

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(I)

計畫類別：C 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2211-E-009-069

執行期間：89 年 8 月 1 日至 90 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 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(I)

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

計畫編號：NSC89-2211-E-009-069

執行期限：89年8月1日至90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：李鴻利 羅勝宏 國立交通大學土木工程學系

一、中英文摘要

本研究以有限元素分析及實驗的方式探討鋼梁接圓形鋼管混凝土柱之接頭耐震行為，以改善梁柱接頭之極限強度與韌性行為。有限元素分析建立圓形鋼管混凝土梁柱接頭之力傳遞機制，並探討參數於行為上之影響。實驗製作二組大尺寸試體，接頭之設計以貫穿鋼管之夾型鋼板與鋼梁接合，試驗結果顯示插入式夾型板接頭能於梁端產生塑性鉸，符合抗彎矩接頭撓曲強度與韌性之要求。

關鍵詞：圓形鋼管混凝土、梁柱接頭、有限元素分析、韌性

Abstract

Analytical and experimental studies were conducted to investigate the seismic behavior of steel beam to circular concrete-filled steel tube connections and to improve the ultimate strength and ductility. The force transfer mechanism of the beam-to-column connections was established by using the finite element analyses. Two large-scale specimens were fabricated. The connections were made by inserting the clamping plates through the circular steel tube and welded to the steel beam. Test results indicated that the inserted clamping plate connections possess the satisfactory flexural strength and ductility of the moment resisting connections.

Keywords : circular concrete-filled tube, beam-column connection, FEM, ductility

二、緒論

鋼管混凝土柱於以往的研究證實兼具了強度、勁度及韌性的優點，於彈性階段能提供足夠的勁度，非彈性階段則提供了甚佳的韌性，因此鋼管混凝土構件已逐漸受到重視。然而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不明確。由於圓形鋼管無法施鐸內橫隔板，目前鋼梁接圓形鋼管混凝土柱之梁柱接頭主要型式有鋼柱直接鐸於橫隔板上、外橫隔板式及梁貫穿式三種[1]。國外研究結果顯示各類型梁柱接頭於韌性、施工性及經濟性上無法兼顧。本研究旨在探討能兼顧之接頭型式及其極限強度與耐震行為。

三、有限元素分析

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[2]進行模擬，針對影響梁柱接頭行為之接頭型式、徑厚比、混凝土強度等變數加以探討。研究內容為探討不同接頭型式，其力學行為之差異性及接頭區之應力分佈情形，以期能尋求設計簡單、施工方便、行為較佳之接頭型式。

3.1 有限元素模型建立

分析之接頭型式有直接鐸接式、翼板貫穿式、外橫隔板式三種。有限元素模型之建立為模擬外部接頭，取柱至梁跨距中點及上下層柱中點(皆為反曲點)之子結構。鋼管及梁皆採用殼元素來模擬，混凝土則是採用三維固體元素。鋼材之應力-應變關係定義為三線性段，考慮鋼材之降伏

平台段及應變硬化段。混凝土材料的模擬開裂為假設當混凝土材料到達極限拉力時，即混凝土應力值達到破壞面，混凝土會迅速開裂，強度隨之下降，強度損失主要由材料軟化機制所造成，因此以彈性勁度損失模擬裂縫發生後的行為；這種模擬方式於混凝土應力變為壓力時，裂縫可再次閉合。

為確認子結構模型及材料性質之正確性，採用前人矩型鋼管柱之實驗[3]作為驗證之依據，分析結果之載重-轉角曲線能與實驗結果大致吻合。

3.2 分析結果

直接銲接式接頭(如圖一(a)所示)為最簡單的一種，但由於鋼梁直接銲接於鋼管表面，鋼管受梁翼之拉力作用，易產生很大的變形(如圖一(b)所示)。圖一(c)為 von Mises 應力分佈，顯示鋼梁銲接端點有應力集中現象，此將造成文獻[1]試體之破壞模式(圖一(d))，接合面的銲道開裂並沿著鋼管表面撕裂。

翼板貫穿式接頭(圖二(a))：分析結果顯示梁翼之應力可經由貫穿鋼管之梁翼傳遞至另一側，力量傳遞較有效，意謂著貫穿之翼板可有效地束制鋼管之變形，且接頭區內之混凝土亦可承受剪力。圖二(b)為 von Mises 應力分佈圖，顯示梁翼有降伏區域，且並未集中在接合面的位置。

