

第六章 受軸壓力作用之構材

6.1 適用範圍

本章適用於僅受軸壓力作用之包覆型鋼骨鋼筋混凝土構材與鋼管混凝土構材之設計。對於同時受軸力與彎矩共同作用之鋼骨鋼筋混凝土構材，其設計應符合第七章之規定。

6.2 柱之種類

1. 包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱：

由型鋼或組合鋼骨斷面完全包覆於鋼筋混凝土之中所組成之鋼骨鋼筋混凝土柱，且符合第 6.3 節之相關規定者。

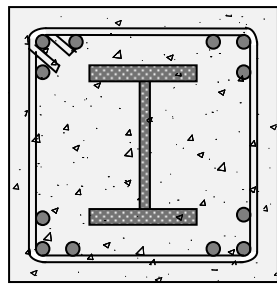
2. 鋼管混凝土柱：

鋼管混凝土柱依混凝土填充或包覆方式之不同，可分為(1)填充型鋼管混凝土柱(2)包覆填充型鋼管混凝土柱，且均應符合第 6.3 節之相關規定者。鋼管混凝土柱之鋼管部分得由矩形或圓形鋼管組成，或由鋼板銲接組成箱形或圓形鋼骨斷面。

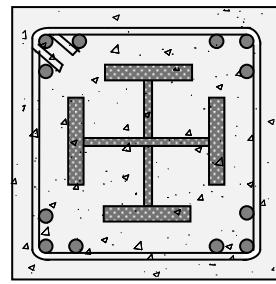
3. 由數個獨立鋼骨斷面組成之鋼骨鋼筋混凝土柱：

如果鋼骨鋼筋混凝土柱斷面是由數個獨立的鋼骨斷面所組成，鋼骨斷面之間須以適當的繫條或繫板互相連結，以確保組合構材之整體性。

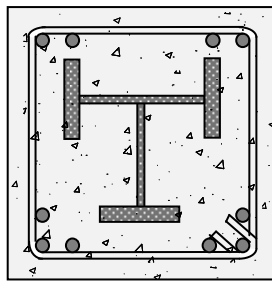
解說：圖 C6.2.1 與 C6.2.2 顯示幾種包覆型 SRC 柱與鋼管混凝土柱之斷面。在 SRC 梁柱構架中，包覆型 SRC 柱之主筋以分佈在斷面四個角落為宜 [10]。惟當 SRC 柱斷面較大時，若相鄰主筋的間距大於 300mm 時，則應加配補助筋，詳如第四章之圖 C4.3.4 所示。有關詳細的 SRC 柱鋼筋配置規定，設計者應參照本規範第 4.3 與 9.6 節之內容。



(a) 包覆 I 型 SRC 柱

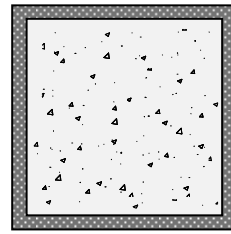
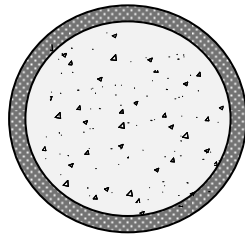


(b) 包覆十字型 SRC 柱

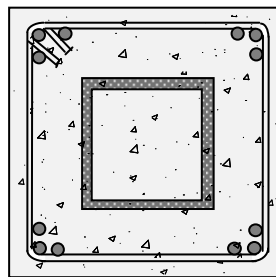


(c) 包覆 T 字型 SRC 柱

圖 C6.2.1 包覆型 SRC 柱斷面



(a) 填充型鋼管混凝土柱



(b) 包覆填充型鋼管混凝土柱

圖 C6.2.2 鋼管混凝土柱斷面

相對於純鋼柱而言，填充型鋼管混凝土柱 (Concrete-Filled Tubular Column, CFT 柱) 主要的特色是可以在不增加柱斷面積之情況下，有效增加柱之抗壓強度與勁度。

