

第二章 國內外相關設計規範與文獻

2.1 國內外 SRC 構造相關規範

在美國與日本方面，SRC 構造之相關設計規範主要有：(1) 美國 AISC-LRFD 設計規範[4]，(2) 美國 ACI-318 設計規範[5]，(3) 日本 AIJ-SRC 設計規範[6]等。在國內方面，內政部於 2004 年初公告我國「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範」[7]自 2004 年七月起正式施行，以提供國內工程師與審查機構進行 SRC 構造設計與審查之依據。以下將針對各種 SRC 構造設計規範中有關梁柱接頭設計之規定作簡要的回顧。

2.1.1 美國 AISC-LRFD 設計規範 (2005)

美國 AISC-LRFD 設計規範(2005)對於 SRC 構造之設計是延續鋼結構之設計理念，將 SRC 構造中 RC 部分所提供的強度與勁度，利用幾個轉換係數轉換成等值的鋼骨降伏強度及斷面模數，再將轉換的值利用鋼結構的公式計算 SRC 構造之強度。上述的設計理念基本上是斷面的轉換，優點是方法簡單，缺點是其所得結果過於保守。不過，目前美國 AISC-LRFD 設計規範中僅對合成構造之強度計算方面有較明確的規定，但在耐震設計與構造細則等方面並未有明確的規定。

在 SRC 梁柱接頭區之彎矩強度方面，美國 AISC-LRFD 設計規範規定任何梁柱接頭彎矩強度比應該滿足下列二式之一：

$$\frac{\sum Z_c (f_{yc} - P_{uc} / A_g)}{\sum Z_b f_{yb}} \geq 1.0 \quad (2-1)$$

$$\frac{\sum Z_c (f_{yc} - P_{uc} / A_g)}{V_n d_b H_c / (H_c - d_b)} \geq 1.0 \quad (2-2)$$

其中 A_g 為柱全斷面積； f_{yb} 為梁鋼材之標稱降伏強度； f_{yc} 為柱鋼材之標稱降伏強度； P_{uc} 為所需之柱軸向受壓強度； Z_b 為梁斷面塑性模數； Z_c 為柱斷面塑性模數； H_c 為接頭上下樓層之平均高度； V_n 為梁柱腹板交會區標稱剪力強度，由公式(2-3)計算； d_b 為所有與該柱接合之梁之平均梁深。

在 SRC 梁柱接頭區之剪力強度方面，美國 AISC-LRFD 設計規範主要考慮鋼骨部分之貢獻而將 RC 部分保守的忽略。故在梁柱接頭區之標稱剪力強度 $(V_n)_s$ 可依

下式決定之：

$$(V_n)_s = 0.6f_{ys}d_c t_p \quad (2-3)$$

其中 f_{ys} 為鋼柱腹板之標稱降伏強度； d_c 為鋼柱斷面深度； t_p 為梁柱交會區鋼柱腹板總厚度（包括疊合板之厚度）。

1978年由Krawinkler[8]研究指出梁柱接頭區之鋼柱腹板在初始降伏之後，荷重能力可繼續向上升的事實。鋼柱翼板亦可對接頭區剪力強度的貢獻，而讓梁柱接頭區也進入非線性變形的範圍，以達到共同消能的目的。因此，Krawinkler建議採用 $(V_n)_K$ 作為梁柱接頭區之標稱剪力強度：

$$(V_n)_K = 0.55 f_{ys} d_c t_p \left(1 + \frac{3.45 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right) \quad (2-4)$$

其中 d_b 為鋼梁斷面深度； b_{cf} 為鋼柱翼板寬度； t_{cf} 為鋼柱翼板厚度。

目前美國AISC耐震設計規範（Seismic Provisions）[9]在設計條文中已經採用Krawinkler之建議，並將上述公式(2-4)略為簡化以作為梁柱接頭區之標稱剪力強度 $(V_n)_s$ ：


$$(V_n)_s = 0.6 f_{ys} d_c t_p \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right) \quad (2-5)$$

2.1.2 美國 ACI-318 設計規範（2005）

美國 ACI-318 設計規範(2005)對於SRC構材之設計大致上承襲鋼筋混凝土之設計方法，其理念是將 SRC 構材中的鋼骨視為等量的鋼筋來設計，並依據應變相合之假設來計算 SRC 構材的彎矩與軸力強度。

