

矩形與U型溝之水理計算研究

余 濬

台北市水利技師公會顧問（博士、水利技師、水土保持技師）

一、前言

一般道路側溝之形狀有矩形溝、U型溝、梯形溝或L型溝，在都市區內以矩形溝、U型溝為多，其排水量當然需能排除所蒐集之地表逕流，且流速需在允許範圍之內，例如 $0.8\text{m} \leq V \leq 3.0\text{m}$ ，本文以常用之曼寧(Manning)公式探討不同水深時，矩形溝、U型溝之流速差異與流量差異，以及當矩形溝、U型溝之曼寧粗糙係數 n 值不同時，兩者之流速差異與流量差異，可供工程師設計時之參考。

二、流速、流量公式

2.1 曼寧公式

當渠道中水流為等速流(Uniform flow，或稱均勻流)時，渠道縱坡 S_0 、水面線 S_w 與能量線 S_f 三者相互平行，即 $S_0 = S_w = S_f$ ，見圖 2.1.1。

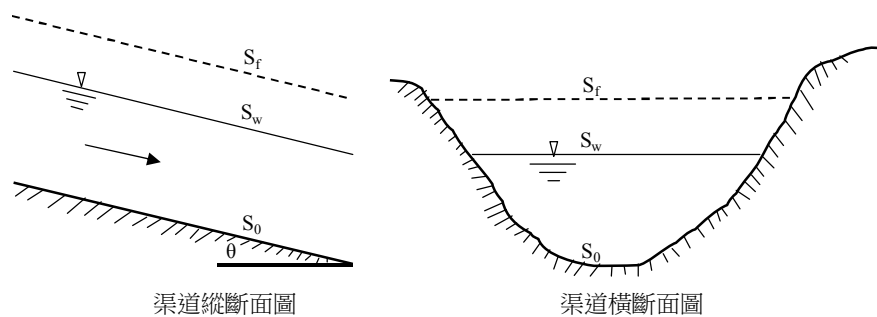


圖 2.1.1 等速流縱橫斷面圖

等速流之水深，稱為正常水深(Normal depth)，國內規範規定等速流以曼寧(Manning)公式或蔡司(Chezy)公式計算平均流速，曼寧公式如下：

$$\text{【公制】} \quad V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (2.1.1)$$

式中， V ：平均流速 (m/s)

n ：曼寧粗糙係數，或稱粗糙率、曼寧糙度

R ：水力半徑(Hydraulic radius, m)， $R = a/P$

S_f ：能量線坡降， $S_f = \sin \theta$ ， θ ：渠道縱坡角度

a ：通水斷面積 (m^2)

P ：潤週 (Wetted perimeter，或稱潤周長、濕周，m)

$$\text{【英制】} \quad V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad (2.1.2)$$

式中，V：平均流速 (ft/s)

n：曼寧粗糙係數

R：水力半徑(ft)， $R=a/P$

S_f ：能量線坡降， $S_f = \sin \theta$ ， θ ：渠道縱坡角度

a：通水斷面積 (ft²)

P：潤週 (ft)

當 $\theta \leq 10^\circ$ ， $\sin \theta \approx \tan \theta = S_0$ ，此時(2.1.1)式可簡化為(2.1.3)式，(2.1.2)式可簡化為(2.1.4)式

$$\text{【公制】} \quad V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (2.1.3)$$

$$\text{【英制】} \quad V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (2.1.4)$$

2.2 蔡司公式

蔡司(Chezy)公式：

$$V = C\sqrt{RS_o} \quad (2.2.1)$$

式中，V：平均流速 (m/s)

C：Chezy 阻力係數

R：水力半徑 (m)

S_o ：渠道縱坡， $S_o = \tan \theta \approx \sin \theta$

Chezy 阻力係數與曼寧公式之關係為 $C=R^{1/6}/n$ (公制)， $C=1.486R^{1/6}/n$ (英制)。

蔡司公式之阻力係數 C 有下列公式：

(1)剛庫 (Gauguillet & Kutter) 公式

$$\text{【公制】} \quad C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S_o}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S_o}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

$$\text{【英制】} \quad C = \frac{41.65 + \frac{1.811}{n} + \frac{0.00281}{S_o}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{S_o}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

