

建築物流出抑制設施進水管流速實驗

林 永 德

台灣省水利技師公會技師

摘 要

本實驗模擬建築物流出抑制設施集水井、進水管水平管、立管之配置，變化集水井水位、進水管管徑、水平管及立管長度，以水工實驗量測水位和流速，將量測結果與臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊 7.1 進水管水理計算結果及孔口流計算結果比較，實驗中獲知集水井達到較高水位經過震盪後才能獲得較高流速，管徑 1.6 cm，水平管長度 30 cm，立管長度 30 cm 或 60 cm，集水井水頭 8 cm 時，量得流速可達臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊 7.1 進水管水理計算流速，管徑放大到 2.15 cm 時，量得流速小於該手冊計算值，與孔口流計算值相近，水平管延長至 110 cm 時，流速亦與孔口流計算值相近，本實驗建議除依臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊 7.1 進水管水理計算外，亦應以孔口流計算，取其小者，再檢算水平管之通水能力。

一、 實驗動機

依照臺北市雨水流出抑制設施設計參考手冊 7.1 進水管水理計算，所得進水管流速常在 4m/sec 以上，計算時未考慮集水井水位及進水管水平段坡度，水位在進水管中心時，亦可得到高流速之計算值。為驗證實際流況，乃以變化集水井水位、進水管管徑、第一段水平管長度、立管長度之流速實驗驗證實驗值與計算值之差異。

二、 實驗設備

以牛奶瓶及礦泉水瓶作為集水井，劃刻度 20 個至 30 個，每瓶每公分一個刻度，第一套牛奶瓶設置進水管，管中心在刻度 4，進水管 $\phi 1.6$ cm，長 30cm 2 支，60 cm 及 80 cm 各一支，彎頭一個，管之截面積 2.01 cm^2 。另一套礦泉水瓶亦設置進水管，管中心在刻度 5.5，進水管 $\phi 2.15$ cm，長 30cm 2 支，60 cm 及 80 cm 各一支，

學術天地

建築物流出抑制設施進水管流速實驗

彎頭一個，管之截面積 3.63 cm^2 。進水管均伸入桶中，CV 值採用 0.5，另置水桶兩個，一個接水，另一個當量筒用。量筒高 28.3 cm，底部直徑 20.5cm，頂部直徑 23.4cm。以以上材料配置成九個設備方案：

1. 設備一（管徑 1.6 cm，水平管 30cm 坡度 0.8%，無立管）
2. 設備二（管徑 1.6 cm，水平管 30cm 坡度 0.8%，立管 30cm）
3. 設備三（管徑 1.6 cm，水平管 30cm 坡度 0.8%，立管 60cm）
4. 設備四（管徑 1.6 cm，水平管 110cm 坡度 0.8%，立管 30cm）
5. 設備五（管徑 1.6 cm，水平管 110cm 坡度 0.8%，無立管）
6. 設備六（管徑 2.15 cm，水平管 30cm 坡度 3%，立管 30cm）
7. 設備七（管徑 2.15 cm，水平管 30cm 坡度 3%，立管 60cm）
8. 設備八（管徑 2.15 cm，水平管 110cm 坡度 3%，立管 30cm）
9. 設備九（管徑 2.15 cm，水平管 110cm 坡度 3%，立管 60cm）



照片來源:自行拍攝

圖一 設備一照片



照片來源:自行拍攝

圖二 設備二照片

三、實驗方法

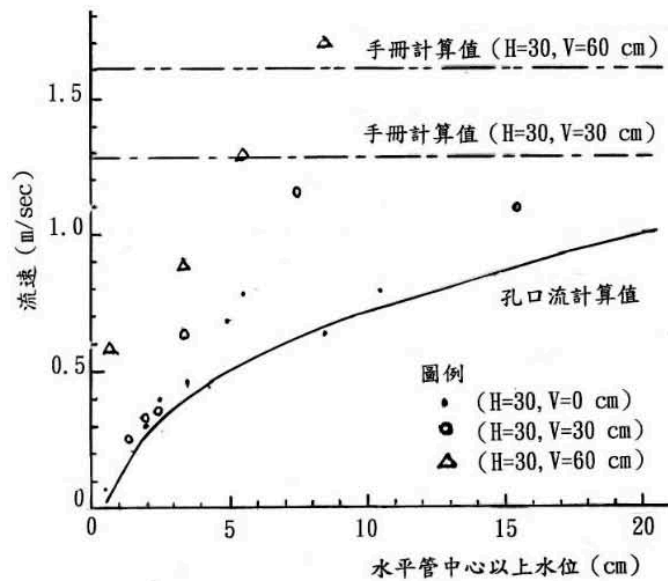
1. 按設備一、二、三、四、五、六、七、八、九逐項實驗。
2. 以住家陽台橡膠軟管接至桶內，調整流量使集水井內水位穩定在期望之格線後，開始量測流出時間和水量，換算成平均流速。
3. 比較實驗所得平均流速，以孔口流計算流速及市政府手冊計算方法所得流速按不同管徑、不同第一段水平管長度及不同立管長度繪製成圖三、圖四、圖五。
4. 探討合適之輔助計算方法。

