

灌溉系統構造物之設計與實例

暗渠設計

Design of Culvert

臺大農工系講師

洪有才

一、概 述

暗渠為一種管道，依其使用目的而分，有灌溉暗渠與排水暗渠。前者常應用於地質風化或沖積土，有岩節理，土砂等不良地質不易開鑿隧道或不易施工時，或橫越河川、鐵路、公路、堤防時設置之。後者則於橫越鐵路，公路、堤防時與橋樑之設置互相比較，如為經濟，或橫越堤防而堤防上不能架橋時，或因用地關係不能開設明渠時設置之。尚有暗渠應用於灌排兼用者，除非不得已，儘量避免之，因灌排兼用具有較多缺點之故。

暗渠除受渠內水流壓力外並無其他內壓力存在。其斷面形狀有矩形、圓形、梯形、拱形或其他形狀，並可由金屬、混凝土、木材或其他材料構成。一般以預製混凝土之圓形管或矩形整體現灌之混凝土箱為普遍。直徑較小之暗管可在市場上各水泥製品廠之目錄中依其大小及受壓力之多少選購較為經濟方便。

二、暗渠水理

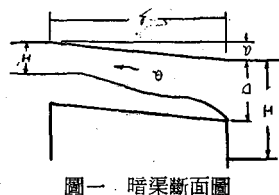
不論灌溉暗渠或排水暗渠，其水理除以明渠流代替壓力流之外，均可參考倒虹吸工之一般步驟。暗渠之斷面依流量而定，即其底標高、水面坡度依渠道之標高而定，並依構築材料而定糙率，為暗渠之耐久性，其流速亦受限制，一般混凝土管之最大流速為4 m/sec，普通為3 m/sec以下。以具有自由水面之等速流明渠計算水理。暗渠與明渠相接連處應有漸變槽，其損失水頭亦應照以前漸變槽之設計計算之。如圖一，暗渠入口水位高於管頂以上，則成為一種孔口，假設D為圓管直徑，H為上游水位（若有接近流速應加 $v_a^2/2g$ ），A為斷面積則暗渠之流量可由下列公式求出。

$$Q = CA\sqrt{2g(H-D)} \quad (1)$$

式中 Q = 流量(c.m.s)

C = 係數(0.81~0.91)，

H D 以公尺表示



圖一 暗渠斷面圖

若暗渠係矩形則圓管直徑D以其高d代替之。

假定給暗渠以足夠摩擦損失水頭h，其成滿水現象時，損失水頭公式可由下式算得，

$$h = f \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{圓管}) \quad (2)$$

$$h = f \frac{1}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{一般斷面}) \quad (3)$$

假定暗渠之出入口底標高差大於公式(2)及(3)時暗渠即成自由流。上式中f為摩擦損失係數，可列式求之：

$$f = 124.6 \frac{n^2}{D^3} \quad (\text{圓管}) \quad (4)$$

$$f/4 = 19.6 \frac{n^2}{R^3} \quad (\text{矩形暗渠}) \quad (5)$$

式中 R = 水力半徑。

若將式(1)變形則對於圓管及矩形管可得如下二式：

$$Q/D^{2.5} = 3.48C\sqrt{(H/D-1)} \quad (\text{圓管}) \quad (6)$$

$$Q/d^{1.5} = 4.43C\sqrt{(H/d-1)} \quad (\text{矩形}) \quad (7)$$

(7)式中矩形暗渠以單位寬度而計。

式中 $C = (1 + f_0)^{-1/2}$

f_0 = 依入口角型不同而異之入口損失係數。三種入口形狀之入口損失係數如下：

	f_0	C
銳緣入口	0.50	0.82
圓緣入口	0.23	0.90
喇叭形入口	0.04	0.98

假定入口損失係數 $f_0 = 0.5$ 則 H/D 對 $Q/D^{2.5}$ 與 $Q/d^{1.5}$ 可由表一得其相互關係。

表一 H/D, $Q/D^{2.5}$ 及 $Q/d^{1.5}$ 關係表

H/D	$Q/D^{2.5}$	$Q/d^{1.5}$	H/D	$Q/D^{2.5}$	$Q/d^{1.5}$	H/D	$Q/D^{2.5}$	$Q/d^{1.5}$
1.1	0.90	1.14	2.1	2.98	3.78	3.1	4.12	5.23
1.2	1.27	1.61	2.2	3.11	3.95	3.2	4.21	5.35
1.3	1.56	1.98	2.3	3.24	4.11	3.3	4.31	5.47
1.4	1.80	2.29	2.4	3.36	4.27	3.4	4.40	5.59
1.5	2.01	2.54	2.5	3.48	4.42	3.5	4.49	5.70
1.6	2.20	2.79	2.6	3.59	4.56	3.6	4.58	5.81
1.7	2.38	3.02	2.7	3.70	4.70	3.7	4.67	5.92
1.8	2.54	3.23	2.8	3.81	4.84	3.8	4.75	6.03
1.9	2.70	3.43	2.9	3.91	4.97	3.9	4.83	6.13
2.0	2.84	3.60	3.0	4.02	5.10	4.0	4.91	6.24

[計算例]：設管徑D=0.9m，管長l=18.2m之直

線暗渠，流量=1.4 c.m.s，試求上游水深H，及管底縱坡，但 $n=0.013$

(1)計算H (如圖一)

$$Q = 1.4 \text{ m}^3/\text{sec}, D = 0.9 \text{ m}, A = \pi D^2/4 = 0.636 \text{ m}^2$$

$$v = Q/A = 1.4/0.636, \frac{v^2}{2g} = 0.247 \text{ m}, Q/D^{2.5}$$

$$= 1.4/0.9^{2.5} = 1.82, \text{由表一以比例求得 } H/D = 1.42$$

$$\therefore \text{暗渠上游水深 } H = H/D \times D = 1.42 \times 0.9 = 1.278 \text{ m}$$

(2)暗渠內摩擦損失 a 之計算

$$a = f \frac{2}{D} \frac{v^2}{2g}, f = 124.6 n^2/D^{1/3} = 124.6 \times 0.013^2/0.9^{1/3}$$

$$= 0.022 = 0.022 \times \frac{18.2}{0.9} \times 0.247 = 0.11 \text{ m}$$

$$\therefore \text{坡度 } S = \frac{0.11}{1.82} \div 1/165$$

假定坡度陡於 1/165，暗渠為自由流，相反則成滿流。

(3)全水面落差

$$h = (1 + f_s + f \frac{1}{D}) \frac{v^2}{2g} = (1 + 0.5 + 0.022 \times \frac{18.2}{0.9}) \times 0.247 = 0.48 \text{ m}$$

又可計之如下：

$$h' = H - D + a = 1.278 - 0.9 + 0.11 = 0.488$$

$$h = 0.48 \text{ m} \div h' = 0.488 \text{ m}$$

下游水深與上游水深，由圖二得知，當下流水位 H' 在 0.9m 以下時，上游水位為一定。若下游水位高於管頂以上，則上游水面依下游水位上昇而比例上昇。

暗渠除決定管徑、損失水頭，及其進口封水等情形外，出口之處

理乃須特別加以注意。若出口處水深在臨界水深以下或射流時，出口消能設備乃不可缺少。出口消能器種類甚多，有一般以水躍消能者，但此種消能器 (Energy dissipator) 對於管出口消能效果不大，一般均採用衝擊式消能器 (Impact Type Energy Dissipator) 為多。

衝擊式消能器為箱型構造，不需尾水可消去水中大量能量，除應用於水管出口之消能亦可應用於明渠。應用範圍限於流速小於 10m/sec，流量小於 10c.m.s

，若流量大於 10c.m.s 則可用二道以上管路。此種構造物之最大優點乃能克服千變萬化之流水性態，因水流衝垂直阻壁後成為垂直渦流 (Vertical eddies) 向上游逆轉，由此消能，此為不需尾水主因。尾水在 $d + \frac{g}{2}$ 時，(d, g, 看圖三) 可減少出口流速，平穩水面減少冲刷下游渠道，但過高之尾水反使一部份水浸溢阻壁頂，若屬可能應儘量避免過高之現象。

衝擊式消能器消能之理論公式不易求得，故僅有由試驗所得經驗加以設計，故水理上並無重要之理論根據。

三、暗渠結構

暗渠一般採用圓形管及方形或矩形者較多。圓形管亦分兩種，一即普通混凝土管，二即離心力壓力水管，此二者之採用當視地形、環境及受力之多少而定。前者常應用於受壓低處，而後者則耐壓性強，應用於受壓高處。若壓力管可由市場上購得則甚為便利，否則可現場澆製。

1. 加諸於暗渠荷重之分析：

暗渠之結構設計除由水理條件決定其通水斷面外，其本身斷面之大小乃由加諸於暗渠之荷重而定。加諸於暗渠之荷重大致可分為兩種：(1)活荷重，(2)死荷重。活荷重包括移動之集中超重 (Moving Concentrated Loads)，如車輛輪荷重，帶有或不帶有衝擊力。死荷重有暗渠上之土壓力，暗渠本身之重和暗渠內水重，暗渠兩旁之側壓力以及暗渠外之靜水壓力等。

