

耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究

II

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 100 年 12 月

100-301070000G-1060

PG10005-0183

耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究 II

研究人員：陳柏端

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 100 年 12 月

目次

表次	VII
圖次	IX
摘要	XIII
Abstract	XVII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 文獻回顧	2
第三節 研究方法與步驟	4
第四節 研究流程	5
第二章 有線元素數值分析	7
第一節 結構分析與基本假設	7
第二節 斷面尺寸	10
第三節 邊界條件與束制型	11
第四節 分析結果	13
第三章 實驗裝置規劃	21
第一節 實驗規劃	21
第二節 柱與基座設計	23
第三節 短梁構架設計	31

第四節	測試梁與樓版設計	35
第四章	實驗與結果	47
第一節	材料性質	47
第二節	實驗設置	48
第三節	實驗加載歷時	50
第四節	實驗結果	51
第五章	結論與建議	65
第一節	結論	65
第二節	建議事項	66
附錄一	期初報告審查意見會議紀錄	67
附錄二	期中報告審查意見會議紀錄與回應表	77
附錄三	期末報告審查意見會議紀錄與回應表	87
參考書目	95

表次

表 1.1	研究進度表	5
表 2.1	結構用鋼斷面及相關性質	11
表 4.1	混凝土圓柱試體抗壓強度表	47
表 4.2	鋼材料拉伸實驗強度	47
表 4.3	梁側向位移計裝設位置 L	48
表 4.4	實驗加載歷時	50

圖次

圖 1-1	傳統側向支撐示意圖	1
圖 1-2	鋼梁之新型防挫屈裝置	2
圖 1-3	研究流程圖	6
圖 2-1	鋼梁構架結構示意圖	7
圖 2-2	測試試體上視圖	8
圖 2-3	鋼材之應力-應變曲線	8
圖 2-4	有限元素分析模型	9
圖 2-5	RC 樓板之有限元素模型尺寸	10
圖 2-6	鋼梁束制型式之一 (NN)	12
圖 2-7	鋼梁束制型式之二 (CC)	12
圖 2-8	塑性轉角之參數示意圖	13
圖 2-9	600×300×13×28_NN 之遲滯迴圈	14
圖 2-10	600×300×13×28_NN 之包絡線	14
圖 2-11	600×300×13×28_CC 之遲滯迴圈	15
圖 2-12	600×300×13×28_CC 之包絡線	15
圖 2-13	600×300×13×28_NN 之破壞模式	17
圖 2-14	600×300×13×28_CC 之破壞模式	17
圖 2-15	NN型式之 θ_p 關係曲線	18

圖 2-16	CC型式之 θ_p 關係曲線	19
圖 3-1	試驗佈置	22
圖 3-2	柱支承基座細部設計	23
圖 3-3	箱型鋼柱細部設計	25
圖 3-4	箱型鋼柱剪力連接板細部設計	26
圖 3-5	箱型鋼柱底部基板細部設計	27
圖 3-6	H型鋼柱細部設計	28
圖 3-7	H型鋼柱剪力連接板細部設計	28
圖 3-8	H型鋼柱底部基板細部設計	29
圖 3-9	柱底鉸支承上部細部設計	30
圖 3-10	柱底鉸支承下部細部設計	30
圖 3-11	H型鋼上部鉸支承細部設計	31
圖 3-12	短梁細部設計	32
圖 3-13	鬆緊器(Turnbuckles)細部設計	33
圖 3-14	短梁構架組裝圖	34
圖 3-15	測試梁 CC 細部設計	36
圖 3-16	測試梁 CCLB 細部設計	37
圖 3-17	傳統側支撐細部設計	38
圖 3-18	測試梁 CCPS 細部設計	39

圖 3-19	測試梁 EGLS 細部設計	40
圖 3-20	測試梁 NN-1 與 NN-2 細部設計	41
圖 3-21	測試梁之端板細部設計	42
圖 3-22	測試梁端與 H 型鋼柱連接用鉸支承細部設計	42
圖 3-23	測試梁吊耳、切削區與補強板細部設計	43
圖 3-24	RC 樓版配筋細部設計-1	44
圖 3-25	RC 樓版配筋細部設計-2	45
圖 4.1	實驗設置	48
圖 4.2	位移計與應變計裝設位置圖	49
圖 4.3	實驗加載歷時圖	50
圖 4.4	測試梁 BM-CC 遲滯迴圈	51
圖 4.5	測試梁 BM-CC-LS 遲滯迴圈	52
圖 4.6	測試梁 BM-EGLS 遲滯迴圈	52
圖 4.7	測試梁 BM-CCTS 遲滯迴圈	53
圖 4.8	測試梁 BM-NNC 遲滯迴圈	53
圖 4.9	測試梁 BM-NNU 遲滯迴圈	54
圖 4.10	梁 BM-CC 之包絡線圖	54
圖 4.11	梁 BM-CC-LS 之包絡線圖	55
圖 4.12	梁 BM-CC-EGLS 之包絡線圖	55

圖 4.13	梁 BM-CCTS 之包絡線圖	56
圖 4-14	梁 BM-CC-LS 局部挫屈處	57
圖 4-15	梁 BM-CC-LS 側向扭轉挫屈	57
圖 4-16	梁 BM-CC-LS 下翼板與端板間銲道破裂	58
圖 4-17	梁 BM-CC 側向扭轉挫屈	59
圖 4-18	梁 BM-CC 端點混凝土開裂	59
圖 4-19	梁 BM-CC 下翼板破裂	60
圖 4-20	梁 BM-EGLS 側向扭轉挫屈	61
圖 4-21	梁 BM-EGLS 樓板開裂	61
圖 4-22	梁 BM-EGLS 端點混凝土開裂	62
圖 4-23	梁 BM-EGLS 下翼板開裂且向上延伸至腹板	62
圖 4-24	梁 BM-CC-TS 腹板局部挫屈	63
圖 4-25	梁 BM-CC-TS 側向扭轉挫屈	64

摘要

關鍵詞：扭轉挫屈、側向支撐

一、研究緣起

耐震建築鋼結構中，鋼梁通常是結構物消能的主要桿件，鋼梁藉由大量的塑性變形達到消能的效果。為讓鋼梁具有足夠的塑性變形或消能能力來抵抗地震，必須防止鋼梁過早產生側向扭轉挫屈（lateral-torsional buckling），通常防止鋼梁過早產生側向扭轉挫屈的方法為設置防挫屈裝置（或稱為支撐，brace）。傳統的防挫屈裝置為側向支撐（lateral support），上翼板直接由樓版之面內勁度與強度提供側向支撐，下翼版則由側向支撐桿件一端接在鋼梁下翼板，另一端接在樓版，主要也是靠樓版的面內勁度與強度提供鋼梁側向支撐。這種側向支撐裝置已經使用很長一段時間，設計與施工方法都相當成熟，但是側向支撐桿件的存在佔據部分樓版底部空間且相當突兀，不但影響室內空間的美觀也影響空間使用效率，尤其是住宅所受的影響很明顯。

本研究提出一個可能解決上述難題的方法是將傳統的側向支撐轉換成防挫屈裝置。於鋼梁設置梁腹加勁板，在上翼板處設計兩種延伸之補強板與加勁板，並利用剪力釘加強與樓版的結合，增加鋼梁之抗扭轉勁度，規劃設計大尺寸結構試驗探討此型支撐的效果、現有設計方法之合理性，供工程人員及一般大眾參考。

二、研究方法及過程

本研究之包括資料蒐集與整理、有限元素法模擬分析、試體設計與製作、試驗、材料力學性質試驗、實驗資料整理與分析、相關規範條文之檢討。研究方法與步驟如下：

1. 文獻資料之收集與整理
2. 有限元素法模擬分析
3. 含扭轉型側向支撐鋼梁潛能因素分析
4. 大尺寸鋼結構架及 RC 樓版實驗規劃與測試

三、研究發現

1. 本研究應用有限元素分析影響鋼梁韌性行為之參數所得塑性轉角評估公式，可供工程師於設計時之參考。
2. 有線元素分析模型中之防挫屈裝置，係假設 RC 樓板與鋼梁上翼板完全剛性接合，並未考慮接合面之間的接合勁度。而實際上鋼梁、RC 樓板與接合面之接合勁度（剪力釘）三者分別具有扭轉勁度，且以串聯型式接合，建議未來對接合面之間的接合勁度再規劃相關實驗，探求接合面採用如剪力釘方式所能提供之扭轉勁度。
3. 實心混凝土樓板可提升梁之穩定性，對於其局部挫屈與側向扭轉挫屈之防制皆有顯著作用。至於樓板的厚度、配筋型式、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等因素，跟梁與樓板間之接合勁度相關，惟此部分影響因素較多，未來進行相關實驗須審慎規劃。
4. 本研究案主要探討實心混凝土樓板，對於梁穩定度之影響，因為實驗進行困難度大及經費需求較高，試體數量不多，待研究有一定成果後，再進行鋼承板之研究。
5. 使用側向支撐或補強整體斷面，皆可提升鋼梁扭轉勁度，對於梁之穩定度有相當之助益，惟部分實驗因梁柱接頭螺桿已達降伏，至梁端板與柱之間產生額外間隙，難以估算最終之塑性轉角，另外因梁部分銲道強度不足或銲接處產生應力集中現象，使實驗中斷，未來進行相關實驗時，對於梁柱接頭及銲接應多加注意。

四、主要建議事項

中長期之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：相關學術團體

1. 本研究案相關之決定性參數多，建議後續宜以有限元素模擬，以進行更多參數之探討。
2. 使用側向支撐如加勁托架式，或補強整體斷面如增加補強板或加勁板，對於可提升整體鋼梁扭轉勁度之效果，建議納入未來研究內容。
3. 有關實心混凝土樓板對於梁穩定性之增益，因樓板的厚度、配筋型式、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等眾多因素影響而有不同

之效果，建議未來可逐步規劃以進行相關之實驗。

4. 本研究案屬於先導性之研究，因困難度大且經費需求較高，試體數量不多，對於如何提升梁穩定性之設計方法，需再進一步規劃相關實驗，並廣徵專家學者意見後才能得到較具體之成果。

Abstract

Keyword: lateral torsional buckling, lateral bracing

1) OVERVIEW

The present investigation focused on the evaluation of lateral torsional buckling behavior of steel I-section beam using the finite element (FE) model. A highly detailed three-dimensional FE model has been created using commercial finite element software ABAQUS. It was proved that this three-dimensional FE complex model, accounting for material and geometric non-linearity, large deformation behavior is able to simulate behavior of simply supported steel beam under monotonic flexural loading. This study covers critical load evaluation, load vs. plastic rotation behavior, effectiveness of location and variable stiffness for lateral nodal bracing system, behavior of Reduced beam section. The reliability of the model is demonstrated by comparison with experiments and with alternative numerical analyses. This study also discusses in detail several numerical modeling issues related to mesh convergence problems, geometric imperfection modeling, loading strategies and computer efficiency.

2) METHOD

1. Paper review and data analysis.
2. Finite element analysis for lateral-torsional buckling behavior of steel beams with different types of lateral bracing.
3. Design of full scale experiment for steel frame with RC deck.
4. Experiment for full scale steel frame with RC deck.

3) SIGNIFICANT RESULTS

1. The formula to estimate the plastic rotation of the beam using finite element analysis is a good approximation for any designer to get a better idea

beforehand and could be of great help for modifying the whole setup step by step to reduce any unexpected mistake.

2. In the FEM model analyzing torsional resisting mechanism, it was assumed that the connection between RC floor and beam is rigid. However, the contribution from shear studs need to be considered in order to justify the real stiffness between floor and beam. Further experiments are recommended.
3. RC floors have significant contribution to the stability of beams. To be more quantitatively, all the factors including the thickness of slabs, the length and span of studs, the thickness of beam web, and the depth of beams need to be investigative carefully.
4. This research is focus on the contribution of the RC floor to the stability of beams. Due to the cost and time, there are only 6 specimens been investigated. It should be noticed that further research need to be done to fully understand the behavior of the RC floor.

4) RECOMMENDATIONS

Mid term recommendation

Auspices: the Architecture and Building Research Institute

Collaborator: academic and research organizations

1. In this research, there are so many deterministic factors in design beams, slabs, shear studs, and lateral supports. It is recommended the numerical method such as finite element method could be used to investigate these factors before planning further experiment.
2. Lateral supports and reinforcement of beams do have significant impacts on the stability of beams. Further research is recommended.
3. The RC slabs would help to increase the stability of beams. Further research to investigate the contribution from factors including the thickness of slabs, the diameter of reinforce bars, the span and length of shear studs, and the dimension of beams is recommended.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

耐震建築鋼結構中，鋼梁通常是結構物消能的主要桿件，鋼梁藉由大量的塑性變形達到消能的效果。為讓鋼梁具有足夠的塑性變形或消能能力來抵抗地震，必須防止鋼梁過早產生側向扭轉挫屈（lateral-torsional buckling），通常防止鋼梁過早產生側向扭轉挫屈的方法為設置防挫屈裝置（或稱為支撐，brace）。傳統的防挫屈裝置為側向支撐（lateral support），如圖 1-1 所示。上翼板直接由樓版之面內勁度與強度提供側向支撐，下翼板則由側向支撐桿件一端接在鋼梁下翼板，另一端接在樓版，主要也是靠樓版的面內勁度與強度提供鋼梁側向支撐。這種側向支撐裝置已經使用很長一段時間，設計與施工方法都相當成熟，但是側向支撐桿件的存在佔據部分樓版底部空間且相當突兀，不但影響室內空間的美觀也影響空間使用效率，尤其是住宅所受的影響很明顯。

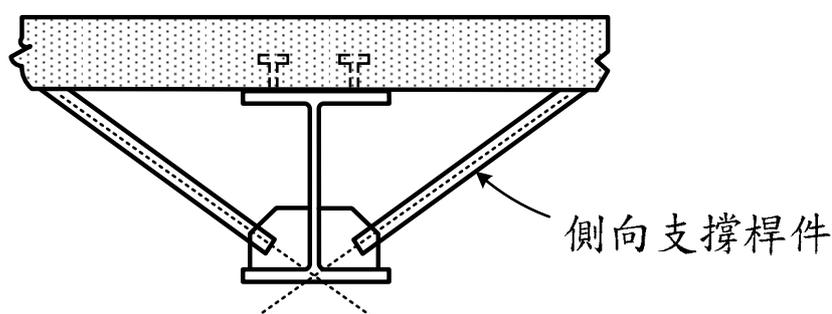


圖 1-1 傳統側向支撐示意圖

（資料來源：本研究整理）

一個可能解決上述難題的方法是將傳統的側向支撐轉換成如圖 1-2 所示之防挫屈裝置，其中圖 1-2(a)為在上翼板銲接補強板，並將梁腹加勁板延伸，為永峻公司提出之方法，圖 1-2(b)亦為上翼板銲接補強板，不過加勁板加在上翼板上方。圖 1-2(a)與(b)之防挫屈方式是藉著延伸上翼板以增加梁之整體扭轉勁度，而下翼板只需注意控制不發生局部挫屈即可。然而此類型支撐的效果如何，現有設計方法是否合理，屬於側向支撐或扭轉支撐等問題，都需要加以釐清、

探討，以利工程建設之更順利進行。對工程人員及一般大眾而言，大尺寸結構試驗為探討上述問題最直接也最有說服力的方法。為審慎規劃試體與實驗裝置，本研究先以有限元素模擬分析鋼梁扭轉挫屈行為，並考量樓版行為，探討不同之防挫屈裝置。

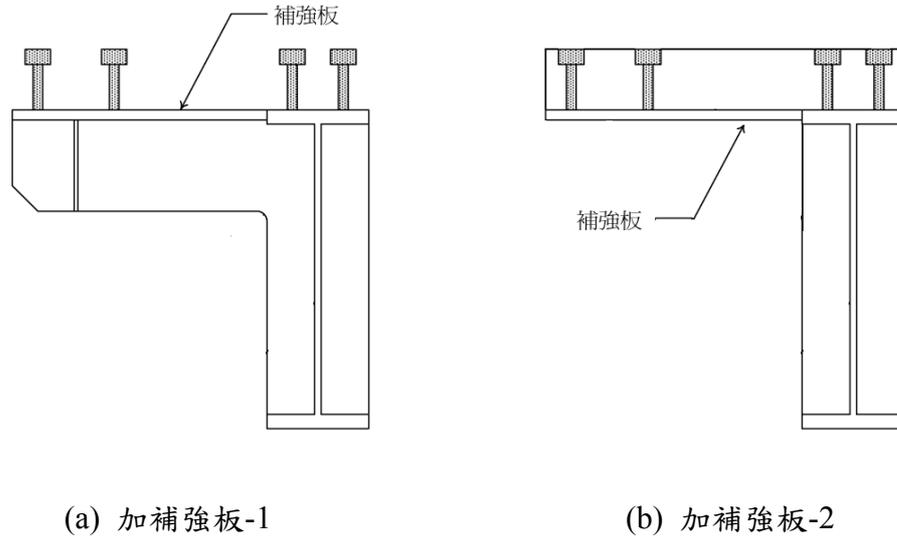


圖 1-2 鋼梁之新型防挫屈裝置

(資料來源：本研究整理)

第二節 文獻回顧

本研究在實驗相關文獻收集如下：

1. 1985 年 Winter 等人以理論分析方法，對於梁與柱構件配置側向支撐之設計，進行相關研究，發展出一簡單的有限分析模式，以求得桿件中側向支撐所提供的強度及剛度下限值，提出如何設計桿件中的等值有效側撐。
2. 1966 年 Taylor 等人，對於梁桿件中提供扭轉束制以抵抗側向扭轉挫屈之行為模式進行研究，作者對於大梁接小梁之設計所提供的扭轉束制行為進行有限元素分析並與理論分析結果比較，發現大梁在提供連續抗扭束制的情況下，其臨界載重強度與抗扭束制之勁度成正比，若大梁在僅

提供單節點之抗扭束制之情況下，其臨界載重強度會在大梁發生雙曲率整體側向扭轉挫屈時達到極限值。

3. 1972 年 Nethercot 及 Rockey 對於在彈性階段梁之側向扭轉挫屈之分析，提出一套統一系統化的分析模式以求得在彈性階段中發生側向扭轉挫屈時之臨界撓曲應力，於彈性階段中發生挫屈之最大撓曲應力與斷面幾何、鋼材性質、載重形式、作用位置以及梁之邊界條件有關。
4. 1991 年 Takabatake 等人，對於 I 型梁構材在配置加勁板與無配置加勁板的情況下，進行側向扭轉挫屈之行為探討，發現梁於腹板配置加勁板或箱型封板時可以有效的降低構材挫屈時之側向位移量，並提出一計算方法來評估其加勁板之需求量。
5. 1997 年 Helwig 等人對於單軸對稱之 I 型梁斷面進行側向扭轉挫屈之行為分析，以有限元素模型分析單一弱軸對稱之 I 型梁桿件，考慮單一曲率及雙曲率彎矩之模式，將分析結果與傳統雙軸對稱之 I 型梁進行比較，發現原先彎矩梯度因子 (Moment gradient factors, C_b) 於雙軸對稱之 I 型梁估算方式，亦可以使用於單一弱軸對稱之 I 型梁桿件，但先決條件為載重作用點必須考慮在型鋼斷面之中心位置，亦提出在考慮載重作用點於型鋼斷面之不同位置時，其 C_b 之估算方式。
6. 2001 年 Yura 建立一套設計梁桿件穩定性之設計，對於梁構材提出了不同的側撐型式設計，且各有其系統化的設計公式，並且在其研究中也舉例幾種不同的側撐型式設計範例，亦已納入 AISC 規範作為設計之參考準則。
7. 2002 年 Nakashima 以有限元素分析，並與結構實驗結果比較，對於梁構件在反覆載重下之側向扭轉挫屈之穩定性行為進行研究，提出 AISC 規範對抗彎構架中梁桿件側向支撐需求量之設計於構架發生容許之樓層位移量下是具備合理性的，但是此結論是在梁構材不會發生腹板挫屈和翼板挫屈的假設基礎上。
8. 2008 年林禹任以實驗探討抗彎構架在單向水平載重下，梁在不同側向支撐系統及斷面型式下之挫屈行為，側撐系統之配置分別討論位移束制及扭轉束制之效益，發現位移束制系統或使用封板斷面皆可有效抑制梁

發生整體側向扭轉挫屈。

9. 2008 年 Jan Jirsak 以有限元素分析探討簡支 I 型梁在雙曲率彎矩作用下之扭轉挫屈行為，並與林禹任之實驗作比較，並提出第一模態非彈性挫屈可得到相當合理的結果，且在梁上翼板有連續支撐，下翼板加側向點支撐可顯著改善梁的彎矩容量。

第三節 研究方法與步驟

本計劃主要為利用本所材料實驗中心進行實尺寸抗彎構架與樓版實驗，其實驗分析成果可作為檢討現行設計準則之參考依據，並藉此引導建築構造走向減量、減重、節能及環保之永續發展目標。

本計劃之研究方法如下：

1. 文獻資料之收集與整理
2. 電腦模擬分析
3. 大尺寸鋼結構架及 RC 樓版實驗
4. 規範條文適用性評估

本計劃之預期成果如下：

1. 探討耐震建築鋼結構中鋼梁配置不同側撐形式受地震作用力下之挫屈行為，完成新型耐震鋼梁防挫屈裝置試驗評估，提昇對梁構材之穩定性行為之認識。
2. 實驗分析成果可作為檢討現行設計準則之參考依據。

第四節 研究流程

本計畫之研究項目包括資料與文獻收集、評估、分析、報告撰寫。研究進度與研究內容如表 1-1 所示，流程圖如圖 1-3 所示。

表 1-1 研究進度表

月次 工作項目	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月	第九月	第十月	第十一月	第十二月
資料文獻收集	■											
力學分析		■										
側向支撐 數值分析						■						
防挫屈設 計分析							■					
數據整理									■			
試體設計									■			
相關規範 條文檢討						■						
撰寫報告								■				
研究進度 百分比	5	15	20	30	35	40	50	60	70	85	95	100

(資料來源：本研究整理)

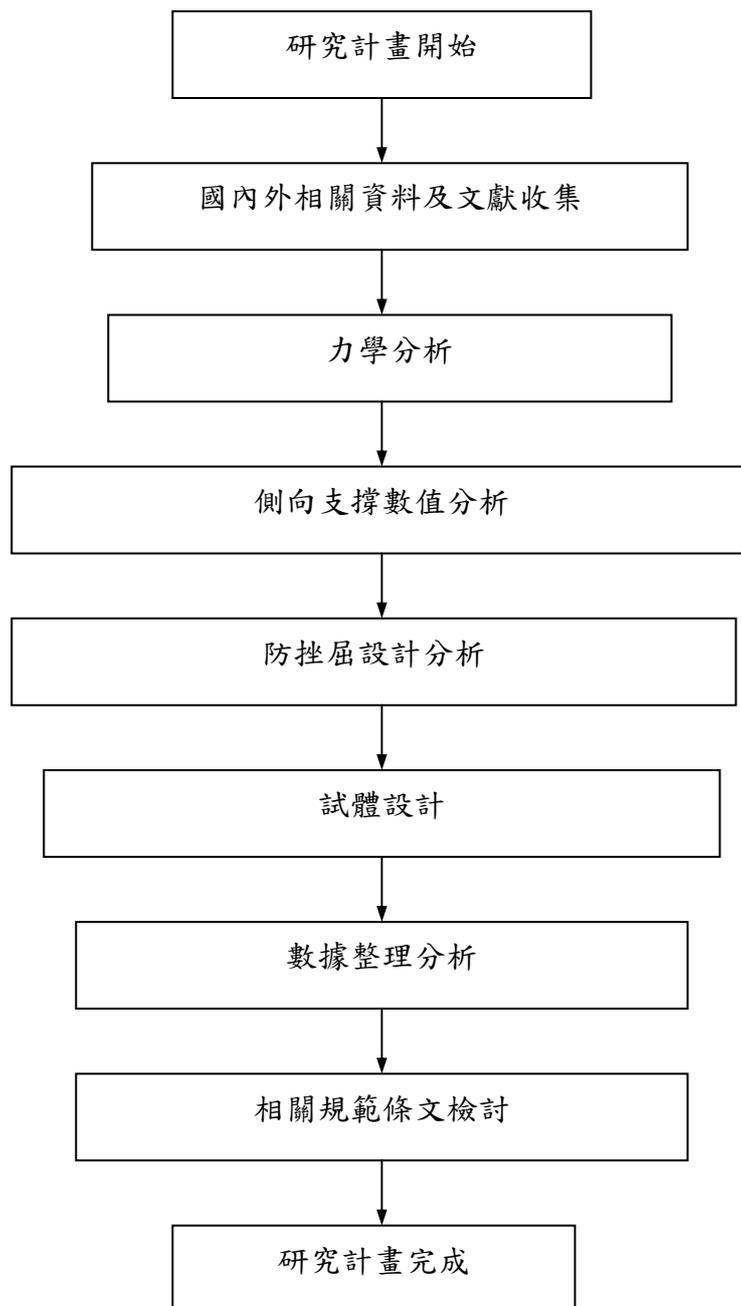


圖 1-3 研究流程圖

(資料來源：本研究整理)

第二章 有限元素數值分析

鋼結構耐震設計中，為防止鋼梁過早產生側向扭轉挫屈的方法為設置防挫屈側向支撐，一端接在鋼梁下翼板，另一端接在樓板。但是在一般實驗中，因受限於場地與經費，皆只能做單純的二維鋼梁構架實驗。本研究以實尺寸鋼梁構架實驗，並考量樓版之影響，測試鋼梁構架側向支撐之穩定行為。

