

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之 耐震抗剪強度檢討

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 108 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)

PG10801-0781

108301070000G0025

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之 耐震抗剪強度檢討

受委託單位：國立雲林科技大學

計畫主持人：李宏仁

協同主持人：林克強

研究員：紀凱甯

研究助理：林明志

研究期程：108年1月30日至108年12月31日

研究經費：新臺幣283萬5,000元整

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國108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	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 文獻回顧	5
第三節 研究方法及步驟	6
第四節 研究目的	8
第二章 梁柱接頭耐震設計條款	17
第一節 強柱弱梁	17
第二節 接頭剪力強度	18
第三節 接頭箍筋	20
第四節 梁主筋在接頭內之伸展與錨定	21
第三章 實驗設計	25
第一節 試體設計	25
第二節 試體製造及材料性質	27
第三節 試驗佈設	28
第四章 實驗結果與討論	45
第一節 側力位移曲線及破壞模式	45
第二節 遲滯消能行為	48
第三節 側力強度包絡線比較	49
第五章 結論與建議	85
第一節 結論	85
第二節 主要建議事項	87

附錄一、期初評選會議紀錄	89
附錄二、期中審查會議紀錄	97
附錄三、專家座談會會議紀錄	119
附錄四、期末審查會議紀錄	127
附錄五、試體設計圖	141
參考書目	153

表次

表 1-1	鋼筋混凝土梁柱接頭剪力強度之規範比較	10
表 1-2	四種接頭情況之接頭強度正規化比較	11
表 1-3	既有偏心梁柱接頭試體之剪力強度比較	12
表 1-4	預定進度表	13
表 3-1	測試系列 I 之試體參數表	31
表 3-2	測試系列 II 之試體參數表	32
表 3-3	測試系列 I 之接頭有效寬度和接頭應力比	33
表 3-4	測試系列 II 之接頭有效寬度和接頭應力比	34
表 3-5	梁柱接頭試體用鋼筋機械性質	35
表 3-6	混凝土圓柱試體抗壓強度(第一批次).....	35
表 3-7	圓柱試體抗壓強度(第二批次).....	36
表 3-8	軸力加載表	36
表 3-9	位移歷時表	37
表 4-1	試體 1A 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)	51
表 4-2	試體 1B 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ).....	51
表 4-3	試體 1C 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)	52
表 4-4	試體 1D 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)	52
表 4-5	試體 2A 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)	53
表 4-6	試體 2B 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ).....	53
表 4-7	試體 2C 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)\	54
表 4-8	試體 2D 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)	54
表 4-9	試體 1A 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})	55
表 4-10	試體 1B 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})	55
表 4-11	試體 1C 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})	55
表 4-12	試體 1D 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})	56
表 4-13	試體 2A 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})	56
表 4-14	試體 2B 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})	56

表 4-15	試體 2C 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP}).....	57
表 4-16	試體 2D 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP}).....	57
表 4-17	系列 I 試體實際參數表	58
表 4-18	系列 II 試體實際參數表.....	58

圖次

圖 1-1	台北市某建物之樓層結構平面圖.....	14
圖 1-2	柱梁接合平面示意圖.....	14
圖 1-3	研究步驟.....	15
圖 2-1	弱柱強梁構架軟層破壞與強柱弱梁構架均佈塑性鉸之差異.....	23
圖 2-2	特殊抗彎矩構架之內部接頭設計剪力.....	23
圖 2-3	1999 年地震倒塌的建築物梁柱接頭無箍筋圍束.....	24
圖 2-4	ACI 318 規範之耐震柱圍束箍筋示意圖.....	24
圖 3-1	接頭剪力需求、抗剪容量和破壞模式之示意圖.....	37
圖 3-2	測試系列 I 之梁柱構材斷面圖.....	38
圖 3-3	測試系列 I 梁主筋貫穿或錨定於接頭之平面示意圖.....	39
圖 3-4	測試系列 II 梁主筋貫穿或錨定於接頭之平面示意圖.....	39
圖 3-5	試體製造過程部分照片.....	40
圖 3-6	混凝土抗壓強度試驗用圓柱試體和鋼筋拉伸試樣.....	41
圖 3-7	梁柱接頭組件之典型試驗佈設.....	41
圖 3-8	梁柱接頭試體受力自由體圖.....	42
圖 3-9	本研究之試驗佈設立面圖.....	42
圖 3-10	反復加載位移波示意圖.....	43
圖 3-11	試驗 1A 之佈設照片.....	43
圖 3-12	試驗儀器架設.....	44
圖 4-1	試體 1A 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片.....	59
圖 4-2	試體 1A 層間變位 4%、6% 照片.....	60
圖 4-3	試體 1B 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片.....	61
圖 4-4	試體 1B 層間變位 4%、6% 照片.....	62
圖 4-5	試體 1C 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片.....	63
圖 4-6	試體 1C 層間變位 4%、6% 照片.....	64
圖 4-7	試體 1D 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片.....	65
圖 4-8	試體 1D 層間變位 4%、6% 照片.....	66

圖 4-9	試體 2A 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片	67
圖 4-10	試體 2A 層間變位 4%、6% 照片	68
圖 4-11	試體 2B 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片	69
圖 4-12	試體 2B 層間變位 4%、6% 照片	70
圖 4-13	試體 2C 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片	71
圖 4-14	試體 2C 層間變位 4%、6% 照片	72
圖 4-15	試體 2D 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片	73
圖 4-16	試體 2D 層間變位 4%、6% 照片	74
圖 4-17	消散能量 ED 與理想塑性曲線 EPP 之示意圖	75
圖 4-18	試體 1A 各迴圈之消散能量圖	76
圖 4-19	試體 1B 各迴圈之消散能量圖	76
圖 4-20	試體 1C 各迴圈之消散能量圖	77
圖 4-21	試體 1D 各迴圈之消散能量圖	77
圖 4-22	試體 2A 各迴圈之消散能量圖	78
圖 4-23	試體 2B 各迴圈之消散能量圖	78
圖 4-24	試體 2C 各迴圈之消散能量圖	79
圖 4-25	試體 2D 各迴圈之消散能量圖	79
圖 4-26	系列 I 試體各迴圈之累積消散能量圖	80
圖 4-27	系列 II 試體各迴圈之累積消散能量圖	80
圖 4-28	系列 I 試體各迴圈之平均相對消散能量比	81
圖 4-29	系列 II 試體各迴圈之平均相對消散能量比	81
圖 4-30	系列 I 試體第一迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖	82
圖 4-31	系列 I 試體第二迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖	82
圖 4-32	系列 I 試體第三迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖	83
圖 4-33	系列 II 試體第一迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖	83
圖 4-34	系列 II 試體第二迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖	84
圖 4-35	系列 II 試體第三迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖	84

摘要

關鍵詞：梁柱接頭、剪力、耐震設計、規範

一、研究緣起

鋼筋混凝土造建築物之耐震設計攸關國人生命財產安全，其結構設計及細部配筋應依循部頒混凝土結構設計規範。國人基於建築外觀及空間利用之考量，建築物柱斷面時常設計為長方形，且梁中心線時常不能通過柱中心線形成柱梁偏心接合，偏心梁對接頭區會造成意外扭矩，減損接頭耐震抗剪強度，現行設計規範針對偏心梁連續貫穿接頭之情況，依偏心程度折減其接頭抗剪強度，惟此折減公式係根據偏心梁連續貫穿接頭之實驗歸納而來，然而實務上常見柱斷面長寬比值達 2.0 甚至 2.5，梁柱不但是偏心接合，接頭兩側所接之梁甚至不連續，梁主筋分別中斷錨定於接頭內，形成錯位偏心梁柱接頭，此類偏心梁柱接頭之耐震行為複雜，亦不在現行設計規範所考慮的情況，因為錯位偏心梁柱接頭剪力強度如何計算未有明確的規範或依據，造成工程師認知不一致，相同的梁柱接頭剪力強度計算結果可能相差一倍以上，亟待釐清檢討改善，避免設計錯誤。

國內外絕大多數的梁柱接頭實驗為無偏心之梁柱接合，偏心梁柱接頭之實驗成果非常稀少，而且幾乎都是梁連續貫穿接頭的情況，我國建築工程常用長方形柱斷面且兩長邊各接一偏心梁且梁不連續，形成錯位偏心梁柱接合，此類接頭之實驗數據相當罕見，但實務上確有需要。現行混凝土結構設計規範和新版規範草案並未涵蓋此類偏心接頭，為確保建築結構安全，本研究檢討此類接頭之耐震抗剪強度，藉由大型結構實驗探討鋼筋混凝土柱接不同偏心距之梁，其接頭剪力強度之衰減程度，補足過往實驗經驗不足之處，俾利規範審議時參考引

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

用，讓設計及施工單位有所依循，確保建築結構耐震性能及國人生命財產安全。

二、研究方法及過程

本研究內容包含資料蒐集、實驗設計及測試、規範修正案研擬。研究步驟如下：

1. 蒐集調查國內外鋼筋混凝土柱梁偏心接合實驗成果，執行數據分析並整理資料作為比對參考依據。
2. 依我國實務設計鋼筋混凝土柱接偏心梁之梁柱接頭試體，試驗參數包括梁主筋量、梁連續或不連續、梁偏心距等，預計測試八座試體。
3. 執行梁柱接頭試體抵抗反復側力之耐震性能試驗，透過大型結構實驗探討柱梁偏心接合之影響，特別是接頭耐震抗剪強度之衰減程度。
4. 依據實驗成果綜合比對前述資料數據，評估錯位偏心梁柱接合之影響，檢討混凝土結構設計規範之接頭剪力計算強度，研擬修正案。

三、研究發現

既有國內外十字形梁柱接頭之耐震試驗結果，絕大多數都是無偏心之梁柱接頭，偶有少數偏心梁柱接頭實驗，但幾乎都是梁連續貫穿接頭之情況，罕見接頭兩側接錯位偏心梁的試驗。但實務上確實有需要此類錯位偏心梁柱接頭，而在現行混凝土結構設計規範[2]第 15.6.3 節或新版混凝土結構建築規範[3]第 15.4.2 節和 18.5.4 節，並未涵蓋此類錯位偏心接頭，有待檢討釐清。

本研究將完成八座大尺寸鋼筋混凝土梁柱接頭反復載重試驗，實驗結果可用來檢討錯位偏心接頭之耐震剪力強度，此類接頭常見於國

內的住宅大樓，實務上常用但卻未被現行規範納入考慮，經由本實驗驗證可知新版草案 15.4.2.4 節的接頭有效寬度公式是適當的，惟若遇錯位偏心接頭兩對面接頭有效寬度計算結果不一致時，建議此節接頭有效寬度公式之解說取兩側之較小值。

四、建議事項

本研究進行鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討，提出下列具體建議。

建議一

於新版「混凝土結構建築規範」(草案)第 18.5.4 節審議過程修正條文及解說：立即可行建議

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

新版「混凝土結構建築規範」(草案)第 15.4.2 節和 18.5.4 節僅規定梁柱接頭剪力強度之分級依柱連續性、梁連續性和橫向梁圍束作用分成八等級，但接頭有效寬度之認定則是基於梁連續的實驗經驗，欠缺梁不連續造成的錯位偏心接頭的驗證，此類接頭常見於國內的住宅大樓，實務上常用但卻未被現行規範納入考慮，經由本實驗驗證可知新版草案 15.4.2.4 節的接頭有效寬度公式是適當的，惟若遇錯位偏心接頭兩對面接頭有效寬度計算結果不一致時，建議此節接頭有效寬度公式之解說取兩側之較小值。

建議二

規劃高強度鋼筋機械式續接性能合格標準及構材驗證研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

目前我國「混凝土結構設計規範」100年版內容主要是參考美國混凝土學會 ACI 318-05 規範，其中耐震梁柱構架及剪力牆主筋降伏強度等級上限為 420 MPa。近年來 ACI 318-19 規範放寬耐震梁柱構架及剪力牆主筋使用高強度 550 MPa 和 690 MPa 等級鋼筋，可以降低構材鋼筋用量，有助於舒緩梁柱接頭或剪力牆鋼筋過於擁擠、難以施工的問題，國內各界引頸企盼我國混凝土結構規範跟進 ACI 318-19 規範允許耐震結構系統使用高強度鋼筋。本所於 106 年辦理「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」研究計畫，惟未能涵蓋強度等級超過 500 MPa 之高強度鋼筋，欠缺高強度鋼筋機械式續接之檢驗合格標準，亟待實驗研究後研提混凝土結構規範條文修正草案。

ABSTRACT

Keywords: beam-column joint, shear, seismic design, code

The life and property safety of reinforced concrete buildings depends on the building codes and requirements given by the building officials. Due to architectural reasons, rectangular columns and eccentric beam-to-column connections are commonly used. Eccentric beams may introduce additional torsions on the joints and reduce the joint capacity under seismic reversals. Current building codes use effective joint width to accounting the effects of column's aspect ratio and joint eccentricity. However, the provisions of effective joint width are based on the experiments of beam-column connections having eccentric beams continuously extended through the joint. Unfortunately, two eccentric beams fanning into the opposite faces of the joint with unequal eccentricities are used very often, where the eccentric beams are discontinuous and terminated at the joint. The complicated seismic behavior of such beam-column connections with offset eccentric beams are not considered in the current building codes. Because the lack of provisions for determining the shear strength of beam-column joints with offset eccentric beams, code users and engineers may could not correctly estimate such joint shear strength. Review and evaluation of such eccentric beam-to-column connections are needed.

Most of the existing connection experiments are beam-column joints without eccentricity. Eccentric beam-column connections are relatively rare, and all of available data having eccentric beams continuously extended through the joint. Taiwanese buildings have many rectangular columns and offset beam-to-column connections, which are not considered in the current building codes section 15.6.3. To promote the life and property safety of building structures, this project will test and evaluate the shear strength and degradation of beam-column connections

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

with varying joint eccentricities. According to this experimental investigation, it is recommended to take the smaller value of effective joint widths for opposite faces of a joint with eccentric beams.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

一、研究緣起

鋼筋混凝土造建築物之耐震設計攸關國人生命財產安全，其結構設計及細部配筋應依循部頒混凝土結構設計規範。國人基於建築外觀及空間利用之考量，建築物柱斷面時常設計為長方形，且梁中心線時常不能通過柱中心線形成柱梁偏心接合，偏心梁對接頭區會造成意外扭矩，減損接頭耐震抗剪強度，現行設計規範針對偏心梁連續貫穿接頭之情況，依偏心程度折減其接頭抗剪強度，惟此折減公式係根據偏心梁連續貫穿接頭之實驗歸納而來，然而實務上常見柱斷面長寬比值達 2.0 甚至 2.5，梁柱不僅偏心接合，接頭兩對面的梁甚至不連續，梁主筋分別中斷錨定於接頭內，形成錯位偏心梁柱接頭，此類偏心梁柱接頭之耐震行為較難以預期，亦不在現行設計規範所考慮的情況，規範未明確說明錯位偏心梁柱接頭剪力強度如何計算，造成工程師認知不一致，相同的梁柱接頭剪力強度計算結果可能相差一倍以上，亟待釐清檢討改善，避免爭議。

國內外絕大多數的梁柱接頭實驗為無偏心接合，偏心梁柱接頭之實驗成果非常稀少，而且幾乎都是梁連續貫穿接頭的情況，我國建築工程常用長方形柱斷面且兩長邊各接一偏心梁且不連續，形成錯位偏心梁柱接合，此類接頭之實驗數據相當罕見，但實務上確有需要。現行混凝土結構設計規範 15.6.3 節並未涵蓋此類偏心接頭，為確保建築結構安全，本研究擬檢討此類接頭之抗剪強度和耐震行為，藉由大型結構實驗探討鋼筋混凝土柱接不同偏心距之梁，其接頭剪力強度之衰

減程度，補足過往實驗經驗不足之處，提出規範解說修正案，俾利規範參考引用，讓設計及施工單位有所依循，確保建築結構耐震性能及國人生命財產安全。

二、研究背景

台灣地狹人稠導致建築基地較侷促，使得建築設計多傾向於室內空間極大化利用，時常為了建築物外觀造型或內部空間的平整，使用長方形柱斷面並調整梁中心線偏向柱邊形成偏心梁柱接頭。例如圖 1-1 所示某台北市建案的樓層結構平面為例，有 21 個柱梁接頭都是偏心接合，可見得實務上梁柱接合比例極高，注意圖 1-1 中柱 C3、C17、C18、C8、C16、C19、C1 處，接頭兩對面的梁甚至不連續，其中柱 C17 和 C19 最極端，其柱斷面長寬比達 2 甚至 2.5，接頭兩對面接梁但梁各偏向一側，形成錯位偏心梁柱接頭，此類偏心梁柱接頭之耐震行為較複雜，不僅梁主筋須分別中斷錨定於接頭內，其剪力強度如何檢核亦不在現行設計規範原先所考慮的情況內。由於這種錯位偏心梁柱接頭剪力強度如何計算不明確，造成工程師認知不一致，不同設計者的剪力強度計算結果可能相差一倍，亟待研究檢討釐清，避免爭議。

依內政部統計處資料顯示，我國每年核發的新建建築使用執照樓地板面積，大約八成是鋼筋混凝土構造，大部分國人的生命財產和居家安全端賴建築主管機關內政部制定嚴謹的相關規範，包括「建築物耐震設計規範」[1]、各構造設計規範、施工規範等，其中有關於鋼筋混凝土梁柱接頭之耐震設計及配筋，原則上設計者須依循現行部頒版「混凝土結構設計規範」[2]，其內容主要以美國混凝土學會 ACI318 規範 2005 年版為藍本，過去 15 年來 ACI318 規範已經經歷四次改版更新，內容與架構已有很大的變化。有鑑於此，在中國土木工程學會與內政部建築研究所的共同努力下，已研擬新版混凝土結構設計

規範之草案[3]，展開草案之審查作業，預計很快可公布實施。新版混凝土結構設計規範係參考自美國混凝土學會於 2019 年公布之結構混凝土設計規範(ACI 318-19)，並加入國內相關研究成果而得，特別是梁柱接頭部分有幾項較進步的變革，有關於現行規範與新版規範在梁柱接頭剪力強度之計算差異，整理比較如表 1-1 所示。

我國現行混凝土結構規範[2]與美國 ACI 318-14 規範[4]或更早版本相同，將接頭剪力計算強度分成三個等級：接頭四面皆受梁圍束、三面或一雙對面受梁圍束、及其他情況，接頭面受梁圍束是指梁構材構入接頭側面之梁寬度須不小於 3/4 柱寬，此經驗法則源自 ACI 352 梁柱接頭委員會報告[5]，僅圍束作用之定義稍有修正。新版「混凝土結構建築規範」[2]則依我方研究成果提出的修正案，參照美國 ACI 318-19 規範[6]依柱連續性、產生剪力方向之梁連續性以及兩側有無橫向梁提供圍束作用將接頭剪力強度分為八等級，其中樓層間柱連續之接頭剪力強度分為四等級。如表 1-1 所示。

接頭剪力強度計算公式如下

$$V_n = \gamma \sqrt{f'_c} A_j \quad (1-1)$$

其中係數 γ 值視接頭圍束條件分三級， A_j 為接頭之有效面積，為接頭沿剪力方向之有效深度 h 乘以接頭有效寬度 b_j ，注意現行規範[2]與新版規範[3]之 b_j 定義有差異。多年之使用經驗顯示，ACI 318-14 規範[6]對於寬柱-偏心梁接頭有效寬度之折減過多而太保守，而寬柱-窄梁之正交接頭則有不保守之虞，有鑑於此，黃世建等人[7]比對偏心梁柱接頭資料庫實驗結果後，建議修正接頭有效寬度自梁腹側面各延伸一寬度不超過柱邊緣或 1/4 柱深度，對於寬柱-窄梁之接頭，或是寬柱-偏心梁接頭都可以獲得較合理之強度預測。但黃世建等人[7]之偏心梁柱接頭實驗資料庫，全數都是梁連續貫穿接頭的實驗，並沒有任何錯位

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

偏心的梁柱接頭實驗。

實務上錯位偏心梁柱接合常見於台灣的大樓建築中，惟無論是現行規範[2]或新版規範[3]，皆未曾考慮錯位偏心梁柱接頭該如何計算其剪力強度，所有的經驗公式包括 γ 值和接頭有效寬度 b_j 都是根據梁連續貫穿之情況來制定，可否適用於錯位偏心梁柱接頭仍有待釐清。

故本研究規畫測試四類梁柱接頭，如圖 1-2 所示，情況 A 是連續的梁貫穿接頭且中心線通過柱中心之正交梁柱接頭，作為標準對照組；情況 B 是連續梁貫穿梁柱接頭但有偏心距，是典型的單邊偏心梁柱接頭；情況 C 和 D 都是梁不連續，其中情況 C 是一側梁無偏心、一側有偏心，情況 D 是兩側梁錯位偏心。

情況 A 和 B 的測試結果，將作為規範標準之對照組，本研究目的在於檢討情況 C 和 D 之接頭剪力強度。其中情況 C 根據無論依據現行規範[2]或是新版規範[3]，接頭兩側之有效寬度值不相等，設計者有自由心證的空間選擇兩側 b_j 較大者、較小者、或是取平均值等可能的計算方式，因為規範未明確說明錯位偏心梁柱接頭剪力強度如何計算，導致工程師認知不一致，相同的梁柱接頭剪力強度計算結果可能相差一倍以上，有待釐清。

至於情況 D，雖然接頭兩側 b_j 計算值是一致的，但接頭兩對面的梁不連續，梁主筋分別中斷錨定於接頭內，形成錯位偏心梁柱接頭，是否適用現有的接頭剪力強度公式值得檢討。

將圖 1-2 所列四種梁柱接合情況以現行規範[2]及新版規範[3]分別計算其標稱接頭剪力強度，以全斷面積強度作正規化比較如表 1-2 所示，注意現行規範情況 C 接頭兩側的 b_j 值分別為 100 cm 和 50 cm，設計者可能取 $b_j=100$ 或 50 cm，強度即相差一倍；若改用新版規範[3]接頭兩側的 b_j 值分別為 75 cm 和 62.5 cm，正規化強度分別為 0.75 對 0.63，尚有 12% 差距。

情況 C 和 D 這兩種錯位偏心梁柱接頭之剪力強度該如何計算，尚未有明確的規範，造成設計者無所適從，亟待檢討改善。此類錯位偏心梁柱接頭之實驗成果付之闕如，亟待產官學研投入測試，檢討規範相關條款，期能使規範條文更嚴謹，避免出現不保守的設計結果，以保障國人住居的安全。

第二節 文獻回顧

有關本研究收集之相關文獻資料，分別說明如下：

一、國內外有關本案之研究情況

偏心梁柱接頭的剪力強度的探討，可以參閱 ACI 352 委員會工作小組的資料庫調查研究成果，如 LaFave 等人[8]和黃世建等人[7]整理之偏心梁柱接頭資料庫，實驗資料大致上是重疊的，既有的偏心梁柱接頭試體資料摘要如表 1-3 所示，資料來源詳文獻[7]，僅有 19 個試體，但是都沒有錯位偏心接頭。過去十年來美國和日本方面並沒有新的錯位偏心梁柱接頭試驗成果，但實務上我國建築設計時常需要使用，亟待我國自行研究釐清疑慮。

二、重要參考文獻

除了現行規範[2]和新版規範[3]外，本研究最重要參考文獻是黃世建等人[7]所著之偏心梁柱接頭之抗剪強度設計。黃世建等人[7]指出現行規範定義接頭剪力計算強度 $V_n = \gamma \sqrt{f'_c} A_j$ ，但多年之使用經驗顯示，現行規範對偏心梁柱接頭抗剪有效寬度之規定過於嚴苛。黃世建等人[7]除了以資料庫實驗結果比較美日紐各國規範有效寬度 b_j 之差

異，更進一步地提出接頭有效寬度之修正公式，即新版規範之接頭之有效寬度 $b_j = b_w + x_1 + x_2$ ，其中 b_w 為梁腹寬， x_1 與 x_2 為梁腹側面至柱邊距離， x_1 或 x_2 不取超過 $h/4$ 。此 b_j 公式可反映各種矩形梁柱接頭之幾何尺寸變化差異，並可合理預測資料庫之偏心及同心梁柱接頭的剪力強度。惟黃世建等人[7]所建議之接頭有效寬度，乃是基於表 1-3 偏心梁柱接頭實驗成果，並沒有任何錯位偏心梁柱接頭的驗證。

此外，本研究團隊過去十年來一直致力於研究梁柱接頭耐震設計，特別是針對使用新高強度鋼筋的設計細則，過去五年來在國震中心亦曾有執行大型梁柱接頭試驗經驗，2017 年與研究夥伴合著出版「高強度鋼筋混凝土結構設計手冊」[9]，其中第五章「梁柱接頭」相關規定，歸納特殊抗彎構架接頭四個主要的設計參數，包括①接頭圍束箍筋、②接頭剪力強度、③梁主筋貫穿接頭之最小柱尺度、以及④梁主筋錨定於接頭內之伸展長度，分別提出不同的修正建議，通用於常規及高強度鋼筋混凝土結構。

計畫主持人目前是 ACI 318J 梁柱接頭委員會委員，近五年來持續參與美國 ACI318 規範及我國混凝土結構建築規範編修作業，前往美國報告我方在梁柱接頭之研究成果及設計建議，並有效影響 ACI 318-19 規範[6]及我國新版規範[3]之梁柱接頭設計條款，本研究團隊在梁柱接頭領域研究已居於全球前沿，有自信可以實驗研究檢討錯位偏心梁柱接頭之剪力強度，提出規範修正案，促使我國混凝土結構設計規範更嚴謹，亦可透過期刊論文發表和參與國際規範編修作業，增加我國研究成果之國際影響力。

第三節 研究方法及步驟

本研究案研究方法包括：(1) 文獻之蒐集與整理；(2)座談試體設

計及製造；(3) 梁柱接頭反復載重試驗；(4) 數據分析及比對；(5) 座談檢討及撰寫報告。流程如圖 1-3 所示，預定之進度如表 1-4 所示。採用的研究方法及步驟說明敘述如後。

一、 文獻之蒐集與整理

收集、整理相關文獻，一方面先徹底研究相關規範之演進及緣由，避免本研究之內容與現有成果重複，另一方面蒐集之規範及文獻資料可作為規範檢討及實驗數據比對分析的參考或補充資料。本研究蒐集到重要相關規範及文獻約 30 篇，其中規範檢討及比對結果彙整在前一節中詳細說明。部分文獻資訊在下一章中引用。

二、 座談、試體設計及製造

本研究將蒐集國內十層至三十層建築物設計案例，整理慣用之梁柱斷面設計和配筋，參考現行設計規範，設計八座鋼筋混凝土梁柱接頭試體。實驗規劃過程邀請專家學者座談，蒐集意見檢討修正實驗設計。確認設計後在北部實驗場現地製造八座試體，試體混凝土齡期 45~70 天間完成反復載重試驗。

三、 梁柱接頭反復載重試驗

基於目前國內外偏心梁柱接頭實驗成果極少，錯位偏心梁柱接頭實驗數據更是罕見，故本研究為檢討錯位偏心梁柱接頭之抗剪強度和耐震行為，以大型結構實驗模擬偏心梁柱接頭之受力行為，測試錯位偏心梁柱接頭之剪力強度，並與混凝土結構設計規範計算值作比較。

本研究共設計並製作八座十字形梁柱接頭組件，模擬特殊抗彎矩構架系統(Special Moment Frame System)於設計地震(中震)和最大考

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

量地震(大震)可能承受的最大側向層間變位，檢討梁柱接頭之剪力強度和耐震性能。

四、數據分析統計及比對

本研究除實驗外，尚蒐集調查國內外鋼筋混凝土柱梁偏心接合實驗成果，整理資料作為比對參考依據。將依據實驗成果綜合比對前述資料數據，評估錯位偏心梁柱接合之影響，檢討混凝土結構設計規範之接頭剪力計算強度，研擬規範修正案。

五、座談檢討及報告之撰寫

本研究包含召開專家座談會探討規範修正方案，期中、期末兩次報告審查，本報告為期末成果報告，除本報告之成果外，後續尚有雲林科技大學營建系碩士論文一部，詳細分析量測數據和壓拉桿解析模型。

第四節 研究目的

既有國內外十字形梁柱接頭之耐震試驗結果，絕大多數都是無偏心之梁柱接頭，偶有少數偏心梁柱接頭實驗，但幾乎都是梁連續貫穿接頭之情況，罕見接頭兩對面接錯位偏心梁的試驗。但實務上確實有需要此類錯位偏心梁柱接頭，而在現行混凝土結構設計規範[2]第15.6.3節或新版混凝土結構建築規範[3]第18.5.4節，並未涵蓋此類錯位偏心接頭，為確保建築結構安全，本研究將以上述四種接合方式設計試體四至八座，藉由大型結構實驗探討鋼筋混凝土柱接不同偏心距之梁，檢討接頭剪力強度之衰減程度，補足過往實驗經驗不足之處，

來檢討對於偏心接頭剪力強度之設計公式，提出務實可行之規範修正案，俾利規範引用，讓設計及施工單位有所依循，確保建築結構耐震性能及國人生命財產安全。

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

表 1-1 鋼筋混凝土梁柱接頭剪力強度之規範比較

當接合面之梁寬大於 3/4 柱寬時，該接頭面即視為已受圍束作用。 接頭之有效斷面積 $A_j = b_j \times h$ 。				
現行規範[2]		新版規範[3]		
受圍束程度	V_n , kgf	柱連續性	梁連續性	
接頭四面皆受圍束	$5.3\sqrt{f'_c}A_j$	連續	有	$5.3\sqrt{f'_c}A_j$
三面或一雙對面受圍束	$3.9\sqrt{f'_c}A_j$		無	$3.9\sqrt{f'_c}A_j$
其他	$3.2\sqrt{f'_c}A_j$	不連續	有	$3.9\sqrt{f'_c}A_j$
			無	$3.2\sqrt{f'_c}A_j$
接頭之有效寬度 $b_j \leq b + h$ $\leq b + 2x$ 其中 b 為梁寬， h 為剪力方向之柱全深， x 為梁邊至柱邊距離之較小值。		接頭之有效寬度 $b_j \leq b_w + x_1 + x_2$ 其中 b_w 為梁寬， h 為剪力方向之柱全深， x_1 與 $x_2 \leq h/4$ (x_1 、 x_2 為梁腹側面至柱邊距離)。		
		<p>註：有效接頭面積應根據每一作用力方向分開計算，圖示接頭符合第18.5.2.7節之可視為具有橫向梁圍束之規定，因為橫向梁覆蓋至少3/4之接頭面寬度。</p>		

符號說明： V_n 為接頭標稱剪力強度； f'_c 為混凝土抗壓強度。
 (資料來源：規範[2, 3]，本研究整理)

表 1-2 四種接頭情況之接頭強度正規化比較

		現行規範[2]			新版規範[3]		
		$b_j(cm)$	γ	$\frac{V_n}{3.2\sqrt{f'_c}A_g}$	$b_j(cm)$	γ	$\frac{V_n}{3.2\sqrt{f'_c}A_g}$
A	左側	100	3.2	1.0	75	3.9	0.91
	右側	100		1.0			0.91
B	左側	50	3.2	0.5	62.5	3.9	0.76
	右側	50		0.5			0.76
C	左側	100	3.2	1.0	75	3.2	0.75
	右側	50		0.5			62.5
D	左側	50	3.2	0.5	62.5	3.2	0.625
	右側	50		0.5			62.5

(資料來源：本研究整理)

表 1-3 既有偏心梁柱接頭試體之剪力強度比較

Specimens			V_{test} [kN]	DR [†] [%]	FM [‡]	Shear Strength Ratio		
No. (1)	Authors (2)	ID (3)				$\frac{V_{test}}{V_{318}}$ (7)	$\frac{V_{test}}{V_{352R}}$ (8)	$\frac{V_{test}}{V_{pro}}$ (9)
1	Joh et al.	JX0-B5	294	3.3	BJ	1.36	1.05	0.91
2	Raffaella and Wight	S1	605	4.0	BJ	1.25	1.04	0.93
3		S2	421	3.0	BJ	1.29	0.99	0.86
4		S3	472	4.0	BJ	1.13	0.89	0.77
5		S4	412	4.0	BJ	1.39	1.08	0.94
6	Teng and	S3	743	2.7	BJ	2.09	1.71	1.52
7	Zhou	S6	437	2.6	BJ	1.77	1.54	1.42
8	Shin and	S1*	645	3.0	BJ	1.28	1.09	0.99
9	LaFave	S2*	649	3.9	BJ	1.84	1.44	1.26
10	Canbolat and	2-S*	863	4.0	BJ	1.53	1.26	1.13
11	Wight	3-S*	827	2.4	BJ	1.70	1.40	1.26
12	Goto and Joh	UM-60	779	4.0	J	1.59	1.81	1.54
13		UM-125	666	2.9	J	2.21	1.80	1.61
14	Kamimura et al.	NN.2	419	3.0	BJ	1.16	1.13	1.02
15	Kashiwazaki et al.	No. 35	1228	2.0	BJ	1.12	0.98	0.87
16	Kusuhara et al.	JE-55	448	3.0	BJ	1.46	1.30	1.16
17		JE-55S	461	3.2	BJ	1.51	1.34	1.19
18	Lee and Ko (2007)	W75	781	5.0	BJ	0.79	0.79	0.75
19		W150	739	4.0	BJ	1.14	0.95	0.86
Mean						1.45	1.24	1.10
COV						0.24	0.25	0.24

註：*帶版試體；[†]對應 V_{test} 之層間變位角；破壞模式 BJ-梁降伏後接頭剪力破壞、J-接頭剪力破壞。

(資料來源：參考書目[7])

表 1-4 預定進度表

月次 工作項目	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月	第九月	第十月	第十一月	第十二月	備註
評選簽約	■												
文獻蒐集	■	■											
實驗規劃 專家座談		■	■										
試體設計 製作			■	■	■	■							
期中報告							■						6/28
反復載重 試驗							■	■					
數據分析								■	■	■			
綜合研究									■	■			
期末報告										■			10/15
結案報告											■	■	12/06
研究進度 百分比	10	20	30	35	40	45	55	65	75	90	95	100	
預定查核 點	第 1 季：無												
	第 2 季：期中報告												
	第 3 季：期末報告												
<p>說明：1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。</p> <p>3 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。</p>													

