

表 3.1 鋼梁與 SRC 柱相接之梁柱接頭試體編號與型式

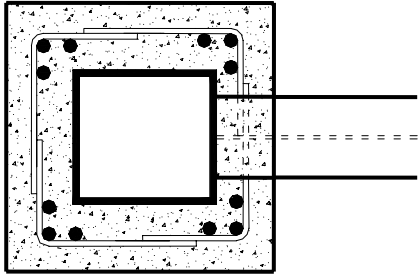
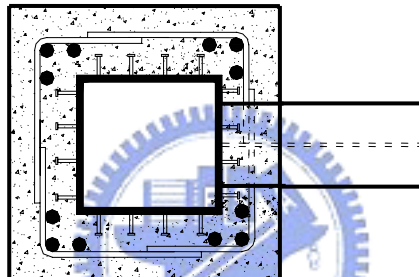
試體編號	試體型式	研究重點
SRC1-BOX-N		<ol style="list-style-type: none"> 1. 探討此種新型梁柱接頭之力學行為與耐震能力。 2. 探討此種梁柱接頭的鋼梁是否能夠發展出良好的塑性鉸。
SRC2-BOX-S		<ol style="list-style-type: none"> 3. 探討梁柱接頭區混凝土之開裂狀況。 4. 探討配置剪力釘對此種梁柱接頭韌性之影響。
<p>註解：(1) SRC-BOX 代表包覆箱型鋼柱（簡稱 SRC 柱）。</p> <p>(2) SRC-BOX 後面之 N 代表未配置剪力釘，S 代表加配剪力釘。</p>		

表 3.2 鋼梁與 SRC 柱接合之梁柱接頭試體之斷面尺寸與參數

試體編號	鋼梁斷面	SRC 柱斷面			SRC 柱參數		鋼梁參數		
	鋼梁斷面 $d \times b_f \times t_w \times t_f$ (mm)	全斷面 $B \times D$ (mm)	箱型鋼柱斷面 $d \times b_f \times t_w \times t_f$ (mm)	鋼骨比 $\frac{A_s}{A_g}^{(1)}$ (%)	箍筋間距 (mm)	剪力釘	斷面切削	斷面補強	剪力釘
SRC1-BOX-N	488×300×11×18	550×550	350×350×22×22	9.5	150	無	無	無	無
SRC2-BOX-S						有	無	無	有

註解：(1) A_s 為箱型鋼柱之斷面積， A_g 為 SRC 柱之全斷面積。
 (2) 所有試體的鋼梁長度均為 2030mm，SRC 柱長度為 3000mm。
 (3) 所有試體 SRC 柱之箍筋間距均為 150 (mm)。

表 3.3 鋼梁與 SRC 柱接合之梁柱接頭試體之材料強度

試體編號	材料強度								
	鋼骨				鋼筋				混凝土
	鋼柱		鋼梁		#3 鋼筋		#6 鋼筋		
	F_y	F_u	F_y	F_u	F_y	F_u	F_y	F_u	f'_c
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
SRC1-BOX-N	403	529	415	535	427	584	502	716	35.1
SRC2-BOX-S	409	533	417	541					

表 3.4 彎矩強度比值：鋼柱與鋼梁之彎矩強度比及 SRC 柱與鋼梁之彎矩強度比

試體編號	鋼柱	SRC 柱	鋼梁	鋼柱與鋼梁之		SRC 柱與鋼梁之	
	彎矩	彎矩	彎矩	彎矩強度比		彎矩強度比	
	$(M_{ns})_c$	$(M_{nSRC})_c$	$(M_{ns})_b$	$\frac{(M_{ns})_c}{(M_{ns})_b}$	$\frac{\sum(M_{ns})_c}{(M_{ns})_b}$	$\frac{(M_{nSRC})_c}{(M_{ns})_b}$	$\frac{\sum(M_{nSRC})_c}{(M_{ns})_b}$
	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)				
SRC1-BOX-N	1433	1829	1287	1.11	2.23	1.42	2.84
SRC2-BOX-S	1455	1851	1293	1.13	2.26	1.43	2.86

註解：(1) $(M_{ns})_b$ 為鋼梁之標稱彎矩強度。 $(M_{ns})_b = Z_b(F_{ys})_b$ ，其中 $(F_{ys})_b$ 為鋼梁材料實際降伏強度，依據材料拉伸試驗而得； Z_b 為鋼梁斷面塑性模數。

