

附錄2 腹板變深之構材

1. 適用範圍

對於腹板變深之撓曲構材設計，除本附錄另有規定外，應符合第七章撓曲構材之要求。本附錄亦包含受拉力、壓力及同時承受撓曲及軸壓力之腹板變深構材設計。

2. 一般要求

適用於本規範之腹板變深構材應符合以下之條件：

- (1)構材斷面至少應具有一個對稱軸，且該對稱軸應與彎曲平面互相垂直；
- (2)組成構材斷面之各翼板應具有相同不變之斷面積；
- (3)腹板深度變化應符合以下之線性關係：

$$d_L = d_o (1 + \alpha \frac{Z}{L}) \quad (\text{A-2-1})$$

其中，

d_o =淺端之梁深

d_L =深端之梁深

$\alpha = (d_L - d_o) / d_o \leq 0.268 (L / d_o)$ 或 6.0之較小者

Z =自淺端算起之距離

L =構材未支撐段之長度（側撐構材重心之間的距離）

解說： 本附錄僅適用符合上述一般要求之腹板變深構材。對於本附錄中未及規定事項，請參考本規範中其它之相關規定。

3. 容許張應力

腹板變深張力構材之設計應符合5.2節之規定。

4. 容許壓應力

當腹板變深受壓構材之有效細長比 S 小於 C_c 時，其容許壓應力為：

$$F_{ar} = \frac{(1 - \frac{S^2}{2C_c^2})F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8}(\frac{S}{C_c}) - \frac{1}{8}(\frac{S}{C_c})^3} \quad (\text{A-2-2})$$

當 $S \geq C_c$ 時，其容許應力為：

$$F_{ar} = \frac{12\pi^2 E}{23S^2} \quad (\text{A-2-3})$$

其中，

$S = KL / r_{oy}$ (對弱軸撓曲)， $K_y L / r_{ox}$ (對強軸撓曲)

K = 等斷面構材之有效長度係數

K_y = 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

解說： 公式中 F_{ar} 推導係基於假設一腹板變深之受壓構材可視為另一具有均勻腹板深度（以原構材之較小為準）但具有不同長度之受壓構材來設計。換言之，它可被視為一斷面均勻之受壓構材但須使用一個修正長細比係數 K_r 來計算其挫屈強度(ASCE 7-88 and 7-92, 1988 and 1992)。

依據上述之假設，如圖CA-2.1所示，構中的梁對腹板變深之柱構材的端點束制作用將可合理的估計出來，並依圖CA-2.1中所示的 G_T 及 G_B 值進一步的求出腹板變深柱的有效長度係數 K_r 。對腹板變深柱而言，其彈性臨界挫屈荷重 $P_{cr} = (\pi^2 EI_o) / (K_r L)^2$ ，其 K_r 之值可依圖CA-2.2至圖CA-2.17求得，而 I_o 。則為構材較小端之斷面慣性矩。圖中的 K_r 值反映了腹板變深及端點束制之影響，當 $r=0$ 時， K_r 即等於一般均勻斷面構材之 K 值。

5. 容許彎曲應力

腹板變深之構材，其拉力外緣與壓力外緣之容許彎曲應力為：

$$F_{br} = \left[\frac{2}{3} \right] \left[1 - \frac{F_y}{6B\sqrt{F_{sr}^2 + F_{wr}^2}} \right] F_y \leq 0.6F_y \quad (A-2-4)$$

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

$$F_{br} = B\sqrt{F_{sr}^2 + F_{wr}^2} \quad (A-2-5)$$

其中，

$$F_{sr} = 840 / (h_s L d_o / A_f) \quad (A-2-6)$$

$$F_{wr} = 12000 / (h_w L / r_{TO})^2 \quad (A-2-7)$$

其中，

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

$$h_w = 1.0 + 0.00385\gamma\sqrt{L / r_{TO}}$$

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

A_f = 受壓翼板之面積

公式(A-2-4)、(A-2-5)中之 B 值依下列規定算：

(a) 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

$$B = 1 + 0.37 \left[1 + \frac{M_1}{M_2} \right] + 0.50\gamma \left[1 + \frac{M_1}{M_2} \right] \geq 1.0 \quad (\text{A-2-8})$$

當產生單曲率時， M_1 / M_2 為負。 M_1 / M_2 為正時，建議取其值為 0。

- (b) 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：

$$B = 1 + 0.58 \left[1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] - 0.70\gamma \left[1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] \geq 1.0 \quad (\text{A-2-9})$$

