

國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩士論文

預鑄五螺箍矩形 SRC 柱之

軸壓與反覆載重試驗



研究生：黃俊銘

指導教授：翁正強 博士

中華民國九十七年七月

預鑄五螺箍矩形 SRC 柱之 軸壓與反覆載重試驗

Axial Compression and Cyclic Loading Tests of Precast 5-Spiral Rectangular SRC Columns

研究生：黃俊銘

Student : J.M. Huang

指導教授：翁正強博士

Advisor : Dr. Frank C. C. Weng



A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

in

Civil Engineering

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

預鑄五螺箍矩形 SRC 柱之 軸壓與反覆載重試驗

研究生：黃俊銘

指導教授：翁正強 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

本研究旨在探討新型的「五螺箍」應用於矩形鋼骨鋼筋混凝土(Steel Reinforced Concrete, SRC)柱之可行性。本研究的五螺箍是以自動化機械加工製造，因此具有高度經濟效益，很適合用於預鑄工法。再者，由於 SRC 柱中之鋼骨能對 SRC 柱核心之混凝土提供有效的圍束，因此有助於提升 SRC 柱之韌性並可降低箍筋之用量，達到更經濟的設計結果。本論文包含兩項研究課題，其一為五螺箍 SRC 短柱之軸壓實驗；其二則是五螺箍 SRC 長柱之反覆載重實驗。

第一個主題中，本研究進行 22 支實尺寸之短柱軸壓試驗。主要參數包括箍筋之型式與間距、鋼骨之型式與用量、圍束箍筋用量設計法等。整體而言，採用五螺箍之試體其韌性皆優於採用傳統橫箍筋者。五螺箍除了圍束混凝土的能力比傳統橫箍筋好之外，亦沒有橫箍筋在角隅處可能發生彎鉤脫落之問題，因此能夠發揮較佳的韌性。本研究發現，在相同的斷面尺寸與縱向總用鋼量之情況下，五螺箍 SRC 柱之韌性明顯的比配置傳統橫箍筋的 SRC 柱好很多，亦優於同樣配置五螺箍之 RC 柱。

第二個主題中，本研究進行 4 支實尺寸之長柱反覆載重耐震試驗。主要參數包括鋼骨用量、箍筋用量(間距)等。試驗結果發現，SRC 柱之反覆載重遲滯迴圈均相當飽滿，四組試體所發揮的層間變位角均高達 5.7% 弧度以上，且 SRC 柱之強度可以持續且穩定的維持在高檔，並無明顯下降的趨勢。此一現象顯示，在高達 5.7% 弧度的大變形狀況之下，五螺箍 SRC 柱仍然具備十分穩定的強度，可以有效的抵抗強震所引致之水平剪力，而不致於發生結構體快速崩塌之現象。此外，由試驗中發現，五螺箍 SRC 柱底部之塑鉸區發揮了良好的韌性，該區之混凝土僅有表面的保護層剝落，五螺箍內部所圍束之混凝土大致保持完好，且 SRC 柱之主筋並無挫屈現象，箍筋亦未發生斷裂之情形。

關鍵詞：鋼骨鋼筋混凝土(SRC)，矩形柱，五螺箍，預鑄工法，軸壓試驗，反覆載重，圍束效應，強度，韌性，經濟效益

Axial Compression and Cyclic Loading Tests of Precast 5-Spiral Rectangular SRC Columns

Student : J.M. Huang

Advisor : Dr. C. C. Weng

Institute of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

This study explores the feasibility of a new type of “5-spirals” applied in rectangular SRC columns. The 5-spirals in this study are processed and produced by automatic machinery, highly cost effective, and suitable for precast construction. In addition, the steel in the SRC column works effectively in confining the reinforced concrete at the core of the SRC column and therefore is helpful in reducing usage of confinement hoops for more economical design result. This thesis consists of two topics, the axial compression test on the 5-spirals SRC short columns and lateral cyclic loading test on the 5-spirals SRC long columns.

For the first topic, the axial compression test on 22 full-size columns was carried out in this research. Primary parameters include the type and spacing of hoops, the steel ratio, the volume ratio of the design for confinement hoops, etc. Generally speaking, the ductility of the test specimens, the 5-spirals, was better than that of traditional rectangular hoops. Besides working better in confining reinforced concrete than rectangular hoops, the 5-spirals were free of the problem of possible hook loosening at corners that is typical of rectangular hoops. This study found that with the same section size and total steel volume, the ductility of 5-spirals SRC columns were obviously superior to that of traditional rectangular –hoop SRC columns and better than that of 5-spirals RC columns with the same configuration, too.

