

# 鋼筋混凝土柱與鋼梁接頭耐震行為

陳誠直<sup>1</sup>、林南交<sup>2</sup>、鄭錦銅<sup>3</sup>、蔡克銓<sup>4</sup>

## 摘要

本研究計劃乃屬於一整合型複合構造行為研究計劃之子計劃，研究內容旨在探討鋼筋混凝土柱接鋼梁之內梁柱接頭子結構在模擬地震力作用下之非線性行為與力量傳遞機制，藉由子結構反覆載重實驗所得之試驗資料與行為結果，應用於中、美兩國在 2002 年於國家地震工程研究中心所執行鋼筋混凝土柱接鋼梁實尺寸三層樓平面構架耐震試驗。本研究共規劃設計三組試體，試驗子結構乃取決於該三層平面構架，試驗結果顯示試體於交會區混凝土產生剪力裂縫，鋼梁翼板與腹板降伏而於端部形成塑性鉸，而後鋼梁翼板與腹板產生局部挫屈造成強度衰減，最後導致鋼梁翼板撕裂造成最終破壞；遲滯迴圈顯示試體擁有相當的強度與韌性消能能力，耐震性能良好。

**關鍵詞：**複合型構造、梁柱接頭、交會區

## 1. 前言

在過去三十幾年裡，已有許多結合鋼骨與混凝土之複合結構應用於中高層建築實例，象徵著複合型結構系統的許多重大意義之創新[1]。具代表性之複合型結構系統有鋼骨鋼筋混凝土結構系統（Steel Reinforced Concrete System，簡稱 SRC System）及鋼管混凝土結構系統（Concrete Filled Tube System，簡稱 CFT System）這兩種複合結構皆是結合 RC 結構之高抗壓性與鋼結構之高耐震性能，在強度特性上較 RC 結構高，在勁度上較鋼結構大，可以減少由風力或地震力作用產生的側向位移。複合結構亦利用混凝土之抗壓能力，可減少鋼骨或鋼管之使用量。兩者結構系統在日本已經被普遍使用在中高樓層建築結構上，且也有一套鋼骨鋼筋混凝土結構設計規範[2]。

從 1985 年開始，美國與日本兩國學者也著重於另外一種型式之複合型結構系統，即是採鋼筋混凝土柱與鋼梁構材（Reinforced Concrete and Steel，簡稱 RCS）

---

<sup>1</sup> 國立交通大學 土木工程學系 副教授

<sup>2</sup> 國立交通大學 土木工程學系 研究生

<sup>3</sup> 國立高雄第一科技大學 營建工程學系 助理教授

<sup>4</sup> 國立台灣大學 土木工程學系 教授

結合之複合構造，且有豐碩研究成果[3-6]。國內也有學者積極對此複合型結構系統進行研究且有相關研究成果[7]。RCS 複合構造亦具有鋼梁構件高韌性與高強度，結合混凝土柱構件高抗壓強度之優點，且 RCS 構造之鋼梁與鋼承板在組裝過程中可避免混凝土梁與樓板之支撐與複雜性；混凝土柱則增加了水平方向之剛度，也減少了 RC 結構複雜之梁柱接頭配筋。混凝土柱之製作可採工廠預鑄，結合一小段鋼梁，在工地再與鋼梁續接，可加速施工與降低營造之費用。由於 RCS 結構可採工廠預鑄之製程，故在品質較易掌控且可量產，使結構系統具有了高強度、高勁度、韌性且兼具經濟性。美日兩國發展之 RCS 結構系統，在梁柱接頭處之設計有著不同之接合細節。其一之梁柱接頭多以鋼梁貫穿鋼筋混凝土柱，為梁貫穿型式( Beam Through Type )，再以各種補強細節，增加梁柱接頭之強度[8]，而梁柱接頭之強度計算也因補強細節不同而有所不同[9]。另一種接合細節鋼梁常不穿過較具有連續性之鋼筋混凝土柱，而與鋼筋混凝土柱接合在鋼筋混凝土柱面，為柱貫穿型式 ( Column Through Type )。

梁貫穿型式接頭，乃採鋼梁整個斷面穿透 RC 柱方式結合。國外相關研究上有 1987 年美國學者 Sheikh 等人[10]規劃製作了 9 組梁貫穿型式接頭，採用接合細節有承壓面板 ( Face Bearing Plate , FBP )，試驗結果發現梁柱交會區剪力強度主要由鋼梁腹板及由 FBP 使混凝土發展出之承壓強度所提供。1988 年，美國學者 Deierlein 亦有相關實驗研究報告出爐[11]，其規劃了 15 組 2/3 縮尺梁穿透式接頭，其中 7 組試體採單向載重試驗，另外 8 組試體採反覆載重試驗，交會區接合細節有分隔式 ( Split ) FBP、頭型螺桿 ( Headed Stud ) 及小鋼柱 ( Steel Column )，以探討於不同的補強細節下接頭之強度與勁度。試驗結果顯示複合梁柱接頭在適當的交會區接合細節，於服務載重時可提供相當的勁度，而在極限載重時可提供相當的韌性。採反覆載重下複合型接頭所顯現之韌性並不輸於採耐震設計細節之 RC 接頭。在 1993 年，日本學者 Kanno [12]共試驗 19 組典型梁柱接頭試體，主要在研究接頭之接頭細節、破壞模式以及混凝土強度與柱軸力對接頭強度之影響，其接頭接合細節包括有承壓面板、交會區橫向箍筋、橫向鋼梁 ( Transverse Beam )、加勁板、小鋼柱、加勁鐵筐 ( Steel Band )、具延伸段之承壓面板 ( Extended Face Bearing Plate , E-FBP )、剪力釘及埋入鋼棒等。試驗結果顯示試體破壞模式有四種，包括節點剪力破壞、承壓破壞、鋼梁降伏與 RC 柱破壞。另外在 1998 年，日本學者 Bracci 等人[13]共規劃試驗 6 組 RCS 梁柱接頭加樓板試體，探討承壓面板、加勁鐵筐、鋼板外包接頭混凝土等於試體行為之影響，試體鋼梁為連續並有栓接之正交鋼梁來支撐樓板，試驗荷重同時施加於兩正交向之鋼梁。試驗結果顯示鋼梁連續向接頭行為較佳，不連續向則發生接頭破壞；交會區外包鋼板可有效提升 RC 柱之強度，以達強柱弱梁之效果。由上述研究可知，採梁貫穿型式接頭在梁柱交會區必須有配合之加勁與補強細節，在國外已有較明確之設計步驟與建議，其在梁柱接頭之加勁與補強方式如圖 1 所示，有加勁鐵筐、承壓面板、頭型螺桿及垂直鋼筋 ( Vertical Joint Reinforcement , VJR ) 等。

柱貫穿型式接頭之 RC 柱於交會區為連續。國外的相關研究上有韓國

Hanyang 大學發展之結構系統[14]，進行了 3 組柱貫穿式內梁柱接頭，以反覆載重試驗之，旨在研究交會區接合細節採外橫隔板 ( Exterior Diaphragm ) 十字加勁板 ( Cruciform Stiffening Plate, CSP ) 及加勁鋼管 ( Steel Tube ) 對交會區強度、勁度與韌性容量之影響。1996 年，日本學者 Iizuka 與 Kasamatsu[15]規劃製作一組梁貫穿型接頭與一組柱貫穿型式接頭及兩組 RCS 構架試體。接頭試體皆採 1/3 縮尺，實驗結果顯示出柱貫穿式接頭於強度與韌性上皆優於梁貫穿式接頭。兩組構架試體之接頭亦採一組梁貫穿型與一組柱貫穿型，皆為接頭破壞，實驗結果亦顯示採柱貫穿型接合細節之構架在遲滯迴圈、強度與勁度上之表現優於梁貫穿型接合細節。在 1998 年，國內學者于瑞佐與蔡克銓[7]也進行試驗，針對混凝土強度、柱面四周板、接合方式、柱軸力及破壞模式等對複合型接頭強度之影響進行研究，共規劃製作了 10 組試體。試驗結果顯示，梁柱交會區剪力強度可將鋼梁及混凝土剪力強度疊加而得。縱觀上述可得，柱貫穿型式接頭與梁貫穿型接頭在交會區接合細節大不相同，然此兩種型式接頭在採適當的接合細節，接頭可發揮相當的強度與韌性，證明 RCS 複合構造之發展潛力無窮。

