

# 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋 矩形柱乾式鋼板補強

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 109 年 12 月



PG10903-0268

# 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋 矩形柱乾式鋼板補強

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 109 年 12 月



## 目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
<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>27</b>
第一節 試體製作.....	27
第二節 試驗觀察.....	27
<b>第四章 試驗結果與討論.....</b>	<b>142</b>
第一節 高軸力下非韌性配筋 RC 柱撓曲韌性.....	142
第二節 不同斷面長寬比配置對補強效果之影響.....	143
<b>第五章 結論與建議.....</b>	<b>149</b>
第一節 結論.....	149
第二節 建議.....	149
<b>附錄一 自行研究計畫審查會議紀錄.....</b>	<b>151</b>
<b>附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表.....</b>	<b>171</b>
<b>參考書目.....</b>	<b>181</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 .....	29
表 4-1	實驗結果列表 .....	144



## 圖次

圖 1-1	研究流程圖	6
圖 2-1	RND1.5 試體之立面及剖面圖	9
圖 2-2	RND2.0 試體之立面及剖面圖	12
圖 2-3	RND1.5RT 試體之立面及剖面圖	15
圖 2-4	RND2.0RT 試體之立面及剖面圖	19
圖 2-5	鋼板補強柱試體鋼板角落銲接細節圖	22
圖 2-6	軸力構架試驗裝置示意圖	23
圖 2-7	應變計配置示意圖	24
圖 2-8	反覆載重位移歷時圖	25
圖 3-1	試體鋼筋材料準備	29
圖 3-2	試體鋼筋及鋼板 7/27 取樣送驗	30
圖 3-3	試體製作平台鋪設	31
圖 3-4	試體鋼筋組立(基礎及柱)	32
圖 3-5	試體模板組立(基礎)	32
圖 3-6	試體混凝土澆置(基礎)	33
圖 3-7	試體柱內鋼筋黏貼應變計	33
圖 3-8	試體模板組立(柱)	34
圖 3-9	試體混凝土澆置(柱)	34
圖 3-10	鋼板補強試體加裝鋼板及灌入無收縮砂漿	35
圖 3-11	鋼板補強試體之鋼板表面應變規黏貼	35
圖 3-12	鋼筋抗拉強度試驗報告	36
圖 3-13	補強鋼板抗拉強度試驗報告	37
圖 3-14	混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果	38
圖 3-15	加軸力前 RND1.5 試體照片	39
圖 3-16	加軸力後側移角 0 % 時 RND1.5 試體照片	40
圖 3-17	側移角 0.25 % 時 RND1.5 試體照片	41
圖 3-18	側移角 -0.25 % 時 RND1.5 試體照片	42
圖 3-19	側移角 0.5 % 時 RND1.5 試體照片	43
圖 3-20	側移角 -0.5 % 時 RND1.5 試體照片	44
圖 3-21	側移角 0.75 % 時 RND1.5 試體照片	45
圖 3-22	側移角 -0.75 % 時 RND1.5 試體照片	46

圖 3-23	側移角 1.0 %時 RND1.5 試體照片 .....	47
圖 3-24	側移角-1.0 %時 RND1.5 試體照片 .....	48
圖 3-25	側移角 1.25 %時 RND1.5 試體照片 .....	49
圖 3-26	側移角-1.25 %時 RND1.5 試體照片 .....	50
圖 3-27	側移角 1.5 %時 RND1.5 試體照片 .....	51
圖 3-28	側移角-1.5 %時 RND1.5 試體照片 .....	52
圖 3-29	側移角 1.75 %時 RND1.5 試體照片 .....	53
圖 3-30	側移角-1.75 %時 RND1.5 試體照片 .....	54
圖 3-31	側移角 2.0 %時 RND1.5 試體照片 .....	55
圖 3-32	側移角-2.0 %時 RND1.5 試體照片 .....	56
圖 3-33	側移角 2.5 %時 RND1.5 試體照片 .....	57
圖 3-34	側移角-2.5 %時 RND1.5 試體照片 .....	58
圖 3-35	試驗結束時 RND1.5 試體照片 .....	59
圖 3-36	加軸力前 RND2.0 試體照片 .....	60
圖 3-37	加軸力後側移角 0 %時 RND2.0 試體照片 .....	61
圖 3-38	側移角 0.25 %時 RND2.0 試體照片 .....	62
圖 3-39	側移角-0.25 %時 RND2.0 試體照片 .....	63
圖 3-40	側移角 0.5 %時 RND2.0 試體照片 .....	64
圖 3-41	側移角-0.5 %時 RND2.0 試體照片 .....	65
圖 3-42	側移角 0.75 %時 RND2.0 試體照片 .....	66
圖 3-43	側移角-0.75 %時 RND2.0 試體照片 .....	67
圖 3-44	側移角 1.0 %時 RND2.0 試體照片 .....	68
圖 3-45	側移角-1.0 %時 RND2.0 試體照片 .....	69
圖 3-46	側移角 1.25 %時 RND2.0 試體照片 .....	70
圖 3-47	側移角-1.25 %時 RND2.0 試體照片 .....	71
圖 3-48	側移角 1.5 %時 RND2.0 試體照片 .....	72
圖 3-49	側移角-1.5 %時 RND2.0 試體照片 .....	73
圖 3-50	側移角 1.75 %時 RND2.0 試體照片 .....	74
圖 3-51	側移角-1.75 %時 RND2.0 試體照片 .....	75
圖 3-52	側移角 2.0 %時 RND2.0 試體照片 .....	76
圖 3-53	側移角-2.0 %時 RND2.0 試體照片 .....	77
圖 3-54	側移角 2.5 %時 RND2.0 試體照片 .....	78
圖 3-55	側移角-2.5 %時 RND2.0 試體照片 .....	79
圖 3-56	側移角 3.0 %時 RND2.0 試體照片 .....	80
圖 3-57	側移角-3.0 %時 RND2.0 試體照片 .....	81
圖 3-58	試驗結束時 RND2.0 試體照片 .....	82
圖 3-59	加軸力前 RND1.5RT 試體照片 .....	83

圖 3-60	加軸力後側移角 0 %時 RND1.5RT 試體照片	84
圖 3-61	側移角 0.25 %時 RND1.5RT 試體照片	85
圖 3-62	側移角-0.25 %時 RND1.5RT 試體照片	86
圖 3-63	側移角 0.5 %時 RND1.5RT 試體照片	87
圖 3-64	側移角-0.5 %時 RND1.5RT 試體照片	88
圖 3-65	側移角 0.75 %時 RND1.5RT 試體照片	89
圖 3-66	側移角-0.75 %時 RND1.5RT 試體照片	90
圖 3-67	側移角 1.0 %時 RND1.5RT 試體照片	91
圖 3-68	側移角-1.0 %時 RND1.5RT 試體照片	92
圖 3-69	側移角 1.25 %時 RND1.5RT 試體照片	93
圖 3-70	側移角-1.25 %時 RND1.5RT 試體照片	94
圖 3-71	側移角 1.5 %時 RND1.5RT 試體照片	95
圖 3-72	側移角-1.5 %時 RND1.5RT 試體照片	96
圖 3-73	側移角 1.75 %時 RND1.5RT 試體照片	97
圖 3-74	側移角-1.75 %時 RND1.5RT 試體照片	98
圖 3-75	側移角 2.0 %時 RND1.5RT 試體照片	99
圖 3-76	側移角-2.0 %時 RND1.5RT 試體照片	100
圖 3-77	側移角 2.5 %時 RND1.5RT 試體照片	101
圖 3-78	側移角-2.5 %時 RND1.5RT 試體照片	102
圖 3-79	側移角 3.0 %時 RND1.5RT 試體照片	103
圖 3-80	側移角-3.0 %時 RND1.5RT 試體照片	104
圖 3-81	側移角 3.5 %時 RND1.5RT 試體照片	105
圖 3-82	側移角-3.5 %時 RND1.5RT 試體照片	106
圖 3-83	側移角 4.0 %時 RND1.5RT 試體照片	107
圖 3-84	側移角-4.0 %時 RND1.5RT 試體照片	108
圖 3-85	側移角 4.5 %時 RND1.5RT 試體照片	109
圖 3-86	側移角-4.5 %時 RND1.5RT 試體照片	110
圖 3-87	側移角 5.0 %時 RND1.5RT 試體照片	111
圖 3-88	側移角-5.0 %時 RND1.5RT 試體照片	112
圖 3-89	側移角 6.0 %時 RND1.5RT 試體照片	113
圖 3-90	側移角-6.0 %時 RND1.5RT 試體照片	114
圖 3-91	側移角 7.0 %時 RND1.5RT 試體照片	115
圖 3-92	側移角-7.0 %時 RND1.5RT 試體照片	116
圖 3-93	側移角 8.0 %時 RND1.5RT 試體照片	117
圖 3-94	側移角-8.0 %時 RND1.5RT 試體照片	118
圖 3-95	側移角 9.0 %時 RND1.5RT 試體照片	119
圖 3-96	側移角-9.0 %時 RND1.5RT 試體照片	120

圖 3-97	試驗結束時 RND1.5RT 試體照片 .....	121
圖 3-98	加軸力前 RND2.0RT 試體照片 .....	122
圖 3-99	加軸力後側移角 0 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	123
圖 3-100	側移角 0.25 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	124
圖 3-101	側移角 -0.25 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	125
圖 3-102	側移角 0.5 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	126
圖 3-103	側移角 -0.5 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	127
圖 3-104	側移角 0.75 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	128
圖 3-105	側移角 -0.75 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	129
圖 3-106	側移角 1.0 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	130
圖 3-107	側移角 -1.0 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	131
圖 3-108	側移角 1.25 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	132
圖 3-109	側移角 -1.25 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	133
圖 3-110	側移角 1.5 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	134
圖 3-111	側移角 -1.5 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	135
圖 3-112	側移角 1.75 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	136
圖 3-113	側移角 -1.75 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	137
圖 3-114	側移角 2.0 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	138
圖 3-115	側移角 -2.0 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	139
圖 3-116	側移角 2.5 % 時 RND2.0RT 試體照片 .....	140
圖 3-117	試驗結束時 RND2.0RT 試體照片 .....	141
圖 4-1	降伏側移 $\delta_{yn}$ 、極限側移 $\delta_u$ 定義之說明圖 .....	144
圖 4-2	RND1.5 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	145
圖 4-3	RND2.0 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	145
圖 4-4	各試體側力-位移包絡線比較圖 .....	146
圖 4-5	RND1.5RT 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	146
圖 4-6	RND2.0RT 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖 .....	147
圖 4-7	柱斷面長寬比與塑性轉角容量之關係曲線圖 .....	147
圖 4-8	柱斷面長寬比與補強前後強度比之關係曲線圖 .....	148
圖 4-9	RND2.0RT 切開補強鋼板及敲除保護層之觀察照片 .....	148

## 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非韌性配筋矩形柱試體進行高軸力作用下之撓曲行為試驗，其中 2 座為非韌性配筋設計試體，以瞭解高軸力作用下，鋼筋混凝土非韌性配筋矩形柱撓曲韌性，另外設計 2 座鋼板補強試體，以瞭解斷面長邊寬度與短邊寬度比例對乾式鋼板補強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

## 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

韌性效果之影響；5. 報告之撰寫。

### 三、研究發現

由文獻及本研究結果可知，鋼板補強及乾式鋼板補強雖可提升柱的撓曲韌性，但高軸力作用下乾式鋼板補強對非韌性配筋矩形柱的提升效果，將會受到柱斷面長寬比的影響，當長寬比達到 2 時，提升的塑性轉角容量甚至無法滿足規範要求。另外，當斷面長寬比為 1.5 至 2 時，乾式鋼板補強可提升強度達 64% 至 71%，因乾式鋼板補強有類似擴柱的效果，補強鋼板與原柱體之間填充的無收縮砂漿，可有效將斷面強度提升。

### 四、建議事項

本研究將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

一般軸力下非韌性配筋方形 RC 柱已證實乾式鋼板補強之效果，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。

## 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。

#### 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。

## 老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

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]，比較屬於半乾式施工，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。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，108 年[17]驗證了乾式鋼板補強對中高樓層建築一樓非韌性配筋高軸力柱之效果良好。前述乾式鋼板補強相關研究都是以方形斷面柱進行實驗，惟實務上大多是使用矩形斷面柱，許多文獻[18-20]已證明矩形斷面箱型柱對內部混凝土的圍束效果，會隨著兩方向寬度比值而改變，導致柱的耐震能力下降，故本研究目的為探討乾式鋼板補強提升非韌性配筋矩形 RC 柱耐震韌性之效果。

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矩形柱，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。

#### 進度說明

目前收集到重要相關文獻約 23 篇，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。

#### 進度說明

經過本所第 1 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。目前已完成試體規劃、細部設計及發包作業，刻正進行試體製作。

### 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矩形柱，在同時受到高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。

#### 進度說明

目前尚待進行試驗，試驗完成後即進行試驗結果之分析與探討。

### 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將附在附錄二）。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。

#### 進度說明

本報告即為期末報告，而期末報告及成果報告仍待試驗完成後進行撰寫。

## 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，兩邊柱寬比值不同，非韌性配筋矩形柱撓曲韌性；（二）瞭解高軸力作用下，兩邊柱寬比值不同，乾式鋼板補強提升試體撓曲韌性之補強效果。

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						※					8/4
期末報告									※		11/30
研究進度百分比	4	12	15	19	31	38	54	69	85	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矩形柱乾式鋼板補強

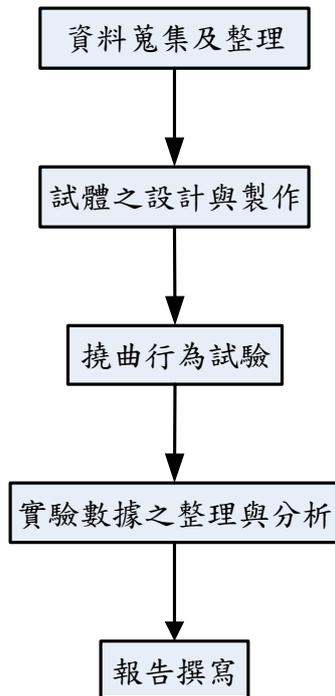


圖 1-1 研究流程圖

(資料來源：本研究製作)

## 第二章 試驗計畫

本研究著眼於矩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，其中  $f'_c$  為混凝土標稱抗壓強度， $b$  及  $h$  分別為柱斷面長邊寬度及短邊寬度， $P$  為固定軸力， $A_g$  為柱之全斷面積， $M_n$  及  $V$  分別為柱斷面設計抗彎強度及抗剪強度。試體之立面、剖面圖、鋼筋材質及尺寸配置如圖 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，RND1.5 及 RND2.0 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，RND1.5 及 RND2.0 試體柱斷面長邊寬度及短邊寬度比值分別為 1.5 及 2.0，而 RND1.5RT 及 RND2.0RT 試體分別為 RND1.5 及 RND2.0 試體以乾式鋼板補強製作而成(未將柱體保護層敲除，直接以鋼板補強灌漿製作而成)，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%。

試驗裝置如圖 2-6 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。每座柱試體應變計配置示意圖如圖 2-7 所示。

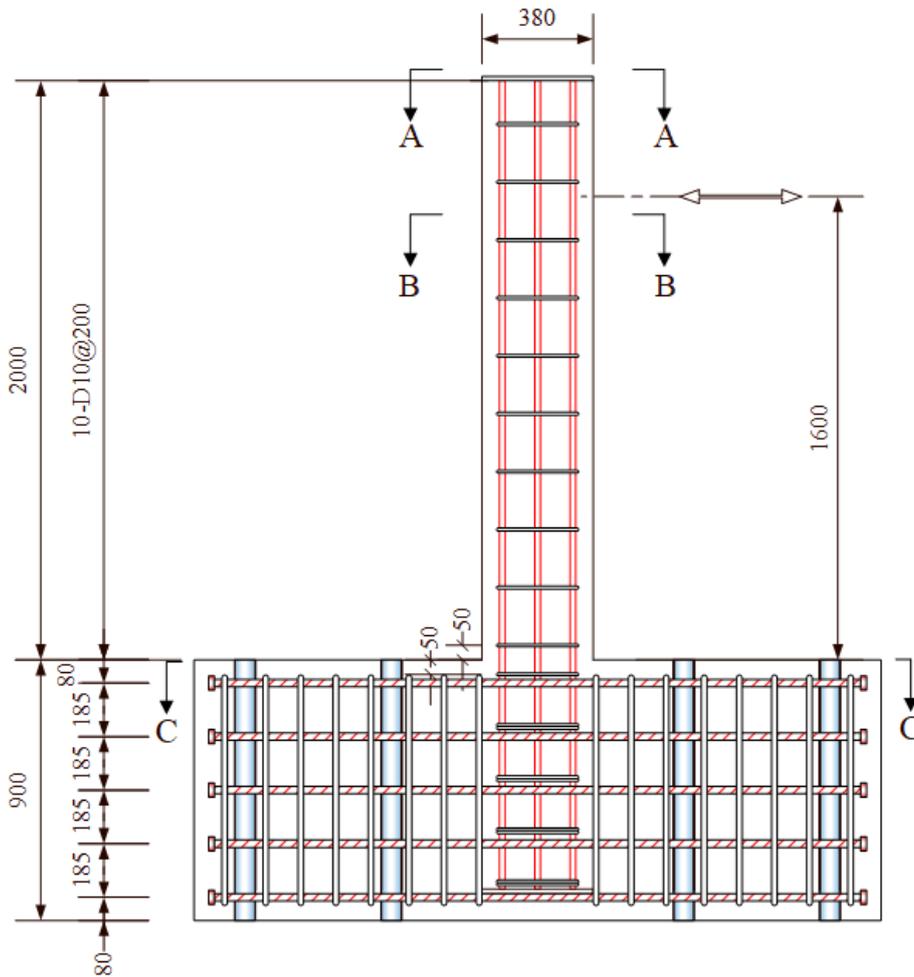
### 2. 載重歷程

柱試體使用之反覆載重位移歷時如圖 2-8 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 (cm)	h (cm)	$P/A_g f'_c$
1	RND1.5	140	57	38	0.5
2	RND2.0	140	57	28.5	0.5
3	RND1.5RT	140	57	38	0.5
4	RND2.0RT	140	57	28.5	0.5

(資料來源：本研究製作)

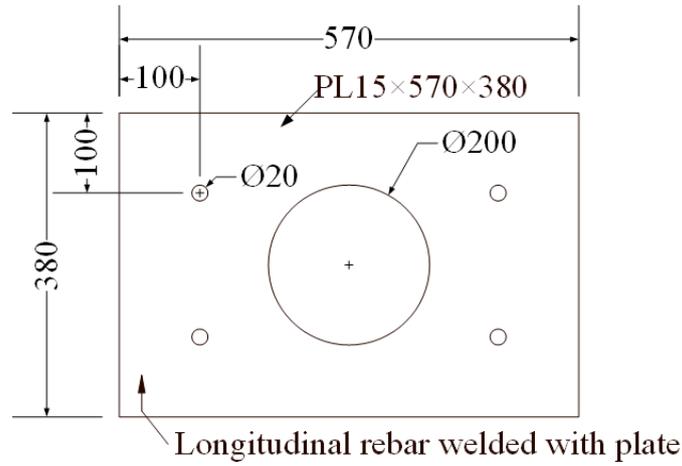


(a) RND1.5 試體正視圖

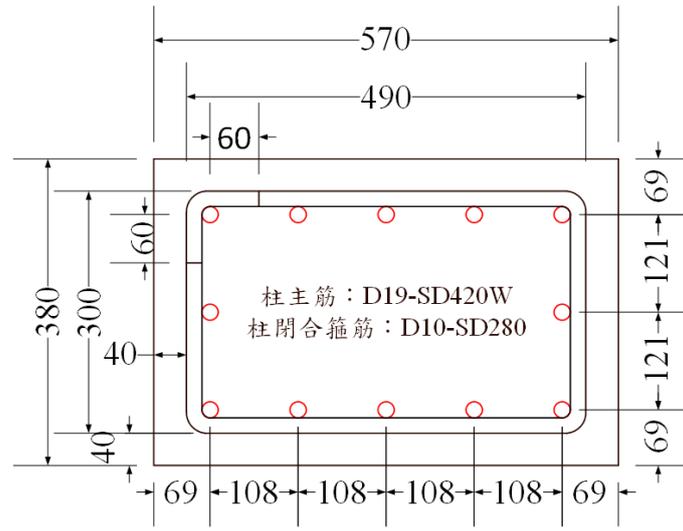
圖 2-1 RND1.5 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

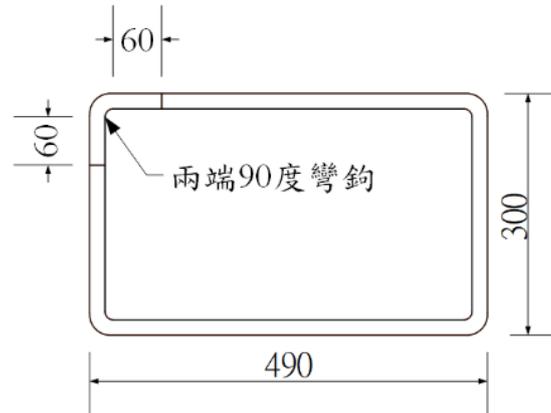
老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



(b) RND1.5 試體 A-A 斷面圖



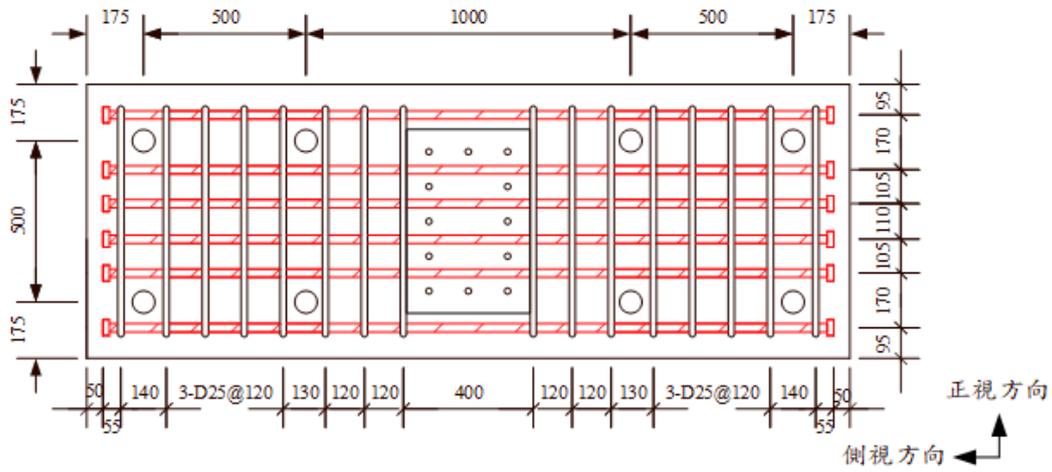
(c) RND1.5 試體 B-B 斷面圖



(d) RND1.5 試體柱閉合箍筋細部圖

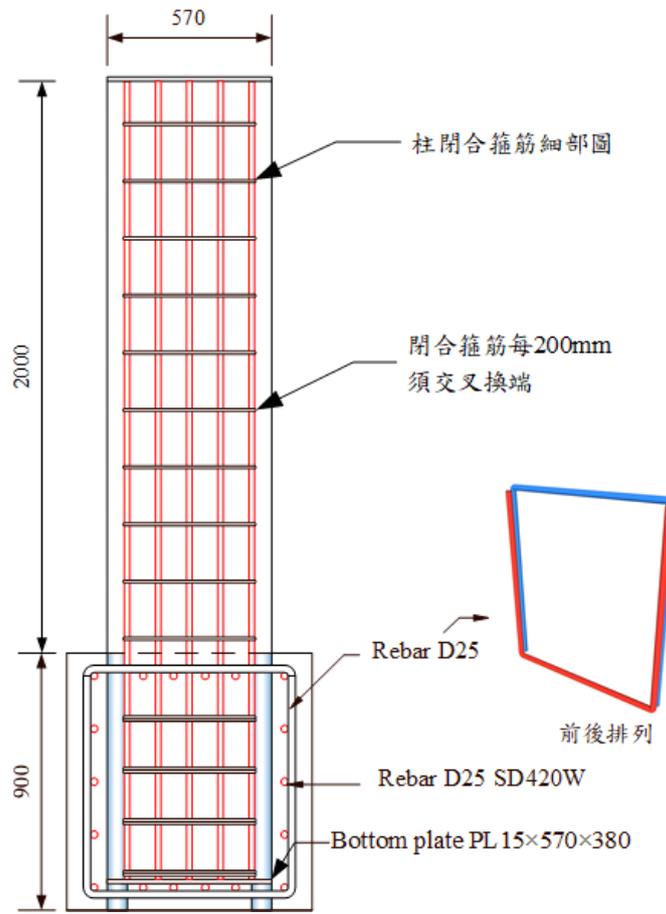
圖 2-1(續) RND1.5 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)



基座主筋：D25-SD420W  
 基座箍筋：D25-SD420W

(e) RND1.5 試體 C-C 斷面圖

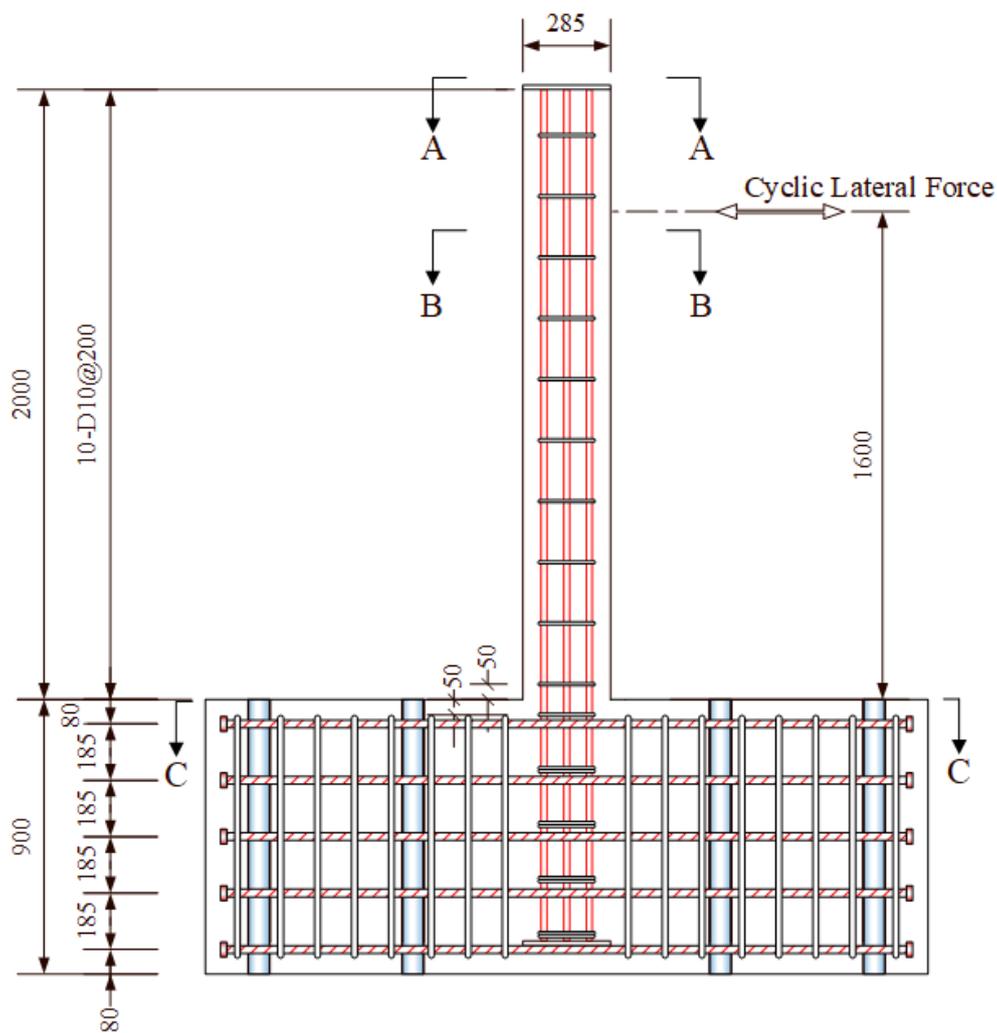


(f) RND1.5 試體側視圖

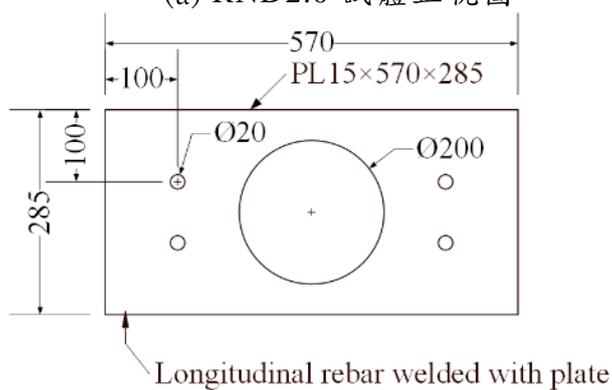
圖 2-1(續) RND1.5 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



(a) RND2.0 試體正視圖



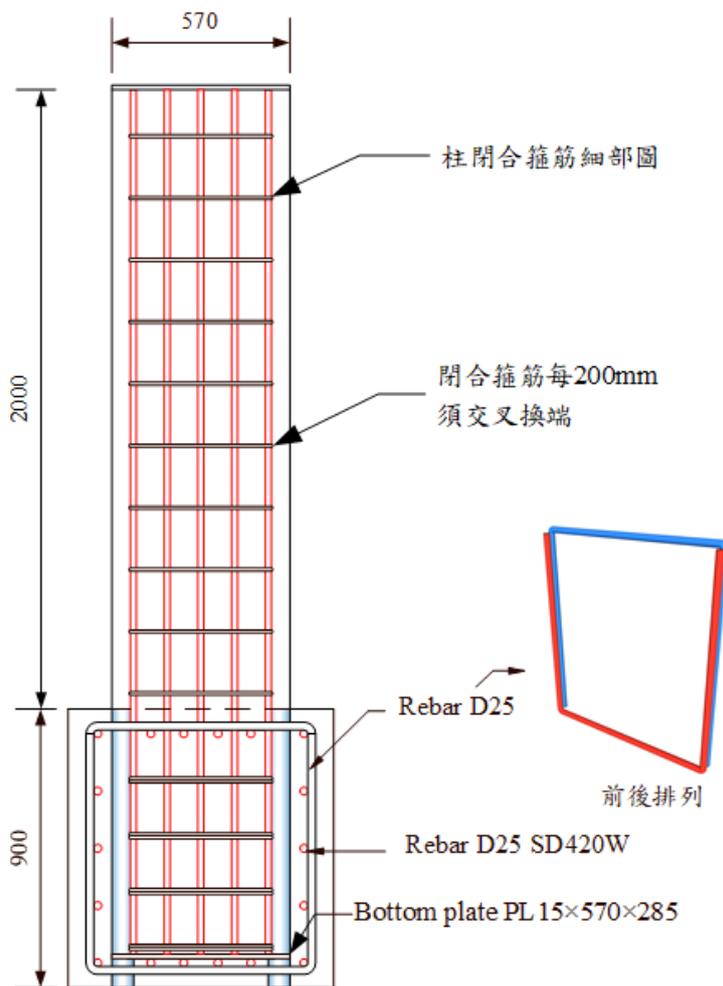
(b) RND2.0 試體 A-A 斷面圖

圖 2-2 RND2.0 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)



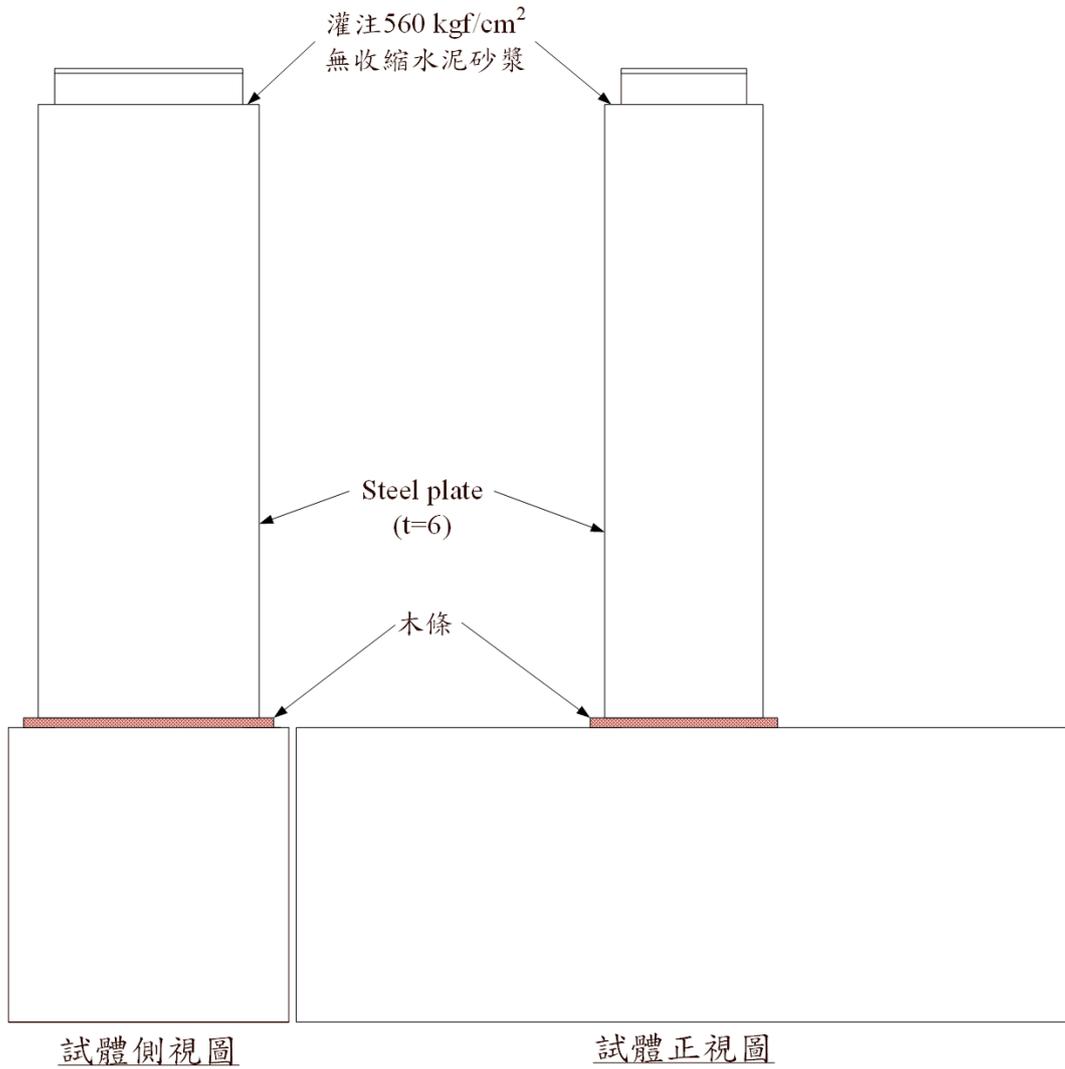
老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



(f) RND2.0 試體側視圖

圖 2-2(續) RND2.0 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

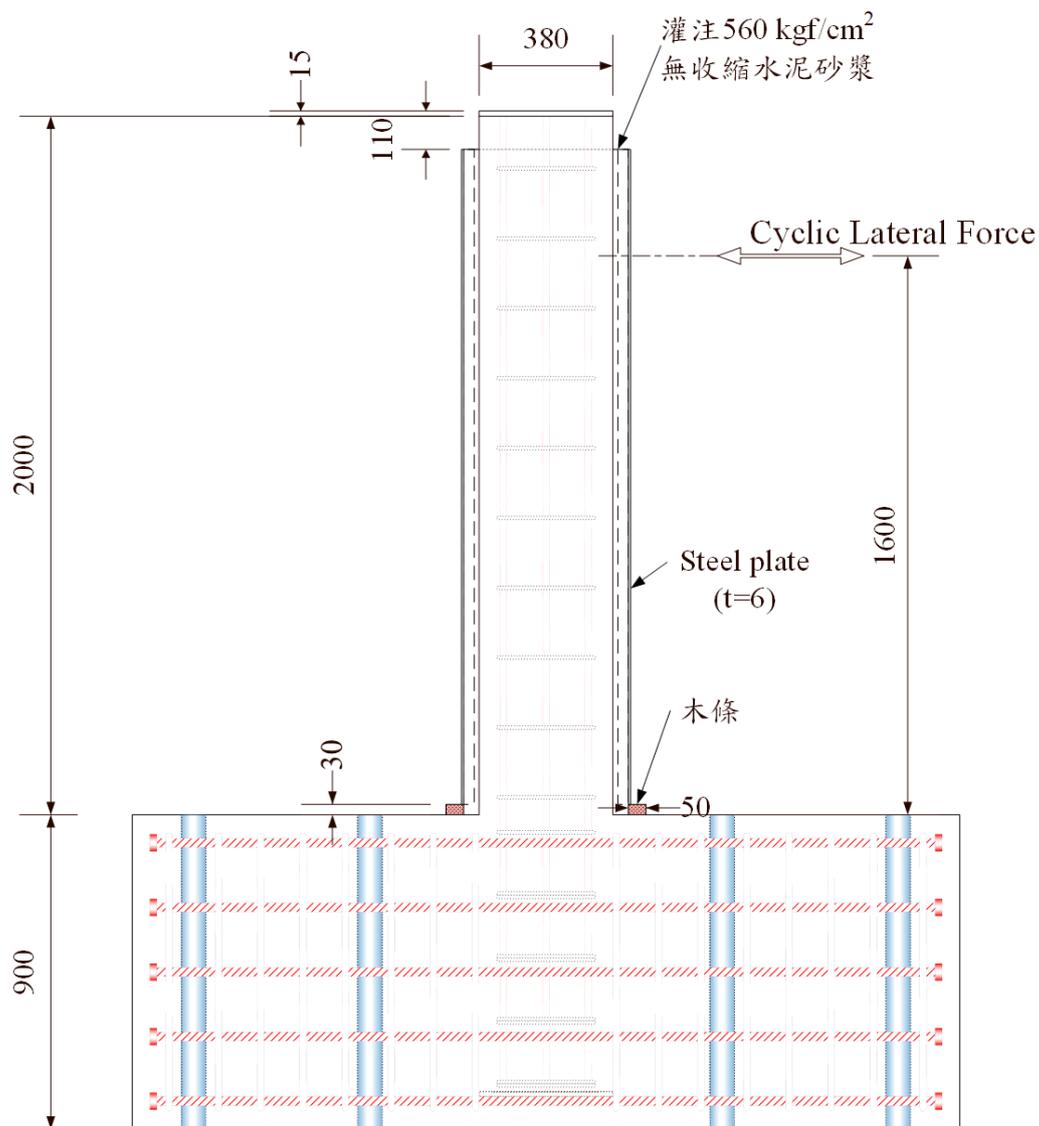


(a) RND1.5RT 試體之立面外觀

圖 2-3 RND1.5RT 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

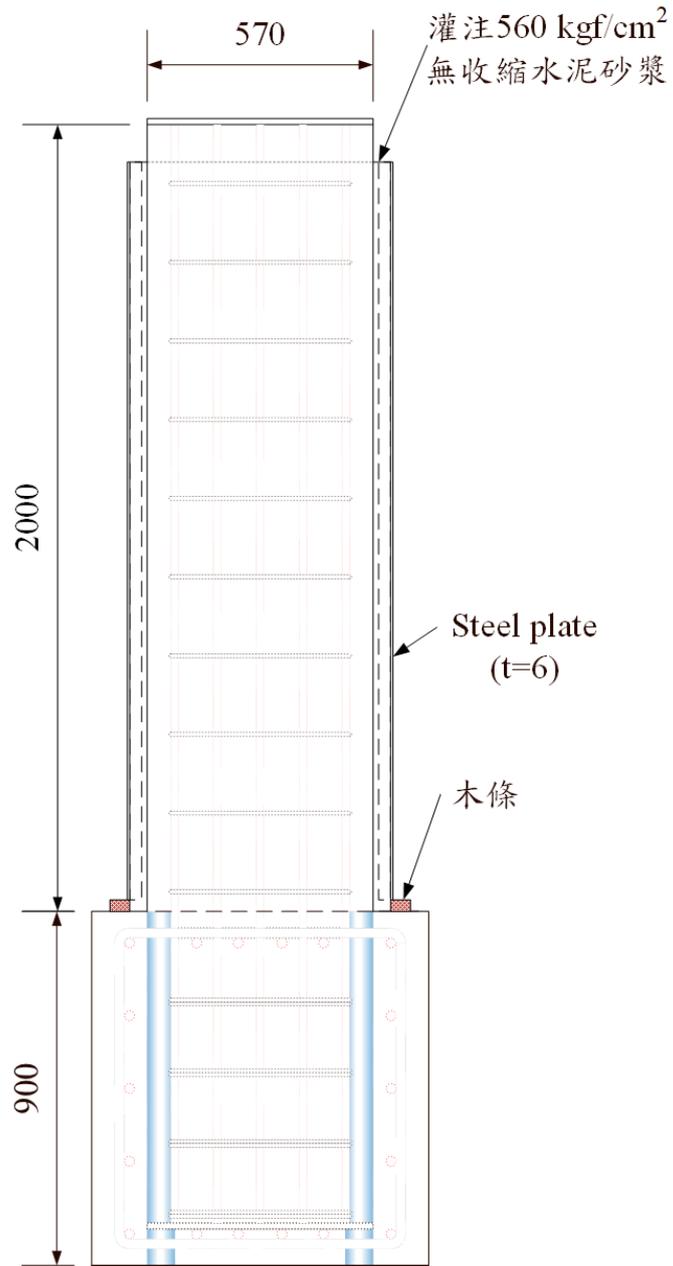
老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



(b) RND1.5RT 試體正視圖

圖 2-3(續) RND1.5RT 試體之立面及剖面圖

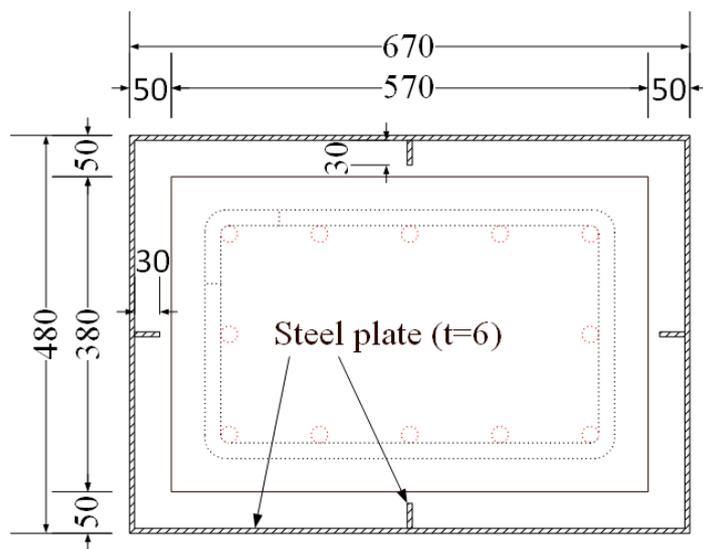
(資料來源：本研究製作)



(c) RND1.5RT 試體側視圖

圖 2-3(續) RND1.5RT 試體之立面及剖面圖

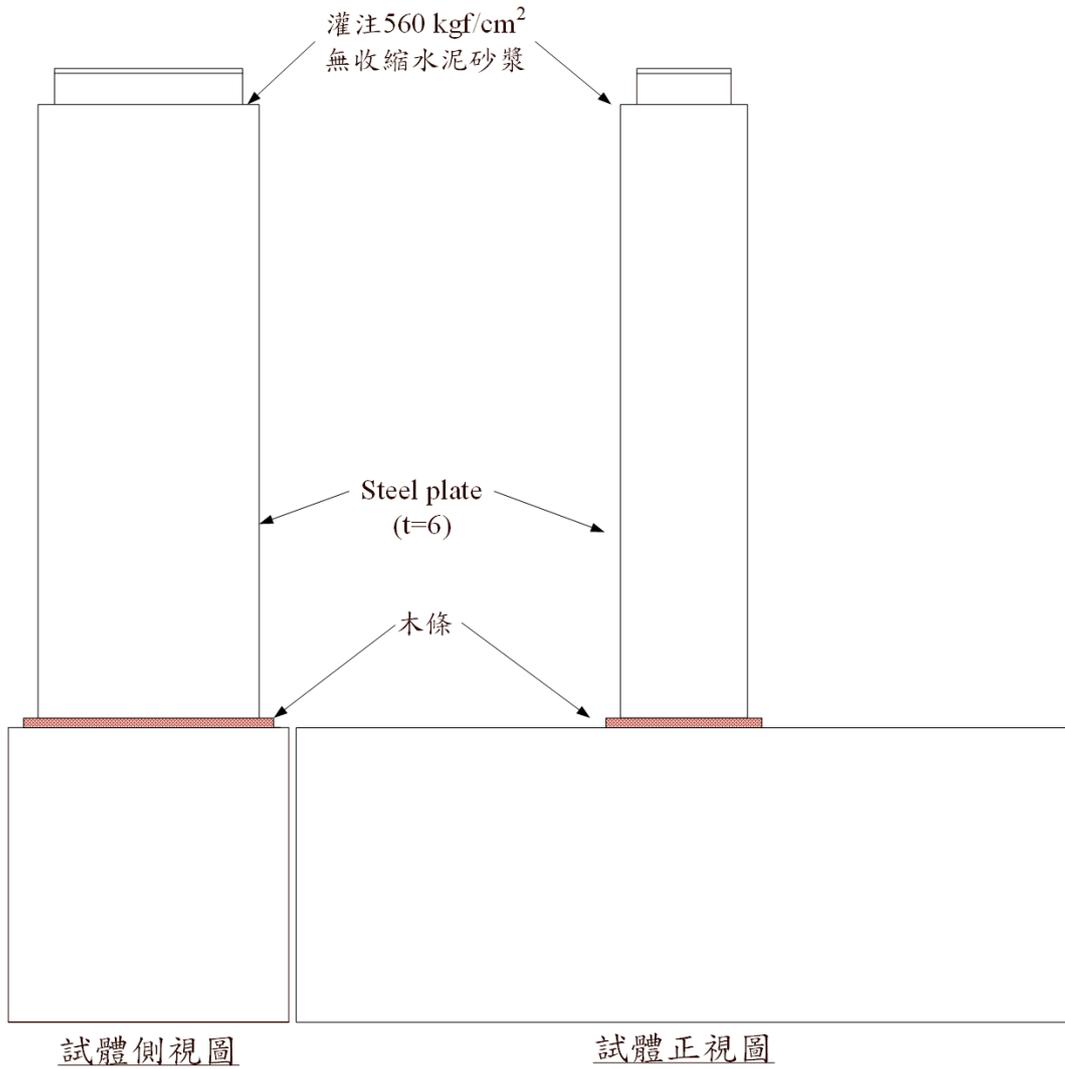
(資料來源：本研究製作)



