

鋼筋混凝土單孔方形箱涵之設計比較

Comparison on the Working Stress Design and Ultimate Strength Design of Reinforced Concrete Square Box Culverts

經濟部水資會編譯兼淡江文理學院水利系副教授

林 伯 信

ABSTRACT

This paper is introduced the design steps of the reinforced concrete square box culverts by the working stress method using ACI 318-63 and ultimate strength method using ACI 318-63 and ACI 318-71, and then compared with their amount of reinforcement.

一、前 言

箱涵在各項建設中，如鐵路、公路、都市及衛生下水道建設工程方面之應用日廣，因其維護費用低，並具有施工簡單，鋼筋安排不困難，模板形狀單低，價廉等各項優點。

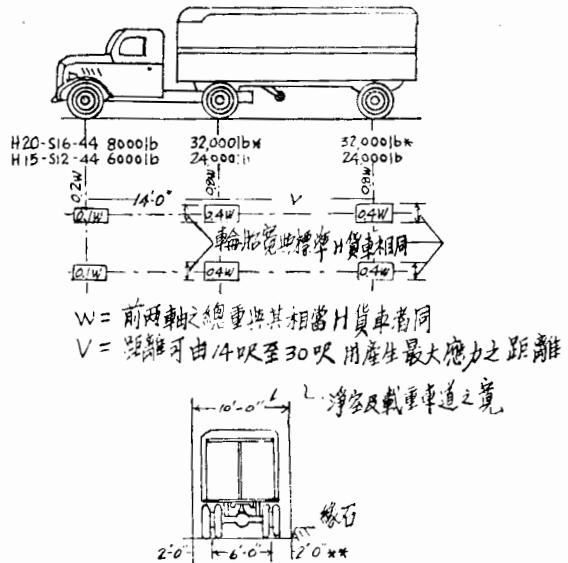
本文擬敘述橫貫道路可供路基兼具排水之用的單孔方形箱涵之設計，就需具備之基本資料，自其力學理論之應用，闡明其計算方法之步驟要領，以供討論，其他型式之箱涵，如含有內水壓力 (Internal hydraulic pressure) 及雙孔型式之箱涵不包括在本文討論範圍之內。

二、載 重

路基箱涵之主要載重為靜重，活重與活重之衝擊力三種；其中靜重為箱涵本身整個結構之重量，填土重量及箱涵兩側填築土壤所產生之側土壓力等，含水量 (Weight of contained water) 亦屬靜重之一種，若屬流水，則屬活重。

活重包括車輛及行人之重量；由於輪載重分佈於涵面版之壓力，可分為無覆蓋土與有覆蓋土之兩種情形，涵面版無覆蓋土之情形，可準用版梁橋之設計規範⁽¹⁾，茲摘錄本設計有關之部份規範敘述如下：

(一)活重 依據 AASHTO Specification⁽¹⁾，本設計例所採用之標準 H-S 貨車之輪距、重量分佈及所需淨空如圖 1。



說明：* 以 H-20 或 H-20-S-16 設計橋面 (混凝土版，鋼格橋面及木橋面) 時應採用 24,000 磅之單軸載重，或用每個軸重 16,000 磅之雙軸載重相距 4 呎，視何者能產生較大之應力而定。不用圖上所註之 32,000 磅軸重。
 ** 設計橋面版時輪之中心線應假定距緣石面 1 呎。

圖 1

(二)涵面版無覆蓋土之活重⁽¹⁾

1. 車道寬度 涵面版上之車道寬度 W，以呎計為：

$$W = \frac{W_c}{N} \dots \dots \dots (1)$$

式中 W。為淨橋寬，以呎計，N 為車道數；淨橋寬與車道數之關係如下表所示：

淨橋寬(呎)	車道數
20~30	2
30~42	3
42~54	4
54~66	5
66~78	6
78~90	7
90~102	8
102~114	9
114~126	10

2. 活重之應力 活重所產生之應力，可以最大載重所產生之應力乘以各車道數別如下表所列之百分數來計算：

車道數	百分比
1 或 2	100
3	90
4 以上	75

3. 活重之衝擊力 由活重所產生之衝擊力以活重應力之百分數表示，其公式為：

$$I = \frac{50}{L + 125} \dots\dots\dots(2)$$

式中 I = 衝擊力之百分數，最大值為百分之三十。

L = 產生最大應力時之載重長度，或淨跨徑，單位以呎計。

4. 輪載重分佈寬度 主鋼筋與行車方向平行，輪載重分佈於涵面版寬度為：

$$E = 4 + 0.06S \dots\dots\dots(3)$$

式中 E = 輪載重分佈寬度，以呎計，最大值為 7 呎。

S = 有效跨徑，以呎計。

5. 橫向鋼筋 除涵洞及橋面版上其填土厚度在 2 呎以上者外，所有橋面版底層主鋼筋之垂直方向應均備有橫向鋼筋，此項橫向鋼筋量為所需主鋼筋量之百分數由下式算出，主鋼筋與行車方向平行者為：

$$\text{百分數} = \frac{100}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(4)$$