總合上述其荷重可分為六種如下：

I 均勻垂直荷重；

以 P 代表， $P =$ 加諸於暗渠上全部土壓及車輛荷重，以磅/呎暗渠表示。

II 暗渠重量 (以均勻反力計)

以磅表示，並假定混凝土重為 150 磅/呎³。

III 暗渠內水壓力，

以磅表示，並以 62.5 磅/呎³ 水重計。

IV 均勻側壓力 (兩旁對稱)：以 W 代表。

$W =$ 暗渠側壓力，以磅/呎² 表示。

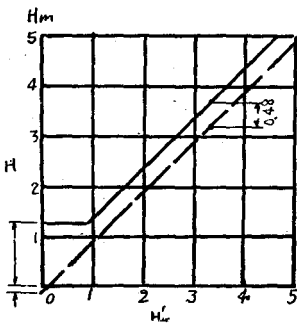
V 三角側壓力 (兩旁對稱)：以 T 代表。

$T =$ 相當之單位側壓力，以磅/呎² 表示。

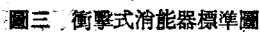
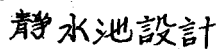
IV 與 V 之組合可給任何梯形壓力。

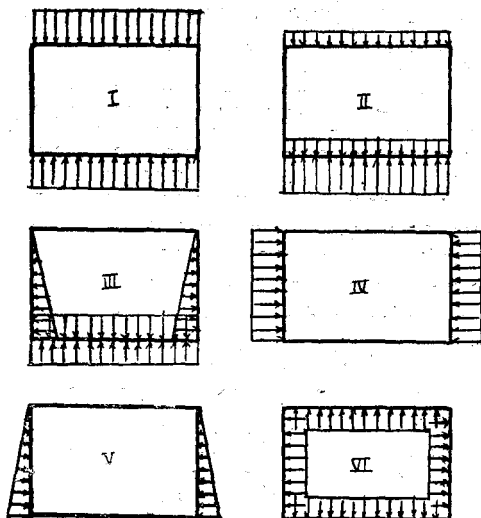
VI 暗渠頂上靜水壓力引起之內壓力，

h 即自暗渠內頂之靜水頭，相當於 62.5h 磅/呎² 之壓力加於內面側。此項僅於設計壓力水管時用，一般暗渠可略而不計。



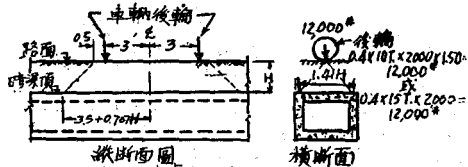
圖二 暗渠出入口水位



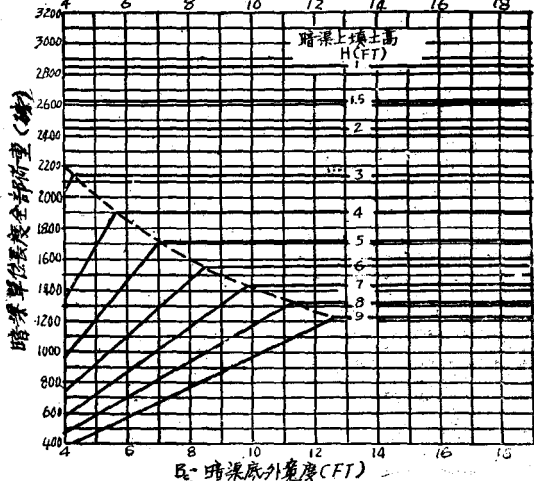


圖四 荷重壓力圖暗渠

假設之壓力在暗渠頂上之分布情形



經填土傳至暗渠之輪荷重

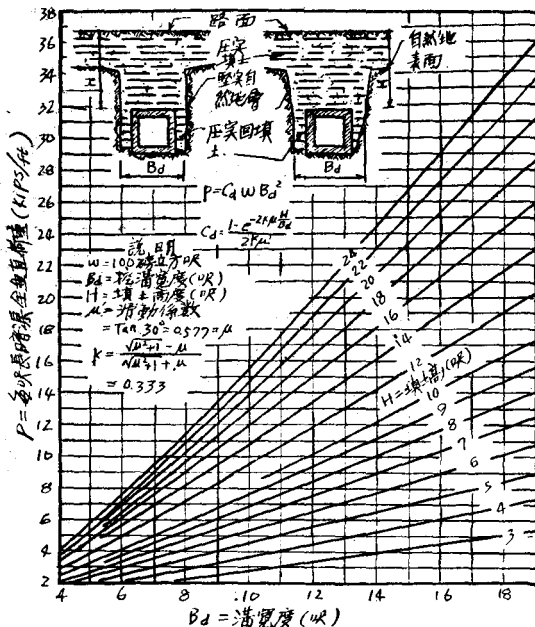


圖五 經填土傳至暗渠之輪荷重

2. 設計原則與應用圖表

i 車輛傳至暗渠頂荷重。

圖五乃以 10-ton 車為準，具有填土但無鋪路面者 (Without pavement slab) 若為 8-ton 車輛在無鋪面路 (Unsurfaced Road)，則其應用之荷重，由圖求出者乘以 0.8 即可。同樣若為 15-ton 車輛在版鋪面公路 (Slab-surfaced highway)，則乘以 1.5。



圖六 第一種情形暗渠上填土垂直壓力

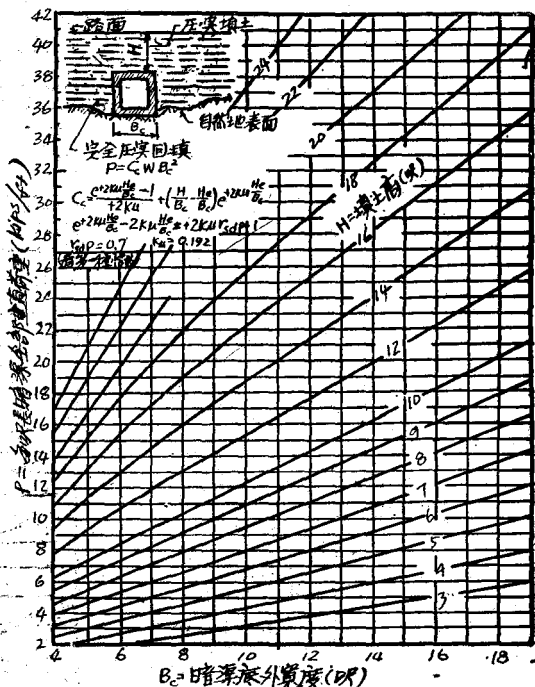
ii 垂直荷重 (Vertical Load)

依土壤力學垂直荷重可由下列一般公式算得

$$P = CWB^2 \dots\dots\dots (8)$$

式中 W = 填物單位重 (lb/ft³)

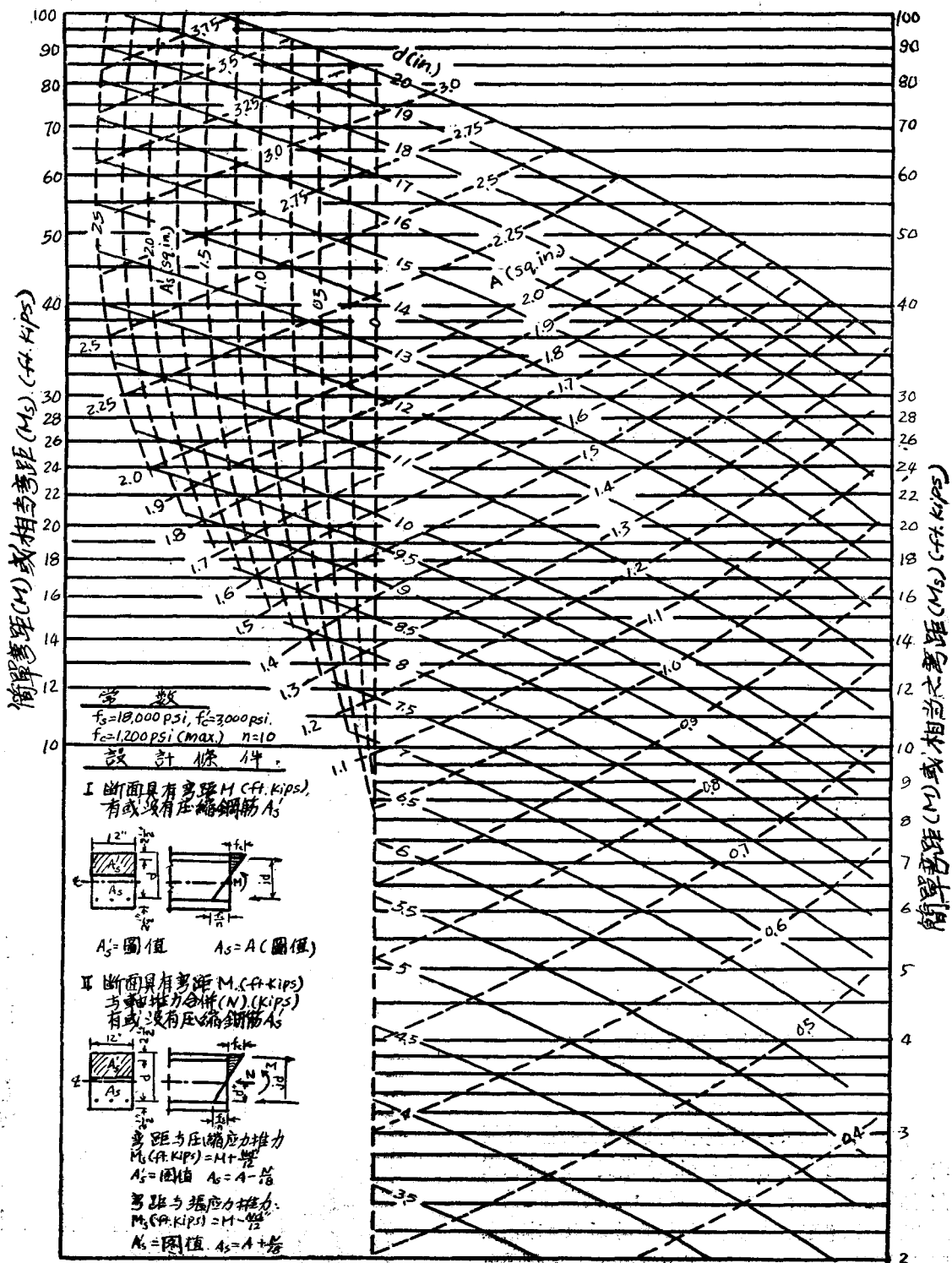
B = 暗渠最大外面寬度 (ft)