(d) RND1.5RT 試體上視圖

圖 2-3(續) RND1.5RT 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

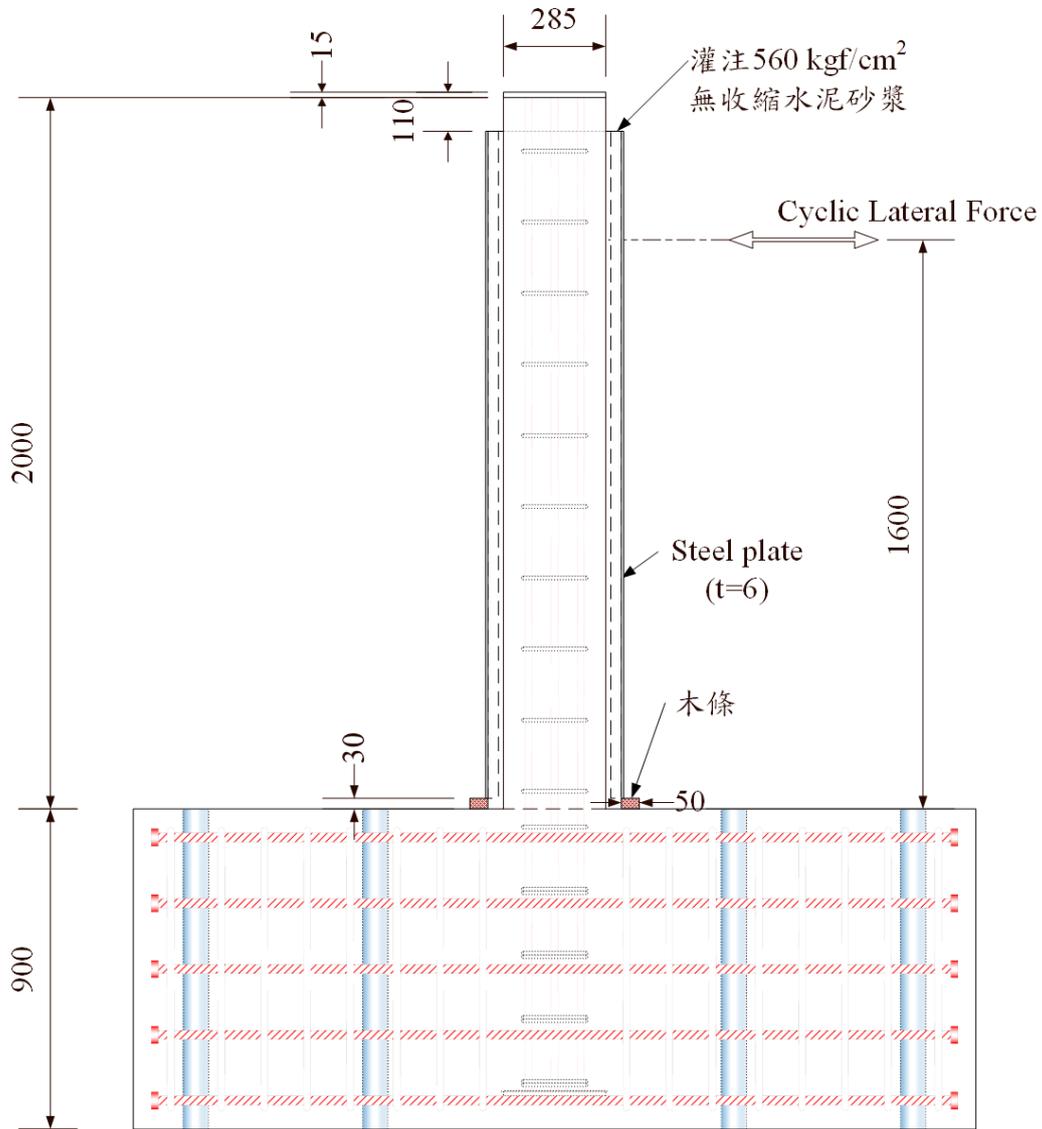


(a) RND2.0RT 試體之立面外觀

圖 2-4 RND2.0RT 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

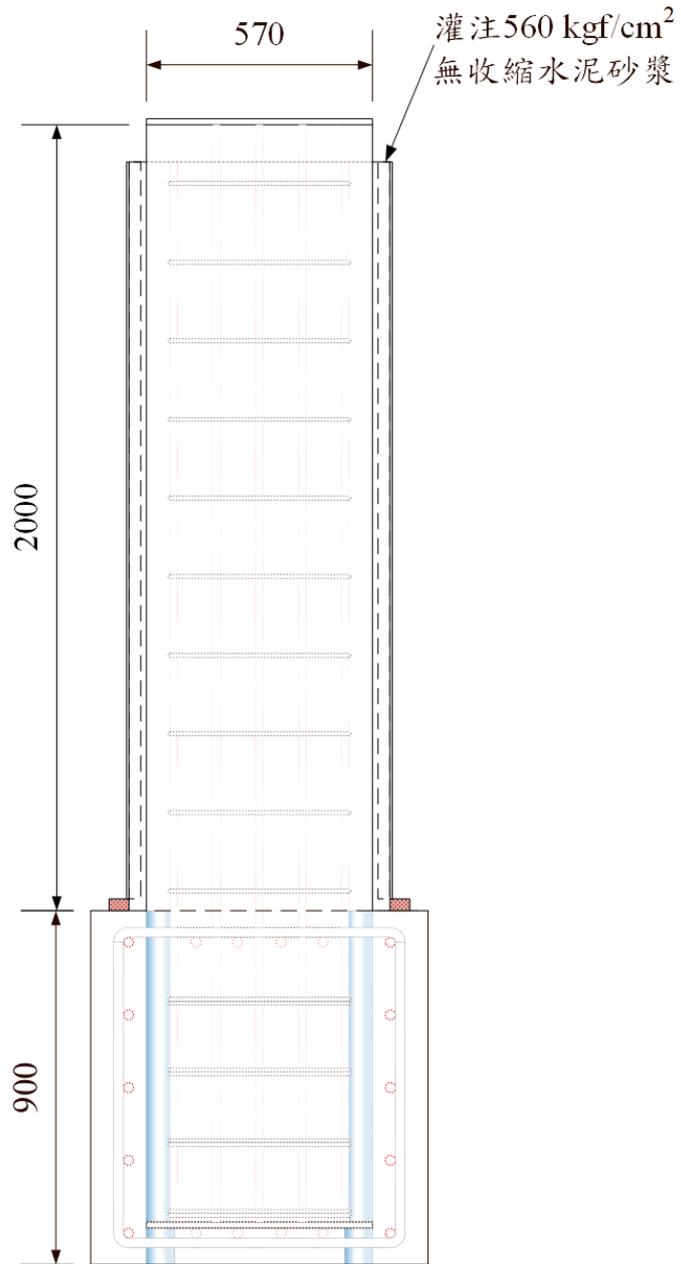
老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



(b) RND2.0RT 試體正視圖

圖 2-4(續) RND2.0RT 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

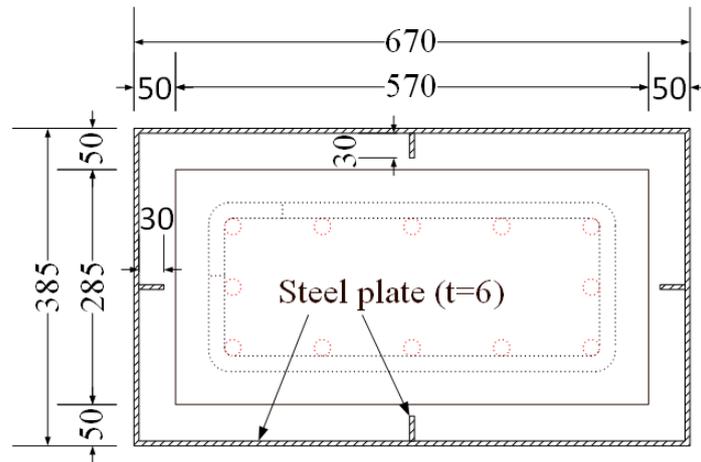


(c) RND2.0RT 試體側視圖

圖 2-4(續) RND2.0RT 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矩形柱乾式鋼板補強



(d) RND2.0RT 試體上視圖

圖 2-4(續) RND2.0RT 試體之立面及剖面圖

(資料來源：本研究製作)

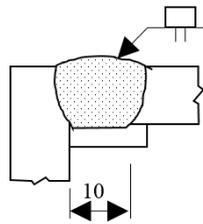


圖 2-5 鋼板補強柱試體鋼板角落銲接細節圖

(資料來源：黃國倫，2019[17])

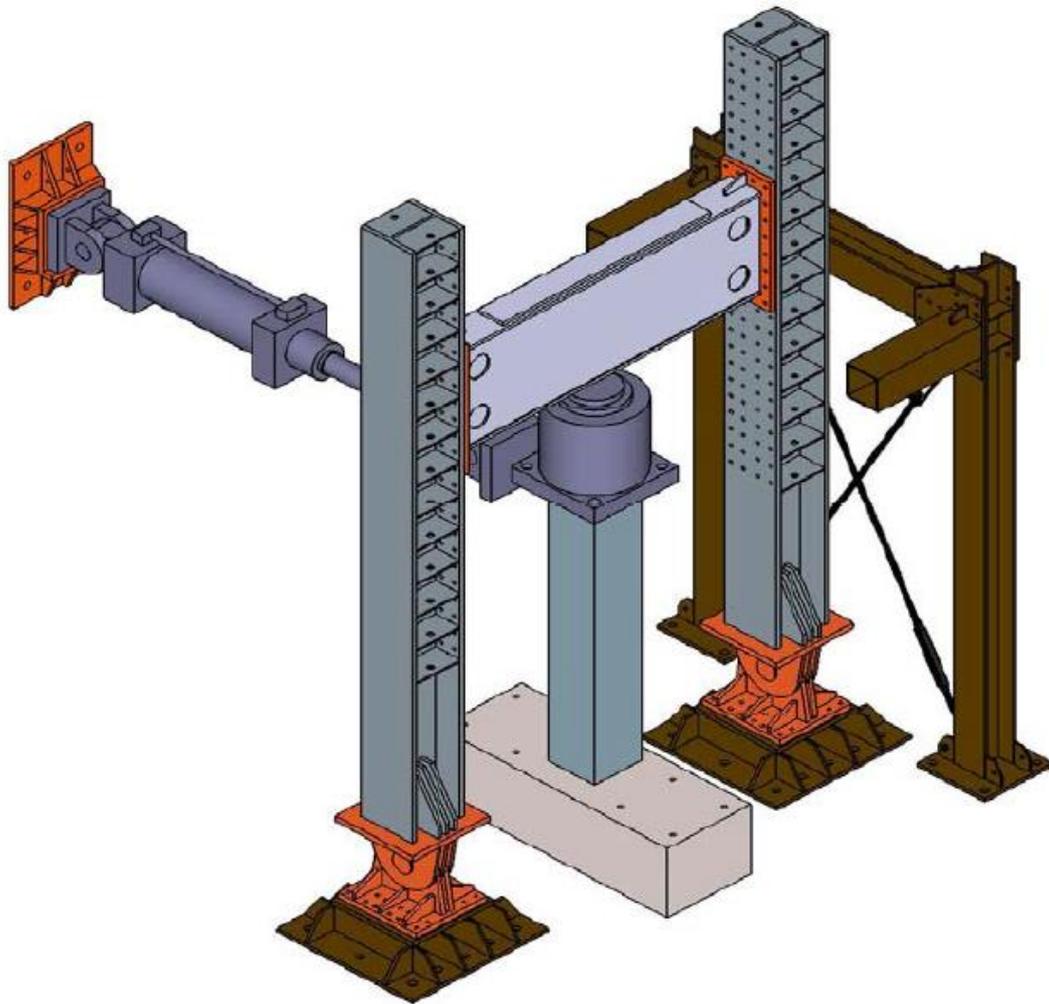
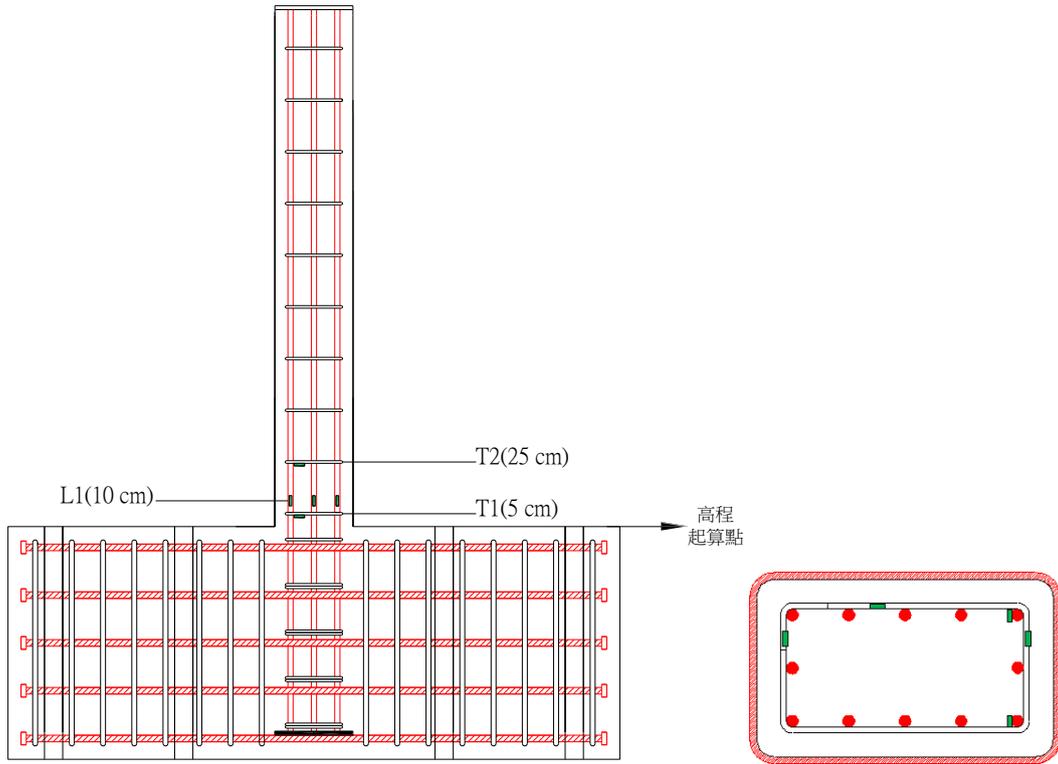


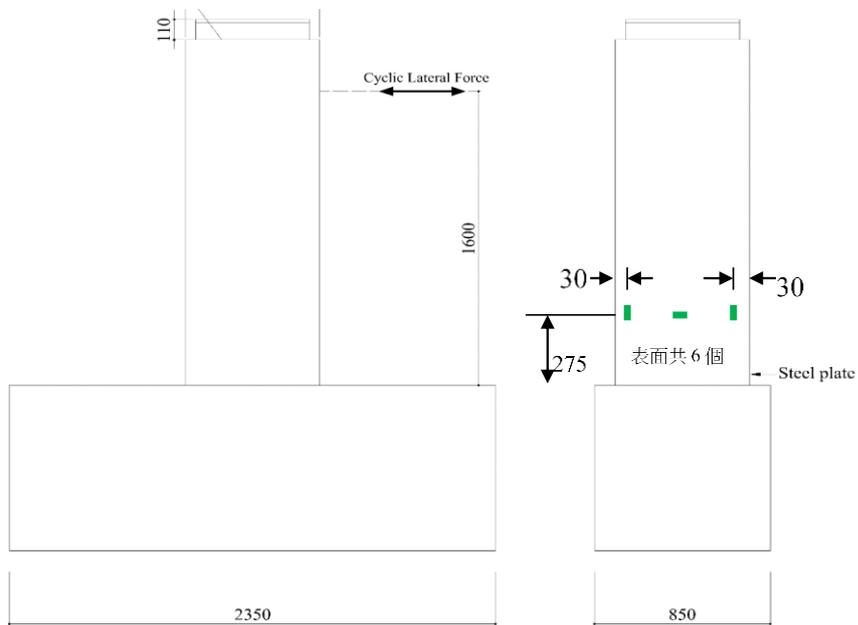
圖 2-6 軸力構架試驗裝置示意圖

(資料來源：李台光，2016[22])

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



(a) 基座上緣往上第 1、2 層柱內鋼筋應變計配置圖



試體正視圖

試體側視圖

(b) 鋼板補強柱試體之立面外觀應變計配置圖

圖 2-7 應變計配置示意圖

(資料來源：本研究製作)

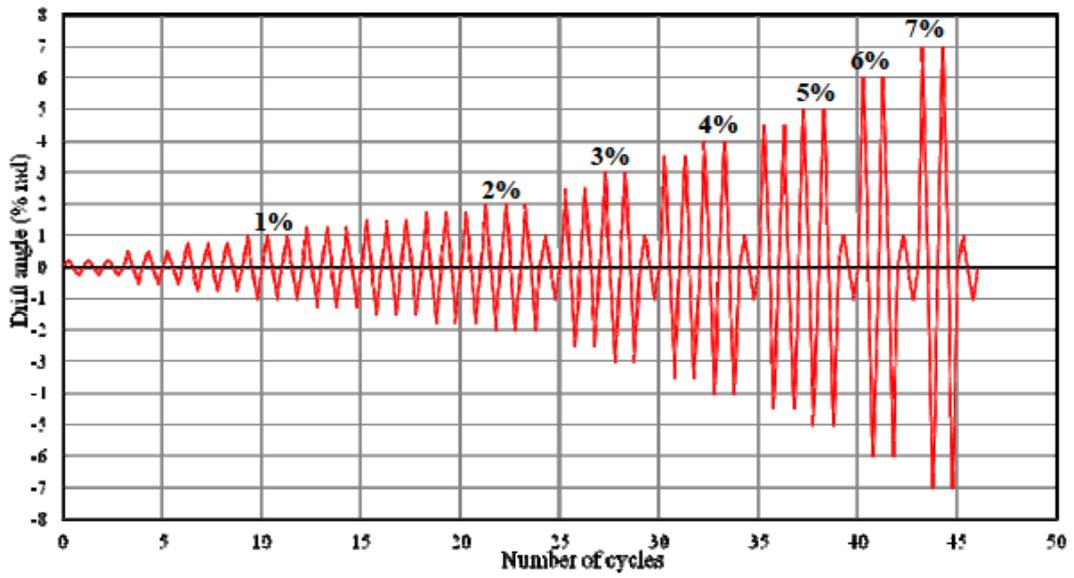


圖 2-8 反覆載重位移歷時圖  
(資料來源：李台光，2016[22])



## 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、混凝土澆置及應變計黏貼等施工過程如圖 3-1 至圖 3-11 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 3-12 所示；補強鋼板抗拉強度試驗報告如圖 3-13 所示；混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果如圖 3-14 所示，由於變異性頗大，故數據分析先暫採柱身混凝土齡期 28 天的平均  $f'_c$  值(待收到試驗報告後，將改採各試驗日時混凝土圓柱試體抗壓試驗的平均  $f'_c$  值)，為  $246.33 \text{ kgf/cm}^2$ ；基座部分的 28 天混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果為  $442.57$ 、 $412.82$  及  $428.29 \text{ kgf/cm}^2$ ，較柱身混凝土  $f'_c$  值高。

### 第二節 試驗觀察

#### 一、RND1.5 試體

試體隨側移角增加的裂縫成長照片如圖 3-15 至圖 3-35；側移角 2.5 % 時強度降低太多，故試驗終止。破壞模式為柱底撓曲破壞。

## 二、RND2.0 試體

試體隨側移角增加的裂縫成長照片如圖 3-36 至圖 3-58；側移角 3 % 時強度降低太多，故試驗終止。破壞模式為柱底撓曲破壞。

## 三、RND1.5RT 試體

試體隨側移角增加的裂縫成長照片如圖 3-59 至圖 3-97；側移角 9 % 時強度降低太多，故試驗終止。破壞模式為柱底撓曲破壞且鋼板挫屈。

## 四、RND2.0RT 試體

試體隨側移角增加的裂縫成長照片如圖 3-98 至圖 3-117；側移角 9 % 時強度降低太多，故試驗終止。破壞模式為柱主筋挫屈及斷裂，但鋼板並無明顯破壞。

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 試體鋼筋材料準備

(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-2 試體鋼筋及鋼板 7/27 取樣送驗  
(資料來源：本研究)



圖 3-3 試體製作平台鋪設  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-4 試體鋼筋組立(基礎及柱)  
(資料來源：本研究)



圖 3-5 試體模板組立(基礎)  
(資料來源：本研究)



圖 3-6 試體混凝土澆置(基礎)  
(資料來源：本研究)



圖 3-7 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矩形柱乾式鋼板補強



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)



圖 3-10 鋼板補強試體加裝鋼板及灌入無收縮砂漿  
(資料來源：本研究)



圖 3-11 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

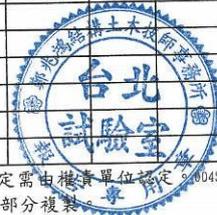


### 鋼筋混凝土用竹節鋼筋試驗報告

\*工程名稱：鋼筋混凝土矩形柱補強試體製作及殘體清運  
 \*業主：內政部建築研究所  
 \*監造單位：NA  
 \*承包商：安昌營造有限公司  
 \*委託單位：安昌營造有限公司  
 \*連絡資訊：黃永清0917-618-873  
 \*結構部位：基礎及柱  
 送驗人員：安昌營造-黃永清  
 會試人員：NA

報告編號：CCH-20-05277  
 頁次：第 1 頁 共 1 頁  
 收件日期：2020/7/27 13:58  
 試驗日期：2020/7/27 17:07  
 報告日期：2020/7/28  
 試驗方法：CNS560 A2006(2018)  
 \*鋼筋廠商：合平實業有限公司  
 07271358 \*取樣人員：業主-黃國倫 安昌-黃永清  
 收件方式：本試驗室

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	試驗值	試驗值						
01	—	D10	SD280	0.6	0.5	6.1	6.1	2.1	2.0	0.575	357	497	29	—	目視未裂
				≥0.4且≤0.8		≤6.7		≤3.7		0.526~0.594	≥280	≥420	≥18		A區
02	—	D10	SD280	0.6	0.6	6.1	6.1	2.2	2.1	0.569	355	488	31	—	目視未裂
				≥0.4且≤0.8		≤6.7		≤3.7		0.526~0.594	≥280	≥420	≥18		A區
03	—	D10	SD280	0.5	0.5	6.1	6.1	2.0	2.0	0.593	366	503	29	—	目視未裂
				≥0.4且≤0.8		≤6.7		≤3.7		0.526~0.594	≥280	≥420	≥18		A區
04	—	D19	SD420W	1.1	1.2	12.7	12.6	3.7	3.6	2.25	461	680	20	1.48	目視未裂
				≥1.0且≤2.0		≤13.3		≤7.5		2.14~2.36	420~540	≥550	≥13	1.25以上	B區
05	—	D19	SD420W	1.3	1.1	12.6	12.7	3.7	3.7	2.25	463	680	19	1.47	目視未裂
				≥1.0且≤2.0		≤13.3		≤7.5		2.14~2.36	420~540	≥550	≥13	1.25以上	A區
06	—	D19	SD420W	1.2	1.2	12.7	12.7	4.0	4.0	2.29	462	678	19	1.47	目視未裂
				≥1.0且≤2.0		≤13.3		≤7.5		2.14~2.36	420~540	≥550	≥13	1.25以上	B區
07	—	D25	SD420W	2.1	1.9	16.4	16.4	4.5	4.5	4.08	444	645	15	1.45	目視未裂
				≥1.3且≤2.6		≤17.8		≤10.0		3.78~4.18	420~540	≥550	≥14	1.25以上	C區
08	—	D25	SD420W	1.8	1.7	16.3	16.3	4.4	4.3	3.93	431	628	22	1.46	目視未裂
				≥1.3且≤2.6		≤17.8		≤10.0		3.78~4.18	420~540	≥550	≥14	1.25以上	B區
09	—	D25	SD420W	1.8	1.9	16.3	16.3	4.5	4.5	3.98	436	634	26	1.45	目視未裂
				≥1.3且≤2.6		≤17.8		≤10.0		3.78~4.18	420~540	≥550	≥14	1.25以上	A區
以下空白															



附註：1.上述規範值由CNS560(2018)摘錄，且該規範值僅供參考，材料合格之判定需由權責單位認定。004S08-108-7.1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；彎曲試片採2號試片。  
 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訊。  
 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。

報告簽署人

圖 3-12 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：鋼筋混凝土矩形柱補強試體製作及殘體清運	報告編號 CCH-109072701
*業主：內政部研究所	頁次 第 1 頁 共 1 頁
*監造單位：NA	收件日期 2020/7/27
*承包商：安昌營造有限公司	試驗日期 2020/7/30
*委託單位：安昌營造有限公司	報告日期 2020/8/3
*地址：0917-618-873	試驗方法 CNS 2111(1996)
*結構部位：基礎及柱	*材料廠商 金成鋼鐵股份有限公司
*取樣人員：業主-黃國倫 安昌-黃永清	*樣品種類 6mm 鋼板、15mm鋼板
送驗人員：安昌-黃永清	*數量 6 件
會驗人員：NA	

試樣編號	試片號碼 / 爐號	斷面積	降伏強度	抗拉強度	伸長率	斷面縮率	備註
		mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	%	
01.6mm	5號	151	439	557	32	—	—
02.6mm	5號	151	436	556	31	—	—
03.6mm	5號	151	435	555	34	—	—
04.15mm	5號	376	379	466	40	—	—
05.15mm	5號	376	370	465	41	—	—
06.15mm	5號	375	367	464	45	—	—
規範值			≥345	≥450	≥18		
以下空白							



- 備註：
1. 本件由委託者自行取樣所列記錄僅對樣品負責。
  2. 本試驗室留存報告，僅保存六年，本報告結果\*號標記為顧客提供之資訊。
  3. 本報告不得塗改、未得到本試驗室書面同意，不得摘錄或複製；但全部複製除外。
  4. 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。
  5. 本報告不提供符合性聲明及意見與解釋。

報告簽署人

圖 3-13 補強鋼板抗拉強度試驗報告  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

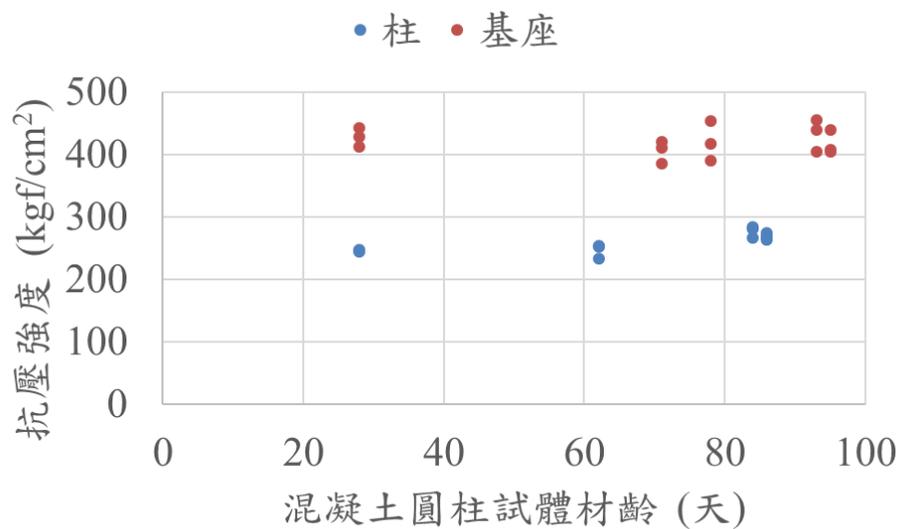


圖 3-14 混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果  
(資料來源：本研究)