四、實驗結果

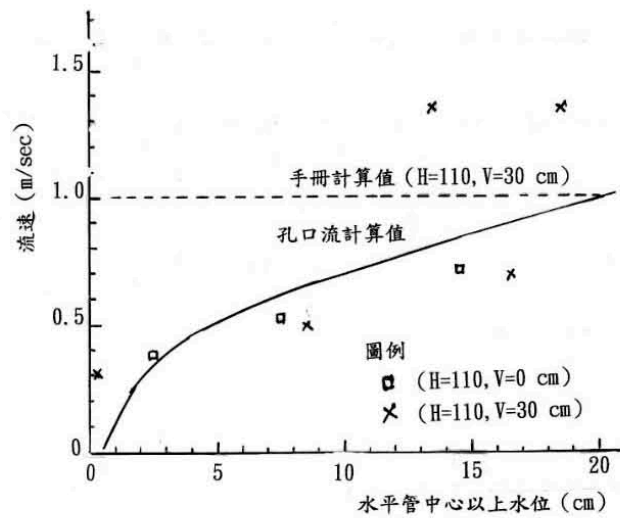
1. 管徑 1.6cm 實驗記錄如附錄 3，實驗值及計算值繪製成圖三及圖四。由圖三可知管徑 1.6cm，水平管 30cm 無立管時，實驗值約在孔口流計算值曲線附近，水平管 30cm 立管 30cm 及立管 60cm 時，實驗值高於孔口流計算值，集水井水頭達 8cm 其流速才能達到手冊計算值。當水平管延長至 110cm 時，由圖四可知無立管時實驗值與孔口流計算值曲線相當，立管 30cm 者集水井水頭達 13.5cm 時有二次流速實驗值達到手冊計算值，一次約孔口流計算值附

近，水頭小於 13.5cm 時，實驗值約在孔口流計算值附近。

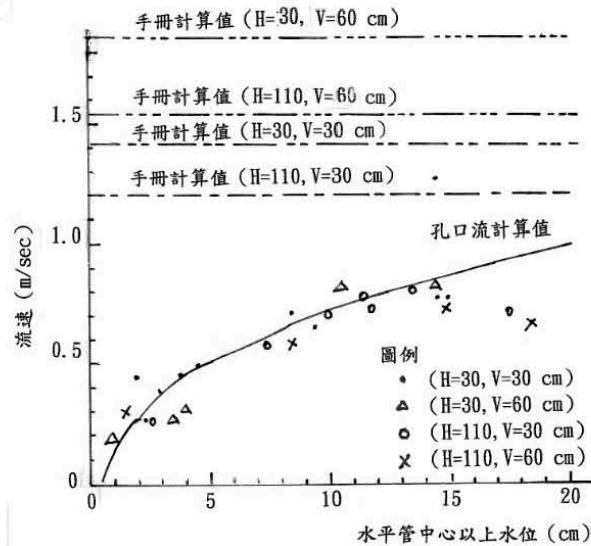
- 管徑 2.15cm 實驗結果如附錄 4，實驗值及計算值繪製成圖五。水平管 30cm 立管 30cm 時，只有一次集水井水頭達 14.5cm 時，其流速實驗值達到手冊計算值，有二次集水井水頭達 12.2cm 及 13.5cm，6 次水頭較低者，其流速均與孔口流計算值相當。水平管 30cm 立管 60cm 時，實驗值與孔口流計算值曲線相當，當水平管延長至 110cm 時，立管 30cm 及 60cm，集水井水頭 0cm 至 18 cm 時，其流速均無法達到手冊計算值，約與孔口流計算值相當。



圖三 水位流速實驗值 (Φ1.6cm, H=30)



圖四 水位流速實驗值 (Φ1.6cm, H=110)



圖五 水位流速實驗值 (Φ2.15cm)

