

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

目前在美國與日本方面，與 SRC 構造相關的設計規範主要有(1)美國 AISC-LRFD 設計規範[2]，(2)美國 ACI-318 設計規範[3]，(3)日本建築學會(AIJ) SRC 設計規範[4]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與解說」[5]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。以下將針對上述規範作簡單的介紹與說明：

2.1.1 美國 AISC-LRFD 設計規範 (1999)

美國 AISC-LRFD 規範對於 SRC 構材(合成構材)之設計理念是將構材中 RC 部分所提供的強度與勁度，以修正係數轉換成等值之鋼骨，再直接以鋼結構之設計公式計算 SRC 構材之強度。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。此外，AISC-LRFD 規範中目前僅對合成構材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卻並未有明確的規定。

對於 SRC 梁柱接頭區之彎矩強度，AISC-LRFD 規範規定梁柱之彎矩強度比應滿足下式要求：

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

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。

對於 SRC 梁柱接頭區之剪力強度計算，AISC-LRFD 規範主要考慮鋼骨部份之貢獻而將 RC 部份保守的忽略。故 SRC 梁柱接頭區之標稱剪力強度 $(V_n)_s$ 可依下式決定之：

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

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）。Krawinkler[6]考慮鋼柱翼板對梁柱交會區鋼柱腹板之加勁影響，提出更準確的接頭區剪力強度計算公式 $(V_n)_K$ 如下：

$$(V_n)_K = 0.55 F_{ys} d_c t_p \left(1 + \frac{3.45 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right) \quad (2-3)$$

其中 d_b 為梁斷面深度； b_{cf} 為柱翼板寬度； t_{cf} 為柱翼板厚度。

基於 Krawinkler 之發現，美國 AISC 耐震設計規範(Seismic Provisions) [7]於設計條文中建議梁柱接頭區標稱剪力強度為：

$$(V_n)_{sp} = 0.6 F_{ys} d_c t_p \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right) \quad (2-4)$$

2.1.2 美國 ACI-318 設計規範 (2002)

美國 ACI-318 規範對於 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，ACI-318 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：

$$\frac{\sum M_c}{\sum M_g} \geq 1.2 \quad (2-5)$$

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，ACI-318 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： $(V_n)_{rc} = 1.25\sqrt{f'_c}A_j$ (2-6)
- (3) 其他： $(V_n)_{rc} = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$

其中 f'_c 為混凝土之抗壓強度（單位為 MPa）； A_j 為梁柱接頭之有效受剪面積。

在 SRC 構材之箍筋配置方面，ACI-318 規範並未考慮 SRC 構材中的「鋼骨對於混凝土圍束效應之貢獻」。設計者若採用 ACI-318 規範來進行 SRC 構造之設計，當計算 SRC 柱之箍筋量與箍筋間距時，依然須遵循一般 RC 構造之規定，使得設計結果過於保守，且易造成 SRC 構造在施工上的不便（特別是在梁柱接頭處的箍筋配置可能更為困難）。

2.1.3 日本建築學會 SRC 設計規範 (2001)

日本建築學會 (AIJ) SRC 構造設計規範以「強度疊加法」計算 SRC 構材之強度，強度疊加之方法分為簡單疊加法 (Simple Superposed Method, SSM) 與一般化疊加法 (Generalize Superposed Method, GSM)。前者係將 SRC 構材中的鋼骨與 RC 視為獨立的個體，分別計算其強度，並限制鋼骨與 RC 所能承擔之軸力與彎矩在一定的比例之下，最後再進行簡單的疊加，該法在計算上較為簡單但結果略偏保守；後者係將鋼骨與 RC 分別計算極限強度再予以疊加，而鋼骨與 RC 所承擔之軸力與彎矩比例並沒有限制，雖然在計算上較為複雜，但可以調整設計斷面至最經濟的組合。

在 SRC 構造設計方法上，AIJ-SRC 設計規範係採用工作應力設計法 (Working Stress Design, WSD) 再輔以極限層剪力之檢核。日本 AIJ-SRC 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 構造細則之規定較為明確。

對國內工程師而言，直接使用 AIJ-SRC 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)

