

# 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋 柱乾式鋼板補強

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 12 月



PG10802-0170

108301070000G0056

# 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋 柱乾式鋼板補強

研究人員：黃國倫

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 12 月



## 目次

表次 .....	III
圖次 .....	V
摘要 .....	VII
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
第一節 研究緣起與背景 .....	1
第二節 研究方法及進度說明 .....	3
第三節 研究目的 .....	4
<b>第二章 試驗計畫 .....</b>	<b>7</b>
第一節 試體設計及試驗裝置 .....	7
第二節 測計配置與載重歷程 .....	8
<b>第三章 柱撓曲行為試驗 .....</b>	<b>19</b>
第一節 試體製作 .....	19
第二節 試驗觀察 .....	19
<b>第四章 試驗結果與討論 .....</b>	<b>39</b>
第一節 一般軸力下非韌性配筋 RC 柱撓曲韌性 .....	39
第二節 內側加勁板對鋼板補強效果之影響 .....	40
<b>第五章 結論與建議 .....</b>	<b>47</b>
第一節 結論 .....	47
第二節 建議 .....	47
<b>附錄一 自行研究計畫審查會議紀錄 .....</b>	<b>49</b>
<b>附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表 .....</b>	<b>65</b>
<b>參考書目 .....</b>	<b>73</b>



## 表次

表 1-1	預定之研究進度 .....	5
表 2-1	梁柱實驗試體規劃 .....	9
表 3-1	柱主筋及柱箍筋抗拉強度試驗結果 .....	20
表 4-1	實驗結果列表 .....	41



## 圖次

圖 1-1	研究流程圖 .....	6
圖 2-1	SND50 試體之立面及剖面圖 .....	10
圖 2-2	SND50R06T1 試體之立面及剖面圖 .....	11
圖 2-3	SND50R06T2 試體之立面及剖面圖 .....	12
圖 2-4	SND50R10T3 之立面及剖面圖 .....	13
圖 2-5	鋼板補強柱試體鋼板角落銲接細節圖 .....	14
圖 2-6	試體柱斷面圖 .....	14
圖 2-7	鋼筋材料模型 .....	15
圖 2-8	鋼板材料模型 .....	15
圖 2-9	軸力構架試驗裝置示意圖 .....	16
圖 2-10	軸力構架試驗裝置照片 .....	16
圖 2-11	應變計配置示意圖 .....	17
圖 2-12	反覆載重位移歷時圖 .....	18
圖 3-1	試體鋼筋組立(基座及柱).....	21
圖 3-2	試體模板組立(基座).....	22
圖 3-3	試體混凝土澆置(基座).....	23
圖 3-4	SND50 試體柱內鋼筋黏貼應變計 .....	23
圖 3-5	SND50R06T1 試體柱內鋼筋黏貼應變計 .....	24
圖 3-6	SND50R06T2 試體柱內鋼筋黏貼應變計 .....	24
圖 3-7	SND50R10T3 試體柱內鋼筋黏貼應變計 .....	24
圖 3-8	試體模板組立(柱).....	25
圖 3-9	試體混凝土澆置(柱).....	25
圖 3-10	試體柱頂灌注無收縮砂漿 .....	26
圖 3-11	以 2 個 L 型鋼板組合成乾式補強鋼板 .....	26
圖 3-12	鋼板補強試體之鋼板表面應變規黏貼 .....	27
圖 3-13	鋼筋抗拉強度試驗報告 .....	28
圖 3-14	補強鋼板抗拉強度試驗報告 .....	29
圖 3-15	混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果 .....	30
圖 3-16	SND50 試體北面產生水平裂紋 .....	30
圖 3-17	SND50 試體東西 2 面產生斜向裂紋 .....	31
圖 3-18	SND50 試體柱底混凝土部分開裂 .....	32

圖 3-19	SND50 試體南面柱底混凝土出現垂直裂紋.....	33
圖 3-20	SND50 試體南面柱混凝土保護層剝落.....	34
圖 3-21	SND50R06T1 試體東西面柱底及基座連接處產生開裂 ...	35
圖 3-22	SND50R06T1 試體基座可看出整塊開裂 .....	36
圖 3-23	SND50R06T2 試體東西面柱底及基座連接處產生開裂 ...	37
圖 3-24	SND50R06T2 試體基座可看出整塊開裂 .....	38
圖 4-1	降伏側移角 $\theta_{ym}$ 、極限側移角 $\theta_u$ 定義之說明圖 .....	41
圖 4-2	SND 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	42
圖 4-3	SND50R06T1 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	42
圖 4-4	SND50R06T2 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	43
圖 4-5	SND50R10T3 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	43
圖 4-6	各試體側力-位移包絡線比較圖 .....	44
圖 4-7	鋼板厚度與塑性轉角容量之關係曲線圖 .....	44
圖 4-8	加勁板間寬厚比與塑性轉角容量之關係曲線圖 .....	45

## 摘要

關鍵詞：鋼筋混凝土、柱、補強、鋼板

### 一、研究緣起

國內有許多屋齡超過 20 年、樓高 7 樓以上、未滿 50 公尺之老舊鋼筋混凝土結構大樓，因當時時代背景及法規規定，一般僅採非韌性配筋，可能有橫向鋼筋配置不足，造成混凝土圍束效果不佳、剪力強度較低之問題，但是這類大樓在低樓層之柱所受軸力通常較高，使用非韌性配筋抵抗地震力，容易呈現受壓崩潰式破壞甚至於該樓層倒塌，引致居民傷亡。因此，針對這類大樓耐震行為及耐震補強進行研究，是國內耐震方面勢在必行的重要課題。

本研究規劃了鋼筋混凝土柱試體進行高軸力作用下之撓曲行為試驗，其中 1 座為非韌性配筋設計試體，以瞭解高軸力作用下，非韌性配筋之鋼筋混凝土柱撓曲韌性，另外設計 3 座鋼板補強試體，以瞭解乾式鋼板補強之內部加勁板配置方式，對提升試體撓曲韌性補強效果之影響，為求保守，鋼板補強試體不配置化學錨栓。

### 二、研究方法及過程

本研究之工作包括資料蒐集與整理、試體設計、試體製作、柱之撓曲行為試驗、材料機械性質試驗、實驗數據整理與分析、相關規範條文之檢討以及報告撰寫等步驟。採用的研究方法敘述如下：1. 文獻之收集與整理；2. 柱試體之撓曲行為實驗；3. 試驗結果之分析與探討；4. 探討乾式鋼板補強之內部加勁板配置方式，對提升柱撓曲韌性效果之影響；5. 報告之撰寫。

### 三、研究發現

由文獻研究結果可知，鋼板補強應可提升柱的撓曲韌性，而高軸力作用下乾式鋼板補強的提升效果，試驗結果發現補強效果良好，耐震能力及韌性大幅提升。

### 四、建議事項

本研究進行鋼筋混凝土柱在高軸力作用下之撓曲行為試驗，目前初步提出下列具體建議。

#### 建議一

**進行老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強之研究：立即可行建議**

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

本研究驗證了高軸力下非韌性配筋 RC 柱進行乾式鋼板補強之效果後，惟斷面若為矩形，可能影響乾式鋼板補強之效果，建議可進一步驗證乾式鋼板補強對高軸力下非韌性配筋矩形 RC 柱提昇耐震性能之效果。

#### 建議二

**進行老舊 RC 建築一般軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強之研究：立即可行建議**

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

本研究驗證了高軸力下非韌性配筋 RC 柱進行乾式鋼板補強之效果後，惟斷面若為矩形，可能影響乾式鋼板補強之效果，建議可進一

步驗證乾式鋼板補強對一般軸力下非韌性配筋矩形 RC 柱提昇耐震性能之效果。

### 建議三

**進行老舊 RC 建築補強之震後檢測研究：中長期建議**

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

經期中審查委員建議，可進行老舊 RC 建築補強之震後檢測研究，提供不同地震發生導致補強效果不足之預警。

## **ABSTRACT**

Keywords: reinforced concrete, column, retrofit, steel plate

There are many old reinforced concrete buildings in the country that are over 20 years old and have floor height above 7th floor and less than 50 meters. Due to the time background and regulations, only non-ductile reinforcements were generally used. There may be problems such as insufficient horizontal rebar configuration, poor concrete confining effect and low shear strength. However, the column of the lower floors in this kind of building usually has a higher axial force. The use of non-ductile reinforcements to resist seismic forces is prone to pressure collapse and even collapse on the whole floor, causing casualties. Therefore, research on the seismic behavior and seismic retrofit of such buildings is an important issue that is imperative for domestic earthquake resistance.

In this study, four reinforced concrete column specimens were tested for flexural behavior under high axial forces. One of them is designed for non-ductile reinforcement design to understand the flexural ductility of non-ductile reinforced concrete columns under normal axial force. In addition, two new-type steel plate retrofit specimens were designed to understand the retrofit effect of knocking out the protective layer to enhance the flexural ductility of the specimen. In order to be conservative, steel plate retrofit specimens were not equipped with chemical anchors. From the experimental results, it can be seen that the new-type steel plate retrofit can effectively improve the flexural ductility of the non-ductile reinforced RC column under high axial force.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

#### 一、研究緣起

國內有許多屋齡超過 20 年、樓高 7 樓以上、未滿 50 公尺之老舊鋼筋混凝土(reinforced concrete, 簡稱 RC)建築, 因當初時空背景欠缺耐震設計觀念, 柱橫向鋼筋配置多呈現間距大且鋼筋號數小的情況, 此即非韌性配筋, 在加上建造時混凝土常有品質不良之情況, 使柱構件耐震韌性不足, 若再遇 1 樓牆量較少的情況, 常造成軟弱層問題。這類大樓在低樓層之柱所受軸力通常較高, 使用非韌性配筋抵抗地震力, 容易呈現受壓崩潰式破壞甚至於該樓層倒塌, 引致居民傷亡。

由本所 105 年度研擬「鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術手冊」內容[1]介紹, 目前國內有 RC 擴柱補強[2-5]、增設翼牆[3, 6-9]、RC 剪力牆[10-12]、包覆鋼板補強[13]等補強方式, 惟若屬於濕式施工補強方式, 會影響原空間使用功能, 民眾接受度較低。其中包覆鋼板補強係屬於乾式施工的一種, 所需佔用的面積較其他工法小, 且施工較不影響原空間功能, 適合推廣用於警政消防廳舍、醫院、學校建築等希望可維持原空間功能的建築。

#### 二、研究背景及文獻回顧

關於非韌性配筋 RC 柱之研究, 過去多針對校舍類之低矮 RC 建築, 其柱斷面尺寸、軸力大小與配筋細節與大樓柱有所差異, 大樓柱高度與寬度之比值(簡稱高寬比)通常較小, 所受剪力較高, 且大樓柱所受軸力一般承受較高設計軸壓力(常超過  $0.3A_g f'_c$ , 其中  $A_g$  為柱之全

## 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

斷面積， $f'_c$ 為混凝土設計抗壓強度)，又大樓柱通常主筋及繫筋用量較多，導致大樓柱行為較偏剪力與壓力控制破壞，與低矮 RC 建築柱較偏撓曲與拉力控制破壞不同。

目前常用的補強方法包括擴柱補強[1-4]、增設剪力牆[2, 5-8]或增設翼牆補強[9-11]等，這些補強工法常用於校舍補強，可有效提升建築結構耐震能力，但這些補強工法施工會影響建築內部運作，例如醫院可能就不希望因補強施工而對內部運作有太大的影響。而包覆鋼板補強[13]及外加構架補強工法[13-14]，比較屬於乾式施工，其中包覆鋼板補強所需佔用的面積較其他工法小，且施工較不影響原空間功能，適合推廣用於警政消防廳舍、醫院、學校建築等希望可維持原空間功能的建築。106 年度研究案「老舊 RC 建築既有非韌性配筋柱包覆鋼板補強之研究」已證明鋼板補強可有效提升高軸力下非韌性配筋 RC 柱之耐震性能[15]，惟敲除保護層仍屬濕式施工，若不需敲除即保有足夠的耐震韌性，則可增加補強意願，故本研究採用乾式鋼板補強來提升大樓 RC 柱之耐震韌性。107 年度研究[16]證明乾式鋼板補強可有效提高低樓層老舊建築一樓 RC 柱之韌性，且底部強化措施可幫助提高抗彎強度。乾式鋼板補強可有效提高一樓補強工程的施工性，且較不影響室內空間機能正常運作，適合消防廳舍及醫院等無法暫停營運的建築，惟此類建築有些屬於中高樓層建築，一樓柱所受軸力較高，亟需驗證乾式鋼板補強之效果。

本研究經自行研究計畫審查會議審查通過(會議紀錄如附錄一)，主要係針對老舊 RC 建築大樓非韌性配筋柱，在同時受到高軸力與地震力作用之行為進行結構實驗研究，並進一步以結構實驗方式探討乾式包覆鋼板補強之效果。

## 第二節 研究方法及進度說明

本研究案研究方法包括：(1) 文獻之收集與整理；(2) 柱試體之撓曲行為實驗；(3) 實驗數據之整理與分析；(4) 報告之撰寫。流程如圖 1-1 所示，本研究預定之進度表如表 1-1 所示。採用的研究方法及進度說明敘述如後。

### 一、文獻之收集與整理

收集、整理相關文獻，一方面避免本研究之內容與現有成果重複，另一方面所收集之資料可作為分析模型建立及規範檢討的參考或補充資料。收集到重要相關文獻之研讀心得及彙整結果已在前一節中說明。

### 二、柱試體之撓曲行為實驗

由於柱桿件受固定軸力及變化彎矩至破壞階段，牽涉到材料與幾何之非線性反應，行為非常複雜，因此需採用結構實驗方式探討其行為。實驗採用柱試體之撓曲行為試驗，柱試體將同時受到固定軸力及反覆彎矩載重，可得到軸力-彎矩互制之下，柱試體的耐震能力。經過本所第 4 次自行研究計畫審查會議討論確認，會議紀錄、簽到單及簡報內容附在附錄一。

### 三、實驗數據之整理與分析

藉由試驗結果之分析，探討老舊 RC 建築大樓非韌性配筋柱，在同時受到一般軸力與地震力作用之耐震性能表現，以及乾式鋼板補強提升該 RC 柱耐震性能之效果。

#### 四、報告之撰寫

本研究包含兩次報告之撰寫，第一次為期中報告，在執行第 8 個月時說明本案之執行進度，期中審查之審查意見回應表附在附錄二。第二次為期末報告，在執行第 11 個月時完成本案之研究報告。期末審查之審查意見回應表將附在附錄二

### 第三節 研究目的

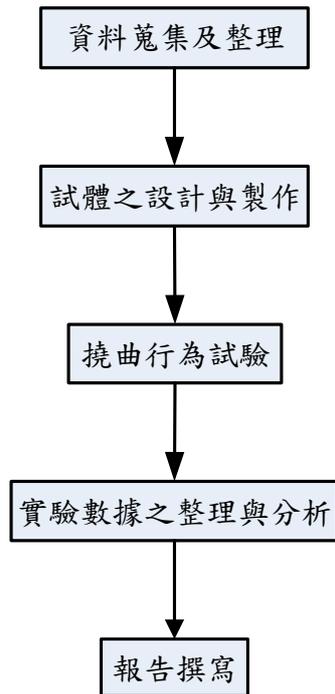
本研究預計針對老舊 RC 建築大樓非韌性配筋柱，進行進行高軸力作用下之撓曲行為試驗，預期目標包括：（一）瞭解高軸力作用下，非韌性配筋之鋼筋混凝土柱撓曲韌性；（二）瞭解不同厚度鋼板提升試體撓曲韌性之補強效果；（三）瞭解不同內部加勁板配置方式對試體撓曲韌性之影響。

表 1-1 預定之研究進度

月份	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	備註
工作項目											
資料搜集及整理	■	■									
試體設計與發包		■	■	■							
試體製作與養護				■	■	■					
柱撓曲行為試驗							■	■	■		
基本材料性質試驗							■	■	■		
試驗數據整理分析								■	■	■	
報告撰寫					■	■	■	■	■	■	
期中報告						※					8/7
期末報告									※		11/26
研究進度百分比	4	12	16	24	32	40	52	68	84	100	
預定查核點	第 1 季：無										
	第 2 季：期中報告										
	第 3 季：期末報告										
<p>說明：1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。</p> <p>3 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。</p>											

(資料來源：本研究製作)

# 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強



**圖 1-1 研究流程圖**

(資料來源：本研究製作)

## 第二章 試驗計畫

本研究著眼於方形斷面鋼筋混凝土柱，在高軸力作用下之撓曲行為試驗研究，故本章將扼要說明試體設計、量測儀器之配置及試驗相關載重歷程。

### 第一節 試體設計及試驗裝置

本案共規劃 4 個柱試體，試體設計列表如表 2-1 所示，試體之立面及剖面圖如圖 2-1 至圖 2-4 所示，鋼板補強柱試體鋼板角落銲接細節圖如圖 2-5(比 10 mm 厚之鋼板，其預檢定銲道需開槽)，試體柱斷面圖、鋼筋材質及尺寸配置如圖 2-6 所示，SND50 試體為模擬老舊 RC 建築大樓低樓層柱同時承受高軸力及地震力之試體，而 SND50R06T1、SND50R06T2 及 SND50R10T3 試體為 SND50 試體以乾式鋼板補強，未將柱體保護層敲除，直接以鋼板補強灌漿製作而成，其中試體名稱 R06 及 R10 代表鋼板的厚度，T1、T2 及 T3 代表單邊內側加勁板的數量，加勁板間寬厚比  $S_i/t$  (即相鄰加勁板間柱板寬度  $S_i$  與鋼板厚度  $t$  的比例) 如表 2-1 最後一欄所示。所有試體皆在固定軸力  $P$  作用下進行撓曲反覆載重試驗，所有試體軸力  $P$  與  $A_g f'_c$  之比例 (簡稱軸力比) 約為 50%，其中  $A_g$  為柱之全斷面積， $f'_c$  為混凝土標稱抗壓強度。

試體強度分析方法可利用纖維元素法，商用軟體有 XTRACT 及 NEWRC-PM 可使用，材料模型部分，鋼材可用 Pristley 1996 年[16]提出的模型，鋼筋及鋼板材料模型如圖 2-7 及圖 2-8 所示，混凝土可採用 Mander 1988 年[18]提出的混凝土模型，但若計算受鋼板補強圍束的混凝土，可採用林敏郎 2011 年[19]、José C. Alvarez and Sergio F.