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

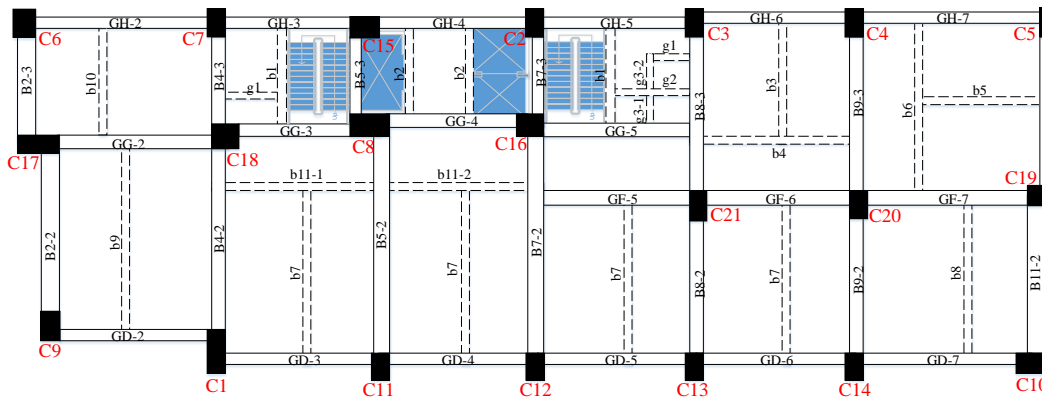


圖 1-1 台北市某建物之樓層結構平面圖

(資料來源：本研究蒐集案例示意圖)

示意圖	左側梁無偏心 $e=0$	左側梁有偏心 $e=25$
梁連續	<p>(A) 正交</p>	<p>(B) 同側偏心</p>
梁不連續	<p>(C) 一側正交、一側偏心</p>	<p>(D) 極端偏心</p>

灰色為柱斷面($b \times h = 100\text{cm} \times 50\text{cm}$)，兩側白色為梁($b = 50\text{cm}$)。

圖 1-2 柱梁接合平面示意圖

(資料來源：本研究製作)

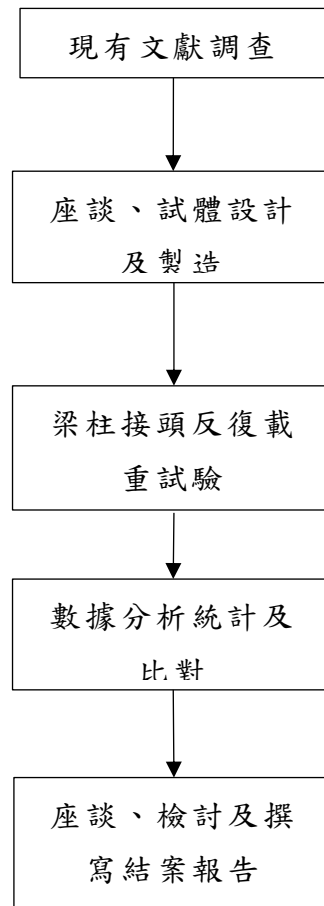


圖 1-3 研究步驟

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

第二章 梁柱接頭耐震設計條款

我國現行規範[2]和新版規範[3]有關於特殊抗彎矩構架接頭之耐震設計條款，可以歸納有四款，分別是①強柱弱梁、②接頭剪力強度、③接頭箍筋以及④梁主筋在接頭內之伸展與錨定。本章歸納上述四個設計參數，並說明須要檢討的問題。

第一節 強柱弱梁

台灣位於強震區幾乎所有的建築物皆需要作耐震設計，多層樓建築結構最常用的結構系統是特殊抗彎矩構架或是二元系統，其中梁柱接頭區皆須滿足耐震設計特別條款。首先是柱弱梁條款，規定柱撓曲強度須高於梁撓曲強度，以降低柱在大地震襲擊時產生撓曲降伏之可能性。倘若連接至同一接頭之柱強度小於梁，柱發生非彈性反應之機會將增加，弱柱最嚴重的情況下，一個特定樓層中所有柱之兩端有可能皆發生撓曲降伏，導致柱破壞機構，進而造成結構崩塌，如圖 2-1 所示，而強柱弱梁的構架較有可能讓所有的梁端均勻地產生撓曲降伏且維持垂直承載能力不崩塌。

因此規範要求，柱之彎矩強度應符合

$$\Sigma M_{nc} \geq (6/5) \Sigma M_{nb} \quad (2-1)$$

式中 ΣM_{nc} 為構入於接頭各柱在接頭面之標稱彎矩強度之總和。柱彎矩強度應為所考慮方向之側力作用下由各因數化軸力計算所得之最小彎矩強度； ΣM_{nb} 為構入於接頭各梁在接頭面之標稱彎矩強度之總和。

上述要求柱標稱彎矩強度總和須大於梁標稱彎矩強度總和之 1.2

倍，雖不能保證強震時柱維持彈性，但可促使較多梁發生撓曲降伏。

第二節 接頭剪力強度

大地震時負責抵抗側向力之特殊抗彎矩構架，耐震設計規範預期在梁柱接頭面產生梁塑鉸且有較大之塑性轉角，如圖 2-1(c)所示，此時接頭必須具有足夠的強度來支撐梁產生梁塑鉸，接頭設計剪力 V_u 之計算應考慮接頭半高處可能抵抗的最大剪力，如圖 2-2 所示，假設梁受拉鋼筋應力為 αf_y ，分別計算梁之最大可能彎矩強度 M_{pr} 和對應 M_{pr} 之柱剪力 V_{col} ，惟構架抵抗地震力時各樓層柱之反曲點位置並不固定，作容量設計時可假設柱反曲點位於樓層柱一半高度處，如圖 2-2 所示。十字形梁柱接頭設計剪力 V_u 和對應之柱剪力 V_{col} 可以表示如下

$$V_u = T_{pr} + C_{pr} - V_{col} = \alpha A_s f_y + \alpha A'_s f_y - V_{col} \quad (2-2)$$

$$V_{col} = \frac{1}{l_c} \left[M_{pr}^+ + M_{pr}^- + (V_{pr1} + V_{pr2}) \frac{h_c}{2} \right] \quad (2-3)$$

式中 $\alpha=1.25$ 為撓曲拉力鋼筋之超額強度因子； A_s 和 A'_s 分別為梁頂層和底層鋼筋面積； f_y 為鋼筋規定降伏強度； l_c 為假設柱反曲點距離，約等於樓層平均高度； V_{pr1} 和 V_{pr2} 是梁剪力； h_c 是柱深度。

特殊抗彎矩構架接頭之設計剪力 V_u 應不大於接頭設計強度 ϕV_n ，其中強度折減係數 $\phi = 0.85$ ，標稱剪力強度應以下式計算：

$$V_n = \gamma \sqrt{f'_c} A_j \quad (2-4)$$

接頭標稱剪應力 $\gamma \sqrt{f'_c}$ 規定如表 1-1 所示。依圍束條件將接頭剪力強度分等級。

現行規範[2]將接頭標稱剪應力 $\gamma \sqrt{f'_c}$ 分成三個等級：接頭四面皆受梁圍束、三面或一雙對面受梁圍束、及其他情況，如表 1-1 所示。然

而此一分級方式對於寬柱-窄梁之接頭，或是寬柱-偏心梁接頭，會出現強度變化不連續的不合理情況。因此新版規範[3]改成依柱連續性、產生剪力方向之梁連續性以及兩側有無橫向梁提供圍束作用將接頭剪力強度分為八等級，其中柱連續者分成四個等級，比較合理。

式(2-4)中接頭有效面積 A_j 為接頭有效寬度 b_j 乘以柱深 h_c 。現行規範[2]與新版規範[3]之 b_j 公式如下

$$\text{現行規範 } b_j = b_w + 2x \leq b_w + h_c \quad (2-5)$$

$$\text{新版規範 } b_j = b_w + x_1 + x_2 \quad (2-6)$$

其中 b_w 為梁腹寬度； x_1 及 x_2 分別為梁腹側面至柱邊之距離，代入上式計算時， x_1 或 x_2 值不得超過 $h_c/4$ 。現行規範 x 則是取 x_1 和 x_2 之較小值，但 $b_w + 2x$ 不得超過 $b_w + h_c$ 。無論如何 b_j 皆不得超過柱寬度。

然而，上述的標稱剪力強度 $\gamma\sqrt{f'_c}$ 和接頭有效寬度公式，皆基於梁連續貫穿梁柱接頭之實驗，詳參閱 ACI 352R-02[5]梁柱接頭委員會報告。實務上於台灣的大樓建築中，如圖 1-1 所示的錯位偏心梁柱接合是很常見的，但這類接頭之接頭抗剪強度和有效寬度如何計算，並不在規範原本考慮的情況範圍內，是否適用具有爭議待釐清。

以圖 1-2 的四種情況為例來檢討，以現行規範[2]及新版規範[3]分別計算其 b_j 和 V_n ，再除以全斷面積強度 $3.2\sqrt{f'_c}A_g$ 作正規化比較如表 1-2 所示。最大的問題是 b_j 應該如何計算，表 1-2 分別按接頭左右兩側情況代入式(2-5)和式(2-6)計算，在正交梁會得到較大的 b_j 值，偏心梁則會折減，如情況 A 和 B，但若一側梁正交一側梁偏心時，如情況 C，則左右兩側之 b_j 值差異較大。至於情況 D，梁不連續又偏心，兩側計算之 b_j 值雖然相同，但是否正確仍有疑慮。

依現行規範計算情況 A 之接頭標稱剪力強度為 $3.2\sqrt{f'_c}A_g$ ，情況 B 之標稱強度只有 50%，情況 C 若用左側 b_j 值計算仍為 100%，用右側

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

計算則為 50%，實務上係取兩者平均值或是取較小值尚未有定論。至於情況 D，最大的問題是否適用式(2-5)或式(2-6)計算。

此類錯位偏心梁柱接頭之實驗成果付之闕如，故本研究完成八座大尺寸鋼筋混凝土梁柱接頭反復載重試驗，實驗結果可用來檢討錯位偏心接頭之剪力強度和耐震行為，此類接頭常見於國內的住宅大樓，實務上常用但卻未被規範[2, 3, 6]納入考慮，藉由本實驗可望得知應如何修正規範之接頭剪力計算強度，作為國內未來鋼筋混凝土梁柱偏心接頭設計的參考指標。

第三節 接頭箍筋

從 1999 年 921 大地震到近年來的 0206 美濃地震或花蓮地震，勘災時往往發現在 2000 年以前興建的老舊大樓梁柱接頭往往欠缺圍束箍筋，梁柱接頭破壞造成建築物崩塌，如圖 2-3 所示。這些在 2000 年以前建造的大樓，由於當初的設計法規較寬鬆，施工監造又不要求，通常柱只有 90 度彎鉤閉合箍筋且間距寬鬆，接頭區通常沒有圍束箍筋，加上混凝土品質管制不嚴謹，導致這類無箍筋圍束的接頭在地震時是非常脆弱的[10-14]。

因此 ACI 318 規範規定不論計算剪力 V_j 之大小，規範皆要求在接頭處接頭在最深構入梁深度 h 之範圍內配置橫向鋼筋，確保圍束箍筋沿高度連續配置，避免因梁主筋貫穿或梁深段差，造成部分接頭區欠缺橫向鋼筋。增加箍筋量對於梁柱接頭之韌性有幫助，有助於接頭區維持一定的剛度，支持梁塑鉸達到較大的塑性變形。

特殊抗彎矩構架接頭處橫向鋼筋量須符合圖 2-4 要求，且橫向鋼筋面積比值須符合式(2-7)之要求，除非梁構材連續且梁寬最少為柱寬度之 3/4，則在該梁構材構入範圍內，平行該梁構材方向橫向鋼筋比

得為式(2-7)之半，但垂直間距應不超過 15 cm。

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} \geq 0.3 \frac{f'_c}{f_{yt}} \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (2-7a)$$

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} \geq 0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2-7b)$$

其中s為橫向鋼筋之中心間距； A_{sh} 為s間距內垂直於 b_c 方向之橫向鋼筋（包括繫筋）總斷面積； b_c 計算 A_{sh} 時之柱心尺度，即橫向鋼筋外緣至外緣之邊長； A_g 為柱全斷面積； A_{ch} 橫向鋼筋外緣以內之構材斷面積。

此外如圖 2-4 要求，橫向鋼筋包含閉合箍筋和穿插繫筋，閉合箍筋與繫筋之彎轉段均須圍繞於外周之柱主筋，允許使用 90-135 度彎鉤交錯配置，相鄰繫筋端部應交替，至多間隔一支柱主筋須有繫筋或箍筋彎轉提供柱主筋側向支撐。

本研究擬檢討錯位偏心接頭之抗剪強度，橫向鋼筋比值不是本研究要檢討之課題，儘管過往的研究顯示內部接頭僅具有少量箍筋也可以達到符合規範標準試體類似的剪力強度，但為了聚焦於符合規範圍束箍筋要求的接頭抗剪強度，本研究之試體設計一律依據式(2-7)配置，並使其箍筋間距為 10 cm，為一般慣用的間距。

第四節 梁主筋在接頭內之伸展與錨定

當縱向梁主筋貫穿梁柱接頭且 $f_y=4200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 時，則平行於梁主筋方向之接頭深度 h_c 應至少為梁主筋最大直徑之 20 倍。即 $h_c \geq 20d_b$ 。此規定源自 Zhu and Jirsa (1983)[15]檢討 18 支鋼筋規定降伏強度為 4,200 kgf/cm² 的梁柱接頭在反復載重下之表現，歸納最小柱深約 20 至

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

22 倍 d_b ，對混凝土抗壓強度 280-350 kgf/cm² 應屬適當，在 3% 層間位移角前可以避免梁主筋在接頭內發生握裹損壞。梁主筋貫穿接頭之深度限制，係在抗彎矩構架受到設計地震時預期產生的反復非彈性位移下，合理抑制但不能完全排除接頭內梁主筋之滑移。當鋼筋降伏強度等級提高，可預期需要較大的接頭深度或較高的混凝土強度來抑制梁主筋滑移量，關於此議題的詳細研究可參考 Lee 等人(2018) [16]。

本研究擬檢討錯位偏心接頭之抗剪強度和耐震性能，為避免模糊焦點，試體設計時皆採用 $f_y=4200\text{kgf/cm}^2$ 等級鋼筋，且混凝土設計抗壓強度控制為 280 至 350 kgf/cm² 間，接頭深度 h_c 一律為梁主筋直徑之 20 倍，即符合規範之接頭最小深度。

錯位梁柱接頭之梁不連續，即部份或全部的梁主筋可能無法連續地貫穿接頭區，須以具有 90° 標準彎鉤之梁主筋終止於接頭內，其自柱面起至彎鉤尾端外緣之伸展長度 ℓ_{dh} 按下式計算[2]，且不小於 $8d_b$ 、15 cm 及 $3/4$ 柱深 h_c 。

$$\ell_{dh} = 0.06 \frac{f_y d_b}{\sqrt{f'_c}} \quad (2-8)$$

上式是現行規範[17]第 15 章、新版規範[3]第 18 章耐震構架接頭內彎鉤之最小伸展長度。係由具標準彎鉤之鋼筋受拉基本伸展長度乘以保護層修正係數 0.7 及箍筋修正係數 0.8 而得，惟計及反復載重效應及鋼筋可能之超額強度 $1.25 f_y$ ，伸展長度稍有再增長。以 $f_y=4200\text{kgf/cm}^2$ 、 $f'_c=350\text{kgf/cm}^2$ 代入式(2-8)所得之伸展長度 $\ell_{dh}=13.5d_b$ ，本研究試體設計以此為下限，所有的彎鉤伸展長度不小於 $13.5d_b$ 。注意 ACI 318-19 規範[6]第 18 章公式並未異動，過去 ℓ_{dh} 是 18 章比 25 章來的長，如今相反，19 年版規範第 25 章的彎鉤錨定長度較保守，愈大號鋼筋愈明顯[18]，相對於前版規範增長許多，值得後續研究再檢討。

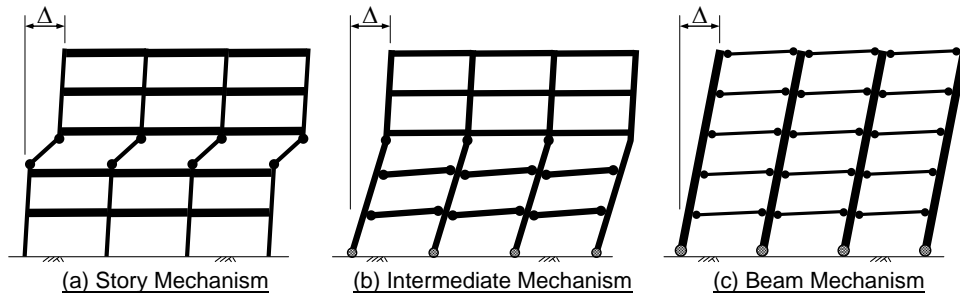


圖 2-1 弱柱強梁構架軟層破壞與強柱弱梁構架均佈塑性鉸之差異

(資料來源：Jack P. Moehle[19])

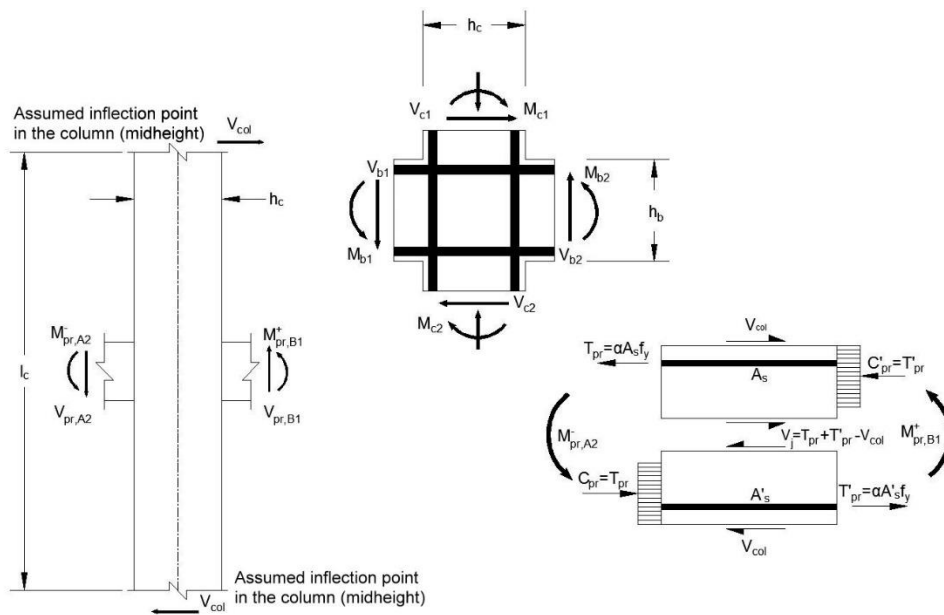


圖 2-2 特殊抗彎矩構架之內部接頭設計剪力

(資料來源：Jack P. Moehle[19])

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



圖 2-3 1999 年地震倒塌的建築物梁柱接頭無箍筋圍束

(資料來源：本研究蒐集)

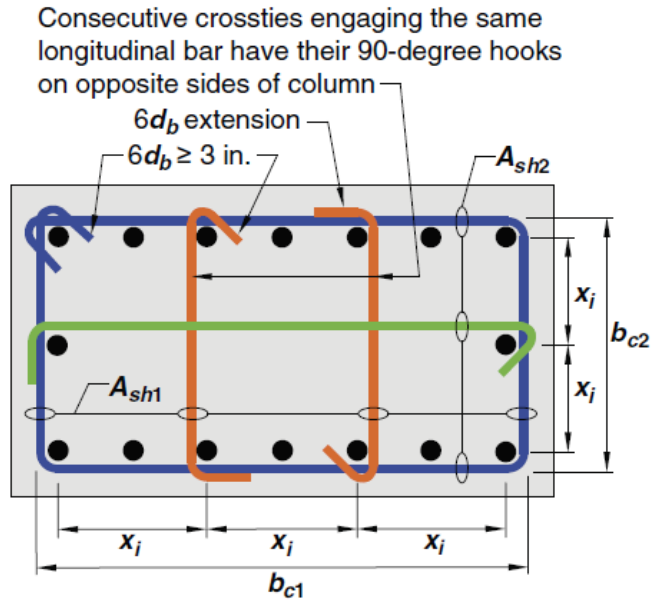


圖 2-4 ACI 318 規範之耐震柱圍束箍筋示意圖

(資料來源：ACI 318-19 規範[6])

第三章 實驗設計

本章說明八座試體設計、製造、材料性質和試驗佈設。

第一節 試體設計

本研究旨在檢討表 1-2 所示四種情況之柱梁接合部剪力強度，實驗操縱變因為梁是否連續以及是否偏心，由於接頭之抗剪容量並非定值，而是隨著梁塑性鉸發展而衰減，如圖 3-1 所示，假若梁柱接頭具有良好的橫向箍筋圍束且梁柱主筋具有適當的伸展長度，則接頭主要的破壞模式有三種，分別是 J 破壞(接頭剪力破壞)、BJ 破壞(梁撓曲降伏後接頭剪力破壞，和 B 破壞(梁撓曲破壞)。J 破壞、BJ 破壞或 B 破壞之關鍵參數在於梁撓曲降伏引致之接頭剪力需求 V_j (式 2-3)和接頭抗剪容量之比值，以無橫向梁之十字形梁柱接頭為例，現行 ACI 318-14 規範[4]之接頭標稱剪力強度 $V_n = 3.9\sqrt{f'_c}A_j$ ， f'_c 單位為 kgf/cm^2 。($V_n = 1.25\sqrt{f'_c}A_j$ ， f'_c 單位為 MPa)，就圖 3-1 之資料庫調查結果顯示， V_n 約略代表著構架側位移韌性比 $\mu = 4$ 之剪力強度，在韌性比小於 2 情況下，例如中等抗彎矩構架設計，其 V_n 值設定為 $V_n = 5.3\sqrt{f'_c}A_j$ 。換句話說，ACI 318-14 規範[4]之接頭標稱剪力強度之制定，係依據構架之韌性需求而定。特殊抗彎矩構架之韌性需求比較大，故制定較嚴格、較低之接頭標稱剪力強度。為測試接頭在不同韌性比值下之抗剪容量，需要變化剪力需求，本研究決定對無偏心且梁連續之十字形標準接頭分別設計 $V_j = 2.84\sqrt{f'_c}A_g$ 和 $3.93\sqrt{f'_c}A_g$ ，兩級剪力需求，然後依表 1-2 所示四種情況變化梁是否連續以及是否偏心，兩級剪力需求乘以四種情況，共八座試體。

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

首先，低剪力需求的系列 I 標準試體斷面設計如圖 3-2 所示，假設混凝土抗壓強度 $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ ，鋼筋規定降伏強度 $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$ ，設計標準梁斷面寬 500 mm、深度 600 mm，梁上下層撓曲鋼筋分別為 6 支 D25 鋼筋(鋼筋比 1.14%)，柱斷面寬 1000 mm、深度 500 mm 以便測試寬柱-窄梁偏心接合之差異，柱主筋配置 16 支 D25 鋼筋(鋼筋比 1.62%)，另柱深度 500 mm 為梁主筋直徑之 20 倍，符合規範要求之最小柱深度。

以圖 3-2 之梁柱斷面計算彎矩強度，假設柱高 3.2 m、梁跨度 6 m，代入式(2-2)和式(2-3)求出系列 I 之接頭剪力需求為 266 tf，相當於 $2.84\sqrt{f'_c}A_g$ ，然後變化變化梁是否連續以及是否偏心，共四座試體命名為 1A、1B、1C、1D，接頭參數如表 3-1 所列。所有柱橫向鋼筋設計為 D13@100mm，兩橫向鋼筋比分別為式(2-7)要求的 1.1 倍和 1.21 倍，圍束箍筋符合耐震要求。假設柱最低軸壓力為 $0.10A_g f'_c$ 情況下，在接頭面之柱標稱彎矩強度總和為梁標稱彎矩強度總和的 1.59 倍 ($M_R = \Sigma M_{nc} / \Sigma M_{nb} = 1.59$) 大於式(2-1)要求的 1.2 倍，屬於強柱弱梁設計。

接著將梁主筋量提高為 8 支 D25 鋼筋(鋼筋比 1.52%)，梁柱斷面計算彎矩強度代入式(2-2)和式(2-3)求出矩陣 II 之接頭剪力需求為 368 tf(提高 38%)，相當於 $3.93\sqrt{f'_c}A_g$ ，然後變化變化梁是否連續以及是否偏心，共四座試體命名為 2A、2B、2C、2D，因應梁彎矩強度提高，系列 II 之柱斷面尺度不變，但主筋增加為 20 支 D25 鋼筋(鋼筋比 2.03%)，使接頭面之柱標稱彎矩強度總和為梁標稱彎矩強度總和的 1.43 倍 ($M_R = \Sigma M_{nc} / \Sigma M_{nb} = 1.43$)，盡可能維持與系列 I 相似，其餘細部設計則維持和系列 I 相同。

梁未連續貫穿接頭時，如圖 3-3 和 3-4 所示，梁主筋須以彎鉤錨定於接頭內，鋼筋交錯配置頗為複雜，詳細之試體斷面設計配筋圖如 [附錄] 所示。原則上，所有的彎鉤推至柱核心遠端並彎向接頭中心

錨定，但系列 II 有部分位置有雙層彎鉤，因此第二層彎鉤之錨定長度較短，僅能 350 mm，等於 $13.8d_b$ ，勉強符合式(2-8)要求的 $13.5d_b$ 。

注意接頭標稱強度依式(2-4)計算，其中接頭有效寬度 b_j 依式(2-5)計算，有現行規範[2]和新版規範[3]兩種版本，對系列 I 和 II 共八座試體，分別計算列於表 3-3 和表 3-4 所示。由於系列 I 之剪力需求固定為 $2.84\sqrt{f'_c}A_g$ ，但接頭有效寬度隨梁偏心而異，故依現行規範其抗剪容量-需求比值(Capacity-to-Demand Ratio)由 1.13 變化至 0.56，若依新版規範則 CDR 由 1.03 到 0.70 不等。系列 II 則更低，依新舊版規範分布在 0.81 至 0.51 之間。試體設計時刻意控制 CDR 值大部分小於 1.0，就是希望試驗獲得 J 破壞或是 BJ 破壞，以便評估接頭之抗剪容量，所有試體只有試體 1A 設計預期為 B 破壞(梁撓曲破壞)，但梁主筋可能於較大的層間變位角出現握裹破壞鋼筋滑移現象(BJa 破壞)。

本研究八座試體設計經專家座談會後修正，於雲林科技大學採用限制性招標採購委由富嘉樂工程製造，試體製造工程順利於 6 月 24 日前完成驗收。

第二節 試體製造及材料性質

本研究 8 座試體製造過程部分照片如圖 3-5 所示，由本研究自行採購鋼筋供料，確保所有試體採用同批次鋼筋，澆置過程取樣模製圓柱試體及鋼筋試樣照片如圖 3-6 所示。依一般工程慣例取樣送雲科大營建材料檢測中心試驗，鋼筋檢驗部分結果如表 3-5 所示，D13 和 D25 鋼筋機械性質皆符合 CNS 560 鋼筋規格 SD 420W。其中梁柱主筋降伏強度實測平均值 $f_{ya} = 450 \text{ MPa} = 4587 \text{ kgf/cm}^2$ ，抗拉強度實測平均值 $f_{ua} = 655 \text{ MPa} = 6711 \text{ kgf/cm}^2$ ，是非常典型的 SD420W 鋼筋機械性質。

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

混凝土原設計抗壓強度 $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ ，惟梁柱接頭試體皆為室外一體澆置，澆置完成後馬上以帆布蓋上並灑水養護，所有試體拆模後置於原地採乾養，故本研究取樣之圓柱試體亦採用乾養，而非一般標準濕治養護，故預期抗壓強度將略低於 350 kgf/cm^2 ，較接近實際混凝土強度。部分圓柱試體 28 天齡期測試，其餘的圓柱試體留待接頭反復載重試驗當日執行抗壓強度試驗。試驗結果如表 3-6 和 3-7。

本研究 8 座接頭試體之製造分成兩批次，為了避免實驗佈設更換頻繁，將試體外觀一致之試體同批澆置，並分兩批澆置，每批澆置 4 座試體，第一批澆置試體 1A、2A、1B 及 2B，第二批澆置試體 1C、2C、1D 及 2D，如表 3-6、表 3-7 所示。施工前試體底座所在區域先行整平，且底模鋪設前須本中心人員驗收其水平完成後，才能施工，且底模長向與短向兩端的高差不得大於 5 mm。混凝土澆置前先於梁主筋和接頭箍筋部分關鍵座標黏貼應變計收線後再澆置混凝土。

梁端部有特別設計轉接載重靴之鋼板，梁鋼板尺寸為 $500 \times 1000 \text{ mm}$ ，厚度為 20 mm，梁鋼板中間焊 4 個直徑 19 mm、長度 200 mm 的剪力釘，如〔附錄〕詳圖所示，主筋採用 SD 420W 可焊鋼筋，將鋼筋置入鋼板定位孔，內側填角焊，外側填滿焊接後磨平。預留螺栓設計配合載重靴與垂直致動器接合，使鉸接旋座中心較接近梁中心線，如圖 3-7 至 3-9 所示。

第三節 試驗佈設

本研究團隊採用的梁柱接頭組件試驗佈設如圖 3-7 所示，由抗彎矩構架取接頭上下各半層柱高、左右各半跨梁長之十字形接頭組件執行試驗，梁柱端部鉸接模擬反曲點，試驗時對梁柱施加反方向力矩，十字形接頭自由體如圖 3-8 所示，柱受軸力 P 及側向力 Q (柱剪力)，

實驗時梁柱中心線相對旋轉角 (Angular rotation between beam and column chords)，相當於樓層與樓層之相對位移除以層高，即層間變位角 (Interstory drift ratio)，層間變位角 θ 與單元梁長度 (L_b ，梁反曲點至反曲點之距離，約等於梁跨度)、單元柱長度 (L_c ，柱反曲點至反曲點之距離，約等於樓層高度) 之關係如圖 3-8 所示，這樣的組件試驗方法是 被 ACI 374.1-05[20] 認可的抗彎構架試驗法，由試驗施加之荷載 (P 、 Q 、 V_b) 經力平衡、斷面分析可求出梁在接頭面之斷面拉力及壓力總和。試驗時十字形接頭抵抗之水平剪力等於

$$V_{jh} = T_1 + C_2 - Q = Q \left[\frac{(L_b - h_c)}{jd} \times \frac{L_c}{L_b} - 1 \right] \quad (3-1)$$

其中 L_b 為梁單元長度 6 m， L_c 為柱單元高度 3.2 m，當梁達到塑性降伏後，斷面之內力臂長 jd 可以簡化假設為定值 0.875d，我們即可由實驗最大側力 Q_m 求出對應之接頭剪力實驗值 $V_{jh,m}$ 。式(3-1)之推導詳參閱 Jack P. Moehle[19]。

另一種方式是由兩具垂直致動器出力換算梁臨界斷面之拉力 T_1 和壓力 C_2 ，扣掉水平致動器出力 Q ，即可獲得接頭作用剪力，前提是可以使用三具以上的致動器執行試驗。

而本研究試驗佈設最大的挑戰是柱梁偏心接合，所以兩具垂直致動器必須隨著梁偏心距移動，且必須有面外側向支撐確保致動器出力維持在梁中心線不扭曲。柱梁偏心接合會導致柱承受扭矩，所以柱底部需要強力螺栓接合，頂部至少需要兩具致動器出力方能抵抗扭矩，因此，本試驗佈設需要值至少四具致動器，經過反覆修改試驗佈設之設計，最後採用之佈設如圖 3-9 所示。

試驗時柱底栓接於基座，柱頭栓接鋼構以兩具致動器抓住不動，柱頂以兩具千斤頂及預力鋼棒合計施加柱軸力 $0.10A_g f'_c = 175 \text{ tf}$ 。一般高樓設計，接頭剪力強度較難滿足低樓層，且其軸力可能遠高於本試

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

驗採用之柱軸力 $0.10A_gf'_c$ 。實驗室經驗顯示，在規範許可範圍內提高柱軸力有助於接頭抗剪強度，實際地震時因為還有垂直加速度，難以準確評估柱之變動軸力，故內柱在實驗室軸力比一般取 $0.10-0.20A_gf'_c$ 作測試，偏向保守作實驗。未來建議可以針對高軸力情況再增補實驗驗證偏心接頭之抗剪強度。

整個試驗由銜接於梁端之兩支垂直致動器採位移控制施加大小相等、方向相反之三角形位移波，如圖 3-10 及表 3-8、表 3-9 所示，振幅反覆逐漸增加，由電腦程式自動控制致動器依預定之位移歷時作動。所有預定施加之位移均由層間位移角為基準，並乘以梁端施力中心至柱心的距離而得。依程序施加層間變位角 0.25%、0.375%、0.5%、0.75%、1%、1.5%、2%、3%、4%、6%、8% (觀察破壞行為) 每個層間變位重複三迴圈，總計各試體最多執行 33 迴圈後停止測試。本次試驗參考 ACI 374.1-05[20]建議之抗彎構架試驗方法：(1)試體施加反復載重之方式須以位移控制；(2)每一個層間變位至少重複三迴圈；(3)第一個迴圈必須在彈性範圍內，後續的層間變位不少於前一個層間變位的 1.25 倍，亦不得超過 1.5 倍；(4)試驗之層間變位角須至少增加至 3.5% 以上，(5)側力位移反應須以柱剪力對層間變位角形紀錄之。

量測記錄包括四具制動器之位移計、荷重計；量測柱軸力 P 之荷重計；量測梁柱交會區變形之 NDI 光學量測系統及標記點(Marker)；量測梁柱整體變形之角度計、位移計。試體內部鋼筋關鍵位置埋設之應變計。

外部變形除了關鍵位置架設位移計及角度計外，另以 NDI 公司生產之光學量測系統監測梁柱塑鉸區及接頭區標記點(Marker)之空間座標，試驗佈設和設備照片如圖 3-11 和 3-12 所示。