對於梁柱接頭區之彎矩強度方面，美國 ACI-318 設計規範在耐震設計規定中明訂應符合「強柱弱梁」之要求，如下式所示：

$$\frac{\sum M_c}{\sum M_g} \geq 1.2 \quad (2-6)$$

其中 $\sum M_c$ 為接頭處各柱在接頭中心之設計撓曲強度之總合； $\sum M_g$ 為接頭處各梁在接頭中心之設計撓曲強度之總合。

對於梁柱接頭之剪力強度方面，美國ACI-318 設計規範並未考慮鋼骨之貢

獻，僅考慮接頭之圍束情況而將接頭之標稱剪力強度 $(V_n)_{rc}$ 分為：

- (1) 圍束接頭者：
$$(V_n)_{rc} = 1.7\sqrt{f'_c}A_j$$
- (2) 接頭三面圍束或兩對面圍束者：
$$(V_n)_{rc} = 1.2\sqrt{f'_c}A_j$$
- (3) 其他：
$$(V_n)_{rc} = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$$

其中 f'_c 為混凝土 28 天之抗壓強度(單位為MPa)； A_j 為接頭區之有效受剪面積。

2.1.3 日本建築學會 SRC 設計規範 (2001)

日本建築學會 (Architectural Institute of Japan, AIJ) 之 SRC 構造設計規範以「強度疊加法(Strength Superposition Method)」來計算 SRC 構材之強度，強度疊加方法分為簡單疊加法(Simple Superposition Method, SSM)與一般化疊加法(Generalize Superposed Method, GSM)。前者在計算上較為簡單但結果略偏保守，後者計算上較為複雜，但可以調整斷面至最經濟的組合。強度疊加法主要係將 SRC 構材中的鋼骨與 RC 視為獨立的個體，分別計算其強度。在設計方法上，AIJ-SRC 設計規範係採用工作應力設計法再輔以極限層剪力之檢核。

在梁柱接頭之彎矩強度方面，為了確保應力能夠平順傳遞，AIJ-SRC 設計規範要求在梁柱接頭處之撓曲強度比應該滿足下列二式之一：

$$(a) \text{ 鋼骨部分: } 0.4 \leq \frac{M_{A,SC}}{M_{A,SB}} \leq 2.5 \quad (2-8)$$

$$(b) \text{ RC 部分: } 0.4 \leq \frac{M_{A,RC}}{M_{A,RB}} \quad (2-9)$$

其中 $M_{A,SC}$ 為梁柱接頭處所有柱中鋼骨之容許彎矩強度總合； $M_{A,SB}$ 為梁柱接頭處所有梁中鋼骨之容許彎矩強度總合； $M_{A,RC}$ 為梁柱接頭處所有柱中 RC 部分之容許彎矩強度總合； $M_{A,RB}$ 為梁柱接頭處所有梁中 RC 部分之容許彎矩強度總合。

在梁柱接頭之剪力強度方面，AIJ-SRC 設計規範建議梁柱接頭區之標稱剪力強度可視為鋼骨、混凝土與箍筋之剪力強度的總合，其計算公式如下：

$$(V_n)_{AIJ-SRC} = (V_n)_s + (V_n)_c + (V_n)_w \quad (2-10)$$

$$(V_n)_{AIJ-SRC} = 1.2sA_s \times \left(\frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \right) + jF_s \times cA_c \times j\delta + w\rho \times w\sigma_y \times cA_c \quad (2-11)$$

其中 sA 為梁柱接頭區之鋼骨腹板面積(cm^2)； $s\sigma_y$ 為鋼骨腹板之容許降伏應力(kg/cm^2)； jF_s 為 $0.12F_c$ 與 $18+(3.6F_c/100)$ 兩者之較小值； F_c 為混凝土之抗壓強度(kg/cm^2)； cA_e 為接頭區之混凝土有效面積(cm^2)； $j\delta$ 為接合處形狀影響因素； $w\rho$ 為接頭區之箍筋比； $w\sigma_y$ 為箍筋之容許降伏應力(kg/cm^2)。