Breña 2007 年[20]或 Toshiaki MIYAGI 2004 年[21]提出的模型。

試驗裝置如圖 2-9 所示，照片如圖 2-10 所示，架設試體時以夾具及螺桿將試體基座與強力地板鎖緊，每支螺桿施加 60 噸預力，再以螺桿將試體上方與 200 噸油壓致動器連接鎖緊並施加預力每支螺桿 29 噸預力；試驗時，先以上方的 600 噸油壓致動器施加固定軸力  $P$ ，再以水平的 200 噸油壓致動器施加側向力進行反覆載重撓曲行為試驗。

## 第二節 測計配置與載重歷程

### 1. 測計配置

柱試體量測儀器配置共安排 3 個角度計及 1 個位移計，其中 1 個角度計置於試體上方垂直致動器底座處以量測試體上端之角度，1 個角度計置於致動器上面以量測致動器之角度，最後 1 個角度計置於軸力構架鉸接頭上；水平位移計置於致動器之高程處，如此可以量得柱試體之變形。

### 2. 載重歷程

柱試體使用之反覆載重位移歷時如圖 2-12 所示，致動器所提供之側向位移由層間位移角乘以試體基座上緣至致動器中心線之高度求得。

表 2-1 梁柱實驗試體規劃

項目	試體 編號	$f'_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	b (mm)	h (mm)	t (mm)	$P/A_g f'_c$	$M_n$ (kN-m)	V (kN)	$S_t/t$
1	SND50	140	55	55	-	0.5	821.9	513.7	-
2	SND50R06T1	140	55	55	6	0.5	821.9	513.7	53.7
3	SND50R06T2	140	55	55	6	0.5	821.9	513.7	35.8
4	SND50R10T3	140	55	55	10	0.5	821.9	513.7	16.0

(資料來源：本研究製作)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

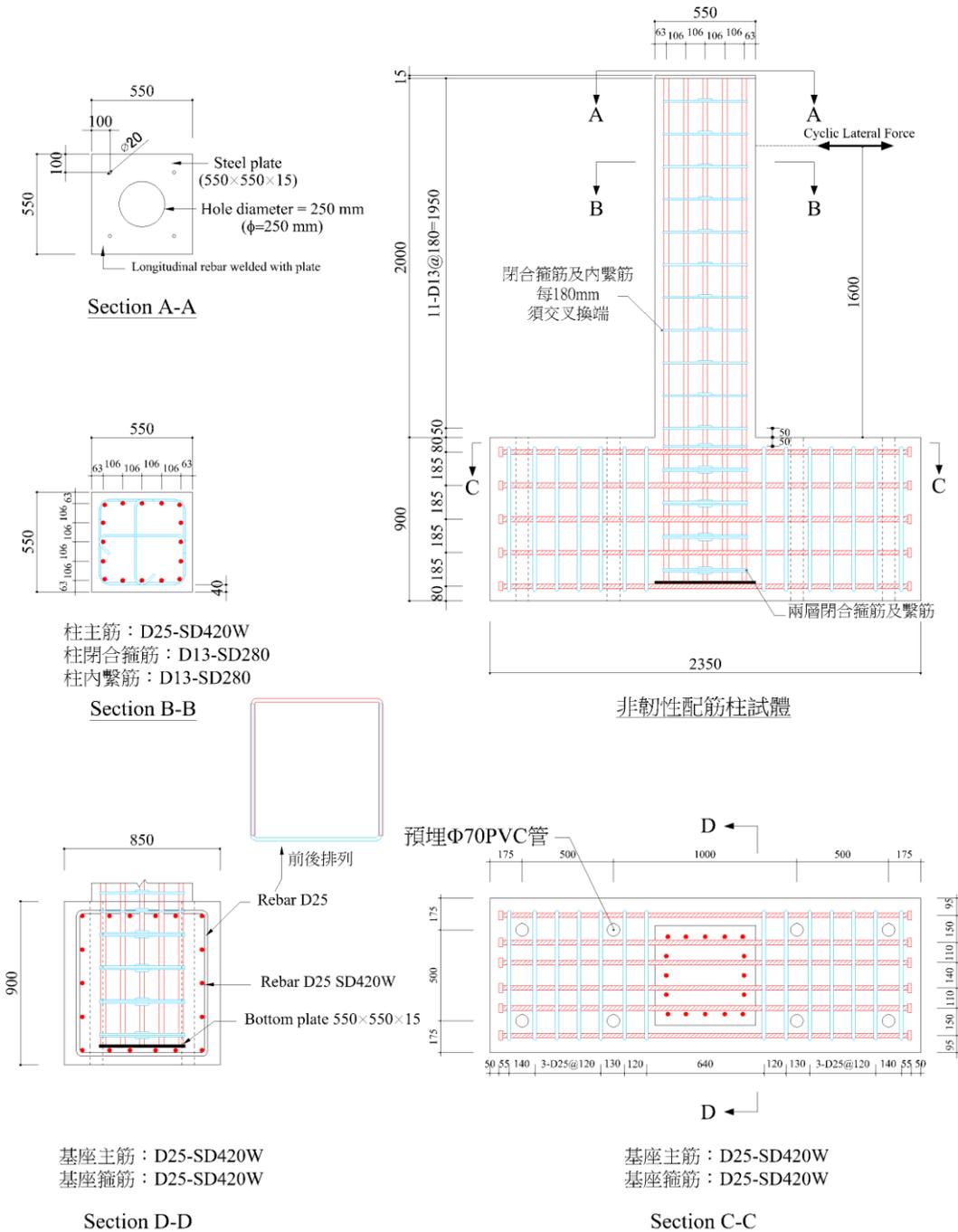


圖 2-1 SND50 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

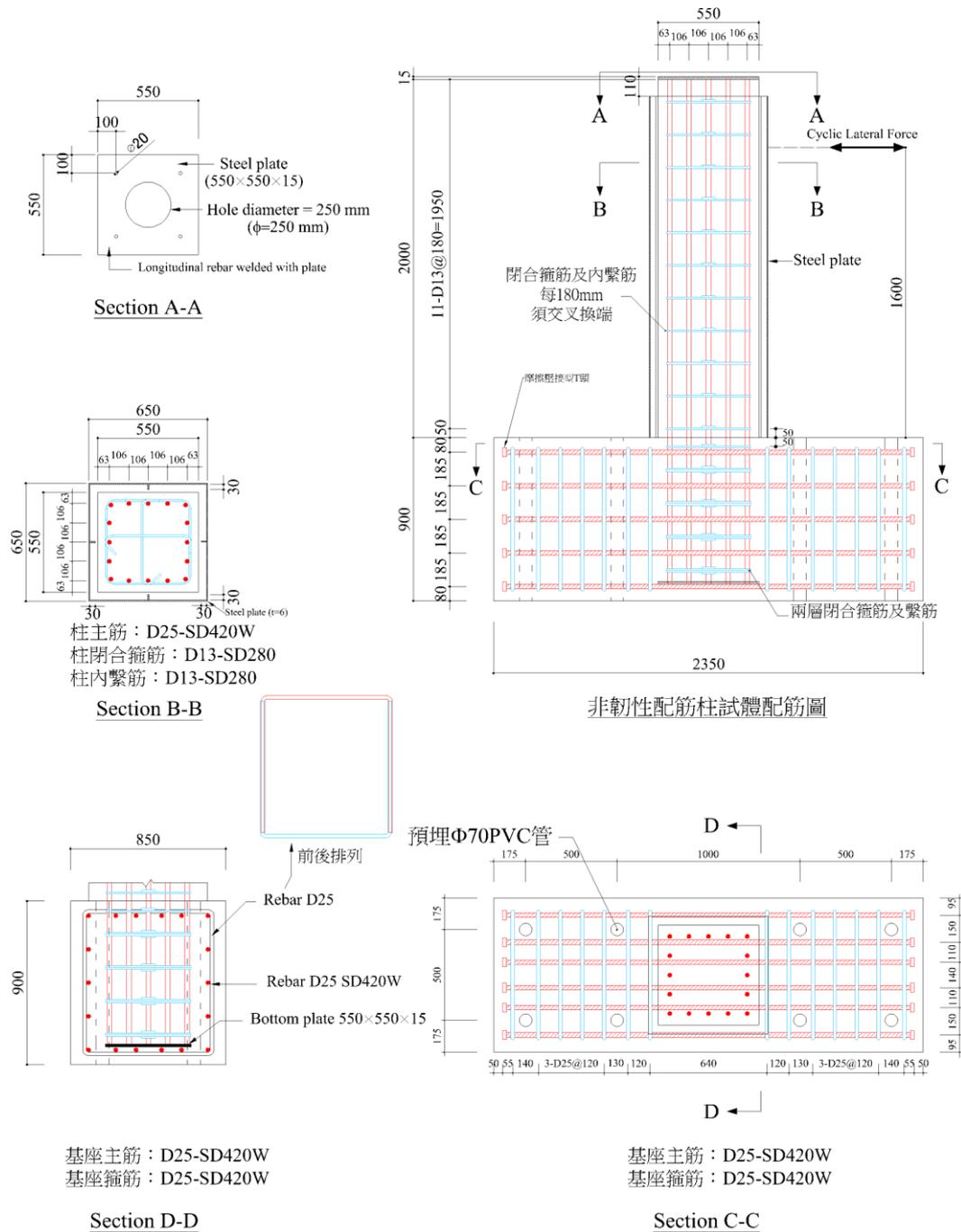


圖 2-2 SND50R06T1 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

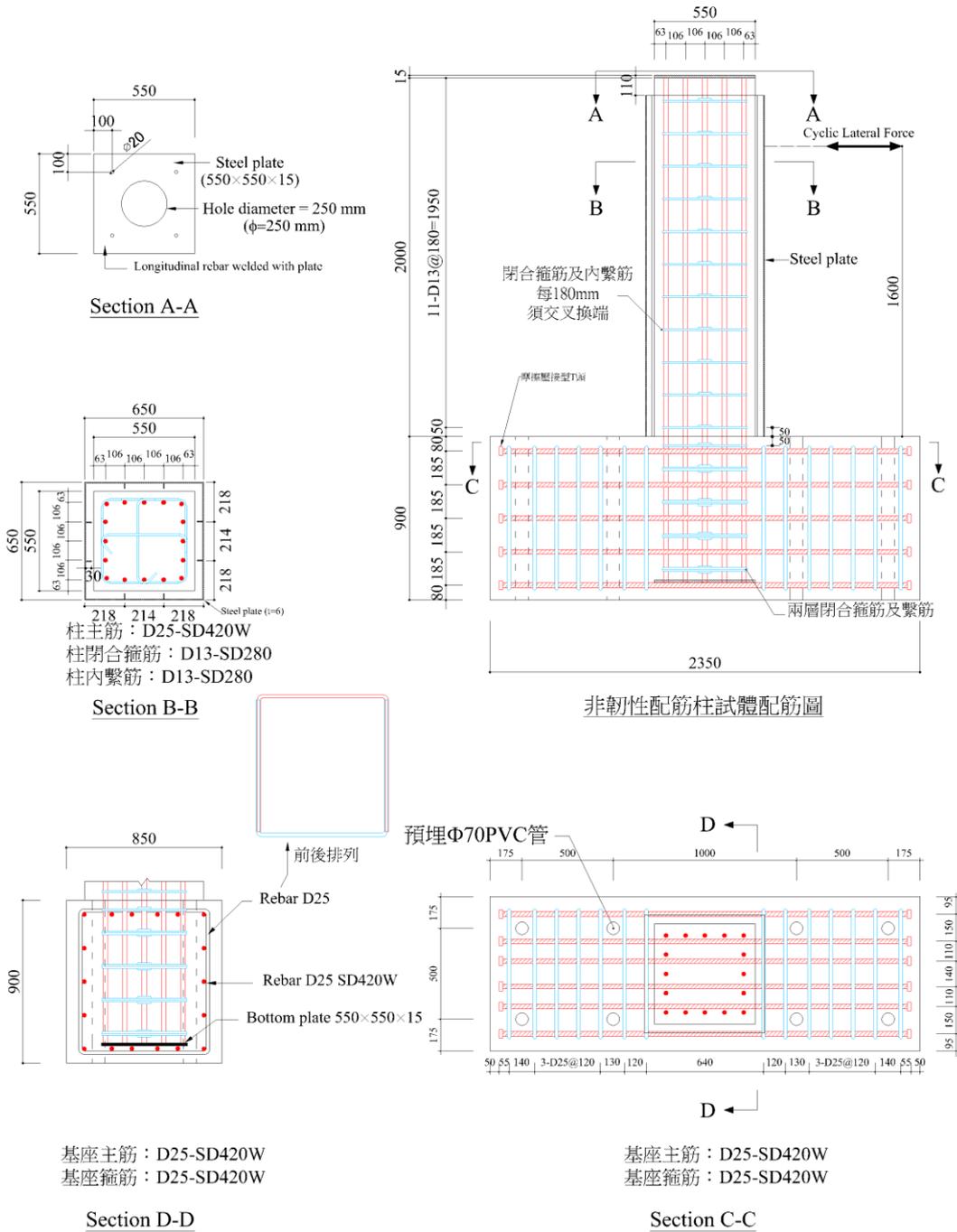


圖 2-3 SND50R06T2 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

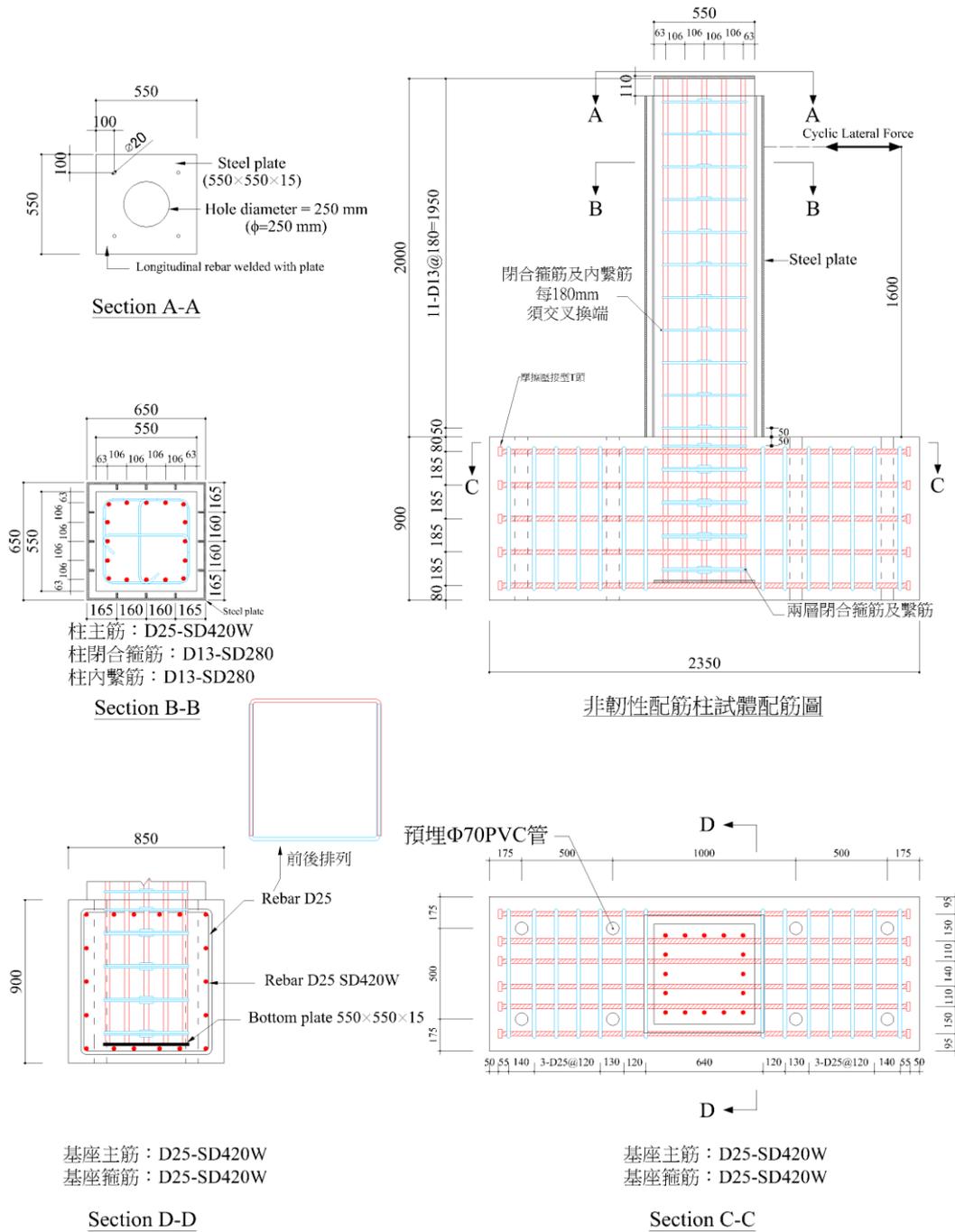


圖 2-4 SND50R10T3 之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

# 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

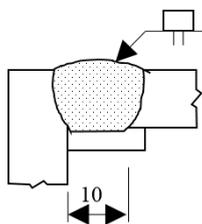


圖 2-5 鋼板補強柱試體鋼板角落銲接細節圖

(資料來源：本研究製作)