表 3-1 測試系列 I 之試體參數表

試體		1A	1B	1C	1D
試體形狀		十字形			
偏心距(cm)	左側	0	-25	0	-25
	右側	0	-25	+25	25
f'_c (kgf/cm ²)		350			
f_y (kgf/cm ²)		4200			
柱	柱寬 × 柱深(cm)	100 × 50			
	主筋	16 – D25(SD420W)			
	箍筋	6 – D13@10(SD420W)			
	$A_{sh, ratio1}$	1.10			
	$A_{sh, ratio2}$	1.21			
梁	梁寬 × 梁深(cm)	50 × 60			
	主筋	6 – D25(SD420W) 6 – D25(SD420W)			
	箍筋	4 – D13@15(SD420W)			
接頭	箍筋	6 – D13@10(SD420W)			
M_R		1.59			
$V_u/(A_g\sqrt{f'_c})$		2.84			
h_c/d_b		500/25 = 20			
$l_{dh, pro}/l_{dh, req}$				403/342	403/342

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

表 3-2 測試系列 II 之試體參數表

試體		2A	2B	2C	2D
試體形狀		十字形			
偏心距(cm)	左側	0	-25	0	-25
	右側	0	-25	+25	25
f'_c (kgf/cm ²)		350			
f_y (kgf/cm ²)		4200			
柱	柱寬 × 柱深(cm)	100 × 50			
	主筋	20 – D25(SD420W)			
	箍筋	6 – D13@10(SD420W)			
	$A_{sh, ratio1}$	1.10			
	$A_{sh, ratio2}$	1.21			
梁	梁寬 × 梁深(cm)	50 × 60			
	主筋	8 – D25(SD420W) 8 – D25(SD420W)			
	箍筋	4 – D13@15(SD420W)			
接頭	箍筋	6 – D13@10(SD420W)			
M_R		1.43			
$V_u/(A_g\sqrt{f'_c})$		3.93			
h_c/d_b		500/25 = 20			
$l_{dh,pro}/l_{dh,req}$				350/342	350/342

(資料來源：本研究製作)

表 3-3 測試系列 I 之接頭有效寬度和接頭應力比

試體		1A	1B	1C	1D		
偏心距 (cm)	左側	0	-25	0	-25		
	右側	0	-25	+25	25		
現 行 規 範	γ		3.2	3.2	3.2	3.2	
	b_j	左側	100	50	100	50	
		右側	100	50	50	50	
	$\frac{\gamma\sqrt{f'_c}A_j}{V_u}$	左側	1.13	0.56	1.13	0.56	
		右側	1.13	0.56	0.56	0.56	
	新 版 規 範	γ		3.9	3.9	3.2	3.2
		b_j	左側	75	62.5	75	62.5
			右側	75	62.5	62.5	62.5
$\frac{\gamma\sqrt{f'_c}A_j}{V_u}$		左側	1.03	0.86	0.84	0.70	
		右側	1.03	0.86	0.70	0.70	

(資料來源：本研究製作)

表 3-4 測試系列 II 之接頭有效寬度和接頭應力比

試體		2A	2B	2C	2D	
偏心距 (cm)	左側	0	-25	0	-25	
	右側	0	-25	+25	25	
現行 規範	γ	3.2	3.2	3.2	3.2	
	b_j	左側	100	50	100	50
		右側	100	50	50	50
	$\frac{\gamma\sqrt{f'_c}A_j}{V_u}$	左側	0.81	0.41	0.81	0.41
		右側	0.81	0.41	0.41	0.41
	新版 規範	γ	3.9	3.9	3.2	3.2
b_j		左側	75	62.5	75	62.5
		右側	75	62.5	62.5	62.5
$\frac{\gamma\sqrt{f'_c}A_j}{V_u}$		左側	0.74	0.62	0.61	0.51
		右側	0.74	0.62	0.51	0.51

表 3-5 梁柱接頭試體用鋼筋機械性質

試樣	降伏強度 MPa	抗拉強度 MPa	伸長率 %	拉降比	斷點區域
D13-1	487	659	18	1.35	B
D13-2	489	657	22	1.34	A
D13-3	489	660	20	1.35	B
D25-1	447	657	15	1.47	B
D25-2	453	661	23	1.46	A
D25-3	449	656	21	1.46	A

註：TAF 編號 0547 實驗室，試驗報告編號 19-00841

表 3-6 混凝土圓柱試體抗壓強度(第一批次)

批次	試體 名稱	澆置日期	測試 齡期 (天數)	測試當天 抗壓強度 (kgf/cm ²)	當天平均 抗壓強度 (kgf/cm ²)
第一批次	1A	2019/04/30	45	291	294
				285	
				305	
	2A	2019/04/30	45	285	271
				295	
				233	
	1B	2019/04/30	57	318	309
				305	
				305	
	2B	2019/04/30	57	325	301
				291	
				287	

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

表 3-7 圓柱試體抗壓強度(第二批次)

批次	試體名稱	澆置日期	測試齡期(天數)	測試當天抗壓強度(kgf/cm ²)	當天平均抗壓強度(kgf/cm ²)
第二批次	1C	2019/05/24	46	324	323
				330	
				314	
	2C	2019/05/24	46	312	312
				317	
				305	
	1D	2019/05/24	68	304	328
				340	
				341	
	2D	2019/05/24	68	325	328
				336	
				323	

(資料來源：本研究製作)

表 3-8 軸力加載表

試體	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
軸力(kN)	175	175	175	175	175	175	175	175

表 3-9 位移歷時表

%	Cycles	L (mm)	Disp. (mm)	Velocity (mm/s)	Time (s)	Stage	Data number (筆/步)	資料筆數	Data Time
0.25	3	3000	7.5	1.875	48	4	1	4	96
0.375	3	3000	11.25	1.875	72	6	1	6	144
0.5	3	3000	15	1.875	96	8	1	8	192
0.75	3	3000	22.5	1.875	144	12	1	12	288
1	3	3000	30	1.875	192	16	2	8	192
1.5	3	3000	45	1.875	288	24	2	12	288
2	3	3000	60	1.875	384	32	2	16	384
3	3	3000	90	1.875	576	48	2	24	576
4	3	3000	120	2	720	60	3	20	480
6	3	3000	180	2	1080	90	3	30	720
8	3	3000	240	2	1440	120	3	40	960
				Total time (min.)	84				72

(資料來源：本研究製作)

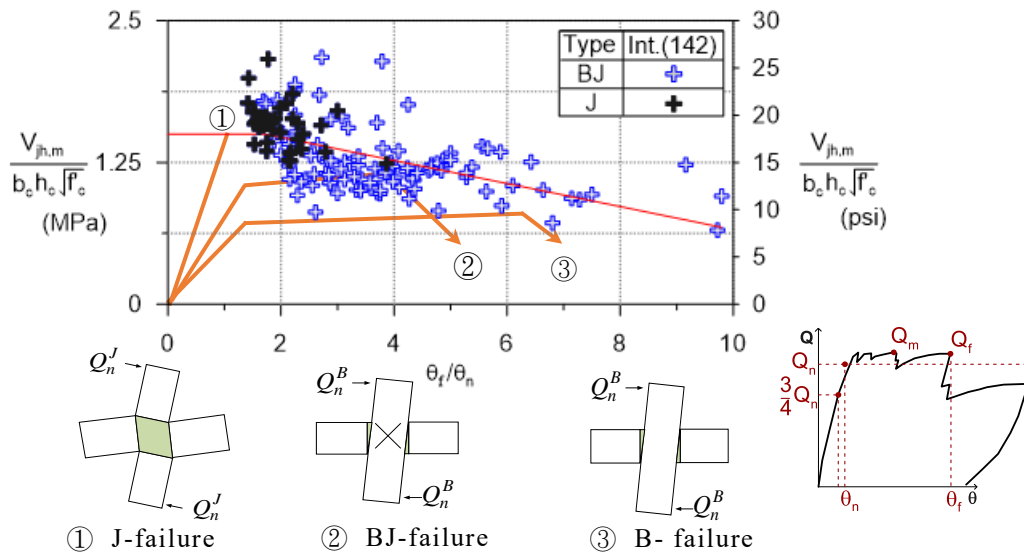


圖 3-1 接頭剪力需求、抗剪容量和破壞模式之示意圖

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

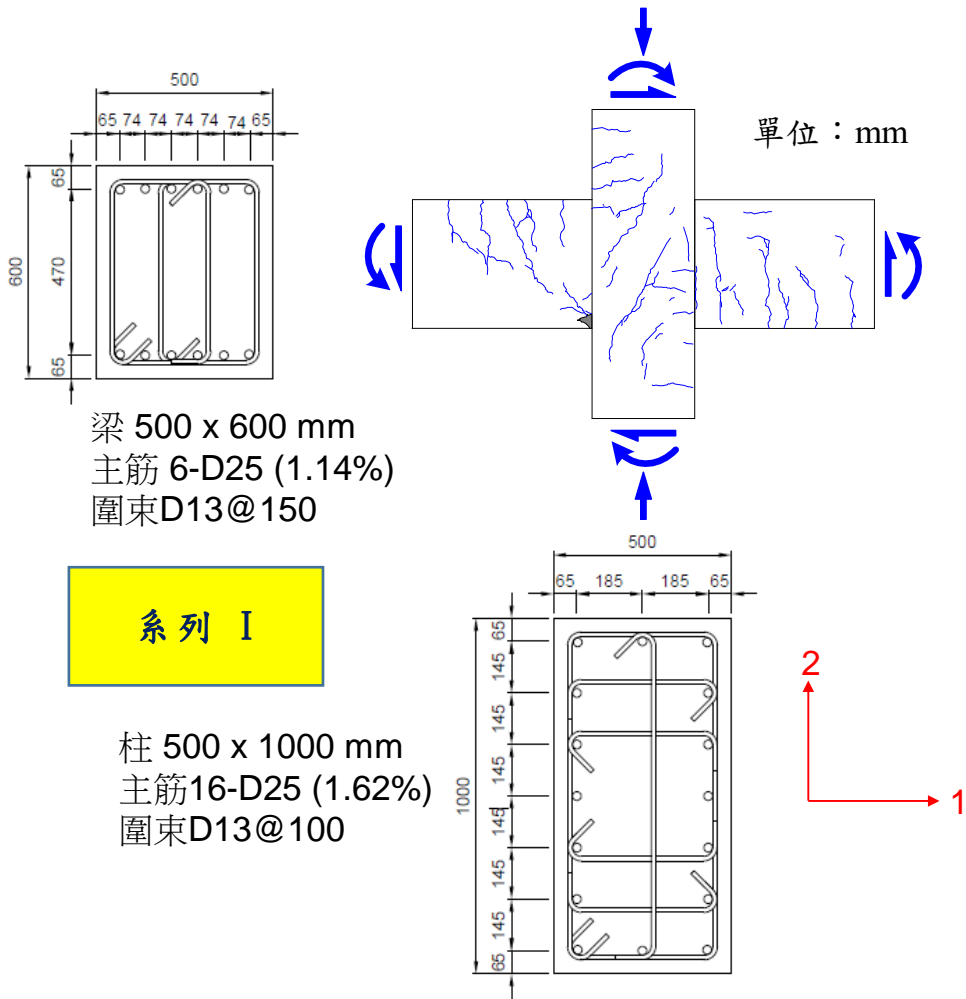


圖 3-2 測試系列 I 之梁柱構材斷面圖
(資料來源：本研究製作)

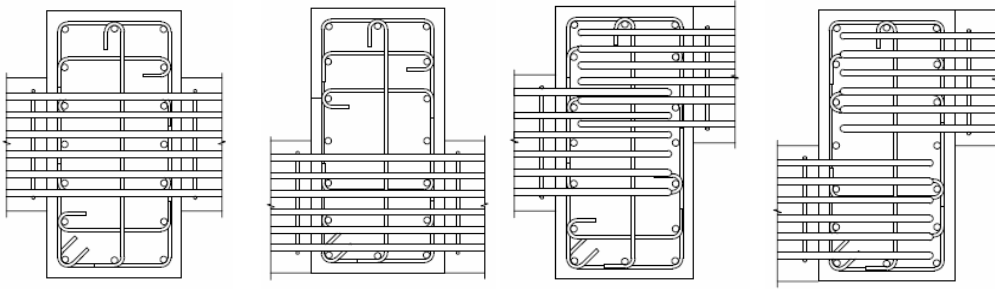


圖 3-3 測試系列 I 梁主筋貫穿或錨定於接頭之平面示意圖

(資料來源：本研究製作)

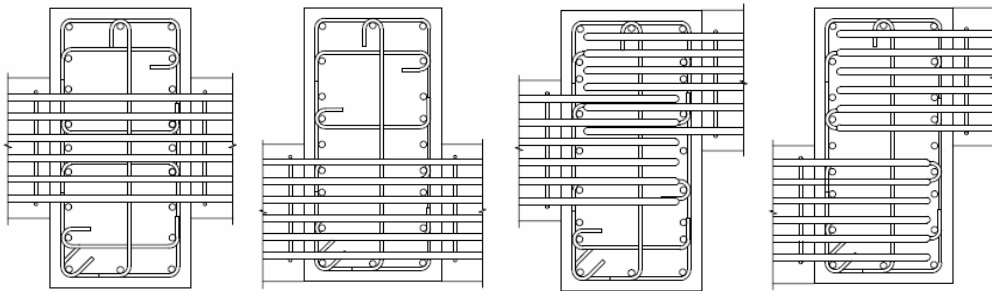


圖 3-4 測試系列 II 梁主筋貫穿或錨定於接頭之平面示意圖

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



圖 3-5 試體製造過程部分照片

(資料來源：本研究製作)



圖 3-6 混凝土抗壓強度試驗用圓柱試體和鋼筋拉伸試樣
(資料來源：本研究製作)

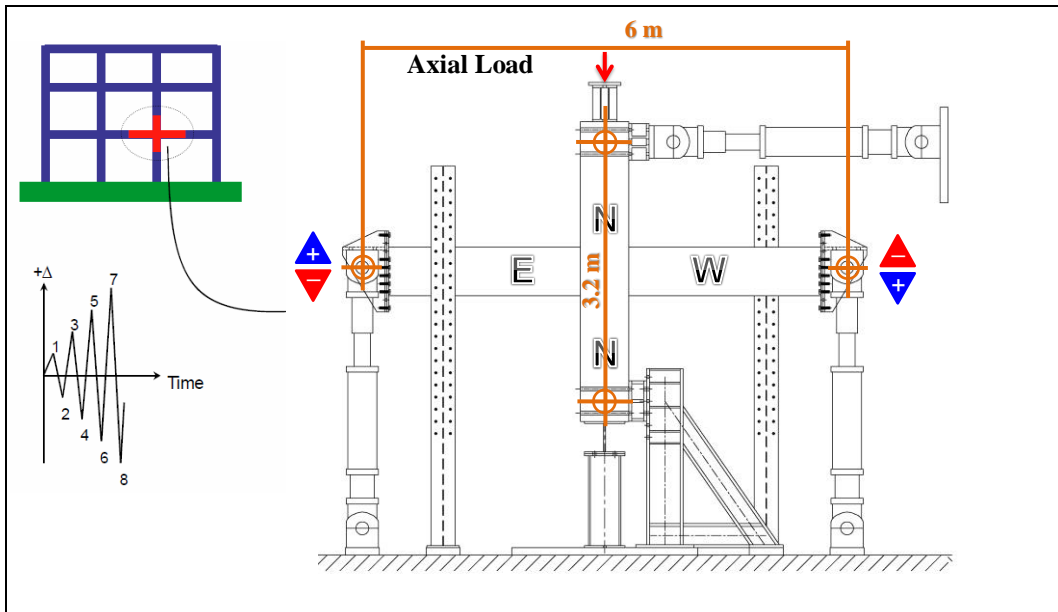


圖 3-7 梁柱接頭組件之典型試驗佈設
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

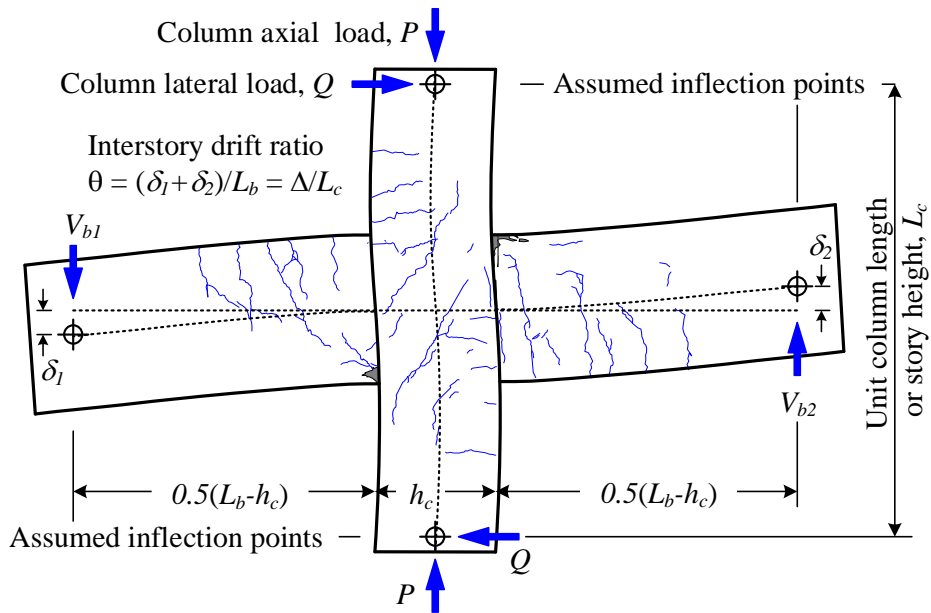


圖 3-8 梁柱接頭試體受力自由體圖
 (資料來源：本研究製作)

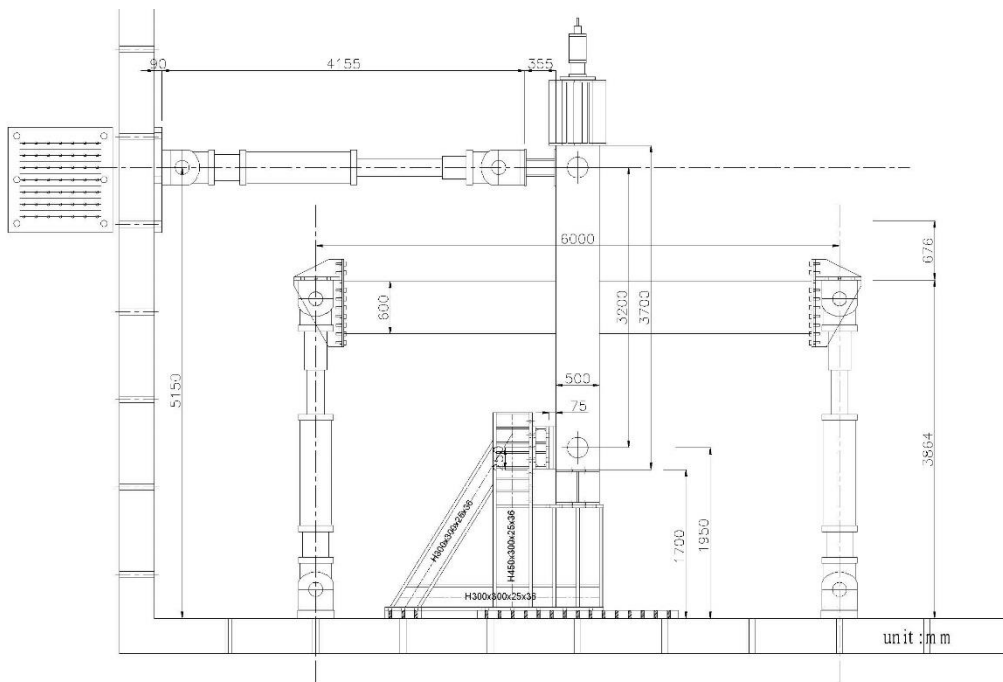


圖 3-9 本研究之試驗佈設立面圖
 (資料來源：本研究製作)

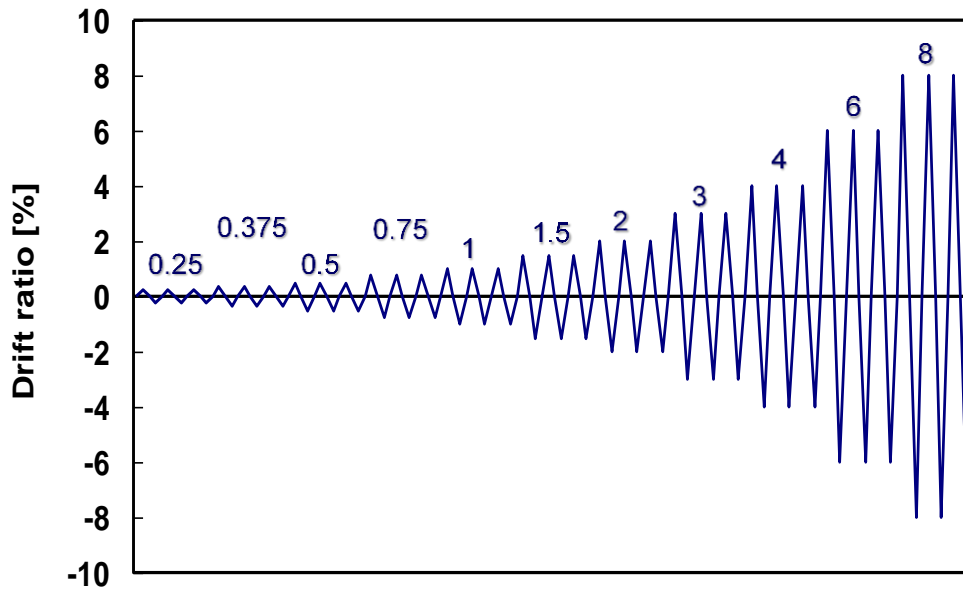


圖 3-10 反復加載位移波示意圖
(資料來源：本研究製作)



圖 3-11 試驗 1A 之佈設照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



圖 3-12 試驗儀器架設
(資料來源：本研究製作)

第四章 實驗結果與討論

基於目前國內外偏心梁柱接頭實驗成果極少，錯位偏心梁柱接頭實驗數據更是罕見，故本研究為檢討此類梁柱錯位接合接頭之耐震抗剪強度計算，以大型結構實驗模擬偏心梁柱接頭之抗震受力行為，測試接頭剪力強度和耐震性能，並與規範值作比較。本研究 6 月完成試體製造，8 月底才剛完成反復載重試驗，獲得測試數據包括整體側力位移反應、光學量測之局部變形、以及內部預埋之應變計讀數。大量數據需要後處理和分析，本章暫說明整體側力位移反應和破壞模式，較精細之局部變形和應變計量測結果，將於成果報告補正。

第一節 側力位移曲線及破壞模式

一般良好的構架設計預期小震不壞，中震可修，大震不倒。小震預期之構架層間變位角不超過 0.5%，中震性能點預期之構架層間變位角不超過 2%，大震預期之最大層間變位角為 3% 至 4%。圖 4-1 為試體 1A 側力-側位移曲線與 3%、4% 和 6% 層間變位角表面照片。標準試體受側力於層間變位角 0.25% 時梁產生撓曲裂縫，層間變位角 0.375% 接頭區開始出現斜裂紋，層間變角 1% 以前整體行為大致屬於線性範圍，符合小震不壞的耐震水準。最大側向力發生於層間變位角 3% 時，試體 1A 梁柱交界面於壓力區混凝土有些微剝落，在層間變位角 4% 時，梁塑鉸區就有整塊的混凝土剝落；層間變位角 6% 經過三迴圈後力量明顯下降 40%，柱梁交界之壓力區混凝土明顯壓碎，接頭區保護層也被剝落，梁塑鉸區混凝土破壞嚴重且向外膨脹，到層間變位角 8% 時，主要以塑鉸區混凝土破壞為主，接頭沒有新增的損壞跡象。

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

試體 1A 於梁降伏後出現梁塑鉸區擠碎但鋼筋不挫曲、梁主筋有顯著滑移，造成遲滯迴圈頸縮現象，接頭後期沒有明顯進一步剪力破壞，顯示梁主筋握裹劣化導致側向力抵抗下降，試體 1A 破壞模式為 BJa 破壞(梁主筋降伏後在接頭內握裹破壞)。

圖 4-2 為試體 1B 側力-側位移曲線與 3%、4%和 6%層間變位角表面照片。在層間變位角 1%以前大致也屬線性範圍，最大側向力強度同樣發生於層間變位角 3%，受限於梁撓曲強度。不同於試體 1A，梁端塑鉸區混凝土沒有壓碎，取而代之的是接頭區斜對角剪力裂縫和壓桿混凝土壓碎。試體 1B 之破壞模式為 BJ(梁降伏後接頭剪力破壞)。

圖 4-3 為試體 1C 側力-側位移曲線與 3%、4%和 6%層間變位角表面照片。層間變位角 2%以前跟前述試體類似，南面(偏心梁貼齊的那一面)接頭斜向裂縫發生較北面早，發生於層間變位角 0.375%，且梁的南面發生的撓曲裂縫相較北面來的多，裂縫發展與 1B 相似，到層間變位角 2%以前，接頭斜向裂縫與梁撓曲裂縫持續增加。同樣在層間變位角 3%時達到最大側力強度，注意其側力強度略高於標準試體 1A，此時梁塑鉸區混凝土些微剝落，層間變位角 4%時，梁塑鉸區、接頭區與柱角隅處混凝土剝落，層間變位角到 6%時，南面接頭混凝土發生破壞，箍筋與主筋外露，柱於東面(彎鉤末端)混凝土向外膨脹，力量已下降超過 40%，接頭混凝土嚴重破壞嚴重，核心混凝土已壓碎。接頭有明顯破壞，破壞模式同樣為 BJ 破壞，因為梁主筋採用彎鉤錨定，反而沒有握裹滑移破壞的問題，頸縮較不嚴重。

圖 4-4 為試體 1D 側力-側位移曲線與 3%、4%和 6%層間變位角表面照片。整體行為跟 1C 類似，同樣在層間變位角 3%時達到最大側力強度，但層間變位角 4%、6%的強度衰減比較顯著，想必是錯位偏心導致，試體 1D 破壞模式也是 BJ 破壞。

圖 4-5 為試體 2A 側力-側位移曲線與 3%、4%和 6%層間變位角

表面照片。不同於系列 I，系列 II 試體幾乎都還沒達到梁撓曲強度對應之側力 Q_y ，就有接頭軟化現象，屬於 J 破壞現象。例如試體 2A 於層間變位角 2% 前已略有非線性行為，層間變位角 3% 時出現最大側向力，此時梁塑鉸區混凝土有些微壓碎剝落，到了層間變位角 6% 經過三迴圈後力量明顯下降超過 30%，接頭區有顯著的斜向剪力裂縫和混凝土擠碎。但由於試體 2A 之梁主筋也是連續貫穿接頭區，梁塑鉸區與 1A 相似有端部壓碎現象(握裹劣化、梁拉力貫穿接頭錨定於另一側梁端壓力區所示)，但整體而言，層間變位角 3% 後強度下降行為是受到接頭區破壞控制，試體設計配置緊密圍束箍筋發揮了作用，讓接頭剪壞後的強度下降較為和緩，顯示了接頭箍筋的重要性。

圖 4-6 為試體 2B 側力-側位移曲線與 3%、4% 和 6% 層間變位角表面照片。注意其最大力量發生於層間變位角 3%，明顯低於試體 2A 和理想降伏強度 Q_y ，確實是接頭剪力破壞。其 3% 和 4% 層間變位角重複三圈的強度衰減都比較顯著，是本研究八座試體中，強度表現最差的試體。因為接頭有緊密圍束箍筋束制，其強度下降幅度受到控制。

圖 4-7 為試體 2C 側力-側位移曲線與 3%、4% 和 6% 層間變位角表面照片。注意其最大力量同樣發生於層間變位角 3%，明顯高於試體 2B、接近試體 1A，雖然也是接頭剪力破壞，但接頭強度其實較 2B 高一些；裂縫發展與 1C 相似，但梁撓曲裂紋較少。

圖 4-8 為試體 2D 側力-側位移曲線與 3%、4% 和 6% 層間變位角表面照片。注意其最大力量同樣發生於層間變位角 3%，高於試體 2B、接近試體 1A。但到了層間變位角 4% 和 6%，其強度衰減比較顯著，顯然錯位偏心會加速接頭區剪強度之衰減。

第二節 遲滯消能行為

圖 4-17 為消能行為正規化之示意圖。本試驗以梁端垂直制動器之遲滯迴圈做分析比較，以消散能量(Energy Dissipation, ED)、相對消能比(Relative Energy Dissipation, β)檢視試體於反復載重下之消能反應。

表 4-1 至表 4-8 為試體各迴圈消散能量整理。消散能量(ED)即為載重-位移遲滯迴圈之每一迴圈面積值。以梁端制動器繪出遲滯迴圈圖，依各迴圈積出所包覆之面積並累加。圖 4-18 至圖 4-25 為各試體各迴圈消散能量，圖 4-26 至圖 4-27 為各試體各迴圈累積消散能量，各試體於層間變位角 1.0% 以前為線性階段，勁度較大相對能量消散較少，層間變位角 1.5% 之後開始呈現非線性反應，消散能量明顯增加許多，且依序層間變位角增加而增加，以韌性變形行為來消散地震所帶來之能量。當層間變位角到 6% 時，試體已嚴重破壞。

從圖 4-26 與圖 4-27 累積消散能量來看，系列 I 的試體 1B 最差，試體 1A 僅略優於 1B，而試體 1C 和 1D 則可以消散較多能量。試體 1A 的握裹破壞和 1B 的接頭破壞都會導致遲滯迴圈頸縮，影響消能能力。試體 1C 和 1D 用彎鉤錨定少了握裹滑移，吸收能量反而比較多。系列 I 試體最大側力受限於梁降伏強度，所以強度類似。

注意系列 II，大致上還是試體 2B 最差，但 2A、2C、2D 累積的消能沒有太大差別，破壞模式都是接頭損壞，雖然強度有差異，但消散的總能量差距不大。

表 4-9 至表 4-16 為各試體相對消能比。圖 4-28 至圖 4-29 為各試體相對消能比所繪之圖形，將各圈消散能量(ED)除以理想彈塑性面積(EPP)，可以獲得相對消能比值[20]來評估性能。由於試體在層間變位角 1.0% 前大致為線性，ED/EPP 經計算比值很小，因此圖表取層間

變位角 1.5% 以後表示。由圖形得知各試體於每一層間變位角之最大消散能量比發生在第一迴圈，之後隨著層間變位角增大消散能量比隨之增加，試體在層間變位角 1.0% 以前仍為線性階段，勁度變化不大，當層間變位角 2% 以後轉為塑性階段，試體韌性發揮能量消散明顯增大，直到層間變位角 6% 後，試體有最大之相對消散能量比。

第三節 側力強度包絡線比較

圖 4-30 至圖 4-35 為 8 支試體各迴圈包絡線圖，所有的試體都在層間變位角 3% 發生最大載重，至層間變位角 6% 時有明顯破壞。其中試體 1A 在層間變位角 6% 第三迴圈力量相較第於第一迴圈下降約 40%，因為握裹損壞導致迴圈頸縮現象，使得試體側向力抵抗能力下降。試體 1B 在層間變位角 6% 第三迴圈時力量較第一迴圈下降約 30%，接頭發生剪力破壞。試體 1C 到層間變位角 6% 第三迴圈力量相較第一迴圈下降 35%，接頭發生破壞。試體 1D 到層間變位角 6% 第三迴圈力量相較第一迴圈下降超過 40%，接頭發生破壞。

系列 II 全部的試體都是在層間變位角 3% 達到最大強度，但是 4% 就已經有顯著的強度下降，從第一迴圈到第三迴圈。都是接頭發生剪力破壞。注意試體 2A 在 4% 和 6% 層間變位角的側力抵抗都高於試體 2B、2C 和 2D。試體 2C 和 2D 雖然在 3% 層間變位角強度較高，但 4% 和 6% 層間變位角強度迅速下滑，甚至比 2B 還差。

表 4-17 和 4-18 分別為系列 I 和系列 II 試體之實際參數表，即採用實測之材料強度計算之撓曲強度和剪力強度，比對試體之最大側力強度 Q_{max} 。表 4-17 系列 I 四座試體之 Q_{max} 皆可超過梁達撓曲強度對應之側力強度 Q_y ，而表 4-18 系列 II 僅試體 2D 之 Q_{max} 勉強超過 Q_y 。依梁柱接頭試驗資料庫經驗，若鋼筋降伏強度等級 SD 420W，梁主筋若

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

能充分錨定於接頭區，使梁塑鉸充分地發展，依經驗撓曲超額強度比值 Q_{max}/Q_y 大約落在 1.10，本研究試體都落在 1.10 以下，顯示鋼筋之超額強度發展不完全，即應變硬化發展不完全，系列 I 推測是因為鋼筋握裹滑移較嚴重，而系列 II 則是因為接頭剪應力過高軟化所致。

將 Q_{max} 依式(3-1)可以反算接頭之最大測試剪力 $V_{jh,m}$ ，如表 4-17 和 4-18 所列之 $V_n/V_{jh,m}$ 比值基本上皆小於 1.0 (偏向保守)，在此接頭剪力強度標稱值 V_n 以新版規範草案計算，有效寬度取接頭兩側之較小值，可以獲得保守的抗剪強度評估。

總結八座試體，就強度而言，系列 I 為接頭剪應力較低，但柱採用最小深度，所以 3% 以上層間變位有握裹滑移破壞混合接頭剪力破壞的現象，但因為接頭有緊密箍筋，所以強度下降還算和緩。系列 II 接頭剪應力較高，預期為接頭剪力破壞，測試為接頭剪力破壞，部分梁主筋勉強達到降伏強度但其實塑性鉸發展不完整，破壞集中在接頭區。其中，正交試體 2A 為對照組，錯位偏心試體 2C 和 2D 雖然最大強度不亞於 2A，但是錯位偏心接合導致接頭強度劣化較為劇烈，後期強度其實跟 1B 比較接近。

表 4-1 試體 1A 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)

