

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

鋼構造抗彎接頭耐震行為(1)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-009-024-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：陳誠直

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 27 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

鋼構造抗彎接頭耐震行為(I)

Seismic Behavior of Moment Connections used in Steel Moment-Resisting Frames (I)

計畫編號：NSC93-2211-E-009-024

執行期限：93年8月1日至94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：林群洲 林潔祥 國立交通大學土木工程學系

一、中英文摘要

本研究藉由有限元素分析與實尺寸梁柱接頭試驗，探討梁柱接頭於鋼骨托梁抗彎構架之耐震行為。對於梁柱接合細節之改良有：無扇形銲接開孔與擴翼托梁型式。有限元素分析顯示，此種接合細節可有效的降低於梁翼全滲透銲道兩側之應力集中與塑性應變需求。進行四組實尺寸梁柱接頭反覆載重試驗之試驗結果顯示，改良之試體皆具優良之韌性行為且無脆性破壞，塑鉸機制亦遠離梁柱交接面。因此，採擴翼型式與無扇形銲接開孔之接合細節可有效降低梁柱接面發生脆性破壞之可能性。

關鍵詞：梁柱接頭、韌性、托梁、擴翼

Abstract

This research aims to investigate the seismic behavior of beam-to-column connections in steel column-tree moment-resisting frames through nonlinear finite element analysis and full-scale tests. No weld access hole detail and widened flange of the stub beam are two important improvements to enhance the ductility of the moment connection. Numerical study demonstrated that the improved connection details significantly reduce the stress concentration and plastic strain demands at the beam complete joint penetration weld. Tests of four full-scale specimens were carried out to verify cyclic behavior of the column-tree moment connections. Test results showed that improved specimens successfully develop ductile be-

havior without brittle fracture, and plastic hinge formed in the beam away from beam-to-column interface. Consequently, the improved connection details, widened flange and no weld access hole detail, efficiently decrease the potential of brittle fracture.

Key words: beam-to-column connection, ductility, column-tree, widened flange.

二、前言

1994年洛杉磯北嶺地震中，多數鋼構造建築在未發揮其塑性消能前即已發生脆性破壞，災後之研究[1]亦證實傳統抗彎構架之梁柱接頭無法提供足夠之塑性轉角以消散地震能量。本研究利用擴大梁柱接合面梁翼板之方式，以改善抗彎接頭之韌性行為。設計理念乃依據鋼梁在地震力作用下所需之彎矩梯度，適時的擴大梁翼板之寬度，控制其降伏區域於預選定之塑性變形區，以遠離梁柱交界面之銲接處，確保梁柱接頭的強度與韌性，以達耐震設計的要求。本研究先以非線性有限元素程式[2]進行參數研究，依據分析結果規劃試體，再進行實尺寸梁柱接頭反覆載重試驗，以探討此種擴翼式梁柱接頭之力學行為。詳細內容可參閱文獻[3]。

三、擴翼式梁柱接頭之特性

本研究計畫採類似水平翅板之梁柱接頭型式，惟進一步將擴翼段之梁翼板採整塊鋼板裁切而成，以避免於翅板補強末端發生裂縫[4]，梁柱接頭型式如圖1所示。擴翼段之鋼梁須由三塊鋼板銲接組裝而

成，因此採托梁之施工方式，藉由控制較好的銲接品質以提高梁翼全滲透銲道之強度與韌性。另為了降低扇形銲接開孔尖端處之高應力與應變需求，並提升該區域整體之韌性容量，故採無扇形銲接開孔施作。

設計理念主要將塑鉸遠離柱面，提高梁柱接面處之彎矩強度，以避免於銲接熱影響區發生脆性破壞；進而採圓弧漸變梁翼設計，以避免產生應力集中之現象。圖 2 為擴翼式梁柱接頭之彎矩梯度圖，擴翼段將提高梁斷面之彎矩容量，使梁柱接面處之彎矩容量大於地震側力造成之彎矩需求；當塑性鉸於預選定之位置產生時，梁柱接面上尚有足夠之彎矩容量，以避免在梁柱接頭之全滲透銲道上發生脆性破壞。