本計畫實驗是採用延伸之補強板及加勁板，並利用剪力釘加強與樓版的結合，以增加鋼梁之抗扭轉勁度。為求實驗精簡，先以有限元素法分析，再據以設計實驗。分析模型考慮材料非線性、幾何非線性及初始彎曲之影響，載重採用端點旋轉角控制之反覆載重。鋼梁的束制情況分別為不具任何側向及扭轉支撐，與上翼板具連續側向及扭轉支撐兩種。分析結果再透過迴歸分析找出影響鋼梁抵抗側向扭轉挫屈之重要參數，並提出評估鋼梁塑性轉角之相關式。

第一節 結構分析與基本假設

有限元素分析程式採用 ABAQUS，鋼梁構架結構示意圖與測試試體之上視圖如圖 2-1 與圖 2-2 所示，鋼梁接於鋼柱，上有 RC 樓板，鋼柱上加反覆載重。

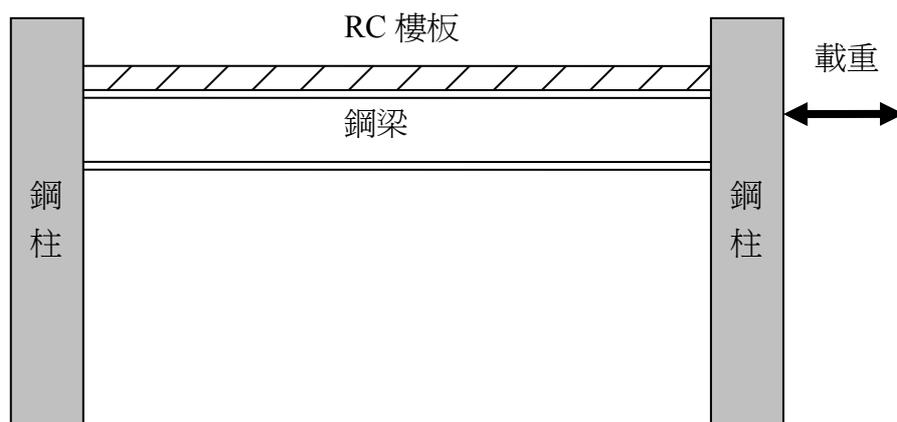


圖 2-1 鋼梁構架結構示意圖

(資料來源：本研究整理)

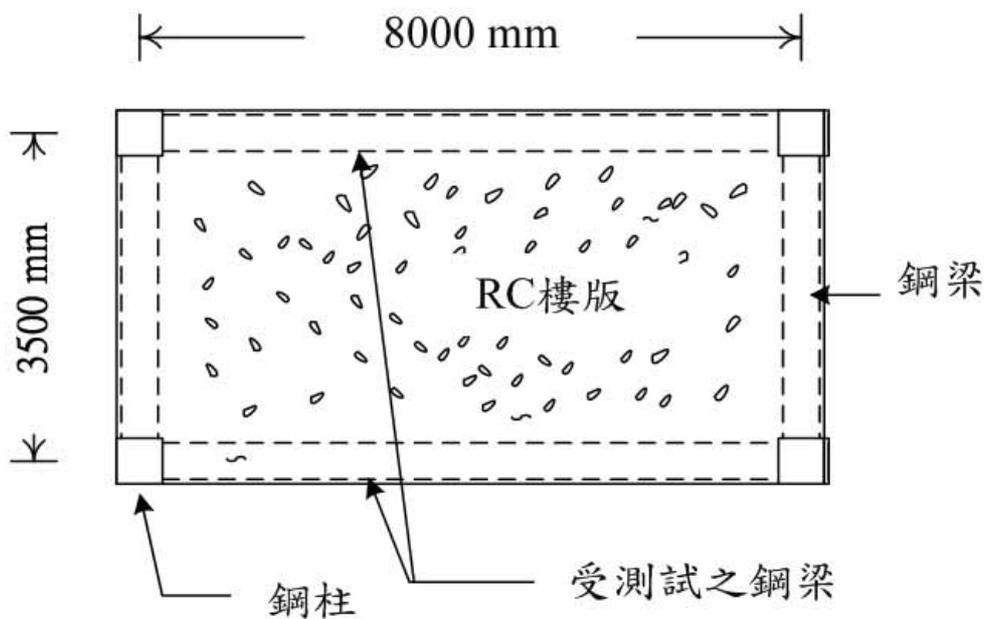


圖 2-2 測試試體上視圖

(資料來源：本研究整理)

材料性質方面，本計畫實驗所使用之結構用鋼材質為 A572 Gr.50，由實際拉力試片試驗所得之應力-應變曲線如圖 2-3 所示。

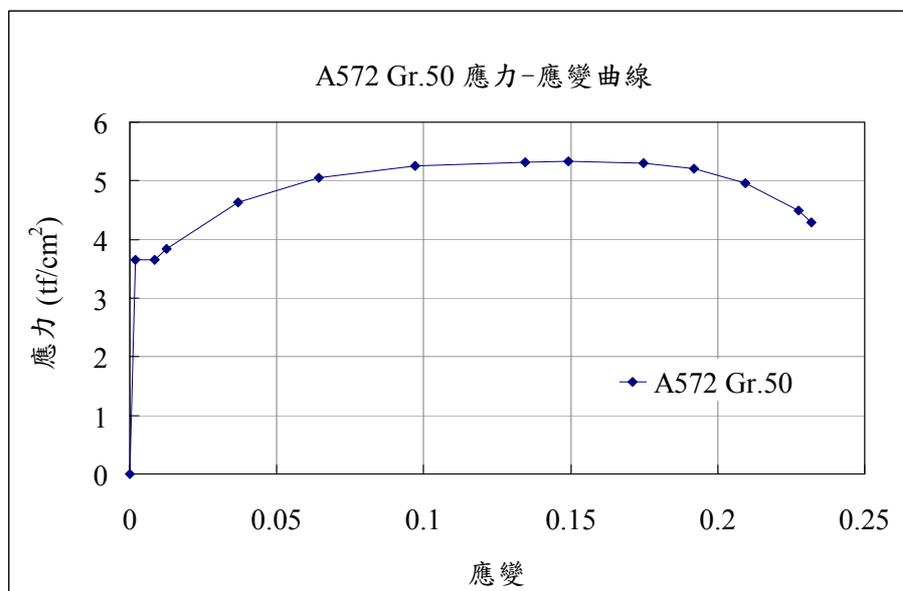


圖 2-3 鋼材之應力-應變曲線

鋼梁使用的元素為 3 維非線性 2 階殼元素 S8R，分析模型如圖 2-4 所示。所用網格大小則根據收斂性分析決定，將翼板寬度方向切割成 2、4、6 格比較結果後，發現取 4 格便可達所要精度。

加載方式為端點旋轉角控制之同向反覆載重。

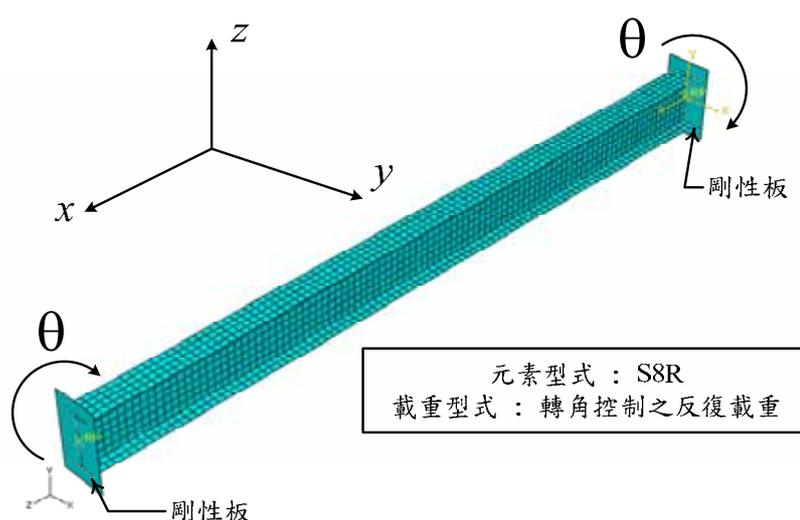


圖 2-4 有線元素分析模型

進行有限元素分析時，樓版之扭轉勁度 k_{θ} 之決定，係將混凝土樓板模擬成抗扭轉彈簧(rotational spring)。因此，將RC樓板取 1 m 帶寬進行分析，樓板厚度為 15 cm。

利用結構學勁度之觀念，在其中一端點施加一單位轉角，所需之彎矩即為扭轉勁度。因為此施加之彎矩，對鋼梁而言，係加載於軸向，即為扭矩。接著，兩端邊界保守取簡支承，開始進行分析。

圖 2-5 為 RC 樓板之有限元素模型尺寸，以結構學理論分析材料參數，混凝土抗壓強度 $f_c' = 280 \text{ kgf/cm}^2$ ，混凝土彈性模數 $E_c = 150000 (f_c')^{0.5} = 250998 \text{ kgf/cm}^2$ ，斷面慣性矩 $I_g = 1/12(100)(15^3) = 28125 \text{ cm}^4$ ，跨距長 $L = 350 \text{ cm}$ 。由結構學理論，兩端為簡支承且變形對稱的撓曲勁度為 $2E_c I_g / L$ ，即為 RC 樓板模擬成抗扭轉彈簧之勁度。將數據代入後可得抗扭轉彈簧勁度 $k_{\theta} = 40340 \text{ tf-cm/rad/100cm}$ ，為每一個 nodal bracing 之勁度。由於分析模型在鋼梁軸向共設置 23 個單一節點之扭轉支撐，間隔為 50 cm，因此所輸入之扭轉勁度應為 $k_{\theta}/2$ ，

20170 tf-cm。

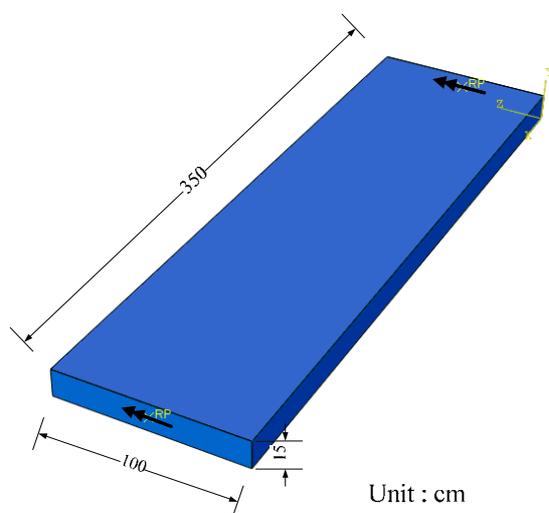


圖 2-5 RC 樓板之有限元素模型尺寸
(資料來源：本研究整理)

第二節 斷面尺寸

所用之斷面尺寸係選自工程上常用之 BH 型鋼斷面，梁深度計有 600、700、800 mm 三種，梁翼寬度計有 300 及 400 mm 兩種，腹板厚度計有 13、16、19 mm 三種，翼板厚度計有 25、28、32、36、40 mm 五種，故分析之斷面組合共有 90 種。

因斷面尺寸組合甚多，茲列出標稱尺寸為 600×300 及 600×400 兩種為代表，如表 2-1 所示。

表 2-1 結構用鋼斷面及相關性質

標稱尺寸	斷面尺寸	M_p (tf-cm)	r_y (cm)	$b_f/2t_f$	h_w/t_w
600×300	600×300×13×25	19329	7.13	6.00	42.31
	600×300×13×28	21048	7.27	5.36	41.85
	600×300×16×32	24097	7.20	4.69	33.50
	600×300×16×36	26303	7.35	4.17	33.00
	600×300×19×40	29216	7.29	3.75	27.37
600×400	600×400×13×25	24576	9.91	8.00	42.31
	600×400×13×28	26894	10.70	7.14	41.85
	600×400×16×32	30731	10.00	6.25	33.50
	600×400×16×36	33714	10.16	5.56	33.00
	600×400×19×40	37392	10.10	5.00	27.37

*註: M_p 計算係使用實際試驗之降伏強度 $F_y=3.65 \text{ tf/cm}^2$

第三節 邊界條件與束制型式

在分析模型中，在鋼梁兩端採用兩片剛性板與鋼梁接合，如圖 2-4 所示，在左端鋼梁斷面中心之邊界條件為 $u_x = u_y = u_z = \theta_y = \theta_z = 0$ ，右端鋼梁斷面中心為 $u_x = u_y = \theta_y = \theta_z = 0$ 。

束制型式分為兩種，一為上翼板無連續側向支撐及扭轉支撐(NN)、另一為上翼板有連續側向支撐及扭轉支撐(CC)，分別如圖 2-6 及圖 2-7 所示。另外，鋼梁之跨距分別為 8 m、10 m 及 12 m。

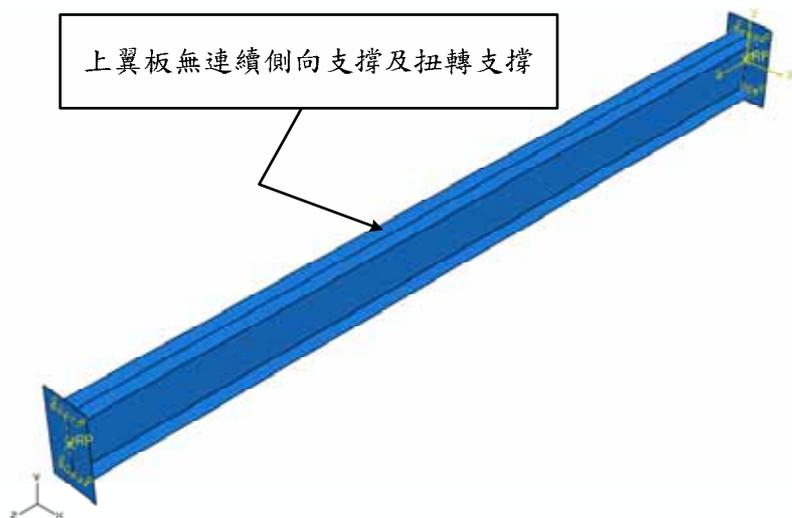


圖 2-6 鋼梁束制型式之一 (NN)

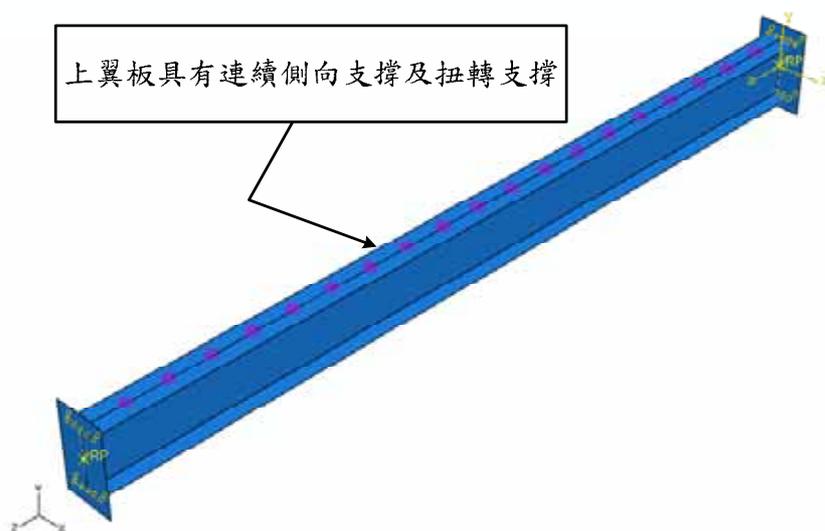


圖 2-7 鋼梁束制型式之二 (CC)

第四節 分析結果

3.1 塑性轉角 θ_p 之定義

塑性轉角 θ_p 之定義為

$$\theta_p = \theta_u - \theta_y \quad (1)$$

其中 θ_y 為包絡線上升段之彎矩強度達降伏彎矩時，所對應之端點轉角， θ_u 為包絡線之彎矩強度下降至最大彎矩之 80%時，所對應之端點轉角，如圖 2-8 所示。

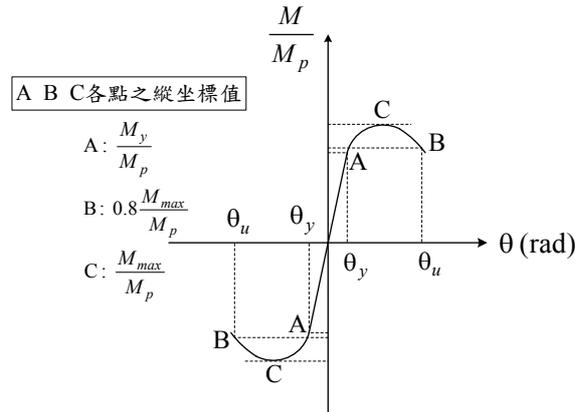


圖 2-8 塑性轉角之參數示意圖

3.2 遲滯迴圈與包絡線

由於分析結果繁多，茲取斷面尺寸為 600×300×13×28、跨距為 10 m 之 NN 與 CC 結果為代表，其遲滯迴圈(hysteresis loop)與包絡線如圖 2-9~2-12 所示。包絡線求法為將遲滯迴圈達到加載歷時圖中各時點峰值（即目標轉角）時，其各點所連接之曲線。

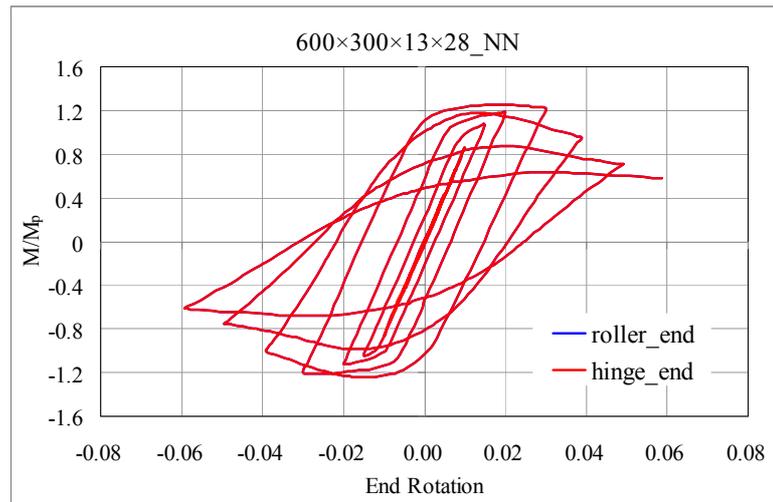


圖 2-9 600×300×13×28_NN 之遲滯迴圈

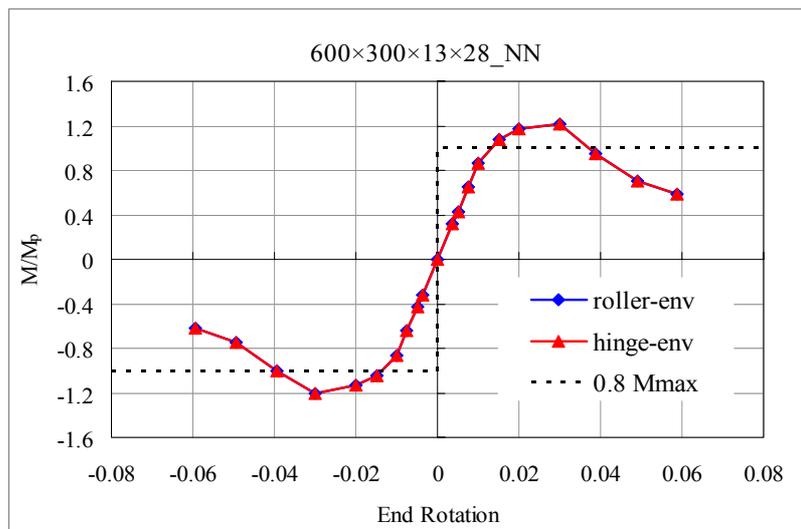


圖 2-10 600×300×13×28_NN 之包絡線

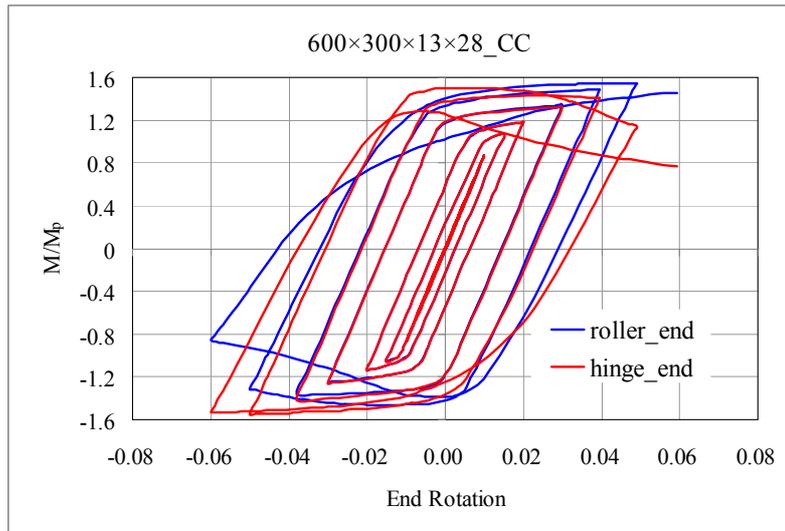


圖 2-11 600×300×13×28_CC 之遲滯迴圈

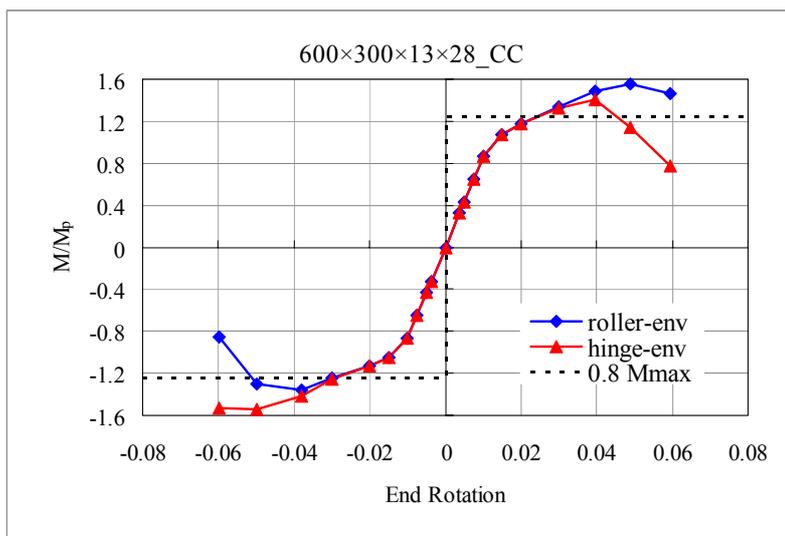


圖 2-12 600×300×13×28_CC 之包絡線

3.3 有限元素分析結果

依據分析之結果可分成強度、韌性行為及破壞模式等三個方向討論。

1. 強度方面：在各個斷面之NN及CC型式所發展之最大彎矩強度整理後發現，NN型式中，其最大強度約為 M_p 之1.2~1.4倍；CC型式中，其最大

強度約為 M_p 之 1.4~1.6 倍。此係因 NN 型式為純鋼梁，在考慮材料非線性時，應將鋼材之應變硬化引入，則可取鋼材之抗拉強度約為 1.2 倍之降伏強度，即 $f_u \doteq 1.2 f_y$ ，再乘上超強因子 1.1，則 $M_{\max} \doteq (1.2 f_y Z_x) \times 1.1 = 1.32 M_p$ 。CC 型式所增加之強度，應為扭轉支撐所提供的額外強度，亦即 RC 樓板所提供之強度。

2. 韌性行為方面：一般評估桿件韌性之良窳，最直接的指標為塑性轉角容量 θ_p 。由分析結果觀察得知，影響 NN 型式韌性行為之參數係與 L/r_y 、 d/t_f 及 d/b_f 乘積有關。當此三個參數乘積越小，則鋼梁之 θ_p 越大，即韌性越佳。同理可觀察得知，影響 CC 型式韌性行為之參數係與 h_w/t_w 、 d/t_f 及 d/b_f 乘積有關。當此三個參數乘積越小，則鋼梁之 θ_p 越大，即韌性越佳。因此當斷面尺寸、跨距及束制型式一旦決定後，便可評估此鋼梁之 θ_p 。
3. 破壞模式方面：由於 NN 為純鋼梁且為對稱結構，並受到反對稱載重，因此其破壞模式為具反對稱之側向扭轉挫屈，如圖 2-13 所示，所以兩端點具有相同之彎矩強度，造成在圖 2-9 與圖 2-10 中的曲線，均重合在一起，故僅呈現一條曲線。但是 CC 係在上翼板加入側向支撐與扭轉支撐，考慮非線性行為時，兩端點在大變位發展出的彎矩強度並不相同，且在發生側向扭轉挫屈後，下翼板及腹板亦相繼產生局部挫屈，如圖 2-14 所示，因此在各式挫屈行為之交互影響下，兩端點行為可預期是不盡相同的。故圖 2-11 與圖 2-12 中的曲線，會呈現出兩條不同曲線，印證兩端點行為上之差異。此外，圖 2-12 中 θ_p 之求法係將兩端點之 θ_p 各自先行求出，再經由比較大小後取小值作為該斷面之 θ_p 。