Drift (%)	1A			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.53	0.26	0.21	1.01	1.01	0.34
0.375	0.78	0.41	0.37	1.55	2.56	0.52
0.5	1.07	0.68	0.57	2.32	4.88	0.77
0.75	2.39	1.31	1.12	4.82	9.70	1.61
1	3.45	2.22	2.07	7.74	17.44	2.58
1.5	10.15	5.54	4.54	20.23	37.67	6.74
2	16.15	9.96	8.14	34.24	71.91	11.41
3	37.48	25.27	19.54	82.29	154.20	27.43
4	41.87	29.36	24.47	95.70	249.91	31.90
6	65.63	41.01	32.89	139.53	389.43	46.51

表 4-2 試體 1B 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)

Drift (%)	1B			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.53	0.35	0.30	1.18	1.18	0.39
0.375	0.89	0.55	0.48	1.91	3.09	0.64
0.5	1.15	0.81	0.73	2.69	5.78	0.90
0.75	2.37	1.50	1.32	5.20	10.98	1.73
1	3.04	2.26	2.04	7.35	18.33	2.45
1.5	8.76	5.01	4.46	18.24	36.57	6.08
2	14.49	9.13	7.77	31.39	67.96	10.46
3	33.43	20.41	17.19	71.03	138.98	23.68
4	38.25	27.94	24.29	90.48	229.47	30.16
6	69.64	48.55	40.42	158.61	388.08	52.87

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

表 4-3 試體 1C 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)

Drift (%)	1C			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.54	0.29	0.27	1.10	1.10	0.37
0.375	0.82	0.47	0.42	1.70	2.81	0.57
0.5	1.20	0.74	0.65	2.60	5.40	0.87
0.75	2.50	1.45	1.31	5.25	10.65	1.75
1	3.55	2.29	2.12	7.96	18.62	2.65
1.5	11.00	6.31	5.64	22.95	41.57	7.65
2	19.58	12.89	10.96	43.42	84.99	14.47
3	42.62	29.76	25.05	97.43	182.42	32.48
4	52.26	37.50	30.92	120.68	303.10	40.23
6	83.49	59.15	44.59	187.22	490.33	62.41

表 4-4 試體 1D 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)

Drift (%)	1D			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.49	0.26	0.22	0.97	0.97	0.32
0.375	0.77	0.43	0.37	1.57	2.54	0.52
0.5	0.99	0.64	0.59	2.23	4.77	0.74
0.75	2.55	1.37	1.23	5.15	9.92	1.72
1	3.33	2.14	1.93	7.40	17.32	2.47
1.5	12.26	7.04	5.82	25.12	42.44	8.37
2	20.56	14.10	11.87	46.52	88.97	15.51
3	43.64	30.57	24.81	99.02	187.99	33.01
4	49.18	36.45	29.68	115.31	303.30	38.44
6	77.95	53.57	42.19	173.71	477.01	57.90

表 4-5 試體 2A 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)

Drift (%)	2A			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.50	0.32	0.29	1.12	1.12	0.37
0.375	0.86	0.52	0.50	1.89	3.01	0.63
0.5	1.27	0.87	0.75	2.88	5.89	0.96
0.75	2.68	1.56	1.43	5.66	11.55	1.89
1	3.78	2.36	2.15	8.29	19.84	2.76
1.5	9.24	5.38	4.80	19.42	39.26	6.47
2	16.56	10.29	8.84	35.69	74.95	11.90
3	41.28	24.95	20.83	87.06	162.01	29.02
4	49.81	34.83	30.51	115.15	277.16	38.38
6	88.32	61.84	52.83	202.99	480.15	67.66

表 4-6 試體 2B 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)

Drift (%)	2B			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.55	0.33	0.26	1.14	1.14	0.38
0.375	0.89	0.52	0.47	1.88	3.01	0.63
0.5	1.11	0.76	0.70	2.57	5.59	0.86
0.75	2.42	1.60	1.31	5.33	10.92	1.78
1	3.77	3.25	2.13	9.14	20.06	3.05
1.5	8.41	4.88	4.33	17.62	37.68	5.87
2	14.80	9.83	8.90	33.53	71.21	11.18
3	37.96	25.67	22.00	85.63	156.85	28.54
4	48.15	35.43	30.98	114.56	271.41	38.19
6	82.44	59.94	49.83	192.21	463.61	64.07

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

表 4-7 試體 2C 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)\

Drift (%)	2C			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.51	0.26	0.25	1.02	1.02	0.34
0.375	0.82	0.47	0.39	1.68	2.70	0.56
0.5	1.16	0.77	0.69	2.62	5.31	0.87
0.75	2.60	1.52	1.33	5.45	10.76	1.82
1	3.72	2.46	2.24	8.42	19.18	2.81
1.5	9.76	5.99	5.21	20.96	40.15	6.99
2	17.00	11.13	9.79	37.92	78.07	12.64
3	40.62	25.33	22.02	87.97	166.04	29.32
4	47.16	33.63	28.75	109.54	275.57	36.51
6	83.06	57.99	45.06	186.12	461.69	62.04

表 4-8 試體 2D 之各迴圈消散能量累積及平均值(單位:KJ)

Drift (%)	2D			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
0.25	0.55	0.36	0.31	1.22	1.22	0.41
0.375	0.91	0.60	0.51	2.02	3.23	0.67
0.5	1.35	0.85	0.74	2.94	6.18	0.98
0.75	2.99	1.71	1.56	6.26	12.43	2.09
1	4.06	2.67	2.47	9.20	21.63	3.07
1.5	10.46	6.12	5.46	22.04	43.67	7.35
2	17.77	11.25	9.65	38.67	82.34	12.89
3	42.55	25.49	20.87	88.91	171.25	29.64
4	47.39	33.38	27.91	108.67	279.92	36.22
6	74.86	57.28	46.21	178.36	458.28	59.45

表 4-9 試體 1A 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	1A			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.22	0.12	0.10	0.44	4.58	0.15
2	0.21	0.14	0.11	0.46	5.04	0.15
3	0.28	0.20	0.16	0.64	5.68	0.21
4	0.22	0.18	0.16	0.56	6.25	0.19
6	0.24	0.19	0.17	0.61	6.85	0.20

表 4-10 試體 1B 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	1B			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.20	0.12	0.10	0.42	6.63	0.14
2	0.20	0.13	0.11	0.45	7.09	0.15
3	0.26	0.17	0.15	0.59	7.67	0.20
4	0.21	0.17	0.16	0.54	8.21	0.18
6	0.24	0.20	0.18	0.63	8.84	0.21

表 4-11 試體 1C 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	1C			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.23	0.14	0.12	0.49	5.21	0.16
2	0.25	0.17	0.15	0.58	5.78	0.19
3	0.31	0.22	0.19	0.73	6.51	0.24
4	0.27	0.21	0.18	0.65	7.16	0.22
6	0.28	0.24	0.21	0.72	7.88	0.24

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

表 4-12 試體 1D 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	1D			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.26	0.15	0.12	0.53	6.99	0.18
2	0.27	0.19	0.16	0.61	7.60	0.20
3	0.31	0.23	0.20	0.74	8.34	0.25
4	0.26	0.21	0.19	0.65	9.00	0.22
6	0.28	0.24	0.22	0.75	9.74	0.25

表 4-13 試體 2A 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	2A			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.19	0.11	0.10	0.39	6.25	0.13
2	0.20	0.12	0.11	0.43	6.68	0.14
3	0.26	0.17	0.15	0.58	7.26	0.19
4	0.22	0.17	0.16	0.55	7.82	0.18
6	0.25	0.21	0.20	0.66	8.48	0.22

表 4-14 試體 2B 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	2B			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.18	0.11	0.10	0.39	5.53	0.13
2	0.19	0.13	0.12	0.44	5.97	0.15
3	0.26	0.19	0.17	0.63	6.61	0.21
4	0.24	0.20	0.18	0.62	7.23	0.21
6	0.27	0.23	0.21	0.70	7.93	0.23

表 4-15 試體 2C 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	2C			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.20	0.12	0.11	0.43	7.61	0.14
2	0.20	0.14	0.12	0.47	8.08	0.16
3	0.27	0.18	0.17	0.61	8.69	0.20
4	0.23	0.18	0.17	0.57	9.26	0.19
6	0.27	0.23	0.21	0.72	9.98	0.24

表 4-16 試體 2D 之各迴圈相對消能比(E_D/E_{PP})

Drift (%)	2D			小計	累計	平均
	1st	2nd	3rd			
1.5	0.20	0.12	0.10	0.42	6.23	0.14
2	0.20	0.13	0.11	0.44	6.68	0.15
3	0.26	0.18	0.15	0.59	7.27	0.20
4	0.23	0.18	0.16	0.57	7.84	0.19
6	0.25	0.24	0.22	0.70	8.54	0.23

表 4-17 系列 I 試體實際參數表

試體代號	1A	1B	1C	1D
$f'_{c,m}$ (tf/m ²)	2935.8	3089.1	3225.2	3283.4
M_{nc} (tf-m)	103.58	104.62	105.13	105.57
M_{nb} (tf-m)	68.04	68.29	68.41	68.52
M_R	1.52	1.53	1.54	1.54
$A_{sh,ratio1}$	1.37	1.26	1.22	1.18
$A_{sh,ratio2}$	1.50	1.38	1.33	1.29
Q_{max} (kN)	466	468	497	488
Q_y (kN)	454.6	456.3	457.1	457.9
Q_{max}/Q_y	1.02	1.03	1.09	1.07
$V_{jh,m}$ (tf)	205.76	251.59	267.09	262.47
$V_n/V_{jh,m}$	1.00	0.85	0.67	0.69

表 4-18 系列 II 試體實際參數表

試體代號	2A	2B	2C	2D
$f'_{c,m}$ (tf/m ²)	2709.0	3009.6	3116.3	3277.5
M_{nc} (tf-m)	119.89	121.25	121.76	122.22
M_{nb} (tf-m)	86.72	87.14	87.35	87.54
M_R	1.38	1.39	1.39	1.40
$A_{sh,ratio1}$	1.37	1.26	1.22	1.18
$A_{sh,ratio2}$	1.50	1.38	1.33	1.29
Q_{max} (kN)	578	535	568	594
Q_y (kN)	579.5	582.3	583.7	584.9
Q_{max}/Q_y	0.99	0.92	0.97	1.02
$V_{jh,m}$ (tf)	310.59	287.60	305.00	319.11
$V_n/V_{jh,m}$	0.78	0.74	0.58	0.57

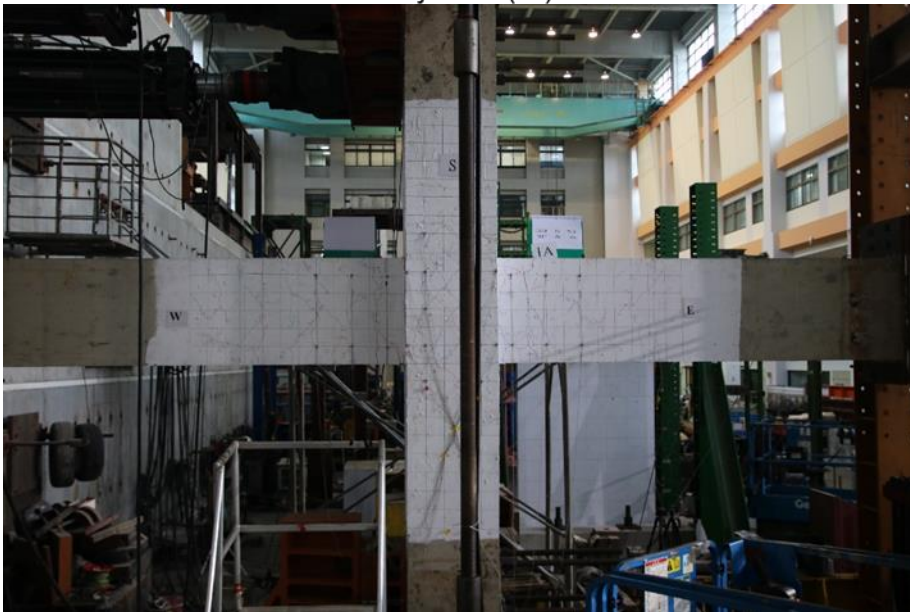
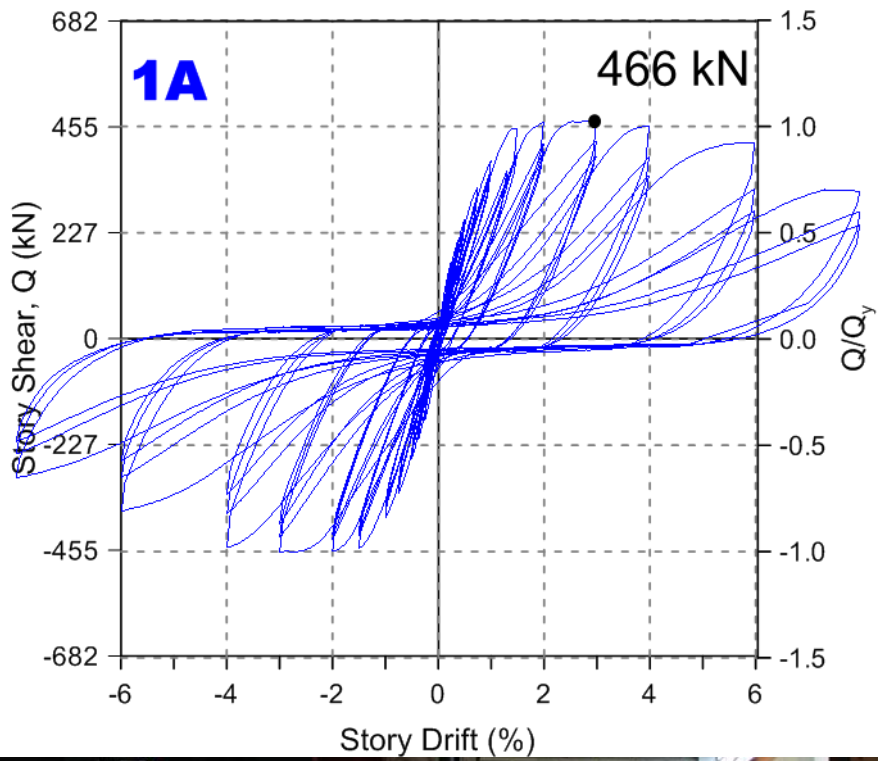


圖 4-1 試體 1A 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

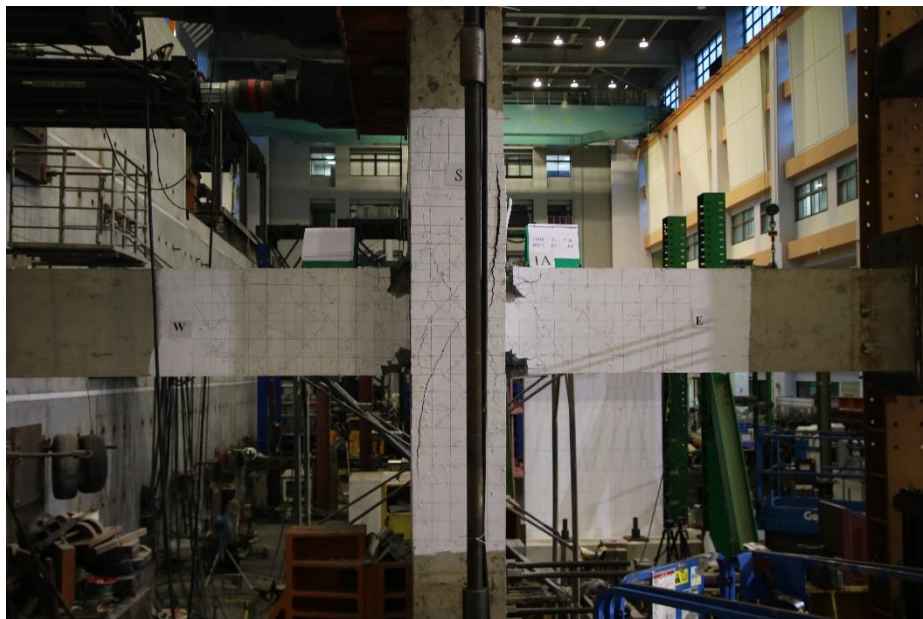


圖 4-2 試體 1A 層間變位 4%、6% 照片
(資料來源：本研究製作)

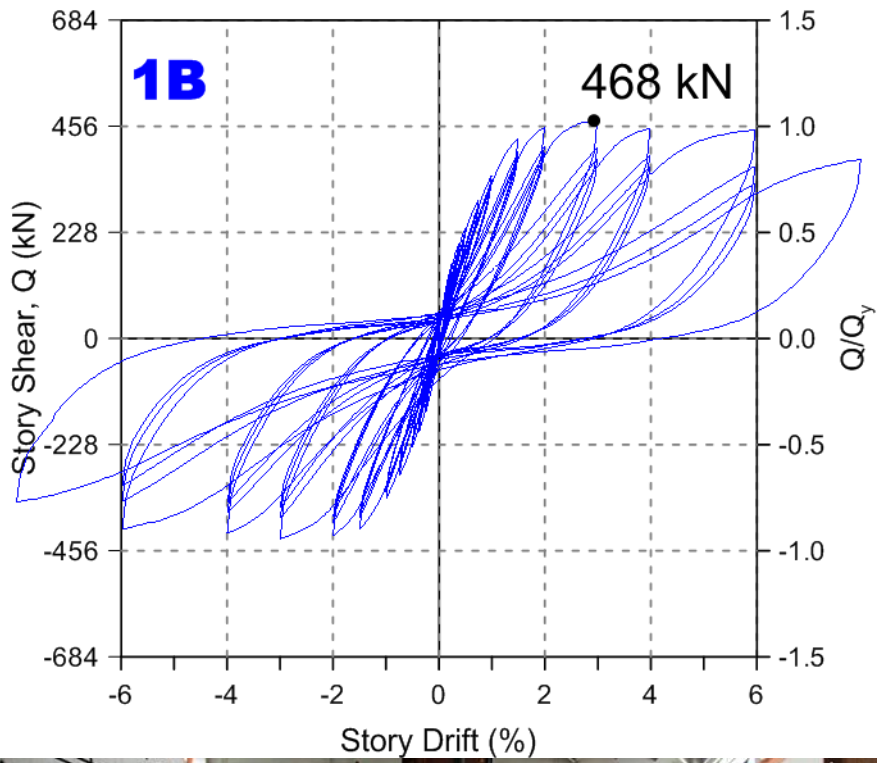


圖 4-3 試體 1B 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



圖 4-4 試體 1B 層間變位 4%、6% 照片
(資料來源：本研究製作)

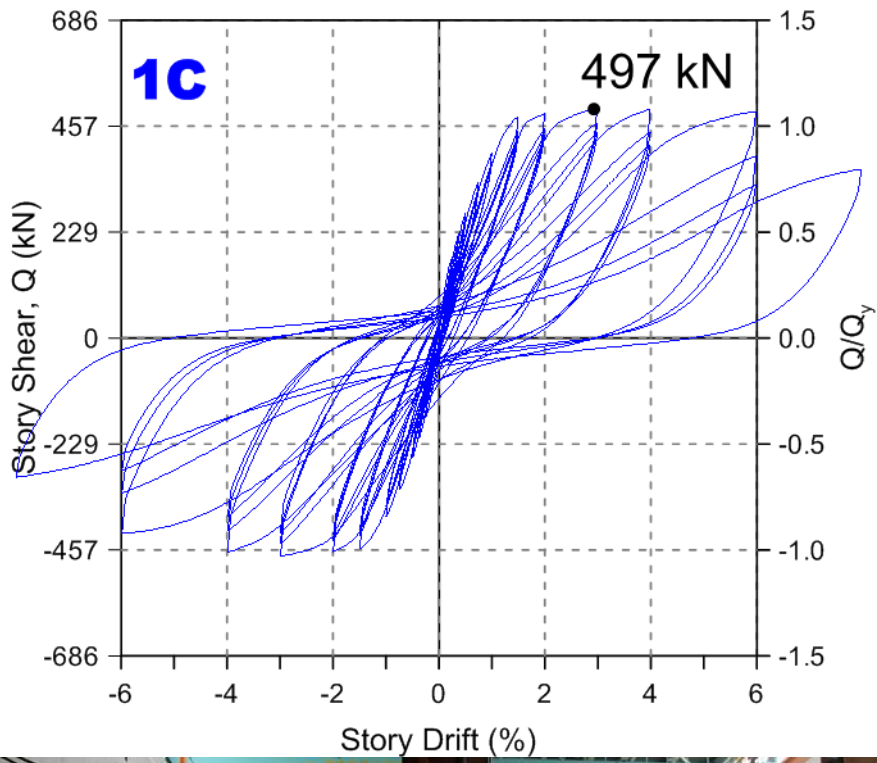


圖 4-5 試體 1C 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



圖 4-6 試體 1C 層間變位 4%、6% 照片
(資料來源：本研究製作)

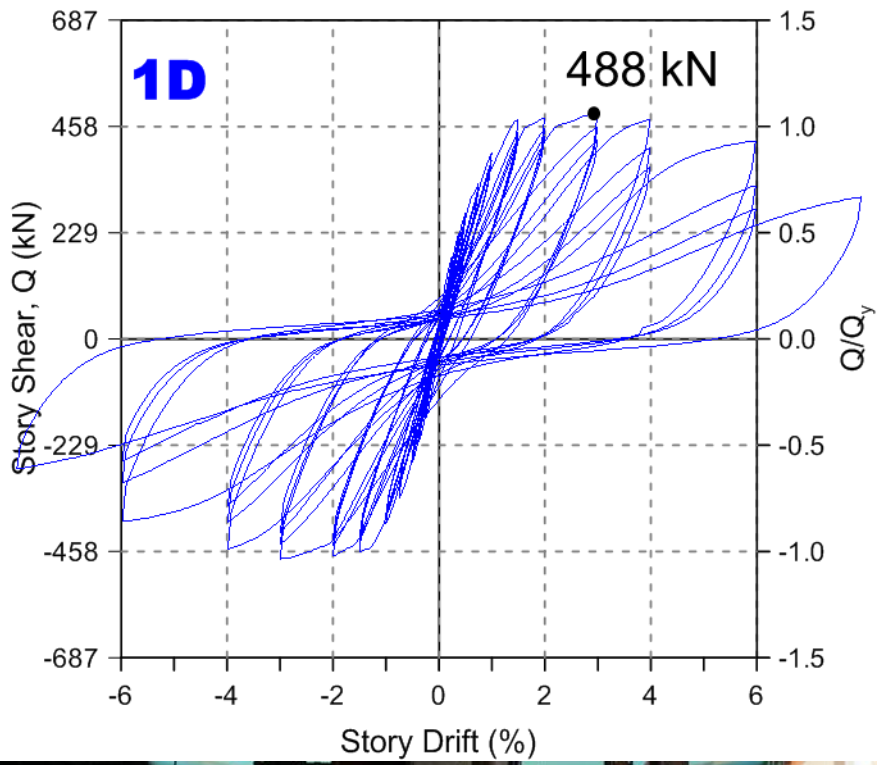


圖 4-7 試體 1D 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

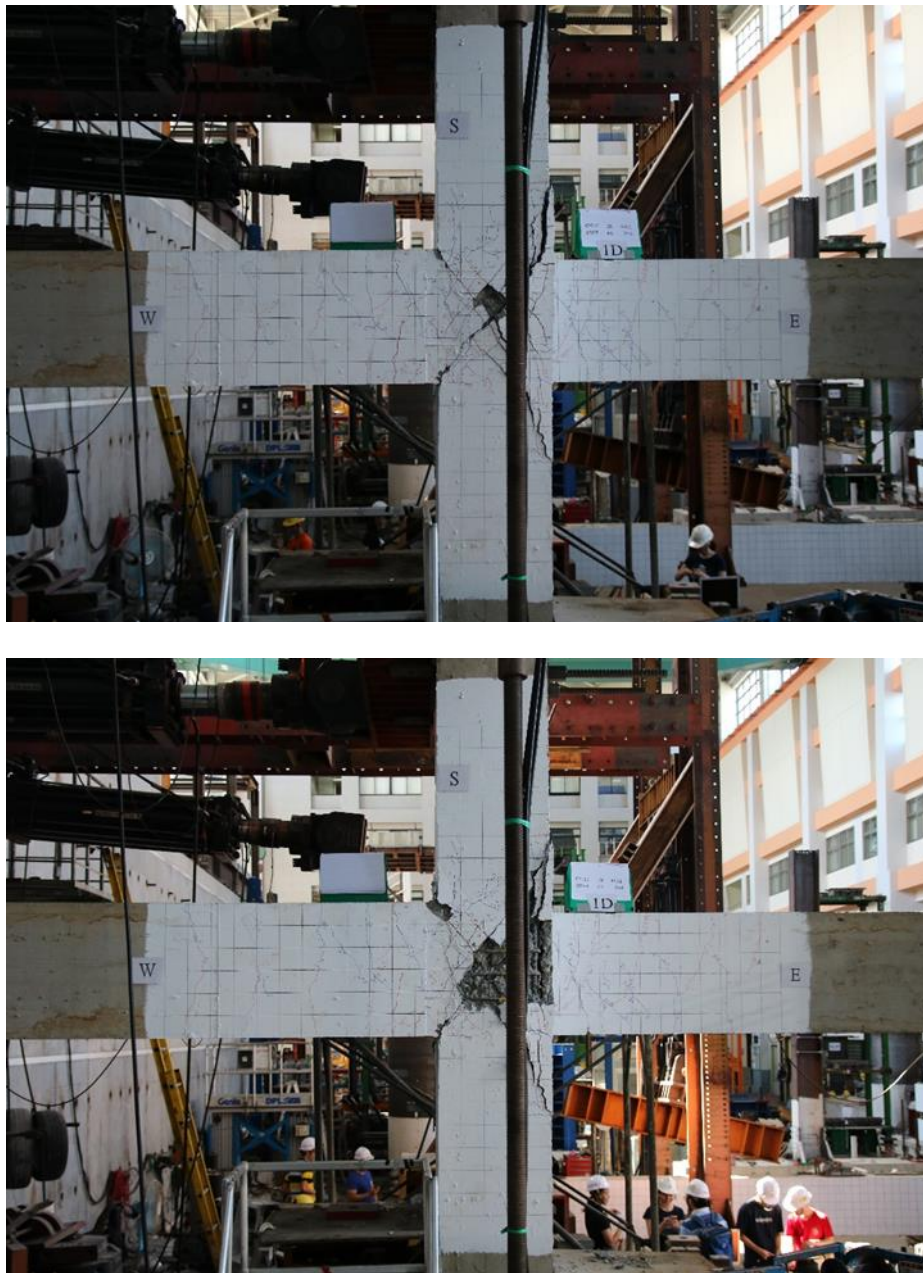


圖 4-8 試體 1D 層間變位 4%、6% 照片
(資料來源：本研究製作)

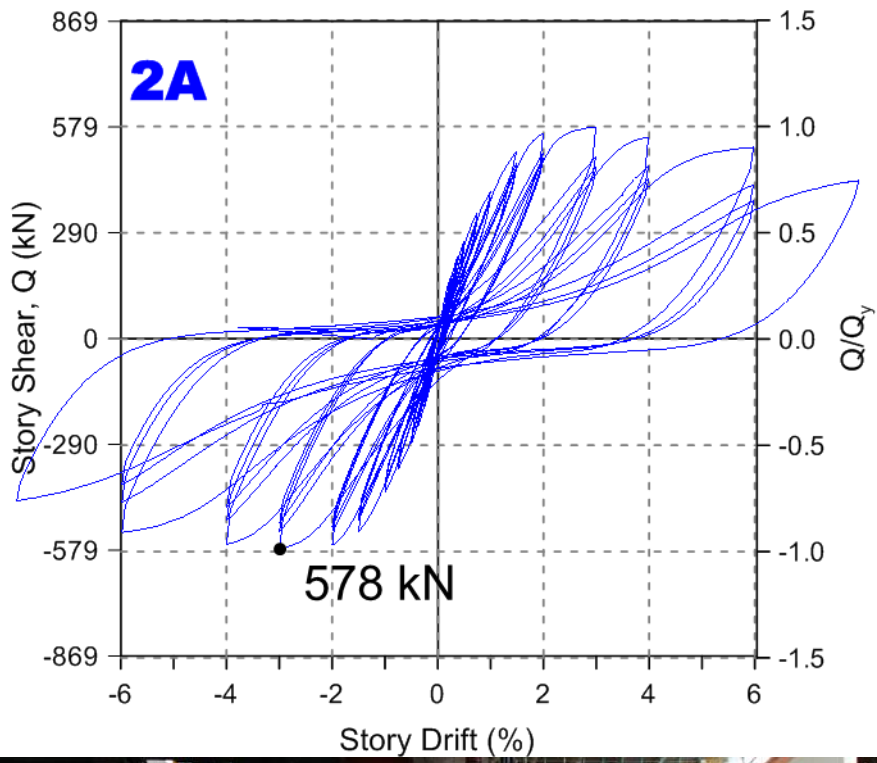


圖 4-9 試體 2A 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

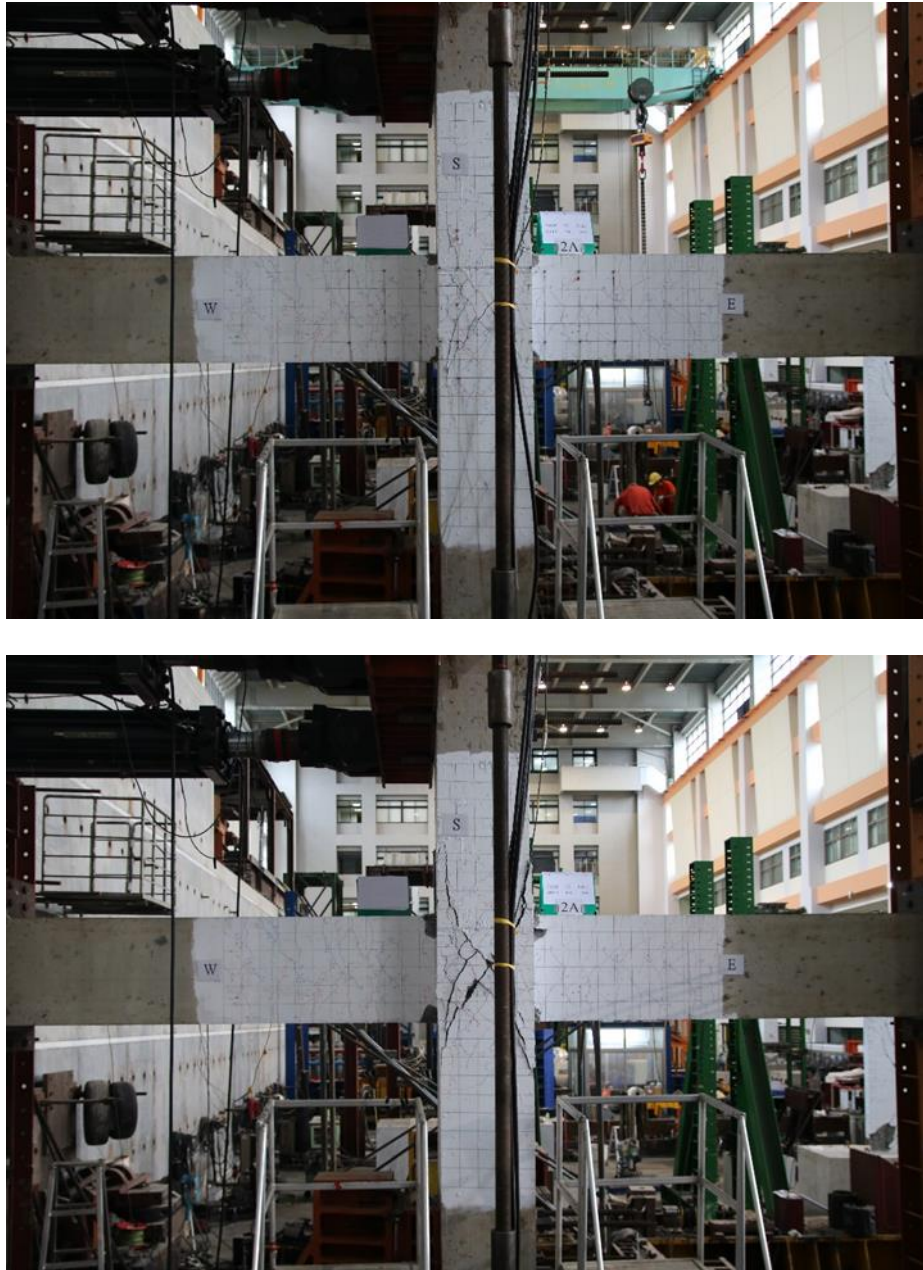


圖 4-10 試體 2A 層間變位 4%、6%照片
(資料來源：本研究製作)