- (c) 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：

$$B = 1 + 0.55 \left[1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] + 2.20\gamma \left[1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right] \geq 1.0 \quad (\text{A-2-10})$$

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

公式(A-2-9)、(A-2-10)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 $f_{b1} / f_{b2} \neq 0$ 。

- (d) 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：

$$B = \frac{1.75}{1.0 + 0.25\sqrt{\gamma}} \quad (\text{A-2-11})$$

其中， γ 係針對鄰接零撓曲應力點之無側撐長度部分計算。

解說：基本上，本規範中對於腹板變深撓曲構材之設計方法，乃是將該構材轉換為一支具有與構材較小端相等「均勻斷面」但「不同長度」之梁來設計 (Lee 1972)。此一觀念亦用來設計腹板變深之受壓構材。上述公式中的修正長度因子 h_s 及 h_w 即是基於此一觀念而導出的。

本節中有關 F_{br} 之計算考慮了 St. Venant 及 Warping 扭轉效應對梁之鉅向扭轉挫屈之影響。公式中的修正係數 B 考慮了彎矩梯度及相鄰側支撐的影響。對於連續通過側支撐點的梁而言，通常均可適用於本節(a)、(b)或(c)之狀況。不過仍應注意這些狀況只適用於軸力不大及相鄰梁段之長度相差不大之情形。對於單獨之梁，B 值可取為 1.0。此外，當 F_{br} 用於組合應力公式計算時，則 $B=1.0$ ，此乃是因為彎矩梯度效應已由 C'_m 值考慮之。

6. 容許剪應力

腹板變深撓曲構材之容許剪應力應符合第 7.5 節之規定。

7. 受撓曲與軸壓力共同作用

腹板變深構材同時受撓曲與軸壓力共同作用時應符合以下之規定：

$$\left(\frac{f_{ao}}{F_{ay}}\right) + \frac{C'_m}{1 - \frac{f_{ao}}{F'_{er}}} \left(\frac{f_{bl}}{F'_{by}}\right) \leq 1.0 \quad (\text{A-2-12})$$

$$\left(\frac{f_a}{0.6F_y}\right) + \left(\frac{f_b}{F_{br}}\right) \leq 1.0 \quad (\text{A-2-13})$$

但當 $(f_{ao}/F_{ar}) \leq 0.15$ 時，可用以下公式取代上述之兩個公式：

$$\left(\frac{f_{ao}}{F_{ar}}\right) + \left(\frac{f_{bl}}{F_{br}}\right) \leq 1.0 \quad (\text{A-2-14})$$

當 $kL/r \geq C_c$ 時，且構材之組合應力係沿構材長度逐段檢核時，以上公式中之 f_{ao} 及 f_{bl} 可分別以 f_a 及 f_b 取代之。

其中，

F_{ar} = 構材僅受壓時之容許壓應力

F_{br} = 構材僅受彎矩時之容許撓曲應力

F'_{er} = Euler 挫屈應力除以安全係數 23/12，即：
$$\frac{12(\pi^2 E)}{23(K_r L_b / r_{bo})^2}$$