設計者宜注意圖 C6.2.3 所顯示的幾種不合理的 SRC 柱配筋圖。這些柱斷面的主要缺點是配筋太密，將使得梁柱接頭處施工困難。當 SRC 柱與 SRC 梁交會時，此種配筋太密的 SRC 柱中的一部份主筋，將受到梁柱接頭處之鋼梁翼板的阻擋，因而導致一部份主筋無法連續通過梁柱接頭。如果梁柱接頭處之柱主筋無法連續貫通，則將導致接頭處之彎矩傳遞發生問題，因此梁柱構架中不宜使用太密的 SRC 柱配筋方式。

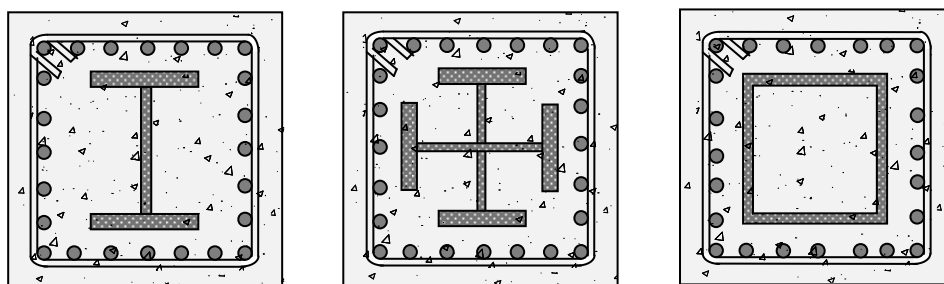


圖 C6.2.3 配筋太密的 SRC 柱斷面 (梁柱構架中不宜使用)

另一方面，如果 SRC 柱內之鋼骨是由二個或多個獨立分開的鋼骨斷面所組成(目前較不常用)，應使用繫條或繫板連結 SRC 柱內各個獨立的鋼骨斷面，以增進整體構材之穩定性，亦對鋼骨斷面內的混凝土有圍束之功能。

本規範於第五章之解說中曾述及宜儘量避免使用空腹形 (Open Web Section) 的 SRC 斷面，若不得已必須採用時，則應在各鋼骨斷面間配置適當之繫條或繫板互相連結。

6.3 一般要求

1. 鋼骨鋼筋混凝土柱中之鋼骨斷面積不得少於構材全斷面積之 2%。若鋼骨斷面積少於構材全斷面積之 2%，則應依內政部所定之「混凝土結構設計規範」之規定設計。
2. 鋼骨鋼筋混凝土柱中之鋼筋混凝土，其主筋、箍筋及混凝土保護層均應符合第 4.3、4.4 及 4.5 節之規定。
3. 鋼骨鋼筋混凝土柱中之鋼骨斷面肢材寬厚比，應符合 3.4 節表 3.4-2 與 3.4-3 中 λ_p 之規定。
4. 鋼骨鋼筋混凝土柱中之鋼骨其規定降伏應力不宜大於 3,520 kgf/cm²，鋼筋之規定降伏應力不宜大於 5,600 kgf/cm²，混凝土規定抗壓強度 f_c' 不宜小於 210 kgf/cm²。
5. 包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱若需採用規定抗壓強度 f_c' 大於 420 kgf/cm² 之混凝土時，或填充型鋼管混凝土柱採用抗壓強度 f_c' 大於 560 kgf/cm² 之混凝土時，應以公認合理之試驗證明其可行性與可靠度。

解說：有關 SRC 柱斷面最小鋼骨比之限制，美國 AISC-LRFD 之規定為 4% [11]，而日本 AIJ-SRC 規範則僅要求不得小於 0.8% [10]。此兩種不同的規定各有特色，AISC 之規定可以使 SRC 構造中之鋼骨發揮較大之貢獻，並有助於縮小柱斷面之尺寸。AIJ 之規定則賦予設計者較大的自由選擇空間。我國 SRC 規範採用最小鋼骨比為 2% 之限制主要係在上述兩者之間取一折衷值[21]。