圖七 第二種情形暗渠上填土垂直壓力

C_e = 係數，依填土高， B_{el} 與填土性質而異，

由於 C_e 係數變異甚難估計準確，以下三種一般情形會被選為設計之需要條件。



圖八 簡單彎距與軸壓應力推力或張力之設計應用圖 (斷面寬度12吋)

①第一種情形：當暗渠埋入於狹深而相當硬之土中，並且其周圍亦相當小心擊二擊實時，其荷重可由圖六求得。

②第二種情形：暗渠部份在自然地面上，其突出部份兩旁以舊老壓實土填至暗渠頂。荷重即等於該暗渠上土柱全重。

③第三種情形：暗渠全部露出自然地面上，或在緩側坡廣挖土之情形，並暗渠邊加以壓實土時，採用圖七，可求得荷重。

以上所述雖為矩形但圓形暗渠亦同樣可以應用。

iii 暗渠斷面與鋼筋設計

圖八為 12 吋寬 暗 渠之簡單彎矩或彎矩與軸壓力 (axial Compression) 或張力 (Tension) 與鋼筋，斷面有效深度之關係圖。設計時可應用此圖較為方便，其應用見後面例題。

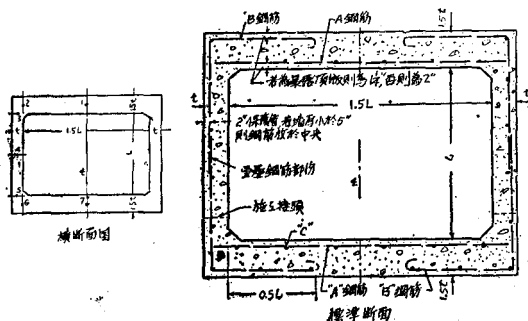
iv 標準設計

茲將方形、矩形以及圓形暗渠之斷面標準設計與

表二、方形斷面暗渠在臨界斷面時之彎矩 (Moment)，推力 (Thrust) 及剪力 (Shear) 等係數表

荷 重 條 件 M. N. V. 係數	斷 面						
	※ 4		※ 5		※ 6		※ 7
	M	N	M	N	M	V	M
I 均勻垂直荷重 $P(L+t)$ P^1	- 0.042	+ 0.50	- 0.042	+ 0.50	- 0.022	- 0.50	+ 0.083
II 暗 渠 荷 重 $t(L+t)^2$ $t(L+t)$	- 12.5	+ 150	- 21.9	+ 225	- 13.2	- 225	+ 34.4
III 暗渠內水壓力 $L^2(L+t)$	- 2.60		+ 0.63		+ 1.43		+ 1.43
IV 均勻側壓力 $W(L+t)^2$	+ 0.083		- 0.022		- 0.042		- 0.042
V 三角側壓力 $T(L+t)^3$	+ 0.042		- 0.010		- 0.023		- 0.023

※參考圖九說明



圖九 方形暗渠標準斷面圖

例題列於後以資設計參考：

附號：

+M；在內面側產生張力之彎矩 (Moment)

+N；在斷面產生壓應力時之推力 (Thrust)

+V；在斷面左側，當從裏面看向外作用之力之總合。

P；均勻垂直荷重 (lb)

L；看斷面圖 (ft)

t；看斷面圖 (ft)

W；均勻側壓力 (lb/ft²)

T；三角側壓力 (lb/ft)

r；圓管半徑 (ft)

h；水頭 (ft) (自圓管頂冠量起)，此壓力並不產生大之彎矩及剪力。

1. 方形斷面

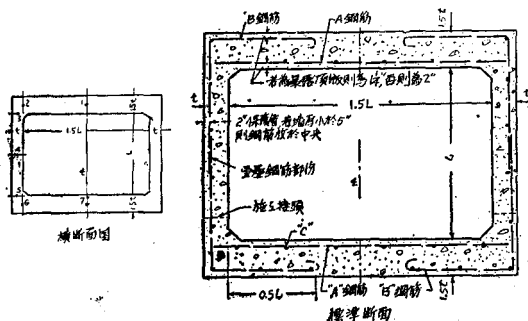
下表為方形斷面設計應用之係數表，其中假設厚度 $t=1/12L$ 而寬度為單位長度。

表二、方形斷面暗渠在臨界斷面時之彎矩 (Moment)，推力 (Thrust) 及剪力 (Shear)

等係數表

荷 重 條 件 M. N. V. 係數	斷 面						
	※ 4		※ 5		※ 6		※ 7
	M	N	M	N	M	V	M
I 均勻垂直荷重 $P(L+t)$ P^1	- 0.042	+ 0.50	- 0.042	+ 0.50	- 0.022	- 0.50	+ 0.083
II 暗 渠 荷 重 $t(L+t)^2$ $t(L+t)$	- 12.5	+ 150	- 21.9	+ 225	- 13.2	- 225	+ 34.4
III 暗渠內水壓力 $L^2(L+t)$	- 2.60		+ 0.63		+ 1.43		+ 1.43
IV 均勻側壓力 $W(L+t)^2$	+ 0.083		- 0.022		- 0.042		- 0.042
V 三角側壓力 $T(L+t)^3$	+ 0.042		- 0.010		- 0.023		- 0.023

※參考圖九說明



圖九 方形暗渠標準斷面圖

[例]：設通水斷面積 48ft^2 ，10-ton 車輛在無鋪面 (Unsurfaced) 二級公路，暗渠頂填土 5ft，平均填土壓力 (指垂直荷重為第二種情形，試設計暗渠之斷面。)

因斷面積 = 48ft^2 ，方形暗渠之淨徑距 (Clear Span) L 約為 7ft ($7 \times 7 = 49\text{ft}^2$)，假定 $t=8''$

暗渠底外寬 = $7 + 2 \times \frac{8}{12} = 8.33\text{ft}$

由 10-ton 車輛之活荷重，由圖五得 1,710lb。

死荷重 (由填土高 5ft)，第二種情形
= $5 \times 100 \times 8.33 = 4,170\text{lb}$

均勻垂直荷重 $P, \text{lb./ft.} = 1,710 + 4,170 = 5,880 \text{lb.}$

= 33

均勻側荷重: $W, \text{lb./ft.}^2 = \frac{5 \times 100}{3} = 167$

尺寸; $L = 7 \text{ft.}$ $t = 0.67 \text{ft}$

三角側荷重, 相當流體壓力; $T, \text{lb./ft.} = \frac{100}{3}$

由此等數據乘以表二中之係數並計算如表三

表三、7×7-ft暗渠計算表

荷 重 條 件 彎 距 M 推力N 或剪力V	斷				面		
	4		5		6		7
	M rt.lb.	N lb.	M ft.lb.	N lb.	M ft.lb.	V lb.	M ft.lb.
I. 均勻垂直莖重 M: N或V:	- 1,900	+ 2,900	- 1,900	+ 2,940	- 990	- 2,940	+ 3,740
II. 暗 渠 重 量 M: N或V:	- 490	+ 770	- 860	+ 1,160	- 520	- 1,160	+ 1,360
III. 由暗渠內之水壓 M:	- 980		0*		0*		+ 540
IV. 均 勻 側 荷 重 M:	+ 820		- 220		- 410		- 410
V. 三 角 側 荷 重 M:	+ 620		- 150		- 340		- 340
計M: 計N或V: $\frac{Nd''}{12}$:	- 1,930 460	+ 3,710	- 3,130 510	+ 4,100	- 2,260	- 4,100	+ 4,890
$M_s = M + \frac{Nd''}{12}$	2,390		3,640				
A(圖八): $\frac{N(\text{lb.})}{18,000}$:	0.34 - 0.21		0.50 - 0.23		0.30		0.67
$A_s (\text{sq.in.})$	0.13		0.27		0.30		0.67