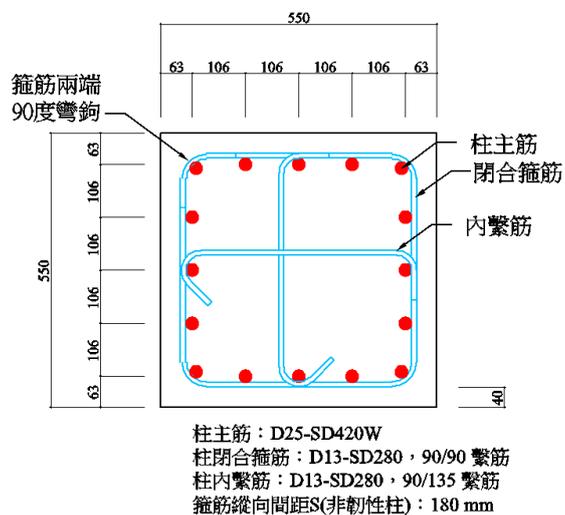


圖 2-6 試體柱斷面圖

(資料來源：本研究製作)

### 鋼筋材料模型

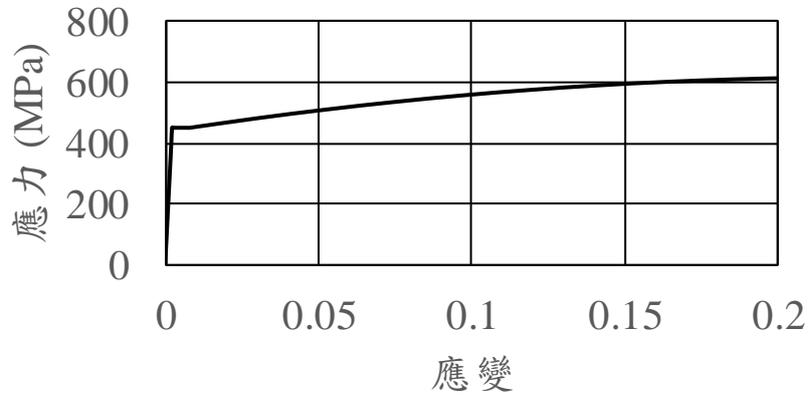


圖 2-7 鋼筋材料模型

(資料來源：黃國倫，2018[16])

### 鋼板材料模型

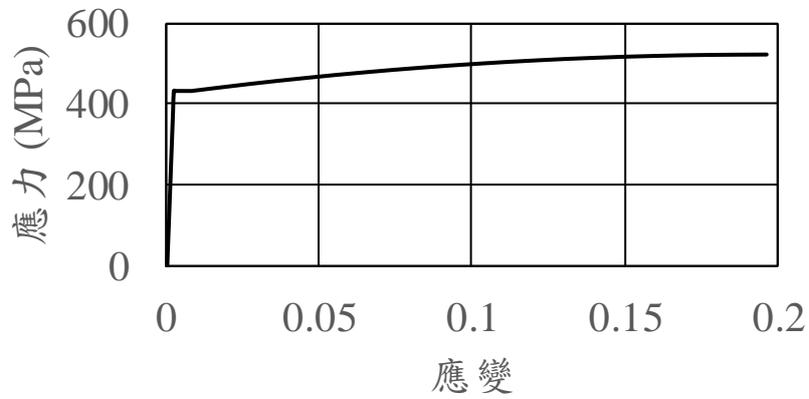


圖 2-8 鋼板材料模型

(資料來源：黃國倫，2018[16])

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

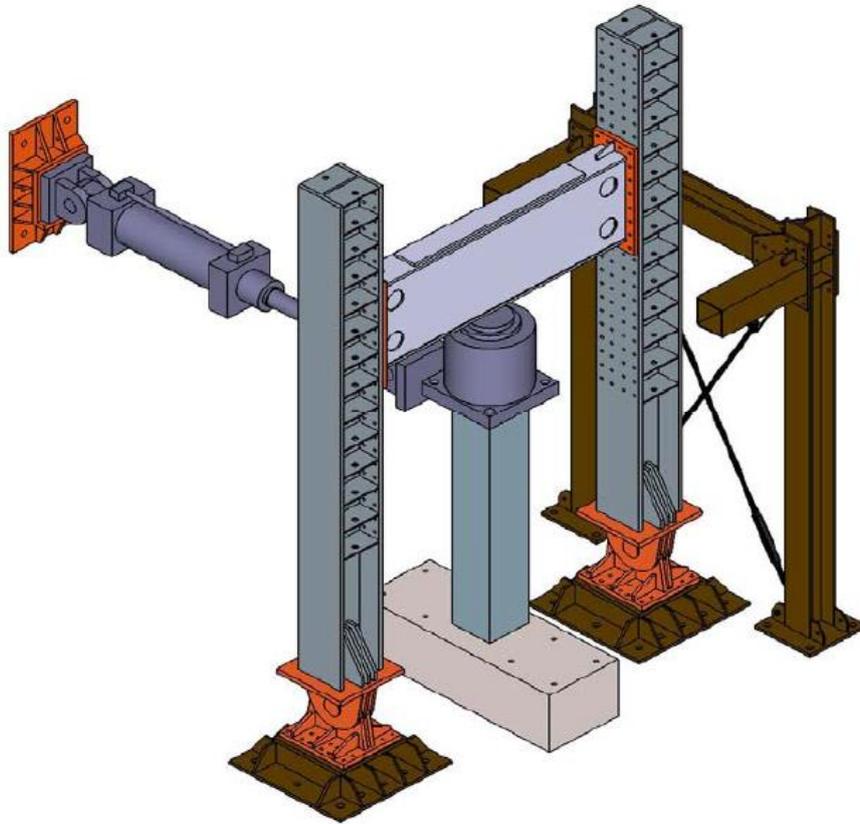


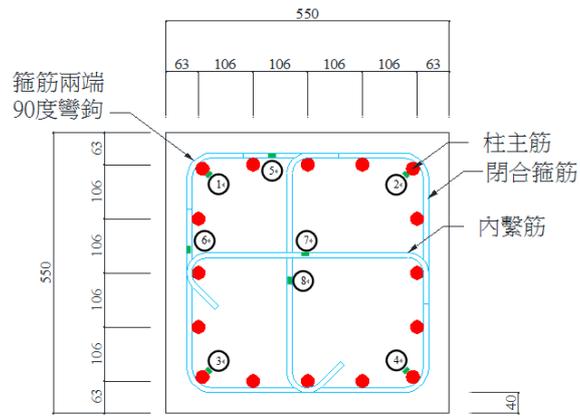
圖 2-9 軸力構架試驗裝置示意圖

(資料來源：李台光，2016[23])

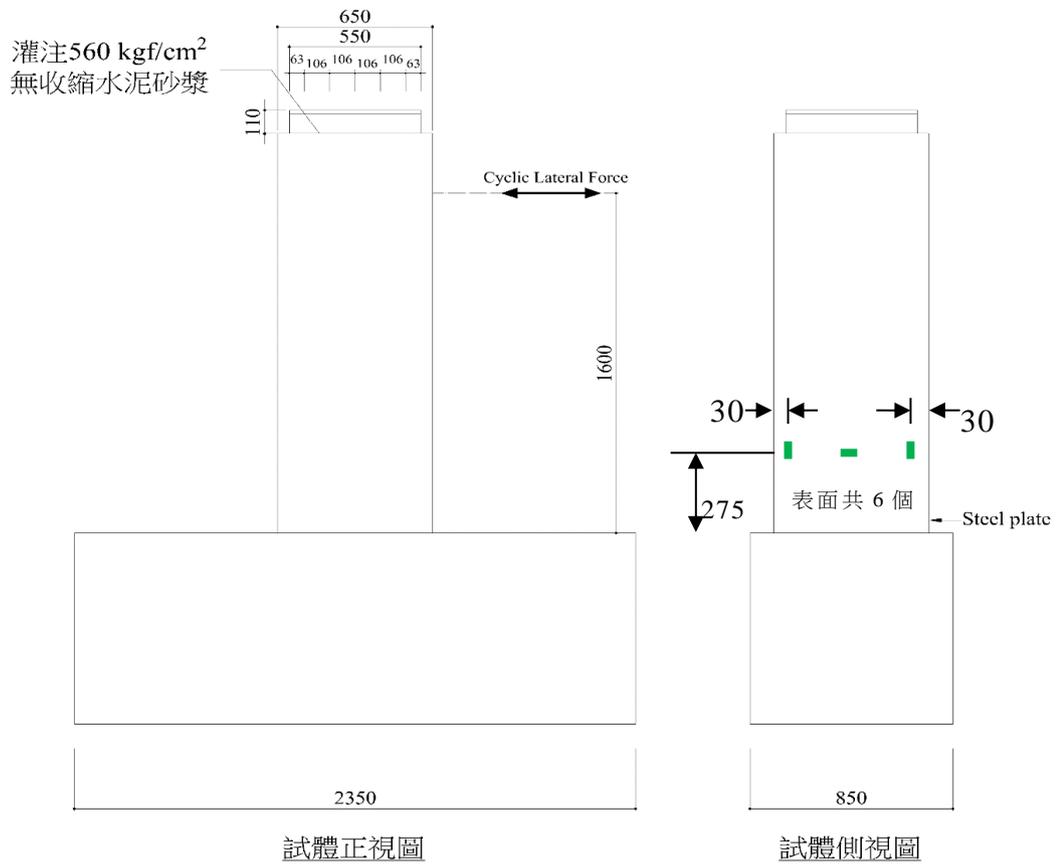


圖 2-10 軸力構架試驗裝置照片

(資料來源：黃國倫，2018[16])



(a) 基座上緣往上第 1 層柱內鋼筋應變計配置圖



(b) 鋼板補強柱試體之立面外觀應變計配置圖

圖 2-11 應變計配置示意圖  
(資料來源：本研究製作)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

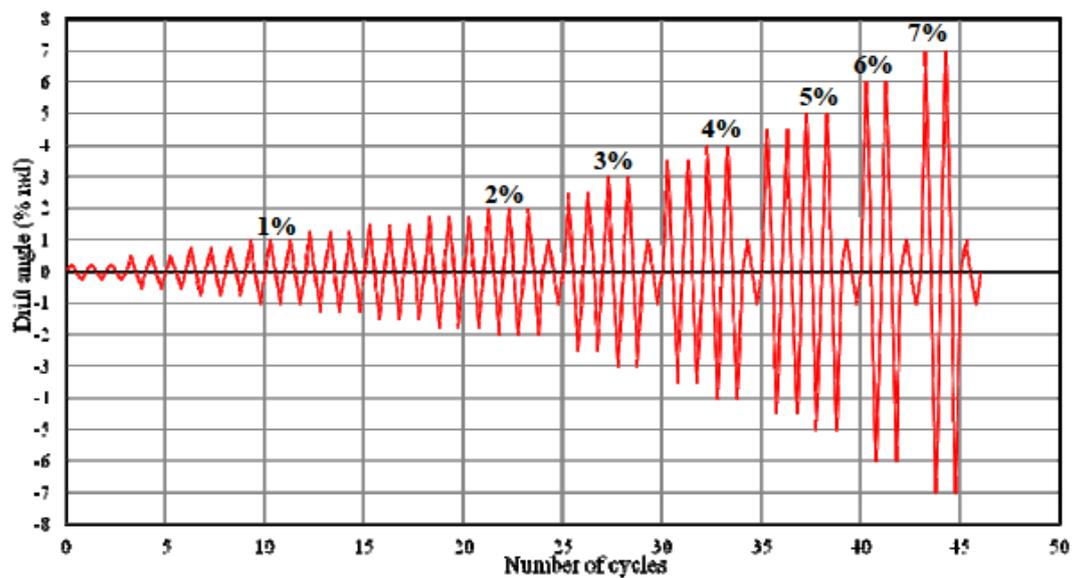


圖 2-12 反覆載重位移歷時圖

(資料來源：李台光，2016[23])

## 第三章 柱撓曲行為試驗

本章介紹試體之製作以及試驗過程之試體觀察。

### 第一節 試體製作

柱試體之鋼筋組立、模板施工、混凝土澆置、柱頂灌注無收縮砂漿及應變計黏貼等施工過程如圖 3-1 至圖 3-12 所示。乾式鋼板補強之施作，係以乾布清潔 RC 柱表面(表面未上漆，係純混凝土表面)，以 2 塊 L 型鋼板(如所示)定位至設計之位置，以雷射水平儀確認垂直度，再於 2 個接合角落施作全滲透銲接，最後由上方間隙倒入無收縮砂漿填滿(實際亦可採環氧樹脂等材料取代)。

柱主筋及柱箍筋抗拉強度試驗結果如表 3-1 所示，鋼筋抗拉強度試驗報告如圖 3-13 所示；補強鋼板抗拉強度試驗報告如圖 3-14 所示；混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果如圖 3-15 所示，由於變異性頗大，故數據分析採試驗時的平均  $f'_c$  值，為 373.49 kgf/cm<sup>2</sup>；基座部分的 28 天混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果為 205、212 及 199 kgf/cm<sup>2</sup>，較柱身混凝土  $f'_c$  值低。

### 第二節 試驗觀察

#### 一、SND50 試體

側移角 0.75 % 時，北面產生水平裂紋(圖 3-16)；側移角 1.25 % 時，東西 2 面產生斜向裂紋(圖 3-17)，柱底混凝土部分開裂(圖 3-18)；裂紋隨著側移角變大而加劇；側移角 2 % 時，南面柱底混凝土出現垂直

裂紋(圖 3-19)；側移角 4 % 時，南面柱混凝土保護層剝落(圖 3-19)；側移角 5 % 時強度降低太多，故試驗終止。破壞模式為柱底撓曲破壞。

## 二、SND50R06T1 試體

側移角 0.5 % 時，東西面柱底及基座連接處產生開裂(圖 3-21)；隨側移角增加基座開裂越嚴重，側移角 0.75 % 時，基座可看出整塊開裂(圖 3-22)；隨著側移角變大，基座開裂掉落之混凝土越多；側移角 9 % 時，強度降低太多，故試驗終止。破壞模式為基座內柱主筋挫屈及斷裂與混凝土壓碎剝落破壞。

## 三、SND50R06T2 試體

側移角 0.5 % 時，東西面柱底及基座連接處產生開裂(圖 3-23)；隨側移角增加基座開裂越嚴重，側移角 5 % 時，基座可看出整塊開裂(圖 3-24)；隨著側移角變大，基座開裂掉落之混凝土越多；側移角 8 % 時，強度降低太多，故試驗終止。破壞模式為基座內柱主筋挫屈及斷裂與混凝土壓碎剝落破壞。

## 四、SND50R10T3 試體

側移角 0.5 % 時，東西面柱底及基座連接處產生開裂；柱底基座開裂隨著側移角變大而變大，掉落之混凝土越多；側移角 8 % 時，強度驟降，故試驗終止。破壞模式為基座內柱主筋挫屈及斷裂與混凝土壓碎剝落破壞。

表 3-1 柱主筋及柱箍筋抗拉強度試驗結果

編號	$f_y, D25$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_y, D13$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	4659	3089
2	4567	3731
3	4587	3558

