

第九章 耐震設計

9.1 適用範圍

本章適用於抵抗地震力之鋼骨鋼筋混凝土抗彎矩構架，或由鋼骨鋼筋混凝土抗彎矩構架與斜撐構架或剪力牆合併使用共同抵抗地震力之二元結構系統。

9.2 材料

鋼骨鋼筋混凝土構造中，用以抵抗地震力之鋼骨、鋼筋及混凝土材料應符合以下之規定：

1. 鋼骨

鋼骨材料應符合下列規格：

CNS 2947 [銲接結構用軋鋼料]

SM400A，SM400B，SM400C，SM490A

SM490B，SM490C，SM490YA，SM490YB

SM520B，SM520C

CNS 4269 [銲接結構用耐候性熱軋鋼料]

SMA400AW，SMA400AP，SMA400BW

SMA400BP，SMA400CW，SMA400CP

SMA490AW，SMA490AP，SMA490BW

SMA490BP，SMA490CW，SMA490CP

SMA570W，SMA570P

CNS 13812 [建築結構用軋鋼料]

SN400A，SN400B，SN400C，SN490B，SN490C

CNS 4435 [一般結構用碳鋼鋼管]

2. 鋼筋

用以抵抗地震力之鋼骨鋼筋混凝土之構材，其鋼筋應符 CNS 560 [鋼筋混凝土用鋼筋] 中 SD280W 或 SD420W 之要求。CNS 560 中之 SD280 與 SD420 亦可使用，惟須滿足下列條件：

- (1) 實測降伏強度不得超過規定降伏強度 $1,300 \text{ kgf/cm}^2$ 以上；
- (2) 實測抗拉強度與實測降伏強度之比值不得小於 1.25。

3. 混凝土

混凝土之規定抗壓強度 f_c' 不得小於 210 kgf/cm^2 。包覆型鋼骨鋼筋混凝土構材若需採用規定抗壓強度大於 420 kgf/cm^2 之混凝土時，或填充型鋼管混凝土構材若需採用規定抗壓強度大於 560 kgf/cm^2 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：CNS 2947 之規定主要沿用日本 JIS G3106 「熔接構造用壓延鋼材」之標準，其鋼材編號前兩個字母為 SM，一般以 SM 系列稱之。在 SS 系列鋼材方面，由於該系列鋼材並未明訂含碳量之限制，無法明確評估其可銲性，故本章排除 SS 系列鋼材使用於耐震設計。但不使用銲接之非耐震構材(包括小梁)，仍可考慮選用 SS 系列鋼材。

另一方面，依美國 ASTM 規格，一般常用於耐震設計之鋼材包含 A36 及 A572 (Grade 50)鋼材。近年來，由於冶金科技進步等因素，A36 鋼材之「真實降伏強度」常明顯大於「標稱降伏強度」36 ksi (有時可能超出近三分之一)。若設計者採用 A36 鋼材作為梁構材，而以 A572 Grade 50 鋼材作為柱構材，則可能因為梁構材的真實降伏強度過高，導致強柱弱梁之檢核結果失去真實性，此點值得設計者加以注意。

耐震設計時，一般 SRC 構造較少採用降伏強度 F_{ys} 大於 $3,520 \text{ kgf/cm}^2$ (50 ksi) 的鋼材，主要係 F_{ys} 大於 $3,520 \text{ kgf/cm}^2$ 的鋼材通常極限應變較小，韌性相對降低，且鋼材降伏比 F_{ys}/F_{us} 亦偏大，故於耐震結構中較少使用。但由於材料科技進步快速，如有鋼材能符合強度、韌性及可

銲性等需要，在有充分驗證下可考慮採用之。

鋼筋之真實降伏強度不得超出規定降伏應力太多，主要為避免彎矩強度增加致使剪力增加可能產生剪力破壞。若鋼筋降伏強度過高，混凝土與鋼筋之間在鋼筋達到降伏強度前恐已先發生握裹破壞[9]。SD280W 與 SD420W 銲接性較佳，均可滿足第(1)、(2)款之條件。此外，由於熱軋製造之鋼筋一般比水淬鋼筋具有較佳之韌性，若以續接器接續主筋時，不可採用水淬鋼筋。

混凝土材料之規定抗壓強度的下限值規定，主要在確保混凝土之強度與品質；至於抗壓強度的上限值要求，主要係因為高強度混凝土其品質控制之難度較高，強度易受施工影響，且材料韌性相對較低。惟若有充份合理之試驗證明其強度、韌性與品質之可靠性，且在施工過程仍可確保其品質時，將可考慮採用之。

9.3 柱之軸向強度

用以抵抗地震力之鋼骨鋼筋混凝土柱，除應滿足相關之載重組合外，在不考慮彎矩作用下，該柱之軸向強度須符合下列要求：

1. 受軸壓力作用時：

$$1.2P_D + 0.5P_L \pm (1.4F_u) \times P_E \leq \phi_c P_n \quad (9.3-1)$$

2. 受軸拉力作用時：

$$0.9P_D \pm (1.4F_u) \times P_E \leq \phi_t P_n \quad (9.3-2)$$

其中 P_D 、 P_L 、 P_E 分別為靜載重、活載重及地震力作用下所造成之軸力， $\phi_c P_n$ 與 $\phi_t P_n$ 為柱之設計受壓強度及拉力強度。 F_u 為地震力折減係數，其值不必超過 2.5。

對於停車場、公眾集會場所或活載重超過 0.5 tf/m^2 者，(9.3-1)式中 P_L 之載重係數應取為 1.0。上列之載重組合不必超過與該柱相接各構材或接頭區在極限狀態下所能傳至柱之軸力的 1.25 倍。此外，抗彎矩構架之鋼骨鋼筋混凝土柱構材，若 $P_u / \phi P_n \leq 0.5$ 且滿足本規範相關之規定時，則可不必檢核上列兩項載重組合。

解說：SRC 柱中鋼骨之斷面積不得少於構材全斷面積之 2%。鋼骨比小於 2% 之 SRC 柱應依內政部「混凝土結構設計規範」之規定設計。

本節主要目的係考量在強烈地震發生時，SRC 柱所承擔之載重可能遠大於法規地震力作用下的彈性分析結果，因此乃採用公式(9.3-1)與(9.3-2)來估計 SRC 柱在強震下所需之設計載重。

有關設計地震力之大小，應符合內政部所定「建築物耐震設計規範及解說」之要求[3]。惟前開規定將來有調整時，應從其規定。

國內的耐震設計規範採用一個地震力折減係數(F_u)來折減地震力。主要考量一般工程之設計仍多採用彈性分析，故以彈性反應譜為設計基準，再除以一折減係數(F_u)來反映結構物的韌性抗震行為。該規範進一步考量了結構物週期與工址地質狀況的影響，將結構物依 $1.4F_u$ 倍

設計地震力來設計，以確保結構物受到 $1.4F_u$ 倍設計地震力作用下，仍保持在彈性範圍。

9.4 特殊抗彎矩構架

鋼骨鋼筋混凝土特殊抗彎矩構架之設計應滿足本規範第 9.4、9.5、9.6 與 9.7 節之規定。

鋼骨鋼筋混凝土特殊抗彎構架若採用包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱或包覆填充型鋼管混凝土柱時，梁可設計為鋼梁或鋼骨鋼筋混凝土梁；若構架採用填充型鋼管混凝土柱時，梁應以鋼梁設計之。

解說：本規範對於採用包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱或包覆填充型鋼管混凝土柱之特殊抗彎矩構架，其梁可採用鋼梁或鋼骨鋼筋混凝土梁。

對於採用填充型鋼管混凝土柱之構架，其梁應採用鋼梁設計，不可採用包覆型 SRC 梁。原因在於若採用 SRC 梁，則 SRC 梁與鋼管柱接合面之鋼筋混凝土將很難有效傳遞應力。因此，本規範不建議採用填充型鋼管混凝土柱與包覆型 SRC 梁結合之結構系統。

9.5 梁之設計要求

9.5.1 梁之彎矩強度

鋼骨鋼筋混凝土特殊抗彎矩構架中梁之設計彎矩強度 $\phi_b M_n$ 應不小於其需要彎矩強度 M_u 。 M_u 為依本規範載重組合所計得作用於梁上之最大需要彎矩， $\phi_b M_n$ 之大小應依第 5.4 節之規定決定之。