式中 S = 有效跨徑，以呎計，最大值為百分之五十。

(白)涵面版有覆蓋土之活重⁽²⁾

1. 輪載重分佈於涵面版之寬度 如圖 2，

$$E = 7 + 1.414 h_c \dots\dots\dots(5)$$

$$E = 1.414 h_c \dots\dots\dots(6)$$

式中 E = 輪載重分佈於涵面版之寬度，以呎計，

h_c = 覆蓋土厚度，以呎計。

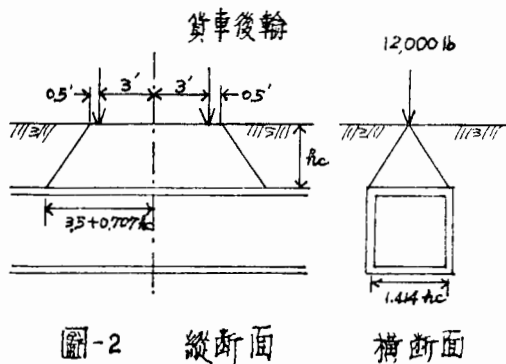


圖-2 縱斷面 橫斷面

2. 活重之衝擊力 可併入活重中一起計算，惟其衝擊係數隨覆蓋土深度而異，因活重而產生衝擊力之衝擊係數可採用下列各值：

覆蓋土厚度(呎)	衝擊係數(%)
0~1	30
1~2	20
2~3	10

(四)靜重 包括箱涵本身整個結構之重量、填土重量與兩側填築土壤所產生之側土壓力等，茲分項敘述如下：

1. 箱涵重量 鋼筋混凝土每立方呎以 150 磅計。
2. 填土重量⁽²⁾ 可如下表：

土壤類別	每立方呎重量(磅)
鬆乾土	75
緊壓乾土	100
飽和土壤	110
砂石土	120

3. 側土壓力⁽³⁾

(1)單位強度 可以下式表示：

$$p = cwh \dots\dots\dots(7)$$

(2)土壓力 可以下式計算：

$$P = c \frac{wh^2}{2} \dots\dots\dots(8)$$

式中 w = 單位土重

h = 深度

c = 土壓力係數。

表 1. 單孔箱涵之載重、彎矩圖、彎矩公式及軸力公式表

荷重類別	彎矩圖	彎矩公式		軸力公式	
		公式	力素	公式	力素
垂直集中載重		$M_A = -\frac{PL}{24} \frac{K+6}{(K+3)(K+1)}$ $M_B = -\frac{PL}{12} \frac{(2K+4.5)}{(K+3)(K+1)}$ $M_C = M_B$ $M_D = M_A$	PL	$N_1 = -\frac{PL}{8H} \frac{1}{K+3}$ $N_2 = \frac{1}{2} P$ $N_3 = \frac{PL}{8H} \frac{1}{K+3}$	$\frac{PL}{H}$ P $\frac{PL}{H}$
垂直均佈載重		$M_A = -\frac{wL^2}{12} \frac{1}{K+1}$ $M_B = M_A$ $M_C = M_B$ $M_D = M_A$	wL ²	$N_1 = 0$ $N_2 = \frac{1}{2} wL$ $N_3 = 0$	wL
涵箱自重		$M_A = -\frac{WL}{6} \frac{3+2K}{(K+3)(K+1)}$ $M_B = +\frac{WL}{6} \frac{K}{(K+3)(K+1)}$ $M_C = M_B$ $M_D = M_A$	WL	$N_1 = \frac{WL}{H} \frac{1}{K+3}$ $N_2 = W$ $N_3 = -\frac{WL}{2H} \frac{1}{K+3}$	$\frac{WL}{H}$ W $\frac{WL}{H}$
兩側均變側壓力		$M_A = -\frac{pH^2}{60} \frac{(3K+9)K}{(K+3)(K+1)}$ $M_B = -\frac{pH^2}{60} \frac{(2K+7)K}{(K+3)(K+1)}$ $M_C = M_B$ $M_D = M_A$	pH ²	$N_1 = \frac{pH}{20} \frac{7K+20}{K+3}$ $N_2 = 0$ $N_3 = \frac{pH}{20} \frac{3K+10}{K+3}$	pH pH
兩側均佈側壓力		$M_A = -\frac{pH^2}{12} \frac{K}{K+1}$ $M_B = M_A$ $M_C = M_B$ $M_D = M_A$	pH ²	$N_1 = \frac{1}{2} pH$ $N_2 = 0$ $N_3 = -\frac{1}{2} pH$	pH pH
備註		$M_A = M_D$ $M_B = M_C$ $K = \frac{H}{L} \left(\frac{t}{s}\right)^3 \text{ 或}$ $K = \frac{J_3}{J_2} \frac{H}{L}$	K=勁性係數 (Stiffness Coefficient) J=慣性力矩 (Moment of inertia) 符號：彎矩：內壁張力為正 軸力：壓力為正		

三、結構分析

箱涵所承受之載重概如前述，箱涵本身的結構是屬於剛構架 (Rigid frame) 之一種，故其載重類別可概分為：

(一) 垂直集中載重作用於中點 (Vertical concentrated load at middle point) 如表 1 所示，即指貨車輪載重及其衝擊力等是。

(二) 垂直均佈載重 (Vertical uniform distri-

buted load) 如表 1 所示，即指覆蓋土重量，涵面版重量及含水重量等。

(三) 集中載重作用於端點 (Vertical concentrated load at joints) 如表 1 所示，即指涵牆自重。

(四) 兩側均變側壓力 (Triangular lateral load symmetrical on both side) 如表 1 所示，即指涵面版無覆蓋土之兩側土壓力或涵面版有覆蓋土之兩側部份之土壓力，亦可指箱涵內之含水兩側之水壓力

表 2. 單孔箱涵彎矩係數表

荷重類別	力素	K 值	各斷面彎矩係數				
			1	A	2	B	3
垂直集中載重	PL	1.0	+ 0.0885	- 0.0365	- 0.0521	- 0.0677	+ 0.1823
		1.1	+ 0.0906	- 0.0344	- 0.0497	- 0.0649	+ 0.1851
		1.2	+ 0.0925	- 0.0325	- 0.0474	- 0.0622	+ 0.1878
		1.3	+ 0.0942	- 0.0308	- 0.0453	- 0.0598	+ 0.1902
		1.4	+ 0.0960	- 0.0290	- 0.0433	- 0.0576	+ 0.1924
		1.5	+ 0.0972	- 0.0278	- 0.0417	- 0.0555	+ 0.1944
垂直均佈載重	wL ²	1.0	+ 0.0833	- 0.0417	- 0.0417	- 0.0417	+ 0.0833
		1.1	+ 0.0853	- 0.0397	- 0.0397	- 0.0397	+ 0.0953
		1.2	+ 0.0871	- 0.0379	- 0.0379	- 0.0379	+ 0.0871
		1.3	+ 0.0888	- 0.0362	- 0.0362	- 0.0362	+ 0.0388
		1.4	+ 0.0903	- 0.0347	- 0.0347	- 0.0347	+ 0.0903
		1.5	+ 0.0917	- 0.0333	- 0.0333	- 0.0333	+ 0.0917
涵牆自重	WL	1.0	+ 0.1458	- 0.1042	- 0.0417	+ 0.0208	+ 0.0208
		1.1	+ 0.1493	- 0.1007	- 0.0397	+ 0.0213	+ 0.0213
		1.2	+ 0.1526	- 0.0974	- 0.0379	+ 0.0216	+ 0.0216
		1.3	+ 0.1556	- 0.0944	- 0.0363	+ 0.0219	+ 0.0219
		1.4	+ 0.1585	- 0.0915	- 0.0347	+ 0.0221	+ 0.0221
		1.5	+ 0.1611	- 0.0889	- 0.0333	+ 0.0222	+ 0.0222
兩側均變側壓力	pH ³	1.0	- 0.0229	- 0.0229	+ 0.0417	- 0.0188	- 0.0188
		1.1	- 0.0241	- 0.0241	+ 0.0407	- 0.0196	- 0.0196
		1.2	- 0.0251	- 0.0251	+ 0.0398	- 0.0203	- 0.0203
		1.3	- 0.0261	- 0.0261	+ 0.0390	- 0.0210	- 0.0210
		1.4	- 0.0270	- 0.0270	+ 0.0382	- 0.0217	- 0.0217
		1.5	- 0.0278	- 0.0278	+ 0.0375	- 0.0222	- 0.0222
兩側均佈側壓力	pH ³	1.0	- 0.0417	- 0.0417	+ 0.0833	- 0.0417	- 0.0417
		1.1	- 0.0437	- 0.0437	+ 0.0813	- 0.0437	- 0.0437
		1.2	- 0.0455	- 0.0455	+ 0.0795	- 0.0455	- 0.0455
		1.3	- 0.0471	- 0.0471	+ 0.0779	- 0.0471	- 0.0471
		1.4	- 0.0486	- 0.0486	+ 0.0764	- 0.0486	- 0.0486
		1.5	- 0.0500	- 0.0500	+ 0.0750	- 0.0500	- 0.0500