※因暗渠內水壓力減少5及6斷面之彎距, 設計此二斷面時, 假定暗渠內無水狀態。

其次要檢定斷面6之剪力及附着力 (bond)。

因 $t = 8 \text{in.}$, $d = 5.5 \text{in.}$ (假定保護層為2.5in.), 則
單位剪力 $V = \frac{U}{bjd} = \frac{4,100}{12 \times 7/8 \times 5.5} = 71 \text{p.s.i}$

附 着 力 $\Sigma_o = \frac{V}{ujd} = \frac{4,100}{225 \times 7/8 \times 5.5} = 3.8 \text{in.}$

表三下部計算, 得參考圖八, 點7、“A”鋼筋 (

看圖九) 須 0.67sq.in. , 採用 $\phi = 5/8 \text{in.} @ 5\frac{1}{2} \text{in.} = 0.68 \text{sq.in.}$ 。點6, 採用“B”鋼筋須面積 0.3sq.in. 且其鋼筋周圍總長度 Σ_o 須大於 8.8in./ft , 故採用 $\phi = 1/2 \text{in.} @ 5 \text{in.} = 0.48 \text{sq.in.}$ $\Sigma_o = 3.8 \text{in.}$, 另縱鋼筋 $= 0.002 \times$ 斷面積 $= 0.002 \times 12 \times 8 = 0.19 \text{sq.in./ft}$,

採用 $\phi = 1/2 \text{in.}$ 方鋼筋 $@ 16 \text{in.} = 0.19 \text{sq.in.}$ 。

表四為方形暗渠斷面設計各種尺寸表, 設計者若

知大概之通水斷面積, 可由此表決定各種其他尺寸。

表四 方形暗渠標準設計

通 水 斷 面 sq.ft	暗 渠 深 度 ft.	尺 寸		橫 向 鋼 筋		縱 向 鋼 筋	混 凝 土 體 積 cu.ft/ft†
		L ft	t in	“A”鋼筋 大 小-間 隔	“B”鋼筋 大 小-間 隔	“C”鋼筋 大 小-間 隔	
4	0†	2	6	$\frac{3}{8} \phi - 8$	$\frac{1}{2} \square - 6^*$	$\frac{3}{8} \phi - 12$	5.0
	1.5-5	2	5	$\frac{3}{8} \phi - 5\frac{1}{2}$	* *	$\frac{3}{8} \phi - 12$	4.0
	5.5-10	2	5	$\frac{3}{8} \phi - 4$	* *	$\frac{3}{8} \phi - 12$	4.0
	10.5-15	2	5	$\frac{1}{2} \phi - 4$	* *	$\frac{3}{8} \phi - 12$	4.0
9	0†	3	6	$\frac{3}{8} \phi - 5$	$\frac{1}{2} \square - 6^*$	$\frac{3}{8} \phi - 11$	7.0
	1.5-5	3	5	$\frac{3}{8} \phi - 4$	* *	$\frac{3}{8} \phi - 12$	5.7
	5.5-10	3	6	$\frac{1}{2} \phi - 8$	$\frac{3}{8} \phi - 4$	$\frac{1}{2} \phi - 16$	7.0
	10.5-15	3	7	$\frac{1}{2} \phi - 7\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} \square - 6$	$\frac{1}{2} \phi - 14$	8.3

16	0†	4	6	$\frac{1}{2}\phi-7$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{8}\phi-15$	9.0
	1.5- 5	4	6	$\frac{1}{2}\phi-7$	$\frac{3}{8}\phi-4$	$\frac{1}{2}\phi-16$	9.0
	5.5-10	4	6	$\frac{1}{2}\phi-6$	$\frac{1}{2}\phi-4\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-16$	9.0
	10.5-15	4	7	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{1}{2}\phi-14$	10.7
25	0†	5	6	$\frac{1}{2}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\phi-13$	11.0
	1.5- 5	5	6	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-16$	11.0
	5.5-10	5	7	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-14$	13.0
	10.5-15	5	9	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-13$	17.3
36	0†	6	6	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{8}\phi-11$	13.0
	1.5- 5	6	7	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{8}\phi-14$	15.4
	5.5-10	6	8	$\frac{5}{8}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}\phi-16$	17.8
	10.5-15	6	10	$\frac{5}{8}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{5}{8}\phi-15$	22.8
49	0†	7	6	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-11$	15.0
	1.5- 5	7	8	$\frac{5}{8}\phi-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-16$	20.5
	5.5-10	7	9	$\frac{5}{8}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{5}{8}\phi-17$	23.3
	10.5-15	7	11	$\frac{5}{8}\phi-4\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{5}{8}\phi-14$	29.0
64	0†	8	6	$\frac{5}{8}\phi-5\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}\phi-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-10$	17.0
	1.5- 5	8	8	$\frac{3}{4}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{1}{2}\square-16$	23.1
	5.5-10	8	9	$\frac{3}{4}\phi-6\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{5}{8}\phi-17$	26.3
	10.5-15	8	13	$\frac{3}{4}\phi-7\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{5}{8}\phi-12$	39.3
81	0†	9	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-7\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-7\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-9$	20.7
	1.5- 5	9	9	$\frac{3}{4}\phi-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\square-13$	29.3
	5.5-10	9	10	$\frac{3}{4}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{5}{8}\phi-15$	32.8
	10.5-15	9	14	$\frac{7}{8}\phi-6\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{3}{4}\phi-15$	47.5

註：*徑間(span)為2ft.及3ft. "B"使鋼筋連續橫過版(slabs)。

**牆壁厚 $t=5\text{in.}$ 時合併"A"及"B"鋼筋為一。

† 嵌角數量未計入。

‡ 假定 t 增至 $7\frac{1}{2}\text{in.}$ 鋼筋增加10%, 亦能應用於H-15荷重加衡力。

2. 矩形斷面

孔分別述之如次。

矩形斷面有單孔 (One Cell)，雙孔 (Two Cells) 及三孔 (Three Cells) 等，茲就單孔及雙

i. 單孔矩形暗渠：如圖十為矩形單孔暗渠，其斷面設計應用之係數表如表五

表五、矩形單孔斷面暗渠在臨界斷面時之彎矩 (Moment)、推力 (Thrust) 及剪力 (Shear) 等係數表

荷 重 條 件 M. N. V. 係數	斷 面						
	4		5		6		7
	M	N	M	N	M	N	M
I 均勻垂直荷重 $P(1.5L+t)$ P	- 0.025	+ 0.50	- 0.025	+ 0.50	- 0.012	- 0.50	+ 0.100
II 暗渠重量 $t(1.5L+t)^2$ $t(1.5L+t)$	- 8.4	+ 170	- 13.4	+ 220	- 7.6	- 220	+ 41.5
III 暗渠內水壓力 $L^2(L+15.t)$	- 2.08		+ 0.87		+ 2.05		+ 2.05
IV 均勻側壓力 $W(L+1.5t)^2$	+ 0.067		- 0.030		- 0.058		- 0.058
V 三角側壓力 $T(L+1.5t)^3$	+ 0.034		- 0.016		- 0.033		- 0.033

〔例〕 假設通水斷面積 = 52sq.ft.

($6 \times 9 = 54.0\text{sq.ft.}$)，設 $t = 7\text{in.}$ (版厚 = $1.5 \times 7 =$

車輛荷重 = 10-ton 在無鋪面二級公路上

10.5in.)

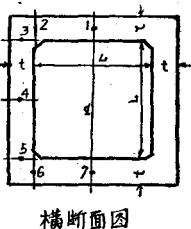
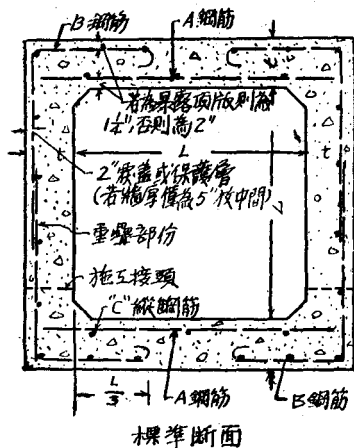
第二種情形之填土