在 SRC 柱採用高強度的混凝土方面，本節之限制主要考量當混凝土強度提高時，其脆性的現象將更為明顯，同時目前國內外的相關研究仍然有限。惟若有公認合理的試驗證明其可行性與可靠度，且在實際施工時亦能確保混凝土之品質，則混凝土之強度限制應可考慮酌予放寬。

6.4 設計受壓強度

符合 6.3 節規定之鋼骨鋼筋混凝土柱，其設計受壓強度 $\phi_c P_n$ 應不小於由因數化載重組合所計得之最大需要受壓強度 P_u 。設計受壓強度 $\phi_c P_n$ 得採用以下三種方式之一決定之：

1. 採用「強度疊加法」，依本章 6.4.1 節之規定計算。
2. 依內政部所定之「混凝土結構設計規範」相關規定計算。
3. 依內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」相關規定計算。

鋼骨鋼筋混凝土柱端部之主筋若未連續通過梁柱接頭，或未依規定適當錨定時，均應視為補助筋且不計其對彎矩強度之貢獻。

6.4.1 強度疊加法

鋼骨鋼筋混凝土柱之設計受壓強度 $\phi_c P_n$ 得採用「強度疊加法」計算如下：

$$\phi_c P_n = \phi_{cs} P_{ns} + \phi_{crc} P_{nrc} \quad (6.4-1)$$

其中：

P_{ns} = 鋼骨部分之標稱受壓強度，依 6.4.2 節之規定計算

P_{nrc} = 鋼筋混凝土部分之標稱受壓強度，依 6.4.3 節之規定計算

ϕ_{cs} = 鋼骨部分之強度折減係數， $\phi_{cs} = 0.85$

ϕ_{crc} = 鋼筋混凝土部分之強度折減係數

(1) 包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱：

(i) 配置橫箍筋， $\phi_{crc} = 0.65$

(ii) 配置螺箍筋， $\phi_{crc} = 0.7$

(2) 鋼管混凝土柱：

(i) 填充型鋼管混凝土柱， $\phi_{crc} = 0.75$

(ii) 包覆填充型鋼管混凝土柱， $\phi_{crc} = 0.7$

解說：有關 SRC 柱設計受壓強度之計算，本規範採用強度疊加法來求得，

亦即 SRC 柱之受壓強度為鋼骨部分與混凝土部分抗壓強度貢獻之和 [21]。

對於本規範採用的 SRC 柱設計強度公式，文獻[20,32,33]中針對多組不同斷面與長度的 SRC 柱進行探討(包含包覆 I 型、包覆十字型、鋼管混凝土斷面)，分別比較公式(6.4-1)與實驗值或假設斷面所計得之 SRC 柱受壓強度。研究結果顯示，公式(6.4-1)可以得到合理的結果。其中文獻[33]廣泛收集國內外 SRC 梁、柱與梁柱之實驗資料作為比較之基準。

另一方面，本規範容許 SRC 柱之設計受壓強度 $\phi_c P_n$ 亦得採用另外二種方式決定的原因之一，在於「混凝土結構設計規範」[2] 與「鋼結構極限設計法規範及解說」[1]係由內政部已經頒佈之合法規範，可提供設計者另外的選擇。

在強度折減係數方面，本節採用 SRC 柱配置橫箍筋時 $\phi_{cr} = 0.65$ ，配置螺箍筋時 $\phi_{cr} = 0.7$ ，而非 ACI-318-99 規範中所用之 $\phi_c = 0.7$ 或 0.75 的原因，在於本規範使用的載重係數是依據 ASCE-7-02 訂定[49]，而非直接採用 ACI-318-99 規範中的載重係數之緣故，因此需要將 RC 部分之強度折減係數作相對的調整，此調整係依據 ACI-318-05 規範第九章而訂定[50]。