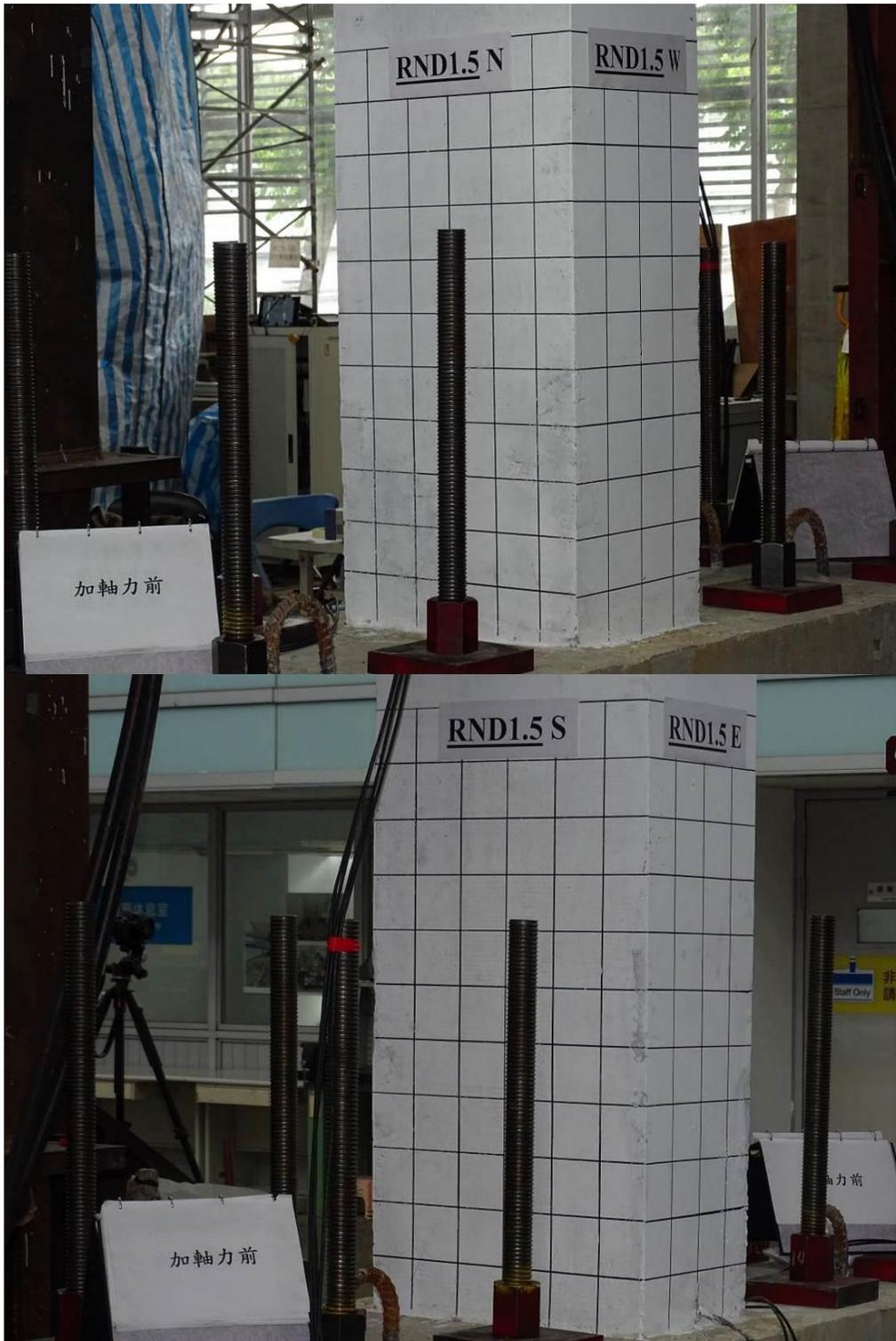


圖 3-15 加軸力前 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

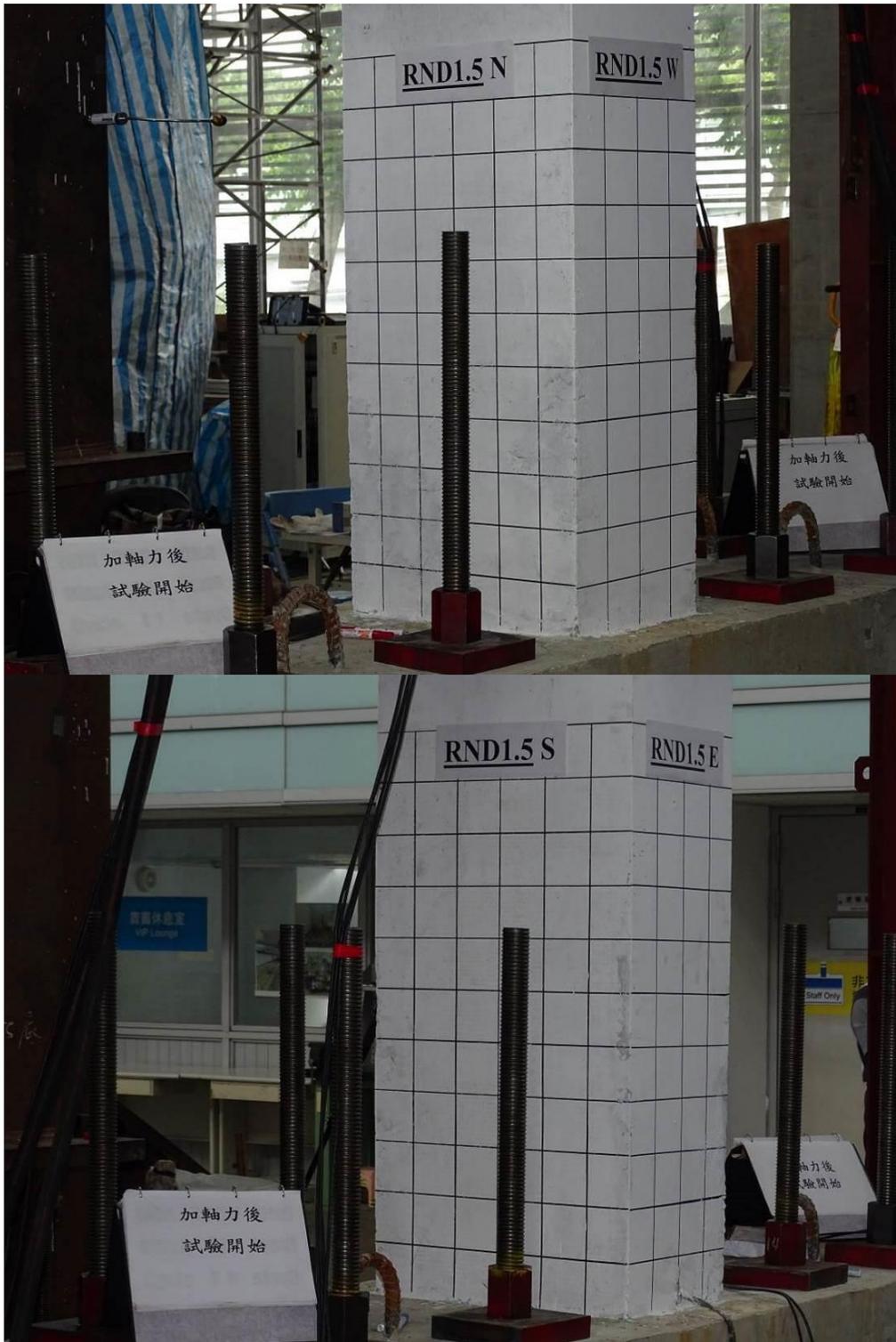


圖 3-16 加軸力後側移角 0 % 時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

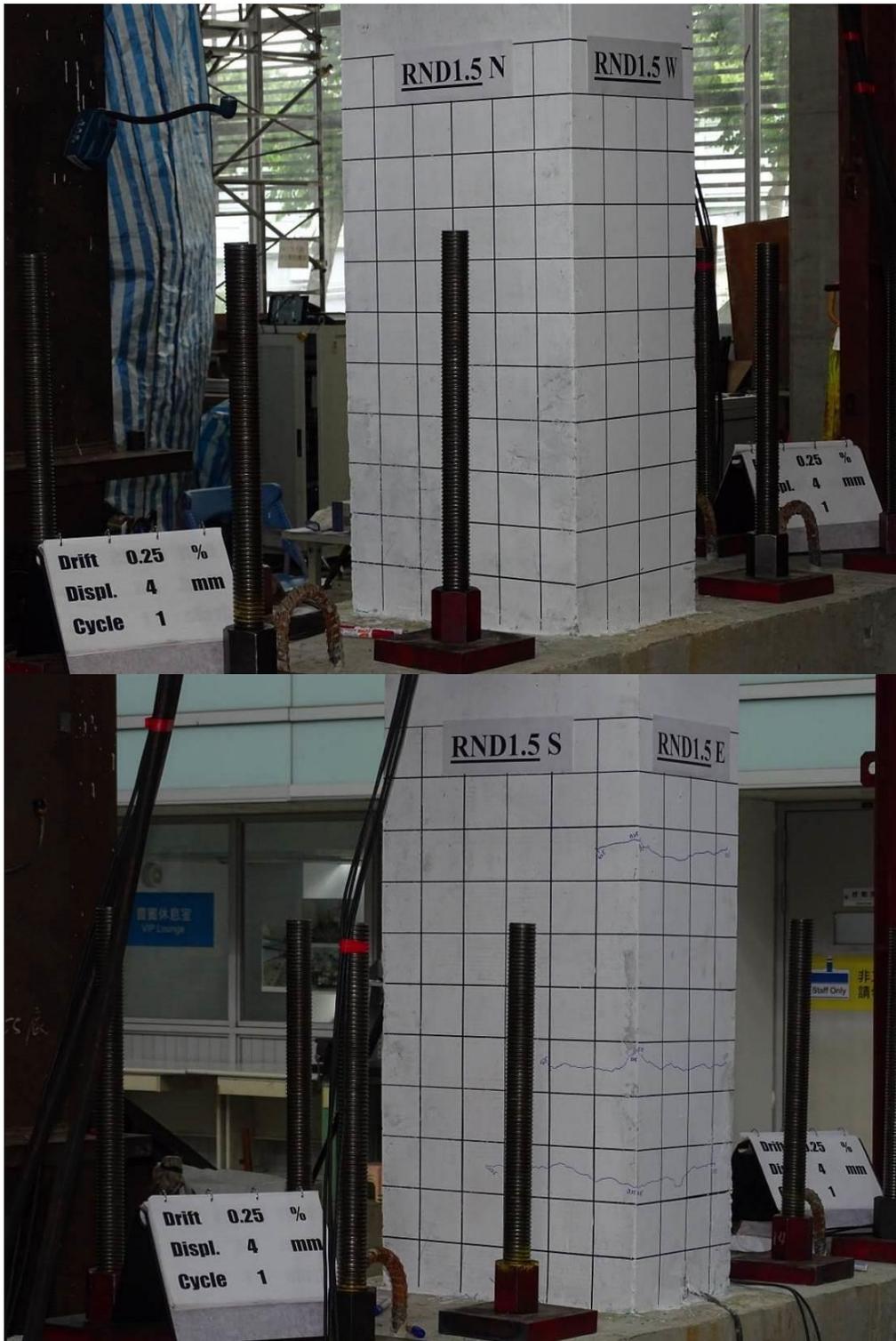


圖 3-17 側移角 0.25 % 時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

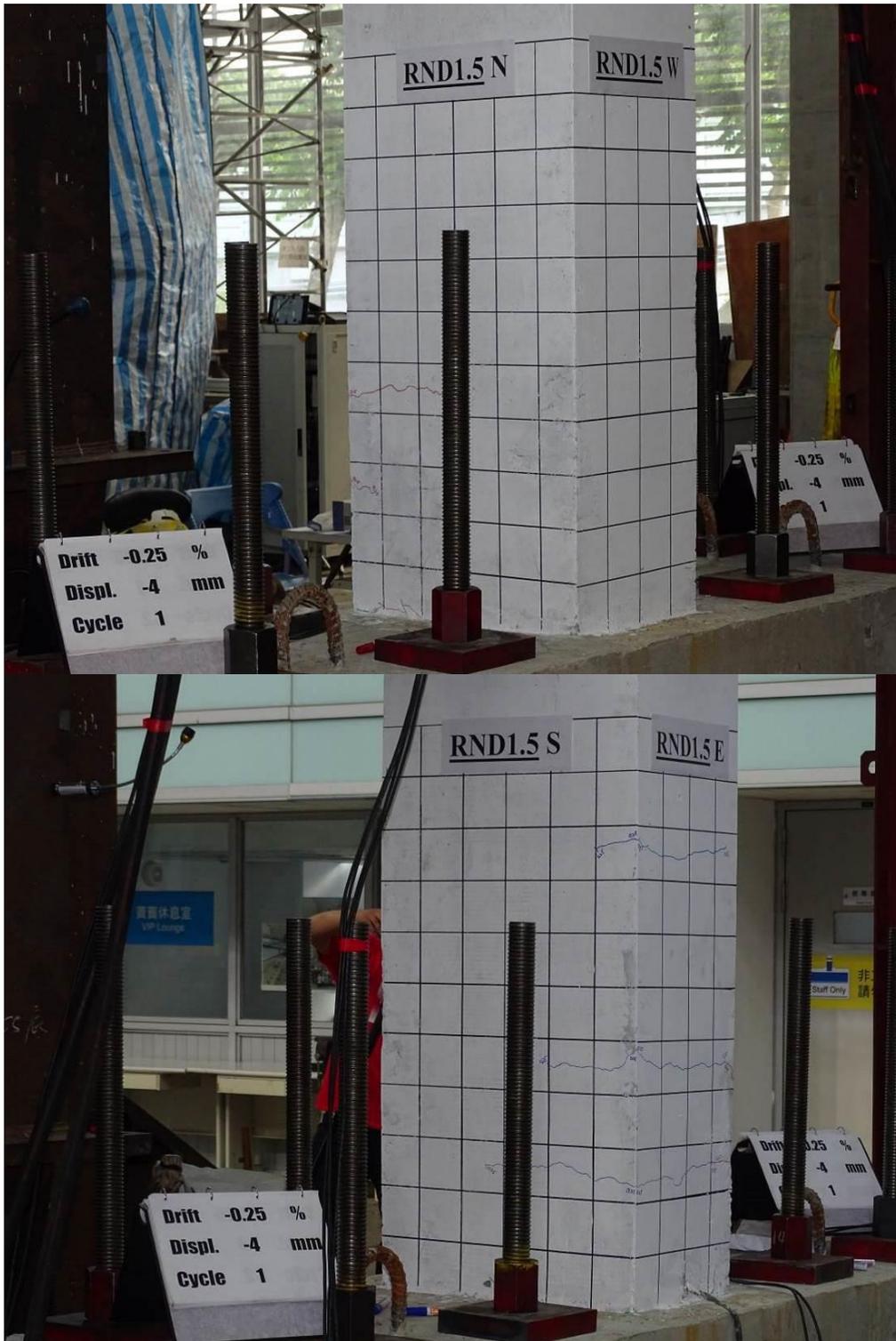


圖 3-18 側移角-0.25 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

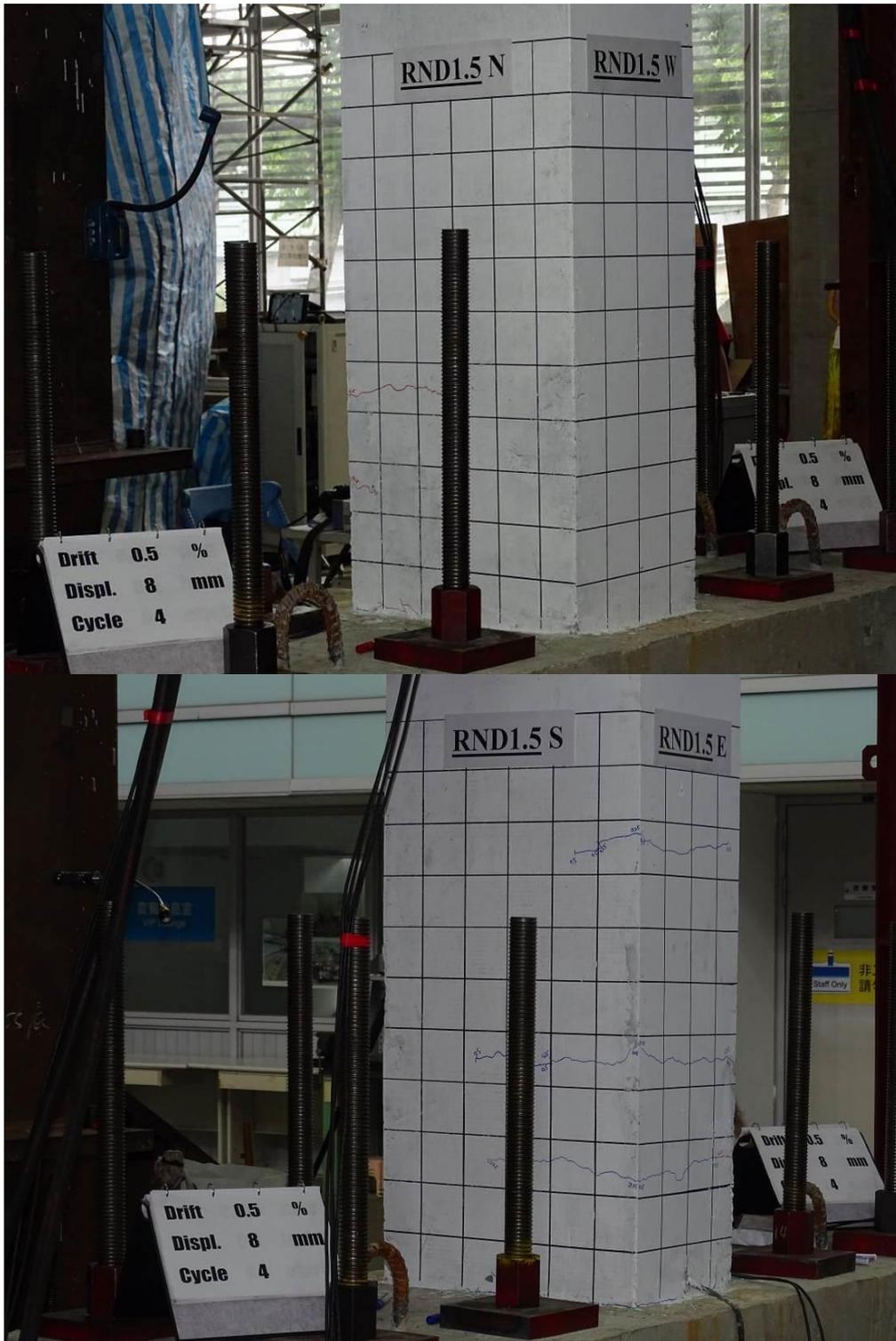


圖 3-19 側移角 0.5 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

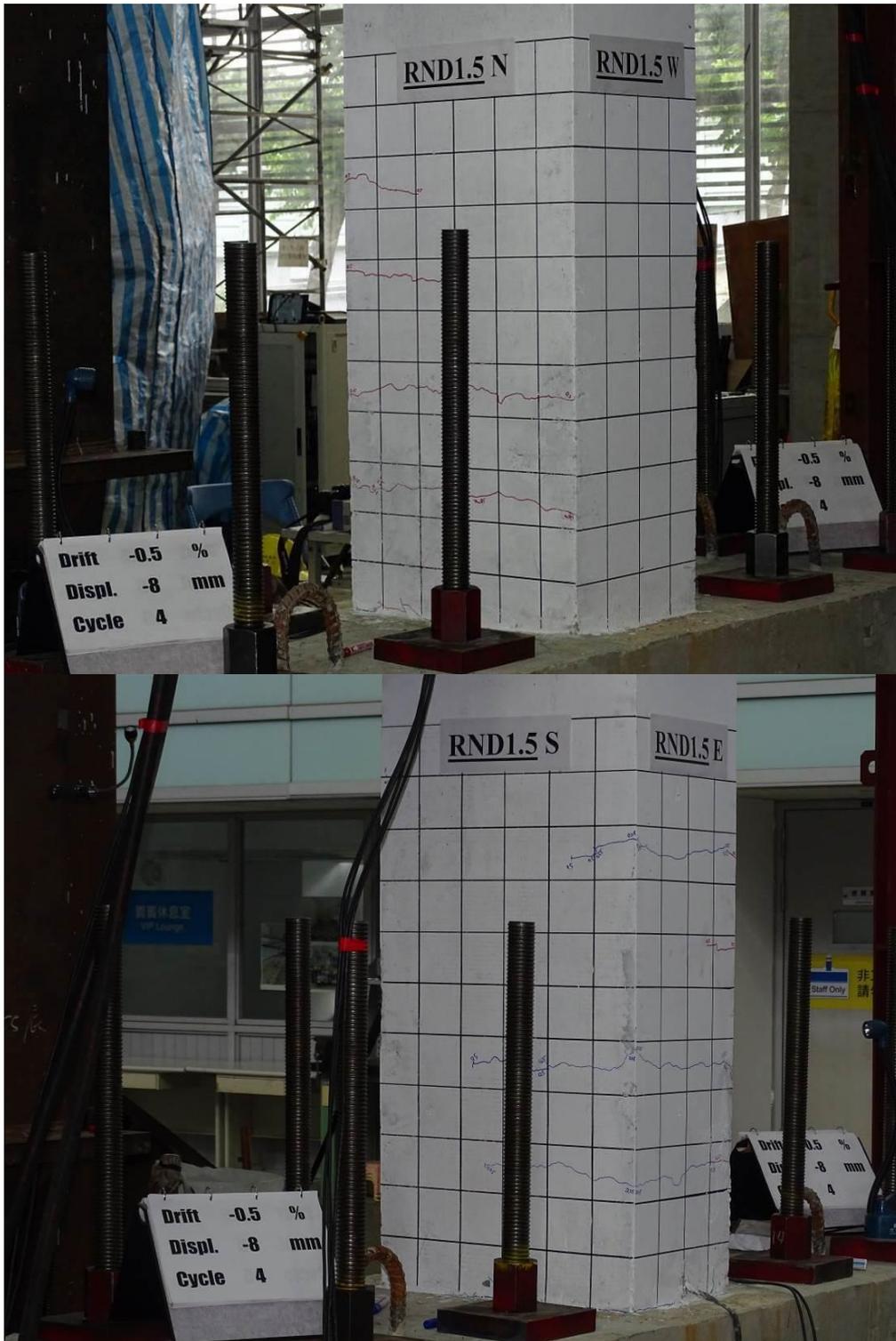


圖 3-20 側移角-0.5 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

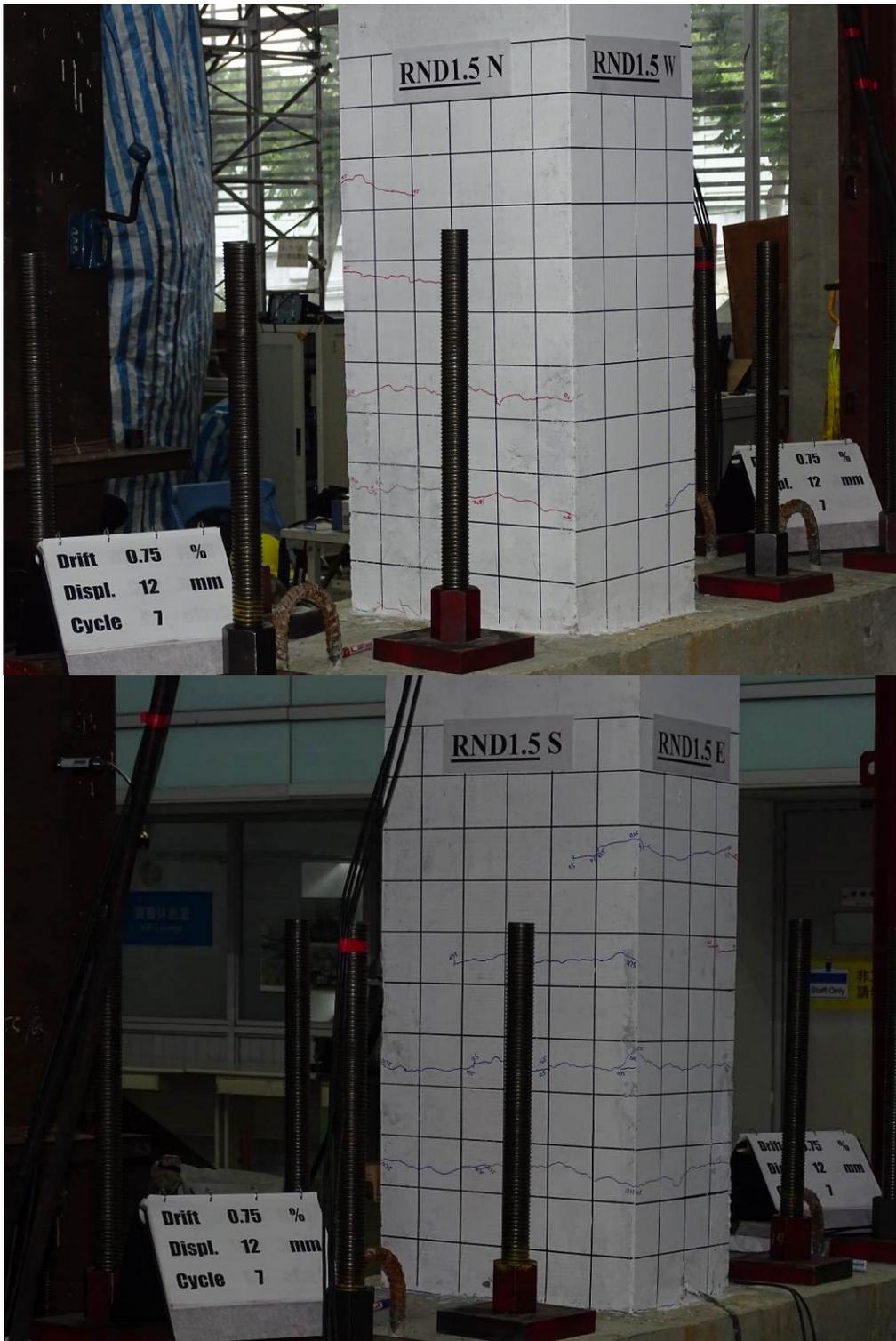


圖 3-21 側移角 0.75 % 時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

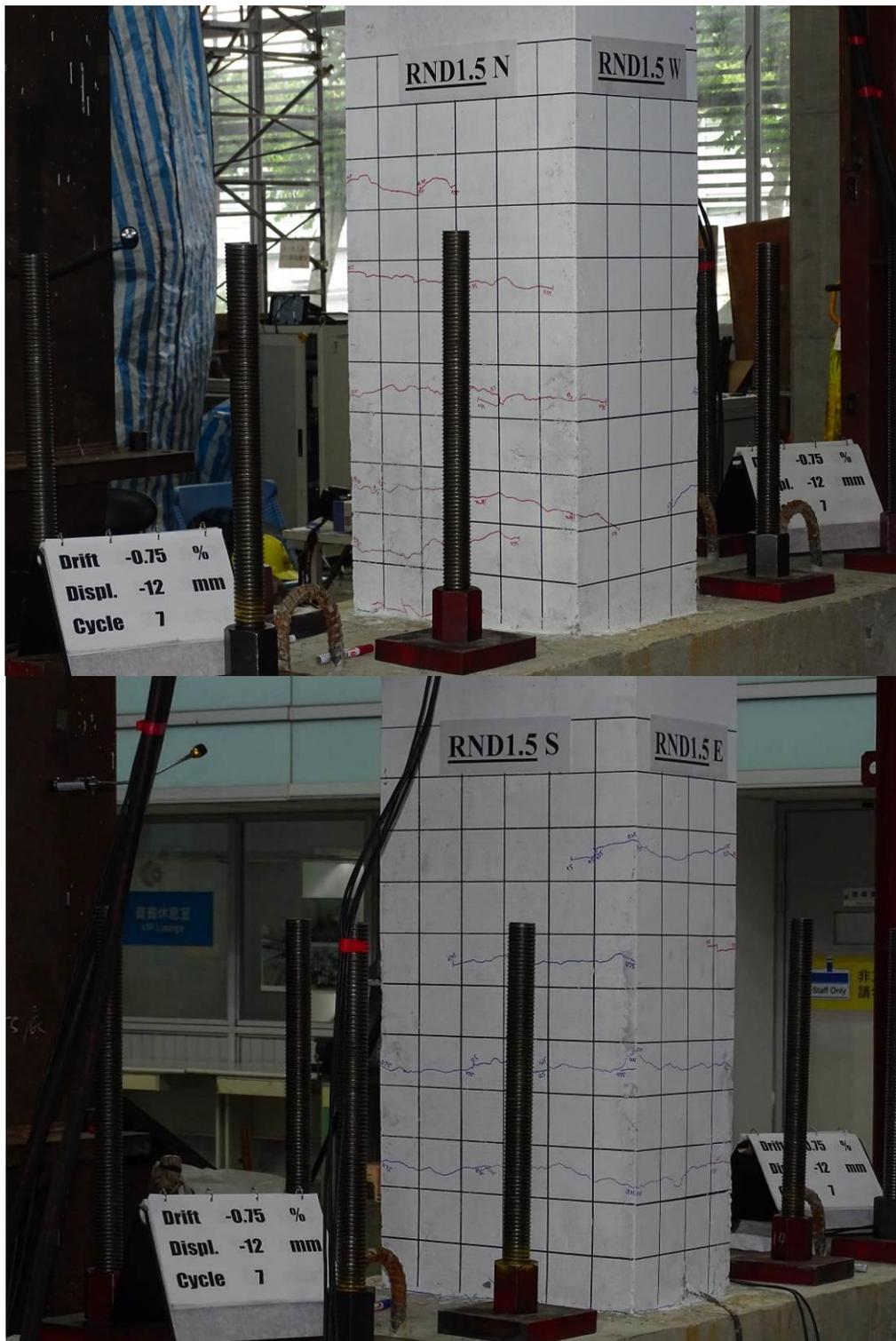


圖 3-22 側移角-0.75 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

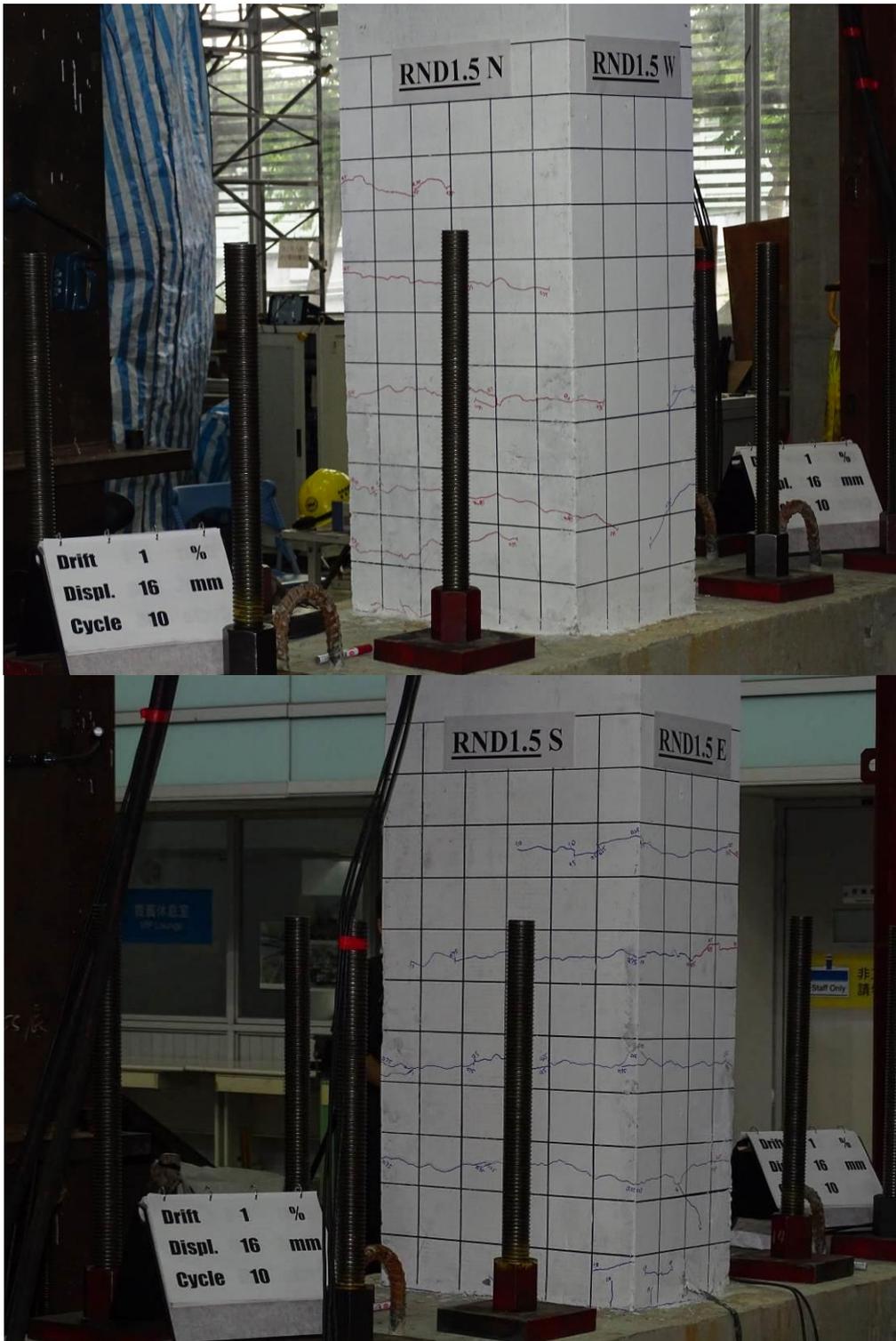


圖 3-23 側移角 1.0 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

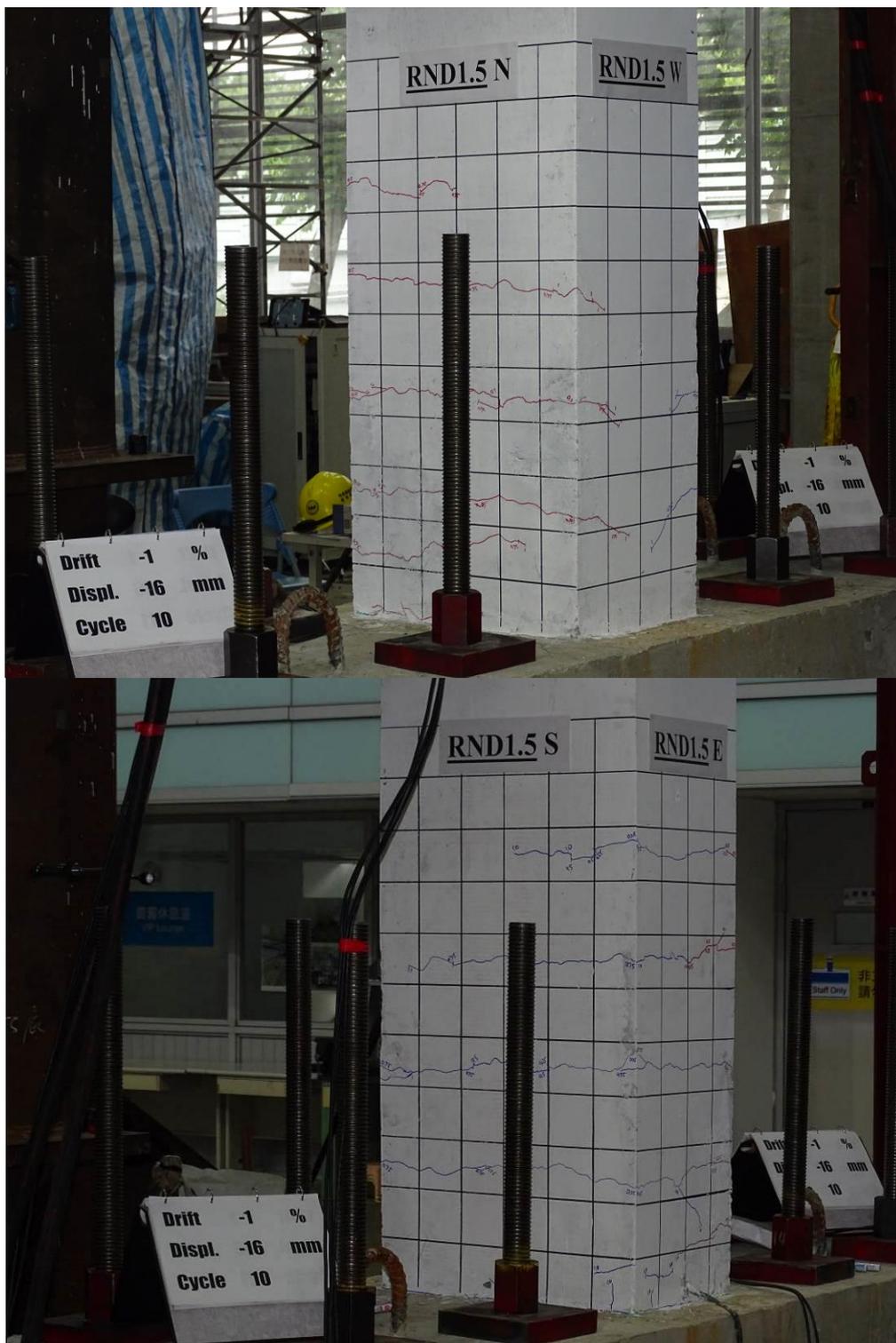


圖 3-24 側移角-1.0 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

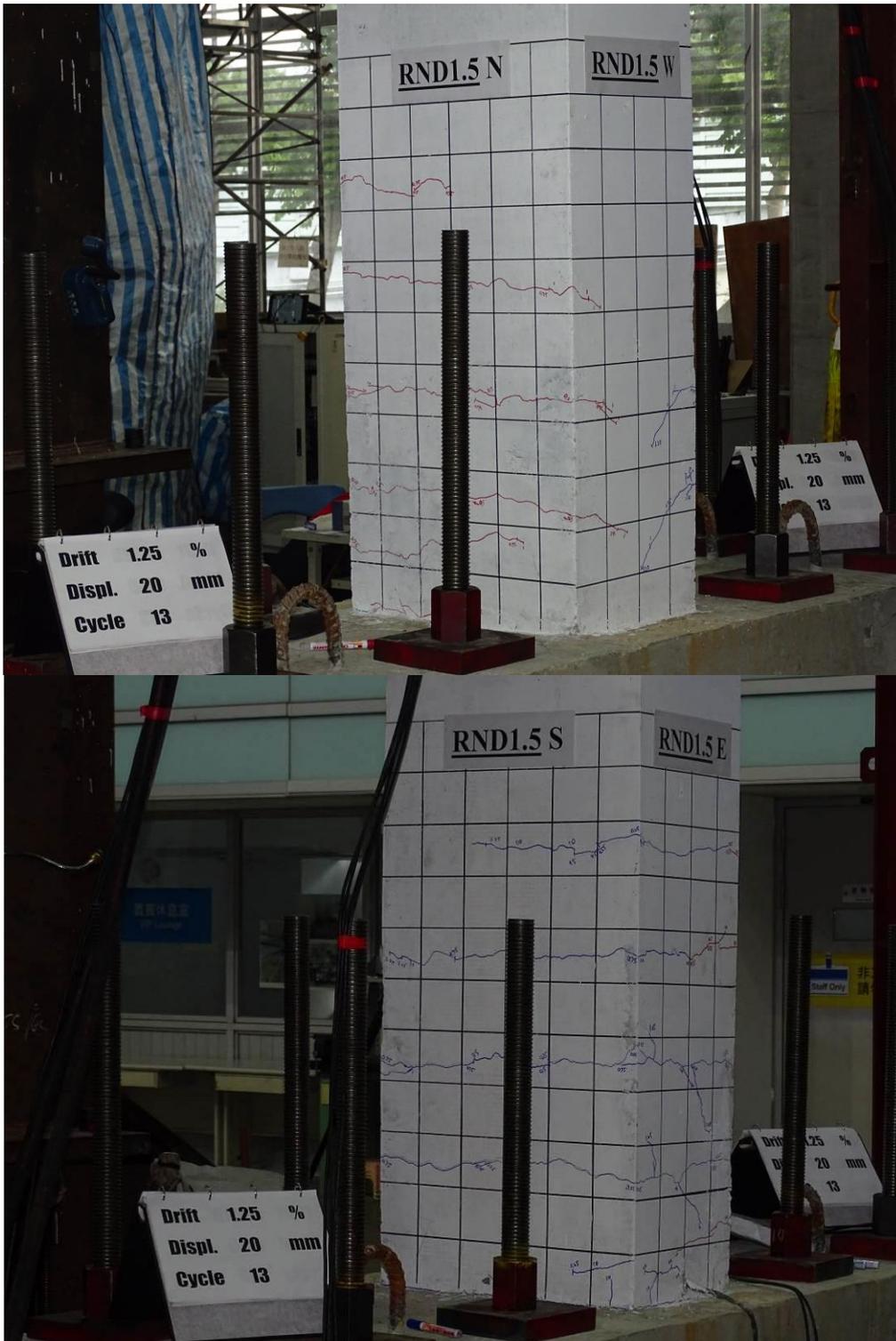


圖 3-25 側移角 1.25 % 時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