多年來由於我國「建築技術規則」並未明訂SRC構造設計相關規定，使得國內工程師在SRC構造設計方面缺乏依循的標準。基於此一需求，內政部乃委託結構工程學會進行SRC設計規範研究，並由交通大學翁正強教授擔任計劃主持人。經過研究小組多年的努力，廣泛徵詢學者專家之意見，我國SRC構造設計規範草案」[8]於2003年底經過內政部審議通過。

內政部復於2004年一月十六日公佈「建築技術規則」部分修正條文，在「建築技術規則」的建築構造編增列「第七章：鋼骨鋼筋混凝土構造」，由第496至520條明訂SRC構造設計相關規定。內政部並明訂我國「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」自2004年七月一日起正式施行。從此以後，國內從事SRC構造設計之業者與審查機構將可以有明確的SRC構造設計規範可以依循。

由於我國現行的鋼結構與RC結構設計規範主要是參考美國AISC及ACI規範而訂定，因此我國SRC規範的研擬乃朝向結合AISC與ACI規範的方向進行，目的在於使國內的S、RC、SRC三種設計規範能夠具有一貫性。再者，我國SRC規範亦有兼顧國內工程教育背景之考量，因此SRC規範的編寫方式係以大家熟悉的型式出現，以便於工程師使用。

在SRC構材強度之計算方面，我國SRC規範研究小組經過反覆討論後，建議以「強度疊加法」作為SRC構材強度之計算方法。該法係先將SRC構材中之鋼骨部分與RC部分，分別依照AISC鋼結構設計規範及ACI混凝土設計規範求得鋼骨與RC之個別強度，然後再予疊加以求得SRC構材之強度。此外，有鑒於SRC構造品質的提昇必須仰賴於合理的構造細則（特別是配筋方面），因此我國SRC規範乃特別注意明確規定SRC構造中相關之配筋細則，以避免不合理的鋼筋配置損害SRC構造之安全性。

在SRC梁柱接頭的彎矩強度方面，當採用SRC柱接SRC梁之接頭型式時，其標稱撓曲強度應符合：

$$\text{鋼骨部分：} \frac{\sum (M_{ns})_c}{\sum (M_{ns})_b} \geq 0.6 \quad (2-7)$$

$$\text{RC 部分：} \frac{\sum (M_{nrc})_c}{\sum (M_{nrc})_b} \geq 0.6 \quad (2-8)$$

其中 $\sum (M_{ns})_c$ 為在梁柱接合處所有 SRC 柱中鋼骨部分的標稱彎矩強度之總合； $\sum (M_{ns})_b$ 為梁柱接合處所有 SRC 梁中鋼骨部分的標稱彎矩強度之總合； $\sum (M_{nrc})_c$ 為在梁柱接合處所有 SRC 柱中 RC 部分的標稱彎矩強度之總合； $\sum (M_{nrc})_b$ 為在梁柱接合處所有 SRC 梁中 RC 部分的標稱彎矩強度之總合。

上兩式即規定梁柱接合處 SRC 柱中鋼骨部分跟 RC 部分之標稱彎矩強度之總合， $\sum (M_{ns})_c$ 與 $\sum (M_{nrc})_c$ ，應至少分別為 SRC 梁中鋼骨部分跟 RC 部分之標稱彎矩強度的 0.6 倍，此限制可避免 SRC 梁柱接頭處柱與梁之鋼骨與 RC 部分所分擔之彎矩比例過於懸殊。

對於採用 SRC 柱與鋼梁相接之接頭型式，為確保梁柱接頭處彎矩的傳遞不致發生問題，我國 SRC 規範要求在梁柱接合處所有 SRC 柱中鋼骨部分的標稱彎矩強度之總合， $\sum (M_{ns})_c$ ，必須大於梁柱接合處所有鋼梁的標稱彎矩強度之總合， $\sum (M_{ns})_b$ ，亦即：

$$\frac{\sum (M_{ns})_c}{\sum (M_{ns})_b} \geq 1.0 \quad (2-9)$$

此外，我國 SRC 規範規定各梁柱接頭應滿足耐震設計之「強柱弱梁」要求，如下式所示：

$$\frac{\sum M_c}{\sum M_b} \geq 1.2 \quad (2-10)$$

其中 $\sum M_c$ 為連接於梁柱接頭處各柱在接頭交接面的標稱彎矩強度之總合； $\sum M_b$ 為連接於梁柱接頭處各梁在接頭交接面的標稱彎矩強度之總合。

