

# 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(II)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-009-026-

執行期間：94年08月01日至95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

計畫參與人員：林群洲 李智民

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 95 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(II)

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

計畫編號：NSC 94-2211-E-009-026

執行期限：94 年 8 月 1 日至 95 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 李智民 國立交通大學土木工程學系

#### 一、中英文摘要

傳統抗彎構架之梁柱接頭梁腹板以螺栓接合而梁翼板以全滲透銲接於柱，在北嶺及阪神地震的侵襲下，梁柱接頭處因缺乏韌性而發生嚴重脆性破壞。本研究針對鋼梁接 H 型鋼柱之接頭，以擴大接頭處梁翼板寬度之改良方式，改善扇形開孔處與梁翼全滲透銲道之應力集中現象。藉由參數研究確立各設計參數範圍，並製作六組實尺寸試體進行試驗加以驗證。實驗結果顯示，試體皆可避免於梁柱接頭的脆性破壞，而於擴翼圓弧段產生塑性鉸，提供優良且穩定之極限彎矩強度及韌性能力，並符合國內外規範對抗彎構架塑性轉角之要求。

關鍵詞：脆性破壞、應力集中、扇形開孔、擴翼梁、塑性鉸

#### Abstract

During the 1994 Northridge and the 1995 Kobe earthquakes, many steel moment connections used in moment-resisting frames, traditionally having web-bolted and flange-welded connection details, were damaged with significant brittle fracturing. These beam-to-column connections had insufficiently ductile behavior under the strong seismic excitation. This study focuses on investigating the performance of connections between an H-shaped beam and an H-shaped column. By widening the beam flange at the beam-to-column joint, the proposed scheme is intended to reduce the stress and strain demands at the weld access hole region and

beam flange groove welds. Parametric study was conducted to establish the parameters for designing the widening flange. Experimental study of six full-scale specimens, one specimen with pre-Northridge connection and five specimens with widened flange, was conducted to clarify their hysteretic responses. The test results demonstrated that the widened flange connection can notably achieve the required ductility and strength by forming the plastic hinge at widening beam flange, and diminishing the fracture potential in the beam-to-column connection. The specimens are satisfactory to meet the code requirements.

Keywords: brittle fracture, stress concentration, weld access hole, widened flange, plastic hinge.

#### 二、前言

在美國北嶺及日本阪神地區發生強烈地震前，由於鋼骨抗彎構架具有高強度與高韌性的特性，被認為是耐震能力極佳的結構系統，然而震後卻出現另人意外的結果，許多鋼骨構造建築發生了嚴重損壞。事後針對鋼骨抗彎構架所進行的破壞調查顯示，破壞區域含蓋梁端、柱翼板、梁柱腹板交會區、全滲透銲道及剪力板；這些位置因為銲接熱影響、銲接瑕疵或幾何不連續等因素，造成梁柱接頭未發揮塑性消能即已發生脆性破壞。

台灣處在地震頻繁的區域，對於建築結構之耐震設計相當重視；在發生強烈地震時，允許結構物產生非彈性變形以消散地震能量，結構應具有足夠之韌性，不至

於突然傾倒造成人員傷亡。因此，改善鋼骨構架之韌性能力，發展實用性與良好韌性之抗彎接頭成為研究之重點。

第一年計畫主要研究擴翼式鋼骨托梁接頭之行為[1]，採用托梁系統的施工方式，即在工廠先將擴翼短梁銲接於箱型柱上，形成樹狀柱(column-tree)，至現場再以連接梁接合。本年之研究將擴翼式梁柱接頭應用於 H 型柱[2]，在工廠即將擴翼短梁與連接梁接合，完成之全梁運至現地與柱進行接合。梁柱接頭採傳統型式之接合方式，因而梁翼全滲透銲所需之扇形開孔為不可避免。

### 三、擴翼設計理念

多數的補強式接頭研究指出，以蓋板、肋板或擴座板的型式補強，可增加接頭處之彎矩容量，使梁柱接面處之應力降低，減少梁翼於扇形開孔處之應力集中現象，以提高接頭韌性能力；然而這些補強元件多以銲接方式與梁柱構件接合，增加了接頭處之銲接入熱量，且臨界面處亦出現應力集中現象造成銲道處破壞的可能。