其中， L_b 為在挫屈平面上之實際未支撐長度， r_{bo} 為所對應的構材較小端之迴轉半徑。

f_{ao} = 依計算所得作用於構材較小端之軸應力

f_{bl} = 依計算所得作用於構材較大端之撓曲應力

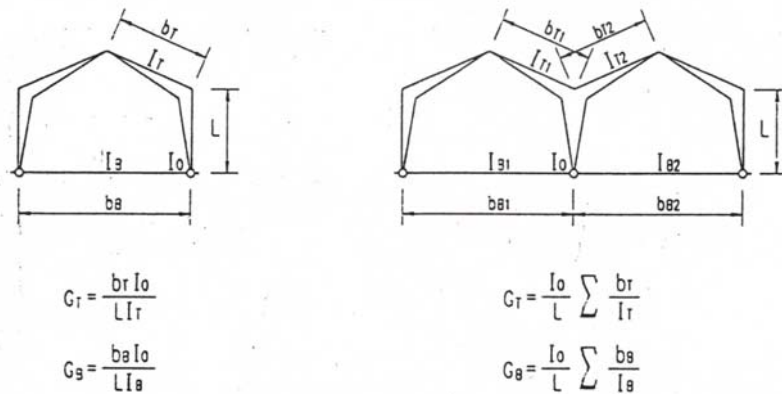
C'_m = 彎矩修正係數，依以下規定計算：

(1) 當構材承受單曲率彎曲且依計算所得作用於構材兩端之彎矩大小相近時：

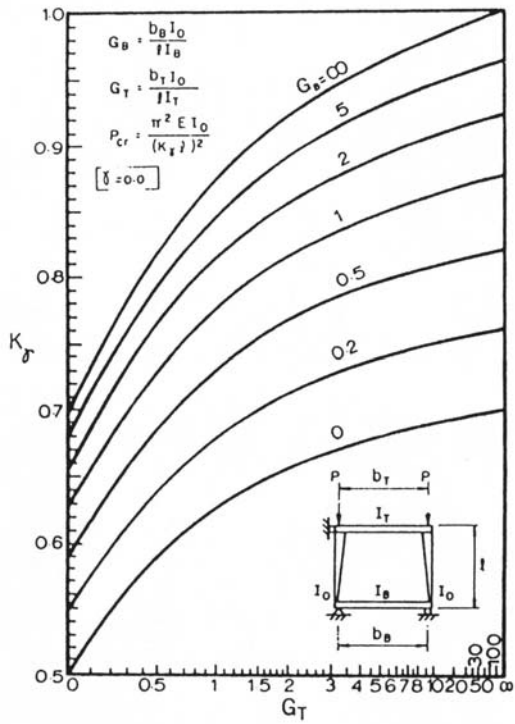
$$C'_m = 1.0 + 0.1 \left(\frac{f_{ao}}{F'_{er}} \right) + 0.3 \left(\frac{f_{ao}}{F'_{er}} \right)^2$$

(2) 當依計算所得之撓曲應力在構材之較小端為零時：

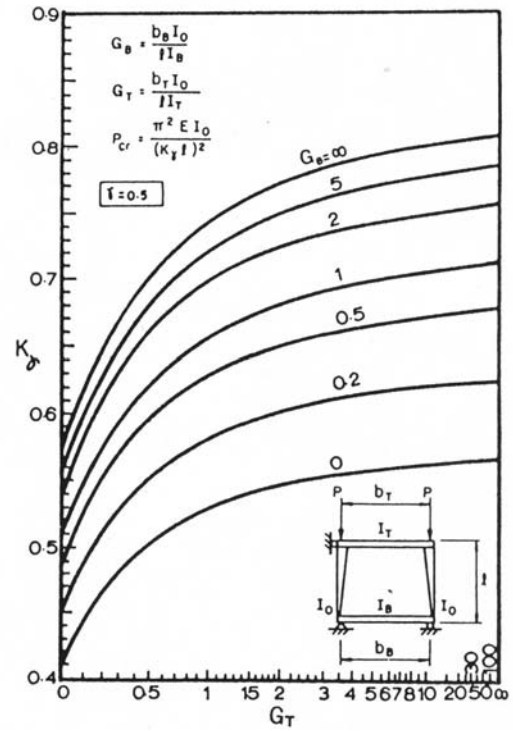
$$C'_m = 1.0 - 0.9 \left(\frac{f_{ao}}{F'_{er}} \right) + 0.6 \left(\frac{f_{ao}}{F'_{er}} \right)^2$$



