內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 109 年 12 月

研究人員:陶其駿

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 109 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR RESEARCH PROJECT REPORT

Seismic Evaluation of Damaged Reinforced Columns with CFRP Retrofitting

BY

CHI CHUN TAO

December, 2020

第一章 約	音論
第一節	研究緣起與背景
第二節	文獻回顧
第三節	研究方法與進度說明16
第四節	研究目的
第五節	預期成果
第二章 言	、體計畫
第一節	試體設計
第二節	試體製作40
第三節	試驗裝置與測計安排43
第三章 言	【驗結果與討論69
第一節	試驗結果與觀察69
第二節	受損補修 RC 柱對 CFRP 補強之影響137
第三節	受損補修 RC 柱的 CFRP 補強之效益139
第四節	受裂損 RC 柱補修後的使用性144
第四章 約	;論與建議147
第一節	結論147
第二節	建議149
附錄一 研究	計畫期初審查會議紀錄151
附錄二 研究	計畫期中審查會議紀錄155
附錄三 研究	計畫期末審查會議紀錄165

表 1.1 研究進度規劃	23
表 1.2 防火構造建築物主要構造防火時效規定	24
表 2.1 非韌性柱試體相關參數比較	44
表 2.2 碳纖維布規格	45
表 2.3 各柱試體斷面配筋及碳纖維包覆情形	46
表 3.1 鋼筋拉伸試驗結果彙整	73
表 3.2 試體基礎 28 天齡期之圓柱試體抗壓強度	74
表 3.3 各試體柱 28 天齡期之圓柱試體抗壓強度	74
表 3.4 各混凝土圆柱试體抗壓強度	75
表 3.5 各試體對應之強度齡期	75
表 3.6 各柱試體試驗結果之強度與韌性變化	76

圖次

圖	1.1 纖維材料與鋼板之應力與應變關係曲線圖	25
圖	1.2 碳纖維布之實際情形	25
圖	1.3 RC 柱以 CFRP 包覆補強之剖面示意圖	26
圖	1.4 圓形斷面橋柱之遲滯迴圈	27
圖	1.5 柱構件之角隅因碳纖維布應力集中致使破壞	28
圖	1.6 研究進行之流程圖	28
圖	1.7 典型沿街店舖式住宅平面示意圖	29
圖	1.8 CFRP 貼片包覆層數與柱構件塑角韌性之關係	29
圖	1.9 CFRP 不同包覆層數之強度包絡線	30
圖	1.10 試體 NDCHH 與試體 NDCVH 強度包絡線比較	31
圖	1.11 CFRP 貼片之搭接細部	32
圖	2.1 非韌性配筋柱橫向箍鋼筋間距過大之情形	47
圖	12.2 非韌性配筋柱箍筋端部僅為 90 度彎鉤且柱內設有排水管 .	47
圖	2.3 RC 柱試體外部 CFRP 貼片以水平向之包覆方式	48
圖	12.4 試體 NDN 之設計圖	49
圖	2.5 NDC 試體於補強前之柱試體斷面圖	50
圖	2.6 s間距內碳纖維布與橫向鋼筋側向力	50
圖	2.7 底座製作與定平	51
圖	2.8 矩形 RC 柱採碳纖維包覆補強及碳纖維錨栓之情形	52
圖	2.9 碳纖維錨栓示意圖	53
圖	2.10 柱試體有(未)包覆 CFRP 可能影響破壞模式	53
圖	2.11 RC 受損柱採低壓灌注裂縫之施工圖	54
圖	2.12 自加工廠完成加工送抵工作區之鋼筋	54
圖	2.13 柱試體斷面應變計之配置圖	55

圖 2.14 軸力構架試驗裝置示意圖56
圖 2.15 試驗側向加載之位移控制歷時57
圖 2.16 底座鋼筋籠之組立58
圖 2.17 上部柱主筋之定位58
圖 2.18 底座預留未來供螺桿貫穿鎖固之 PVC 管
圖 2.19 於試體底座預留便於吊裝作業之吊耳
圖 2.20 底座模板之組立60
圖 2.21 底座混凝土浇置60
圖 2.22 底座拆模後之情形61
圖 2.23 柱試體應變計之黏貼61
圖 2.24 應變計之黏貼與固定62
圖 2.25 上部柱身鋼筋之組立62
圖 2.26 模板之圓形導角63
圖 2.27 上部柱身模板完成組立63
圖 2.28 上部柱混凝土之浇置64
圖 2.29 上部柱混凝土之搗實64
圖 2.30 混凝土澆置坍度試驗65
圖 2.31 混凝土圓柱式體製作65
圖 2.32 柱頂上部灌漿孔圓形蓋板之封板
圖 2.33 應變計訊號線束之收線
圖 2.34 上部混凝土柱四周之導角67
圖 2.35 試體製作完成與養護情形現況
圖 3.1 試體 NDN 實際破壞情形照片77
圖 3.2 試體 NDC 西與北 2 側於各位移比逐步破壞情形照片
圖 3.3 試體 NDC 東與南 2 側於各位移比逐步破壞情形照片

圖 3.4 試體 NDC 於試驗結束之破壞情形92
圖 3.5 試體 NDC 遲滯迴圈93
圖 3.6 試體 NDC 強度包絡線93
圖 3.7 試體 NDR 模擬位移比 1%損傷之西與北 2 側於各位移比逐步破
壞情形照片97
圖 3.8 試體 NDR 模擬位移比 1%損傷之東與南 2 側於各位移比逐步破
壞情形照片
圖 3.9 試體 NDR 西與北 2 側於各位移比逐步破壞情形照片101
圖 3.10 試體 NDR 東與南 2 側於各位移比逐步破壞情形照片106
圖 3.11 試體 NDR 於試驗結束之破壞情形111
圖 3.12 試體 NDR(drift1%)遲滯迴圈112
圖 3.13 試體 NDR(drift1%)強度包絡線112
圖 3.14 試體 NDR 遲滯迴圈113
圖 3.15 試體 NDR 強度包絡線113
圖 3.16 體 NDRC 模擬位移比 1%損傷之西與北 2 側於各位移比逐步破
壞情形照片(續)117
圖 3.17 體 NDRC 模擬位移比 1%損傷之東與南 2 側於各位移比逐步破
壞情形照片119
圖 3.18 試體 NDRC 西與北 2 側於各位移比逐步破壞情形照片121
圖 3.19 體 NDRC 東與南 2 側於各位移比逐步破壞情形照片127
圖 3.20 試體 NDRC 於試驗結束之破壞情形134
圖 3.21 NDRC(drift1%)試體遲滯迴圈135
圖 3.22 NDRC(drift1%)試體遲滯迴圈135
圖 3.23 NDRC 試體遲滯迴圈136
圖 3.24 NDRC 試體遲滯迴圈136

立移之定義140	試體側向降伏及極	a 3.25	圖
RC 強度包絡線比較141	試體 NDC 與試體	3.26	圖
RC 遲滯迴圈比較141	試體 NDC 與試體	3.27	圖
RC 強度包絡線比較142	試體 NDR 與試體	3.28	圖
RC 遲滯迴圈比較142	試體 NDR 與試體	B 3.29	圖
之補修後強度包絡線比較145	試體 NDR 於未損	a 3.30	圖
1.0%範圍未損傷及補修後之裂縫發展	試體 NDR 於側位	a 3.31	圖
	••••••	•••••	

摘要

關鍵詞:RC柱、CFRP 補強、非韌性配筋

一、 研究緣起

由國內外相關文獻之研究建議,多假設待補強 RC 柱構件,均未存有受損開 裂之情形。然而,在補強實務上,實際之 RC 土柱構件,卻常存有嚴重程度不一 之損傷,而且既有文獻亦少見對柱表面裂縫影響之探討,因此為釐清相關柱構件 存有之開裂損傷,若經環氧樹脂補修後,再以 CFRP 貼片包覆補強效益之影響, 以及先前以 CFRP 補強 RC 柱相關研究成果之適用性,本研究透過結構試驗驗證 之,俾釐清 CFRP 補強設計之有效性。

二、 研究方法及過程

本研究所有4組柱試體於鋼筋混凝土部分斷面尺寸及配筋應相同,試驗前, 試體 NDN 及試體 NDC 均無任何裂縫損傷,試體 NDR 及試體 NDRC 預裂縫均 完成補修。藉由本研究之結構試驗,釐清未受損及受損但完成裂縫補修之 RC 柱 試體,其於以 CFRP 貼覆補強後,對於 RC 柱耐震性能之影響。同時,亦驗證非 韌性 RC 柱之受損裂縫,若經環氧樹脂之灌注補修,對於 RC 柱試體使用性回復 (彈性勁度及裂縫發展)之影響。

三、 重要發現

- (一)以往研究,係假設柱試體表面未存有損壞或裂縫。但是,當RC柱試體表面 若存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,經環氧樹脂(Epoxy)進行灌注補修後, 可適用於未受損柱試體之研究建議。
- (二) 試體 NDRC 之塑性轉角容量θ_p,為試體 NDR 之 2.27 倍,而由先前研究試 體 RNDC2L 之塑性轉角容量θ_p,為未補強試體 RND 之 2.91 倍,表示未受 損 RC 柱試體,以 CFRP 補強之韌性發展,略優於受損補修 RC 柱試體,以 CFRP 補強之情形。
- (三)試體NDR於未損傷階段之彈性勁度為22.3 kN/mm,於補修後彈性勁度為 18.8 kN/mm,兩者彈性勁度差18.6%。表示0.2 mm以內裂縫寬度,經環氧 樹脂灌注補修後,其彈性勁度略為下降。
- (四) 由試體 NDR 受損情形觀察,當 RC 柱若有 0.2 mm 以內之裂縫,經環氧樹

脂灌注補修後,其受力裂縫主要還是循原裂縫發展。

四、主要建議事項

立即可行建議-若 RC 柱表面存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,經環氧樹脂 進行補修後,可適用於未受損柱之研究建議。

主辦機關:建築師公會、結構工程技師公會、土木技師公會

協辦機關:內政部建築研究所

實驗結果顯示,若 RC 柱表面存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,或柱損 害程度為Ⅱ級損害以下時,裂縫經高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行低壓 灌注之補修後,可適用於未受損柱之研究建議。並且當 RC 柱裂縫經補修 後,其受力裂縫,主要還是循原裂縫發展。

立即可行建議-若 RC 柱表面存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,經環氧樹脂 進行補修後,其彈性勁度已逐漸下降。

主辦機關:建築師公會、結構工程技師公會、土木技師公會 協辦機關:內政部建築研究所

實驗結果顯示,若RC 柱表面存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,經高流動性環氧樹脂低壓灌注之補修,其彈性勁度已開始略為下降。

ABSTRACT

ABSTRACT

Key word: RC Column, CFRP strengthened, Non-ductile reinforcement

1. Purpose

According to the research recommendations of relevant domestic and foreign literature, it is mostly assumed that the to-be-strengthened RC column components are not damaged or cracked. However, in practice, the RC column components are damaged varying degrees. Moreover, the existing literature has rarely discussed the effect of cracks on the surface of the column. Therefore, to clarify the cracking damage of the related column components we assumed that the epoxy resin is repaired, the effectiveness of the CFRP patch on the reinforcement and the applicability of previous research results related to the reinforcement of RC columns with CFRP are verified through structural tests in this study to clarify the effectiveness of the CFRP reinforcement design.

2. Method and Steps

All four groups of column specimens in this study should have the same cross-sectional dimensions and reinforcement in the reinforced concrete part. Before the test, the specimen NDN and specimen NDC had no crack damage, and the pre-cracks of specimen NDR and specimen NDRC were repaired. Through the structural test of this study, it is clear that the RC column specimens that are not damaged or damaged but have been repaired by cracks will affect the seismic performance of the RC column after being reinforced with CFRP. At the same time, it was also verified that the damaged cracks of non-tough RC columns, if repaired by epoxy resin infusion, will affect the usability recovery (elastic stiffness and crack development) of the RC column specimens.

3. Main Finding

- (1)In previous studies, it was assumed that there were no damage or cracks on the surface of the column specimen. However, if there are damaged cracks within 0.2 mm on the surface of the RC column specimen, it can be applied to the research recommendations of the undamaged column specimen after the epoxy resin is used for repair.
- (2)The plastic rotation capacity θ_p of the test body NDRC is 2.27 times the NDR of the test body, and the plastic rotation capacity θ_p of the test body RNDC2L from the previous study is 2.91 times the RND of the unreinforced test body, indicating that the undamaged RC columns with toughness development of CFRP reinforcement is slightly better than that of damaged repaired RC column specimens and reinforced with CFRP.
- (3)The elastic stiffness of the NDR of the specimen in the undamaged stage is 22.3 kN/mm, and the elastic stiffness after repair is 18.8 kN/mm, the difference in elastic stiffness between the two is 18.6%. Indicates the crack width within 0.2 mm. After the epoxy resin is poured and repaired, its elastic stiffness decreases slightly.
- (4)Observed from the NDR damage situation of the specimen, if the RC column has cracks within 0.2 mm, after the epoxy resin is poured and repaired, the stress cracks mainly develop along the original cracks.
- 4. Major suggestion

Immediate adoption suggestion- If there are damaged cracks within 0.2 mm on the surface of the RC column, it can be applied to the research recommendations of the undamaged column after repairing with epoxy resin.

Major Office : Architects Association, Structural Engineering Technician Association, Association of Civil Engineers

Associate Office : Architecture and Building Research Institute Ministry of Interior

The experimental results show that if there are damaged cracks within about 0.2 mm on the surface of the RC column, or the column damage is below grade II damage, it can be applied to research after the cracks are repaired with high fluidity epoxy resin under low pressure. Moreover, when the cracks of the RC column are repaired, the stress cracks mainly develop along the original cracks.

Immediate adoption suggestion- If there are damaged cracks within 0.2 mm on the surface of the RC column, the elastic stiffness will gradually decrease after repairing with epoxy resin.

Major Office : Architects Association, Structural Engineering Technician Association, Association of Civil Engineers

Associate Office : Architecture and Building Research Institute Ministry of Interior

The experimental results show that if there are damaged cracks within 0.2 mm on the surface of the RC column, the elastic stiffness has begun to decrease slightly after repairing with high-fluidity epoxy resin under low pressure.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

2016 高雄美濃地震及 2018 花蓮地震後,內政部啟動「全國建築物耐震安檢 及重建補強-給國人一個安心的家」的政策,全力推動老舊建築物於重建或全面 補強的整合、規劃之期間,進行局部性之補強措施,期望以較快速較可行的階段 性的補強策略,讓建築物儘量排除軟弱層之破壞,以及降低倒塌風險,避免老舊 建築物於等待整合及規劃之期間,因遭遇地震建築物傾斜而倒塌。

本所為配合前揭政策,即嘗試檢視及驗證適用於「階段性補強」的技術研究。 其中,在國內已廣泛應用之碳纖維強化高分子複合材料(CFRP)包覆補強工法, 具有施工容易、施工快速、不佔空間、抗拉強度高與價格較低等特性,透過專業 技師及建築師的評估與監督下,可提供有耐震安全疑慮的建築物,多一種可快速 進行柱構件耐震補強工法之選擇,讓鋼筋混凝土柱構件更不易碎裂,以增加民眾 在地震來臨的時逃生機會。

由以往包覆 CFRP 鋼筋混凝土柱試體研究結果[1,2]顯示, CFRP 包覆補強工 法,可有效於提升鋼筋混凝土柱塑性轉鉸的韌性,但對柱試體側向強度之提升有 限。對於低矮鋼筋混凝土建築物之柱構件,若採用「韌性」理論進行 CFRP 補強 設計及施作,柱構件塑性轉鉸之變形能力,可滿足相關設計技術規範對於塑性轉 鉸能力需達 3%之要求。另外,對於矩形鋼筋混凝土柱構件橫斷面四周的角隅處, 必須預先打磨為半徑大於 3 公分的圓弧角,以避免鋼筋混凝土柱斷面角隅處所貼 覆 CFRP 貼片,因斷面應力集中而發生過早之破壞。CFRP 貼片沿纖維方向之搭 接長度,建議應不小於 20 公分,而沿非纖維方向之搭接長度,則建議大於 10 公分,以確保 CFRP 貼片於受力時,不致過早發生於 CFRP 貼片於搭接處之破壞, 進而確保 CFRP 補強工法對鋼筋混凝土柱耐震性能之提升。

CFRP 包覆補強工法對鋼筋混凝土柱韌性能力提升之主要貢獻,主要源自於 包覆於鋼筋混凝土柱外側之水平向碳纖維,其提供柱內混凝土更多的圍束能力。

7

在國內外以 CFRP 貼片包覆補強鋼筋混凝土柱相關文獻之探討,多採水平向的 CFRP 貼片進行包覆,此較符合學理上水平向圍束補強之受力機制。

在國內建築物以碳纖維補強工法之實務,常見沿纖維方向先垂直向貼的施工 方式,再於外層施以水平向包覆之施工方式,此種包含垂直向之貼覆方式,在既 有文獻中亦不多見。由先前研究結果[2]顯示,此種先垂直向再水平向混貼 CFRP 貼片工法對柱構件的補強效益,並未優於全以水平向貼覆 CFRP 貼片的補強方 式。

然而,先前研究[1,2]實驗試體之規劃,係假設待補強鋼筋混凝土柱構件均未 存有受損開裂之狀況,然而在補強實務上,實際之鋼筋混凝土柱構件,卻常存有 既有嚴重程度不一之損傷,而且既有文獻亦少見相關探討,因此為釐清相關柱構 件存有之開裂損傷,經補修後再進行 CFRP 貼片包覆補強效益之影響,以及先前 鋼筋混凝土柱以 CFRP 補強研究成果之適用性,本研究將透過結構試驗驗證之, 俾提升 CFRP 補強設計之合理性。

