鋼筋續接器續接設計規範與施工規範條文及解說研修

內政部建築研究所研究報告（93年度）

鋼筋續接器續接設計規範與施工規範及解說研修

內政部建築研究所研究報告

中華民國 93 年 12 月

０９３３０１０７０００００Ｇ３０１９

鋼筋續接器續接設計規範與施工規範支條文及解說研修

研究主持人：何明錦

共同主持人：陳正誠

研 究 助 理 ：黃伯誠

內政部建築研究所研究報告

中華民國 93 年 12 月

目　　次

表次・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・III

圖次・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・V

摘要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・X

英文摘要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・XII

一、前言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

二、鋼筋直徑收縮率與延展性之關係 ・・・・・・・・・・・・・・3
2.1 圓鋼棒直徑收縮率與應變關係之理論分析・・・・・・・・・3
2.1.1 真實應變與工程應變・・・・・・・・・・・・・・・・3
2.1.2 理論直徑收縮率-應變曲線方程式(r_d -ε)・・・・・・4
2.2 鋼筋直徑收縮率試驗・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
2.2.1 頸縮區與非頸縮區之直徑收縮率・・・・・・・・6
2.2.2 試驗結果之整理與比較・・・・・・・・・・・・・7
2.2.3 鋼筋直徑收縮率需求量之推估 ・・・・・・・・9
2.3 續接器接合試體拉力試驗 ・・・・・・・・・・・・・・・9
2.4 續接器接合試體拉力試驗結果與討論 ・・・・・・・・・10

三、柱構材反復載重試驗・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
3.1 試驗規劃與設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
3.1.1 試體規劃・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
3.1.2 試體設計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
3.1.3 模板設計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
3.1.4 軸力加載裝置・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
3.2 試體製作 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
3.2.1 鋼筋整備、續接器加工・・・・・・・・・・・・・・15
3.2.2 箍筋加工・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
3.2.3 貼佈應變計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
3.2.4 模板 element 預組 ・・・・・・・・・・・・・・・・16
3.2.5 鋼筋籠組立 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
3.2.6 模板組立 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
3.2.7 灌漿、養護及拆模 ・・・・・・・・・・・・・・・・18
3.3 試驗裝置與加載歷程 ・・・・・・・・・・・・・・・・・18

3.3.1 試體架設 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
3.3.2 加載歷程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
3.3.3 材料試驗 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
3.4 試驗結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・23
3.4.1 載重與位移關係行為 ・・・・・・・・・・・・・・・・23
3.4.2 裂縫發展與破壞模式 ・・・・・・・・・・・・・・・・25
3.4.3 近臨界斷面曲率量測結果 ・・・・・・・・・・・・・・28
3.4.4 主筋應變計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
3.4.5 試體水平位移與轉角 ・・・・・・・・・・・・・・・・31
3.4.6 軸力變化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31

四、柱構材反復載重試驗結果之討論・・・・・・・・・・・・・32
4.1 強度發展及勁度變化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・32
4.1.1 單向強度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32
4.1.2 強度衰減(Decay) ・・・・・・・・・・・・・・・・・32
4.1.3 勁度變化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33
4.1.4 勁度衰減 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33
4.2 殘留位移與消能容量 ・・・・・・・・・・・・・・・・・34
4.2.1 消能容量 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34
4.2.2 殘留位移・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34
4.3 近臨界斷面曲率變化・・・・・・・・・・・・・・・・・35
4.4 整體行為探討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・35

五、鋼筋續接器續接設計準則與施工規範之研修・・・・・・・・37

六、結論與建議・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・38
6.1 鋼筋直徑收縮率與延展性的關係・・・・・・・・・・・38
6.2 柱構材返復載重試驗・・・・・・・・・・・・・・・・・38
6.3 鋼筋續接器續接之設計與施工規範草案・・・・・・・・39

參考文獻・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40

誌謝・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40

附錄 A 鋼筋續接器續接施工規範（草案）

附錄 B 鋼筋續接器續接設計規範（草案）

表　　次

表 2-1 鋼筋數量表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
表 2-2 頸縮區與非頸縮區直徑收縮率・・・・・・・・・・・・・・・42
表 2-3 SD 420W 加釩鋼筋-1 實驗值與理論值之比較・・・・・・・43
表 2-4 SD 420W 加釩鋼筋-2 實驗值與理論值之比較・・・・・・・46
表 2-5 SD 280W 熱軋鋼筋實驗值與理論值之比較・・・・・・・・52
表 2-6 SD 420W 線上熱處理鋼筋實驗值與理論值之比較・・・・54
表 2-7 a_{test} 與 a_{theory} 之統計・・・・・・・・・・・・・・・・・・55
表 2-8 SD420W 加釩鋼筋-1 非頸縮區直徑收縮率需求・・・・・・55
表 2-9 SD420W 加釩鋼筋-2 非頸縮區直徑收縮率需求・・・・・・55
表 2-10 SD280W 熱軋鋼筋非頸縮區直徑收縮率需求・・・・・・・56
表 2-11 SD420W 線上熱處理鋼筋非頸縮區直徑收縮率需求・・・56
表 2-12 續接試體之詳細描述・・・・・・・・・・・・・・・・・・56
表 2-13 續接試體直徑收縮率之試驗結果(正常續接) ・・・・・・57
表 2-14 續接試體直徑收縮率之試驗結果(不同批#8 續接)・・・・58
表 2-15 續接試體直徑收縮率之試驗結果(異徑續接)・・・・・・59
表 3-1 試體描述・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・60
表 3-2 圓柱試體抗壓強度試驗結果・・・・・・・・・・・・・・・60
表 3-3 柱構材第一種降伏強度(FY1)主筋試驗結果・・・・・・・61
表 3-4 柱構材第二種降伏強度(FY2)主筋試驗結果・・・・・・・61
表 3-5 柱構材第三種降伏強度(FY3)主筋試驗結果・・・・・・・61
表 3-6 續接器高塑性反復載重試驗結果・・・・・・・・・・・・・62
表 3-7 續接器拉力試驗結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・62
表 3-8 臨界斷面裂縫寬度紀錄・・・・・・・・・・・・・・・・・・63
表 3-9 試體 L2-Y3 續接器下方裂縫寬度紀錄・・・・・・・・・・64

表 3-10 試體 L1/2-Y3 續接器上下裂縫寬度紀錄・・・・・・・・・64
表 4-1 全試體每一迴圈最大載重之曲率・・・・・・・・・・・・・66
表 4-2 全試體比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・66
表 5-1 規範修訂委員・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・67

圖　　次

圖 1-1 續接器續接試體破壞模式例・・・・・・・・・・・・・・・・68
圖 2-1 鋼材應力應變曲線・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・68
圖 2-2 平均應變與瞬時應變示意圖・・・・・・・・・・・・・・・68
圖 2-3 理論直徑收縮率-應變曲線・・・・・・・・・・・・・・・・69
圖 2-4 鋼筋拉力試驗示意圖 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・69
圖 2-5 鋼筋直徑之量測方式 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・70
圖 2-6 鋼筋不同位置之應力-應變關係曲線・・・・・・・・・・・70
圖 2-7 SD 420W 加釩鋼筋-1 直徑收縮率-應變關係曲線・・・・・71
圖 2-8 SD 420W 加釩鋼筋-1 非頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・71
圖 2-9 SD 420W 加釩鋼筋-1 頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・・71
圖 2-10 SD 420W 加釩鋼筋-2 直徑收縮率-應變關係曲線 ・・・・72
圖 2-11 SD 420W 加釩鋼筋-2 非頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・72
圖 2-12 SD 420W 加釩鋼筋-2 頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・・72
圖 2-13 SD 280W 熱軋鋼筋直徑收縮率-應變關係曲線・・・・・・73
圖 2-14 SD 280W 熱軋鋼筋非頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・・73
圖 2-15 SD 280W 熱軋鋼筋頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・・・73
圖 2-16 SD 420W 線上熱處理(水淬)鋼筋直徑收縮率-應變關係
曲線・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・74
圖 2-17 SD 420W 水淬鋼筋非頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・・74
圖 2-18 SD 420W 水淬鋼筋頸縮區鋼筋之直徑收縮率・・・・・・74
圖 2-19 直徑收縮率量測位置示意圖・・・・・・・・・・・・・・75
圖 2-21 脊-脊方向直徑收縮率之最大值・・・・・・・・・・・・76
圖 2-21 脊-脊方向直徑收縮率之平均值・・・・・・・・・・・・76
圖 3-1 柱鋼筋在柱頭以鋼筋續接器續接示意圖・・・・・・・・・77

圖 3-2 柱試體規劃示意圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・78
圖 3-3 柱試體尺寸及主要之鋼筋配置・・・・・・・・・・・・・・・79
圖 3-4 續接器外部尺寸・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・79
圖 3-5 模板設計概念圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・80
圖 3-6 模板組立詳圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・80
圖 3-7 柱構材反復載重試驗裝置示意圖・・・・・・・・・・・・・・81
圖 3-8 箍筋成品・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・81
圖 3-9 柱構材應變計貼佈位置示意圖・・・・・・・・・・・・・・・82
圖 3-10 柱主筋組立完工圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・83
圖 3-11 基座主筋組立完工圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・83
圖 3-12 外部測計量測位置示意圖・・・・・・・・・・・・・・・・・84
圖 3-13 量測初始間距位置示意圖・・・・・・・・・・・・・・・・・84
圖 3-14 加載歷程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・85
圖 3-15 圓柱試體抗壓強度試驗・・・・・・・・・・・・・・・・・・86
圖 3-16 鋼筋拉力試驗・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・86
圖 3-17 基座主筋應力-應變關係圖・・・・・・・・・・・・・・・・86
圖 3-18 柱構材主筋應力-應變關係圖・・・・・・・・・・・・・・・87
圖 3-19 柱構材箍筋應力-應變關係圖・・・・・・・・・・・・・・・87
圖 3-20 試體 R-Y1 載重-位移曲線・・・・・・・・・・・・・・・・88
圖 3-21 試體 L1-Y1 載重-位移曲線・・・・・・・・・・・・・・・・88
圖 3-22 試體 L1-Y2 載重-位移曲線・・・・・・・・・・・・・・・・89
圖 3-23 試體 L1-Y3 載重-位移曲線・・・・・・・・・・・・・・・・89
圖 3-24 試體 L2-Y3 載重-位移曲線・・・・・・・・・・・・・・・・90
圖 3-25 試體 L1/2-Y3 載重-位移曲線・・・・・・・・・・・・・・・90
圖 3-26 計算試體理論強度之斷面・・・・・・・・・・・・・・・・・91

圖 3-27 試體 R-Y1 於層間位移角 0.75%之裂縫分布・・・・・・・92
圖 3-28 試體 R-Y1 於層間位移角 3.5%側面之裂縫分布・・・・・92
圖 3-29 試體 R-Y1 於層間位移角 7%破壞・・・・・・・・・・・93
圖 3-30 試體 L1-Y1 於層間位移角 1.0%之裂縫分布・・・・・・・93
圖 3-31 試體 L1-Y1 於層間位移角 3.5%之裂縫分布・・・・・・・94
圖 3-32 試體 L1-Y1 於層間位移角 7%(2)破壞・・・・・・・・・94
圖 3-33 試體 L1-Y2 於層間位移角 1.0%之裂縫分布・・・・・・・95
圖 3-34 試體 L1-Y2 於層間位移角 3.5%之裂縫分布・・・・・・・95
圖 3-35 試體 L1-Y2 於層間位移角 8%(2)破壞・・・・・・・・・96
圖 3-36 試體 L1-Y3 於層間位移角 1.0%之裂縫分布・・・・・・・96
圖 3-37 試體 L1-Y3 於層間位移角 3.5%之裂縫分布・・・・・・・97
圖 3-38 試體 L1-Y3 於層間位移角 7%(2)破壞・・・・・・・・・97
圖 3-39 試體 L2-Y3 於層間位移角 1.0%之裂縫分布・・・・・・・98
圖 3-40 試體 L2-Y3 於層間位移角 3.5%之裂縫分布・・・・・・・98
圖 3-41 試體 L2-Y3 於層間位移角 6%(2)破壞・・・・・・・・・99
圖 3-42 試體 L2-Y3 破壞後・・・・・・・・・・・・・・・・・・99
圖 3-43 試體 L1/2-Y3 於層間位移角 1.0%之裂縫分布・・・・・100
圖 3-44 試體 L1/2-Y3 於層間位移角 3.5%之裂縫分布・・・・・100
圖 3-45 試體 L1/2-Y3 於層間位移角 7%(2)破壞・・・・・・・・101
圖 3-46 試體 L1/2-Y3 破壞後・・・・・・・・・・・・・・・・・101
圖 3-47 試體 R-Y1 近臨界斷面之載重-曲率關係・・・・・・・102
圖 3-48 試體 L1-Y1 近臨界斷面之載重-曲率關係・・・・・・・103
圖 3-49 試體 L1-Y2 近臨界斷面之載重-曲率關係・・・・・・・104
圖 3-50 試體 L1-Y3 近臨界斷面之載重-曲率關係・・・・・・・105
圖 3-51 試體 L2-Y3 近臨界斷面之載重-曲率關係・・・・・・・106

圖 3-52 試體 L1/2-Y3 近臨界斷面之載重-曲率關係・・・・・・107
圖 3-53 試體 R-Y1 應變計命名及位置圖・・・・・・・・・・・・108
圖 3-54 試體 R-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(1) ・・・・・109
圖 3-55 試體 R-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(2) ・・・・・110
圖 3-56 試體 L1-Y1 應變計命名及位置圖・・・・・・・・・・・111
圖 3-57 試體 L1-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)・・・・・112
圖 3-58 試體 L1-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)・・・・・113
圖 3-59 試體 L1-Y2 應變計命名及位置圖・・・・・・・・・・・114
圖 3-60 試體 L1-Y2 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)・・・・・115
圖 3-61 試體 L1-Y2 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)・・・・・116
圖 3-62 試體 L1-Y3 應變計命名及位置圖・・・・・・・・・・・117
圖 3-63 試體 L1-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)・・・・・118
圖 3-64 試體 L1-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)・・・・・119
圖 3-65 試體 L2-Y3 應變計命名及位置圖・・・・・・・・・・・120
圖 3-66 試體 L2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)・・・・・121
圖 3-67 試體 L2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)・・・・・122
圖 3-68 試體 L1/2-Y3 應變計命名及位置圖・・・・・・・・・・123
圖 3-69 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)・・・・124
圖 3-70 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)・・・・125
圖 3-71 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(3)・・・・126
圖 3-72 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(4)・・・・127
圖 3-73 全試體基座水平位移與轉動量・・・・・・・・・・・・128
圖 3-74 全試體軸力-層間位移角關係圖・・・・・・・・・・・・129
圖 4-1 全試體正規化軀幹曲線・・・・・・・・・・・・・・・・130
圖 4-2 全試體平均正規化載重-層間位移角關係圖・・・・・・131

圖 4-3 軀幹曲線調整示意圖・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・132
圖 4-4 全試體強度衰減・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・133
圖 4-5 全試體勁度變化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・134
圖 4-6 全試體勁度衰減・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・135
圖 4-7 全試體累積消散能量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・136
圖 4-8 全試體殘留位移・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・137
圖 4-9 全試體近臨界斷面曲率變化・・・・・・・・・・・・・・・・138

摘　　要

關鍵詞：鋼筋續接器、續接、鋼筋、鋼筋混凝土

一、研究緣起

內政部建築研究所分別在 84 年、85 年及 88 年推動鋼筋續接器續接之相關研究，並草擬、審查「鋼筋續接器續接設計規範（草案）」及施工規範條文草擬，於 88 年由營建屬及建研所成立規範審查專案小組審查完成。並於 89 年上半年與台灣科技大學共同主辦研討會推廣之。惟，該設計及施工規範（草案）經過 5、6 年的使用後累積一些使用心得，國內工程業界也對鋼筋續接器續接有較正確的認識，加上國內營建業及鋼筋續接器業者之起伏消長，工程業界對 89 年審查完成之規範草案有加以調整、修改之呼聲。本計畫因應工業界的需求，針對現有的規範草案進行研修的工作。另一方面，鋼筋續接器使用在柱塑性鉸區對柱行為的影響，一直未詳加探討、驗證，工程界對此尚多採取較保留的態度，本計畫一併對塑性鉸區使用續接器之柱構材的耐震行為進行研究。

二、研究方法及過程

在規範的研修部分，首先提出以鋼筋直徑收縮率為鋼筋續接器續接延展性為指標的構想，並規劃鋼筋及鋼筋續接器接合試體之試驗計畫，進行鋼筋直徑收縮率行為、特性及數據，並據以建立新的試驗方法及合格判別基準。其次，進行大尺寸柱試體之反復載重試驗，探討含鋼筋續接器柱構材之耐震行為，驗證在住塑性鉸區使用鋼筋續接器續接的可行性。最後，召集規範研修工作小組，進行設計及施工規範之研修工作。

三、重要發現

本計畫首創以鋼筋直徑收縮率為續接器續接延展性的指標，並建立試驗方法以及合格判別指標。上述檢驗方法不但更簡單、更合理、更周延、爭議性更低，而且經過檢測單位實做，印證該方法可以落實至檢測單位。柱構材耐震行為的研究顯示，在塑性鉸區使用鋼筋續接器續接，基本上對柱之耐震行為沒有明顯的負面影響，且大部分的情況可以提升柱的消能容量。設計及施工規範經過 4 次工作會議的討論，收納以鋼筋直徑收縮率為延展性指標的構想，完成研修工作。

四、主要建議事項

立即可行之建議：將所研修之規範轉移給相關單位並納入相關工程規範
主辦單位：公共工程委員會、內政部營建署
協辦單位：土木水利工程學會

所研修之「鋼筋續接器續接設計規範」相關條文可以納入「混凝土工程設計規範與解說」中，『鋼筋續接器續接施工規範』相關條文可以納入「混凝土工程施工規範與解說」中。此外，也可以提供公共工程相關規範參考使用。

立即可行之建議：將研究成果推廣至工程界
主辦機關：內政部建築研究所
協辦單位：各相關學會、各相關專門技術工會

推廣工作可以分成兩部分，第一部份乃將所研修之「鋼筋續接器續接設計規範」及「鋼筋續接器續接施工規範」規範以「參考規範」的方式印行，讓工程界可以容易取得；第二部分乃舉辦研討會，對工程界說明相關研究成果及規範內容，讓研究成果更容易落實至工程界。

中長期性建議：建立鋼筋續接器續接認證制度並扶植可靠之認證單位
主辦單位：內政部建築研究所或內政部營建署
協辦單位：台灣營建研究院

鋼筋續接器續接種類多，每種續接器續接之製作及施工標準皆不盡相同，應該有一具足夠專業知能之單位，對每一種鋼筋續接器續接之施工程序、品管標準做認證，建立每一種鋼筋續接器續接之施工規範及檢驗方式，以利品質控制以及工程監造之實施。

ABSTRACT

keywords：mechanical splice, splice of steel bars, reinforced concrete

1. Research goal

The regulations for the use and fabrication of mechanical couplers have been used for more than five years in Taiwan. It is time to review and revise the regulations. In this project, the regulations were reviewed and revised. In addition, the feasibility of using reduction-of-diameter of steel bar as an index for ductility of the mechanical splice was investigated. And, the use of mechanical splice in the plastic hinge zone of RC columns was also studied.

2. Methods and procedure

Both theoretical and experimental works were carried out to study the behavior and characteristics of reduction-of-diameter of steel bars. A total of 79 reinforcing bar specimens and 29 set of reinforcing bars spliced by coupler were tested to their failure under tension. Large scale column specimens were loaded under cyclic loads to study the hysteretic behavior of the columns with their steel bars spliced by couplers in the plastic hinge zone. Based on the experimental results obtained, the regulations for mechanical splices were revised.

3. Major achievements

The use of reduction-of-diameter as an index for the ductility of the mechanical splice of steel bars was found applicable. The reduction-of-diameter is suggested no less than 5% and 6% for Grade 60 and Grade 40 reinforcing bars respectively for SA Class splices. In addition, the reduction-of-diameter should be no less than 1% for both Grade 60 and Grade 40 reinforcing bars for B Class splices. It is found from the tests that use of mechanical splices in the plastic hinge zone of RC columns has no negative influence to the hysteretic behavior of the columns. The regulations for the use of mechanical splice of reinforcing bars were revised as can be found in Appendixes A and B, respectively.

4. Suggestions

1. The regulations should be inserted in the design and construction codes for concrete structures respectively to implement these regulations to practical practices.

2. The regulations should be publicized to the engineers and architects by holding conferences.

3. Certification and experimental units should be established to certify the products for coupling steel bars

一、 前言

日本對鋼筋續接器續接之試驗方法及判別基準[1、2]皆相當周詳，不過執行起來也比較費勁。1999 年以前，美國 ACI 規範[3]對鋼筋續接器續接之規定非常簡略，基本上只有一種等級，對耐震結構使用續接器續接也沒有較嚴謹的考量。1999 年 ACI 規範開始有 Type 1 及 Type2 之分類，Type 1 使用於非塑性鉸區，Type 2 可使用於塑性鉸區。Type 1 續接器續接之強度只要能達到 1.25 倍鋼筋規定降伏強度即可，Type 2 則要同時滿足 1.25 倍鋼筋規定降伏強度及 1 倍鋼筋規定抗拉強度。ACI 規範之規定雖然越來越嚴謹，但是其試驗的方法及判別基準仍然頗為簡略。

國內鋼筋續接器設計及施工規範之研究，內政部建築研究所有很大的貢獻。內政部建築研究所在 84 年及 85 年推動鋼筋續接器續接之相關研究[4、5]，隨後在 86 年推動續接器續接之設計及施工規範條文草擬，並於 88 年由營建署及建研所成立規範審查專案小組審查完成。設計及施工規範審查完成後，於 89 年上半年與台灣科技大學共同主辦研討會推廣之[6]。國內鋼筋續接器續接之設計及施工規範，主要參考日本建築學會之「鐵筋混凝土造配筋指針及解說」[1]，並略為簡化而得，比 ACI 周延而比日本規範簡單，頗適合國內使用。惟，該版之設計及施工規範經過 5、6 年的使用後累積一些使用心得，國內工程業界也對鋼筋續接器續接有較正確的認識，加上國內營建業及鋼筋續接器業者之起伏消長，工程業界對 89 年審查完成之規範有加以調整、修改之呼聲。

目前規範的內容或條文值得進一步研究、檢討的有：

（1）規範對 SA 級續接器接合試體破壞模式之規定有些時候偏嚴格，有一些續接器接合試體在續接處斷裂時，其延展性仍然良好。如圖 1-1 所示之續接器續接試體中，第 7 號試體在續接處斷裂，根據規範此試體不合格，但是該試體確實有非常明顯的頸縮，顯示其延展性良好。這種現象雖然不常見，但是偶而也會發生，這種現象對廠商有不公平之處，也因而產生不少爭議，這對對工程進度有時也有不良的影響。

（2）梁構材塑性鉸區，鋼筋以鋼筋續接器續接對梁構材遲滯行為的影響已有一些試驗結果[6、7]，但是柱構材塑性鉸區使用鋼筋續接器續接對遲滯行的影響，目前的試驗資料很少，應該要有指標性的試驗探討之。柱斷面的鋼筋量比較大，其鋼筋比可能達 6

%，若全部鋼筋在同一斷面採用 SA 級續借器續接是否會造成保護層容易剝落？對柱構材之遲滯行為有何影響？有需要加以探討。

（3）國內已經有廠商可以生產出品質穩定的鍛牙螺紋式續接器，規範的解說部份宜加以澄清。

（4）試驗結果判別基準中對試體的極限變形量有延展性 ε_{dc} 及伸長率 ε_{uc} 兩種規定，考慮脫牙或拔出的破壞模式，這樣的規定有其必要性，但是這也容易造成混淆，最好能有既簡單又清楚的判別基準。

（5）異徑續接（續接器兩端鋼筋直徑不同）或續接器兩端鋼筋強度相差比較大的情況，規範沒有相關的規定。異徑續接，尤其是 8 號鋼筋與 10 號鋼筋之續接，造成續接器兩端鋼筋強度有很大的差異，此有可能影響桿件塑性鉸的行為或發生位置，這對結構是否有不良的影響宜加以澄清。此外，異徑續接之檢驗方式也未有明確的規定。

（6）續接器續接性能等級證明之公證部份在現階段不易做到，可以考慮簡化。鋼筋續接器續接之種類過多，續接原理及施工方法有很大的差異，絕大部分的檢驗單位或公證單位無法在可被接受的費用下進行各種續接器續接方種類之查驗與公證，國內鋼筋續接器廠商之素質已經比較整齊，品質控制的能力也已提高，可以考慮簡化之並輔以其他方法規範之。

（7）施工廠商儀器設備之保養、校正要加以查驗或規範。有適當的查驗或規範可以促進品質控制，可以配合解決上項問題。

（8）施工時續接器續接之抽驗分未組裝試體及已組裝試體，已組裝試體之抽驗會造成許多困擾，宜重新檢討。已組裝試體取樣後鋼筋需要重新進行續接，有時候鋼筋過短時甚至會導致鋼筋根數短缺，此對施工者甚或業主造成困擾，宜尋求其他方式抽樣。

上述這些問題若能獲得合理的解答或處理方式，則對國內工程之續接器續接品質、工程品質、結構耐震能力及續接器市場秩序皆會有明顯的助益與提升。

二、 鋼筋直徑收縮率與延展性之關係

由於伸長率之測量方法較直接，可以使用之測量儀器種類較多，為目前鋼筋延展性測量之指標。續接器續接性能之合格標準亦以伸長率為主要指標，但是實際應用上卻產生以下之問題：1.續接器續接試體產生脫牙或拔出之破壞模式時，伸長率之量測有其困難。2.兩端鋼筋號數不同時，若採用與兩端鋼筋號數相同之基準，則偏向嚴格。3.銲接型續接器之檢驗，在伸長率之量測上也有困難。4.規範對於 SA 續接器續接試體破壞位置之規定，乃是為了保障續接後鋼筋之延展性，但是有少數因續接處斷裂而被判定不合格的試片，卻有很明顯的頸縮現象，顯示不錯的延展性，這並不合理。5.更由於以上之困難，規範在伸長率之合格基準訂定上，無法落實對續接器續接性能等級之要求。鋼筋延展性亦可以由直徑收縮率得到。以鋼筋直徑收縮率做為續接器續接後之鋼筋延展性之指標，應可避開上述問題，為一值得探討之辦法。

本章探討鋼筋直徑收縮率與延展性之關係，首先推導圓形斷面理論直徑收縮率與應變之關係，再以 82 組鋼筋拉力試驗建立鋼筋直徑收縮率與應變關係之實驗值，最後規劃 29 組續接器接合試體，驗證各種續接狀況下之鋼筋直徑收縮率與應變關係，進而建立直徑收縮率之量測方法與合格基準之建議值。

2.1 圓鋼棒直徑收縮率與應變關係之理論分析

鋼材於彈性階段之直徑收縮率與應變之關係可由廣義虎克定律求得，由於彈性階段之直徑收縮率甚小，可以不計，本章所研究的範圍乃是鋼材於降伏後進入應變硬化階段直到破壞之直徑收縮率與應變之關係，如圖 2-1 所示，因此須由塑性理論[10]著手，由於鋼材於塑性階段之密度變化小於 0.1%，在理想工程近似上，可視為塑性階段體積保持常數，故以下推導假設體積不變，另一個重要之假設為材料斷面為圓形直桿，變形前後斷面形狀保持不變(保持圓形)。

2.1.1 真實應變與工程應變

工程上使用之應變為『工程應變』，為標距範圍內之“平均應變”，在此以 ε 代表之，如(2-1)所示；鋼材進入塑性階段後，標距長度變化顯著，因此定義『真實應變』為瞬時標距長度之變化率，在此

以 ε_r 代表，如(2-2)所示。圖 2-2 為(2-1)與(2-2)之說明，圖中之 T 表示時間，A 為斷面積，D 為直徑，下標為各物理量與時間之對應

$$\varepsilon=\frac{\Delta L}{L_0}=\frac{L_n-L_0}{L_0}=\frac{1}{L_0}\int_{T=t_0}^{T=t_n}dL=\frac{1}{L_0}\int_{L_0}^{L_n}dL \quad \cdots (2\text{-}1)$$

(2-1)中 L_0 為標點之初始間距($T=t_0$)，ΔL 為標點間長度之總變化量，

$$\begin{aligned}\varepsilon_r&=\sum_{n=0}^{n-1}\frac{L_{n+1}-L_n}{L_n} \quad ,由\Delta t\to 0\\&=\int_{T=t_0}^{T=t_n}\frac{dL}{L}\\&=\int_{L_0}^{L_n}\frac{dL}{L}\\&=\ln\frac{L_n}{L_0} \quad \cdots (2\text{-}2)\end{aligned}$$

(2-2)將每一瞬間之標距長度變化率疊加，再將時間間隔取極限，得到『真實應變』ε_r；由(2-1)與(2-2)可以得到 ε-ε_r 之關係，如(2-3)所示

$$\varepsilon_r=\ln\frac{L_n}{L_0}=\ln\left(\frac{L_n-L_0}{L_0}+1\right)=\ln(\varepsilon+1) \quad \cdots (2\text{-}3)$$

由塑性階段體積不變，將 $A_0L_0=A_nL_n$ 代入(2-2)

$$\begin{aligned}\varepsilon_r&=\ln\frac{L_n}{L_0}\\&=\ln\frac{A_0}{A_n}\\&=2\cdot\ln\left(\frac{D_0}{D_n}\right) \quad \cdots (2\text{-}4)\end{aligned}$$

由(2-4)可知，真實應變 ε_r 與直徑收縮率之關係是可以建立的，值得一提的是，(2-3)僅適用至 ε_{peak}，因為當應力超過 σ_{peak} 開始發生頸縮後，應變便不是均勻分布，(2-3)便不成立。

2.1.2 理論直徑收縮率-應變曲線方程式(r_d-ε)

在鋼筋應力達到最大值之前 $\varepsilon_r = 2\cdot\ln\left(D_o/D_n\right)$，又 $\varepsilon_r = \ln(\varepsilon+1)$；令上二式等號右側相等，得 $2\cdot\ln\left(D_o/D_n\right) = \ln(\varepsilon+1)$，或 $D_o/D_n = \sqrt{(\varepsilon+1)}$ 。

鋼筋直徑收縮率 r_d 定義為

$$r_d = \frac{D_0 - D_n}{D_0} = 1 - \frac{D_n}{D_0} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\varepsilon+1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(2-5 式)}$$

其中 D_0：初始直徑

D_n：應變達到 ε_{peak} 之直徑

r_d：$1-\frac{D_n}{D_0}$，直徑收縮率

圖 2-2 為 r_d - ε 之關係曲線。由圖 2-2 可看出圓鋼棒之直徑收縮率-應變關係近似線性，以直線迴歸之，可以得到一個斜率 a_{theory}，求得一線性 r_d - ε 方程式($r_d = a_{theory}\,\varepsilon + b$)。

2.2 鋼筋直徑收縮率試驗

由於鋼筋表面有竹節分布與脊之存在，與 **2.1** 推導之假設(圓形斷面)有差異，因此其 r_d-ε 之關係，需進一步由試驗求得。

規劃以 82 組鋼筋拉力試驗，如表 2-1 所示，建立各號數鋼筋之 r_d-ε 關係，根據 CNS 560 鋼筋混凝土用鋼筋、CNS 2111 金屬材料拉伸試驗法、CNS 2112 金屬材料拉伸試驗試片進行鋼筋拉力試驗，架設延伸計(LVDT)之距離固定為 20cm，每隔 $2d_b$ 打上標點以作為量測直徑收縮率與伸長率之記號，並於拉力試驗過程中以游標尺(靈敏度 0.01mm)量測鋼筋直徑，鋼筋拉斷後，量測每隔 $2d_b$ 之伸長量，如圖 2-3 所示，以建立鋼筋 r_d-ε 之關係。

共完成 82 根鋼筋之拉力試驗與數據分析，試驗結果以游標尺量測之直徑與延伸計量測之伸長量，經整理得到之 r_d 與 ε 作圖，並以直線迴歸之，得到 $r_d = a_{test}\,\varepsilon + b_{test}$，經初步比較後發現 b_{test} 趨近於 0，可以將其忽略，關於 a_{test} 進一步整理之結果於 **2.2.2** 討論之。

實驗數據依鋼筋種類分成四類，第一類為表 2-1 中 SD 420W 熱軋鋼筋-1，第二類為 SD 420W 熱軋鋼筋-2，第三類為 SD 280W 熱軋鋼筋，

最後為 SD 420W 線上熱處理鋼筋（水淬鋼筋）；其中 SD 420W 熱軋鋼筋分成兩類之原因為，SD 420W 熱軋鋼筋-1 之直徑收縮率量測位置為非竹節部份之直徑 d_p，如圖 2-4 所示，SD 420W 熱軋鋼筋-2 之直徑收縮率量測位置為脊到脊之直徑收縮率 d_r；有這樣的分別乃是實驗進行初期，認為量測 d_p 計算直徑收縮率較直接，但是進行了 38 根試體試驗後，發現量測 d_p 會因為竹節之存在，而必須將量測位置移動，使得量測位置之間距無法控制，故將原本量測 d_p 改成 d_r，為了以示區別，故將其分別命名；於是 SD 420W 熱軋鋼筋-2 與 SD 280W 熱軋鋼筋、SD 420W 線上熱處理鋼筋（水淬鋼筋）均為量測 d_r，關於將量測位置 d_p 改成 d_r，對於試驗結果之影響將於後討論之(P.12)。

2.2.1 頸縮區與非頸縮區之直徑收縮率

在 Gage Length 範圍內之量測點，鋼筋拉斷後，依照其位置區分成頸縮區與非頸縮區，關於非頸縮區之範圍採用拉斷處起算 1 d_b 以外，屬於非頸縮區之量測點，由圖 2-5 可知其應力達到 σ_{peak} 後，緩慢進入卸載，應變也不再增加，因此非頸縮區之直徑收縮率也停止增加，因此將非頸縮區量測點之直徑收縮率平均得到該試體之非頸縮區平均直徑收縮率$(r_d)_{ave}$、拉斷處之直徑收縮率$(r_d)_{necking}$分別與該試體之 CNS 伸長率作圖，以下分別就各類鋼筋之試驗觀察與結果敘述討論之：

（1） SD 420W 熱軋鋼筋-1：圖 2-6 所示為 SD 420W 熱軋鋼筋-1 之應變-直徑收縮率關係曲線。由圖 2-5 可發現應變與鋼筋直徑收縮率在應變小於ε_{peak}時，兩者基本上呈線性關係，其斜率以 a_{test} 表示之。當應變大於ε_{peak}後，頸縮區鋼筋直徑收縮率快速增大，而在鋼筋非頸縮區，鋼筋直徑收縮率不再增加，或增加很小。圖 2-5 所示為鋼筋在頸縮區及非頸縮區鋼筋之應力-應變曲線。當鋼筋開始頸縮，頸縮區應變持續增加，而非頸縮區鋼筋會慢慢進入卸載階段。鋼筋斷裂後，頸縮區鋼筋直徑收縮率會比較大，而非頸縮區則較小。圖 2-7 所示為 SD 420W 熱軋鋼筋-1 斷裂後，非頸縮區之鋼筋直徑收縮率，其值為 4.9%。圖 2-8 所示為 SD 420W 熱軋鋼筋-1 斷裂後，頸縮區之鋼筋直徑收縮率，其最小值為 13.1%，明顯比非頸縮區高出很多。

（2） SD 420W 熱軋鋼筋-2：圖 2-9 所示為 SD 420W 熱軋鋼筋-2 之應變-直徑收縮率關係曲線。圖 2-10 所示為 SD 420W 熱軋鋼筋-2 斷裂後，非頸縮區之鋼筋直徑收縮率，其最小值亦在 5%左右。圖 2-11 所示為 SD 420W 熱軋鋼筋-2 斷裂後，頸縮區之鋼筋直徑收縮率，其最小值在 18%左右。

（3） SD 280W 熱軋鋼筋：圖 2-12 為 SD 280W 熱軋鋼筋之應變-鋼筋直徑收縮率關係曲線。其鋼筋收縮率的變化趨勢基本上和 SD 420W 熱軋鋼筋-1 及 SD 420W 熱軋鋼筋-2 非常類似。圖 2-13 及圖 2-14 為 SD 280W 熱軋鋼筋斷裂後，頸縮區與非頸縮區之鋼筋直徑收縮率，其中非頸縮區鋼筋直徑收縮率最小值在 6%左右，頸縮區鋼筋直徑收縮率為 20～31%。

（4）SD 420W 線上熱處理鋼筋（水淬鋼筋）：圖 2-15 所式為 SD 420W 線上熱處理鋼筋（水淬鋼筋）之應變-鋼筋直徑收縮率關係曲線。其鋼筋收縮率的變化趨勢也和 SD 420W 熱軋鋼筋-1 及 SD 420W 熱軋鋼筋-2 相似。圖 2-16 及圖 2-17 為 SD 280W 熱軋鋼筋斷裂後，頸縮區與非頸縮區之鋼筋直徑收縮率，其中非頸縮區鋼筋直徑收縮率最小值在 4.6%左右，頸縮區鋼筋直徑收縮率為 26～32%。

比較(2)、(3)、(4)三類鋼筋之結果(均量測 d_r 計算直徑收縮率)發現其應變-直頸收縮率關係均呈現類似之趨勢，如圖 2-9、圖 2-12 及圖 2-15 所示，頸縮區於應變小於ε_{peak}時，應變-直徑收縮率均呈現近似線性關係，應變大於ε_{peak}後，非頸縮區鋼筋直徑收縮率均停止或增加很少；頸縮區鋼筋直徑收縮率均快速增大。

四類鋼筋之非頸縮區平均直徑收縮率$(r_d)_{ave}$與頸縮區直徑收縮率$(r_d)_{necking}$之整理，如表 2-2 所示。(2)、(3)、(4)類鋼筋之非頸縮區直頸收縮率$(r_d)_{ave}$最小值有所不同，如圖 2-10、圖 2-13 及圖 2-16 所示，其可能原因可能為 SD 280W 熱軋鋼筋之伸長率要求高於 SD 420W 熱軋鋼筋-2 而使得其直徑收縮率相對提高，由此亦可看出應變與直徑收縮率呈正比之趨勢；SD 420W 線上熱處理鋼筋之結果略小於 SD 420W 熱軋鋼筋-2，可能為其製造程序與化學成分稍有差異造成。

(2)、(3)、(4)類鋼筋之頸縮區直頸收縮率之範圍約略相同，約在 20～32%間，如圖 2-11、圖 2-14 及圖 2-17 所示，但 SD 420W 線上熱處理鋼筋顯然較集中，偏向大值，可能原因為 SD 420W 線上熱處理鋼筋製造程序與化學成分造成，而使得頸縮區直徑收縮率區間較集中。

2.2.2 試驗結果之整理與比較

其他試驗結果彙整如表 2.2～2.5，試驗結果也與線性化之理論關係曲線比較之，並將表 2.2～2.5 之結果整理至表 2-6。基本上，SD420W 加釩鋼筋-2、SD 280W 熱軋鋼筋與 SD 420W 線上熱處理鋼筋之試驗值小於理論值，見表 2-6，此可歸因於鋼筋竹節的存在，使得

有竹節的凸出部分應變偏小引致非竹節部分直徑收縮率增大；而(2)、(3)、(4)類鋼筋均為量測脊到脊之直徑 d_r 以計算直徑收縮率，故由表 2-6 可知，實驗值應尚在合理範圍。比較 SD420W 加釩鋼筋-2 與 SD280 熱軋鋼筋可以看出 SD280 熱軋鋼筋之 a_{test} 明顯小很多，因其伸長率較 SD420W 加釩鋼筋-2 大，此點可由實驗數據觀察得到。再以 SD420W 加釩鋼筋-2 與 SD 420W 線上熱處理鋼筋(水淬鋼筋)比較，SD 420W 線上熱處理鋼筋(水淬鋼筋) 之 a_{test} 也小很多，但是其 CNS 伸長率實驗值與 SD420W 加釩鋼筋-2 相近(見圖 2-11、圖 2-17)，所以可以得到 SD 420W 線上熱處理鋼筋(水淬鋼筋)於應變達ε_{peak} 前之直徑收縮率，比 SD420W 加釩鋼筋-2 小。

之前提到(P.9)SD420W 熱軋鋼筋-1 與 SD420W 熱軋鋼筋-2 由於分別量測 d_p 與 d_r 以計算直頸收縮率，是否造成試驗結果之不同？以下分就數點比較之：

（1）應變-直徑收縮率關係曲線：由圖 2-5 與圖 2-9 可看出量測 d_p 與 d_r 所得到之趨勢相近，包括應變小於ε_{peak} 時，應變-直徑收縮率呈現近似線性關係；以及頸縮區於應變大於ε_{peak}時，鋼筋直徑收縮率快速增加，非頸縮區鋼筋直徑收縮率停止或增加很少。

（2）非頸縮區之直徑收縮率：由圖 2-7 與圖 2-10 可觀察出，量測 d_p 與 d_r 所得到，非頸縮區直徑收縮率之最小值均約為 5%，圖 2-10 之分布較為接近直線，圖 2-7 之分布雖有正比之趨勢，但較分散，其原因可能與量測 d_r 時點位之分布為等間距與量測點數較多所致。

（3）頸縮區之直徑收縮率：頸縮區直徑收縮率之差異可以由圖 2-8 與圖 2-11 得出，兩者之分布型態相近，但是量測 d_r 得到之直徑收縮率較 d_p 之分布區間往上平移了 4～5%，其原因可能為頸縮區內，脊的高度因頸縮而減少之幅度較多導致直徑收縮率較量測 d_p 計算之直徑收縮率高。

（4）實驗值 a_{test}：a_{test} 實驗值因量測 d_p 與 d_r 而產生之差別可以很清楚得由表 2-6 看出，SD420W 加釩鋼筋-1 之實驗值（a_{test}）大於理論值（a_{theory}），而 SD420W 加釩鋼筋-2 之實驗值（a_{test}），除#6 外均小於或接近理論值（a_{theory}），由此可觀察出，量測 d_p 所得到之直徑收縮率較大，即鋼筋上非竹節處之直徑收縮率較大，脊與竹節等凸出部份之直徑收縮率較小且量測到之實驗值接近理論值。

總結以上關於量測 d_p 或 d_r 計算直徑收縮率之討論，可發現此兩種操作方法得到之應變-直徑收縮率關係趨勢相近，非頸縮區之直徑收縮率亦相近，故以量測 d_r(脊到脊)代替 d_p 應該是一個可行之作法，而且有下列之特性：1.沿鋼筋軸向之量測間距，可不受竹節分布之影響，避免操作上之困擾。2.得到之直徑收縮率較接近理論值且偏向小值。

2.2.3 鋼筋直徑收縮率需求量之推估

非頸縮區鋼筋之直徑收縮率也可以根據 a_{test} 求得。各號數之 a_{test} 平均值即為直徑收縮率-應變關係之斜率，將 a_{test} 乘以各號數鋼筋之 ε_{peak}，可以求得非頸縮區鋼筋直徑收縮率的需求。表 2-7～表 2-10 所示為分別由 SD420W 加釩鋼筋-1、SD420W 加釩鋼筋-2、SD280W 熱軋鋼筋、SD420W 線上熱處理鋼筋之實驗值 a_{test} 推估之非頸縮區鋼筋直徑收縮率 $(\boldsymbol{r}_d)_{demend}$ ，SD 420W 鋼筋規範規定之最小鋼筋伸長率，如表 2-7 左起第二欄所示，估計 ε_{peak} 比伸長率小 2%，如表 2-7 左起第三欄，以 a_{test} 乘以 ε_{peak} 可求得各號數鋼筋之需求直徑收縮率 $(\boldsymbol{r}_d)_{demend}$ ，如表 2-7 左起第四欄。所求得之鋼筋直徑收縮率需求量在 4.3%至 5.9%之間；由同樣之步驟，表 2-8 求得之鋼筋直徑收縮率需求量 $(\boldsymbol{r}_d)_{demend}$ 為 4.4～5.5%，與圖 2-7 所示之試驗值比較，試驗最小值約為 5%，介於 4.3～5.9%與 4.4～5.5%之間，一致性在合理範圍。

由表 2-9 求出之 SD280W 熱軋鋼筋直徑收縮率需求量為 6.8%與圖 2-13 試驗值之最小值 6.6%相當一致。

表 2-10 為 SD420W 線上熱處理鋼筋直徑收縮率需求量，得到需求量為 4.3%，與圖 2-16 之試驗最小值 4.6%亦在合理範圍。

圖 2-7 所示之試驗數據顯示有許多直徑收縮率高於 5.8%，可能的原因是鋼筋剛開始頸縮時，頸縮可能發生在數個位置，到最後頸縮才集中在一個位置並引致鋼筋斷裂。在實際 RC 構件應用上，鋼筋應變能達到 ε_{peak} 應已經非常夠用，因此 SD420W 加釩鋼筋非頸縮區鋼筋直徑收縮率達 5%應該就足夠；SD280W 熱軋鋼筋非頸縮區鋼筋直徑收縮率要求應要提高至 6.6%以上，而 SD420W 線上熱處理鋼筋之非頸縮區鋼筋直徑收縮率要求，依現有數據顯示，在 4.6%以上即可滿足延展性之要求。

2.3 續接器接合試體拉力試驗

為了驗證前一節，由鋼筋拉力試驗中建立之應變-直徑收縮率關係與直徑收縮率之需求，規劃以下含續接器試體，其中包含 12 組兩端同一批號、同號數、相同降伏強度之試體(#6、#7、#8、#10 各 3 組)；6 組兩端不同一批號、同號數、降伏強度不同；6 組試體採異徑續接方式(#8-#10、#7-#8、#6-#7 各兩根)，以及柱構材試驗部份之含續接器試體的材料試驗，以上共計 29 組續接試體，預計進行 3 組高塑性反復拉力試驗，26 組續接器拉力試驗，續接試體之詳細描述，見表 2-11 所示。

試體之試驗方法以 89 年審查通過之續接器設計與施工草案所規定之續接器拉力試驗為之，詳見[4][5][6]；並在試驗前於預定位置打上標點，如圖 2-18 所示，並量測各點兩個方向之初始直徑，如圖 2-4 所示，於續接試體拉斷後，再行量測各點之直徑，標示斷裂位置，並以此計算各點之直徑收縮率，以驗證前一節之結果。

29 組試體中有 9 組為柱構材之材料試驗，用於驗證柱構材使用續接器為 SA 級續接性能之試驗，其中 3 組依 89 年審查通過之續接器設計與施工草案規定，SA 級續接性能判定須進行至少 3 組高塑性反復拉力試驗，此 3 組與上述進行續接拉力試驗之試體以相同步驟加測直徑收縮率。其餘 6 組試體亦可以加測鋼筋直徑收縮率，並將加測直徑收縮率所得之結果於下一節一併討論，關於此 9 組試體用於柱構材材料試驗之結果，見 **3.3.3 材料試驗**。

2.4 續接器接合試體拉力試驗結果與討論

續接器續接試體之拉力試驗係由台灣科技檢驗公司(SGS)協助進行，一方面節省試驗時間，另一方面亦可得知由業界自行操作量測直徑收縮率之可行性。進行拉力試驗之續接器續接試體共 29 組，直徑收縮率部份之試驗結果經整理後，將續接器兩側鋼筋為同一批，相同降伏強度放在表 2-12；續接器兩端為相同號數，不同降伏強度放在表 2-13；異徑續接放在表 2-14。

由表 2-12 至表 2-14 可以觀察出大致上以垂直脊-脊方向之直徑收縮率比較大，因為垂直脊-脊方向之直徑較小，此結果與 **2.2.2** 之鋼筋拉力試驗結果符合，據此結果，建議量測直徑收縮率應以脊-脊方向為之，如圖 2-18 所示之 d_r，若鋼筋之表面無脊，如螺紋節鋼筋，可量測表面無突起螺紋部位之直徑，如圖 2-18 所示之 d_p，如此可以避免因

為鋼筋表面竹節之分布造成之量測困難。

接下來由表 2-12 至表 2-14 之下方整理之斷裂側與非斷裂側之最大值與平均值，在正常續接狀況下斷裂側之最大值較非斷裂側大且大於 5%，非斷裂側之最大值稍小於斷裂側，但是仍然大於 5%，如圖 2-20 所示，表示未斷裂側之降伏狀況與斷裂側相近，在不同批#8 之狀況下，兩側鋼筋降伏強度稍有差異，推測其抗拉強度較低之一側斷裂後，另一側直徑收縮率差異應該比正常續接大，由數據可證實此推測，如圖 2-20 及圖 2-21 所示，異徑續接之狀況，由於兩側之鋼筋降伏強度差異太大，結果顯示一側斷裂後另一側之降伏程度相當輕微；由斷裂側與非斷裂側之比較可知，非斷裂側鋼筋於不同續接狀況下，鋼筋降伏程度不同，因此應以斷裂側之鋼筋直徑收縮率作為判斷之依據。

再檢視每一側之直徑收縮率，發覺最靠近續接器之量測點(3、4)，其直徑收縮率偏小，經過檢視拉斷後之試體，發現測量值偏小之原因為，本研究所採用之試體在續接處附近，可能經過熱處理，材料降伏強度提昇之故，其餘斷裂側量測點之直徑收縮率，由表 2-12 至表 2-14 所示，各試體脊-脊方向斷裂側直徑收縮率之最大值為 6.8%～27.1%，平均值為 4%～12.2%，其中試體 104、92、94、99 之平均值特別小，其原因有二：1.最靠近續接器之量測點量到的直徑收縮率特別小。2.其他量測點不在頸縮區內。愈靠近斷裂點直徑收縮率愈大；試體 106 平均值達 12.2%為量測點靠近鋼筋斷裂處所致，其他試體脊-脊方向斷裂側直徑收縮率之平均值為均小於 9.7%。

總結以上之比較，SA 級續接性能之續接器合格標準，在兩側降伏強度相近(正常續接)之續接狀況，不論斷裂在哪一側，鋼筋之降伏程度差異不大；若為兩側為不同批之鋼筋，則非斷裂側之鋼筋直徑收縮率均小於正常續接之非斷裂側，此為鋼筋抗拉強度上之差異所造成，而其延展性雖稍遜於兩側鋼筋為同一批之續接條件，但由柱構材試驗結果(第三、四章)可知其延展性亦可以滿足需求，故建議續接器性能試驗基準之直徑收縮率採用斷裂側最大直徑收縮率。

三、 柱構材反復載重試驗

為探討柱構材使用 SA 級續接器續接之耐震性能，本研究規劃 6 支懸臂式柱試體，進行反復載重試驗。以往含鋼筋續接器試體的載重試驗，鋼筋續接器兩端的鋼筋屬於同一批鋼筋，鋼筋的降伏及抗拉強度基本上是相同的。但是實際上，鋼筋續接器兩端鋼筋的強度可能不屬同一批，而鋼筋強度也會有所不同。當鋼筋續接器使用在柱頭塑性鉸區，且當下樓層鋼筋（如圖 3-1 所示）的鋼筋強度低於上樓層鋼筋時，下樓層鋼筋在與續接器接合的位置，其延展性需求會特別高。本研究之試體以此課題為主軸，規劃試驗試體。

3.1 試驗規劃與設計

3.1.1 試體規劃

6 支懸臂式柱構材外觀如圖 3-2 所示，懸臂部分斷面為 50 cm×50 cm，配置 16 根＃8 鋼筋，鋼筋比為 3.24%，長度為 269 cm。試體使用 SD420W 鋼筋以及抗壓強度為 280 $^{kg}/_{cm^2}$ 之混凝土。試體頂部施加 $0.1f_c^{'}A_g$（約 70 t）之軸壓力。試體編號分別為 R-Y1、L1-Y1、L1-Y2、L1-Y3、L2-Y3、L1/2-Y3，其中 R 代表鋼筋未續接之參考試體，L1 代表全部鋼筋續接器續接位置位於柱頭，L2 代表全部鋼筋續接器續接位置位於塑性鉸區外邊緣，L1/2 代表半數在 L1 處續接半數在 L2 位置續接；Y1 代表鋼筋具第一種降伏強度（4200～4350 $^{kg}/_{cm^2}$），Y2 代表鋼筋具第二種降伏強度（4800～4950 $^{kg}/_{cm^2}$），Y3 代表鋼筋具第二種降伏強度（5350～5500 $^{kg}/_{cm^2}$）。所探討的課題如下：

（1）試體 R-Y1 及 L1-Y1－比較續接器之有無對柱構材受力行為之影響。

（2）試體 L1-Y1、L1-Y2 及 L1-Y3－比較施工時不同批鋼筋(降伏強度不同)續接對柱構材之影響。

（3）試體 L2-Y3 及 L1/2-Y3－比較全斷面續接與半數隔根續接對柱構材之影響。

（4）試體 L1-Y3 及 L2-Y3－比較續接於臨界斷面與臨界斷面外 d(50cm)處對柱構材之影響。

3.1.2 試體設計

（1）基座：基座為固定柱構材底部，模擬樑柱接頭，且須預留螺栓孔以固定於地梁，並方便軸力加載裝置通過，所以需提高設計強度，以避免基座於試驗過程中發生較大變形，甚至破壞，故以柱主筋 $f_y = 5500\ ^{kg}/_{cm^2}$ 設計基座所需強度，經計算後發現基座長向與短向尺寸受基座主筋之伸展長度控制，長寬尺寸定為 180 cm×120 cm；基座之高度應以柱主筋之伸展長度為控制條件，以確保基座之錨碇效果可使柱主筋達到降伏，經計算後高度定為 70cm；基座之主筋以單筋梁計算主筋量，實際配筋以双筋梁配置，以符合實際受反復載重作用；由學長之經驗得知基座雖然強度符合需求，但是仍會產生斜方向之裂縫，故於角隅與裂縫垂直方向加入少許補強鋼筋，以控制裂縫之發生。

（2）箍筋：分為接頭緊密箍筋與剪力箍筋，緊密箍筋量不受主筋之降伏強度影響，故 6 根柱構材試體之箍筋間距相同，均採用 12 cm；剪力箍筋量以箍筋降伏強度 $f_y = 4200\ ^{kg}/_{cm^2}$ 設計之(CNS 560 中 SD420W 之降伏強度為 $4200\ ^{kg}/_{cm^2} \sim 5500\ ^{kg}/_{cm^2}$)，間距為 12 cm 即可滿足 6 根試體之剪力需求；因為柱主筋量高，故經計算所得箍筋間距為 12cm 之箍筋量相當之高，為方便鋼筋之綁紮，故使用#4 三層之閉合箍筋，細部詳見圖 3-2～圖 3-3。

（3）主筋：由於續接器之斷面積較主筋大，為了解在主筋量較高之下，續接器之使用是否造成灌漿之困難，故以 16 支#8 為主筋(ρ=0.032)，續接後之續接器間距恰符合土木 401- 86a 細部設計關於最小主筋間距之規定，推想應不至於造成灌漿困難，此部份可於灌漿完畢，拆模後即可得知；主筋端部錨定採用 headed bar 的方式以方便鋼筋綁紮與灌漿，headed bar 使用之機械式錨定物尺寸以 ASTM A970/A70M-98 之規定為之，細部詳見圖 3-2～圖 3-3。

（4）續接器：採用符合鋼筋續接器設計條文及解說中可以使用於耐震構材之 SA 級續接器，所有續接器之加工均委託續接器廠商統一加工，其外部尺寸如圖 3-4 所示。

3.1.3 模板設計

模板設計之初始概念為模板於邊緣與適當間距處，具有足夠強度

之支撐，支撐處可視為鉸支承，支承與支承之間，模板需具有足夠勁度不產生過大之彎曲變形($\Delta_{max} \leqq 1$cm)，如圖 3-5；設計外力以承受比重為 2.4 $^{t}/_{m^3}$ 的流體產生之側向靜液壓；支撐使用 3/8″ 直徑之螺桿。

為保留基座震動搗實空間，基座頂部不封模，以確保基座不產生蜂窩，而影響強度，採柱與基座分開灌漿，模板之詳圖，如圖 3-6 所示。

原本模板設計抵抗側向力之順序為模板、側撐、螺桿，以模板為主要抵抗混凝土側向力之元件，故以模板需具有足夠彎曲勁度抵抗100%的外力；但是，於施工後方才發覺原本假想之模型有誤，整個模板系統抵抗外力之順序應按各元件之勁度，由大至小分配，正確之順序應為螺桿、側撐、模板；所幸此項假設模型之誤差，僅造成模板之彎曲勁度較需求為大，並不影響後續施工之進行，在此提出僅作為以後有類似設計之參考。

3.1.4 軸力加載裝置

軸力需求設定為 $0.1f_c^{'}A_g$，經計算後為 70 tf，參考學長之設計加以改良，將原本直通之螺桿，加上鉸接裝置，使軸力之方向於加載過程中，可視為直通過斷面之中心；基於安全性之考量，安全係數使用 2.0，軸力螺桿使用 A490Φ 40×4，上部長度為 300cm，下部長度為 100cm；鉸接裝置之插銷(pin)直徑經計算後使用 5cm，頂部使用剛性極大之組合鋼板以作為試體頂部千斤頂之反力板，將壓力加於試體。

MTS 側推試體時，因為試體頂部與頂部組合鋼板轉角不一致，但是由於千斤頂之推力不允許試體頂部與組合鋼板產生相對轉動，於是便會使軸力裝置產生諧和變形(試體勁度遠大於軸力裝置)，因而產生軸力變大之現象；為避免於側推過程中產生過大之軸力變化，於頂部加上勁度較小之盤形彈簧，以減少軸力變化，(軸力裝置與盤型彈簧軸向勁度比約為 10：1)，應可以將軸力變化控制在 70～76tf 之間。

基座固定裝置採用 A490Φ 30×16 鎖緊於地梁，以抵抗 MTS 側推時造成之彎矩與剪力，安全係數為 2.0，軸力裝置如圖 3-7 所示。

試驗後發現，基座固定效果並不如預期，原因為基座固定之螺桿僅以氣動螺栓打緊，其僅能發揮被動抵抗之效果，加上軸力裝置與試體為自體平衡狀態，無法將試體壓緊於地梁上，所以採用此種軸力裝置，基座之固定就必須以主動方式施加，譬如對螺桿施加足夠之預

力，或以千斤頂於側向頂住試體，方可有效控制基座之側移量。

3.2 試體製作

考量試體製作與施工之空間，故將 6 根試體分成 2 次施工，另一方面亦可節省模板製作之費用，將其過程分成鋼筋整備，續接器加工，箍筋加工，貼佈應變計，模板 element 預組，鋼筋籠組立，模板組立，灌漿、養護及拆模等步驟，以下分項說明。

3.2.1 鋼筋整備、續接器加工

首先須計算鋼筋長度與所需數量，由於柱部分之主筋需使用特定降伏強度之鋼筋故需分別將號數、降伏強度、與長度、數量分別統計之；基座之主筋僅需為 SD420W 就可符合需求，但是基座之鋼筋需彎折成所需之形狀，將以上表列圖示之，並連絡廠商進場時間；鋼筋進場後須先將其清點分類，柱主筋需再加工續接器，予以編號(續接器兩端之鋼筋均要編號，避免加工錯誤，亦可以於加工回場後檢核之)並紀錄之，加工完畢回場後，清點並依照鋼筋組立之順序，分開存放。

