

# 灌溉系統構造物之設計與實例

## 農道橋設計 Design of Rural Highway Bridge

臺灣大學農工系講師

洪 有 才

### 一、概 述

橋之種類頗多，依其用途而分有普通道路橋，水路橋（或稱爲渡槽）及鐵道橋等。依其材料而分有木橋，鋼筋混凝土橋及預力混凝土橋等。依其構造而分有樑橋（Beam Bridge），架橋（Truss Bridge），吊橋，弓形橋以及固定橋等。若就橋本身而言，有橋面，橋墩，橋台及基礎工等。由於橋之種類複雜，各種橋型均有其各自設計之條件及方法。本設計針對灌溉耕地上之交通問題，側重於農村中之所謂農道橋設計。由於農道橋所負擔之交通量及荷重較小，採用簡單耐久又經濟之鋼筋混凝土橋爲設計之對象而舉例說明。至於其他型式之橋樑，參考有關橋樑之專門著作。

### 二、設計前注意事項

農村道路之設計依其需要有其適當寬度之規定。有者僅供人行，有者供人行與牛車並用，大者則上述人行，牛車之外尚供給農機具以及一般車輛行駛之用。總之，若爲人行與車行兼用時，其橋寬應爲該道路寬加  $25\text{cm} \times 2$  以上。若個別爲人行或牛車，或一般車輛行駛之專用道路，其橋寬可等於該專用道路之寬度。

若該橋橫越河川，橋底面至最高水位至少有  $1\text{m}$  以上之空間，若有船隻或車輛行駛其下則視情形決定之，但經過小排水路上時，可減至  $30\text{cm}$ 。

鋼筋混凝土橋尤其適用於徑距（Span）較短或中等之農道橋。最廣用之短徑距鋼筋混凝土橋有版橋（Slab Bridge），T型橋樑（T-Beam Bridge）以及穿樑橋（Through-girder Bridge）。版橋適用於極短徑距約自  $3\text{m} \sim 7.5\text{m}$ 。T型樑或穿樑橋適用於徑距約自  $20\text{m} \sim 27\text{m}$ ，此種橋亦曾被用於徑距超過  $30\text{m}$  者，但在經濟觀點上言之，似可應用他種型橋代替較佳，諸如混合式橋（Composite Bridge）或預力混凝土橋（Prestressed Concrete Bridge），其徑距可超過  $60\text{m}$  以上。

### 三、加於橋樑諸力之說明與分析

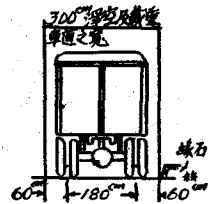
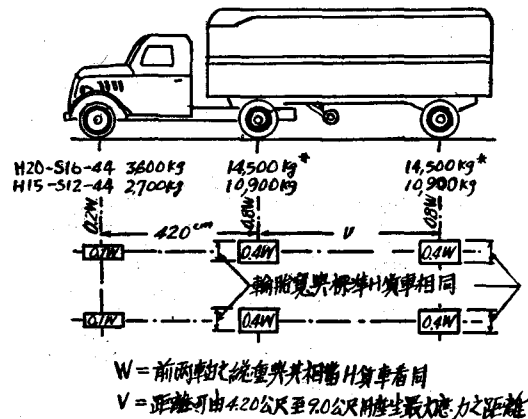
加於橋樑結構諸力大致可分爲下列幾種

