

## 第七章 撓曲構材

### 7.1 適用範圍

本章適用於載重通過對稱平面之單軸對稱或雙軸對稱梁，也適用於載重通過剪力中心且與腹板平行，或於載重作用點及支點均能提供扭轉束制之槽鋼梁。

一般撓曲構材見7.2至7.4節，腹板變深之構材見7.5節，對於腹板為細長肢材之板梁依7.6節規定設計。未包含於本章之構材其撓曲設計請參閱附錄3。

### 7.2 一般撓曲構材之設計

#### 7.2.1 設計撓曲強度

梁之設計撓曲強度為 $\phi_b M_n$ ，其中 $M_n$ 為標稱撓曲強度，應依下述之規定計算，且 $\phi_b = 0.90$ 。

#### 7.2.2 受強軸彎曲之結實斷面構材，其側向無支撐段長度 $L_b \leq L_r$

當側向無支撐段長度 $L_b \leq L_r$ ，且為強軸受彎曲之結實斷面構材依下列規定設計：

$$(1) L_b \leq L_p : M_n = M_p$$

$$(2) L_p < L_b \leq L_r :$$

$$M_n = C_b \left\{ M_p - (M_p - M_r) \left[ \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right\} \leq M_p \quad (7.2-1)$$

其中：

$C_b = 1.75 + 1.05(M_1/M_2) + 0.3(M_1/M_2)^2 \leq 2.3$ ，構材側向無支撐段兩端彎矩小者為 $M_1$ ，大者為 $M_2$ 且 $M_1/M_2$ 在雙曲率彎曲時為正值，單曲率彎曲時為負值。當側向無支撐段內任一點之彎矩大於或等於 $M_2$ 時，其 $C_b$ 值取1.0。若為側向無支撐之懸臂梁時，其 $C_b$ 值亦為1.0。

$M_p$  = 塑性彎矩強度 =  $F_y Z$  (tf-cm)， $F_y$ 為標稱降伏應力， $Z$ 為斷面之塑性模數。

$L_b$  = 壓力翼板有抗側向位移支撐或橫斷面有抗扭轉之支撐時，其支撐點間之距離。

對於I型梁（含混合梁）及槽型構材，其 $L_p$ 之計算如下：

$$L_p = \frac{80r_y}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (7.2-2)$$

對於實心矩形梁及箱形斷面梁，其 $L_p$ 之計算如下：

$$L_p = \frac{260r_y}{M_p} \sqrt{JA} \quad (7.2-3)$$

其中：

$A$  = 斷面積， $\text{cm}^2$

$J$  = 扭曲常數， $\text{cm}^4$

$r_y$  = 對弱軸之迴轉半徑， $\text{cm}$

$F_{yf}$  = 翼板之降伏應力， $\text{tf/cm}^2$

側向無支撐段長度界限值 $L_r$ 及其相對之側向扭轉挫屈彎矩 $M_r$ ，可依下列規定計算之：

(1) 載重作用於通過腹板平面之槽型構材或壓力翼板不小於張力翼板之單軸對稱或雙軸對稱I型構材：

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}} \quad (7.2-4)$$

$$M_r = F_L S_x \quad (7.2-5)$$

其中：

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (7.2-6)$$

$$X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left[ \frac{S_x}{GJ} \right]^2 \quad (7.2-7)$$

$S_x$  = 對強軸之斷面模數， $\text{cm}^3$

$E$  = 鋼材之彈性模數， $\text{tf/cm}^2$ ； $G$  = 鋼材之彈性剪力模數， $\text{tf/cm}^2$

$I_y$  = 對弱軸之慣性矩， $\text{cm}^4$ ； $C_w$  = 斷面翹曲常數， $\text{cm}^6$

$F_L$  =  $(F_{yf} - F_r)$  或  $F_{yw}$  取小值， $\text{tf/cm}^2$

$F_{yf}$  = 翼板之降伏應力， $\text{tf/cm}^2$

$F_{yw}$  = 腹板之降伏應力， $\text{tf/cm}^2$

$F_r$  = 翼板之殘留壓應力，對於熱軋型鋼其值可設為 $0.7\text{tf/cm}^2$ ，對於銲接型鋼其值可設為 $1.16\text{tf/cm}^2$

(2) 對於單軸對稱，壓力翼板不小於張力翼板之I型構材在公式(7.2-5)至公式(7.2-7)中可用 $S_{xc}$ 來代替 $S_x$ ，其中 $S_{xc}$ 為對壓力緣之彈性斷面模數。