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；且箍筋總面積 A_{sh} 應不小於下兩式所計算者：

$$A_{sh} = 0.3sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{(P_n)_u} \right] \quad (2-11)$$

$$A_{sh} = 0.09sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{(P_n)_u} \right] \quad (2-12)$$

其中 s 為柱圍束箍筋之間距； 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， $(P_n)_u$ 為柱抗壓強度(Squash Load)，依下式計算：

$$(P_n)_u = A_s F_{ys} + 0.85f'_c A_c + F_{yr} A_r \quad (2-13)$$

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} 為主筋之規定降伏應力； A_r 為主筋之斷面積。

式 (2-11) 與式 (2-12) 係將一般 RC 柱之圍束箍筋計算公式乘以一折減係數 $[1 - A_s F_{ys} / (P_n)_u]$ 來作為 SRC 柱圍束箍筋量之計算公式。此折減係數係源自於 AISC 耐震設計規定，其主要目的為考量鋼骨斷面對 SRC 軸力之分擔對混凝土圍束效應之貢獻。

在梁柱接頭的剪力強度方面，我國 SRC 規範規定 SRC 梁柱接頭區之標稱剪力強度， $(V_n)_{j, SRC}$ ，為接頭區鋼柱剪力強度 $(V_n)_s$ 與 RC 部分剪力強度 $(V_n)_{rc}$ 之和，亦即：

$$(V_n)_{j, SRC} = (V_n)_s + (V_n)_{rc} \quad (2-14)$$

其中鋼柱部分之標稱剪力強度 $(V_n)_s$ 依公式 (2-2) 計算，RC 部分之剪力強度 $(V_n)_{rc}$ 依下式計算：

$$\begin{aligned} (1) \text{ 圍束接頭者: } & (V_n)_{rc} = 1.7\sqrt{f'_c} A_j \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{2(P_n)_u} \right] \\ (2) \text{ 接頭三面圍束或兩對面圍束者: } & (V_n)_{rc} = 1.25\sqrt{f'_c} A_j \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{2(P_n)_u} \right] \\ (3) \text{ 其他: } & (V_n)_{rc} = 1.0\sqrt{f'_c} A_j \left[1 - \frac{A_s F_{ys}}{2(P_n)_u} \right] \end{aligned} \quad (2-15)$$

其中 f'_c 為混凝土之抗壓強度 (單位為 MPa)； A_j 為梁柱接頭之有效受剪面積，計算方式如圖 2.1 所示。 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。公式 (2-15) 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

本節中將針對 (1) SRC 柱接 SRC 梁之梁柱接頭，(2) SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭，(3) 填充型鋼管混凝土柱接鋼梁之梁柱接頭之相關研究文獻進行探討，最後將簡要敘述 FEMA-350 對純鋼骨梁柱接頭之相關規定及改良式鋼骨梁柱接頭之相關研究。

2.2.1 SRC 柱接 SRC 梁之梁柱接頭

有關傳統的 SRC 柱接 SRC 梁之梁柱接頭研究方面，陳昭榮[9]利用七組類似日本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。試驗結果顯示，當承受反復載重時，在鋼骨翼板加鉚剪力釘之試體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，試驗結果亦發現過寬之混凝土保護層厚度，將使構件發生不當開裂，造成鄰近之鋼材產生額外之應力負擔。

朱俊星[10]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覆載重的試驗，藉由在試驗時所收錄的資料，修正日本 AIJ 規範中鋼骨鋼筋混凝土梁極限強度之計算公式。

蔡克銓等[11]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[12]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 接頭試驗證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。

2.2.2 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭

在 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭研究方面，Chou and Uang [13]進行兩組實尺寸包覆 H 型鋼骨之 SRC 柱接切削減弱式鋼梁之梁柱接頭試驗。一組試體模擬結構內部接頭，即 SRC 柱左右兩側接鋼梁，另一組試體係模擬結構外部接頭，即 SRC 柱僅單側接鋼梁。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，且有不錯的韌性。