表3. 單孔箱涵軸力係數表

荷重類別	K 值	N ₁		N ₂		N ₃	
		力素	係數	力素	係數	力素	係數
垂直集中載重	1.0		-0.0313		+0.5		+0.0313
	1.1		-0.0305		+0.5		+0.0305
	1.2	PL H	-0.0298	P	+0.5	PL H	+0.0298
	1.3		-0.0291		+0.5		+0.0291
	1.4		-0.0284		+0.5		+0.0284
1.5	-0.0278		+0.5		+0.0278		
1.0			0				+0.5
垂直均佈載重	1.1		0		+0.5		0
	1.2		0	wL	+0.5		0
	1.3		0		+0.5	0	
	1.4		0		+0.5	0	
	1.5		0		+0.5	0	
1.0		+0.1250			+1.0		-0.1250
涵牆自重	1.1		+0.1220		+1.0		-0.1220
	1.2	WL H	+0.1190	W	+1.0	WL H	-0.1190
	1.3		+0.1163		+1.0		-0.1163
	1.4		+0.1136		+1.0		-0.1136
	1.5		+0.1111		+1.0		-0.1111
1.0			+0.3375				0
兩側均變側壓力	1.1		+0.3378		0		+0.1622
	1.2	pH	+0.3381		0	pH	+0.1619
	1.3		+0.3384		0		+0.1616
	1.4		+0.3386		0		+0.1614
	1.5		+0.3389		0		+0.1611
1.0			+0.5		0		
兩側均佈側壓力	1.1		+0.5		0		+0.5
	1.2	pH	+0.5		0	pH	+0.5
	1.3		+0.5		0		+0.5
	1.4		+0.5		0		+0.5
	1.5		+0.5		0		+0.5

因其作用方向與兩側之土壓力作用方向相反，故符號應屬相反。

(四)兩側均佈側壓力 (Uniform lateral load symmetrical on both side) 如表 1 所示，即指涵面版有覆蓋土之兩側部份之土壓力。

各類載重作用於箱涵之結構分析，以供設計計算所憑藉之彎矩圖，彎矩公式與軸力公式，可由剛構架公式集 (Rigid Frame Formulas)⁽⁴⁾ 推演，或由鋼筋混凝土設計手冊 (Reinforced Concrete

Designer's Handbook)⁽⁵⁾，得如表1，單孔箱涵之載重、彎矩圖、彎矩公式及軸力公式表。

已知各端點之彎矩，欲求其中點之彎矩⁽⁸⁾，可應用下式求得：

$$M = M_s - \frac{1}{2}(M_L + M_R) \dots\dots\dots(9)$$

式中 M = 中點之彎矩，

M_s = 簡支梁 (Simply supported beam) 之中點之彎矩，如單一集中荷重 P 於中點時之 M_s 為 $\frac{1}{4}PL$ ，如均佈荷重為 w

時，其中點之彎矩 M_s 為 $\frac{1}{8}wL^2$ ，

如均變荷重為 p 時，其中點之彎矩 M_s 為 $\frac{1}{16}pL^2$ ，前述之 L 均表示簡支梁之跨徑。

M_L = 左端點之彎矩，

M_R = 右端點之彎矩。

應用表 1 及式 (9)，即可求得各種 K 值各斷面，即各端點 A, B, C, D 與各中點 1, 2, 3 之彎矩係數表與軸力係數表，如表 2 與表 3。

四、鋼筋混凝土之設計規範

本文對於鋼筋混凝土之設計規範^(6,7,8)，擬採用下列三種方式，並摘錄與本設計演算有關之部份規範於下。

(一)工作應力法 以 1963 年 ACI 318-63 為基準。

1. 撓曲 $f_c' = 3,000 \text{ psi}$, $f_y = 40,000 \text{ psi}$, Allow. $f_c = 0.45 f_c'$, Allow. $f_s = 20,000 \text{ psi}$, $n = 9$, $k = 0.379$, $j = 0.874$, $p = 0.0128$, $R = 223 \text{ psi}$.

2. 剪力 $v_c = 1.1\sqrt{f_c'} = 60.3 \text{ psi}$ 或 $1.75\sqrt{f_c'}$ = 96 psi (彎曲); $v_c = 1.75\sqrt{f_c'(1 + \frac{0.004N}{A_g})}$ (彎曲與軸力)。

3. 粘結與錨定 拉力鋼筋: Allow. $u = \frac{3.4\sqrt{f_c'}}{D}$ = $\frac{186.5}{D}$ 或 350 psi (頂部鋼筋), Allow $u =$

$\frac{4.8\sqrt{f_c'}}{D} = \frac{263}{D}$ 或 500 psi (其他); 壓力鋼筋: Allow $u = 6.5\sqrt{f_c'} = 356 \text{ psi}$ 或 400 psi。

(二)極限強度法 以 1963 年 ACI 318-63 為基準。

1. 極限荷量

(1)超重因素

$$U = 1.5D + 1.8L \dots\dots\dots(10)$$

式中 D 為靜荷重，L 為活荷重。

(2)折減因素 (Capacity reduction factors)

- $\phi = 0.90$ (彎曲)
- $\phi = 0.85$ (斜張力、粘結與錨定)。

2. 極限強度

(1)撓曲 $f_c' = 3,000$ psi, $f_y = 40,000$ psi, $E_s = 29 \times 10^6$ psi, $\epsilon_c = 0.003$ in, $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = 0.00138$ in, $k_1 = 0.85$, $0.75 p_b = 0.0278$

(2)剪力 $v_{uc} = 2\phi\sqrt{f_c'} = 93$ psi 或 $3.5\phi\sqrt{f_c'} = 163$ psi (彎曲), $v_{uc} = 3.5\phi\sqrt{f_c'(1 + \frac{0.002N}{A_g})}$ (彎曲與軸力)。

(3)粘結與錨定 拉力鋼筋: Allow $u = \frac{6.7\sqrt{f_c'}}{D} = \frac{367}{D}$ 或 560 psi (頂部鋼筋), Allow $u = \frac{9.5\sqrt{f_c'}}{D} = \frac{520}{D}$ 或 800 psi (其他); 壓力鋼筋: Allow $u = \frac{13\sqrt{f_c'}}{D} = 713$ psi 或 800 psi。

(三)極限強度法 以 1971 年 ACI 318-71 為基準,

1. 極限荷重

(1)超重因素

$$U = 1.4D + 1.7L + 1.7H + 1.4F \dots\dots\dots(11)$$

式中 D 為靜荷重, L 為活荷重, H 為側土壓力, F 為液壓力或液壓重。

(1)折減因素

- $\phi = 0.90$ (彎曲)
- $\phi = 0.85$ (斜張力與剪力)