西元 2001 年中美日三國共同展開一整合型研究計劃，計劃內容以 RCS 及 CFT 兩種複合型結構系統為研究之重點，預計在西元 2002 年於台灣國家地震工程研究中心執行 RCS 平面構架之試驗。本研究計劃屬於此整合型計劃一子計劃，本子結構試驗試體之接合細節採用了加勁鐵筐、承壓面板、橫向鋼梁及交會區剪力箍筋，旨在探討 RCS 此種複合型結構之接頭行為，藉以瞭解 RCS 接頭在反覆載重作用下之強度與耐震能力。

## 2. 實尺寸子結構反覆載重實驗

本試驗子結構乃取自於一三層 RCS 平面構架，RCS 三層平面構架為一三維立體構中 x 方向之抗彎構架 ( Moment Resisting Frame, MRF )，如圖 2 所示，本子結構代表平面二維構架之內梁柱接頭。為模擬地震力作用時，實際三層樓建築結構產生側向變位時，梁與柱之反曲點出現在梁與柱跨距之中點，以鉸接點模擬梁柱構件之四個反曲點，如圖 3 所示。進而根據 RCS 構架分析之結果設計本試驗試體，採用之柱斷面為 650×650 mm 之矩形鋼筋混凝土柱及 H596×199×10×15 之 H 型鋼梁，柱主筋採用 12 支 # 11 鋼筋，柱箍筋採用 # 4 鋼筋。接頭型式採鋼梁穿透 RC 柱之梁柱接合型式，整體之實尺寸構架為高 3.7 公尺，跨度 6 公尺之十字型構架。

本試驗為瞭解梁柱交會區在設置不同箍筋型式及接頭有無橫向梁之破壞機制與力學行為，規劃之試體在交會區採用了以下兩種變數：(1)交會區箍筋型式，(2)交會區橫梁之配置；交會區箍筋可提供圍束應力增加交會區剪力強度，橫梁之有無可能影響交會區之剪力破壞模式。交會區所採用箍筋型式共有三種，如圖 4 所示。第一種箍筋型式為 L 型如圖 4(a)所示，第二種箍筋型式為 U 型如圖 4(b)所示，第三種箍筋型式為方型 ( Square ) 如圖 4(c)所示。U 型之箍筋型式搭配無

橫向梁之試體，而 L 型與方型箍筋型式則僅應用於有橫向梁之試體。

本研究共規劃製作了三組實尺寸梁柱接頭試體，採用相同柱與鋼梁尺寸，試體命名如表 1 所示。交會區細節依據文獻之建議而設計，採用了加勁鐵筐與承壓面板等接合細節。鋼筋混凝土柱之設計根據 ACI 318-99 [16]。因試驗試體採鋼梁貫穿型式之接頭，在試體製作與安裝上鋼梁須為續接方式，依據 AISC-LRFD [17] 建議進行設計。各試體之設計詳圖參考圖 5 與圖 6。在試體製作上，為符合工法之應用，RC 柱及交會區之鋼梁採預鑄方式製作，達實務上營建管理之效應。

為確實模擬 RCS 構架在受地震力作用時梁與柱在跨距中心產生反曲點時之子結構，本試驗之實驗構架如圖 7 所示。試體所使用之鋼筋、鋼材各以鋼筋拉伸試驗與鋼材試片之抗拉試驗以獲得材料之真實強度，如表 2 及 3 所示。混凝土則由混凝土圓柱抗壓試驗測量出實際強度，如表 4 所示。試驗乃於國家地震工程研究中心之實驗室進行，實驗裝置如圖 8 所示。

試驗程序上，於試體及量測儀器架設完畢後，開始實驗前先於柱端以油壓千斤頂施加 981 kN 之力量，以模擬 RCS 構架柱所須承受之軸力，此時試體因受軸力作用而發生軸向變形，並設定此處變位為零，即完成實驗前之準備工作。實驗採反覆載重方式施載，施載乃以行程控制方式，以油壓致動器施加對應於層間變位角之梁端位移，行程為固定位移率 1.25 mm/sec 進行加載，按預計之位移歷程施載如圖 9 所示，直至試體達破壞時停止實驗。

### 3. 實驗結果與討論

縱觀三組試體有著大致相同之行為與破壞模式，交會區混凝土首先產生剪力裂縫，繼而鋼梁翼板降伏產生塑性鉸而達試體之極限強度，爾後鋼梁翼板與腹板相繼有挫屈之現象，挫屈嚴重時則造成強度上之衰減。從試驗過程觀察到，三組試體在層間變位角達 0.75% 時，交會區出現剪力裂縫，隨著梁端變位增加，交會區之剪力裂縫快速成長並往柱面呈約略 45 度方向延伸。在層間變位角為 1% 弧度時，鋼梁翼板降伏，鋼梁上石灰呈 45 度斑紋狀剝落。在層間變位角為 3% 弧度時，交會區剪力裂縫發展減緩，由剪力裂縫在交會區所形成之壓桿機制角度，觀察而得知試體 ICLC 及 ICSC 之剪力裂縫因橫梁之阻隔而形成於橫梁兩端左右區域；試體 INUC 則形成對角剪力裂縫如圖 10 與圖 11 所示。梁端位移在層間變位角為 4% 弧度時，鋼梁翼板與腹板相繼挫屈，交會區的承壓面板填角銲道開裂。層間變位角為 5% 弧度時，鋼梁發生側向扭轉挫屈，層間變位角為 6% 弧度時，試體 ICLC 與試體 INUC 皆在近柱端之鋼梁翼板發生撕裂而停止試驗，試體 ICSC 則為鋼梁翼板與腹板皆撕裂而終止試驗。鋼梁之塑性角約發生於距柱面約 150 mm 至 200 mm ( $d/4$  至  $d/3$  處)，且鋼梁挫屈長度約為 550 mm 至 600 mm。

圖 12 為各試體之正規化彎矩強度-層間變位角之遲滯迴圈關係圖，彎矩強度之正規化為柱面之彎矩對應於鋼梁實際材料強度之塑性彎矩強度之比值。由圖顯示出：三組試體在鋼梁降伏進入非線性行為後發生局部挫屈，造成其試體荷載能

力之衰減，但衰減速率並不相同，試體 ICLC 及試體 INUC 之衰減較為緩慢，在試體達 6% 層間變位角時之試體荷載約為極限荷載之 65%；而試體 ICSC 在荷載能力衰減上較急速，在試體達 6% 層間變位角時之試體荷載約為極限荷載之 42%。表 5 為梁端彎矩之比較，顯示出梁端最大載重所引致之梁端最大彎矩已達塑性彎矩以上，梁之鋼材應已達應變硬化之階段，三組試體顯示相同結果。試體 ICLC 之正規化彎矩強度-層間變位角之遲滯迴圈圖顯示有跳動之現象，乃為鋼梁續接處滑移之影響，試體 ICSC 與 INUC 則將鋼梁續接處加填角銲接，以避免此現象之干擾。

