

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

內政部建築研究所委託研究報告
103 年度

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

PG10301-0306

103301070000G0037

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方 式之軸向強度與韌性

受委託者：國立台灣科技大學營建系

研究主持人：陳正誠

研究助理：周佳希

研究助理：吳品達

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次.....	I
圖次.....	III
照片次.....	VII
摘要.....	XIII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
壹、研究緣起.....	1
貳、研究背景.....	2
第二節 研究方法及過程.....	7
第二章 文獻回顧.....	11
第一節 包覆填充型箱型柱混凝土圍束相關研究.....	11
第二節 載重-位移曲線數據修正方法.....	14
第三章 試體設計製作及計畫.....	19
第一節 試體規劃.....	19
第二節 試體設計.....	20
第三節 試體製作.....	27
第四節 試驗裝置與程序.....	32
第四章 實驗結果與討論.....	37
第一節 試體材料強度試驗.....	37
第二節 試體整體行為.....	39
第三節 強度與韌性.....	75
第五章 結論與建議.....	83
第一節 結論.....	83
第二節 建議.....	84
誌謝.....	85

附錄一	期初評選會議紀錄	87
附錄二	專家座談會會議紀錄	93
附錄三	期中審查會議記錄	111
附錄四	期末審查會議記錄	127
附錄 A	鋼箱型柱試體設計圖	143
附錄 B	T 系列試體橫向鋼筋配筋圖	155
附錄 C	其他試體施工相關照片	161
參考書目	169

表次

表 1.1 預定之研究進度表	7
表 3.1 各柱試體編號與測試區橫向鋼筋配置情形	26
表 4.1 混凝土圓柱試體抗壓試驗	38
表 4.2 鋼筋拉力試驗	38
表 4.3 鋼板拉力試驗	38
表 4.4 CR 系列試體之強度	78
表 4.5 T 系列試體之強度	78
表 4.6 CR 系列試體在最大載重時之軸向應變	79
表 4.7 T 系列試體在所選擇強度之軸向應變	79

圖次

圖 1.1 具防火混凝土之填充型箱型柱	2
圖 1.2 典型包覆填充型箱型方柱	2
圖 1.3 箱型柱需外圍束之混凝土	3
圖 1.4 輔助繫筋間距過大之情形	3
圖 1.5 輔助繫筋距離為 350mm 之情形	4
圖 1.6 使用「接力式繫筋」之情形	4
圖 1.7 工程實務包覆填充型箱型柱斷面圖	5
圖 1.8 研究流程圖	8
圖 1.9 鋼筋應力-應變曲線	9
圖 1.10 鋼板應力-應變曲線	9
圖 2.1 鋼骨翼板之圍束區	12
圖 2.2 參考書目[12、13]試體斷面示意圖	14
圖 2.3 T4-1 位移計量測所得測試區之載重-位移曲線	16
圖 2.4 MATS 儀器量測所得整體之載重-位移曲線	17
圖 2.5 修正前/後測試區之載重-位移曲線	17
圖 3.1(續) 試體斷面圖 (單位：mm)	25

圖 3.2 試體架設圖	33
圖 3.3 試體鋼板夾具圖	34
圖 3.4 各試體之橫向鋼筋應變計配置圖	36
圖 4.1 CR 測試區載重-位移	41
圖 4.2 CR 整體載重-位移	41
圖 4.3 CR-1 測試區載重-應變	42
圖 4.4 CR-2 測試區載重-應變	42
圖 4.5 T1 位移計實測測試區載重-位移.....	49
圖 4.6 T2 位移計實測測試區載重-位移.....	49
圖 4.7 T3 位移計實測測試區載重-位移.....	49
圖 4.8 T4 位移計實測測試區載重-位移.....	50
圖 4.9 T5 位移計實測測試區載重-位移.....	50
圖 4.10 T1 MATS 實測整體載重-位移	51
圖 4.11 T2 MATS 實測整體載重-位移.....	51
圖 4.12 T3 MATS 實測整體載重-位移	51
圖 4.13 T4 MATS 實測整體載重-位移	52
圖 4.14 T5 MATS 實測整體載重-位移	52
圖 4.15 T1 修正之測試區載重-位移.....	53

圖 4.16 T2 修正之測試區載重-位移.....	53
圖 4.17 T3 修正之測試區載重-位移.....	53
圖 4.18 T4 修正之測試區載重-位移.....	54
圖 4.19 T5 修正之測試區載重-位移.....	54
圖 4.20 T1 修正之測試區載重-應變.....	55
圖 4.21 T2 修正之測試區載重-應變.....	55
圖 4.22 T3 修正之測試區載重-應變.....	55
圖 4.23 T4 修正之測試區載重-應變.....	56
圖 4.24 T5 修正之測試區載重-應變.....	56
圖 4.25 T 系列和 CR 系列測試區正規化載重-應變曲線.....	80
圖 4.26 T1 和 T2 測試區正規化載重-應變曲線.....	81
圖 4.27 T3、T4 和 T5 測試區正規化載重-應變曲線.....	81
圖 4.28 T1 和 T4 測試區正規化載重-應變曲線.....	82
圖 4.29 SRC 設計規範 4.3.5 柱之箍筋示意圖.....	82
圖 A.1 T1 試體鋼箱型柱設計圖(一).....	145
圖 A.2 T1 試體鋼箱型柱設計圖(二).....	146
圖 A.3 T2、T5 試體鋼箱型柱設計圖.....	147
圖 A.4 T3 試體鋼箱型柱設計圖.....	148

圖 A. 5	T4 試體鋼箱型柱設計圖(一)	149
圖 A. 6	T4 試體鋼箱型柱設計圖(二)	150
圖 A. 7	T 系列鋼箱型柱上端板詳圖	151
圖 A. 8	CR 試體鋼箱型柱設計圖	152
圖 A. 9	CR 試體鋼箱型柱上端板詳圖	153
圖 B. 1	T1 試體配筋圖	156
圖 B. 2	T2 試體配筋圖	157
圖 B. 3	T3 試體配筋圖	158
圖 B. 4	T4 試體配筋圖	159
圖 B. 5	T5 試體配筋圖	160

照片次

照片 3.1 箱型柱上端板完成近照	28
照片 3.2 雙 L 型箍筋於鋼筋加工廠放樣.....	29
照片 3.3 貫穿繫筋於現場施工完成照	29
照片 3.4 T3 短繫筋於現場施工完成照.....	30
照片 3.5 T5 搭接式繫筋於現場施工完成照.....	30
照片 3.6 填補無收縮水泥完成照	31
照片 3.7 試體架設完成照(建研所).....	34
照片 3.8 試體架設完成照(國震).....	35
照片 4.1 CR-1 試體	43
照片 4.2 CR-2 試體	43
照片 4.3 CR-1 破壞後外觀之 1	44
照片 4.4 CR-1 破壞後外觀之 2	44
照片 4.5 CR-2 破壞後外觀之 1	44
照片 4.6 CR-2 破壞後外觀之 2	44
照片 4.7 T1-1 試體.....	57
照片 4.8 T1-2 試體.....	57

照片 4.9 T2-1 試體.....	58
照片 4.10 T2-2 試體.....	58
照片 4.11 T3-1 試體.....	59
照片 4.12 T3-2 試體.....	59
照片 4.13 T4-1 試體.....	60
照片 4.14 T4-2 試體.....	60
照片 4.15 T5-1 試體.....	61
照片 4.16 T5-2 試體.....	61
照片 4.17 T1-1 試體破壞後-E 面.....	62
照片 4.18 T1-1 試體破壞後-W 面	62
照片 4.19 T1-1 試體破壞後-S 面	62
照片 4.20 T1-1 試體破壞後-N 面	62
照片 4.21 T1-2 試體破壞後-E 面.....	63
照片 4.22 T1-2 試體破壞後-W 面	63
照片 4.23 T1-2 試體破壞後-S 面	63
照片 4.24 T1-2 試體破壞後-N 面	63
照片 4.25 T2-1 試體破壞後-E 面.....	64
照片 4.26 T2-1 試體破壞後-W 面	64

照片 4. 27 T2-1 試體破壞後-S 面64

照片 4. 28 T2-1 試體破壞後-N 面64

照片 4. 29 T2-2 試體破壞後-E 面.....65

照片 4. 30 T2-2 試體破壞後-W 面65

照片 4. 31 T2-2 試體破壞後-S 面65

照片 4. 32 T2-2 試體破壞後-N 面65

照片 4. 33 T3-1 試體破壞後-E 面.....66

照片 4. 34 T3-1 試體破壞後-W 面66

照片 4. 35 T3-1 試體破壞後-S 面66

照片 4. 36 T3-1 試體破壞後-N 面66

照片 4. 37 T3-2 試體破壞後-E 面.....67

照片 4. 38 T3-2 試體破壞後-W 面67

照片 4. 39 T3-2 試體破壞後-S 面67

照片 4. 40 T3-2 試體破壞後-N 面67

照片 4. 41 T4-1 試體破壞後-E 面.....68

照片 4. 42 T4-1 試體破壞後-W 面68

照片 4. 43 T4-1 試體破壞後-S 面68

照片 4. 44 T4-1 試體破壞後-N 面68

照片 4. 45 T4-2 試體破壞後-E 面.....	69
照片 4. 46 T4-2 試體破壞後-W 面	69
照片 4. 47 T4-2 試體破壞後-S 面	69
照片 4. 48 T4-2 試體破壞後-N 面	69
照片 4. 49 T5-1 試體破壞後-E 面.....	70
照片 4. 50 T5-1 試體破壞後-W 面	70
照片 4. 51 T5-1 試體破壞後-S 面	70
照片 4. 52 T5-1 試體破壞後-N 面	70
照片 4. 53 T5-2 試體破壞後-E 面.....	71
照片 4. 54 T5-2 試體破壞後-W 面	71
照片 4. 55 T5-2 試體破壞後-S 面	71
照片 4. 56 T5-2 試體破壞後-N 面	71
照片 4. 57 T1-2 試體破壞.....	72
照片 4. 58 T2-1 試體破壞.....	72
照片 4. 59 T3-2 試體破壞.....	72
照片 4. 60 T3 短繫筋製作完成之形狀.....	73
照片 4. 61 T3 試驗後之短繫筋形狀.....	73
照片 4. 62 T4-1 試體破壞.....	74

照片 4.63 T5-1 試體破壞.....	74
照片 C.1 鋼箱型柱現場照(由右至左分別為 T1-T5 及 CR 試體)	162
照片 C.2 L 型箍筋 135 度彎鉤加工照	162
照片 C.3 試體主筋暫固定於鋼型柱.....	163
照片 C.4 T1 試體貫穿繫筋 135 度彎鉤採人工加工	163
照片 C.5 T2 試體角隅繫筋完成照	164
照片 C.6 T3 試體短繫筋完成照	164
照片 C.7 T4 試體貫穿繫筋完成照	165
照片 C.8 T5 試體搭接式繫筋完成照	165
照片 C.9 試體鋼骨內灌漿照.....	166
照片 C.10 試體灌漿完成照.....	166
照片 C.11 試體上端板之切割鋼板.....	167
照片 C.12 試體上端板之切割鋼板填補完成照.....	167
照片 C.13 混凝土圓柱抗壓試體完成照.....	168
照片 C.14 試體與圓柱抗壓試體一同養護.....	168

摘要

關鍵詞：包覆填充型箱型柱、鋼骨鋼筋混凝土柱、包覆型 SRC 柱、填充型箱型柱

一、研究緣起

由於箱型柱具有優異的力學性能，台灣高樓結構大多使用箱型柱或填充型箱型柱(即箱型柱內填充混凝土)。但是考慮到防禦火害，工程師常在箱型柱外增設約 100mm 的混凝土當作防火層。有的工程師將這層混凝土兼作結構用途，並配置縱向主筋及橫向鋼筋，成為所謂的「包覆填充型箱型柱」。

由於鋼梁會接到鋼柱面，因此縱向主筋往往只能配置在柱角隅處，且橫向鋼筋除了外圍箍筋外，繫筋也會受到鋼柱的阻撓而無法直通柱斷面。鋼柱的阻撓使得包覆填充型箱型柱外圍混凝土的圍束常無法滿足規範的要求。為了解決這個問題，工程師提出一些變通的作法，有些作法在學理上不甚合理，有些作法處於灰色地帶，對結構安全帶來疑慮。

為了確保包覆填充型箱型柱之結構安全性，以大尺寸柱試體軸向載重試驗，來評估、測試常見橫向鋼筋配置細部，對鋼柱外側混凝土的圍束效果。此外開發出可能之替代方案，並以大尺寸柱試體軸向載重試驗的方式驗證這些替代方案的可行性。研究成果一方面可以提供工程界結構細部設計與施工之參考，一方面也可以提供相關規範未來修改之參考。此外，試驗數據還可用以評估各種橫向鋼筋型式與細部，在包覆填充型箱型柱撓曲韌性發展之潛能，並據以研提後續研究發展之方向與課題。

二、研究方法及過程

本研究案之研究工作包括文獻資料蒐集與整理、試體設計、試體製作、材料機械性質試驗、軸向載重試驗及數據收集、實驗數據整理及分析、理論模型評估、報告與期刊論文撰寫以及提出建議等步驟。採用的研究方法包括：1.文獻資料收集與整理；2.短柱試體之軸向載重實驗；3.鋼板、箍筋及混凝土基本材料實驗；4.規範條文適用性評估；5.舉辦專家座談會。

三、重要發現

T3 試體的延展性不比 T4 試體差，顯示接力式繫筋的概念相當具有可行性。T5 試體在強度降到 75%時之延展性，與 T4 試體之延展性接近，顯示 T5 橫向箍筋之配置方式具有可行性。

四、主要建議事項

建議一：

鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範解說之修改：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

本計畫研究結果顯示角隅繫筋的功能無法取代一般繫筋，另外接力式繫筋具有可行性，建議在鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範中第「4.3.5 柱之箍筋」之解說中補充說明之。

建議二：

推動「填充型箱型柱內剪力釘之需求探討」研究計畫：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

專家座談會、期中審查會議及期末審查會議時，工程實務人員之討論中，可發現箱型柱與混凝土間是否需要設置剪力釘，還有需要設置多少剪力釘，困擾著工程師們。這個問題無法在本研究案中探討，建議建研所將「箱型柱與混凝土間是否需要配置剪力釘」列為短期內推動之研究課題。

建議三：

推動「包覆填充型箱型柱接力式繫筋之撓曲韌性」研究計畫：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

T3 試體接力式繫筋的概念相當具有可行性，應該進行撓曲延展性試驗，進一步探討其可行性。

ABSTRACT

Keywords: concrete filled and encased column, SRC column, steel reinforced concrete column, encased box column, concrete filled box column.

Box column and concrete filled box column are widely used in Taiwan in high-rise buildings. However, for the purpose of fire resistance, a layer of concrete, which usually has a thickness of 100 mm, encasing the box columns is often provided. This layer of concrete basically is not considered having structural function. Some engineers thicken the concrete, provide longitudinal steel bar, and provide transverse steel bars to make the concrete wrapping around the box column having structural function. This type of column section is named as concrete filled and encased box column. However, this type of column is likely to have problem confining out-skirt concrete sufficiently to provide enough ductility to the column. In this study, several types of transverse steel bar pattern are investigated to obtain more information about the ductility that these steel bar patterns can provide. In addition, new type of transverse steel bar pattern will be developed in this study. Large scale short column specimens will be fabricated and tested by applying axial load to study the ductility of the different transverse steel bar pattern can develop.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

由於箱型柱具有優異的力學性能，台灣高樓結構大多使用箱型柱或填充型箱型柱（即箱型柱內填充混凝土）。但是考慮到防禦火害，工程師常在箱型柱外增設約 100mm 的混凝土當作防火層。有的工程師會將這層混凝土兼作結構用途，並配置縱向主筋及橫向鋼筋，成為所謂的「包覆填充型箱型柱」。

由於鋼梁會接到鋼柱面，因此縱向主筋往往只能配置在柱角隅處，且橫向鋼筋除了外圍箍筋外，繫筋也會受到鋼柱的阻撓而無法直通柱斷面。鋼柱的阻撓使得包覆填充型箱型柱外圍混凝土的圍束常無法滿足規範的要求。為了解決這個問題，工程師提出一些變通的作法，有些作法在學理上不甚合理，有些作法處於灰色地帶，對結構安全帶來疑慮。

為了確保包覆填充型箱型柱之結構安全性，以大尺寸柱試體軸向載重試驗，來評估、測試常見橫向鋼筋配置細部，對鋼柱外側混凝土的圍束效果。此外開發出可能之替代方案，並以大尺寸柱試體軸向載重試驗的方式驗證這些替代方案的可行性。研究成果一方面可以提供工程界結構細部設計與施工之參考，一方面也可以提供相關規範未來修改之參考。此外，試驗數據還可用以評估各種橫向鋼筋型式與細部，在包覆填充型箱型柱撓曲韌性發展之潛能，並據以研提後續研究發展之方向與課題。

貳、 研究背景

由於箱型柱具有優異的力學性能，台灣高樓鋼結構大多使用箱型柱或填充型箱型柱（即箱型柱內填充混凝土）。但是考慮到防禦火害，工程師常在箱型柱外增設約 100 mm 的混凝土當作防火層，並配置溫度鋼筋或點鉚鋼絲網，如圖 1.1 所示。桿件設計時，通常不考慮防火層混凝土及點鉚鋼絲網對桿件強度的可能貢獻。這樣的作法似乎有點浪費材料，因此有將這層混凝土防火層兼作結構用途的構想，通常將混凝土層加厚至 150 mm 或更高，並配置縱向主筋如圖 1.2 所示。

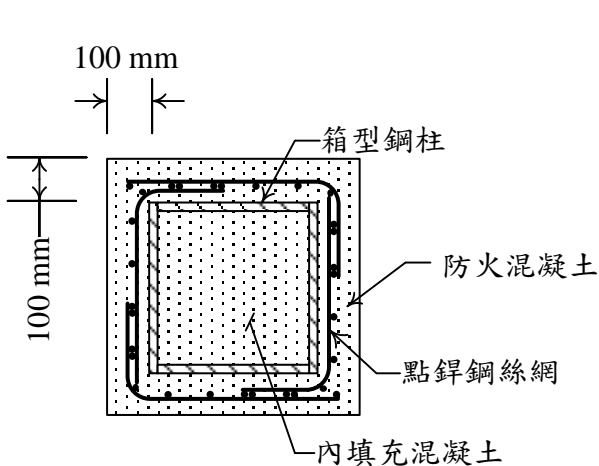


圖 1.1 具防火混凝土之填充型箱型柱

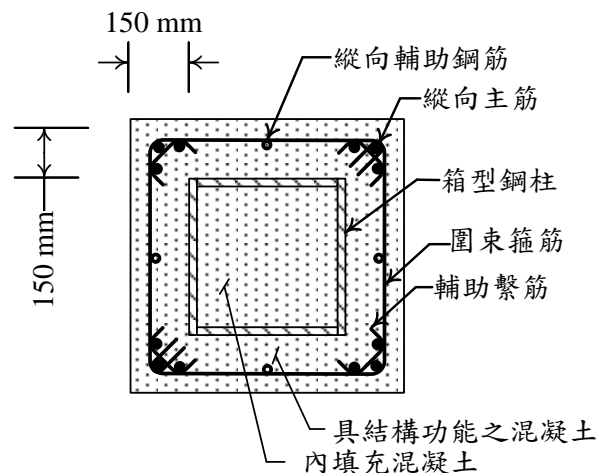


圖 1.2 典型包覆填充型箱型方柱

通常使用包覆填充型箱型柱的構架，會使用純鋼梁或含有鋼骨 H 斷面的包覆型 SRC 梁，由於鋼梁及 SRC 梁需要接到包覆填充型箱型柱中之箱型柱，因此縱向主筋必須避開梁的位置，而往往只能配置在柱角隅處。如圖 1.2 所示斷面即在柱的每個角隅配置 3 支縱向主筋，而其餘的部位則不配置主筋。另一方面，橫向鋼筋除了外圍箍筋外，繫筋會受到箱型柱的阻撓而無法直通柱斷面，這對箱型柱外圍混凝土（如圖 1.3 中虛線所標示之範圍）的圍束有不利的影響。為了解決這個問題，工程師提出一些變通的作法，有些無法充分滿足規範的要求，有些作法在學理上不甚合理，對結構安全帶來疑慮。

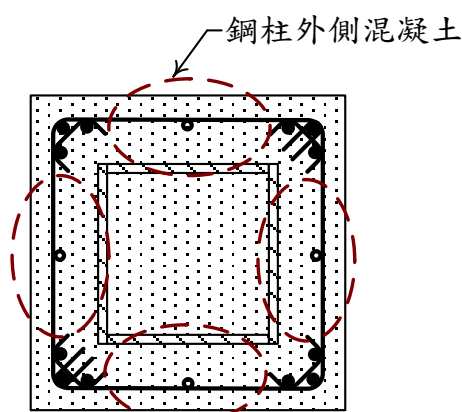


圖 1.3 箱型柱需外圍束之混凝土

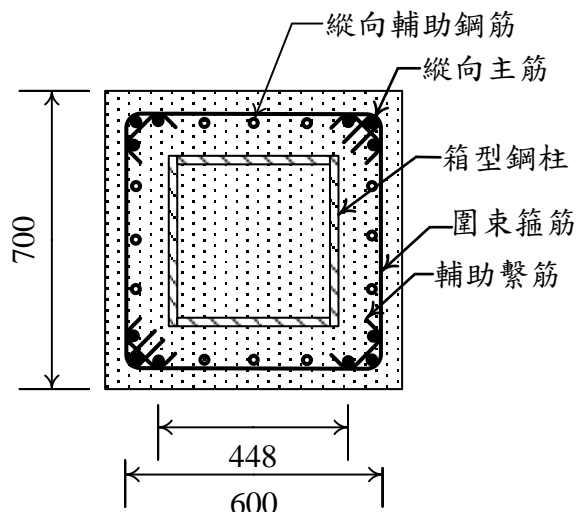


圖 1.4 輔助繫筋間距過大之情形

包覆填充型箱型柱斷面通常很大。以方柱為例，包覆填充型箱型柱邊長通常不小於箱型柱邊長加上 300 mm，而方形箱型柱邊長通常不小於 400 mm，因此整個包覆填充型箱型柱的邊長通常不小於 700 mm。若斷面為 700×700 mm 的柱每個角隅配置 3 支縱向主筋，此時主筋與主筋的距離可達 448 mm，如圖 1.4 所示，大於耐震規範所規定之 150mm。若在柱中央位置配置 3 支#6 縱向輔助主筋（如圖 1.4），此時主筋（包括輔助主筋）的淨間距低於 150 mm，可以合乎規範對主筋淨間距的規定。橫向鋼筋部分，除了外圍之圍束箍筋外，角隅通常會配置一支補助繫筋，此時圍束鋼筋兩支腳（或稱為「肢」）之距離為 600 mm，兩支補助繫筋之最近距離為 448 mm，皆大於規範容許之 350 mm。有些結構物在設計時即忽略規範這項要求。

為了滿足規範的要求，一個可能的作法是拉開角隅主筋的距離，讓補助繫筋的距離不大於 350 mm，如圖 1.5 所示。這樣表面上似乎可以滿足規範的要求，但是實際上規範談到 350 mm 容許距離時指的是箍筋或繫筋的距離，而不是補助繫筋的距離，這產生疑慮，應該加以釐清。

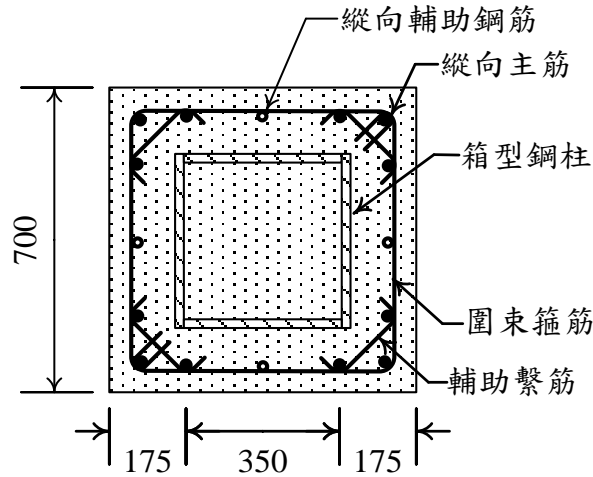
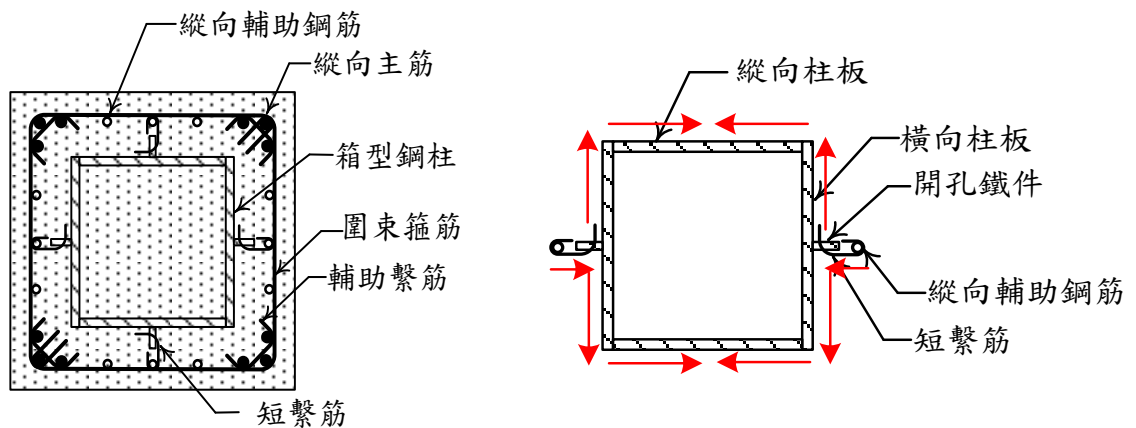


圖 1.5 輔助繫筋距離為 350mm 之情形

圖 1.5 的情況一方面是否合乎規範要求還有疑慮，另一方面由於主筋的距離只有 350 mm，鋼梁的寬度受到限制，基本上翼板寬度只能達到 300 mm。一個可能解決這個問題的作法是，銲接一塊有開孔的鐵件在箱型柱上，並使用一短繫筋連結開孔鐵件及補助縱向鋼筋，如圖 1.6(a)所示。圍束混凝土所需之圍束力，經過短繫筋、箱型柱橫向柱板、箱型柱縱向柱板、箱型柱橫向柱板、短繫筋的路徑來傳達，如圖 1.6(b)所示，簡稱此種繫筋為「接力式繫筋」。相較於傳統繫筋，「接力式繫筋」具有一個比較間接的傳力路徑，其勁度在箱型柱橫向柱板傳遞時會偏低，且受到柱板的寬度及厚度的影響，其有效性亦受到質疑。



(a) 使用接力式繫筋之斷面示意

(b) 輔助繫筋間距過大之情形

圖 1.6 使用「接力式繫筋」之情形

上述幾種可能的作法，都無法很明確的被認定合乎規範的要求，而是處於模糊地帶。繫筋的有效性對柱的韌性有明顯的影響，這些處於模糊地帶的作法應該要進一步評估其有效性。此外，其他比較明確且學理上比較合理的作法，也應該被開發出來，在上述作法無法滿足需求時，能夠有替代方案可供選擇。

以下為收集到之相關工程實例。圖 1.7 所示為中部某新建建築工程中所使用之包覆填充型箱型柱斷面，圖 1.7(a)為轉換層之斷面，圖 1.7(b)所示為 1 樓以上柱之標準斷面。照片 1.1 及 1.2 所示為北部某建築工程中，柱所使用包覆填充型箱型柱之逆打鋼柱。

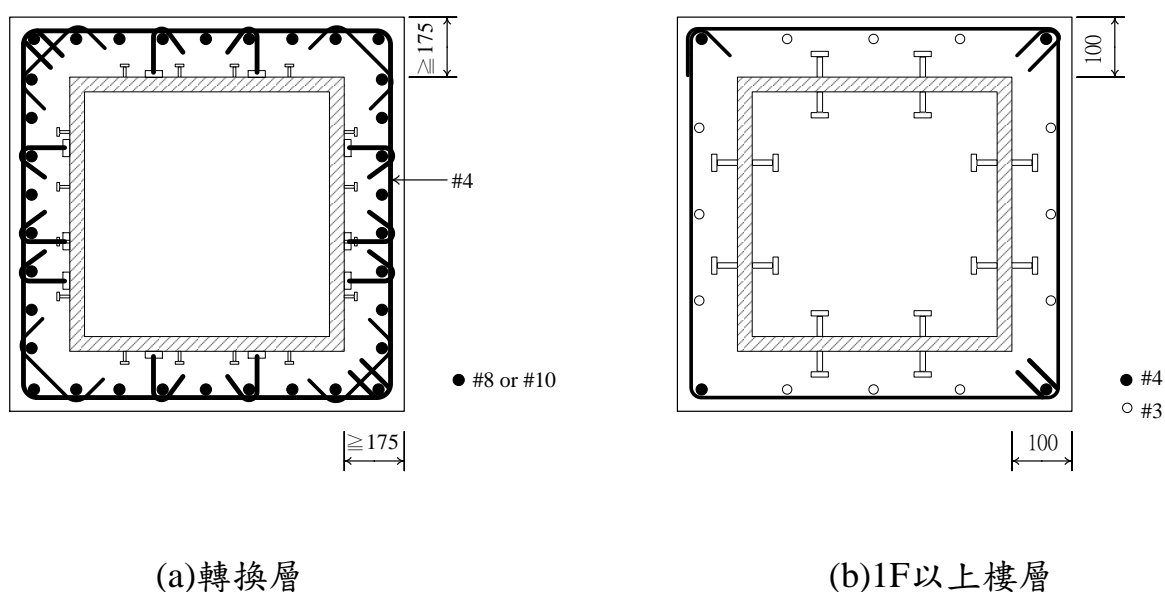


圖 1.7 工程實務包覆填充型箱型柱斷面圖



照片 1.1 北部建築工程逆打鋼柱採用包覆填充型箱型柱



照片 1.2 包覆填充型箱型柱角隅處橫向鋼筋之配置

(資料來源: 本研究收集)

第二節 研究方法及過程

本研究案研究方法包括：(1) 文獻資料收集與整理；(2) 短柱試體之軸向載重實驗；(3) 鋼板、箍筋及混凝土基本材料實驗；(4) 規範條文適用性評估；(5) 舉辦專家座談會；(6) 報告及期刊論文之撰寫。本研究預定之進度表如表 1.1 所示，流程如圖 1.8 所示，採用的研究方法及進度說明敘述如後。

表 1.1 預定之研究進度表

月次	第 1 個月	第 2 個月	第 3 個月	第 4 個月	第 5 個月	第 6 個月	第 7 個月	第 8 個月	第 9 個月	第 10 個月	第 11 個月	備註
文獻資料收集與整理												
試體設計												
試體製作												
軸向載重試驗及數據收集												
試驗數據整理及分析												
理論模型評估												
報告撰寫及提出建議												
預定進度 (累積%數)	5	15	25	30	40	45	60	70	85	95	100	

(資料來源:本研究整理)

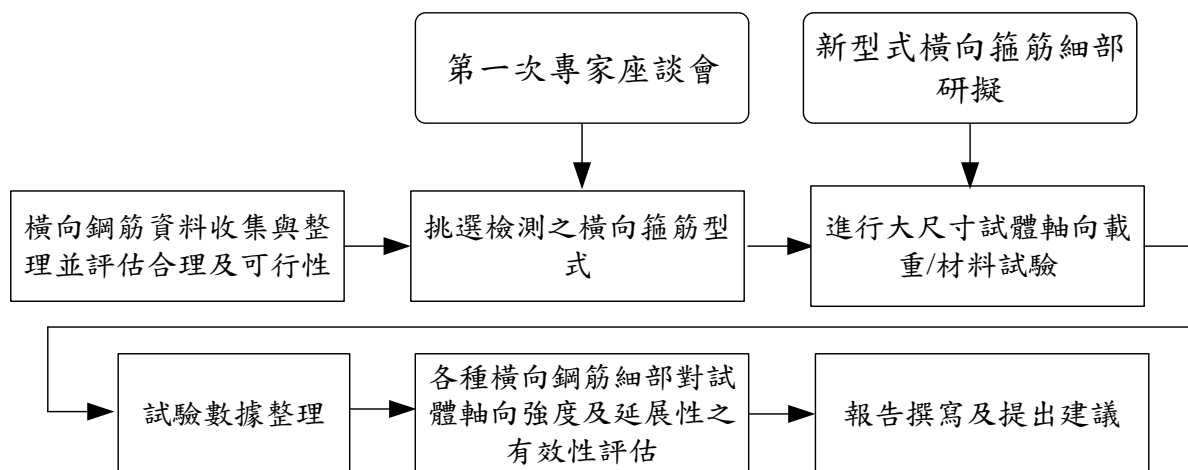


圖 1.8 研究流程圖

(資料來源:本研究整理)

本研究首先蒐集、整理相關文獻，一方面避免本研究之內容與現有成果重複，另一方面所收集之資料可作為分析及規範檢討的參考或補充資料。重要文獻之回顧彙整於第二章。

本研究係以包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式為主，由於柱桿件在破壞時，不論鋼材、鋼筋或混凝土都進入非彈性階段，試體有顯著的材料非線性行為。此外，箱型柱柱板在軸向應變下會有局部挫屈的現象，這是一種幾何非線性行為。當試體牽涉到顯著的材料以及幾何非線性的情況時，理論分析及數值模擬無法充分掌握其行為，尤其是韌性行為。因此，採用結構試驗的方式進行之。此外，為了降低尺寸效應的影響，採用大尺寸試體軸向載重試驗的方式進行研究。

經期初、期中審查委員之建議，以及於5月份召開之專家座談會時，產、官、學各界之專家委員給予之建議，試體細部設計稍做調整。期初審查會議紀錄、專家座談會會議紀錄、期中審查會議紀錄及期末審查會議紀錄，分別詳附錄一至四。

而試體材料之基本應力-應變關係曲線，可用於未來研究者建立材料分析模型。材料試驗包括鋼筋、鋼板(圖 1.9 及 1.10)及混凝土，鋼板及鋼筋則量測受拉情況之應力-應

變曲線，混凝土量測受壓情況之應力-應變曲線。

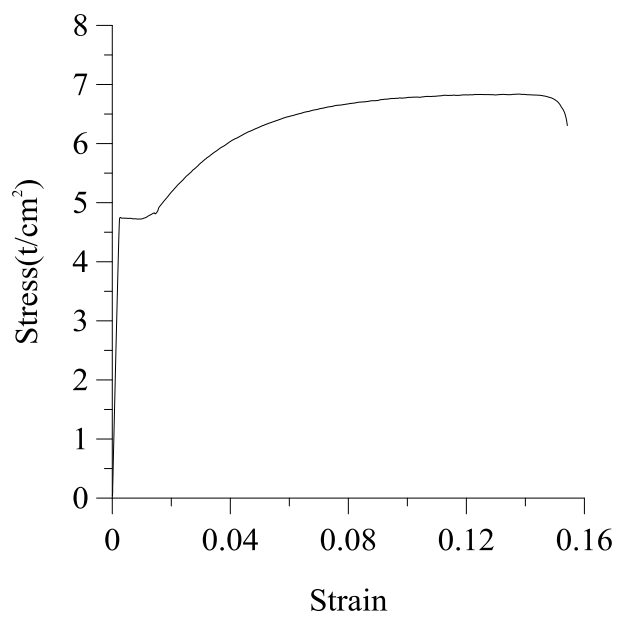


圖 1.9 鋼筋應力-應變曲線

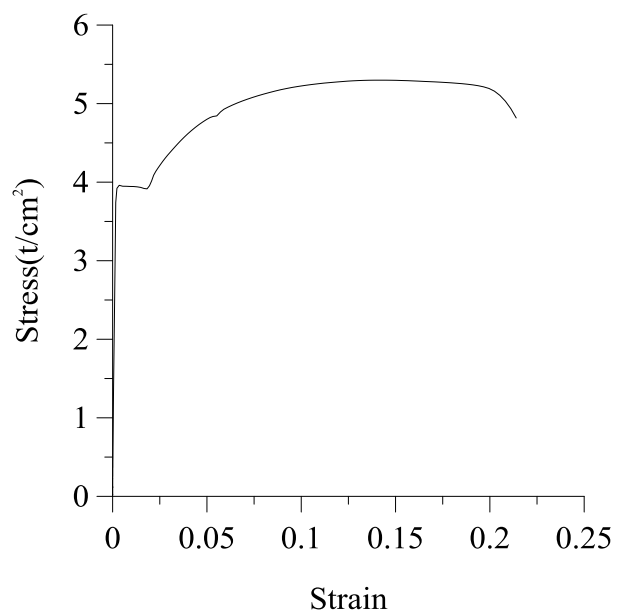


圖 1.10 鋼板應力-應變曲線

第二章 文獻回顧

所收集的文獻中，以有關橫向鋼筋量需求及混凝土圍束相關研究成果，以及短柱軸壓試驗載重-位移關係曲線之修正方法，與本研究有密切的關係。因此本章及針對包覆填充型箱型柱混凝土圍束以及載重-位移關係曲線修正方法說明之。

第一節 包覆填充型箱型柱混凝土圍束相關研究

包覆填充型箱型柱強度與韌性之優劣往往與其混凝土受圍束之有效性。過去研究指出，箍筋之圍束能有效防止主筋挫屈且能為核心混凝土產生圍壓，大大提升其抗壓強度與韌性。因此，眾多學者紛紛投入圍束效應之研究，企圖找出不同圍束方式與圍束力大小對韌性之影響。以下為圍束效應研究之相關文獻回顧：

陳正誠、柯人文[10]研究填充混凝土箱型柱的軸向行為，並探討斷面強度、寬厚比的影響、軸向延展性、及局部挫屈變形等。共設計 42 支大尺寸方型箱型鋼柱之短柱試體，以不同斷面寬度、鋼板厚度及寬厚比為參數，並完成軸向載重試驗。試驗結果顯示填充混凝土箱型柱在發展出最大強度後，會出現強度急速下降的現象，造成的主要因素為混凝土強度的急速下降。斷面寬厚比越大，下降的速度越快，下降的幅度也越大。AISC 規範之標稱強度計算公式可以合理與保守的估計 345 MPa 箱型鋼柱搭配 40 MPa 混凝土的強度，但若混凝土改為 70 MPa 時，會有高估強度的現象。當使用 450 MPa 箱型鋼柱時，無論搭配何種強度混凝土，AISC 規範標稱強度公式均有高估強度的疑慮。當填充混凝土箱型鋼柱配置繫桿時，對於斷面強度及軸向延展性均有正面的提升。當斷面寬厚比越高時，乾縮造成強度降低的影響越嚴重。

翁正強、顏聖益、林俊昌[11]等人針對包覆型 SRC 柱中，混凝土受到鋼骨圍束之行為進行理論模式研究。此研究以鋼骨翼板寬度為參數，提出數種 SRC 柱中鋼骨對混凝土的圍束模式，並加以分析求得較為合理之 SRC 柱圍束箍筋用量之計算公式。研究結果顯示，當考慮鋼骨翼板對混凝土產生圍束效應時，所需之圍束箍筋用量將可獲得合理的放寬，如圖 2.1(a)、(b)所示。

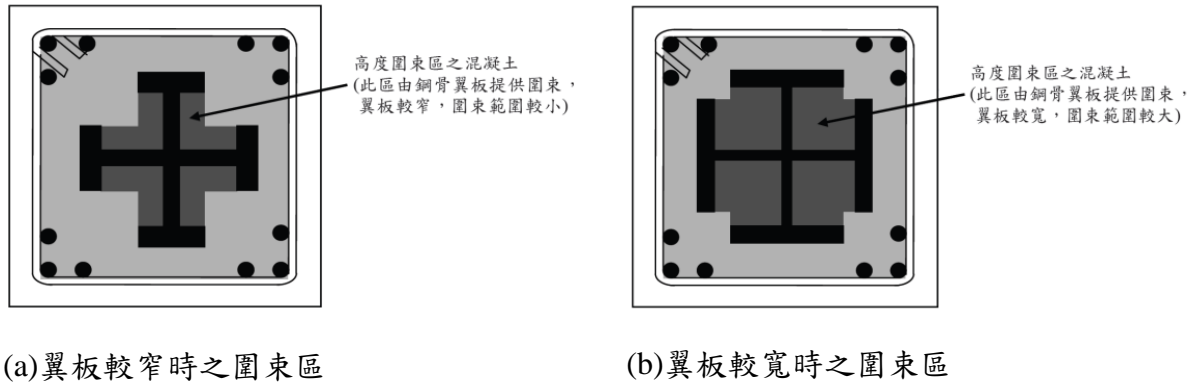


圖 2.1 鋼骨翼板之圍束區

翁正強、李讓[12]針對 SRC 翼板寬度作為主要參數，來探討鋼骨翼板對於混凝土圍束效應之影響。共試驗 20 支包覆型 SRC 短柱之軸向抗壓試驗，實驗結果顯示鋼骨翼板寬度確實能提供混凝土良好之圍束效果。由實驗結果發現，鋼骨也能為 SRC 柱之軸力強度有所貢獻，使得混凝土所需承擔之軸壓力相對減少。綜合上述兩點，翁正強博士提出了一套 SRC 柱圍束箍筋用量之耐震設計方法，如下式所示。該法同時考量鋼骨用量以及鋼骨翼板寬度對 SRC 柱之影響，使得 SRC 柱圍束箍筋用量能合理的放寬，增加經濟性以及施工性。