外橫隔板式接頭(圖三(a))：分析結果顯示外橫隔板可降低鋼管受拉側之變形。圖三(b)顯示梁之降伏區域能遠離柱面而形成於梁翼與橫隔板接合處，此乃因外橫隔板尺寸較梁翼寬大，可提高該處之勁度與強度。

3.3 討論

三種接頭型式之彎矩強度比與旋轉角曲線示於圖四。彎矩強度比為試體之彎矩對梁塑性彎矩強度 M_p 正規化；旋轉角為梁端位移除以梁長。直接銲接式接頭在徑厚比為 30 時，只能達到 $0.87M_p$ ，意即該型式接頭無法達到梁之塑性彎矩，且接合之鋼梁亦沒有塑性鉸機制產生，故不宜作為抗

彎接頭。翼板貫穿式與外橫隔板式接頭有約略相同之表現，皆能發展出梁之塑性彎矩強度。

圖五(a)顯示外橫隔板式接頭混凝土強度於彎矩強度比-旋轉角曲線之影響甚小。然而不同徑厚比對彎矩強度比-旋轉角曲線之影響甚大(如圖五(b)所示)。隨徑厚比之增加，接頭之彈性勁度與彎矩強度比偏低，無法達到梁之塑性彎矩強度。

四、試驗計劃

有限元素分析顯示翼板貫穿式接頭能有較佳之耐震行為，試體之規劃則依此原則進行改進。

4.1 試體規劃與試驗設置

試體規劃以貫穿式連續板為基礎，進一步以上下夾型之方式將連續板與鋼梁以銲接結合。做法為在鋼管柱上對應於梁翼位置上下處切兩對長槽形開口，於工廠中將兩片鋼板穿過長槽孔並與鋼柱銲接，並銲上剪力板。上夾板寬度較梁翼板寬度小，而下夾板則較大，運送至工地後可以填角銲俯銲方式接合夾型鋼板與鋼梁翼板。此種作法之優點為可改善施工性外，其接頭之力傳遞行為平順，亦可防止柱面連接梁翼處受拉力作用下柱翼板產生平面外的變形。又鋼梁翼板於地震力作用下塑性鉸將產生於夾型板末端，能確保鋼梁發展其極限彎矩強度，並能維持韌性。

試體設計上考量鋼梁之塑性鉸形成後，柱面夾型板須有足夠之強度以抵抗該處之彎矩需求。試驗製作兩組試體模擬構架外部梁柱接頭，規格如表一所示，試體稱為 ICP (Inserted Clamping Plate)。試體 ICP-SR 為試體 ICP-S 銲道破壞後重新補強之試體。鋼梁之材質為 A36，鋼管為 API 5L，混凝土抗壓強度為 45.8 MPa。試體接合細節如圖六與圖七所示。

試驗設置如圖八所示，試體將固定於反力牆與強力地板上。加載將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。

4.2 試驗結果與討論

試體 ICP-L 降伏顯現於夾型板外緣區域，達極限強度後上下翼板開始有明顯挫屈現象產生，之後強度則逐漸衰減。最終破壞為下夾型板末緣銲道有局部撕裂現象。試驗結束後將接頭區鋼管切割，鋼管內混凝土僅於夾型板與鋼管交界處有些微裂縫。試體 ICP-S 由於夾型板較短，因而於梁翼板降伏不久後，下夾型板與梁翼銲接銲道就呈現開裂，進而整段銲道撕裂。試體 ICP-SR 為將試體 ICP-S 撕裂之銲道剷除重新施銲，並多施加夾型板末端之銲接。補強後之試體呈現與試體 ICP-L 相似之結果，然而最後之破壞為下夾型板末端梁翼板之撕裂。

試驗結果之梁端極限強度與塑性轉角示於表二，除試體 ICP-S 外，皆能於梁端產生塑性鉸，進而發展出梁之塑性彎矩強度與甚大之塑性轉角。試體之遲滯迴圈圖示於圖九，顯示良好之韌性行為。

五、結論

有限元素分析結果顯示鋼梁接圓形鋼管混凝土柱之接頭，梁與柱傳遞至接頭區之剪力須仰賴鋼管與混凝土之整體行為，方能發展出梁之塑性彎矩強度；翼板貫穿式與外橫隔板式接頭皆能有良好之表現。實驗之試體則採插入式夾型板接頭，以貫穿鋼管之上下夾型鋼板與鋼梁結合，試驗結果證實接頭能發展出鋼梁塑性彎矩強度，接頭韌性行為優良。

