

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 鋼梁接圓形鋼管混凝土柱接頭之耐震行為(II)

計畫類別：個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC90-2211-E-009-030

執行期間：90年8月1日至91年7月31日

計畫主持人：陳誠直

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學土木工程學系

中華民國九十一年十月三十日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 鋼梁接圓形鋼管混凝土柱接頭之耐震行為(II)

### Seismic Behavior of Steel Beam to Circular Concrete-Filled Steel Tube Connections (II)

計畫編號：NSC90-2211-E-009-030

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：陳誠直 國立交通大學土木工程學系

計劃參與人員：羅勝宏 林群洲 國立交通大學土木工程學系

#### 一、中英文摘要

本研究為兩年期計畫之第二年計劃，此二年之研究主要目的在於探討鋼梁接圓形鋼管混凝土柱接頭之耐震行為。研究方法為以有限元素分析及實尺寸試驗研究接頭行為。第一年研究結果顯示以貫穿式夾型板接頭能於梁端產生塑性鉸，達彎矩接頭撓曲強度與韌性之要求。本第二年研究主要探討弱交會區之夾型板接頭之行為。設計兩組試體預期非彈性變形集中於梁柱交會區。實驗結果顯示夾型板式接頭可有效傳遞梁翼作用力至交會區。研究採用混凝土與鋼管強度疊加的方式計算交會區剪力強度，可有效預測夾型板式梁柱接頭交會區剪力強度。

關鍵詞：鋼管混凝土柱、梁柱接頭、實尺寸試驗、夾型鋼板

#### Abstract

These two years' researches aimed to investigate analytically and experimentally the behavior of connection between circular concrete-filled column and steel beam. Results of the first year's research indicate that the penetrated clamping plate connections possess the satisfactory strength and inelastic deformation ability required for the moment connection when the shear strength in the joint is adequately designed. The results of this second year's research show that the clamping plates are effective to transfer the beam flange forces into the concrete core. The shear capacity of the CFT column in the panel zone is contributed from

the steel tube and concrete core, and can be estimated by superposition of the strengths of the steel tube and concrete.

Key words: concrete-filled tube column, connection, full-scale test, clamping plate.

#### 二、緒論

鋼管內填充混凝土 (Concrete-Filled Tube, 簡稱 CFT) 柱具有下列特點：(1) 具有混凝土的高抗壓性與鋼管的高強度與高韌性；(2) 鋼管可作為混凝土的永久模板；(3) 鋼管內填充混凝土，可延遲鋼管挫屈的發生，亦可改善鋼管勁度不足的現象；(4) 鋼管提供混凝土圍束效應，增加混凝土強度提升韌性能力。然而若採用圓形鋼管混凝土柱之梁柱接頭，於設計與施工上皆較為複雜，且接頭區之力傳遞行為亦較不明確。研究之第一年以貫穿 CFT 柱之夾型板接合鋼梁之接頭細節(如圖一所示)，顯示能有效傳遞作用力至交會區，於交會區剪力容量足夠時，鋼梁於夾型板末端產生塑性鉸，成為主要穩定之消能區。

本第二年之研究則主要在探討夾型板式梁柱接頭交會區之剪力強度，因此設計弱交會區之試體。為了解圓形鋼管混凝土梁柱接頭之力學行為，以非線性有限元素程式[1]進行模擬如圖二所示，顯示採用夾型鋼板式梁柱接頭能有效傳遞梁翼作用力至交會區。

#### 三、試驗計劃

##### 3.1 試體規劃與試驗設置

為模擬實際施工情況，試體製作均與

現場施工程序相同。鋼管於鋼構廠進行鋼管開槽及夾型鋼板與鋼管開槽銲接，同時剪力板也先行銲接於鋼管上；再於實驗室進行夾型鋼板與鋼梁銲接作業。

本研究規劃兩組試體，鋼梁之材質為 A36，鋼管直徑為 508 mm，內填充混凝土，試體規劃如表一。設計要點為使試體主要破壞與消能區域在交會區。兩組試體接頭細節設計如圖三與圖四所示。