SRC 柱之矩形閉合箍筋之總斷面積(A_{sh})不得小於下列兩式之規定；

$$A_{sh} = 0.3sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left[1 - \frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right] \quad (1-1)$$

及

$$A_{sh} = 0.09sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left[1 - \frac{P_S + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right] \quad (1-2)$$

上式中 $\left[1 - \frac{P_S + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right]$ 為此研究建議之「箍筋用量折減係數」，其中 $(P_n)_u$ 為

SRC 柱之軸向受壓強度、 P_S 為鋼骨之軸向受壓強度、 P_{hcc} 為高圍束區混凝土之軸向受壓強度，式(1-1)及式(1-2)已納入 2011 年內政部建築研究所所發布之鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範中。

陳正誠、沈家豪[13]研究以包覆型 SRC 柱箍筋配置量為參數，探討當包覆型 SRC 柱箍在強軸與弱軸彎曲的情況下，箍筋對受壓混凝土提供圍束之應力、提供柱抗剪之能力，並觀察當試體達到極限狀態時強度衰減之程度。共規劃九組試體，柱頂以油壓千斤頂給予軸壓力，水平側則利用水平 MTS 給予反覆載重，以模擬 SRC 柱受到地震力之作用。研究結果顯示，當 SRC 柱之鋼骨斷面不是雙向對稱斷面時，SRC 柱之箍筋需求量具有方向性，強軸彎矩與弱軸彎矩所需之箍筋量應該不同；並提出國內 SRC 規範規定之柱箍筋需求量偏保守；並建議該研究的箍筋需求量計算方式，可以考慮到鋼骨的不對稱性、鋼骨翼板寬度、鋼骨深度以及柱軸力的影響，箍筋需求量也可降低到合理的範圍。

陳正誠、黃氏秋水[14]則以不同的箍筋配置量討論 SRC 柱之耐震行為，並且考慮鋼骨的圍束效果去折減箍筋的使用量，進而達到施工便利性與整體的經濟性，其中提及當考慮鋼骨翼板提供圍束效應，實際上需要箍筋來圍束的混凝土並非整塊核心混凝土。沈家豪[12]則延續前述之研究但改變軸力與箍筋量，探討箍筋量對於包覆型 SRC 柱塑性轉角容量的影響，研究成果顯示，前述研究對於強軸彎矩時箍筋使用量之建議過於保守，應可再加以修正使工程應用上更為經濟，圖 2.2 顯示前述研究之試體設計。

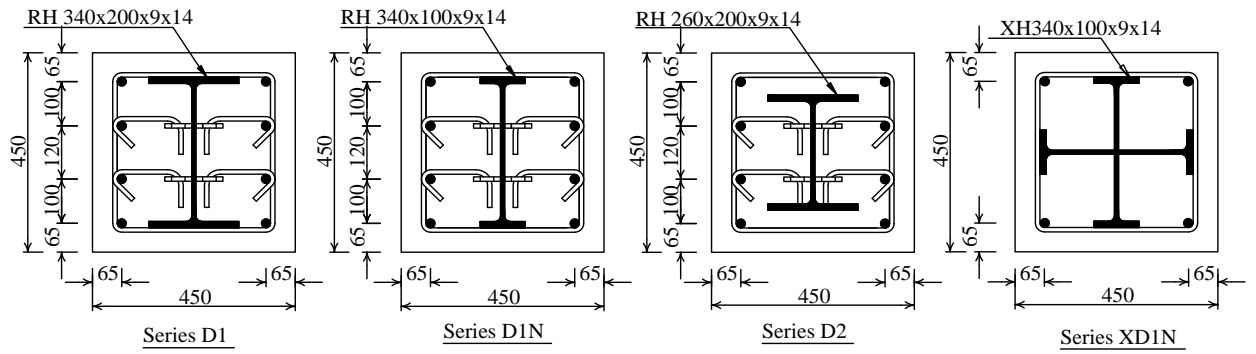


圖 2.2 參考書目[12、13]試體斷面示意圖

第二節 載重-位移曲線數據修正方法

本研究 T 系列試體在測試區觀測試體兩側各裝置兩支位移計共四支，試驗過程中為避免混凝土嚴重剝落而撞擊到位移計，所以在試體受軸壓載重至極限載重過後降至極限載重之 70%~80% 左右時，視情況將位移計取下，以 T4-1 試體為例，測試區之載重-位移曲線，如圖 2.3 所示。爾後將試體繼續加載至極限載重之 50% 左右而停止試驗，MATS 儀器量測所得之載重-位移曲線 (T4-1)，如圖 2.4 所示。MATS 量測得到的位移，為整個系統之變形，包括試體全長之變形、機台之變形以及試體與機台傳力過程間試驗裝置的變形。測試區的軸向變形，在混凝土剝落前以位移計測得之數據 (圖 2.3) 比較可靠，在混凝土剝落後，位移計讀數受到混凝土剝落的干擾而失真，此時以 MATS 量測所得位移經過修正後所得之位移比較可靠。本研究採用李台光[18]使用的方法，建構完整的載重-位移曲線，敘述如後。

MATS 量測得到的位移為整個系統的位移。設定試體測試區之勁度為 K_A 、整個系統之勁度為 K_B 以及試體與機台傳力過程間試驗裝置的勁度 K_{LS} 。計算 K_A 、 K_B 、 K_{LS} 時與計算強度 P_0 有關，計算 P_0 時使用實測材料強度並根據 (2-1) 式計算之。

$$P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_s F_y + A_{sr} F_{sr} \quad (2-1)$$

其中， A_s 為鋼骨部分之斷面積， A_{sr} 為鋼筋部分之斷面積， $(A_g - A_{st})$ 為混凝土部分之斷面積， F_y 為鋼骨之實測降伏強度， F_{sr} 為鋼筋之實測降伏強度， f'_c 為混凝土之實測抗壓強度。

在達到最大載重前，試體測試區之勁度 K_A ，乃取測試區載重-位移曲線(圖 2.3)上昇段 20% P_0 至 70% P_0 間，數據點線性回歸所得之斜率。整個系統之勁度 K_B ，乃是 MATS 載重-位移曲線(圖 2.4)上昇段 20% P_0 至 70% P_0 間，數據點線性回歸所得之斜率。機台加上傳力過程間試驗裝置的勁度 K_{LS} ，與試體全長之勁度 $K_A/3$ 之串聯及等於全系統之勁度 K_B 。由此可以建立 3 者之關係如式(2-2)及(2-3)。

$$\frac{1}{K_B} = \frac{3}{K_A} + \frac{1}{K_{LS}} \quad (2-2)$$

$$K_{LS} = \frac{K_A K_B}{K_A - 3K_B} \quad (2-3)$$

以 T4-1 試體為例說明數據修正方式。在試體載重達到混凝土剝落時對應之載重 $P_{\delta_{spall}}$ 之前，使用測試區位移計測得的曲線，如圖 2.3 之 Curve A。在加載歷程超過 $P_{\delta_{spall}}$ 之後，取 MATS 測得之曲線，如圖 2.4 之 Curve B，並將 Curve B 平移讓 Curve B 與 Curve A 頭尾相接，如圖 2.5 之 Curve A 加上 Shifted Curve B (藍線)。在試體強度下降時，試體非測試區及機台加上試驗裝置之變形會改變(即變形減小或位移回彈)，變形量 δ' 可依式(2-4)計算之。回彈之變形要由測試區吸收，因此 Curve B 中之變形量應該根據式(2-5)修正之。修正後之 Shifted Curve B 曲線，如圖 2.5 中之 Shifted & Corrected Curve B 所示。

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

$$\delta' = 2 \times \frac{(P - P_{\delta_{spall}})}{K_A} + \frac{(P - P_{\delta_{spall}})}{K_{LS}} \quad (2-4)$$

$$\delta = \delta_{spall} + \left[\delta_B - (\delta_B)_{spall} \right] - \delta' \quad (2-5)$$

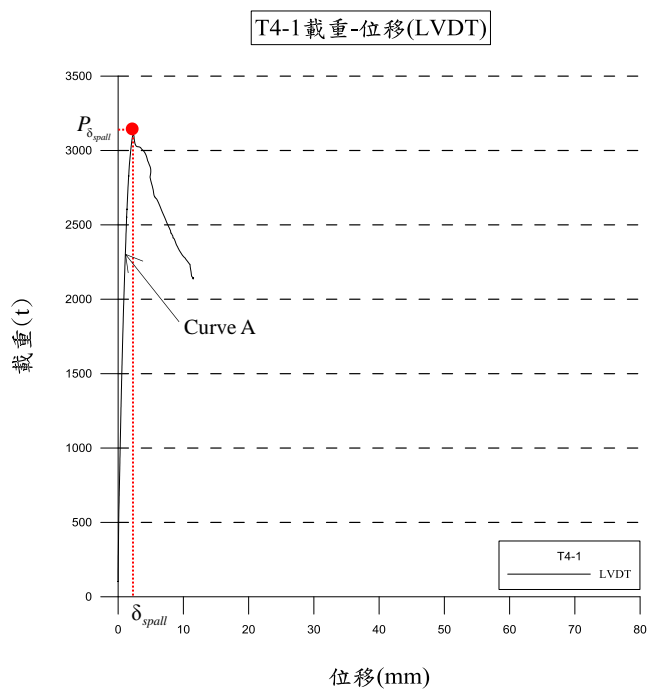


圖 2.3 T4-1 位移計量測所得測試區之載重-位移曲線

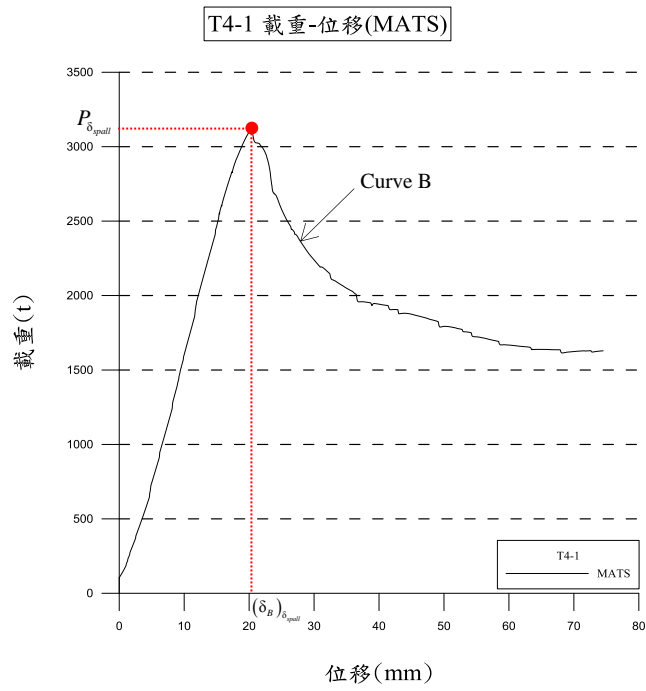


圖 2.4 MATS 儀器量測所得整體之載重-位移曲線

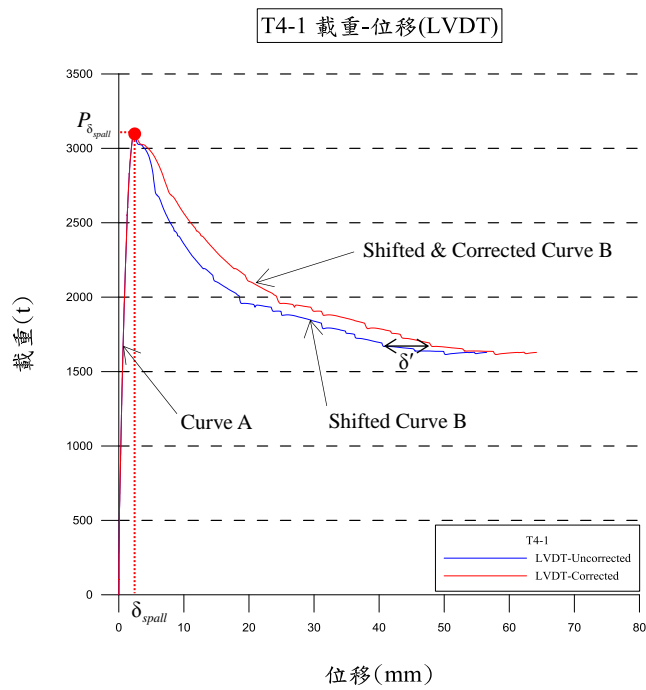


圖 2.5 修正前/後測試區之載重-位移曲線

第三章 試體設計製作及計畫

第一節 試體規劃

本研究規劃大尺寸方形短柱試體進行軸向載重試驗。短柱試體包括 5 種包覆填充型箱型柱試體各 2 支，稱之為 T 系列試體，此外還有 1 種填充型箱型柱試體 2 支，稱之為 CR 系列試體，共 12 支試體，本研究最重要的參數為橫向鋼筋的型式，故本研究維持各試體圍束力大致相同，以比較各型式之有效性，試體橫向鋼筋型式及參數列於表 3.1。

本研究所有試體均使用中鋼所生產之 A572 Gr.50 鋼板，其標稱降伏應力為 3.5 tf/cm^2 ，鋼筋使用 SD420W(標稱強度 4.2 tf/cm^2)和 SD280W(標稱強度 2.8 tf/cm^2)，以及抗壓強度為 0.28 tf/cm^2 之混凝土。

試體載重試驗原規劃於內政部建築研究所進行，其壓力最大容量為 3000 噸，因此 T 系列試體採用 $700 \times 700 \text{ mm}$ 之全斷面，鋼骨箱型柱則採用 $400 \times 400 \times 14 \text{ mm}$ 之斷面。主筋號數皆為 D25，輔助縱筋號數為 D16 及 D19 配置，而橫向鋼筋之間距皆為 10cm。CR 系列試體採用 $400 \times 400 \times 14 \text{ mm}$ 之全斷面，箱型柱外圍不設置混凝土也不配置任何鋼筋。

本試驗所有試體為了排除細長效應對於試體強度及行為之影響，因此規劃短柱試體，試體長度為試體柱寬之 3 倍(2100mm)，並取柱體中央三分之一之範圍為測試區，柱兩端邊緣往內各三分之一範圍為非測試區。為了避免試體加載時在柱端部，因應力集中而造成過早之破壞，因此本研究於柱試體上下端部之非測試區範圍內，配置圍束力較高之橫向鋼筋，並在非測試區增設鋼板夾具，以防止非測試區產生過早之破壞。

第二節 試體設計

本研究包覆填充型箱型柱之軸向受壓強度計算方式，以美國 AISC 2010 規範 [2] 設計之，根據規範在不考慮細長效應之柱之塑性強度，柱體之軸向標稱強度公式如下：

$$P_{n0} = A_s F_y + A_{sr} F_{sr} + C_2 A_c f'_c \quad (3-1)$$

其中，矩形斷面對應之 $C_2 = 0.85$ ， P_{n0} 為不考慮細長效應之柱軸向標稱強度， A_s 為鋼骨部分之斷面積， A_{sr} 為鋼筋部分之斷面積， A_c 為混凝土部分之斷面積， F_y 為鋼骨之標稱降伏強度， F_{sr} 為鋼筋之標稱降伏強度， f'_c 為混凝土之標稱抗壓強度。

由於利用強度疊加法計算柱之軸向標稱強度 P_{n0} ，故可將其分成鋼骨部分貢獻之強度 P_{0s} 、鋼筋部分貢獻之強度 P_{0sr} 及混凝土部分貢獻之強度 P_{0c} ，其本研究依式(3-1)計算之試體軸向標稱強度 P_{n0} 為 2248 tf。

對於本研究之箍筋需求部分，以美國 AISC 2010 耐震設計規範 [2] 設計之，其耐震設計規範對於矩形之包覆型合成構材箍筋配置之要求，採用 ACI 構造規範，經由 ACI 規範 [1] 中，規定柱之橫向鋼筋若採矩形柱之橫向鋼筋之面積 A_{sh} ，不得小於下列二式所得之值：

$$A_{sh} = 0.09 s b_c \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (2-2)$$

$$\text{或 } A_{sh} = 0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left(s b_c \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (2-3)$$

其中 A_g 為柱之全斷面積， A_{sh} 為在 s 距離內垂直於 b_c 方向之橫向箍筋量， A_{ch}

為柱圍束核心斷面積(由箍筋外圍算起)， s 為圍束箍筋中心距， b_c 為柱核心斷面寬度(圍束箍筋中心間距)， f_{yt} 為箍筋之標稱降伏強度， f'_c 為混凝土之標稱抗壓強度。本研究之各試體圍束箍筋間距均為 10cm，經由式(2-2)與式(2-3)比較後，由式(2-2)控制，但因合成柱斷面中含有鋼骨所提供之軸向強度，因此 AISC 合成構材之耐震設計箍筋面積 A_{sh} 規定中加入鋼骨的貢獻，如 2-4 式所示，式中

$\left(1 - \frac{F_y \times A_s}{P_{n0}}\right)$ 係考慮箍筋之圍束需求中，扣除鋼骨軸向壓力的貢獻，如下：

$$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \left(1 - \frac{F_y A_s}{P_{n0}} \right) \quad (2-4)$$

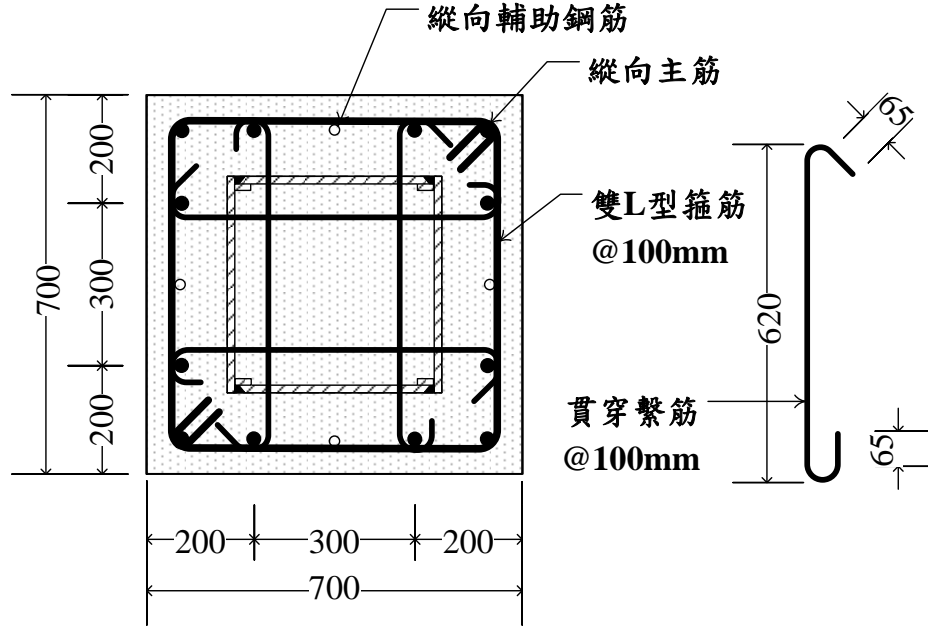
上式中 P_{n0} 為軸向標稱強度(tf)，本研究之各參數代入式(2-4)，可計算出試體之所需圍束力 P_{sh} 為 10.3tf。

1. T 系列試體

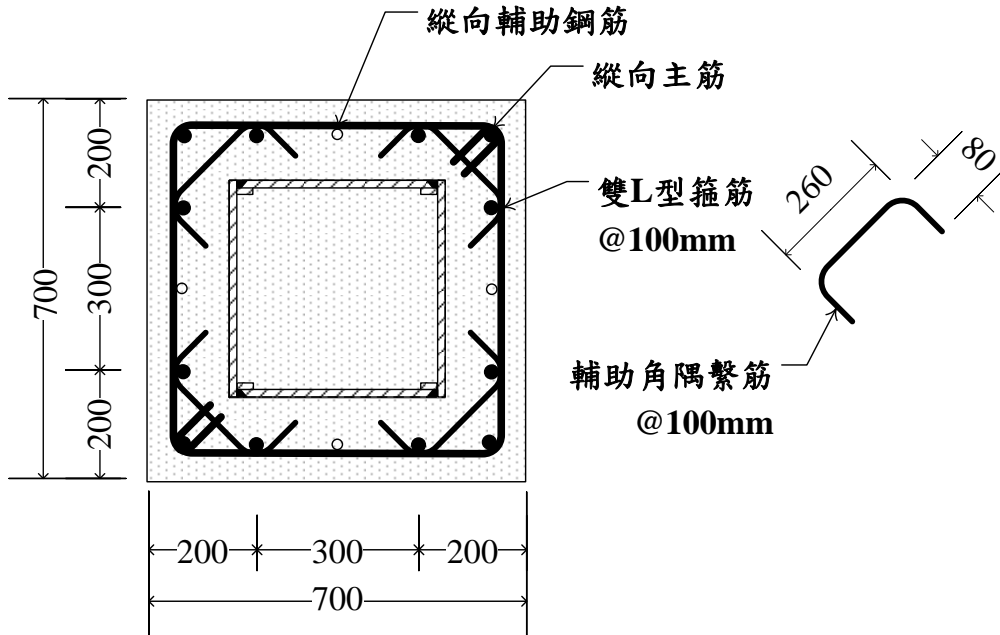
T 系列以配置 5 種不同形式之橫向鋼筋，分別為 T1、T2、T3、T4 及 T5 試體，T2 及 T3 試體為目前實際工程界使用過者，而為了釐清規範間距之要求，且讓最後結果有較直接的比較性，故將 T1 與 T2 之斷面尺寸及間距一致，在同樣符合混凝土工程設計規範第十五章耐震設計 15.5.4.2 節中提及之間距(繫筋或閉合箍筋相鄰肢之中心距)要求下，T1 試體配置繫筋，而 T2 試體則配置角隅繫筋，如圖 3.1(a)、(b)所示；T3 試體為使用接力式繫筋方式配置，如圖 3.1(c)所示。除了上述 3 種工程實務有使用的橫向鋼筋細部外，並開發兩種新的橫向鋼筋細部，稱為 T4 及 T5。T4 試體將鋼骨箱型柱開孔並將繫筋貫穿鋼骨箱型柱，以提供明確的繫筋功能，如圖 3.1 (d)所示；T5 試體則以使用中空混凝土柱之概念，使柱板側混凝土自我圍束，如圖 3.1 (e)所示。

2. CR系列試體

此外為了試驗數據分析的目的，進行柱斷面中填充型箱型柱之載重試驗，並稱之為 CR 試體，如圖 3.1 (f)所示。包覆填充型試體的強度扣除 CR 試體的強度，即可得到外圍混凝土的強度。

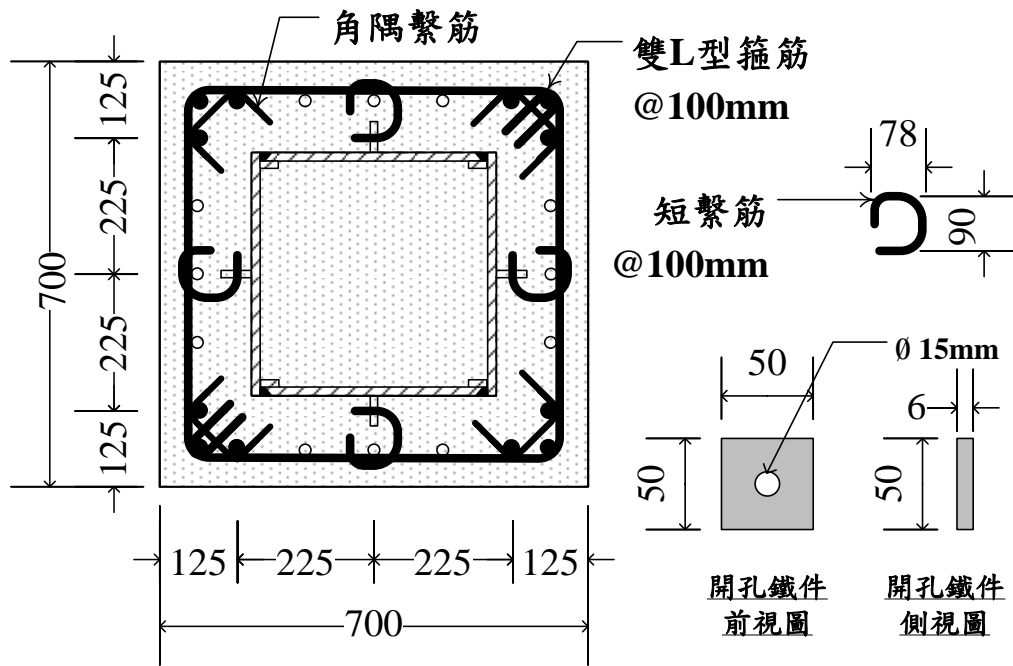


(a) T1 試體

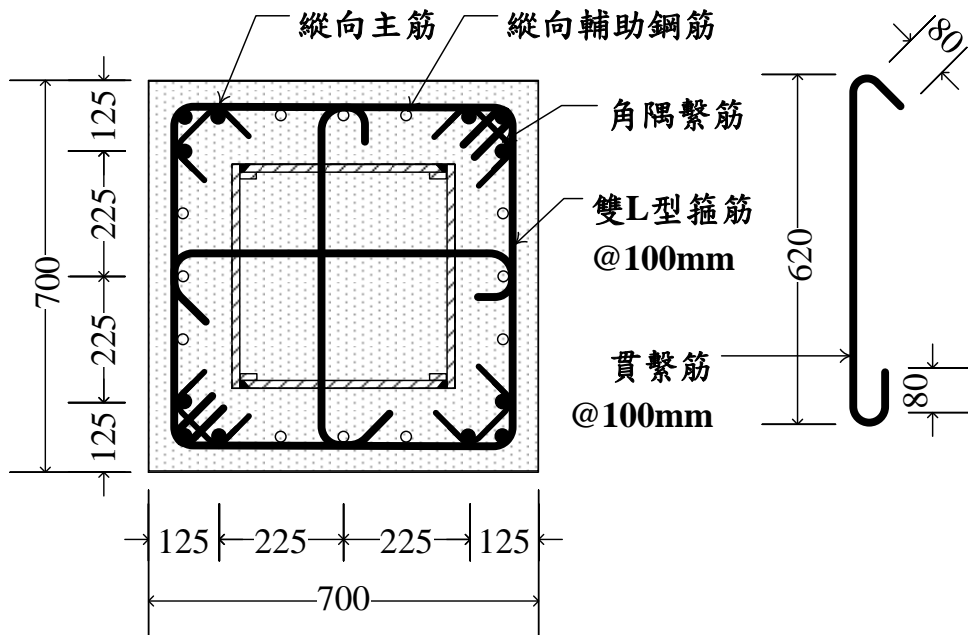


(b) T2 試體

圖 3.1 試體斷面圖(單位：mm)

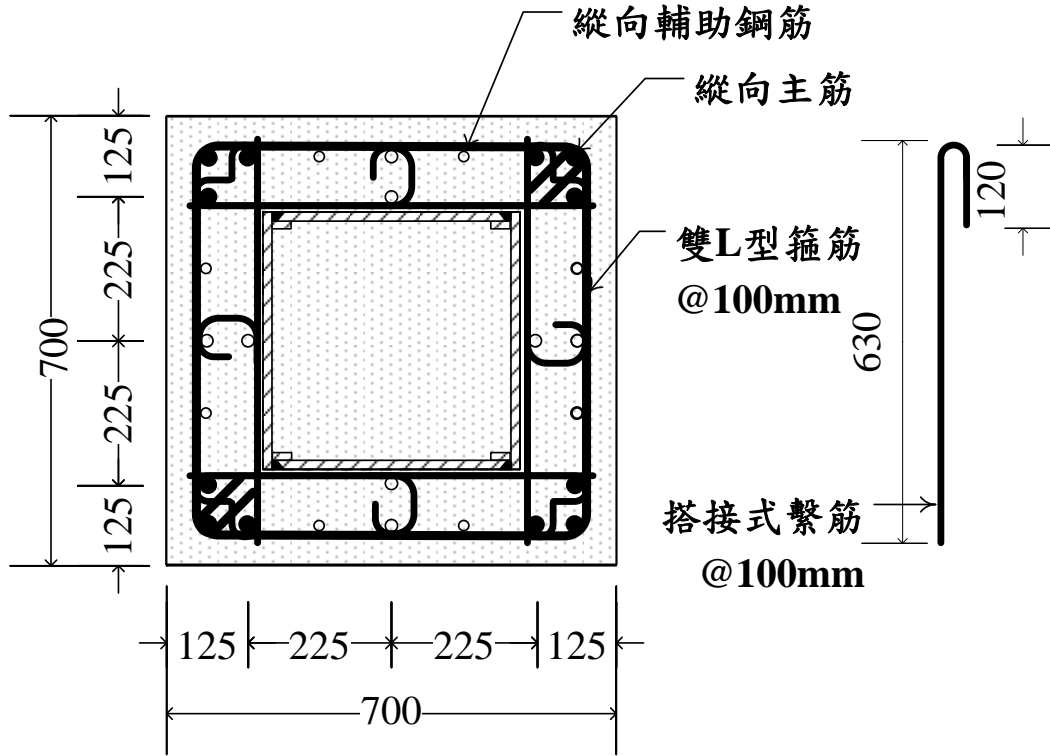


(c) T3 試體

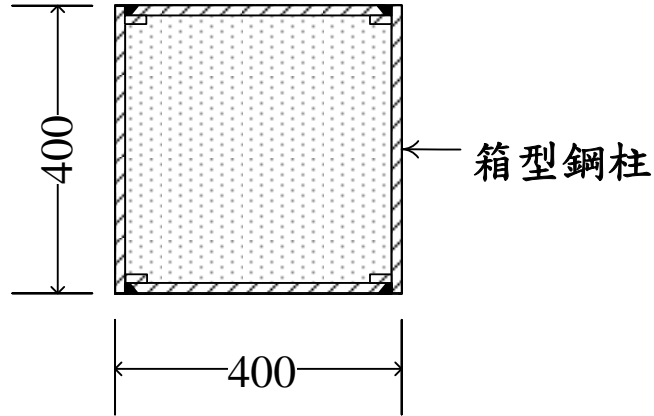


(d) T4 試體

圖 3.1(續) 試體斷面圖 (單位: mm)



(e) T5 試體



(f) CR 試體

圖 3.1(續) 試體斷面圖 (單位：mm)

表 3.1 各柱試體編號與測試區橫向鋼筋配置情形

名稱	橫向鋼筋配置	計算有效圍束筋	圍束力	輔助縱筋
			(tf)	
T1	雙 L 型箍筋 1-SD420W#3 貫繫 4-SD280W#3	雙 L 型箍筋 1-SD420W#3 貫繫 2-SD280W#3	9.94	#6
T2	雙 L 型箍筋 1-SD420W#4 角繫 4-SD280W#3	雙 L 型箍筋 1-SD420W#4	10.7	#6
T3	雙 L 型箍筋 1-SD280W#4 短繫 4-SD280W#4 角繫 4-SD280W#3	雙 L 型箍筋 1-SD280W#4 短繫 1-SD280W#4	10.7	#6
T4	雙 L 型箍筋 1-SD280W#4 貫繫 2-SD280W#4 角繫 4-SD280W#3	雙 L 型箍筋 1-SD280W#4 貫繫 1-SD280W#4	10.7	#6
T5	雙 L 型箍筋 1-SD420W#3 搭接式繫筋 8-SD280W#3 短繫 4-SD280W#3	雙 L 型箍筋 1-SD420W#3 搭接式繫筋 2-SD280W#3	9.94	SD420#6 SD280#5

第三節 試體製作

有關試體之製作，分為材料準備、鋼板加工、鋼筋加工及綁紮施工方式、混凝土灌漿、黏貼應變計等部分，做以下之說明：

一、材料準備

鋼板:由中鋼公司所生產 A572 Gr.50 之鋼板。

鋼筋:本研究試體之主筋，為 D25-SD420W 之竹節鋼筋，輔助主筋分別為 D19-SD420 及 D16-SD280 之竹節鋼筋，箍筋分別為 D10-SD280W、D10-SD420W、D13-SD280W 及 D13-SD420W 之可鐸鋼筋，本研究柱試體之各種類鋼筋皆由同一批爐號所生產。

混凝土:試體設計強度為 280kgf/cm^2 ，採用茂榮實業股份有限公司所拌合之混凝土，經齡期 45 天，由台科大材料實驗室之萬能試驗機測試混凝土圓柱試體抗壓強度，測試結果為平均 417kgf/cm^2

二、鋼板加工

柱試體之上、下端板及箱型柱皆由中鋼結構公司完成製作後，送達建研所材料試驗中心。因試體為包覆填充型箱型柱，箱型柱內外皆需澆置混凝土，為了方便混凝土之澆置，在箱型柱上端板開設 5 個灌漿孔及 4 個直徑 20mm 之氣孔。灌漿孔包括端板中間一個直徑 250mm 之圓孔，以及端板四邊四個長 260mm、寬 130mm 之矩形孔，如照片 3.1 所示。



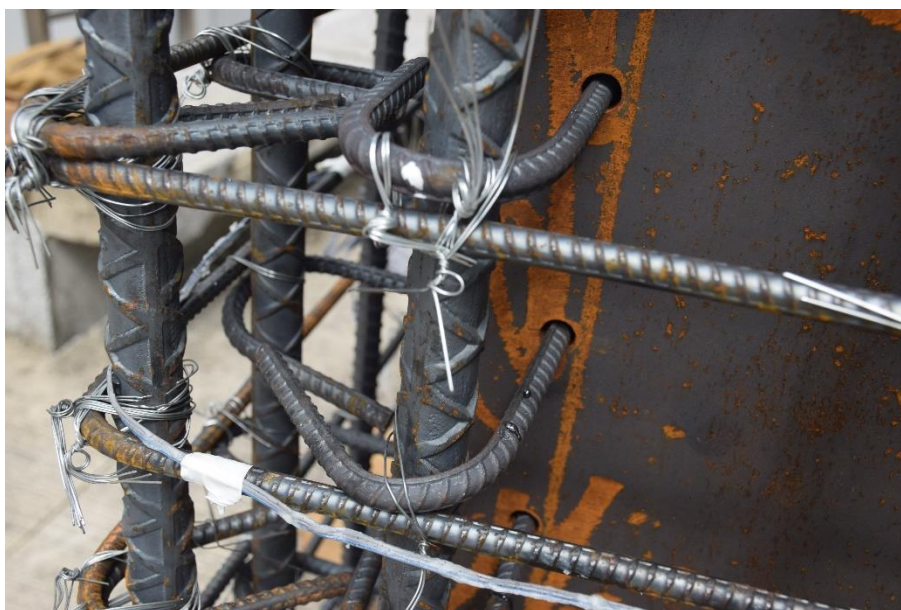
照片 3.1 箱型柱上端板完成近照

三、鋼筋加工及綁紮方式

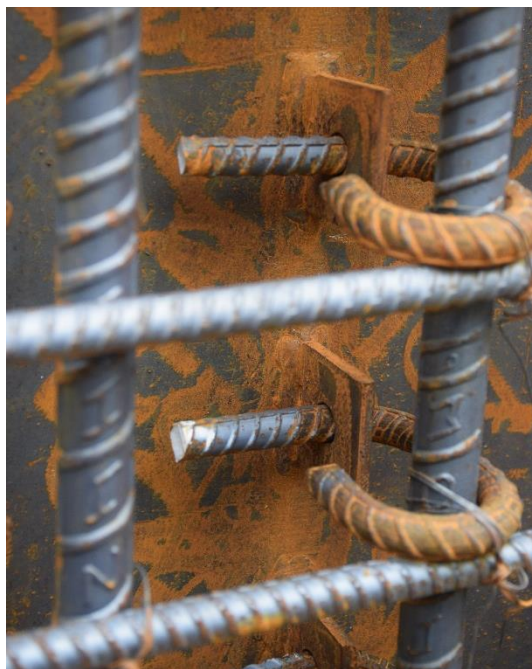
試體主筋及輔助主筋為 D25-SD420W、D19-SD420W 及 D16-SD280W 之竹節鋼筋，皆以油壓剪機台切成所需尺寸，且並送至建研所。主筋皆銲接於上下端板，以方便橫向鋼筋之施工；其中橫向鋼筋中，外箍筋、繫筋及角隅繫筋皆採用 W 系列之可銲鋼筋。並使用鋼筋彎折機進行彎製加工，另基於鋼筋綁紮施工性問題，外箍筋皆以兩個 L 型兩端 135 度彎鉤之鋼筋接合而成，本研究稱之為雙 L 組合箍筋，如照片 3.2。T1 及 T4 之貫穿繫筋，皆在加工廠進行彎折 180 度彎鉤後，至現場貫穿鋼骨後，再以人工方式進行另一邊 135 度彎鉤加工，如照片 3.3。而 T3 之短繫筋，為一邊 180 度彎鉤綁紮於輔助主筋上，另一邊 90 度彎鉤則扣接於鋼骨上之矩形鐵件，如照片 3.4。T5 之搭接式繫筋皆在工廠加工後，送至現場進行搭接，如照片 3.5。各試體綁紮鋼筋完成圖於**附錄 B** 中附上。



照片 3.2 雙 L 型箍筋於鋼筋加工廠放樣



照片 3.3 貫穿繫筋於現場施工完成照



照片 3.4 T3 短繫筋於現場施工完成照



照片 3.5 T5 搭接式繫筋於現場施工完成照

四、混凝土灌漿

試體灌漿分成鋼箱型柱內與鋼箱型柱外，所有柱內混凝土接來自同一車預拌混凝土，所有柱外混凝土來自另一車預拌混凝土，柱內與柱外混凝土在同一時間

澆置。混凝土首先灌至離上端板下約 50~60mm 左右，剩餘 50~60mm 則使用無收縮水泥砂漿填滿，同時將上端板切割下來的圓形及 4 塊矩形鋼板填補回去，無收縮水泥灌注至水泥漿從上端板預留之氣孔擠出，如照片 3.6 所示，以確保無收縮水泥填滿空隙。澆置於箱型柱內部之混凝土來自 A 車，澆置於箱型柱外之混凝土來自 B 車，每車各製作 12 顆圓柱試體，並於短柱載重試驗時，進行抗壓試驗。灌漿工作之相關照片請詳附錄 C。

五、應變計黏貼

本實驗為了探討不同型式上的橫向鋼筋配置方式，故在各試體之中間斷面黏貼應變計，而為了防止應變計因灌漿後受潮，故本研究之各應變計皆採用由日本 Sokki Kenkyujo 公司製造單軸三線式應變計及防水臘，各試體之黏貼位置於由本章第四節說明。



照片 3.6 填補無收縮水泥完成照

第四節 試驗裝置與程序

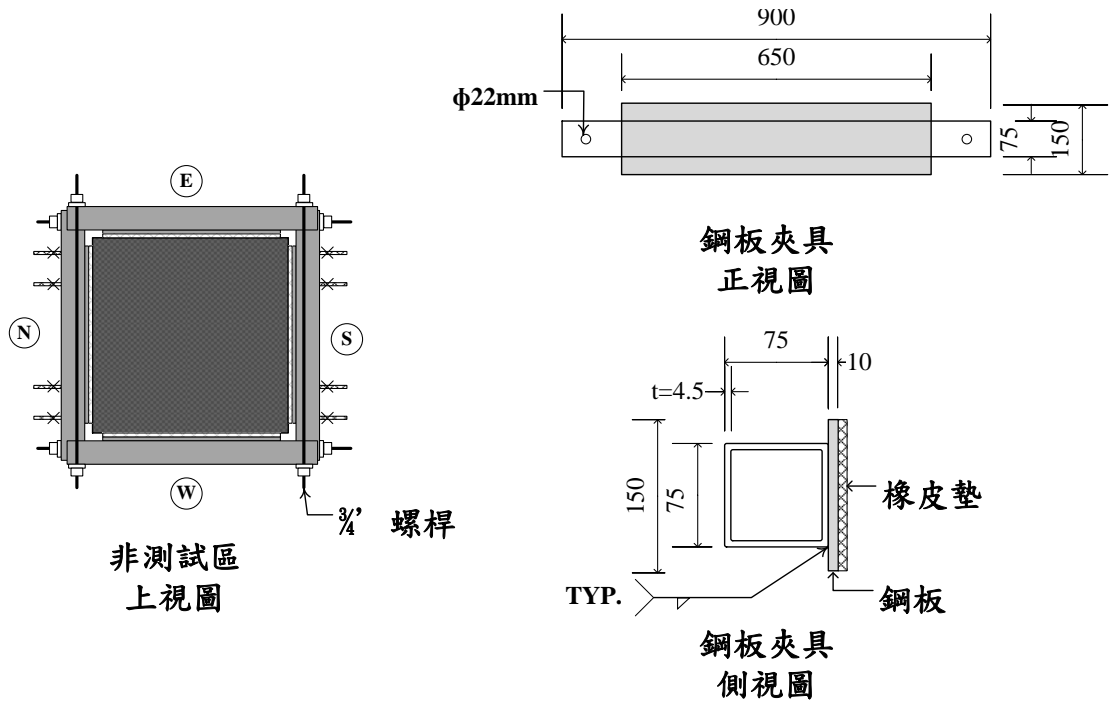
由於實測混凝土強度高達 422 kg/cm^2 ，比規定強度之 280 kg/cm^2 高出 51%，導致部分試體強度過高。因此試體軸向載重試驗，CR-1、CR-2 及 T3-1 強度低於 3000 噸，在內政部建築研究所材料實驗中心，以其 3000 噸萬能試驗機進行之。其餘試體強度預估會高於 3000 噸，無法使用上述載重機進行試驗，因此使用國家地震中心的 6000 噸 MATS 試驗機進行載重試驗。所有試體均以無偏心單向擬靜態方式施加軸向壓力。