擴翼式梁柱接頭為將梁翼板於靠近柱面處擴大(如圖 1 所示)，以避免梁翼全滲透銲接與扇形開孔處之破壞[4,5]。擴翼短梁則由裁切之鋼板組合而成，分為擴翼段與圓弧段，圓弧段的目的是使應力能平順傳入柱內。第一年之研究由有限元素分析及實尺寸實驗得知，擴翼可降低接面處梁翼全滲透銲道處之應變需求與兩端應力集中現象，減少接頭發生脆性破壞的可能；試體之塑性轉角皆能達到規範要求，顯示擴翼式梁柱接頭具有優良之韌性行為。本年之研究重點為將擴翼式梁柱接頭應用於 H 型柱，梁柱接頭採傳統型式之接合方式，考慮扇形開孔造成之影響。

### 四、柱斷面型式對擴翼式接頭之影響

#### 4.1 分析模型

為了解箱型柱與 H 型柱對擴翼式接頭於梁柱接面之影響，藉由有限元素分析軟

體[3]進行分析探討，建立三組模型分別為 H-PN、H-WF 與 B-WF，其中 H 表示為 H 型柱，B 表示為箱型柱，PN 代表傳統型式接頭而 WF 為擴翼式接頭。

分析模型之梁斷面為 H588×300×12×20，長度為 3030 mm；柱斷面分別為 H550×550×20×30、□550×550×10×30，柱支承間距為 3000 mm。鋼材降伏強度為 345 MPa，應力應變曲線簡化為二線段。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驗情形並予以簡化(如圖 2 所示)。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 分析結果與討論

圖 3 至圖 6 為全滲透銲道與扇形開孔處沿梁翼之應力比較圖及等效塑性應變指標。圖 3 顯示模型 H-WF 兩側之應力較模型 H-PN 為低，表示擴翼方式能降低傳統梁柱接頭於梁翼全滲透銲道兩端之應力；降伏後之塑性階段顯示，傳統梁柱接頭於銲道兩側與中央處有高應變需求。圖 4 顯示模型 B-WF 兩側與模型 H-WF 中央有高應力值，表示擴翼式接頭採不同柱斷面型式時，造成梁翼全滲透銲道之應力分佈有所差異；因為箱型柱之腹板位於柱兩側，導致柱兩側局部勁度較大，造成梁翼全滲透銲道兩端有高應力及應變分佈。圖 5 與圖 6 顯示採 H 型柱之接頭因為中心腹板束制的因素，擴翼方式並未降低扇形開孔處之高初始應力，而採箱型柱之擴翼接頭則有明顯的改善；等效塑性應變則顯示擴翼式接頭能減低扇形開孔處之應變需求。

圖 7 為 PEEQ 應變分佈圖，H-PN 顯示傳統接頭於梁柱接面處有高應變需求，此處亦因銲接熱與扇形開孔的影響而易破壞；而 H-WF 則顯示擴翼式接頭之塑性區域主要形成於擴翼末端，塑性鉸將遠離柱面產生，可使鋼骨梁柱接頭提供應有之韌

性能力，穩定消散地震能量。

## 五、實尺寸梁柱接頭試驗

### 5.1 擴翼式接頭之設計參數

擴翼式接頭尺寸標示如圖 8 示，影響梁端擴翼設計之參數有  $K_l$ 、 $K_a$  與  $K_b$ 。參數  $K_l = b_{wf}/b_f$ ，為擴翼寬度  $b_{wf}$  與梁翼寬度  $b_f$  之比值，此為降低柱面處應力與提高梁柱接頭韌性能力之指標，擴翼寬度愈大愈能減少柱面處發生破壞的機會，所以建立一適當的擴翼標準為本研究之重點。

參數  $K_a = L_a/b_f$ ，為擴翼長度  $L_a$  與梁翼寬  $b_f$  之比值，該段長度會影響塑鉸機制是否遠離柱面發展。由於梁柱接面處為全滲透鉚之熱影響區，使得該處易產生母材脆化及存在殘留應力，故受力後會較早進入降伏階段且塑性能力較差；而且此處亦因扇形開孔之幾何形狀不連續之影響，其根部位置有高應力集中現象，因此擴翼段應有足夠的長度以減少塑性區域對柱面處之影響。參數  $K_b = L_b/d_b$ ，為擴翼圓弧段長度  $L_b$  與梁深  $d_b$  之比值，此參數為探討圓弧之塑性行為發展，圓弧段長度太短則圓弧較陡峭，易於末端處有應力集中現象。

