2013。
4. 內政部營建署，「下水道用戶排水設備標準」，2012。
5. 台北市政府，「臺北市下水道管理自治條例」，2012。
6. 桃園市政府，「桃園市下水道管理自治條例」，2012。
7. Bureau of Reclamation, "Design of Small Dams", A Water Resources Technical Publication, United States Department of the Interior, 1987.