(2) 巴掌 (Basin) 公式

$$\text{【公制】 } C = \frac{87}{1 + \frac{m}{R}}$$

$$\text{【英制】 } C = \frac{157.6}{1 + \frac{m}{R}}$$

式中， m ：為渠道糙率係數

(3) (Powell) 公式

$$C = -42 \log\left(\frac{C}{4R_e} + \frac{\varepsilon}{R_e}\right)$$

式中， R_e ：為雷諾數， ε ：為渠道糙率之量度

蔡司公式計算較為繁瑣，實務上多採用曼寧計算平均流速。

2.3 連續方程式

連續方程式如下：

$$Q = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (\text{無側流量流入、流出時，} Q \text{ 為定值。})$$

式中：

Q ：設計流量 (cms)

A_1 、 A_2 ：分別為上、下游斷面之通水面積 (m^2)

V_1 、 V_2 ：分別為上、下游斷面之平均流速 (m/s)

三、曼寧粗糙係數

不同規範或檢討中之曼寧粗糙係數如下各表所示，其中 U 型溝 $n=0.016$ (表 3.1.1、表 3.1.5、表 3.1.6)，矩形溝 $n=0.015$ (表 3.1.6)。

表 3.1.1 曼寧粗糙係數(人工渠道)

材 質 狀 況	曼寧粗糙係數 n
RCP < 600 mm	0.015
RCP \geq 600 mm	0.013
U 型溝	0.016
箱涵	0.015
梯形漿砌明溝	0.025

資料來源：台灣省住宅及都市發展局，1993。

表 3.1.2 曼寧粗糙係數

無內面工者	n 值範圍	平均值	無內面工者	n 值範圍	平均值
黏土質溝身整齊者	0.016~0.022	0.020	不平滑岩床	0.035~0.040	0.040
砂壤、黏壤土溝身整齊者	—	0.020	漿砌磚	0.012~0.017	0.014
稀疏草生	0.035~0.045	0.040	漿砌石	0.017~0.030	0.025
全面密草生	0.040~0.060	0.050	乾砌石	0.025~0.035	0.033
雜有直徑 1~3 公分小石	—	0.022	有規則土底兩岸砌石	—	0.025
雜有直徑 2~6 公分小石	—	0.025	不規則土底兩岸砌石	0.023~0.035	0.030
平滑均勻岩床	0.030~0.035	0.0325	純水泥漿平滑面	0.010~0.014	0.012

資料來源：『水土保持手冊』，1992。

表 3.1.3 曼寧粗糙係數(渠道)

材 質 狀 況	曼寧粗糙係數 n
平整混凝土面	0.014~0.016
未粉飾混凝土面	0.017~0.020
噴漿面	0.020~0.025
混凝土砌卵石側牆(混凝土打底)	0.025~0.030
混凝土砌卵石側牆(天然渠底)	0.027~0.030
乾砌卵石	0.030~0.035
乾砌塊石	0.032~0.035
水泥砂漿砌磚	0.015~0.018
平滑瀝青面	0.014~0.015
粗糙瀝青面	0.017~0.018
清潔土渠	0.020~0.025
短草土渠	0.027~0.033
密生水草高及水面土渠	0.080~0.120
密生灌木高及水面土渠	0.100~0.140
均勻岩面	0.030~0.040
不規則岩石面	0.040~0.050
內面光滑混凝土管	0.013~0.014
排水瓦管	0.017~0.018

資料來源：『公路排水設計規範』，2001。【註】當渠道縱坡甚陡時，應考慮捲入空氣量之影響，或可將曼寧粗糙係數較正常值加大 25% 計算之。

表 3.1.4 曼寧粗糙係數(河川)

河槽情況	曼寧粗糙係數 n
河線勻直且斷面規則，砂質河床	0.025~0.033
河線勻直且斷面規則，礫石河床，河岸多草	0.030~0.040
河線蜿蜒，河床多深淵	0.033~0.045
河線蜿蜒，河床多礫石、雜草	0.035~0.050
河線蜿蜒，水淺	0.040~0.055
礫石河床，水淺	0.040~0.060
長草密布河床	0.050~0.080

資料來源：『公路排水設計規範』，2001。

表3.1.5 箱涵溝渠及箱(管)涵粗糙係數表

溝渠及箱(管)涵種類		使用材料	粗糙係數 n 值
排水管	直徑 ≥ 0.60 公尺	混凝土或鋼筋混凝土	0.013
	直徑 < 0.60 公尺		0.015
排水管		塑膠或經強化纖維處理	0.010~0.013
U 型側溝		混凝土或鋼筋混凝土	0.016
矩形箱涵		鋼筋混凝土	0.015
梯形明溝		漿砌塊卵石(抹面)	0.014
		漿砌塊卵石(未抹面)	0.025
		乾砌塊卵石	0.03
		草溝、土溝	0.025~0.080