荷重因子：

填土高 = 5ft

因通水斷面積 = 52sq.ft. 設 $L = 6\text{ft}$ 則 $1.5L = 9\text{ft}$

暗渠底外寬 = $9 + 2 \times \frac{7}{12} = 10.17\text{ft.}$



圖十 矩形單孔暗渠標準斷面圖

$$\text{均勻側荷重: } W, 16/\text{ft}^2 = \frac{5 \times 100}{3} = 167$$

$$\text{三角側壓; 相當之流體壓力: } T, 16/\text{ft} = \frac{100}{3} = 33$$

$$\text{尺寸: } L = 6\text{ft}, t = 0.58\text{ft}$$

$$1.5L + t = 9.58\text{ft}, L + 1.5t = 6.87\text{ft}$$

計算如表六

臨界斷面需要鋼筋面積注意:

$$\text{牆厚: } d_w = 7 - 2.5 = 4.5\text{in.}$$

$$\text{版厚: } d_s = 10.5 - 2.5 = 8\text{in.}$$

點 4、5、6、僅須小量張力鋼筋。當需要鋼筋量超出圖八時，可增加 M_s 一倍，由圖八查出之 A 值，再除以 2 可得近似結果。

表六 9×6ft 暗渠計算表

荷重條件 M. N. V. 係數	斷				面		
	4		5		6		7
	M ft.lb.	N lb.	M ft.lb.	N lb.	M ft.lb.	V lb.	M ft.lb.
I 均勻垂直荷重 M: N或V	- 1,630	+ 3,400	- 1,630	+ 3,40	- 780	- 3,400	+ 6,510
II 暗渠重量 M: N或V	- 450	+ 940	- 710	+ 1,220	- 400	- 1,220	+ 2,210
III 暗渠內水壓力 M:	- 510		0*		0*		+ 510
IV 均勻壓力 M:	+ 530		- 240		- 460		- 460
V 三角測壓力 M:	+ 360		- 170		- 350		- 350
計M:** 計N或V	- 1,700	+ 4,340	- 2,750	+ 4,620	- 1,990	- 4,620	+ 8,420
$\frac{Nd''}{12}$	360		380				
$M_s = M + \frac{Nd''}{12}$	2,060		3,130				
A (圖八): $\frac{N(\text{lb.})}{18,000}$	0.34		0.52		0.18		0.80
$A_s (\text{sq.in.})$	- 0.24		- 0.26		0.18		0.80

註: 參考表三

檢驗點 6 之剪力及附着力

$$V = \frac{V}{bjd} = \frac{4,620}{17 \times 7/8 \times 8} = 55\text{p.s.i.}$$

$$\Sigma_o = \frac{V}{ujd} = \frac{4,620}{225 \times 7/8 \times 8} = 2.7\text{in.}$$

圖十中表示推薦之鋼筋排列。在此例中“A”鋼筋之面積須有 0.8sq in./ft. 採用 $\phi = 3/4''$, @ $6 1/2\text{in.}$ = 0.81sq in., “B”鋼筋之總周圍長必須等於或大於 2.9in., 採用 $\phi = 1/2''$ in. = 0.37sq in. 且 $\Sigma = 2.9\text{in.}$

$$\text{縱鋼筋} = 0.002 \times \text{斷面積 (指斷面)} = 0.002 \times 12$$

$$\times 10.5 = 0.25\text{sq.in./ft.}$$

“e”鋼筋採用 1/2-in. 方形鋼筋, @ 12in. = 0.25 sq.in.

表七為單孔矩形暗渠斷面設計各種尺寸表，設計者若知大概之通水斷面積，可由此表決定各種其他尺寸。

表七、單孔矩形暗渠断面設計

通水斷面積 sq.ft.	填土深 ft.	尺 寸				橫 向 鋼 筋		縱 向 鋼 筋	混 凝 土 體 積 cu.ft./ft.**
		牆		版		“A”鋼筋 大小—間隔	“B”鋼筋 大小—間隔	“C”鋼筋 大小—間隔	
		高 ft.	厚 度 in.	徑 ft.in.	厚 度 in				
6	0†	2	6	3-0	6	$\frac{3}{8}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-6^*$	$\frac{3}{8}\phi-11$	6.0
	1.5- 5	2	4	3-0	6	$\frac{3}{8}\phi-6$	$\frac{3}{8}\phi-6$	$\frac{3}{8}\phi-12$	5.0
	5.5-10	2	4	3-0	6	$\frac{3}{8}\phi-5$	$\frac{3}{8}\phi-5$	$\frac{3}{8}\phi-12$	5.0
	10.5-15	2	4	3-0	6	$\frac{1}{2}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{3}{8}\phi-12$	5.0
13.5	0†	3	6	4-6	6	$\frac{1}{2}\phi-6\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\phi-14$	8.5
	1.5- 5	3	5	4-6	$7\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-6$	$\frac{3}{8}\phi-6$	$\frac{1}{2}\phi-14$	9.2
	5.5-10	3	5	4-6	$7\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-6$	$\frac{1}{2}\phi-6$	$\frac{1}{2}\phi-14$	9.2
	10.5-15	3	5	4-6	$7\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-14$	9.2
24	0†	4	6	6-0	6	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\phi-11$	11.0
	1.5- 5	4	6	6-0	9	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\phi-7$	$\frac{1}{2}\square-15$	14.5
	5.5-10	4	6	6-0	9	$\frac{3}{8}\phi-6$	$\frac{1}{2}\phi-5\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-15$	14.5
	10.5-15	4	6	6-0	9	$\frac{3}{4}\phi-6$	$\frac{1}{2}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-15$	14.5
37.5	0†	5	6	7-6	6	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{1}{2}\square-11$	13.5
	1.5- 5	5	6	7-6	9	$\frac{3}{4}\phi-8$	$\frac{1}{2}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-15$	17.8
	5.5-10	5	6	7-6	9	$\frac{3}{4}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\square-15$	17.8
	10.5-15	5	7	7-6	$10\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{1}{2}\square-12$	21.0
54	0†	6	6	9-0	6	$\frac{3}{4}\phi-7\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-7\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-9$	16.0
	1.5- 5	6	7	9-0	$10\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-6\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\phi-6\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-12$	24.8
	5.5-10	6	7	9-0	$10\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{1}{2}\square-12$	24.8
	10.5-15	6	9	19-0	$13\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-5\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}\phi-12$	32.6
73.5	0†	7	$6\frac{1}{2}$	10-6	$6\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-6\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-6\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}\phi-10$	20.1
	1.5- 5	7	7	10-6	$10\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}\phi-5$	$\frac{1}{2}\square-7\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-12$	28.8
	5.5-10	7	8	10-6	12	$\frac{7}{8}\phi-6$	$\frac{1}{2}\square-6$	$\frac{5}{8}\phi-14$	33.0
	10.5-15	7	40	10-6	15	$1\square-8\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\square-5$	$\frac{3}{4}\phi-16$	42.1

註：*當徑間為3ft.時，使B鋼筋連續橫過版(slabs)

**嵌角部份未包括進去。

†若增加t至 $7\frac{1}{2}$ in. 鋼筋量增加10%時可應用於H-15加衝力之條件。

iii. 双孔方形暗渠。

双孔方形暗渠断面設計之彎距，推力及剪力應乘係數如表八：

表八、双孔方形暗渠臨界断面之彎距 (Moment) 推力 (Thrust) 及剪力 (shear) 係數表

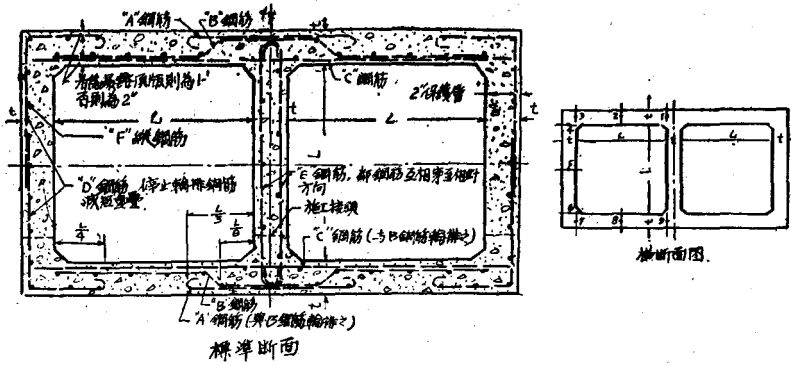
荷 重 條 件 M. N. V. 係數	斷 面							
	5		6		7	8	9	
	M	N	M	N†	M	M	M	V
I. 均勻垂直荷重 $P(L+t)$	- 0.014	+ 0.208	- 0.014	+ 0.208	- 0.006	+ 0.028	- 0.044	+ 0.292
II. 暗渠荷重 $t(L+t)^2$ $t(L+t)$	- 7.3	+ 130	- 12.9	+ 210	- 4.7	+ 20.2	- 34.2	+ 160
III. 暗渠內水壓力 $L^2(Lt)$	- 2.19		+ 1.12		+ 1.94	+ 0.49	- 0.97	
IV. 均勻側壓力 $W(L+t)^2$	+ 0.069		- 0.036		- 0.056	- 0.014	+ 0.028	
V. 三角側壓力 $T(L+t)^3$	+ 0.035		- 0.018		- 0.031	- 0.008	+ 0.016	

註：+在断面6之推力值等於断面7之剪力。

[例]：假設通水断面=160sq.ft. 車輛載重= 10
-ton，在無鋪面二級公路上，填土高=5ft. 平均填

土壓力為第二種情形。

因通水断面積=160sq. ft. 設L=9ft. (2×9×9



圖十一 双孔方形暗渠標準断面圖

=162sq.ft.) 又設 $t=9$ in (版厚及墙厚) 則

暗渠外底寬 $=2 \times 9 + 3 \times 0.75 = 20.25$ ft.

由10-ton車輛之活荷重由圖) $= 1,710$

由填土之死荷重, 第二情形 $= 5 \times 100 \times 20.25$

$= 10,130$

均匀垂直荷重 $P, \text{lb./ft.}$ $= 11,840$

均匀側壓力; $W, \text{lb./ft.}^2 = \frac{5 \times 100}{3} = 167$

三角側壓力, 相當之流體壓力: $T, \text{lb./ft} = \frac{100}{3} = 33$

尺寸: $L=9$ ft. $t=0.75$ ft. $L+t=9.75$ ft.