六、參考文獻

- [1] Schneider, S. P., and Alostaz, Y. M., "Experimental Behavior of Connections to Concrete-filled Steel Tubes," *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 45, No. 3, pp. 321-352, 1998.
- [2] ABAQUS user manual, version 5.8.1, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., 1998.
- [3] 林克強, 「具上下夾型柱外橫隔板之鋼管混凝土梁柱接頭耐震行為研究」, 國立台灣大學土木工程研究所博士論文, 2000.

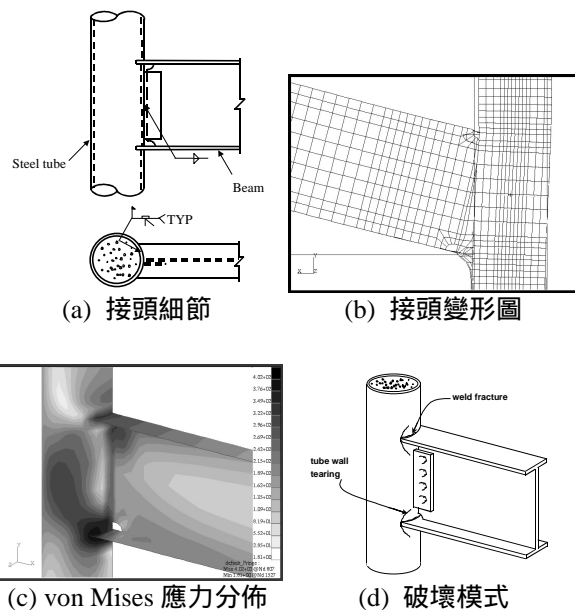
表一 試體規格 (mm)

試體編號	鋼梁/ 鋼管柱	夾型板厚度/ 柱面外長度
ICP-L	H500x200x10x16 ø508x16	25/400
ICP-S		23/200
ICP-SR		23/200

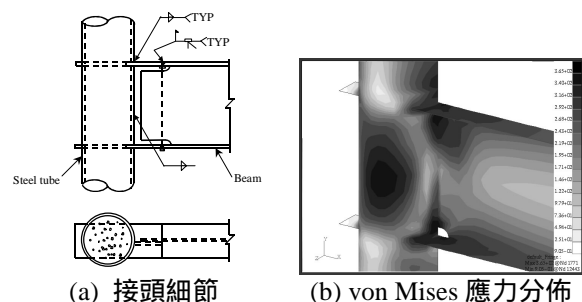
註：試體 ICP-SR 為試體 ICP-S 銲道破壞後重新補強之試體。

表二 試驗結果

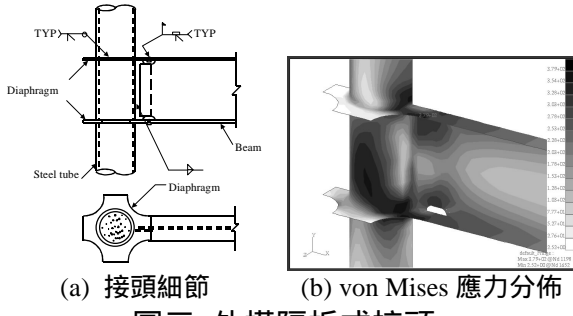
試體編號	梁端極限強度(kN)	塑性轉角(%)
ICP-L	+276/-360	+6.12/-6.04
ICP-S	+270/-264	+2.39/-2.61
ICP-SR	+312/-296	+5.51/-5.31