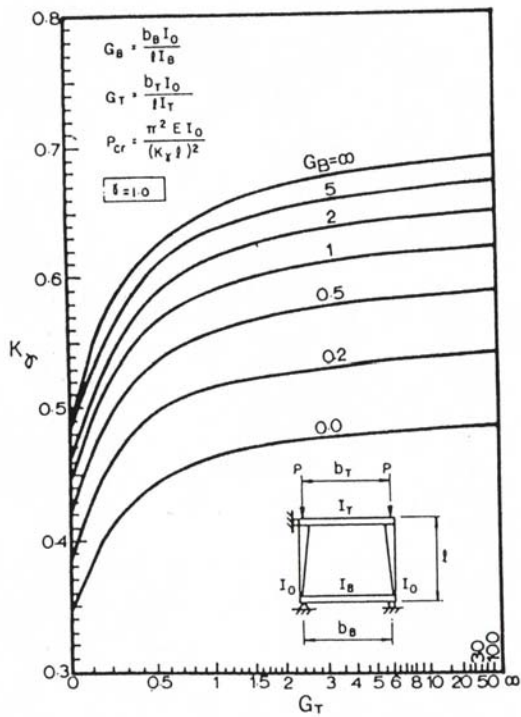
圖CA-2.1 相對勁度係數



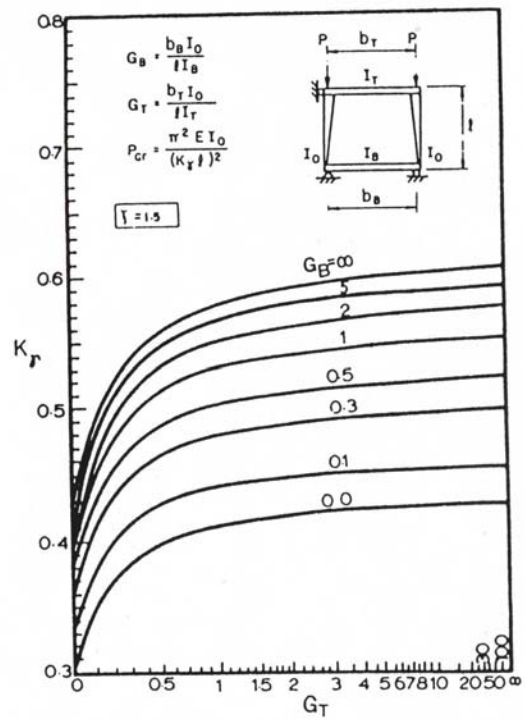
圖CA-2.2 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=0$)



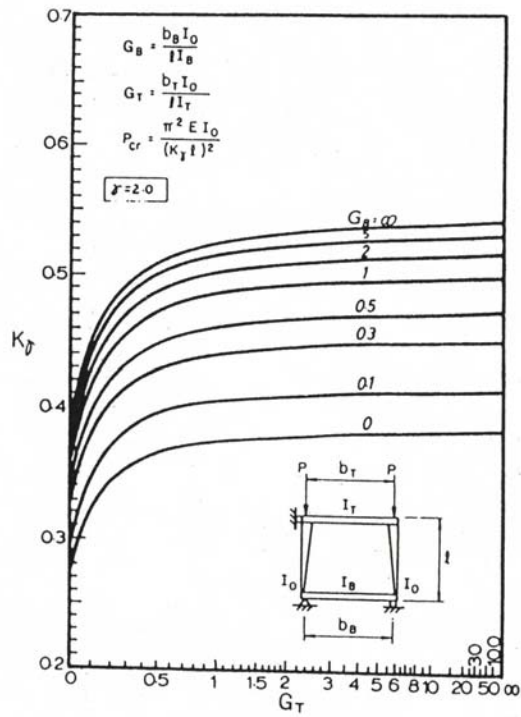
圖CA-2.3 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=0.5$)



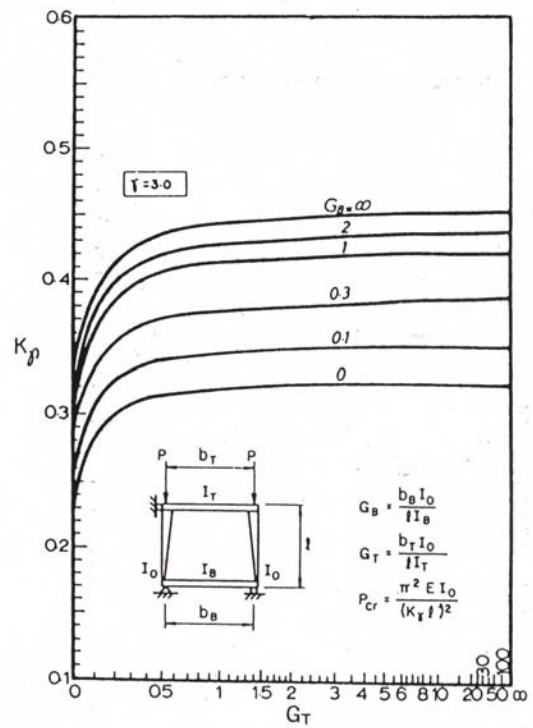
圖CA-2.4 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=1.0$)