擴翼式接頭亦可視為圓弧切削式接頭之改良，圓弧切削是在距離梁柱接面適當位置進行梁斷面的減弱，而擴翼型式則是在梁柱接面處增加梁斷面之補強方式。切削式接頭經過多次分析與試驗已訂出可信賴之設計參數範圍；本研究參考 FEMA-350 [6] 切削式接頭參數範圍的建議，設定  $K_a$  之參數範圍為 0.6 至 0.8， $K_b$  之參數範圍為 0.3 至 0.45，作為實尺寸試體之設計依據，以探討擴翼式梁柱接頭之韌性能力與耐震行為。

### 5.2 試體規劃

本研究規劃了六組試體，試體規格與設計參數如表 1 所示。試體 PN 為傳統型式之梁柱接頭，作為對照組；另外五組試體為擴翼型式接頭，皆以 WF (Widen Flange)

命名。試體 WF6-1 取  $K_a$  為 0.6、 $K_b$  為 0.3 作為設計，試體 WF6-2 則是以  $K_a$  為 0.8、 $K_b$  為 0.45，其擴翼寬度  $b_{wf}$  分別為 415 與 445 mm，對應之參數  $K_l$  為 1.38 與 1.48，目的在驗證參數範圍之可信度，藉此瞭解實際試體行為。試體 WF6-3 之  $b_{wf}$  為 395 mm，參數  $K_a$ 、 $K_b$  則與試體 WF6-1 相同，目的為比較不同擴翼程度對梁柱接面處之影響；試體 WF7-1、WF7-2 採用較大尺寸的梁，以驗證不同尺寸之試體是否依然具有穩定的耐震行為。

### 5.3 試體製作

所有梁柱接頭試體之梁與柱構件皆採用 A572 Gr. 50 鋼材，試體 PN 及 WF6 系列之鋼梁斷面為 H588×300×12×20 之熱軋型鋼，其擴翼式短梁段採用與鋼梁同厚之鋼板組合而成，全梁總長為 3030 mm；柱斷面為 H550×550×20×30 之 H 型組合斷面，柱支承間距長度為 3000 mm。試體 WF7 系列則採鋼梁斷面為 H700×300×13×24 之熱軋型鋼，擴翼式短梁亦採與鋼梁斷面對應同厚之鋼板組合而成，全梁總長為 3600 mm；柱斷面為 H550×550×30×40 之 H 型組合斷面。

擴翼式短梁段與連接鋼梁續接處之梁翼採全滲透開槽鉚接，梁腹板使用連接板以填角鉚連接。梁柱接頭採傳統型式之接合方式，即梁翼採全滲透鉚接、梁腹與剪力板採螺栓接合，剪力板與梁腹並不施加填角鉚。圖 9 所示為試體 WF6-2 之接合細節。

### 5.4 試驗裝置與程序

本研究之實驗配置如圖 10 所示。梁柱子結構試體為一懸臂構架，為邊柱接梁之型式；邊界條件乃模擬抗彎構架受地震力作用之情形，故梁取全跨之半而柱取相鄰兩樓層柱高之半，即構架之理論反曲點位置。柱兩端模擬成簡支承，在梁自由端施加側向力。

油壓致動器以位移控制施加反覆荷載

於梁之自由端，位移歷程根據規範[7]所規定以層間變位角為設計位移歷程之依據，層間變位角即為梁端變位與梁端至柱中心距離之比值。試體之位移歷程為層間變位角 0.375%、0.5%與 0.75% 弧度下各加載六個迴圈，1% 弧度加載四個迴圈，而 1.5%、2%、3%及 4% 弧度各加載兩個迴圈，之後每增加 1% 弧度皆加載兩個迴圈，如此進行試驗直至試體破壞或達油壓致動器之行程限制為止。