註：如有上述未列入之其他材質或不同表面處理，可參酌採用上述表列近似之 n 值。資料來源：『市區道路及附屬工程設計規範』，2009。

表 3.1.6 曼寧粗糙係數參考表

溝渠及箱(管)涵種類		使用材料	粗糙係數 n 值
排水管	直徑 ≥ 0.60 公尺	混凝土或鋼筋混凝土	0.013
	直徑 < 0.60 公尺		0.015
排水管		塑膠或經強化纖維處理	0.010~0.013
U 型側溝		混凝土或鋼筋混凝土	0.016
矩形溝		鋼筋混凝土	0.015

資料來源：『雨水下水道系統規劃原則檢討』，2010。

四、矩形溝與 U 型溝水理要素

4.1 矩形溝水理要素

矩形溝之水理要素(溝蓋未示)見圖 4.1.1。

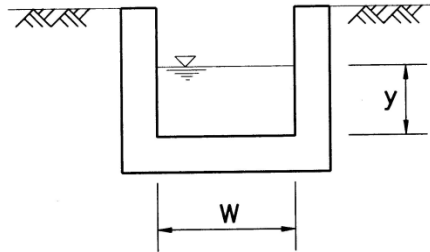


圖 4.1.1 矩形溝水理要素圖

$$a = Wy \quad (4.1.1)$$

$$P = W + 2y \quad (4.1.2)$$

$$R = \frac{a}{P} = \frac{Wy}{W + 2y} \quad (4.1.3)$$

式中， a ：通水斷面積 (m^2)

P ：濕周 (m)

R ：水力半徑 (m)

W ：溝寬 (m)

y ：水深(m)

4.2 U 型溝水理要素

U 型溝之水理要素(溝蓋未示)見圖 4.2.1，當設計水深 $y \geq r$ (底部圓半徑 $r=0.5W$) 時，

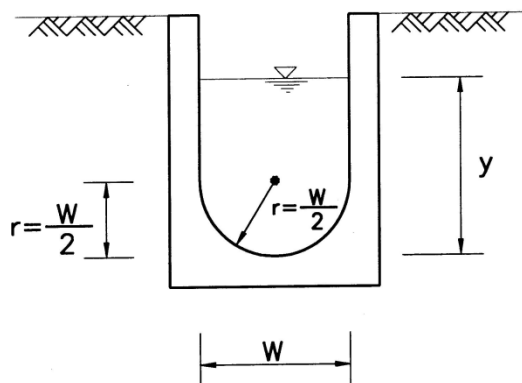


圖 4.2.1 U 型溝水理要素圖

$$\begin{aligned}
 a &= W\left(y - \frac{W}{2}\right) + \frac{\pi}{2}\left(\frac{W}{2}\right)^2 \\
 &= Wy - \frac{W^2}{2} + \frac{\pi W^2}{8}
 \end{aligned} \tag{4.2.1}$$

$$\begin{aligned}
 P &= 2\left(y - \frac{W}{2}\right) + \pi\left(\frac{W}{2}\right) \\
 &= 2y - W + \frac{\pi W}{2}
 \end{aligned} \tag{4.2.2}$$

式中， a ：通水斷面積 (m^2)

P ：濕周 (m)

W ：溝寬 (m)，底部半圓直徑 $W=2r$

y ：水深(m)

當設計水深 $y \leq r$ 時，則以管圓之水理要素計算見圖 4.2.2。

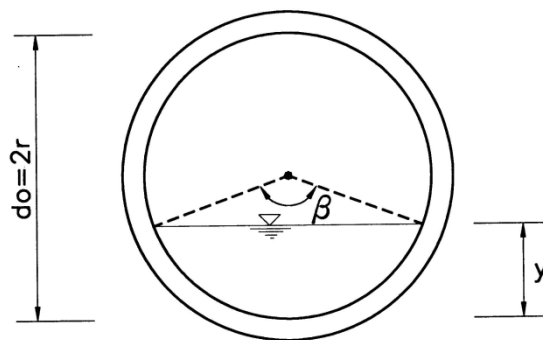


圖 4.2.2 圓管幾何要素圖 ($y \leq r$)

$$\beta = 2 \cos^{-1}\left(1 - \frac{y}{r}\right) \tag{4.2.3}$$

$$P = \frac{d_0 \beta}{2} \tag{4.2.4}$$

$$a = \frac{d_0^2}{8} (\beta - \sin \beta) \tag{4.2.5}$$

$$R = \frac{d_0}{4} \left(1 - \frac{\sin \beta}{\beta}\right) \tag{4.2.6}$$

式中：a：通水斷面積 (m²)
 P：濕周 (m)
 R：水力半徑(m)， $R=a/P$
 d₀：圓管直徑 (m)， $d_0=r$
 r：圓管半徑 (m)
 y：水深(m)
 β：水面線夾角(徑度)