(資料來源：本研究製作)



**圖 3-1 試體鋼筋組立(基座及柱)**  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強



圖 3-2 試體模板組立(基座)  
(資料來源：本研究)



圖 3-3 試體混凝土澆置(基座)  
(資料來源：本研究)



圖 3-4 SND50 試體柱內鋼筋黏貼應變計  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強



圖 3-5 SND50R06T1 試體柱內鋼筋黏貼應變計  
(資料來源：本研究)



圖 3-6 SND50R06T2 試體柱內鋼筋黏貼應變計  
(資料來源：本研究)



圖 3-7 SND50R10T3 試體柱內鋼筋黏貼應變計  
(資料來源：本研究)



圖 3-8 試體模板組立(柱)  
(資料來源：本研究)



圖 3-9 試體混凝土澆置(柱)  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強



圖 3-10 試體柱頂灌注無收縮砂漿  
(資料來源：本研究)



圖 3-11 以 2 個 L 型鋼板組合成乾式補強鋼板  
(資料來源：本研究)



圖 3-12 鋼板補強試體之鋼板表面應變規黏貼  
(資料來源：本研究)

## 鄭兆鴻結構土木技師事務所材料試驗室

實驗室地址：台北市內湖區安康路32巷37號 電話：(02)2790-9589 傳真：(02)2792-9929



Civil Engineering Laboratory 0403

### 鋼筋混凝土用竹節鋼筋試驗報告

\*工程名稱：鋼筋混凝土柱補強試驗製作及殘體清運工程 報告編號： CCH- 19-05355  
 \*業 主：內政部建築研究院 頁 次：第 1 頁 共 1 頁  
 \*監造單位：NA 收件日期： 2019/6/20 16:30  
 \*承 包 商：安昌營造有限公司 試驗日期： 2019/6/20 17:27  
 \*委託單位：安昌營造有限公司 報告日期： 2019/6/21  
 \*聯絡資訊：婁技師2458-6688 0989-288-156 試驗方法： CNS560 A2006(2014)  
 \*結構部位：基礎、柱、帽樑 \*鋼筋廠商：合平實業有限公司  
 \*送驗人員：安昌營造-婁貴龍 06201625 \*取樣人員：黃國倫、婁貴龍  
 \*會試人員：安昌營造-婁貴龍 06201625 收件方式： 工地現場

試樣編號	*爐號	*鋼筋規格		節高平均值 (mm)		節距平均值 (mm)		間隙寬度平均值 (mm)		單位質量 kg/m	降伏點或降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	抗拉強度 N/mm <sup>2</sup>	伸長率 %	拉降比	彎曲試驗 180° 斷區位置
		稱號	種類	A側	B側	A側	B側	A側	B側						
				規範值	規範值	規範值	規範值	規範值	規範值						
01	—	D10	SD280	0.6	0.6	6.2	6.1	2.5	2.5	0.570	368	522	36	—	目視未裂
				≥0.4 且 ≤0.8	≤ 6.7	≤ 6.7	≤ 3.7	0.521~0.599	280~420	≥420	≥14	—	A區		
02	—	D10	SD280	0.7	0.6	6.1	6.0	2.5	2.5	0.570	357	516	32	—	目視未裂
				≥0.4 且 ≤0.8	≤ 6.7	≤ 6.7	≤ 3.7	0.521~0.599	280~420	≥420	≥14	—	B區		
03	—	D10	SD280	0.6	0.7	6.1	6.0	2.5	2.5	0.569	347	496	36	—	目視未裂
				≥0.4 且 ≤0.8	≤ 6.7	≤ 6.7	≤ 3.7	0.521~0.599	280~420	≥420	≥14	—	A區		
04	—	D13	SD280	0.7	0.7	8.0	8.1	3.4	3.3	1.02	303	472	32	—	目視未裂
				≥0.5 且 ≤1.0	≤ 8.9	≤ 5.0	0.924~1.06	280~420	≥420	≥14	—	B區			
05	—	D13	SD280	0.8	0.7	8.5	8.5	3.3	3.2	0.995	366	526	24	—	目視未裂
				≥0.5 且 ≤1.0	≤ 8.9	≤ 5.0	0.924~1.06	280~420	≥420	≥14	—	A區			
06	—	D13	SD280	0.6	0.6	8.2	8.2	2.9	2.9	0.971	349	499	24	—	目視未裂
				≥0.5 且 ≤1.0	≤ 8.9	≤ 5.0	0.924~1.06	280~420	≥420	≥14	—	B區			
07	—	D19	SD420W	1.3	1.1	11.4	11.4	4.0	3.9	2.24	455	645	22	1.42	目視未裂
				≥1.0 且 ≤2.0	≤ 13.3	≤ 7.5	2.14~2.36	420~540	≥550	≥12	1.25以上	B區			
08	—	D19	SD420W	1.1	1.2	12.1	12.1	4.2	3.8	2.29	446	670	22	1.50	目視未裂
				≥1.0 且 ≤2.0	≤ 13.3	≤ 7.5	2.14~2.36	420~540	≥550	≥12	1.25以上	B區			
09	—	D19	SD420W	1.1	1.2	11.7	11.4	4.0	3.9	2.29	445	660	24	1.48	目視未裂
				≥1.0 且 ≤2.0	≤ 13.3	≤ 7.5	2.14~2.36	420~540	≥550	≥12	1.25以上	A區			
10	—	D25	SD420W	1.4	1.5	15.1	15.2	4.7	4.8	3.99	457	643	25	1.41	目視未裂
				≥1.3 且 ≤2.6	≤ 17.8	≤ 10.0	3.78~4.18	420~540	≥550	≥13	1.25以上	C區			
11	—	D25	SD420W	1.4	1.4	15.2	15.0	4.6	4.5	3.96	448	672	17	1.50	目視未裂
				≥1.3 且 ≤2.6	≤ 17.8	≤ 10.0	3.78~4.18	420~540	≥550	≥13	1.25以上	C區			
12	—	D25	SD420W	1.4	1.5	16.4	16.3	4.3	4.5	3.99	450	678	17	1.50	目視未裂
				≥1.3 且 ≤2.6	≤ 17.8	≤ 10.0	3.78~4.18	420~540	≥550	≥13	1.25以上	B區			

附註：1. 上述規範值由CNS560(2014)摘錄，且該規範值僅供參考，材料檢驗與分析均由負責單位認定。 004508-108-7.1版  
 2. 本報告結果除非另有說明否則僅對送驗樣品負責，另未經書面許可不可部分複製  
 3. 拉伸試片D 22以下採用2號試片，D25以上採用14A號試片；每試片採2個試片  
 4. 本試驗室留存報告，僅保存六年；本報告結果之\*號標記為顧客提供之資料  
 5. 本實驗室為公共工程材料實驗室認證服務計畫認可實驗室



圖 3-13 鋼筋抗拉強度試驗報告  
(資料來源：本研究)

鄭兆鴻結構土木技師事務所材料試驗室

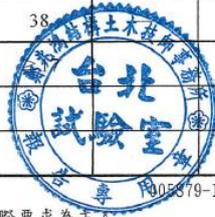


實驗室地址：台北市內湖區安康路32巷37號 電話：(02)2790-9589 傳真：(02)2792-9929

金屬材料拉伸試驗報告

工程名稱：鋼筋混凝土柱補強試體製作及殘體清運工程	報告編號：CCH-108061201
業主：內政部建築研究院	頁次：第 1 頁 共 1 頁
監造單位：NA	收件日期：2019/6/12
承包商：安昌營造有限公司	試驗日期：2019/6/20
委託單位：安昌營造有限公司	報告日期：2019/6/21
地址：婁技師2458-6688 0989-288-156	試驗方法：CNS 2111(1996)
結構部位：試體	材料廠商：合平實業有限公司
取樣人員：黃國倫、婁貴龍	樣品種類：6、10、15mm鋼板
送驗人員：安昌營造-林彥廷	數量： 9 件
會驗人員：NA	

試樣編號	試片號碼/爐號	厚度	寬度	斷面積	降伏強度	抗拉強度	伸長率	斷面縮率	備註
		mm	mm	mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	%	
01	5號	5.95	25.01	148.81	435	558	36	—	—
02	5號	5.95	25.01	148.81	443	558	39	—	—
03	5號	5.96	25.02	149.12	434	556	35	—	—
04	5號	10.03	25.01	250.85	394	497	40	—	—
05	5號	10.03	25.02	250.95	428	514	39	—	—
06	5號	10.02	25.01	250.60	395	498	38	—	—
07	5號	15.01	25.01	375.40	398	529	36	—	—
08	5號	15.02	25.02	375.80	380	532	39	—	—
09	5號	15.02	25.01	375.65	402	535	38	—	—
SN490B 要求值					≥325~445	490~610			
以下空白									



備註： 00279-106-1.3版

- 1.本報告若有提供規範值時，該規範值僅供參考，合格之判定以委託單位實際要求為主。
- 2.本報告結果除非另有說明否則僅對送驗樣品負責，另未經書面許可不可部分複製。
- 3.本試驗室留存報告，僅保存六年。

報告簽署人

圖 3-14 補強鋼板抗拉強度試驗報告  
(資料來源：本研究)

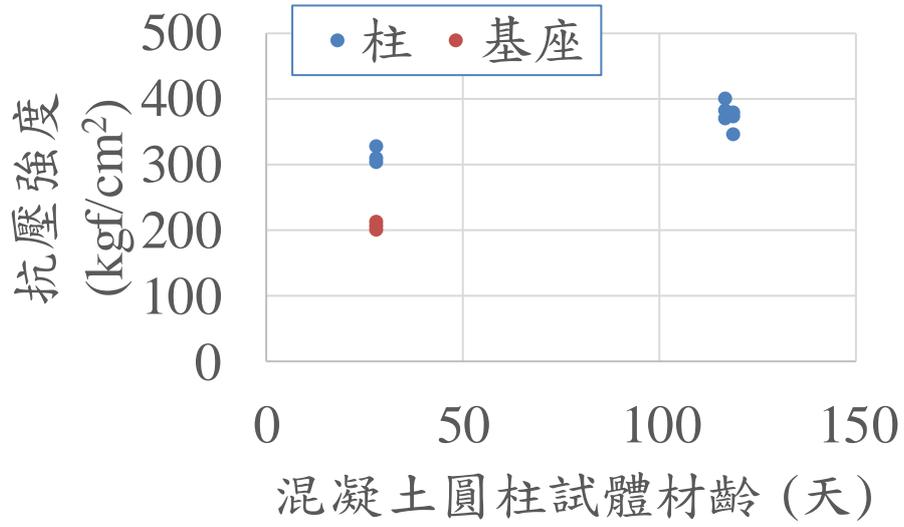


圖 3-15 混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果  
(資料來源：本研究)

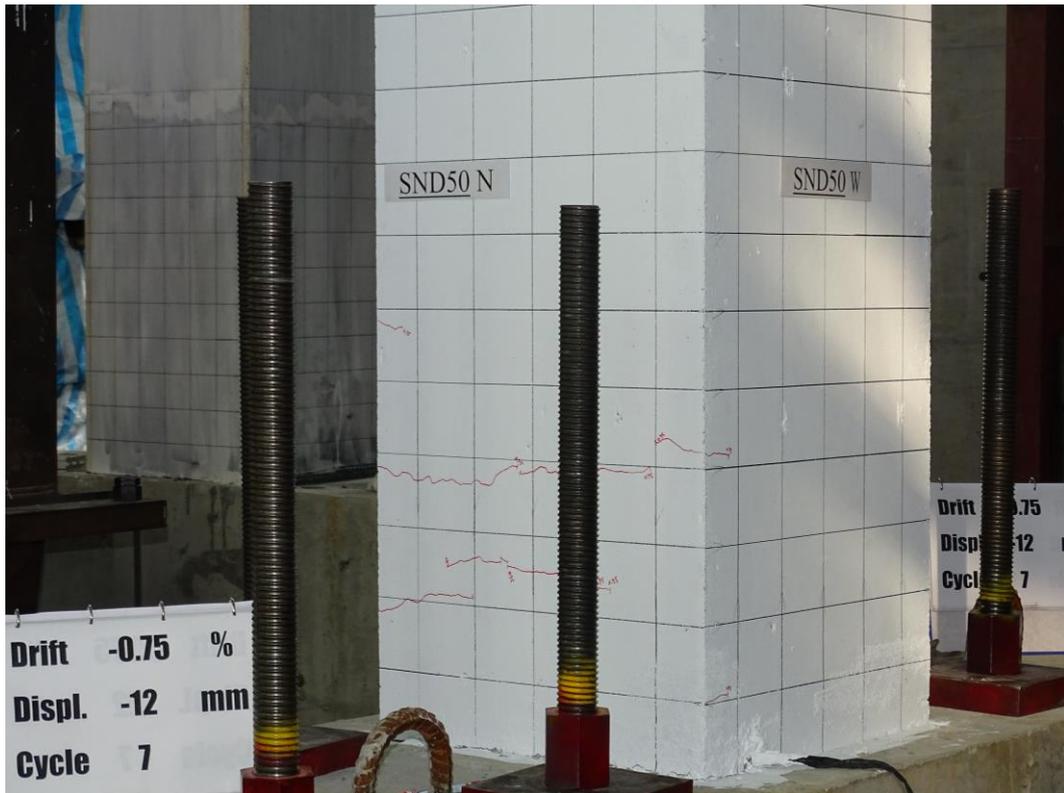


圖 3-16 SND50 試體北面產生水平裂紋  
(資料來源：本研究)

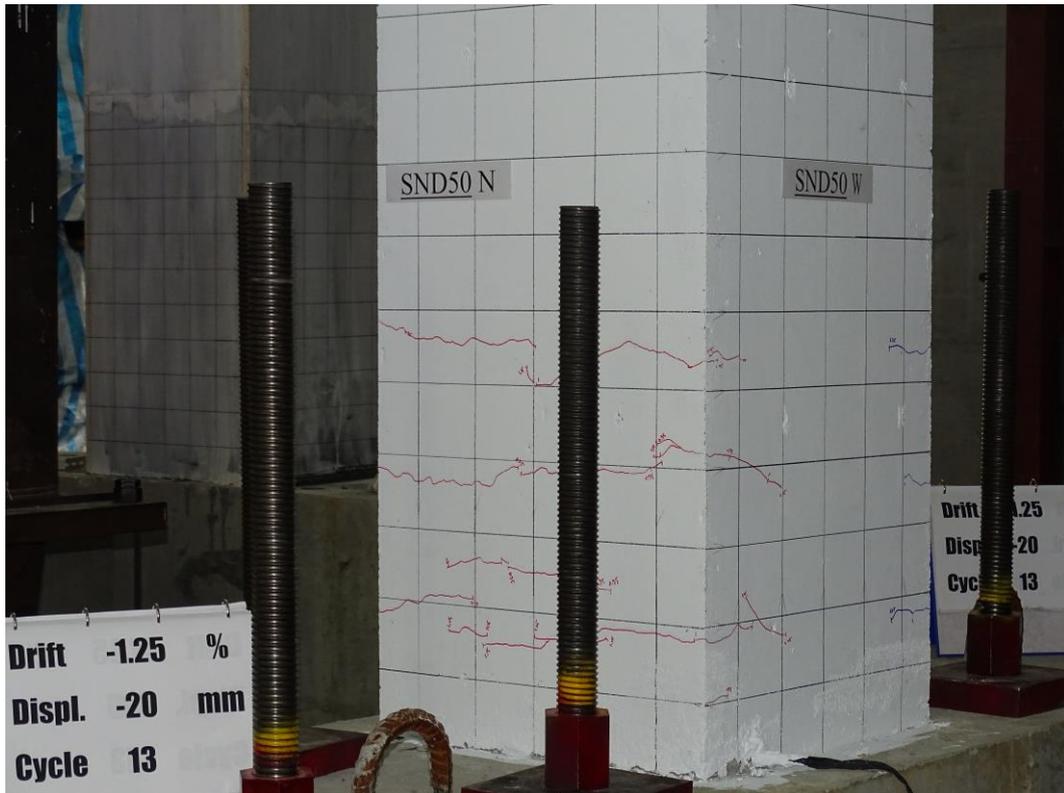


圖 3-17 SND50 試體東西 2 面產生斜向裂紋  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