日本 AIJ-SRC 設計規範之主要優點在於具有較豐富的經驗及研究成果，且該規範對 SRC 構造配筋等相關細則之規定頗為明確。不過對國內工程師而言，直接使用 AIJ-SRC 設計規範之主要困難點在於日本規範之設計邏輯及其設計公式的型式、寫法較為國人所不熟悉，因此國內一般工程師較不易正確使用。

2.1.4 我國 SRC 構造設計規範 (2004)

在梁柱接頭之耐震設計配筋方面，我國 SRC 構造設計規範(2004)在規範第 9.6.3 節及第 9.7.3 節分別規定梁與柱之設計細則，以下針對耐震設計配筋細則相關規定作以下之回顧。

在 SRC 梁之圍束箍筋配置方面，梁中配置環箍筋之目的在使產生塑鉸處之混凝土有良好之圍束，我國 SRC 規範在耐震設計規定如下所示：

- (1) 在梁柱接頭續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環箍筋，且第一個環箍筋須配置在距梁柱接頭交接面 5 公分以內。環箍筋之間距不得超過：(a) 四分之一梁斷面有效深度；(b) 八倍最小主筋直徑；(c) 24 倍橫箍筋直徑；(d) 30 公分。
- (2) 在不需配置環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。

在美國 ACI-318 設計規範中規定，受撓構材中之閉合箍筋可由一個兩端具有耐震彎鉤之 U 型肋筋及頂層繫筋所組成，且鉤住同一梁主筋相鄰各頂層繫筋之 90° 與 135° 彎鉤應交替排置。

在 SRC 柱之圍束箍筋配置方面，我國 SRC 規範規定在圍束區之圍束箍筋間距不得超過柱短邊的 $1/4$ 或 15 公分；且其圍束箍筋總面積 A_{sh} 應不小於剪力鋼筋之需要量， A_{sh} 計算如以下兩式所示：

$$A_{sh} = 0.3sh_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \left[1 - \frac{A_s f_{ys}}{(P_n)_u} \right] \quad (2-12)$$

$$A_{sh} = 0.09sh_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[1 - \frac{A_s f_{ys}}{(P_n)_u} \right] \quad (2-13)$$

其中 s 為柱圍束箍筋之间距； h_c 為受箍筋圍束之柱核心斷面之寬度； f_{yh} 為圍束箍筋之規定降伏應力； A_g 為SRC柱之全斷面面積； A_{ch} 為受箍筋圍束部分柱核之斷面積； $(P_n)_u$ 為SRC柱之標稱抗壓強度(Squash Load)，其計算方式如下：

$$(P_n)_u = A_s f_{ys} + 0.85f'_c A_c + f_{yr} A_r \quad (2-14)$$

其中 A_s 為SRC柱中鋼骨部分之斷面積； A_c 為SRC柱中RC部分之斷面積； f_{yr} 為主筋之降伏強度； A_r 為SRC柱中主筋之斷面積。

SRC 柱中配置圍束箍筋的主要目的在圍束混凝土，並且提供主筋側向支撐能力。公式(2-12)及公式(2-13)將一般 RC 柱之圍束箍筋量計算公式乘以一個折減係數 $[1 - A_s f_{ys} / (P_n)_u]$ 來作為 SRC 構材圍束箍筋量之計算公式。此折減係數係源自於美國 AISC 耐震設計規範之規定，其主要目的在考量鋼骨斷面對 SRC 柱軸力分擔對混凝土圍束效應之貢獻。

在梁柱接頭之彎矩強度方面，我國 SRC 設計規範(2004)規定梁柱接頭設計應滿足「強柱弱梁」之要求。為了避免鋼骨及 RC 部分所分擔的比例過於懸殊且確保接頭處應力能平順傳遞，因此規範中在梁柱接合處之撓曲強度比應符合以下規定：

(1) 採用 SRC 梁與 SRC 柱接合時，在接合處之梁與柱中之鋼骨或混凝土，其撓曲強度應符合以下規定之一：

$$(a) \text{ 鋼骨部分: } \frac{\sum (M_{ns})_C}{\sum (M_{ns})_B} \geq 0.6 \quad (2-15)$$

$$(b) \text{ RC 部分: } \frac{\sum (M_{nrc})_C}{\sum (M_{nrc})_B} \geq 0.6 \quad (2-16)$$