## 六、試驗結果與討論

### 6.1 試體行為與破壞模式

試體 PN 於梁翼板僅有些微降伏時即發生梁翼板撕裂，其破壞模式為梁上翼板於柱面處沿寬度方向斷裂（如圖 11 所示），其撕裂情況是由扇形開孔處向梁翼板兩側伸展，梁下翼板-柱面之全滲透銲道處裂縫延伸約有三分之一的梁翼板寬度。

五組擴翼式試體之行為極為相似，初始降伏皆發生於擴翼圓弧段末端；至層間變位角 3% 弧度時，擴翼圓弧段及相鄰腹板區域皆大範圍的石灰剝落（如圖 12 所示）；於層間變位角 5% 弧度時，擴翼板末端發生明顯的局部挫屈，導致強度衰減。

試體 WF6-1 於層間變位角 4% 弧度時，扇形開孔處梁翼板-腹板之銲道產生開裂，梁上下翼板及腹板於位移行程 5% 弧度時相繼發生局部挫屈，隨著挫屈情形趨於明顯裂縫也緩慢擴張；最終試體破壞模式呈現梁產生嚴重局部挫屈（如圖 13 所示），扇形開孔處之梁翼板-腹板銲道裂縫延伸約 10 mm。試體 WF6-2 最終因為設備限制而試驗終止，試體破壞模式為梁下翼板及其相鄰腹板位置發生局部挫屈，梁翼-柱面之全滲透銲道兩端並無開裂產生。試體 WF6-3 之破壞模式為翼板-柱面銲道處之開裂急劇延伸而導致翼板全撕裂，其扇形開孔處梁腹兩側與翼板之銲道皆發現開裂，試驗結束後觀察其裂縫長度約達 30 mm。

試體 WF7-1 最終因油壓設備行程限制而停止，破壞模式為梁翼梁腹產生明顯局部挫屈，梁翼-柱面之全滲透銲道兩端及扇

形開孔處梁翼-梁腹銲道皆有微小開裂產生。試體 WF7-2 之破壞模式為梁翼板-柱面全滲透銲道兩端產生開裂，起始於梁翼板與導弧板接縫處之裂縫沿著銲道往梁翼板中心延伸，最終撕裂進扇形開孔處並往另一側延伸，造成梁下翼板寬度方向全撕裂。

整體而言，試體 PN 為未擴翼補強之傳統型式梁柱接頭，其應力最大值發生於柱面，此處因銲接熱影響及幾何形狀不連續等因素，最終造成梁翼板產生脆性破壞而無法發揮其應有的韌性行為。傳統梁柱接合方式，於扇形開孔處之梁翼-梁腹銲道位置與梁翼-柱面全滲透銲道兩端會因應力集中而造成開裂。試體 WF6-2 塑鉸產生位置較試體 WF6-1 遠離柱面銲道處，實驗結果顯示將塑性變形區域遠離柱面確實能減少對梁翼全滲透銲道之影響，並抑制梁翼兩側銲道裂縫之形成。

### 6.2 韌性能力

本研究六組試體之層間變位角與塑性轉角列於表 2。表中可看出在擴翼式梁柱接頭試體中，試體 WF7-2 雖然未達到國內規範所要求塑性轉角 3% 弧度，但仍符合 AISC 要求達層間變位角 4% 弧度的標準，其餘四組擴翼試體皆符合上述之相關規定，顯示擴翼補強式接頭之韌性行為優良。

各試體之遲滯迴圈分別如圖 14 所示。由圖 14(a) 可看出，試體 PN 未完成 3% 弧度行程就產生梁翼板撕裂破壞，顯示傳統接頭其韌性能力不足。圖 14(b) 顯示試體 WF6-1 在 5% 弧度後，因為發生挫屈導致強度有衰減現象，但仍較梁標稱塑性彎矩强度高；最後實驗終了時，正負方向層間變位角達 5.8% 弧度。圖 14(c) 顯示試體 WF6-2 在 5% 弧度負方向時發生挫屈導致強度衰減，正方向無挫屈發生所以力量並無下降趨勢；最終試體完成 5.8% 弧度層間變位角之行程，下降後的強度仍較  $M_p$  高。圖 14(d) 顯示試體 WF6-3 在 5% 弧度第一迴圈負方向時，發生挫屈導致強度些微遞減；第二迴圈正方向時力量劇降，此