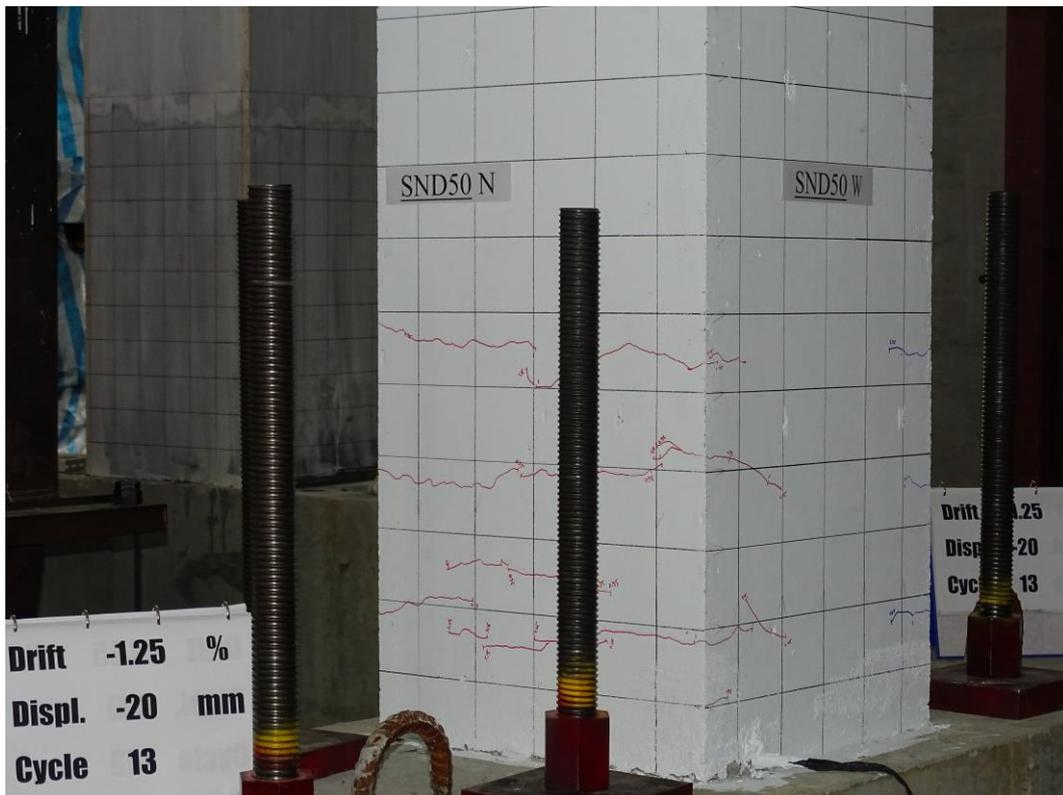


圖 3-18 SND50 試體柱底混凝土部分開裂  
(資料來源：本研究)

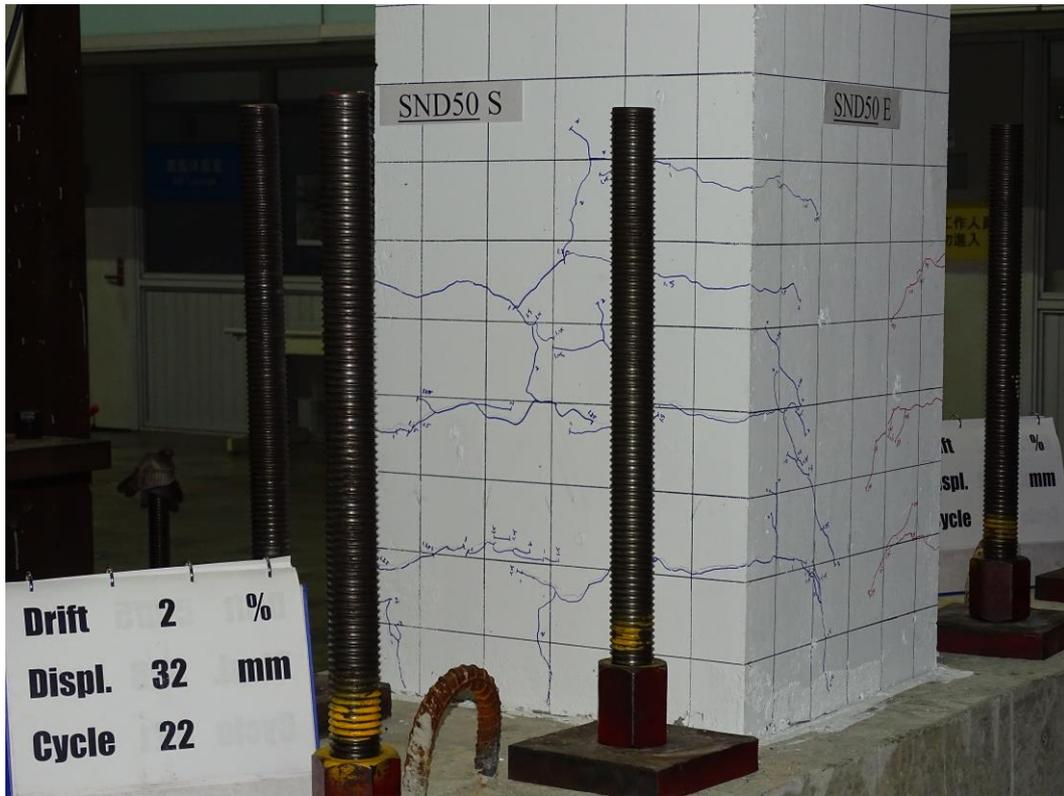


圖 3-19 SND50 試體南面柱底混凝土出現垂直裂紋  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強



圖 3-20 SND50 試體南面柱混凝土保護層剝落  
(資料來源：本研究)

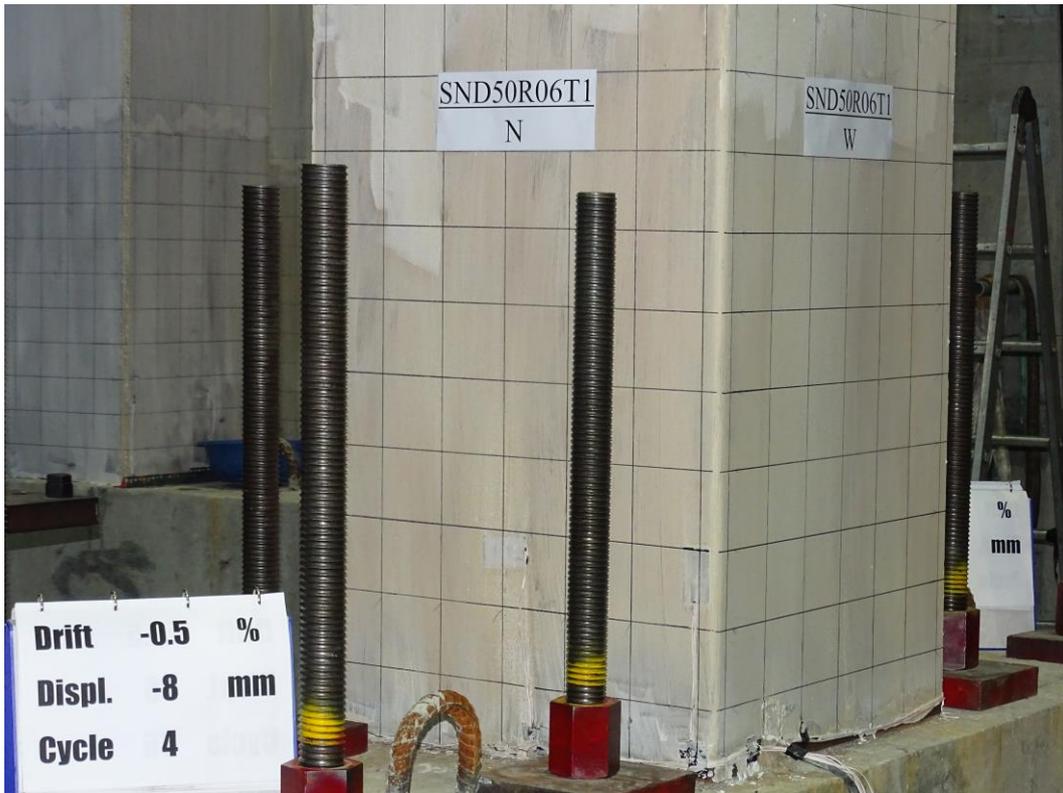


圖 3-21 SND50R06T1 試體東西面柱底及基座連接處產生開裂  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強



圖 3-22 SND50R06T1 試體基座可看出整塊開裂  
(資料來源：本研究)

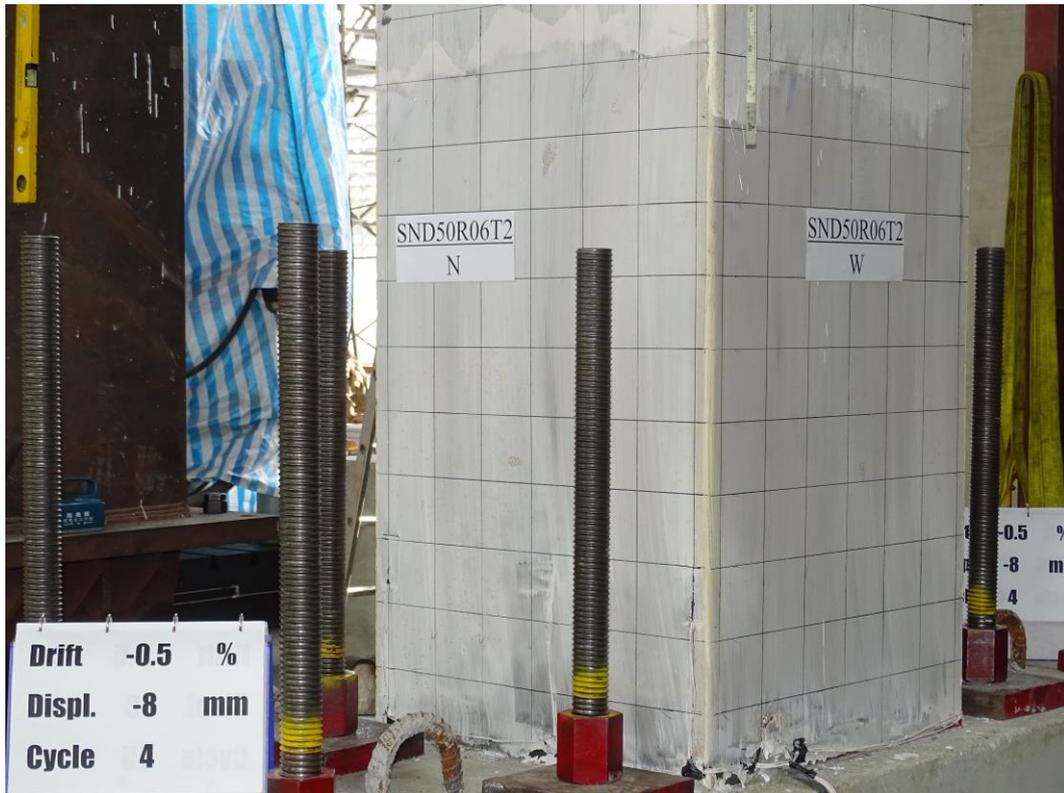


圖 3-23 SND50R06T2 試體東西面柱底及基座連接處產生開裂  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

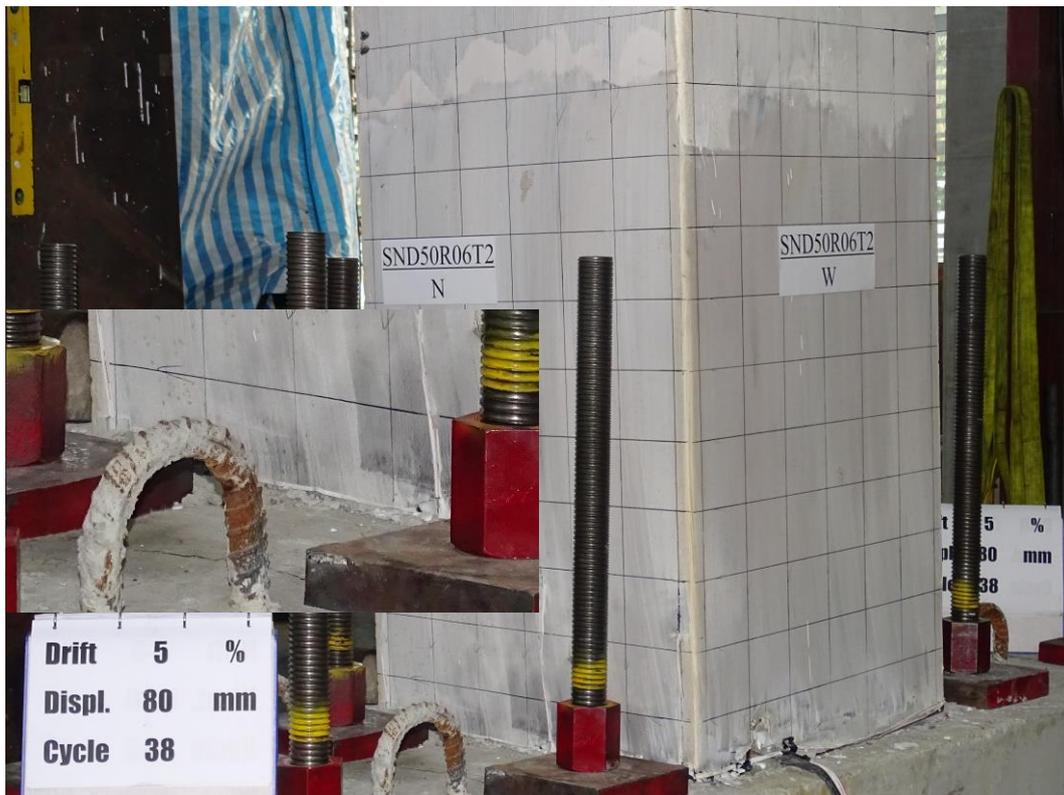


圖 3-24 SND50R06T2 試體基座可看出整塊開裂  
(資料來源：本研究)

## 第四章 試驗結果與討論

本研究各試體之材料試驗強度 ( $f_{yba}$ 、 $f'_{ca}$ )、試體理論彎矩強度  $M_n$ 、試驗彎矩強度  $M_{exp}$ 、降伏側移角  $\theta_{yn}$ 、極限側移角  $\theta_u$ 、塑性轉角  $\theta_p$  及韌性  $\mu$  將詳細列表於此 (包括致動器施加拉力、推力時之結果以及平均值, 例如  $M_{exp+}$  為致動器施加推力時之試驗彎矩強度,  $M_{exp-}$  為致動器施加拉力時之試驗彎矩強度, 而  $M_{exp}$  為平均試驗彎矩強度); 混凝土材料試驗強度  $f'_{ca}$  將由混凝土圓柱試體壓力試驗的結果取平均求得; 降伏側移角  $\theta_{yn}$  之定義為由原點及第一迴圈包絡線上昇段 75% 理論彎矩強度 ( $0.75M_n$ ) 交點連線上理論彎矩強度  $M_n$  所對應之側移角, 如圖 4-1 所示; 極限側移角  $\theta_u$  之定義為第一迴圈包絡線下降段對應於 85% 試驗彎矩強度 ( $0.85M_{exp}$ ) 之側移角, 如圖 4-1 第四象限所示之  $\theta_u$ , 若第一迴圈包絡線下降段並未低於  $0.85M_{exp}$ , 則取為最後之側移角, 如圖 4-1 所示第一象限所示之  $\theta_u$ ; 塑性轉角  $\theta_p$  之定義為極限側移角  $\theta_u$  減去降伏側移角  $\theta_{yn}$  所剩餘之側移角; 韌性  $\mu$  之定義為極限側移角  $\theta_u$  除以降伏側移角  $\theta_{yn}$  之比值。待試驗完畢後, 本章各節將介紹各試驗參數之試體行為比較與討論。

### 第一節 一般軸力下非韌性配筋 RC 柱撓曲韌性

SND50 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖如圖 4-2 所示, 以實際材料強度計算之試體強度及實驗結果列表如表 4-1 所示, 試體軸力  $P$  為 473 tf, 實際  $P/A_g f'_{ca}$  為 42%。試驗結果可看出高軸力作用下, 非韌性配筋 RC 柱之塑性轉角容量約 3.35% rad, 比預期值大許多, 估計係因為基座的混凝土強度較低, 基座變形量較大, 導致柱身與基座

的交界面會提供旋轉量，無法視為固定端，使塑性轉角容量看起來提高了，但若基座混凝土強度較柱身高，則交界面偏向固定端，可提供的轉角也會相對較低。至於破壞模式為柱底部撓剪破壞，與預期相同。

## 第二節 內側加勁板對鋼板補強效果之影響

SND50R06T1、SND50R06T2 及 SND50R10T3 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖如圖 4-3 及圖 4-5 所示，包絡線比較圖如圖 4-6 所示，實驗結果列表如表 4-1 所示，試體軸力  $P$  為 473 tf，實際  $P/A_g f'_{ca}$  為 42%。試驗結果可明顯看出以乾式鋼板補強高軸力作用下非韌性配筋 RC 柱，可將塑性轉角容量由僅約 3.35 % rad，提升至超過 5 % rad，鋼板厚度與塑性轉角容量之關係曲線如圖 4-7 所示，加勁板間寬厚比  $S_i/t$  與塑性轉角容量之關係曲線如圖 4-8 所示，與預期不同的是，鋼板厚度較厚試體的塑性轉角容量，比鋼板厚度較薄試體的表現差，且加勁板間寬厚比較小試體的塑性轉角容量，比加勁板間寬厚比較大試體的表現差，皆與理論不同。推估這些現象係起因於基座的混凝土抗壓強度比柱身的低太多，導致基座會先破壞，而鋼板越厚、加勁板間寬厚比越小，越會提升柱身的撓曲勁度和強度，而柱身撓曲勁度和強度越高，基座破壞的越快，才會導致這樣的結果。