四、非線性有限元素分析

4.1 模型基本假設與比較基準

有限元素模型採用箱型柱接 H 型梁之外部梁柱子結構接頭，如圖 3 所示。模型之梁、柱斷面分別為 H588×300×12×20、□550×550×27×27。鋼材皆採用 A572 Gr. 50。鋼材元素採用三維結構固體元素 SOLID45 (3-D structural solid) 模擬。邊界束制條件模擬實際實驗情形並予以簡化梁端施加單向載重，以位移控制方式進行加載。

有限元素分析結果以 von Mises 應力分佈、正規化之正向應力及等效塑性應變指標 (Plastic equivalent strain index, PEEQ index) 呈現，作為梁柱接頭性能之分析結果比較基準。

4.2 設計參數與模型介紹

圖 4 為擴翼式梁柱接頭幾何示意圖，分析模型之主要研究參數為 W 、 L 與 α 。其中 W 為梁擴翼板最大寬度和柱翼板寬度之比值 b_{wf}/d_c ； L 為擴翼板之圓弧段末端至柱面距離，即擴翼板補強長度； α 則為梁柱接面擴翼補強後之彎矩容量 M_c 與該處外力彎矩需求 M_d 之比值。分析模型之編號如表 1 所示。

4.3 分析結果討論

Von Mises 應力分佈

圖 5(a) 為未擴翼模型 UW-A 於層間變位角 4% 弧度時之 von Mises 應力分佈圖。圖中顯示模型於梁翼全滲透銲道兩側有高應力集中現象，最大應力值為 707 MPa，顯示該處恐有破壞之虞。圖 5(b) 為擴翼模型 W10-L1A，顯示於擴翼圓弧段末端之梁翼板最先降伏。由於擴翼圓弧段之斷面勁度變化較大，因此至 4% 弧度時，此處仍有應力集中現象，然而其最大應力值僅 581 MPa；不同於模型 UW-A，模型 W10-L1A 於梁翼全滲透銲道上之韌性應變需求明顯的降低，減低於此處破壞的可能性。分析結果顯示梁柱接頭區經由擴翼之改良，力量可平順的由擴翼板傳遞至柱內，於梁翼全滲透銲道兩側之應力有明顯的降低，且鋼梁之降伏區域可由擴翼圓弧段末端向遠離柱面擴展。

設計參數 W

圖 6 為比較擴翼式接頭之擴翼板寬度於層間變位角 0.5% 及 4% 弧度時沿梁翼全滲透銲道之正向應力分佈與等效塑性應變指標，對梁柱接頭行為之影響， x 軸表示距梁翼中心線距離。圖中顯示未擴翼模型在層間變位角 0.5% 弧度梁翼全滲透銲道兩側有應力集中現象；隨著梁擴翼板寬度的增加，梁翼全滲透銲道兩側之最大應力有顯著的降低。模型 W10-L1A 兩側之應力較未擴翼模型 UW-A 下降約 44%，而模型 W08-L1A 卻僅降低 4%。圖 6(b) 顯示模型在塑性階段時 (層間變位角 4% 弧度)，當梁擴翼板寬度增加為 W08 和 W10，梁翼全滲透銲道兩側的應變需求分別降低約 51% 及 89%。由於箱型柱其腹板位於柱的兩側，當梁擴翼板寬度逐漸擴大時，力量可較直接的由梁翼經全滲透銲道傳遞至柱腹板。故增加擴翼板的寬度，可有效的降低梁翼全滲透銲道兩側應力集中的趨勢及應變韌性的需求。