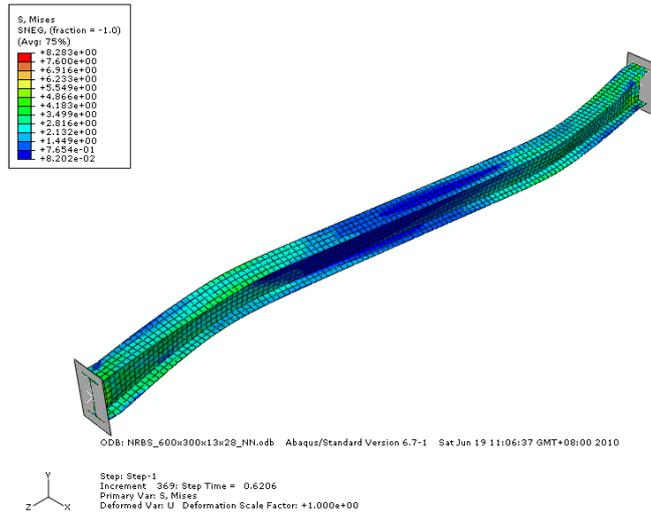


圖 2-13 600×300×13×28_NN 之破壞模式

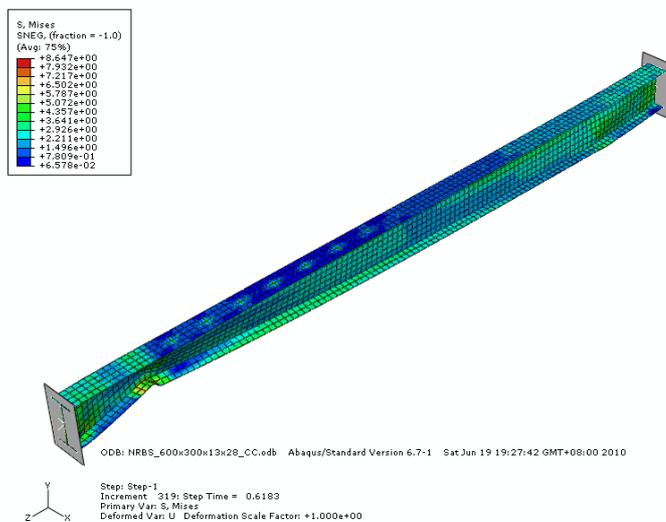


圖 2-14 600×300×13×28_CC 之破壞模式

3.4 θ_p 評估公式

為了防止翼板及腹板之局部挫屈過早發生，進而影響分析結果，故翼板與腹板之寬厚比及深厚比均採用耐震斷面之要求。在耐震斷面下，翼板與腹板之結實性要求分別如下：

$$\lambda_{pd,f} = 14 / \sqrt{F_y} = 14 / \sqrt{3.65} = 7.33 \quad (2)$$

$$\lambda_{pd,w} = 138 / \sqrt{F_y} = 138 / \sqrt{3.65} = 72.23 \quad (3)$$

其中鋼梁降伏強度係使用實際試驗所得之降伏強度 $F_y=3.65 \text{ tf/cm}^2$ 。因此，刪除不符合耐震斷面要求之結果後再進行迴歸分析。

符合耐震斷面要求之斷面尺寸經迴歸分析，建立評估 θ_p 之計算公式。結果如圖 2-15 及圖 2-16 所示。由圖 2-15 結果，在 NN 型式下， θ_p 與 $\sqrt{\frac{L}{r_y} \times \frac{d^2}{A_f}}$ 之相關係數 R^2 為 0.902，可知其在乘冪迴歸下為高度相關，其中 A_f 為翼板面積。因此評估 NN 型式之 θ_p 關係式如(4)式：

$$\theta_p = 1.659 \left(\sqrt{\frac{L}{r_y} \times \frac{d^2}{A_f}} \right)^{-0.965} \quad (4)$$

同理，由圖 2-16 之結果，評估 CC 型式之 θ_p 關係式如(5)式：

$$\theta_p = 0.745 \left(\sqrt{\frac{h_w}{t_w} \times \frac{d^2}{A_f}} \right)^{-0.827} \quad (5)$$

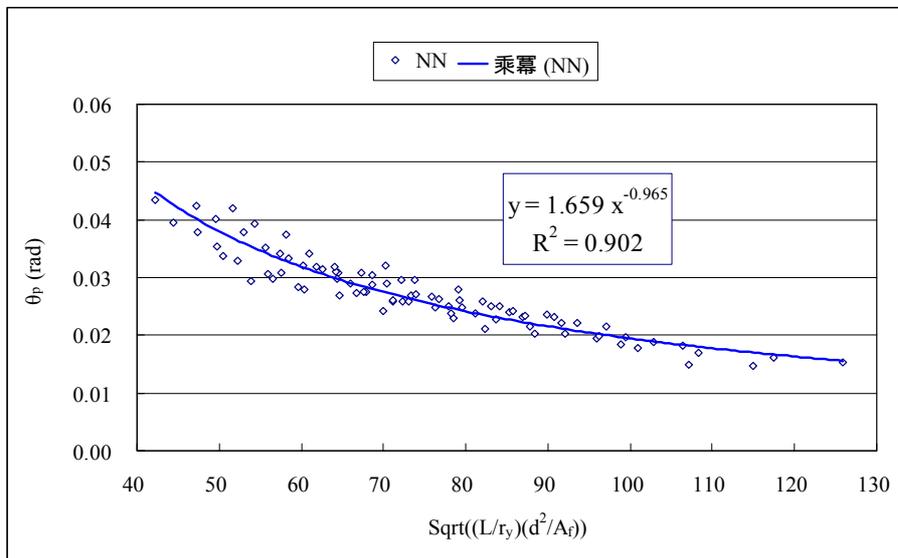


圖 2-15 NN 型式之 θ_p 關係曲線

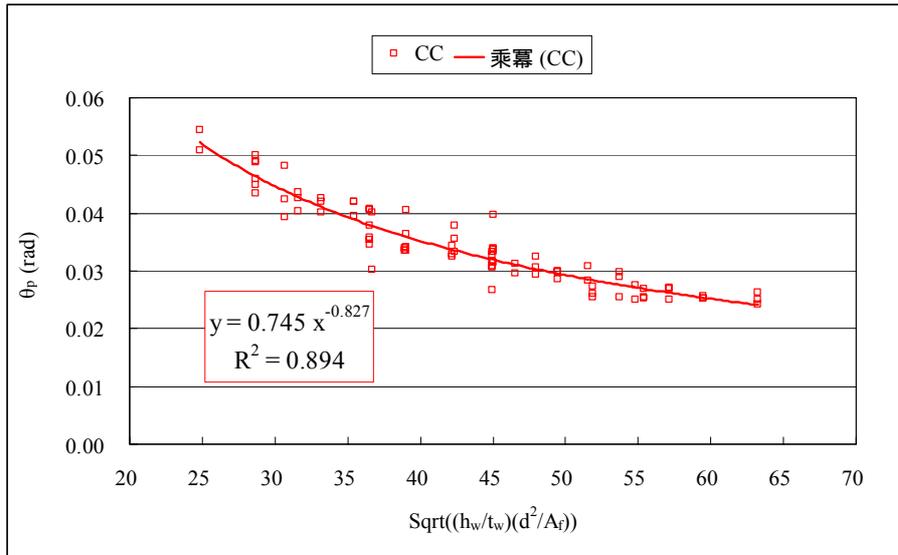


圖 2-16 CC型式之 θ_p 關係曲線

3.5 適用範圍限制

對 θ_p 之評估公式，在使用上應依據分析之條件，而對其適用範圍有所限制。適用之條件如下：

1. 不考慮切削對側向扭轉挫屈之影響。有關切削之影響，目前仍在分析中，待完成後將對評估公式做適度修正。
2. 忽略梁柱接頭與銲道斷裂之破壞模式。
3. 有線元素分析模型中，CC型式的扭轉型支撐係假設RC樓板與鋼梁上翼板完全剛性接合，並未考慮接合面之間的接合勁度。而實際上鋼梁與RC樓板分別具有扭轉勁度 β_{sec} 及 β_{TB} ，且以串聯型式接合，接合面一般採用剪力釘接合，亦應考慮此一接合勁度 β_{joint} 。因此，此三者串聯後之整體勁度應依據(6)式計算之。

$$\frac{1}{\beta_T} = \frac{1}{\beta_{sce}} + \frac{1}{\beta_{joint}} + \frac{1}{\beta_{TB}} \quad (6)$$

綜合以上，要使用評估公式時，應特別留意適用範圍之限制。

第三章 實驗裝置規劃

本研究主要目的是以數值分析及實驗研究，探討另一種防挫屈裝置，以提供抗彎構架具有足夠的塑性變形或消能能力來抵抗地震作用力。

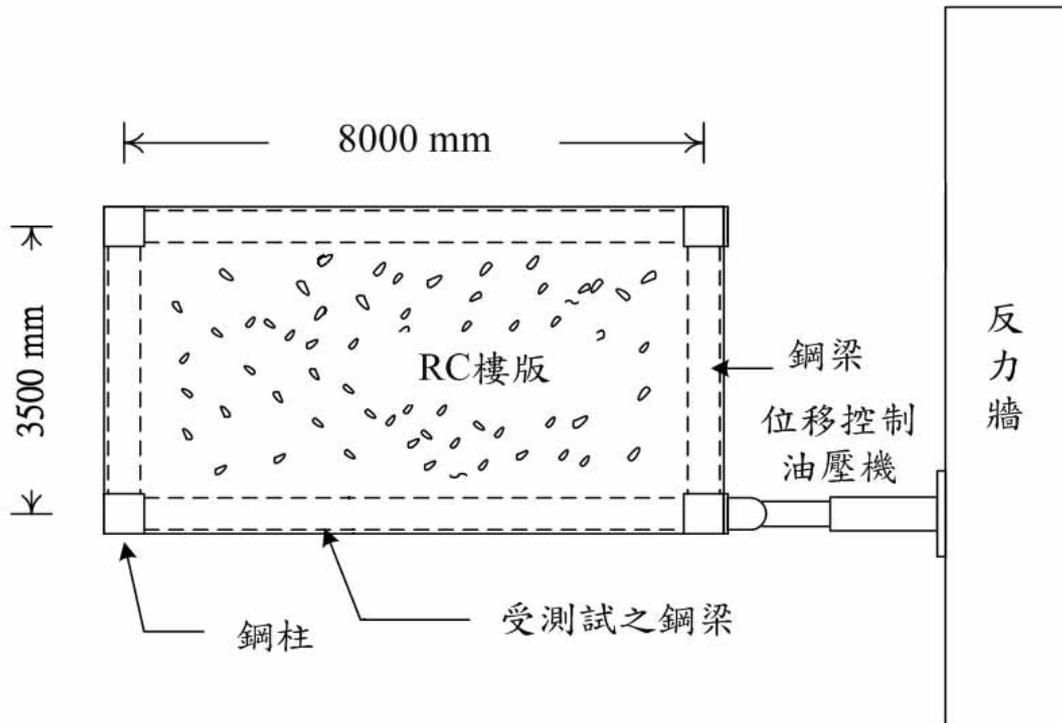
本實驗將以實尺寸抗彎構架與樓版實驗，並考量樓版之影響，測試鋼梁構架側向支稱之穩定行為。側向支稱採用封板及加勁板，因其數量、配置形式之不同，所產生效果亦不同。

第一節 實驗規劃

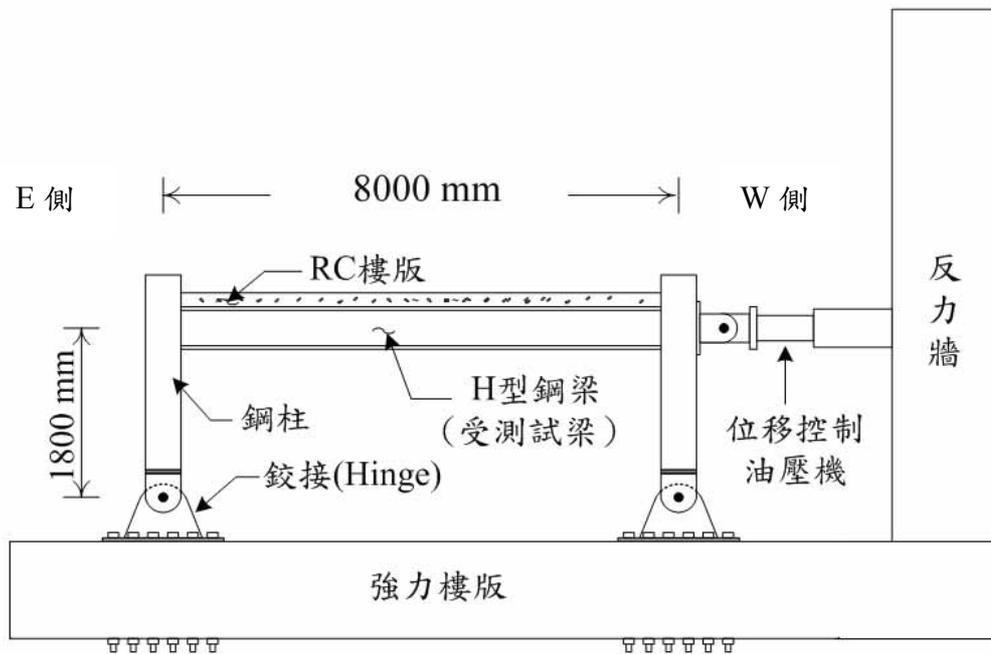
在地震作用下，鋼梁之彎矩通常為雙曲率分佈，另一方面支撐的情況上下翼板並不相同（上翼板為連續的側向支撐，而下翼板則僅有點支撐），所以雖然彎矩呈反對稱分佈但是側撐配置並不是反對稱，因此進行試體載重試驗（或模擬分析時），不能使用梁長度（或跨度）的一半簡化之。此外，在新型式防挫屈裝置中，需要依靠樓版之面外勁度與強度來提供支撐，若試體僅包含部分的樓版，則樓版的面外勁度與強度將被嚴重錯估，因此試體應該包含至少一塊完整的樓版。圖 3-1 為所規劃之試驗試體示意圖，試體為一立體構架，包括 4 支柱、4 支梁及 1 片完整的樓版，並採強柱弱梁的設計。

實驗設置平面圖與立面圖如圖 2-1 所示，RC 樓版約 8×3.5 公尺，由 4 支梁與 4 支柱支撐，其中 2 支長梁為受測試之鋼樑。水平載重由 1 支位移控制之油壓機施加反復載重，實驗時每次只測試 1 支長梁，主要是考慮若 2 支長梁同時受到 2 支油壓機施力，則可能因互相牽制之關係，變形不易控制之故。因此在實驗規劃時，在另 1 支長梁與柱連接處使用鉸接方式，使之不受到彎矩作用。

預計進行兩組試體試驗（共 4 次載重試驗），各梁採用不同的支撐方式，比較支撐方式之有效性，尋求最佳之支撐配置與設計方式。第 2 組試體乃將第 1 組試體之兩支水平向梁（圖 2-1a）及樓版拆除，換上新的水平向梁、樓版及支撐方式，試體其餘部分及試驗相關裝置則可重複使用之。



(a)平面圖



(b)立面圖

圖 3-1 試驗佈置

(資料來源：本研究整理)

第二節 柱與基座設計

如圖 3-1 所示，本計畫之樓版構架需鋼柱 4 支，柱之設計包括基座設計、柱設計、柱與基座連接設計、柱與梁連接設計。因試驗受力狀況不同，柱又分為箱型柱與 H 型柱 2 種。

一、基座設計

為將鋼柱固定於強力地板上需使用支承基座，其細部設計如圖 3-2 所示。

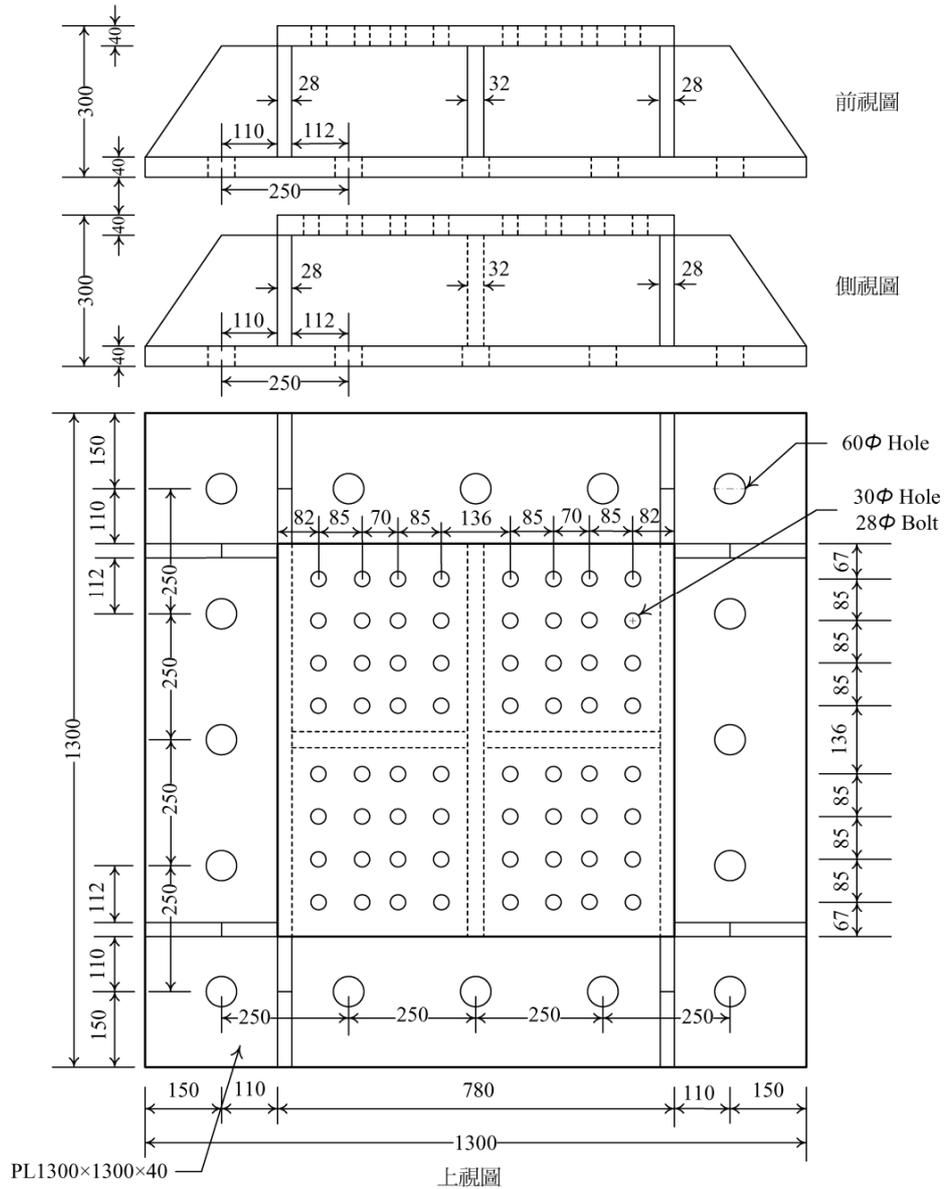


圖 3-2 柱支承基座細部設計

(資料來源：本研究整理)

本所材料實驗中心強力地板孔距為 50cm，為了未來之適用性並配合 200 噸油壓制動器施力中心線位於 2 孔中間，基座底板孔距設計為 25cm。

二、鋼柱設計

本實驗之柱桿件以 A36 鋼材製作，斷面尺寸採用兩種，一為箱型柱，一為 H 型鋼柱，說明如下：

(一)、箱型鋼柱

箱型鋼柱 2 支由台科大提供，尺寸為 500×500×28×28，柱高 3000 mm，如圖 3-3 所示，僅需稍做加工在上端鑽孔以連接測試梁，兩旁加 2 個剪力連接板（剪力連接板細部如圖 3-4），以連接短梁構架。

鋼柱底端銲接一 40mm 厚底板，如圖 3-5 所示，以連接鉸支承，並在底板與柱底端之間設計加勁板，以防止柱底端在加載過程中變形。

(二)、H 型鋼柱

H 型鋼柱 2 支尺寸為 RH 350×350×12×19，柱高 2150 mm，如圖 3-6 所示，兩旁加 2 個剪力連接板（剪力連接板細部如圖 3-7），以連接短梁構架。

鋼柱底端銲接一基板，細部設計如圖 3-8 所示，以連接鉸支承。

三、柱與基座連接設計

箱型鋼柱與 H 型鋼柱底部與基座連接設計皆採用鉸支承，分上下兩部分，上部與柱底基板用 $\psi 32$ 螺栓連接，如圖 3-9 所示。下部與柱支承基座用 $\psi 28$ 螺栓連接，如圖 3-10 所示。

四、柱與梁連接設計

箱型鋼柱與 H 型鋼柱底部與試驗梁連接設計是不同的，箱型鋼柱以 16 個 $\psi 28$ 螺栓與測試梁連接，而 H 型鋼柱是以鉸支承連接測試梁，細部設計如圖 3-11 所示。

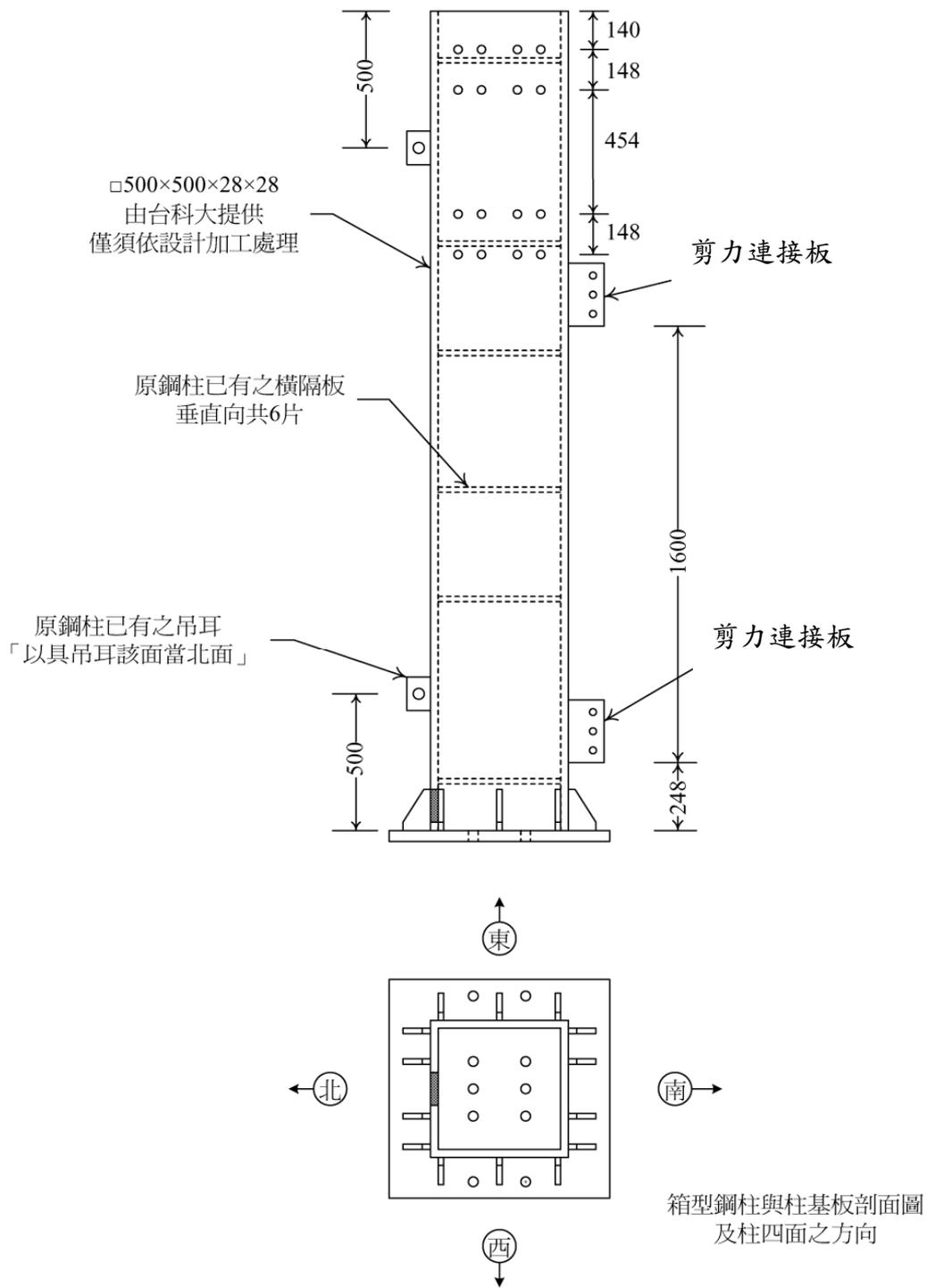
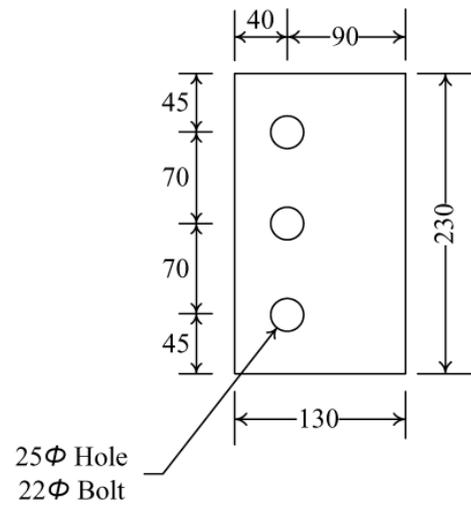