9.5.2 梁之剪力強度

鋼骨鋼筋混凝土梁之鋼骨部分及鋼筋混凝土部分之設計剪力強度應分別滿足以下之要求：

$$\phi_{vs} V_{ns} \geq (M_{ns} / M_{pr}) V_u \quad (9.5-1)$$

$$\phi_{vrc} V_{nrc} \geq (M_{prc} / M_{pr}) V_u \quad (9.5-2)$$

其中：

$\phi_{vs} V_{ns}$ = 鋼骨部分之設計剪力強度， $\phi_{vs}=0.9$ ， V_{ns} 應依 5.5.1 節之規定計算

$\phi_{vrc} V_{nrc}$ = 鋼筋混凝土部分之設計剪力強度， $\phi_{vrc}=0.75$ ， V_{nrc} 應依第 5.5.2 節之規定計算

M_{ns} = 鋼骨部分之標稱彎矩強度，其值依 5.4 節之規定計算

M_{pr} = 鋼骨鋼筋混凝土構材兩端交接面之可能彎矩強度，

$$M_{pr} = M_{ns} + M_{prc} \quad (9.5-3)$$

M_{prc} = 鋼筋混凝土部分之可能彎矩強度，計算時拉力鋼筋之降伏應力 F_{yr} 應以 $1.25F_{yr}$ 取代之

V_u = 鋼骨鋼筋混凝土梁之需要剪力，應依以下規定計算

$$V_u = [(M_{pr1} + M_{pr2}) / L_n] \pm (W/2) \quad (9.5-4)$$

其中 W 為作用於梁上之總垂直載重； L_n 為梁之淨跨距； M_{pr1} 與 M_{pr2} 為鋼骨鋼筋混凝土梁兩端交接面之可能彎矩強度，應依 (9.5-3) 式計算。

解說：進行結構耐震設計時，工程師宜特別注意 SRC 梁設計所需要的剪力強度 V_u 不宜採用結構分析所得之係數化剪力，而應採用梁塑性鉸產生後所引致之剪力，主要是因為此一由塑性鉸所引致之剪力為 SRC 梁最大可能的剪力。以該值作為設計之需求，其目的在避免 SRC 梁產生缺乏韌性的剪力破壞。

在強度折減係數的使用方面，本節 RC 部分之設計剪力強度之計算採用

$\phi_{vrc}=0.75$ 係依據 ACI-318-05 規範第九章而訂定[50]。

SRC 梁之需要剪力強度 V_u 的計算方法如圖 C9.5.1 所示[9]。由於塑性鉸一旦產生，其非彈性轉角頗大，鋼筋可能進入應變硬化階段，因此計算梁彎矩強度時，鋼筋之標稱降伏應力應提高為 $1.25F_{yr}$ [9]。

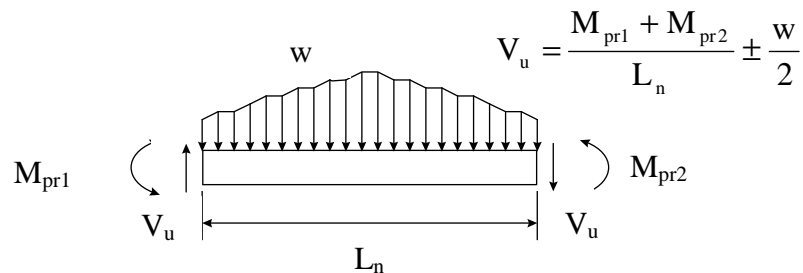


圖 C.9.5.1 梁之需求剪力[9]

9.5.3 梁之設計細則

鋼骨鋼筋混凝土梁除應符合第四章之規定外，亦應滿足以下要求：

1. 梁之尺度

- (1) 鋼骨鋼筋混凝土梁之淨跨距不得小於 4 倍有效梁深，且構材斷面之深寬比不得小於 0.3，梁寬亦不得小於 250mm。
- (2) 鋼骨鋼筋混凝土梁之主筋若穿過梁柱接頭，則在該方向之柱深不得少於最大主筋直徑的 20 倍。

2. 梁之主筋

- (1) 鋼骨鋼筋混凝土梁之上下兩面，至少各須有兩支主筋全長貫通配置，且梁之拉力鋼筋比或壓力鋼筋比均不得超過 0.025。
- (2) 鋼骨鋼筋混凝土梁在梁柱交接面或可能發生塑鉸處，其壓力鋼筋

量不得小於拉力鋼筋之一半。

- (3) 鋼骨鋼筋混凝土梁之主筋除非在搭接處全長配置閉合箍筋，否則不得搭接。搭接處之箍筋間距不得大於 100mm 或四分之一梁斷面深度。此外，以下三種位置不可搭接：(i) 構材接頭內；(ii) 接頭交接面起算兩倍梁深內；(iii) 可能產生塑鉸處。
- (4) 銲接與機械接頭可用於主筋與主筋之間的續接，惟同一斷面之鋼筋最多只能隔根續接，且隔根續接處應相距 600mm 以上。

3. 梁之箍筋

- (1) 在梁柱接頭交接面兩倍梁深內及可能發生塑鉸處左右各兩倍梁深須配置閉合箍筋。第一個閉合箍筋須配置在距梁柱接頭交接面 50mm 以內。閉合箍筋之間距不得超過：(i) 四分之一梁斷面有效深度；(ii) 八倍最小主筋直徑；(iii) 24 倍閉合箍筋直徑；(iv) 300mm。
- (2) 在不需配置閉合箍筋處應全長配置腹筋，且其間距不得大於二分之一梁斷面有效深度。

4. 鋼梁之側向支撐

採用鋼梁設計之特殊抗彎矩構架，於可能發生塑鉸處，鋼梁之上下翼板均須設置足夠之側向支撐。側向支撐間距不得超過 $170 r_y / F_{ys}$ ，其中 r_y 為鋼梁弱軸之迴轉半徑， F_{ys} 之單位為 tf/cm^2 。

5. 鋼骨斷面寬厚比

鋼骨鋼筋混凝土梁中鋼骨斷面之肢材寬厚比應符合第 4.4 節表 4.4-1 中 λ_{pd} 之規定。

解說：本節有關梁主筋與箍筋之限制規定主要參考 ACI 318-05[50] 耐震設計之規定。梁之最大鋼筋比限制之目的在避免鋼筋排列太密造成施工困難及主筋不易通過梁柱接頭區等問題。

梁中配置閉合箍筋之目的在使產生塑鉸處之混凝土有良好之圍束。此外，在彎曲變形可能進入反覆非線性變化處之搭接較不可靠，故此些位置主筋不可搭接。

9.6 柱之設計要求

9.6.1 柱之彎矩強度

1. 鋼骨鋼筋混凝土構造中，在梁柱接合處之梁與柱中之鋼骨或鋼筋混凝土，其撓曲強度應符合第 8.4.2 節之規定。
2. 鋼骨鋼筋混凝土構造中，各梁柱接頭應滿足下述強柱弱梁之檢核要求，若接頭處有兩方向之梁通過時，兩方向應分別檢討：

$$\frac{\sum M_C}{\sum M_B} \geq 1.2 \quad (9.6-1)$$

其中：

$\sum M_C$ = 鋼骨鋼筋混凝土構架中，連接於梁柱接頭處各柱在接頭交接面之標稱彎矩強度之總和。柱之彎矩強度應為在所考慮方向之側力作用下，由各種載重組合之軸力作用下計算所得之最小彎矩強度。

$\sum M_B$ = 鋼骨鋼筋混凝土構架中，連接於梁柱接頭處各梁在接頭交接面之標稱彎矩強度之總和。梁彎矩強度和之方向應與柱彎矩強度和之方向相反，且作用於所考慮構架立面內梁之兩方向彎矩(順、逆鐘方向)均應考慮於(9.6-1)式之中。

解說：本節第 1 款規定之主要目的在於確保梁柱接頭處應力傳遞的平順。日本 AIJ-SRC 規範[10]對 SRC 梁柱接頭處的鋼骨或鋼筋混凝土部分所傳遞的彎矩百分比作出限制，該限制可避免梁柱接頭處柱與梁之鋼骨或鋼筋混凝土所分擔之彎矩比例過於懸殊。

公式(9.6-1)之主要目的在於確保構架中之降伏現象先發生在梁上而非在柱上。SRC 柱未能滿足該式時，該柱對構造強度與勁度之貢獻應不予計入。惟若忽略此些柱構材可能會造成結構不安全時，則應以最保守的方式考慮之，例如：(1)忽略此些柱之勁度但不得降低設計總剪

力；(2)若此些柱構材之存在會增加扭矩則應將扭矩計入[9]。

9.6.2 柱之剪力強度

鋼骨鋼筋混凝土柱之鋼骨部分及鋼筋混凝土部分之設計剪力強度應分別滿足以下之要求：

$$\phi_{vs} V_{ns} \geq (M_{ns} / M_{pr}) V_u \quad (9.6-3)$$

$$\phi_{vrc} V_{nrc} \geq (M_{prc} / M_{pr}) V_u \quad (9.6-4)$$

其中：

$\phi_{vs} V_{ns}$ = 鋼骨部分之設計剪力強度， $\phi_{vs}=0.9$ ， V_{ns} 依 5.5.1 節之規定計算

$\phi_{vrc} V_{nrc}$ = 鋼筋混凝土部分之設計剪力強度， $\phi_{vrc}=0.75$ ， V_{nrc} 依第 5.5.2 節之規定計算