表 4-1 實驗結果列表

試體 編號	$H_{exp+}$	$H_{exp-}$	$H_{exp}$	$\delta_{y+}$	$\delta_{y-}$	$\delta_y$	$\delta_{u+}$	$\delta_{u-}$	$\delta_u$
SND50	71.1	-81.3	76.2	23.2	-21.1	22.1	76.9	-74.5	75.7
SND50R06T1	96.3	-109.8	103.1	24.2	-22.8	23.5	125.6	-130.1	127.9
SND50R06T2	101.0	-110.3	105.6	30.7	-36.0	33.4	124.1	-124.6	124.3
SND50R10T3	97.9	-102.7	100.3	26.2	-24.7	25.5	107.8	-110.6	109.2

試體 編號	$\delta_{p+}$	$\delta_{p-}$	$\delta_p$	$\theta_{p+}$	$\theta_{p-}$	$\theta_p$	$\mu_{1+}$	$\mu_{1-}$	$\mu$
SND50	53.73	-53.43	53.58	3.36	-3.34	3.35	3.31	3.54	3.42
SND50R06T1	101.40	-107.30	104.35	6.34	-6.71	6.52	5.19	5.70	5.44
SND50R06T2	93.34	-88.56	90.95	5.83	-5.53	5.68	4.04	3.46	3.73
SND50R10T3	81.64	-85.86	83.75	5.10	-5.37	5.23	4.12	4.47	4.29

(資料來源：本研究製作)

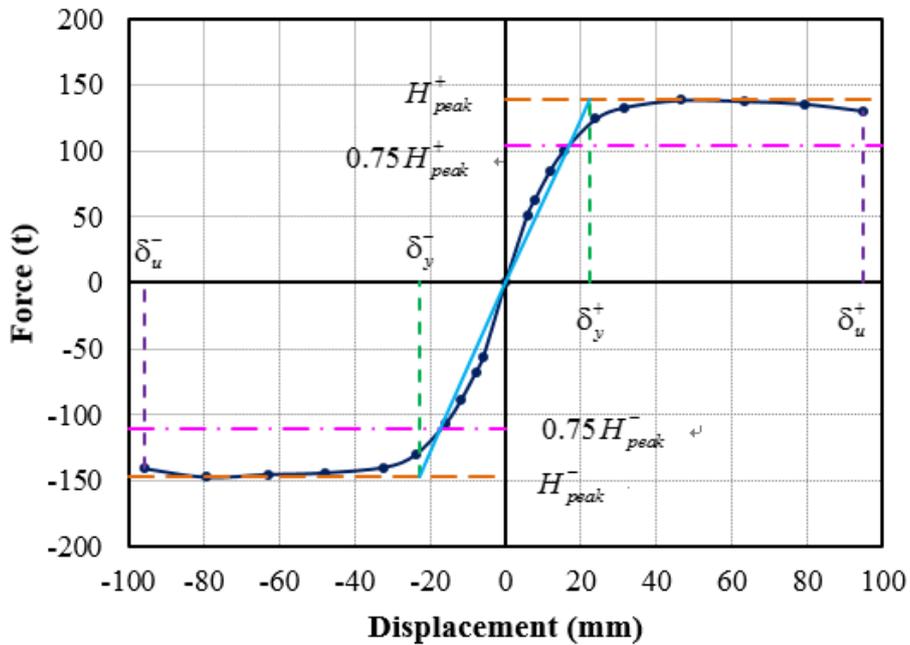


圖 4-1 降伏側移角  $\theta_{yn}$ 、極限側移角  $\theta_u$  定義之說明圖

(資料來源：李台光，2016[23])

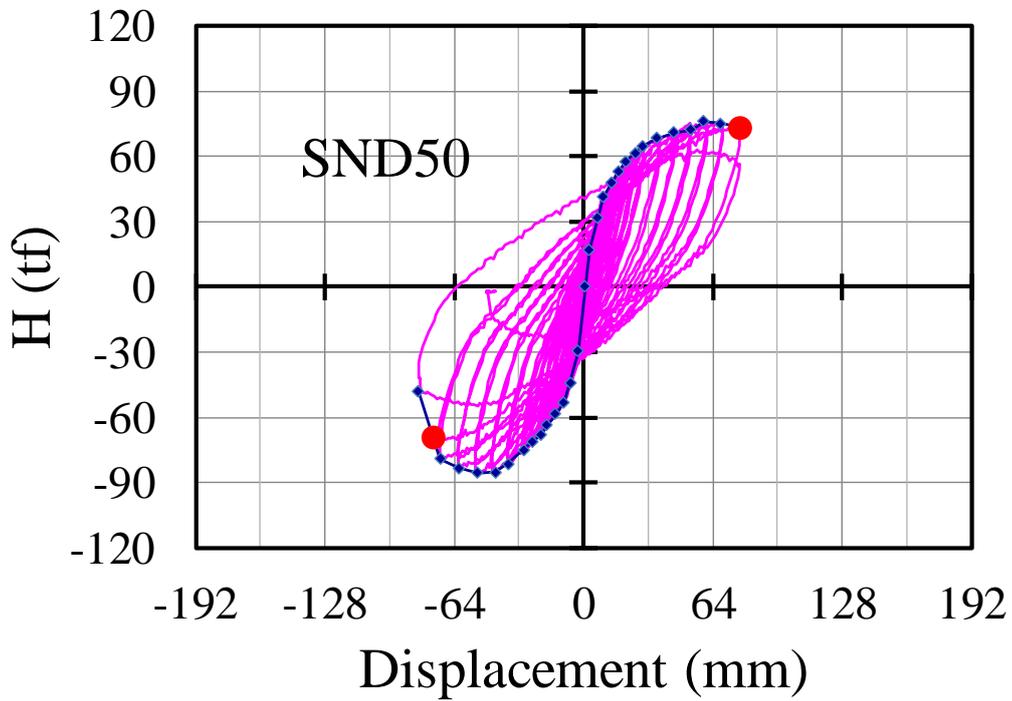


圖 4-2 SND 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

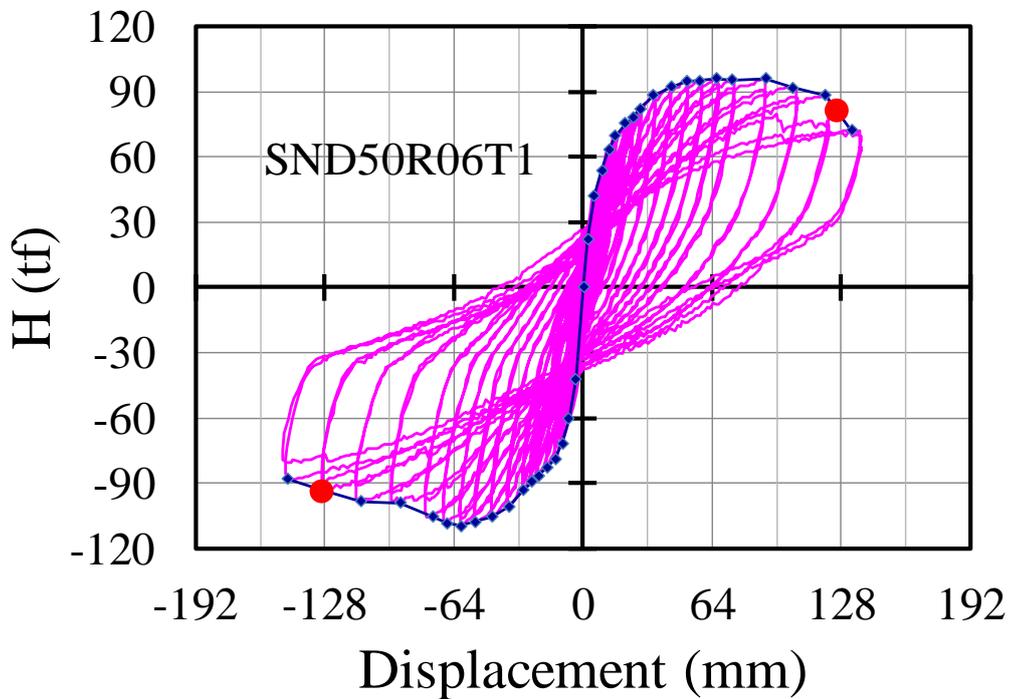


圖 4-3 SND50R06T1 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

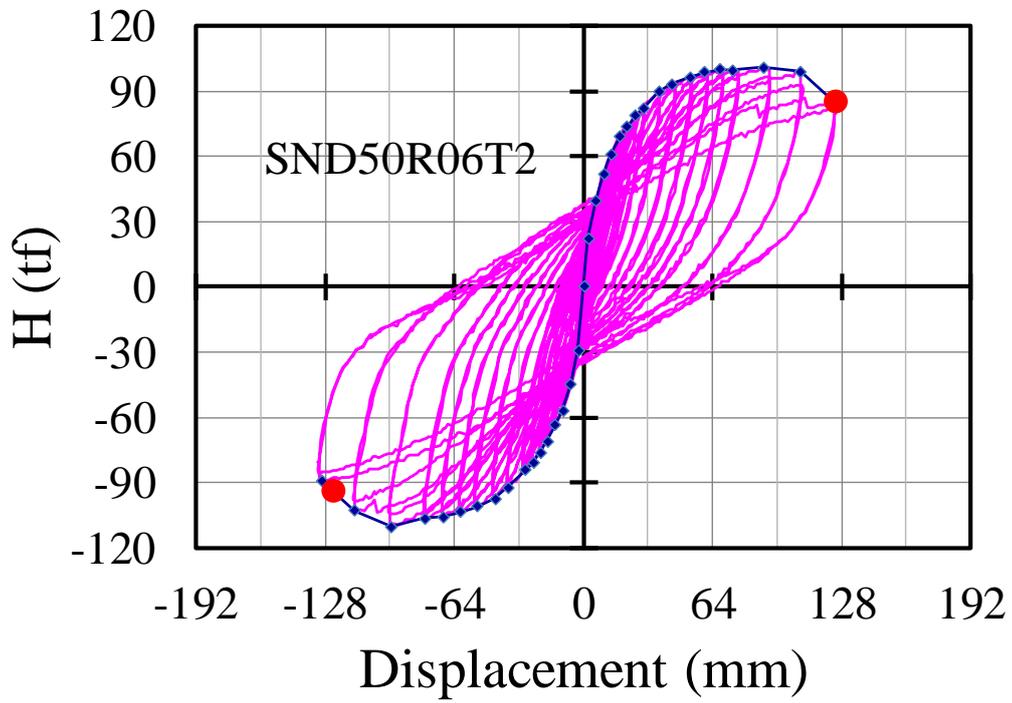


圖 4-4 SND50R06T2 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖  
(資料來源：本研究製作)

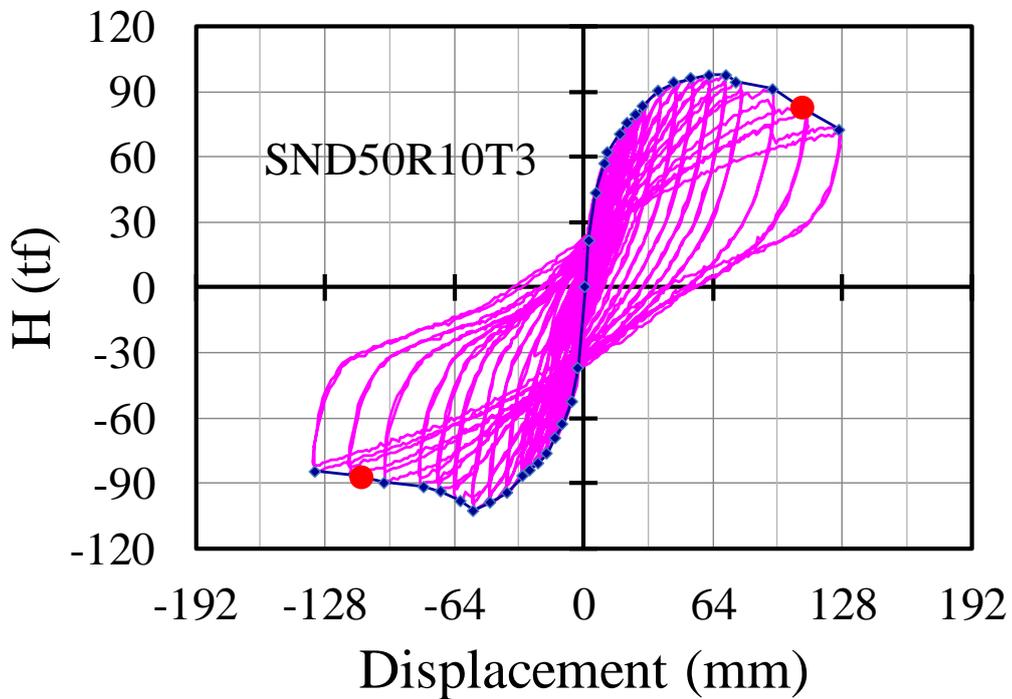


圖 4-5 SND50R10T3 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖  
(資料來源：本研究製作)

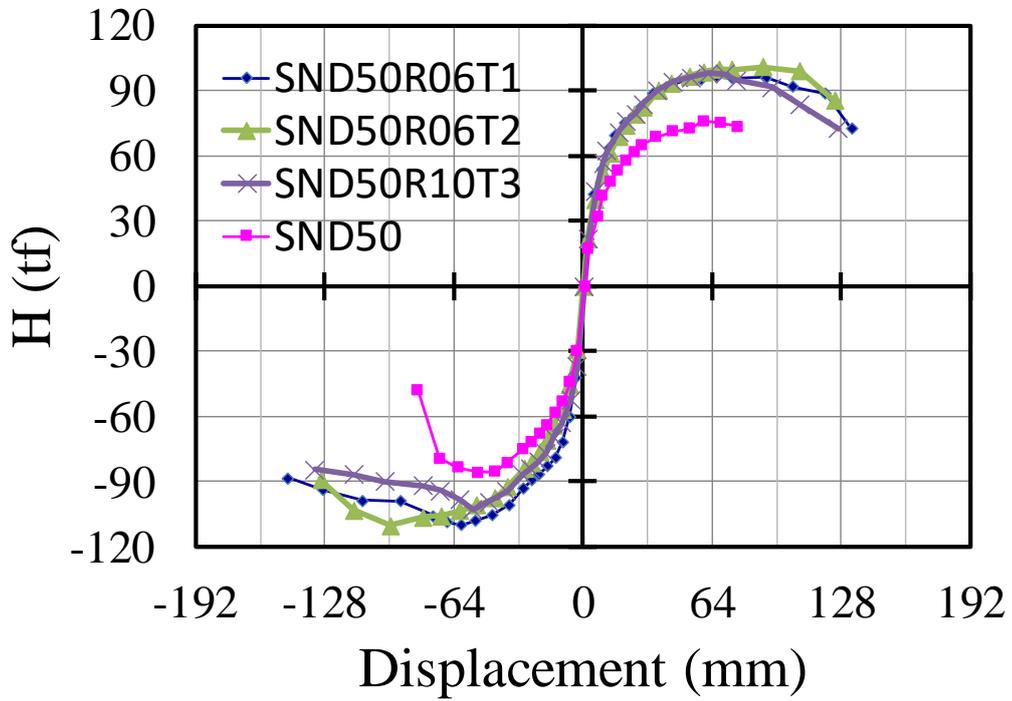


圖 4-6 各試體側力-位移包絡線比較圖  
(資料來源：本研究製作)

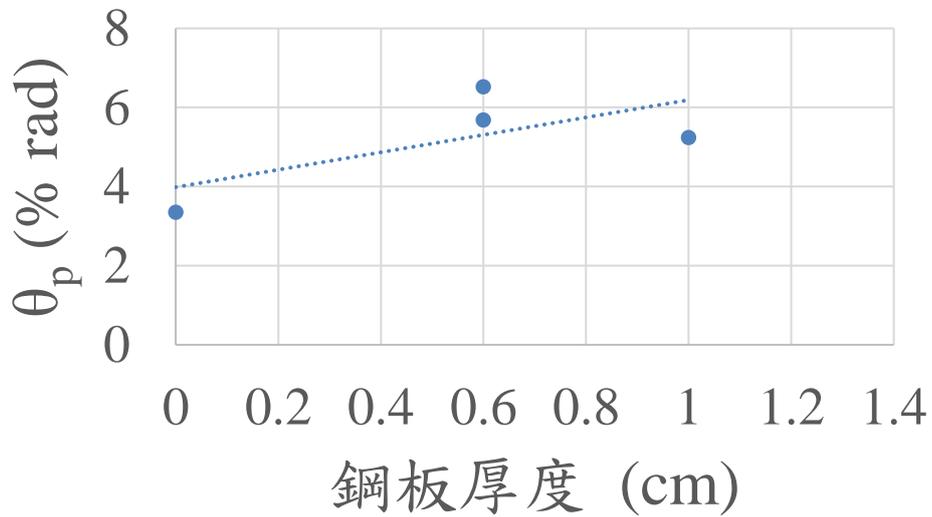


圖 4-7 鋼板厚度與塑性轉角容量之關係曲線圖  
(資料來源：本研究製作)