計算看表九。

表九、双孔方形暗渠断面設計計算表

荷 重 條 件 M. N. V. 係數	斷 面							
	5		6		7	8	9	
	M ft.lb.	N lb.	M ft.lb.	N *lb.	M ft.lb.	M ft.lb.	M ft.lb.	V lb.
I 均匀垂直重量 M: N或V:	- 1,620	+ 2,460	- 1,620	+ 2,460	- 690	+ 3,230	- 5,080	+ 3,450
II 暗渠重量 M: N或V:	- 520	+ 950	- 920	+ 1,540	- 340	+ 1,440	- 2,440	+ 1,170
III 暗渠內水壓力 M:	- 1,730		0**		0**	+ 390	- 770	
IV 均匀側壓力 M:	+ 1,100		- 570		- 890	- 220	+ 440	
V 三角側壓力 M:	+ 1,070		- 550		- 950	- 240	+ 490	
計M: 計N或V	- 1,700	+ 3,410	- 3,660	+ 4,000	- 2,870	+ 4,600	- 7,360	+ 4,620
$\frac{Nd''}{12}$:	570		670					
$M_s = M + \frac{Nd''}{12}$	2,270		4,330					
A(圖八): $\frac{N(\text{lb.})}{18,000}$	0.26		0.50		0.33	0.53	0.86	
$A_s(\text{sq.in.})$:	- 0.19		- 0.22		0.33	0.53	0.86	

*亦用於断面7之剪力

**假設暗渠內無水而設計断面6及7

在9點之單位剪力:

$d=9.0-2.5=6.5$ in.

$v = \frac{4,620}{12 \times 7/8 \times 6.5} = 68 \text{ p.s.i. (容許} = 90 \text{ p.s.i.)}$

附着力:

點9: $\Sigma_o = \frac{4,620}{225 \times 7/8 \times 6.5} = 3.6$ in.

點7: $\Sigma_o = \frac{4,000}{225 \times 7/8 \times 6.5} = 3.1$ in.

橫向鋼筋: (圖十一)

點9: $A_s=0.86\text{sq.in.}$; $\Sigma_o=3.9\text{in.}$

"A"鋼筋: $\phi=7/8''$, @12in.=0.60sq.in.;
 $\Sigma_o=2.8\text{in.}$

"B"鋼筋: $\phi=5/8''$, @12in.=0.31sq.in.;
 $\Sigma_o=2.0\text{in.}$

計 $A_s=0.91\text{sq.in.}$; $\Sigma_o=4.8\text{in.}$

點8: $A_s=0.53\text{sq.in.}$

"B"鋼筋: $\phi=5/8''$, @12''=0.31sq.in.

"C"鋼筋: $1/2''\square$, @12''=0.25sq.in.
計 $A_s=0.56\text{sq.in.}$

點7: $A_s=0.83\text{sq.in.}$ $\Sigma_o=3.1\text{in.}$

"D"鋼筋: $\phi=1/2''$, @6in.=0.40sq.in.;
 $\Sigma_o=3.1\text{in.}$

"D"鋼筋亦滿足點5及6

D鋼筋之半可以在牆中點停止, "E"鋼筋不受彎距力作用, 但需當為溫度鋼筋 (Temperature Steel)

"E"鋼筋: $\phi=1/2''$ @ 18in. (每一面), 總計
=0.27sq.in.

縱向鋼筋: =0.002斷面積=0.002×12×9
=0.22sq.in./ft.

"F"鋼筋: $1/2''\square$, @13in.=0.23sq.in./ft. 詳細
看圖十一。

表十為雙孔方形暗渠斷面設計標準圖, 設計者可
應用此表設計較為迅速。

表十 雙孔方形暗渠斷面設計標準

通斷 sq.ft.	水面 ft.	填土高度 ft.	尺 寸		鋼 筋					縱向鋼筋 大小一間隔	混 凝 土 體 積 cu.ft./ft.
			L ft.	t in.	"A"鋼筋 大小一間隔	"B"鋼筋 大小一間隔	"C"鋼筋 大小一間隔	"D"鋼筋 大小一間隔	"E"鋼筋 大小一間隔		
50	0**	5	5	6	$1/2\phi-12$	$1/2\phi-12$	$1/2\phi-12$	$1/2\square-6$	$1/2\square-12$	$1/2\phi-13$	19.0
		1.5-5	5	6	$1/2\phi-8$	$3/8\phi-8$	$3/8\phi-8$	$3/8\phi-4 1/2$	$3/8\phi-16$	$1/2\phi-16$	19.0
		5.5-10	5	8	$1/2\phi-8$	$3/8\phi-8$	$3/8\phi-8$	$3/8\phi-4 1/2$	$3/8\phi-16$	$1/2\phi-12$	26.0
		10.5-15	5	9	$1/2\phi-8$	$1/2\phi-8$	$3/8\phi-16$	$3/8\phi-4$	$3/8\phi-16$	$1/2\phi-11$	29.0
72	0**	6	6	6	$1/2\square-12$	$1/2\square-12$	$1/2\square-12$	$1/2\square-6$	$1/2\square-12$	$1/2\phi-11$	22.5
		1.5-5	6	7	$1/2\square-10$	$1/2\phi-10$	$3/8\phi-10$	$3/8\phi-5$	$3/8\phi-20$	$1/2\phi-14$	26.5
		5.5-10	6	8	$5/8\phi-11$	$5/8\phi-11$	$3/8\phi-11$	$1/2\phi-5 1/2$	$1/2\phi-22$	$1/2\phi-12$	30.7
		10.5-15	6	10	$5/8\phi-10$	$5/8\phi-10$	$3/8\phi-10$	$1/2\phi-5$	$1/2\phi-20$	$1/2\phi-10$	38.8
98	0**	7	6	6	$1/2\square-11$	$1/2\square-11$	$1/2\square-11$	$1/2\square-5 1/2$	$1/2\square-11$	$1/2\phi-9$	26.0
		1.5-5	7	7	$5/8\phi-9$	$1/2\square-9$	$3/8\phi-9$	$3/8\phi-4 1/2$	$3/8\phi-18$	$1/2\square-17$	30.6
		5.5-10	7	9	$5/8\phi-9$	$5/8\phi-9$	$3/8\phi-9$	$1/2\phi-5$	$1/2\phi-18$	$1/2\square-13$	40.1
		10.5-15	7	12	$5/8\phi-10$	$1/2\square-14$	$1/2\phi-10$	$1/2\phi-5$	$1/2\square-20$	$5/8\phi-12$	55.0
128	0**	8	6	6	$5/8\phi-11$	$5/8\phi-11$	$5/8\phi-11$	$5/8\phi-5 1/2$	$5/2\phi-11$	$1/3\square-10$	29.5
		1.5-5	8	8	$1/2\square-10$	$1/2\square-10$	$1/2\phi-10$	$1/2\phi-6$	$1/2\phi-20$	$1/2\phi-12$	40.0
		5.5-10	8	10	$7/8\phi-14$	$3/4\phi-14$	$1/2\square-14$	$1/2\square-7$	$1/2\phi-14$	$1/2\square-12$	50.8
		10.5-15	8	13	$7/8\phi-11$	$5/8\phi-11$	$1/2\phi-11$	$1/2\square-6$	$5/8\phi-22$	$5/8\phi-12$	67.7
162	0**	9	6	6	$5/8\phi-10$	$5/8\phi-10$	$5/8\phi-10$	$5/8\phi-5$	$5/8\phi-10$	$1/2\square-9$	33.0
		1.5-5	9	9	$7/8\phi-12$	$5/8\phi-12$	$1/2\square-12$	$1/2\phi-6$	$1/2\phi-18$	$1/2\square-13$	50.6
		5.5-10	9	11	$7/8\phi-11$	$5/8\phi-11$	$5/8\phi-11$	$1/2\phi-5$	$1/2\square-22$	$5/8\phi-14$	62.8
		10.5-15	9	14	$1\phi-13$	$3/4\phi-13$	$5/8\phi-13$	$1/2\square-6$	$1/2\phi-13$	$5/8\phi-11$	81.7
200	0**	10	6 1/2	6 1/2	$3/4\phi-13$	$3/4\phi-13$	$3/4\phi-13$	$3/4\phi-6 1/2$	$3/4\phi-13$	$5/8\phi-11$	39.6
		1.5-5	10	9	$7/8\phi-12$	$3/4\phi-12$	$1/2\phi-12$	$1/2\square-6$	$1/2\phi-18$	$1/2\square-12$	55.9
		5.5-10	10	12	$1\phi-12$	$3/4\phi-13$	$5/8\phi-12$	$1/2\square-6$	$5/8\phi-24$	$5/8\phi-12$	76.0
		10.5-15	10	15	$1\phi-11$	$3/4\phi-11$	$5/8\phi-11$	$1/2\square-5 1/2$	$5/8\phi-22$	$3/4\phi-15$	96.9

* 嵌角未包括在內。

**若t增至7 1/2 in.鋼筋量增加10%則可應用於H-15加衝力之荷重。

iii 圓形暗渠

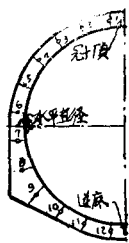
圓形暗渠可依圖十二之標準圖, 得最快之方法而
設計。此種圓形暗渠之臨界斷面彎距(Moment) M.