1. 靜荷重
2. 活荷重
3. 活荷重之衝擊（Impact）

4. 其他可能存在之作用力，包括縱向力，離心力，溫度伸縮力，土壓力，浮力，收縮應力，冰及水流壓力，地震力等，茲分述於後：

靜荷重：爲整個結構之重量，包括橋面人行道及其他公用設備。計算靜荷重時混凝土及其路面均以  $2,400\text{kg}/\text{m}^3$  計之。

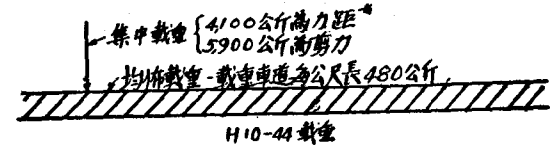
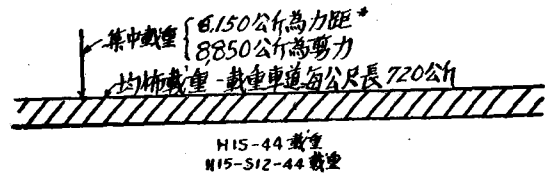
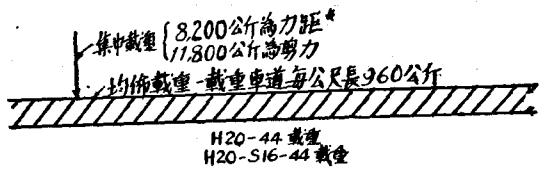
活荷重：包括所有車輛及行人之重量。在橋面或其他臨時結構上之公路車輛活荷重應爲「標準貨車」或相當於貨車列之「車道荷重」。H 荷重之種類有二



圖一 標準貨車

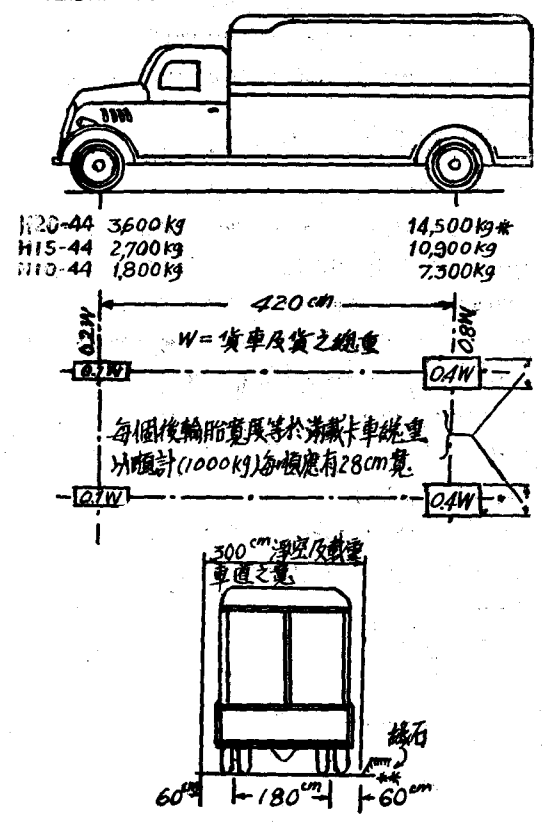
說明 \*H-20或H-20-S-16 設計橋面時應用  $10,900$  公斤之單軸荷重或用每個荷重  $7,300$  公斤之雙軸荷重相距  $1.2$  公尺看何者產生較大之應力，而不用如圖上所註之  $14,500$  公斤軸重。

\*\*設計版時輪之中心線應假定距離緣石  $30$  公分處。



圖二 H車道及HS車道荷重圖

\*連續孔之車道荷重另外增加一集中荷重「參看荷重之應用」(3)



圖三 標準H貨車

說明 \*H-20或H-20-S-16設計橋面時應用10,900公斤之單軸載重或用每個軸重7,300公斤之雙軸載重相距1.20公尺，看何者產生較大之應力而不用圖上所註之14,500公斤軸重。  
\*\*設計版時輪之中心線假定距緣石面30公分遠。

，即H荷重與H-S荷重，H-S荷重較大。茲將H及H-S荷重分述於後：車輛活荷重分為五級；即H-20，H-15，H-10，H20-S16及H15-S12。H15及H10各為H20之百分之七十五及百分之五十。H15-S12為H20-S16之百分之七十五。若需用其他荷重則應由比例改變標準貨車之重量及其相當之車道荷重而得。

活荷量之衝擊：衝擊力以活荷重應力之分數表示之，並由下列公式計算，但最大容許衝力不得超過全活荷重百分之三十。

$$I = \frac{15}{L+38} \dots\dots\dots(1)$$

式中 I = 衝擊力之分數  
L = 產生最大應力時之負載長度 (m)

縱向力：縱向力應為所有車道上同一方向活荷重之百分之五，活荷重用車道荷重，及計算力距之集中荷重；不計衝擊力。此力作用點在橋面以上1.2公尺高處。伸縮支承摩擦力所引起之縱向力，設計時亦應顧及之。

風力：其作用力應假定在任何方向，且為水平者。

(1)作用於結構之橫向風力為一移動之水平力，其強度為每平方公尺250公斤，受風之面積為所有結構立面面積，包括橋面，欄杆之1.5倍，以及一孔中二個以上之桁構或穿式桁樑立面面積總合之1/2倍。在任何情形下，此力之總合不得少於每公尺橋長450公斤。