設計參數 L

圖 7 為比較不同擴翼補強長度 L 對梁

翼全滲透銲道之影響。圖 7(a)顯示模型 W10-L2A 於層間變位角 0.5% 弧度時，銲道兩側之應力較模型 W10-L1A 提高約 27%，其原因是當擴翼補強長度 L 愈大，則當擴翼圓弧末端形成塑性鉸時，在梁柱交接面的彎矩需求將會愈高，因此梁翼全滲透銲道的應力會跟著提升。圖 7(b)顯示不同擴翼補強長度對梁翼全滲透銲道的影響不大， W 採 1.0 (即梁擴翼寬度等於柱寬) 可有效改善梁翼全滲透銲道兩側之應力集中現象。

設計參數 α

參數 α 為採用擴翼型式改良後梁柱界面之彎矩容量 M_c 與該處外力彎矩需求 M_d 之比值，其主要由梁柱斷面性質、梁長度、擴翼寬度 b_{wf} 及擴翼補強長度 L 所控制。參數 α 可視為梁柱界面之補強量， α 愈高，代表梁柱界面愈安全； α 過低，表示可能在此處發生破壞。相同的 α 值並不代表有著相同的力學行為，可能會有不同的韌性消能機制。故需藉由有限元素分析及實尺寸試驗相互配合找出 α 的極限值，作為設計擴翼式梁柱接頭檢核之參考，以避免在梁柱界面之梁翼全滲透銲道發生脆性破壞。圖 8 為模型 W08-L1A 與 W085-L3A 沿梁翼全滲透銲道之 PEEQ index 比較圖，此兩組模型為探討相同參數 α 於不同擴翼尺寸對梁柱界面之影響，其 α 值皆為 1.28。分析結果之分佈趨勢相當接近，最大值相差不到 3%，此說明相同 α 值於不同擴翼尺寸對於梁柱界面有近似的應變需求。

五、實尺寸梁柱接頭試驗

5.1 試體規劃與製作

本研究共規劃四組試體，如表 1 試體規格所示，四組試體皆與有限元素分析模型有著相同的尺寸及幾何型式，以探尋參數研究之可信度。圖 9 為三組擴翼式梁柱接頭之接合細節。

試體皆採用 A572 Gr. 50 鋼材，其托梁部份皆採用同一鋼板 (分別厚 12 與 20 mm 之鋼板) 切削組合而成，長 1000 mm；續

接梁斷面為 H588×300×12×20 之熱軋型鋼；柱斷面則為 □550×550×27×27 之箱型組合斷面。本研究採用無扇形開孔之雙邊開槽全滲透銲接方式，以避免梁腹扇形開孔處之破壞。

5.2 試驗裝置與程序

本研究之梁柱子結構實尺寸試驗設置如圖 10 所示。梁柱試體之配置為模擬邊柱接一懸臂梁，構架之邊界條件乃模擬抗彎構架受地震側力作用之情形，故梁取全跨之半，而柱取相鄰兩樓層柱高之半，亦即為構架之理論反曲點之位置。試體以油壓致動器於梁自由端施加位移控制之反覆荷載，至油壓致動器之行程限制或試體破壞為止。

5.3 試驗結果與討論

5.3.1 破壞模式與韌性能力

未擴翼式試體 UW 最終於梁上發生嚴重之局部挫屈，致使接頭強度衰退，梁翼全滲透銲道兩側有微小裂縫產生。三組擴翼式試體之行為極為相似，初始的降伏位置皆發生於擴翼板圓弧段末端；至層間變位角 3% 弧度時，擴翼板圓弧段及相鄰腹板區域皆大範圍的石灰剝落；於 4% 弧度時，擴翼板補強末端發生明顯的局部挫屈；至 5% 弧度其局部挫屈更為嚴重。圖 11 為試體 W10-L1 與 W08-L1 加載至 3% 弧度時塑鉸機制之發展情形。

圖 12 為四組試體之遲滯迴圈，其塑性轉角與層間變位角整理列於表 2。各試體皆符合國內外規範[5,6]之塑性轉角與層間變位角規定，遲滯迴圈皆相當飽滿，顯示各試體之韌性行為優良。