圖 3-3 箱型鋼柱細部設計

(資料來源：本研究整理)



箱型鋼柱端(南面) 剪力連接板
板厚 $t = 14 \text{ mm}$

圖 3-4 箱型鋼柱剪力連接板細部設計

(資料來源：本研究整理)

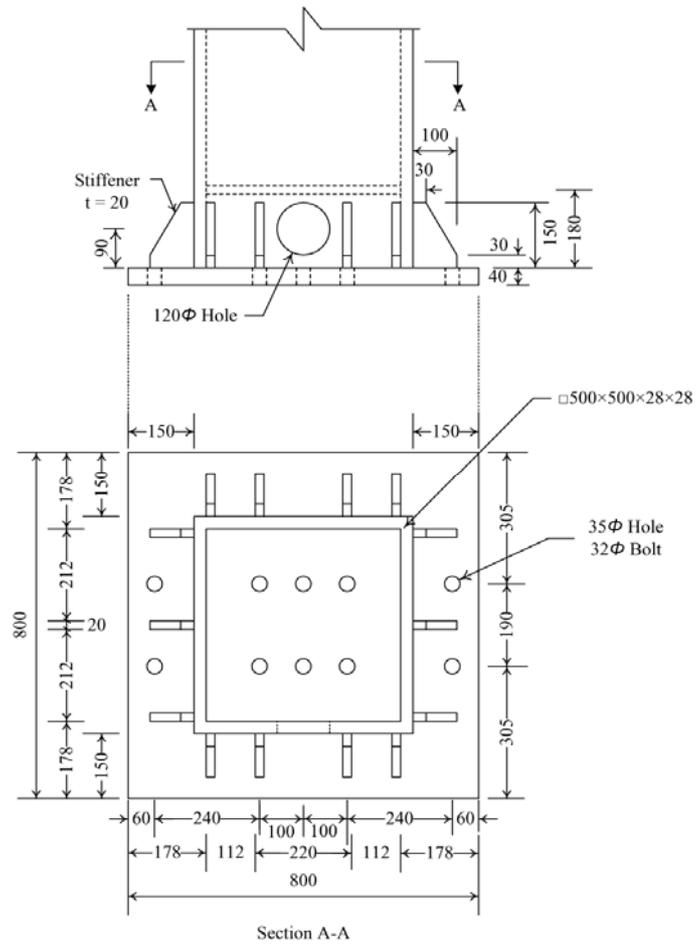


圖 3-5 箱型鋼柱底部基板細部設計

(資料來源：本研究整理)

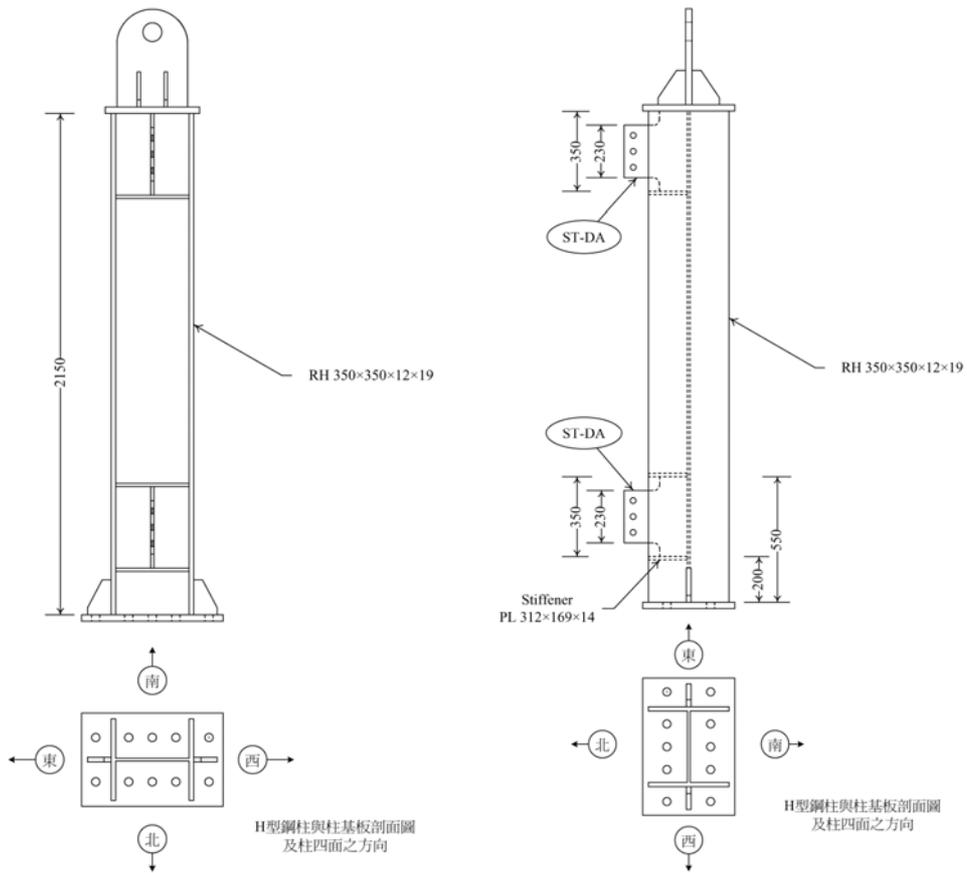


圖 3-6 H 型鋼柱細部設計

(資料來源：本研究整理)

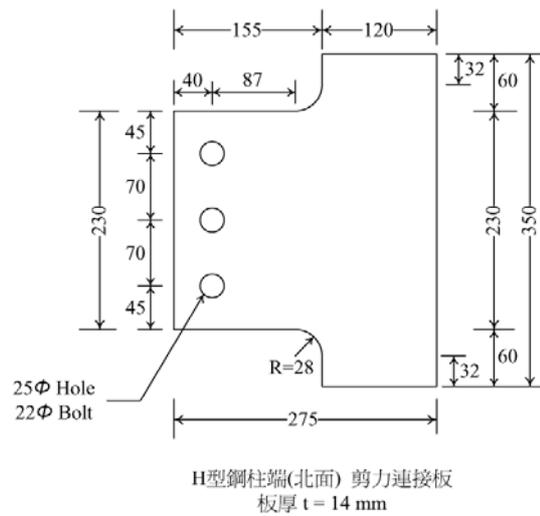


圖 3-7 H 型鋼柱剪力連接板細部設計

(資料來源：本研究整理)

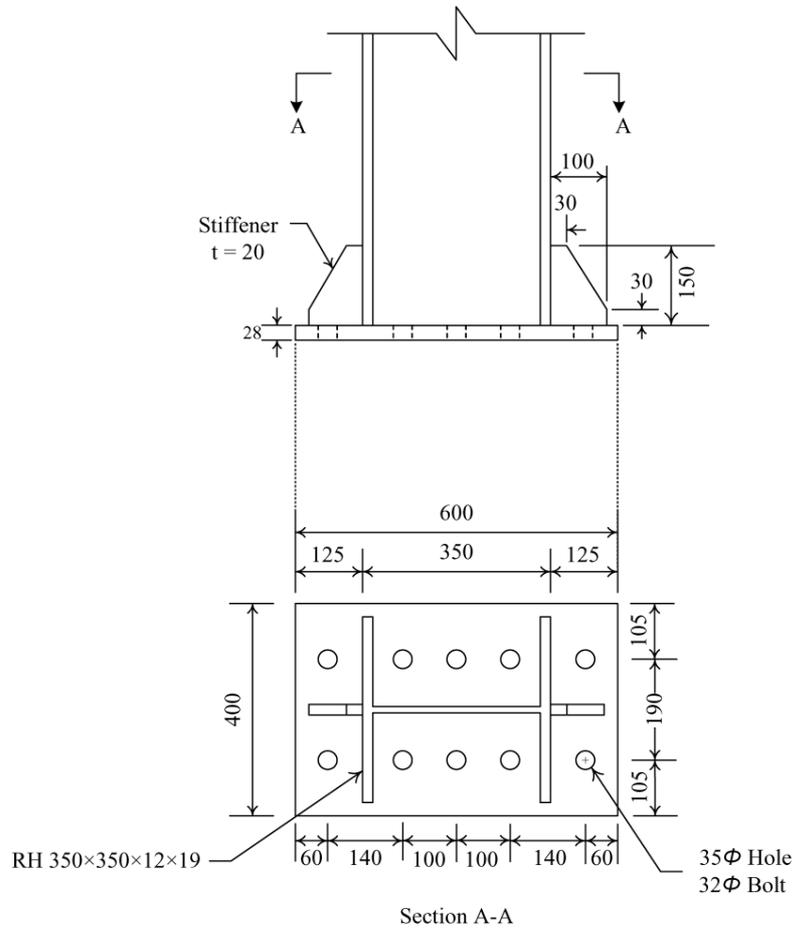


圖 3-8 H 型鋼柱底部基板細部設計

(資料來源：本研究整理)

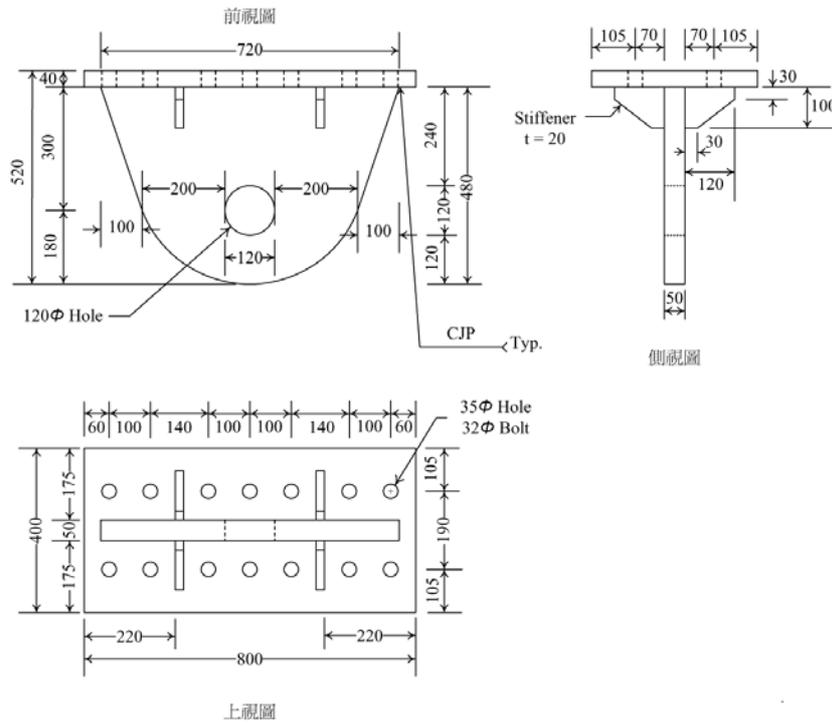


圖 3-9 柱底鉸支承上部細部設計

(資料來源：本研究整理)

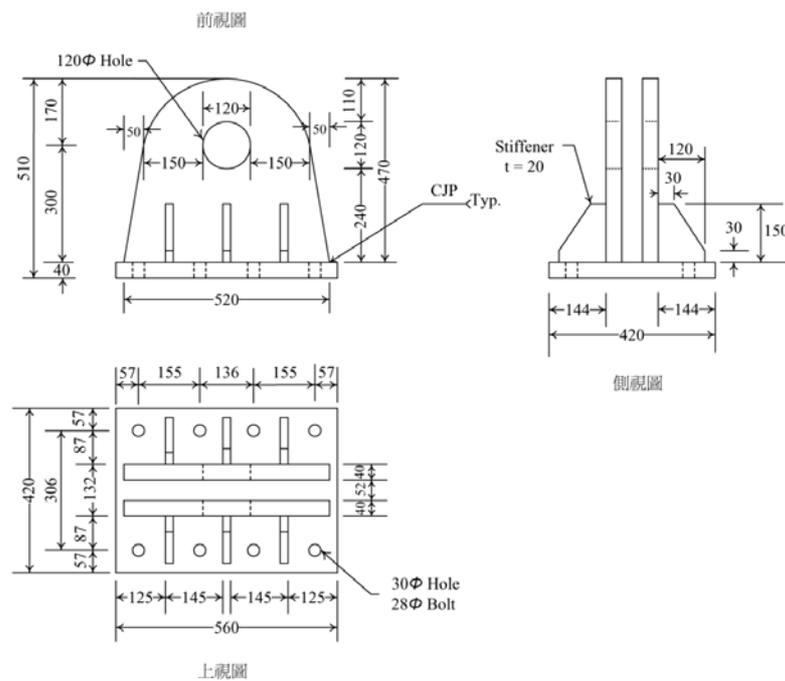


圖 3-10 柱底鉸支承下部細部設計

(資料來源：本研究整理)

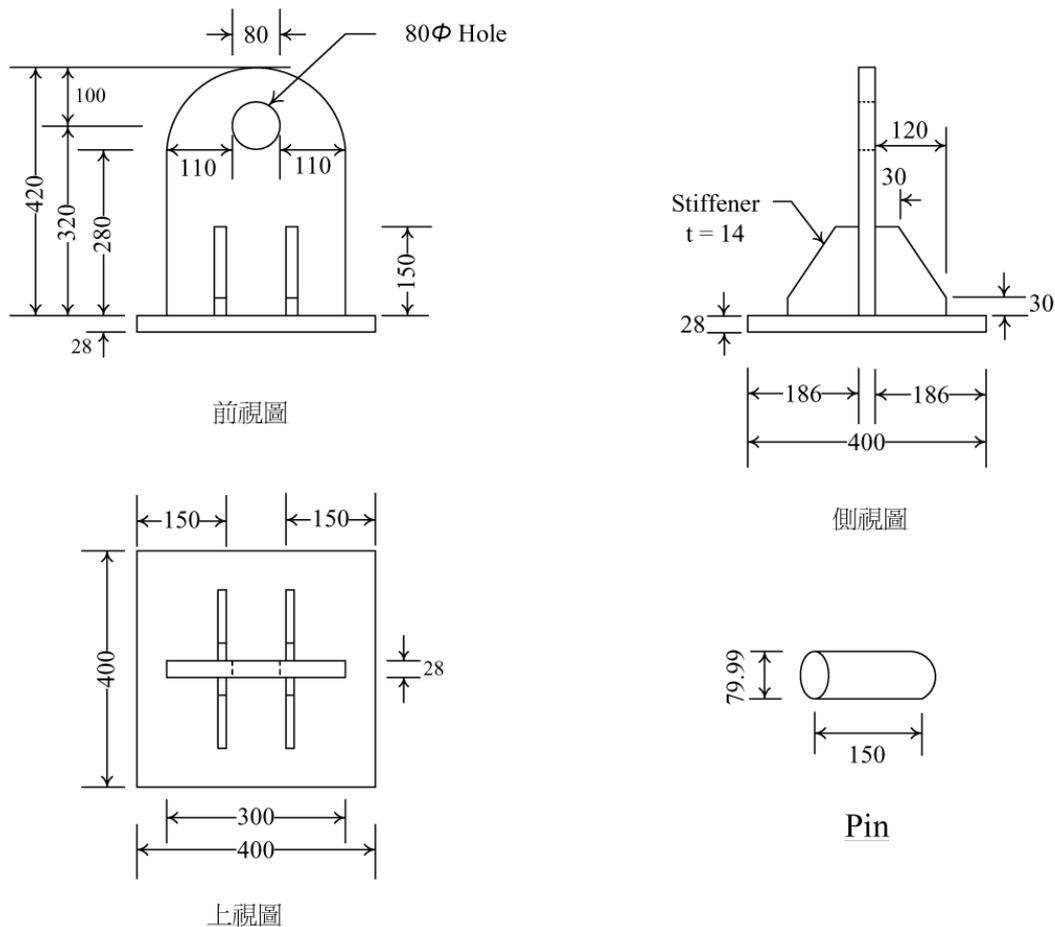


圖 3-11 H 型鋼上部鉸支承細部設計

(資料來源：本研究整理)

第三節 短梁構架設計

短梁構架除了支撐樓版外，尚有加勁作用，減少實驗中整個構架產生扭轉或傾斜，包含上下 2 支短梁與斜撐系統。

短梁採用 RH300×150×6.5×9，長度為 300cm，兩端各以 3 個 $\psi 22$ 螺栓與柱相接合，細部設計如圖 3-12 所示。斜撐系統採用鬆緊器(Turnbuckles)與 $\psi 28$ 螺桿，細部設計如圖 3-13 所示。短梁構架組裝如圖 3-14 所示。

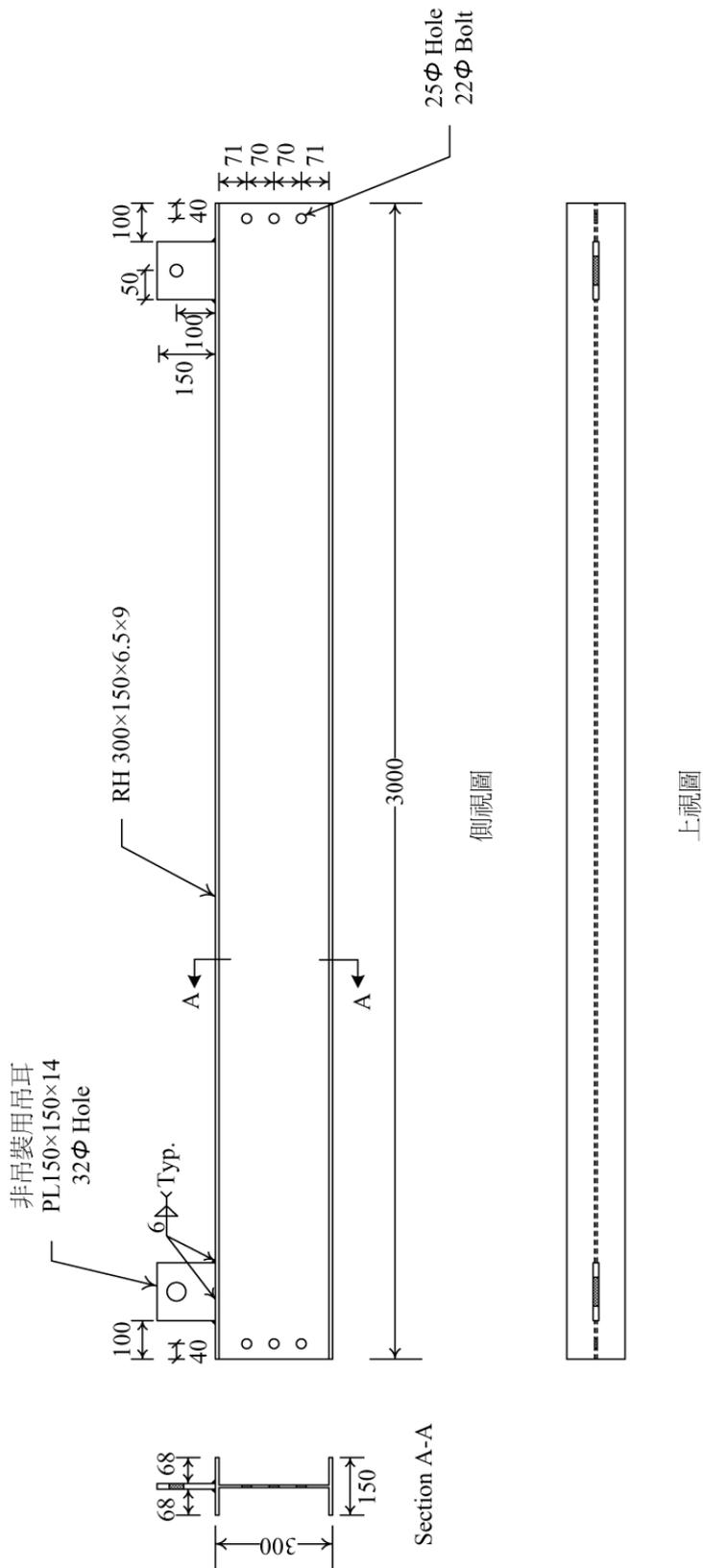


圖 3-12 短梁細部設計

(資料來源：本研究整理)

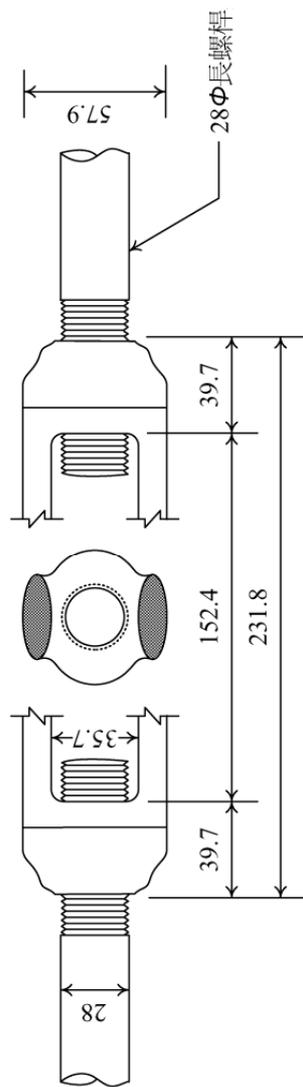


圖1 Turnbuckles 之細部尺寸

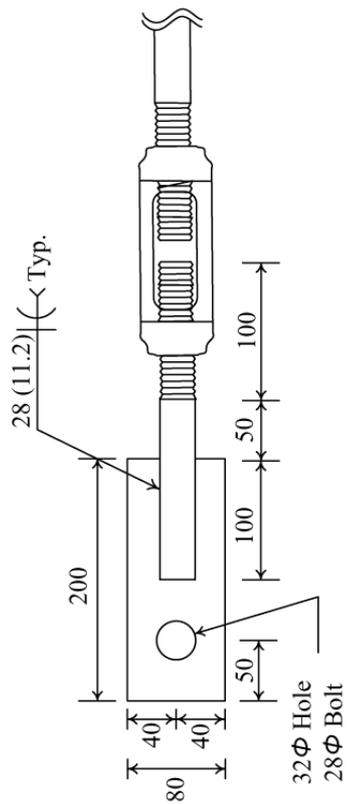


圖2-1 Turnbuckles 與連接板之細部尺寸

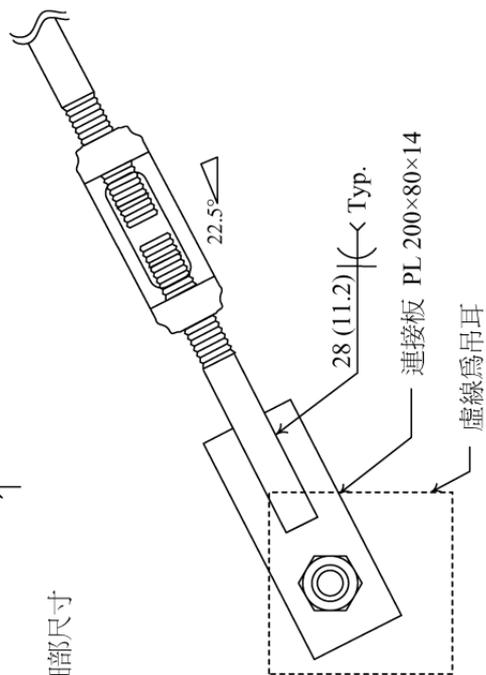


圖2-2 Turnbuckles 與吊耳之接合細部

圖 3-13 鬆緊器(Turnbuckles)細部設計

(資料來源：本研究整理)

第四節 測試梁與樓版設計

本實驗共規劃測試 6 支梁試體，其中 4 支有樓版之作用，2 支為無樓版之作用，故製作 2 組樓版構架與 1 組無樓版之空構架。

為了增加梁抵抗扭轉挫屈能力，除了以斷面性質 DT 判斷外，並以提高測試梁和樓版結合勁度為實驗目標，亦即是測試增加剪力釘與樓版密切結合度對於增加抗扭轉的效果。

實驗共測試 3 組構架，2 組含樓版，1 組為無樓版之空構架。每組構架包括 2 支測試梁，共 6 支梁，其尺寸皆為 $630 \times 200 \times 14 \times 28$ ，梁之規劃分述如下。

1. BM-CC：梁端有切削設計，梁腹設加勁板，採用 RC 樓版，上翼板設剪力釘，無傳統側支撐，細部設計如圖 3-15 所示。
2. BM-CCLB：梁端有切削設計，梁腹設加勁板，採用 RC 樓版，上翼板設剪力釘，有傳統側支撐，梁細部設計如圖 3-16 所示，傳統側支撐細部設計如圖 3-17 所示。
3. BM-CCTS：梁端有切削設計，梁腹設加勁板，採用 RC 樓版，上翼板設剪力釘並加焊補強板，無傳統側支撐，細部設計如圖 3-18 所示。
4. BM-EGLS：梁端有切削設計，梁腹設加勁板，採用 RC 樓版，上翼板設剪力釘並加焊 L 型補強板（永峻公司設計），無傳統側支撐，細部設計如圖 3-19 所示。
5. BM-NN-1：梁端無切削設計，梁腹無加勁板，無 RC 樓版，上翼板設剪力釘，無傳統側支撐，細部設計如圖 3-20 所示。
6. BM-NN-2：梁端有切削設計，梁腹無加勁板，無 RC 樓版，上翼板設剪力釘，無傳統側支撐，細部設計如圖 3-20 所示。