M_{ns} = 鋼骨部分之標稱彎矩強度，其值依 5.4 節之規定計算

M_{pr} = 鋼骨鋼筋混凝土柱兩端交接面之可能彎矩強度，其值依 (9.5-3) 式計算

M_{prc} = 鋼筋混凝土部分之可能彎矩強度，計算時拉力鋼筋之降伏應力 F_{yr} 應以 $1.25F_{yr}$ 取代之

V_u = 鋼骨鋼筋混凝土柱之需要剪力，依以下規定計算

$$V_u = (M_{ct} + M_{cb}) / h_n \quad (9.6-5)$$

其中 h_n 為柱之淨高； M_{ct} 與 M_{cb} 分別為鋼骨鋼筋混凝土柱上方與下方梁柱接合處兩側之梁產生塑鉸時柱端交接面所對應之彎矩強度。

解說：本節之目的在降低 SRC 柱在地震力作用下發生剪力破壞之風險。如圖 C.9.6.2 所示，在強柱弱梁的考慮下，塑鉸先發生在梁端，梁柱接頭兩端的梁彎矩之和將分配至該節點上方與下方柱之斷面，而該 SRC 柱

之需要剪力 V_u 則可依柱上下端彎矩推算出來。若柱之上下端彎矩分別為 M_{ct} 與 M_{cb} ，則柱之需要剪力 $V_u = (M_{ct} + M_{cb}) / h_n$ 。

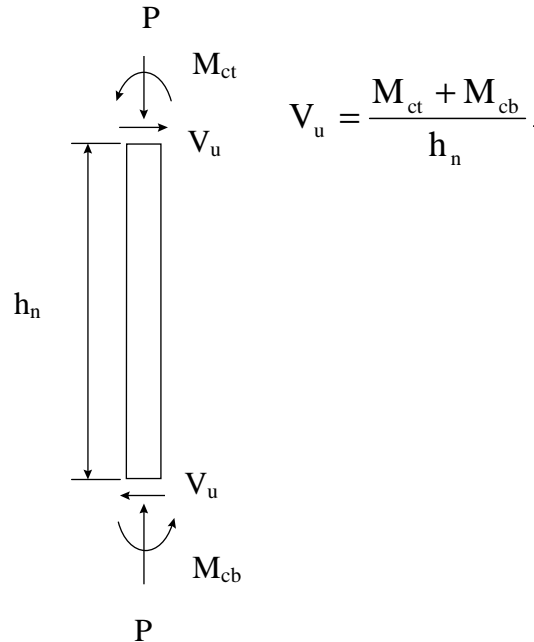


圖 C.9.6.2 柱之需要剪力

9.6.3 柱之設計細則

鋼骨鋼筋混凝土柱除應符合第四章之規定外，亦應符合以下要求：

1. 柱之斷面尺寸

通過幾何形心量測，包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱斷面之最小尺寸不得小於 300mm，且其與斷面另一垂直方向尺寸之比值不得小於 0.4。

2. 柱之主筋

- (1) 鋼骨鋼筋混凝土柱斷面各角落至少須設置一支主筋，且主筋斷面積與全斷面積之比不得大於百分之三。
- (2) 主筋之搭接僅容許在柱中央之一半構材長度內進行，且須以拉力搭接設計之，搭接長度內應配置適當之圍束箍筋。

(3) 構材同一斷面處最多只能隔根續接，且隔根續接處應相距 600mm 以上。

3. 柱之箍筋

(1) 圍束箍筋需求量

矩形柱之圍束箍筋除應滿足第四章之規定外，其圍束箍筋總面積 A_{sh} 應不小於剪力鋼筋之需求量，且不得小於(9.6-6)與(9.6-7)式所計算者：

$$A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \quad (9.6-6)$$

$$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \quad (9.6-7)$$

其中：

s = 箍筋間距，cm

b_c = 箍筋圍束之柱核心寬度，cm

f'_c = 混凝土之規定抗壓強度，kgf/cm²

F_{yh} = 箍筋之規定降伏應力，kgf/cm²

A_g = 柱之全斷面積，cm²

A_{ch} = 箍筋圍束之柱核心斷面積，cm²

$$P_s = A_s F_{ys} \quad (9.6-8)$$

$$P_{hcc} = 0.2 f'_c A_{hcc} \quad (9.6-9)$$

$$(P_n)_u = A_s F_{ys} + 0.85 f'_c A_c + F_{yr} A_r \quad (9.6-10)$$

上式中：

F_{ys} = 鋼骨之規定降伏應力，kgf/cm²

F_{yr} = 主筋之規定降伏應力，kgf/cm²

A_s = 鋼骨部分之斷面積，cm²

A_r = 主筋部分之斷面積，cm²

A_{hcc} = 高度圍束區混凝土之斷面積，指鋼骨翼板所圍束之混凝土面積，若鋼骨為 H 型或 T 型斷面且對弱軸

彎曲時， A_{hcc} 應取為零。惟 A_{hcc} 不得大於 2500 cm^2 。

(2) 圍束範圍

梁柱接頭處之上柱底部及下柱頂部以及可能產生彎矩降伏處之兩側須以圍束箍筋圍束之，圍束之高度不得小於以下規定：

- (i) 接頭交接面沿剪力作用方向之柱深度；
- (ii) 柱淨高度之六分之一；
- (iii) 450mm。

惟若柱之反曲點不在柱中間一半淨高範圍內，則柱之全長均須配置圍束箍筋。

(3) 箍筋之間距

- (i) 圍束區之圍束箍筋間距不得超過柱短邊的 $1/4$ 或 150mm，且不得大於柱主筋直徑之六倍；
- (ii) 非圍束區之箍筋間距不得超過 150mm，且不得大於柱主筋直徑之六倍；
- (iii) 第一個箍筋距接頭面之距離不得大於圍束箍筋間距之半。

(4) 繫筋

- (i) 包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱內應視需要配置適當之繫筋以協助固定主筋及提供混凝土適當之圍束；
- (ii) 繫筋應勾住主筋，對同一根主筋，相鄰兩個繫筋之 90 度與 135 度彎鉤應交互擺設。

4. 鋼管混凝土柱

使用銲接箱型或圓型鋼管柱內灌混凝土時，組成鋼管柱之相鄰鋼板間之銲接須沿柱之全長以全滲透銲為之。

5. 鋼骨斷面寬厚比

鋼骨鋼筋混凝土柱中鋼骨斷面之肢材寬厚比應符合第 3.4 節表 3.4-2 與 3.4-3 中 λ_{pd} 之規定。

解說：SRC 柱主筋量上限之規定旨在避免主筋太密妨礙施工，並避免引致柱

過高之剪力。柱端因彎矩較大，混凝土保護層可能剝落，因此規定在該處主筋不得搭接，若主筋須搭接則須在反覆應力較小之中央一半柱長內進行，且須配置圍束箍筋。

由於 SRC 柱內部之鋼骨能夠幫忙分擔軸力，使得混凝土所需承受之軸力變少；同時，鋼骨翼板對混凝土圍束形成一個高度圍束區(Highly Confined Area)，使得混凝土受到良好的圍束。因此相較於一般純 RC 柱，SRC 柱之圍束箍筋用量可以適度折減，以反映鋼骨對混凝土圍束之貢獻[47,48]。

公式(9.6-6)與公式(9.6-7)係將一般 RC 柱之圍束箍筋需求量公式，乘以一個折減係數 $[1 - (P_s + P_{hcc}) / (P_n)_u]$ ，以作為 SRC 柱圍束箍筋需求量之計算公式；其中 P_s 為鋼骨部分之軸壓強度； P_{hcc} 為高度圍束區混凝土因受鋼骨圍束所額外提昇之軸壓強度； $(P_n)_u$ 為 SRC 柱之軸壓強度。此折減係數主要考量 SRC 柱中之鋼骨「分擔軸力」之影響及「鋼骨翼板」對混凝土圍束效應之貢獻[4,62]。

本節建議高度圍束區混凝土因受鋼骨圍束所額外提昇之軸壓強度可保守的採用 $P_{hcc} = 0.2 f'_c A_{hcc}$ 來計算，其中 A_{hcc} 為高度圍束區混凝土之面積，係指 SRC 柱中鋼骨翼板所圍束之混凝土面積，如圖 C9.6.3-1 至圖 C9.6.3-4 所示。圖中顯示，若 SRC 柱內的鋼骨翼板愈寬，則高度圍束區混凝土之面積 A_{hcc} 愈大[4,62]。本節對 A_{hcc} 不得大於 2500 cm^2 的規定，係保守考慮矩形鋼骨斷面每邊之有效圍束寬度上限為 50 cm 。本節對鋼骨為 H 型或 T 型斷面且對弱軸彎曲時之 A_{hcc} 的規定，係考慮 H 型或 T 型鋼骨對弱軸彎曲時，其翼板可能無法對混凝土提供有效圍束之情形。