(3) 對於受強軸彎曲之實心矩形構材：

$$L_r = \frac{4000r_y}{M_r} \sqrt{JA} \quad (7.2-8)$$

$$M_r = F_L S_x \quad (7.2-9)$$

(4) 對於對稱箱形斷面受強軸彎曲且其載重作用於對稱面，則 $M_r$ 及 $L_r$ 可依公式(7.2-5)及(7.2-8)求得。

解說： 梁之設計強度受側向支撐間距影響甚鉅，若其斷面之寬厚比滿足4.5節所規定之結實斷面，且其側撐間距小於本節所規定之 $L_p$ 值，則斷面應可發揮其塑性彎矩強度，故其設計彎矩可為 $M_p$ （如圖C7.2-1所示）。對於 $C_b=1.0$ 之結實斷面，其標稱彎矩強度 $M_n$ 與無支撐長 $L_b$ 間之基本關係見圖C7.2-1，當側向無支撐間距大於(7.2-4)式之 $L_r$ 值時，則梁將產生彈性側向扭轉挫屈。(7.2-1)式則定義側撐間距 $L_p$ 在與 $L_r$ 之間時梁強度受非彈性側向扭轉挫屈控制。

對於其它彎矩載重，構材之側向挫屈強度可將基本強度乘以 $C_b$ 後求得，如圖C7.2-1所示。但所得之標稱強度值 $M_n$ 不得超過 $M_p$ 。又由公式(7.2-2)求得之 $L_p$ ，僅在 $C_b=1.0$ 時才有意義。對於 $C_b$ 大於1.0者，仍允許梁在較大之無支撐長度下可達到 $M_p$ ，如圖中 $C_b=2.3$ 之曲線所示。設計時，可令公式(7.2-1)等於 $M_p$ ，並用所屬之 $C_b$ 值代入此等式後，所得之 $L_b$ 值即為容許之最大無支撐長度。對於側撐點間之非線性彎矩載重，特別是最大彎矩在兩側撐端點之間者， $C_b$ 值將大於1.0，見(Johnston 1976)。

AISC-LRFD 1999年版 $C_b$ 值之計算係將梁之彎矩變化分成四段考慮，可得較為精確之結果，惟其計算較繁複。以下為其 $C_b$ 之公式：

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

其中：

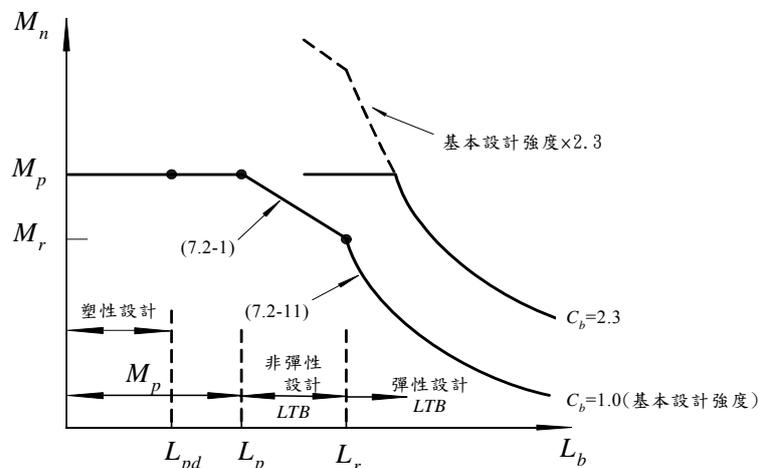
$M_{max}$  = 側向無支撐段長度內之最大彎矩絕對值

$M_A$  = 側向無支撐段長度內四分之一處之彎矩絕對值

$M_B$  = 側向無支撐段長度內四分之二處之彎矩絕對值

$M_C$  = 側向無支撐段長度內四分之三處之彎矩絕對值

在任何情況下 $C_b$ 值可以保守的取1.0；若為側向無支撐之懸臂梁時，其 $C_b$ 值為1.0。



圖C7.2-1 設計強度與側撐間距之關係

### 7.2.3 受強軸彎曲之結實斷面構材，其側向無支撐段長度 $L_b > L_r$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (7.2-10)$$

其中， $M_{cr}$ 為臨界彈性側向扭轉挫屈彎矩，可依下列規定求得：

1. 載重通過槽型鋼腹板平面及壓力翼板不小於張力翼板（含混合構材）之單軸對稱或雙軸對稱之I型構材：

$$\begin{aligned} M_{cr} &= C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w} \\ &= \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{I + \frac{X_1^2 X_2}{2(L_b / r_y)^2}} \end{aligned} \quad (7.2-11)$$