測試梁兩端加焊端板，如圖 3-21 所示，以與柱接合，不過與 H 型柱連接時還需加一鉸支承，細部設計如圖 3-22 所示。另外，梁吊耳、補強板與切削區細部設計如圖 3-23 所示。

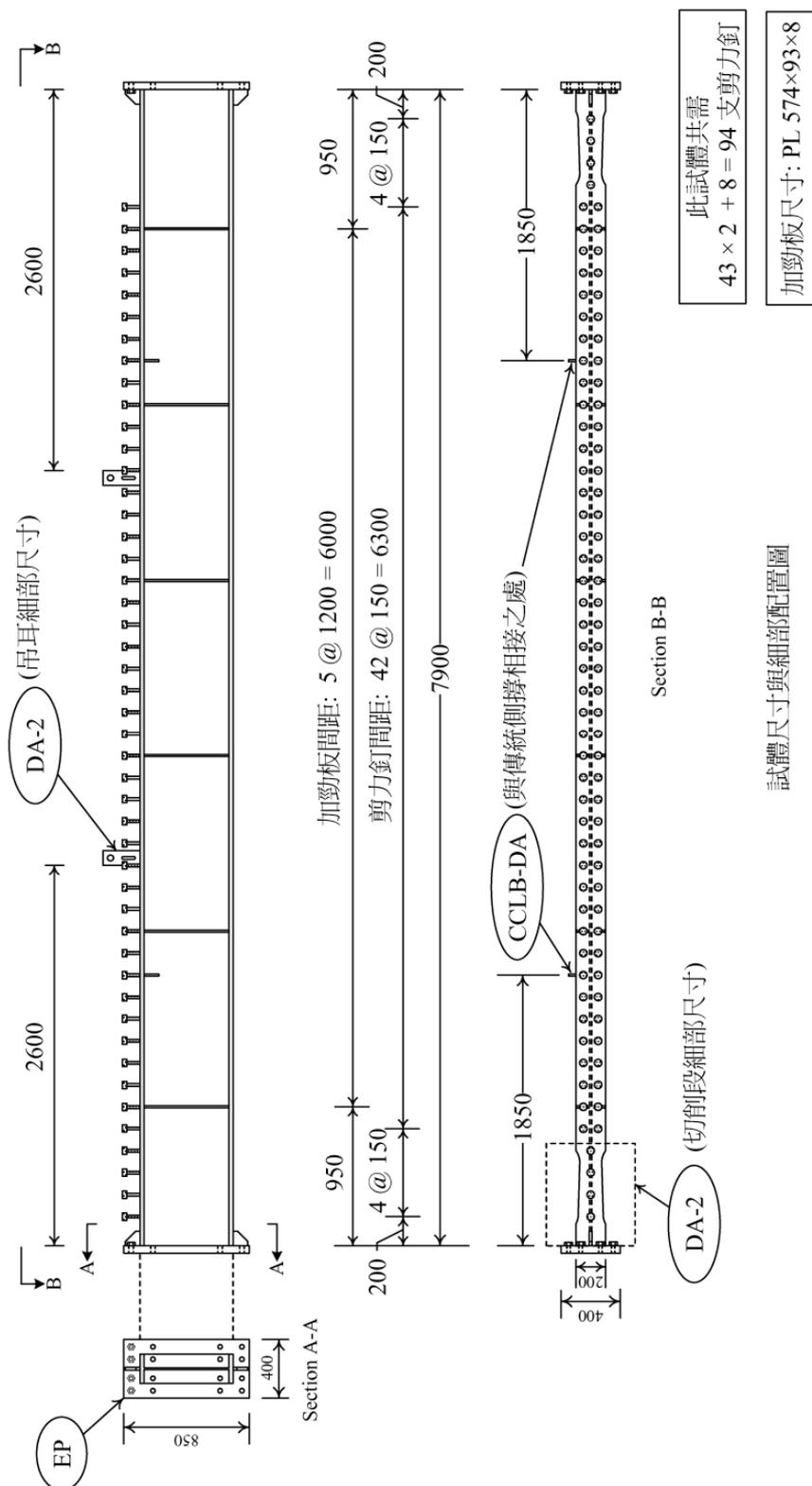


圖 3-15 測試梁 CC 細部設計

(資料來源：本研究整理)

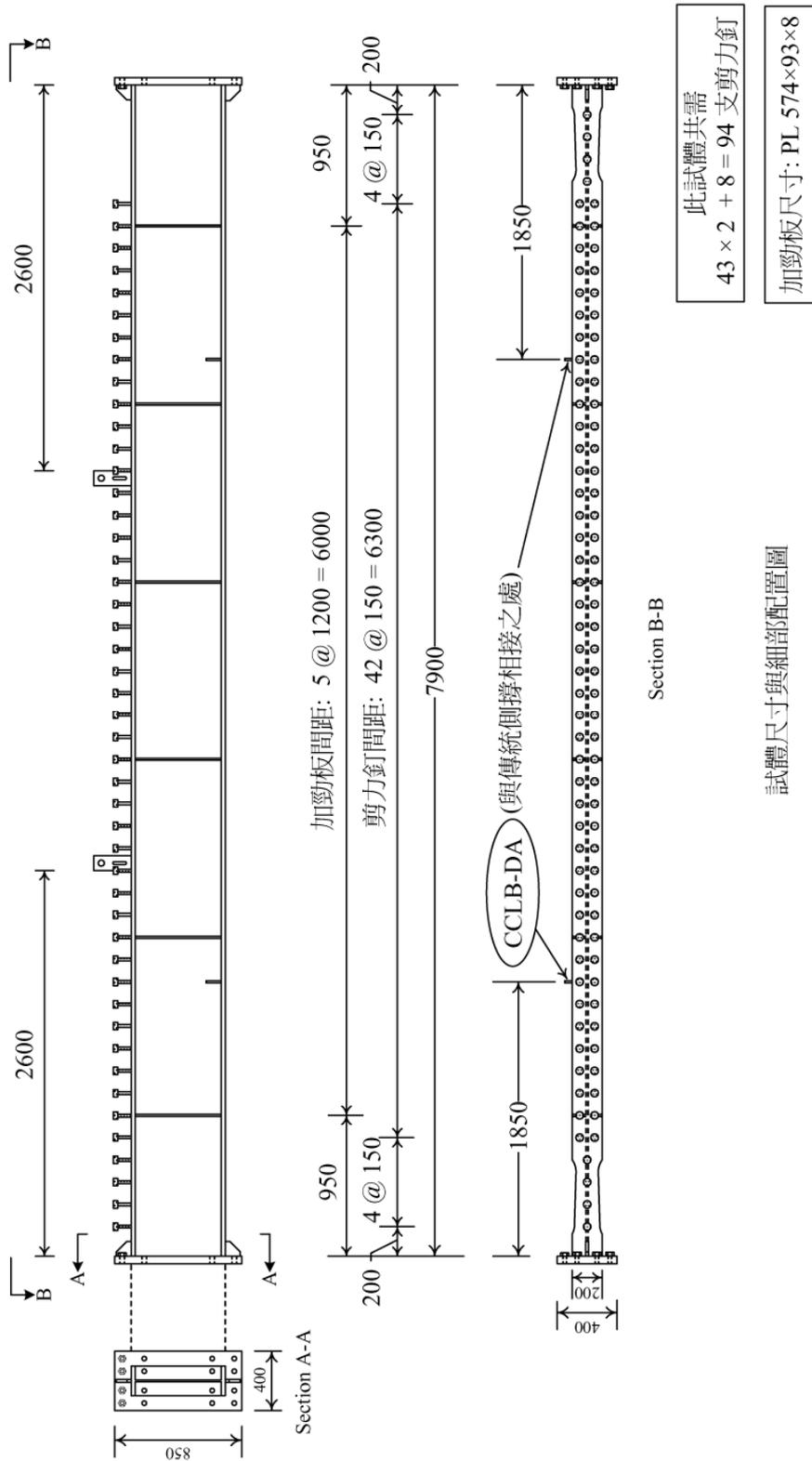
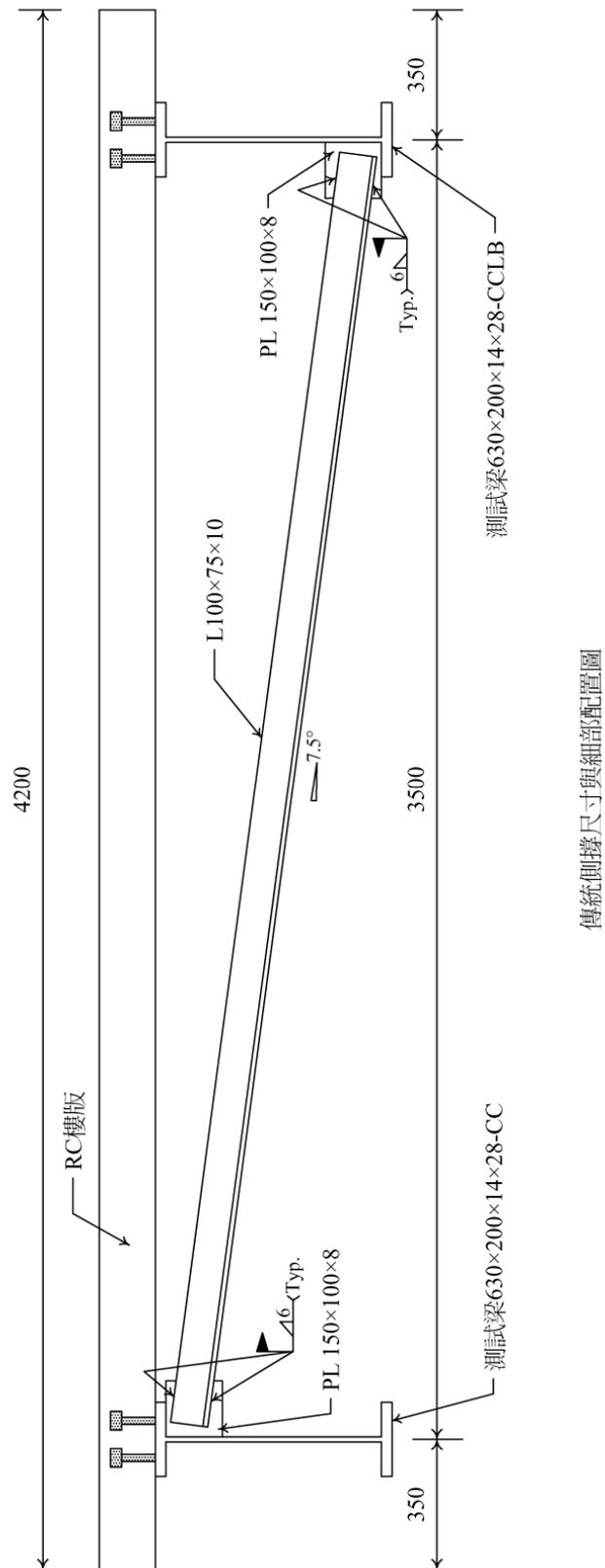


圖 3-16 測試梁 CCLB 細部設計

(資料來源：本研究整理)



傳統側撐尺寸與細部配置圖

圖 3-17 傳統測支撐細部設計

(資料來源：本研究整理)

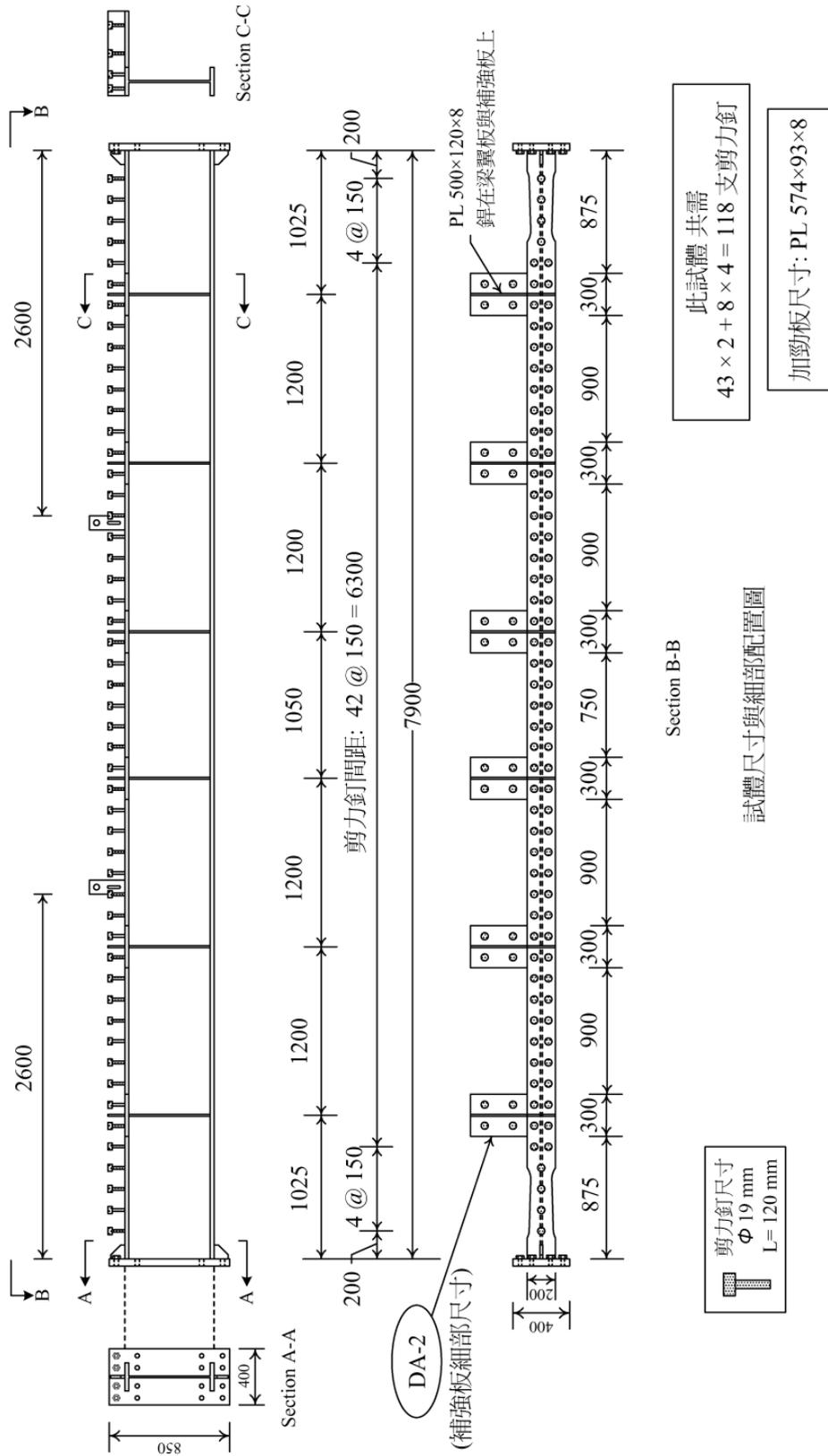


圖 3-18 測試梁 CCPS 細部設計

(資料來源：本研究整理)

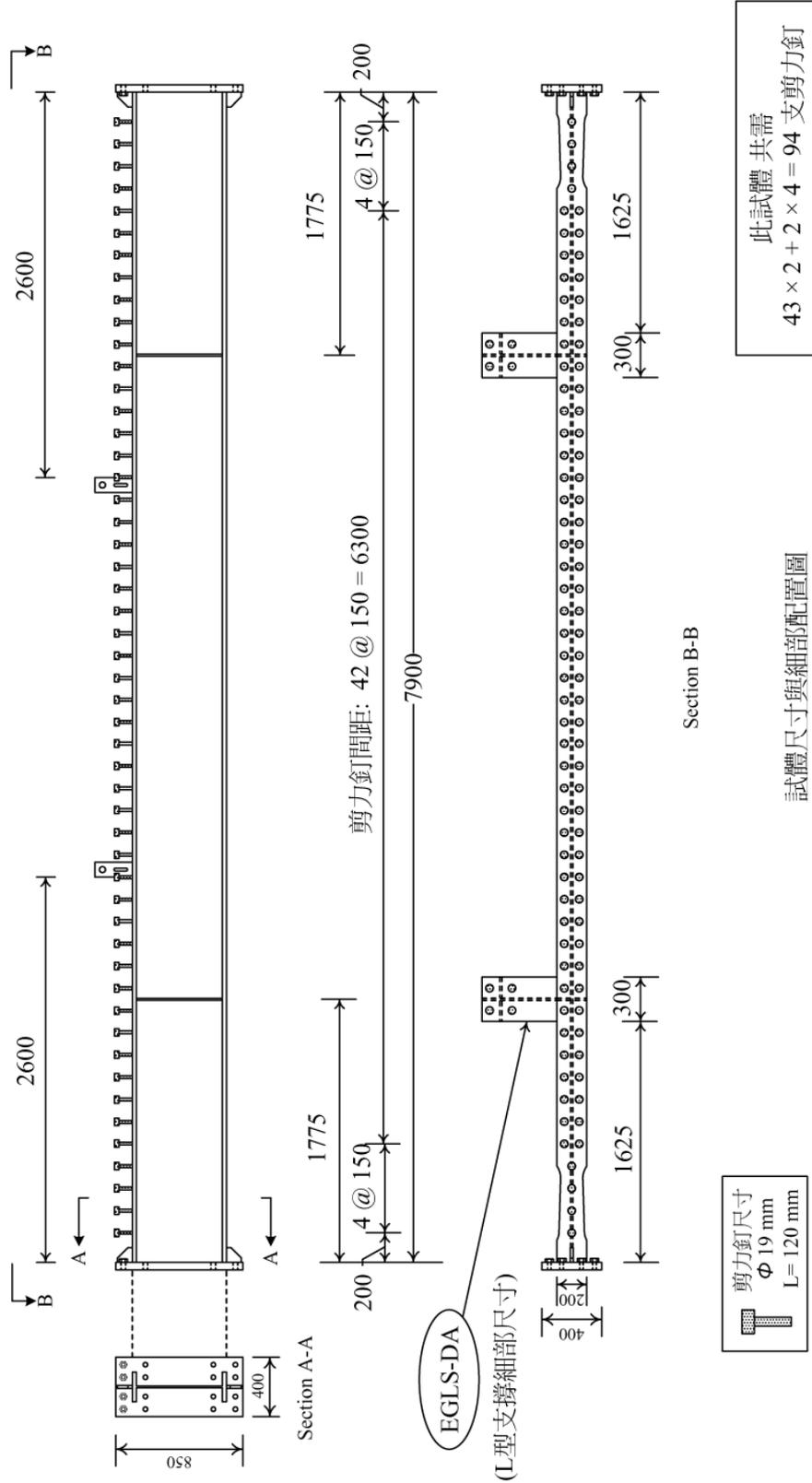


圖 3-19 測試梁 EGLS 細部設計

(資料來源：本研究整理)

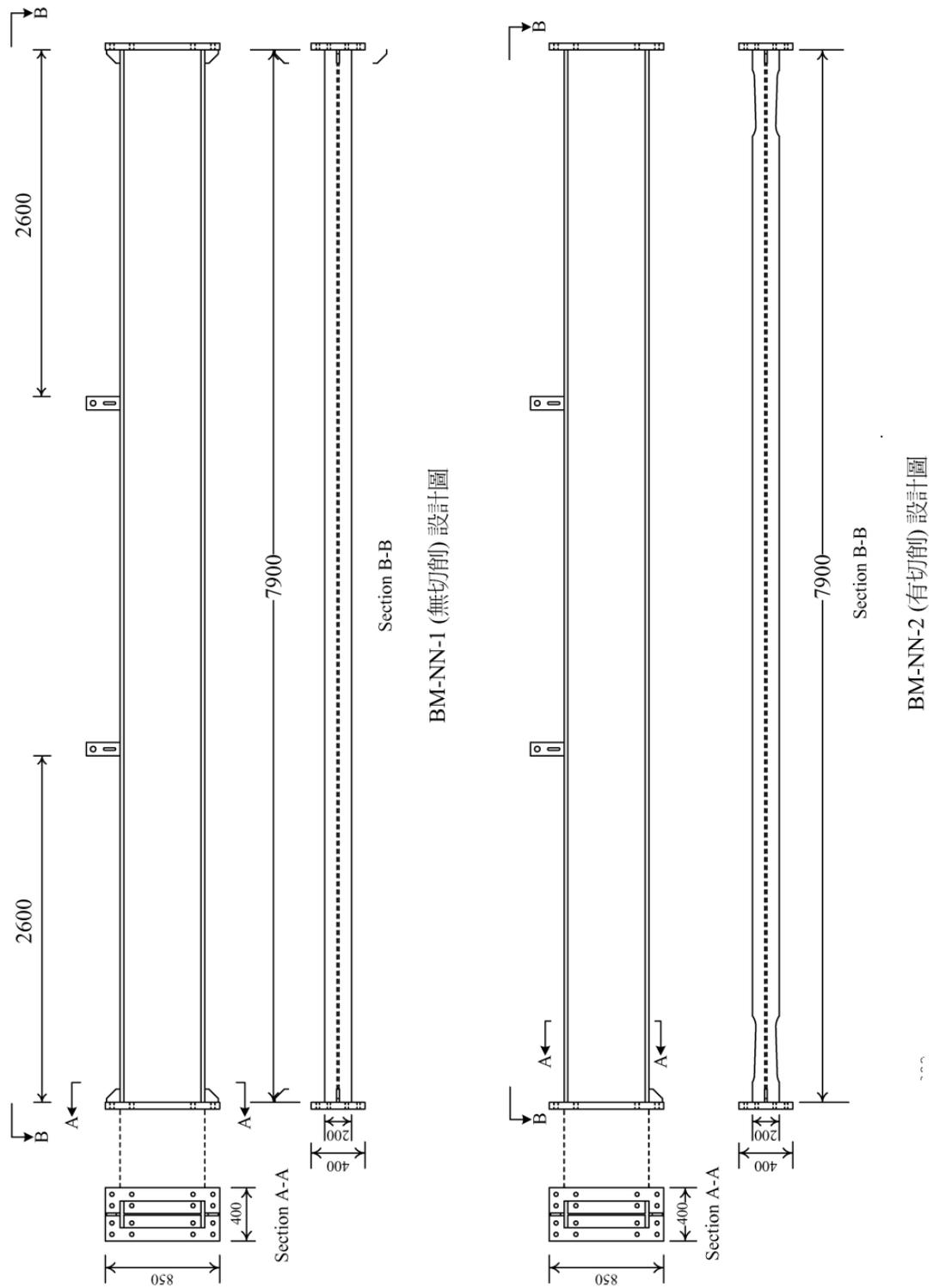


圖 3-20 測試梁 NN-1 與 NN-2 細部設計

(資料來源：本研究整理)

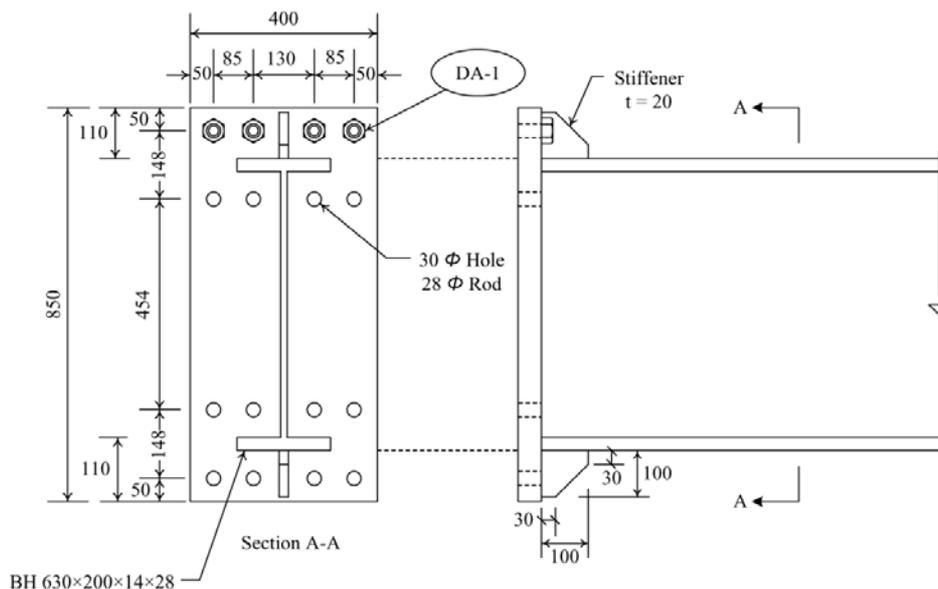


圖 3-21 測試梁之端板細部設計

(資料來源：本研究整理)