時發生翼板斷裂。最終試體完成 5% 弧度層間變位角之第一回迴圈行程。

圖 14(e) 顯示試體 WF7-1 最後行程走至 4.7% 弧度，在挫屈後強度雖然有衰減現象，但下降後強度仍較  $M_p$  高。圖 14(f) 顯示試體 WF7-2 最後行程走完 4% 弧度；在正方向因為梁上翼板部分撕裂導致強度下降，負方向因梁下翼板局部挫屈而強度有衰減現象。

### 6.3 極限彎矩強度

表 3 為試體之彎矩強度表， $M_{pn}$  為梁之標稱彎矩強度， $M_{wf}$  與  $M_{ph}$  是依拉力試驗所求得梁於柱面與塑鉸處之塑性彎矩強度； $M_{wf,t}$  與  $M_{ph,t}$  分別代表實驗所得於柱面與塑鉸處之最大塑性彎矩強度。

$M_{ph}/M_{pn}$  為拉力試驗所得梁於塑鉸產生處之塑性彎矩強度與梁之標稱彎矩強度比值。所有試體皆為 A572 Gr. 50 鋼材，WF6 系列與 WF7 系列其比值分別為 1.23、1.18。顯示 A572 Gr. 50 鋼材實際材料強度較標稱強度提高 1.18 至 1.23 倍；此較 AISC[7]建議 A572 Gr. 50 鋼材之材料變異係數 1.1 還高。

$M_{wf,t}/M_{wf}$  代表柱面於極限載重作用下之降伏狀態，比值若大於 1 代表柱面產生塑鉸後應變硬化之程度，值愈大則應變硬化程度愈高；若值小於 1，表示梁於柱面處尚未達全斷面降伏。試體 WF6 系列其值為 0.89~0.97 皆小於 1，顯示於柱面皆未達全斷面降伏；試體 WF7 系列其值為 0.99~1.06，顯示柱面處已進入全斷面降伏狀態。而試體 WF6-3 與試體 WF7-2 是以較低的參數  $K_1$  設計，結果亦顯示在極限狀態下有較高的需求，最終均造成梁翼板的撕裂破壞。

$M_{ph,t}/M_{ph}$  表示塑鉸產生處達到全斷面降伏後之應變硬化程度，五組試體之值為 1.02~1.16。由於此值皆大於 1，表示於預期塑鉸產生位置都達到全斷面降伏，顯示此處有較高的塑性變形能力與應變硬化行為發生。

總結而論，五組試體中  $M_{ph,t}/M_{ph}$  之值皆較  $M_{wf,t}/M_{wf}$  之值高，顯示試體在塑鉸區應變硬化程度較高，此與預期塑鉸機制於圓弧末端產生之設計理念相符。

### 七、結論

綜合前述各章節的理論、分析及實尺寸接頭試驗的觀察與試體行為的探討，提出以下之結論。

1. 由分析可知，箱型柱因為腹板位於柱兩側，所以柱面-梁翼之全滲透銲道兩端有高應力趨勢，而 H 型柱則是在中央處有較高應力值。試驗顯示擴翼型式接頭確實能改善應力集中現象，減低扇形開孔根部及全滲透銲道兩側發生破壞的可能。
2. 擴翼式接頭試驗顯示，增加擴翼段及圓弧段長度可使塑鉸產生遠離柱面，避免於銲接熱影響區發生脆性破壞，增加塑性消能範圍提高梁柱接頭之韌性能力。
3. 試體 WF6-1、WF6-2 與 WF7-1 之遲滯迴圈圖均能達到國內外規範對於抗彎接頭之要求，顯示擴翼式接頭具有優良之韌性消能能力與極限強度。

### 參考文獻

- [1] Chen, C. C., Lin, C. C., and Lin, C. H. (2006), "Ductile moment connections used in steel column-tree moment-resisting frames." *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 62, No. 8, pp 793-801.
- [2] 李智民 (2006), 「H 型鋼柱接擴翼鋼梁抗彎接頭之耐震行為與設計」, 碩士論文, 國立交通大學。
- [3] ANSYS, Swanson Analysis Systems, Inc., 2002.
- [4] Chen, C. C., Lin, C. C., and Tsai, C. L., (2004), "Evaluation of Reinforced Connections between Steel Beams and Box Columns." *Engineering Structures*. Vol. 26, No. 13 pp.1889-1904.
- [5] Chen, C. C., Chen, S. W., Chung, M. D., and Lin, M. C. (2005), "Cyclic behaviour of unreinforced and rib-reinforced

moment connections.” Journal of Constructional Steel Research, Vol. 61, No. 1, pp 1-21.