翁正強等[14]進行十組 SRC 柱接鋼梁實尺寸梁柱接頭試驗研究。其試驗結果顯示，當鋼柱之梁柱交會區 (Panel Zone) 鋼柱腹板厚度較小時，因其所能提供之剪力強度較小，使得接頭區混凝土開裂與剪力變形皆較明顯，造成在較大位移時出現較明顯的勁度衰減現象。此外，剪力釘有助於減少混凝土開裂與提高接頭之韌性，但對於強度並無貢獻。此報告亦指出提昇接頭剪力強度能使鋼梁能有較大的彎矩變形，進一步提昇接頭的韌性。

楊宗翰[15]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 4 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[16] 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 柱中交會區 (Panel Zone) 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 (Doubler Plate) 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 (Shear Strength Ratio) 在 0.82 以上之試體，其鋼梁上最終均產生適當的塑性鉸，並發揮良好的韌性消能作用。實驗結果亦發現，在梁柱接頭區之鋼柱腹板加鉚適當的疊合板可以有效提升交會區之強度與勁度，亦可減少接頭區混凝土之開裂，並有助於鋼梁發揮塑性變形能力。

2.2.3 填充型鋼管混凝土柱(CFT)接鋼梁之梁柱接頭

對於包覆箱型鋼柱接鋼梁之梁柱接頭，目前尚未發現已發表之相關文獻。但在填充型鋼管混凝土柱(CFT)接鋼梁之梁柱接頭研究方面則有許多成果可參考，主要包括 Ricles 等[17~19]針對梁柱接頭之接合方式進行試驗研究，其接頭方式大致可分為三種，分別為內橫隔板式、外橫隔板式與無橫隔板。試驗結果顯示，若接頭之細步設計能避免應變集中的發生，則三種接頭型式皆能在強度、勁度與韌性上有良好的表現。

Alostaz 等[20]與 Schneider[21]亦針對圓形鋼管混凝土柱與鋼梁之接合方式進行試驗研究，其接頭型式共有六種，分別為簡單式接頭、橫隔板式接頭、鋼筋鉚接式接頭、剪力釘式接頭、腹板埋入式接頭與鋼梁穿透式接頭，前兩者為外壁接合式，後四者為穿透埋入式。試驗結果顯示，外壁接合式施工較容易，但韌性較差；穿透埋入式韌性較佳，其中以鋼梁穿透式接頭之耐震行為最好，但施工難度較高。

Koester[22]進行螺栓穿透式 CFT 柱接鋼梁之梁柱接頭之耐震試驗，藉由試驗結果與數值分析探討其試體在反復載重作用下其梁柱接頭交會區之行為。試驗結果顯示，試體之梁柱接頭交會區破壞模式主要有三種，分別為鋼板剪力降伏、鋼柱翼板撕裂及鋼管內混凝土之開裂。研究中亦提出計算此種型式梁柱接頭之梁柱接頭交會區剪力強

度的建議公式。

林克強[23]針對凸形與凹形兩類柱外夾型橫隔板之接合細節，共進行十三組實尺寸梁柱接頭試體進行試驗研究，其中三組採用凸形橫隔板，十組採用凹形橫隔板。試驗結果顯示，柱外夾型橫隔板與梁翼板之接合填角焊必須額外施加回頭焊（end return weld），以防止填角焊的撕裂破壞；當橫隔板厚度過厚時，其受彎變形將無法與梁翼板之變形趨於一致，導致接頭之塑性變形容量降低；比較採用凸形與凹形橫隔板之接頭行為發現，柱外凸形橫隔板之勁度較不易滿足需求而容易產生變形，進而導致柱板受拉而變形，採用凸形橫隔板亦將較不符經濟效益。試驗結果證實，製作細節良好配合適當的橫隔板形狀與細部尺寸者，其梁之塑性轉角可達 0.03 弧度以上，甚至可高達 5% 弧度。在採用凹形橫隔板之試體中，破壞模式均屬韌性斷裂，顯示以填角焊配合回頭焊之夾型橫隔板接頭，能有效地避免接頭脆性破壞的發生。試驗結果也顯示，此類新型之梁柱接頭均能使梁端穩定地發展梁斷面之塑性彎矩強度，其平均應變固化因子為 1.13，故此接頭於設計時，建議梁之彎矩強度應變固化因子保守地採用 1.2。梁柱交會區之試驗與分析結果發現，鋼管混凝土柱之交會區極限剪力強度，將不可由鋼管腹板與混凝土之極限剪力強度直接疊加而得，因當交會區變形未達梁腹板之降伏剪力應變前，混凝土之剪力強度已完全發展，而達鋼管腹板之降伏剪力應變時，交會區之剪力強度幾乎完全由鋼管提供。