For the second topic, the cyclic seismic load test was carried out on 4 full-size long columns. Test results showed that the cyclic loading hysteretic loops of the SRC columns were all very stable, with the interstory drift angle of all the four test specimens as high as 5.7% radians and the strength of the SRC columns could last and be maintained steadily at a high level without any obvious sign of decline. This phenomenon showed that under large deformation as high as 5.7% radians, 5-spirals SRC columns continued to possess very stable strength and can effectively withstand the lateral force caused by a major earthquake so as not to result in the quick collapse of the main structure. The tests showed that plastic hinges at the bottom of the 5-spirals SRC columns had exercised outstanding ductility. Only the protection layer on the surface of the concrete in the area had spalled off. The concrete confined inside the 5-spirals had generally remained in a good condition and the main reinforcing bar of SRC columns had shown no sign of buckling.

Keyword: Steel Reinforced Concrete (SRC), rectangular columns, 5-spirals, precast construction, axial compression test, cyclic loading test, confinement effect, strength, ductility, cost-effectiveness.

誌謝

本研究惠蒙吾師 翁正強教授於論文悉心之指導，方使得本文得以順利完成，也令學生對於研究的方法與處事的態度上有豐富之收穫，在此獻上最誠摯的感謝。同時，論文口試期間，承蒙交通大學土木工程系師長 陳誠直教授、洪士林教授及 王彥博教授對論文內容提供許多寶貴的意見，使本文更臻完善，在此深表最由衷之謝意。

本研究之經費承蒙潤泰集團出資贊助，尹衍樑總裁、賴士勳董事長、吳子良副總經理、王瑞禎協理、劉俊磊協理與許志榮先生、台灣世曦工程顧問股份有限公司 羅應富先生、連福橡膠製品股份有限公司 曾協榮廠長熱心協助，由於他們的贊助及熱心的協助，本研究才能順利完成，在此由衷謝忱；亦感謝臺北縣政府觀光旅遊局林專門委員敬榜、觀光技術科各同仁的鼓勵及提攜，以及同門師兄弟景裕、永興、信賓、祖涵、承儒、天任、光奕、美婷、王琳、庭緯、意晴等在實驗上與日常生活的陪伴跟照顧，在此獻上最誠摯的祝福。

最後，僅將本論文獻給我最親愛的父母親，感謝他們在我求學過程中給予完全的支持與最溫暖的關懷，若無他們默默的付出、寬容與體諒，吾人將無法順利完成學業。在此，僅以小小之著作獻給我最愛的人。

目錄

	頁數
中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	vi
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
照片目錄.....	x
符號說明.....	xii
第一章 緒論	1
1.1 前言.....	1
1.2 動機與目的.....	1
1.3 研究內容.....	2
第二章 國內外相關設計規範與文獻	4
2.1 國內外 SRC 構造相關規範.....	4
2.1.1 美國 ACI 設計規範.....	4
2.1.2 美國 AISC 設計規範.....	6
2.1.3 臺灣 SRC 構造設計規範.....	7
2.2 相關文獻回顧.....	13
2.2.1 箍筋圍束混凝土作用方面文獻.....	13
2.2.2 SRC 柱行為研究方面文獻.....	14
第三章 五螺箍 SRC 短柱軸向抗壓試驗	18

3.1	試驗規劃.....	18
3.2	試體設計.....	19
3.2.1	Taiwan SRC Code 設計法.....	19
3.2.2	Weng's Formula 設計法.....	20
3.3	SRC 短柱受軸壓之破壞行為.....	21
3.4	試體軸壓強度之探討.....	22
3.4.1	五螺箍 RC 柱抗壓強度.....	23
3.4.2	箍筋間距對 SRC 柱抗壓強度之影響.....	23
3.4.3	箍筋型式對 SRC 柱抗壓強度之影響.....	24
3.5	箍筋間距及型式對圍束效應之影響.....	25
3.6	鋼骨型式對圍束效應之影響.....	26
3.7	圍束箍筋設計公式之比較與討論.....	27
3.8	試體韌性與耐震能力之探討.....	28
3.9	試體經濟效益之探討.....	30
第四章	五螺箍 SRC 柱之反復載重耐震試驗.....	32
4.1	試驗規劃.....	32
4.2	試驗裝置與試驗方法.....	33
4.2.1	試驗裝置.....	33
4.2.2	試驗方法.....	33
4.3	側力修正.....	34
4.4	試驗觀察及記錄.....	35
4.4.1	試體 C-SRC1.....	35
4.4.2	試體 C-SRC2.....	35
4.4.3	試體 C-SRC3.....	36
4.4.4	試體 C-SRC4.....	36
4.5	SRC 柱之遲滯迴圈.....	37