軸壓試體架設及試驗裝置如圖 3.2 所示。在試體的表面上塗上一層水泥漆，並以 10cm 為單位繪製方格線，方便觀察並紀錄試體裂縫之成長及混凝土壓碎情況。

為了避免偏心加載的情況發生，在試體加壓之前，將石膏鋪設於試體上下端板蓋平，並施加 100 噸之預壓力，藉由柱面之光學式座標量測儀(NDI)之探測器，以及觀測試體兩側之線性位移感測器(LVDT)之讀數，調整試體之位置，確認載重偏心在可接受範圍，然後才進行正式的載重試驗。為確保試體非測試區不產生破壞，於試體上下非測試區範圍，裝置鋼板夾具給予非測試區之混凝土額外的圍束，鋼板夾具裝置如圖 3.3 所示，試體架設完成如照片 3.7 及照片 3.8 所示。

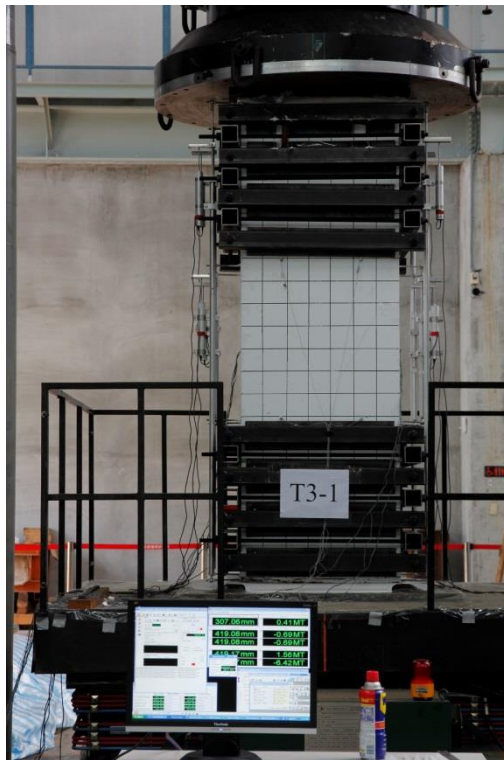
試體灌漿前，預先於試體中央斷面之橫向鋼筋埋設應變計，各試體應變計黏貼位置如圖 3.4 所示。如圖 3.2 所示，載重及加載頭之位移，由試驗機內建之荷重計及位移計量測。試體測試區之軸向變形，由 4 支衝程為 100mm 之 LVDT 量測，試體全長之軸向變形，由設置於試體角隅處 4 支衝程為 200mm 衝程之 LVDT 量測。此外，並使用光學式座標量測儀(NDI)，於試體觀察面設置 4 個探測器(以下稱為 Marker)，來量測軸向變形。NDI 之量測設備設置在距離試體約 3 公尺處。為了確保試體斷面在試驗過程中為均勻受力，確保試體無偏心加載之狀況產生。

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

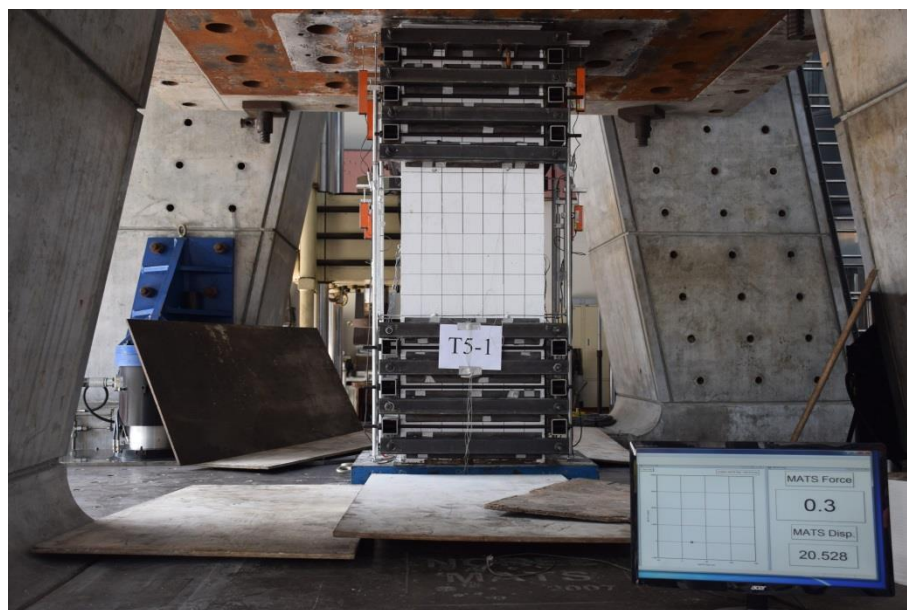


(資料來源:本研究規劃)

圖 3.3 試體鋼板夾具圖



照片 3.7 試體架設完成照(建研所)



照片 3.8 試體架設完成照(國震)

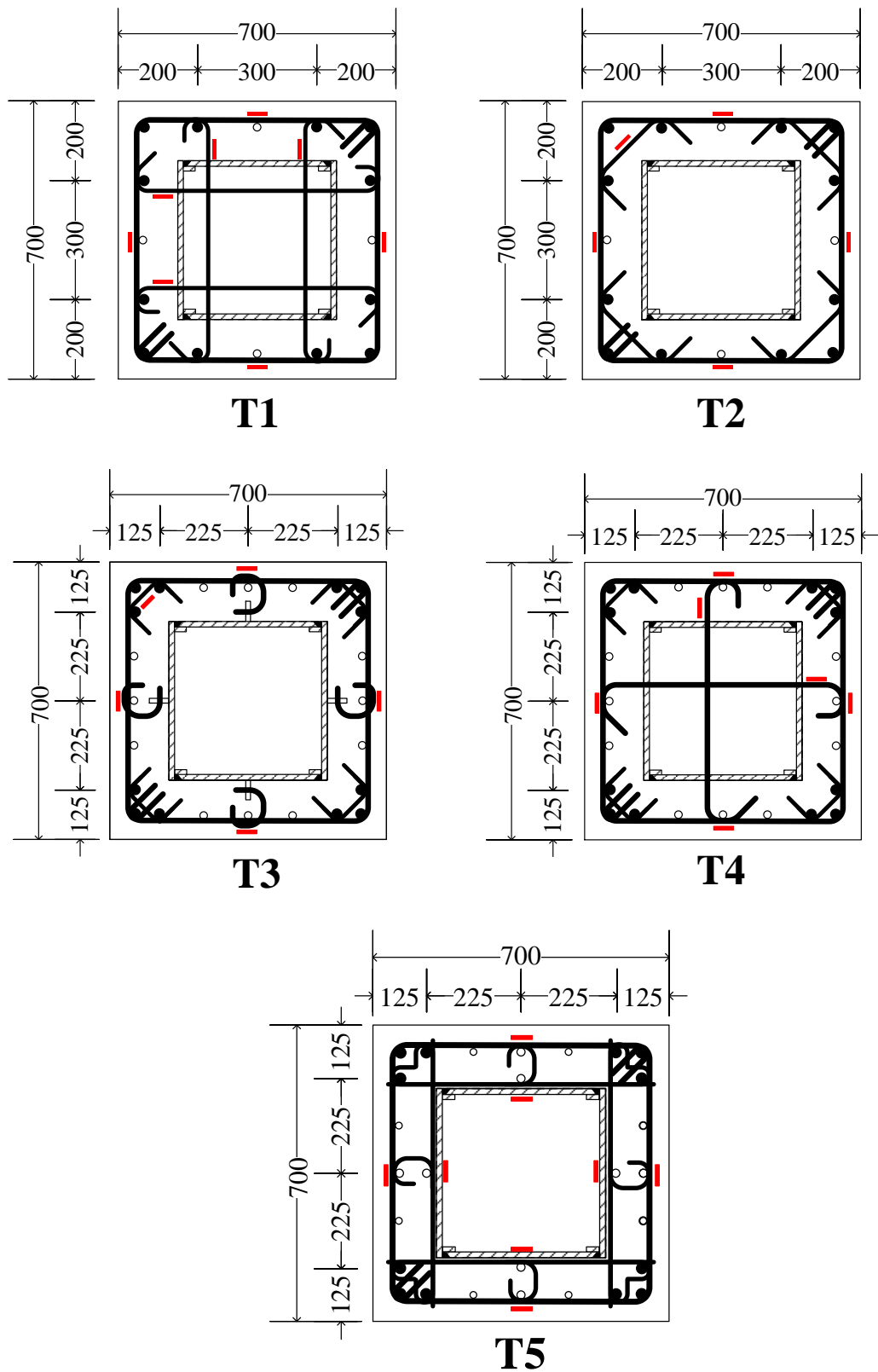


圖 3.4 各試體之橫向鋼筋應變計配置圖

第四章 實驗結果與討論

第一節 試體材料強度試驗

有關本研究混凝土抗壓強度、鋼筋與鋼骨拉力強度之實驗結果如下：

1. 混凝土圓柱試體抗壓試驗

本試驗所有試體澆置時，設定 A 車次灌注於各試體之鋼箱型柱內部，共十二支試體，B 車次灌注於各試體之鋼箱型柱外部，共十支試體，每車次澆置十二支圓柱試體，分別在試驗前與試驗後齡期約 54 天與 60 天進行混凝土抗壓試驗，其中各取三支圓柱試體，測試混凝土之 ϵ_{c0} ，混凝土圓柱抗壓強度列於表 4.1。本研究所有混凝土圓柱試體抗壓實驗之試驗方式，係依據 CNS1238 混凝土抗壓強度檢驗方法，以 300 噸抗壓試驗機進行測試。混凝土設計強度為 280 kgf/cm^2 ，實際量測之平均值為 422 kgf/cm^2 ，比設計值高出 51%。

2. 鋼筋拉力試驗

本研究柱試體之主筋及輔助主筋，分別為 D25(#8)SD420W 之竹節鋼筋與 D19(#6)SD420W、D16(#5)SD280W 之竹節鋼筋，至於橫向鋼筋分別為 D10(#3)SD280W、D10(#3)SD420W、D13(#4)SD280W 及 D13(#4)SD420W 之竹節鋼筋，各鋼筋種類均由同一爐號所生產，依符合現行國家標準 CNS560 之要求，於台科大材料實驗中心進行拉力測試，測試結果顯示列如表 4.2。

3. 鋼板拉力試驗

本研究鋼箱型柱鋼板均為中鋼公司所生產 A572 Gr.50，使用鋼板皆為同批鋼材，厚度均為 14mm，並加工製作拉力試片，依 CNS 2112 規定進行測試，於台

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

科大材料試驗中心進行拉力測試，測試結果顯示列於表 4.3。

表 4.1 混凝土圓柱試體抗壓試驗

試驗前測試混凝土齡期約 54 天(設計強度 280kgf/cm ²)					
A 車(鋼骨內混凝土)			B 車(鋼骨外混凝土)		
力量 (kgf)	應力 (kgf/cm ²)	ϵ_{c0}	力量 (kgf)	應力 (kgf/cm ²)	ϵ_{c0}
71072	402	--	75619	427	--
82004	464	--	73859	417	--
72997	413	--	68424	387	--
74164	419	--	66662	377	--
74712	422	--	80110	453	--
69605	393	0.00195	69161	391	0.00257
78085	441	0.00260	82465	466	0.00233
80717	456	0.00160	73565	416	0.00183
平均	426	0.00210	平均	417	0.00220
標準差	25.2	--	標準差	31.7	--

表 4.2 鋼筋拉力試驗

材料項目	材料尺寸規格	標稱強度 (t/cm ²)	降伏應力 (t/cm ²)	抗拉強度 (t/cm ²)	降伏應變 ϵ_y
D10 鋼筋	SD280W	2.8	4.00	5.77	0.0022
	SD420W	4.2	4.62	7.54	0.0028
D13 鋼筋	SD280W	2.8	2.90	4.52	0.0017
	SD420W	4.2	5.23	7.21	0.0031
D16 鋼筋	SD280W	2.8	3.15	4.67	0.0014
D19 鋼筋	SD420W	4.2	4.70	6.69	0.0019
D25 鋼筋	SD420W	4.2	4.58	6.85	0.0022

表 4.3 鋼板拉力試驗

材料項目	厚度	標稱降伏應力 (t/cm ²)	實測降伏應力 (t/cm ²)	實測抗拉強度 (t/cm ²)	降伏應變 ϵ_y
ASTM A572 Gr.50	14mm	3.5	3.75	5.04	0.00195

第二節 試體整體行為

本研究 CR 系列試體與 T 系列試體之整體強度、變形及破壞行為，在本章呈現。

1. CR 系列試體整體行為

圖 4.1 所示為測試區之載重-位移曲線，圖 4.2 所視為整體之載重-位移曲線。將測試區之位移除以測試區之長度可得到測試區之應變，圖 4.3、圖 4.4 所示為 CR 系列 2 支試體測試區之載重-應變曲線。CR 系列試體在 P_{peak} 、 $0.8P_{peak}$ 、 $0.5P_{peak}$ 時之試體變形及損傷情況，分別如照片 4.1 及 4.2 所示。則 CR 系列試體最後破壞如照片 4.3 至照片 4.6。

- (1) CR-1：試驗於達到 P_{peak} 之前，當試驗加載至於約 975 噸時，位於試體中央及下端部分出現數條橫向降伏線；當試體加載至 1140 噸時，中央斷面之鋼板開始出現 45 度降伏線，及觀察到中央斷面下約 20cm 處發生些微的面外挫屈之現象，試體達最大軸壓強度為 1350 噸時，此時試體強度開始衰減，且試體各面皆出現面外變形現象發生，主要集中在試體中央及下端木板往上 40cm 處；當試體加載下降至約 1142 噸時，此時試體強度再度上升，強度到達約最大軸壓強度之 90% 時，強度再度開始衰減，使強度再度提升的原因，判斷是試體之橫向及縱向拱效應所造成；當試體加載再度下降至 1185 噸時，此時試體開始產生整體挫屈；當試體加載持續下降至 1129 噸時，此時試體縱向鐸道開裂；當試體強度衰減至 50% 以下時停止試驗。試體明顯的破壞包括，柱板產生面外變形(局部挫屈)、整體挫屈及鐸道開裂。

- (2) CR-2：試驗於達到 P_{peak} 之前，當試驗加載至於約 980 噸時，試體中央及上端部分，柱板分別出現數條橫向及 45 度方向降伏線；當試體加載至 1250 噸時，鋼柱全長出現明顯交叉向 45 度的降伏線。試體達最大軸壓強度 1294 噸後，試體強度開始衰減，衰減至試體強度為 1270 噸時，試體上端柱板開始出現面外變形；當試體強度下降至 1163 噸後，試體強度再度上升，強度上昇到試體最大強度之 90% 時，強度再度開始衰減。當試體強度持續下降至 1100 噸時，試體柱板鉸道開裂。當試體強度衰減至 50% 以下時停止試驗。試體明顯的破壞主要為柱板產生外變形（局部挫屈）及鉸道開裂。此試體最大軸壓強度為 1294 tf，較 CR-1 之 1350 tf 低 4%。CR-2 強度衰減的速度比 CR-1 緩和。

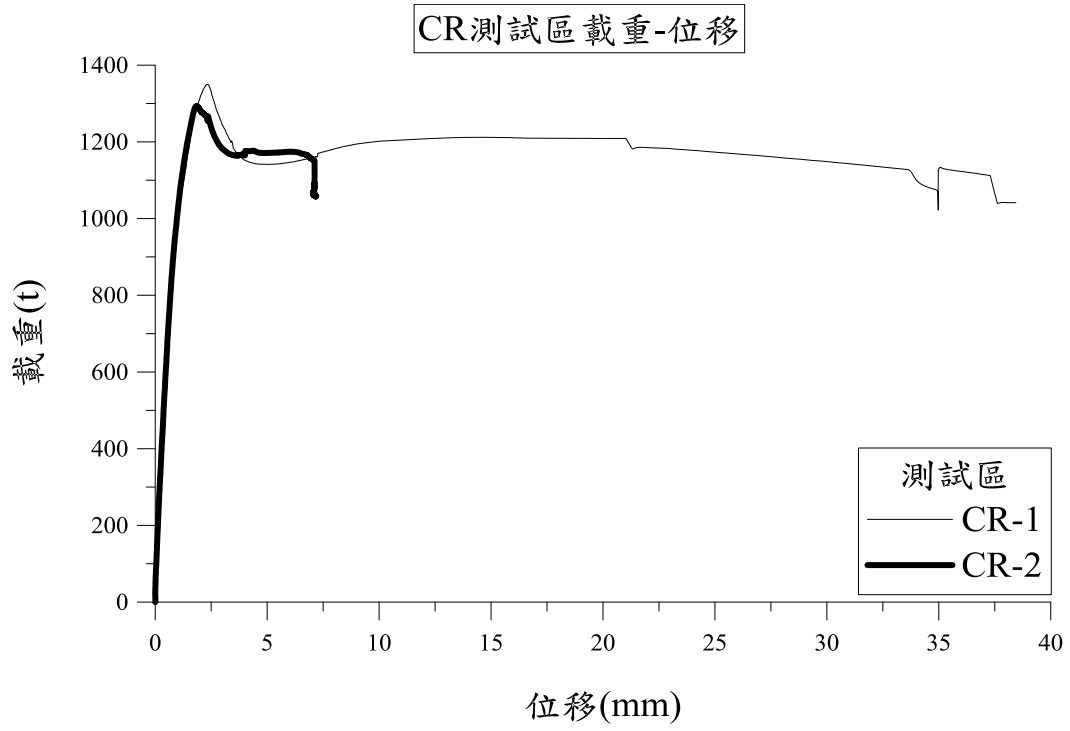


圖 4.1 CR 測試區載重-位移

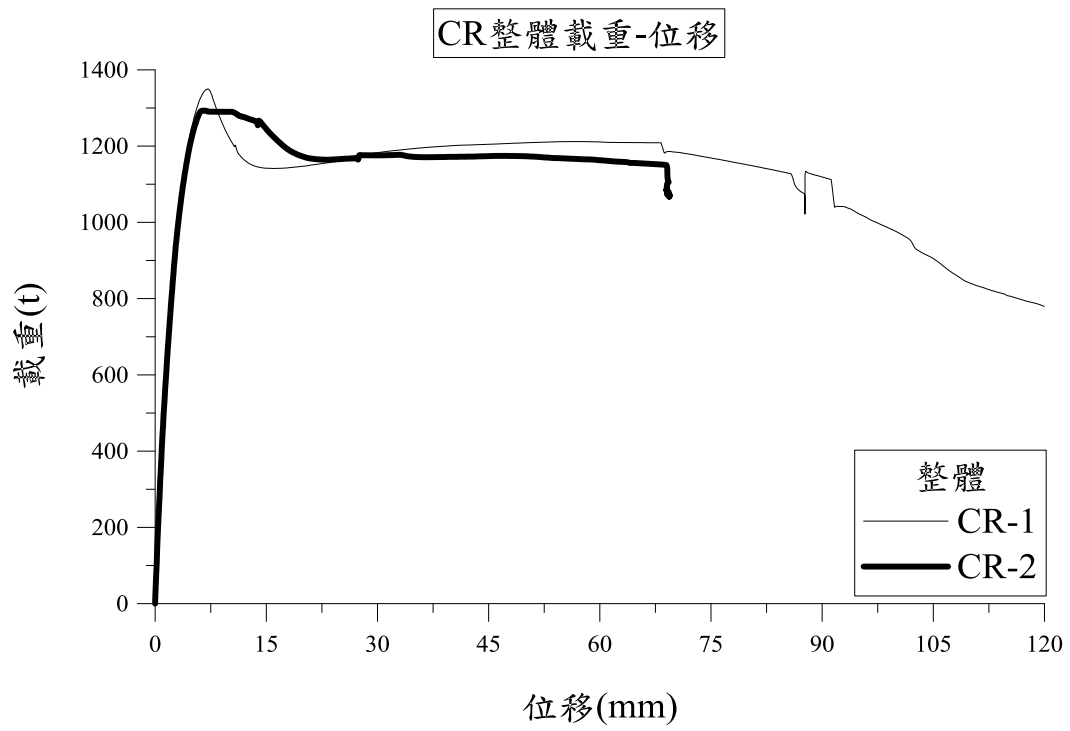


圖 4.2 CR 整體載重-位移

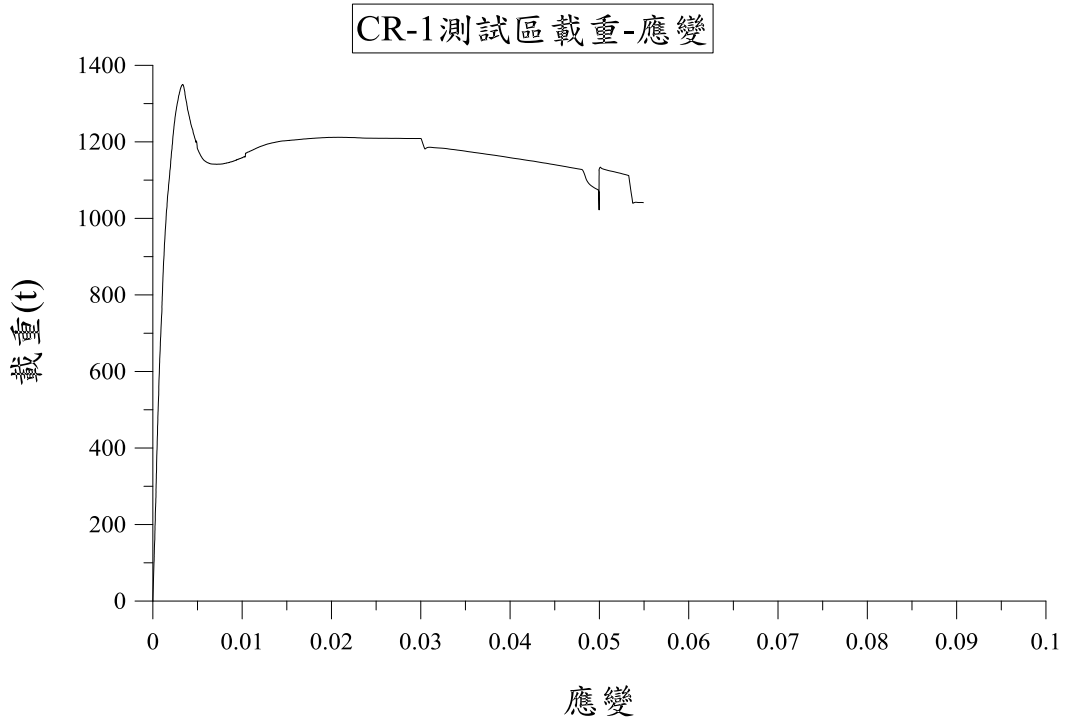


圖 4.3 CR-1 測試區載重-應變

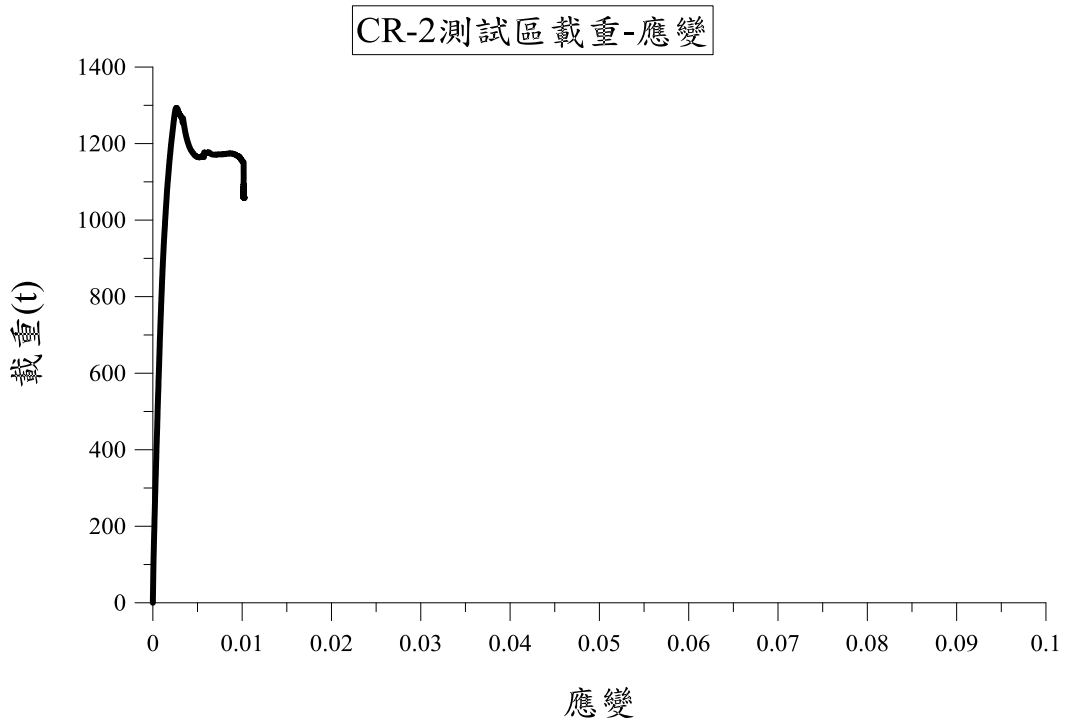


圖 4.4 CR-2 測試區載重-應變



(a)在最大載重時之情況 (b)強度降至 80%之情況 (c)強度降至 50%之情況

照片 4.1 CR-1 試體



(a)在最大載重時之情況 (b)強度降至 80%之情況 (c)強度降至 50%之情況

照片 4.2 CR-2 試體



照片 4.3 CR-1 破壞後外觀之 1



照片 4.4 CR-1 破壞後外觀之 2



照片 4.5 CR-2 破壞後外觀之 1



照片 4.6 CR-2 破壞後外觀之 2

2. T 系列試體整體行為

圖 4.5 至圖 4.9 為 T 系列試體之測試區載重-位移曲線及圖 4.10 至圖 4.14 整體載重-位移曲線。因為有混凝土剝落干擾位移計之量測的問題，測試區之載重-位移數據需根據第二章第二節所述方法修正之，修正後之測試區載重-位移曲線如圖 4.15 至 4.19 所示。測試區之位移除以測試區長度得到測試區之應變，T 系列各試體之載重-應變關係曲線如圖 4.20 至圖 4.24 所示。T 系列試體在 P_{peak} 、 $0.8P_{peak}$ 、 $0.5P_{peak}$ 時之試體變形及損傷情況，分別如照片 4.7 至照片 4.16 所示。則 T 系列試體最後破壞如照片 4.17 至照片 4.56。

- (1) T1-1：當試驗加載至於約 2800 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面)之混凝土，觀察到混凝土有垂直向方向之細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 2908 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2670 噸時，測試區之保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之如 T1-2 破壞。
- (2) T1-2：當試驗加載至於約 2870 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面左側)之混凝土，觀察到混凝土有水平向方向之細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 2892 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2660 噸時，測試區之保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之，發現測試區主筋嚴重挫屈，中央斷面外圍箍筋之 135 度彎鉤處、貫繫筋之 135 度彎鉤處，有被拉脫的現象如照片 4.57。
- (3) T2-1：當試驗加載至於約 2900 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面後方)之混凝土，觀察到混凝土有水平向方向之細微裂縫；隨著載重增加

裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 3037 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2400 噸時，測試區之保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之，發現測試區主筋嚴重挫屈，中央斷面外圍箍筋之 135 度彎鉤處，有被拉脫的現象，角隅繫筋嚴重內凹變形如照片 4.58。

- (4) T2-2：當試驗加載至於約 3050 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面左下方)之混凝土，觀察到混凝土角隅有之細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 3090 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2950 噸時，測試區之角隅保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之如 T2-1 破壞。
- (5) T3-1：當試驗加載至於約 2700 噸時，試體測試區寬度中央處之混凝土，觀察到混凝土有垂直向與 45 度方向之細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 2944 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2600 噸時，測試區之保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之如 T3-2 破壞。
- (6) T3-2：當試驗加載至於約 2850 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面後方)之混凝土，觀察到混凝土水平向方向有細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 3093 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2900 噸時，測試區保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之，發現測試區主筋嚴重挫屈，中央斷面外圍箍筋之 135 度彎鉤處，

有被拉脫的現象，角隅繫筋、接力式短繫筋大量變形如照片 4.59 至照片 4.61。

- (7) T4-1：當試驗加載至於約 3100 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面左下方)之混凝土，觀察到混凝土角隅有細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 3106 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2650 噸時，測試區角隅保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之，發現測試區主筋嚴重挫屈，中央斷面外圍箍筋之 135 度彎鉤處、貫繫筋之 135 度彎鉤處，有被拉脫的現象如照片 4.62。
- (8) T4-2：當試驗加載至於約 3110 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面左下方)之混凝土，觀察到混凝土角隅有細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 3221 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 3090 噸時，測試區保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之如 T4-1 破壞。
- (9) T5-1：當試驗加載至於約 3070 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面左上方)之混凝土，觀察到混凝土角隅有細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 3229 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 3160 噸時，測試區保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察，試體最大強度降至 50% 時位移量較其他 T 系列試體小，故沒有明顯主筋挫屈，箍筋拔脫等之現象，但側繫筋未彎鉤處有滑脫之現象如照片 4.63。

- (10) T5-2：當試驗加載至於約 3050 噸時，試體測試區寬度中央處(觀察面中樣下方)之混凝土，觀察到混凝土水平方向有細微裂縫；隨著載重增加裂縫慢慢加長變寬；試體最大強度為 3123 噸，然後隨著位移逐漸增加試體強度開始衰減，在試體強度下降至約 2960 噸時，測試區保護層開始剝落，試體破壞集中於測試區。試驗結束後敲除鬆脫之表面混凝土並觀察之如 T5-1。