鄭錦銅等[24]進行六組圓形鋼管混凝土柱與鋼梁之梁柱接頭反復載重試驗，接頭型式為傳統外橫隔板之外壁接合式。試驗結果顯示，除了接近強柱弱梁設計之試體因梁翼板拉斷破壞之外，其他傾向弱柱強梁設計試體之破壞模式皆由柱挫屈所致。試驗結果亦發現，在鋼管內填充混凝土、較小柱管徑厚比與針對橫隔板加勁處理之梁柱接頭，在強度、韌性與延後鋼管挫屈方面皆有較佳表現。

鍾立來等[25]進行實尺寸之鋼管混凝土梁柱接頭試驗，以探討矩形鋼管混凝土柱接鋼梁之梁柱接頭在反覆載重下之耐震行為。試驗參數為鋼管寬厚比及灌注混凝土與否。研究結果顯示，梁柱交會區之強度及降伏強度與鋼管內之混凝土有關，而鋼管之

寬厚比愈大，混凝土之效應越顯著。此外，梁柱交會區之勁度由於混凝土乾縮等效應之影響，當寬厚比小時，混凝土對於梁柱交會區之勁度貢獻相當小。試驗之結果亦顯示，此研究所提出之混凝土勁度模型可以模擬鋼管中混凝土受軸力下強度提升之效果，而使理論值更趨合理。

鍾立來等[26]進行鋼管混凝土柱螺栓穿透式梁柱接頭之耐震性能試驗，提出一套螺栓式梁柱接頭之細步設計。螺栓式梁柱接頭之特色在於採用工廠銲接、工地栓接之施工方式，以減少施工中發生的變數。H 型鋼梁端部設有端板，利用螺栓栓接在矩形箱型鋼柱上，待鋼柱內混凝土發展出足夠抗壓強度後，即對螺栓施與預力。此外，梁端加銲翼緣擴板與垂直三角形加勁板以提高梁端之彎矩容量，使塑性鉸遠離銲道。實驗結果顯示螺栓式梁柱接頭具有良好的耐震性能。

Ricles 等[27]進行十組實尺寸 CFT 柱接鋼梁之梁柱接頭耐震試驗。試體的參數為鋼管內加銲剪力釘、鋼梁利用側翼板補強、鋼梁利用肋板補強及全螺栓接合式梁柱接頭等。試驗結果顯示，在反復載重作用下，經過良好設計之梁柱接頭可充分發揮韌性變形的能力，並保有良好的強度與勁度。

Nishiyama 等[28]指出現行 AIJ-SRC 規範對於 CFT 柱之設計公式有材料強度上限值之規定，如混凝土之抗壓強度上限為 36Mpa，鋼材之降伏強度上限為 490Mpa。而在實際應用上，則無法有效反應出採用高強度材料之優點，因此本研究即藉由試驗探討採用高強度材料對接頭行為的影響。Nishiyama 採用抗壓強度為 110Mpa 之混凝土，以及降伏強度為 809Mpa 之鋼材進行 CFT 柱接鋼梁之梁柱接頭試驗，並提出一套新的接頭區剪力強度預測方法。

除了試驗研究外，Alostaz 等[29]亦針對箱型及圓形鋼管混凝土建立三維梁柱接頭的有限元素分析，並將分析結果進一步與試驗結果做比較，以探討其準確性。Azizinamini 等[30]與 Elremaily 等[31]則分別針對箱型及圓形鋼管混凝土建立梁柱接頭之設計準則。Chiew 等[32]利用有限元素分析，探討影響圓形鋼管混凝土柱接 I 型鋼梁之梁柱接頭耐震能力之參數，並建立一套設計準則。之後並進行八組圓形鋼管混

