

第六章 受壓構材

6.1 適用範圍

本章適用於承受軸向壓力之構材。

6.2 設計受壓強度

1. 受壓斷面所有肢材之寬厚比皆小於或等於 λ_r 者，其設計強度為 $\phi_c P_n$ 。

其中，

$$\begin{aligned}\phi_c &= 0.85 \\ P_n &= A_g F_{cr}\end{aligned}\quad (6.2-1)$$

$$\begin{aligned}\text{當 } \lambda_c &\leq 1.5 \\ F_{cr} &= [\exp(-0.419\lambda_c^2)]F_y\end{aligned}\quad (6.2-2)$$

$$\begin{aligned}\text{當 } \lambda_c &> 1.5 \\ F_{cr} &= \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y\end{aligned}\quad (6.2-3)$$

其中，

$$\lambda_c = \frac{KL}{\pi r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (6.2-4)$$

A_g = 構材之全斷面積， cm^2

F_y = 標稱降伏應力， tf/cm^2

E = 彈性模數， tf/cm^2

K = 有效長度係數，參照4.8節之相關規定

L = 構材之無側撐長度， cm

r = 對斷面挫屈軸之迴轉半徑， cm

2. 受壓斷面任一肢材之寬厚比大於 λ_r 者，則參照附錄1之規定。

解說： 公式(6.2-2)及(6.2-3)基本上與第四版SSRC Guide (Galambos 1988)的鋼柱強度公式2P相同。該公式考慮初始變形的影響，並與相當數量之實驗資料比較分析而得。該分析假設鋼柱的初始變形為 $L/1500$ ， L 為柱之長度(Tide 1985)。公式中使用無因次化的柱長細比係數 λ_c ，在 $\lambda_c = 1.5$ 時，公式(6.2-2)與(6.2-3)之柱強度曲線相交於一點。

工作應力法(ASD)的鋼柱設計公式係源自SSRC (Structural Stability Research Council) (以前稱為CRC, Column Research Council)的建議，它是基於切線模數法(tangent modulus method)之觀念(Shanley 1947)並考慮殘留應力的影響而發展出來的。但是LRFD規範中所採用的鋼柱強度公式則

參考由Bjorhovde (1971)所提出的鋼柱極限強度法 (maximum strength method) 之觀念。當欲將ASD的鋼柱設計公式轉變成LRFD的公式時，將遇到以下兩項問題：

- (1) ASD採用了一個變化的安全係數 (從1.67到1.92) 來考慮鋼柱初始變位的影響；
- (2) 由於ASD與LRFD設計邏輯出發點的差異，因此需要先假設一個活載重與靜載重之比值， L/D 。

在求取LRFD鋼柱的指數方程式時，由於不可能考慮到所有的 L/D 比值，研究者採用 $L/D=1.1$ (在 $\lambda_c=1.0$ 時) 來對ASD的鋼柱公式進行轉換校正 (calibration)。公式(6.2-2) 與(6.2-3)之可靠度指數 β 隨柱之長細比(λ_c)而變，低長細比之柱其 β 值在3.0以下，高長細比之柱其 β 值在3.3以上，中度長細比之柱 (λ_c 在1.1左右) 其 β 值為2.6 (註：ASD在 $\lambda_c=1.1$ 之 β 值為3.3)。雖然中度長細比之柱其 β 值小於目標值 ($\beta=3.0$)，惟ASD設計公式在使用多年以來並未發生不滿意的後果，所以上述的分析結果應屬可以接受。有關殘留應力與初始變位對鋼柱強度影響的程度尚未被充份瞭解，這方面的研究有待進一步深入探討。

公式(6.2-2) 與(6.2-3) 也可採用較熟悉的 KL/r 來表示，即：

$$\begin{aligned} \text{當 } \frac{KL}{r} &\leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ F_{cr} &= \left\{ \exp \left[-0.0424 \left[\frac{F_y}{E} \right] \left[\frac{KL}{r} \right]^2 \right] \right\} F_y \\ \text{當 } \frac{KL}{r} &> 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ F_{cr} &= \frac{0.877 \pi^2 E}{(KL/r)^2} \end{aligned}$$

受壓構材斷面挫屈軸之定義，係指與構材挫屈位移方向垂直之軸。

6.3 撓曲 - 扭轉挫屈

具單軸對稱及為非對稱斷面之柱 (如角鋼、T型鋼柱) 或為雙向對稱柱 (如十字型、組合型鋼柱) 應考慮撓曲 - 扭轉及純扭轉挫屈之極限狀況，其設計強度依附錄2之規定計算。

解說：對稱斷面的扭轉挫屈及非對稱斷面的撓曲 - 扭轉挫屈，通常在設計熱軋鋼柱時未加以考慮。主要是因為這兩種失敗模式通常不控制設計或者其臨界載重與弱軸在其平面上之挫屈載重相差不大。但是，當設計由較薄鋼