五、實驗結果討論

1. 集水井水位變化之流況

集水井水位變化分成三個型態：(1) 進水流量逐階調高，至水位增高至期望穩定高度以固定流量流出。(2) 進水流量逐階調高至水位增高達特定高度後維持固定進水量，水位下降至較低水位維持穩定水位，管徑 1.6cm 及 2.15cm 時均曾發生，在管徑 1.6cm 水平管 30cm 立管 30cm 時量到水位下降 12.5cm。在管徑 2.15cm 水平管 30cm 立管 30cm 時，量到水位下降 10cm。水平管 110cm

立管 60cm 時量到 17cm。(3) 進水流量逐階調高，水位增高至特定高度後維持固定進水量，水位再下降至另一高度，水位在此範圍內上下擺動，最後在低水位維持穩定水位，擺動範圍在管徑 1.6cm 水平管 30cm 立管 30cm 時，量到 2.5cm，在管徑 2.15cm 水平管 110cm 立管 30cm 時擺動幅度量到 14cm(更多數據請參考附錄 3)。

2. 進水管管徑對形成壓力流的影響

以進水管管徑 1.6 cm 實驗時，流速隨水位增加而提高，水位達管中心以上 7 公分時，流速實驗值可達市府手冊壓力流之計算值，但水位小於 7 公分時，流速小於手冊計算值，與孔口流之計算值相近。以進水管管徑 2.15 cm 實驗時，流速實驗值與孔口流之計算值相近，均無法達到市府手冊壓力流之計算值，與管徑 1.6 cm 之表現不同，推估管徑增大時需要較高水頭才能形成壓力流，本實驗設備水頭最高 30 公分，須有較高水頭才能做出大口徑管之壓力流。

3. 第一段水平管長度對進水管流速的影響

以進水管管徑 1.6 cm 實驗時，水平管長度從 30 cm 增加到 110 cm 時，進水管流速均接近孔口流流速計算值，只有一次達到市府手冊壓力流之計算值。以進水管管徑 2.15cm，水平管長度 110 cm 時，進水管流速均接近孔口流流速計算值，無法達到市府手冊壓力流之計算值。可見水平管長度延長為不容易產生壓力流的原因之一。

4. 立管長度對進水管流速的影響

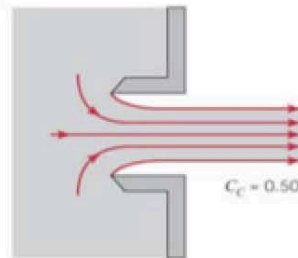
以進水管管徑 1.6 cm 水平管長度 30 cm 實驗時，立管長度從 30 cm 增加到 60 cm 時，進水管流速也增快，但管徑改為 2.15cm 時，立管 30cm 及 60cm 時進水管流速均在孔口流流速計算值附近，顯見管徑大小的影響大於立管長度的影響。

六、結論與建議

1. 進水管內流況能否成為壓力流之影響因素依序為水頭、管徑、第一段水平管長度、立管長度。本實驗在水頭 18.5cm、管徑 2.15 cm、第一段水平管長度 30 cm、立管長度 60 cm 時無法形成壓力流，建築物進水管管徑大都 10 cm 以上，流出抑制計畫水理計算除依市府手冊以壓力流之計算方法計算外，建議仍應以孔口流計算進口流速，並計算第一段水平管之流速，取其進水量較低者。
2. 進水管從集水井流出後，建議儘快流入地下層，以減少第一段水平管長度。
3. 進水管流速計算正確與否影響流出抑制計畫成效，建議主管機關或學術單位能在實驗室進行更完整實驗，求出變化管徑、第一段水平管長度、立管長度所需之水頭。

七、附錄

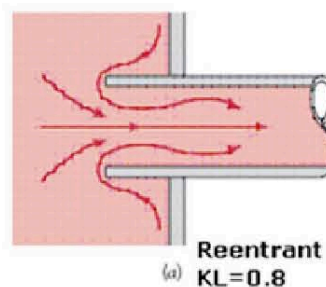
1. 孔口流流速計算



$$Z_0 = \text{水位} \quad CV = 0.5 \quad H = \text{水位} - 4 = 0.5 \sqrt{\frac{V^2}{2g}}$$