2. 對於對稱箱形斷面或實心矩形斷面：

$$M_{cr} = \frac{4000 C_b \sqrt{JA}}{L_b / r_y} \quad (7.2-12)$$

解說： 本規範中的公式係假設外力作用於梁之形心軸上。如果載重施於上翼且梁無側撐，則會因失穩效應而使臨界彎矩變小；相反地，若載重施於下翼且梁未有側撐，則因穩定效應可使臨界彎矩增加(Galambos 1988)。載重施在上翼且無側撐之梁，其臨界彎矩之計算，較保守的方法是採翹曲挫屈係數 $X_2$ 為零。對於彎矩不均勻分佈之情形( $C_b \neq 1.0$ )，標稱彎矩強度可將基本彎矩強度( $C_b = 1.0$ 者)乘上 $C_b$ 值，惟其值不得大於 $M_p$ 。

### 7.2.4 非彈性分析之側向無支撐段長度

結實斷面之梁受強軸彎曲且在塑性鉸處壓力緣之側向無支撐段長度 $L_b$ 小於 $L_{pd}$ ，則可進行非彈性分析，而 $L_{pd}$ 則依下列規定計算之：

1. 壓力翼板不小於張力翼板（含混合構材）之單軸對稱或雙軸對稱I型構材，且載重作用於通過腹板之平面時：

$$L_{pd} = \frac{250 + 150(M_1 / M_2)}{F_{yf}} r_y \quad (7.2-13)$$

其中，

$F_{yf}$  = 壓力翼板之標稱降伏應力，tf/cm<sup>2</sup>

$M_1$  = 梁構材中側向無支撐段端部之較小彎矩，tf-cm

$M_2$  = 梁構材中側向無支撐段端部之較大彎矩，tf-cm

$r_y$  = 對弱軸之迴轉半徑，cm

$M_1/M_2$  當雙曲率彎曲時其值為正，當單曲率彎曲時其值為負。

2. 對稱箱形梁或實心矩形梁：

$$L_{pd} = \frac{350 + 210(M_1 / M_2)}{F_{yf}} r_y \geq \frac{210 r_y}{F_{yf}} \quad (7.2-14)$$

3. 在非緊鄰塑性鉸區域，其撓曲設計可依7.2.1節決定之。

解說： AISC-ASD規範之塑性設計中，允許梁達到塑性彎矩並可有充分之轉動角，進而能做彎矩之再分配。其側向無支撐段長度以二種公式定義之。而此二種公式之選用由側撐點之彎矩比來決定。在本章的極限設計法中，以單一公式取代，此公式提供側向無支撐段長度及端點彎矩比間的連續關係，因此在彎矩比接近-0.5時( $M_1/M_2 = -0.5$ )，不會有一突然變化。而當 $M_1/M_2 = -1$  (均勻彎矩) 時，最大之側向無支撐段長度與規範所定的相類似。對於彎矩比為正值時 (反向曲率) 則側向無支撐段長度有實質之減少，因為極限設計法中，將降伏局限於靠近支撐點的小區域內。

惟公式(7.2-13)及(7.2-14)所提供之最大轉角比( $\theta_u/\theta_y$ )為3.0，此種轉角應能符合大多數之應用。而對於耐震設計之需求，其非線性轉角比應至少為7至9，其 $L_{pd}$ 參見13.6.7節之規定。

### 7.2.5 T型鋼、雙角鋼斷面之梁

載重作用於T型鋼或雙角鋼斷面梁之對稱平面，且梁之翼板、腹板之寬厚比小於表4.1所規定之 $\lambda_r$ 時，其標稱強度可依公式(7.2-15)求得：

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{E I_y G J}}{L_b} \left[ B + \sqrt{I + B^2} \right] \quad (7.2-15)$$

其中，

當腹板受拉力時， $M_n \leq 1.5 M_y$

當腹板受壓力時， $M_n \leq 1.0 M_y$

$$B = \pm 2.3(d/L_b) \sqrt{I_y / J} \quad (7.2-16)$$

翼板受張力時 $B$ 取負號，翼板受壓力時 $B$ 取正號。

### 7.2.6 實心圓形或實心方形斷面之梁或對弱軸彎曲之梁

對於實心圓形或實心方形斷面之梁或對弱軸彎曲之結實斷面梁， $L_b$ 不受限制，其標稱強度 $M_n = M_p \leq 1.5 M_y$ 。非結實斷面梁請參閱附錄3。