板所組成的對稱或不對稱斷面的鋼柱時，此二種失敗模式即可能控制設計，相關之設計規定可參考附錄2。

6.4 組合受壓構材

組合受壓構材之端部具底板或經加工研磨之平面，其相互接觸之各肢材應以連續銲接接合，其銲接長度應大於構材之寬度；或應在端部以螺栓接合，螺栓之間距應小於4倍螺栓之直徑，而接合長度應大於構材寬度之1.5倍。

組合受壓構材之中間部分其縱向螺栓或斷續銲接間距之配置應能傳遞其上之應力。而當組合受壓構材有外側板時，其螺栓間距或各邊側之斷續銲接間距，不得超過外側最薄板厚之 $30/\sqrt{F_y}$ 倍或300mm；當螺栓係交錯排列，則每列線之螺栓間距不得超過外側最薄板厚之 $50/\sqrt{F_y}$ 倍或450mm。

使用未塗裝耐候鋼材之組合構材則其鋼板與型鋼或鋼板間之螺栓接合間距不得超過最薄板厚度的14倍或180mm；最大邊距不得超過最薄板厚度的8倍或130mm。

由兩支以上型鋼組合而成之受壓構材，在螺栓接合間由個別型鋼之最小迴轉半徑計得之長細比不得超過組合構材整體長細比之3/4。此外，組合構材沿其長度方向至少應有兩個中間接合點。

兩支以上型鋼組合而成之受壓構材應力之設計可依第6.2節設計，並依下列規定修正之；若挫屈變形造成各型鋼接合間產生剪力，則 KL/r 用 $(KL/r)_m$ 來替代，而 $(KL/r)_m$ 之決定如下：

(1)對於栓緊至緊貼狀態之螺栓接頭：

$$\left[\frac{KL}{r} \right]_m = \sqrt{\left[\frac{KL}{r} \right]_o^2 + \left[\frac{a}{r_i} \right]^2} \quad (6.4-1)$$

(2)對於銲接和摩阻型螺栓接合之接頭：

$$\left[\frac{KL}{r} \right]_m = \sqrt{\left[\frac{KL}{r} \right]_o^2 + 0.82 \frac{\alpha^2}{1 + \alpha^2} \left[\frac{a}{r_{ib}} \right]^2} \quad (6.4-2)$$

其中，

$\left[\frac{KL}{r} \right]_o$ = 組合受壓構材之整體長細比

$\left[\frac{KL}{r} \right]_m$ = 修正後之組合構材整體長細比

$\frac{a}{r_i}$ = 各單元型鋼之最大長細比

$\frac{a}{r_{ib}}$ = 各單元型鋼在平行於挫屈軸向但相對於各自重心之長細比
 a = 各單元型鋼之無支撐長度
 r_i = 各單元型鋼之最小迴轉半徑
 r_{ib} = 各單元型鋼在平行於挫屈軸向但相對於各自重心之最小迴轉半徑
 α = 分離比值 = $h/2r_{ib}$
 h = 垂直於組合構材斷面挫屈軸之各單元型鋼形心間之距離

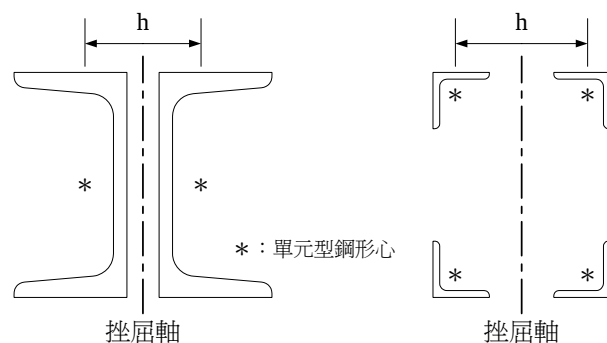
解說： 組合受壓構材之細部及設計要求若不能以計算應力表示時，可依以往之經驗或力學上之判斷決定之。

組合受壓構材之受壓組件間若以連接器連接，連接器間之縱向間距須使各單組件之長細比 L/r 不超過整體構材的長細比。本節之公式中，有關長細比 KL/r 以修正的 $(KL/r)_m$ 取代，主要是考慮連接器受剪力變形的影響 (Zandonini 1985)。連接器之設計須能抵抗構材挫屈時產生之剪力。最大剪應力發生於挫屈形狀斜率最大之處 (Bleich 1952)。

為了使組合構材各組件接合面有連續且密切的接合，螺栓之間的最大間距有時須小於依強度計算所需之間距。對於暴露於大氣中受腐蝕的耐候鋼構材，則可參考文獻 (Brockenbrough 1983) 的相關規定。本節有關開孔蓋板設計條文係根據廣泛的實驗研究而訂定 (Stang and Jaffe 1984)。