五、案例探討

茲以常見之矩形溝與 U 型溝溝寬皆為 $W=0.4\text{m}$ ，皆為溝深 $H=0.6\text{m}$ (假設出水高 0.20m ，則水深為 0.40m)，分別以曼寧公式計算流速與連續方程式計算流量，坡度自 $S=0.001\sim 0.050$ ，水深 y 分別為小於 U 型溝底部半徑之 0.10m ，等於半徑之 0.20m ，以及於大半徑之 0.40m ，曼寧粗糙係數分為(1)矩形溝 $n=0.016$ 、U 型溝 $n=0.016$ 以及(2)矩形溝 $n=0.015$ 、U 型溝 $n=0.016$ 兩種，計算結果如下表與圖。

5.1 矩形溝 $n=0.016$ 、U 型溝 $n=0.016$

5.1.1 水深 $y=0.10\text{m}$

表 5.1.1 水深 $y=0.10\text{m}$ 流速與流量計算表

坡度	矩形溝 $n=0.016$		U 型溝 $n=0.016$	
	溝寬 0.4m	水深 0.10m	溝寬 0.4m	水深 0.10m
S	V(m/s)	Q(cms)	V(m/s)	Q(cms)
0.001	0.325	0.013	0.298	0.007
0.002	0.460	0.018	0.422	0.010
0.003	0.563	0.023	0.517	0.013
0.004	0.650	0.026	0.597	0.015
0.005	0.727	0.029	0.667	0.016
0.006	0.796	0.032	0.731	0.018
0.007	0.860	0.034	0.789	0.019
0.008	0.919	0.037	0.844	0.021
0.009	0.975	0.039	0.895	0.022
0.010	1.028	0.041	0.944	0.023
0.020	1.454	0.058	1.334	0.033
0.030	1.780	0.071	1.634	0.040
0.040	2.056	0.082	1.887	0.046
0.050	2.299	0.092	2.110	0.052

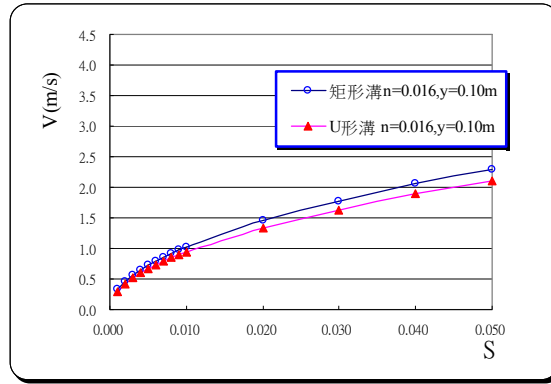


圖 5.1.1 y=0.10m 流速比較圖

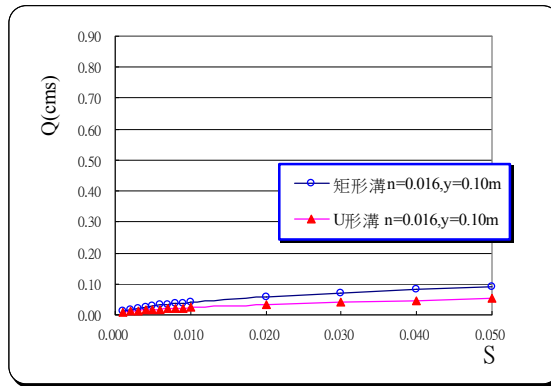


圖 5.1.2 y=0.10m 流量比較圖

5.1.2 水深 y=0.20m

表 5.1.2 水深 y=0.20m 流速與流量計算表

坡度	矩形溝 n=0.016		U 型溝 n=0.016	
	溝寬 0.4m	水深 0.20m	溝寬 0.4m	水深 0.20m
S	V(m/s)	Q(cms)	V(m/s)	Q(cms)
0.001	0.426	0.034	0.426	0.027
0.002	0.602	0.048	0.602	0.038
0.003	0.738	0.059	0.738	0.046
0.004	0.852	0.068	0.852	0.054
0.005	0.952	0.076	0.952	0.060
0.006	1.043	0.083	1.043	0.066
0.007	1.127	0.090	1.127	0.071
0.008	1.204	0.096	1.204	0.076
0.009	1.277	0.102	1.277	0.080
0.010	1.347	0.108	1.347	0.085
0.020	1.904	0.152	1.904	0.120
0.030	2.332	0.187	2.332	0.146
0.040	2.693	0.215	2.693	0.169
0.050	3.011	0.241	3.011	0.189