## 7.3 一般撓曲構材之剪力設計

本節適用於腹板 (或多腹板構材之腹板) 受剪力作用之單軸或雙軸對稱梁 (含混合梁) 及腹板受剪力作用之槽鋼梁。

### 7.3.1 腹板面積之決定

腹板面積 $A_w$ 可視為全高度 $d$ 與腹板厚度 $t_w$ 之乘積。

### 7.3.2 設計剪力強度

腹板之設計剪力強度為  $\phi_v V_n$ ，其中， $\phi_v = 0.90$ ，而標稱剪力強度  $V_n$  可依下列規定決定之。

$$\text{當 } \frac{h}{t_w} \leq 50\sqrt{k_v / F_{yw}}$$

$$V_n = 0.6F_{yw} A_w \quad (7.3-1)$$

$$\text{當 } 50\sqrt{k_v / F_{yw}} < \frac{h}{t_w} \leq 62\sqrt{k_v / F_{yw}}$$

$$V_n = 0.6F_{yw} A_w \frac{50\sqrt{k_v / F_{yw}}}{h/t_w} \quad (7.3-2)$$

$$\text{當 } 62\sqrt{k_v / F_{yw}} < \frac{h}{t_w} \leq 260$$

$$V_n = \frac{1860k_v}{(h/t_w)^2} A_w \quad (7.3-3)$$

$$k_v = \text{腹板剪力挫屈係數}, k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (7.3-4)$$

$a$  = 橫向加勁板間淨距。

$h$  = 於熱軋型鋼為兩翼板間扣除二倍角隅半徑後之淨距；於銲接組合斷面為翼板間淨距；於螺栓組合斷面為最近螺栓線間之距離。

$a/h$  大於 3.0 或  $a/h$  大於  $[260/(h/t_w)]^2$  時  $k_v$  取 5.0，未使用加勁板時  $k_v$  亦取 5.0。對於未使用加勁板之大梁其  $(h/t_w)$  應小於 260，而  $(h/t_w)$  之最大極限值參閱 7.6 節。

解說：對於  $h/t_w \leq 50\sqrt{k_v / F_{yw}}$  之梁腹板，其標稱剪力強度  $V_n$  係根據腹板之剪力降伏而定，如公式(7.3-1)。該  $h/t_w$  上限值係令剪力挫屈臨界應力  $F_{cr}$  等於腹板降伏應力  $F_{yw}$  而得之；詳參考文獻(Cooper 1978)。當  $h/t_w > 50\sqrt{k_v / F_{yw}}$ ，腹板剪力強度係根據挫屈而定。(Basler 1961)建議該剪力強度為腹板降伏應力之 80%，約相當於  $h/t_w = 50/0.8\sqrt{k_v / F_{yw}}$ 。當  $h/t_w > 62\sqrt{k_v / F_{yw}}$  時，腹板強度可依參考文獻(Cooper 1978)之建議以求得彈性挫屈應力

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E k_v}{12(1-\nu^2)(h/t_w)^2} \quad (C7.3-1)$$

公式(7.3-3)求得之標稱剪力強度，係將  $F_{cr}$  乘上腹板斷面積並令  $E = 2040 \text{tf/m}^2$  及  $\nu = 0.3$  而得。公式(7.3-2)依  $h/t_w$  比例而變化， $h/t_w$  介於  $50\sqrt{k_v / F_{yw}}$  及  $62\sqrt{k_v / F_{yw}}$  之間。

公式(7.3-4)之腹板剪力挫屈係數係為考慮腹板張力區作用之簡化公式，若欲考慮張力區效應，則須參考7.6節有關板梁之設計方法，惟此時腹板須以加勁板加強之。

#### 7.4 一般撓曲構材之橫向加勁板

當  $h/t_w \leq 110/\sqrt{F_{yw}}$  或當考慮係數化載重下結構分析計算所得之  $V_u$  值小於7.3節  $k_v = 5$  時所得之  $\phi_v V_n$  值時，可不使用橫向加勁板。若於腹板剪力強度計算時考慮橫向加勁板之作用，對於通過雙加勁板腹板中心軸之慣性矩或對於單加勁板於腹板面之慣性矩不得小於  $at_w^3 j$ 。

其中，

$$j = \frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0.5 \quad (7.4-1)$$