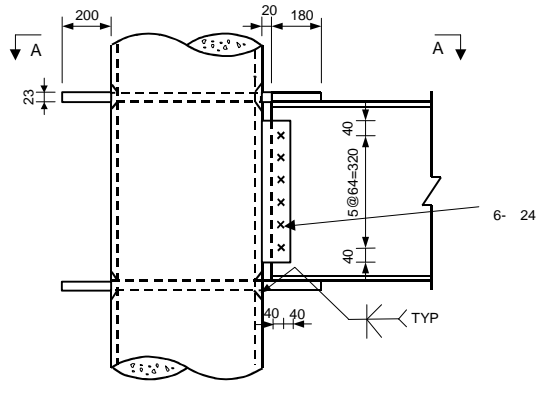
圖一 直接銲接式接頭



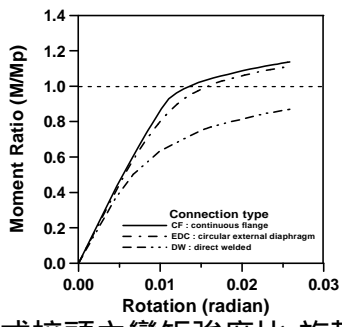
圖二 翼板貫穿式接頭



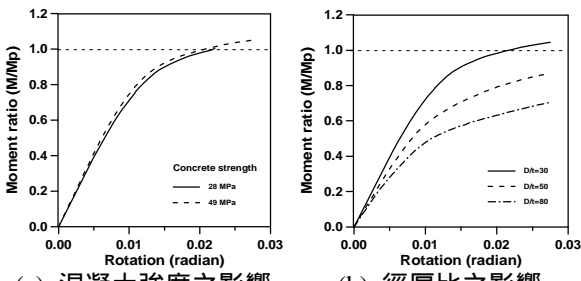
圖三 外橫隔板式接頭



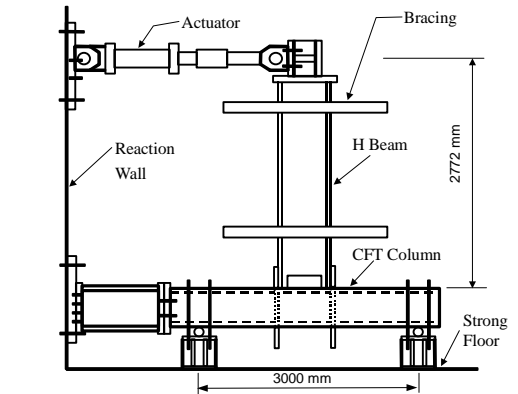
圖七 試體 ICP-S 與 ICP-SR 接合細節圖



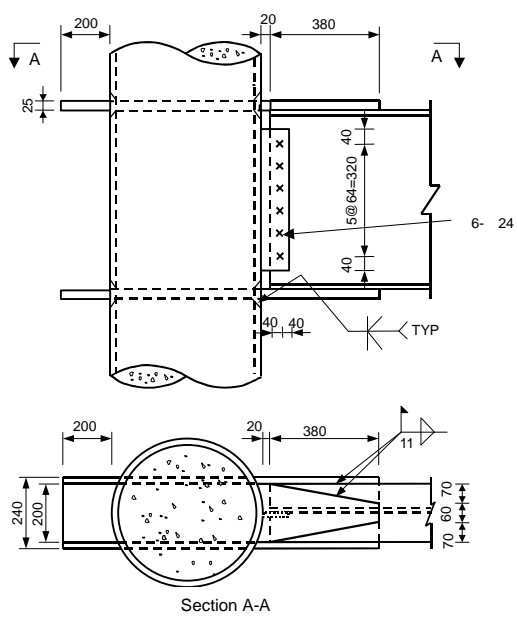
圖四 各式接頭之彎矩強度比-旋轉角曲線



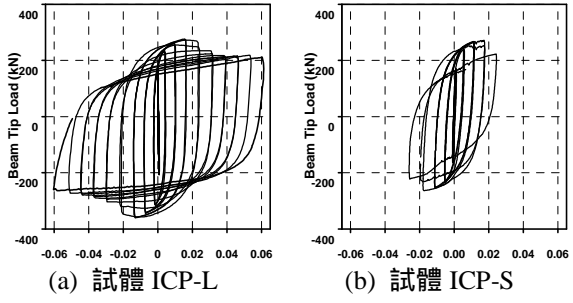
圖五 外橫隔板式接頭參數影響



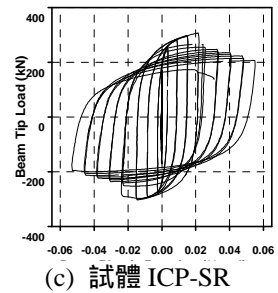
圖八 試驗設置圖



圖六 試體 ICP-L 接合細節圖



(a) 試體 ICP-L (b) 試體 ICP-S



(c) 試體 ICP-SR

圖九 試體遲滯迴圈圖