圖 13 乃是試體 ICSC 變形分離之結果，是根據子結構在反覆載重作用下所引致試體產生之梁端總變位，利用架設在試體交會區中的變形量測結果，將梁端變位分離為交會區剪力變形、柱變形及梁變形所造成之梁端變位。由分離之遲滯迴圈關係圖可知：(1) 三組試體由梁端載重引致之梁端變位，大部份由梁變形所提供，其梁變形轉角值約在 5% 至 5.8% 弧度，佔了整體變位之 80% 至 95% 左右；(2) 交會區皆有些微進入非線性狀態，而交會區參與變位之量極少；(3) 試體柱皆處於彈性狀態下。圖 14 為各試體達最大彎矩時之柱、梁與交會區層間變位角分量，由圖可知試體三者層間變位角之分量，試體層間變位角大部份由鋼梁所提供。縱觀三組試體最終破壞皆是鋼梁形成塑角產生局部挫屈導致梁翼板與腹板撕裂，柱體除交會區產生剪力裂縫外並無破壞，乃屬強柱弱梁之表現。

#### 4. 結論

縱觀整個試驗結果可歸納出以下幾點結論：

- (1) 本試驗之鋼筋混凝土柱接鋼梁梁柱接頭試體，以承壓面板與加勁鐵筐加勁，由實驗結果顯示試體之行為與破壞模式，乃是於交會區混凝土產生剪力裂縫，鋼梁翼板降伏形成塑性角，繼而產生局部挫屈造成強度上衰減，導致鋼梁翼板撕裂為最終破壞模式。
- (2) 由試體之遲滯迴圈關係圖可知約 90% 之結構變形乃集中於鋼梁，交會區剪力所引致之轉角有進入極微非線性之狀態，柱則保持在彈性範圍內；消能機制主要由鋼梁非線性行為所提供，符合耐震設計強柱弱梁之設計理念。
- (3) 梁柱接頭設置不同型式之箍筋，實驗結果顯示三組試體之交會區變形僅有些許非線性行為，故於交會區所設置之不同箍筋型式，皆提供交會區良好之圍束及剪力強度。
- (4) 梁柱接頭正交橫梁設置之有無，對交會區剪力裂縫型式有明顯的差異，惟於連續鋼梁之整體行為並無影響。

#### 5. 誌謝

本文承國家科學委員會之經費補助及國家地震工程研究中心在實驗上之協

助，特此誌謝。

## 6. 參考文獻

1. Griffis, L., "Some Design Considerations for Composite-frame Structures," *Engineering Journal*, AISC, Vol. 23, No. 2, pp. 59-64, 1986.
2. AIJ, "AIJ Standards for Structural Calculation of Steel Reinforced Concrete Structures," Architectural Institute of Japan, 1991.
3. Deierlein, G. G., "New Provisions for the Seismic Design of Composite and Hybrid Structures," *Earthquake Spectra*, Vol. 16, No. 1, pp. 163-178, 2000.
4. Baba, N. and Nishimjra, Y., "Stress Transfer on Through Beam Type Steel Beam-Reinforced Concrete Column Joints," *Proceedings of the Sixth ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures*, Los Angeles, California, March 22-24, 2000, pp. 753-760.
5. Nishiyama, I., Kuramoto, H., Itadani, H., and Sugihiro, K., "Bi-directional Behavior of Interior-, Exterior-, and Corner-Joints of RCS System," *Proceedings of Twelfth World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, 2000.
6. Parra-Montesinos, G., and Wight, J. K., "Modeling Shear Behavior of Hybrid RCS Beam-Column Connections," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 127, No. 1, pp. 3-11, 2001.
7. 于瑞佐、蔡克銓，「鋼梁與 RC 柱混合型結構梁柱接頭耐震行為」，第四屆結構工程研討會，台北，1998。
8. Deierlein, G. G., and Noguchi, H., "Research on RC/SRC Column Systems," *Proceedings of Twelfth World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, 2000.
9. ASCE Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel and Concrete, "Guidelines for Design of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 8, pp. 2330-2357, 1994.
10. Sheikh, T. M., Yura, J. A., and Jirsa, J. O., "Moment Connections between Steel Beams and Concrete Columns," Report No. 87-4, University of Texas at Austin, Texas, 1987.
11. Deierlein, G. G., "Design of Moment Connections for Composite Frames", Ph. D. Dissertation, University of Texas, Austin, Texas, 1988.
12. Kanno. R., "Strength Deformation, and Seismic Resistance of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns," Ph. D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, N.Y., 1993.

13. Bracci, J. M., Moore, W. P., and Bugeja, M. N., "Seismic Behavior of Composite RCS Frame System," U.S.-Japan Cooperative Earthquake Research Program, 5<sup>th</sup> Joint Technical Coordinating Committee Meeting, Tokyo, Japan, 1998.
14. Kim, S. H., Han, S. W., and Lee, L. H., "Investigation on the Load Transfer Mechanism for the Joint of Reinforced Concrete Column and Steel Beam," Proceedings of Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.
15. Iizuka, S. I., and Kasamatsu, T., "Experimental Study on the Seismic Resistance of the Joints Composed of the Reinforced Concrete Columns and Steel Beams," Proceeding of the Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 193, Acapulco, Mexico, 1996.
16. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Structural Concrete (318M-99) and Commentary (318RM-99)," American Concrete Institute, Detroit, MI, 1999.
17. AISC, "Manual of Steel Construction Load and Resistance Factor Design," Second Edition, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1994.

表 1 試體編號

| Specimen | Description   |
|----------|---|
| ICLC     | Interior connection with <u>C</u> ross beam, <u>L</u> -shaped tie, <u>C</u> yclic loading.      |
| ICSC     | Interior connection with <u>C</u> ross beam, <u>S</u> quare-shaped tie, <u>C</u> yclic loading. |
| INUC     | Interior connection without cross beam, <u>U</u> -shaped tie, <u>C</u> yclic loading.           |

表 2 柱鋼筋材料試驗結果

| Item  | Nominal Size | Steel Grade | Yield Strength<br>(MPa) | Ultimate Strength<br>(MPa) |
|-------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------|
| Rebar | D36(#11)     | SD42        | 444                     | 675                        |
| Tie   | D13(#4)      | SD28        | 431                     | 681                        |

表 3 鋼梁材料試驗結果

| Item   | Steel Grade | Yield Strength<br>(MPa) | Ultimate Strength<br>(MPa) |
|--------|-------------|-------------------------|----------------------------|
| Flange | A572 Gr. 50 | 444                     | 567                        |
| Web    | A572 Gr. 50 | 478                     | 598                        |

表 4 各試體柱混凝土強度

| Specimen | Age (days) | $f'_c$ (MPa) |
|----------|------------|--------------|
| ICLC     | 28         | 46.3         |
|          | Test       | 52.6         |
| ICSC     | 28         | 37.8         |
|          | Test       | 42.8         |
| INUC     | 28         | 46.4         |
|          | Test       | 54.5         |



表 5 梁端之最大彎矩實驗值與理論值之比較

| Specimen |      | Material Plastic<br>Flexural Strength | Maximum Test<br>Flexural Strength |       | Ratio of Test to<br>Material Strength |      |
|----------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------|---------------------------------------|------|
|          |      | $M_p$<br>(kN-m)                       | $M_{p,test}$<br>(kN-m)            |       | $\frac{M_{p,test}}{M_p}$              |      |
| ICLC     | East | 1152                                  | +1274                             | -1244 | 1.11                                  | 1.08 |
|          | West | 1152                                  | +1263                             | -1218 | 1.10                                  | 1.06 |
| ICSC     | East | 1152                                  | +1281                             | -1264 | 1.11                                  | 1.10 |
|          | West | 1152                                  | +1263                             | -1218 | 1.10                                  | 1.06 |
| INUC     | East | 1152                                  | +1260                             | -1241 | 1.09                                  | 1.08 |
|          | West | 1152                                  | +1232                             | -1206 | 1.07                                  | 1.05 |