非承壓式之中間加勁板無須與張力翼板連結。連結於腹板之中間加勁板，其鉚道終止端距腹板與翼板鉚趾上緣之距離不得小於4倍亦不得大於6倍腹板厚度，若使用單側之橫向加勁矩形板於抵抗向上之扭曲作用時，其應連接於壓力翼板。除非翼板是由角鋼組合而成，否則當側向支撐與一側或二側加勁板連結時，加勁板應與壓力翼板連結，且此側向支撐應可傳遞整體翼板應力之1%以上。

橫向加勁板與大梁腹板以螺栓連接時，其間距不得大於30cm若用斷續填角鉚時，則其跳鉚間之淨距不得大於腹板厚度之16倍，也不得大於25cm。

#### 7.5 腹板深度變化之構材

腹板深度漸變構材之壓力設計請參閱第六章，拉力設計請參閱第五章。

##### 7.5.1 撓曲強度

在側向扭轉挫屈之極限狀態下，漸變斷面撓曲構材之標稱強度為

$$M_n = \left[ \frac{5}{3} \right] S'_x F_{br} \quad (7.5-1)$$

其中，

$S'_x$  = 在所考慮之側向無支撐段長度內臨界斷面之斷面模數。

$$F_{br} = \left[ \frac{2}{3} \right] \left[ 1 - \frac{F_y}{6B\sqrt{F_{sr}^2 + F_{wr}^2}} \right] F_y \leq 0.6 F_y \quad (7.5-2)$$

若  $F_{br} \leq F_y/3$ ，則  $F_{br}$  可依下式計算：

$$F_{br} = B\sqrt{F_{sr}^2 + F_{wr}^2} \quad (7.5-3)$$

上式中，

$$F_{sr} = 840 / (h_s L d_o / A_f) \quad (7.5-4)$$

$$F_{wr} = 12000 / (h_w L / r_{TO})^2 \quad (7.5-5)$$

其中，

$$h_s = 1.0 + 0.0230 \alpha \sqrt{L d_o / A_f}$$

$$h_w = 1.0 + 0.0040 \alpha \sqrt{L / r_{TO}}$$

$r_{TO}$  = 於漸變斷面構材之較小端，包含受壓翼板及腹受壓部分1/3之面積對以腹板為軸之迴轉半徑，cm

$A_f$  = 受壓翼板之面積，cm<sup>2</sup>

$d_o$  = 構材較小端之深度，cm

$d_L$  = 構材較大端之深度，cm

$\alpha = (d_L - d_o) / d_o \leq [0.27(L/d_o) \text{ 或 } 6.0]$  之較小者

$L$  = 構材無支撐段長度（側撐構材重心間距離），cm

公式(7.5-2)、(7.5-3)中之值依下列規定計算：

1. 當最大彎矩  $M_2$  位於三個相鄰且大約相等之無側撐長度中間段，且  $M_1$  為此構材之三分段部分之兩端之較深端彎矩：

$$B = 1 + 0.37 \left[ 1 + \frac{M_1}{M_2} \right] + 0.50 \gamma \left[ 1 + \frac{M_1}{M_2} \right] \geq 1.0 \quad (7.5-6)$$

當產生單曲率時， $M_1/M_2$  為負。當產生雙曲率時  $M_1/M_2$  為正，惟建議取其值為0。

2. 當最大之計算撓曲應力  $f_{b2}$  發生在構材中二相鄰分段之較深端，且該兩分段之無側撐長度須大約相等； $f_{b1}$  為該二分段較淺端之計算撓曲應力：

$$B = 1 + 0.58 \left[ 1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] - 0.70 \gamma \left[ 1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] \geq 1.0 \quad (7.5-7)$$

3. 當最大之計算撓曲應力  $f_{b2}$  發生在構材中二相鄰分段之較淺端，且該兩分段之無側撐長度須大約相等； $f_{b1}$  為該二分段較深端之計算撓曲應力：

$$B = 1 + 0.55 \left[ 1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] + 2.20 \gamma \left[ 1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] \geq 1.0 \quad (7.5-8)$$

其中， $\gamma = (d_L - d_o) / d_o$ ，依產生最大撓曲應力之無側撐長度部分計算。

公式(7.5-7)、(7.5-8)中，當產生單曲率時， $f_{b1}/f_{b2}$  應為負，如果在任一無側撐段有反曲點時， $f_{b1}/f_{b2}$  應為正且  $f_{b1}/f_{b2} \neq 0$ 。