3.2.2 箍筋加工

依照設計計算所需箍筋型式與數量，箍筋型式如圖 3-3 剖面 1-1 所示，為一大兩小之閉合箍筋，其彎鉤型式為標準彎鉤(D13 之箍筋 90°&135°彎鉤，彎曲內徑為 $3d_b$=3.8cm，135°彎鉤自由端伸展長度 $6d_b$=7.6cm)，根據繪圖軟體概估所需長度，經試彎後調整長度需求，並試組鋼筋籠，以確定箍筋之尺寸可符合需求，之後即可依所需數量統一裁切、彎折；加工彎折後之箍筋完成品，見圖 3-8 所示。

因為使用標準彎鉤製作箍筋，所以角隅之主筋位置須稍向內調整，而且鋼筋表面有突出之竹節與脊，需將其考慮在內，適當放大箍筋之尺寸，否則箍筋太小會造成組裝鋼筋籠之困難；由於鋼筋彎折機老舊，相同設定之下，機器會彎出尺寸稍有差異之箍筋，除了以技術彌補以外，另外仍須將欲彎折之箍筋數量提高 20%，以篩選出可用於組裝之箍筋。

3.2.3 貼佈應變計

應變計貼佈之位置如圖 3-9 所示，先於欲貼佈應變計之位置標記，以砂輪機用號數較小之砂輪片，將鋼筋表面之竹節磨平，再進一步用砂輪機前端小幅前後移動將長約 2cm，寬 0.5～1cm 之範圍磨成平面，再以號數較大之砂輪片，使其粗糙之表面光滑，以上即完成表面之處理，若處理完之平面無法馬上貼上應變計，以電工膠布將其貼住，可使其不至於快速氧化。

將表面已經處理成光滑，可以貼應變計之位置，先以棉花棒沾酒精將表面之灰塵、雜質清除，再將應變計表面滴上瞬間膠，迅速以膠紙按在鋼筋表面，持續 5～10 分鐘，以確保應變計完全密貼於鋼筋表面，再以束帶將應變計一小段線固定於鋼筋上，其餘的線收好暫時固定於鋼筋上(應變計使用附 3m 長之導線之應變計)；由於鋼筋須經歷綁紮、灌漿並封在混凝土中達 1 個月以上，所以其表面須再以石蠟保護，確保應變計之水密性，石蠟之防水性乃是由石蠟與鋼筋接觸並固化而達到，但是由於鋼筋導熱性佳，石蠟在快速降溫凝固時，其與鋼筋接觸面之黏結性與水密性，可能打折扣，最好再以銲槍將石蠟之外圍確實融化，使其分布範圍更大一點，確實達到防水之功效；再於石蠟表面以電工膠布保護之，避免石蠟因碰撞而遭刮除。

貼應變計使用之膠水，根據實地比較後，發覺應使用應變計專用之膠水，瞬間膠雖然可以黏的很緊，但是膠水凝固後，剛性太大，無法承受太大的應變，應變計因為膠脫落而失效，應變計專用之膠水凝固後似乎較有彈性，以應變計專用膠水貼的應變計可以讀到較大之應變。

3.2.4 模板 element 預組

由於實驗內空間有限，無法待鋼筋籠組立完成後，再組模板，所以須先將裁切好之木心板、角材先行組立成基本的 element，以節省堆置空間，並於預定穿過螺桿之位置鑽孔，待鋼筋籠組立完成後再將由木心版與角材組成之 element 拼成圖 3-6 所示之模板系統。

3.2.5 鋼筋籠組立

基於施工便利性，將柱之鋼筋與基座之鋼筋籠分開組立，先組立

柱之鋼筋籠，再組立基座之鋼筋籠，並預留柱之鋼筋籠插入之開口，待柱之鋼筋籠插入，定位後，將開口合起並將基座主筋穿過柱之鋼筋籠，以達到錨碇之效果。

柱鋼筋籠之組立最難在於第一步，將大箍筋與角落之四支主筋之位置固定，此步驟相當重要，關係著柱主筋之相對位置，及斷面強度之計算，再來將小的箍筋由側面插入後再將小箍筋角落四支主筋與大箍筋固定妥當，最後一個小箍筋依照相同步驟組立，最後再將中間四支主筋插入固定好，即完成柱主筋之組裝，成品如圖 3-10 所示，接下來就可以將機械式錨定物銲於主筋之端部。

基座鋼筋組立之前須先於底板上，將預埋管之位置與模板之組立位置先標示清楚，完成基座鋼筋籠之組立後，將柱之主插入，並完成基座鋼筋與柱主筋之相互固定後，再將預埋管插入並固定妥當，使之於灌漿時不至於因混凝土衝擊或震動棒搗實而移動，基座組立成品，如圖 3-11 所示。

鋼筋籠組立完成後，模板組立之前，須先將先前暫時固定於鋼筋上之應變計的導線，沿鋼筋拉出試體外，其原則以避開臨界斷面，及可能產生裂縫之位置，並須於適當位置加以固定，使導線不會因灌漿而將其拉斷，所以，試體臨界斷面以上之應變計均沿上拉至臨界斷面以上 1m 高，臨界斷面以下之應變計往下沿柱主筋拉到基座底層主筋，橫向拉到基座邊緣，再往上延鋼筋拉到基座頂部邊緣。

柱試體於臨界斷面以上須預埋螺桿，以利架設 LVDT，量測實驗進行中臨界斷面以上之曲率(Curvature)，使用綁紮鋼筋之鐵絲將螺桿與主筋固定，量測之值才能有代表性，經過評估後，認為主要的塑性鉸區應該在臨界斷面以上 1D(50cm)的範圍內，為了保險起見，以 1.5D 為最大範圍，每 0.5D(25cm)一段，共量測 3 段，左右各一支，共需固定 8 之螺桿。

關於預埋管之固定，應該用木板將預埋管之位置先鑽出預埋管大小之孔，並以上下兩片較為適當，下面固定於底板上，上面固定於模板頂部，預埋管之材質以鋼管較適當，如此應可確保預埋管之相對位置一定正確，固定基座之螺桿一定可以穿過基座並合於地梁之孔。

由於去年學長之經驗，大基座之角隅於實驗進行中易產生裂縫，故於基座加入與裂縫方向垂直之補強鋼筋，由於臨時加入，倉促為之，為了穿過原本已經密密麻麻的鋼筋籠，竟彎出形狀類似海馬的鋼筋，而且還將它組立起來，雖然伸展長度不足，但於實驗過程中基座

始終保持完整，裂縫如預期般被控制住，這也是一種經驗：加入適當之補強鋼筋可以有效控制裂縫。

3.2.6 模板組立

將已經預組好的 element 依照底板上之標記，由下而上組立模板單元，並於以鑽好之孔以螺桿穿過，兩端露出模板少許長度以便螺帽旋入拉住兩側模板，並將其旋緊，使螺桿產生適當預拉力，當模板承受混凝土之側推力時，不至於使模板單元之間間隙被撐開而漏漿，混凝土除了側推模板外，也會產生上舉力，使模板上升，但是由於模板設計時已經超出需求強度很多，造成模板相當厚重，上舉力尚不足以舉起模板，故底板與模板間並不加以固定。

3.2.7 灌漿、養護及拆模

由於鋼筋籠之鋼筋相當密，而且基座上方有些部份以模板覆蓋，灌漿與搗實之空間很有限，故使用高流動性混凝土，以避免因混凝土工作性不佳而振動又不確實，導致漿體無法完全充填模板，經使用高流動性混凝土後，果然使灌漿作業順利進行；基座混凝土圓柱試體取樣數量共 18 個，柱部份之混凝土共取樣 24 個，圓柱試體澆置分三層搗實，每層搗實 25 下，最後以刮刀抹平靜置，待所有灌漿作業結束後，再移至試體旁存放。

由於灌漿時，正值寒流，恐怕低溫不利混凝土強度發展，故於灌漿後 7 天內，均以塑膠布覆蓋混凝土，並定期補充水分，使水化反應完全，於灌漿時製作之混凝土圓柱試體也採用相同之方法予以養護，並補充水分。

灌漿後 7 天，混凝土應該已達到可移動之強度，即可進行拆模，拆模後發現果然用高流動性混凝土是對的，試體表面僅有小氣泡與邊緣少部分因小小漏漿，而使混凝土中之極細粒料流失之現象；大致而言，試體表面平整，臨界斷面之底部清楚。

3.3 試驗裝置與加載歷程

3.3.1 試體架設

試體之架設完成狀況，如圖 3-7 所示，以下分就數項敘述：

（1）前置作業：試體於開始架設之前，須將基座預埋管高於基座面

的部份與 MTS 夾具螺桿之預埋管凸出柱面的部份切除，並以砂輪機將基座表面凹凸磨平，以免鉸接裝置與固定螺栓之承壓板放到基座上時，與基座面間產生空隙，而無法均勻傳力。為了方便觀測裂縫之發展，以水泥漆將柱與臨界斷面附近的基座面塗成白色，待其乾透後，將臨界斷面以上 100cm 的範圍以黑色簽字筆打上 10cm×10cm 的方格，以方便描繪裂縫的分佈狀況。

（2）施力裝置與固定裝置：首先將試體吊至地梁上之預定位置，再將固定試體之螺桿穿過預留孔，同時以氣動螺栓將螺桿打緊。本試驗使用 MTS 作為施力裝置，其施力容量為 100tf，由於試驗施力須一推一拉，以形成一個施力循環，故 MTS 與試體之聯結與固定相當重要，如圖 3-3 所示，試體製作時已經預留 MTS 夾具螺桿通過之預留孔，此時將 MTS 之夾頭以 MPT 軟體之 Accurator 控制緩慢伸出，並將 MTS 之力量讀數歸零，直到距離試體 5～10cm 時，調整 MTS 夾頭之螺栓孔與試體預留孔之位置，至可以將螺栓穿過並鎖上螺帽，再以 Accurator 以位移控制(Displacement Control)緩慢前進至貼緊試體，為了確定 MTS 與試體已經貼緊，將 MTS 再往前推至試體產生 20KN 之反力時，才可將 MTS 夾頭之固定螺桿以氣動螺栓打緊，如此便完成施力裝置的安裝工作。

（3）軸力加載裝置：本試驗軸力施加由 300tf 油壓千斤頂 1 個作為施加軸力之裝置放在柱構材之頂部，油壓千斤頂底部以承壓板保護柱頂部之混凝土，並在承壓板與油壓千斤頂之間放置荷重計(Load Cell)，以量測試驗過程中軸力之變化量；油壓千斤頂上方以剛性板，連結螺桿至基座面之鉸接裝置，再與穿過基座之螺桿固定於基座底部，剛性板上方安裝盤型彈簧以減少軸力變化量；安裝完成後，如圖 3-7 所示。

（4）量測系統：量測系統由外部測計、預先貼在鋼筋之應變計與資料收集器(Data Logger)組成，外部測計位置如圖 3-12 所示，包含 6 支位移計(LVDT)，量測試驗過程中柱構材臨界斷面以上，每 25cm 範圍拉力側與壓力側之長度變化量，安裝位移計前，須先將長條鋁板鑽出比預埋螺桿直徑稍小之圓孔，用以穿過預埋螺桿固定鋁板用，並將位移計以膠帶纏緊固定於鋁板上，再以螺帽旋入固定鋁板之位置，但不鎖緊，以保持鋁板可自由轉動，並與螺桿間沒有空隙(gap)，另一端的螺桿須先旋入一螺帽作為頂住位移計之前端之用，並以 AB 膠將位移計之前端與螺帽黏住，同時須注意位移計之位置，是否於安裝完成後為壓縮至衝

程(Sroke)之一半，這樣方能使可量測之伸長與縮短量為最大。再用 3 個測微計(Dial Gage)分別量測基座之水平位移、基座左右側之垂直變位量，由於混凝土面粗糙，惟恐造成測微計之讀數異常跳動，故於測微計欲量測之位置以 AB 膠黏上一塊薄鋼板(3cm×3cm×0.3cm)，再架設以強力樓板為參考點之參考架，以固定測計，參考架底部須平整，不會晃動，至少測微計前端伸縮時不會導致參考架搖動，固定測微計時，須注意測微計與欲量測點所在之平面是否垂直。

使用 1 個衝程(Stroke)為±50cm 之感應式位移計(LVDT)量測 MTS 加載中心柱構材之水平位移量，先調整安裝位置，使安裝後之位置位於衝程之一半，再以 AB 膠將之固定。外部測計裝置位置如圖 3-12 所示。

應變計貼佈之位置以量測柱構材主筋續接器附近之應變為主，貼佈之位置如圖 3-9 所示，由於應變計本身所附之 3m 導線，由量測位置經試體內部鋼筋拉出到試體外後，長度已所剩無幾，無法再延伸到資料收集器(Data Logger)，所以每一條線都必須再接一段線以連接到資料收集器，線與線之接頭必須要相當小心，99%讀數之不正常跳動，即來自於線與線的接頭，經過多次試誤後，發現以接線專用之閉口端子效果最好，幾乎可以視為沒有接頭之導線；由於應變計從貼到鋼筋上經歷鋼筋綁紮等施工過程，，直到接到資料收集器上，已經埋在混凝土中長達一個月以上，是否還能量的到正常之應變呢？所以必須先以三用電錶量測其電阻值是否在正常範圍(單軸應變計，型號 KFG-5-12－C11，電阻值 120.4±0.5Ω)，待確定正常後方可接上資料收集器。

試驗中所須讀取與紀錄之讀數均須將測計接到資料收集器，由資料收集器透過訊號線傳到控制室的 PC，再由控制軟體將其存檔；於所有的線均接到資料收集器上後，還須觀察讀數是否穩定，基本上讀數會有小幅跳動，應變計大約為 2με，LVDT 與 Dial Gage 因為使用專用之訊號線，其中有鋼絲網將線包住，所以讀數相當穩定並不會跳動，如果讀數跳動超出正常範圍，應該先確定是全部的讀數都在跳動或是僅有少數幾個讀數跳動，如果是全部讀數都在跳動，應該是檢查資料收集器之接地線接地不妥當，最好先將接地處地面清乾淨，舖一塊大小適中之鋼板，再將接地線以具有磁性之物品壓在鋼板上，如此便可以保證接地良好；如果只有少數幾個讀數跳動幅度較大，則可能是線與線的接頭或資料收集器的 channel 有問題，首先擾動讀數跳動較大的導線，觀察讀數是否在擾動後跳動，若不是導線擾動

造成讀數之擾動則應該是資料收集器的 channel 有問題，此時應該更換 channel；若接完線後，讀數均無不正常之跳動，則應該將觀察時間拉長到超過試驗所須之時間，讀取前後之讀數是否跳動，此時讀數之跳動通常會因 channel 的狀況與觀察時間的長短而異，好的 channel 讀數幾乎不變，較差的 channel 會有小幅跳動，應變計大約 1 天 20με，若有超過者最好換另一個 channel。

在所有裝置均已佈置妥當後，試驗開始前，啟動 MTS，將以位移控制的方式調整至 MTS 的力量為 0.0KN，將 MTS 此時之位移定為位移原點，再將資料收集器之讀數進行歸零後，此時記錄第一筆讀數，再量測臨界斷面附近 LVDT 之初始間距，其位置如圖 3-13 所示，再下一步，打開油壓千斤頂之電源，使其開始對柱構材施加軸力，直到油壓千斤頂之油壓穩定，並讀取第二筆讀數，確定荷重計(Load Cell)之讀數為預定之軸力值後，鎖緊油壓千斤頂之回油閥門，關閉油壓千斤頂之電源；將新的方格紙放入載重位移繪圖機(X-Y Plotter)，打開繪圖機之開關並按最大側推力調整繪圖比例，在試驗過程中，隨時可藉由繪圖機畫出之 MTS 力量與位移量之關係圖，監控試驗過程是否正常；接下來，即可開始進行試驗。

3.3.2 加載歷程

本試驗研究柱構材之遲滯行為，加載程序以層間位移角(Drift Ratio)做為側推位移遞增之單位，正方向代表 MTS 往回拉，負方向為 MTS 往外推，一正一負構成一次加載循環，每一個層間位移角做兩個循環，在彈性階段時層間位移角增加的幅度較小，每次增加 0.25%，希望可以掌握降伏之時機，過了降伏之後增加幅度便為 0.5%，超過 5%後，增加幅度便成 1%，加載歷程由小至大依序為 0.25%，0.5%，0.75%，1%，1.5%，2%，2.5%，3%，3.5%，4%，4.5%，5%，6%，7%…直到 MTS 側推力量降到最高側推力之 75%以下，完成最後一個循環後，停止試驗，詳見圖 3-14。

3.3.3 材料試驗

由於鋼筋籠較密，且灌漿空間有限，故使用高流動性混凝土，設計強度為 280 $^{kg}/_{cm^2}$，最大骨材粒徑為 1.8cm，坍度為 25cm，坍流度為 60cm，灌漿同時以隨機方式取樣製作圓柱試體，基座混凝土取樣 18 個，柱混凝土取樣 24 個。

基座鋼筋使用竹節 D25(#8)及 D19(#6)之 SD420W 鋼筋；柱主筋皆為竹節 D25(#8)之 SD420W 鋼筋，但其降伏強度經過特別挑選，在 CNS

560 鋼筋混凝土用鋼筋規定之降伏強度範圍內(4200 $^{kg}/_{cm^2}$～5400 $^{kg}/_{cm^2}$)，分別有三種降伏強度，約為 4200 $^{kg}/_{cm^2}$(FY1)、4800 $^{kg}/_{cm^2}$(FY2)及 5400 $^{kg}/_{cm^2}$(FY3)，實際降伏強度須由鋼筋拉力試驗得知，柱箍筋使用 D13(#4)之 SD420W 鋼筋，每一種鋼筋各取樣 3 支。

（1）混凝土圓柱試體抗壓強度試驗：圓柱試體經過與試體相同之養護程序後，拆除鋼模後，將圓柱試體頂面以石膏蓋平後，以混凝土抗壓試驗機進行抗壓試驗，如圖 3-15 所示，混凝土圓柱試體抗壓強度試驗結果經整理後如表 3-2 所示。

（2）鋼筋拉力試驗：使用 100T 萬能試驗機進行鋼筋拉力試驗，並以 UCAM20 紀錄試驗萬能試驗機之拉力與 LVDT 之位移；首先須將萬能試驗機依照步驟進行歸零，再依鋼筋之號數選用適當夾具，打開 UCAM20 之電源，接上 Notebook 執行 UCAM20V2.EXE 之程式並設定妥當後，將鋼筋與 LVDT 架設妥當後，即可進行拉力試驗，如圖 3-16 所示，基座鋼筋拉力試驗結果經整理繪圖後，如圖 3-17 所示。

（3）續接器接合試體拉力試驗：由於試體規劃時設計採用 SA 級續接器，試體主筋加工續接器時，續接器試驗委託台灣檢驗科技公司(SGS)代為檢驗，續接器拉力試驗之結果，包含三組高塑性載重試驗，八組續接器拉力試驗，試體描述整理後如表 3-6 與表 3-7 所示，表中已將結果整理成續接器規範草案中規定之型式，足供判斷續接器是否為合格之 SA 級續接器，續接器草案關於 SA 級續接器之判斷基準，如附錄 B 中所示，除了第一種鋼筋母材之降伏應力稍低於 4200 $^{kg}/_{cm^2}$，然而由於此種鋼筋之取得不易，所以便視為鋼筋母材符合 SD420W 之規定，根據試驗結果與續接器判別基準，試體使用之續接器符合 SA 級續接器續接性能等級之規定。

本試驗研究之主要關鍵在於柱主筋之降伏強度有相當的差異，經實際由拉力試驗得到之強度，的確符合原先假設三種鋼筋之降伏強度，經整理繪圖後，結果如圖 3-18 所示，由圖 3-18 可發現第一種降伏強度鋼筋的降伏強度$\left(f_y\right)_1$與抗拉強度$\left(f_u\right)_1$最低，但是極限應變$\left(\varepsilon_u\right)_1$為三者中最高，第二種降伏強度鋼筋的降伏強度$\left(f_y\right)_2$居中，第三種降伏強度鋼筋的降伏強度$\left(f_y\right)_3$最高，第二種降伏強度與第三種降伏強度鋼筋的抗拉強度與韌性差異不大，以第三種降伏強度鋼筋稍差，

$(f_y)_1<(f_y)_2<(f_y)_3$，$(f_u)_1<(f_u)_3\approx(f_u)_2$，$(\varepsilon_u)_3\approx(\varepsilon_u)_2<(\varepsilon_u)_1$，使用於 BIAX 分析之鋼筋數據如表 3-3 至表 3-5 所示。

柱箍筋的應力-應變曲線，如圖 3-19 所示，由圖中可以看出箍筋的降伏平台並不明顯，所以用 0.2% offset 法得出其降伏強度為 4594 $^{kg}/_{cm^2}$，箍筋性質於 BIAX 程式已反應在混凝土之參數中，不再贅述，詳見附錄 A 中，BIAX 之輸入檔。

3.4 試驗結果

將試驗得到之數據進行初步整理與分析，並結合試驗過程中之觀察，對於單獨試體之表現進行分析，更進一步之討論，則留待第四章討論之。

3.4.1 載重與位移關係行為

試驗過程中，由位移計之讀數，在經過修正基座位移與轉角後，得到受力點之實際位移，再配合 MTS 之力量便可以繪出載重-位移遲滯迴圈關係圖，如圖 3-20、圖 3-21、圖 3-22、圖 3-23、圖 3-24、圖 3-25 所示，為試體 R-Y1、L1-Y1、L1-Y2、L1-Y3、L2-Y3、L1/2-Y3 之遲滯迴圈，遲滯迴圈之右下角為試體之示意圖，將試體之續接位置與鋼筋種類，大略表示，便於對照。

為了更進一步比較各試體之間的差異，須由各試體材料試驗得到之混凝土試體抗壓強度與鋼筋之強度參數，輸入 BIAX 分析各試體臨界斷面之理論強度，BIAX 分析之輸入檔案與輸出結果繪圖，如附錄 A 所示；附錄 A 中將試體正負方向最大載重對應之軸力作為斷面分析之軸力，由於正負方向最大載重對應之軸力不同，故一個試體以兩個軸力分析之，如附錄 A 中所示，將 BIAX 分析結果之彎矩-曲率關係圖(Moment-Curvature)中，整理出混凝土外緣應變為 0.003 時，對應之彎矩即為臨界斷面之標稱彎矩強度 M_n，由 M_n 除以臨界斷面與 MTS 作用點之距離即得到 P_n，將斷面正負方向之軸力對應之 P_n，加以平均以得到斷面之理論強度，再以平均後之 P_n 將載重正規化(Normalize)，如遲滯迴圈右方之座標軸所示。

有鑑於各試體之實際強度，的確因續接器上端鋼筋降伏強度較高而升高，若以臨界斷面通過之鋼筋降伏強度所計算得到之斷面理論強度，將試體強度正規化，恐不合正規化試體強度之精神，故以續接器

上緣所切斷面之理論斷面彎矩強度為試體之理論強度 M_n，如圖 3-26 所示。

以 $0.75P_n$ 對應之位移為 $0.75\Delta_y$，再以 Δ_y 將位移正規化(Normalize)，得到遲滯迴圈右上方 Ductility μ_D 之座標軸，並將 Δ_y 對應遲滯迴圈與最大強度發生之點以記號標出，見遲滯迴圈所示，以下分就各試體之載重-位移關係詳細描述：

◆ **試體 R-Y1**

試體 R-Y1 的載重-位移關係，如圖 3-20 所示，在開始加載初期，層間位移角 1.0%以前，載重-位移關係明顯呈現線性關係，但是正位移方向之力量卻明顯大於負位移方向之力量，推測應該是基座固定之效果不如預期理想，造成正位移大於負位移，導致力量於正方向位移較大，載重-位移曲線可以觀察到有些許之跳動，乃是基座滑移造成柱構材上端相對於臨界斷面之水平位移量突然減少，強度突然下降所形成，載重-位移曲線於層間位移角 1.5%時，正位移與負位移方向均產生強度隨位移增加幅度減緩之現象，呈現降伏的現象，而且每個層間位移角的第二個迴圈之強度均比第一個迴圈之強度小，呈現強度衰減(Decay)之現象，隨著層間位移角增加，試體強度在每個層間位移角之第一個迴圈，仍然比上一個層間位移角之第一個迴圈之強度大，呈現增加之趨勢，直到層間位移角到達 3%時，試體於臨界斷面附近之混凝土，開始受壓擠碎，強度開始隨著層間位移角呈現微幅下降，直到層間位移角達到 6%時，臨界斷面以上 1D～1.5D 範圍之混凝土開始大量剝落，強度迅速衰減，到達層間位移角 7%第一個迴圈時，試體強度時已經衰減到 75%以下，試驗停止於層間位移角 7%之第一個迴圈。最後觀察整個試驗過程之遲滯迴圈，最後產生些微的束縮(pinching)，應為主筋量高，且施加軸力所致。

◆ **試體 L1-Y1**

試體 L1-Y1 之載重-位移關係，如圖 3-21 所示，於彈性階段之遲滯行為與試體 R-Y1 差別不大，正方向之強度與負方向之強度依然維持正大於負，直到層間位移角到達約 1.5%時，產生位移增加，強度上升趨緩之降伏現象，層間位移角 1.5%以後直到 6%到達最高強度之間，維持強度緩慢上升之趨勢，裂縫持續增大與延伸，層間位移角 6%以後，臨界斷面以上 1D(50cm)範圍，核心混凝土以外之混凝土大量剝落，層間位移角 7%之 2 個迴圈完成後，強度快速下降至 75%以下，試驗停止於層間位移角 7%第二個迴圈。

◆ **試體 L1-Y2**

試體 L1-Y2 之載重-位移關係，如圖 3-22 所示，彈性階段與 R-Y1、L1-Y1 相似，均於層間位移角到達約 1.5%時，產生位移增加，強度上升趨緩之降伏現象，之後便與 L1-Y1 類似，維持緩慢上升之趨勢，直到層間位移角到達 7%時，強度到達最高，之後就發生塑鉸區混凝土大量剝落，強度快速下降，試體強度於層間位移角 8%之 2 個迴圈完成後，下降至最高強度之 75%，此時便停止試驗。

◆ **試體 L1-Y3**

試體 L1-Y3 之載重-位移關係，如圖 3-23 所示，彈性階段與 R-Y1、L1-Y1、L1-Y2 相似，並於層間位移角到達約 1.5%時，產生位移增加，強度上升趨緩之降伏現象，最高強度發生於層間位移角 3.5%時，其後強度稍降，直到 6%稍微上升，但並沒有超過最高強度，塑鉸區混凝土於層間位移角 6%之 2 個迴圈產生大量剝落，當位移增大為層間位移角 7%時，強度快速下降至最高強度 75%以下，試驗停止於層間位移角 7%之第二個迴圈。

◆ **試體 L2-Y3**

試體 L2-Y3 之載重-位移關係，如圖 3-24 所示，彈性階段與上述試體均相似，降伏時機亦雷同，最高強度發生於層間位移角 3.5%，由於此試體之續接位置與試體 L1-Y1、L1-Y2、L1-Y3 不同，最高強度發生後，強度隨層間位移角緩慢下降，塑鉸區混凝土逐漸剝落，與試體 R-Y1 相似，直到層間位移角 6%，試體強度下降至最高強度之 75%以下，試驗便停止於層間位移角 6%之第二個迴圈。

◆ **試體 L1/2-Y3**

試體 L1/2-Y3 之載重-位移關係，如圖 3-25 所示，彈性階段與上述試體均相似，降伏時機亦雷同，最高強度發生於層間位移角 3.5%，最高強度以後之後期行為，與 L1-Y2 相當類似，均為強度維持比最高強度稍低，直到層間位移角 6%時強度稍為上升，位移到達層間位移角 7%時，強度快速下降到最高強度之 75%以下，試驗停止於層間位移角 7%之第二個迴圈。

3.4.2 裂縫發展與破壞模式

為了紀錄試驗過程中之裂縫發展，每一個迴圈之最大位移時均將正面與側面拍照紀錄之，但是由於試體正面塑鉸區被鉸接裝置擋住，

故試體正面之裂縫分布，僅能於試驗結束，將軸力裝置拆除後，再將塑鉸區與裂縫分布狀況，拍照紀錄之。為了清楚顯示各試體之裂縫發展，將試體於層間位移角 1%、3.5%及破壞之裂縫分布，依討論之順序，附於圖 3-27～圖 3-46，各試體於試驗過程中，以游標尺量測臨界斷面之裂縫寬度，如表 3-8 所示。

◆ **試體 R-Y1**

試體 R-Y1 於彈性階段，位移在層間位移角 1%以前，裂縫增加數量較多，但是以撓曲裂縫為主，如圖 3-27 所示為層間位移角 0.75%時之正面之裂縫分布，直到位移到達層間位移角 1.5%，強度明顯增加趨緩，裂縫增加，而且臨界斷面之裂縫寬度，突然增大許多，如表 3-8 所示；試體最高強度發生於層間位移角 3.5%時，此時裂縫已延伸超過中性軸並呈現 45°，撓曲裂縫發展成為撓剪裂縫，而且臨界斷面附近之混凝土已經有擠碎之現象，圖 3-28 所示為試體側面之特寫；隨著位移持續增加，裂縫增加之趨勢為舊裂縫持續延伸，並且寬度增加，於臨界斷面以上 1D 之範圍之撓剪裂縫並聯結成一主要之剪力斜裂縫，直到層間位移角 5%時，大量混凝土剝落，強度亦在此時快速下降，最後觀察到鋼筋挫曲，同時軸力下降，試體強度下降到最高強度之 75%以下，破壞後試體如圖 3-29 所示。

於試體破壞後，將已經碎裂之混凝土移除，觀察後發現，主筋挫曲，臨界斷面以上第一道箍筋之標準彎鉤，已經被主筋撐開變形，由原本 135°變成 90°，幾乎已經失效。

綜合以上觀察結果，試體於位移到達層間位移角 5%時，由於塑鉸區混凝土大量擠碎剝落(移除已碎裂之混凝土後還發現，核心混凝土已經擠碎)，箍筋彎鉤之錨定區混凝土已經無法錨定箍筋，造成剪力裂縫通過之箍筋失效，試體剪力強度下降，同時箍筋圍束主筋之效果下降，主筋挫曲之趨勢提高，最後，試體於剪力強度下降及主筋挫曲之交相作用之下，導致強度下降快速至最高強度之 75%以下。

◆ **試體 L1-Y1**

試體 L1-Y1 於層間位移角 1%前之裂縫發展與試體 R-Y1 相似，臨界斷面之裂縫於 0.75%已延伸至中性軸，層間位移角 1%時之裂縫分布，如圖 3-30 所示，正面之裂縫已經延伸至中性軸，水平裂縫發展至中性軸附近因剪力而轉成 45°，試體 L1-Y1 於層間位移角 1.5%時呈現降伏現象，圖 3-31 為試體 L1-Y1 於層間位移角 3.5%時之裂縫分布，由側面之照片可明顯觀察出裂縫增加，而且塑鉸區之裂縫寬度增大，

臨界斷面附近之混凝土，開始擠碎，正面之照片亦有裂縫增加之趨勢，試體 L1-Y1 最高強度發生於層間位移角 6%時，塑鉸區箍筋以外之混凝土大量剝落，當位移到達層間位移角 7%，試體 L1-Y1 塑鉸區混凝土更沿著主要剪力裂縫剝落，並造成試體強度快速下降，試體之破壞模式與 R-Y1 相似，皆為塑鉸區混凝土擠碎，造成主要剪力裂縫通過之箍筋失效，造成剪力強度下降，同時箍筋對主筋之圍束效果下降，主筋之挫曲趨勢上升，兩者交相作用之下，試體強度快速下降至最高強度之 75%以下，圖 3-32 所示為試體破壞後之側面與正面之照片。

◆ **試體 L1-Y2**

試體 L1-Y2 於實驗過程中之照片，因為 CF Card 有問題而損毀，故以描繪方式以表示之。彈性階段之裂縫發展與 R-Y1、L1-Y1 相似，圖 3-33 所示為試體於層間位移角 1%時正面與側面之裂縫描繪圖，試體 L1-Y2 於層間位移角 1%時，尚屬彈性階段，試體正面撓曲裂縫延伸至中性軸附近，轉成 45°，當位移增大到層間位移角 3.5%時，正面裂縫增加不多，臨界斷面附近之混凝土已有擠碎之現象，裂縫已有延伸超過試體中心，顯示中性軸深度已經小於試體寬度之一半，試體強度於層間位移角 7.0%時達到最高，之後塑鉸區混凝土大量剝落，強度快速下降，直到層間位移角 8.0%之第二個迴圈已下降至最高強度之 75%以下，其破壞模式與 R-Y1、L1-Y1 相似，破壞時主筋挫曲，正面可觀察出極明顯之剪力裂縫，移除已經擠碎剝落之混凝土後，發現塑鉸區核心混凝土擠碎，箍筋失效。

◆ **試體 L1-Y3**

試體 L1-Y3 於試驗中層間位移角 1.0%、3.5%及試體破壞後之照片，如圖 3-37 至圖 3-38 所示，試體 L1-Y3 於彈性階段即層間位移角 1.0%時，裂縫之發展均極為相似，試體 L1-Y3 與 R-Y1、L1-Y1、L1-Y2 裂縫發展較不相同之處為層間位移角 3.5%時，臨界斷面附近之混凝土剝落情況稍嚴重，如圖 3-36 所示，試體 L1-Y3 最高強度發生於層間位移角 3.5%，之後試體強度維持稍小於最高強度，核心混凝土以外之混凝土持續剝落，直到層間位移角 7.0%，受到塑鉸區混凝土嚴重擠碎，箍筋失效，主筋挫曲趨勢上升，之交相作用下，試體強度快速下降至最高強度之 75%以下；最後移除已經碎裂之混凝土，如圖 3-38 所示，塑鉸區混凝土擠碎，箍筋標準彎鉤變形，主筋挫曲。

◆ **試體 L2-Y3**

試體 L2-Y3 與之前試體最大之不同為，續接位置上移至臨界斷面以上 50cm 處，彈性階段之裂縫分佈有一點值得注意，於試體側面(兩邊都有)，有一道裂縫大約切齊續接器下方，其產生可能為續接器與主筋之相對滑動造成，試驗過程中同時以游標尺量測此裂縫寬度之發展，如表 3-9 所示，隨位移增大其寬度亦增大，由於其寬度遠小於臨界斷面與塑鉸區之裂縫寬度，見圖 3-39、圖 3-40 中，試體側面之裂縫分布，由此可以得知續接器下方之裂縫僅為續接器與主筋之不連續面造成之混凝土裂縫，續接器與主筋並沒有產生大量滑移，否則塑鉸區與臨界斷面之裂縫不會遠大於續接器下方之裂縫。

試體 L2-Y3 於層間位移角 3.5%時，達到最高強度，之後隨著外圍混凝土持續剝落，強度持續下降，最後與上述試體相同，由於塑鉸區核心混凝土大量擠碎剝落，箍筋失效，造成剪力強度下降，箍筋圍束主筋效應降低，造成剪力強度不足與主筋作區之交相作用，導致試體強度下降至 75%以下。

試體破壞照片如圖 3-41、圖 3-42 所示，移除鉸接裝置後，觀察試體之主要剪力裂縫，原本於試體 R-Y1、L1-Y1、L1-Y2、L1-Y3 觀察到之剪力裂縫皆向上延伸至臨界斷面以上約 1.5D(75cm)，並造成大量之混凝土剝落，而試體 L2-Y3 之似乎因為續接器在主要剪力裂縫通過之路徑，而未再向上延伸，形成混凝土剝落區較小，而且續接器附近之混凝土均未剝落，不過此項差異似乎並未造成試體破壞模式不同。

- **試體 L1/2-Y3**

試體 L1/2-Y3 續接方式為隔根錯開 50cm 續接與前述各試體不同，特別值得一提的，在試體側面臨界斷面以上 50cm 之續接器上下各有一道近乎切齊續接器之裂縫，如圖 3-42 上方所示，由於試體 L2-Y3 在續接器下方也有一道裂縫，仿照試體 L2-Y3 之作法，以游標尺量測裂縫寬度，如表 3-10 所示，顯然裂縫寬度比試體 L2-Y3 小，觀察塑鉸區之其他裂縫均遠大於所量測之裂縫，故可以判斷雖然續接器上下均產生裂縫，但並不造成決定性之影響。綜觀試驗過程，裂縫發展並未與前述試體有明顯之差別，不再贅述，試體 L1/2-Y3 之最高強度發生於層間位移角 3.0%，試體 L1/2-Y3 之強度於層間位移角 7.0%第二迴圈降低至最高強度之 75%以下，試體最後破壞時，臨界斷面以上 50cm 處，續接器附近之混凝土均未剝落，試體各階段之照片，見圖 3-43 至圖 3-46 所示。

3.4.3 近臨界斷面曲率量測結果

近臨界斷面曲率以 6 支位移計(LVDT)量測之，測計之安排，如圖 3-12 所示，安裝方式詳見 3.3 節之試體架設，試驗結束後數據之處理，如下所示：

$$\text{臨界斷面以上0～25cm平均曲率C1}=\frac{(\text{L1_R-L1_L})}{\frac{(\text{B1+B2})}{2}\times\frac{(\text{L1+R1})}{2}}$$

$$\text{臨界斷面以上25cm～50cm之平均曲率C2}=\frac{(\text{L2_R-L2_L})}{\frac{(\text{B2+B3})}{2}\times\frac{(\text{L2+R2})}{2}}$$

$$\text{臨界斷面以上50cm～75cm平均曲率C3}=\frac{(\text{L3_R-L3_L})}{\frac{(\text{B3+B4})}{2}\times\frac{(\text{L3+R3})}{2}}$$

其中 B1、B2、B3、B4 與 L1、L2、L3 及 R1、R2、R3 為預埋螺桿之初始間距，見圖 3-13 所示；L1_R、L1_L、L2_R、L2_L、L3_R、L3_L 分別為 6 支位移計(LVDT)之讀數，其位置如圖 3-12 所示。

圖 3-47 至 3-52 為各試體之載重-曲率關係圖，各圖均可觀察出，越接近臨界斷面，曲率越大；C2 與 C1 在最後幾個迴圈，出現偏一邊之現象，結合試驗過程之觀察，認為在試驗後期，預埋螺桿受到塑鉸區混凝土嚴重剝落之影響，已經無法固定在原本位置，分析與討論時應該將最後幾個迴圈之數據排除。

C1 與 C2 量測之範圍正好為 50cm，而由各試體之載重-曲率圖形清楚顯示，C3 之變形遠小於 C2、C1，表示塑鉸區即為 C2 與 C1 之量測範圍，比較各試體之 C2 之圖形，L1-Y1 顯然比其他試體大，表示其塑鉸區明顯向上延伸，所以在續接器兩端鋼筋降伏強度相同之下，續接器位於臨界斷面上可以有效將塑鉸區往上延伸。

3.4.4 主筋應變計

由於應變計可量測之應變範圍有限，主筋應變隨位置不同而有大小，越接近臨界斷面主筋應變越大，故位於臨界斷面附近之應變計會在試驗初期，試體進入降伏之前，便達到可量測之極限而脫落，或因為混凝土開裂，導線被拉斷而無法量測。

整理數據繪圖時，便須將應變計因脫落而量測到之不合理之數據刪除，刪除之原則為在載重-應變關係圖上突然之跳躍點，以後之數據便不予採用，因為跳躍點之發生應為應變計脫落或導線因混凝土開裂而扯斷所導致。

圖 3-53 至圖 3-72 為各試體之主筋應變計讀數與層間位移角之關係圖，表 3-11～表 3-16 為各圖之讀數，圖 3-53～圖 3-55 為試體 R-Y1 之應變計繪圖，因為頁面不足及線條密集，故以橫式排版，試體 R-Y1、L1-Y1、L1-Y2、L1-Y3、L2-Y3 各 3 頁，試體 L1/2-Y3 有 5 頁，第一頁為試體應變計命名方式與位置圖，第二頁以後為應變計之整理繪圖，每頁有 2 列，一列為 1 根鋼筋之應變計，每列有 3 個圖，中間的圖為此根鋼筋所有應變計之圖，為了便於判讀與比較，將其分成 2 群，放在左右兩側，左側為續接器上下之 2 個應變計，右側為其他，詳見圖示。

由各試體之圖可以觀察出共同之特點，鋼筋受拉之應變較大，受壓之應變較小，其原因為受壓時，鋼筋與混凝土共同承受，受拉時，混凝土開裂，鋼筋之應變因而比受壓時大；越靠近臨界斷面應變計之讀數愈大，但是也越早脫落或失效；越遠離臨界斷面應變計值越小。有些應變計可能因為試體製作過程之疏忽，導致應變計無法量測，或數據經判讀後認定為無效數據，因而圖例中有顯示其編號，但是圖中並無相對之線條。

位了方便說明起見，以應變計之命名做以下說明，將同一支鋼筋之應變計位置編號，3 為緊臨續接器上緣之應變計，2 位在 3 之上方 25cm 處，1 在 2 的上方 25cm，4 為緊臨續接器下緣之應變計，5 在 4 的下面 20cm 處，這裡使用之編號與圖中使用之相同。

R-Y1：3 與 4 讀數相近，2>5>1。

L1-Y1：3 與 4 讀數相近，2>1，2>5。

L1-Y2：4>3，2>1，2>5。

L1-Y3：4>3，2>1，2>5。

L2-Y3：3 與 4 讀數相近，2>1，2>5。

L1/2-Y3：3 與 4 讀數相近，1>5，2>5。

以上為各試體單獨就試體本身之比較，其中各試體中以 5 最小，因為其位置深埋在基座裡，鋼筋受到混凝土之握裹圍束所致，1 與 2

因為續接器位置之不同而異，3 與 4 則因為續接器兩端鋼筋降伏強度不同而異。

3.4.5 試體水平位移與轉角

由圖 3-12 外部測計位置圖，由於柱構材上端感應式位移計(LVDT)(測計編號 LU)所量測到之位移量，並非真正 MTS 加載點與臨界斷面之相對位移量，須將 LU 之位移量減掉基座水平位移量(測計編號 DH)與基座轉動量造成柱構材上端相對轉動量，如下式所列：

試體真正位移Δ=LU-修正量

修正量=基座水平位移量DH+基座轉動修正量Δ_r

$$\text{基座轉動修正量}\Delta_r=\frac{(\text{DV_R}+\text{DV_L})}{840\text{mm}}\times 1580\text{mm}$$

其中，LU、DH、DV_R、DV_L 為測計之編號，代表該測計之讀數，經過修正之步驟後，得到試體之真正位移量，才可進行數據之分析。

圖 3-73 為所有試體之基座水平位移量與基座轉動修正量，可以發現基座轉動修正量均大於水平位移量，而兩者之總和約為 1cm，與學長之試驗相比發現基座之固定效果很不好。

3.4.6 軸力變化

將各試體由荷重計所量到之讀數與層間位移角(Drift Ratio)之關係圖繪出，如圖 3-74 所示，經過觀察後發現，所有試體於加載初期，試體軸力與層間位移角成線性關係，關於軸力由上升轉而下降之層間位移角，經過與試體最高強度發生之層間位移角比較後(圖 3-20～圖 3-25)發現，軸力下降發生在試體最高強度之後，其中試體 R-Y1、L1-Y1、L1-Y2、L2-Y3 軸力下降點與試體最高強度發生點重合，顯示兩者有關連，至於 L1-Y3、L1/2-Y3 軸力下降之發生點在最高強度發生之後。

四、 柱構材反復載重試驗結果之討論

本章討論之主軸以柱構材於塑鉸區續接以及續接型式對於柱構材遲滯行為之影響，並針對試驗結果比較各試體間之差異，以下分就數點進行討論。

4.1 強度發展與勁度變化

前一章之試驗結果得到之遲滯迴圈，乃是進行反復載重以模擬柱構材真實受力模式所得到之結果，為了比較各試體之結構行為，將試體每一迴圈之最大載重與位移整理出來，並進一步之整理，以得到試體之正規化軀幹曲線(Skelton Curve)，如圖 4-1 所示，但是由於基座固定效果不好，導致正方向位移與負方向位移之最大載重相差過大，所以做進一步比較之前，須將各試體調整到同一基準上。

為了方便比較，將試體分成兩群，R-Y1、L1-Y1、L1-Y2、L1-Y3與 R-Y1、L1-Y3、L2-Y3、L1/2-Y3，以下討論之繪圖，均以此區分。

4.1.1 平均正規化載重-位移曲線

檢視各試體之細部配筋與試驗過程，認為試體逾正負方向之強度應為相近，為了在同一個基準上，比較各試體之結構行為，故將正方向與負方向位移最大載重之中點，作為載重之原點，得到正負兩個方向之正規化載重-位移關係，再將兩條曲線取平均，得到一條代表該試體之平均正規化載重-位移關係曲線，如圖 4-2 所示，以上之調整過程見圖 4-3 所示。

圖 4-2 上方為第一群試體，由圖中可知，強度方面以 L1-Y1 最高，再來為 L1-Y2、L1-Y3、R-Y1，韌性方面主筋有續接之 L1-Y1 在韌性方面比 R-Y1 好，L1-Y2 又比 L1-Y1 與 L1-Y3 好，所以由此可知，主筋有續接之試體在強度與韌性方面均優於未續接試體。

圖 4-2 下方為第二群試體，強度之比較上以 L2-Y3 最高，再來為 L1/2-Y3、L1-Y3、R-Y1，韌性方面 L1/2-Y3 與 R-Y1 相近，再來為 L1-Y3、L2-Y3。續接位置之比較上，續接於塑鉸區(L1-Y3)強度較低，韌性較好；續接型式之比較上，隔根錯開續接強度比同平面續接稍低，韌性較好。

4.1.2 強度衰減(Decay)

由於試體承受反復載重，同一位移下第二迴圈之強度會比第一迴圈小，此現象即為強度衰減(Decay)，將每一層間位移角之第二迴圈與第一迴圈最高強度之比值與層間位移角(Drift Ratio)作圖，以觀察各試體之強度衰減

$$\text{強度衰減}=\frac{\text{第二迴圈最大載重}}{\text{第一迴圈最大載重}}$$

如圖 4-4 所示。由於試驗過程與整理數據時，已經發現基座固定效果不佳，第二迴圈與第一迴圈之位移，已不能視為相同，所以此部分之結果僅供參考，不做進一步討論。

4.1.3 勁度變化

將每個層間位移角(Drift Ratio)第一個迴圈最大載重與位移相除得到之勁度與層間位移角(Drift Ratio)作圖，得到第一個迴圈試體之勁度變化，如下所示，將各試體於試驗過程中之勁度變化作圖，如圖 4-5 所示。

$$\text{勁度}=\frac{\text{第一個迴圈正向最大載重}}{\text{第一個迴圈正向最大位移}}$$

圖 4-5 中可以清楚看出在小位移時，所有試體之勁度隨位移而變小，大位移勁度減小趨緩，因為試體一開始隨混凝土之劣化而勁度減小，直到層間位移角大於 1%後，主筋降伏與混凝土劣化加上軸力隨層間位移角增大而上升，勁度快速下降，試驗後期混凝土已經嚴重碎裂剝落，勁度減少之趨勢因而趨緩。

4.1.4 勁度衰減

仿照強度衰減之作法求出，試體在同一位移下之第二迴圈與第一迴圈之勁度比值

$$\text{勁度衰減}=\frac{\text{第二迴圈勁度}}{\text{第一迴圈勁度}}$$

如圖 4-6 所示；在之前強度衰減之部分因為基座固定效果不佳，導致第一迴圈與第二迴圈之位移相差甚多而無法就其強度衰減部分討論，但是勁度不受其影響，故勁度衰減應該可以進行討論。

觀察圖 4-6，各試體之第二迴圈勁度大致維持第一迴圈之 90%以

上，隨著位移增大，曲線維持上下微幅波動，其原因為試體混凝土於試驗過程中，持續開裂造成勁度下降，而當位移繼續增大到層間位移角(Drift Ratio)5%左右，勁度有微幅往上升之趨勢，因為在勁度上升之時混凝土已經嚴重開裂故第二迴圈與第一迴圈之勁度反而相近，之後便隨位移增加而下降，直到破壞。

關於各試體間之勁度衰減，由圖中並無觀察出明顯差異，表示續接器之存在、續接位置、續接型式及續接器兩端鋼筋之降伏強度對於勁度衰減並無明顯影響。

4.2 消能行為與殘留位移

4.2.1 消能容量

將試驗過程中每一個迴圈之消散能量累加，得到累積消散能量，以了解試驗過程中試體消散能量之行為，如圖 4-7 所示，由上方圖形顯示 L1-Y2 最高，再來為 L1Y1、L1-Y3、R-Y1，表示主筋續接後消能容量較高；續接器兩端鋼筋降伏強度不同，L1-Y2 高於 L1-Y1，但是 L1-Y3 卻又小於 L1-Y2，顯示上端降伏強度稍高，可以提升消能容量，上端降伏強度太高，反而消能容量有下降之趨勢，但是仍高於兩端降伏強度相同者。

圖 4-7 下方圖形顯示 L1-Y3 最高，再來是 L1/2-Y3、L2-Y3、R-Y1，表示不論試體鋼筋續接型式與續接位置為何，消能容量均大於未續接試體，而 L1-Y3、L1/2-Y3、L2-Y3 三者之比較上，顯示續接器位於塑鉸區，有助於提高試體消能容量。

4.2.2 殘留位移

將試驗過程中之載重為 0 時對應之位移，即殘留位移，如圖 4-8 所示，由圖 4-8 可以明顯看出所有試體於層間位移角(Drift Ratio)1%以前殘留位移都很小，因為試體尚在彈性範圍，裂縫造成之殘留位移都很小，而且幾乎沒有增加，當層間位移角(Drift Ratio)大於 1%，試體降伏，殘留位移快速增加，趨勢約與層間位移角(Drift Ratio)成直線關係。

圖 4-8 上方第一群試體可以發現 R-Y1 之殘留位移較小，表示未續接試體之殘留位移較小，續接試體之殘留位移較大；在續接器上端鋼筋降伏強度不同之試體上，L1-Y1 殘留位移較大，L1-Y2 與 L1-Y3

大致差不多，但是後期 L1-Y3 之殘留位移有超過 L1-Y2 之趨勢，顯示續接器兩端鋼筋降伏強度相同者，其殘留位移高於上方鋼筋降伏強度高。

由圖 4-8 下方第二群試體之比較中發現，L2-Y3 殘留位移最大，L1-Y3 與 L1/2-Y3 次之，且兩者近乎相同，R-Y1 為最小，表示塑鉸區外同平面續接試體之殘留位移為最大，塑鉸區內續接之殘留位移與隔根錯開續接之試體，殘留位移量近似，未續接試體之殘留位移量最小。

殘留位移量是由試體混凝土劣化之程度、續接器滑移量與塑鉸區鋼筋之降伏程度共同作用而成，由於 R-Y1 為鋼筋直通並沒有續接器滑移量，所以在所有試體中其殘留位移最小。

4.3 近斷面曲率變化

將每一迴圈之曲率 C1 最大值列表，如表 4-1 所示，並繪圖如圖 4-9 所示，C1 量測之位置為臨界斷面以上 0 至 25cm 處之曲率，由圖 4-9 顯示 L1-Y3 為各試體中之最大，顯示其變形集中於臨界斷面以上 0～25cm 處，可能原因為續接器以下之鋼筋降伏強度較低導致變形往臨界斷面以下延伸。

4.4 整體行為探討

由以上之討論，歸結出以下結果：

（1） 柱構材反復載重試驗部份，由正規化載重與韌性、消能容量比較各試體之表現，表 4-2 中 P/P_n 為各試體平均正規化載重圖(圖 4-2)中之最大值，ductility 為圖 4-2 中各試體平均正規化載重下降至 $0.8P_n$ 對應之 ductility，並由此 ductility 於圖 4-7 對應之消散能量，以試體 R-Y1 為基準，求得其餘試體與 R-Y1 之消散能量比，可知塑鉸區同平面續接試體之表現未續接試體好；L1-Y2 比 L1-Y1 好，L1-Y1 又比 L1-Y3 好，顯示續接器上端降伏強度比下方降伏強度稍高反而對試體之表現，是有正面之幫助，但是當上方鋼筋降伏強度高過下方太多時，對於試體之表現便沒有正面之幫助，但是也沒有甚大之影響；塑鉸區與非塑鉸區同平面續接之比較上，非塑鉸區同平面續接，除了強度稍高於塑鉸區同平面續接以外，韌性與消能容量均低於塑鉸區同平面續

接；塑鉸區隔根錯開續接之方式其表現約與塑鉸區內同平面續接之表現相當。

（2） 各試體之殘留位移，由圖 4-8 可以得知，未續接試體之殘留位移低於續接試體。

（3） 近臨界斷面曲率比較，發現塑鉸區內續接的確可以有效將塑鉸區往臨界斷面外延伸，同時提高試體韌性與消能容量；但是若續接器上方鋼筋降伏強度較高時，塑鉸區往外延伸之情形則不明顯。

（4） 由貼佈於續接器上下之應變計之讀數，顯示 L1-Y2、L1-Y3 續接器以下之應變計讀數均大於續接器以上之讀數，顯示續接器下方之鋼筋降伏程度較續接器上方嚴重，但是此項結論仍須再驗證，因為應變計於鋼筋降服後即脫落，鋼筋降伏後之情形，並無直接證據顯示續接器下方鋼筋之降伏程度仍高於上方鋼筋，但是由試體之正規化強度可知，續接器上方鋼筋降伏強度較高之試體的正規化強度亦可達到理論強度，所以下方鋼筋顯然降伏程度高於上方鋼筋，變形較大。

五、鋼筋續接器續接規範之研修

為進行規範之修訂，邀請產、官、學界之相關人員為委員，並召開規範修訂會議，研修設計以及施工規範。委員成員包括續接器生產與施工單位 3 人，續接器續接檢驗單位 2 人，結構設計單位 2 人，學術界 5 人，政府單位 2 人，共計 14 人，詳細委員名單如表 5-1 所示。一共召開 5 次委員會議。規範主要的改變有：（1）刪除續接器接合試體試驗中以「破壞模式」為判別指標的條文，改成以鋼筋直徑收縮率為判別指標；（2）FA 級續接器續接在建築結構非常少用，而且基本上國內很少有實驗單位可以進行相關試驗，縱使有能力進行該項試驗，願意接受委託進行該向試驗的單位更少，因此刪除 FA 級續接等級；（3）已組裝試體的抽驗非常麻煩，應該以加強在製作或施工時的檢驗來確保品質，而適度降低抽樣頻率以將低困擾，因此第一階段中已組裝試體的抽樣頻率由 1/200 改為 1/300。

經委員會通過的「鋼筋續接器續接施工規範（草案）」如附錄 A 所示，「鋼筋續接器續接使用準則（草案）」如附錄 B 所示。由於建築法沒有提到要訂定這兩個規範，因此這兩個規範無法成為獨立的規範。為能順利將這兩個規範落實到工程實務，建議將使用準則的相關條文納入「鋼筋混凝土設計規範」中，並將施工規範條文納入「鋼筋混凝土結構施工規範」中。

六、結論與建議

6.1 鋼筋直徑收縮率與延展性之關係

本研究首創以鋼筋直徑收縮率作為鋼筋續接器續接的延展性指標。此外，完成 79 個有效的鋼筋拉力試驗，以及 29 組有效的續接器接合試體拉力試驗，探討鋼筋直徑收縮率的特性及大小，並據以建立試驗方法以及合格基準。根據上述的研究結果，得到結論及建議如下：

1. 理論分析及鋼筋拉力試驗結果顯示，在鋼筋進入頸縮階段之前，鋼筋直徑收縮率與鋼筋之軸向應變基本上呈線性關係，鋼筋直徑收縮率可以用以判斷鋼筋的延展性。

2. 本文建立了一套續接器接合試體拉力試驗中，以鋼筋直徑收縮率作為試體延展性指標之檢驗方法，經過續接器接合試體試驗之檢視與校正，印證所建議之檢驗方法之可行性，並建立合理之合格判別基準。此外，鋼筋直徑收縮率的量測簡單、容易執行且其結果更具合理性。

3. SD 420W 及 SD 420 鋼筋之 SA 級續接及 B 級續接，其鋼筋續接器接合試體拉力試驗所得之鋼筋直徑收縮率，應分別不小於 5%及 1%。SD 280W 及 SD 280 鋼筋之 SA 級續接及 B 級續接，其鋼筋續接器接合試體拉力試驗所得之鋼筋直徑收縮率，應分別不小於 6%及 1%。

6.2 柱構材反復載重試驗

本研究以合格 SA 節續接器續接柱構材主筋，並以 6 支柱構材試體，分別探討續接與未續接試體之差異，續接器上端降伏強度較高、續接位置、續接形式對柱構材之結構行為之影響。根據研究結果，做成結論與建議如下：

1. 塑鉸區之主鋼筋以 SA 級續接器續接，不會影響柱構材之強度、韌性及消能容量，縱使續接器兩端鋼筋的降伏強度有 24%的差異，其行為仍然與為續接者相近。

2. 主鋼筋在塑鉸區以續接器續接之柱構材，其行為不比在塑鉸區外側邊緣續接者差。不過，鋼筋隔根以續接器續接，柱構材之行為最佳。

3. 全數柱主鋼筋在塑性鉸區以續接器進行 SA 級續接，基本上是可行的，不過，基於降低風險的考量，在可能的範圍還是盡量避免之。又，需要在塑性鉸區續接時，若可以的話，以隔根續接為佳。

6.3 鋼筋續接器續接之設計及施工規範

1. 經過 14 位委員的努力，修訂完成「鋼筋續接器續接之施工規範（草案）」及「鋼筋續接器續接之設計規範（草案）」，分別如附錄 A 及附錄 B 所示。

2. 為順利讓上述兩個規範草案落實到工程實務，建議將設計規範的條文納入「混凝土工程設計規範與解說」中，而將施工規範的條文納入「混凝土工程施工規範與解說」中。

參考文獻

(1) 日本建築學會，「鐵筋混凝土造配筋指針及解說」，1986。

(2) 日本土木學會，「鐵筋繼手指針」，1982。

(3) 'Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary,' ACI, 1995.