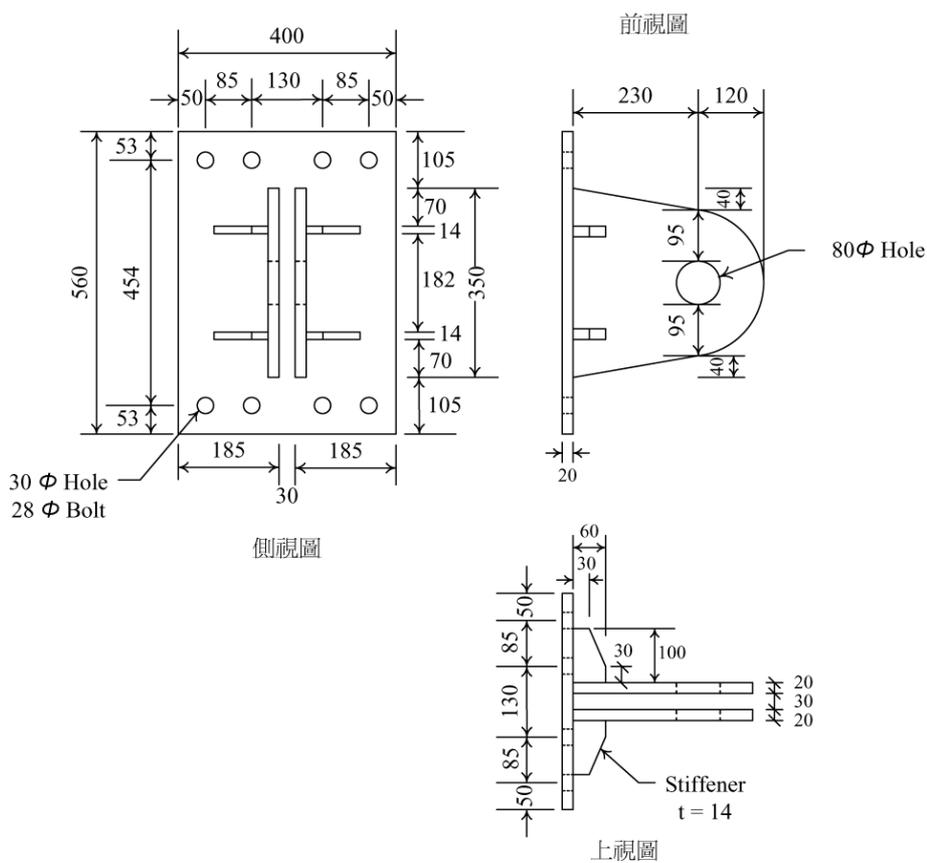
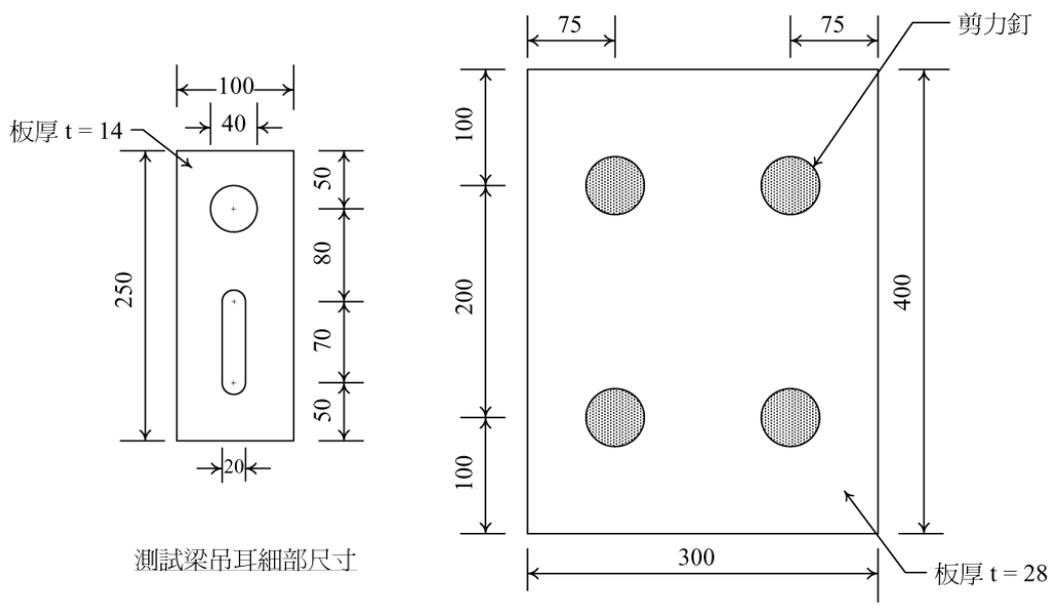


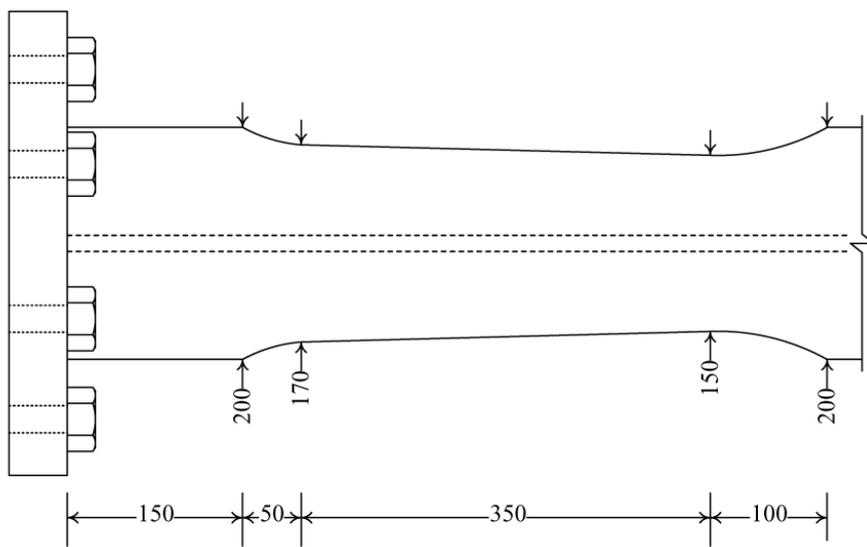
圖 3-22 測試梁端與 H 型鋼柱連接用鉸支承細部設計

(資料來源：本研究整理)



測試梁吊耳細部尺寸

測試梁補強板之細部尺寸



測試梁切割區細部尺寸

圖 3-23 測試梁吊耳、切割區與補強板細部設計

(資料來源：本研究整理)

本實驗之樓版採用 15 cm 混凝土版，其抗壓強度設計為 280 kgf/cm^2 。樓版尺寸為 $7.9\text{m} \times 4.2\text{m}$ ，配筋細部如圖 3-20 與圖 3-21 所示。

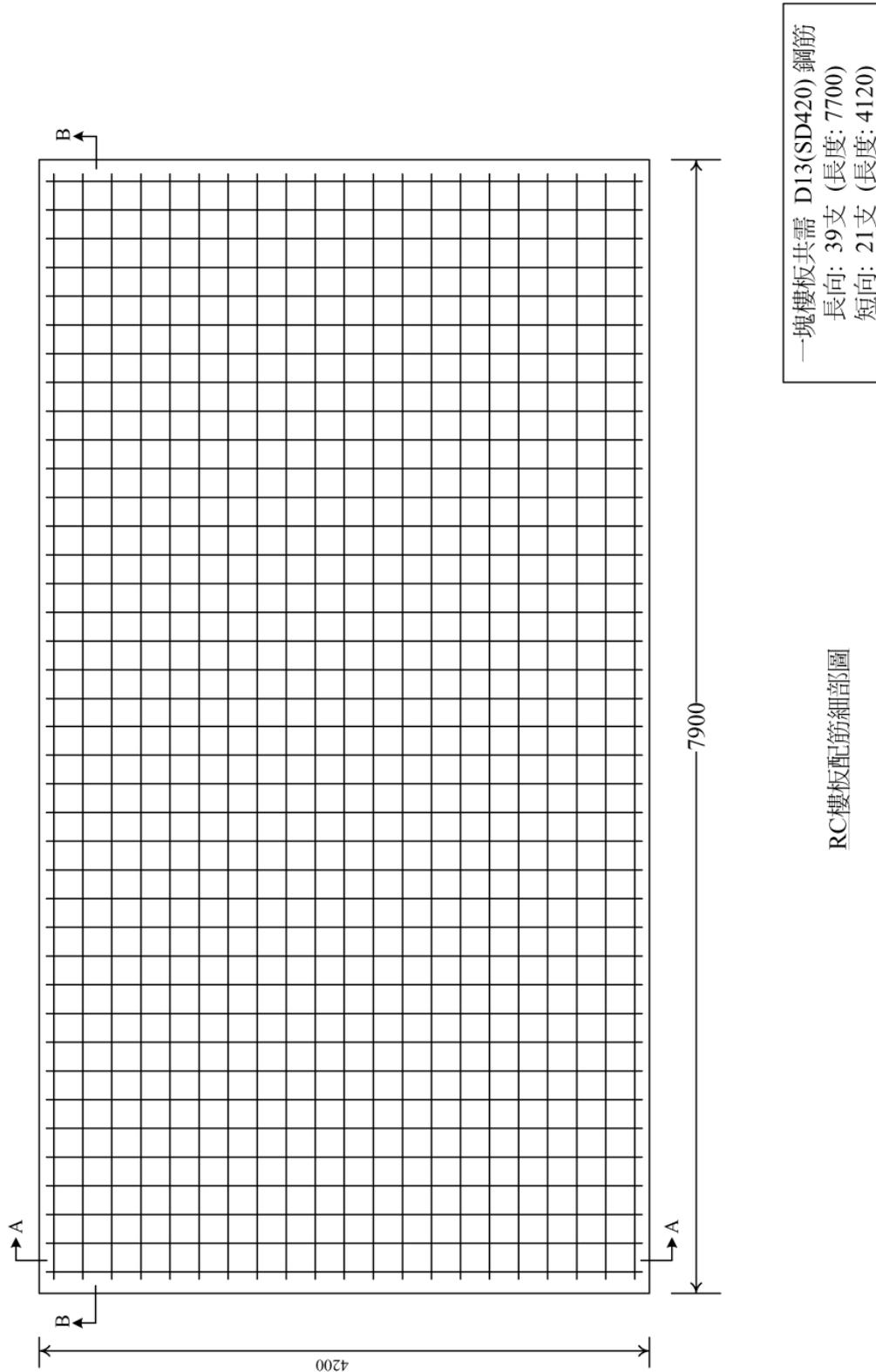
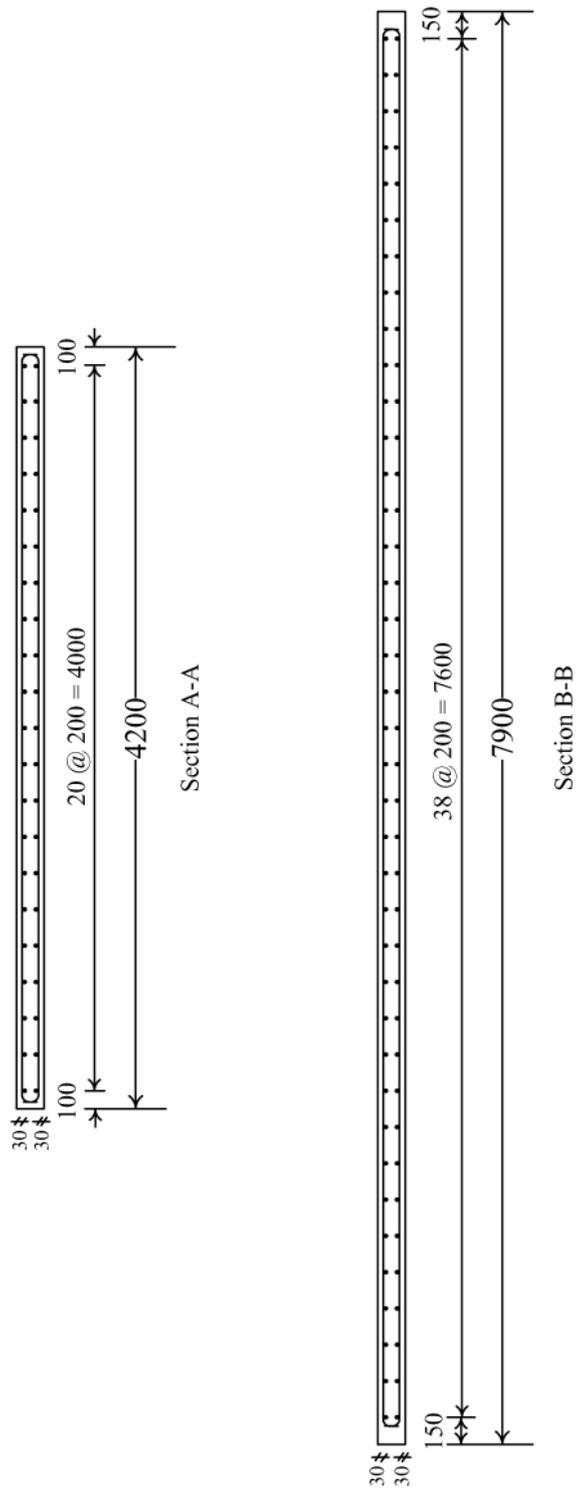


圖 3-24 RC 樓版配筋細部設計-1

(資料來源：本研究整理)



RC樓板配筋細部圖

圖 3-25 RC 樓版配筋細部設計-2

(資料來源：本研究整理)

第四章 實驗結果

第一節 材料性質

一、混凝土圓柱試體抗壓試驗：

混凝土圓柱試體抗壓試驗結果如表 4.1 所示，共四次測試，每次測試 2-3 個試體，平均強度為 35.99 MPa。

表 4.1 混凝土圓柱試體抗壓強度表

試體數	養護天數	強度 (kg/cm ²)	平均強度(kg/cm ²)	平均強度(MPa)
3	21	298.167 324.752 324.261	315.73	30.94
3	35	400.684 397.545 357.714	385.31	37.76
3	42	389.795 360.461 400.684	383.65	37.60
2	49	398.133 370.468	384.30	37.66
總平均			367.25	35.99

(資料來源：本研究整理)

二、鋼材料拉伸試驗：

鋼材料拉伸試驗結果如表 4.2 所示，共測試 2 支試體，平均降伏強度為 343 MPa，極限破壞強度為 505 MPa。

表 4.2 鋼材料拉伸實驗強度

試體厚度 (mm)	降伏應力(MPa)	極限應力(MPa)
14	336	504
28	349	505
平均	343	505

(資料來源：本研究整理)

第二節 實驗設置

實驗設置如圖 4.1 所示，位移計與應變計設置如圖 4.2 所示，L1 與 L2 裝設於柱上方與梁中心線之位置，為量測梁與樓板於受力方向之位移，D1-D2 設置於柱上方側向與梁中心線之處，為量測柱之側向位移。D3-D6 設置於梁之上下翼板，為量測梁之旋轉變形，其設置位置 L 則因梁之設計不同而有差異，如表 4.3 所示。



圖 4.1 實驗設置

(資料來源：本研究整理)

表 4.3 梁側向位移計裝設位置 L

測試梁	與梁端點距離 L (mm)
BM-CC	1000
BM-CC-LS	1000
BM-CC-EGLS	1100
BM-CC-TS	900
BM-NN-C	2200
BM-NN-U	2200

(資料來源：本研究整理)

Test setup (North view)

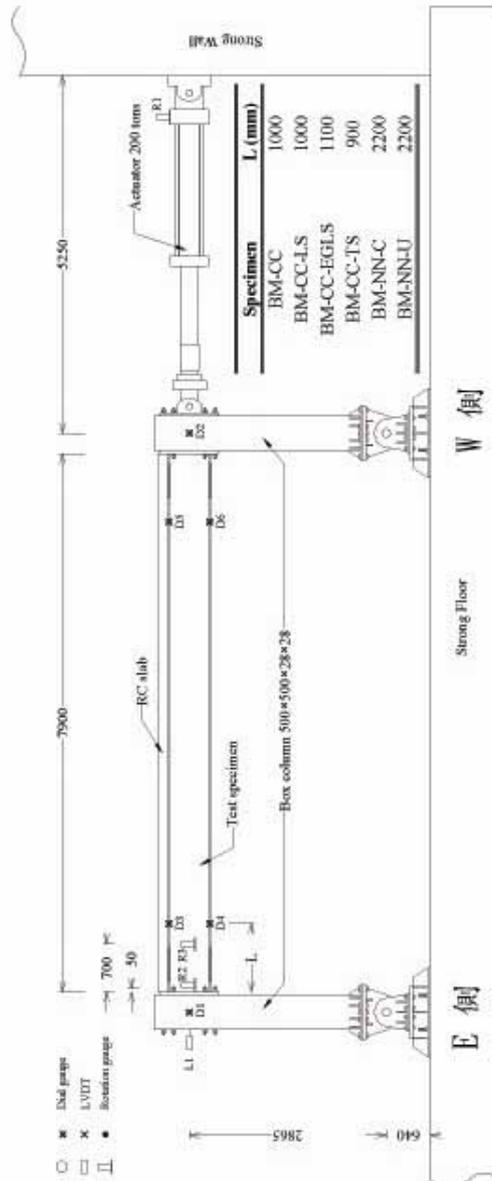


圖 4.2 位移計與應變計裝設位置圖

(方向：W 側為 200 萬能試驗機施力側，另一側為 E 側)

(資料來源：本研究整理)

第三節 實驗加載歷時

實驗加載歷時如表 4.4 與圖 4.5 所示，加載迴圈數依照 AISC-2005 梁柱接頭規定預計實驗至 8%層間變位角，或至試體破壞為止，層間變位角為水平位移與樓層高度($h = 2865 \text{ mm}$)的比值。

表 4.4 實驗加載歷時

層間變位角 (%)	實驗迴圈數	位移 (mm)
0.375	6	10.74
0.5	6	14.33
0.75	6	21.49
1.0	4	28.65
1.5	2	42.98
2.0	2	57.30
3.0	2	85.95
4.0	2	114.6
5.0	2	143.3
6.0	2	171.9
7.0	2	200.6
8.0	2	229.2

(資料來源：本研究整理)

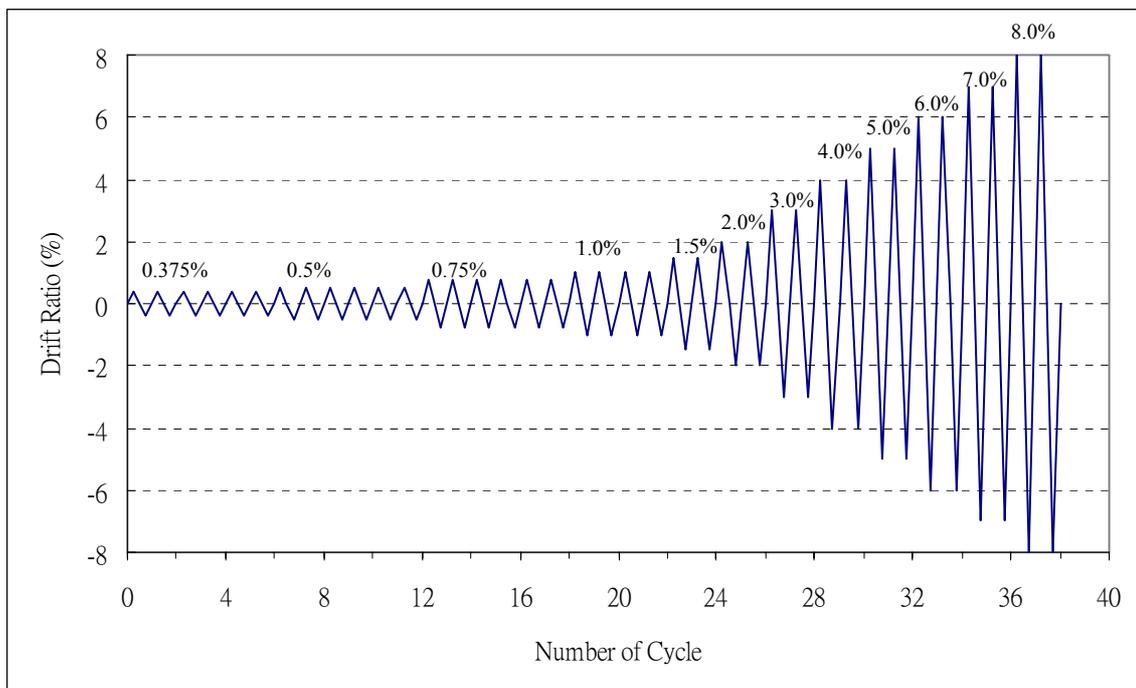


圖 4.3 實驗加載歷時圖 (資料來源：本研究整理)

第四節 實驗結果

實驗觀察是以梁的降伏位置及不穩定情況，包括梁之局部挫屈及側向扭轉挫屈，樓板與梁間之互制行為，包括二者分離及混凝土碎裂，與梁之破壞情形等。

梁之遲滯迴圈圖如圖 4.4-4.9 所示，其中縱座標為水平推力，橫座標為水平位移計量測的位移。

有關梁之塑性彎矩 M_p 則以梁轉角變形達 0.03 弧度時，亦即構架之層間變位達 3% 所得之彎矩，將彎矩除以 M_p 正規化後，可得梁彎矩對轉角之包絡線圖，如圖 4-10-4.13 所示。

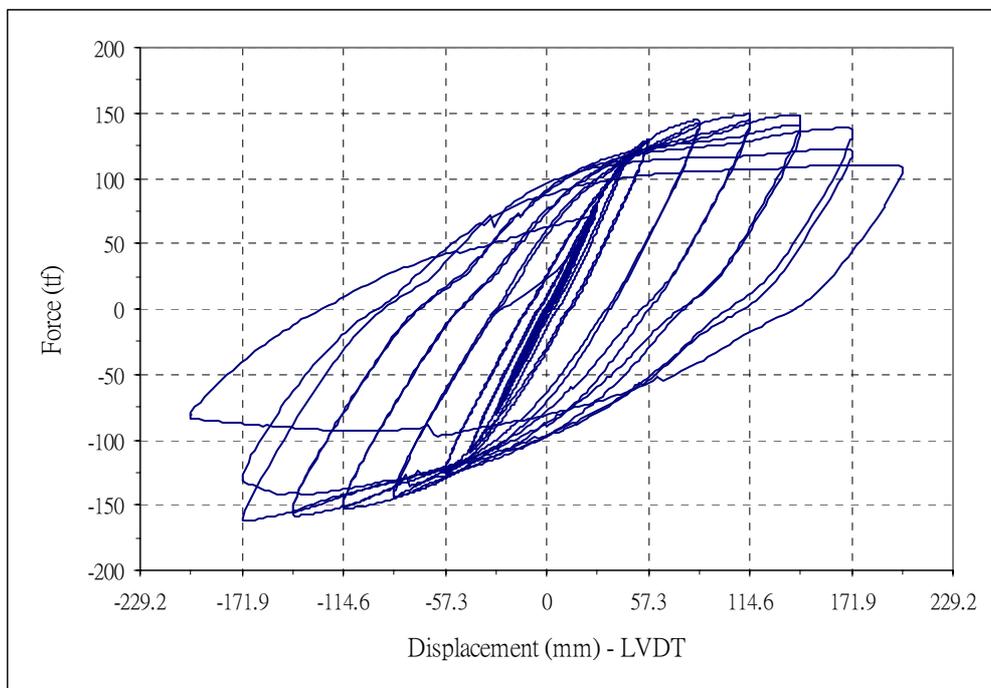


圖 4.4 梁 BM-CC 遲滯迴圈

(資料來源：本研究整理)

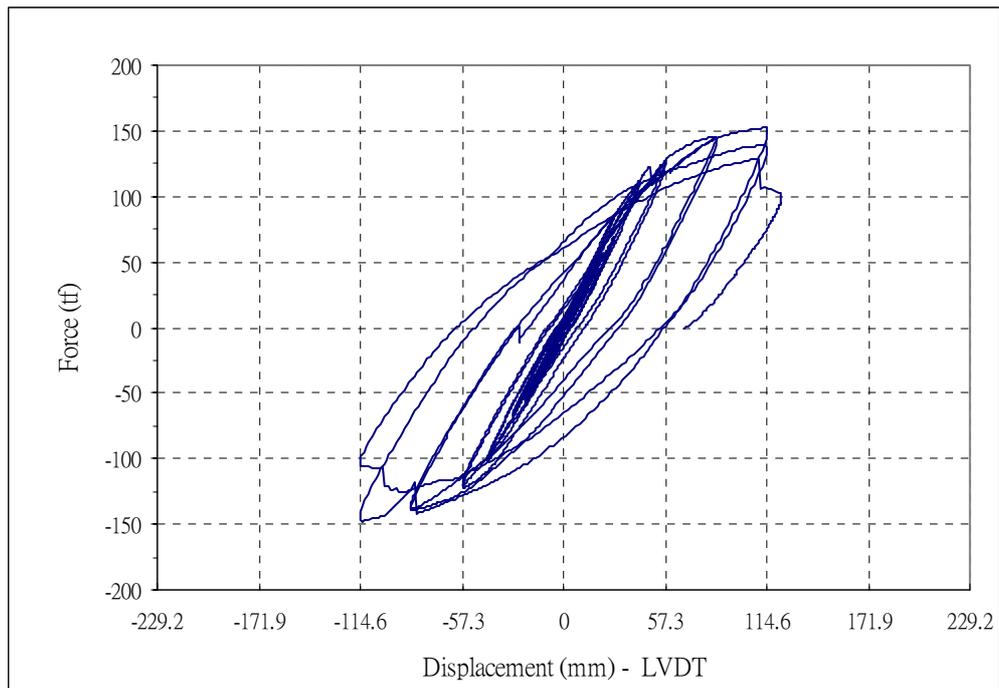


圖 4.5 梁 BM-CC-LS 遲滯迴圈

(資料來源：本研究整理)