第二節 文獻回顧

一、CFRP 材料特性

纖維強化高分子複合材料(Fiber Reinforced Plastic, FRP)是在高分子材料中添加纖維所製成之複合材料,其兼具高分子材料的低比重,以及纖維的高抗拉強度特性,已廣泛應用於飛機零件、體育用品、建築物等各種用途[3]。

FRP成分,主要分為高分子材料(以下稱基材)、纖維材料、界面等3種,基 材通常是聚合物樹脂,如環氧樹脂、聚酯樹脂、熱塑性塑膠等材料,用於包裹纖 維材料,以保護碳纖維束不致遭受直接摩擦或侵蝕,亦能固定纖維材料之排列方 向,使其圍束成型。

纖維材料主要分為碳纖維(Carbon FRP)、克維拉纖維(Kevlar)及玻璃纖維 (Glass FRP)等 3 種,此 3 種纖維材料各有優缺點,其中最常用的為碳纖維材料, 主因在於其具高抗拉強度、耐久、耐疲勞、抗鹼等能力之特性[4],以抗拉強度 為例,圖 1.1 為 3 種纖維材料與鋼板之拉應力與應變關係曲線圖,其中碳纖維於 纖維方向之抗拉強度,為此 3 種纖維材料中最佳者。而纖維及基材的界面,須具 有良好的物理和化學性質,讓負荷力量能夠順利的由基材傳遞至纖維。而界面亦 須能抵抗由纖維和基材因熱膨脹能力不同所造成之應力,以及避免複合材料受液 體之滲透,協助基材保護纖維[4]。

二、CFRP 補強工法之優勢與缺點

碳纖維複合材料(CFRP),為國內建築物補強工程常用之材料,早在1999 年921大地震後,即見許多老舊建築物採用此種補強工法。利用碳纖維與基材成 束為CFRP後,再透過編織技術,將其製造成碳纖維布匹組織,最後製成補強工 程所用之碳纖維布(CFRP fabric),如圖 1.2 所示。若將碳纖維布逐層含浸環氧樹 脂,並黏貼於結構構件上,以提升結構構件的韌性,此即所謂的CFRP 包覆補強

工法,有關碳纖維布逐層含浸環氧樹脂之施做細部,如圖 1.3 所示。國內常見乾 式包覆之補強方式,除 CFRP 包覆外,還有以鋼板包覆之補強工法,此2種工法 各有其優缺點,但考量 CFRP 補強工法之價格、工期、施工便利性,以及對居住 者生活環境衝擊等因素,有其優勢,因此較易為民眾及設計施工者認同。整體而 言, CFRP 補強工法相較於鋼板補強工法,其優勢整理如下[6]:

(一)碳纖維布質地柔軟且容易彎曲,通常較不受待補強構件形狀所限制,
適合狹小空間之施工。

(二)碳纖維布可連續成捲狀,並可使用剪刀直接裁剪。

(三) 碳纖維布自重輕, 搬運簡單, 不需機具輔助。

(四) CFRP 不會腐蝕,耐久性佳,不須特地維護。

(五)結構構件補強之工期較短。

(六)碳纖維布可直接以環氧樹酯進行塗佈與搭接接合,不須銲接。

另有關碳纖維補強工法的缺點,如下所示[20]:

(一)碳纖維屬於脆性材料,延展性不如鋼板。

(二)對於柱構件軸向強度補強效益之提升有限。

(三) 高溫易使碳纖維環氧樹酯之黏著介面,產生脫落。

三、影響 CFRP 包覆補強效果之因素

CFRP 包覆柱構件補強工法,主要是以碳纖維布沿柱水平向圍束逐層包覆, 以增強柱構件整體韌性的補強方式。由過去研究顯示,此種補強法應用於 RC 圓 形斷面橋柱,可獲得相當明顯提升韌性之成效。例如:圖 1.4 為圓形斷面橋柱試 體之遲滯迴圈,其中圖 1.4 (a)及圖 1.4 (b)橋柱試體採相同斷面之設計,且兩試體 主筋皆於塑鉸區搭接,所不同之處在於圖 1.4 (a)橋柱試體,未進行碳纖維補強, 而圖 1.4 (b)橋柱試體則於塑鉸區,採4層 CFRP 水平向圍束包覆之補強。比較圖 1.4 (a)及圖 1.4 (b)兩者,可知試體在達最大強度後,採 CFRP 包覆補強者,強度 下降之幅度,遠低於未補強者,此表示CFRP包覆補強對圓形斷面柱構件之韌性, 具有明顯提升之效益[7]。

由以往研究[11]顯示,採 CFRP 包覆補強之方柱,其效果不若圓柱,原因為 碳纖維布在柱斷面角隅位置,發生應力集中之現象,此將導致 CFRP 貼片提前發 生斷裂。圖 1.5 顯示方柱試體在柱角隅處之碳纖維布,因應力集中而導致 CFRP 貼片提早破壞。在國內亦有圓柱與方柱相關的研究成果,由於國內多數老舊低矮 型 RC 建築物,常將柱斷面規劃為矩形,圖 1.7 即為國內典型沿街店舖式住宅之 平面圖。另外,此類老舊低矮型 RC 建築物,不僅出現許多斷面長寬比較大之矩 形柱,其內部所配置橫向鋼筋之間距,大多低於現行規範[9]之需求,並且柱箍 筋兩端彎鉤之角度,多採 90 度彎鉤,亦不符合現行規範對柱構件指定範圍內, 應配置閉合箍筋及耐震彎鉤之規定。整體而言,此類柱由於橫向鋼筋量不足,將 導致韌性不佳,又常見於老舊低矮型 RC 建築中,因此有必要進行其補強方法之 研究與驗證。對於此類老舊低矮型 RC 建築中,因此有必要進行其補強方法之 不占空間的 CFRP 包覆補強工法,似乎較能提升民眾接受之建築補強之意願,並 且必須在透過專業技師及建築師的評估及監督下,有利於國內階段性補強政策之 正向推廣。

四、CFRP 包覆層數對柱構件補強效益之影響

由 2018 年研究結果[1]顯示,比較 RNDC2L、RNDC4L 及 RNDC8L 等試體 試驗結果顯示,隨著 CFRP 貼片補強層數的增加,平均每層所能提升韌性的效率, 將呈現降低之趨勢,亦即若貼覆過多的 CFRP 貼片,對於提升柱構件韌性的效益, 將趨於一定值或效益增加有限,如圖 1.8 及圖 1.9 所示。

當 4 樓以下低矮 RC 建築(低軸力比 20%下),由若依韌性理論進行補強設計,補強後試體塑性轉角容量為 8.88%,可符合規範對柱構件應大於 3%要求,但 CFRP 補強對側向強度之貢獻有限。雖然,柱構件僅補強 2 層碳纖維,其塑性

轉角容量達 7.91%,但考量國內 CFRP 施工品質,以及難以掌握待補強柱實際現況等因素,建議在專業技師及建築師的評估與監督下,仍須參採韌性理論進行設計。

由試體破壞模式觀察[1],以 CFRP 貼片進行韌性補強,可將非韌性配筋(橫 向鋼筋量不足者)柱試體原屬剪力控制之破壞模式,轉為於柱端之撓曲破壞主控。 矩形 RC 柱試體之隅角部,採凸角半徑為3公分之導角,當 RC 柱試體達極限變 形時,碳纖維布並未發生因角隅應力集中而斷裂。且沿碳纖維方向之圍束,施做 20 公分的搭接長度,亦未發現碳纖維搭接不足之破壞。

五、CFRP 包覆方向對於柱構件補強效益之影響

由 2019 年研究結果[2]顯示,於水平向貼覆碳纖維貼片,可提供桂構件混凝 土有較佳的圍束效果,因此對韌性補強效益的提升,明顯優於採垂直向之貼覆方 式。國內對於 RC 柱以 CFRP 貼片補強工法之實務,常見先垂直向再水平向混貼 工法的補強效益,並未優於均以水平向貼覆的方式。比較 NDCHH 與 NDCVH 試驗結果顯示[2],當試體同樣貼覆 2 層 CFRP 貼片,若 2 層均為水平方向補強, 較 1 層垂直 1 層水平方向混貼者,其塑性轉角能力可提升 27%,最大側力強度 約略增加 3.5%,故建議 CFRP 貼片應採水平方向施工,如圖 1.10E 所示。

RC 柱斷面之角隅部,採凸角半徑為3公分以上之圓弧導角,當 RC 柱達極 限破壞時,CFRP 貼片並未過早發生因角隅應力集中之斷裂。並且沿 CFRP 纖維 方向採 20 公分以上的搭接長度,以及沿非 CFRP 纖維方向採 10 公分的搭接,亦 未發現因纖維搭接長度不足之破壞。

六、以 CFRP 包覆混凝土圓柱試體之高溫受力行為

由碳纖維複合材料於受高溫後的平板拉伸試驗相關研究顯示[21],當碳纖維 複合材料試片達400℃的火害溫度後,其單向拉伸強度下降為原未受火害試片強 度的 60.58%,而其彈性模數則降低 82.58%。另由碳纖維複合材料包覆之混凝土 圓柱試體,受當火害溫度到達 400℃時,圓柱試體抗壓強度將明顯下降,且與同 樣受 400℃火害溫度純混凝土圓柱試體的抗壓強度相近,由此可知此時碳纖維複 合材料的圍束能力,已近乎不存在。同時,可觀察當火害溫度達 400℃後,包覆 於圓柱試體周圍碳纖維布的搭疊接處,已可輕易撕開,且環氧樹酯的膠結作用, 已幾乎完全喪失。

再由另有關包覆一層碳纖維貼片混凝土圓柱試體,分別於常溫(25℃),以 及400℃與500℃火害延時 30 分鐘後,軸壓承載行為研究結果顯示[23],當圓 柱試體於常溫時,經包覆碳纖維混凝土圓柱試體之抗壓強度,可提升為純混凝土 圓柱試體之 169.10%,亦即包覆碳纖維混凝土圓柱試體之抗壓強度百分比為 169.10%。經包覆碳纖維混凝土圓柱試體於 400℃火害延時後,試體抗壓強度百 分比為 109.28%,已接近常溫下純混凝土圓柱試體之抗壓強度。當 500℃火害延 時後,試體抗壓強度百分比已降為 90.66%,可觀察包覆碳纖維對混凝土圓柱試 體之補強效果,隨著火害延時溫度的提高,試體抗壓強度也就越低,碳纖維的圍 束效果,愈不明顯。

七、塗有防火漆之碳纖維包覆混凝土圓柱試體火害後承載行為

防火漆常見由壓克力樹脂、特殊顏料及添加劑配製而成,當防火漆遇200℃ 以上高溫時,漆膜會迅速膨脹,而形成類似海綿且發泡狀的隔熱層,進而降低防 火漆內側結構體溫度的上升速度。由塗刷有3層及6層防火漆的包覆一層碳纖維 貼片混凝土圓柱試體,分別於400℃、500℃與600℃火害延時30分鐘後,軸壓 承載行為研究結果顯示[23]:

(一)塗刷3層防火漆之包覆碳纖維混凝土圓柱試體,於400℃火害延時30分
鐘後,試體抗壓強度百分比(與純混凝土圓柱試體抗壓強度之比)為
109.29%,接近於常溫下純混凝土圓柱試體之抗壓強度。於500℃火害延

時後,試體抗壓強度百分比降為90.90%;於600℃火害延時後,試體抗壓 強度百分比降為69.70%。可觀察到塗刷3層防火漆包覆碳纖維混凝土圓 柱試體之補強及火害防護效果,並不明顯。

(二)塗刷6層防火漆之包覆碳纖維混凝土圓柱試體,於400℃火害延時30分 鐘後,試體抗壓強度百分比(與純混凝土圓柱試體抗壓強度之比)為 147.91%,只有稍微降低而已,並接近於常溫下純混凝土圓柱試體之抗壓 強度。於500℃火害延時後,試體抗壓強度百分比降為114.29%;於600 ℃火害延時後,試體抗壓強度百分比降為96.88%;於700℃火害延時後, 試體抗壓強度百分比降為71.31%。可觀察塗刷6層防火漆包覆碳纖維混 凝土圓柱試體,當火害延時溫度向上來到500℃、600℃與700℃時,隨 著火害延時溫度的增加,試體抗壓強度百分比開始逐漸降低,亦即防火漆 的火害保護效果越來越差,而導致碳纖維的圍來效果也越來越低。

八、以 CFRP 包覆 RC 構件高溫延時後承載行為

以 CFRP 包覆補強鋼筋混凝土矩形之梁試體,在高溫延時後,所進行四點抗 彎承載試驗研究[22], RC 梁試體尺寸為 150×20×15 cm,並以 CFRP 單向 U 型貼 覆於試體兩側及底面。研究顯示[22]當高溫延時溫度為 450℃時,CFRP 貼覆補 強效果(試驗極限載重能力)將逐漸下降。高溫延時溫度為 550℃時,因環氧樹 脂黏著材料已失去黏結力,使得補強效果完全喪失。於 650℃時,環氧樹脂因溫 度過高而完全消失。

九、鋼筋混凝土柱的防火性能規定

依據建築技術規則建築設計施工編第1條建築技術用語之定義,所謂「防火 時效」係指建築物主要結構構件、防火設備及防火區劃構造,遭受火災時可耐火 之時間。而建築物之防火,則依建築設計施工編第70條規定,防火構造之建築 物,其主要構造之柱、樑、承重牆壁、樓地板及屋頂,應具有表 1.2 規定之防火 時效。而本研究討論主體為「低矮」型鋼筋混凝土造建築物之柱,屬於樓高為 4 層樓以下之建築物,因此依上開規定不超過四層各樓層之柱構造,應具有一小時 以上的防火時效。

依建築技術規則建築設計施工編第73條第2款柱構造具有一小時以上防火 時效之規定為:(一)鋼筋混凝土造、鋼骨鋼筋混凝土造或鋼骨混凝土造。(二)鋼 骨造而覆以鐵絲網水泥粉刷其厚度在四公分以上(使用輕骨材時得為三公分) 或覆以磚、石或水泥空心磚,其厚度在五公分以上者。(三)其他經中央主管建 築機關認可具有同等以上之防火性能者。而有關防火時效之判定,係依 CNS 12514「建築物構造構件耐火試驗法」第一部一般要求事項及第七部柱特定要求 之規定,其中柱的耐火性能應依 CNS 12514-1 之「承重能力」基準判定。承載能 力為試體在試驗過程中,維持支承試驗載重能力所經過的時間。試驗載重的支承 能力,以變形量及變形速率兩者決定。若柱試體(軸向承載構件)量測結果超過以 下性能基準時,則視為破壞。其中 h 為試體初始高度(mm)。

(一) 最大軸向壓縮量(變形量,mm), $C = \frac{h}{100}$

(二) 最大軸向壓縮速率(變形速率,mm/min), $\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000}$

由於本研究柱試體為鋼筋混凝土造,所以已滿足具有一小時以上防火時效之 規定,且柱構件防火時效之判定,係由軸向加載之承重能力(或結構性能)而得。 但是,補強柱構件所使用的碳纖維貼片,主要目的為提升柱構件承受水平向地震 之能力,並不影響柱構件之防火時效。縱使環氧樹脂複合碳纖維貼片之不耐高溫 性質,一直為業界所質疑,但按建築技術規則建築設計施工編之規定,包覆補強 於柱構件之碳纖維貼片,是不須特別進行防火包覆或塗以防火被覆材,國內一般 柱構件碳纖維補強工程實務之標準圖,多僅僅建議採以二公分之水泥砂漿粉光層, 或未特別註明表面處理方式。 當鋼筋混凝土建築物遭受火災後,由於高溫火害將可能造成結構構件的損壞 及構件、材料力學行為的改變,所以受火害後之建築物,是否能夠繼續使用,或 者必須經補強修復後恢復使用,均須透過專業技術人員所進行的火害安全鑑定與 評估等程序後,方可決定。同樣地,於火災後以碳纖維貼片進行補強的鋼筋混凝 土建築物,也需進行火害安全鑑定,並非僅針對使用碳纖維補強的建築物。

第三節 研究方法與進度說明

本案研究將透過以下階段進行,包含文獻蒐集與分析、試體設計、試體製作、 載重試驗、分析試驗結果及期末報告撰寫,相關預定研究進度之規劃,如表 1.1 所示,研究流程如圖 1.6 所示。

一、文獻蒐集與分析

國內常見以碳纖維複合材料(CFRP),應用補強橋樑及建築構件。當碳纖維 與基材成束為CFRP 束之後,利用編織技術將其製作為碳纖維布匹組織,再以碳 纖維布逐層包覆、黏貼於待補強之建築構件上,以增加結構構件之韌性及強度。 本研究將蒐集國內、外於CFRP 包覆柱補強研究之文獻資料,藉以瞭解各文獻的 試體設計規劃,並結合國內補強工法之設計實務,以為本研究試體設計、試驗規 劃及數據分析之參採。

二、試體設計

本研究參採國內屋齡約20年以上,樓高4樓以下,典型騎樓式建築底層柱 之現況,並規劃進行4組RC柱試體之試驗,分別為NDN、NDR、NDC及NDRC 等4組試體。鋼筋混凝土柱試體橫斷面為50公分x30公分,所有柱試體內部橫 向鋼筋之配置,中心間距皆為20公分,且於橫向鋼筋端部位並未設置135度之 耐震彎鉤。試驗室體加載軸壓力,固定為0.2,並為單曲率變形之反覆載重試驗, 以瞭解4組不同類型包覆CFRP貼片、受損補修後或前項情形組合鋼筋混凝土柱 試體之耐震行能或修補、CFRP補強之效益。

三、試體製作

本研究相關鋼筋混凝土柱試體之製作,將分為4個階段進行,目前進行至第 2階段試體下部基座之鋼筋綁紮:

- 第1階段:(試體採購作業)業於109年6月底進行式體採購之作業,係於 109年6月20日首次上網辦理公開招標,因為答開標法定家數 而流標;嗣後於109年7月9日辦理公告,遂於109年7月15 日決標,歷經2次開標作業。
- 第2階段:(試體下部基座之放樣與製作) 鋼筋混凝土柱試體於 109 年7月 24 日開始進場施作,試體下部基座於 109 年7月 26 日放樣,109 年7月 31 日開始綁紮下部基座及上部 RC 柱之鋼筋,109 年8