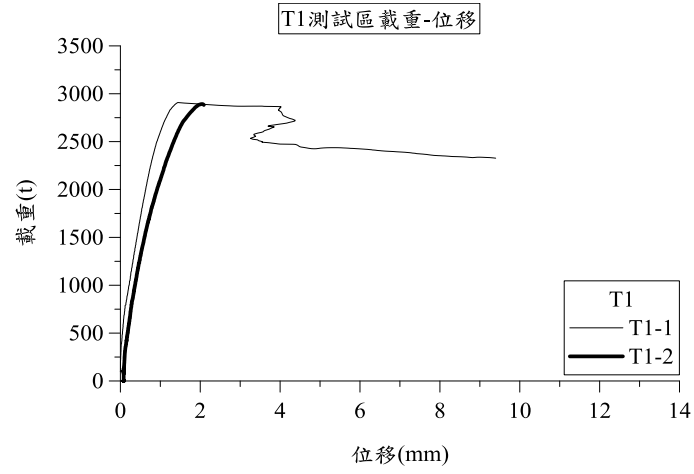


圖 4.5 T1 位移計實測測試區載重-位移

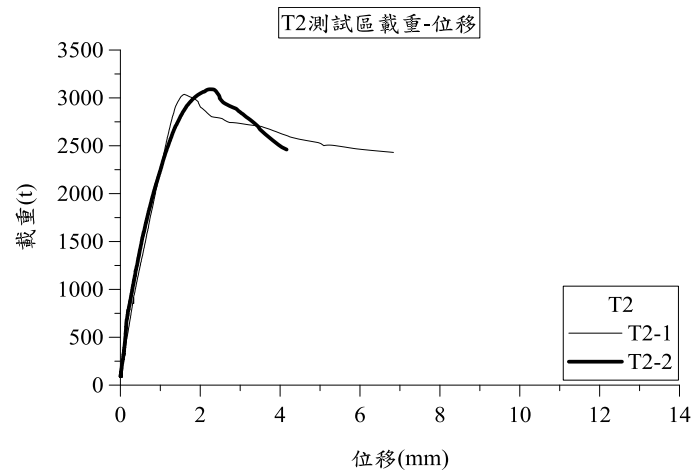


圖 4.6 T2 位移計實測測試區載重-位移

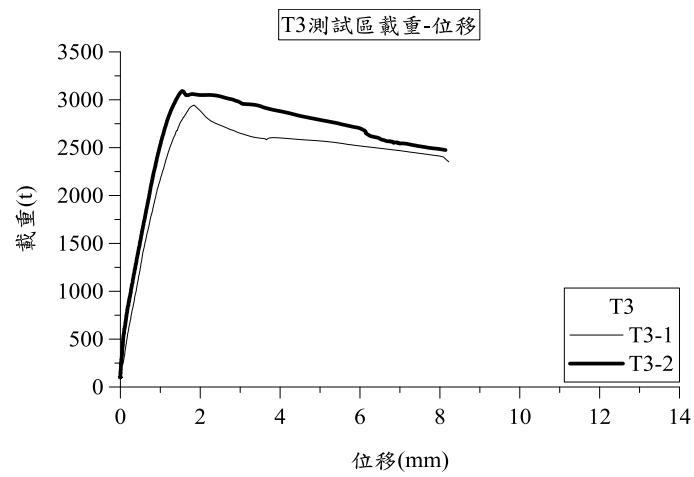


圖 4.7 T3 位移計實測測試區載重-位移

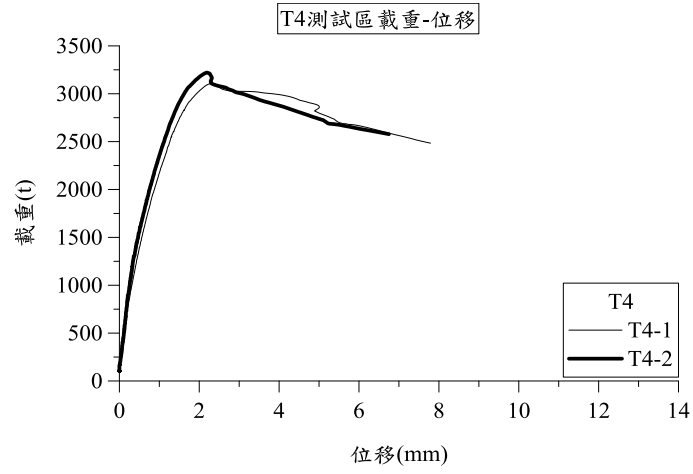


圖 4.8 T4 位移計實測測試區載重-位移

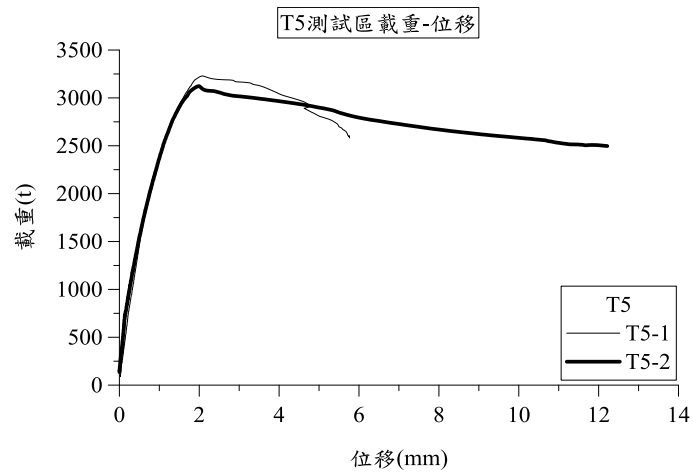


圖 4.9 T5 位移計實測測試區載重-位移

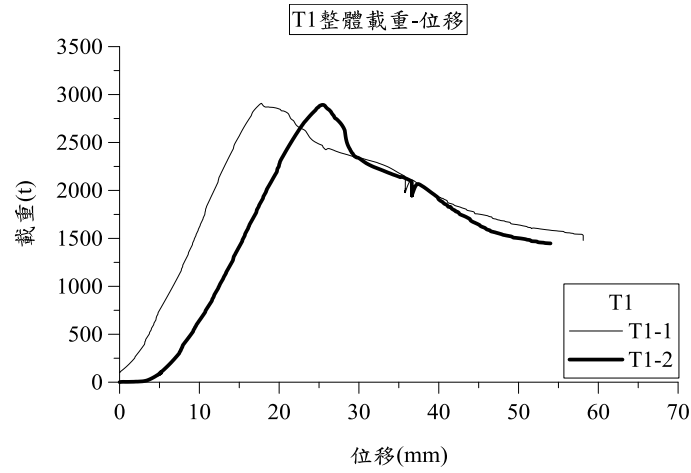


圖 4. 10 T1 MATS 實測整體載重-位移

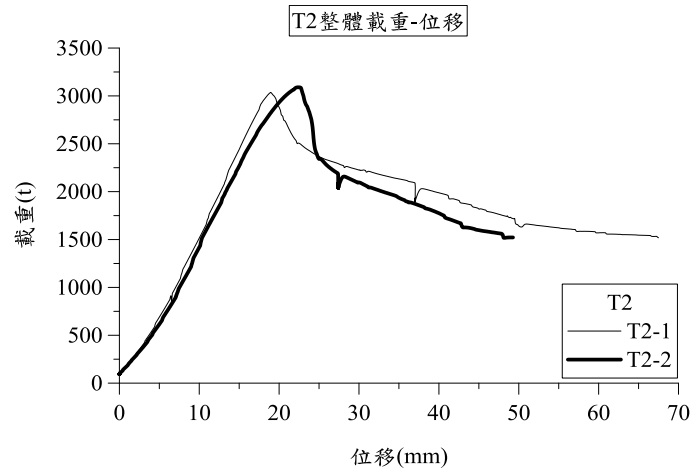


圖 4. 11 T2 MATS 實測整體載重-位移

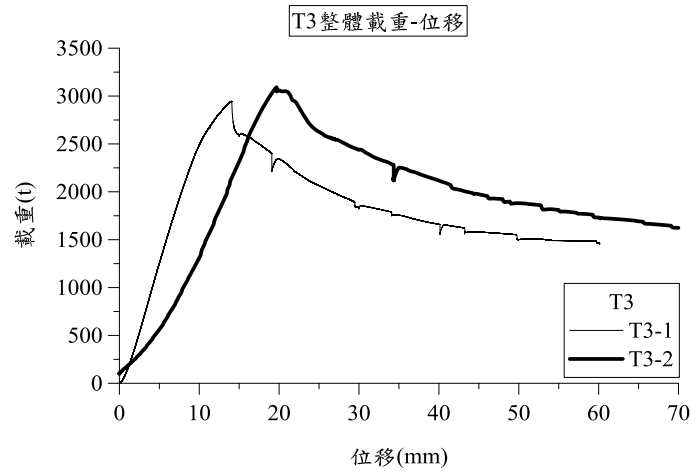


圖 4. 12 T3 MATS 實測整體載重-位移

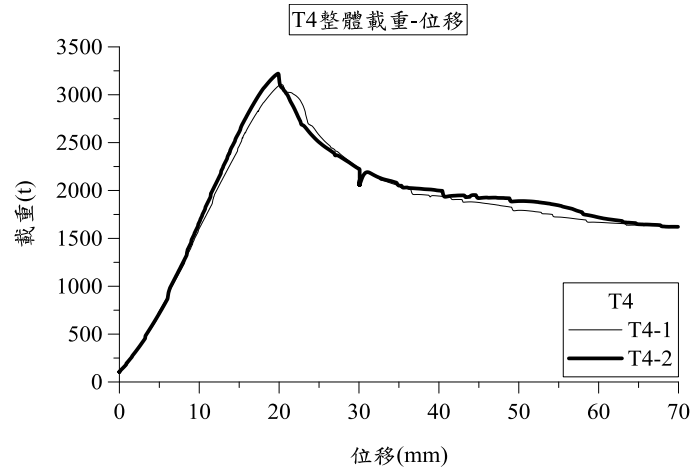


圖 4. 13 T4 MATS 實測整體載重-位移

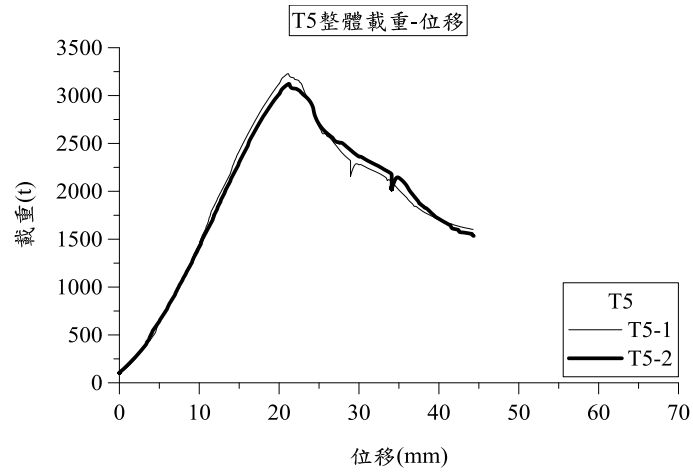


圖 4. 14 T5 MATS 實測整體載重-位移

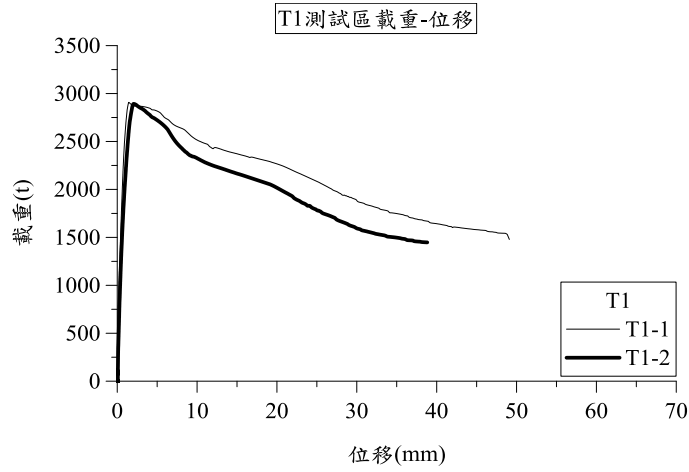


圖 4.15 T1 修正之測試區載重-位移

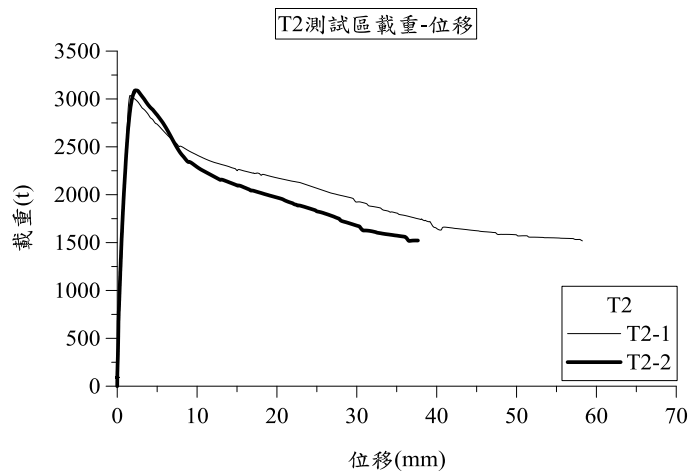


圖 4.16 T2 修正之測試區載重-位移

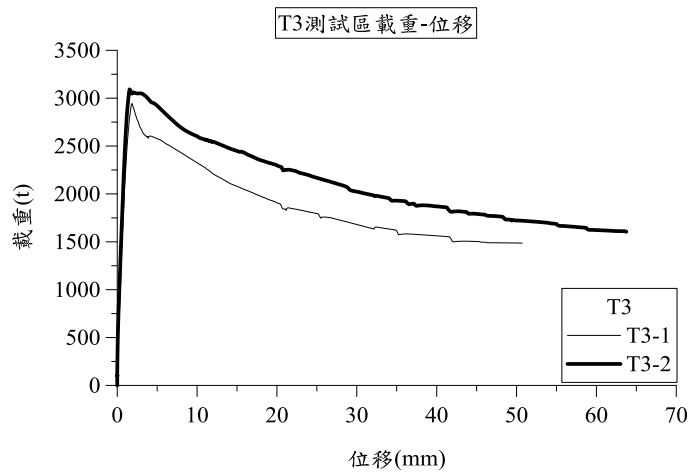


圖 4.17 T3 修正之測試區載重-位移

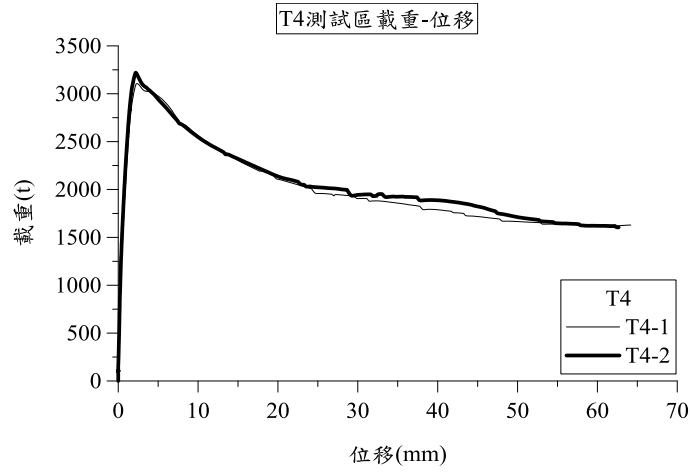


圖 4.18 T4 修正之測試區載重-位移

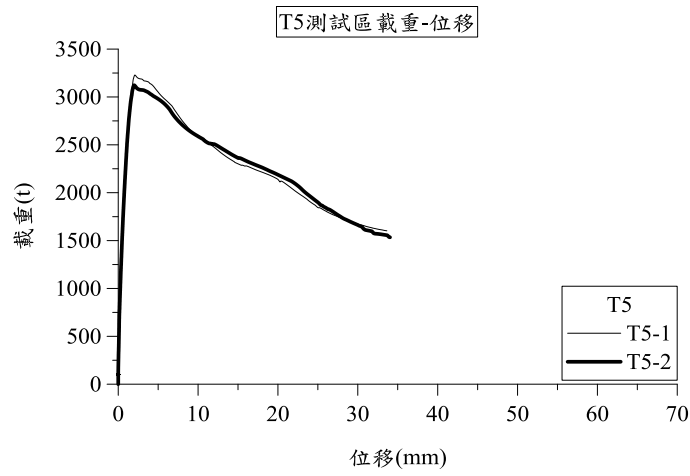


圖 4.19 T5 修正之測試區載重-位移

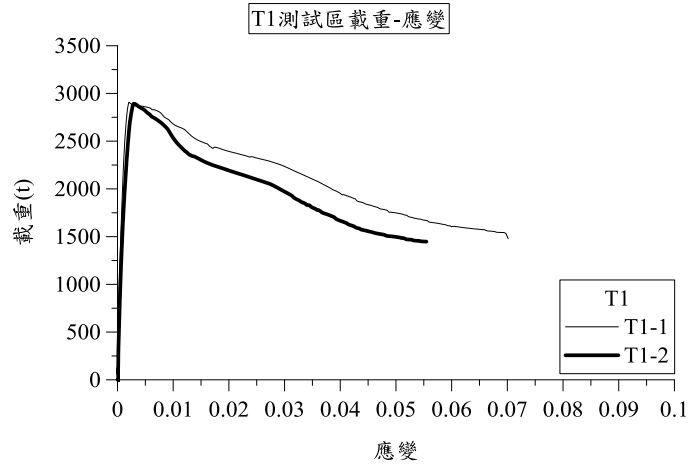


圖 4.20 T1 修正之測試區載重-應變

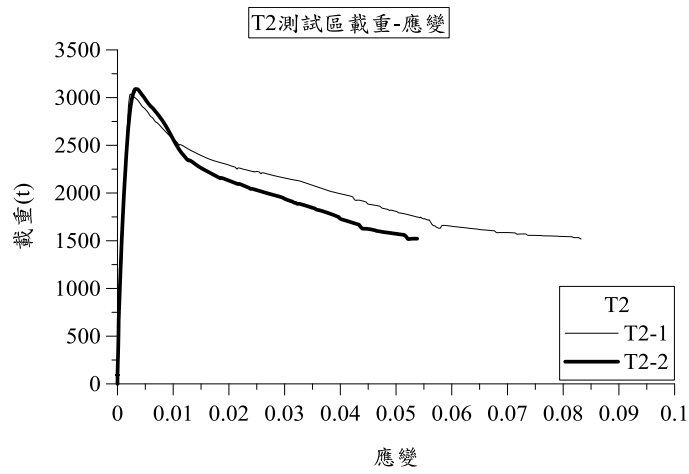


圖 4.21 T2 修正之測試區載重-應變

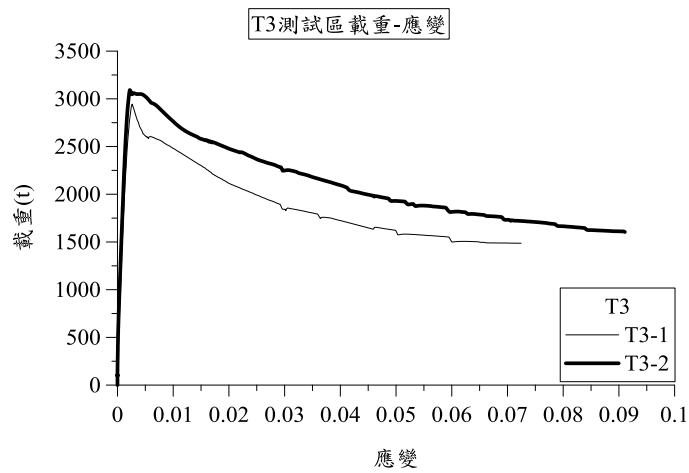


圖 4.22 T3 修正之測試區載重-應變

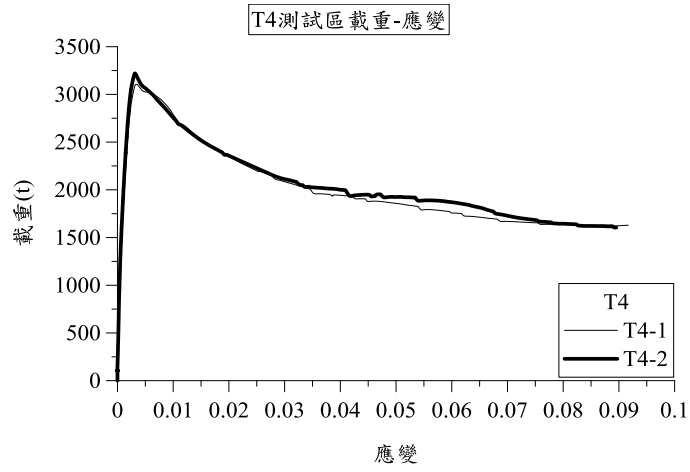


圖 4.23 T4 修正之測試區載重-應變

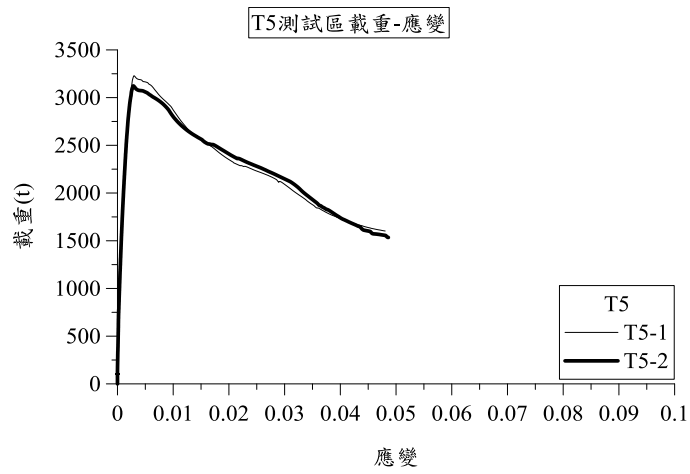
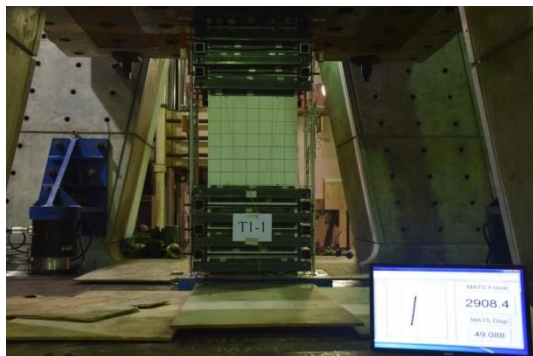
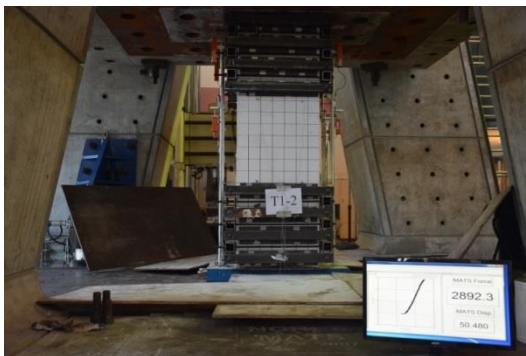


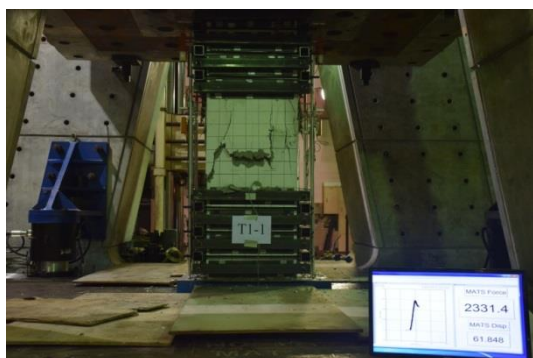
圖 4.24 T5 修正之測試區載重-應變



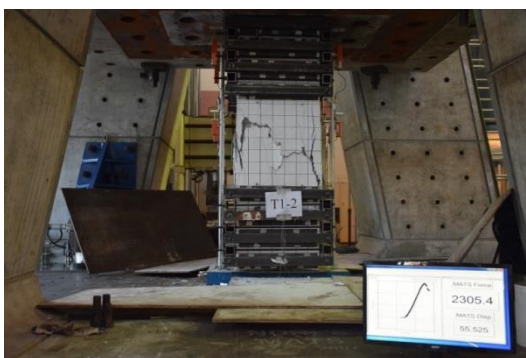
(a)在最大載重時之情況



(a)在最大載重時之情況



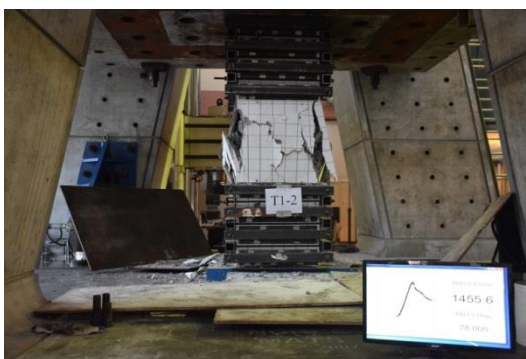
(b)強度降至 80%之情況



(b)強度降至 80%之情況



(c)強度降至 50%之情況

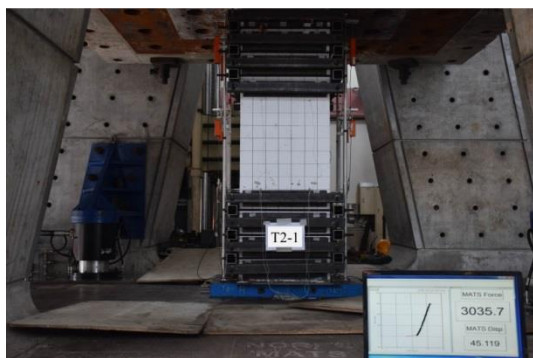


(c)強度降至 50%之情況

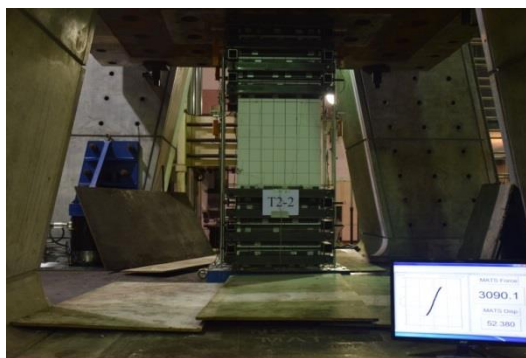
照片 4.7 T1-1 試體

照片 4.8 T1-2 試體

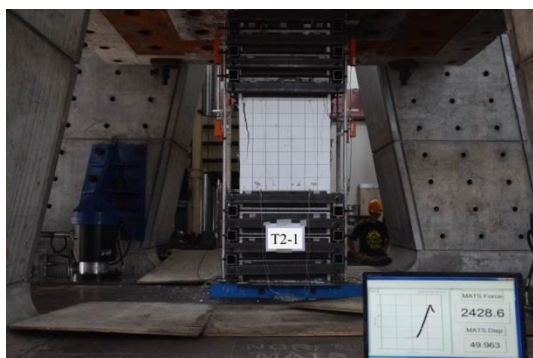
包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性



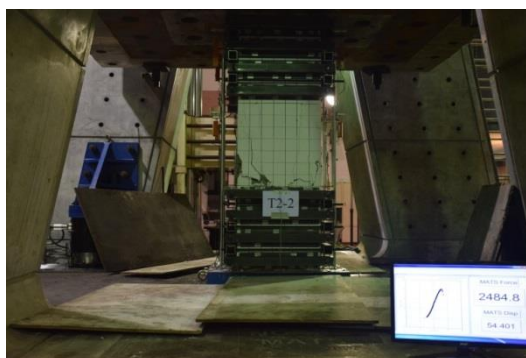
(a)在最大載重時之情況



(a)在最大載重時之情況



(b)強度降至 80%之情況



(b)強度降至 80%之情況



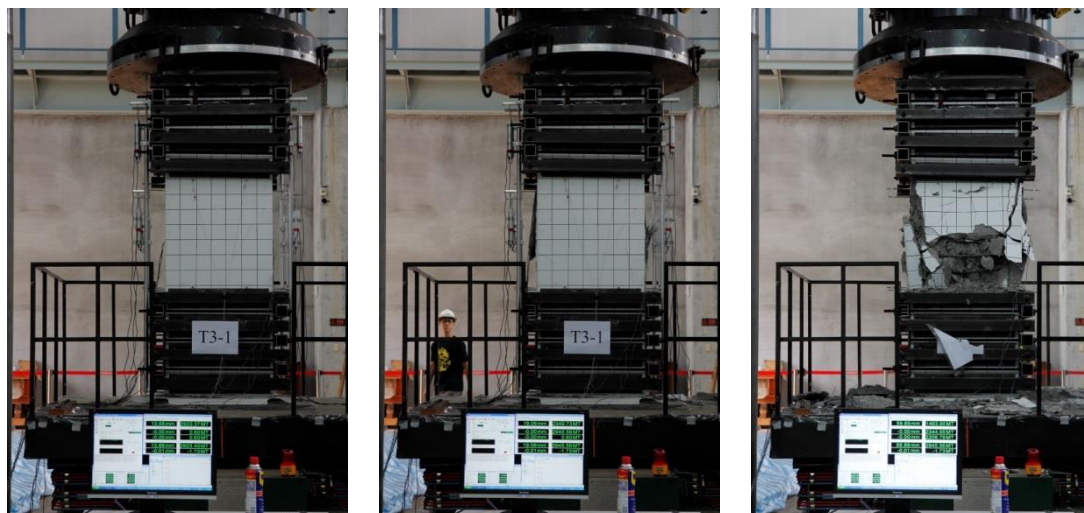
(c)強度降至 50%之情況



(c)強度降至 50%之情況

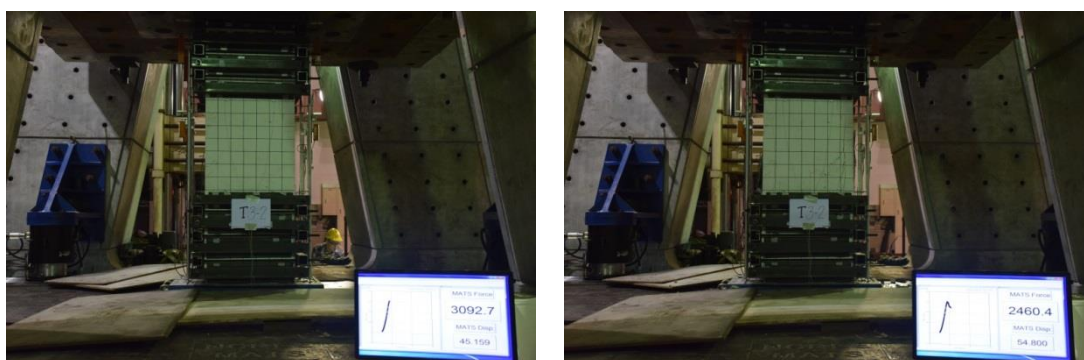
照片 4. 9 T2-1 試體

照片 4. 10 T2-2 試體



(a)在最大載重時之情況 (b)強度降至 80%之情況 (c)強度降至 50%之情況

照片 4. 11 T3-1 試體



(a)在最大載重時之情況

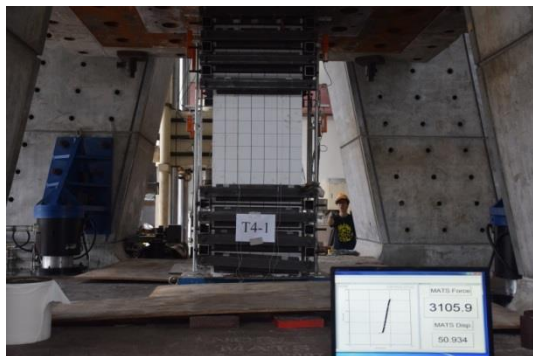
(b)強度降至 80%之情況



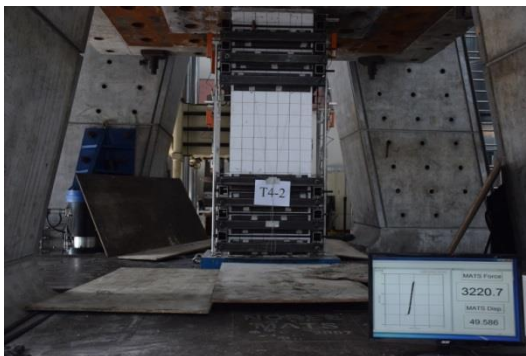
(c)強度降至 50%之情況

照片 4. 12 T3-2 試體

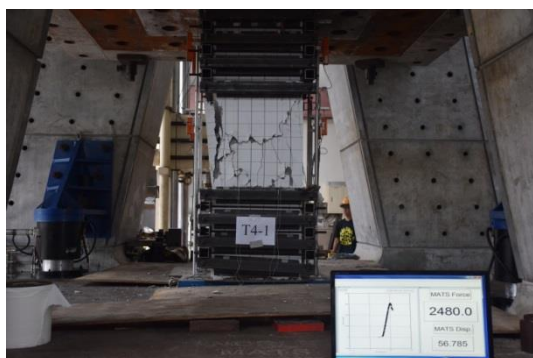
包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性



(a)在最大載重時之情況



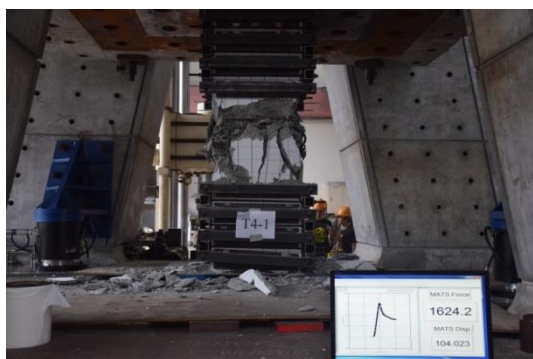
(a)在最大載重時之情況



(b)強度降至 80%之情況

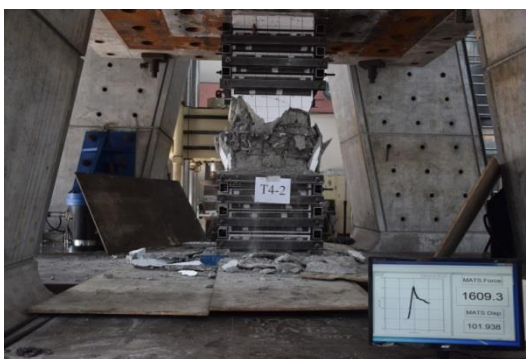


(b)強度降至 80%之情況



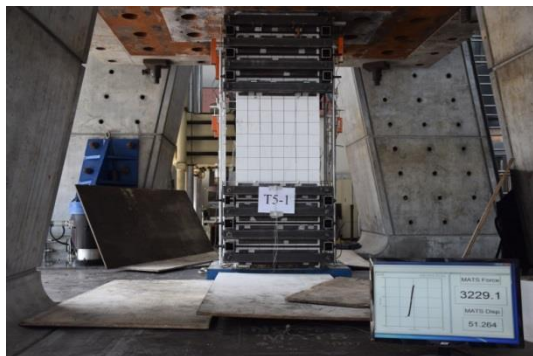
(c)強度降至 50%之情況

照片 4. 13 T4-1 試體

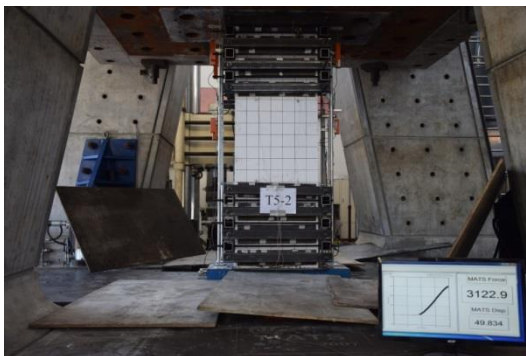


(c)強度降至 50%之情況

照片 4. 14 T4-2 試體



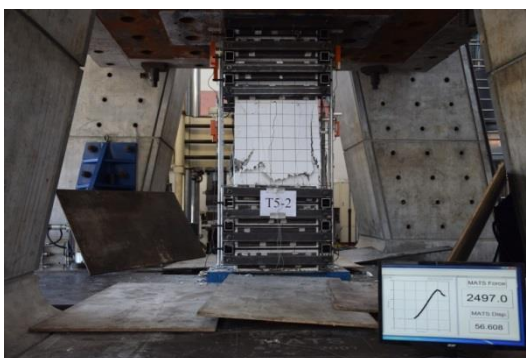
(a)在最大載重時之情況



(a)在最大載重時之情況



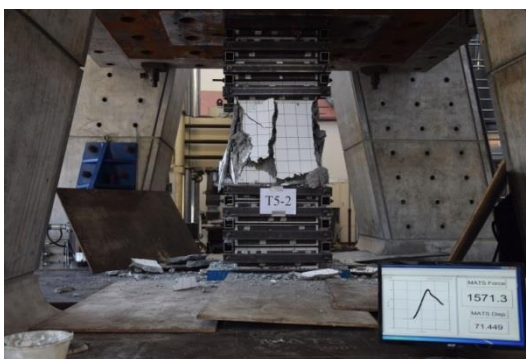
(b)強度降至 80%之情況



(b)強度降至 80%之情況



(c)強度降至 50%之情況



(c)強度降至 50%之情況

照片 4. 15 T5-1 試體

照片 4. 16 T5-2 試體



照片 4. 17 T1-1 試體破壞後-E 面



照片 4. 18 T1-1 試體破壞後-W 面



照片 4. 19 T1-1 試體破壞後-S 面



照片 4. 20 T1-1 試體破壞後-N 面



照片 4. 21 T1-2 試體破壞後-E 面



照片 4. 22 T1-2 試體破壞後-W 面



照片 4. 23 T1-2 試體破壞後-S 面



照片 4. 24 T1-2 試體破壞後-N 面



照片 4.25 T2-1 試體破壞後-E 面



照片 4.26 T2-1 試體破壞後-W 面



照片 4.27 T2-1 試體破壞後-S 面



照片 4.28 T2-1 試體破壞後-N 面



照片 4. 29 T2-2 試體破壞後-E 面



照片 4. 30 T2-2 試體破壞後-W 面



照片 4. 31 T2-2 試體破壞後-S 面



照片 4. 32 T2-2 試體破壞後-N 面



照片 4. 33 T3-1 試體破壞後-E 面



照片 4. 34 T3-1 試體破壞後-W 面



照片 4. 35 T3-1 試體破壞後-S 面



照片 4. 36 T3-1 試體破壞後-N 面



照片 4. 37 T3-2 試體破壞後-E 面



照片 4. 38 T3-2 試體破壞後-W 面



照片 4. 39 T3-2 試體破壞後-S 面



照片 4. 40 T3-2 試體破壞後-N 面



照片 4.41 T4-1 試體破壞後-E 面



照片 4.42 T4-1 試體破壞後-W 面



照片 4.43 T4-1 試體破壞後-S 面



照片 4.44 T4-1 試體破壞後-N 面



照片 4.45 T4-2 試體破壞後-E 面



照片 4.46 T4-2 試體破壞後-W 面



照片 4.47 T4-2 試體破壞後-S 面



照片 4.48 T4-2 試體破壞後-N 面



照片 4. 49 T5-1 試體破壞後-E 面



照片 4. 50 T5-1 試體破壞後-W 面



照片 4. 51 T5-1 試體破壞後-S 面



照片 4. 52 T5-1 試體破壞後-N 面



照片 4. 53 T5-2 試體破壞後-E 面



照片 4. 54 T5-2 試體破壞後-W 面



照片 4. 55 T5-2 試體破壞後-S 面



照片 4. 56 T5-2 試體破壞後-N 面



照片 4.57 T1-2 試體破壞



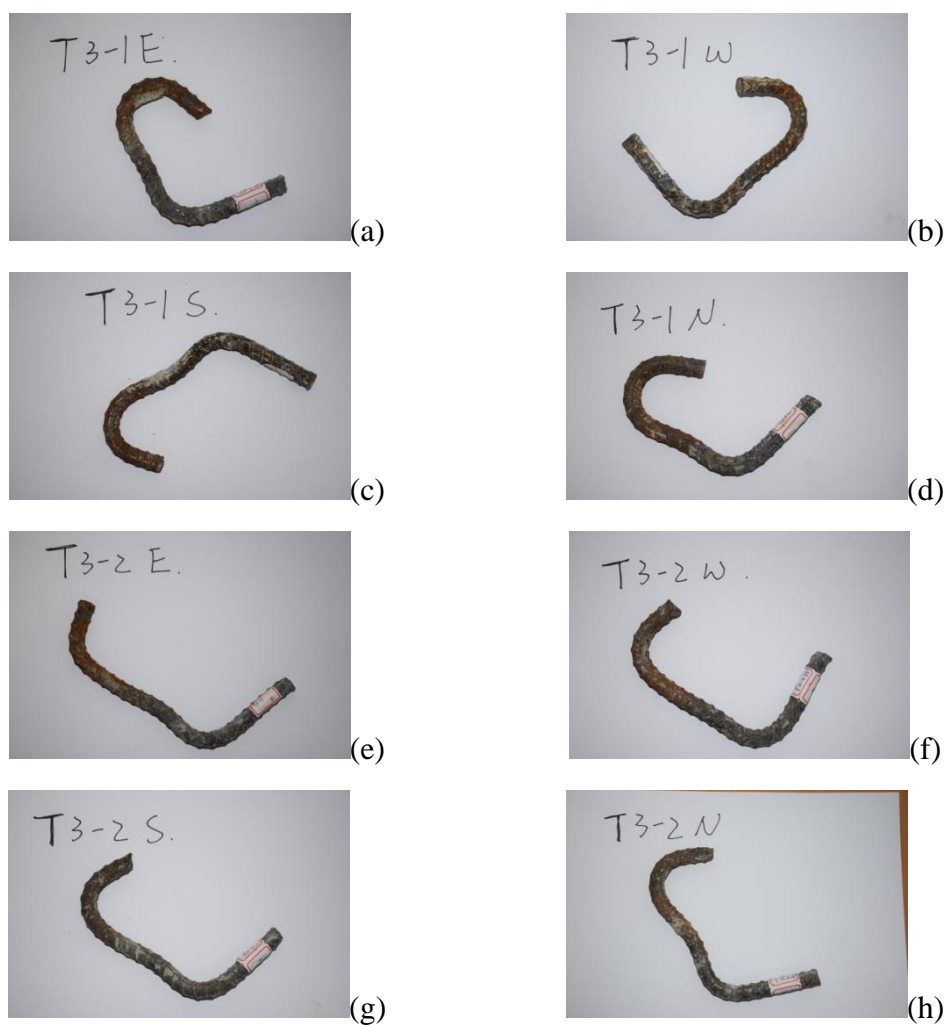
照片 4.58 T2-1 試體破壞



照片 4.59 T3-2 試體破壞



照片 4. 60 T3 短繫筋製作完成之形狀



照片 4. 61 T3 試驗後之短繫筋形狀



照片 4. 62 T4-1 試體破壞



照片 4. 63 T5-1 試體破壞

第三節 強度與韌性

將第四章第三節所得各試體之測試區載重-應變曲線，對各試體極限載重做正規化，再將每組 2 支試體之正規化載重-應變曲線取平均，得到代表各組試體測試區之正規化載重-應變曲線。表 4.4 及 4.5 分別為 CR 系列試體及 T 系列試體之試驗強度 P_{exp} 、依標稱材料強度及式 (3-1) 計得之標稱強度 P_{n0} 、依實際材料強度及式 (2-1) 計得之計算強度 P_{a0} 、 $\alpha = P_{exp}/P_{n0}$ 及 $\beta = P_{exp}/P_{a0}$ 等數值。表 4.6 為 CR 試體在最大載重時之對應應變，表 4.7 為 T 系列試體在所選擇強度之軸向應變。

T1 與 T2 試體之斷面尺寸及主筋間距一致，T1 為合乎規範規定之繫筋或閉合箍筋相鄰肢之中心距，T2 則採用角隅補助繫筋來取代繫筋，以滿足規範上述的要求。T1 與 T2 的直接比較，可以用來評估 T2 作法的可行性。圖 4.25(a)及 4.25(b) 所示分別為 T1 與 T2 試體正規化載重-應變曲線，圖 4.26 為 T1 及 T2 試體之平均正規化載重-應變曲線。由表 4.5，T1 及 T2 之 β 平均值分別為 1.04 及 1.10，顯示兩者皆有發揮預期之強度。由圖 4.26 可發現 T1 試體之載重-應變曲線基本上都在 T2 試體之上，T1 試體之延展性顯然比 T2 試體佳。由表 4.7 亦可發現 T1 試體之 $\varepsilon_{75\%,avg}$ 為 0.027，比 T2 試體之 0.018 高出 50%，這也顯示 T1 試體之韌性顯然比 T2 試體為佳。由上述數據之比較，可以發現 T2 試體之橫向鋼筋配置方式無法達到規範要求之效果，因此 T2 之橫向鋼筋配置方式不合乎規範之要求。

T3 與 T4 試體之斷面尺寸及主筋間距一致，T3 為接力式繫筋，T4 則採用為貫繫筋，閉合箍筋及繫筋間相鄰肢之中心距之最大值為 300 mm，皆滿足規範不大於 350mm 的要求。T3 與 T4 的直接比較，可以用來評估 T3 作法的可行性。圖 4.25(c)及 4.25(d) 所示分別為 T3 與 T4 試體正規化載重-應變曲線，圖 4.27 為

T3 及 T4 試體之平均正規化載重-應變曲線。由表 4.5，T3 及 T4 之 β 平均值分別為 1.05 及 1.09，顯示兩者皆有發揮預期之強度。由圖 4.27 可發現 T3 試體之載重-應變曲線，在通過最大強度後強度衰減比 T 稍快，但由表 4.7 發現 T3 試體之 $\epsilon_{75\%,avg}$ 為 0.0223，比 T4 試體之 0.0194 高出 15%。照片 4.84 及 4.85 之 T3 試體試驗後短繫筋彎鉤有被拉開的現象，顯示短繫筋有發揮其圍束之效果。綜合上述，T3 試體的表現基本上可視為與 T4 相近，顯示 T3 試體所使用之接力式繫筋可以發揮所需之混凝土圍束效果。T 系列試體內之箱型柱寬度為 400mm，柱板厚度為 14mm，柱板寬厚比為 26.6，柱板寬厚比小於 26.6 者應該都可以有類似或更加的效果。另一方面，由圖 4.25(c)及 4.25(d)可發現發現，T3 兩個試體的差異性還滿可觀的。由上述數據之比較，初步印證接力式繫筋之可行性，不過往後宜以柱撓曲試驗進一步確認其適用範圍。

T4 與 T5 試體之斷面尺寸及主筋間距一致，T4 為貫繫筋與角隅繫筋，T5 則採用中空混凝土柱的概念配置橫向鋼筋。T4 與 T5 的直接比較，可以用來評估 T5 作法的可行性。圖 4.25(d)及 4.25(e) 所示分別為 T4 與 T5 試體正規化載重-應變曲線，圖 4.27 為 T4 及 T5 試體之平均正規化載重-應變曲線。由表 4.5，T4 及 T5 之 β 平均值皆為 1.09，顯示兩者皆有發揮預期之強度。由圖 4.27 可發現 T5 試體之載重-應變曲線，在過最大強度後韌性發展較 T4 好，強度降至 75%時之韌性也較 T4 佳。但也發現當強度降至 65%時強度衰減加速，衰減速度比 T5 試體快。觀察試驗後之試體，發現側繫筋直線端有向內滑動的現象，初步判斷這很可能是試體強度加速衰減的原因。由於強度加速衰減發生在應變 0.03 附近，此時應變量已經是 10 倍的未圍束混凝土壓碎應變 (0.003)，對柱撓曲性能的影響已經減小很多。T5 試體橫向箍筋型式的可行性尚有一些疑慮，宜進行柱撓曲試驗進一步探討其可行性。

T1 與 T4 試體之斷面尺寸一致且皆使用貫繫筋，主要的差異在圍束鋼筋肢之

距離，T1 為 150mm-300mm-150mm，而 T4 為 300mm-300mm，T1 試體圍束鋼筋較均勻分布。由表 4.5，T1 及 T4 之 β 平均值分別為 1.04 及 1.09，顯示兩者皆有發揮預期之強度。由圖 4.28 可發現 T1 試體之載重-應變曲線在應變達到 0.042 之前，基本上都在 T4 試體之上，T1 試體之韌性基本上比 T4 試體佳。由表 4.7 亦可發現 T1 試體之 $\varepsilon_{75\%,avg}$ 為 0.0266，比 T4 試體之 0.0194 高出 37%，這也顯示 T1 試體之韌性顯然比 T4 試體為佳，同時也顯示圍束鋼筋較均勻分配可以得到較佳之韌性。

本計畫研究結果顯示角隅繫筋的功能無法取代一般繫筋，另外接力式繫筋具有可行性，建議在鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範[9]中第「4.3.5 柱之箍筋」之解說中補充說明之，如圖 4.29 所示之示意圖。

表 4.4 CR 系列試體之強度

試體名稱	P_{exp} (tf)	P_{n0} (tf)	P_{a0} (tf)	$\frac{P_{exp}}{P_{n0}}$ --	$\frac{P_{exp}}{P_{a0}}$ --
CR-1	1350	1086	1305	1.24	1.03
CR-2	1293	1086	1305	1.19	0.99

表 4.5 T 系列試體之強度

試體名稱	P_{exp}	P_{n0}	P_{a0}	$\alpha = \frac{P_{exp}}{P_{n0}}$		$\beta = \frac{P_{exp}}{P_{a0}}$	
	(tf)	(tf)	(tf)	單一試體	平均	單一試體	平均
T1-1	2908	2140	2793	1.36	1.36	1.04	1.04
T1-2	2892		2793	1.35		1.04	
T2-1	3037		2793	1.42	1.43	1.09	1.10
T2-2	3090		2893	1.44		1.11	
T3-1	2944	2248	2893	1.31	1.35	1.02	1.05
T3-2	3093		2893	1.38		1.07	
T4-1	3106		2893	1.38	1.41	1.07	1.09
T4-2	3221		2915	1.43		1.11	
T5-1	3229		2915	1.44	1.42	1.11	1.09
T5-2	3123		2793	1.39		1.07	

註： P_{exp} 為試驗所得之試驗強度

P_{n0} 使用材料標稱強度計算之標稱強度

P_{a0} 使用材料實際強度計算之實際強度

表 4.6 CR 系列試體在最大載重時之軸向應變

試體名稱	P_{peak}	ϵ_{peak}	$\epsilon_{peak,avg}$
	(tf)	--	--
CR-1	1350	0.0033	0.003
CR-2	1293	0.0027	

表 4.7 T 系列試體在所選擇強度之軸向應變

試體名稱	ϵ_{peak}	$\epsilon_{peak,avg}$	$\epsilon_{75\%}$	$\epsilon_{75\%,avg}$
T1-1	0.0021	0.0025	0.0320	0.0266
T1-2	0.0029		0.0212	
T2-1	0.0023	0.0028	0.0207	0.0172
T2-2	0.0032		0.0136	
T3-1	0.0026	0.0024	0.0171	0.0223
T3-2	0.0022		0.0274	
T4-1	0.0033	0.0032	0.0206	0.0194
T4-2	0.0031		0.0181	
T5-1	0.0030	0.0029	0.0182	0.0203
T5-2	0.0028		0.0224	