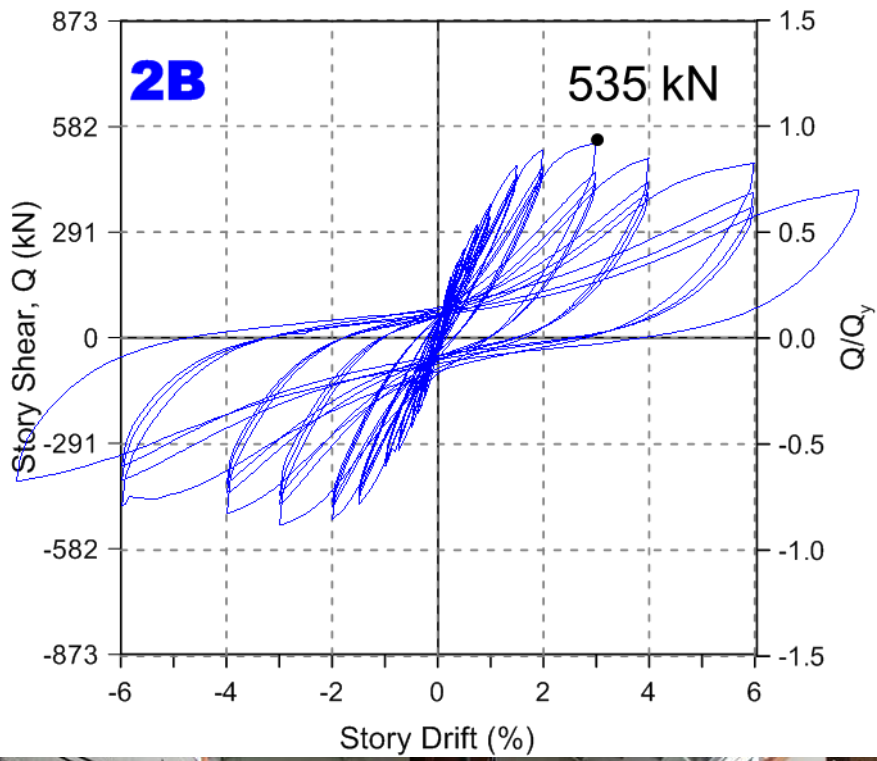


圖 4-11 試體 2B 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

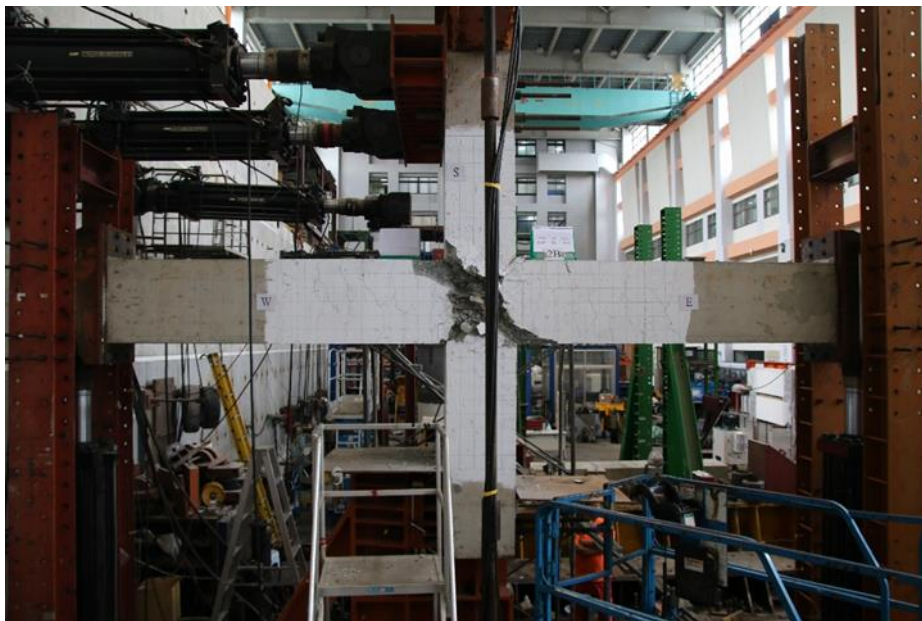


圖 4-12 試體 2B 層間變位 4%、6% 照片
(資料來源：本研究製作)

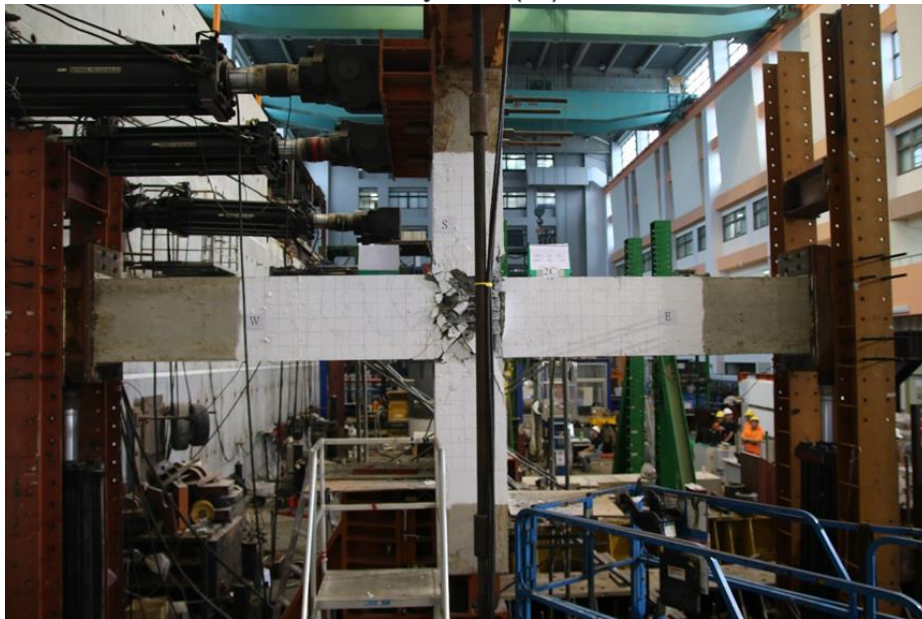
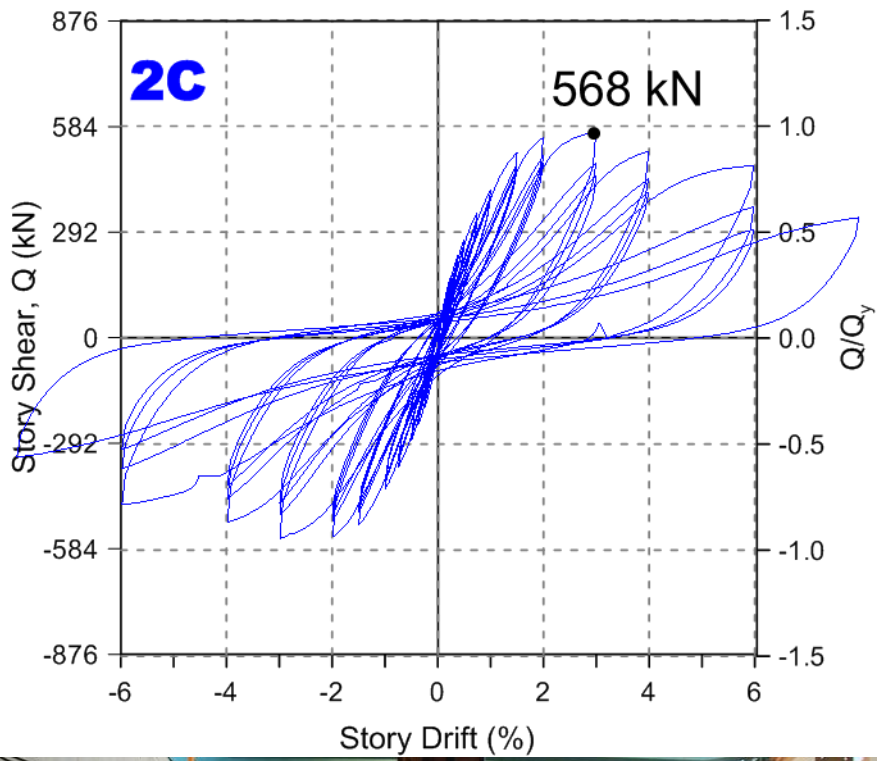


圖 4-13 試體 2C 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



圖 4-14 試體 2C 層間變位 4%、6% 照片
(資料來源：本研究製作)

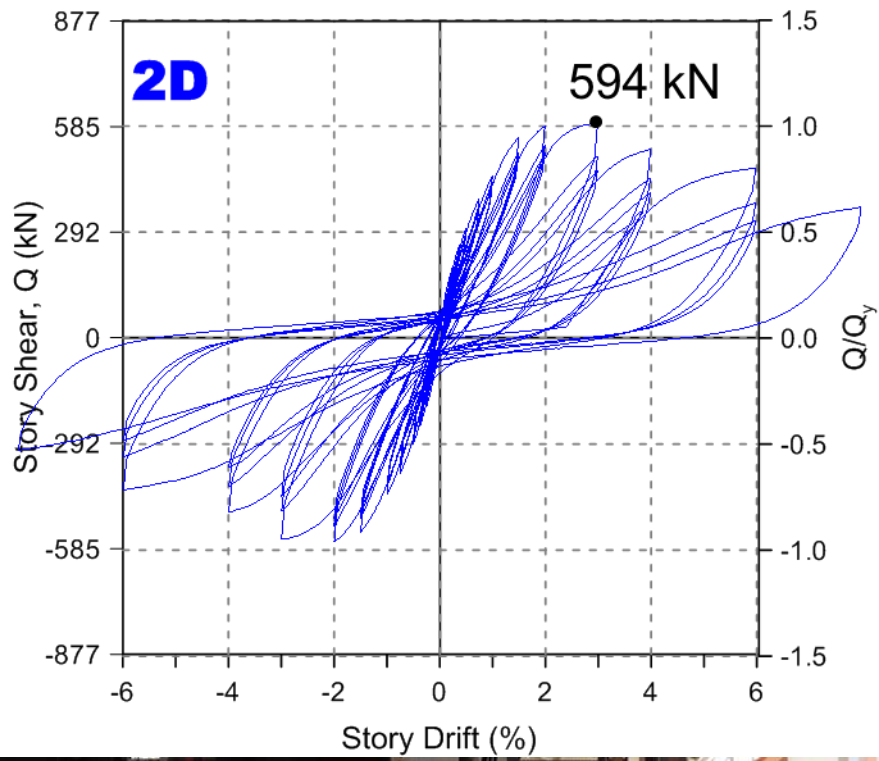


圖 4-15 試體 2D 之遲滯迴圈與層間變位 3% 照片
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

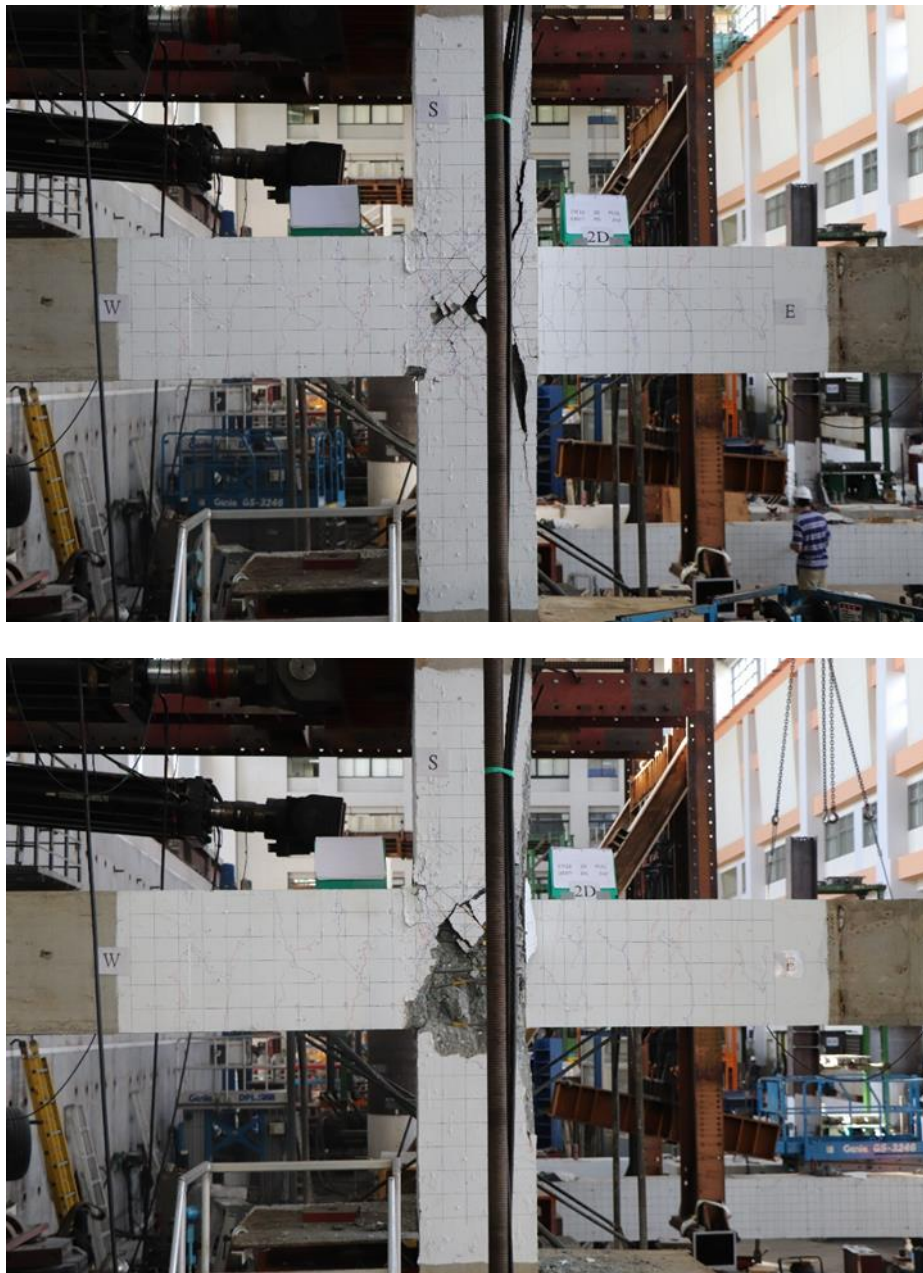
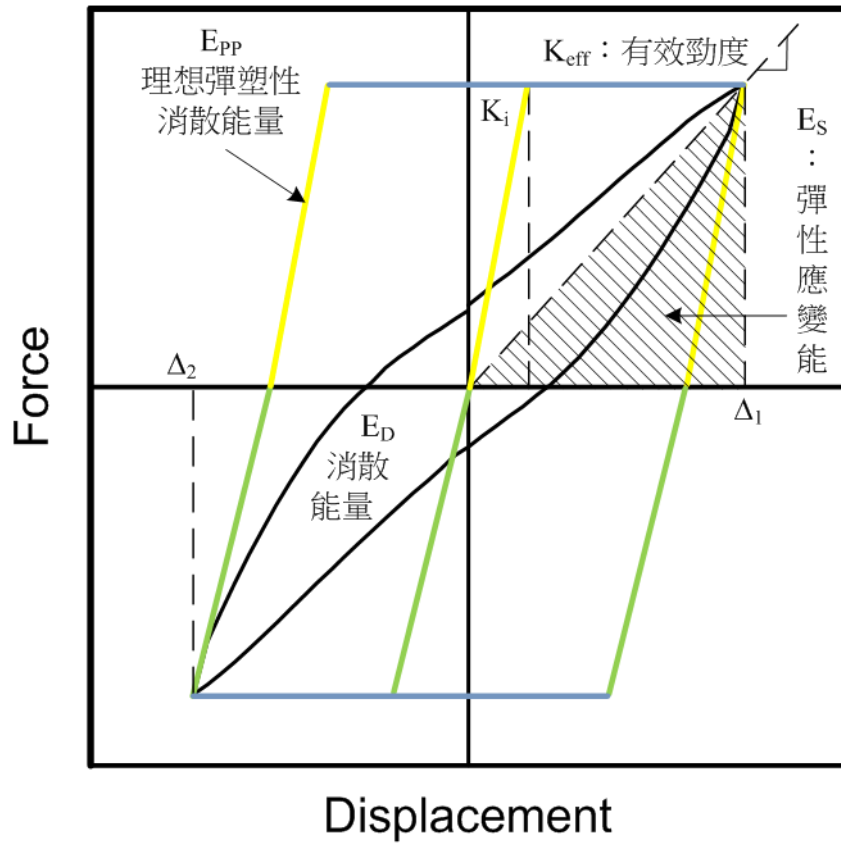


圖 4-16 試體 2D 層間變位 4%、6%照片
(資料來源：本研究製作)



相對消能比 $\beta = \frac{E_D}{E_{PP}}$

等效黏滯阻尼比 $\xi_{eq} = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{E_D}{E_S} \right)$

圖 4-17 消散能量 E_D 與理想塑性曲線 E_{PP} 之示意圖
(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

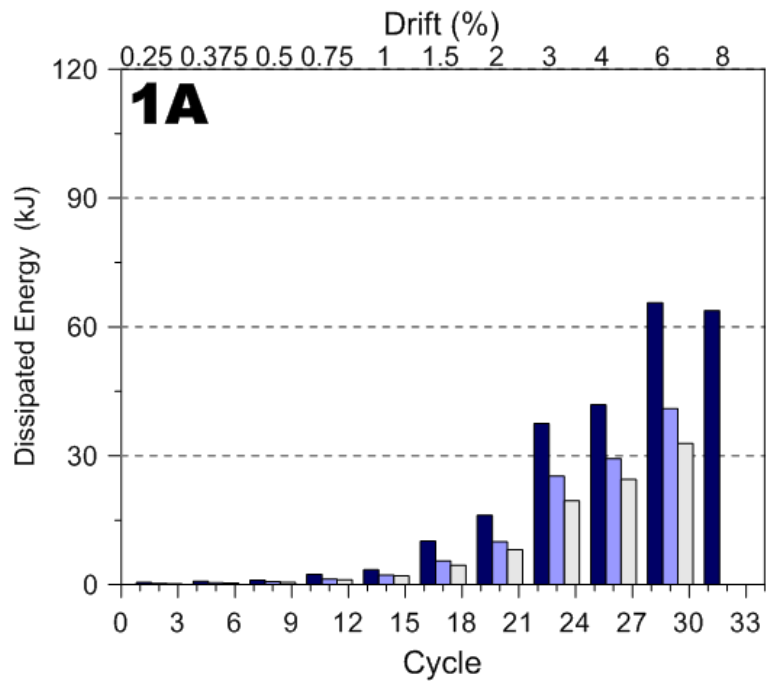


圖 4-18 試體 1A 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

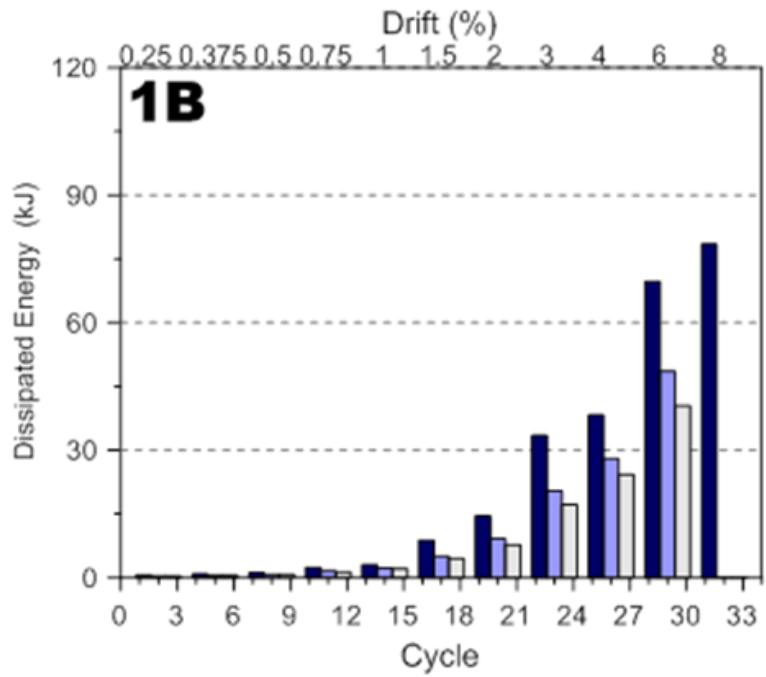


圖 4-19 試體 1B 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

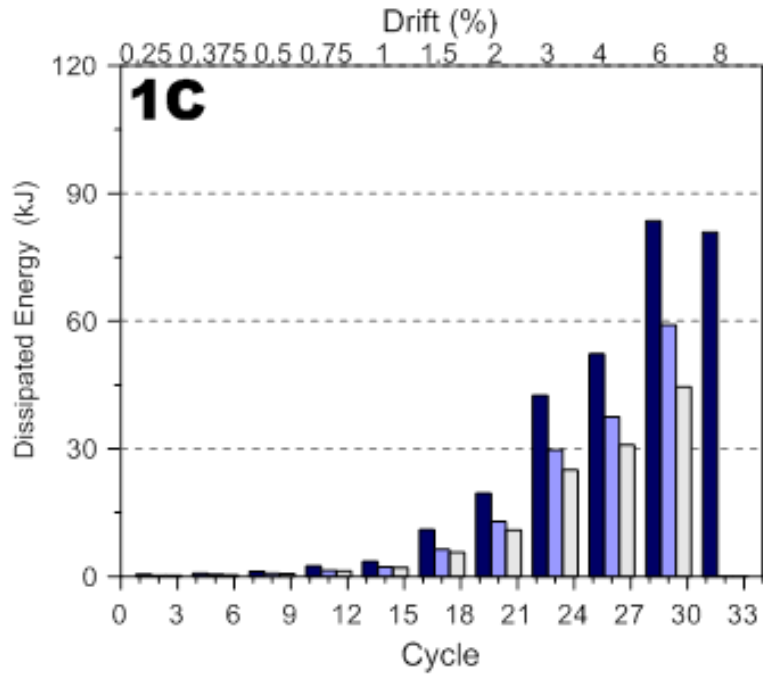


圖 4-20 試體 1C 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

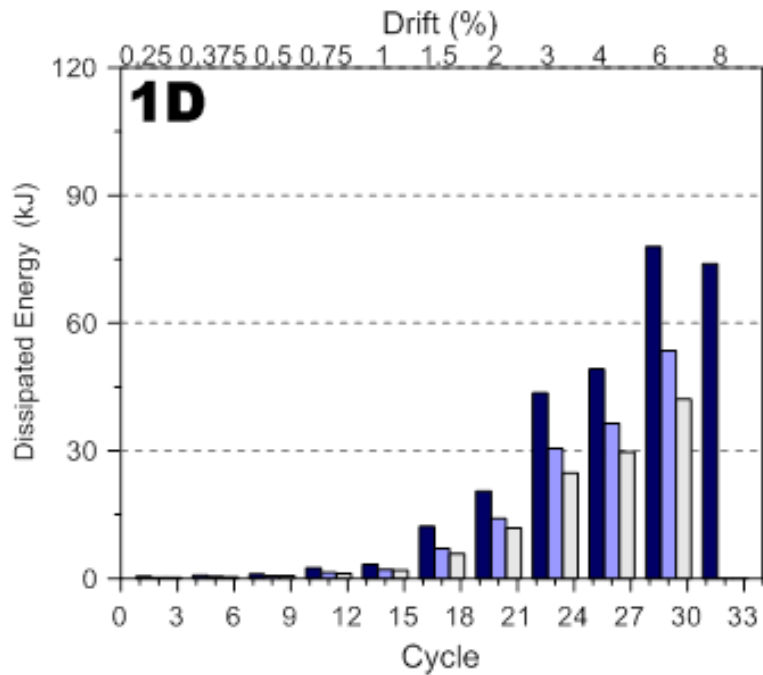


圖 4-21 試體 1D 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

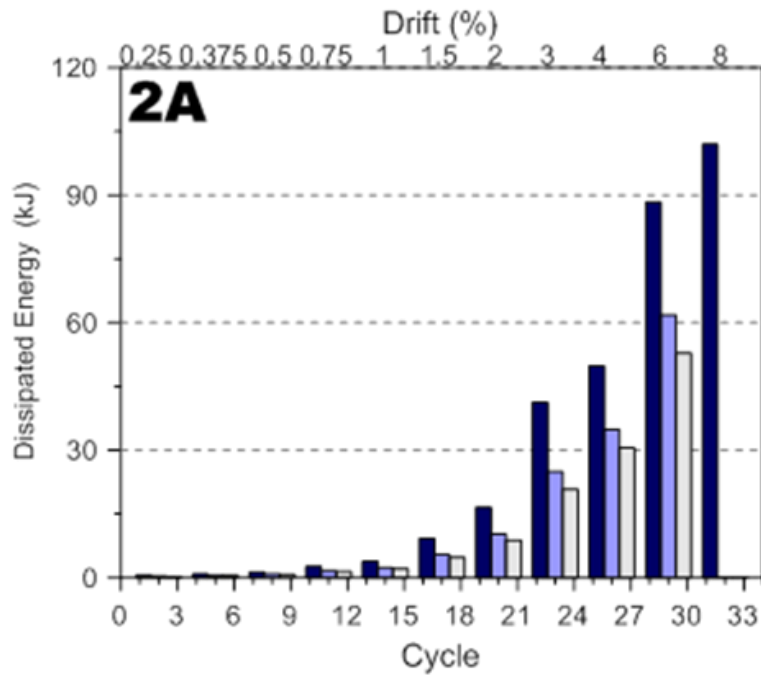


圖 4-22 試體 2A 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

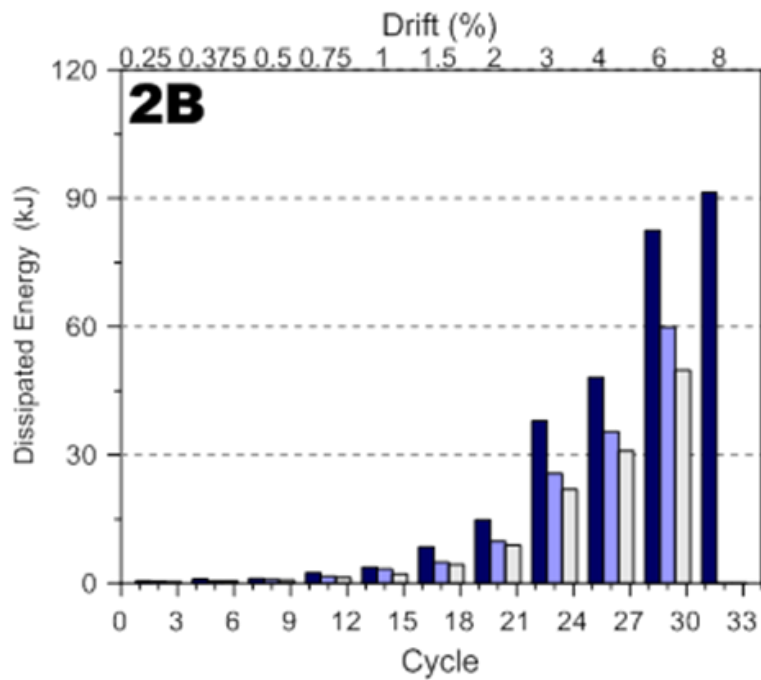


圖 4-23 試體 2B 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

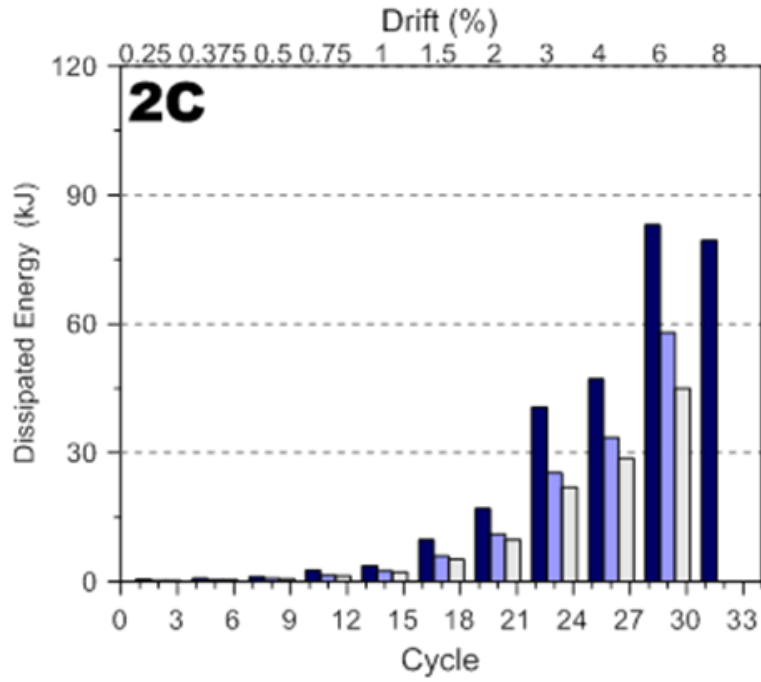


圖 4-24 試體 2C 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

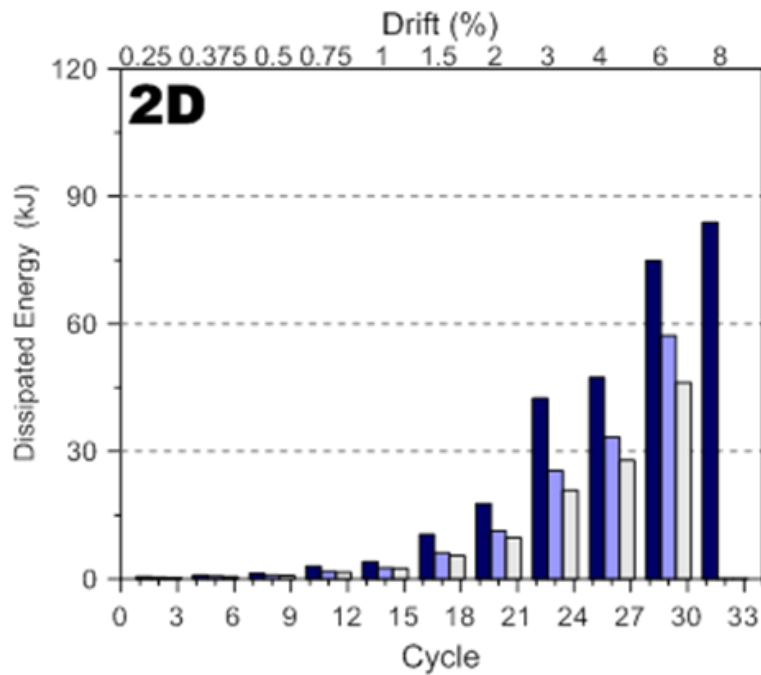


圖 4-25 試體 2D 各迴圈之消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

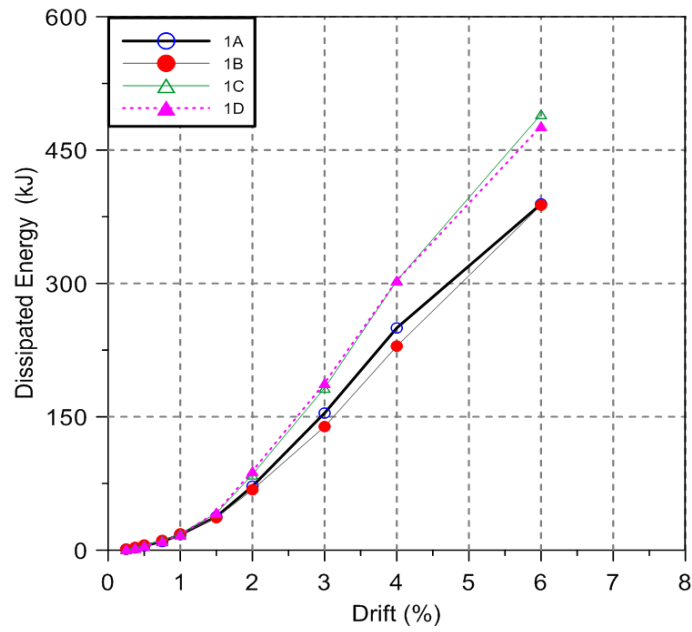


圖 4-26 系列 I 試體各迴圈之累積消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

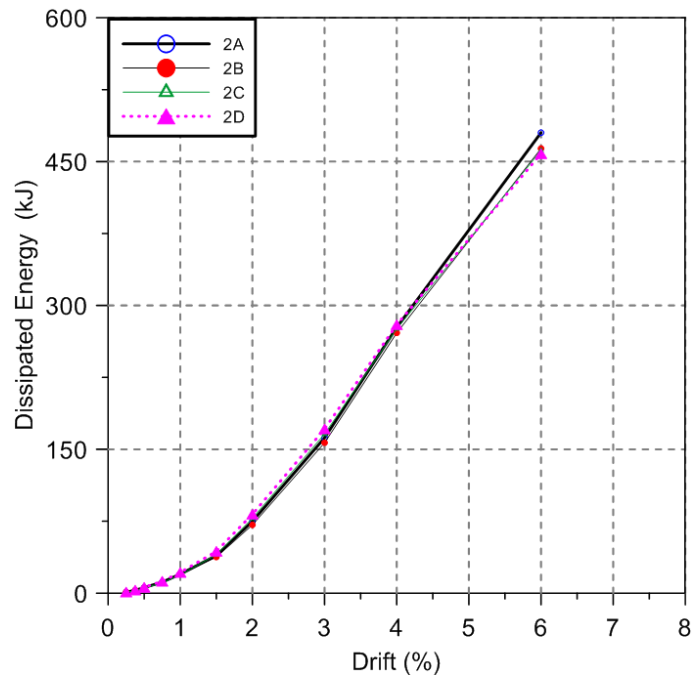


圖 4-27 系列 II 試體各迴圈之累積消散能量圖

(資料來源：本研究製作)

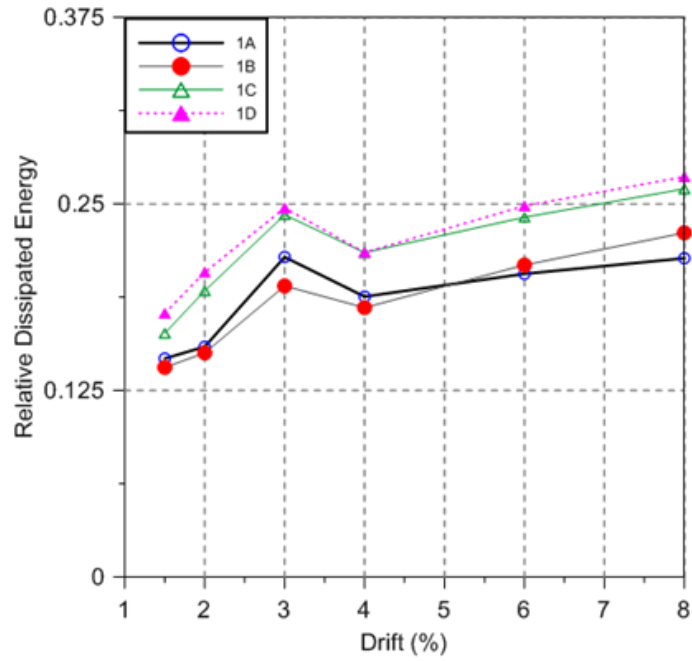


圖 4-28 系列 I 試體各迴圈之平均相對消散能量比

(資料來源：本研究製作)