月7日模板組立,109年8月10日完成灌漿施工。

- 第3階段:(上部 RC 柱試體應變計施工)於109年8月11日完成應變計之 黏貼施工。
- 第4階段:(上部 RC 柱試體製作)於109年8月18日進行上部柱試體橫向 鋼筋之調整及封模,並於109年8月19日進行灌漿,混凝土28 天龄期到達日預計為109年9月15日,並於109年8月26日辦 理驗收。

本研究亦將進行鋼筋與混凝土等材料之基本物性試驗,其中混凝土圓柱試體 之抗壓強度試驗,需記錄28天齡期抗壓強度,以及各鋼筋混凝土柱試體於實際 試驗當日之抗壓強度。鋼筋拉伸試驗部分,係要求各種型號與強度種類之鋼筋, 應儘量為同一批號之料源,所以各種型號與強度種類鋼筋,僅規劃進行1組拉伸 試驗。

四、載重試驗

載重試驗部分,NDN、NDR、NDC及NDRC等鋼筋混凝土柱試體,其軸壓 力均定載為0.2,同時進行單曲率反覆水平向反覆加載,用以模擬老舊低矮鋼筋 混凝土建築底樓層(一樓)之非韌性配筋RC柱,並建立柱試體於水平向受力及 變位關係曲線,藉以瞭解柱試體之受力行為。

五、試驗結果分析與探討

藉由矩形鋼僅混凝土柱試體之試驗,並透過對加載致動器的控制軌跡,以及 外掛位移計及黏貼於試體內部鋼筋應變計等所量得之數據,進行試驗結果分析與 探討,以瞭解非韌性配筋矩形鋼筋混凝土柱試體,在 0.2 A_g f_c 定載軸壓力及水平 向反覆載重試驗下,分別於未補強、進行 CFRP 補強、預裂縫補修後及縫補修 後再補強等不同條件下,藉以驗證及觀察鋼筋混凝土柱試體於受損補修後或未受 損等情形下,對以 CFRP 補強鋼筋混凝土柱試體耐震效益的影響,進而確認以往 CFRP 包覆補強研究建議設計方法之合理性。

六、報告撰寫

本研究預計分2次提出報告,第1次於109年8月4日提出期中報告,目的 在說明研究過程與進度;第2次於109年11月26日提出期末報告並進行審查。

第四節 研究目的

由於碳纖維(CFRP)貼片補強工法,具有施工容易、快速、不佔建築空間、 載重輕與價格相對較低等優勢,故可提供快速或局部性補強措施的選擇。按以往 包覆 CFRP 鋼筋混凝土柱試體研究結果[21,22]顯示,CFRP 包覆補強工法,可有 效於提升鋼筋混凝土柱塑性轉鉸的韌性,但對柱試體側向強度之提升有限。對於 低矮鋼筋混凝土建築物之柱構件,若採用「韌性」理論進行 CFRP 補強設計及施 作,柱構件塑性轉鉸之變形能力,可滿足相關設計技術規範對於塑性轉鉸能力需 達 3%之要求。另對於矩形鋼筋混凝土柱構件橫斷面四周的角隅處,必須預先打 磨為半徑大於 3 公分的圓弧角,以避免鋼筋混凝土柱斷面角隅處所貼覆 CFRP 貼 片,因斷面應力集中而發生過早之破壞。CFRP 貼片沿纖維方向之搭接長度,建 議應不小於 20 公分,而沿非纖維方向之搭接長度,則建議大於 10 公分,以確保 CFRP 貼片於愛力時,不致過早發生於 CFRP 貼片於搭接處之破壞,進而確保 CFRP 補強工法對鋼筋混凝土柱耐震性能之提升,如圖 1.11 所示。

然而,先前研究[1,2]實驗試體之規劃,係假設待補強鋼筋混凝土柱構件均未 存有受損開裂之狀況,然而在補強實務上,實際之鋼筋混凝土柱構件,卻常存有 既有嚴重程度不一之損傷,而且既有文獻亦少見相關探討,因此為釐清相關柱構 件存有之開裂損傷,經補修後再進行 CFRP 貼片包覆補強效益之影響,以及先前 鋼筋混凝土柱以 CFRP 補強研究成果之適用性,本研究將透過結構試驗驗證之, 俾提升 CFRP 補強設計之合理性。

本研究共規劃 NDN、NDR、NDC 及 NDRC 等 4 組鋼筋混凝土柱試體。其 中 NDN 試體為未受損典型非韌性矩形鋼筋混凝土柱試體; NDR 試體為將原未受 損試體先進行層間變位角 1.0%之加載,使柱試體先經預推拉受損,產生輕微裂 縫,再以環氧樹脂進行裂縫灌注之補修,目的為試圖將鋼筋混凝土柱試體,修補 至接近於未受損之狀況; NDC 試體係於鋼筋混凝土柱試體外側沿水平方向貼覆 2 層 CFRP 貼片; NDRC 試體則與 NDR 試體相同,只是於柱試體完成補修後, 再於柱試體外側沿水平方向貼覆 2 層 CFRP 貼片。

本研究所有4組柱試體於鋼筋混凝土部分斷面尺寸及配筋應相同,試驗前, NDN 及 NDC 試體均無任何裂縫損傷, NDR 及 NDRC 試體預裂縫均完成補修。 藉由本研究之結構試驗,釐清未受損及受損但完成裂縫補修之鋼筋混凝土柱試體, 其於以 CFRP 貼覆補強後,對於 RC 柱耐震性能之影響。同時,亦驗證非韌性 RC 柱之受損裂縫,若經環氧樹脂之灌注補修,對於鋼筋混凝土柱試體使用性回 復(彈性勁度及裂縫發展)之影響。

第五節 預期成果

- 一、釐清未受損及受損但完成裂縫補修之鋼筋混凝土柱試體,在以CFRP貼覆補 強後,對於RC柱耐震性能之影響,確認以往CFRP包覆補強研究建議設計 方法之合理性。
- 二、驗證非韌性 RC 柱之受損裂縫,若經環氧樹脂之灌注補修後,對於柱試體使 用性回復(彈性勁度及裂縫發展)之影響。
| 月次 | 第一 | 第二 | 第三 | 第四 | 第五 | 第六 | 第七 | 第八 | 第九 | 第十 | 第十 | 第十二 | 備 |
|--|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---------|
| 工作項目 | 月 | 月 | 月 | 月 | 月 | 月 | 月 | 月 | 月 | 月 | 月 | 一月 | 註 |
| 資料搜集及整理 | | | | | | | | | | | | | 2/10 期初 |
| 試體設計 | | | | | | | | | | | | | |
| 試體招標、製作、養
護與驗收 | | | | | | | | | | | | | |
| 材料機械性質試驗 | | | | | | | | | | | | | |
| 柱試體反覆載重試
驗 | | | | | | | | | | | | | |
| 試驗數據整理分析 | | | | | | | | | | | | | |
| 報告撰寫 | | | | | | | | | | | | | |
| 期中報告 | | | | | | | | * | | | | | 8/7 |
| 期末報告 | | | | | | | | | | | * | | |
| 研究進度百分比 | 4 | 8 | 16 | 24 | 28 | 36 | 44 | 56 | 72 | 80 | 92 | 100 | |
| | 第1季:期初審查(2/10) | | | | | | | | | | | | |
| 本拉明 | 第2季: 試體採購決標(7/15) | | | | | | | | | | | | |
| 旦似品 | 第3季:期中報告審查(8/4) | | | | | | | | | | | | |
| | 第4季:期末報告審查(11/26) | | | | | | | | | | | | |
| 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迄日期。 | | | | | | | | | | | | | |
| 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。 | | | | | | | | | | | | | |
| 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。 | | | | | | | | | | | | | |

表 1.1 研究進度規劃

層數 主要構造部分	自頂層起算不超 過四層之各樓層	自頂層起算超過 第四層至第十四 層之各樓層	自頂層起算第十五 層以上之各樓層					
承重牆壁	一小時	一小時	二小時					
樑	一小時	二小時	三小時					
柱	一小時	二小時	三小時					
樓地板	一小時	二小時	二小時					
屋頂	半小時							
(一) 屋頂突出物未達計算層樓面積者,其防火時效應與頂層同。								
(二) 本表所指之層數包括地下層數。								

表 1.2 防火構造建築物主要構造防火時效規定

(資料來源:建築技術規則建築設計施工編第70條)



圖 1.1 纖維材料與鋼板之應力與應變關係曲線圖

(資料來源:參考書目[5])



(b)碳纖維布連續成捲且可 剪切



(資料來源:參考書目[3])







(資料來源:參考書目[7])



圖 1.5 柱構件之角隅因碳纖維布應力集中致使破壞

(資料來源:參考書目[11])



圖 1.6 研究進行之流程圖

(資料來源:本研究製作)



圖 1.7 典型沿街店舖式住宅平面示意圖

(資料來源:參考書目[12])



圖 1.8 CFRP 貼片包覆層數與柱構件塑角韌性之關係

(資料來源:參考書目[1])



圖 1.9 CFRP 不同包覆層數之強度包絡線

(資料來源:參考書目[1])



圖 1.10 試體 NDCHH 與試體 NDCVH 強度包絡線比較 (資料來源:參考書目[2])



圖 1.11 CFRP 貼片之搭接細部

(資料來源:參考書目[2])

第二章 試體計畫

第一節 試體設計

國內早期老舊低矮型鋼筋混凝土建築物底樓層之桂構件,多屬橫向箍筋量不 足及箍筋端部未設置耐震彎鉤之非韌性配筋柱,而本研究所謂「低矮」型之建築 物,其樓高定義為4層樓以下之建築物,所以縱使是位於建築物一樓之柱構件, 其斷面承受之軸力比,多為20%以下,故本研究所假設柱斷面軸力比為20%, 亦即斷面軸壓力設為0.2 。本研究所謂「非韌性配筋」柱,主要具有以下特性, 首為未配置足夠之橫向箍筋,其次是柱構件箍筋縱向間距過大、柱斷面未配置內 繫筋,以及外橫向箍筋端部僅為90度彎鉤,而未採用135度之耐震彎鉤,進而 造成對柱構件內混凝土之圍束力不足,導致柱構件無法發揮足夠之韌性行為,如 圖2.1 及圖 2.2 所示。

非韌性配筋柱在未設置內繫筋的情況下,相關研究[11]顯示:矩形 RC 柱構 件斷面長寬比較大,或者是主筋間距較大之時,斷面外箍筋對於柱內部核心混凝 土的圍束貢獻,恐將不足,如圖 2.8 所示。雖然,有研究建議進行 CFRP 貼覆補 強之時,可再採用碳纖維錨栓(如圖 2.8 及圖 2.9 所示),以抑制柱構件受地震力 之時,過早發生面外鼓出之破壞,並藉以提升對柱內混凝土的圍束效益,如圖 2.8 所示。但是,考量國內低矮建築物多未設置管道間,因此此類建築物部分外 柱之內部,除了一般水電管之外,常設有管徑更大的雨水排放水管,因此若再於 柱構件水平向鑽孔施做碳纖維錨栓,反而又須面對柱內滲漏水的問題,再由國內 CFRP 補強工程實務觀之,亦少採用此種碳纖維錨栓,因此本研究亦未將碳纖維 錨栓之設置納入探討。

由先前實驗研究顯示[1],若僅補強2層CFRP貼片,仍可明顯觀察出韌性 效益之提升,並建議於柱構件之全長,均以CFRP貼片包覆,以避免柱構件於加

33

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究

載過程中,在非預期位置發生破壞,如圖 2.10 所示。研究證實鋼筋混凝土柱斷 面採取研磨為半徑 3 公分之圓角,以及沿碳纖維方向採 20 公分的搭接長度(如圖 2.3 所示),可避免於外層碳纖維貼片,發生非預期之破壞[1],如圖 2.10 所示。

本案採用之碳纖維布,將延續先前研究採用每平方公尺 300 公克重之單向碳 纖維布,其標稱抗拉彈性係數為每平方公厘 23,500 公斤。囿限研究費用考量, 本研究僅規劃進行於「弱軸」方向之側向加載。

本研究共規劃4組屬單曲率破壞之單柱試體,試體名稱分別為試體NDN、 NDR、NDC及NDRC等4組鋼筋混凝土柱試體,詳如表2.3所示。為便於本研 究各試體試驗結果之分析及比對,設定所有柱試體橫斷面為50公分x30公分, 斷面的4個角隅處,也預製為半徑3公分之圓弧角;橫向鋼筋端部位均為90度 之彎鉤,沿柱試體長度方向橫向鋼筋之中心間距,皆為20公分,以模擬非韌性 配筋。

試體 NDN 為非韌性配筋柱,其斷面尺寸、橫向箍筋量及箍筋端部彎鉤角度 之選擇,主要以模擬國內典型老舊低矮型鋼筋混凝土建築物底部樓層柱之配筋方 式及斷面尺寸。試體名稱的「ND」二字,表示為「非韌性」,及英文 Non-ductility 的縮寫,即表示為非韌性配筋的柱試體,其後的「N」表示並未貼覆 CFRP,以 及未存有受損裂縫之意,亦即「NDN」試體表示未受損之非韌性配筋柱試體。

NDC與NDN等2個試體,其鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、斷面形狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計,惟NDC試體係於柱試體 混凝土部分硬固後,再於其外圍以CFRP包覆,進行水平向圍束補強,且未存有 受損裂縫。NDC試體名稱的「ND」二字,亦為「非韌性」之意。隨後之字母「C」, 為CFRP之縮寫,因此「NDC」即「ND」-「C」之組合,表示採用2層水平向 CFRP貼片包覆之非韌性配筋柱試體,CFRP貼片細部施做方式,如圖2.3所示。

NDR 與 NDN 等 2 個試體,其鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、斷面形狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計,惟先將 NDR 試體以位移

控制進行水平向加載,其層間變位角分別控制由 0.25 %、0.5 %、0.75 %及 1.0% 等 4 個位移控制行程,每個控制行程進行 3 個迴圈,最後回到零位移位置,使柱 試體經預載受損並產生裂縫,再以高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌 注之補修,目的為試圖將鋼筋混凝土柱試體,修補至未受損之狀況,如圖 2.D 所 示。NDR 試體名稱的「ND」二字,亦為「非韌性」之意。隨後之字母「R」,為 Repair 之縮寫,因此「NDR」即「ND」-「R」之組合,表示具 1.0% 間變位角之 受損裂縫,但完成以環氧樹脂灌注補修之非韌性配筋柱試體。

NDRC 與 NDR 等 2 個試體,其鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、斷面形狀、 鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計,且同樣先將試體以位移 控制進行水平向加載,其層間變位角分別控制由 0.25 %、0.5 %、0.75 %及 1.0% 等 4 個位移控制行程,每個控制行程進行 3 個迴圈,最後回到零位移位置,使柱 試體預先受損並產生裂縫,再以高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌注 之補修。NDR 試體名稱的「ND」二字,為「非韌性」之意。緊接之字母「R」, 同樣為 Repair 之縮寫。最後之字母「C」,亦為 CFRP 之縮寫。因此「NDRC」即 「ND」-「R」-「C」之組合,表示具 1.0% 間變位角之受損裂縫,先以環氧樹脂 灌注裂縫完成補修,再以 2 層水平向 CFRP 貼片包覆之非韌性配筋柱試體。

35

2.1.1 試體 NDN

本研究參考 Sezen[12]所蒐集之典型老舊 RC 建築柱試體資料,以作為矩形 非韌性柱試體 ND 之設計參數依據,試體 ND 主要選定以貼近國內非韌性矩形柱 試體之典型態樣,同時亦參考歐显辰[13]補強前試體之設計參數,其試體源於該 研究所歸納之典型國內低矮 RC 建築柱之態樣,如混凝土設計抗壓強度 fc'=21 MPa。橫向鋼筋多選擇 D10(#3)至 D13(#4)之尺寸,規格為 SD280,縱向鋼筋多 選擇 D19(#6)至 D36(#11)之尺寸,規格為 SD420。樓層高度大約介於 3.3 m 到 3.8 m 之間,一樓矩形柱斷面寬度大約介於 30 cm 至 45 cm 之間,深度約介於 40 cm 至 80 cm 之間等,但其所歸納之柱構件,並非均屬於本研究所擬探討之老舊低矮 型 RC 建築。林敏郎[11]則針對屋齡較高的老舊低矮型 RC 建築柱,規劃其研究 之試體,此試體皆屬非韌性配筋之斷面,較符合本研究試體設計之需求。

整體而言,由於 Sezen[12]柱試體資料由於數量較多,可用於檢核本研究試 體 NDN 之規劃結果,是否超出一般老舊 RC 建築柱之範圍,但由於其多屬國外 型式之試體,未必符合國內低矮 RC 建築柱之態樣。因此本研究柱試體 NDN 之 斷面尺寸、縱向鋼筋強度與橫向鋼筋強度、剪力跨深比等參數,係參採歐昱辰[13] 試體於補強前之參數。而橫向鋼筋間距、箍筋端部彎鉤等配置細節,則參採林敏 郎[11]試體。前述 Sezen、歐昱辰、林敏郎,以及本研究試體 NDN 設計參數,列 於表 2.1。

另外,本研究試體混凝土抗壓強度fc'僅取 140 kgf/cm²,主要參考國內老舊校 舍建築結構耐震能力詳評之經驗[14],顯示台南市內 160 棟校舍普查混凝土鑽心 試體平均抗壓強度為 143 kgf/cm²,且最低強度為 91kgf/cm²[14,15]。試體 NDN 之設計,以及柱試體斷面之詳細尺寸,如圖 2.4 所示。柱試體橫向箍筋之端部, 均為 90 度彎鉤,全柱不配置內繫筋,橫向箍筋中心間距取 20 cm,以貼近及顯 示國內「典型」老舊低矮建築物柱構件之非韌性配筋方式。另綜評本所相關試驗 機的加載能量,以及國內建築物實務現況,選定本研究探討柱試體之斷面深度為