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

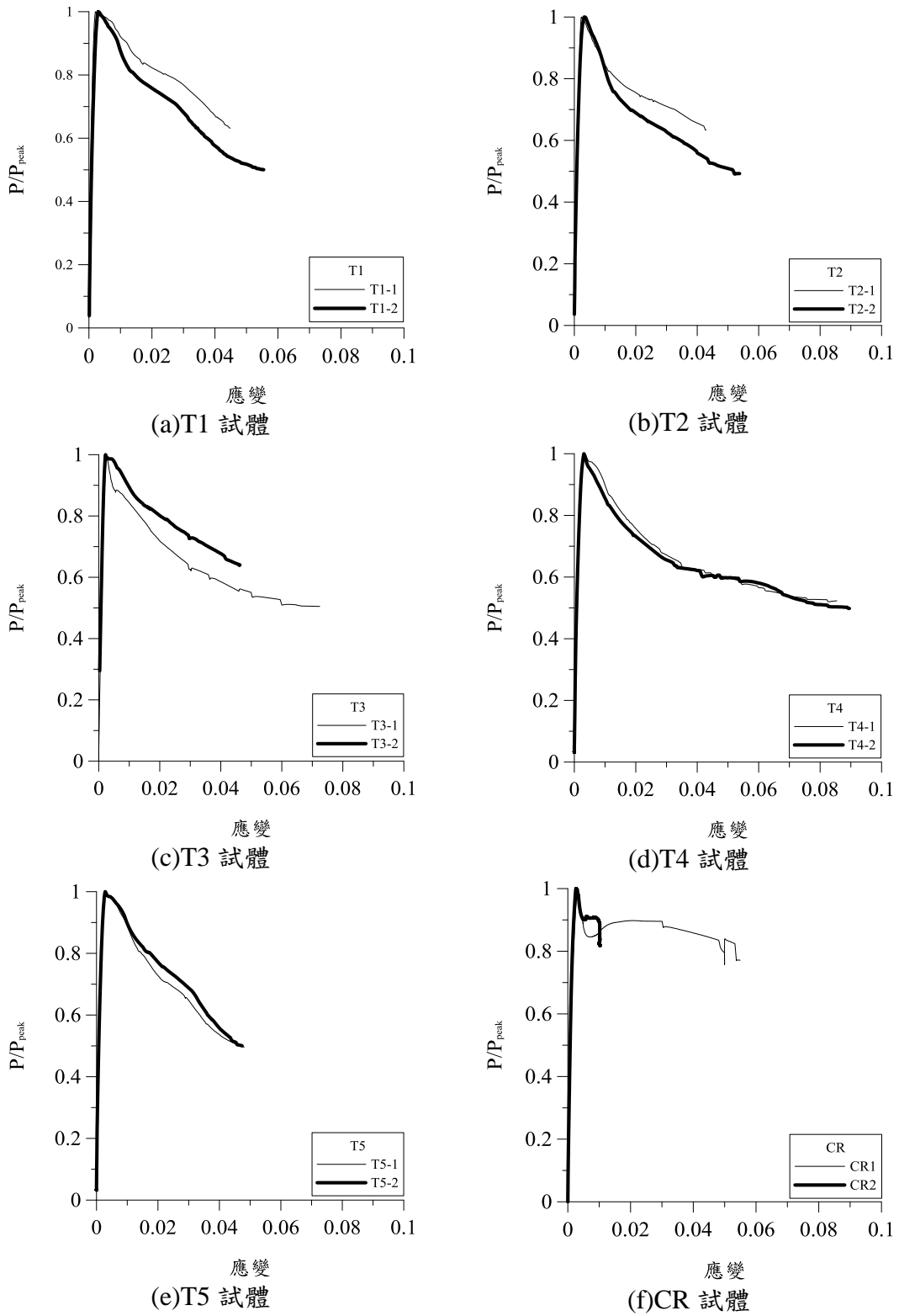


圖 4.25 T 系列和 CR 系列測試區正規化載重-應變曲線

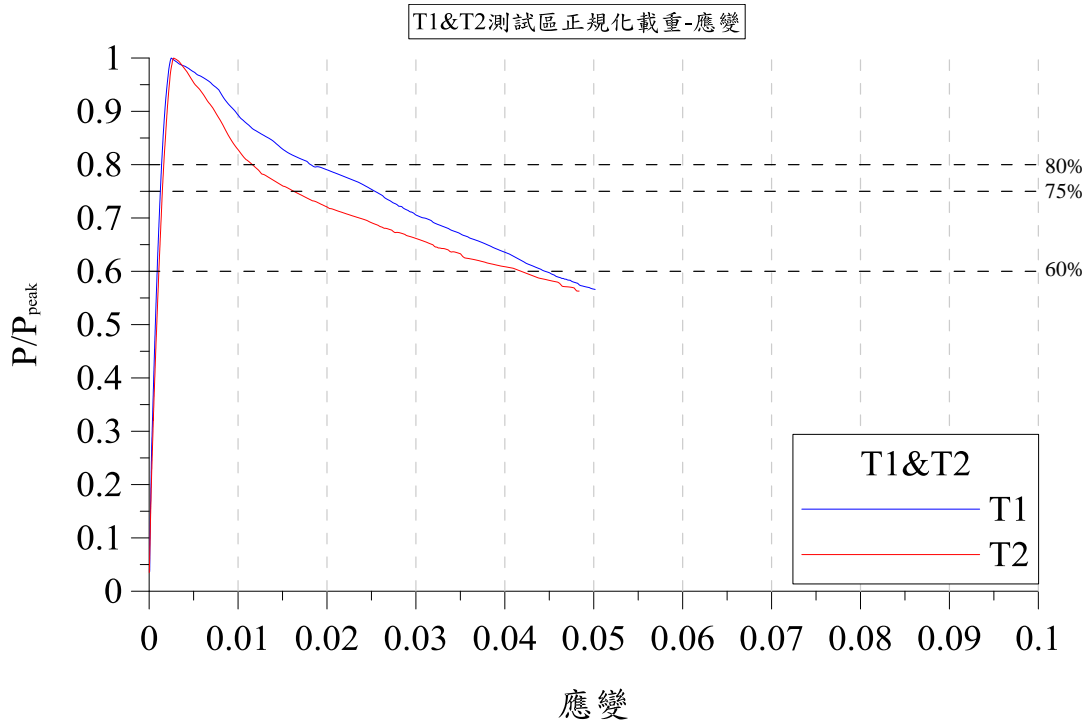


圖 4.26 T1 和 T2 測試區正規化載重-應變曲線

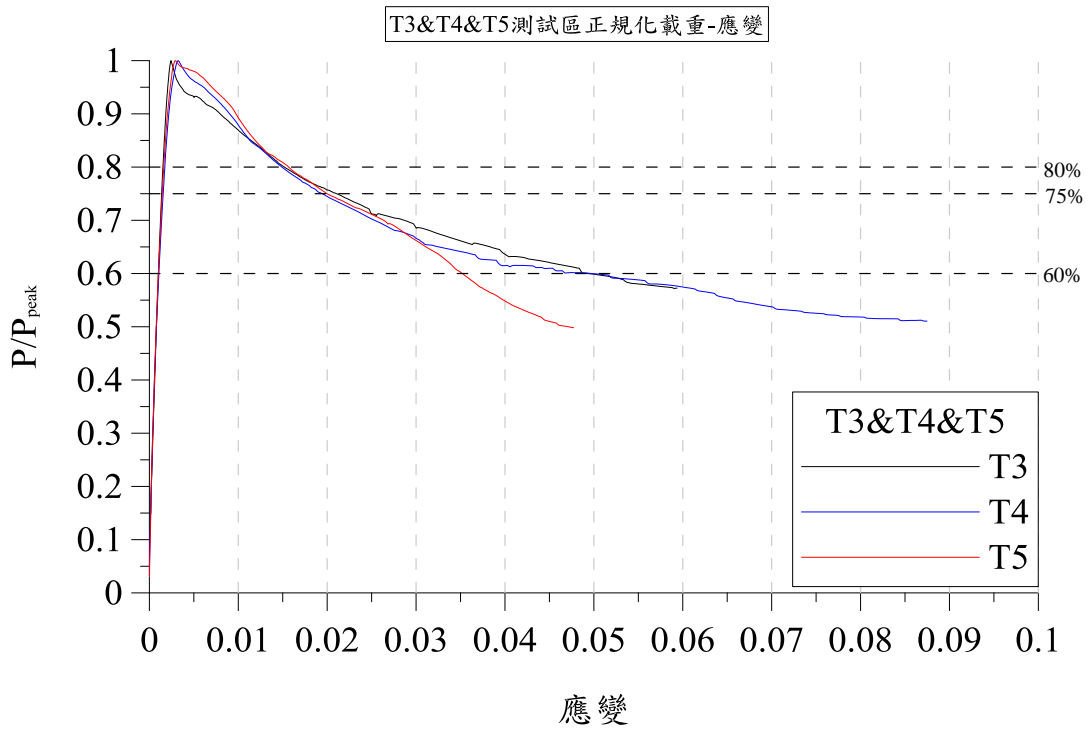


圖 4.27 T3、T4 和 T5 測試區正規化載重-應變曲線

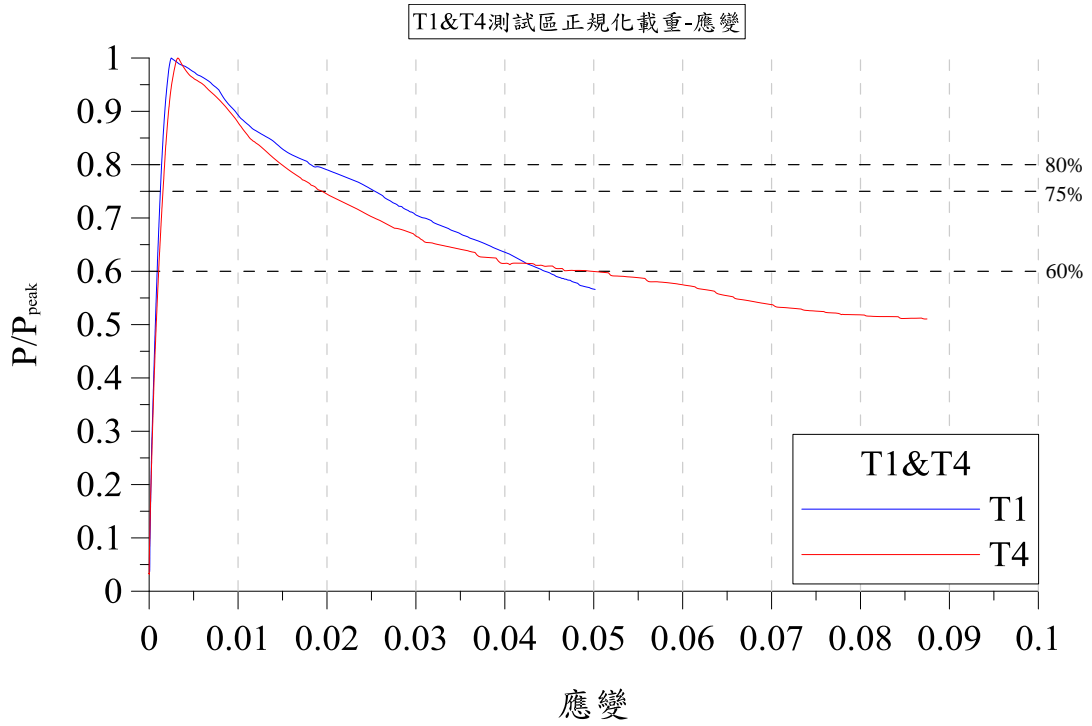


圖 4.28 T1 和 T4 測試區正規化載重-應變曲線

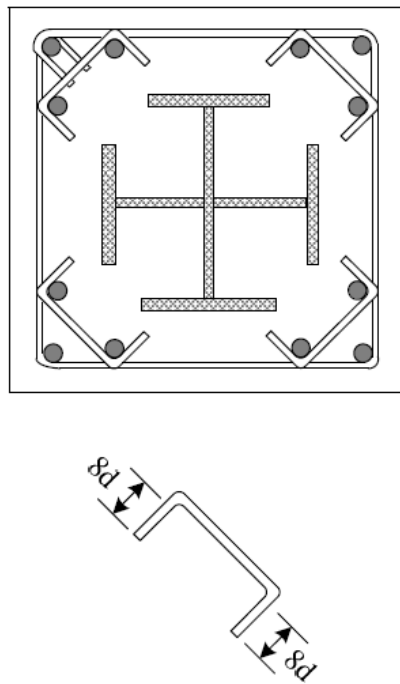


圖 4.29 SRC 設計規範 4.3.5 柱之箍筋示意圖

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究完成 6 種型式 12 個試體的載重試驗、開 1 次專家座談會，並完成期中簡報及期末簡報。根據試驗結果、斷面強度分析結果、專家座談會專家之建議、期中及期末簡報審查委員之意見，彙整成本研究之結論如後。試驗試體中，T1 與 T2 橫向鋼筋之配置有相似性，可以直接比較；T3、T4 及 T5 試體之橫向鋼筋配置也具有相似性，可以直接比較。

1. 所有 T 系列試體之試驗強度皆大於以材料實際強度計算所得之計算強度，所有試體皆充分發揮其強度，塑性應力分布及強度疊加的概念可以合理評估試體的強度。
2. T2 試體的延展性明顯比 T1 試體差，顯示輔助角隅繫筋之功能與一般繫筋不同，不能取代一般繫筋，T2 試體繫筋之配置方式應視為不合乎規範的要求。
3. T3 試體的延展性不比 T4 試體差，顯示接力式繫筋的概念相當具有可行性，撓曲延展性試驗可以進一步確認其可行性。
4. T5 試體在強度降到 75% 時之延展性，與 T4 試體之延展性接近，顯示 T5 橫向箍筋之配置方式具有可行性，不過在較大的變形量強度下降較快，應該進行撓曲延展性試驗，進一步探討其可行性。
5. SRC 桿件是否需要使用剪力釘，以及如何設計剪力釘，一直困擾工程實務上之結構設計工程師，建議另案探討剪力釘之必要性與設計方法。

第二節 建議

建議一：

鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範解說之修改：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

本計畫研究結果顯示角隅繫筋的功能無法取代一般繫筋，另外接力式繫筋具有可行性，建議在鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範中第「4.3.5 柱之箍筋」之解說中補充說明之。

建議二：

推動「填充型箱型柱內剪力釘之需求探討」研究計畫：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

專家座談會、期中審查會議及期末審查會議時，工程實務人員之討論中，可發現箱型柱與混凝土間是否需要設置剪力釘，還有需要設置多少剪力釘，困擾著工程師們。這個問題無法在本研究案中探討，建議建研所將「箱型柱與混凝土間是否需要配置剪力釘」列為短期內推動之研究課題。

建議三：

推動「包覆填充型箱型柱接力式繫筋之撓曲韌性」研究計畫：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

T3 試體接力式繫筋的概念相當具有可行性，應該進行撓曲延展性試驗，進一步探討其可行性。

誌謝

本研究承蒙內政部建築研究所提供研究經費，並在試驗期間提供場地與實驗所需工具，協同試驗人員協助試體架設、試驗排程、儀器操作及數據接收之工作，讓本研究得以完成，特此感謝！此外，國家地震中心即時協助，提供試驗所需之設備、時間及人力之支援，方能使本計畫順利完成，也特別在此表達致謝之意。

附錄一 期初評選會議紀錄

內政部建築研究所 103 年度「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之

軸向強度與韌性」委託研究計畫

採購評選會議紀錄

- 一、時間：103 年 1 月 22 日(星期三)上午 10 時 30 分
- 二、地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 3 會議室(新北市新店區北新路三段 200 號 15 樓)
- 三、主席：陳召集人建忠
記錄：楊智凱
- 四、出席及請假委員：(詳如簽到單)
- 五、列席人員：秘書室(請假)
- 六、主持人報告：本案共聘委員 7 人，目前會場中出席之外聘專家學者委員 3 人及本所委員 3 人，合計 6 人，超過委員總額 2 分之 1，外聘之專家學者委員人數亦超過出席委員人數之 3 分之 1，宣布會議正式開始。
- 七、主辦單位報告：
 - (一)本採購案自 103 年 1 月 7 日公告招標訊息，並於 103 年 1 月 16 日下午 5 時截止投標收件，計有 1 家廠商投標；經 1 月 17 日資格審查，資格合於規定之投標廠商共計 1 家，為國立臺灣科技大學。
 - (二)本採購案業於 1 月 21 日上午 11 時 20 分，召開工作小組初審會議，經審查投標廠商所送之服務建議書規格，均符合招標及投標規定。
- 八、投標受評廠商簡報：略。
- 九、委員發言重點與投標受評廠商回應：

(一) 國立臺灣科技大學

委員	審查委員意見 (依發言順序)	廠商回應
胡委員 銘煌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究為 SRC 柱之設計，須符合頒行之鋼骨鋼筋混凝土設計規範之要求，因此試驗斷面配置都不能違反規範之要求，為基本問題，宜適當說明。 2. 本研究非常切合實務，內容也很充實，若能配合實務上施工之便利性，則更有價值。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究設計的 T1 試體並未符合現今規範的要求，但其試驗結果一方面可以印證規範的合理性，另一方面可與其他試體進行比較，顯現其他橫向鋼筋細部的效果。因此建議仍然進行 T1 型式試體之試驗。 2. 所有本研究使用的橫向鋼筋配置方式，都會檢討其材料使用量及施工性。
曾委員 慶祥	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新開發之橫向筋細節與試體 T4 及 T5，可否放大 35cm 之最大間距，並儘可能多考慮施工性細節，進而將結果對未來規範做出具體建議。 2. 試體柱長採 3 倍柱寬，可否考慮接近實務樓層高之柱長？ 3. 是否已有理論分析或數值模擬可一併參考來比對未來試驗的結果？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由於試體數量有限，本研究聚焦在橫向箍筋的型式，恐無法對放大最大間距做參數的探討。建議未來能夠成立他案進行此課題的研究。 2. 一般短柱試體的柱長通常採用 3 倍柱寬，分別為上下各 1 倍柱寬的應力影響區以及中間 1 倍柱寬的測試區，甚少採用樓層高作為試體的長度，建議維持的柱長為 3 倍柱寬。 3. 本研究將進行試體強度之理論預測，並與試驗結果比較，檢討理論預測之可靠性。由於包覆填充型箱型柱中，有多層的鋼骨與混凝土介面，數值模擬分析很難收斂，也很難獲致可靠的結果，因此為確保計畫順利完成，建議不進行數值模擬分析。

<p>馬委員 一龍</p>	<p>1. 本研究採用業界常用之橫向鋼筋型式及預定開發新型式鋼筋之配置，建議能夠考量各型式之施工性及材料用量，並配合結構效能提供結論，例如：角隅輔助繫筋是否能改良為直通繫筋的可能性。</p>	<p>1. 所有本研究使用的橫向鋼筋配置方式，都會檢討其材料使用量及施工性。而含 130 度及 90 度彎鉤之直通繫筋，其施工性不佳，工地較少使用，若要使用直通繫筋，作法上需要考慮其施工性。本計畫在研擬新的型式時會考慮其可行性。</p>
<p>吳委員 明昌</p>	<p>1. 本研究為解決業界實務問題，涉及規範規定及安全性之研究，確有其研究必要。</p> <p>2. 研提 T3 型式之接力式繫筋及 T4 縱向輔助鋼筋，是否計入圍束箍筋總面積 A_{sh} 之核算，而輔助繫筋有無彎鉤角度規定？</p> <p>3. 本研究因有實作試驗，應配合材料實驗中心之試驗排程，俾如期如質完成。</p>	<p>1. 依照委員意見進行研究工作。</p> <p>2. T3 接力式繫筋及 T4 續接式繫筋會計入圍束箍筋總面積之核算。角隅處補助繫筋雖採用 90 度彎鉤但其實與一般繫筋 135 度彎鉤之功能相同，且施工性較佳，因此建議採用 90 度彎鉤。</p> <p>3. 本研究的試驗時程將儘早規劃，以利材料實驗中心之試驗排程。</p>
<p>陶委員 其駿</p>	<p>1. 本案規劃 T1、T2、T3 系列之試體，兩端有規劃加強混凝土之圍束，可是 CR 系列試體卻是沿高度方向為單一型式之斷面，未來應如合理有效的扣除 CR 試體的效應？</p> <p>2. 請評估於試體量測區兩端(中央三分之一範圍)，增設牙條以利架設外掛位移計必要性。</p> <p>3. 請研究團隊確認是否能協調借用 NDI 設備，以利後續研究之進行。</p>	<p>1. CR 試體長度預計採用 3 倍包覆填充型箱型柱試體的寬度，試體兩端以繫桿補強，測試區將與包覆填充型箱型柱系列試體同為中間一倍柱寬處。</p> <p>2. 各試體之箱型鋼柱柱板將加鉸鐵件至 SRC 柱面外並貼附 NDI 之感測器。可於混凝土碎裂後仍維持測距功能。</p> <p>3. 本研究團隊將自行準備 NDI 之相關器材。</p> <p>4. 以本研究之目的及經費，12 支試體為合理的數量。</p>

	<p>4. 請研究團隊再審慎評估，可能承諾完成之試體數量。</p>	
<p>陳召集 人建忠</p>	<p>1. 座談會人數似不足本研究所需，宜以擴增，並於所本部會議室召開其中部分會議，以集結共識。</p> <p>2. 預期成果所提作規範修改之參據，貴團隊預期要提的修改條文及要探討的參數是什麼？</p> <p>3. 如非法規規範的修改，有何成果要展現，例如哪一部分可以申請有用的專利等。</p> <p>4. 有些斷面並非依循規範，則宜掌握學理、正負面效果實驗結果，係規範不合宜者，請提供具體修正文字及理由。</p> <p>5. 包覆填充型箱型柱，是否仍屬 SRC 家族，是否仍屬不節能減碳的構造？</p>	<p>1. 建議座談會在試體設計前召開，預計召開 1 次會議，人數擴增至 8 人。若建研所可以配合提供會議室，預計會於建研所會議室召開會議。</p> <p>2. 主要為橫向鋼筋配置細部之相關規定。如計算繫筋「肢」之間距限制時，輔助繫筋及接力式繫筋是否被認可為一「肢」，是否認可新型式繫筋等。</p> <p>3. 新型式橫向鋼筋有機會申請到專利，可以展現本研究的成果。</p> <p>4. 本研究設計的 T1 試體並未符合現今規範的要求，但其試驗結果一方面可以印證規範的合理性，另一方面可與其他試體進行比較，顯現其他橫向鋼筋細部的效果。因此建議仍然進行 T1 型式試體之試驗。</p> <p>5. 雖然一般認知中，SRC 結構並非節能減碳的構造，主要乃針對包覆型 SRC 柱及包覆型 SRC 梁。包覆填充型箱型柱一方面將防火用混凝土轉化成結構用混凝土，可以提升這些混凝土的效用，具有節能減碳的效果；另一方面通常會配合鋼梁而非包覆型 SRC 梁，因此基本上比較像鋼結構，具有節能減碳的效果。</p>

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

十、討論事項與臨時動議：無。

十一、會議結論：

(一)本採購案投標受評廠商 1 家，國立臺灣科技大學之名次加總 為 6(平均分數為 85)。評選結果經核，符合評選須知第 4 點第 1 款之規定。依所得名次加總，名次累積最低者國立臺灣科技大學為優勝順序第 1 位。

(二)請主辦單位將評選結果簽報機關首長或其授權人員核定。

十二、出席評選委員確認會議記錄：本會議紀錄經出席委員確認，無異議通過。

十三、散會：上午 11 時 30 分。

附錄二 專家座談會會議紀錄

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

第一次專家座談會會議紀錄

會議時間：103 年 5 月 9 號（星期五）下午 1:30~4:30

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室 13 樓簡報室

主持人：陳正誠 教授

記 錄：周佳希 研究助理

出席委員：

永峻工程顧問公司

張敬昌 工程師

聯邦工程顧問公司

陳煥煒 副總

大彥工程顧問公司

羅遠智 協理

忠彥工程技術顧問公司

謝忠恕 技師

東建工程顧問有限公司

蔡東和 總經理

國立臺灣科技大學

鄭敏元 助理教授

（依姓氏筆劃排序）

【內政部建築研究所】 陳建忠組長 陶其駿主任 楊智凱研究員

列席人員：

研究助理 周佳希

會議議程：

1. 主持人進行簡報，簡報內容於後附上。
2. 座談與討論。
3. 散會。

座談內容概要：

	專家意見	研究團隊回應
張敬昌 工程師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本次試體設計裡的試體標稱軸向強度 P_{no}，根據 AISC 外包式複合型箱型柱計算公式中 $A_c f_c'$ 折減係數應為 0.6，印象中好像不是簡報上的 0.85。 2. 試驗中混凝土的強度、主筋以及箍筋的降伏強度為何？ 3. 本計畫之成果對工程界會有實質的幫助 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 經查 AISC 規範，該折減係數確實是 0.85，簡報內容無誤。 2. 為維持固定或相近的圍束力，採用 2 種強度及 2 種號數的鋼筋混和配置，鋼筋強度包括 SD280 及 SD420，號數包括 #3 及 #4。
陳煥煒 副總	<ol style="list-style-type: none"> 1. 箱型柱外圍混凝土的圍束力問題。角隅繫筋應該多少可以幫忙圍束混凝土，角隅繫筋是否可以計入橫向鋼筋量？ 2. T3 試體之接力式繫筋，其橫向鋼筋量如何計算？ 3. 本計劃對工程界會有很好的參考價值。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 角隅繫筋對局部區域混凝土有圍束效果，但是角隅繫筋未自受壓側延伸至受拉側，因此不宜視為有效的箍筋量，角隅繫筋基本上屬於補助的角色，因此稱為補助角隅繫筋。 2. T3 接力式繫筋，圍束力經由短繫筋—與短繫筋之柱板—與短繫筋平行之柱板—短繫筋傳遞，這個路徑中以短繫筋之鋼筋量最明確，如果接力式繫筋被印證為有效，則估接力式繫筋之有效箍筋量等於短繫筋所對應之鋼筋量。
羅遠智 協理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鋼骨與混凝土所產生的介面可能需要剪力釘來做接合，本試體是否有採用剪力釘？沒採用剪力釘是否會產生問題？ 2. 本試體在角隅部分配置三根主筋並使用角隅繫筋固定主筋位置，若使用束筋方式是否會比較好？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 剪力釘在桿件受撓才会有明顯作用，本研究之試體僅承受軸向載重，且本研究的重點在繫筋之型式，試體不設置剪力釘不會影響研究結果之判讀，因此本研究之試體不設置剪力釘。箱型柱內、外是否需要剪力釘一直是工程師相當關切的問題，建議建研所另成立研究案探討之。 2. 使用束筋可以讓相關試體具有類似的鋼筋間距，是一個可能的作法。不過經過詳細的檢討後，一方面束筋很少見，另一方面束筋在試體製作上會有較大的困難，應此不採用。

謝忠恕 技師	剛剛提到有關鋼骨與混凝土界面剪力釘的問題，業界通常會在鋼骨與混凝土界面設置剪力釘。	剪力釘在桿件受撓才会有明顯作用，本研究之試體僅承受軸向載重，且本研究的重點在繫筋之型式，試體不設置剪力釘不會影響研究結果之判讀，因此本研究之試體不設置剪力釘。箱型柱內、外是否需要剪力釘一直是工程師相當關切的問題，建議建研所另成立研究案探討之。
蔡東和 總經理	根據簡報上 T2 試體繫筋間距 350mm，而 T1 試體與其他卻都是 448mm，是否改變間距或配筋方式，並都合乎規範之規定，並且讓試體與試體之間之結果比較更直接。	T1 試體與 T2 試體在縱向鋼筋間距方面確實有一些出入，宜重新檢討設計之。在仔細的檢討後，調整 T1 及 T2 試體斷面細部，讓兩個試體可以有更直接的比較基礎。
鄭敏元 助理教授	本試驗為單向軸重試驗，是否有考慮柱產生 Composite Action，柱承受 bending 時之效應，是否有要做撓曲韌性的實驗。	本研究的目的是在探討繫筋型式對混凝土圍束的效應，進行較簡易的軸向載重試驗即可達到目的且可以有較多的試體，因此本研究不打算進行撓曲試驗。
陶主任其駿	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮試體製作之成本，試體裝置之測計所使用的 NDI 設備，是否可以增加或多增加 LVDT 測計量測較保險。 2. 在剛剛簡報中提到 T1 試體是不符合規範的，這方面是覺得說可以說是工地常見的，可是沒辦法做，因不符合 RC 箍筋規範要求，這方面可能會因敘述方面問題，可能會導致工程師誤解，為何不符規範那還要做此實驗。 3. 鋼骨設計圖中上端版寬度，應為 700mm，為何設計 440mm? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本次試驗預計柱面皆會配置 NDI 測點，並採用兩台 NDI 儀器量測數據，此外試驗機本身會提供整體變位數據，因此目前不打算增設 LVDT。 2. T1 及 T2 試體斷面細部經過調整後，已經都可以符合規範之規定，目前可以排除此疑慮。 3. 因本試體灌漿部分包括鋼骨箱型柱內與外，且要作一次性灌漿，故必須在鋼骨外模板組成後灌漿，若一開始上端版寬度設計 700mm 的話，會導致鋼骨外無法灌漿，故設計 440mm，於灌完漿後，將剩餘的上端版蓋上。

「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」

第一次專家座談會簽到單

會議時間：103年5月9日（星期五）下午1：30~4：30

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室13樓簡報室

主持人：陳正誠 教授 *cmjux*

出席委員簽到：

出席單位與人員		簽到
內政部建築研究所	陳建忠組長	<i>陳建忠</i>
內政部建築研究所	陶其駿主任	<i>陶其駿</i>
內政部建築研究所	楊智凱研究員	<i>楊智凱</i>
永峻工程顧問股份有限公司	甘錫澄 總工程師	<i>甘錫澄</i>
聯邦工程顧問股份有限公司	陳煥燁副總	<i>陳煥燁</i>
大彥工程顧問股份有限公司	羅遠智 協理	<i>羅遠智</i>
忠彥工程技術顧問股份有限公司	謝忠恕技師	<i>謝忠恕</i>
東建工程顧問有限公司	蔡東和 總經理	<i>蔡東和</i>
國立台灣科技大學	鄭敏元 助理教授	<i>鄭敏元</i>

永峻公司甘錫澄無法出席，(依公司筆劃排序)因此請同公司之鄭敏元代為出席。

陳正誠 **正誠**

列席人員簽到：

列席單位與人員	簽到
國立台灣科技大學營建工程系 周佳希研究助理	<i>周佳希</i>

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

計畫編號：103301070000G0037

報告單位：國立台灣科技大學

報告人：周佳希

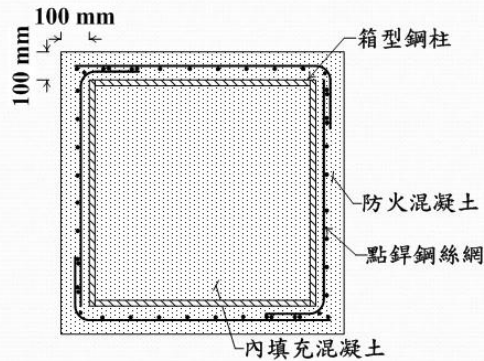
報告日期：103/05/09

報告大綱

- 
- ▶ 研究背景與目的
 - ▶ 試體設計與規劃
 - ▶ 試驗裝置及測計配置
 - ▶ 預期成果

研究背景

▶ 填充型箱型柱→包覆填充型箱型柱

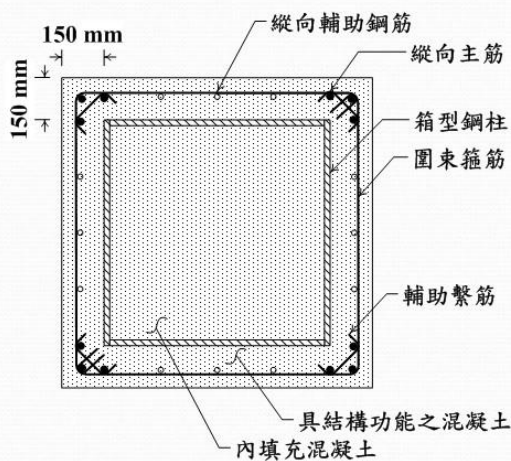


具防火混凝土的填充型箱型柱

- ▶ 箱型鋼柱外增設100 mm之混凝土防火層及點銲鋼絲網
- ▶ 不考慮防火混凝土以及點銲鋼絲網所提供的強度
- ▶ 提升材料的功能，衍生出讓防火層混凝土兼具結構用途的構想
- ▶ 發展出包覆填充型箱型柱

研究背景

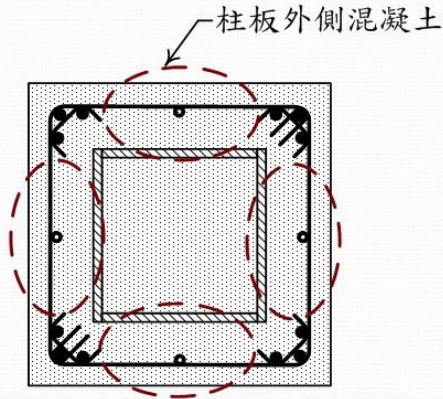
▶ 包覆填充型箱型柱



- ▶ 箱型鋼柱外圍設置厚度150 mm或150 mm以上之混凝土。
- ▶ 配置縱向鋼筋及橫向鋼筋。
- ▶ 柱板外側有梁的位置配置縱向輔助鋼筋。
- ▶ 角隅配置3支或3支以上主筋時使用輔助繫筋。
- ▶ 計入外圍混凝土及縱向主筋對強度的貢獻。

研究背景

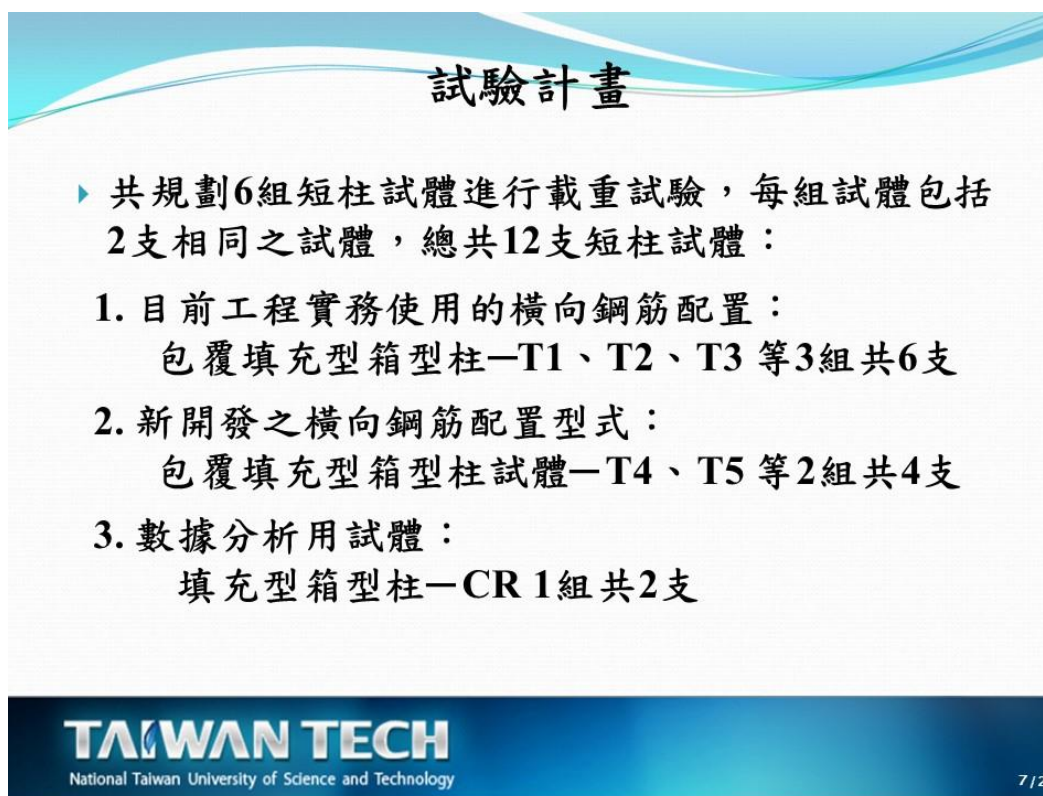
▶ 柱板外側混凝土圍束問題



- ▶ 柱板外側混凝土之圍束無法採用傳統繫筋為之。
- ▶ 以700×700 mm之SRC柱斷面，箱型柱採用400×400 mm為例，圍束箍筋會大於規範規定之最大值350 mm。

研究目的與計畫重要性

- ▶ 現有工程實務中所使用之橫向鋼筋細部的有效性評估。
- ▶ 開發新式橫向鋼筋配置方式並提出建議之細部設計方法。
- ▶ 提出具體的數據，評估各型式橫向鋼筋配置方式對撓曲韌性的影響。
- ▶ 本計畫之研究成果可以提供工程師設計施工之參考，提升結構的耐震安全性，對國人的生命財產安全提供更多的保障。



試體設計與規劃

- ▶ 本研究最重要的參數為繫筋配置型式
- ▶ 全斷面700×700、鋼骨斷面400×400×14
主筋號數#8、輔助縱筋#6、角隅繫筋#3@10cm
 $F_y = 3.5 \text{ tf/cm}^2$; $F_{ry} = 4.2 \text{ tf/cm}^2$; $f'_c = 0.28 \text{ tf/cm}^2$

▶ 標稱軸向強度 $P_{n0} = A_s F_y + A_{sr} F_{ry} + 0.85 A_c f'_c$
 $= 2105 \text{ tf}$

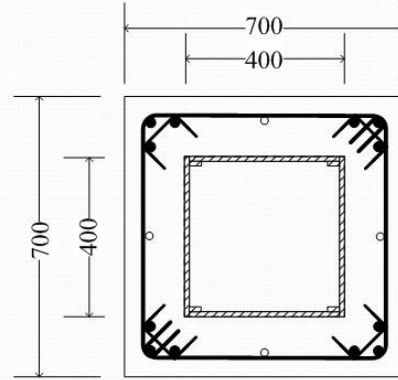
- ▶ 箍筋量計算
採用SD420鋼筋及10cm箍筋間距

$$A_{sh} = 0.09 s h_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(1 - \frac{A_s f_y}{P_{n0}} \right)$$

$$= 0.09 \times 10 \times 62 \times \left(\frac{0.28}{4.2} \right) \times 0.641 = 2.38 \text{ cm}^2$$

所需圍束力

$$P_{sh} = A_{sh} \times F_{yh} = 2.38 \times 4.2 = 9.99 \text{ tf}$$



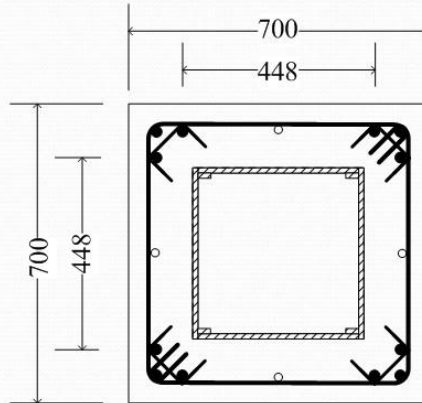
試體設計與規劃

名稱	試體型式	端部橫向鋼筋配置方式	測試區橫向鋼筋配置方式	圍束力(tf)	輔助縱筋
T1	包覆填充	箍筋2×(1-SD420W#4) 角繫1-SD420W#3	箍筋1-SD420W#4 角繫1-SD280W#3	10.7	#6
T2	包覆填充	箍筋2×(1-SD420W#4) 角繫1-SD420W#3	箍筋1-SD420W#4 角繫1-SD280W#3	10.7	#6
T3	包覆填充	箍筋2×(1-SD420W#4) 短繫1-SD420W#4 角繫1-SD420W#3	箍筋1-SD280W#4 短繫1-SD280W#4 角繫1-SD280W#3	10.7	#6
T4	包覆填充	箍筋2×(1-SD420W#4) 貫繫1-SD420W#4 角繫1-SD420W#3	箍筋1-SD280W#4 貫繫1-SD280W#4 角繫1-SD280W#3	10.7	#6
T5	包覆填充	箍筋2×(1-SD420W#4) 側繫2-SD420W#4 短繫1-SD420W#3	箍筋1-SD420W#3 側繫2-SD280W#3 短繫1-SD280W#3	9.94	#5 (SD280)
CR	填充				

本試驗標稱強度 $P_{n0} = 2105 \text{ tf}$; 所需圍束力 9.99 tf

試體設計與規劃

▶ T1試體

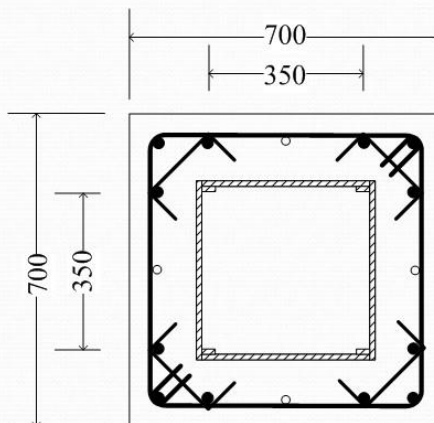


單位：mm

- ▶ 縱向鋼筋（包括縱向主筋及縱向補助鋼筋）之間距符合規範要求。
- ▶ 圍束箍筋繫筋腳間距超過規範規定之最大值350 mm。
- ▶ 橫向鋼筋配置
 角隅繫筋： SD280W#3
 箍筋： SD420W#4
- ▶ 提供圍束力： $2 \times 1.27 \times 4.2 = 10.7tf$