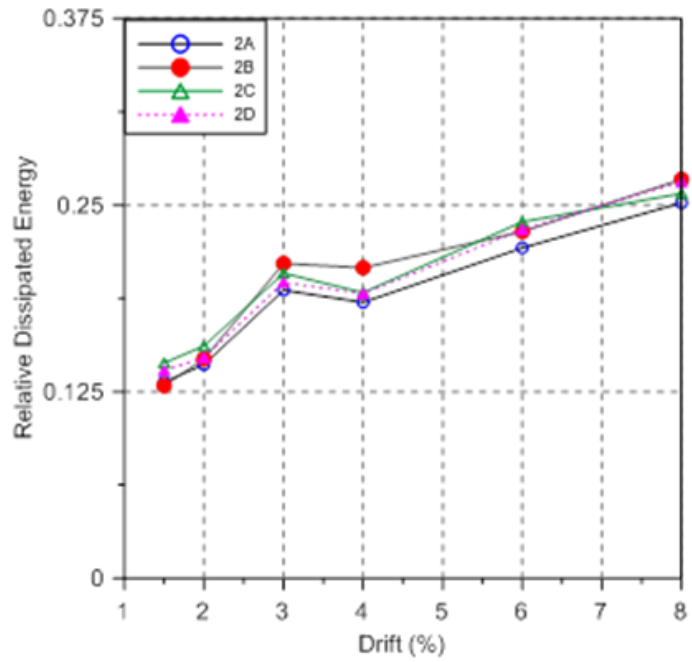


圖 4-29 系列 II 試體各迴圈之平均相對消散能量比

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

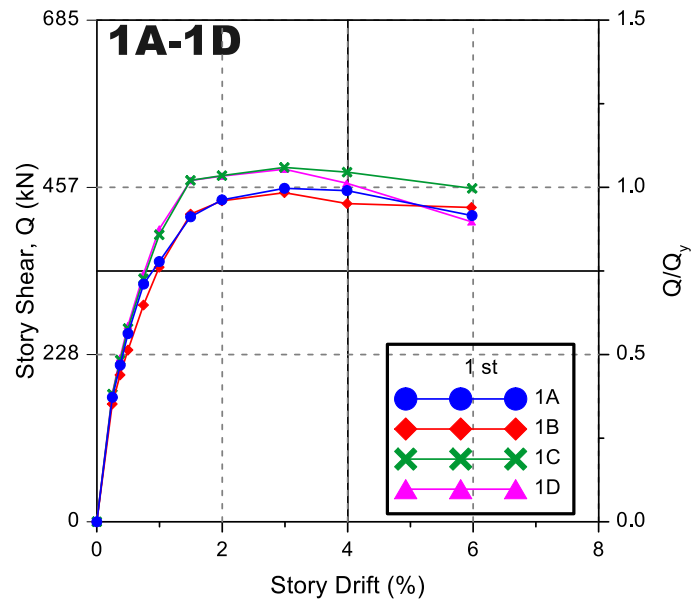


圖 4-30 系列 I 試體第一迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

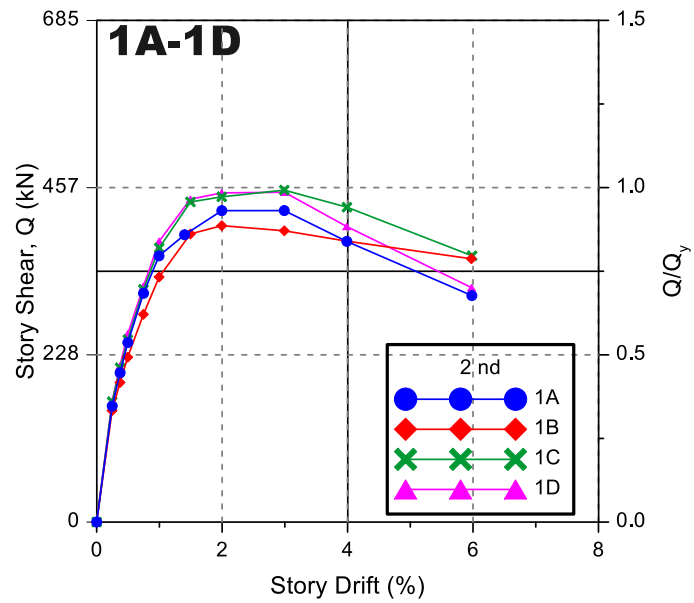


圖 4-31 系列 I 試體第二迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

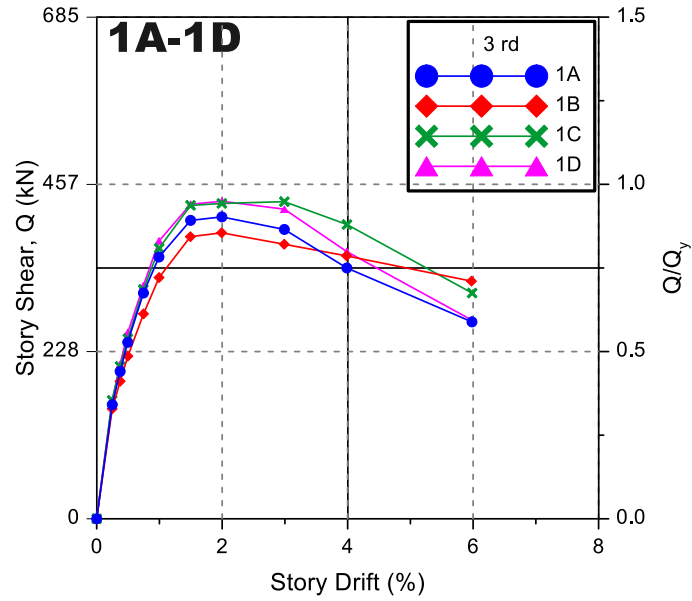


圖 4-32 系列 I 試體第三迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

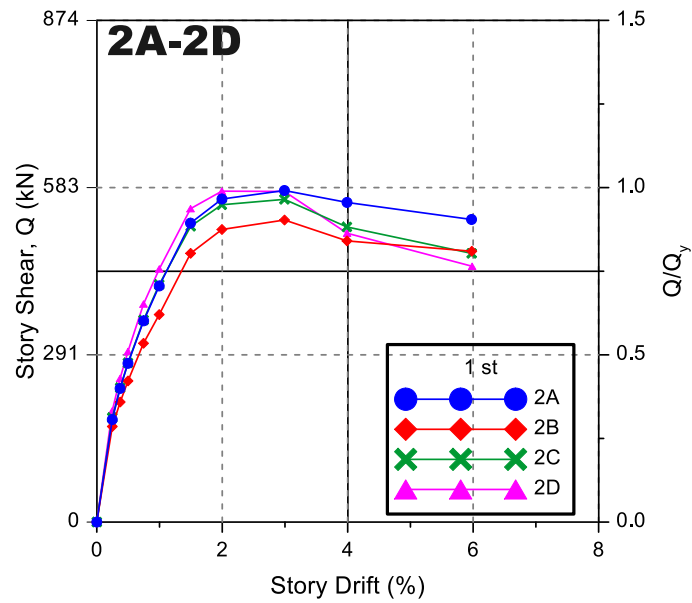


圖 4-33 系列 II 試體第一迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

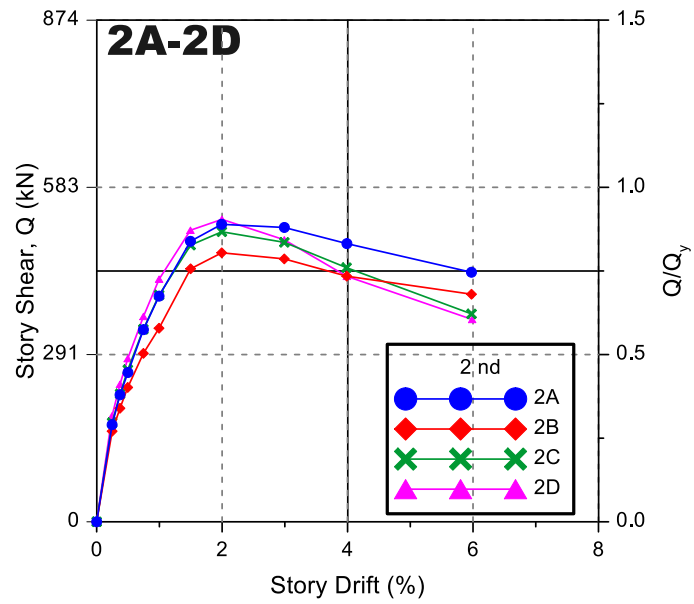


圖 4-34 系列 II 試體第二迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

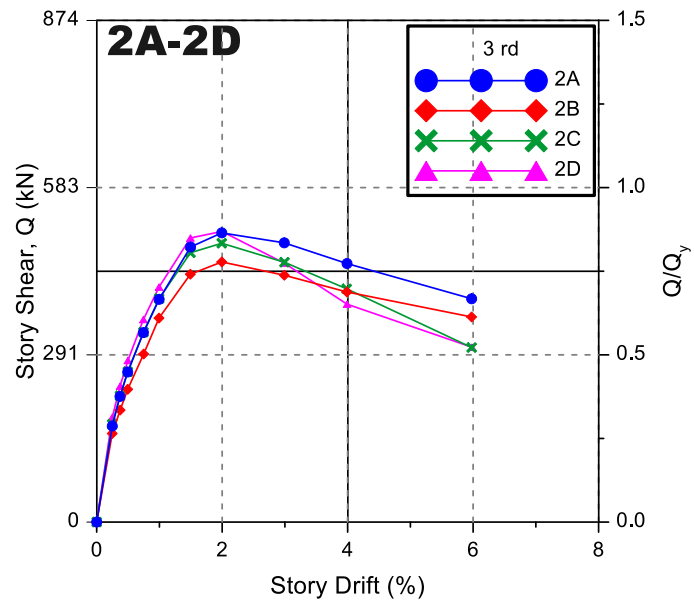


圖 4-35 系列 II 試體第三迴圈之層剪力-層間變位包絡線圖

(資料來源：本研究製作)

第五章 結論與建議

第一節 結論

既有國內外十字形梁柱接頭之耐震試驗結果，絕大多數都是無偏心之梁柱接頭，偶有少數偏心梁柱接頭實驗，但幾乎都是梁連續貫穿接頭之情況，罕見接頭兩側接錯位偏心梁的試驗。但實務上確實有需要此類錯位偏心梁柱接頭，而在現行混凝土結構設計規範[2]第 15.6.3 節或新版混凝土結構建築規範[3]第 18.5.4 節，並未涵蓋此類錯位偏心接頭，有待檢討釐清。

本研究選擇柱軸力 $0.10A_gf'_c$ 條件下，設計八座大尺寸鋼筋混凝土梁柱接頭反復載重試驗，接頭圍束箍筋和梁主筋伸展長度皆恰好滿足規範要求之最低標準，期在較保守的條件下，檢討錯位偏心接頭之耐震剪力強度。此類接頭常見於國內的住宅大樓，實務上常用但卻未被現行規範納入考慮，藉由本實驗檢討目前新舊規範之接頭剪力計算強度，作為後續規範審議之參考。惟實務設計時柱之軸力可能介於 $0.15-0.40A_gf'_c$ 間，本實驗採用低軸力條件作測試已屬偏向保守之評估方式。

實驗結果顯示，錯位偏心接頭因為梁主筋採用彎鉤錨定，其握裹滑移量其實比梁主筋連續貫穿接頭的標準試體要來的好，前提是接頭要有良好的圍束箍筋且彎鉤伸展長度足夠。但是錯位偏心會導致接頭額外的扭矩，雖然接頭最大抗剪強度與正交的標準試體類似，但是在 4% 層間變位角的強度衰減比標準試體要來的嚴重，殘餘強度和梁連續之偏心接頭雷同。

經過比對，現行規範之接頭抗剪強度計算方式不恰當。新版規範之接頭抗剪強度計算公式較為合理，適用於梁連續或不連續。當兩對

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

面接頭有效寬度計算結果不一致時，建議取兩側之較小值是比較保守的，實驗結果顯示，錯位偏心接頭最大強度雖然不亞於正交接頭，但是其強度衰減較為劇烈，設計時宜保守處理，緊密箍筋不可或缺。

第二節 主要建議事項

本研究進行鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討，提出下列具體建議。

建議一

於新版「混凝土結構建築規範」(草案)第 18.5.4 節審議過程修正條文及解說：立即可行建議

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

新版「混凝土結構建築規範」(草案)第 15.4.2 節和 18.5.4 節僅規定梁柱接頭剪力強度之分級依柱連續性、梁連續性和橫向梁圍束作用分成八等級，但接頭有效寬度之認定則是基於梁連續的實驗經驗，欠缺梁不連續造成的錯位偏心接頭的驗證，此類接頭常見於國內的住宅大樓，實務上常用但卻未被現行規範納入考慮，經由本實驗驗證可知新版草案 15.4.2.4 節的接頭有效寬度公式是適當的，惟若遇錯位偏心接頭兩對面接頭有效寬度計算結果不一致時，建議此節接頭有效寬度公式之解說取兩側之較小值。

建議二

規劃高強度鋼筋機械式續接性能合格標準及構材驗證研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

目前我國「混凝土結構設計規範」100 年版內容主要是參考美國混凝土學會 ACI 318-05 規範，其中耐震梁柱構架及剪力牆主筋降伏強度等級上限為 420 MPa。近年來 ACI 318-19 規範放寬耐震梁

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

柱構架及剪力牆主筋使用高強度 550 MPa 和 690 MPa 等級鋼筋，可以降低構材鋼筋用量，有助於舒緩梁柱接頭或剪力牆鋼筋過於擁擠、難以施工的問題，國內各界引頸企盼我國混凝土結構規範跟進 ACI 318-19 規範允許耐震結構系統使用高強度鋼筋。本所於 106 年辦理「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」研究計畫，惟未能涵蓋強度等級超過 500 MPa 之高強度鋼筋，欠缺高強度鋼筋機械式續接之檢驗合格標準，亟待實驗研究後研提混凝土結構規範條文修正草案。

附錄一、期初評選會議紀錄

附錄一、期初評選會議紀錄

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

副本

檔 號：

保存年限：

內政部建築研究所 函

機關地址：231新北市新店區北新路3段200號13樓

承辦單位：工程技術組

聯絡人：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108年1月29日

發文字號：建研工字第10800018532號

速別：速件

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：本所108年1月24日召開之「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」委託研究計畫採購評選委員會會議，評選結果詳如說明，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、本案評選結果依評選須知第4點各款有關評分、名次評定及累計排名之規定，評定投標受評廠商之序位名次，國立雲林科技大學為第1優勝序位。

正本：國立雲林科技大學

副本：本所主計室、秘書室、工程技術組、材料實驗中心

所長 王榮進

內政部建築研究所 108 年度

「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」

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	請詳細設計如何在建築物及梁柱集體抵抗時，相互牽制或相互影響之力學行為下典型樣態，以進行有效率研究。	遵照辦理，試體設計時會考慮案例建物之梁柱版相對關係。
2	所謂的規範因以本部訂定者為首要目標。	本研究確實是檢討內政部頒版混凝土結構設計規範不足之處。
3	請收集整理地震建築物因偏心錯位破壞的照片並整理其樣態。	遵照辦理，期中報告會提供破壞案例照片及參考文獻。
4	採樣應考量有樓版接合的情況。	一般而言樓版會增加接頭之圍束效果，試體以無樓版設計可獲得較保守之測試強度，實際上應用有樓版較無疑慮。
5	建築物受地震破壞與梁偏心應綜合檢討。	遵照辦理。
6	經費及資料蒐集費請依本所規定評估。	經費細項編列會再與建研所承辦確認符合規定。
7	試體試驗宜有展示時間，製成新聞稿或召開記者會。	遵照辦理，確定試驗時程、無安全疑慮時可辦公開展示會。
8	請特別注意試驗人員設備安全。	遵照辦理。
9	請估計或估算收集整理因偏心而破壞的建築物整體或比例資訊以表本研究價值(可併以其他因素破壞加敘)。	遵照辦理。
10	請研究團隊再詳細說明，未來若取得本案，有關試體製作、	本研究團隊人力資源包含雲科大團隊及國震中心人員，

	試體試驗配置、量測儀器(例如：NDI)及試驗人力之需求或解決方案為何？可行性為何？	試體之製造、配置原則上規劃於建研所材料實驗中心強力地板試驗區，除兩具致動器、反力鋼架等現有設備外，不足部分例如 NDI 會從國震中心調度支援，試驗人力若有不足會延聘國震中心臨時人員支援。實際執行方案會在確定後與實驗室主管進行協調。
11	由於本案可支援之試體數量不多，且試體參數又眾，例如：軸力加載的軸力比，梁箍筋細部及最大試驗載重等之決定，因此建議未來本案試體細部設計參數決定之學者專家諮詢會議，應盡速招開及聚焦，條例確定試體參數及試驗設備能力需求，故請研究團隊說明相關諮詢會議辦理之規劃。	遵照辦理，預計在 3 月份開始召開專家諮詢會議 2 次，確定試體參數及試驗設備能力需求等細節。
12	試體四端點的支承狀況，施力如何模擬。	柱底部以鉸接支承，梁端為滾支承，柱頂施加柱軸壓力目標值為 $0.10A_g f'_c$ ，柱頭以兩具水平致動器抓住施以反復側向位移波。試體四端模擬反曲點皆無彎矩。
13	輸出資料的處理，重要的量取資料為何。	主要的量取資料為反復側向位移波、側向抵抗力、接頭區局部變形、各端點位移、鋼筋應變計讀數等。另表面裂縫發展以攝影方式記錄量測。
14	是否建立模擬分析的方法，供後續研究應用參考。	遵照辦理，本研究除測試強度之外，另外會以立體的壓拉桿模式分析。
15	是否能針對分析時，rigid zone	遵照辦理，偏心接頭造成的

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

	的定義提供建議。	額外力矩可能折減接頭勁度，期待本研究試驗能提供佐證考慮折減接頭有效剛度。
16	請廠商說明試體力量之加載方式與試體破壞準則。	以兩支致動器加載柱端，參考 ACI 374 建議之加載位移波，依序施加層間變位角(梁中心線相對於柱中心線之旋轉角) 0.25%、0.375%、0.5%、0.75%、1%、1.5%、2%、3%、4%、6%或強度下降超過 20% 為止。
17	取樣數是否能確認	試體設計是參考許多實際建築案的柱梁配筋，主筋比取平均值，觀察常用的柱長寬比在 1.0 至 2.2 之間，取 2.0 設計試體是為了考慮錯位偏心最極端的狀況，柱及接頭箍筋設計皆以符合規範要求為前提。
18	建議試驗結果與現行規範比對提出差異性	遵照辦理，試體設計除接頭剪力需求外，其餘參數皆是符合現行規範作設計，測試結果原則是可與現行規範直接作比較的。
19	試體之配筋，與混凝土打設須謹慎	遵照辦理，試體配筋量及箍筋間距 10 cm 皆為業界慣用標準，試體混凝土在工廠澆置，品質控制應該沒有問題。

附錄一、期初評選會議紀錄

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

附錄二、期中審查會議紀錄

附錄二、期中審查會議紀錄

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

檔 號：

保存年限：

內政部建築研究所 函

機關地址：116臺北市文山區景福街102號
承辦單位：工程技術組
聯絡人：范仲棋
聯絡電話：02-2931-0686 分機1325
傳真電話：02-2931-0656
電子信箱：fcc@abri.gov.tw

受文者：國立雲林科技大學

發文日期：中華民國108年7月16日

發文字號：建研工字第1080006587號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：(附件1 108D002517_108D2001869-01.pdf、附件2 108D002517_108D2001870-01.pdf)

主旨：檢送本所108年度委託研究「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」、「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」及「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」等3案期中審查會議紀錄1份，請查照。

正本：王技師亭復、邱顧問昌平、郭協理錫卿、陳副總經理煥煒、曾協理慶祥、蔡總經理江洋、蕭技師國興、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、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、中國土木水利工程學會、社團法人台灣混凝土學會、財團法人臺灣營建研究院、國立雲林科技大學、財團法人成大研究發展基金會、建國科技大學、李教授宏仁、劉教授光晏、吳教授崇豪、本所陳組長建忠、陶主任其駿、黃助理研究員國倫、周專案研究助理楷峻、范研發替代役仲棋

副本：本所工程技術組(含附件)



裝
訂
線



鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

文稿頁面

文號：1080021495

召開本所 108 年度委託研究「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」、「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」及「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」等 3 案期中審查會議紀錄

一、時間：108 年 7 月 4 日（星期四）上午 9 時 30 分

二、地點：本所 15 樓第 3 會議室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓)

三、主持人：陳組長建忠

記錄：黃國倫、周楷峻、范仲棋

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。



六、綜合討論意見：

(一) 「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」案

邱顧問昌平：

1. 本研究針對建築物實務案例甚多偏心的狀況，提出實驗研究計畫，期能對新版相關規範提出進一步之規範修正建議，很有價值。
2. 依兩級剪力需求，製作系列 I(1A-1D)及系列 II(2A-2D)各四座試體，採用適合之試驗佈設進行反覆載重試驗，預計應能獲得可以應用之資料。
3. RC 樓版在此種接合區之影響到底為何？樓版局部範圍加厚是否能減少偏心效應？後續研究可以探討之。
4. 期中報告表 3-4 之試體編號，宜更正為 2A 至 2D。
5. RC 梁主筋之彎鉤應盡量過斷面中線，但不宜太靠近柱主筋而影響握裹力。

陳副總經理煥輝：

1. 本研究對於梁柱接頭，梁有偏心接入時之接頭剪力強度評估，可提供很好的比對參考實驗資料。
2. 本研究探討柱採最小深度、最小錨定長度及最少量圈束箍筋，以上 3 種變數固定時之接頭剪力強度，高樓結構柱主筋在低樓層鋼筋比高，

108D002517_108D2001869-01.pdf

第 2 頁，共 16 頁

線上審核公文列印 - 第 2 頁 / 共 16 頁 (全文 16 頁)

圍束量可能遠多於規範需求量，是否對接頭強度有幫助？

3. 當梁柱接頭強度無法符合規範要求，須限制梁主筋鋼筋比的上限。

曾協理慶祥：

1. RC 柱梁偏心接頭實務上應用很多，但現行法規卻不甚嚴謹或有欠缺，本研究擬針對此不足進行研究，提出法規修正之建議，值得肯定與期待。
2. 期中報告內文所標註之參考書目編號，與報告後面所列之編號不一致，請再校核修正。
3. 期中報告內容文字誤植之處，請再詳加核對更正。

蔡總經理江洋：

1. 本研究涵蓋梁偏心且不直通之梁柱接頭，為目前參考文獻較少，甚至未見的研究領域。
2. 因偏心變化因素很多，本研究難以全部包括，若成果使用於規範時，必須界定其範圍或加入不建議此種偏心現象等。
3. 可否加入考量直交梁及樓版的影響，或非接頭破壞而是梁產生塑鉸的情形？

中華民國全國建築師公會 陳建築師澤修：

1. 偏心接頭在建築設計上很難避免，能從研究中了解不同偏心接頭的破壞狀況，本研究有極大的價值。
2. 若不得已非得使用偏心接頭時，應如何補強避免立即性的破壞？本研究對實務界會有非常好的幫助。

中華民國土木技師公會全國聯合會 江技師文財：

關於柱梁偏心接合，是否能夠以加入水平牛腿的方式，彌補在結構設計上柱梁偏心的影響？

中國土木水利工程學會 歐教授昱辰：

1. 試驗目標明確，試驗規劃合理。
2. 試驗結果對於 RC 規範之發展，甚有助益。

陳組長建忠：

1. 有關 RC 規範請檢討最新的 ACI 318-19 規範在臺灣的適用性，以便

本所進行建築技術規則 RC 規範小組討論之參考。

2. 重大實驗請安排妥適時間，以便前往觀摩。

郭協理錫卿(書審意見)：

1. 本研究探討之柱梁偏心接合，能確切反應工程實務現況發生的問題，後續成果期能實質釐清其影響，並提供工程界依循之設計基準。
2. 後續試驗成果之探討，除比對並提出合宜之鋼筋混凝土柱梁偏心接合剪力強度修正公式外，建議能從偏心導致之破壞模式，延伸探討簡易可行之改善方法。

蕭技師國興(書審意見)：

1. 鋼筋混凝土柱梁偏心接合接頭剪力計算問題，以及鋼筋續接器有何關聯？
2. 現行混凝土結構設計規範之修訂，均配合 ACI 修訂，本研究成果由於並無國外相關研究成果可供比較，是否就直接落實於混凝土結構設計規範？

研究單位回應(李教授宏仁)

1. 本研究具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修正案。
2. 本研究將於期末報告界定研究應用範圍，並將據實報告使用此類偏心接合可能造成之缺點及補強的可能對策，避免誤用。
3. 本研究針對不含直交梁及樓版之接合部，屬於建築外緣之邊梁及接頭，地震時較為脆弱易受震害，故優先檢討。委員建議之直交梁和樓版等情況，適用於建築物內部梁柱接頭，也是亟待檢討的課題，將於期末報告列入未來後續研究項目或課題。
4. 試體矩陣將正名為系列 I 和 II，並加強說明試驗佈設之必要性。
5. 既有文獻顯示樓版有助於降低偏心效應，加厚樓版理論上也有幫助，期末報告會將委員建議事項，列入未來後續待研究項目或課題。
6. 表格文字及參考書目編號疏誤之處，將遵照辦理更正。
7. 本研究確實遵照超過柱深度 $3/4$ 以上再彎轉，且與柱主筋間保留 1 倍鋼筋直徑間隙之原則設置彎鉤。

8. 既有文獻顯示水平漸變梁寬有助於降低偏心效應，期末報告將增加此參考文獻，並將委員建議事項列入未來後續研究項目或課題。
9. 本研究先檢討錯位偏心接頭的效應究竟有多嚴重，提出強度計算之折減公式。期末報告會探討偏心接頭破壞模式延伸可行的改善或補強對策。若不得已需使用時或檢覈不過時需要補強的細部設計，期末報告會列入未來後續研究課題。
10. 既有研究及文獻顯示，接頭配置超過規範標準之圍束箍筋量，即使達 2 倍，接頭剪力強度亦只有些微提升，但配置較多的圍束箍筋確實有助於提高接頭之韌性，特別是緊鄰梁端塑鉸發展時。
11. 將於期末報告建議接頭強度檢核注意事項，包括最大梁主筋比值。
12. 有關 RC 規範，請檢討最新的 ACI 318-19 規範在臺灣的適用性，以便本所進行建築技術規則 RC 規範小組討論之參考。
13. 實驗期程將每周更新，以便安排長官及同仁前往觀摩督導。



(二) 「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」案

邱顧問昌平：

1. 本研究旨在對既有中高層 RC 建築物結構作機率性倒塌風險評估(採用 FEMA P-58 架構)，而以一實際於地震中倒塌之 14 層 RC 建築物為評估案例，工作量大也不容易。
2. 期中報告第 3 章第 2 節，案例基本資料描述缺少一般結構鑑定案之資料，對於建築物完工時間、使用狀況（有否拆除、改建不當之處等？）、必要之 A 圖、S 圖等應提供參考。故於第 77 頁第 3 節，數值模型 B 依慣例不採計牆體之勁度與質量。如此粗糙之 math modeling，與本研究之目標互相矛盾。



陳副總經理煥焯：

1. 本研究是否案名加入 RC（鋼筋混凝土）？
2. 除了對非線性動力分析條文的修正，建議可以對現行規範的 Ax 適當提出建議。

3. 耐震詳評要使用非線性動力分析，是否會增加設計者工作量？

曾協理慶祥：

1. 對不規則建築物，靜力側推與動力分析本來就存在差異，但對於耐震詳評採用非線性動力分析所需投入之人力、時間、成本必然增加，其推動的難度是否會很高。
2. 期中報告對增修「建築物耐震設計規範及解說」有關結構非線性動力分析條文，有無初步的想法與內容。

蔡總經理江洋：

1. 本研究之塑鉸驗證原資料為反覆載重，分析值為側推，很難達到吻合。
2. 可使用分析軟體（如 ETABS）直接進行分析，加以比對結果。
3. 非線性側推分析用於高樓時，可考慮多振態影響設定其作用力的分佈。

中華民國全國建築師公會 陳建築師澤修：

1. 本研究對不規則型建築對耐震能力之影響，提供業界很有參考價值。
2. 本研究所分析的試體皆為新作，但目前地震震損建築物皆有 20 至 30 年以上屋齡，其材料性質與新作的試體以有差距，應加以考慮修正。
3. 混凝土一有開裂，勁度及強度也都會折減，加上老舊建築物混凝土強度也會折減。以上因素應列入分析參考調整。

中國土木水利工程學會 歐教授昱辰：

1. 研究目標明確，研究方法可行。
2. 新版 RC 規範即將納入非線性動力分析條文，本研究對規範之發展甚有助益。

陳組長建忠：

1. 中高層樓目前沒有明確學理定義，請考量非線性動力分析在本研究可以分析的樓層數及樓高範圍。
2. 資料庫的樣本及資料項目結構為何？後續如何參採應用？
3. 重大實驗請安排時間，以便前往觀摩。

王技師亭復(書審意見)：

1. 應有專節介紹如何簡易計算，以判定耐震規範表 1.1 及 1.2 勁度不規則之軟層、極軟層、強度不連續性之弱層，以及扭轉不規則性。
2. 請說明 IDA 非線性動力分析法所採用之軟體名稱，以及分析步驟。
3. 利用 IDA 分析得倒塌易損曲線(倒塌機率 vs. 譜加速度)可求取倒塌強度餘量比(Collapse Margin Ratio, CMR)及調整倒塌強度餘量比(Adjusted Collapse Margin Ratio, ACMR)，據此可依 FEMA P-695 建議之允收標準，判定該建築物在最大可能地震時，是否尚不倒塌或已倒塌。
4. 至於 ASCE 7-10 計算避免倒塌之指標容許值之 50 年內 1%倒塌機率之最大可能機率地震 MCER (Probabilistic MCER)，現階段內政部規範尚未提供，因此一般較難應用。
5. 除研究論述用於比對驗證其他方法(如 MMP、CMP)外，工程實際評估不用此繁複的 IDA 非線性動力分析，即便研究論述亦僅使用簡化 IDA 之 SPO2IDA 軟體，其與 IDARC 軟體於高層部份精度相去亦約 15%，已為可接受範圍，但可省去將近 10 多倍分析時間。
6. 營建署目前核定的 2 種非線性側推分析軟體(包括文件所列 TEASPA V3.1)均屬單模態分析，較適合低層(6 層樓建築物以下)且規則建築物，至於高層建築物無論規則或不規則者，其與 IDA 非線性動力分析歧異頗大，惟可以 MMP、CMP 或簡化的 IDA 非線性動力分析軟體 SPO2IDA 予改善。
7. 建議宜先以規則結構系統中高層建築物模型，分別以 TEASPA V3.1、MMP、CMP 與 IDA 分析，比較其精確性。
8. FEMA P-58 最新版本為 2018 DEC 版本，且共有 7 冊，本研究宜說明依據何冊？



郭協理錫卿(書審意見)：

1. 建議期中報告第 4 章有關「建立考量非線性特性之結構數值模型」，應說明結構模型的基本參數設定(固有阻尼比、剛域設定...)。
2. 期中報告第 3 章實驗資料庫及塑鉸檢討，若計畫時程允許，建議補



- 充期中報告第四章採用的 Takeda 塑鉸模式與反覆實驗的比對結果。
3. 期中報告第 4 章，各頁右上角章節標題有誤。
 4. 期中報告第 4 章之選用案例，如何對應到本研究的主題，軟弱層及扭轉不規則建築，應有代表性的陳述。
 5. 期中報告第 4 章第 2 節之案例，樓層為 14 層，但兩向平移週期為 4.65 秒及 3.55 秒，與合理值範圍偏差太大，建議重新檢視模型的合理性或是勁度折減的合理性。
 6. 一般結構分析之非結構牆的質量，仍會考慮於結構模型中，期中報告第 77 頁「依據設計分析之慣例不採計牆體之質量與勁度」是否有誤。
 7. 圖 4-2 之反應譜有後平台段與圖 4-14、圖 4-15 無後平台段有所差異，建議修正圖 4-2 之後平台段，並於期中報告第 4 章第 5 節詳細說明是否有依據耐震規範第 3.6 節進行地震紀錄的調整。
 8. 請補充期中報告表 4-10 倒塌破壞準則之依據或來源。
 9. 期中報告第 93 頁應先說明何謂 IDA 分析，以及增量設定(0.1g、0.2g、0.3g...)，符號定義為何。
 10. 如何建立案例倒塌易損曲線，請再補充更詳細的說明。
 11. 所建立案例的倒塌易損曲線，似未與扭轉不規則建築的研究主題有所連結，無法釐清扭轉不規則建築在倒塌易損曲線上的影響。
 12. 案例的倒塌易損曲線，最後似由位移角的破壞準則所控制，而其又受到初始勁度折減的影響甚大，可能需藉由實驗資料庫檢視勁度折減的合理性。



蕭技師國興(書審意見)：

1. 本研究之題目中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估，已包含於國家地震中心之耐震評估(TEASPA)之範圍，如何將其結果與合併於(TEASPA)合併？
2. 牽涉規範之修正部分，是否要再與國外相關規範比較後再行修正？
3. 非線性動力歷時分析結果與地震波之選擇差異甚大，未來如何規範地震波之選擇？

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 林研究員克強(書審意見)：

1. 期中報告未提及本研究目的，請補充。
2. 請確立研究範圍，中高樓層軟弱層建築，包括底層與中間層軟弱層？不規則包含平面或立面不規則？且如何定義？有無區分之指標。
3. 塑性分析與實驗結果分析，採用 ASCE 41-13 與 TEASPA V3.1 方法預測的結果，部分仍有不少差距，請提出適當方法予以改善。
4. 請注意收集之柱構件的實驗側向力是否一致？含軸力與否？
5. 地震紀錄的選取對本研究極為重要，請說明選取的條件為何。

研究單位回應(劉教授光晏)