試驗設置如圖五所示，試體固定於反力牆與強力地板上。加載以油壓致動器以反覆性漸增位移歷程施加，直到試體破壞或強度折減過大時即停止試驗。

### 3.2 試驗結果與討論

#### 3.2.1 破壞模式

試體 ICP-J1 因油壓致動器行程不足，未在實驗中觀察到交會區明顯破壞行為，但從鋼梁降伏現象可見試體最終破壞模式為梁產生塑性鉸。試驗結束後切開試體交會區處鋼管，發現混凝土僅在夾型板處產生些微裂縫。試體 ICP-J2 破壞模式為上夾型鋼板開槽銲處鋼管破裂，於試驗結束後觀察到交會區混凝土已有明顯對角裂縫產生如圖六所示；於敲除外圍混凝土後，仍見有相同之破壞。顯示交會區已有剪力破壞發生，混凝土對角壓桿機制已明顯形成。

#### 3.2.2 韌性能力

試體 ICP-J1 之遲滯迴圈如圖七所示，顯示強度持續增加，圖七(b)則顯示交會區仍在彈性範圍，試體非彈性變形均由鋼梁所提供。試體 ICP-J2 之遲滯迴圈如圖八所示，由於交會區產生剪力破壞，梁端並未降伏。然而由圖八(a)得知試體 ICP-J2 交會區內混凝土破裂造成迴圈的束縮現象，圖八(b)則顯示交會區已發生非彈性變形。

#### 3.2.3 撓曲強度

表二所列為試體之撓曲強度，計算值為依據試體實際材料強度計算梁之撓曲強度。試驗值為計算至梁預期望性鉸產生處之彎矩值，塑性鉸預期產生於夾型板外 1/4 梁深處。試驗除計算之比值代表梁是否降

伏之指標。表二顯示試體 ICP-J1 梁已達降伏，如試驗所見。試體 ICP-J1 之比值僅有 0.93，表示此試體之梁應仍於彈性階段，故其遲滯迴圈之非彈性行為全為交會區所造成，如圖八(b)所示。

### 四、梁柱交會區剪力強度

本研究採用混凝土與鋼管強度疊加的方式計算交會區剪力強度  $V_n$ ，如式(1)所示。

$$V_n = V_c + V_s \quad (1)$$

其中  $V_s$  為鋼管之剪力強度， $V_c$  為交會區混凝土所提供剪力強度。下述分別建立混凝土與鋼管剪力強度。

#### 4.1 混凝土剪力強度

為考慮混凝土所提供之剪力強度，採用 ACI 規範[2]之建議。因為混凝土受鋼管之圍束效應，且由於試體 ICP-J2 於交會區呈現對角壓桿之破壞，所以考慮為外部接頭兩邊梁圍束之情況。混凝土所提供之剪力強度如下式：

$$V_c = 1.25\sqrt{f'_c}A_c \quad (2)$$

其中  $f'_c$  為混凝土強度(MPa)； $A_c$  為交會區斷面積。

#### 4.2 鋼管剪力強度

在考量配置夾型鋼板後鋼管須抵抗撓曲應力與剪應力，因此假設鋼管受剪力作用時剪應力作用於鋼管二分之一斷面  $A_s$ 。依據 von Mises 降伏準則，平均剪力降伏強度為  $F_y/\sqrt{3}$ 。 $F_y$  為鋼管之降伏強度。因此鋼管所提供剪力強度  $V_s$  如式(3)。

$$V_s = A_s \frac{F_y}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

因此交會區剪力強度  $V_{u,calc}$  如下式：

$$V_{calc} = V_c + V_s = 1.25\sqrt{f'_c}A_c + A_s \frac{F_y}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

#### 4.3 AIJ 剪力強度計算

為比較交會區剪力強度，亦採用日本之規範[3]，其為以混凝土與鋼管強度疊加的方式計算交會區剪力強度，交會區極限剪力強度為：

$$V_{AIJ} = V_c + V_s = A_c \cdot j F_s \cdot j b + 1.2 A_s \frac{F_y}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