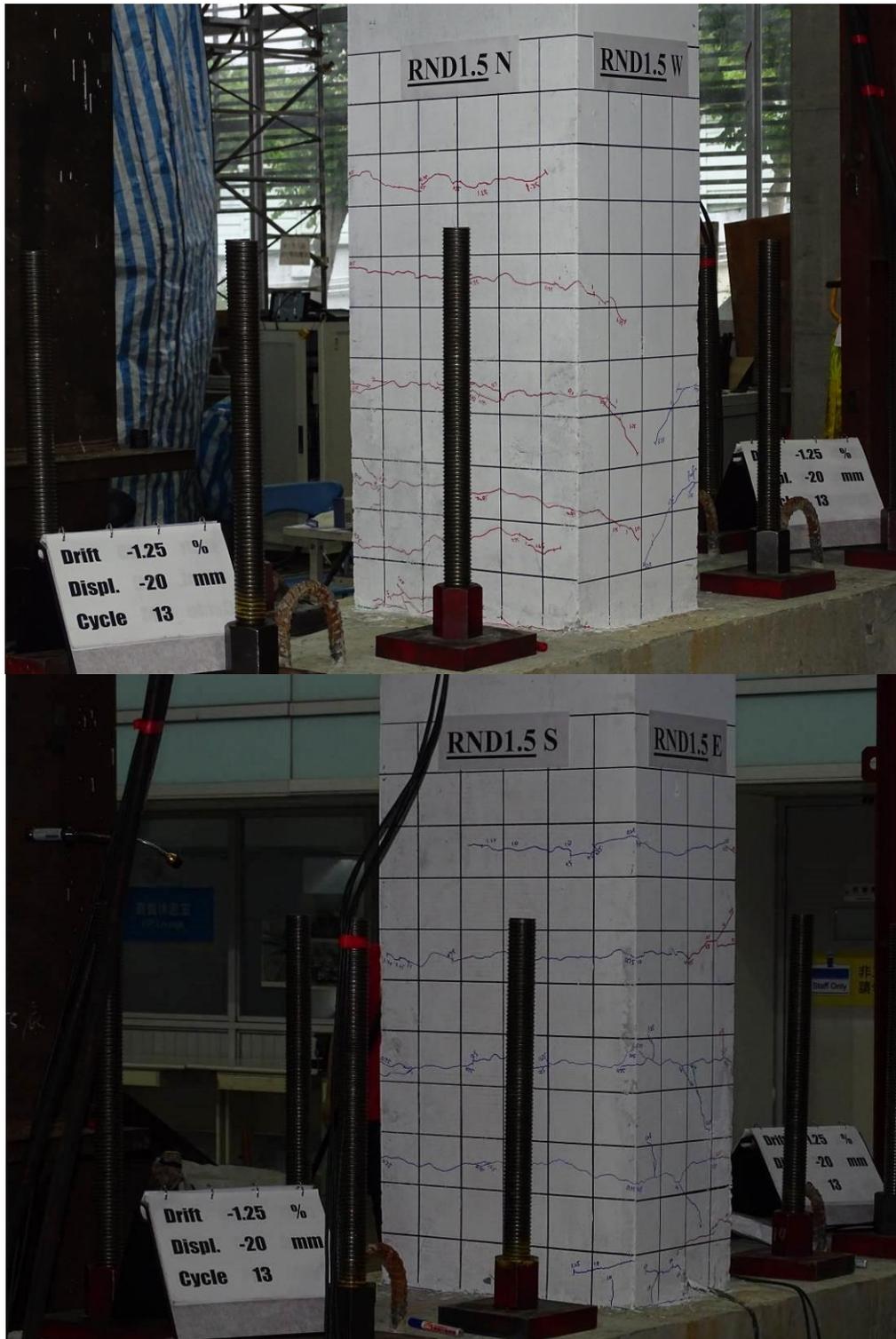


圖 3-26 側移角-1.25 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

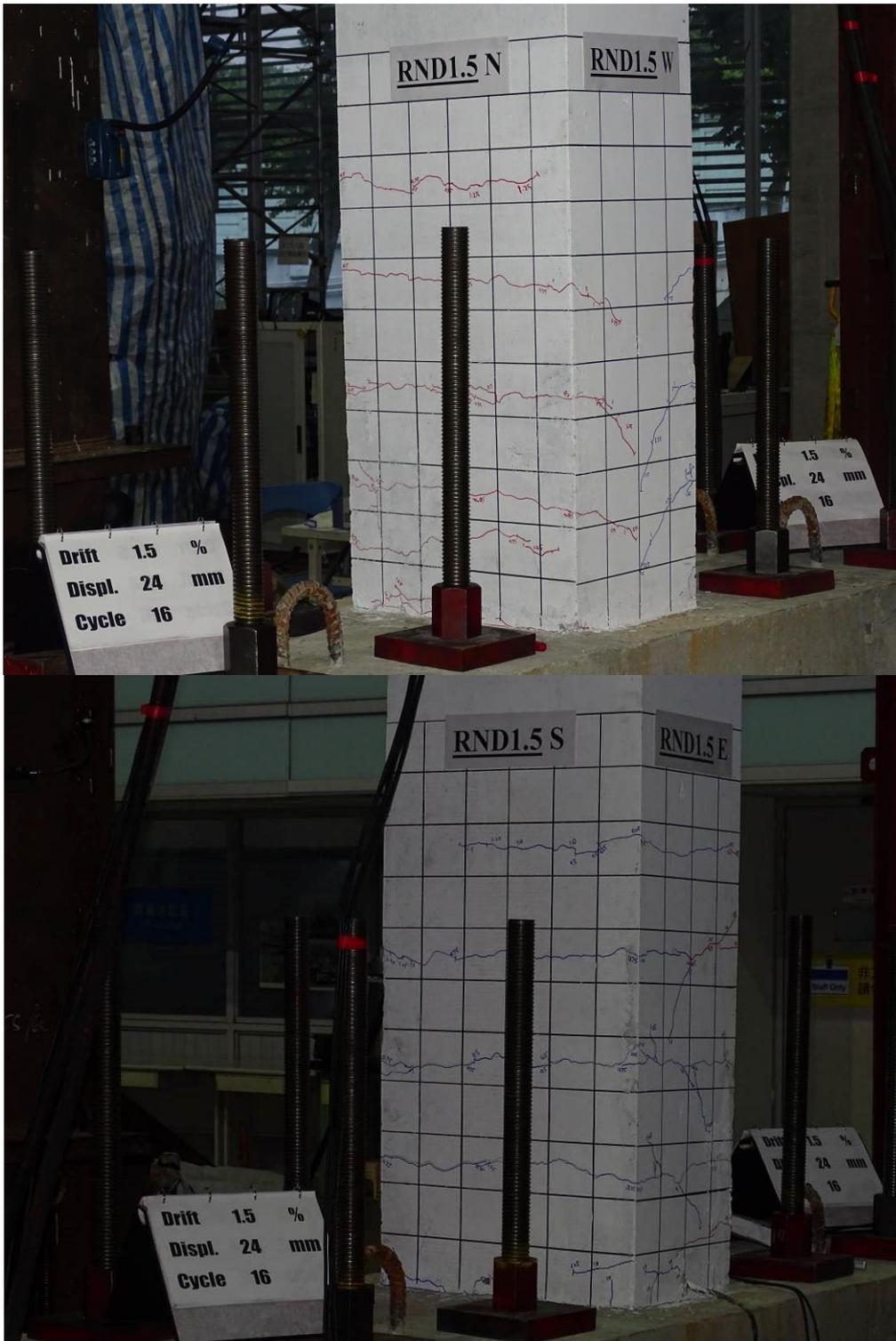


圖 3-27 側移角 1.5 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

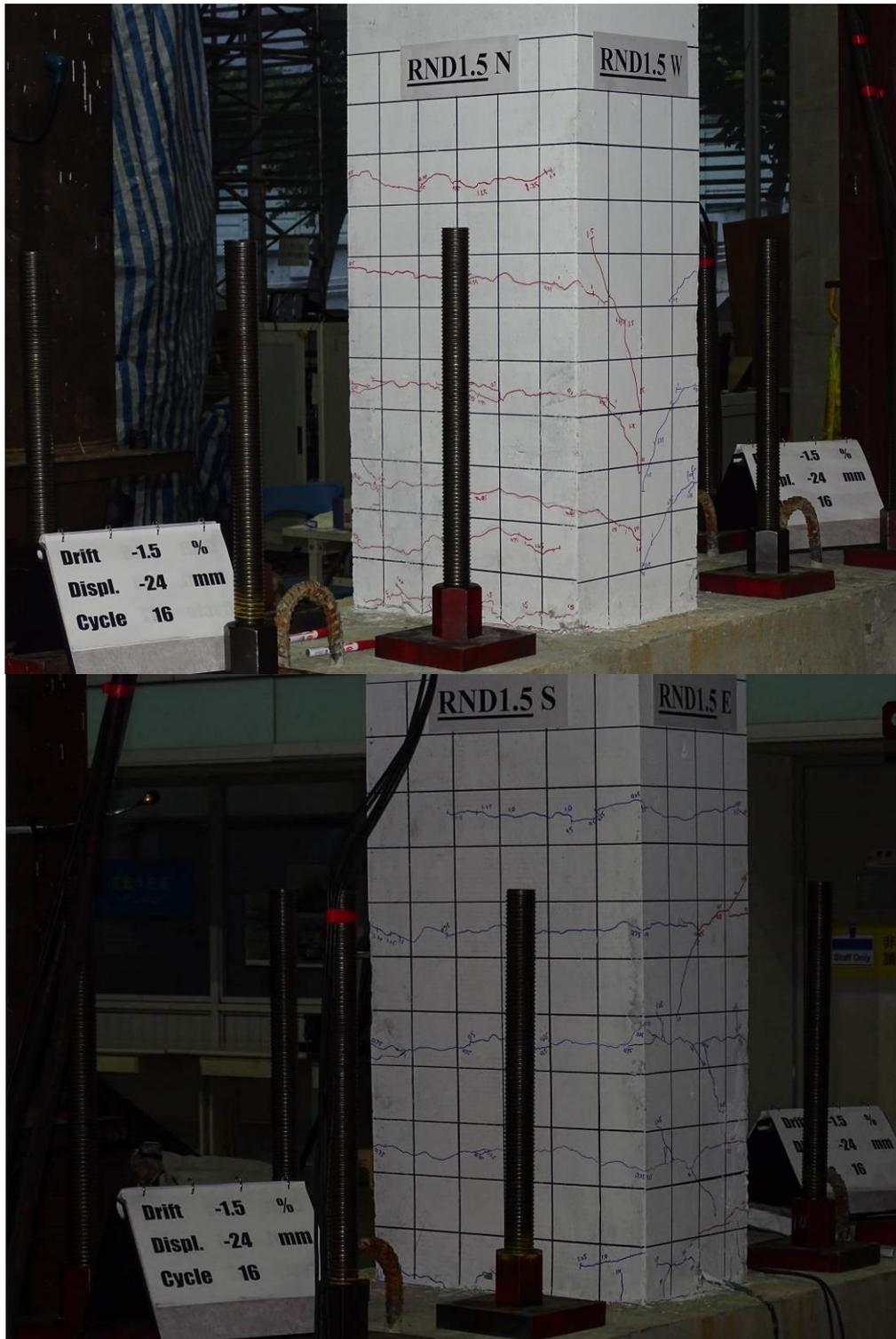


圖 3-28 側移角-1.5 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

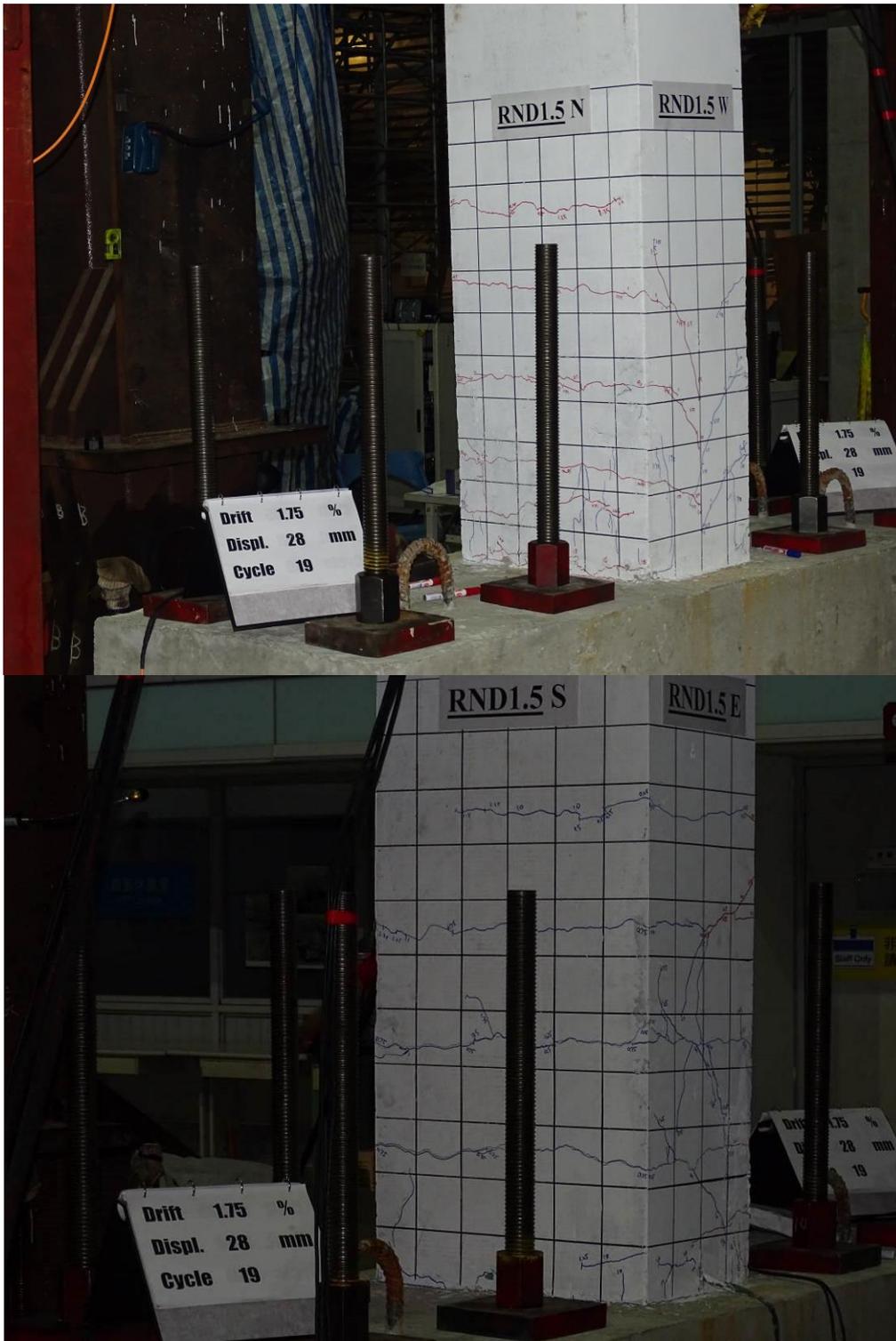


圖 3-29 側移角 1.75 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

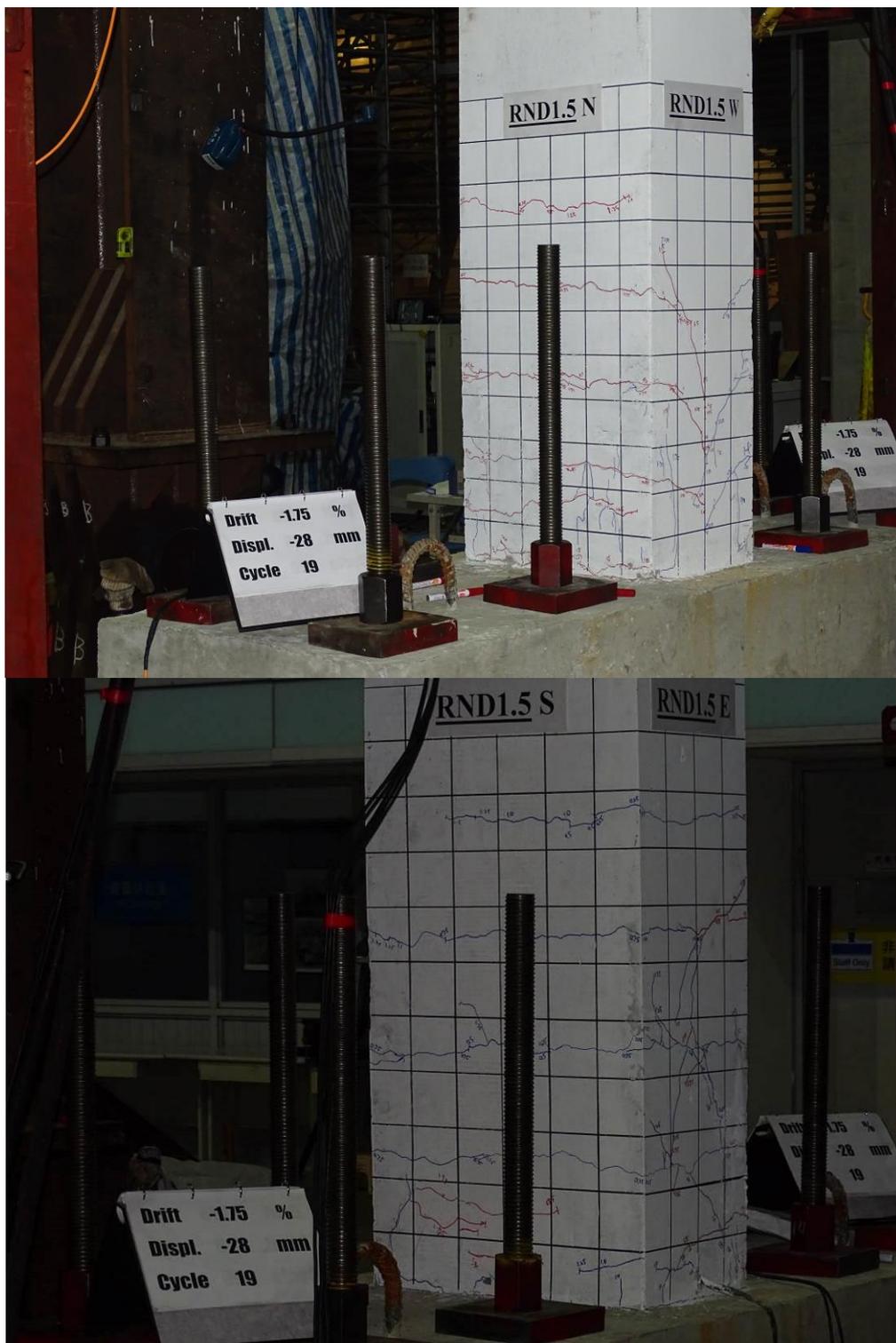


圖 3-30 側移角-1.75 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

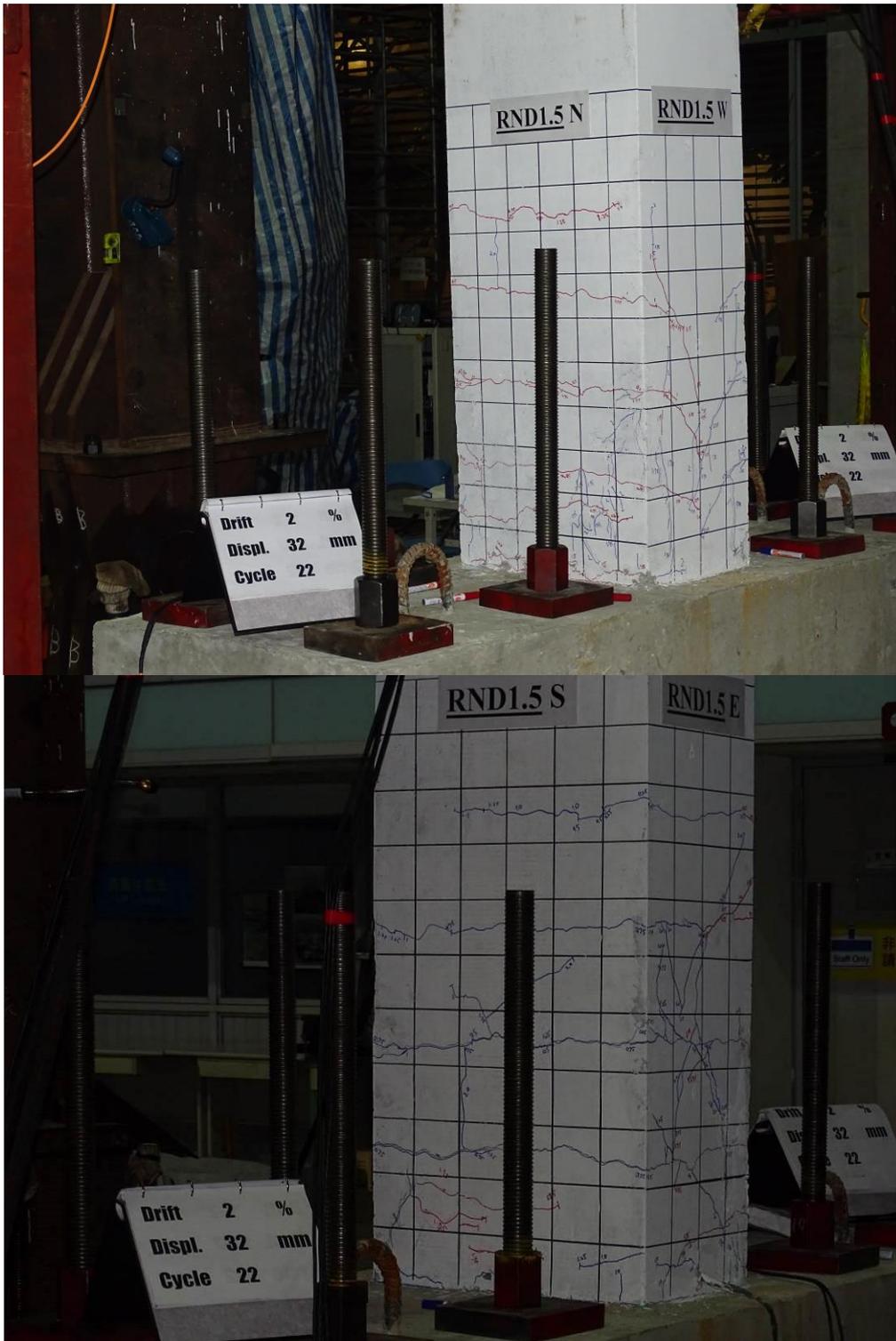


圖 3-31 側移角 2.0 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

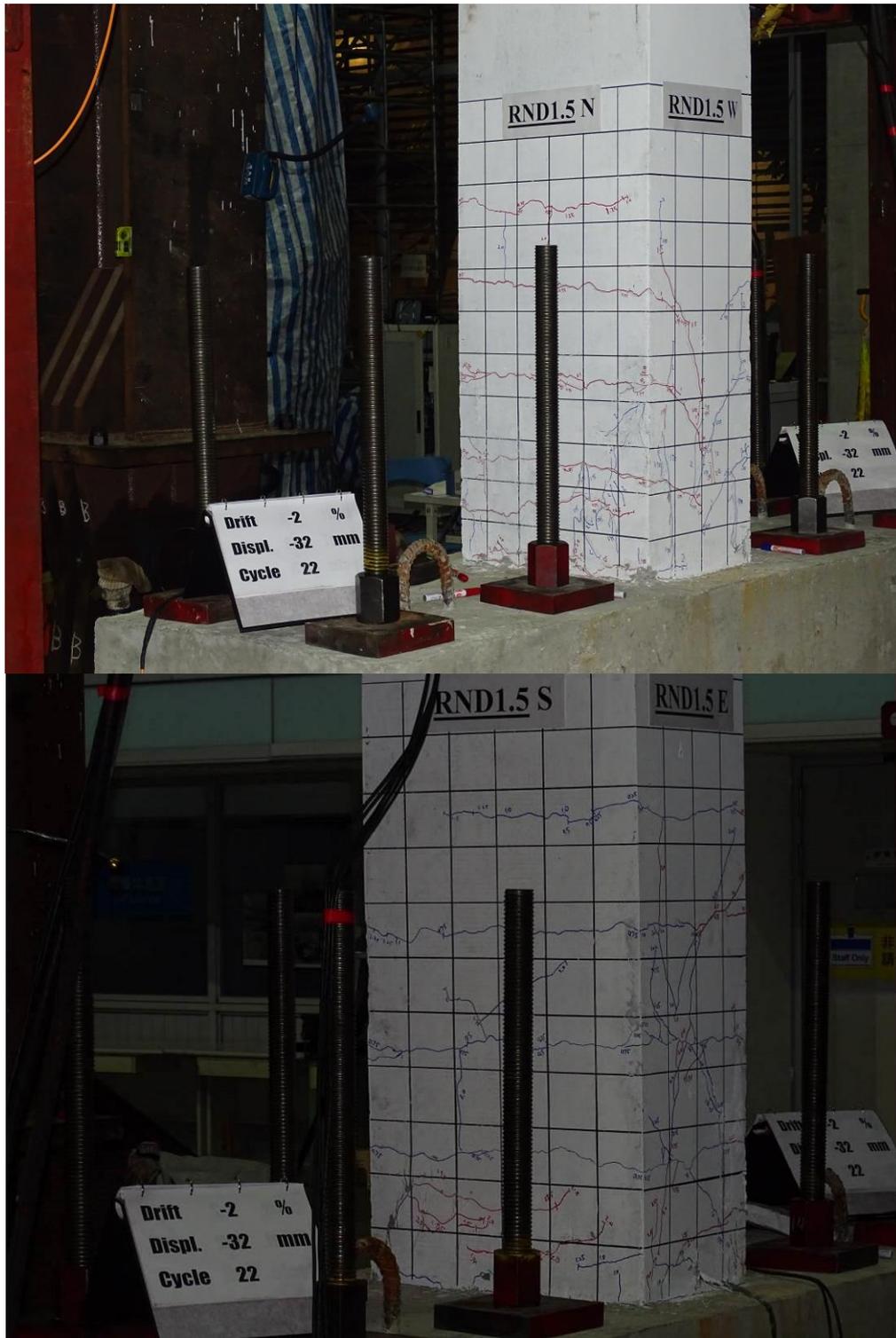


圖 3-32 側移角-2.0 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

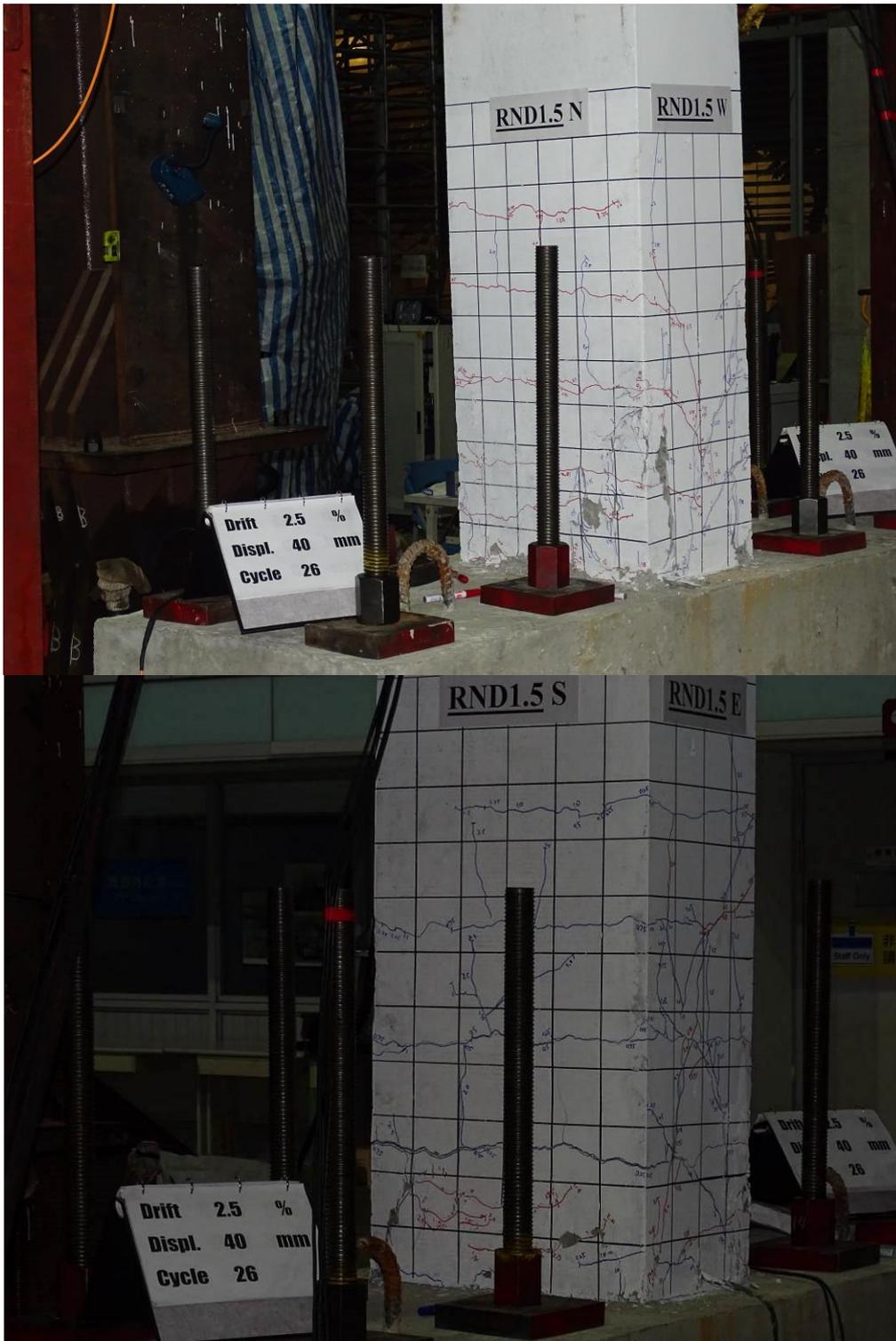


圖 3-33 側移角 2.5 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

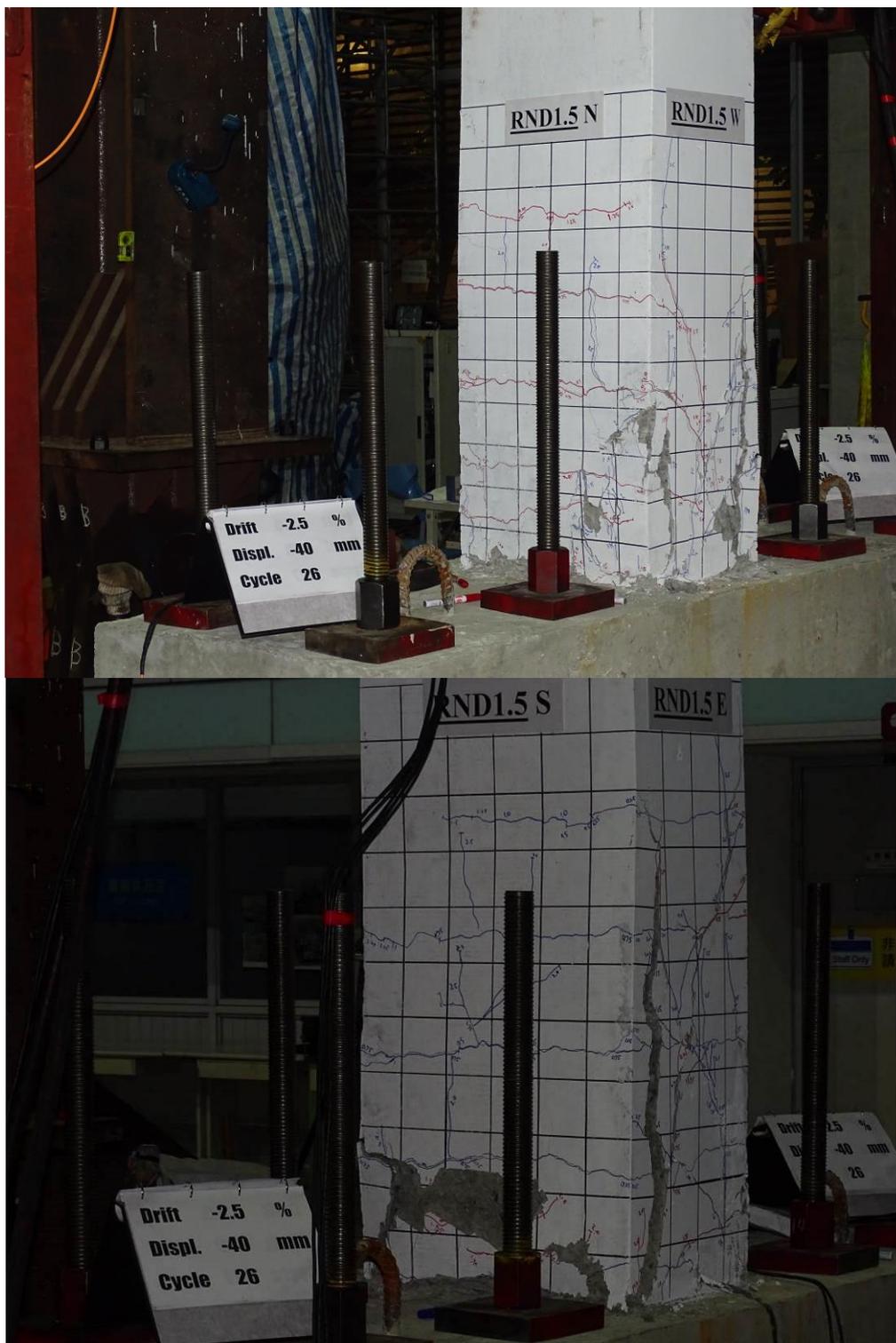


圖 3-34 側移角-2.5 %時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

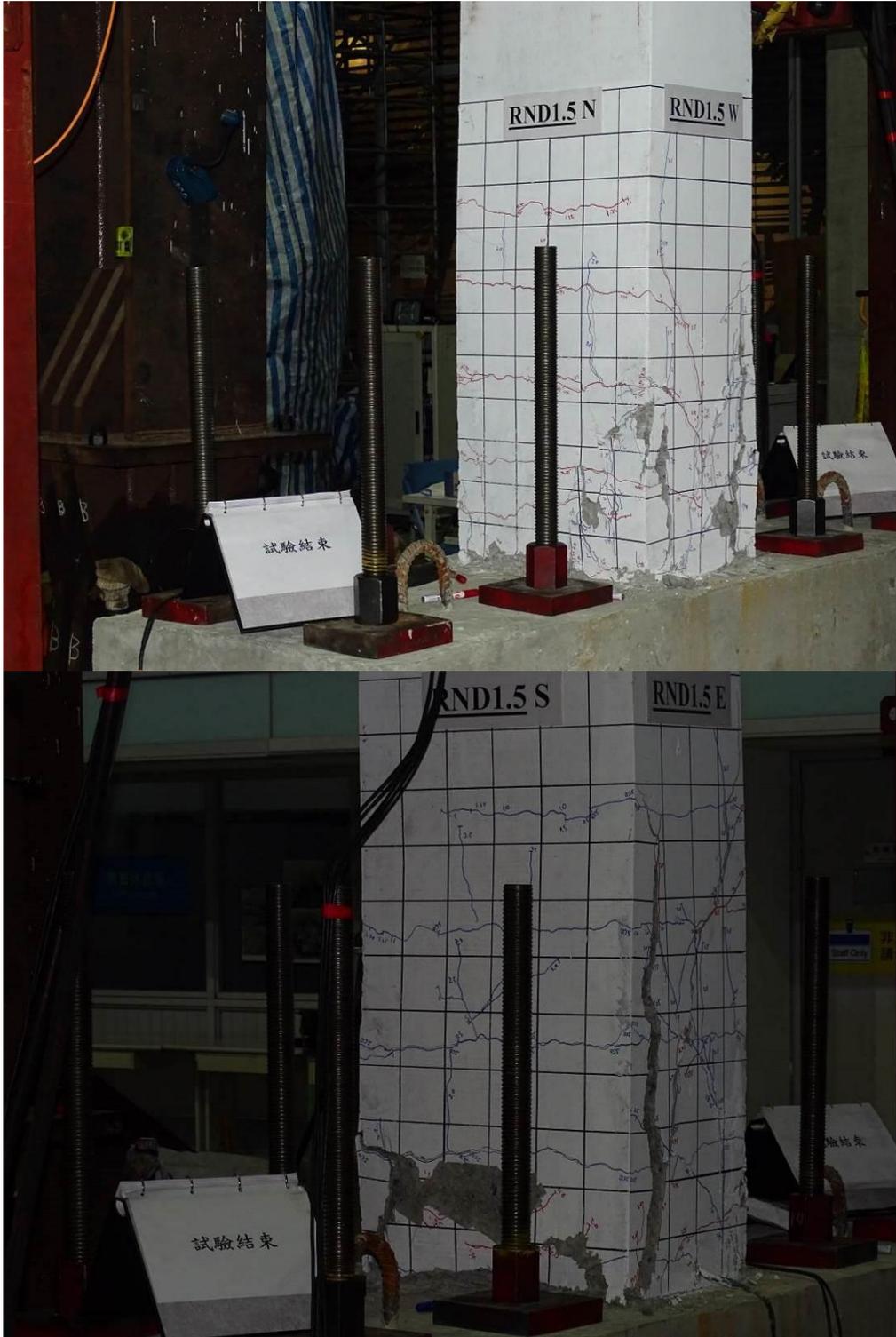


圖 3-35 試驗結束時 RND1.5 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-36 加軸力前 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-37 加軸力後側移角 0 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