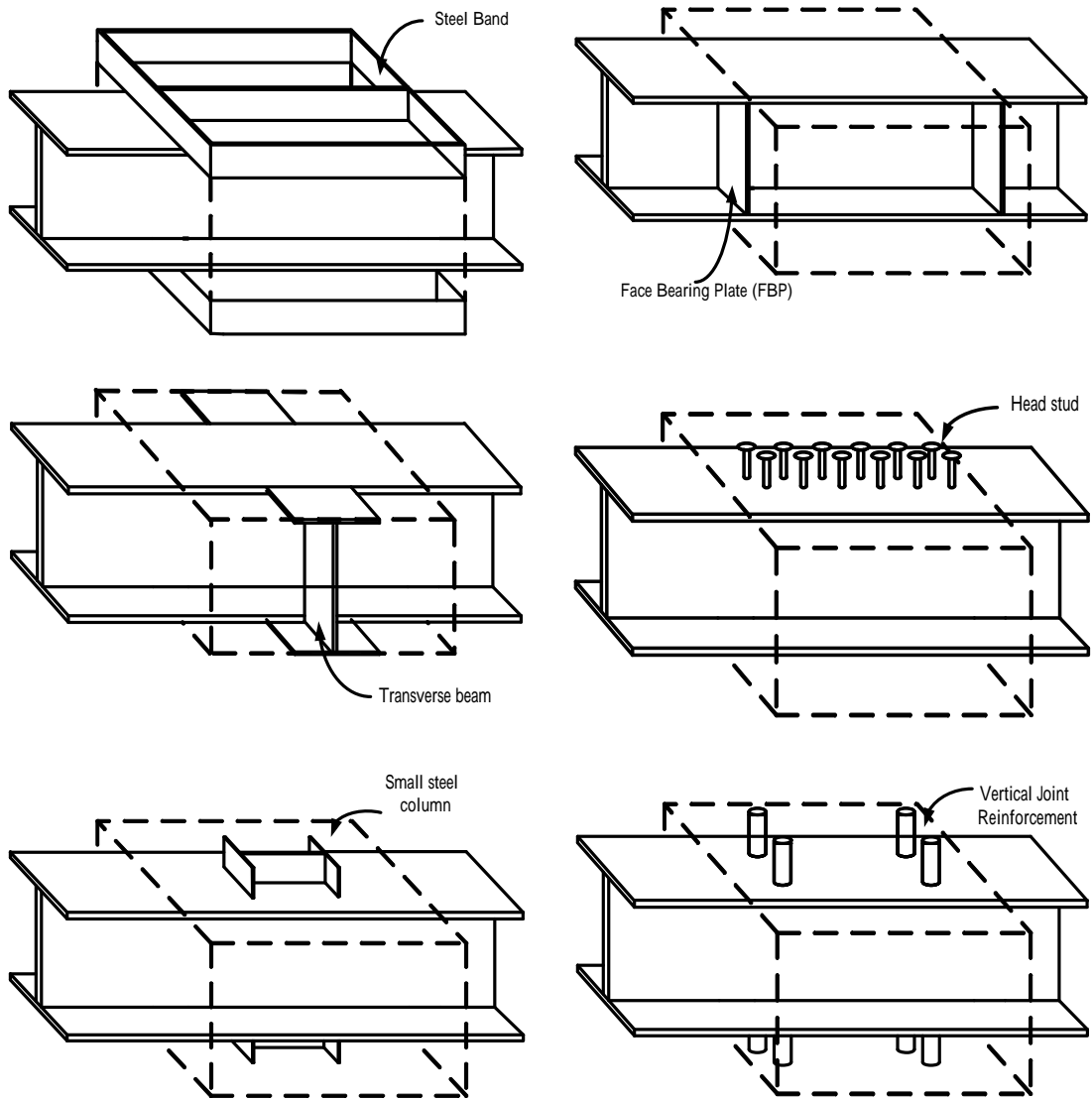


圖 1 常用於梁連續型之梁柱接頭細節

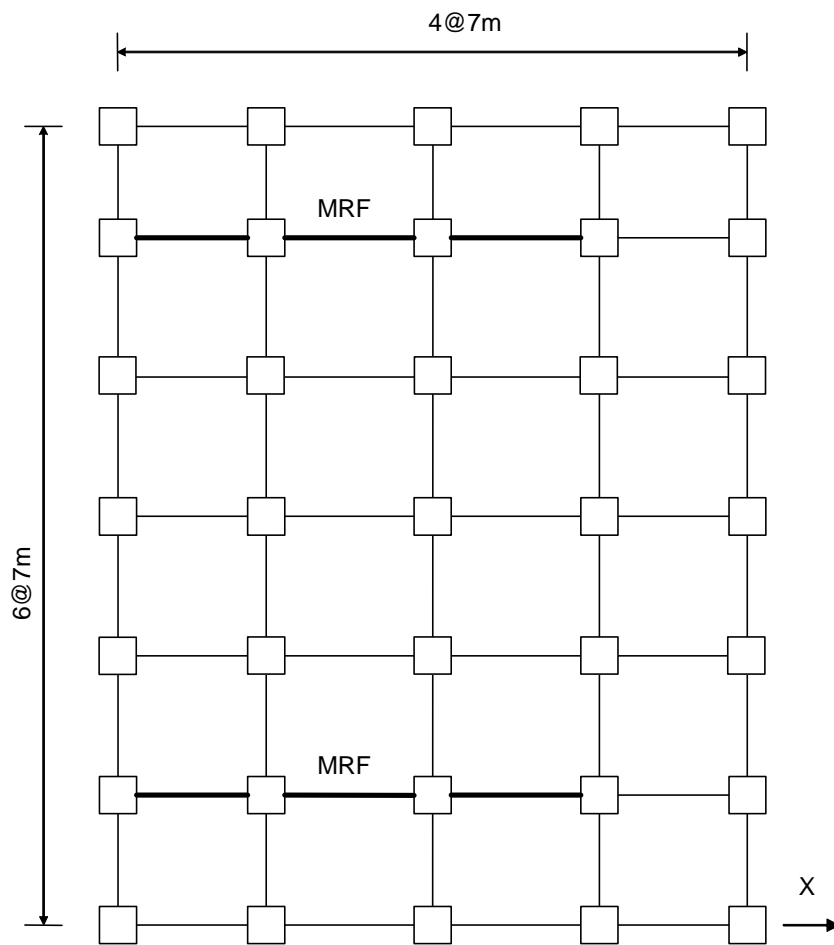


圖 2 三層樓 RCS 立體構架平面圖 x 向 MRF

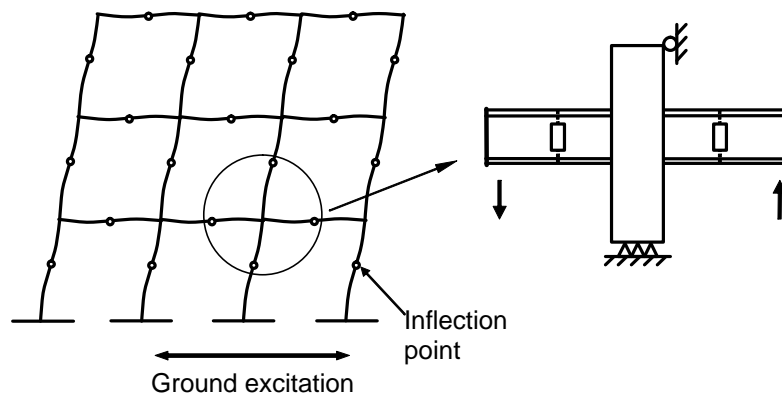


圖 3 結構受地震力作用之變形圖