4. 當漸變斷面構材或分段之較淺端或其計算撓曲應力等於0時：

$$B = \frac{1.75}{1.0 + 0.25\sqrt{\gamma}} \quad (7.5-9)$$

其中， $\gamma$  係針對鄰接零撓曲應力點之無側撐長度部分計算。

解說： 漸變斷面梁之設計撓曲強度係依均勻斷面梁之相關規定而來，基本觀念係以一具不同長度之等值均勻梁取代漸變斷面梁，但其斷面與漸變斷面梁之較小端斷面相同(Lee et al 1972)。由此得(7.5-4)、(7.5-5)式之修正長度係數 $h_s$ 與 $h_w$ 。

公式(7.5-4)與(7.5-5)係考慮St. Venant扭力與翹曲抵抗之總側向挫屈抵抗能力。係數 $B$ 由考慮彎矩梯度與鄰接梁段所提供之側向束制以修正 $F_{br}$ 。對連續通過側向支承之構材，本節之1、2與3類通常適用；但必須注意的是這些公式只適用於軸力很小且相鄰接無側撐梁段之長度大約相等時。對構材不屬於1、2、3或4類者，建議取 $B$ 值等於1。當計算值以求取用於公式(8.2-1)至(8.2-2)之 $M_n$ 值時， $B$ 值亦取為1，因為此時彎矩梯度效應係以 $B_1$ 係數來考慮(Morrell 1974)。

## 7.5.2 剪力強度

剪力強度依 7.3 節設計。

## 7.6 板梁

載重作用於通過腹板平面之單軸對稱或雙軸對稱之單腹板板梁（含混合梁），且符合下述規定，可依本節板梁之相關規定設計。

1. 無加勁板之板梁其 $h/t_w$ 須小於260。
2. 含加勁板之板梁其 $h/t_w$ 須小於下列規定：

$$\text{當 } a/h \leq 1.5 \quad (h/t_w) \leq 530 / \sqrt{F_{yf}} \text{ 箇} \quad (7.6-1)$$

$$\text{當 } a/h > 1.5 \quad (h/t_w) \leq \frac{985}{\sqrt{F_{yf} (F_{yf} + 1.16)}} \quad (7.6-2)$$

其中，

$a$  = 橫向加勁板間之淨距

$h$  = 於熱軋型鋼為兩翼板間扣除二倍角隅半徑後之淨距；於銲接組合斷面為翼板間淨距；於螺栓組合斷面為最近螺栓線間之距離

$t_w$  = 腹板厚度

$F_{yf}$  = 翼板之標稱降伏應力

### 7.6.1 設計撓曲強度

腹板深厚比 $(h_c/t_w) > 260 / \sqrt{F_{yf}}$ 之板梁，其設計撓曲強度為 $\phi_b M_n$ ， $\phi_b = 0.9$ ， $M_n$ 則為根據翼板降伏或挫屈之極限狀態求得之較小值。當 $(h_c/t_w) \leq 260 / \sqrt{F_{yf}}$  見附錄3。

1. 當張力翼板降伏時：

$$M_n = S_{xt} R_e F_{yt} \quad (7.6-3)$$

2. 當壓力翼板挫屈時：

$$M_n = S_{xc} R_{pg} R_e F_{cr} \quad (7.6-4)$$

其中，

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r} \left( \frac{h_c}{t_w} - \frac{260}{\sqrt{F_{yf}}} \right) \leq 1.0 \quad (7.6-5)$$

$R_e$  = 混合梁因子

$$= \frac{12 + a_r(3m - m^3)}{12 + 2a_r} \leq 1.0$$

(非混合梁  $R_e = 1.0$ )

$a_r$  = 腹板面積與受壓翼板面積之比值，( $a_r \leq 10$ )

$m$  = 腹板降伏應力與翼板降伏應力 (或  $F_{cr}$ ) 之比值

$F_{cr}$  = 受壓翼板臨界應力， $\text{tf/cm}^2$

$F_{yt}$  = 張力翼板降伏應力， $\text{tf/cm}^2$

$S_{xc}$  = 受壓翼板之斷面模數， $\text{cm}^3$

$S_{xt}$  = 張力翼板之斷面模數， $\text{cm}^3$

$h_c$  = 從中性軸至受壓翼板內面減去趾部，或角隅半徑後距離之兩倍， $\text{cm}$

$F_{cr}$  可依長細比參數  $\lambda$ 、 $\lambda_p$ 、 $\lambda_r$  及  $C_{pg}$  求得，並以最小值控制：

1. 當  $\lambda \leq \lambda_p$ ：

$$F_{cr} = F_{yf} \quad (7.6-6)$$

2. 當  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ ：

$$F_{cr} = C_b F_{yf} \left\{ 1 - 0.5 \left[ \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \right\} \leq F_{yf} \quad (7.6-7)$$