- [6] FEMA, (2000), “commended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings,” EMA-350, Federal Emergency Management Agency.
- [7] AISC, (2005), “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.” American Institute of Steel Construction.

表 1 試體規格

| 試體編號  | $b_{wf}$<br>(mm) | $L_a$<br>(mm) | $L_b$<br>(mm) |
|-------|------------------|---------------|---------------|
| PN    | —                | —             | —             |
| WF6-1 | 180              | 176           | 415           |
| WF6-2 | 240              | 265           | 445           |
| WF6-3 | 180              | 176           | 395           |
| WF7-1 | 175              | 245           | 415           |
| WF7-2 | 175              | 245           | 395           |

表 2 最大塑性總轉角與層間變位角

| 試體編號   | 層間變位角<br>$\theta$ (% rad) | 塑性總轉角<br>$\theta_p$ (% rad) |      |
|--------|---------------------------|-----------------------------|------|
| PN     | 3.0                       | +1.8                        | -1.6 |
| WF6-1* | 5.8                       | +4.6                        | -4.8 |
| WF6-2* | 5.8                       | +4.2                        | -4.6 |
| WF6-3  | 5.0                       | +3.6                        | -3.5 |
| WF7-1* | 4.7                       | +3.3                        | -3.5 |
| WF7-2  | 4.0                       | +2.6                        | -2.6 |

\*因實驗設備之限制而終止試驗

表 3 試體之彎矩強度

| 試體編號  | $\frac{M_{ph}}{M_{pn}}$ | $\frac{M_{wf,t}}{M_{wf}}$ | $\frac{M_{ph,t}}{M_{ph}}$ |
|-------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
|       | PN                      | 1.23                      | 0.91                      |
| WF6-1 | 1.23                    | 0.98                      | 0.98                      |
|       |                         | 0.96                      | 1.11                      |
| WF6-2 | 1.23                    | 0.89                      | 1.02                      |
|       |                         | 0.96                      | 1.11                      |
| WF6-2 | 1.23                    | 0.90                      | 1.04                      |
|       |                         | 0.97                      | 1.07                      |
| WF7-1 | 1.18                    | 0.95                      | 1.05                      |
|       |                         | 1.02                      | 1.16                      |
| WF7-2 | 1.18                    | 0.99                      | 1.12                      |
|       |                         | 1.06                      | 1.16                      |
|       |                         | 1.02                      | 1.12                      |