【註】兩者流速相等。

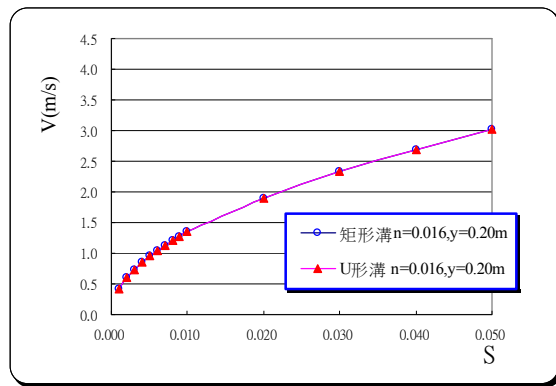


圖 5.1.3 y=0.20m 流速比較圖

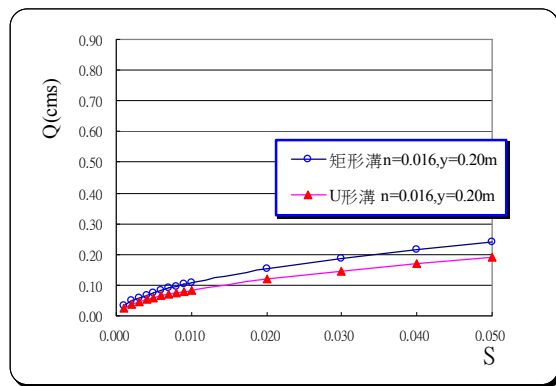


圖 5.1.4 y=0.20m 流量比較圖

5.1.3 水深 y=0.40m

表 5.1.3 水深 y=0.40m 流速與流量計算表

坡度	矩形溝 n=0.016		U 型溝 n=0.016	
	溝寬 0.4m	水深 0.40m	溝寬 0.4m	水深 0.40m
S	V(m/s)	Q(cms)	V(m/s)	Q(cms)
0.001	0.516	0.083	0.530	0.076
0.002	0.729	0.117	0.750	0.107
0.003	0.893	0.143	0.918	0.131
0.004	1.031	0.165	1.060	0.151
0.005	1.153	0.184	1.185	0.169
0.006	1.263	0.202	1.298	0.185
0.007	1.365	0.218	1.402	0.200
0.008	1.459	0.233	1.499	0.214
0.009	1.547	0.248	1.590	0.227
0.010	1.631	0.261	1.676	0.239
0.020	2.306	0.369	2.371	0.339
0.030	2.825	0.452	2.903	0.415
0.040	3.262	0.522	3.353	0.479
0.050	3.647	0.584	3.748	0.535