1. 除圖示外，將有專節分述簡易計算以判定規範表 1.1 及 1.2 中勁度不規則之軟層、極軟層、強度不連續性之弱層，以及扭轉不規則性。
2. 本研究採用 ETABS V16 及 V17 版，並將補充說明 IDA 分析步驟摘要。
3. 案例結果將透過 CMR 及 ACMR，再依 FEMA P-695 建議之允收標準，判定該建築物在最大可能地震時，是否尚不倒塌或已倒塌。
4. 本研究未使用 SPO2IDA 軟體，案例顯示動力分析結果 PGA 為 0.3g，但側推分析結果因位移觀測點位置而異，PGA 由 0.313 至 0.6g，顯見誤差超過 15%。此外，本案例量體雖大，但軟硬體、人力與時間成本，以小型結構技師事務所而言尚可負擔。
5. 依照契約要求須完成不規則結構系統之 IDA 分析。對於規則性結構系統以 TEASPA V3.1、MMP、CMP 與 IDA 之分析比較，可建議建研究另案辦理。
6. 本研究參考 FEMA P-58-1_Volume 1: Methodology (2018 Edition)。
7. 本研究非就個案進行詳細耐震能力評估，但案例之相關基本資料仍會再補充。有關 RC 牆與磚牆，將於期末報告的軟弱底層案例分析加以模擬與探討。
8. 期中報告之案例一為扭轉不規則結構物，期末報告中將另外分析一軟弱底層建築，並補充模態參與係數等基本資料。

9. 本案例採用 ASCE 41-13 規定之塑鉸參數與斷面勁度折減，柱需依照軸力改變 I_e/I_g ，由 0.5 線性遞減至 0.3、梁 I_e/I_g 為 0.3，故兩向周期較長。如梁柱均未折減勁度，兩向周期分別為 2.64 秒與 2.06 秒。
10. 將補充增量動力分析、增量設定及符號定義。
11. 本研究建立倒塌易損曲線之流程，其標的可為規則或不規則結構。本研究之扭轉不規則結構案例分析結果顯示，若採用 IDA 分析所建構之倒塌易損曲線，其耐震能力評估結果，性能點地表加速度顯低於非線性靜力側推分析，仍值得關注。
12. 現行規範的 A_x 係針對新建結構物之設計為主，本研究以既有結構之耐震評估為主，對象與用途略有不同。案例分析中可再補充 A_x 數值供參。
13. 耐震評估分法宜視需求進行分級。一般而言，非線性動力歷時分析為最精緻且複雜的做法，若採用側推分析方法進行不規則結構物之耐震評估存有疑慮時，仍建議使用非線性動力歷時分析為佳。
14. 期末報告將補充說明設備需求及分析時間。另外，耐震評估分法宜視需求進行分級。一般而言，非線性動力歷時分析為最精緻且複雜的做法，若採用側推分析方法進行不規則結構物之耐震評估存有疑慮時，仍建議使用非線性動力歷時分析為佳。
15. 本研究針對現行建築物耐震設計規範及解說第 8 章「既有建築物之耐震能力評估與耐震補強」，初步建議參考 FEMA P-58，加入地震歷時篩選原則、分析組數、整體及局部構件倒塌準則，與 10%倒塌機率，以判定結構物耐震能力。
16. 耐震評估作業，應以實測材料強度進行評估。分析經驗顯示，混凝土材料強度折減對於構件塑鉸行為的影響，較鋼筋降伏強度小，如鋼筋採用標稱降伏強度進行耐震評估，其結果尚屬保守。
17. ASCE 41-13 及 TEASPA 之塑鉸定義，均會考慮混凝土開裂對於斷面剛度及構件勁度的折減。另外，FEMA P58 機率分析流程，亦會透過不確定性因數來反應分析模型、材料及斷面、分析理論方法之不確定性。故依照倒塌機率 10%原則所評估的耐震能力，有適度納入相



關不確定性因素，力求客觀。

18. 將以本研究之案例為主，補充樓層數與樓高範圍。
19. 本研究採用美國、日本及國內實驗資料庫，資料結構格式包括混凝土與鋼筋之材料強度、斷面尺寸、縱向鋼筋與橫向鋼筋之號數與間距、加載軸力、位移控制路徑等，以方便輸入於 ETABS 程式完成分析，並比對遲滯迴圈實驗數據。此外，國家地震工程研究中心目前亦建置「RC 構件耐震行為測試資料庫」，本研究所用案例與該資料庫相同。



(三) 「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」案

邱顧問昌平：

1. 期中報告中對「再生混凝土」未詳細定義，而第 2 章第 2 節亦出現「再生骨材混凝土」一詞，兩者有何不同宜說明清楚。
2. 期中報告第 3 章試驗規劃、第 1 節試驗材料，提及使用總茂公司生產之再生粗骨材(圖 3-3)，其基本性質試驗結果列於表 3-4 中，說明不夠完整，應加強補充。表 3-9 中試體編號 RC280F00~S60 等，註明 RC 代表常重粗骨材、C280 代表抗壓強度 280kgf/cm² 是不正確的。表中之細骨材是什麼？含泥量 5.2% 之再生粗骨材在做試體時要不要浸泡沖洗淨再予以製作(又解決了吸水率過高之問題)，另總茂公司應詳細介紹。
3. 附錄 3，陳組長所提問題很重要。再生骨材在先進國家大多用於剛性路面。



陳副總經理煥焯：

1. 建議加入成本資料。
2. 早期強度對於再生混凝土使用於房屋建築結構會有影響(拆模時間)，建議增加 7 天強度的研究。
3. 有關飛灰、爐石取代水泥的用量，建議可以參考綠建築的規定。

曾協理慶祥：

請說明本研究完成後所得到的結果，如何對現行實務規範提出改善及修正建議。

蔡總經理江洋：

1. 再生混凝土應限於再生骨材的混凝土，輕質混凝土不宜視為再生混凝土。
2. 使用之再生骨材用於結構體時，應說明再生骨材之產製方法與限制。

中華民國全國建築師公會 陳建築師澤修：

1. 在強調環保的時代，再生材料的利用應是未來發展的重點。
2. 再生骨材的形狀是否影響混凝土劈裂破壞的模式，應加以探討。
3. 骨材強度也會影響混凝土強度。
4. 再生骨材的取得與製作過程，應補充說明。

郭協理錫卿(書審意見)：

1. 期中報告第 53 頁，表 4-1 中有關再生混凝土(編號 RC280XXX 等)之 28 天抗壓強度未達到設計強度 280kgf/cm^2 ，如何將之視為有效之試驗試體作為後續試驗與探討之基準，建議予以釐清。
2. 本研究主要探討界面過渡區之影響，但期中報告並無章節介紹與說明預定之試驗方法及相關方法所能探討之面相，建議加以補充。

蕭技師國興(書審意見)：

再生骨材由營建廢棄營建混凝土塊及紅磚碎化而成，含有的不純質種類繁多，如含有廢五金如鐵釘或小螺絲釘之類，是否仍無影響？

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 林研究員克強(書審意見)：

1. 應先定義何謂再生混凝土及所用再生骨材的來源。
2. 應說明再生混凝土的應用目標與用途為何，方能確定本研究所探討再生混凝土的性能需求。
3. 何謂混凝土與鋼筋界間的過渡區？文獻回顧著墨較少，且未提及與鋼筋間影響的研究方法。
4. 研究目的於期中報告尚未提及，請補充。

5. 期中報告未提及「影響」，是以何種參數或性能評判。
6. 本研究所採用之骨材為人造骨材，與題目不符，請說明。

研究單位回應(吳教授崇豪)

1. 再生混凝土相關性質及試驗規劃，將於期末報告補充及加強說明；試體編號誤植部分，已做修正；試驗所用之細骨材，均為天然細骨材；考量現場再生粗骨材之使用方式，並節省混凝土的製作成本，試驗用再生骨材不考慮洗淨，擬直接用以拌製混凝土，以符合現地應用條件；有關總茂環保股份有限公司之資訊，將於期末報告補充說明。
2. 本研究主要探討卜作嵐材料對不同骨材混凝土界面過渡區之影響，研究成果可做為再生混凝土應用之參考。
3. 第 2 次試拌混凝土抗壓強度目前僅有 7 天齡期數據，其中純水泥及摻有爐石之組別的抗壓強度已超過或接近 280kgf/cm² 設計值，待 28 天齡期時應可超過或達到設計目標；摻有飛灰之組別因卜作嵐反應較慢，需待更晚齡期抗壓強度才能明顯成長。有關各試驗結果與分析，將於期末報告補充說明。
4. 本研究利用抗壓試驗、鋼筋拉拔試驗、SEM 觀測及耐久性試驗等方式，探討卜作嵐材料及骨材種類對混凝土界面過渡區的影響。
5. 混凝土抗壓強度將增加 7 天齡期試驗數據並進行討論。
6. 本研究探討卜作嵐材料對不同骨材混凝土界面過渡區之影響，卜作嵐材料可取代部分水泥、提高混凝土耐久性；再生、輕質骨材可取代天然骨材，減少天然骨材的使用。結合卜作嵐材料及非天然骨材產製符合工程需求之混凝土，可增加再生混凝土的應用價值，並可做為與現行規範規定比較之參考依據。
7. 本研究主要探討卜作嵐材料及骨材種類對混凝土界面過渡區的影響，再生骨材作為結構混凝土材料的課題未在研究範圍內，惟再生骨材之應用方法及相關限制，將於期末報告補充說明。
8. 混凝土的抗拉強度一般以劈裂或抗彎強度表示，本研究有規劃混凝土抗彎試驗，其破壞模式將於期末報告說明。

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

文稿頁面

文號：1080021495

9. 骨材強度確實會影響整體混凝土的強度，有關骨材種類對混凝土強度之影響將於期末報告說明。
10. 混凝土與鋼筋間界面性質的研究為新的課題，探討的文獻不多，本研究仍將持續蒐集相關文獻並於期末報告補充說明；混凝土與鋼筋間界面性質由鋼筋拉拔試驗及掃描式電子顯微鏡(SEM)觀測結果進行探討，比較卜作嵐材料及骨材種類的影響。
11. 本研究利用抗壓試驗、鋼筋拉拔試驗、SEM 觀測及耐久性試驗等方式，探討卜作嵐材料及骨材種類，對混凝土界面過渡區的影響。
12. 本研究主要研究常重、輕質及再生等骨材對混凝土界面過渡區的影響，研究題目雖以再生混凝土為主，惟輕質骨材表面吸水特性與再生骨材相似，因此亦納入試驗變數進行探討。



七、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期中報告，經徵詢在場審查委員與機關團體代表意見，審查結果原則通過。請業務單位將與會審查委員及出席代表意見暨部分委員所提之書面意見詳實記錄，以供研究單位參採，並於期末報告針對期中審查意見逐一回應，如期如質完成研究計畫。
- (二) 請儘速依規定辦理請領第 2 期款，並請業務單位依規定時程管控研究進度。

八、散會：中午 12 時 10 分。

內政部建築研究所

召開本所 108 年度委託研究「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」、「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」及「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」等 3 案期中審查會簽到簿

時間：108 年 7 月 4 日(星期四) 上午 9 時 30 分
 地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 3 會議室 (新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓)

席：陳組長建忠 11 樓 2 人 紀錄：黃國倫 周榕 范仲樹

出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
王技師亭復	(書面意見)		
邱顧問昌平	邱昌平		
郭協理錫卿	(書面意見)		
陳副總經理煥輝	陳煥輝		
曾協理慶祥	曾慶祥		
蔡總經理江洋	蔡江洋		
蕭技師國興	(書面意見)		
中華民國全國建築師公會	陳保弘		
中華民國土木技師公會全國聯合會	江文財		
中華民國結構工程技師公會全國聯合會			
財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心	(書面意見)		
中國土木水利工程學會	歐景凡		

[國倫開 108006129S]

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

文稿頁面

文號：1080021495

社團法人台灣混凝土學會			
財團法人臺灣營建研究院			
李教授宏仁	李宏仁		
劉教授光晏	劉光晏		
吳教授崇豪	吳崇豪		
財團法人成大研究發展基金會			
國立雲林科技大學			
建國科技大學	林喻峰		
陶主任其駿	陶其駿		
助理研究員國倫	黃國倫		
專案研究助理楷峻	陳楷峻		
范研發替代役仲祺	范仲祺		
相關人員	林樹根		
	李官峰		
	廖家傑		

[圖倫請 10800061295]

第16頁，共16頁

線上簽核公文列印- 第 16 頁 / 共 16 頁 (全文 16 頁)

期中審查意見回覆

	審查委員意見	廠商回應
<p>蔡江洋 總經理</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究涵蓋梁偏心且不直通之梁柱接頭，為目前為止較少也可以說未見的研究領域。 2. 因偏心變化因素很多，本計畫難以全部包括，若成果使用於規範時，必須界定其範圍或加入不建議此種偏心現象等。 3. 可否加入考量直交梁及樓版的影響，或非接頭破壞而是梁產生塑鉸的情形。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修正案。 2. 感謝委員建議，本研究成果報告將界定研究應用範圍，並將據實報告使用此類偏心接合可能造成之缺點及補強的可能對策，避免誤用。 3. 感謝委員建議，本年度研究計畫針對不含直交梁及樓版之接合部，屬於建築外緣之邊梁及接頭，地震時較為脆弱易受震害，故優先檢討。委員建議之直交梁和樓版等情況，適用於建築物內部梁柱接頭，也是亟待檢討的課題，期末成果報告會將委員建議事項列入未來後續研究項目或課題。
<p>邱昌平 顧問</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究針對建築物實例甚多的狀況，提出實驗研究計畫，期能對新版相關規範提出進一步之規範修正建議，很有價值。 2. 依兩級剪力需求，製作系列 I(1A~1D)及系列 II(2A~2D)各四座試體，採用適合之試驗佈設進行反復載重試驗，應能獲得可以應用之資料。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修正案。 2. 感謝委員肯定，試體矩陣將正名為系列 I 和 II，並加強說明試驗佈設之必要性。 3. 感謝委員建議，既有文

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

	<p>3. RC 樓版在此種接合區之影響到底為何?如果版局部範圍加厚是否能減少偏心效應?後續之研究可能的話可以探討之。</p> <p>4. 表 3-4 之試體編號宜更正為 2A~2D。</p> <p>5. RC 梁主筋之彎鉤盡量過斷面中線但不宜太靠近柱主筋而影響握裹力。</p>	<p>獻顯示樓版有助於降低偏心效應，加厚樓版理論上也有幫助，期末成果報告會將委員建議事項列入未來後續待研究項目或課題。</p> <p>4. 感謝委員指正表格文字疏誤之處，遵照委員意見立即更正。</p> <p>5. 感謝委員提醒，本研究確實遵照此原則設置彎鉤，超過柱深度 3/4 以上再彎轉且與柱主筋間保留 1 倍鋼筋直徑之間隙。</p>
江文財 技師	<p>1. 關於柱梁偏心接合，是否能夠加入水平牛腿的貢獻以彌補在結構設計上柱梁無偏心的差異。</p>	<p>1. 感謝委員建議，既有文獻顯示水平漸變梁寬有助於降低偏心效應，期末成果報告增加此參考文獻並將委員建議事項列入未來後續研究項目或課題。</p>
曾慶祥 副總	<p>1. RC 柱梁偏心接頭實務上應用很多，但現行法規卻不甚嚴謹或欠缺，此案擬針對此不足進行研究提出法規修正之建議，值得肯定與期待。</p> <p>2. 文中標注之參考書目編號與報告後面所列之編號內容不一致，請再校核修正。</p> <p>3. 報告內容文字誤植之處，請再詳加核對更正。</p>	<p>1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修正案。</p> <p>2. 感謝委員指正期中報告初稿疏誤之處，遵照委員意見立即辦理訂正參考書目編號。</p> <p>3. 遵照委員意見辦理。</p>
陳澤修 建築師	<p>1. 偏心接頭在建築設計上很難避免，能從研究中了解不同偏心接頭的破壞狀況，這個研究成果即有極大的價值。</p>	<p>1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修</p>

	<p>2. 若不得已非得使用偏心接頭時，應如何補強避免立即性的破壞，這個結果對實務界就會有非常好的幫助。</p>	<p>正案。</p> <p>2. 感謝委員建議，本年度先檢討錯位偏心接頭的效應究竟有多嚴重，提出強度計算之折減公式。若不得已需使用時或檢覈不過時需要補強的細部設計，期末成果報告會依委員建議列入未來後續研究課題。</p>
陳煥煒 副總	<p>1. 此研究案對於梁柱接頭梁有偏心接入時接頭剪力強度的評估，可以提供很好的比對參考實驗資料。</p> <p>2. 柱採最小深度，最小錨定長度及最少量圍束箍筋，以上三種變數固定時研究接頭的剪力強度，高樓結構柱主筋在低樓層鋼筋比高圍束量可能遠多於規範需求量，是否對接頭強度有幫助。</p> <p>3. 當梁柱接頭強度無法符合規範要求時，須限制梁主筋鋼筋比的上限。</p>	<p>1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標。</p> <p>2. 既有研究和文獻顯示接頭配置超過規範標準之圍束箍筋量，即使達兩倍，接頭剪力強度亦只有些微提升，但配置較多的圍束箍筋確實有助於提高接頭之韌性，特別是緊鄰梁端塑鉸發展時。</p> <p>3. 感謝委員建議，確實理應如此，將於期末成果報告建議接頭強度檢核注意事項，包括最大梁主筋比值。</p>
歐昱辰 教授	<p>1. 試驗目標明確，試驗規劃合理。</p> <p>2. 試驗結果對於 RC 規範之發展甚有助益。</p>	<p>1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修正案。</p>
郭錫卿 技師	<p>1. 本研究探討之柱梁偏心接合能確切反應工程實務之現況發生的問題，後續成果期能實質釐清期影響並提供工程界依循之設計基</p>	<p>1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修</p>

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

	<p>準。</p> <p>2. 後續試驗成果之探討，除比對並提出合宜之鋼筋混凝土柱梁偏心接合剪力強度之修正公式外，建議能從偏心導致之破壞模式中，延伸探討簡易可行之改善方法。</p>	<p>正案。</p> <p>2. 感謝委員建議，本年度先檢討錯位偏心接頭的效應究竟有多嚴重和修正公式。期末成果報告會探討偏心接頭破壞模式延伸可行的改善或補強對策。</p>
陳組長 建忠	<p>1. 有關 RC 規範請檢討最新的 ACI 318-19 規範在台灣的適用性，以便本所進行建築技術規則 RC 規範小組討論之參考。</p> <p>2. 重大實驗請安排妥適時間，以便前往觀摩。</p>	<p>1. 遵照組長建議辦理。</p> <p>2. 遵照組長建議辦理，實驗期程將每周更新給承辦人，以便安排長官及同仁前往觀摩督導。</p>

附錄三、專家座談會會議紀錄

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討 研究計畫

第一次專家座談會會議紀錄

會議時間：108年3月21日(星期四)上午09:00-11:00

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室13樓簡報室

計畫主持人：雲林科技大學 李宏仁 教授

協同主持人：國家地震工程研究中心 林克強 研究員/教授

紀錄：雲林科技大學 黃韋晴 研究助理

出席委員：

內政部建築研究所	陳建忠 組長
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
潤弘精密工程	吳子良 副總
聯邦工程顧問	何政忠 協理
鼎元工程顧問	陸怡堯 結構技師
國家地震工程研究中心	黃世建 主任
台灣大學土木系	歐昱辰 教授
中興大學土木系	李翼安 助理教授

列席人員：

國家地震工程研究中心 助理研究員 紀凱甯

會議議程：

1. 主持人簡報研究進度及試體設計結果。
2. 座談與討論試體設計與規範檢討方向。
3. 散會。

會議結論：

1. 試體設計數量有限但能切中課題，請研究團隊妥善規畫實驗場地排程和試驗佈設克服困難，如期完成計畫。
2. 待有初步試驗成果，如有必要，再召開第二次座談會，另發開會通知。

第一次專家座談會內容概要

	專家意見	研究團隊回應
黃世建 主任	<ol style="list-style-type: none"> 1. 梁錯位即視為梁不連續，再酌以調整接頭有效寬度，此為保守作法，可適用規範保守邏輯，研究過程中應盡量繪製出梁柱接頭壓拉桿之剪力傳遞機制圖，此有助於工程師了解梁柱接頭之剪力行爲。 2. 梁柱接頭之側力位移曲線對結構非線性分析十分重要。建議本研究對實驗結果之側力位移關係多作比較，並作若干建議。 3. 既有的資料庫試體是否能夠輔助此次研究，實際建築物有樓板，能夠降低偏心的效果，目前規範的邏輯是一不連續就是降級處理，那這樣梁應該在多少範圍視為連續，此類接頭剪力強度會比無版接頭來的高。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意，遵照委員意見辦理，除檢討規範有效寬度及抗剪強度計算公式外，研究也將納入壓拉桿模式分析。 2. 同意，遵照委員意見辦理。 3. 現有資料庫中英文期刊資料皆為梁連續之試驗數據，欠缺梁不連續之試驗結果；僅有一筆日本文獻是梁錯位偏心接頭，後續將再蒐集其他日文參考文獻，嘗試擴充資料庫試體之數量及代表性，加入我們的資料庫一起作比對。
吳子良 副總	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究著重在不同梁偏心狀況下之接頭剪力強度計算，但接頭箍筋用量是否也會扮演適當之角色，本研究案是否有機會考量不同箍筋量、甚至是不放箍筋之影響。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 接頭箍筋對於四面欠缺梁有效圍束作用的接頭，特別是偏心接頭，重要性更高，不容許減半。若減少或取消箍筋將減損接頭耐震性能。受限於研究計畫規模，本年度僅專注於新建具圍束箍筋之接頭，暫不考慮不放箍筋的老舊構架接頭行爲。
歐昱辰 教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究為 8 座試體，目的是接頭剪力強度，矩陣 I 的 4 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 矩陣 I 也僅有試體 1A 預期為 BJ 破壞，其餘

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

<p>歐昱辰 教授</p>	<p>座試體剪力比較低，要如何確保每座試體都是接頭剪力破壞？若不是接頭剪力破壞則無法知道其接頭剪力強度？為何不直接採用矩陣 II 就好？</p> <p>2. 測試矩陣 I 及 II 的主要變化為梁主筋量，那梁主筋量對接頭剪力強度會有很大的影響力嗎？</p> <p>3. 接頭區的上層梁主筋之上及下層梁主筋之下是否擺放箍筋？是否有必要？</p>	<p>預期為 J 破壞。</p> <p>2. 每一個接合情況設計兩座試體(矩陣 I 和 II)，分別變化不同主筋量，就是為了測試耐震規範所訂之標稱剪力強度，約略發生在層間變位角 3-4%、BJ 韌性破壞強度。為了求取接頭抗剪強度之包絡線，需要至少要兩支不同主筋量之試體。</p> <p>3. 依規範原意是需要擺放箍筋，惟四周圍有樓版拘束處應不需要擺放。</p>
<p>陸怡堯 技師</p>	<p>1. 此 8 座試體的期程，想了解目前的執行情況及安排，能否在預期時間內完成？</p>	<p>1. 研究團隊 3 月已完成試體設計細節，若實驗室佈設順利，預計 7、8 月能完成試驗，餘兩個月作數值分析。研究團隊執行試驗會盡量去作好場地協調並克服佈設之障礙，讓研究計畫能按預定進度完成。</p>
<p>李翼安 教授</p>	<p>1. 梁柱接頭軸力對於接頭剪力強度的影響為何？測試選用 $0.1A_g f'_c$，理由為何？</p>	<p>1. 若軸力小於平衡載重，軸力有助於接頭強度，如若軸力明顯超過平衡載重，初期可能還是會增強接頭強度，一旦接頭損壞後高軸力可能就會加速接頭劣化。所以低軸力狀態對評估接頭抗剪強度是比較保守的，而零軸力在真實情況很難發生。通常</p>

		研究者以較保守的方式設計試驗，一般試驗常用內柱軸力採用 $0.2A_g f'_c$ ，但在邊柱或角柱採用 $0.1A_g f'_c$ 或 $0.05A_g f'_c$ 。
何政忠 協理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對接頭 C、D 狀況，剪力強度係數採用規範最低標準 $3.2\sqrt{f'_c}A_g$，有效寬度定義是否可取包絡線？ 2. RC 設計規範，箍筋對接頭區影響不敏感，這種梁錯位與直通貫穿的情況不同，此接頭的抗剪力強度能否以增加箍筋量來提高。 3. 垂直載重扭轉效應是否影響剪力強度？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意，參照委員意見，待取得試驗成果，於期中期末報告時將一併檢討有效寬度可否取包絡線。 2. 理論上有幫助，但實務上有困難，現有接頭箍筋量已經頗高，鋼筋綁紮和混凝土澆置不易，再增加箍筋量施工有困難。 3. 垂直載重應該稍微有影響但需要後續再計算評估。
陳建忠 組長	<ol style="list-style-type: none"> 1. 即早規劃試體，是比以往其他案例好的研究方向，以免往後時間有限影響研究品質。 2. 請盡可能收集四種情況之接頭因地震而樓倒塌的案例及數量統計分析，可否收集此類建築物地震損壞倒塌鑑定報告，對此類的陳述與破壞判斷為何。 3. 結構計算者是否都依四種接頭分別就整體框架結構的計算，並做成結構配筋圖，以供施工？ 4. 試驗時如何量測接頭抗剪強度。 5. 請分析完時考量樓倒塌、或柱剪斷、或補強等不同需求而須另定的規範或注意事 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意，遵照委員意見盡速辦理。 2. 強柱弱梁設計是現代建築耐震設計所要求的，而過去老舊建物沒有要求，導致弱柱較多，很多甚至連接頭都沒有圍束箍筋，偏心接合加上系統設計不良的因素太多，所以諸多倒塌案例很難分辨哪一個環節是破壞主要因素。 3. 實務上並沒有，此類偏心接頭之規範解說並不明確，故需檢討改善。 4. 為有效量測接頭抗剪強度，可能需要四具

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

	<p>項。</p>	<p>致動器之佈設，兩具致動器抓住柱頭，另外左右梁端各一具致動器，藉由致動器荷重元量測出力反算接頭剪力。然而四具致動器之佈設在建研所材料實驗中心有實務上之困難，研究團隊將以如期如質完成試驗為原則，尋求最佳之試驗佈設解決方案。</p> <p>5. 同意，將參照委員意見，建議後續構架分析時納入接頭破壞模式及分析注意事項。</p>
<p>陶其駿 主任</p>	<p>1. 請問試體 C 的測試目的，試體 D 也許沒有想像中保守，這個論述是從哪而來。</p>	<p>1. 試體 C 在實際結構是較常出現的情況。試體 D 因為梁完全錯開，接頭區不重疊，技師在計算時的爭議最多，目前有三種算法都各有立論點，故擬藉由本計畫以結構試驗釐清何者最接近。</p>

「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」

研究計畫

第一次專家座談會簽到單

會議時間：108年3月21日(星期四)上午09:00~11:00

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室13樓

計畫主持人：雲林科技大學 李宏仁 教授

協同主持人：國家地震工程研究中心 林克強 研究員/教授

出席委員簽到表

出席單位與人員	簽名
內政部建築研究所 陳建忠 組長	陳建忠
內政部建築研究所 陶其駿 主任	陶其駿
內政部建築研究所 李台光 研究員	
內政部建築研究所 黃國倫 研究員	黃國倫
潤弘精密工程 吳子良 副總/技師	吳子良
聯邦工程顧問 何政忠 協理/技師	何政忠
鼎元工程顧問 陸怡堯 負責人/技師	陸怡堯
國家地震工程研究中心 黃世建 主任/教授	黃世建
台灣大學土木工程學系 歐昱辰 教授	歐昱辰
中央大學土木工程學系 王勇智 教授	
中興大學土木工程學系 李翼安 助理教授	李翼安

列席單位與人員	簽名
	紀朝富 林克強 李宏仁

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

附錄四、期末審查會議紀錄

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

檔 號：

保存年限：

內政部建築研究所 函

機關地址：231新北市新店區北新路3段200
號13樓

承辦單位：工程技術組

聯絡人：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：李教授宏仁

發文日期：中華民國108年11月13日

發文字號：建研工字第1080010499號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如主旨(附件1 108D003834_108D2002694-01.pdf、附件2 108D003834_108D2002695-01.pdf)

主旨：檢送本所108年度委託研究「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」、「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」及「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」等3案期末審查會議紀錄1份，請查照。

正本：王技師亭復、呂院長良正、宋教授裕祺、邱顧問昌平、郭協理錫卿、陳副總經理煥煒、曾協理慶祥、黃教授然、蕭技師國興、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、中華民國結構工程師公會全國聯合會、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、中國土木水利工程學會、社團法人台灣混凝土學會、財團法人臺灣營建研究院、本所陳組長建忠、屬副研究員妮妮、陶主任其駿、范研發替代役仲祺、黃助理研究員國倫、周專案研究助理楷峻

副本：建國科技大學、國立雲林科技大學、財團法人成大研究發展基金會、吳教授崇豪、李教授宏仁、劉教授光晏、本所工程技術組(均含附件)



李教授宏仁



1080027907 108/11/14

內政部建築研究所

本所 108 年度委託研究「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」、「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」及「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」等 3 案期末審查會議簽到簿

時 間：108 年 10 月 30 日(星期三) 上午 9 時 30 分

地 點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 1 會議室 (新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓)

主 席：陳組長建忠 蕭媿媿代 紀錄：范仲柑 黃國偉 周煥煥

出席人員	簽到處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
王技師亭復	(書面意見)		
呂院長良正			
宋教授裕祺			
蕭問昌平			
郭協理錫卿			
陳副總經理煥煒			
曾協理慶祥			
黃教授然			
蕭技師國興			
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			

[國倫開 108009840S]

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

財團法人國家實驗研究院 國家地震工程研究中			
中國土木水利工程學會			
社團法人台灣混凝土學會			
財團法人臺灣營建研究院			
吳教授崇豪	吳崇豪		
李教授宏仁	李宏仁		
劉教授光晏	劉光晏		
建國科技大學			
國立雲林科技大學			
財團法人成大研究發展基金會			
陶主任其駿	陶其駿		
范研發替代役仲棋	范仲棋		
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	林前峰 林樹根 李官峰	黃柏嘉	
國家印裝工程 石印中心	紀凱富		
雲林科技大學	林明志		

[國倫開 1080009840S]

本所 108 年度委託研究「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」、「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」及「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：108 年 10 月 30 日 (星期三) 上午 9 時 30 分

二、地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 1 會議室 (新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓)

三、主持人：陳組長建忠(屬副研究員妮妮代理) 記錄：范仲棋、黃國倫、周楷峻

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

(一) 「卜作嵐摻料對再生混凝土與鋼筋間界面過渡區影響之研究」案：

中華民國全國建築師公會 張建築師威：

1. 再生混凝土之使用，是否有 f_c' 強度之限制？目前業界已有使用超過 350 kgf/cm^2 ，甚至到 420 kgf/m^2 ，是否適用？
2. 期末報告第 5 頁提及水庫淤泥輕質骨材外觀圓滑，與混凝土材料教科書所言粗骨材之外觀稜角分明較易產生強度，有何影響？

呂院長良正：

1. 再生骨材宜定義清楚，並強調再生混凝土的研究成果，例如：優缺點等，目前在結論中無法看出再生混凝土、一般混凝土及輕質混凝土之差異。
2. 期末報告所出現之矽灰，應是爐石，請修正。
3. 期末報告格式應再調整。

邱顧問昌平：

1. 本案採用常重骨材、輕質骨材、再生骨材、飛灰及爐石，設計 3 種混凝土，每種混凝土 7 個配比，製作鋼筋拉拔試驗試體，探討混凝土界

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

面過渡區(ITZ)對鋼筋握裹力之影響，已有一些有用的試驗結果。

2. 因使用飛灰及爐石而需要添加強塑劑，造成混凝土凝結時間偏久，建議對某些工程之施工，提出施工注意事項或特別施工規範。
3. 期末報告第3章第1節試驗材料之敘述，宜列入#6鋼筋之要求(材質及竹節等是否符合標準?)，圖3-8宜補充描繪試體尺寸圖(含鋼筋之埋入)。
4. 期末報告之建議一，提及工地紅磚及磁磚之挑揀及粉碎，不合常理，不符合成本觀念，且非本案之主要成果，並不適合。
5. 期末報告第16頁表2-2之KaO，應為K₂O，污工應為圻工，第17頁中間的N應為Na⁺，第19頁第5行的過渡層(Transition Zone)應為界面過渡區(Interfacial Transition Zone, ITZ)，另第38頁之C₃S為何?