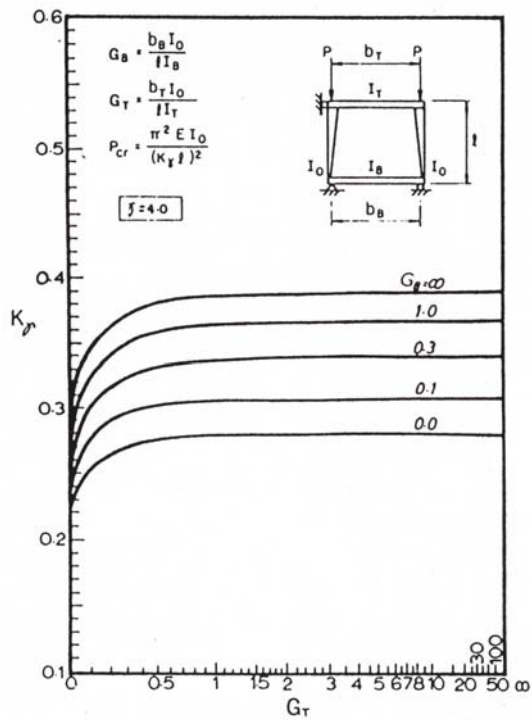
圖CA-2.5 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=1.5$)



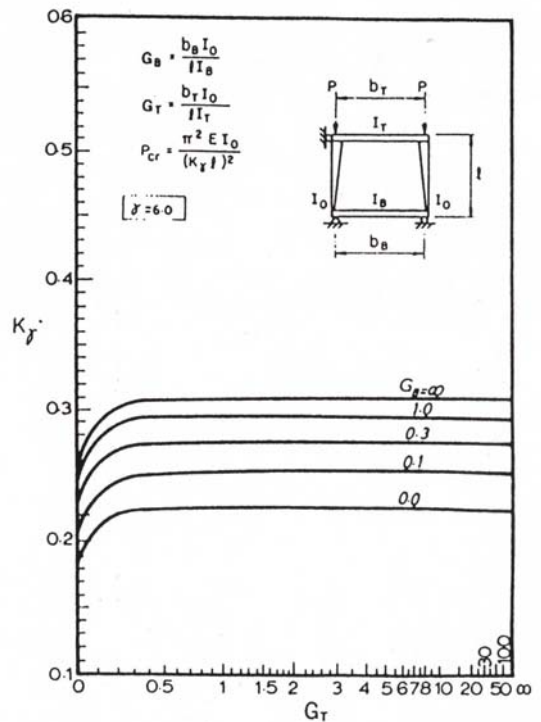
圖CA-2.6 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=2.0$)



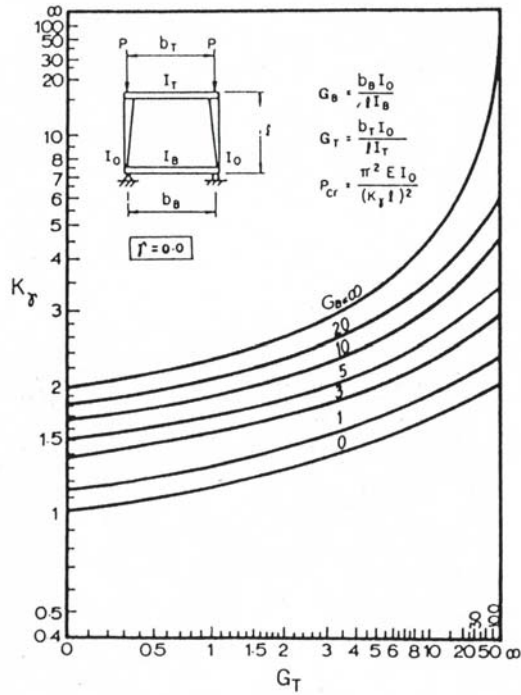
圖CA-2.7 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=3.0$)