【註】U 型溝流速大於矩形溝。

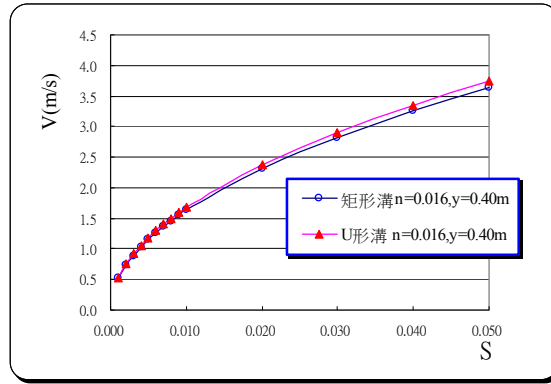


圖 5.1.5 $y=0.40\text{m}$ 流速比較圖

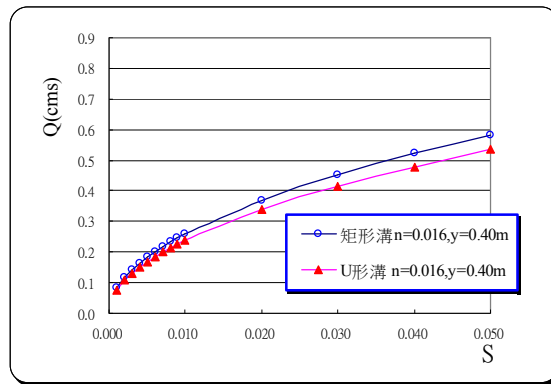


圖 5.1.6 $y=0.40\text{m}$ 流量比較圖

5.2 矩形溝 $n=0.015$ 、U 型溝 $n=0.016$

5.2.1 水深 $y=0.10\text{m}$

表 5.2.1 水深 $y=0.10\text{m}$ 流速與流量計算表

坡度	矩形溝 $n=0.015$		U 型溝 $n=0.016$	
	溝寬 0.4m	水深 0.10m	溝寬 0.4m	水深 0.10m
S	V(m/s)	Q(cms)	V(m/s)	Q(cms)
0.001	0.347	0.014	0.298	0.007
0.002	0.490	0.020	0.422	0.010
0.003	0.601	0.024	0.517	0.013
0.004	0.693	0.028	0.597	0.015
0.005	0.775	0.031	0.667	0.016
0.006	0.849	0.034	0.731	0.018
0.007	0.917	0.037	0.789	0.019
0.008	0.981	0.039	0.844	0.021
0.009	1.040	0.042	0.895	0.022
0.010	1.096	0.044	0.944	0.023
0.020	1.551	0.062	1.334	0.033
0.030	1.899	0.076	1.634	0.040
0.040	2.193	0.088	1.887	0.046
0.050	2.452	0.098	2.110	0.052

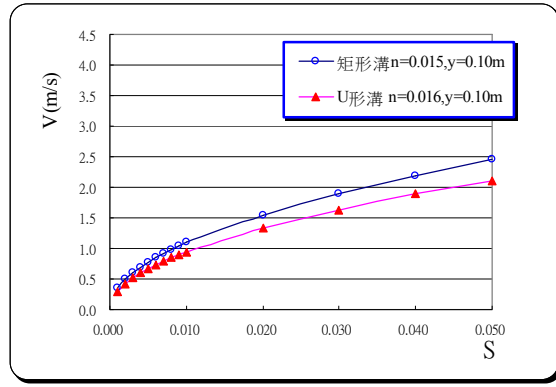


圖 5.2.1 y=0.10m 流速比較圖

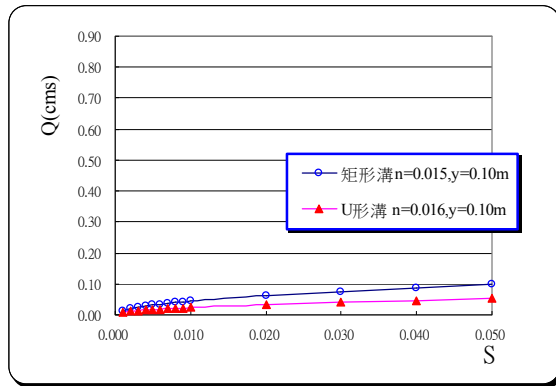


圖 5.2.2 y=0.10m 流量比較圖

5.2.2 水深 y=0.20m

表 5.2.2 水深 y=0.20m 流速與流量計算表

坡度	矩形溝 n=0.015		U 型溝 n=0.016	
	溝寬 0.4m	水深 0.20m	溝寬 0.4m	水深 0.20m
S	V(m/s)	Q(cms)	V(m/s)	Q(cms)
0.001	0.454	0.036	0.426	0.027
0.002	0.642	0.051	0.602	0.038
0.003	0.787	0.063	0.738	0.046
0.004	0.908	0.073	0.852	0.054
0.005	1.016	0.081	0.952	0.060
0.006	1.113	0.089	1.043	0.066
0.007	1.202	0.096	1.127	0.071
0.008	1.285	0.103	1.204	0.076
0.009	1.363	0.109	1.277	0.080
0.010	1.436	0.115	1.347	0.085
0.020	2.031	0.162	1.904	0.120
0.030	2.488	0.199	2.332	0.146
0.040	2.873	0.230	2.693	0.169
0.050	3.212	0.257	3.011	0.189