陳副總經理煥焯：

1. 研究結果多採用相對性描述，建議是否可加入與現行規範的比較，例如鋼筋輕質混凝土握裹應力較低，是否仍符合規範?
2. 建議研究結果應有較具體應用於實務的建議，例如再生骨材坍度較不理想要如何改善、加爐石的結果普遍優於加飛灰等。
3. 單價可加入成果報告，但應能符合目前市場行情。

陶主任其駿：

請研究團隊再檢視所提預期成果，是否符合契約之規定，並據以提出更具體之建議事項。

研究單位回應(吳教授崇豪)

1. 本案再生混凝土設計抗壓強度雖為280 kgf/cm²，仍可依需求進行增減，惟再生骨材顆粒強度較弱，所設計之混凝土強度，不宜過高。
2. 本案水庫淤泥輕質骨材外觀較為圓滑，所拌製的混凝土流動性較常重混凝土理想，惟其顆粒強度較常重骨材低，所拌製的混凝土強度無法過高。
3. 本案輕質混凝土與鋼筋間握裹應力較低，是與常重混凝土比較之結果，實際應用時依混凝土種類及強度需求進行設計即可，使用上沒有問題。

4. 感謝委員的建議，其餘意見將於成果報告補充說明。

(二) 「鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討」案：

中華民國全國建築師公會 張建築師威：

1. 實驗構架為二維平面，但偏心不連續在三維空間，垂直向之梁對實驗結果影響度如何？將來訂規範應有修正係數。
2. 柱梁接頭柱橫向鋼筋之繫筋，是否對施工影響很大？是否可用對箍筋加大取消繫筋來解決？

呂院長良正：

1. 試體設計都以滿足規範之最低要求，相對保守。
2. 試驗柱軸力採 $0.1A_g f'_c$ ，而一般高樓設計時，接頭剪力強度較難滿足為低樓層，而其軸力比 $0.1A_g f'_c$ 大不少，目前實驗顯示有偏心之接頭，其剪力強度及吸能表現均與無偏心者差異很小，因此擬訂規範條文修正草案可再斟酌。

邱顧問昌平：

1. 柱、梁主筋(16-D25, 2×6-D25)及(20-D25, 2×8-D25)各做A、B、C及D等4種偏心量之試體，分為系列I及系列II進行試驗，對RC梁柱接頭剪力強度新版規範應用之探討，獲得一項有用之公式修正建議。(但須注意，垂直於梁之方向，RC柱並無圍束)。
2. 試驗之 Loading plan，理論上是二維平面，但因有偏心(case B、case C及case D)，是否其破壞現象比較複雜？有何影響？
3. 期末報告表1-2之數字，請提供計算方式及結果。
4. 期末報告文字、圖表，仍須做修正或調整。

陳副總經理煥輝：

1. 本案研究結果可提供「修正混凝土結構設計規範接頭剪力計算強度」之參考依據。
2. 建議修正公式，宜參考實驗結果，不宜過度保守。
3. 建議「不連續」之文字，可以改為「不直通」。
4. 新版規範對於梁不直通的 A_j 計算方式，未有定義，是否可參考本案結

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

果給予建議。

陶主任其駿：

本案試體所規劃之參數，應於結論及建議明列說明，俾避免於國內工程設計應用，發生錯用之情形可補強說明。

研究單位回應(李教授宏仁)

1. 本案成果報告會將 3 維之研究規劃，納入後續研究建議方向。規範已有橫向梁之修正係數。
2. 就抗剪強度及圍束混凝土而言，以外箍取代繫筋是可行的。但繫筋尚須抑制主筋挫屈，且取消繫筋會讓柱主筋失去側向支撐，受高軸力容易挫屈，外柱高軸力尤其堪慮，不宜取消。
3. 會將意見帶回土木水利學會混凝土設計規範委員會討論，也希望設計者多參加規範委員會，規範修正內容才不會太偏保守。
4. 直通是日文規範用語，會將名詞定義帶回委員會檢討。
5. 柱軸力對接頭之影響，是值得研究的課題，會寫入後續研究建議。錯位偏心接頭有效寬度兩側取較小值或是聯集，以及能否再放寬等建議會帶回去委員會再檢討研議。
6. 成果報告會重述規範剪力強度計算，補充試驗測試剪力強度之分析計算之條件。
7. 後續衍生研究會再增加 3D 壓拉桿模型分析，檢討偏心之影響。

(三) 「應用非線性動力分析法於中高樓層軟弱層及扭轉不規則建築之詳細耐震能力評估」案：

中華民國全國建築師公會 張建築師威：

高層建築進行耐震補強，會因地下室車位問題，無法以擴柱補強方式辦理。

呂院長良正：

1. 以非線性動力分析當作耐震能力之評估工具，尚屬初步發展階段，尚難推廣至業界，因此對於 CASE 1 應補充說明，如何利用側推分析得到較為合理之結果。

2. Case 2 之破壞準則有 2，造成結果差異頗大，然局部構件破壞時，有產生崩塌機制？請補充說明。另外，以易損曲線分析時，其破壞條件為何？也請說明。

邱顧問昌平：

1. 非線性增量式動力分析 (Incremental Dynamic Analysis, 簡稱 IDA)，係採自 FEMA P-58 的方法加以簡化，並參考另外之二次倒塌判定準則，做為本案之研究工具，以純構架及含軟弱層 2 棟中高建築結構做詳細耐震能力評估，已獲一些成果。
2. 期末報告第 5 章第 2 節案例基本資料，係具有結構牆之 RC 抗彎構架，但圖、文仍宜清楚交待（於平面圖、立面圖及第 3 節 math model 未見牆？）。又第 107 頁，對於斷面勁度折減係數之採用，有何依據？第 109 頁之牆量比，也請補充說明。



陳副總經理煥輝：

1. 建議基本資料，應加入平面的跨度（柱距）。
2. 期末報告的案例週期偏長太多，與實務經驗不相符，請再確認原因。
3. 本案應該是針對「RC 構造」，所以名稱是否需加入「RC 構造」。

陶主任其駿：

1. 本案預期成果之需求，有提及提出資料庫之項目，未來係以書面的方式放在成果報告裡，亦或是以電子化的方式呈現？建議本案研究團隊應儘速與承辦人討論。
2. 後續建議有關不規則與非線性分析，關鍵性的流程或一些檢核的項目，除於期末報告探討外，能否以專章或專節的方式收尾？

王技師亭復(書審意見)：


1. 案例 14 層樓分析地震意外扭矩放大係數 A_x ，均小於 1.2，並不屬規範表 1.2(期末報告表 2.2)之扭轉不規則，惟依圖 2.2 之 A/L 約 0.5 以上，遠大於 0.15，顯然屬幾何不規則，因此案例計算有待商榷。
2. 計算地震意外扭矩放大係數 A_x 時，梁柱剛度宜採用彈性時初始勁度，不得折減，且考量樓版為剛性及 T 形梁剛度等予以計算，基本振動週期亦應依規範要求計算。



3. 案例 15 層已是高層建築，不論其有否軟弱樓層，每一方向僅取第 1 振態分析，其質量參與比均會少於 90%，顯然精確度不足，應考慮選擇合適之多振態推側分析（例如 MPA、CMPA、MRSA 及 MMP 均屬動力模態分析）以達質量參與比大於 90%，可達到工程需求。
4. 期末報告第 50 頁雙曲率勁度 k 計算採用 $3E_c I_g / H^3$ ，與前述公式(3-3) 不同，請說明。
5. 發展 IDA 原作者 Vamvatsikos 的提示，以 IDA 分析 7 組地震紀錄及 11 個地震強度增量，需非線性動力分析 147 次，其與多振態側推或簡化之 IDA 分析，僅非線性動力分析一項，即花費電腦時間約數小時與數分鐘之比，工程師人力差距不可謂不大，FEMA P58 亦有此簡化之建議，因此在計算上多以電子表格 Excel Spread Sheet，協助工程師簡化繁多的重複計算，以製作 IDA Curve、倒塌時構件極限分析及估算倒塌機率計算(PACT)，建議朝此方向發展。
6. 地震波選擇若合乎第 139 頁原則，至少需多少筆紀錄？若無法全數符合，至少需多少筆紀錄？又地震波強度增量如何考量？
7. 本案可做為性能評估之 comprehensive 方法，惟對於以 IDA 產生倒塌之易損曲線 (Collapse Fragility Curve, IDA Curve, 圖 4-20 是否取中值 Median 或加、減一個偏差值)製作步驟，宜做較完整說明，甚至可在精度許可下，做多振態(動力分析)之可能上千次靜力推側分析，製作倒塌易損曲線，以降低工作量。
8. 倒塌機率性能曲線 Collapse Fragility Function(圖 4-11、5-2 及 5-33)製作步驟，亦宜予較完整說明。

研究單位回應(劉教授光晏)

1. 耐震補強非本案探討內容，但仍可依現地條件即可選用工法，如鋼板包覆方式進行，以避免影響停車空間。
2. 本案將比對側推分析與動力分析結果，找出轉換關係，提供經驗數據。
3. 局部構件破壞時未產生崩塌機制。易損曲線分析時，案例一(扭轉不規則結構)之破壞條件，由樓層層間位移角控制；案例二(軟弱底層結構)之破壞條件，由柱構件喪失垂直承载力控制。

- 
4. 本案將補充建築平立面圖，標示牆壁位置。另勁度折減係依據 ASCE 41-13 表 10-5，經第 3 章驗證實驗結果，斷面開裂後之勁度尚屬合理。
 5. 期末報告所採用案例，如未考慮斷面勁度折減時，其週期與工程經驗值接近。
 6. 本案因契約關係，名稱無法加入「RC 構造」。
 7. 本案柱構件實驗資料庫將以電子化方式，收錄於成果報告光碟。
 8. 關鍵性的流程或一些檢核的項目，將於成果報告結論予以補充。

七、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期末報告，經徵詢在場審查委員與機關團體代表意見，審查結果原則通過。請業務單位將與會審查委員及出席代表意見暨部分委員所提之書面意見詳實記錄，供各研究團隊參採，於成果報告妥予回應，如期如質完成研究計畫。
- (二) 請各研究團隊掌握時程，依本部規定格式繳交成果報告，有引述相關資料需尊重智慧財產權註明資料引用來源，結論與建議部分需注意應具體可行。

八、散會：中午 12 時 08 分。

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

期末審查意見回覆

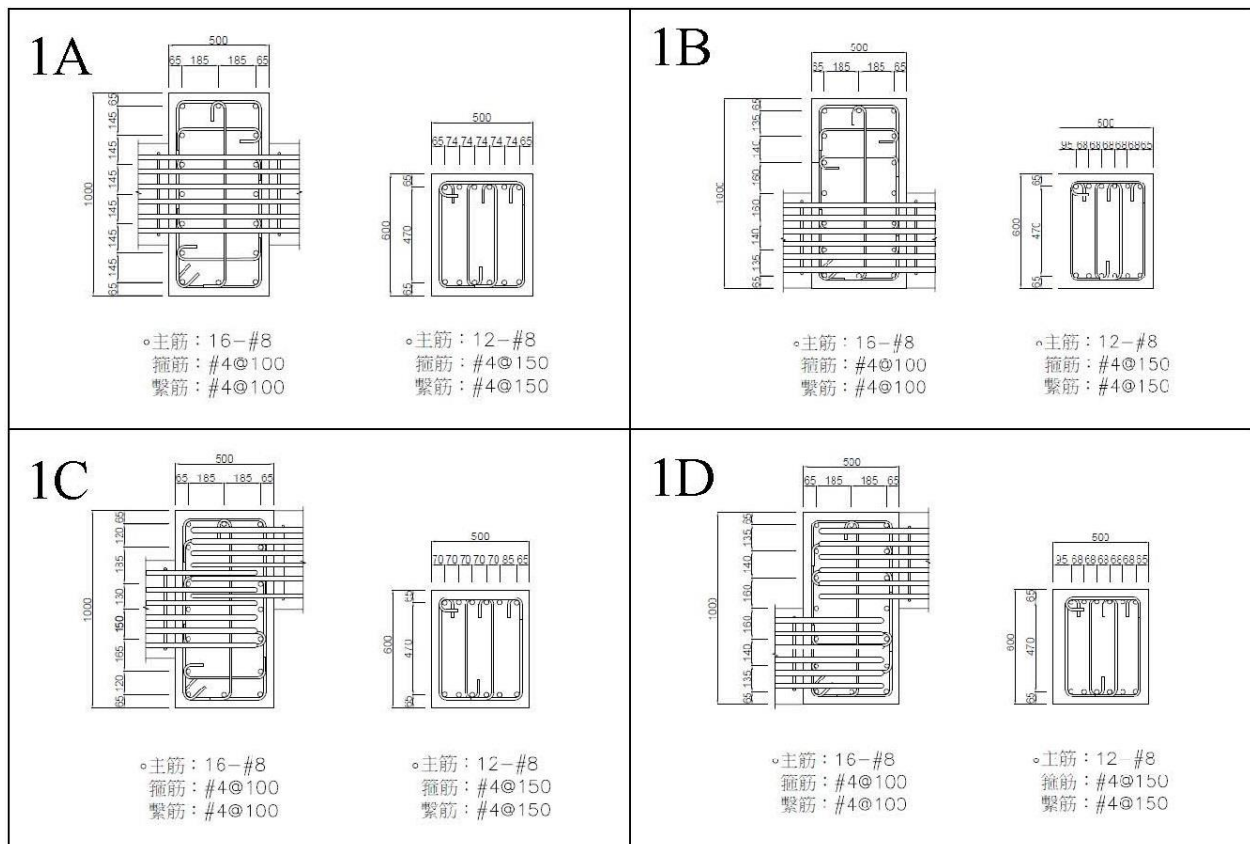
	審查委員意見	廠商回應
張威 建築師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗構架為 2D，偏心連續在 3D，另垂直向之梁對實驗結果影響度如何？將來訂規範應有修正係數。 2. 柱梁接頭箍筋之繫筋是否對於施工影響很大？是否可用對箍筋加大，取消繫筋來解決？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，未來研究建議 2. 就抗剪強度和圍束混凝土而言，是可行的。但繫筋有一個功能是抑制主筋挫曲，取消繫筋會讓柱主筋失去側向支撐，受高軸力容易挫曲，外柱高軸力尤其堪慮。
陳煥璋 副總	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究案之結果可提供「修正混凝土結構設計規範接頭剪力計算強度」之參考依據。 2. 建議修正公式宜參考實驗結果，不宜過度保守。 3. 建議“不連續”可以改為“不直通”。 4. 新版規範對於梁不直通的 A_j 計算方式未有定義，是否可參考本研究結果給予建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定，此課題具有原創性並且切合實務，研究團隊會盡全力完成預期研究目標，提出妥切的規範和解說修正案。 2. 感謝委員建議，會將意見帶回去委員會研議，規範委員會也需要工程界撥空參加，才不會一直偏保守。 3. 感謝委員建議，遵照辦理。 4. 感謝委員建議，遵照辦理
呂良正 院長	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前所設計之試體，都以滿足規範之最低要求來設計，相對保守。 2. 試驗中柱軸力採 $0.1f'_c$，而一般高樓設計時，接頭剪力強度較難滿足低樓層，而其軸力比 $0.1f'_c$ 大不少，目前實驗顯示有偏心之接頭，其剪力強度與吸能表現和無偏心者差 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，會將意見帶回去委員會研議，規範委員會也需要工程界撥空參加，才不會一直偏保守。 2. 感謝委員建議，柱軸力對接頭的影響是值得研究的課題，會寫入後續研究建議。兩側取較小值或是聯集，會再帶回

	異很小因此擬修訂之規範條文可再斟酌。	去研議。
丘昌平 顧問	<ol style="list-style-type: none"> 1. 柱、梁主筋(16-D25, 2X6-D25)及(20-D25, 2X8-D25)各做 A、B、C、D 四種偏心率之試體，分為系列 I 及系列 II，進行試驗，對 RC 梁柱接頭剪力強度新版規範應用之探討，獲得一項有用之公式修正建議。(但須注意，垂直於梁之方向，RC 柱並無圍束)。 2. 試驗之 Loading plan 理論上是 2-D，但因有偏心(case B、C、D)，是否其破壞現象比較複雜，有何影響？ 3. 表 1-2 中之數字，請提供計算方式及結果。 4. 文字、圖表仍須做修正或調整。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，成果報告會重述規範剪力強度計算，補充試驗測試剪力強度之分析計算之條件。 2. 感謝委員建議，後續衍生研究會再增加 3D 壓拉桿模型分析。 3. 感謝委員建議，遵照辦理。 4. 感謝委員修正疏誤之處，遵照辦理。
王亭復 技師	無意見	
陶其駿 主任	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議國內工程實務之於這個試驗的試體規劃或參數可以補強一下。 	<ol style="list-style-type: none"> 1 感謝委員建議，會將國內工程實務設計與本實驗試體設計參數之差異和保守程度，敘明於成果報告。

附錄五、試體設計圖

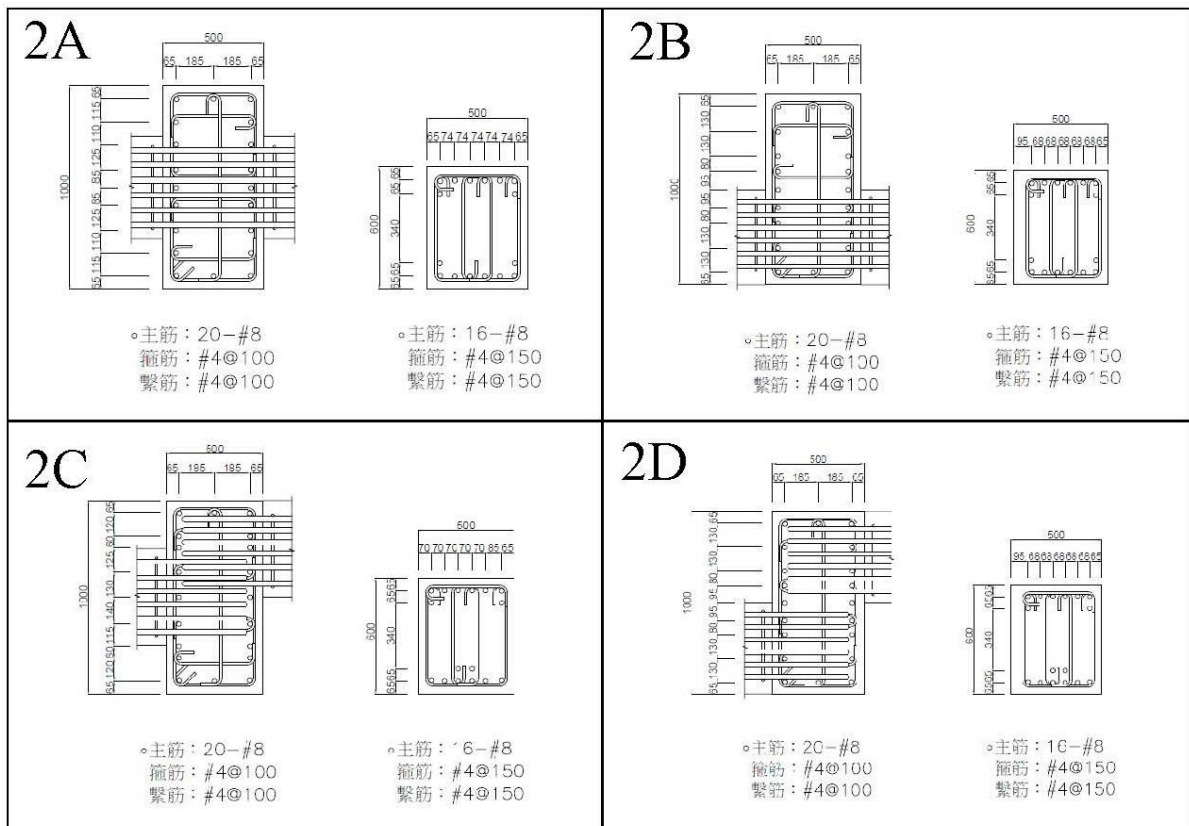
鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

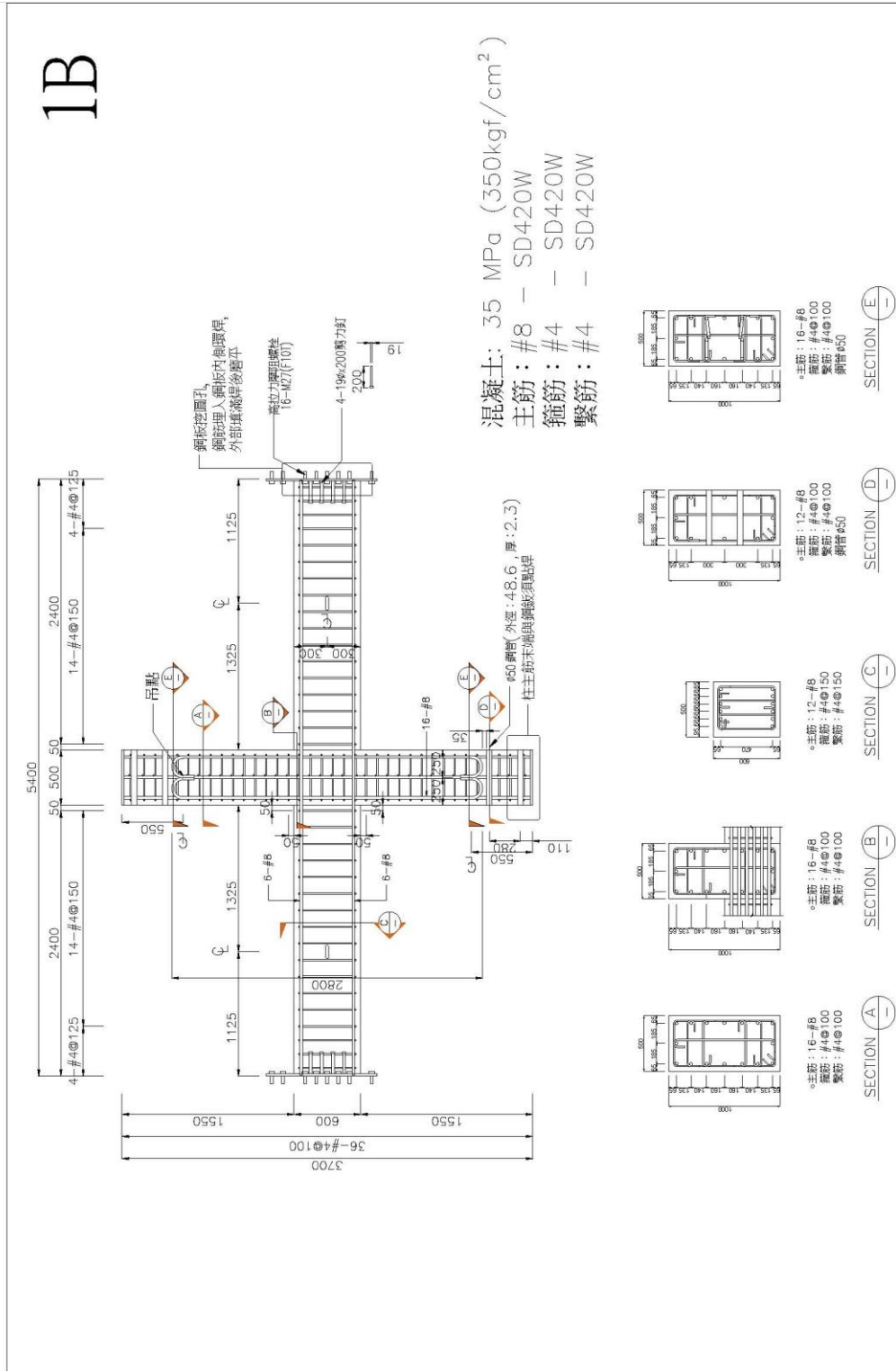
試體		1A	1B	1C	1D
試體形狀		十字形			
偏心距(cm)	左側	0	-25	0	-25
	右側	0	-25	+25	25
f'_c (kgf/cm ²)		350			
f_y (kgf/cm ²)		4200			
柱	柱寬×柱深 (cm)	100 × 50			
	主筋	16 – D25(SD420W)			
	箍筋	6 – D13@10(SD420W)			
梁	梁寬×梁深 (cm)	50 × 60			
	主筋	頂層 6 – D25(SD420W) 底層 6 – D25(SD420W)			
	箍筋	4 – D13@15(SD420W)			
接頭	箍筋	6 – D13@10(SD420W)			



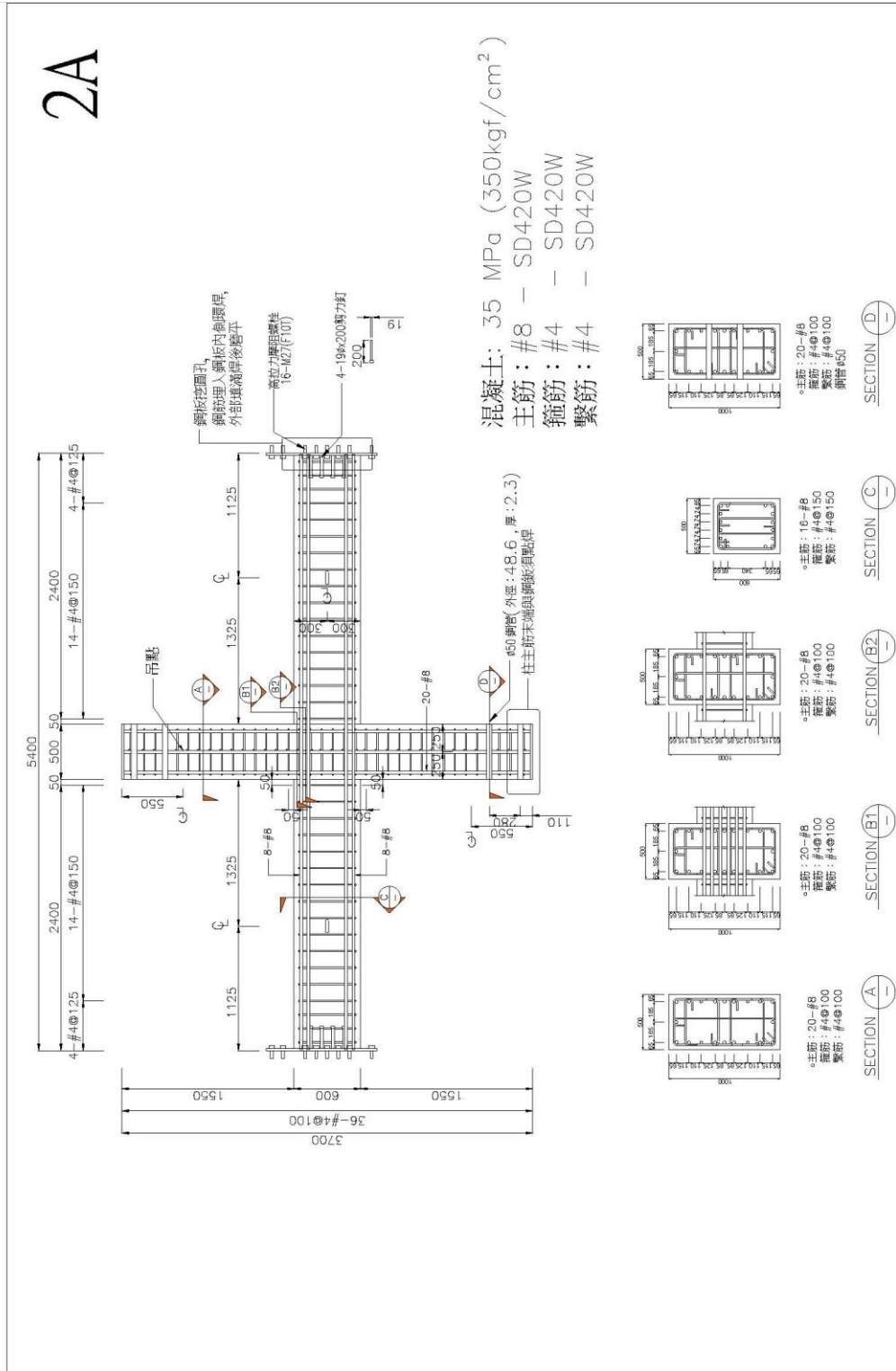
附錄五、試體設計圖

試體		2A	2B	2C	2D
試體形狀		十字形			
偏心距(cm)	左側	0	-25	0	-25
	右側	0	-25	+25	25
f'_c (kgf/cm ²)		350			
f_y (kgf/cm ²)		4200			
柱	柱寬×柱深 (cm)	100 × 50			
	主筋	20 - D25(SD420W)			
	箍筋	6 - D13@10(SD420W)			
梁	梁寬×梁深 (cm)	50 × 60			
	主筋	頂層 8 - D25(SD420W) 底層 8 - D25(SD420W)			
	箍筋	4 - D13@15(SD420W)			
接頭	箍筋	6 - D13@10(SD420W)			

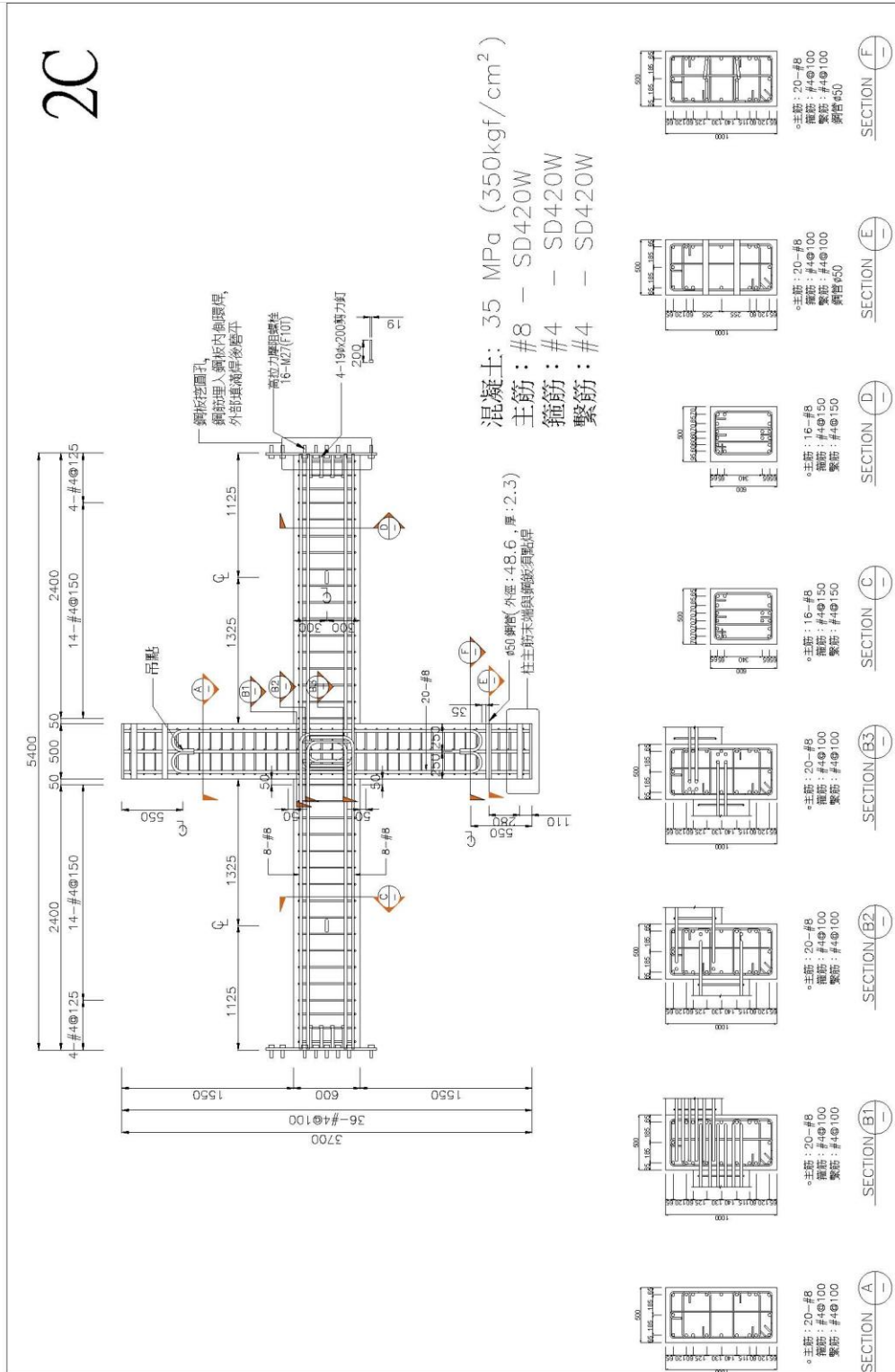




鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討



鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

參考書目

- [1] 內政部營建署, "建築物耐震設計規範及解說," 內政部營建署, 台北, 2011.
- [2] 內政部營建署, 混凝土結構設計規範, 內政部營建署, 台北, 2011, 356 pp.
- [3] 王炤烈; 黃世建; 李釗; and 蕭輔沛, 混凝土結構技術規範之修正研擬, 內政部建築研究所, 台北, 2016, 497 pp.
- [4] ACI Committee 318, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 520 pp.
- [5] ACI-ASCE Committee 352., "Recommendations for design of beam-column connections in monolithic reinforced concrete structures (ACI 352R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002, pp. 38.
- [6] ACI Committee 318, Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
- [7] 黃世建; Lim, E.; 翁樸文; and 李宏仁, "鋼筋混凝土偏心梁柱接頭之抗剪強度設計," 結構工程, V. 29, No. 2, June, 2014, 2014, pp. 5-23.
- [8] Lafave, J. M.; Bonacci, J. F.; Burak, B.; and Shin, M., "Eccentric Beam-Column Connections," Concrete International, 2005, pp. 58-62.
- [9] 中華民國結構工程學會, 高強度鋼筋混凝土結構設計手冊, 科技圖書, 台北, 2017, pp.
- [10] Sezen, H.; Whittaker, A. S.; Elwood, K. J.; and Mosalam, K. M., "Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and

- construction practise in Turkey," *Engineering Structures*, V. 25, No. 1, 2003, pp. 103-114.
- [11] Zhao, B.; Taucer, F.; and Rossetto, T., "Field investigation on the performance of building structures during the 12 May 2008 Wenchuan earthquake in China," *Engineering Structures*, V. 31, No. 8, 2009, pp. 1707-1723.
- [12] Kam, W. Y.; Pampanin, S.; and Elwood, K., "Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February Christchurch (Lyttelton) earthquake," *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, V. 44, No. 4, 2011, pp. 239-278.
- [13] Bayhan, B.; Moehle, J. P.; Yavari, S.; Elwood, K. J.; Lin, S. H.; Wu, C. L.; and Hwang, S. J., "Seismic Response of a Concrete Frame with Weak Beam-Column Joints," *Earthquake Spectra*, V. 31, No. 1, Feb, 2015, pp. 293-315.
- [14] 林克強, "20160206 高雄美濃地震之建築物震害介紹與可能肇因探討--維冠單棟建築·災害死亡人數最多," *混凝土科技*, V. 10, No. 2, April, 2016, pp. 35-47.
- [15] Zhu, S.; and Jirsa, J. O., "A study of bond deterioration in reinforced concrete beam-column joints," *Phil M. Ferguson Structural Engineering Laboratory, University of Texas at Austin, PMFSEL Report No. 83-1, Austin, TX, 1983, pp. 69.*
- [16] Lee, H.-J.; Chen, H.-C.; and Tsai, T.-C., "Simplified Design Equation of Minimum Interior Joint Depth for Special Moment Frames with High-Strength Reinforcement," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, V. 12, No. 1, 2018/11/20, 2018, pp. 70.
- [17] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2011, pp.
- [18] 李宏仁, "ACI 318-19 規範在鋼筋設計強度及續接錨定之重要變革," *台灣混凝土學會 2019 年混凝土工程研討會*, 台北, 2019.

- [19] Moehle, J. P., Seismic design of reinforced concrete buildings, McGraw-Hill Education, New York, 2015, 760 pp.
- [20] ACI Committee 374., "Acceptance criteria for moment frames based on structural testing and commentary (ACI 374.1-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, pp. 9.

鋼筋混凝土柱梁偏心接合之耐震抗剪強度檢討

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：李宏仁、林克強、紀凱甯、林明志

出版年月：108 年 12 月

版次：第一版

ISBN：978-986-5448-13-4（平裝）