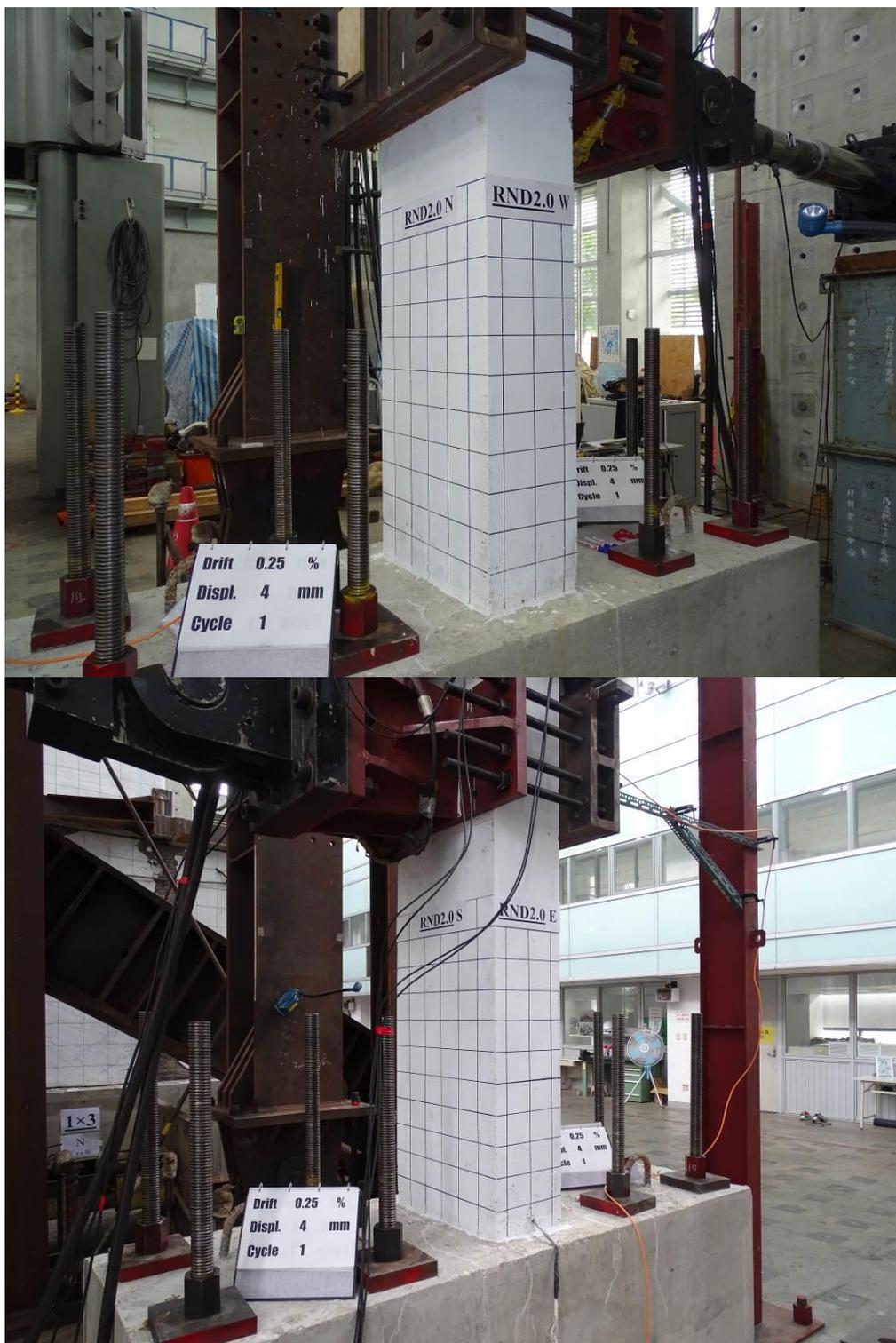


圖 3-38 側移角 0.25 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

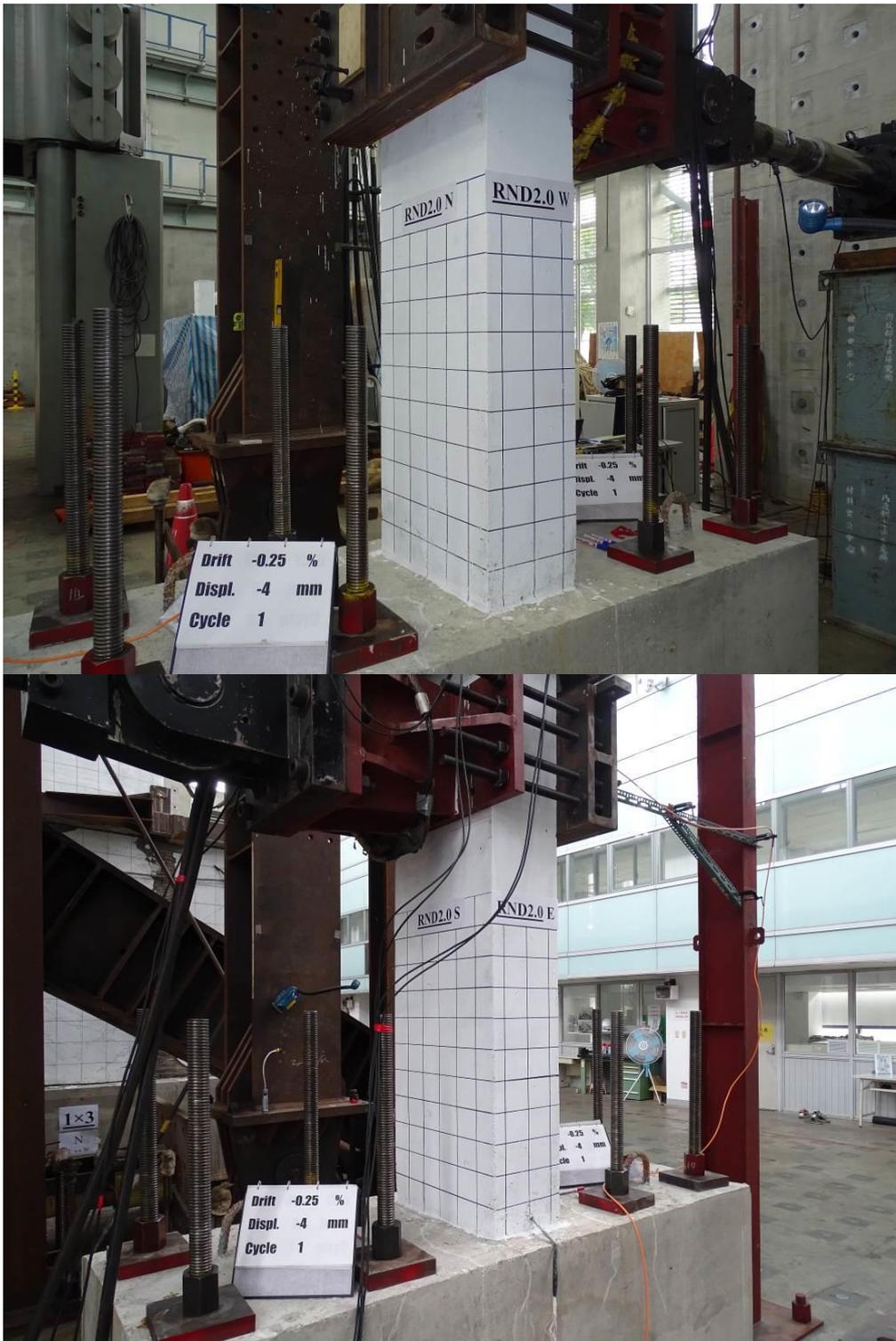


圖 3-39 側移角-0.25 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

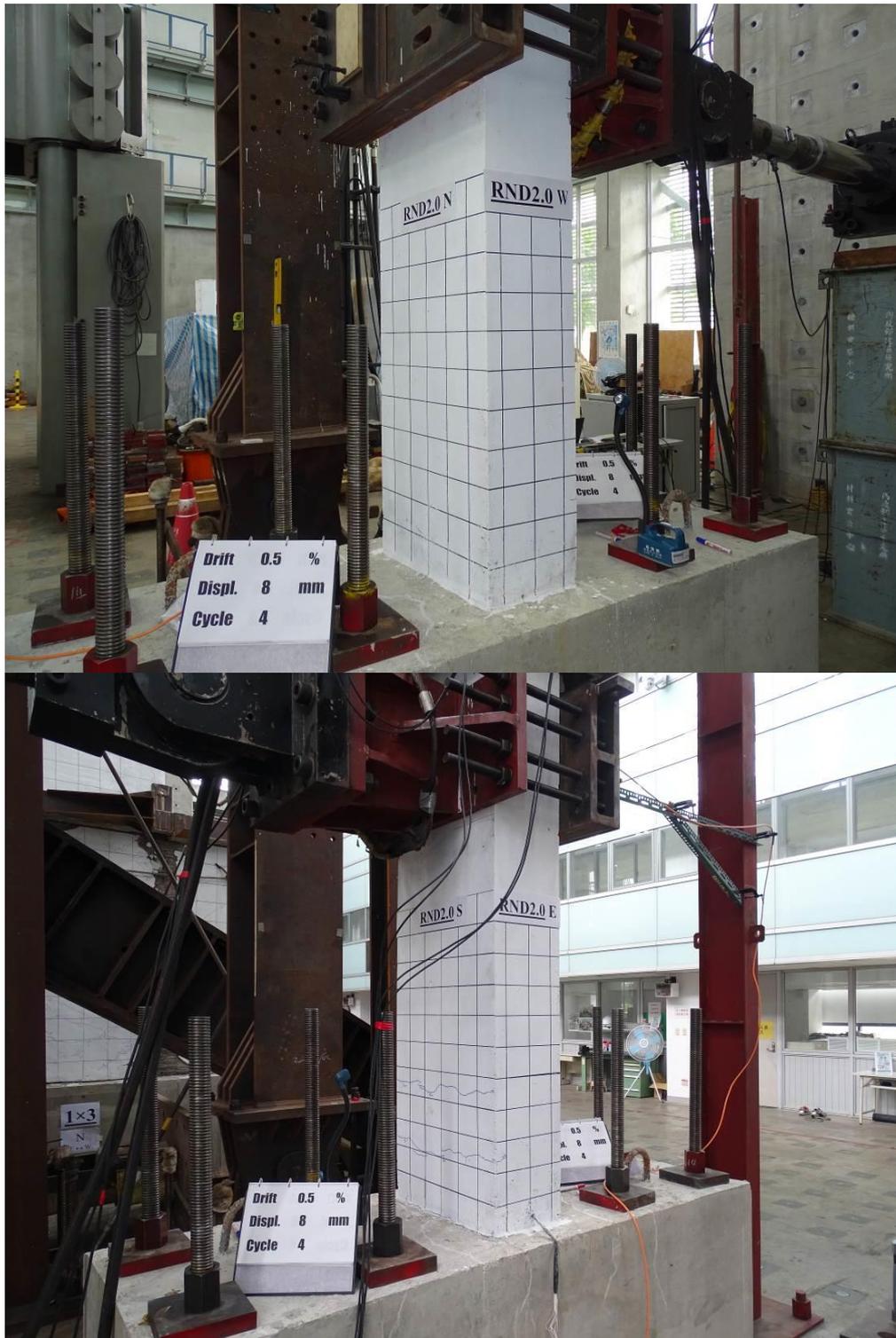


圖 3-40 側移角 0.5 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

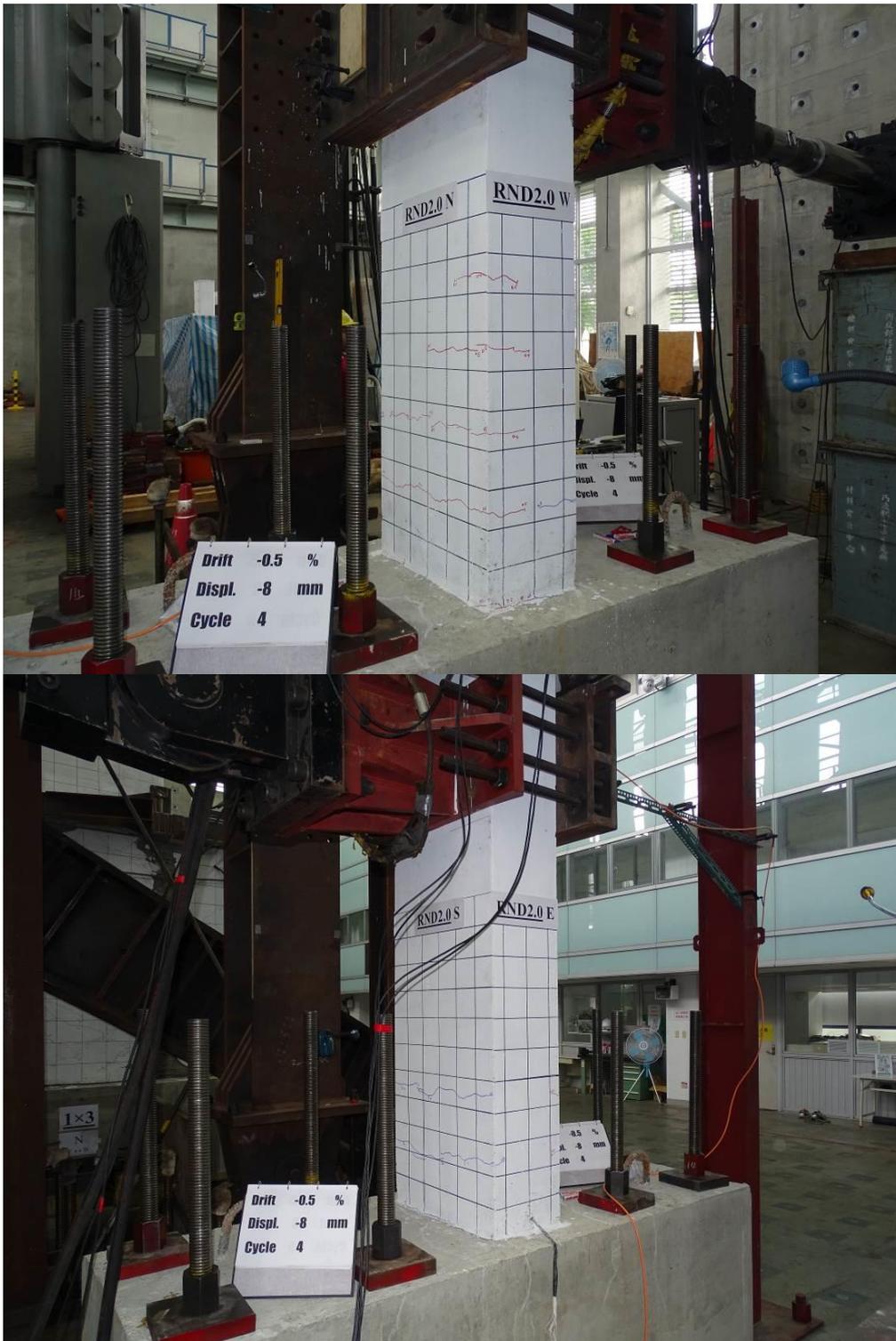


圖 3-41 側移角-0.5 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

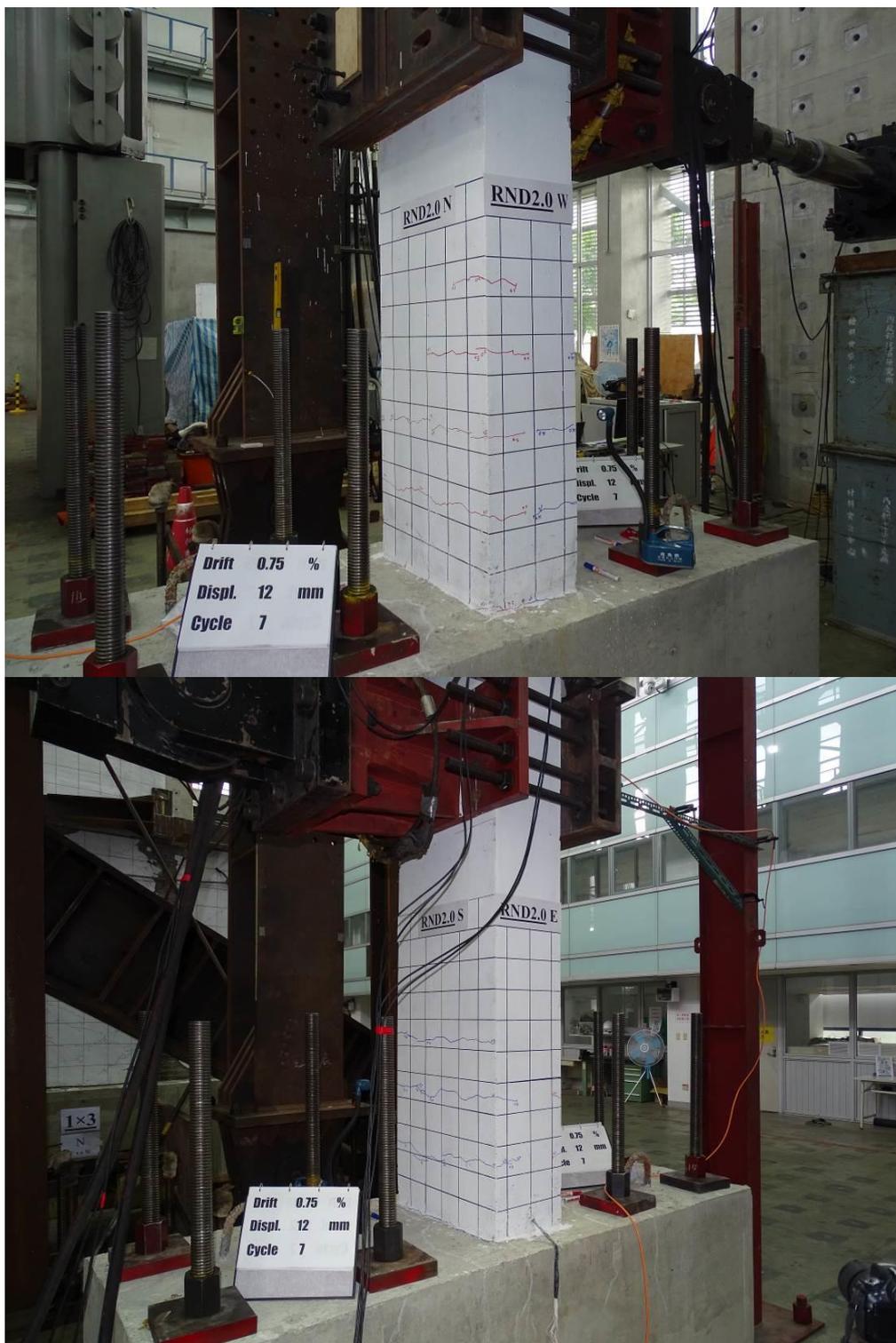


圖 3-42 側移角 0.75 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

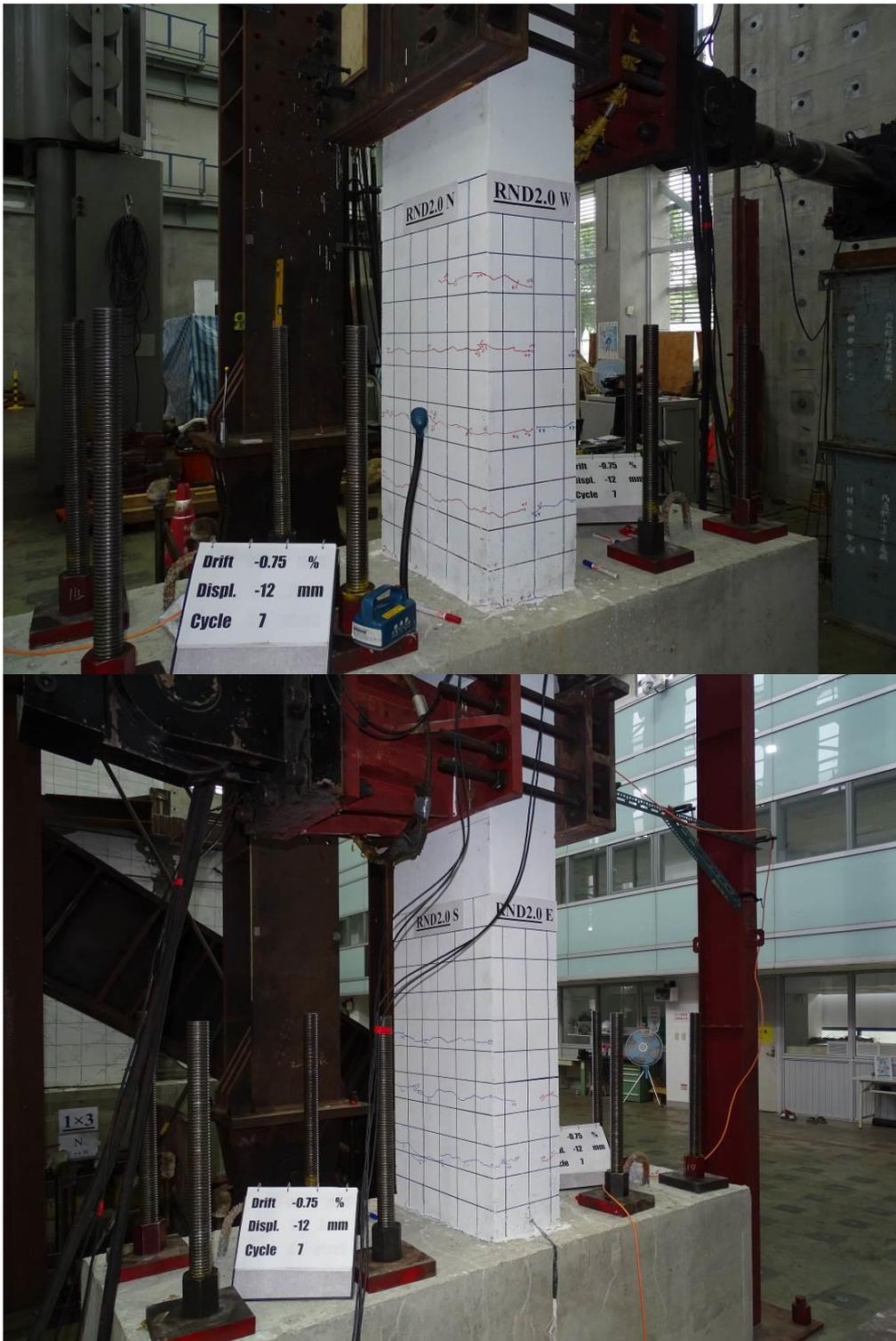


圖 3-43 側移角-0.75 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

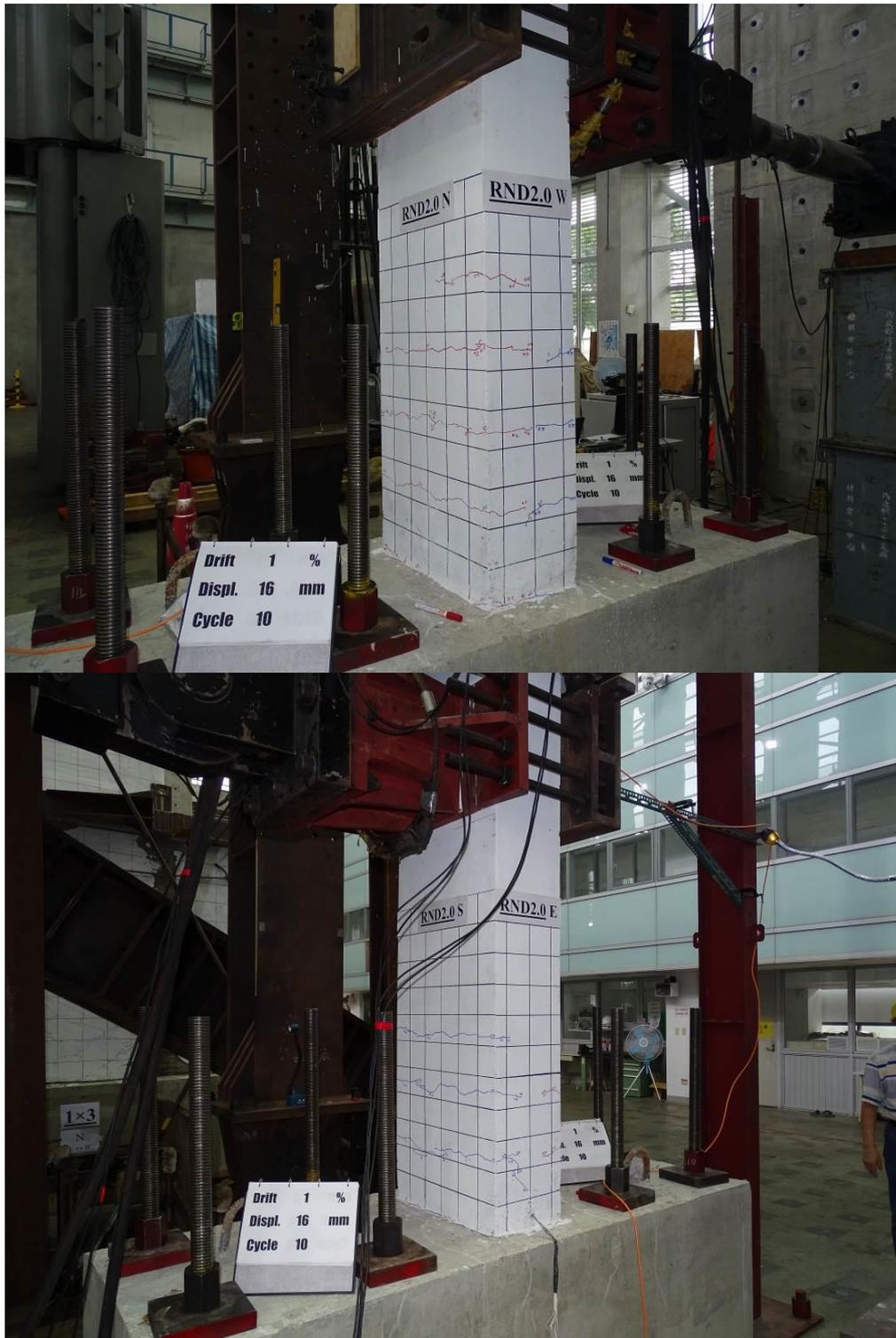


圖 3-44 側移角 1.0 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

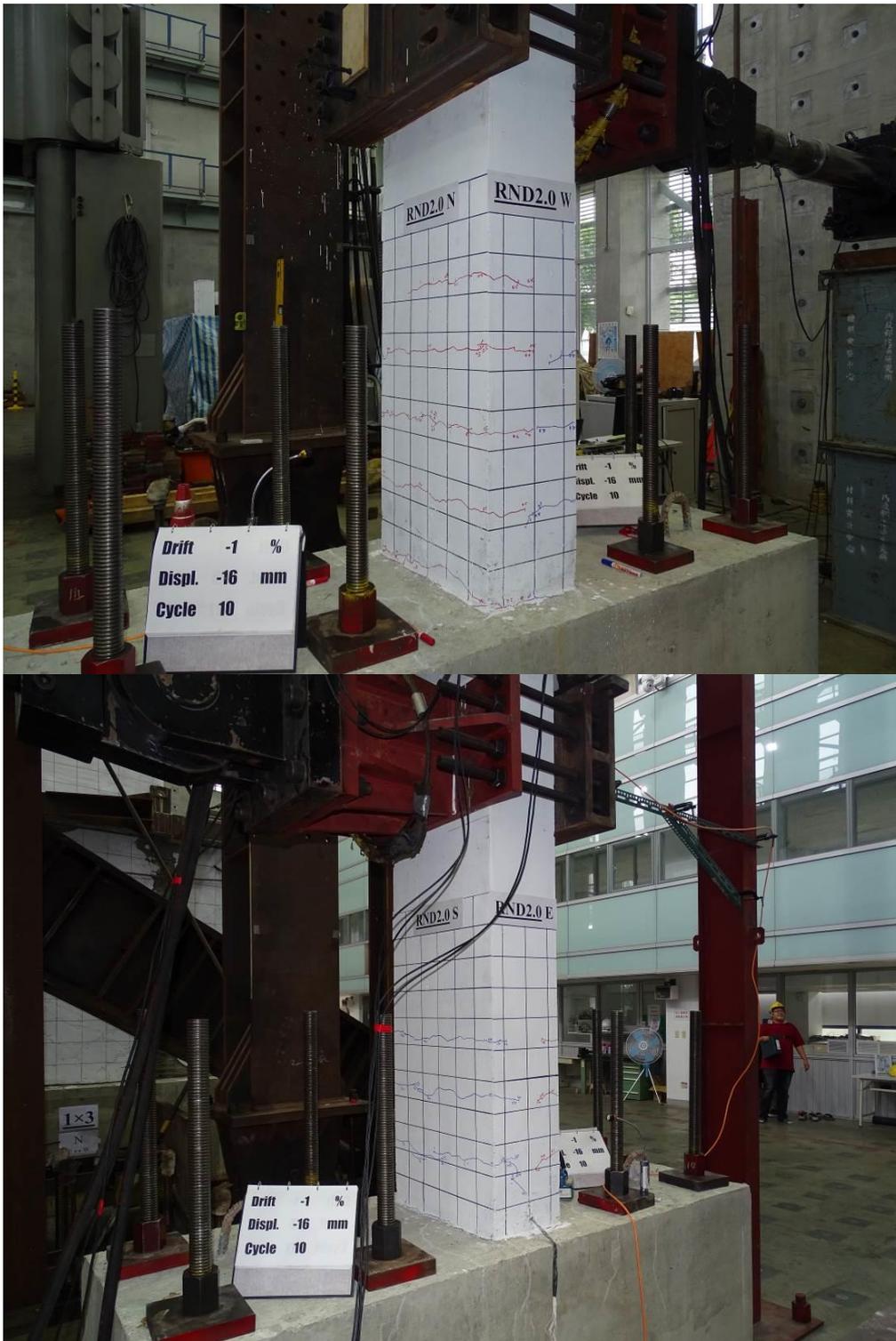


圖 3-45 側移角-1.0 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

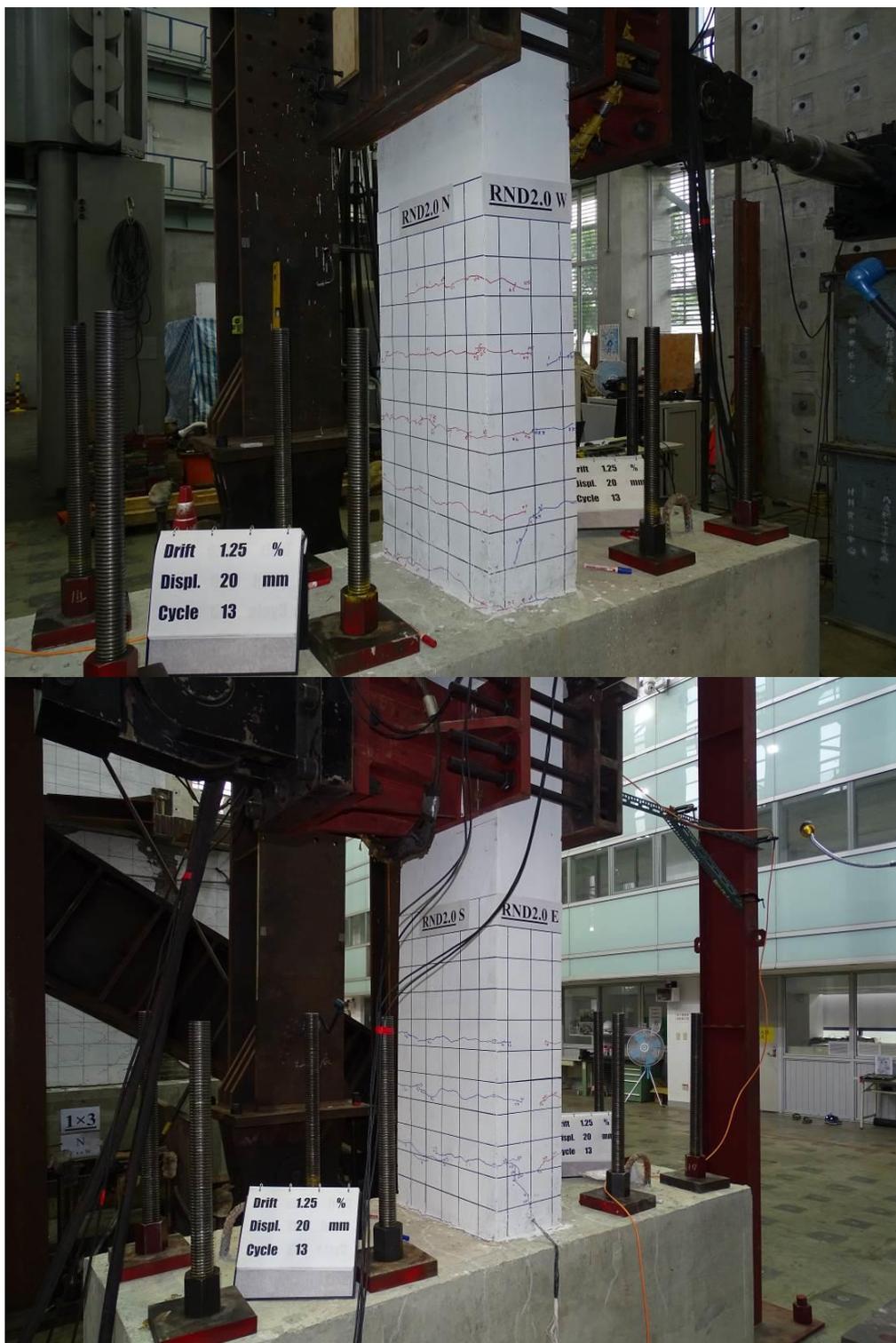


圖 3-46 側移角 1.25 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

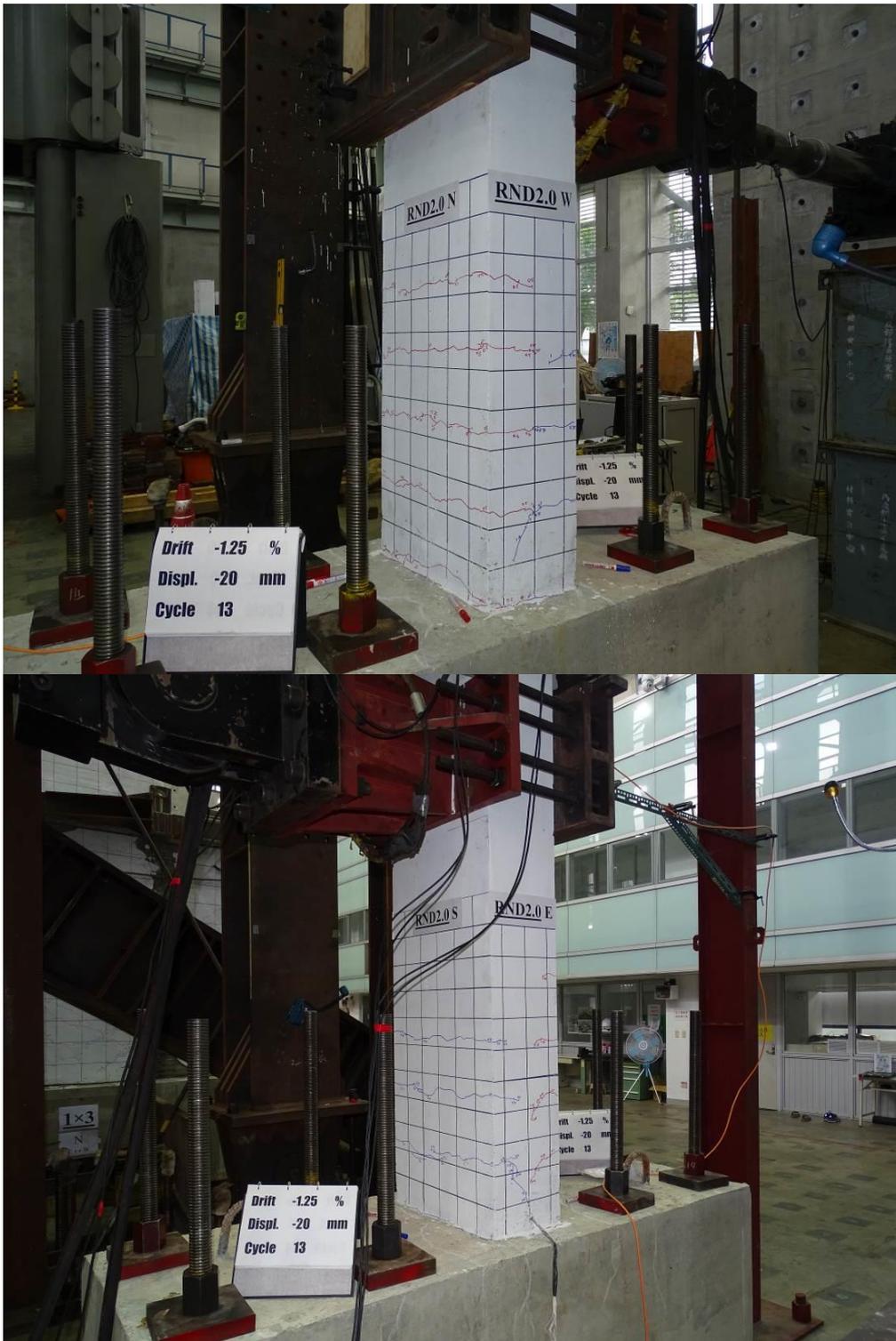


圖 3-47 側移角-1.25 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

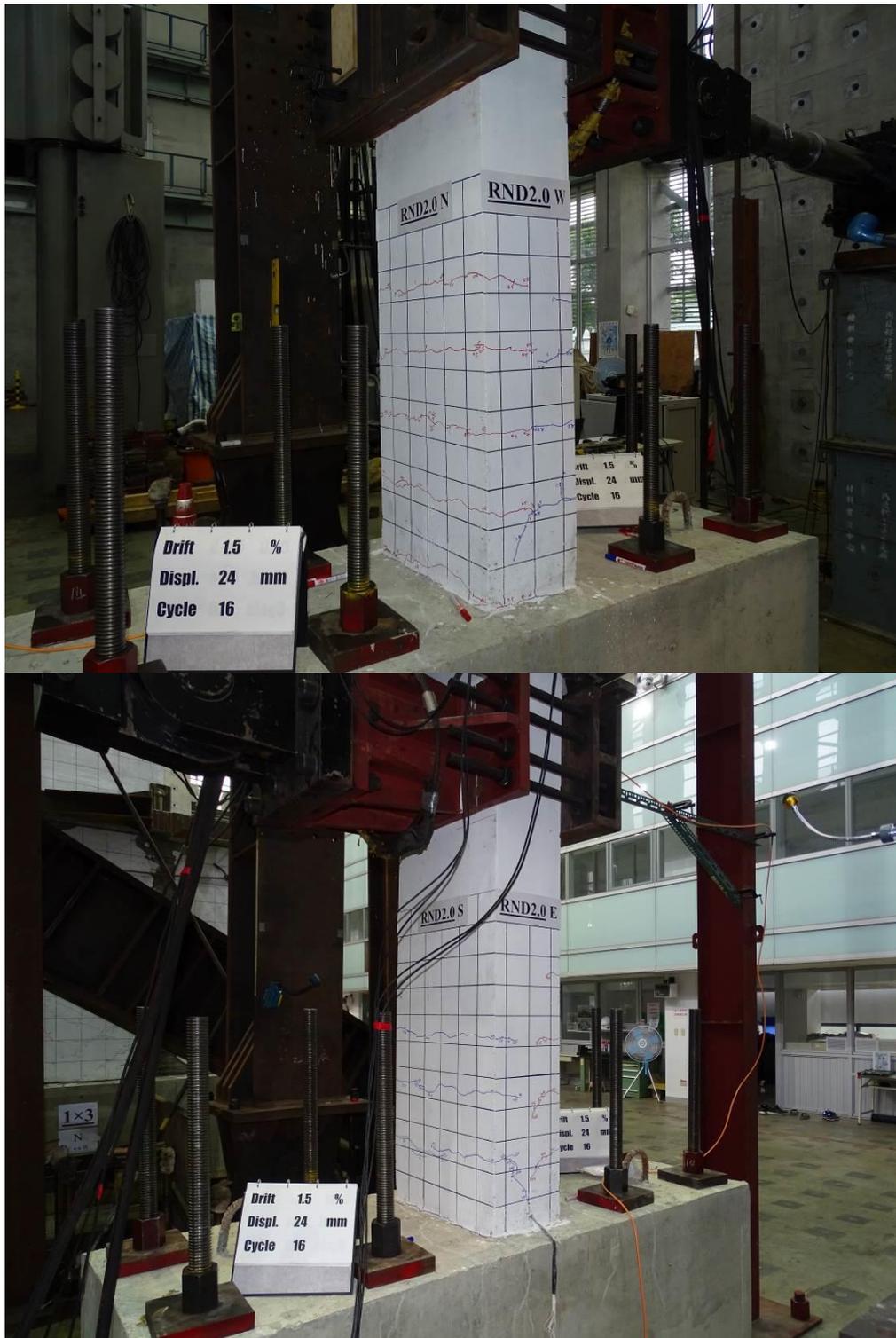


圖 3-48 側移角 1.5 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

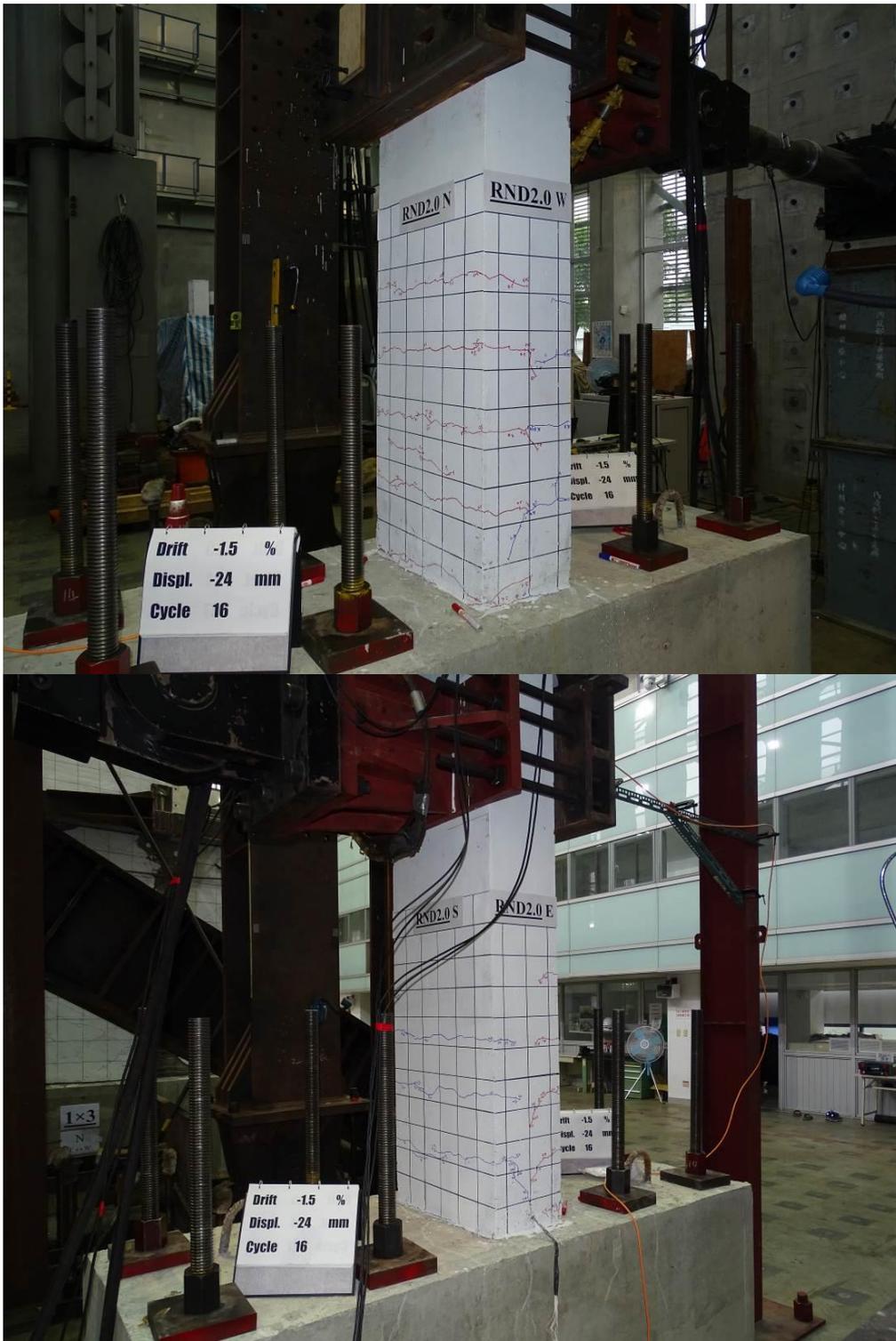


圖 3-49 側移角-1.5 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

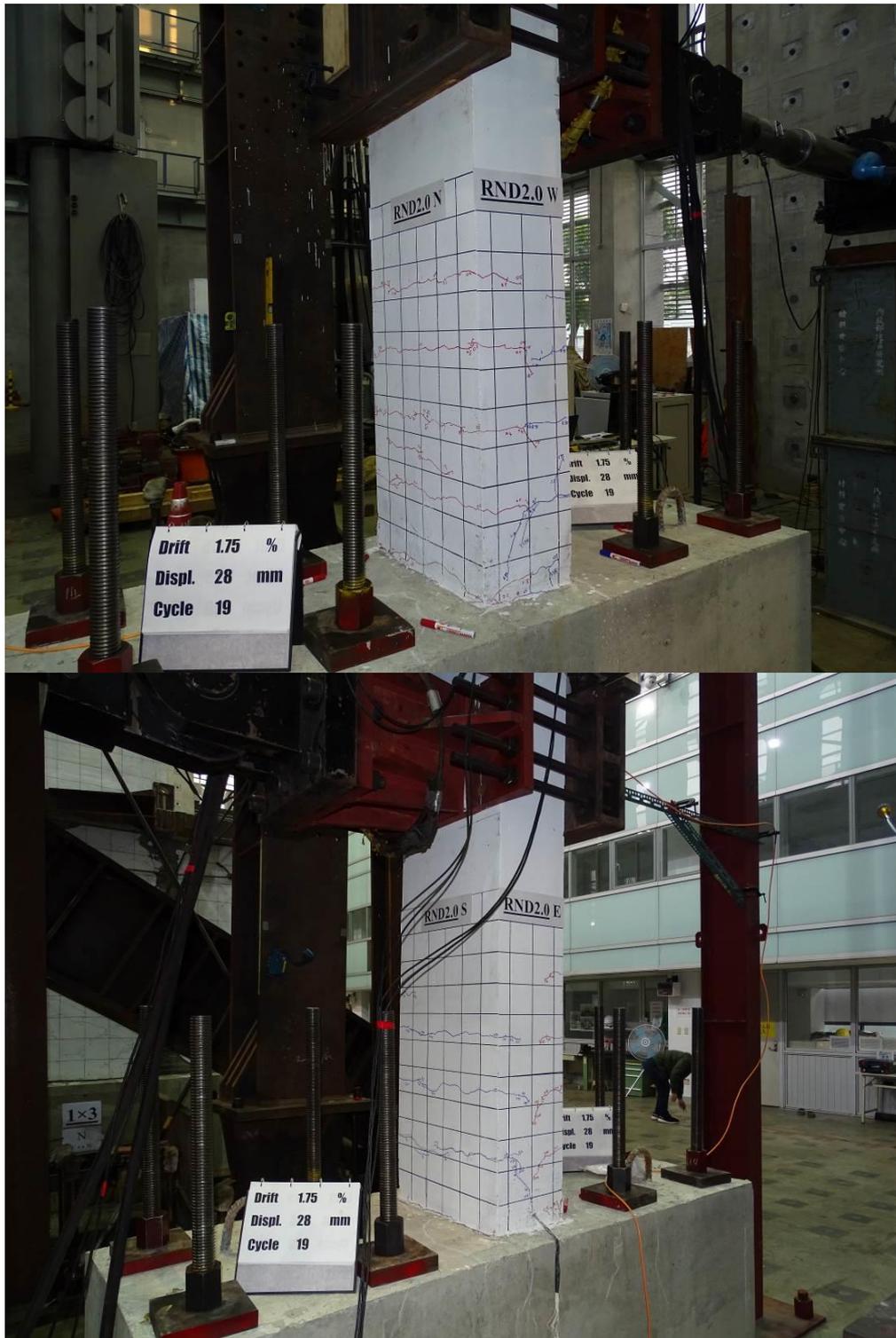


圖 3-50 側移角 1.75 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

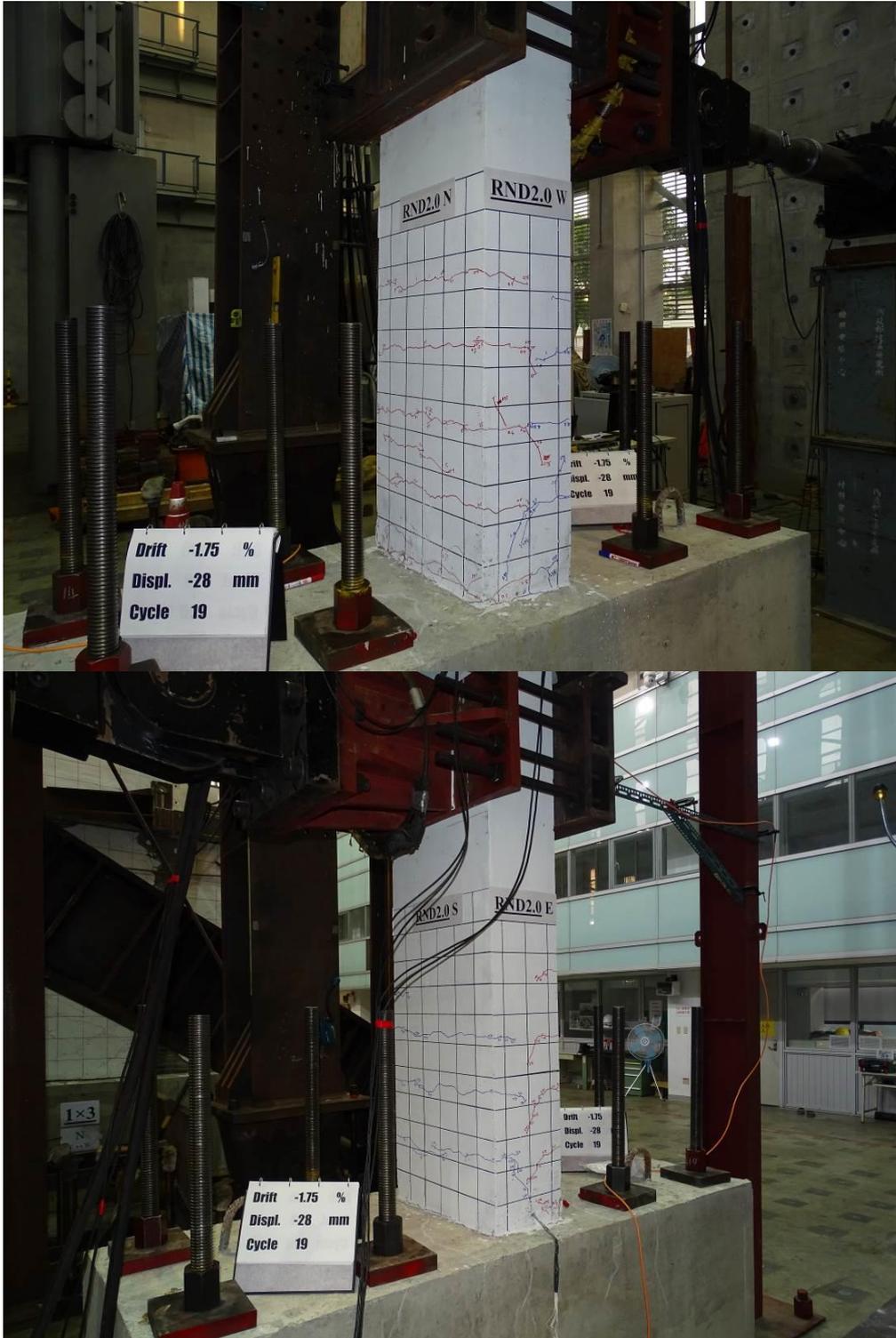


圖 3-51 側移角-1.75 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

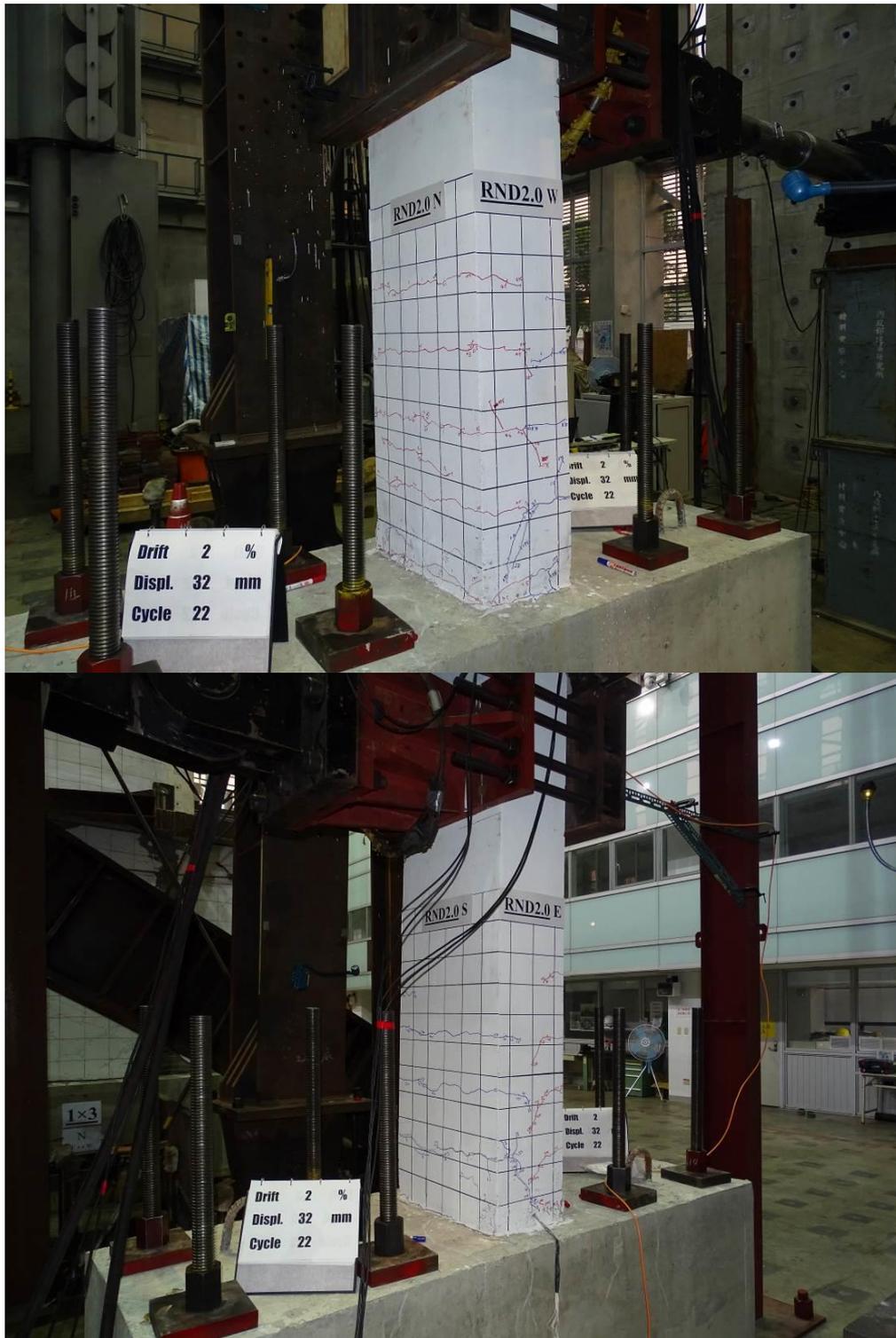


圖 3-52 側移角 2.0 % 時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

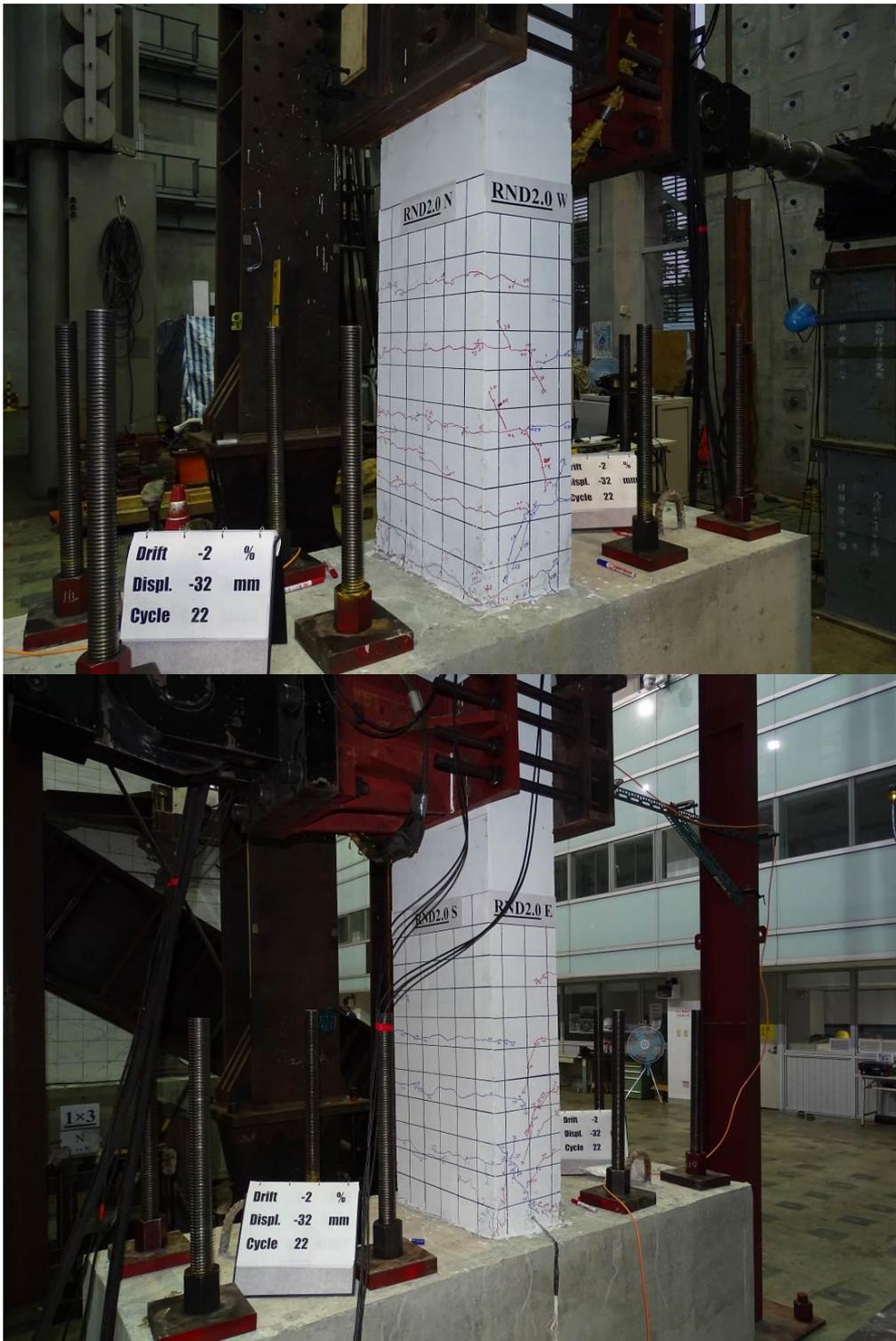


圖 3-53 側移角-2.0 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

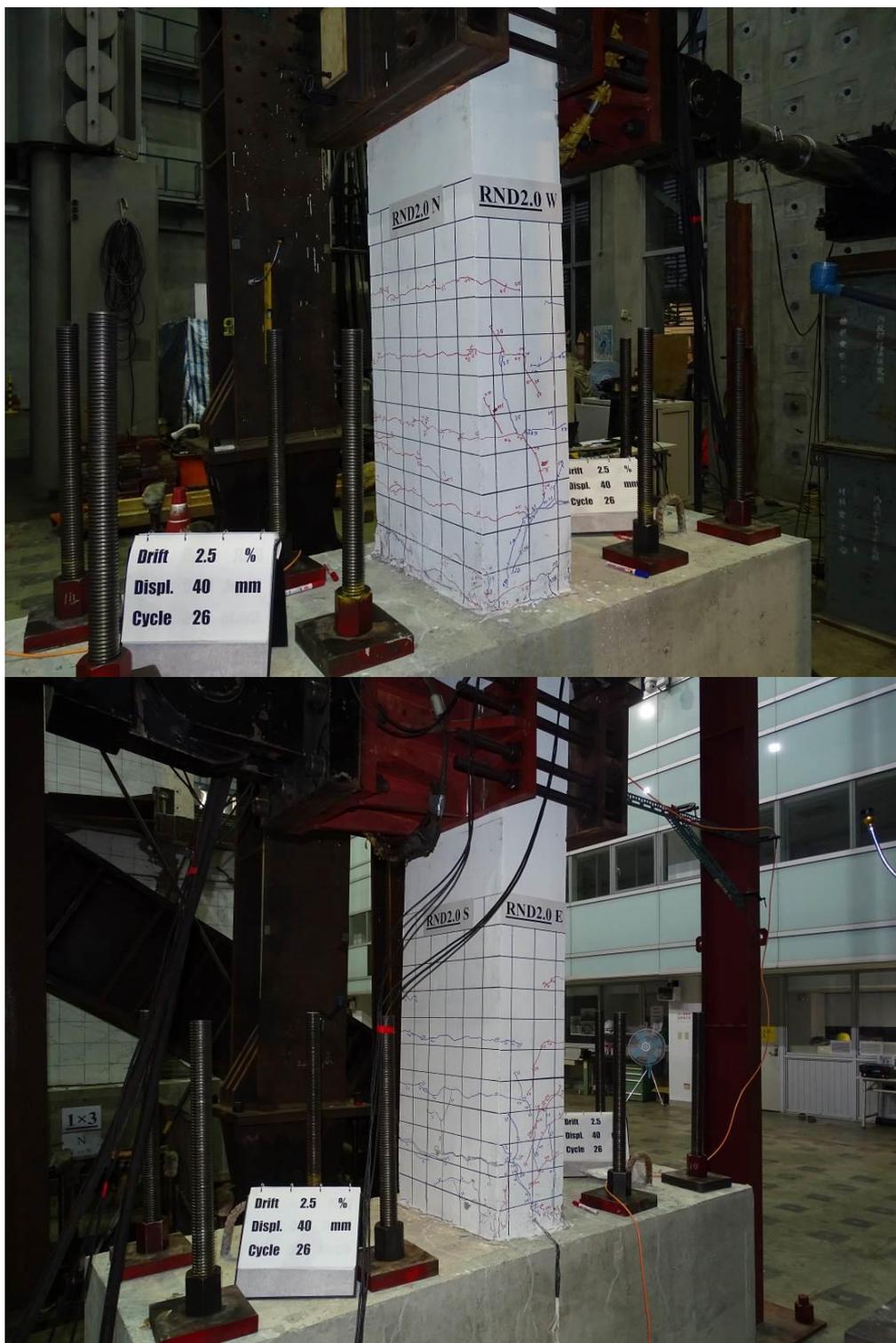


圖 3-54 側移角 2.5 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

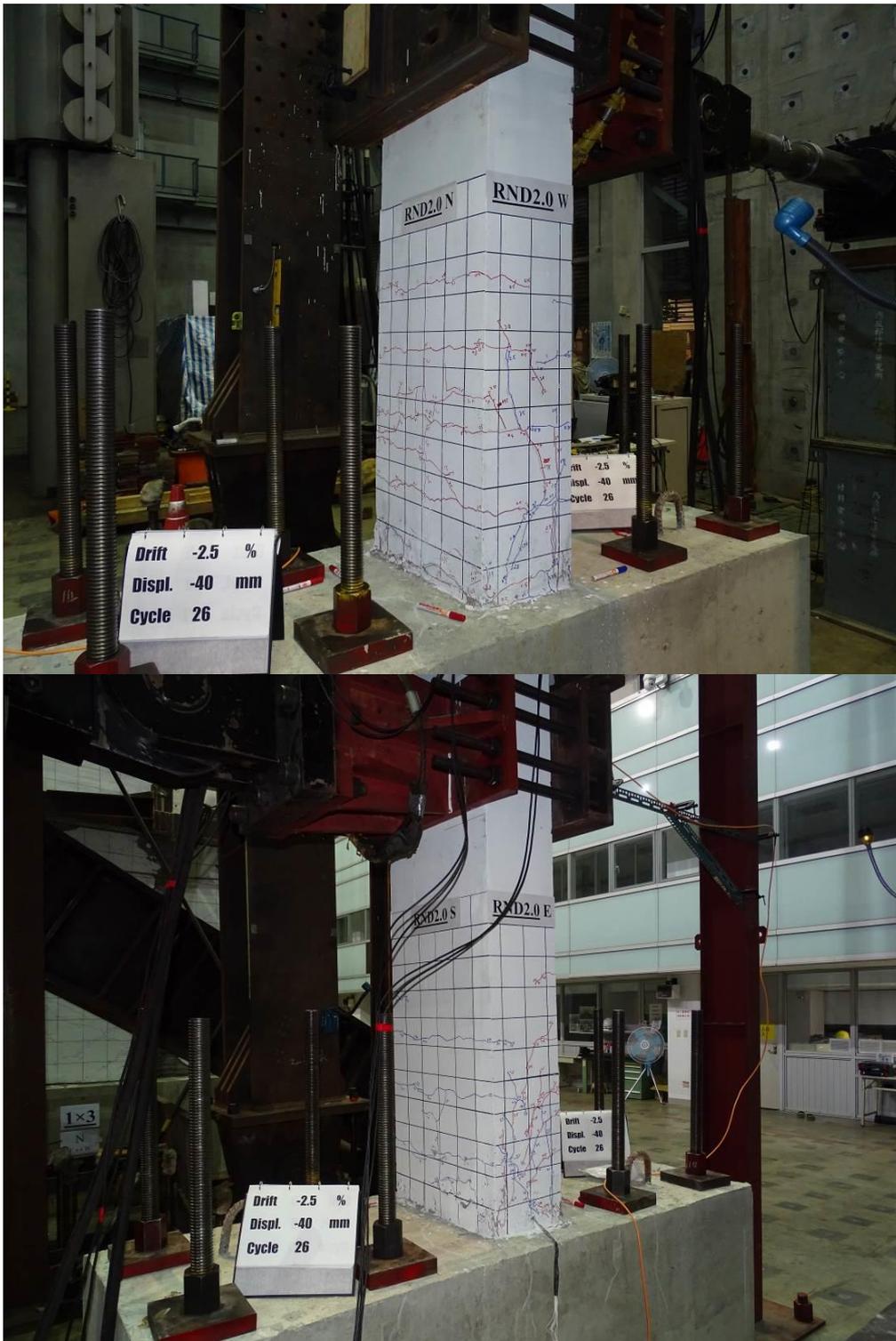


圖 3-55 側移角-2.5 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

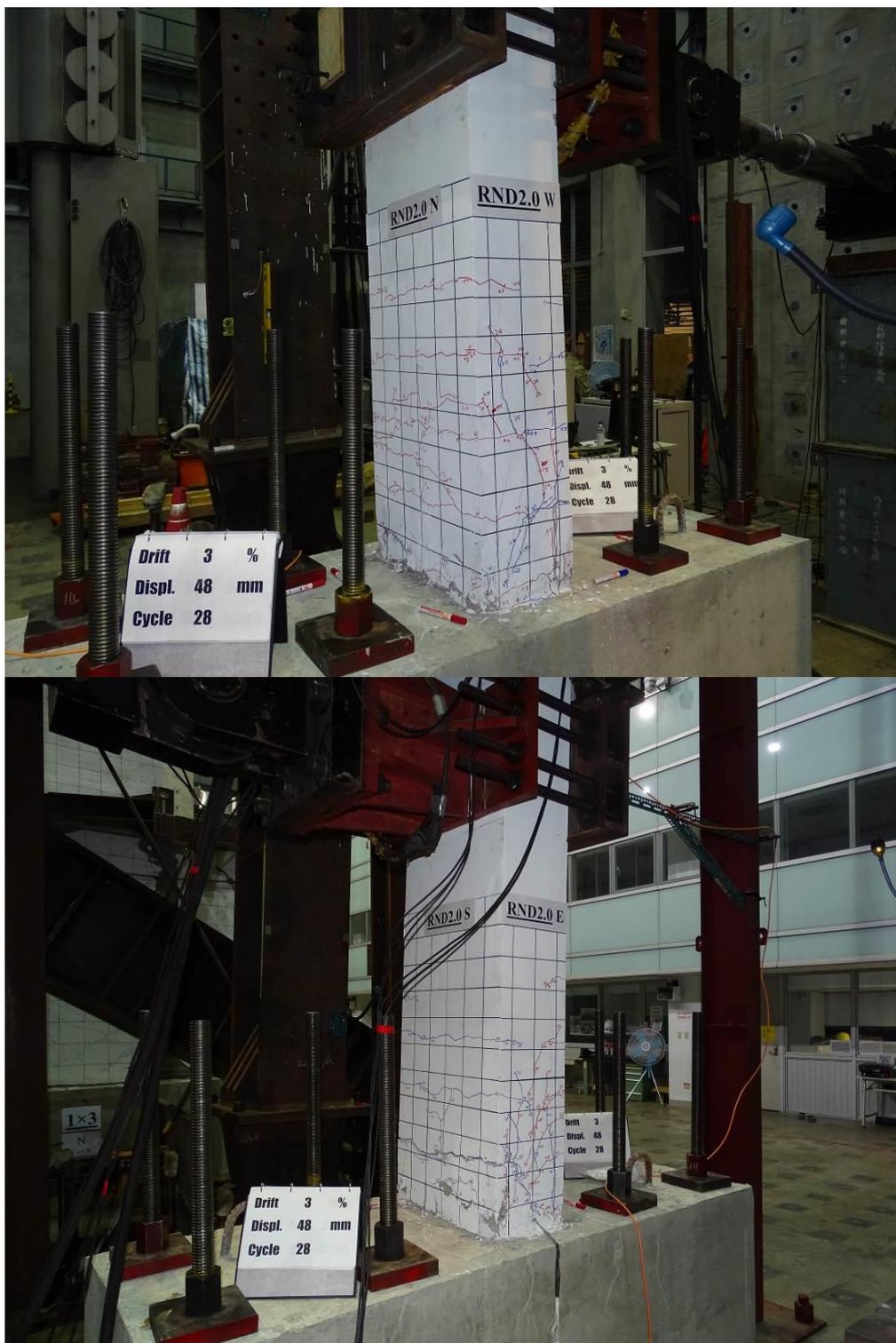


圖 3-56 側移角 3.0 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

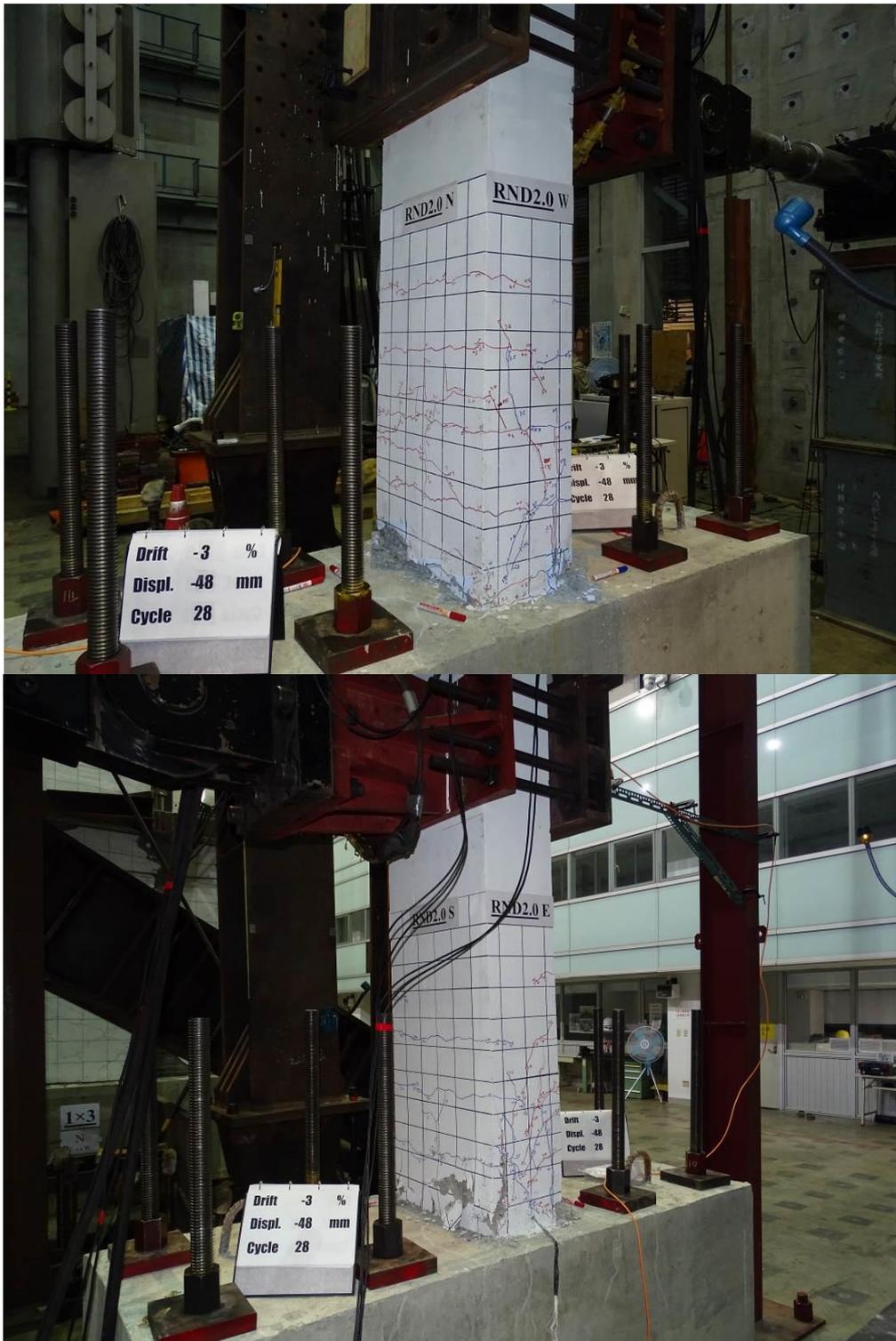


圖 3-57 側移角-3.0 %時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-58 試驗結束時 RND2.0 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-59 加軸力前 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-60 加軸力後側移角 0 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-61 側移角 0.25 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-62 側移角-0.25 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-63 側移角 0.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-64 側移角-0.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-65 側移角 0.75 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-66 側移角-0.75 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-67 側移角 1.0 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-68 側移角-1.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-69 側移角 1.25 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-70 側移角-1.25 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-71 側移角 1.5 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-72 側移角-1.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-73 側移角 1.75 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-74 側移角-1.75 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-75 側移角 2.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-76 側移角-2.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-77 側移角 2.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-78 側移角-2.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-79 側移角 3.0 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-80 側移角-3.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-81 側移角 3.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-82 側移角-3.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-83 側移角 4.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-84 側移角-4.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-85 側移角 4.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-86 側移角-4.5 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-87 側移角 5.0 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-88 側移角-5.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-89 側移角 6.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