36

30 cm,寬度為 50 cm,以符合歷次震災調查報告所載老舊低矮型 RC 建築底層柱 常見之破壞型態,但是在斷面的 4 個角隅處,預製為半徑 3 公分的圓弧角,如圖 2.5 所示。因此,NDN 試體表示未受損之非韌性配筋柱試體。

2.1.2 試體 NDC

試體 NDC 與 NDN 均具有相同 RC 斷面及鋼筋配置,在試體 RC 斷面的 4 個角隅處,預先設置半徑為 3 公分之圓弧角,兩者差異在 NDC 試體外圍貼覆 2 層水平向 CFRP 貼片,以進行包覆補強。因此 NDC 試體表示採用 2 層水平向 CFRP 貼片包覆之非韌性配筋柱試體,如圖 2.4 及圖 2.5 所示。

考量柱試體耐震韌性之發揮,受橫向鋼筋量之影響,現行混凝土結構設計規 範[9]對柱構件矩形橫向鋼筋量之需求,規定如(式 2.1)所示,式中前者為圍束需 求,後者為韌性需求,前者旨在確保當柱構件保護層剝落後,核心混凝土仍有足 夠之側向圍束應力,使柱構件軸力強度得以維持。由於本研究柱試體斷面之橫向 鋼筋,係採非韌性配置,所提供橫向鋼筋量僅為現行規範要求之 20% $(A_{sh}/A_{sh,req} \cong 0.2)$,不足的圍束需求,考量透過以碳纖維貼附補強之方式來 彌補。

由既有研究結果顯示[1],為計算碳纖維布圍束所需之補強數量,可採林敏 即[11,16]所提之 CFRP 包覆圍束補強設計理論。首先將(式 2.1)中 f_{yt} 、 sb_c 移項可 得(式 2.2),在此假設 $\left[0.3\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)f'_c$, $0.09f'_c\right]_{max}$ 為柱構件核心混凝土圍束應力 需求為 f_{ce} ,其分別由既有橫向鋼筋提供之圍束應力 f_{ls} ,以及碳纖維布補強提供 之圍束應力 f_{lf} 提供,即 f_{ls} 以及 f_{lf} 之和應該要大於核心混凝土圍束應力需求 f_{ce} , 可得(式 2.4)。其中,橫向鋼筋提供之圍束應力 f_{ls} ,可依(式 2.5)計算,因此碳纖 維布補強須提供之圍束應力 f_{lf} ,將(式 2.4)代入(式 2.5)並移項可得(式 2.6)碳纖維 因碳纖維布為線性材料(如圖 1.1),故碳纖維布抗拉應力σf為其抗拉應變εf與 彈性模數Ef之乘積。假設碳纖維布厚度為tf,在S間距內碳纖維布水平向總圍束 力為2εfEftfS,其中乘以2倍,表示柱斷面兩側包覆之碳纖維布,如圖 2.6 所示。 因此將碳纖維布之總側向力均布於S間距內,可得其提供之圍束應力相當於 2εfEftf/b,得(式 2.7)之碳纖維布圍束補強之理論設計公式。利用(式 2.7)即可計 算碳纖維布所需厚度tf,再除上單層單向碳纖維布設計厚度tf0,最後可求得以碳 纖維布補強所需施做之層數n需求。

(式 2.7)之計算,尚須設定碳纖維設計應變 ε_f 以及彈性係數 E_f ,本研究參考 ACI 440.2R-08[17]之建議,將 ε_f 假定為 0.004,而彈性係數 E_f 則參考「CFRP 補 強混凝土結構物技術規範(草案)」[18]之建議,設為2.35×10⁶ kgf/cm²,透過此兩 項假設,即可計算碳纖維布所需施做厚度 t_f 。而碳纖維布所需層數,則可由所需 厚度 t_f 除上單層設計厚度 t_{f0} ,其中 t_{f0} 係根據碳纖維布規格而有所不同。表 2.2 所示,表中參考公共工程施工綱要規範中[19]規定之碳纖維布規格,本研究為與 先前研究比對,賡續選用碳纖維片規格為 FAW300 進行設計,並採用碳纖維布(不 含樹脂)之標稱設計厚度 t_{f0} 為 0.165 mm。

$$A_{sh} = \left[0.3sb_c \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} + 0.09sb_c \frac{f_c'}{f_{yt}} \right]_{max} \qquad (\not \exists 2.1)$$

$$\frac{A_{sh,}f_{yt}}{sb_c} = \left[0.3\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)f_c' \cdot 0.09f_c'\right]_{max} \qquad (\not{\rm st} \ 2.2)$$

$$f_{ce} = \left[0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) f_c', 0.09 f_c'\right]_{max}$$
 (£ 2.3)

$$f_{ls} + f_{lf} \ge f_{ce} \tag{(式 2.4)}$$

$$f_{ls} = \frac{A_{sh}f_{yh}}{sb_c} \tag{\pounds 2.5}$$

$$f_{lf} \ge \left[0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) f_c', 0.09 f_c' \right]_{max} - \frac{A_{sh} f_{yh}}{sb_c}$$
 (式 2.6)

$$\frac{2\varepsilon_f E_f t_f}{b} \ge \left[0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) f_c', 0.09 f_c'\right]_{max} - \frac{A_{sh} f_{yh}}{sb_c} \qquad (\not z.7)$$

2.1.3 試體 NDR

試體 NDR 與 NDN 等 2 試體鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、斷面形狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計。試體 NDR 係先以位移控制進行水平向加載,其層間變位角分別控制由 0.25 %、0.5 %、0.75 %及 1.0% 等4 個位移控制行程,每個控制行程進行 3 個迴圈,最後回到位移零之位置,使柱試體預先受損並產生裂縫,再以高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌注之補修,目的為試圖將鋼筋混凝土柱試體,修補至未受損之狀況。因此「NDR」 表示具 1.0% 間變位角之受損裂縫,但完成以環氧樹脂灌注補修之非韌性配筋柱 試體,如圖 2.11 所示。

2.1.4 試體 NDRC

試體 NDRC 與 NDR 等 2 個試體,其鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、斷面形 狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計,且同樣先將試體以 位移控制進行水平向加載,其層間變位角分別控制由 0.25%、0.5%、0.75%及 1.0%等 4 個位移控制行程,每個控制行程進行 3 個迴圈,最後回到零位移位置, 使柱試體預先受損並產生裂縫,再以高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓 灌注之補修。與 NDR 試體的差異,在於 NDRC 試體外圍再以 2 層水平向 CFRP 貼片包覆。因此 NDRC 試體表示具 1.0% 間變位角之受損裂縫,先以環氧樹脂灌 注裂縫完成補修,再以 2 層水平向 CFRP 貼片包覆之非韌性配筋柱試體。

39

第二節 試體製作

本研究4組試體之製作,計分為底座定平與試體放樣、基座施工、應變計黏 貼與試體上部柱身製作,各項製作程序詳述如下:

2.2.1 底座定平與試體放樣

依據採購須知補充說明圖說所需之鋼筋種類與尺寸,由鋼筋加工廠直接加工後,送抵本所材料實驗中心大型力學實驗室南側施工現場,如圖 2.16 所示。進行試體製作施工區之清理與整地,並確認試體之製作位置,以6分木夾板及 100 ×50×3 mm 之 C 型鋼組立底座,並定出水平,如圖 2.17 所示;再進行每組柱試體 製作之放樣,訂出底座 8 處直徑為 70 mm 材質為 PVC 預留管的位置。

2.2.2 基座施作

由於本研究試體之基座,係採直立方式施工,因此須先完成基座鋼筋籠之製 作,再將主筋綁紮於下基座鋼筋籠,此時必須特別注意要掌握縱向鋼筋的位置及 垂直度,必須利用水準尺進行檢核。基座鋼筋籠完成組立之後,於基座灌漿前須 預埋直徑為700 mm,中心間距為500 mm 的 PVC 管,此 PVC 管為試體於後續 安裝階段貫穿螺桿之用,基座側邊模板完成組立後,需再確認與固定 PVC 管的 設置位置,確認完成後澆置混凝土,如圖 2.16 至圖 2.22 所示。

2.2.3 應變計黏貼

為觀察及瞭解柱試體於加載過程中,縱向及橫向鋼筋應變之變化,係規劃於 柱試體下方塑性轉角發生區,分別於縱向與橫向鋼筋之適當位置,黏貼5mm之 金屬應變計。並於黏貼完成之應變計,塗抹防水覆膜膠,最後再以電器膠帶纏繞 保護,並要特別注意防止應變計發生非預期之拉扯損毀。

為降低試體於加載過程而造成對應變計之影響,每組柱試體應變計之訊號線 束,均由柱底部與基座之交界面,集中成束出線,每組應變計訊號線之規格長度 為3m。而在應變計收線時,應注意導線須沿著縱向鋼筋內緣或緊靠外箍筋下緣 走線,防止混凝土澆置或震動搗實之動作,致拉扯而使應變計損毀。為避免應變 計於灌漿或養護時水分進入成束訊號線之集線區,所有外露於柱試體外部之訊號 線,均利用塑膠袋包覆保護,如圖 2.23 至圖 2.24 所示。

2.2.4 試體上部柱身製作

下基座拆模後即可進行上部柱身之製作,此時需注意黏貼有應變計的箍筋, 必須放置於所規劃佈設應變計之位置,上部柱身鋼筋完成綁紮後,組立上部柱身 之模板,並於確認模板與訊號線束穩固後,澆置混凝土並完成試體混凝土部分之 製作,如圖 2.25 至圖 2.29 所示。

2.2.5 試體上部柱身碳纖維包覆補強

1.混凝土表面處理

混凝土表面不平整或有突出物,須修整處理。修復完工後之局部表面 高度差應控置於1mm以內,或修整1:10以下之斜面。

2.隅角部處理

為防止隅角部碳纖維貼片提早發生應力集中之破壞。隅角部凸角半徑,應大於3公分之圓弧角,若於凸出部分應以切割機或砂輪機將其削除,使 其平順;如於凹角部位時,則須使用樹脂砂漿填平,使其凹面平滑化,以 利碳纖維貼片貼覆及受力強度之發揮。

3.施工環境

(1)施工環境不可有塵土飛揚情形,以免污染未乾之環氧樹脂。

(2)如下雨、刮風、有霧或環境相對濕度高於85%時,不得施工,另有適 當防護措施者除外。

4.塗布底漆

- (1) 混凝土表面用含水率測濕計檢驗,含水率須低於8%。
- (2)於可使用時間內,一次拌和使用量。將底漆之主劑及硬化劑依所規定 配比置於拌和桶中,並使用手提電動攪拌機均勻混合,超過可使用時 間之材料,則不可使用。

(3) 底漆以毛刷滾輪均勻塗佈,底漆用量不得低於 0.4 kg/m²。

5.碳纖維貼片黏貼

- (1) 碳纖維布預先以剪刀或刀片,依所設計尺寸裁切。
- (2)施工面底漆以指觸乾燥確認,底漆施工超過一個星期以上時,應 以砂紙打毛。
- (3)將環氧樹脂之主劑及硬化劑依所規定配比置於拌和桶中,並使用電動 攪拌機均勻混合,超過可使用時間之材料,則不可使用。
- (4)環氧樹脂以毛刷滾輪平均塗佈,轉角部分要多塗,環氧樹脂用量不得低於 0.6 kg/m²。
- (5)單向碳纖維布黏貼於樹脂塗佈面後,以毛刷滾輪或橡皮刮刀順著纖維 方向推平,使樹脂浸透並去除氣泡。纖維(長向)方向之搭接長度須200 mm以上。
- (6)黏貼後放置 30 分鐘,如纖維有浮出或脫線情形發生時,以滾輪或橡 皮刮刀壓平修正。
- (7)單向碳纖維布表面於塗佈第2層環氧樹脂(塗於面層),以毛刷滾輪或 橡皮刮刀順著纖維方向推平,使碳纖維完全含浸於樹脂,環氧樹脂用 量不得低於0.4 kg/m²。
- (8)兩層以上碳纖維貼片相疊黏貼時,重覆(4)至(7)步驟,須等待前面一層 樹脂指觸乾燥後並經工程司確認後,方可施作下一層。

6.養護

- (1)碳纖維貼片補強施工後,為避免雨水、砂、灰塵等附著於上,可使用 塑膠布保護達24小時以上,並應注意盡量不要碰觸到施工面。
- (2)如平均氣溫為 20℃,養護期間為一週;如平均氣溫為 10℃,養護期間為兩週。

第三節 試驗裝置與測計安排

試體上方設有厚度為 15 mm 之鋼製頂板,頂板預留直徑為 250 mm 之圓孔, 以利試體由上而下灌漿之用,完成混凝土灌漿後,將鋼製頂板塞回圓孔並銲接固 定,再於混凝土澆置面與鋼頂板下緣間,以無收縮水泥填滿其空間,讓致動器施 加軸壓力時,將應力平均分佈於柱試體之頂端,避免應力集中傳遞而造成非預期 之破壞。本研究 RC 柱試體均採單軸應變計,用以記錄柱試體下部塑性鉸區內部 縱向鋼筋、外箍筋與 CFRP 表面等處之單向應變,單一柱試體內部縱向及橫向鋼 筋共設置 9 組應變計,包覆 CFRP 表面則設置 10 組應變計,詳如圖 2.13 所示; 外掛位移計則量測試體的位移量;試驗裝置有大型試驗構架、600 噸與 200 噸 油壓致動器,進行撓曲試驗,探討非韌性配筋柱與韌性配筋柱之撓曲行為,詳如 圖 2.14 所示。撓曲試驗中所採用的側向位移歷時圖,如圖 2.15 所示。本研究之 試驗流程為首先針對柱試體施加軸力(試驗過程中軸力維持不變),再以位移控制 模式(Displacement Control Mode)進行側向位移歷時,其中側向位移速率為 1 mm/sec。

項目		Sezen(2002)[12]]	林敏郎[9]	歐昱辰[13] (2016)	本研究試體 RND	
	最小值	最大值	平均值	(2009)	【試體補強前】		
a/d	2	4	3	2.89	<u>6.74</u>	<u>6.64</u>	
s/d	0.2	1.2	0.61	0.56	0.86	0.67	
$f_c'(\text{kgf/cm}^2)$	134	457	253	210	210	<u>140</u>	
f_{yl} (kgf/cm ²)	3304	5343	4148	4200	4200	4200	
$ ho_l$	1.0%	4.0%	2.3%	2.3%	3%	2.3%	
f_{yt} (kgf/cm ²)	3234	6609	4359	<u>2800</u>	<u>2800</u>	<u>2800</u>	
$ ho_t$	0.1%	0.7%	0.3%	0.1%	0.136%	0.143%	
$P/A_g f_c'$	0	0.6	0.2	0.2	0.20	0.2	

表 2.1 非韌性柱試體相關參數比較

※標示底線者,表示數據不在 Sezen(2002)所蒐集之 50 座老舊 RC 柱試體資料範圍內。a/d:剪力跨深比;s/d:橫向鋼筋間距與斷面 深度比; f'_c :混凝土抗壓強度; f_{yl} :縱向鋼筋降伏強度; ρ_l :縱向鋼筋比(= A_{sl}/bh); f_{yt} :橫向鋼筋降伏強度; ρ_t :橫向鋼筋比(= A_{sh}/b_cs); $P/A_a f'_c$:軸力比。

規格	FAW200	FAW300	測試方法	
單位面積纖維質量 (g/m ² /層)	≥200	≥300	CNS13062	
抗拉強度 (kgf/cm/層)	460 以上	690 以上	CNS13555	
設計厚度 (mm/層)	0.11	0.165		
伸長率 (%)	≥1.7		CNS 13555	
貼片幅寬 (cm)	40 或 50	40 或 50		

表 2.2 碳纖維布規格

(資料來源:參考書目[19])

			縱向鋼筋		横向鋼筋					
試體編號 斷面尺寸	斷面尺寸	となるの	鋼筋比 ρ_s	強度	鋼筋配置	鋼筋比p _s	強度	間距	閉合箍筋端	- CFRP - 層數
		<i>趟肋00重</i>	(%)	(MPa)		(%)	(MPa)	(mm)	部彎鉤	
NDN	- 500×300 1	500×300 12-D19(#6)		420	2-D10(#3)	0.143	280	200	90	0
NDC			2.3							2
NDR										4
NDRC										8

表 2.3 各柱試體斷面配筋及碳纖維包覆情形



圖 2.1 非韌性配筋柱橫向箍鋼筋間距過大之情形

(資料來源:李宏仁)



圖 2.2 非韌性配筋柱箍筋端部僅為 90 度彎鉤且柱內設有排水管

(資料來源:李宏仁)

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究



圖 2.3 RC 柱試體外部 CFRP 貼片以水平向之包覆方式

第二章 試體計畫



圖 2.4 試體 NDN 之設計圖

(資料來源:本研究製作)



圖 2.5 NDC 試體於補強前之柱試體斷面圖

(資料來源:本研究製作)



圖 2.6 s間距內碳纖維布與橫向鋼筋側向力

(資料來源:參考書目[16])



圖 2.7 底座製作與定平

(資料來源:本研究)



圖 2.8 矩形 RC 柱採碳纖維包覆補強及碳纖維錨栓之情形



A.單面錨固纖維錨栓



纖維螺桿

B.雙面錨固纖維錨栓

圖 2.9 碳纖維錨栓示意圖

(資料來源:[11])



 (a)包覆 CFRP 柱
 (b)未包覆 CFRP 柱

 圖 2.10 柱試體有(未)包覆 CFRP 可能影響破壞模式

(資料來源:[1])



圖 2.11 RC 受損柱採低壓灌注裂縫之施工圖

(資料來源:本研究)