其中 $\sum (M_{nrc})_C$ 為梁柱接頭處所有柱中RC部分之標稱彎矩強度之總合； $\sum (M_{nrc})_B$ 為梁柱接頭處所有梁中RC部分之標稱彎矩強度之總合； $\sum (M_{ns})_C$ 為梁柱接頭處所有柱中鋼骨部分之標稱彎矩強度之總合； $\sum (M_{ns})_B$ 為梁柱接頭處所有梁中鋼骨部分之標稱彎矩強度之總合。

(2) 採用鋼梁與 SRC 柱接合時，在接合處之鋼梁與 SRC 柱中之鋼骨，其撓曲強

度應符合以下規定：

$$\frac{\sum (M_{ns})_C}{\sum (M_{ns})_B} \geq 1.0 \quad (2-17)$$

另一方面，依據我國SRC設計規範(2004)第 9.8.1 節之規定，SRC構材在梁柱接頭區之標稱剪力強度 $(V_n)_{src}$ 計算為接頭區鋼柱剪力標稱強度 $(V_n)_s$ 與RC部分標稱剪力強度 $(V_n)_{rc}$ 之和， $(V_n)_{src}$ 計算方式如下：

$$(V_n)_{src} = (V_n)_s + (V_n)_{rc} \quad (2-18)$$

其中， $(V_n)_s$ 與 $(V_n)_{rc}$ 分別為鋼骨及RC部分在梁柱接頭區之標稱剪力強度，其計算分別依以下之規定：

(a) SRC構材中，鋼骨標稱剪力強度 $(V_n)_s$ 部分，依公式(2-5)來計算。

(b) SRC構材中，鋼筋混凝土標稱剪力強度 $(V_n)_{rc}$ 部分，依公式(2-19)計算分別如下：

(i) 圍束接頭：

$$(V_n)_{rc} = 1.7\sqrt{f'_c}A_j \left[1 - \frac{A_s f_{ys}}{2(P_n)_u} \right]$$

(ii) 接頭三面或兩對面圍束：

$$(V_n)_{rc} = 1.2\sqrt{f'_c}A_j \left[1 - \frac{A_s f_{ys}}{2(P_n)_u} \right] \quad (2-19)$$

(iii) 其他：

$$(V_n)_{rc} = 1.0\sqrt{f'_c}A_j \left[1 - \frac{A_s f_{ys}}{2(P_n)_u} \right]$$

其中 f'_c 為混凝土 28 天之抗壓強度(單位為MPa)； A_s 為SRC柱中鋼骨部分之斷面積； $(P_n)_u$ 為SRC柱之標稱抗壓強度，依公式(2-14)計算。 A_j 為接頭區RC部分之有效受剪面積，計算方式如圖 2.1 所示。當接頭處之梁為鋼骨鋼筋混凝土梁時， 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。當接頭處之梁為鋼梁時， A_j 之寬度同上述計算，惟不得大於接頭處垂直於剪力方向柱寬之一半。另一方面，公式(2-19)中所指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。

2.2 相關文獻回顧

關於採用「五螺箍」SRC 柱之 SRC 梁柱接頭的耐震試驗，至目前為止，本研究尚未發現已經發表之相關研究文獻。不過，在預鑄梁柱接頭方面則有許多研究成果可供參考，茲簡要回顧如下。

2.2.1 預鑄 RC 梁柱接頭

Englekirk 等[10]探討 RC 預鑄工法應用在地震區之多層建築物設計。文中探討各種 RC 預鑄接合的型式，並且建議 RC 構造應用在預鑄工法有很大的發展空間，並藉著日本與紐西蘭之預鑄工法研發過程中，探討 PRESSS 系統(Precast Seismic Structural System)於預鑄工法之應用。

Soubra 等[11]共進行六組在 RC 梁跨距中央灌注鋼纖維混凝土之反復載重試驗。研究採用不同長度的鋼纖維與聚酯纖維混凝土應用在 RC 梁中，研究結果顯示使用纖維混凝土之梁柱接頭耐震性能皆比採用一般未加纖維之混凝土佳。