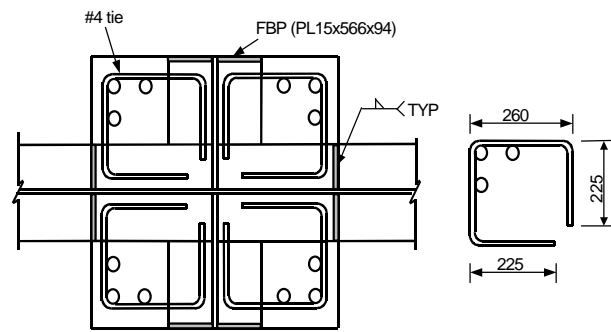
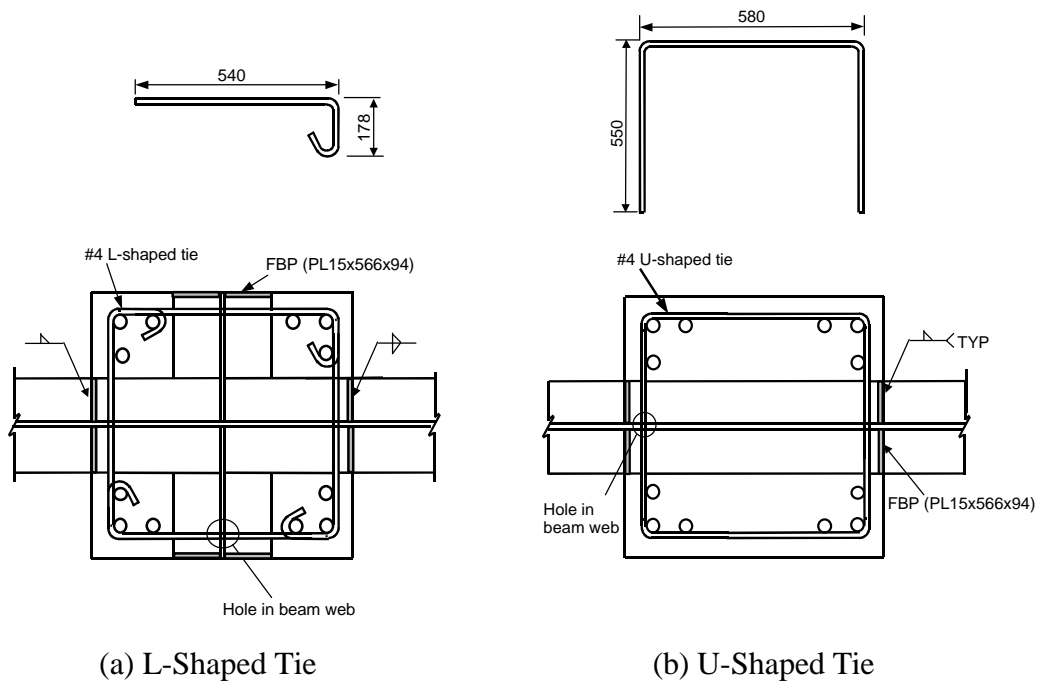


圖 4 交會區箍筋型式

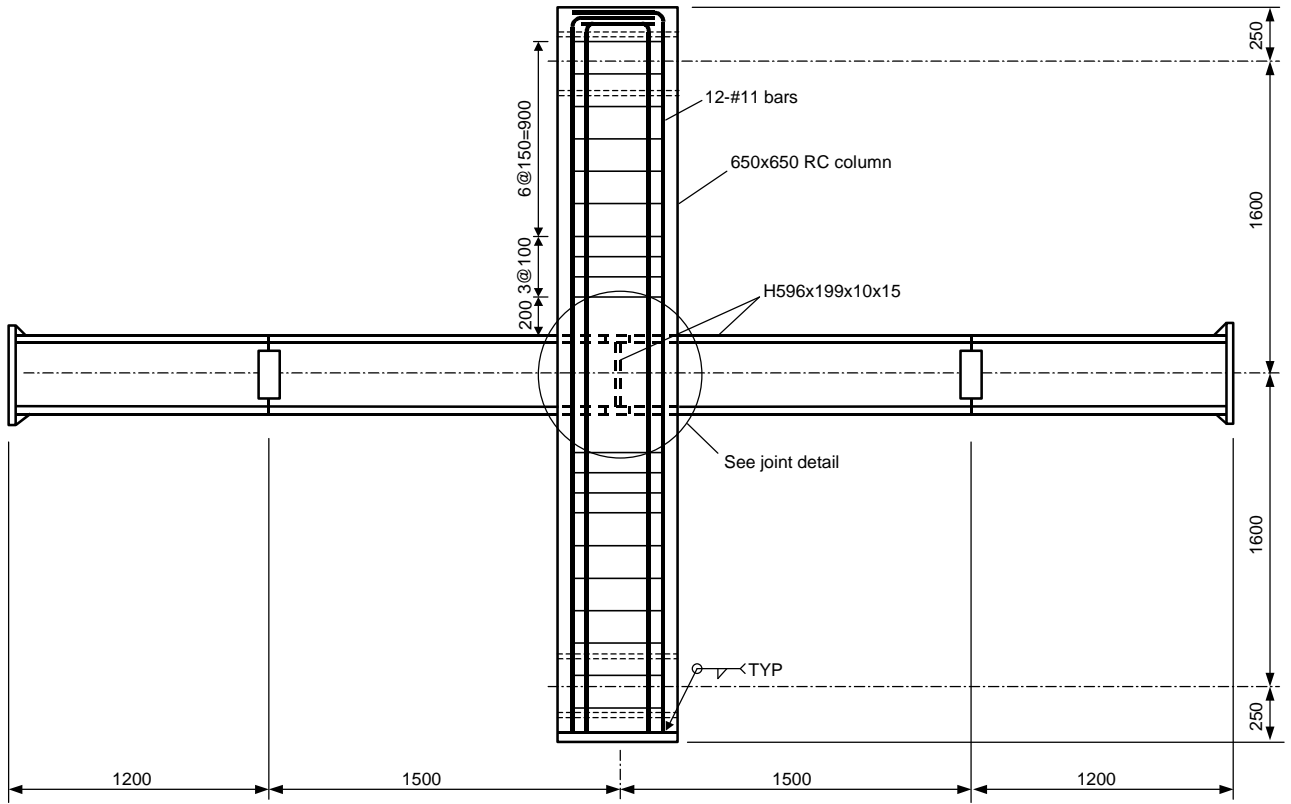
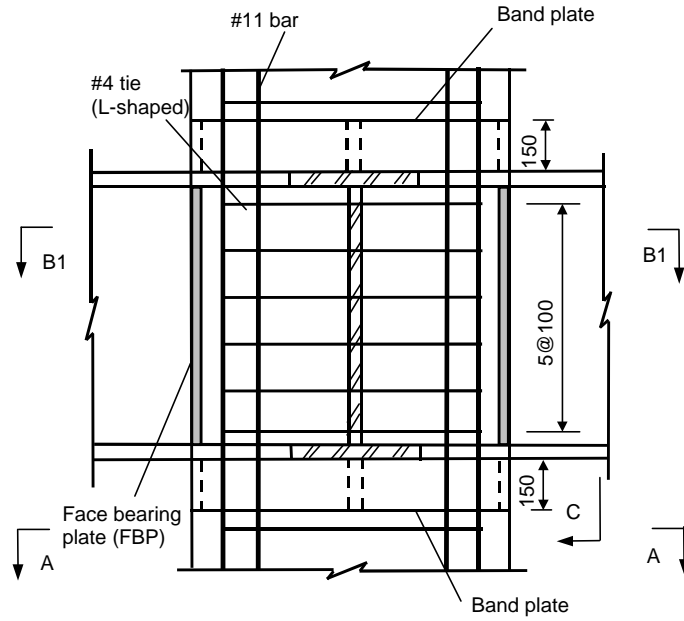