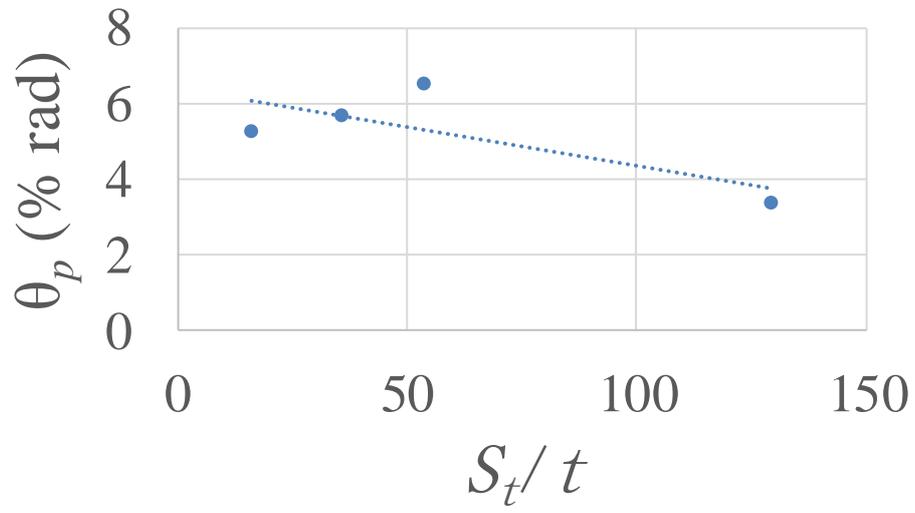


圖 4-8 加勁板間寬厚比與塑性轉角容量之關係曲線圖  
(資料來源：本研究製作)



## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究獲得以下結論：

1. 由文獻研究結果可知，鋼板補強應可提升柱的撓曲韌性；
2. 高軸力作用下乾式鋼板補強的提升效果，本研究試驗結果也發現補強效果良好，耐震能力及韌性大幅提升，只是因基座的混凝土強度比柱身低太多，鋼板補強後柱身勁度及強度皆大幅提昇，結果試驗過程都壞在基座。

### 第二節 建議

#### 建議一

**立即可行建議：**進行老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強之研究

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

本研究驗證了高軸力下非韌性配筋 RC 柱進行乾式鋼板補強之效果後，惟斷面若為矩形，可能影響乾式鋼板補強之效果，建議可進一步驗證乾式鋼板補強對高軸力下非韌性配筋矩形 RC 柱提昇耐震性能之效果。

#### 建議二

## 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

**立即可行建議：**進行老舊 RC 建築一般軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強之研究

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

本研究驗證了高軸力下非韌性配筋 RC 柱進行乾式鋼板補強之效果後，惟斷面若為矩形，可能影響乾式鋼板補強之效果，建議可進一步驗證乾式鋼板補強對一般軸力下非韌性配筋矩形 RC 柱提昇耐震性能之效果。

### 建議三

**中長期建議：**進行老舊 RC 建築補強之震後檢測研究

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

經期中審查委員建議，可進行老舊 RC 建築補強之震後檢測研究，提供不同地震發生導致補強效果不足之預警。

附錄一 自行研究計畫審查會議紀錄

附錄一 自行研究計畫審查會議紀錄



附錄一 自行研究計畫審查會議紀錄

檔 號：

保存年限：

## 內政部建築研究所 函

機關地址：231 新北市新店區北新路3段200號13樓

承辦單位：安全防災組

聯絡人：王天志

聯絡電話：06-2392755 分機1101

傳真電話：06-2392701

電子信箱：tcwang@abri.gov.tw

受文者：如行文單位

發文日期：中華民國108年2月23日

發文字號：建研安字第1080002168號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如主旨

主旨：檢送本所108年度第1次研究業務協調會議紀錄1份，請查照

。

正本：王所長榮進、王副所長安強、鄭主任秘書元良、王組長順治、蔡組長綽芳、陳組長建忠、羅組長時麒、蔡主任銘儒、王約聘研究員天志、陳約聘助理研究員佳玲、張助理研究員怡文、陶主任其駿、黃助理研究員國倫

副本：本所安全防災組、各組自行研究計畫研究人員(均含附件)

**電子交換章**

## 內政部建築研究所 108 年度第 1 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：108 年 2 月 18 日(星期一)下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主席：王所長榮進

記錄：王天志、陳佳玲、蔡銘儒  
張怡文、陶其駿、黃國倫

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、研究案主持人簡報：(略)

七、發言要點(依簡報順序)：

### (一)「應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面保溫材防火性」案：

1. 本案題目請考量國內氣候環境隔熱需求及參考與會人員意見酌修為「應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性」。
2. 建築技術規則對於建築外牆防火已有明確規定，請加強補充說明本案研究對象為外加貼覆於外牆立面的飾板防火性，以確立研究對象。
3. 請補充說明目前國內使用建築外牆立面隔熱材的案例及後續業界的需求性，以加強本案研究的重要性。
4. 本案執行時需與另案中尺度的研究內容做好分工，同時研究成果希望能有大、中尺度的相關性探討及後續採用的建議。
5. 大尺度試驗費時費力，加上今年還有建置設備及驗證的工作內容，如有需要明年持續進行，請規畫好研究內容及經費安排。
6. 請再多收集各國相關的檢測標準、性能要求及建築管理規定等資料，彙整後供給主管機關引用參考。

### (二)「建築外牆保溫飾板中尺度立面延燒研究」案：

1. 本案題目請考量國內氣候環境需求及參考與會人員意見酌修為「建築外牆隔熱飾板中尺度立面延燒研究」。

2. 國內對於中尺度外牆延燒實驗應用資料較少，請後續研究中多加收集相關資料及文獻，以更清楚了解大尺度及中尺度使用的範圍、目的及二者差異性。
3. 因我國為亞熱帶氣候，且實驗需大量人力及經費，請補充說明市場應用隔熱飾板之需求及普及性，以加強本案研究的重要性。
4. 實驗樣品應與大尺度實驗要有共通性，且為市場較廣泛性之產品進行試驗，以提高驗證結果之防火安全的可信度。
5. 實驗材料可同時進行 Cone、中尺度及大尺度實驗，以尋求其實驗結果相關性，以作為訂定法規的參考依據。

**(三) 「防火實驗中心營運管理關鍵成功因素之研究」案：**

1. 請評估與規劃後市場管理檢測及指定實驗室監督管理等項以增加業務來源。
2. 請就業務增加後人力需求與來源加以評估與規劃。
3. 預期成果請增列完成推動計畫，例如：若配合建管後市場管理檢測等業務，所需人力、物力與資源規劃。
4. 建議增加問卷調查以增加策略之支持度。
5. 各實驗中心(室)皆各提一案相似計畫，是否作為預算爭取之用？是否要整合？由誰整合？
6. 建議研訂 KPI 指標作為執行成效。

**(四) 「建築物昇降設備遠端檢查技術發展調查研究」案：**

1. 建築物昇降設備遠端檢查技術目前仍在研究發展中，但可解決檢查人力不足之問題，具有未來發展性，建議可列為中長期投入之研究課題。
2. 本(108)年度研究範圍可先聚焦於蒐集現階段技術發展資料，從評估現階段實施可行性及提出推動策略等方向著手，以回應本部營建署之意見。提出推動策略時，建議可參照現行「建築物昇降設備設置及檢查管理辦法」三級管理制度，第1階段先推動遠端檢查結果供「管理人」、「專業廠商之專業技術人員」自主參考，待技術更臻成

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

熟且檢查項目更為完整時，再擴大供「檢查機構之檢查員」、「建築主管機關」管理參據，最後階段則可能係提供昇降設備維護保養機器人使用，以分階段漸進方式提出相關建築法規調適建議。

3. 經濟部標準檢驗局目前朝向參採歐盟 EN 標準修訂 CNS 建築物昇降設備規定，建議可將歐盟 EN 相關標準發展情形列入蒐集資料範圍。

#### **(五)「CFRP 貼覆方向對 RC 柱補強效益之驗證研究」案：**

1. 本案 CFRP 貼片補強工法屬乾式施工法，符合建築物「階段性補強」政策之技術需求，惟建議應再與國家地震工程研究中心所執行階段性補強策略及示範例研究案連結，俾強化 CFRP 補強工法之適用性。
2. 為確保不同施工廠商於選用 CFRP 材料規格及品質之一致性，建議本案可就 CFRP 材料的檢測方法，以及相關補強材料認可機制，納為後續研究討論。
3. 本案研究課題名稱敘及補強「效益」之驗證，惟究竟屬經濟成本效益，還是耐震韌性效益之探討，建議課題名稱宜再予精進，或可參採修正為「CFRP 補強貼覆方向對 RC 柱耐震性能影響之驗證研究」。
4. 惟考量組內年度研究經費吃緊，以及因應未來可能為籌組建築物構造技術規範修正草案審查專案小組之經費需求，建議本案所規劃之試體數量，宜再審慎檢討擲節。

#### **(六)「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強」案：**

1. 本案發展創新補強工法，請考量是否可用以申請專利，為本所增加績效。
2. 乾式鋼板補強之施工法，亦符合建築物「階段性補強」之政策，建議同前案與國家地震工程研究中心相關研究團隊聯繫，強化本案工法與階段性補強探討工法之結合。
3. 建議可就增加本所績效之觀點，強化本案研究目的之論述。

4. 本案課題名稱與近年研究課題名稱「老舊建築」與「既有建築」用法不一，請考量是否修正課題名稱。
5. 考量今年本組部分經費將需支應辦理建築物技術規範修訂相關審查會議，組內年度經費有吃緊之情形，建議本案再審酌設計規劃之試體數量。

#### **八、會議結論：**

請參考與會同仁之寶貴意見，並請納入研究內容參採修正，使研究成果更為豐富完整。

#### **九、散會：(下午 5 時 40 分)**

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

內政部建築研究所

本所 108 年度第 1 次研究業務協調會議簽到簿

時 間：108 年 2 月 18 日（星期一）下午 2 時 30 分			
地 點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）			
主 席：王所長榮進		記 錄：王天志 黃國倫 陳佳玲 張怡文 陶其駿 蔡銘儒	
出席人員	簽 到 處	代 理	
		職 稱	簽 到 處
王副所長安強	王子強		
鄭主任秘書元良	鄭元良		
王組長順治	王順治		
蔡組長綽芳	蔡綽芳		
陳組長建忠	陳建忠		
羅組長時麒	羅時麒		
安全防災組自行研究計畫 研究人員-王天志	王天志		
安全防災組自行研究計畫 研究人員-蔡銘儒	蔡銘儒		
安全防災組自行研究計畫 研究人員-陳佳玲	陳佳玲		
工程技術組自行研究計畫 研究人員-陶其駿	陶其駿		
工程技術組自行研究計畫 研究人員-黃國倫	黃國倫		
環境控制組自行研究計畫 研究人員-張怡文	張怡文		

[研究業務協調會議 1080002007S]

附錄一 自行研究計畫審查會議紀錄

本所業務組同仁			
安全防災組	王阿香		
	李以遠		
環境控制組	林谷國		
	陳麒任		
	白櫻芳		
	賴深江		

呂文弘

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

相關人員			
工程技術組	謝宗興		
	徐亮晴		
	劉青峰		
綜合規劃組	褚政鑫		
	曹中丞		
	劉景弘		
	張乃修		

附錄一 自行研究計畫審查會議紀錄

本所業務組同仁			
	蔡介宗		
	李鎮堯		
	林招煒		
	廖浩仁		
	李其忠		
	胡博傑		
	蔡宜中		
	鄧建源		
	林蔭也		



### 混凝土結構設計規範規定

- 對於軸力比高於 $0.3A_g f'_c$ 之柱

$x_1 \leq 35 \text{ cm}$   
現行規範

$x_1 \leq 20 \text{ cm}$   
新版規範草案

細節要求更嚴格  
箍筋用量更大

7

### 研究緣起

- 補強對策
  - RC剪力牆
  - RC擴柱補強

921地震教育園區電子報

8

### 研究緣起

- 補強對策
  - 增設翼牆
  - 包覆鋼板補強

佳詮工程有限公司-結構補強

基隆封鎖灌漿工程-結構補強專家

9

### 研究目的

- RC剪力牆、RC擴柱補強、增設翼牆...
  - 屬於濕式施工補強方式
  - 會影響原空間使用功能
  - 民眾接受度較低
- 鋼板補強(106自辦)乾式鋼板補強(107自辦)
  - 乾式施工，且施工較不影響原空間功能
  - 佔用的面積較其他工法小
  - 適合推廣用於警政消防廳舍、醫院、學校等較需維持開放空間之建築(但不僅限於此)

10

### 研究目的

老舊RC建築既有非韌性配筋柱包覆鋼板補強之研究(106年自辦)

- 鋼板補強可提升高軸力RC柱之撓曲韌性
- 但是...

敲除柱之保護層造成噪音及粉塵仍可能影響原空間功能進而影響補強意願

11

### 研究目的

既有建築RC柱乾式鋼板補強實驗研究(107年自辦)

- 研發不敲除保護層、不使用化學錨栓之乾式鋼板補強工法
- 搭配內側加勁板及底部強化措施

鋼板補強  
保護層敲除

乾式鋼板補強  
保護層不敲除

內側加勁板

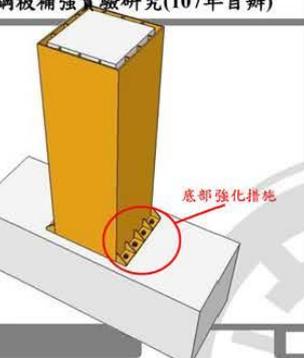
12

# 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

### 研究目的

既有建築RC柱乾式鋼板補強實驗研究(107年自辦)

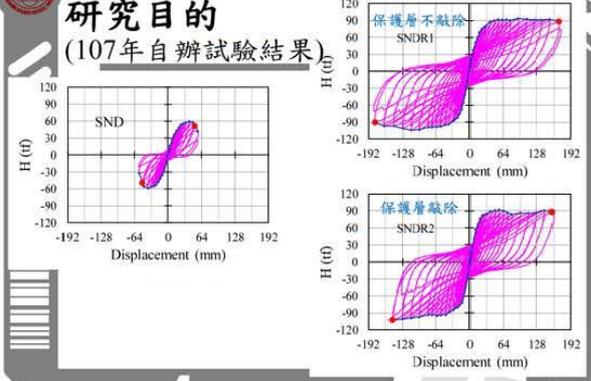
- 底部強化措施
  - 可有效提升抗彎強度




13

### 研究目的

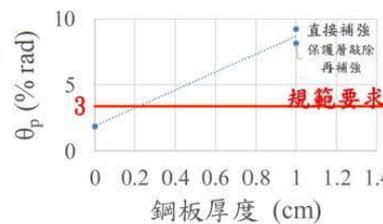
(107年自辦試驗結果)



14

### 研究目的

(107年自辦試驗結果)



試體編號	P (tf)	H <sub>exp+</sub> (tf)	H <sub>exp-</sub> (tf)	H <sub>exp</sub> (tf)	H <sub>X</sub> (tf)	試體編號	θ <sub>p+</sub> (% rad)	θ <sub>p-</sub> (% rad)	θ <sub>p</sub> (% rad)
SND	158.8	59.8	-58.6	59.2	60.7	SND	1.70	-1.98	1.84
SNDR1	158.8	93.6	-104.1	98.9	83.7	SNDR1	8.73	-9.68	9.20
SNDR2	158.8	92.0	-102.9	97.4	92.6	SNDR2	8.23	-7.99	8.11

P/A<sub>g</sub>f<sub>cm</sub>=26%

中高樓層建築底層柱承受高軸力能否適用?