(2) $(M_{ns})_c$ 為鋼柱之標稱彎矩強度。 $(M_{ns})_c = Z_c(F_{ys})_c$ ，其中 $(F_{ys})_c$ 為鋼柱材料實際降伏強度，依據材料拉伸試驗而得； Z_c 為鋼柱斷面塑性模數。

(3) $(M_{nSRC})_c$ 為 SRC 柱之標稱彎矩強度。 $(M_{nSRC})_c = (M_{ns})_c + (M_{nrc})_c$ ，其中 $(M_{nrc})_c$ 為 SRC 柱中 RC 部分之標稱彎矩強度，依據 ACI-318 規範計算。

表 3.5 梁柱接頭區之標稱剪力強度 $(V_n)_{SRC}$ 與接頭區之需求剪力 $(V_u)_j$ 之比值

試體編號	接頭區 鋼管腹板 標稱剪力	接頭區 RC 部份 標稱剪力	接頭區 整體 標稱剪力	接頭區 需求剪力	鋼管腹板 標稱剪力與 需求剪力之比	接頭區整體 標稱剪力與 需求剪力之比
	$(V_n)_s^{(1)}$ (kN)	$(V_n)_{rc}^{(2)}$ (kN)	$(V_n)_{SRC}^{(3)}$ (kN)	$(V_u)_j^{(4)}$ (kN)	$(V_n)_s / (V_u)_j^{(5)}$	$(V_n)_{SRC} / (V_u)_j$
SRC1-BOX-N	3976	1066	5042	2309	1.72	2.18
SRC2-BOX-S	4035	1066	5101	2320	1.74	2.20

註解：(1) $(V_n)_s$ 為接頭區鋼管腹板(箱型鋼管斷面之兩軸向各有兩片腹板)之標稱剪力強度，依 AISC 規範計算。

(2) $(V_n)_{rc}$ 為接頭區 RC 部份之標稱剪力強度，依 ACI-318-02 規範計算， $(V_n)_{rc} = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$ ； f'_c ：MPa。

(3) $(V_n)_{SRC}$ 為梁柱接頭區之標稱剪力強度， $(V_n)_{SRC} = (1) + (2)$ 。

(4) $(V_u)_j$ 為梁柱接頭區之最大需求剪力強度，係指接頭區之鋼梁達到塑性彎矩 M_{pb} 時，鋼梁上下翼板作用於接頭區的剪力再減去柱剪力之值，計算如下：

$$(V_u)_j = \frac{M_{pb}}{d_b - t_{bf}} - V_{col}$$

， d_b 為鋼梁斷面深度， t_{bf} 為鋼梁翼板厚度， V_{col} 為柱剪力。

(5) 兩支試體之 $(V_n)_s / (V_u)_j$ 之比值均遠大於 1.0，顯示箱型鋼管斷面在 X 與 Y 向各有兩片腹板，可提供接頭區充裕的抗剪強度，並可有效抑制接頭區的剪力變形，減少接頭區混凝土之開裂。

表 4.1 梁柱接頭轉角分析表：當試體之鋼梁自由端達到最大位移時所對應之各轉角

試體編號	反復載重 位移方向	梁柱接頭 最大總轉角 (θ_{tu}) (rad)	SRC 柱轉角	鋼梁轉角		
			SRC 柱總轉角 θ_{ct} (rad)	鋼梁總轉角 θ_{bt} (rad)	鋼梁彈性轉角 θ_{be} (rad)	鋼梁塑性轉角 θ_{bp} (rad)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
SRC1-BOX-N	+	6.20 %	0.13%	6.07%	0.72%	5.35%
	-	5.72 %	0.11%	5.61%	0.84%	4.77 %
SRC2-BOX-S	+	6.68 %	0.22%	6.46%	0.73%	5.73 %
	-	6.68 %	0.17%	6.51%	0.51%	6.00 %

註解：(1) (θ_{tu}) 為 SRC 梁柱接頭試體之梁端達到最大位移時所對應之層間變位角，由梁端最大總位移(δ_{tu})除以柱心至梁端施力點距離($L_b+D/2$)而得，即(θ_{tu}) = (δ_{tu}) / ($L_b+D/2$) (參閱本文圖 4.3)。

(2) θ_{ct} 為試體之梁端達到最大位移時所對應之 SRC 柱總轉角，依公式(13)計算。

(3) θ_{bt} 為試體之梁端達到最大位移時所對應之鋼梁總轉角，包含鋼梁彈性轉角及鋼梁塑性轉角。

(4) $\theta_{be} = M_{Beam} / k$ ， M_{Beam} 為作用於梁柱交界面之彎矩， k 為由梁彎矩與梁柱接頭總轉角關係曲線求取圖形線性階段之彈性勁度。