圖 2.12 自加工廠完成加工送抵工作區之鋼筋

(資料來源:本研究)



(資料來源:本研究製作)

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究



(資料來源:本研究)

第二章 試體計畫



(資料來源:ACI-374.1-05 規範)



圖 2.16 底座鋼筋籠之組立

(資料來源:本研究)



圖 2.17 上部柱主筋之定位

(資料來源:本研究)
第二章 試體計畫



圖 2.18 底座預留未來供螺桿貫穿鎖固之 PVC 管 (資料來源:本研究)



圖 2.19 於試體底座預留便於吊裝作業之吊耳



圖 2.20 底座模板之組立



圖 2.21 底座混凝土浇置



圖 2.22 底座拆模後之情形



圖 2.23 柱試體應變計之黏貼



圖 2.24 應變計之黏貼與固定



圖 2.25 上部柱身鋼筋之組立



圖 2.26 模板之圓形導角



圖 2.27 上部柱身模板完成組立



圖 2.28 上部柱混凝土之浇置 (資料來源:本研究)



圖 2.29 上部柱混凝土之搗實



圖 2.30 混凝土澆置坍度試驗



圖 2.31 混凝土圓柱式體製作



圖 2.32 柱頂上部灌漿孔圓形蓋板之封板 (資料來源:本研究)



圖 2.33 應變計訊號線束之收線



圖 2.34 上部混凝土柱四周之導角 (資料來源:本研究)



圖 2.35 試體製作完成與養護情形現況

第一節 試驗結果與觀察

本研究共製作 4 組矩形 RC 柱試體,係利用本所材料實驗中心 大型力學實驗室的大型試驗構架(如圖 2.14),以及結合 600 噸(軸 向)與 200 噸(水平向)油壓致動器,進行 RC 柱試體承受軸力與 水平力之撓曲試驗。本章將分別說明各試體之試驗結果與觀察,並 嘗試比較矩形非韌性配筋 RC 柱試體 NDN,與存有開裂損傷之構件, 經修補後,再進行 CFRP 貼片包覆補強效益之影響,並比較先前未 存有裂縫補修之非韌性鋼筋混凝土柱,採 CFRP 補強相關研究成果 之差異性,本研究將透過結構試驗驗證之,俾瞭解 CFRP 補強設計 之合理性。

本研究 RC 柱試體鋼筋的機械性質及各實驗齡期混能土的抗壓 強度,詳如表 3.1 至表 3.6 所示。相關試驗設定細節,說明如下。 撓曲試驗所加載的軸力,約為柱試體理論軸力強度之 20%。實際強 度 P_0 ,係以 $P_0 = f'_c A_g$ 計算之, f'_c 為 28 天齡期混凝土圓柱試體之試驗 強度, A_g 為柱總斷面積。由表 3.3 得知,本研究實際試驗 f'_c 為 24.2 MPa, 而設計標稱強度為 13.7 MPa (140 kg/cm²),故實際強度為設計強度 之 1.77 倍。計算而得之施加軸力為 725 kN。

此外, 撓曲試驗中所採用的側向加載位移歷時, 如圖 2.15 所示。

本研究試體首先於柱試體之頂部,施加設定比率之軸力。試驗過程, 軸力控制值,將固定維持不變,當柱試體頂部軸力施加至目標值之 後,再依位移控制模式(Displacement Control Mode)加載之位移歷時, 其中側向加載位移控制之速率為1mm/sec。

本研究 RC 柱試體於撓曲試驗,對試驗彈性勁度、降伏位移及 極限位移等量化指標之決定,主要參採相關撓曲試驗研究之定義, 係由試體試驗之載重-位移包絡線求得,並據以探討 RC 柱試體之耐 震性能。RC 柱試體之彈性勁度 K,係由正向包絡線取原點與 $0.75H_{peak}^{+}$ 對應點連線之斜率,如圖 3.25 所示。降伏位移 δ_{y}^{+} 定義為 H_{peak}^{+} 除以 K。極限位移 δ_{u}^{+} 為強度下降段對應於 $0.85H_{peak}^{+}$ 之位移,若 第一迴圈包絡線下降段之試驗載重,並未低於 $0.85H_{peak}^{+}$ 之時,則取 包絡線之最大位移。試體試驗的塑性轉角 θ_{p} ,為極限位移與降伏位 移的差值除以試體高度 L,本研究相關試體試驗結果之強度與韌性 數據,如表 3.6所示。

3.1.1 試體 NDN

試體 NDN 混凝土的設計強度 fc 為 140 kgf/cm²,主要參考國內 老舊校舍建築於實地進行耐震詳評之鑽心經驗[14,15]。試體 NDN 之設計,如圖 2.5 所示,柱斷面橫向箍筋端部均為 90 度彎鉤,全柱 不配置內繫筋,橫向箍筋間距取 20cm,試體斷面深度為 30 cm,寬 度為 50 cm,以選取較接近於國內歷次震災調查報告,所載老舊低 矮型 RC 建築底層柱常見之破壞型態。惟本研究進行試體 NDN 之加 載試驗時,因水平向致動器之伺服閥發生故障,而導致產生瞬間 121 mm 之水平向位移,即約 7.3%的位移角,而造成試體 NDN 試驗發 生嚴重破壞(如所示圖 3.1 所示),因此試驗失效且無試驗紀錄。

3.1.2 試體 NDC

試體 NDC 為未受損典型非韌性矩形鋼筋混凝土柱試體,並於 鋼筋混凝土柱試體外側沿水平方向貼覆 2 層 CFRP 貼片,試體並未 先進行預推拉之輕微裂縫。

試體 NDC 在位移比於 0.25%時, 試體表面貼覆的 CFRP, 並未 觀察到有裂縫之產生。當位移比為-0.5%的時, 試體北側自底部往上 25 至 30 公分範圍, CFRP 表面出現微小水平裂縫。位移比達-0.75% 時, 試體北側自底部往上 25 至 30 公分範圍及 65 公分處之水平裂縫, 分別水平向延伸至試體東側及西北側角隅。接著當位移比達 1%時, 試體南側及東側自底部往上 25 至 30 公分範圍, 試體表面貼覆的 CFRP, 亦出現微小水平裂縫。接著位移比達 2.5%時, 試體北側自 底部往上約 5 公分處, CFRP 表面發生些微的面外鼓起,後續位移 比達 3.5%時, 試體南側接連出現許多微小水平向裂縫。位移比於 +3.5%時, 對應柱試體達最大承受的側力為+152.30 kN, 如表 3.6 所 示。接著當位移比達 7%時,試體南側表面貼覆的 CFRP,自底部往 上 0 至 60 公分範圍表面貼覆的 CFRP,均有多處水平向裂缝,並於 25 公分處有表面鼓起的現象,另北側自底部往上 0 至 70 公分處, 亦有多處明顯水平向裂缝,裂缝同時延伸至東側及西側面自底部往 上約 0 至 70 公分範圍。此時位移比於-7%時,對應柱試體達最大承 受的側力為-178.28 kN,如表 3.6 所示。後續位移比為 9%時,試體 南側自底部往上 0 至 30 公分範圍明顯鼓起,此時可清楚觀察到混凝 土層碎裂及部分表面 CFRP 貼片,發生纖維破斷。最後,在位移比 10%時,試體側向強度迅速降低,停止實驗。試體 NDC 西奧北側 2 側,於各階段位移比逐步破壞情形照片,如所示圖 3.2。位於東奧 南側 2 側,於各階段位移比逐步破壞情形照片,如所示圖 3.3。圖 3.4 為試體 NDC 於試驗結束之破壞照片。圖 3.5 與圖 3.6 顯示試體 NDC 的遲滯迴圖 (側力與位移歷時曲線)與強度包絡線。

72

鋼 筋 規 格	鋼 筋 種 類	降伏強度 f_y		抗拉強度 f_u		伸長率 %		拉降比		
		試驗值	平均值	試驗值	平均值	試驗值	平均值	試驗值	平均值	
D10	SD280	357	360	497	496	29	29.7	-	-	
		355		488		31		-		
		366		503		29		-		
		461		680		20		1.48		
D19	SD420W	463	462	680	679	19	19.3	1.47	1.47	
		462		678		19		1.47		
		444		645		15		1.45		
D25	SD420W	431	437	628	636	22	21.0	1.46	1.45	
		436		634		26		1.45	1	

表 3.1 鋼筋拉伸試驗結果彙整

單位:MPa

计跳伯品	造 平 口 扣	設計強度	28 天抗壓強度	28 天平均抗壓強度	
武 泪豆 邻田 幼江	<u> </u>	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
1			43.4		
2	2020/08/10	27	40.5	42.0	
3			42.0		

表 3.2 試體基礎 28 天齡期之圓柱試體抗壓強度

註:標準圓柱150×300 mm

计画伯品	法买口扣	設計強度	28 天抗壓強度	28 天平均抗壓強度	
武 泪豆 邻田 幼元	<u> </u>	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
1			24.3		
2	2019/07/19	14	24.1	24.1	
3			24.0		

表 3.3 各試體柱 28 天齡期之圓柱試體抗壓強度

註:標準圓柱150×300 mm

圆朴计雕护毕	旧锅上松棚	混凝土強度	平均混凝土強度(MPa)		
圆仕试脑绷痂	化炔工龄别	(MPa)			
1 28		24.3			
2	28	24.1	24.1		
3	28	24.0			
4	78	26.5			
5	78	25.8	26.3		
6	78	26.6			
7	82	25.7			
8	82	27.2	26.3		
9	82	26.0			
10	84	27.9			
11	84	27.5	27.2		
12	84	26.1			
	平均值		26.0		

表 3.4 各混凝土圓柱試體抗壓強度

表 3.5 各試體對應之強度齡期

試體	試驗日期	對應齡期
NDC	2020/11/05	78
NDR	2020/11/09	82
NDRC	2020/11/11	84

試體	H_{peak}^+	$\delta^+_{H_{peak}}$	H^{peak}	$\delta^{H_{peak}}$	δ_y^+	δ_y^-	δ_u^+	δ_u^-	θ_p^{+}	$ heta_p^-$	平均 θ_p
	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(%)
NDN*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NDR	153.77	39.5	-177.11	-52.8	20.8	-26.2	71.4	-72.8	3.07	-2.83	2.95
NDC	152.30	52.8	-178.28	-109.7	23.3	-29.6	124.2	-124.4	6.11	-5.74	5.93
NDRC	144.75	55.5	-204.67	-109.5	26.4	-24.8	145.3	-127.1	7.21	-6.20	6.70

表 3.6 各柱試體試驗結果之強度與韌性變化

*: 試體 NDN 因致動器設備故障, 致試驗機發生異常出力,造成試體非預期之破壞, 致試驗量測失效。



(a)試體東北側實際破壞情形



(b)試體西南側實際破壞情形

圖 3.1 試體 NDN 實際破壞情形照片



(a) $\theta = 0.25\%$

NDC

NDC N



(b) $\theta = -0.25\%$

NDC N NDC W NDC N NDC W rift 0.5 % Ispl. -8 mm cie 4

(c) $\theta = 0.5\%$





(e) $\theta = 0.75\%$

(f) $\theta = -0.75\%$





(g) $\theta = 1.0\%$





(i) $\theta = 1.25\%$





(k) $\theta = 1.5\%$

(1) $\theta = -1.5\%$





(m) $\theta = 1.75\%$





(o) $\theta = 2.0\%$





(q) $\theta = 2.5\%$

(r) $\theta = -2.5\%$





(s) $\theta = 3.0\%$





(u) $\theta = 3.5\%$





(w) $\theta = 4.0\%$

(x) $\theta = -4.0\%$





(y) $\theta = 4.5\%$





(aa) $\theta = 5.0\%$

(bb) $\theta = -5.0\%$



(cc) $\theta = 6.0\%$

(dd) $\theta = -6.0\%$





(ee) $\theta = 7.0\%$





(gg) $\theta = 8.0\%$





(ii) $\theta = 9.0\%$

(jj) $\theta = -9.0\%$





(kk) $\theta = 10.0\%$

(ll) 試驗結束

圖 3.2 試體 NDC 西與北 2 側於各位移比逐步破壞情形照片(續)



(a) $\theta = 0.25\%$





(c) $\theta = 0.5\%$



(d) $\theta = -0.5\%$



(e) $\theta = 0.75\%$

(f) $\theta = -0.75\%$





(g) $\theta = 1.0\%$

NDC S NDC E



(h) $\theta = -1.0\%$



(i) $\theta = 1.25\%$

Displ. 20 mm Cycle 13

1

(j) $\theta = -1.25\%$



(k) $\theta = 1.5\%$

(1) $\theta = -1.5\%$





(m) $\theta = 1.75\%$





(o) $\theta = 2.0\%$



(p) $\theta = -2.0\%$



(q) $\theta = 2.5\%$

(r) $\theta = -2.5\%$





(s) $\theta = 3.0\%$



(t) $\theta = -3.5\%$



(u) $\theta = 3.5\%$



(v) $\theta = -3.5\%$



(w) $\theta = 4.0\%$

(x) $\theta = -4.0\%$





(y) $\theta = 4.5\%$



NDC



(aa) $\theta = 5.0\%$

(bb) $\theta = -5.0\%$



(cc) $\theta = 6.0\%$

(dd) $\theta = -6.0\%$





(ee) $\theta = 7.0\%$





(gg) $\theta = 8.0\%$

(hh) $\theta = -8.0\%$



(ii) $\theta = 9.0\%$

(jj) $\theta = -9.0\%$





(kk) $\theta = 10.0\%$

(ll) 試驗結束

圖 3.3 試體 NDC 東與南 2 側於各位移比逐步破壞情形照片(續)



(a)試體 NDC 南側及西側之破壞情形



(b) 試體 NDC 北側及東側之破壞情形

圖 3.4 試體 NDC 於試驗結束之破壞情形



93

3.1.3 試體 NDR

試體 NDR 與試體 NDN 等 2 試體鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、 斷面形狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計。 試體 NDR 分為 2 個階段進行加載試驗。首先,第一階段,係先以 水平向位移控制進行水平及垂直向加載,其層間變位角分別控制由 0.25 %、0.5 %、0.75 %及 1.0% 等 4 個位移控制行程,每個控制行程 進行 3 個迴圈,最後回到水平力量零之位置,使柱試體預先受損並 產生裂縫。再以高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行低壓灌注之補修, 目的為試圖將鋼筋混凝土柱試體,修補至接近於未受損之狀況。

此階段之試體 NDR,按 ACI-374.1-05 規範之位移控制歷時,預 先由水平向推拉力,產生位移比 1%的損傷。過程中於位移比 0.25% 時,分別於試體東南側自底部往上 22 公分處及西南側自底部往上 45 公分處,試體表面混凝土開始出現微小水平撓曲裂縫。於位移比 0.5%時,北側自底部往上分別約 25、45 及 65 公分處,出現水平裂 縫並同時延伸至東北及西北側角隅;南側自底部往上分別約 3、15、 25、33、45 及 65 公分處,出現水平裂縫。在位移比達 0.75%時, 試體北側自底部往上約 5 及 38 公分處增加 2 條裂縫,原有裂縫則向 水平延伸及寬度加大;南側無新裂縫產生,但原有裂縫則向水平向 延伸及寬度加大。在位移比±1%,北側及南側均無明顯之新裂縫產 生,原有裂縫則持續向水平向延伸及寬度加大,此時對應試體 NDR
最大承受側力分別為 126.90 kN 及-108.76 kN,並終止加載,此時量 得最大裂縫寬度約為 0.12mm,小於 0.3mm,故柱試體損害程度屬 「災害後危險建築物緊急評估明細表」之 I 級(輕微裂縫),並採以 常溫硬化型環氧樹脂注入材,進行低壓灌注補修。試體 NDR 於西 北側於 1.0%位移比逐步破壞情形照片,如所示圖 3.7。位於東南側 於 1.0%位移比逐步破壞情形照片,如所示圖 3.8。圖 3.12 與圖 3.13 顯示試體 NDR 於 1.0%位移比的遲滯迴圈 (側力與位移歷時曲線) 與強度包絡線。

第二階段,俟環氧樹脂硬化後,重新按ACI-374.1-05規範之位 移控制歷時,進行水平向級垂直向加載試驗。由試驗過程可觀察, 經補修後之試體 NDR,在位移比 1.0%範圍內,補修前、後裂縫發 展之趨勢,其損傷狀況大致相似。當位移比達 1.25%時,於試體東 西2側均有微小剪力裂縫產生,在位移比 2%時,東西2側剪力裂 縫產生交錯的現象。位移比達 2.5%時,於東北側角隅處產生垂直裂 縫,此時對應柱試體最大承受側力為 153.77 kN。當位移比達 3.5% 時,東北側角隅些微剝落,此時對應柱試體最大承受側力為-177.11 kN。於位移比 5%時,試體東西2 側發生嚴重剪力破壞,導致強度 迅速降低,停止實驗。試體 NDR 西與北側 2 側,於各位移比逐步 破壞情形照片,如所示圖 3.9。位於東與南側 2 側,於各位移比逐

95

之破壞照片。圖 3.14 與圖 3.15 顯示試體 NDR 的遲滯迴圈 (側力與 位移歷時曲線)與強度包絡線。



(a) $\theta = 0.25\%$



(b) $\theta = -0.25\%$



(c) $\theta = 0.5\%$



(d) $\theta = -0.5\%$



(e) $\theta = 0.75\%$

(f) $\theta = -0.75\%$

圖 3.7 試體 NDR 模擬位移比 1% 損傷之西與北 2 側於各位移比逐步 破壞情形照片



(g) $\theta = 1.0\%$

(h) $\theta = -1.0\%$

圖 3.7 試體 NDR 模擬位移比 1% 損傷之西與北 2 側於各位移比逐步 破壞情形照片(續)