此外，本節對於 SRC 柱端部主筋配置之規定，主要在避免設計者在 SRC 柱內配置過多主筋，導致施工時主筋無法連續通過梁柱接頭的現象。倘若設計者在 SRC 柱內配置過多主筋，工人可能因施工困難而將主筋於梁柱接頭處切斷或彎折，將會嚴重損壞梁柱接頭傳遞彎矩之功能。

6.4.2 鋼骨部分之標稱受壓強度

鋼骨鋼筋混凝土柱中鋼骨部分之標稱受壓強度 P_{ns} 依以下規定計算：

(1) 當 $\lambda_c \leq 1.5$ 時：

$$P_{ns} = [\exp(-0.419\lambda_c^2)] F_{ys} A_s \quad (6.4-2)$$

(2) 當 $\lambda_c > 1.5$ 時：

$$P_{ns} = \left(0.877/\lambda_c^2 \right) F_{ys} A_s \quad (6.4-3)$$

其中： F_{ys} = 鋼骨之規定降伏應力， kgf/cm^2

A_s = 鋼骨之斷面積， cm^2

$$\lambda_c = \frac{KL}{\pi r_{\text{eff}}} \sqrt{\frac{F_{ys}}{E_s}} \quad (6.4-4)$$

KL = 鋼骨鋼筋混凝土構材之有效長度， cm

E_s = 鋼骨之彈性模數， kgf/cm^2

r_{eff} = 鋼骨鋼筋混凝土構材中鋼骨斷面之有效迴轉半徑

$$r_{\text{eff}} = r_s + \alpha \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \quad (6.4-5)$$

r_s = 鋼骨斷面之迴轉半徑， cm

I_g = 鋼骨鋼筋混凝土構材全斷面之慣性矩， cm^4

A_g = 鋼骨鋼筋混凝土構材全斷面之面積， cm^2

α = 鋼骨斷面有效迴轉半徑修正因子，其值如下：

(1) 包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱內含 I 型鋼骨斷面：

(i) 對強軸彎曲： $\alpha = 0.2$

(ii) 對弱軸彎曲： $\alpha = 0.4$

(2) 包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱內含十字或 T 型鋼骨斷面：

$\alpha = 0.3$

(3) 填充型鋼管混凝土柱： $\alpha = 0.1$

(4) 包覆填充型鋼管混凝土柱： $\alpha = 0.2$

解說：在鋼骨部分的受壓強度方面，本節主要參考 AISC-LRFD 規範中鋼柱

強度之設計公式[11]。不過，由於 SRC 柱中的鋼骨受到混凝土的包覆或填充，除了較不易發生挫屈之外，對於具有相同斷面尺寸與長度的鋼構材而言，SRC 柱中鋼骨之真實有效長細比 (Slenderness Ratio) 將比在純鋼柱情況下之值為低。為了反映鋼骨受混凝土束制的影響，本節採用一個參數“ r_{eff} ”，即 SRC 構材中鋼骨之有效迴轉半徑 (Effective Radius of Gyration)，來作為 SRC 柱中鋼骨強度計算之依據，如公式 (7.4.5) 所示。由於 r_{eff} 的大小與 SRC 柱斷面型式有關，故對於不同型式的 SRC 斷面可由一個稱為“ α ”的修正係數來考慮之。較為詳細的背景資料可參考文獻[20,33]之研究結果。

