

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 102 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)

PG10202-0018

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

受委託者：國立台灣科技大學營建系

研究主持人：歐昱辰

協同主持人：陳正誠

研究員：李宏仁

研究助理：杜昱石

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 102 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.....	V
圖次.....	VII
摘要.....	XVII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究方法及過程.....	3
第二章 文獻回顧	11
第一節 牆體行為與相關設計規範.....	11
第二節 近年國外相關文獻回顧	20
第三節 近年國內相關研究情況	25
第四節 國內相關法規整理及工程實務訪談	34
第五節 台灣典型街屋(沿街店鋪式住宅)之結構特徵.....	47
第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證 及模型建立	55
第一節 非線性有限元素法分析	55
第二節 實例驗證模型分析之結果.....	55
第三節 DIANA 分析模型參數之設定及假設.....	69
第四章 開口牆體之初始側向勁度 DIANA 分析結果對 照.....	75

第一節	以有限元素軟體 DIANA 做開口牆體初始勁度分析	75
第二節	實心牆之有效勁度及開口勁度折減係數.....	76
第三節	研究團隊所提出之含開口 RC 牆體初始勁度評估方法(勁度計算法).....	81
第四節	各勁度計算法結果之比較.....	86
第五章	開口牆體之側向強度 DIANA 分析結果對照.....	95
第一節	實心牆之側向強度及開口強度折減係數.....	95
第二節	各側向強度計算法結果之比較	98
第六章	DIANA 軟體分析開口位置對牆體之影響.....	107
第七章	試體設計及載重試驗	115
第八章	結論與建議	119
第一節	結論	119
第二節	建議	121
附錄一	期初評選會議紀錄文件	123
附錄二	議價紀錄文件及廠商回應表	133
附錄三	專家座談會會議紀錄及簽到表	139
附錄四	期中審查會議紀錄及簽到表	163
附錄五	期末審查會議紀錄及簽到表	177
附錄 A	試體設計圖	193

附錄 B 試體製作相關照片	203
附錄 C 勁度計算法範例	231
參考書目	237

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

表 次

表 1-1 預定之研究進度.....	3
表 2-1 建築技術規則設計施工編第四十一條	35
表 2-2 建築技術規則設計施工編第一條部分節錄	35
表 2-3 建築技術規則設計施工編第四十二條	37
表 2-4 建築技術規則設計施工編第三十二條	38
表 2-5 建築技術規則設計施工編第一條部分節錄	38
表 2-6 建築技術規則設計施工編第四十五條	39
表 2-7 建築技術規則設計施工編第八十六條	41
表 2-8 建築技術規則設計施工編第一條部分節錄	41
表 2-9 建築技術規則設計施工編第七十九條部分節 錄	42
表 2-10 建築技術規則設計施工編第七十三條部分節 錄	42
表 2-11 混凝土結構設計規範第七章 7.6 條部分節錄...	43
表 2-12 混凝土結構設計規範第七章 7.7 條	44
表 2-13 混凝土結構設計規範第七章 7.4 條	46
表 2-14 實際案例中所用之材料強度	52
表 3-1 斷面大小及常用鋼筋資料	60
表 3-2 開口周圍配置之鋼筋資料	60

表 3-3 鋼筋之力學性質	60
表 3-4 混凝土之力學性質	61
表 3-5 試體 W-3 相關細節	64
表 3-6 材料參數	65
表 3-7 材料參數	68
表 4-1 勁度折減係數	88
表 4-2 勁度計算	89
表 4-3 各勁度計算法之比較表	89
表 6-1 高向開口模擬分析結果	108
表 6-2 橫向開口模擬分析結果	109
表 6-3 高向開口左、右向側推結果	110
表 6-4 橫向開口左、右向側推結果	111
表 6-5 含開口強構架對稱配置模擬分析結果	113

圖 次

圖 1- 1 研究流程圖	4
圖 2- 1 牆體初步強度計算所考慮的力量配置	14
圖 2- 2 特殊邊界構材.....	15
圖 2- 3 普通邊界構材.....	15
圖 2- 4 法二決定邊界構材	17
圖 2- 5 牆墩上側與下側水平鋼筋傳遞剪力	18
圖 2- 6 低矮結構牆剪力破壞模式:(a)與(b)剪拉破壞； (c)與(d)剪壓破壞；(e)牆底摩擦剪力破壞	19
圖 2- 7 具開口之低矮結構牆壓拉桿模型.....	20
圖 2- 8 試體設計與加載系統	21
圖 2- 9 最大側力時最大與最小主應力分布	21
圖 2- 10 Warashina 等研究之試體設計	22
圖 2- 11 Warashina 等研究測試結果與分析比對	22
圖 2- 12 Sakurai 等研究之試體外觀.....	23
圖 2- 13 Sakurai 等研究之試體加載方式與測試結果....	23
圖 2- 14 Ermine 等研究之試體加載方式、試體設計、 試驗結果	24
圖 2- 15 李宏仁研究試體之設計及測試結果: (a)試體 A；(b)試體 B	26

圖 2- 16 許茂雄教授研究之分析結果: (a)一樓補強前 ; (b)一樓補強後	27
圖 2- 17-1 黃世建教授研究試體之設計與測試結果: (a)大面積開一窗	28
圖 2- 18-3 黃世建教授研究試體之設計與測試結果:開 一門.....	30
圖 2- 19 李有豐教授研究之非韌性雙層雙跨含牆 RC 構架之擬動態分析試體設計及試驗結果 : (a) 試體未補強前最大加速度為 2.0 時之遲滯迴圈 ; (b)試體補強後最大加速度為 2.0 時之遲滯迴圈	31
圖 2- 20-1 邱耀正教授研究試體之設計: (a)中型牆板 試體鋼筋及鋼板配置參數表 ; (b)低型牆板試體 鋼筋及鋼板配置參數表	32
圖 2- 21-2 邱耀正教授研究試體之設計:扇形配筋設計	33
圖 2- 22-1 試體之測試結果	33
圖 2- 23-2 試體之測試結果: (a)試體 MWG1 載重-總 位移圖 ; (b)試體 MWG2 載重-總位移圖 ; (c) 試體 MWG3 載重-總位移圖 ; (d)試體 LWG1 載重-總位移圖 ; (e)試體 LWG2 載重-總位移圖	34
圖 2- 24 台灣典型之屋後外牆開口配置	48

圖 2- 25 觀察到之實際街屋(沿街店鋪式住宅)開口配 置圖.....	49
圖 2- 26 觀察到之實際街屋(沿街店鋪式住宅)開口配 置圖.....	50
圖 2- 27 實務設計上鋼筋配置因牆厚不同所做不同之 配置.....	50
圖 2- 28 牆厚度與所採用之鋼筋配置	51
圖 2- 29 開口周圍補強配筋細節	52
圖 2- 30 結構牆與柱接合配筋詳圖說範例	53
圖 2- 31 結構牆與梁接合配筋圖說範例.....	54
圖 3- 1 Yanez 所研究的試體.....	56
圖 3- 2 DIANA 模擬模型細節(a)S2、(b)S3、(c) S5、 (d)S6.....	57
圖 3- 3 軟體模型模擬結果與 Yanez 實驗數據做比較 (a)S2、(b)S3、(c)S5、(d)S6.....	58
圖 3- 4 Doi 等試驗試體 L1 和 L2 配筋細節.....	61
圖 3- 5 DIANA 模擬模型配筋細節：(a)L1、(b)L2	62
圖 3- 6 軟體模型模擬結果與 Doi 等實驗數據做比較 L1 (a)和 L2 (b).....	63
圖 3- 7 試體 W-3 配筋細節	64
圖 3- 8 試體 W-3 DIANA 模型之建立	66
圖 3- 9 DIANA 模型模擬與實際試驗之結果對照.....	67

圖 3- 10 試體 O1 之幾何形狀和 DIANA 模型網格	68
圖 3- 11 DIANA 模型模擬與實際試驗之結果對照	69
圖 3- 12 有限元素材料特性	70
圖 3- 13 DIANA 模型之邊界條件及載重	71
圖 3- 14 反覆載重歷程	71
圖 3- 15 旋轉裂縫角理論	72
圖 3- 16 混凝土應力應變曲線；(a)拉力、(b)壓力	73
圖 3- 17 鋼筋材料之雙線性應力應變曲線	73
圖 3- 18 模型構架之鋼筋配置細節範例	74
圖 4- 1 定義初始勁度之方法	76
圖 4- 2 Neuenhofer 提出之折減係數計算法	78
圖 4- 3 網格狀筋及混凝土交互作用於牆板內形成拉、 壓力桿	82
圖 4- 4 類行架模型比擬受剪切變形之牆板 Bing Li and Weizheng Xiang	83
圖 4- 5 勁度分析比較用開口牆相關尺度	87
圖 4- 6 含窗開口之勁度計算結果比較	90
圖 4- 7 含窗及空調開口之勁度計算結果比較	91
圖 4- 8 含窗及門開口之勁度計算結果比較	91
圖 4- 9 含門開口之勁度計算結果比較	92
圖 4- 10 含窗開口之勁度計算結果比較	93

圖 5-1 Ono's 折減係數計算示意圖	98
圖 5-2 含窗開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖	99
圖 5-3 含窗及空調開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖	99
圖 5-4 含窗及門開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖	100
圖 5-5 含門開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖	100
圖 5-6 含窗開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖	101
圖 5-7 含窗開口牆體強度計算結果比較.....	102
圖 5-8 含窗及空調開口牆體強度計算結果比較.....	103
圖 5-9 含窗及門開口牆體強度計算結果比較	103
圖 5-10 含門開口牆體強度計算結果比較	104
圖 5-11 含窗開口牆體強度計算結果比較	104
圖 6-1 分析模型配筋細節示意圖	107
圖 6-2 模型分析單垮實心牆側推得到之應力分布	114
圖 6-3 模型分析單垮實心牆側推得到之應力分布	114
圖 7-1 實驗試體開口配置	116
圖 7-2 試體試驗加載方式示意圖	116
圖 7-3 載重歷程.....	117

圖 A.1	基礎斷面、柱斷面、加載梁斷面	194
圖 A.2	加載梁側視圖、試體上視圖、基礎側視圖.....	195
圖 A.3	柱主筋向基礎、加載梁內錨定示意圖	196
圖 A.4	試體 1、無開口試體牆筋配置及錨定深度示意圖	197
圖 A.5	試體 2、右側開門 90x250 左側牆面中央開窗， 高程 140、尺度 90x90.....	198
圖 A.6	試體 2 開口配置及補強筋配置圖	198
圖 A.7	試體 3、右側開門 90x250 右側牆面開窗，高 程 140、尺度 90x90	199
圖 A.8	試體 3 開口配置及補強筋配置圖	199
圖 A.9	試體 4、右側開門 90x250 左側牆面右方開窗， 高程 110、尺度 90x140	200
圖 A.10	試體 4 開口配置及補強筋配置圖.....	200
圖 A.11	試體 5、右側開門 90x250 左側牆面右方開窗， 高程 110、尺度 150x140	201
圖 A.12	試體 5 開口配置及補強筋配置圖.....	201
圖 B.1	底板放樣、PVC 管位定位及基礎鋼筋組立.....	204
圖 B.2	基礎鋼筋及柱主筋組立.....	204
圖 B.3	柱箍筋延伸配置進基礎內	205
圖 B.4	柱主筋 90 度彎鉤後伸展至基礎內錨定.....	205
圖 B.5	基礎兩側腰筋.....	206

圖 B. 6	基礎鋼筋及柱主筋組立.....	206
圖 B. 7	基礎側模板組立.....	207
圖 B. 8	基礎 PVC 管與基礎鋼筋綁定處理.....	207
圖 B. 9	需垂直錨定入基礎內牆筋綁紮.....	208
圖 B. 10	開口邊垂直牆筋截斷高度水準線.....	208
圖 B. 11	開口邊垂直牆筋截斷高度水準線.....	209
圖 B. 12	以高壓空氣噴槍清潔基礎底板.....	209
圖 B. 13	基礎前後側版組立.....	210
圖 B. 14	灌漿前基礎 PVC 套管防護處理.....	210
圖 B. 15	基礎預埋管定位最後確認.....	211
圖 B. 16	灌漿前試體整治後全貌.....	211
圖 B. 17	灌漿前泵送車進場準備.....	212
圖 B. 18	進行灌漿作業.....	212
圖 B. 19	進行灌漿作業.....	213
圖 B. 20	進行灌漿作業震動搗實.....	213
圖 B. 21	坍度及抗壓圓柱試驗試體取樣.....	214
圖 B. 22	進行坍度試驗.....	214
圖 B. 23	進行坍度試驗.....	215
圖 B. 24	進行坍度試驗.....	215
圖 B. 25	坍度 18.7cm.....	216
圖 B. 26	灌漿完成後基礎表面抹平.....	216

圖 B. 27	牆、柱工作輔助筋去除	217
圖 B. 28	後續施工用鷹架搭設	217
圖 B. 29	柱箍筋完整組立	218
圖 B. 30	柱箍筋完整組立	218
圖 B. 31	柱箍筋彎鉤位置輪換	219
圖 B. 32	柱繫筋彎鉤位置輪換	219
圖 B. 33	柱箍筋綁紮完成及上部加載樑鋼筋組立	220
圖 B. 34	柱及牆測模板組立	220
圖 B. 35	牆筋綁紮及加載梁內預力螺桿預留管位定位	221
圖 B. 36	加載梁內預力螺桿預留管位定位用鋼架(鋼筋焊接製)	221
圖 B. 37	垂直牆筋及水平牆筋應變計施作	222
圖 B. 38	垂直牆筋及水平牆筋應變計施作	222
圖 B. 39	雙層牆筋配置時固定層間間距之繫筋	223
圖 B. 40	應變計之走線及保護	223
圖 B. 41	固定牆厚用鐵件	224
圖 B. 42	後續封模	224
圖 B. 43	模板側向加強固鎖(牆側)	225
圖 B. 44	模板側向加強固鎖(柱側)	225
圖 B. 45	梁頂吊鉤預留	226
圖 B. 46	加載梁預力螺桿預留管穿鋼管加強防灌漿導	

致彎取過大	226
圖 B. 47 第二部分灌漿(前三座試體)坍度試驗	227
圖 B. 48 坍度 15cm	227
圖 B. 49 第三部分灌漿(後二座試體)坍度試驗	228
圖 B. 50 坍度 19.3cm	228
圖 B. 51 灌漿完成後 3 天開始拆模	229
圖 B. 52 拆模完成後試體全觀.....	229

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

摘 要

關鍵詞：鋼筋混凝土構造、街屋(沿街店鋪式住宅)、屋後牆、開口、耐震

一、研究緣起

低矮鋼筋混凝土連棟街屋(沿街店鋪式住宅)為國內相當普遍的建築形式，此種建築沿街道方向之牆體由於通道、通風與採光之需求，常存在相當面積之開口，導致牆體與相連梁柱構架之耐震行為異於典型含牆構架。其中梯間牆構架之耐震行為已於建研所民國 99 年委託案「梯間牆對低層 RC 造沿街連棟建築物耐震性能之影響」中獲得相當程度的瞭解，惟吾人對於屋後外牆之耐震行為所知仍極為有限。

對於街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆此議題，國內欠缺相關試驗研究，又國外相關研究因時空背景與地理條件上之不同(牆體開口特徵、配筋細節等)，是否適用於國內街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆亦有待試驗研究釐清。本研究之目的，在於透過大尺寸構架之耐震試驗，瞭解含典型開口型式與配筋之屋後外牆構架之耐震行為，並研究開發新型韌性消能配筋形式，並經實驗驗證其具有適當之耐震行為，以研擬配套之設計規範條款以利工程界參考使用。

二、研究方法及過程

本研究案之研究工作包括資料蒐集與整理、試體設計、試體製作、含開口牆之剪力行為試驗、材料機械性質試驗、實驗數據整理與分析、分析模型之建立、相關規範條文之檢討以及報告與期刊論文撰寫等步驟。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

採用的研究方法敘述如下：1. 文獻之收集與整理；2. 含開口牆試體之反覆載重實驗；3. 鋼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。

首先將廣泛蒐集與整理與本研究相關的文獻，包括相關設計規範，以及具開口結構牆試驗、簡化分析方法、有限元素分析方法相關文獻，作為試驗規劃、分析模型建置之參考。接著進行試體初步設計，並召開專家座談會，就試體設計、試驗步驟與結構分析模型，廣泛吸納業界與學界專家之意見。與此同時本計畫將收集台灣典型街屋(沿街店鋪式住宅)的平面圖、立面圖、結構平面圖及鋼筋配置圖(配筋圖)等資料，記錄台灣街屋(沿街店鋪式住宅)屋後牆的典型開口形式及鋼筋配置的細節，建立台灣街屋(沿街店鋪式住宅)開口形式與配筋細節的資料庫。

三、重要發現

經過相關資料文獻蒐集及研究後發現，街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆具有一定之特徵，例如開口大小、開口配置、牆體厚度和材料強度、牆體配筋細節等，吾人可以依照上述之結果設計出適當之實驗試體。

本研究以有限元素軟體分析開口牆體之行為及性能，對照文獻內之式體測試數據，可有效模擬出開口牆體之式沿結果。研究並提出一套依照理論所推行出之勁度分析方法，對照 DIANA 軟體分析和既有之其他開口勁度計算方法可得到相當優異之計算結果；強度之評估方法仍待更進一步之研究。

收集所得之資料(規章條文、實際案例工程圖說)可歸納出屋後外牆典型開口型式、相關尺度、配筋細節等，可進一步據此分析、比對傳統和新式配筋之性能差異，尚待後續研究進行更進一步之探討。

以 DIANA 軟體分析開口位置影響牆體強、勁度發現:

- a. 開口位於牆中心時,開口越往上移(越接近側力傳入處-樓地板),勁度越低(側力無法有效散佈、傳遞至下部),強度亦越低。
- b. 具偏心開口時,兩向(向左、向右)的勁度會以較易形成壓桿機制的一向略高一些;勁度之差異以開口越小越明顯。
- c. 牆開口後將會改變原有左右兩牆段之 hw/lw 值,整體行為可由兩牆段綜合得知,會相較於未開口前更具撓曲行為。
- d. 規範 AIJ&ACI 因開口之強度折減於開口較大時折減過多,過於保守。
- e. 牆面設計時,保留較大完整牆塊(即開口相互集中或者分開)可得較高之強、勁度。
- f. 偏心開口沿牆方向之正負向有不同之牆、勁度,於連棟街屋(沿街店鋪式住宅)時,可透過兩兩對稱配置得較均於之性能。
- g. 相同開口面積下,開高向之開口性能較優於開橫向之開口。
- h. 軟體分析顯示,牆面壓桿性能之發展與傳統之等效斜撐概念不盡相同,待以實際實驗加以確認。

研究調查及過去的經驗顯示,街屋(沿街店鋪式住宅)沿平行街道方向常為脆性破壞,乃強度控制,因此要解決街屋(沿街店鋪式住宅)耐震性能之問題或可從「如何讓平行街道向之構材具有足夠之強度以抵抗地震力」來著手,可考慮之方式有提高屋後牆及梯間牆之強度要求(提高鋼筋比、加厚牆尺寸、增加翼牆等)、提高柱之側向抵抗能力等。

四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對具開口屋後外牆，提出下列具體建議。
以下分別從立即可行建議及中長期建議加以列舉。

建議一

(建議事項)立即可行建議：具開口 RC 牆體強度與勁度計算方法

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：中國土木水利工程學會混凝土工程委員會、內政部營建署

現行混凝土結構設計規範欠缺計算開口 RC 牆體之強度與勁度方法，導致工程師設計開口 RC 牆體上之困難（常見開口 RC 牆體如低矮沿街店鋪式 RC 建築屋後牆與梯間牆、以及大樓 RC 外牆）。建議行文中國土木水利工程學會混凝土工程委員會與內政部營建署，建請將本研究研擬之開口 RC 牆體強度與勁度計算方法納入現行混凝土結構設計規範中，使工程師設計上有所依循。

建議二

(建議事項)立即可行建議：低矮沿街店鋪式鋼筋混凝土建築屋後牆開口配置建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

開口之配置顯著影響屋後牆之抗剪強度，惟目前工程界欠缺開口配置準則。建議將本研究研擬之開口配置準則行文建築師、土木與結構技師公會，以使建築師與技師於屋後牆開口配置上有所依循。

建議三

(建議事項)立即可行建議：辦理研討會，推廣研究成果

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣建築中心

藉由研討會之舉辦，廣邀建築師、土木與結構技師公會人員、執業建築師、土木與結構技師，各大學與研究機構人員與會，推廣本研究之研究成果。

ABSTRACT

Keyword : Reinforced concrete structures, street house, backside exterior walls, opening, seismic.

The 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan caused numerous building damage and collapse. A large percentage of damaged and collapsed buildings are low-rise reinforced concrete buildings with pedestrian corridors and open fronts on the ground floors, referred to as street houses herein. This type of building (street houses) typically was damaged along the direction of the street due to the much less volume of walls along this direction than the direction perpendicular to the street. Since street houses are very common in Taiwan, there is an urgent need for seismic evaluation and retrofit of existing street houses and for improved design method for new street houses. Since structural walls possess significant seismic capacity, appropriate seismic evaluation and design of street houses requires information on the seismic behavior of walls in street houses perpendicular to the street direction. Typically, there are two types of walls along this direction. One is the wall besides the stairs and the other one is the wall in the back exterior side of the house. The seismic behavior of stairs wall has been studied previously in a 2010 ABRI research project. This research will examine the seismic behavior of the backside exterior wall.

The backside exterior wall of street houses usually contains openings for doorway, kitchen ventilation and toilet windows in the first floor. In the second floor, the exterior wall typically has a window opening. The seismic evaluation and design for the backside exterior wall with typical

openings in Taiwan is still not clear. Moreover, the seismic performance of this type of wall with reinforcement detailing typical in Taiwan is questionable.

The objective of this research is to propose seismic evaluation and design method for backside exterior walls with typical opening pattern of street houses in Taiwan. Two large-scale two-story structural wall systems will be designed and constructed. One wall system will be equipped with conventional reinforcement detailing typical in Taiwan. The other one will be designed with proposed reinforcement detailing to improve the seismic performance. Lateral cyclic loading will be applied to investigate the seismic behavior of the walls. Based on the observed behavior, analytical models including strength and ductility evaluation and the finite element model will be developed and verified. With the developed analytical models, seismic evaluation and design methods for backside exterior walls with typical openings for street houses will be proposed. Results of this research will improve the seismic evaluation and design of street houses, leading to a more economical seismic retrofit and a safer new design of such structures.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

低矮鋼筋混凝土連棟街屋(沿街店鋪式住宅)為國內相當普遍的建築形式，此種建築沿街道方向之牆體由於通道、通風與採光之需求，常存在相當面積之開口，導致牆體與相連梁柱構架之耐震行為異於典型含牆構架。其中梯間牆構架之耐震行為已於建研所民國 99 年委託案「梯間牆對低層 RC 造沿街連棟建築物耐震性能之影響」^[27]中獲得相當程度的瞭解，惟吾人對於屋後外牆之耐震行為所知仍極為有限。

對於街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆此議題，國內欠缺相關試驗研究，又國外相關研究因時空背景與地理條件上之不同(牆體開口特徵、配筋細節等)，是否適用於國內街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆亦有待試驗研究釐清。本研究之目的，在於透過大尺寸構架之耐震試驗，瞭解含典型開口型式與配筋之屋後外牆構架之耐震行為，並研究開發新型韌性消能配筋形式，並經實驗驗證其具有適當之耐震行為，以研擬配套之設計規範條款以利工程界參考使用。

貳、研究背景

豐富的地質活動及天候變化形塑了「婆娑之洋、美麗之島」的台灣。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

多地震及多颱風的自然環境，是生活在這片土地上的每一個人，所必須學習面對及適應的共同課題。然而對於地震這種天災，以目前的科學技術仍無法準確預測其可能發生的時間、地點與規模，對人民生命安全和財產仍為一大威脅。

論地震對台灣之影響不得不提的是，1999年9月21日發生的集集大地震，台灣全島均感受到嚴重搖晃，共持續102秒，造成2,415人死亡，29人失蹤，11,305人受傷，51,711間房屋全倒，53,768間房屋半倒，其中又以台灣中部受災最為嚴重，乃台灣戰後傷亡損失最慘重的天災。而倒塌的建築中有相當大比例是一層至三層樓低矮鋼筋混凝土、具騎樓且面騎樓向有開放式開口的街屋(沿街店鋪式住宅)構造，與本案研究課題息息相關。

低矮鋼筋混凝土連棟街屋(沿街店鋪式住宅)為國內相當普遍的建築形式，此種建築沿街道方向之牆體由於通道、通風與採光之需求，常存在相當面積之開口，導致牆體與相連梁柱構架之耐震行為異於典型含牆構架。其中梯間牆構架之耐震行為已於建研所民國99年委託案「梯間牆對低層RC造沿街連棟建築物耐震性能之影響」^[27]中獲得相當程度的瞭解(李宏仁等, 2010)，惟吾人對於屋後外牆之耐震行為所知仍極為有限。

對於街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆此議題，國內欠缺相關試驗研究，又國外相關研究因時空背景與地理條件上之不同(牆體開口特徵、配筋細節等)，是否適用於國內街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆亦有待試驗研究釐清。本研究之目的，在於透過大尺寸構架之耐震試驗，瞭解含典型開口型式與配筋之屋後外牆構架之耐震行為，並研究開口大小、形狀、位置等因素對牆體行為之影響，並經實驗驗證之，以研擬配套之

設計規範條款以利工程界參考使用。

第二節 研究方法及過程

本研究案研究方法包括：(1) 文獻之收集與整理；(2)開口結構牆試體之反覆載重實驗；(3) 鋼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，邀請產、官、學各界參與討論，檢視所研擬機制的可行性及周延性；(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 1-1 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

月次	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月	備註
資料蒐集整理	■											
期中報告					■							
試體設計			■									
試體製作									■			
執行測試										■		
數據分析											■	
期末報告										■		
預定進度 (累積數)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

(資料來源：本研究整理)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

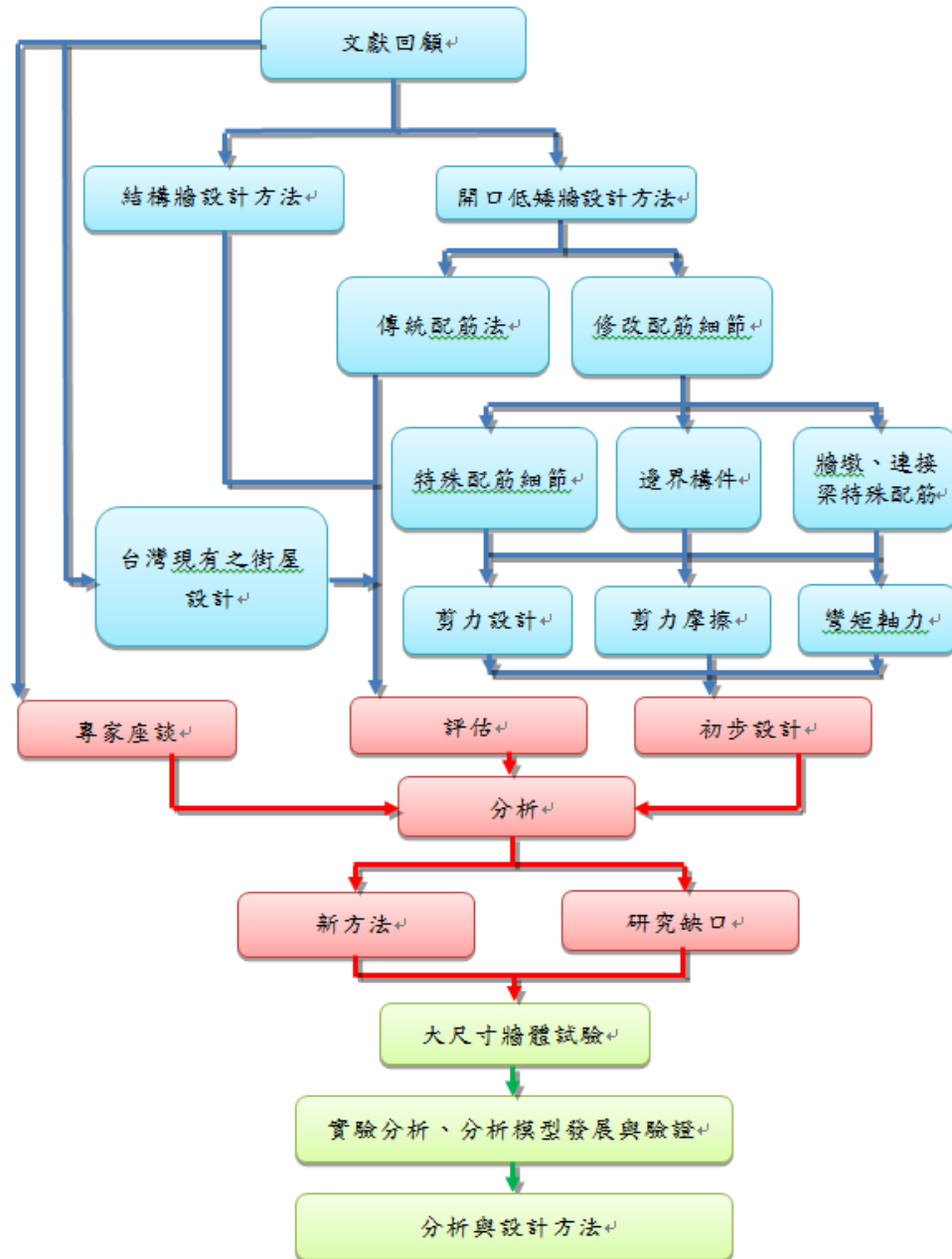


圖 1-1 研究流程圖

(資料來源：本研究整理)

壹、文獻之收集與整理

收集、整理相關文獻，一方面避免本研究之內容與現有成果重複，另一方面所收集之資料可作為分析模型建立及規範檢討的參考或補充資料。

貳、混凝土及鋼筋基本材料實驗

求取材料之基本應力-應變關係曲線，用於建立材料分析模型。基本材料包括各種強度的混凝土及各種號數和規格之竹節鋼筋，混凝土量測受壓情況之應力-應變曲線，鋼筋則量測受拉情況之應力-應變曲線。

參、開口構架試體之反覆載重試驗

本研究係以開口牆受地震力下之行為為主，測試五組大尺寸構架(含二樓實心牆體質量塊)，包含單垮含牆無開口構架一座及四座典型開口牆構架試體，開口試體採用典型台灣街屋(沿街店鋪式住宅)屋後牆配筋形式，牆體配置至少滿足 RC 結構規範之最少所需橫、縱向鋼筋量，並適當錨定至梁、柱及基礎內，開口四周須加置不少於 2 根 D16(#5)之鋼筋，此等鋼筋須延伸至孔角外至少 60 cm，並不得小於其伸展長度。街屋(沿街店鋪式住宅)開口形式與典型台灣街屋(沿街店鋪式住宅)配筋細節，由前述街屋(沿街店鋪式住宅)資料庫分析決定之，參考國內外相關文獻之後決定控制變因為「開口位置」、「開口尺寸」兩者，試驗預期之目標在於強化牆體受震之初始勁度與強度。試體加載方式採”位移控制”方式加載。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

於試體頂部加載梁處，以預力螺桿對梁施加預力，並與油壓制動器(MTS-200)加載頭一起固鎖之，後利用油壓制動器施加反覆側向載重，採位移控制，預計施壓的位移比為 0.25%、0.375%、0.5%、0.75%、1%、1.5%、2%、3%、4%、5%、6%，每個位移比重複加載三次，測試觀察重點包括初始勁度、降伏位移與側力、最大載重、極限位移與側力、消能、韌性、破壞模式等。

肆、舉辦專家座談會

本研究規劃一次專家座談會，邀請產、官、學各界參與討論，檢視所研擬機制的可行性及周延性。為發揮專家座談會的效果，第一次專家座談安排在試體設計階段舉辦，討論試驗規劃及試體設計細節。

專家座談會已於 102 年 6 月 24 日舉行，意見彙整如後所示，會議紀錄及簽到單則附在附錄三。

舉辦之專家座談會邀請產、官、學各界參與討論，檢視所收集到之街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆之現況包含屋後牆及開口相關尺度、材料參數、配筋細節等，以及就目前所規劃之試體設計可行性及周延性徵詢各方意見。為發揮專家座談會的效果，專家座談安排在試體設計階段舉辦，討論試驗規劃及試體設計細節。目前已完成第一次專家座談會，綜合結論彙整如下：

1. 在過往對既有建物做補強的經驗中，有開口之強在評估時乃採用無開口之牆在勁度、強度上做折減，惟須注意的是若牆體開口面積越大時，該牆對於傳統拉壓桿模型的適用性需多加注意。

2. 以往不同時期的建物適用於不同的法規，故在評估一牆的原有強度、勁度上，需特別注意之。
3. 由實際災後建物普查之結果得知，開口角隅的裂縫會最先產生，因此研究案應對角與裂縫的控制多加著墨。
4. 對於之後新建之街屋(沿街店鋪式住宅)類建築物，能否依據研究所得之評估方法和設計方法，提出一套有效之設計準則，例如使具開口牆之建物仍能在沿街方向反映出如特殊抗彎矩構架 (Special Moment Frame, SMF)的行為。
5. 對街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆做討論，首先應界定出其是否為結構牆，若在結構分析上不考慮其強度、勁度，則應確保其在實際情況下不對結構之反應造成影響。
6. 就現況而言，街屋(沿街店鋪式住宅)隔戶牆常作為結構牆設計，具有承重能力，變相地導致柱的縱向主筋需求降低。
7. 實際上屋後外牆常因住戶之使用需求而擅自打掉，用於將屋後空地內入自家使用範圍內，因此設計上是否要將屋後牆的強度、勁度納入考慮仍有待商榷。
8. 就整體街屋(沿街店鋪式住宅)現況而言，強制規範街屋(沿街店鋪式住宅)長向最前與最後四根柱子設計實用以承擔大多數地震側向力，應可作為未來街屋(沿街店鋪式住宅)相關規範的一設計準則。
9. 試驗試體的規劃方面可考量新增一座空構架、一座具水平向大開口之試體。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

10. 若研究目標是未來能提出一套適用於街屋(沿街店鋪式住宅)之設計方法，則試體開口型式應更加多元、完整，以求盡量涵蓋常見之開口型式。
11. 研究調查及過去的經驗顯示，街屋(沿街店鋪式住宅)沿平行街道方向常為脆性破壞，乃強度控制，因此要解決街屋(沿街店鋪式住宅)耐震性能之問題或可從「如何讓平行街道向之構材具有足夠之強度以抵抗地震力」來著手，可考慮之方式有提高屋後牆及梯間牆之牆度要求(提高鋼筋比、加厚牆尺寸、增加翼牆等)、提高柱之側向抵抗能力等。
12. 研究所試驗之試體可考慮在試驗過後留下，再施以補強修復後，再次試驗之，以提高試體之經濟效應。

伍、試體製作及進行試驗

研究規劃五組大尺寸構架試驗，包含單垮含牆無開口構架一座及四座典型開口牆單垮構架試體，開口試體採用典型台灣街屋(沿街店鋪式住宅)屋後牆配筋形式，牆體配置至少滿足 RC 節構規範之最少所需橫、縱向鋼筋量，並適當錨定至梁、柱及基礎內，開口四周需適當補強之。

施工程序，一、首先為底模的設置，其中包含水平校正及於底模上的放樣工作，二、而後進而綁紮基礎主筋、箍筋及繫筋，三、綁紮柱主筋及柱底深入基礎內之箍筋及繫筋，四、綁紮垂直向需錨定入基礎內之垂直牆筋、開口補牆筋及部分水平向牆筋，五、釘基礎側邊模板，並進行基礎混凝土之澆置(第一部分)及混凝土抗壓圓柱試體試驗採樣及灌模，六、拆基礎模板並完整組立柱主筋、柱箍筋、柱繫筋及水平向牆筋、

開口補牆筋，七、進行牆體應變計之設置、順線、編號，以利後續試驗時量測相關數據，八、釘牆、柱及開口處之模板，並進行牆與柱之混凝土澆置(第二部分)及混凝土抗壓圓柱試體試驗採樣及灌模，九、拆牆、柱之模板，綁紮頂部加載梁主筋、箍筋及繫筋，及埋置穿預力螺桿用PVC管，十、釘頂部加載梁之模板，並進行頂部加載梁混凝土澆置(第三部分)及混凝土抗壓圓柱試體試驗採樣及灌模，十一、拆加載梁模板，製作完成。

研究係以開口牆受地震力下之行為為主，開口形式與典型台灣街屋(沿街店鋪式住宅)配筋細節，由前述街屋(沿街店鋪式住宅)資料庫分析決定之，參考國內外相關文獻之後決定控制變因為「開口位置」、「開口尺寸」兩者，試驗預期之目標在於強化牆體受震之初始勁度與強度。試體加載方式採「位移控制」方式加載。

於試體頂部加載梁處，以預力螺桿對梁施加預力，並與油壓制動器(MTS-200tf)加載頭一起固鎖之，後利用油壓制動器施加反覆側向載重，採位移控制，預計施壓的位移比為0.25%、0.375%、0.5%、0.75%、1%、1.5%、2%、3%、4%、5%、6%，每個位移比重複加載三次，測試觀察重點包括初始勁度、降伏位移與側力、最大載重、極限位移與側力、消能、韌性、破壞模式等。

陸、報告及期刊論文之撰寫

本研究包含兩次報告之撰寫，第一次為期中報告，在執行第5個月時說明本案之執行進度。第二次為期末報告，在執行第11個月時完成本案之研究報告。本研究將於繳交研究成果報告之一個月內，向中華民國

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

國建築學報或其他具有國內 TSSCI 同等水準以上之學報（刊）投稿，
並副知內政部建築研究所。

第二章 文獻回顧

本研究計畫之目的為透過瞭解低矮鋼筋混凝土連棟街屋(沿街店鋪式住宅)沿街方向屋後外牆構架之耐震行為，並提出開口位置及大小對屋後外牆性能之影響，以提供耐震評估與設計之建議，以利未來營建上之應用，故本章將介紹已蒐集之文獻、說明試體反覆載重行為試驗、台灣街屋(沿街店鋪式住宅)典型特徵之說明及新引進以有限元素軟體分析開口結構牆行為。

由於低矮鋼筋混凝土連棟街屋(沿街店鋪式住宅)為台灣相當普遍的結構形式，然而 921 大地震的經驗顯示，此種結構於沿街道方向常產生嚴重損壞，為能適當的解決此一問題，沿街方向牆體的耐震能力評估與設計為一重要課題。本研究針對屋後外牆進行研究，藉由大尺寸結構牆試驗，本研究預計可提出屋後外牆之配筋改善建議以及耐震評估與設計方法，將有助於提升連棟街屋(沿街店鋪式住宅)耐震評估之準確度，以及耐震設計之合理性，確保國內眾多低矮連棟街屋(沿街店鋪式住宅)之抗震性能，大幅提升人民生命財產之安全。

第一節 牆體行為與相關設計規範

結構牆之行為一定程度上取決於牆高寬比 (h_w/l_w)。細長牆 ($h_w/l_w \geq 3.0$) 的行為，會與懸臂梁受撓曲時的行為非常類似。與之相反的低矮牆 ($h_w/l_w \leq 2.0$) 其行為將由剪力所主控。

壹、一般結構牆設計要求

結構牆之設計通常先從剪力強度設計開始，接著檢核牆底摩擦剪力，確保在牆體和地基之間的有足夠的抗滑動力，最後則是檢核撓曲和軸向力的聯合作用。

(a) 剪力設計[1]

結構牆計算剪力強度為

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

A_{cv} : 平行剪力方向之斷面長度乘以腹版厚所得之混凝土總斷面積

$\alpha_c = 3.0, h_w / l_w \leq 1.5$; $\alpha_c = 2.0, h_w / l_w \geq 2$; 介於兩者之間由線性內差計算

h_w = 全牆總高或所考慮牆段之高度

l_w = 剪力方向全牆或所考慮牆段之長度

λ = 常重混凝土 $\lambda = 1$, 沙質輕質混凝土 $\lambda = 0.85$, 輕質混凝土 $\lambda = 0.75$

ρ_t = 橫向水平鋼筋比，為橫向鋼筋斷面積與垂直於該鋼筋之混凝土總斷面積之比

(b) 剪力摩擦[1]

結構牆之計算摩擦剪力強度為

$$V_n = (A_{vf} f_y + N_u) \mu$$

V_n = 剪力摩擦強度

A_{vf} = 剪力摩擦鋼筋段面積。

f_y = 鋼筋標稱降伏強度

Nu = 垂直於滑動平面之常壓力

μ = 摩擦係數

(c) 撓曲和軸向力[1]

彎曲和軸向力的設計包括初步牆體尺寸與配筋之決定，邊界構材鋼筋配置，軸力彎矩互制分析，以及考慮邊界構材、牆體縱向和橫向鋼筋、牆體斷面強度下利用迭代法優化其配置。

(1) 初步牆體尺寸與配筋之決定

對於非耦合矩形牆截面，可利用圖 2-1 所示之方式初估牆體所需之垂直向鋼筋用量，其中包括均佈全牆的垂直向鋼筋和邊界構件的垂直向鋼筋，取 C 點合力矩，如下式所示。

$$M_{n,cs} = P_u x_p + T_{s1} j_1 l_w + T_{s2} j_2 l_w$$

其中 P_u 之大小由靜載重（包含構件自重）與載重組合定之；已知 P_u 之位置，力臂大小 x_p 可近似得之，均佈全牆的垂直向鋼筋力之力臂可近似於 $j_1 l_w = 0.4 l_w$ ，邊界構件的垂直向鋼筋力之力臂可近似於 $j_2 l_w = 0.8 l_w$ 。

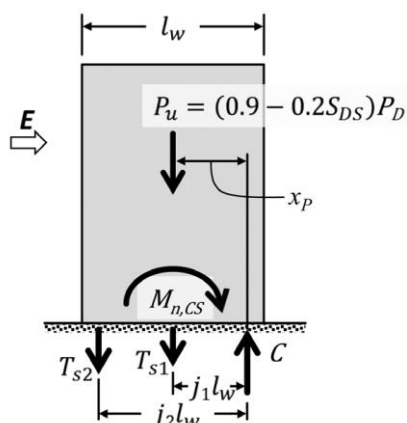


圖 2-1 牆體初步強度計算所考慮的力量配置

(資料來源：本研究繪製)

(2) 邊界構材

所謂邊界構材乃是指結構牆中沿結構牆垂直向邊緣或沿開口垂直向邊緣之部分，其需特別以垂直向鋼筋及橫向箍筋加強之。邊界構材分為特殊邊界構材 (special boundary element) (圖 2-2) 與普通邊界構材 (ordinary boundary element) (圖 2-3) 兩種。前者與後者最大區別在於前者需滿足嚴格之箍筋用量規定 (類似於柱之塑鉸區)，且牆體非邊界構材部分之水平向鋼筋需錨錠於邊界構材核心混凝土區。ACI 318 提供了以下兩種方法來判定是否需要特殊邊界構件。

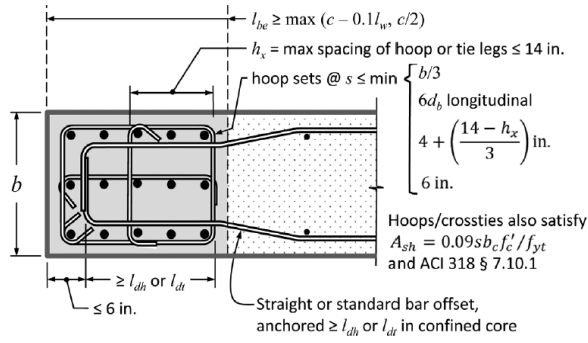


圖 2-2 特殊邊界構材

(資料來源：本研究繪製)

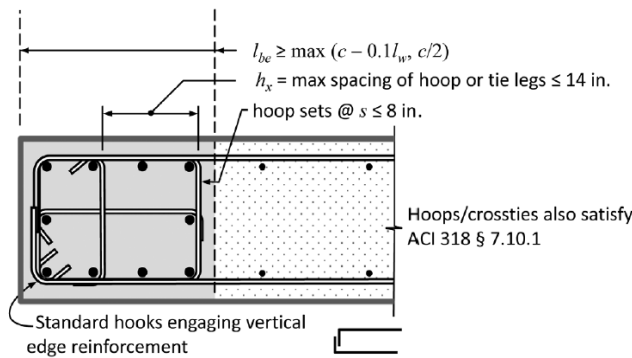


圖 2-3 普通邊界構材

(資料來源：本研究繪製)

邊界構材需求檢核-方法一

在受軸力 P_u 下，對應之彎矩壓力區深度 c ，若滿足下式，則須設計特殊邊界構材(special boundary element)。此方法假設當結構牆水平變位至設計位移時 (δ_u 為設計位移，且 δ_u/h_w 之值不得小於 0.007)，如牆體邊緣之混凝土壓應變超過某臨界值時 (介於 0.003 至 0.004)，就須設置特殊邊界構件，並以橫向鋼筋圍束之。當按下式決定需要特殊邊界構材時，其配置範圍需由臨界斷面延伸一長度不小於 l_w (塑性長度之範

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

圍) 或 $M_{u,cs}/4V_{u,cs}$ (設計彎矩降至小於混凝土剝落彎矩)。其中 l_w 為沿剪力方向全牆長或所考慮牆段之長度, 在此範圍內混凝土保護層是可能剝落的。

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)}$$

c : 中性軸深度

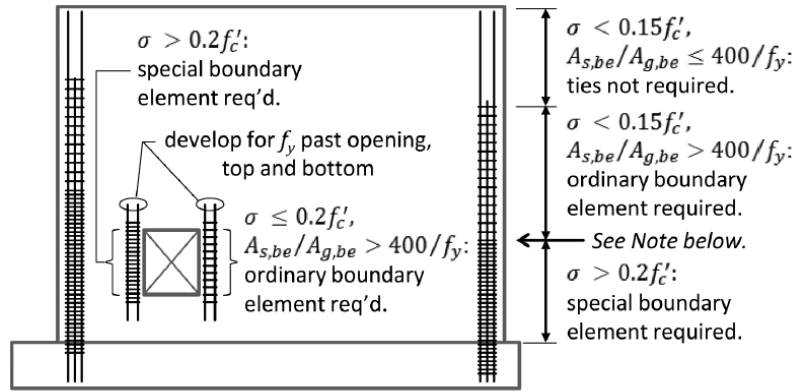
h_w : 牆體從臨界斷面至牆頂的高度

l_w : 牆體長度

δ_u : 牆頂位移

邊界構才需求檢核-方法二

法二為基於各種載重組合下, 在如牆之邊緣或開孔周邊等應力較大處, 在含地震效應的設計力作用下, 其產生之最大混凝土壓應力超過 $0.2f'_c$, 則須配置特殊邊界構材 (special boundary element), 如圖 2-4 所示。邊界構件可在混凝土壓應力小於 $0.15f'_c$ 之斷面處終。



Note: Requirement for special boundary element is triggered if $\sigma > 0.2f'_c$.
Once triggered, the special boundary element extends until $\sigma < 0.15f'_c$.