(i) $\theta = 0.25\%$



(j) $\theta = -0.25\%$



(k) $\theta = 0.5\%$



(1) $\theta = -0.5\%$



(m) $\theta = 0.75\%$

(n) $\theta = -0.75\%$

圖 3.8 試體 NDR 模擬位移比 1% 損傷之東與南 2 側於各位移比逐步 破壞情形照片



(o) $\theta = 1.0\%$

(p) $\theta = -1.0\%$

圖 3.8 試體 NDR 模擬位移比 1%損傷之東與南 2 側於各位移比逐步 破壞情形照片(續)



(q) $\theta = 0.25\%$





(s) $\theta = 0.5\%$





(u) $\theta = 0.75\%$

(v) $\theta = -0.75\%$





(w) $\theta = 1.0\%$





(y) $\theta = 1.25\%$





(aa) $\theta = 1.5\%$

(bb) $\theta = -1.5\%$





(cc) $\theta = 1.75\%$





(ee) $\theta = 2.0\%$





(gg) $\theta = 2.5\%$

(hh) $\theta = -2.5\%$





(ii) $\theta = 3.0\%$





(kk) $\theta = 3.5\%$





(mm) $\theta = 4.0\%$

(nn) $\theta = -4.0\%$





(oo) $\theta = 4.5\%$





(qq) $\theta = 5.0\%$



(rr) $\theta = -5.0\%$



(ss) 試驗結束

圖 3.9 試體 NDR 西與北 2 側於各位移比逐步破壞情形照片(續)





(a) $\theta = 0.25\%$





(c) $\theta = 0.5\%$



(d) $\theta = -0.5\%$



(e) $\theta = 0.75\%$

(f) $\theta = -0.75\%$





rift -1 % spl. -16 mm cle 10

(g) $\theta = 1.0\%$





(i) $\theta = 1.25\%$



(j) $\theta = -1.25\%$



(k) $\theta = 1.5\%$

(1) $\theta = -1.5\%$







(m) $\theta = 1.75\%$





(o) $\theta = 2.0\%$



(p) $\theta = -2.0\%$



(q) $\theta = 2.5\%$

(r) $\theta = -2.5\%$





(s) $\theta = 3.0\%$





(u) $\theta = 3.5\%$



(v) $\theta = -3.5\%$



(w) $\theta = 4.0\%$

(x) $\theta = -4.0\%$







(y) $\theta = 4.5\%$





(aa) $\theta = 5.0\%$



(bb) $\theta = -5.0\%$



(cc) 試驗結束

圖 3.10 試體 NDR 東與南 2 側於各位移比逐步破壞情形照片(續)



(a) 試體 NDR 南西側角隅發生 CFRP 貼片斷裂的情形



(b) 試體 NDR 北東側之破壞情形

圖 3.11 試體 NDR 於試驗結束之破壞情形







圖 3.15 試體 NDR 強度包絡線

3.1.4 試體 NDRC

NDRC與NDR等2個試體,其鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、 斷面形狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計。 試體NDRC亦分為2個階段進行加載試驗。首先,第一階段,係先 以水平向位移控制進行水平及垂直向加載,其層間變位角分別控制 由0.25%、0.5%、0.75%及1.0%等4個位移控制行程,每個控制 行程進行3個迴圈,最後回到水平力量零之位置,使柱試體預先受 損並產生裂縫。再以高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行低壓灌注之 補修,目的為試圖將鋼筋混凝土柱試體,修補至接近於未受損之狀 況。與NDR 試體的差異,在於NDRC 試體外圍再以2層水平向CFRP 貼片包覆。因此NDRC 試體表示具1.0%間變位角之受損裂縫,先 以環氧樹脂灌注裂縫完成補修,再以2層水平向CFRP 貼片包覆之 非韌性配筋柱試體,如圖2.4所示。

此階段之試體 NDRC,按 ACI-374.1-05 規範之位移控制歷時, 預先由水平向推拉力,產生位移比 1%的損傷。過程中,於位移比 0.25%時,位於西側自底部往上分別約 25、45 及 65 公分處,出現 水平裂縫並同時向北側延伸;南側自底部往上分別約 15、25、45 及 65 公分等處,亦有水平裂縫並同時延伸至東、西側相連。於位移 比 0.5%時,北側及南側均無觀察到新裂縫之產生,但原有裂縫則向

水平向延伸及寬度加大;但西側自底部往上分別約12公分處,開始 出現水平裂縫。位移比達 0.75%時,試體北側無新裂縫產生,但原 有裂縫則向水平向延伸及寬度加大;南側自底部往上約35公分處增 加1條裂縫,原有裂縫則向水平延伸及寬度加大;南側無新裂縫產 生,但原有裂縫則向水平向延伸及寬度加大;西側自底部往上分別 約12公分處之水平裂縫,開始向北側延伸。在位移比±1%,北側及 南側均無明顯之新裂縫產生,原有裂縫則持續向水平向延伸及寬度 加大。此時對應試體 NDRC 最大承受側力分別為 113.95 kN 及 -122.88 kN, 並終止加載, 此時量得最大裂縫寬度約為 0.14 公分, 小於 0.3 公分,故柱試體損害程度屬「災害後危險建築物緊急評估 明細表」之 I級 (輕微裂縫),並採以常溫硬化型環氧樹脂注入材, 進行低壓灌注補修。試體 NDRC 於西北側於 1.0% 位移比逐步破壞 情形照片,如所示圖 3.1。位於東南側於 1.0% 位移比逐步破壞情形 照片,如所示圖 3.2。圖 3.4 與圖 3.5 顯示試體 NDRC 於 1.0% 位移 比的遲滯迴圈(側力與位移歷時曲線)與強度包絡線。

第二階段,俟環氧樹脂硬化後,在試體 NDRC 外圍再以2層水 平向 CFRP 貼片包覆。重新按 ACI-374.1-05 規範之位移控制歷時, 進行水平向級垂直向加載試驗。由試驗過程可觀察,經補修及 CFRP 補強後之試體 NDRC,於位移比 0.25%時,均未產生裂縫。當位移 比達 0.5%時,於試體南側自底部往上 13 公分處有微小撓曲裂縫產

生。在位移比 0.75% 時,試體南側自底部往上 25 公分處亦出現微小 水平裂縫,並延伸至東側;同時北側自底部往上 25 及 50 公分處產 生微小水平裂縫,並延伸至西側。位移比達 3.5% 時,於南側自底部 往上 15 公分範圍產生些微鼓起的現象,此時對應柱試體最大承受側 力為 144.75kN。當位移比達-7% 時,北側自底部往上約 15 公分範圍 亦發生些微鼓起的現象,此時對應柱試體最大承受側力為-204.67kN, 同時南北 2 側 CFRP 部分發生斷裂的情形。最後在位移比 10% 時, 柱試體南側自底部往上 0 至 30 公分範圍 CFRP 發生嚴重斷裂情形, 導致強度迅速降低,停止實驗。

試體 NDRC 西與北側 2 側,於各位移比逐步破壞情形照片,如 所示圖 3.11。位於東與南側 2 側,於各位移比逐步破壞情形照片, 如所示圖 3.12。圖 3.13 為試體 NDRC 於試驗結束之破壞照片。圖 3.14 與圖 3.15 顯示試體 NDRC 的遲滯迴圈 (側力與位移歷時曲線) 與強度包絡線。

116



(a) $\theta = 0.25\%$



(b) $\theta = -0.25\%$



(c) $\theta = 0.5\%$

(d) $\theta = -0.5\%$



(e) $\theta = 0.75\%$

(f) $\theta = -0.75\%$

圖 3.16 試體 NDRC 模擬位移比 1%損傷之西與北 2 側於各位移比 逐步破壞情形照片(續)



(g) $\theta = 1.0\%$

(h) $\theta = -1.0\%$

圖 3.16 試體 NDRC 模擬位移比 1%損傷之西與北 2 側於各位移比 逐步破壞情形照片(續)



(i) $\theta = 0.25\%$



(j) $\theta = -0.25\%$



(k) $\theta = 0.5\%$

(1) $\theta = -0.5\%$



(m) $\theta = 0.75\%$

(n) $\theta = -0.75\%$

圖 3.17 試體 NDRC 模擬位移比 1%損傷之東與南 2 側於各位移比 逐步破壞情形照片



(o) $\theta = 1.0\%$

(p) $\theta = -1.0\%$

圖 3.17 試體 NDRC 模擬位移比 1%損傷之東與南 2 側於各位移比逐步破壞情形照片(續)



(q) $\theta = 0.25\%$



(r) $\theta = -0.25\%$



(s) $\theta = 0.5\%$



(t) $\theta = -0.5\%$



(u) $\theta = 0.75\%$

(v) $\theta = -0.75\%$







(w) $\theta = 1.0\%$





(y) $\theta = 1.25\%$





(aa) $\theta = 1.5\%$

(bb) $\theta = -1.5\%$





(cc) $\theta = 1.75\%$



(dd) $\theta = -1.75\%$



(ee) $\theta = 2.0\%$

(ff) $\theta = -2.0\%$



(gg) $\theta = 2.5\%$

(hh) $\theta = -2.5\%$







(ii) $\theta = 3.0\%$

(jj) $\theta = -3.0\%$



(kk) $\theta = 3.5\%$

(11) $\theta = -3.5\%$



(mm) $\theta = 4.0\%$

(nn) $\theta = -4.0\%$





(oo) $\theta = 4.5\%$

(pp) $\theta = -4.5\%$



(qq) $\theta = 5.0\%$

(rr) $\theta = -5.0\%$



(ss) $\theta = 6.0\%$

(tt) $\theta = -6.0\%$







(uu) $\theta = 7.0\%$





(ww) $\theta = 8.0\%$





(yy) $\theta = 9.0\%$

 $(zz) \theta = -9.0\%$





(a) $\theta = 0.25\%$





(c) $\theta = 0.5\%$

(d) $\theta = -0.5\%$



(e) $\theta = 0.75\%$

(f) $\theta = -0.75\%$





(g) $\theta = 1.0\%$





(i) $\theta = 1.25\%$





(k) $\theta = 1.5\%$

(1) $\theta = -1.5\%$





(m) $\theta = 1.75\%$





(o) $\theta = 2.0\%$





(q) $\theta = 2.5\%$

(r) $\theta = -2.5\%$





(s) $\theta = 3.0\%$

(t) $\theta = -3.0\%$



(u) $\theta = 3.5\%$





(w) $\theta = 4.0\%$

(x) $\theta = -4.0\%$




(y) $\theta = 4.5\%$





(aa) $\theta = 5.0\%$





(cc) $\theta = 6.0\%$

(dd) $\theta = -6.0\%$





(ee) $\theta = 7.0\%$

(ff) $\theta = -7.0\%$



(gg) $\theta = 8.0\%$





(ii) $\theta = 9.0\%$

(jj) $\theta = -9.0\%$



第三章 試驗結果與討論



(kk) $\theta = 10.0\%$

圖 3.19 試體 NDRC 東與南 2 側於各位移比逐步破壞情形照片(續)

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究



(a)試體 NDRC 西南側角隅發生 CFRP 貼片斷裂的情形



(b) 試體 NDRC 北東側之破壞情形

圖 3.20 試體 NDRC 於試驗結束之破壞情形



圖 3.22 試體 NDRC(drift1%)遲滯迴圈



圖 3.24 試體 NDRC 遲滯迴圈

第二節 受損補修 RC 柱對 CFRP 補強之影響

試體 NDC 與試體 NDRC 等雨試體,其鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、斷面 形狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計,並且在雨試體最 外層圍貼覆 2 層水平向 CFRP 貼片,以進行包覆補強。而 NDC 試體係於柱試體 混凝土部分硬固後,直接於其外圍以 2 層 CFRP 包覆補強,試體並未存有受損裂 縫及進行補修。但試體 NDRC 則先以位移控制進行水平向及垂直向加載,其水 平層間變位角分別由 0.25 %、0.5 %、0.75 %及 1.0% 等 4 個位移控制行程,每個 控制行程進行 3 個迴圈,當完成 1.0%的位移角後,最終回到水平力為零的位置, 使柱試體預先受損並產生裂縫,再以高流動性環氧樹脂 (Epoxy)進行裂縫低壓 灌注之補修,最後於外層包覆 2 層水平向 CFRP 之補強。藉以瞭解未受損及受損 但完成裂縫補修之非韌性 RC 柱試體,同樣以包覆 2 層 CFRP 貼片之補強,是否 會影響 CFRP 包覆補強之效果,並釐清以往 CFRP 包覆補強研究建議,若實際應 用於受損但完成補修 RC 柱之合理性。

試體 NDC 及試體 NDRC 遲滯迴圈與強度包絡線,如圖 3.26 至圖 3.27 所示, 各試體試驗結果之極限強度及塑性轉角容量,如表 3.6 所示,並可歸納以下比較 結果:

- 一、在「弱軸」側向加載及20%軸力比軸向加載下,矩形非韌性柱試體NDC之 最大試驗側力強度為165.29 kN(兩方向平均),試體NDRC為174.71 kN。 可觀察試體NDRC的側力強度,僅與試體NDC強度差5.7%,表示約0.2公 分以內受損裂縫,經高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌注之補修 後,若以2層CFRP進行補強,對柱試體側力強度之影響不大。
- 二、試體NDC之塑性轉角容量θ_p為 5.93%,試體NDRC則為 6.70%,可發現試體NDRC之塑性轉角容量θ_p,為未受損補修試體NDC之 1.13 倍,表示約
 0.2公分以內受損裂縫,若經高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌注之補修後,對貼覆 2 層 CFRP 補強柱試體之韌性,未見不保守之影響。

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究

三、先前研究[1,2]所採用未受損柱試體之設計建議方法,在柱試體表面若有約 0.2 公分以內受損裂縫,經高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌注 之補修後,應可適用於先前研究所於未受損柱試體之研究建議。

第三節 受損補修 RC 柱的 CFRP 補強之效益

試體 NDR 與試體 NDRC 等兩試體,其鋼筋混凝土柱部分的斷面尺寸、斷面 形狀、鋼筋配置及鋼筋與混凝土材料之強度,均為相同之設計,並且先以位移控 制進行水平向及垂直向加載,其水平層間變位角分別由 0.25%、0.5%、0.75% 及 1.0%等 4 個位移控制行程,每個控制行程進行 3 個迴圈,當完成 1.0%的位移 角後,最終回到水平力為零的位置,使柱試體預先受損並產生裂縫,再以高流動 性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌注之補修。而試體 NDRC 則於施以 1.0% 的位移角,使柱試體預先受損並產生裂縫並再以高流動性環氧樹脂進行裂縫補修, 最後於外層包覆 2 層水平向 CFRP 之補強。藉以瞭解受損經補修非韌性配筋 RC 柱試體,2 層水平向貼覆 CFRP 貼片,對柱試體之補強效益。

試體 NDRC 及試體 NDR 遲滯迴圈與強度包絡線,如圖 3.28 至圖 3.29 所示, 各試體試驗結果之極限強度及塑性轉角容量,如表 3.6 所示,並可歸納以下比較 結果:

- 一、矩形非韌性柱試體 NDRC 之最大試驗側力強度為 174.71 kN(兩方向平均), 試體 NDR 為 165.44 kN。可觀察試體 NDRC 的側力強度,僅與試體 NDR 強 度差 5.6%,由此可知,包覆 2 層碳纖維對受損 RC 柱試體側力強度僅上升 5.6%,表示碳纖維圍束補強對側力強度影響不大。
- 二、試體 NDRC 之塑性轉角容量 θ_p 為 6.70%, 試體 NDR 則為 2.95%, 可發現試 體 NDRC 之塑性轉角容量 θ_p ,為試體 NDR 之 2.27 倍。另由先前研究[1], 包覆兩層碳纖維布補強之實驗結果,可發現 RNDC2L 之塑性轉角容量 θ_p 為 未補強試體(RND)之 2.91 倍,表示未受損 RC 柱 CFRP 補強之韌性效益,略 優於受損補修後之情形。





(資料來源:參考書目[20])



圖 3.26 試體 NDC 與試體 NDRC 強度包絡線比較



圖 3.27 試體 NDC 與試體 NDRC 遲滯迴圈比較



圖 3.28 試體 NDR 與試體 NDRC 強度包絡線比較



圖 3.29 試體 NDR 與試體 NDRC 遲滯迴圈比較

第三章 試驗結果與討論

第四節 受裂損 RC 柱補修後的使用性

試體 NDR 於未損傷階段之平均彈性勁度為 22.3 kN/mm,於損傷補修後平 均彈性勁度為 18.8 kN/mm,兩者彈性勁度差 18.6%,如圖 3.30 所示。表示鋼 筋混凝土柱試體表面若裂縫寬度為 0.2 mm 以內,經高流動性 Epoxy 低壓灌注之 補修後,其彈性勁度略為下降。 並且經補修後,試體 NDR 受力裂縫主要還是 依原裂縫位置發展,如圖 3.31 所示。



圖 3.30 試體 NDR 於未損傷及補修後強度包絡線比較



(a)未損傷側位移角1.0%範圍之裂縫發展



(b)補修後側位移角 1.05%範圍之裂縫發展 圖 3.31 試體 NDR 於側位角 1.0%範圍未損傷及補修後之裂縫發展

第四章 結論與建議

第一節結論

本研究共規劃 NDN、NDR、NDC 及 NDRC 等 4 組 RC 柱試體。其中,試體 NDN 為未受損典型非韌性矩形鋼筋混凝土柱試體;試體 NDR 為將原未受損試體 先進行層間變位角 1.0%之加載,使柱試體先經預推拉受損,產生輕微裂縫,再 以環氧樹脂進行裂縫灌注之補修,目的為試圖將鋼筋混凝土柱試體,修補至接近 於未受損之狀況;試體 NDC 係於 RC 柱試體外側沿水平方向貼覆 2 層 CFRP 貼 片;試體 NDRC 則與 NDR 試體相同,只是於柱試體完成補修後,再於柱試體外 側沿水平方向貼覆 2 層 CFRP 貼片。