組合受壓構材由於施工複雜、昂貴，已較少使用。

公式(6.4-2)中，組合受壓構材計算分離比值時，其 h 值之定義如下圖所示：



圖C6.4-1組合金鋼之挫屈軸

6.5 樞接受壓構材之接合

樞接受壓構材之樞接頭處應符合5.4節之規定，惟不可使用公式(5.4-1)、(5.4-2)。

6.6 銲接箱型受壓構材

銲接箱型受壓斷面肢材之寬厚比小於或等於 λ_r 者，其設計強度為 $\phi_c P_n$ 。

其中，

$$\begin{aligned}\phi_c &= 0.85 \\ P_n &= A_g F_{cr}\end{aligned}\quad (6.6-1)$$

當 $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.211\lambda_c^3 - 0.57\lambda_c^2 - 0.06\lambda_c + 1.0)F_y \quad (6.6-2)$$

當 $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.764}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (6.6-3)$$

解說： 公式(6.6-2)及(6.6-3)係針對全滲透銲接箱型柱及半滲透銲接箱型柱進行曲線迴歸所得之平均強度(張學誠1994)，其中所採用之殘餘應力分佈及彈性模數，均是以試驗結果所得之平均值為準，再進行數值分析。

6.7 腹板深度變化之受壓構材

腹板深度漸變受壓構材之設計強度須根據6.2 節決定，其有效長細參數 λ_{eff} ，依下式計算：

$$\lambda_{eff} = \frac{S}{\pi} \sqrt{\frac{QF_y}{E}} \quad (6.7-1)$$

其中，

$S = KL/r_{oy}$ (對弱軸挫屈)，

$K_r L/r_{ox}$ (對強軸挫屈)

K = 等斷面構材之有效長度係數

K_r = 漸變斷面構材之有效長度係數

r_{ox} = 漸變斷面構材較小端之強軸迴轉半徑

r_{oy} = 漸變斷面構材較小端之弱軸迴轉半徑

F_y = 標稱降伏應力

Q = 折減係數

= 1.0，若所有構件合乎4.5節寬厚比 λ_r 之限制

= $Q_s * Q_a$ ，若任何加勁或非加勁構件超過4.5節 λ_r 之規定， Q_s 、 Q_a 值依附錄1計算

E = 鋼材之彈性模數

於(6.2-1)式中， A_g 使用漸變斷面構材之較小端的面積。

解說： 本節僅適用於腹板深度呈線性變化（沿構材長軸方向）之受壓構材，且構材斷面需具有至少一對稱軸。公式(6.7-1)是以一個等效的 λ_{eff} 來取代公式(6.2-4)的 λ_c 以計算腹板變深構材的受壓強度。在觀念上，此種計算方式係將變深構材轉換為一等效的均勻斷面構材（以小的一端為基準）及一相對應之有效柱長。因此公式(6.7-1)中使用新的有效長度係數 K_r 來計算腹板變深受壓構材的有效長度 (Lee et al. 1972)。

由公式(6.2-3)與(6.7-1)，腹板變深受壓構材的臨界挫屈荷重 P_{cr} 可以寫為 $(\pi^2 EI_o) / (K_r L)^2$ ， I_o 為較小一端之斷面慣性矩。 K_r 之值與構材兩端之束制狀況有關，可參考文獻(Lee et al. 1972)。

對於腹板變化非呈線性之構材（如驟變或開放斷面）並未包含於本節之範圍，其相關之討論可參考文獻(Galambos 1988；Bleich 1952；Timoshenko and Gere 1961)。

6.8 符號說明

A_g = 構材之全斷面積， cm^2

E = 彈性模數， tf/cm^2

F_{cr} = 臨界應力， tf/cm^2

F_y = 標稱降伏應力， tf/cm^2

K = 有效長度係數

K_r = 漸變斷面構材之有效長度係數

L = 構材之無側撐長度， cm

P_n = 標稱壓力強度， tf

Q = 折減係數

a = 各單元型鋼之無支撐長度， cm

h = 垂直於組合構材斷面挫屈軸之各單元型鋼形心間之距離， cm

r = 對挫屈平面之最小迴轉半徑， cm

r_i = 各單元型鋼之最小迴轉半徑， cm

r_{ib} = 各單元型鋼在平行於挫屈軸向但相對於各自重心之最小迴轉半徑， cm

r_{ox} = 漸變斷面構材較小端之強軸迴轉半徑， cm

r_{oy} = 漸變斷面構材較小端之弱軸迴轉半徑， cm

α = 分離比值

λ_c = 柱長細比係數

ϕ_c = 壓力強度折減係數