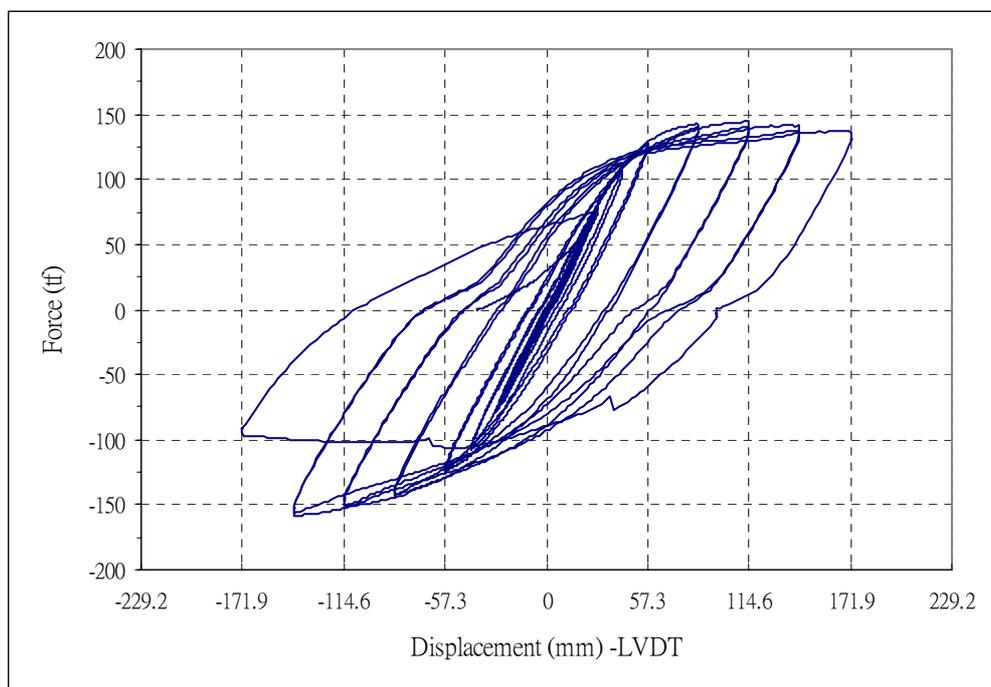


圖 4.6 梁 BM-EGLS 遲滯迴圈

(資料來源：本研究整理)

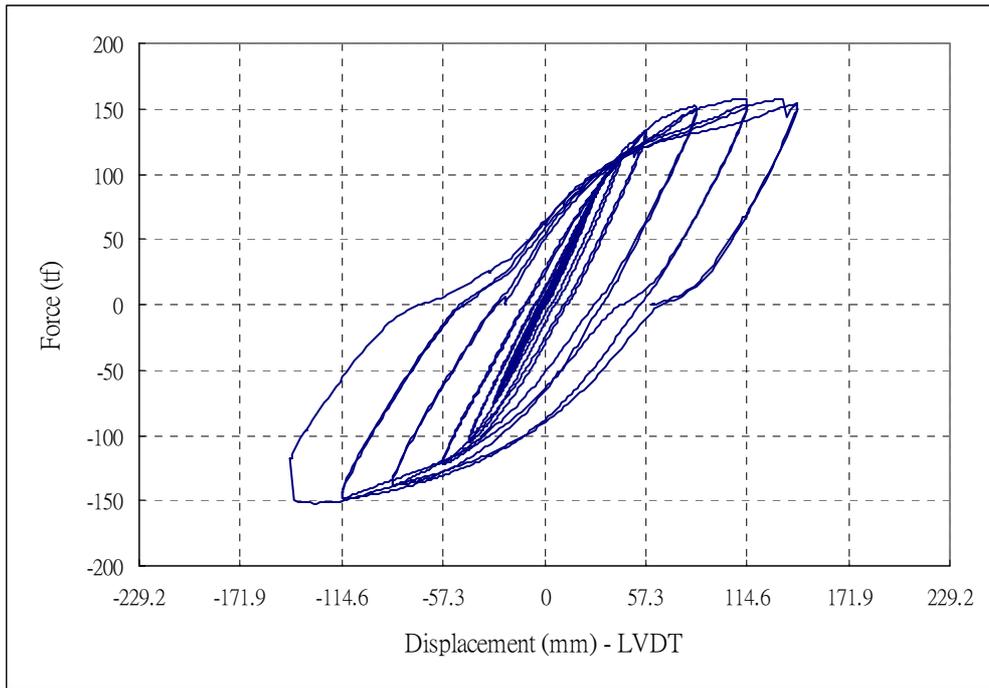


圖 4.7 梁 BM-CCTS 遲滯迴圈

(資料來源：本研究整理)

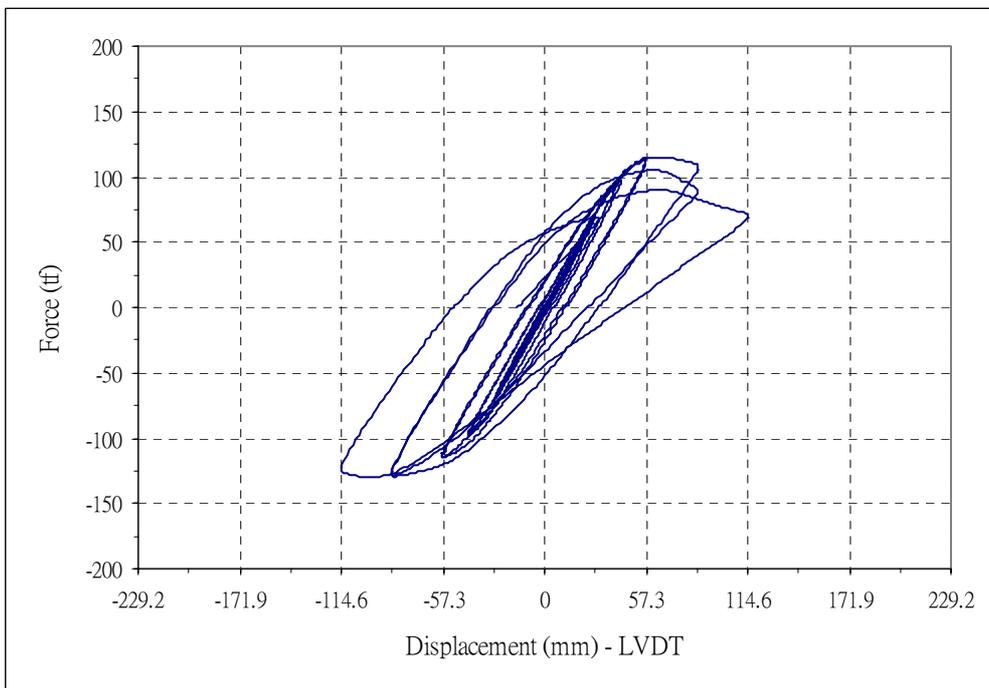


圖 4.8 梁 BM-NNC 遲滯迴圈

(資料來源：本研究整理)

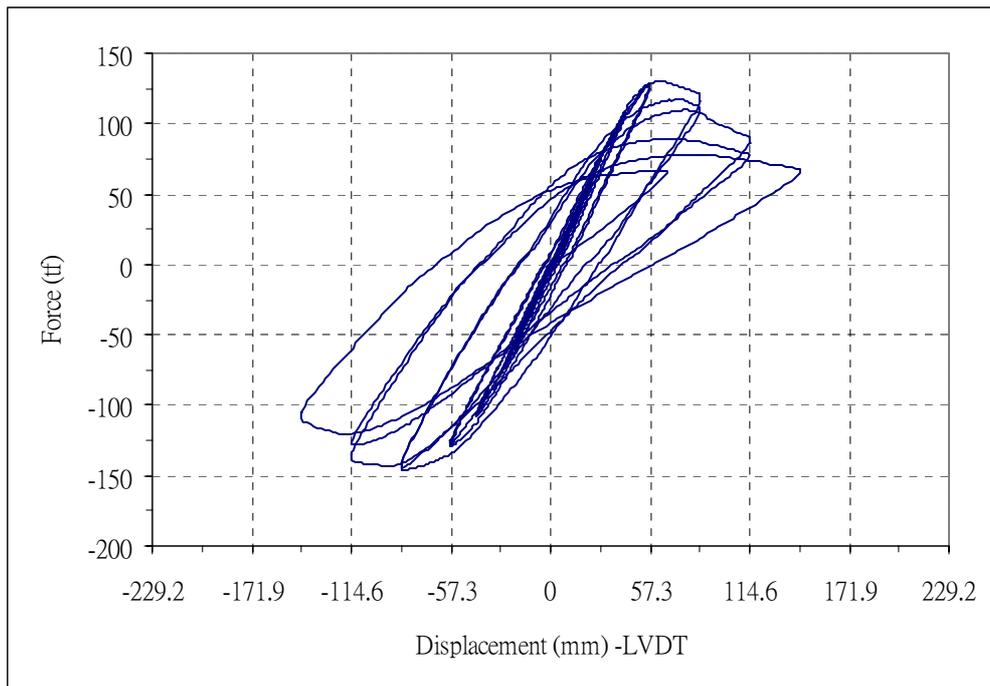


圖 4.9 梁 BM-NNU 遲滯迴圈

(資料來源：本研究整理)

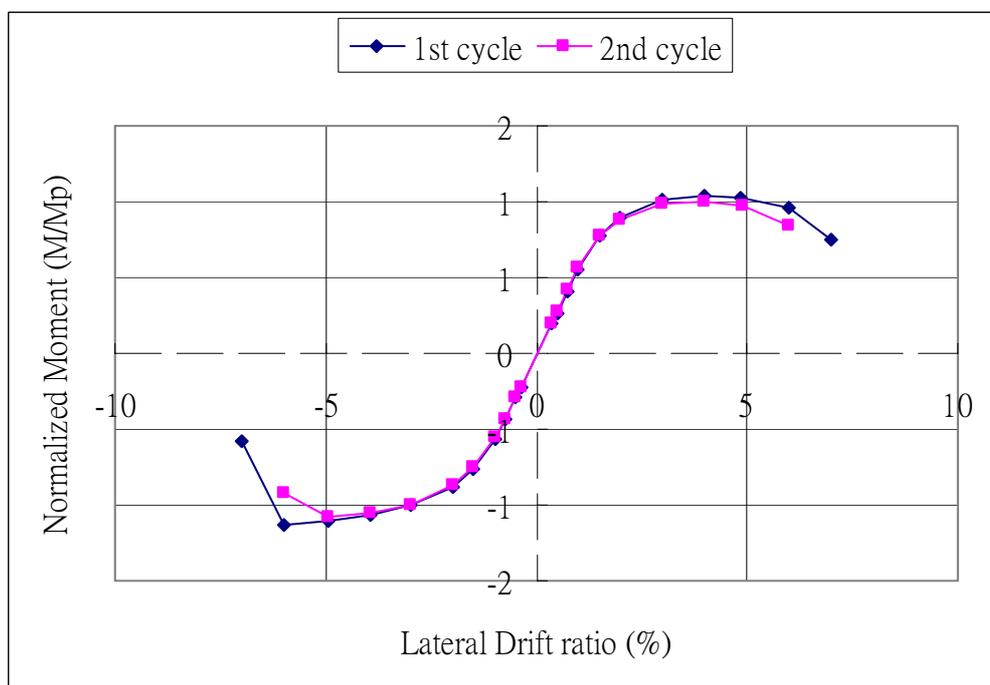


圖 4.10 梁 BM-CC 之包絡線圖

(資料來源：本研究整理)

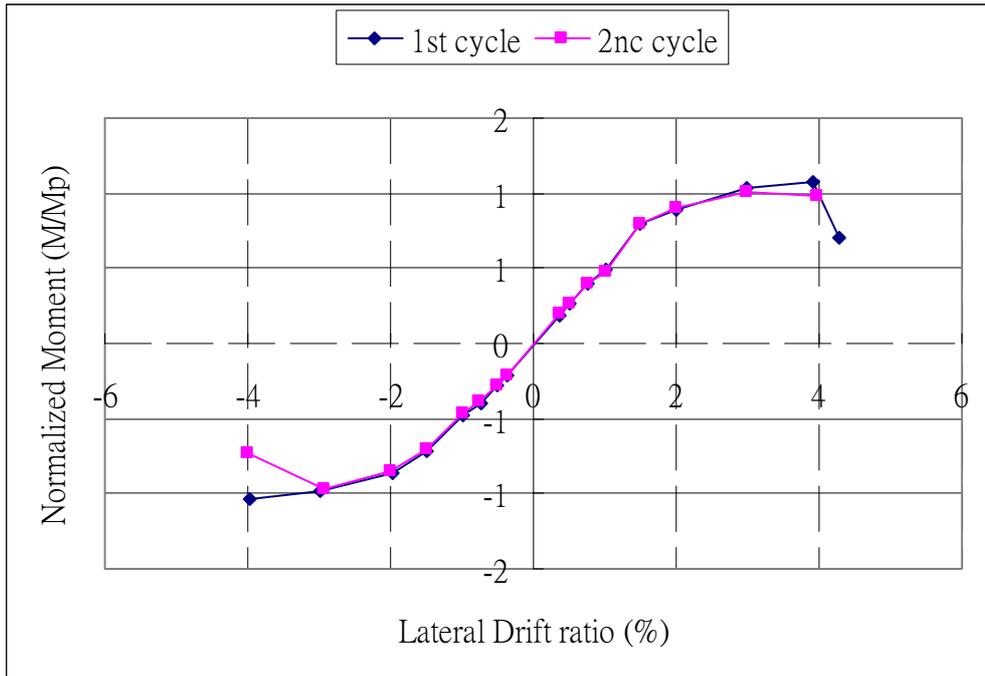


圖 4.11 梁 BM-CC-LS 之包絡線圖

(資料來源：本研究整理)

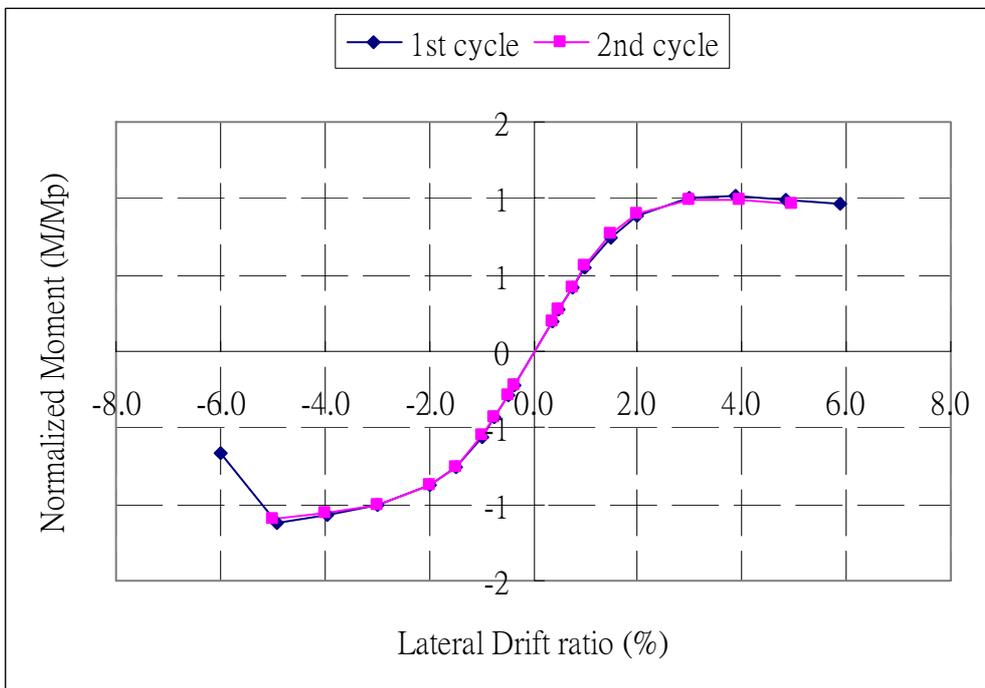


圖 4.12 梁 BM-CC-EGLS 之包絡線圖

(資料來源：本研究整理)

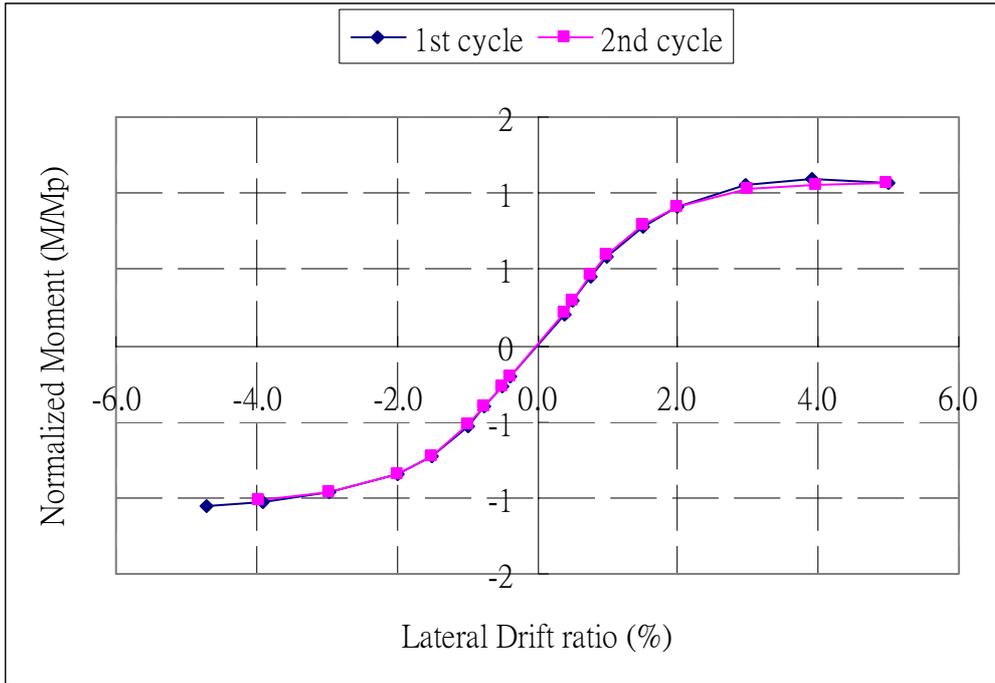


圖 4.13 梁 BM-CCTS 之包絡線圖

(資料來源：本研究整理)

一、梁 BM-CC-LS

試體 BM-CC-LS 初始降伏線於層間變位角達 0.5 % 時，出現於梁腹板，4 % 時 E 側梁腹板於距端點 30-40cm，下翼板切削段上面 5-25cm 處發生局部挫屈，如圖 4-14，5 % 時梁下翼板局部挫屈且有側向扭轉挫屈發生，如圖 4-15。

樓板於層間變位角達 1 % 時端點底部產生裂痕，2 % 時樓板與梁於端板處分離，3 % 時與梁端分離長度約 20cm，4 % 時已達約 60cm，至 5 % 兩端樓板混凝土碎裂掉落。

實驗第 30 圈層間變位角達 4 % 時，兩端梁下翼板與端板間鉚道破裂，如圖 4-16，5 % 時力量下降至 85 % 以下，實驗停止。



圖 4-14 梁 BM-CC-LS 局部挫屈

(資料來源：本研究整理)



圖 4-15 梁 BM-CC-LS 側向扭轉挫屈

(資料來源：本研究整理)



圖 4-16 梁 BM-CC-LS 下翼板與端板間鐸道破裂

(資料來源：本研究整理)

二、梁 BM-CC

試體 BM-CC 初始降伏線於層間變位角達 0.75 % 時，出現於梁下翼板，3 % 時 E 側梁腹板於距端點 20-40cm，下翼板切削段上面 10-25cm 處發生局部挫屈，且有側向扭轉挫屈發生，至 7% 試體已嚴重扭曲，如圖 4-17。

樓板於層間變位角達 1.5 % 時樓板與梁於端板處分離，2 % 時與梁端分離長度約 40cm，4 % 時已達約 70cm 且端點已嚴重開裂，如圖 4-18 所示。

實驗第 33 圈層間變位角達 6 % 時，兩端梁下翼板破裂，如圖 4-19，至第 34 圈時梁裂縫向內延伸至約 2/3 下翼板寬度但尚未完全斷裂，力量下降至 85 % 以下，實驗停止。



圖 4-17 梁 BM-CC 側向扭轉挫屈

(資料來源：本研究整理)



圖 4-18 梁 BM-CC 端點混凝土開裂

(資料來源：本研究整理)



圖 4-19 梁 BM-CC 下翼板破裂

(資料來源：本研究整理)

三、梁 BM-EG-LS

試體 BM-EG-LS 初始降伏線於層間變位角達 0.75 % 時，出現於梁下翼板，3 % 時 E 側梁腹板於距端點 25-50cm，E 側下翼板切削段上面 10-25cm 處發生局部挫屈，至 4 % 梁下翼板發生側向扭轉挫屈，如圖 4-20，至 5 % W 側上翼板發生局部挫屈。

樓板於層間變位角達 1.5 % 時樓板與梁於端板處分離，2 % 時與梁端分離長度約 70cm，至 5 % 時有斜裂縫，6 % 裂縫擴大，如圖 4-21。

實驗第 33 圈層間變位角達 6 % 時，E 側梁下翼板於 55cm 斷裂且向上延伸至腹板 25cm 處，如圖，力量下降至 85 % 以下，實驗停止。



圖 4-20 梁 BM-EGLS 側向扭轉挫屈

(資料來源：本研究整理)



圖 4-21 梁 BM-EGLS 樓板開裂

(資料來源：本研究整理)



圖 4-22 梁 BM-EGLS 端點混凝土開裂

(資料來源：本研究整理)



圖 4-23 梁 BM-EGLS 下翼板開裂且向上延伸至腹板

(資料來源：本研究整理)

四、梁 BM-CC-TS

試體 BM-CC-TS 初始降伏線於層間變位角達 0.75 % 時，出現於梁下翼板，4 % 時 E 側梁腹板於距端點 25-35cm，E 側下翼板切削段上面 15-25cm 處發生局部挫屈，如圖 4-24 所示，至 4 % 梁下翼板發生側向扭轉挫屈，至 5 % 兩側下翼板皆發生扭轉挫屈。

樓板於層間變位角達 1.5 % 時樓板與梁於端板處分離，2 % 時與梁端分離長度約 70cm。

實驗第 31 圈層間變位角達 5 % 時，E 側梁端板螺栓斷裂，力量下降至 85 % 以下，實驗停止。



圖 4-24 梁 BM-CC-TS 腹板局部挫屈

(資料來源：本研究整理)

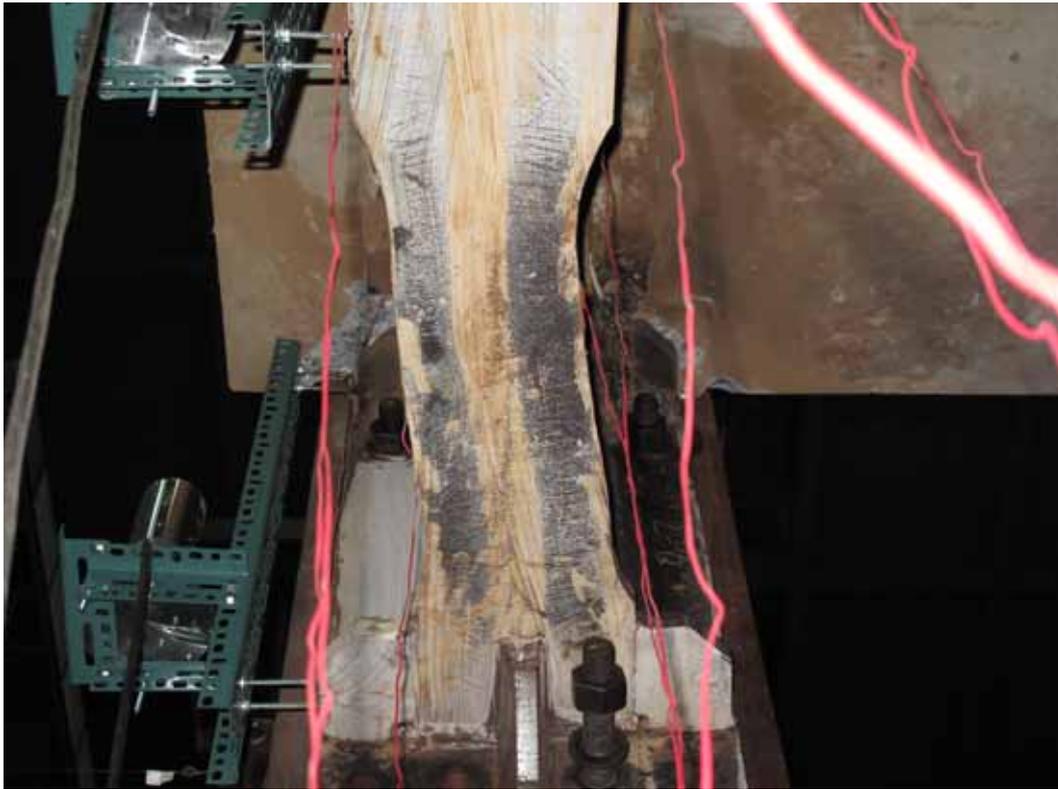


圖 4-25 梁 BM-CC-TS 側向扭轉挫屈

(資料來源：本研究整理)