6.4.3 鋼筋混凝土部分之標稱受壓強度

鋼骨鋼筋混凝土柱中鋼筋混凝土部分之標稱受壓強度 P_{nrc} 為以下兩式所計得之較小值：

$$P_{nrc} = \phi_e (0.85f'_c A_c + A_r F_{yr}) \quad (6.4-6)$$

$$P_{nrc} = \phi_e \left[\frac{\pi^2 (EI)_{rc}}{(KL)^2} \right] \quad (6.4-7)$$

其中： $\phi_e = 0.8$ ，配置橫箍筋時

$\phi_e = 0.85$ ，配置螺箍筋時

$f'_c =$ 混凝土之規定抗壓強度， kgf/cm^2

$A_c =$ 混凝土部分之斷面積， cm^2

$F_{yr} =$ 鋼筋之規定降伏應力， kgf/cm^2

$A_r =$ 鋼筋之斷面積， cm^2

$KL =$ 鋼骨鋼筋混凝土構材之有效長度， cm

$(EI)_{rc} =$ 鋼筋混凝土部分之撓曲剛度， $(EI)_{rc} = E_c I_g / 5$ ， E_c 為混凝土彈性模數， I_g 為全斷面對形心軸之慣性矩

解說：公式(6.4-6)與(6.4-7)分別表示 RC 短柱與長柱之標稱受壓強度，後者

為 Euler 柱挫屈強度。公式中 ϕ_e 與 $(EI)_{rc}$ 之計算主要參考 ACI-318-05 規範中之規定[50]。 ϕ_e 主要考慮最小偏心距 (Eccentricity)與持久載重效應之影響；而 $(EI)_{rc}$ 則保守的不計鋼筋對勁度之貢獻，這主要是考慮在較大的應變下，混凝土與鋼骨可能剝離，此時鋼筋對構材勁度之貢獻將明顯降低，甚至鋼筋可能發生局部挫屈現象。

6.5 柱腳之設計

6.5.1 設計要求

1. 鋼骨鋼筋混凝土柱腳之設計應確保其能抵抗各種載重組合下所承受之軸力、彎矩與剪力。
2. 錨栓之設計需能抵抗在各種載重組合下，鋼柱端所承受之拉力與剪力，包含由柱底部束制產生之彎矩所引致之淨拉力分量。
3. 利用螺栓或鋼棒構成埋置構件以抵抗拉力載重時，設計時需將載重藉握裹力、剪力、承载力或聯合作用力傳遞至混凝土上。
4. 柱基與混凝土間之承载力：

柱基下方之混凝土其設計承壓強度為 $\phi_{cp}P_p$ ，其中 $\phi_{cp} = 0.6$ 。 P_p 之值計算如下：

- (1) 由混凝土全面積支承時

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \quad (6.5-1)$$

- (2) 鋼骨承壓面積小於混凝土全部面積時

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (6.5-2)$$

其中： A_1 = 鋼骨在混凝土支承上之承壓面積， cm^2

A_2 = 混凝土之有效擴大承壓面積， cm^2 ，其值為
混凝土支承面上與承壓面積同心且幾何形狀
相似之最大面積，且 $\sqrt{A_2/A_1} \leq 2$

解說：當基板承壓面積小於混凝土基座之支承面積時，由於基板周圍之混凝土

土可對承壓區產生圍束作用，此圍束作用將可提高混凝土之承壓強度，公式(6.5-2)中之 $\sqrt{A_2/A_1}$ 即在提高混凝土之承壓力[1]。圖 C6.5.1 說明如何決定有效擴大承壓面積 A_2 。