2. 壓力流流速計算

(1) 設備二 (管徑 1.6 cm，水平管 30cm 坡度 0.8%，立管 30 cm)



$$Z1 (\text{入口管中心高程}) = 4 \quad Z2 (\text{管出口處高程}) = -26 - 0.5 = -26.5$$

$$K1 (\text{入口損失係數}) = 0.8 \quad K3 (\text{彎管損失係數}) = 0.93$$

$$h_1 = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}, \quad \lambda = 0.02 + 1/(2000 \times D) = 0.05125$$

$$\text{摩擦損失水頭} = (0.8 + 0.93 + 0.05125 \times \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} = 3.652 \frac{V^2}{2g} = 0.305$$

$$V = 1.28 \text{ m/sec}$$

- (2) 設備三 (管徑 1.6 cm, 水平管 30cm 坡度 0.8%, 立管 60 cm)

$$Z1 (\text{入口管中心高程}) = 4 \quad Z2 (\text{管出口處高程}) = -56 - 0.5 = -56.5$$

$$K1 (\text{入口損失係數}) = 0.8 \quad K3 (\text{彎管損失係數}) = 0.93$$

$$\text{摩擦損失水頭} = (0.8 + 0.93 + 0.05125 \times \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} = 4.613 \frac{V^2}{2g} = 0.605$$

$$V = 1.61 \text{ m/sec}$$

- (3) 設備四 (管徑 1.6 cm, 水平管 110cm 坡度 0.8%, 立管 30 cm)

$$Z1 (\text{入口管中心高程}) = 4 \quad Z2 (\text{管出口處高程}) = -26 - 0.5 - 3.5 = -30$$

$$K1 (\text{入口損失係數}) = 0.8 \quad K3 (\text{彎管損失係數}) = 0.93$$

$$\text{摩擦損失水頭} = (0.8 + 0.93 + 0.05125 \times \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} = 6.214 \frac{V^2}{2g} = 0.34$$

$$V = 1.04 \text{ m/sec}$$

- (4) 設備六 (管徑 2.15 cm, 水平管 30cm 坡度 3%, 立管 30 cm)

$$Z1 (\text{入口管中心高程}) = 5.5 \quad Z2 (\text{管出口處高程}) = -25.7$$

$$K1 (\text{入口損失係數}) = 0.8 \quad K3 (\text{彎管損失係數}) = 0.93$$

$$h_1 = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}, \quad \lambda = 0.02 + 1/(2000 \times D) = 0.0433$$

$$\text{摩擦損失水頭} = (0.8 + 0.93 + 0.0433 \times \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} = 2.948 \frac{V^2}{2g} = 0.309$$

$$V = 1.424 \text{ m/sec}$$

- (5) 設備七 (管徑 2.15 cm, 水平管 30cm 坡度 3%, 立管 60cm)

$$Z1 (\text{入口管中心高程}) = 5.5 \quad Z2 (\text{管出口處高程}) = -55.7$$

$$K1 (\text{入口損失係數}) = 0.8 \quad K3 (\text{彎管損失係數}) = 0.93$$

$$h_1 = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}, \quad \lambda = 0.02 + 1/(2000 \times D) = 0.0433$$

$$\text{摩擦損失水頭} = (0.8 + 0.93 + 0.0433 \times \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} = 3.542 \frac{V^2}{2g} = 0.633$$

$$V = 1.831 \text{ m/sec}$$

- (6) 設備八 (管徑 2.15 cm, 水平管 110cm 坡度 3%, 立管 30 cm)

$$Z1 (\text{入口管中心高程}) = 5.2 \quad Z2 (\text{管出口處高程}) = -28.3$$

$$K1 (\text{入口損失係數}) = 0.8 \quad K3 (\text{彎管損失係數}) = 0.93$$

$$h_1 = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}, \quad \lambda = 0.02 + 1/(2000 \times D) = 0.0433$$

$$\text{摩擦損失水頭} = (0.8 + 0.93 + 0.0433 \times \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} = 4.55 \frac{V^2}{2g} = 0.335$$

$$V = 1.20 \text{ m/sec}$$

- (7) 設備九 (管徑 2.15 cm, 水平管 110cm 坡度 3%, 立管 60cm)

$$Z1 (\text{入口管中心高程}) = 5.5 \quad Z2 (\text{管出口處高程}) = -55.7$$

$$K1 (\text{入口損失係數}) = 0.8 \quad K3 (\text{彎管損失係數}) = 0.93$$

$$h_1 = \lambda \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}, \quad \lambda = 0.02 + 1/(2000 \times D) = 0.0433$$

$$\text{摩擦損失水頭} = (0.8 + 0.93 + 0.0433 \times \frac{L}{D}) \frac{V^2}{2g} = 5.154 \frac{V^2}{2g} = 0.633$$