(2)作用於車輛上之風力為每公尺長度300公斤之橫向力，其作用點在橋面上1.8公尺處。

(3)縱向風力應假定在結構上橫向風力之下列百分數：

- 穿式或托式桁樑橋.....25%
- 穿式或托式構架橋.....50%

(4)如有永久性之地勢上屏障確能減少結構上之風力時，則上面所規定之風力可予減少。

流水，流冰及流木等力：所有橋墩及其他易受流水，流冰及流木等衝擊之結構部份，其設計須足以抵抗由此等所引起之最大應力。

流水對於橋墩之作用如下：

$$P = KV^2 \dots\dots\dots(2)$$

式中 P = 應力 (kg/m<sup>2</sup>)

V = 水之流速 (m/sec)

K = 常數，平頭墩用70，尖頭其角度為30°或小於30°者用26；圓頭墩用35。

至於流木壓力可參考渡槽設計。

浮力：設計下部結構，基樁或上部結構時，浮力之影響應予以考慮。

土壓力：擋土結構應足以抵抗藍欽氏 (Rankines) 公式計算所得之土壓力，唯設計所用之壓力不得小於  $480\text{kg/m}^2$  之流體壓力。如有車輛在離「結構頂版部等於其高度一半」之距離內通過，則計算土壓時，應將活荷重之超載壓力計入，是項壓力應不得小於60公分之填土。

#### 四、車道 (Traffic Lane) 與荷重之應用

1. 車道：混凝土橋面之主要承載構桿之間隔超過3.15公尺時，車道荷重 (Lane Load) 或標準貨車應假設為佔有3.0公尺之寬度，這些荷重應放於寬度為下式W之車道上

$$W = \frac{W_c}{N} \dots\dots\dots(3)$$

式中 W = 車道設計寬度 (m)  
 N = 下表所示設計車道數  
 $W_c$  = 緣石間路面除去中間安全島之寬度  
 表一： $W_c$ 與N之關係表

$W_c$ (m)	N
6.00—9.00	2
9.00以上—12.60	3
12.60以上—16.20	4
16.20以上—19.80	5
19.80以上—23.40	6
23.40以上—27.00	7
27.00以上—30.60	8
30.60以上—34.20	9
34.20以上—37.80	10

車道荷重或標準貨車應假定位於「其設計車道之W內而產生最大應力之位置」。

2. 標準貨車與車道荷重：標準H及H-S貨車之輪距，重量分佈及所需淨空應如圖一及圖三所示，與其相稱之車道荷重如圖二所示。每一車道荷重應包括每公尺車道長之均佈荷重及一個集中荷重「或於連續橋時兩個集中荷重」，其在孔徑上之位置須為產生最大應力者。集中荷重及均佈荷重，應假定平均分佈於與車道中心線垂直之3.0公尺寬度內。計算力距剪力時應用不同之集中荷重，如圖二所示。較輕之集中荷重用於計算彎曲應力，較重者用於計算剪應力。採用此車道荷重於計算力距及剪力時，較用貨車車輪荷重為簡單。

#### 3. 荷重之應用

(1)車道之單位：計算應力時，每3公尺車道荷重

或

表一： $W_c$ 與N之關係表

$W_c$ ft.	N
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. 每305m線荷重或單標準車輛將認為一單位：如下圖三

3. 如果同時有幾條線路產生之最大應力時，其活荷重產生之應力可減低至如下表之數量：單一標準貨車應作為一單位，不滿整數之車道荷重寬度或貨車不得應用。

(2)車道單位之數目及其位置：車道荷重或貨車荷重之數目及位置，如上「車道」之規定。至於採用車道荷重，則應視何者在應用「荷重之折減」之規定後，而仍能產生最大應力而定。

(3)連續孔徑之車道荷重：設計連續孔徑之結構時，圖二所示之車道荷重應作下列之改變：車道荷重應包括圖二所示之荷重及另一重量相等之集中荷重，此一集中荷重應放置於另一孔，其位置須能產生最大之負力距。