4.6 撓曲剛度(EI).....	38
4.6.1 彈性撓曲剛度.....	39
4.6.2 殘餘撓曲剛度.....	39
4.7 圍束箍筋設計公式之比較.....	40
第五章 結論.....	42
參考文獻.....	45
表.....	49
圖.....	58
照片.....	97



表目錄

	頁數
表 3.1 SRC 短柱軸壓試驗之試體規劃表.....	49
表 3.2 SRC 短柱試體之材料強度表.....	50
表 3.3 本研究 SRC 與 RC 短柱試體之軸向抗壓強度比較.....	51
表 3.4 未受圍束與受圍束之混凝土抗壓強度的比較.....	52
表 3.5 本研究之 RC 與 SRC 短柱之韌性比較.....	53
表 3.6 本研究之 RC 與 SRC 短柱之強度、韌性及箍筋用量經濟效益分析.....	54
表 4.1 SRC 柱反覆載重試驗：試體規劃表.....	55
表 4.2 SRC 柱反覆載重試驗之材料強度.....	55
表 4.3 試體反復載重加載歷程.....	56
表 4.4 試體混凝土彈性模數折減係數 β 及 γ	56
表 4.5 五螺箍 SRC 柱之強度分析與比較.....	57

圖目錄

	頁數
圖 1.1 配置傳統水平閉合箍筋之矩形 SRC 柱示意圖.....	58
圖 1.2 配置新型「五螺箍」之矩形 SRC 柱斷面示意圖.....	58
圖 2.1 包覆 H 型 SRC 柱中混凝土受圍束之情形.....	59
圖 2.2 包覆 H 型 SRC 柱中混凝土之應力-應變曲線.....	59
圖 2.3 包覆十字型 SRC 柱中混凝土受圍束之情形.....	60
圖 2.4 三角形圍束模式.....	60
圖 2.5 矩形圍束模式.....	60
圖 3.1 本研究各系列短柱試體之斷面配置圖.....	61
圖 3.2 SRC 短柱抗壓試驗構架與 SRC 柱斷面示意圖.....	62
圖 3.3 本研究短柱試體之軸力-位移曲線圖.....	63
圖 3.4 傳統橫箍 RC 柱與新型五螺箍 RC 柱之應力-應變曲線比較 (張國鎮等, 2005).....	69
圖 3.5 本研究短柱試體之試驗軸壓強度與壓碎軸壓強度之比值-位移曲線圖.....	70
圖 3.6 五螺箍 RC 柱、具有角隅繫筋之傳統橫箍 SRC 柱與傳統橫箍 RC 柱 之軸力-位移曲線比較.....	76
圖 3.7 五螺箍 RC 柱、無角隅繫筋之傳統橫箍 SRC 柱與傳統橫箍 RC 柱之 軸力-位移曲線比較.....	76
圖 3.8 相同縱向總用鋼量與箍筋間距之五螺箍 SRC 柱與傳統橫箍 SRC 柱之 軸力-位移曲線的比較.....	77
圖 3.9 包覆型 SRC 柱之鋼骨圍束混凝土區域示意圖.....	78
圖 3.10 傳統橫箍 SRC 柱十字型鋼骨斷面與箱型鋼骨斷面之軸力 - 位移曲線比較.....	79
圖 3.11 五螺箍 SRC 柱十字型鋼骨斷面與箱型鋼骨斷面之軸力 - 位移曲線比較.....	80
圖 3.12 五螺箍 SRC 柱、五螺箍 RC 柱與五螺箍 RC 柱之軸力-位移曲線的比較.....	81
圖 3.13 高鋼骨量五螺箍 SRC 柱、五螺箍 RC 柱與傳統橫箍 RC 柱	