圖 5 試體立面設計圖



Specimen ICLC Joint Detail

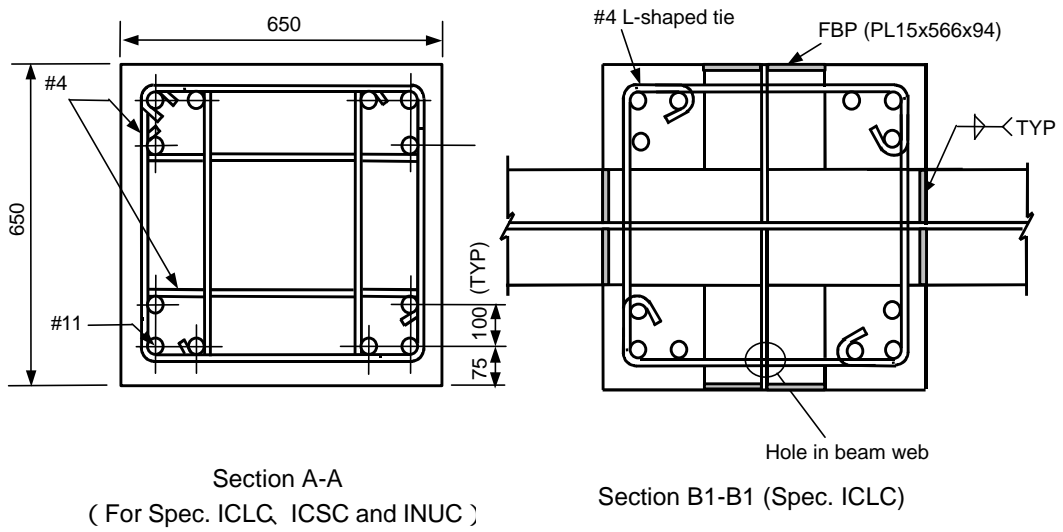


圖 6 試體接頭區之細節

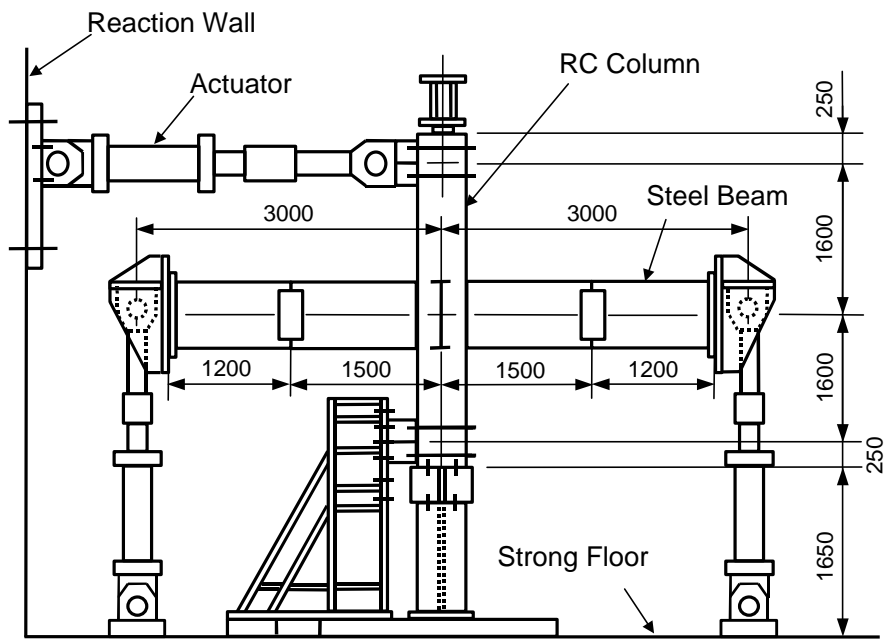


圖 7 試驗構架裝置圖

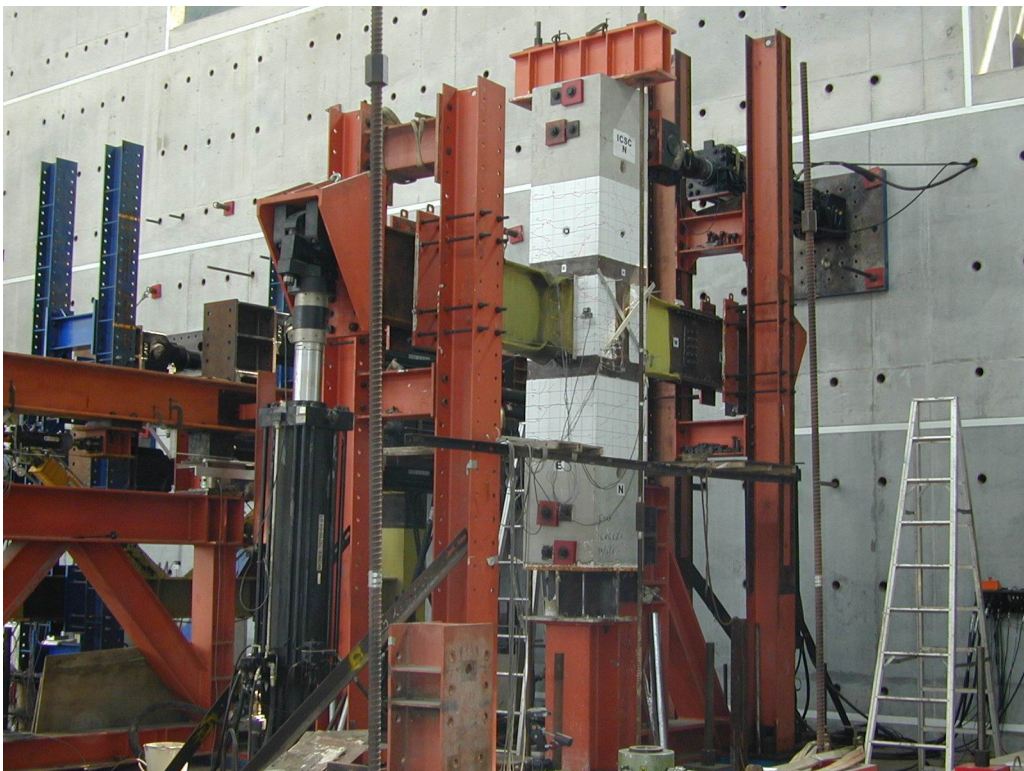


圖 8 試驗構架與試體全貌