5.3.2 極限彎矩強度

表 3 與 4 為比較各組擴翼式試體之極限彎矩強度，因此未擴翼式試體 UW 並未列入此處討論； $M_{j,test}$ 與 $M_{ph,test}$ 分別代表實際試驗所得於梁柱交接面與塑鉸產生處之最大塑性彎矩強度； M_{pj} 與 M_p 分別代表於

梁柱交接面與塑鉸產生處之塑性模數乘以依拉伸試驗所得之鋼板強度。其中，塑鉸產生處定義為擴翼板圓弧段末端。三組試體之 $M_{j,test}/M_{pj}$ 值為 0.77~0.98 皆小於 1 (如表 3 所示)，顯示於梁柱交接面皆未達全斷面降伏。 $M_{ph,test}/M_p$ 代表擴翼板圓弧段末端產生塑鉸後應變硬化之程度。三組試體之 $M_{ph,test}/M_p$ 值為 1.17~1.24 (如表 4 所示)，其中試體 W08-L1 之應變硬化程度較高，顯示在塑性鉸預期產生位置有較大的非線性變形與應變硬化行為發生。

六、結論

綜合以上各章節所述，採無扇形銲接開孔之托梁接合方式，可藉由控制良好的銲接品質提升抗彎矩梁柱接頭之韌性能力。各組擴翼式試體於擴翼圓弧段有廣闊的降伏與塑性行為，確保塑性鉸能遠離柱面形成，雖因梁翼與梁腹局部挫屈使彎矩強度下降，但仍較規範訂定之可信賴值高。實驗證實採擴翼方式之梁柱接頭具優良之韌性消能能力。

七、參考文獻

- [1] FEMA, Interim Guidelines, Inspection, Evaluation, Repair, Upgrade and Design of Welded Moment Resisting Steel Structures, FEMA-267 (SAC 95-02), Federal Emergency Management Agency, 1995.
- [2] ANSYS, Swanson Analysis Systems, Inc., 2002.
- [3] 林潔祥，「擴翼式鋼骨托梁抗彎接頭之耐震行為」，國立交通大學土木工程學系碩士論文，陳誠直指導，2005。
- [4] 陳嘉有，「韌性鋼骨梁柱接頭行為研究」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文，蔡克銓指導，1995。
- [5] AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, 2002.
- [6] 內政部營建署，「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」，1999。

表 1 試體規格

有限元素模型編號	試體編號	擴翼寬度 (mm)	擴翼長度 (mm)	托梁長度 (mm)
W10-L1A	W10-L1	550	200	1000
W10-L2A	W10-L2	550	400	1000
W08-L1A	W08-L1	440	200	1000
UW-A	UW	—	—	1000

表 2 最大塑性總轉角與層間變位角

試體編號	層間變位角 θ_i (% rad)	塑性總轉角 θ_p (% rad)	
UW	5.0	+4.04	-4.08
W10-L1	5.0	+4.01	-4.02
W08-L1*	5.7	+4.76	-4.82
W10-L2*	5.8	+4.87	-4.94

*因實驗設備之限制而終止試驗

表 3 柱面彎矩強度

試體編號	最大試驗彎矩強度	計算塑性彎矩強度	試驗與計算彎矩比
	$M_{j,test}$ (kN-m)	M_{pj} (kN-m)	$\frac{M_{j,test}}{M_{pj}}$
W10-L1	+2147	2712	0.79
	-2091		0.77
W08-L1	+2188	2246	0.97
	-2193		0.98
W10-L2	+2263	2712	0.83
	-2223		0.82

表 4 擴翼末端彎矩強度

試體編號	最大試驗彎矩強度	計算塑性彎矩強度	試驗與計算彎矩比
	$M_{ph,test}$ (kN-m)	M_p (kN-m)	$\frac{M_{ph,test}}{M_p}$
W10-L1	+2005	1652	1.21
	-1953		1.18
W08-L1	+2043	1652	1.24
	-2049		1.24
W10-L2	+1964	1652	1.19
	-1929		1.17