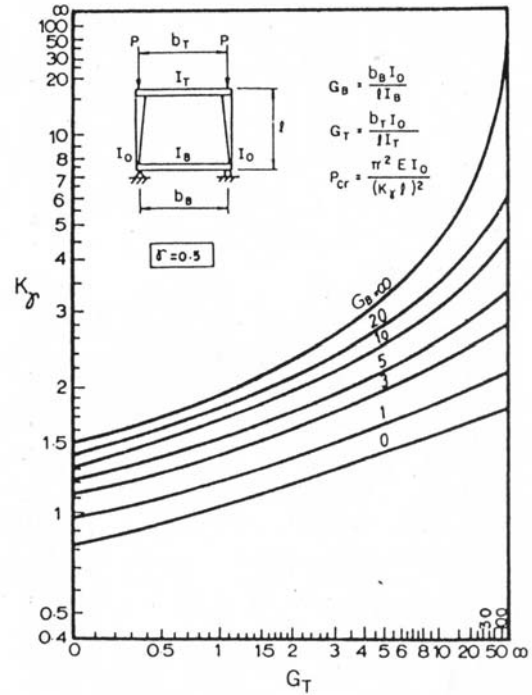
圖CA-2.8 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=4.0$)



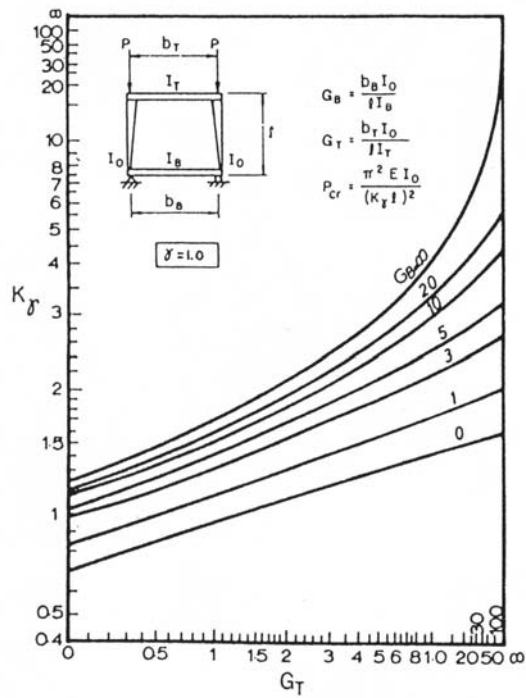
圖CA-2.9 變斷面柱之有效長度係數
(無側移, $\gamma=6.0$)



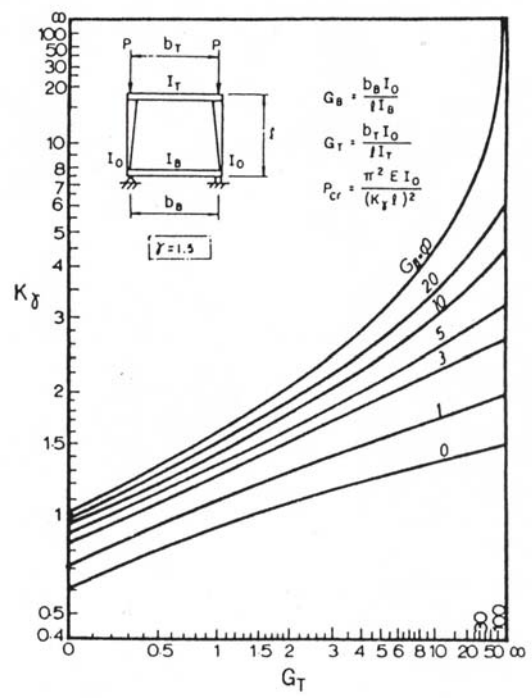
圖CA-2.10 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=0$)



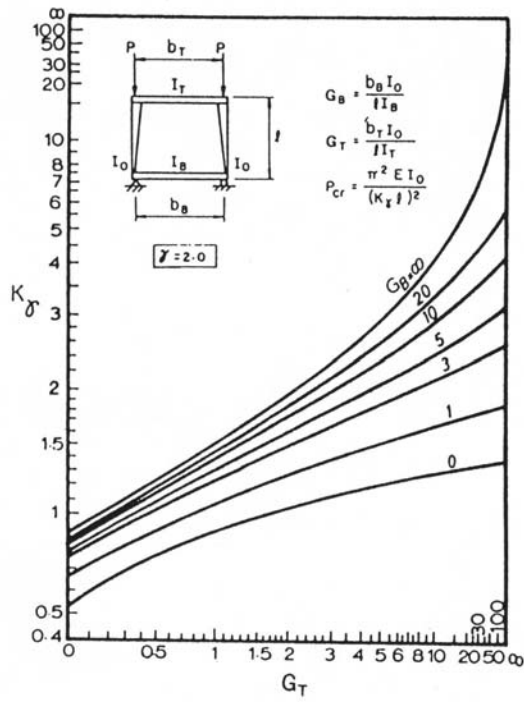
圖CA-2.11 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=0.5$)