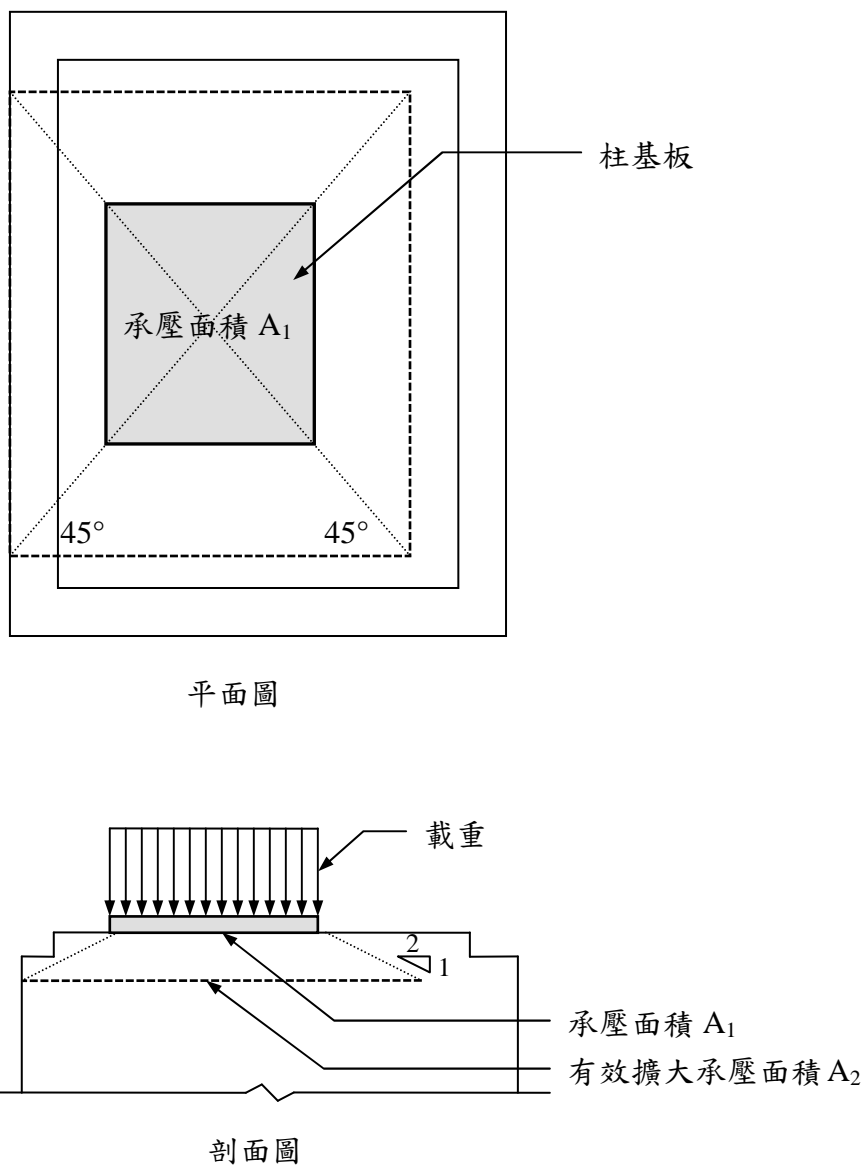


圖 C6.5.1 鋼骨基板之承壓面積[1]

6.5.2 設計細則

1. 鋼骨鋼筋混凝土柱之鋼骨柱腳應設置施工上必要之錨定螺栓及柱基板。
2. 鋼骨鋼筋混凝土柱之鋼骨組立若影響柱腳主筋時，鋼骨柱腳之斷面設計可採漸縮方式，惟不得影響柱腳之安全性及抵抗外力之能力。
3. 柱腳下方梁內主筋之配置不宜過密以免影響鋼骨基座錨定螺栓之安裝。

解說：SRC 柱腳可設計為露出型或埋入型[13]。露出型柱腳係指 SRC 柱之鋼骨基板固定於基礎梁上之 SRC 柱腳；埋入型柱腳指鋼骨基板埋入基礎梁內之 SRC 柱腳。

對露出型柱腳而言，設計者應檢核柱基板下方及環繞柱基板周圍之混凝土是否具有足夠之強度，以抵抗由基板上方 SRC 柱中鋼骨及混凝土所傳遞之軸力、彎矩與剪力。對埋入型柱腳而言，由於鋼骨埋入地梁內，埋入部分之鋼骨將受到周圍混凝土之側向束制，此側向束制有助於降低柱基板處之需要彎矩強度。