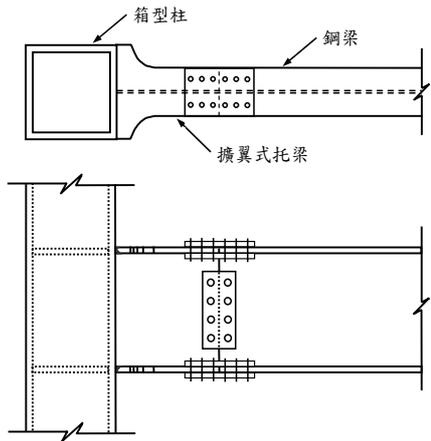


圖 1 擴翼式梁柱接頭示意圖

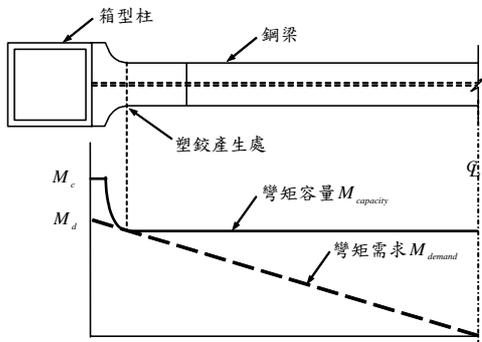


圖 2 擴翼式梁柱接頭之彎矩梯度圖

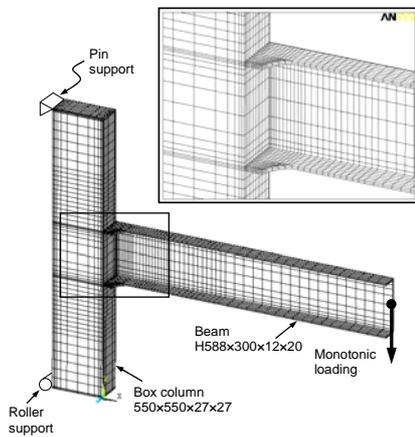


圖 3 三維有限元素分析模型

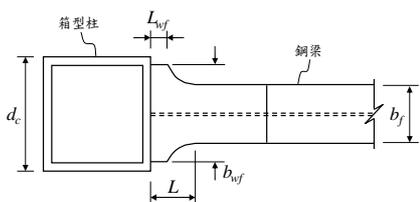
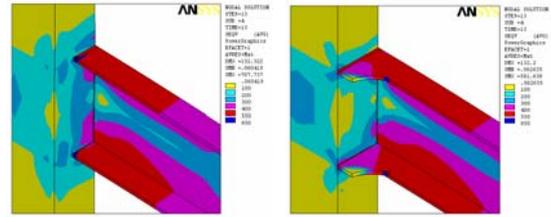
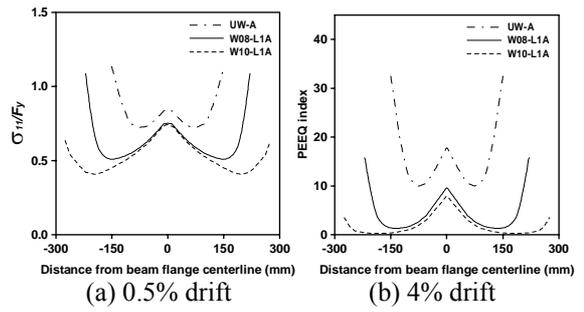