(5) θ_{bp} 為試體之梁端達到最大位移時所對應之鋼梁塑性轉角，由鋼梁總轉角減去鋼梁彈性轉角。

(6) 本表中之(θ_{tu})、 θ_{ct} 為實驗直接量測梁端位移除以梁長度所得之轉角， θ_{bt} 、 θ_{be} 、 θ_{bp} 為間接計算出來之轉角。

(7) 本表各轉角之相互關係為：(1) = (2) + (3)；(3) = (4) + (5)；(5) = (1) - (2) - (4)。

表 4.2 梁柱接頭之重要參數與實驗結果：梁柱接頭型式與塑性轉角及破壞模式

試體編號	鋼梁		SRC 柱		重要實驗結果			
	切削 斷面	補強 斷面	鋼管 斷面	箍筋 間距 (mm)	鋼梁 ⁽¹⁾ 塑性轉角 θ_{bp} (rad)	梁柱接頭 ⁽²⁾ 層間變位角 $(\theta_t)_u$ (rad)	鋼梁 ⁽³⁾ 塑性鉸	接頭區 ⁽⁴⁾ 混凝土
SRC1-BOX-N	無切削	無補強	未配置 剪力釘	150	5.35 %	6.20 %	形成良好 塑性鉸	保持良好
SRC2-BOX-S	無切削	無補強	有配置 剪力釘	150	6.00 %	6.68 %	形成良好 塑性鉸	保持良好

註解：(1) θ_{bp} 為試體之梁端達到最大位移時所對應之鋼梁塑性轉角，其值為鋼梁之總轉角減去鋼梁之彈性轉角。
 (2) $(\theta_t)_u$ 為試體之梁端達到最大位移時所對應之梁柱接頭之層間變位角。 $(\theta_t)_u$ 由梁端最大總位移 $(\delta_t)_u$ 除以柱心至梁端施力點距離而得（參閱本文圖 4.3）。
 (3) 實驗結果顯示，兩組試體之鋼梁均在離開 SRC 柱混凝土面約 15 公分處產生充分的塑性鉸。
 (4) 試體之鋼梁在發展塑性鉸過程中，接頭區之混凝土大致保持完好，沒有明顯開裂現象，僅於接頭區側面之混凝土出現很細微的裂縫，梁翼板與 SRC 柱交接處之混凝土僅輕微被擠壓開。

表 4.3 梁柱接頭區之標稱剪力強度 $(V_n)_{SRC}$ 與接頭區之需求剪力 $(V_u)_j$ 之比值：

(假設狀況：構架內部接頭，柱左右兩側接鋼梁，箱型鋼柱內未填充混凝土)

試體編號	接頭區 鋼管腹板 標稱剪力	接頭區 RC 部份 標稱剪力	接頭區 整體 標稱剪力	接頭區 需求剪力	鋼管腹板 標稱剪力與 需求剪力之比	接頭區整體 標稱剪力與 需求剪力之比
	$(V_n)_s^{(1)}$ (kN)	$(V_n)_{rc}^{(2)}$ (kN)	$(V_n)_{SRC}^{(3)}$ (kN)	$(V_u)_j^{(4)}$ (kN)	$(V_n)_s / (V_u)_j^{(5)}$	$(V_n)_{SRC} / (V_u)_j$
SRC1-BOX-N-A	3976	1066	5042	4618	0.86	1.09
SRC2-BOX-S-A	4035	1066	5101	4640	0.87	1.10

註解：(1) $(V_n)_s$ 為接頭區鋼管腹板(箱型鋼管斷面之兩軸向各有兩片腹板)之標稱剪力強度，依 AISC 規範計算。

(2) $(V_n)_{rc}$ 為接頭區 RC 部份之標稱剪力強度，依 ACI-318-02 規範計算， $(V_n)_{rc} = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$ ； f'_c ：MPa。

(3) $(V_n)_{SRC}$ 為梁柱接頭區之標稱剪力強度， $(V_n)_{SRC} = (1) + (2)$ 。

(4) $(V_u)_j$ 為梁柱接頭區之最大需求剪力強度，係指接頭區之鋼梁達到塑性彎矩 M_{pb} 時，鋼梁上下翼板作用於接頭區的剪力再減去柱剪力之值，計算如下：

$$(V_u)_j = \frac{M_{pb}}{d_b - t_{bf}} - V_{col}$$

， d_b 為鋼梁斷面深度， t_{bf} 為鋼梁翼板厚度， V_{col} 為柱剪力。

(5) 兩支試體之 $(V_n)_s / (V_u)_j$ 之比值雖小於 1.0，但加上接頭區之鋼筋混凝土所提供之強度後，接頭區整體標稱剪力與需求剪力之比 $(V_n)_{SRC} / (V_u)_j$ 亦可大於 1.0。