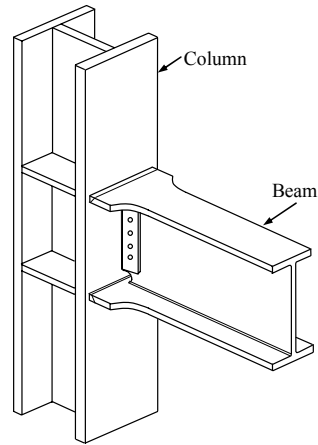


圖 1 擴翼式梁柱接頭

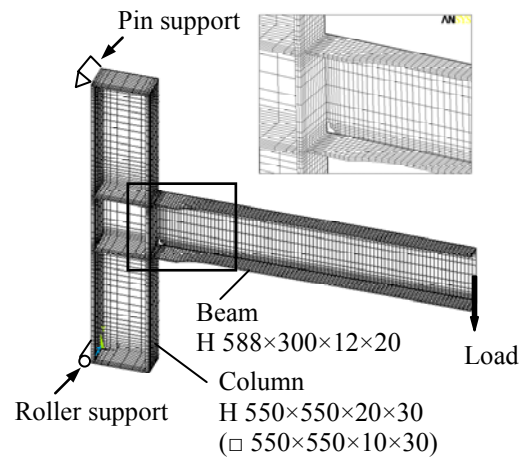


圖 2 三維有限元素分析模型

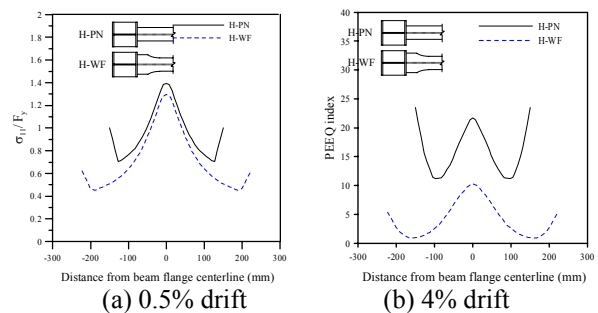


圖 3 H-PN 及 H-WF 全滲透銲道沿梁翼板之應力與 PEEQ index 比較圖

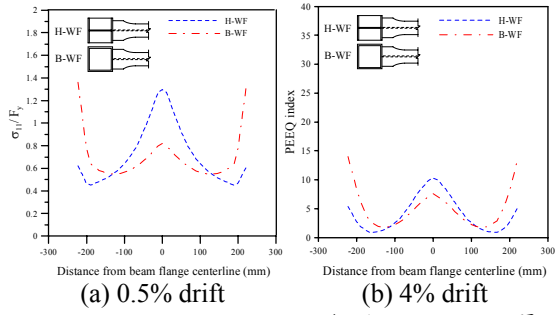


圖 4 H-WF 及 B-WF 全滲透銲道沿梁翼板之應力與 PEEQ index 比較圖

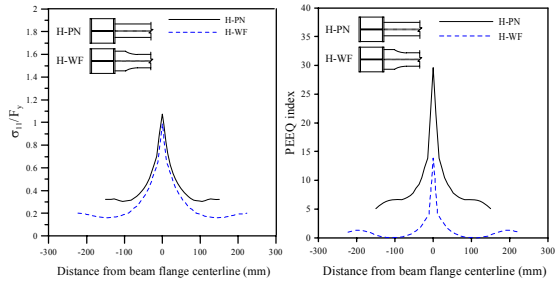


圖 5 H-PN 及 H-WF 扇形開孔處沿梁翼板之應力與 PEEQ index 比較圖

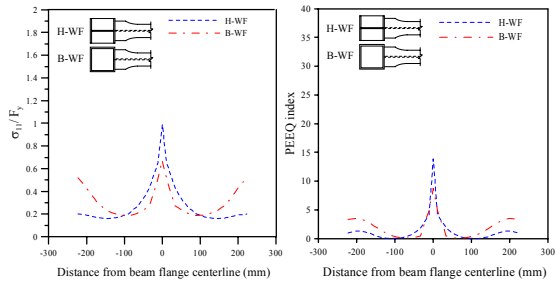