, 推力 (Thrust) N 等係數, 配合各種不同條件而
計算, 其彎距M及推力N係數如表十一

表十一 圓形暗渠彎距 (M) 及推力 (N) 係數表

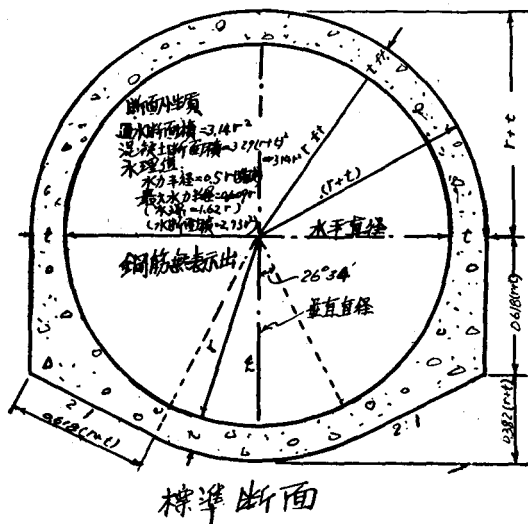
荷 重、條 件 M, N 係數	斷 面					
	冠	頂	水 平	直 徑	逆 底	中 心
I 均勻垂直荷重 $P(r+\frac{t}{2})$ P	+ 0.118	+ 0.003	- 0.125	+ 0.500	+ 0.099	- 0.003

II 暗渠重量					
$t(r+\frac{t}{2})^2$	+ 56.2		- 73.6	+ 67.0	
$t(r+\frac{t}{2})$		- 43		+ 236	+ 43
III 暗渠內水壓力					
$r^2(r+\frac{t}{2})$	+ 11.1		- 14.8	+ 13.0	
r^2		- 39		- 14	- 86
VI 水額壓力					
0	0		0	0	
hr		- 62.5		- 62.5	- 62.5
IV 均勻側壓力					
$w(r+\frac{t}{2})^2$	- 0.243		+ 0.265	- 0.218	
$w(r+\frac{t}{2})$		+ 1.01		0	+ 0.99
V 三角側壓力					
$T(r+\frac{t}{2})^2$	- 0.202		- 0.280	- 0.243	
$T(r+\frac{t}{2})$		+ 0.64		0	+ 1.36



半断面

點位置			
點	与水平直径所成中心角	點	与水平直径所成中心角
冠頂	+90.0°	7	-7.5°
1	+82.5°	8	-22.5°
2	+67.5°	9	-37.5°
3	+52.5°	10	-52.5°
4	+37.5°	11	-67.5°
5	+22.5°	12	-82.5°
6	+7.5°	逆序	-90.0°
水平直径	0°		



標準断面

圖十二 圓形暗渠標準断面圖

[例]：設通水斷面積=150sq.ft.車輛為10-ton在無鋪面二級公路，填土高=10ft.土單位重=100lb/ft³，垂直壓力為第二種情形。冠頂以上無靜水壓力。

因斷面積=150sq.ft. 內徑為

$$r = \sqrt{\frac{150}{3.14}} = 6.91\text{ft. 設為} 7\text{ft}$$

設厚度 = $t = 12\text{in.} = 1\text{ft.}$ 並決定在水平直徑之彎距及推力，和臨界断面之厚度。垂直荷重係數僅用於檢定所假設之厚度。

全垂直荷重 $P^* = (\text{土之單位重量}) \times (\text{填土高}) \times (\text{暗渠外寬度})$

$$P = 100 \times 10 \times 2(7+1) = 16,000\text{lb.}$$

由表十一知均勻垂直荷重在水平直徑為：

$$M = -0.125p(r + \frac{t}{2})$$

$$= -0.125 \times 16,000(7 + 0.5)$$

$$= -15,000\text{ft. lb. (張力在外面上)}$$

$$N = +0.500p = +0.500 \times 16,000$$

$$= +8,000\text{lp (壓縮應力)}$$

$$M_s = M + \frac{Nd''}{12}, (d'' = \frac{12}{2} - 2.5 = 3.5\text{in.})$$

$$= 15,000 + \frac{8,000 \times 3.5}{12} = 17,300\text{ft. lb.}$$

由圖八、假設無須壓縮鋼筋時，其有效深度較 9.5in. 稍小。

$$t = 9.5 + 2.5 = 12\text{in.}$$

再應用表十一 在冠頂計算所得之彎距及推力。

水平直徑及逆底 (invert) , (對所有荷重均基於 $t=12\text{in.}$)

*: 由10-ton 車輛及衝力所致活荷重與10ft.土壓相較甚小,故忽略之。

數據計算如次:

$$r=7\text{ft. } t=1\text{ft. } (r+\frac{t}{2})=7.5\text{ft.}$$

$$p=100 \times 10 \times 2(7+1)=16,000\text{lb.}$$

$$w=\frac{100 \times 10}{3}=333\text{lb.}$$

$$T=\frac{100}{3}=33\text{lb.}$$

其計算表如次:

表十二 $r=7\text{ft}$ 圓形暗渠設計計算表

荷 重 條 件 M, N 係數	斷 面					
	冠 頂		水 平 直 徑		逆 底 中 心	
	M ft.lb.	N lb.	M ft.lb.	N lb.	M ft.lb.	N lb.
I 均勻垂直荷重 M: N:	+ 14,160	+ 50	- 15,000	+ 8,000	+ 11,880	- 50
II 暗渠重量 M: N:	+ 3,160	- 320	- 4,140	+ 1,770	+ 3,770	+ 320
III 暗渠內水壓力 M: N:	+ 4,080	- 1,910	- 5,440	- 690	+ 4,780	- 4,210
IV 均勻側壓力 M: N:	- 4,550	+ 2,520	- 4,960	0	+ 4,080	+ 2,470
V 三角側壓力 M: N:	- 2,810	+ 1,190	+ 3,900	0	- 3,380	+ 2,520
計 M: 計 N:	+ 14,040	+ 1,530	- 15,720	+ 9,080	+ 12,970	+ 1,050
$d''=\frac{12}{2}-2.5=3.5$ $\frac{Nd''}{12}$;	450		2,650		310	
$M_s=M+\frac{Nd''}{12}$;	14,490		18,370		13,280	
A(圖八):	1.16		1.49		1.06	
$\frac{N(\text{lb})}{18,000}$	- 0.09		- 0.50		- 0.06	
$A_s(\text{sq.in.})$:	1.07		0.99		1.00	

俟彎矩及推力計算後,求其合力,混凝土抗壓力以假設之厚度來檢定,鋼筋需要量則用圖八如前之例求之。在此例中橫向鋼筋在全部臨界面斷面甚近似,因此採用橢圓形環鋼筋最為經濟,由此安排,鋼筋排入最有效之水平及垂直直徑混凝土靠張力面。如圖十三 -A 與水平軸成 45° 角線斷面中點為反曲線交點,鋼筋在此點恰好放入中心。圖十三 -A 中表示完整之鋼筋安排。

$$\text{"B"鋼筋爲 } \phi = \frac{3''}{4}, @5\text{-in. } A_s=1.06\text{sq.in.}$$

鋼筋之重疊應該在施工接縫以上,且相鄰之鋼筋亦應相錯 (Staggered), 重疊部份當混凝土張強度為 3,000lb 只少必須有30倍鋼筋直徑,最短不多少於 $30 \times \frac{3}{4}=22.5\text{in.}$ 又因橢圓環鋼筋非接近於厚斷面之張力面, 附加橫向鋼筋應放於水平直徑下面。綁於

"B"互換鋼筋之小鋼筋"C"可任擇之。設為 $\phi=5/8\text{-in. @10-in.}$

縱向鋼筋=0.002×斷面積

$$=0.002 \times 144 \times 55.4=16.0\text{sq.in.}$$

"A"鋼筋 $\phi=5/8\text{-in. @13-in.}=0.29\text{sq. in./ft.}$

$$\frac{16}{0.29}=56 \text{ 間隔 @13-in.}$$

圖十三為圓形暗渠現場撓製,其鋼筋及各種詳細尺寸圖。

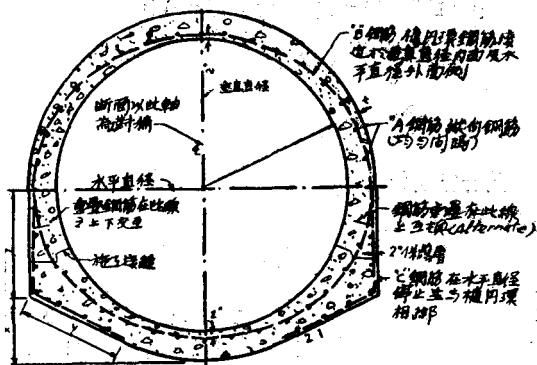
四 設計計算例:

設有一水量為1.00c.m. s.之灌溉暗渠,其坡度因地形上之限制定為 0.15, 試設計此暗渠:

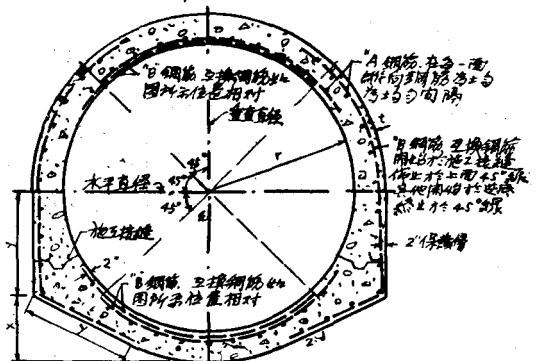
1. 求進口處水渠:

$$\text{設管徑爲 } 0.6\text{m}, A=\frac{\pi O^2}{4}=0.2827\text{m}^2$$

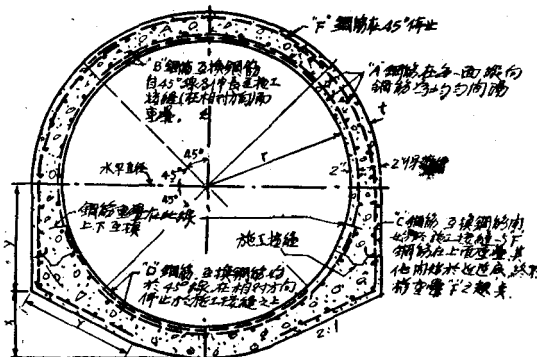
$$Q=1.00\text{c.m.s. } V=\frac{Q}{A}=3.54\text{m/sec}$$



斷面A



斷面A-另型



斷面B

圖十三 圖圓形暗渠標準橫向斷面

$$h_v = 0.639m$$

$$Q/D^{2.5} = 10/0.60^{2.5} = 1/0.279 = 3.58$$

$$\text{由表一得 } H/D = 2.6 \therefore H = 2.60 \times 0.6 = 1.56m$$

或由公式 $Q/D^{2.5} = 3.48C_v \sqrt{(H/D-1)}$ (僅適用於圓形管)

$$\text{但 } C = \text{流量係數} = (1 + fe)^{-1/2}$$

fe : 入口損失係數, 依入口形狀而異

設為銳緣入口 $fe = 0.50$, $C = 0.82$

$$\therefore 3.58 = 3.48 \times 0.82 \sqrt{H/0.60 - 1}$$

$$\text{or } 1.27^2 = M/0.6 - 1$$

$$H = (1.27^2 + 1) \times 0.6 = 1.56m$$

故進口處封水有 $1.56m - 0.60 = 0.96m$

2. 設暗渠內摩擦損失為 a 則

$$a = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{g}$$

$$\text{但 } f = 124.6n^2/D^{1/2} = 124.6 \times 0.014^2/0.60^{1/2} = 1.246 \times 0.000196/0.843 = 0.0296$$

$$L = \text{斜管長} = 14.58m$$

$$\therefore a = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.0296 \cdot \frac{14.56}{0.60} \cdot 0.639 = 0.459m$$

但實際高差 $a = 3.281m > 0.459m$

故管內水流為自由流 (Free-flow)

3. 假設管流為等速流, 則其水深 d 為

$$K = \frac{Qn}{I^{1/2}D^{8/3}} = \frac{1 \times 0.014}{0.15^{1/2} \times 0.60^{8/3}} = \frac{1 \times 0.014}{0.3873 \times 0.256} = 0.141$$

由表 $d/D = 0.471$, $R/D = 0.2407$, $A/D^2 = 0.3629$

$$\therefore d = 0.60 \times 0.471 = 0.287m$$

$$R = 0.60 \times 0.2407 = 0.144m$$

$$A = 0.60^2 \times 0.3629 = 0.131m^2$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0.014} = 0.144^{2/3} \times 0.15^{1/2} = \frac{1}{0.014} \times 0.274 \times 0.3873$$

$$= 7.58m/sec < 10m/sec \quad O.K.$$

$$Q = A, V = 1.00cms \quad O.K.$$

$$\frac{Q}{D^{5/2}} = \frac{1.0}{0.60^{5/2}} = \frac{1.0}{0.278} = 3.59$$

$\therefore$ 由圖 $dc/D = 0.967$

$$dc = 0.60 \times 0.967 = 0.58m > 0.287m$$

故為射流

出口一段管路 (長 2.43m) 為水平, 故在水平部份可能發生跳水現象, 此水平部份長雖或較跳水長度為短, 但為安全計, 設跳水在水平高內發生而封閉出口則須設置徑 $\frac{1}{6}D$ 之通氣管於跳水上游, 因此設置直徑 10cm 之通氣管於暗渠進口胸牆內,

(附注): 求福祿指數 (Froude Number) 所用之水深 d , 為將水深 d 之管流通水斷面改為通水斷面積相等而渠寬等於管徑之矩形渠道之水深, 在本例題中, 管水深為 0.287m, 通水斷面積 = 0.131m, 管徑 = 0.60m $V = 7.58m/sec$.

$$\therefore d_1 = \frac{A}{D} = \frac{0.131}{0.60} = 0.218m$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{gd_1}} = \frac{7.58}{\sqrt{9.8 \times 0.218}} = \frac{7.58}{\sqrt{2.14}} = \frac{7.58}{1.465}$$

(下轉 51 頁)

本會第六次理監事聯席會議紀錄

時間：五月廿九日下午四時

地點：水利局第三會議室

出席：孫清波 易任 張建勛（易任代） 沈百先
徐田璋 劉如松（徐田璋代） 張舉珊 陳震基
廖日旺（林光風代） 黃慶銓（陳震基代）
林光風 劉濟業（沈百先代） 張建勛

主席：沈百先 紀錄：黃金鑾

主席報告：上次會議紀錄執行情形及會務進行（略）

總幹事報告：籌備參加六六工程師節工程展覽之展品情形及會計收支（略）

討論事項

- 一、准中國工程師學會函請本會同意聯合舉辦年會一節請核議案。

議決：同意參加。

- 二、為本會農業工程手冊編訂委員會為展開工作需要，擬請增加副主任委員一位，請推定案。

議決：推請徐田璋先生為副主任委員。

- 三、關於在美國會員如何聯繫其應繳之常年會費應如何徵收請討論案。

議決：（一）推請在美本會會員方根壽、胡萬旺兩位先生為聯絡員，除徵求新會員外，並請自本年度起負責代收會費，如所需郵費及其他費用，即在徵收之會費內報支，於本年底彙報本會。（二）本會發刊之農工學報應即自本年度起按期分寄各會員。

散會。

本會第七次理監事聯席會議紀錄

時間：五十四年七月卅一日下午四時

地點：水利局第三會議室

出席：張舉珊 吳松江（張建勛代） 沈百先 張建勛
徐田璋 廖日旺 陳麟詩 陳震基 鄧先仁
黃慶銓（陳震基代） 陳鑒（陳麟詩代） 劉如松（徐田璋代） 易任（張舉珊代）

主席：沈百先 紀錄：黃金鑾

主席報告：上次會議紀錄及執行經過（略）

徐總幹事報告：本會與中國水利工程學會聯合舉辦短期學術講習會經過暨會務工作之推進（略）

討論事項

- 一、為中華農學會函請本會參加本年度聯合年會並請推出籌備委員二人一節請討論案。

議決：照成例不參加本年度聯合年會。

- 二、為與中國工程師學會聯合舉辦本年度年會本會推

請徐田璋先生為聯合年會籌備委員請追認案。

議決：追認。

- 三、請推定本會本年度年會籌備委員會委員案。

議決：推請徐田璋先生為主任委員、副主任委員及委員請主委提名送理事會備案。

- 四、為本會團體會員苗栗農田水利會函請准免繳會費一節請討論案。

議決：保留。

- 五、為本會章程第七條第四款及第八條第五款規定初級會員提升仲會員之條文內容似有未臻完善請討論並推請人選研究案。

議決：推請陳麟詩先生、張舉珊先生、陳震基先生三位研究後提理事會討論。

散會。

（上接50頁）

$$=5.18$$

4. 尾水深檢討：

消能器下游渠道斷面為底寬2.00m，邊坡1.5：1
 $S \approx 1/100$

$n=0.03$ 則其水深 d 為

$$K = \frac{Qn}{6^{8/3} s^{1/2}} = \frac{1 \times 0.003}{2.00^{8/3} \times 0.01^{1/2}} = \frac{1 \times 0.03}{6.35 \times 0.1} = 0.0473$$

∴由表 $d/b=0.155$

$$d = 2.00 \times 0.155 = 0.31m < \frac{g}{2} = 0.48m$$

暗渠進出口設計請參考倒虹吸工設計

參考文獻

1. Hydraulic Design of Stilling Basins and Bucket Energy Dissipators (1958)-U.S.B.R.
2. Concrete culverts and conduits-Portland Cement Association.
3. Canals and Related Structures (1961)-U.S. B.R.
4. 土地改良事業計劃設計基準第三部第五篇-日本農林省農地局
5. 灌溉工程設計講義-洪有才
6. 鋼筋水泥管-臺灣水泥股份有限公司