基於施工的理由，鋼骨柱腳即使未受到彎矩作用仍須配置適當的錨定螺栓與柱基板。圖 C6.5.2 顯示一個 SRC 柱基腳採用漸縮鋼骨斷面並於鋼骨上配置剪力釘之設計示意圖。設計者宜注意鋼骨斷面之縮小應不對柱腳之安全性產生不良之影響。

此外，基腳下方梁之配筋不宜過密，否則在施工現場常發生為了安裝基座錨定螺栓而將主筋切斷之情形。可能的解決方法之一是將梁寬度適當的加大以配置主筋，並預留適當空間給錨定螺栓[13]。

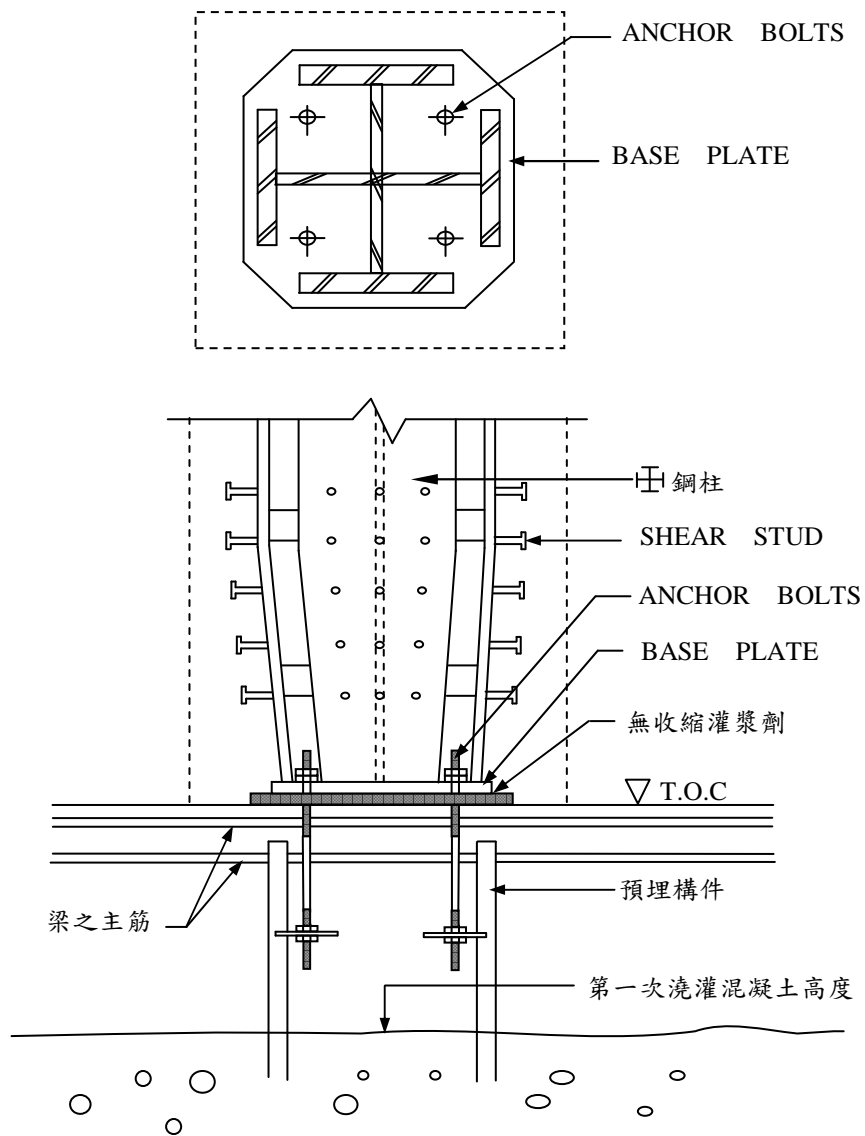


圖 C6.5.2 SRC 柱基腳採用漸縮鋼骨斷面