試體設計與規劃

▶ T2試體

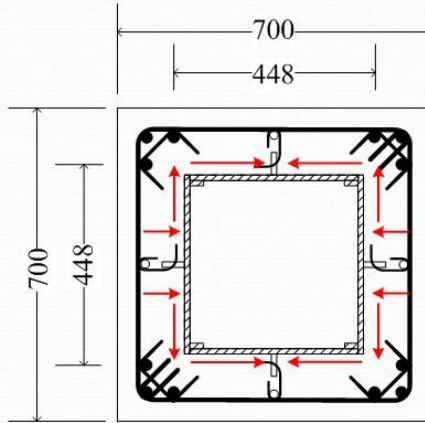


單位：mm

- ▶ 縱向鋼筋（包括縱向主筋及縱向補助鋼筋）之間距符合規範要求。
- ▶ 輔助繫筋間距合乎規範規定之最大值350 mm之規定。
- ▶ 橫向鋼筋配置
 角隅繫筋： SD280W#3
 箍筋： SD420W#4
- ▶ 提供圍束力： $2 \times 1.27 \times 4.2 = 10.7tf$

試體設計與規劃

▶ T3試體

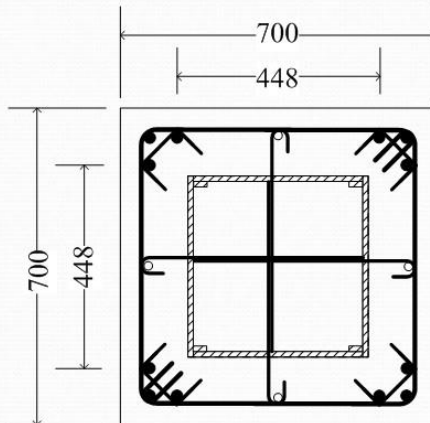


單位：mm

- ▶ 接力式繫筋
- ▶ 接力式繫筋傳力路徑較為間接，並受柱板寬厚影響，有效性受到質疑。
- ▶ 橫向鋼筋配置
 - 角隅繫筋： SD280W#3
 - 箍筋： SD280W#4
 - 短繫筋： SD280W#4
- ▶ 提供圍束力： $3 \times 1.27 \times 2.8 = 10.7tf$

試體設計與規劃

▶ T4試體

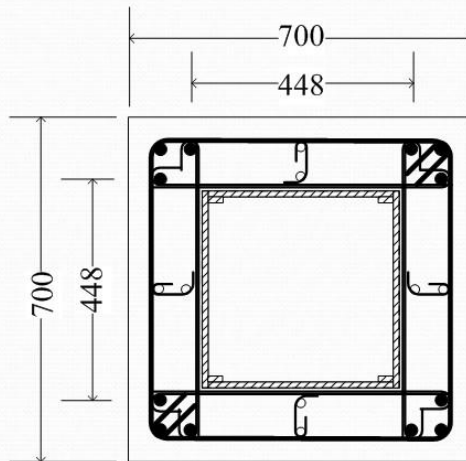


單位：mm

- ▶ 使用續接式繫筋，每支繫筋由兩支部分繫筋搭接而成，部分繫筋的一端使用180度彎鉤，另一端為直線端（不設彎鉤）。
- ▶ 箱型柱板上開孔讓繫筋直線端通過。
- ▶ 繫筋貫穿箱型柱，提供明確的繫筋功能。
- ▶ 橫向鋼筋配置
 - 箍筋： SD280W#4
 - 貫繫筋： SD280W#4
 - 角隅繫筋： SD280W#3
- ▶ 提供圍束力： $3 \times 1.27 \times 2.8 = 10.7tf$

試體設計與規劃

▶ T5試體



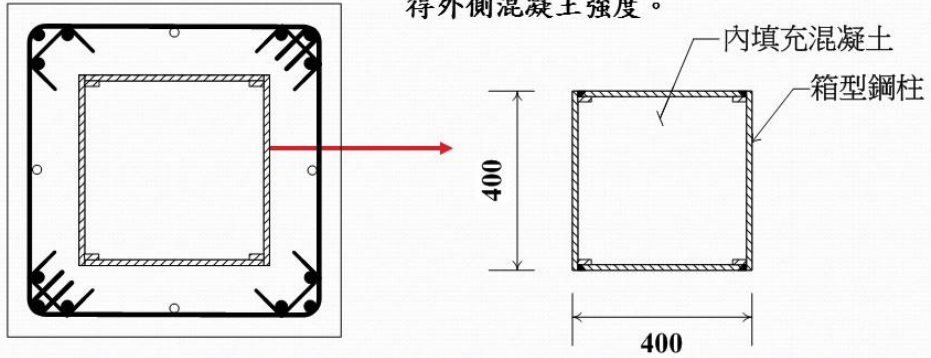
單位：mm

- ▶ 使用中空RC柱之概念，配置直通繫筋及短繫筋，使柱板側混凝土自我圍束。
- ▶ 鋼筋配置
 - 輔助主筋： SD280W#5
 - 角隅繫筋： SD280W#3
 - 箍筋： SD420W#3
 - 側繫筋： SD280W#3
- ▶ 提供圍束力：
 $2 \times 0.71 \times (2.8 + 4.2) = 9.94 \text{tf}$

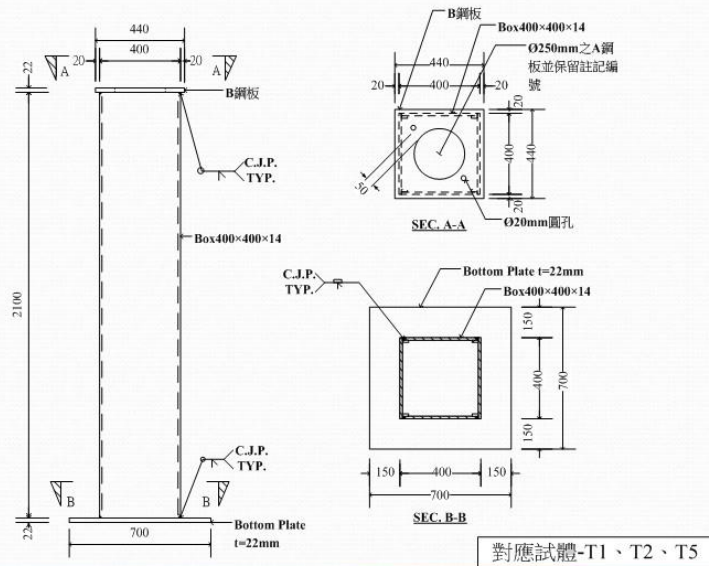
試體設計與規劃

▶ 數據分析使用-CR試體

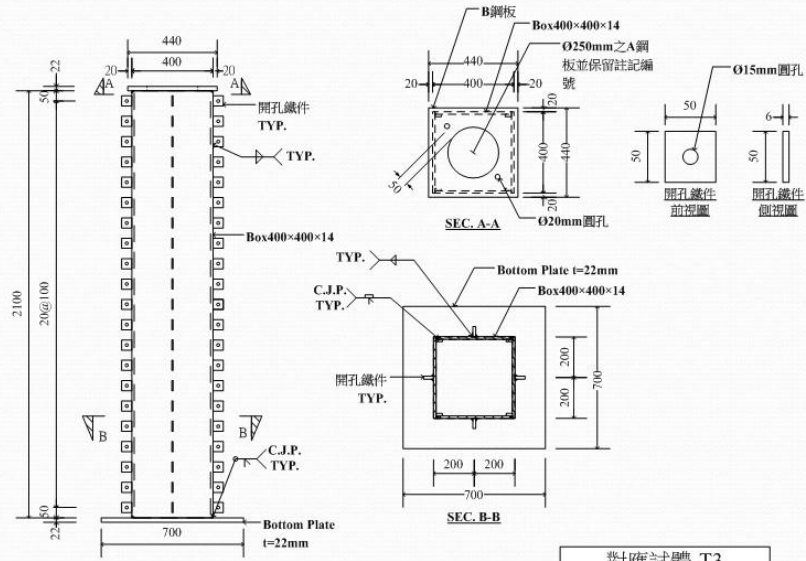
- ▶ T1~T5試體內皆包含一400x400內填充混凝土之箱型柱。
- ▶ T1~T5試體強度扣除CR試體強度後將可得外側混凝土強度。

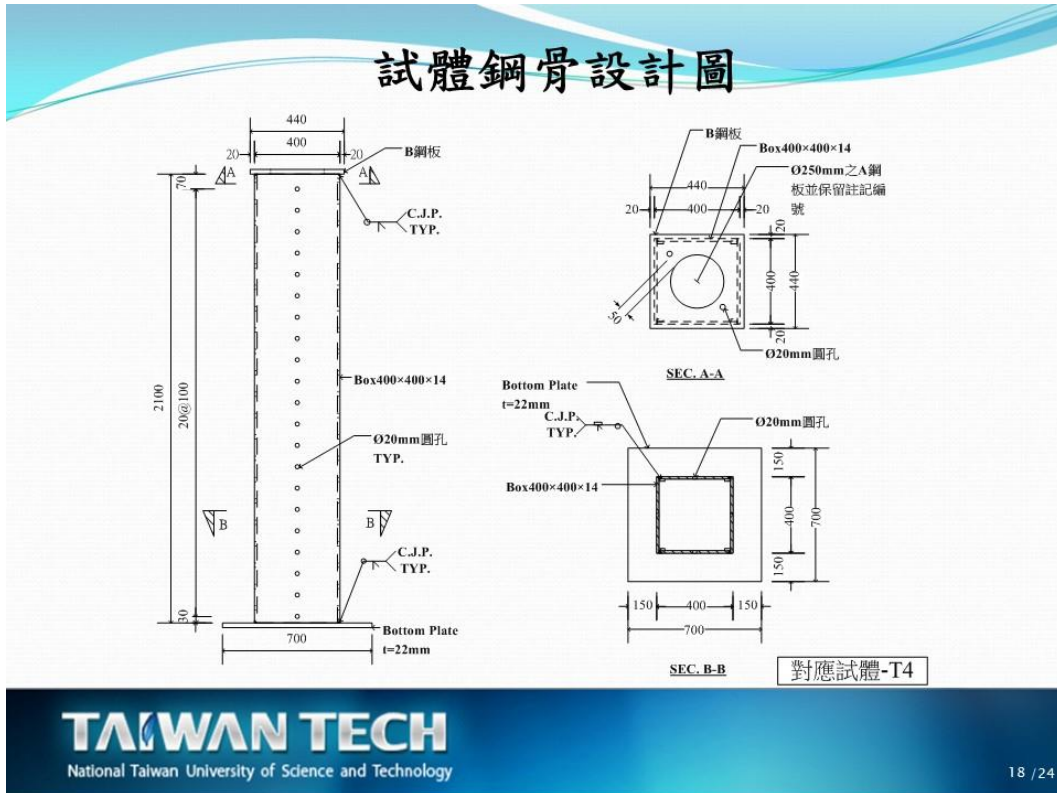


試體鋼骨設計圖

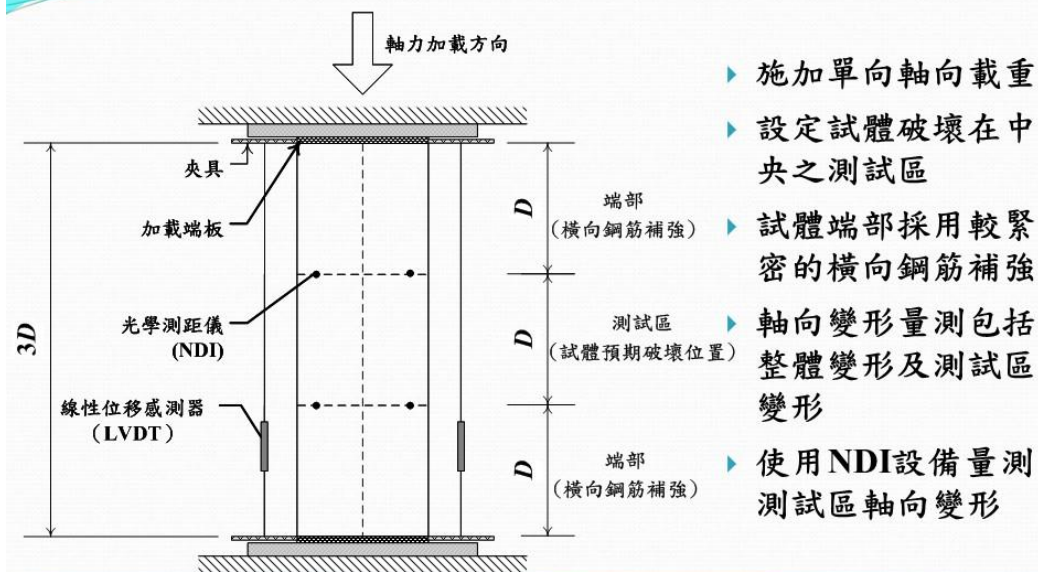


試體鋼骨設計圖





試驗裝置及測計配置



- ▶ 施加單向軸向載重
- ▶ 設定試體破壞在中央之測試區
- ▶ 試體端部採用較緊密的橫向鋼筋補強
- ▶ 軸向變形量測包括整體變形及測試區變形
- ▶ 使用NDI設備量測測試區軸向變形

報告大綱

- ▶ 研究背景與目的
- ▶ 試體設計與規劃
- ▶ 試驗裝置及測計配置
- ▶ 預期成果



預期成果

- ▶ 測試目前實務上常用橫向箍筋配置上，提出建議之配置細部。
- ▶ 開發新形式橫向鋼筋配置方式，並提出建議之配置細部。
- ▶ 提出具體數據，印證橫向鋼筋配置方式與韌性發展的潛能，一方面作為規範修改之參據，一方面作為研提後續研究課題之根據。



**報告結束
感謝聆聽**

附錄三 期中審查會議記錄

本所 103 年度委託研究「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」、「低矮鋼筋混凝土沿街店鋪住宅典型開口外牆耐震性能提昇之實驗研究」暨補助案「103 年度耐震標章諮詢服務暨察證作業執行計畫」等 3 案期中審查會議紀錄

一、時間：103 年 7 月 10 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(新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓)

三、主持人：陳組長建忠

記錄：楊智凱、黃國倫、李台光

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

(一)「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」案：

邱顧問昌平：

1. 本研究重點在使箱型鋼柱外側混凝土，達到一般 RC 柱之結構強度，以 T1 至 T5 不同方箍筋、貫繫筋、角隅繫筋等方式達成，應屬可行，且試體已在製作中。
2. 圍束箍筋一般是 RC 柱圍束區需要間距較小時之緊密箍筋；若採方型或雙 L 型，建議以方型閉合箍筋或 L 型箍筋表示。至於貫繫筋在圖上之間距為何及現場如何施工，皆應敘明。開孔鐵件及短繫筋，其細部尺寸及施作方式亦應說明。期中報告圖 2.3 之預埋螺桿，應有細部尺寸，若只放置 NDI Marker，也應以細部圖表示。

陳副總經理煥煒：

T3 試體柱外側用以鈎住短繫筋的鋼板，建議可以一整條鋼板取代多片鋼板，施工性應會較好。

郭教授詩毅：

1. 本研究是否可先排除剪力釘之考量(可另案辦理)，使研究上可作較明確的分析。
2. 本研究收集的試體數據如何分析？分析方法為何？建議在期中報告敘明。
3. 本研究成果，對工程界極具參考及應用的價值。
4. 目前在規劃試體製作階段，宜掌握研究計畫的進度；整體而言，符合預期成果的需求。

鍾組長立來：

1. 請舉實例說明，目前實務上常用橫向箍筋配置方式，並與本研究作比對。
2. 研究成果可做為規範修改之參據，請具體說明將修訂何規範？何條文？並敘明修訂之必要性。
3. 建議就目前已規劃之試體，請分析其力與位移關係。
4. 本研究所提方法，其施工性如何？

羅協理遠智：

本研究內容對設計實務上常存的疑慮，確實可提供相當的幫助，以利釐清。

中華民國全國建築師公會 程建築師建明：

1. 據本人所知，鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範中，箱型柱鋼骨內混凝土部分有規定須在 $2,500 \text{ cm}^2$ 以內之限制，若柱內混凝土面積過大，並非柱內全部混凝土都可以承擔壓力。
2. 目前在日本很少使用此類鋼骨結構，大部份高樓結構都使用高強度混凝土，配合高拉力鋼筋(New RC)，本研究鋼骨外混

凝土部分，簡單說只是保護層，若要提供抗壓強度，個人認為還是會有火害的問題。

中華民國結構工程技師公會全國聯合會 陳技師正平：

箍筋以圍束力計算，是否須考慮鋼筋挫屈長度所需之間距？

陳組長建忠：

1. 本研究期中報告格式，應符合內政部及本所規定，如圖(表)應包含於本文內。
2. 本研究的績效為何？如將提升防火時效用的保護層，作為結構體的部分，應是可降低成本，但專案會議交換意見之結果，好像是比之前的規定嚴格，請予釐清。

李研究員台光：

1. 本研究試體設計上可能需再作討論，如 T1 至 T5 斷面寬為 70 公分，而內部鋼骨部分為 40 公分，在此比例下，外部的面積大約是內部的 2 倍左右，一般認為此類包覆填充型 SRC 柱，外部的面積應該較小，但本研究試體外部面積較大，所以個人的看法，試體的行為可能會比較接近鋼筋混凝土柱的行為，建議試體之尺寸應再做確認。
2. 一般工程實務上，鋼骨內混凝土的強度，通常會使用較高強度混凝土，如 8,000 至 10,000 psi，但本研究試體鋼骨內外，都使用 4,000 psi 的混凝土。另設計斷面尺寸為 70×70 cm，可能是考慮實驗裝置容量的問題，導致與實際情況有所偏差，未來請針對實驗的結果，做明確的解釋。
3. 實務上鋼骨可能會有一些偏心問題，此方面相關問題，或許可以在下一階段做研究。

執行單位回應（陳教授正誠）：

1. 本研究試體細部、尺寸及特殊施工方式，於期末報告做補充

說明。

2. 所有 T 系列試體，皆使用相同號數的主筋及相同間距的箍筋， s/d_b 皆相同(等於 4)，鋼筋主筋挫屈的潛能皆相同且不高，因此鋼筋挫屈，不會影響試驗結果之判讀。
3. 第三節已說明試體之規劃，試體設計與規範的關聯性亦有說明，期末報告會補充一些工程實例，並加強試體設計與規範關聯性之說明。
4. 繫筋配置方式對試體力與位移關係，難以進行可靠的分析，建議直接以試驗結果，檢討各種型式繫筋之有效性。
5. 本研究所有的試體皆未設置剪力釘，試驗結果可以直接比較繫筋之有效性，剪力釘影響之探討，建議另案辦理。
6. 目前的研究進度，尚未進行試驗結果分析，建議在期末報告時，再詳述數據分析方法，比較清楚易懂。
7. T3 試體使用多片鋼板，而不使用一整條鋼板的原因，在於一整條鋼板，會提供試體額外的強度，不利於數據分析與比較。工程實務可使用鋼板取代小片鋼板。
8. 所有填充型箱型柱內之混凝土，都可以提供柱軸向強度， $2,500 \text{ cm}^2$ 之上限規定，乃是針對箍筋量折減而設，與軸向強度無關。填充型箱型柱使用情況在國內相當普遍，使用抗壓強度不超過 560 kg/cm^2 之混凝土提供強度，同時當作防火材料(包括 RC 及鋼結構)一直是工程慣例，也符合規範的規定。
9. 試體鋼骨部分使用較小鋼骨斷面有 2 個用意，一個是鋼骨斷面較小(尤其是柱板厚度)，可以更嚴格考驗接力式繫筋的效果；另一個用意是讓箱型柱外之混凝土面積加大，如此可凸顯不同型式繫筋間，對混凝土圍束效果的差異，比較有利於試驗數據的判讀。箱型柱內外使用相同的混凝土強度，且在同一

時間澆置，主要目的在降低試驗數據分析的誤差。

10. 試體載重偏心的問題，可以視為梁柱桿件，建議另案探討填充型箱型斷面或是包覆填充型箱型斷面之梁柱行為。
11. 本研究期中報告書圖表，將移至本文內。
12. 填充型箱型柱比包覆型 SRC 更有效率也更經濟，過去有關 SRC 結構之材料使用量研究，乃是針對包覆型 SRC 而非填充型箱型柱或是包覆填充型箱型柱，填充型箱型柱容易被誤認為經濟性不佳或材料使用量偏高。目前國內較少使用包覆型 SRC 桿件，但是大量使用填充型箱型柱或包覆填充型箱型柱，因此建議另案探討填充型箱型柱之材料使用量比較，以提供工程界較準確的資訊。

(二)「低矮鋼筋混凝土沿街店鋪住宅典型開口外牆耐震性能提昇之實驗研究」案：

邱顧問昌平：

1. 低矮鋼筋混凝土沿街店鋪式建築，早年皆由加強磚造建築之方式演化而來，所以只有在戶與戶相鄰處，有尺寸不大的 RC 柱(2 層者 2B 或 24 cm 左右，3 層者有 3B 或 36 cm 左右)；街道另一面之屋後牆體，因使用要求會用一門及小窗，而造成地震力作用下，易於開裂之問題。
2. 擴大柱尺寸(不宜稱擴柱)及門之位置內移，使其他柱有翼牆、門上之 RC 梁有垂壁，仍宜在本研究討論之，不宜使用「非本研究範圍」一語帶過。原因為小 RC 柱(寬 40 cm 或更小)不變大之情形下，一味加強 RC 牆，試體也成為「超強」之懸臂 RC 牆。試體之側力作用於另一側(即開門側)，受力行為有可能不同。
3. 一般 RC 牆或 RC 版之開口，在開口周邊及角隅需設置補強筋，

除水平及垂直方向，須加數根較牆筋或版筋更粗之補強筋外，尚需於角隅處加斜向鋼筋，然而皆未見於 T3 至 T6 試體。

4. 窗之位置為何一定要與門之間只有 30 cm 的距離，而造成極弱的構件，且牆厚度也只有 20 cm。

陳副總經理煥煒：

邊界構材的細部宜再考量，包含是否有 135 度彎鉤？邊界構材箍筋尺寸僅 10 cm×10 cm 能否加工？是否考慮將邊界構材加大為 20 cm×30 cm，以提高施工性？

郭教授詩毅：

1. 本研究具有很重要的實務應用價值。
2. 一般設計者在設計沿街店鋪式住宅時，大部分沿用舊的思維設計，有必要在規範上規定，或其他方面提供細節參考，請說明此一部分如何進一步落實。
3. 本研究採用單跨試體，實務上多為兩跨或兩跨以上結構，在分析上如何說明連跨結構之行為，須再著墨。

鍾組長立來：

1. 請考量以示範例說明整體之設計、研究之重要性等。
2. 本研究只針對屋後外牆進行補強，易於發生扭轉問題，因屋前屋後側向勁度不同，強度也不同。
3. 本研究所提議之設計方式，是否僅施作於一樓？
4. 請就所規劃之試體，分析其力與位移關係。
5. 低矮建築特性為周期短，韌性是否可充分發揮？

羅協理遠智：

本研究主要為確保有開口牆體耐震性能，惟於設計實務上應對開口之配套進行考量，以確保整體結構之安全。前提為在分析上也要做適當之考量，一般非結構牆在地震來臨時即破壞，勁度衰減之

後，剩下設計者所考慮到之結構桿件，但是在分析時多不將非結構牆納入考量，此未必對整體耐震性能有幫助，因可能產生其他非預期模式破壞，所以在分析時，應當考量全部結構，而非局部牆體部分。

中華民國全國建築師公會 程建築師建明：

自從 921 地震後，此類房屋結構型態已轉變，國內以後應當不會再設計此種建築。

中華民國結構工程技師公會全國聯合會 陳技師正平：

1. 屋後牆厚度通常為 12 cm，恐無法設計雙層雙向鋼筋再加上斜撐。
2. 除配置邊界構材預防開口向外脹破外，應當在水平鋼筋做彎鉤，錨定進入邊界構材核心，此一方式較為有效。
3. 增設壓力桿之鋼筋，其兩端若有適當之錨定，則亦可承受拉力，可提升抗剪能力。
4. 屋後牆補強後，其基礎若未配合加強，則可能功虧一簣。

陳組長建忠：

1. 本研究整體性的分析宜予著墨，避免只是單方向的技術性疑問與對策式學術性探討。
2. 921 地震後，此種現有低矮沿街店鋪式住宅雖然受損嚴重，但是依舊有相當多此種建物存在，若有資料之收集應當於期中報告顯現，以方便探討本研究之研究重要性及價值。

李研究員台光：

1. 試體中有開口部分，建議將真實之窗以及門納入試體中，研究此非結構構材的行為、變形等。
2. 試體設計已考慮短柱效應，並配置密集箍筋，但在門窗上面類似短梁(深梁)之構件，應做補強設計。

3. 邊界構材埋於 20 cm 牆內，型式類似於柱，但其錨定長度等規定，使此設計構想，具有相當之困難性。

研究單位回應（歐教授昱辰）：

1. 本研究歸納關於沿街店鋪式住宅沿街方向耐震能力，遠低於垂直街道方向的特性，適用 RC 造及加強磚造，並非僅針對 RC 結構。
2. 本年度針對構件之分析進行探討，建議未來研究探討整體結構行為時，納入整體構架之性能分析模型。至於整體性示範例，建議列為後續研究範疇。多跨牆體之行為，將由有限元素方法分析之。
3. 本研究資料收集顯示，一般屋後外牆厚度為 15 cm，也有一些是厚度 20 cm，若須改善其行為而進行韌性配筋，建議採 20 cm 厚度。
4. 本研究成果預期可增進對於沿街店鋪式住宅耐震行為之瞭解，並提供耐震分析與設計方法，改進韌性與消能配筋細節，及針對破壞區改善的辦法。根據營建署連續五年統計資料，估計未來每年因本案可受益新造建築棟數約 3 萬 8,000 棟，總樓地板面積為 1,400 萬平方公尺，工程造價約為 780 億。
5. 本研究期末報告將針對開裂部分的產生原因，做一整體防制技術之探討。本研究將考量使邊界構材與牆壁有較好之連結，預計將牆體既有之水平向鋼筋，改為彎鉤形式，錨定入邊界構材核心區域，作一閉合鋼筋配置，另外有邊界構材之區域，無需配置牆體的垂直鋼筋，因此圍束箍筋沿牆體厚度方向外緣至外緣尺寸為 14 cm。擴柱與翼牆等改善方式，在現今設計已相當明確，所以此等改善方式，將置於後續整體結構系統之研究案，一併納入考量。牆體開門旁之柱，並非無用之構

件，在過去試驗顯示，若與其它結構聯合作用，將可以有相當的強度及韌性發揮。在既有狀態下，將開口靠一邊集中配置為最有效之強度提昇辦法。在施工性不佳上，已做相當多著墨，並且也與施工廠商多次討論施工順序，因此在實際施工性上，為可行的改善方案。若將實際門及窗加入至試體內，可能會影響對於此類屋後外牆行為探討有所阻礙，所以本案暫不納入考量，暫且只針對純結構體作探討。

6.本研究提供之設計方法、分析方法與構想，均將與既有規範作一連結，然而本研究牆體視為結構牆，因此其分析方法將牆一併納入考量，做為主要的抗震構件之一，設計方法也遵照結構牆設計規範。

(三)「103 年度耐震標章諮詢服務暨察證作業執行計畫」案：

邱顧問昌平：

1. 期中報告圖 3-1 之流程圖，似乎與現行作業程序不盡相符，請修正。

2.耐震設計標章審查流程中，施工可行性之審查意見，需納入「特別監督計畫書」，故「耐震標章」之施工察證作業程序，應是在完成「耐震設計標章審查(或察證)」之後。

3.名詞一致性請加強：

(1) 期中報告第 49 頁，宜加「施工」2 字於察證之前(第三節標題及圖 3-3 等)。

(2) 期中報告第 55 頁表 3-8 耐震標章施工察證執行項目表階段一、書類審查，宜加「施工」2 字於書類審查之前。

(3) 未見期中報告第 51 頁提及之「施工總察證會議」(結構工程完工後)說明；本項在第三章第四節，也應討論說明。

陳副總經理煥焯：

建議可由公部門的案子帶頭做起，另外是否可提供一些獎勵（例如容積等）做為誘因，如此才能增加私人提案申請的意願。

郭教授詩毅：

1. 如何結合目前三級品管制度及施工查核制度？值得思考。實務面若增加額外的察證，恐造成很大負擔，影響申請意願，使標章立意受影響。

公有建築申請「耐震標章」應加強推動，公部門如工程會、營建署等水平向的溝通，應作加強。

鍾組長立來：

1. 建議就已完成之案例，作統計分析，探討其成本效益。
2. 建議列出以超音波檢測鋼筋腐蝕之標準，以供業界參考。建立「耐震工程品質管理分析評分表」及探討「耐震工程品質管理」分級制度，進度如何？
3. 具耐震標章之建築物，即具耐震能力？若否？責任歸屬為何？

羅協理遠智：

耐震標章如欲朝公共住宅推動，應同時考量合理之工期，以確保施工過程品質之落實。

陳組長建忠：

1. 立法院及監察院對皆本案有所期許，請積極辦理，預為準備各項績效，以配合管考作業。
2. 預期成果 2、3，未見具體陳述。

研究單位回應（練董事長福星）：

1. 期中報告文字修正部分，將於期末報告修正完成。
2. 耐震標章之申請，目前亦有提升銷售之效果，至於法制化容積獎勵，如果可成案，將大幅提升本標章之推動績效。
3. 有關「耐震工程品質管理分析評分表」及探討「耐震工程品質

管理」分級制度之結果，將於期末報告呈現。

七、會議結論：

- (1) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過。請業務單位將與會審查委員及出席代表意見詳實記錄，以供研究單位參採，並於期末報告針對期中審查意見逐一回應，如期如質完成研究計畫。
- (2) 委託研究計畫請儘速依約辦理請領第 2 期款；補助案請依規定請領第 2 期款，並請業務單位依規定時程管控研究進度。

八、散會：中午 12 時 10 分。

「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」

研究期中審查會議紀錄與意見回覆

	專家意見	研究團隊回應
邱顧問 昌平	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究重點在使箱型鋼柱外側混凝土，達到一般 RC 柱之結構強度，以 T1 至 T5 不同方箍筋、貫繫筋、角隅繫筋等方式達成，應屬可行，且試體已在製作中。 2. 圍束箍筋一般是 RC 柱圍束區需要間距較小時之緊密箍筋；若採方型或雙 L 型，建議以方型閉合箍筋或 L 型箍筋表示。至於貫繫筋在圖上之間距為何及現場如何施工，皆應敘明。開孔鐵件及短繫筋，其細部尺寸及施作方式亦應說明。期中報告圖 2.3 之預埋螺桿，應有細部尺寸，若只放置 NDI Marker，也應以細部圖表示。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 本研究試體細部、尺寸及特殊施工方式，會在期末報告做補充說明。
陳副總 煥煒	<ol style="list-style-type: none"> 1. T3 試體柱外側用以鈎住短繫筋的鋼板，建議可以一整條鋼板取代多片鋼板，施工性應會較好。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. T3 試體使用多片鋼板，而不使用一整條鋼板的原因，在於一整條鋼板，會提供試體額外的強度，不利於數據分析與比較。工程實務可使用鋼板取代小片鋼板。
郭教授 詩毅	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究是否可先排除剪力釘之考量(可另案辦理)，使研究上可作較明確的分析。 2. 本研究收集的試體數據如何分析？分析方法為何？建議在期中報告敘明。 3. 本研究成果，對工程界極具參考及應用的價值。 4. 目前在規劃試體製作階段，宜掌握研究計畫的進度；整體而言，符合預期成果的需求。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究所有的試體皆未設置剪力釘，試驗結果可以直接比較繫筋之有效性，剪力釘影響之探討，建議另案辦理。 2. 目前的研究進度，尚未進行試驗結果分析，建議在期末報告時，再詳述數據分析方法，比較清楚易懂。
鍾組長 立來	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請舉實例說明，目前實務上常用橫向箍筋配置方式，並與本研究作比對。 2. 研究成果可做為規範修改之 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 第三節已說明試體之規劃，試體設計與規範的關聯性亦有說明，期末報告會補充一些工程實例，並加強試體設計與規範關聯性之說明。

	<p>參據，請具體說明將修訂何規範？何條文？並敘明修訂之必要性。</p> <p>3. 建議就目前已規劃之試體，請分析其力與位移關係。</p> <p>4. 本研究所提方法，其施工性如何？</p>	<p>2. 將於期末報告中說明修訂之規範、條文或解說，並提供修訂之試驗依據。</p> <p>3. 繫筋配置方式對試體力與位移關係，難以進行可靠的分析，建議直接以試驗結果，檢討各種型式繫筋之有效性。</p> <p>4. 使用於工程實務者為 T2、T3、及 T5 試體之橫向鋼筋，T2 及 T3 已經在工地使用，可行性沒有問題，T5 的施工困難度也很低，可行性佳。</p>
羅協理 遠智	<p>1. 本研究內容對設計實務上常存的疑慮，確實可提供相當的幫助，以利釐清。</p>	
程建築師 建明	<p>1. 據本人所知，鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範中，箱型柱鋼骨內混凝土部分有規定須在 $2,500 \text{ cm}^2$ 以內之限制，若柱內混凝土面積過大，並非柱內全部混凝土都可以承擔壓力。</p> <p>2. 目前在日本很少使用此類鋼骨結構，大部份高樓結構都使用高強度混凝土，配合高拉力鋼筋 (New RC)，本研究鋼骨外混凝土部分，簡單說只是保護層，若要提供抗壓強度，個人認為還是會有火害的問題。</p>	<p>1. 所有填充型箱型柱內之混凝土，都可以提供柱軸向強度，$2,500 \text{ cm}^2$ 之上限規定，乃是針對箍筋量折減而設，與軸向強度無關。</p> <p>2. 填充型箱型柱使用情況在國內相當普遍，使用抗壓強度不超過 560 kg/cm^2 之混凝土提供強度，同時當作防火材料(包括 RC 及鋼結構)一直是工程慣例，也符合規範的規定。</p>
陳技師 正平	<p>1. 箍筋以圍束力計算，是否須考慮鋼筋挫屈長度所需之間距？</p>	<p>1. 所有 T 系列試體，皆使用相同號數的主筋及相同間距的箍筋，s/d_b 皆相同(等於 4)，鋼筋主筋挫屈的潛能皆相同且不高，因此鋼筋挫屈，不會影響試驗結果之判讀。</p>
陳組長 建忠	<p>1. 本研究期中報告格式，應符合內政部及本所規定，如圖(表)應包含於本文內。</p> <p>2. 本研究的績效為何？如將提升防火時效用的保護層，作為結構體的部分，應是可降低成本，但專案會議交換意見之結果，好像是比之前的規定嚴格，請予釐清。</p>	<p>1. 本研究期中報告書圖表，將移至本文內，期末報告將會檢查報告格式，使其合乎內政部及建研所之規定。</p> <p>2. 本研究的結果可以對規範條文或解說提供修改的建議及依據。此外可以釐清工程師在工程實務遇到的問題，降低工程疑慮，促進品質之提升。填充包覆型箱型柱在國內超高層大樓之應用已經很常見，應該具有經濟上、使用性方面的優點。本研究先針</p>

		<p>對安全性做探討，相關規定未必會更嚴格，應視研究結果來評估。</p>
<p>李研究員 台光</p>	<p>1. 本研究試體設計上可能需再作討論，如 T1 至 T5 斷面寬為 70 公分，而內部鋼骨部分為 40 公分，在此比例下，外部的面積大約是內部的 2 倍左右，一般認為此類包覆填充型 SRC 柱，外部的面積應該較小，但本研究試體外部面積較大，所以個人的看法，試體的行為可能會比較接近鋼筋混凝土柱的行為，建議試體之尺寸應再做確認。</p> <p>2. 一般工程實務上，鋼骨內混凝土的強度，通常會使用較高強度混凝土，如 8,000 至 10,000 psi，但本研究試體鋼骨內外，都使用 4,000 psi 的混凝土。另設計斷面尺寸為 70×70 cm，可能是考慮實驗裝置容量的問題，導致與實際情況有所偏差，未來請針對實驗的結果，做明確的解釋。</p> <p>3. 實務上鋼骨可能會有一些偏心問題，此方面相關問題，或許可以在下一階段做研究。</p>	<p>1. 試體鋼骨部分使用較小鋼骨斷面有 2 個用意，一個是鋼骨斷面較小(尤其是柱板厚度)，可以更嚴格考驗接力式繫筋的效果；另一個用意是讓箱型柱外之混凝土面積加大，如此可凸顯不同型式繫筋間，對混凝土圍束效果的差異，比較有利於試驗數據的判讀。箱型柱內外使用相同的混凝土強度，且在同一時間澆置，主要目的在降低試驗數據分析的誤差。</p> <p>2. 填充型箱型柱比包覆型 SRC 更有效率也更經濟，過去有關 SRC 結構之材料使用量研究，乃是針對包覆型 SRC 而非填充型箱型柱或是包覆填充型箱型柱，填充型箱型柱容易被誤認為經濟性不佳或材料使用量偏高。目前國內較少使用包覆型 SRC 桿件，但是大量使用填充型箱型柱或包覆填充型箱型柱，因此建議另案探討填充型箱型柱之材料使用量比較，以提供工程界較準確的資訊。</p> <p>3. 試體載重偏心的問題，可以視為梁柱桿件，建議另案探討填充型箱型斷面或是包覆填充型箱型斷面之梁柱行為。</p>

附錄四 期末審查會議記錄

本所 103 年度委託研究「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」、「低矮鋼筋混凝土沿街店鋪住宅典型開口外牆耐震性能提昇之實驗研究」暨補助研究「103 年度耐震標章諮詢服務暨察證作業執行計畫」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：103 年 11 月 7 日（星期五）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

記錄：楊智凱、黃國倫、李台光

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」案：

郭教授詩毅：

1. 本研究可先排除剪力釘的影響，但剪力釘做為複合組件的一部分，為力的連結及傳遞，尤其在破壞時可能有機械的互制效果，在試驗結果或破壞模式上，可能造成差異存在，建議後續年度可考量進行剪力釘配置的檢討及驗證。
2. 本研究成果對工程界，具有參考及應用價值。

陳副總經理煥煒：

1. 本研究成果可提供工程界細部設計、施工實務及修改規範之參考，但

目前因試體混凝土強度較設計強度高出很多，造成有些試體強度可能高於試驗設備容量，部分試體尚未完成試驗，可考量移至 NCREE 測試。

2. 建議未來可考量加入 Shear Stud 的研究，尤其國內高樓箱型柱在梁柱接頭區橫隔板距離較小處，如不配置 Shear Stud，軸力傳遞是否有疑慮。

廖教授文義：

1. 本研究內容豐富，試驗規劃詳細，完成後對國內工程界有助益。
2. 於所有試體試驗完成後，建議於實務上提出橫向鋼筋可行之使用量、配置細節及設計概要等建議。
3. 若 T 系列與 CR 系列破壞機制不同時，請注意分析之方式。
4. 繫筋在鋼板上穿孔比較不經濟，請說明此做法的理由。
5. 請於期末報告說明本研究可提供何種規範修改之參考，並敘明修改方向或建議。
6. 建議此類實驗宜持續進行，長期累積試驗成果。

邱顧問昌平：

1. 本研究採 5 種包覆填充型箱型柱試體各 2 組(T 系列)，以及 2 組填充型箱型柱(CR 系列)共計 12 組試體，其試驗工作量大，目前已有一部分試驗成果。
2. 箱型柱表面外部混凝土之厚度，若設計為 175 mm 以上，可做為結構來使用，若小於 100 mm 以下，則僅考慮防火使用，而本研究因試驗機容量之限制，厚度採 150 mm，尚屬合宜。

3. 本研究 T1 及 T4 系列試體有貫穿繫筋，工廠製作及現場施工較不易，惟稍能提供剪力筋之作用，請加以探討。
4. 建議於期末報告第 3 章文字及圖，補充述明有關鋼板及中空鋼管夾具等資料。
5. 期末報告圖 4.2 至 4.6，位移軸右上方之 CR-1 載重—位移圖「700 mm」及「2100 mm」等文字說明，請修正為「測試區」及「全長」。

張總經理宏成：

1. 本研究具工程實務價值，其研究結果值得期待。
2. 請說明繫筋與鐵件圓孔是否要密合或銲接，是否對結構行為有影響。
3. 繫筋是否加應變計，以協助瞭解繫筋之受力行為。

張協理敬昌：

1. 本研究對於工程應用意義頗大。
2. 由既有試驗結果顯示，700 mm(測試區)與 2100 mm(全長)的變位值，差異相當大，建議可由整體變形能力探討，並檢討目前試驗量測裝置。

中華民國全國建築師公會 曹建築師昌勝：

1. 本研究數據與研究成果尚待補充，故暫無意見。

李研究員台光：

1. 外圍箍筋非一體成形，可說明為兩個三角組合而成，並註明軸向是否交錯配置。
2. T2、T3 是目前實務上常用的繫筋型式，如果真正做結構上使用，建議日後另案規劃進行撓曲試驗。