(4) 陳正誠，沈進發，「鋼筋續接器續接之施工規範與使用準則研究」，內政部建築研究所專題計劃研究成果報告，計畫編號：MOIS 8660026 民國 86 年 6 月

(5) 陳正誠，沈進發，許峻榮，「鋼筋續接器在構材中性能檢測之研究」，內政部建築研究所專題計劃研究成果報告，計劃編號：MOIS 850011，民國 85 年 7 月

(6) 陳正誠主編，「鋼筋工程技術發展」，台灣科大營建工程系列叢書，科技圖書公司，2000 年 7 月，ISBN 957-655-298-2。

(7) 廖瑞珍，「含鋼筋續接器鋼筋混凝土梁之受力行為」，國立台灣工業技術學院營建系碩士論文（指導教授：陳正誠），民國 86 年 6 月。

(8) 劉宏俊，「含螺紋節鋼筋續接器鋼筋混凝土梁之受力行為」，國立台灣科技大學營建系碩士論文（指導教授：陳正誠），民國 92 年 6 月。

(9) 林科銘，「複合式混凝土橋柱之耐震行為」，國立台灣科技大學營建系碩士論文(指導教授：陳生金)，民國 93 年 6 月。

(10) 林淳杰、曾春風、蔡木村、陳伯宜編譯，原著：George E．Dieter，「機械冶金 ，第三版」(Mechanical Metallurge ， third edition)，全華科技圖書股份有限公司，民國 78 年 6 月。

(11) 李啟瑞，「螺紋節鋼筋之續接器續接及 T 型錨定在結構構件上之應用」，國立台灣科技大學營建系碩士論文(指導教授：陳正誠)，民國 93 年 7 月。

(12) 蔡家盛,「鋼筋混凝土內部梁柱接頭耐震剪力強度之研究」,國立台灣科技大學營建系碩士論文(指導教授：黃世建)，民國 93 年 7 月二十一日。

(13) 林永斌,「SRC 高剪力元件載重試驗及剪力強度評估」,國立台灣科技大學營建系碩士論文(指導教授：陳正誠)，民國 93 年 7 月十六日。

(14) 洪沛甫,「鋼筋混凝土內部梁柱接頭耐震設計與配筋細則之研究」，國立台灣科技大學營建系碩士論文(指導教授：黃世建)，民國 92 年 6 月 3 日。

誌謝

本研究所使用之鋼筋由富盛實業股份有限公司提供，富盛公司、董炳宏副總經理及吳小姐幫助甚多；續接器之加工部分，由榕建工程公司提供，榕建工程公司、儲繼麟總經理及劉瑜兒小姐鼎力協助；續接器接合試體之檢驗，承蒙台灣科技檢驗(SGS)協助完成，SGS 公司、邱志宏經理及彭先生的配合與貢獻，特此致謝。規範研修委員王森源、巫垂晃、沈進發、李台光、李台興、林英俊、邱志宏、邱昌平、高健章、黃錦煒、葉祥海、董炳宏、儲繼麟等，諸位先生的熱忱與付出，在此一併致謝。此外，台灣科技大學結構試驗室呂冠群先生及材料試驗室展維賢先生在鋼筋及結構試驗方面給予許多協助，在此也一併致謝。

表 2-1　鋼筋拉力試驗試體描述

號數	SD420W 熱軋鋼筋-1	SD420W 熱軋鋼筋-2	SD280W 熱軋鋼筋	SD420W 線上熱處理鋼筋
#6	6	5	—	4
#7	6	5	—	—
#8	12	5	5	—
#9	—	5	—	—
#10	12	5	5	—
#11	2	5	—	—
合計	38	30	10	4

表 2-2 頸縮區與非頸縮區直徑收縮率

	SD420W 熱軋鋼筋-1	SD420W 熱軋鋼筋-2	SD280W 熱軋鋼筋	SD420W 水淬鋼筋
$(r_d)_{ave}$	4.9～8.4%	5.2～8.0%	6.6～16.22%	4.7～5.4%
$(r_d)_{necking}$	13.1～28.8%	18.1～32.6%	20.3～30.5%	26.8～31.2%

表 2-3　SD 420W 加釩鋼筋-1 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號		a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#6	D19-L-2.1	A	0.478	0.462	0.495	0.459	7.8%
		B	0.488	0.460			
	D19-L-2.2	A	0.522	0.455			
		B	0.523	0.461			
	D19-L-2.3	A	0.455	0.453			
			0.478				
			0.499				
		B	0.493	0.464			
竹節#7	D22-L-2.1	A	0.525	0.457	0.490	0.456	7.4%
			0.540				
			0.484				
			0.487				
		B	0.493	0.453			
	D22-L-2.2	A	0.533	0.460			
			0.470				
			0.469				
			0.469				
		B	0.464	0.459			
	D22-L-2.3	A	0.576	0.457			
			0.539				
			0.516				
			0.513				
		B	0.485	0.450			
	D22-L-2.4	~~A~~	——	——			
		B	0.557	0.458			

表 2-3(續)　SD 420W 加釩鋼筋-1 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號		a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#8	D25-L-2.1	A	0.487	0.455	0.488	0.451	8.2%
			0.493				
			0.516				
			0.562				
		B	0.497	0.461			
	D25-L-2.2	A	0.490	0.449			
			0.528				
			0.521				
			0.472				
		~~B~~	-	-			
	D25-L-2.3	~~A~~	-	-			
		B	0.370	0.413			
	D25-L-2.4	A	0.504	0.461			
			0.512				
			0.504				
			0.483				
		B	0.531	0.455			
	D25-L-2.5	A	0.433	0.454			
			0.426				
			0.451				
			0.437				
		B	0.565	0.457			
螺紋節#8	D25-L-1.1	A	0.479	0.454			
			0.486				
			0.481				
			0.515				
		B	0.441	0.449			

表 2-3(續)　SD 420W 加釩鋼筋-1 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號		a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#10	D32-L-2.1	A	0.456	0.456	0.475	0.455	4.4%
			0.502				
			0.487				
			0.471				
		B	0.477	0.460			
	D32-L-2.5	A	0.465	0.455			
			0.457				
			0.485				
			0.491				
			0.486				
		B	0.468	0.456			
	D32-L-2.6	A	0.512	0.456			
			0.497				
			0.481				
			0.458				
		~~B~~	~~0.680~~	~~0.462~~			
	D32-L-2.7	A	0.480	0.457			
		B	0.512	0.456			
螺紋節#10	D32-L-1.1	A	0.443	0.451			
			0.429				
			0.430				
			0.437				
		B	0.439	0.449			
	D32-L-1.2	A	0.468	0.449			
			0.465				
			0.442				
			0.450				
		B	0.513	0.454			
螺紋節#11	D36-L-1.1	A	0.410	0.457	0.429	0.457	6.1%
			0.425				
			0.440				
			0.440				
			0.445				
			0.458				
		B	0.436	0.456			

表 2-4　SD 420W 加釩鋼筋-2 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#6	D19-F(H42)-2.1	0.454	0.454	0.470	0.453	3.8%
		0.476				
		0.474				
		0.476				
		0.487				
		0.448				
		0.445				
		0.438				
	D19-F(H42)-2.2	0.447	0.454			
		0.403				
		0.440				
		0.469				
		0.471				
		0.476				
		0.434				
		0.428				
	D19-F(H42)-2.3	0.539	0.459			
		0.548				
		0.508				
		0.493				
		0.516				
		0.566				
		0.620				
		0.547				
	D19-F(H42)-2.4	0.479	0.452			
		0.498				
		0.483				
		0.520				
		0.495				
		0.455				
		0.467				
		0.422				
	D19-F(H42)-2.5	0.445	0.446			
		0.442				
		0.448				
		0.475				
		0.451				
		0.450				
		0.434				
		0.435				

表 2-4(續)　SD 420W 加釩鋼筋-2 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#7	D22-F(H42)-2.1	0.452	0.463	0.450	0.460	2.1%
		0.474				
		0.448				
		0.447				
		0.471				
		0.474				
		0.489				
		0.404				
		0.435				
		0.491				
	D22-F(H42)-2.2	0.455	0.460			
		0.487				
		0.427				
		0.464				
		0.467				
		0.429				
		0.393				
		0.385				
	D22-F(H42)-2.3	0.484	0.460			
		0.493				
		0.498				
		0.451				
		0.470				
		0.490				
		0.482				
		0.418				
	D22-F(H42)-2.4	0.395	0.459			
		0.398				
		0.460				
		0.497				
		0.492				
		0.442				
		0.462				
		0.466				
	D22-F(H42)-2.5	0.410	0.457			
		0.377				
		0.497				
		0.473				
		0.460				
		0.459				
		0.511				
		0.482				

表 2-4(續)　SD 420W 加釩鋼筋-2 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#8	D25-F(H42)-2.1	0.404	0.449	0.442	0.454	2.5%
		0.406				
		0.459				
		0.449				
		0.453				
		0.454				
		0.416				
		0.413				
	D25-F(H42)-2.2	0.415	0.455			
		0.393				
		0.427				
		0.465				
		0.482				
		0.467				
		0.429				
		0.408				
	D25-F(H42)-2.3	0.453	0.452			
		0.453				
		0.439				
		0.413				
		0.434				
		0.452				
		0.451				
		0.483				
	D25-F(H42)-2.4	0.496	0.457			
		0.520				
		0.503				
		0.462				
		0.451				
		0.488				
		0.468				
		0.455				
	D25-F(H42)-2.5	0.448	0.455			
		0.446				
		0.435				
		0.445				
		0.441				
		0.445				
		0.424				
		0.412				

表 2-4(續)　SD 420W 加釩鋼筋-2 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#9	D29-F(H42)-2.1	0.353	0.455	0.440	0.457	3.8%
		0.424				
		0.393				
		0.415				
	D29-F(H42)-2.2	0.459	0.461			
		0.418				
		0.418				
		0.456				
	D29-F(H42)-2.3	0.477	0.459			
		0.445				
		0.465				
		0.442				
		0.439				
		0.445				
		0.445				
		0.465				
	D29-F(H42)-2.4	0.383	0.455			
		0.436				
		0.435				
		0.465				
		0.446				
		0.462				
		0.456				
		0.442				
	D29-F(H42)-2.5	0.479	0.457			
		0.479				
		0.489				
		0.427				
		0.497				
		0.486				
		0.454				
		0.475				

表 2-4(續)　SD 420W 加釩鋼筋-2 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#10	D32-F(H42)-2.1	0.424	0.453	0.455	0.454	0.3%
		0.447				
		0.448				
		0.459				
		0.454				
		0.418				
	D32-F(H42)-2.2	0.473	0.454			
		0.497				
		0.496				
		0.502				
		0.481				
		0.466				
	D32-F(H42)-2.3	0.427	0.451			
		0.458				
		0.450				
		0.435				
		0.442				
		0.426				
	D32-F(H42)-2.4	0.459	0.459			
		0.464				
		0.456				
		0.473				
		0.458				
		0.446				
	D32-F(H42)-2.5	0.459	0.451			
		0.461				
		0.466				
		0.452				
		0.441				
		0.405				

表 2-4(續)　SD 420W 加釩鋼筋-2 實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#11	D36-F(H42)-2.1	0.427	0.454	0.444	0.455	2.6%
		0.457				
		0.459				
		0.446				
		0.424				
		0.416				
	D36-F(H42)-2.2	0.472	0.461			
		0.447				
		0.447				
		0.475				
		0.464				
		0.460				
	D36-F(H42)-2.3	0.437	0.457			
		0.471				
		0.483				
		0.483				
		0.450				
		0.440				
	D36-F(H42)-2.4	0.404	0.451			
		0.450				
		0.461				
		0.439				
		0.427				
		0.406				
	D36-F(H42)-2.5	0.401	0.454			
		0.408				
		0.408				
		0.451				
		0.435				
		0.459				

表 2-5　SD 280W 熱軋鋼筋實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#8	D25-F(H28)-2.1	0.467	0.443	0.426	0.446	4.6%
		0.389				
		0.367				
		0.527				
		0.488				
		0.412				
		0.407				
		0.477				
	D25-F(H28)-2.2	0.393	0.445			
		0.450				
		0.460				
		0.418				
		0.433				
		0.444				
		0.419				
		0.415				
	D25-F(H28)-2.3	0.460	0.449			
		0.431				
		0.471				
		0.470				
		0.386				
		0.361				
		0.479				
		0.517				
	D25-F(H28)-2.4	0.450	0.448			
		0.447				
		0.428				
		0.446				
		0.463				
		0.433				
		0.402				
		0.400				
	D25-F(H28)-2.5	0.339	0.446			
		0.330				
		0.323				
		0.337				
		0.363				
		0.358				
		0.318				
		0.347				

表 2-5(續)　SD 280W 熱軋鋼筋實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#10	D32-F(H28)-2.1	0.443	0.436	0.423	0.435	2.8%
		0.436				
		0.453				
		0.450				
		0.422				
		0.407				
	D32-F(H28)-2.2	0.495	0.441			
		0.517				
		0.499				
		0.444				
		0.427				
		0.422				
	D32-F(H28)-2.3	0.368	0.429			
		0.416				
		0.455				
		0.455				
		0.422				
		0.441				
	D32-F(H28)-2.4	0.363	0.431			
		0.384				
		0.417				
		0.436				
		0.428				
		0.413				
	D32-F(H28)-2.5	0.400	0.439			
		0.404				
		0.409				
		0.441				
		0.451				
		0.449				

表 2-6　SD 420W 線上熱處理鋼筋實驗值與理論值之比較

號數	試體編號	a_{test}	a_{theory}	a_{test} 平均值	a_{theory} 平均值	平均值誤差(%)
竹節#6	D19-F(Q42)-2.1	0.415	0.463	0.434	0.461	6.0
		0.457				
		0.466				
		0.439				
		0.454				
		0.483				
		0.492				
		0.468				
	D19-F(Q42)-2.2	0.406	0.459			
		0.443				
		0.452				
		0.488				
		0.437				
		0.413				
		0.417				
		0.385				
	D19-F(Q42)-2.3	0.387	0.459			
		0.480				
		0.499				
		0.422				
		0.440				
		0.465				
		0.445				
		0.371				
	D19-F(Q42)-2.4	0.411	0.464			
		0.367				
		0.454				
		0.517				
		0.459				
		0.472				
		0.420				
		0.431				

表 2-7　a_{test} 與 a_{theory} 之統計

號數	SD420W 加釩鋼筋-1		SD420W 加釩鋼筋-2		SD280W 熱軋鋼筋		SD420W 水淬鋼筋	
	a_{test}	a_{theory}	a_{test}	a_{theory}	a_{test}	a_{theory}	a_{test}	a_{theory}
#6	0.495	0.459	0.470	0.453	—	—	0.434	0.461
#7	0.490	0.456	0.450	0.460	—	—	—	—
#8	0.488	0.451	0.442	0.454	0.426	0.446	—	—
#9	—	—	0.440	0.457	—	—	—	—
#10	0.475	0.455	0.455	0.454	0.423	0.435	—	—
#11	0.429	0.457	0.444	0.455	—	—	—	—

表 2-8　SD420W 加釩鋼筋-1 非頸縮區直徑收縮率需求

鋼筋號數	規範規定之最小伸長率（%）	估計之ε_{peak}（%）	估計之$(r_d)_{demend}$（%）
#6	12	10	5.0
#7	12	10	4.9
#8	14	12	5.9
#9	14	12	—
#10	14	12	5.7
#11	12	10	4.3

表 2-9　SD420W 加釩鋼筋-2 非頸縮區直徑收縮率需求

鋼筋號數	規範規定之最小伸長率（%）	估計之ε_{peak}（%）	估計之$(r_d)_{demend}$（%）
#6	12	10	4.7
#7	12	10	4.5
#8	14	12	5.3
#9	14	12	5.3
#10	14	12	5.5
#11	12	10	4.4

表 2-10　SD280W 熱軋鋼筋非頸縮區直徑收縮率需求

鋼筋號數	規範規定之最小伸長率（%）	估計之ε_{peak}（%）	估計之$(r_d)_{demend}$（%）
#8	18	16	6.8
#10	18	16	6.8

表 2-11　SD420W 線上熱處理鋼筋非頸縮區直徑收縮率需求

鋼筋號數	規範規定之最小伸長率（%）	估計之ε_{peak}（%）	估計之$(r_d)_{demend}$（%）
#6	12	10	4.3

表 2-12　續接試體之詳細描述

項目			來源	長度 45cm+45cm	編號
續接試體拉力試驗		SD420W#6	Lab	3	95,96,97
		SD420W#7	Lab	3	92,93,94
		SD420W#8	Lab	3	98,99,100
		SD420W#10	Lab	3	107,108,109
		SD420W#8(f_{y1} v.s. f_{y2})	富盛	2	84,85
		SD420W#8(f_{y2} v.s. f_{y3})	富盛	2	87,88
		SD420W#8(f_{y1} v.s. f_{y3})	富盛	2	89,90
		SD420W(#8 v.s. #10)	Lab	2	105,106
		SD420W(#8 v.s. #7)	Lab	2	101,102
		SD420W(#6 v.s. #7)	Lab	2	103,104
柱試體	材料試驗	SD420W#8(f_{y1} v.s. f_{y1})	富盛	3	81,82,83
		SD420W#8(f_{y1} v.s. f_{y2})	富盛	1	86
		SD420W#8(f_{y1} v.s. f_{y3})	富盛	1	91

表 2-13　續接試體直徑收縮率之試驗結果(正常續接)

續接型式			#8(F_{y1})-#8(F_{y1})			#7-#7			#6-#6			#8-#8			#10-#10		
試體編號			81	82	83	92	93	94	95	96	97	98	99	100	107	108	109
脊-脊方向直徑收縮率(%)	斷裂側	1	7.0	6.5	8.5	8.5	8.6	6.9	18.5	18.3	20.5	7.4	8.6	7.7	6.1	10.5	6.7
		2	15.5	15.4	12.4	5.8	8.5	4.6	3.9	4.3	4.3	6.1	4.6	6.1	6.0	6.5	7.4
		3	4.2	3.4	2.4	0.3	2.7	1.0	6.4	-0.4	1.4	2.0	-0.3	1.9	6.8	4.6	4.0
	非斷裂側	4	2.0	2.6	3.2	1.3	1.0	1.5	2.0	-0.5	2.1	3.5	0.9	-0.1	4.6	5.2	2.0
		5	7.4	10.1	9.8	8.8	5.2	6.9	8.5	3.6	6.6	5.0	5.1	5.8	4.5	5.6	4.5
		6	7.0	8.9	8.4	7.6	6.0	5.8	7.8	4.8	8.8	4.3	4.6	3.1	5.4	5.8	5.0
垂直脊-脊方向直徑收縮率(%)	斷裂側	1	7.6	7.1	8.7	8.7	9.3	14.8	19.6	24.0	27.9	8.6	9.9	7.4	8.7	14.9	7.2
		2	14.7	17.5	15.0	6.2	8.7	7.3	2.6	4.4	5.2	7.0	7.5	6.7	5.9	6.0	7.8
		3	4.2	3.5	3.0	1.7	2.3	2.6	-	-1.9	2.3	1.9	2.0	6.8	6.1	4.9	3.7
	非斷裂側	4	-	2.2	3.9	0.9	1.6	1.8	-0.7	-	1.2	3.1	0.0	-	-	4.5	-
		5	-	11.4	10.1	8.7	5.9	6.1	-	-	4.9	5.5	6.0	6.0	5.5	-	6.2
		6	8.1	8.9	8.1	9.5	7.2	5.3	-	-	8.2	5.8	5.2	-	-	-	-
斷裂側	最大值(%)		15.5	15.4	12.4	8.5	8.6	6.9	18.5	18.3	20.5	7.4	8.6	7.7	6.8	10.5	7.4
	平均值(%)		8.9	8.4	7.7	4.8	6.6	4.1	9.6	7.4	8.7	5.1	4.3	5.2	6.3	7.2	6.0
非斷裂側	最大值(%)		7.4	10.1	9.8	8.8	6.0	6.9	8.5	4.8	8.8	5.0	5.1	5.8	5.4	5.8	5.0
	平均值(%)		5.5	7.2	7.2	5.9	4.1	4.8	6.1	2.6	5.8	4.3	3.5	2.9	4.8	5.5	3.8
平均伸長率(%)			15.8	16.6	16.6	12.5	10.4	10.1	26.2	27.0	23.4	15.1	14.8	13.5	11.1	10.7	10.1
斷裂位置是否位於量測區			○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○

註：由上到下之直徑收縮率為由試體斷裂側至另一側之直徑收縮率。
(灰底即為斷裂側之直徑收縮率)

表 2-14　續接試體直徑收縮率之試驗結果(不同批#8 續接)

續接型式			#8(F_{y1})-#8(F_{y2})			#8(F_{y2})-#8(F_{y3})		#8(F_{y1})-#8(F_{y3})		
試體編號			84	85	86	87	88	89	90	91
脊-脊方向直徑收縮率(%)	斷裂側	1	10.9	6.5	7.8	8.6	8.8	15.5	16.0	5.3
		2	8.2	7.8	8.1	7.4	7.8	7.1	7.4	15.0
		3	4.0	1.8	0.9	2.1	2.5	1.7	2.0	2.7
	非斷裂側	4	1.2	2.5	2.6	1.2	1.8	1.2	-0.3	1.3
		5	2.5	4.4	3.8	3.1	4.2	2.4	2.1	2.4
		6	2.5	4.8	4.4	3.6	4.9	2.6	1.8	2.2
垂直脊-脊方向直徑收縮率(%)	斷裂側	1	11.6	6.3	8.8	12.3	11.8	17.8	24.6	7.7
		2	8.0	8.5	9.4	7.0	6.9	7.7	10.9	19.4
		3	3.2	1.0	1.3	3.0	4.2	4.2	4.6	4.2
	非斷裂側	4	2.6	-	3.4	1.5	2.3	-	1.1	1.9
		5	2.7	-	5.1	4.8	-	3.4	-	2.6
		6	2.5	-	4.7	4.8	-	-	2.7	2.8
斷裂側	最大值(%)		10.9	7.8	8.1	8.6	8.8	15.5	16.0	15.0
	平均值(%)		7.7	5.3	5.6	6.0	6.4	8.1	8.5	7.7
非斷裂側	最大值(%)		2.5	4.8	4.4	3.6	4.9	2.6	2.1	2.4
	平均值(%)		2.1	3.9	3.6	2.6	3.6	2.1	1.2	2.0
平均伸長率(%)			14.0	13.0	13.2	13.8	13.2	12.2	14.0	13.5
斷裂位置是否位於量測區			×	○	○	○	○	○	○	○

註：　由上到下之直徑收縮率為由試體斷裂側至另一側之直徑收縮率。
(灰底即為斷裂側之直徑收縮率)

表 2-15　續接試體直徑收縮率之試驗結果(異徑續接)

續接型式			#7 -#8		#6 -#7		#8 -#10	
試體編號			101	102	103	104	105	106
脊-脊方向直徑收縮率(%)	斷裂側	1	8.7	9.7	18.9	7.4	6.6	8.7
		2	6.7	10.8	5.3	4.8	20.6	27.1
		3	2.5	3.5	0.6	0.0	1.9	0.8
	非斷裂側	4	0.2	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3
		5	0.4	0.7	0.7	0.5	0.8	0.1
		6	-0.1	0.5	-1.0	0.6	-0.7	0.1
垂直脊-脊方向直徑收縮率(%)	斷裂側	1	8.7	11.3	23.9	7.4	8.0	9.1
		2	6.6	11.2	6.6	5.7	19.5	16.1
		3	3.6	3.3	-0.4	2.0	4.7	1.1
	非斷裂側	4	-0.9	-	-	-	-	0.2
		5	0.6	-	0.0	-0.3	-0.3	0.5
		6	0.7	-	-	-	-0.4	-0.4
斷裂側	最大值(%)		8.7	10.8	18.9	7.4	20.6	27.1
	平均值(%)		6.0	8.0	8.3	4.0	9.7	12.2
非斷裂側	最大值(%)		0.4	0.7	0.7	0.6	0.8	0.1
	平均值(%)		0.2	0.1	-0.3	0.2	-0.1	-0.1
平均伸長率(%)			6.6	7.8	4.3	9.0	13.2	14.0
斷裂位置是否位於量測區			○	○	○	×	○	○

註：由上到下之直徑收縮率為由試體斷裂側至另一側之直徑收縮率。
(灰底即為斷裂側之直徑收縮率)

表 3-1 試體描述

試體編號	續接方式	續接位置	柱主筋降伏強度
R-Y1	—	—	Y1
L1-Y1	全斷面續接	臨界斷面	Y1 接 Y1
L1-Y2	全斷面續接	臨界斷面	Y1 接 Y2
L1-Y3	全斷面續接	臨界斷面	Y1 接 Y3
L2-Y3	全斷面續接	距臨界斷面 *d*	Y1 接 Y3
L1/2-Y3	半數隔根續接	距臨界斷面 *d*	Y1 接 Y3

表 3-2 圓柱試體抗壓強度試驗結果

R-Y1							
圓柱試體編號	F1	F2	F3	C1	C2	C3	C4
圓柱試體抗壓強度(kg/cm^2)	531.2	545.3	~~396.7~~	517.6	485.2	523.4	507.8
平均強度(kg/cm^2)	**538.3**			**508.5**			
L1-Y1							
圓柱試體編號	F1	F2	F3	C1	C2	C3	C4
圓柱試體抗壓強度(kg/cm^2)	556.3	542.2	579.8	518.7	537.8	463.3	557.1
平均強度(kg/cm^2)	**559.4**			**519.2**			
L1-Y2							
圓柱試體編號	F1	F2	F3	C1	C2	C3	C4
圓柱試體抗壓強度(kg/cm^2)	495.0	511.1	524.5	474.3	508.4	563.2	513.1
平均強度(kg/cm^2)	**510.2**			**514.8**			
L1-Y3							
圓柱試體編號	F1	F2	F3	C1	C2	C3	C4
圓柱試體抗壓強度(kg/cm^2)	442.2	458.3	419.7	300.6	448.0	405.8	414.2
平均強度(kg/cm^2)	**440.1**			**392.1**			
L2-Y3							
圓柱試體編號	F1	F2	F3	C1	C2	C3	C4
圓柱試體抗壓強度(kg/cm^2)	455.7	413.9	451.5	402.6	409.9	409.3	430.4
平均強度(kg/cm^2)	**440.4**			**413.0**			
L1/2-Y3							
圓柱試體編號	F1	F2	F3	C1	C2	C3	C4
圓柱試體抗壓強度(kg/cm^2)	331.0	421.5	447.4	444.8	461.2	409.5	343.9
平均強度(kg/cm^2)	**400.0**			**414.8**			

表 3-3 柱構材第一種降伏強度(FY1)主筋試驗結果

	FY1_1	FY1_2	FY1_3	FY1_4	平均值
上降伏點(tf/cm^2)	4.15	4.17	4.21	4.18	4.18
下降伏點(tf/cm^2)	4.09	4.12	4.18	4.14	4.13
f_{ya} (tf/cm^2)	4.12	4.15	4.19	4.16	4.15
降伏應變(%)	0.18	0.20	0.19	0.20	0.19
應變硬化起始應變(%)	1.55	1.61	1.62	1.65	1.61
f_{ua} (tf/cm^2)	6.13	6.16	6.20	6.18	6.17
最大應力應變(%)	16.10	16.35	15.95	15.95	16.09
破壞應力(tf/cm^2)	4.38	4.48	4.46	4.35	4.42
破壞應變(%)	24.25	26.37	26.93	24.32	25.47

表 3-4 柱構材第二種降伏強度(FY2)主筋試驗結果

	FY2_1	FY2_2	FY2_3	FY2_4	平均值
上降伏點(tf/cm^2)	4.81	4.72	4.85	4.76	4.79
下降伏點(tf/cm^2)	4.78	4.69	4.82	4.72	4.75
f_{ya} (tf/cm^2)	4.80	4.71	4.84	4.74	4.77
降伏應變(%)	0.23	0.18	0.27	0.22	0.22
應變硬化起始應變(%)	1.45	1.42	1.49	1.44	1.45
f_{ua} (tf/cm^2)	6.67	6.61	6.73	6.64	6.66
最大應力應變(%)	12.35	12.56	12.64	12.76	12.58
破壞應力(tf/cm^2)	5.47	5.41	5.12	5.18	5.30
破壞應變(%)	20.37	13.78	21.32	14.23	20.84

表 3-5 柱構材第三種降伏強度(FY3)主筋試驗結果

	FY3_1	FY3_2	FY3_3	FY3_4	平均值
上降伏點(tf/cm^2)	5.21	5.16	5.16	5.15	5.17
下降伏點(tf/cm^2)	5.17	5.14	5.12	5.11	5.14
f_{ya} (tf/cm^2)	5.19	5.15	5.14	5.13	5.15
降伏應變(%)	0.27	0.28	0.25	0.26	0.27
應變硬化起始應變(%)	1.97	1.88	2.01	2.06	1.98
f_{ua} (tf/cm^2)	6.64	6.61	6.45	6.45	6.54
最大應力應變(%)	12.60	12.59	12.74	12.61	12.63
破壞應力(tf/cm^2)	4.67	4.70	4.63	4.62	4.66
破壞應變(%)	24.12	21.47	20.95	18.52	21.27

表 3-6 續接器高塑性反復載重試驗結果

試體編號	81	82	83
試體描述	f_{y1} vs. f_{y1}		
f_{uc} 抗拉強度(tf/cm^2)	6.4	6.3	6.4
f_{ya} 降伏強度(tf/cm^2)	4.2	4.2	4.2
ε_{ya} 降伏應變(%)	0.19	0.19	0.19
f_{uc}/f_{ya}	1.54	1.52	1.55
$(\delta_s)_{0.6f_{yn}}$ 滑動量(mm)	0.073	0.082	0.085
ε_{dc} 延展性(%)	4.9	4.8	4.8
$20\varepsilon_{ya}$	3.8	3.8	3.8
$(\delta_s)_{16c}$ 滑動量(mm)	0.102	0.198	0.081
$(\delta_s)_{24c}$ 滑動量(mm)	0.17	0.242	0.138
$(\varepsilon_s)_{24c}$	0.001	0.002	0.001
$(\delta_s)_{32c}$ 滑動量(mm)	0.408	0.409	0.413
$(\varepsilon_s)_{32c}$	0.003	0.003	0.003

表 3-7 續接器拉力試驗試驗結果

試體編號	84	85	86	87	88	89	90	91
試體描述	f_{y1} vs. f_{y2}			f_{y2} vs. f_{y3}		f_{y1} vs. f_{y3}		
f_{uc} 抗拉強度(tf/cm^2)	6.2	6.2	6.4	6.6	6.6	6.3	6.2	6.6
f_{ya} 降伏強度(tf/cm^2)	4.2	4.2	4.2	4.8	4.8	4.2	4.2	4.2
ε_{ya} 降伏應變(%)	0.19	0.19	0.19	0.22	0.22	0.19	0.19	0.19
f_{uc}/f_{ya}	1.49	1.50	1.53	1.38	1.38	1.53	1.48	1.60
$(\delta_s)_{0.6f_{yn}}$ 滑動量(mm)	0.064	0.065	0.049	0.059	0.072	0.073	0.09	0.117
ε_{dc} 延展性(%)	4.7	5	4.9	4.6	4.7	4.6	4.8	4.3
$20\varepsilon_{ya}$	3.8	3.8	3.8	4.5	4.5	3.8	3.8	3.8

表 3-8 臨界斷面裂縫寬度紀錄

R-Y1	1st Cycle		2nd Cycle		Average
0	0	0	0	0	0.00
0.25	0.08	0.02	0.08	0.04	0.06
0.5	0.12	0.16	0.1	0.18	0.14
0.75	0.22	0.3	0.18	0.28	0.25
1	0.2	0.38	1.95	2.05	1.15
1.5	2.99	2.66	3.55	3.03	3.06
2	3.22	4.29	3.78	4.64	3.98
2.5	3.93	4.87	4.68	5.07	4.64
3	5.87	5.32	4.06	5.54	5.20
3.5	6.49	7.84			7.17

L1-Y1	1st Cycle		2nd Cycle		Average
0	0	0	0	0	0.00
0.25	0.06	0.06	0.06	0.1	0.07
0.5	0.24	0.26	0.26	0.64	0.35
0.75	1.3	1.25	1.52	1.51	1.40
1	1.71	2.03	1.67	1.97	1.85
1.5	2.11	2.7	2.08	2.82	2.43
2	2.51	3.53	2.91	3.63	3.15
2.5	3.78	4.94	5.05	5.42	4.80
3	5.09	5.59	5.44	4.65	5.19
3.5	4.28	4.64	6.88	5.07	5.22
4	5.95	4.7	5	6	5.41
4.5	7	8	9	5	7.25

L1-Y2	1st Cycle		2nd Cycle		Average
0	0	0	0	0	0.00
0.25	0.08	0.16	0.1	0.12	0.12
0.5	0.22	0.14	0.22	0.74	0.33
0.75	0.83	1	0.89	1.41	1.03
1	1.25	1.6	1.6	1.8	1.56
1.5	2.13	2.31	2.31	2.4	2.29
2	3.7	3.11	4.5	3.62	3.73
2.5	4.38	4.38	4.21	5.2	4.54
3	5.6	5.73	6.81	6.52	6.17
3.5	6.42	6.22	6.1	5.25	6.00
4	6.97				6.97

L1-Y3	1st Cycle		2nd Cycle		Average
0	0	0	0	0	0.00
0.25	0.08	0.1	0.1	0.1	0.10
0.5	0.69	0.85	1.16	0.76	0.87
0.75	1.44	0.97	1.27	0.89	1.14
1	1.38	1.14	1.49	1.25	1.32
1.5	2.58	2.76	2.29	2.75	2.60
2	3.22	4.02	4.03	3.92	3.80
2.5	6.03	6.7	6.24	6.64	6.40
3	7.18	7.11	7.28	7.73	7.33
3.5	7.44	9.45	7.4	10.88	8.79
4	7.59	9.34	8.76		8.56

L1/2-Y3	1st Cycle		2nd Cycle		Average
0	0	0	0	0	0.00
0.25	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05
0.5	0.16	0.16	0.14	0.16	0.16
0.75	0.68	0.79	0.81	0.69	0.74
1	1	1.18	1.15	1.37	1.18
1.5	2.61	2.28	2.42	2.67	2.50
2	3.69	4.43	4.37	5.54	4.51
2.5	5.79	6.22	6.02	5.82	5.96
3	6.53	6.75	6.53	6.04	6.46
3.5	7.36	6.05	7.77	8.36	7.39
4	8.5				8.50

L2-Y3	1st Cycle		2nd Cycle		Average
0	0	0	0	0	0.00
0.25	0.08	0.1	0.14	0.08	0.10
0.5	0.45	0.76	0.61	0.82	0.66
0.75	0.77	0.76	0.71	1.31	0.89
1	1.35	1.31	1.47	1.33	1.37
1.5	2.93	2.92	2.86	3.33	3.01
2	4.13	4.86	3.83	4.51	4.33
2.5	4.58	6.02	4.75	6.21	5.39
3	5.75	6.92	6.02	5.62	6.08
3.5	7.89	8.77	9.36	8.01	8.51
4	8.46				8.46

表 3-9 試體 L2-Y3 續接器下方裂縫寬度紀錄

	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%
裂縫寬度(mm)	0.69	0.78	0.97	1.10	1.78	2.47	2.91	混凝土剝落

表 3-10 試體 L1/2-Y3 續接器上下裂縫寬度紀錄

	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%	6.0%	7.0%
續接器上方裂縫寬度(mm)	0.22	0.27	0.31	0.40	0.53	0.55	0.58	0.71	0.62	0.18	0.40
續接器下方裂縫寬度(mm)	0.18	0.39	0.54	0.42	0.68	0.63	0.78	0.59	0.26	0.38	0.11

表4-1 全試體每一迴圈最大載重之曲率

R-Y1												
載重 (tf)	12.7	24.2	29.9	38.1	49.5	54.3	55.5	56.1	55.8	54.8	54.4	53.5
曲率(1/cm)	2.7	7.3	10.2	13.4	25.4	43.1	65.0	79.2	94.0	104.3	123.2	130.8
載重 (tf)	-14.0	-21.7	-28.4	-33.0	-41.6	-44.2	-45.0	-46.2	-44.7	-43.9	-43.8	-43.2
曲率(1/cm)	-3.1	-5.4	-8.7	-11.4	-25.1	-44.7	-64.3	-79.2	-101.2	-116.5	-127.0	-132.9

L1-Y1												
載重 (tf)	14.2	23.7	31.8	40.0	49.4	53.3	53.8	55.0	57.0	58.5	57.9	58.0	58.5
曲率(1/cm)	3.3	6.2	9.0	11.9	20.0	30.0	52.3	67.0	82.6	95.7	110.7	122.6	147.2
載重 (tf)	-16.1	-23.3	-30.0	-37.1	-42.3	-44.4	-45.3	-46.0	-47.2	-46.6	-45.5	-45.5	-45.9
曲率(1/cm)	-4.1	-7.5	-11.4	-15.0	-28.8	-43.9	-47.4	-54.2	-62.1	-72.1	-81.9	-96.3	-110.7

L1-Y2														
載重 (tf)	16.0	27.2	35.7	42.7	53.4	59.1	61.9	63.7	64.3	63.4	63.4	63.5	66.3	66.6	59.4
曲率(1/cm)	3.9	8.0	11.4	14.8	27.2	39.2	52.9	68.0	77.9	93.5	110.1	124.9	147.0	158.0	170.5
載重 (tf)	-17.4	-26.3	-32.9	-38.0	-44.6	-48.0	-49.8	-49.5	-49.5	-49.4	-49.5	-49.3	-50.2	-48.4	
曲率(1/cm)	-4.8	-9.2	-13.0	-17.1	-28.1	-43.6	-63.8	-84.6	-98.9	-111.3	-125.5	-139.7	-178.9	-165.3	

L1-Y3														
載重 (tf)	14.4	22.8	30.4	37.7	47.5	52.1	55.3	56.7	57.1	54.6	53.0	42.1		
曲率(1/cm)	3.9	6.7	9.5	12.8	26.3	44.0	63.6	76.8	100.4	119.4	104.5	74.7		
載重 (tf)	-14.0	-26.8	-37.1	-43.9	-51.6	-55.8	-58.1	-58.4	-56.2	-55.7	-55.7	-55.8	-56.4	-50.4
曲率(1/cm)	-3.8	-8.5	-12.7	-16.8	-29.5	-40.5	-50.2	-66.4	-81.8	-96.6	-113.3	-157.1	-270.9	-219.4

表4-1(續) 全試體每一迴圈最大載重之曲率

L2-Y3													
載重 (tf)	20.0	31.1	40.2	49.1	57.2	58.5	60.1	60.7	60.8	60.6	57.6	53.5	46.3
曲率(1/cm)	5.8	8.8	10.8	11.9	11.9	40.6	65.5	82.2	86.1	90.8	110.2	142.1	199.9
載重 (tf)	-17.5	-27.7	-35.6	-40.7	-44.7	-44.6	-44.0	-43.8	-42.8	-39.4	-36.6	-33.8	-30.1
曲率(1/cm)	-6.8	-11.2	-13.8	-16.9	-34.0	-59.6	-82.8	-102.3	-132.5	-156.7	-197.1	-204.8	-200.1

L1/2-Y3													
載重 (tf)	16.2	25.0	33.1	41.4	54.0	60.4	63.7	64.4	63.8	62.3	61.5	60.9	61.6	50.7
曲率(1/cm)	2.7	5.2	7.7	10.5	20.6	35.2	50.8	69.8	83.5	103.2	125.5	148.5	181.0	241.3
載重 (tf)	-16.1	-24.5	-31.2	-36.7	-42.7	-45.4	-45.8	-46.8	-46.4	-46.5	-46.5	-46.3	-46.5	-42.8
曲率(1/cm)	-3.4	-6.5	-9.7	-12.9	-24.7	-40.3	-60.3	-80.4	-98.5	-94.3	-101.8	-98.0	-95.1	-127.6

表4-2 全試體比較

	R-Y1	L1-Y1	L1-Y2	L1-Y3	L2-Y3	L1/2-Y3
$(P/P_n)_{max}$	0.98	1.01	1.00	0.98	1.04	1.01
$(\text{Ductility})_{0.8P_n}$	6.24	7.32	8.15	6.67	5.64	6.72
韌性比 (以 R-Y1 為基準)	1.0	1.17	1.31	1.07	0.90	1.08
消能容量(tf-mm)	104866	142772	166261	131252	92227	127713
消能容量比 (以 R-Y1 為基準)	1.0	1.36	1.59	1.25	0.88	1.22

表5-1 規範修訂委員

委員姓名	職稱	備註
王森源	結構技師事務所 負責人	
巫垂晃	太一結構土木工業技師事務所 仲裁人	
沈進發	南台技術學院 總務長	
李台光	內政部建築研究所 副研究員	
李台興	常興科技股份有限公司 總經理	
林英俊	台灣科技大學營建系 教授	
邱志宏	台灣檢驗科技股份有限公司 協理	
邱昌平	台灣大學土木系退休教授	
高健章	台灣大學土木系退休教授	
黃錦煒	遠宜材料科學檢驗中心 負責人	
陳正誠	台灣科技大學營建系 教授	召集人
葉祥海	內政部建築研究所 組長	
董炳宏	富盛實業股份有限公司 副總經理	
儲繼麟	榕建工程股份有限公司 總經理	