3. 當  $\lambda > \lambda_r$ ：

$$F_{cr} = C_{pg} / \lambda^2 \quad (7.6-8)$$

長細比參數則由側向扭轉挫屈及翼板局部挫屈之極限狀態決定，其規定如下：

1. 對側向扭轉挫屈之極限狀態

$$\lambda = L_b / r_T \quad (7.6-9)$$

$$\lambda_p = 80 / \sqrt{F_{yf}} \quad (7.6-10)$$

$$\lambda_r = 200 / \sqrt{F_{yf}} \quad (7.6-11)$$

$$C_{pg} = 20100 C_b \quad (7.6-12)$$

$C_b$  = 見 7.2.2 節之規定

## 2. 對翼板局部挫屈之極限狀態

$$\lambda = b_f / 2t_f \quad (7.6-13)$$

$$\lambda_p = 17 / \sqrt{F_{yf}} \text{ 箇} \quad (7.6-14)$$

$$\lambda_r = 60 / \sqrt{F_{yf} / k_c} \quad (7.6-15)$$

$$C_{pg} = 1840k_c \quad (7.6-16)$$

$$k_c = 4 / \sqrt{h/t_w} \text{ 且 } 0.35 \leq k_c \leq 0.763$$

解說： 腹板之深厚比 $h_c/t_w = 260 / \sqrt{F_{yf}}$  係用以區分板梁及一般梁，惟此式之鋼板降伏應力係指翼板之降伏應力，此因彎矩載重下腹板之非彈性挫屈強度，將取決於翼板之應變。

## 7.6.2 設計抗剪強度

1. 不考慮張力場時，參閱7.3節之設計規定。

2. 考慮張力場作用時，其設計抗剪強度為 $\phi_v V_n$ ， $\phi_v = 0.9$ ， $V_n$ 之定義如下：

(1) 當 $h/t_w \leq 50 \sqrt{k_v / F_{yw}}$ ：

$$V_n = 0.6A_w F_{yw} \quad (7.6-17)$$

(2) 當 $h/t_w > 50 \sqrt{k_v / F_{yw}}$

$$V_n = 0.6A_w F_{yw} \left[ C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (7.6-18)$$

其中， $C_v$  = 依彈性挫屈理論求得之腹板臨界應力與腹板降伏剪應力之比值。

當 $50 \sqrt{k_v / F_{yw}} \leq h/t_w \leq 60 \sqrt{k_v / F_{yw}}$

$$C_v = \frac{50 \sqrt{k_v / F_{yw}}}{h/t_w} \quad (7.6-19)$$

當 $h/t_w > 60 \sqrt{k_v / F_{yw}}$

$$C_v = \frac{3100k_v}{(h/t_w)^2 F_{yw}} \quad (7.6-20)$$

腹板挫屈係數 $k_v$ 之規定見7.3節。考慮張力場效應之板梁抗剪設計須配置適合之橫向加勁板。

所有混合梁及腹板漸變深度之板梁，及 $a/h$ 超過3.0或 $[260/(h/t_w)]^2$ 之板梁，不可考慮張力場作用，而其設計剪力強度則為：

$$V_n = 0.6A_w F_{yw} C_v \quad (7.6-21)$$

解說：考慮張力場效應之板梁抗剪設計因須配置適合之橫向加勁板，可能較未考慮張力場效應之板梁設計來得昂貴。考慮張力場效應之板梁抗剪設計必須滿足7.6.4節之彎矩與剪力互制影響。

### 7.6.3 橫向加勁板

當  $h/t_w \leq 110/\sqrt{F_{yw}}$ ，或當依因數化載重分析所得剪力  $V_u$  小於或等於  $0.6\phi A_w F_{yw} C_v$ ，則不需要橫向加勁板，其中  $C_v$  係以  $k_v=5$  與  $\phi=0.9$  求得。加勁板可加在板梁適當之部位以增加其剪力強度。

加勁板之最小慣性矩同7.4節之規定，若考慮張力場作用時，加勁板面積  $A_{st}$  不可小於下式：

$$\frac{F_{yw}}{F_{yst}} \left\{ 0.15 D h t_w (1 - C_v) \left[ \frac{V_u}{\phi V_n} \right] - 18 t_w^2 \right\} \geq 0 \quad (7.6-22)$$

其中，

$F_{yst}$  = 加勁板之降伏應力

$D$  = 1.0 (當使用成對加勁板)

= 1.8 (當使用單側之角鋼加勁材)

