

# 大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行 為之分析研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 99 年 12 月



# 大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究

研究主持人：李台光 研究員  
協同主持人：薛凱元 研發替代役研究員

內政部建築研究所自行研究報告  
中華民國 99 年 12 月







## 目次

表次	III
圖次	V
誌謝	XI
摘要	XIII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法及進度說明	1
第三節 蒐集之資料、文獻分析	2
第二章 98年9組大尺寸圓柱試體試驗結果分析	9
第一節 試體之規劃	9
第二節 試體細部設計及強度檢核	9
第三節 試體軸向試驗結果分析	11
第三章 實驗試體之規劃設計及製作	27
第一節 試體之規劃設計	27
第二節 鋼筋混凝土圓柱試體之發包作業	27
第三節 試體之施工、組模及澆置混凝土	30
第四章 試驗過程與結果之分析	57
第一節 試驗過程與觀察結果	57
第二節 試體軸向變形能力之討論	57
第五章 結論與建議	87
第一節 結論	87
第二節 建議	87
附錄一 期中簡報審查意見會議紀錄	89
附錄二 期末簡報審查意見會議紀錄及回應表	95

參考資料 · · · · · 101

## 表次

表 2-1	本研究(98 年)之圓形柱試體規劃	13
表 2-2	本研究(98 年)之圓形柱軸向變形性能彙整表	14
表 3-1	本研究試體規劃彙整表	32
表 3-2	竹節鋼筋試驗表	33
表 3-3	本研究混凝土配合比例設計表	34
表 3-4	圓形柱試體 14 天混凝土強度彙整表	35
表 3-5	圓形柱試體 28 天混凝土強度彙整表	36
表 3-6	圓形柱試體鋼筋應變值彙整表	37
表 3-7	本研究之圓形柱試體鋼筋應變值彙整表	43
表 4-1	圓形柱試體試驗時混凝土強度彙整表	59
表 4-2	圓形柱軸向變形性能彙整表	61



## 圖次

圖 1-1	日本東京工業大學 TP-54~59 試體斷面圖	7
圖 1-2	日本土木研究所圓形橋柱試體圖	7
圖 1-3	橋梁耐震設計規範草案建議圓柱示意圖	8
圖 2-1	本研究(98 年)圓形柱試體之立面及剖面圖	15
圖 2-2	本研究(98 年)RC1 試體之中央試驗段斷面圖	16
圖 2-3	本研究(98 年)RC2 試體之中央試驗段斷面圖	16
圖 2-4	本研究(98 年)RC3 試體之中央試驗段斷面圖	17
圖 2-5	本研究(98 年)RC4 試體之中央試驗段斷面圖	17
圖 2-6	本研究(98 年)RC5 試體之中央試驗段斷面圖	18
圖 2-7	本研究(98 年)RC6 試體之中央試驗段斷面圖	18
圖 2-8	本研究(98 年)RC7 試體之中央試驗段斷面圖	19
圖 2-9	本研究(98 年)RC8 試體之中央試驗段斷面圖	19
圖 2-10	本研究(98 年)RC9 試體之中央試驗段斷面圖	20
圖 2-11	本研究(98 年)圓形柱應變計位置圖	20
圖 2-12	本研究(98 年)RC1 試體軸向力與位移圖	21
圖 2-13	本研究(98 年)RC2 試體軸向力與位移圖	21
圖 2-14	本研究(98 年)RC3 試體軸向力與位移圖	22
圖 2-15	本研究(98 年)RC4 試體軸向力與位移圖	22
圖 2-16	本研究(98 年)RC5 試體軸向力與位移圖	23
圖 2-17	本研究(98 年)RC6 試體軸向力與位移圖	23
圖 2-18	本研究(98 年)RC7 試體軸向力與位移圖	24
圖 2-19	本研究(98 年)RC8 試體軸向力與位移圖	24
圖 2-20	本研究(98 年)RC1 試體軸向力與位移圖	25

圖 3-1	圓形柱試體之立面及剖面圖	39
圖 3-2	RC4a 試體之中央試驗段斷面圖	40
圖 3-3	RC5a 試體之中央試驗段斷面圖	40
圖 3-4	RC5b 試體之中央試驗段斷面圖	41
圖 3-5	RC5c 試體之中央試驗段斷面圖	41
圖 3-6	RC6a 試體之中央試驗段斷面圖	42
圖 3-7	RC9a 試體之中央試驗段斷面圖	42
圖 3-8	圓形柱應變計位置圖	43
圖 3-9	圓形柱試體鋼筋組立圖	44
圖 3-10	RC4a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖	44
圖 3-11	RC4a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖	45
圖 3-12	RC5a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖	45
圖 3-13	RC5a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖	46
圖 3-14	RC5b-1 試體中央測試段鋼筋組立圖	46
圖 3-15	RC5b-2 試體中央測試段鋼筋組立圖	47
圖 3-16	RC5c-1 試體中央測試段鋼筋組立圖	47
圖 3-17	RC5c-2 試體中央測試段鋼筋組立圖	48
圖 3-18	RC6a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖	48
圖 3-19	RC6a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖	49
圖 3-20	RC9a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖	49
圖 3-21	RC9a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖	50
圖 3-22	圓形柱鋼筋組立完成圖	50
圖 3-23	預埋鋼筋應變計施工圖(1)	51
圖 3-24	預埋鋼筋應變計施工圖(2)	51
圖 3-25	圓形柱試體組模圖	52

圖 3-26	試體澆置混凝土圖(1)	52
圖 3-27	試體澆置混凝土圖(2)	53
圖 3-28	混凝土圓柱試體製作圖(1)	53
圖 3-29	混凝土圓柱試體製作圖(2)	54
圖 3-30	RC 柱試體拆模後之照片(1)	54
圖 3-31	RC 柱試體拆模後之照片(2)	55
圖 3-32	試體頂部無收縮水泥漿施工圖(1)	55
圖 3-33	試體頂部無收縮水泥漿施工圖(2)	56
圖 3-34	鋼筋試樣試驗圖	56
圖 4-1	圓形柱試體外掛軸向變位計圖	62
圖 4-2	外掛拉線式位移計	62
圖 4-3	圓形柱試體典型破壞圖(1)	63
圖 4-4	圓形柱試體典型破壞圖(2)	63
圖 4-5	RC4a-1 試體中央測試段破壞圖(1)	64
圖 4-6	RC4a-1 試體中央測試段破壞圖(2)	64
圖 4-7	RC4a-2 試體中央測試段破壞圖(1)	65
圖 4-8	RC4a-2 試體中央測試段破壞圖(2)	65
圖 4-9	RC5a-1 試體中央測試段破壞圖(1)	66
圖 4-10	RC5a-1 試體中央測試段破壞圖(2)	66
圖 4-11	RC5a-2 試體中央測試段破壞圖(1)	67
圖 4-12	RC5a-2 試體中央測試段破壞圖(2)	67
圖 4-13	RC5b-1 試體中央測試段破壞圖(1)	68
圖 4-14	RC5b-1 試體中央測試段破壞圖(2)	68
圖 4-15	RC5b-2 試體中央測試段破壞圖(1)	69
圖 4-16	RC5b-2 試體中央測試段破壞圖(2)	69

圖 4-17 RC5c-1 試體中央測試段破壞圖(1)	70
圖 4-18 RC5c-1 試體中央測試段破壞圖(2)	70
圖 4-19 RC5c-2 試體中央測試段破壞圖(1)	71
圖 4-20 RC5c-2 試體中央測試段破壞圖(2)	71
圖 4-21 RC6a-1 試體中央測試段破壞圖(1)	72
圖 4-22 RC6a-1 試體中央測試段破壞圖(2)	72
圖 4-23 RC6a-2 試體中央測試段破壞圖(1)	73
圖 4-24 RC6a-2 試體中央測試段破壞圖(2)	73
圖 4-25 RC9a-1 試體中央測試段破壞圖(1)	74
圖 4-26 RC9a-1 試體中央測試段破壞圖(2)	74
圖 4-27 RC9a-2 試體中央測試段破壞圖(1)	75
圖 4-28 RC9a-2 試體中央測試段破壞圖(2)	75
圖 4-29 圓形柱試體軸向載重與變位關係圖(1)(MTS)	76
圖 4-30 圓形柱試體軸向載重與變位關係圖(2)(MTS)	76
圖 4-31 RC4a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖	77
圖 4-32 RC5a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖	77
圖 4-33 RC5b 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖	78
圖 4-34 RC5c 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖	78
圖 4-35 RC6a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖	79
圖 4-36 RC9a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖	79
圖 4-37 RC4a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖	80
圖 4-38 RC4a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖	80
圖 4-39 RC5a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖	81
圖 4-40 RC5a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖	81
圖 4-41 RC5b-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖	82

- 圖 4-42 RC5b-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖 · 82
- 圖 4-43 RC5c-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖 · 83
- 圖 4-44 RC5c-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖 · 83
- 圖 4-45 RC6a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖 · 84
- 圖 4-46 RC6a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖 · 84
- 圖 4-47 RC9a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖 · 85
- 圖 4-48 RC9a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖 · 85



## 誌 謝

本研究計畫執行期間，承蒙國立臺灣科技大學營建系陳正誠教授撥冗指導，並提供寶貴之建議與意見，使本研究計畫得以順利進行，在此表示誠摯感謝。



## 摘要

關鍵詞：鋼筋混凝土圓柱、繫筋、設計規範

### 一、研究緣起

相對於鋼筋混凝土(RC)矩形柱而言，國內建築上部結構較少採用圓形柱，而建築的下部樁基礎及橋梁則較常採用，此外現行混凝土工程設計規範與解說僅針對螺箍筋圓形柱之箍筋尺寸、淨間距、續接長度及螺箍筋體積比有所規定。然而對於國內常用的圓形閉合箍筋柱之相關設計細部，則無相關規定，使得國內設計者及施工者無所適從，莫衷一是，因此實有必要加以研究與釐清，以保障人民生命財產之安全。

有鑒於此，本所曾於去(98)年度進行9組18支大尺寸RC圓形短柱軸壓試驗，探討在各種箍、繫筋配置方式下，其軸向受壓之行為，以評估各類箍、繫筋配置方式的可行性及實用性，嘗試解決國內工程實務的問題，並獲致初步具體結論。本(99)年度廣續規劃6組12支大尺寸(直徑：85 cm)RC圓形短柱，持續針對國內圓形柱圓形閉合箍筋及內繫筋之設計及施工實務問題，做進一步的研究。

本研究之預期成果包括：(1)驗證大尺寸RC圓形柱在不同箍筋及繫筋配置方式下，RC柱受軸壓力之行為，提供國內工程實務界參考；(2)依據本研究之結論，提出兼顧圍束效果及施工性較佳之箍筋及繫筋配置方式之建議，提供國內工程實務界參考；(3)檢討現行RC構造設計規範柱箍筋與繫筋之相關規定，並且提出適用於大尺寸RC圓柱箍筋與繫筋施工方式之規範條文建議。

### 二、研究方法及過程

本計畫之工作內容包括相關文獻之回顧與蒐集、RC柱試體之規劃及設計、RC柱試體之製作、試驗及試驗結果之整理及分析、以及舉辦期中、期末簡報會議與工作會議，邀請國內專家學者與相關業界人士與會，以進行意見交流。經由本案之研究，希望可將國內結構工程整體水準向上提升，使RC圓柱箍筋及繫筋之規劃及設計更有依循的參考，以確實達到提高結構物耐震能力之預期目標，並使工程設計單位能充分瞭解正確的繫筋之設計及施工。本研究已完成相關文獻之回顧

與蒐集、RC 柱試體之規劃及設計、召開第 1 次工作會議(5 月 27 日)、RC 柱試體之採購及製作(6 月 28 日決標；7 月 23 日完成所有試體混凝土澆置；並於 9 月 1 日完成驗收)、召開期中簡報會議(8 月 26 日)、RC 柱試體試驗(於 9 月 28、29、30 日及 10 月 1 日等 4 個工作天完成)與試驗結果之整理及初步分析，後續將持續進行試驗結果之詳細分析與歸納及提出結論與建議，供工程實務界參考。

### 三、重要發現

- (1)採用彎鉤( $12d_b$ )直接鉤主筋，上下錯開 $\ell_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 80%。
- (2)搭接( $\ell_{dh}$ )及彎鉤( $12d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開 $\ell_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 24%。
- (3)搭接( $\ell_{dh}$ )及彎鉤( $6d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開 $\ell_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 72%。
- (4)搭接( $\ell_{dh}$ )及彎鉤( $12d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開 $2\ell_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 116%。
- (5)彎鉤( $12d_b$ )不鉤主筋彎鉤，上下錯開 $\ell_{dh}$ 續接之圓箍筋柱較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋柱為佳，柱軸向受壓變形能力可增加約 36%。
- (6)內繫筋(十字形及井字形)，應可比照矩形柱，納入圓柱等值橫向鋼筋體積比。
- (7)圓箍筋應可發揮其降伏強度之圍束效果。

### 四、主要建議事項

以下分別從立即可行的建議及長期性建議加以列舉。

本研究案之研究成果，可供工程實務界參考應用，並可提供相關規範研修訂時之參考，以解決國內工程實務問題。—立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

現行混凝土工程設計規範與解說僅針對螺箍筋圓形柱之箍筋尺寸、淨間距、續接長度及螺箍筋體積比有所規定。然而對於國內常用的圓形閉合箍筋柱之相關設計

細部，則無相關規定，使得國內設計者及施工者無所適從，莫衷一是。本研究案之研究成果，可供工程實務界參考應用，並可提供相關規範研修訂時之參考，以解決國內工程實務問題。

**本研究案僅針對大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為進行探討，後續應進一步針對鋼筋混凝土圓柱同時承受軸壓及側力之行為進行研究。－長期性建議**

**主辦機關：內政部建築研究所**

**協辦機關：內政部建築研究所**

本研究案僅針對大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為進行探討，後續應進一步針對鋼筋混凝土圓柱同時承受軸壓及側力之行為進行研究，以真實模擬建築結構柱構材之受力情形。

## **ABSTRACT**

Keywords : Reinforced concrete circular columns, Crossties, Design code

Circular columns are popularly utilized in reinforced concrete buildings and bridges. ACI 318M-08 (ACI 2008) does not provide sufficient design details of transverse reinforcement like those of rectangular columns, especially for exterior circular hoop and interior crosstie. Therefore, the main purpose of this study is to evaluate the confinement effectiveness of circular hoop and interior crosstie of circular columns with different design details.

An experimental research of large-scale circular reinforced concrete column specimens was carried out at the Architecture and Building Research Institute (ABRI) Ministry of the Interior. Totally, nine sets of large-scale circular stocky reinforced concrete columns, are tested by monotonically increasing axial compression. The primary variables are circular hoop and crosstie types. Recommendations for practical design are proposed.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

相對於鋼筋混凝土(RC)矩形柱而言，國內建築上部結構較少採用圓形柱，而建築的下部樁基礎及橋梁則較常採用，此外現行混凝土工程設計規範與解說僅針對螺箍筋圓形柱之箍筋尺寸、淨間距、續接長度及螺箍筋體積比有所規定。然而對於國內常用的圓形閉合箍筋柱之相關設計細部，則無相關規定，使得國內設計者及施工者無所適從，莫衷一是，因此實有必要加以研究與釐清，以保障人民生命財產之安全。

有鑒於此，本所曾於去(98)年度進行 9 組 18 支大尺寸 RC 圓形短柱軸壓試驗 [1]，探討在各種箍、繫筋配置方式下，其軸向受壓之行為，以評估各類箍、繫筋配置方式的可行性及實用性，嘗試解決國內工程實務的問題，並獲致初步具體結論。本(99)年度將廣續規劃 6 組 12 支大尺寸(直徑：85 cm)RC 圓形短柱，持續針對國內圓形柱圓形閉合箍筋及內繫筋之設計及施工實務問題，做進一步的研究。

本研究之預期成果包括：(1)驗證大尺寸 RC 圓形柱在不同箍筋及繫筋配置方式下，RC 柱受軸壓力之行為，提供國內工程實務界參考；(2)依據本研究之結論，提出兼顧圍束效果及施工性較佳之箍筋及繫筋配置方式之建議，提供國內工程實務界參考；(3)檢討現行 RC 構造設計規範柱箍筋與繫筋之相關規定，並且提出適用於大尺寸 RC 圓柱箍筋與繫筋施工方式之規範條文建議。

### 第二節 研究方法及進度說明

本計畫之工作內容包括相關文獻之回顧與蒐集、RC 柱試體之規劃及設計、RC 柱試體之製作、試驗及試驗結果之整理及分析、以及舉辦期中、期末簡報會議與工作會議，邀請國內專家學者與相關業界人士與會，以進行意見交流。經由本案之研究，希望可將國內結構工程整體水準向上提升，使 RC 圓柱箍筋及繫筋之規劃及設計更有依循的參考，以確實達到提高結構物耐震能力之預期目標，並使工程設計單位能充分瞭解正確的繫筋之設計及施工。本研究已完成相關文獻之回顧

與蒐集、RC 柱試體之規劃及設計、召開第 1 次工作會議(5 月 27 日)、RC 柱試體之採購及製作(6 月 28 日決標；7 月 23 日完成所有試體混凝土澆置；並於 9 月 1 日完成驗收)、召開期中簡報會議(8 月 26 日)、RC 柱試體試驗(於 9 月 28、29、30 日及 10 月 1 日等 4 個工作天完成)與試驗結果之整理及初步分析，後續將持續進行試驗結果之詳細分析與歸納及提出結論與建議，供工程實務界參考。

### 第三節 蒐集之資料、文獻分析

本研究將針對美國、日本及國內 RC 圓柱繫、箍筋相關研究文獻，進行蒐集、整理與分析。

#### 1.3.1 美國之相關文獻

由於國內混凝土工程設計規範一直以來，皆參考美國混凝土學會(ACI, American Concrete Institute)之 ACI 318 規範(Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary)而研訂，因此儘管國內與美國的工程環境未必相同，其相關研究實值得國內參考借鏡，相關重要文獻分述如下：

(1) PEER structural performance database user's manual (version 1.0) (M. Berry, M. Parrish, and M. Eberhard, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, USA, 2004)

本研究[2]共蒐集 274 支矩形箍筋柱及 160 支圓形螺箍筋柱試體，承受反覆側向載重之試驗資料庫，提供包括試體的基本設計資料、側向載重與位移數位歷時資料、重要材料性質及試驗裝置等。本資料庫提供豐富的既有研究成果，供研究者參考比對，惟其缺點在於並無單純承受軸壓之試體、只有螺箍筋圓柱的資料及柱試體較小等缺點(圓形螺箍筋柱最大直徑：60 cm)。

(2) Performance of circular reinforced concrete bridge columns under bidirectional earthquake loading (M. M. Hachem, S. A. Mahin, and J. P. Moehle, Pacific Earthquake

Engineering Research Center, PEER 2003/6, University of California, Berkeley, USA, 2003)

本研究[3]係於美國加州大學柏克萊分校地震工程研究中心進行，針對 4 支直徑為 40 cm 之鋼筋混凝土橋梁圓柱進行震動台試驗，此外並以有限元素分析結果與試驗行為進行比對，圓柱為螺箍筋配置並採用光面鋼線，其螺箍筋體積比為 0.0054 且無配置繫筋。

(3) ACI 318M-08 (Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2008)

本規範[4]係由美國混凝土學會(ACI)所研訂，為鋼筋混凝土建築結構設計及施工的重要參考依據，但該規範僅針對螺箍筋圓形柱之箍筋尺寸、淨間距、續接長度及螺箍筋體積比有所規定，然而對於國內常採用的圓形閉合箍筋柱之相關設計細部，則無相關規定。

另依據本規範之第 12.5.1、12.5.2 及 12.5.3 節之規定：

拉力鋼筋標準彎鉤伸展長度為  $\ell_{dh} = (0.24\psi_e \lambda f_y / \sqrt{f'_c})d_b$ ，其中對於環氧樹脂塗布鋼筋  $\psi_e$  值取 1.2，對於輕質混凝土  $\lambda$  值取 1.3。其他情形： $\psi_e$  及  $\lambda$  皆為 1.0。

$\ell_{dh}$  可乘以以下適用的修正因數予以折減，但不得小於  $8d_b$  或 15 cm:

對於 #11(D36) 或較小鋼筋，其側面保護層(垂直彎鉤平面)  $\geq 6.5$  cm，且若 90 度彎鉤直線延長段  $\geq 5$  cm，修正因數可取 0.7。

因此可得

$$\ell_{dh} = \frac{0.168 f_y}{\sqrt{f'_c}} d_b \quad (1)$$

(4) ACI Committee 105 (Reinforced Concrete Column Investigations) -- ACI Journal, Proceedings: Vol. 26, April 1930, 601-612; Vol. 27, February 1931, 675-676; Vol. 28, November 1931, 157-578; Vol. 29, September 1932, 53-56; Vol. 30, September-October 1933, 78-90; November-December 1933, 153-156.

ACI 105 技術委員會[5]依據伊利諾大學(University of Illinois)及里海大學(Lehigh University)於 1927 至 1933 年進行 564 支鋼筋混凝土柱試驗之結果，研訂鋼筋混凝土柱極限軸向強度公式： $P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$ ，其中  $f'_c$  = 混凝土之規

定抗壓強度； $A_g$  = 總斷面積； $A_{st}$  = 縱向鋼筋斷面積及  $f_y$  = 縱向鋼筋之規定降伏強度。其試驗圓形柱直徑約為 20 cm (8-1/4 in.)，與工程實務應用之鋼筋混凝土柱尺寸相去甚遠。

### 1.3.2 日本相關文獻

(1) Kawashima Earthquake Engineering Laboratory 網站(Tokyo Institute of Technology)

日本東京工業大學 Kawashima Earthquake Engineering Laboratory 網站 Cyclic Loading Test Data of Reinforced Concrete Bridge Piers(鋼筋混凝土橋柱側向反覆載重試驗)資料庫[6]中，其中 TP-54~61 等 8 支圓柱試體之直徑為 40 cm，TP-60~61 試體採用螺箍筋，另 TP-54~59 試體採用圓形閉合箍筋彎鉤直接續接，其螺箍筋體積比為 0.00745，參見圖 1-1 所示。

(2) Shake table experiment on circular reinforced concrete bridge column under multidirectional seismic excitation (J. Sakai and S. Unjoh；日本獨立行政法人土木研究所，2007 年)

本研究[7]主要係針對橋梁鋼筋混凝土圓柱進行振動台多方向試驗，其圓柱試體之直徑為 60 cm，採用組合圓箍筋之配置，此外並以有限元素分析結果與試驗行為進行比對，其螺箍筋體積比為 0.0031，如圖 1-2 所示。

### 1.3.3 國內相關文獻

(1) 公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究(張國鎮等，國家地震工程研究中心研究報告：NCREE-07-055，2007 年)

本研究報告[8]主要係針對現有公路橋梁耐震設計規範條文進行探討與修訂，根據本研究報告建議，對於圓柱而言，螺箍筋或閉合圓箍筋之配置細部要求可參考日本道路橋示方書中之規定，如圖 1-3 所示。

## (2) 中國土木工程學會(土木 401-93)

本規範草案[9]主要係依據美國混凝土學會(ACI, American Concrete Institute)之 ACI 318-02 (Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary)而研定，其中第十三章設計細則有關受壓構材之螺箍筋配置細部規定如下：

第 13.9.4.2 節：現場澆置受壓構材之螺箍筋不得小於 D10。

第 13.9.4.3 節：螺箍筋之淨間距不得大於 7.5 cm，亦不得小於 2.5 cm 或粗粒料標稱最大粒徑之 1.33 倍。

第 13.9.4.4 節：螺箍筋應於兩端再加 1.5 圈以為錨定。

第 13.9.4.5 節：螺箍筋需續接時，搭接長度不小於 30 cm 與  $48d_b$  (無粘裹竹節鋼棒或鋼線)之大者。(  $d_b$  為螺箍筋之標稱直徑)

另第十五章耐震設計之特別規定有關鋼筋混凝土柱橫向鋼筋配置之規定如下：

第 15.5.4.1 節：

(1)螺箍或圓形閉合箍筋之體積比  $\rho_s$  不得小於以下兩式之值：

$$\rho_s = 0.45 \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yh}} \quad (2)$$

$$\rho_s = 0.12 \frac{f'_c}{f_{yh}} \quad (3)$$

其中

$A_c$  = 螺箍筋柱螺箍外緣以內之斷面積。

$f_{yh}$  = 橫向鋼筋之規定降伏強度。

(3)橫向鋼筋可採用單個或重疊閉合箍筋。與閉合箍筋相同大小與間距之繫筋應可使用。繫筋的兩端均須圍繞於縱向鋼筋，並間隔換端。

第 15.2 節：

耐震彎鉤：凡肋筋、箍筋或繫筋中之彎鉤，若其彎角不少於 135 度，且彎後至少延伸  $6d_b$  (但不得小於 7.5 cm)，彎鉤必須圍繞縱向鋼筋後進入肋筋或箍筋所圍束區域之內部。

繫筋：一連續鋼筋，其一端具耐震彎鉤；另一端為至少 90 度之彎鉤，且彎後至少直線延伸  $6d_b$ 。各彎鉤均須圍繞縱向鋼筋。鉤住同一主筋相鄰各繫筋之 90 度

與 135 度彎鉤應交替排置。

(3) 圓柱橫箍筋搭接長度之合理性探討 (技師月刊第 48 期第 39~43 頁, 台北市土木技師公會 2008 年 3 月發行)

現行「結構混凝土設計規範」對於鋼筋混凝土圓形柱或基樁之箍筋的搭接長度, 僅對採用螺箍筋時有作規定, 對於採用一般橫箍筋時, 其搭接長度究應採用多少長度並無明確之規定, 導致設計與施工者無所適從。本研究[10]嘗試從「結構混凝土設計規範」之既有條文中整理歸納出可依循的方向, 供工程師設計參考, 也希望建築主管機關及學術單位能儘速進行相關實驗, 提供一套可靠安全之箍筋搭接長度供設計者遵循, 以維公共安全。

(4) 一筆箍及年年發預製箍筋之研發(潤弘精密工程事業股份有限公司網站:  
<http://www.ruentex.com.tw>)

國內預鑄廠[11]有鑒於鋼筋現場綁紮常常是最費工, 也是最容易因為人為的疏失導致施工結果與設計不符的情形, 嘗試進行預製箍筋的研發, 所謂的一筆箍, 即指箍筋在鋼筋廠中將一根鋼筋, 依據設計連續彎折成箍筋的形狀, 箍筋已事先從工廠中彎折成設計之大小, 運至工地後僅需將箍筋套入, 省去工地現場許多箍筋加工的工項, 加快施工之速度, 而年年發則是一種採用螺旋箍筋新工法。

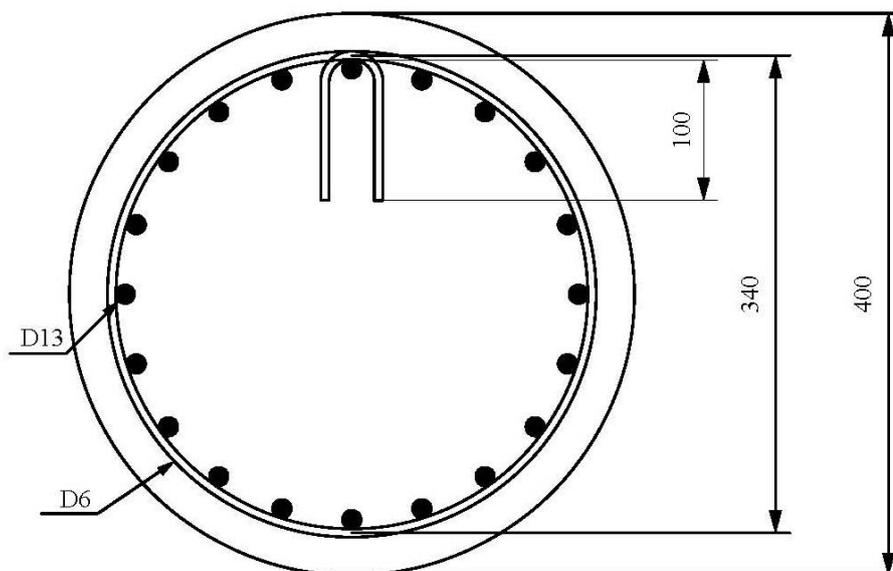


圖 1-1 日本東京工業大學 TP-54~59 試體斷面圖(單位：mm)

(資料來源：參考文獻[6])