圖 2-4 法二決定邊界構材

(資料來源：本研究繪製)

特殊邊界構材之圍束箍筋用量採下式決定之

$$A_{sh} = 0.09sb_c f'_c / f_{yt}$$

A_{sh} = 在 s 間距內垂直於 b_c 方向之橫向箍筋 (包括繫筋) 總斷面積

s = 橫向鋼筋間距

b_c = 計算 A_{sh} 時之柱心尺寸，即外緣圍束鋼筋心至心之間距

f'_c : 混凝土抗壓強度

f_{yt} : 橫向箍筋降伏強度

在不需要特殊邊界構材之區域，若邊界構材之 $A_{s,be} / A_{g,be} > 400 / f_y$ ，則需配置普通邊界構材 (圖 2-3)，其中 $A_{s,be}$ 為邊界構材之總縱向鋼筋面積； $A_{g,be}$ 為邊界構材之總斷面積。

(3) 牆墩

牆墩為牆體兩開口間或一開口至牆體邊界，較粗短的受壓部分，其

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

高寬比 $h_w/b_w \geq 2$ ，斷面長寬比 $l_w/b_w \leq 6$ ； h_w 為構材淨高、 l_w 為牆水平長、 b_w 為牆腹之寬度。其設計基本上遵循一般牆體設計條款，且必須滿足韌性抗彎矩構架柱關於鋼筋續接、圍束鋼筋與剪力強度的規定。對於高寬比大於或等於 2.5 之牆墩，規範提供另外設計方法。對於位於牆體外側之牆墩，規範要求於牆墩上及下側配置水平鋼筋，以傳遞牆墩之剪力至主牆體中。

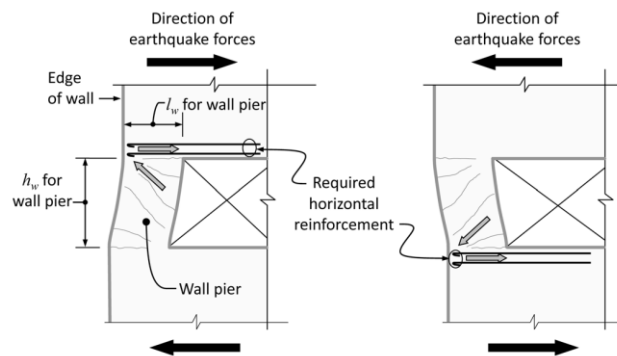


圖 2-5 牆墩上側與下側水平鋼筋傳遞剪力

(資料來源：本研究繪製)

貳、低矮結構牆行為

低高寬比（或稱低矮）牆體，其彎矩強度相對於剪力強度來說，通常較高，例如高寬比小於 1 的牆體就難以使其發展為撓曲控制破壞。此外，細長牆其力學行為與通過對角斜撐壓桿機制傳遞剪力的低矮牆有很大不同，為撓曲行為主控。基於這些原因，低矮牆的設計方法和所需注重的細節將大大不同於細長牆。圖 2-6 顯示低矮結構牆常見之破壞模式：剪拉破壞、剪壓破壞以及摩擦剪力破壞。

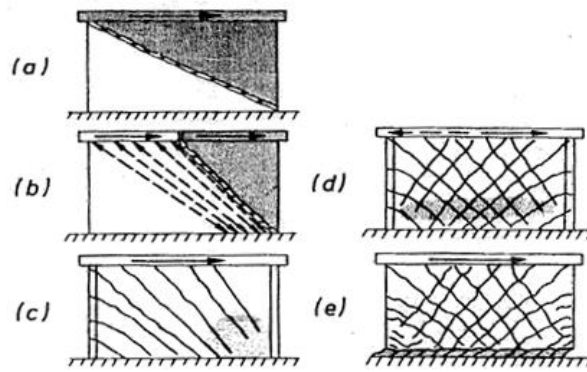


圖 2-6 低矮結構牆剪力破壞模式：(a)與(b)剪拉破壞；(c)與(d)剪壓破壞；(e)牆底摩擦剪力破壞
(資料來源：本研究繪製)

參、有開口之低矮結構牆

許多小高寬比的低層建築的牆壁可能包含門和窗戶的開口。具有顯著的開口的牆的抗震設計，可利用如圖 2-7 所示之「拉壓桿結構模型」來進行設計，建立傳遞樓層水平地震力至基礎的傳遞路徑。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

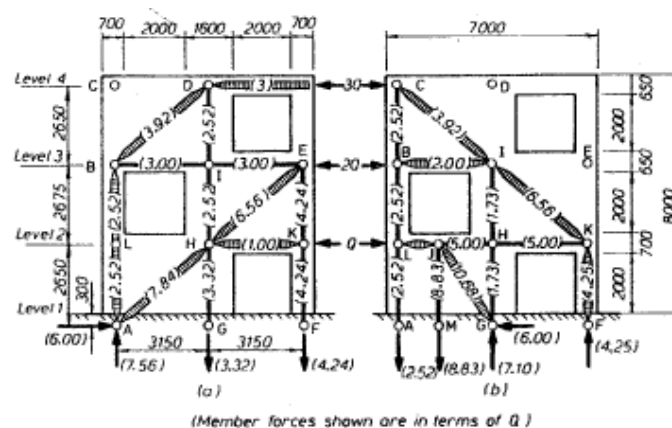


圖 2-7 具開口之低矮結構牆壓拉桿模型

(資料來源：本研究繪製)

第二節 近年國外相關文獻回顧

Doi 等[10]研究具偏心開口之多層樓 RC 構架牆體之極限剪力韌性，提出了一個交錯開口結構牆的二維模擬模型，並利用單側偏心開口牆試體之實驗數據對該模型進行校正，並用校正後之模型預測交錯開口試體之行為。隨著開口部位越接近跨度中央，結構牆之抵抗機制會因為越來越難以形成壓桿，而導致剪力容量的降低。如果是交錯排列的開口部，開口部周圍的損壞將會抑制可能的拉壓桿機制形成，導致牆體承載橫向荷重之能力退化。試體的配筋、加載系統和其測試結果如下圖 2-8 所示。圖 2-9 分別顯示試體設計與最大側力時最大與最小主應力分布。

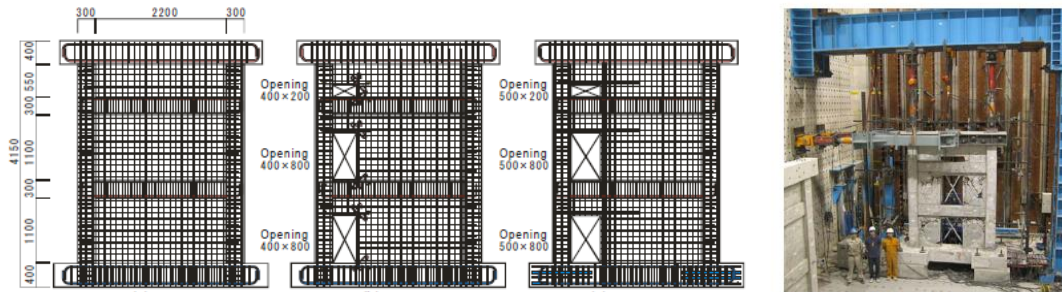


圖 2-8 試體設計與加載系統

(資料來源：參考書目[10])

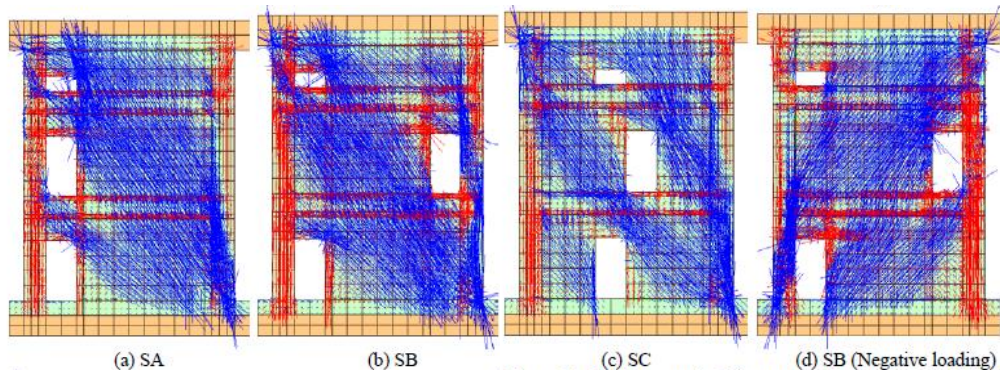


圖 2-9 最大側力時最大與最小主應力分布

(資料來源：參考書目[10])

Warashina 等[4]研究具偏心開口之多層 RC 結構牆之剪力行為，對四組縮尺 40% 具有偏心開口之多層 RC 結構牆進行側向靜力加載試驗，評估結構牆之剪力傳遞機制，實驗的變量是開口部的大小及位置。實驗與分析結果比對顯示，開口結構牆之剪力強度可以無開口之剪力強度乘上一折減係數（Ono 折減係數）良好預估之。該方法可有效應用至開口率小於 0.46 之結構牆。試體的配筋、加載系統和其測試結果如下所示。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

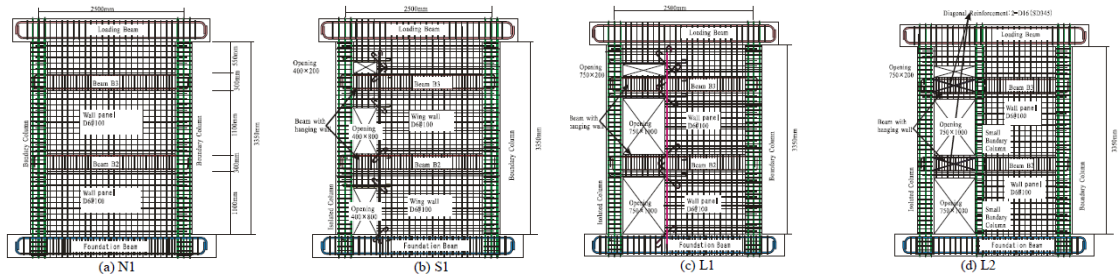


圖 2- 10 Warashina 等研究之試體設計

(資料來源：參考書目[4])

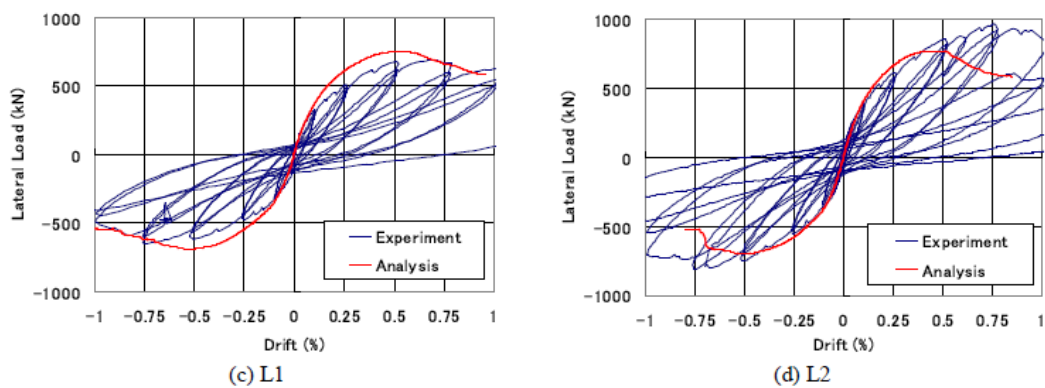


圖 2- 11 Warashina 等研究測試結果與分析比對

(資料來源：參考書目[4])

Sakurai 等[5]研究多開口 RC 剪力牆之抗震性能，利用多開口 RC 剪力牆之載重試驗，對不同的開口數和佈局進行探討。所有試體具有相同之等效周長比 0.4。測試結果顯示了多開口之 RC 結構剪力牆之剪力強度、破壞形式和變形，會因開口數量和其分部形式有顯著的不同。該研究亦透過有限元素法模擬多開口剪力牆之遲滯迴圈及其破壞歷程，獲得在實驗數據與分析值之間之良好結果。其鋼筋配置、加載系統之設計及實驗結果如下所示。

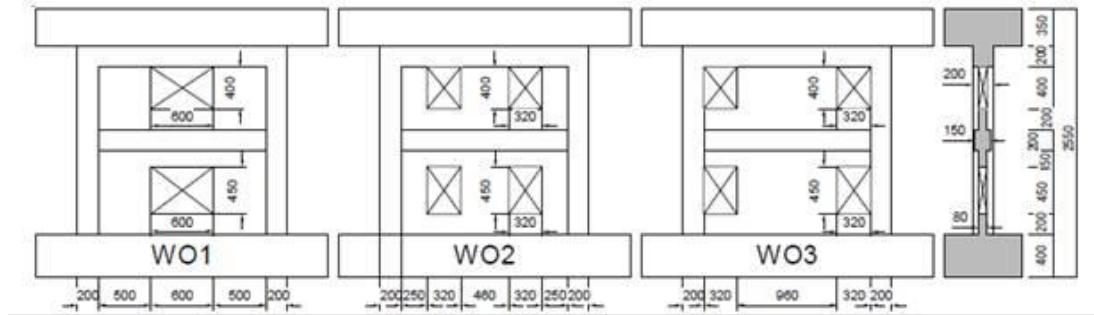


圖 2- 12 Sakurai 等研究之試體外觀

(資料來源：參考書目[5])

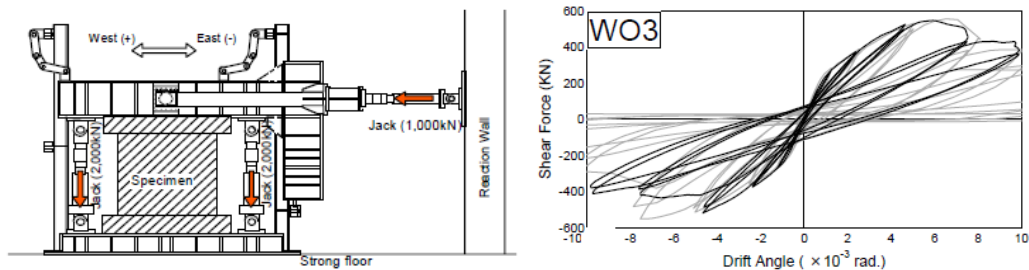


圖 2- 13 Sakurai 等研究之試體加載方式與測試結果

(資料來源：參考書目[5])

Ermine 與 Altin[6]調查非韌性 RC 構架透過部分牆主筋內嵌至構架內之補強方式在反覆側推下之行為，該研究測試七座單跨兩層樓原試體大小三分之一之試體，測試構架設計成具有土耳其地區常見之結構缺陷之 RC 構架，實驗之參數為牆體之高寬比及內嵌鋼筋之配置位置，測試結果顯示補強前後構架有明顯之韌性差異，填充牆的高寬比增加，側向強度及側向勁度有明顯之增加。其鋼筋配置、加載系統和實驗結果如下所示

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

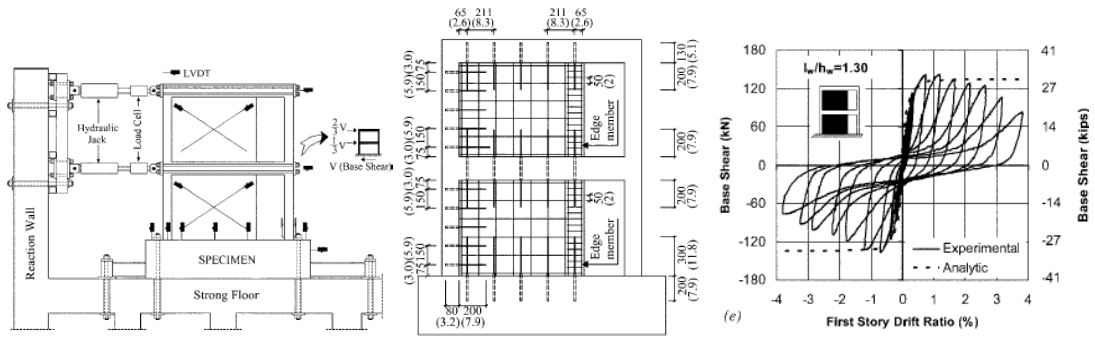


圖 2- 14 Ermine 等研究之試體加載方式、試體設計、試驗結果

(資料來源：參考書目[6])

第三節 近年國內相關研究情況

雲科大李宏仁教授[27]研究梯間牆對低層 RC 造沿街連棟建築物耐震性能之影響，測試兩座填滿 1/2 (試體 B)及 3/4(試體 A) 跨度的構架牆體，測試結果指出模型構架內含填滿 1/2 (試體 B)或 3/4(試體 A) 跨度的隔間牆，對於抵抗側力強度、勁度及韌性確有明顯的差異。試體 A 強度較高但在屋頂位移 0.75% 之後強度開始衰減，屬於典型剪力主控行為，側力衰減維持至屋頂位移 1.5% 因極短梁水平牆段剪力破壞後迅速向下。試體 B 在屋頂位移 0.75% 試體降伏後仍維持側力承載能力，至屋頂位移 1.5% 時才達最大強度，屬於典型撓曲降伏主控行為。屋頂位移 1.5% 時，試體 A 的一樓層間變位約 1.6%，但試體 B 的一樓層間變位已經逼近 2.0%。圖 2-15 顯示試體設計與測試結果。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

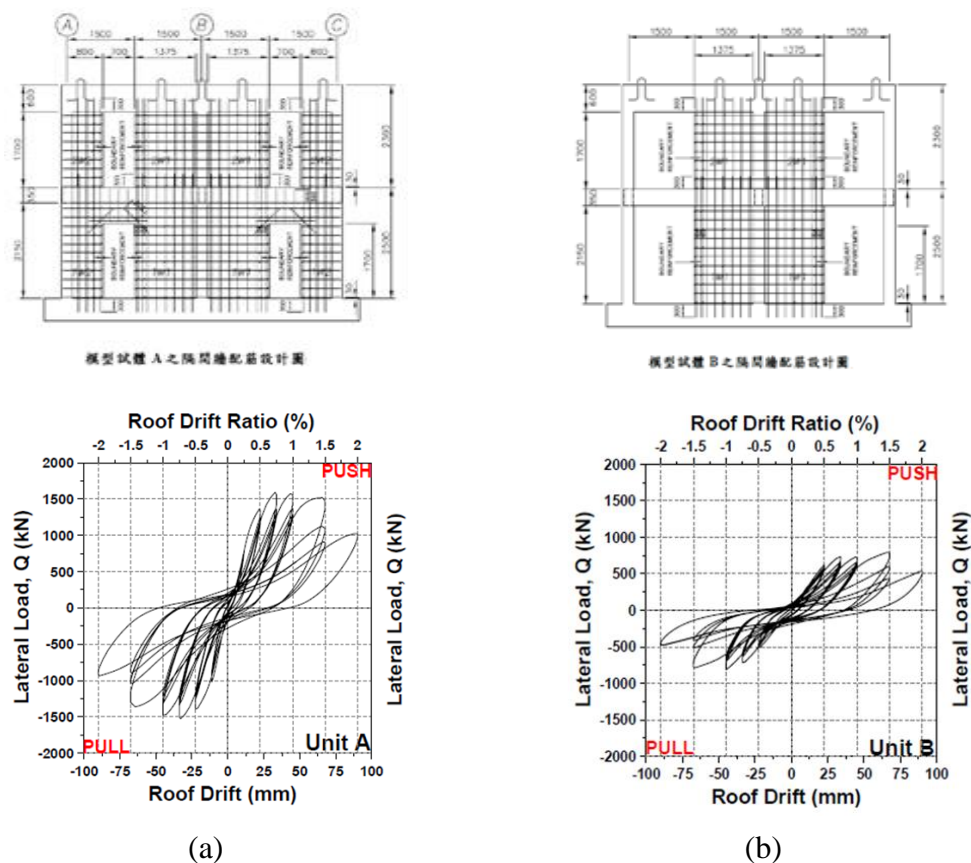


圖 2-15 李宏仁研究試體之設計及測試結果: (a)試體 A ; (b)

試體 B

(資料來源：參考書目[27])

成大許茂雄教授[28]研究既有 RC 沿街店鋪住宅滿足功能要求之耐震補強，測試自行設計的不同樓層、不同結構系統、具代表性的沿街店鋪住宅案例，利用靜態推跨曲線法 (Static Pushover Method) 分析，找出有效的震前、震後補強方法與補強量，並且根據受害建築物耐震能力降低係數與永久變形，探討結構物經 RC 牆與鋼骨斜撐補強後承受多次地震的結構行為，提出在適當的地方增設平行街道方向 RC 牆，改善整體結構的耐震機制，是較佳的對策。災區後受損的沿街店鋪住宅，建議

可以對整體結構系統補強的手段使其達到功能設計的標準，不用拆除（補強利用 RC 牆或鋼骨斜撐）。在平行街道方向增設 RC 牆能有效提升耐震能力而對使用機能的妨礙最小。圖 2-16 顯示分析的結果。

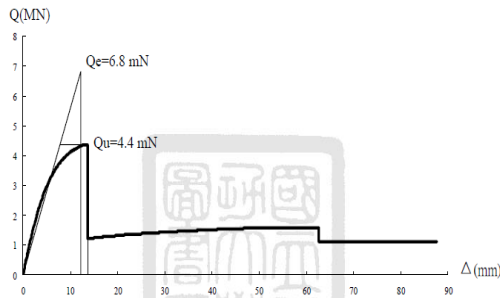


圖 3-14 H3-007 一樓補強前之 Q-A 曲線

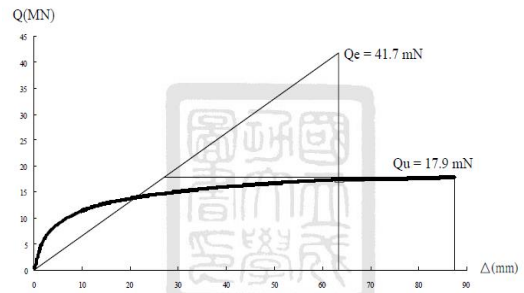


圖 3-17 H3-007 一樓補強後之 Q-A 曲線

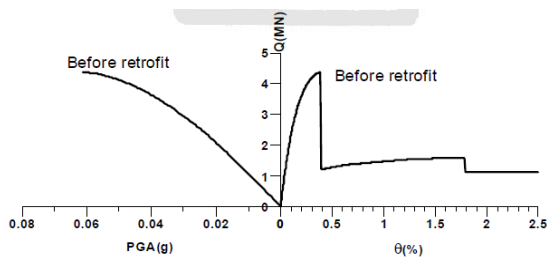


圖 3-15 H3-007 一樓補強前耐震診斷圖

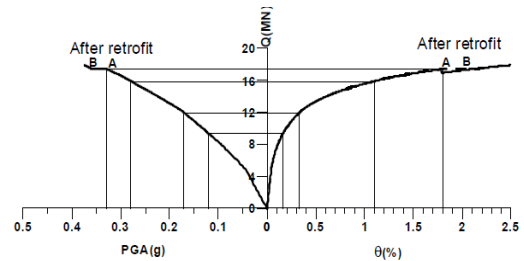


圖 3-18 H3-007 一樓補強後耐震診斷圖

(a)

(b)

圖 2-16 許茂雄教授研究之分析結果: (a)一樓補強前; (b)一樓補強後

(資料來源：參考書目[28])

台大黃世建教授[29]研究含開口牆非韌性構架之耐震行為，測試六片含對稱開口 RC 牆之非韌性構架，提出非韌性空構架最大強度的層間變位是 1.5% 左右，完整牆構架是 0.75% 左右，牆含開口構架是 0.5% 左右，牆有開口會降低構架之層間變形能力。翼牆的配置對結構強度的提昇十分有效。圖 2-18 顯示試體的設計及測試結果。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

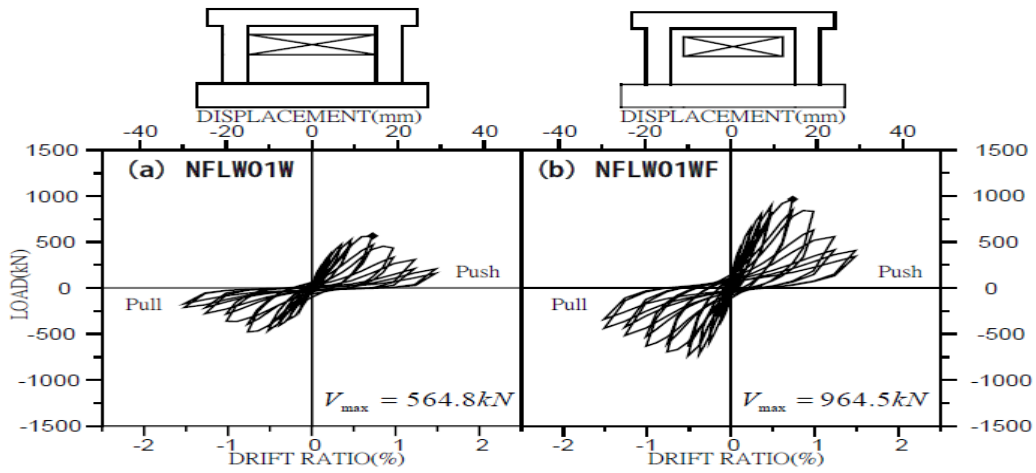


圖 2-17-1 黃世建教授研究試體之設計與測試結果: (a)大面積開一窗

(資料來源：參考書目[29])

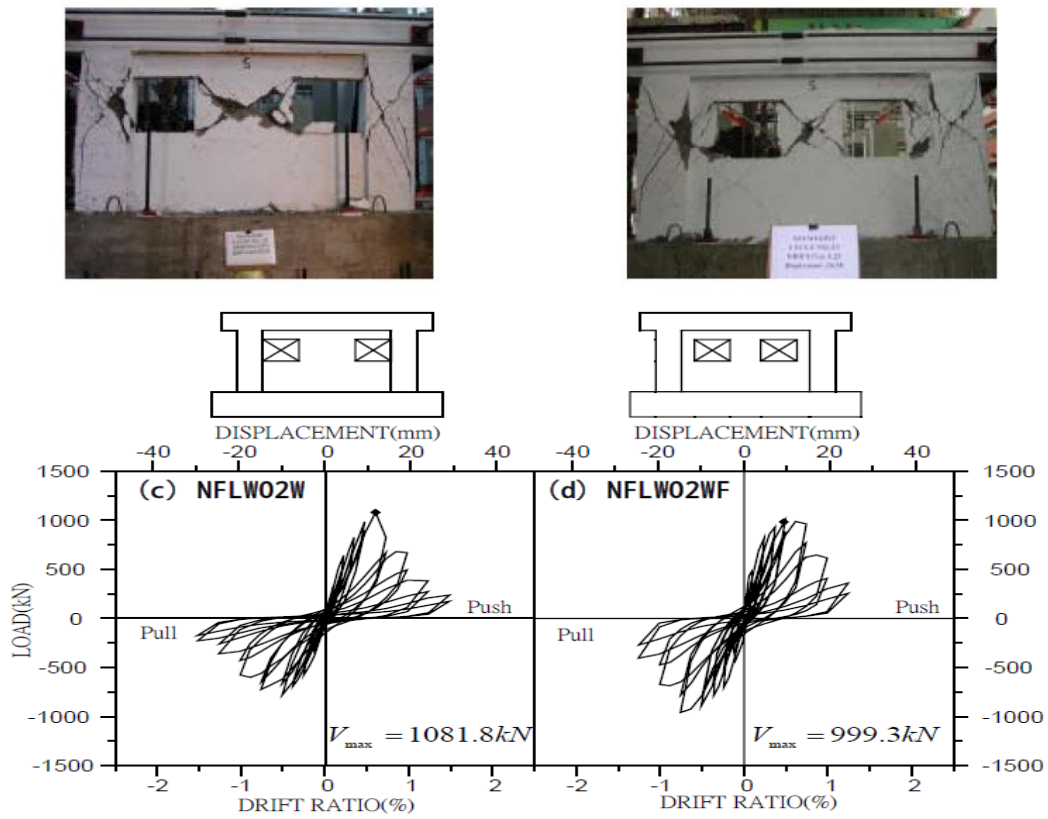


圖 2- 17-2 黃世建教授研究試體之設計與測試結果:開兩窗
(資料來源：參考書目[29])

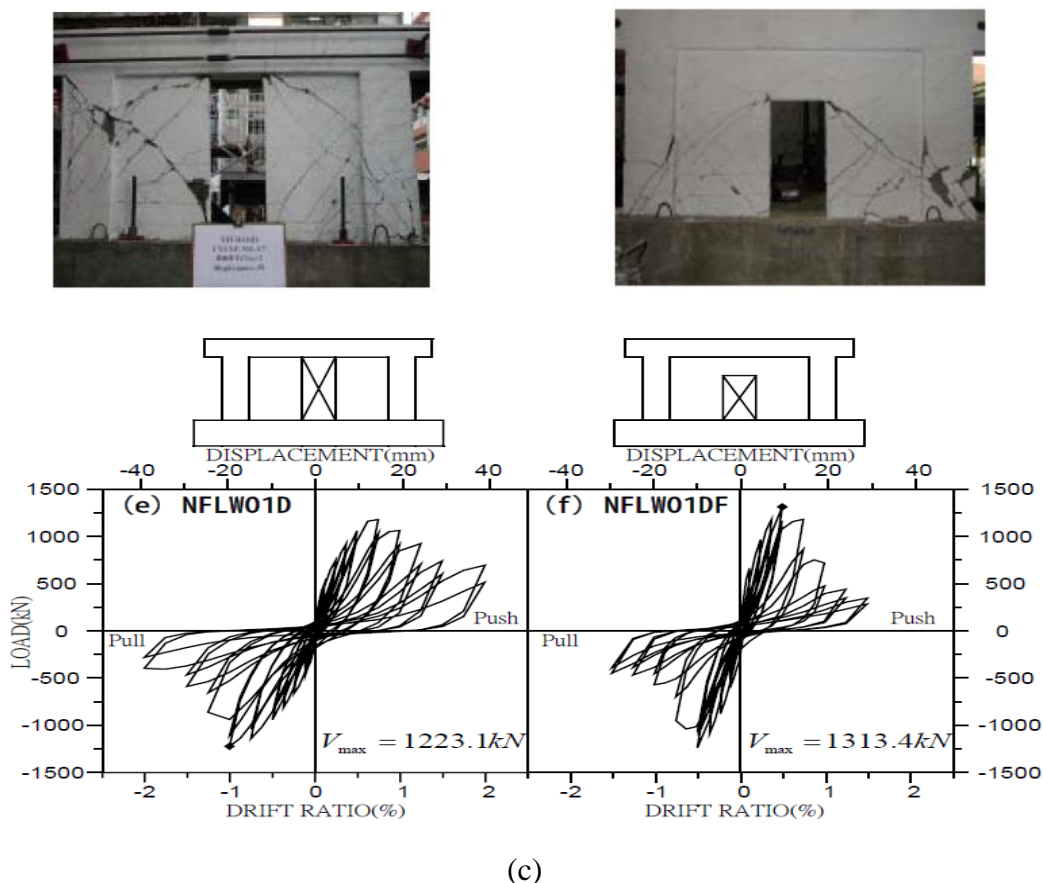


圖 2- 18-3 黃世建教授研究試體之設計與測試結果:開一門
(資料來源：參考書目[29])

北科大李有豐教授[30]研究非韌性雙層雙跨含牆 RC 構架之擬動態試驗與結構反應之 HHT (Hilbert-Huang Transform) 分析，測試一座非韌性雙層雙跨含牆 RC 構架，依據軟弱層剪力破壞與搭接破壞之既有 RC 建築物設計，即一樓為顯著軟弱層，提出於梁柱接頭處纏繞鋼纜線圍束的混凝土確實可以增加 RC 構件之抗震能力。由修復前後實驗構架的結果，發現修復補強可以增加試體的韌性行為，增加消能結果以抵抗較大的地震。經試體修復前後勁度折減情形，可有效減低試體勁度軟化時間。圖 2- 19 顯示非韌性雙層雙跨含牆 RC 構架之擬動態分析試體設計及試驗結果。

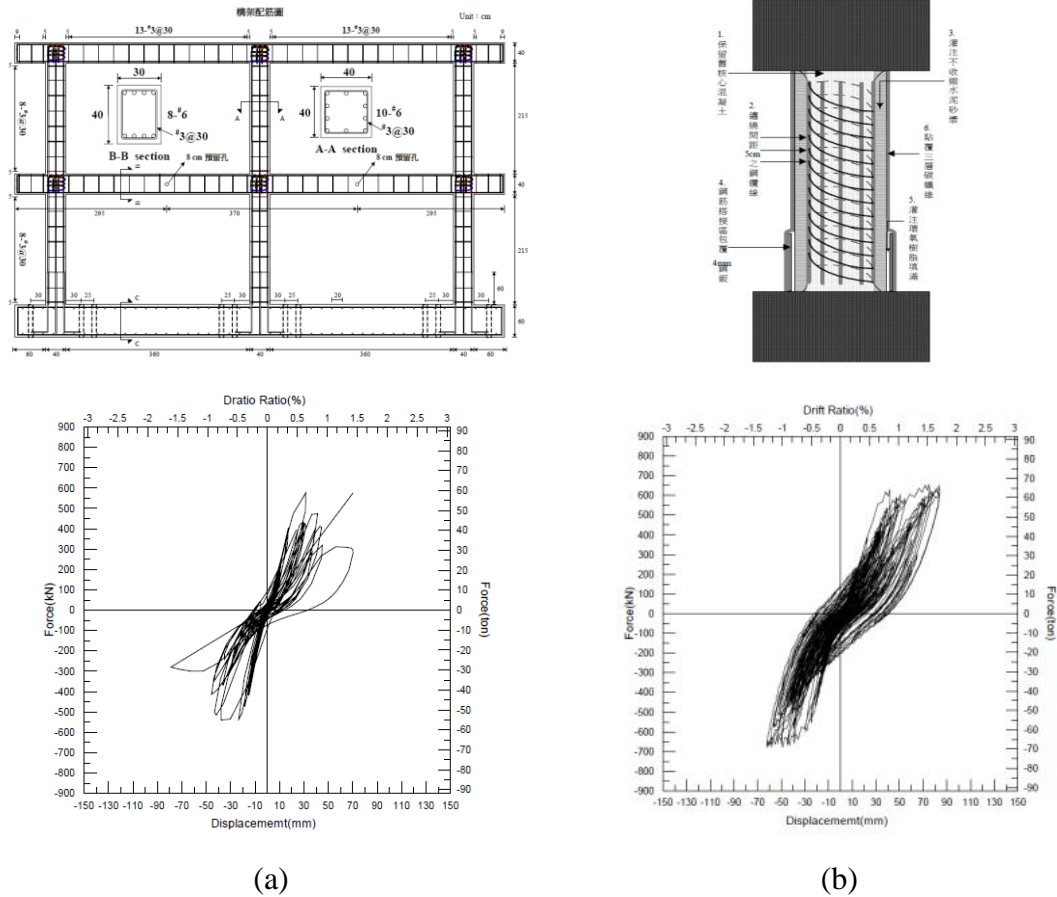


圖 2-19 李有豐教授研究之非韌性雙層雙跨含牆 RC 構架之擬動態分析試體設計及試驗結果：(a)試體未補強前最大加速度為 2.0 時之遲滯迴圈；(b)試體補強後最大加速度為 2.0 時之遲滯迴圈

(資料來源：參考書目[30])

成大邱耀正教授[31]研究大尺寸扇形配筋預鑄RC剪力牆實驗與分析，測試五座大尺寸扇形配筋預鑄RC剪力牆，指出藉由觀察破壞模式，發現扇形配筋試體較無嚴重的混凝土壓碎情形發生，破壞模式接近撓剪破壞及剪力破壞。經試驗結果及裂縫發展圖發現改良式傳統配筋和扇形放射狀配筋的實驗結果相差無幾，所以考慮大量施工的便捷性，改良式傳統配筋會是比较好的選擇。圖 2-21 顯示試體之設計，圖 2-23 顯示

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

試體之測試結果。

試體編號	試體敘述與牆體鋼筋
MWG1 (壁厚 10cm)	使用 D10 可焊鋼筋共 30 根，鋼版厚度為 1.5cm，鋼筋呈扇型放射狀排列 下間距約 5.7cm，上間距約 25cm，左右間距為 26cm 於上下部 16cm 處間距 12.5cm 各焊二條左右平行之橫向鋼筋 使用 15mm 之鋼版於上部、左右二側及底部二側角落至四分之一處包住牆版 混凝土抗壓強度 3000Psi
MWG2 (壁厚 10cm)	使用 D10 可焊鋼筋共 30 根，鋼版厚度為 1.5cm，鋼筋呈扇型放射狀排列 下間距約 5.7cm，上間距約 25cm，左右間距為 26cm 於上下部 16cm 處間距 12.5cm 各焊二條左右平行之橫向鋼筋 使用 15mm 之鋼版完全包住上部、底部及左右上下二側角落延伸 36.5 公分處形成二個門字型 混凝土抗壓強度 3000Psi
MWG3 (壁厚 10cm)	使用 D10 可焊鋼筋共 42 根，鋼版厚度為 1.5cm，鋼筋呈扇型放射狀排列 下間距約 2.85cm 及 5.7cm，上間距約 12.5cm 及 25cm，左右間距為 26cm 於上下部 16cm 處起間距 6.25cm 各焊三條左右平行之橫向鋼筋 使用 15mm 之鋼版完全包住上部、底部及左右上下二側角落延伸 36.5 公分處形成二個門字型 混凝土抗壓強度 5000Psi

(a)

試體編號	試體敘述與牆體鋼筋
LWG1 (壁厚 15cm)	使用 D10 鋼筋共 34 根，鋼版厚度為 1.5cm，鋼筋呈扇型放射狀排列 下間距約 5.7cm，上間距約 25cm，左右間距為 26cm 於上下部 6cm 處各焊一條左右平行之橫向鋼筋固定 L 型鋼版 使用 15mm 之 L 型鋼版於上下部四個角落處包住牆版，長邊為 65 公分短邊為 10 公分 混凝土抗壓強度 3000Psi
LWG2 (壁厚 10cm)	使用 D10 鋼筋共 34 根，鋼版厚度為 1.5cm，鋼筋呈扇型放射狀排列 下間距約 5.7cm，上間距約 25cm，左右間距為 26cm 於上下部 6cm 處各焊一條左右平行之橫向鋼筋固定 L 型鋼版 使用 15mm 之 L 型鋼版於上下部四個角落處包住牆版，長邊為 65 公分短邊為 10 公分 上下 L 型鋼版間利用 8 條長條型鋼版互相固定 混凝土抗壓強度 3000Psi

(b)

圖 2- 20-1 邱耀正教授研究試體之設計: (a) 中型牆板試體鋼筋及鋼板配置參數表；(b) 低型牆板試體鋼筋及鋼板配置參數表

(資料來源：參考書目[31])



(c)

圖 2- 21-2 邱耀正教授研究試體之設計:扇形配筋設計

(資料來源：參考書目[31])

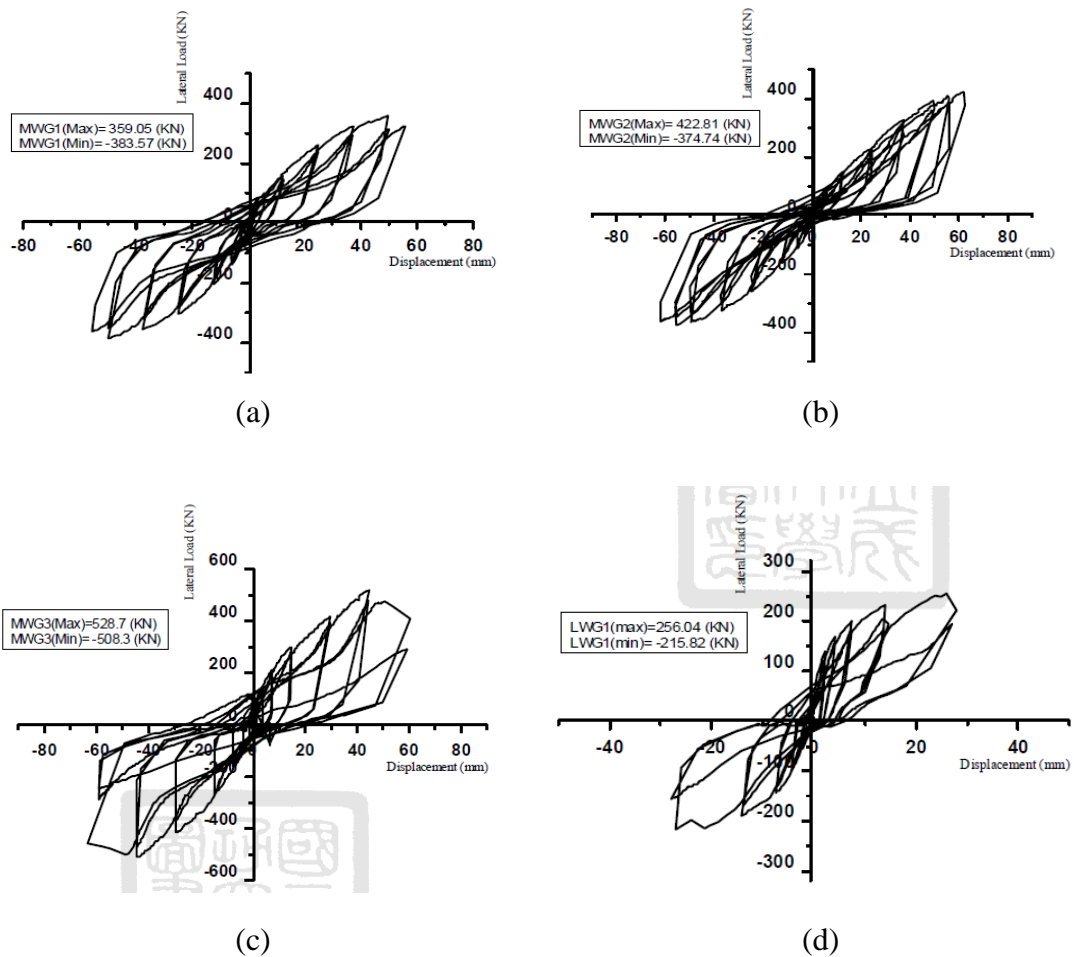
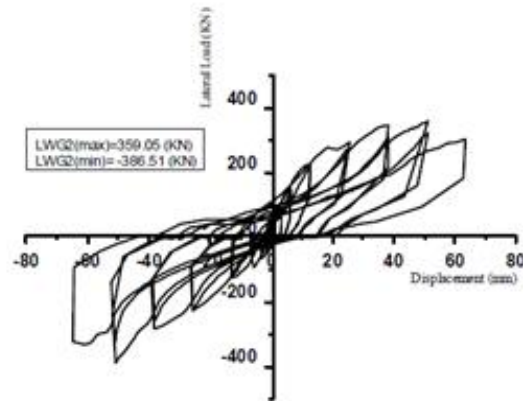


圖 2- 22-1 試體之測試結果



(e)

圖 2- 23-2 試體之測試結果: (a)試體 MWG1 載重-總位移圖；(b)試體 MWG2 載重-總位移圖；(c)試體 MWG3 載重-總位移圖；(d)試體 LWG1 載重-總位移圖；(e)試體 LWG2 載重-總位移圖

(資料來源：參考書目[31])

第四節 國內相關法規整理及工程實務訪談

前述主要就結構力學行為上之規範對開口結構牆做探討，但考量現實情況時，建築物不只要符合結構上對安全性做要求的規範，同時亦要依據其坐落之區域、用途、構造型態、高度等不同，滿足「建築技術規則」[32]中對安全、舒適性等眾多之規範。

以本研究課題「街屋(沿街店舖式住宅)」型態之建築物而言，多數是坐落於住宅區內的住宅建物，供人舒適的居住為其主要功能，在建築技術規則中所需滿足且與本研究課題相關之條文及其相關性解說如下。

壹、屋後牆開口尺度

建築技術規則[32]中對本研究有重要影響之課題為住宅之採光面積，依序解說其對開口尺度之影響如下。

表 2-1 建築技術規則設計施工編第四十一條

第四十一條	(採光面積)建築物之居室應設置採光用窗或開口，其採光面積依左規定：
	一、幼稚園及學校教室不得小於樓地板面積五分之一。
	二、住宅之居室，寄宿舍之臥室，醫院之病房及兒童福利設施包括保健館，托兒所、育幼院、育嬰室、養老院等建築物之居室，不得小於該樓地板面積八分之一。
	三、位於地板面以上五〇公分範圍內之窗或開口面積不得計入採光面積之內。

(資料來源：參考書目[32])

規範第四十一條規定住宅之居室應設置採光用窗或開口，其採光面積不得小於該樓層樓地板面積之八分之一，且地板面以上五〇公分範圍內之窗或開口面積不得計入採光面積之內。

表 2-2 建築技術規則設計施工編第一條部分節錄

第一條	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：
	第十九款、 居室：供居住、工作、集會、娛樂、烹飪等使用之房間，均稱居室。門廳、走廊、樓梯間、衣帽間、廁所盥洗室、浴室、儲藏室、機械室、車庫等不視為居室。但旅館、住宅、集合住宅、寄宿舍等建築物其衣帽間與儲藏室面積之合計以不超過該層樓地板面積八分之一為原則。

(資料來源：參考書目[32])

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

規範第一條對何謂「居室」做出定義。我們知道採光的好壞，會直接影響到居住在建築物裡面的人的生活品質，因此規範對住宅建築訂有採光面積的最低要求，確保住宅建築物室內具一定之採光能力。綜合到目前為止，可以簡單的理解為「住宅建物，每層樓都必須有大於等於樓層樓地板面積之八分之一之有效採光面積」。

在第四十二條更進一步的限縮了採光面積的範圍，定義出何謂「有效採光面積」，依照建物開口所面向的位置、深度等判斷該面上之開口是否在有效採光範圍內，再依其外陽台寬度判斷採光面積折減與否。如此我們可以依照建築圖說計算建築各樓層所需要的採光面積，和判斷開口處是否屬於有效採光範圍，但規範對開門開窗等尚有其他規定，建築技術規則設計施工編第三十二條之中明言規定，凡屬「居室」者，其天花板之淨高度不得小於兩米一；四十一條第三款亦規定位於地板面以上五〇公分範圍內之窗或開口面積不得計入採光面積之內。依此兩條規定可以知道一外牆面若屬建物中之有效採光範圍內，則最多(依可開窗高度定之)可提供多少有效採光面積。

前述採光面積之範圍，吾人可以定義出外牆面上哪裡是有效的採光開口範圍，以及據四十一條之規定，需要開設足夠之採光開口，接下來則是要透過開門、開窗等方式來滿足採光面積的要求。

上述所指之淨高度為樓地板面至直上最深大樑底面之高度，一般外牆都會與邊梁縱向相連，故此條規範等於是天花板淨高之限制間接限制了外牆可開口垂直尺度的最小值。

表 2-3 建築技術規則設計施工編第四十二條

第四十二條	(有效採光面積) 建築物外牆依前條規定留設之採光用窗或開口應在有效採光範圍內並依左式計算之：										
<p>一、設有居室建築物之外牆高度(採光用窗或開口上端有屋簷時為其頂端部份之垂直距離)(H)與自該部份至其面臨鄰地境界線或同一基地內之他幢建築物或同一幢建築物內相對部份(如天井)之水平距離(D)之比，不得大於左表規定：</p>											
<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="344 589 520 645"></th> <th data-bbox="523 589 1010 645">土地使用區</th> <th data-bbox="1013 589 1246 645">H/D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="344 647 520 703">(1)</td> <td data-bbox="523 647 1010 703">住宅區、行政區、文教區</td> <td data-bbox="1013 647 1246 703">4/1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 705 520 763">(2)</td> <td data-bbox="523 705 1010 763">商業區</td> <td data-bbox="1013 705 1246 763">5/1</td> </tr> </tbody> </table>				土地使用區	H/D	(1)	住宅區、行政區、文教區	4/1	(2)	商業區	5/1
	土地使用區	H/D									
(1)	住宅區、行政區、文教區	4/1									
(2)	商業區	5/1									
<p>二、第一款外牆臨接道路或臨接深度六公尺以上之永久性空地者，免自境界線退縮，且開口應視為有效採光面積。</p>											
<p>三、用天窗採光者，有效採光面積按其採光面積之三倍計算。</p>											
<p>四、採光用窗或開口之外側設有寬度超過一·五公尺以上之陽台或外廊(露台除外)，有效採光面積按其採光面積百分之七十計算。</p>											
<p>五、在第一款表所列商業區內建築物；如其水平間距已達五公尺以上者，得免再增加。</p>											
<p>六、住宅區內建築物深度超過十公尺，各樓層背面或側面之採光用窗或開口，應在有效採光範圍內。</p>											

(資料來源：參考書目[32])

表 2-4 建築技術規則設計施工編第三十二條

第三十二條	(天花板)天花板之淨高度應依左列規定：
一、學校教室不得小於三公尺。	
二、其他居室及浴廁不得小於二·一公尺，但高低不同之天花板高度至少應有一半以上大於二·一公尺，其最低處不得小於一·七公尺。	

(資料來源：參考書目[32])

表 2-5 建築技術規則設計施工編第一條部分節錄

第一條	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：
十三、樓層高度：自室內地板面至其直上層地板面之高度；最上層之高度，為至其天花板高度。但同一樓層之高度不同者，以其室內樓地板面積除該樓層容積之商，視為樓層高度。	
十四、天花板高度：自室內地板面至天花板之高度，同一室內之天花板高度不同時，以其室內樓地板面積除室內容積之商作天花板高度。	

(資料來源：參考書目[32])

表 2-6 建築技術規則設計施工編第四十五條

第四十五條	建築物外牆開設門窗、開口，廢氣排出口或陽臺等，依下列規定：
一、門窗之開啟均不得妨礙公共交通。	
二、緊接鄰地之外牆不得向鄰地方向開設門窗、開口及設置陽臺。但外牆或陽臺外緣距離境界線之水平距離達一公尺以上時，或以不能透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。	
三、同一基地內各幢建築物間或同一幢建築物內相對部份之外牆開設門窗、開口或陽臺，其相對之水平淨距離應在二公尺以上；僅一面開設者，其水平淨距離應在一公尺以上。但以不透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。	
四、向鄰地或鄰幢建築物，或同一幢建築物內之相對部分，裝設廢氣排出口，其距離境界線或相對之水平淨距離應在二公尺以上。	
五、建築物使用用途為 H-2、D-3、F-3 組者，外牆設置開啟式窗戶之窗臺高度不得小於一·一〇公尺；十層以上不得小於一·二〇公尺。但其鄰接露臺、陽臺、室外走廊、室外樓梯、室內天井，或設有符合本編第三十八條規定之欄杆、依本編第一百零八條規定設置之緊急進口者，不在此限。	

(資料來源：參考書目[32])

第四十五條第五款中所指的 H-2 類建築即為住宅類-供特定人長期住宿之場所(詳見建築技術規則-總則篇)。若在一般典型街屋(沿街店鋪式住宅)外牆上設置開啟式窗戶(假設開口位於有效採光範圍內)，則其開窗(有效採光面積)的垂直尺度會大於等於一米(2.1-1.1m，最低天花板淨高減最低開啟式窗台高度)；若設置落地窗開口又窗外陽台寬度小於一米五，則依據四十一條第三款之規定，其開窗(有效採光面積)的等效垂直尺度會大於等於一米六(2.1-0.5m，最低天花板淨高減採光面積起算高度)；若設置落地窗開口又窗外陽台寬度大於一米五，則依據四十一條

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

第三款之規定，其開窗(有效採光面積)的等效垂直尺度(對垂直尺度折減 0.7 倍等於對採光面積折減 0.7 倍)約等於一米一二。

$$(0.7 \times (2.1 - 0.5) = 1.12m)$$

基於街屋(沿街店鋪式住宅)此類結構平面(樓地板面積)偏長的建築物，通常沿長向的分戶牆是沒辦法開口用以採光的，但建物所需的有效採光面積與樓地板面積成正比，在樓地板面積固定此一條件下，當街屋(沿街店鋪式住宅)平面長寬比(長除寬)越大，則街屋(沿街店鋪式住宅)短向外牆上，所需用來供採光用的開口面積占短向(沿街方向)總牆面積的比例就會越大，文獻研究亦顯示開口面積占全牆面積之比例，對牆所提供的側向抵抗力有顯著之影響。

貳、屋後牆厚度

牆厚部分除建築技術規則[32]外，混凝土結構設計規範[33]亦有相關之規定，對研究課題之相關影響如後所述。

依建築技術規則設計施工編第八十六條第一項規定(表 2-7)，集合住宅之分戶牆，應以具有一小時以上防火時效之牆壁，分戶牆之定義詳見建築技術規則設計施工編第一條。又第七十九條防火區劃規定中，「防火區劃之牆壁，應突出建築物外牆面五十公分以上。但與其交接處之外牆面長度有九十公分以上，且該外牆構造具有與防火區劃之牆壁同等以上防火時效者，得免突出」，由實際觀察得知，絕大多數的設計案例都沒在屋後將分戶牆向外突出，而是採此條但書之設計，因此與分戶牆交接之屋後外牆須具備與分戶牆相同之一小時以上防火時效，意即屋後外牆最小厚度需大於等於 7 公分。