軸力-位移曲線的比較.....	81
圖 3.14 五螺箍 SRC 柱、傳統橫箍 SRC 柱與五螺箍 RC 柱之韌性指標比較圖.....	82
圖 4.1 本研究之五螺箍 SRC 柱斷面圖.....	83
圖 4.2 本研究 SRC 柱反覆載重試驗之試體立面圖.....	84
圖 4.3 本研究 SRC 柱反覆載重試驗之試體平面圖.....	84
圖 4.4 試體 C-SRC1 之正立面圖.....	85
圖 4.5 試體 C-SRC2 之正立面圖.....	86
圖 4.6 試體 C-SRC1、C-SRC2 之柱主筋配置圖.....	87
圖 4.7 試體 C-SRC1、C-SRC2 之基礎主筋配置圖.....	87
圖 4.8 試體 C-SRC3 之正立面圖.....	88
圖 4.9 試體 C-SRC4 之正立面圖.....	89
圖 4.10 試體 C-SRC3、C-SRC4 之柱主筋配置圖.....	90
圖 4.11 試體 C-SRC3、C-SRC4 之基礎主筋配置圖.....	90
圖 4.12 本研究 SRC 柱反覆載重試驗構架示意圖.....	91
圖 4.13 本研究反覆載重加載歷程圖.....	91
圖 4.14 P- Δ 效應修正示意圖.....	92
圖 4.15 SRC 柱受往復載重作用之遲滯迴圈：試體 C-SRC1.....	93
圖 4.16 SRC 柱受往復載重作用之遲滯迴圈：試體 C-SRC2.....	93
圖 4.17 SRC 柱受往復載重作用之遲滯迴圈：試體 C-SRC3.....	94
圖 4.18 SRC 柱受往復載重作用之遲滯迴圈：試體 C-SRC4.....	94
圖 4.19 SRC 柱受往復載重作用之遲滯迴圈包絡線：試體 C-SRC1 與 C-SRC2.....	95
圖 4.20 SRC 柱受往復載重作用之遲滯迴圈包絡線：試體 C-SRC3 與 C-SRC4.....	95
圖 4.21 試體 C-SRC1 之柱底部鋼骨翼板、主筋及箍筋的應變計讀數變化.....	96
圖 4.22 試體 C-SRC2 之柱底部鋼骨翼板、主筋及箍筋的應變計讀數變化.....	96

照片目錄

	頁數
照片 3.1 SRC 柱灌漿前之情形.....	97
照片 3.2 SRC 柱試體灌漿並搗實.....	98
照片 3.3 在 SRC 柱試體灌漿時同時製作 150×300 mm 的標準混凝土圓柱試體...	98
照片 3.4 6000 噸萬能試驗機與 SRC 短柱試體之架設情形.....	99
照片 3.5 五螺箍 SRC 柱於試驗結束後剝除碎裂混凝土後之情況.....	100
照片 3.6 五螺箍 RC 柱 (試體 RC) 與有角隅繫筋之傳統橫箍 SRC 柱 (試體 SRC1、SRC2、SRC3) 達極限載重 P_u 時之破壞情形.....	101
照片 3.7 五螺箍 RC 柱 (試體 RC) 與無角隅繫筋之傳統橫箍 SRC 柱 (試體 SRC4、SRC5) 達極限載重 P_u 時之破壞情形.....	102
照片 3.8 五螺箍 SRC 柱 (試體 SRC11 至 SRC13) 與傳統橫箍 SRC 柱 (試體 SRC1 至 SRC5) 達極限載重 P_u 時之破壞情形.....	103
照片 3.9 傳統橫箍 SRC 柱十字型鋼骨斷面 (試體 SRC2、SRC3) 與箱型鋼骨 斷面 (試體 SRC6、SRC7) 達極限載重 P_u 時之破壞情形.....	106
照片 3.10 五螺箍 SRC 柱十字型鋼骨斷面 (試體 SRC9、SRC10) 與箱型鋼骨 斷面 (試體 SRC14、SRC15) 達極限載重 P_u 時之破壞情形.....	107
照片 3.11 五螺箍 SRC 柱 (試體 SRC8、SRC9、SRC10) 與五螺箍 RC 柱 (試體 RC) 達極限載重 P_u 時之破壞情形.....	108
照片 4.1 五螺箍(5-Spirals)與內含十字型鋼骨之五螺箍 SRC 柱.....	109
照片 4.2 本研究 SRC 柱鋼骨、主筋及箍筋組立與混凝土灌漿完成情形.....	110
照片 4.3 本研究 SRC 柱反覆載重試驗配置.....	111
照片 4.4 試體 C-SRC1 在層間變位角達 3.0% 及 5.9% 弧度時之情形.....	111
照片 4.5 試體 C-SRC2 在層間變位角達 3.0% 及 5.7% 弧度時之情形.....	112