2. 極限強度

(1)撓曲 $f_c' = 3,000$ psi, $f_y = 40,000$ psi, $E_s = 29 \times 10^6$ psi, $\epsilon_c = 0.003$ in, $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = 0.00138$ in, $k = 0.85$, $0.75 p_b = 0.0278$ 。

(2)剪力 $v_{uc} = 2\phi\sqrt{f_c'} = 93$ psi 或 $3.5\phi\sqrt{f_c'} = 163$ psi (彎曲); $v_c = 2(1 + 0.0005 \frac{N_u}{A_g})\sqrt{f_c'}$ 或 $v_c = 3.5\sqrt{f_c' \sqrt{1 + 0.002 \frac{N_u}{A_g}}}$ (彎曲與軸力)。

(3)握持長度 (Development length) 對於 #11 或以下鋼筋 $l_d = \frac{0.04 A_b f_y}{\sqrt{f_c'}}$ 或不得小於 $l_d = 0.0004 d_b f_y$, 對於 #11 或以下之頂部鋼筋 $l_d = 1.4 \frac{0.04 A_b f_y}{\sqrt{f_c'}}$ 或不得小於 $l_d = 1.4 \times 0.0004 d_b f_y$ 。

本文所列之符號, 除另有註明者外, 均與 ACI Code 所表示之意義相同。

五、設計實例

本文擬敘述橫貫道路可供路基之單孔方形箱涵為例, 加予闡明其計算方法之步驟要領, 至於箱涵流向與道路方向相同之箱涵, 如都市道路下衛生下水道式之箱涵, 雖其載重分析與本設計例略有差異, 然其結構分析與演算方法可謂均同, 不再列舉。

本文雖祇敘述橫貫道路可供路基之單孔方形箱涵, 但此類問題仍可區分為無覆蓋土與有覆蓋土之兩種情況, 本文擬就覆蓋土厚度為 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 呎之十種情況, 均予列出, 以供討論比較。

(一)工作應力法 (ACI 318-63)

1. 設計條件

- (1)通水斷面: 48 平方呎
- (2)淨跨度 $l = 7$ 呎
- (3)車道數 $N = 2$
- (4)箱涵長 $W_c = 30$ 呎
- (5)活載重: H-S-20
- (6)覆蓋土厚度 $h_c = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ 呎十種
- (7)磨耗層單位重: 30磅/平方呎
- (8)側土加載 (Surcharge) $w_s = 300$ 磅/平方呎
- (9)土壤單位重 $w = 100$ /磅立方呎
- (10)土壓力係數 $C = 0.2867$
- (11)水單位重: 62.5磅/立方呎
- (12)混凝土單位重: 150磅/立方呎

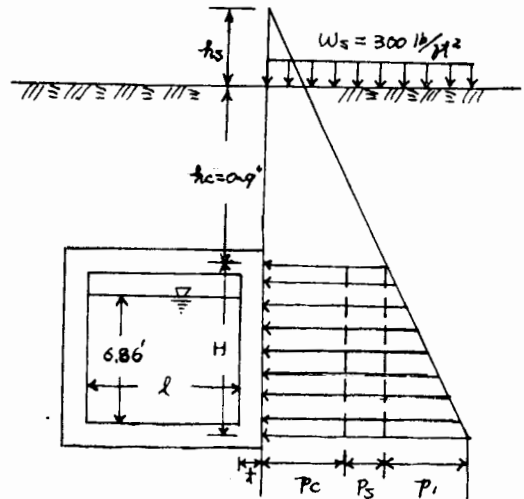


圖 3.

(13) 混凝土極限強度 $f_c' = 3,000$ 磅/平方吋

(14) 鋼筋極限強度 $f_y = 40,000$ 磅/平方吋

(15) 鋼筋混凝土設計規範：ACI 318-63。

2. 斷面決定

通水斷面為 48 平方呎，箱涵斷面決定為正方形，淨寬與淨高各為 7 呎，橫斷面積為 49 平方呎，其混凝土版與牆厚度，約為淨跨徑之十二分之一，設定 t 為 8 吋。

3. 載重及載重力素之計算

載重及載重力素計算用之寬度 L 與高度 H 各為 $7 + \frac{8}{12} = 7.67$ 呎，其勁性係數由表 1 為：

$$K = \frac{H}{L} \left(\frac{S}{t} \right)^3 = \frac{7.67}{7.67} \left(\frac{0.67}{0.67} \right)^3 = 1.0$$

(1) 垂直集中載重

活載重為 H-S-20，以單軸載重 24,000 磅來計算，即每一後輪重為 12,000 磅，輪載重分佈於橋面版之寬度由式(3)得

$$E = 4 + 0.06 \times 7.67 = 4.46 \text{ ft.}$$

故每呎橋面版之輪載重為 $\frac{12,000}{4.46} = 2,691$ 磅；衝擊係數由式(2)得：

$$I = \frac{50}{L + 125} = \frac{50}{7 + 125} = 0.379$$

此值大於規範規定之最大值 0.30，故衝擊係數採用 $I = 0.30$ ，輪載重分佈於涵面版之寬度由式(6)；各種覆蓋土厚度，輪載重分佈於涵面版之寬度，每呎涵面版上之輪載重，及包括衝擊力之設計載重與載重力素，計算如下表：

覆蓋土厚度 h_c (ft)	輪載重分佈涵面版寬度 E (ft)	每呎涵面版之輪載重 (ℓb)	衝擊係數 I (%)	載重 P	載重力素 PL
0	0	2,691	30	3,498	26,830
1	1.414	1,903	30	2,474	18,976
2	2.828	952	20	1,142	8,759
3	4.242	634	10	697	5,346
4	5.656	476	0	476	3,651
5	7.070	381	0	381	2,922
6	8.484	317	0	317	2,431
7	9.898	272	0	272	2,086
8	11.312	238	0	238	1,826
9	12.726	212	0	212	1,626

(2) 垂直均佈載重

涵面版上無覆蓋土者，需加鋪一層磨耗層，其單位重為每平方呎 30 磅；涵面版上有覆蓋土者，磨耗層估計於覆蓋土厚度中；通水斷面為 48 平方呎，涵寬 7 呎，最大水深為 6.86 呎；垂直均佈載重包括覆蓋土重與涵面版重與水重；各覆蓋土厚度下每平方呎之荷重及其載重力素如下表：

覆蓋土厚度 h_c (ft)	磨耗層重 (ℓb)	覆蓋土重 (ℓb)	涵面版重 (ℓb)	水重 (ℓb)	合計荷重 w (ℓb)	載重力素	
						wL	wL^2
0	30		100	429	559	4,288	32,885
1		100	100	429	629	4,824	37,003
2		200	100	429	729	5,591	42,886
3		300	100	429	829	6,358	48,769
4		400	100	429	929	7,125	54,652
5		500	100	429	1,029	7,892	60,535
6		600	100	429	1,129	8,659	66,418
7		700	100	429	1,229	9,426	72,301
8		800	100	429	1,329	10,193	78,184
9		900	100	429	1,429	10,960	84,067