$$V = 1.55 \text{ m/sec}$$

3. 進水管管徑 1.6cm 實驗記錄

水位 cm	管中心 以上水位	時間 (秒)	筒高 cm	水量 (m ³)	進水管 截面積 cm ²	流速 (cm/sec)	手冊計 算流速 (m/sec)
水平管 30cm, 無立管, 管徑 1.6cm							
5.0	0.5	26	1.1	365.20	2.01	6.99	
6.5	2	39	7	2396.99	2.01	30.58	
7.0	2.5	77	17.2	6199.72	2.01	40.06	
9.5	5	23	8	2753.55	2.01	68.92	
10.0	5.5	30	11.9	4177.91	2.01	77.98	
13.0	8.5	28	10.1	3513.84	2.01	62.43	
15.0	10.5	20	9.2	3186.09	2.01	79.26	
8~6	3.5	50	13.3	4702.32	2.01	46.79	
水平管 30cm, 立管 30cm 管徑 1.6cm							
5.9	1.4	20	3	1140.34	2.01	25.03	1.28
6.5	2	16	3	1006.08	2.01	31.28	1.28
7.0	2.5	16	3.6	1211.11	2.01	37.66	1.28
12.0	7.5	17	11.5	4029.35	2.01	117.92	1.28
20.0	15.5	12	7.7	2646.21	2.01	109.71	1.28
8~5.5	3.5	35	12.5	4401.81	2.01	62.57	1.28
水平管 30cm, 立管 60cm 管徑 1.6cm							
5.2	0.7	22	7.5	2574.83	2.01	58.23	1.61
8~6	3.5	19	9.8	3404.27	2.01	89.14	1.61
10	5.5	12	9	3113.65	2.01	129.09	1.61
12	7.5	17	11.5	4029.35	2.01	117.92	1.61
13	8.5	14	13.5	4777.81	2.01	169.79	1.61
水平管 110cm 無立管管徑 1.6cm							
7	2.5	31	7.1	2432.49	2.01	39.04	
12	7.5	26	8	2753.55	2.01	52.69	
19	14.5	17	7	2396.99	2.01	70.15	
水平管 110cm, 立管 30cm 管徑 1.6cm							
5.6	1.1	41	7.4	2539.19	2.01	30.81	1.04
13~10	8.5	51	14.2	5043.11	2.01	49.20	1.04
13	8.5	36	10.4	3623.72	2.01	50.08	1.04
21	16.5	31	12.5	4401.81	2.01	70.64	1.04
23	18.5	23	16.9	6082.63	2.01	131.57	1.04
18~5.5	13.5	29	21.2	7791.34	2.01	133.67	1.04

4. 進水管管徑 2.15cm 實驗記錄

水位 cm	管中心 以上水位	時間 (秒)	筒高 cm	水量 (cm^3)	管截面 積 (cm^2)	流速 (cm/sec)	手冊計 算流速 (m/sec)
水平管 30cm, 立管 30cm 管徑 2.15cm							
7.8	2.3	33	8.9	3077.48	3.63	25.69	1.424
8.3	2.8	28	11.2	3918.30	3.63	38.55	1.424
10	4.5	30	15.1	5386.75	3.63	49.47	1.424
17.7	12.2	20	15.9	5694.61	3.63	78.44	1.424
15~10	9.5	25	16.1	5780.63	3.63	63.70	1.424
19~9	13.5	34	25.6	9621.24	3.63	77.96	1.424
14~8	8.5	28	19.8	7238.53	3.63	71.22	1.424
9.4	3.9	24	11	3844.44	3.63	44.13	1.424
20~11	14.5	16	19.7	7187.85	3.63	123.76	1.424
水平管 30cm, 立管 60cm 管徑 2.15cm							
16~9.5	10.5	19	16.2	5810.65	3.63	84.25	1.831
20~9.5	14.5	19	16.2	5810.65	3.63	84.25	1.831
9	3.5	30	9	3113.65	3.63	28.59	1.831
9.5	4	34	11.1	3881.35	3.63	31.45	1.831
6.5	1	31	6.7	2290.71	3.63	20.36	1.831
水平管 110cm, 立管 30cm 管徑 2.15cm							
8~6	2.5	26	10.4	3623.72	3.63	38.39	1.20
13	7.5	36	21	7710.41	3.63	59.00	1.20
15.5	10	24	17.1	6160.65	3.63	70.71	1.20
17	11.5	26	19	6908.95	3.63	73.20	1.20
19	13.5	18	14.9	5310.14	3.63	81.27	1.20
17.2	11.7	23	17.1	6160.65	3.63	73.79	1.20
23~9	17.5	31	21.6	7953.61	3.63	70.68	1.20
水平管 110cm, 立管 60cm 管徑 2.15cm							
7	1.5	39	12.1	4252.40	3.63	30.04	1.55
14	8.5	24	14.5	5157.34	3.63	59.20	1.55
20~7	14.5	19	14.4	5119.22	3.63	74.22	1.55
24~7	18.5	22	15.3	5463.50	3.63	68.41	1.55