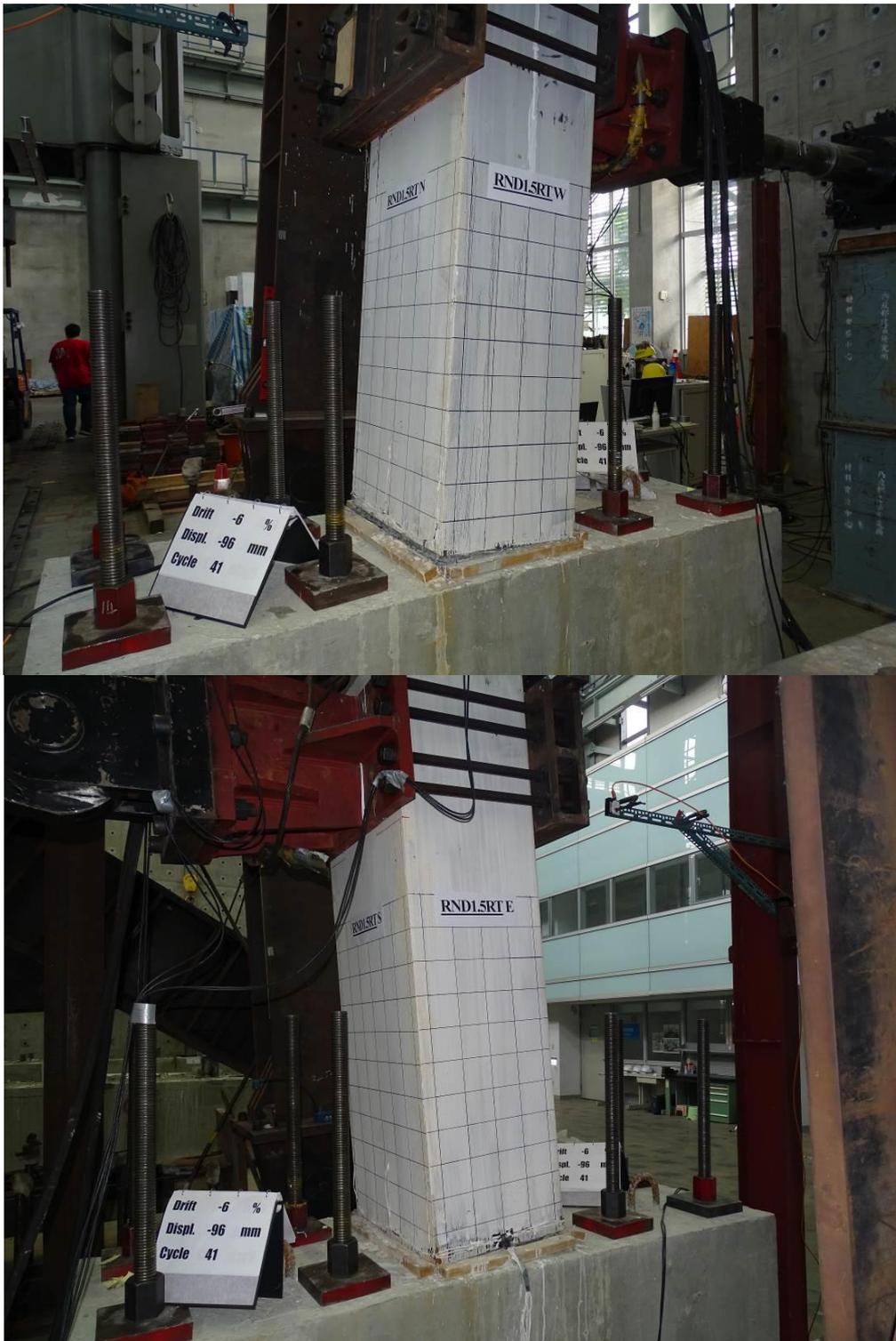


圖 3-90 側移角-6.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-91 側移角 7.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-92 側移角-7.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-93 側移角 8.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-94 側移角-8.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-95 側移角 9.0 % 時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

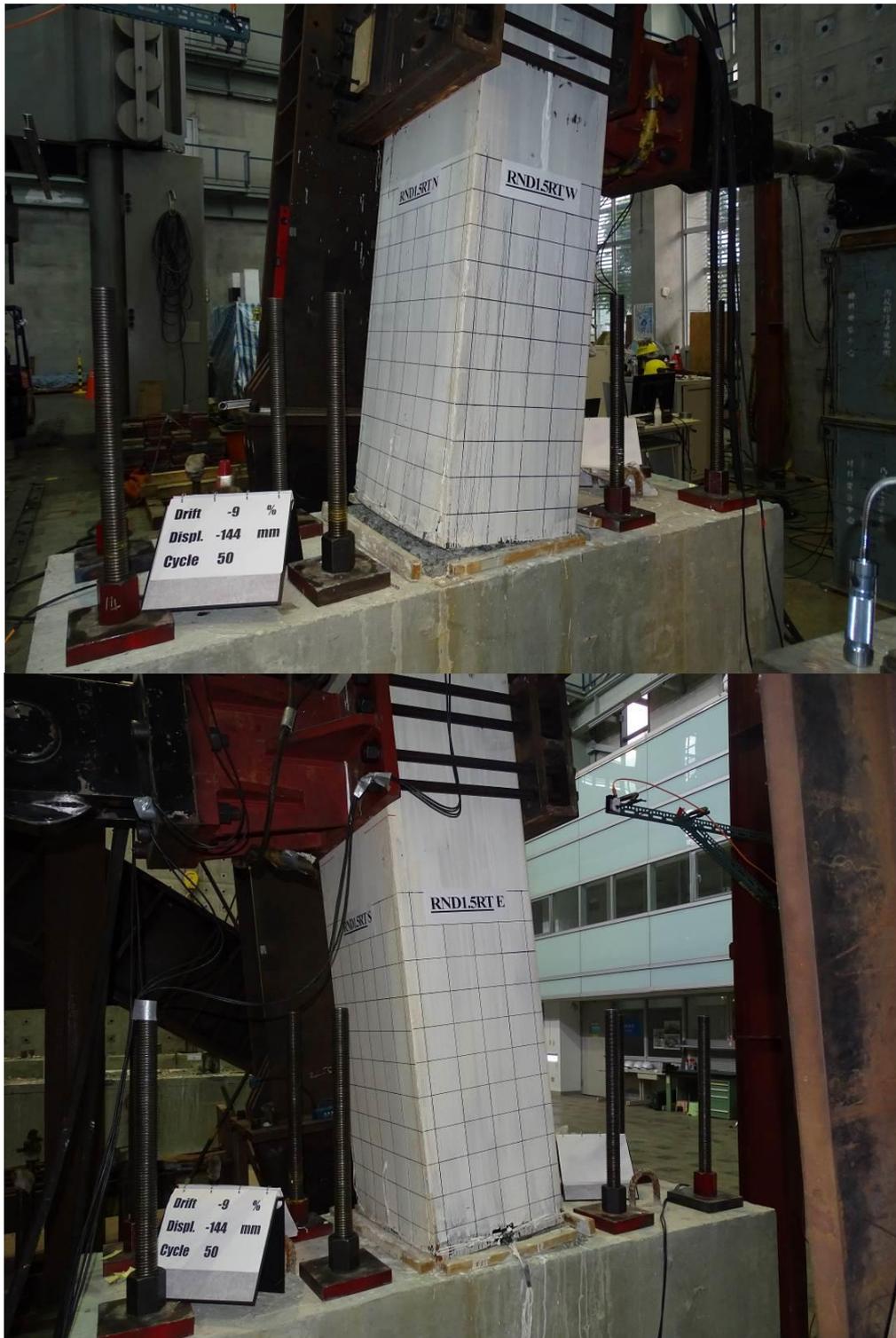


圖 3-96 側移角-9.0 %時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

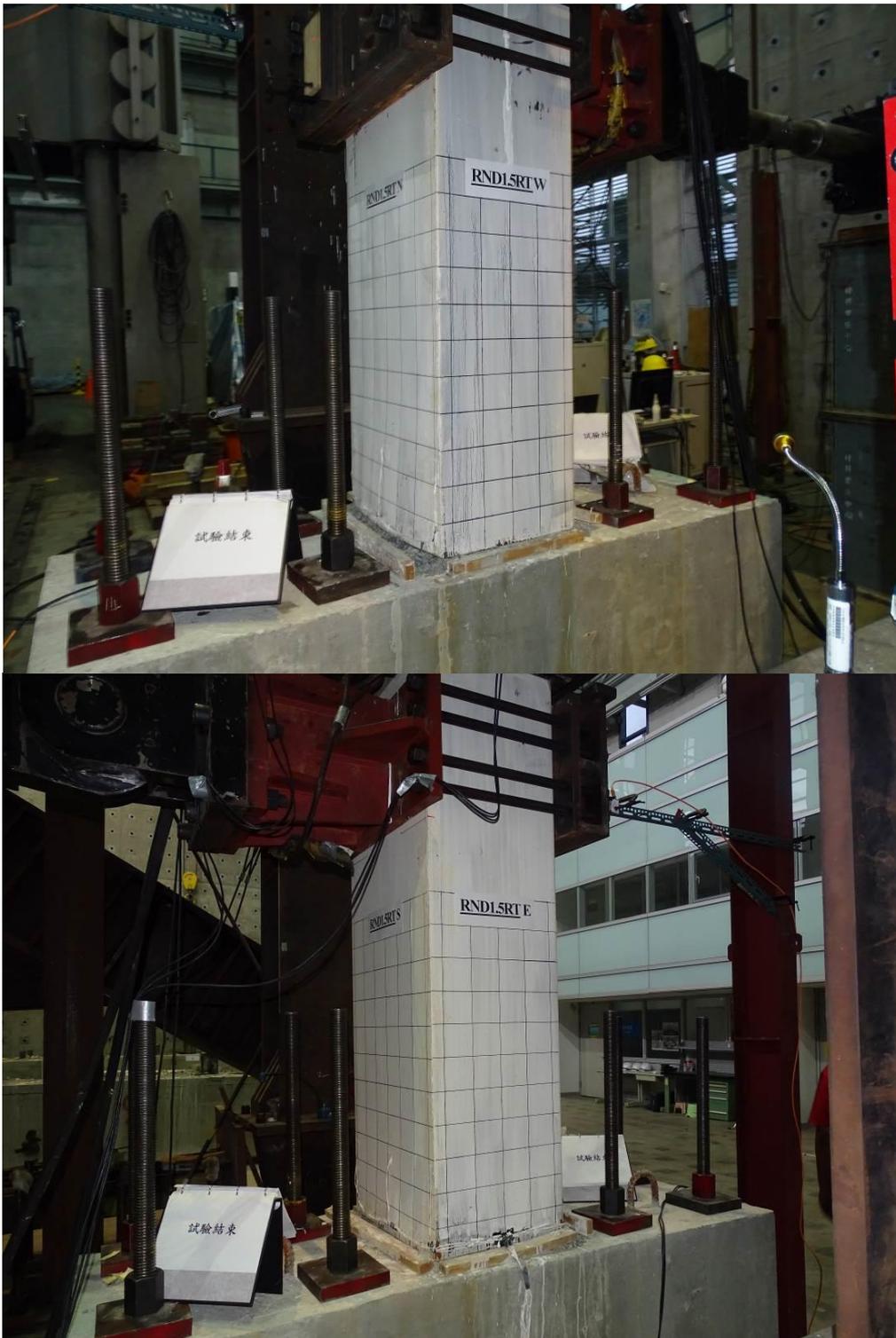


圖 3-97 試驗結束時 RND1.5RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-98 加軸力前 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