(3) 涵牆自重

涵牆厚度為 8 吋，淨高 7 呎，設計計算高度為 7.67 呎，故箱涵每呎長兩端涵牆重量各為：

$$W = 150 \times \frac{8}{12} \times 7.67 = 767 \text{ 磅，其載重力素 } WL = 767 \times 7.67 = 5,883 \text{ 。$$

(4) 兩側均變側壓力

參照圖 3，設計計算用高度 H 為 7.67 呎，側土壓力單位強度 p 可由式(7)計算，因土壓力係數 C 為 0.2867

$$\therefore p = CwH = 0.2867 \times 100 \times 7.67 = 219.90 \text{ psi, 其載重力素為 } pH = 1,687, pH^2 = 12,937$$

又因最大水深為 6.86 呎，水壓力作用方向與土壓力相反，故水壓力單位強度為

$$p = 62.5 \times 6.86 = -428.75 \text{ psi,}$$

其載重力素為 $pH = -3,289, pH^2 = -25,223$

(5) 兩側均佈側壓力

參照圖 3，考慮側土加載為每平方呎 300 磅，換算相當土壤高度為 3 呎；各覆蓋土厚度下其側土壓力之單位強度與載重力素如下表：

，可由表 2，各斷面之彎矩計算列如表 4。

5. 軸力計算

各種荷重類別、各種 K 值、各軸力係數可由表 3，其軸力計算列如表 5。

6. 設計彎矩計算

因箱涵各構材具有彎矩與軸力，其設計彎矩^(3,6,7)可由下式求得：

$$M_u = M + N \left(\frac{4t-d}{8} \right) \dots\dots\dots(12)$$

式中 M_u = 斷面之設計彎矩

M = 需修正之彎矩，如表 4 中斷面 1, 2, 3 之彎矩，

N = 斷面之設計軸力，壓力為正，拉力為負，

t = 斷面之厚度，

d = 斷面之有效深度。

4. 彎矩計算

各種荷重類別、各種 K 值、各斷面之彎矩係數

表 4. 斷面彎矩計算 (工作應力法 ACI 318-63)

荷重類別	K 值	覆蓋土厚度	載重力素	斷面				
				1	A	2	B	3
垂直集中載重	1.0		PL	+0.0885	-0.0365	-0.0521	-0.0677	+0.1823
		0	26,830	+ 2,375	- 979	-1,398	-1,816	+4,891
		1	18,976	+ 1,679	- 693	- 989	-1,285	+3,459
		2	8,759	+ 775	- 320	- 456	- 593	+1,597
		3	5,346	+ 473	- 195	- 279	- 362	+ 975
		4	3,651	+ 323	- 133	- 190	- 247	+ 666
		5	2,922	+ 259	- 107	- 152	- 198	+ 533
		6	2,431	+ 215	- 89	- 127	- 165	+ 443
		7	2,086	+ 185	- 76	- 109	- 141	+ 380
		8	1,826	+ 162	- 67	- 95	- 124	+ 333
垂直均佈載重	1.0		wL ²	+0.0833	-0.0417	-0.0417	-0.0417	+0.0833
		0	32,885	+2,739	-1,371	-1,371	-1,371	+2,739
		1	37,003	+3,082	-1,543	-1,543	-1,543	+3,082
		2	42,886	+3,572	-1,788	-1,788	-1,788	+3,572
		3	48,769	+4,063	-2,034	-2,034	-2,034	+4,063
		4	54,652	+4,558	-2,279	-2,279	-2,279	+4,558
		5	60,535	+5,043	-2,524	-2,524	-2,524	+5,043
		6	66,418	+5,533	-2,770	-2,770	-2,770	+5,533
		7	72,301	+6,023	-3,015	-3,015	-3,015	+6,023
		8	78,184	+6,513	-3,260	-3,260	-3,260	+6,513
9	84,067	+7,003	-3,506	-3,506	-3,506	+7,003		

涵 牆 自 重	1.0		WL	+0.1458	-0.1042	-0.0417	+0.0208	+0.0208
		0~9	5,883	+ 858	- 613	- 245	+ 122	+ 122
兩側均變側壓力	1.0		pH ²	-0.0229	-0.0229	+0.0417	-0.0188	-0.0188
		0~9	12,937	- 296	- 296	+ 540	- 243	- 243
		0~9	-25,223	+ 578	+ 578	-1,052	+ 474	+ 474
兩側均佈側壓力	1.0		pH ²	-0.0417	-0.0417	+0.0833	-0.0417	-0.0417
		0	5,060	- 211	- 211	+ 422	- 211	- 211
		1	6,747	- 281	- 281	+ 562	- 281	- 281
		2	8,433	- 352	- 352	+ 703	- 352	- 352
		3	10,120	- 422	- 422	+ 843	- 422	- 422
		4	11,806	- 492	- 492	+ 983	- 492	- 492
		5	13,493	- 563	- 563	+1,124	- 563	- 563
		6	15,180	- 633	- 633	+1,265	- 633	- 633
		7	16,866	- 703	- 703	+1,405	- 703	- 703
		8	18,553	- 774	- 774	+1,546	- 774	- 774
合 計	1.0	0		+6,043	-2,912	-3,104	-3,045	+7,772
		1		+5,620	-2,848	-2,727	-2,756	+6,613
		2		+5,135	-2,791	-2,298	-2,380	+5,170
		3		+5,254	-2,982	-2,227	-2,465	+4,969
		4		+5,614	-3,235	-2,243	-2,665	+5,080
		5		+5,879	-3,525	-2,309	-2,932	+5,366
		6		+6,255	-3,823	-2,389	-3,215	+5,696
		7		+6,645	-4,125	-2,476	-3,506	+6,053
		8		+7,041	-4,432	-2,566	-3,805	+6,425
		9		+7,443	-4,740	-2,662	-4,107	+6,808

表5. 軸力計算(工作應力法 ACI318-63)

荷 重 類 別	K 值	覆蓋上厚度	載 重 力 素	斷 面		
				N ₁	N ₂	N ₃
垂 直 集 中 載 重	1.0		P	-0.0313	+0.5	+0.0313
		0	3,498	- 110	+1,749	+ 110
		1	2,474	- 77	+1,237	+ 77
		2	1,142	- 36	+ 571	+ 36
		3	697	- 22	+ 349	+ 22
		4	476	- 15	+ 238	+ 15
		5	381	- 12	+ 191	+ 12
		6	317	- 10	+ 159	+ 10
		7	272	- 9	+ 136	+ 9
		8	238	- 8	+ 119	+ 8
9	212	- 7	+ 106	+ 7		