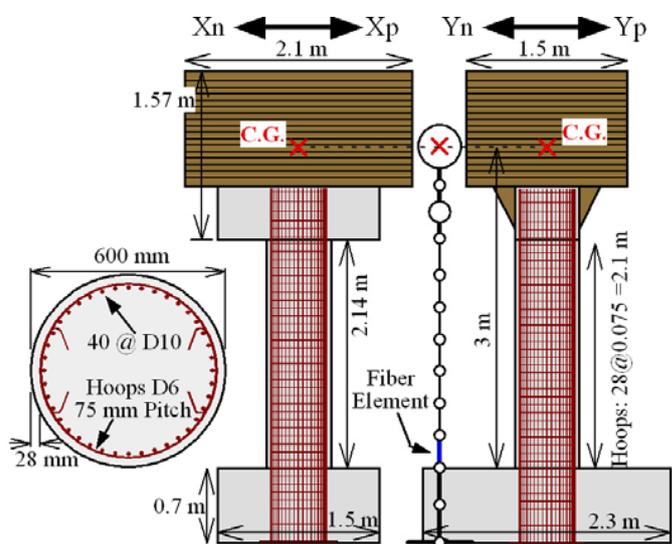
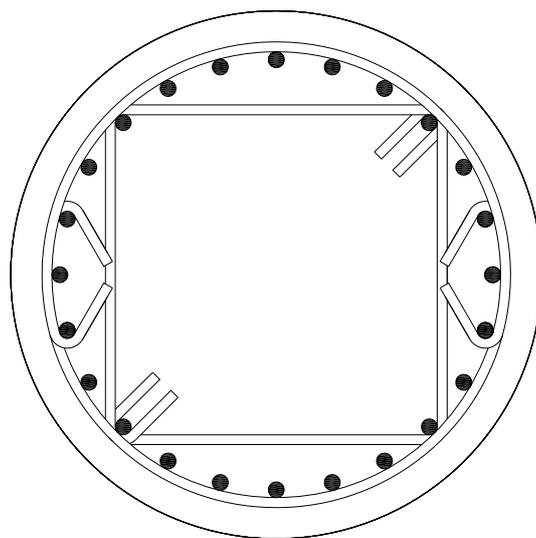
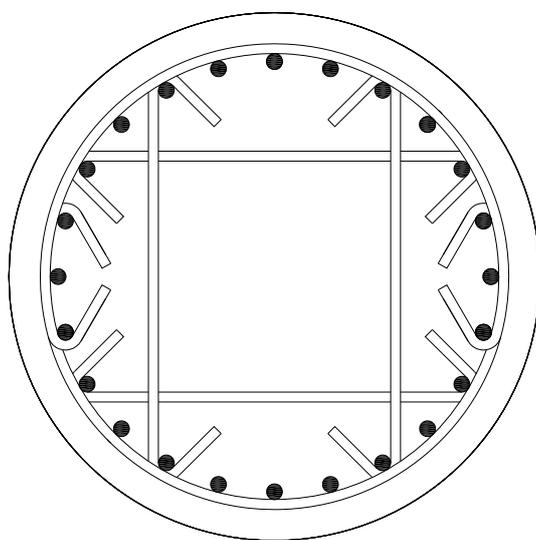


圖 1-2 日本土木研究所圓形橋柱試體圖

(資料來源：參考文獻[7])



(a)



(b)

圖 1-3 橋梁耐震設計規範草案建議圓柱示意圖

(資料來源：參考文獻[8])

## 第二章 98 年 9 組大尺寸圓柱試體試驗結果分析

本所於去(98)年度已完成 9 組 18 支圓形短柱試體的軸壓試驗，以下將針對試驗結果詳加說明，並做為今(99)年度規劃試體之參考依據。

### 第一節 試體之規劃

由第一章之相關文獻回顧得知，對於 RC 圓柱，美國 ACI 規範及相關設計、施工皆以螺箍筋為主，尚未發現有採用圓形閉合箍筋及內部繫筋之研究文獻。而日本則對於橋梁 RC 柱，發現採用螺箍筋、圓形閉合箍筋及內部繫筋之研究資料。由於國內長期以來，皆參考 ACI 規範研訂國內規範，但因臺灣與美國國情不盡相同，國內常有使用圓形閉合箍筋的需求，致使設計者及施工者無所依據。因此首先規劃螺箍筋 RC 圓柱 2 組(ACI 續接長度  $48d_b$  及日本東京工業大學彎鉤直接續接方式)，另設計圓形閉合箍筋 RC 圓柱 5 組(ACI 續接長度  $48d_b$ 、日本東京工業大學彎鉤直接續接、ACI 拉力彎鉤續接、彎鉤直接續接但不鉤住主筋及彎鉤直接續接但僅鉤住輔助鋼筋)。最後規劃圓形閉合箍筋搭配 2 根標準繫筋 RC 圓柱 1 組(橫向鋼筋體積比與標準試體接近)，以及圓形閉合箍筋搭配 4 根繫筋 RC 圓柱 1 組(135 度繫筋且橫向鋼筋體積比與標準試體相同)。去(98)年度研究之圓形 RC 柱試體彙整表，參見表 2-1。

### 第二節 試體細部設計及強度檢核

本研究選定之圓柱試體直徑為 85 cm，高寬比選定為 3，因此試體的總高度為 258 cm (其中混凝土的高度為 255 cm；另含頂部及底部之 1.5 cm A572 Grade 50-直徑 85 cm 圓鋼板)，以下為試體設計之詳細資料：

- (1)材料強度： $f'_c = 28 \text{ MPa}$  ( $280 \text{ kgf/cm}^2$ )；主筋： $f_y = 414 \text{ MPa}$  ( $4200 \text{ kgf/cm}^2$ )；箍筋及繫筋： $f_{yt} = 414 \text{ MPa}$  ( $4200 \text{ kgf/cm}^2$ )。
- (2)柱試體斷面直徑為 85 cm；混凝土之保護層厚度= 5 cm；總高度為 258 cm。
- (3)主筋設計：

採用  $\rho_{st} = 0.02$ ；因此所需之主筋面積為  $A_{st} = 0.02 \times 0.25 \times \pi \times 85 \times 85 = 113.5 \text{ cm}^2$ 。考慮 24 根主筋均勻排列；主筋採用 #8(D25)， $A_{st} = 24 \times 5.067 = 121.608 \text{ cm}^2 \approx 113.5 \text{ cm}^2$ 。

(4)檢核柱之軸壓力強度：

$$P_0 = [28 \times (0.25 \times \pi \times 85 \times 85 - 121.608) + 414 \times 121.608] / 1000 = 20.58 \text{ MN} < 30 \text{ MN}$$
 為本所材料實驗中心 3000 噸萬能試驗機之最大壓力能量(OK)

另假設混凝土強度有 15% 之變異性，其最大軸壓力強度約為 23.66 MN，應屬可行之設計。

(5)橫向鋼筋之設計：

本研究設計之柱體高寬比為 3，其中規劃高度中央 3 分之 1 的區域為試驗段(亦即預期試體破壞發生的區域)，對於上部及下部 3 分之 1 的區域，其設計強度高於試驗段，以確保試體破壞於中央試驗段(因內繫筋對於圓形 RC 柱的圍束效果尚有疑慮，本研究對於非中央試驗段，採取縮小箍筋間距的設計方式)。本研究之中央試驗段標準斷面螺箍筋或圓形閉合箍筋採用 #3(D10)–每一斷面配置 2 個箍筋，間距為 8 cm (滿足螺箍筋之淨間距不得大於 7.5 cm 之要求)，計算所需的橫向鋼筋體積比是否滿足規範之要求：

$$\text{Code 1: } \rho_s = 0.45 \times \left( \frac{0.25 \times \pi \times 85 \times 85}{0.25 \times \pi \times 75 \times 75} - 1 \right) \times \frac{28}{414} = 0.0087$$

$$\text{Code 2: } \rho_s = 0.12 \times \frac{28}{414} = 0.0081$$

(a) 對於螺箍筋或圓形閉合箍筋 2-#3(D10)@8 cm：

$$\rho_s = \frac{0.71 \times \pi \times 74.05 \times 2}{0.25 \times \pi \times 75 \times 75 \times 8} = 0.0093 \text{ (符合規範之要求)}$$

此外，本研究對於繫筋之等值橫向鋼筋體積比，採用參考文獻[12]之觀念計算之(考慮斷面半圓自由體之混凝土側向擴張力與橫向鋼筋拉力成平衡狀態)。

(b) 對於圓形閉合箍筋 #4(D13) 配合 2 個 #3(D10) 135 度繫筋 @8 cm：

$$\rho_s = \frac{73.73 \times \pi \times 1.29}{0.25 \times \pi \times 75 \times 75 \times 8} + 0.25 \times 0.0093 = 0.0108 \text{ (與標準斷面橫向鋼筋比相近)}$$

(c) 對於圓箍筋 #3(D10) 與 4 個 135 度繫筋 @8 cm：

$$\rho_s = 0.0093 \text{ (與標準斷面橫向鋼筋體積比相同)}$$

(6)箍筋、繫筋之設計：

本研究有關箍筋及繫筋之細部尺寸及續接長度，皆參考混凝土工程設計規範草案[9]、ACI 318-08 規範[4]及日本東京工業大學資料庫[6]進行設計與施工。其中對於 #3 螺箍筋及圓箍筋 ( $d_b = 0.95 \text{ cm}$ ) 之直線續接長度為  $\ell_d = 48 \times 0.95 = 45.6 \text{ cm}$ ，採用

50 cm；90 度彎鉤直線延伸段為  $12d_b = 12 \times 0.95 = 11.4$  cm，採用 12 cm。另對於 #4 圓箍筋 ( $d_b = 1.27$  cm) 之 90 度彎鉤直線延伸段為  $12d_b = 12 \times 1.27 = 15.24$  cm，採用 16 cm。對於 #3 繫筋 ( $d_b = 0.95$  cm) 之 90 及 135 度彎鉤直線延伸段為  $6d_b = 6 \times 0.95 = 5.7$  cm (但不得小於 7.5 cm)，採用 8 cm。

對於 #3 鋼筋： $d_b = 0.95$  cm、 $f_y = 414$  MPa 及  $f'_c = 28$  MPa

$$\ell_{dh} = \frac{0.168 \times 414}{\sqrt{28}} \times 0.95 = 12.49 \text{ cm，採用 15 cm。}$$

對於 #4 鋼筋： $d_b = 1.27$  cm、 $f_y = 414$  MPa 及  $f'_c = 28$  MPa

$$\ell_{dh} = \frac{0.168 \times 414}{\sqrt{28}} \times 1.27 = 16.7 \text{ cm，採用 17 cm。}$$

本研究圓形 RC 柱試體之細部，參見圖 2-1 至圖 2-11。

### 第三節 試體軸向試驗結果分析

本研究除預埋的鋼筋應變計之外(參見圖 2-11)，另由資料擷取器經由 MTS 3000 噸萬能試驗機之控制箱，讀取該系統軸力及軸向變位之資料，並於中央試驗段(85 cm)之四側架設四支 LVDT(衝程為 50 mm，Kyowa DTH-A-50)及利用預埋吊環與輪軌式運載台車承壓板佈設 1 支較大衝程拉線式位移計(Displacement Transducer)(衝程為 500 mm，Kyowa DTP-05-MDS)。

本研究之試驗流程以位移控制模式(Displacement Control Mode)進行，其中軸向位移速率為 2.25 mm/min，其所對應軸向位移速率約為 0.0009 /min (ASTM C39-96 對於混凝土圓柱試驗之軸向位移速率為 0.0043 /min [13])，另設定本試驗停止的條件為當軸向載重大約衰減至最大載重之一半時，即停止試驗，本研究柱試體之軸壓試驗，於 98 年 12 月 14 日至 28 日以 11 個工作天完成。

試驗結果發現所有 18 支試體其主要破壞皆發生於中央試驗段，符合研究預期構想。依據 MTS 軸向力、LVDT 及系統軸向位移(初期採用 4 支 LVDT 之平均值；後期則以系統軸向位移為準，並考量試體非測試段及載重系統彈性變形之影響)的歷時資料，本研究 9 組 18 支試體之中央試驗段軸向力及位移圖，參見圖 2-12 至 2-20；此外，本研究以試體軸向力衰減至  $P_0$  及  $0.8P_0$  所對應之中央試驗段軸向位移值，做為軸向變形性能的判斷依據，彙整結果參見表 2-2，初步可獲得如下的結論：

(1) 經觀察本研究之 9 組 18 支圓柱試體之破壞情形，所有試體皆發現有螺箍及圓箍筋斷裂於非搭接或續接處的情況，與矩形柱之破壞情形不同(皆於角隅續接處被拉開)，推論應為螺箍及圓箍筋的圍束效果較矩形箍筋為佳。

(2) 採用彎鉤( $12d_b$ )直接鉤主筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 27%。

(3) 採用彎鉤( $12d_b$ )直接鉤主筋續接較搭接( $48d_b$ )之圓箍筋圓柱，可增加柱軸向受壓之變形能力約 21%。

(4) 搭接( $48d_b$ )之圓箍筋柱較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋柱為優，可增加鋼筋混凝土柱軸向受壓之變形能力約 7%。

(5) 搭接( $\ell_{dh}$ )及彎鉤( $12d_b$ )一端鉤主筋與彎鉤( $12d_b$ )直接鉤主筋圓箍筋之柱為差，減少鋼筋混凝土柱軸向受壓之變形能力約 4%。

(6) 彎鉤( $12d_b$ )不鉤主筋之圓箍筋柱較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋柱為佳，柱軸向受壓變形能力可增加約 7%。

(7) 彎鉤( $12d_b$ )鉤補助筋之圓箍筋柱較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋柱為佳，柱軸向受壓變形能力可增加約 16%。

(8) 內繫筋(十字形及井字形)，應可比照矩形柱，納入圓柱等值橫向鋼筋體積比。

然而，尚有待釐清之重點包括：

(1) 因前述研究中 5 組雙箍圓箍筋柱其雙箍筋皆自身錯開約四分之一的圓周距離，無法反映單箍圓箍筋之受壓行為，實有必要進行進一步研究加以澄清。

(2) 一般箍筋之彎鉤長度採用  $6d_b$ ，而非  $12d_b$  需進一步澄清。

(3) 應進一步探討連續圓箍筋之合理錯開距離，以避免箍筋續接過於集中，而造成圓柱之提前破壞。

表 2-1 本研究(98 年)之圓形柱試體規劃

編號	箍筋型式	箍筋量	續接方式
RC1	螺箍筋	2-#3@8cm	每 4.5 圈搭接 50cm；自己不錯開續接；螺箍筋間錯開續接。
RC2	螺箍筋	2-#3@8cm	每 4.5 圈 12cm 彎鈎直接鈎主筋；自己不錯開續接；螺箍筋間錯開續接。
RC3	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈搭接 50cm；自己錯開續接，上下也錯開續接
RC4	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈 12cm 彎鈎直接鈎主筋；自己錯開續接，上下錯開續接。
RC5	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈搭接 15cm 並 12cm 彎鈎一端鈎主筋；自己錯開續接，上下錯開續接。
RC6	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈 12cm 彎鈎（不鈎主筋）；自己錯開續接，上下錯開續接。
RC7	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈 12cm 彎鈎直接鈎補助鋼筋；自己不錯開續接，上下不錯開續接。
RC8	圓橫箍 繫筋	1-#4@8cm 2-#3(90-135)(十字形)	每圈搭接 17cm 並 16cm 彎鈎；上下錯開續接。
RC9	圓橫箍 繫筋	1-#3@8cm 4-#3(135-135)(井字形)	每圈搭接 15cm 並 12cm 彎鈎；上下錯開續接。

(資料來源：本研究)

註 1：混凝土強度：28 MPa；鋼筋降伏強度：414 MPa。

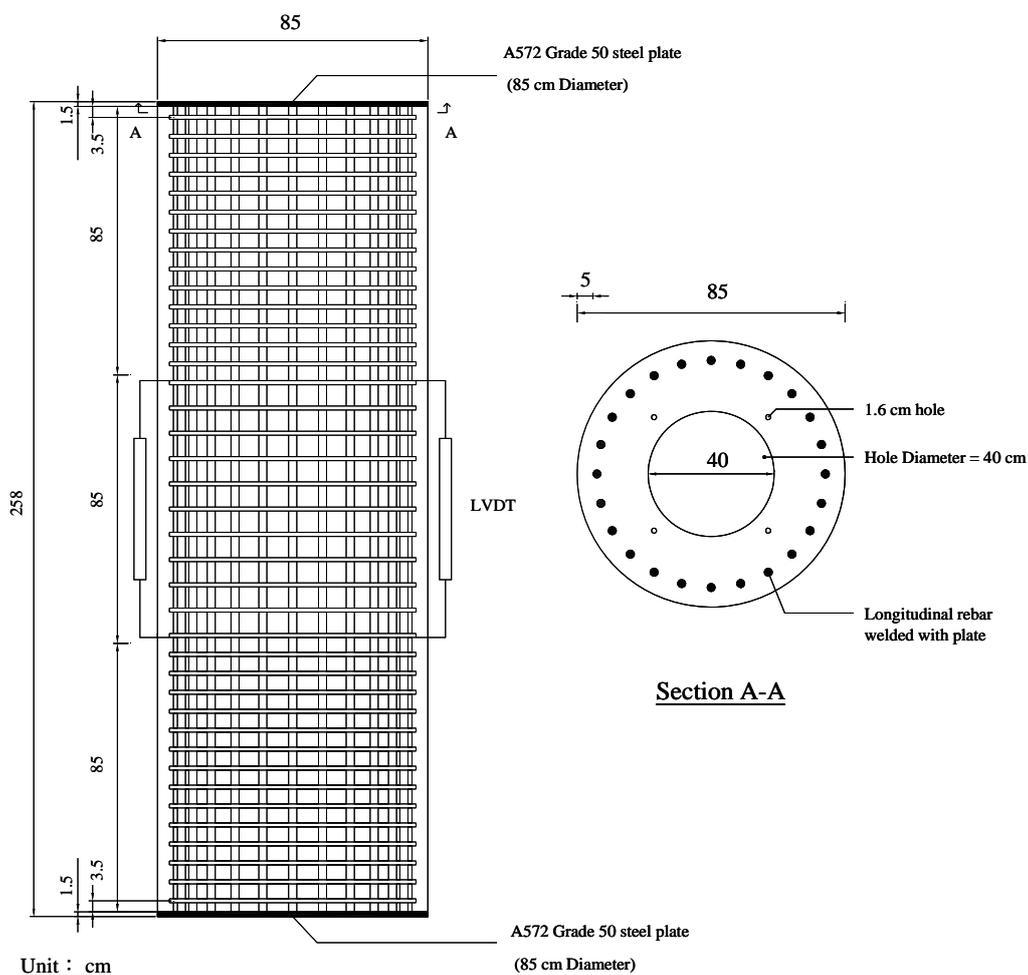
註 2：每種編號製作 2 支試體。

註 3：鋼筋應變計採用 TML(FLA-5-120-11-3L)或類似型號應變計。

註 4：螺箍筋應於兩端再加 1.5 圈以為錨定。

表 2-2 本研究(98 年)之圓形柱軸向變形性能彙整表

Specimen designation	Axial displacement at $P_0$ (mm)	Average axial displacement at $P_0$ (mm)	Ratio to benchmark (RC1) at $P_0$ (1)	Axial displacement at $0.8P_0$ (mm)	Average axial displacement at $0.8P_0$ (mm)	Ratio to benchmark (RC1) at $0.8P_0$ (2)	Average ratio of $P_0$ and $0.8P_0$ $0.5[(1)+(2)]$
RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0	1.00	1.00
RC1-2	13.5			21.9			
RC2-1	11.5	14.0	1.14	27.8	32.1	1.40	1.27
RC2-2	16.4			36.3			
RC3-1	13.0	14.5	1.18	22.0	21.9	0.95	1.07
RC3-2	15.9			21.7			
RC4-1	15.7	15.1	1.23	25.6	31.0	1.35	1.29
RC4-2	14.5			36.3			
RC5-1	14.0	13.3	1.08	33.3	31.3	1.36	1.22
RC5-2	12.6			29.2			
RC6-1	12.1	11.9	0.97	32.6	26.7	1.16	1.07
RC6-2	11.7			20.8			
RC7-1	10.9	12.2	1.00	24.0	29.5	1.28	1.14
RC7-2	13.5			34.9			
RC8-1	27.6	25.2	2.05	36.6	38.3	1.67	1.86
RC8-2	22.7			39.9			
RC9-1	7.64	9.82	0.80	25.8	26.2	1.14	0.97
RC9-2	12.0			26.6			



**圖 2-1 本研究(98 年)圓形柱試體之立面及剖面圖**  
(資料來源：本研究)

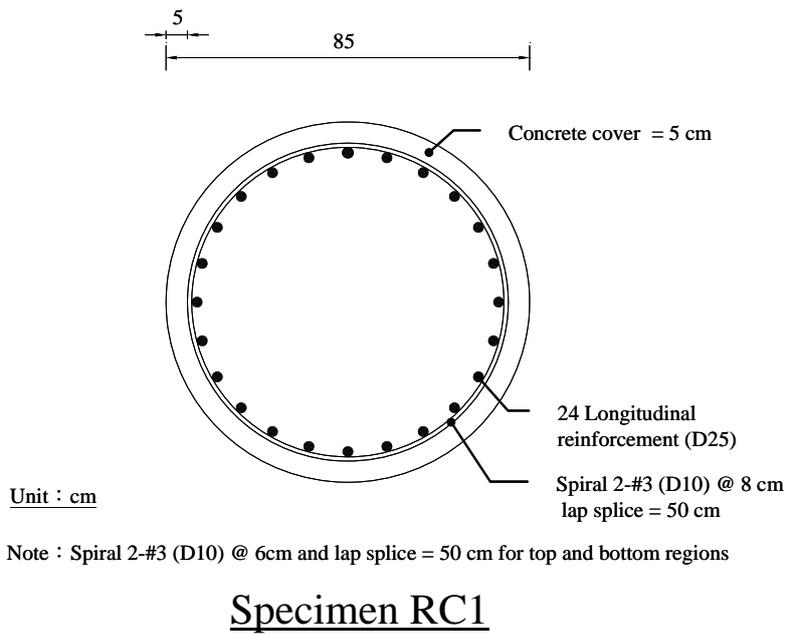


圖 2-2 本研究(98年)RC1 試體之中央試驗段斷面圖  
(資料來源：本研究)

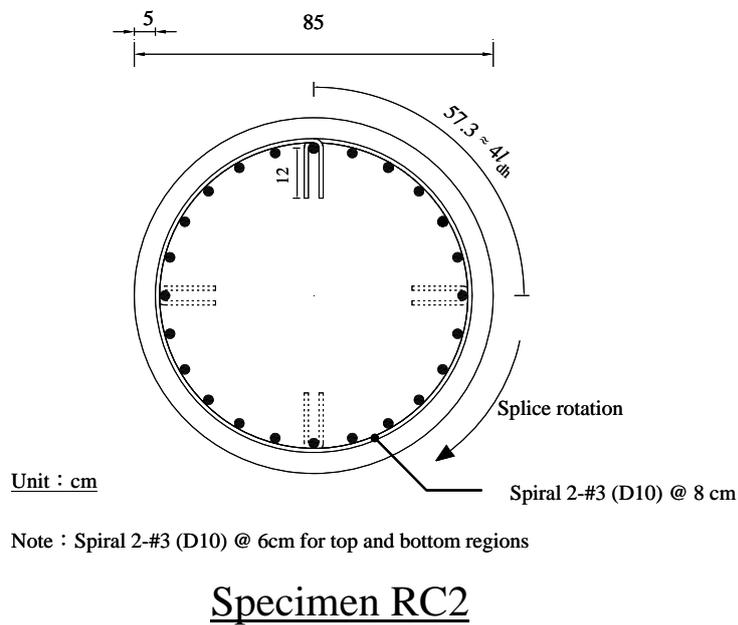
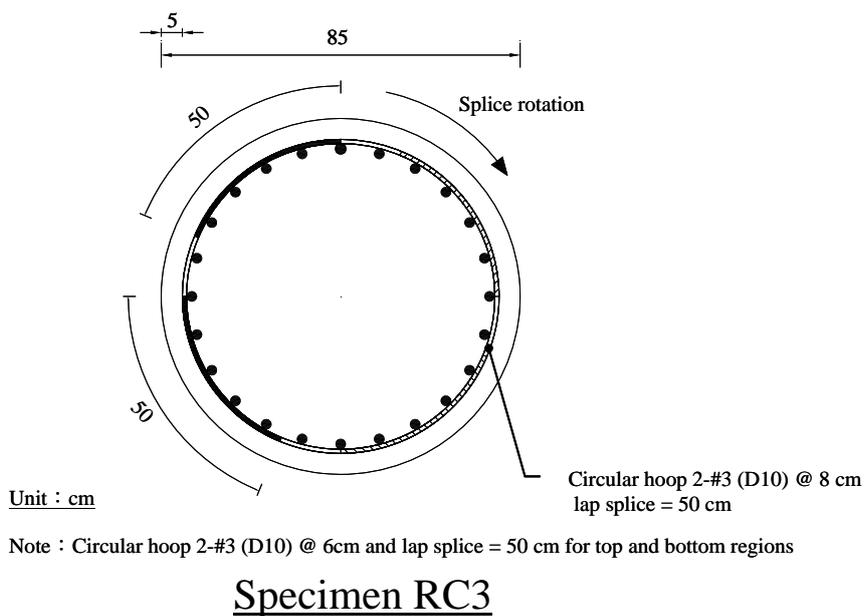
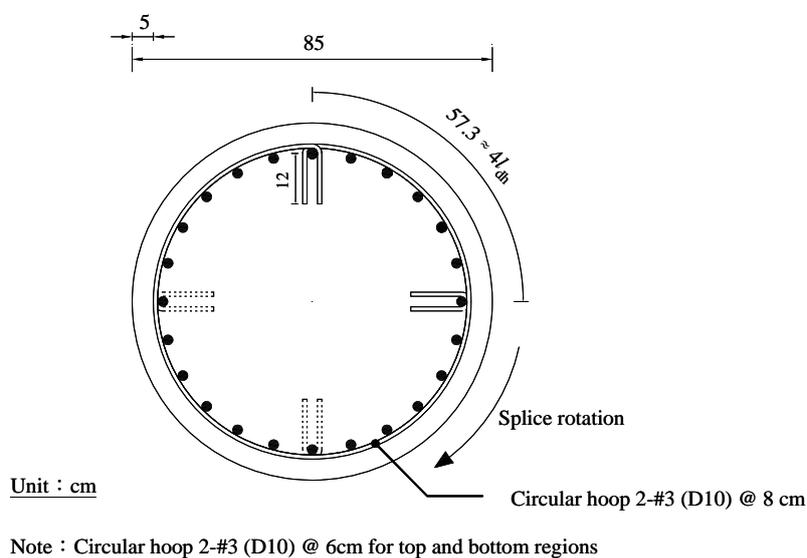


圖 2-3 本研究(98年)RC2 試體之中央試驗段斷面圖  
(資料來源：本研究)



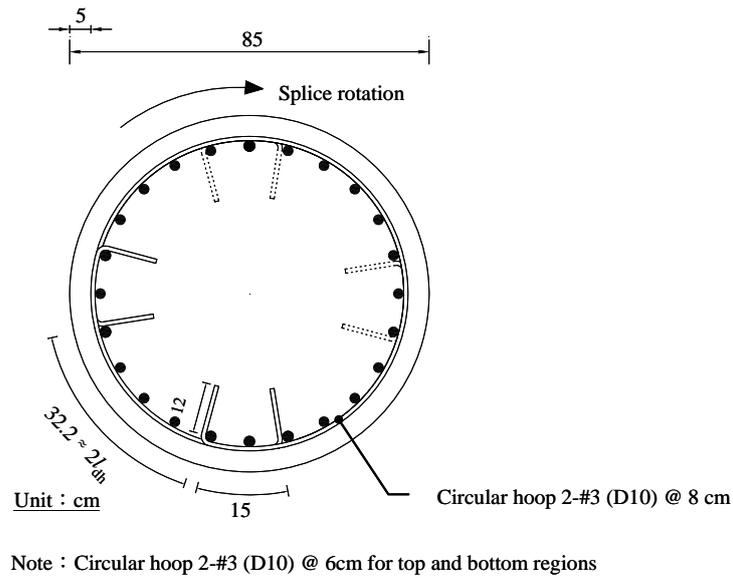
**圖 2-4 本研究(98 年)RC3 試體之中央試驗段斷面圖**

(資料來源：本研究)