15

### 研究內容

- 試體設計
  - 固定參數
    - 鋼板降伏強度 (F<sub>y</sub>) : 3.5 tf/cm<sup>2</sup> (A572Gr50鋼材)
    - 混凝土材料強度 (f'<sub>c</sub>) : 210 kgf/cm<sup>2</sup>(3,000psi)
    - 軸力比P/A<sub>g</sub>f<sub>c</sub>=50%
    - 方形斷面
  - 設計參數:
    - 是否敲除保護層、補強鋼板厚度
- 2個系列試體 (共計4組試體):
  - O系列 (補強前, 1支)
  - R系列 (補強後, 共3支, 1支有敲除保護層, 另2支無)

16

### 研究內容

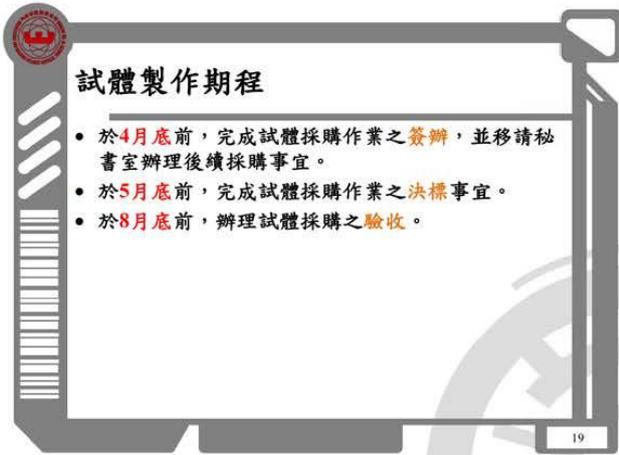


17

### 經費、人力及設備需求

- 經費需求
  - 補強前: 1\*13萬/支
  - 補強後: 3\*22萬/支
  - 預估約79萬元
- 人力及設備需求
  - 人力:
    - 拆裝試體: 開口合約廠商
    - 實驗: 3名研發替代役、1名一般替代役、1名派遣人員
  - 設備:
    - 反力牆、強力地板、油壓動力系統、軸力構架、600噸致動器、200噸致動器

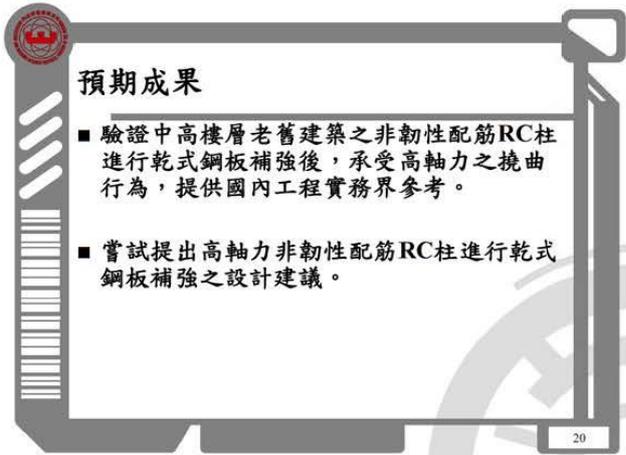
18



試體製作期程

- 於4月底前，完成試體採購作業之發辦，並移請秘書室辦理後續採購事宜。
- 於5月底前，完成試體採購作業之決標事宜。
- 於8月底前，辦理試體採購之驗收。

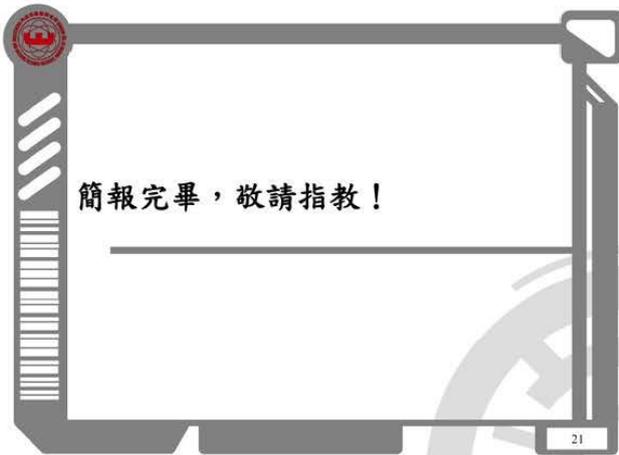
19



預期成果

- 驗證中高樓層老舊建築之非韌性配筋RC柱進行乾式鋼板補強後，承受高軸力之撓曲行為，提供國內工程實務界參考。
- 嘗試提出高軸力非韌性配筋RC柱進行乾式鋼板補強之設計建議。

20



簡報完畢，敬請指教！

21



附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表

附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表



附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表

期中審查委員意見	執行單位回應
中華民國全國建築師公會 楊建築師勝德	
(1) 早年從 4 角隅「角鋼」加「腰帶」作圍束補強，比較醜陋，現在進化到 4 片鋼板補強，考慮加勁效果，外觀美觀，但是提高軸力並不是那麼顯著。若能再次進化到鋼板「穿孔」美化，更能讓業主接受。	「角鋼」加「腰帶」的作法，應也可達到不錯的補強效果，實務上仍然可以採用。
財團法人台灣建築中心 侯副理雅壹	
(1) 本案的研究方向及成果很明確。	感謝委員的肯定。
(2) 可搭配 CFRP 補強貼覆工法。	業界進行補強工程時，的確可考慮以乾式鋼板補強搭配 CFRP 補強。
(3) 未來有無發展預警檢測的可行性，提供不同地震發生時，補強的效果是否維持。	預警檢測研究考量納為未來研究可能課題。
陳組長建忠	
(1) 濕式施工和乾式施工請列表比較成本及效益面，如施工時間、工料費用、人力作業或事項。	鋼板補強濕式施工比乾式施工多出保護層敲除人力及時間，且需要在施作前協調空間暫停使用(例如寒暑假)，鋼板補強乾式施工比濕式施工多出內側加勁板之材料及銲接費用。
(2) 本案已進行數年，請注意成果應用性。	一項技術的成熟必須含括各種不同考量因素，以結構實驗方式驗證雖花費較高、所需研究時間較長，但其可靠度最高，業界能採用的可能也越高。
(3) 補強效果請與規範規定之需求比較分析說明。	本案補強效果主要係與規範規定塑性轉角容量 3% 比較分析。
期末審查委員意見	執行單位回應
中華民國全國建築師公會 楊建築師勝德	

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

<p>(1) 鋼板加勁後空隙填充材應詳加說明，是 Epoxy 或水泥砂漿？</p>	<p>第三章已有說明鋼板與原柱間係以無收縮砂漿填充。</p>
<p>(2) 柱鋼板補強，著重強度提升，可忽略勁度提升。</p>	<p>其實若需解決軟層問題，亦可考量補強後勁度提升部分。</p>
<p>財團法人台灣建築中心 侯副理雅壹</p>	
<p>(1) 結論成果明確，建議可彙整鋼板及加勁板的設計建議參數，供業界參考。</p>	<p>本研究之補強設計係針對補強前情況之 SND50 試體，實務上應用仍須依個案情況不同而有所變化。</p>
<p>(2) 有關鋼板補強後強度過高造成基礎破壞部分，建議可說明適用條件或範圍。</p>	<p>實務上若怕基礎破壞，可於柱底鋪設鋼板做為承壓板，將壓應力傳遞至較大面積的基礎表面上。</p>
<p>江建築師星仁</p>	
<p>(1) 報告書第 5 頁進度表顯示 12 月仍進行實驗，請修正。</p>	<p>已修正。</p>
<p>(2) 報告書第 11 頁細部圖內標示 30 是哪裡的距離？如何固定？</p>	<p>30 是內部加勁板的寬度，加勁板和補強鋼板係以填角銲連接。</p>
<p>(3) 報告書第 17 頁柱頂為何要灌注 560 kgf/cm<sup>2</sup> 無收縮砂漿？會否失真？</p>	<p>灌注無收縮砂漿以達成補強鋼板與原柱之間能產生合成效應之目的。此為目前業界進行鋼板補強常用手法之一。</p>
<p>(4) 報告書第 25 頁圖片裡看起來不只 4 個試體。</p>	<p>因本研究與另一案之試體製作係合併成單一採購案一起發包。</p>
<p>(5) 以鋼板在 RC 表面以乾式鋼板補強，是否四面均需補強？會否補後太強，造成上方太弱？</p>	<p>鋼板補強必須四面一併補強，方能達到對內部混凝土增加圍束效果之目的。實務上能以設計方式來避免補後太強之問題。</p>
<p>(6) 需要的費用評價如何？每支柱所需財務成本為何？</p>	<p>去年度自行研究「既有建築 RC 柱乾式鋼板補強實驗研究」案，期末審查意見回應表已有說明乾式補強公法花費約為每平方公尺新臺幣 1 萬 8,000 元，惟實際所</p>

附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表

<p>(7) 報告書第 34 至 37 頁圖片看起來有貼磁磚？</p>	<p>需費用仍依個案情況不同而有所變化。</p> <p>本研究試體並無貼瓷磚，看起來有格子係柱身有繪製方格，以便進行試驗觀察。</p> <p>回應。</p>
<p>李技師英傑</p>	
<p>(1) 符合預期成果需求。</p> <p>(2) 請再說明乾式施工，原柱與鋼板間的傳力模式。</p> <p>(3) 加勁板與原柱間之距離是否有限制？</p> <p>(4) 薄板的全滲透鐸是否會產生不平整而影響強度。</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>第三章已有說明鋼板與原柱間係以無收縮砂漿填充，故原柱受力係透過無收縮砂漿傳遞至鋼板。</p> <p>建議參考本研究設計方式，單側向外增加 5 cm，加勁板寬度 3 cm，再考量鋼板厚度，即可得到加勁板與原柱間之距離。</p> <p>建議鐸接過程應考量鐸接對環境溫度及平整度之影響。</p>
<p>林研究員敏郎</p>	
<p>(1) 持續進行耐震補強技術研發並落實老舊建築之耐震補強工作，方可降低未知強震來襲可能造成之人命財產損失。本案進行 RC 柱以乾式銅板補強技術研發，具有其必要性及重要性，且成果豐富，並可立即供國內工程實驗參考，符合預期成果。</p> <p>(2) 建議於報告書中對 4 組試體之破壞模式可增加說明與比較。</p> <p>(3) 建議移除完成試驗試體之外包覆鋼板，以了解 RC 柱內部損壞情形。</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>已於第三章第二節補充說明。</p> <p>由於已發現基座內柱主筋挫屈及斷裂，且鋼板無發現破壞，爰未將鋼板移除。</p>
<p>張教授景鐘</p>	

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

<p>(1) 報告書表 2-1 試體之材料特性與尺寸，請詳列。例如：鋼板厚度 <math>t</math> 及混凝土設計抗壓強度 <math>f_c'</math>。</p> <p>(2) 報告書第 19 頁柱身混凝土試體抗壓強度與基座差異過大，影響實驗結果，請檢討。</p> <p>(3) 報告書第 47 頁結論請條列式敘述。</p>	<p>已於表 2-1 修正。</p> <p>未來若有試體製作採購案，將直接調高基座的混凝土設計強度，以做因應。</p> <p>第五章第一節已修正。</p>
<p>黎教授益肇</p>	
<p>(1) 加固後破壞多發生在基座，是否呈現柱子補強的效果？</p>	<p>補強前破壞發生在柱身，補強後破壞發生在基座，故確實有發揮柱子補強的效果。</p>
<p>陳組長建忠</p>	
<p>(1) 請於報告書載明各試體製作之實際上依現場操作情形修訂工料分析、單價分析、規格及價金，以供後續使用或研究參考。(尤其是乾式施工法效益在時間及操作場所與濕式工法的比較說明更有價值。)</p> <p>(2) 期望自辦案能有機會凸顯於透過本所合宜程序下，成果應用的情形。</p>	<p>去年度自行研究「既有建築 RC 柱乾式鋼板補強實驗研究」案，期末審查意見回應表已有說明乾式補強公法花費約為每平方公尺新臺幣 1 萬 8,000 元，惟實際所需費用仍依個案情況不同而有所變化。</p> <p>成果應用情形比較屬於統計方面的研究，與本案工程技術研發之研究不同，建議另案研究之。</p>
<p>張協理敬昌(書面意見)</p>	
<p>(1) 因實際試體混凝土強度較原規劃高，故未補強時之韌性較預期佳。</p> <p>(2) 乾式補強之施工影響較濕式少，如實務上結構柱有粉刷、貼磁磚時是否可逕行應用鋼板包覆補強，建議補充討論。</p> <p>(3) 圖 2-5 之鋼板未開槽銲接細部，僅適用於厚度 10 mm 以</p>	<p>確實如此。</p> <p>建議另案研究之。</p> <p>已於第二章第一節補充說明。</p>

附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表

<p>下之鋼板，建議說明較厚鋼板之預檢定鉸道需開槽。</p> <p>(4) 圖 3-12 顯示鋼板上亦有設置應變片，是否於軸力施加及彎矩加載過程中有顯著應變變化及其意義，建議說明。</p> <p>(5) 反「覆」載重建議改為反「復」載重。</p>	<p>由於基座破壞發生較早，故鋼板應變皆不大。</p> <p>經查大部分文獻皆使用反「覆」載重，爰本案亦同。</p>
---	--



## 參考書目

1. 鄭元良、廖文義，2016，「鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術與示範例之研擬」，內政部建築研究所協同研究報告，2016年12月。
2. Abdullah, Takiguchi, K., "An investigation into the behavior and strength of reinforced concrete columns strengthened with ferrocement jackets", *Cement & Concrete Composites* Vol. 25, pp. 233-242, 2003.
3. 邱聰智、邱建國、葉勇凱、簡文郁、鍾立來、周德光，「典型校舍耐震補強設計與驗證」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-038，2008年。
4. 邱耀正、施健泰、蕭輔沛、邱聰智、阮鈞平、黃世建，「校舍建築 RC 擴柱補強現地試驗與分析」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-033，2008年。
5. 黎育誠，「擴柱補強校舍之耐震檢核與側推分析」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文，2013年。
6. 張弘彬，「含 RC 翼牆非韌性構架耐震評估與補強之研究」，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文，2003年。
7. 游倩雯，「含 RC 翼牆構架之耐震補強研究」，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文，2004年。
8. 蔡昇芳，「翼牆用於 RC 構架補強之研究」，國立成功大學土木工程學系碩博士班碩士論文，2005年。
9. 江文卿、邱聰智、蕭輔沛、杜怡萱、簡文郁、葉勇凱、鍾立來、黃世建，「雲林縣口湖國小校舍現地靜態推垮實驗」，國家地震工程研究中心，研究報告 NCREE-08-044，2008。
10. 涂耀賢，「低矮型 RC 牆暨構架之側向載重位移曲線預測研究」，國立台灣科技大學營建工程系博士論文，2005年。
11. 涂耀賢、周逢霖、江文卿，「鋼筋混凝土低型剪力牆幾何性質對剪力強度之影響」，中國土木水利工程學刊，第二十二卷，第一期，2010年。
12. 吳炳昫，「低矮型鋼筋混凝土牆之鋼筋配置暨補強研究」，國立台灣大學土木工程學系碩士論文，2012年。
13. 林聖學、鍾立來、曾建創、賴昱志、黃國倫、楊耀昇、沈文成、翁樸文(2016)，

## 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

- 「校舍結構外加 RC 構架補強耐震分析」，國家地震工程研究中心，報告編號 NCREE-2016-006。
14. 賴昱志、林聖學、鍾立來、曾建創、黃國倫(2016)，結構耐震設計：樓板剪力傳遞之驗證，技師報第 1018 期。
  15. 黃國倫(2017)，老舊 RC 建築既有非韌性配筋柱包覆鋼板補強之研究，內政部建築研究所自行研究報告。
  16. 黃國倫(2018)，既有建築 RC 柱乾式鋼板補強實驗研究，內政部建築研究所自行研究報告。
  17. Priestley, M.J.N., Seible, F., Calvi, G. M., 1996, Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, pp. 298-299.
  18. Mander JB, Priestley MJN, Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. J Struct Eng 1988;114:1804-26.
  19. 林敏郎、吳穎涵、林至聰、陳沛清(2011)，「圍束補強鋼筋混凝土柱之軸向行為研究」，國家地震工程研究中心，報告編號 NCREE-11-025。
  20. Jose C. Alvarez and Sergio F. Brena. Modeling Parameters for the Nonlinear Seismic Analysis of Reinforced Concrete Columns Retrofitted Using FRP or Steel Jacketing. ACI Foundation 2017.
  21. Toshiaki MIYAGI. A Study on Emergency Retrofit Using Prestressing Bars and Steel Plates for Damaged Columns. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 1169.
  22. 蔡克銓、林敏郎(2002)，「鋼板包覆補強之矩形鋼筋混凝土橋柱耐震行為研究」，國家地震工程研究中心，報告編號 NCREE-2002-015。
  23. 李台光(2016)，含組合繫筋之鋼筋混凝土方柱承受拉壓軸力耐震性能之研究，內政部建築研究所自行研究報告。
  24. 陳正誠、黃國倫、蔡宜樺，2010，「填充高強度混凝土箱型鋼柱之撓曲韌性行為研究」，內政部建築研究所委託研究報告，GRB 編號：PG9902-0224，內政部研考資訊系統計畫編號：099301070000G1021，2010 年 12 月。

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：黃國倫

出版年月：108 年 12 月

版次：第一版

ISBN：