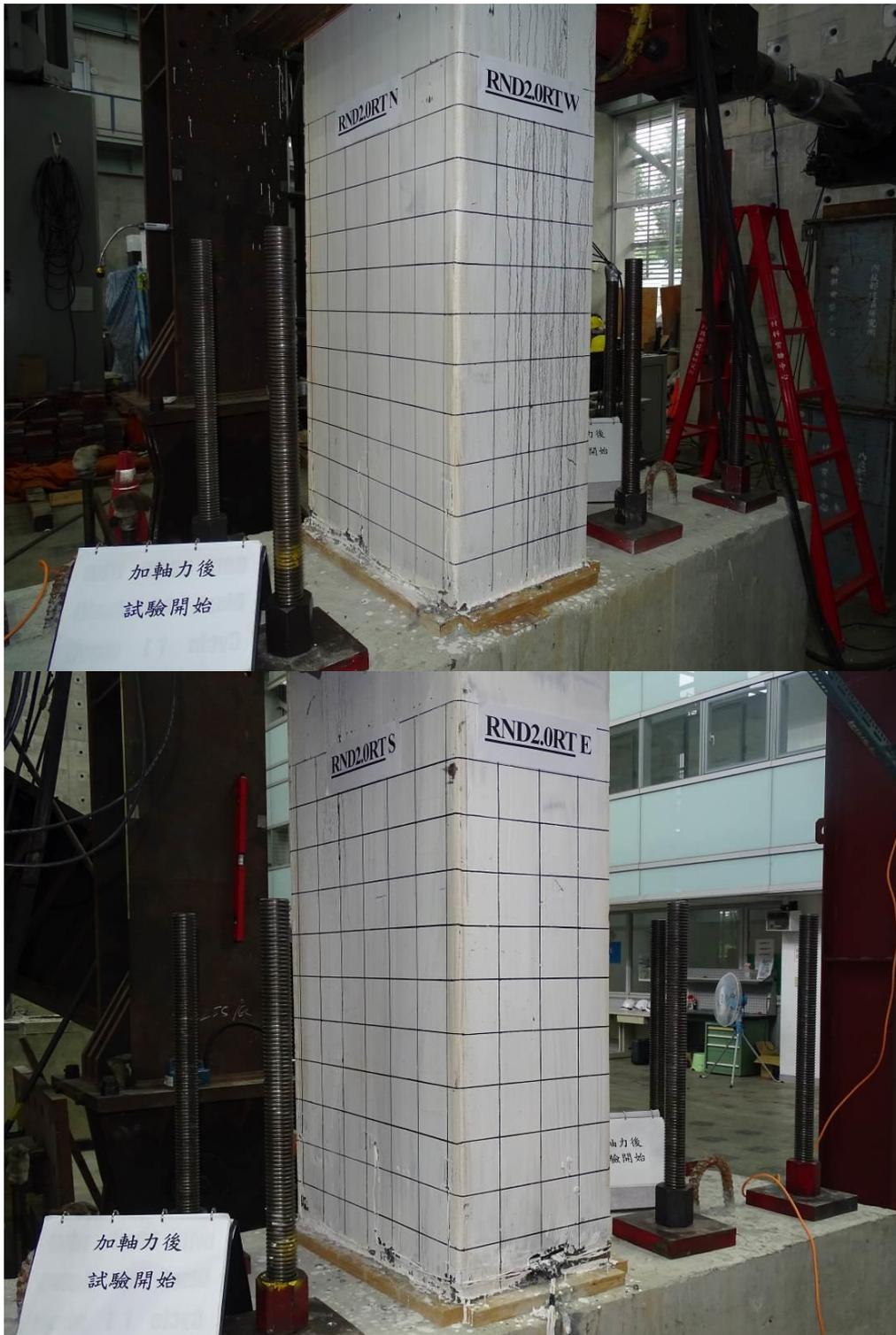


圖 3-99 加軸力後側移角 0 % 時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

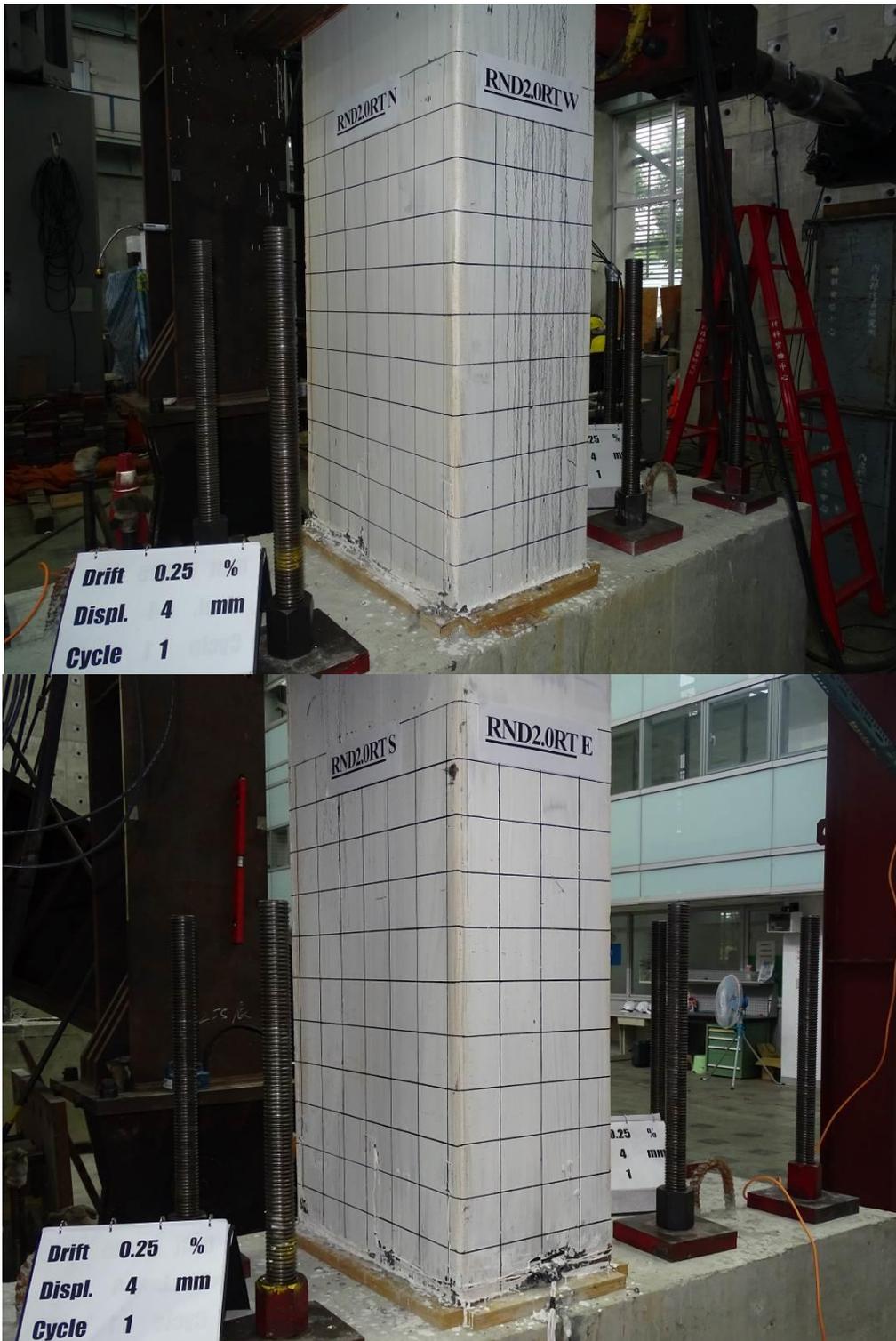


圖 3-100側移角 0.25 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

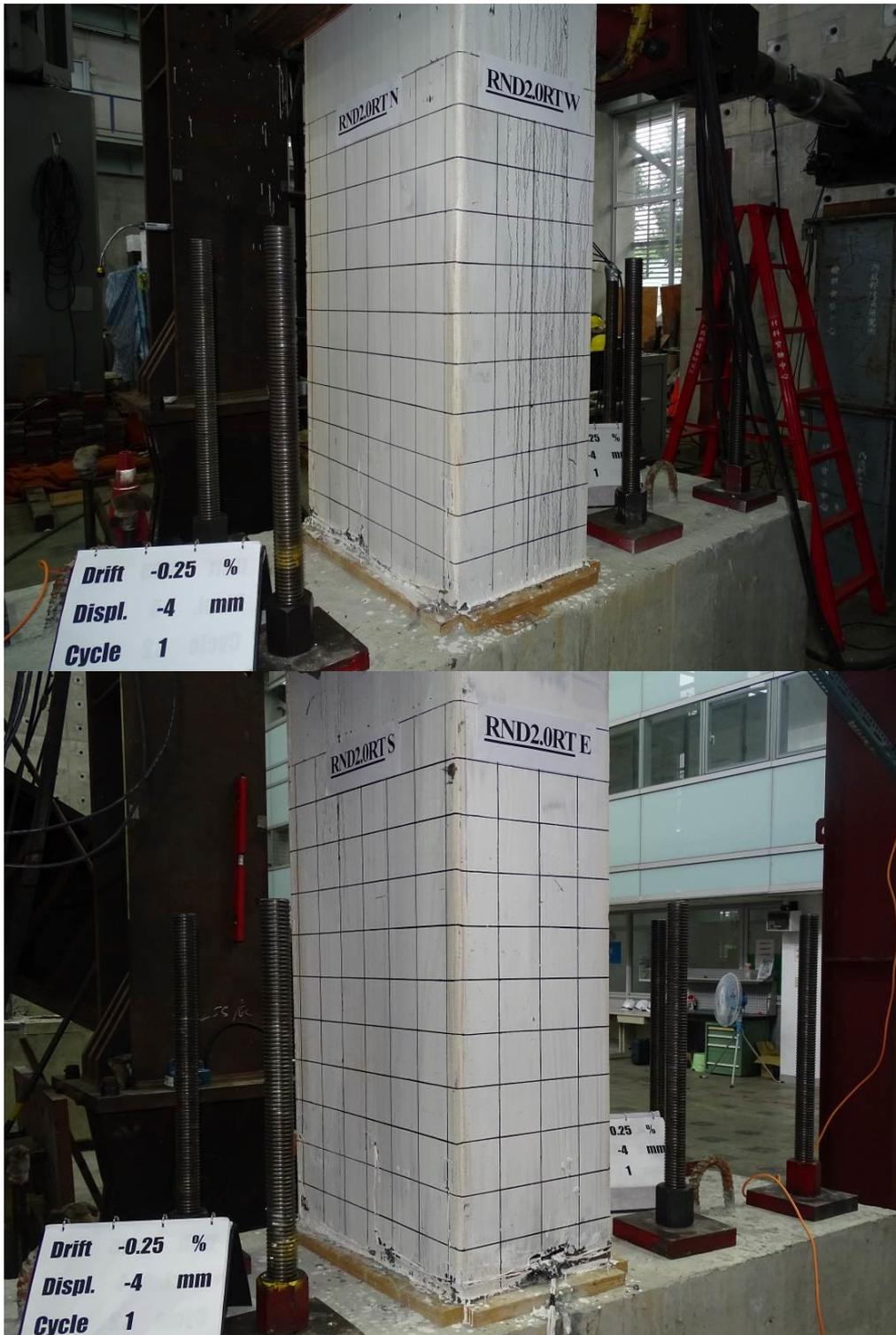


圖 3-101側移角-0.25 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

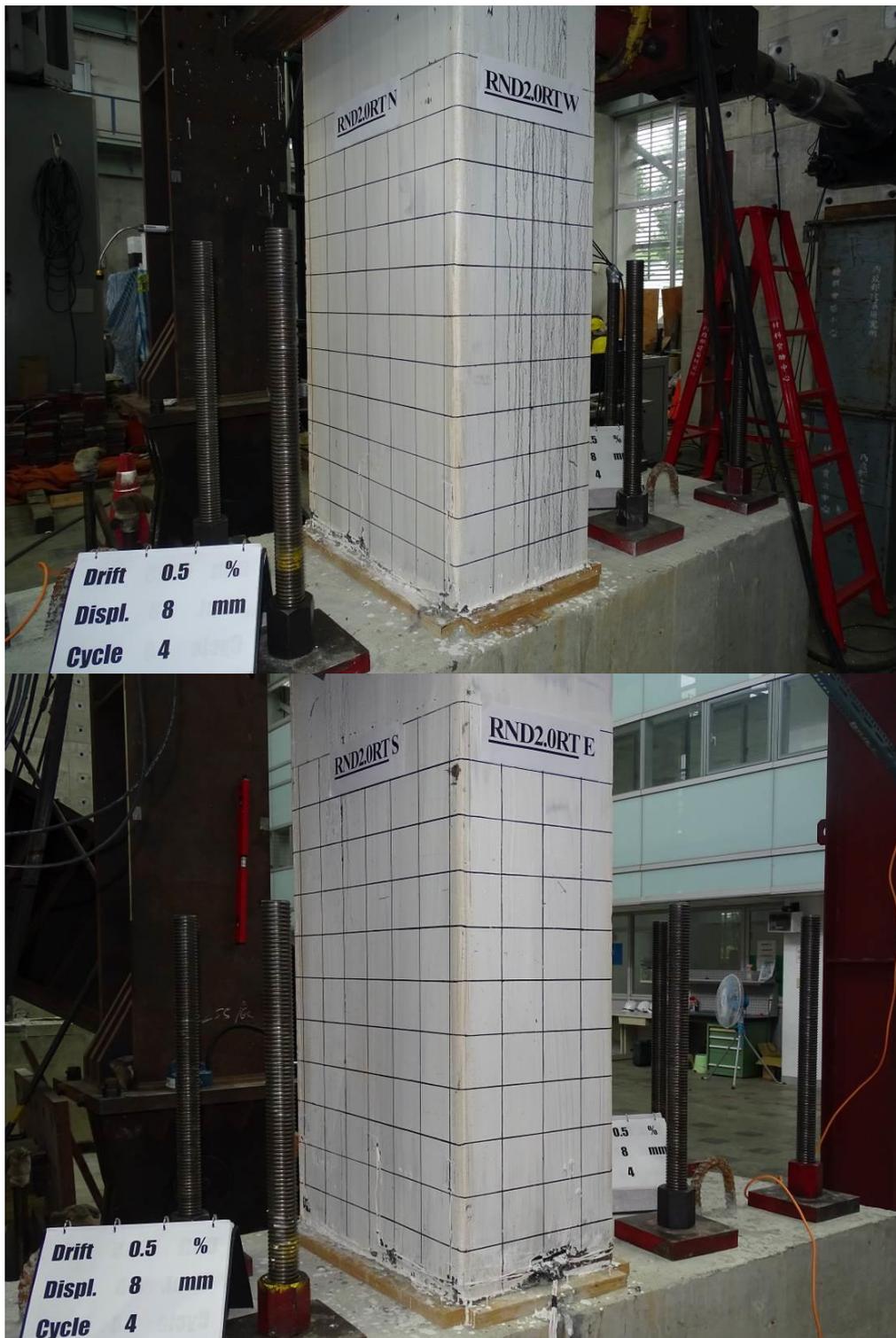


圖 3-102 側移角 0.5 % 時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

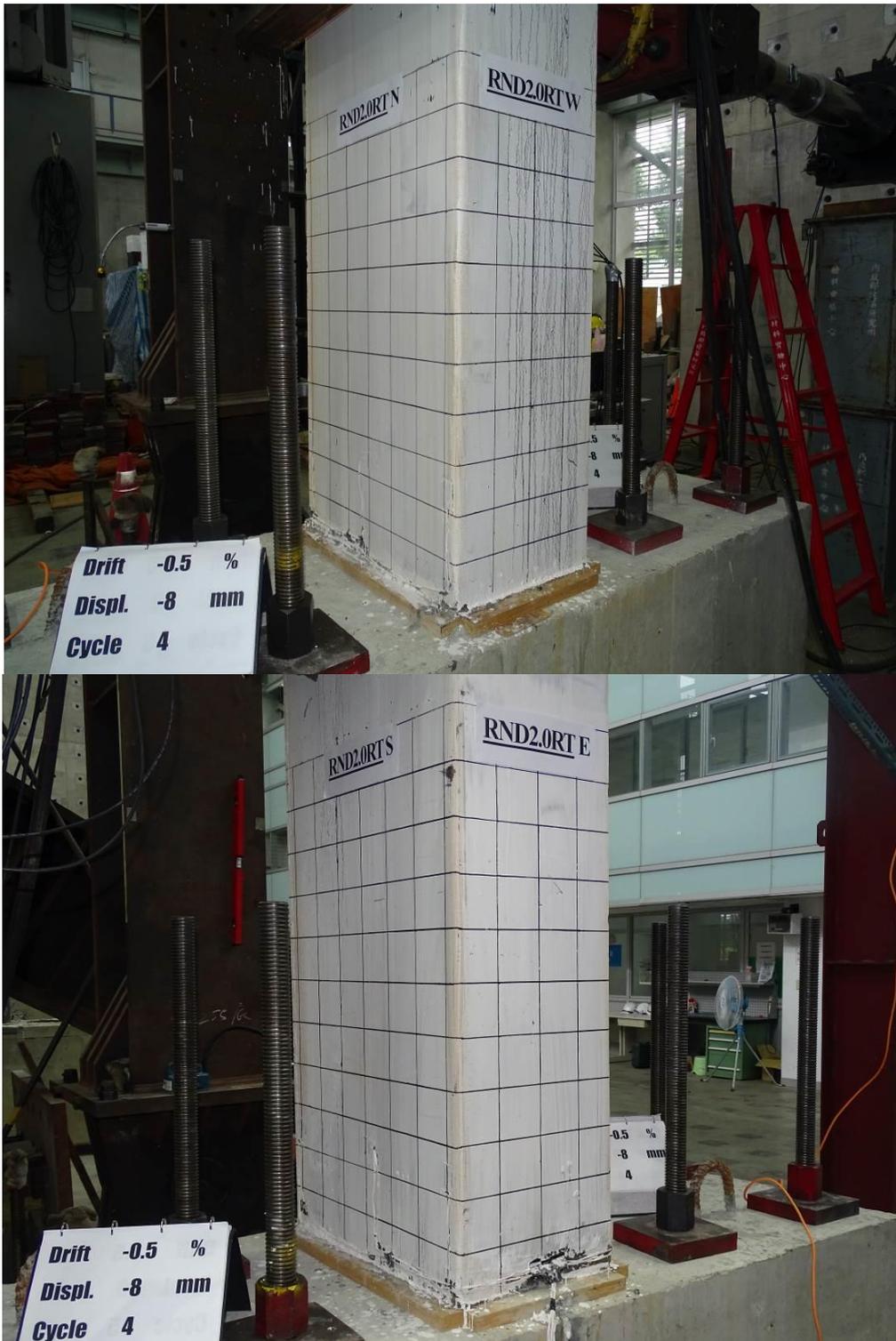


圖 3-103側移角-0.5 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

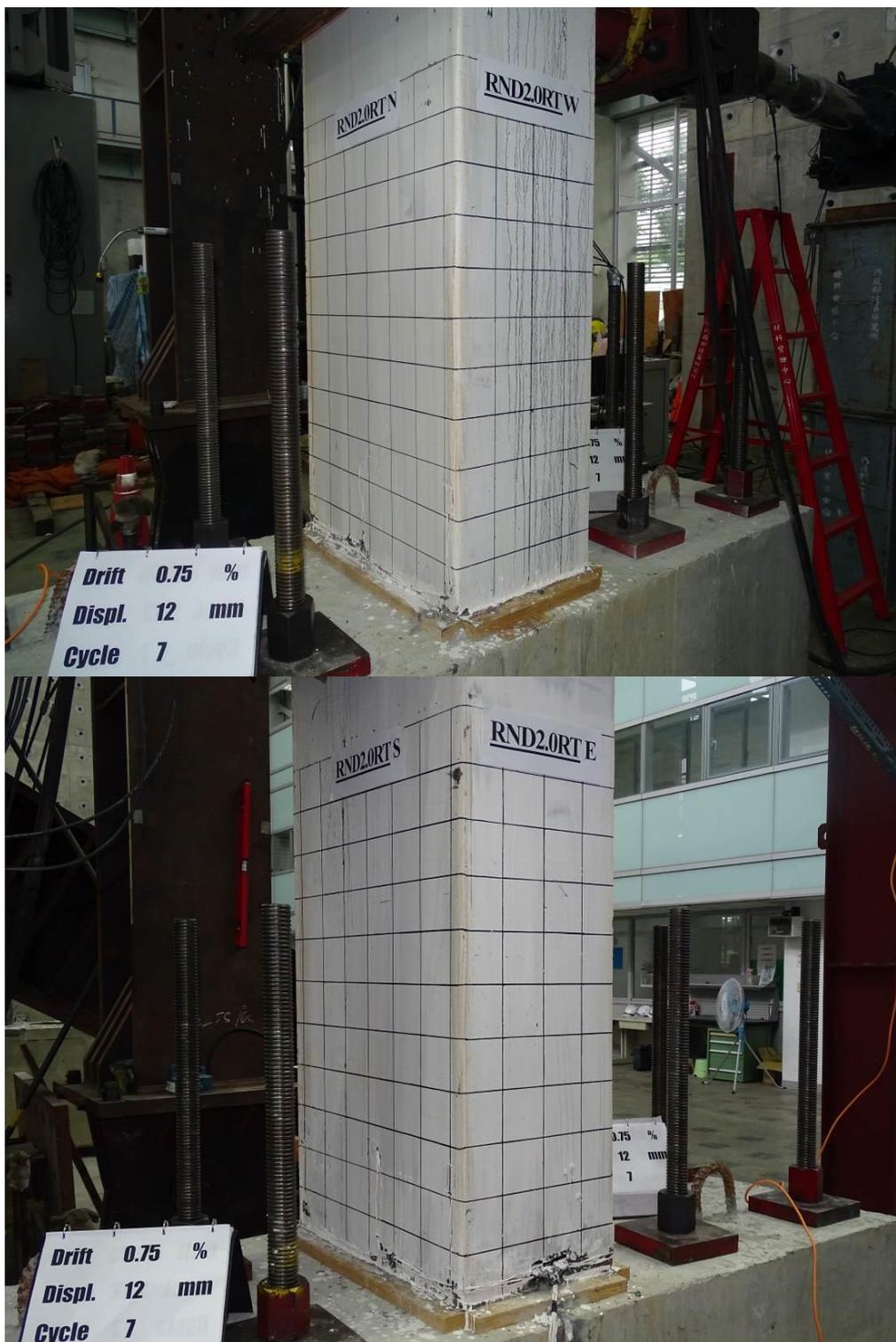


圖 3-104側移角 0.75 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

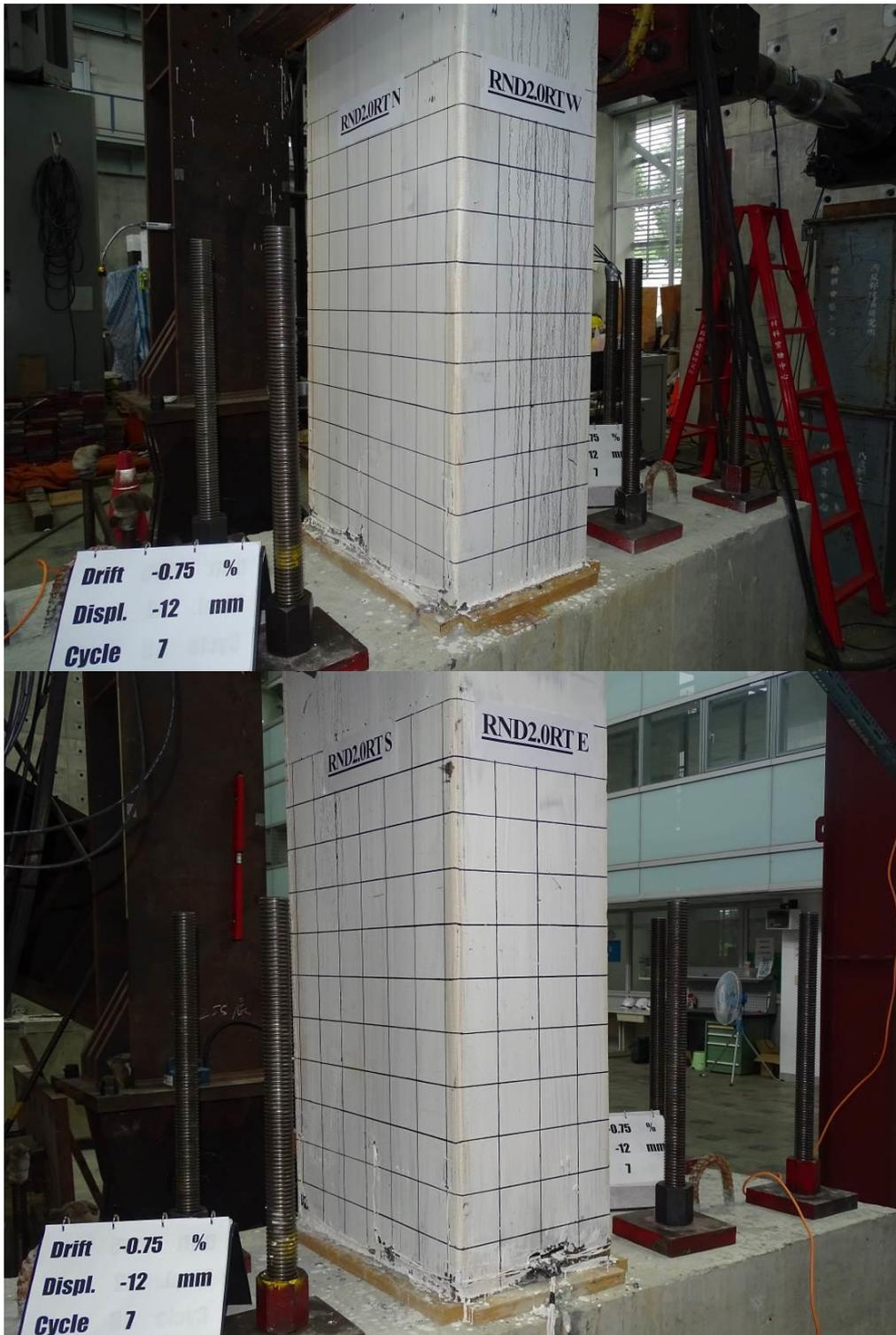


圖 3-105側移角-0.75 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強



圖 3-106側移角 1.0 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

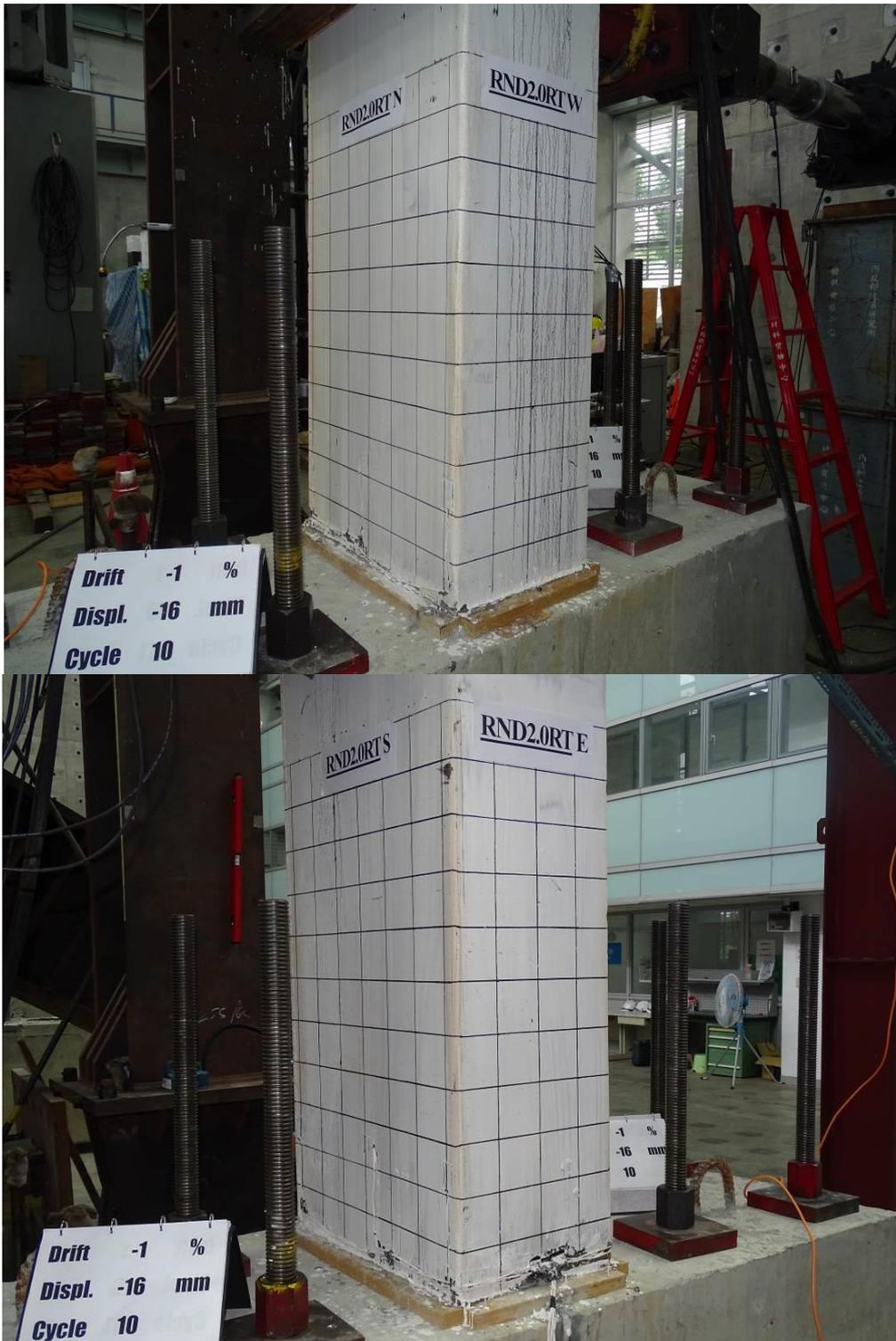


圖 3-107側移角-1.0 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

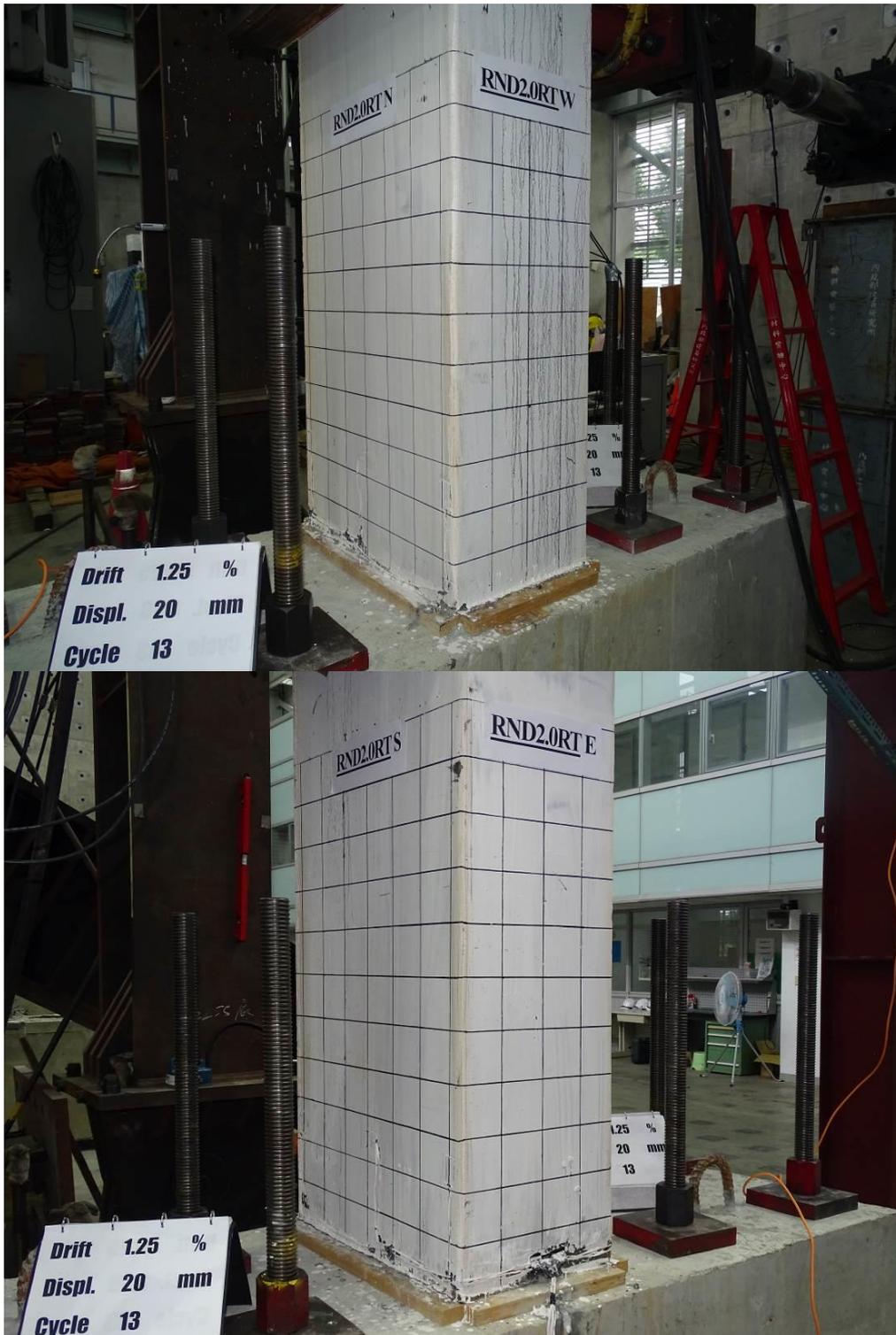


圖 3-108側移角 1.25 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

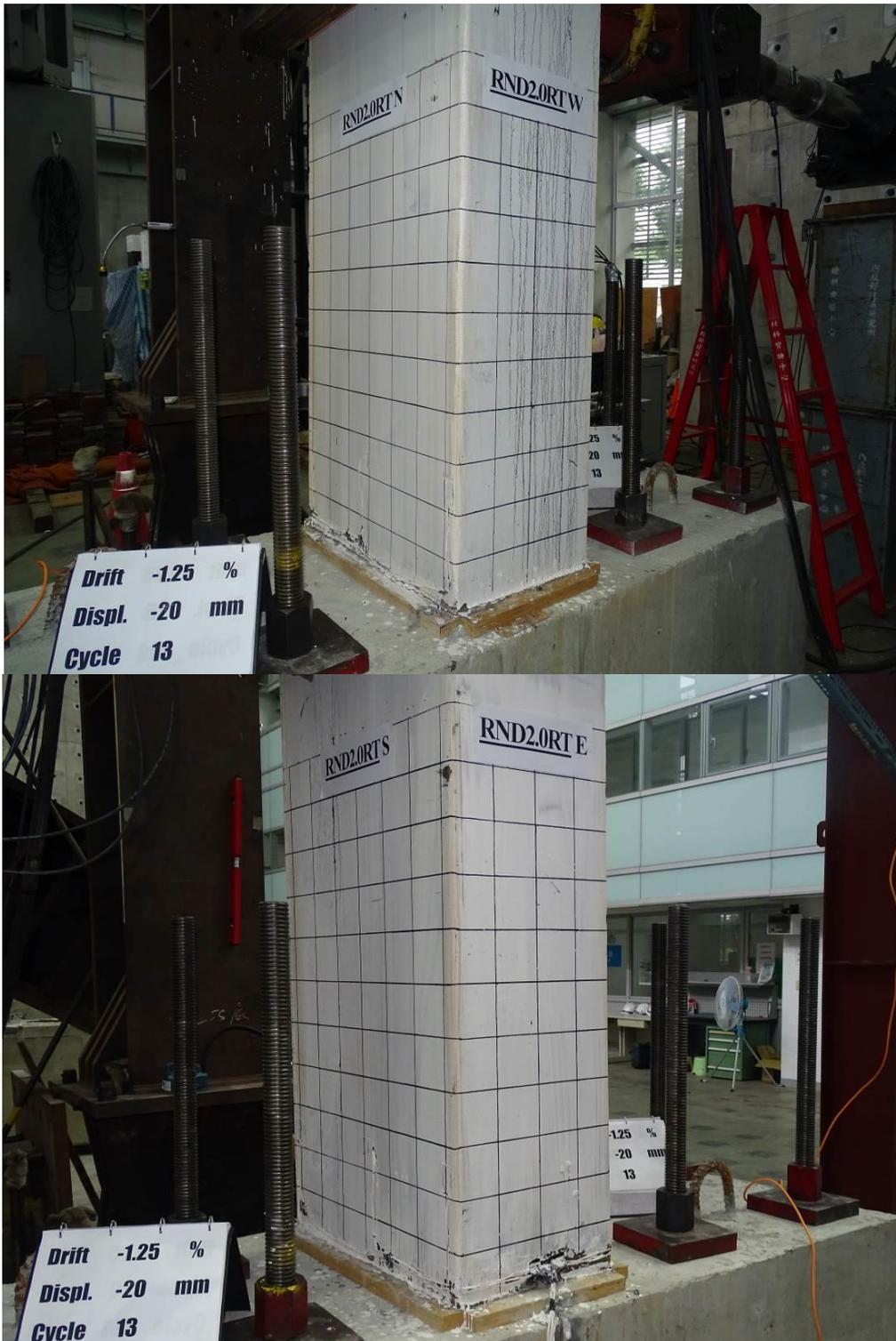


圖 3-109 側移角 -1.25 % 時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

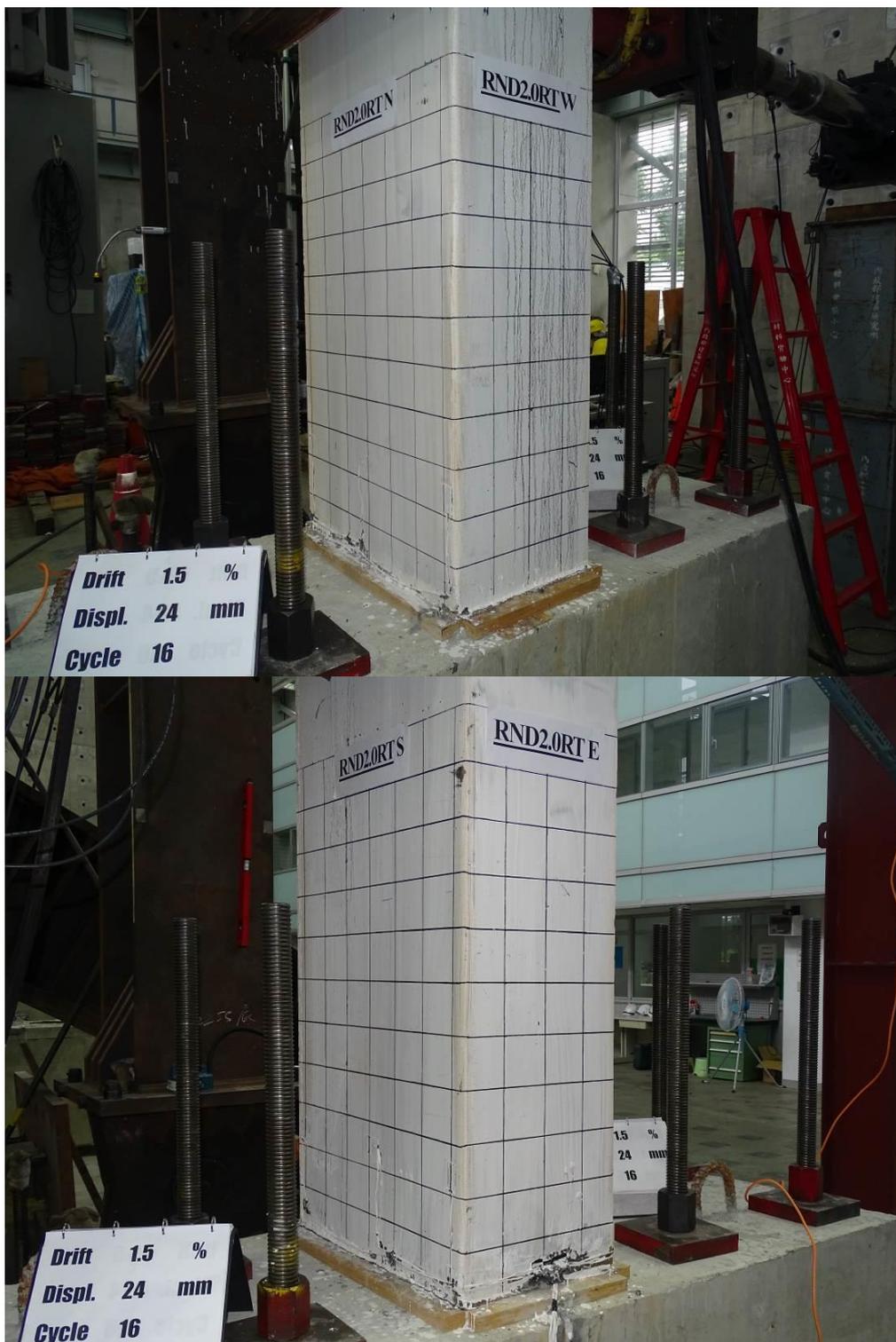


圖 3-110 側移角 1.5 % 時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

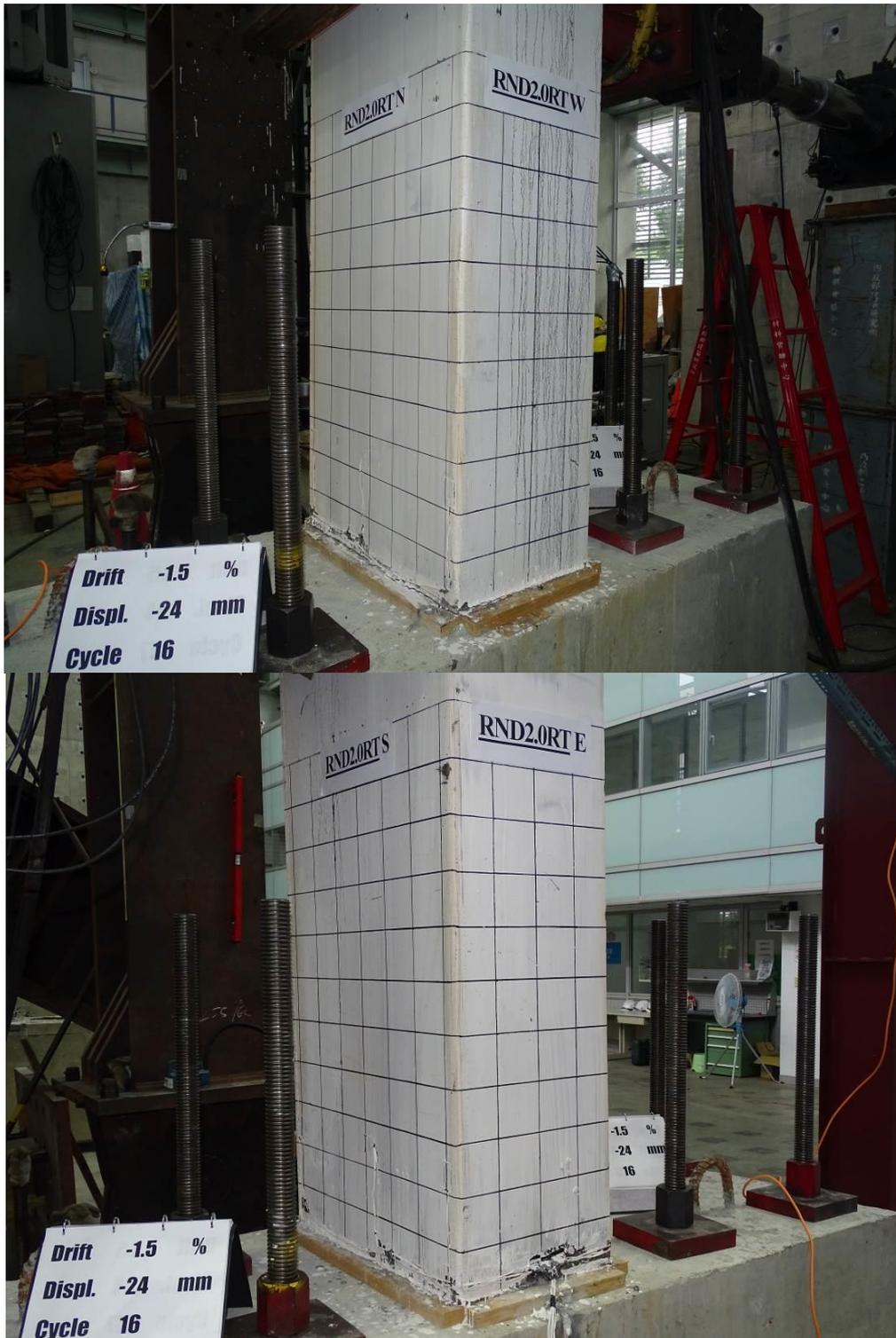


圖 3-111側移角-1.5 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

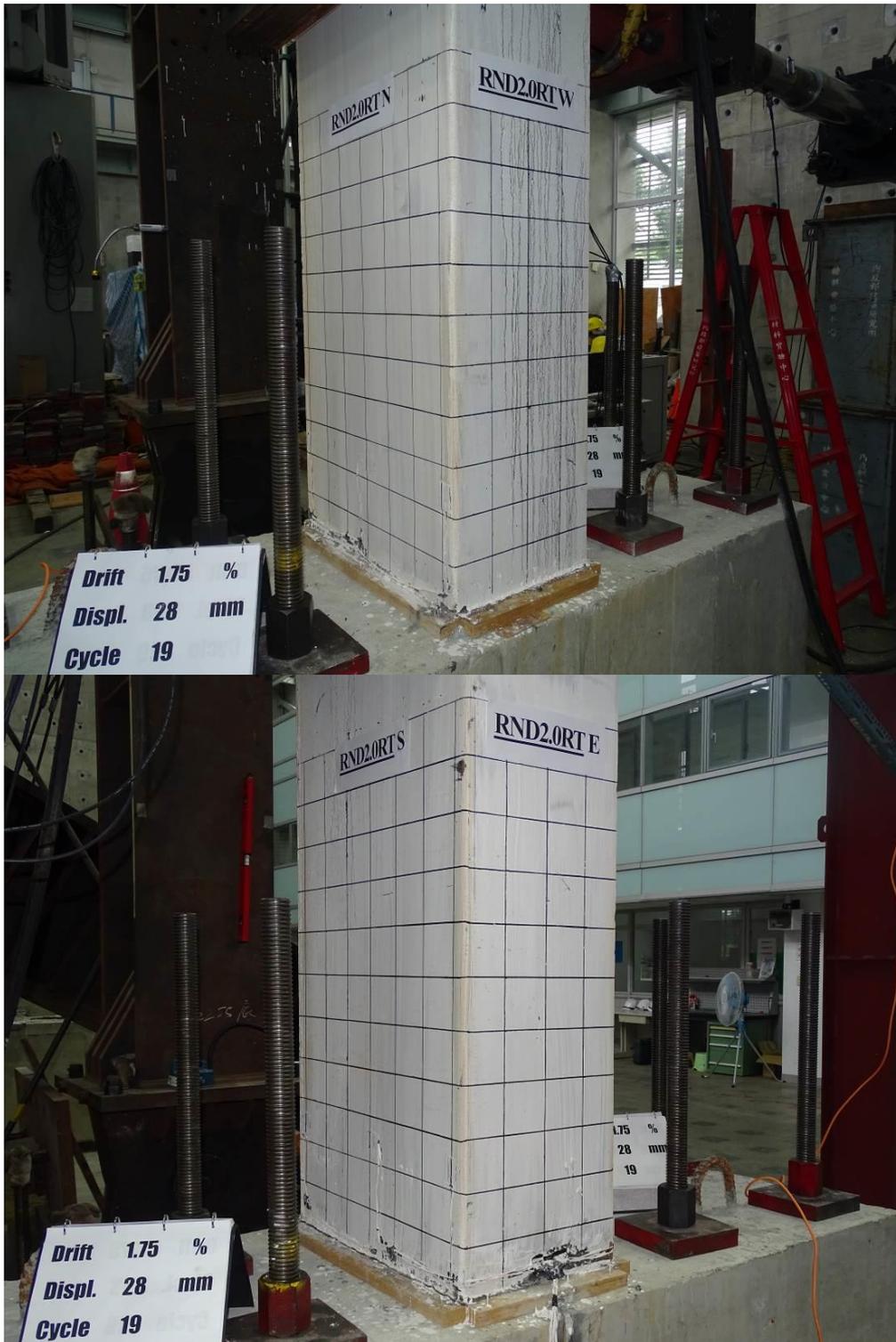


圖 3-112側移角 1.75 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

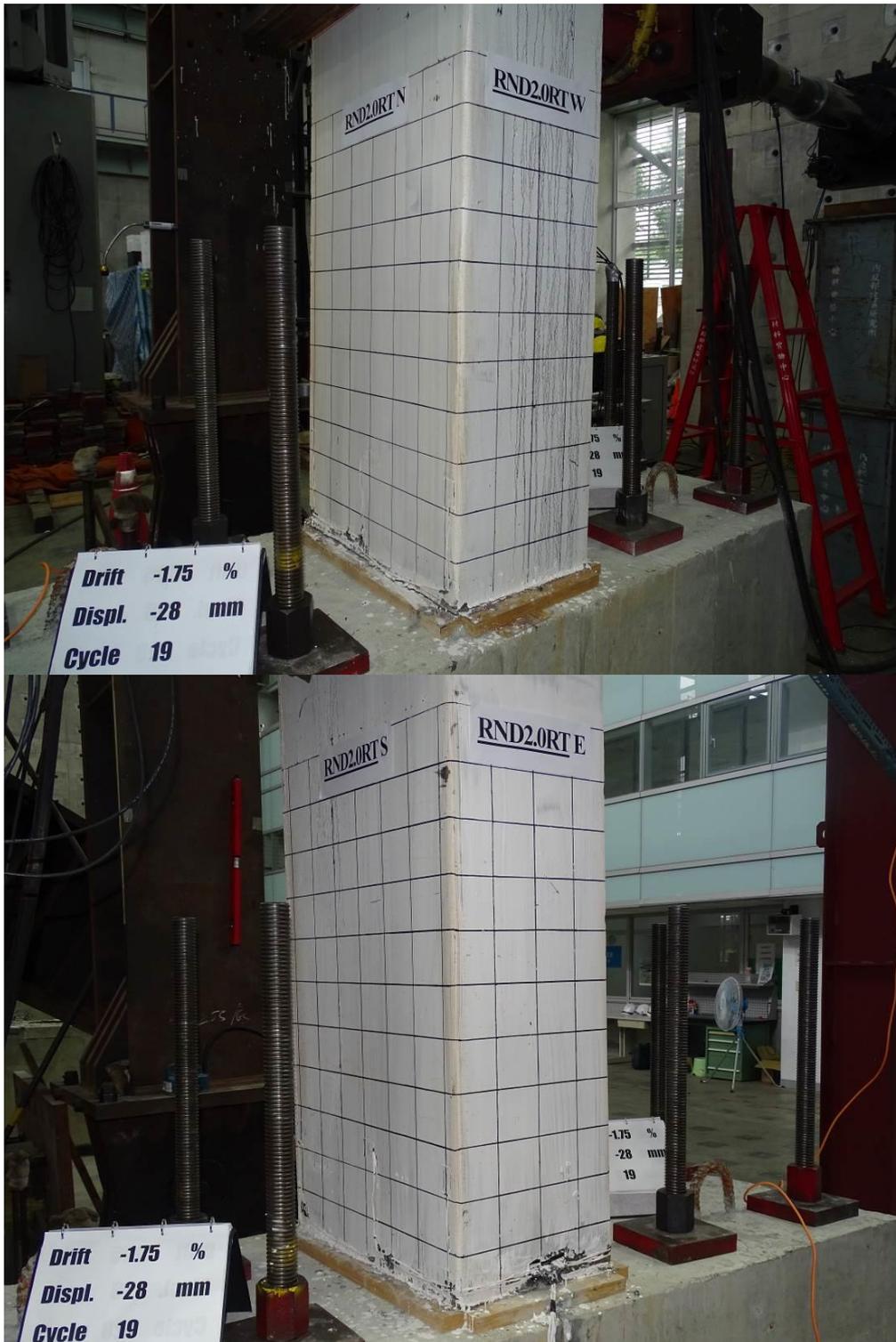


圖 3-113側移角-1.75 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

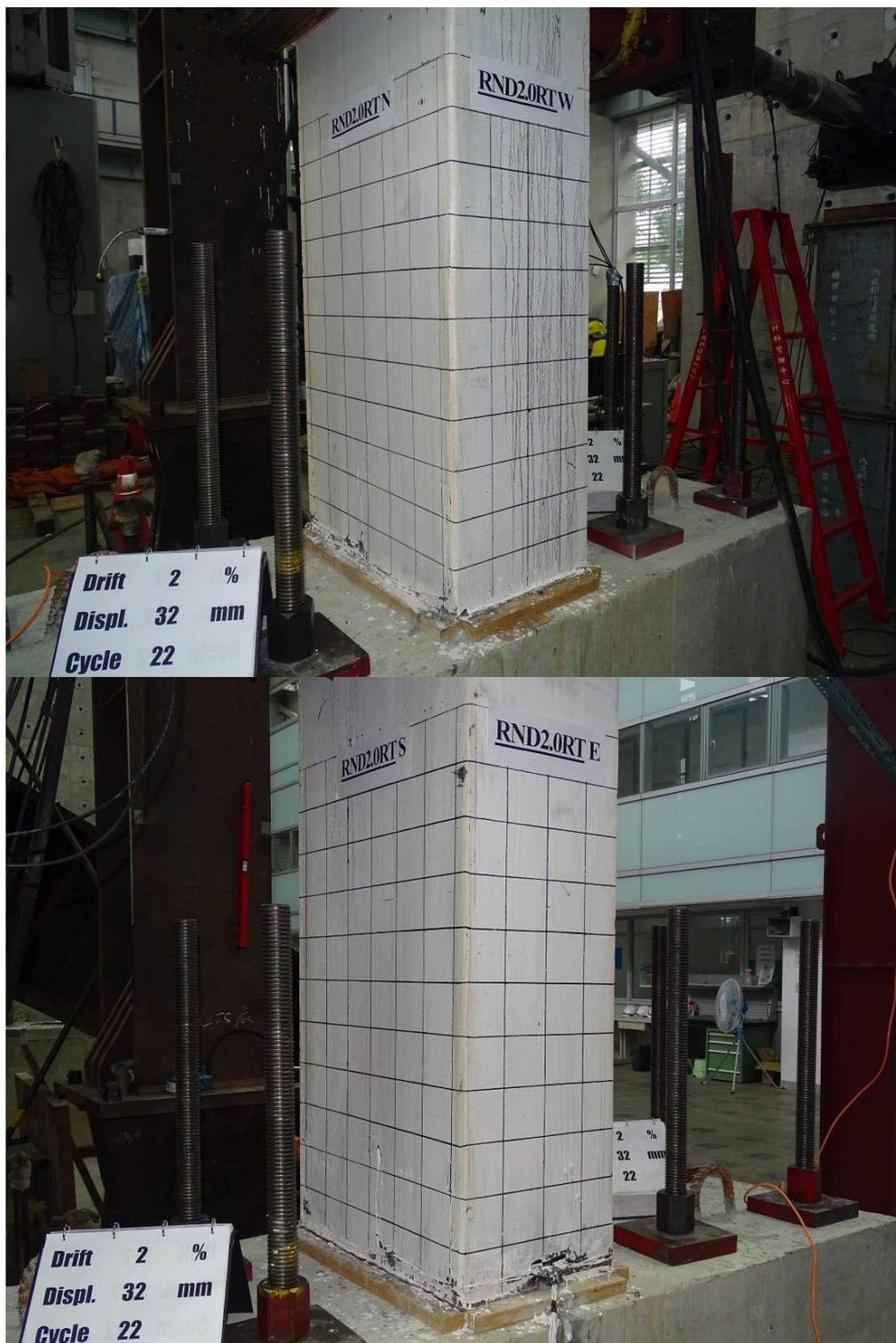


圖 3-114 側移角 2.0 % 時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

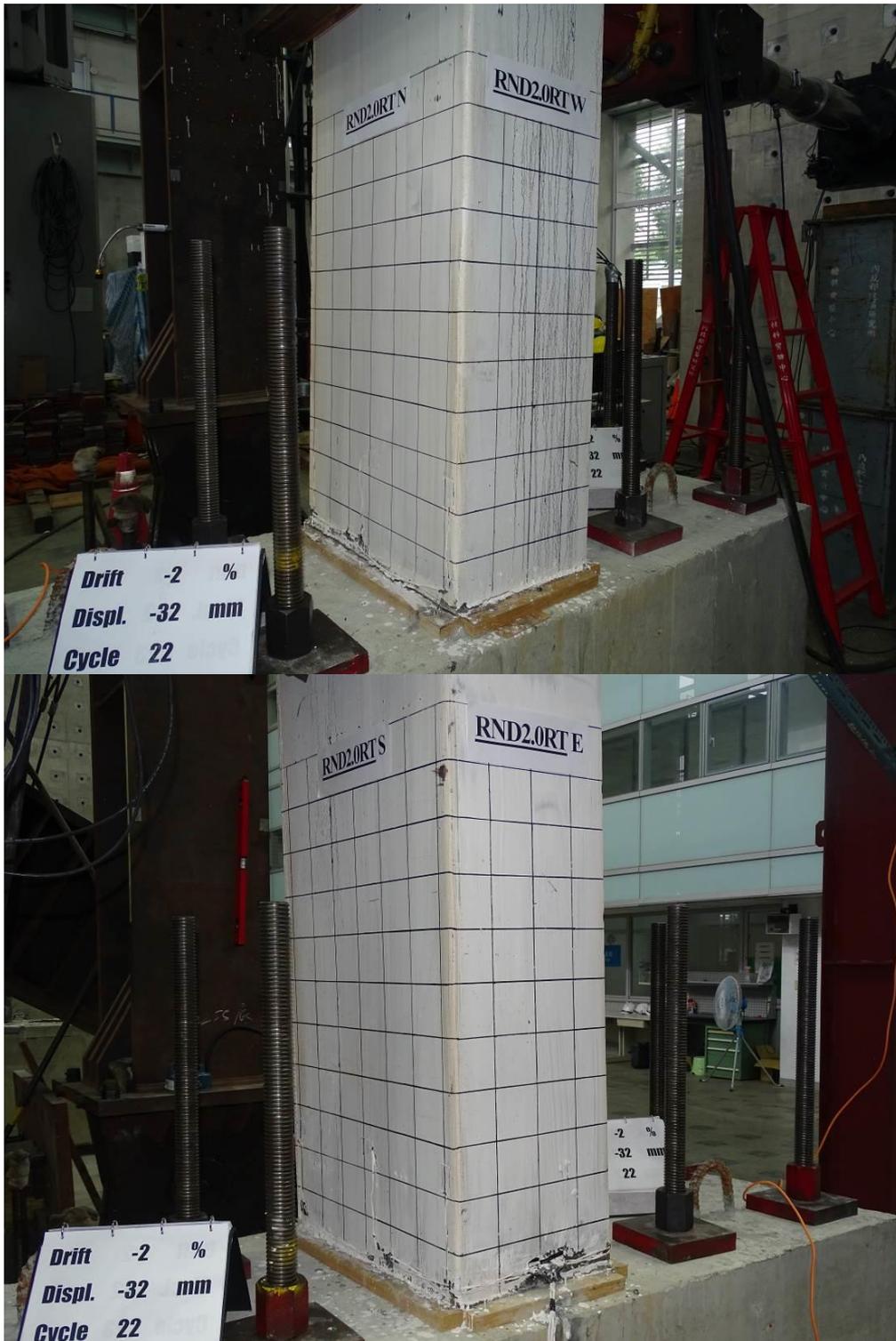


圖 3-115側移角-2.0 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

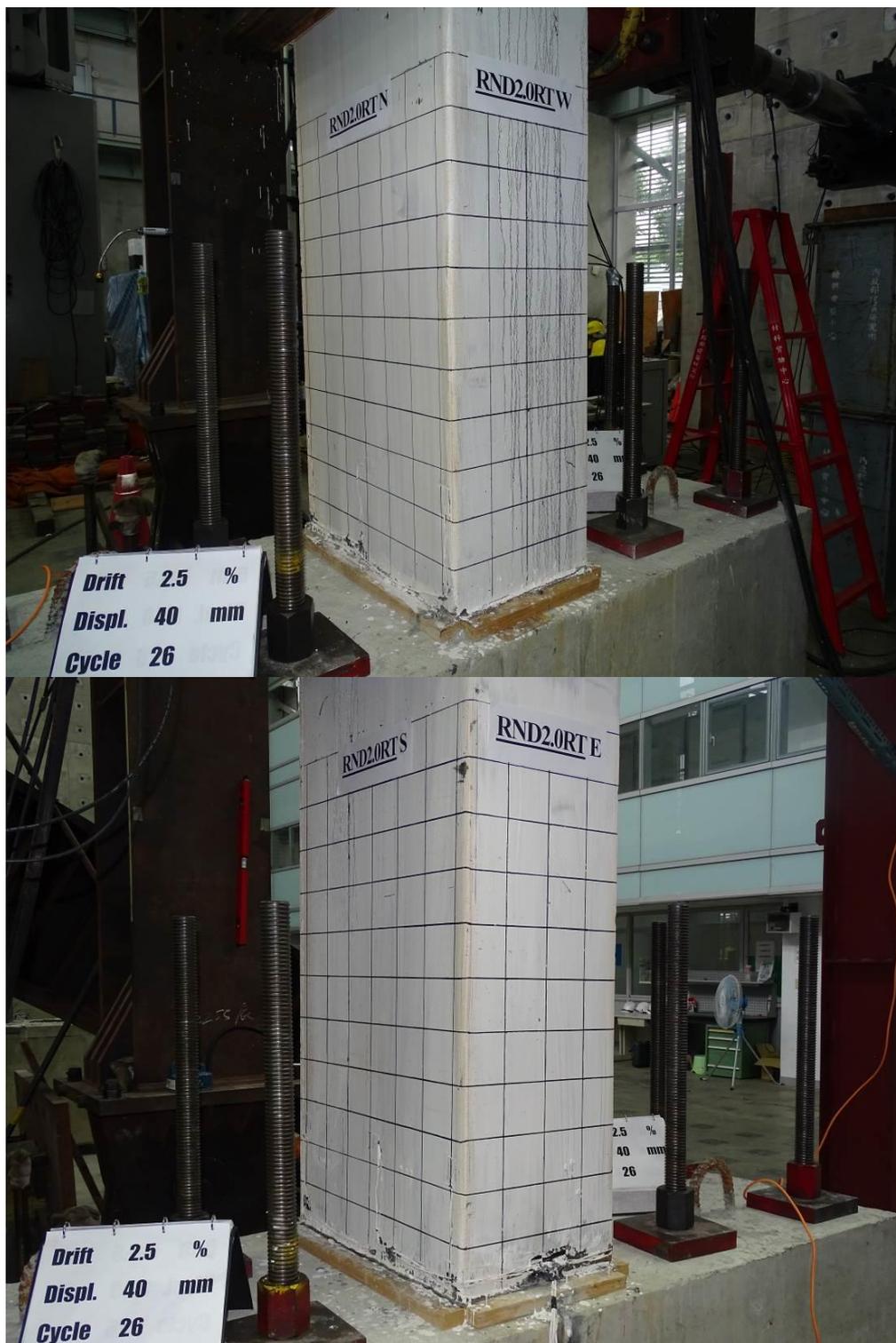


圖 3-116側移角 2.5 %時 RND2.0RT 試體照片  
(資料來源：本研究)



圖 3-117 試驗結束時 RND2.0RT 試體照片  
(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 ( $f_{yba}$ 、 $f'_{ca}$ )、試驗強度  $H_{exp}$ 、降伏側移  $\delta_{yn}$ 、極限側移  $\delta_u$ 、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  $H_{exp+}$  為致動器施加推力時之試驗強度,  $H_{exp-}$  為致動器施加拉力時之試驗強度, 而  $H_{exp}$  為平均試驗強度); 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  $\delta_{yn}$  之定義為由原點及第一迴圈包絡線上昇段 75% 試驗強度 ( $0.75H_{exp}$ ) 交點連線上試驗強度  $H_{exp}$  所對應之側移角, 如圖 4-1 所示; 極限側移  $\delta_u$  之定義為第一迴圈包絡線下降段對應於 85% 試驗強度 ( $0.85H_{exp}$ ) 之側移, 如圖 4-1 第四象限所示之  $\delta_u$ , 若第一迴圈包絡線下降段並未低於  $0.85H_{exp}$ , 則取為最後之側移, 如圖 4-1 所示第一象限所示之  $\delta_u$ ; 塑性轉角  $\theta_p$  之定義為極限側移  $\delta_u$  減去降伏側移  $\delta_y$  所剩餘之側移, 除以柱高 (1600 mm) 所得之側移角; 韌性  $\mu$  之定義為極限側移  $\delta_u$  除以降伏側移  $\delta_y$  之比值。本章各節介紹各試驗參數之試體行為比較與討論。

### 第一節 高軸力下非韌性配筋 RC 柱撓曲韌性

RND1.5 及 RND2.0 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖如圖 4-2 及圖 4-3 所示, 包絡線比較圖如圖 4-4 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  $P$  分別為 226.7 及 200.1 tf, 實際  $P/A_g f'_{ca}$  為 50%。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 1.15 至 2.03 % rad (有引用黃國倫 2017 年[15]的研究結果), 可提供的轉角低於規範要求的 3 % rad。至

於破壞模式皆為柱底部撓剪破壞，與預期相同。

## 第二節 不同斷面長寬比配置對補強效果之影響

RND1.5RT 及 RND2.0RT 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖如圖 4-5 及圖 4-6 所示，包絡線比較圖如圖 4-4 所示，實驗結果列表如表 4-1 所示，試體軸力  $P$  同樣分別為 226.7 及 200.1 tf，實際  $P/A_g f'_{ca}$  為 50%。試驗結果柱斷面長寬比與塑性轉角容量之關係曲線如圖 4-7 所示，可明顯看出當柱斷面長寬比不超過 1.5 時，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不到 3% rad，提升至約 5% rad，但柱斷面長寬比達到 2 時，塑性轉角容量提升不多，甚至不符合規範要求的 3% rad。另外，柱斷面長寬比與補強前後強度比值(補強後強度/原強度)之關係曲線如圖 4-8 所示，可明顯看出當斷面長寬比為 1.5 至 2 時，乾式鋼板補強可提升強度達 64% 至 71%，其主因為乾式鋼板補強有類似擴柱的效果，補強鋼板與原柱體之間填充的無收縮砂漿，可有效將斷面強度提升。

鑒於 RND2.0RT 試體之韌性比 RND2.0 試體表現差，與理論相左，故本研究切開其塑鉸區的補強鋼板，來觀察試體內部破壞情形(圖 4-9)，惟並未發現混凝土嚴重開裂、鋼筋斷裂或鋼筋挫屈等破壞情形，進一步向基座挖開，也是沒任何發現，故並未找到真正破壞原因。

表 4-1 實驗結果列表

試體 編號	$H_{exp+}$	$H_{exp-}$	$H_{exp}$	$\delta_{y+}$	$\delta_{y-}$	$\delta_y$	$\delta_{u+}$	$\delta_{u-}$	$\delta_u$
	(tf-m)			(mm)			(mm)		
ND50*	72.2	-78.2	75.2	16.2	-13.1	14.6	48.5	-47.9	48.2
RND1.5	28.5	-28.9	28.7	15.6	-18.0	16.8	36.1	-34.2	35.1
RND2.0	16.8	-19.2	18.0	19.7	-19.0	19.3	45.4	-39.7	42.6
ND50R1*	81.4	-89.8	85.6	13.5	-12.0	12.8	104.1	-100.8	102.4
RND1.5RT	44.8	-53.3	49.0	19.0	-19.3	19.2	71.7	-127.5	99.6
RND2.0RT	29.7	-29.5	29.6	14.2	-14.5	14.4	28.8	-28.5	28.6

試體 編號	$\delta_{p+}$	$\delta_{p-}$	$\delta_p$	$\theta_{p+}$	$\theta_{p-}$	$\theta_p$	$\mu_{1+}$	$\mu_{1-}$	$\mu$
	(mm)			(% rad)					
ND50*	32.3	-34.8	33.6	1.96	-2.11	2.03	3.00	3.66	3.29
RND1.5	20.5	-16.2	18.3	1.28	-1.01	1.15	2.31	1.90	2.09
RND2.0	25.8	-20.7	23.2	1.61	-1.29	1.45	2.31	2.09	2.20
ND50R1*	90.5	-88.7	89.6	5.49	-5.38	5.43	7.69	8.39	8.02
RND1.5RT	52.7	-108.2	80.4	3.29	-6.76	5.03	3.77	6.61	5.20
RND2.0RT	14.6	-14.0	14.3	0.91	-0.87	0.89	2.03	1.96	1.99

備註\*：係引用黃國倫 2017 年研究[15]結果

(資料來源：本研究、黃國倫 2017 年[15])

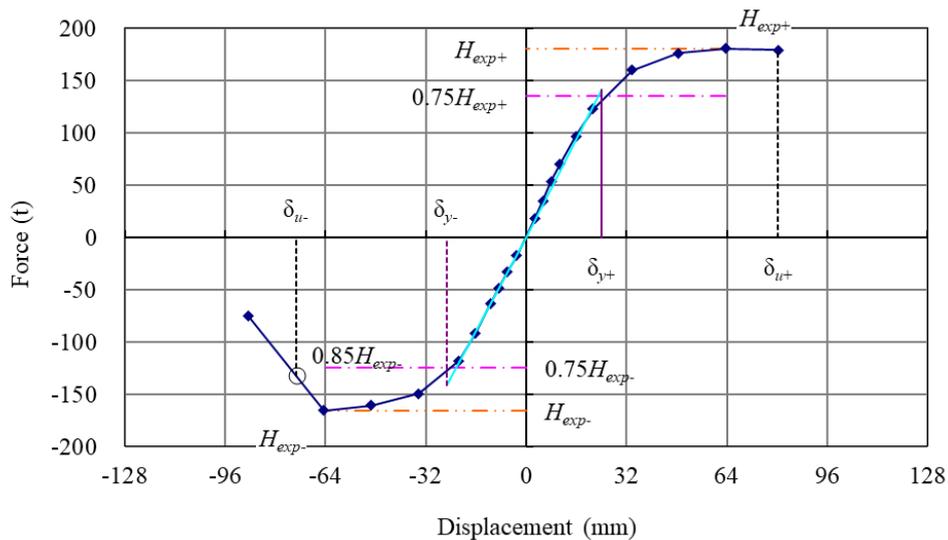


圖 4-1 降伏側移  $\delta_{yn}$ 、極限側移  $\delta_u$  定義之說明圖

(資料來源：本研究)

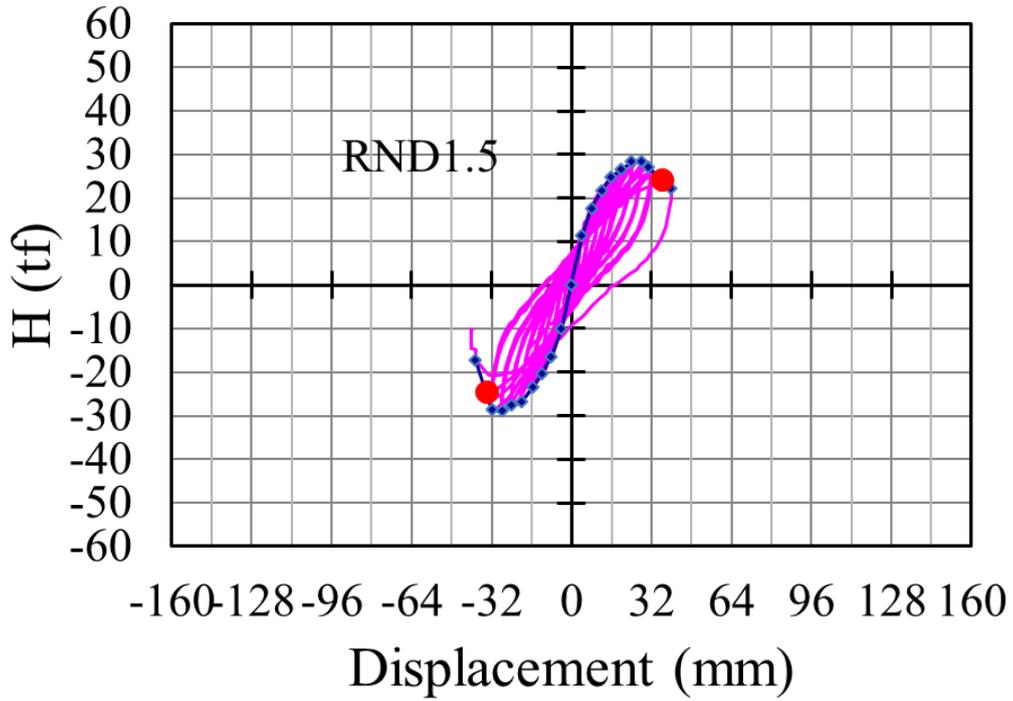


圖 4-2 RND1.5 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖  
(資料來源：本研究製作)

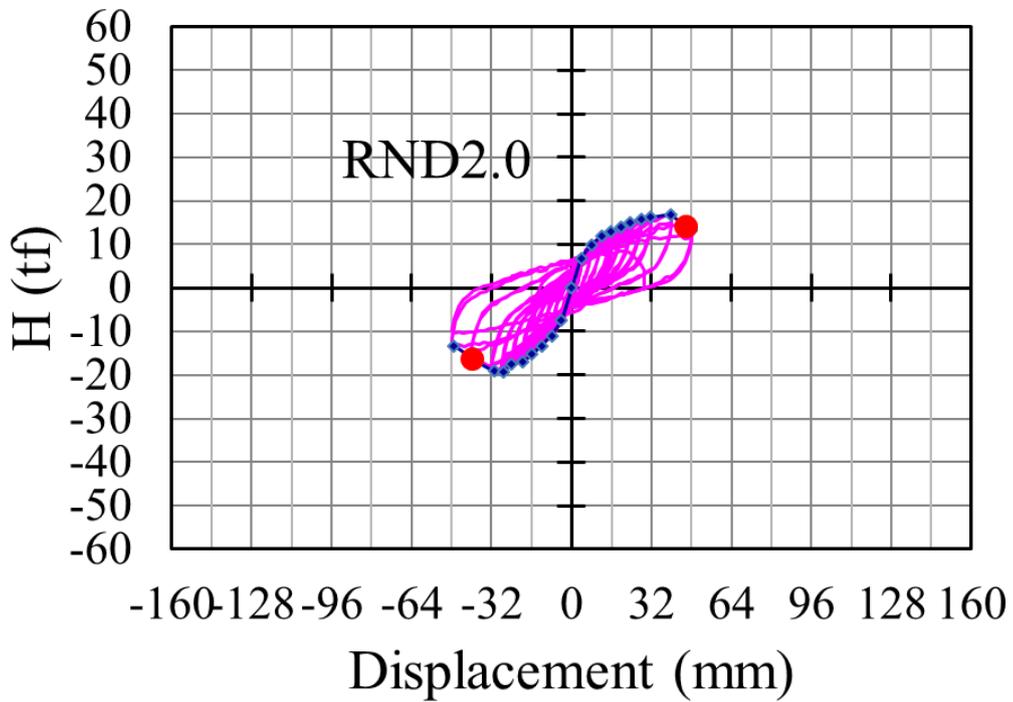


圖 4-3 RND2.0 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖  
(資料來源：本研究製作)

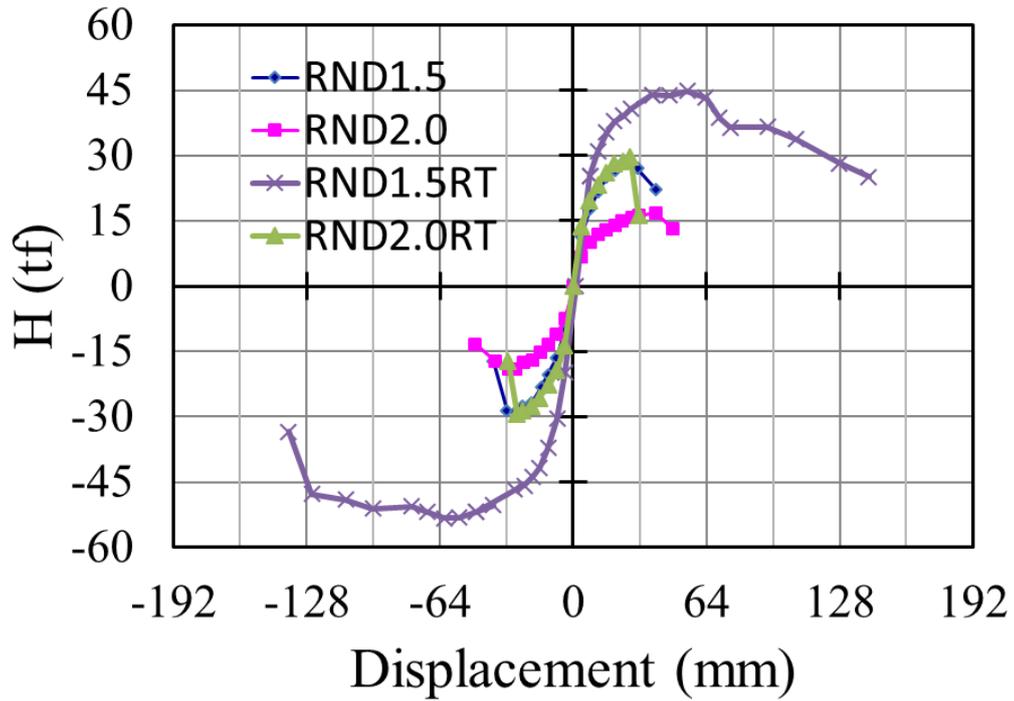


圖 4-4 各試體側力-位移包絡線比較圖  
(資料來源：本研究製作)