建築技術規則設計施工編第七十三條定義了何謂具一小時以上之防火時效之 RC 牆體。

表 2-7 建築技術規則設計施工編第八十六條

第八十六條	分戶牆及分間牆構造依左列規定：
	一、連棟式或集合住宅之分戶牆，應以具有一小時以上防火時效之牆壁及防火門窗等防火設備與該處之樓板或屋頂形成區劃分隔。
	二、建築物使用類組為 A 類、D 類、B-1 組、B-2 組、B-4 組、F-1 組、H-1 組、總樓地板面積為三〇〇平方公尺以上之 B-3 組及各級政府機關建築物，其各防火區劃內之分間牆應以不燃材料建造。但其分間牆上之門窗，不在此限。
	三、建築物使用類組為 B-3 組之廚房，應以具有一小時以上防火時效之牆壁及防火門窗等防火設備與該樓層之樓地板形成區劃，其天花板及牆面之裝修材料以耐燃一級材料為限，並依建築設備編第五章第三節規定。
	四、其他經中央主管建築機關指定使用用途之建築物或居室，應以具有一小時防火時效之牆壁及防火門窗等防火設備與該樓層之樓地板形成區劃，裝修材料並以耐燃一級材料為限。

(資料來源：參考書目[32])

表 2-8 建築技術規則設計施工編第一條部分節錄

第一條	本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：
	二十三、分間牆：分隔建築物內部空間之牆壁。
	二十四、分戶牆：分隔住宅單位與住宅單位或住戶與住戶或不同用途區劃間之牆壁。

(資料來源：參考書目[32])

表 2-9 建築技術規則設計施工編第七十九條部分節錄

第七十九條	
防火區劃之牆壁，應突出建築物外牆面五十公分以上。但與其交接處之外牆面長度有九十公分以上，且該外牆構造具有與防火區劃之牆壁同等以上防火時效者，得免突出。	

(資料來源：參考書目[32])

表 2-10 建築技術規則設計施工編第七十三條部分節錄

第七十三條	有一小時以上防火時效之牆壁、樑、柱、樓地板，應依左列規定：
一、牆壁： (一)鋼筋混凝土造、鋼骨鋼筋混凝土造或鋼骨混凝土造厚度在七公分以上者。	

(資料來源：參考書目[32])

又混凝土結構設計規範中亦對承重牆與非承重牆厚度有所規範，如下表 2-11、

表 2- 12 所示。對承重牆而言，其厚度不得小於支承間高度或長度之 $1/25$ ，以較小者為準，亦不得小於 10 cm ；對非承重牆而言，其厚度不得小於 10 cm ，亦不得小於側向支承構材間最小距離之 $1/30$ 。

表 2- 11 混凝土結構設計規範第七章 7.6 條部分節錄

7.6 牆之經驗設計法
7.6.3 最小牆厚 7.6.3.1 承重牆之厚度不得小於支承間高度或長度之 $1/25$ ，以較小者為準；亦不得小於 10 cm 。

(資料來源：參考書目[33])

表 2- 12 混凝土結構設計規範第七章 7.7 條

7.7 非承重牆
非承重牆之厚度不得小於 10 cm，亦不得小於側向支承構材間最小距離之 1/30。

(資料來源：參考書目[33])

綜上所述，本研究所關注之屋後牆厚度必須大於等於 10cm，且在牆面高三米半下，承重牆厚度 14cm，非承重牆厚度需 11.7cm 以上，研究訪談之結果—屋後外牆厚度一般大於等於 15cm，符合規範之最小厚度規定。

參、配筋細節

配筋細節主要依照混凝土結構設計規範[33]第七章-牆、最小鋼筋量相關規定行之，如

表 2-13 所示。實務上常常不將牆體納入分析，一般外牆若有開口，則在設計上不做剪力牆設計，將開口牆體視為非結構牆，故僅須滿足最小鋼筋量之要求，牆體縱向鋼筋比 ρ_l 要大於等於 0.0015，橫向鋼筋比 ρ_t 要大於等於 0.0025，在有限之條件下可以略為折減。開口四周則需依混凝土結構設計規範第七章 7.4.7 條之規定配置開口四周之補強鋼筋，「牆內若有門窗開孔者，開孔之四周須加置不少於 2 根 $D16(\#5)$ 之鋼筋，此等鋼筋須延伸至孔角外至少 60 cm，並不得小於其伸展長度」。

表 2- 13 混凝土結構設計規範第七章 7.4 條

7.4 最少鋼筋量
7.4.1 牆除按第 4.11.8 及 4.11.9 節之規定因剪力需要較多鋼筋量者外，應按第 7.4.2 及 7.4.3 節之規定配以最少鋼筋量。
7.4.2 牆垂直鋼筋斷面積對牆水平總斷面積之比率為 $\rho_t 0.0015$ 。但下列情況鋼筋比得減至 0.0012： (1) 使用之鋼筋不大於 $D16$ ，且其規定降伏強度 f_y 不小於 4,200 kgf/cm^2 。 (2) 使用之熔接鋼線網，且其鋼線標稱線徑不大於 16 mm。
7.4.3 牆水平鋼筋斷面積對牆垂直總斷面積之比率 ρ_t 應為 0.0025。但下列情況鋼筋比得減至 0.0020： (1) 使用之鋼筋不大於 $D16$ ，且其規定降伏強度 f_y 不小於 4,200 kgf/cm^2 。 (2) 使用之熔接鋼線網，且其鋼線標稱線徑不大於 16 mm。
7.4.4 除地下室之牆外，牆厚在 25 cm 以上時，每一方向鋼筋須按下述方式分兩層設置： (1) 靠近外牆面之鋼筋，其量不得少於此方向所需之 1/2，亦不得多於 2/3；其與外牆面之距離不得小於 5 cm，亦不得大於牆厚之 1/3。 (2) 其餘鋼筋置於靠近內牆面；與內牆面之距離不得小於 2 cm，亦不得大於牆厚之 1/3。
7.4.5 牆之垂直或水平鋼筋間距均不得大於 3 倍牆厚或 45 cm。
7.4.6 牆之垂直鋼筋面積不大於 0.01 倍之混凝土總斷面積或未作抗壓鋼筋用者，則無需以橫箍筋圍封。
7.4.7 牆內若有門窗開孔者，開孔之四周須加置不少於 2 根 $D16$ 之鋼筋，此等鋼筋須延伸至孔角外至少 60 cm，並不得小於其伸展長度。

(資料來源：參考書目[33])

第五節 台灣典型街屋(沿街店鋪式住宅)之結構特徵

本節中將對台灣典型街屋(沿街店鋪式住宅)結構特徵做介紹，主要仍會著重於外牆之部分。此一課題對研究之對象、所需之資料加以調查、收集，發現台灣現今常見的街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆開口型式實為一工程實務上需面對的重要課題。常見的街屋(沿街店鋪式住宅)屋後外牆開口型式如圖 2-24、圖 2-25 和圖 2-26 所示。窗開口之水平尺度多介於 90 至 150 公分，垂直尺度大多介於 120 至 170 公分之間，常見的門尺寸是寬 90 公分、高 275 公分，給空調系統用之開口有時亦會預留在結構牆上，尺寸通常為寬 80 公分、高 60 公分。

由至今對實際結構物的調查結果可以發現台灣常見的一些開口型式和使用的鋼筋號數，牆厚度通常介於 12 至 15 公分之間，前者與後者分別需要配置一層與兩層之鋼筋，所用之鋼筋號亦會有些許不同，如圖 2-27、圖 2-28 所示。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

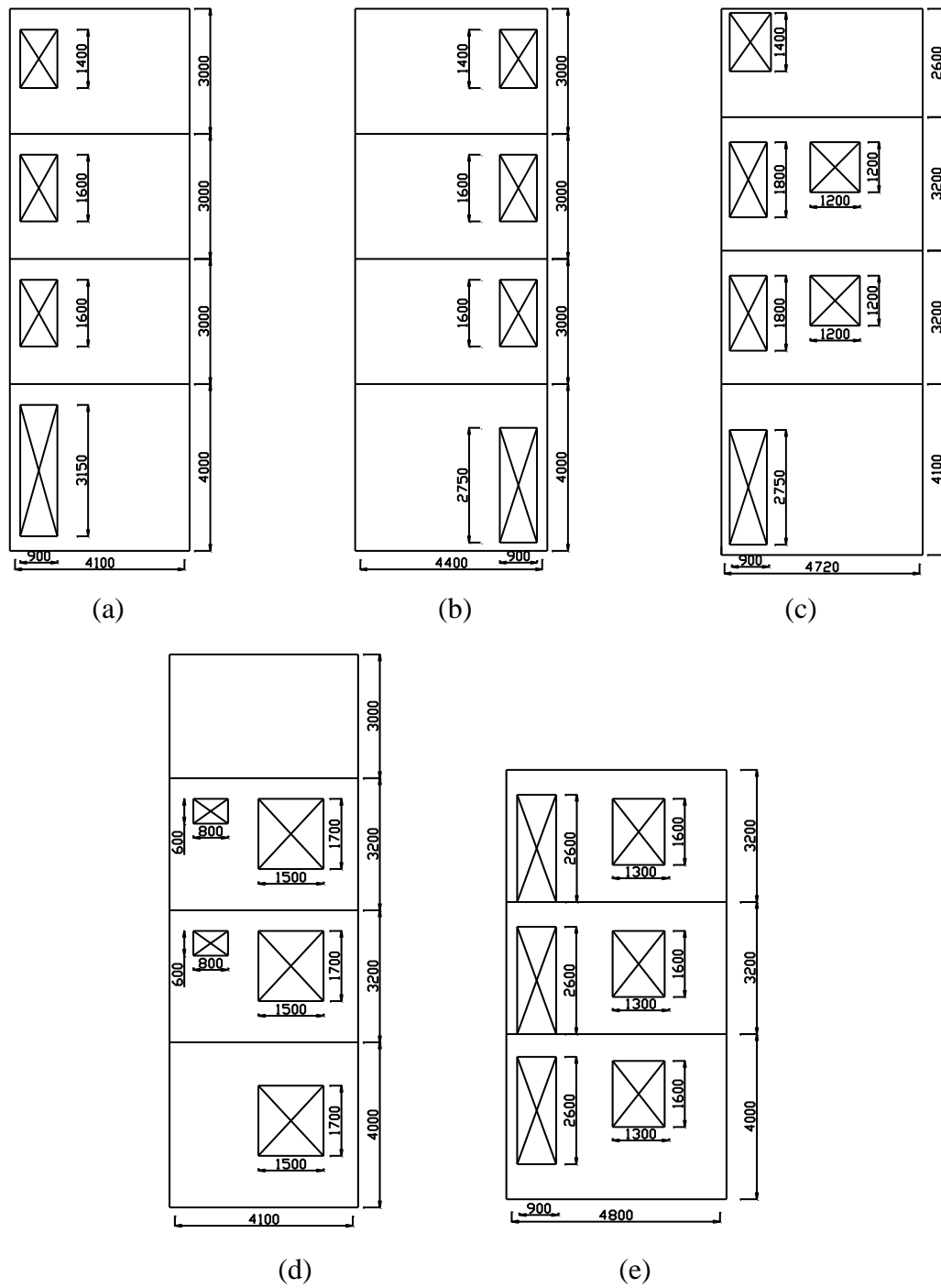


圖 2-24 台灣典型之屋後外牆開口配置

(資料來源：本研究繪製)



(a)



(b)



(c)

圖 2- 25 觀察到之實際街屋(沿街店鋪式住宅)開口配置圖

(資料來源：本研究拍攝)



圖 2-26 觀察到之實際街屋(沿街店鋪式住宅)開口配置圖

(資料來源：參考書目[27])

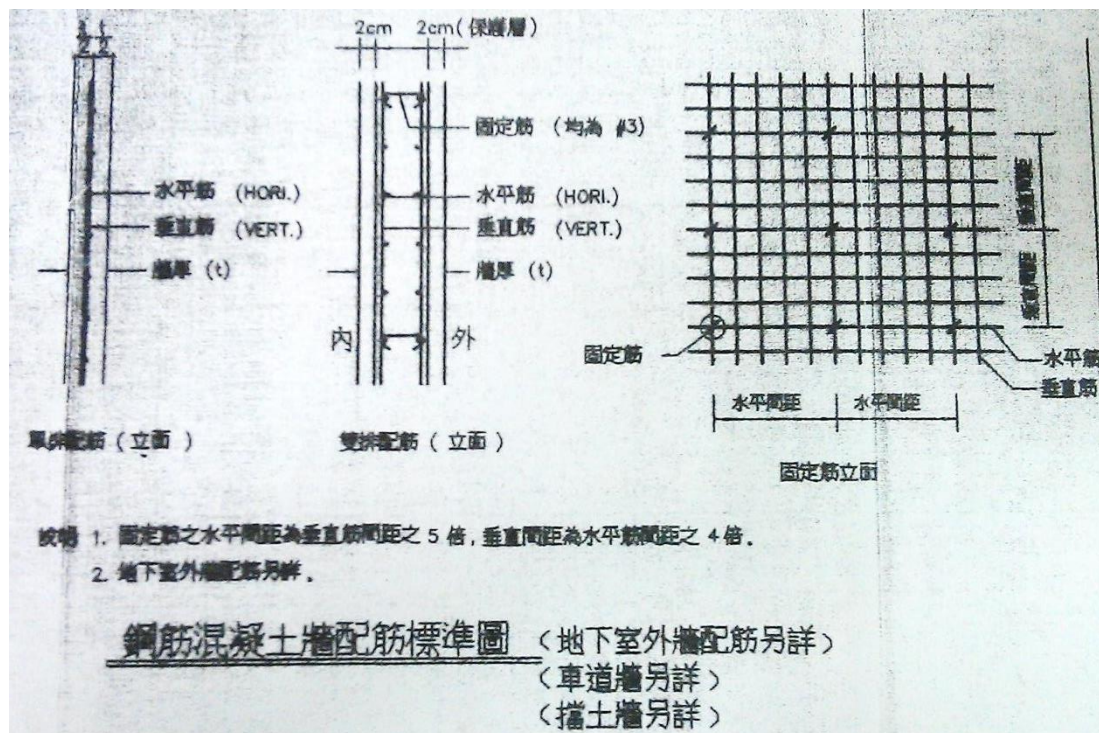


圖 2-27 實務設計上鋼筋配置因牆厚不同所做不同之配置

(資料來源：本研究蒐集、整理)

牆厚		單排	雙排
10~12cm	垂直 水平	#3@20 #3@20	
15~16cm	垂直 水平		#3@20 #3@20
18~20cm	垂直 水平		#3@20 #3@20
24~25cm	垂直 水平		#4@20 #4@20
30~35cm	垂直 水平		#4@20 #4@20
40~45cm	垂直 水平		#5@20 #5@20
50~55cm	垂直 水平		#5@20 #5@20
60cm以上	垂直 水平		#5@20 #5@20

圖 2- 28 牆厚度與所採用之鋼筋配置

(資料來源：本研究蒐集、整理)

由收集到的資料可以發現，街屋(沿街店鋪式住宅)混凝土材料強度常為 210 kgf/cm^2 ，鋼筋號數小於等於#5 時，降伏強度 2800 kgf/cm^2 ；鋼筋號數大於等於#6 時，降伏強度為 4200 kgf/cm^2 ，如表 2- 14 所示。亦有台灣工程師採用在開口角隅配置雙層斜向鋼筋作為開口補強之方法，如圖 2- 29 所示。斜向對角化補強用的鋼筋號數選用，一般會配合原有環繞開口四周之補強筋做調整，若按原規範規定之縱、橫向開口補強鋼筋選用大於等於#5 之號數，則斜向補強筋可選用小於#5 之鋼筋號數做補強；若縱、橫向鋼筋選用小於#5 之號數，則斜向補強筋可選用大於等於#5 之鋼筋號數做補強。

表 2-14 實際案例中所用之材料強度

材料	號數	降伏強度 (kgf/cm^2)
竹節鋼筋	$\geq\#5$	2800
	$<\#6$	4200
混凝土		210

(資料來源：本研究蒐集、整理)

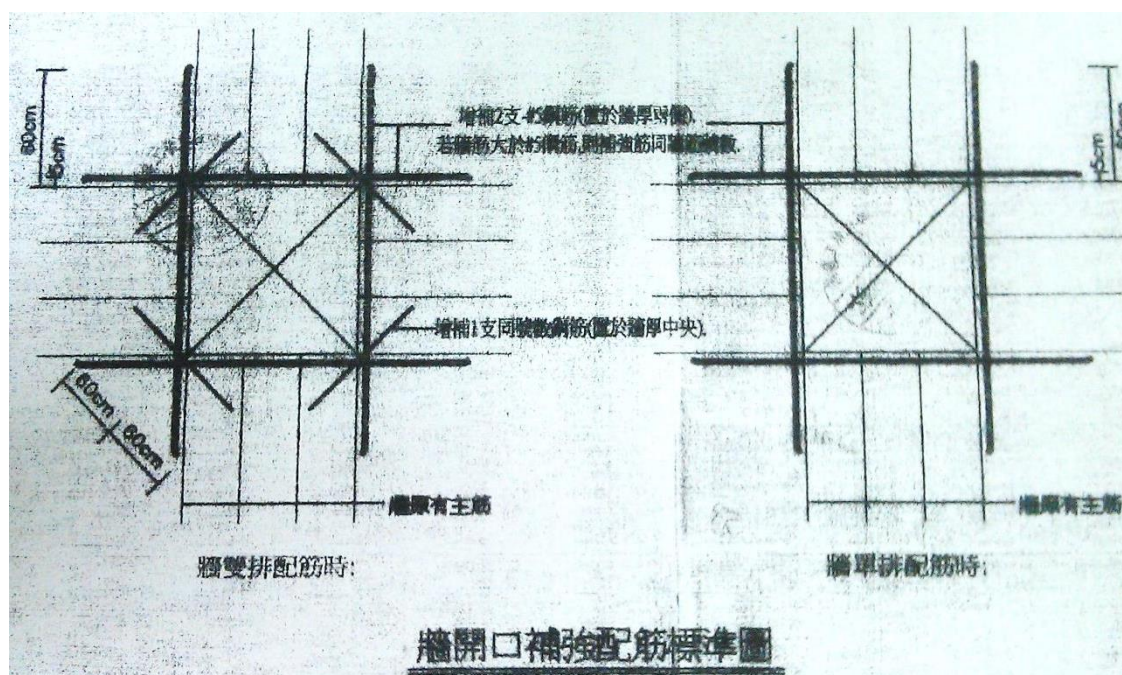


圖 2-29 開口周圍補強配筋細節

(資料來源：本研究蒐集、整理)

圖 2-29 兩種開口補強筋配置差異如下所述，牆採單層配筋時(牆厚度較薄)，所占結構勁度比相對較小，故僅以垂直、水平向鋼筋補強(開口每側各兩支#5)開口即可；當牆厚度較厚時，採雙層縱、橫向鋼筋配置，此時除原有開口各側兩支#5 補強筋外，可再配置#5 一支斜向對角化補強用的鋼筋在開口四個角隅處。牆筋與梁、柱之接合設計細節可參

考圖 2-30 和圖 2-31。

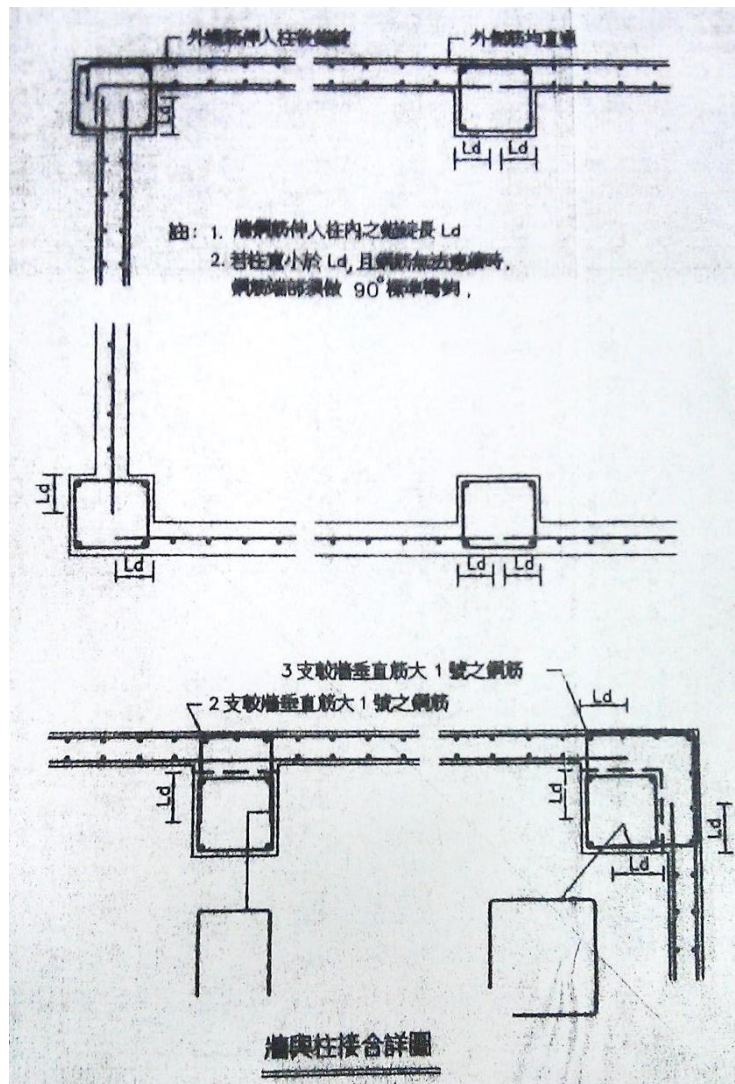


圖 2-30 結構牆與柱接合配筋詳圖說範例

(資料來源：本研究蒐集、整理)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

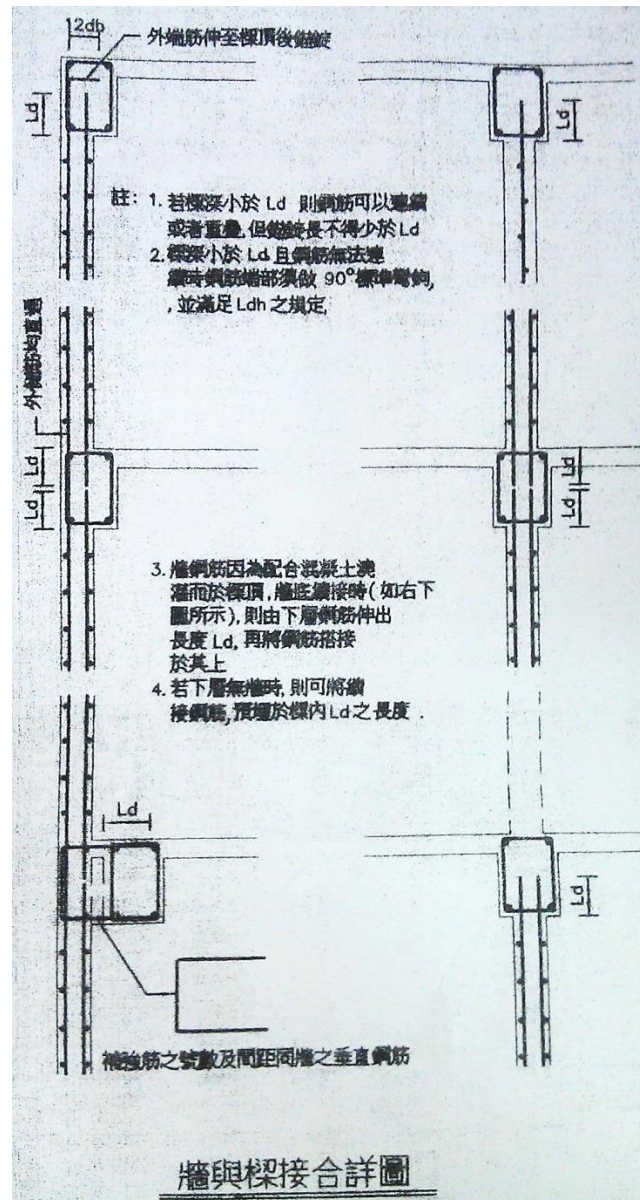


圖 2- 31 結構牆與梁接合配筋圖說範例

(資料來源：本研究蒐集、整理)

第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證及模型建立

第一節 非線性有限元素法分析

本研究使用 DIANA 這套有限元素軟體建構結構模型，分析具開口結構牆。至此始有較可性之方法用來對開口結構牆的勁度和橫向強度進行行為的模擬，其結果可作為與各類文獻提供之公式計算結果相比較的依據。有限元素分析中也參考部分 ACI 鋼筋細節設計之規定。

第二節 實例驗證模型分析之結果

為了證明有限元素軟體所模擬出結果之真實性，我們將一些過去文獻中的試體(Yanez, Park and Paulay[11], Doi et. al[10], Wight, J. K. et al, and Wiradinata et. al)建模後以有限元素法分析，並比較其結果與側推實驗中實際行和與實驗數據之差異。

Yanez, Park and Paulay 等(以下簡稱 Yanez)以反覆加載的方式測試了六種有著不同開口大小與排列方式的結構牆，其中試體 S2 和 S6 之垂直鋼筋比 $\rho_l = 0.5\%$ ，試體 S2 的混凝土抗壓強度 $f'_c = 23MPa$ 、開孔大小為 $600 \times 600mm$ 、柱尺寸為 $120 \times 200mm$ 、梁尺寸 $120 \times 250mm$ ；試體 S3 的混凝土抗壓強度 $f'_c = 26MPa$ 、開孔大小為 $600 \times 600mm$ 、柱尺寸為 $120 \times 300mm$ 、梁尺寸 $120 \times 250mm$ ；試體 S5 的混凝土抗壓強度 $f'_c = 23MPa$ 、開孔大小為 $600 \times 600mm$ 、柱尺寸為 $120 \times 200mm$ 、梁尺寸

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

$120 \times 250 \text{mm}$ ；試體 S6 的混凝土抗壓強度 $f'_c = 22 \text{MPa}$ 、開孔大小為 $400 \times 400 \text{mm}$ 、柱尺寸為 $120 \times 350 \text{mm}$ 、梁尺寸 $120 \times 350 \text{mm}$ ，

D6 號鋼筋 $f_y = 350 \text{MPa}$, $f_u = 470 \text{MPa}$ ，D8 號鋼筋

$f_y = 475 \text{MPa}$, $f_u = 690 \text{MPa}$ 。

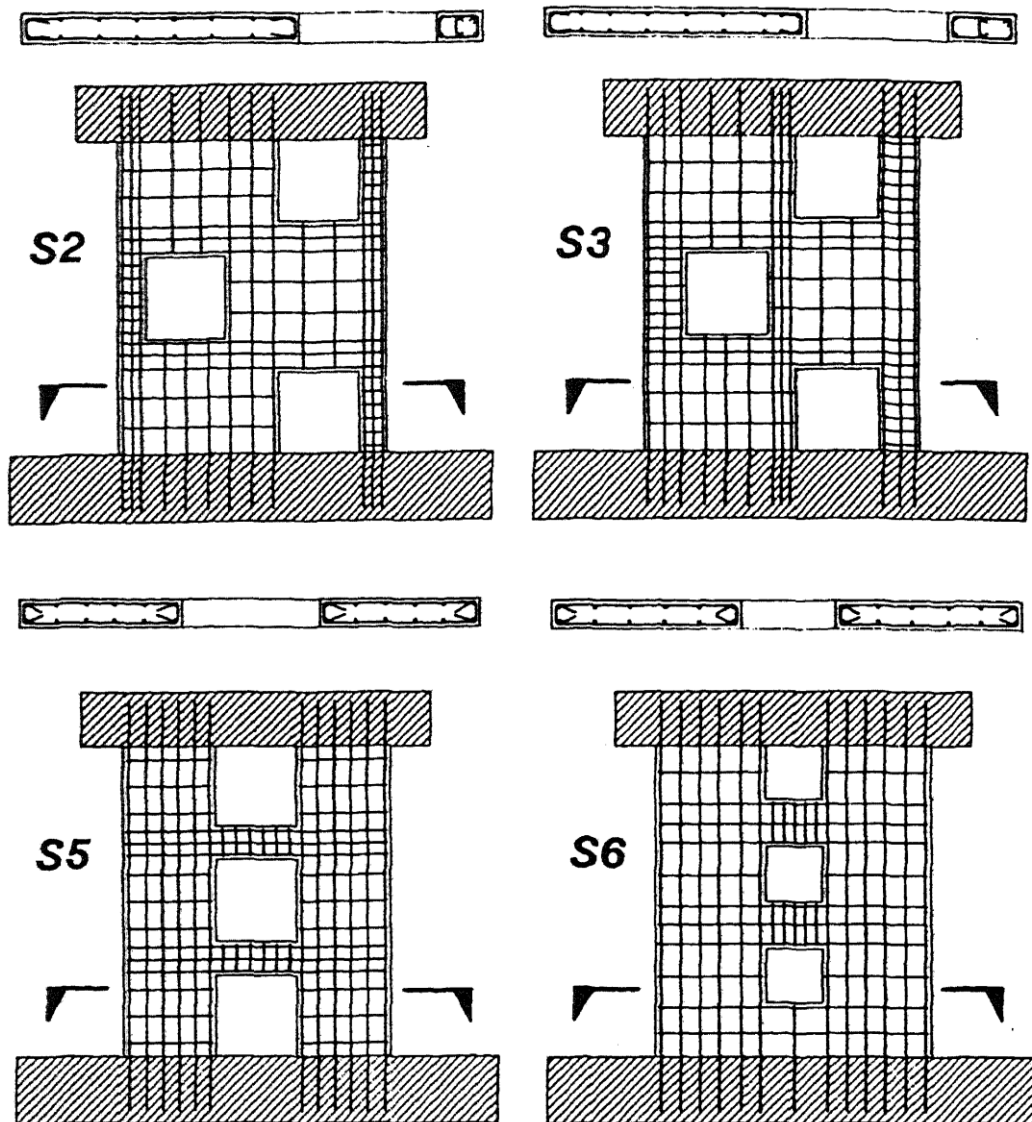


圖 3-1 Yanez 所研究的試體

(資料來源：參考書目[11])

第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證及模型建立

DIANA 軟體之模擬結果非常良好，與真實試體之試驗數據相去不遠，DIANA 模型細節如下圖 3-2 所示，模擬與文獻試驗數據之比較如下圖 3-3 所示。

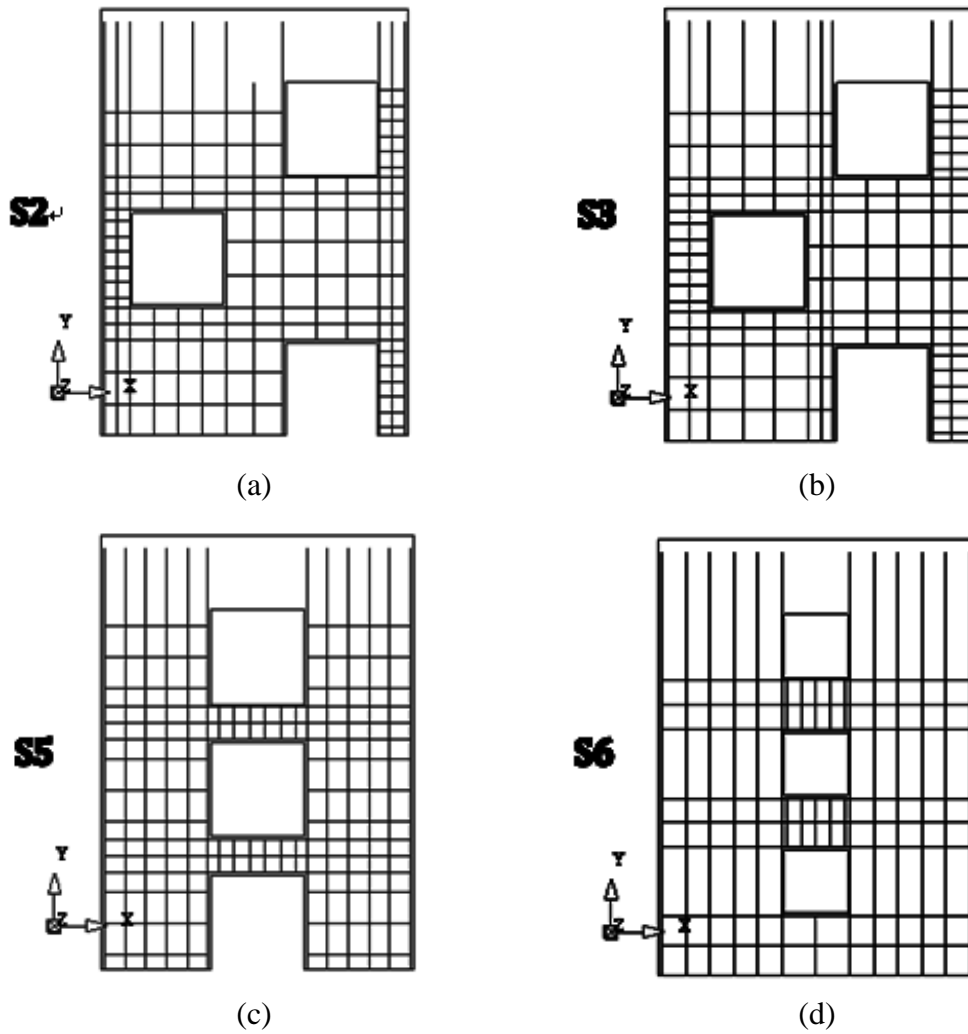


圖 3- 2 DIANA 模擬模型細節(a)S2、(b)S3、(c) S5、(d)S6

(資料來源：本研究繪製)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

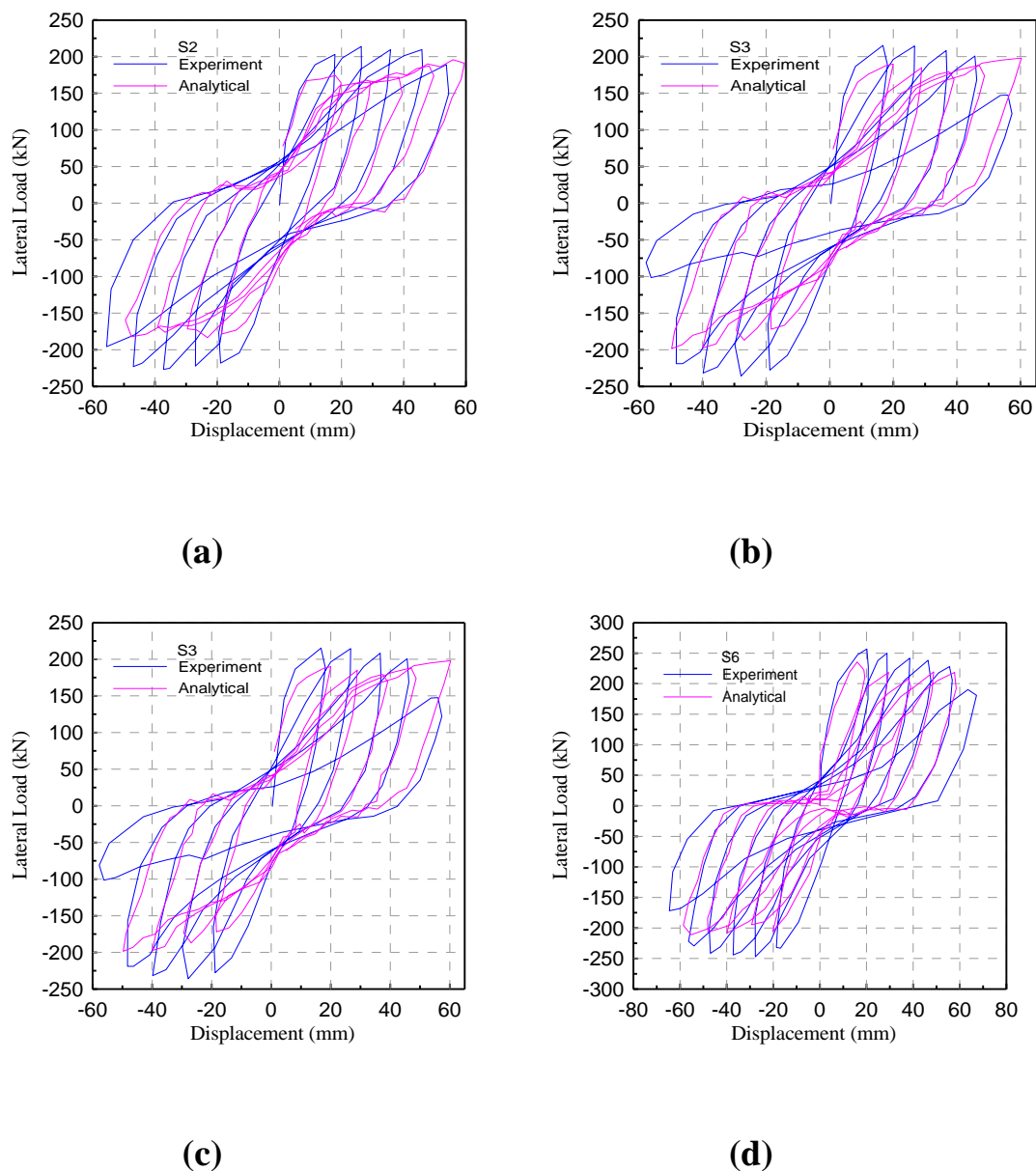


圖 3-3 軟體模型模擬結果與 Yanez 實驗數據做比較(a)S2、
(b)S3、(c)S5、(d)S6

(資料來源：本研究繪製)

此外 Doi 等[10]利用二維有限元素模型研究了交錯開口結構牆之行為，其模型首先利用單側偏心開口結構牆的實驗數據做校正，進而對交錯偏心開口結構牆之行為做預測。詳細之斷面及材料參數如表 3- 1、

第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證及模型建立

表 3-2、表 3-3 和

表 3- 4 所示，試體之配筋細節如圖 3- 4、圖 3- 5 所示。

表 3- 1 斷面大小及常用鋼筋資料

Member	Section size	Longitudinal bar		shear reinforcement	
		Type	Steel ratio	Type	Steel ratio
Boundary column	300x300mm	8-D19	2.55%	2- d10@75	0.63%
Isolated column					
Beam	200x300mm	2-D13	0.47%	2- d6@100	0.32%
Small Boundary	160x160mm	4-D19	4.48%	2- D6@75	0.53%
Wall	t= 80mm	D6@100(staggered) 0.4%			
		in both vertical and horizontal shear reinforcement			

(資料來源：本研究整理)

表 3- 2 開口周圍配置之鋼筋資料

Sp designati	Openi ratio	Reinforcement around the opening		
		Verti	Horizon	Diago
L1	0.46	1-D1	2-D13	1-D16
L2	0.46	-	-	-

(資料來源：本研究整理)

表 3- 3 鋼筋之力學性質

Type	Yield strength (Mpa)	Maximum strength (Mpa)	Young's modulus (Gpa)
	425	538	201
D10	366	509	180
D13	369	522	189
D16	400	569	194
D19	384	616	183
d10	985	1143	197

(資料來源：本研究整理)

表 3-4 混凝土之力學性質

Specimen	Compressive strength (Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Young's modulus (Gpa)
L1	28.9	-	26
L2	22	2	22.5

(資料來源：本研究整理)

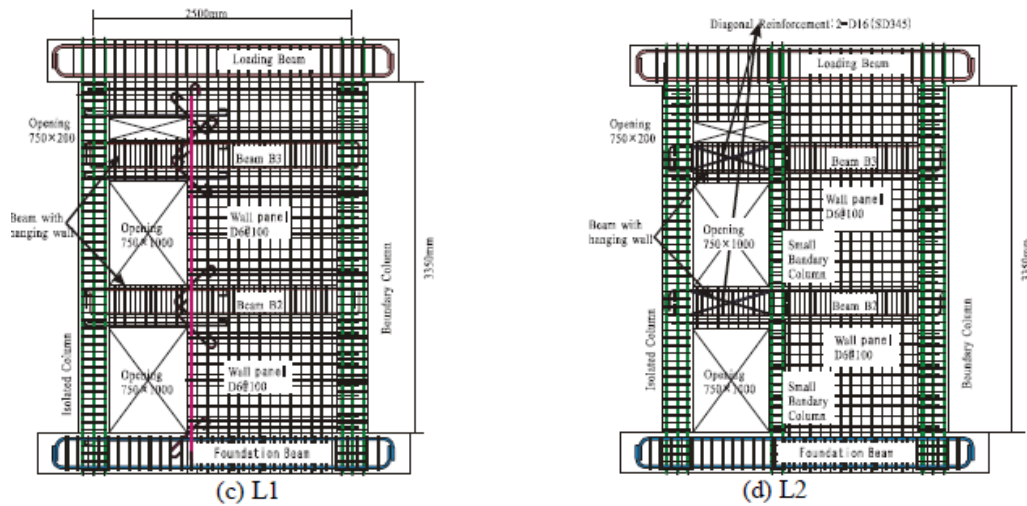


圖 3-4 Doi 等試驗試體 L1 和 L2 配筋細節

(資料來源：參考書目[10])

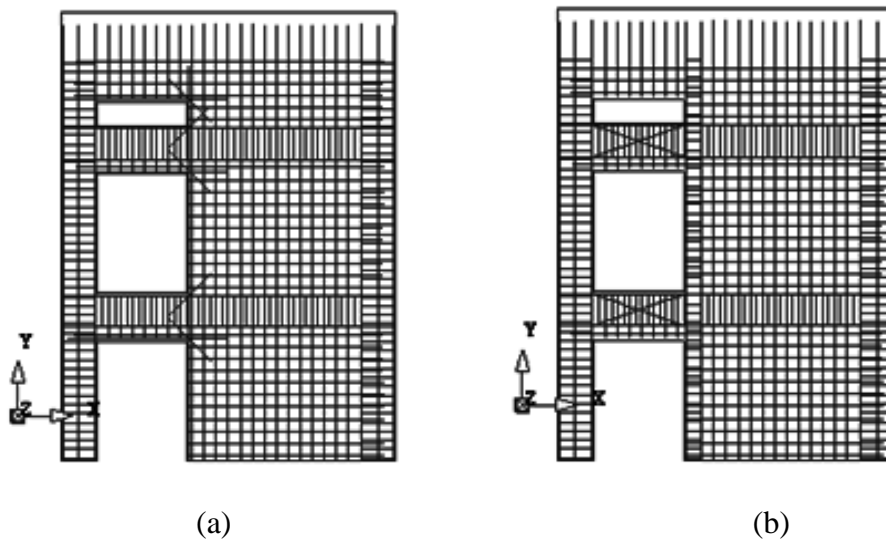


圖 3- 5 DIANA 模擬模型配筋細節：(a)L1、(b)L2

(資料來源：本研究繪製)

亦使用 DIANA 對 Doi 等所試驗之試體 L1 及 L2 做分析，其結果如圖 3- 6 所示，亦與實際試驗所得之行為相近。

第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證及模型建立

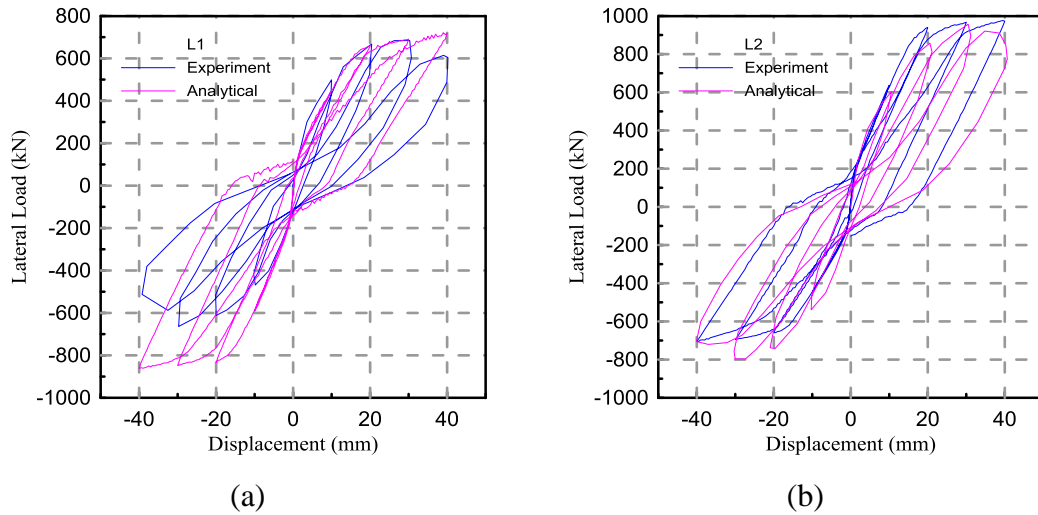


圖 3-6 軟體模型模擬結果與 Doi 等實驗數據做比較 L1 (a)和 L2 (b)

(資料來源：本研究繪製)

Wight J. K. et al[7]測試具交錯開口結構牆。牆 W-3 的試樣規格細節和材料特性示於圖 3-7、圖 3-8、表 3-5、表 3-6。

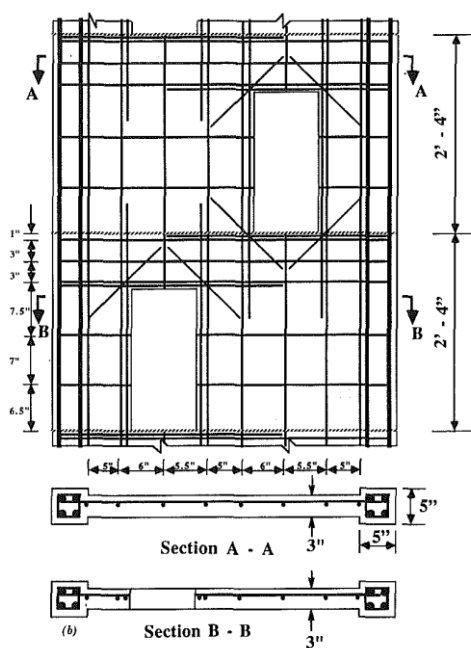


圖 3-7 試體 W-3 配筋細節

(資料來源：參考書目[7])

表 3-5 試體 W-3 相關細節

Item	Specimen
Section shape	barbell-shaped
Height	3.56 m
Wall length	1.22 m
Wall aspect ratio	2.9
Story height	0.71 m
Story aspect ratio	0.58
Web reinforcement ratio (horizontal)	0.003
Web reinforcement ratio (vertical)	0.003
Boundary element reinforcement ratio (horizontal)	0.03
Boundary element reinforcement ratio (vertical)	0.004
Area (opening)	13.40%

(資料來源：參考書目[7])

表 3-6 材料參數

Steel bar		
	Yield strength (Mpa)	Young's (Gpa)
3/16 in	620	200
#2	562	200
#4	540	200
Concrete		
Compressive strength (Mpa)		34.5
Young's modulus (Gpa)		27

(資料來源：參考書目[7])

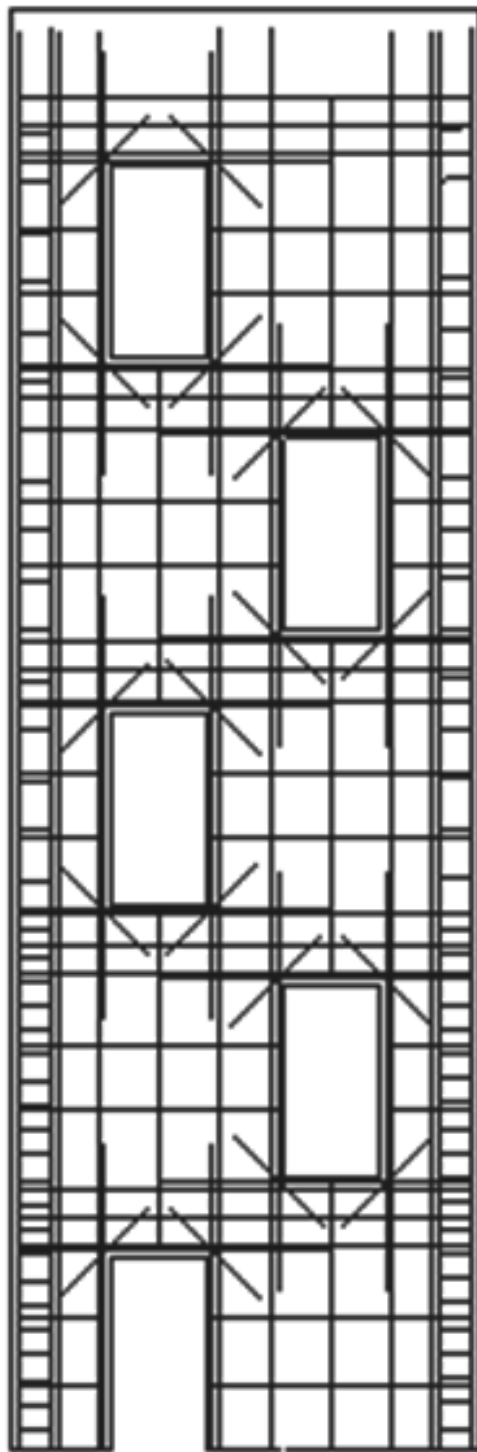


圖 3-8 試體 W-3 DIANA 模型之建立

(資料來源：本研究繪製)

第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證及模型建立

DIANA 模型模擬與實際試驗之結果對照顯示於圖 3-8，結果顯示亦為模型分析具良好之模擬效果。

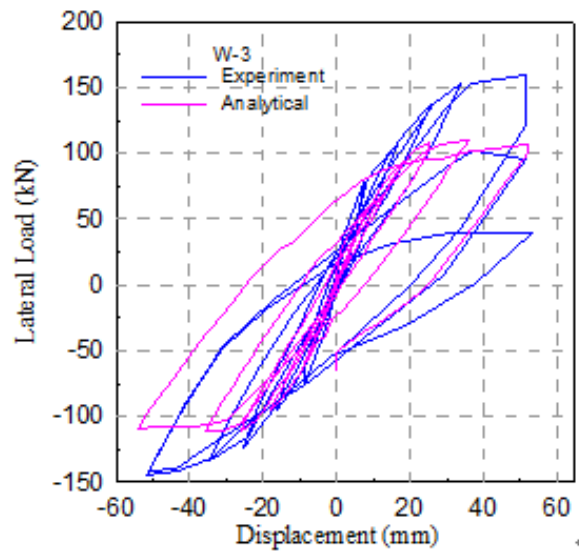


圖 3-9 DIANA 模型模擬與實際試驗之結果對照

(資料來源：本研究繪製)