中華民國結構工程技師公會全國聯合會 陳技師正平：

1. 由期末報告第 39 頁照片 4.2 顯示箍筋錨定重要性，本研究以改良式彎鉤勾住柱筋，應可有效控制保護層之爆裂。

執行團隊回應（陳教授正誠）：

1. 根據目前的試驗裝置，試體變形以 700 mm(測試區)變形為基準，試體全長變形係參考用。
2. 本研究針對橫向鋼筋細部型式進行研究，橫向鋼筋細部型式的建議，將呈現於成果報告。橫向鋼筋量之研究，需要進行柱撓曲試驗，建議另案探討。
3. 試驗數據需要使用到 CR 系列試體之載重-變形曲線時，將採用試體全長非彈性變形較均勻的試體數據為之。
4. 規範包括規範本文及解說，本研究的結果可以提供解說之補充或修改建議，往後當相關研究成果累積到相當程度時，再對規範本文提供修改之建議。
5. 本研究使用貫穿繫筋之試體，主要用於比較試體行為優劣，這些繫筋是否有剪力筋作用，需要另案探討之。
6. 過去的經驗顯示，繫筋在受力方向未與主筋密接，不會影響繫筋功能，主要是繫筋與主筋間尚有混凝土可傳力。依此經驗判斷，接力式繫筋之短繫筋與鐵件圓孔間，應不需密合或銲接。
7. T2 及 T3 繫筋型式有效性初步探討，可由本研究成果進行之，在初步印證其可行性後，應該另案進行柱撓曲試驗，以對其可行性做更完整評估。

(二)「低矮鋼筋混凝土沿街店鋪住宅典型開口外牆耐震性能提昇之實驗研究」
案：

郭教授詩毅：

1. 本研究試體加載方式為位移控制，採模擬地震之反覆加載方式，由小到大的位移比反覆加載，實驗所收集的資料量很大，須注意把握分析時程。
2. 本研究實驗開口型式屬於新建工程之建物，建議日後可多收集既有建築物之開口型式做分析。
3. 建議未來研究可進一步探討，若試體的牆體部分有偏移情況(非對應柱中心位置配置)，牆邊緣切柱邊緣，對實驗結果之影響。
4. 例如超商或賣場需要大面積開口，若將牆體拆除，拆除之牆應視為隔間牆？或另有結構效益必須考量？

陳副總經理煥燁：

1. 本研究對於沿街店鋪住宅提升耐震性能很有幫助，研究成果可提供新建沿街店鋪住宅參考使用，惟很多既有沿街店鋪住宅仍可能有不良破壞模式問題，請建議如何改善。
2. 沿壓桿方向對角向壓力鋼筋採用萬向續接器，此部分亦可考慮使用螺紋節鋼筋及其專用之續接器。

廖教授文義：

1. 本研究內容豐富，試驗結果符合預期，並提供實例分析，可做為工程實務重要參考。
2. 本研究開口牆試體，開口位置就很多變化可能，且因跨度、門面寬度

不同，開口位置及其尺寸也會受影響，建議可以提出對於開口位置及大小之參考標準，以供工程師做為依據。

3. 牆體採用 20cm 厚之牆，強度相當高，建議宜確認現有試驗機容量確實可以推壞，並務請在執行期限完成。
4. 本研究團隊利用剪力塑鉸及撓曲塑鉸模擬開口牆，若要應用於工程界，建議提出其塑鉸的勁度與強度折減的準則。

邱顧問昌平：

1. 本研究開窗位置為緊鄰門邊，仍非常見建築形態，因而造成邊界構材的特殊問題，而採取抗壓、抗拉柱配筋設計，剩下 RC 牆體，除補強柱外，另外加上對角向鋼筋補強。以上特殊配筋皆須伸入基礎梁、頂梁及 RC 柱中，增加配筋施工難度，且在 2、3 樓皆有後牆或全面開窗之情況下，如何適當地設計配筋？須請探討，另請說明本研究試體之施工性。
2. 本研究另有非線性耐震分析評估法研究，目前已有一些成果。
3. 12 月底前可望有完整成果報告。
4. 本研究結論第 4 段與第 5 段重複，請修正。
5. 期末報告表 4.8 載重效應之文字及數字，宜重新考慮使用工程界慣用寫法。
6. 請再斟酌期末報告圖 3.15 至圖 3.17 中文字內容，例如「邊界構材縱向鋼筋：4-#6」等。
7. 921 震災後，經過實際走訪調查，有時建商一次蓋 5~6 棟，或 1 棟接著 1 棟蓋，接頭處鋼筋配置混亂；另外平行於街道方向的樓梯為提供

消能，裂得非常嚴重；所以探討沿街店鋪住宅問題一定要整體來看，店面一般不做大柱子或翼牆，可以不影響開口為前提，建議柱擴大且加入翼牆；門儘量別設置在柱旁邊，因為門的鐵件常常傷到柱子；若僅考慮屋後外牆(提升強度及增加消能能力等等)，而未考慮結構前列之牆及柱，對於整體評估來看，其破壞模式可能仍屬不良。

8. 開口牆可用等值斜撐進行模擬。

張總經理宏成：

1. 本研究具工程實務價值，期待其研究成果。
2. 如何提升 1 樓弱層耐震性能？如有明確建議方案更佳。
3. 建議本研究可提出屋後外牆牆量與住宅面寬之關係。

張協理敬昌：

1. 本研究針對兩棟實際建物進行側推分析，請提出如何在 ETABS 設置阻尼比，容量震譜裡阻尼會影響到性能點，且影響甚鉅，牆體 pinching 效應應當適度反應至容量震譜裡參數設定，請提出一依據讓工程界參考。
2. 兩棟建物破壞方式都是我們不想看到的，如果建築物符合耐震設計規定，還出現此破壞模式，是為設計規範不當？還是分析過程當中，沒有把開口牆納入分析導致之結果？

中華民國全國建築師公會 曹建築師昌勝：

1. 牆體配置對角向鋼筋，其錨定進接頭處有彎鉤，施工性上有無疑慮。
2. 結構分析時，若有地下室之情況，請先釐清基礎部分是用固定端或是鉸接，此將影響分析結果。

3. 建議在開口跨度部分，提出開口尺寸及型式之比例關係。

財團法人住宅地震保險基金 宋先生國華：

1. 分析評估採新建沿街店鋪住宅案例，建議可針對既有沿街店鋪住宅，建立模型進行分析比對，以瞭解後續補強作為。

李研究員台光：

1. 厚度 20 cm 牆水平牆筋錨定進邊界構材核心，在施工上可能會有困難。
2. 試體鋼筋配置較為密集，在澆置混凝土部分有無問題。

陳組長建忠：

1. 請研究團隊就既有沿街店鋪式住宅建築，建議具體之改善補強方案，也可收集統計數字，估算既有沿街店鋪式住宅數量，供政策研擬參考。

中華民國結構工程技師公會全國聯合會 陳技師正平：

1. 建議考量剪力牆邊構材基礎抵抗下舉及下壓力之能力。
2. 以桁架(strut & tie)橫式分析，其結點拉桿之錨定能力，建議加以考量。

執行團隊回應（歐教授昱辰）：

1. 對於新建沿街店鋪住宅，本研究基於國家地震工程研究中心所提出之側推方法，加以改良，因國震中心之側推方法無法對開口牆做評估，所以本研究發展出一套針對開口牆之塑鉸程式，搭配國家地震中心所提出之塑鉸程式一起使用；另因國震中心在補強方面做過很多研究及訪查，所以對補強非常有經驗，期待國震中心與建築研究所可以合作，針對新建及既有之沿街店鋪式住宅提出設計準則及補強辦法。
2. 根據 102 年度「低矮鋼筋混凝土街屋典型開口外牆耐震行為研究」研

究結論，「偏心」開口配置較「置中」開口配置，有較高的剪力強度；若設計上是為剪力牆之牆體，則不應拆除。

3. 試體牆厚度為 20 cm，有無致動器無法推壞之疑慮，本研究使用兩支 200 噸致動器，在試體強度規劃上為小於 400 噸，並無致動器無法推壞之疑慮。
4. 剪力塑鉸折減強度方面採 Ono 折減係數，在勁度方面採 AIJ 折減係數，在撓曲塑鉸方面，直接對開口牆進行沿高程上數個斷面做分析，直接考慮開口效應。
5. 根據目前新建住宅的設計圖，可發現強梁弱柱甚為普遍，再加上一樓牆體開口較其上樓層為大，導致評估結果所顯示的一樓軟弱層現象。因此的確有必要針對結構系統進行深入探討，以提供工程師一套耐震設計的準則。梯間牆考慮於 99 年已由李宏仁教授所提出；另外抗震桿件（例如柱及牆）的豎向分配，以及如何降低強梁弱柱現象，也應當加以探討。以上須要探討問題須先有評估程式，而本研究團隊剛開發完成此一評估程式，將利用已開發程式，持續進行結構系統研究。
6. 本研究採用等值柱模擬牆，相容於國震中心現行方法。
7. 開口配置及尺寸與牆量等之關係，可為工程師耐震設計之準則，研究團隊將針對此項進行規劃研究。
8. 關於側推評估阻尼比設計，研究團隊會加以陳述。
9. 沿街店鋪住宅破壞模式不符預期，研究團隊將其歸納為設計者問題，因為從設計理念上看來，明顯違反強柱弱梁規定，至於若滿足規範強柱弱梁的設計後，是不是仍會產生一樓軟弱層破壞，則需進一步研究釐清。

10. 目前採固定端模擬基礎，後續可再考量鉸接模擬方法。
11. 鋼筋較為密集影響到施工性問題，將於成果報告加以說明。

(三)「103 年度耐震標章諮詢服務暨察證作業執行計畫」案：

郭教授詩毅：

1. 本研究成果具有實用性且具重要參考價值，結論在推廣宣導方面建議納入公部門的宣傳計畫，以提高耐震標章的能見度。
2. 特別監督執行制度所訂的項目與指標，應盡量貼近目前 3 級品管制度中的 2 級品管，在實務面上較易推行。
3. 產物保險及房仲業者不知是否有何建議或看法？

陳副總經理煥燁：

1. 目前耐震標章朝多元化宣導，且得到公部門建築物的支持，未來應該可以持續推廣。
2. 對於非公部門的案件，建議如果用途係數提高，是否可以考慮給予容積上的獎勵？
3. 建議 $I=1.5$ 的建築物，應宣導申請耐震標章，對於 $I=1.5$ 的公有建築物，應強制要求申請耐震標章。

廖教授文義：

1. 本研究內容豐碩，符合預期。
2. 本研究預期成果項目之「耐震標章」與「都更推動機制」接合部分涉及範圍甚廣，其執行之策略為何？
3. 對購買具「耐震標章建物」之民眾，是否就代表其地震下安全性即高

於一般之建物，若否？其相關責任歸於何者？

邱顧問昌平：

1. 本研究 5 大工作重點已大致上依預期成果達成。僅為新增申請案件為 6 件，稍嫌不足，其中公有為 2 件。
2. 公有建築「耐震工程品質管理分及探討」，係依公共工程委員會之 3 級品管單位列出品管之重點項目，惟只重品質計畫書，未見整體與重要工項(分項)計畫書。特別監督制度之精神係落實專業監造人員之特別監督計畫書及其執行才對(此項目宜列入 5. 期末報告圖 4-2)。
3. 文件察證及現場施工察證等，皆十分完整。

張總經理宏成：

1. 耐震標章制度在工程品質提昇上是肯定的。
2. 透過媒體多宣傳報導，讓民眾更加認識耐震標章重要性。
3. 耐震標章法源依據為「建築物耐震設計規範及解說附錄篇耐震工程品管」目前已執行 10 年，長期目標如能將法源附錄篇納入正式規範，或許可加速耐震標章推動。

張協理敬昌：

1. 建議推動公有重要性建物，納入耐震標章之執行對象。

財團法人住宅地震保險基金 宋先生國華：

1. 目前住宅地震基金保險之政策性保險性質及全損理賠之標準，全國採單一費率，故對於「耐震標章」之減免費用幫助不大，建議可朝各產險公司之商業地震保險推動。

執行團隊回應（練主持人福星）：

1. 本研究團隊後續努力的目標，將為持續擴大公部門之推廣與宣導。
2. 若建築物耐震設計規範與解說附錄「耐震工程品管」納入第 7 章內，則耐震標章推動執行上會順利，這亦是本研究團隊所期望的。
3. 有關各產險公司之商業地震保險及房仲業對於耐震標章之看法，未來可為本團隊諮詢與宣導對象之一，期望能建立共識以增加耐震標章之能見度。

七、會議結論：

- (一) 研究報告結論建議，請與業務單位討論其應屬之主、協辦機關，以符機關所轄權責。
- (二) 本次會議 3 案期末報告，經審查原則同意通過。
- (三) 請業務單位詳實記錄與會審查委員及出席代表意見，請執行團隊參採。並確實依照本部規定格式提交成果報告，注意文字圖表之智慧財產權，如有引述相關資料，應註明資料來源，對於成果報告之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。
- (四) 關於耐震標章證明標章權銜接課題，請台灣建築中心積極處理，並配合本所作業。

八、散會：中午 12 時 15 分。

「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」

研究期末審查會議紀錄與意見回覆

	專家意見	研究團隊回應
郭教授 詩毅	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究可先排除剪力釘的影響，但剪力釘做為複合組件的一部分，為力的連結及傳遞，尤其在破壞時可能有機械的互制效果，在試驗結果或破壞模式上，可能造成差異存在，建議後續年度可考量進行剪力釘配置的檢討及驗證。 2. 本研究成果對工程界，具有參考及應用價值。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 贊成專家之意見，另案探討剪力釘相關之研究。
陳副總 煥煒	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究成果可提供工程界細部設計、施工實務及修改規範之參考，但目前因試體混凝土強度較設計強度高出很多，造成有些試體強度可能高於試驗設備容量，部分試體尚未完成試驗，可考量移至 NCREE 測試。 2. 建議未來可考量加入 Shear Stud 的研究，尤其國內高樓箱型柱在梁柱接頭區橫隔板距離較小處，如不配置 Shear Stud，軸力傳遞是否有疑慮。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 贊成專家之意見，另案探討剪力釘相關之研究。
廖教授 文義	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究內容豐富，試驗規劃詳細，完成後對國內工程界有助益。 2. 於所有試體試驗完成後，建議於實務上提出橫向鋼筋可行之使用量、配置細節及設計概要等建議。 3. 若 T 系列與 CR 系列破壞機制不同時，請注意分析之方式。 4. 繫筋在鋼板上穿孔比較不經濟，請說明此做法的理由。 5. 請於期末報告說明本研究可提供何種規範修改之參考，並敘明修改方向或建議。 6. 建議此類實驗宜持續進行， 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 本研究針對橫向鋼筋細部型式進行研究，橫向鋼筋細部型式的建議，將呈現於成果報告。橫向鋼筋量之研究，需要進行柱撓曲試驗，建議另案探討。 3. 試驗數據需要使用到 CR 系列試體之載重-變形曲線時，將採用試體全長非彈性變形較均勻的試體數據為之。 4. 使用貫穿繫筋之試體主要再建立評估標準，以利試驗結果之判讀，並未建議在實際工程上使用。 5. 規範包括規範本文及解說，本研究的結果可以提供解說之補充或修改建議，往後當相關研究成果累積到相

	長期累積試驗成果。	當程度時，再對規範本文提供修改之建議。
邱顧問 昌平	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究採 5 種包覆填充型箱型柱試體各 2 組(T 系列)，以及 2 組填充型箱型柱(CR 系列)共計 12 組試體，其試驗工作量大，目前已有一部分試驗成果。 2. 箱型柱表面外部混凝土之厚度，若設計為 175 mm 以上，可做為結構來使用，若小於 100 mm 以下，則僅考慮防火使用，而本研究因試驗機容量之限制，厚度採 150 mm，尚屬合宜。 3. 本研究 T1 及 T4 系列試體有貫穿繫筋，工廠製作及現場施工較不易，惟稍能提供剪力筋之作用，請加以探討。 4. 建議於期末報告第 3 章文字及圖，補充述明有關鋼板及中空鋼管夾具等資料。 5. 期末報告圖 4.2 至 4.6，位移軸右上方之 CR-1 載重—位移圖「700 mm」及「2100 mm」等文字說明，請修正為「測試區」及「全長」。 	<ol style="list-style-type: none"> 3. T1 及 T4 試體之貫穿繫筋確實可以同時具有剪力釘的功能，建議另案探討其可行性。 4. 已於成果報告中說明中空鋼管及螺桿之尺寸及鋼管間距。 5. 遵照辦理，已在成果報告中修正。
張總經理 宏成	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究具工程實務價值，其研究結果值得期待。 2. 請說明繫筋與鐵件圓孔是否要密合或銲接，是否對結構行為有影響。 3. 繫筋是否加應變計，以協助瞭解繫筋之受力行為。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 過去的經驗顯示，繫筋在受力方向未與主筋密接，不會影響繫筋功能，主要是繫筋與主筋間尚有混凝土可傳力。依此經驗判斷，接力式繫筋之短繫筋與鐵件圓孔間，應不需密合或銲接。 3. 本研究使用貫穿繫筋之試體，主要用於比較試體行為優劣，這些繫筋是否有剪力筋作用，需要另案探討之。
張協理 敬昌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究對於工程應用意義頗大。 2. 由既有試驗結果顯示，700 mm(測試區)與 2100 mm(全長)的變位值，差異相當大，建議可由整體變形能力探討，並檢討目前試驗量測裝置。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 根據目前的試驗裝置，試體變形以 700 mm(測試區)變形為基準，試體全長變形係參考用。
曹建築師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究數據與研究成果尚待 	

昌勝	補充，故暫無意見。	
李研究員 台光	<ol style="list-style-type: none"> 1. 外圍箍筋非一體成形，可說明為兩個三角組合而成，並註明軸向是否交錯配置。 2. T2、T3 是目前實務上常用的繫筋型式，如果真正做結構上使用，建議日後另案規劃進行撓曲試驗。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已在成果報告中說明。 2. T2 及 T3 繫筋型式有效性初步探討，可由本研究成果進行之，在初步印證其可行性後，應該另案進行柱撓曲試驗，以對其可行性做更完整評估。
陳技師 正平	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由期末報告第 39 頁照片 4.2 顯示箍筋錨定重要性，本研究以改良式彎鉤勾住柱筋，應可有效控制保護層之爆裂。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 短繫筋有達到預期效果，已呈現於成果報告中。

附錄 A 鋼箱型柱試體設計圖

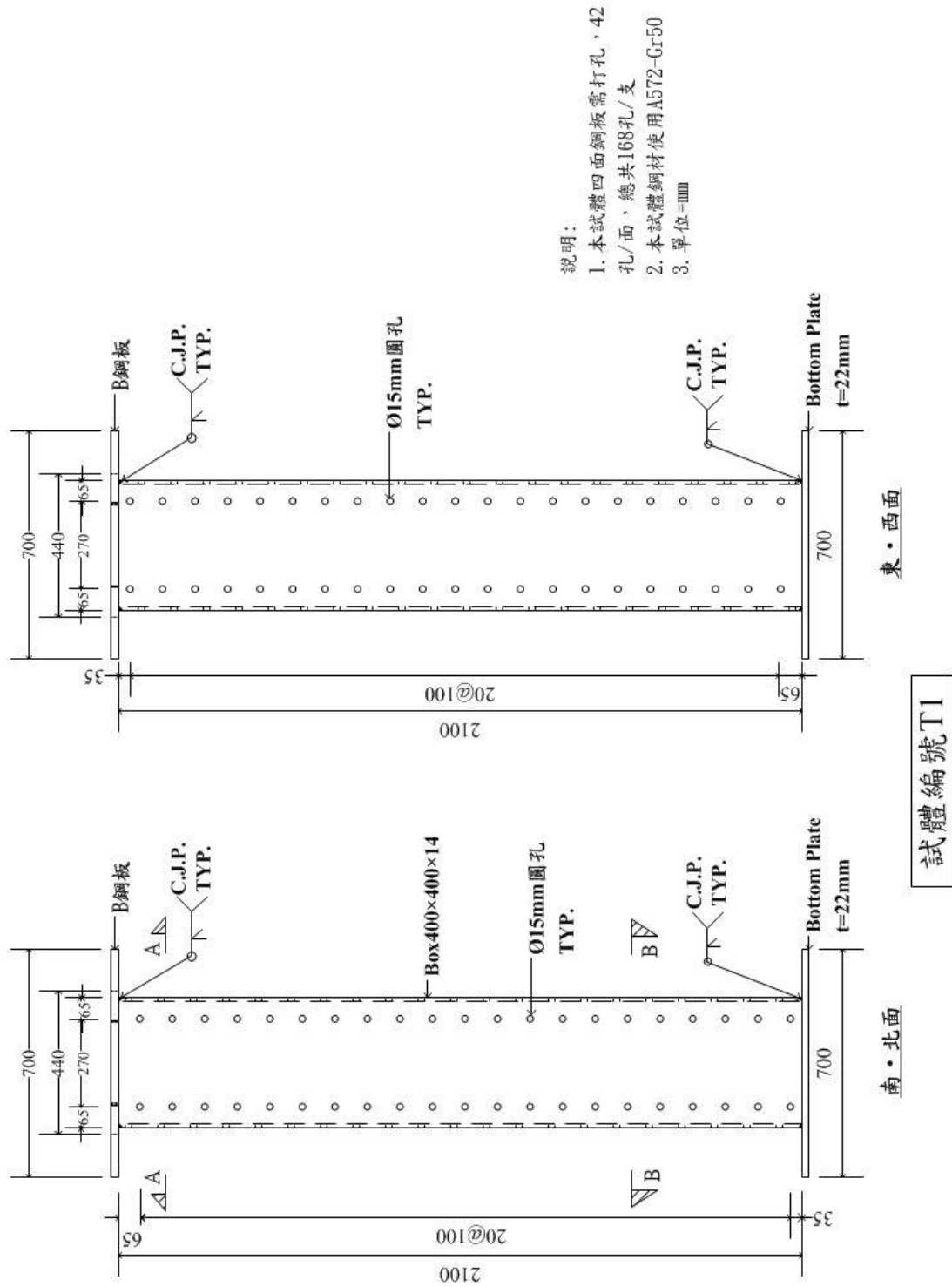
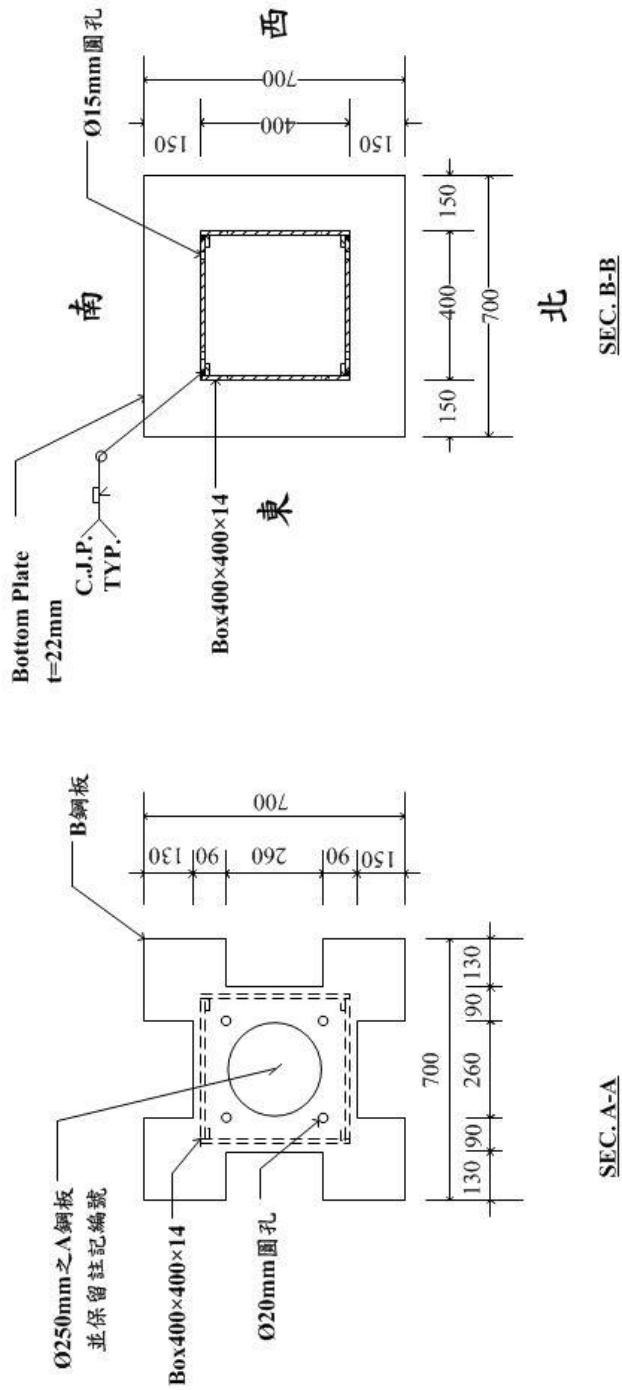


圖 A. 1 T1 試體鋼箱型柱設計圖(一)



說明：
 1. 本試體鋼材使用A572-Gr50
 3. 單位=mm

T1試體上端板

圖 A. 2 T1 試體鋼箱型柱設計圖(二)

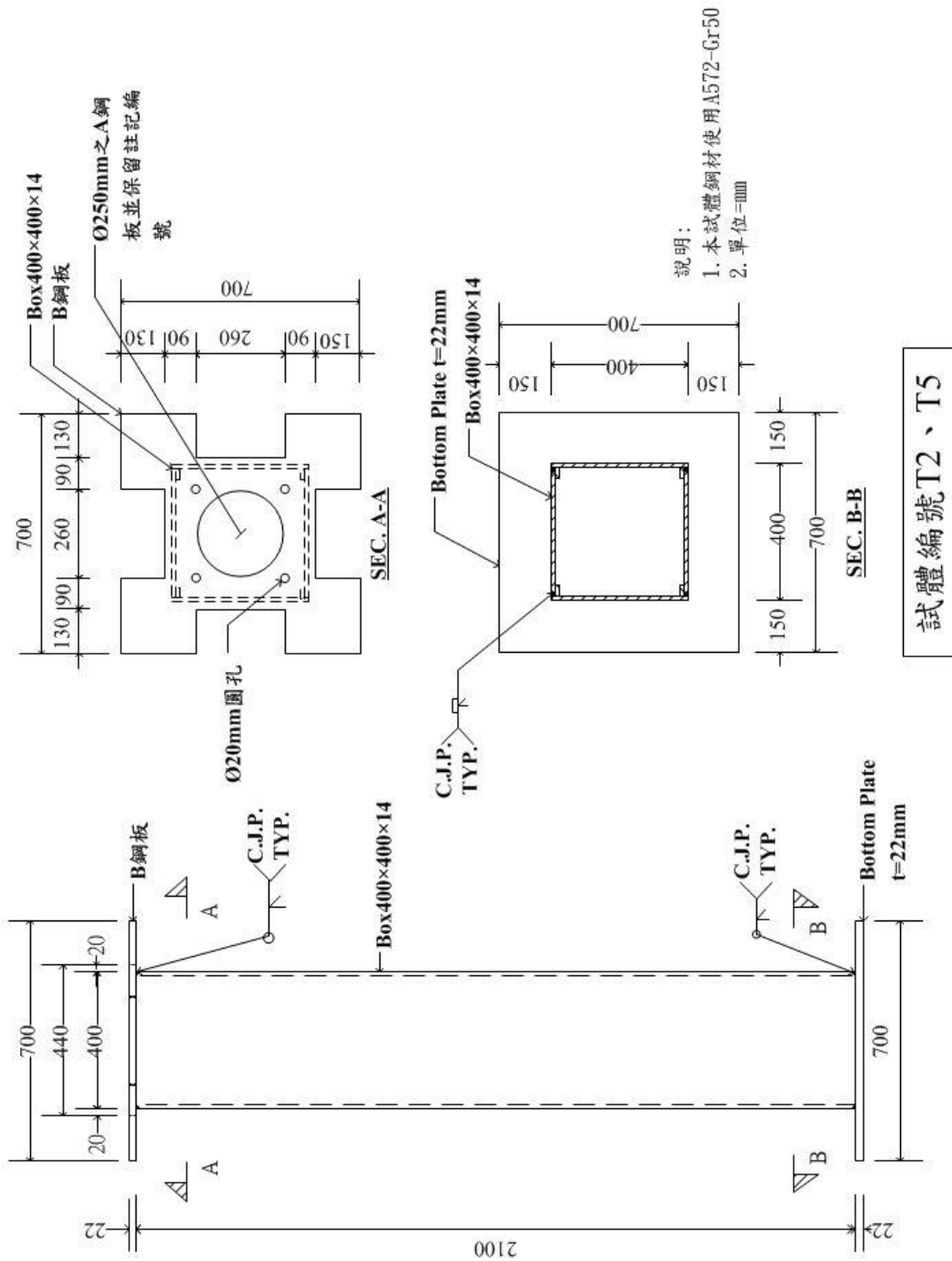


圖 A.3 T2、T5 試體鋼箱型柱設計圖

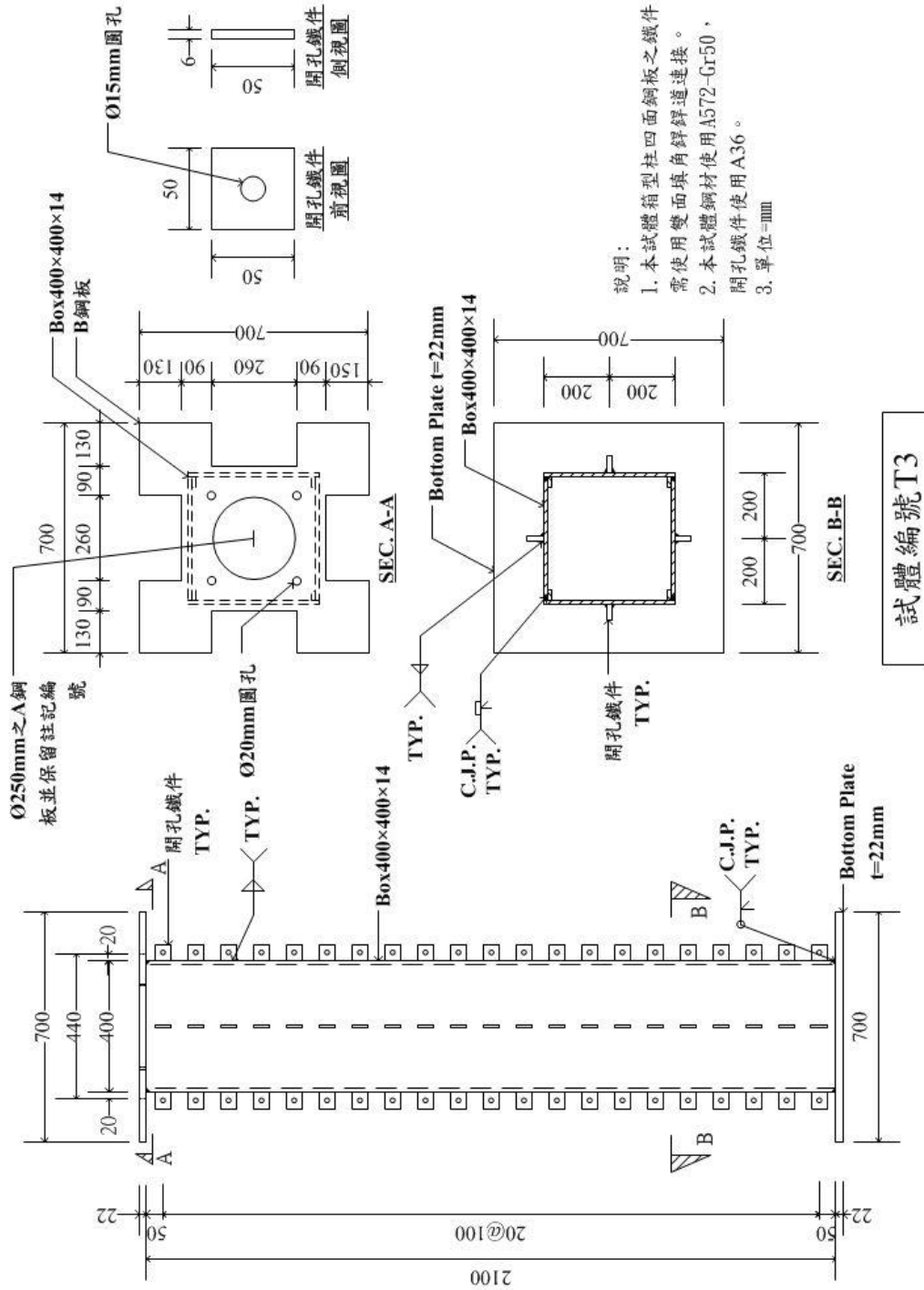


圖 A.4 T3 試體鋼箱型柱設計圖

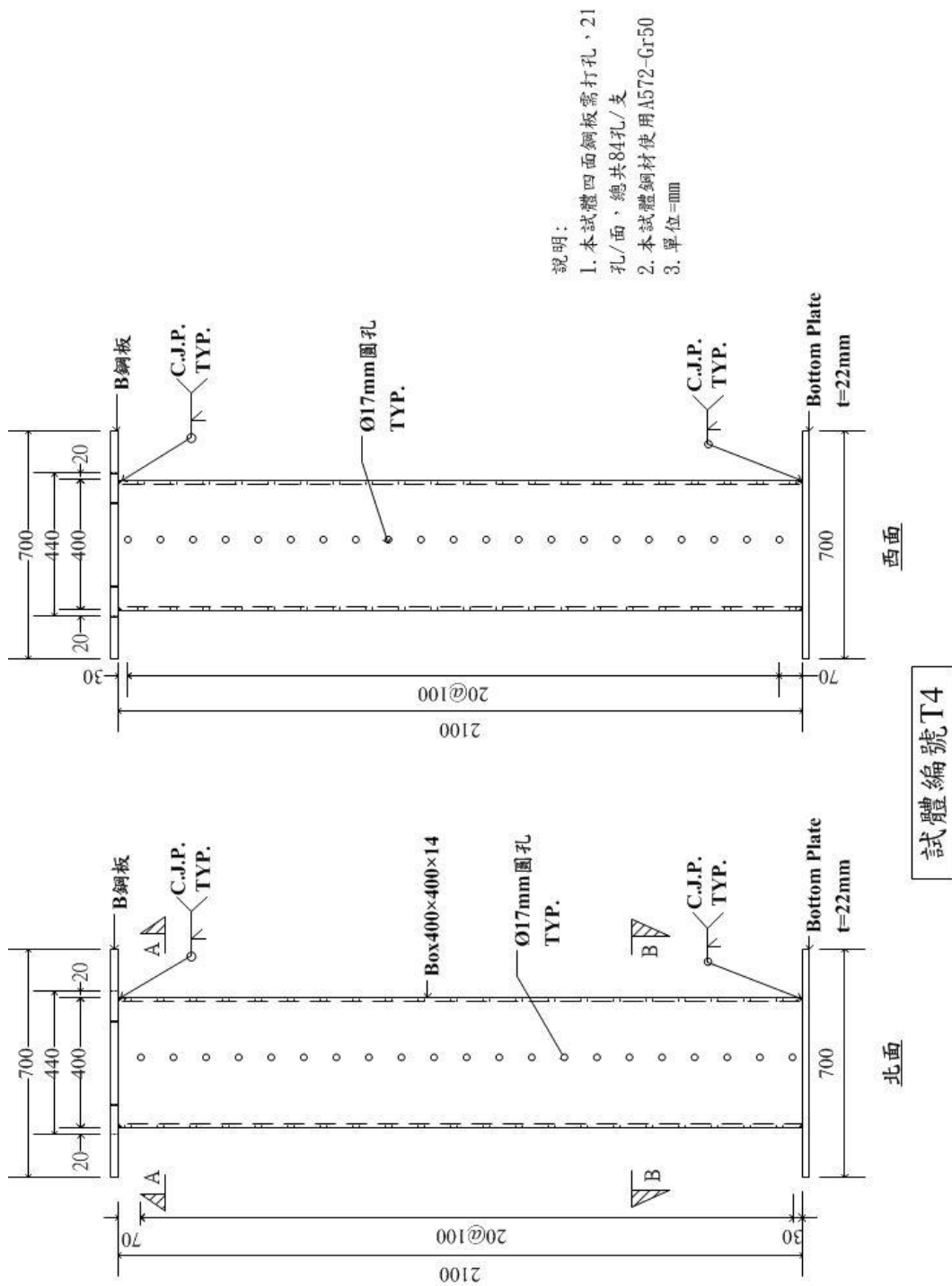


圖 A.5 T4 試體鋼箱型柱設計圖(一)