圖 6 H-WF 及 B-WF 扇形開孔處沿梁翼板之應力與 PEEQ index 比較圖

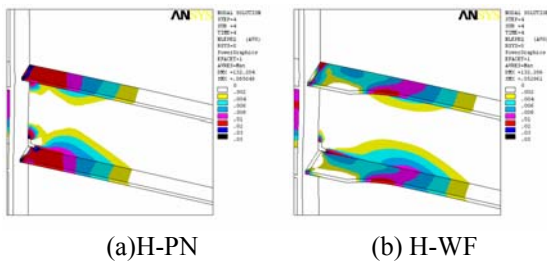


圖 7 PEEQ 應變分佈圖

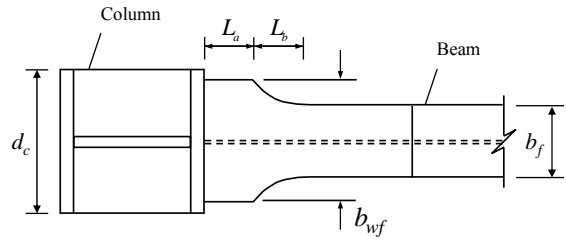


圖 8 擴翼式梁柱接頭尺寸圖

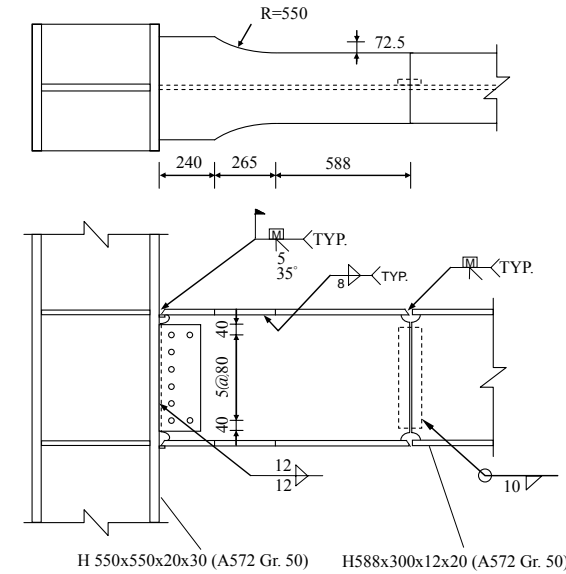


圖 9 試體 WF6-2 之接合細節

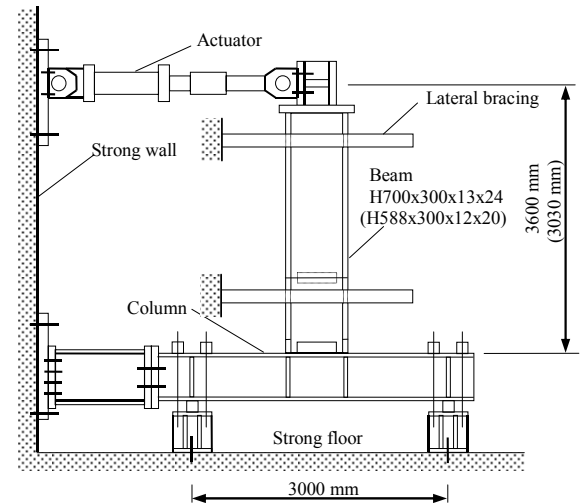


圖 10 試驗裝置圖





圖 11 試體 PN 上翼板沿寬度方向撕裂 (3% drift)



圖 12 試體 WF6-1 梁翼降伏



圖 13 試體 WF6-1 梁翼與梁腹局部挫屈

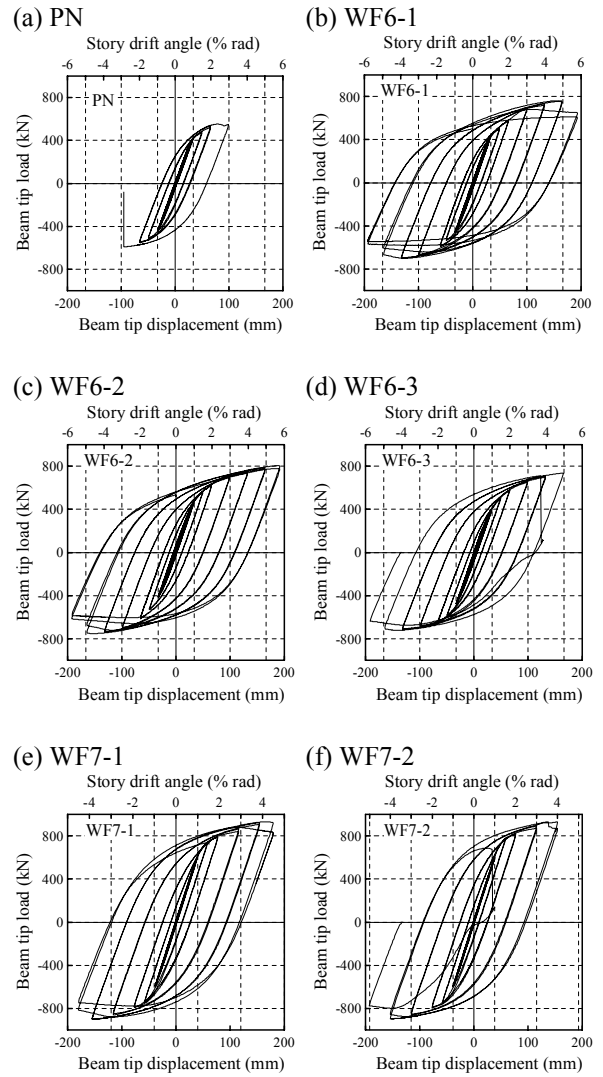


圖 14 試體之遲滯迴圈圖