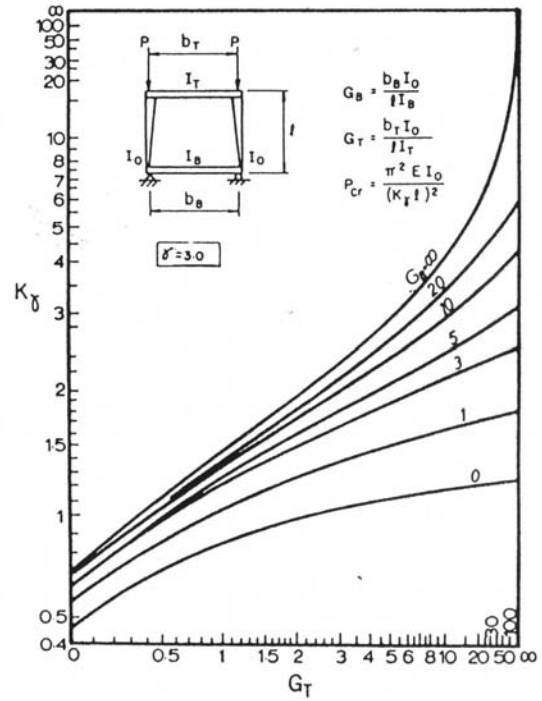
圖CA-2.12 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=1.0$)



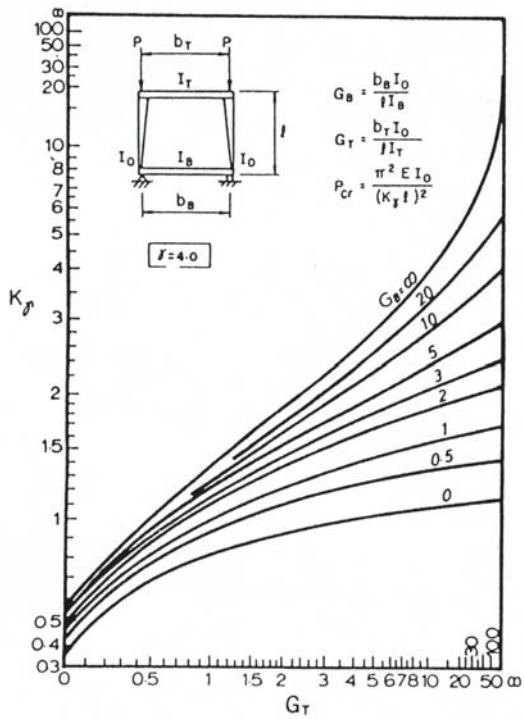
圖CA-2.13 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=1.5$)



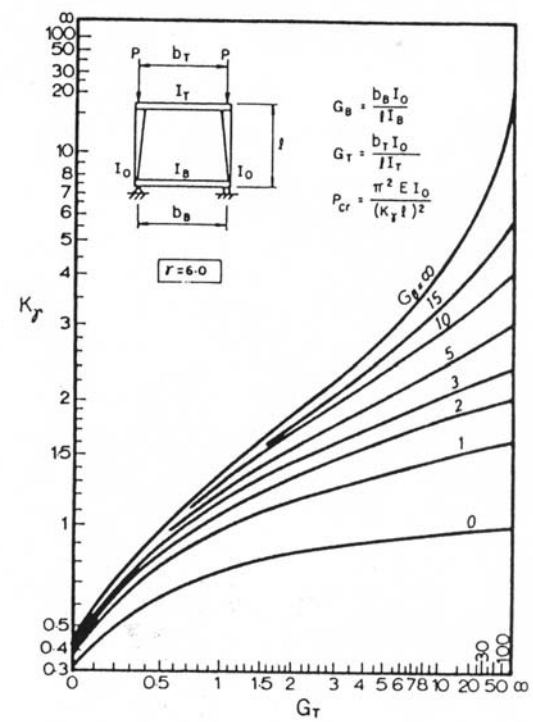
圖CA-2.14 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=2.0$)



圖CA-2.15 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=3.0$)



圖CA-2.16 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=4.0$)



圖CA-2.17 變斷面柱之有效長度係數
(有側移, $\gamma=6.0$)