凝土柱接 I 型鋼梁之梁柱接頭試驗，以驗證其理論分析的準確性。

2.2.4 FEMA-350 之相關規定與純鋼骨梁柱接頭之相關研究

在 1994 年北嶺地震發生前，鋼構之梁柱接頭大多採用梁上下翼版全滲透銲接、腹板鎖螺栓之接合方式，如圖 2.2 與 2.3 所示，當時工程師一直認為此種做法之鋼構梁柱接頭具有足夠的耐震能力，且能提供良好之韌性。直到北嶺地震造成許多鋼構之梁柱接頭發生脆性破壞，且破壞幾乎都集中在梁上下翼版之銲道，當破壞時，鋼梁均未發展出足夠之塑性變形。因此美國 FEMA 在地震後進行了許多的研究與大型試驗工作，發現傳統之鋼構梁柱接合方式之銲道由於施工的需求，需要在鋼梁腹板上靠近上、下翼板處開孔（一般稱為扇型開孔），在上方開孔的目的是為了放置背墊板，在下方開孔的目的則是要進行下翼板銲接。由試驗觀察發現，扇型開孔會造成應力集中之現象，背墊板亦極易造成銲道之缺陷，且破壞大多集中在下翼板之銲道。原因在於當進行鋼梁下翼板銲接工作時，由於鋼梁腹板之存在，銲接時被迫需在腹板附近中斷，使得此銲道無法從頭到尾連貫。

為了避免鋼構梁柱接頭之銲道在大地震作用時先產生脆性破壞，且為了能在鋼梁上產生足夠的塑性變形以提供良好的韌性，FEMA-350 規定位處強震區之鋼骨結構之鋼梁需作補強或減弱之處理，以確保應力最大處能遠離銲道。FEMA-350 亦藉由一系列的大型試驗，驗證了幾種有效的針對鋼梁補強或減弱之處理方式，並提供其細部設計資料，如圖 2.4 至圖 2.7 所示。此外，FEMA-350 亦規定了扇型開孔之細部尺寸與形狀，以及下翼板之背墊板需在全滲透銲接完成後剷除並補上填角銲以保護該銲道。

對於純鋼骨梁柱接頭的研究，葉禎輝[33]及張文宏[34]針對既存及鋼骨建築之韌性增強進行高韌性抗彎構架系統之開發，基本理念是根據外載彎矩梯度的大小而在不影響接頭強度與勁度的前題下，控制接頭區某一範圍內之梁翼寬度處理成變斷面的方式，使此段梁產生均勻之降伏而達消能之效果，如圖 2.8 與圖 2.9 所示。根據實尺寸梁柱接頭試驗結果顯示，採變斷面的試體其極限強度之平均值為 1.29Mp 約與傳統設計

1.3Mp 相同。其可靠塑性角平均高達 4.22% rad，接頭消能韌性及可靠度高於傳統型式接合的梁柱接頭，而其勁度之影響則僅減少約 3%，但卻可大幅提昇其韌性能力。

陳嘉有[35]利用非線性有限元素分析配合十二組實尺寸梁柱接頭試驗，探討數種梁柱接頭韌性改良的可行性，並研究具體的設計依據。試驗結果顯示該研究所採用的各種韌性改良方式均可明顯提高傳統梁柱接頭之韌性能力。

Chen 等[36]利用兩組具延長段之單肋板鋼構梁柱接頭進行大型試驗與有限元素分析研究，如圖 2.10 與圖 2.11 所示，其型式乃是在與梁腹同一平面之梁上下翼板各加鐸一鋼板，該鋼板之特點為有一圓弧緩降段與延長段。研究結果發現，梁腹扇形開孔與梁翼全滲透鐸之應力經肋板補強後已遠較傳統型式梁柱接頭低，且鋼梁皆在距柱面一小段距離處形成塑性鉸。此外，兩組試體皆符合目前國內外規範對韌性抗彎矩構架梁柱接頭試驗轉角之規定。