其中  $j F_s$  為交會區混凝土所提供剪力強度，且須為  $0.12 f'_c$  與  $1.764+0.036 f'_c$  (MPa) 之小值； $j b = 2D/d_b$  為與梁柱接頭形狀有關之係數，不能大於 4； $D$  為鋼管之直徑； $d_b$  為梁深。

#### 4.4 剪力強度比較

如圖九所示，交會區試驗之最大之剪力可計算如下式：

$$V_j = \frac{M_f}{d_b + t_{fp}} - V_{col} \quad (6)$$

$M_f$  為柱面彎矩； $t_{fp}$  為夾型板厚度； $V_{col}$  為柱剪力。

表三所列為試體於交會區之剪力強度、試驗之最大之剪力、與試驗除計算之比較值。表中顯示計算之剪力強度低於 AIJ 所得，其原因為 AIJ 於計算鋼管之剪力強度時，採用 1.2 之係數以考慮鋼管剪降伏之應變硬化。試體 ICP-J1 之比值皆小於 1，其原因為鋼管之降伏強度比預期大許多，造成交會區之剪力強度增大甚多，因而造成此試體之於梁端產生降伏而非於交會區之破壞。試體 ICP-J2 之試驗與計算之比值則大於 1，表示此試體之交會區剪力強度不足，因此造成交會區之破壞，如前所述。

#### 五、結論

綜合二年之研究成果，顯示採用貫穿鋼管之夾型板接頭，於交會區強度足夠之接頭，能發展出鋼梁塑性彎矩強度，接頭韌性行為優良。於弱交會區之接頭，將造成鋼管之剪降伏與交會區內混凝土對角剪降伏破壞。本文以混凝土與鋼管強度疊加的方式計算交會區剪力強度，可有效預測夾型板式梁柱接頭交會區剪力強度。

#### 六、參考文獻

- [1] ANSYS User Manual, Swanson Analysis Systems, Inc., 2001.
- [2] ACI Committee 318. *Building code requirements for structural concrete* (ACI

318M-99) and commentary (ACI 318RM-99). American Concrete Institute, 1999.

- [3] AIJ. *AIJ standards for structural calculation of steel reinforced concrete structures*. Architectural Institute of Japan, 1991.

表一 試體規格

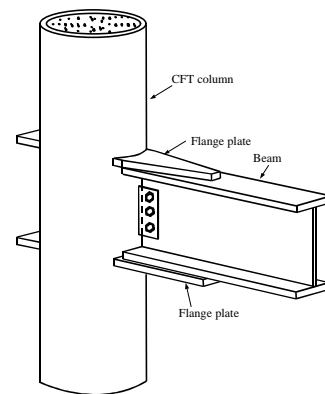
試體編號	鋼梁/ 鋼管柱(mm)	混凝土強度 (MPa)
ICP-J1	H350×300×16×36 ø508×16.3	18.7
ICP-J2	H350×300×15×25 ø508×9.2	19.3

表二 撓曲強度

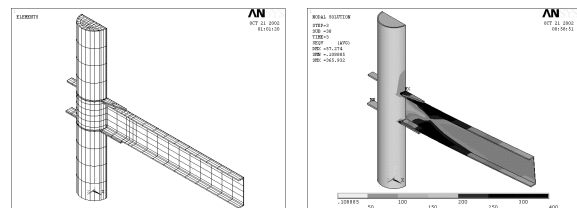
試體編號	Calculated (kN-m)	Test (kN-m)	Test/Calc.
ICP-J1	1525	1746	1.14
ICP-J2	1169	1088	0.93

表三 剪力強度計算

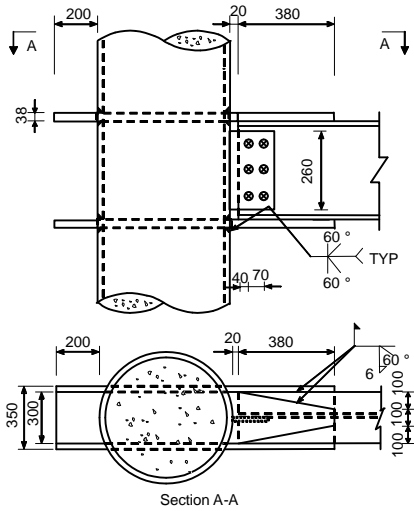
試體編號	Calc. (kN)	AIJ (kN)	Test (kN)	Test/Calc	Test/AIJ
ICP-J1	4740	5690	4481	0.94	0.79
ICP-J2	2782	3360	2860	1.03	0.85