Soubra 等[12]進行四組預鑄 RC 梁柱接頭之反復載重試驗。研究中將鋼纖維混凝土應用在預鑄 RC 梁柱接頭之接合中。研究結果顯示，使用纖維混凝土之耐震性能、勁度皆比採用一般未加纖維之混凝土佳，並且證明鋼纖維混凝土應用在預鑄工法中之可行性。

Ochs 等[13]共探討四組預鑄 RC 梁柱接頭及一組現場整體灌漿之梁柱接頭進行反復載重試驗。研究結果顯示，預鑄 RC 梁柱接頭之塑性鉸皆可發生在預期之範圍內，並將塑性鉸產生離 RC 柱混凝土面之外的梁上。

Loo 等[14]共進行十八組二分之一尺寸結構內部預鑄 RC 梁柱接頭接頭之反復載重試驗。研究結果顯示，所有預鑄 RC 梁柱接頭皆比傳統整體灌注混凝土接頭之耐震性能佳。

Restrepo 等[15]共進行六組預鑄 RC 梁柱接頭之反復載重試驗。其中，四組以托梁式接頭在接續處以不同型式以梁主筋進行接合。研究結果顯示，此六種型式預鑄 RC 梁柱接頭至少比現場整體現場灌置混凝土之接頭擁有相同的勁度、強度及韌性。研究中顯示，第一組至第三組續接處在 RC 之梁中央接合，可使 RC 梁端之塑性鉸形成離 RC 柱混凝土面之兩倍 RC 梁深，試體之層間變位角分別為 3.0%弧度。

Park [16]針對紐西蘭此國家普遍使用之預鑄樓板、預鑄抗彎矩構架，以及結

構牆之發展趨勢進行探討。針對紐西蘭中常用之幾種預鑄 RC 結構之接合型式進行大體上優劣之探討與分析。最後，期許預鑄 RC 構架之終極目標能與傳統現場整體灌置之結構做競爭來增加預鑄工法之競爭優勢。

Hakuto 等[17]共進行七組預鑄 RC 梁柱接頭進行之反復載重試驗。試體第一組到第五組採用內部接頭型式，試體第六組和第七組採用外部接頭型式。研究結果顯示，第六組與第七組之表現較佳，其原因為 RC 梁之主筋錨定方式分別為上、下主筋向內彎且錨定於接頭中，上、下之梁主筋向外彎且錨定於上下之 RC 柱內，其層間變位角分別為 4.0%弧度及 5.0%弧度。

Alcoce 等[18]共進行兩組全尺寸預鑄 RC 梁柱接頭之反復載重試驗。其中，第一組試體進行單向之反復載重試驗，第二組試體進行雙向混合式之反復載重試驗。研究結果顯示，兩組預鑄 RC 構架結構之施工可以容易且快速的接合，且兩組梁柱接頭之層間變位角皆大於 3.5%弧度，並且皆在梁端產生良好的塑性鉸。

Khaloo 等[19]共進行四組五分之二尺寸之預鑄 RC 梁柱接頭之反復載重試驗。其中，四組採用預鑄 RC 梁柱接頭型式，一組採用整體灌置混凝土的型式。研究結果顯示，採用預鑄接合之接頭型式與整體灌置混凝土之抗彎矩行為相似。另一方面，文中並指出，當減少預鑄梁柱接頭托梁之接合長度時會造成接頭之強度、韌性以及耐震性能的下降，並指出使用鋼纖維混凝土在預鑄接合段之長度上可增加試體強度、韌性及耐震消能效果。

Khaloo 等[20]延續了 Khaloo [19]之實驗結果，並且再更進一步進行不同型式。其中，四組採用內部接頭之預鑄 RC 梁柱接頭，一組採用整體灌置混凝土之梁柱接頭。研究結果顯示，此次試體試驗之強度、韌性以及變形消能效果與 Khaloo 等[19]之實驗結果類似。

Blandon 等[21]以一棟二分之一尺寸之兩層樓複合預鑄結構系統(包含接頭、結構牆及樓板)進行地震反復載重試驗。研究重點在觀察整體預鑄結構之梁柱接頭接合、柱與基礎及樓板接合等。研究結果顯示，複合預鑄結構系統比僅使用預鑄構架(僅有梁與柱之門型構架，不含樓板、預鑄牆)之變形需求有大量折減趨勢，且擁有結構牆之複合預鑄結構中可以降低梁柱接頭接合之韌性需求。