= 2.4 (當使用單側之加勁鋼板)

$V_u$  = 在加勁板處之剪力

### 7.6.4 彎矩與剪力之互制影響

考慮腹板張力場效應之板梁，必須滿足以下有關彎矩與剪力相互影響之規定。若  $0.6\phi V_n \leq V_u \leq \phi V_n$ ， $0.75\phi M_n \leq M_u \leq \phi M_n$  時，則

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0.625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.375 \quad (7.6-23)$$

其中， $M_n$  係根據7.6.1節求得之板梁標稱抗彎強度， $V_n$  係根據7.6.2節求得之標稱抗剪強度， $\phi=0.9$ 。

### 7.7 腹板開孔梁

梁之腹板開孔時應考慮其對設計強度之影響。若需求之彎矩或剪力強度大於開孔處之強度時，應於開孔處提供補強措施。

解說：梁常因管線或其他原因之需要而必須於其腹板開孔，開孔梁之設計可能受壓力翼板、腹板，或開孔處上下之 T 型斷面之局部挫屈而影響，甚或受其使用性極限影響，開孔之位置、大小，補強方法可參考文獻(Darwin 1990)等相關資料。

## 7.8 符號說明

- $C_b$  = 撓曲修正係數  
 $C_v$  = 依彈性挫屈理論求得之腹板臨界應力與腹板降伏剪應力之比值  
 $C_w$  = 斷面翹曲常數， $\text{cm}^6$   
 $E$  = 鋼材之彈性模數， $\text{tf/cm}^2$   
 $F_{cr}$  = 彈性挫屈應力， $\text{tf/cm}^2$   
 $F_{yf}$  = 翼板之降伏應力， $\text{tf/cm}^2$   
 $F_{yw}$  = 腹板之降伏應力， $\text{tf/cm}^2$   
 $F_L$  =  $(F_{yf} - F_r)$  或  $F_{yw}$  取小值， $\text{tf/cm}^2$   
 $F_r$  = 翼板之殘留壓應力  
 $F_{yst}$  = 加勁板之降伏應力  
 $G$  = 鋼材之彈性剪力模數， $\text{tf/cm}^2$   
 $I_y$  = 對弱軸之慣性矩， $\text{cm}^4$   
 $L_b$  = 壓力翼板有抗側向位移支撐或橫斷面有抗扭轉之支撐時，其支撐點間之距離  
 $M_n$  = 標稱撓曲強度  
 $M_p$  = 塑性彎矩強度 =  $F_y Z$  ( $\text{tf-cm}$ )  
 $M_1$  = 側向無支撐段兩端之較小彎矩， $\text{tf-cm}$   
 $M_2$  = 側向無支撐段兩端之較大彎矩， $\text{tf-cm}$   
 $M_{max}$  = 側向無支撐段長度內之最大彎矩絕對值  
 $M_A$  = 側向無支撐段長度內四分之一處之彎矩絕對值  
 $M_B$  = 側向無支撐段長度內四分之二處之彎矩絕對值  
 $M_C$  = 側向無支撐段長度內四分之三處之彎矩絕對值  
 $M_{cr}$  = 臨界彈性側向扭轉挫屈彎矩  
 $R_e$  = 混合梁因子  
 $S_x$  = 對強軸之斷面模數， $\text{cm}^3$   
 $S_{xc}$  = 受壓翼板之斷面模數， $\text{cm}^3$   
 $S_{xt}$  = 張力翼板之斷面模數， $\text{cm}^3$   
 $V_n$  = 標稱剪力強度  
 $V_u$  = 在加勁板處之剪力  
 $a$  = 橫向加勁板間淨距  
 $a_r$  = 腹板面積與受壓翼板面積之比值，( $a_r \leq 10$ )  
 $h$  = 於熱軋型鋼為兩翼板間扣除二倍角隅半徑後之淨距；  
 於銲接組合斷面為翼板間淨距；於螺栓組合斷面為最近螺栓線間之距離  
 $h_c$  = 從中性軸至受壓翼板內面減去趾部，或角隅半徑後距離之兩倍， $\text{cm}$   
 $k_v$  = 腹板剪力挫屈係數， $k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$   
 $m$  = 腹板降伏應力與翼板降伏應力（或  $F_{cr}$ ）之比值  
 $r_{TO}$  = 於漸變斷面構材之較小端，包含受壓翼板及腹受壓部分 1/3 之面積對以  
 腹板為軸之迴轉半徑， $\text{cm}$   
 $\phi_b$  = 撓曲強度折減係數