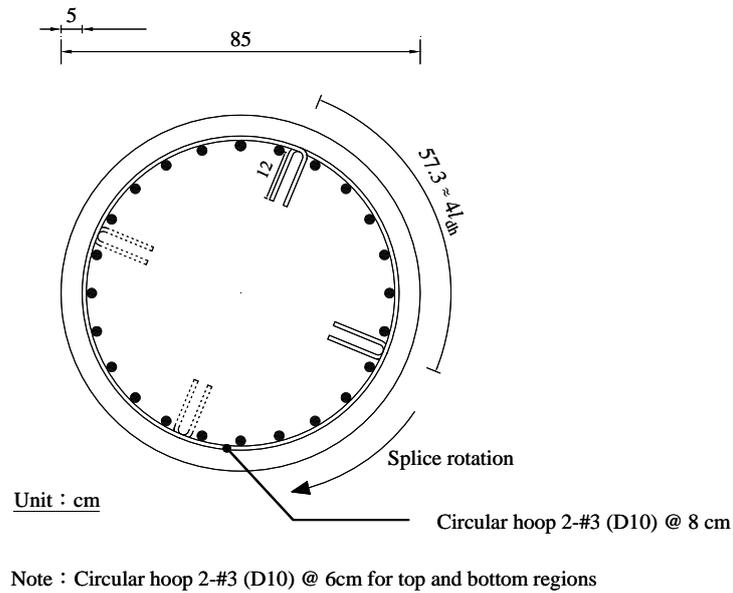
**圖 2-5 本研究(98 年)RC4 試體之中央試驗段斷面圖**

(資料來源：本研究)



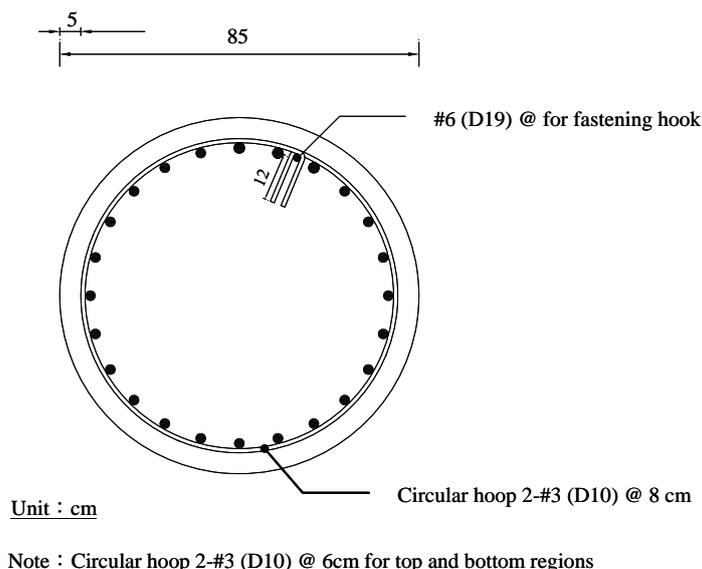
### Specimen RC5

**圖 2-6 本研究(98年)RC5 試體之中央試驗段斷面圖**  
(資料來源：本研究)



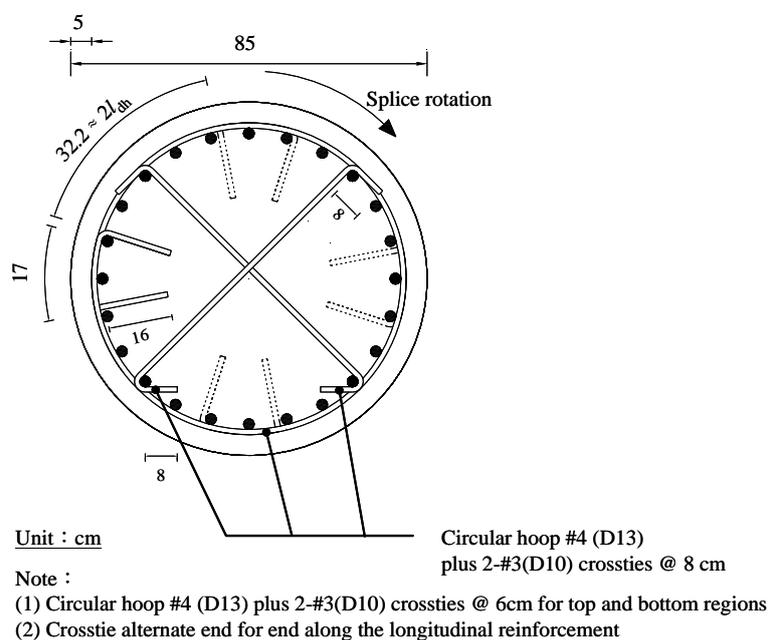
### Specimen RC6

**圖 2-7 本研究(98年)RC6 試體之中央試驗段斷面圖**  
(資料來源：本研究)



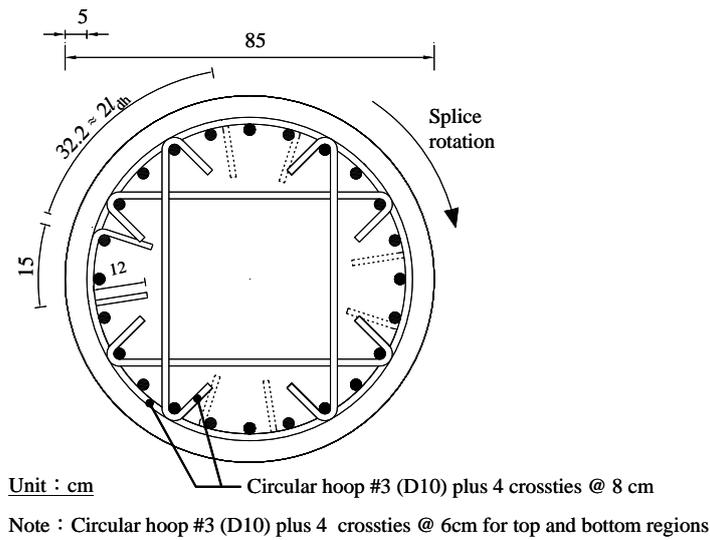
### Specimen RC7

**圖 2-8 本研究(98 年)RC7 試體之中央試驗段斷面圖**  
(資料來源：本研究)



### Specimen RC8

**圖 2-9 本研究(98 年)RC8 試體之中央試驗段斷面圖**  
(資料來源：本研究)



### Specimen RC9

圖 2-10 本研究(98年)RC9 試體之中央試驗段斷面圖

(資料來源：本研究)

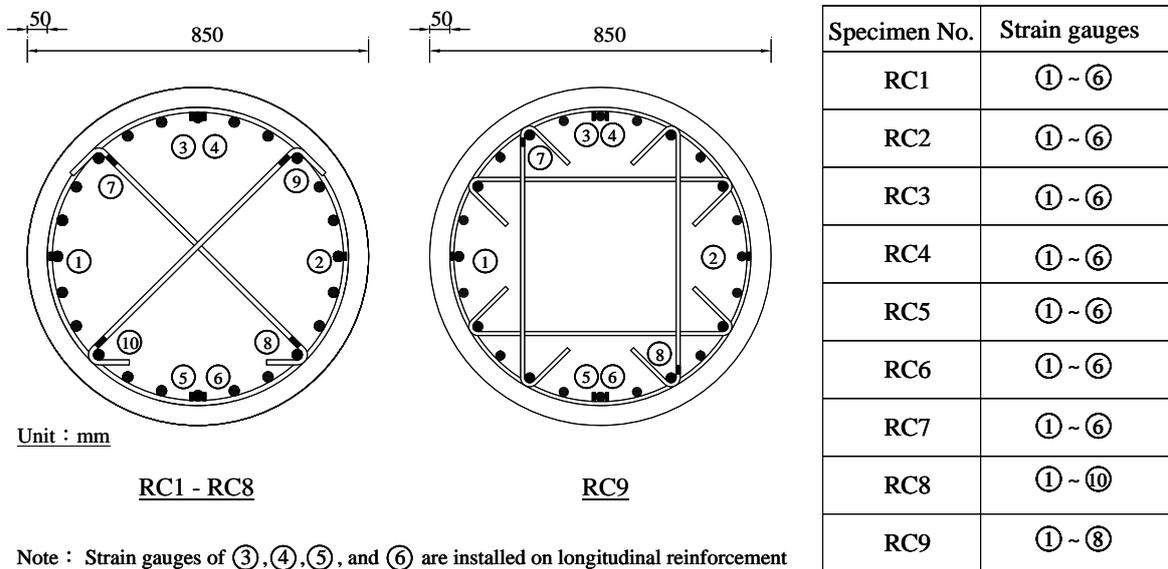
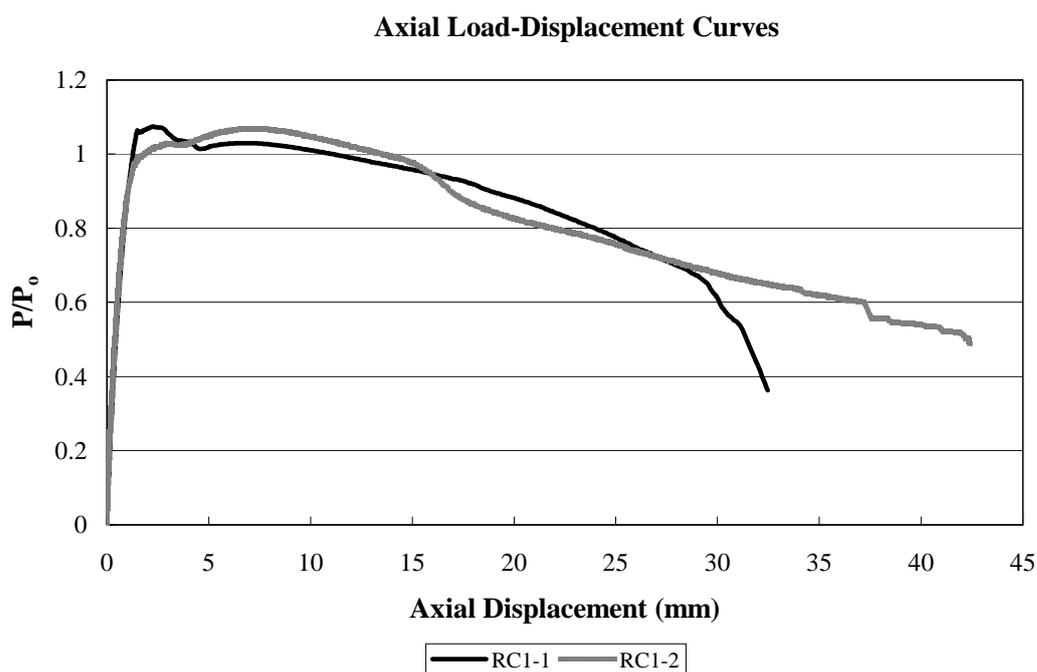


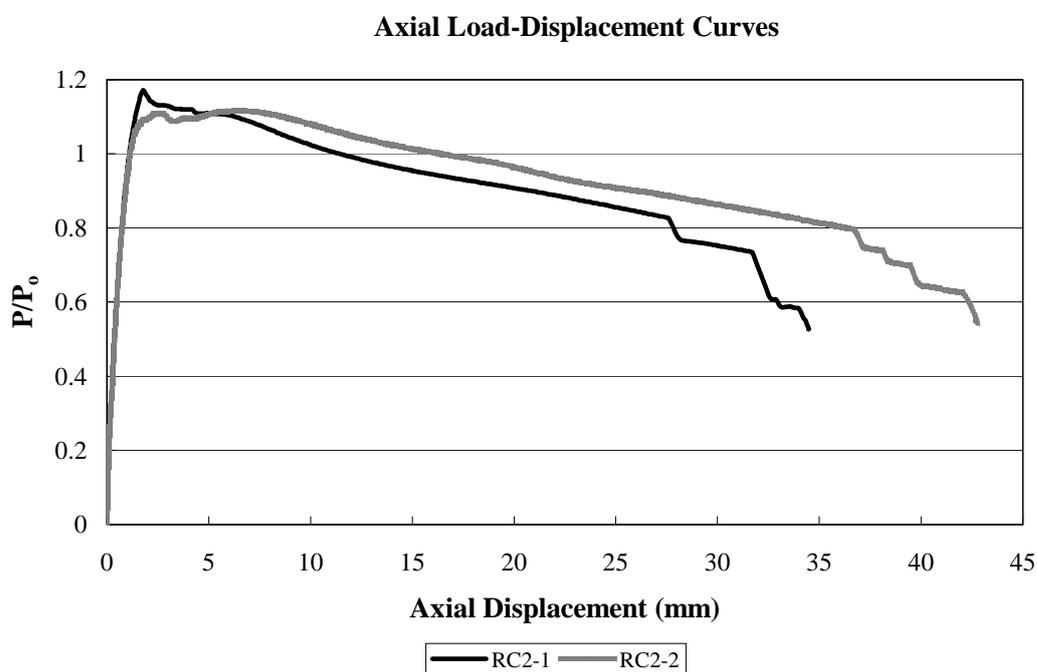
圖 2-11 本研究(98年)圓形柱應變計位置圖

(資料來源：本研究)



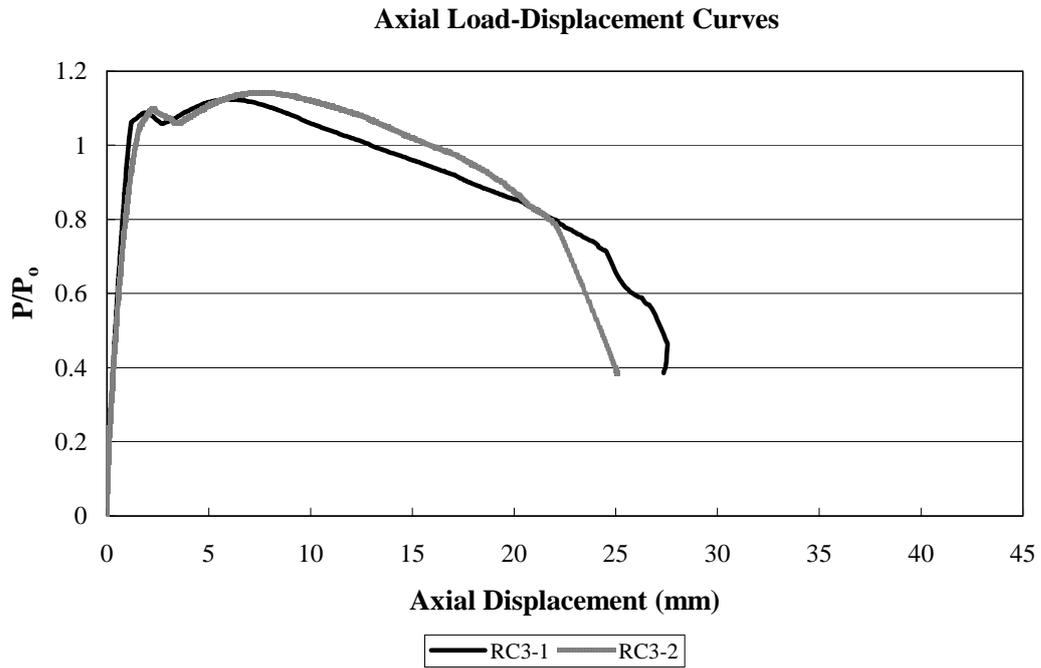
**圖 2-12 本研究(98 年)RC1 試體軸向力與位移圖**

(資料來源：本研究)

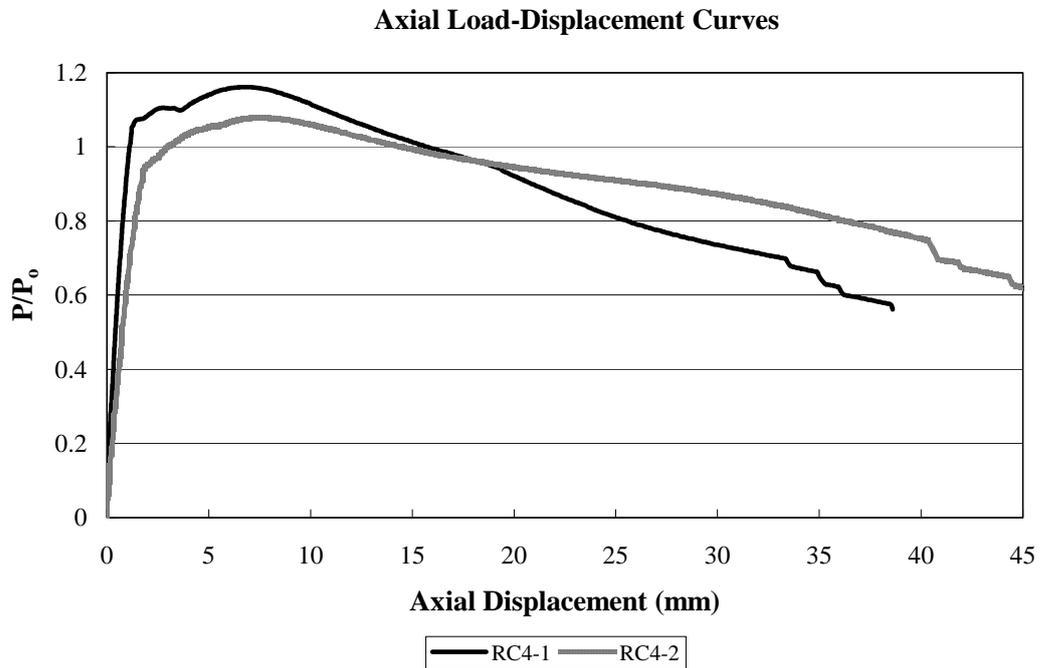


**圖 2-13 本研究(98 年)RC2 試體軸向力與位移圖**

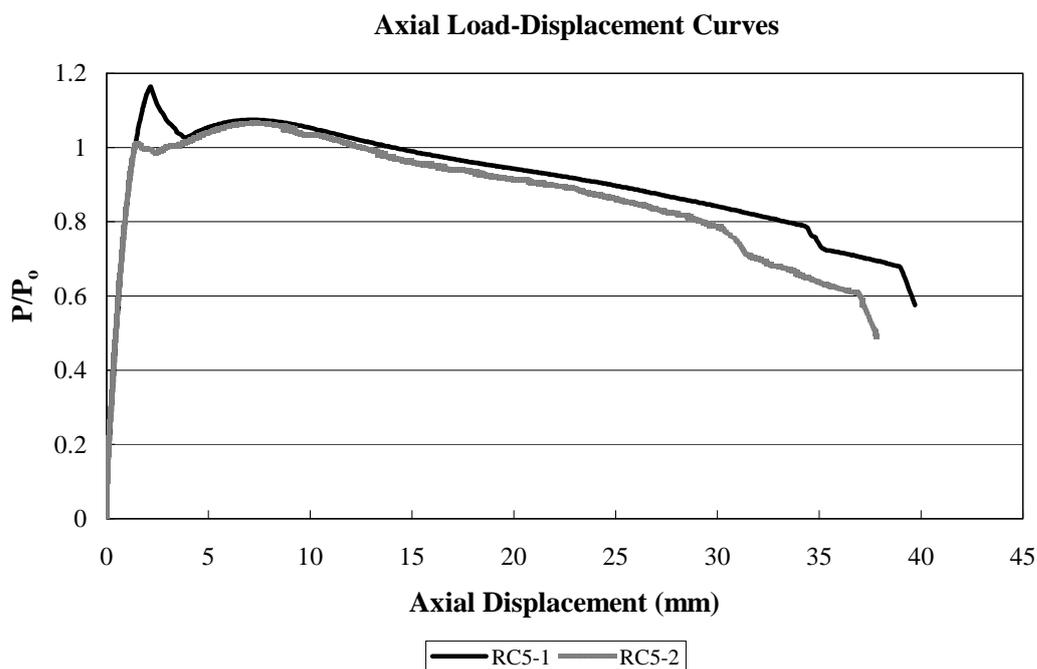
(資料來源：本研究)



**圖 2-14 本研究(98年)RC3 試體軸向力與位移圖**  
(資料來源：本研究)

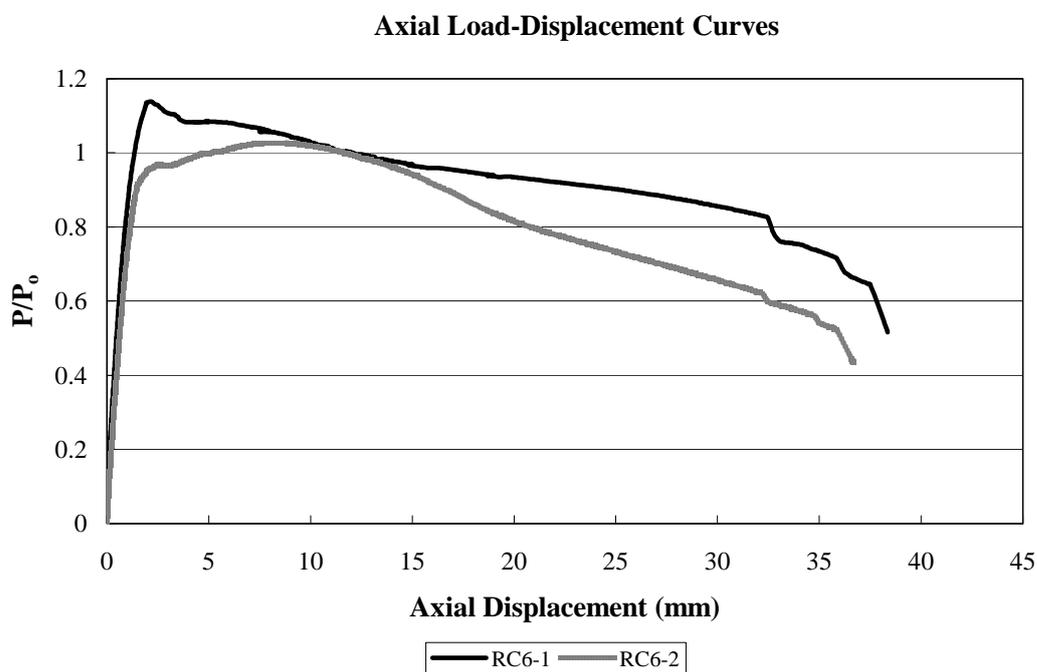


**圖 2-15 本研究(98年)RC4 試體軸向力與位移圖**  
(資料來源：本研究)



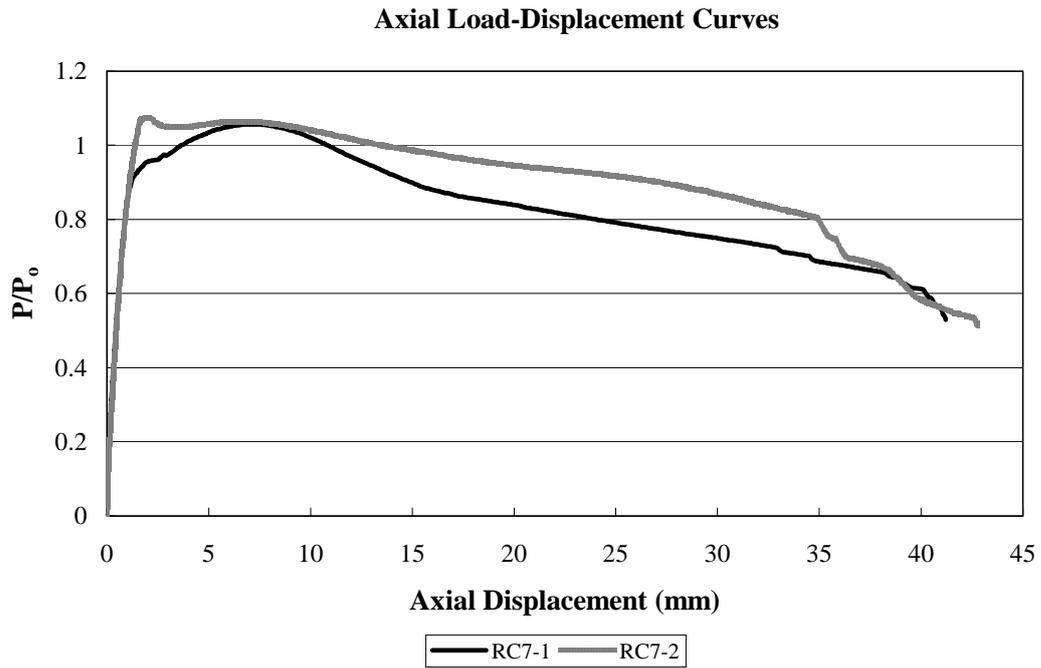
**圖 2-16 本研究(98 年)RC5 試體軸向力與位移圖**

(資料來源：本研究)

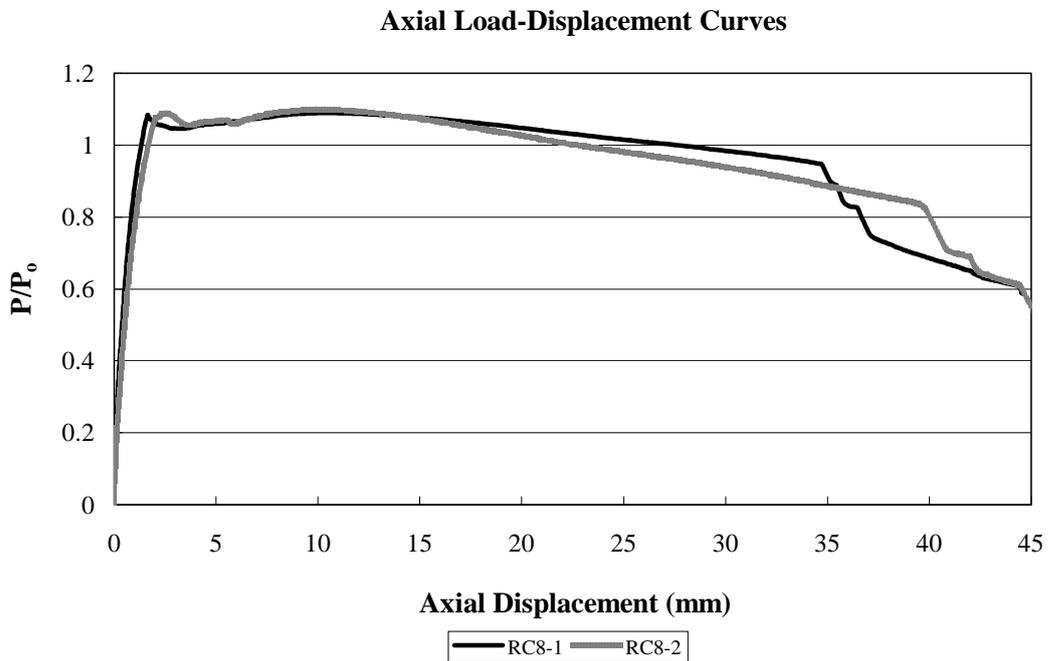


**圖 2-17 本研究(98 年)RC6 試體軸向力與位移圖**

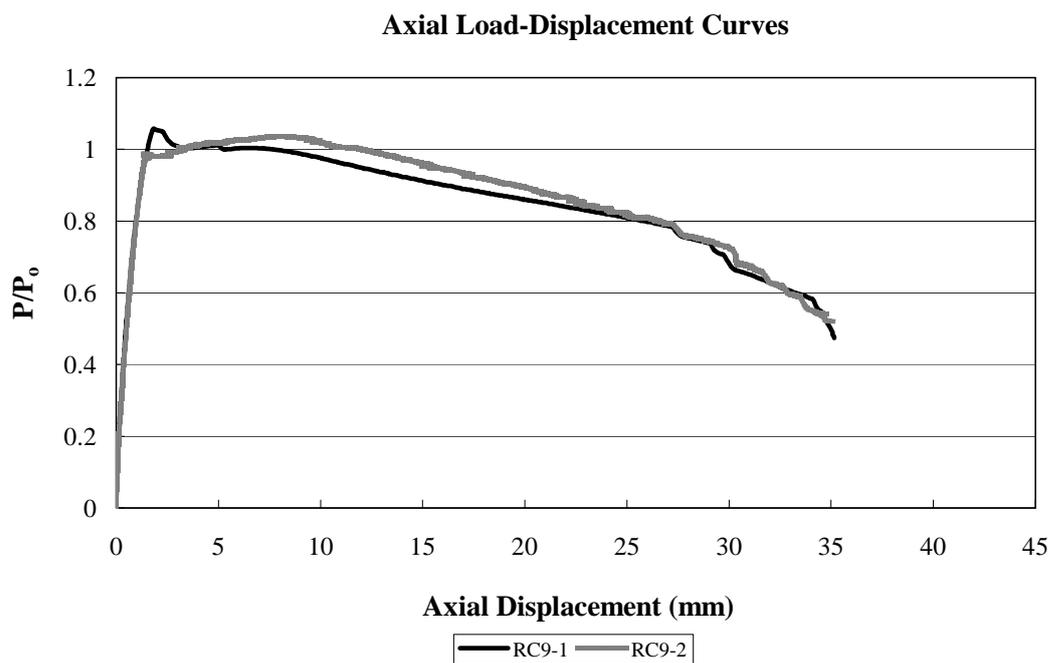
(資料來源：本研究)