照片 4.6 試體 C-SRC2 最終破壞情形.....112

照片 4.7 試體 C-SRC3 在層間變位角達 3.0% 及 6.0% 弧度時之情形.....113

照片 4.8 試體 C-SRC4 在層間變位角達 3.0% 及 6.0% 弧度時之情形.....113



符號說明

A_c	混凝土之斷面積
A_{cc}	圍束箍筋外緣以內之混凝土斷面積
A_{ch}	受箍筋圍束部分柱核之斷面積
A_g	構材之全斷面積
A_{hcc}	高度圍束區混凝土之斷面積
A_r	縱向鋼筋之斷面積
A_s	鋼骨之斷面積
A_{sh}	圍束箍筋之總斷面積
A_{st}	縱向鋼筋（含鋼骨）之總斷面積
C_1	合成斷面之轉換係數
E_c	混凝土之彈性模數
E_s	鋼骨之彈性模數
EI_{eff}	構件之有效勁度
$(EI)_{RC}$	RC 部份之撓曲剛度
f'_c	混凝土之標稱抗壓強度
f'_{cc}	混凝土受圍束之抗壓強度
$(f'_c)_{test}$	混凝土之試驗抗壓強度
f_{yr}	縱向鋼筋之標稱降伏應力
$(f_{yr})_{test}$	縱向鋼筋之試驗降伏應力
f_{ys}	鋼骨之標稱降伏應力
$(f_{ys})_{test}$	鋼骨之試驗降伏應力
h_c	受箍筋圍束之柱核心斷面之寬度
I_c	混凝土之慣性矩



I_g	構材全斷面之慣性矩
I_s	鋼骨之慣性矩
K	柱體側向彈性勁度
L	側力施加點到柱底之距離
L_l	柱頂到柱底之距離
M_n	SRC 斷面之標稱彎矩強度
M_{ns}	鋼骨部分之標稱彎矩強度
M_{rc}	RC 部分之標稱彎矩強度
M_{nxs}	對 x 軸彎曲時鋼骨部分之標稱彎矩強度
M_{nys}	對 y 軸彎曲時鋼骨部分之標稱彎矩強度
$M_{P-\Delta}$	二次彎矩
$(M_P)_s$	鋼骨斷面之塑性彎矩強度
M_u	組合載重引致作用於 SRC 構材之需要彎矩強度
M_{rc}	RC 部分所分擔之需要彎矩強度
M_{us}	鋼骨部分所分擔之需要彎矩強度
$(M_u)_{test}$	試驗所得之彎矩強度值
M_{uxs}	對 x 軸彎曲時鋼骨部分之需要彎矩強度
M_{uys}	對 y 軸彎曲時鋼骨部分之需要彎矩強度
P_h	油壓致動器施加之側向力
P_{eq}	SRC 柱所受的總側向力
P_{hcc}	高度圍束區混凝土(Highly Confined Concrete)之軸向受壓強度
P_n	構件之軸向標稱強度
P_{nrc}	RC 部分之標稱受壓強度
P_{ns}	鋼骨部分之標稱受壓強度
$(P_n)_u$	SRC 柱之軸向受壓強度
$P_{P-\Delta}$	由 $P-\Delta$ 效應所造成的額外側向力

P_s	鋼骨之軸向抗壓強度
$(P_u)_{squash}$	短柱試體之壓碎軸壓強度
$(P_u)_{test}$	短柱試體之試驗軸壓強度
r_{eff}	SRC 構材中鋼骨斷面之有效迴轉半徑
r_s	鋼骨斷面之迴轉半徑
s	柱圍束箍筋之間距
α	鋼骨斷面有效迴轉半徑修正係數
β	試體彈性階段之混凝土彈性模數折減係數
γ	試體非彈性階段之混凝土彈性模數折減係數
ρ_s	圍束箍筋之體積比
θ	軸力作用方向與鉛垂面之轉角
ϕ	強度折減係數
ϕ_b	SRC 斷面之彎矩強度折減係數
ϕ_{bs}	鋼骨部分之彎矩強度折減係數
ϕ_{brc}	RC 部份之彎矩強度折減係數
ϕ_c	SRC 柱之強度折減係數 (LRFD)
ϕ_{crc}	RC 部分之強度折減係數
ϕ_{cs}	鋼骨部分之強度折減係數
ϕ_e	RC 部分考慮最小偏心距及持久載重影響之強度折減係數
Ω_c	SRC 柱之強度折減係數 (ASD)
δ	水平油壓致動器所施加之側向位移
δ''	柱頂之側位移
$\epsilon_{0.7P_u}$	試體軸壓強度下降至其極限軸壓強度七成時所測得之軸向應變量
ϵ_{P_u}	試體軸壓強度達極限軸壓強度時之軸向應變量
μ	韌性指標(Ductility Index)