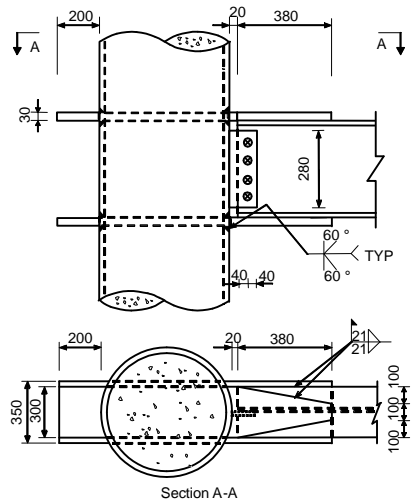
圖一 夾型板接頭示意圖



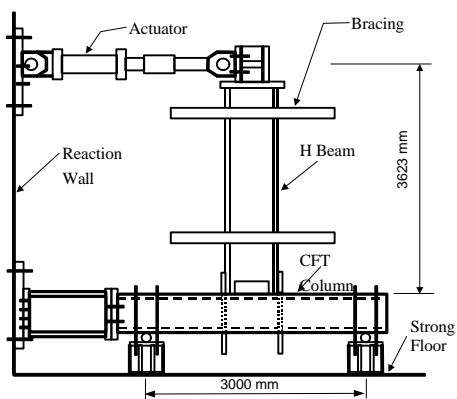
(a) 有限元素網格圖 (b) von Mises 應力分佈圖  
圖二 有限元素分析



圖三 試體 ICP-J1 接合細節圖



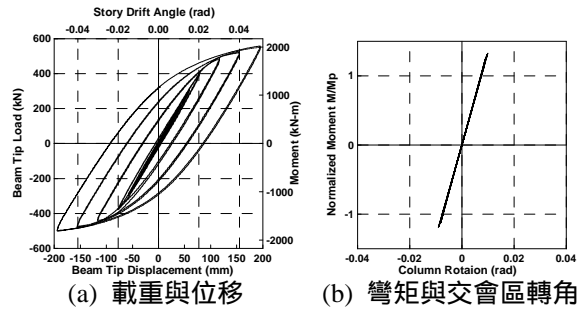
圖四 試體 ICP-J2 接合細節圖



圖五 試驗設置圖

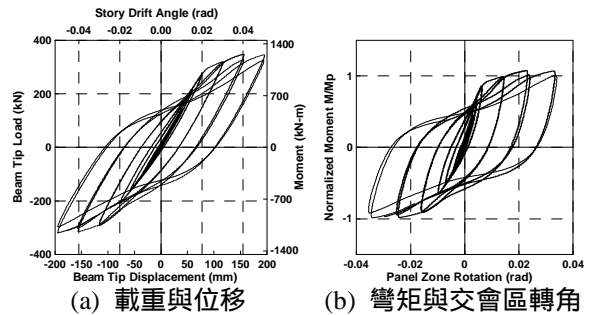


圖六 試體 ICP-J2 交會區剪力破壞



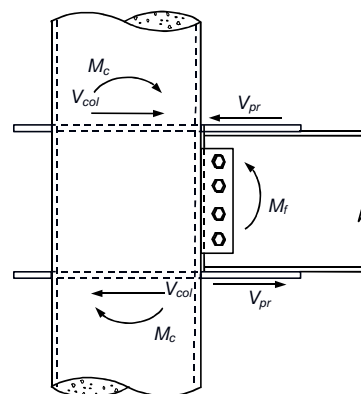
(a) 載重與位移 (b) 彎矩與交會區轉角

圖七 試體 ICP-J1 遲滯迴圈圖



(a) 載重與位移 (b) 彎矩與交會區轉角

圖八 試體 ICP-J2 遲滯迴圈圖



圖九 交會區作用力圖