渥太華大學 Wiradinata 和 Saatcionglu [9] 測試了幾組高寬比為 0.5 之墩牆，受測試牆 O1 之幾何形狀和配筋細節如圖 3-10 所示，材料強度如表 3-7，試驗與模擬所得之結果如圖 3-11 所示，模擬之結果亦相當優良。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

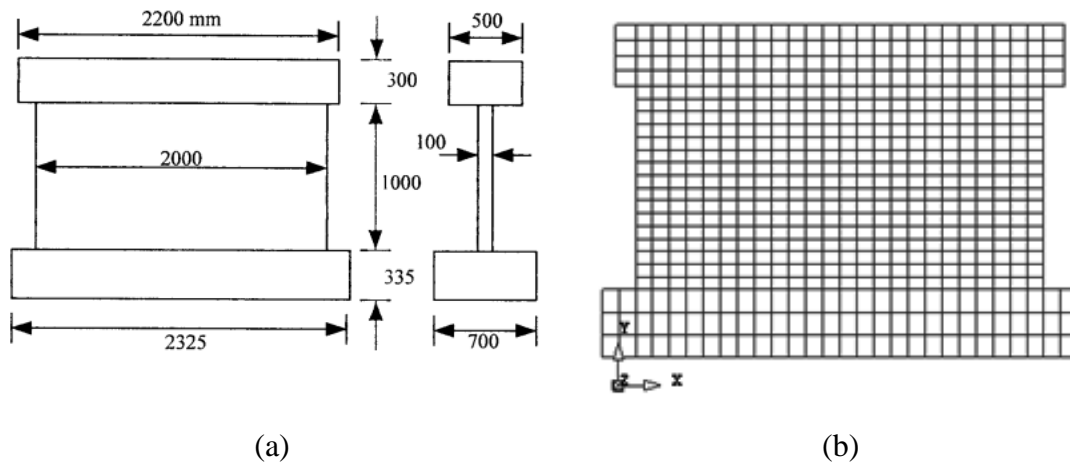


圖 3-10 試體 O1 之幾何形狀和 DIANA 模型網格

(資料來源：參考書目[9]、本研究繪製)

表 3-7 材料參數

Steel bar	Zone	ρ (%)	Yield (Mpa)	Young's (Gpa)
Horizo	Web	0.	425	200
	Boun	1.	425	200
Vertica	Web	0.	435	200
	Boun	1.	435	200
Concrete				
Compressive strength (Mpa)		2	Young's	23

(資料來源：參考書目[9])

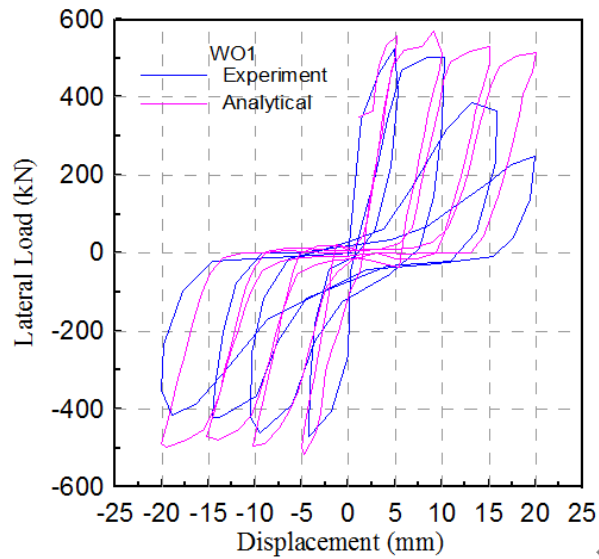


圖 3- 11 DIANA 模型模擬與實際試驗之結果對照

(資料來源：本研究繪製)

第三節 DIANA 分析模型參數之設定及假設

利用二維有限元素分析軟體 DIANA 建立模擬模型，此模型用於二至四層低矮鋼筋混凝土結構牆行為之模擬，所用之網格為具有八個節點的四邊形網格如圖 3- 12 所示，牆底節點則採用固定端之假設來束制位移，如圖 3- 13 所示，加載梁被定義為「純彈性行為之混凝土材料」。

試驗方式採用位移控制加載，模擬時側向載重施加於加載梁中央節點上並以恆定初始軸力載重 $V \cong 0.1f'_c A_g \cong 1883kN$ ，施以之側向位移會反覆循環直至 6% drift 如圖 3- 14 所示。

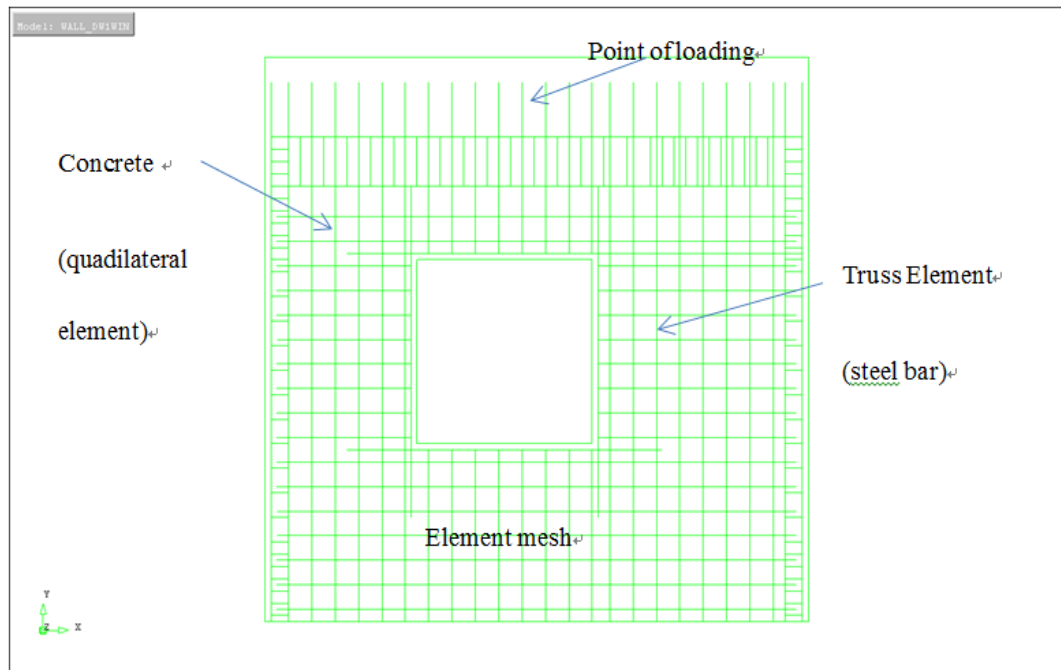


圖 3-12 有限元素材料特性

(資料來源：本研究繪製)

第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證及模型建立

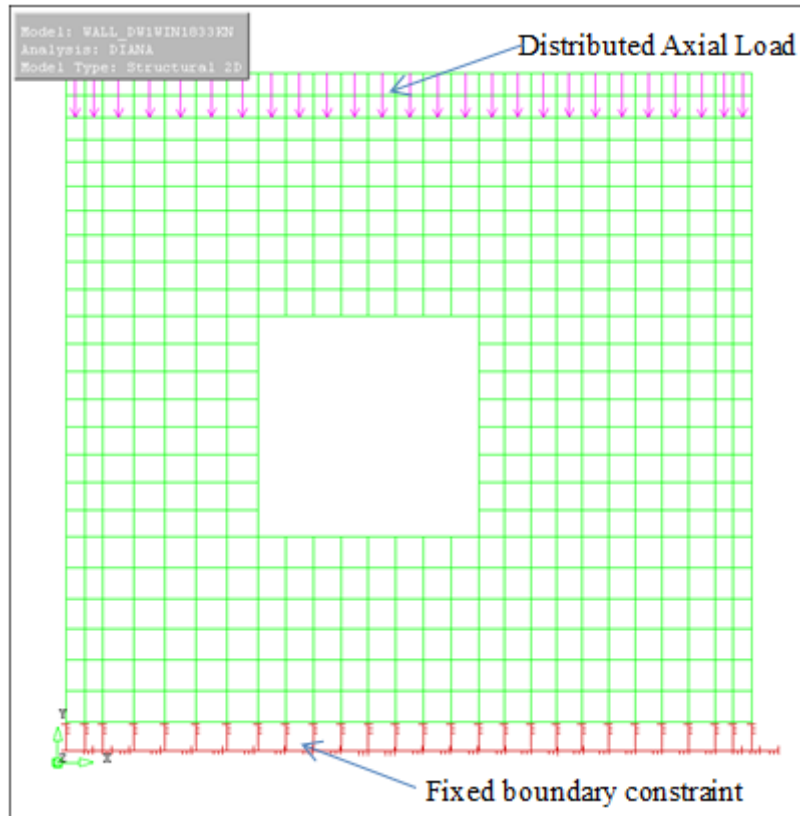


圖 3-13 DIANA 模型之邊界條件及載重

(資料來源：本研究繪製)

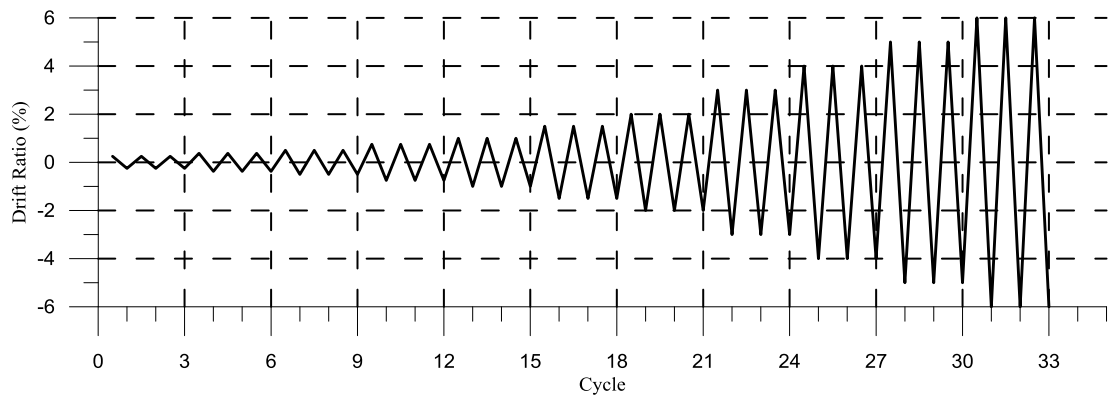


圖 3-14 反覆載重歷程

(資料來源：本研究繪製)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

基於彰顯開口周圍額外配置的鋼筋對結構牆行為之影響，模型中的鋼筋乃仿照桁架元素的方式所建立，而非混和鋼筋與混凝土材料性質所得的均質材料如圖 3- 12 所示。

基於旋轉角理論而由 Vecchio[23]提出的改良壓縮場理論、亦稱為桁架模型，在 DIANA 中用來建立混凝土行為之模型。旋轉角理論中，裂縫之方向被假定為平行主應力之方向，如圖 3- 15 所示。

混凝土則用四邊形之平面應力元素加以模擬，材料性質定為脆性材料、開裂由總應變開裂控制、理想化之受壓行為、非線性軟化行為採用 Hordijk 等人所提出之模型，以達較具真實性之應力-應變曲線模型之建立如圖 3- 16 所示。

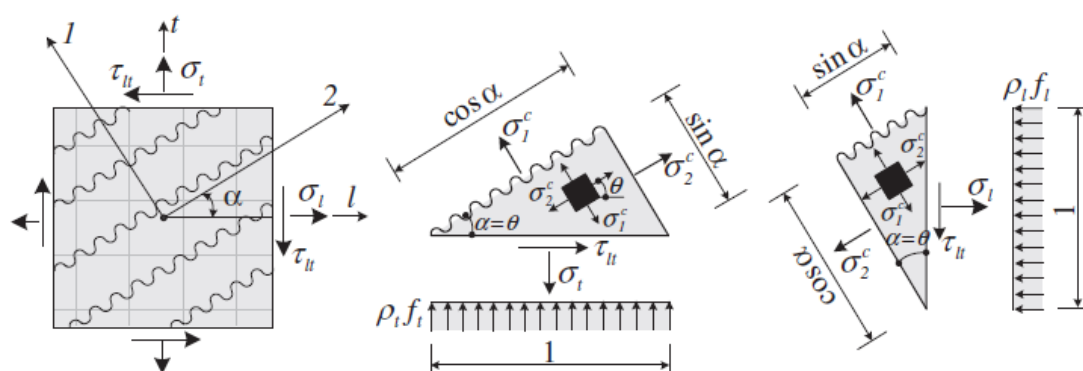


圖 3- 15 旋轉裂縫角理論

(資料來源：參考書目[23])

第三章 以有限元素軟體分析 RC 牆體之相關參數驗證及模型建立

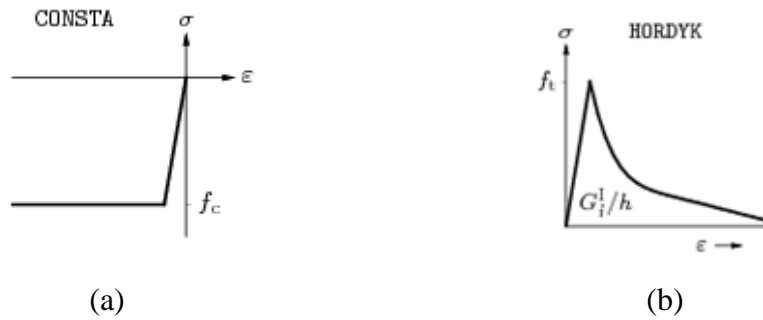


圖 3-16 混凝土應力應變曲線；(a)拉力、(b)壓力

(資料來源：參考書目[23])

鋼鐵材料之性質模型採用完全彈塑性應力應變曲線模擬之，材料之強度乃基於降伏應力 f_y 並忽略一般鋼材之應變硬化行為如下圖 3-17 所示。

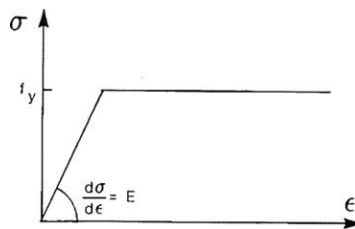


圖 3-17 鋼筋材料之雙線性應力應變曲線

(資料來源：參考書目[23])

結構牆模型之建立首先依據最基本之要求配置佈滿整結構牆之水平及垂直向鋼筋(尚不配置開口周圍之補強筋)。之後依據所希望的方式配置開口周圍之補強筋、梁柱主筋和箍筋等即可，如下圖 3-18 所示。經過適當的邊界條件設定、材料性質和行為之模擬、配筋細節的正確與完整等，即可透過 DIANA 獲得真實性極高之開口結構牆行為模擬的結果。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

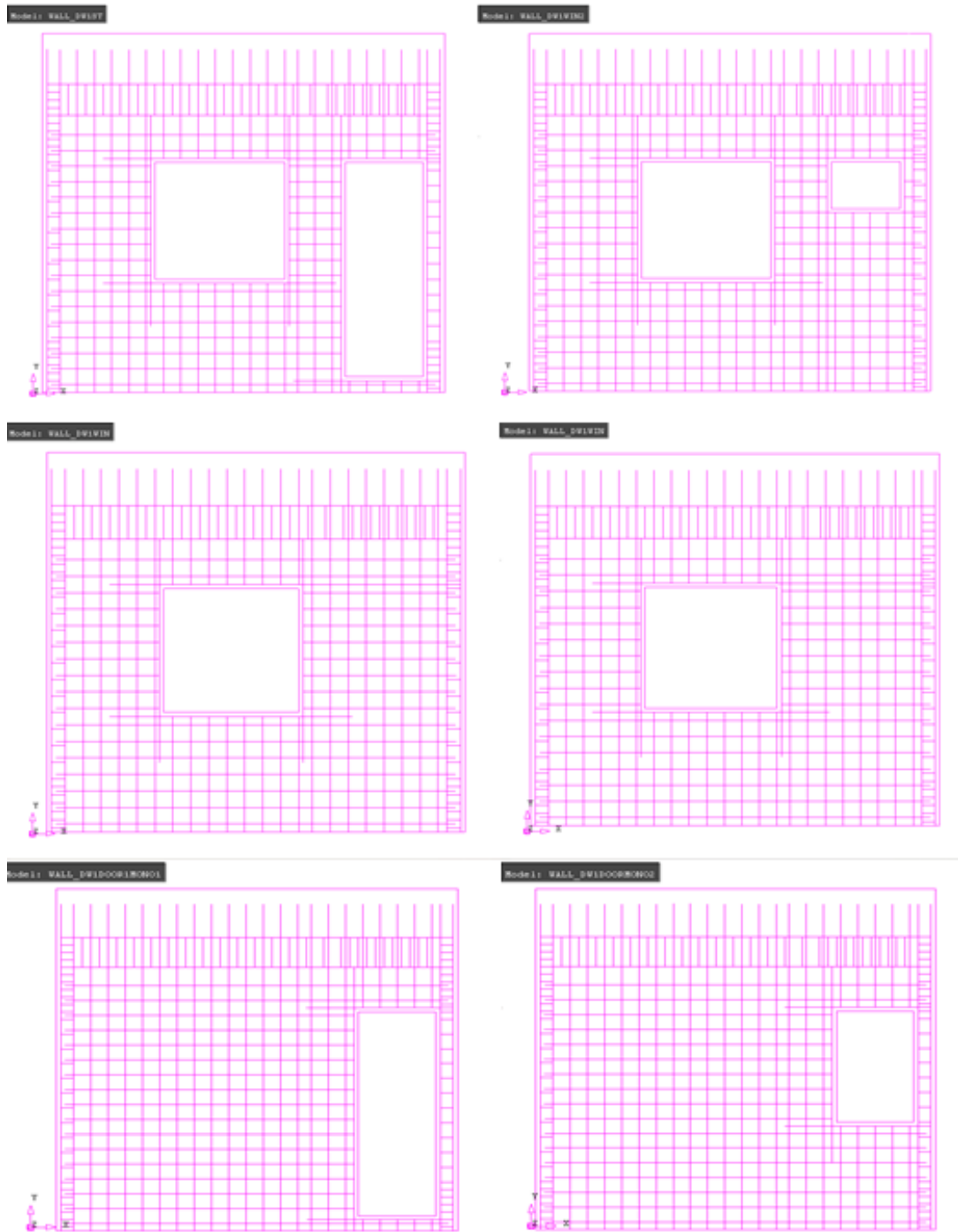


圖 3-18 模型構架之鋼筋配置細節範例

(資料來源：本研究繪製)

第四章 開口牆體之初始側向勁度 DIANA 分析結果

對照

透過前述的過程，充分驗證模型分析具有一定之準確性後，開始利用 DIANA 對牆體開口位置、開口配置及大小等參數進行模型之建置及分析其初始勁度。並與現今各式開口牆勁度評估方法之結果作比較之。

第一節 以有限元素軟體 DIANA 做開口牆體初始勁度分析

基於 DIANA 單向側推之分析結果，吾人可以由其力量-位移之曲線關係圖中簡單的定義出模擬牆體之初始側向勁度。方法一為，取分析所得知極限側推力 F_n 之 0.75 倍數值點，與原點相連斜線所得之勁度將之定義為初始勁度；方法二為，取開口壁體臨界斷面邊緣鋼筋降伏時之側推力 F_y 與原點相連斜線所得之勁度將之定義為初始勁度，如下圖 4-1 所示。

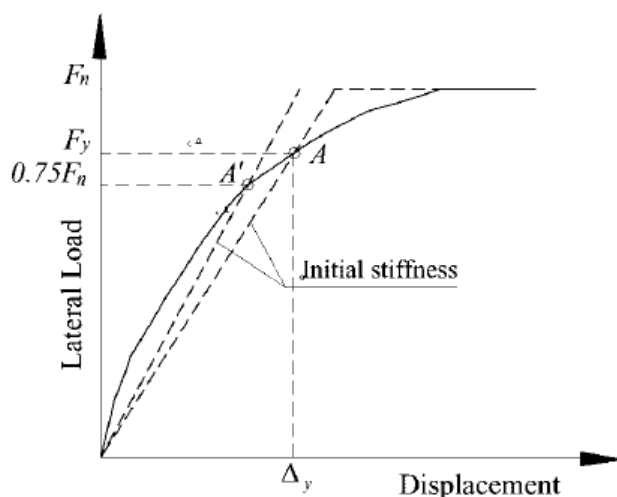


圖 4-1 定義初始勁度之方法

(資料來源：參考書目[14])

第二節 實心牆之有效勁度及開口勁度折減係數

壹、實心牆體之有效勁度[13]

實心牆體之有效勁度已有眾多學者研究之，有效勁度可以由有效斷面慣性矩 I_e (effective moment of inertia) 及懸臂牆段之假設加以計算之，如下式

$$K_i = \frac{I_e \times 3E_c}{h_w^3}$$

其中

K_i = 牆體有效初始勁度

I_e = 有效慣性矩

E_c = 混凝土彈性模數

h_w = 牆高

除此之外，歷來亦有諸多學者提出不同之公式以計算在牆體受降伏側力或混凝土應變達到 0.002 時之有效慣性矩。介紹如下。

Fenwick 和 Bull 建議之公式

$$I_e = 0.267 \left(1 + 4.4 \frac{P_u}{A_g f'_c} \right) \left(0.62 + \frac{190}{f_y} \right) (0.76 + 0.005 f'_c) I_g \quad (4)$$

Paulay 和 Priestley 建議之公式

$$I_e = \left(\frac{100}{f_y} + \frac{P_u}{A_g f'_c} \right) I_g, \text{ for } \frac{h_w}{l_w} > 4 \quad (4)$$

$$I_w = \frac{I_e}{1.2+F}, F = \frac{30I_e}{h_w^2 b_w l_w}, \text{ for } \frac{h_w}{l_w} < 4 \quad (4)$$

Mac Gregor 建議之公式

$$I_e = \left(0.8 + 25 \frac{A_{st}}{A_g} \right) \left(1 - \frac{M_u}{P_u h} - 0.5 \frac{P_u}{P_o} \right) I_g \quad (4)$$

$$P_o = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (4)$$

Li 和 Xiang 建議之公式

$$I_e = 0.19 \left(\frac{100}{280} + 0.1 \right) \left(0.53 + \frac{h_w}{l_w} + 0.31 \frac{h_w^2}{l_w^2} \right) I_g \quad (4)$$

其中 (4)

I_g = 全混凝土斷面之慣性矩

f_y = 鋼筋降伏強度

l_w = 全牆長

$\frac{P_u}{A_g f'_c}$ = 受軸壓之比率

f'_c = 28 天齡期之混凝土抗壓強度

h = 全牆高

P_o = 無偏心條件下之標稱軸向強度

P_u = 係數化軸向載重

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

A_g = 混凝土全斷面積

A_{st} = 斷面內非預力鋼筋之全斷面積

經此方可依據懸臂牆段之假設及有效慣性矩各公式加以計算牆底之有效初始勁度。

貳、Neuenhofer 所提出之勁度折減計算法[15]

利用折減係數來計算開口牆體之勁度為一較簡易之方法，前面提到的學者 Neuenhofer 提出一簡單手算之方法來評估開口牆體之側向勁度，其對開口位置及大小和和牆體橫縱比等多變化之參數進行研究後提出下述之方法，如圖 4-2 所示。

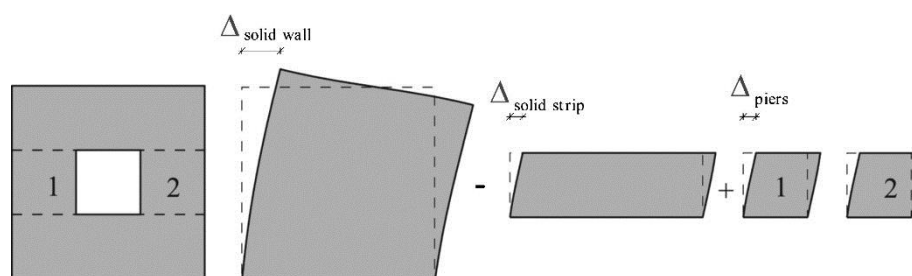


圖 4-2 Neuenhofer 提出之折減係數計算法

(資料來源：參考書目[15])

此方法首先計算假設為無開口實心牆時之牆頂位移量，再依照疊加原理去除開口部位實心牆段之位移量，最後加回相同位置零散牆段之位移量為開口強體之總位移量，實際之計算式如下所示。

$$\Delta_{total} = \Delta_{flex} + \Delta_{shear} = \frac{P}{E \times b} \left[4 \left(\frac{H}{L} \right)^3 + 3 \left(\frac{H}{L} \right) \right] \quad (4)$$

$$\Delta_{solid\ wall} = 4 \left(\frac{H}{L} \right)^3 + 3 \left(\frac{H}{L} \right) \quad (4)$$

$$\Delta_{solid\ strip} = \left(\frac{H}{L}\right)^3 + 3\left(\frac{H}{L}\right) \quad (4)$$

$$\Delta_{pier} = \left(\frac{H_o}{L_o}\right)^3 + 3\left(\frac{H_o}{L_o}\right) \quad (4)$$

$$\Delta_{piers} = \frac{1}{\frac{1}{\Delta_{pier1}} + \frac{1}{\Delta_{pier2}}} \quad (4)$$

$$\Delta_{wall} = \Delta_{solid\ wall} - \Delta_{solid\ strip} + \Delta_{piers} \quad (4)$$

$$\text{ratio of stiffnesses} = \frac{\Delta_{solid\ wall}}{\Delta_{wall}} \quad (4)$$

其中

Δ = 位移

P = 軸力

E = 牆體彈性模數

H = 全牆高

H_o = 開口高

L = 全牆長

L_o = 牆段長

b = 牆厚

參、AIJ 標準計算準則提供之勁度折減係數

在現今台灣常引用、參考的規範條文之中，ACI 規範內未提供開口牆體相關之勁度計算方式，AIJ 標準計算準則提供一折減係數計算方式，如下所示。

$$r = 1 - 1.25 \sqrt{\frac{l_{op} \times h_{op}}{l \times h}}$$

其中

h = 全牆高

h_{op} = 開口高

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

l = 全牆長

l_{op} = 開口長

此折減係數可由計算式發現，開口越大，勁度之折減越多，與其開口面積占全牆面積比有極大之關係，但式中未考量到開口位置對整體開口牆行為之影響，相關結果比較待後續章節詳述。

肆、Bing Li 's RC 牆體含不規則開口之初始勁度評估法[14]

Bing Li 等學者研究並提出一程序來估計低橫縱比且含不規則開口 RC 牆體之初始勁度，這種作法將彎矩和剪力變形同時納入考量，並通過六組試體之實驗結果加以驗證理論分析方法，並根據各項參數提出簡易之計算方程。

Bing Li 等學者所建議之簡易評估公式內所包含之影響因素有軸向載重比、開口率和橫縱比，皆對勁度有顯著之影響，計算方程如下所示。

矩形牆時：

$$\kappa = 0.596(0.549 + 1.778R_n)(0.531 - 0.688R_o)(0.213 + 0.4R_a)$$

輪牆時(開口位於牆中)：

$$\kappa = 0.597(0.565 + 0.621R_n)(0.525 - 0.607R_o)(0.029 + 0.44R_a)$$

其中

κ = 與實心牆勁度比

R_n = 軸力比

R_o = 開口率

R_a = 牆體橫縱比

第三節 研究團隊所提出之含開口 RC 牆體初始勁度評估方

法(勁度計算法)

研究團隊綜合眾多參考文獻、力學理論與混凝土參數研究資料等提出了一套含開口 RC 牆體初始勁度評估方法，計算包含牆體撓曲效應、剪力變形等受側力時對牆體變位之影響因素。含開口 RC 牆體初始勁度評估方法主要分為兩部分，一為牆筋降伏前之彈性撓曲變形、一為牆塊受剪時之剪力變形，相關理論及計算如下所述。

壹、計算撓曲變位

首先計算牆體臨界斷面鋼筋恰產生降伏時所受之彎矩 M_y ，並定義臨界斷面降伏時之側向力 F_y 如下所示。

$$F_y = \frac{M_y}{H}$$

其中

M_y = 臨界斷面內首支鋼筋降伏時對應之彎矩

H = 全牆高

F_y = 臨界斷面首支鋼筋降伏時牆體所受之側力

再來計算該側力下，牆體之撓曲變形 Δ_{yf} ，牆頂之總撓曲變形為沿

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

牆高方向各斷面之撓曲變位之累加，可簡易定義為下式。

$$\Delta_{yf} = \sum_{i=1}^m \varphi_i h_i x_i$$

其中

m = 垂直向劃分牆段總數

φ_i = 第 i 牆段之平均曲率

h_i = 第 i 牆段之高度

x_i = 第 i 牆段之中心至牆頂部之距離

Δ_{yf} = 總撓曲位移量

貳、計算剪力變位

Park 和 Paulay [17] 等學者發展一方法來計算受網格狀鋼筋分布所強化之短梁或深梁之剪力勁度，如下圖 4-3 所示。

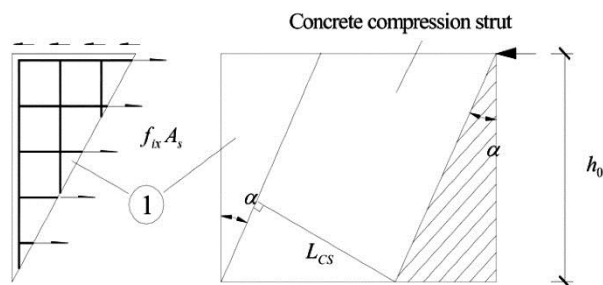


圖 4-3 網格狀筋及混凝土交互作用於牆板內形成拉、壓力桿
(資料來源：參考書目[14])

水平向鋼筋及混凝土分別做為張力及壓力的傳遞原件，形成抵抗側力之力學形式。總剪切變形包含兩個部分，一為水平向鋼筋之伸縮 Δ_S ，一為壓桿之縮短 Δ_C ，如下圖 4-4。

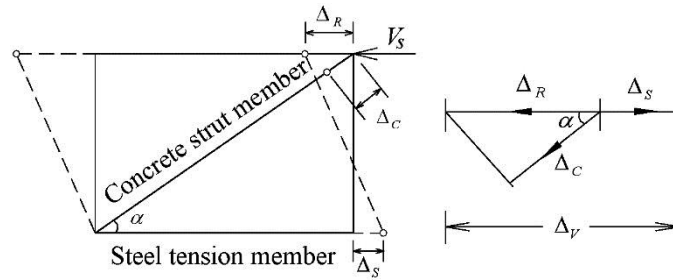


圖 4-4 類行架模型比擬受剪切變形之牆板 Bing Li and Weizheng

Xiang

(資料來源：參考書目[13])

$$\Delta_V = \Delta_S + \Delta_R = \Delta_S + \Delta_C / \sin \alpha$$

其中

- α = 壓桿傾斜角
- Δ_S = 水平向鋼筋之伸長
- Δ_C = 壓桿之縮短

假設牆板所受之剪切力為 V_s ，則水平向鋼筋所受之應力為

$$f_s = \frac{V_s s}{d \cot \alpha A_h}$$

其中

- V_s = 剪切力
- d = 牆板之長度
- s = 水平向鋼筋之間的垂直間距
- A_h = 垂直間距 s 內之水平向鋼筋總斷面積
- α = 壓桿傾斜角

因此可得水平向鋼筋伸長量 Δ_S 為

$$\Delta_S = \frac{f_s}{E_s} d = \frac{V_s s}{E_s \cot \alpha A_h}$$

E_s = 鋼筋彈性模數

並推導出混凝土壓應力為

$$f_{cd} = \frac{V_s}{b_w L_{cs} \sin \alpha}$$

其中

f_{cd} = 混凝土壓應力

b_w = 壓桿寬度，即牆厚度

L_{cs} = 壓桿之有效深度

壓桿之收縮量為

$$\Delta_C = \frac{f_{cd}}{E_c} h_w / \cos \alpha = \frac{V_s h_w}{E_c b_w L_{cs} \sin \alpha \cos \alpha}$$

其中

V_s = 剪切力

h_w = 牆板高.

b_w = 壓桿寬度，即牆厚度

L_{cs} = 壓桿之有效深度

E_c = 混凝土彈性模數

α = 壓桿傾斜角

牆板之剪切變位可以表示為

$$\theta_V = \frac{\Delta_V}{h_w} = \frac{\Delta_S + \Delta_R}{h_w} = \frac{V_s}{h_w E_s b_w} \left(\frac{1}{\cot \alpha \rho_h} + \frac{h_w n}{L_{cs} \sin^2 \alpha \cos \alpha} \right)$$

當 $\theta_V = 1$ 且 $L_{cs} = d \cos \alpha$ 時，牆板之剪力勁度可被定義為

$$K_V = \frac{\rho_h \sin^4 \alpha \cot^2 \alpha}{\sin^4 \alpha + n \rho_h} E_s b_w d$$

其中

$\rho_h = A_h / (s \times d)$

估計裂縫角度之方法採用 Kim 和 Mander (2007) 所提出之方程式，

第四章 開口牆體之初始側向勁度 DIANA 分析結果對照

此理論主要乃基於能量之吸收消散來做裂縫角度之計算。

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\rho_h n + 1.57 \frac{\rho_h A_v}{\rho_v A_g}}{1 + \rho_h n} \right)^{\frac{1}{4}}$$

其中

θ_V = 剪力變位

L_{CS} = 壓桿之有效深度

α = 壓桿之傾斜角

h_w = 牆板高

n = E_s/E_c

b_w = 牆厚度

d = 牆長度

V_s = 剪切力

ρ_h = 水平鋼筋比

ρ_v = 垂直鋼筋比

A_v = 混凝土斷面受剪面積 bd_c

A_g = 混凝土斷面全斷面積

再來計算該側力下，牆體之剪切變形 Δ_{yv} ，牆頂之總剪切變形為沿牆高方向各斷面之剪切變位之累加，單一牆段之剪切變形可簡易定義為下式。

$$\Delta_{yv} = \frac{F_y}{K_v} h$$

其中

K_v = 牆板之剪力勁度

Δ_{yv} = 剪力位移

F_y = 臨界斷面首支鋼筋降伏時牆體所受之側力

h = 牆段高度

參、計算初始勁度

基於牆體受側力時所產生之剪力變位和撓曲變位，吾人可定義出牆體在受側力時之初始側向勁度，如下所示。

$$K_{ini} = \frac{F_y}{\Delta_{yf} + \Delta_{yv}}$$

其中

K_{ini} = 初始勁度

F_y = 臨界斷面首支鋼筋降伏時牆體所受之側力

Δ_{yv} = 剪力位移

Δ_{yf} = 撓曲位移

第四節 各勁度計算法結果之比較

有效勁度之方程式常常在結構設計時被使用，這裡以五座具典型開口牆體比較各式開口牆體勁度之計算式結果，包含以有限元素軟體分析之結果。比較用開口牆體各部尺寸如下圖 4-5 所示，皆選用台灣地區常見之典型開口形式；柱尺寸為 25*50cm，牆厚為 15cm，配置#3 雙層雙向@20cm 牆筋，

實心牆體之初始勁度採用 Bing Li 和 Weizheng Xiang 建議之公式來做計算，配合 Neuenhofer 所提出之勁度折減係數和 AIJ 標準計算準則提供之勁度折減係數做計算，其結果如表 4-1 所示。

第四章 開口牆體之初始側向勁度 DIANA 分析結果對照

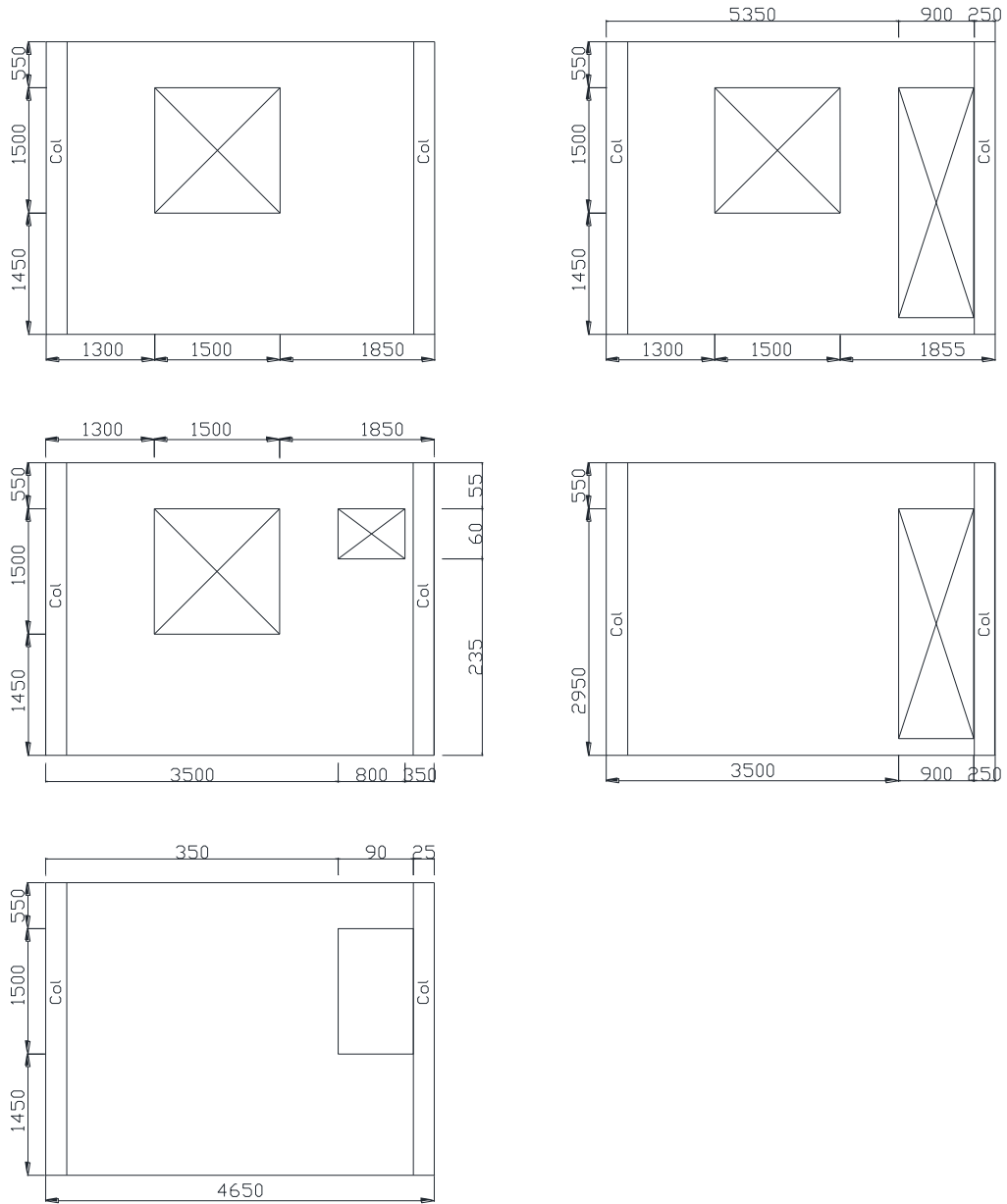







圖 4-5 勁度分析比較用開口牆相關尺度

(資料來源：本研究繪製)






表 4-1 勁度折減係數

Specimens	Orig Squ	A f	Stiff (kN/	Neuen factor	Stiff (kN/
	296. 37	0. 5 7	166. 96	0.86	252. 95
	296. 37	0. 2 5	75.3 5	0.63	186. 93
	296. 37	0. 4 6	136. 52	0.66	194. 44
	296. 37	0. 5 4	160. 76	0.84	248. 55
	296. 37	0. 6 6	195. 99	0.93	275. 94

(資料來源：本研究整理)






將相同之開口以研究團隊所提之勁度計算法計算其初始勁度結果如下表 4-2 所示，詳細之計算可參考附件 C。

表 4-2 勁度計算

Specimens	Level	Shear Stiffness (kN)		Δ_{yv} (mm)	Δ_{yf} (mm)	K_{ini} (kN)
	I	kv1	464422.9	8.473	2.470	109.556
	II	kv2	117504.6	13.062		
		kv3	179054.6			
	III	kv4	464422.9	3.214		
	I	kv1	363704.7	11.325	2.650	85.825
	II	kv2	117504.6	19.851		
		kv3	78336.4			
	III	kv4	464422.9	3.448		
	I	kv1	464422.9	14.048	2.615	104.619
	II	kv2	117504.6	12.994		
		kv3	179054.6			
	III	kv4	117504.6	12.272		
		kv5	78336.4			
	IV	kv6	464422.9	5.329		
	I	kv1	363704.7	15.903	2.725	105.106
	II	kv2	464422.9	2.380		
	I	kv1	464422.9	9.226	2.725	118.757
	II	kv2	363704.7	11.891		
	III	kv3	464422.9	3.500		
ALL	column	kv column	22942.7			

(資料來源：本研究整理)

表 4-3 各勁度計算法之比較表

Stiffness (kN/mm)					
	Wall win	Wall 2win	Wall win door	door	corner win
DIANA	104.04	96.18	54.77	87.44	137.21
Analytical method	109.56	104.62	85.82	105.11	118.76
Bing Li equation	104.04	100.43	85.43	102.35	110.81
Neuenhofer reduction	252.95	194.44	186.93	248.55	275.94
AIJ reduction	166.96	136.52	75.35	160.76	195.99

(資料來源：本研究整理)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

在開口配置 1、典型窗開口配置下，有限元素法所得之勁度為 104.04 kN/mm，如下圖 4-6 所示。最接近之值為 Bing Li 所提之簡化公式，得到與有限元素法相同之值 104.04 kN/mm，研究團隊所提之勁度計算法則得到 109.56 kN/mm，AIJ 和採用 Neuenhofer 所提方法皆得到高於 166.96 kN/mm 之值，其中 Neuenhofer 所提方法得到 252.95 kN/mm 之值為最高。

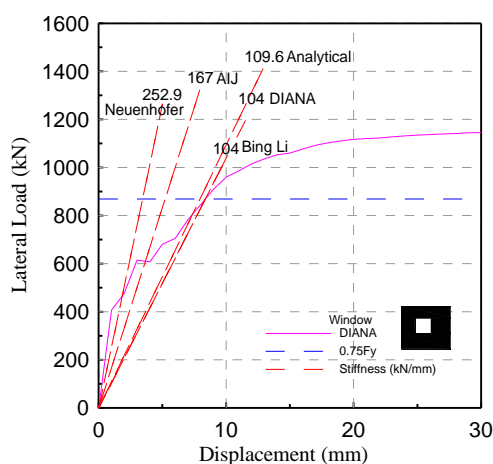


圖 4-6 含窗開口之勁度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

在開口配置 2、典型窗和空調開口配置下，有限元素法所得之勁度為 96.18 kN/mm，如下圖 4-7 所示。最接近之值為 Bing Li 所提之簡化公式，得到 100.43 kN/mm，研究團隊所提之勁度計算法則得到 104.62 kN/mm，若採用 AIJ 折減係數得到 138.5 kN/mm 之值，其和採用 Neuenhofer 所提方法所得到 194.44 kN/mm 之值皆較高。

第四章 開口牆體之初始側向勁度 DIANA 分析結果對照

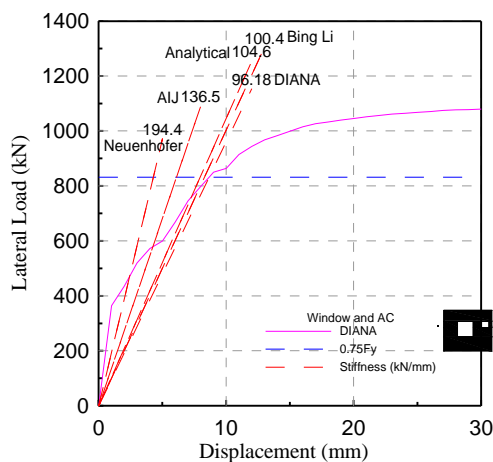


圖 4-7 含窗及空調開口之勁度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

在開口配置 3、牆含門及窗開口之情況下，有限元素法所得之勁度為 54.77 kN/mm，如下圖 4-8 所示。最接近有限元素軟體分析結果之方法為利用 AIJ 折減係數所得之方法，Bing Li 和研究團隊所提之勁度計算法分別得到 85.43 kN/mm 和 85.82 kN/mm，最為高估之值為採用 Neuenhofer 所提出之勁度折減計算法所得之 186.93 kN/mm。

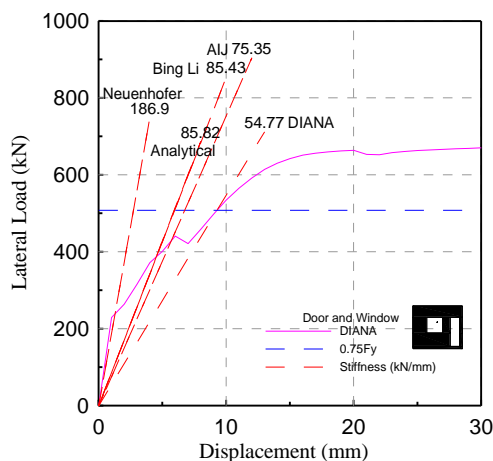


圖 4-8 含窗及門開口之勁度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

只配有門之開口配置 4，有限元素法所得之勁度為 87.44 kN/mm，如下圖 4-9 所示。最接近有限元素軟體分析結果之方法為 Bing Li 簡化公式 102.53 kN/mm，研究團隊所提之勁度計算法得 105.11 kN/mm，利用 AIJ 折減係數所得之方法計算開口牆勁度得 160.76 kN/mm，最為高估之值為採用 Neuenhofer 所提出之勁度折減計算法所得之 248.55 kN/mm。

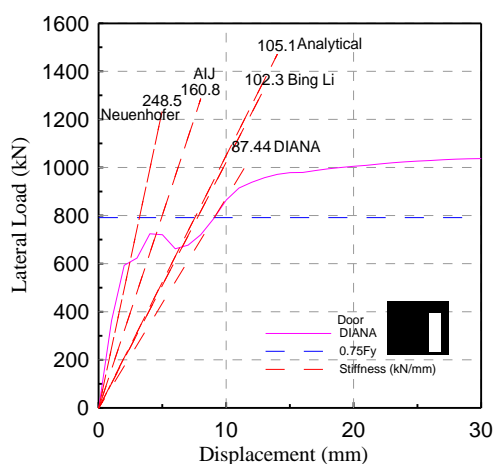


圖 4-9 含門開口之勁度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

只配置窗之開口配置 5，有限元素法所得之勁度為 137.21kN/mm，如下圖 4-10 所示。最接近有限元素軟體分析結果之方法為研究團隊所提之勁度計算法所得 118.76 kN/mm，其次為 Bing Li 簡化公式 110.81 kN/mm，利用 AIJ 折減係數所得之方法計算開口牆勁度得 195.99 kN/mm，最為高估之值為採用 Neuenhofer 所提出之勁度折減計算法所得之 275.94 kN/mm。

第四章 開口牆體之初始側向勁度 DIANA 分析結果對照

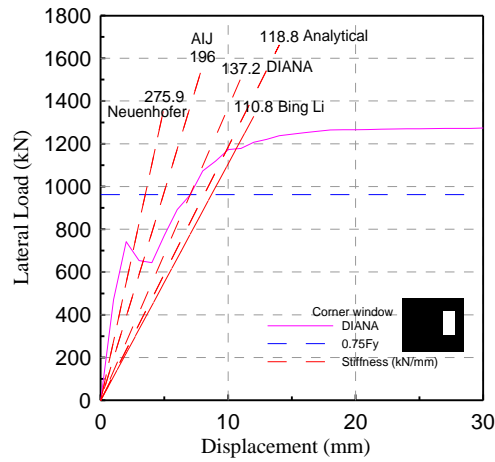


圖 4-10 含窗開口之勁度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

基於多數開口之比較結果，可以普遍認定研究團隊所提之勁度計算法和 Bing Li 所提之簡化計算公式對以有限元素軟體分析開口牆體之勁度有較好之契合度；另若採用折減係數計算(AIJ 標準計算準則提供之勁度折減係數和 Neuenhofer 所提出之勁度折減計算法)，則常常給予開口牆體較高之勁度評估值，使用上需多加注意。

第五章 開口牆體之側向強度 DIANA 分析結果對照

透過前述的過程，充分驗證模型分析具有一定之準確性後，利用 DIANA 對牆體開口位置、開口配置及大小等參數進行模型之建置及分析其側向強度。並與現今各式強度評估方法之結果作比較之。

第一節 實心牆之側向強度及開口強度折減係數

壹、ACI318 規範所提供之未提供開口牆體強度

計算

由於現今台灣常引用、參考的規範條文 ACI 規範內未提供開口牆體相關之側向強度計算方式，只提供了實心牆體之側向強度計算式，如下所示。

$$V_n = (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) A_{cv}$$

其中

A_{cv} = 總斷面積

$\alpha_c = 3.0, h_w / l_w \leq 1.5$; $\alpha_c = 2.0, h_w / l_w \geq 2$; 介於兩者之間由線性內差計算

h_w = 全牆總高或所考慮牆段之高度

l_w = 剪力方向全牆或所考慮牆段之長度

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

$\lambda =$ 常重混凝土 $\lambda=1$ ，沙質輕質混凝土 $\lambda=0.85$ ，輕質混凝土
 $\lambda=0.75$

$\rho_t =$ 橫向水平鋼筋比，為橫向鋼筋斷面積與垂直於該鋼筋之混凝土
總斷面積之比，但分擔同一側向力之各牆墩，其總剪力計算強度不得超
過 $(2.12\sqrt{f'_c})A_{cv}$ ；而任一個別牆墩之剪力計算強度不得超過
 $(2.65\sqrt{f'_c})A_{cw}$ ， A_{cw} 為所考慮牆墩之斷面積。

貳、AIJ 規範所提供之未提供開口牆體強度計算

及開口牆體強度折減係數

AIJ(AIJ Structural Design Guidelines for Reinforced Concrete
Buildings)規範有提供實心牆體之側向強度計算式，同時有提供開口牆
體之強度折減係數。因此可利用開口牆體之側向強度折減係數來計算開
口對整體牆面側向強度之效應。