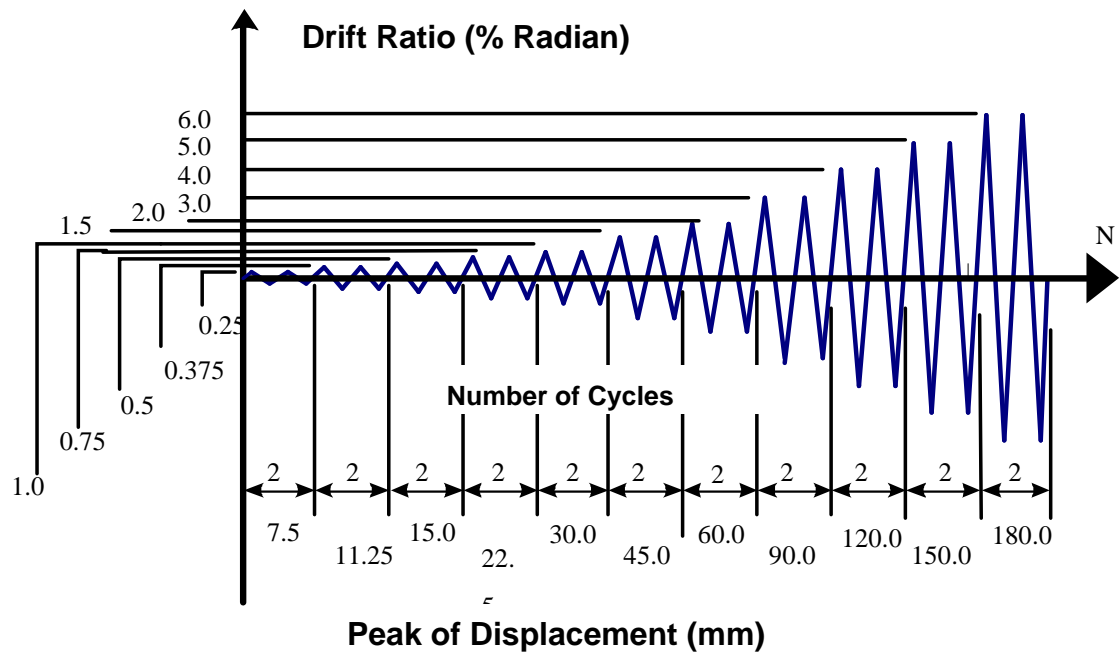


圖 9 試驗位移歷時圖



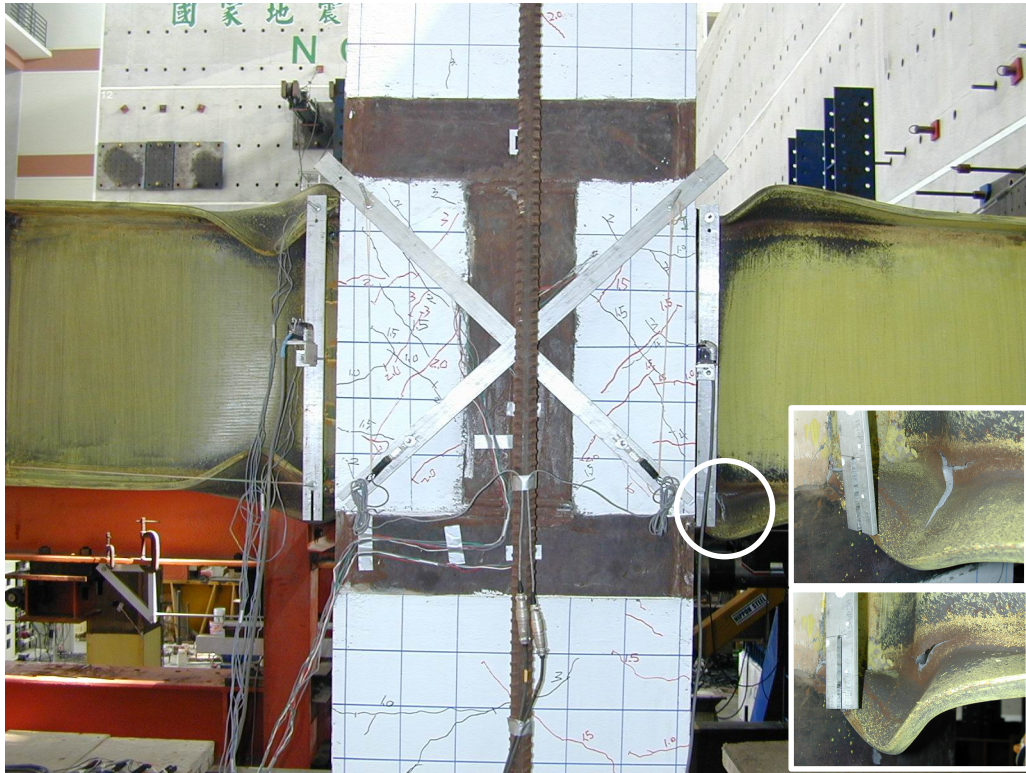


圖 10 試體 ICSC 最終破壞情形 ( Drift angle 6% )

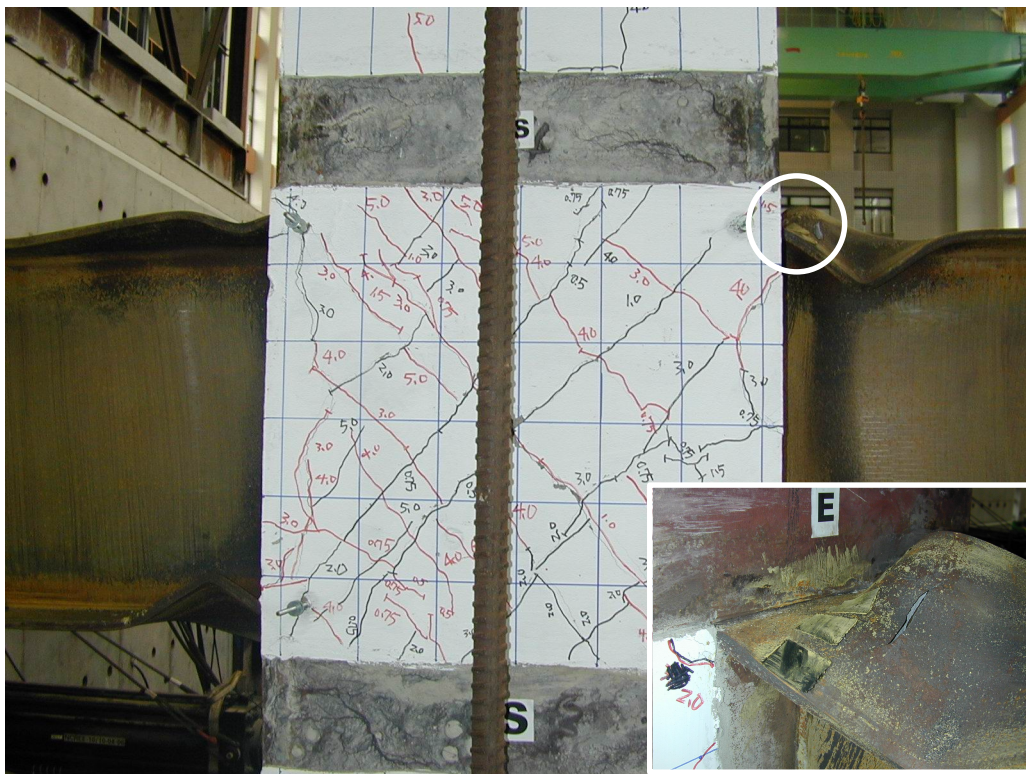


圖 11 試體 INUC 最終破壞情形 ( Drift angle 6% )