#### 4. 荷重之折減：

如構桿之最大應力產生於「數車道同時有載荷」時，則對於算得之活荷重之應力之和，應乘以下列之百分率，因各車道之最大應力不可能同時發生之故。

單車道或雙車道	100%
三車道	90%
四車道及以上	75%

#### 五、輪荷重在混凝土橋版上之分佈

1. 跨徑 (Span) 之長度：簡支式橋版之跨徑應為支承中心間之距離，但不能大於淨跨徑加橋版厚度之和。計算橋版之荷重分佈及彎矩 (Bending Moment) 時，如該橋版係連續跨過兩個以上支承者，用下列方法求其有效跨徑：

橋版與樑（無拱腰），一氣灌鑄成一體者，  
S = 淨跨度

橋版由鋼縱樑所支承者，S = 鋼樑之上翼邊（Edges of Flanges）間之距離 +  $\frac{1}{2}$  × [鋼樑上翼之寬度（Flange Width）]

橋版由木縱樑所支承者，S = 淨跨度 +  $\frac{1}{2}$ （木縱樑之厚度）。

2. 輪荷重之緣距（Edge Disatnce）：在設計橋版時，假定輪荷重之中心線離開緣石（Curb）之面30公分遠。

3. 彎距（Bending Moment）：每公尺寬橋版，其彎距之計算應按下述(1)，(2)，(3)，各種情形下之方

法辦理。其代表符號說明如下：

- S = 有效跨度
- E = 輪荷重分佈於橋版上之寬度
- N = 橋上車道數
- W = 橋上緣石間之路寬
- Q = 車道每公尺長之均勻荷重
- P = 一個輪重
- P<sub>1</sub> = 單軸之一個輪重
- P<sub>2</sub> = 雙軸之一個輪重
- P' = 每一車道之集中荷重

(1)：第一種情形：

主鋼筋與車行方向垂直

輪荷重之分佈	彎距公式	
	簡支樑	連續樑
單軸 (Single Axle) :		
跨徑0.6m~2.10m, E=0.6S+0.76	$M = +0.25 \frac{P_1}{E} S$	$M = \pm 0.2 \frac{P_1}{E} S$
跨徑在2.10m以上, E=0.4S+1.15	$M = +0.25 \frac{P_1}{E} S$	$M = \pm 0.2 \frac{P_1}{E} S$
雙軸 (Tandem Axles) :		
跨徑0.6m-2.10m, E=0.36S+0.79	$M = +0.25 \frac{P_2}{E} S$	$M = \pm 0.2 \frac{P_2}{E} S$
跨徑在2.10m以上, E=0.063S+1.42	$M = +0.25 \frac{P_2}{E} S$	$M = \pm 0.2 \frac{P_2}{E} S$

附註：當設計荷重為 H-20 級或 H20-S16 級時，如跨徑在 3.0m 以下，則用 10,900kg 單軸荷重，如跨徑在 3.20m 或以上時，則用雙軸荷重，每軸重 7,300kg。

(2)：第二種情形：

主鋼筋與行車方向平行，跨徑 0.6m~3.65m

輪荷重之分佈	力距公式	
	簡支樑跨徑	連續樑跨徑
E=0.175S+0.98	$M = +0.25 \frac{P}{E} S$	$M = \pm 0.2 \frac{P}{E} S$

附註：在第一種及第二種情形之表內所列之荷重分配公式及力距公式，係為計算簡便起見而用一個集中荷重。但實際上由此所算得之結果，與由許多個輪荷重之正確方法所計算者，大致相同。

(3)第三種情形：鋼筋與車行方向平行，跨距在 3.65公尺以上之荷重分佈：

(A) 輪荷重： $E = \frac{3N+W}{4N}$  ..... (4)

橋版每公尺寬之荷重 =  $\frac{P}{E}$  ..... (5)

(B) 車道荷重：

均勻荷重 =  $\frac{NQ}{0.5W+1.5N}$  / 每平方公尺橋版面積 ..... (6)

集中荷重 =  $\frac{NP'}{0.5W+1.5N}$  / 橋版每公尺寬 ..... (7)

4. 邊樑（縱向）：凡版樑之主鋼筋與車行方向平行者均應備有邊樑。此種邊樑或為連同緣石及其所用鋼筋組成之樑，或為另加寬之橋版。邊樑之設計應能抵抗 0.1PS 之活荷重力距，式中 P = 輪荷重，S = 跨徑。上式所算之力距，係就簡支樑而論。如為連續樑，則除非由更正確之計算方法求得外，上式所得之力距應打 8 折。