**圖 2-18 本研究(98年)RC7 試體軸向力與位移圖**  
(資料來源：本研究)



**圖 2-19 本研究(98年)RC8 試體軸向力與位移圖**  
(資料來源：本研究)



**圖 2-20 本研究(98 年)RC9 試體軸向力與位移圖**  
(資料來源：本研究)



## 第三章 實驗試體之規劃設計及製作

### 第一節 試體之規劃設計

本所已於去(98)年度針對 18 支 RC 圓形短柱，進行軸壓試驗，以探討各種箍、繫筋配置下之軸向韌性行為，雖已獲致初步的研究成果，然而尚有若干疑點有待釐清(參見第二章)。為方便未來分析比對，本研究將以去(98)年度之試體編號為依據，並以相同的材料強度及試體尺寸，規劃相關的試體。本研究首先針對 RC4 試體，規劃 1 組相關試體(RC4a)，其目的為檢核彎鉤直接鉤主筋( $12d_b$ )圓箍筋圓柱之合理錯開距離( $\ell_{dh}$ )。另針對 RC5 試體，設計 3 組相關試體(RC5a、RC5b 及 RC5c)，其目的為檢核搭接( $\ell_{dh}=15\text{ cm}$ )並有一彎鉤鉤主筋圓箍筋圓柱之合理錯開距離( $\ell_{dh}$  及  $2\ell_{dh}$ )及箍筋之合理彎鉤長度( $6d_b$  及  $12d_b$ )。最後針對 RC6 及 RC9 試體，各設計 1 組試體(RC6a 及 RC9a)，以驗證合理錯開距離及井字型標準繫筋配置的軸向行為。本研究之 RC 圓形柱試體規劃表，參見表 3-1，另 RC 柱試體之細部，參見圖 3-1 至圖 3-8。

### 第二節 鋼筋混凝土圓柱試體之發包作業

本研究共計 12 支鋼筋混凝土圓柱試體之製作(除預埋 80 片鋼筋應變計之材料與施工，由本所委託三聯科技股份有限公司辦理外)，依據政府採購法相關規定，以上網公開招標的方式，徵選廠商辦理。本案於 6 月 28 日辦理第 2 次招標開標作業，共有 1 家廠商參與投標，由伍寬營造有限公司(台中縣梧棲鎮)以 61 萬元得標。本標案之時程要求為得標廠商應於決標次日起 30 日曆天內完成本案所有試體之混凝土澆置，並於 60 日曆天內報請本所辦理驗收。為確保本研究試體製作之品質及精確度，合約之試體製作注意事項規定如下：

1. 施工前試體底座所在區域須先行整平，才能施工，且底模鋪設前須由本所人員驗收其水平完成後，才能施工。
2. 試驗場中的施工，需由本所人員許可後方能進行。
3. 廠商於施工過程及完工後須負責維護場地清潔。

4. 廠商須負責現場之安全衛生之設計及施工作業。
5. 在試體適當位置需加設試體吊鉤，以便利試體之移動，試體吊鉤位置應配合本所人員要求。
6. 在試體適當位置需預埋螺桿或鐵件，以便利日後變位計之架設，預埋螺桿或鐵件位置應配合本所人員要求。
7. 試體裝置應變計部分由本所負責施作，廠商於施工過程中應預先知會本所何時可派員進場黏貼應變計。
8. 本案所有柱試體之縱向鋼筋應以適當之設計及施工方式與上、下端板銲接固定，且上、下端板不可產生翹曲，必須保持完全水平。
9. 模板工程精確與否為實驗的重要因素，其包括組裝與支撐等的施作精度必須良好，尤其各軸線、角度及水準面都要兼顧。另一方面，須配合工程進度，不得延誤。
10. 進行模板工程前，應於 24 小時前通知本所人員，以方便本所人員進行最後之檢核，未經允許不得施工。
11. 試體製造過程中，因研究需要有可能於試體施工進行中，為配合實驗目的而進行部份修改，請廠商予以配合。若有超過或減少其承包價之 10% 則依實際數量增減帳目；未達 10% 者，則不予以計價。
12. 澆置混凝土應於 24 小時前通知本所人員，未經允許不得澆置。
13. 所有混凝土澆置於模板內 15 分鐘內應即使用頻率至少每分鐘 4000 次之高頻率內部振動器振實之，振動器使用地點、方法及振動時間，須保證混凝土得到最大密度而不使水泥漿及粒料產生離析，且不致引起表面有浮水現象，並需分層澆置。
14. 試體完成拆除模板後，待試體進行試驗前，本所將另行通知廠商將所有試體漆上白色油漆。
15. 本案所有柱試體上部端板與混凝土澆置完成面之間應預留 2 cm 之間隙，並以至少 56 MPa 強度無收縮水泥漿灌實，再將直徑 40 cm 之圓形灌漿鋼板填回、銲接固定及磨平，同時上部端板 4 個直徑 1.6 cm 之通氣孔亦須滿銲並磨平。
16. 本案所有完成之柱試體須有明顯的標記，足以識別其試體編號(如對 RC4a 試體型式，編為 RC4a-1 及 RC4a-2，其餘類推)。

17. 如完成製作之試體有缺失之處，廠商有責任加以補強或重新製作以達預先要求。
18. 其餘未規定之事項，依內政部結構混凝土設計及施工規範與建築土木工程施工慣例辦理。
19. 材料要求：
  - (A)混凝土：
    - (1)拌合混凝土用之材料(水泥、骨材、水、添加劑)等均需按 CNS 規定辦理。
      - ①水泥：普通波特蘭水泥(TYPE I)，應符合 CNS-61 規定。
      - ②骨材：粗骨材最大尺寸為 2.5 cm，細骨材用天然砂(未受污染者)或其與軋製砂之混合材料，其含泥量不得超過3%，FM 在 2.3 以上，其含氯離子量需在 0.003% 以下，依 JIS A5308 提出檢驗報告。粗細骨材比重均應在 2.5 以上，堅硬潔淨。
      - ③水：須潔淨，不得含有害的酸、鹼、油、鹽類有機物及懸游有害物質。
      - ④化學添加劑：須經本所人員同意其種類與用量，並先作試體合格後始可使用。
    - (2)本案試體於混凝土澆置後 20 天內，不得吊裝。若於預鑄廠製作時，混凝土強度達 12 MPa 以上，可進行脫模作業(將試體模具移除並搬運至儲存場地儲放)。
    - (3)本案混凝土 28 天設計強度為 28 MPa。每一柱試體之混凝土材料針對 14 天(2 個)、28 天(2 個)及試驗當天(3 個)共提供 7 個抗壓試體(其中前 2 項須做溼布養護；最後 1 項則與柱試體養護條件相同)以供測試抗壓強度( $f'_c$ )，試體取樣位置由本所人員於現場指定之，混凝土強度試驗須符合 ASTM 試驗規範及一般規定。每次澆置前，須提送配比至本所審核，並於現場澆置時做坍度試驗，不合格者則予以退回，不得澆置。混凝土抗壓強度，需至具 TAF 認證之實驗室進行混凝土抗壓試驗(試驗費用由廠商支付)。每一柱試體混凝土 14 天之平均抗壓強度需大於 18 MPa；28 天材齡試體之抗壓試驗強度需滿足(a)個別抗壓強度均大於 28 MPa 且(b)平均抗壓強度小於 34 MPa 之合格標準，否則廠商必

須拆除、重作，不得異議。

(B)鋼材、鋼筋、結合鐵件、銲接材料及五金：

(1)鋼材：A572 Gr. 50 或類似鋼材。

(2)鋼筋：均應符合 JIS-G 3112 規格或竹節鋼筋 CNS 560 或 ASTM A706。不得使用水淬鋼筋。鋼筋之降伏強度要求為 414 MPa 不可超過 540 MPa)。使用竹節鋼筋#3 及#8，組筋前，須先行至具 TAF 認證之實驗室做抗拉應力-應變曲線試驗(同批鋼筋料各號數鋼筋各提供 3 支 100 cm 長之鋼筋試片試驗結果，試驗費用由廠商支付)。

(3)結合鐵件：ASTM A572 Gr.50 之要求。

(4)銲接材料：ASTM E7016 或同級材料。

(5)吊點：屬假設工程，能保吊裝安全因數至少 4 以上為原則。

(6)以上之鐵件不須做任何防銹處理；螺紋及空隙處在送入儲場前應塗以黃油，吊裝前應將黃油消除乾淨；鐵件之加工精度，尺寸誤差不得超過 $\pm 3$  mm。若有不同的處理方式，必先經設計者同意後才能更改。

### 第三節 試體之施工、組模及澆置混凝土

本研究案 D10(#3)鋼筋(SD420)由利瑋鋼鐵有限公司製造(高雄市三民區)；D25(#8)鋼筋(SD420W)由海光企業股份有限公司(高雄市小港區)及豐興鋼鐵股份有限公司製造(臺中縣后里鄉)，均提供無放射性污染證明。另本案由於施工期程較為緊迫(決標次日起 30 日曆天內必須完成所有試體混凝土之澆置工作)，為爭取時效，因此鋼筋的裁切及加工(鋼筋試片於 7 月 15 日進行試驗，結果參見表 3-2，符合合約之要求)，於鋼筋加工廠進行(所有鋼筋之加工彎曲均在常溫下進行)。

此外，為求施工的便利及精確性，試體上端板於鋼構廠預先進行 24 個主筋銲接孔之鑽孔，而下端板則於主筋位置銲接外徑 32 mm 之套筒。上端板中央另開直徑 40 cm 之混凝土灌漿孔(保留開孔圓形鋼板，並於灌漿後蓋回)。另以去(98)年製作圓形鋼模 3 套，供圓形柱試體組模用，並且以試體組立施工台，進行鋼筋籠組立(主筋與上、下端板先以點銲固定)，以控制試體製作之精準度。

本研究案之承包商於 7 月 16 日進場開始施作，三聯科技股份有限公司則於 7 月 18 日進場配合，7 月 20 日至 23 日連續 4 天澆置混凝土，每天澆置 3 支鋼筋混凝土圓形柱試體。預拌混凝土廠為芳榮實業股份有限公司(新店市安平路)，混凝土配合比例設計表參見表 3-3，並以混凝土吊桶由上端板中央之直徑 40 cm 混凝土灌漿孔，分 4 次以垂直方式澆置，以模擬工地現場澆置情況。RC 柱試體之混凝土澆置完成面約與上端鋼板底面相差 2 cm，並於 7 月 27 日進行無收縮水泥漿之 2 次施工，同時將上端板圓形灌漿孔鋼板置回，再將主筋與上端板之空隙滿銲並磨平。本案每支試體製作 9 個混凝土圓柱試體，供未來試體分析驗證用。混凝土圓柱試體於 8 月 6 日，進行 14 天混凝土抗壓強度試驗，試驗結果參見表 3-4，符合合約之要求。另於 8 月 18 日及 20 日，分 2 次進行 28 天混凝土圓柱試體抗壓強度試驗，試驗結果參見表 3-5，尚符合合約之要求，並於 9 月 1 日完成驗收。本案共預埋 80 片 2 線式鋼筋應變計(KYOWA)，所有試體應變計均保持在正常的狀態下，另有 RC9a-2 試體於鋼模拆除時，所有應變計連接線不慎被切除，後雖經銲接補救，但原有編號已逸失，後續分析時，再視實際資料調整補救，量測結果參見表 3-6，另有關本研究試體詳細製作施工細節，可參見圖 3-9 至 3-34。

表 3-1 本研究試體規劃彙整表

項目	圓形柱編號	箍筋型式	箍筋量	續接方式
1	RC4a	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈 12 cm 彎鉤直接鉤主筋且不錯開續接，上下錯開 $l_{dh}$ 續接。
2	RC5a	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈搭接 15 cm 並以 12 cm 彎鉤之一端鉤主筋，且不錯開續接，上下錯開 $l_{dh}$ 續接。
3	RC5b	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈搭接 15 cm 並以 6 cm 彎鉤之一端鉤主筋，且不錯開續接，上下錯開 $l_{dh}$ 續接。
4	RC5c	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈搭接 15 cm 並以 12 cm 彎鉤之一端鉤主筋，且不錯開續接，上下錯開 $2l_{dh}$ 續接。
5	RC6a	圓橫箍	2-#3@8cm	每圈 12 cm 彎鉤(不鉤主筋)，且不錯開續接，上下錯開 $l_{dh}$ 續接。
6	RC9a	圓橫箍 繫筋	1-#3@8cm 4-#3(90-135) (井字形)	每圈搭接 15 cm 並以 12 cm 彎鉤之一端鉤主筋，上下錯開 $2l_{dh}$ 續接；繫筋間隔換端。

註 1：混凝土強度：28 MPa；鋼筋降伏強度：414 MPa。

註 2：每種編號製作 2 支試體。

註 3：柱試體斷面之保護層厚度為 5 cm；縱向鋼筋為 24 支#8 主筋。

(資料來源：本研究)

表 3-2 竹節鋼筋試驗表

鋼筋號數	規格	編號	$f_y$ (MPa)	$f_y$ 之平均值 (MPa)
D10 (#3)	SD 420	1	428	456
		2	469	
		3	472	
D25 (#8)	SD 420W (海光)	1	478	485
		2	487	
		3	490	
D25 (#8)	SD 420W (豐興)	1	449	447
		2	448	
		3	444	

註 1： $f_y$  為鋼筋之降伏強度；試驗方法：CNS 560 (2005)。

註 2：本試驗於 2010/07/15 假桂田土城實驗室(成田興業有限公司)進行。

註 3：見證人：內政部建築研究所(李台光)及伍寬營造(王文生)。

(資料來源：本研究)

表 3-3 本研究混凝土配合比例設計表

**預拌混凝土配合比例設計表**

工程名稱:材料實驗中心大型鋼筋混凝土圓柱試體  
 主辦機關:內政部建築研究所  
 承包廠商:伍寬營造股份有限公司  
 預拌廠商:芳榮實業股份有限公司

工程設計強度	280kg/cm <sup>2</sup>	配合設計強度	322kg/cm <sup>2</sup>	工程坍度容許差	±3.8cm	坍度(1)	15.0cm
水灰比(2)	0.51	最大粒料尺寸	2.5公分(1")	砂細度模數(3)	2.75	砂面乾內飽和比重(4)	2.6
石料面乾內飽和比重(5)	2.62	水泥比重(6)	3.15	水泥廠牌	一型水泥	空氣量(16)	15L
砂佔全粒料百分率 (7)=X+20{(2)-0.57}+5{(3)-2.75}	43.8%		每立方淨用水量 (8)=(Y{1+0.012{(1)-8}}+12)*0.92		189kg		
每立方水泥用量(9)=(8)/(2)	370kg		每立方水與水泥應佔體積+孔隙率 (10)=(8)+(9)/(6)+(16)		321L		
每立方粒料應佔體積(11)=1000-(10)	679L		每立方砂應佔體積 (12)=(11)×(7)		297L		
每立方粗粒料應佔體積(13)=(11)-(12)	382L		每立方砂用量(14)=(12)×(4)		773kg		
每立方用石量(15)=(13)×(5)	1000kg		配合比例:水泥:砂:石= (9)/(9):(14)/(9):(15)/(9)		1.00:2.09:2.70		
砂水用量計算常數			1M <sup>3</sup> 配合重量		骨材來源:		
最大粒料尺寸	X(%)	Y(kg)	水泥	370kg	備註:		
1.3公分(1/2")	57	199	爐灰	0kg	(1)X,Y值視工程性質(工程性、耐久性)得隨時調整		
2.0公分(3/4")	49	187	淨用水	189kg	(2)X,Y值係按碎石計算,若使用卵石須予調整。		
2.5公分(1")	45	178	粗砂	464kg	(3)每立方加G-TYPE藥劑為水泥用量0.6%減水8%		
3.8公分(1 1/2")	40	166	細砂	309kg	監造單位		
5.0公分(2")	37	158	1"	400kg	承包廠商		
7.5公分(3")	35	144	3/4"	600kg	預拌混凝土廠商		
			附加劑	2.2kg			
			合計	2334kg			

(資料來源:本研究)

表 3-4 圓形柱試體 14 天混凝土強度彙整表

試體編號	圓柱試體編號	$f'_c$ (MPa)	$f'_c$ 之平均值 (MPa)	試體混凝土澆置日期	圓柱試體試驗日期
RC4a-1	1	26.1	26.0	2010/07/23	2010/08/06
	2	25.8			
RC4a-2	1	25.8	25.7	2010/07/22	2010/08/06
	2	25.5			
RC5a-1	1	26.8	26.5	2010/07/23	2010/08/06
	2	26.2			
RC5a-2	1	26.3	26.4	2010/07/23	2010/08/06
	2	26.5			
RC5b-1	1	28.9	29.2	2010/07/21	2010/08/06
	2	29.5			
RC5b-2	1	25.2	25.1	2010/07/20	2010/08/06
	2	24.9			
RC5c-1	1	25.0	24.5	2010/07/20	2010/08/06
	2	24.0			
RC5c-2	1	25.4	25.2	2010/07/20	2010/08/06
	2	24.9			
RC6a-1	1	30.7	30.3	2010/07/21	2010/08/06
	2	29.8			
RC6a-2	1	27.2	27.2	2010/07/21	2010/08/06
	2	27.1			
RC9a-1	1	24.5	24.6	2010/07/22	2010/08/06
	2	24.6			
RC9a-2	1	25.5	25.7	2010/07/22	2010/08/06
	2	25.8			

(資料來源：本研究)

註 1： $f'_c$  為混凝土 14 天強度；試驗方法：CNS 1232 (2002)。

註 2：本試驗假豪鴻科技有限公司(新店材料實驗室)進行。

註 3：2010/08/06 見證人：內政部建築研究所(薛凱元)及伍寬營造(龔謙鼎)。

表 3-5 圓形柱試體 28 天混凝土強度彙整表

試體編號	圓柱試體編號	$f'_c$ (MPa)	$f'_c$ 之平均值 (MPa)	試體混凝土澆置日期	圓柱試體試驗日期
RC4a-1	1	29.5	30.0	2010/07/23	2010/08/20
	2	30.4			
RC4a-2	1	28.9	29.0	2010/07/22	2010/08/20
	2	29.1			
RC5a-1	1	29.1	30.1	2010/07/23	2010/08/20
	2	31.0			
RC5a-2	1	29.8	29.7	2010/07/23	2010/08/20
	2	29.5			
RC5b-1	1	30.8	30.1	2010/07/21	2010/08/18
	2	29.3			
RC5b-2	1	31.8	32.0	2010/07/20	2010/08/18
	2	32.1			
RC5c-1	1	31.3	31.9	2010/07/20	2010/08/18
	2	32.5			
RC5c-2	1	33.3	32.9	2010/07/20	2010/08/18
	2	32.4			
RC6a-1	1	32.2	32.8	2010/07/21	2010/08/18
	2	33.4			
RC6a-2	1	31.4	32.2	2010/07/21	2010/08/18
	2	33.0			
RC9a-1	1	29.4	30.0	2010/07/22	2010/08/20
	2	30.6			
RC9a-2	1	30.1	29.3	2010/07/22	2010/08/20
	2	28.4			

(資料來源：本研究)

註 1： $f'_c$  為混凝土 28 天強度；試驗方法：CNS 1232 (2002)。

註 2：本試驗假豪鴻科技有限公司(新店材料實驗室)進行。

註 3：2010/08/18 見證人：內政部建築研究所(薛凱元)及伍寬營造(龔謙鼎)。

註 4：2010/08/20 見證人：內政部建築研究所(李台光)及伍寬營造(龔謙鼎)。

表 3-6(a) 圓形柱試體鋼筋應變值彙整表(單位： $\mu = 10^{-6}$ )

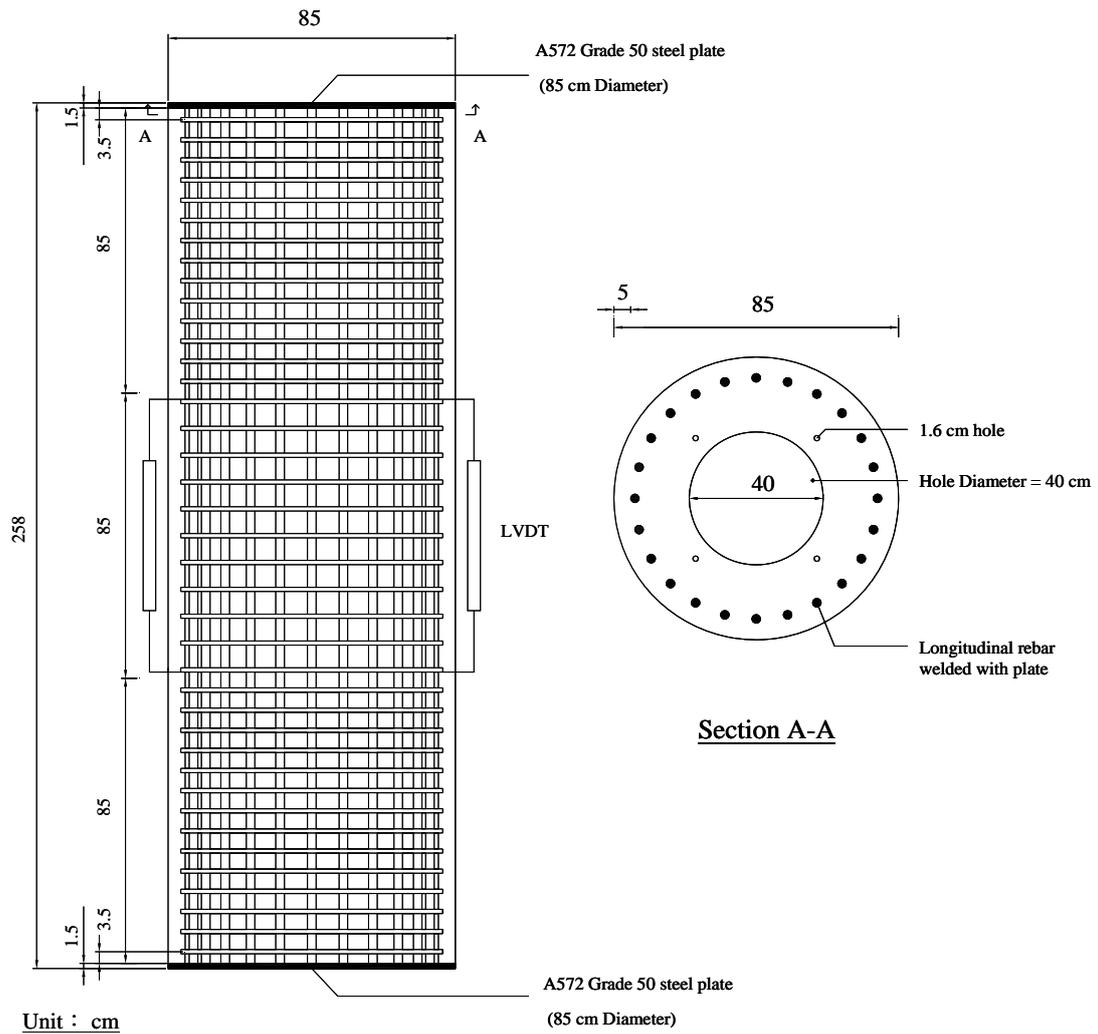
RC4a-1	施工完成	灌漿後	RC5a-1	施工完成	灌漿後	RC5b-1	施工完成	灌漿後
1	507	394	1	304	66	1	302	246
2	643	478	2	882	645	2	219	164
3	313	138	3	476	260	3	928	880
4	680	533	4	299	-100	4	816	764
5	528	356	5	306	290	5	851	698
6	362	194	6	417	136	6	1413	1271
RC4a-2	施工完成	灌漿後	RC5a-2	施工完成	灌漿後	RC5b-2	施工完成	灌漿後
1	217	91	1	688	450	1	300	156
2	250	152	2	358	164	2	506	284
3	234	49	3	381	880	3	718	559
4	313	151	4	293	764	4	480	289
5	403	250	5	750	698	5	637	455
6	313	168	6	840	1271	6	347	92

(資料來源：本研究)

表 3-6(b) 圓形柱試體鋼筋應變值彙整表(單位： $\mu = 10^{-6}$ )

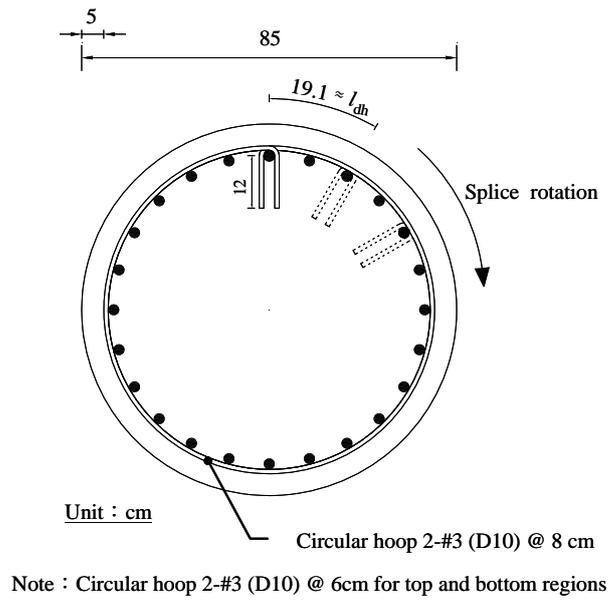
RC5c-1	施工完成	灌漿後	RC6a-1	施工完成	灌漿後	RC9a-1	施工完成	灌漿後
1	297	96	1	366	336	1	299	214
2	478	214	2	638	591	2	273	121
3	687	495	3	358	166	3	341	176
4	780	616	4	188	350	4	108	-45
5	520	324	5	776	718	5	424	324
6	405	187	6	372	244	6	389	209
						7	179	129
						8	522	415
						9	1625	523
						10	-4039	-4139
RC5c-2	施工完成	灌漿後	RC6a-2	施工完成	灌漿後	RC9a-2	施工完成	灌漿後
1	316	138	1	335	275	1	1	-1355
2	265	286	2	244	225	2	66	-333
3	657	459	3	1061	1070	3	578	485
4	532	350	4	444	453	4	105	-316
5	347	144	5	805	710	5	620	2450
6	641	445	6	350	205	6	255	-48
						7	414	-3
						8	485	1838
						9	-807	-1610
						10	-3775	-4558

(資料來源：本研究)



**圖 3-1 圓形柱試體之立面及剖面圖**

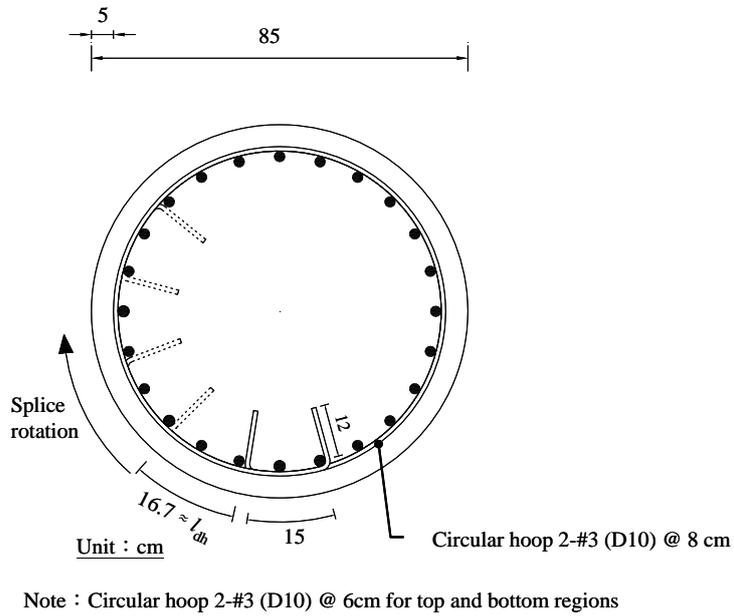
(資料來源：本研究)



Specimen RC4a

圖 3-2 RC4a 試體之中央試驗段斷面圖

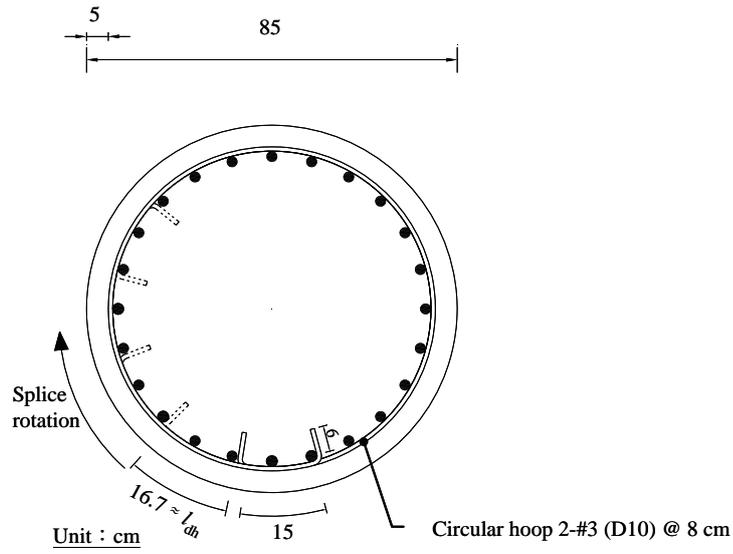
(資料來源：本研究)