SRC 柱圍束區內之圍束箍筋間距規定主要參考 ACI 318-05 之規定 [50]，惟 100mm 之限制酌予放寬為 150mm ，其理由在於以一般鋼筋混凝土規定之箍筋間距作為 SRC 構造之設計要求似乎有過於嚴苛之虞，且 SRC 柱內之鋼骨亦可提供部分圍束混凝土之功能，因此本規範乃參考 AIJ- SRC [10] 規範之規定予以放寬至 150mm 。

由過去震災觀察發現，柱之非圍束區亦常有損害發生，因此有必要規定配置適量之圍束箍筋，以使整根柱具有較均勻之韌性。

填充型鋼管混凝土柱使用銲接箱型或圓型柱內灌混凝土時，相鄰柱板間須以全滲透銲沿柱之全長銲接之理由，在於避免鋼管內之混凝土受到高軸壓時產生側向膨脹導致鋼管受到環張應力 (Hoop Tension) 而引起銲接處拉力破壞。

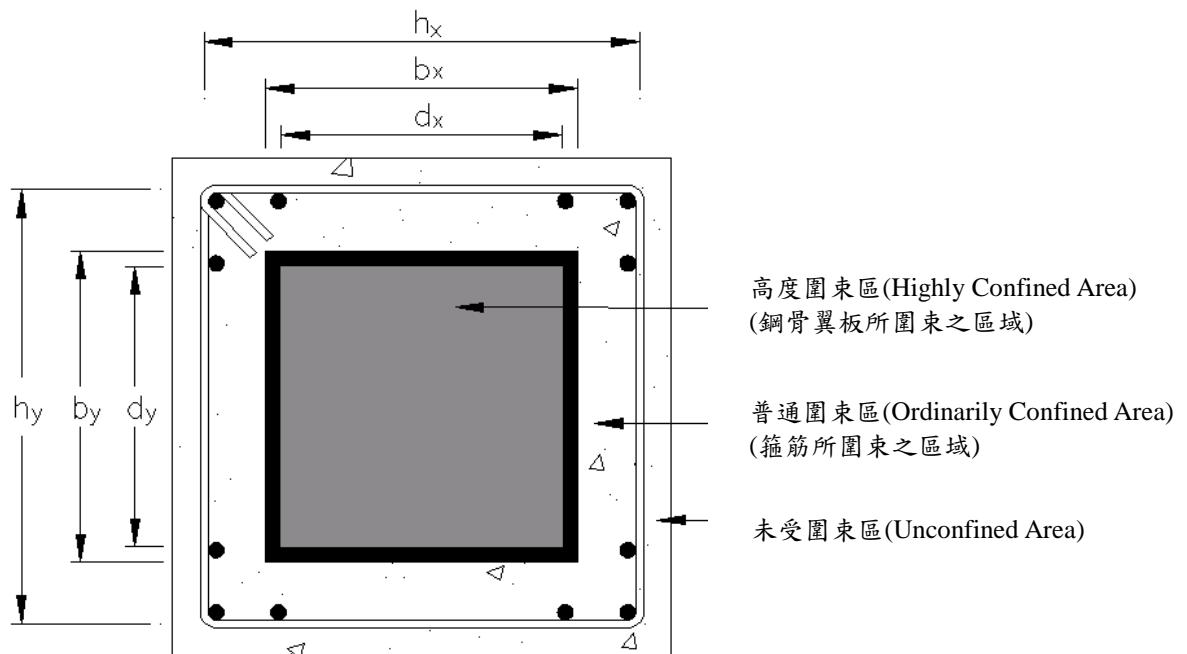


圖 C9.6.3-1 包覆填充型鋼管 SRC 柱混凝土受圍束之情形[47,48]

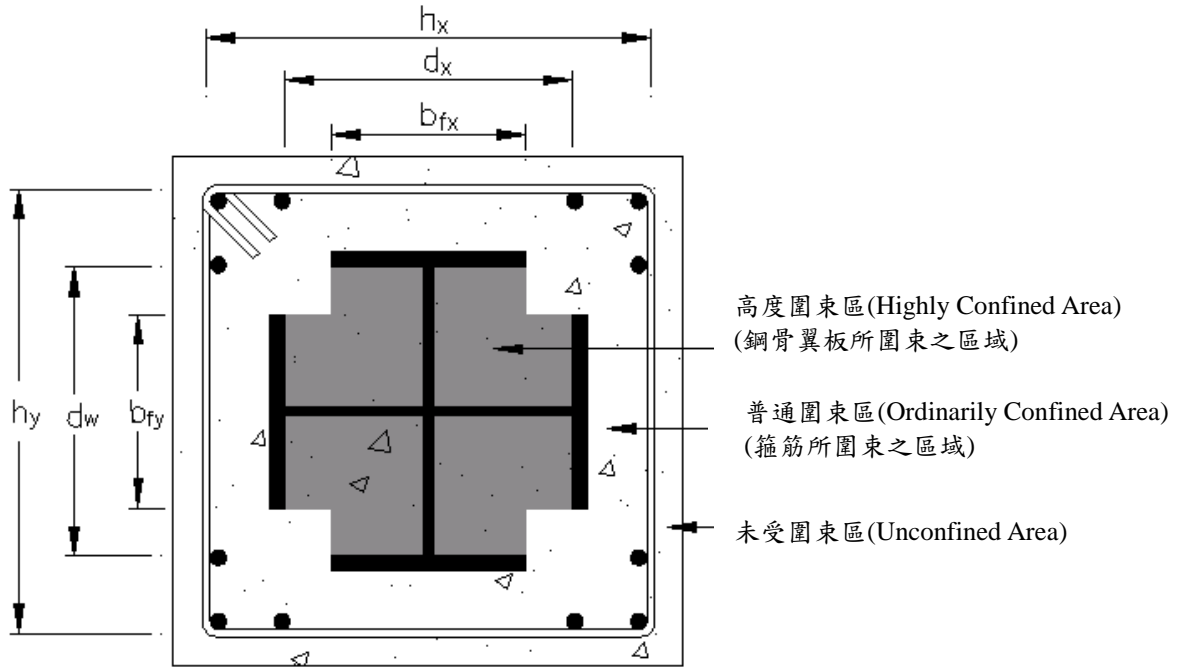


圖 C9.6.3-2 包覆十字型鋼骨 SRC 柱混凝土受圍束之情形[47,48]

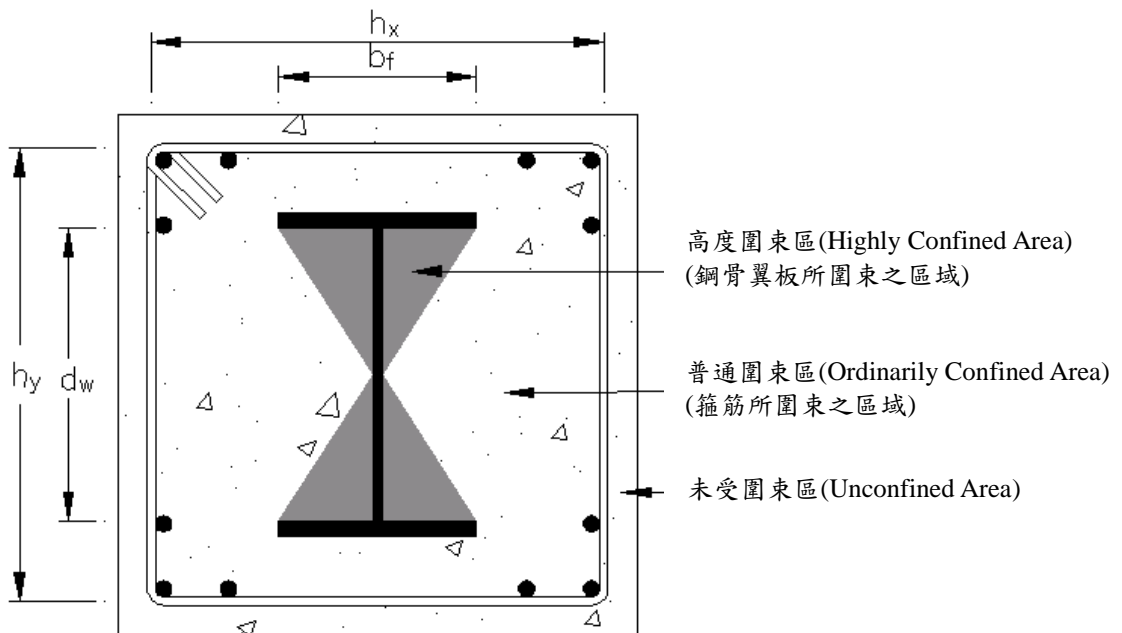


圖 C9.6.3-3 包覆 H 型鋼骨 SRC 柱混凝土受圍束之情形 (對強軸彎曲時)
[47,48]