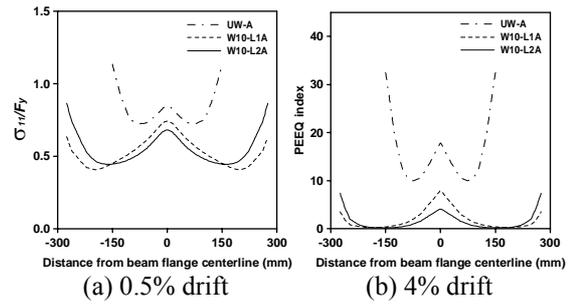
圖 4 擴翼式梁柱接頭幾何示意圖



(a) UW-A (b) W10-L1A
圖 5 Von Mises 應力分佈圖



(a) 0.5% drift (b) 4% drift
圖 6 設計參數 W 比較圖



(a) 0.5% drift (b) 4% drift
圖 7 設計參數 L 比較圖

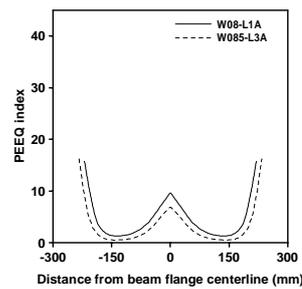


圖 8 W08-L1A 及 W085-L3A 沿梁翼全滲透
銲道 PEEQ index 比較圖

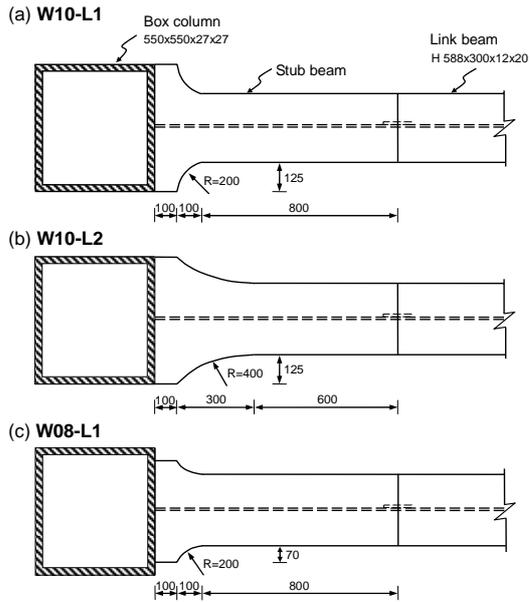


圖 9 擴翼式梁柱接頭之接合細節



(a) W10-L01



(b) W08-L1

圖 11 試體塑鉸機制之發展

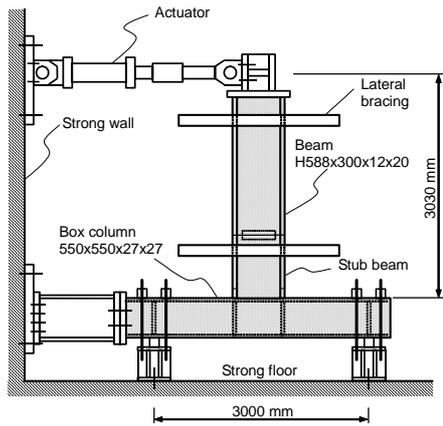


圖 10 試驗裝置圖

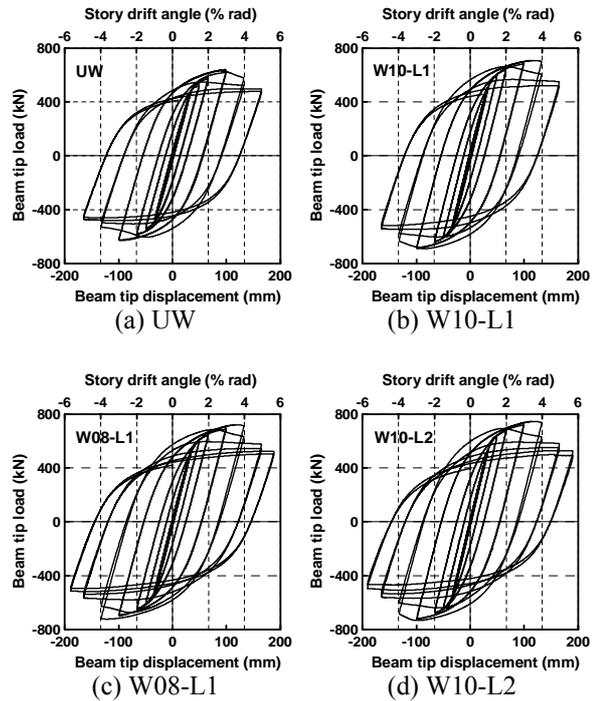


圖 12 試體之遲滯迴圈圖