Specimen RC5a

圖 3-3 RC5a 試體之中央試驗段斷面圖

(資料來源：本研究)

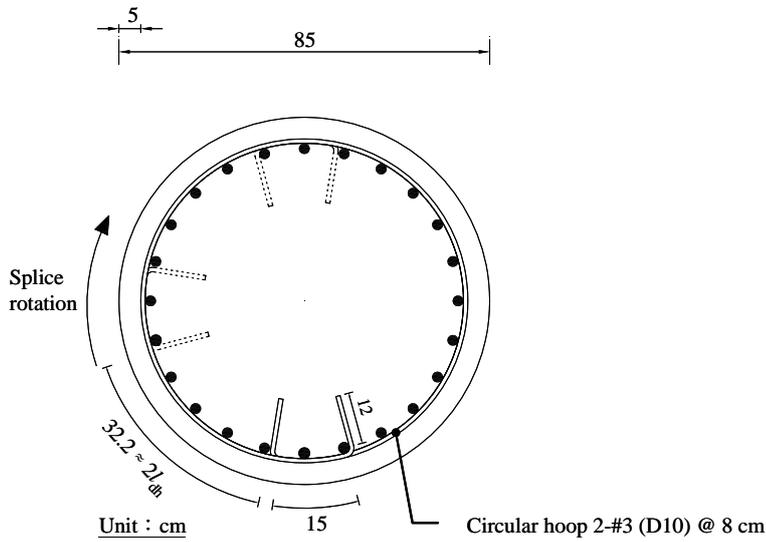


Note : Circular hoop 2-#3 (D10) @ 6cm for top and bottom regions

Specimen RC5b

**圖 3-4 RC5b 試體之中央試驗段斷面圖**

(資料來源：本研究)

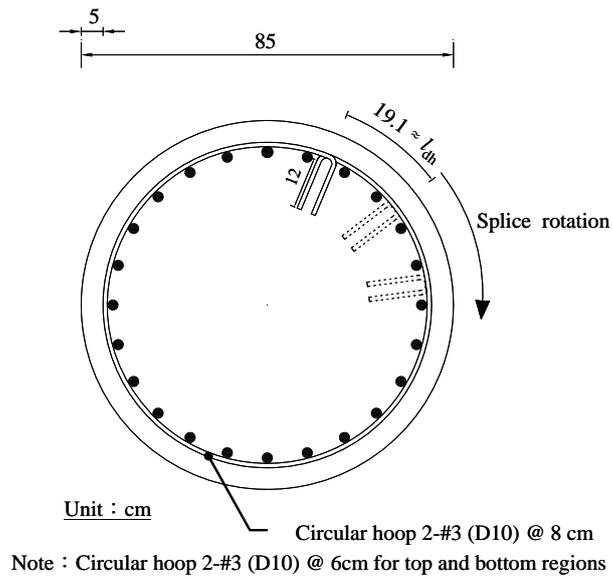


Note : Circular hoop 2-#3 (D10) @ 6cm for top and bottom regions

Specimen RC5c

**圖 3-5 RC5c 試體之中央試驗段斷面圖**

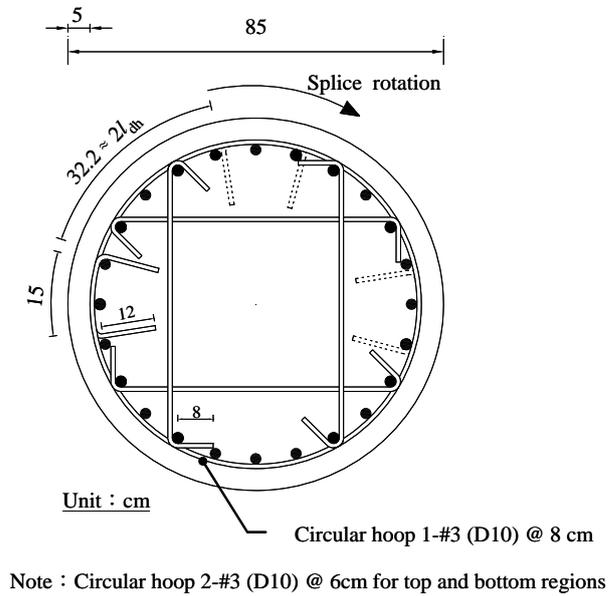
(資料來源：本研究)



Specimen RC6a

圖 3-6 RC6a 試體之中央試驗段斷面圖

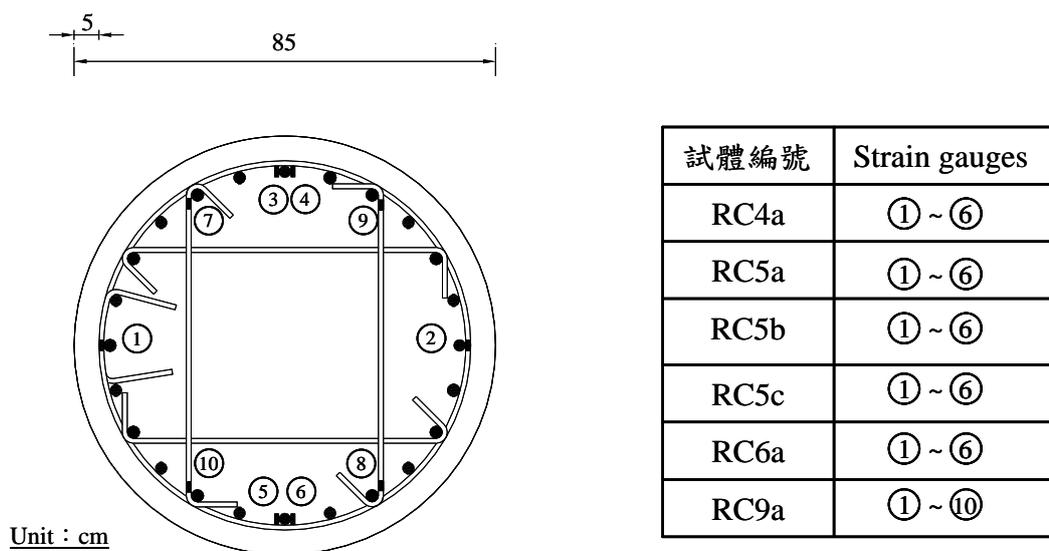
(資料來源：本研究)



Specimen RC9a

圖 3-7 RC9a 試體之中央試驗段斷面圖

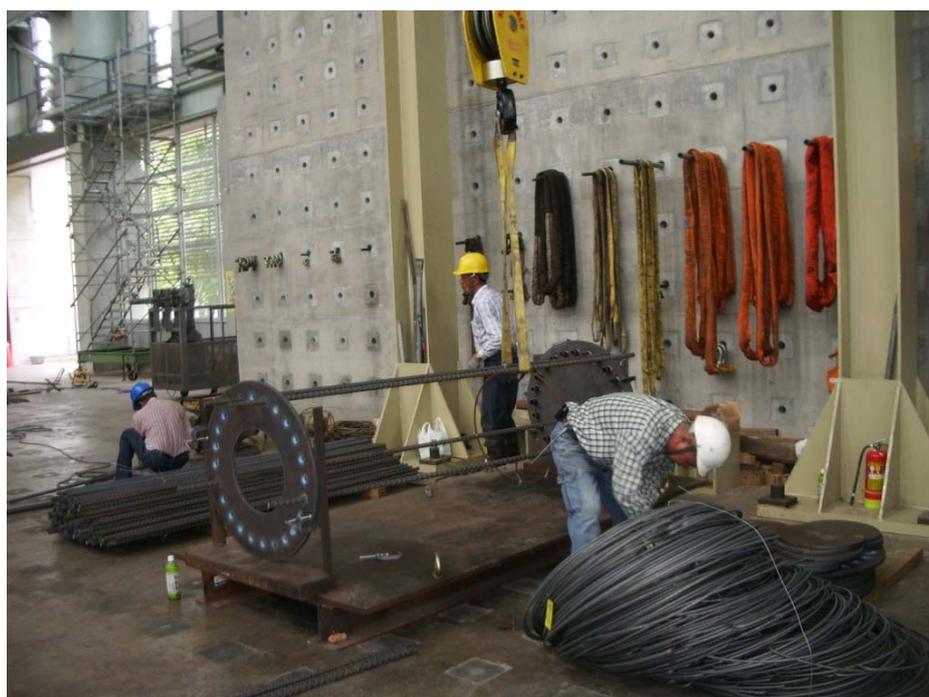
(資料來源：本研究)



Note : Strain gauges of ③, ④, ⑤, and ⑥ are installed on longitudinal rebars

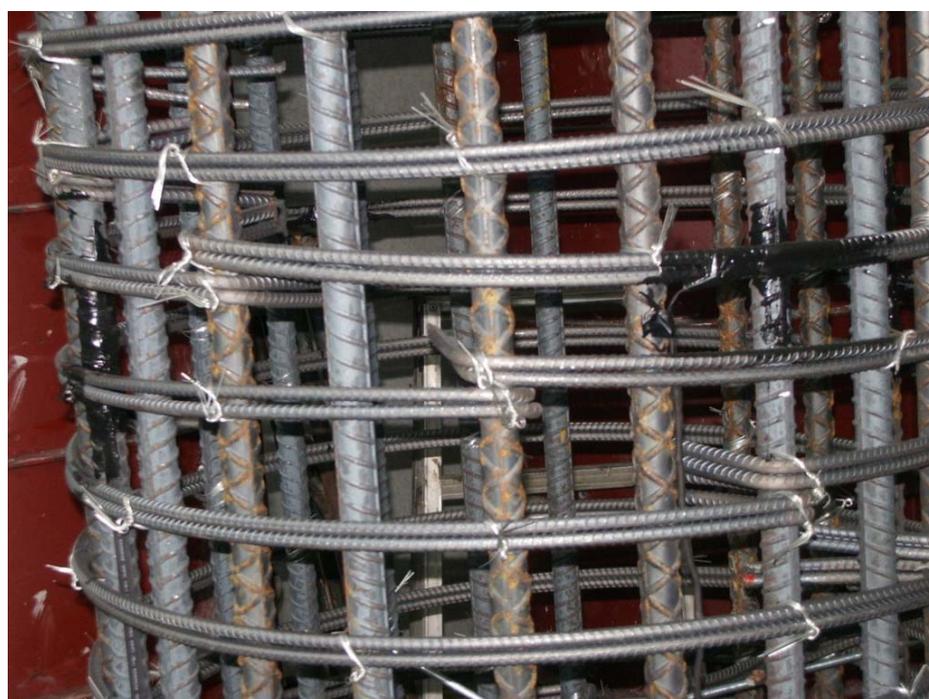
**圖 3-8 圓形柱應變計位置圖**

(資料來源：本研究)



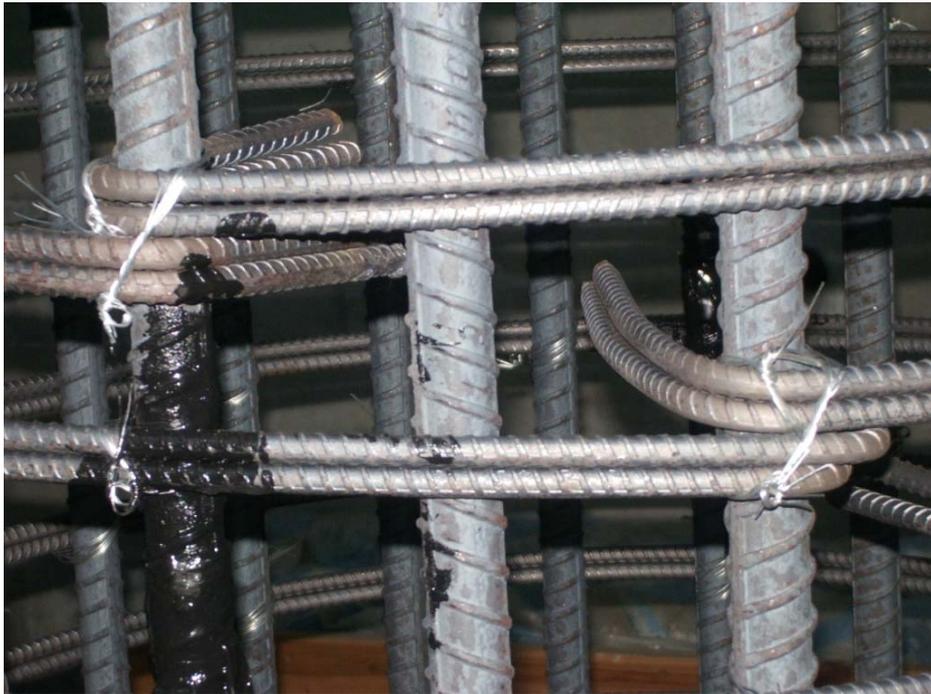
**圖 3-9 圓形柱試體鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



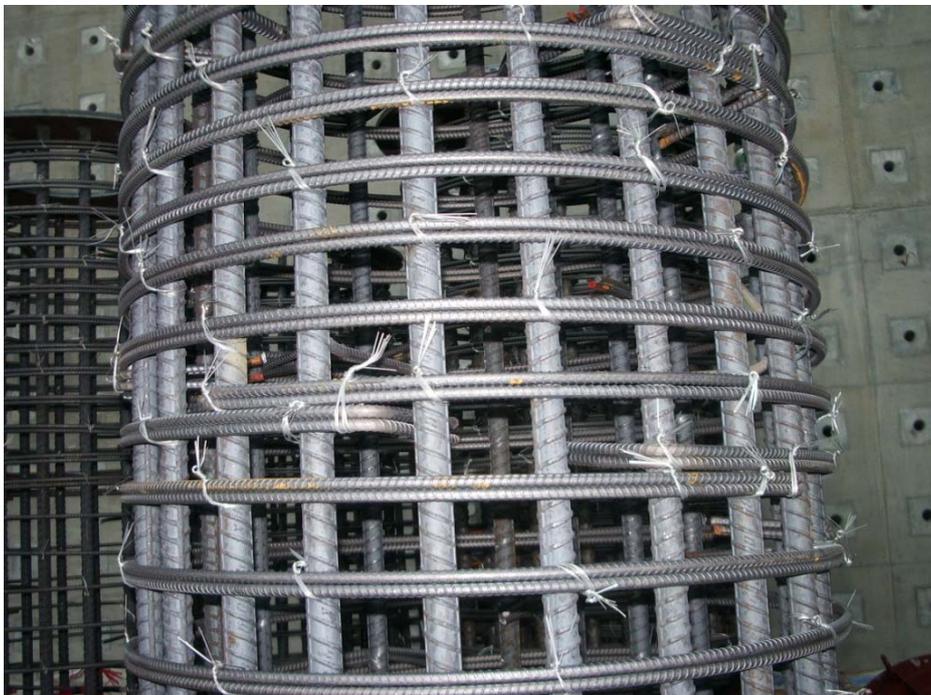
**圖 3-10 RC4a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



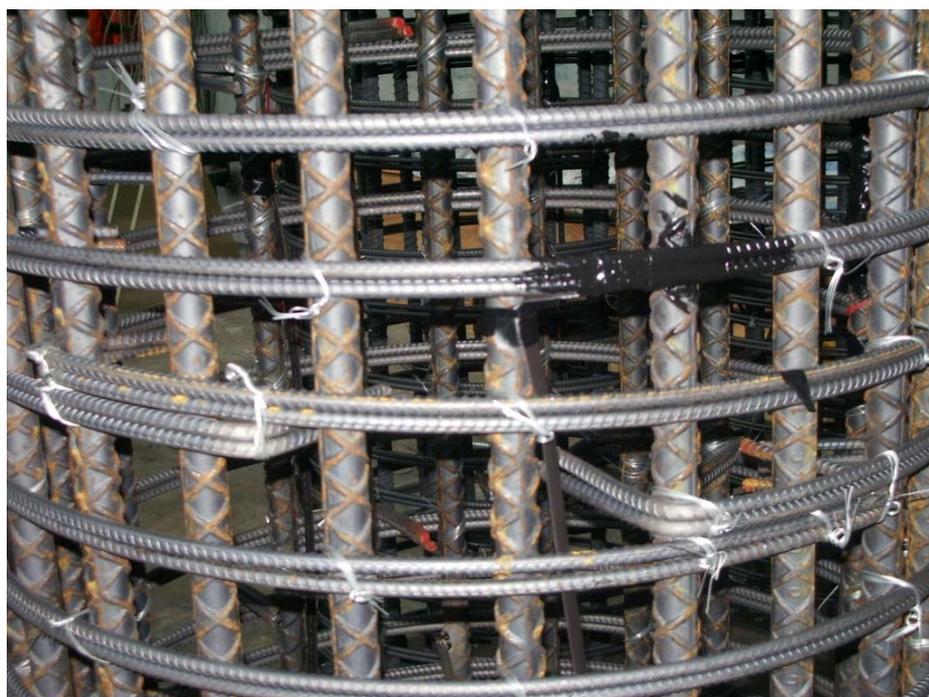
**圖 3-11 RC4a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



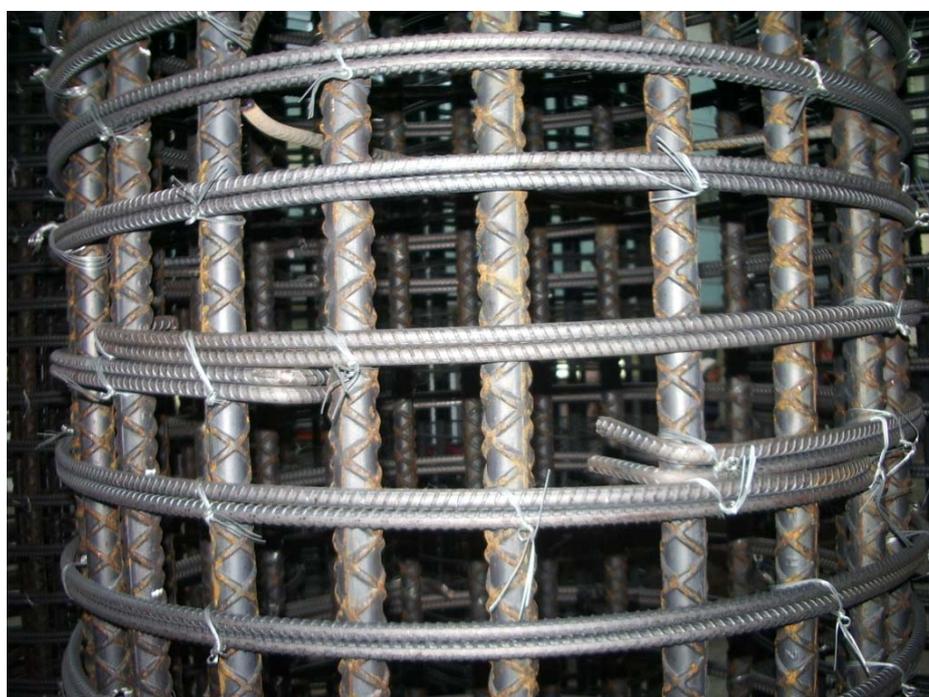
**圖 3-12 RC5a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



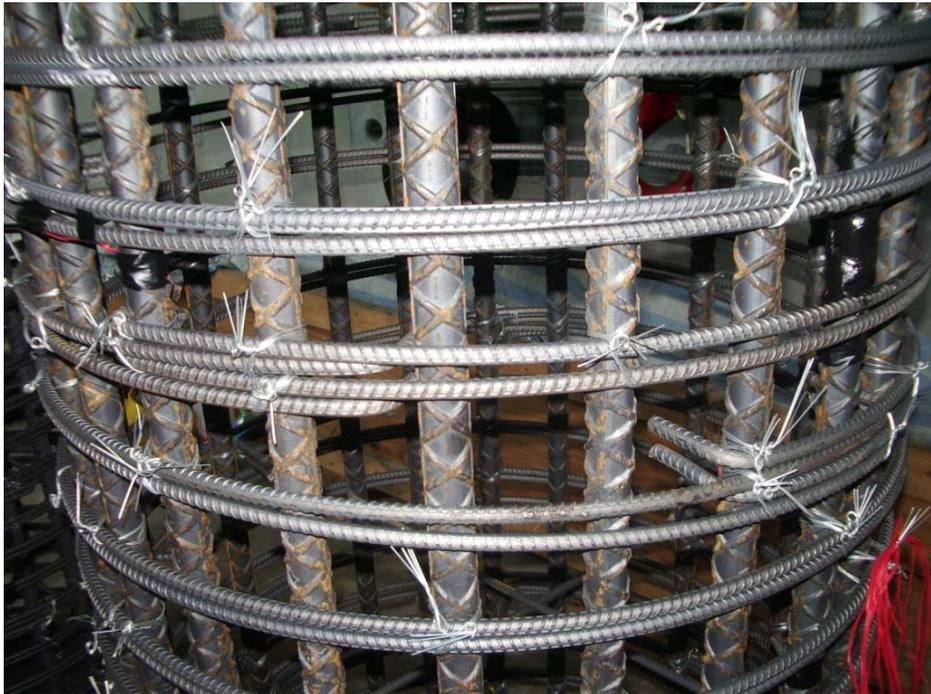
**圖 3-13 RC5a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



**圖 3-14 RC5b-1 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



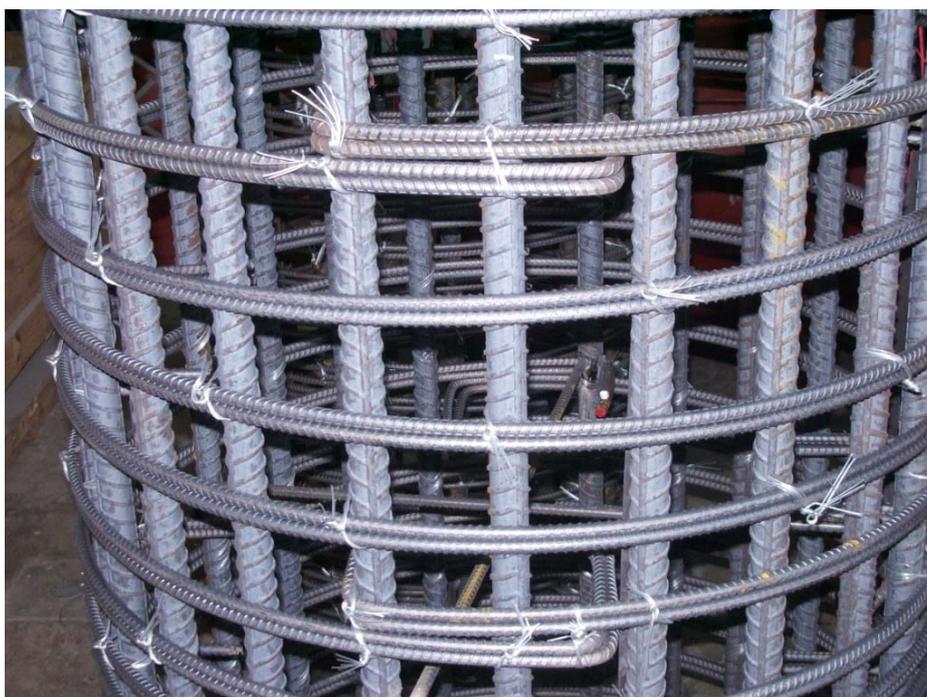
**圖 3-15 RC5b-2 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



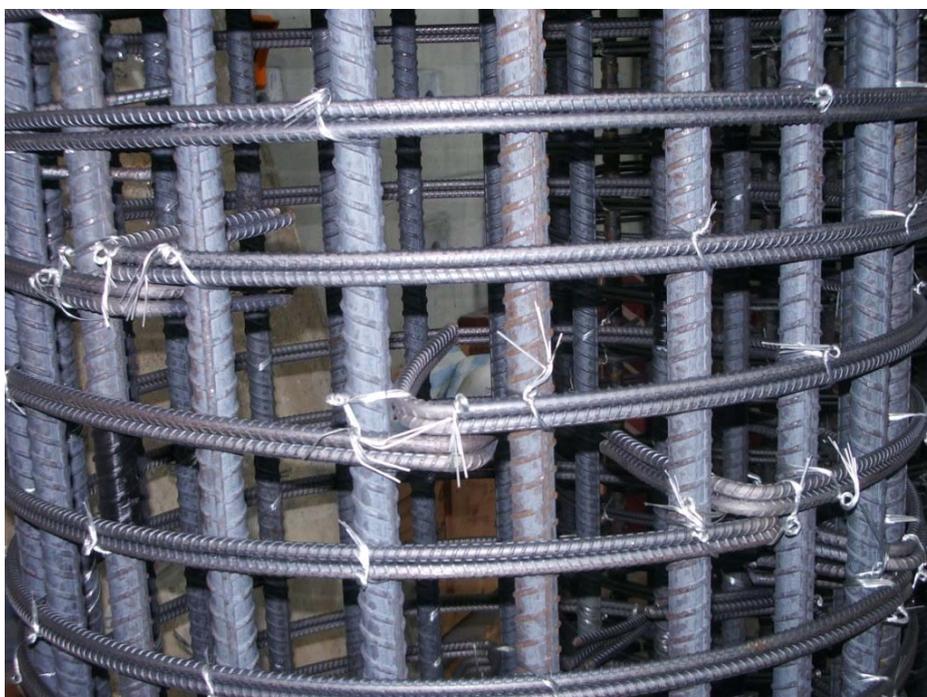
**圖 3-16 RC5c-1 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



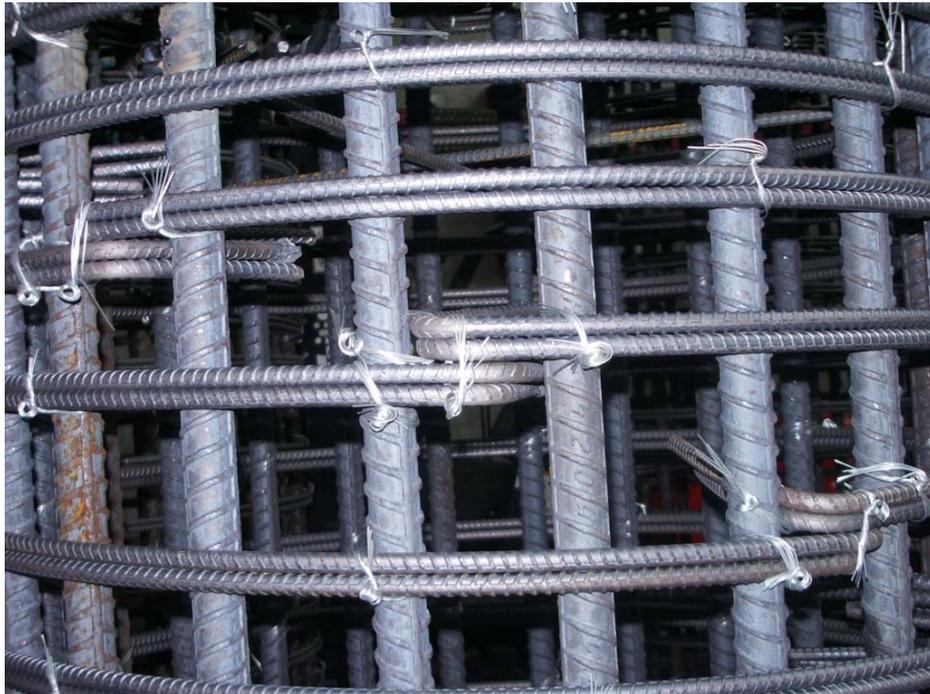
**圖 3-17 RC5c-2 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



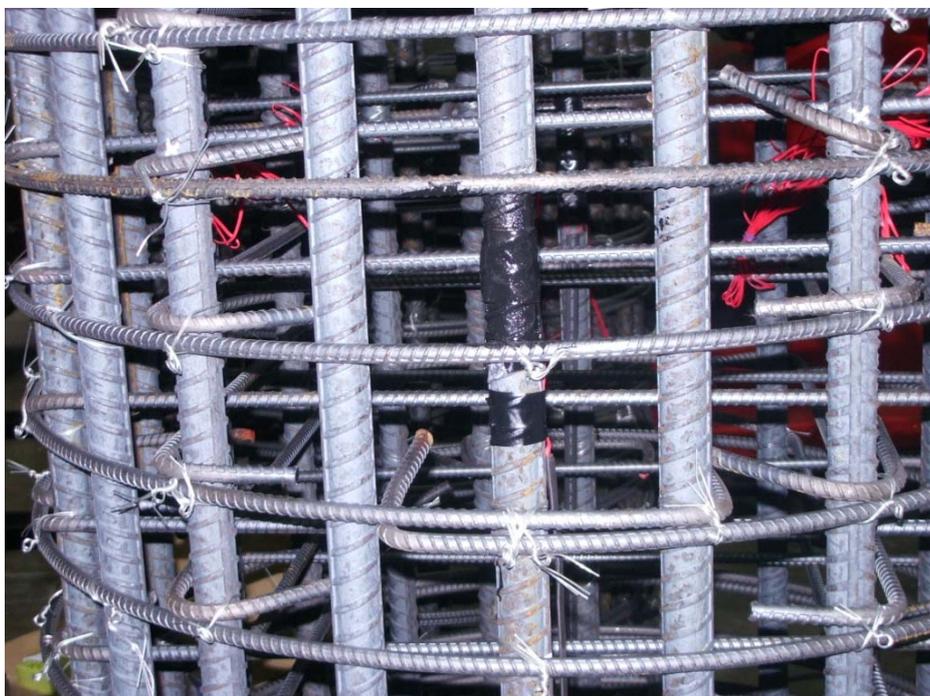
**圖 3-18 RC6a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