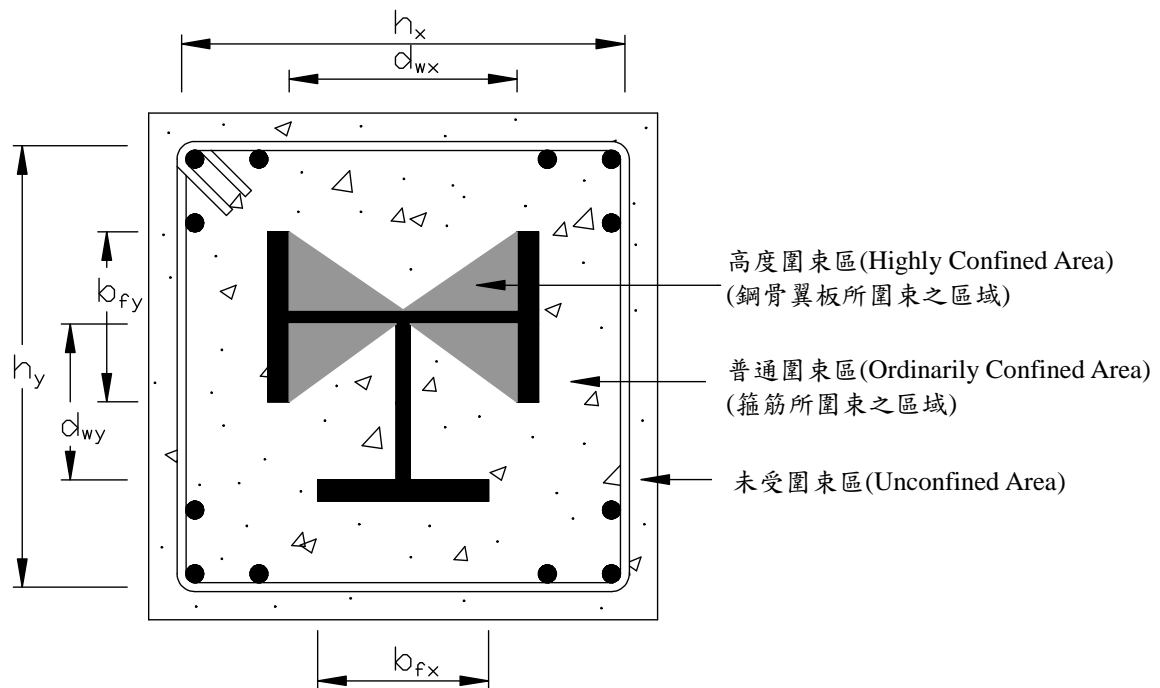


圖 C9.6.3-4 包覆 T 型鋼骨 SRC 柱混凝土受圍束之情形 (對強軸彎曲時)

9.7 梁柱接頭之設計要求

9.7.1 接頭區之剪力強度

1. 鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭區之設計剪力強度 $\phi_v V_n$ 應不小於本節第 2 款所規定之需要剪力強度 V_u 。
2. 鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭區之需要剪力強度 V_u 應依以下規定計算：

$$V_u = [1.25F_{yr}(A_{rt} + A_{rb}) + \Sigma(M_{ns}/(d_b - t_f))] - V_T \quad (9.7-1)$$

其中： F_{yr} = 鋼骨鋼筋混凝土梁主筋之規定降伏應力

A_{rt} = 鋼骨鋼筋混凝土梁中受拉主筋之斷面積

A_{rb} = 鋼骨鋼筋混凝土梁中受壓主筋之斷面積

M_{ns} = 鋼骨鋼筋混凝土梁中鋼骨部分之標稱彎矩強度

d_b = 鋼梁斷面之深度

t_f = 鋼梁斷面翼板之厚度

V_T = 作用於鋼骨鋼筋混凝土柱上下兩端交接面之水平剪力

3. 鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭區之設計剪力強度 $\phi_v V_n$ 應為鋼骨部分與鋼筋混凝土部分剪力強度之和。即

$$\phi_v V_n = \phi_{vs} V_{ns} + \phi_{vrc} V_{nrc} \quad (9.7-2)$$

其中 $\phi_{vs} V_{ns}$ 與 $\phi_{vrc} V_{nrc}$ 分別為鋼骨與鋼筋混凝土部分在梁柱接頭區之設計剪力強度，其值應依以下規定計算：

(1) 鋼骨部分：

鋼骨鋼筋混凝土柱中鋼骨部分之梁柱接頭區設計剪力強度 $\phi_{vs} V_{ns}$ 應依內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」相關規定決定之。

(2) 鋼筋混凝土部分：

常重混凝土接頭區之設計剪力強度為 $\phi_{vrc} V_{nrc}$ ， $\phi_{vrc} = 0.75$ ，且標稱剪力強度 V_{nrc} 不得大於下列所示之值：

(a) 圍束接頭：

$$V_{nrc} = 5.3 \sqrt{f'_c} A_j \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{2(P_n)_u} \right] \quad (9.7-3)$$

(b) 接頭三面或兩對面受圍束：

$$V_{nrc} = 4.0 \sqrt{f'_c} A_j \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{2(P_n)_u} \right] \quad (9.7-4)$$

(c) 其他：

$$V_{nrc} = 3.2 \sqrt{f'_c} A_j \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{2(P_n)_u} \right] \quad (9.7-5)$$

其中 A_j 為接頭區 RC 部分之有效受剪面積，其值如下：

(i) 接頭處之梁為鋼骨鋼筋混凝土梁時：

有效受剪面積 A_j 之深度為沿剪力方向接頭之深度； A_j 之

寬度為梁之寬度加上接頭深度或加上兩倍之梁邊至柱邊距離之較小值，上述二者取小值。

(ii) 接頭處之梁為鋼梁時：

有效受剪面積 A_j 之深度為沿剪力方向接頭之深度； A_j 之寬度依上述第(1)款計算，惟不得大於接頭處垂直於剪力方向柱寬之一半。

上述之梁被視為對梁柱接頭具有圍束作用者，該梁之寬度至少為柱寬之 $3/4$ ，而圍束接頭係指接頭之四面均受梁圍束。

解說：有關 SRC 梁柱接頭區設計剪力強度的計算係基於強度疊加之原理，公式(9.7-2)中鋼骨部分與鋼筋混凝土部分之強度係參照 AISC [11]與 ACI 設計規範[9]之建議。惟在計算 RC 部分之剪力強度時，若梁柱接頭為 SRC 柱接鋼梁，接頭處 RC 部分之有效受剪面積 A_j 之寬度不得大於柱寬之一半，此規定係參考日本 AIJ-SRC 規範之建議[10]。圖 C9.7.1 為 SRC 梁柱接頭區有效斷面積 A_j 之示意圖。