Korkmaz 等[22]共進行六組四分之一之預鑄 RC 梁柱接頭之反復載重試驗。文中提到於土耳其 Marmara 地區之預鑄結構在 1999 年發生芮氏七點四級之地震後，由於梁柱接頭設計方法不恰當而造成重大損壞。所以研究乃進行梁柱接頭之

改良，且實驗結果顯示改良預鑄 RC 梁柱接頭比地震前所設計之結構有更好耐震性能。

Khoo 等[23]共進行三組預鑄 RC 梁柱接頭之反復載重試驗。研究結果顯示，採用半預鑄 RC 托梁且續接處進行混凝土第二次灌漿之梁柱接合型式是可行之抗彎矩構架，且接合型式並不會對接頭造成有害之影響。三組試體之塑性鉸皆發生在靠近柱混凝土面約一至二倍 RC 梁之梁深左右，且層間變位角皆可達 4.0%弧度以上。

Ertas 等[24]共進行六組預鑄 RC 梁柱接頭之反復載重試驗，分別採用整體灌注、現場工地灌注、複合及螺栓接合型式。研究結果顯示，此六組不同之預鑄 RC 梁柱接頭設計皆可達 4.0%弧度之層間變位角。

2.2.2 SRC 柱接 SRC 梁之梁柱接頭

陳昭榮[25]於 1992 年利用七組半預鑄工法之鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭試體，探討 SRC 梁柱接頭強度與韌性行為。該試驗中發現，在承受反復載重之情況下，在鋼骨翼板加鉚剪力釘，由於剪力釘在複合作用下提供受水平剪力影響之壓力面積，較鋼筋握裹效應下受影響區域為大，所以剪力釘對於發揮混凝土壓應力之貢獻較鋼筋為大，因此可提供比未加剪力釘之試體更為優良的複合作用，而於極限載重後仍保有極佳的二次韌性。此外，試驗發現過寬之混凝土保護厚度，將使構材發生不當開裂，造成鄰近之鋼骨產生額外之應力負擔。

朱俊星[26]將高韌性接頭設計觀念用於 SRC 構造，且進一步研究改進半預鑄工法的缺點。主要是以蓋板來傳遞梁柱接頭區的彎矩並代替鋼筋續接器之使用，並設法將梁降伏位置遠離梁端，同時為了提高在地震下接頭之韌性，加長在梁上可能發展塑性鉸的範圍。為了探討鋼骨鋼筋混凝土梁之理論彎矩強度，以九組實尺寸梁柱接頭試體進行反復載重的試驗，藉由在試驗時所收錄的資料，修正日本 AIJ-SRC 設計規範中鋼骨鋼筋混凝土梁極限強度之計算公式。由陳昭榮[25]及朱俊星[26]之研究結果顯示，半預鑄 SRC 梁柱接頭試體並不會在新舊混凝土交界面破壞，因此採用混凝土二次灌漿完成並不影響其結構之耐震行為。

蔡克銓等[27]利用四組半預鑄工法之 SRC 梁柱接頭試體探討接頭耐震行為，並提出計算 SRC 梁之極限強度及等效彈性勁度之新方法。研究結果顯示，設計及製作良好之 SRC 梁柱接頭具有足夠之強度與韌性以抵抗強震。此外，若

SRC 梁中配置適當的頂層鋼筋，將可以減低鋼骨的韌性需求，同時亦發現梁彎矩與剪力主要由鋼骨承受。

陳勤傑[28]則嘗試以特殊設計之蓋版來替代鋼筋，使接頭區 SRC 梁之塑性區外移並提高 SRC 梁塑性變形能力。經由實尺寸 SRC 接頭試驗証實高韌性接頭在反覆作用力下之強度、勁度的表現可維持與傳統梁柱接頭相同，但其韌性及施工性則可大幅改善。

陳生金[29]共進行六組試體半預鑄鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭之反復載重試驗。試驗結果顯示，在鋼梁上翼板加鉚剪力釘對於 SRC 梁之強度提昇作用並不明顯。另一方面，將 SRC 梁底部鋼筋延伸至柱內時其韌性的表現較佳，且 SRC 梁主筋延伸進入超過 SRC 柱中心錨定之梁柱接頭，其具有良好的韌性表現並有助於構架對地震能量的消散。