圖 1-1 續接器續接試體破壞模式例

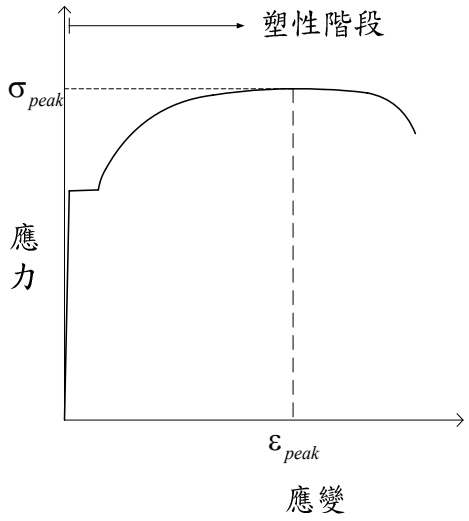


圖 2-1 鋼材應力應變曲線

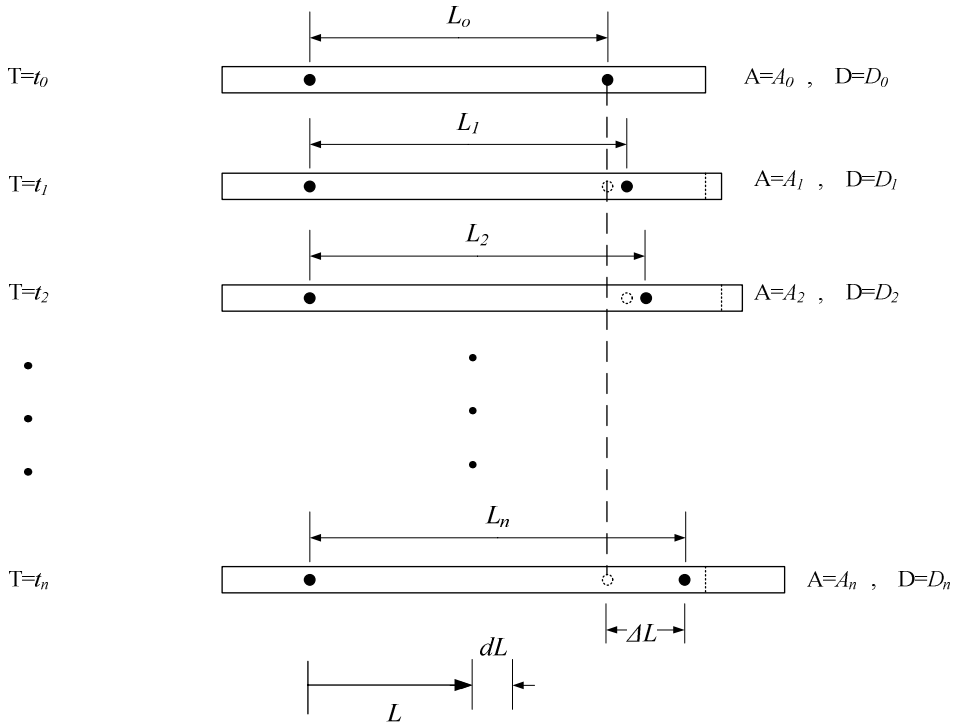


圖 2-2 平均應變與瞬時應變示意圖

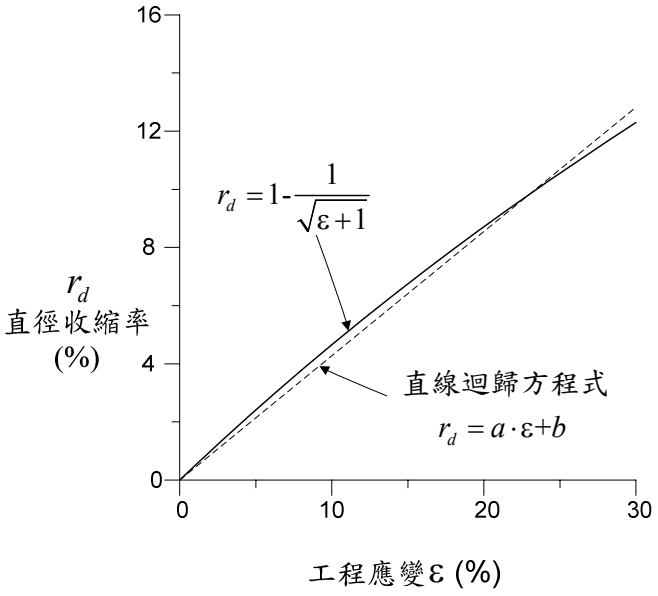


圖 2-3 理論直徑收縮率-應變曲線

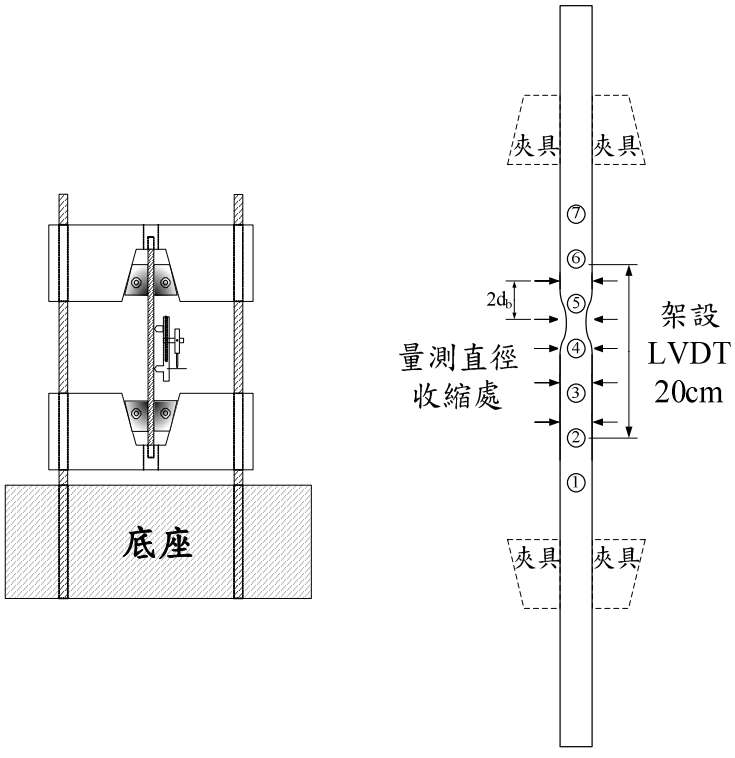


圖2-4 鋼筋拉力試驗示意圖

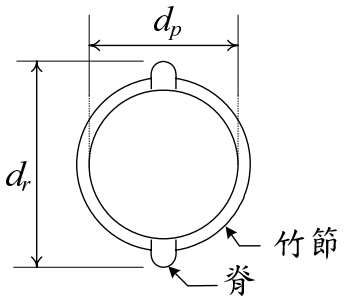


圖2-5 鋼筋直徑之量測方式

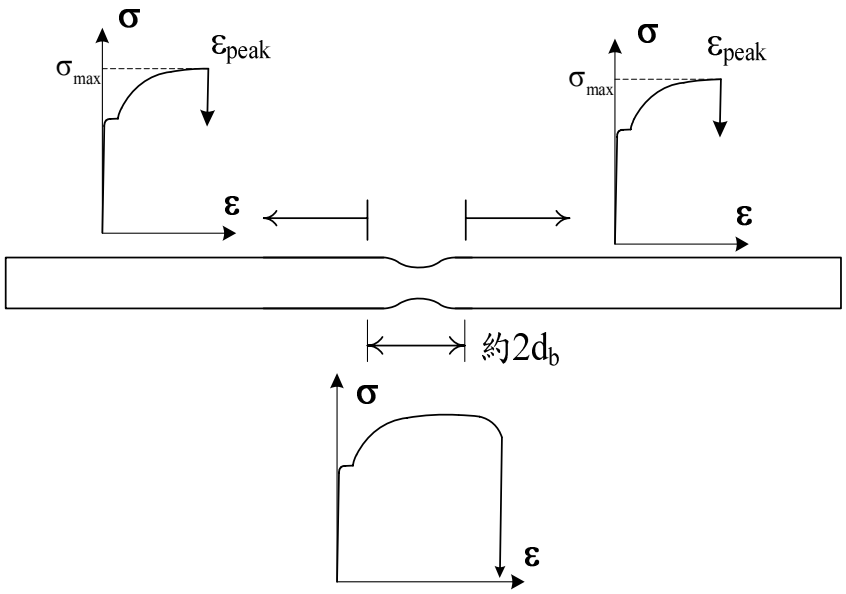


圖 2-6　鋼筋不同位置之應力-應變關係曲線

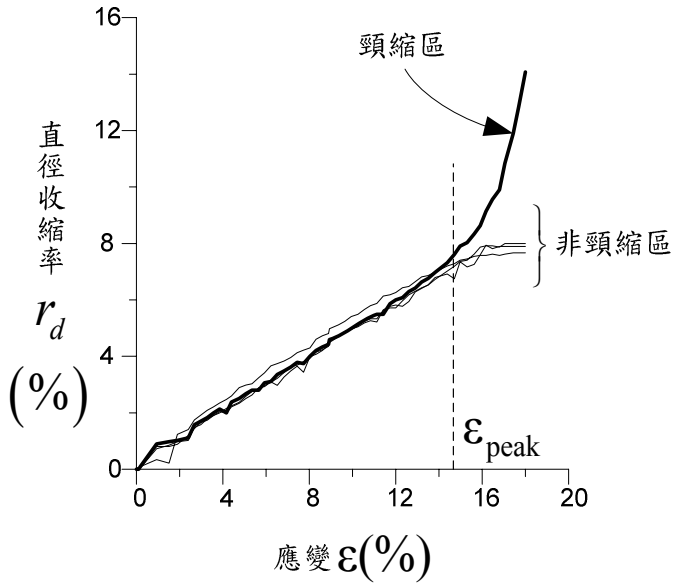


圖 2-7 SD 420W 加釩鋼筋-1 直徑收縮率-應變關係曲線

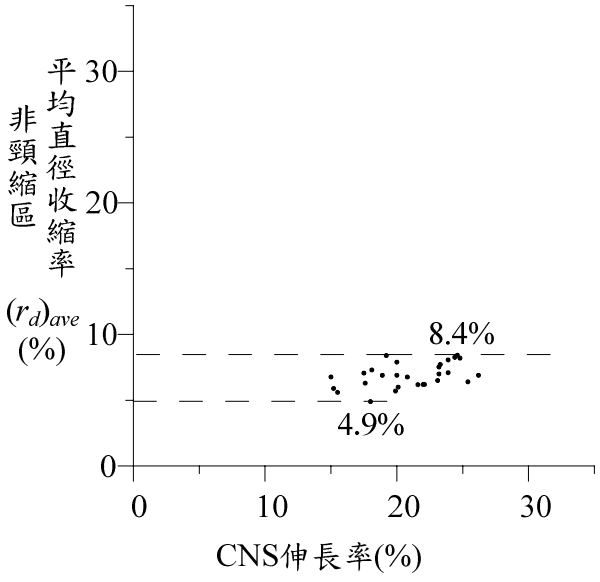


圖 2-8 SD 420W 加釩鋼筋-1 非頸縮區鋼筋之直徑收縮率

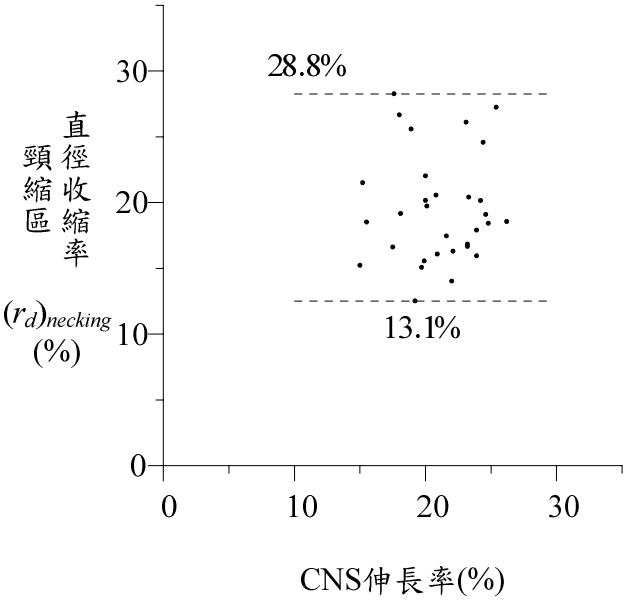


圖 2-9 SD 420W 加釩鋼筋-1 頸縮區鋼筋之直徑收縮率

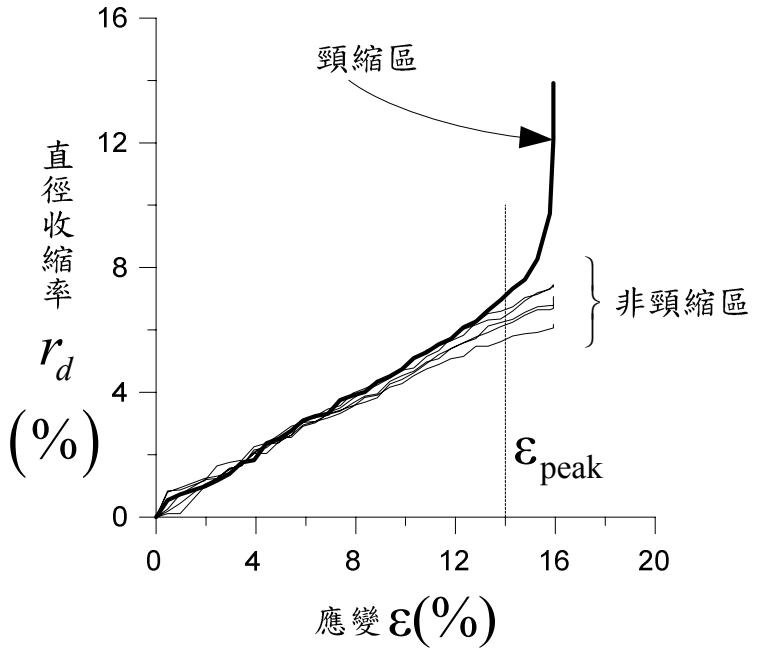


圖 2-10 SD 420W 加釩鋼筋-2 直徑收縮率-應變關係曲線

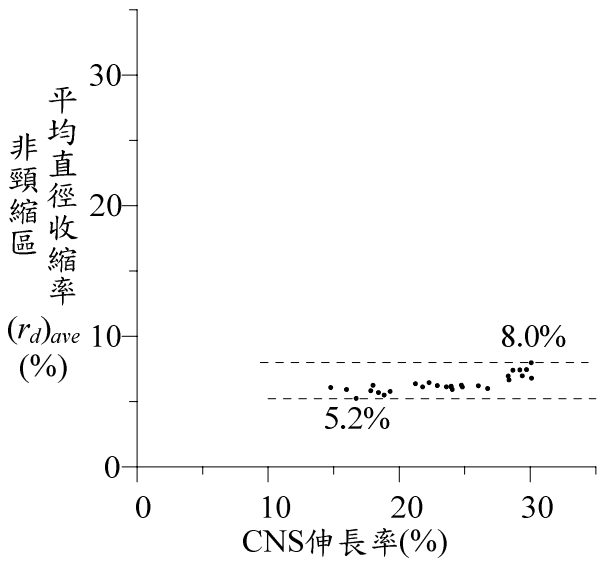


圖 2-11 SD 420W 加釩鋼筋-2 非頸縮區鋼筋之直徑收縮率

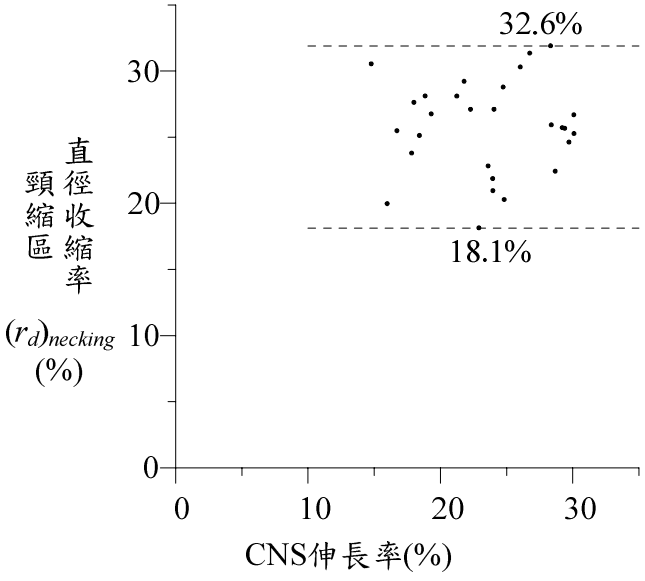


圖 2-12 SD 420W 加釩鋼筋-2 頸縮區鋼筋之直徑收縮率

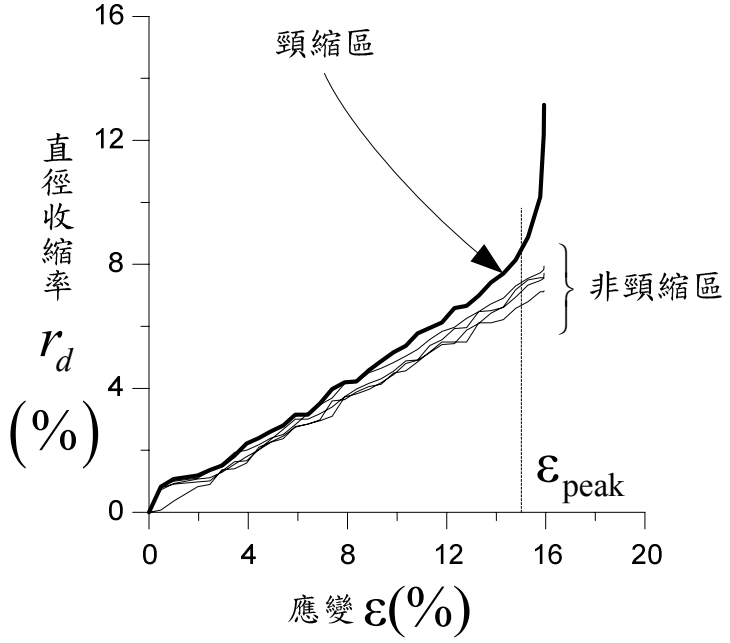


圖 2-13　SD 280W 熱軋鋼筋直徑收縮率-應變關係曲線

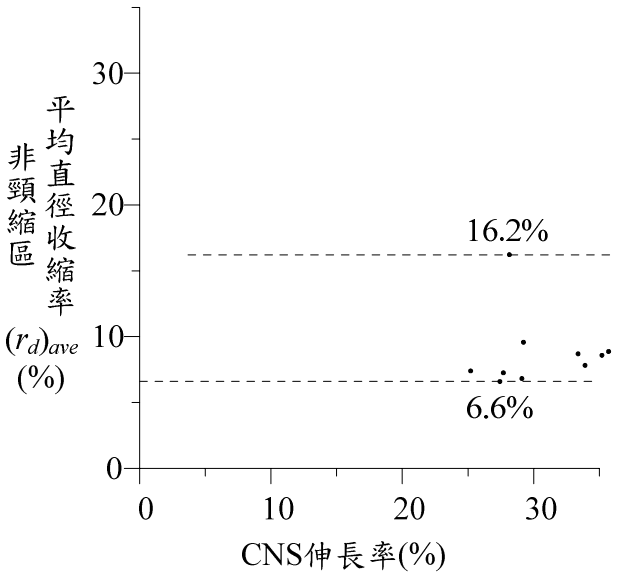


圖 2-14　SD 280W 熱軋鋼筋
非頸縮區鋼筋
之直徑收縮率

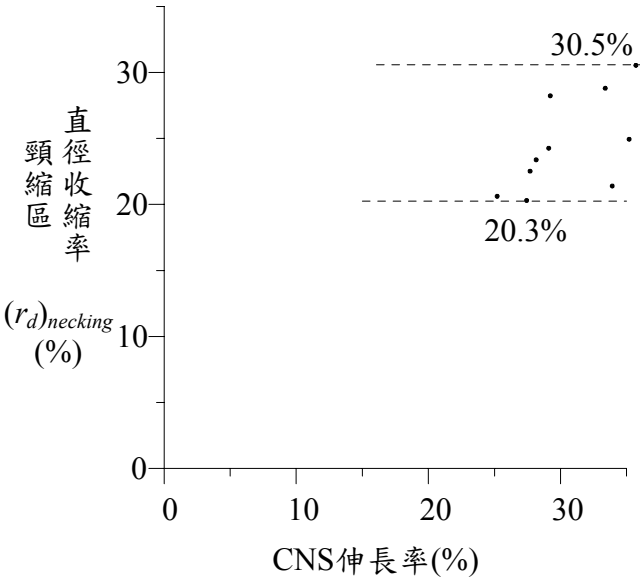


圖 2-15　SD 280W 熱軋鋼筋
頸縮區鋼筋
之直徑收縮率

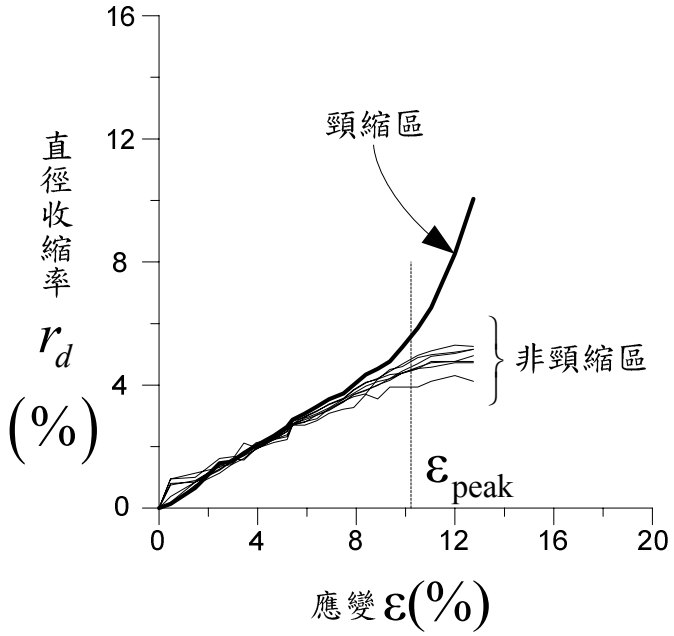


圖 2-16　SD 420W 線上熱處理（水淬）鋼筋
直徑收縮率-應變關係曲線

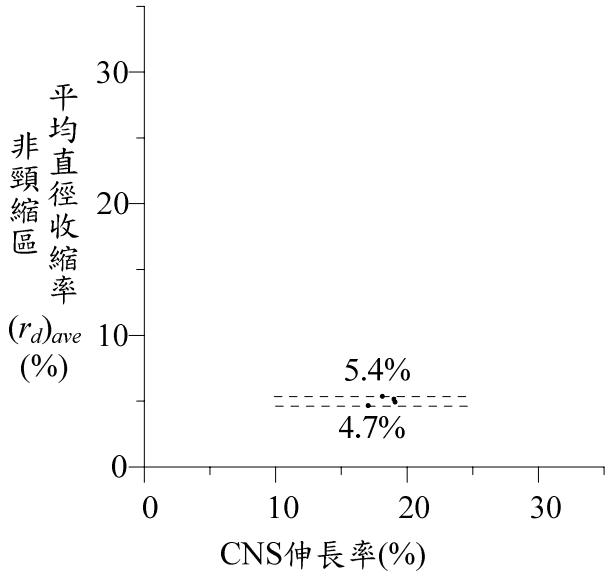


圖 2-17　SD 420W 水淬鋼筋
非頸縮區鋼筋
之直徑收縮率

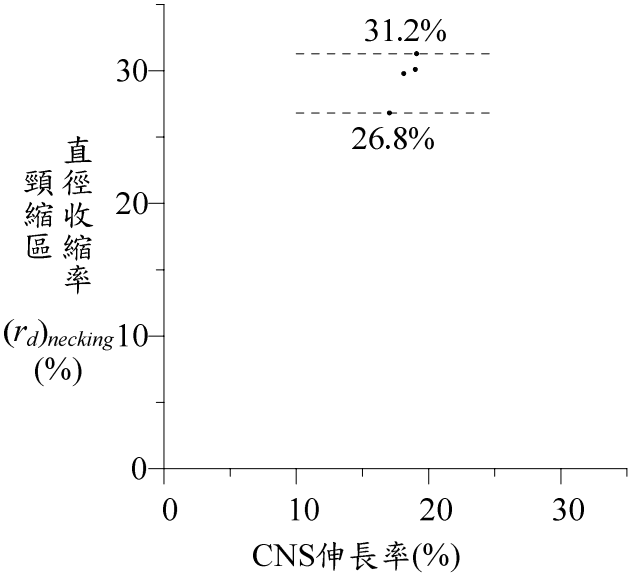


圖 2-18　SD 420W 水淬鋼筋
頸縮區鋼筋
之直徑收縮率

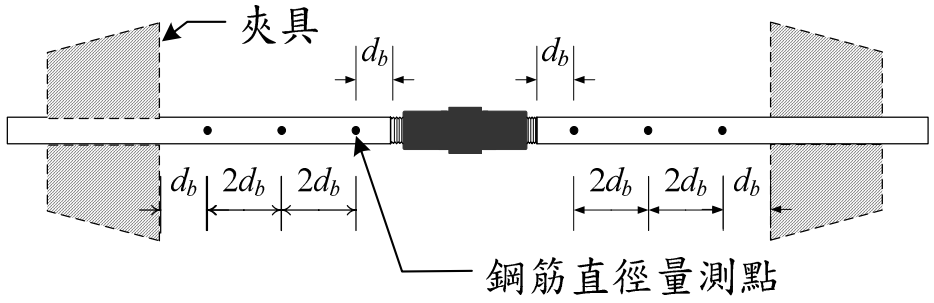


圖 2-19　直徑收縮率量測位置示意圖

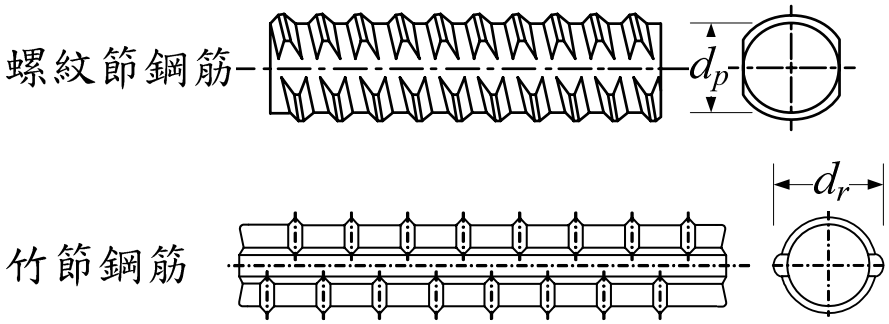


圖 2-20　建議量測直徑位置示意圖

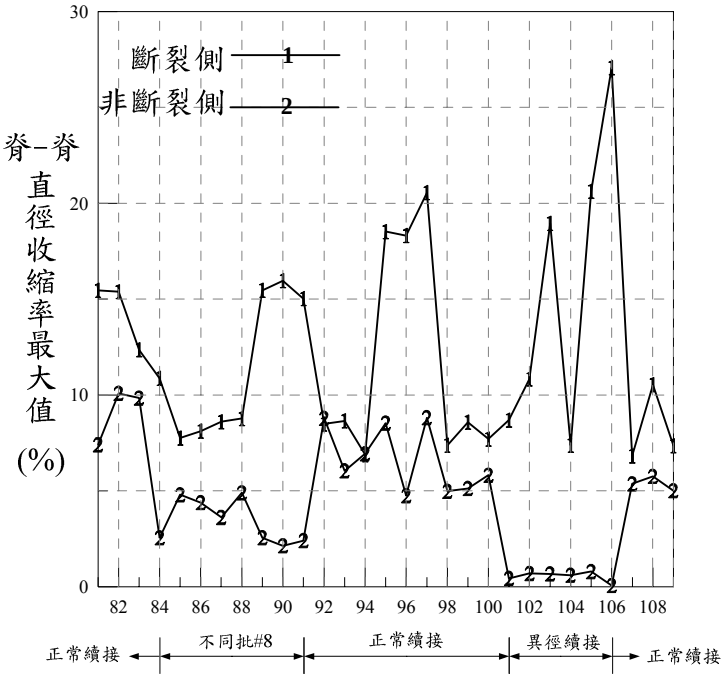


圖 2-21　脊-脊方向直徑收縮率之最大值

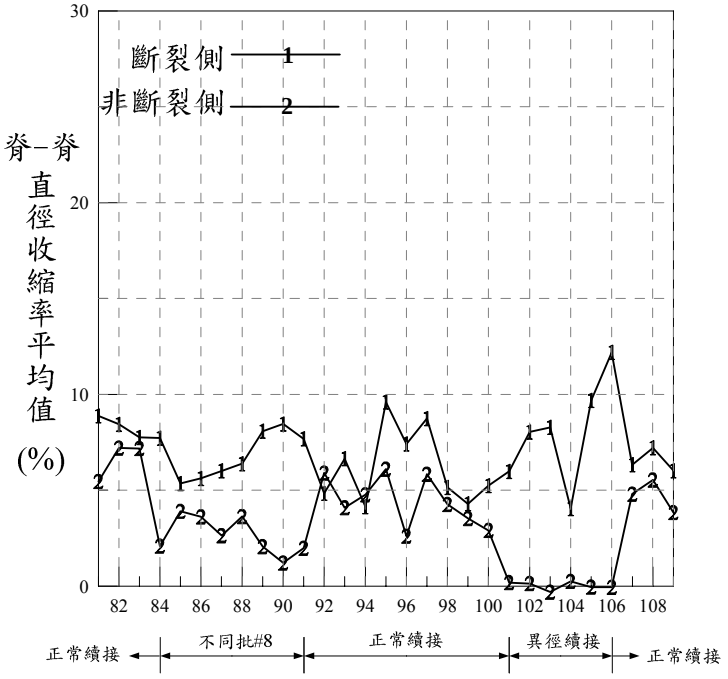


圖 2-22　脊-脊方向直徑收縮率之平均值

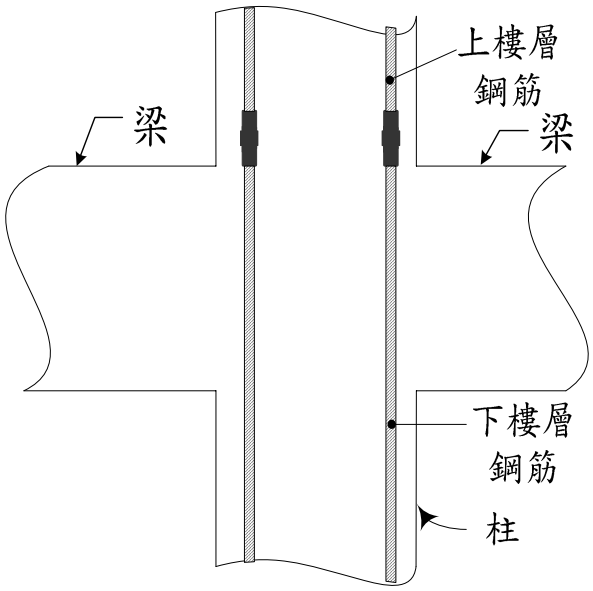


圖 3-1 柱鋼筋在柱頭以鋼筋續接器續接示意圖

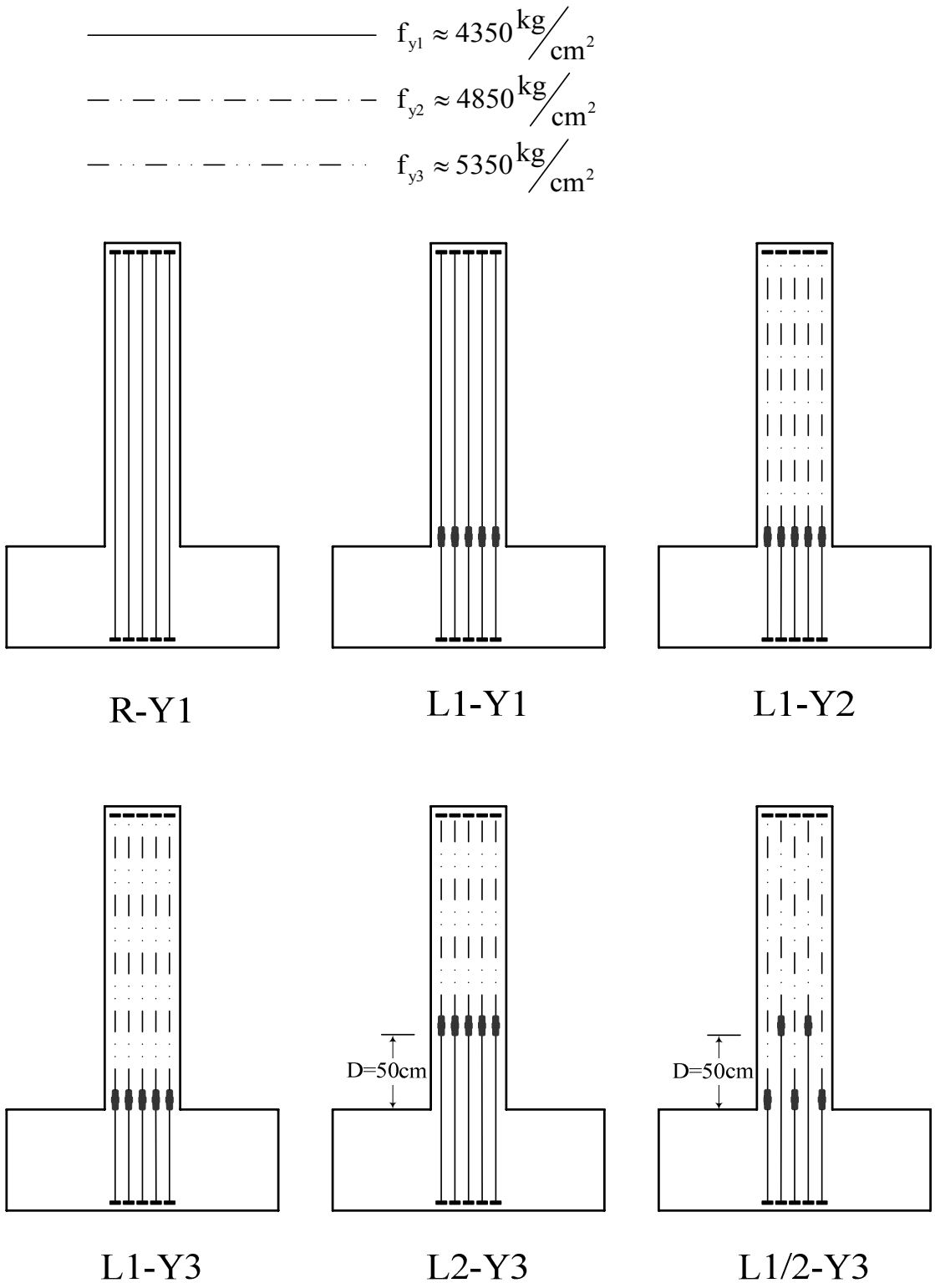


圖 3-2　柱試體規劃示意圖

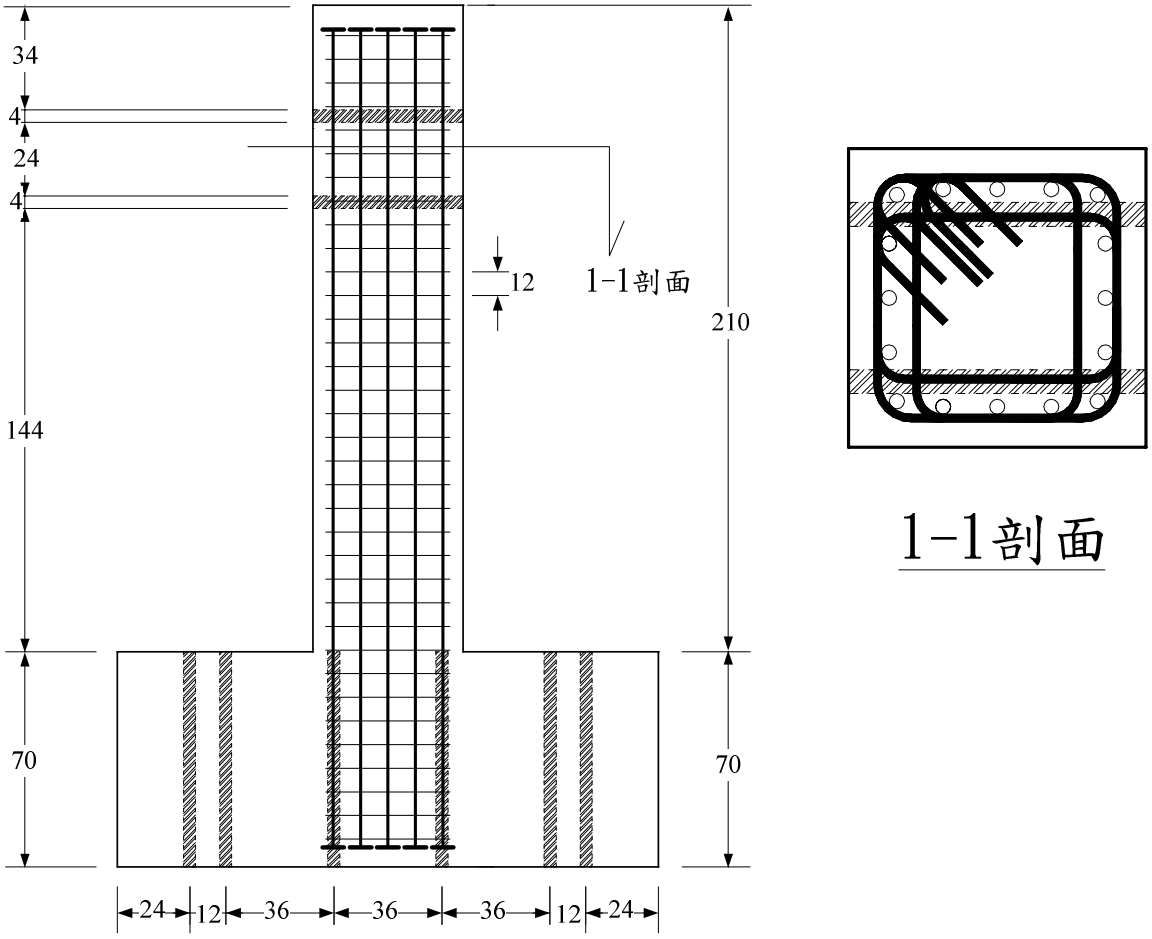


圖 3-3　柱試體尺寸及主要之鋼筋配置

型號 / 尺寸	#5	#6	#7	#8	#9	#10
	D16	D19	D22	D25	D29	D32
L(mm)	50	60	70	80	90	100
D(mm)	25	28	32	36	40	45

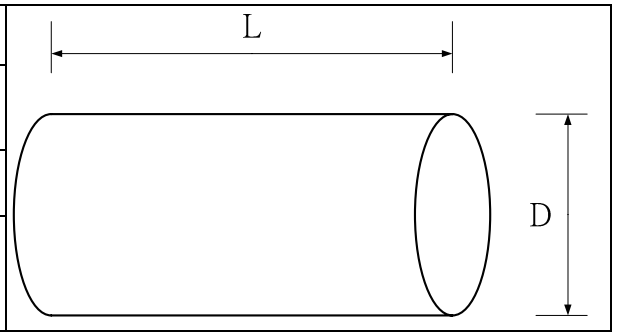


圖 3-4　續接器外部尺寸

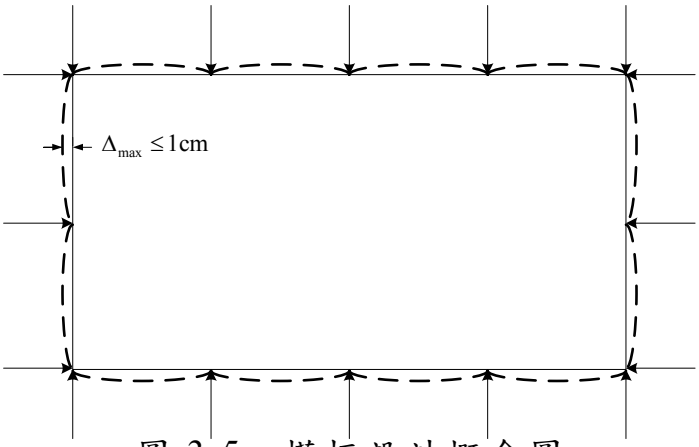


圖 3-5　模板設計概念圖

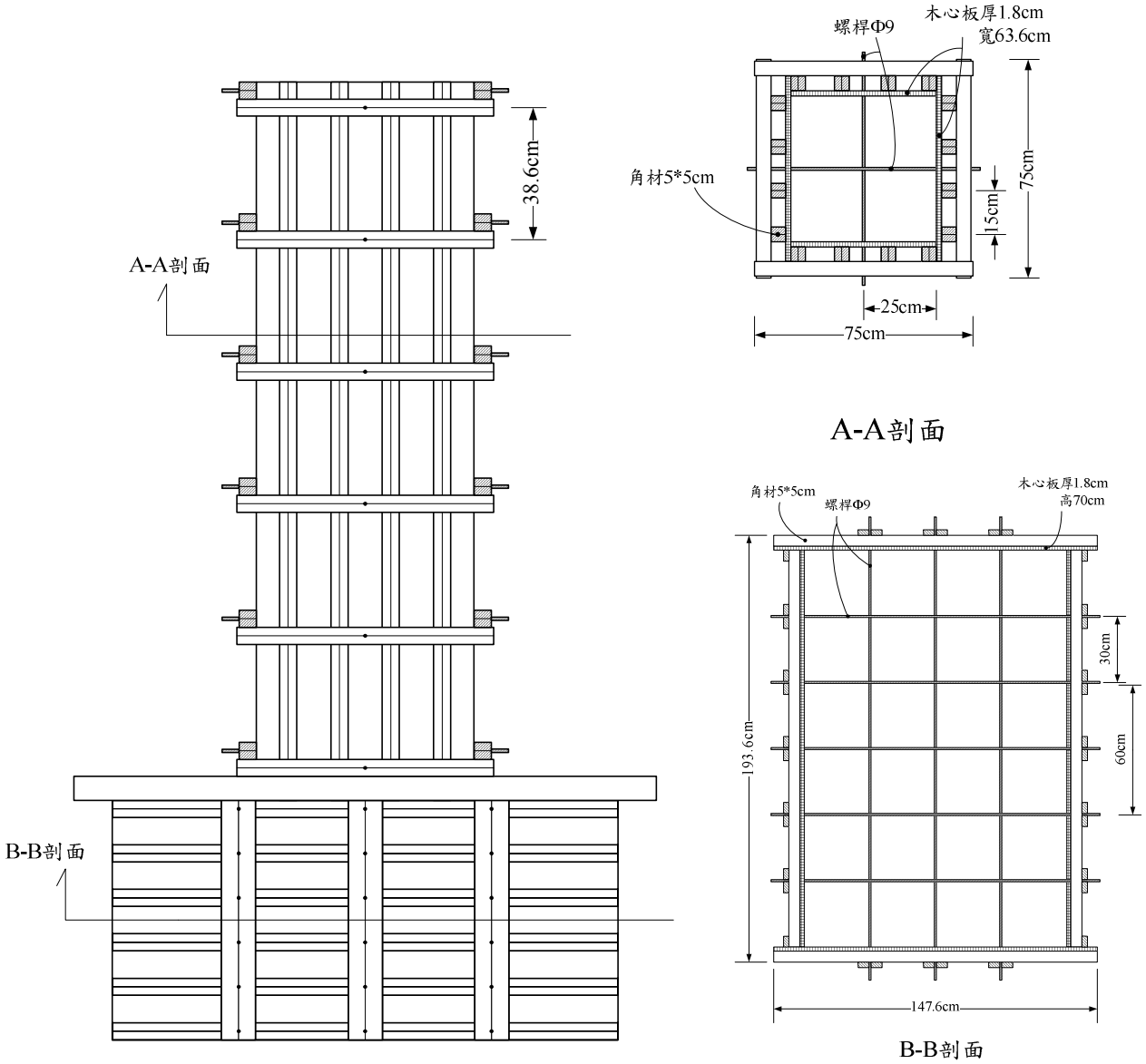


圖 3-6　模板組立詳圖

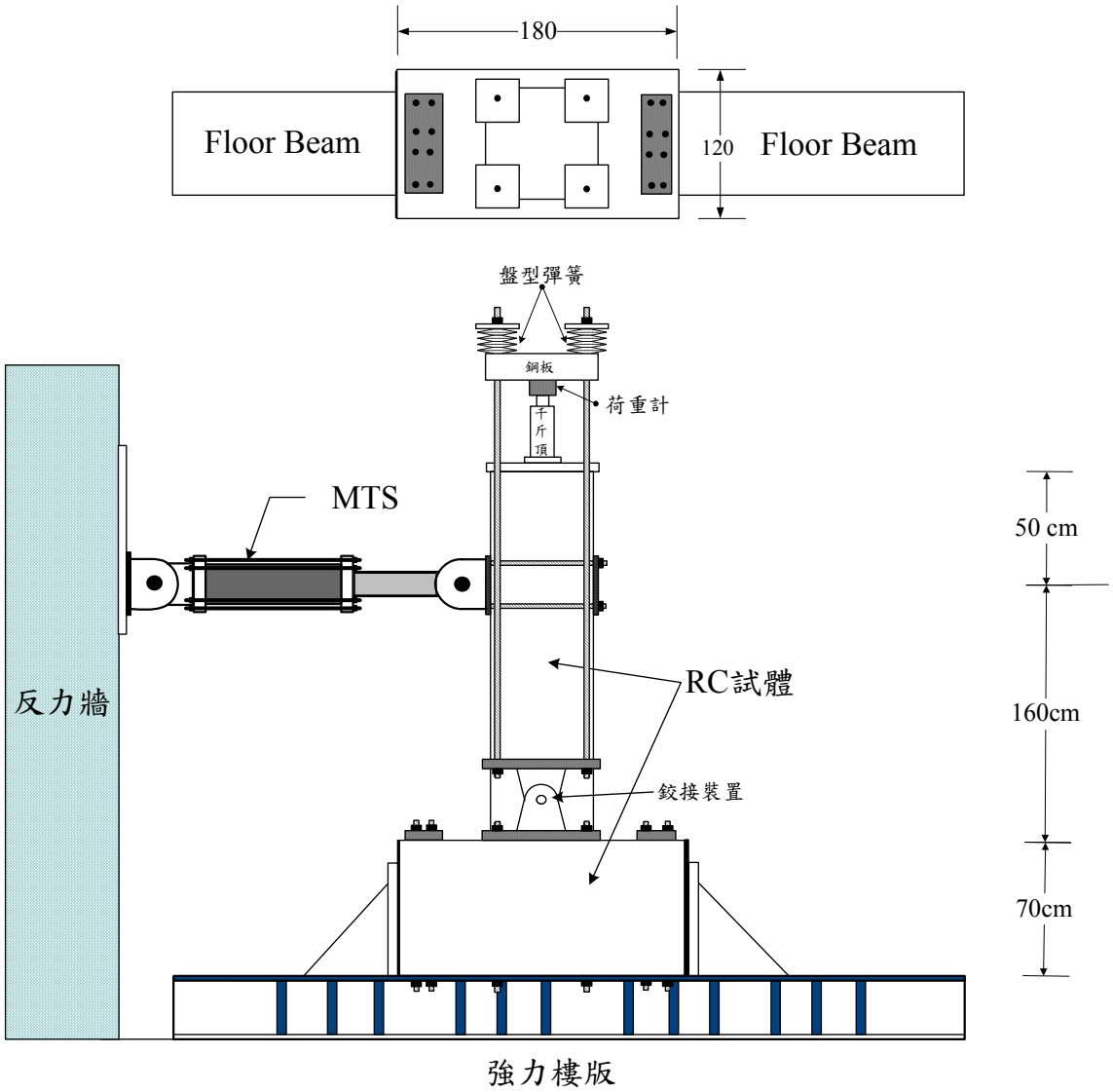
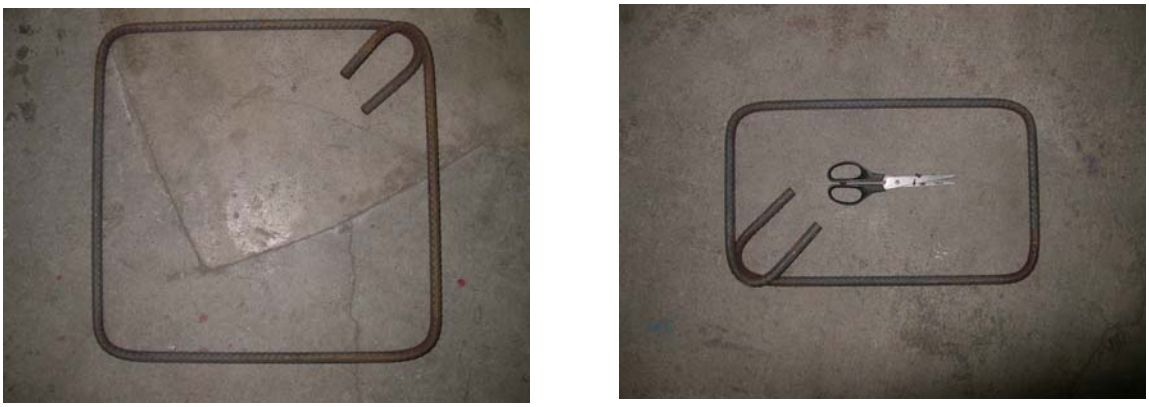


圖 3-7 柱構材反復載重試驗裝置示意圖



大箍筋　　小箍筋

圖 3-8　箍筋成品

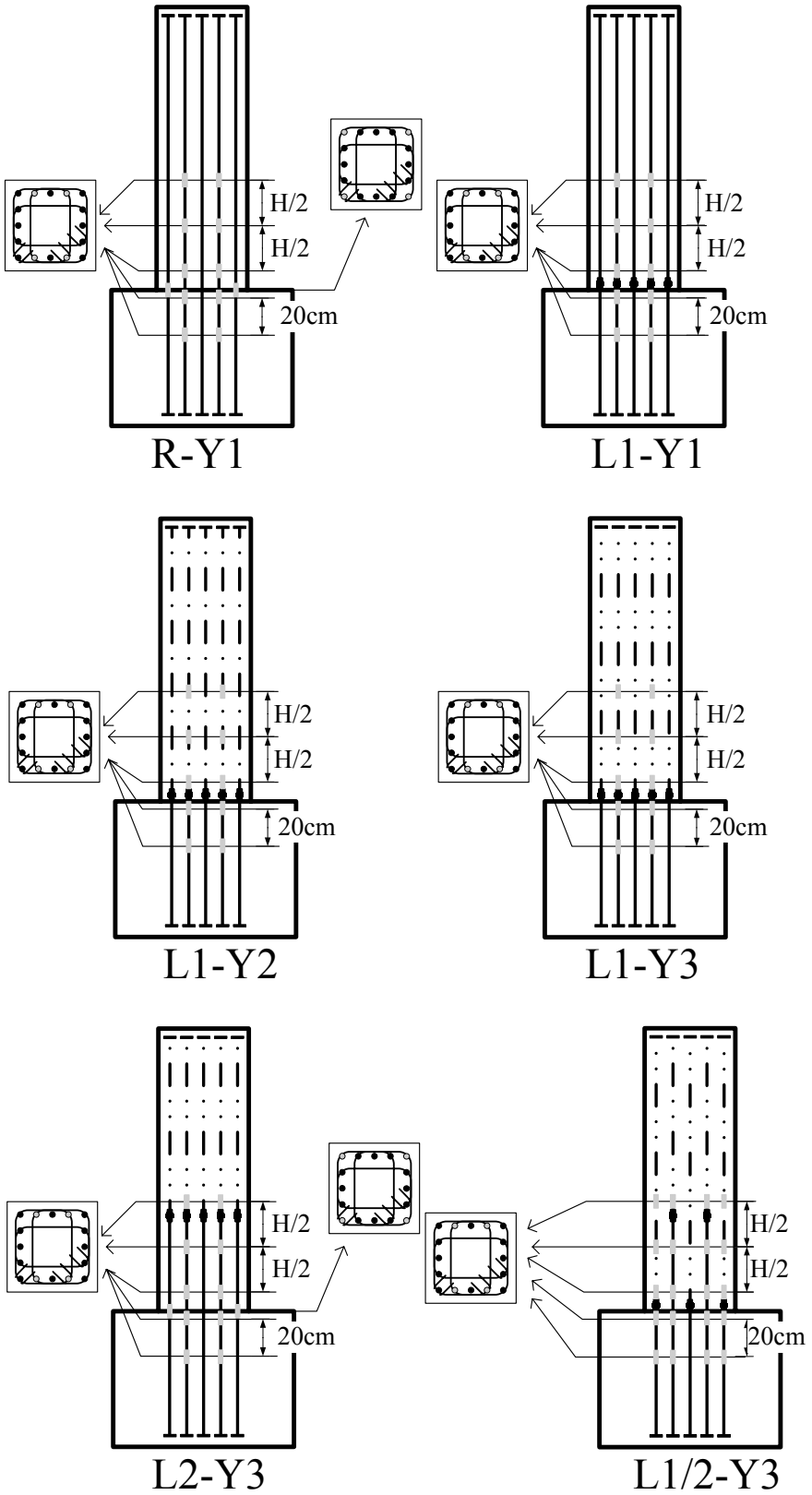


圖 3-9 柱構材應變計貼佈位置示意圖



圖 3-10　柱主筋組立完工圖



圖 3-11　基座主筋組立完工圖

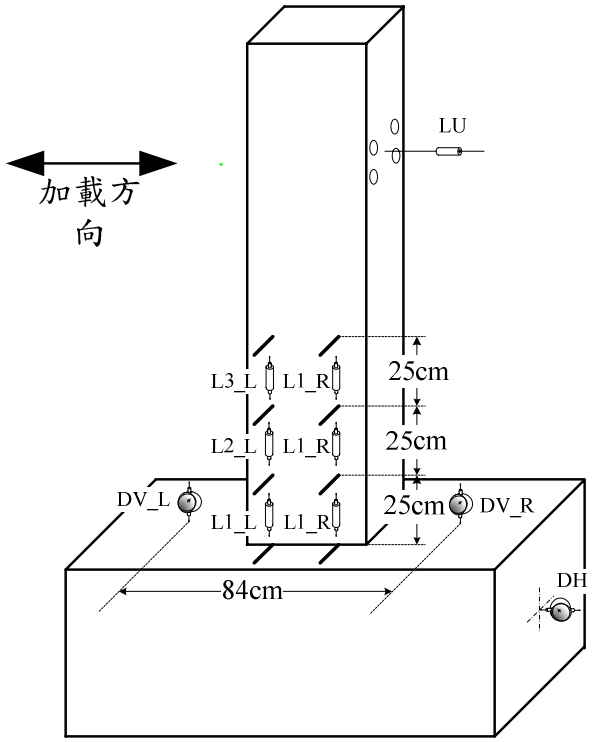


圖 3-12 外部測計量測位置示意圖

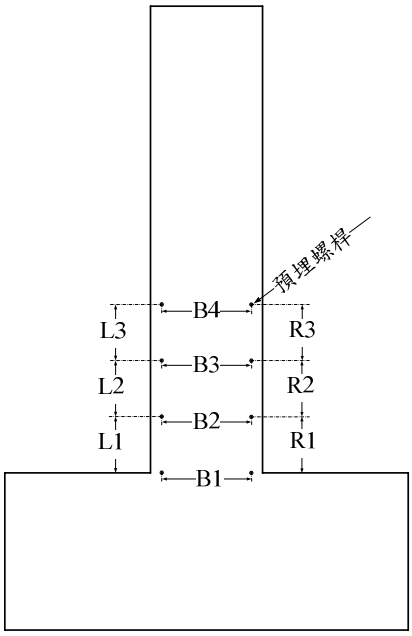


圖 3-13 量測初始間距位置示意圖

Cycle NO.	Drift Ratio(%)	Displacement(mm)	Loading Rate(mm/sec)
1,2	0.25	4.75	0.026
3,4	0.50	9.5	0.053
5,6	0.75	14.25	0.079
7,8	1.00	19	0.106
9,10	1.50	28.5	0.158
11,12	2.00	38	0.211
13,14	2.50	47.5	0.264
15,16	3.00	57	0.317
17,18	3.50	66.5	0.369
19,20	4.00	76	0.422
21,22	4.50	85.5	0.475
23,24	5.00	95	0.528

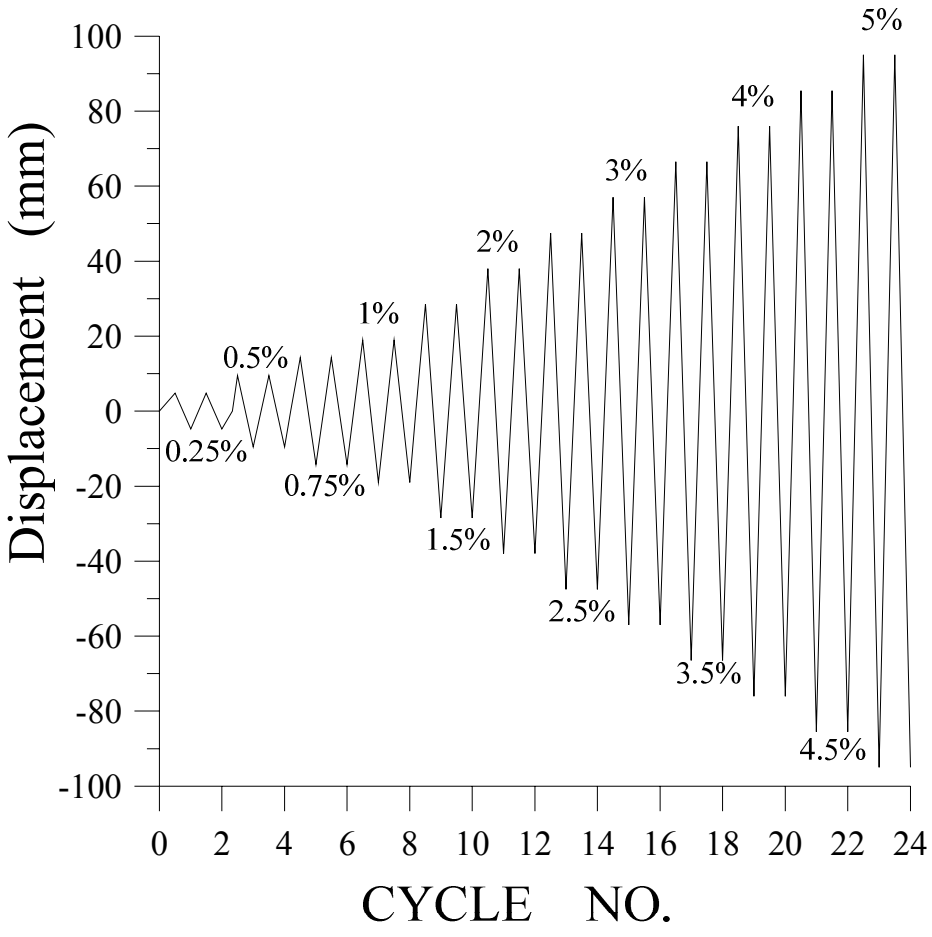


圖 3-14 加載歷程



圖 3-15 圓柱試體抗壓強度試驗



架設LVDT



鋼筋拉斷

圖 3-16 鋼筋拉力試驗

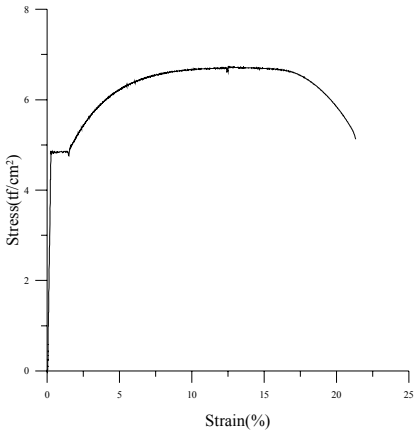


圖 3-17 基座主筋應力-應變關係圖

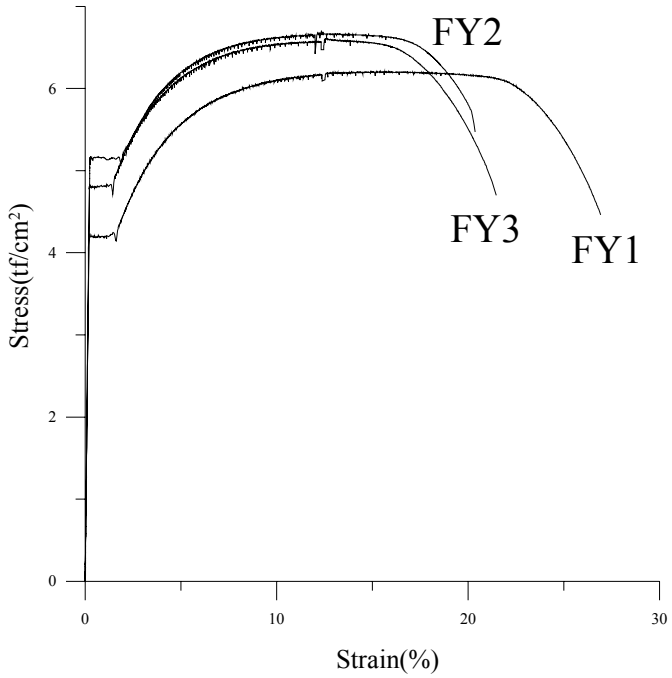


圖 3-18 柱構材主筋應力-應變關係圖

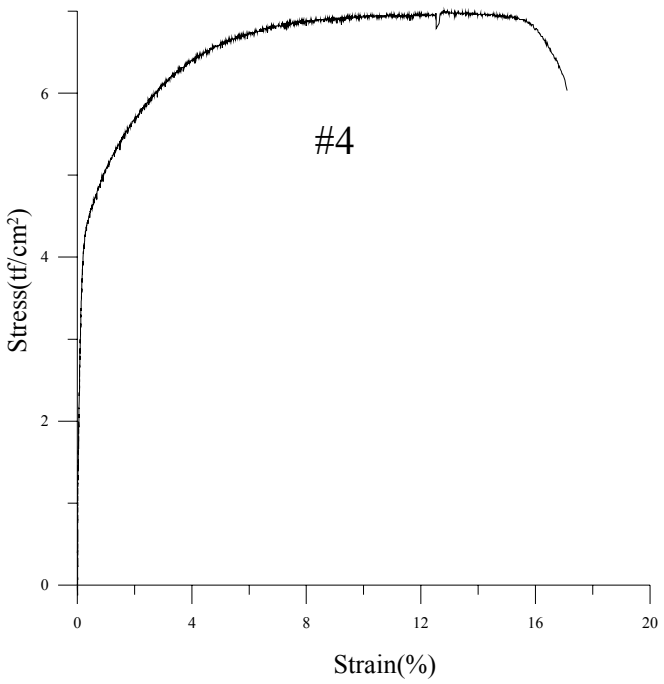


圖 3-19 柱構材箍筋應力-應變關係圖

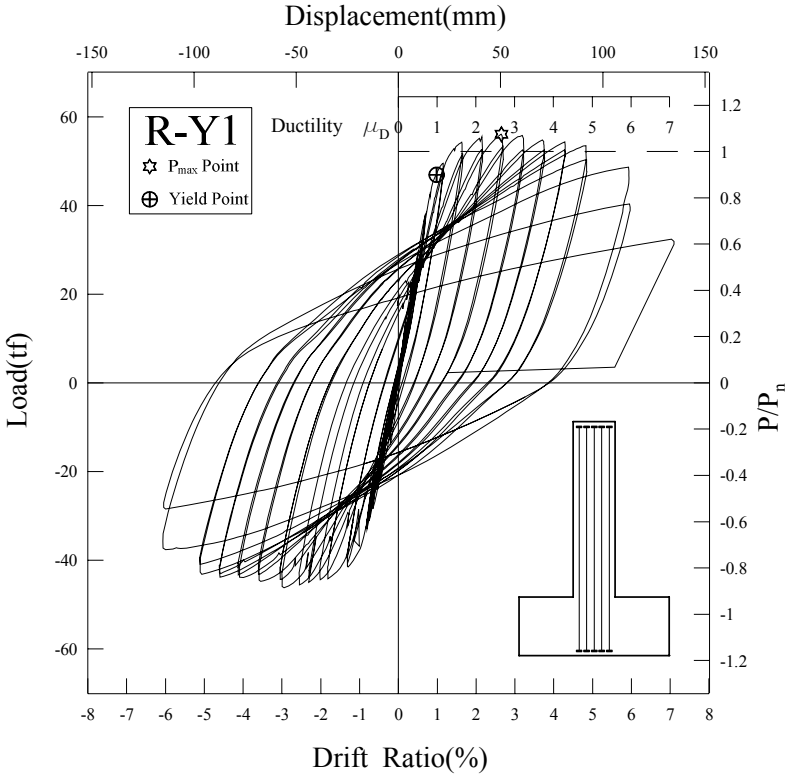


圖 3-20 試體 R-Y1 載重-位移曲線

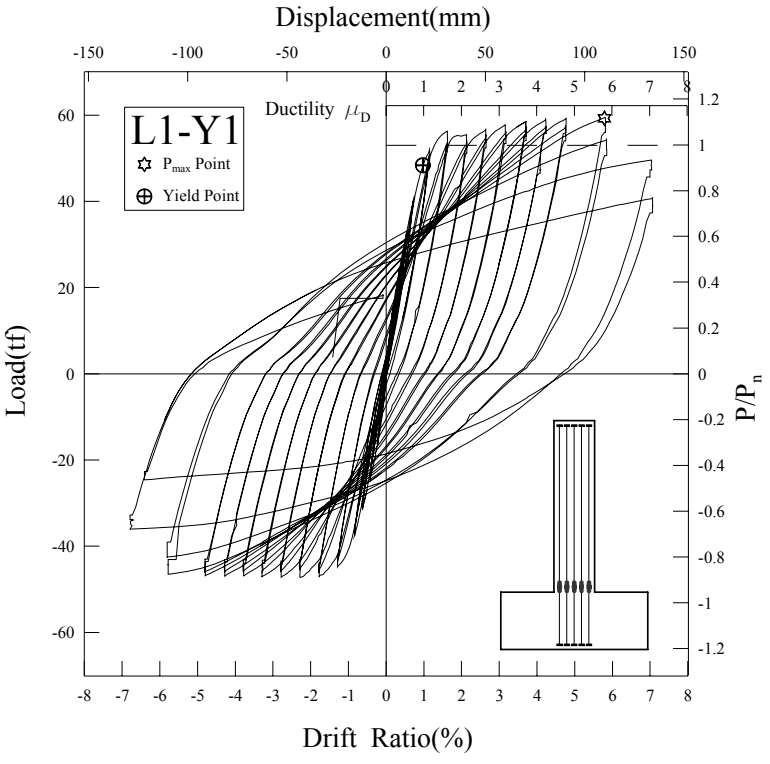


圖 3-21 試體 L1-Y1 載重-位移曲線

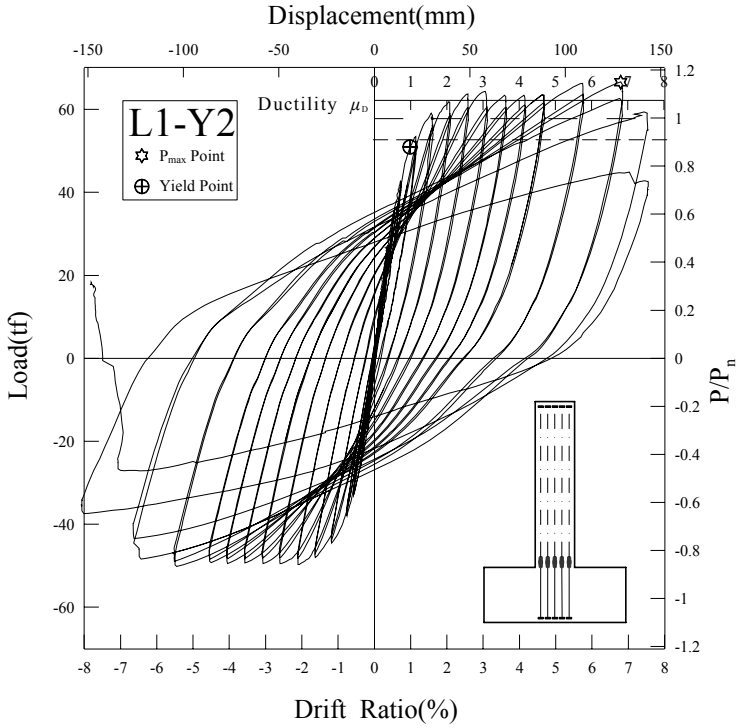


圖 3-22 試體 L1-Y2 載重-位移曲線

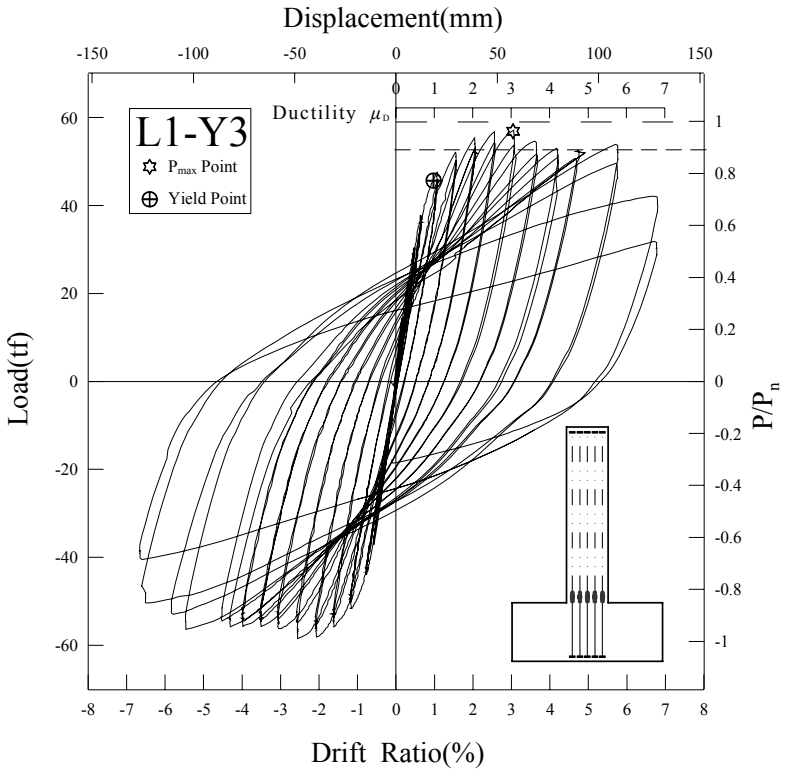


圖 3-23 試體 L1-Y3 載重-位移曲線

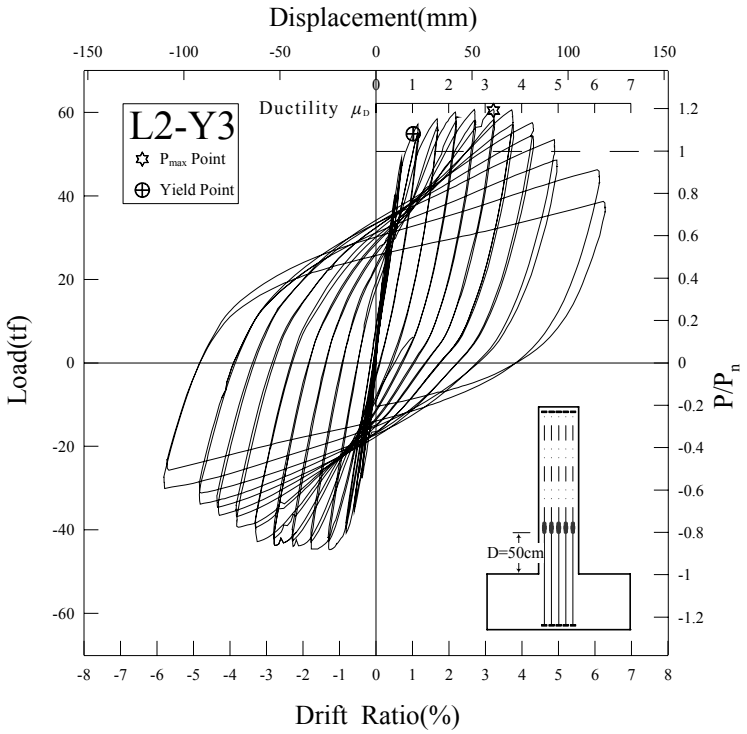


圖 3-24 試體 L2-Y3 載重-位移曲線

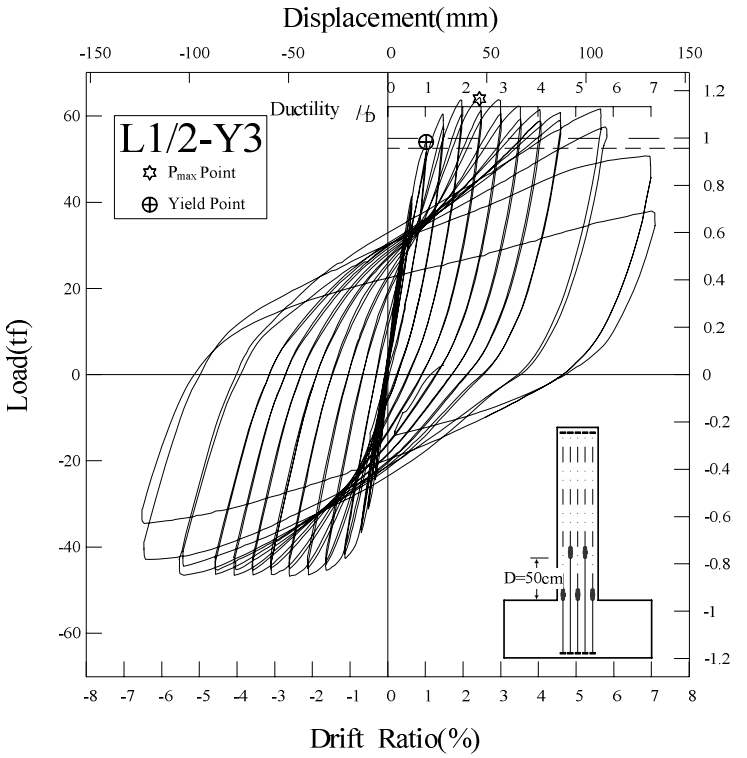
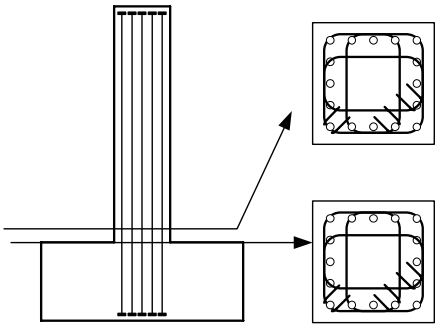