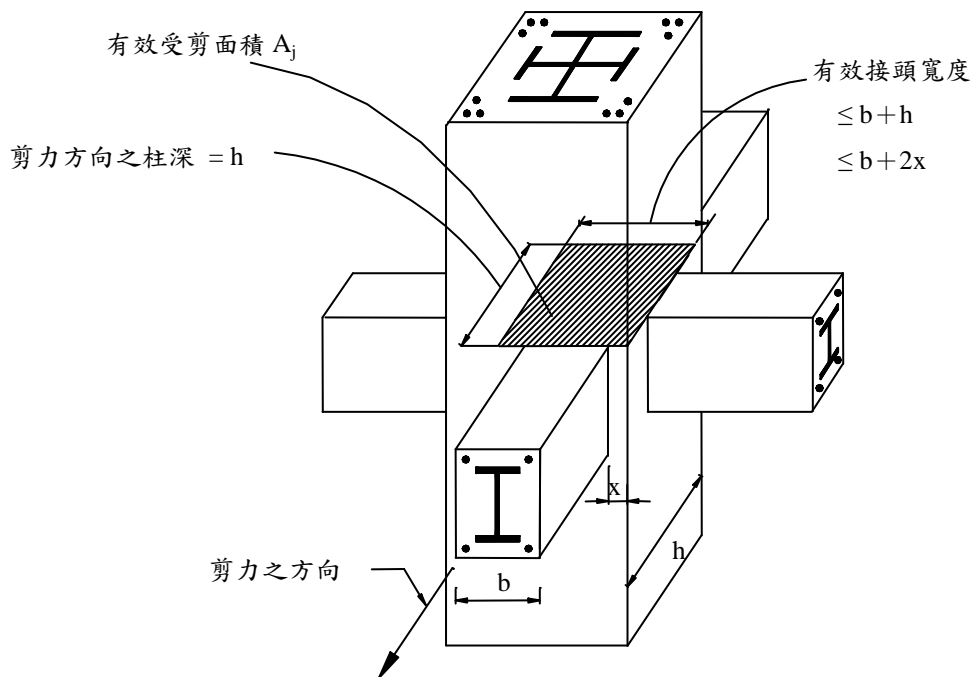


圖 C9.7.1 SRC 梁柱接頭區之有效受剪面積 A_j 示意圖

9.7.2 梁柱接合細則

1. 鋼骨部分之梁柱接合

鋼骨部分之梁柱接合細則應依內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」之相關規定處理。

2. 梁柱接頭處主筋之錨定

鋼骨鋼筋混凝土梁之主筋終止於柱內時，梁之主筋應延伸至柱圍束核心區之另一面並加以適當錨定。

3. 梁柱接頭處箍筋之配置

- (1) 當接頭之四邊均有鋼骨鋼筋混凝土梁連接時，在最淺梁深範圍內可配置不少於 9.6.3 節第 3 款所規定圍束箍筋量之半，但上述四面之梁寬均不得小於柱寬之 3/4，且箍筋之間距不得超過 200mm。
- (2) 當接頭非四邊均有鋼骨鋼筋混凝土梁連接時，其圍束箍筋之配置與柱之圍束區相同。

解說：有關 SRC 梁柱接頭區內箍筋之配置，本節主要參考 ACI 318-05 規範 [50] 之規定並考慮 SRC 梁柱構材中鋼骨翼板對混凝土圍束的貢獻而酌予放鬆。

依照 ACI 規範，當梁柱接頭區為圍束接頭時（四邊均有梁連接，且梁寬不小於 3/4 柱寬），由於接頭區內混凝土可受到較好的圍束，因此接頭區內之箍筋量應可酌予減少，其方式係採用鋼筋混凝土柱圍束箍筋量之半且其圍束箍筋最大間距放寬至與鋼筋混凝土柱中非圍束區之箍筋間距相同。本規範沿用這種精神，但將 SRC 梁柱接頭區內之圍束箍筋最大間距酌予放寬至 200mm（與 SRC 柱中非圍束區箍筋間距之要求相同）。

9.8 特殊同心斜撐構架

1. 採用特殊同心斜撐構架之鋼骨鋼筋混凝土構造，其斜撐應採用鋼骨構材或內部填充混凝土之鋼管構材。
2. 斜撐構材採用鋼骨構材設計時，應符合內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」中之特殊同心斜撐構架相關規定；採用內部填充混凝土之鋼管斜撐構材，其設計應符合本規範第六章之相關規定。
3. 斜撐構材與構架之接合應符合「鋼結構極限設計法規範及解說」中之特殊同心斜撐構架相關規定。

解說：根據 2005 年 AISC Seismic Provisions [57]將同心斜撐構架系統分為普通同心斜撐構架(Ordinary Concentrically Braced Frame, OCBF)與特殊同心斜撐構架(Special Concentrically Braced Frame, SCBF)，其中 OCBF 在彈性階段具有良好的勁度與強度，然而，就抵抗強烈地震而言，受到較大的反復水平力作用時，斜撐構材受到過大的軸向壓力而產生挫屈，甚至可能因過度之挫屈變形，導致材料在未發揮消能容量之前即提早斷裂，使得遲滯迴圈呈現衰減與束縮，嚴重影響結構系統之韌性。特殊同心斜撐構架(SCBF)的出現改善 OCBF 之缺點，AISC Seismic Provisions 係利用斜撐構材長細比(Slenderness Ratio)及斷面寬厚比(Width-Thickness Ratio)等限制，來避免 SCBF 之斜撐構材發生非預期的挫屈變形，提升其韌性及非彈性階段之變形能力。SCBF 在系統配置與接合細部要求上較 OCBF 嚴格，當受到較大的反復水平力作用時可承受較大之非彈性變形，使整體構架耐震性能提升。

9.9 偏心斜撐構架

採用偏心斜撐構架之鋼骨鋼筋混凝土構造，其連桿梁應採用鋼材設計，且連桿梁不可與包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱相接。斜撐應採用鋼骨構材或內部填充混凝土之鋼管所組成。

鋼骨鋼筋混凝土偏心斜撐構架之連桿梁與斜撐之設計，應符合內政部所定「鋼結構極限設計法規範及解說」之相關規定。

解說：偏心斜撐構架設計的基本出發點是把連桿梁 (Link Beam) 設計為整個構架中最先降伏且最具韌性的結構構材，同時並把斜撐、柱及連桿梁以外之梁段及梁柱接頭設計得比連桿梁還要強[57]。大地震來襲時，連桿梁是偏心斜撐構架主要的消能器，同時它的角色又好像是構架的保險絲。

一般而言，偏心斜撐構架之連桿梁宜設計為「剪力連桿梁」(Shear Link)，且在連桿梁發生充分降伏與應變硬化之最大作用力下，構架中之斜撐、柱與連桿梁外之梁段均應保持在彈性範圍內。

由於混凝土材料之韌性較鋼材為差，故不適合以 SRC 梁作為連桿梁之設計。此外，由於連桿梁被賦予較大的韌性變形能力，故亦不適合直接將連桿梁與包覆型 SRC 柱相接，以免在連桿梁發生充分降伏變形時，連帶造成 SRC 柱之混凝土嚴重開裂破壞。

在 AISC 耐震設計規定[57]中包含合成構造之偏心斜撐構架系統 (C-EBF, Composite Eccentrically Braced Frames)，該規定對偏心斜撐構架之柱允許採用鋼柱、鋼筋混凝土柱或合成柱，但是連桿梁則必須為鋼梁。

9.10 剪力牆

本節所稱之鋼骨鋼筋混凝土剪力牆，係指牆體周邊梁、柱為包覆型鋼骨鋼筋混凝土構材，牆體本身為鋼筋混凝土牆或鋼板牆，或內裝鋼板或對稱鋼骨斜撐之鋼骨鋼筋混凝土牆。

當剪力牆為鋼板牆，或是內裝鋼板或對稱鋼骨斜撐之鋼骨鋼筋混凝土牆時，其設計應符合本節之要求；當剪力牆之牆體為鋼筋混凝土牆時，其設計應依內政部所定「混凝土結構設計規範」之相關規定處理。

內裝鋼板或鋼骨斜撐之鋼骨鋼筋混凝土剪力牆，其包覆鋼板或斜撐兩側之混凝土應具有足夠之厚度，且各側混凝土內均須配置適當之剪力鋼筋。內裝鋼骨斜撐之剪力牆，其斜撐構材應為兩支且須對稱配置。

解說：內裝鋼板或鋼骨斜撐之 SRC 剪力牆，其牆體兩側之混凝土須具有足夠的厚度，以防止剪力牆內之鋼板或鋼骨斜撐發生挫屈現象。根據 AISC 耐震設計規定[57]之要求，採用內裝鋼板之 SRC 剪力牆若鋼板兩側均受到混凝土包覆，則鋼板各側之混凝土厚度須為 100mm 以上；若鋼板僅單側受到混凝土包覆，則包覆鋼板之混凝土厚度須為 200mm 以上。

此外，AISC 耐震設計規定[57]為有效控制鋼板之寬厚比，要求須於鋼板上配置適當之剪力釘以確保混凝土與鋼板密切結合，且混凝土能進一步提供足夠之勁度防止鋼板發生剪力挫屈。不過由於上述之要求尚未有充分之實驗證明，因此本節未對包覆鋼板之混凝土厚度作定量之要求，惟設計時應注意混凝土具有足夠之厚度，以防止 SRC 剪力牆內之鋼板或鋼骨斜撐發生挫屈。

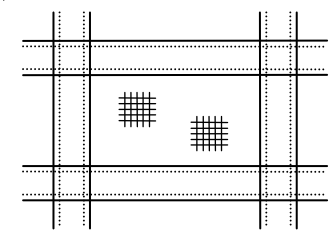
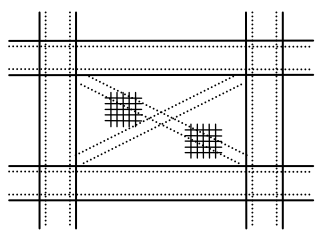
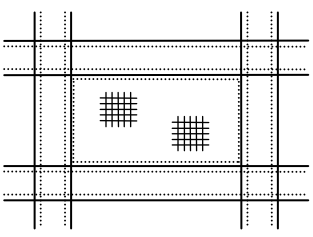
當採用內裝鋼骨斜撐之 SRC 剪力牆時，為了控制剪力牆之厚度，一般多採用平鋼棒作為斜撐構材，平鋼棒之設計應具有足夠之拉力與壓力強度[13]。