為了充分了解此一議題，研究引用了 AIJ 標準計算守則中所提供之
開口牆體側向強度折減係數，但此折減係數 r_1 、 r_2 (取小者)僅基於開
口占全牆面之比率，而未考量開口位置不同對牆面之影響如下式所示。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.196\rho_{te}^{0.23}(F_c+18)}{\sqrt{M/QD+0.12}} + 0.85\sqrt{\rho_{se}\sigma_{wy}} + 0.1\sigma_0 \right\} b_e j$$

$$r_1 = 1 - 1.1 \frac{l_{op}}{l}$$

$$r_2 = 1 - 1.1 \sqrt{\frac{l_{op} \times h_{op}}{l \times h}}$$

其中

a_t = 垂直向鋼筋總斷面積(mm²)

b_e = equivalent wall thickness from I-shaped shear wall to rectangular cross section (mm)

D = 全牆長 (mm)

D_c = 柱高 (mm)

d = I型斷面時 $d = D - D_c/2$, 矩形斷面時 $d = 0.95D$ (mm)

j = $7d / 8$ (mm)

ρ_{te} = 等效垂直鋼筋比 = $\frac{a_t}{b_e \times d}$

ρ_{se} = 水平鋼筋比

F_c = 混凝土抗壓強度 (N/mm²)

M/QD = 剪跨比

σ_{wy} = 橫向箍筋降伏強度 (N/mm²)

σ_0 = 平均軸應力 (N/mm²) = $\frac{N}{b_e \times D}$

l_{op} = 開口長度

l = 全牆長度

h_{op} = 開口高度

h = 全牆高度

參、Ono's 開口牆體強度折減係數

Ono's[18]開口牆體強度折減係數於(1992)發表於 Journal of Structure. , 此折減係數乃基於混凝土受壓區域之面及來計算折減係數, 如下所示。

$$r_u = \sqrt{\frac{\Sigma A_e}{l \times h}}$$

其中

ΣA_e = 受壓牆面面積總和

l = 全牆長

h = 全牆高

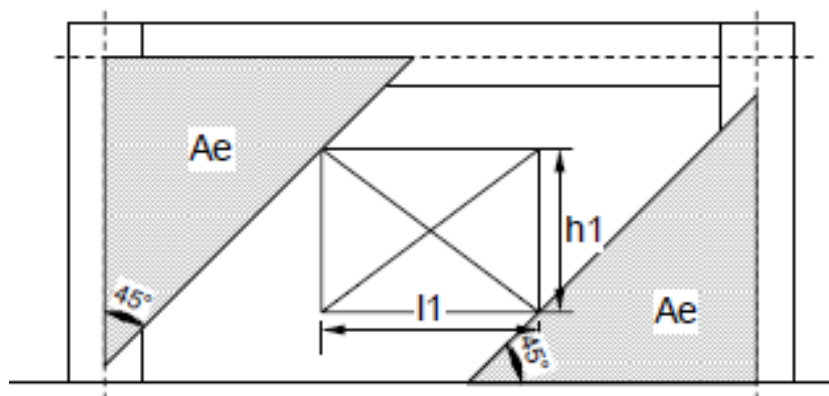


圖 5- 1 Ono's 折減係數計算示意圖

(資料來源：本研究繪製)

第二節 各側向強度計算法結果之比較

在地震來襲時，構件強度是把守建物安全性的第一道防線，這裡以相同五座具典型開口牆體以比較各式開口牆體勁度之計算式結果，包含以有限元素軟體分析之結果。比較用開口牆體各部尺寸如前圖 4- 5 所示，皆選用台灣地區常見之典型開口形式。

依各強度折減係數計算之開口牆體強度，與 DIANA 分析所得相較之下普遍過於保守，更為適當之評估計算式尚待後續研究進行之。

實心牆體之初始側向強度採用 ACI 和 AIJ 提供之公式來做計算，以 1.ACI 實心牆體強度計算式搭配 Ono's 開口牆體強度折減係數計算開口牆體強度，2. ACI 實心牆體強度計算式搭配 AIJ 開口牆體強度折減係數計算開口牆體強度，3. AIJ 實心牆體強度計算式搭配 AIJ 開口牆體強度折減係數計算開口牆體強度，並與 DIANA 分析所得相互比較。範例中各試體之 Ono's 開口牆體強度折減係數計算可參考圖 5- 2 至圖 5- 6

第五章 開口牆體之側向強度 DIANA 分析結果對照

所示加以計算，其計算結果及 AIJ 開口牆體強度折減係數計算結果如表 5-1 所示。

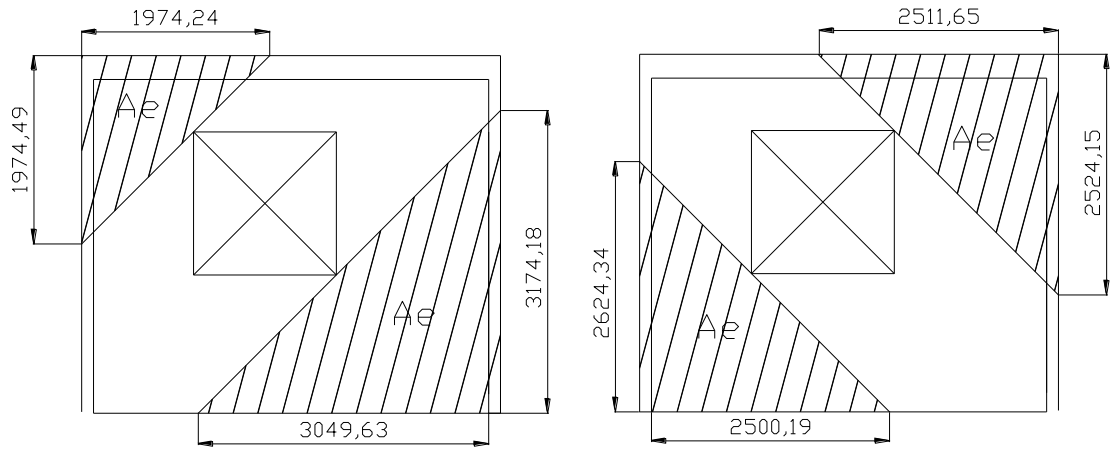


圖 5-2 含窗開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖

(資料來源：本研究繪製)

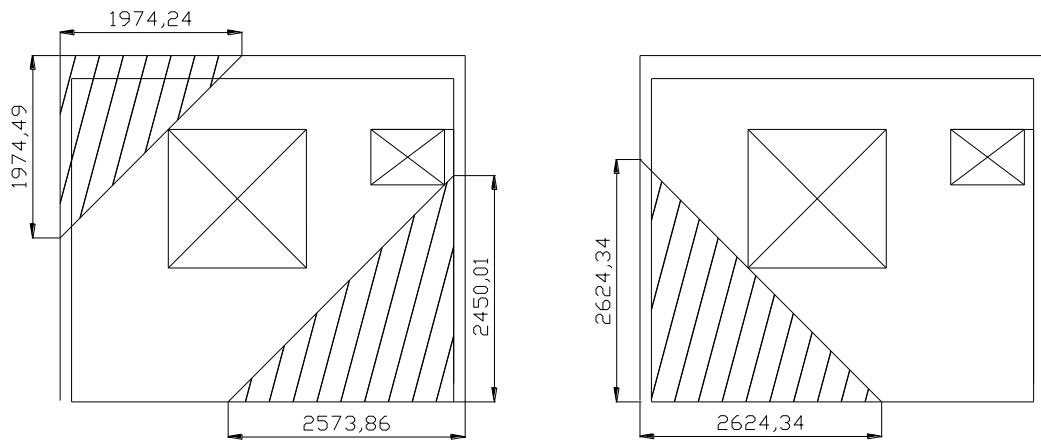


圖 5-3 含窗及空調開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖

(資料來源：本研究繪製)

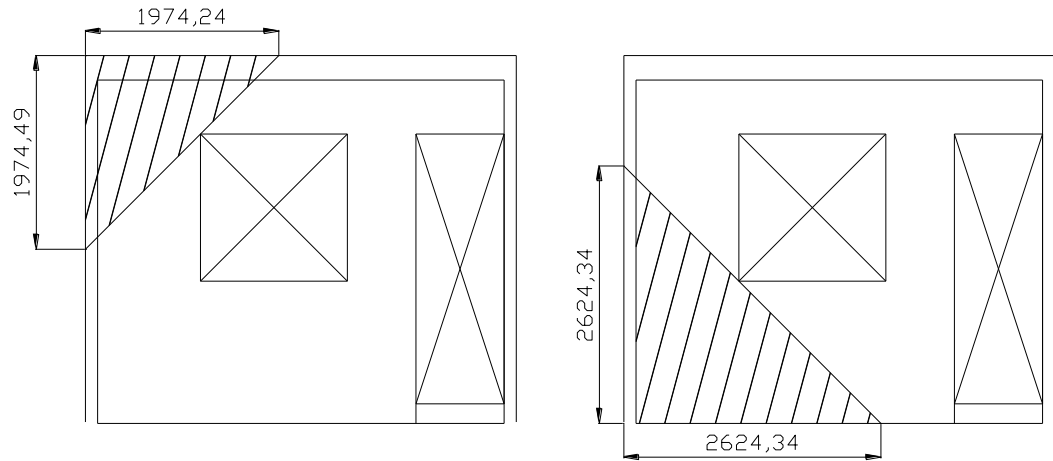


圖 5-4 含窗及門開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖

(資料來源：本研究繪製)

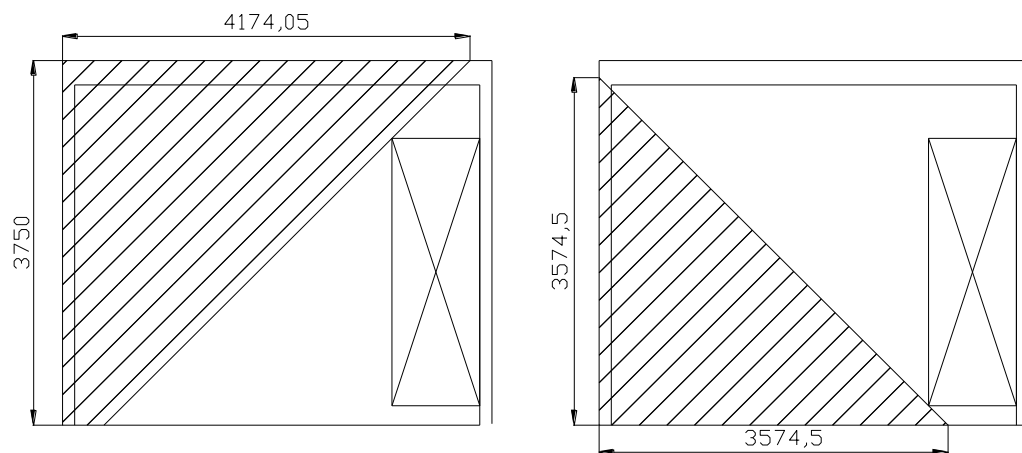


圖 5-5 含門開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖

(資料來源：本研究繪製)

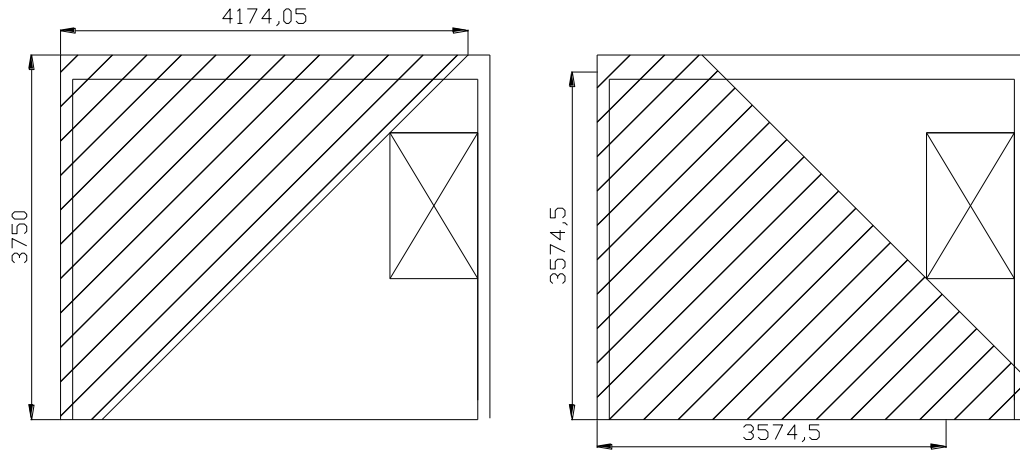







圖 5-6 含窗開口牆體 Ono's 強度折減係數計算示意圖

(資料來源：本研究繪製)

表 5-1 範例試體之 AIJ 和 Ono's 強度折減係數計算結果

						
		Wall win	Wall 2win	Wall win door	door	corner win
hop (mm)		1500	1500	2750	2750	1500
lop (mm)		1500	2300	2400	900	900
AIJ reduction factor	r1	0.645	0.456	0.432	0.787	0.787
	r2	0.617	0.526	0.345	0.599	0.704
Ae1 (mm ²)		6789106	5102050	1896115	8622333	8660179
Ae2 (mm ²)		6450565	3443580	3443580	6377355.8	10969280
Ono's reduction factor	ru-L	0.604	0.524	0.319	0.681	0.682
	ru-R	0.589	0.430	0.430	0.586	0.768

(資料來源：本研究整理)

對照 AIJ 強度折減係數、Ono's 強度折減係數和有限元素分析五個範例式樣之強度，可以發現五個範例之中使用 ACI 實心牆體強度計算

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

式並搭配 AIJ 強度折減係數和 Ono's 強度折減係數所得之強度計算值近乎相同。折減細數計算結果如上表 5-1 所示。

在開口配置 1、典型窗開口配置下，有限元素法所得之強度為 1156 kN，如下圖 5-7 所示。最接近有限元素分析之值為 AIJ 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值和 ACI 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值，以保守計則是 ACI 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得成果較為良好，而 AIJ 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值則較為高估。

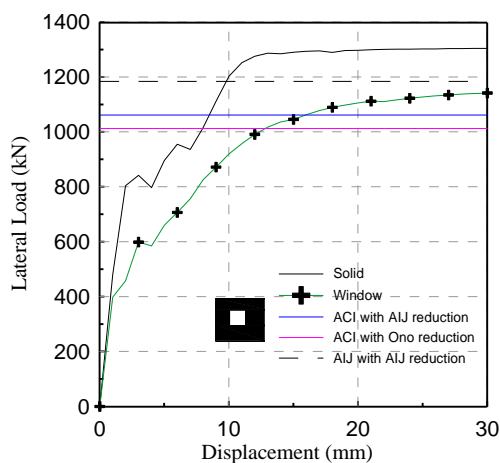


圖 5-7 含窗開口牆體強度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

在開口配置 2、典型窗和空調開口配置下，有限元素法所得之強度為 1100kN，如下圖 5-8 所示。最接近有限元素分析之值且以保守計為 AIJ 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值。

第五章 開口牆體之側向強度 DIANA 分析結果對照

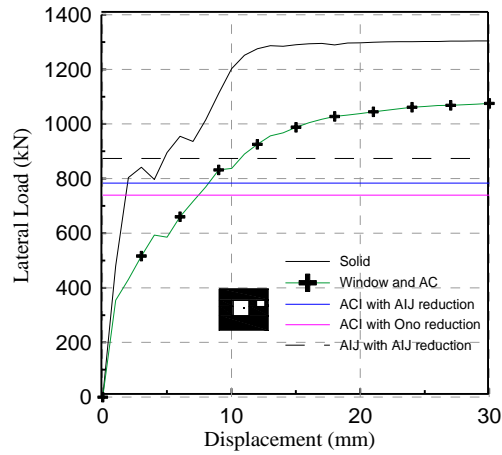


圖 5-8 含窗及空調開口牆體強度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

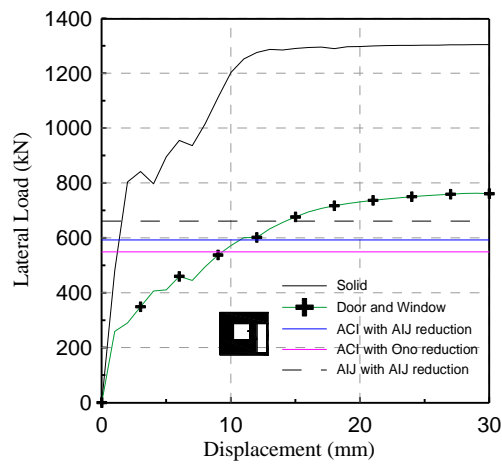


圖 5-9 含窗及門開口牆體強度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

開口配置 3、含門及窗開口之配置下，有限元素法所得之強度為 770kN，如上圖 5-9 所示。最接近有限元素分析之值且以保守計為 AIJ 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

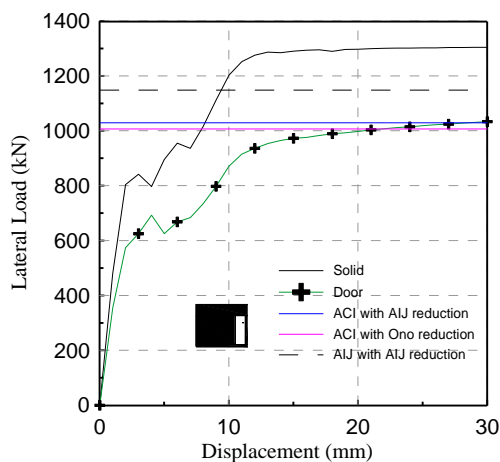


圖 5-10 含門開口牆體強度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

只配有門之開口配置 4，有限元素法所得之強度為 1064kN，如圖 5-10 所示。最接近有限元素軟體分析結果之方法為 ACI 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值和 ACI 強度計算式搭配 Ono's 強度折減係數所得之值。較為高估之值為 AIJ 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值。

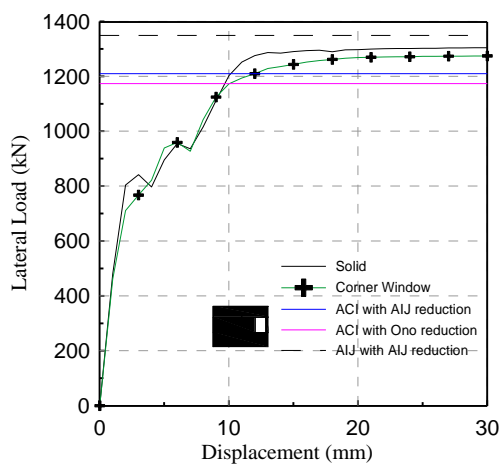


圖 5-11 含窗開口牆體強度計算結果比較

(資料來源：本研究繪製)

第五章 開口牆體之側向強度 DIANA 分析結果對照

只配置窗之開口配置 5，有限元素法所得之強度為 1283kN，如圖 5- 11 所示。最接近有限元素軟體分析結果之方法，利用 AIJ 折減係數所得之方法計算開口牆勁度得 195.99 kN/mm，較為高估之值為 AIJ 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值。

綜上而論，AIJ 強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數所得之值，相對於有限元素分析之結果較為容易高估開口後之牆體側向強度，而 ACI 實心牆體強度計算式搭配 AIJ 強度折減係數，和 Ono's 強度折減係數所得之強度計算值近乎相同且相較於有限元素分析之值偏保守。

第六章 DIANA 軟體分析開口位置對牆體之影響

由過去文獻、實驗資料和生活經驗可以猜想，當相同大小之開口位於牆體上不同位置時，對牆體行為之影響是不同的，故為了釐清此一議題，我們透過相關文獻的收集、歸納，以及自行設計試體參數做變化，透過有限元素軟體 DIANA 做分析、測試，試圖找出開口位置對牆體之影響。

汲取前人研究果，研究團隊更進一步以 DIANA 模擬分析台灣典型含開口屋後牆，並根據所收集配筋細節和材料性質來建置分析模型，配筋細節如下圖範例所示。垂直牆筋向梁內錨定、水平牆筋向柱內錨定；開口四周配置 2 根#5 之開口補牆鋼筋；牆筋及梁柱箍筋選用

$f_y = 2800 \text{ kgf/cm}^2$ 、梁柱主筋選用 $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$ ；混凝土選用 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ 。

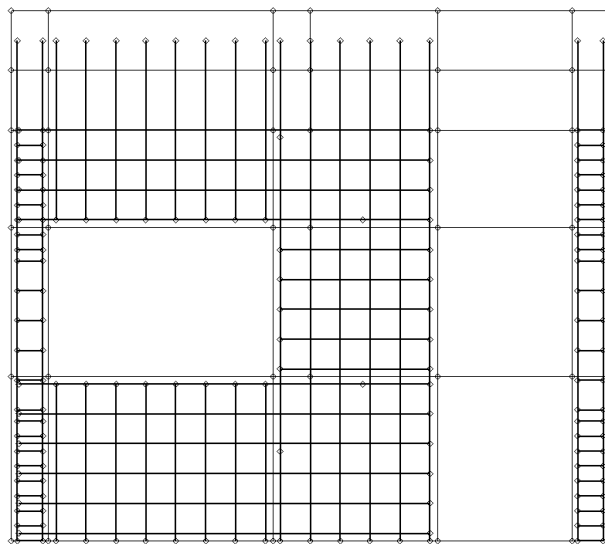





圖 6-1 分析模型配筋細節示意圖

(資料來源：本研究繪製)

表 6-1 高向開口模擬分析結果

牆面寬:	4m	樓層高:	3.75m	門開口尺寸	90x275cm
柱尺寸:	30x50cm	梁尺寸:	25x50cm	窗開口尺寸	100x150cm
	門緊靠右側柱，窗緊靠左側柱，開窗高度 1.1m			平均初始勁度 68.24 kN/mm 平均側向強度 1184 kN	
	門緊靠右側柱，窗距左側柱面 50cm，開窗高度 1.1m			平均初始勁度 60.13 kN/mm 平均側向強度 1027 kN	
	門緊靠右側柱，窗距左側柱面 100cm，開窗高度 1.1m			平均初始勁度 57.67 kN/mm 平均側向強度 1031 kN	
	門緊靠右側柱，窗距左側柱面 150cm，開窗高度 1.1m			平均初始勁度 69.57 kN/mm 平均側向強度 1257 kN	

(資料來源：本研究整理)

表 6-2 橫向開口模擬分析結果




橫向開口					
牆面寬:	4m	樓層高:	3.75m	門開口尺寸	90x275cm
柱尺寸:	30x50cm	梁尺寸:	25x50cm	窗開口尺寸	100x150cm
	開窗高度 1.1m，門緊靠右側柱，窗緊靠左側柱			平均初始勁度 66.0 kN/mm 平均側向強度 795 kN	
	開窗高度 1.1m，門緊靠右側柱，窗距左側柱面 50cm			平均初始勁度 57.02 kN/mm 平均側向強度 896 kN	
	開窗高度 1.1m，門緊靠右側柱，窗距左側柱面 100cm			平均初始勁度 56.91 kN/mm 平均側向強度 971 kN	
	開窗高度 1.4m，門緊靠右側柱，窗緊靠左側柱			平均初始勁度 62.91 kN/mm 平均側向強度 899 kN	
	開窗高度 1.4m，門緊靠右側柱，窗距左側柱面 50cm			平均初始勁度 54.88 kN/mm 平均側向強度 832 kN	
	開窗高度 1.4m，門緊靠右側柱，窗距左側柱面 100cm			平均初始勁度 59.14 kN/mm 平均側向強度 988 kN	
	開窗高度 1.7m，門緊靠右側柱，窗緊靠左側柱			平均初始勁度 79.63 kN/mm 平均側向強度 1047 kN	
	開窗高度 1.7m，門緊靠右側柱，窗距左側柱面 50cm			平均初始勁度 70.3 kN/mm 平均側向強度 935 kN	
	開窗高度 1.7m，門緊靠右側柱，窗距左側柱面 100cm			平均初始勁度 66.46 kN/mm 平均側向強度 1040 kN	

(資料來源：本研究整理)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究



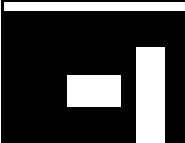
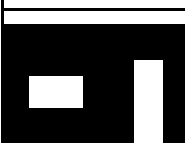




由分析結果發現，窗開口位於同一高層的各組試體中，開口位在牆面越中央，其平均勁度越低。研判應位於牆中央開口時會將牆體切割，導致個別牆段之高寬比提升，整體牆面顯現出較多之撓曲行為，因此推斷牆面設計時，保留較大完整牆塊(即開口相互集中或者分開)可得較高之強、勁度。


表 6-3 高向開口左、右向側推結果

牆面寬:	4m	樓層高:	3.75m	門開口尺寸	90x275cm
柱尺寸:	30x50cm	梁尺寸:	25x50cm	窗開口尺寸	100x150cm
開口位置		右向側推		左向側推	
	門緊靠右側柱，窗緊靠左側柱，開窗高度 1.1m	初始勁度 56.37kN/mm 強度 906.1kN	初始勁度 80.11kN/mm 強度 1462kN		
	門緊靠右側柱，窗距左側柱面 50cm，開窗高度 1.1m	初始勁度 55.07kN/mm 強度 930.4kN	初始勁度 65.18kN/mm 強度 1124kN		
	門緊靠右側柱，窗距左側柱面 100cm，開窗高度 1.1m	初始勁度 63.34kN/mm 強度 1094kN	初始勁度 52.0kN/mm 側推強度 967.2kN		
	門緊靠右側柱，窗距左側柱面 150cm	初始勁度 81.6kN/mm 強度 1363kN	初始勁度 57.55kN/mm 強度 1150kN		

(資料來源：本研究整理)

表 6-4 橫向開口左、右向側推結果

牆面寬:	4m	樓層高:	3.75m	門開口尺寸	90x275cm
柱尺寸:	30x50cm	梁尺寸:	25x50cm	窗開口尺寸	100x150cm
開口位置		右向側推		左向側推	
	開窗高度 1.1m, 門緊靠右側柱, 窗緊靠左側柱	初始勁度 57.9kN/mm 強度 785.6kN	初始勁度 74.1kN/mm 強度 804.5kN		
	開窗高度 1.1m, 門緊靠右側柱, 窗距左側柱面 50cm	初始勁度 56.57kN/mm 強度 871.4kN	初始勁度 57.48kN/mm 強度 920.7kN		
	開窗高度 1.1m, 門緊靠右側柱, 窗距左側柱面 100cm	初始勁度 54.18kN/mm 強度 1009kN	初始勁度 59.66kN/mm 強度 933.6kN		
	開窗高度 1.4m, 門緊靠右側柱, 窗緊靠左側柱	初始勁度 57.15kN/mm 強度 734.7kN	初始勁度 68.67kN/mm 強度 1064kN		
	開窗高度 1.4m, 門緊靠右側柱, 窗距左側柱面 50cm	初始勁度 53.36kN/mm 強度 782.5kN	初始勁度 56.4kN/mm 強度 881.2kN		
	開窗高度 1.4m, 門緊靠右側柱, 窗距左側柱面 100cm	初始勁度 71.71kN/mm 強度 1159kN	初始勁度 46.57kN/mm 強度 909.8kN		
	開窗高度 1.7m, 門緊靠右側柱, 窗緊靠左側柱	初始勁度 60.89kN/mm 強度 792.8kN	初始勁度 98.37kN/mm 強度 1302kN		
	開窗高度 1.7m, 門緊靠右側柱, 窗距左側柱面 50cm	初始勁度 69.02kN/mm 強度 1029kN	初始勁度 71.58kN/mm 強度 841kN		
	開窗高度 1.7m, 門緊靠右側柱, 窗距左側柱面	初始勁度 93.23kN/mm	初始勁度 39.7kN/mm 強度 750.3kN		

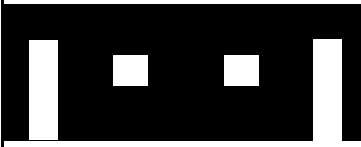


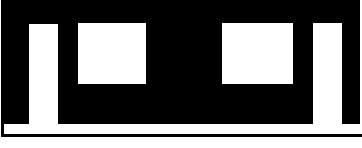
	100cm	強度 1330kN	
---	-------	-----------	--

(資料來源：本研究整理)

研究發現，具偏心開口時，兩向(向左、向右)的勁度會以較易形成壓桿機制的一向略高一些；分析結果亦發現，在相同開口面積下，開高向之開口性能普遍較優於開橫向之開口。

由於偏心開口沿牆方向之正負向有不同之強、勁度，在做結構分析時並不好掌握，且屋後牆常無法避免形成偏心開口之情形，故於於連棟街屋(沿街店鋪式住宅)時，可透過個垮之間兩兩對稱配置，已獲得較沿街方向較均於之性能。研究團隊亦進行兩垮對稱配置之模型建置及分析，結果如下所示。

表 6-5 含開口強構架對稱配置模擬分析結果

牆面寬:	4m	樓層高:	3.75m	門開口尺寸	90x250cm
柱尺寸:	30x50cm	梁尺寸:	25x50cm		
開口位置			窗開口尺寸	初始勁度	側向強度
	窗開口內緣距中央柱面 1.1m，高程 1.4m		90*90 cm	610.7 kN/mm	4151 kN
	窗開口內緣距中央柱面 1.95m，高程 1.4m		90*90 cm	695.7 kN/mm	4386 kN
	窗開口內緣距中央柱面 1.95m，高程 1.1m		90*140 cm	663.7 kN/mm	4388 kN
	窗開口內緣距中央柱面 1.35m，高程 1.1m		150*140 cm	498.3 kN/mm	3648 kN

(資料來源：本研究整理)

發現當開口採對稱配置以保留最大完整牆塊時，其強、勁度之增加遠高於兩倍的單垮較強之側推方向所得之值，多加探討後發現，高應力區塊(壓桿)面積在牆面由單垮增加為雙垮時，並非原來所預想之兩倍，而是在單垮個別壓桿之間區域內，皆可形成有效壓桿提供抵抗傳遞側向力，如下圖 6-2、圖 6-3 單垮實心牆體和雙垮實心牆體側推下應力分布圖所示。

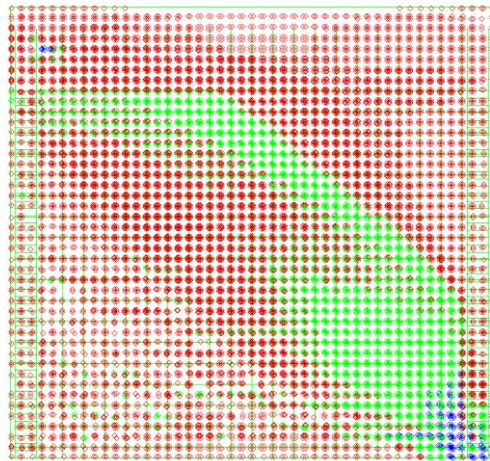


圖 6-2 模型分析單垮實心牆側推得到之應力分布
(資料來源：本研究繪製)

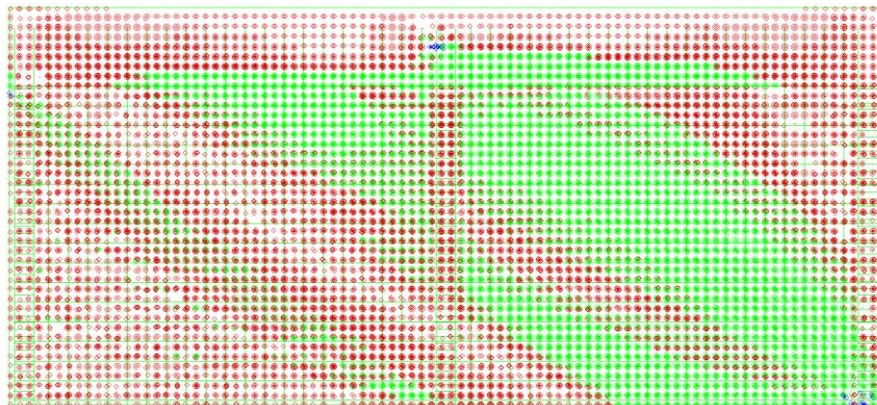


圖 6-3 模型分析單垮實心牆側推得到之應力分布
(資料來源：本研究繪製)

第七章 試體設計及載重試驗

本研究係以開口牆受地震力下之行為為主，測試五組樓大尺寸構架(含二樓實心牆體質量塊)，包含單跨有牆無開口構架及具典型開口牆構架試體，試體開口配置及相關尺寸設計如圖 7-1 所示，主要測試不同之開口配置切割完整牆塊對單跨含開口牆體之側向初始勁度、強度之影響，以及對耐震性能加以評估。

街屋(沿街店鋪式住宅)開口形式與典型台灣街屋(沿街店鋪式住宅)配筋細節，由前述街屋(沿街店鋪式住宅)資料庫分析決定之。試體加載方式為反覆載重方式加載，如圖 7-2 所示。於試體頂部加載梁處，以預力螺桿對梁施加預力，並與油壓制動器(MTS-200)加載頭一起固鎖之，後利用油壓制動器施加反覆側向載重，採位移控制，預計施加的位移比為 0.25%、0.375%、0.5%、0.75%、1%、1.5%、2%、3%、4%、5%、6%，每個位移比重複加載三次，測試觀察重點包括初始勁度、降伏位移與側力、最大載重、極限位移與側力、消能、韌性、破壞模式等。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

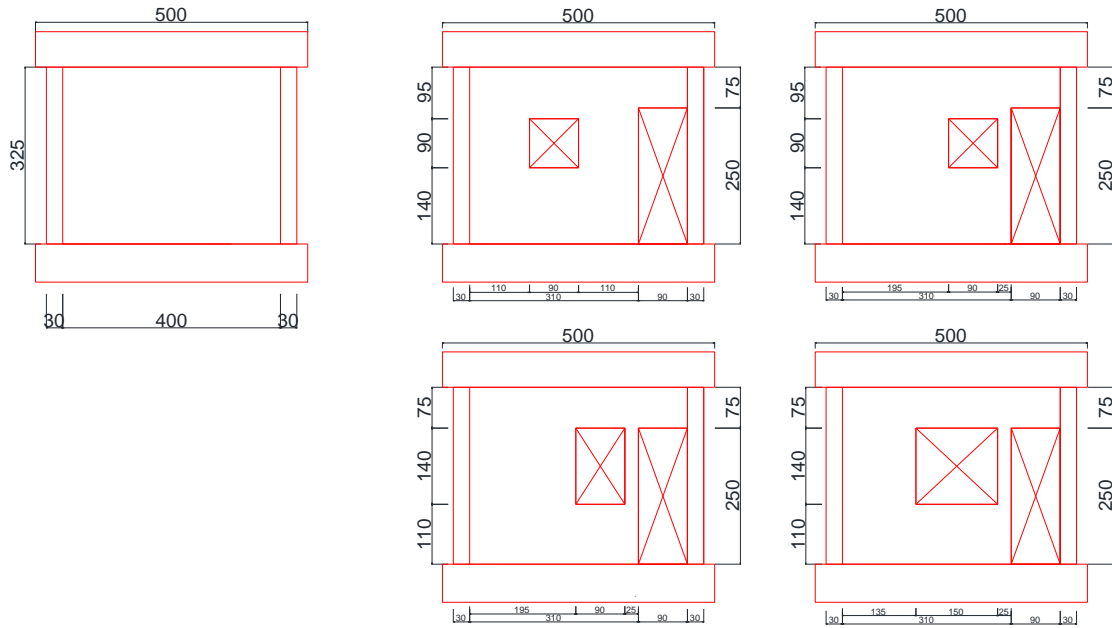


圖 7-1 實驗試體開口配置

(資料來源：本研究繪製)

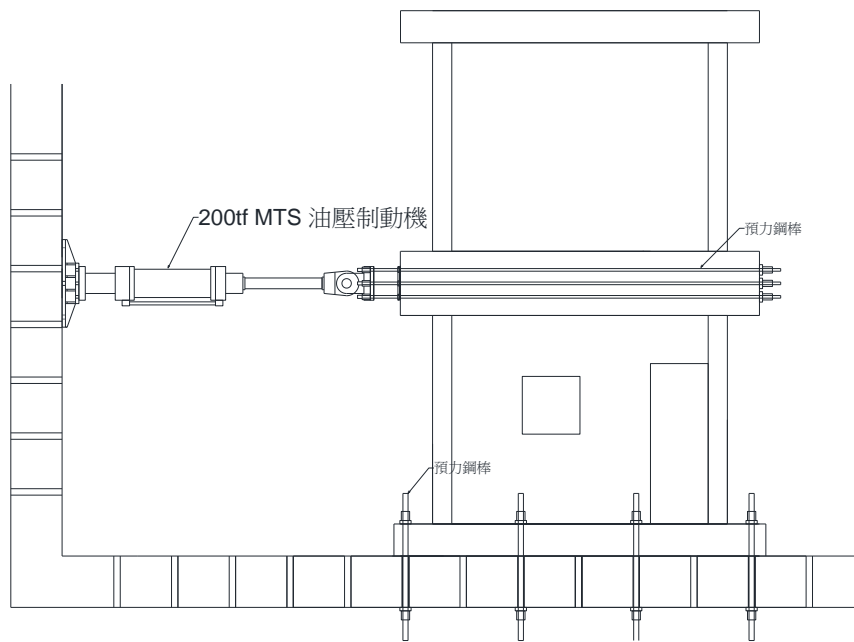


圖 7-2 試體試驗加載方式示意圖

(資料來源：本研究繪製)

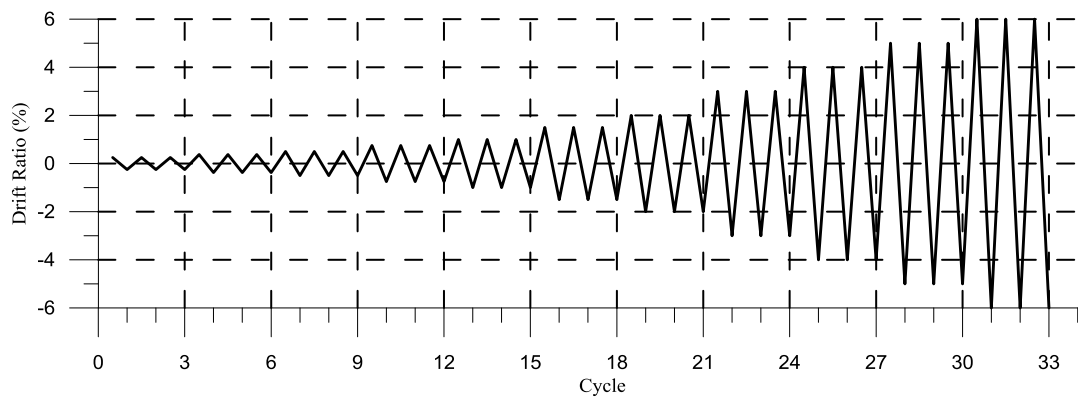


圖 7-3 載重歷程

(資料來源：本研究繪製)

試驗之結果將用於發展與驗證分析與設計方法，分析方法可包含簡化計算法、有限元素分析法，以供耐震分析與設計使用，最終再根據試驗結果與所發展的耐震分析與設計方法，研擬配套之現行設計規範的修正建議、開口牆體強、勁度計算方法。

第八章 結論與建議

第一節 結論

1. 研究收集所得之資料(規章條文、實際案例工程圖說)可歸納出屋後外牆典型開口型式、相關尺度、配筋細節等，並依此作為試體設計之依據。
2. 開口四周補強筋之配置方法已有相當程度之了解，其力學行為及效益透過 DIANA 建置模型加以分析比對，爰於試體數量上之限制，尚待後續研究進行更進一步之探討。
3. 研究團隊另發展以非線性有限元素軟體 DIANA 對 RC 開口牆體座模擬之方法，對照文獻中所研究、試驗之試體與其試驗結果，對強度及勁度的評估已有相當優良的成果，並可利用其有效分析各式開口結構牆之強勁度。以 DIANA 軟體分析開口位置影響牆體強、勁度發現：
 - a. 開口位於牆中心時，開口越往上移(越接近側力傳入處-樓地板)，勁度越高(側力無法有效散佈、傳遞至下部，上部剪力行為明顯)，強度亦越高。
 - b. 具偏心開口時，兩向(向左、向右)的勁度會以較易形成壓桿機制的一向略高一些；勁度之差異以開口越小越明顯。
 - c. 牆開口後將會改變原有左右兩牆段之 hw/lw 值，整體行為可由兩牆段綜合得知，會相較於未開口前更具撓曲行為。
 - d. 規範 AIJ&ACI 因開口之強度折減於開口較大時折減過多，過

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

於保守。

- e. 牆面設計時，保留較大完整牆塊(即開口相互集中或者分開)可得較高之強、勁度。
 - f. 偏心開口沿牆方向之正負向有不同之牆、勁度，於連棟街屋(沿街店鋪式住宅)時，可透過兩兩對稱配置得較均於之性能。
 - g. 相同開口面積下，開高向之開口性能較優於開橫向之開口。
 - h. 軟體分析顯示，牆面壓桿性能之發展與傳統之等效斜撐概念不盡相同，待以實際實驗加以確認。
4. 開口牆體側向強度之評估方法已有一定程度之回顧及研究，待期末報告將更完整呈現。
 5. 研究調查及過去的經驗顯示，街屋(沿街店鋪式住宅)沿平行街道方向常為脆性破壞，乃強度控制，因此要解決街屋(沿街店鋪式住宅)耐震性能之問題或可從「如何讓平行街道向之構材具有足夠之強度以抵抗地震力」來著手，可考慮之方式有提高屋後牆及梯間牆之強度要求(提高鋼筋比、加厚牆尺寸、增加翼牆等)、提高柱之側向抵抗能力等。
 6. 就現況而言，屋後外牆常因住戶之使用需求而擅自打掉，用於將屋後空地內入自家使用範圍內，因此設計上是否要將屋後牆的強度、勁度納入考慮仍有待商榷。但本研究團隊認為屋後牆在結構設計時是否納入考量應由業主與設計者自行斟酌，本研究之目的乃提供給設計者一方法，此方法可告訴設計者若要考量這座牆，則該如何對其強度、勁度來評估。若屋後牆納入結構設計，則屋主擅自敲除屋後牆之行為應予禁止。

第二節 建議

建議一

具開口 RC 牆體強度與勁度計算方法：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：中國土木工程學會混凝土工程委員會、內政部建築研究所

現行混凝土結構設計規範欠缺計算開口 RC 牆體之強度與勁度方法，導致工程師設計開口 RC 牆體上之困難（常見開口 RC 牆體如低矮沿街店鋪式 RC 建築屋後牆與梯間牆、以及大樓 RC 外牆）。建議中國土木工程學會混凝土工程委員會與內政部營建署，建請將本研究研擬之開口 RC 牆體強度與勁度計算方法納入現行混凝土結構設計規範中，使工程師設計上有所依循。

建議二

低矮沿街店鋪式鋼筋混凝土建築屋後牆開口配置建議：立即可行建議

主辦機關：中華民國全國建築師公會、中華民國土木技師公會全國聯合會、中華民國結構工程技師公會全國聯合會

協辦機關：內政部建築研究所

開口之配置顯著影響屋後牆之抗剪強度，惟目前工程界欠缺開口配置準則。建議將本研究研擬之開口配置準則行文建築師、土木與結構技

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

師公會，以使建築師與技師於屋後牆開口配置上有所依循。

建議三

辦理研討會，推廣研究成果：立即可行建議

主辦機關：

協辦機關：台灣建築中心、內政部建築研究所

藉由研討會之舉辦，廣邀建築師、土木與結構技師公會人員、執業建築師、土木與結構技師，各大學與研究機構人員與會，推廣本研究之研究成果。

附錄一 期初評選會議紀錄文件

副本

檔 號：

保存年限：

內政部建築研究所 函

機關地址：11673台北市景福街102號

承辦單位：工程技術組

聯絡人：黃國倫

聯絡電話：02-29310686 分機1322

傳真電話：02-29310656

電子信箱：glhuang@abri.gov.tw

受文者：秘書室

發文日期：中華民國102年1月30日

發文字號：建研工字第10200011872號

速別：速件

密等及解密條件或保密期限：

附件：無

主旨：有關102年1月24日本所召開之「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」委託研究計畫評選會議結果詳如說明，請 查照。

說明：

- 一、依旨揭會議結論，並經簽報本所首長或其授權人核定辦理。
- 二、案依廠商評選須知第4點規定，國立臺灣科技大學為最優勝廠商，取得議價資格，將進行後續議價作業。

正本：國立臺灣科技大學

副本：本所政風室、會計室、秘書室、工程技術組、黃助理研究員國倫

所長 何明錦

內政部建築研究所 102 年度「低矮鋼筋混凝土街屋具
典型開口外牆之耐震行為研究」委託研究計畫

採購評選會議紀錄

- 一、時間：102 年 1 月 24 日(星期四)上午 9 時 0 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三段 200 號 15 樓)
- 三、主席：陳召集人建忠 記錄：黃國倫
- 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：本委託研究案共聘委員 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 102 年 1 月 8 日公告招標訊息，並於 102 年 1 月 17 日下午 5 時截止投標收件，計有 1 家廠商投標；經 1 月 18 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 日下午 3 時 30 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
馬委員一龍	1. 試體採用傳統配筋製作，考量一般街屋之施工混凝土強度與設計強度常有落差及變異，請說明如何決定實驗用混凝土強度。	1. 本研究預計依照所收集到結構設計圖及標稱材料強度，做為試體的設計依據。另就現有街屋實際情況，並透過文獻蒐集，捕捉真實混凝土強度及配筋可能之變異範圍，再透過分析方法(如有限元素法)研究前述變異對於牆體結構行為之影響。
王委員勇智	1. 請注意應檢查試體摩擦剪力(sliding shear)，防止摩	1. 感謝委員指教，將列入試體設計考量。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

	<p>擦剪力破壞。</p> <ol style="list-style-type: none"> 請再評估油壓器與 loading beam 連接處施力點位置，詳第 22 頁圖 23。 請說明如何防止牆體產生面外變形 (out-of-plane deformation)。 請說明學生 1 人是否能夠勝任大型構架實驗。 	<ol style="list-style-type: none"> 本研究預計採後拉預力將兩鋼梁前後夾緊牆體上端梁，側力千斤頂再固鎖於鋼梁上。本研究亦持續評估試體架設方式，以待專家座談會時，提出更具體適當方式供討論。 預計試體設計上採行沿施力方向左右對稱設計，實驗進行中，在試體兩側架設側撐，防止發生面外變形。 感謝委員指教，本研究實際上確實非研究生 1 人所能負擔，研究團隊內實際包含有在校外籍研究生負責外文文獻及試體初步設計相關事務，亦有 2 名大學部專題生協助國內文獻及傳統配筋設計圖之收集整理，將會視情況由研究經費中其他費用報予工讀金。
<p>謝委員忠恕</p>	<ol style="list-style-type: none"> 本研究針對低矮鋼筋混凝土街屋後牆之耐震行為研究及提升其耐震強度，請說明未來是否會針對因補強後，造成結構之整體結構系統之不對稱性做研究探討。 本研究提出相關研究試驗分析結果，是否延伸及引用其研究成果，宜加強說明。 本研究服務建議書第 25 頁人力配置章節，相關人員係專任或兼任宜再澄清。 本研究街屋後牆傳統結構配筋圖說之取得方式，宜再考量申請程序及方法。 	<ol style="list-style-type: none"> 本研究所針對的課題為屋後牆體之耐震行為研究，至於街屋於平行街道方向確有結構系統上整體不對稱性問題，建議未來另案研究釐清。 本研究持續對相關研究進行評估及探討，關於是否延伸及引用，將於後續報告及會議中提出。 感謝委員指教，將會再與建研所本研究承辦人確認相關規定。 本研究就現有街屋實際情況，除透過現有文獻相關研究外，另將行文各縣市政府索取研究上所需結構牆面配筋圖說，在過程中研究團隊會注意相關法律與行政程序規定。

<p>陳召集人建忠</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請說明街屋定義，其常用牆體是 RC 或磚牆，現有的法規內應無街屋。請說明本研究預計完成後建議規範修改的方向與落點。 2. 請說明目前本研究所提街屋是否仍不斷有新建案，大約數量及分佈如何情況。 3. 試體是 2 層與本研究所稱的 3 至 5 層有大的落差；跨度並無標示，宜與常用空間大小一致；操作施工與實驗應注意掌握人員、設備安全。 4. 試體強度要量測加載，不宜僅用廠商提供資料，以免研究分析的結果受到誤導。施工品質亦宜予掌握。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 街屋一般指台灣地區街道兩側沿街連棟房屋，通常正面寬 4 至 6 m，隔戶有牆(垂直於街道)，1 樓正面力求開闊，3 至 5 層樓高，柱尺寸相對小，柱短邊平行街道(弱柱)。老舊街屋通常採磚牆，新建街屋採 RC 牆體日趨普遍。本研究係針對 RC 牆體街屋，並針對現行法規「混凝土結構設計規範」內結構牆相關篇章，期望透過實驗驗證提出改善建議。 2. 街屋形式建築目前仍普遍採用，其數量及分布仍待進一步釐清。 3. 街屋受震時結構行為上，1、2 層所受力量遠高於其他樓層，故本研究主要著墨於 2 層樓試體之測試。本研究將持續評估試體之設計細節，如各部尺寸、材料強度及開口布局等，以待專家座談會時，提出更具體適當方式供討論。 4. 委員提到設計材料強度與廠商提供成品材料強度間之差異，確實為影響實驗結果重要因素，之後會在挑選合作廠商及檢測材料性質上予以掌控。
<p>鄒委員本駒</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究針對常用低矮 RC 建物，進行實驗研究並提出設計規範條款建議，提供實務深具意義。 2. 2 座試體所需側力，本所 200 噸的致動器能量在拉力與壓力有所差異，請注意是否符合需求。 3. 本案實驗建議以國內不同耐震評估方法，進行評估探 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指教。 2. 感謝委員指教，將於後續實驗規劃時多加注意。 3. 感謝委員指教，本研究將盡可能參考國內外現行規範及耐震能力評估方法中，與牆設計、評估相關部分，以增進研究、實驗完整性。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