垂直均佈載重	1.0		wL	0	+0.5	0
		0	4,288	0	+2,144	0
		1	4,824	0	+2,412	0
		2	5,591	0	+2,796	0
		3	6,358	0	+3,179	0
		4	7,125	0	+3,563	0
		5	7,892	0	+3,946	0
		6	8,659	0	+4,330	0
		7	9,426	0	+4,713	0
		8	10,193	0	+5,097	0
9	10,960	0	+5,480	0		
涵牆自重	1.0		W	+0.1250	+1.0	-0.1250
		0~9	767	+ 96	+ 767	- 96
兩側均變側壓力	1.0		pH	+0.3375	0	+0.1625
		0~9	1,687	+ 569	0	+ 274
		0~9	-3,289	-1,110	0	- 535
兩側均佈側壓力	1.0		pH	+0.5	0	+0.5
		0	660	+ 330	0	+ 330
		1	880	+ 440	0	+ 440
		2	1,100	+ 550	0	+ 550
		3	1,319	+ 660	0	+ 660
		4	1,539	+ 768	0	+ 768
		5	1,759	+ 880	0	+ 880
		6	1,979	+ 990	0	+ 990
		7	2,199	+1,100	0	+1,100
		8	2,419	+1,210	0	+1,210
9	2,639	+1,320	0	+1,320		
合計	1.0	0		- 225	+4,660	+ 83
		1		- 82	+4,416	+ 160
		2		+ 69	+4,134	+ 229
		3		+ 193	+4,295	+ 325
		4		+ 308	+4,568	+ 426
		5		+ 423	+4,904	+ 535
		6		+ 535	+5,256	+ 643
		7		+ 646	+5,616	+ 752
		8		+ 757	+5,983	+ 861
		9		+ 868	+6,353	+ 970

因斷面厚度 t 為 8 吋，有效深度 d 假定為 6.5 吋，故 $\frac{4t-d}{8} = 3.19$ 吋 = 0.27 呎；斷面 A, B 之設

計彎矩仍如表 4 所列，斷面 1, 2, 3 之設計彎矩計算如表 6。

表 6. 設計彎矩計算 (工作應力法 ACI 318-63)

覆蓋土 厚度	斷 面 1				斷 面 2				斷 面 3			
	M	N	$N \frac{4t-d}{8}$	M_u	M	N	$N \frac{4t-d}{8}$	M_u	M	N	$N \frac{4t-d}{8}$	M_u
0	6,043	225	61	6,104	3,104	4,660	1,258	4,362	7,772	83	22	7,794
1	5,620	82	22	5,642	2,727	4,416	1,192	3,919	6,613	160	43	6,656
2	5,135	69	19	5,154	2,298	4,134	1,116	3,414	5,170	229	62	5,232
3	5,254	193	52	5,306	2,227	4,295	1,160	3,387	4,969	325	88	5,057
4	5,614	308	83	5,677	2,243	4,568	1,233	3,476	5,080	426	115	5,195
5	5,879	423	114	5,993	2,309	4,904	1,324	3,633	5,366	535	145	5,511
6	6,255	535	145	6,400	2,389	5,256	1,419	3,808	5,696	643	174	5,870
7	6,645	646	174	6,819	2,476	5,616	1,516	3,992	6,053	752	203	6,256
8	7,041	757	204	7,245	2,566	5,983	1,615	4,181	6,425	861	233	6,658
9	7,443	868	234	7,677	2,662	6,353	1,715	4,377	6,808	970	262	7,070

7. 鋼筋之決定

各斷面之設計彎矩如表 4 與表 6 所示，決定鋼筋前需先核對所假定的斷面尺寸，試以上表之最大設計彎矩 7,794 呎磅為例：

$\therefore k = 0.378, j = 0.874, p = 0.0128, R = 223 \text{ psi},$
 $b = 12 \text{ in},$

$\therefore d = \sqrt{\frac{M}{bR}} = \sqrt{\frac{7,794 \times 12}{12 \times 223}} = 5.91 \text{ in} \dots (13)$

$t = 5.91 + 1.5$ (最小護層包括鋼筋半徑) =
 $7.41 \text{ in} < 8 \text{ in}, \therefore \text{O. K.}$

故 涵面版牆厚度仍採用 $t = 8 \text{ in}, d = 8 - 1.5 =$
 $6.5 \text{ in},$ 所需鋼筋量由

$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{7,794 \times 12}{20,000 \times 0.874 \times 6.5}$
 $= 0.82 \text{ sq. in} \dots \dots \dots (14)$

單孔箱涵之鋼筋安排與鋼筋類別擬如圖 4 所示者，斷面彎矩為正者如斷面 1 與 3，表示內壁為拉力鋼筋，負者如斷面 A 與 B，表示外壁為拉力鋼筋，故 A 類鋼筋之決定，需擇斷面 1 與 3 之設計彎矩較大者來計算；B 類鋼筋需擇自斷面 A 與 B 之設計彎矩較大者；各斷面所需鋼筋量可由式(14)來計算；C 類鋼筋則由斷面 2 之設計彎矩來決定，然如外壁為拉力鋼筋，則以能支持內壁之溫度鋼筋即可，但據 ACI 318-63, 2202f 不得少於 $A_s' = 0.0015 bt = 0.0015 \times 12 \times 8 = 0.144 \text{ sq. in.}$

D 類鋼筋屬橫向鋼筋，需另依 AASHTO Specification 與 ACI Code 之規定，據 AASHTO

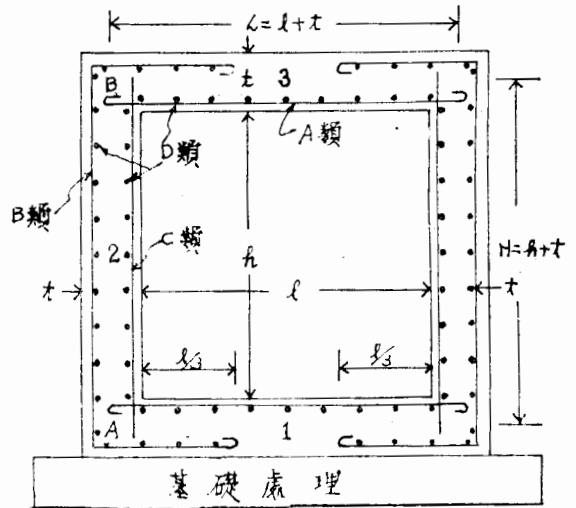


圖 4.