圖 3-25 試體 L1/2-Y3 載重-位移曲線

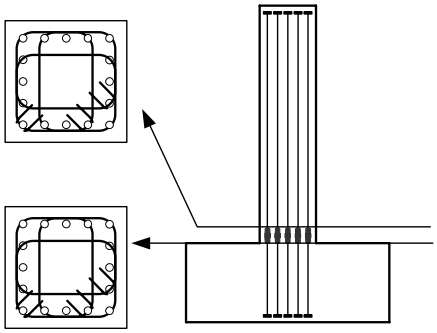
○ 鋼筋降伏強度為F_{y1}

◉ 鋼筋降伏強度為F_{y2}

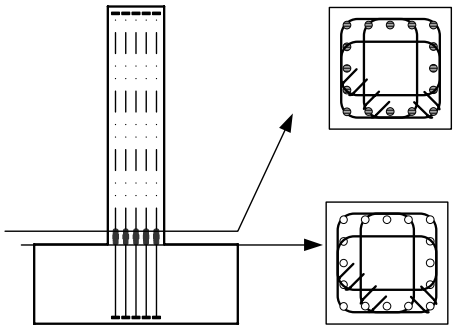
● 鋼筋降伏強度為F_{y3}



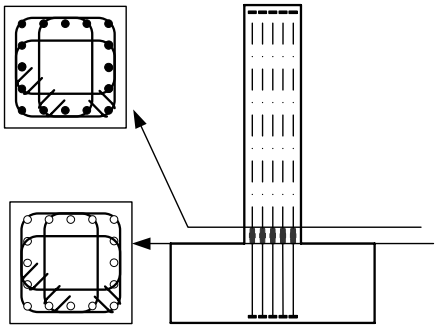
R-Y1



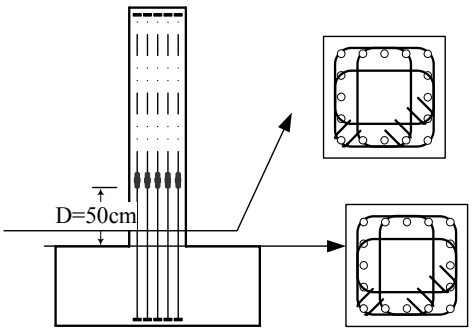
L1-Y1



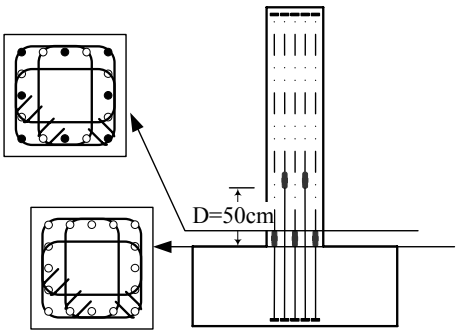
L1-Y2



L1-Y3



L2-Y3



L1/2-Y3

圖 3-26 計算試體理論強度之斷面

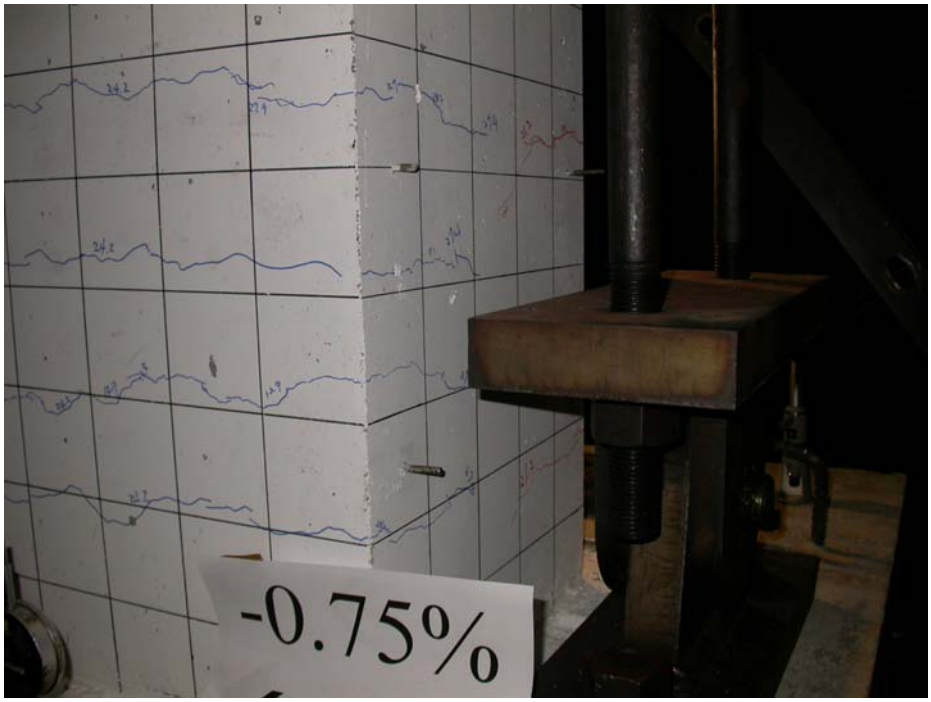


圖 3-27 試體 R-Y1 於層間位移角 0.75%之裂縫分布

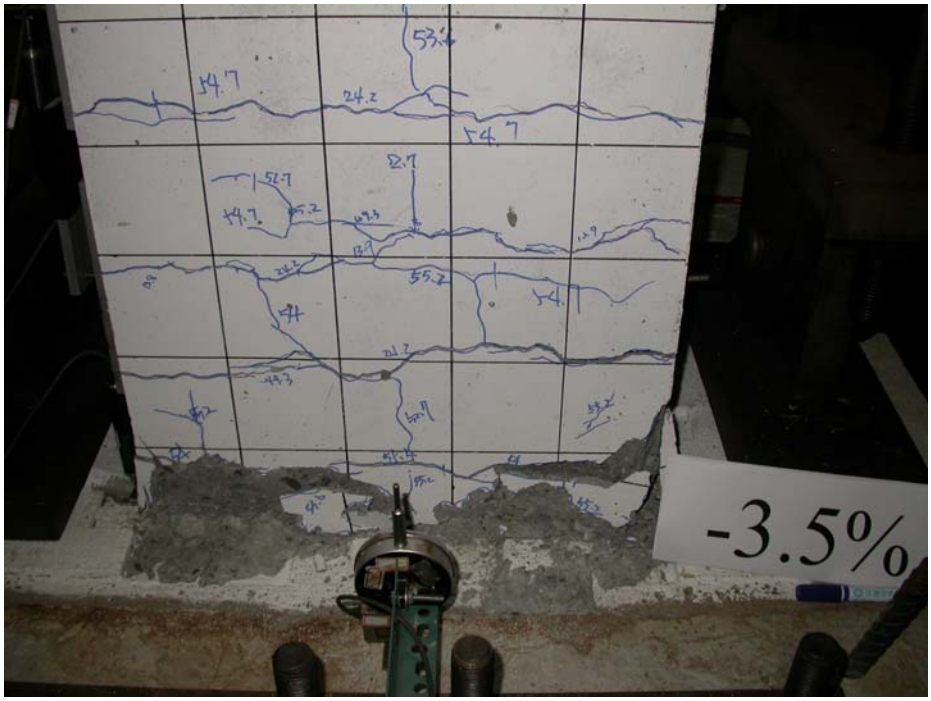


圖 3-28 試體 R-Y1 於層間位移角 3.5%側面之裂縫分布



圖 3-29 試體 R-Y1 於層間位移角 7%破壞

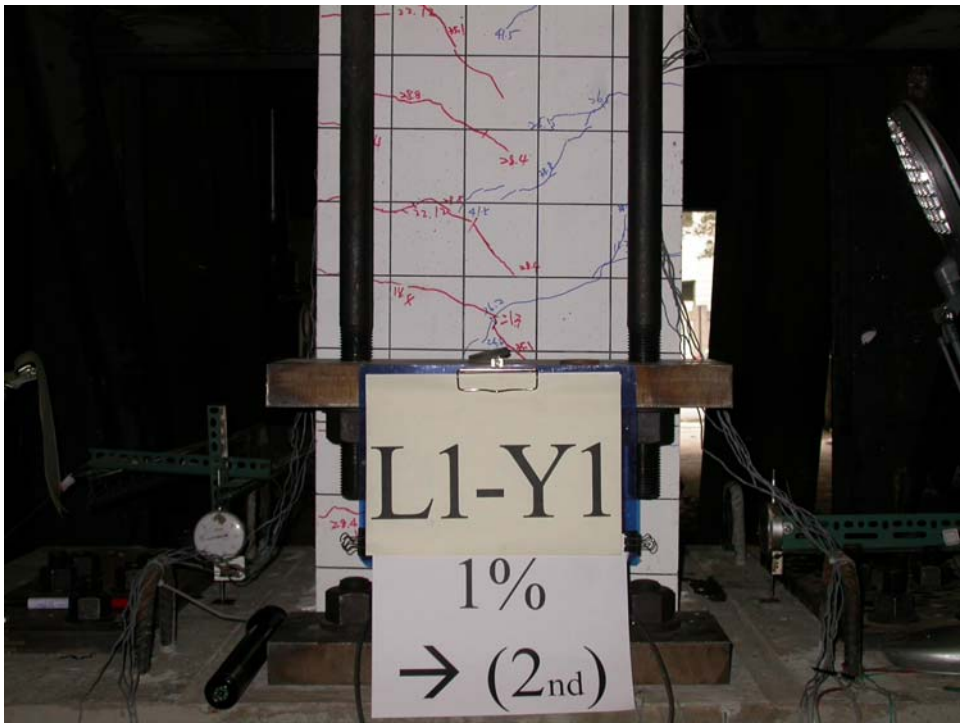


圖 3-30 試體 L1-Y1 於層間位移角 1.0%之裂縫分布

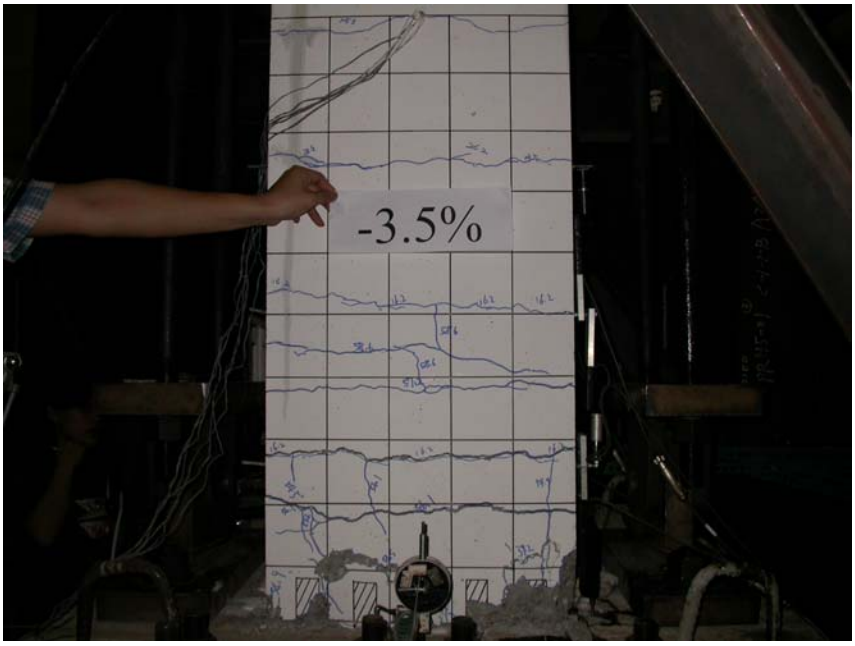


圖 3-31 試體 L1-Y1 於層間位移角 3.5%之裂縫分布

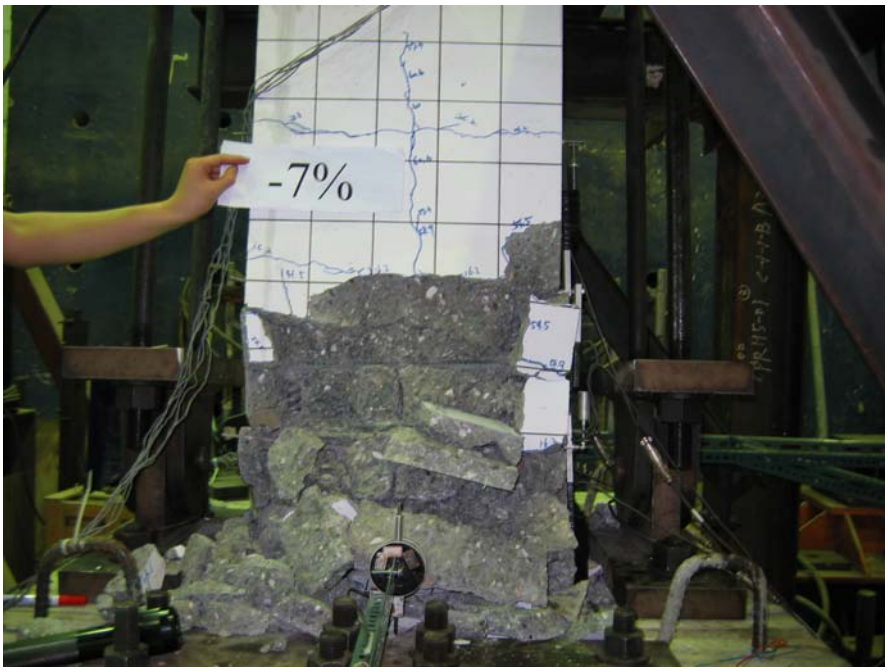
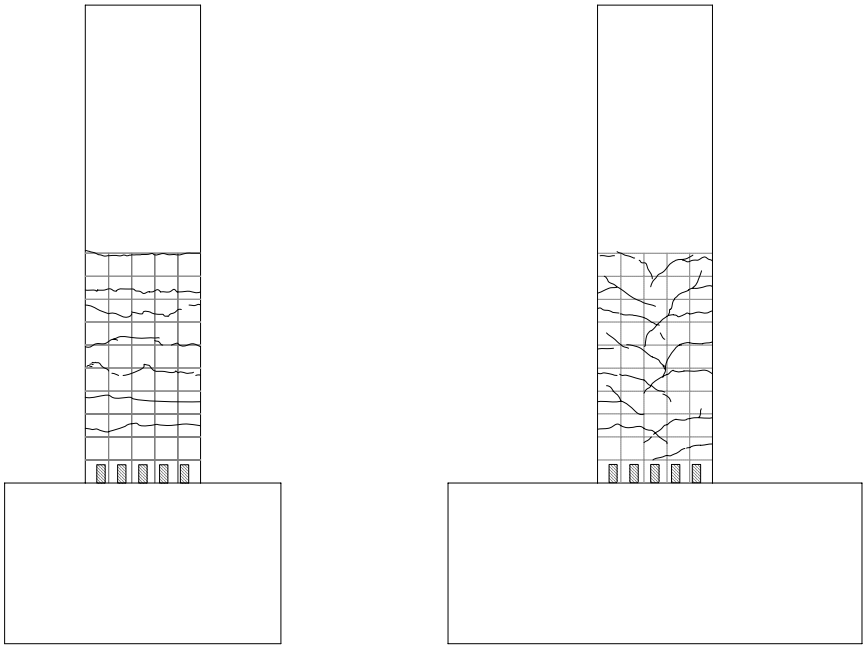
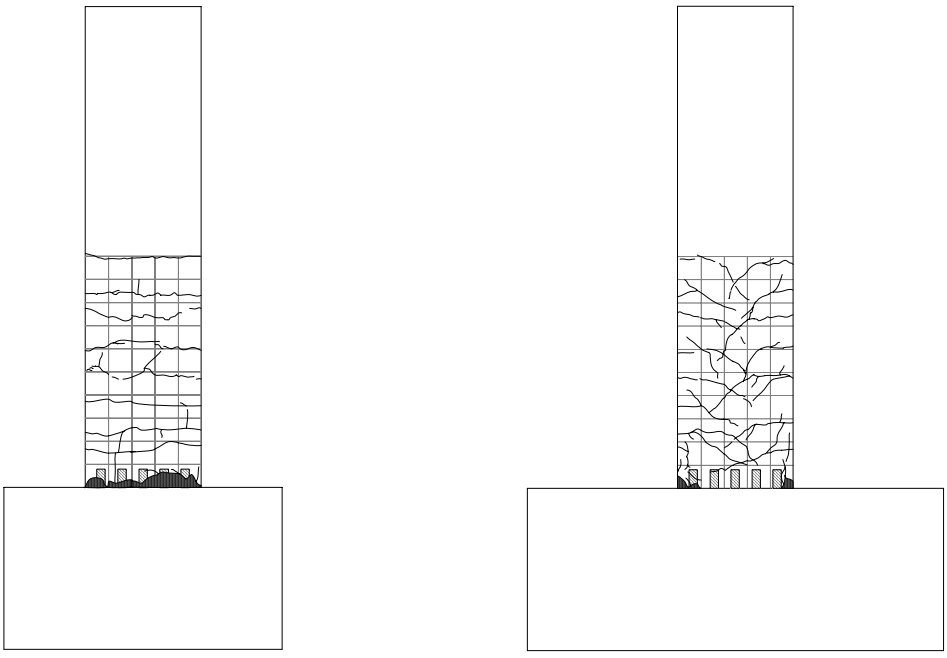


圖 3-32 試體 L1-Y1 於層間位移角 7%(2)破壞



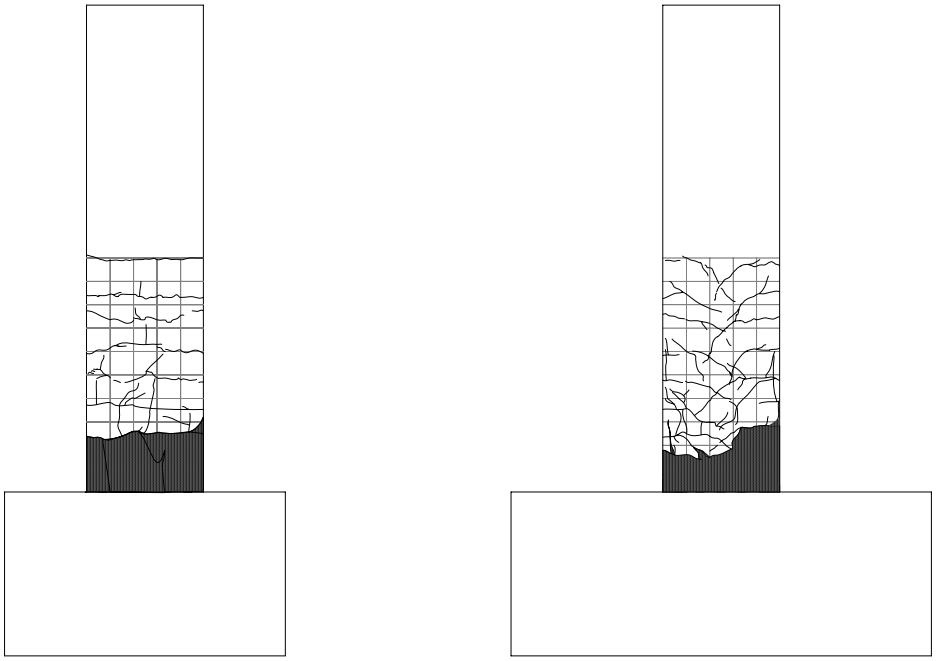
側面　　正面

圖 3-33 試體 L1-Y2 於層間位移角 1.0%之裂縫分布



側面　　正面

圖 3-34 試體 L1-Y2 於層間位移角 3.5%之裂縫分布



側面　　正面

圖 3-35 試體 L1-Y2 於層間位移角 8%(2)破壞

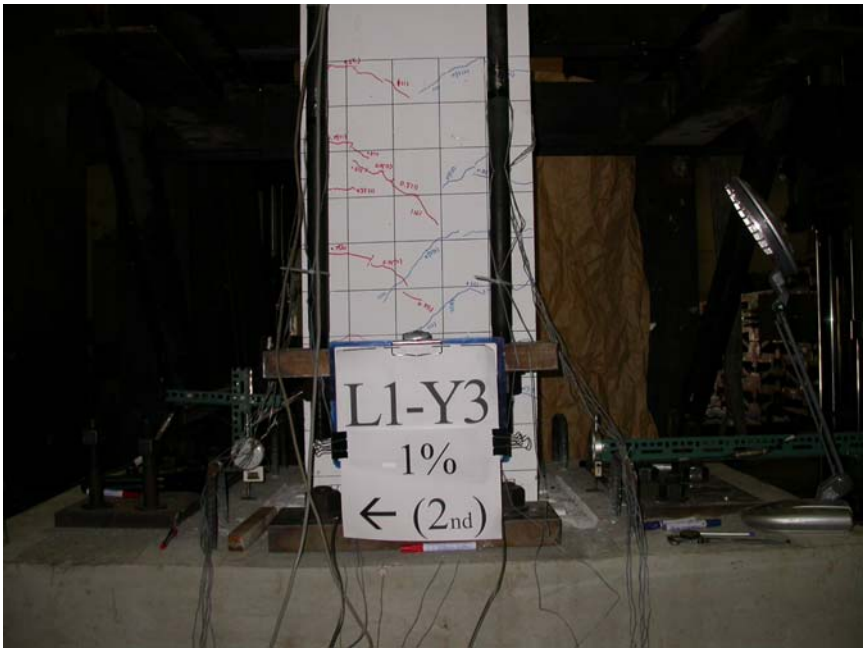


圖 3-36 試體 L1-Y3 於層間位移角 1.0%之裂縫分布

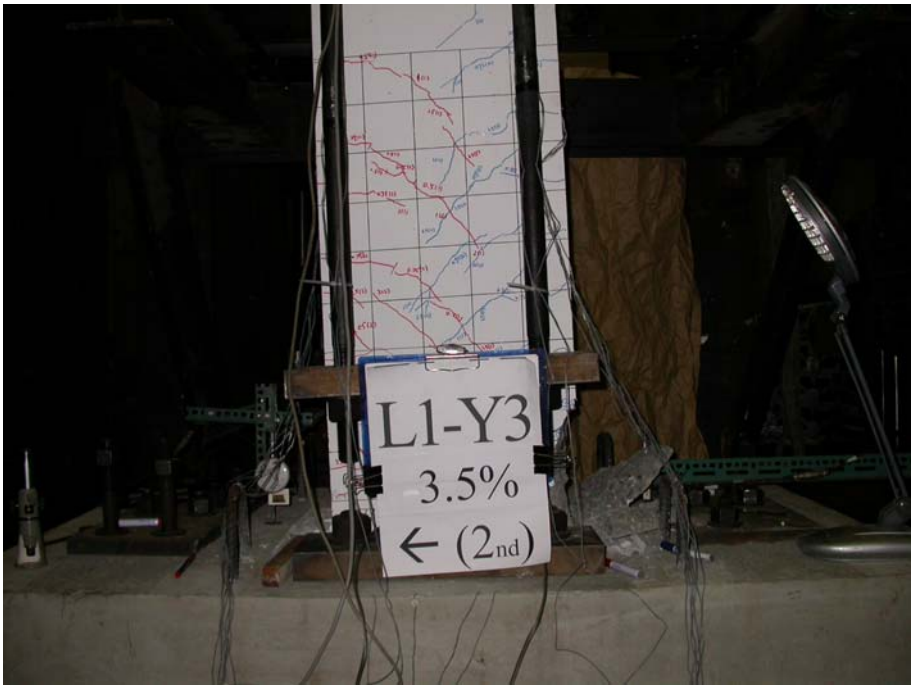


圖 3-37 試體 L1-Y3 於層間位移角 3.5%之裂縫分布



圖 3-38 試體 L1-Y3 於層間位移角 7%(2)破壞

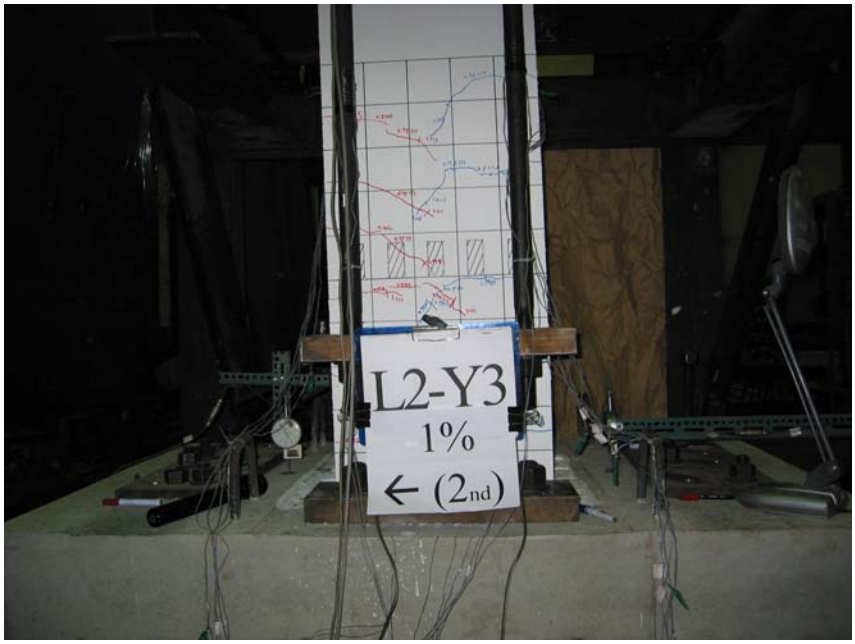


圖 3-39 試體 L2-Y3 於層間位移角 1.0%之裂縫分布



圖 3-40 試體 L2-Y3 於層間位移角 3.5%之裂縫分布

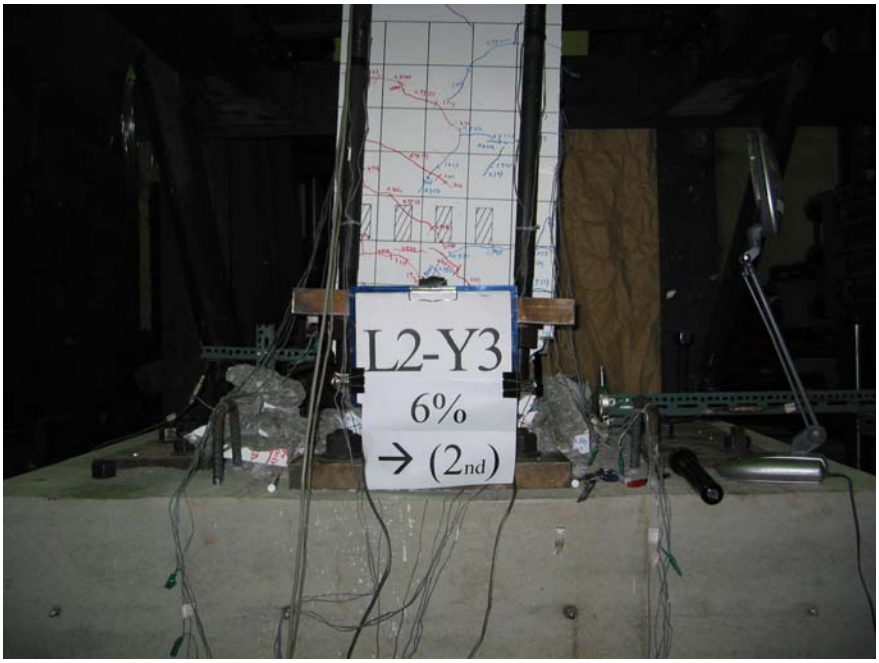


圖 3-41 試體 L2-Y3 於層間位移角 6%(2)破壞

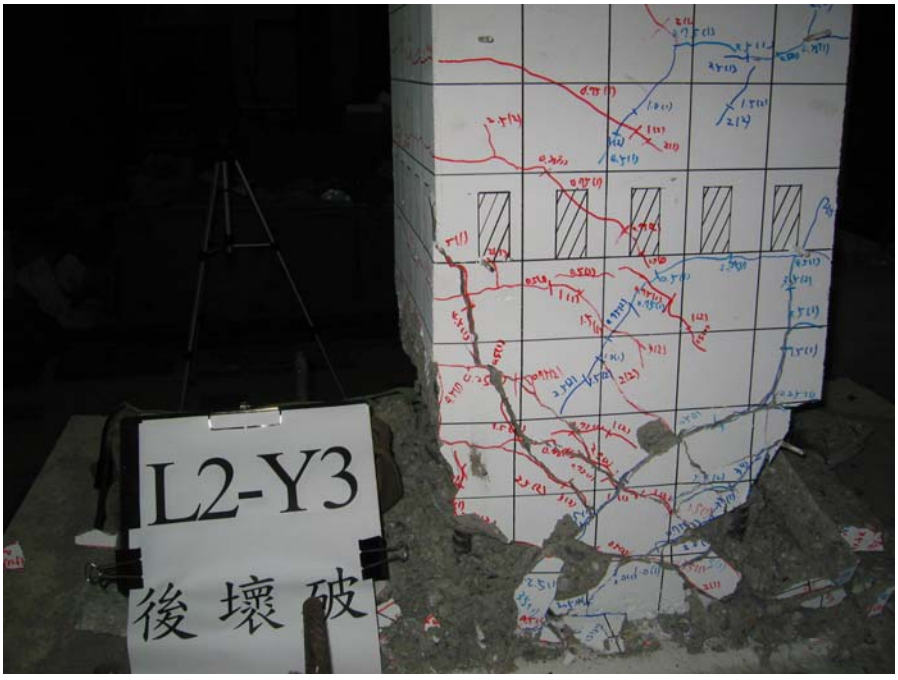


圖 3-42 試體 L2-Y3 破壞後



圖 3-43 試體 L1/2-Y3 於層間位移角 1.0%之裂縫分布

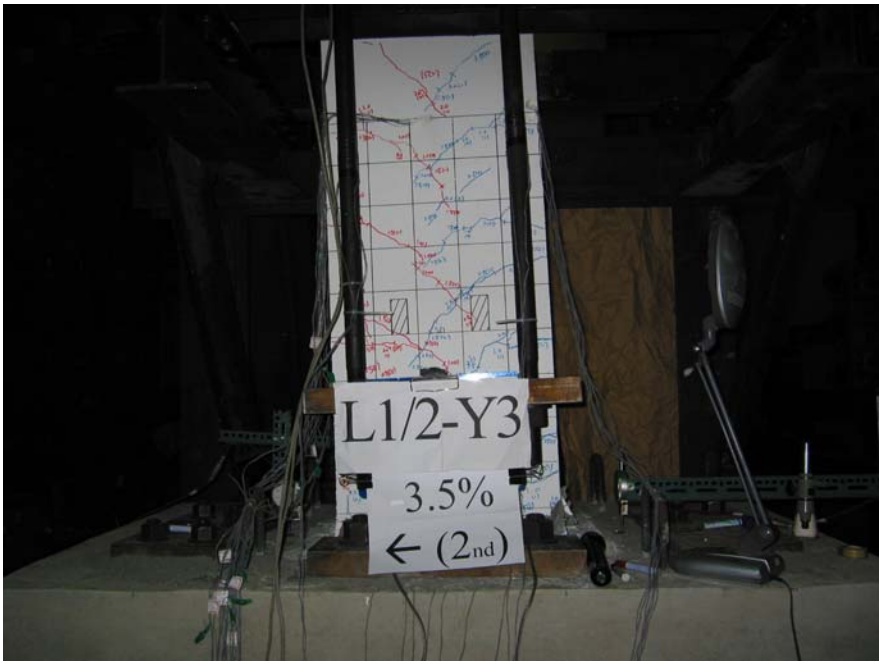


圖 3-44 試體 L1/2-Y3 於層間位移角 3.5%之裂縫分布



圖 3-45 試體 L1/2-Y3 於層間位移角 7%(2)破壞



圖 3-46 試體 L1/2-Y3 破壞後

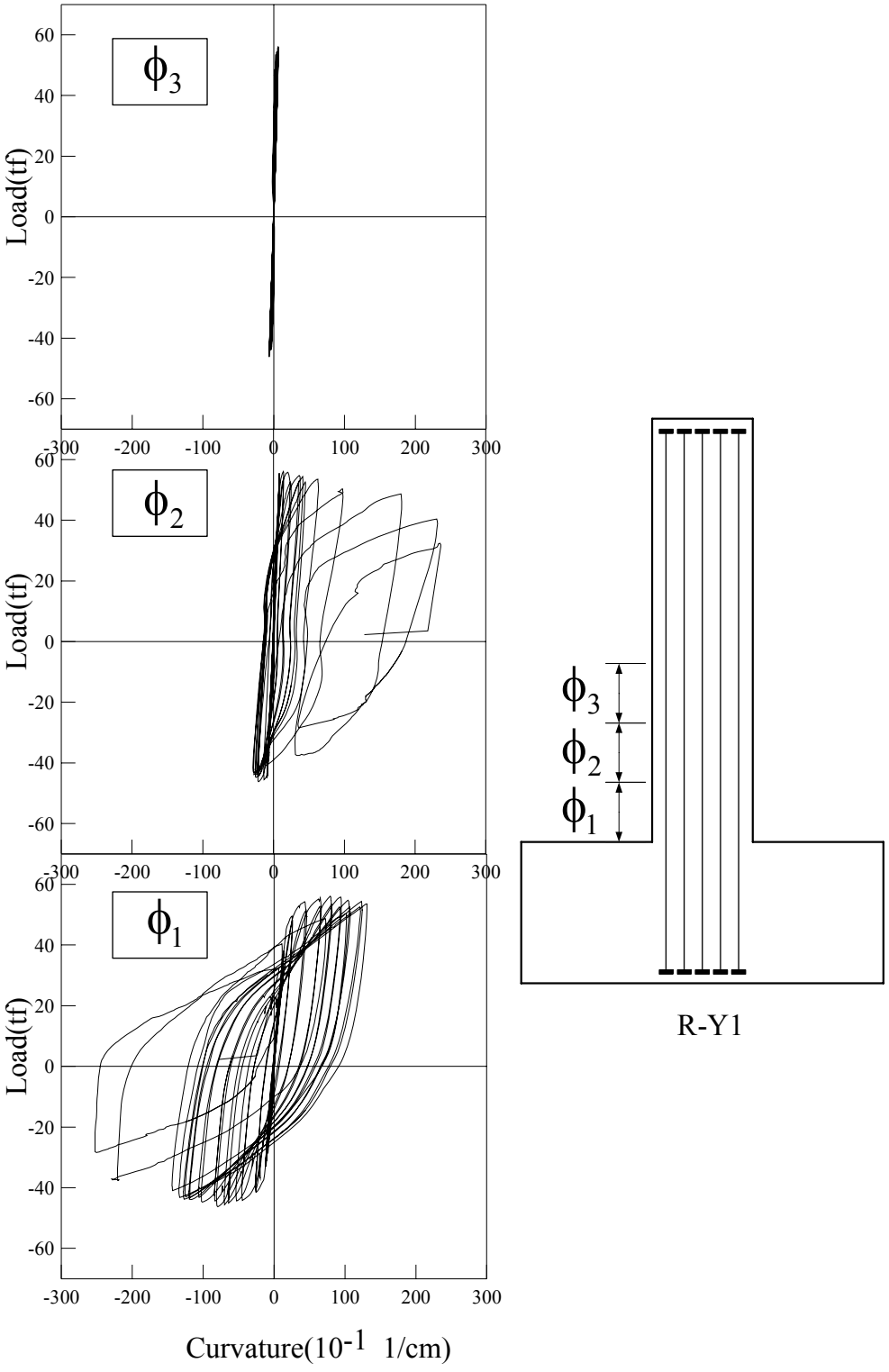


圖 3-47 試體 R-Y1 近臨界斷面之載重-曲率關係

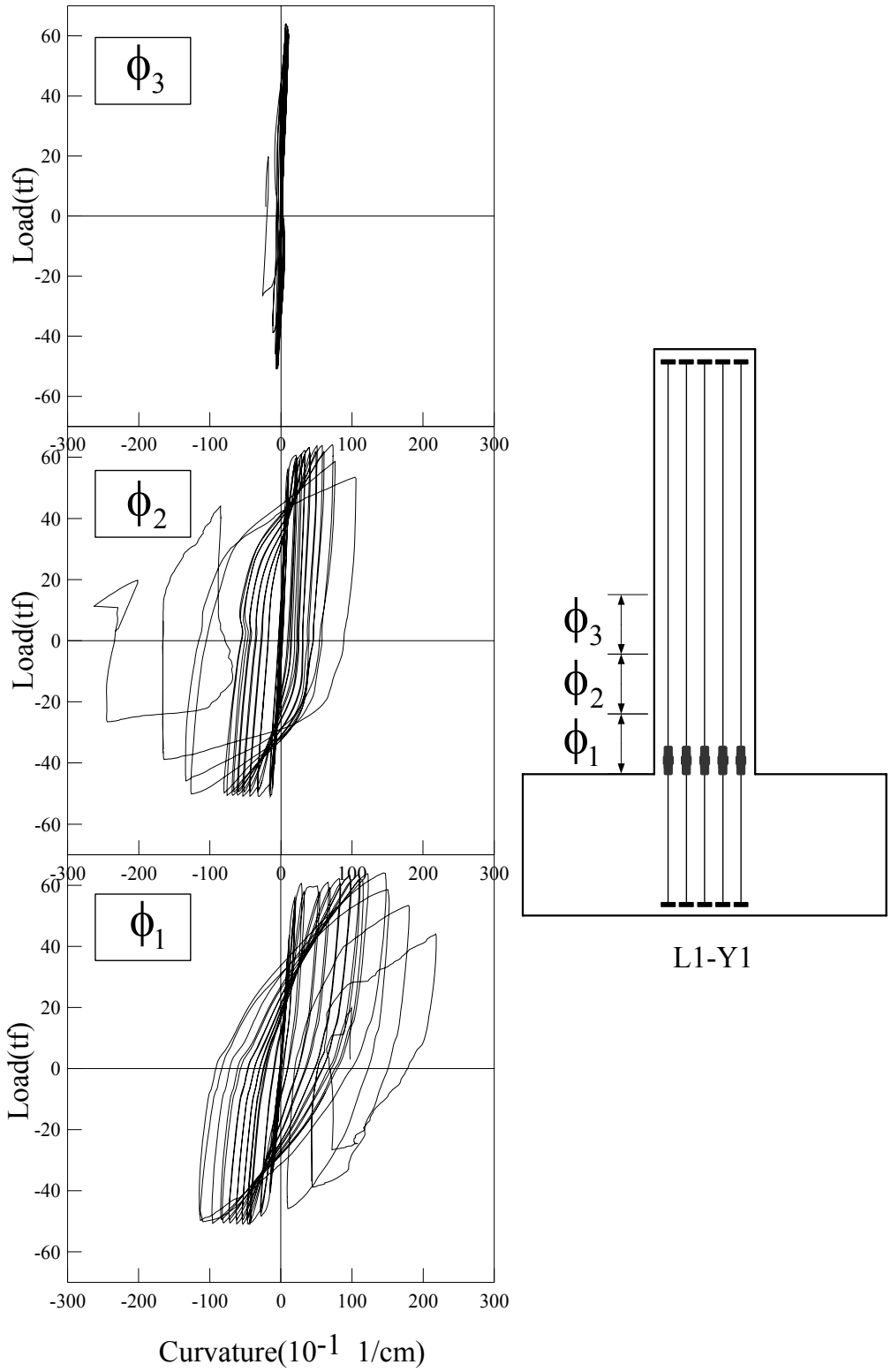


圖 3-48 試體 L1-Y1 近臨界斷面之載重-曲率關係

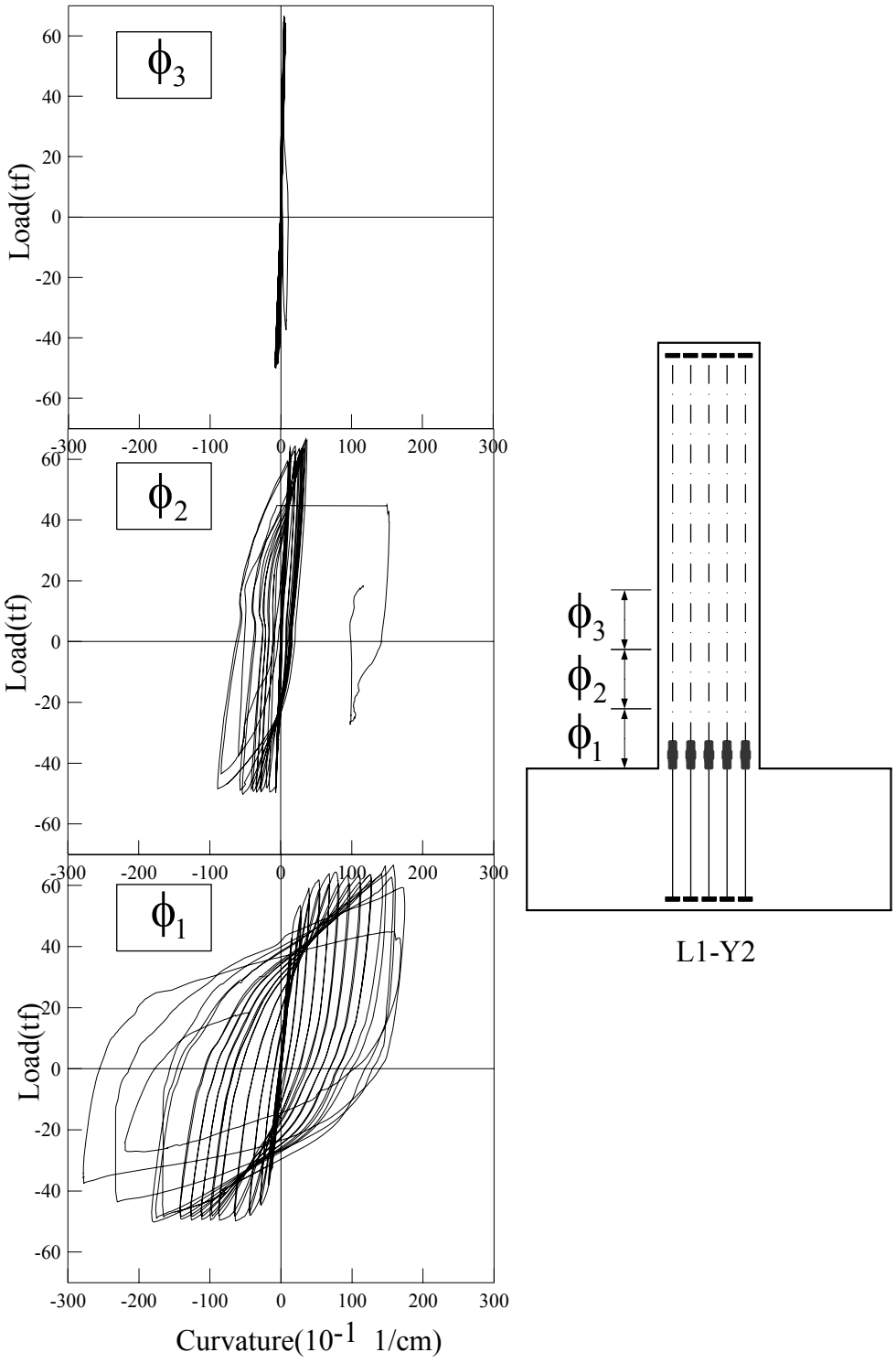


圖 3-49 試體 L1-Y2 近臨界斷面之載重-曲率關係

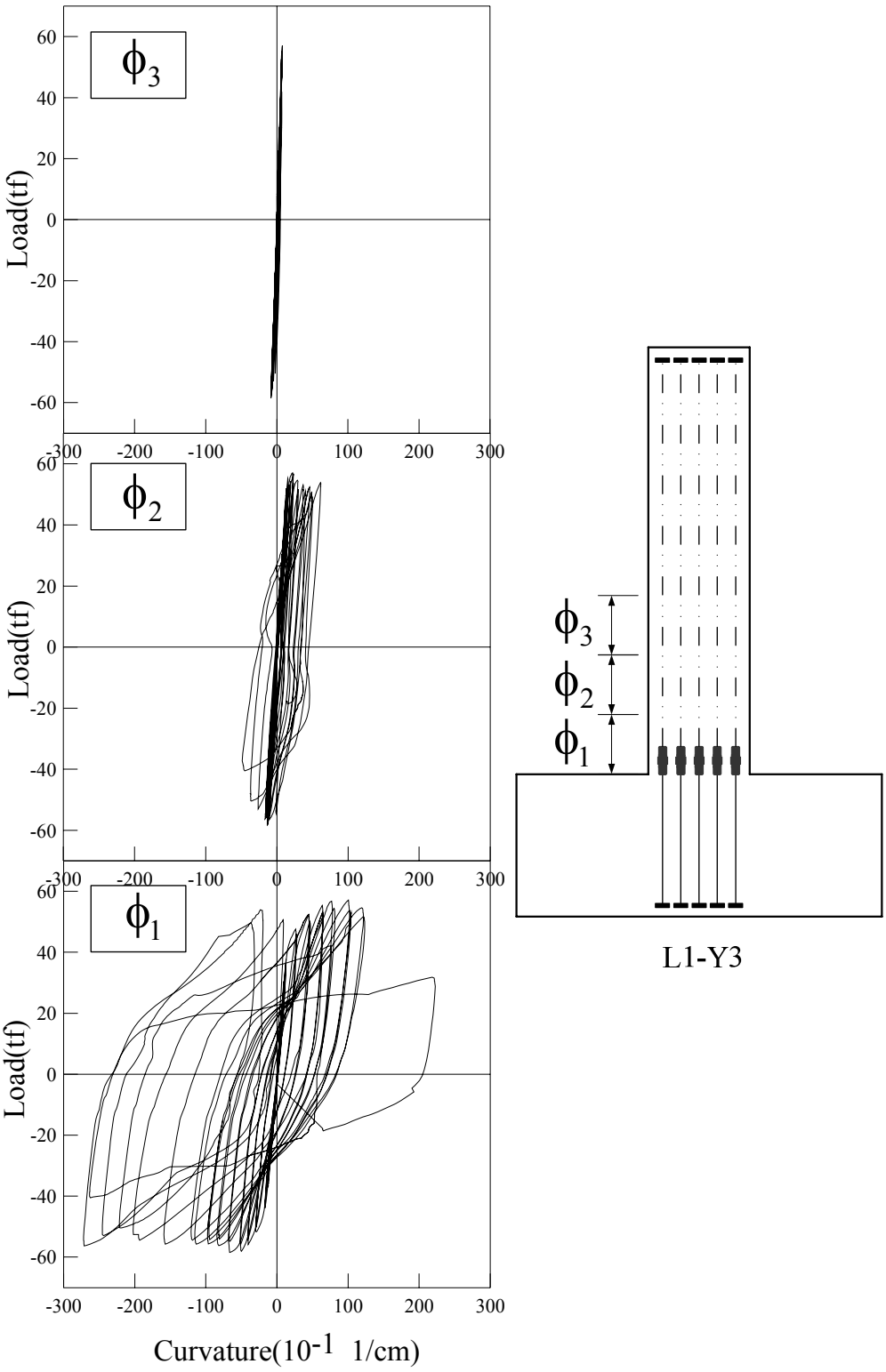


圖 3-50 試體 L1-Y3 近臨界斷面之載重-曲率關係

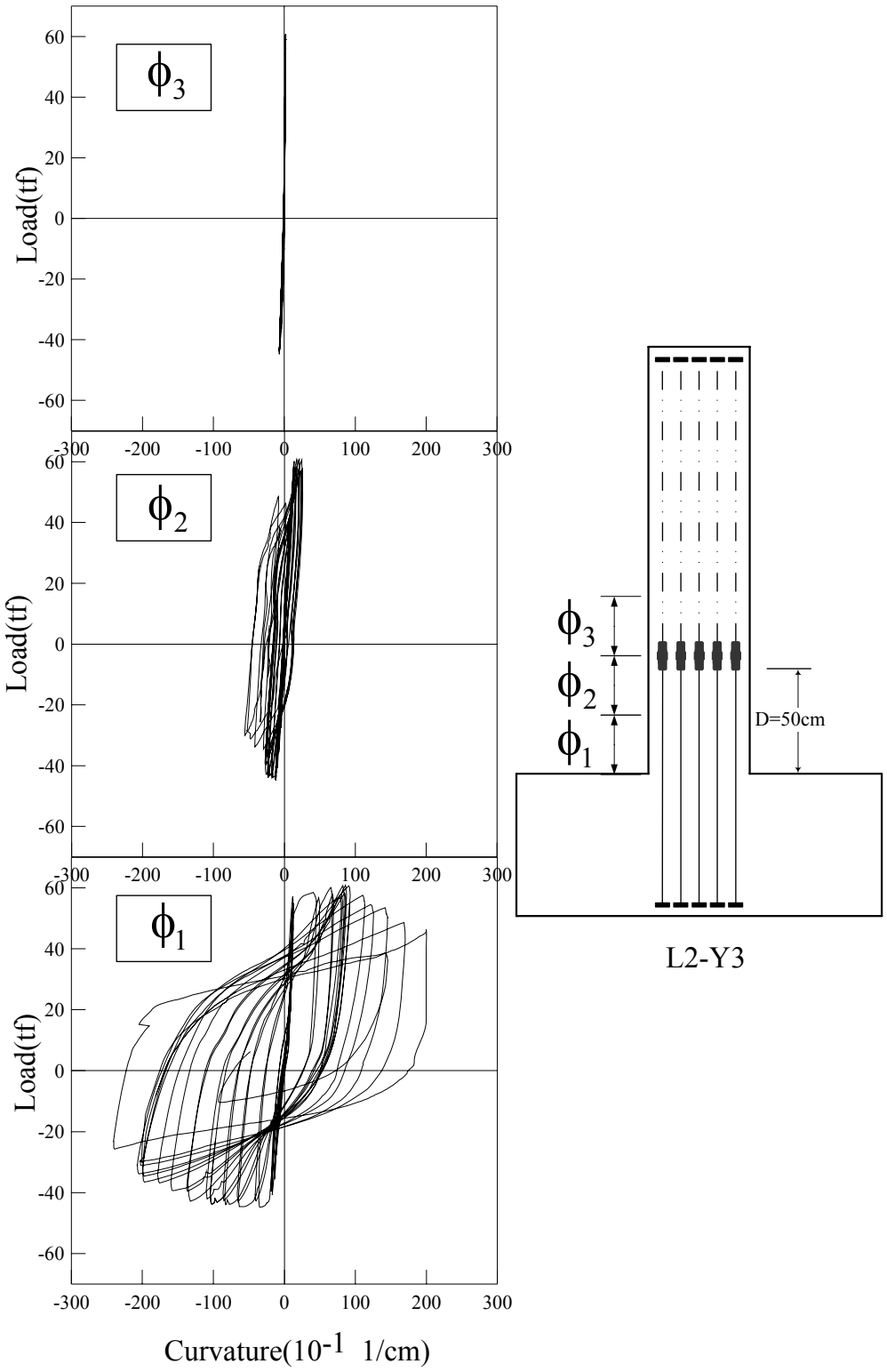


圖 3-51 試體 L2-Y3 近臨界斷面之載重-曲率關係

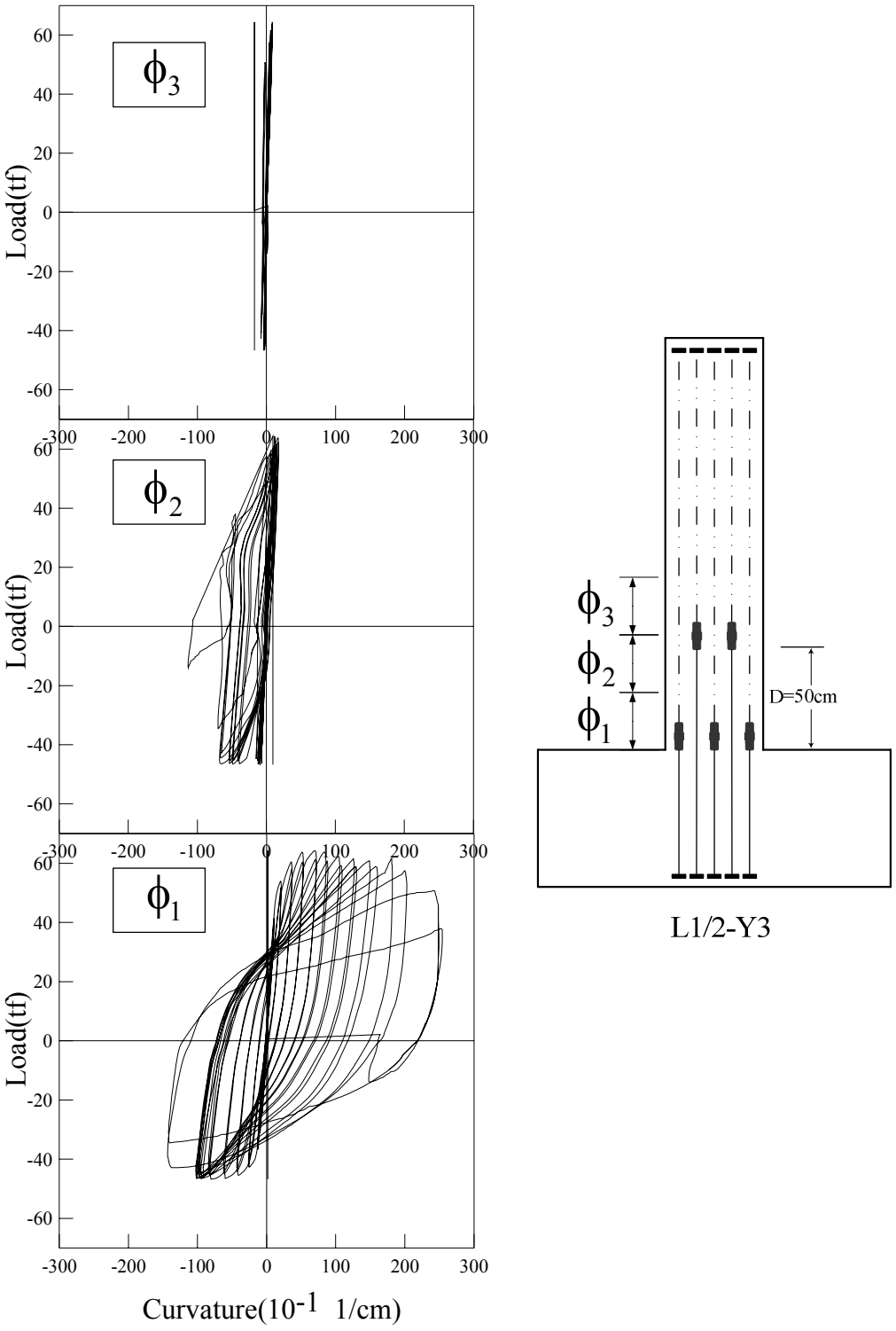


圖 3-52 試體 L1/2-Y3 近臨界斷面之載重-曲率關係

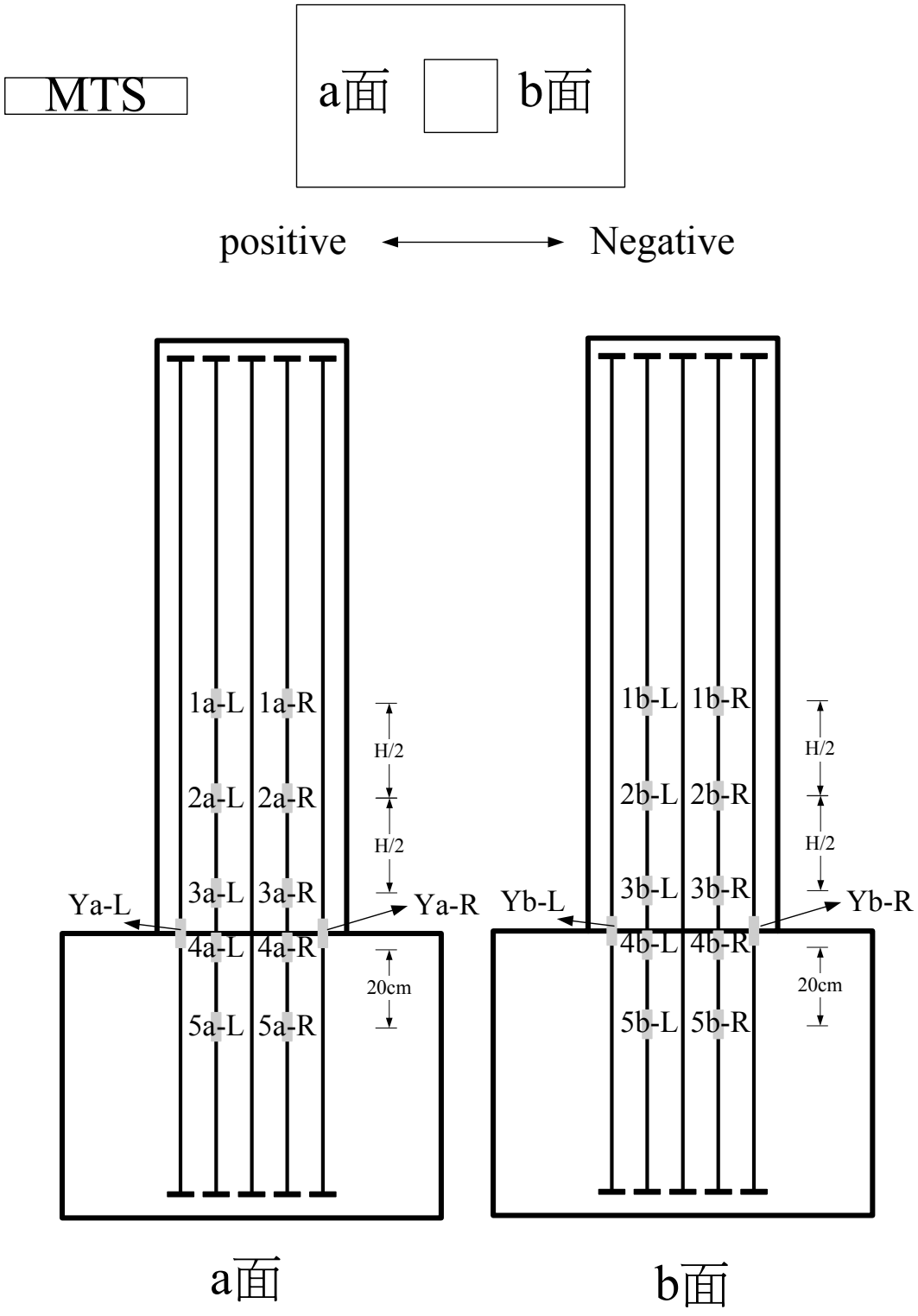


圖 3-53 試體 R-Y1 應變計命名及位置圖

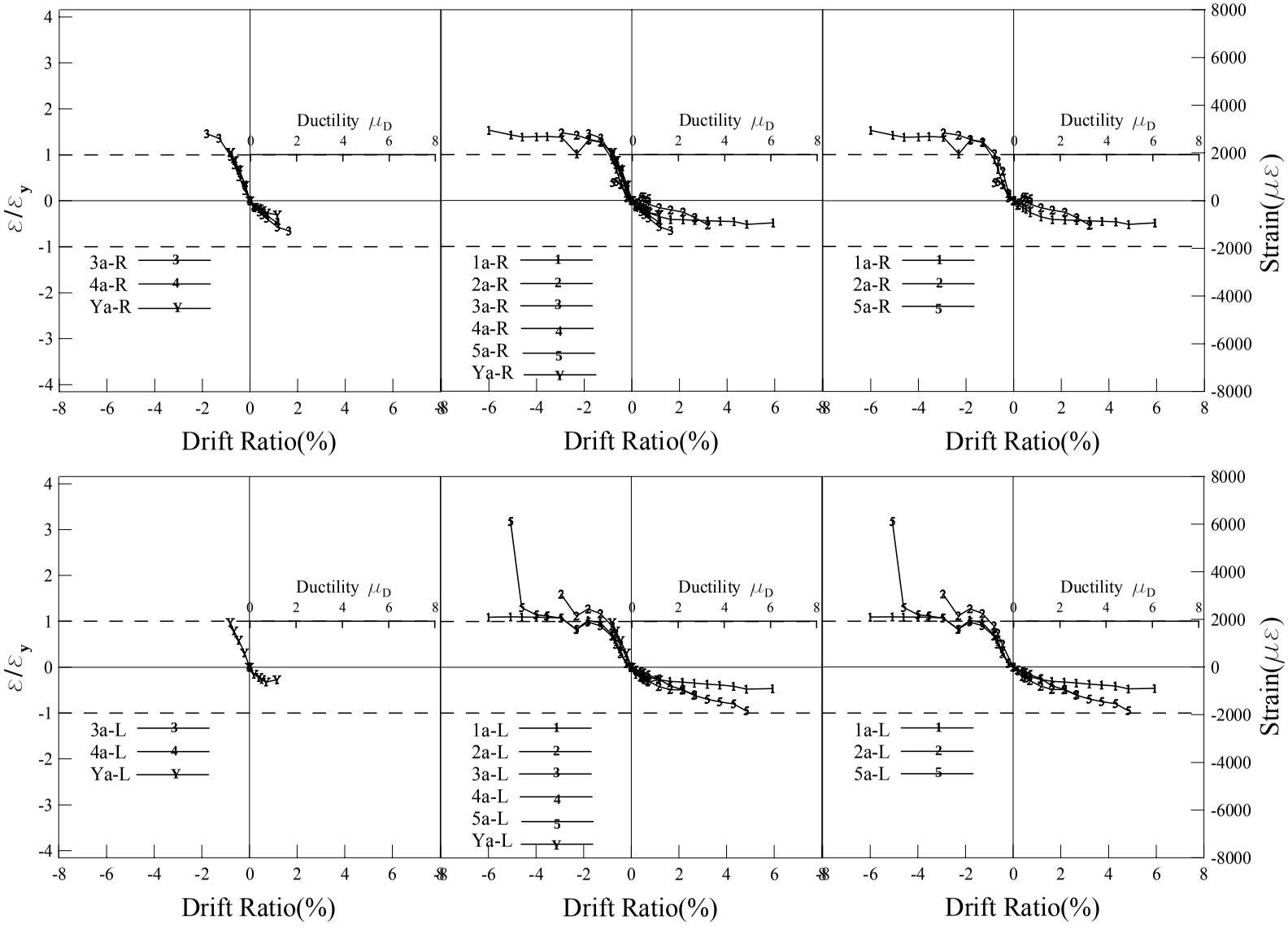


圖 3-54 試體 R-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)