5. 分佈鋼筋：除橋上填土厚在 60 公分以上者外，為使集中荷重能分佈起見，所有橋版均應備有「分佈鋼筋」。

分佈鋼筋之放置方向應與主鋼筋垂直。其數量則用正力距所需之主鋼筋數量之一百分數，此百分數可由下式算得：

$$\text{百分數} = \sqrt{S}$$

式中 S 係橋版之有效跨徑，以公尺計。百分數之最大限值為 50%。

6. 橋版內之剪力及黏着力：橋版如依上述之力距而設計，其對於剪力及黏着力應視為安全。

### 六、橋墩橋台及其他附屬物設計

參考渡槽設計或有關書籍。

### 七、設計例

[例] 版橋設計 (Design of A slab Bridge)

設計條件為：

- 淨跨徑 ..... 4.5m
- 淨橋寬 ..... 7.9m
- 活荷重 ..... H20-S16
- 摩擦層 ..... 146kg/m<sup>2</sup>

設  $f_c = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f_t = 45 \text{ kg/cm}^2$ , 全橋版厚 = 38cm, 則橋版有效跨徑為  $4.5\text{m} + 0.3\text{m} = 4.8\text{m}$ , 靜荷重為  $2,400 \times 0.38 + 146 = 1,058 \text{ kg/m}^2$

靜荷重力距為

$$\frac{1}{8}wl^2 = \frac{1}{8} \times 1,058 \times (4.8)^2 = 3,050 \text{ kg-m}$$

後軸荷重為 5,440kg

$$E = \frac{3N+W}{4N} = \frac{3(2)+7.9}{4(2)} = 1.74$$

$$\text{橋版每公尺寬之荷重} \frac{P}{E} = \frac{5,440}{1.74} = 3,120 \text{ kg}$$

活荷重力距為

$$\frac{3,120}{2} \times \frac{4.8}{2} = 3,750 \text{ kg-m}$$

衝擊力係數為

$$I = \frac{15}{L+38} = \frac{15}{4.8+38} = 0.355 > 0.3 \text{ 採用 } 0.3$$

$$0.3 \times 3,750 = 1,125 \text{ kg-m}$$

靜荷重，活荷重及衝擊力等所致之全力距為

$$7,925 \text{ kg-m} = 792,500 \text{ kg-cm. 設 } n = 15 \text{ 則得}$$

$$d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.375 \sqrt{\frac{792,500}{100}} = 33.4 \text{ cm}$$

取  $d = 33.4 \text{ cm}$ ,  $t = 38 \text{ cm}$

主網筋算計

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{792,500}{1,200 \times 0.880 \times 33.4} = 22.5 \text{ cm}^2$$

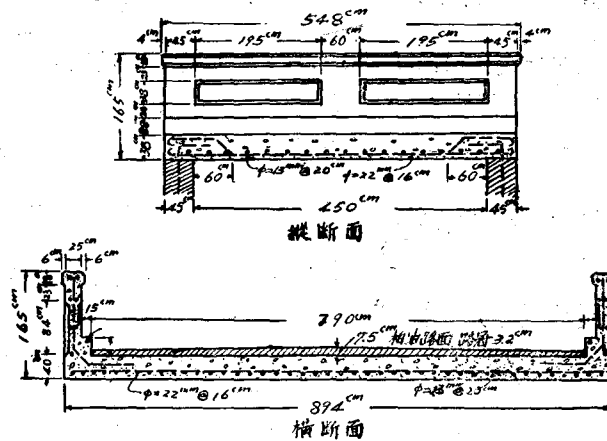
採用  $\phi = 22 \text{ mm} @ 16 \text{ cm}$ .  $A_s = 22.81 \text{ cm}^2$

橫向鋼筋：

$$A'_s = 55 / \sqrt{S} = 55 / \sqrt{4.8} = 25\% < 50\%$$

$$22.81 \times 0.25 = 5.7 \text{ cm}^2$$

採用  $\phi = 13 \text{ mm} @ 20 \text{ cm}$



圖四 版橋設計詳細圖 (橋台略)

- 參考文獻：
1. Design of Concrete Structures (1954)...Urquhart And O'rouke
  2. 農業土木ハンドブック...農業土木學會
  3. 公路橋樑工程施工標準規範...臺灣省公路局