	討(例如 NCEE、SERCB 等)。	
林委員谷陶	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究對象外牆配筋，除標準配筋要求外，建議針對現場配筋或錯誤樣態之效果差異比對分析。 2. 簡報所述傳統配筋等細節研究，應補充施工品質差異因素分析於服務建議表中。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究就現有街屋之實際情況，除透過現有文獻之相關研究外，另有行文各縣市政府索取研究上所需之結構牆面配筋圖說。另就現有建物之實際情形而言，在資料收集上有其難度存在，可利用現有文獻相關研究，來模擬混凝土強度及配筋可能變異範圍並分析。 2. 感謝委員指教，並遵照辦理。

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 84.5)。評選結果經核，符合評選須知第 4 點第 1 款「須有過半數之出席評選委員評定達 70 分(含)以上者方列入名次之排定」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 10 時 25 分。

內政部建築研究所

召開本所 102 年度「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」委託研究計畫採購評選會議簽到簿。

時 間： 102 年 1 月 24 日(星期四)上午 9 時 0 分			
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)			
主 席：評選委員會召集人 <i>黃國倫</i> 記錄 <i>黃國倫</i>			
出席人員	簽到處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
評選委員	<i>馬一龍</i>		
	<i>王勇智</i>		
	<i>謝忠恕</i>		
	<i>鄭古如</i>		
	<i>林谷陶</i>		
受評廠商	<i>歐里瓦</i>		
張專門委員秋藤			
黃助理研究員國倫	<i>黃國倫</i>		
相關人員	<i>鍾智平</i>		

國倫開 102000861S

黃國倫

內政部建築研究所廠商資格審查開標紀錄

時間：102年1月18日上午9時30分整

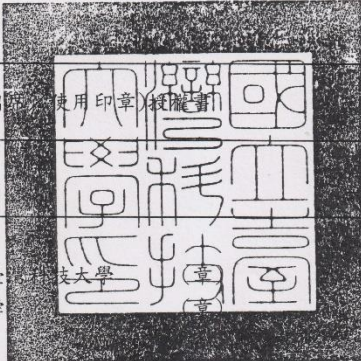
地點：本所討論室(二)

案 號	10215G0021			開標次別	第1次
標的名稱及數量摘要	低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究			招標方式	限制性招標經公開評選
刊登政府採購公報日期	102.0108			上網日期	102.01.07
議價廠商標價	第一次議減價格後之標價	第二次議減價格後之標價	第三次議減價格後之標價	第四次減價格後之標價	
國立臺灣科技大學	經資格審查合格,服務建議書交由業務單位簽收。				符銘煥代
審標結果 / 流標原因 / 廢標原因	本案投標廠商計1家,開標前合格投標廠商計1家,廠商資格審標結果1家符合招標文件規定,其餘0家不合格。				
決標原則、得標廠商及決標金額	決標原則：依政府採購法第52條第 項第 款。 得標廠商： 決標金額：新台幣 其 他： (起底價決標時另註明起底價之金額、比率及必須決標之緊急情事)			得標廠商代 (或蓋章)	(投標廠商未到場者,免簽名或蓋章)
決標過程	(註明減價/比減價格/起底價決標/協商/綜合評選之過程)				
異議或申訴事件	(註明尚未解決之異議或申訴事件之處理情形)				
備 註	服務建議書評選時間另行通知。				
記 錄	(簽章) 鄭嘉娟	內政部監辦人員	依內政部99年8月5日台內會字第0990139907號函送「內政部執行政府採購法上級機關監辦作業原則」規定,勞務採購金額未達6,000萬元以上者,免報內政部派員監辦。		
會辦人員	符銘煥代(黃國倫)	本所會計室	黃惠新		
本所政風室	張玉銘	主 持 人	張秋麻 (簽章)		

[開標/議價/決標/流標/廢標紀錄 EY8811]

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

內政部建築研究所「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」委託研究計畫案廠商資格審查表

證件名稱		說明
1. 設立(營業)證明:	<input type="checkbox"/> 縣(市)政府營利事業(營業)登記證 <input checked="" type="checkbox"/> 其他登記證明文件: <u>教育部函</u>	字號: 台(86)技(二)字第八六〇八二八三一號 資本額: 新臺幣 元
2. 納稅證明:	<input type="checkbox"/> 稅捐稽徵處營業稅繳款書收據聯 <input type="checkbox"/> 營業人銷售額與稅額申報書收執聯 <input checked="" type="checkbox"/> 不需納稅或免稅之聲明文件(蓋妥印章(大、小章))	統一編號: 04126516 稅籍編號: 替代證件:
3. 信用證明:	<input type="checkbox"/> 非拒絕往來戶證明 <input type="checkbox"/> 最近一年無退票證明 <input type="checkbox"/> 其他信用證明	文件名稱: 第二類票據信用資料查覆單 開立單位: 台灣票據交換所/第一商業銀行 字號: 0071716822591
4. 廠商聲明書		
5. 委託代理(代理出投)使用印章授權書		
6. 計畫書 15 份		
投標廠商: 國立臺灣科技大學 負責人: 陳希舜	地址: 台北市基隆路4段42號 電話: 02-27333141 代表人: 陳希舜	
審查結果:	<input checked="" type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6	請購(使用)人: <u>管鐘真代</u> (黃國倫) 審查人: <u>鄭嘉娟</u> 招標承辦人: 102年1月18日

註: 表列證件 1 至 5 項由廠商填寫, 招標承辦人審查; 6 項則由請購(使用)人審查。


附錄二 議價紀錄文件及廠商回應表

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

內政部建築研究所議價決標紀錄

時間:102年1月31日下午3時50分整

地點:本所討論室(二)

案 號	10215G0021	開標次別	第1次
標 的 名 稱 及 數 量 摘 要	低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究	招標方式	限制性招標經公開評選
刊登政府採購公報日期	102.01.08	上網日期	102.01.07
投 標 廠 商 標	價 標	第一次議減價格後之價標	第二次議減價格後之價標
國立臺灣科技大學	第三次議減價格後之價標 本案評選委員所提意見，廠商依序答復(如附件)，並經業務單位審核同意後，請廠商配合修改研究計畫書，並納入契約書辦理。		
審 標 結 果 / 流 標 原 因 / 廢 標 原 因	一、本案邀請第1優勝廠商議價。 二、國立臺灣科技大學針對評選委員所提意見之答復，經業務單位審核同意。		
決標原則、得標廠商及決標金額	決標原則:依政府採購法第52條1項第3款。 得標廠商:國立臺灣科技大學 決標金額:新臺幣壹佰伍拾萬元整	得標廠商代表簽名(或蓋章) 	
決 標 過 程	因廠商已依評選委員所提意見修改研究計畫書，主持人依政府採購法規定，當場宣布決標。		
異議或申訴事件	(註明尚未解決之異議或申訴事件之處理情形)		
備 註	本案於102年1月18日辦理廠商資格審查，102年1月24日辦理服務建議書評選。		
記 錄	鄭嘉娟 黃國倫	本 所 會 計 室 本 所 政 風 室	黃惠新 依「機關主會計及有關單位會同監辦採購辦法」第5條第4款之規定簽奉核准「本案公務繁忙，不克派員監辦」。
會 辦 人 員	未達查核金額	主 持 人	張秋麻

[開標/議價/決標/流標/廢標紀錄 EY8811]

內政部建築研究所 102 年度

「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」

委託研究計畫案

審查意見及廠商回應一覽表

項次	審查委員意見	廠商回應
1	街屋是什麼?其常用牆體是 RC?或磚牆?本研究成果完成後要修改的法規,規範是有何方向與落點?現有的法規內應無街屋。	街屋一般指台灣地區街道兩側沿街連棟房屋,通常正面寬 4 至 6 m,隔戶有牆(垂直街道),一樓正面力求開闊,3-5 層樓高,柱尺寸相對小,柱短邊平行街道(弱柱)。老舊街屋通常採磚牆,新建街屋採 RC 牆體日趨普遍。本研究乃針對 RC 牆體之街屋,並針對現行法規"混凝土結構設計規範"內結構牆相關篇章,期望透過實驗驗證提出改善建議。
2	目前仍不斷的新建本研究的街屋嗎?約略有多大的數量?分佈如何?	街屋形式建築目前仍普遍採用,其數量及分布仍待研究進一步釐清。
3	試體是 2 層與本計畫所稱的 3-5 層有大的落差,跨度並無標示,宜與常用空間大小一致,操作施工與實驗要注意掌握人員、設備安全。	街屋受震時結構行為上,一、二層所受力量遠高於其他樓層,故本研究主要著墨於兩層樓試體之測試。研究計畫將持續評估試體之設計細節如各部尺寸、材料強度及開口布局等,以待專家座談會時提出更具體適當之方式供討論。
4	試體強度要量測加載,不宜僅用廠商提供資料,以免研究分析的結果受到誤導。施工品質亦宜予掌握。	委員提到設計材料強度與廠商提供之成品材料強度之間之差異,確實為影響實驗結果之重要因素,之後會在合作廠商之挑選及材料性質之檢測上予以掌控。
5	試體-採用傳統配筋製作,考量一般街屋之施工混凝土強度與設計強度常有落差及變異。如何決定實驗用之混凝土強度?	本研究預計依照所收集到之結構設計圖及標稱之材料強度,做為試體的設計依據。另就現有街屋之實際情況,祈能透過文獻之蒐集,捕捉真實混凝土強度及配筋可能之變異範圍,然後再透過分析方法(如有限元素法)研究前述變異對於牆體結構行為之影響。
6	請注意測試試體,應檢查摩擦剪力(sliding shear),防止其破壞。	感謝委員指教,將列入試體設計考量。

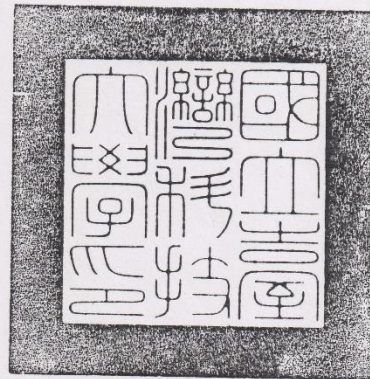
低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

7	請再評估油壓器與 loading beam 連接處之施力點位置,詳 P.22 之圖 23。	本研究預計採後拉預力將兩鋼梁前後夾緊牆體上端梁,側力千斤頂再固鎖於鋼梁上。本研究亦持續評估試體之架設方式,以待專家座談會時提出更具體適當之方式供討論。
8	如何防止牆體產生面外變形 (out-of-plane deformation)。	試體設計上應採行沿施力方向為軸之左右對稱設計,並實驗進行中預計在試體兩側架設側撐防止面外變形之發生。
9	請說明學生一人是否能夠勝任大型構架實驗。	感謝委員指教,本研究實際上確實非研究生單一人所能負擔的起,研究團隊內實際包含有在校之外籍研究生負責外文文獻及試體初步設計相關事務,國內文獻及傳統配筋設計圖之收集整合亦有兩名大學部專題生之協助,將會視情況由研究經費-其他費用報予工讀金。
10	本案針對低矮鋼筋混凝土街屋後牆之耐震行為研究及提升其耐震強度,未來是否會因補強後造成結構之整體結構系統之不對稱性?	本研究所針對的課題為屋後牆體之耐震行為研究,至於街屋於平行街道方向確有結構系統上整體之不對稱性之問題,這需要未來研究釐清之。
11	本案提出相關研究之試驗分析結果,是否延伸及引用其研究成果,宜加強說明。	本研究持續對相關研究進行評估及探討,關於是否延伸及引用將於後續報告及會議中提出。
12	服務建議書 P25 人力配置章節,相關人員之專任或兼任宜再澄清。	感謝委員指教,將會再與建研所本案負責同仁確認相關之規定。
13	本案街屋後牆之傳統結構配筋圖說之取得方式宜再考量申請程序及方法。	本研究就現有街屋之實際情況,除透過現有文獻之相關研究外,另將行文各縣市政府索取研究上所需之結構牆面配筋圖說,在這過程中研究團隊會注意相關法律與行政程序規定。
14	研究對象之外牆配筋,除標準配筋要求外,建議針對現場配筋或錯誤樣態之效果差異比對分析。	本研究就現有街屋之實際情況,除透過現有文獻之相關研究外,另有行文各縣市政府索取研究上所需之結構牆面配筋圖說。另就現有建物之實際情形而言,在資料收集上有其難度存在,可利用現有文獻之相關研究,來模擬混凝土強度及配筋可能之變異範圍並分析之。
15	簡報所述傳統配筋等細節研究,並補充施工品質差異因素之分析於服務	感謝委員指教並遵照辦理。

	建議表中。	
16	本計畫針對常用的低矮 RC 建物，進行實驗研究並提出設計規範條款建議，提供實務深具意義。	感謝委員指教。
17	兩座試體所需側力，本所 200 噸的致動器能量在拉力方面與標稱所示之壓力有所差異，請注意是否符合需求。	感謝委員指教，將於後續實驗規劃時多加注意。
18	本案實驗建議以國內不同耐震評估方法進行評估探討(NCKEE、SERC B 等)	感謝委員指教，本研究將盡可能參考國內外現行規範及耐震能力評估方法與牆設計、評估相關之部分，以增進研究、實驗之完整性。

廠商簽章： 國立臺灣科技大學

業務單位審查簽章：



附錄三 專家座談會會議紀錄及簽到表

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

低矮鋼筋混凝土街屋(沿街店舖式住宅)具典型開口外牆之耐震行為研究

第一次專家座談會會議紀錄

會議時間：102年6月24號(星期一)下午1:30

會議地點：台灣科技大學工程二館 E2-221 會議室

主持人：歐昱辰教授

記 錄：杜昱石研究助理

出席委員：

永峻工程顧問公司

鍾俊宏協理

聯邦工程顧問公司

陳煥煒副總

大彥工程顧問公司

張宏成總經理

忠彥工程技術顧問公司

謝忠恕技師

科技土木結構技師事務所

李英傑技師

陳正平結構技師事務所

陳正平技師

(依姓氏筆

劃排序)

【內政部建築研究所】 陶其駿主任 黃國倫研究員

列席人員：

協同主持人 歐昱辰副教授

研究助理 謝嫚紘

研究助理 杜昱石

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
李英傑 技師	對街屋屋後外牆做討論，首先應界定出其是否為結構牆，若在結構分析上不考慮其強度、勁度，則應確保其在實際情況下不對結構之反應造成影響。	實際上不管設計時是作為結構牆還是非結構牆，對結構行為還是有一定之影響，本研究乃預計透過其強度、勁度的評估、模擬以了解其對結構行為之具體影響。
陳正平 技師	對於之後新建之街屋類建築物，能否依據研究所得之評估方法和設計方法，提出一套有效之設計準則，例如使具開口牆之建物仍	就研究所得之街屋相關資料來看，考量梁與版之綜合強度，若要街屋呈現特殊抗彎矩構架之行為，對柱尺寸之需求將會對空間的使用造成

	能在沿街方向反映出如特殊抗彎矩構架(Special Moment Frame, SMF)的行為。	影響，於街屋中較難以達成。本研究最終之結果將會對屋後牆提出一套評估與設計準則。
鍾俊宏 協理	試驗試體的規劃方面可考量新增一座空構架、一座具水平向大開口之試體。 若研究目標是未來能提出一套適用於街屋之設計方法，則試體開口型式應更加多元、完整，以求盡量涵蓋常見之開口型式。	對委員之建議將會列入試體規劃時作為評估之依據。在有限的試體數量下選出最典型之開口試體做試驗。 納入本計畫設計準則發展之考量。
陳煥煒 副總	街屋耐震能力之提升或可透過重視騎樓梁柱、屋後牆等方式得到提升。 強化屋後牆之方式可能為翼牆的設置或者牆體鋼筋比的提昇來達成。	納入本計畫設計準則發展之考量。試體設計規劃時會一律納入考量，感謝委員之建議。
張宏成 總經理	就現況而言，街屋隔戶牆常作為結構牆設計，具有承重能力，變相地導致柱的縱向主筋需求降低。 又實際上屋後外牆常因住戶之使用需求而擅自打掉，用於將屋後空地納入自家使用範圍內，因此設計上是否要將屋後牆的強度、勁度納入考慮仍有待商榷。 就整體街屋現況而言，強制規範街屋長向最前與最後四根柱子設計實用以承擔大多數地震側向力，應可作為未來街屋相關規範的一設計準則。	感謝委員指教 屋後牆在結構設計時是否納入考量應由業主與設計者自行斟酌，本研究之目的乃提供給設計者一方法，此方法可告訴設計者若要考量這座牆，則該如何對其強度、勁度來評估。 若屋後牆納入結構設計，則屋主擅自敲除屋後牆之行為應予禁止。 納入本計畫設計準則發展之考量。
謝忠恕 技師	在過往對既有建物做補強的經驗中，有開口之牆在評估時乃採用無開口之牆在勁度、強度上做折減，惟須注意的是若牆體開口面積越大時，該牆對於傳統拉壓桿模型的適用性需多加注意。	拉壓桿模型於開口牆體上之適用性的確需要加以檢討，感謝委員指教。 感謝委員指教 開口角隅之抑制屬服務性問題，本研究會納入考量。在試體進行試驗

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

	<p>以往不同時期的建物適用於不同的法規，故在評估一牆的原有強度、勁度上，需特別注意之。由實際災後建物普查之結果得知，開口角隅的裂縫會最先產生，因此研究案應對角與裂縫的控制多加著墨。</p>	<p>時，透過對初始裂縫之產生、裂縫發展之型態等對照其與極限加載之間的關係，可評估牆體之服務性與載重之關係。</p>
<p>黃國倫 研究員</p>	<p>研究所試驗之試體可考慮在試驗過後留下，再施以補強修復後，再次試驗之，以提高試體之經濟效應。 研究結果是否能提出量化之指標。</p>	<p>一般所指之補強乃針對現況完整或損壞小之結構為之，但本研究預計將試體加載至相當於真實結構倒塌之階段。若要針對補強的成效做評估則需以不同之試體為之方能較具可信度。 感謝委員指教，將在後續研究中對屋後牆對街屋整體抵抗平行街道向地震力之貢獻提出量化之指標。</p>

「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」

第一次專家座談會簽到單

會議時間：102年6月24日（星期一）下午1：30~4：30

會議地點：台灣科技大學工程二館2樓-E2-221會議室

主持人：歐昱辰副教授

出席委員簽到：

出席單位與人員		簽到
內政部建築研究所	陶其駿主任	
內政部建築研究所	黃國倫研究員	黃國倫
永峻工程顧問股份有限公司	鍾俊宏協理	鍾俊宏
聯邦工程顧問股份有限公司	陳煥焯副總	陳煥焯
大彥工程顧問股份有限公司	張宏成總經理	張宏成
忠彥工程技術顧問股份有限公司	謝忠恕技師	謝忠恕
陳正平結構技師事務所	陳正平技師	陳正平
科技土木結構技師事務所	李英傑技師	李英傑

(依公司筆劃排序)

列席人員簽到：

列席單位與人員		簽到
協同主持人陳正誠教授		陳正誠
國立台灣科技大學營建工程系	謝嫻紜研究助理	謝嫻紜
國立台灣科技大學營建工程系	杜昱石研究助理	杜昱石



低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

主持人：歐昱辰 副教授 國立台灣科技大學營建系
協同主持人：陳正誠 教授 國立台灣科技大學營建系
研究員：李宏仁 副教授 國立雲林科技大學
研究助理：杜昱石 碩士生 國立台灣科技大學營建系



簡報大綱

- ◆ 典型街屋特徵介紹
- ◆ 研究訪談結果報告
- ◆ 問題與討論



傳統街屋及其開口形式



傳統街屋及其開口形式



傳統街屋及其開口形式



傳統街屋及其開口形式



典型連棟街屋結構特性

- ◆ 典型樓版厚12至15 cm，抗撓剛度相對大
- ◆ 3~5層樓高，柱尺寸相對小
- ◆ 柱短邊平行街道(弱柱)

易形成強梁弱柱



典型連棟街屋結構特性

- ◆ 正面寬4 至6 m，一樓正面力求開闊
- ◆ 隔戶有牆(垂直街道)，隔戶牆厚度一般大於等於15 cm(使用、隔音)
- ◆ 平行街道方向一般僅有兩道牆
一為梯間牆、一為屋後外牆(都有開口)

結構平面長向與短向牆量差異極大



街屋倒塌之案例



街屋倒塌之案例



街屋倒塌之案例

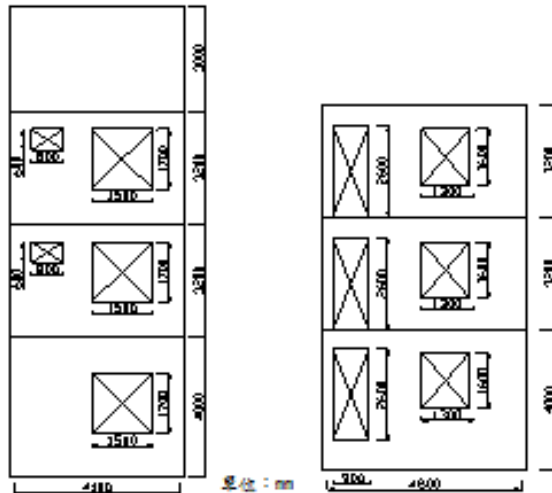


研究、訪談結果

- ◆ 屋後牆尺度
- ◆ 材料強度
- ◆ 配筋細節



屋後牆尺度



開口種類	水平尺度 (CM)	垂直尺度 (CM)
門	90~120	190~275
窗	90~150	120~170
空調	75~90	55~70

外牆厚度通常為15cm



屋後牆尺度

建築技術規則(牆厚相關規定)

第二章 第九節 防音

第四十六條 (防音) 連棟住宅、集合住宅之分界牆、若宿舍、旅館等之臥室或客房或醫院病房相互間之分界牆及其與其他部份之分界牆，應依左列規定設置具有防音效果之隔牆：

一、分界牆或分間牆應為無空隙、無等於防音之構造，並應為直接接地板或屋頂之牆壁，如天花板有防音性能者，分間牆得建築至天花板。

二、前款防音構造，不得低於左列標準：

(一)鋼筋混凝土、鋼骨混凝土等，厚度在十公分以上者。

分界牆不同於分戶牆(隔戶牆)

第一條 本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：

二十三、分間牆：分隔建築物內部空間之牆壁。

二十四、分戶牆：分隔住宅單位與住宅單位或住戶與住戶或不同用途區劃間之牆壁。



屋後牆尺度

建築技術規則(牆厚相關規定)

第四節 防火區劃 第七十九條

防火梯連建築物總樓地板面積在一、五〇〇平方公尺以上者，應按每一、五〇〇平方公尺，以具有一小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備與該處防火梯連之樓地板區劃分隔，防火設備並應具有一小時以上之耐火性。

前項應予區劃範圍內，如備有效自動滅火設備者，得免計算其有效範圍樓地板面積之二分之一。

防火區劃之牆壁，應突出建築物外牆面五十公分以上，但與其交接處之外牆面長度有九十公分以上，且該外牆壁是具有與防火區劃之牆壁同等以上防火時效者，得免突出。



屋後牆尺度

建築技術規則(牆厚相關規定)

第三章 第四節 防火區劃

第八十六條 分戶牆及分間牆構造依左列規定：

一、連續式或集合住宅之分戶牆，應以具有一小時以上防火時效之牆壁及防火門窗等防火設備與該處之樓板或屋頂形成區劃分隔。

何謂「具一小時以上防火時效」之牆？

第七十三條 具有一小時以上防火時效之牆壁、樑、柱、樓地板，應依左列規定：

一、牆壁：

(一)鋼筋混凝土、鋼骨鋼筋混凝土或鋼骨混凝土厚度在七公分以上者。



屋後牆尺度

混凝土結構設計規範(牆厚相關規定)

若牆體視為受壓構材，則依照規範第三章-撓取與軸力之規定來，或可依7.6條經驗設計法為之。

7.6 牆之經驗設計法(以受壓構材設計之)

7.6.3 最小牆厚

7.6.3.1 承重牆之厚度不得小於支承間高度或長度之 $1/25$ ，以較小者為準；亦不得小於 10 cm 。

若設計上為非受壓構材

7.7 非承重牆

非承重牆之厚度不得小於 10 cm ，亦不得小於側向支承構材間最小距離之 $1/30$ 。



屋後牆尺度

綜合建築技術規則(防音、防火)和混凝土結構設計規範可得以下結論：

1. 屋厚外牆厚度需大於等於 10 cm
2. 若視為受壓構材，則厚度不得小於支承間高度或長度之 $1/25$ ，以較小者為準；亦不得小於 10 cm 。
3. 若視為非受壓構材，則厚度不得小於 10 cm ，亦不得小於側向支承構材間最小距離之 $1/30$ 。



屋後牆尺度

外牆厚:

若視為受壓構材

正面寬4~6 m，則牆厚16~24 cm

樓層淨高取2.75 m，則牆厚11.5 cm



屋後牆尺度

外牆厚:

若視為非受壓構材

正面寬4~6 m，則牆厚13.4~20 cm

實務上設計外牆時，厚度一般會大於等於
15 cm



配筋細節

混凝土結構設計規範(配筋相關規定) 若視為受壓構材

第三章-撓取與軸力

3.10.1 非合成受壓構材之縱向鋼筋斷面積 A_{st} 應符合下式之規定：

$$0.01A_g \leq A_{st} \leq 0.08A_g \quad (3-7)$$



配筋細節

混凝土結構設計規範(配筋相關規定)

第七章-牆

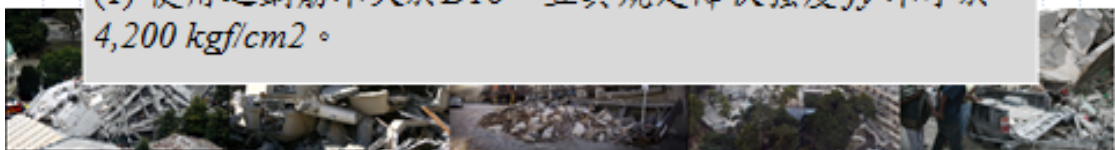
7.4 最少鋼筋量

7.4.2 牆垂直鋼筋斷面積對牆水平總斷面積之比率 ρ_1 為0.0015。但下列情況鋼筋比得減至0.0012：

(1) 使用之鋼筋不大於D16，且其規定降伏強度 f_y 不小於4,200 kgf/cm²。

7.4.3 牆水平鋼筋斷面積對牆垂直總斷面積之比率 ρ_t 應為0.0025。但下列情況鋼筋比得減至0.0020：

(1) 使用之鋼筋不大於D16，且其規定降伏強度 f_y 不小於4,200 kgf/cm²。



配筋細節

混凝土結構設計規範(配筋相關規定)

7.4.5 牆之垂直或水平鋼筋間距均不得大於3 倍牆厚或 45 cm。

7.4.6 牆之垂直鋼筋面積不大於0.01 倍之混凝土總斷面積或未作抗壓鋼筋用者，則無需以橫箍筋圍封。

7.4.7 牆內若有門窗開孔者，開孔之四周須加置不少於 2 根D16 之鋼筋，此等鋼筋須延伸至孔角外至少60 cm，並不得小於其伸展長度。

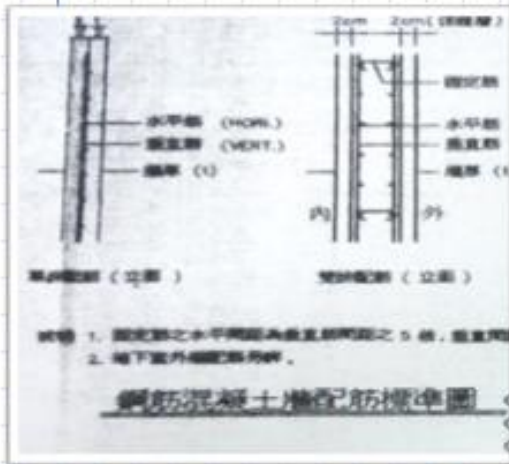


配筋細節整理

一般外牆若有開口，則在設計上不做剪力牆設計，甚至將開口牆體視為非結構牆



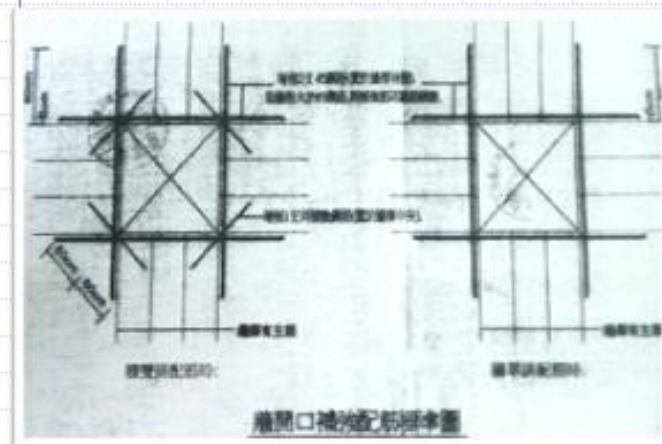
配筋細節整理



牆厚	配筋	單筋	雙筋
10~12cm	垂直 水平	#3@20 #3@20	
15~18cm	垂直 水平		#3@20 #3@20
18~20cm	垂直 水平		#3@20 #3@20
24~25cm	垂直 水平		#4@20 #4@20
30~35cm	垂直 水平		#4@20 #4@20
40~45cm	垂直 水平		#5@20 #5@20
50~55cm	垂直 水平		#5@20 #5@20
60cm以上	垂直 水平		#5@20 #5@20



配筋細節整理



1. 外牆為厚牆，採沿厚度方向雙層鋼筋配置
2. 牆開口四周增補兩支#5鋼筋(於牆厚度方向兩側)
3. 實務上有做法會在開口角隅增補一支#5斜向鋼筋(於牆厚中央)
4. 開口補強用筋一般號數選用#5，當牆配置之縱、橫向鋼筋號數較大時，補強筋採用與之相同之號數



材料強度

◆鋼筋強度的選用

號數小於等於#5 $f_y=2800\text{kgf/cm}^2$

號數大於#5 $f_y=4200\text{kgf/cm}^2$

◆混凝土強度

$f_c'=210\sim 280\text{kgf/cm}^2$



初步試體設計

經文獻研究及資料收集之後，我們整理出了五種常見之開口配置來做為試體設計之樣本。

所選擇之開口尺度如下：

門：90 x 275 cm

窗：150 x 150 cm

空調設備：80 x 60 cm



初步試體設計

◆ 鋼筋強度的選用

號數小於等於#5 $f_y=2800\text{kgf/cm}^2$

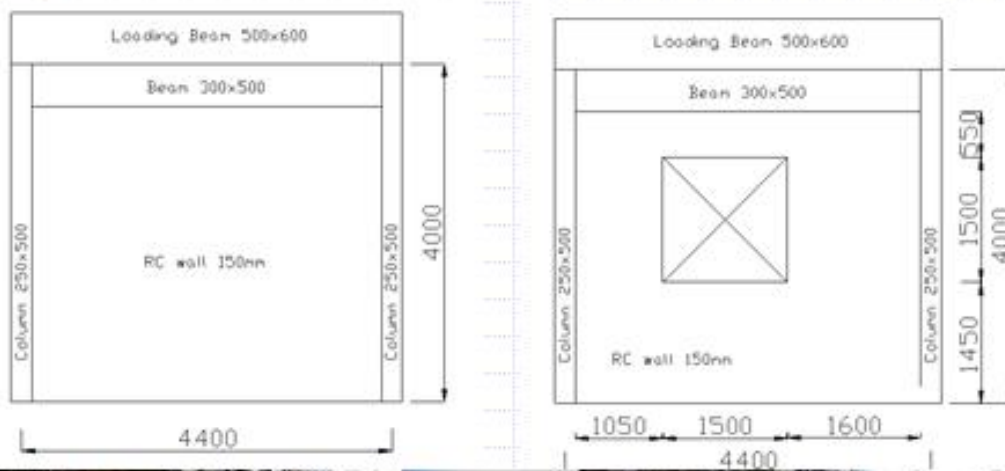
號數大於#5 $f_y=4200\text{kgf/cm}^2$

◆ 混凝土強度

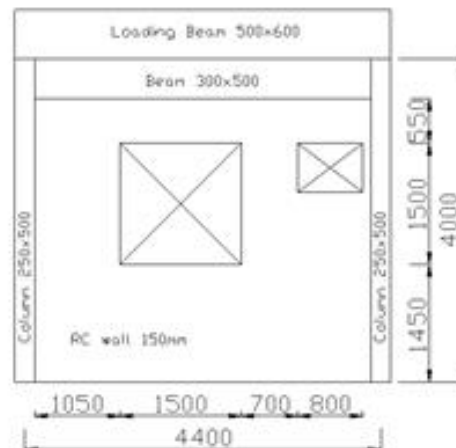
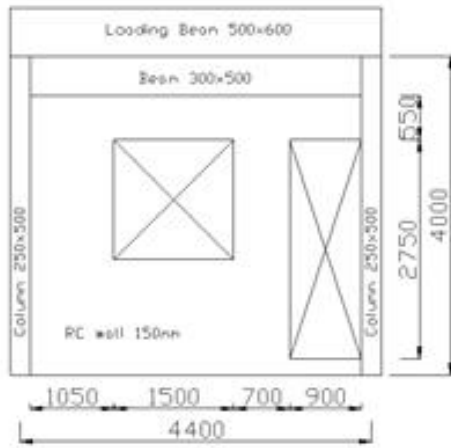
$f_c'=210\text{kgf/cm}^2$



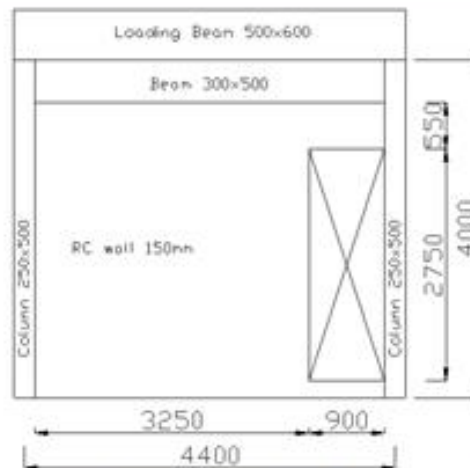
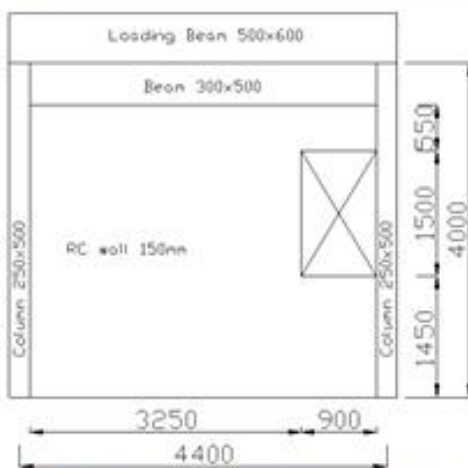
試體開口樣式及尺寸



試體開口樣式及尺寸



試體開口樣式及尺寸



問題與討論

就上述簡報內容，就您所知，有無不符實際工程之處？

配筋方式

開口型式和尺寸

材料強度



問題與討論

依各位豐富的經驗，一般工程上在分析低樓層建物時，是否有考慮結構牆、開口結構牆對整體結構的影響？



問題與討論

如果有，是以什麼樣的方式進行之？

轉換為等值柱量、等效斜撐？

強度的影響(剪力、撓曲)

勁度的影響(震動週期)



END

感謝與會專家指教、提問與寶貴之意見



附錄四 期中審查會議紀錄及簽到表

期中審查會議紀錄

內政部建築研究所

102 年度委託研究「包覆型 SRC 柱箍筋耐震設計需求之構架試驗研究」、「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」暨協同研究「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」等 3 案期中審查會議紀錄

一、時間：102 年 7 月 12 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（新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）

三、主持人：鄭主任秘書元良
楷峻、黃國倫
記錄：周

四、出席人員：（如簽到單）

五、主席致詞：（略）

六、承辦單位報告：（略）

七、研究計畫簡報：（略）

八、出席人員審查意見（依發言順序）：

「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」
案：

邱教授昌平：

1. 本研究計畫主要是從他人之相關研究成果(試驗及理論分析)，尤以具開口 RC 牆者有充分之探討。採用之非線性有限元素軟體(請註明出處及可能之使用限制等)對一些試驗結果加以分析驗證，具有一定之吻合度。另外將對開口結構牆之勁度、側向強度等，採用多人不同之方法予以檢討、比較其精確度及適用性，已獲致一些成果。
2. 多年前日本對 RC 構架，含 RC 牆之開口率，允許為開口

率 $\sqrt{\frac{l'h'}{lh}} \leq \frac{1}{3}$ ，即可視同沒開口去做整體結構分析，建議本

計畫對此稍加探討。

3. 計畫名稱宜為 RC 建築物具典型開口低矮形 RC 牆($l > h$)之耐震行為研究。

胡總監銘煌：

1. 低矮 RC 連棟街屋有其結構系統上之特色，屋前、屋後及隔戶牆，係配合使用要求而設計，本研究特別針對「屋後外牆構架之耐震行為」研究，建議針對長向結構系統(牆偏向一側所產生之扭力問題、牆與隔戶牆之共同作用等)先作一概要說明。
2. 報告書第 30 頁有「街屋後外牆開口型式」之照片，但圖 2.23(b)為屋前照片而非屋後，請再核對。
3. 鋼筋符號有用 D 及 # 兩種，宜盡量採用公制。

許教授協隆：

1. 本研究案之試驗規劃，包含典型台灣街屋後牆配筋型式和改良配筋型式，以增進消能與韌性行為兩大類之構架試驗，惟依第五節圖 2.48 所示之試體規劃，每一開口型式構架均僅有一座，試驗進行時，將如何同時涵蓋上述二種配筋型式？

郭教授詩毅：

1. 報告書中的圖，多數為直接複製文獻內容，未經重新繪製，建議加註出處。
2. 本研究探討對象為街屋，街屋之特性為連棟式建築，故本

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

研究試體僅取單一構架做試驗、分析、模擬，其結果可否反映連棟式建築之力傳遞行為，或左右棟壁體之互制行為，是否將其列入後續研究。

3. 報告書第 3 頁，研究方法之(2)圓型鋼管混凝土柱之反覆載重試驗以及(3)鋼板及混凝土基本材料試驗，兩項試驗之圓形鋼管混凝土柱及鋼板於街屋中甚少使用，是否有必要進行此試驗。

陳技師正平：

1. 依規範柱寬至少 30cm，若建管單位能確實執行，則街屋弱軸之問題就不復存在。
2. 柱底主筋放樣錯誤及任意偏折，亦是容易倒塌之主因。
3. 後側外牆常有因裝修而打除之行為，建議不納入考量。
4. 牆體開口後，局部配筋補強太複雜，一般技師恐難理解，況且建築師可簽證，所以仍建議不納入抵抗地震力。
5. 桁架模式分析須考量節點錨定之可行性。

廖組長趙昌：

1. 報告書第 70 頁，圖 2.48 構思中之結構牆試體，有一定的開口型式與組合，若未來研究團隊所選用之開口型式與圖 2.48 的樣式不同(如開口面積及形狀)，圖 2.48 的研究結果可否逕為使用，或足可供參據使用？

謝技師忠恕：

1. 本階段針對牆體開口之勁度折減已加強說明，未來進行試驗，建議再確認與勁度折減之假設是否相符。
2. 建議本研究針對街屋後牆之耐震行為研究，得分列新建結構系統之配置及既有街屋結構系統之配置建議成果，以滿

足個別設計之需求應用。

3. 針對牆體邊界之配筋，可否考量於牆邊界配置螺旋防裂筋。

鍾教授立來：

1. 請預估所規劃試體之強度、勁度、韌性及其破壞模式。
2. 請預估開口外牆與柱子之關係，及其對結果之影響。

中華民國土木技師公會全國聯合會陳技師宗珺

1. 騎樓柱補強時，會有排水系統之考量。
2. 屋後牆是否全為 RC 造？或本研究建議街屋之屋後牆應為 RC 造？
3. 應比較說明模擬分析結果與蒐集到的破壞模式。
4. 本研究為一跨屋後牆，是否發展多跨。

社團法人中華民國建築技術學會莊建築師金生：

1. 街屋後牆開口，可否研究開口邊緣與柱之間，至少須留有牆斷面之最小距離。
2. 可否研究上述留設牆斷面之最小牆厚度。

陳組長建忠：

1. 本所研究成果，由張順益教授執行之補強方式實驗，亦有許多開口型式，宜請參考。
2. 街屋是口語化或傳統歷史建築而來，本案成果如何落實於各種規範或評估作業中。(從另一角度來看，目前有何種建築法規，或法定制式審查鑑定表單列有街屋一詞?)

主席：

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

1. 本研究提到的都是 RC 建築，但 921 震損的不都是 RC 建築，也有加強磚造，請再確認。
2. 一般聽到街屋會想到類似迪化街的建築物，在本研究所指的街屋是否含這種類型的街屋，請說明。

研究單位回應（歐教授昱辰）：

1. 研究開口邊緣與柱之間，至少須留有多少牆斷面最小距離之建議，雖與研究方向不太相同，但不失為解決街屋耐震行為之一方法，將納入考量。
2. 委員所指排水系統為路邊之雨水排水溝系統，一般若採用「擴柱」作為既有建物之補強手段，會往建地內做構材斷面之增加，因此不會有排水系統之限制。
3. 低矮街屋為連棟式之建築物，若只考慮單一面牆確實無法捕捉到整體建築物之行為。所以以大尺寸、多樓層、多跨之試體試驗，對構架之行為、構建之間互制等行為之了解有其必要性。本研究規劃是先充分了解單跨構架試體之行為後，除大尺寸試體之試驗外，亦可透過研究所得單跨構架之了解，適當的植入結構分析軟體中做整體結構之分析等方法，繼續對街屋後外牆課題做更深入之探討。
4. 本研究主要乃針對新建街屋建築物提出一套有效、簡易之設計方法。強度與勁度之評估方式可供補強前之既有建物評估參考使用。

九、結論：

- (一) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過。請將與會專家學者及出席代表意見，詳實紀錄，供研究團隊參採，並於期末報告作適當回應。
- (二) 請掌握研究時程及進度，委託研究計畫請依規定辦理第

2 期經費核撥；協同研究計畫請研究團隊注意控制經費核銷進度。

十、散會：下午 12 時 40 分。

「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為」

研究期中審查會議紀錄與意見回覆

	委員意見	研究團隊回應
郭委員 詩毅	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書中的圖，多數為直接複製文獻內容，未經重新繪製，建議加註出處。 2. 本研究探討對象為街屋，街屋之特性為連棟式建築，故本研究試體僅取單一構架做試驗、分析、模擬，其結果可否反映連棟式建築之力傳遞行為，或左右棟壁體之互制行為，是否將其列入後續研究。 3. 報告書第3頁，研究方法之(2)圓型鋼管混凝土柱之反覆載重試驗以及(3)鋼板及混凝土基本材料試驗，兩項試驗之圓形鋼管混凝土柱及鋼板於街屋中甚少使用，是否有必要進行此試驗。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指正，後續報告和成果報告之中會特別注意。 2. 低矮街屋為連棟式之建築物，若只考慮單一面牆確實無法捕捉到整體建築物之行為。所以以大尺寸、多樓層、多跨之試體試驗，對構架之行為、構建之間互制等行為之了解有其必要性。本研究規劃是先充分了解單跨構架試體之行為後，除大尺寸試體之試驗外，亦可透過研究所得單跨構架之了解，適當的植入結構分析軟體中做整體結構之分析等方法，繼續對街屋後外牆課題做更深入之探討。 3. 誤植錯誤，感謝委員指正。
鍾委員 立來	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請預估所規劃試體之強度、勁度、韌性及其破壞模式。 2. 請預估開口外牆與柱子之關係，及其對結果之影響。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 預計於後續研究中進行。 2. 開口外牆與柱間應有一互相束制之關係，此課題尚待後續研究做更深入之探討。
陳委員 宗斌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 騎樓柱補強時，會有排水系統之考量。 2. 屋後牆是否全為RC造？或本研究建議街屋之屋後牆應為RC造？ 3. 應比較說明模擬分析結果與蒐集到的破壞模式。 4. 本研究為一跨屋後牆，是否發展多跨。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 委員所指排水系統為路邊之雨水排水溝系統，一般若採用「擴柱」作為既有建物之補強手段，會往建地內做構材斷面之增加，因此不會有排水系統之限制。 2. 近年來新建街屋外牆構造材料普遍皆為RC造；對於外牆是否應採RC造還應因個案之不

		<p>同而加以評估之，本研究規劃是先充分了解單跨構架試體之行為後，除大尺寸試體之試驗外，亦可透過研究所得單跨構架之了解，適當的植入結構分析軟體中做整體結構之分析等方法，繼續對街屋後外牆課題做更深入之探討。</p> <p>3. 預計於後續研究中進行。</p> <p>4. 低矮街屋為連棟式之建築物，若只考慮單一面牆確實無法捕捉到整體建築物之行為。所以以大尺寸、多樓層、多跨之試體試驗，對構架之行為、構建之間互制等行為之了解有其必要性。本研究規劃是先充分了解單跨構架試體之行為後，除大尺寸試體之試驗外，亦可透過研究所得單跨構架之了解，適當的植入結構分析軟體中做整體結構之分析等方法，繼續對街屋後外牆課題做更深入之探討。</p>
<p>莊委員 金生</p>	<p>1. 街屋後牆開口，可否研究開口邊緣與柱之間，至少須留有牆斷面之最小距離。</p> <p>2. 可否研究上述留設牆斷面之最小牆厚度。</p>	<p>1. 感謝委員建議，此建議實為一研究方向，將於後續研究中進一步研究之。</p> <p>2. 感謝委員建議，此建議實為一研究方向，將於後續研究中進一步研究之。</p>
<p>謝委員 忠恕</p>	<p>1. 本階段針對牆體開口之勁度折減已加強說明，未來進行試驗，建議再確認與勁度折減之假設是否相符。</p> <p>2. 建議本研究針對街屋後牆之耐震行為研究，得分列新建結構系統之配置及既有街屋結構系</p>	<p>1. 感謝委員對研究的肯定與鼓勵。</p> <p>2. 感謝委員建議，此建議實為一研究方向，將於後續研究中進一步研究之。</p> <p>3. 非傳統作法之配筋形式其主要目的在於若建物依照現有開口</p>

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

	<p>統之配置建議成果，以滿足個別設計之需求應用。</p> <p>3. 針對牆體邊界之配筋，可否考量於牆邊界配置螺旋防裂筋。</p>	<p>形式施作而不變更位置之情況下，而提升牆體構架之整體性能表現，此課題尚待後續研究做更深入之探討。</p>
陳委員 正平	<p>1. 依規範柱寬至少 30cm，若建管單位能確實執行，則街屋弱軸之問題就不復存在。</p> <p>2. 柱底主筋放樣錯誤及任意偏折，亦是容易倒塌之主因。</p> <p>3. 後側外牆常有因裝修而打除之行為，建議不納入考量。</p> <p>4. 牆體開口後，局部配筋補強太複雜，一般技師恐難理解，況且建築師可簽證，所以仍建議不納入抵抗地震力。</p> <p>5. 桁架模式分析須考量節點錨定之可行性。</p>	<p>1. 平面 X 向、Y 向之強弱並非只取決於梁及柱之平面尺寸，在此研究課題之中更重要的是垂直到方向之分戶強之強、勁度貢獻。</p> <p>2. 施工上監工是否確實落實之問題仍是全體土木工程界要努力的一大方向。</p> <p>3. 若屋後牆納入結構設計，則屋主擅自敲除屋後牆之行為應予禁止。</p> <p>4. 感謝委員指教，研究團隊會多加注意。</p>
邱委員 昌平	<p>1. 本研究計畫主要是從他人之相關研究成果(試驗及理論分析)，尤以具開口 RC 牆者有充分之探討。採用之非線性有限元素軟體(請註明出處及可能之使用限制等)對一些試驗結果加以分析驗證，具有一定之吻合度。另外將對開口結構牆之勁度、側向強度等，採用多人不同之方法予以檢討、比較其精確度及適用性，已獲致一些成果。</p> <p>2. 多年前日本對 RC 構架，含 RC 牆之開口率，允許為開口率，即可視同沒開口去做整體結構分析，建議本計畫對此稍加探討。</p> <p>3. 計畫名稱宜為 RC 建築物具典型開口低矮形 RC 牆之耐震行</p>	<p>1. 感謝委員對研究的肯定與鼓勵。</p> <p>2. 感謝委員建議，此建議實為一研究方向，將於後續研究中進一步研究之。</p>

	為研究。	
陳委員 建忠	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本所研究成果，由張順益教授執行之補強方式實驗，亦有許多開口型式，宜請參考。 2. 街屋是口語化或傳統歷史建築而來，本案成果如何落實於各種規範或評估作業中。(從另一角度來看，目前有何種建築法規，或法定制式審查鑑定表單列有街屋一詞?) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，此建議實為一研究方向，將於後續研究中進一步研究之。 2. 街屋為口頭用語，且易讓人與傳統歷史建築的意象做聯想，後續報告中會在提及街屋一詞時加註「沿街店鋪式住宅」。
胡委員 銘煌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低矮 RC 連棟街屋有其結構系統上之特色，屋前、屋後及隔戶牆，係配合使用要求而設計，本研究特別針對「屋後外牆構架之耐震行為」研究，建議針對長向結構系統(牆偏向一側所產生之扭力問題、牆與隔戶牆之共同作用等)先作一概要說明。 2. 報告書第 30 頁有「街屋後外牆開口型式」之照片，但圖 2.23(b) 為屋前照片而非屋後，請再核對。 3. 鋼筋符號有用 D 及#兩種，宜盡量採用公制。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，將於後續報告撰寫時多加以著墨。 2. 感謝委員指正。
廖委員 肇昌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書第 70 頁，圖 2.48 構思中之結構牆試體，有一定的開口型式與組合，若未來研究團隊所選用之開口型式與圖 2.48 的樣式不同(如開口面積及形狀)，圖 2.48 的研究結果可否逕為使用，或足可供參據使用? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，此建議實為一研究方向，將於後續研究中進一步研究之。

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

許委員 協隆	1. 本研究案之試驗規劃，包含典型台灣街屋後牆配筋型式和改良配筋型式，以增進消能與韌性行為兩大類之構架試驗，惟依第五節 2.48 所示之試體規劃，每一開口型式構架均僅有一座，試驗進行時，將如何同時涵蓋上述二種配筋型式？	1. 後續研究可能將著重於開口位置對傳統形式配筋下之牆體強勁度影響上，新式配筋形式之試驗將視研究進度及研究經費之容許而定。
-----------	---	---