**圖 3-19 RC6a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



**圖 3-20 RC9a-1 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



**圖 3-21 RC9a-2 試體中央測試段鋼筋組立圖**

(資料來源：本研究)



**圖 3-22 圓形柱鋼筋組立完成圖**

(資料來源：本研究)



**圖 3-23 預埋鋼筋應變計施工圖(1)**

(資料來源：本研究)



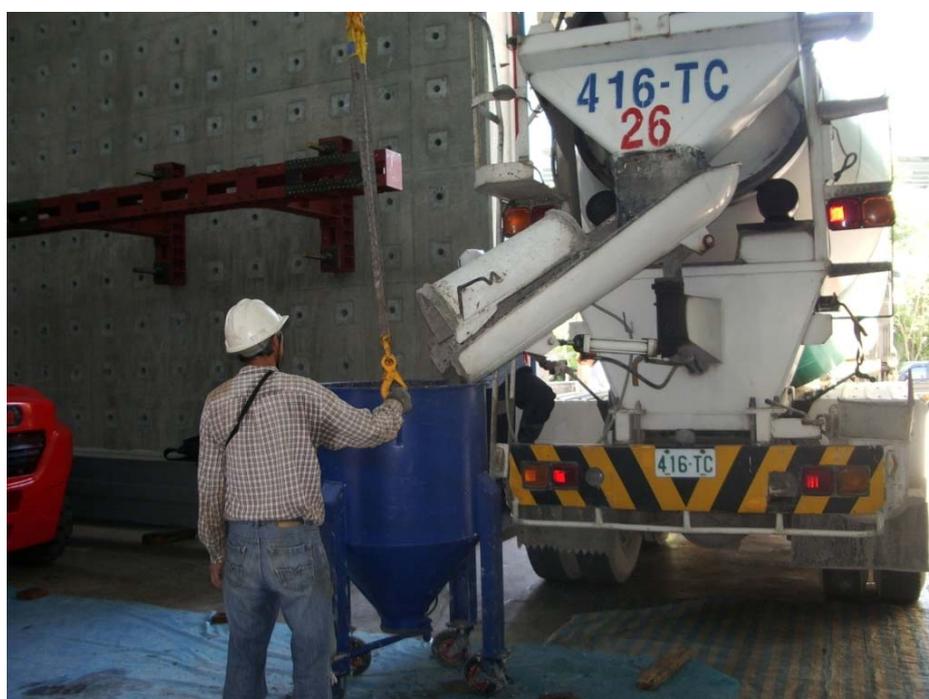
**圖 3-24 預埋鋼筋應變計施工圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-25 圓形柱試體組模圖**

(資料來源：本研究)



**圖 3-26 試體澆置混凝土圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-27 試體澆置混凝土圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-28 混凝土圓柱試體製作圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-29 混凝土圓柱試體製作圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-30 RC 柱試體拆模後之照片(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-31 RC 柱試體拆模後之照片(2)**

(資料來源：本研究)



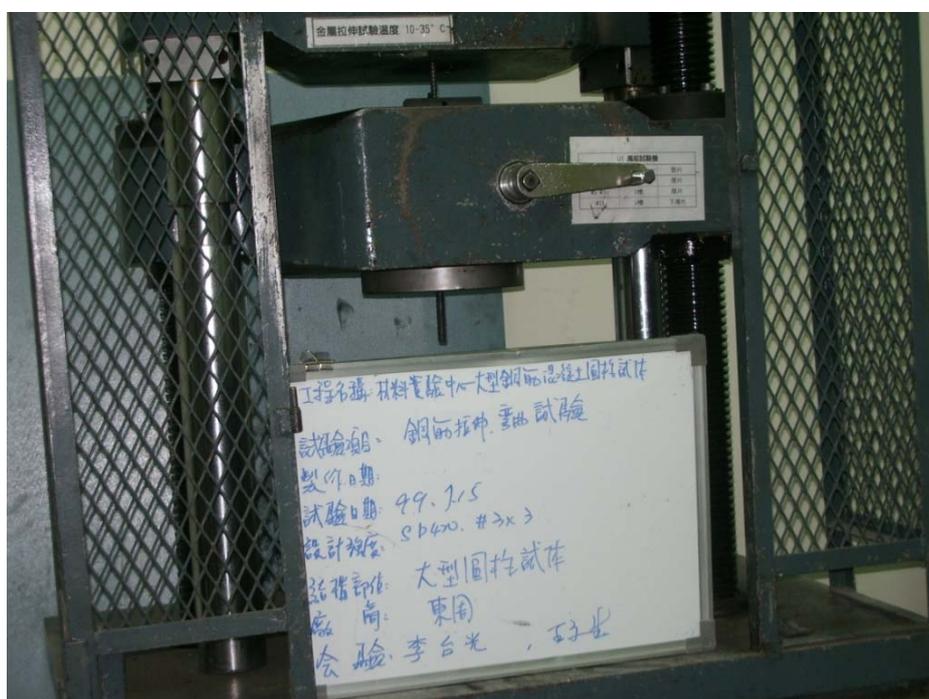
**圖 3-32 試體頂部無收縮水泥漿施工圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-33 試體頂部無收縮水泥漿施工圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 3-34 鋼筋試樣試驗圖**

(資料來源：本研究)

## 第四章 試驗過程與結果之分析

### 第一節 試驗過程與觀察結果

本研究除預埋的鋼筋應變計之外(參見圖 3-8)，另由資料擷取器經由 MTS 3000 噸萬能試驗機之控制箱，讀取該系統軸力及軸向變位之資料，並於中央試驗段(85 cm)之四側架設四支 LVDT(衝程為 50 mm，Kyowa DTH-A-50)及利用試驗時在試體上下 100 cm 見方之蓋板(3 cm 厚；ASTM A572 Grade 50)與磁力座，架設 1 支較大衝程拉線式位移計(Displacement Transducer)(衝程為 500 mm，Kyowa DTP-05-MDS)，參見圖 4-1 及 4-2。

本研究之試驗流程以位移控制模式(Displacement Control Mode)進行，其中軸向位移速率為 2.25 mm/min，其所對應軸向位移速率約為 0.0009 /min (ASTM C39-96 對於混凝土圓柱試驗之軸向位移速率為 0.0043 /min [13])，另設定本試驗停止的條件為當軸向載重大約衰減至最大載重之一半時，即停止試驗，本研究柱試體之軸壓試驗，於 9 月 28、29、30 日及 10 月 1 日等 4 個工作天完成，進行試驗時之混凝土圓柱試體強度(28 天設計強度為 28 MPa)整理如表 4-1。

試驗結果發現所有 12 支試體其主要破壞皆發生於中央試驗段，參見圖 4-3 及 4-4，符合研究預期構想，另試驗之破壞照片參見圖 4-5 至 4-28，初步觀察整理如下：

(1) 經觀察本研究之 6 組 12 支圓柱試體之破壞情形，大部分的試體(除 RC4a-2、RC5b-1、RC5b-2 外)皆發現有圓箍筋斷裂於非搭接或續接處的情況，與矩形柱之破壞情形不同(皆於角隅續接處被拉開)，推論彎鉤直線延伸長度 $12d_b$ 應可提供足夠的錨定且圓箍筋的圍束效果較矩形箍筋為佳。

(2) RC5b-1 及 RC5b-2 試體之圓箍筋彎鉤直線延伸長度為 $6d_b$ ，皆發現有彎鉤被拔出的現象，推論應為彎鉤的錨定長度不足所致。

### 第二節 試體軸向變形能力之討論

依據 MTS 軸向力及系統軸向位移的歷時資料，12 支試體之軸向力及位移圖參見圖 4-29 及 4-30。本研究 6 組 12 支試體之中央試驗段軸向力及位移圖(初期採用 4

支 LVDT 之平均值；後期則以系統軸向位移為準，並考量試體非測試段及載重系統彈性變形之影響)，參見圖 4-31 至 4-36。

本研究以試體軸向力衰減至  $P_0$  及  $0.8P_0$  所對應之中央試驗段軸向位移值，做為軸向變形性能的判斷依據，彙整結果參見表 4-2，初步可獲得如下的結論：

(1) 採用彎鉤( $12d_b$ )直接鉤主筋，上下錯開  $l_{dh}$  續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 80%。

(2) 搭接( $l_{dh}$ )及彎鉤( $12d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開  $l_{dh}$  續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 24%。

(3) 搭接( $l_{dh}$ )及彎鉤( $6d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開  $l_{dh}$  續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 72%。

(4) 搭接( $l_{dh}$ )及彎鉤( $12d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開  $2l_{dh}$  續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 116%。

(5) 彎鉤( $12d_b$ )不鉤主筋彎鉤，上下錯開  $l_{dh}$  續接之圓箍筋柱較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋柱為佳，柱軸向受壓變形能力可增加約 36%。

(6) 內繫筋(十字形及井字形)，應可比照矩形柱，納入圓柱等值橫向鋼筋體積比。

另依據 12 支試體中央測試段軸向與橫向鋼筋(圓箍筋)應變圖(參見圖 4-37 至 4-48，大部分圓箍筋可達其降伏應變(約為 0.00228)，發揮降伏強度之圍束效果。

表 4-1 圓形柱試體試驗時混凝土強度彙整表

試體編號	圓柱試體編號	$f'_c$ (MPa)	$f'_c$ 之平均值 (MPa)	試體混凝土澆置日期	圓形柱試體試驗日期
RC4a-1	1	28.5	28.7	2010/07/23	2010/09/28
	2	29.3			
	3	28.4			
RC4a-2	1	25.1	24.3	2010/07/22	2010/09/28
	2	22.7			
	3	25.2			
RC5a-1	1	29.0	28.8	2010/07/23	2010/09/28
	2	28.4			
	3	28.9			
RC5a-2	1	28.7	29.0	2010/07/23	2010/09/29
	2	28.7			
	3	29.5			
RC5b-1	1	22.4	21.6(29.0)	2010/07/21	2010/09/29
	2	21.4			
	3	21.1			
RC5b-2	1	25.1	26.8	2010/07/20	2010/09/29
	2	28.3			
	3	26.9			
RC5c-1	1	21.2	22.0	2010/07/20	2010/09/29
	2	22.1			
	3	22.6			
RC5c-2	1	21.6	22.0	2010/07/20	2010/09/30
	2	21.8			
	3	22.7			
RC6a-1	1	29.4	29.2	2010/07/21	2010/09/30
	2	29.5			
	3	28.7			
RC6a-2	1	29.8	28.7	2010/07/21	2010/09/30

試體編號	圓柱試體編號	$f'_c$ (MPa)	$f'_c$ 之平均值 (MPa)	試體混凝土澆置日期	圓形柱試體試驗日期
	2	28.7			
	3	27.5			
RC9a-1	1	23.1	24.3	2010/07/22	2010/09/30
	2	25.1			
	3	24.8			
RC9a-2	1	26.7	26.4	2010/07/22	2010/10/01
	2	26.1			
	3	26.4			

(資料來源：本研究)

註 1： $f'_c$  為圓形柱試體試驗日期混凝土強度；試驗方法：CNS 1232 (2002)。

註 2：本試驗假豪鴻科技有限公司(新店材料實驗室)進行。

表 4-2 圓形柱軸向變形性能彙整表

Specimen designation	Axial displacement at $P_0$ (mm)	Average axial displacement at $P_0$ (mm)	Ratio to benchmark (RC1) at $P_0$ (1)	Axial displacement at $0.8P_0$ (mm)	Average axial displacement at $0.8P_0$ (mm)	Ratio to benchmark (RC1) at $0.8P_0$ (2)	Average ratio of $P_0$ and $0.8P_0$ $0.5[(1)+(2)]$																																																													
RC4a-1	18.5	24.6	2.00	36.3	36.7	1.60	1.80																																																													
RC4a-2	30.6			37.1				RC5a-1	12.7	12.5	1.02	35.9	33.4	1.45	1.24	RC5a-2	12.3	30.8	RC5b-1	23.1	24.1	1.96	32.4	33.9	1.47	1.72	RC5b-2	25.1	35.3	RC5c-1	29.4	32.7	2.66	34.3	38.2	1.66	2.16	RC5c-2	35.9	42.0	RC6a-1	12.8	16.6	1.35	29.0	31.5	1.37	1.36	RC6a-2	20.3	34.0	RC9a-1	30.0	21.2	1.72	35.4	27.6	1.2	1.46	RC9a-2	12.3	29.8	RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0
RC5a-1	12.7	12.5	1.02	35.9	33.4	1.45	1.24																																																													
RC5a-2	12.3			30.8				RC5b-1	23.1	24.1	1.96	32.4	33.9	1.47	1.72	RC5b-2	25.1	35.3	RC5c-1	29.4	32.7	2.66	34.3	38.2	1.66	2.16	RC5c-2	35.9	42.0	RC6a-1	12.8	16.6	1.35	29.0	31.5	1.37	1.36	RC6a-2	20.3	34.0	RC9a-1	30.0	21.2	1.72	35.4	27.6	1.2	1.46	RC9a-2	12.3	29.8	RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0	1.00	1.00	RC1-2	13.5	21.9						
RC5b-1	23.1	24.1	1.96	32.4	33.9	1.47	1.72																																																													
RC5b-2	25.1			35.3				RC5c-1	29.4	32.7	2.66	34.3	38.2	1.66	2.16	RC5c-2	35.9	42.0	RC6a-1	12.8	16.6	1.35	29.0	31.5	1.37	1.36	RC6a-2	20.3	34.0	RC9a-1	30.0	21.2	1.72	35.4	27.6	1.2	1.46	RC9a-2	12.3	29.8	RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0	1.00	1.00	RC1-2	13.5	21.9																	
RC5c-1	29.4	32.7	2.66	34.3	38.2	1.66	2.16																																																													
RC5c-2	35.9			42.0				RC6a-1	12.8	16.6	1.35	29.0	31.5	1.37	1.36	RC6a-2	20.3	34.0	RC9a-1	30.0	21.2	1.72	35.4	27.6	1.2	1.46	RC9a-2	12.3	29.8	RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0	1.00	1.00	RC1-2	13.5	21.9																												
RC6a-1	12.8	16.6	1.35	29.0	31.5	1.37	1.36																																																													
RC6a-2	20.3			34.0				RC9a-1	30.0	21.2	1.72	35.4	27.6	1.2	1.46	RC9a-2	12.3	29.8	RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0	1.00	1.00	RC1-2	13.5	21.9																																							
RC9a-1	30.0	21.2	1.72	35.4	27.6	1.2	1.46																																																													
RC9a-2	12.3			29.8				RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0	1.00	1.00	RC1-2	13.5	21.9																																																		
RC1-1	11.1	12.3	1.00	24.0	23.0	1.00	1.00																																																													
RC1-2	13.5			21.9																																																																



**圖 4-1 圓形柱試體外掛軸向變位計圖**

(資料來源：本研究)



**圖 4-2 外掛拉線式位移計**

(資料來源：本研究)



**圖 4-3 圓形柱試體典型破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-4 圓柱試體典型破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-5 RC4a-1 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-6 RC4a-1 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



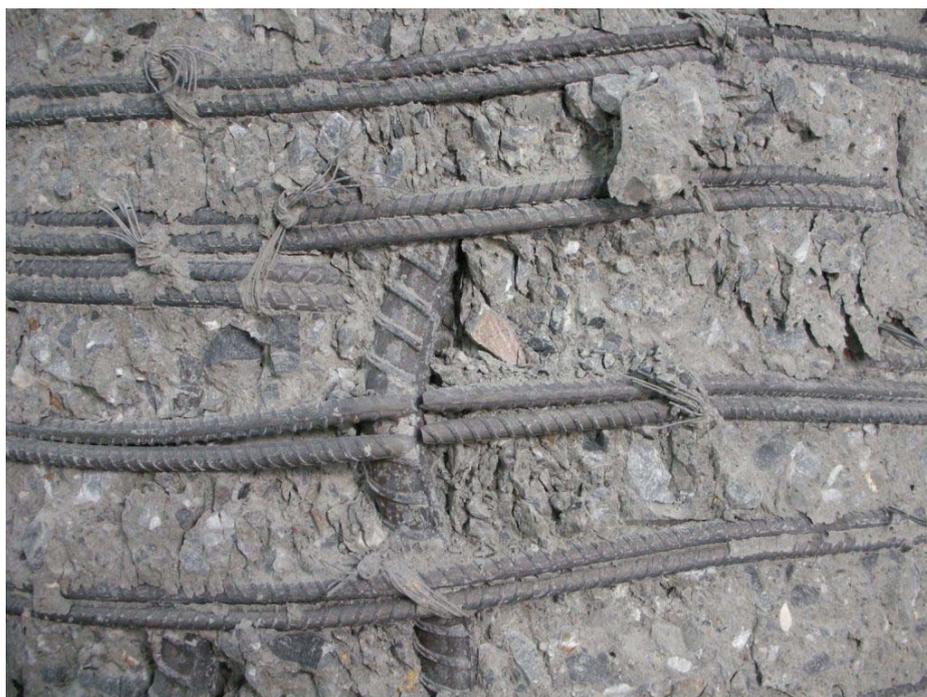
**圖 4-7 RC4a-2 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-8 RC4a-2 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-9 RC5a-1 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-10 RC5a-1 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-11 RC5a-2 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-12 RC5a-2 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-13 RC5b-1 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-14 RC5b-1 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-15 RC5b-2 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-16 RC5b-2 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



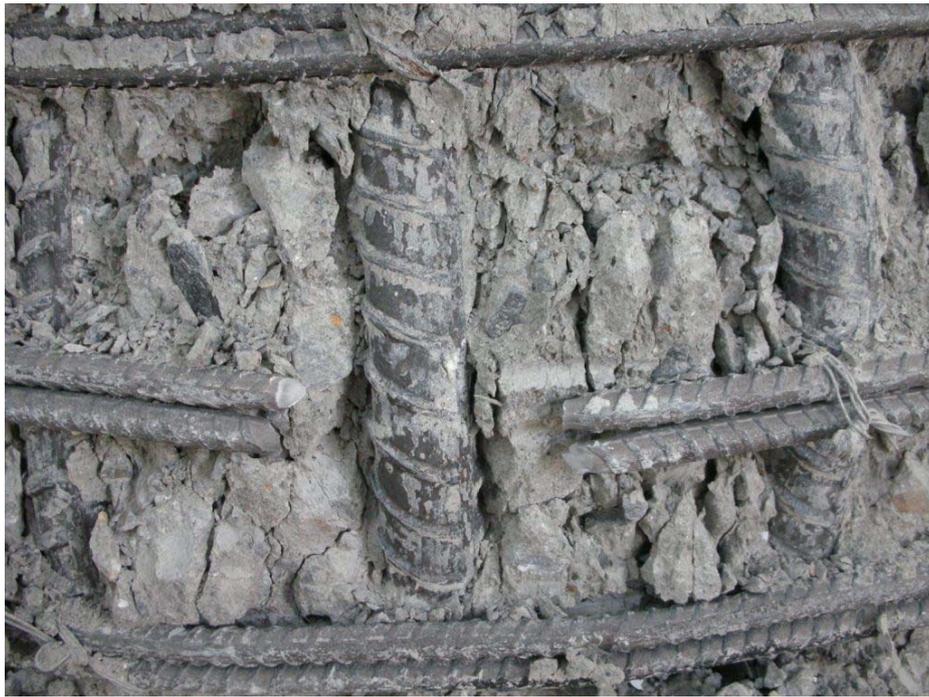
**圖 4-17 RC5c-1 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-18 RC5c-1 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-19 RC5c-2 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-20 RC5c-2 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-21 RC6a-1 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-22 RC6a-1 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-23 RC6a-2 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



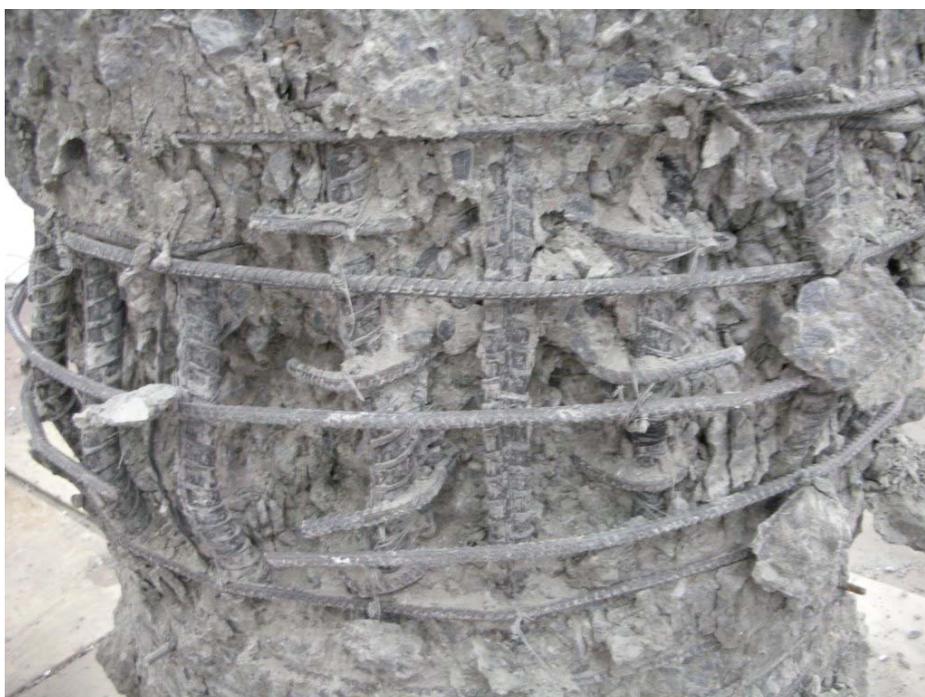
**圖 4-24 RC6a-2 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-25 RC9a-1 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)



**圖 4-26 RC9a-1 試體中央測試段破壞圖(2)**

(資料來源：本研究)



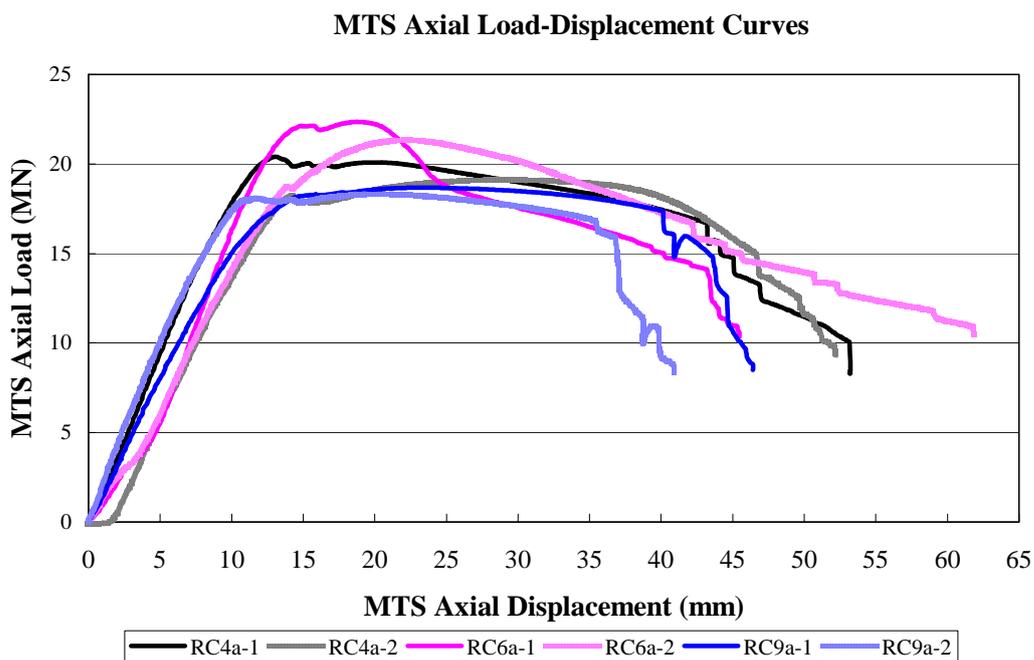
**圖 4-27 RC9a-2 試體中央測試段破壞圖(1)**

(資料來源：本研究)

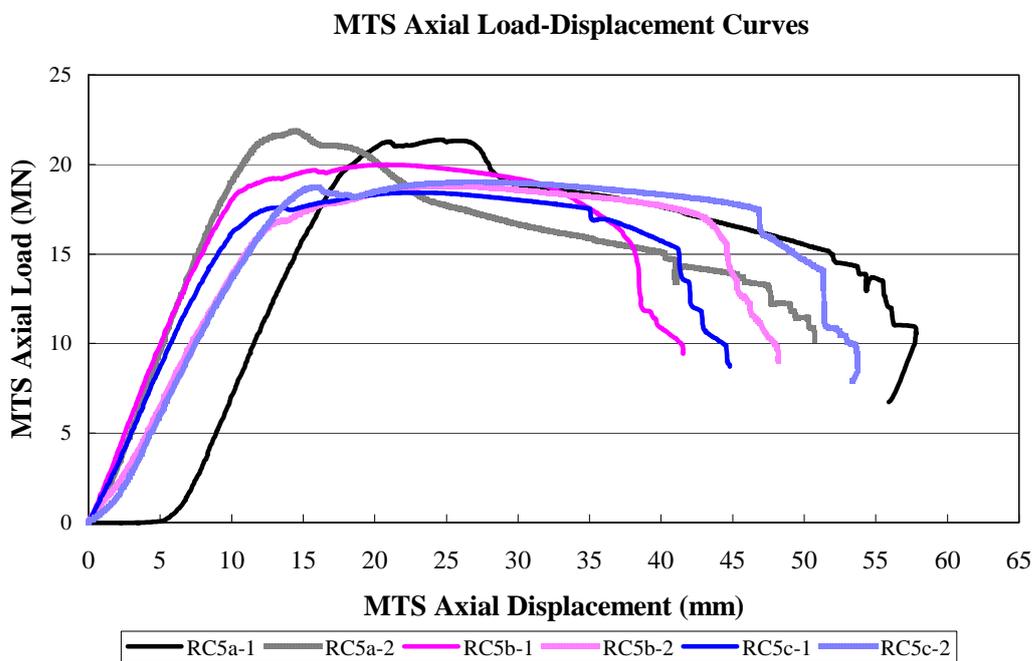


**圖 4-28 RC9a-2 試體中央測試段破壞圖(2)**

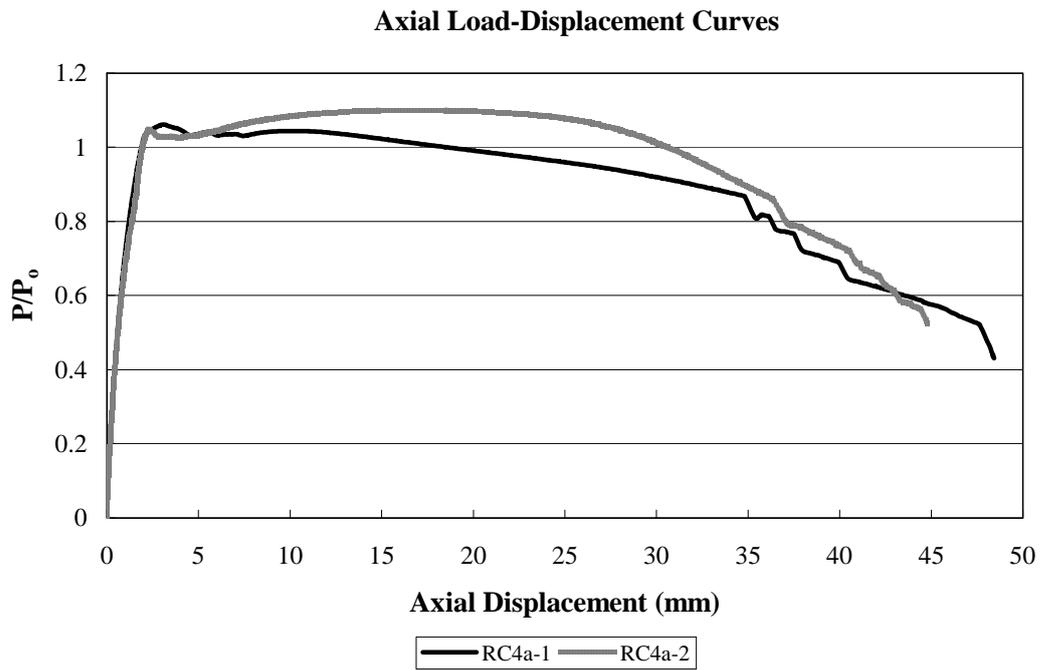
(資料來源：本研究)