相較於內裝鋼板或鋼骨斜撐之 SRC 剪力牆，純粹的鋼板剪力牆具有製作與施工較為方便快捷之優點。近年來，由於低降服鋼板 (Low Yield

Point Steel) 之研究發展進步快速，應用 LYP 鋼板之剪力牆日漸受到重視。

本節所稱之 SRC 剪力牆其周邊梁柱與牆體之組合可如表 C9.10.1 所示 [13]。惟當 SRC 構造採用填充型鋼管混凝土柱與鋼梁時，由於剪力牆之牆體與鋼管柱及鋼梁之結合較為困難，因此若欲增加此種構造之側向勁度，則宜考慮採用同心斜撐或偏心斜撐系統。

表 C9.10.1 SRC 構造剪力牆型式之示意圖[13]

牆 梁 、 柱	一般鋼筋混凝土剪力牆	牆內配置鋼骨斜撐之 SRC 牆	牆內配置鋼板之 SRC 牆
包 覆 型 SRC 構 材			

9.10.1 剪力牆之剪力強度

符合第 9.10.4 節相關規定之內裝鋼板或內裝雙對稱鋼骨斜撐之鋼骨鋼筋混凝土剪力牆，其設計剪力強度 $\phi_v V_{nw}$ 應為鋼骨部分與鋼筋混凝土部分剪力強度之和，即：

$$\phi_v V_{nw} = \phi_{vs} V_{nws} + \phi_{vrc} V_{nwrc} \quad (9.10-1)$$

其中：

$\phi_{vs} V_{nws}$ = 鋼骨鋼筋混凝土剪力牆中鋼骨部分之設計剪力強度， $\phi_{vs} = 0.9$ ， V_{nws} 應依第 9.10.2 節之規定計算

$\phi_{vrc} V_{nwrc}$ = 鋼骨鋼筋混凝土剪力牆中鋼筋混凝土部分之設計剪力強度，

$$\phi_{vrc} = 0.75, V_{nwrc} \text{ 應依第 9.10.3 節之規定計算}$$

解說：目前 AISC 設計規範尚未訂定鋼板剪力牆之設計標準，當需要採用鋼板剪力牆時，應依據公開合理之研究成果審慎設計之。本節 RC 部分之強度折減係數 $\phi_{vrc}=0.75$ 係依據 ACI-318-05 規範而訂定[50]。

9.10.2 鋼骨部分之剪力強度

1. 內裝鋼板之鋼骨鋼筋混凝土剪力牆，其鋼板之標稱剪力強度 V_{nws} 依以下規定計算：

$$V_{nws} = 0.6F_{yp}A_{sp} \quad (9.10-2)$$

其中： F_{yp} = 鋼板之標稱降伏應力， kgf/cm^2

A_{sp} = 剪力方向之鋼板斷面積， cm^2

2. 內裝 X 型或 V 型雙對稱鋼骨斜撐之鋼骨鋼筋混凝土剪力牆，其斜撐之標稱剪力強度 V_{nws} 依以下規定計算：

$$V_{nws} = 2P_{ns} \cos\theta_w \quad (9.10-3)$$

其中： P_{ns} = 鋼骨斜撐之標稱受壓強度，依第 6.4.1 節決定之，惟公式(6.4-5)中之 r_{eff} 應取為 r_s

θ_w = 鋼骨斜撐與水平線之夾角

解說：內裝鋼板之 SRC 剪力牆，若在鋼板兩側之混凝土有足夠之厚度，牆中鋼板將受到混凝土之良好圍束，可不考慮局部挫屈之問題。內裝鋼骨斜撐之 SRC 剪力牆中，對稱配置之斜撐在受到側向力的作用下將會導致一支斜撐受拉力、另一支受壓力，因此斜撐所提供之剪力強度將如公式(9.10-3)所示。

9.10.3 鋼筋混凝土部分之剪力強度

1. 無開孔之鋼筋混凝土剪力牆，其標稱剪力強度 V_{nwr} 依以下規定計算：

$$V_{nwr} = (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n F_{YR}) A_{cv} \quad (9.10-4)$$

其中： α_c 之值依以下規定計算：

- (1) 當 $H_w/L_w \leq 1.5$ 時， $\alpha_c = 0.80$
- (2) 當 $H_w/L_w \geq 2.0$ 時， $\alpha_c = 0.53$
- (3) 當 $1.5 < H_w/L_w < 2.0$ 時， $\alpha_c = 0.53 [3.0 - (H_w/L_w)]$

H_w = 剪力方向全牆或設計牆段之高度，cm

L_w = 剪力方向全牆或設計牆段之長度，cm

ρ_n = 與剪力作用方向垂直之平面上之牆筋比

F_{YR} = 牆剪力鋼筋之規定降伏應力，kgf/cm²

A_{cv} = 剪力方向全牆或設計牆段之鋼筋混凝土總斷面積，cm²

2. 開孔之鋼筋混凝土剪力牆，其標稱剪力強度應為開孔附近各牆墩之標稱剪力強度之和與上述第 1 款所計得之標稱剪力強度之較小者。上述各牆墩之標稱剪力強度應依公式(9.10-4)計算，惟公式中 H_w/L_w 之值應取全牆高寬比與各牆墩高寬比之較大值，計算時並應符合以下規定：

- (a) 剪力牆中分擔同一側向力之各牆墩，其鋼筋混凝土部分之標稱剪力強度之和不得超過 $2.11A_{cv}\sqrt{f'_c}$ ，且各牆墩之標稱剪力強度不得超過 $2.65A_{cp}\sqrt{f'_c}$ ，其中 A_{cv} 為剪力方向全牆鋼筋混凝土部分之總斷面積， A_{cp} 為剪力方向各牆墩鋼筋混凝土部分之斷面積。
- (b) 剪力牆中上下開孔間之水平牆段，其鋼筋混凝土部分之標稱剪力強度不得超過 $2.65A_{cw}\sqrt{f'_c}$ ，其中 A_{cw} 為上下相鄰開孔之間距乘以牆厚之面積。

3. 剪力牆沿縱軸與橫軸方向之鋼筋比均不得小於 0.0025，且每一方向之剪力鋼筋間距均不得大於 450mm。
4. 剪力牆應於其平面內平均分散配置兩相互垂直方向之剪力鋼筋，且當

H_w/L_w 不超過 2.0 時，豎向鋼筋比 ρ_v 不得小於橫向鋼筋比 ρ_n 。

解說：有開孔之 SRC 剪力牆其鋼筋混凝土部分之剪力破壞可能發生於開孔附近之牆墩上，因此 SRC 剪力牆中鋼筋混凝土部分之標稱剪力強度應考慮開孔對牆體標稱剪力強度的影響[9]。

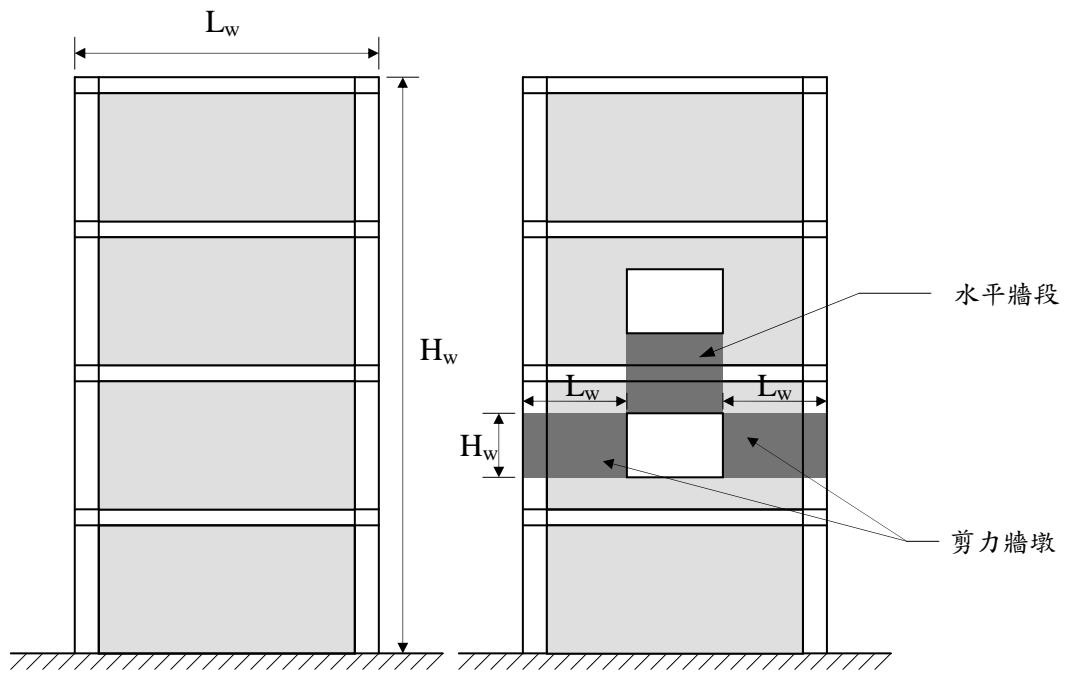
SRC 剪力牆中 RC 部分剪力強度之計算公式 (9.10-4) 係依據 ACI 318-05 之相關規定而訂定[50]。公式中平行剪力作用方向之牆筋比 ρ_n 之計算方式為 $\rho_n = A_v / (t \times s)$ ，其中 A_v 為牆筋在間距 s 之斷面積， t 為剪力牆之厚度， s 為牆筋之間距。公式中之 α_c 係數為考慮當剪力牆之高寬比較小時，剪力牆將具有較高之標稱剪力強度。