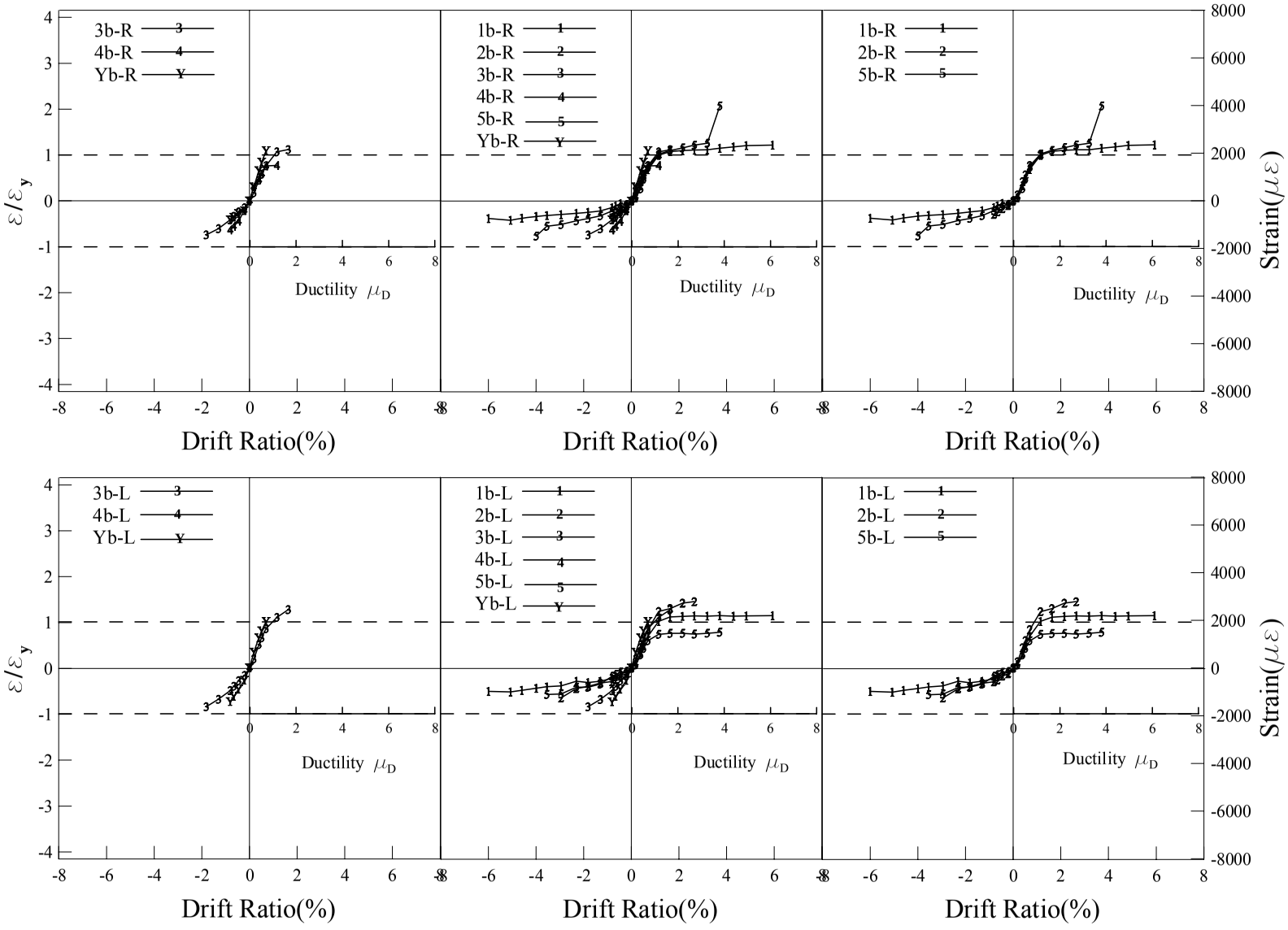


圖 3-55 試體 R-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)

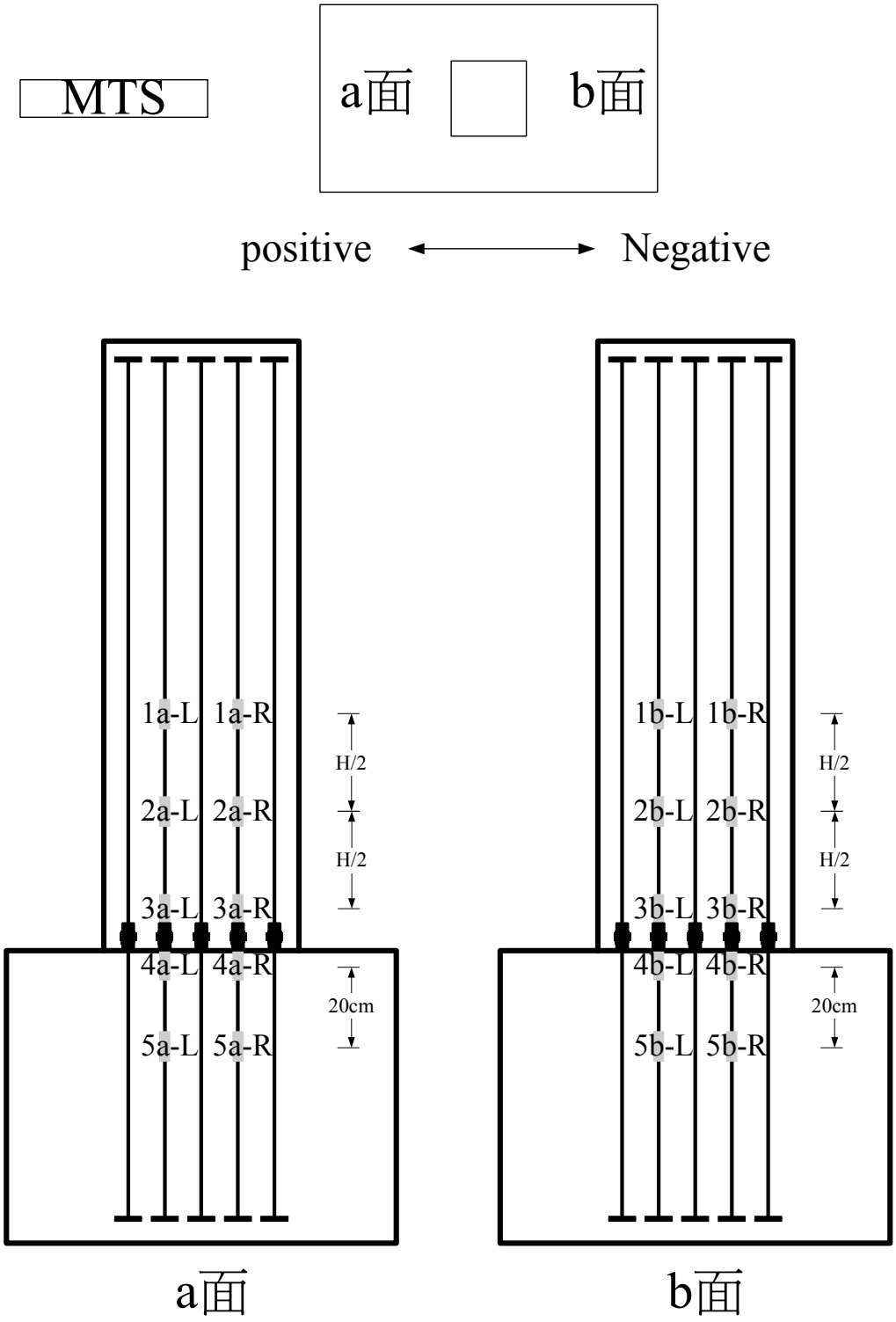


圖 3-56 試體 L1-Y1 應變計命名及位置圖

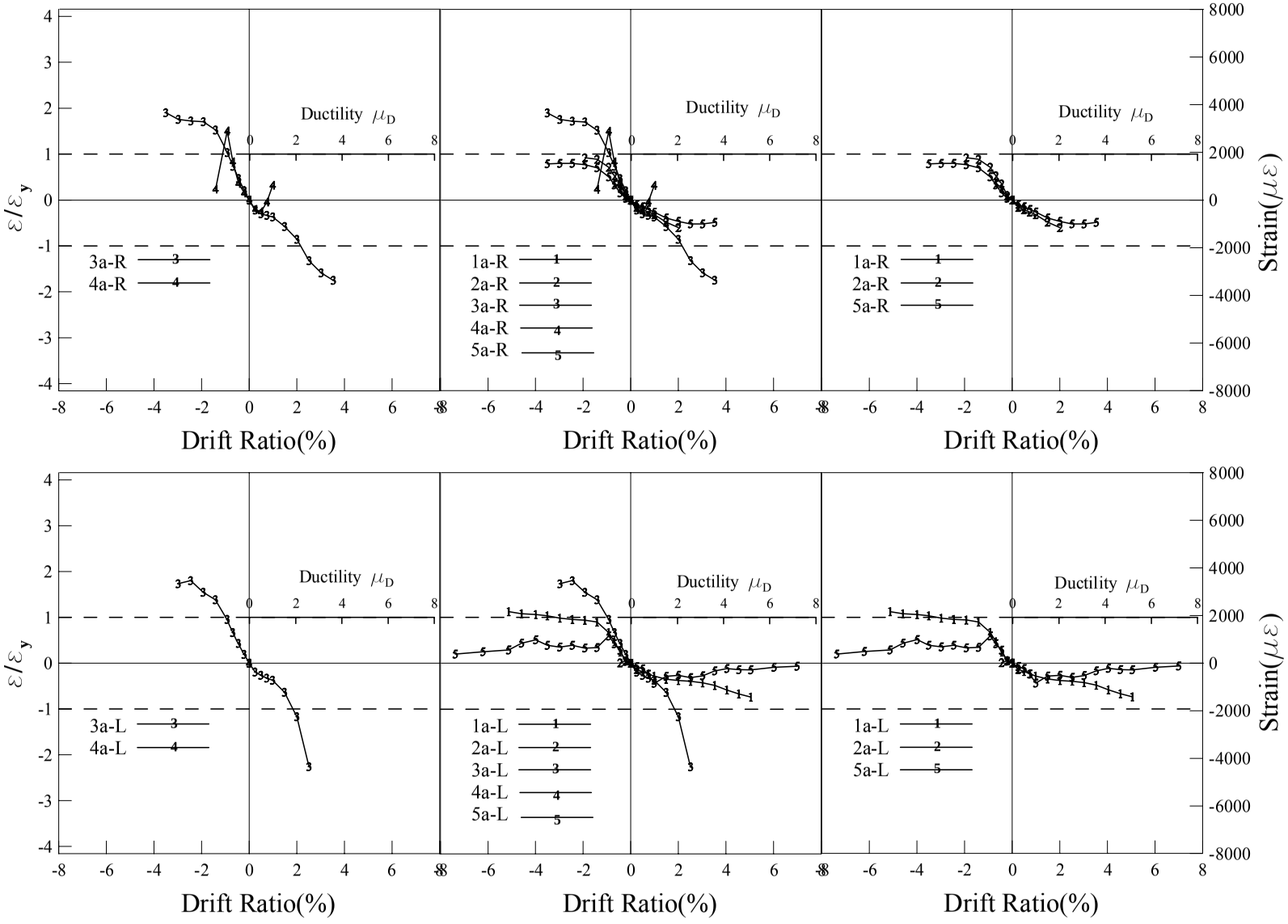


圖 3-57 試體 L1-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)

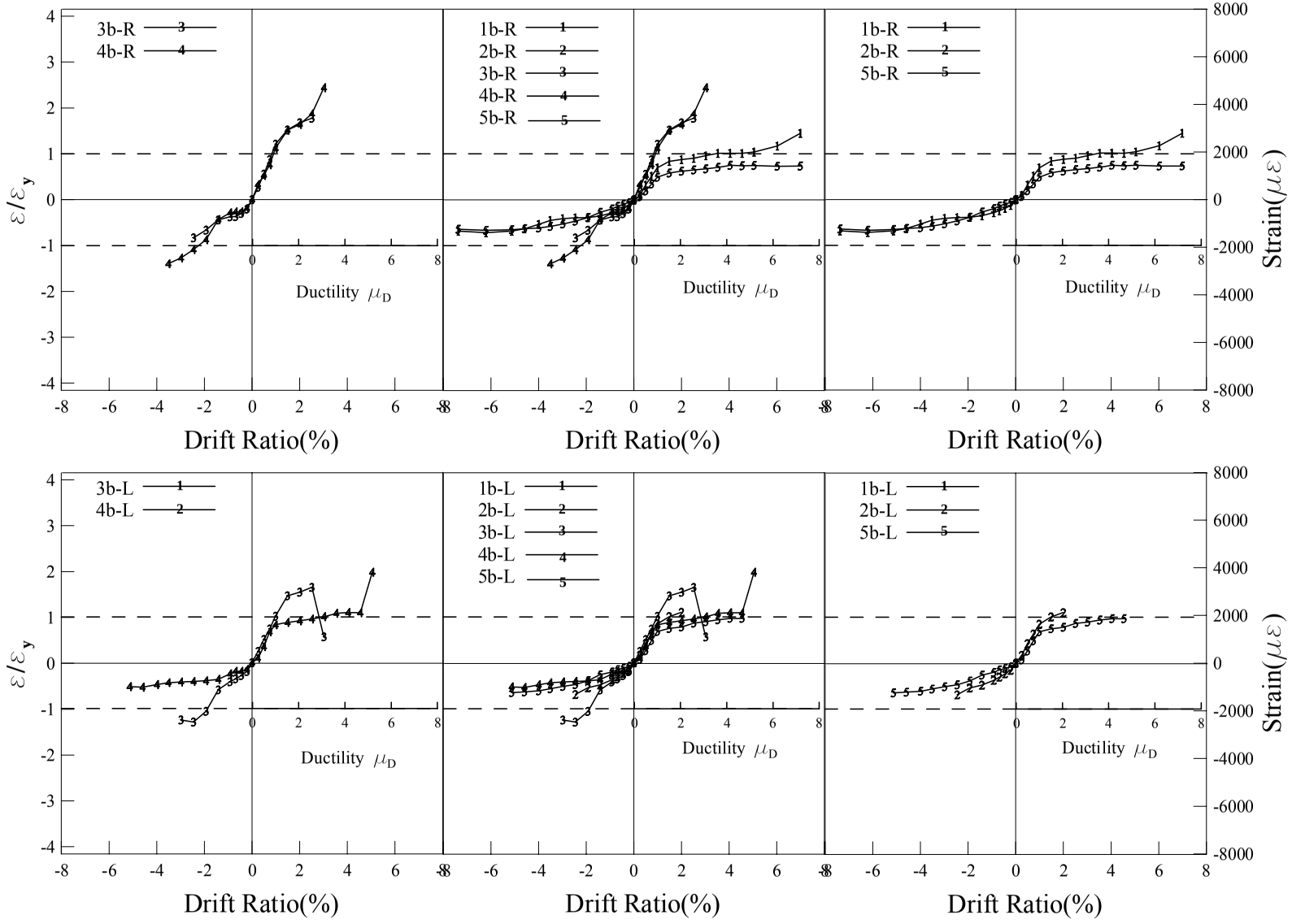


圖 3-58 試體 L1-Y1 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)

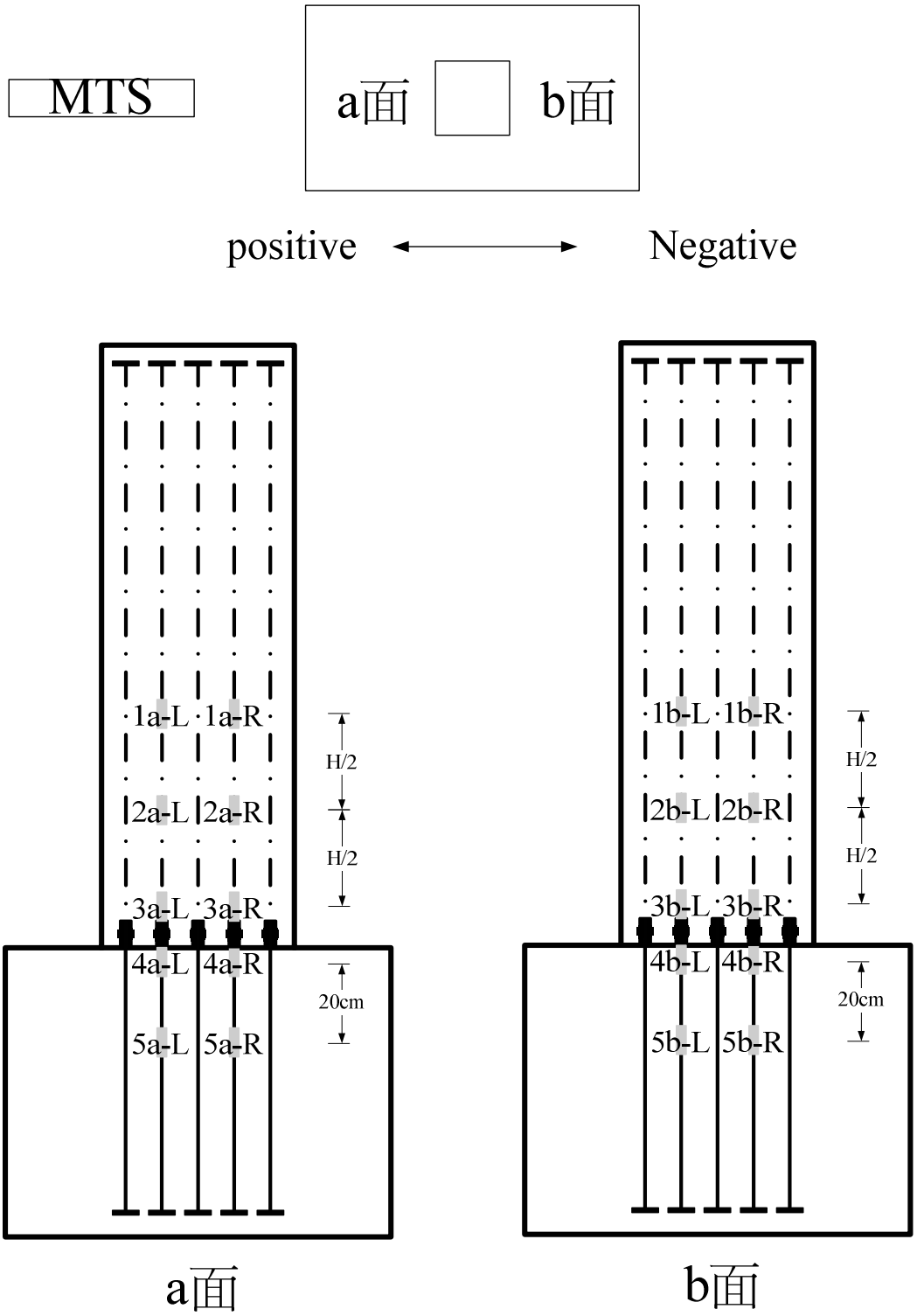


圖 3-59 試體 L1-Y2 應變計命名及位置圖

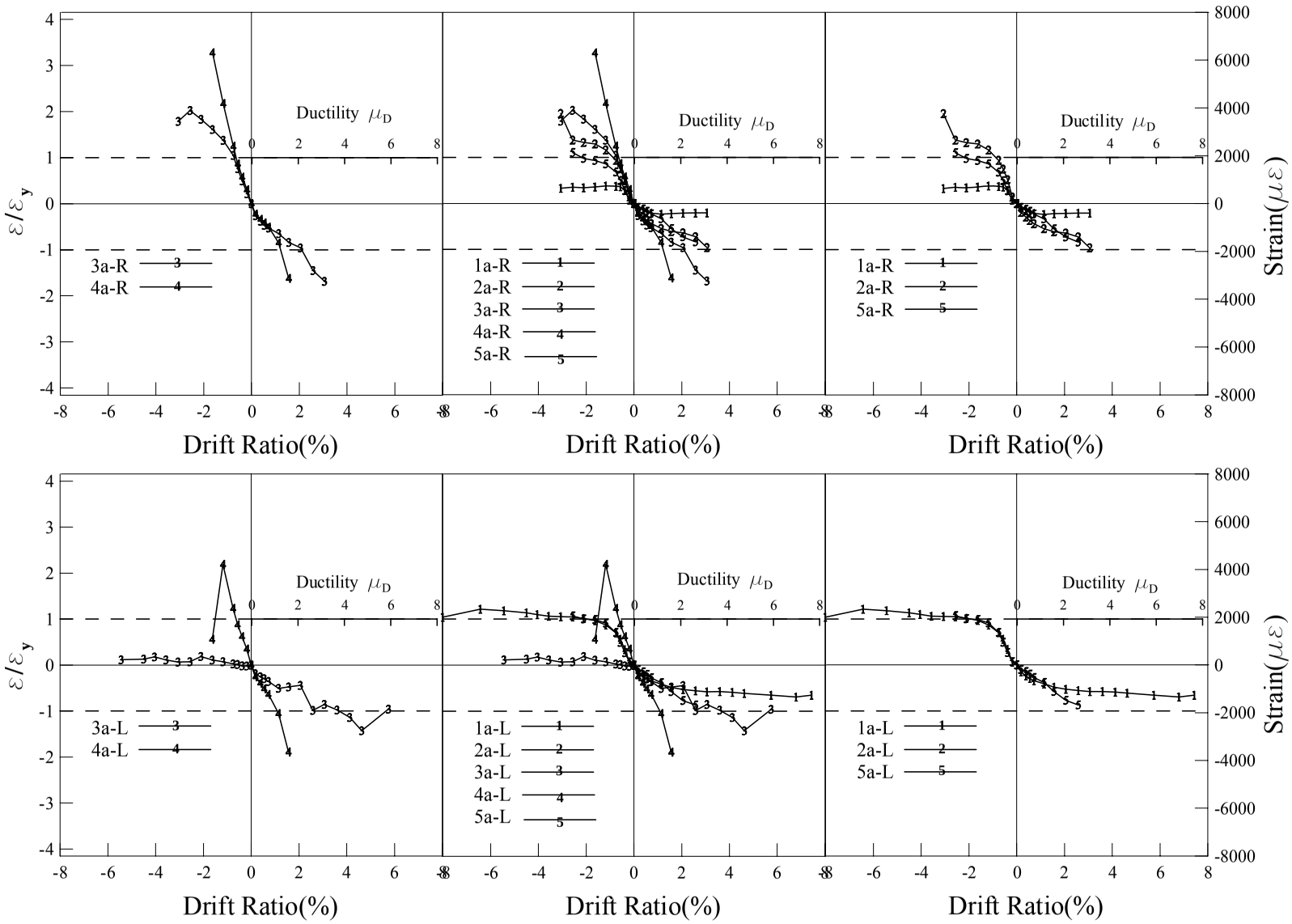


圖 3-60 試體 L1-Y2 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)

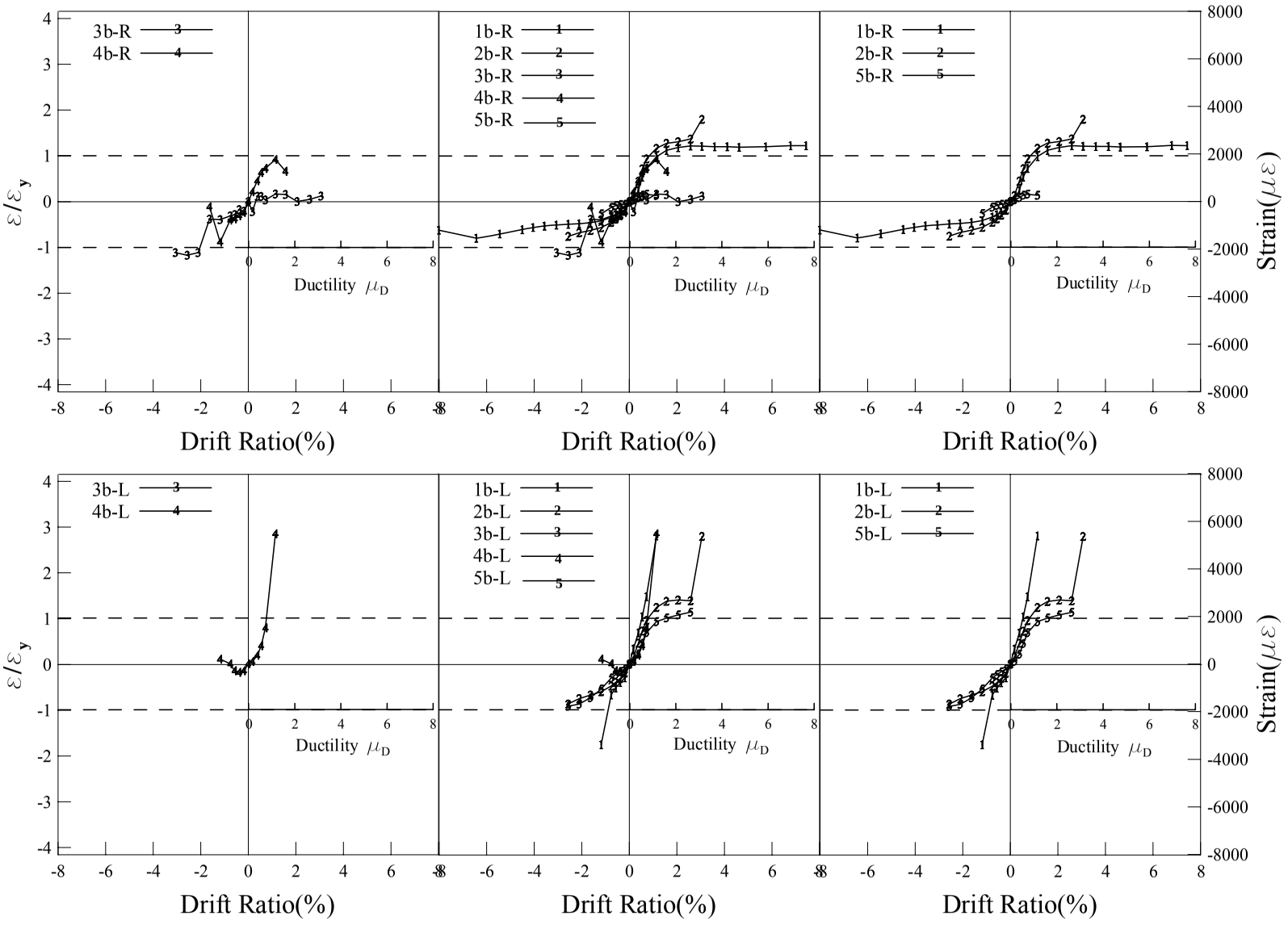


圖 3-61 試體 L1-Y2 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)

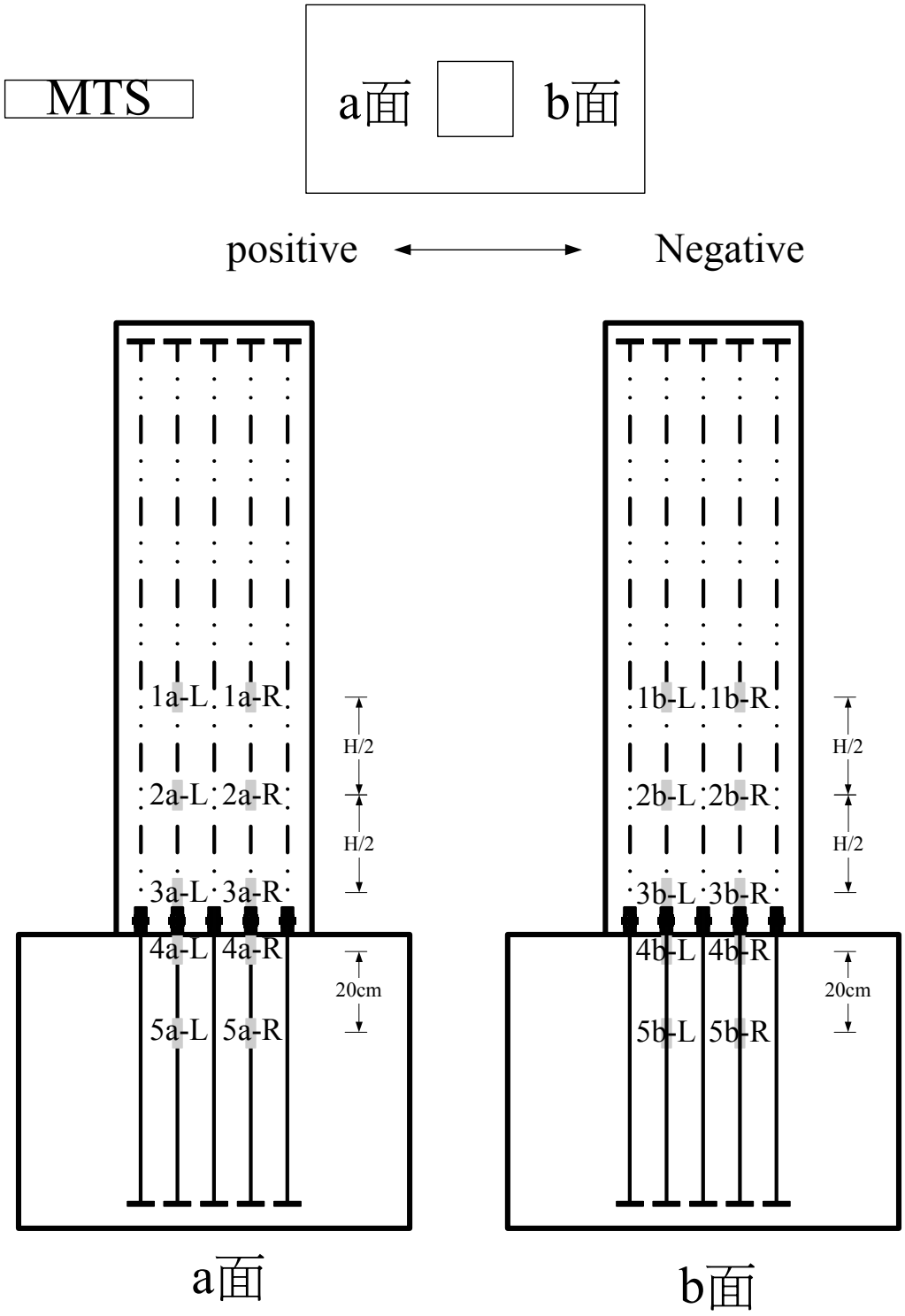


圖 3-62 試體 L1-Y3 應變計命名及位置圖

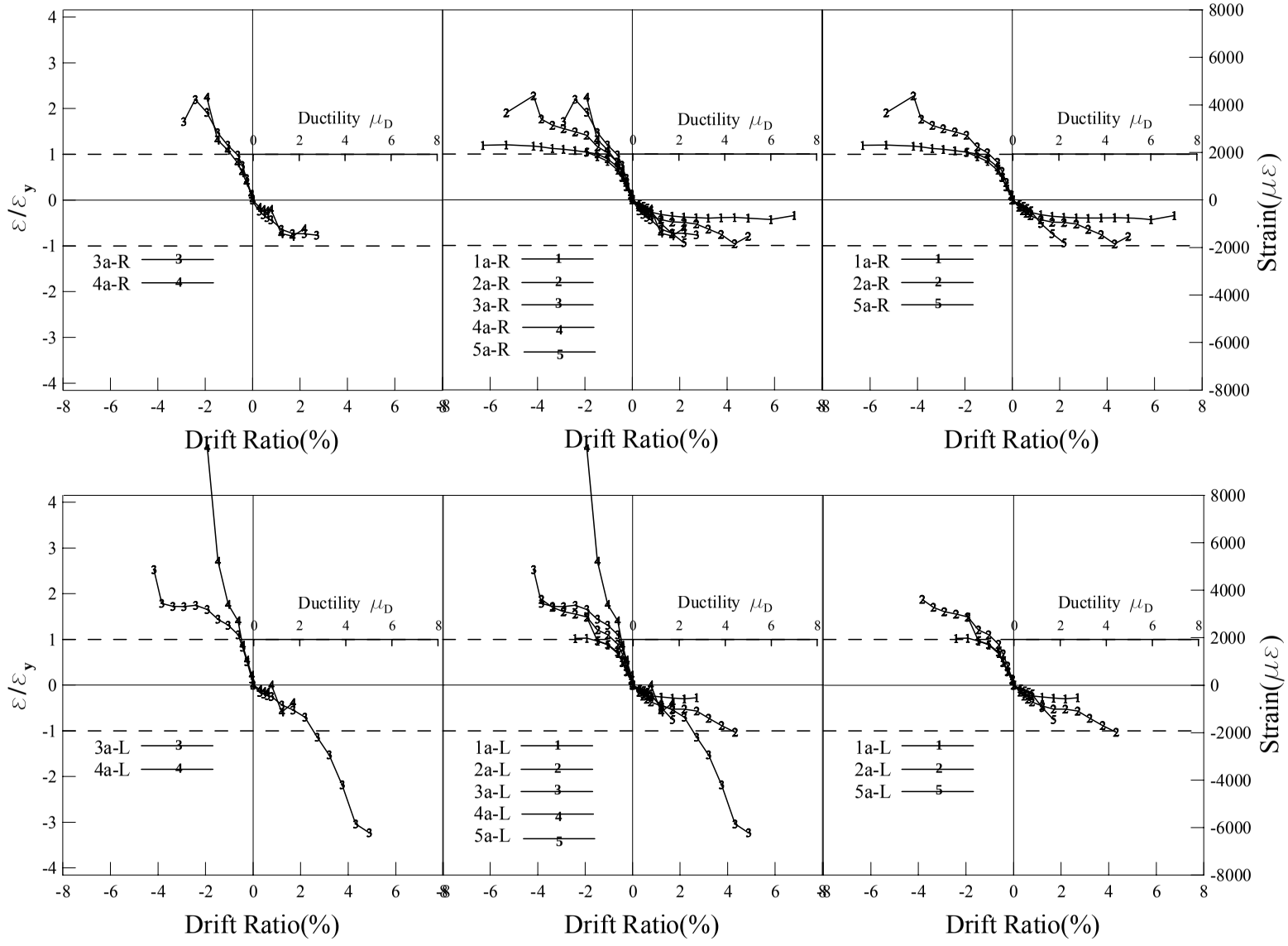


圖 3-63 試體 L1-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)

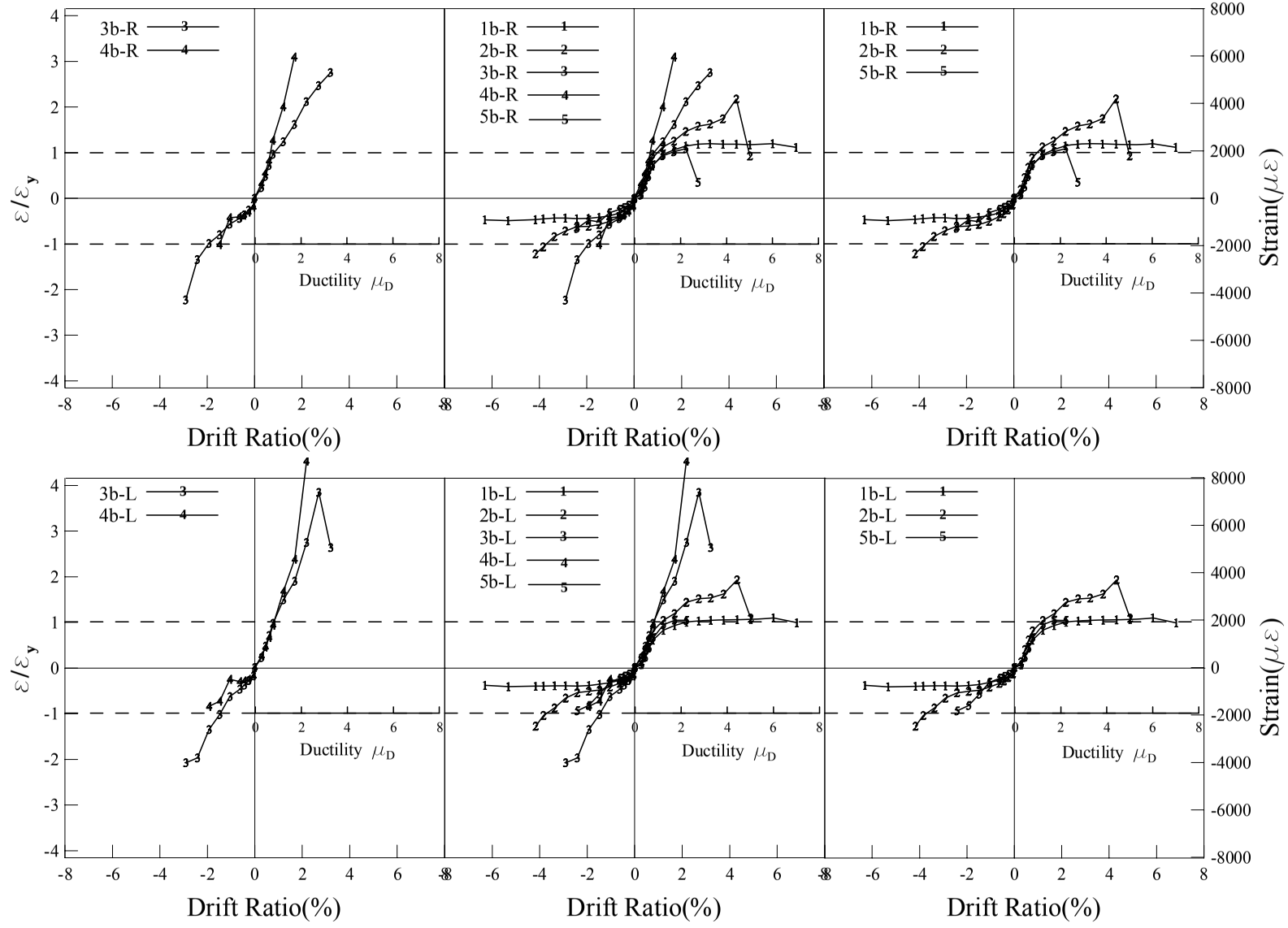


圖 3-64 試體 L1-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)

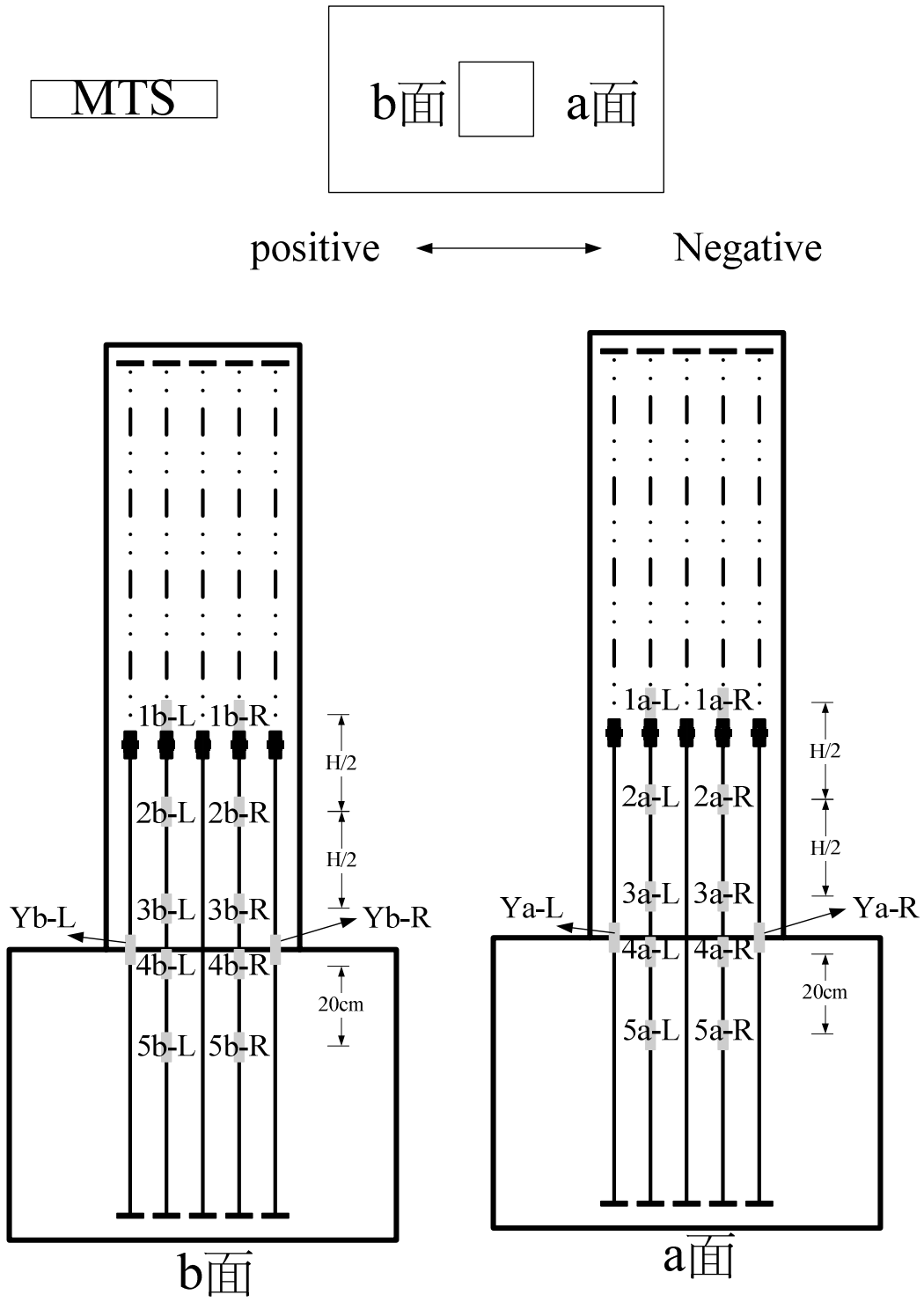


圖 3-65 試體 L2-Y3 應變計命名及位置圖

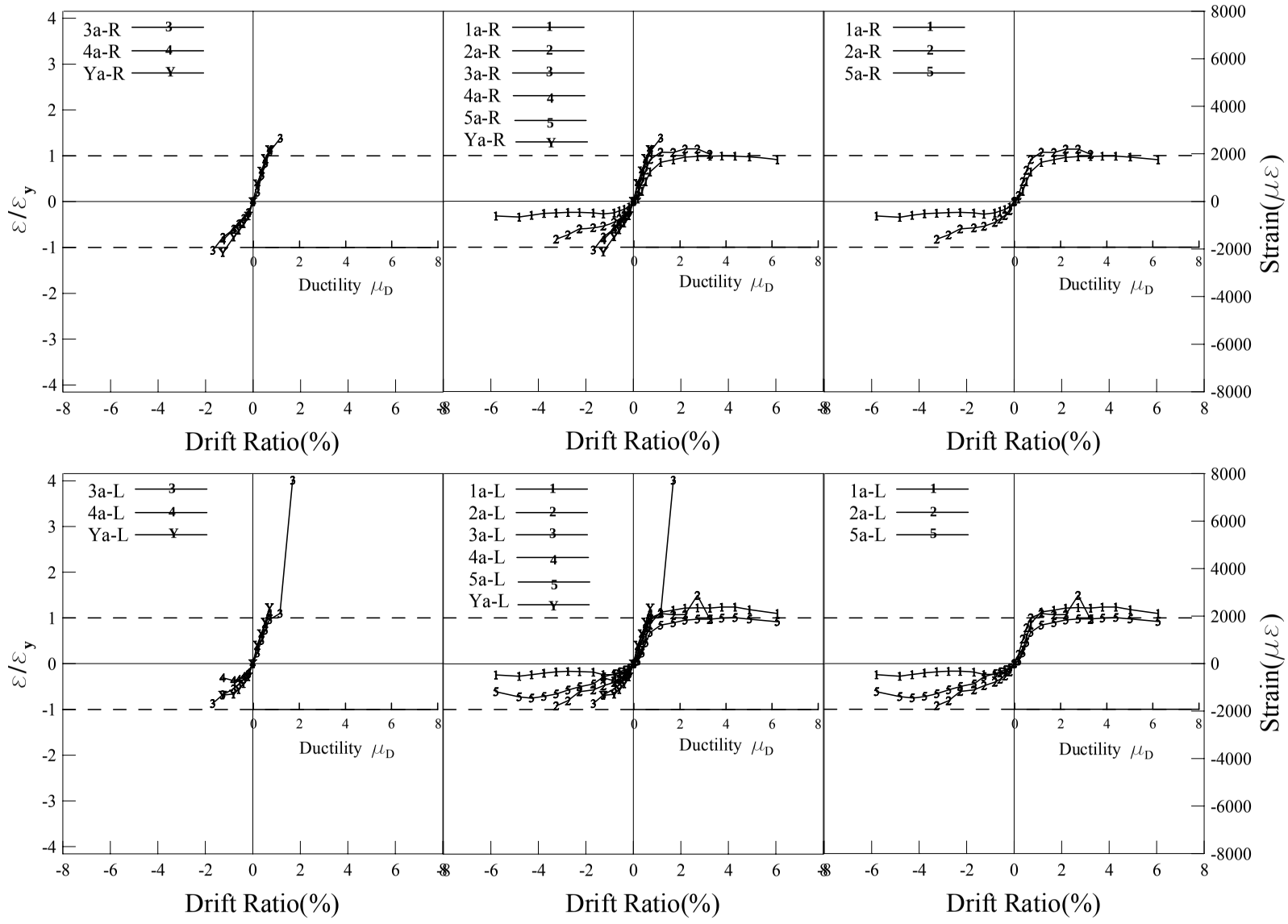


圖 3-66 試體 L2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)

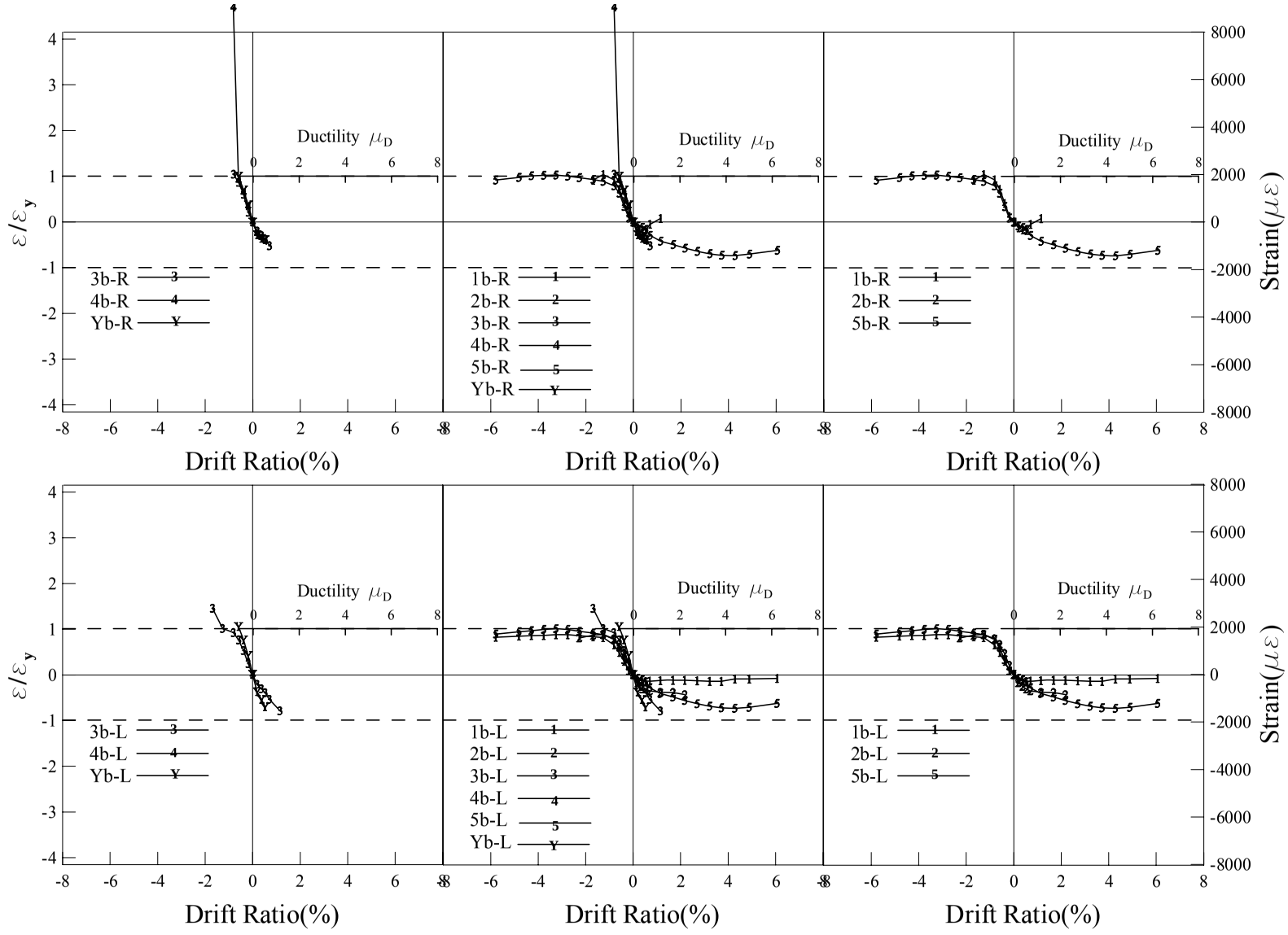


圖 3-67 試體 L2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)

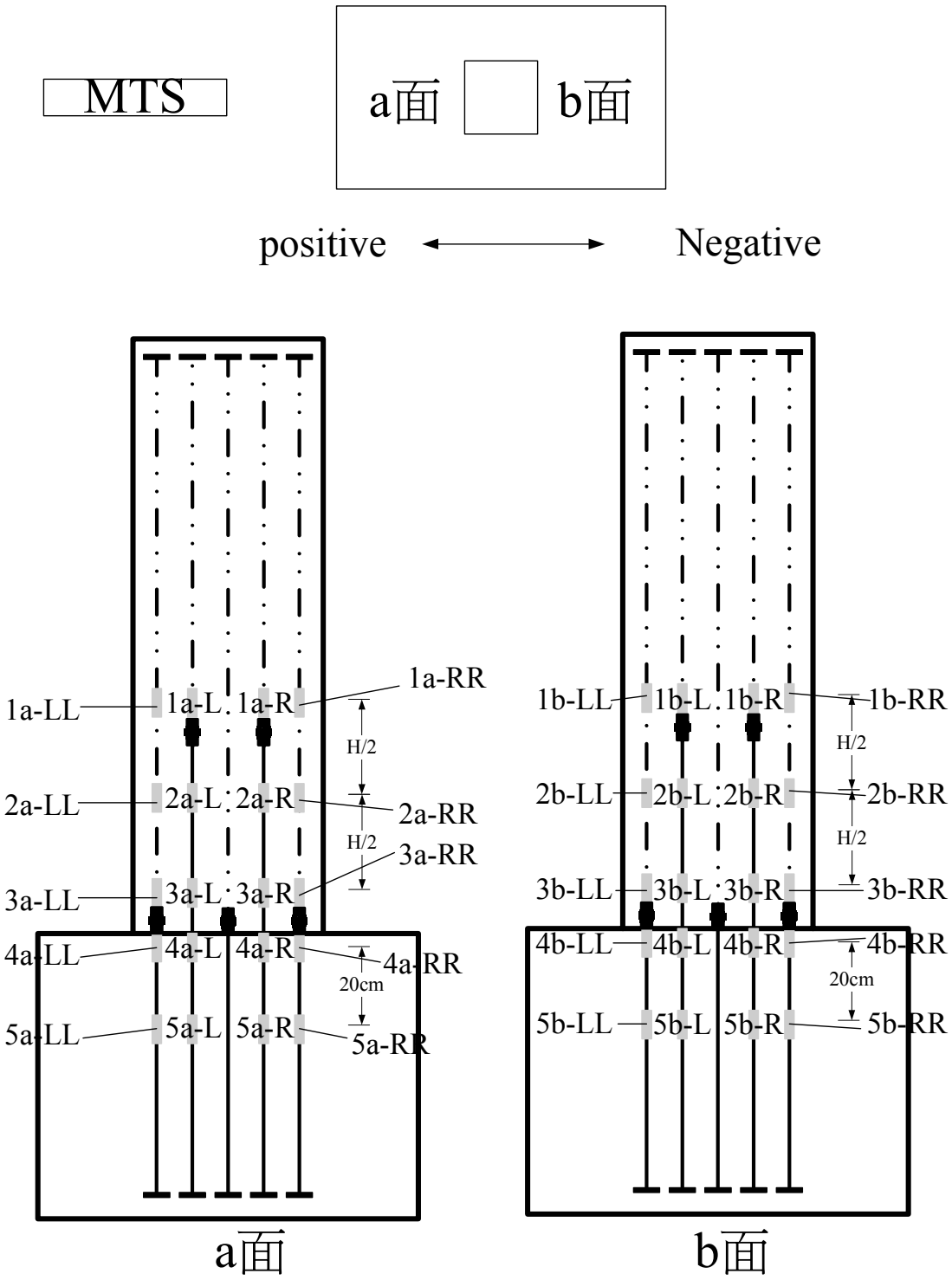


圖 3-68 試體 L1/2-Y3 應變計命名及位置圖

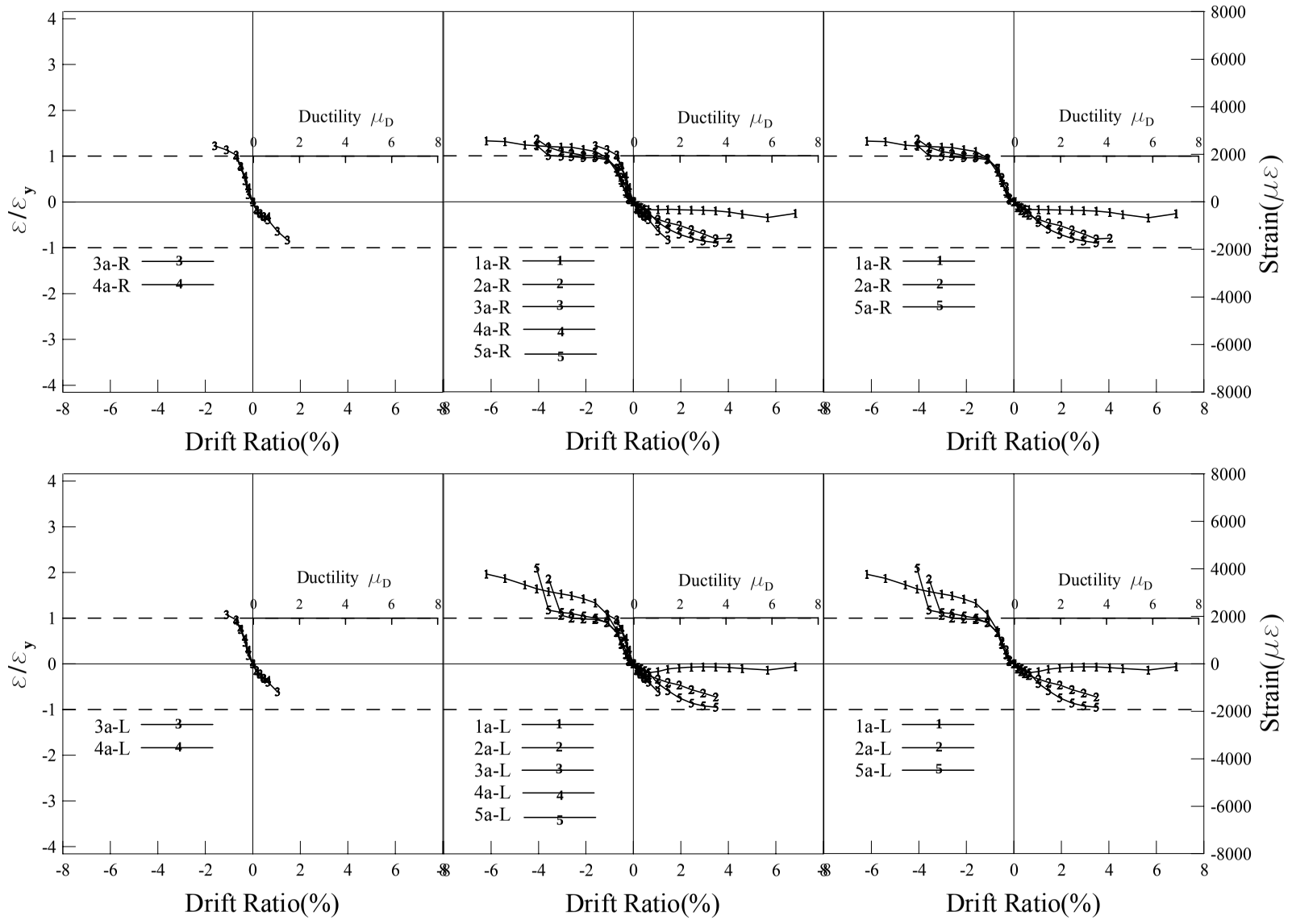


圖 3-69 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(1)