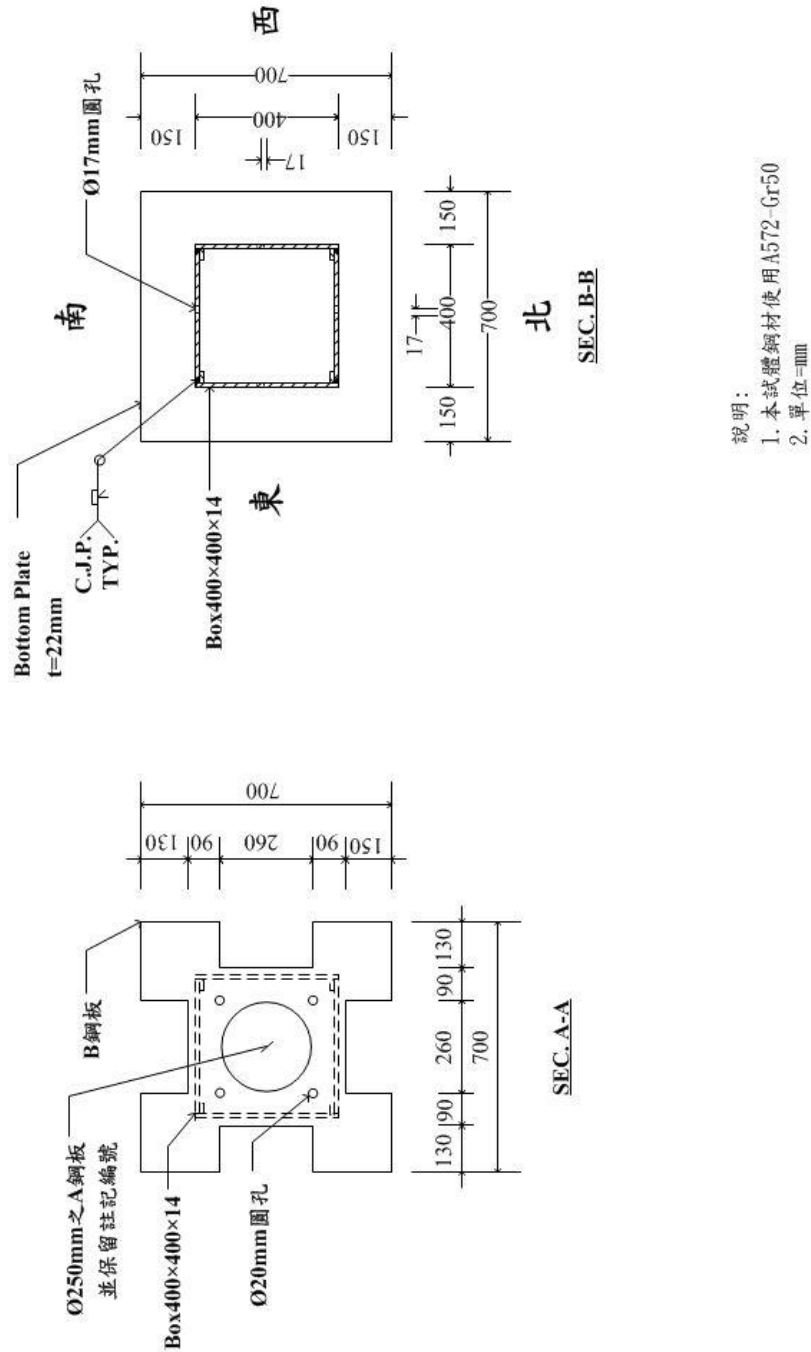
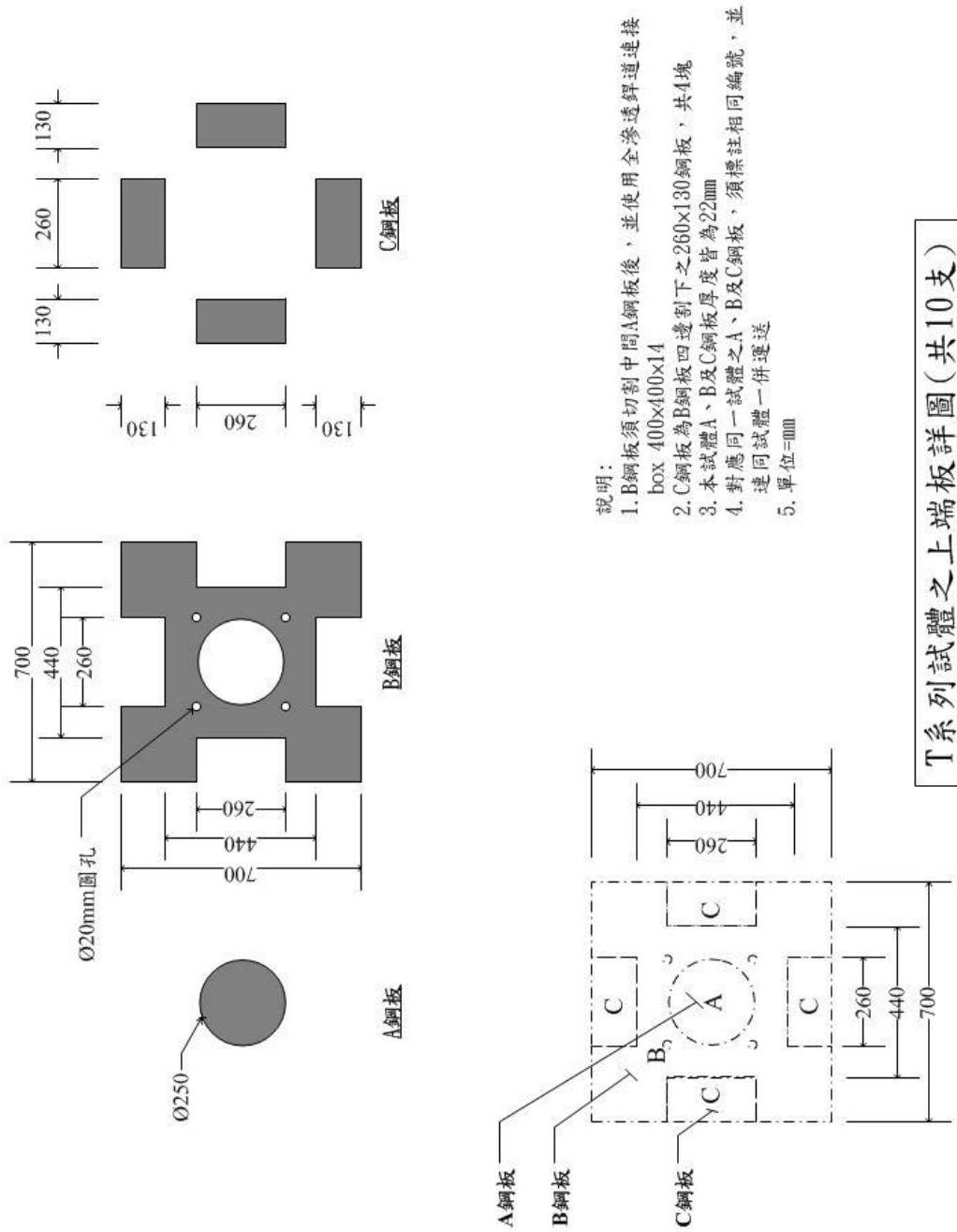
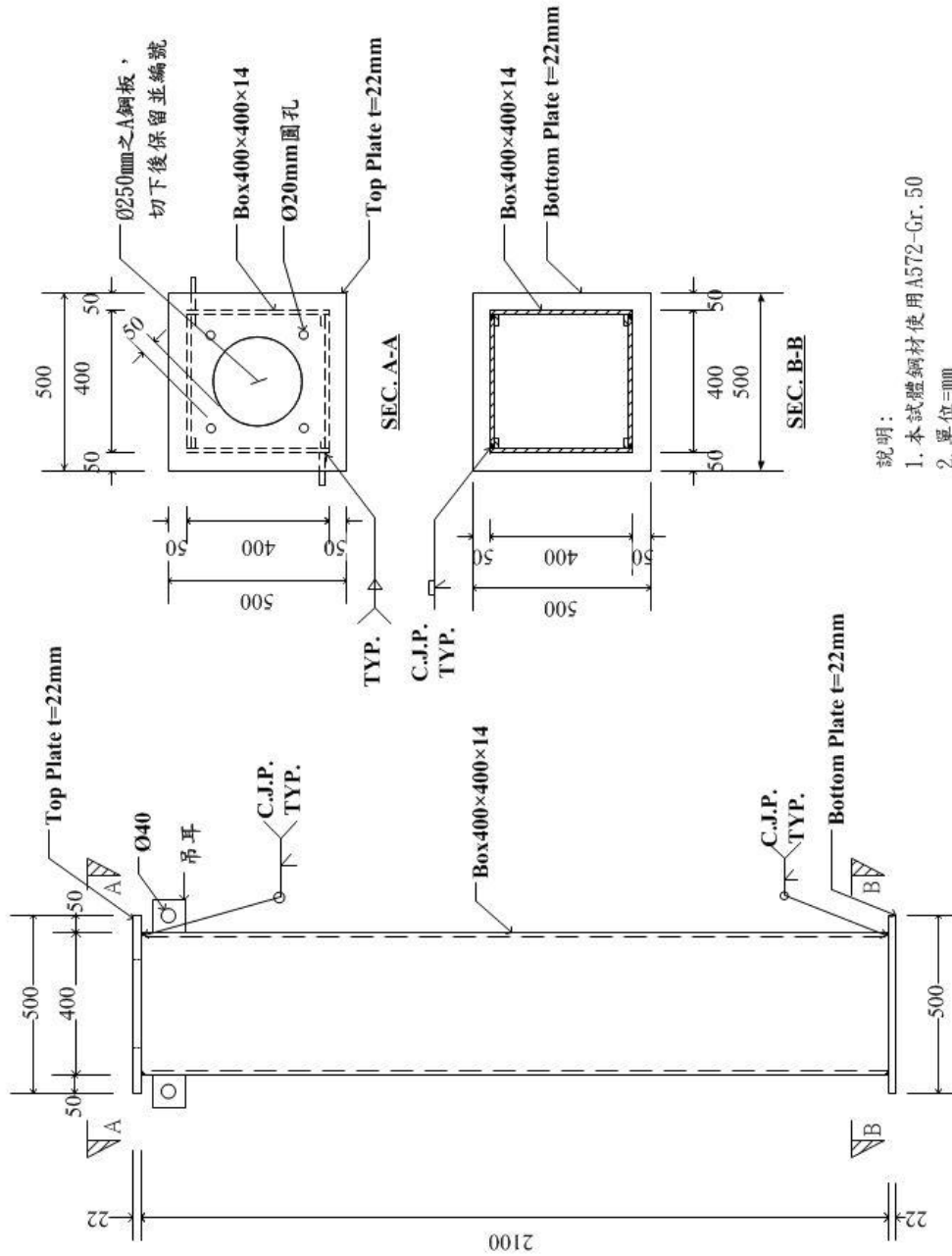


圖 A. 6 T4 試體鋼箱型柱設計圖(二)



T系列試體之上端板詳圖(共10支)

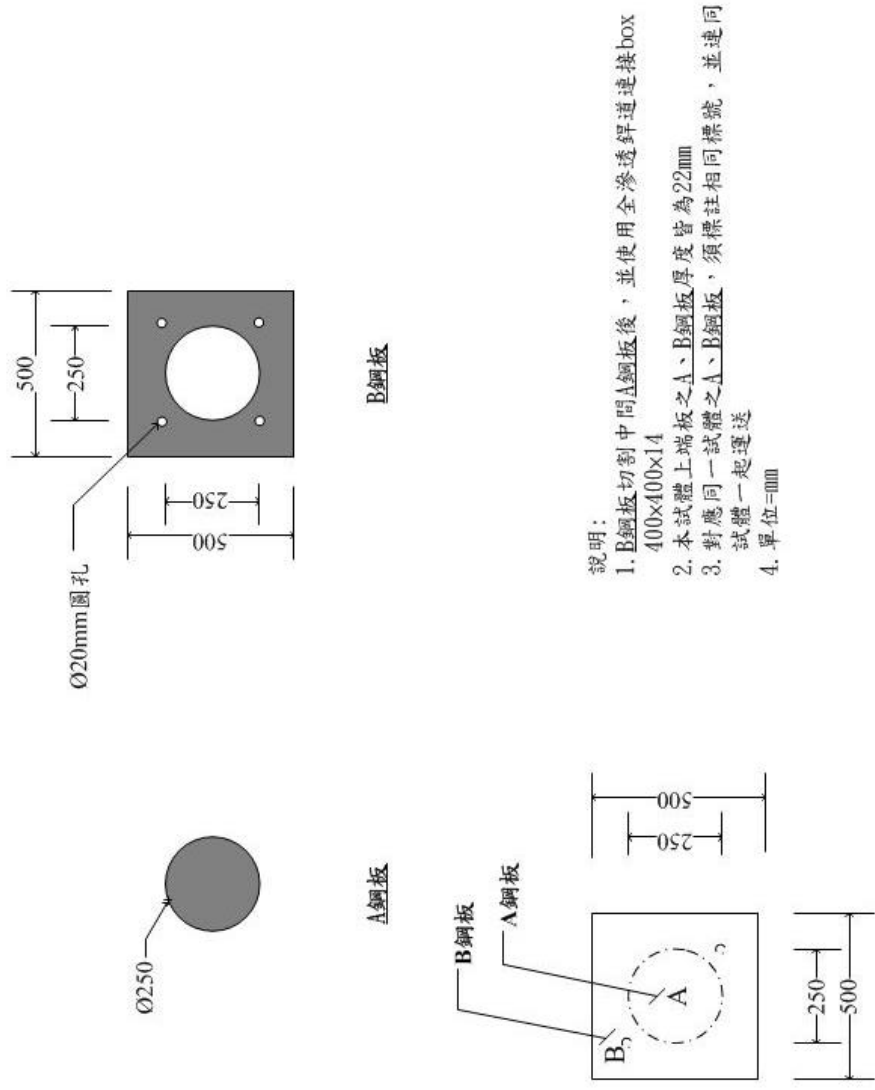
圖 A.7 T系列鋼箱型柱上端板詳圖



說明：
 1. 本試體鋼材使用A572-Gr. 50
 2. 單位=mm

試體編號CR

圖 A. 8 CR 試體鋼箱型柱設計圖



CR系列試體之上端板詳圖(共2支)

圖 A.9 CR 試體鋼箱型柱上端板詳圖

附錄 B T 系列試體橫向鋼筋配筋圖

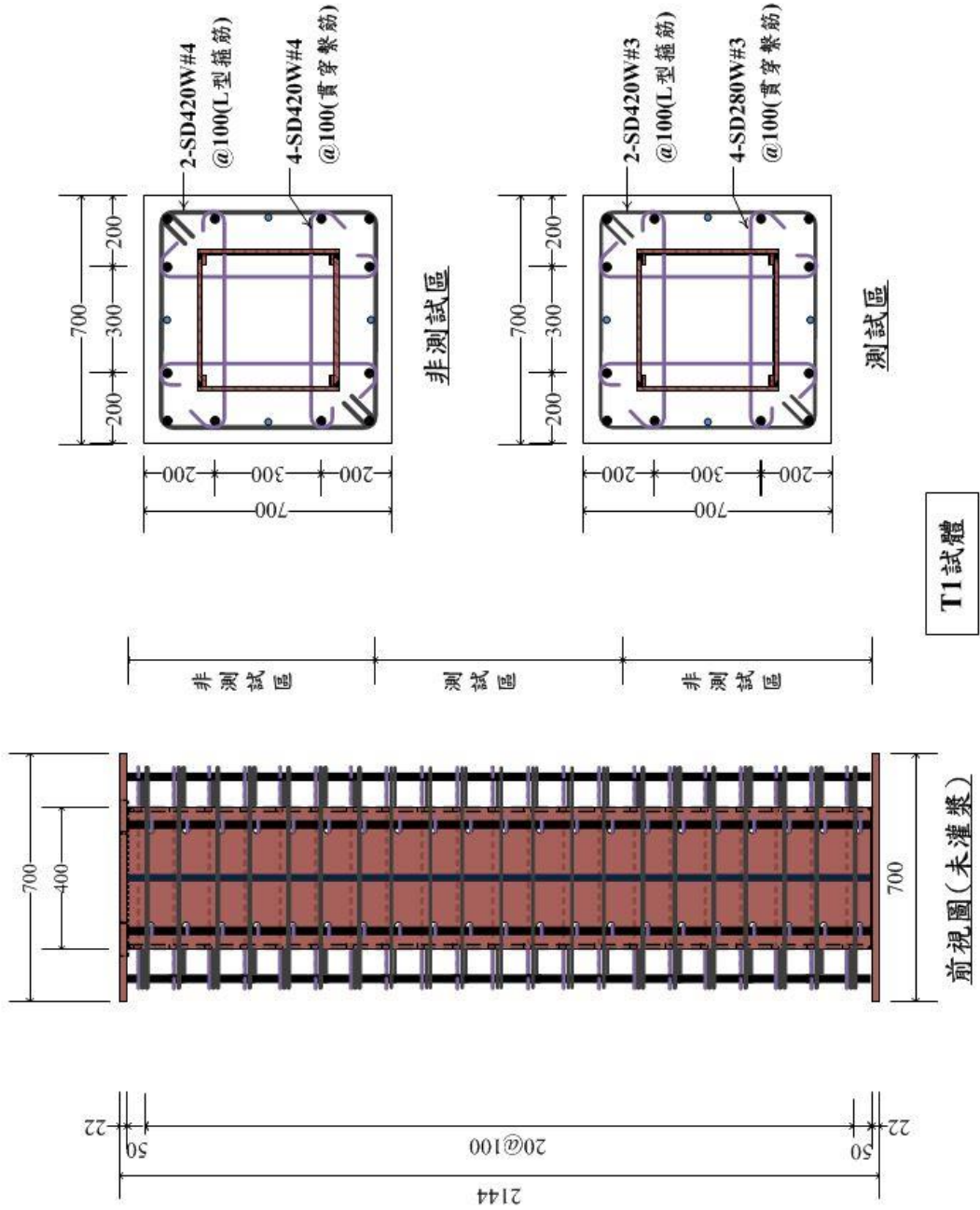


圖 B.1 T1 試體配筋圖

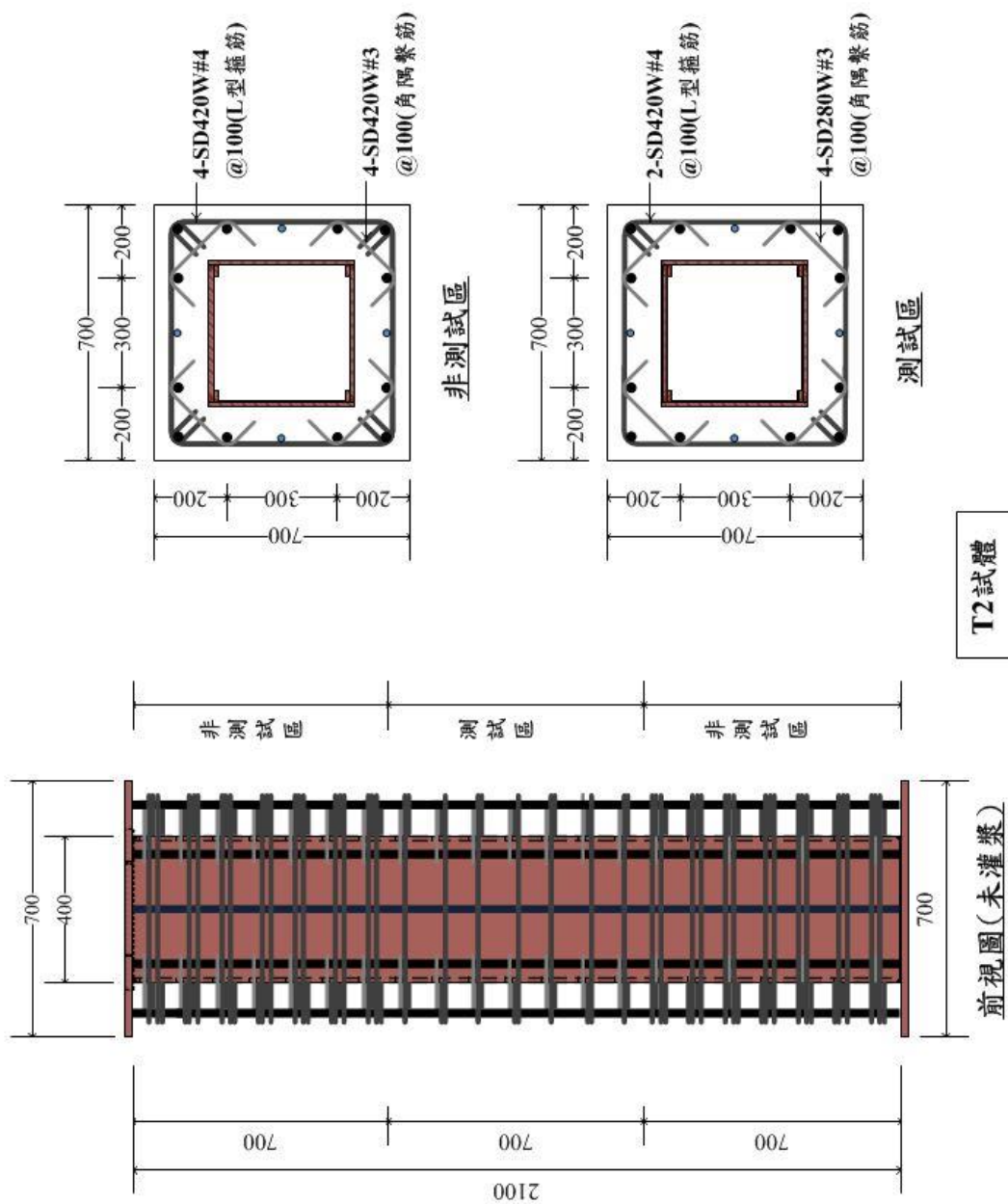


圖 B.2 T2 試體配筋圖

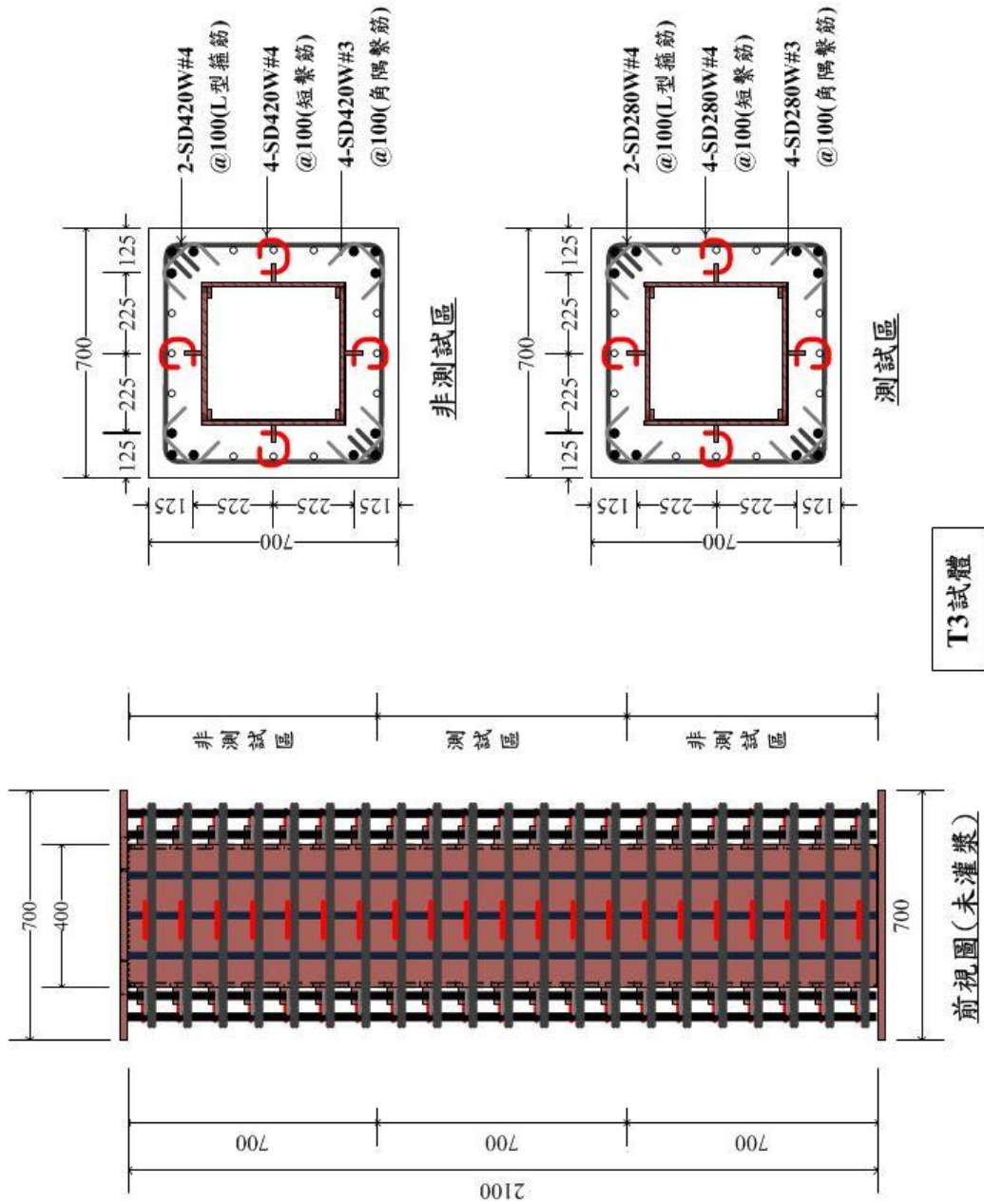


圖 B.3 T3 試體配筋圖

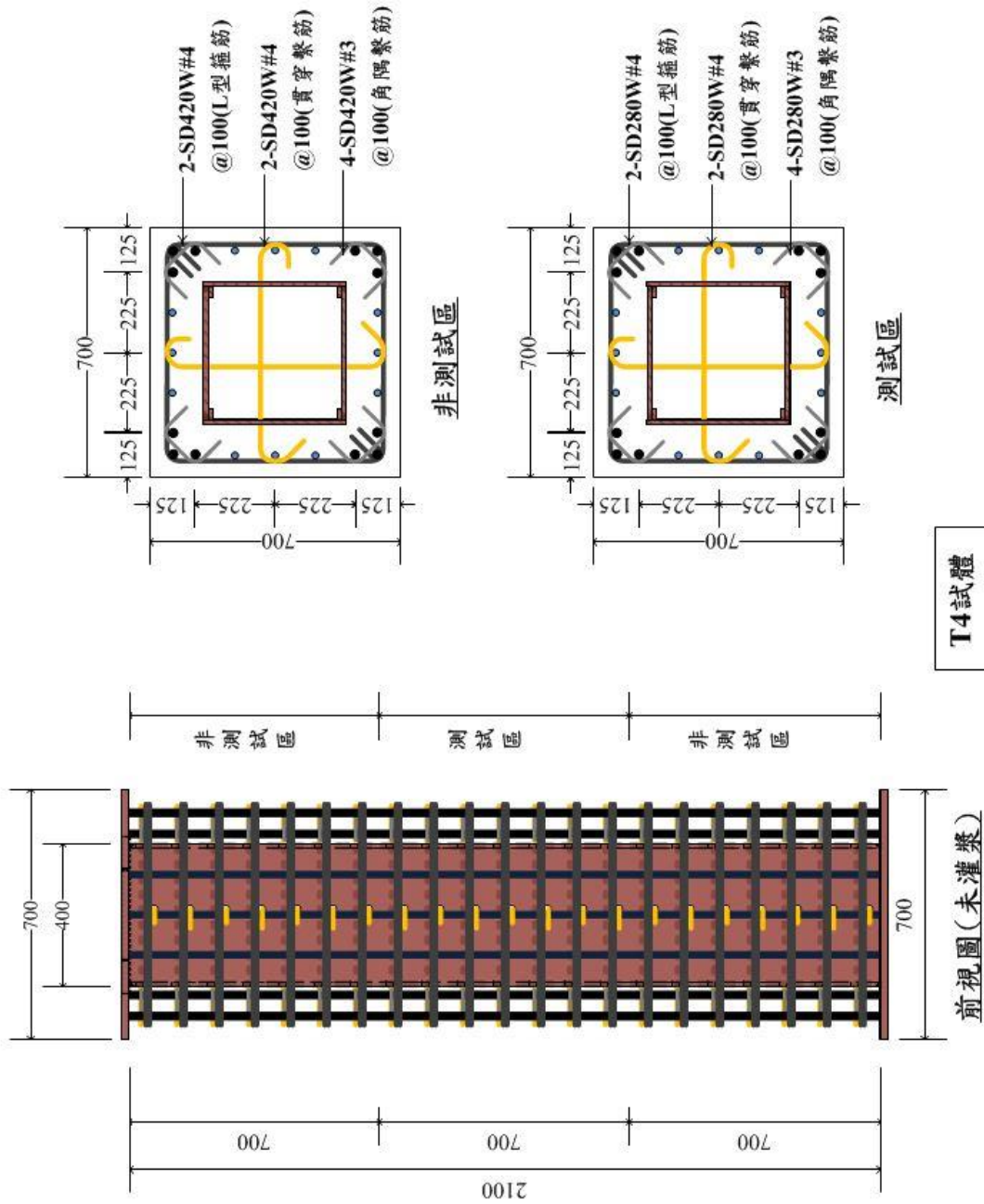


圖 B.4 T4 試體配筋圖

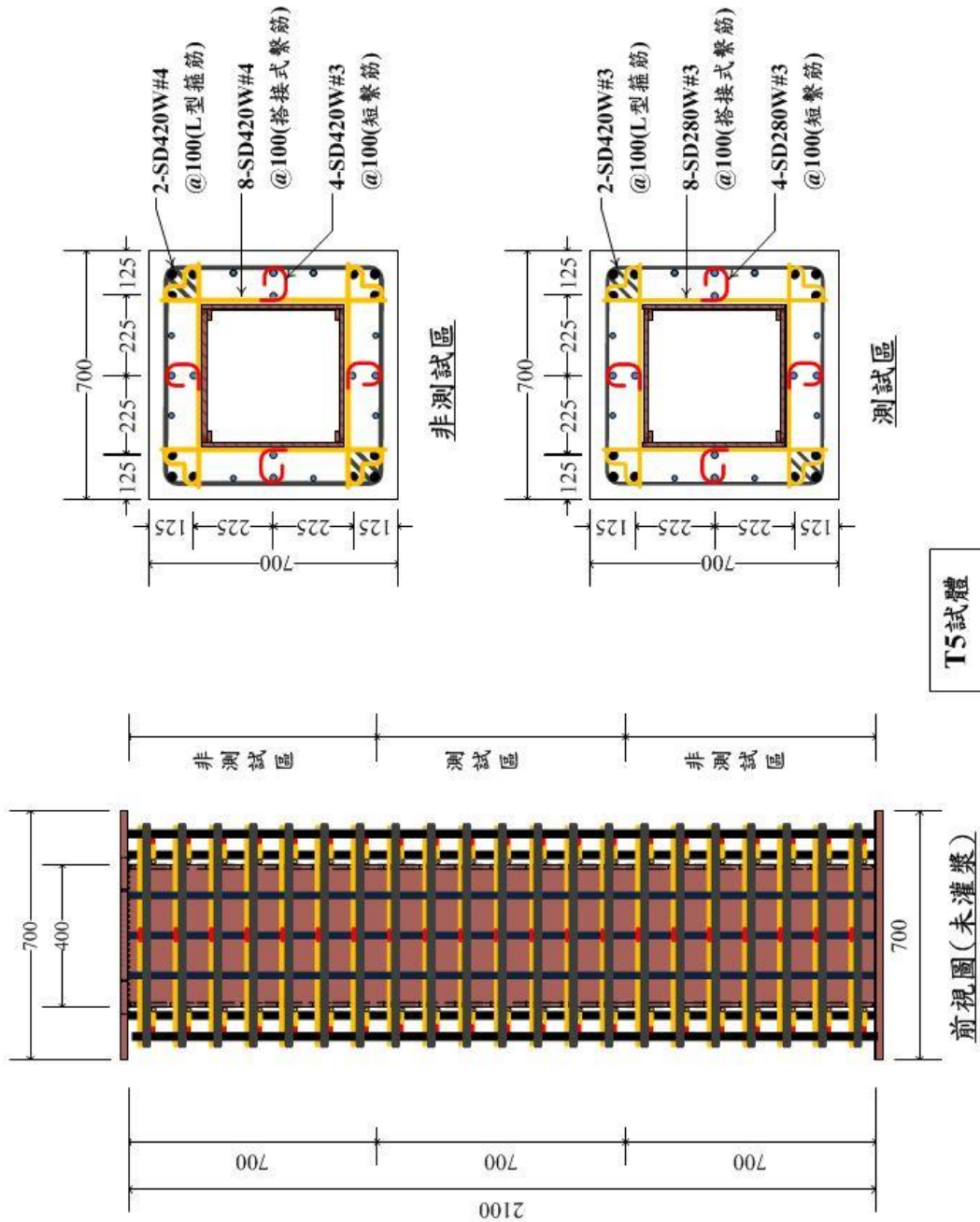


圖 B.5 T5 試體配筋圖

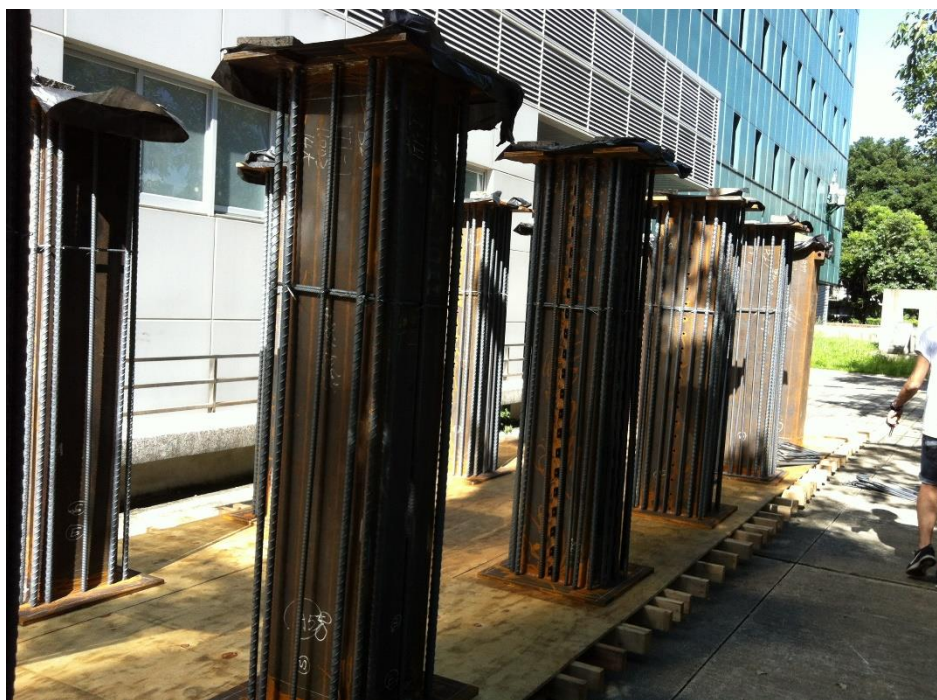
附錄 C 其他試體施工相關照片



照片 C. 1 鋼箱型柱現場照(由右至左分別為 T1-T5 及 CR 試體)



照片 C. 2 L 型箍筋 135 度彎鉤加工照

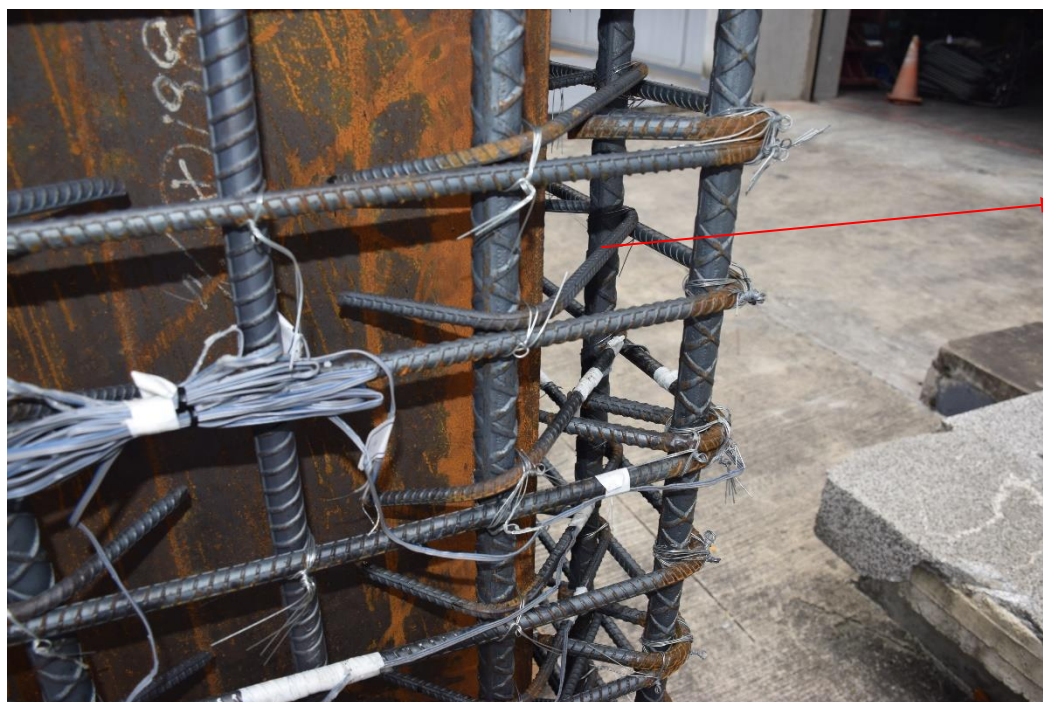


照片 C.3 試體主筋暫固定於鋼型柱



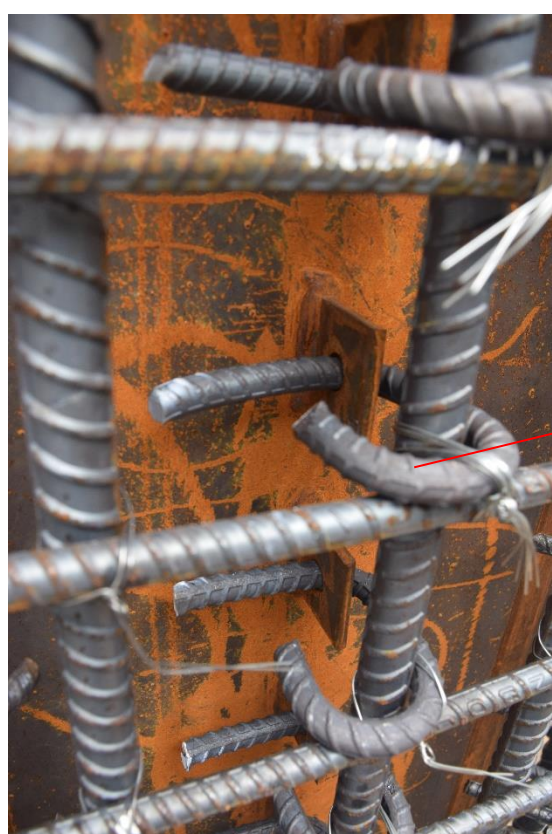
貫穿繫筋

照片 C.4 T1 試體貫穿繫筋 135 度彎鉤採人工加工



角隅繫筋

照片 C.5 T2 試體角隅繫筋完成照

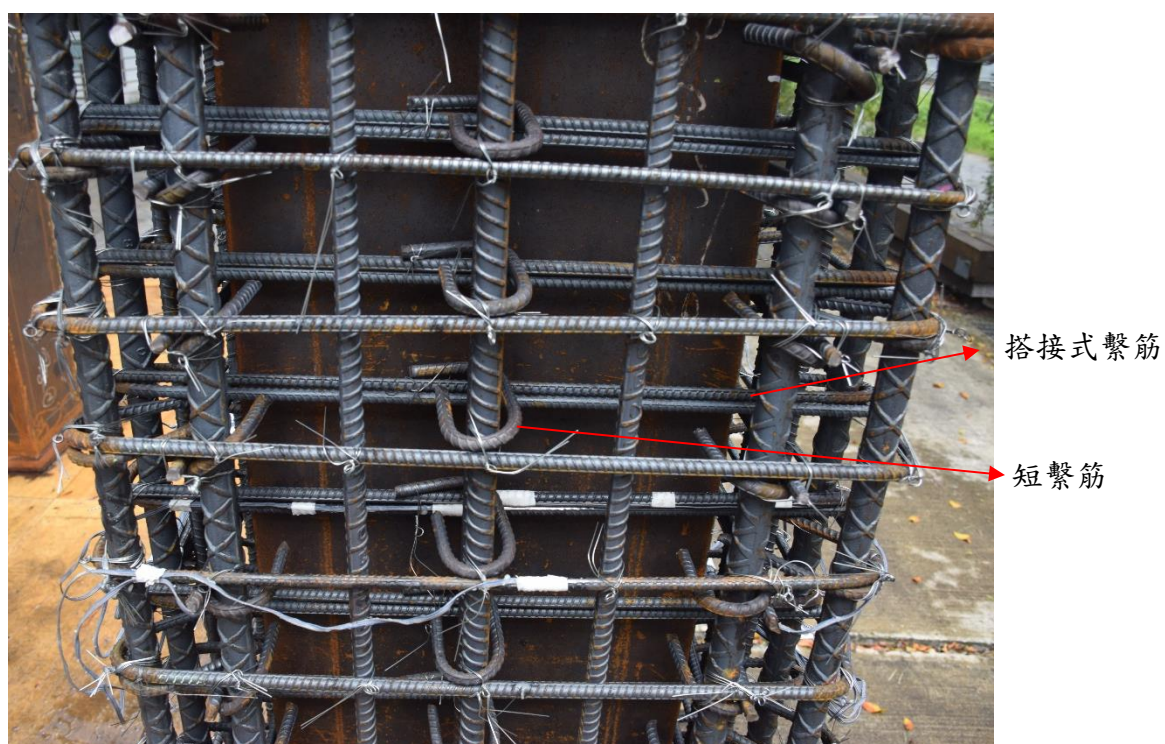


短繫筋

照片 C.6 T3 試體短繫筋完成照



照片 C.7 T4 試體貫穿繫筋完成照



照片 C.8 T5 試體搭接式繫筋完成照



照片 C. 9 試體鋼骨內灌漿照



照片 C. 10 試體灌漿完成照



照片 C.11 試體上端板之切割鋼板



照片 C.12 試體上端板之切割鋼板填補完成照



照片 C. 13 混凝土圓柱抗壓試體完成照



照片 C. 14 試體與圓柱抗壓試體一同養護

參考書目

- [1] ACI Committee 318, 2011, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary (ACI 318R-11),” Farmington Hills (MI): American Concrete Institute, 2011.
- [2] American Institute of Steel Construction (AISC), 2010, “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,” ANSI/AISC 341-10, AISC Inc., Chicago (IL), March 9, 2010.
- [3] American Institute of Steel Construction (AISC), LRFD, 2005, Load and Resistance Factor Design Specification.
- [4] Chen, C.C., Ko, J.W., Huang, G.L., Chang, Y.M., 2012, “Local Buckling and Concrete Confinement of Concrete-Filled Box Columns under Axial Load,” Journal of Constructional Steel Research, Accepted 7 June 2012.
- [5] Hoang T.T.T., Seismic Behavior of Steel Reinforced Concrete Columns with Axial Compressive Force, NTUST Master Thesis(陳正誠教授指導), 2009.
- [6] James M. Ricles and Shannon D. Paboojian, “Seismic performance of steel-encased composite columns,” Journal of Structural Engineering, 1994.
- [7] Sakino, K., Nakahara, H., 2004, Morino, S., and Nishiyama, I., “Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns,” Journal of Structural Engineering, vol. 130, pp. 180-188, 2004.
- [8] Uy, B., 2001, “Strength of short concrete filled high strength steel box columns,” Journal of Constructional Steel Research, vol. 57, pp. 113-134, 2001.
- [9] 內政部營建署, 「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」, 2011。

- [10] 柯人文，2012，「填充混凝土箱型鋼柱之短柱軸向行為」，博士論文（陳正誠教授指導），國立台灣科技大學，2012。
- [11] 翁正強、顏聖益、林俊昌(1998)，「包覆型 SRC 柱鋼骨對混凝土圍束箍筋量之影響」，中國土木水利工程學刊，第十卷，第二期，193-204 頁。
- [12] 李讓，2005，「鋼骨鋼筋混凝土柱圍束鋼筋量之試驗與耐震設計」，碩士論文（翁正強教授指導），國立臺灣交通大學土木工程研究所。
- [13] 沈家豪，2010，「鋼骨鋼筋混凝土柱塑性轉角容量之研究」，碩士論文（陳正誠教授指導），國立臺灣科技大學。
- [14] 陳正誠、黃氏秋水，2009，「含軸向鋼骨鋼筋混凝土柱之耐震行為」，碩士論文（陳正誠教授指導），國立臺灣科技大學。
- [15] 陳正誠、黃國倫、柯人文，2009，「混凝土箱型鋼柱之撓曲韌性行為研究」，內政部建築研究所委託研究成果報告，計畫編號：983G1018，內政部建築研究所，2009 年 12 月。
- [16] 陳正誠、黃國倫、蔡宜樺、柯人文，2010，「填充高強度混凝土箱型鋼柱之撓曲韌性行為研究」，內政部建築研究所委託研究成果報告，計畫編號：993G1021，內政部建築研究所，2010 年 12 月。
- [17] 陳正誠、詹鎧慎，2010，「含軸壓力包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱之撓曲行為」，碩士論文（陳正誠教授指導），國立臺灣科技大學。
- [18] Lee, T.K., Chen, C.C., Pan, A.D.E, Hsiue, K.Y., Tsai, W.M., Hwa, K., Experimental evaluation of large circular RC columns under pure compression

包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性

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3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：**陳正誠、周佳希、吳品達**

出版年月：103年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-04-3189-6 (平裝)