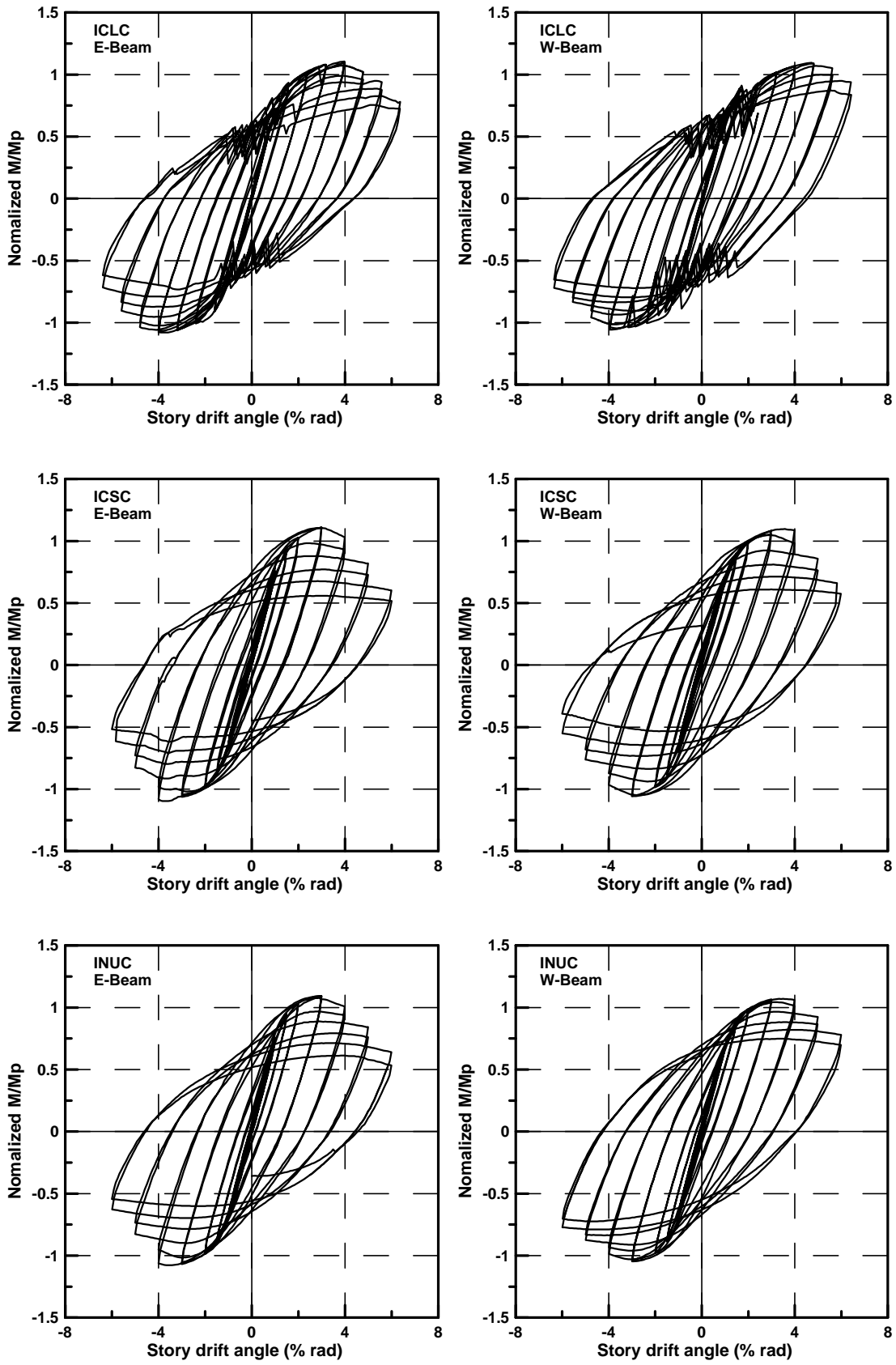


圖 12 各試體正規化彎矩與層間變位角之關係圖

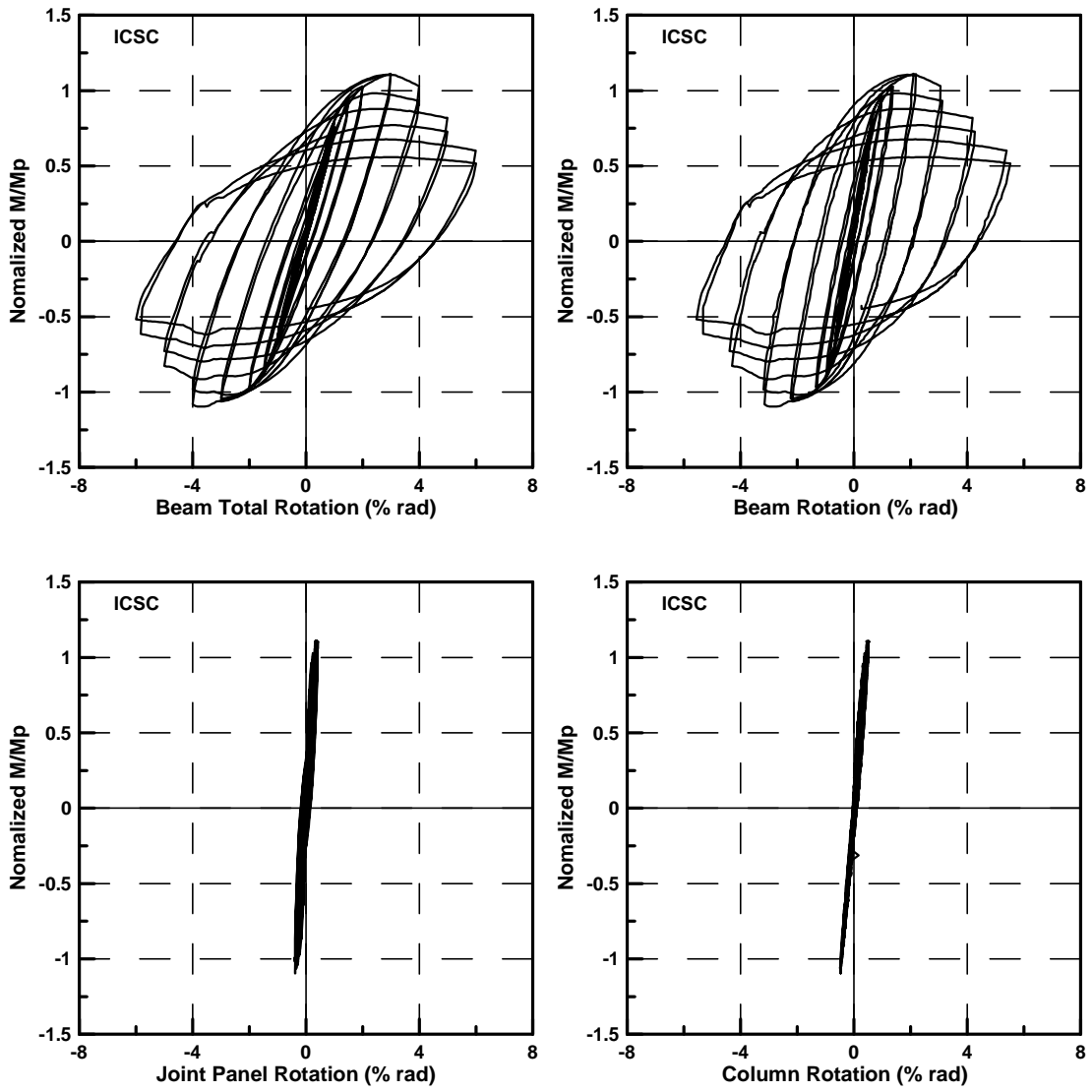


圖 13 試體 ICSC 之變形分離遲滯迴圈圖

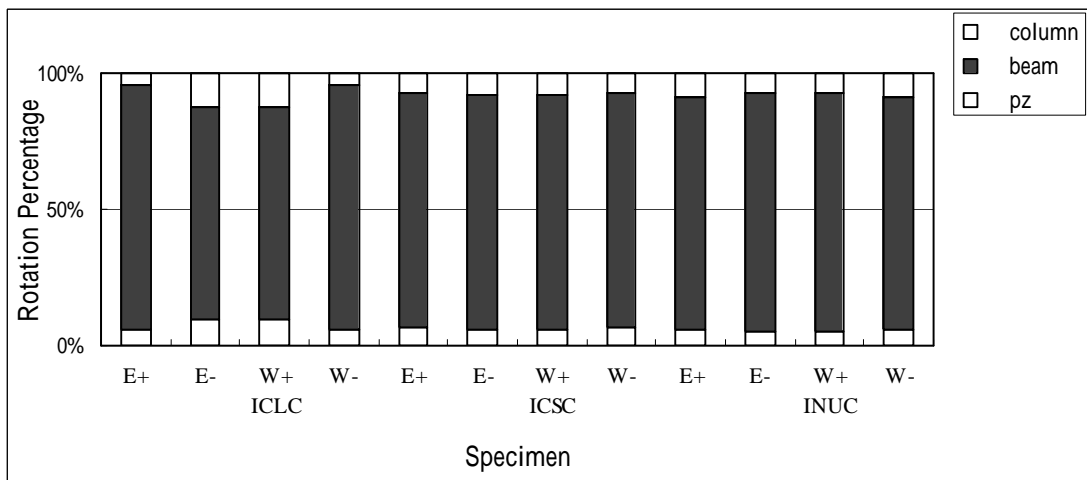


圖 14 各試體達最大梁端彎矩時之各子構件層間變位角分量