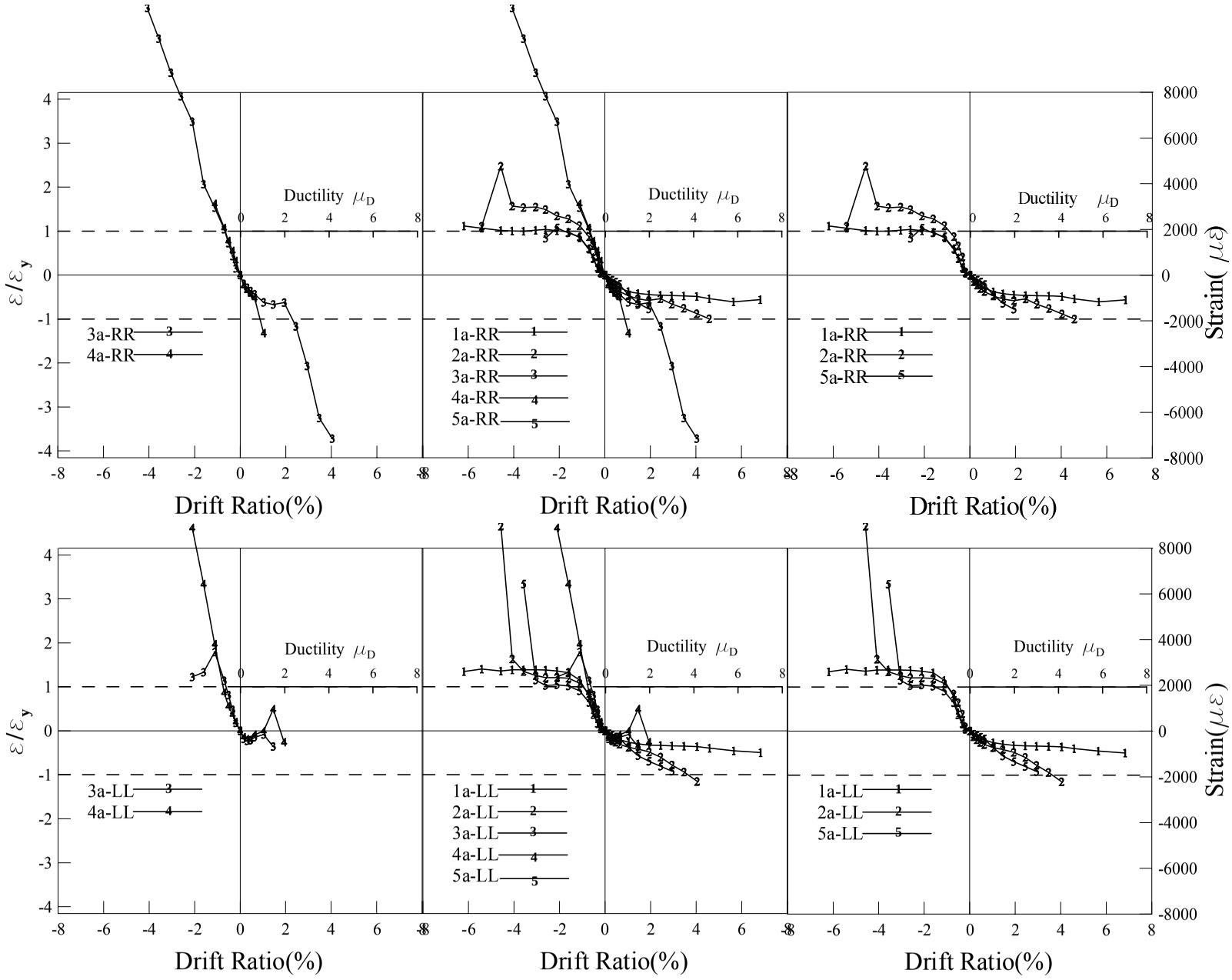


圖 3-70 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(2)

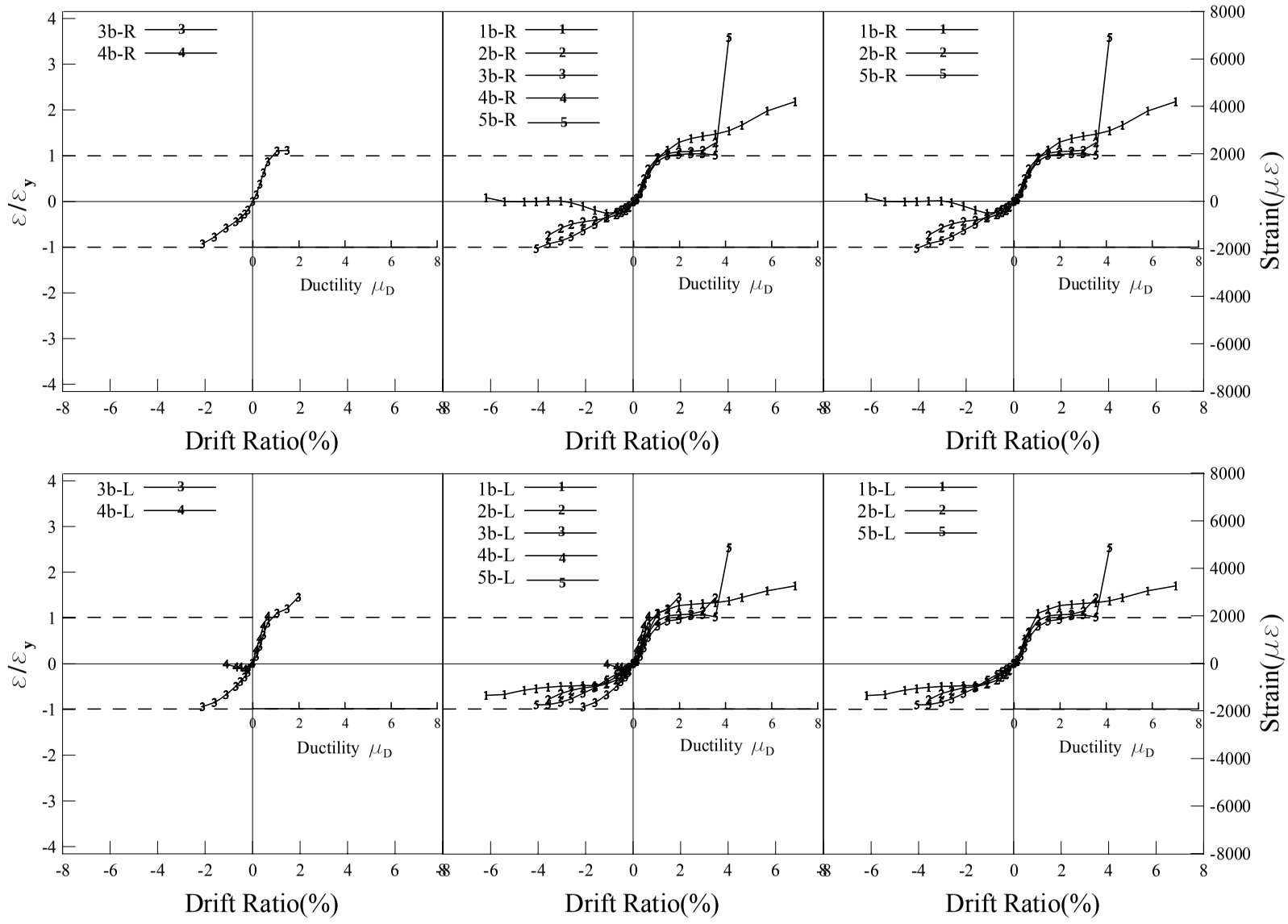


圖 3-71 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(3)

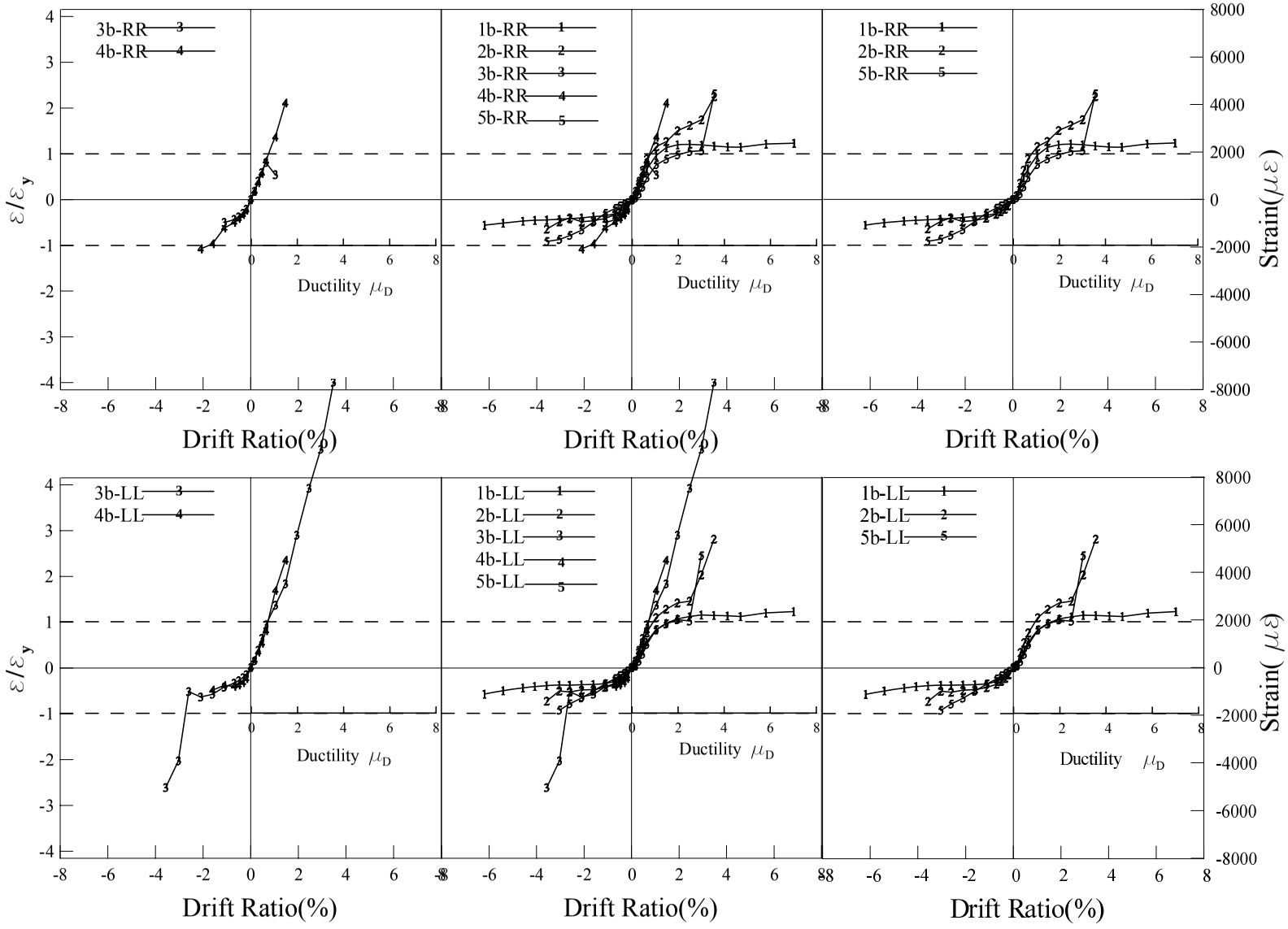


圖 3-72 試體 L1/2-Y3 應變計讀數-層間位移角關係圖(4)

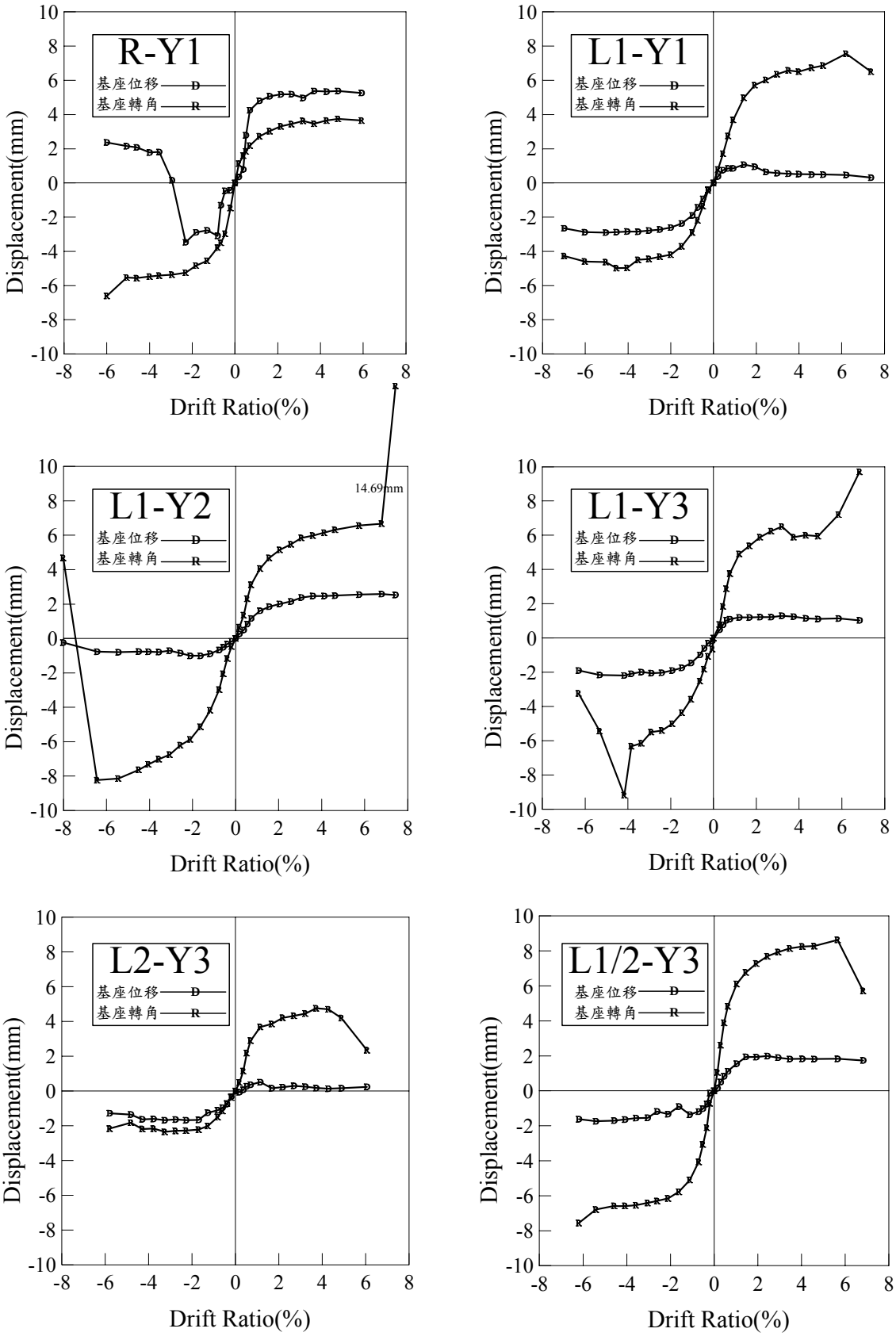


圖 3-73 全試體基座水平位移與轉動量

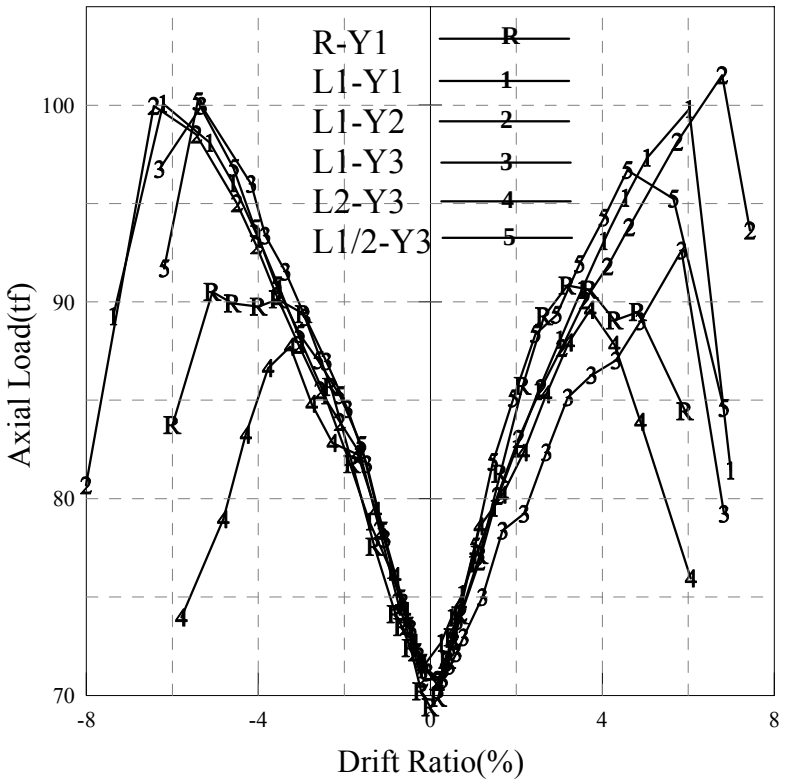


圖 3-74 全試體軸力-層間位移角關係圖

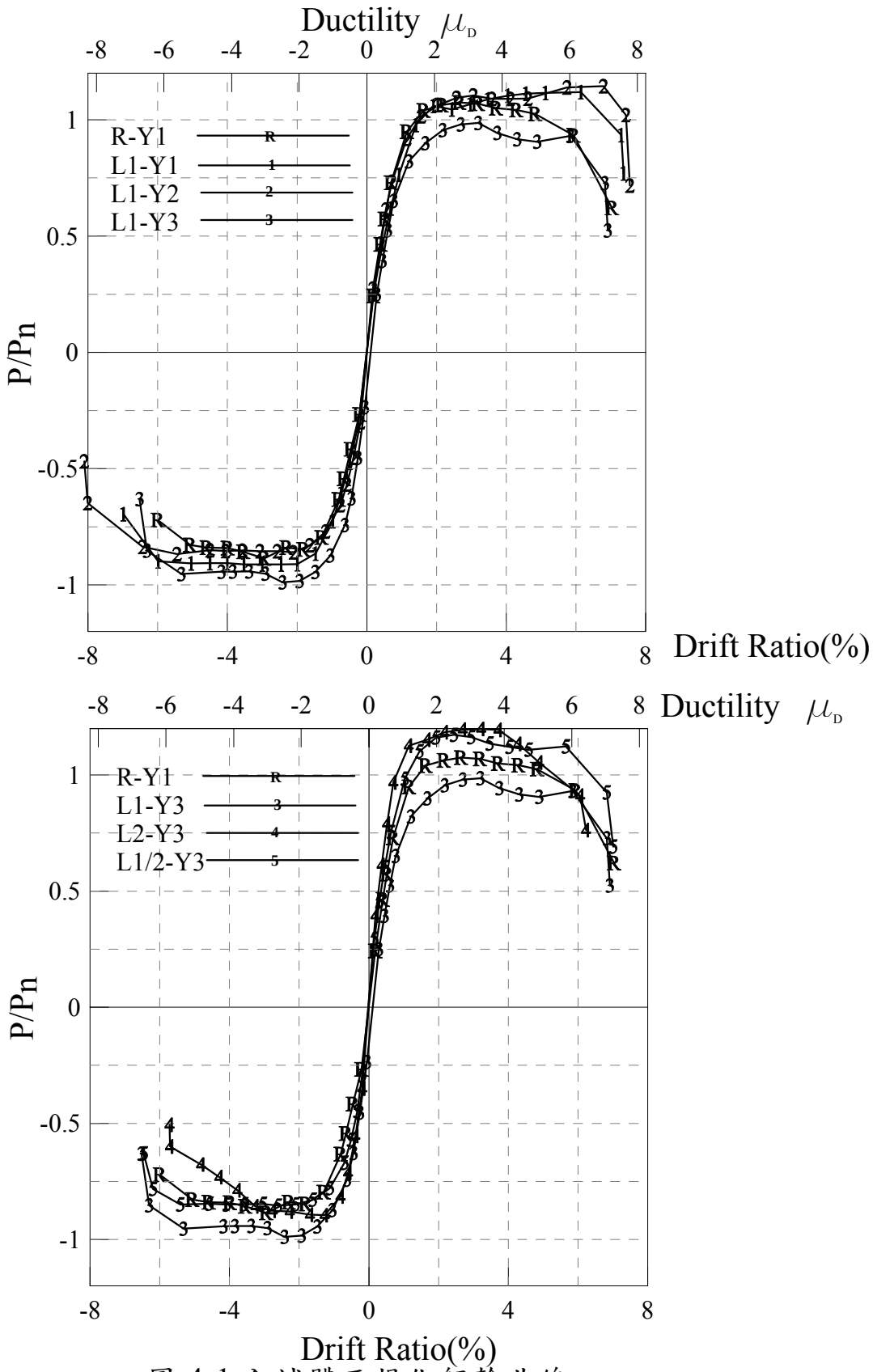


圖 4-1 全試體正規化軀幹曲線

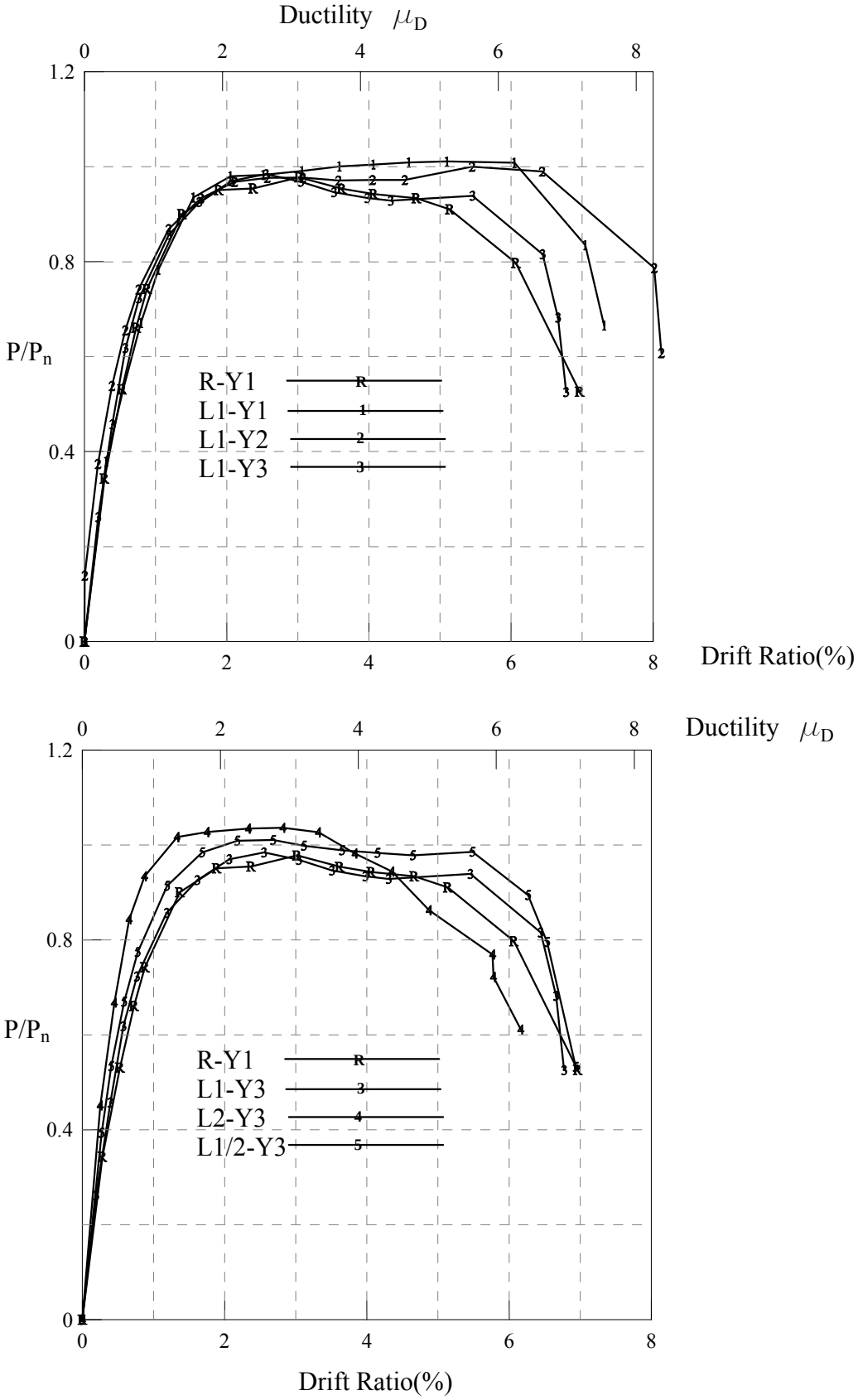
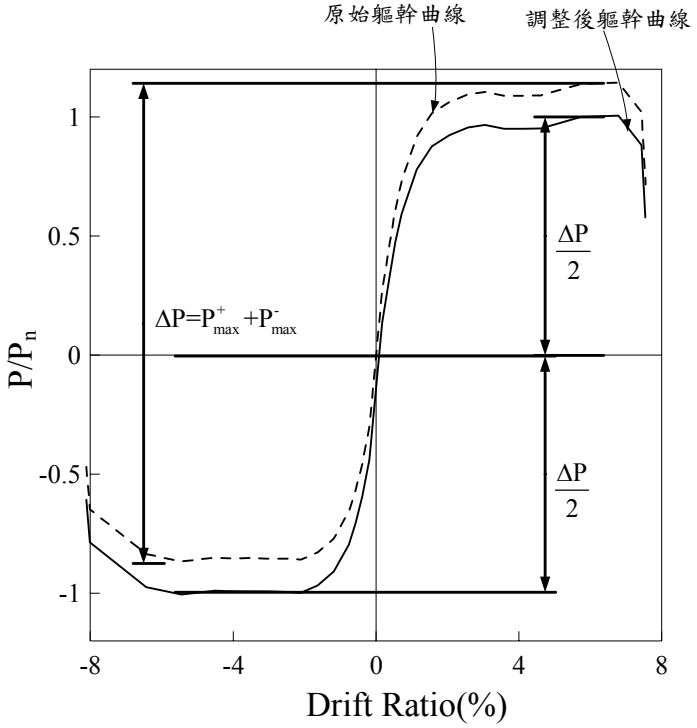


圖 4-2 全試體平均正規化載重-層間位移角(Drift Ratio)關係圖

第一步



第二步

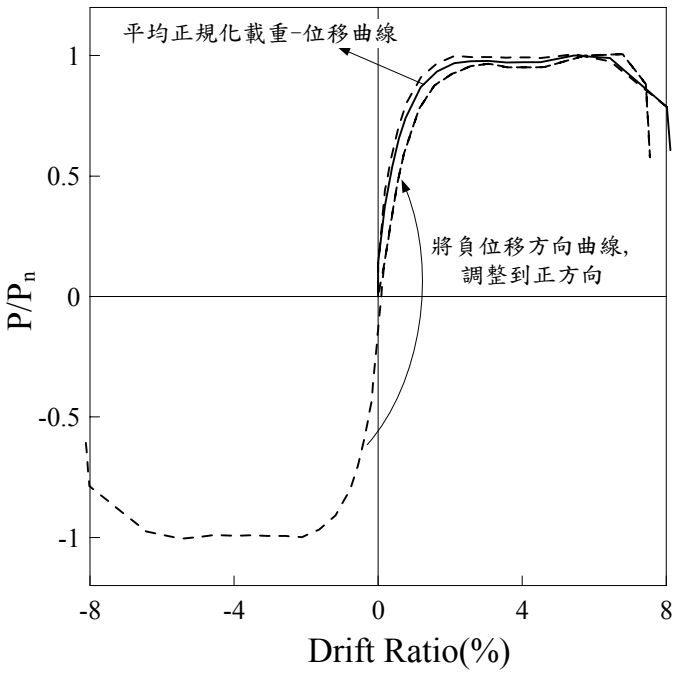


圖 4-3 軀幹曲線調整示意圖

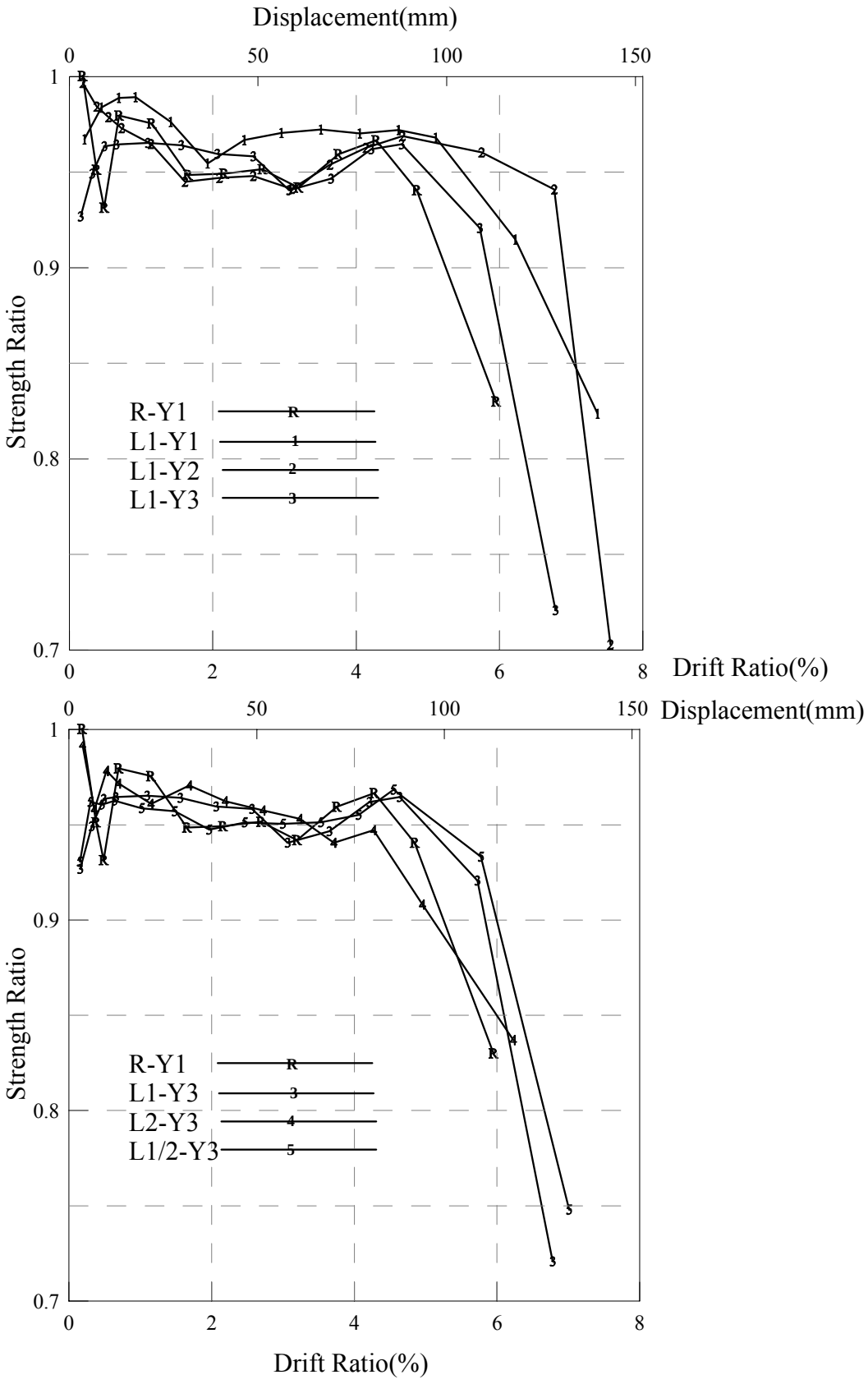

Displacement(mm)
0
50
100
150
1
0.9
0.8
0.7
Strength Ratio
R-Y1
L1-Y1
L1-Y2
L1-Y3
0
2
4
6
8
Drift Ratio(%)
Displacement(mm)
R-Y1
L1-Y3
L2-Y3
L1/2-Y3
Drift Ratio(%)

圖 4-4 全試體強度衰減

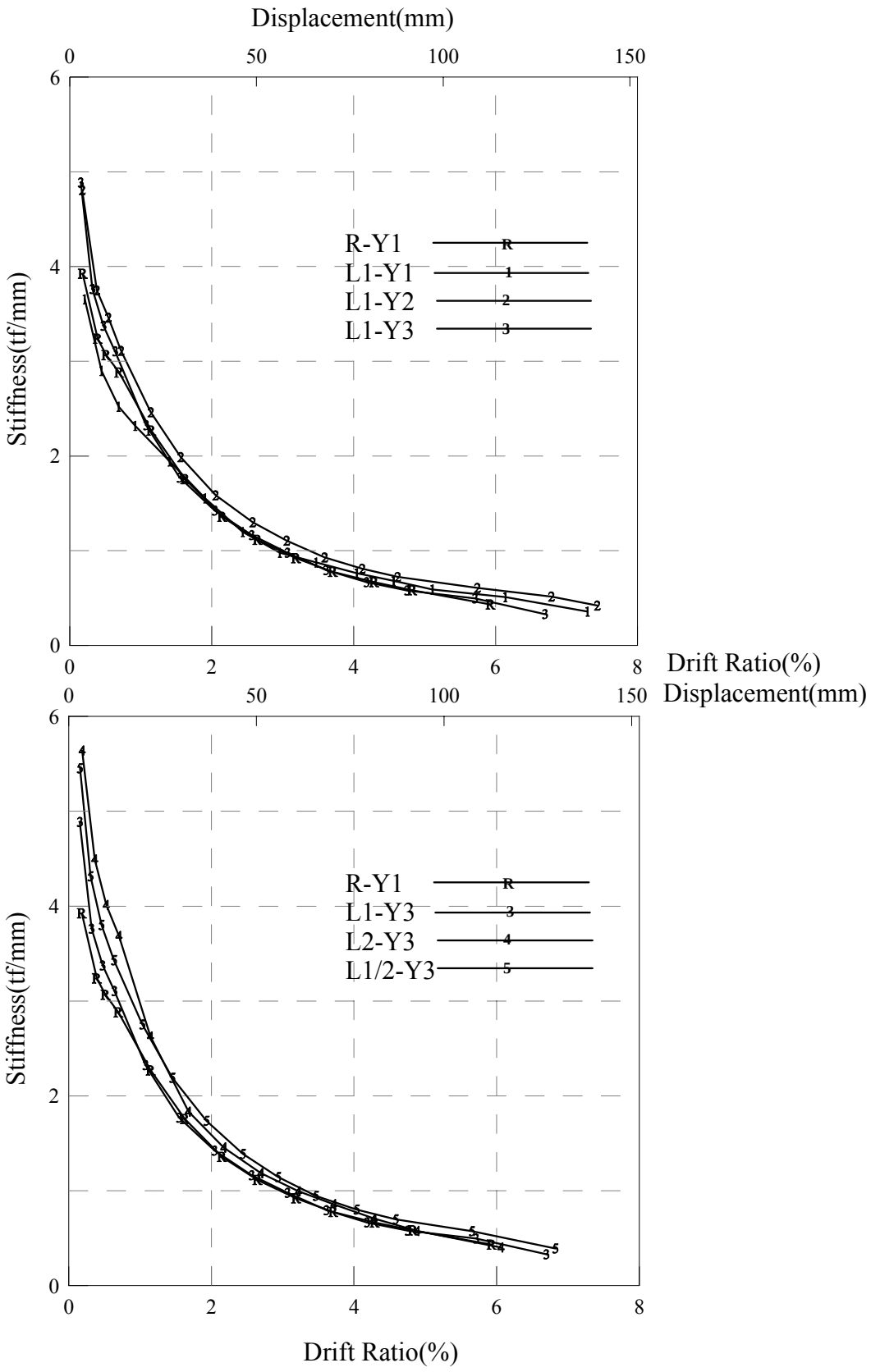

Displacement(mm)
0
50
100
150
6
4
2
0
Stiffness(tf/mm)
R-Y1
L1-Y1
L1-Y2
L1-Y3
0
2
4
6
8
Drift Ratio(%)
Displacement(mm)
R-Y1
L1-Y3
L2-Y3
L1/2-Y3
Drift Ratio(%)

圖 4-5 全試體勁度發展

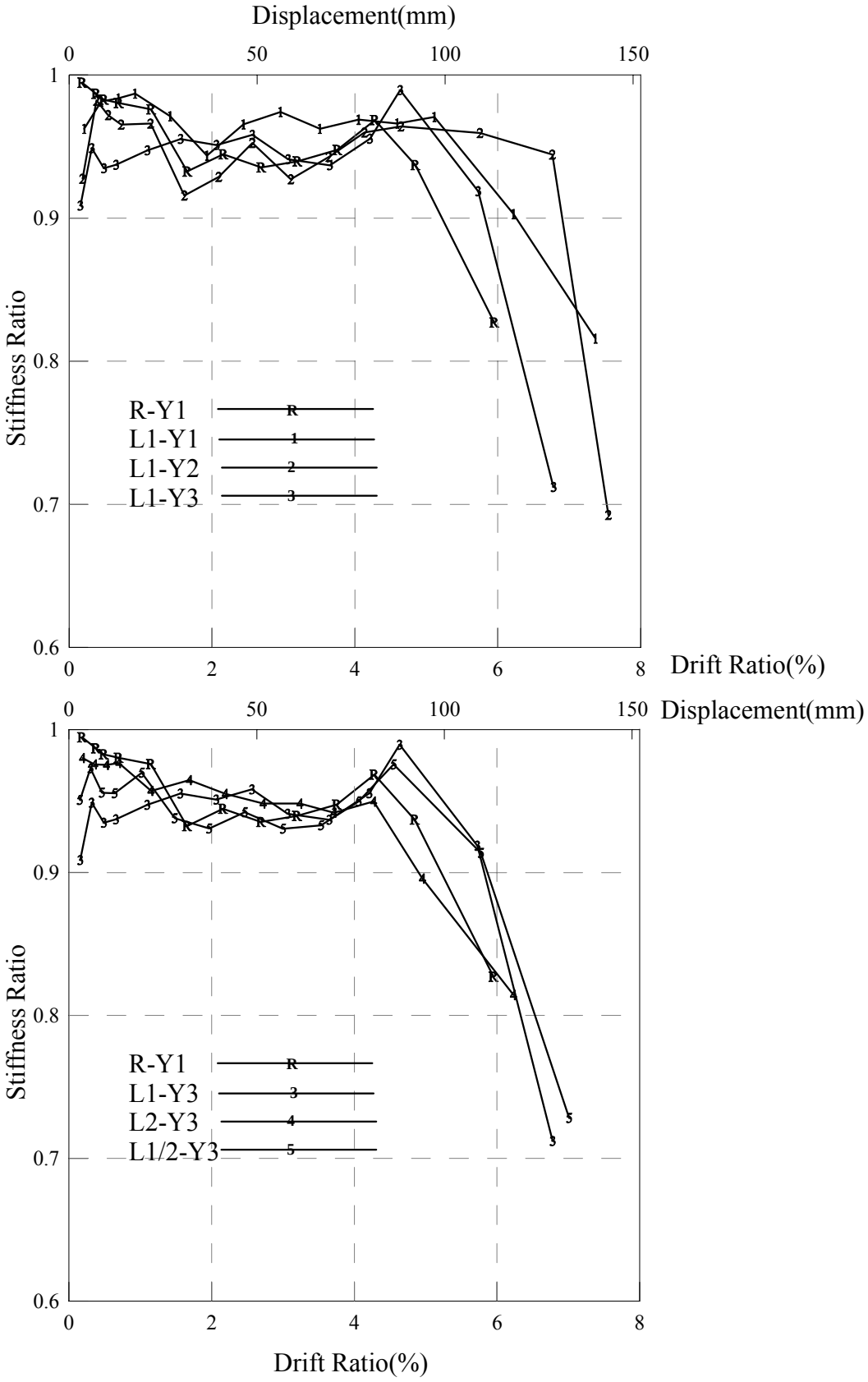
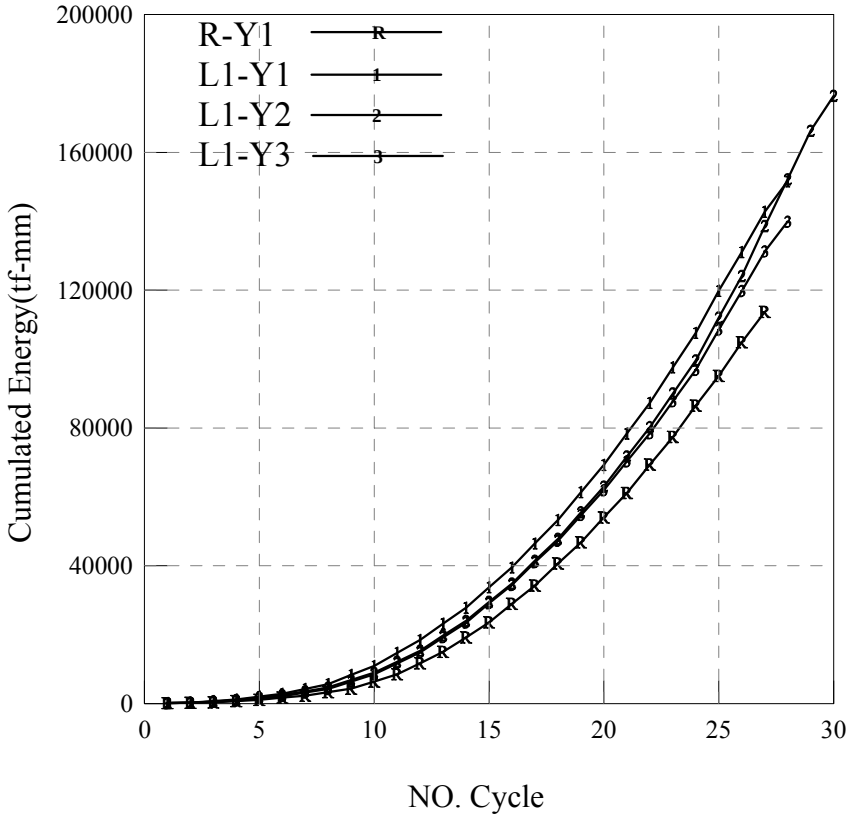

Displacement(mm)
0
50
100
150
1
0.9
0.8
0.7
0.6
Stiffness Ratio
R-Y1
L1-Y1
L1-Y2
L1-Y3
0
2
4
6
8
Drift Ratio(%)
Displacement(mm)
R-Y1
L1-Y3
L2-Y3
L1/2-Y3
Drift Ratio(%)

圖 4-6 全試體勁度衰減



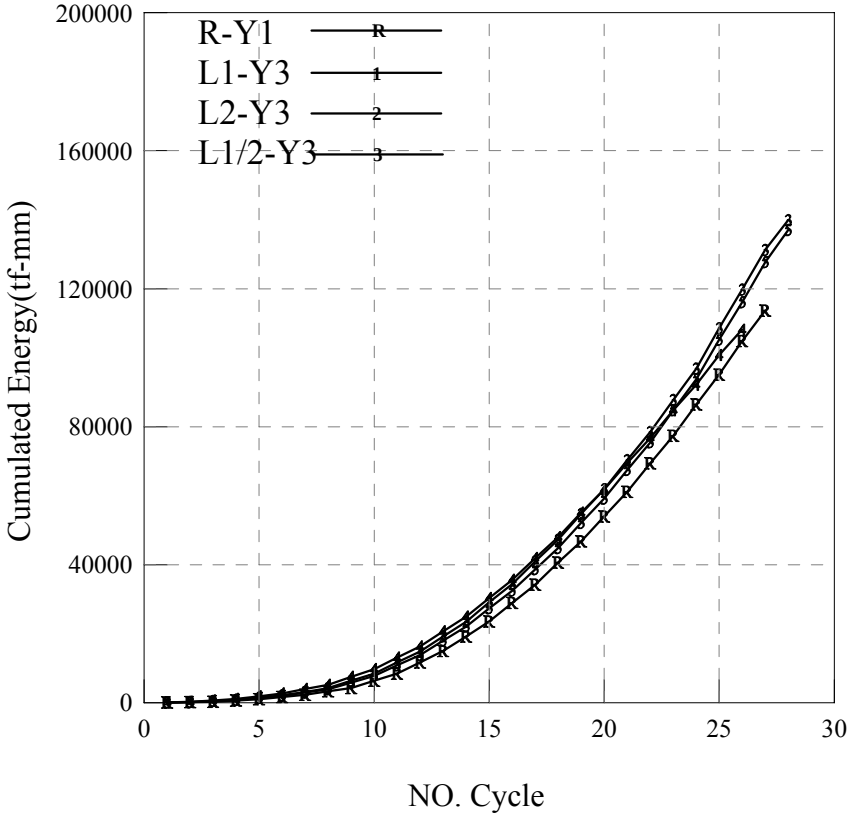
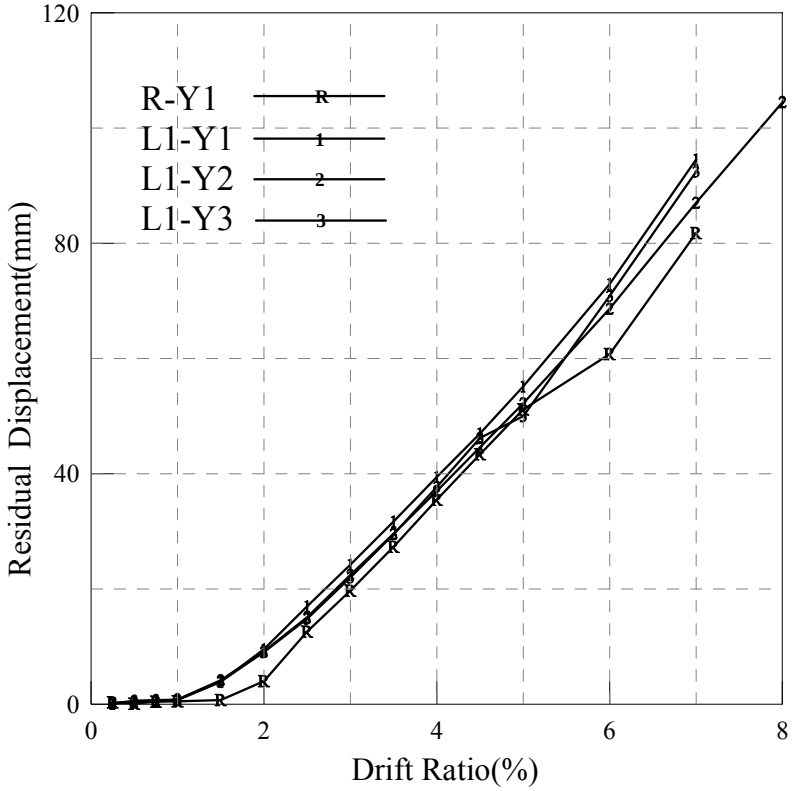


圖 4-7 全試體累積消散能量


R-Y1
L1-Y1
L1-Y2
L1-Y3
Residual Displacement(mm)
Drift Ratio(%)
0
40
80
120
0
2
4
6
8

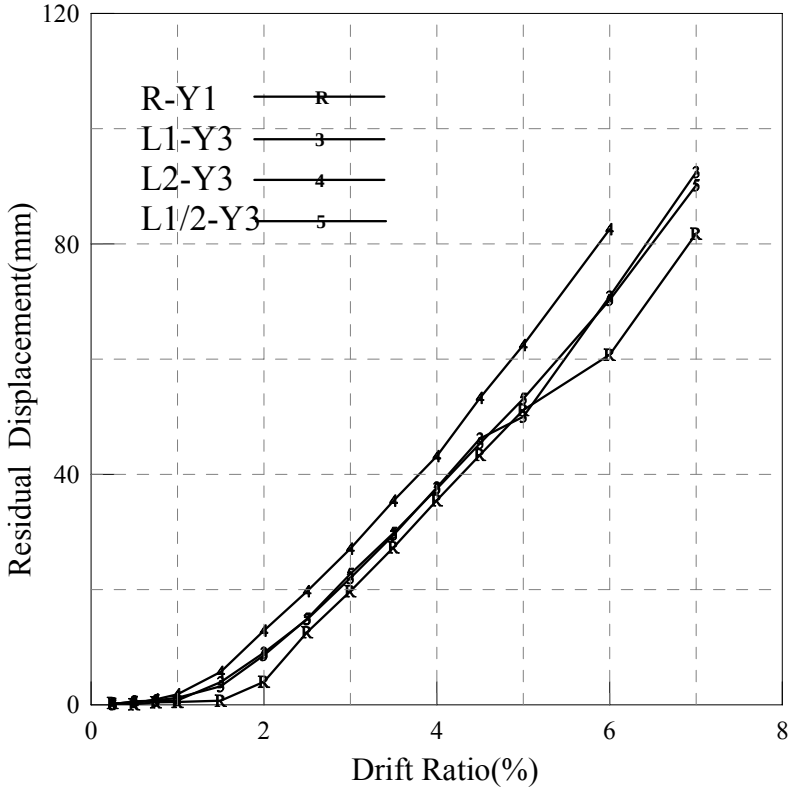
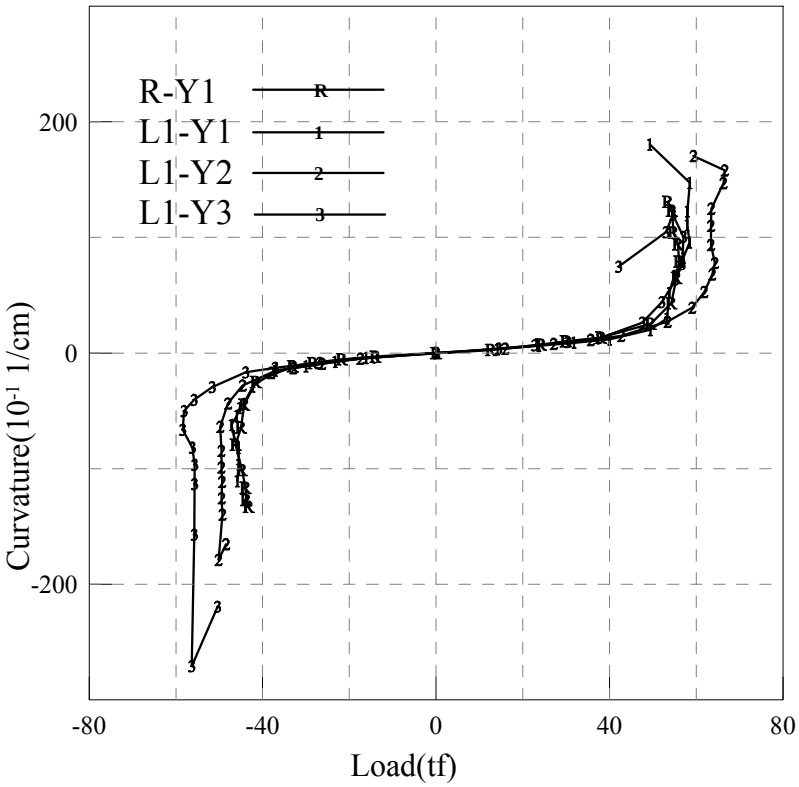

R-Y1
L1-Y3
L2-Y3
L1/2-Y3
Residual Displacement(mm)
Drift Ratio(%)
0
40
80
120
0
2
4
6
8

圖 4-8 全試體殘留位移



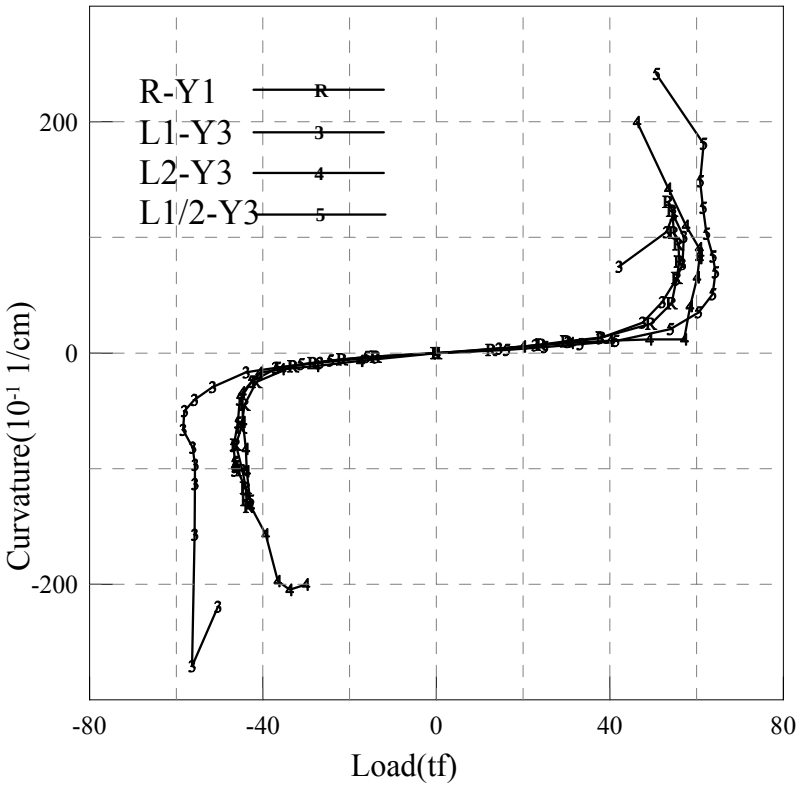


圖 4-9 全試體近臨界斷面曲率變化

附錄 A 鋼筋續接器續接施工規範（草案）

第一章　總　則

1.1 適用範圍

1.1.1 本規範適用於鋼筋使用續接器續接之施工。

1.1.2 鋼筋續接器之使用須符合相關設計規範與施工規範之規定。

1.1.3 續接器所續接之鋼筋須爲CNS 560 [鋼筋混凝土用鋼筋] 規定之竹節鋼筋。

1.1.4 本規範所指鋼筋續接器須爲依照本規範第四章「鋼筋續接器續接性能檢驗」之規定檢驗合格之各級鋼筋續接器。

解說：所謂相關規範主要指鋼筋混凝土設計規範，以及混凝土工程、鋼骨鋼筋混凝土與鋼結構施工規範。結構設計時若未注意鋼筋續接器直徑比鋼筋大，常發生施工時鋼筋續接器之保護層不足或間距不足等現象。施工者遇到此類問題時，應與設計者或監造者謀求解決之道，不可逕行施工。

鋼筋之竹節可以是螺紋狀，CNS 560稱之爲續接器用螺紋鋼筋。CNS 560使用的名稱在本規範容易造成混淆，因此CNS 560所稱之「續接器用螺紋鋼筋」本規範稱之爲「螺紋節鋼筋」。

目前鋼筋續接器可爲壓合續接器、螺紋節鋼筋續接器、冷鍛螺紋續接器、擴頭鋼筋螺紋續接器、摩擦銲接續接器、熔融金屬填充續接器、水泥砂漿填充續接器、環氧樹脂填充續接器、一般車牙續接器及類似續接器。

壓合續接器－又稱油壓續接器，主要將套管以油壓方式加壓，使套管變形並與鋼筋密接，藉由鋼筋與套管間之握裹效應傳遞鋼筋應力。

冷鍛鋼筋螺紋式續接器─將鋼筋滾牙端先經過冷擠壓，以達到冷鍛效果並提升鋼筋之強度，加工端以滾牙方式製作螺紋，再與續接器接合以傳遞應力。

螺紋節鋼筋續接器－螺紋節鋼筋中鋼筋竹節之形狀如螺紋，因此鋼筋不必再進行車牙加工，即可借由其螺紋竹節與續接器傳遞應力。

擴頭鋼筋螺紋續接器－鋼筋經過冷擠壓或熱擠壓之過程將接合端鋼筋斷面變大，再在已擴大之斷面上車牙並與續接器接合，以傳遞應力。

摩擦銲接續接器─將續接處兩端鋼筋之端部，以摩擦銲接分別將鋼筋端部與含公螺牙及母螺牙之續接器接合，然後再將公母螺牙鎖緊，完成鋼筋之續接。其品質受續接器材質、鋼筋材質及加工參數之影響甚鉅，容易在銲接處產生脆性斷裂。

一般車牙續接器－螺紋製作前鋼筋加工端未經強化處理，直接

在鋼筋續接端車製螺牙，再以續接器續接，由於螺牙直接在鋼筋上施作，受力時常在鋼筋車牙處斷裂。尤其是車牙加工在工地現場製作者，由於機具過輕，加工時機具嚴重晃動，所製作之螺紋精度差、品質不良，非常容易產生脫牙破壞或在螺紋處斷裂。

1.2 用語

本規範所用之用語其定義如下：

(1)設計人－受起造人委任依建築法規定之建築師或專業技師。

(2)監造人－受起造人委任依建築法之規定代表起造人執行監造施工之建築師或其他合格之土木或結構專業技師。

(3)承造人－與起造人簽訂工程契約承造該建築物之依法登記開業營造廠或土木包工業。

(4)工程契約－經起造人與承造人同意，爲完成該工程，以書面約定之承諾。

(5) 工程圖說－指設計圖及施工圖、規範、說明及補充說明書等。

(6)續接器接合試體－以續接器接合兩段鋼筋之試驗試體。

1.3 品質要求

1.3.1 鋼筋續接器續接施工之購料、加工及組接均應依本規範之相關規定進行查驗，以確保鋼筋續接能達到預期之性能要求。

1.4 鋼筋續接器之選用

1.4.1 承造人應依照設計圖說所規定之續接器續接性能等級，選用合適之鋼筋續接器續接型式。

1.4.2 承造人應考慮續接器所在部位之施工空間、鋼筋間距、施工方法及工期等因素，詳細敘明於施工計畫書中，並詳細標示於施工圖說，在經監造人核可後方可施工。

1.4.3 鋼筋續接器續接性能等級之確認，應按第1.5節之規定，取得「鋼筋續接器續接性能等級證明」，並經監造人認可。

1.4.4 每一個型式之鋼筋續接器使用於每一個規格及每一個號數之鋼筋，皆需分別取得個別之「鋼筋續接器續接性能等級證明」。

解說：鋼筋以續接器續接時，設計圖說中應明示續接器等級與可續接區域；施工前承造人應依據設計圖說之規定繪製施工圖說，標示續接位置及續接器性能等級。

1.5 鋼筋續接器續接性能等級證明書

1.5.1 續接性能檢驗流程

續接器廠商應對每一個型式續接器使用於每一個規格及每一個號數鋼筋，提出鋼筋續接器續接性能檢驗申請，經內政部認可之驗證單位依本節及第二章之規定，進行鋼筋續接器續接性能檢驗，並依檢驗結果提出鋼筋續接器續接性能檢驗報告，且以檢驗合格之報告製作各該型式鋼筋續接器續接性能等級證明書。

1.5.2 有效期限

鋼筋續接器續接性能等級證明書自鋼筋續接器續接性能檢驗報告出具日期算起，有效期限爲三年。

解說：鋼筋續接器續接性能等級證明相關之檢驗，爲本規範第二章規定之檢驗，有效期限所指爲與第二章之檢驗有關者。施工階段鋼筋續接器續接之檢驗於本規範第五章規定之。

1.5.3 續接性能等級證明書之申請

續接器廠商所提出之鋼筋續接器續接性能檢驗申請書，應至少包括下列內容：

(1) 廠牌、型式、編號及檢驗性能等級。
(2) 鋼筋續接之工法，及其監造要點。
(3) 所續接鋼筋之號數與規格。
(4) 鋼筋加工方式與程序。
(5) 續接器所使用之材料規格。
(6) 續接器之各部尺寸。
(7) 續接器施工方式與程序。
(8) 施工所使用之機具與施工參數設定值。
(9) 鋼筋與續接器組接之方式與程序。
(10) 製程品管。
(11) 鋼筋續接器續接之施工與檢驗標準；驗證單位根據檢驗所得數據及下列之規定訂定施工檢驗之項目與施工容許範圍：續接器長度、續接器外徑與內徑、螺牙鎖緊扭力、油壓機油壓、鋼筋與續接器疊合之長度、其他影響續接器續接性能之項目。

1.5.4 續接性能檢驗

驗證單位接受續接器廠商所提出之鋼筋續接器續接性能檢驗申請，應全程監督並記錄試體之製作過程及所使用之各項參數，並根據本規範第二章之規定，進行續接器續接性能試驗，評定其續接性能等級，並出具鋼筋續接器續接性能檢驗報告。

解說：為提高「鋼筋續接器續接性能等級證明」之適用範圍，續接器廠商宜採用降伏強度較高之母材鋼筋製作試體。監造人或設計人在選用續接器時亦應對續接器廠商所提供之續接性能等級之適用範圍進行評估，適用範圍越廣對鋼筋之使用越有彈性。