內政部建築研究所

召開本所 102 年度委託研究「包覆型 SRC 柱箍筋耐震設計需求之構架試驗研究」、「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」暨協同研究「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」等 3 案期中審查會議簽到簿

時 間：102 年 7 月 12 日(星期五) 上午 9 時 30 分			
地 點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 2 會議室 (新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓)			
主 席：鄭主任秘書元良		記 錄：周楷庭	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
吳教授傳威			
宋教授裕祺			
邱教授昌平	邱昌平		
胡總監銘煌	胡銘煌		
許教授協隆			
郭教授詩毅	郭詩毅		
陳技師正平	陳正平		
廖組長肇昌			
謝技師忠恕	謝忠恕		
鍾教授立來	鍾立來		
行政院公共工程委員會			
內政部營建署			

[圖倫開 1020005298S]

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

中華民國全國建築師公會			
中華民國土木技師公會全國聯合會	陳誠		
中華民國結構工程技師公會全國聯合會	陽正		
社團法人中華民國建築技術學會	莊金生		
國立臺灣科技大學			
陳教授正誠	陳誠		
歐教授昱辰	歐昱辰		
邱教授建國	邱建國		
黃助理研究員國倫	黃國倫		
周專案研究助理楷峻	周楷峻		
相關人員	陳誠	陶其元	
陳美偉			
杜里石			
鍾智翔			
吳弘任	吳弘任		

[圖倫開 1020005298S]

附錄五 期末審查會議紀錄及簽到表

本所 102 年度委託研究「包覆型 SRC 柱箍筋耐震設計需求之構架試驗研究」、「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」暨協同研究「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」等 3 案
期末審查會議紀錄

一、時間：102 年 11 月 8 日（星期五）上午 9 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主席：陳組長建忠

記錄：周楷峻

四、出席人員：詳如簽到簿

五、主席致詞（略）

六、業務單位報告：（略）

七、研究案主持人簡報：（略）

八、綜合討論（依研究計畫序）：

（一）「包覆型 SRC 柱箍筋耐震設計需求之構架試驗研究」案

宋教授裕祺

1. 本研究可補足目前 SRC 設計規範有關箍筋用量規定之缺口，值得肯定。
2. 試體規劃採用 4 柱，3 跨 2 層構架型式，並於各樓層梁端施力作擬動態試驗，很有價值。因箍筋量之計算與柱軸力有關，在試驗過程中，柱軸力可能產生變化，建議補充說明如何考量此項係數。
3. 試驗時，如何精準控制兩個 Actuator 之位移或力量？建議於期末報告中補充說明。

胡總監銘煌

1. NSRC 梁柱接頭採用聯鎖式閉合箍筋，鋼骨貼緊箍筋及鋼骨翼板較寬時，可增加圍束效果等之研究，都有相當實務價值，建議若有可能，可增加實例計算及實際施工要點等，可有效推廣。
2. 結論裡有「TW-SRC 規範」，但文章內容並無「TW-SRC」之定義，請補充。
3. 本研究因試體斷面僅有 30 公分，箍筋熱處理花了許多時間，並非採用一般箍筋，以後若有近一步研究，希望能採用更大的斷面及規範箍筋，進一步比較其影響。

陳技師正平

1. 建議對各種不同鋼骨斷面型式、鋼板厚度及混凝土保護層厚度對箍筋需求用量之影響，予以量化規定，供設計者計算參考。

2. 建議在試體尺寸與數量不多之情況下，宜保守訂定規範修訂。

陳建築師鵬欽

1. NSRC梁柱接頭與聯鎖式閉合箍筋是否有效？又試驗之梁是S梁或SRC梁？
2. 報告書第41頁柱內閉合箍筋銲接點，似乎都在相同位置，其用意為何？
3. 混凝土強度採用28MPa，比業界低。
4. 版之效果是否有納入考量？
5. 構架試體之參數，如何決定？
6. SRC在日本已逐漸沒落，幾無設計新建物。目前由New RC及S決定大樓之設計

洪副教授盟峰

1. 報告書第26頁，所提「細粒料的混凝土」無此名詞，請修正。
2. 報告書第26頁，應修正為混凝土強度以「28天抗壓強度 f'_c 」，而非「標稱強度」請修正。
3. 報告書第50頁，混凝土各齡期採用7天、19天、28天之依據為何？一般以3天、7天、28天或再加上14天。
4. 報告書第177頁，自充填混凝土坍流度40cm屬於偏低，且應量測相互垂直之直徑平均值，另一側似乎較大。
5. 本研究計畫主持人執行此系列專案已有相當豐富之經驗與成果，惟本計畫重點在於包覆型SRC柱箍筋耐震之「構架試驗研究」，惟試驗尚在準備階段，仍未進行測試，期待在結案報告內能將成果完整呈現。

郭教授詩毅

1. 試驗停止條件的考量與及設計為何？
2. 進度略為落後，應在規劃時程內完成本項研究計畫。
3. 在有限時間內與經費預算下，執行本計畫實屬不易，且規劃試體用心。

謝技師忠恕

1. 構架試體架設完成後，其塑鉸發生位置，在電腦分析後之結果與原先預期之發生位置是否符合，未來試驗結果應予以驗證之。
2. 本次報告書並未提供試驗結果，建議未來試驗結果與原先研究預期能予以比對。

中華民國全國建築師公會 陳建築師宗珺(書面意見)

1. 報告書第14頁，實驗「解」果，錯字請修正。

2. 本研究從試驗安排、材料製作至測試體執行測試，皆非常用心值得鼓勵。
3. 試驗結果應與研究單位的設計方式進行比對，如何量化有助於SRC規範之修正。

陳組長建忠

1. 以小斷面做實驗，就過去經驗而言，多半是因為試驗加載設備容量所影響，本案採用小斷面原因請補充。
2. 小斷面實驗結果如何推定至常態斷面是過去研究的困擾，本研究是用何種觀點或方法來評估？

執行團隊回應(陳教授正誠)

1. 本研究團隊將嘗試量測柱底之軸向變形，並利用此數據來推判軸力大小之變化。
2. 本研究採用小斷面之原因就如同委員所述，為受到試驗設備容量、場地與經費之限制。
3. 本研究團隊過去已有相當多大斷面構件之試驗結果可供參考。
4. 相較之下，強度28MPa之混凝土在使用上較為普遍，因此本研究團隊選用強度28MPa之混凝土做設計。
5. 一般鋼結構中，材料強度會使用「標稱強度」之專有名詞，RC結構中則使用「28天抗壓強度 f'_c 」。本研究為SRC結構，材料強度該選用哪種專有名詞，將不在本研究中進行討論，此問題待規範修正時，一併由審查委員統一訂定。
6. 本研究團隊混凝土齡期採用7天、19天、28天並無特別依據，僅想追縱混凝土在不同齡期之強度發展。
7. 報告書所提「TW-SRC規範」，係指目前現行台灣SRC規範。
8. 待試驗結束後，本研究團隊將會對實驗結果與先前分析之結果做一完整之比對。
9. 為考量安全問題，試驗停止條件為當強度下降至50%時，將停止試驗。

(二)「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」案

宋教授裕祺

1. 本研究標的涵蓋台灣目前頗多建築結構所具之問題，頗具價值，值得肯定。
2. 有關開口結構牆之分析，係以2D DIANA軟體分析為基準，並與各學者所建議之勁度計算方式或實驗結果進行比對，值得肯定，惟未來如何將該套方法應用於工程實務？因目前工程大多採用ETABS、SAP或MIDAS等軟體進行分析，本研究結果未來如何與

現有作業程序銜接，應再多加考量。

胡總監銘煌

1. 有關「台灣典型街屋之結構特徵」之說明，宜先從整體結構之X向、Y向結構系統之特點及其影響著墨，再提街屋屋後外牆開口類型之研究，可增加本研究之實用價值。今日簡報已有增補，建議納入結案報告內。
2. 報告書第14頁有牆邊界構材，圖2.2特殊邊界構材、圖2.3普通邊界構材，但依ACI318-11或現行RC規範，只有結構牆(或特殊結構牆)有邊界構材之規定，請修正該專有名詞，避免誤解。

陳技師正平

1. 本研究若針對「耐震評估」，則配筋方式及配筋量恐有高估現象，尤其是試體基礎與實務上差距過大。
2. 若針對新設計，則配筋形式建議更進一步考量其與邊界構材之連結規定及基礎形式之配合規定，而不是以非結構牆配筋方式。
3. 對牆整體傾倒穩定性，是否已納入考量？

陳建築師鵬欽

1. 街屋(沿街店舖式住宅)特性為一樓為店舖，二樓以上為住宅，各自設置樓梯。沿街為一樓騎樓柱，店面入口幾無牆壁，後側為廚房必須有開口、開窗。
2. 報告書第31頁至第36頁有關建築技術規則採光之規定，似有一些誤解，可與相關領域專家學者研究討論。
3. 街屋具典型開口外牆(後側)無大變化，開窗亦不會任意移動，是否試驗應著重在如何補強？

洪副教授盟峰

1. 報告書第44頁顯示混凝土 f'_c 常用 210 kgf/cm^2 ，但報告書第89頁以軟體模擬時用 $f'_c=280 \text{ kgf/cm}^2$ 之理由何在，請補充說明。
2. 報告書第101頁第3點整理出a至h小項之軟體分析結論，惟以文字說明，建議可圖文並茂，應能較為明確表達研究所得之成果。
3. 建議可否以軟體分析當屋後牆開口呈現何種大小與配置時，對耐震性能之危害較為嚴重。

郭教授詩毅

1. 報告書第六章研究發現章節，於結案報告時應分為結論、建議兩項分點說明較為妥當。
2. 得到的結果豐富，建議在結論的撰寫上可以再予以強化。
3. 本研究在有限的金費預算及短時間內須執行完畢，實屬不容易。

謝技師忠恕

1. 本研究之對象街屋或沿街店舖式住宅，於未來定稿建議應予以明確。
2. 建議針對屋後牆之提高強度方法，如提高鋼筋比、加厚牆尺寸、增加翼牆等有較多之說明。
3. 本計畫試驗尚未進行，未來建議審慎評估本案試驗成果與電腦模擬情況進行比對，與相關修正。
4. 針對既有屋後牆之磚牆部分，如將之拆除並進行已RC牆體替代之補強，是否可納入本研究之應用？
5. 若未來設計者，依據本研究之成果考量屋後外牆之強度貢獻，因而降低其他柱主筋之配置，研究是否有考量此部分之影響？

社團法人中華民國建築技術學會 莊建築師金生

1. 本研究實用性很高，其研究成果不論是驗證現有之結構理論或是創新發現，均很具價值。
2. 目前牆開口的問題之中，最為困擾的是「事後」(完工後)的開口變更，不知其對原牆壁之強度、勁度變化影響有多少，又須再如何補強之？可否於結案報告對此點多所著墨？

中華民國全國建築師公會 陳建築師宗斌(書面意見)

1. 建議表4.4、表4.5、表4.6，以圖形呈現較容易互應報告書第89頁第2段之文字敘述。可以開口率、開口高度、開口鄰近柱之距離做為參數，以製圖方式呈現分析成果。
2. 實驗結果應與DIANA分析結果比較。

陳組長建忠

試體主筋、箍筋、混凝土強度，應於第五章詳細說明

執行團隊回應(歐教授昱辰)

1. 感謝委員所指出報告內容及撰寫可精進之處，並對屬本次研究所關注範圍內之相關建議，盡團隊最大努力使之更加完整。
2. 研究成果所提出對開口牆體較佳之簡易強、勁度評估計算，可利用等值柱量或等值斜撐等方式，建模型於常用之結構分析軟體內，加以分析之，以利業界使用本研究所得之成果；本研究發展有限元素方法，僅用來評估、發展所提出之強、勁度評估計算式之準確性。
3. 本研究主要乃針對新建街屋建築物提出一套有效、簡易之設計方法。強度與勁度之評估方式，可供補強前之既有建物評估參考使用。實驗試體之設計，主要用以驗證軟體分析所得之相關開口變異影響趨勢及成果。

(三)「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」案

宋教授裕祺

1. 本研究若能完整成果，對未來國內建築結構之生命週期效益之評估有相當大之助益，建議未來應持續研究。
2. 目視檢測項目應能夠由工程師具體量化判別，否則易生困擾。
3. 建議檢測者與評分者角色應予以區別，如此檢測紀錄方能具有客觀性。

胡總監銘煌

1. 「主要構件」與「次要構件」等之用語定義，可否配合台灣常用名稱修改。
2. 耐久性能診斷涉及其劣化原因，有劣化、外力、施工不良，台灣地震多，施工狀況不良也不少，因此造成許多裂縫，因此裂縫對劣化之影響很大，將來是否可進一步研究量化評估其耐久性。

陳技師正平

1. 期末報告報告書第3頁次要構件中，「邊梁」屬主要構件。
2. 基礎及地下室外牆如何診斷？尤其施工缺失基礎最多。
3. 鋼筋鏽蝕嚴重處，對靠近邊緣處，補強筋之錨定方式，建議提供評估補強設計給工程師參考。

陳建築師鵬欽

1. 構件劣化或震損，如調查人員不具經驗設難判斷，不易填調查表。
2. 附錄二，建築物概要調查表，完全是日翻中，應依實際現況加以修正。
3. 建築物耐久性能，調查不易，本報告書均以校舍為例，一般民間建築、辦公、商業大樓、住宅等均不易調查。
4. 初步耐久診斷，以目視調查為主，易偏主觀，能量化應盡量量化。(調整使用性能評估表)
5. 建築物管理，影響建築物耐久性甚大，調查亦應考慮。

洪副教授盟峰

1. 報告書第4頁碳酸鈣、碳酸氫鈣請補充化學式，在第5至7行之敘述建議先說明CH與CO₂反應形成CaCO₃，再說明CaCO₃與H₂O及CO₂作用才形成Ca(HCO₃)₂，避免混淆閱讀。若可能建議將化學反應式列上。
2. 報告書第36頁由本研究實際探勘之建築物，所觀察之垂直裂

縫，認為是鋼筋腐蝕所造成柱裂縫，及敘述含有過量氯離子，建議均有數據作為佐證。

3. 報告書第124頁採用電阻率檢測，該試驗方法為混凝土表面電阻之量測，在ASTM已有相關規範，建議引用，此方法屬非破壞性量測，非常簡易，單位應為 $\Omega\text{-cm}$ 或 $K\Omega\text{-cm}$ ，請修正。
4. 簡報第42頁，台灣本島氯離子 1.0kg/m^3 值，但中部地區為 0.5274kg/m^3 請補充說明。
5. 報告書第36頁，將 0.6kg/m^3 氯離子列為輕度，但混凝土施工規範規定須小於 0.3kg/m^3 ，請說明。
6. 報告書第3頁，第7行，梁支撐樓板將力傳至?未說明，請補充。

郭教授詩毅

1. 環境因子中的「水」，是一個重要因子，需多鋼筋、混凝土耐久性問題與「水」有關，可以做了解。
2. 有關建築物外牆，屋頂等目視的評估方法是否也納入參考。另研究是否以整棟建築物為範圍。
3. 建議本研究規劃後續研究，加以配合。

謝技師忠恕

1. 本研究係屬法案評估階段，未來是否有針對調查對象不配合執行時之處置建議。
2. 詳細診斷階段是否有鋼筋鏽蝕電位之試驗納入評估紀錄。
3. 本研究評估程序及項目是否有參考現行其他相關針對建築結構之相關評估內容及方式，如「老屋健檢」等。
4. 建議於評估表中，可加入調查對象之使用者訪談內容記錄，以客觀角度納入使用者自行評估之因子。
5. 報告書第137頁，柱之鑽心取樣應審慎評估其執行之可行性，建議仍以同時灌漿之位置取樣較為可行。

中華民國全國建築師公會 陳建築師宗斌(書面意見)

建議研究應能說明裂縫產生原因，為氯離子過高或中性化嚴重的判斷方式，因兩者都會造成混凝土掉落。

陳組長建忠

研究成果宜考慮爭取本(內政)部今年所提防災型都市更新，以及住宅估計評估相關法令表單納入之表現方式。

執行團隊回應(邱教授建國)

1. 感謝意見建議，不同成因之裂縫，均已納入初步診斷方法中，詳細診斷部分，則以其形成原因探究為主，並依結果決定維護

策略。

2. 本研究已將外牆、屋頂納入，且以一棟建築物為診斷標的。
3. 基礎部份不易採用本研究規劃方法進行，且對於結構物之耐久性影響有限，本研究建議其不納入評估項目中。然而地下室外牆部份，本研究已將其納入觀察構件之中。
4. 本研究於準則草案中，已明述診斷方法，未來執行時亦可採用教育訓練方式推廣。
5. 中部地區之資料點數較少，其結果可靠度較低，僅提供參考。而台灣本島部份，則使用所有資料點數進行迴歸分析。
6. 本研究會將文獻調查及試驗資料統計詳載於報告書，以說明設定臨界量之合理性。
7. 本研究目標為擬定一耐久性能診斷準則，對於私人建物部分，則建議採申請制度，而非強制執行。
8. 目前台北市老屋健檢仍以結構安全、防火、避難逃生及設備等4項為主，關於耐久性能部份尚未納入。內政部營建署所推行之住宅品質評估辦法，亦是如此。

九、結論：

- (一) 本次會議3案期末報告，經審查結果原則通過。
- (二) 請業務單位詳實記錄與會專家學者及出席代表意見，並請執行團隊參採及確實依照本部規定格式修正成果報告，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。
- (三) 請執行團隊依契約書規定，完成報告書送所及辦理核銷結案事宜。

十、散會(中午12時30分)

「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」研究期末審查會議紀錄與意見回覆

	委員意見	研究團隊回應
宋委員 裕祺	<ol style="list-style-type: none"> 本研究案之研究標的涵蓋台灣目前頗多之建築結構所具之問題，頗具價值，值得肯定。 有關開口結構牆之分析係以 2D DIANA 為基準，並與各學者所建議之勁度計算方式或實驗結果進行比對，值得肯定，為未來如何將該套方法應用於工程實務之中？因目前工程時大多採用 ETABS、SAP 或 MIDAS 等軟體進行分析，本研究結果未來如何與現有作業程序銜接，應再多加考量。 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員對研究成果之肯定及鼓勵。 研究成果所提出對開口牆體較佳之簡易強、勁度評估計算，可利用等值柱量或等值斜撐等方式，建模型於常用之結構分析軟體內，加以分析之，以利業界使用本研究所得之成果；本研究所發展有限元素方法，僅用來評估、發展所提出之強、勁度評估計算式之準確性。
陳委員 建忠	<ol style="list-style-type: none"> 試體之主筋、箍筋、混凝土強度應於第五章詳細說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員指教，成果報告中將予以補足。
陳委員 鵬欽	<ol style="list-style-type: none"> 街屋(沿街店舖式住宅)特性為一樓為店舖，二樓以上為住宅，各自設置樓梯。沿街為一樓騎樓柱，店面入口幾無牆壁，後側為廚房必須有開口、開窗。 報告 P31~36 有關建築技術規則採光之規定似有一些誤解，可與相關科系研究討論。 街屋具典型開口外牆(後側)無大變化，開窗亦不會任意移動，是否試驗應著重在如何補強？ 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員對研究成果之肯定及鼓勵。 感謝委員指正，後續報告和成果報告之中會特別注意。 如何補強為另一研究課題，本研究案乃針對之後所新建之建物所提供一簡易方法評估牆體之強勁度。
洪委員 盟峰	<ol style="list-style-type: none"> 由 P44 顯示混凝土 f'_c 常用 210kgf/cm^2，但 P89 以軟體模擬時用 $f'_c=280\text{kgf/cm}^2$ 之理由何在，請補充說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 本研究案乃針對之後所新建之建物所提供之方法，故材料強度選用 $f'_c=280\text{kgf/cm}^2$。 感謝委員指教，成果報告中將

附錄五 期末審查會議紀錄及簽到表

	<p>2. P101 第三點整理出 a~h 小項之軟體分析結論，惟以文字說明，建議可圖文並茂，應能較為明確表達研究所得之成果。</p> <p>3. 由建議，可否以軟體分析研究當屋後牆開口呈現何種大小、配置時對耐震性能之危害較為嚴重。</p>	<p>予以加強。</p> <p>3. 感謝委員指教，成果報告中將予以補足。</p>
胡委員 銘煌	<p>1. 有關「台灣頂型街屋之結構特徵」之說明，宜先從整體結構之 X 向、Y 向結構系統之特點及其影響著墨，再提街屋屋後外牆開口類型之研究，可增加本研究之實用價值。今日簡報已有增補，建議納入結案報告內。</p> <p>2. 第 14 頁有牆邊界構材，圖 2.2 特殊邊界構材、2.3 普通邊界構材，但依 ACI318-11 或現行 RC 規範，只有結構牆(或特殊結構牆)有邊界構材之規定，請修正該專有名詞，避免誤解。</p>	<p>1. 感謝委員對研究成果之肯定及鼓勵。</p> <p>2. 感謝委員指教，成果報告中將予以補足。</p>
陳委員 正平	<p>1. 本研究若針對「耐震評估」，則配筋方式及配筋量恐有高估現象，尤其是試體基礎與實務上差距過大。若針對新設計，則配筋形式建議更進一步考量其與邊界構材之連結規定、及基礎形式之配合規定，而不是以非結構牆配筋方式。</p> <p>2. 對牆整體傾倒穩定性是否已納入考量?</p>	<p>1. 感謝委員指教，本研究著重在開口位置及大小對傳統非結構牆之強勁度影響，對於既有街屋之評估稍有貢獻，新式配筋方法之相關研究仍待後續研究人員努力之。</p> <p>2. 感謝委員指教，成果報告中將予以補足。</p>
謝委員 忠恕	<p>1. 本計畫之研究對象街屋 or 沿街店舖式住宅，於未來定稿本實建議應予以明確。</p> <p>2. 建議針對屋後牆之提高強度方法，如提高鋼筋比、加厚牆尺寸、增加翼牆等有較多之說明。</p>	<p>1. 感謝委員指教，將於成果報告中予以明確定義研究課題。</p> <p>2. 感謝委員指教，本研究著重在開口位置及大小對傳統非結構牆之強勁度影響，對於既有街屋之評估稍有貢獻，新式配筋</p>

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

	<ol style="list-style-type: none"> 3. 本計畫試驗尚未進行，未來建議審慎評估本案試驗成果與電腦模擬情況進行比對，與相關修正。 4. 針對既有屋後牆之磚牆部分，如將之拆除並進行已 RC 牆體替代之補強，是否可納入本研究成果之應用？ 5. 若未來設計者，依劇本研究成果考量屋後外牆之強度貢獻，因而降低其他住主筋之配置，研究是否有考量此部分之影響？ 	<p>方法之相關研究仍待後續研究人員努力之。</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 感謝委員指教，將於成果報告中呈現試驗結果及分析比對。 4. 感謝委員指教，磚牆部分予以拆除並進行已 RC 牆體替代之補強實為另一課題，本研究著重在開口位置及大小對傳統非結構牆之強勁度影響。 5. 柱主筋之配置減少乃因將牆體作為承重構件，本研究提供設計者依簡易之側向強、勁度評估方法。
郭委員 詩毅	<ol style="list-style-type: none"> 1. 第六章研究發現章節，於結案報告時應分為結論、建議兩項分點說明較為妥當。 2. 得到的結果豐富，建議在結論的撰寫上可以再予以強化。 3. 本研究計畫在有限的金費預算及短時間內須執行完畢，實屬不容易。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指教，將於成果報告中改進之。 2. 感謝委員對研究成果之肯定及鼓勵。
陳委員 宗斌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議表 4.4、4.5、4.6 以圖形呈現較容易互應 P89 頁第二段之文字敘述。可以開口率、開口高度、開口鄰近柱之距離作為參數製圖呈現分析成果。 2. 實驗結果應與 DIANA 分析結果比較。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指教，將於成果報告中改進之。 2. 感謝委員指教，將於成果報告中呈現試驗結果及分析比對。
莊委員 金生	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究案之實用性很高，其研究成果不論是驗證現有之結構理論或是創新發現，均很具價值。 2. 目前牆開口的問題之中，最為困擾的是「事後」(完工後)的開口變更，不知其對原牆壁之強度、勁度變化影響有多少，又須再如何補強之？可否於結案報告中對 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指教，將於成果報告中改進之。 2. 如何補強實為另一研究課題，本研究案乃針對之後所新建之建物所提供一簡易方法評估牆體之強勁度。

附錄五 期末審查會議紀錄及簽到表

	此點多有著墨?	
--	---------	--

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

內政部建築研究所

召開本所 102 年度委託研究「包覆型 SRC 柱箍筋耐震設計需求之構架試驗研究」、「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」暨協同研究「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」等 3 案期末審查會議簽到簿

時 間：102 年 11 月 8 日(星期五) 上午 9 時 30 分			
地 點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)			
主 席：陳組長建忠		記 錄：周榕	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
吳教授傳威			
宋教授裕祺	宋裕祺		
胡總監銘煌	胡銘煌		
陳技師正平	陳正平		
陳建築師鵬欽	陳鵬欽		
洪副教授盟峰	洪盟峰		
郭教授詩毅	郭詩毅		
謝技師忠恕	謝忠恕		
鍾教授立榮			
行政院公共工程委員會			
內政部營建署			
中華民國全國建築師公會	(書面審查)		

[檔峻開 1020008371S]

附錄五 期末審查會議紀錄及簽到表

中華民國土木技師公會 全國聯合會	隋心平		
中華民國結構工程技師 公會全國聯合會	隋心平		
社團法人中華民國建築 技術學會	莊金生		
國立臺灣科技大學			
陳教授正誠	陳正誠		
歐教授昱辰	歐昱辰		
邱教授建國	邱建國		
黃助理研究員國倫	黃國倫		
陶主任其駿			
相關人員	鍾智翔		
	周楷峻		
	李欣聰		
	楊智凱		
	陳美偉		
	曾安潔		
	魏嘉		

[檔號開 1020008371S]