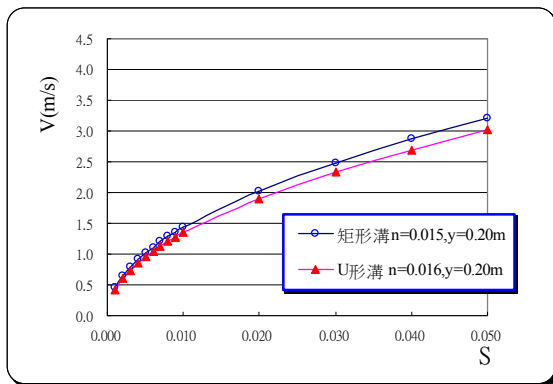


圖 5.2.3 y=0.20m 流速比較圖

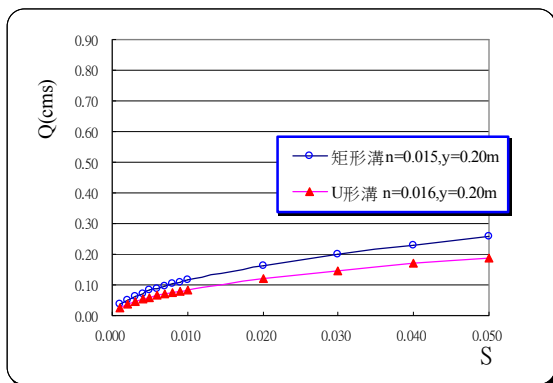
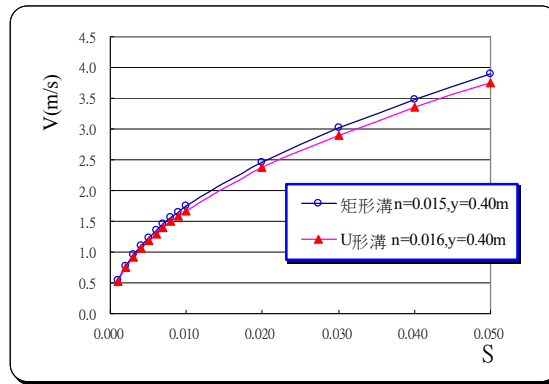
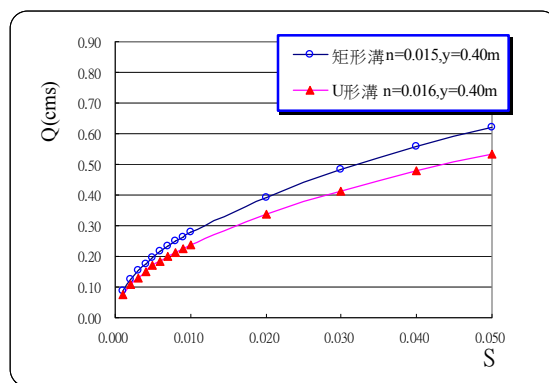


圖 5.2.4 y=0.20m 流量比較圖

5.2.3 水深 y=0.40m

表 5.2.3 水深 y=0.40m 流速與流量計算表

坡度	矩形溝 n=0.015		U 型溝 n=0.016	
	溝寬 0.4m	水深 0.40m	溝寬 0.4m	水深 0.40m
S	V(m/s)	Q(cms)	V(m/s)	Q(cms)
0.001	0.550	0.088	0.530	0.076
0.002	0.778	0.124	0.750	0.107
0.003	0.953	0.152	0.918	0.131
0.004	1.100	0.176	1.060	0.151
0.005	1.230	0.197	1.185	0.169
0.006	1.348	0.216	1.298	0.185
0.007	1.455	0.233	1.402	0.200
0.008	1.556	0.249	1.499	0.214
0.009	1.650	0.264	1.590	0.227
0.010	1.740	0.278	1.676	0.239
0.020	2.460	0.394	2.371	0.339
0.030	3.013	0.482	2.903	0.415
0.040	3.479	0.557	3.353	0.479
0.050	3.890	0.622	3.748	0.535

圖 5.2.5 $y=0.40\text{m}$ 流速比較圖圖 5.2.6 $y=0.40\text{m}$ 流量比較圖

六、規範中之道路側溝

國內規範中提及之道路側溝如下所示僅有 U 型溝，未提及矩形溝。

6.1 下水道工程設施標準 (2009)

第四條 管渠種類及斷面規定如下：

- 一、採用瓷化黏土管、鋼管、鋼筋混凝土管、延性鑄鐵管、強化玻璃纖維管、硬質塑膠管、預鑄或現場灌注鋼筋混凝土涵渠、潛盾管渠或其他可適用之管材，材質並應符合國家標準。
- 二、斷面形狀應採用圓形、矩形、馬蹄形或卵形。
- 三、最小斷面：
 - (一) 雨水管渠及合流管渠之最小管徑為五百公厘。
 - (二) U 型溝寬度不得小於三十公分，深度(含出水高，不含溝蓋厚度)為四十公分以上，一公尺以下。