1.5.5 鋼筋續接器續接性能等級證明書之內容

驗證單位出具之鋼筋續接器續接性能檢驗報告應包括下列內容，並將續接性能檢驗申請書列為性能檢驗報告之附件。

(1)檢驗報告出具日期與檢驗負責人簽章。
(2)鋼筋之規格、形狀與尺度。
(3)試體各加工與製作程序之照片與記錄。
(4)試體製作所使用之機具與其參數設定值之原始記錄。
(5)試驗方法與續接性能等級判別基準。
(6)母材鋼筋之試驗過程與試驗數據。
(7)續接器接合試體之試驗過程與試驗數據。
(8)續接器接合試體之破壞模式。
(9)試驗數據分析與續接性能等級判定。
(10) 容許續接之鋼筋降伏強度範圍：檢驗報告實驗母材鋼筋實際降伏強度之1.1倍以下。

解說：業主或監造單位應該依據性能等級證明書內所述之事項進行驗廠、並檢查各加工機具之檢驗及校正報告。

1.6 續接器續接施工計畫

承造人在施工前應依設計圖說及本規範之規定提出續接器續接施工計畫書，並經設計人或監造人審核認可後方可進行施工。續接器續接施工計畫書須包含下述內容：

(1)鋼筋續接器廠商名稱、承造人或專業分包商之施工實績及施工人力計畫。

(2)鋼筋續接器續接性能等級證明－續接器廠商必須提出合乎本規範1.5節規定之鋼筋續接器性能等級證明書。

(3)施工圖－若鋼筋使用續接器續接，則該工程之施工圖應標示鋼筋續接器續接性能等級、續接位置、鋼筋間距、混凝土保護層厚度。

(4)施工自主檢查表。

(5)鋼筋續接作業之流程與順序。

解說：鋼筋以鋼筋續接器續接時，鋼筋間距應考慮續接施工所需之空間。

施工期間施工廠商應自行進行施工檢查並詳實填寫自主檢查表，經監造人抽驗合格後方可進行混凝土澆置工作。

第二章　材　料

2.1 一般規定

鋼筋續接器所續接之鋼筋爲鋼筋混凝土用鋼筋，不包括預力混凝土用之預力鋼材。

2.2 鋼筋

2.2.1 鋼筋續接器續接之鋼筋應爲CNS 560 [鋼筋混凝土用鋼筋]規定之竹節鋼筋。

2.2.2 鋼筋之降伏強度須在鋼筋續接器續接性能等級證明所規定之使用範圍內。

解說：CNS 3300 [鋼筋混凝土用再軋鋼筋] 規定之鋼筋以續接器續接，其續接品質尚有疑慮，本規範禁止續接器應用於該類鋼筋。使用續接器續接塗佈鋼筋時，施工過程中鋼筋之塗佈層不得受損，續接器亦應有防蝕之考慮，此外其續接性能應以試驗驗證之。

CNS 560 未對鋼筋斷面真圓度做任何規定，但就目前常見之鋼筋續接器而言，鋼筋真圓度會對車牙與油壓式續接器之續接性能造成負面影響，應盡量使用真圓度佳之鋼筋；若鋼筋真圓度不佳，則應進行施工調整（如增加螺牙長度、調整油壓模具形狀等等），監造人進行抽驗時，建議對真圓度較差之鋼筋進行鋼筋續接器續接抽驗。

2.3 續接器及相關材料

鋼筋續接器所使用之續接器及相關材料須滿足鋼筋續接器續接性能等級證明之規定。續接器上或鋼筋須與續接器銲接時，續接器及鋼筋應爲可銲鋼材。

解說：續接器所使用之材料與續接器型式有密切關係，如油壓式續接器須使用高延展性鋼材、摩擦銲接型續接器須使用碳當量較低之鋼材，其所銲接之鋼筋須使用可銲鋼筋。續接器使用不恰當之鋼材，可能對鋼筋續接器續接品質造成嚴重之不良影響。續接器材料以及其他施工所需之相關材料（如填充型續接器之填充材料），皆需符合規定。

除非設計圖說指明，否則續接器上不得有銲接施工。續接器上須銲接施工者或是摩擦銲接型續接器，其碳當量CE不得大於0.55%。上述碳當量之計算以下式爲之：

$$CE\ (\%) = \left[C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{10} - \frac{Mo}{50} - \frac{V}{10} \right] (\%)$$

2.4 材料檢驗

鋼筋續接器續接所使用之鋼筋、續接器及相關材料應依相關國家檢測標準或中央建築主管機關認可之國際通行檢測標準檢驗，確認符合原標示之標準，且證明達到「鋼筋續接器續接性能等級證明」之標準。

2.5 材料品質證明

鋼筋續接器續接所使用之鋼筋、續接器及相關材料應由原生產廠家或公正之檢驗機構出具品質證明書或檢驗報告，文件內應備有具體之數據及明確之陳述，足以證明該材料符合所指定之材料標準。

2.6 材料購入及保管

2.6.1 材料之購入必須選擇管理及信譽良好之供應商。

2.6.2 採購材料須確認其種類、形狀及尺寸，並檢附原廠或公正之檢驗機構出具之品質保證書或檢驗報告正本備查。

2.6.3 材料之堆放應避免產生變形、銹蝕或附著異物等情事。

第三章　鋼筋與續接器之加工與組接

3.1 一般規定

鋼筋與續接器之加工與組接應依照續接器續接施工計畫及鋼筋續接器性能等級證明之規定辦理。

解說：承造人應在鋼筋與鋼筋續接器之加工與組接階段分別進行自主檢查，並剔除不合格品，以免在施工後期發現不良品欲修改時，不但修改不易且容易延誤工期。

續接器廠商應考慮鋼筋真圓度對所使用續接器續接性能之影響，並適時適量調整施工參數。

3.2 組接設備與機具

3.2.1 鋼筋續接器組接前，應檢查所需之設備與機具，須符合鋼筋續接器續接性能等級證明之規定。

3.2.2 組接所需之設備與機具，須由公正之檢驗機構，定期進行校正、檢驗，並出具證明書或檢驗報告。

解說：鋼筋續接器組接時常用之機具爲油壓機與扭力扳手，爲確保油壓機加載之準確性，油壓表應定期（或定頻率）進行校正，另爲確保螺牙緊密接合，螺牙之鎖緊應以扭力扳手檢驗之，因此扭力扳手亦應定期（或定頻率）校正之。

3.3 續接端鋼筋加工

3.3.1 鋼筋之裁切,不得造成鋼筋材料組織之改變及切割處之變形。

3.3.2 鋼筋裁切面應平整且與鋼筋軸線方向垂直。

3.3.3 筋端部加工處，不可有裂縫或變形，若有上述情形，該段鋼筋應加以切除。

3.3.4 鋼筋應保持清潔不得有浮銹、油污或異物附著於其上。

3.3.5 鋼筋加工後之規格應符合鋼筋續接器續接性能等級證明之規定。

3.3.6 鋼筋加工後應保持清潔不得有浮銹、油污或異物附著於其上，且加工處應有適當保護措施，以防止其產生銹蝕或碰撞變形。

解說：瓦斯燒切會造成鋼筋材料組織之改變及切割處之變形，不可採用；以剪斷機裁切鋼筋容易造成切割處之變形，不可採用。鋼筋以砂輪機或鋸子裁切比較適當。若實際工程有需要，在監造或設計工程師同意下，鋼筋可採用瓦斯燒切後再以研磨機將端部修平整。

水淬鋼筋表層材料之強度相當高，車牙時牙刀容易磨損，應提高牙刀整修頻率。

3.4 續接器加工

3.4.1 續接器之裁切，不得造成鋼材材料組織之改變及切割處之變形。

3.4.2 續接器裁切面應平整且與續接器軸線方向垂直。

3.4.3 續接器不可有裂縫或變形，若有上述情形，該續接器應剔除。

3.4.4 續接器加工前後，應保持清潔不得有浮銹、油污或異物附著於其上。

3.4.5 續接器加工後之規格應符合鋼筋續接器續接性能等級證明之規定。

3.4.6 續接器加工後應有適當之保護措施，以防止水氣或異物進入續接器內。

解說：瓦斯燒切會造成續接器材料組織之改變及切割處之變形，不可採用。

3.5 鋼筋與續接器組接

3.5.1 鋼筋與續接器組接之順序、程序及施工參數值應依照續接器續接施工計畫及鋼筋續接器性能等級證明書中之相關規定辦理。

3.5.2 組接前應確認鋼筋端部及續接器內部無銹蝕、異物、或變形後，方可進行組接作業。

3.5.3 組接前鋼筋或續接器應於適當位置作標記，以利組接後進行接合位置與長度之檢查。

3.5.4 公母螺牙組接應使螺牙正確咬合並鎖緊達扭力規定值。

解說：螺牙可分爲傾斜螺牙與平行螺牙。其中傾斜式螺牙組接時，在鋼筋螺牙與續接器螺牙未正確咬合時亦可鎖緊至設定值，但此爲不正確之組接，續接器廠商施工時應注意之；監造人亦應注意當鋼筋軸線與續接器軸線存在一夾角時，可能是螺牙未正確咬合所造成，應加強品管。

若續接器所續接鋼筋之另一端有彎鉤，選用適當型式之鋼筋續接器，可降低施工困難度，若所使用鋼筋續接器型式需鎖緊螺牙，則鎖緊後鋼筋彎鉤應在正確位置。

3.6 施工自主檢查

3.6.1 鋼筋與續接器加工後，應檢驗其是否符合鋼筋續接器續接性能等級證明書中之相關規定。

3.6.2 鋼筋與續接器組接後，應對接合位置與長度進行檢查。

3.6.3 螺牙組接在鎖緊後應以扭力扳手檢測。

第四章　鋼筋續接器續接性能檢驗

4.1 一般規定

本章所使用之符號與其定義詳見第4.10節。

解說：鋼筋續接器續接性能之檢驗應交由公認合格之續接器實驗機構辦理。以鋼筋續接器進行不同號數鋼筋之續接稱爲異徑續接。本規範亦適用於鋼筋續接器異徑續接的情況。

4.2 鋼筋續接器續接等級

鋼筋續接器依其續接性能等級分成二級：

(1) SA級－續接後強度、變形、延展性及韌性與母材相近。

(2) B級－續接後強度及變形與母材相近。

解說：續接器之使用應依「鋼筋續接器續接設計規範」之規定爲之。SA級續接器續接得不必隔根錯開配置，B級續接器續接在柱的部分應該隔根、隔層續接，其他的部分至少要隔根續接。

4.3 續接器續接性能試驗項目

4.3.1 鋼筋續接器續接性能試驗包含下列四項：

(1) 鋼筋母材拉力試驗

(2) 續接器接合試體拉力試驗

(3) 續接器接合試體彈性重複載重試驗

(4) 續接器接合試體高塑性反復載重試驗

4.3.2 各續接性能等級之續接器須進行並通過表4.3.1所示之試驗項目。

表4.3.1 各級續接器須進行之試驗項目

試驗項目	SA級	B級
鋼筋母材拉力試驗	V	V
續接器接合試體拉力試驗	V	V
續接器接合試彈性重複載重試驗	--	V
續接器接合試高塑性反復載重試驗	V	--

4.4 試驗試體及其取樣數目

4.4.1 鋼筋母材拉力試驗試體爲母材鋼筋；其餘試驗項目爲以續接器續接兩段母材鋼筋之試體，稱爲續接器接合試體。

4.4.2 所有續接器接合試體使用之鋼筋須爲性質相近之同一批鋼筋。

4.4.3 各試驗項目試體之數目須能代表該型續接器實際續接之平均性能，且至少三個試體。

4.4.4 續接器接合試體在進行載重試驗前不得試拉。

4.5 試驗裝置與量測

4.5.1 母材拉力試驗之標點距離依CNS 2112 [金屬材料拉伸試驗試片] 之規定辦理。

4.5.2 續接器接合試體軸向變形量之量測長度(gage length) L_g 取續接器長度加續接器兩側各1/2鋼筋直徑或2 cm之大值。若上述量測長度小於50 cm，則在無受壓挫屈之虞時最大可取50 cm爲量測長度，且續接器應設於量測長度之中央位置。

4.5.3 軸向變形量測需使用兩個測計直接設置於試體之對稱位置。

4.5.4 軸向變形量測測計之靈敏度應達0.0025 mm。

4.5.5 鋼筋直徑收縮率之量測應在續接器兩端至油壓機夾持位置間之鋼筋爲之。每一側之第1個量測點距離續接器端點或任何鋼筋加工點1倍鋼筋直徑，接著每隔2倍鋼筋直徑設置一個量測點，如圖4.5.1所示。量測點之標示不可影響鋼筋直徑量測之可靠性。所量測之鋼筋直徑可以是脊至脊之距離或與脊至脊連線垂直之鋼筋直徑，但是不可受到竹節之干擾，且加載前後量測鋼筋直徑之方式應保持一致。若加載完成後鋼筋在量測點斷裂，則在最靠近量測點之位置量測斷裂後鋼筋之直徑。鋼筋直徑之量測以測微器爲之，其靈敏度應達0.02mm。

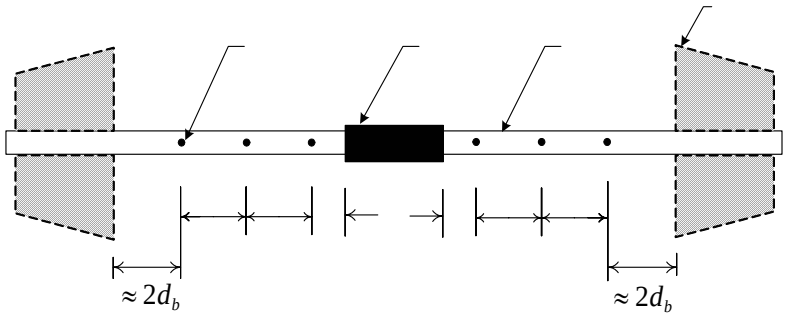


圖4.5.1 直徑收縮率量測點位置示意圖

4.5.6 進行續接器接合試體試驗時，鋼筋之夾持位置至續接器端點需保持至少6倍鋼筋直徑的距離。

解說：當續接器接合試體在加載的過程中挫屈時，該試體應視爲無效試體而非試體不合格，並應再取樣重新進行試驗。

進行鋼筋母材拉力試驗時，變形量測之測計靈敏度應達0.0025 mm，所測得到之彈性模數方可具有足夠之準確度。在進行機械式續接器接合試體相關

試驗時，變形量測之測計靈敏度可放寬至0.01mm。

所使用之測計應符合ASTM E-83 Class C或同等級之要求。

4.6 母材拉力試驗

4.6.1 試驗方法

母材拉力試驗應依CNS 2111 [金屬材料拉伸試驗法] 之規定辦理。

4.6.2 合格判別基準

（1）每一母材鋼筋之降伏強度 f_{ya}、抗拉強度 f_{ua} 及伸長率 ε_{ua} 均應符合表2.6.1之規定。

（2）若有任一母材鋼筋不符合規定，則其餘續接器接合試體視爲無效試體。

表4.6.1 母材鋼筋機械性質合格標準

機械性質	合格標準
降伏強度 f_{ya}	$\geq f_y$
抗拉強度 f_{ua}	$\geq 1.25 f_y$ 且 $\geq f_u$
伸長率 ε_{ua}	$\geq \varepsilon_u$

4.7 拉力試驗

4.7.1 加載歷程

施加至對應於鋼筋 $0.6 P_y$ 之拉載重，再卸載至對應於鋼筋 $0.02 P_y$ 之拉載重，然後施加拉力至試體破壞 。

4.7.2 合格判別基準

（1）使用於韌性耐震結構之續接器續接，每一續接器接合試體之抗拉強度 f_{uc}、滑動量 $(\delta_s)_{0.6\,fy}$ 及鋼筋直徑收縮率 R 均應滿足表4.7.1之規定。

（2）非使用於韌性耐震結構之續接器續接，每一續接器接合試體之抗拉強度 f_{uc}、滑動量 $(\delta_s)_{0.6\,fy}$ 及鋼筋直徑收縮率 R 均應滿足表4.7.2之規定。

（3）表4.7.1及4.7.2中 f_{ya} 與 ε_{ya} 皆採用母材拉力試驗所得之平均值。

表4.7.1 拉力試驗判別基準

項目		SA級	B級
抗拉強度 f_{uc}		$\geq 1.25 f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25 f_y$
滑動量 $(\delta_s)_{0.6 f_y}$		≤ 0.1 mm	≤ 0.1 mm
鋼筋直徑收縮率 R	SD 420W	$\geq 5\%$	$\geq 1\%$
	SD 280W	$\geq 6\%$	$\geq 1\%$

解說：韌性耐震結構應使用SD420W及SD280W鋼筋。

鋼筋直徑收縮率R詳第4.10.3節之規定。

4.8 彈性重複載重試驗

4.8.1 加載歷程

加載下限取對應於鋼筋$0.02 P_y$之受拉載重，上限取對應於鋼筋$0.95 P_y$之受拉載重，施加30週次；然後施加拉力至試體破壞。

4.8.2 合格判別基準

（1）每一續接器接合試體之抗拉強度 f_{uc}、滑動量$(\delta_s)_{0.95 f_y}$及鋼筋直徑收縮率R均應符合表4.8.1之規定。

（2）表4.8.1中 f_{ya} 與 ε_{ya} 皆採用母材拉力試驗所得之平均值。

表4.8.1 彈性重複載重試驗判別基準

項目		SA級	B級
抗拉強度 f_{uc}		--	$\geq 1.25 f_y$
滑動量$(\delta_s)_{0.95 f_y}$		--	≤ 0.3 mm
鋼筋直徑收縮率 R	SD 420W及SD 420	--	$\geq 1\%$
	SD 280W及SD 280	--	$\geq 1\%$

4.9 高塑性反復載重試驗

4.9.1 加載歷程

加載下限取對應於鋼筋$0.50 P_y$之受壓載重，上限取對應於鋼筋

0.95P_y之受拉載重，施加16週次；其次加載下限取對應於鋼筋0.50P_y之受壓載重，上限取5ε_{ya}，施加反復載重8週次；在其次加載下限取對應於鋼筋0.50P_y之受壓載重，上限取10ε_{ya}，施加反復載重8週次；然後施加拉力至試體破壞。上述之ε_{ya}採用母材拉力試驗所得之平均值。

4.9.2 合格判別基準

（1）每一續接器接合試體之抗拉強度f_{uc}、至16週次之殘留總滑動量$(\delta_s)_{16c}$、第24週次之當次滑動量$(\delta_s)_{24c}$、第32週次之當次滑動量$(\delta_s)_{32c}$、第24週次之對應當次滑動應變$(\varepsilon_s)_{24c}$、第32週次之對應當次滑動應變$(\varepsilon_s)_{32c}$及鋼筋直徑收縮率R均應符合表4.9.1之規定。

（2）表4.9.1中f_{ya}與ε_{ya}皆採用母材拉力試驗所得之平均值。

表4.9.1 高塑性反復載重試驗判別基準

項目		SA級	B級
抗拉強度 f_{uc}		$\geq 1.25 f_y$ 且 $\geq f_u$	--
滑動量	$(\delta_s)_{16c}$	≤ 0.03 cm	--
	$(\delta_s)_{24c}$	≤ 0.09 cm	--
	$(\varepsilon_s)_{24c}$	$\leq 1.5\varepsilon_{ya}$	--
	$(\delta_s)_{32c}$	≤ 0.18 cm	--
	$(\varepsilon_s)_{32c}$	$\leq 3\varepsilon_{ya}$	--
鋼筋直徑收縮率 R	SD 420W	$\geq 5\%$	--
	SD 280W	$\geq 6\%$	--

4.10 符號及其定義

4.10.1 母材標稱物理量

母材標稱物理量未在本節規定者，以CNS 560 [鋼筋混凝土用鋼筋]之規定爲依據。

A_s = 受拉鋼筋之斷面積；cm^2。

E_s = 鋼筋母材之彈性模數；2.03×10^6 kgf/cm^2。

f_y = 鋼筋之規定降伏強度；kgf/cm^2。

f_u = 鋼筋之規定抗拉強度；kgf/cm^2。

P_y = $A_s f_y$；對應於鋼筋規定降伏強度之鋼筋軸向力；kgf。

ε_u = 鋼筋之規定伸長率。

4.10.2 母材實際物理量

母材實際物理量由母材拉力試驗量測之或再經計算而得。

E_{sa} = 鋼筋母材之實際彈性模數；若 $E_{sa} > 2.15\times10^6$ kgf/cm^2，則採用 $E_{sa} = 2.15\times10^6$ kgf/cm^2，若 $E_{sa} < 1.9\times10^6$ kgf/cm^2，則採用 $E_{sa} = 1.9\times10^6$ kgf/cm^2，若 E_{sa} 未實際量測，則採用 $E_{sa} = E_s$；kgf/cm^2。

$f_{ya} = P_{ya}/A_s$；非預力鋼筋母材實際降伏強度；kgf/cm^2。若母材無明顯之降伏帶(yield plateau)，則降伏強度以橫距法與0.2%永久應變定義之。

f_{ua} = P_{ua}/A_s；鋼筋母材之實際抗拉強度；kgf/cm^2。

P_{ya} = 母材實際降伏載重；kgf。

P_{ua} = 母材實際極限載重；kgf。

ε_{ya} = f_{ya}/E_{sa}；鋼筋母材實際降伏應變。

ε_{ua} = 鋼筋母材之實際伸長率。

4.10.3 續接器接合試體之物理量

續接器接合試體之物理量由其拉力試驗、彈性重複載重試驗、塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中量測或再經計算而得。各種試驗的軸力-軸向變形的示意圖分別如圖4.10.1至4.10.5所示。

f_{uc} = P_{uc}/A_s；續接器接合試體實際抗拉強度；kgf/cm^2。

L_g = 續接器接合試體量測長度；cm。

P_m = $A_s \times f_m$；對應於疲勞載重試驗之鋼筋軸向力；kgf/cm^2。

P_{uc} = 續接器接合試體實際最大載重；kgf。

R = 鋼筋直徑收縮率。續接器兩側的鋼筋各可求得一個平均鋼筋直徑收縮率，以兩側平均鋼筋直徑收縮率中之大者爲該試體之鋼筋直徑收縮率。每一側鋼筋之平均直徑收縮率，爲該側3個測點所測得之直徑收縮率中最大兩者的平均值。每個量測點之鋼筋直徑收縮率爲 $(d_0 - d_r)/d_0$，其中 d_0 爲該量測點加載前之鋼筋直徑，d_r 爲試體破壞後該量測點之鋼筋直徑。

$(\varepsilon_s)_{24c}$ = $(\delta_s)_{24c}/L_g$；塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中，在$5\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之對應當次滑動應變。

$(\varepsilon_s)_{32c}$ = $(\delta_s)_{32c}/L_g$；高塑性反復載重試驗中，在$10\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之對應當次滑動應變。

$(\delta_s)_{0.6\,fy}$ = 拉力試驗中，加載至$0.60P_y$，再解壓至$0.02P_y$時之殘留滑動量，詳圖4.10.1；cm。

$(\delta_s)_{16c}$ = 塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中，$0.95P_y$至$-0.50P_y$間加載16週次後之殘留總滑動量，詳圖4.10.3及4.10.4；cm。

$(\delta_s)_{24c}$ = 塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中，在$5\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之當次滑動量，詳圖4.10.3及4.10.5；cm。

$(\delta_s)_{32c}$ = 高塑性反復載重試驗中，在$10\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之當次滑動量，詳圖4.10.3及4.10.5；cm。

$(\delta_s)_{0.95\,fy}$ = 彈性重複載重試驗中，$0.02P_y$至$0.95P_y$間加載30週次後之殘留總滑動量，詳圖4.10.2；cm。

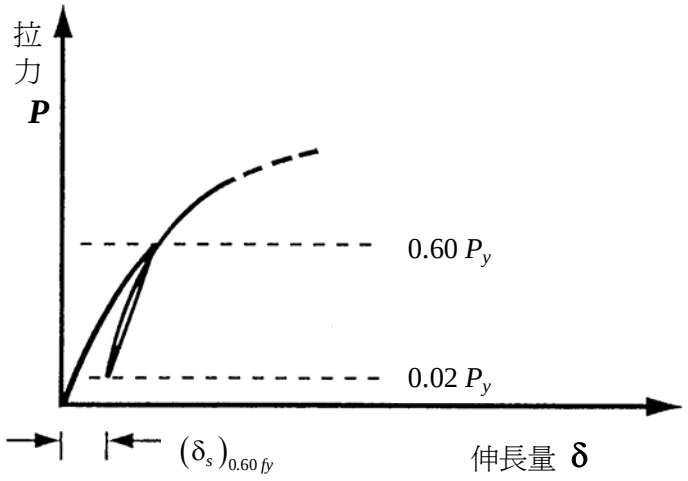


圖4.10.1　拉力試驗軸力-軸向變形示意圖

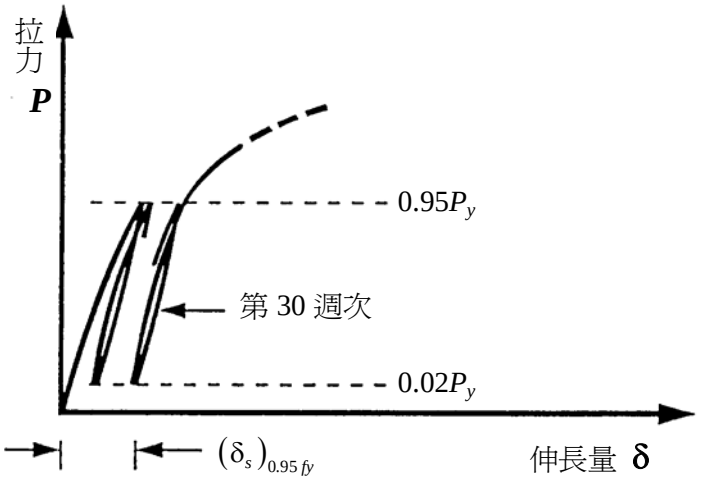


圖4.10.2　彈性重複載重試驗軸力-軸向變形示意圖

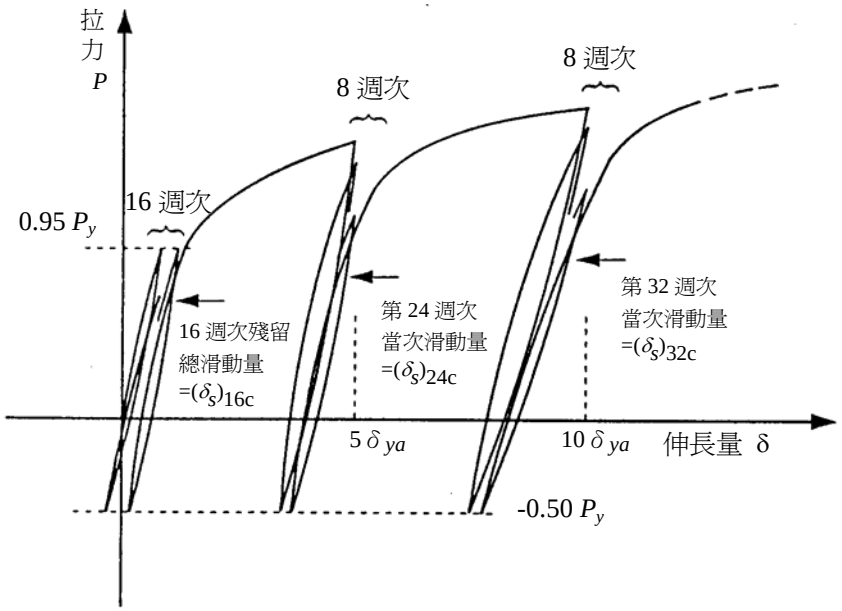


圖4.10.3　高塑性反復載重試驗軸力-軸向變形示意圖

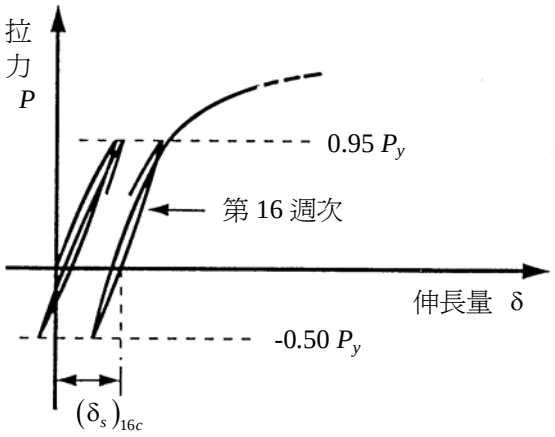


圖4.10.4　$(\delta_s)_{16c}$示意圖

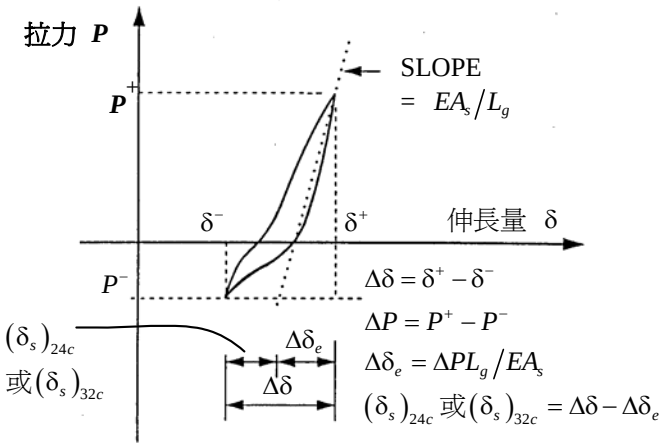


圖4.10.5　$(\delta_s)_{24c}$及$(\delta_s)_{32c}$示意圖

第五章　品管作業及檢驗

5.1 一般規定

爲確保鋼筋續接器續接之施工品質，續接器廠商在施工過程中應詳細查驗，剔除、更換不合格部份，並依合約規定會同監造人共同查驗。

5.2 檢驗方法

鋼筋續接器續接之檢驗方法分爲：

(1)續接部位外觀檢驗。

(2)銲道目視檢驗。

(3)銲道磁粒檢驗。

(4)續接器接合試體個體試驗。

解說：此處所稱之銲道爲使用於鋼筋續接器與鋼骨或鋼筋續接器與鋼板間之接合者。

5.3 續接部位外觀檢驗

續接器續接部位外觀檢驗應包括位置、外觀、型式、接合長度、密合情形等項目，由續接器廠商進行100%之檢驗，監造人應進行抽驗。

解說：監造人抽驗比例與抽驗不合格時之處理方式應依合約規定辦理。若合約無規定，則抽驗比例至少須達5%。

5.4 銲道目視檢驗

銲接型鋼筋續接器之銲道須依照 CNS 13201 [鋼結構銲道目視檢測法] 之規定進行100%檢驗，監造人應進行抽驗。

解說：銲接型鋼筋續接器之使用應依圖說之說明施工。

銲接型鋼筋續接器應使用可銲鋼材，銲接與銲道檢驗之施作應在鋼構廠進行。

5.5 銲道磁粒檢驗（MT）

銲接型續接器之銲道需進行目視檢驗及磁粒檢驗，其中磁粒檢驗須依照CNS [鋼結構銲道磁粒檢測法] 之規定進行，其抽驗頻率爲：

(1) 梁柱接頭區及塑性區之銲道進行100%之檢驗。

(2) 經監造人認可之非塑性區銲道進行至少50%之檢驗。

5.6 續接器續接之檢驗

5.6.1 續接器交至工地或鋼構廠後，應進行續接器接合試體之抽驗工作，並在混凝土澆置前完成抽驗工作。

5.6.2 續接器接合試體個體試驗應依下述之規定辦理：

(1)加載歷程－單向拉力加載至試體破壞。

(2)合格判別基準－試驗結果須符合表5.6.1之規定方視爲合格。

5.6.3 續接器接合試體分成未組裝試體及已組裝試體兩種，兩種試體之抽樣與檢驗應平行進行。

5.6.4 未組裝試體及已組裝試體之抽樣頻率皆分爲二個階段：

第一階段－第1至第2000個續接接頭，每200個取樣1個未組裝試體，每300個取樣1個已組裝試體，且至少須各取樣3個。

第二階段－第2001個續接接頭起，每300個取樣1個未組裝試體以及1個已組裝試體。

同一標工程每一型式每一號數之鋼筋續接器續接接頭取樣頻率應自第一階段開始。

5.6.5 若檢驗結果有任一試體不合格，則須重新加倍取樣進行複驗，其後之續接接頭抽樣頻率應回至第一階段。

5.6.6 若複驗結果尚有任一試體不合格，則應立即停止施工，並將該批產品退回；續接器廠商應檢討其施工及品管作業，並以書面提出改進方法經監造人認可後方得繼續施工，且抽樣頻率回至第一階段。

表5.6.1 續接器接合試體個體試驗合格標準[(a)]

項目		SA級	B 級
抗拉強度 f_{uc}		$\geq 1.25\, f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25\, f_y$
滑動量 $(\delta_s)_{0.6\,fy}$		≤ 0.1 mm	≤ 0.1 mm
鋼筋直徑收縮率 R	SD 420W	≥ 5%	≥ 1%
	SD 280W	≥ 6%	≥ 1%

[(a)]符號與其定義詳第4.11節之規定。

解說：本節所規定之抽樣頻率爲最低量之規定，設計者、監造者或業主得視情況提高抽樣頻率，惟增加之試驗費用由何者負擔應於合約書中述明。具有良好品管記錄且檢驗成果良好之廠商，其

品質會較好；未有品管記錄之廠商，其品質之不穩定性較高，在選擇廠商或決定抽樣頻率時，廠商之品管記錄爲一重要之參考依據。

爲避免干擾到施工工期，鋼筋續接器之檢驗應以簡單快速爲考量，因此額外之測計裝置加以避免，而僅以最容易獲得之抗拉強度、伸長率以及破壞模式爲合格判定項目。

螺紋破壞（脫牙）爲螺紋式續接器續接常見之破壞模式之一，螺紋破壞使得試驗無法取得可靠之伸長率數據，因此伸長率之控制失去功效，僅能以抗拉強度判斷之。由於檢查項目少了一項，因此抗拉強度之要求加以提昇，以減少試驗誤差之影響。

銲接型續接器之續接器接合試體，可由一塊鋼板兩邊各銲一續接器與一段母材鋼筋組成。量測距離自鋼板面起算往該面所續接之鋼筋取50 cm，每一鋼板面所接續接器與鋼筋有一量測段，試驗結果之伸長率爲破壞端量測段之對應伸長率。銲接型鋼筋續接器常無法抽取已組裝試體，此時可使用未組裝試體取代之。

5.7 檢驗機構與費用

5.7.1 業主要求進行本規範規定以外之檢驗時，其檢驗項目、方法與頻率應逐項明列於工程契約中。

5.7.2 工程契約中應註明負責檢驗業務之機構與檢驗費用之付擔者。當工程契約中無明文規定各項檢驗費用負擔者時，則本規範規定之檢驗，其費用概由承造人負擔，本規範未明文規定之檢驗，其費用由業主負擔。

解說：在施工階段本規範不硬性要求廠商進行如第二章所規定之續接器性能檢驗。但重要工程可於合約書中規定另外再進行如第二章所規定之各項檢驗，惟抽樣頻率與檢驗費用之負擔者亦應於合約書中述明。

附錄 B 鋼筋續接器續接設計規範（草案）

第一章　通則

1.1　適用範圍

本附錄所指機械式續接器爲根據第3節檢驗合格之SA及B級機械式續接器。

解說：鋼筋機械式續接器依其續接性能分成三級：（1）SA級－續接後強度、變形、延展性及韌性與母材相近；（2）B級－續接後強度及變形與母材相近。本規範所使用機械式續接器續接等級名稱，主要係參考目前國內較慣用詞，其與日本所使用名稱頗爲相似；惟名稱雖相似，但本附錄所要求之續接性能與日本之相關規定不同，因此使用本附錄相關設計條文時，應注意機械式續接器之續接性能檢驗應依本附錄第3節之規定辦理。

耐震構材在強烈地震作用下，塑性鉸區鋼筋承受低週次之高反復應力及應變，此時應採用SA級機械式續接器。

1.2　一般規定

1.2.1　鋼筋需以機械式續接器續接時，設計圖說中應明示機械式續接器等級與可續接區域；施工詳圖中應明示續接之詳細位置。

1.2.2　機械式續接器與機械式續接器或機械式續接器與鋼筋之淨間距須符合「混凝土工程設計規範與解說（土木-401-93）」第13.5.1至13.5.4節之規定，且提供續接施工所需之空間；機械式續接器之保護層須符合第13.6.1至13.6.3節之規定。

1.2.3　構材之縱向鋼筋得於淨長度之任何斷面使用SA或B級機械式續接器續接。

1.2.4　耐震構架內之構材，其主鋼筋以機械式續接器續接時，應符合本規範第二章之規定。

1.2.5　所需鋼筋續接性能不在本規範第三章規定之範圍時，則設計者須另行規定機械式續接器續接性能評估方法與合格標準。

第二章　耐震構架

2.1 撓曲構材之縱向鋼筋

2.1.1 規則結構－SA級機械式續接器得使用於構材淨長之任何斷面；*B*級機械式續接器得使用於構材非塑性區，惟同一斷面之鋼筋最多只能隔根續接，且相鄰鋼筋續接處應淨距60 cm以上。

2.1.2 不規則結構－SA級機械式續接器得使用於構材淨長之任何斷面。

解說：

本節所指規則結構與不規則結構，爲根據建築物耐震設計規範第1.6節之規定所定義者。

本附錄視機械式續接器之續接性能及續接位置對構材之影響等因素決定鋼筋是否可在同一斷面續接。惟構材在同一斷面續接時，若續接施工品質控制不良，其對構材可能造成之負面影響比錯開續接者爲大，因此設計者若對機械式續接器續接施工品質管制無法充分把握時，應盡量避免在同一斷面續接，反之，若欲於同一斷面續接，則應特別注意續接品質之控制與檢驗。研究結果顯示，在臨界斷面附近鋼筋採用機械式續接器續接，機械式續接器長度爲影響構材行爲之主要參數之一，但若機械式續接器長度小於1/4 構材有效深度時，則構材行爲所受之影響即不顯著。

2.2 承受撓曲與軸力構材之縱向鋼筋

2.2.1 規則結構－SA級機械式續接器得使用於構材淨長之任何斷面； *B*級機械式續接器得使用於構材淨長之中央1/2內，惟同一樓層之鋼筋最多只能隔根續接。

2.2.2 不規則結構－SA級機械式續接器得使用於構材淨長之任何斷面。

2.3 結構牆及橫膈版邊界構材之縱向鋼筋

2.3.1 結構牆邊界構材－*SA*級機械式續接器得使用於構材之任何斷面。

2.3.2 橫膈版邊界構材－*SA*級機械式續接器得使用於構材之任何斷面；*B*級機械式續接器得使用於構材之任何斷面，惟同一斷面之鋼筋最多只能隔根續接，且相鄰鋼筋續接處應淨距*60 cm*以上。

第三章　鋼筋續接器續接性能檢驗

3.1 一般規定

本章所使用之符號與其定義詳見第3.10節。

解說：鋼筋續接器續接性能之檢驗應交由公認合格之續接器實驗機構辦理。以鋼筋續接器進行不同號數鋼筋之續接稱爲異徑續接。本規範亦適用於鋼筋續接器異徑續接的情況。

3.2 鋼筋續接器續接等級

鋼筋續接器依其續接性能等級分成二級：

(1) SA級－續接後強度、變形、延展性及韌性與母材相近。

(2) B級－續接後強度及變形與母材相近。

解說：續接器之使用應依「鋼筋續接器續接設計規範」之規定爲之。SA級續接器續接得不必隔根錯開配置，B級續接器續接在柱的部分應該隔根、隔層續接，其他的部分至少要隔根續接。

3.3 續接器續接性能試驗項目

3.3.1 鋼筋續接器續接性能試驗包含下列四項：

(1) 鋼筋母材拉力試驗

(2) 續接器接合試體拉力試驗

(3) 續接器接合試體彈性重複載重試驗

(4) 續接器接合試體高塑性反復載重試驗

3.3.2 各續接性能等級之續接器須進行並通過表3.3.1所示之試驗項目。

表3.3.1 各級續接器須進行之試驗項目

試驗項目	SA級	B級
鋼筋母材拉力試驗	V	V
續接器接合試體拉力試驗	V	V
續接器接合試彈性重複載重試驗	--	V
續接器接合試高塑性反復載重試驗	V	--

3.4 試驗試體及其取樣數目

3.4.1 鋼筋母材拉力試驗試體爲母材鋼筋；其餘試驗項目爲以續接器續接兩段母材鋼筋之試體，稱爲續接器接合試體。

3.4.2 所有續接器接合試體使用之鋼筋須爲性質相近之同一批鋼筋。

3.4.3 各試驗項目試體之數目須能代表該型續接器實際續接之平均性能，且至少三個試體。

3.4.4 續接器接合試體在進行載重試驗前不得試拉。

3.5 試驗裝置與量測

3.5.1 母材拉力試驗之標點距離依CNS 2112 [金屬材料拉伸試驗試片] 之規定辦理。

3.5.2 續接器接合試體軸向變形量之量測長度(gage length) L_g 取續接器長度加續接器兩側各1/2鋼筋直徑或2 cm之大值。若上述量測長度小於50 cm，則在無受壓挫屈之虞時最大可取50 cm爲量測長度，且續接器應設於量測長度之中央位置。

3.5.3 軸向變形量測需使用兩個測計直接設置於試體之對稱位置。

3.5.4 軸向變形量測測計之靈敏度應達0.0025 mm。

3.5.5 鋼筋直徑收縮率之量測應在續接器兩端至油壓機夾持位置間之鋼筋爲之。每一側之第1個量測點距離續接器端點或任何鋼筋加工點1倍鋼筋直徑，接著每隔2倍鋼筋直徑設置一個量測點，如圖3.5.1所示。量測點之標示不可影響鋼筋直徑量測之可靠性。所量測之鋼筋直徑可以是脊至脊之距離或與脊至脊連線垂直之鋼筋直徑，但是不可受到竹節之干擾，且加載前後量測鋼筋直徑之方式應保持一致。若加載完成後鋼筋在量測點斷裂，則在最靠近量測點之位置量測斷裂後鋼筋之直徑。鋼筋直徑之量測以測微器爲之，其靈敏度應達0.02mm。

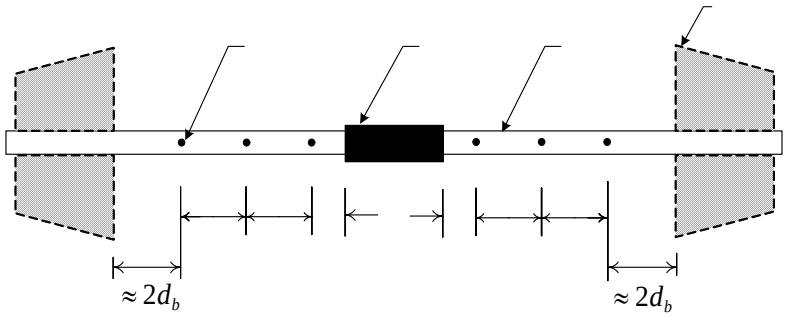


圖3.5.1 直徑收縮率量測點位置示意圖

3.5.6 進行續接器接合試體試驗時，鋼筋之夾持位置至續接器端點需保持至少6倍鋼筋直徑的距離。

解說：當續接器接合試體在加載的過程中挫屈時，該試體應視爲無效試體而非試體不合格，並應再取樣重新進行試驗。

進行鋼筋母材拉力試驗時，變形量測之測計靈敏度應達0.0025 mm，所測得到之彈性模數方可具有足夠之準確度。在進行機械式續接器接合試體相關

試驗時，變形量測之測計靈敏度可放寬至0.01mm。

所使用之測計應符合ASTM E-83 Class C或同等級之要求。

3.6 母材拉力試驗

3.6.1 試驗方法

母材拉力試驗應依CNS 2111 [金屬材料拉伸試驗法] 之規定辦理。

3.6.2 合格判別基準

（1）每一母材鋼筋之降伏強度 f_{ya}、抗拉強度 f_{ua} 及伸長率 ε_{ua} 均應符合表2.6.1之規定。

（2）若有任一母材鋼筋不符合規定，則其餘續接器接合試體視爲無效試體。

表3.6.1 母材鋼筋機械性質合格標準

機械性質	合格標準
降伏強度 f_{ya}	$\geq f_y$
抗拉強度 f_{ua}	$\geq 1.25 f_y$ 且 $\geq f_u$
伸長率 ε_{ua}	$\geq \varepsilon_u$

3.7 拉力試驗

3.7.1 加載歷程

施加至對應於鋼筋 $0.6 P_y$ 之拉載重，再卸載至對應於鋼筋 $0.02 P_y$ 之拉載重，然後施加拉力至試體破壞 。

3.7.2 合格判別基準

（1）使用於韌性耐震結構之續接器續接，每一續接器接合試體之抗拉強度 f_{uc}、滑動量 $(\delta_s)_{0.6\,fy}$ 及鋼筋直徑收縮率 R 均應滿足表3.7.1之規定。

（2）非使用於韌性耐震結構之續接器續接，每一續接器接合試體之抗拉強度 f_{uc}、滑動量 $(\delta_s)_{0.6\,fy}$ 及鋼筋直徑收縮率 R 均應滿足表3.7.2之規定。

（3）表3.7.1及3.7.2中 f_{ya} 與 ε_{ya} 皆採用母材拉力試驗所得之平均值。

表3.7.1 拉力試驗判別基準

項目		SA級	B級
抗拉強度 f_{uc}		$\geq 1.25 f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25 f_y$
滑動量 $(\delta_s)_{0.6 f_y}$		≤ 0.1 mm	≤ 0.1 mm
鋼筋直徑收縮率 R	SD 420W	$\geq 5\%$	$\geq 1\%$
	SD 280W	$\geq 6\%$	$\geq 1\%$

解說：韌性耐震結構應使用SD420W及SD280W鋼筋。

鋼筋直徑收縮率R詳第3.10.3節之規定。

3.8 彈性重複載重試驗

3.8.1 加載歷程

加載下限取對應於鋼筋$0.02P_y$之受拉載重，上限取對應於鋼筋$0.95P_y$之受拉載重，施加30週次；然後施加拉力至試體破壞。

3.8.2 合格判別基準

（1）每一續接器接合試體之抗拉強度 f_{uc}、滑動量$(\delta_s)_{0.95 f_y}$及鋼筋直徑收縮率R均應符合表3.8.1之規定。

（2）表3.8.1中 f_{ya} 與 ε_{ya} 皆採用母材拉力試驗所得之平均值。

表3.8.1 彈性重複載重試驗判別基準

項目		SA級	B級
抗拉強度 f_{uc}		--	$\geq 1.25 f_y$
滑動量$(\delta_s)_{0.95 f_y}$		--	≤ 0.3 mm
鋼筋直徑收縮率 R	SD 420W及SD 420	--	$\geq 1\%$
	SD 280W及SD 280	--	$\geq 1\%$

3.9 高塑性反復載重試驗

3.9.1 加載歷程

加載下限取對應於鋼筋$0.50P_y$之受壓載重，上限取對應於鋼筋

0.95P_y之受拉載重，施加16週次；其次加載下限取對應於鋼筋0.50P_y之受壓載重，上限取5ε_{ya}，施加反復載重8週次；在其次加載下限取對應於鋼筋0.50P_y之受壓載重，上限取10ε_{ya}，施加反復載重8週次；然後施加拉力至試體破壞。上述之ε_{ya}採用母材拉力試驗所得之平均值。

3.9.2 合格判別基準

（1）每一續接器接合試體之抗拉強度f_{uc}、至16週次之殘留總滑動量$(\delta_s)_{16c}$、第24週次之當次滑動量$(\delta_s)_{24c}$、第32週次之當次滑動量$(\delta_s)_{32c}$、第24週次之對應當次滑動應變$(\varepsilon_s)_{24c}$、第32週次之對應當次滑動應變$(\varepsilon_s)_{32c}$及鋼筋直徑收縮率R均應符合表3.9.1之規定。

（2）表3.9.1中f_{ya}與ε_{ya}皆採用母材拉力試驗所得之平均值。

表3.9.1 高塑性反復載重試驗判別基準

項目		SA級	B級
抗拉強度 f_{uc}		$\geq 1.25 f_y$ 且 $\geq f_u$	--
滑動量	$(\delta_s)_{16c}$	≤ 0.03 cm	--
	$(\delta_s)_{24c}$	≤ 0.09 cm	--
	$(\varepsilon_s)_{24c}$	$\leq 1.5\varepsilon_{ya}$	--
	$(\delta_s)_{32c}$	≤ 0.18 cm	--
	$(\varepsilon_s)_{32c}$	$\leq 3\varepsilon_{ya}$	--
鋼筋直徑收縮率 R	SD 420W	$\geq 5\%$	--
	SD 280W	$\geq 6\%$	--

3.10 符號及其定義

3.10.1 母材標稱物理量

母材標稱物理量未在本節規定者，以CNS 560 [鋼筋混凝土用鋼筋]之規定爲依據。

A_s = 受拉鋼筋之斷面積；cm^2。

E_s = 鋼筋母材之彈性模數；2.03×10^6 kgf/cm^2。

f_y = 鋼筋之規定降伏強度；kgf/cm^2。

f_u = 鋼筋之規定抗拉強度；kgf/cm^2。

P_y = $A_s f_y$；對應於鋼筋規定降伏強度之鋼筋軸向力；kgf。

ε_u = 鋼筋之規定伸長率。

3.10.2 母材實際物理量

母材實際物理量由母材拉力試驗量測之或再經計算而得。

E_{sa} = 鋼筋母材之實際彈性模數；若 $E_{sa} > 2.15\times10^6$ kgf/cm^2，則採用 $E_{sa} = 2.15\times10^6$ kgf/cm^2，若 $E_{sa} < 1.9\times10^6$ kgf/cm^2，則採用 $E_{sa} = 1.9\times10^6$ kgf/cm^2，若 E_{sa} 未實際量測，則採用 $E_{sa} = E_s$；kgf/cm^2。

$f_{ya} = P_{ya}/A_s$；非預力鋼筋母材實際降伏強度；kgf/cm^2。若母材無明顯之降伏帶(yield plateau)，則降伏強度以橫距法與0.2%永久應變定義之。

f_{ua} = P_{ua}/A_s；鋼筋母材之實際抗拉強度；kgf/cm^2。

P_{ya} = 母材實際降伏載重；kgf。

P_{ua} = 母材實際極限載重；kgf。

ε_{ya} = f_{ya}/E_{sa}；鋼筋母材實際降伏應變。

ε_{ua} = 鋼筋母材之實際伸長率。

3.10.3 續接器接合試體之物理量

續接器接合試體之物理量由其拉力試驗、彈性重複載重試驗、塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中量測或再經計算而得。各種試驗的軸力-軸向變形的示意圖分別如圖3.10.1至3.10.5所示。

f_{uc} = P_{uc}/A_s；續接器接合試體實際抗拉強度；kgf/cm^2。

L_g = 續接器接合試體量測長度；cm。

P_m = $A_s \times f_m$；對應於疲勞載重試驗之鋼筋軸向力；kgf/cm^2。

P_{uc} = 續接器接合試體實際最大載重；kgf。

R = 鋼筋直徑收縮率。續接器兩側的鋼筋各可求得一個平均鋼筋直徑收縮率，以兩側平均鋼筋直徑收縮率中之大者爲該試體之鋼筋直徑收縮率。每一側鋼筋之平均直徑收縮率，爲該側3個測點所測得之直徑收縮率中最大兩者的平均值。每個量測點之鋼筋直徑收縮率爲 $(d_0 - d_r)/d_0$，其中 d_0 爲該量測點加載前之鋼筋直徑，d_r 爲試體破壞後該量測點之鋼筋直徑。

$(\varepsilon_s)_{24c}$ = $(\delta_s)_{24c}/L_g$；塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中，在$5\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之對應當次滑動應變。

$(\varepsilon_s)_{32c}$ = $(\delta_s)_{32c}/L_g$；高塑性反復載重試驗中，在$10\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之對應當次滑動應變。

$(\delta_s)_{0.6\,fy}$ = 拉力試驗中，加載至$0.60P_y$，再解壓至$0.02P_y$時之殘留滑動量，詳圖3.10.1；cm。

$(\delta_s)_{16c}$ = 塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中，$0.95P_y$至$-0.50P_y$間加載16週次後之殘留總滑動量，詳圖3.10.3及3.10.4；cm。

$(\delta_s)_{24c}$ = 塑性反復載重試驗及高塑性反復載重試驗中，在$5\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之當次滑動量，詳圖3.10.3及3.10.5；cm。

$(\delta_s)_{32c}$ = 高塑性反復載重試驗中，在$10\varepsilon_{ya}$至$-0.50P_y$間加載第8週次之當次滑動量，詳圖3.10.3及3.10.5；cm。

$(\delta_s)_{0.95\,fy}$ = 彈性重複載重試驗中，$0.02P_y$至$0.95P_y$間加載30週次後之殘留總滑動量，詳圖3.10.2；cm。

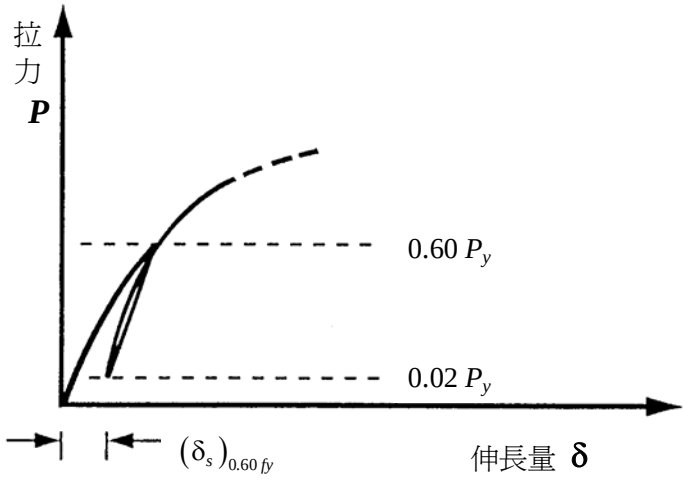


圖3.10.1　拉力試驗軸力-軸向變形示意圖

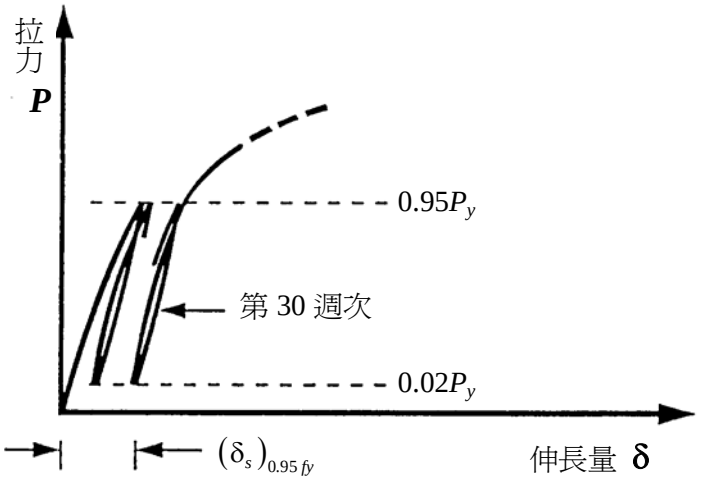


圖3.10.2　彈性重複載重試驗軸力-軸向變形示意圖

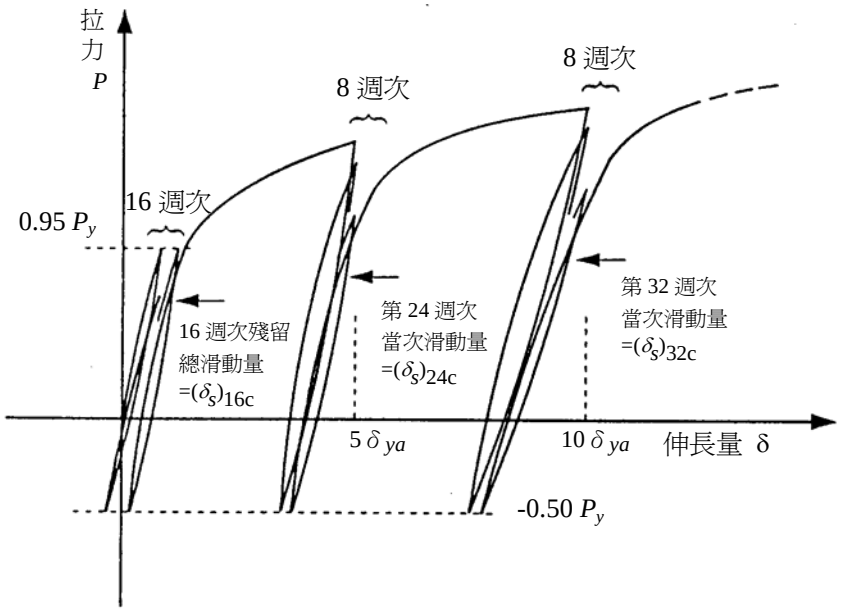


圖3.10.3　高塑性反復載重試驗軸力-軸向變形示意圖

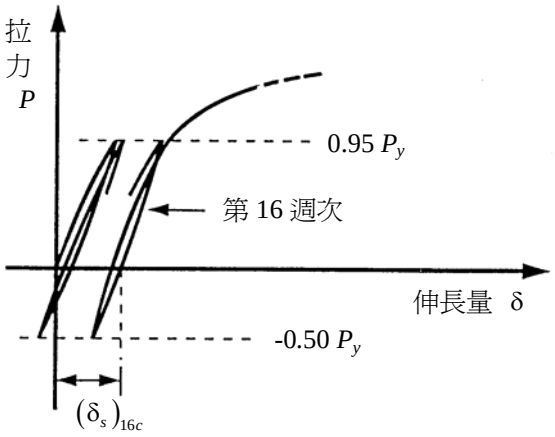


圖3.10.4　$(\delta_s)_{16c}$示意圖

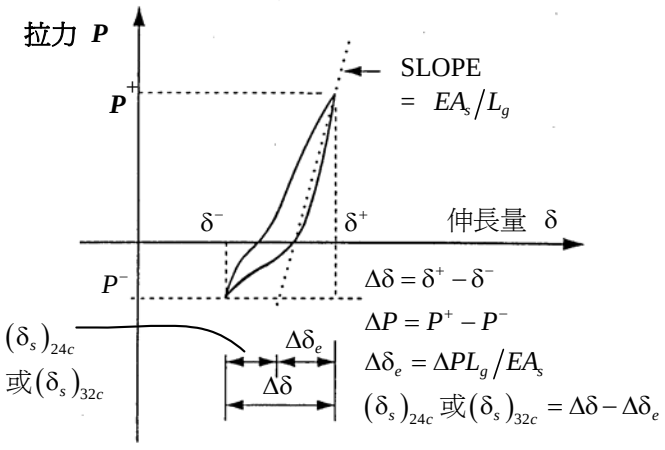


圖3.10.5　$(\delta_s)_{24c}$及$(\delta_s)_{32c}$示意圖

鋼筋續接器續接設計規範與
施工規範之條文及解說研修
出版機關：內政部建築研究所
電話：(02)8912-7890
地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓
網址：http://www.abri.gov.tw/
出版年月：93 年 12 月
版（刷）次：初版一刷
工本費：200 元整
GPN：
ISBN：