附錄 A 試體設計圖

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

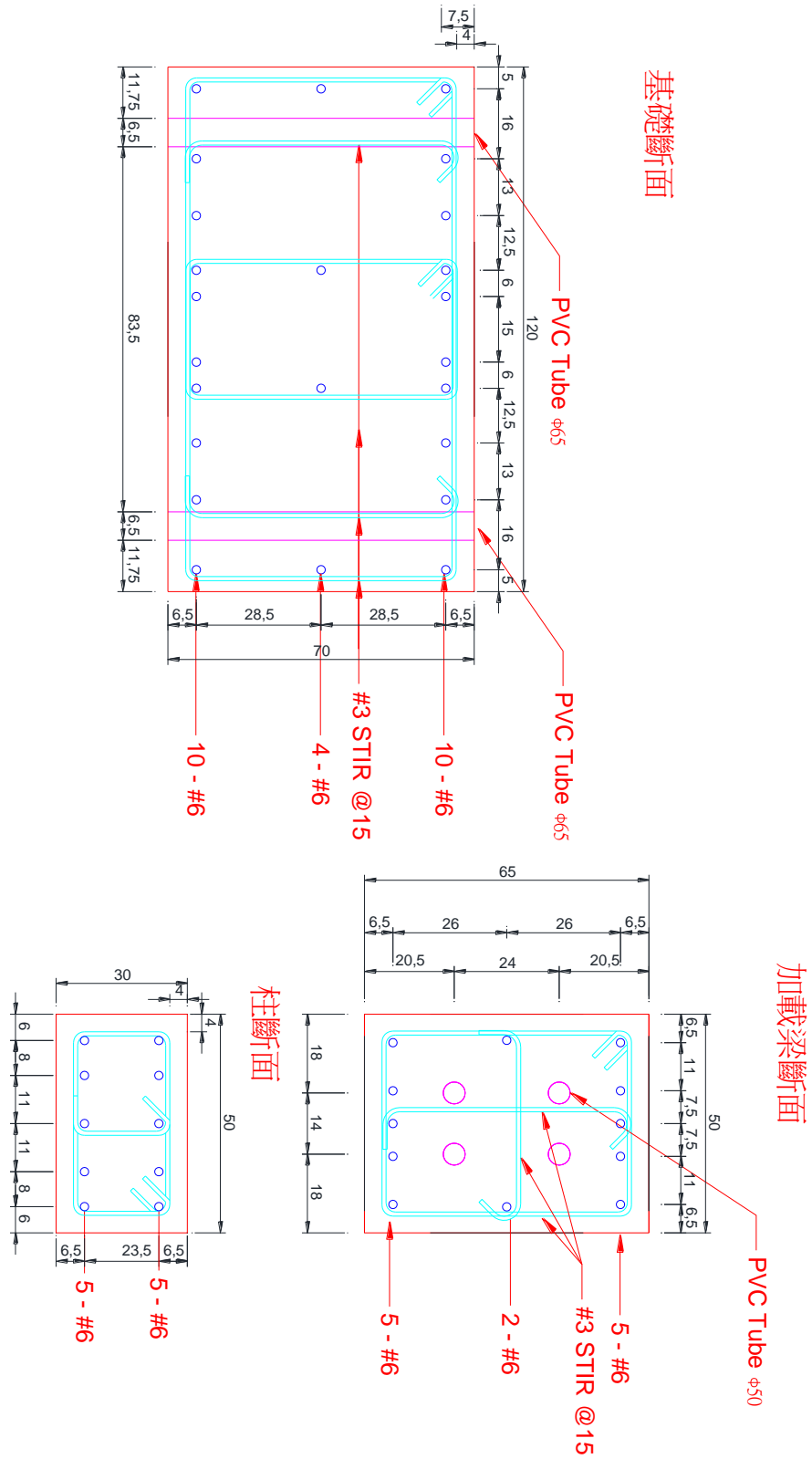


圖 A.1 基礎斷面、柱斷面、加載梁斷面

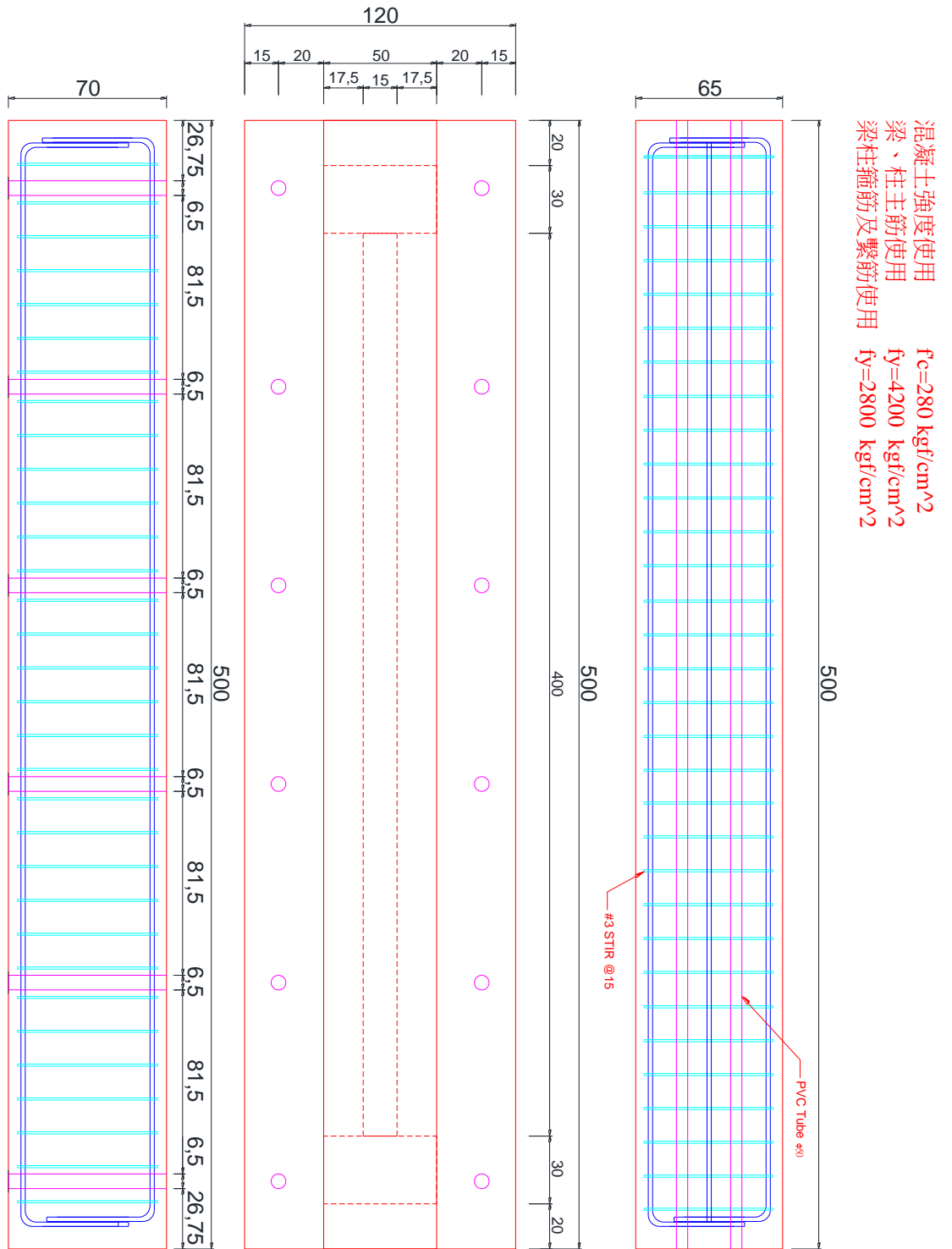


圖 A.2 加載梁側視圖、試體上視圖、基礎側視圖

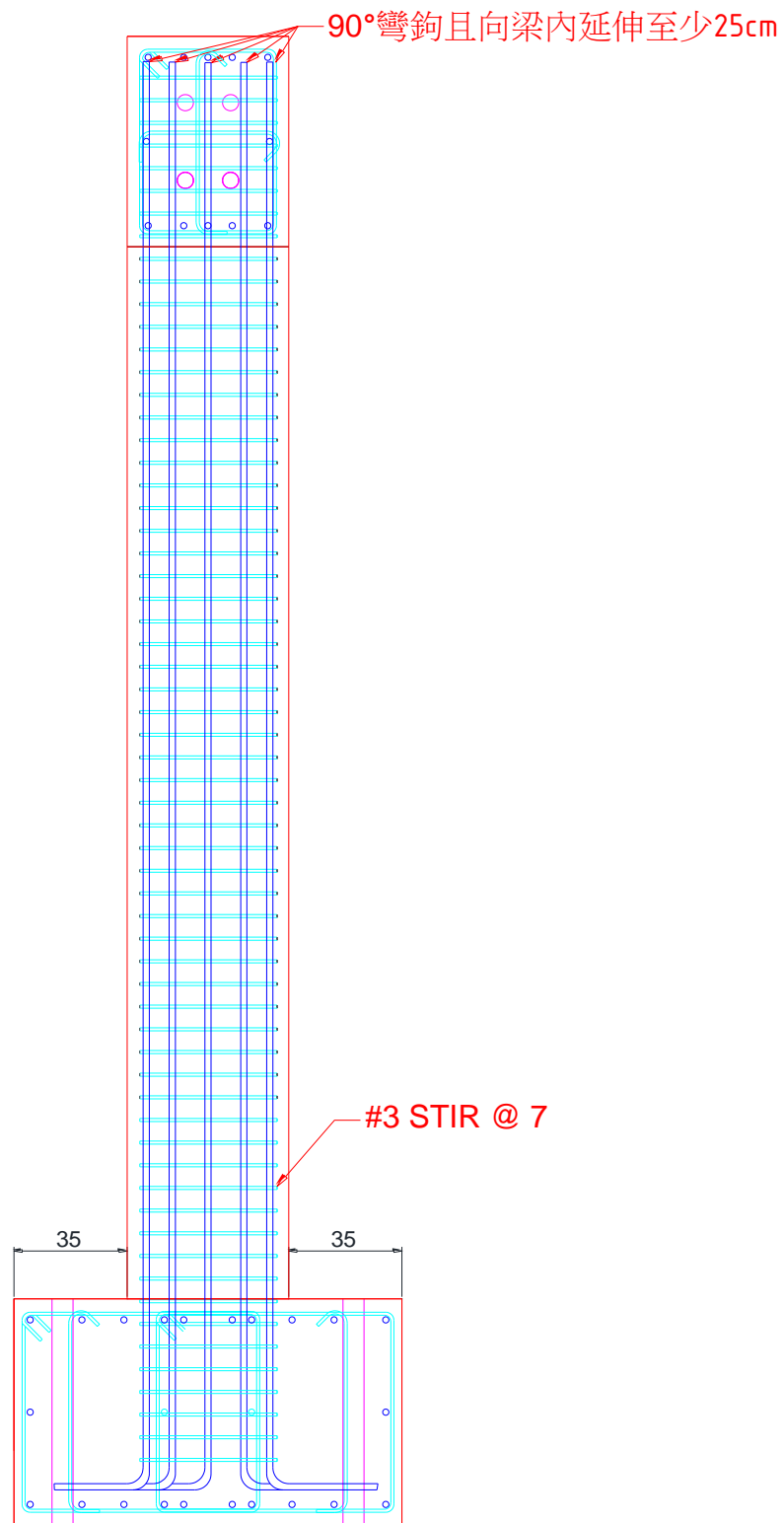


圖 A.3 柱主筋向基礎、加載梁內錨定示意圖

附錄 A 試體設計圖

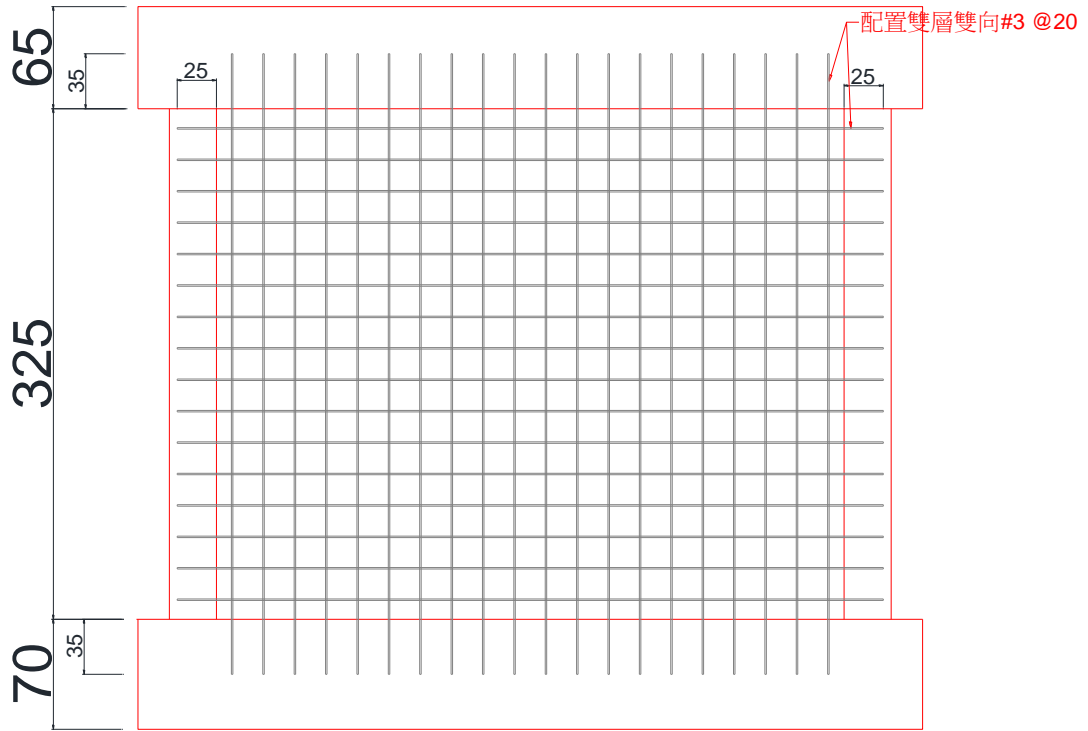


圖 A.4 試體 1、無開口試體牆筋配置及錨定深度示意圖

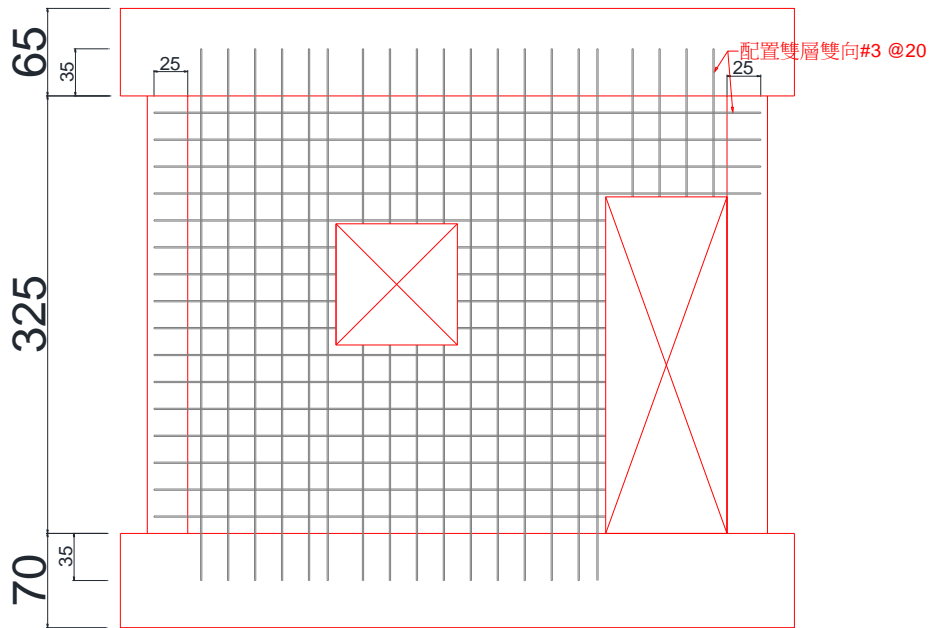


圖 A.5 試體 2、右側開門 90x250 左側牆面中央開窗，高程 140、尺度 90x90

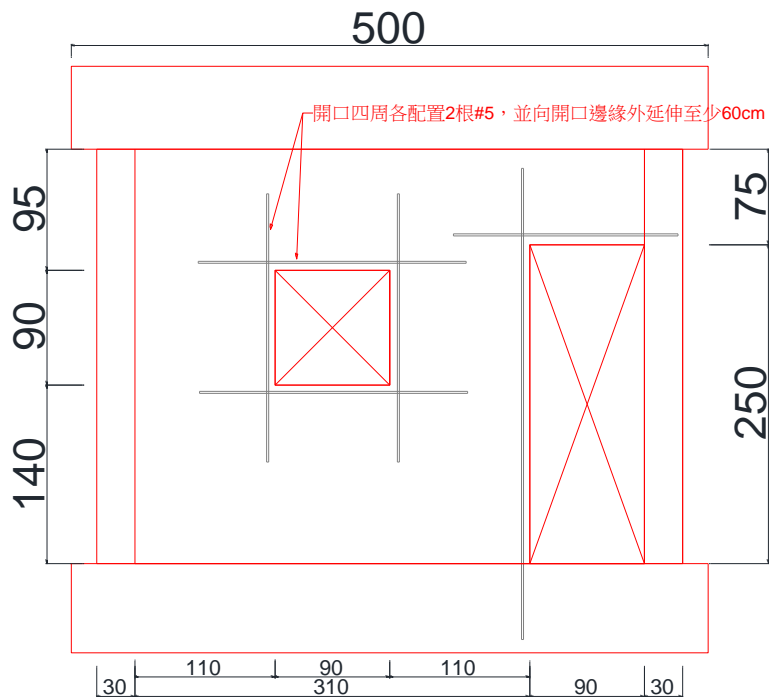


圖 A.6 試體 2 開口配置及補強筋配置圖

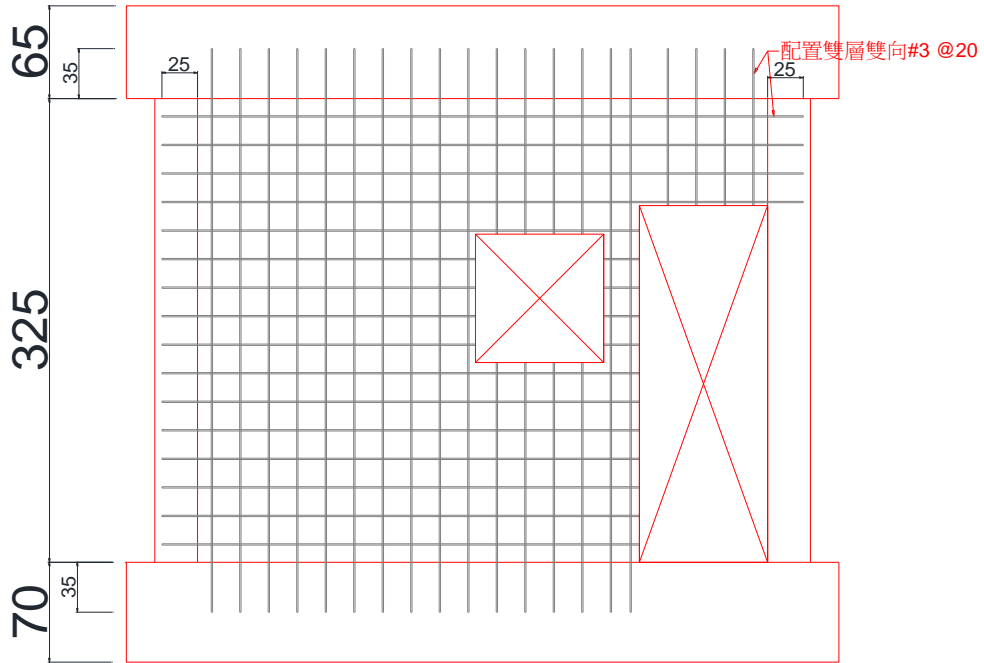


圖 A.7 試體 3、右側開門 90x250 右側牆面開窗，高程 140、
尺度 90x90

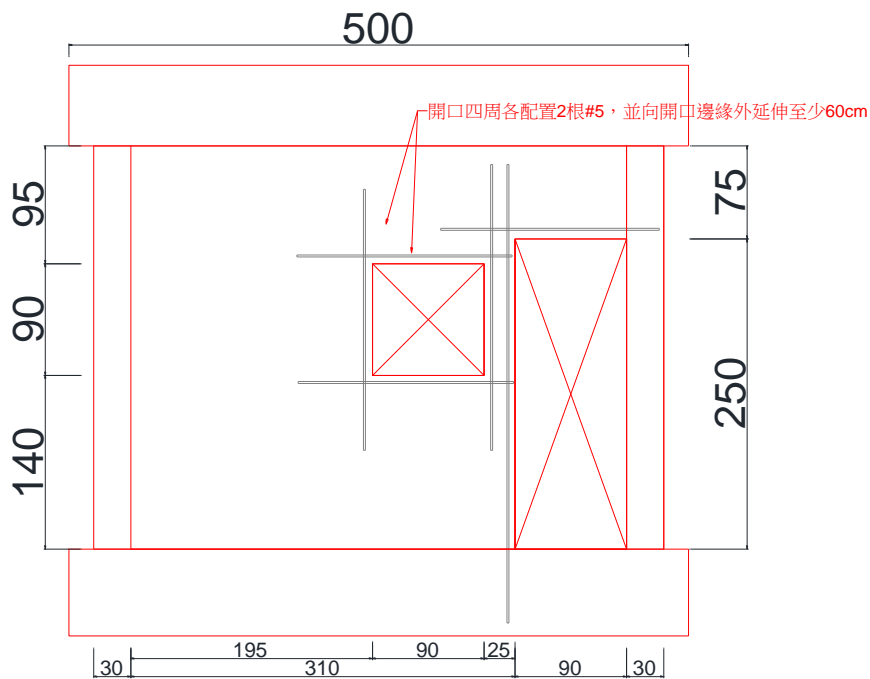


圖 A.8 試體 3 開口配置及補強筋配置圖

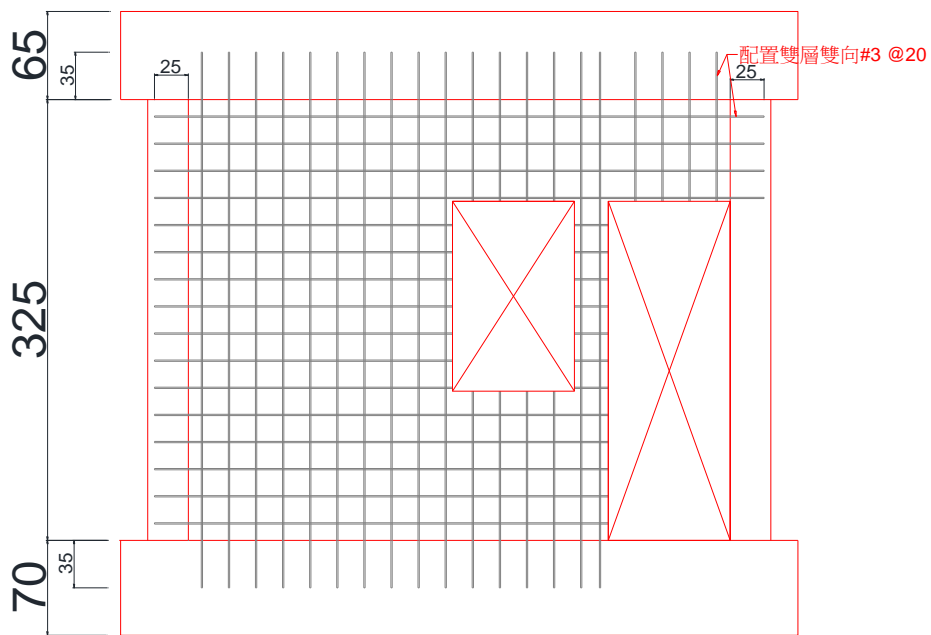


圖 A.9 試體 4、右側開門 90x250 左側牆面右方開窗，高程 110、尺度 90x140

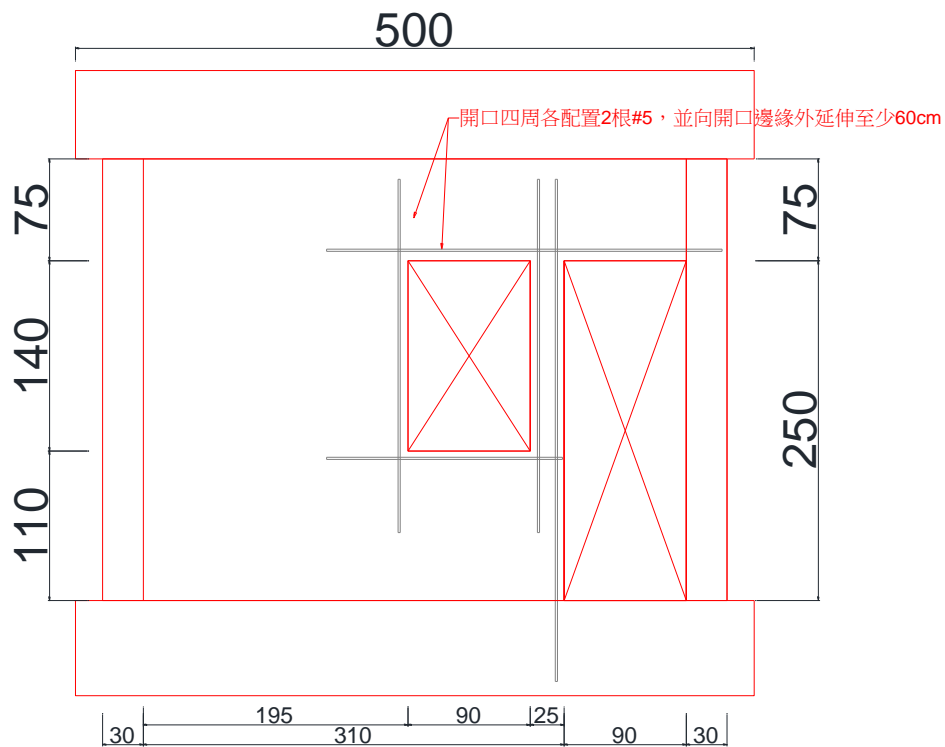


圖 A.10 試體 4 開口配置及補強筋配置圖

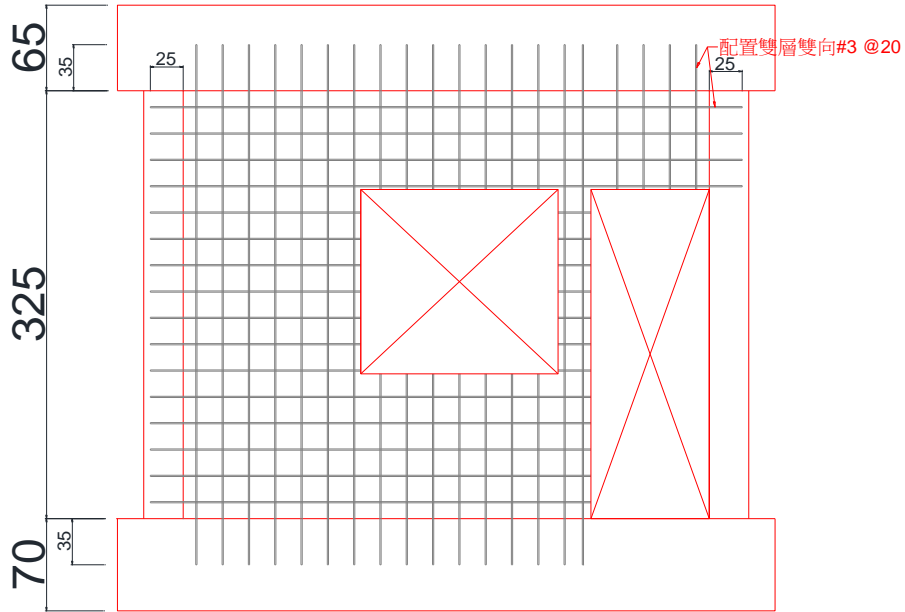


圖 A.11 試體 5、右側開門 90x250 左側牆面右方開窗，高程
110、尺度 150x140
500

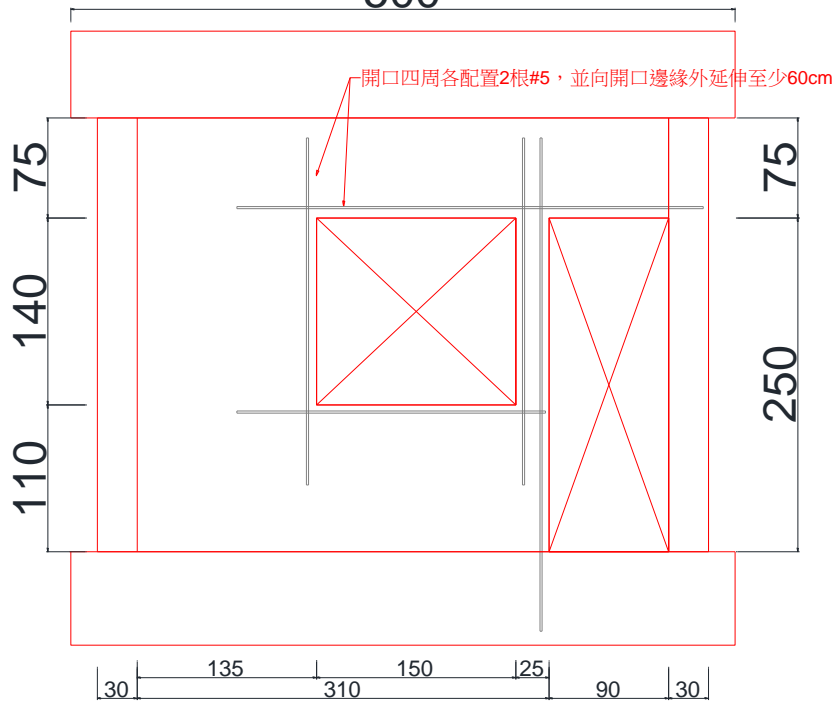


圖 A.12 試體 5 開口配置及補強筋配置圖

附錄 B 試體製作相關照片

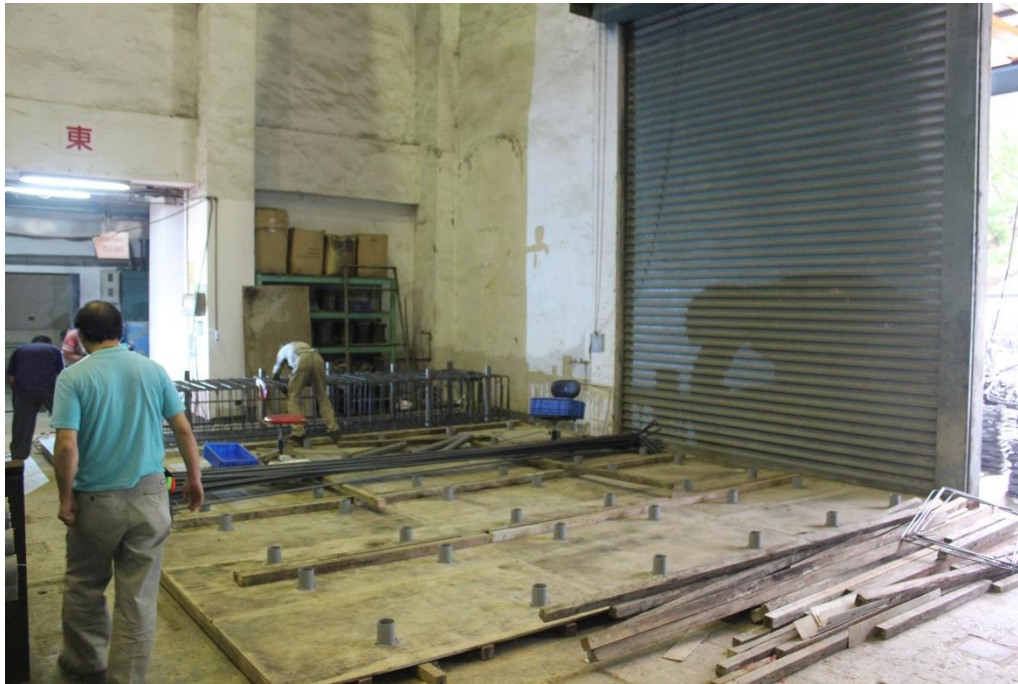


圖 B.1 底板放樣、PVC 管位定位及基礎鋼筋組立



圖 B.2 基礎鋼筋及柱主筋組立



圖 B.3 柱箍筋延伸配置進基礎內

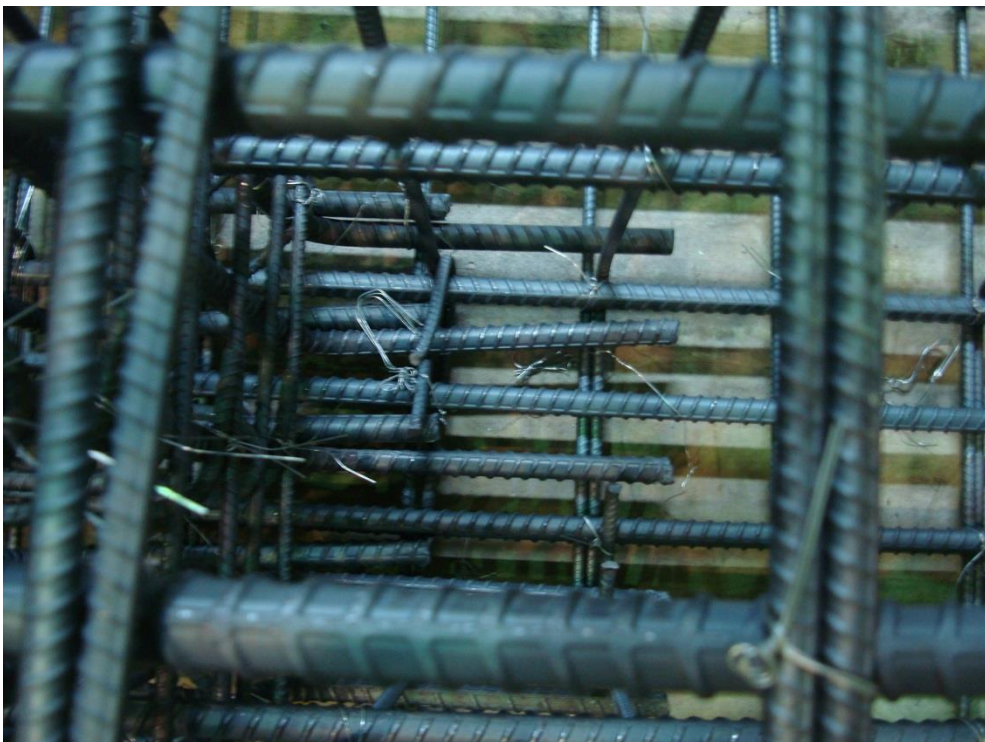


圖 B.4 柱主筋 90 度彎鉤後伸展至基礎內錨定



圖 B.5 基礎兩側腰筋

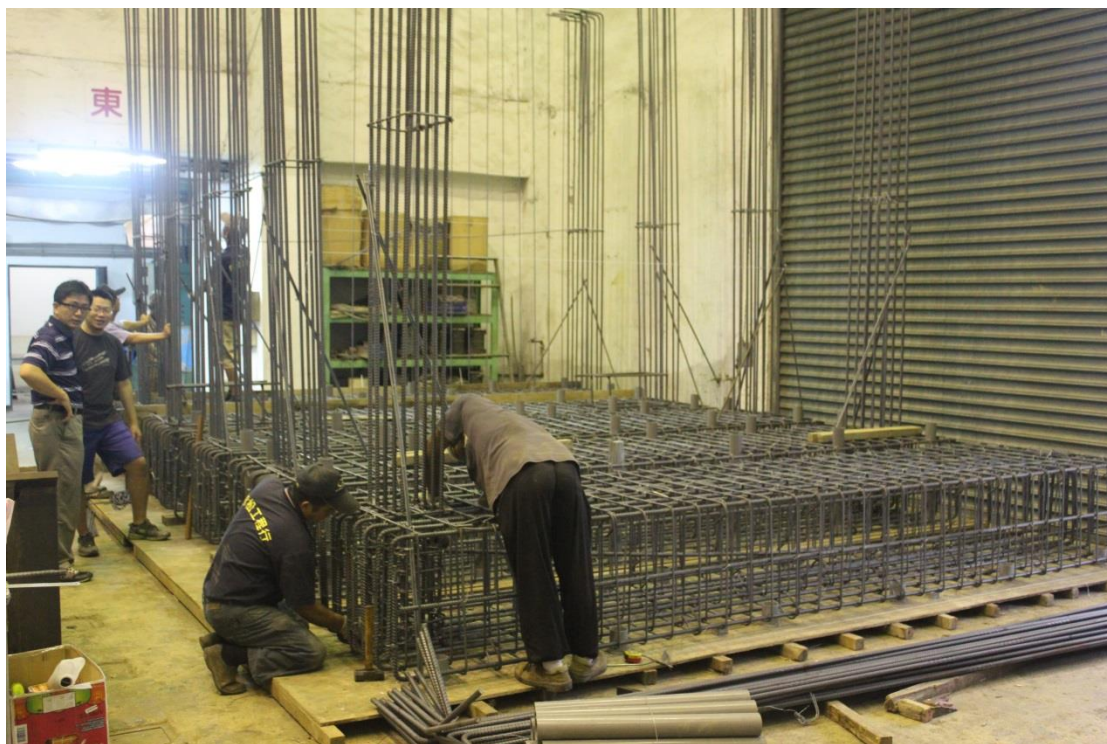


圖 B.6 基礎鋼筋及柱主筋組立



圖 B.7 基礎側模板組立



圖 B.8 基礎 PVC 管與基礎鋼筋綁定處理



圖 B.9 需垂直錨定入基礎內牆筋綁紮

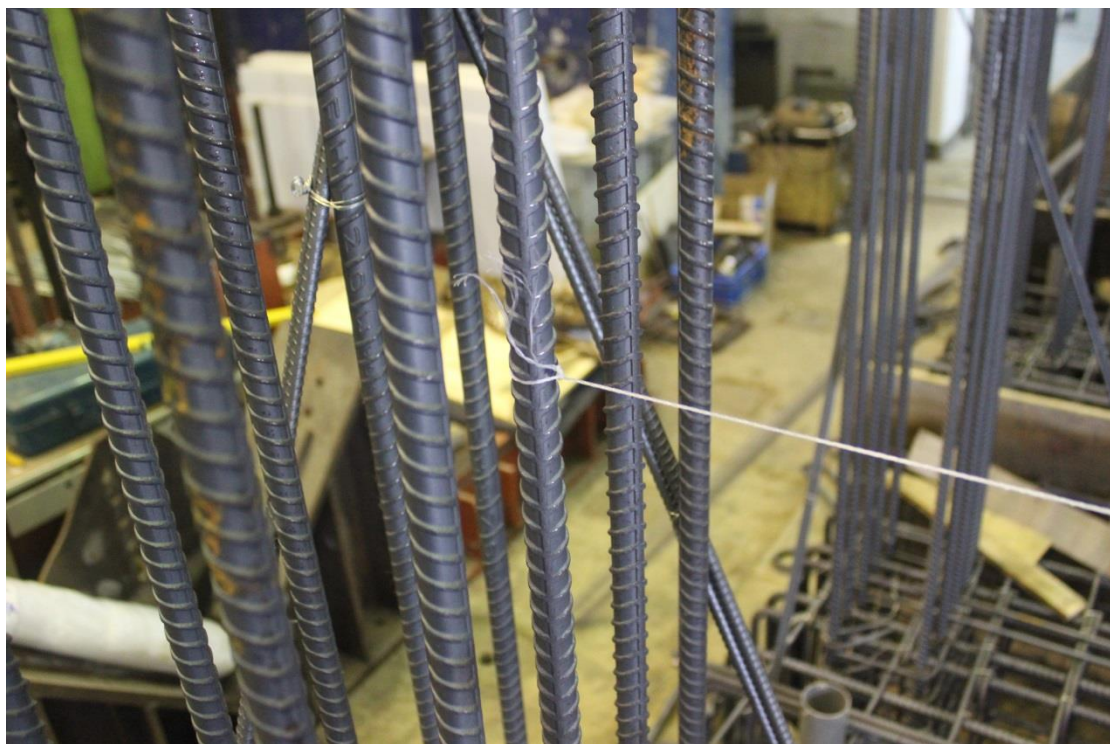


圖 B.10 開口邊垂直牆筋截斷高度水準線



圖 B.11 開口邊垂直牆筋截斷高度水準線



圖 B.12 以高壓空氣噴槍清潔基礎底板



圖 B.13 基礎前後側版組立



圖 B.14 灌漿前基礎 PVC 套管防護處理



圖 B.15 基礎預埋管定位最後確認



圖 B.16 灌漿前試體整治後全貌



圖 B. 17 灌漿前泵送車進場準備



圖 B. 18 進行灌漿作業



圖 B.19 進行灌漿作業



圖 B.20 進行灌漿作業震動搗實



圖 B.21 坍度及抗壓圓柱試驗試體取樣



圖 B.22 進行坍度試驗



圖 B.23 進行坍度試驗

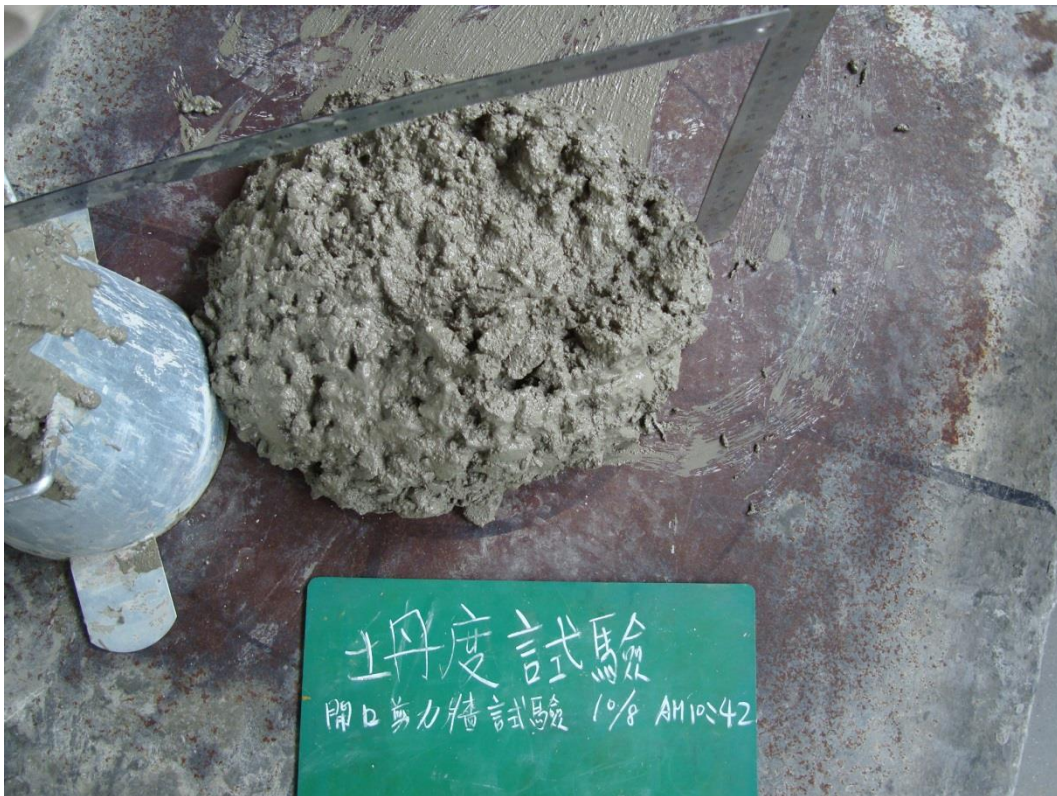


圖 B.24 進行坍度試驗



圖 B. 25 坍度 18.7cm



圖 B. 26 灌漿完成後基礎表面抹平



圖 B. 27 牆、柱工作輔助筋去除



圖 B. 28 後續施工用鷹架搭設

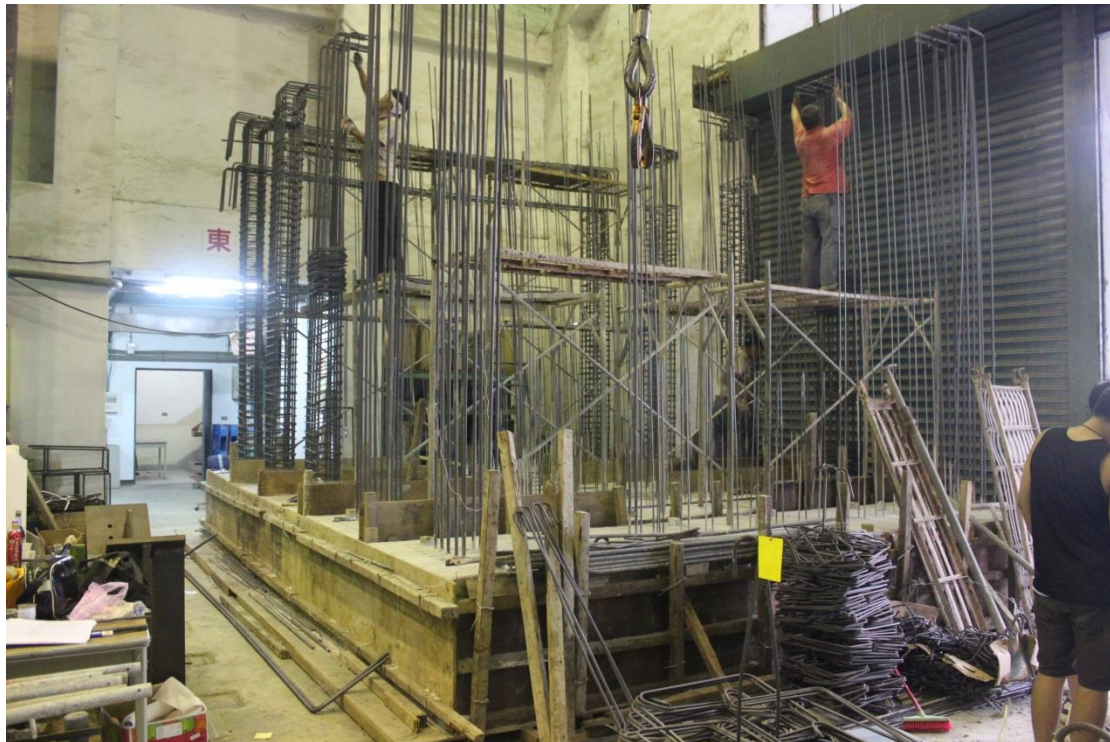


圖 B.29 柱箍筋完整組立

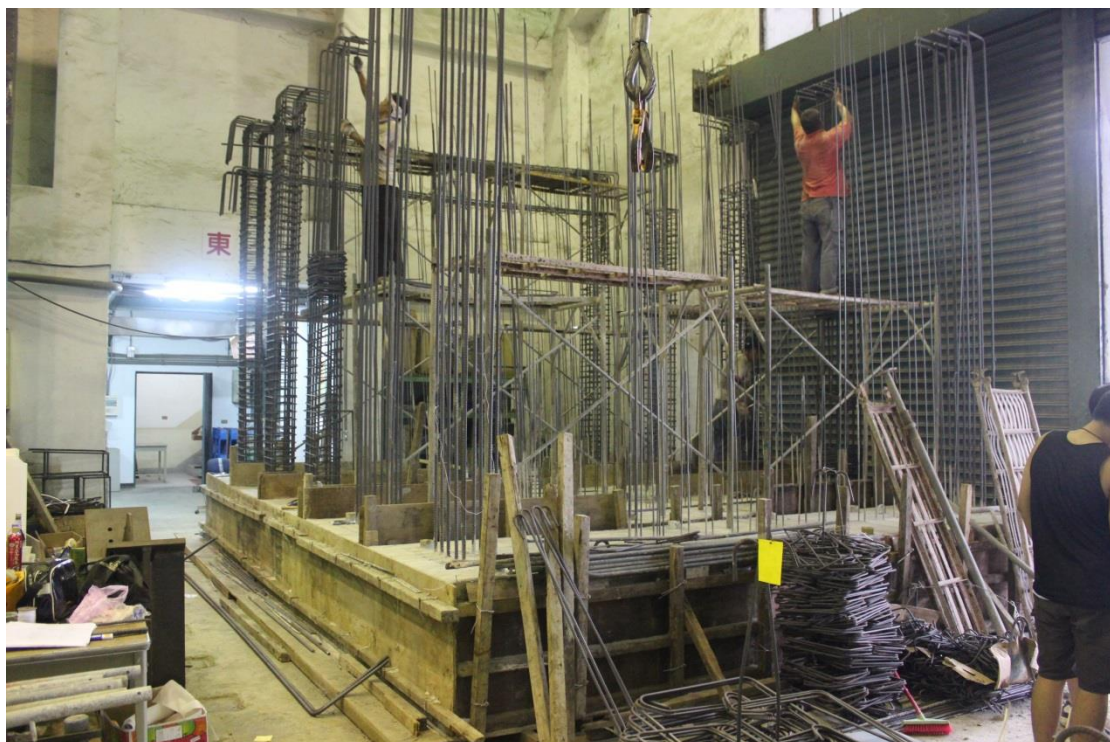


圖 B.30 柱箍筋完整組立



圖 B. 31 柱箍筋彎鈎位置輪換

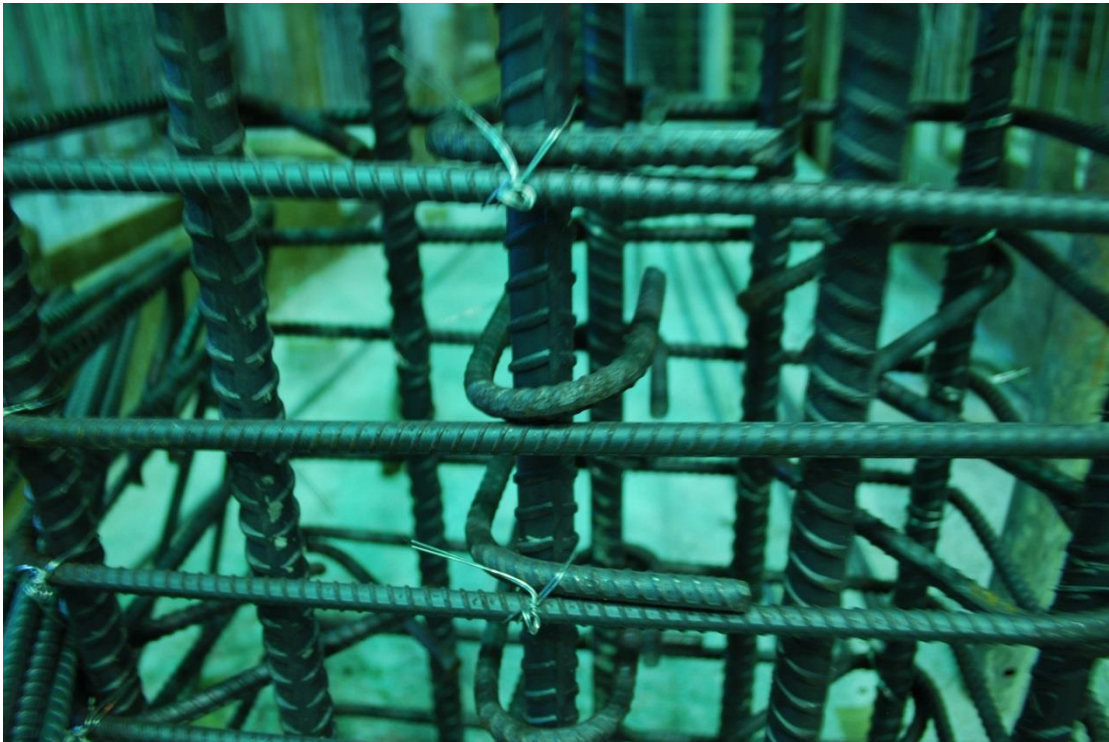


圖 B. 32 柱繫筋彎鈎位置輪換



圖 B.33 柱箍筋綁紮完成及上部加載樑鋼筋組立

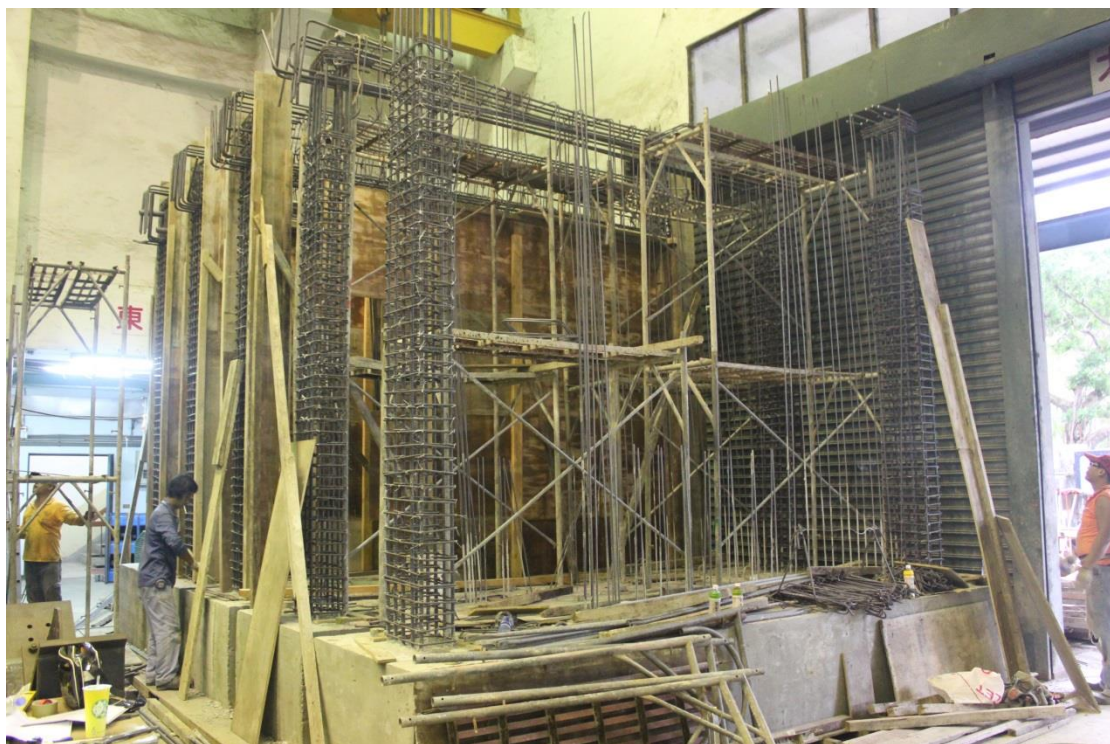


圖 B.34 柱及牆測模板組立



圖 B.35 牆筋綁紮及加載梁內預力螺桿預留管位定位



圖 B.36 加載梁內預力螺桿預留管位定位用鋼架(鋼筋焊接製)



圖 B. 37 垂直牆筋及水平牆筋應變計施作



圖 B. 38 垂直牆筋及水平牆筋應變計施作



圖 B.39 雙層牆筋配置時固定層間間距之繫筋

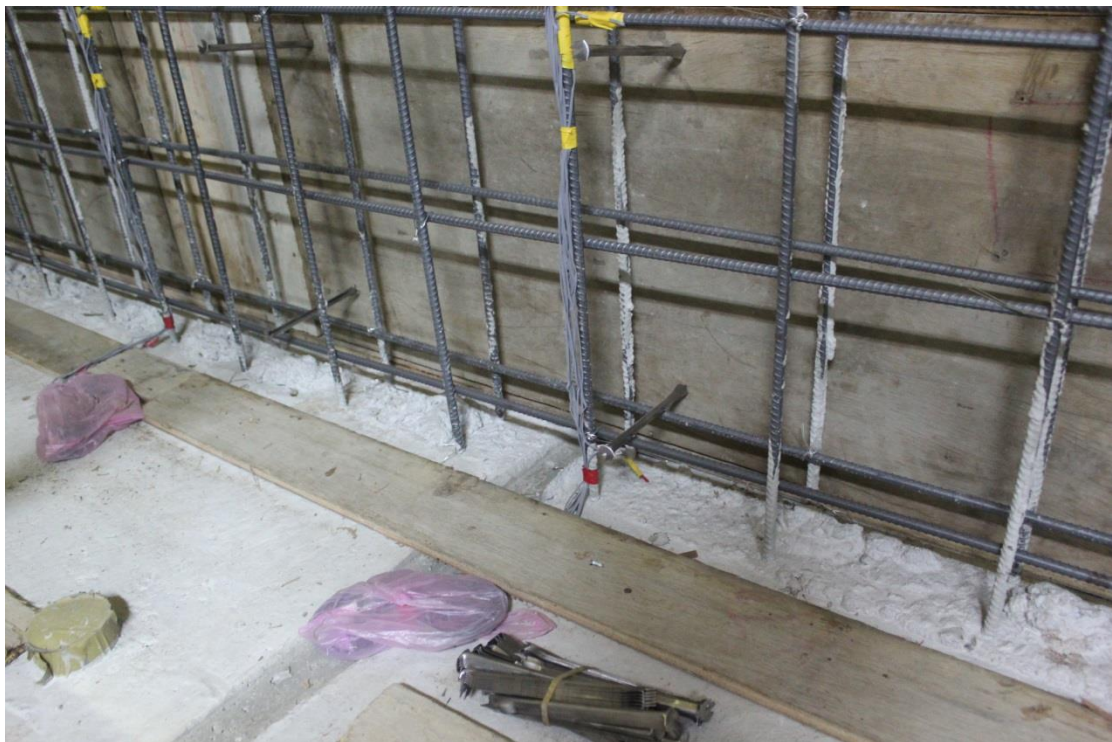


圖 B.40 應變計之走線及保護



圖 B. 41 固定牆厚用鐵件



圖 B. 42 後續封模



圖 B.43 模板側向加強固鎖(牆側)



圖 B.44 模板側向加強固鎖(柱側)



圖 B. 45 梁頂吊鈎預留



圖 B. 46 加載梁預力螺桿預留管穿鋼管加強防灌漿導致彎取過大



圖 B. 47 第二部分灌漿(前三座試體)坍度試驗



圖 B. 48 坍度 15cm



圖 B.49 第三部分灌漿(後二座試體)坍度試驗



圖 B.50 坍度 19.3cm



圖 B.51 灌漿完成後 3 天開始拆模



圖 B.52 拆模完成後試體全觀

附錄 C 勁度計算法範例

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

勁度計算法如前四之七節之敘述，其計算含開口牆之過程如下所示。

1. 依臨界斷面之彎矩曲率分析結果定義 F_y

$$F_y = 2982 \text{ kN}$$

2. 計算撓曲變位 Δ_{yf}

$M_y = 7604000\text{Nm}$			
(mm)	M (Nm)	curvature (1/m)	disp
0	0	0	
200	380200	2.31435E-05	0.00023
400	760400	4.62871E-05	0.00208
600	1140600	6.94306E-05	0.00579
800	1520800	9.25741E-05	0.01134
1000	1901000	0.000115718	0.01875
1200	2281200	0.000138861	0.02800
1400	2661400	0.000162005	0.03911
1600	3041600	0.000185148	0.05207
1800	3421800	0.000208292	0.06688
2000	3802000	0.000231435	0.08355
2200	4182200	0.000254579	0.10206
2400	4562400	0.000277722	0.12243
2600	4942600	0.000300866	0.14465
2800	5322800	0.000324009	0.16872
3000	5703000	0.000347153	0.19464
3200	6083200	0.000370297	0.22241
3400	6463400	0.00039344	0.25203
3600	6843600	0.000416584	0.28351
3800	7223800	0.000439727	0.31683
4000	7604000	0.000462871	0.35201
			2.46710

3. 計算剪力變位 Δ_{yv}

$$K_v = \frac{\rho_h \sin^4 \alpha \cot^2 \alpha}{\sin^4 \alpha + n \rho_h} E_s b_w d$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\rho_h n + 1.57 \frac{\rho_h A_v}{\rho_v A_g}}{1 + \rho_h n} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\Delta_{yv} = \frac{F_y}{K_v} h$$

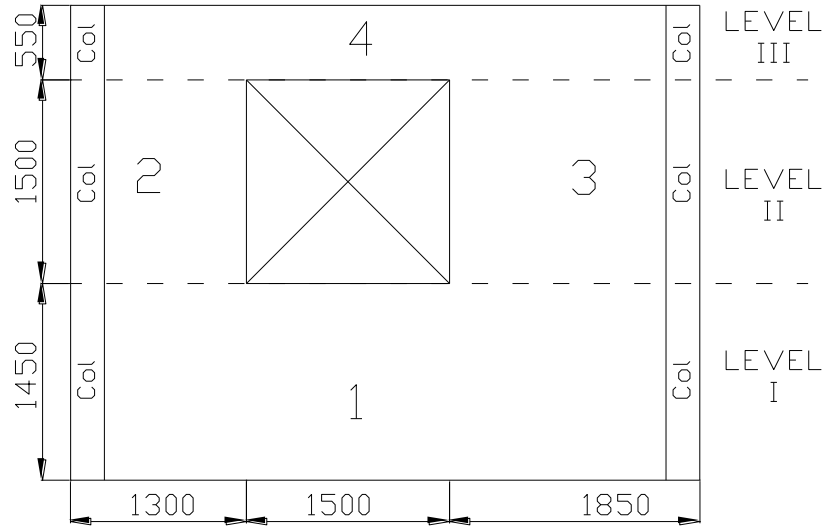


圖 C.1 比較用試體 1 劃分示意圖

Level I

$$K_{v1} = \frac{\rho_h \sin^4 \alpha \cot^2 \alpha}{\sin^4 \alpha + n \rho_h} E_s b_w d$$

$$\alpha_{wall} = \tan^{-1} \left(\frac{4.73 \times 10^{-3} \times 6.25 + 1.57 \frac{4.73 \times 10^{-3}}{4.73 \times 10^{-3}} \times 0.9}{1 + 4.73 \times 10^{-3} \times 6.25} \right)^{\frac{1}{4}} = 47^\circ$$

$$\alpha_{col} = \tan^{-1} \left(\frac{2.84 \times 10^{-3} \times 6.25 + 1.57 \frac{2.84 \times 10^{-3}}{2.84 \times 10^{-3}} \times 0.6}{1 + 2.84 \times 10^{-3} \times 6.25} \right)^{\frac{1}{4}} = 60^\circ$$

$$K_{v1} = \frac{4.73 \times 10^{-3} \times \sin^4 47 \cot^2 47}{\sin^4 47 + 6.25 \times 4.73 \times 10^{-3}} 2 \times 10^5 \times 150 \times 4150 = 464422.9 \text{ kN}$$

$$K_{col} = \frac{2.84 \times 10^{-3} \times \sin^4 60 \cot^2 60}{\sin^4 60 + 6.25 \times 2.84 \times 10^{-3}} 2 \times 10^5 \times 500 \times 250 = 22942.7 \text{ kN}$$

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

$$\Delta_{yvl} = \frac{F_y}{K_{v1} + 2 \times K_{col}} h = \frac{2982}{464422.9 + 2 \times 22942.7} 1450 = 8.473 \text{ mm}$$

Level II

$$K_{v2} = \frac{4.73 \times 10^{-3} \times \sin^4 47 \cot^2 47}{\sin^4 47 + 6.25 \times 4.73 \times 10^{-3}} 2 \times 10^5 \times 150 \times 1050 = 117504.6 \text{ kN}$$

$$K_{v3} = \frac{4.73 \times 10^{-3} \times \sin^4 47 \cot^2 47}{\sin^4 47 + 6.25 \times 4.73 \times 10^{-3}} 2 \times 10^5 \times 150 \times 1600 = 179054.6 \text{ kN}$$

$$\Delta_{yvII} = \frac{F_y}{K_{v2} + 2 \times K_{col}} h = \frac{2982}{117504.6 + 179054.6 + 2 \times 22942.7} 1500 = 13.062 \text{ mm}$$

Level III

$$K_{v4} = \frac{4.73 \times 10^{-3} \times \sin^4 47 \cot^2 47}{\sin^4 47 + 6.25 \times 4.73 \times 10^{-3}} 2 \times 10^5 \times 150 \times 4150 = 464422.9 \text{ kN}$$

$$\Delta_{yvIII} = \frac{F_y}{K_{v4} + 2 \times K_{col}} h = \frac{2982}{464422.9 + 2 \times 22942.7} 550 = 3.214 \text{ mm}$$

$$\Delta_{yv} = \Delta_{yvl} + \Delta_{yvII} + \Delta_{yvIII} = 24.75 \text{ mm}$$

4. Determine the initial stiffness K_{ini}

$$K_{ini} = \frac{F_y}{\Delta_{yf} + \Delta_{yv}}$$

$$K_{ini} = \frac{2982}{2.47 + 24.75} = 109.556 \text{ kN/mm}$$

附錄 C

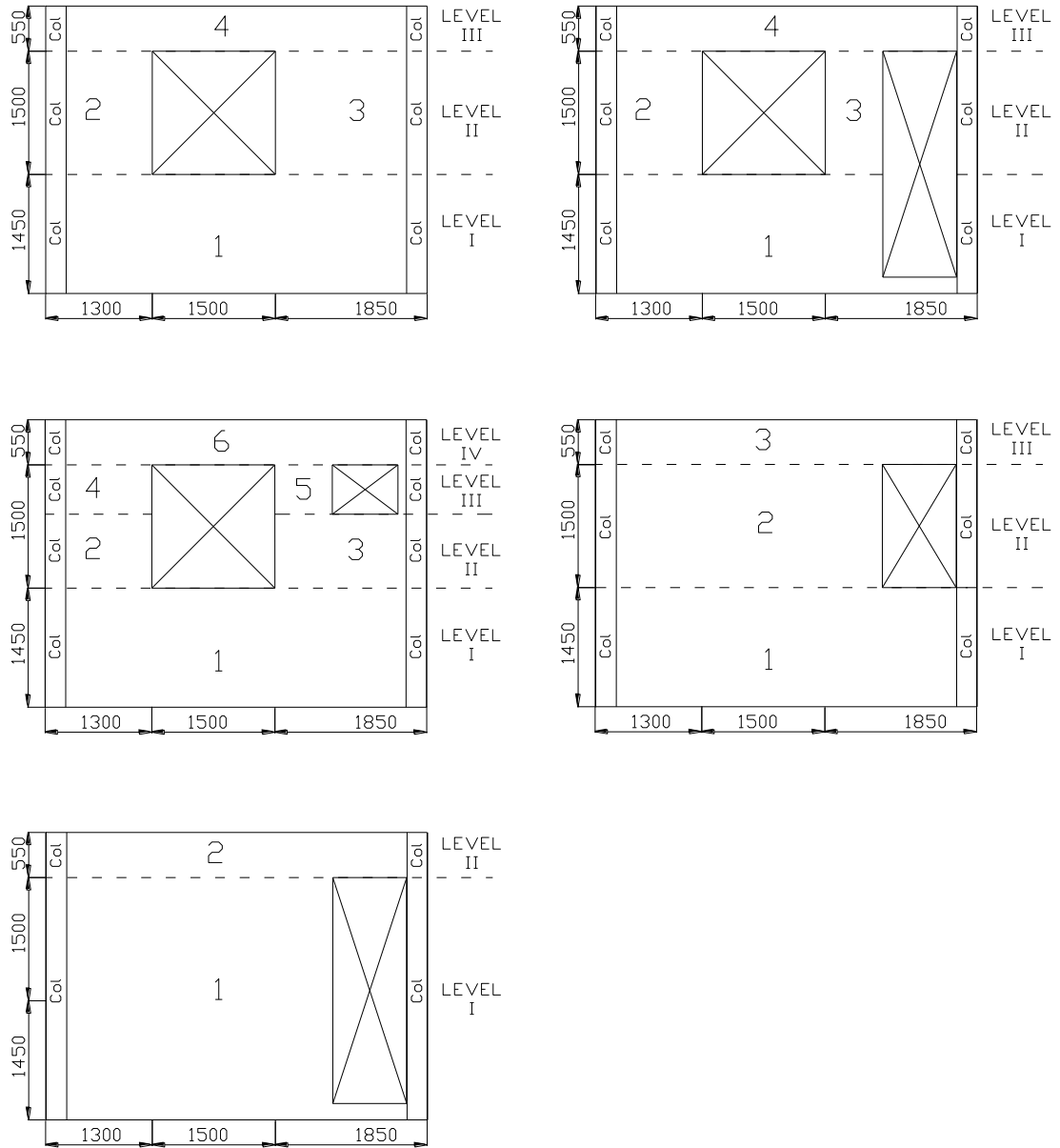


圖 C.2 比較用開口試體劃分示意圖

參考書目

- [1] ACI Committee 318, 2008. ACI 318-08/318R-08, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute
- [2] Paulay, T., Priestley, M.J.N., 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley and Sons, New York.
- [3] Moehle, J.P., T. Ghodsi, J.D. Hooper, D.C. Fields, and R. Gedhada ,2011. “Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams: A guide for practicing engineers,” NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 6, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- [4] Warashina, M., Kono, S., Sakashita, M., Tanaka, H., 2008. “Shear Behavior of Multi-story RC Structural Walls with Eccentric Openings.” The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [5] Sakurai, M., Kuramoto, H., Matsui, T., Akita, T., 2008. “Seismic Performance of RC Shear Walls with Multi Openings.” The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- [6] Emin, M., and Altin, S., (2006). ACI Structural Journal, 701-709.
- [7] Wang, J., Sakashita, M., Kono, S., Tanaka, H., Warashina, M., 2008. “A Macro Model For Reinforced Concrete Structural Walls Having

Various Opening Ratios.” The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.

- [8] Lee, J., Kim, S., and Mansour, M. (2011). ”Nonlinear Analysis of Shear-Critical Reinforced Concrete Beams Using Fixed Angle Theory.” *J. Struct. Eng.*, 137(10), 1017–1029.
- [9] Wiradinata, S., and Saatcioglu, M. (2002). “Behaviour of squat walls subjected to load reversals.” Publication No. OCCERC 02-25, The Joint Centre of the Univ. of Ottawa and Carleton Univ., Ottawa.
- [10] Doi M., Sakashita M., Kono S., Tanaka H., 2009. “Ultimate Shear Capacity of Multi-Story RC Structural Walls with Eccentric Openings.” Second International Workshop on Performance, Protection and Strengthening of Structures under Extreme Loading, Aug 19-21, Hayama, Japan, Paper N105.
- [11] Yanez, F.V., R. Park and T. Paulay. 1992. “Seismic behavior of walls with irregular openings. *Earthquake Engineering.*” Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam.
- [12] DIANA (2011). *DIANA (FEA) User’s Manual Release 9.4.4*, TNO Diana BV., Netherland.
- [13] Li, B. and Xiang, W. (2011). ”Effective Stiffness of Squat Structural Walls.” *J. Struct. Eng.*, 137(12), 1470–1479.
- [14] Li, B. and Chen, Q. (2010),” Initial stiffness of reinforced concrete

**structural walls with irregular openings. Earthquake Engng.”
Struct. Dyn., 39: 397–417.**

- [15] Neuenhofer, A (2006) “Lateral stiffness of shear walls with openings”, ASCE Journal of Structural Engineers, vol.132, no. 11, pp 1846-1851.
- [16] MacGregor, J G and Wight J K (2005) Reinforced Concrete Mechanics and Design, New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- [17] Park, R. and Paulay, T. (1975). Reinforced Concrete Structures, John Willey & Sons, New York, USA.
- [18] Ono, M. and Tokuhiro, I. (1992), “A proposal of Reducing Rate for Strength due to Opening Effect of Reinforced Concrete Framed Shear Walls”, Journal of Struc. Constar. Engng, AIJ, No. 435, May, pp119-129.
- [19] Jang Hoon Kim, John B. Mander. ” Influence of transverse reinforcement on elastic shear stiffness of cracked concrete elements”, Engineering Structures, Volume 29, Issue 8, August 2007, Pages 1798-1807
- [20] VENTURA DIAZ Emilio Martin, FUKUYAMA Hiroshi. “Effect of the opening in the strength and stiffness of reinforced concrete structural walls”, Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, 2008, vol. 42, pp. 73-78
- [21] Architectural Institute of Japan, 2004, “Guidelines for

Performance Evaluation of Earthquake Resistant Reinforced Concrete Buildings”

- [22] Ali, M. , and Wight, J. K. (1991). “RC structural walls with staggered door openings.” *J. Struct. Eng.* , 117 (5), 1514–1531.
- [23] Vecchio, Frank J., and Collins, Michael P., “The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear.” *ACI JOURNAL, Proceedings V. 83, No. 2, Mar.Apr. 1986, pp. 219-231.*
- [24] Ventura Diaz, E. M. “Effect of the Openings in the Strength and Stiffness of Reinforced Concrete Structural Walls.” *Bulletin of IISEE, 42, 73-78.*
- [25] Moehle, J.P., T. Ghodsi, J.D. Hooper, D.C. Fields, and R. Gedhada , (2011). “Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams: A guide for practicing engineers,” *NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 6, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.*
- [26] Yanez, F.V., R. Park and T. Paulay. 1992. “Seismic behavior of walls with irregular openings.”*Earthquake Engineering, Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam.*
- [27] 李宏仁, 陳正誠, 朱瑞祥, 吳鎮宇, (2010). 梯間牆對低層 RC 造沿街連棟建築物耐震性能之影響, 內政建築研究所, 台北市。

- [28]許茂雄, 藍百圻, (2002). 既有 RC 沿街店鋪住宅滿足功能要求之耐震補強, 國立成功大學, 台南市。
- [29]黃世建, 陳力平, 陳俊宏, (2003). 含開口 RC 牆非韌性構架之耐震行為研究, 國家地震工程研究中心報告編號 NCREE-03-010, 台北。
- [30]李有豐, 黃皓君, (2003). 非韌性雙層雙跨含牆 RC 構架之擬動態試驗與結構反應之 HHT 分析, 碩士論文, 國立台北科技大學土木與防災研究所, 台北。
- [31]邱耀正, 謝忠龍, (2005). 大尺寸扇形配筋預鑄 RC 剪力牆實驗與分析, 國立成功大學。
- [32]內政部營建署, 建築技術規則(2013)
- [33]內政部營建署, 混凝土結構設計規範(2011)

低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：**歐昱辰、陳正誠、李宏仁、杜昱石**

出版年月：102 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN：978-986-03-8972-2