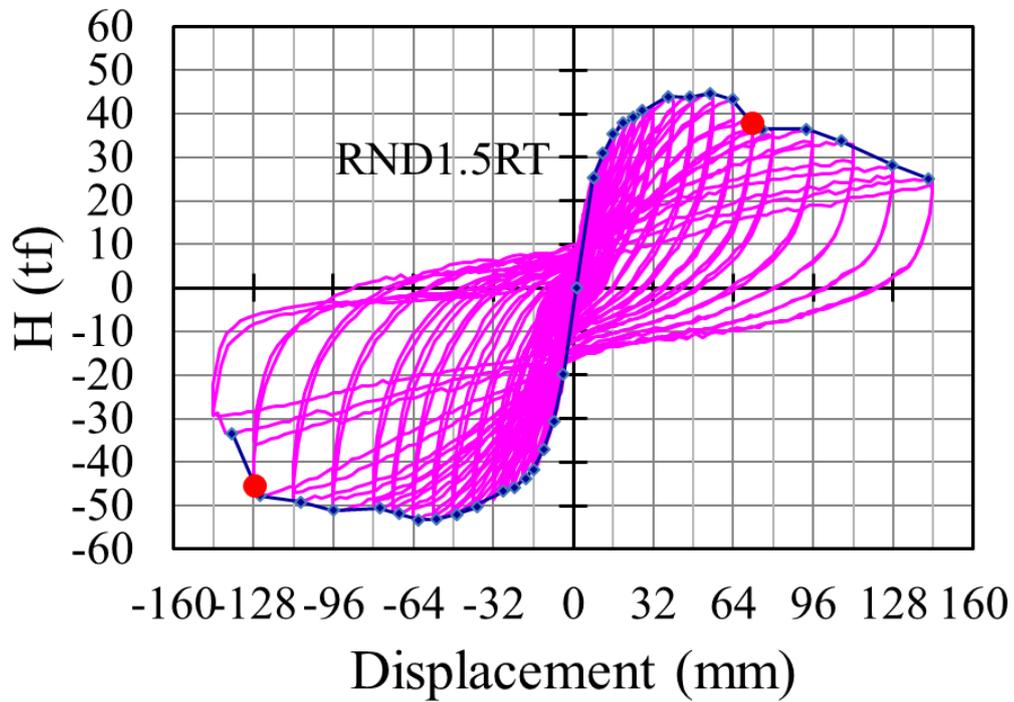


圖 4-5 RND1.5RT 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖  
(資料來源：本研究製作)

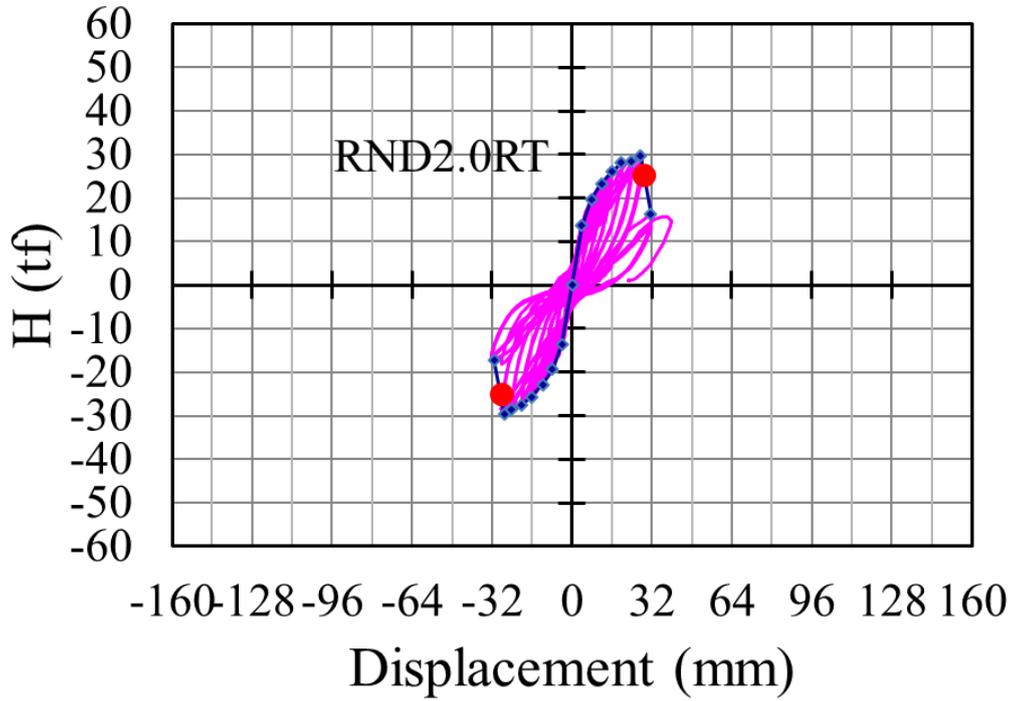


圖 4-6 RND2.0RT 試體側力-位移遲滯迴圈及包絡線圖  
(資料來源：本研究製作)

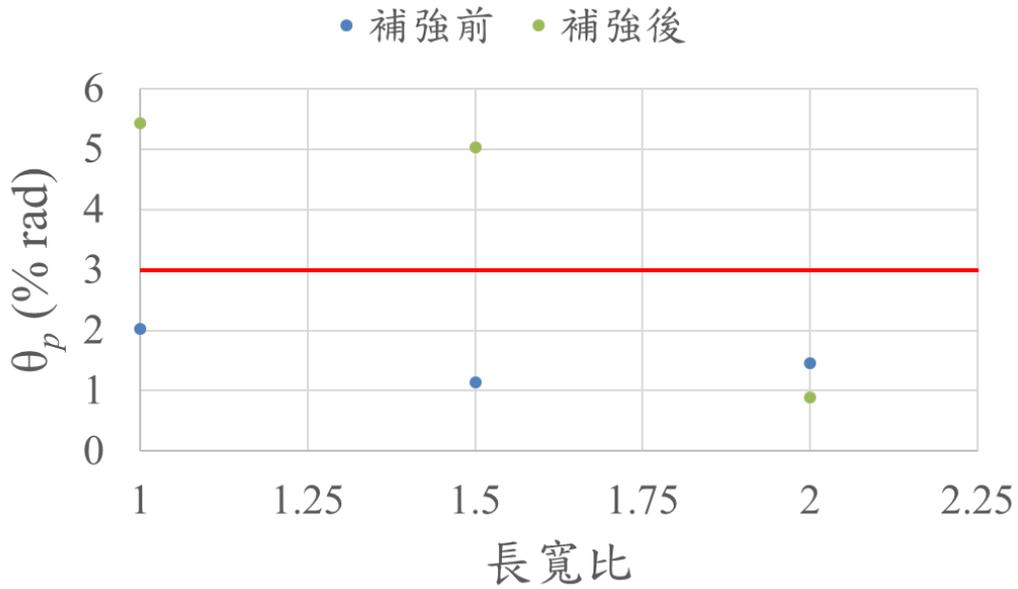


圖 4-7 柱斷面長寬比與塑性轉角容量之關係曲線圖  
(資料來源：本研究、黃國倫 2017[15])

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

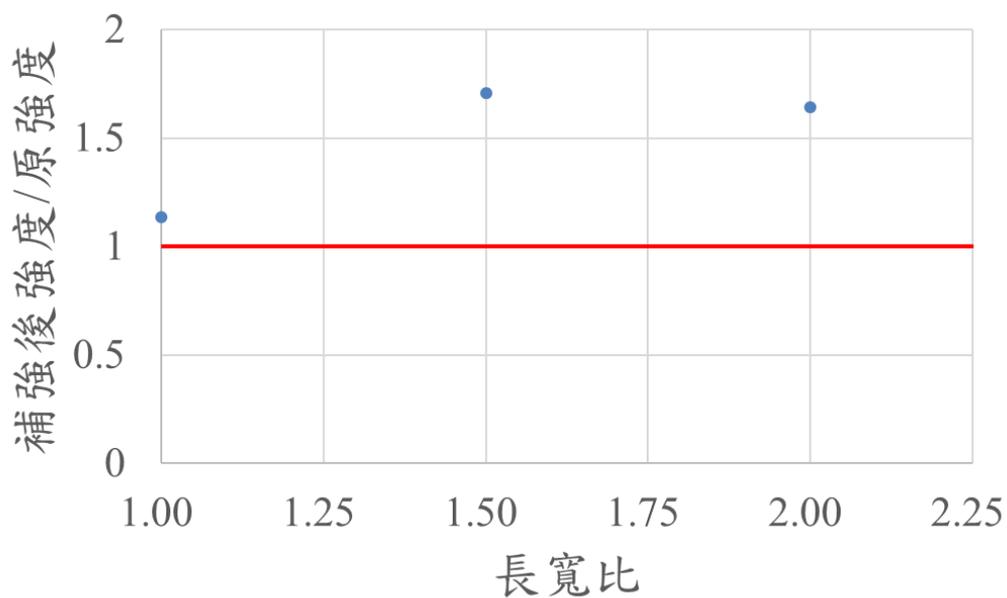


圖 4-8 柱斷面長寬比與補強前後強度比值之關係曲線圖  
(資料來源：本研究、黃國倫 2017[15])



圖 4-9 RND2.0RT 切開補強鋼板及敲除保護層之觀察照片  
(資料來源：本研究)

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

由文獻及本研究結果可知，鋼板補強及乾式鋼板補強雖可提升柱的撓曲韌性，但高軸力作用下乾式鋼板補強對非韌性配筋矩形柱的提升效果，將會受到柱斷面長寬比的影響，當長寬比達到 2 時，提升的塑性轉角容量甚至無法滿足規範要求。另外，當斷面長寬比為 1.5 至 2 時，乾式鋼板補強可提升強度達 64% 至 71%，因乾式鋼板補強有類似擴柱的效果，補強鋼板與原柱體之間填充的無收縮砂漿，可有效將斷面強度提升。

### 第二節 建議

#### 建議一

**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

一般軸力下非韌性配筋方形 RC 柱已證實乾式鋼板補強之效果，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 柱提升耐震性能之效果。



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：綜合規劃組

聯絡人：張志源

聯絡電話：02-89127890 分機327

傳真電話：02-89127826

電子信箱：changcy@abri.gov.tw

受文者：如行文單位

發文日期：中華民國109年2月13日

發文字號：建研綜字第1090001615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109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、蔡組長緯芳、陳組長建忠、羅組長時麒、蔡研究員銘儒、雷約聘研究員明遠、陶研究員其駿、黃助理研究員國倫、林約聘助理研究員霧霆、張助理研究員志源

副本：本所綜合規劃組

電子交換章

## 內政部建築研究所 109 年度第 1 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：109 年 2 月 10 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：張志源

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：

(一)「美國、日本及我國既有公共建築物無障礙設施替代改善作業程序及認定原則之研究」案：

1. 研究目的建議可參考日本對於既有公共建築物無障礙設施改善之作法及相關彈性規定，以作為國內制度未來改善之參考。
2. 由於 107 年我國已邁入高齡社會，建議本研究可從都市更新、長照 2.0 及對失能者、失智者既有環境改善角度來進行分析。
3. 現行地方政府執行既有公共建築物無障礙設施替代改善，確實仍遭遇困擾，因發現採用替代改善認定原則後，使用者仍覺得不好使用，期許本研究能透過國外相關制度檢討我國現行機制。

(二)「建築儲能系統(ESS, Energy Storage System)防火安全要求初探」案：

1. 本研究目標與內容應明確界定。
2. 建議除實驗方面探討外，應就建築物區劃、監測、滅火及管理等加以探討。
3. 儲能系統中對電池性能、發熱等監控管理方式，應探討如何用於防火安全監控方式加以收集。
4. 建議就儲能系統規模(如發電站或一般家用等)界定本研究目標。
5. 電動車及電動機車電池交換站等在建築中防火考量規定，建議加以探討。
6. 儲能系統防火安全包括電池本身、儲能容器保護設施性能測試，以

及建築防火區劃、消防設計三方面，本研究應對於第二項及/或第三項進行探討。

7. 建議宜就儲能系統之規模、目的、適用對象等收集國外規定，並加以探討。

**(三)「長照機構防火避難安全性能改善參考手冊精進研究」案：**

1. 機構依第 99-1 條規定設置二個區劃、等待救援空間、寢室隔間置頂等作法，會因內部條件差異而有所不同，未來希望能對如何選擇適當作法提供建議。
2. 有關附錄之防火避難風險自主檢核表及解說內容，建請宜精簡易讀。
3. 自動撒水設備對策修正內容，建議預留彈性，俟本所另案提出開放式撒水設計研究具體結果後，併請納入。
4. 本手冊所提之對策是依據建築法規或是衛福部相關規定，應用之定位為何，應進行釐清。
5. 本案進行調查訪談之方式及對象將如何進行，應明確界定。

**(四)「受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究」案：**

1. 本案提出 CFRP 貼片乾式補強工法，未來若提供私有建築物「階段性補強」政策使用，建議宜配套研訂相關設計及施工技術規範或設計審查之要項，俾利 CFRP 補強工法推動。後續研究成果若有對 CFRP 補強工法研發之產出，亦可規畫專利申請之提出，以提升本所研發成果收入。
2. 為確保不同補強施工廠商選用 CFRP 材料之規格及品質一致性，建議本案可就 CFRP 材料之檢測方法納入後續研究討論。
3. 本案研究對 RC 柱補強工法之探討，係針對耐震能力不足者，或是已存有損壞者，應請釐清究竟「補」了什麼？其作用為何？
4. 按本研究之實驗規劃，擬於部分 RC 柱試體施以預先之破壞，用以模擬柱構件存有受損狀況，此作法未來將如何控制或減少對實驗成果變異性之影響，應考量清楚。

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

**(五)「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」案：**

1. 本研究發展創新補強工法，請考量是否可用以申請專利，為本所增加績效。
2. 考量規劃之試體數量較少，建議可參考以往填充混凝土箱型柱相關研究經驗及成果。

**(六)「建築材料含石綿實驗量測技術調合之研究」案：**

1. 有關國外標準蒐集，除規畫之 JIS A1481 及 EPA 600 之外，建議納入國際標準 ISO 22262 等標準規範，俾利石綿鑑定相關內容更為完備。
2. 針對調和後石綿試驗檢測，建議調查並補充說明國內其他檢測實驗室是否具備相關檢測能量及能力。
3. XRD-繞射法所使用之設備係屬於輻射管制項目，相關使用許可及人員訓練核可及特殊健康檢查等項目，須配合相關規範辦理。

**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 時整)**

### 內政部建築研究所

本所 109 年度第 1 次研究業務協調會議簽到簿

時 間：109 年 2 月 10 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 <i>王榮進</i> 紀 錄：張志源	
受 評 廠 商	簽 到 處
王副所長安強	<i>王子強</i>
鄭主任秘書元良	<i>鄭元良</i>
王組長順治	<i>王順治</i>
蔡組長綽芳	<i>蔡綽芳</i>
陳組長建忠	<i>陳建忠</i>
羅組長時麒	<i>羅時麒</i>
綜合規劃組自行研究計畫研究人員-張志源	<i>張志源</i>
安全防災組自行研究計畫研究人員-蔡銘儒	<i>蔡銘儒</i>
安全防災組自行研究計畫研究人員-雷明遠	<i>雷明遠</i>
工程技術組自行研究計畫研究人員-陶其駿	<i>陶其駿</i>
工程技術組自行研究計畫研究人員-黃國倫	<i>黃國倫</i>
環境控制組自行研究計畫研究人員-林霧霆	<i>林霧霆</i>

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

本所業務同仁			
	王雨彤		
	謝宗興		
	盧玟瑛		
	姚志廷		
	褚政鑫		
	張怡文		
	楊妮妮		
	靳星鈞		
	賴海工		
	白櫻亭		
	王馨		
	徐若晴		
	陳麒任		
	黃國偉		
	謝伯聖	謝青峰	



## 老舊RC建築高軸力非韌性配筋矩形柱 乾式鋼板補強

報告人：黃國倫  
109/2/10



## 簡報內容大綱

- 研究緣起
- 研究目的
- 研究內容
- 經費、人力及設備需求
- 試體製作期程
- 預期成果



## 研究緣起

- 老舊 RC 建築
  - 欠缺耐震設計觀念
  - 柱構件耐震韌性不足
    - 柱橫向鋼筋間距大
    - 且鋼筋號數小
    - 混凝土品質不良
    - 缺90°-135°耐震彎鈎
    - 缺繫筋
    - 梁柱接頭內鋼筋未做彎鈎



鋼筋號數小

橫向鋼筋間距大



本所105年度  
鋼筋混凝土建築結構耐震  
補強技術與示範例之研擬



過1樓牆量較少  
常造成軟弱層



營建知訊409期

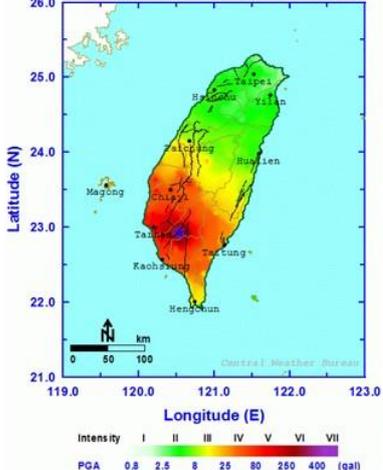
營建知訊409期

3



## 2016/02/06 高雄美濃大地震 → 建築大樓倒塌

Origin Time: 2016/02/06 03:57:27 (GMT+08:00)  
Lat: 22.93N Lon: 120.54E Mag: 6.4 Depth: 16.7km



(來源: <http://es.earthquake-report.com>)



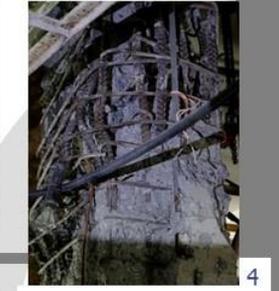
幸福大樓(7樓)



幸福大樓(7樓)



維冠金龍大樓 (16樓)



鄉城大鎮(14樓)

4

160



## 2018/02/06 花蓮大地震 → 建築大樓倒塌



雲門翠堤(12樓)



白金雙星(6樓)



吾居吾宿(9樓)



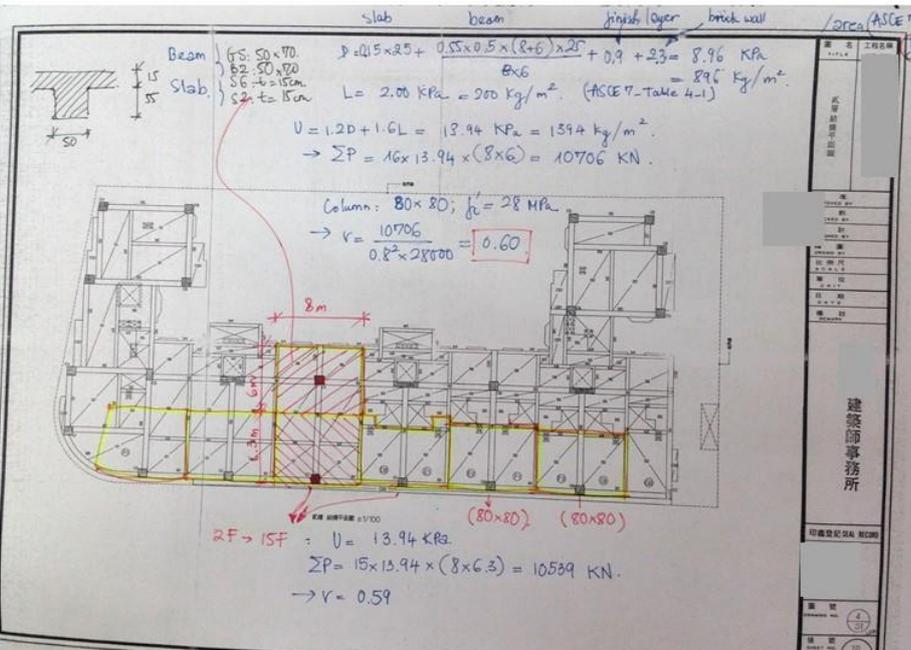
統帥大飯店(11樓)

來源: 鍾立來等人 (2018), 地工技術, 第156期。



## 維○金龍大樓某些柱經手算後軸力高達 $0.6A_g f'_c$

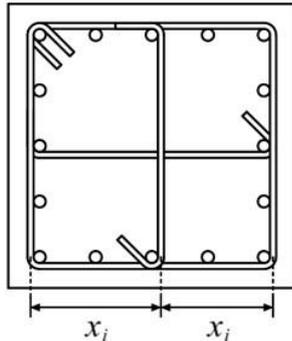
(參考自「中高樓層建築非韌性RC配筋柱擴柱補強技術研究」研究報告)





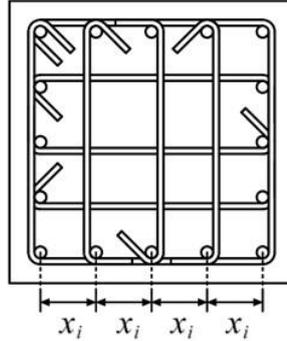
## 混凝土結構設計規範規定

- 對於軸力比高於 $0.3A_g f'_c$ 之柱



$$x_i \leq 35 \text{ cm}$$

現行規範



$$x_i \leq 20 \text{ cm}$$

新版規範草案

細節要求  
更嚴格

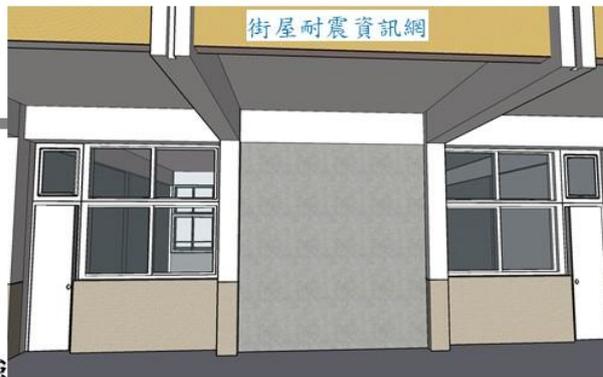
箍筋用量  
更大

7

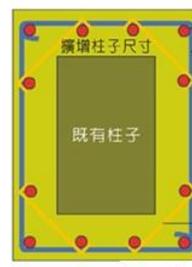


## 研究緣起

- 補強對策
  - RC 剪力牆
  - RC 擴柱補強



擴柱的立面



擴柱的剖面

主筋  
箍筋  
由兩條縱筋構成，縱筋一端為耐震書鉤，另一端為90度

繫筋  
兩端皆為90度書鉤

921地震教育園區電子報

8

街屋耐震資訊網

## 研究緣起

- 補強對策
  - 增設翼牆
  - 包覆鋼板補強

鋼筋混凝土翼牆

原來的柱子

鋼筋混凝土翼牆

耐震力不足的方向

基隆封膜灌漿工程-結構補強專家

佳詮工程有限公司-結構補強

其

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

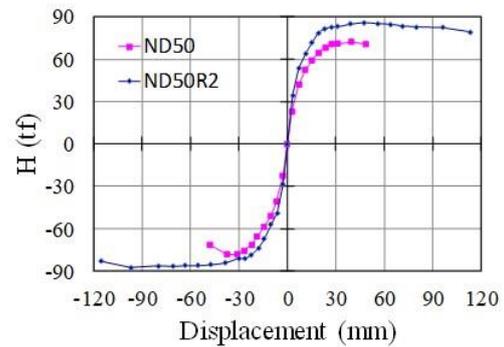
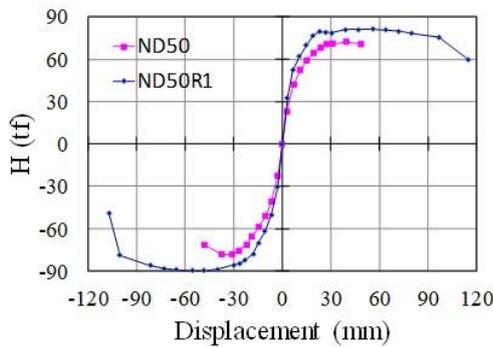


## 研究目的

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)

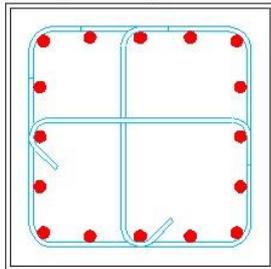
- 鋼板補強可提升高軸力RC柱之撓曲韌性

試體 編號	$H_{exp+}$	$H_{exp-}$	$H_{exp}$	$\delta_{y+}$	$\delta_{y-}$	$\delta_y$	$\delta_{u+}$	$\delta_{u-}$	$\delta_u$	$\theta_{p+}$	$\theta_{p-}$	$\theta_p$
	(tf)			(mm)			(mm)			(% rad)		
ND50	72.2	-78.2	75.2	16.19	-13.10	14.64	48.5	-47.9	48.2	1.96	-2.11	2.03
ND50R1	81.4	-89.8	85.6	13.53	-12.01	12.77	102	-101	102	5.38	-5.38	5.38
ND50R2	85.8	-87.7	86.7	15.22	-12.70	13.96	114	-115	114	5.96	-6.21	6.08



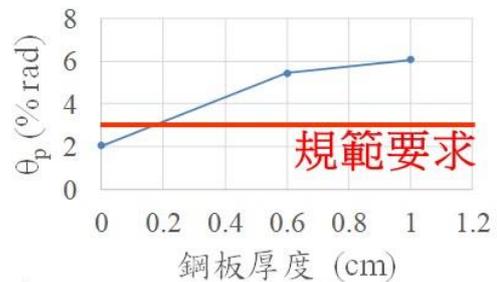
## 研究目的

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)



試體 編號	$P$	$H_{exp+}$	$H_{exp-}$	$H_{exp}$
	(tf)		(tf)	
ND50	435	72.2	-78.2	75.2
ND50R1	435	81.4	-89.8	85.6
ND50R2	435	85.8	-87.7	86.7

$$P/A_g f'_{ca} = 50\%$$



試體 編號	$\theta_{p+}$	$\theta_{p-}$	$\theta_p$
	(% rad)		
ND50	1.96	-2.11	2.03
ND50R1	5.38	-5.38	5.38
ND50R2	5.96	-6.21	6.08



## 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

13



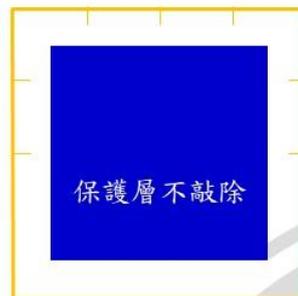
## 研究目的

既有建築RC柱乾式鋼板補強實驗研究(107年自辦)

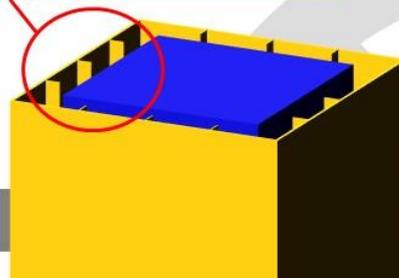
- 研發不敲除保護層、不使用化學錨栓之乾式鋼板補強工法
- 搭配內側加勁板及底部強化措施



乾式  
鋼板  
補強



內側加勁板

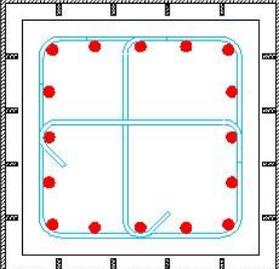


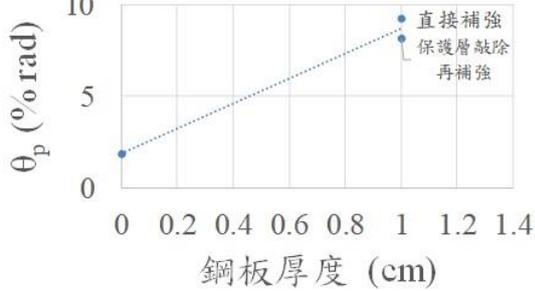
14



## 研究目的

### 既有建築RC柱乾式鋼板補強實驗研究(107年自辦)





試體 編號	$P$ (tf)	$H_{exp+}$	$H_{exp-}$	$H_{exp}$	$H_X$
SND	158.8	59.8	-58.6	59.2	60.7
SNDR1	158.8	93.6	-104.1	98.9	83.7
SNDR2	158.8	92.0	-102.9	97.4	92.6

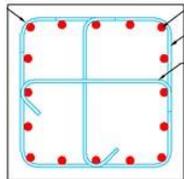
試體 編號	$\theta_{p+}$	$\theta_{p-}$	$\theta_p$
SND	1.70	-1.98	1.84
SNDR1	8.73	-9.68	9.20
SNDR2	8.23	-7.99	8.11

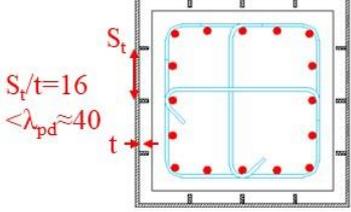
$P/A_g f_{ca} = 26\%$       XTRACT

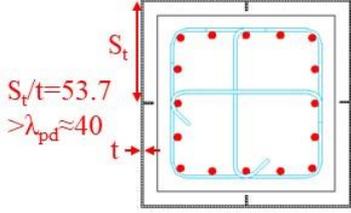


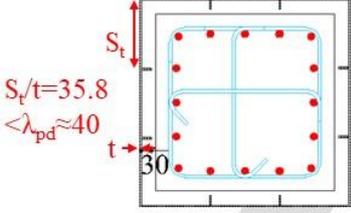
## 研究目的

### 老舊RC建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強 (108年自辦)





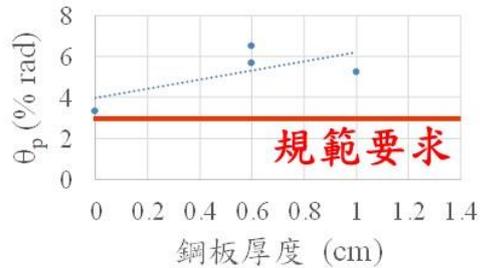
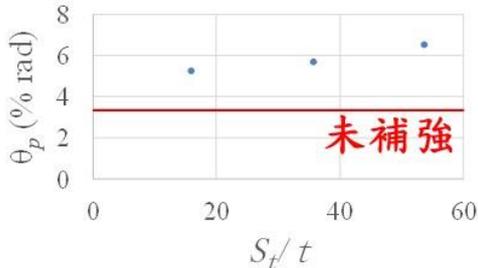






## 研究目的

老舊RC建築高軸力非韌性配筋柱乾式鋼板補強  
(108年自辦)



試體 編號	$P$ (tf)	$H_{exp+}$	$H_{exp-}$	$H_{exp}$
SND50	473	71.1	-81.3	76.2
SND50R06T1	473	96.3	-109.8	103.1
SND50R06T2	473	101.0	-110.3	105.6
SND50R10T3	473	97.9	-102.7	100.3

試體 編號	$\theta_{p+}$	$\theta_{p-}$	$\theta_p$
SND50	3.36	-3.34	3.35
SND50R06T1	6.34	-6.71	6.52
SND50R06T2	5.83	-5.53	5.68
SND50R10T3	5.10	-5.37	5.23

$P/A_g f'_{ca} = 42\%$

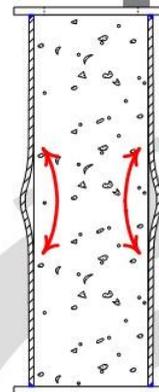
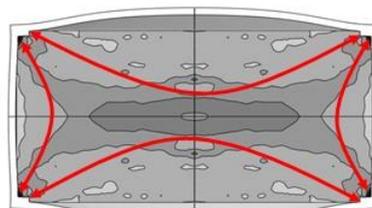
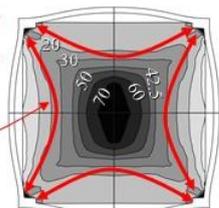
Chen, C.C., Ko, J.W., Huang, G.L., and Chang, Y.M. (2012). "Local buckling and concrete confinement of concrete-filled box columns under axial load", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 78, No. 1, Pages 8-21.



## 研究目的

- 陳正誠等(2012)進行CFBC短柱軸向加載之有限元素分析
  - 建立一合理且有效模擬之有限元素分析方法
  - CFBC內部混凝土的圍束機制  
不適合用Mander等RC構件的圍束機制模擬
- 衍生：矩形CFBC圍束效果不如方形CFBC

產生圍束效果時  
會出現的拱效應



方形CFBC圍束效果佳

矩形CFBC圍束效果差

垂直拱效應

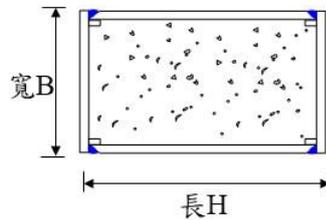


## 研究目的

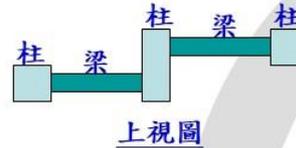
### 國內建築柱斷面應用現況

#### • 矩形斷面長寬比(H/B)

- 大多小於1.5，但仍有許多介於1.5~3.0
- 若因長寬比太大導致鋼板對混凝土圍束效果太差，柱耐震性能可能遠不如預期，長寬比宜有適當之使用限制



梁中心線偏差導致柱斷面為矩形



19



## 研究內容

### ■ 試體設計

#### ■ 固定參數

- 鋼板降伏強度 ( $F_y$ ) : 3.5 tf/cm<sup>2</sup> (A572Gr50鋼材)
- 混凝土材料強度 ( $f'_c$ ) : 210 kgf/cm<sup>2</sup>(3,000psi)
- 軸力比  $P/A_g f'_c = 50\%$
- 矩形斷面

#### ■ 設計參數:

##### ■ 矩形斷面長寬比(H/B)

#### ■ 2個系列試體 (共計4組試體):

- O系列 (補強前, 2支, 1支H/B=1.5, 另1支H/B=2.0)
- R系列 (補強後, 2支, 1支H/B=1.5, 另1支H/B=2.0)

20



## 研究內容



21



## 經費、人力及設備需求

- 經費需求
  - 補強前：2\*15萬/支
  - 補強後：2\*25萬/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

22



## 預期成果

- 驗證中高樓層老舊建築之非韌性配筋矩形 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矩形 RC 柱進行乾式鋼板補強之設計建議。

23



簡報完畢，敬請指教！

24

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

「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」期中審查：  
 謝謝委員的意見，委員意見之回應列表如下。

審查委員意見	執行單位回應
中華民國全國建築師公會 江建築師支川	
<p>(1) RC 柱鋼板補強，如圖 2-3 所示，鋼板內側灌注水泥砂漿，如何檢測不留空隙？</p> <p>(2) 鋼板必須工地銲接，如何檢測銲接的瑕疵？</p> <p>(3) 鋼板厚度與高軸力有何關聯？若將圖示之鋼板厚度，由 6 mm 增大至 12 mm 時，其垂直承载力 N、抗地震剪力 V 與抗彎矩力 M，各可增大多少應力？</p>	<p>乾式鋼板補強採用垂直加勁板，灌注無收縮砂漿（或環氧樹脂）時，因為流動性高，可有效將空氣擠出，灌注至上端填滿即可，不會有空隙問題。</p> <p>可進行超音波檢測</p> <p>增加之強度與個案尺寸及材質有關，須個案進行結構構件分析始能得知。</p>
中華民國結構工程技師公會全國聯合會 劉技師賢淋	
<p>(1) 宜先對乾式鋼板補強工法與濕式工法不同點，加以說明。</p> <p>(2) 鋼板補強試體鋼板內側與 RC 試體間縫隙多寬？</p> <p>(3) 灌注 560 kgf/cm<sup>2</sup> 無收縮水泥砂漿，水泥砂漿試體為立方體或圓柱體？</p> <p>(4) 鋼板底部外側所圍木條之功能為何？</p> <p>(5) 試體試驗前後，在關鍵齡期，是否沿高度方向測定試體波</p>	<p>濕式工法需在現場進行敲除混凝土及組裝模板，施作時會影響其空間機能運作，而乾式鋼板補強無須敲除混凝土保護層，其空間機能運作不會受到影響。</p> <p>鋼板補強試體鋼板內側與 RC 試體間縫隙為 44 mm。</p> <p>水泥砂漿試體為立方體。</p> <p>為使鋼板與基座有一定間隙，在受到反覆撓曲載重時，不致擠壓基座混凝土造成破壞。</p> <p>本研究未測定試體波傳速度。</p>

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

審查委員意見	執行單位回應
<p>傳速度隨高度之變化？</p> <p>(6) 補強前已有軸壓存在，現在則是無軸壓下補強，後續受力行為是否可能有異？</p>	<p>實驗為無軸壓下補強，故實務上其補強效果可能稍差一些。</p>
<p>李技師英傑</p>	
<p>(1) RC 柱外包覆薄鋼板之加勁肢間距，應如何規劃，才具有束制作用？惠請說明。</p> <p>(2) RC 柱與外包覆鋼板間之灌注材料，建議為何？如何確保灌注材料膠結飽滿？惠請說明。</p> <p>(3) RC 柱外包覆鋼板至梁版位置，應如何收頭較佳？請說明。</p>	<p>可參考鋼結構設計規範或鋼骨鋼筋混凝土設計規範對填充混凝土箱型鋼柱之柱板寬厚比 <math>\lambda_p</math> 規定進行設計。</p> <p>乾式鋼板補強採用垂直加勁板，灌注無收縮砂漿（或環氧樹脂）時，因為流動性高，可有效將空氣擠出，灌注至上端填滿即可，不會有空隙問題。</p> <p>建議鋼板底部距離梁版約 2 至 3 公分，此間隙以木頭或類似材質填充至鋼板於柱內表面齊。</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。本研究案進行老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱之乾式鋼板補強技術研發，具有其必要性及重要性，符合預期成果需求。</p> <p>(2) 對於本案研究成果，建議可提出設計手冊，方便工程師於實務上採用，以加速成果之推廣。</p> <p>(3) 請說明加勁板之設計方式。</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>設計手冊之研擬建議可另案研究之。</p> <p>可參考鋼結構設計規範或鋼骨鋼筋混凝土設計規範對填充混凝土箱型鋼柱之柱板寬厚比 <math>\lambda_p</math> 規定進行設計。</p>

附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表

審查委員意見	執行單位回應
張總經理敬昌	
<p>(1) 本研究案之柱，承受高軸力，實務上，未補強前之 RC 斷面，須單獨承受靜載重軸力，補強後額外的地震軸力，才由複合斷面共同承擔。與試驗載重全部由複合斷面共同承擔略有不同。</p> <p>(2) 試體規劃中，木條僅隔離鋼板與基座。無收縮砂漿則沿柱全長澆置，而有擴柱意義，則無收縮砂漿尺度對軸力、撓曲強度及變形能力之影響，應納入考量調整。</p>	<p>實驗為無軸壓下補強，故實務上其補強效果可能稍差一些。</p> <p>確實乾式鋼板補強與擴柱補強相近，能有效提升其強度與韌性。</p>
羅副總經理遠智	
<p>(1) 柱斷面之長寬比，應會對於鋼板補強之拱效應有所影響，值得探討。</p> <p>(2) 當柱斷面之長寬比較大時，增加配置垂直之加勁板，是否可有效提升鋼板對構件之拱效應，亦值得探討。</p>	<p>感謝委員肯定。</p> <p>對長寬比較大之柱斷面增加配置垂直加勁板，理論上應可有效提升鋼板對構件之拱效應，惟本案經費有限，此課題建議可納為後續研究課題之參採。</p>
陳組長建忠	
<p>(1) 鋼板與補強試體介面，如何查檢符合要求？</p> <p>(2) 試體若是以規範為目標，宜以常用者先。</p>	<p>乾式鋼板補強採用垂直加勁板，灌注無收縮砂漿（或環氧樹脂）時，因為流動性高，可有效將空氣擠出，灌注至上端填滿即可，不會有空隙問題，因此僅需查檢上端填滿即可。</p> <p>本案係探討非韌性配筋柱斷面長寬比，對乾式鋼板補強效果之影響，並非以規範為目標，不過本案試體之配置係已屬常見非韌性配筋柱斷面配置之範圍內。</p>

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」期末審查：  
謝謝委員的意見，委員意見之回應將列表如下。

審查委員意見	執行單位回應
中華民國全國建築師公會 江建築師支川	
<p>(1) 鋼板與 RC 柱之間的隙縫，雖採用高流動性無收縮砂漿灌注，理論上不會有空隙問題，但有檢測的方法或機制嗎？</p> <p>(2) 鋼板的厚度與 RC 柱的高度，有應力上的關聯嗎？實驗採用 6 mm 鋼板，適合多高的 RC 柱使用？又柱體的載重與鋼板厚度有否關聯？</p> <p>(3) 補強後能增加原有 RC 柱耐震能力的多少百分比？如何檢測確認？</p>	<p>實務上可用敲擊法檢測鋼板與 RC 柱之間的隙縫。</p> <p>鋼板厚度、加勁板厚度與數量等補強設計細節，需視待補強建築物的目標需求，而設計及調整。</p> <p>補強後柱耐震能力增加百分比視個案情況而定，無法直接檢測出結果。</p>
委員	
<p>(1) 本研究報告書第 X 頁及第 149 頁提及「.....鋼板補強及乾式鋼板補強」，請說明此兩種補強方式有何不同？</p> <p>(2) 本研究鋼板補強試體，只設定鋼板厚度 6 mm，加勁板 3 cm，厚度 0.6 cm，在 67 cm 鋼板中央位置只加勁一處，是否太少？才會造成效果不好的現象，未來之研究是否可再增加鋼板厚度、加勁位置及減小加勁距離等試體的探討(簡報第 14 至 16 頁，107 自辦與 108 自辦的研究有依寬厚比增加加勁數量；可將本研究與之前的研究做比較。)</p>	<p>乾式鋼板補強有斷面擴大及內含加勁板等特性，鋼板補強沒有。</p> <p>本研究為使加勁板影響因素減小，所以都用一樣有加勁板設計，且加勁板影響已於 108 年度進行研究。</p>
李技師英傑	
(1) 符合預期成果，對工程界相	謝謝委員肯定。

附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表

審查委員意見	執行單位回應
<p>當有助益。</p> <p>(2) 對於原柱的鋼板包覆成效良好，尤其現況模板單價飛漲，能以鋼板包覆補強對韌性的提升效果良好。</p> <p>(3) 建議能再發展成擴柱外覆鋼板補強的數值塑鉸模擬方式。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>將於未來列入研究課題考量。</p>
陳建築師澤修	
<p>(1) 鋼板補強效果，應可優於碳纖維包覆補強，其原柱的裂縫破壞程度，應可以加以定義。</p> <p>(2) 鋼板包覆與原柱間的間隙大小，應可列入後續研究探討。</p>	<p>本研究並未讓原柱先產生裂縫。</p> <p>將於未來列入研究課題考量。</p>
黃教授然	
<p>(1) 建議先評估鋼板包覆矩形柱軸向勁度的影響，以為補強設計的參數。</p> <p>(2) 開裂柱是否應先修復至原有性能，再施以鋼板包覆提高其抗震性能？</p>	<p>將於未來列入研究課題考量。</p> <p>理論上先修復再補強之性能較佳。</p>
羅副總經理遠智	
<p>(1) 乾式補強之施工較單純，實驗結果顯示在長寬比 1.5 時，可提升強度及韌性。可用於老舊建物之補強，可減少施工過程之干擾，並縮短工期。</p> <p>(2) 長寬比 2.0 之試體對於韌性之提升不顯著，由於本研究僅進行 1 個試體之試驗，建議後續可再進行實驗確認其行為。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>RND2.0RT 試體已進行補強鋼板在塑鉸區局部切開，來檢視內部的破壞情形，但並未發現有材料破壞或挫屈之情形。</p>
陳組長建忠	
<p>(1) 本研究目前是第 3 年研究，結論與建議可寫的更具體更詳實些。</p>	<p>已強化成果報告之結論與建議內容。</p>

老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強

審查委員意見	執行單位回應
林研究員敏郎(書面意見)	
<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。本研究進行老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱之乾式鋼板補強技術研發，具有其必要性及重要性，符合預期成果需求。</p> <p>(2) 試驗顯示乾式鋼板補強高軸力試體，對於長寬比 1.5 及以下之試體，於韌性能力有良好的提升；對於長寬比 2 之試體，則強度可提升，但韌性提升較為有限。長寬比由 1.5 變化至 2，試體之韌性表現卻有很大的差異，建議可再深入探討強度及韌性變化之原因，並判讀補強柱之破壞機制，再與乾式鋼板補強之設計方式進行探討，評估是否能經由調整補強鋼板之細部設計，而可能使長寬比 2 之試體韌性表現，能有所提升。</p> <p>(3) 對於已完成試驗之試體，建議可拆除包覆之鋼板，瞭解其內部破壞情形，以佐證試體實際之破壞模式。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>RND2.0RT 試體已進行補強鋼板在塑鉸區局部切開，來檢視內部的破壞情形，但並未發現有材料破壞或挫屈之情形，建議另案製作試體進行試驗來確認。</p> <p>試體已進行補強鋼板在塑鉸區局部切開，來檢視內部的破壞情形。</p>
張總經理敬昌(書面意見)	
<p>(1) 試體 RND1.5RT 與 RND2.0RT 之韌性相差非常大，如僅為長寬比效應所致，則是否文獻中正方形之韌性會比本研究之 RND1.5RT 好？</p> <p>(2) 依試驗計畫所述，試體軸壓</p>	<p>方形斷面韌性確實較佳。</p> <p>試體已進行補強鋼板在塑鉸區局</p>

附錄二 期中、期末審查會議審查意見回應表

審查委員意見	執行單位回應
<p>力約為 <math>0.5A_gf_c'</math>，建議於試驗中觀察破壞模式，分別就鋼筋與混凝土狀態進行證明，藉以探討破壞模式與韌性間之關係，其中擴柱效應並未包含臨界斷面，塑性鉸長度可能也會受影響。</p>	<p>部切開，來檢視內部的破壞情形。</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 牆豎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矩形柱乾式鋼板補強

- 「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. 黃國倫(2019)，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。
  18. 黃國倫(2013)，矩形填充混凝土箱型柱撓曲行為之研究，內政部建築研究所自行研究報告。
  19. 黃國倫、陶其駿(2014)，矩形填充混凝土箱型鋼柱耐震能力提升研究，內政部建築研究所自行研究報告。
  20. 黃國倫(2015)，建築物矩形填充高強度混凝土箱型鋼柱低軸力下撓曲耐震性能驗證研究，內政部建築研究所自行研究報告。
  21. 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。
  22. 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。
  23. 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矩形柱乾式鋼板補強

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：109 年 11 月

版次：第一版

ISBN：