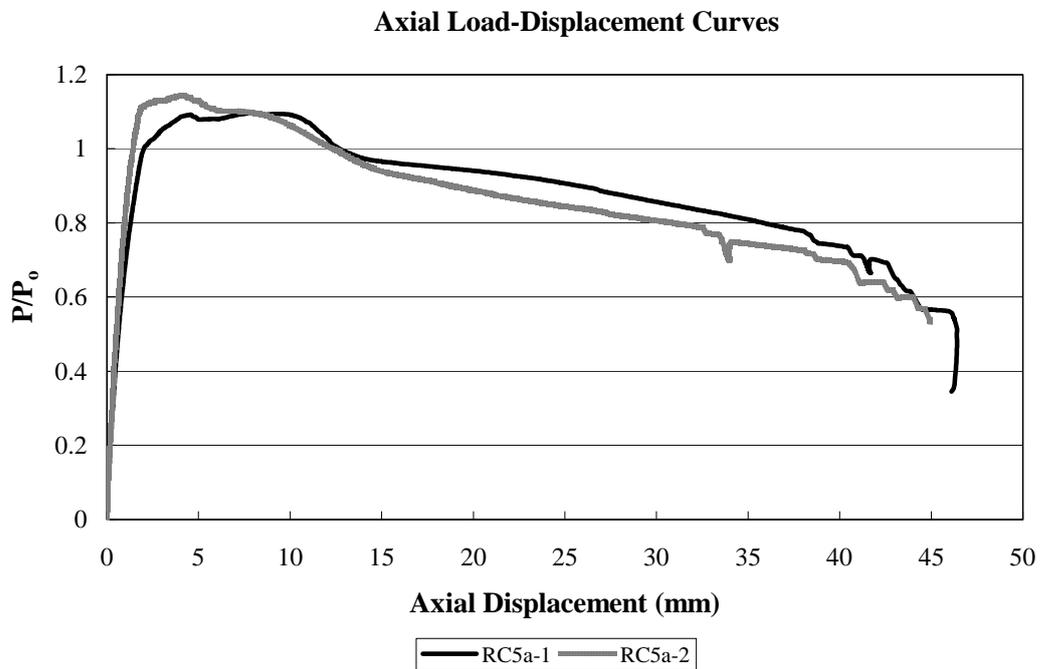
**圖 4-29 圓形柱試體軸向載重與變位關係圖(1)(MTS)**  
(資料來源：本研究)



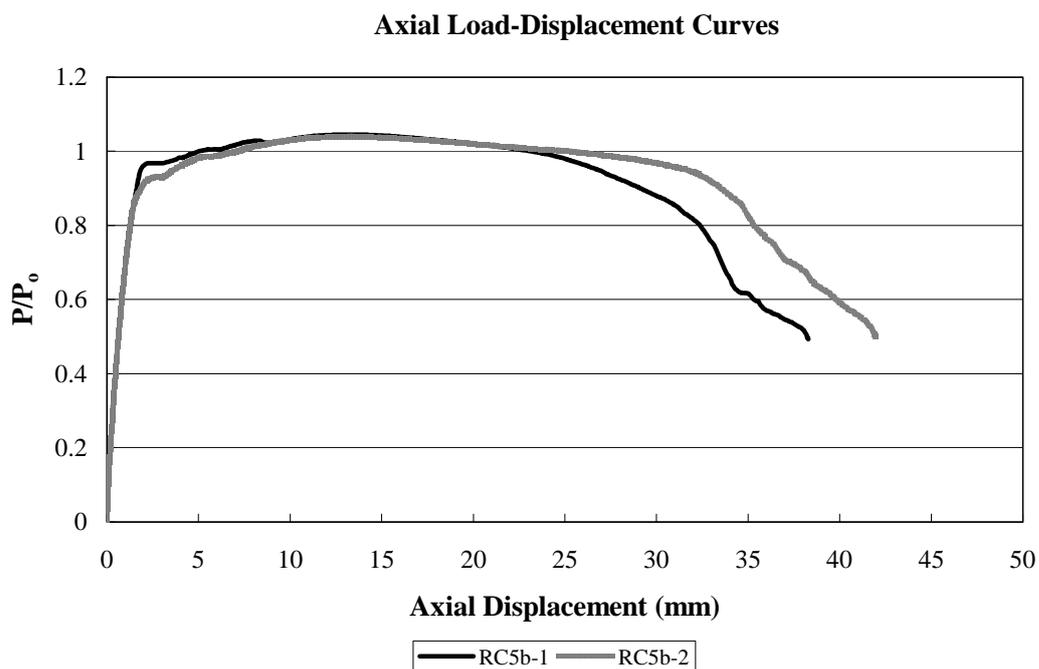
**圖 4-30 圓形柱試體軸向載重與變位關係圖(2)(MTS)**  
(資料來源：本研究)



**圖 4-31 RC4a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖**  
(資料來源：本研究)

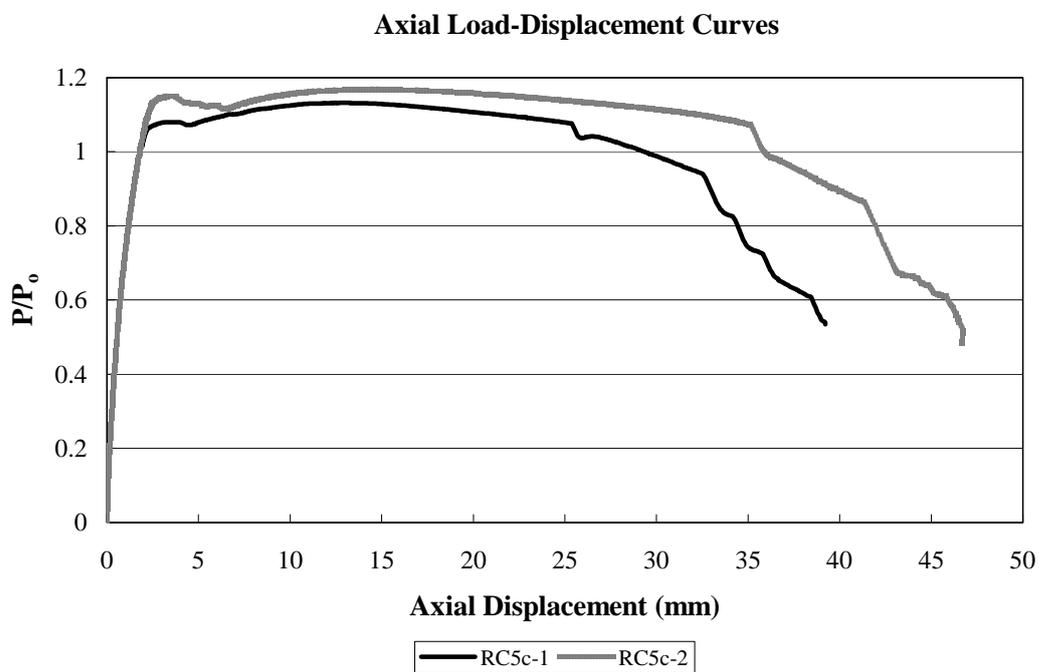


**圖 4-32 RC5a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖**  
(資料來源：本研究)



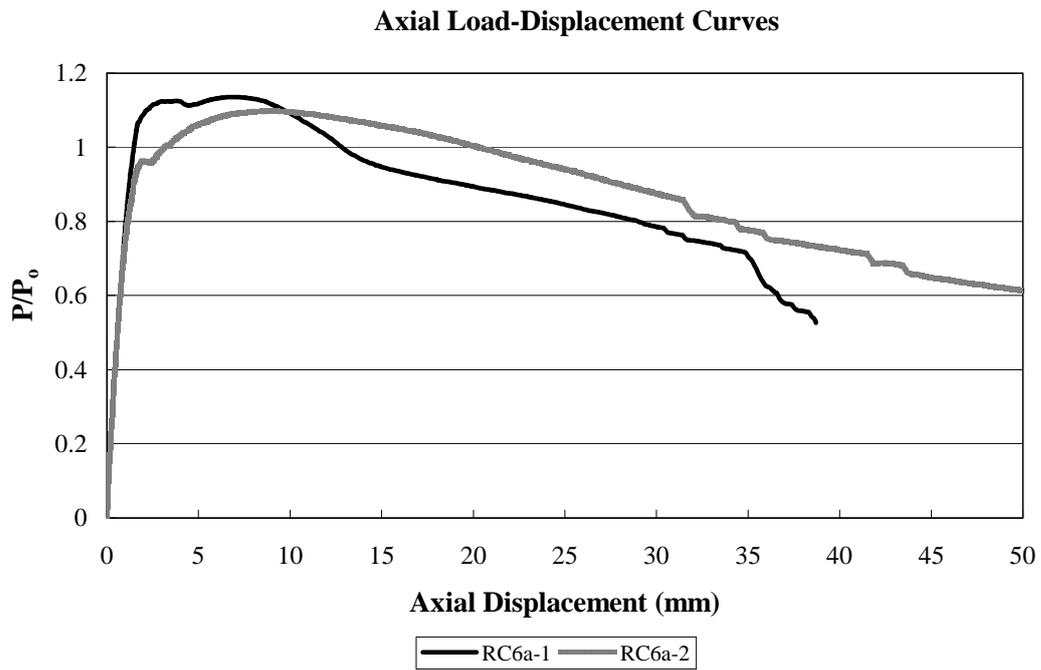
**圖 4-33 RC5b 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖**

(資料來源：本研究)

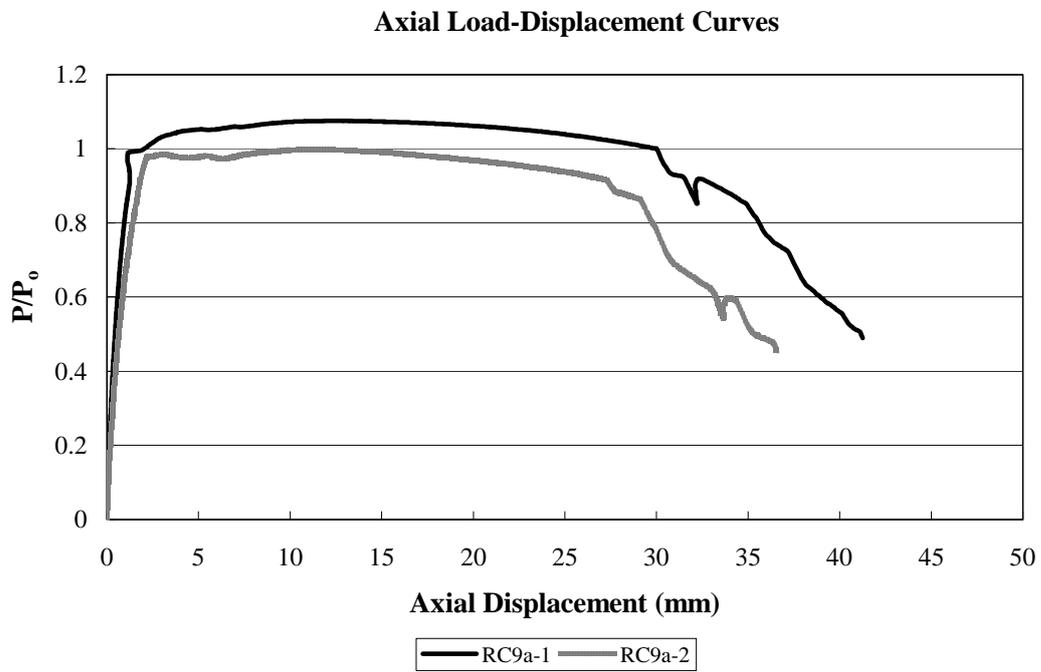


**圖 4-34 RC5c 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖**

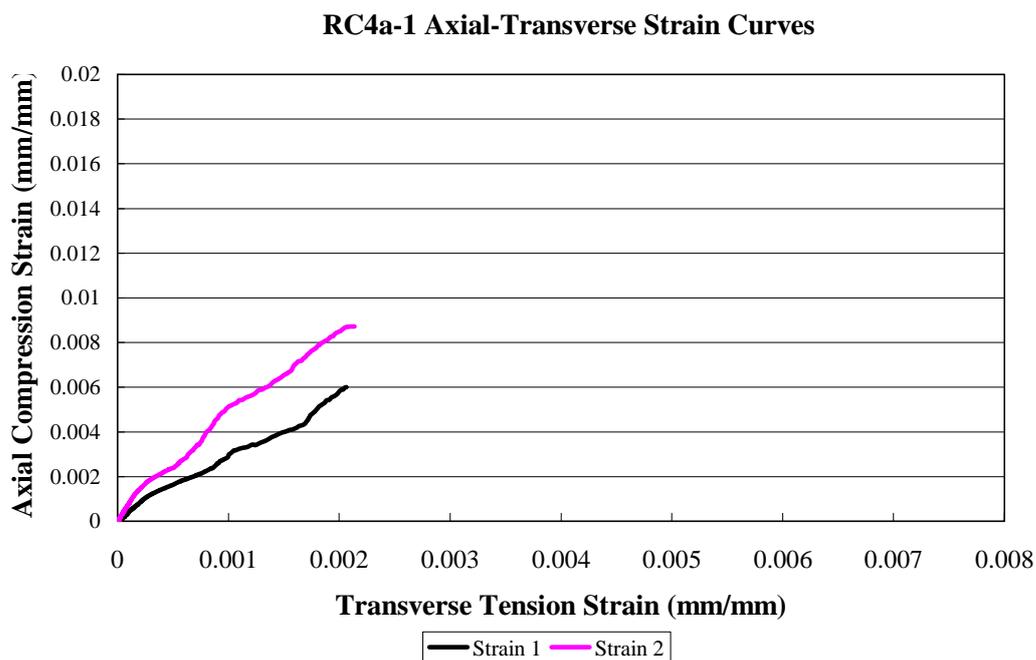
(資料來源：本研究)



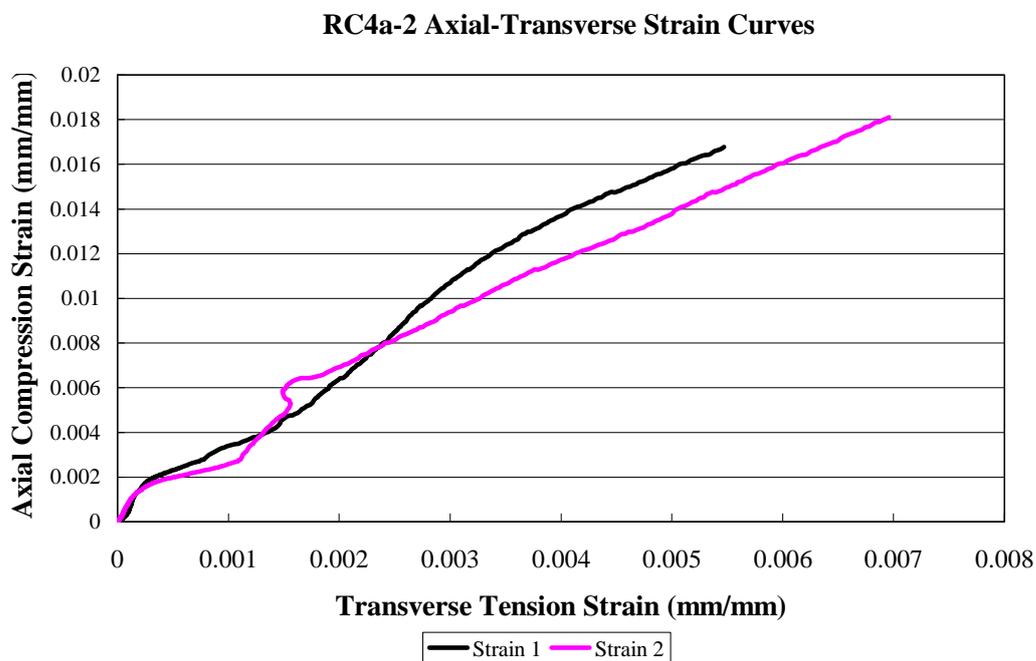
**圖 4-35 RC6a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖**  
(資料來源：本研究)



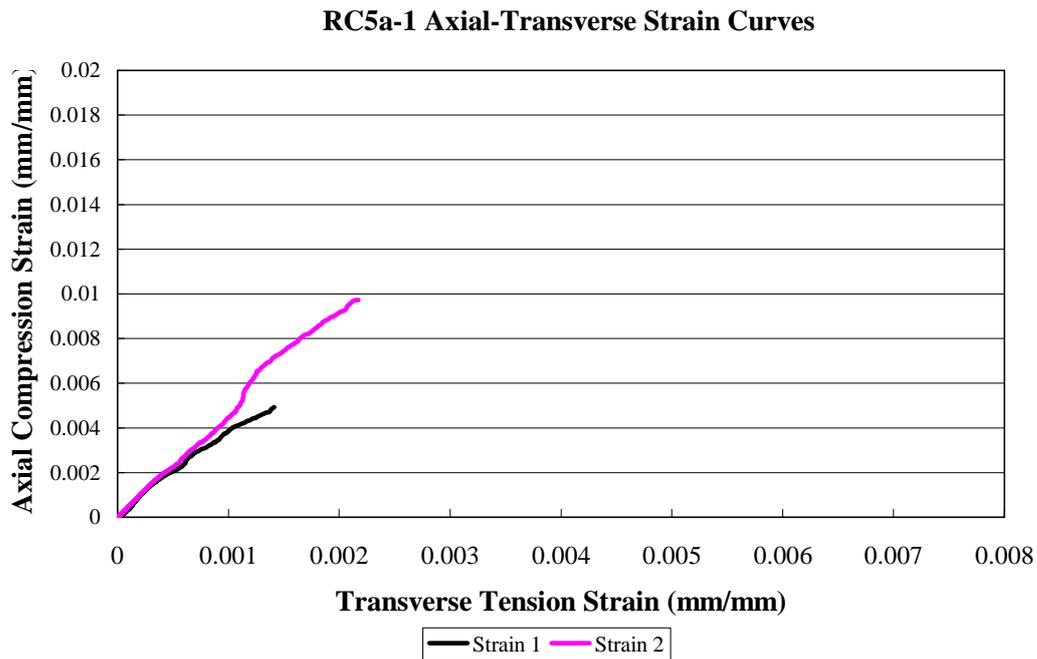
**圖 4-36 RC9a 試體中央測試段軸向載重與變位關係圖**  
(資料來源：本研究)



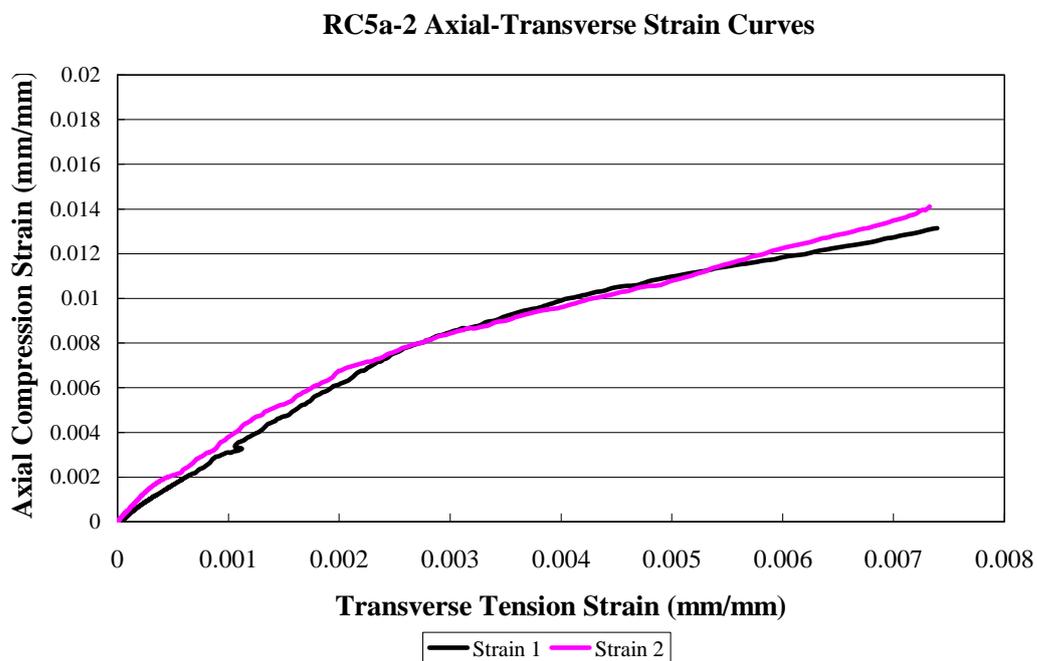
**圖 4-37 RC4a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



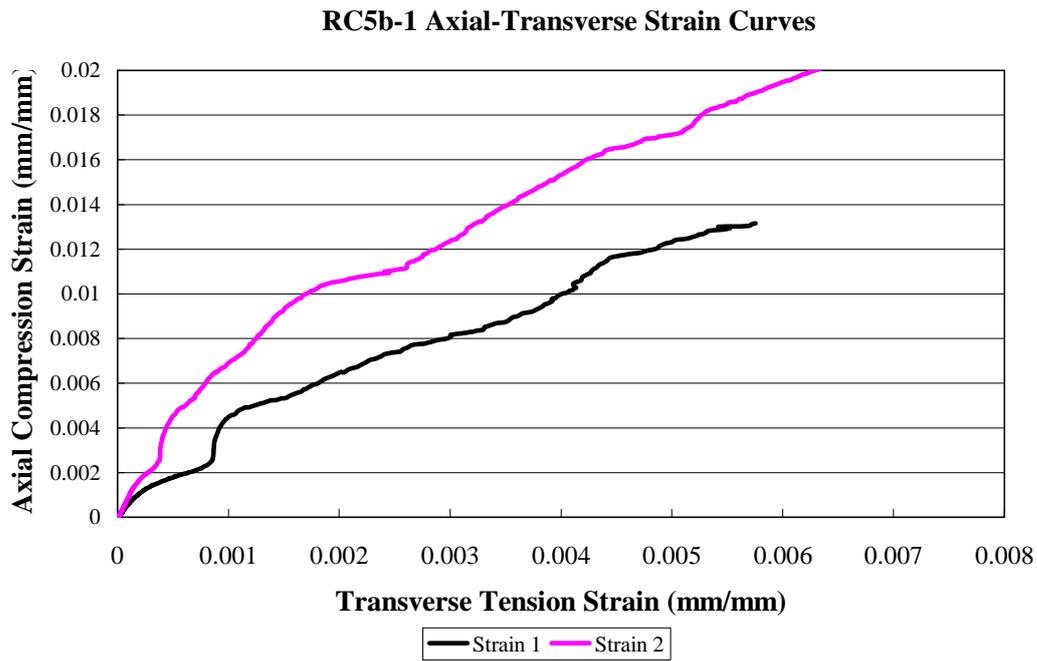
**圖 4-38 RC4a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



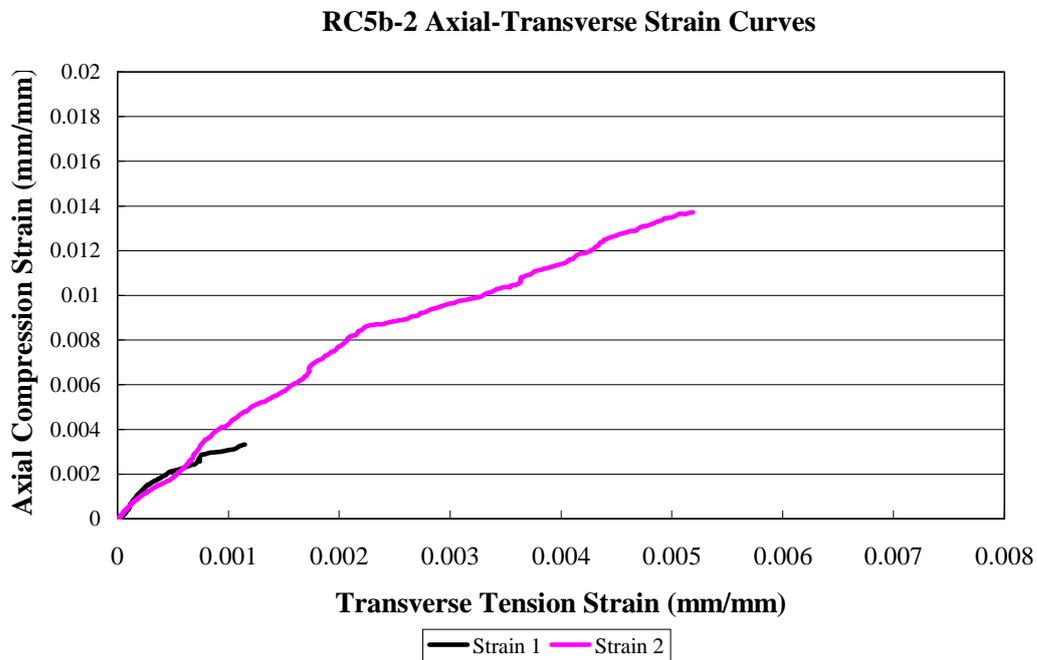
**圖 4-39 RC5a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



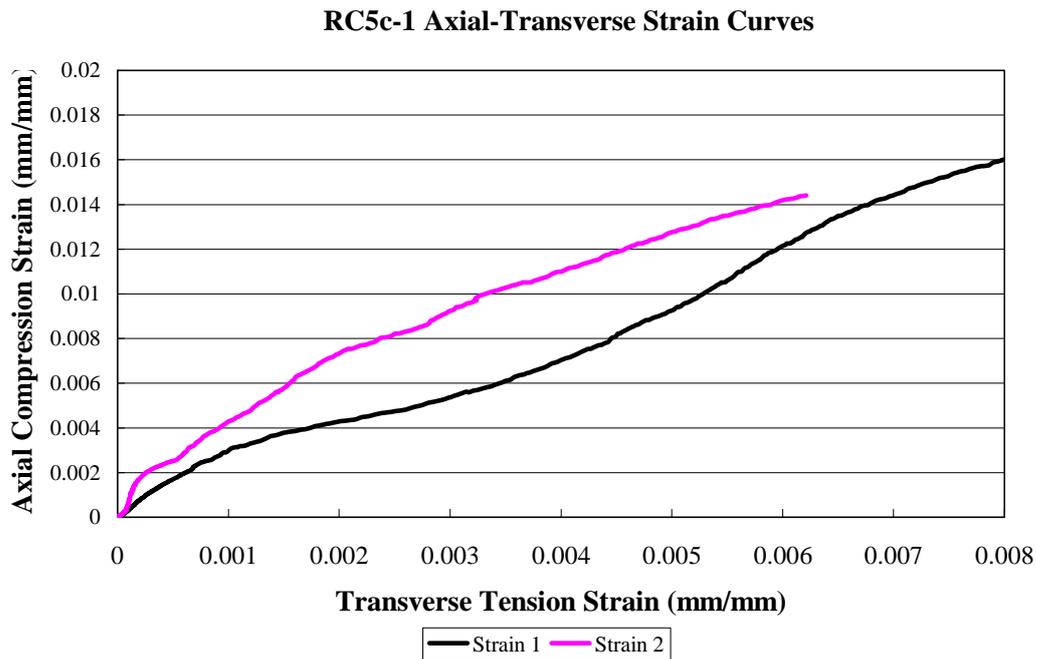
**圖 4-40 RC5a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