本節所稱之水平牆段 (Horizontal Wall Segment) 係指垂直方向開孔間之剪力牆塊；而所稱之剪力牆墩 (Wall Pier) 係指水平方向開孔間之垂直剪力牆塊或開孔與周邊柱間之垂直剪力牆塊(如圖 C9.10.1b)。

公式(9.10-4)中之高寬比 H_w/L_w ，對無開孔剪力牆而言為全牆高寬比(如圖 C9.10.1(a)所示)；對有開孔剪力牆而言則為全牆高寬比與剪力牆墩高寬比(如圖 C9.10.1(b)所示)之較大者。

為避免牆筋量太高導致在牆筋降伏前發生剪壓破壞，本節規定 SRC 剪力牆中分擔同一側向力之各牆墩，其鋼筋混凝土部分之標稱剪力強度和不得超過 $2.11A_{cv}\sqrt{f'_c}$ ；對於上下開孔間之水平牆段，其鋼筋混凝土部分之標稱剪力強度亦不得超過 $2.65A_{cw}\sqrt{f'_c}$ [9]。

剪力牆中縱向及橫向鋼筋之最小鋼筋比限制係依據 ACI 318-05 之鋼筋混凝土剪力牆之設計規定而訂定[50]。



(a) 無開孔之剪力牆

(b) 開孔之剪力牆

圖 C9.10.1 剪力牆之高寬比 H_w/L_w 及剪力牆墩與水平牆段示意圖

9.10.4 設計細則

1. 鋼板剪力牆或內裝鋼板之鋼骨鋼筋混凝土剪力牆，其鋼板與周邊梁柱中鋼骨之接合須能提供足夠之強度以傳遞所需之剪力。
2. 內裝鋼板之剪力牆，在配置周邊鋼骨鋼筋混凝土梁、柱之箍筋時，若須在鋼板上穿孔則鋼板之貫穿孔應在工廠內施作完成，且鋼板上之穿孔應不損害鋼板抗剪能力。
3. 剪力牆內之牆筋應均勻分佈於受剪面上，必要時須於應力傳遞複雜之處加配適當之補強筋。
4. 剪力牆內之牆筋應錨定於周邊鋼骨鋼筋混凝土梁、柱之圍束核心內，使牆筋能發揮其拉力達降伏應力。牆筋之錨定與續接，應依內政部所定「混凝土結構設計規範」之相關規定辦理。
5. 鋼骨斜撐構材之設計應依內政部所定「鋼結構極限設計法規範及解說」之相關規定辦理。

解說：由於內裝鋼板之剪力牆其鋼板須銲在周邊 SRC 梁、柱之鋼骨翼板上，故在配置周邊梁、柱之箍筋時，一般須在鋼板上穿孔讓箍筋穿過。因此應注意鋼板上之穿孔應不損害抵抗剪力之能力，亦不得對鋼板與周邊 SRC 構材之間剪力傳遞造成不利之影響。

對於內裝鋼骨斜撐之剪力牆，本規範建議應以兩支斜撐對稱配置在一片剪力牆中，其配置方式可參考圖 C9.10.2。此外，為防止斜撐產生局部挫屈及端部因應力集中而過早破壞，在斜撐端部及容易產生較大應力處宜加配適當之補強筋，如圖 C9.10.3 所示[13]。

採用內裝鋼板之剪力牆時，牆中之鋼板可用適當的銲接直接銲在周邊 SRC 構材之鋼骨上，或在周邊構材鋼骨上銲植剪力釘，再將鋼板銲在剪力釘上之方式來傳遞剪力。牆筋錨定於周邊梁柱之混凝土核心內時，其錨定長度可依「混凝土結構設計規範」[2]之規定處理。

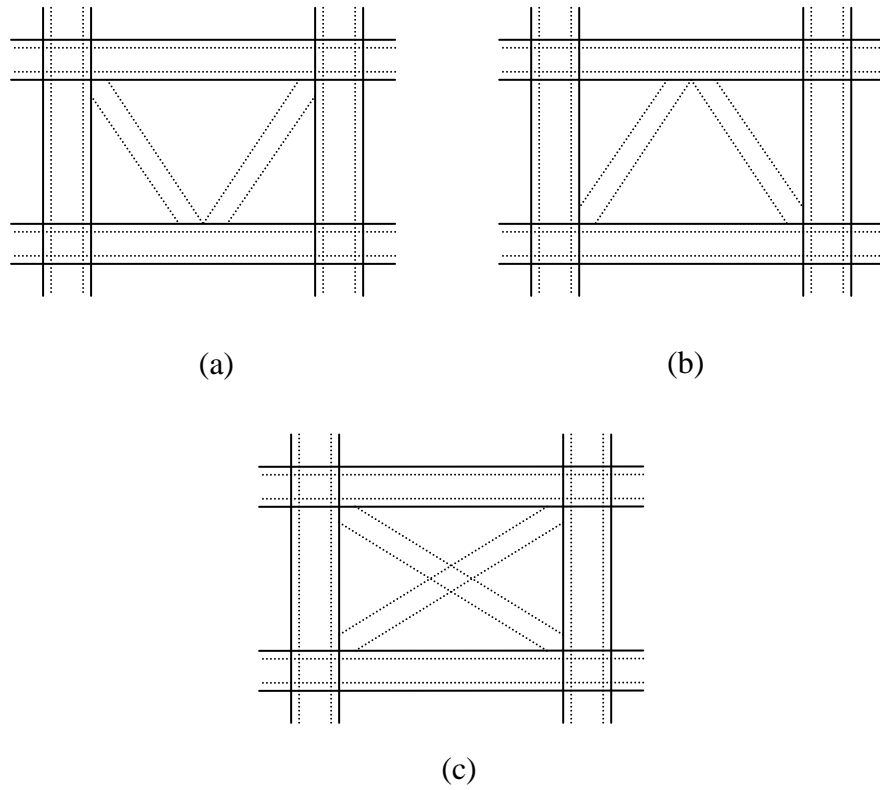


圖 C9.10.2 SRC 剪力牆中鋼骨斜撐之配置方式

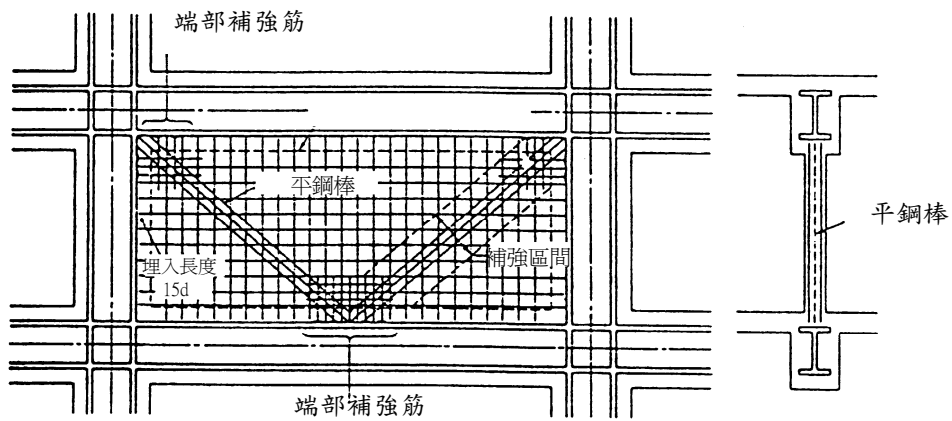


圖 C9.10.3 內裝鋼骨斜撐之 SRC 剪力牆中補牆筋之配置[13]