2.2.3 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭

Chou and Uang [30]進行兩組實尺寸包覆 H 型鋼之 SRC 柱接減弱式鋼梁之梁柱接頭試驗。其中一組試體模擬結構內部接頭，即 SRC 柱左右兩側接鋼梁，另一組則模擬結構外部接頭，即 SRC 柱單側接鋼梁。試驗結果顯示，當 SRC 柱中鋼骨之彎矩強度小於鋼梁切削處之彎矩強度，且梁柱交會區之設計剪力強度亦略小於梁柱交會區需求剪力強度時，鋼梁切削處仍可形成良好的塑性鉸，且有良好的韌性。

楊宗翰[31]進行三組實尺寸 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭試體受反復載重作用之試驗，並嘗試在梁柱接頭區採用四支 90+135 度彎鉤之周邊繫筋，以形成圍束箍筋的方式，來簡化 SRC 梁柱接頭處箍筋的施工複雜性。實驗結果顯示，在滿足強柱弱梁的狀況下，在梁柱接頭區之鋼梁由於受到 SRC 柱的鋼筋混凝土圍束，可以有效的促使鋼梁於柱混凝土表面外發展出塑性鉸，且梁柱接頭區之混凝土並無明顯的開裂情形。

徐振益[32]進行五組實尺寸 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭試體受反復載重作用之試驗，探討之主要參數為 SRC 柱中梁柱交會區鋼柱腹板之剪力強度對梁柱接頭耐震能力之影響，並嘗試採取在梁柱接頭區加鉚疊合板但不配置圍束箍筋之方式，來簡化 SRC 柱接頭處箍筋的施工複雜性。實驗結果發現，在反復載重作用下，對於交會區鋼柱腹板（含疊合板）之標稱剪力強度與該區最大需求剪力強度

之比值在 0.82 以上之試體，其鋼梁上最終均產生適當的塑性鉸，並發揮良好的韌性耗能作用。

翁正強、王暉舜[33]進行兩組實尺寸「S-SRC 梁柱接頭」(鋼梁與包覆箱型鋼管 SRC 柱之梁柱接頭)之反復載重試驗。在適當的設計下，此種 S-SRC 梁柱接頭可發揮良好的耐震性能。實驗結果發現，此種接頭之鋼梁在未補強(加鉸蓋板、側翼板、肋板)未減弱(切削鋼梁翼板斷面)之情況下，仍可發揮良好的強度與韌性，具備優良的耐震能力。同時由於此種 S-SRC 接頭之鋼梁不必補強或切削，可有效節省梁柱接頭之製作成本。

2.2.4 撓曲勁度之相關文獻

Mirza [35]在文中探討細長混凝土(RC)柱在短時間載重之撓曲勁度EI值之公式，且建議設計公式適用於細長柱之設計。研究結果顯示，ACI設計規範之撓曲勁度EI值大約為文中所建議之預測值的兩倍。文中並且提出在不同樓層下(頂層、中間及底層)之撓曲勁度做探討，其重要變化參數分別有 e/h 及持續載重係數 β_d 值。

Mirza [36]在文中探討細長複合鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱在短時間載重之強軸彎矩下有效撓曲剛度EI值。由於ACI設計規範中允許以彎矩放大係數之方法來設計鋼骨鋼筋混凝土，方法採用混凝土的裂縫、潛變和應力-應變之非線性行為及其他因數，且EI值以軸力-彎矩互制曲線推導而得。另一方面，由於在推導過程中未考慮合成細長構材之複合鋼骨鋼筋混凝土柱，因此研究以數值方法探討合成細長構材在施加於強軸彎矩來分析之，並推導細長複合鋼骨鋼筋混凝土柱之EI值。

Mirza 等[37]在文中進一步探討細長複合鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱在短時間載重之強軸彎矩下有效撓曲剛度 EI 值之非線性公式。研究結果顯示，公式利用不同參數變化所得到的建議設計撓曲勁度值皆比 ACI 設計規範中所規定的公式小。另一方面，文中提出之建議公式適用於複合構材在極限載重之下之勁度。