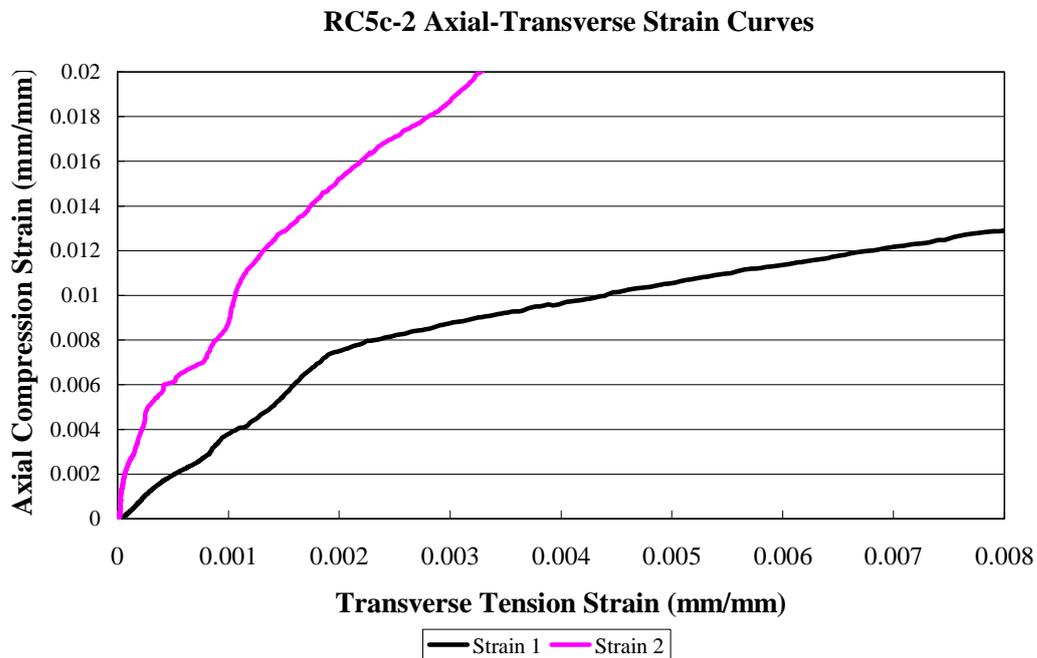
**圖 4-41 RC5b-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



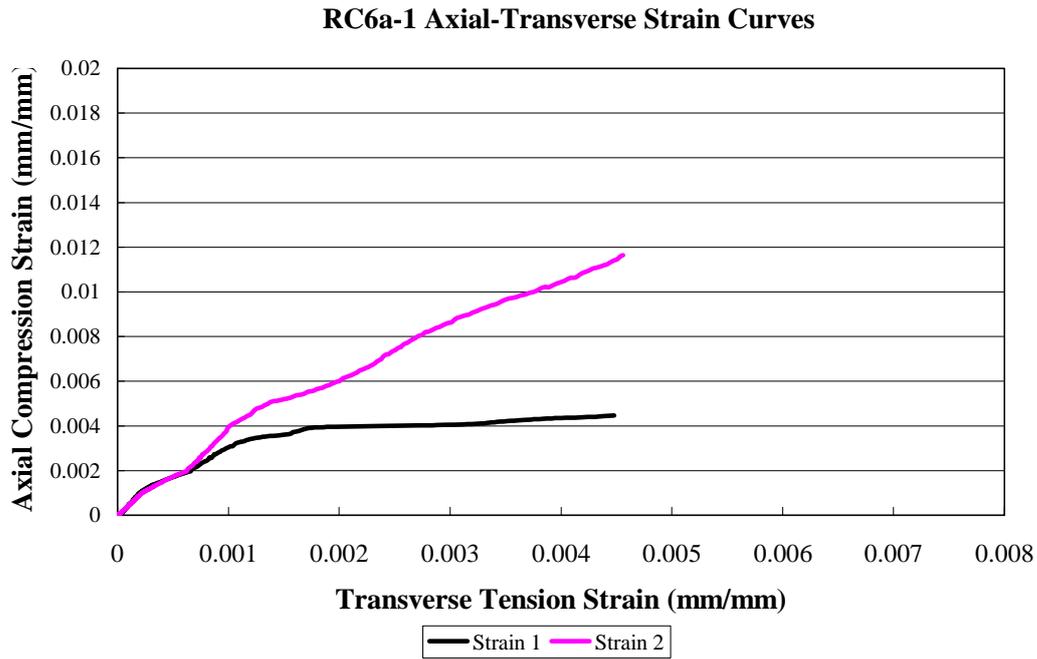
**圖 4-42 RC5b-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



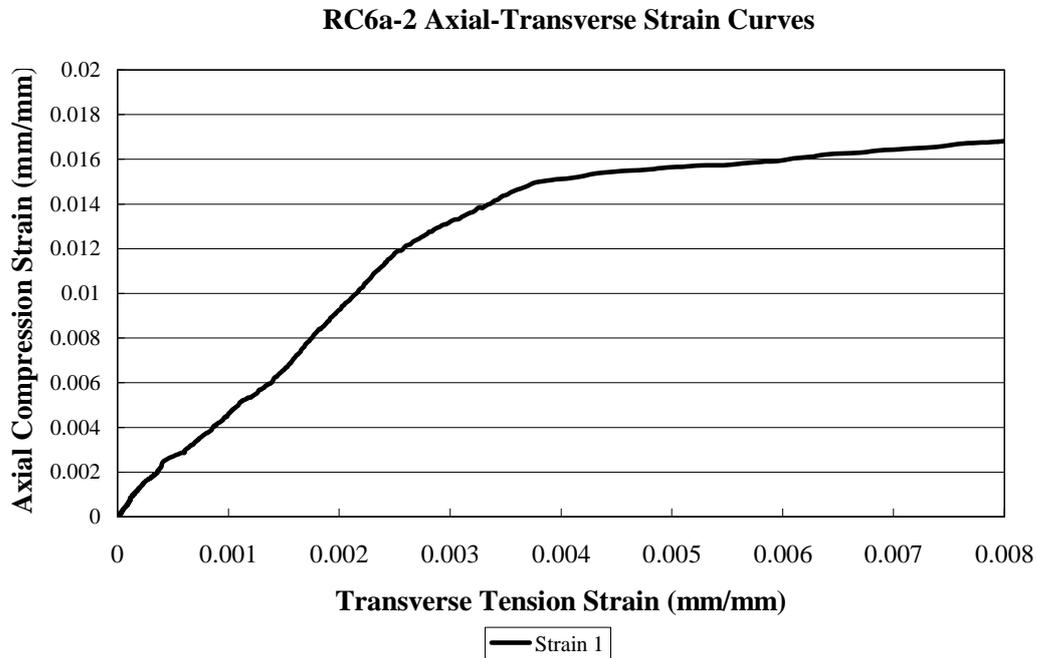
**圖 4-43 RC5c-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



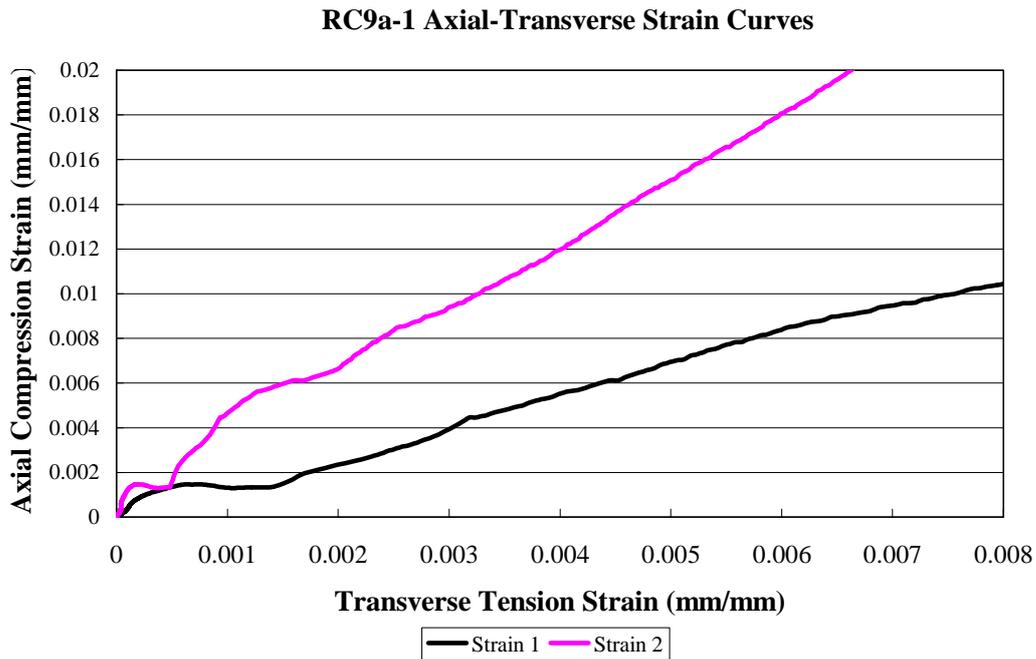
**圖 4-44 RC5c-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



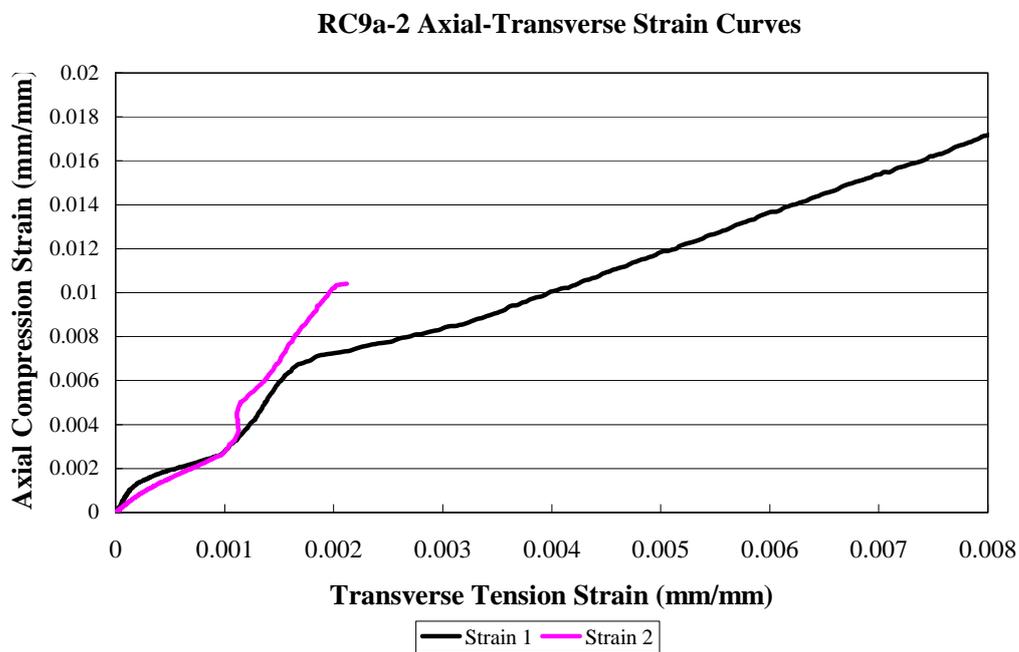
**圖 4-45 RC6a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



**圖 4-46 RC6a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



**圖 4-47 RC9a-1 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



**圖 4-48 RC9a-2 試體中央測試段軸向與橫向鋼筋應變圖**  
(資料來源：本研究)



## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

- (1)採用彎鉤( $12d_b$ )直接鉤主筋，上下錯開 $l_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 80%，惟增加施工之困難度。
- (2)搭接( $l_{dh}$ )及彎鉤( $12d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開 $l_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 24%，施工較為容易。
- (3)搭接( $l_{dh}$ )及彎鉤( $6d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開 $l_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 72%，施工亦較為容易。
- (4)搭接( $l_{dh}$ )及彎鉤( $12d_b$ )一端鉤主筋，上下錯開 $2l_{dh}$ 續接之圓箍筋較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋圓柱，經試驗驗證，可增加柱軸向受壓之變形能力約 116%，施工較為容易。
- (5)彎鉤( $12d_b$ )不鉤主筋彎鉤，上下錯開 $l_{dh}$ 續接之圓箍筋柱較搭接( $48d_b$ )之螺箍筋柱為佳，柱軸向受壓變形能力可增加約 36%，惟增加施工之困難度。
- (6)內繫筋(十字形及井字形)，應可比照矩形柱，納入圓柱等值橫向鋼筋體積比。
- (7)圓箍筋應可發揮其降伏強度之圍束效果。

### 第二節 建議

以下分別從立即可行的建議及長期性建議加以列舉。

本研究案之研究成果，可供工程實務界參考應用，並可提供相關規範研修訂時之參考，以解決國內工程實務問題。—立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

現行混凝土工程設計規範與解說僅針對螺箍筋圓形柱之箍筋尺寸、淨間距、續接長度及螺箍筋體積比有所規定。然而對於國內常用的圓形閉合箍筋柱之相關設計細部，則無相關規定，使得國內設計者及施工者無所適從，莫衷一是。本研究案之

研究成果，可供工程實務界參考應用，並可提供相關規範研修訂時之參考，以解決國內工程實務問題。

**本研究案僅針對大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為進行探討，後續應進一步針對鋼筋混凝土圓柱同時承受軸壓及側力之行為進行研究。－長期性建議**

**主辦機關：內政部建築研究所**

**協辦機關：內政部建築研究所**

本研究案僅針對大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為進行探討，後續應進一步針對鋼筋混凝土圓柱同時承受軸壓及側力之行為進行研究，以真實模擬建築結構柱構材之受力情形。

附錄一 期中簡報審查意見會議紀錄

內政部建築研究所

99 年度自行研究「在不同軸力下填充混凝土箱型鋼柱撓曲行為之先期研究」、「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究」、「大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究」等 3 案期中審查會議紀錄

一、時間：99 年 8 月 26 日(星期四)下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主持人：林組長建宏(鄒本駒研究員代理) 紀錄：蔡煒銘、陳柏端、李台光

四、出席人員：(如簽到單)

五、主席致詞：(略)。

六、執行單位簡報：(略)。

七、綜合意見：

(一)「在不同軸力下填充混凝土箱型鋼柱撓曲行為之先期研究」案

1、高健章教授：

- (1) 本案試體製作與實際建物之柱體有所不同。一般建築施工是鋼構興建到相當高度後方進行柱內灌漿，此時鋼柱已受力變形，而本案試體製作是鋼柱尚無受力變形下灌注混凝土。因此二者有所不同，且本案試驗為較不保守，須注意。
- (2) 柱內灌漿用混凝土之自體乾縮量為何？

2、詹添全教授：

- (1) 文獻中之軸力-彎矩曲線與本研究之成果應予並列呈現。
- (2) 以理論值為標準，文獻與本研究之結果應提供給實務界之應用。
- (3) 應將試體規劃之 b 值與最大軸力，陳列於報告上。

3、梁若暉教授：

- (1) 有關業界相關實務作法之優缺點，應先做完整之整理與比較，避免有為廠商背書之嫌。

4、中華民國結構工程技師公會全聯會 彭國隆技師：

- (1) 本研究含有剪力，請更正「純彎矩」為「彎矩」。
- (2) 因業界有採用長方形斷面柱之設計，建議後續研究可試驗長方形斷面柱之行為。

(二)「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究」案：

1、高健章教授：

- (1) 試驗佈置之道理不甚清楚，為何只用一支油壓機從一側來推，如此可能使力的傳遞複雜化。推力由油壓機傳至主要試驗梁，再至樓板，再至次要試驗梁，如此較難以釐清主要試驗梁之實際受力環境，對試驗成果分析與解釋可能增添困難。

2、詹添全教授：

- (1) 側向支撐以加勁版取代，則加勁版之行為與原側向支撐（軸力構材）為完全不同之受力行為，兩者之間是否有材料參數轉換，（如加勁版之勁度為  $E \cdot I$ 、 $G \cdot A$ ，但斜撐勁度為  $E \cdot A$ ，兩者如何轉換）。
- (2) 試體圖 3-1 (b) 為鉸支承，影響試驗加力行為，請考慮。
- (3) 名詞建議依法規修正，如挫屈改為屈曲，搜集改為蒐集，板改為版。

3、梁若暉教授：

- (1) 數值分析、模擬與實驗配置間之比較，應詳加評估。

4、中華民國結構工程技師公會全聯會 彭國隆技師：

- (1) 請檢討圖 1-2 (d) 樓版上補強立版與樓版鋼筋是否會衝突。

(三)「大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究」案：

1、高健章教授：

- (1) 柱箍筋(即圓箍或螺箍)之尾端彎鉤未靠到或靠到主筋之情形，如何精確判斷其實際效果，需加研究，以提升本研究之價值。

2、詹添全教授：

- (1) 請注意試體澆置養護時，因水化熱造成內外溫差之影響。建議裝置熱電偶追蹤試體的溫度分布與變化。

(2) 於規範中，要求混凝土保護層厚 4 公分，本案試體設計採用 5 公分，請說明原因。

(3) 直徑 85 公分之鋼筋混凝土柱在實務上主筋、箍筋尺寸與本案有別，實務上主筋會用到約#11 鋼筋，本案主筋則是配置#8 鋼筋，請予釐清。

3、梁若暉教授：

(1) 建研所居國內建築研究之領導地位，除應積極與國內外相關單位合作之外，更應注意成果的發表與宣傳。

4、中華民國結構工程技師公會全聯會 彭國隆技師：

(1) 依本研究發現，採用 48db 螺箍筋之圍束效果較差，建議是否於檢討規範時，考慮廢止此工法。

5、鄒本駒研究員：

(1) 研究內容涉及規範修正的部份，建議可於報告中列出現有法條規定，以作參照比對。

(2) 於試體規劃時，建議可加入不同的量測元件，多蒐集擷取不同的資料數據，以達善用試體的目標。

八、執行單位回應：

(一)在不同軸力下填充混凝土箱型鋼柱撓曲行為之先期研究

1、本研究因考量到空間及試驗設備容量之限制，故無法製作非常高之柱試體。

2、本報告書將依委員之意見做進一步的補充與修正。

3、對於各位委員之其他意見，將按會議紀錄，再另作詳細回復，並納入期末報告書中。

(二)耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究

1、有關數值分析與實驗配置間之比較，試驗規劃如使用單油壓機之受力行為、鉸支承之影響及補強立版與樓版鋼筋是否衝突等，將再予以審慎考量。

(三)大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究

- 1、本研究將以柱試體中央試驗段軸力及軸向變位關係圖，做為評估柱箍筋(圓箍或螺箍)及繫筋配置方式優劣的依據。
- 2、本研究製作試體時，並未裝置熱電偶追蹤試體的溫度分布與變化，未來研究可考量納入此建議；另於現行規範中，要求之柱構材最小保護層厚為 4 公分，本案試體設計採用 5 公分，符合規範之要求；而本案主筋採用#8 鋼筋，縱向鋼筋比約為 0.02，小於實務上使用的鋼筋比(約為 0.04)。
- 3、未來將整理本研究之研究成果撰寫論文，於國內或國外適當之期刊發表。
- 4、依本研究發現，採用 48db 螺箍筋之圍束效果較差，惟其施工性較佳，需進一步研究，並檢討現行規範規定的妥適性。

九、會議結論及主席指示：

- (一) 本次自行研究計畫期中審查原則通過，與會專家學者之建議事項，請研究單位納入後續研究參考，並於期末報告中列表妥予回應。
- (二) 期末成果報告格式請承辦同仁確實依照相關規定辦理以符規定。
- (三) 請將研究進度納入報告書中，並將已完成事項及待完成事項等條列說明。

十、散會(下午 4 時 50 分)。



附錄二 期末簡報審查意見會議紀錄

### 內政部建築研究所

99 年度自行研究「在不同軸力下填充混凝土箱型鋼柱之撓曲行為研究(1/2)」、「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究」、「大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：99 年 11 月 30 日（星期二）下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主持人：林組長建宏

紀錄：陶其駿、陳柏端、李台光

四、出席人員：(如簽到單)

五、主席致詞：(略)。

六、執行單位簡報：(略)。

七、綜合意見：

#### (一)「在不同軸力下填充混凝土箱型鋼柱之撓曲行為研究(1/2)」案

1、陳教授正誠：

- (1) 本研究案執行情況佳，研究成果亦具學術與工程之參考價值。
- (2) 高軸力作用下，CFBC 的韌性大幅下降，規範規定明顯不夠嚴謹，恐不足以確保建築物的耐震安全，應儘快進一步探討之，並將研究成果推廣至工程界，以確保建築結構之安全。
- (3) 試驗結果顯示，較大尺寸 CFBC 之斷面，其撓曲韌性有下降之趨勢，而本研究案尺寸效應為初探，應進一步進行更廣泛的研究。
- (4) 試驗數據之分析，宜再加強。
- (5) 對 45 度非主軸彎曲加載 CFBC 試體受力行為之敘述，宜加強補充之。

2、陳技師正平：

- (1) 實務上柱板相接之銲道，不一定為全滲透銲，故相關結論中必須敘明以全滲透銲為先決條件。
- (2) 以理論值為標準，文獻與本研究之結果應提供給實務界之應用。柱板排氣孔之設置應為必要，否則火害恐易爆裂。

- (3) CFBC 內部混凝土與外側柱板剝離之時機為何，若過早剝離對後續之應用，是否會減弱？
- (4) 非主軸之效果，若考慮柱構件為雙向之彎曲行為時，是否較作用於主軸彎曲時之效果為佳？

3、高教授健章：

- (1) 本研究案之預期成果，均大致完成。
- (2) 期末報告中結論第5點，有關試體斷面寬度41cm之試體只有一個，試體數量顯然不足，尚不宜冒下評斷。

(二)「耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究」案：

1、陳教授正誠：

- (1) 本計畫相當具有開創性，研究成果也具有工程應用價值。
- (2) 有限元素分析結果尚未與試驗結果相互印證，分析結果在試驗完成後需要檢討其可靠性。
- (3) 本計畫之結構試驗相當不容易，其結果除了可供工程界參考外，亦具學術價值。
- (4) 實驗進度落後，宜加緊腳步進行之。

2、陳技師正平：

- (1) 實務上為 Deck 板，故研究結果對將來之應用恐受限制。
- (2) 斜撐之 working point 建議定在腹板與翼板之交點。

3、高教授健章：

- (1) 有限元素分析部分已按預定進度獲得成果。
- (2) 試驗尚待努力完成。

(三)「大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究」案：

1、陳教授正誠：

- (1) 本研究成果除了可供建築結構設計施工參考外，亦可供橋樑結構參考。
- (2) 研究成果相當具工程參考價值，亦具學術價值，宜將研究成果推廣之，以嘉惠工程界。

- (3) 各種橫向鋼筋之型式，其施工困難度皆有所不同，在下結論時，宜一併檢討施工性。
- (4) 軸向延展性的數據整理，宜再檢討，建議以  $0.8P_0$  為基準。
- (5) 宜進一步另案檢討撓曲行為。

2、陳技師正平：

- (1) 本研究試體由於有錯開接頭位置，致無法顯現接頭之效果是否可達降伏應力。
- (2) 本研究對大、小柱之尺寸影響，為未來研究方向。
- (3) 彎鉤主筋延伸 6 倍與 12 倍直徑，與不鉤主筋延伸 6 倍直徑，此兩種型式為工程界之爭議，建議為未來研究方向。
- (4) 建議以單根圓箍筋試體之試驗結果進行比對，對規範之修訂較具意義。

3、高教授健章：

- (1) 各種配筋與續接方式均已完成軸壓試驗，對其變形能力均得到明確數據，可供工程界參考。
- (2) 預期成果大致均達成。

八、執行單位回應：

(一)在不同軸力下填充混凝土箱型鋼柱撓曲行為之先期研究

- 1、本研究案於成果報告中，將再補強試驗數據之分析結果，以及對 45 度非主軸彎曲加載試體受力行為等之敘述。
- 2、有關試體鋼板接合為全滲透鐸之文字敘述，將遵照委員意見，於相關結論中敘明試體實際之製作方式。
- 3、有關本研究案柱試體鋼板鐸道為全滲透鐸之說明，以及內部混凝土與外側柱板剝離時機之描述，將於成果報告中補充之。
- 4、柱斷面對主軸彎曲時彎矩強度與撓曲變形能力之發揮，應較雙向彎曲時為佳。
- 5、本研究案規劃斷面寬度為 41cm 之柱試體，主要目的僅為評估當斷面寬度若由 31cm 增加至 41cm 時，CFBC 試體因尺寸變化而對彎矩強度與撓曲變

形能力之可能影響。但由於試體所需費用昂貴，試體數量而被限制，因此未採用參數漸變的方式來規劃試體。

(二)耐震鋼梁新型防挫屈裝置之實驗研究

- 1、本計畫之實驗刻正進行中，在試驗完成後將與有限元素分析結果相互印證，檢討有限元素方法之可靠性。
- 2、有關斜撐之作用與施力行為將再行檢驗，於試體架設時修正。

(三)大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究

- 1、本案成果報告之結論與建議，除探討各種橫向鋼筋型式之軸向變形行為外，將一併檢討施工性。
- 2、圓柱試體之軸向延展性，將修正以 $0.8P_0$ 為基準，此外未來將另案檢討尺寸效應及撓曲行為。
- 3、本案成果報告將依委員之意見，做進一步的補充與修正。

九、會議結論及主席指示：

- (一) 本次自行研究計畫期末審查原則通過，與會專家學者之建議事項，請研究單位納入後續研究參考，於成果報告中列表妥予回應，並註明修正內容與頁數。
- (二) 請加強實驗之歸納分析與成果展現，報告格式請承辦同仁確實依照相關規定辦理以符規定。

十、散會(下午4時50分)。

期末簡報審查委員意見回應表

委員	審查委員意見	研究單位回應
陳教授正誠	1.本研究成果除了可供建築結構設計施工參考外，亦可供橋樑結構參考。	本案成果報告書之立即可行之建議已納入此項意見，參見第 87 頁。
	2.研究成果相當具工程參考價值，亦具學術價值，宜將研究成果推廣之，以嘉惠工程界。	感謝審查委員的肯定，本案研究成果未來將於適當之期刊或研討會發表。
	3.各種橫向鋼筋之型式，其施工困難度皆有所不同，在下結論時，宜一併檢討施工性。	已參考審查委員建議修正，參見第 87 頁。
	4.軸向延展性的數據整理，宜再檢討，建議以 $0.8P_0$ 為基準。	目前軸向延展性之計算，以 $P_0$ 及 $0.8P_0$ 之平均值為基準，參見第 61 頁之表 4-2。
	5.宜進一步另案檢討撓曲行為。	本案成果報告書之長期性建議已納入此項意見，參見第 88 頁。
陳技師正平	1.本研究試體由於有錯開接頭位置，致無法顯現接頭之效果是否可達降伏應力。	本研究試體之規劃，已可顯現接頭之效果是否可達降伏應力，參見第 32 頁之表 3-1。
	2.本研究對大、小柱之尺寸影響，為未來研究方向。	本研究將參考審查委員之建議，持續規劃後續實驗計畫之內容。
	3.彎鉤主筋延伸 6 倍與 12 倍直徑，與不鉤主筋延伸 6 倍直徑，此兩種型式為工程界之爭議，建議為未來研究方向。	本研究將參考審查委員之此項意見，持續規劃後續實驗計畫之內容。
	4.建議以單根圓箍筋試體之試驗結果進行比對，對規範之修訂較具意義。	本研究將參考審查委員之此項意見，持續規劃後續實驗計畫之內容。
高教授健章	1.各種配筋與續接方式均已完成軸壓試驗，對其變形能力均得到明確數據，可供工程界參考。	感謝審查委員的肯定。
	2.預期成果大致均達成。	感謝審查委員的肯定。

## 參 考 資 料

- [1] 李台光 繫筋細部對大尺寸鋼筋混凝土柱行為影響之驗證研究 內政部建築研究所自行研究報告 2009 年。
- [2] M. Berry, M. Parrish, and M. Eberhard (2004) “PEER structural performance database user’s manual (version 1.0)” Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, USA.
- [3] M. M. Hachem, S. A. Mahin, and J. P. Moehle (2003) “Performance of circular reinforced concrete bridge columns under bidirectional earthquake loading” Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER 2003/6, University of California, Berkeley, USA.
- [4] ACI Committee 318, 2008, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-08) and Commentary,” Michigan, USA.
- [5] ACI Committee 105 (Reinforced Concrete Column Investigations) -- ACI Journal, Proceedings: Vol. 26, April 1930, 601-612; Vol. 27, February 1931, 675-676; Vol. 28, November 1931, 157-578; Vol. 29, September 1932, 53-56; Vol. 30, September-October 1933, 78-90; November-December 1933, 153-156.
- [6] Kawashima Earthquake Engineering Laboratory Website “Cyclic Loading Test Data of Reinforced Concrete Bridge Piers” Tokyo Institute of Technology, Japan.
- [7] J. Sakai and S. Unjoh (2007) “Shake table experiment on circular reinforced concrete bridge column under multidirectional seismic excitation” 日本獨立行政法人土木研究所。
- [8] 公路橋梁耐震設計規範修訂草案之研究 張國鎮等 國家地震工程研究中心研究報告：NCREE-07-055，2007 年。
- [9] 混凝土工程設計規範與解說 土木 401-93 中國土木水利工程學會，2005 年。
- [10] 圓柱橫箍筋搭接長度之合理性探討 技師月刊第 48 期第 39~43 頁 台北市土木技師公會 2008 年 3 月。
- [11] 潤弘精密工程事業股份有限公司網站: <http://www.ruentex.com.tw>。
- [12] Watson, S., Zahn, F. A., and Park, R. (1994). “Confining reinforcement for Concrete columns.” ASCE Journal of Structural Engineering, 120(6), 1798-1824.
- [13] ASTM C 39-96, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” Pennsylvania, USA.

大尺寸鋼筋混凝土圓柱軸壓行為之分析研究

內政部建築研究所自行研究報告

(96年度)