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究以有限元素分析並做全尺寸抗彎樓版構架實驗，結論如下：

1. 本研究應用有限元素分析影響鋼梁韌性行為之參數所得塑性轉角評估公式，可供工程師於設計時之參考。
2. 有線元素分析模型中之防挫屈裝置，係假設 RC 樓板與鋼梁上翼板完全剛性接合，並未考慮接合面之間的接合勁度。而實際上鋼梁、RC 樓板與接合面之接合勁度（剪力釘）三者分別具有扭轉勁度，且以串聯型式接合，建議未來對接合面之間的接合勁度再規劃相關實驗，探求接合面採用如剪力釘方式所能提供之扭轉勁度。
3. 實心混凝土樓板可提升梁之穩定性，對於其局部挫屈與側向扭轉挫屈之防制皆有顯著作用。至於樓板的厚度、配筋型式、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等因素，跟梁與樓板間之接合勁度相關，惟此部分影響因素較多，未來進行相關實驗須審慎規劃。
4. 本研究案主要探討實心混凝土樓板，對於梁穩定度之影響，因為實驗進行困難度大及經費需求較高，試體數量不多，待研究有一定成果後，再進行鋼承板之研究。
5. 使用側向支撐或補強整體斷面，皆可提升鋼梁扭轉勁度，對於梁之穩定度有相當之助益，惟部分實驗因梁柱接頭螺桿已達降伏，至梁端板與柱之間產生額外間隙，難以估算最終之塑性轉角，另外因梁部分銲道強度不足或銲接處產生應力集中現象，使實驗中斷，未來進行相關實驗時，對於梁柱接頭及銲接應多加注意。

第二節 建議事項

中長期之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：相關學術團體

1. 本研究案相關之決定性參數多，建議後續宜以有限元素模擬，以進行更多參數之探討。
2. 使用側向支撐如加勁托架式，或補強整體斷面如增加補強板或加勁板，對於可提升整體鋼梁扭轉勁度之效果，建議納入未來研究內容。
3. 有關實心混凝土樓板對於梁穩定性之增益，因樓板的厚度、配筋型式、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等眾多因素影響而有不同之效果，建議未來可逐步規劃以進行相關之實驗。
4. 本研究案屬於先導性之研究，因困難度大且經費需求較高，試體數量不多，對於如何提升梁穩定性之設計方法，需再進一步規劃相關實驗，並廣徵專家學者意見後才能得到較具體之成果。

附錄一 期初報告審查意見會議紀錄

內政部建築研究所 100 年度第 1 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：100 年 3 月 21 日(星期一)下午 2 時正

二、地點：本所簡報室

三、主席：何所長明錦
記錄：靳燕玲、雷明遠、陳柏端、
盧珽瑞、呂文弘

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：本所研究業務協調會之宗旨，係提供同仁知識交流平台，藉以增進不同研究領域之相互了解，提升研究能力，請同仁積極參與。

六、研究案主持人簡報：(略)

七、發言要點：

(一)「都市無障礙通行環境改善之研究」案：

1. 應回顧過去相關文獻之研究成果，以與本研究課題區別，並說明預期成果之特色。
2. 某些無障礙通行問題較不適宜透過法令層面解決，宜說明研究範圍及限制。
3. 有關法令系統之整合建議事項，宜考量提供相關單位參考之可行性。
4. 本案與建築無障礙環境相關法令有關，為與探討主題、預期成果及研究內容更為切合，題目應刪除「都市」一詞，並就字義再做調整。

(二)「建築公共安全管理調和火災風險評估概念之研究」案：

1. 建築物整體防火安全風險的處理手法與營建管理之 TQC 概

念相近，建議可以參考。另宜有火災災例與研究成果相互印證，具體研提評估準則。

2. 建議應先深入瞭解英國相關法規、火災評估要項、實施方法及近年來成果，並研提本土化具體建議。
3. 火災風險評估是否能夠應用於國內採用性能設計建築物之後續使用管理，如大規模、複合化使用的建築物。
4. 建議題目「公共安全」修正為「防火安全」，另宜考量國情因素，將人為活動可能影響安全部分納入總體風險評估。
5. 建議考量現行建築及消防法令在建築物使用管理上之模糊性，違規使用如何釐清權責。

(三) 「含扭轉型支撐鋼梁之撓曲韌性行為」案：

1. 本案請依 99 年度研究之結論建議，研擬 100 年度之研究課題。
2. 請俟課題之研究內容擬妥後，再提研究業務協調會報告。

(四) 「高層集合住宅外牆磁磚剝落原因與解決對策探討 (2/2) —水泥砂漿硬底壓貼工法之實驗研究」案：

1. 請調查國內高層集合住宅外牆磁磚張貼施工方法？及其相關施工規範？
2. 請針對國內與日本外牆磁磚之國家標準作比較分析。
3. 本研究之實驗項目甚多，須掌握研究期程。
4. 請於報告中將研究內容、目的說明清楚。
5. 請採用 CNS 或國際標準之測試方法進行實驗。

(五) 「綠建築節能效益調查研究-以住宅類及其他各類綠建築為例 (2/3)」案：

1. 請先檢視目前已經取得綠建築標章之住宅類綠建築個案數

量，俾符合調查樣本數統計需要；另請妥善規劃綠建築個案耗能調查方式，並應針對調查結果進行查核，以檢證問卷結果的可信度。

2. 除綠建築 EUI 調查分析外，節能設計相關因子亦應進行解析，並探討個案節能技術，強化預期研究成果的參考價值。
3. 99 年度前期研究未進行檢核之辦公類綠建築個案耗能資料，建議於本年度計畫中予以強化，必要時可正式行文請求配合辦理。
4. 建議以住宅類綠建築為主要研究對象，計畫名稱修正為「綠建築節能效益調查研究-以住宅類綠建築為例 (2/3)」。

八、會議結論：

1. 同仁參與之所內外各項會議，若有長官指示重要研究議題，應即回報並就研究課題及期程妥為規劃。
2. 研究課題應考量與相關研究之延續性或統合性，若從往年累積之研究成果出發，宜釐清問題癥結及邏輯脈絡，並區別研究重點之異同。
3. 會議簡報資料統一格式為橫式雙面黑白列印、每張 4 頁方式印製。
4. 後續會議請確實開啟視訊系統連結功能，使南部各實驗中心同仁可同步收視簡報內容並參與討論。
5. 與會同仁之寶貴意見，請各計畫主持人納入後續研究參採，使研究成果更為豐富完整；除「含扭轉型支撐鋼梁之撓曲韌性行為」案須修正後再提研究業務協調會報告外，餘 4 案同意辦理。

九、散會：(下午 4 時 10 分)

內政部建築研究所 100 年度第 7 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：100 年 5 月 2 日(星期一)下午 2 時正

二、地點：本所簡報室

三、主席：何所長明錦

記錄：劉文欽、曹源暉、
陳柏端、廖慧燕

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：

有關與會同仁就各自辦案簡報內容所提出之發言要點，自辦案計畫主持人均應詳實記載，不可做選擇性記錄而有避重就輕之情形。

六、研究案主持人簡報：(略)

七、發言要點：

(一)「角隅設計對三維方柱側向風壓與風載重影響之研究」案：

1. 建議多與專家學者諮詢討論，以修正研究的可行性及適切性，使成果能夠達成預期目標。
2. 針對國內外法規及相關文獻須詳加研讀探討，避免不切實際的情況。
3. 研究案應以實用性為主，以與學校研究有所區隔。
4. 應將研究緣起及成果如何運用做更明確的說明。
5. 風洞實驗室發展至今，尚未有明確的方向與成果，應師法同濟大學等具規模的風洞實驗室，擬定中長期計畫，以作依循。
6. 題目名稱應做調整，以符合研究的重點。

(二)「室外型奈米塗料耐久耐候性能之試驗研究(2/2)」案：

1. 本案應聚焦在塗料耐久耐候性能的探討，未來的成果報告應將兩年的成果綜整展現。
2. 有關試驗計畫方面，應再加強蒐集國內外之檢測與評估標準；試件規劃與製作上，則可多徵詢專家學者之意見。
3. 本案本年度著重在檢測試驗之執行，惟不同用途之塗料，其功能性亦不同，因此，如何選擇奈米塗料、該如何進行評估、評估之標準為何等，皆應有明確之說明。
4. 為避免本試驗研究案流於形式、不切實際，請確實掌握試驗重點，以突顯試驗成果之實用性。

(三) 「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究(II)」案：

1. 本案實驗請審慎規劃進行，建議能考量結果之再現性，且能與文獻資料及數值分析結果相互印證。
2. 本實驗請考量梁之受力情形是否與實際情況相符合，並請加強預期成果之呈現。
3. 有關工程界在施工與設計方面之問題，亦應遵循法規之規定，至於新工法之研究，則須審慎研究與探討，從理論架構、數值分析及實驗規劃反覆驗證，才能得到具體之成果。

(四) 「古蹟歷史建築物無障礙環境改善之研究」案：

1. 有關法令部分，請釐清古蹟歷史建築物無障礙環境究竟宜由何法系規範，應訂於建築法、文化資產保存法或其他相關法令。
2. 古蹟及歷史建築物定義不同，其修繕維護之管制方式亦有差異，一併檢討是否妥適。
3. 本案為全人關懷建築科技計畫項下之相關計畫，請綜合規劃組協助支援人力進行後續研究。

八、會議結論：

本次會議與會同仁之寶貴意見，請各計畫主持人納入後續研究參採並修正內容，使研究成果更為豐富完整。

九、散會：(下午 4 時 00 分)

附錄二 期中報告審查意見會議紀錄與回應表

內政部建築研究所

100 年度自行研究計畫案「大尺寸鋼筋混凝土柱撓曲行為之實驗研究(1/3)」、「包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱圍束箍筋耐震需求之研究(1/2)」與「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究 II」等 3 案

期中審查會議紀錄

- 一、時間：100 年 8 月 15 日（星期一）下午 2 時 30 分
- 二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）
- 三、主持人：林組長建宏
記錄：李台光、陶其駿、陳柏端
- 四、出席人員：（如簽到單）
- 五、主席致詞：（略）
- 六、承辦單位報告：（略）
- 七、研究單位簡報：（略）
- 八、出席人員審查意見（依發言順序）：

（一）「大尺寸鋼筋混凝土柱撓曲行為之實驗研究(1/3)」案：

陳技師正平：

1. 繫筋之彎鉤若採隔根互換，則恐難顯現彎鉤角度對圍束效果之影響。若要瞭解彎鉤角度之影響，建議二端彎鉤不隔根互換。

陳教授正誠：

1. S1-E1 與 S1-E2 試體之設計規劃宜再檢討，其餘試體規劃頗為恰當。
2. 箍筋應使用 SD420W 或 SD280W 鋼筋。

廖教授文義：

1. 本研究案規劃完整，試體設計亦符合現有耐震課題，符合預期。
2. 預定施加軸力採用 $0.3f'_c$ ，此值似乎為軸力對韌性之分界點，或許可分年採不同軸力，探討其影響程度。
3. 本研究案試體之加載歷時，請確認其型式。
4. 建議試體基礎加裝位移計與轉角計，以確認其變形量。

中華民國全國建築師公會 曹建築師昌勝：

1. 請說明大尺寸之定義，本研究案試體斷面僅採用 600 mm*600 mm，其試驗結果能否代表實際建築結構柱構材之行為？
2. 請詳細說明本研究案試體不同繫筋配置的型式。
3. 實際建築結構 RC 柱構材之尺寸，常超過 150 cm 以上，繫筋有很多排，本研究案試驗結果能否代表此類型配置繫筋之行為。

研究單位回應(李台光研究員)：

1. 本研究案 S1-E1 與 S1-E2 試體之設計，後續試體製作期間將審慎檢討修正。
2. 後續研究將會確認本研究案試體之加載歷時。
3. 受限於本所 600 噸軸壓致動器之使用容量，本研究案試體斷面採用 600 mm*600 mm，預定軸力比約為 0.3，未來規劃分年採不同軸力比，探討其影響程度。
4. 其餘審查委員相關意見，將配合增修與考量。

(二)「包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱圍束箍筋耐震需求之研究(1/2)」

案：

陳技師正平：

1. 建議研究成果能將柱試體之尺寸效應列入條件說明，尺寸大者若與小尺寸者共用試驗結果，恐偏不保守。

2. 本研究案試體鋼骨各肢材間之銲接條件與寬厚比，建議列入試體製作條件之說明。
3. 本研究案試體繫筋之固定，若採用鉤住預留孔之方式，則建議將相關孔徑之規定納入說明。

陳教授正誠：

1. 建議於 TD2 系列之試體中，可考慮進行一組屬非對稱軸之彎曲試驗，其餘各系列試體之規劃，尚屬恰當。

廖教授文義：

1. 本研究案試體規劃完整，探討不對稱鋼骨 SRC 柱之箍筋需求，為耐震研究之重要題目，符合預期需求。
2. 本研究案試體之加載歷時，請確認其型式。
3. 建議將對另一軸向彎曲之圍束行為，考慮為分年度之探討重點。
4. 建議未來可分年探討不同軸力比，對 SRC 柱撓曲韌性行為之影響。

中華民國全國建築師公會 曹建築師昌勝：

1. 本研究案所規劃四種系列試體之斷面，鋼骨與繫筋的接合方式，是否為銲接接合？
2. 鋼骨肢材的銲接方式，是否可能影響柱的撓曲行為？
3. 本研究案試體是否有考慮配管之情況，及其可能發生強度折減之情形。
4. 本研究案未來研究結果所建議之箍筋量，其間距是多少？

研究單位回應(陶其駿研究員)：

1. 是否於本研究案 TD2 系列之試體中，考慮進行屬非對稱軸之彎曲試驗，後續研究期間將審慎納入考量。

2. 受限於試驗機之使用容量，研究試體之尺寸效應，始終為研究者關心卻又無法圓滿克服之議題，故本研究案會審慎於未來之研究結論中，詳列試體尺寸之適用條件。
3. 本研究案後續會將試體鋼骨各肢材間之銲接條件與寬厚比，納於試體施作紀錄中說明。
4. 有關本研究案試體之加載歷時，後續研究中會再予確認與說明。
5. 本研究案相關試體之規劃，暫未考慮配管之情況。
6. 本研究案係考慮以 $A_{sh}f_{yh}/s$ 為主要探討之參數，因此箍筋需求量之效應，已納於此參數之中。

(三)「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究 II」案：

陳技師正平：

1. 建議將 deck 肋條之方向性、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等列入考量。

陳教授正誠：

1. 後續數據分析很重要，求出塑性轉角容量。
2. 後續宜以有限元素模擬，以進行更多參數之探討。

廖教授文義：

1. 本案研究成果豐碩，對防挫屈裝置之試驗成果相當珍貴，研究成果符合需求。
2. 建議後續報告內容可增加彎矩-轉角關係及消能面積於不同側撐下之討論。
3. 建議後續研究可以有限元素方法模擬，以進行參數探討。

中華民國全國建築師公會 曹建築師昌勝：

1. 本研究之新型防挫屈裝置如何影響建築空間，請說明？

(第 1 頁提到住宅所受的影響明顯)指提高可用高度？

2. 樓板的厚度與配筋型式有無影響，請說明？
3. 本研究案適用於新建築，既有老建築是否適合此工法？如何施工？
4. 本研究案影響到哪些規範，請列表。

研究單位回應(陳柏端約聘助理研究員)：

1. 後續將進行有限元素分析，對於影響梁之穩定性參數加以探討。
2. 有關塑性轉角因梁與柱接頭處有分離現象，造成誤差，將再進一步分析後求取較正確之數值。
3. 若樓板為 Deck 之設計，建議仍須依照法規規定設置防挫屈裝置，不適用本研究案所探討之新型防挫屈裝置。有關樓板的厚度、配筋型式、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等因素，將於數據整理後，進行進一步探討。
4. 本研究案適用於新建築，不適合用於既有老建築，相關之規範將列表說明。

九、會議結論：

- (一) 研究團隊針對諸位審查委員之意見，除於本會議中作綜合性回應外，並請於期末報告中，依承辦同仁詳實記錄之與會專家學者及機關團體代表意見，提出詳細回應。
- (二) 本次自行研究計畫案「大尺寸鋼筋混凝土柱撓曲行為之實驗研究(1/3)」、「包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱圍束箍筋耐震需求之研究(1/2)」與「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究 II」等 3 項計畫案期中審查原則通過。

十、散會：下午 4 時 30 分。

期中報告審查委員意見回應表

委員	審查委員意見	研究單位回應
陳技師正平	1. 建議將 deck 肋條之方向性、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等列入考量。	有關樓板的厚度、配筋型式、剪力釘間距、剪力釘長度、梁翼厚度、梁高度等因素，跟梁與樓板間之接合勁度相關，將於本計畫結束後，另行規劃研究。
陳教授正誠	1. 後續數據分析很重要，求出塑性轉角容量。	將於期末報告中呈現
	2. 後續宜以有限元素模擬，以進行更多參數之探討。	將於期末報告中呈現
廖教授文義	1. 本案研究成果豐碩，對防挫屈裝置之試驗成果相當珍貴，研究成果符合需求。	感謝委員意見
	2. 建議後續報告內容可增加彎矩-轉角關係及消能面積於不同側撐下之討論。	將於期末報告中呈現
	3. 建議後續研究可以有限元素方法模擬，以進行參數探討。	將於期末報告中呈現
曹建築師昌勝	1. 本研究之新型防挫屈裝置如何影響建築空間，請說明。(第 1 頁提到住宅所受的影響明顯)指提高可用高度。	本研究主要探討防挫屈裝置之替代方案，影響的範圍為整個樓板空間，高度為梁之設計深度。
	2. 樓板的厚度與配筋型式有無影響，請說明。	樓板的厚度與配筋型式與梁與樓板間之接合勁度相關，將於本計畫結束後，另行規劃研究。
	3. 本研究案適用於新建築，既有老建築是否適合此工法？如何施工？	本研究案適用於新建築，不適合用於既有老建築。

	4. 本研究案影響到哪些規範，請列表。	本研究案影響之規範為「鋼結構極限設計法規範及解說」及「鋼結構容許應力設計法規範及解說」
--	---------------------	---

附錄三 期末報告審查意見會議紀錄與回應表

內政部建築研究所

100 年度自行研究計畫「大尺寸鋼筋混凝土柱撓曲行為之實驗研究(1/3)」、「包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱圍束箍筋耐震需求之研究(1/2)」與「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究 II」
等 3 案

期末審查會議紀錄

- 一、時間：100 年 11 月 29 日（星期二）下午 2 時 30 分
- 二、地點：大坪林聯合大樓 15 樓第 3 會議室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）
- 三、主持人：林組長建宏
記錄：李台光、陶其駿、陳柏端
- 四、出席人員：（如簽到單）
- 五、主席致詞：（略）
- 六、作業單位報告：（略）
- 七、計畫主持人簡報：（略）
- 八、綜合討論：

（一）「大尺寸鋼筋混凝土柱撓曲行為之實驗研究(1/3)」案：

陳技師正平：

1. 組合繫筋搭接建議兩端具 180 度彎鉤時之搭接長，以減少搭接長度。
2. 90 度彎鉤變化角度 5 至 10 度，因受隔根 135 度之幫助，致變化角度之影響恐不顯著。
3. 對同時鉤住主筋跟箍筋之圍束效果較佳，但同時如何克服保護層會較小之問題，值得後續研究。

陳教授正誠：

1. 以 100 年至 102 年整體研究計畫觀之，研究內容還可以

再充實，建議試體數量酌予增加，並分別在 101 及 102 年，進行試驗及試驗資料之彙整與分析。

2. 研究成果應能提供工程實務上，有關繫筋設計與施工改善方法之參考。此外對規範條文之修訂，也可提供實質的建議。
3. 撓曲研究試體規劃，係參考 97 年軸向試驗結果擬定，計畫之延伸性及整合性良好。

林組長建宏：

1. 試驗試體 2 次流標，請探討原因，於明（101）年元月份即辦理公告招標，以掌握研究進度。
2. 本研究計畫原定分 3 年辦理，建議修正為 2 年。

計畫主持人回應(李台光研究員)：

1. 本研究案試體之規劃及設計，將參酌審查委員意見，審慎檢討修正。
2. 本研究案規劃於明(101)年初辦理試體製作採購發包作業，以符合預定研究進度。
3. 其餘審查委員相關意見，將配合增修與考量。

(二)「包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱圍束箍筋耐震需求之研究(1/2)」案：

陳技師正平：

1. 對圍束效果較差之鋼骨形狀，建議應予簡化並考慮不計入其圍束貢獻。
2. 鋼骨柱板間之組合銲道，會影響挫屈強度發揮，建議將相關條件說明，納入使用規定。
3. 鋼骨外側混凝土包護層厚度多寡，會影響挫屈強度發揮，建議將相關條件說明，納入使用規定。
4. 保護層較薄時，是否會提早發生混凝土剝離破壞，建議

納入本研究案探討。

陳教授正誠：

1. 文獻回顧及探討頗為完整，有助於本研究案研究重點之掌握。
2. 能夠掌握研究內容定位，對整體包覆型 SRC 柱圍束筋量之規定，能夠提供更完整的資訊，有助於未來規範條文之修訂。

林組長建宏：

1. 試驗規劃建議再諮詢專家學者意見，以資完善。
2. 試驗試體希望於明（101）年元月即辦理公告招標，請掌握研究進度。

計畫主持人回應(陶其駿研究員)：

1. T 型鋼骨斷面對混凝土確切之圍束效果，將於下年度結構實驗中，驗證圍束貢獻。
2. 本研究案 SRC 柱試體鋼板間之鐸道型式，以及鋼骨外側混凝土包護層之厚度，將會納入成果報告中說明。
3. 有關 SRC 柱試體保護層之剝離情形，將於下年度結構實驗中，詳實紀錄試體加載之破壞模式。

(三)「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究 II」案：

陳技師正平：

1. 加勁托架式之側撐效果較佳，但其加勁間距加密後是否可得更佳效果，建議納入未來研究內容。
2. 本研究案實驗採用實心混凝土樓板，其厚度及配筋量與剪力釘之長度及數量，均會影響側撐效果，請加以考量。
3. 鋼結構建築常使用鋼承板，其厚度薄配筋又少，若誤用則易發生危險，建議後續可對樓板為鋼承板時，能針對

側撐方法納入研究探討。

陳教授正誠：

1. 本研究案應屬於先導性之研究，結果顯示本研究課題的未來性非常高，對學術及工程實務會有很大衝擊。目前研究成果累積量還不多，不宜過早下定論，以免工程師誤用。

林組長建宏：

1. 研究產出較預期薄弱，請再加強補述，可再蒐集業界做法，進行比較分析。
2. 報告書中對試體端側描述，以東側、西側似有未妥，請修正。
3. 請具體提出後續研究方向或課題建議。

計畫主持人回應(陳柏端約聘助理研究員)：

1. 本研究案主要探討實心混凝土樓板，對於梁穩定度之影響，因為實驗進行困難度大及經費需求較高，試體數量不多，待研究有一定成果後，再進行鋼承板之研究。
2. 有關後續相關研究課題，將於成果報告中提出建議。

九、會議結論：

- (一) 本次自行研究計畫 3 案期末報告原則通過，請掌握後續之研究期程，充實研究內容，確實完成各案計畫。
- (二) 綜合討論之建議事項，請各案主持人參採辦理或妥予回應，納入最後之成果報告；有關期中與期末審查會議之審查意見，應以回應表方式逐項回覆，並詳實呈現於成果報告之附錄中。

十、散會：下午 4 時 30 分。

期末報告審查委員意見回應表

委員	審查委員意見	研究單位回應
陳技師正平	1. 加勁托架式之側撐效果較佳，但其加勁間距加密後是否可得更佳效果，建議納入未來研究內容。	有關後續相關研究課題，已於成果報告中提出建議。
	2. 本研究案實驗採用實心混凝土樓板，其厚度及配筋量與剪力釘之長度及數量，均會影響側撐效果，請加以考量。	樓板的厚度與配筋型式與梁與樓板間之接合勁度相關，將於本計畫結束後，另行規劃研究。
	3. 鋼結構建築常使用鋼承板，其厚度薄配筋又少，若誤用則易發生危險，建議後續可對樓板為鋼承板時，能針對側撐方法納入研究探討	本研究案主要探討實心混凝土樓板，對於梁穩定度之影響，因為實驗進行困難度大及經費需求較高，試體數量不多，待研究有一定成果後，再進行鋼承板之研究。
陳教授正誠	1. 本研究案應屬於先導性之研究，結果顯示本研究課題的未來性非常高，對學術及工程實務會有很大衝擊。目前研究成果累積量還不多，不宜過早下定論，以免工程師誤用。	感謝委員意見，因為本實驗進行困難度大及經費需求較高，試體數量不多，需再進一步規劃相關實驗，並廣徵專家學者意見後再提出建議。

參考書目

中文部分：

中華民國鋼結構協會，2008，「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範-鋼結構容許應力設計法規範及解說」，2007年6月。

中華民國鋼結構協會，2008，「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範-鋼結構極限設計法規範及解說」，2007年6月。

林禹任，2008，「抗彎構架中H型鋼梁之挫屈行為」，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系，台北，2008年4月。

英文部分：

American Institute of Steel Construction (AISC) (2005), "Seismic provisions for structural steel buildings." Chicago.

Hideo Takabatake, Shigeru Kusumoto, and Tomitaka Inoue, 1991, "Lateral Buckling Behavior of I Beams Stiffened with Stiffeners", Journal of Structural Engineering, pp.3203-3215, Vol. 117, No. 11, November, 1991.

Jan Jirsak, 2008, "Lateral-Torsional Buckling Behavior of Steel Beams with Nodal Type Lateral Bracing," Master Thesis, NTUST, Taipei, Taiwan.

Joseph A. Yura, 2001, "Fundamentals of Beam Bracing," Engineering Journal., American Institute of Steel Construction, Inc., pp11-26.