表 4.4 梁柱接頭區之標稱剪力強度 $(V_n)_{SRC}$ 與接頭區之需求剪力 $(V_u)_j$ 之比值：
 (假設狀況：構架內部接頭，柱左右兩側接鋼梁，且箱型鋼柱內填充混凝土)

試體編號	接頭區 鋼管腹板 標稱剪力	接頭區 RC 部份 標稱剪力	接頭區 整體 標稱剪力	接頭區 需求剪力	鋼管腹板 標稱剪力與 需求剪力之比	接頭區整體 標稱剪力與 需求剪力之比
	$(V_n)_s^{(1)}$ (kN)	$(V_n)_{rc}^{(2)}$ (kN)	$(V_n)_{SRC}^{(3)}$ (kN)	$(V_u)_j^{(4)}$ (kN)	$(V_n)_s/(V_u)_j^{(5)}$	$(V_n)_{SRC}/(V_u)_j$
SRC1-BOX-N-A	3976	1792	5768	4618	0.86	1.25
SRC2-BOX-S-A	4035	1792	5827	4640	0.87	1.26

註解：(1) $(V_n)_s$ 為接頭區鋼管腹板(箱型鋼管斷面之兩軸向各有兩片腹板)之標稱剪力強度，依 AISC 規範計算。
 (2) $(V_n)_{rc}$ 為接頭區 RC 部份之標稱剪力強度，依 ACI-318-02 規範計算， $(V_n)_{rc} = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$ ； f'_c ：MPa。
 (3) $(V_n)_{SRC}$ 為梁柱接頭區之標稱剪力強度， $(V_n)_{SRC} = (1) + (2)$ 。
 (4) $(V_u)_j$ 為梁柱接頭區之最大需求剪力強度，係指接頭區之鋼梁達到塑性彎矩 M_{pb} 時，鋼梁上下翼板作用於接頭區的剪力再減去柱剪力之值，計算如下：

$$(V_u)_j = \frac{M_{pb}}{d_b - t_{bf}} - V_{col}$$
 ， d_b 為鋼梁斷面深度， t_{bf} 為鋼梁翼板厚度， V_{col} 為柱剪力。
 (5) 兩支試體之 $(V_n)_s/(V_u)_j$ 之比值雖小於 1.0，但若在箱型鋼柱內填充混凝土，則加上接頭區之鋼筋混凝土所提供之強度後，接頭區整體標稱剪力與需求剪力之比 $(V_n)_{SRC}/(V_u)_j$ 可遠大於 1.0，顯示接頭區可提供充裕的剪力強度。

表 4.5 SRC 梁柱接頭處之鋼骨接合方式之優缺點比較[5]

	鋼骨採用「現場銲接之接合方式」	鋼骨採用「托梁螺栓之接合方式」
主要優點	<p>(1) 接合方式較為經濟，螺栓及鋼料用量較少。</p> <p>(2) 梁與柱在鋼構廠內製作完成後，運輸至工地較為方便，運輸成本較低。</p>	<p>(1) 托梁與柱之銲接在鋼構廠內完成，銲接品質較易控制。</p> <p>(2) 無需工地銲接，有助於提昇接頭品質，施工較不受天候影響。</p> <p>(3) 托梁之腹板在鋼構廠內以銲接與鋼柱接合，SRC 梁柱接頭之箍筋配置不會受到螺栓干擾。</p>
主要缺點	<p>(1) 工地銲接之品質須嚴格控制，否則將影響接頭之安全性。</p> <p>(2) 工地銲接易受天候影響(如濕度、風速等)，在多雨地區或多雨季節，工期易受影響。</p> <p>(3) 鋼梁腹板與鋼柱大多採用螺栓接合，易使 SRC 梁柱接頭之箍筋配置受到螺栓之干擾。</p>	<p>(1) 托梁與鋼梁之續接需要使用較多之螺栓與接合板，成本較高。</p> <p>(2) 鋼柱在鋼構廠完工時已銲上托梁，搬運較為不便，運輸成本增加。</p> <p>(3) 托梁銲接時須注意控制銲接導致之變形，否則將會影響接合之精度。</p>