Specification，除涵洞及橋面版上其填土厚度在 2 呎以上者外，所有橋面版底層主鋼筋之垂直方向均備有橫向鋼筋，此項橫向鋼筋量由式(4)為：

百分數 = $\frac{100}{\sqrt{s}} = \frac{100}{\sqrt{7.67}} = 36.11\%$

但據 ACI 318-63, 2202f, 涵面版上填土厚度在 2 呎以上，雖無需備橫向鋼筋，亦需備溫度鋼筋，此項溫度鋼筋量為 $A_s' = 0.0025 bt = 0.0025 \times 12 \times 8 = 0.24 \text{ sq. in.}$ 故 D 類鋼筋之最少量均採用此值。茲計算各斷面所需鋼筋面積及各類鋼筋安排如表 7。

表7. 所需鋼筋面積計算及鋼筋安排

鋼筋類別	覆蓋土厚度	工作應力法 (ACI 318-63)					極限強度法 (ACI 318-63)						極限強度法 (ACI 318-71)							
		M	A _s	鋼筋安排			M _u	R _u	p	A _s	鋼筋安排			M _u	R _u	p	A _s	鋼筋安排		
				規格	間隔	面積					規格	間隔	面積					規格	間隔	面積
A	0	7,754	0.82	# 6	8"	0.88	13,761	361.89	0.00980	0.76	# 6	6 1/2"	0.81	13,005	342.01	0.00922	0.72	# 6	7"	0.75
	1	6,656	0.70	# 6	7 1/2"	0.70	11,622	305.64	0.00816	0.64	# 6	8"	0.66	10,967	288.42	0.00767	0.60	# 6	8 1/2"	0.62
	2	5,232	0.55	# 6	9 1/2"	0.66	8,925	234.71	0.00617	0.48	# 6	11"	0.48	8,396	220.60	0.00578	0.45	# 6	11 1/2"	0.46
	3	5,306	0.56	# 6	9 1/2"	0.66	8,689	228.51	0.00600	0.47	# 6	11"	0.48	8,081	212.52	0.00556	0.43	# 6	12"	0.44
	4	5,697	0.60	# 6	8 1/2"	0.62	9,098	239.26	0.00629	0.49	# 6	10 1/2"	0.50	8,445	222.09	0.00582	0.43	# 6	11 1/2"	0.46
	5	5,993	0.63	# 6	8 1/2"	0.66	9,657	253.97	0.00670	0.52	# 6	10"	0.53	8,954	235.48	0.00619	0.43	# 6	11"	0.48
	6	6,400	0.68	# 6	7 1/2"	0.70	10,255	269.69	0.00714	0.56	# 6	9 1/2"	0.56	9,497	249.76	0.00659	0.51	# 6	10"	0.53
	7	6,819	0.72	# 6	7"	0.75	10,874	285.97	0.00760	0.59	# 6	9"	0.59	9,964	262.04	0.00693	0.54	# 6	9 1/2"	0.56
	8	7,245	0.77	# 6	6 1/2"	0.81	11,507	302.62	0.00808	0.63	# 6	8"	0.66	10,642	279.87	0.00743	0.59	# 6	9"	0.59
9	7,677	0.81	# 6	6 1/2"	0.81	12,149	319.50	0.00856	0.67	# 6	7 1/2"	0.70	11,228	295.28	0.00787	0.61	# 6	8 1/2"	0.62	
B	0	3,045	0.32	# 5	11 1/2"	0.32	5,491	144.41	0.00372	0.29	# 5	13"	0.29	5,260	138.35	0.00356	0.28	# 5	13"	0.29
	1	2,848	0.30	# 5	12"	0.31	4,898	128.81	0.00331	0.26	# 5	14"	0.27	4,716	124.02	0.00319	0.25	# 5	15"	0.25
	2	2,791	0.30	# 5	12"	0.31	4,664	122.66	0.00314	0.25	# 5	15"	0.25	4,515	118.74	0.00304	0.24	# 5	15"	0.25
	3	2,982	0.32	# 5	11 1/2"	0.32	4,913	129.21	0.00332	0.26	# 5	14"	0.27	4,764	125.29	0.00321	0.25	# 5	15"	0.25
	4	3,235	0.34	# 5	11"	0.34	5,275	138.73	0.00357	0.28	# 5	13"	0.29	5,124	134.75	0.00346	0.27	# 5	14"	0.27
	5	3,525	0.37	# 5	10"	0.37	5,701	149.93	0.00387	0.30	# 5	12"	0.31	5,541	145.72	0.00375	0.29	# 5	13"	0.29
	6	3,823	0.40	# 5	9"	0.41	6,142	161.53	0.00417	0.32	# 5	11 1/2"	0.32	5,974	157.11	0.00406	0.32	# 5	11 1/2"	0.32
	7	4,125	0.44	# 5	8 1/2"	0.44	6,593	173.39	0.00449	0.35	# 5	10 1/2"	0.35	6,414	168.68	0.00437	0.34	# 5	11"	0.34
	8	4,432	0.47	# 5	8"	0.47	7,049	185.38	0.00481	0.38	# 5	9 1/2"	0.39	6,861	180.43	0.00468	0.37	# 5	10"	0.37
9	4,740	0.50	# 5	7 1/2"	0.50	7,510	197.50	0.00514	0.40	# 5	9"	0.41	7,313	192.32	0.00501	0.39	# 5	9 1/2"	0.39	
C	0	4,362	0.46	# 5	8"	0.47	7,425	195.27	0.00509	0.40	# 5	9"	0.41	6,830	179.62	0.00466	0.36	# 5	10"	0.37
	1	3,919	0.41	# 5	9"	0.41	6,597	173.49	0.00449	0.35	# 5	10 1/2"	0.35	6,001	157.82	0.00408	0.32	# 5	11 1/2"	0.32
	2	3,414	0.36	# 5	10"	0.37	5,628	148.01	0.00382	0.30	# 5	12"	0.31	5,039	132.52	0.00340	0.27	# 5	14"	0.27
	3	3,387	0.36	# 5	10"	0.37	5,512	144.96	0.00373	0.29	# 5	13"	0.29	4,888	128.55	0.00330	0.26	# 5	14"	0.27
	4	3,476	0.37	# 5	10"	0.37	5,613	147.61	0.00380	0.30	# 5	12"	0.31	4,935	129.78	0.00333	0.26	# 5	14"	0.27
	5	3,633	0.38	# 5	9 1/2"	0.39	5,833	153.40	0.00396	0.31	# 5	12"	0.31	5,097	134.04	0.00344	0.27	# 5	14"	0.27
	6	3,808	0.40	# 5	9"	0.41	6,084	160.00	0.00413	0.32	# 5	11 1/2"	0.32	5,287	139.04	0.00358	0.28	# 5	13"	0.29
	7	3,992	0.42	# 5	8 1/2"	0.44	6,353	167.07	0.00432	0.34	# 5	11"	0.34	5,499	144.62	0.00372	0.29	# 5	13"	0.29
	8	4,181	0.44	# 5	8 1/2"	0.44	6,633	174.44	0.00452	0.35	# 5	10 1/2"	0.35	5,716	150.32	0.00388	0.30	# 5	12"	0.31
9	4,377	0.46	# 5	8"	0.47	6,921	182.01	0.00473	0.37	# 5	10"	0.37	5,941	155.24	0.00403	0.31	# 5	12"	0.31	
D	0	0.3611 × 0.82	0.30	# 4	8"	0.30			0.3611 × 0.76	0.27	# 4	9"	0.27			0.3611 × 0.72	0.26	# 4	9"	0.27
	1	0.3611 × 0.70	0.25	# 4	9 1/2"	0.25				0.24	# 4	10"	0.24				0.24	# 4	10"	0.24
	2~9		0.24	# 4	10"	0.24				0.24	# 4	10"	0.24				0.24	# 4	10"	0.24