本研究所有4組柱試體於鋼筋混凝土部分斷面尺寸及配筋應相同,試驗前, 試體 NDN 及試體 NDC 均無任何裂縫損傷,試體 NDR 及試體 NDRC 於預裂縫 後,均環氧樹脂進行裂縫灌注之補修。本研究藉由結構試驗,釐清未受損及受損 但完成裂縫補修之 RC 柱試體,於以 CFRP 貼覆補強後,對於 RC 柱耐震性能之 影響。所有試體斷面四周角隅處,均預製半徑為3公分之圓弧導角,軸向加載軸 力比為百分之二十,且於定軸壓下進行側向反覆加載試驗。所得結論如下:

-、先前研究[1,2]所採用,於未受損柱試體所驗證之設計方法,當RC 柱試體表面若有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,經高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行裂縫低壓灌注之補修後,應可適用於先前研究,於未受損柱試體之研究建議。
 二、試體 NDRC 之塑性轉角容量θp,為試體 NDR 之 2.27 倍,而先前研究[1]試體 RNDC2L 之塑性轉角容量θp,為未補強試體 RND 之 2.91 倍,表示未受損 RC 柱試體,以 CFRP 補強之韌性發展,略優於受損補修 RC 柱試體,以

CFRP 補強之情形。

三、試體 NDR 於未損傷階段之彈性勁度為 22.3 kN/mm,於補修後彈性勁度為 18.8 kN/mm,兩者彈性勁度差 18.6%。表示 0.2 mm 以內裂縫寬度,經高流 動性環氧樹脂(Epoxy)低壓灌注之補修,其彈性勁度略為下降。

四、由試體 NDR 受損情形觀察,當 RC 柱若有 0.2 mm 以內之裂縫,經環氧樹脂低壓補修後,其受力裂縫主要還是循原裂縫發展。

第二節建議

立即可行建議-若 RC 柱表面存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,經環氧樹脂進行 補修後,可適用於未受損柱之研究建議。

主辦機關:建築師公會、結構工程技師公會、土木技師公會

協辦機關:內政部建築研究所

實驗結果顯示,若 RC 柱表面存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,或柱損 害程度為Ⅱ級損害以下時,裂縫經高流動性環氧樹脂(Epoxy)進行低壓 灌注之補修後,可適用於未受損柱之研究建議。並且當 RC 柱裂縫經補修 後,其受力裂縫,主要還是循原裂縫發展。

立即可行建議—若 RC 柱表面存有約 0.2 mm 以內之受損裂縫,經環氧樹脂進行 補修後,其彈性勁度已逐漸下降。

主辦機關:建築師公會、結構工程技師公會、土木技師公會

協辦機關:內政部建築研究所

實驗結果顯示,若RC 柱表面存有約0.2 mm 以內之受損裂縫,經高流動性環氧樹脂低壓灌注之補修,其彈性勁度已開始略為下降。

附錄一 研究計畫期初審查會議紀錄

檔 號: 保存年限:

内政部建築研究所 函

機關地址:231新北市新店區北新路3股200號13樓 承辦單位:综合規劃組 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、蔡組長輝芳、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

•

第1頁 共1頁

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(依簡報順序):
- (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:
 - 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。
 - 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。
 - 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。
 - 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。
 - 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。
 - 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。

- 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
 - 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。
 - 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。
 - 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。
 - 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:

- 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。
- 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。
- 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?

- 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。
- (五)「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」案:
 - 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。
 - 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:
 - 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。
 - 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。
 - 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)

附錄二 研究計畫期中審查會議紀錄

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:工程技術組 聯絡人:李台光 聯絡電話:02-29310686 分機1303 傳真電話:02-(02)2931-0656 電子信箱:taikuang@abri.gov.tw

受文者:如行文單位

發文日期:中華民國109年8月17日 發文字號:建研工字第1090007286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年度自行研究「鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接 設計之探討」、「受損RC柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗 證研究」及「老舊RC建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板 補強」等3案期中審查會議紀錄1份,請查照。
- 正本:李技師英傑、林研究員敏郎、張總經理敬昌、羅副總經理遠智、中華民國全國建 築師公會、中華民國土木技師公會全國聯合會、中華民國結構工程技師公會全國 聯合會、社團法人中華民國建築技術學會、陳組長建忠、陶主任其駿、李副研究 員台光、黃助理研究員國倫

副本:本所工程技術組、材料實驗中心(均含附件)

電子交換章

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究

本所109年度自行研究「鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討」、 「受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究」及「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」等案期中審查會議紀錄

- 一、時間:109年8月4日(星期二)上午9時30分
- 二、地點:本所簡報室(新北市新店區北新路3段200號13樓)
- 三、主持人:陳組長建忠 記錄:李台光、黃國倫
- 四、出席人員:如簽到單
- 五、簡報內容:略。
- 六、綜合討論意見:
- (一)「鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討」案

中華民國全國建築師公會 江建築師支川:

- 參考國外梁柱續接之案例時,請標示地點與年份、施工技術與社會環境
 等時空背景之參數關係。
- RC 梁主筋與鋼柱表面之銲接,只能在工地施作,請問該如何確認銲接的 品質?
- 3. 鋼柱托梁與 RC 梁接合處,不易灌漿,對於混凝土的水灰比與坍度,將有 何限制?
- 4. 一般先完成鋼柱後,再施作主梁,請問 RC 梁主筋的長度,該如何調整?
 5. 所有施工法都與經濟性有關,若不採用鋼梁而選擇 RC 梁,可節省多少成本?

中華民國結構工程技師公會全國聯合會 劉技師賢淋:

無特別意見,惟應注意續接施工品質之確實性,並保證試體之均勻性。 李技師英傑:

- 鋼骨短梁翼緣為光滑面,並非鋼筋,故採鋼筋搭接長1.3ld來決定鋼梁長度,是否會有力量傳遞問題。
- 試體C及D鋼梁有切削,其施力彎矩仍與試體A及B相同,請問如此設置的目的?
- 期中報告書第30頁試體斷面圖,是否可增加鋼梁、鋼筋主筋、箍筋、RC
 梁標稱斷面尺寸及RC梁主筋有無續接器等之圖示及說明。
- 4. 該 RC 梁應以韌性構件或非韌性構件看待。

林研究員敏郎:

- 本研究案進行鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討,以檢驗業界對於 SRC 規範建議的兩種續接方式之疑慮,研究具有其必要性及重要性, 符合預期成果需求。
- 2.對於本研究案研究成果,建議可提出相關設計手冊,方便工程師於實務 上採用,以加速成果之推廣。
- SRC 構件之實驗試體,施工困難度高,影響實驗結果之變數亦多,試體 製作宜嚴格控管其品質。

張協理敬昌:

- 本研究案對托梁承受 RC 梁剪力之傳遞機制,托梁與鋼柱為剛接,而文獻 中鋼柱為直接埋入混凝土墩,兩者傳力模式是否相同,後者墩柱尺度較 大,可以承受壓應力,前者似乎須考慮箍筋量需足夠提供翼板外緣壓力 之平衡力。
- 目前業界常用的短托架及剪力釘兩種方式,如可以試驗方式,確認其力
 學性能,有助於工程應用與施工性。
- 國內實務用於地下室與地上層,前者除界面大梁外較無韌性需求,建議 後續研究可納入考量。

羅副總經理遠智:

1. 比對鋼梁進行切削之作法,建議採業界常用之方式。

- RC 與 SRC 續接之搭接長度,依 1.3Ld 是否足夠,亦或採 1.3Lt(頂層鋼筋)。
- 3. 試體設計有縱向及橫向力偶兩種方式,請詳述其不同之計算方式。
- 建議可以加入業界常用之兩種方式(托梁+續接器,以及直接續接於鋼柱)
 之試體,以比對各種不同做法之性能差異,對實務應用很有幫助。

陳組長建忠:

- 1. 試問何種情況時,必須以 RC 梁搭接鋼柱?
- 2. 實驗室施作方式與現場施工,有何差異?
- 本研究案期初審查之意見,請具體回應,並指引納入研究章節,並研擬 試體製作品管清單。
- 4. 試體如是以規範為目標, 宜以常用者先。
- 計畫主持人回應(李副研究員台光):
- 試體細部設計圖,將補充鋼梁、RC梁主筋、箍筋,以及各細部標稱尺寸 之說明。
- 試體托梁梁翼板之切削,將參考國內業界常用之方式,切削之細部設計, 將於期末報告書呈現。
- 3.本研究案試體鋼骨部分的銲接作業,規劃在鋼構廠內完成,再將鋼骨送 至本所大型力學實驗室,進行鋼筋綁紮及混凝土澆置作業。試體之混凝 上,採用一階段澆置,同時澆置基礎柱及試體梁,其中基礎柱保持垂直 方向,試體梁保持水平方向,以模擬工地實際澆置混凝土的情況。
- 本研究案規劃明年度進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接 試體之實驗研究,研究成果可做為「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解 說」第8.7節修訂之參考。
- 6. 餘意見,將於後續研究過程考量是否納入。
- (二)「受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究」案

中華民國全國建築師公會 江建築師支川:

- 1.在 921 地震後,國內有實際多少案例採用碳纖維補強?其耐震能力有何 明顯變化?
- 2. 獨立柱容易採碳纖維補強,但遇有 RC 牆與柱接合時,如何克服施作之困難?
- 3. 碳纖維的特性為輕量(鋼的1/50)、高彈性(與鋼相同)及高耐久性(不 易腐蝕),但其缺點為何?
- 4. 碳纖維的施工過程將影響其耐震能力,應如何確保其施工品質?
- 5. 從經濟性角度研判,碳纖與鋼板補強,有何差異?
- 中華民國結構工程技師公會全國聯合會 劉技師賢淋:
- 第1章緒論包含「研究緣起與背景」、「文獻回顧」、「研究方法與進度說明」、「研究目的」及「預期成果」之說明詳盡。
- 2. 第2章「試體計畫」包含「試體設計」(內含 NDN、NDR、NDC 與 NDCR 等 4組)、「試體製作」(內含底座定平與試體放樣、基座施作、應變計黏貼、 柱體上半柱身製作、試體上部柱身碳纖維包覆補強)。
- 3. 試體塗佈底漆前,含水率需低於8%,所採用儀器之可靠度如何?
- 4. 建議沿柱試體高度,以超音波檢測各階段之波傳速度變化。

5. 基座用混凝土之規格,是否應與上部柱體不同?

李技師英傑:

碳纖維包覆工法可提供圍束(confined),已提升柱軸力及剪力的效果, 請教此兩效應是否能釐清?剪力效應是否有提升?惠請說明。

林研究員敏郎:

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。本研究案進行受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究,具有其必要性及重要性,符合預期成果需求。

- 2.對於本案研究成果,建議可提出相關設計建議,以方便工程師於實務採用,加速研究成果之推廣。
- 國內對於 CFRP 補強仍有於受火害議題之疑慮,建議可將火害議題納入後續研究之討論。
- 4. 建議說明本研究案之「受損」,為撓曲或剪力造成之損傷。

張協理敬昌:

試體基座尺度較柱為大,對柱底所提供之圍束效應,比實務中的梁的 圍束效果好,實務上梁深範圍內也無法補強,補強成效略受影響。若能調 整基座之幾何形狀(例如:改為凸字型),可有助於降低其影響。

羅副總經理遠智:

- 考慮試體於補強前,已存有裂縫,如此對補強效益的評估,可更確認實務上的成效。
- RC 構件裂縫發展的因素很多,其分佈情形對於補強效益,亦有一定的影響,建議能記錄經過1% drift ratio後,試體裂縫之分布情況,以利後續比較及應用。
- 對於抑制裂縫發展,單向貼覆碳纖維或雙向貼覆,對於耐震補強之效益
 是否有所影響。

陳組長建忠:

- 火害問題第1年已提起,請瞭解法規規定及其對應之補強設計(如做防火 披覆)。
- 2. 試體如是以規範為目標, 宜以常用者先。
- 計畫主持人回應(陶主任其駿):
- 國內建築物之耐震補強,仍以學校建築之例為大宗,其工法主要為增設 翼牆及擴柱等濕式工法,較少見碳纖維補強建築之案例,原因為專業技 術人員對此工法之陌生,而國內亦少見有關 921 地震震後建築物補強案

例之統計資訊,因此本研究實難獲得針對採用碳纖維補強建築之案例數。

- 2. 以碳纖維補強柱構件之耐震效益,主要是透過於柱構件外圍包覆之碳纖 維,增加柱內混凝土之圍束力,以及延緩主筋挫曲之發生。
- 本研究案後續將依委員建議,再補充對碳纖維工法的缺點。
- 4. 國內對於碳纖維施工品質之確保,主要參考產品廠商所提供之施工建議, 而公共工程委員會所訂施工綱要規範第 03240 章「碳纖維包覆補強」專 章,亦已訂有碳纖維相關產品及施工之規定。
- 5. 有關 RC 柱以碳纖維包覆補強之工料及成本等經濟分析,先前研究曾進行相關之討論,惟於研究審查會議出席學者專家之建議,考量各補強工法,以及實際施作環境、條件與原構件損壞情形不同,尤其碳纖維補強工法之價格迥異,較難進行客觀探討,因此為免外界之錯用及誤用,並對業界造成報價之困擾,故最後移除相關說明。惟查先前研究碳纖維補強工項之單價,系與經各縣市政府審定「建築物工程施工損害鄰房鑑定手冊」或「建築工程建築物安全鑑定手冊」建議單價相近。
- 6.於塗布底漆前含水率之測定,一般可採用高周波混凝土水分計量測定混 凝土表面以下有限深度的含水情形,其可靠度仍值得參採。
- 7. 有關進行試體超音波檢測,以瞭解波傳速度變化之建議,因考量本所相 關實驗室並無是項設備,本研究案將視研究費之結餘情形,錄案辦理。
- 8.本研究案試體已完成發包,並將進行基座混凝土的灌漿作業,故有關基 座及柱本體宜採用不同混凝土規格之建議,或者是考慮柱底模擬梁之圍 束效果,而調整基座幾何斷面形狀為凸字形之建議,擬錄案供後續年度 之參採。
- 9. 由於本研究案未補強鋼筋混凝土試體之破壞模式,屬撓剪破壞,較難分離柱軸力及剪力的效果,但由以往類似試體的實驗結果,可觀察透過碳纖維包覆補強,已可有效彌補柱端之剪力強度,而使得受補強柱試體轉為撓曲破壞所控制。

- 10. 有關碳纖維補強受火害或其防火披覆之議題,因非本研究案試體規劃探 討之範圍,故本研究案試體之驗證,亦無法獲致相關的研究結論。
- 11.本研究案將記錄柱試體 NDN 及 NDR 於歷經層間變位角(drift atio)1% 之裂縫分布情況。
- 12.對於周邊有牆之柱,若進行碳纖維包覆補強,則必須先將柱及其連接牆 體切割分離,以利 CFRP 貼片能水平向圍繞貼覆於柱表面,以發揮圍束補 強之效益。

(三)「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」案

- 中華民國全國建築師公會江建築師支川:
- RC 柱鋼板補強,如圖 2-3 所示,鋼板內側灌注水泥砂浆,如何檢測不留 空隙?
- 2. 鋼板必須工地銲接,如何檢測銲接的瑕疵?
- 3. 鋼板厚度與高軸力有何關聯?若將圖示之鋼板厚度,由6mm 增大至12mm時,其垂直承載力N、抗地震剪力V與抗彎矩力M,各可增大多少應力?
- 中華民國結構工程技師公會全國聯合會劉技師賢淋:
- 1. 宜先對乾式鋼板補強工法與濕式工法不同點,加以說明。
- 2. 鋼板補強試體鋼板內側與 RC 試體間縫隙多寬?
- 3. 灌注 560 gf/cm² 無收縮水泥砂漿,水泥砂漿試體為立方體或圓柱體?
- 4. 鋼板底部外側所圍木條之功能為何?
- 試體試驗前後,在關鍵齡期,是否沿高度方向測定試體波傳速度隨高度 之變化?
- 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?

李技師英傑:

- 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。
- 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。
- 3. RC 柱外包覆鋼板至梁版位置,應如何收頭較佳?請說明。

林研究員敏郎:

- 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。
- 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。
- 3. 請說明加勁板之設計方式。

張協理敬昌:

- 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。
- 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。

羅副總經理遠智:

- 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。
- 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。

陳組長建忠:

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究

- 1. 鋼板與補強試體介面,如何查檢符合要求?
- 2. 試體若是以規範為目標,宜以常用者先。

計畫主持人回應(黃助理研究員國倫):

- 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。
- 2. 填充混凝土箱型柱之研究及應用,將納為未來研究課題考量。
- 填充間隙所用材料,理論上強度不用很高,惟高流動性的混凝土強度都 不低。
- 4. 底部 3 公分預留間隙,是為避免鋼板直接壓裂基座,影響試驗結果。
- 5. 用鋼板補強進行柱剪力補強之課題,擬列入後續研究課題考量。
- 6.待試驗完成,將探討斷面長寬比,對乾式鋼板補強效果之影響。
- 7. 其餘意見,將於後續研究過程,考量是否納入本研究案。

七、會議結論:

(一)本次會議3案期中報告,經徵詢在場審查委員與機關團體代表意見, 審查結果原則通過。請業務單位將與會審查委員及出席代表意見詳實 記錄,供計畫主持人參採,納入後續事項積極辦理,並於期末報告妥 予回應,如期如質完成。

(二)請計畫主持人掌握研究時程,並請留意成果報告格式,以符規定。八、散會:中午12時。

附錄三 研究計畫期末審查會議紀錄

檔 號:
保存年限:

你行牛孩,

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:工程技術組 聯絡人:李台光 聯絡電話:02-29310686 分機1303 傳真電話:02-(02)2931-0656 電子信箱:taikuang@abri.gov.tw

受文者:如行文單位 發文日期:中華民國109年12月9日 發文字號:建研工字第1090010905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年度自行研究「鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接 設計之探討」、「受損RC柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗 證研究」及「老舊RC建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板 補強」等3案期末審查會議紀錄1份,請查照。

正本:吳教授崇豪、李技師英傑、林研究員敏郎、張總經理敬昌、陳建築師澤修、黃教 授然、羅副總經理遠智、中華民國全國建築師公會、中華民國土木技師公會全國 聯合會、中華民國結構工程技師公會全國聯合會、社團法人中華民國建築技術學 會、陳組長建忠、陶主任其駿、李副研究員台光、黃助理研究員國倫 副本:本所工程技術組、材料實驗中心(均含附件)

電子交換章

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究

本所109 年度自行研究「鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討」 「受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究」及「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」等3 案期末審查會議 紀錄

一、時間:109年11月26日(星期四)上午9時30分

二、地點:大坪林聯合開發大樓15樓第4 會議室

- 三、主持人:陳組長建忠 紀錄:李台光、黃國倫
- 四、出席人員:如簽到單
- 五、簡報內容:略。
- 六、綜合討論意見:
- (一)「鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討」案:

中華民國全國建築師公會 江建築師支川:

- 本研究報告書圖 2-2 鋼柱、鋼筋與梁主筋的交會相當複雜,建議將施工 順序說明清楚,梁主筋如何穿透鋼柱?鋼梁的梁翼如何穿透鋼柱?那些 部分可在工廠銲接?那些部分需工地銲接?銲接後的品質如何確認?
- 本研究報告書圖 3-13,平面圖請標示尺寸,箱型鋼柱的灌漿孔必須多大, 才不會造成 RC 分離?內部如有大型氣泡,如何去除?如何檢測確認?