6.2 臺北市雨水下水道設施規劃設計規範（2010）

七、雨水管渠（涵）之出水高規定如下：

- （一）溝寬六十公分以下 U 型溝以設計水深之百分之三十計，且不得小於二十公分。
- （二）梯形、U 型明溝其設計水深小於一公尺者，以三十公分計，水深大於一公尺者，以水深百分之二十計，且不得小於三十公分。

6.3 雨水下水道設計指南（2010）

第 7.3 節側溝型式：

目前都市計畫區內常見側溝型式，大致可分為明溝、加蓋 U 型側溝、及 L 型溝與暗渠併用等三種。

（1）明溝：

大多為混凝土建造 U 型側溝或磚造明溝，排水功能佳，惟對行人及行車有安全之威脅。

（2）加蓋 U 型側溝：

於明溝上加蓋，大多使用活動 RC 預鑄板，為目前設計最常用之側溝型式。

（3）L 型溝與暗渠併用：

此種側溝仍係沿車道與人行道相接處設置 L 型溝，以收集路面雨水，再於適當地點經由雨水進水口流入暗渠。

七、結論與建議

1. 以矩形溝與 U 型溝之溝寬 $W=0.4\text{m}$ 為例，當採用矩形溝 $n=0.16$ 與 U 型溝 $n=0.16$ ，坡度自 $S=0.001\sim 0.050$ ，水深分別於 $y=0.1\text{m}$ （小於 U 型溝底部半徑）、 $y=0.2\text{m}$ （等於 U 型溝底部半徑）、 $y=0.4\text{m}$ （大於 U 型溝底部半徑）時，矩形溝之流量皆大於 U 型溝，但矩形溝之流速於 $y=0.1\text{m}$ 時小於 U 型溝， $y=0.2\text{m}$ 時等於 U 型溝，而 $y=0.4\text{m}$ 時則大於 U 型溝。
2. 同樣以矩形溝與 U 型溝之溝寬 $W=0.4\text{m}$ 為例，當採用矩形溝 $n=0.15$ 與 U 型溝 $n=0.16$ ，坡度自 $S=0.001\sim 0.050$ ，水深分別於 $y=0.1\text{m}$ 、 $y=0.2\text{m}$ 、 $y=0.4\text{m}$ 時，矩形溝之流速與流量皆大於 U 型溝。
3. 有關 U 型溝之曼寧粗糙係數 n 值，國內規範規定為 $n=0.16$ ，但對於矩形溝之曼寧粗糙係數 n 值，僅有『雨水下水道系統規劃原則檢討』（內政部營建署，2010）提及 $n=0.15$ ，U 型溝與矩形溝兩者材質均為鋼筋混凝土，形狀亦十分相近，但 n 值卻不同，建議政府相關部門經檢討後將矩形溝之 n 值列入規範中，以方便工程師設計時採用。
4. 國內規範對於道路側溝僅提及 U 型溝及其斷面最小尺寸，並未提及矩形溝，因此國內道路側溝多採用 U 型溝，也許其淤積集中於半圓底部較易清理，但矩形溝較

U 型溝節省混凝土與模版，工程費用便宜，於曼寧粗糙係數 $n=0.16$ 時，流量皆大於 U 型溝，且大部分情況下之流速亦大於 U 型溝，另於曼寧粗糙係數 $n=0.15$ 時，流量與流速皆大於 U 型溝，建議政府相關部門儘速修正規範，將矩形溝列為道路側溝之一種。

參考文獻

- 內政部(2009)，市區道路及附屬工程設計規範。
- 內政部營建署 (2010)，雨水下水道設計指南。
- 內政部營建署 (2010)，雨水下水道系統規劃原則檢討。
- 內政部營建署 (2009)，下水道工程設施標準。
- 台北市政府 (2012)，臺北市下水道管理自治條例。
- 台北市政府 (2012)，臺北市雨水下水道相關設施及用戶排水設備審查及查驗要點。
- 台北市政府 (2010)，臺北市下水道工程設施標準。
- 台北市政府 (2010)，臺北市雨水下水道設施規劃設計規範。
- 行政院農業委員會(2013)，水土保持技術規範。
- 余濬(2014)，山坡地排水與滯洪設計(三版)，科技圖書股份有限公司。
- Chow, V. T.(1969), *Open-Channel Hydraulics*.
- K Subramanya (2002), *Flow in Open channels*, McGraw-Hill Book Co., New York, 2nd edition.
- Richard, H. French (1987), *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co., New York, 2nd edition.

投稿 103.04.18
定稿 103.04.24