8. 應力核對 (ACI 318-63, 1002, 1003, 1101)

各斷面之鋼筋安排擬如表 7, 理應核對每一斷面之應力是否超過其許可值, 為免佔篇幅, 祇以最大設計彎矩 7,794 呎磅之斷面為例, 核對其應力計算如下:

$$\therefore \#6@6 \text{ in. } A_s = 0.88 \text{ sq in. } b = 12 \text{ in. } d = 6.5 \text{ in. } n = 9,$$

$$\text{由 } \frac{1}{2}bx^2 = nA_s(d-x), \text{ 試求其中立軸,}$$

$$\text{即 } \frac{1}{2} \cdot 12x^2 = 9 \cdot 0.88(6.5-x)$$

$$\therefore x = 2.35 \text{ in. } d-x = 4.15 \text{ in. } jd = d - \frac{x}{3} =$$

$$5.72 \text{ in}$$

$$\therefore \text{Allow. } f_c = 0.45 f_c' = 1,350 \text{ psi,}$$

$$f_s = 20,000 \text{ psi, } f_t = \frac{20,000}{n} = 2,222 \text{ psi}$$

$$\text{Actual } f_c = 1,350 \times \frac{4.15}{2.35} = 2,334 \text{ psi} > \text{Allow } f_c = 2,222 \text{ psi}$$

$$\therefore \text{Actual } f_s = 20,000 \text{ psi,}$$

$$\text{Actual } f_c = \frac{20,000}{9} \times \frac{2.35}{4.15} = 1,258 \text{ psi} < \text{Allow } f_c = 1,350 \text{ psi}$$

\therefore O. K.

$$\text{Actual } C = \frac{1}{2} f_c bx = \frac{1}{2} \cdot 1,258 \cdot 12 \cdot 2.35 = 17,738 \text{ lb,}$$

$$T = A_s f_s = 0.88 \times 20,000 = 17,600 \text{ lb.}$$

$$\text{即 許可 } M = 17,600 \times \frac{5.72}{12} = 8,389 \text{ ft-lb} > \text{設計 } M = 7,794 \text{ ft-lb.}$$

9. 剪力核對 (ACI 318-63, 1201 a.c)

核對各端點之單位剪力是否超過其許可值, 茲以最大設計軸力 6,353 磅為例, 核對其單位剪力計算如下:

剪力核算斷面為自涵牆內側表面距有效深度 d 距離處之斷面為準; 因涵牆中心軸至涵牆內側表面之距離為 4 吋, 有效深度距離為 6.5 吋, 合計為 10.5 吋, 即 0.875 呎, 此斷面之剪力大小可按比例算出, 即

$$N = 6,353 \frac{\frac{7.67}{2} - 0.875}{\frac{7.67}{2}} = 4,904 \text{ lb}$$

$$\therefore \text{Allow } v_s = 1.75 \sqrt{f_c' \left(1 + \frac{0.004N}{A_s}\right)}$$

$$= 1.75 \sqrt{3,000 \left(1 + \frac{0.004 \times 4,904}{12 \times 8}\right)}$$

$$= 105 \text{ psi}$$

$$\therefore v = \frac{V}{bd} = \frac{4,904}{12 \times 6.5} = 62.87 \text{ psi} < \text{Allow } v_s = 105 \text{ psi} \quad \therefore \text{O. K.}$$

10. 粘結力核對 (ACI 318-63, 1301 a.c)

粘結力核算斷面為涵牆內側表面, 拉力鋼筋終止點及彎矩轉換點 (Point of inflection); 茲以最大設計軸力 6,353 磅 (覆蓋土厚度為 9 呎者) 為例, 核對涵牆內側面之單位粘結力計算如下:

\therefore 涵牆內側表面處之剪力大小仍按比例算出

$$\text{即 } V = 6,353 \frac{\frac{7.67}{2} - 0.33}{7.67} = 5,806 \text{ lb.}$$

$$\therefore \text{A 類鋼筋 } \#6@6\frac{1}{2} \text{ in. } A_s = 0.81 \text{ sq. in. } \Sigma_0 = 4.4 \text{ in. } jd = 5.09 \text{ in. (由應力核對計算),}$$

$$\text{Allow } u = \frac{4.8 \sqrt{f_c'}}{D} = 351 \text{ psi 或 } 500 \text{ psi,}$$

$$\therefore u = \frac{V}{\Sigma_0 jd} = \frac{5,806}{4.4 \times 5.09} = 259 \text{ psi} < \text{Allow } u = 351 \text{ psi} \quad \therefore \text{O. K.}$$

$$\therefore \text{B 類鋼筋 } \#5@7\frac{1}{2} \text{ in. } A_s = 0.50 \text{ sq.in. } \Sigma_0 = 3.1 \text{ in. } jd = 5.88 \text{ in. (由應力核對計算),}$$

$$\text{Allow } u = \frac{3.4 \sqrt{f_c'}}{D} = 298 \text{ psi 或 } 350 \text{ psi}$$

$$\therefore u = \frac{V}{\Sigma_0 jd} = \frac{5,806}{3.1 \times 5.88} = 319 \text{ psi} > \text{Allow } u = 298 \text{ psi}$$

茲再核算其錨定長度, 對於 #5 鋼筋所需錨定長度,

$$\therefore A_b = 0.31 \text{ sq.in. } \Sigma_0 = 1.963 \text{ in. } 0.8 \text{ Allow } u = 0.8 \times 298 = 238 \text{ psi,}$$

$$\therefore L = \frac{f_s A_b}{0.8 u \Sigma_0} = \frac{20,000 \times 0.31}{238 \times 1.963} = 13.25 \text{ in} < 28 \text{ in}$$

原安排長度大於所需錨定長度, 故屬安全。

$$\therefore \text{C 類鋼筋 } \#5@8 \text{ in. } A_s = 0.49 \text{ sq.in. } \Sigma_0 = 2.9 \text{ in. } jd = 5.89 \text{ in. (由應力核對計算),}$$

$$\text{Allow } u = \frac{4.8 \sqrt{f_c'}}{D} = 421 \text{ psi 或 } 500 \text{ psi,}$$

$$\therefore u = \frac{V}{\Sigma_0 jd} = \frac{5,806}{2.9 \times 5.89} = 340 \text{ psi} < \text{Allow } u = 421 \text{ psi} \quad \therefore \text{O. K. (未完待續)}$$