中華民國土木技師公會全國聯合會 林技師自勤:

- 1. 本研究報告書第 VII 頁第 16 行「……以耐震細部最為關鍵。」, 建議修 正為「……以耐震細部設計最為關鍵。」?
- 若採用鋼骨托梁轉換續接傳力模式,應檢討塑性鉸產生位置從托梁長度
 圍移至托梁位置外,且RC梁部分之圍束箍筋亦應調整。
- 本研究設計之試體,鋼托梁之長度為156 cm,建議另案研究,探討縮短 鋼托梁長度對於 RC 梁耐震性能之影響。
李技師英傑:

- 1. 符合預期成果,對工程界相當有助益。
- 由於 RC 梁主筋於應力最大處搭接,較不符合搭接位置取捨的原則,建 議針對接頭方式,提供較佳的設計方式。

陳建築師澤修:

- 應說明 RC 梁接鋼柱的位置,係屬地下室部分或是上部結構,因為純鋼 骨結構、地下室為 SRC 構造或整棟為 SRC 構造,才有上部結構續接之需 求。
- 2. 本研究之範圍,是否適用預鑄梁的鋼柱續接。
- 3. 續接器施工品質之影響,應加以探討,可列入後續研究。

黄教授然:

請補充說明鋼骨托梁傳力情況,以及鋼骨托梁長度如何決定。

羅副總經理遠智:

- RC 梁偏心且切齊柱邊時,鋼筋施作細節及對應之行為,值得探討,以做為實務施工作法之參考。
- 2. RC 梁主筋隔根須採肋筋圍束之必要性,亦是非常需要透過實驗驗證。
- 3. RC 梁與鋼柱接合方式之2 種試體,乃對應2 種不同之傳力機制,後續 試驗結果,可做對照及印證。

陳組長建忠:

- 本研究報告書第四章建議,僅提及未來研究課題,宜就研究過程及成果 提出應用性的建議。
- 2. 建議將研發工法、專利及技轉,模擬市場(使用量)規模課題,以及策略 規劃研究等,優先列為建議事項。

林研究員敏郎(書面意見):

- 本研究進行鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討,以檢驗業界對於 SRC 規範建議的兩種續接方式之疑慮,研究具有其必要性及重要性,符 合預期成果需求。
- 2.建議增加試體組數,將業界常見型式以試驗驗證,例如托梁加續接器、 直接續接鋼柱柱面等,以明確告知工程界,如此作法其受力行為是否滿 足法規要求。
- 缺工嚴重為當前工程發包普遍遇到的情形,建議考慮此因素,明年度試 體之製作費用估算,宜考慮實際市場決標行情,以縮短採購發包時程。

張總經理敬昌(書面意見):

本研究2組試體之設計,分別按縱向力偶與橫向力偶傳遞機制進行規 劃,建議托梁以外 RC 梁之剪力,按彎矩容量進行設計,以避免發生不預 期剪力破壞。

計畫主持人回應(李副研究員台光)

- 1. 將依委員建議, 增加試驗驗證之試體組數, 並保守估算試體製作費用。
- 本研究後續將研發工法、專利及技轉,模擬市場(使用量)規模課題與策略規劃研究等,優先列為建議事項。
- 後續研究規劃,納入探討預鑄梁之鋼柱續接及續接器施工品質之影響等 課題。
- 本研究成果報告書,將補充說明鋼骨托梁傳力情況,以及決定鋼骨托梁長度之原則。
- 本研究成果報告書,將補充說明試體製作之施工順序,以確保試體製作 之施工品質。

6. 其餘意見將參考納入。

(二)「受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究」案:

中華民國全國建築師公會 江建築師支川:

- 本研究報告書第114頁所揭,當裂縫寬度小於0.2公分時,可採低壓灌 注修補,但裂縫長度是否可能影響柱體的耐震能力?又裂縫發生部位或 裂縫發展角度,是否也會影響補強後柱構件的耐震能力?
- 2. 一般而言,屬實驗性的研究,較容易理想化。工地發現 RC 柱之裂縫, 必定由工人修護施作。但是,碳纖維貼片的包覆,應如何檢測其是否有 施工上的瑕疵?
- 中華民國土木技師公會全國聯合會 林技師自勤:
- 本研究所採用的環氧樹脂,是否為規格品?各廠牌環氧樹脂的黏著度, 是否皆相同?主劑與硬化劑的配比,各廠牌是否相同?當進行碳纖維補 強時,對黏著強度是否有最低之要求?本研究案採用的黏著強度要求為 多少?
- 本研究結論,是否挑明以碳纖維貼覆補強之柱,對耐震能力的提升效果 並不明顯?若對僅韌性有效,但老舊建築物因規範老舊及早期施工品質 之故,通常補強作業的進行,除了能夠提升待補強構件的韌性外,對強 度提升的貢獻,亦必須兼顧。
- 當遇火害之後,碳纖維與環氧樹脂提供的圍束,是否已經無效?

李技師英傑:

- 1. 符合預期成果,且對工程界相當有助益。
- 本研究實驗結果顯示,對於原柱損害補修後之韌性效果良好,但對於彈 性勁度方面,則助益稍少。建議未來可規劃進行,先擴柱再貼碳纖維貼 片的補強研究。
- 建議未來能再發展碳纖維補強的數學模式,以利有限元素分析時,對柱 塑鉸的模擬。

陳建築師澤修:

 建議未來可多做幾種不同破壞模式與破壞程度的碳纖維補強探討,以瞭 解柱構件裂縫寬度與補強工法擇定間之適用探討。 2. 以碳纖維貼片進行圍束補強,主要用於彌補原結構韌性之不足,建議未 來可再探討當箍筋、繫筋量不足,或無設置135 度耐震彎鉤時,量化柱 構件的韌性補強成效。

黄教授然:

已有明顯開裂破壞的 RC 柱,是否需要先進行修復,再以 CFRP 貼 覆補強。而對於柱構件的修補與耐震補強,其概念是完全不同的。

羅副總經理遠智:

1. 本研究試驗結果,符合預期,且對於 CFRP 補強的適用性,有所建議。

2. 試體 NDC 及試體 NDRC 試驗結果比對顯示,若以 Epoxy 補修後再進行碳 纖維補強之試驗包絡線,並未比未開裂直接補強試體之行為差,甚至在 強度及韌性的呈現更好,其可能原因為何?此一差異,亦可透過試體 NDN 及試體 NDR 之結果觀察,後續可再進行探討。

陳組長建忠:

- 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。
- 有關 CFRP 防火能力不佳,似乎為此種補強工法之盲點,而耐震補強材, 是否需符合防耐火要求?防火改善也是一種選項,似可進一步論述,以 資應用。

林研究員敏郎(書面意見):

- 持續耐震補強技術之精進,並落實老舊建築之耐震補強,方可降低當未 知強震來襲時,可能造成人命及財產的損失。本研究進行受損 RC 柱,以 碳纖維貼覆補強耐震能力之驗證研究,具有其必要性及重要性,符合預 期成果需求。
- 2.本研究試驗證實,當柱表面受損裂縫寬度在 0.2 mm 以內時,經高流動 性環氧樹脂低壓灌注,再進行 CFRP 包覆補強,其補強效果仍相當優良。

建議後續可依不同損傷程度,分年度規劃進行試驗,以進行補強效益探討。

張總經理敬昌(書面意見):

- 本研究用以模擬國內老舊低矮型非韌性配筋 RC 柱之試體,其試驗結果 顯示,以碳纖維包覆對柱構件於塑鉸韌性能力之提升,有顯著效應。若 能於結論提出碳纖維包覆需求之設計計算基準,將更有助於工程界的直 接應用。
- 本研究的試體斷面及配筋均為對稱,確有部分試驗結果呈現正負向強度 的差異,是否已瞭解其可能原因?
- 計畫主持人回應(陶主任其駿)
- 本研究第114頁所揭裂縫寬度正確為0.2「mm」,係誤植為0.2「cm」。
 研究建議,若柱試體表面存有小於0.2公厘之裂縫寬度,經環氧樹脂進行裂縫灌注補修後,應可適用於先前研究於未受損柱試體之結論,而此裂縫屬水平力(地震力)加載所產生,並未包含屬柱構件劣化之裂縫。
- 2. 補強用 CFRP 貼片的貼覆瑕疵,在實務上可透過超音波進行探測。
- 3.本研究所採用碳纖維貼片材料、環氧樹脂材料,皆為符合行政院工程會施工綱要規範第03240 章碳纖維包覆補強之產品規定,以及相關國家標準。故本研究採用環氧樹脂材料的接著強度要求為大於100 kg/cm²,實測強度為107 kg/cm2,符合要求。
- 4.本研究主要目的,為導正工程界常見對柱構件以碳纖維貼覆補強之設計 與施工細部,並透過結構試驗驗證之。並非為特別彰顯碳纖維貼覆柱的 補強耐震效益,反而是建議碳纖維貼覆之補強方式,應該考量搭配其他 的補強工法,用在適當的地方,而不要被錯用或誤用。
- 5. 由前人的研究顯示,以碳纖維貼片包覆的圓柱試體,當火害延時達 400
 ℃時,用以黏著碳纖維貼片的環氧樹脂,已開始失去黏結效果。由於碳

纖維貼片火害研究,非本研究討論範疇,建議可逕參考本研究報告所列 文獻。

- 6. 有關柱構件以碳纖維補強需求的計算公式,已有相關文獻提供,建議亦 可參閱107 年度研究報告的討論。對於碳纖維貼片之數值模擬,建議可 將水平向補強之碳纖維貼片,轉化為等值箍筋量的增加,以進行模擬。
- 7. 已有破壞裂縫的 RC 柱,於碳纖維貼片包覆補強前,必需要先進行補修, 再以環氧樹脂砂漿或壓克力砂漿,進行表面填補及打磨,才能進行 CFRP 的貼覆,以避免造成受震時,碳纖維貼片過早發生非預期之破壞補強。 而補修主要為恢復使用功能,補強目的為提升強度或韌性,的確是不同 的概念。
- 8. 本研究試體 NDRC 試體的強度及韌性,略為優於試體 NDC,以及試體斷面及配筋為對稱,卻顯示試驗包絡線正負向強度差異之可能原因,將納為成果報告中呈現。
- (三)「老舊 RC 建築高軸力非韌性配筋矩形柱乾式鋼板補強」案:

中華民國全國建築師公會 江建築師支川:

- 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?
- 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?
- 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?

中華民國土木技師公會全國聯合會 林技師自勤:

- 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?
- 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。)

李技師英傑:

- 1. 符合預期成果,對工程界相當有助益。
- 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。
- 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。

陳建築師澤修:

- 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。
- 2. 鋼板包覆與原柱間的間隙大小,應可列入後續研究探討。

黃教授然:

- 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。
- 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?

羅副總經理遠智:

 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 勃性。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。
 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。

陳組長建忠:

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。

林研究員敏郎(書面意見):

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銅板補強技術研發,具有其必要性及重要 性,符合預期成果需求。

- 2. 試驗顯示乾式鋼板補強高軸力試禮,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。
- 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。

張總經理敬昌(書面意見):

- 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?
- 2. 依試驗計畫所述,試體軸壓力約為 0.5f^c_cA_g,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。
- 計畫主持人回應(黃助理研究員國倫)
- 1. 實務上可用敲擊法檢測鋼板與 RC 柱之間的隙縫。
- 劉板厚度、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。
- 3. RND2. 0RT 試體將進行補強鋼板局部切開,來檢視內部的破壞情形。
- 4. 鋼板厚度、加勁板數量、鋼板包覆與原柱間的間隙大小、開裂柱是否應 先修復至原有性能、長寬比介於1.5 至2.0 的試體補強後性能……等參 數研究,將納入未來研究規劃之考量。
- 5. 將再強化成果報告之結論與建議內容。

 建築物同時發生大地震及火災的機率不高,且補強鋼板受到火害後,仍 有一定的殘餘強度,建議未來可另案研究鋼板補強受火害之影響。

七、會議結論:

- (一)本次會議 3 案期末報告,經與會審查委員、出席代表同意,審查結果原則 通過。請業務單位詳實記載審查委員、出席代表及書面意見,供計畫主持人 參採,並於後續報告內妥予回應。
- (二)報告書內容,請注意文字、圖表的智慧財產權,如有引述相關資料,應註明 資料來源,此外對於結論與建議事項內容,須考量應為具體可行,並鼓勵將 研究成果投稿建築相關學報或期刊。

八、散會:中午12時18分。

參考書目

- [1] 陶其駿,「建築 RC 柱以碳纖維包覆補強之耐震能力研究」,內政部建築研究所委託研究報告,2018 年。
- [2] 陶其駿「CFRP 補強貼覆方向對 RC 柱耐震性能影響之驗證研究」,內政部 建築研究所委託研究報告,2019 年。
- [3] 國家地震工程研究中心,安全耐震的家-認識地震工程,2011。.
- [4] 楊清宏,「複合材料圍東混凝土構材受軸力行為之數值分析」,國立成功大 學土木工程研究所碩士論文,民國 95 年。.
- [5] 彭康瑜、吳明興、陳建宏、王吉杉、林生發、鄭俊傑,「國道橋梁耐震補強之碳纖維包覆設計與施工」,結構工程,第三十二卷,第三期,2017,pp.8 8-105。.
- [6] 李有豐,國內既有鋼筋混凝土結構物補強之現況檢討,鋼筋混凝土結構物維 修補強技術研討會論文集,p4-1~4-37,92 年 11~12 月,臺北。.
- [7] 李有豐、宋奕穎、朱育正, RC 橋柱之 CFRP 補強成效驗證-圓形柱, "RC 結構物以 CFRP 補強設計導則及案例說明之研究與成果推廣"研討會論文集,2 002, p105~153,臺北。.
- [8] 吳穎涵,鋼筋混凝土構造新型碳纖維補強技術之試驗與分析,國立台北科技 大學博士論文,2013年,臺北。.
- [9] 內政部營建署,「混凝土結構設計規範」,2011,臺北。.
- [10] 李有豐, CFRP 補強混凝土結構物技術規範(草案),補助單位:內政部營建署,2003年。.
- [11] 林敏郎、林至聰、陳沛清、蔡克銓、吳穎涵,「矩形 RC 柱採碳纖維包覆 暨碳纖維錨栓耐震補強研究」,NCREE-09-014,2009 年,國家地震工程實 驗中心,台北。.

- [12] Sezen, H., 2002. Seismic Response and Modeling of Lightly Reinforced C oncrete Building Columns, Ph.D. dissertation, Department of Civil and Envi ronmental Engineering, University of California, Berkeley
- [13] 歐昱辰,低矮 RC 建築以非矩形斷面柱提升耐震性能之實驗研究,內政部 建築研究所委託研究報告,2016年,臺北。.
- [14] 陳正平,談「結構混凝土規定抗壓強度之最低設計強度」修訂,技師報-結構設計,台灣省土木技師公會,2017年。.
- [15] 蔡益超、黃炯憲、曾一平、陳威成「學校建築結構能力詳細評估與補強」, 報告編號 NCREE-00-036,國家地震工程研究中心,2000。
- [16] 吳穎涵,鋼筋混凝土構造新型碳纖維補強技術之試驗與分析,國立台北科 技大學博士論文,2013年,臺北。
- [17] ACI Committee 440, "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures," ACI 440.2R-08, Farmington Hills, MI, American Concrete Institute,2008.
- [18] 李有豐, CFRP 補強混凝土結構物技術規範(草案),補助單位:內政部營建署,2003年。
- [19] 行政院公共工程委員會,第03240 章碳纖維包覆補強,公共工程施工綱要 規範,2016年,臺北。.
- [20] 林至聰,碳纖維貼片補強鋼筋混凝土構件之研究,國立中央大學博士論文, 1999年,桃園。
- [21]吳煥崇,複材圍束補強混凝土火害高溫影響之承載模式探討,逢甲大學土木 及水利工程研究所碩士學位論文,2003年,台中。
- [22]陳建任, RC 梁應用環氧樹脂貼覆 CFRP 剪力補強之耐高溫研究,國立台北 科技大學土木與防災研究所碩士學位論文,2009年,台北。

[23]張景原,施加不同防火被覆材之複材補強混凝土試體火害高溫延時影響 之承載行為研究,逢甲大學土木工程學系碩士論文,2013年,台中。

受損 RC 柱以碳纖維貼覆補強之耐震能力驗證研究

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

编 者:陶其駿

出版年月:109年12月

版次:第一版

ISBN: