

建築工程鋼筋機械式續接性能基準 及驗證研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 106 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

PG 10602-0012
106301070000G0032

建築工程鋼筋機械式續接性能基準 及驗證研究

受委託單位：國立雲林科技大學

計畫主持人：李宏仁

協同主持人：陳正誠

協同主持人：陳建中

研究助理：張家榮

研究期程：106年1月26日至106年12月31日

研究經費：新臺幣149萬4000元整

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國106年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 文獻回顧	5
第三節 研究方法及步驟	16
第四節 研究目的	18
第二章 鋼筋機械式續接工法	31
第一節 鋼筋機械式續接種類	31
第二節 鋼筋機械式續接施工檢驗問題	35
第三章 鋼筋續接組件試驗	45
第一節 單向拉伸及滑動試驗	45
第二節 高塑性反復負載試驗	49
第三節 被續接鋼筋之伸長率	51
第四節 高強度鋼筋之續接組件試驗	53
第五節 鋼筋續接品質檢驗準則	56
第四章 梁彎曲試驗	79
第一節 以梁抗彎試驗檢討使用性	79
第二節 試體製造及材料性質	80
第三節 梁試驗結果與討論	81
第五章 結論與建議	91
第一節 結論	91
第二節 建議	92
附錄一 規範修正草案	95
附錄二 期初評選會議紀錄	107
附錄三 期中審查會議紀錄	113
附錄四 第一次專家座談會會議紀錄與簽到表	125
附錄五 第二次專家座談會會議紀錄與簽到表	135

附錄六 期末審查會議記錄	143
參考書目	157

表次

表 1-1 台灣鋼筋續接器規範歷年來重要之變革	19
表 1-2 台灣鋼筋機械式續接性能試驗項目	19
表 1-3 日本鋼筋續接性能分級對應母材鋼筋機械性質	20
表 1-4 日本規範續接器性能判定基準	21
表 1-5 美國加州交通部標準規範鋼筋機械續接滑動試驗要求	22
表 1-6 公共工程委員會施工綱要規範 03210 章鋼筋 V4.0 之鋼筋機械式續接性能允收標準	23
表 1-7 預定之研究進度	25
表 2-1 可抵抗反復拉壓力之機械式續接種類及用途	39
表 2-2 內政部頒混凝土結構設計規範[9]對機械式續接之規定	41
表 2-3 機械式續接性能規範待檢討之課題	42
表 3-1 本研究檢討之單方向拉伸及滑動試驗程序	58
表 3-2 SD420W 鋼筋母材之單方向拉伸及滑動試驗結果(0.60 P_y)	58
表 3-3 SD420W 鋼筋續接組件單方向拉伸及滑動試驗結果(0.60 P_y)	59
表 3-4 SD420W 鋼筋續接組件單方向拉伸及滑動試驗結果(0.95 P_y)	60
表 3-5 本研究初步檢討之高塑性反復負載試驗程序	60
表 3-6 SD420W-D25 鋼筋高塑性反復負載試驗滑動量比較	61
表 3-7 SD420W-D36 鋼筋高塑性反復負載試驗滑動量比較	62
表 4-1 梁彎曲試驗之裂縫寬度(單位 mm)	82

圖次

圖 1-1	台南維冠金龍大樓倒塌現場鋼筋續接器失敗案例	26
圖 1-2	台灣鋼筋續接器規範之演進圖	26
圖 1-3	續接試體單向拉伸及滑動試驗加載程序示意圖	27
圖 1-4	續接試體高塑性反復負載試驗加載程序示意圖	27
圖 1-5	當次滑動量計算法示意圖	28
圖 1-6	鋼筋機械式續接試驗裝置示意圖	28
圖 1-7	我國鋼筋續接器規範韌性指標之比較	29
圖 1-8	California Test 670 之滑動試驗及重複負載試驗	30
圖 1-9	研究流程圖	30
圖 2-1	柱主筋續接位置示意圖	43
圖 3-1	訂製之鋼筋續接器試體示意圖	63
圖 3-2	SD420W-D25 鋼筋續接組件試驗佈設	63
圖 3-3	SD420W-D36 鋼筋續接組件試驗佈設	64
圖 3-4	SD420W-D25 鋼筋母材零滑動試驗結果($0.60 P_y$)	64
圖 3-5	SD420W-D36 鋼筋母材零滑動試驗結果($0.60 P_y$)	65
圖 3-6	SD420W-D25 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量($0.60 P_y$)	65
圖 3-7	SD420W-D36 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量($0.60 P_y$)	65
圖 3-8	SD420W-D25 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量($0.95 P_y$)	66
圖 3-9	SD420W-D36 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量($0.95 P_y$)	66
圖 3-10	SD420W-D25 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果	67
圖 3-11	SD420W-D25 鋼筋續接組件(標稱扭力鎖緊)之高塑性反復負載試驗結果	68
圖 3-12	SD420W-D25 鋼筋續接組件(徒手旋緊)之高塑性反復負載試驗結果	69
圖 3-13	SD420W-D25 鋼筋續接組件(逆旋半圈)之高塑性反復負載試驗結果	70
圖 3-14	SD420W-D36 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果	71
圖 3-15	SD420W-D36 鋼筋續接組件(標稱扭力鎖緊)之高塑性反復負載試驗結果	72
圖 3-16	SD420W-D36 鋼筋續接組件(徒手旋緊)之高塑性反復負載試驗結果	73
圖 3-17	SD420W-D36 鋼筋續接組件(逆旋半圈)之高塑性反復負載試驗結果	74
圖 3-18	SD420W-D25 鋼筋續接組件被續接鋼筋伸長率比較	75
圖 3-19	SD420W-D36 鋼筋續接組件被續接鋼筋伸長率比較	75

圖 3-20	SD550 D38 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果	76
圖 3-21	SD550 D38 螺紋節鋼筋續接組件高塑性反復負載試驗結果	76
圖 3-22	SD550 D38 鋼筋續接套管組件高塑性反復負載試驗結果	76
圖 3-23	SD550 D38 螺紋節鋼筋續接組件破壞模式-斷筋	77
圖 3-24	SD550 D38 鋼筋續接套管破壞模式-拔出	77
圖 3-25	SD690 D38 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果	78
圖 3-26	SD690 D38 螺紋節鋼筋續接組件高塑性反復負載試驗結果	78
圖 3-27	SD690 D38 鋼筋續接套管組件高塑性反復負載試驗結果	78
圖 4-1	特製鋼筋續接組件包覆混凝土試體之滑動試驗	83
圖 4-2	梁彎曲試驗標準試體 A 斷面配筋圖	83
圖 4-3	梁彎曲試驗續接試體 BCD 底層筋續接情況	84
圖 4-4	梁彎曲試驗佈置	84
圖 4-5	Coogler 等人研究鋼筋偏心機械式搭接行為之試驗佈設	85
圖 4-6	Sayadi 等人研究灌漿填充續接套管續接鋼筋之實驗	86
圖 4-7	Phuong and Mutsuyoshi 研究混凝土梁主筋機械續接之實驗	86
圖 4-8	Phuong and Mutsuyoshi 實驗之加載程序	87
圖 4-9	梁試體製作之部分照片	87
圖 4-10	第一批澆鑄 4 座梁試驗力-位移曲線	88
圖 4-11	第二批澆鑄 4 座梁試驗力-位移曲線	89
圖 4-12	梁試體主筋在 0.60Py 情況下之鋼筋應力分布	90

摘要

關鍵詞：鋼筋、機械式續接、續接器、續接套管、驗收測試

一、研究緣起

經濟部標檢局 104 年新訂 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」僅規定試驗方法，相關檢驗頻率及合格標準應由各主管機關另訂規範之。現行內政部頒版「混凝土結構設計規範」第 5.15.3.3 節要求機械式續接器續接應發展其抗拉或抗壓強度至少達鋼筋以 $1.25f_y$ 計得之強度外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率等規定，但規範本文並未規定滑動量及伸長率之合格標準，導致目前國內業者多引用 86 年版混凝土工程設計規範與解說（土木 401-86）附錄乙、88 年版內政部營建署及建研所之「鋼筋續接施工規範及解說(草案)」或建研所 93 年完成的「鋼筋續接器續接設計規範與施工規範及解說研修」報告，皆逾十年以上未更新且與 CNS 15560 試驗法有牴觸，導致現況鋼筋機械式續接之試驗法與合格標準不一致，衍生困擾與爭議，規範亟待檢討更新。此外，經濟部標檢局刻正修訂 CNS 560「鋼筋混凝土用鋼筋」新增 SD550W 及 SD690 新高強度鋼筋，因應業界對高強度鋼筋之需求，近年來機械續接工法已有長足的進步，續接器樣式多元化，各界期待本所能協助訂定鋼筋機械式續接性能合格標準及施工品質檢驗準則，納入規範參採引用，讓業界有所依循，確保建築工程鋼筋續接施工品質，維護國人生命財產安全。

本研究按 CNS 15560 試驗法測試不同等級式樣的鋼筋續接器，調查使用鋼筋續接器之混凝土構件試驗成果，檢討耐震建築工程鋼筋機械式續接性能之合格標準，研擬鋼筋機械式續接之品質檢驗準則。

二、研究方法及過程

本研究案之研究工作包括國內外相關規範及資料蒐集、鋼筋機械續接組件試驗、梁構件彎曲試驗、數據分析統計、座談訪問調查、撰寫成果報告等。研究步驟如下：

1. 整理探討美國、日本、台灣鋼筋機械式續接之最新規範；
2. 鋼筋續接組件試驗，依 CNS 15560 試驗法，自訂負載程序；
3. 鋼筋續接組件包覆混凝土試體試驗；
4. 鋼筋機械續接之梁構件彎曲試驗，檢覈構件勁度及裂紋寬；
5. 數據分析統計，檢討續接性能合格標準；
6. 參考文獻、訪問座談、撰寫鋼筋機械續接施工品質檢驗準則

三、重要發現

鋼筋及續接器施工品質攸關公眾生命財產安全，需要嚴格的品管檢驗把關。鋼筋屬於工業規格品，經濟部訂有國家標準 CNS 560「鋼筋混凝土用鋼筋」規定製造方法、形狀尺度、品質檢驗及標示，其中品質檢驗包含外觀節尺度、化學及物理性質試驗方法及合格要求。然而，鋼筋實際施工必須續接，取代搭接工法之機械式續接具有產品及施工多樣性，不適合制定工業規格，故經濟部 104 年新訂之 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」僅規定試驗方法，至於合格要求，應由主管機關考量土木與建築工程特性不同另定規範之。

我國每年鋼筋續接器市場用量推估為 2400 萬至 3000 萬個，土木與建築工程大約各半，現行內政部頒版「混凝土結構設計規範」僅第 5.15.3.3 節及第 15.3.6.4 要求機械式續接接合強度至少應達鋼筋規定降伏強度之 1.25 倍或最小抗拉強度外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率等規定，但規範本文並沒有規定相關合格標準，導致業界多半引用十幾年前的舊有規範(土木 401-86 附錄乙、內政部鋼筋續接施工

規範及解說草案等)，這些舊有規範均已逾十年未更新且試驗方法牴觸 CNS 15560，部分試驗項目之合格要求過於嚴苛或不一致，衍生爭議造成業界困擾。本研究建議內政部營建署修訂「混凝土結構設計規範」第 15.3.6.4 節或更新「混凝土結構技術規範」第 18.2.7.1 節條文及解說，並於規範新增一專節規定鋼筋機械式續接品質檢驗準則，包括性能判別、施工檢查、取樣頻率、試驗程序及合格標準，提升鋼筋機械續接之品質管制水準，維護國人生命財產安全。

本研究按 CNS 15560 試驗法執行超過 80 組鋼筋機械式續接組件單向拉伸及滑動試驗、高塑性反復荷載試驗、續接器埋置於混凝土之組件拉伸、及梁構件彎曲試驗，研究修正建築工程鋼筋機械式續接性能合格標準及檢驗準則。本研究建議如后。

四、主要建議事項

本研究進行建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究，提出下列具體建議。

建議一

修正「混凝土結構設計規範」第 15.3.6.4 節條文及解說並增加一專節規定檢驗準則：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、中國土木水利工程學會

部頒版「混凝土結構設計規範」第 15.3.6.4 節僅要求第一類或第二類鋼筋機械續接接合強度須達鋼筋規定降伏強度之 1.25 倍或規定拉力強度以上，尚欠缺其他續接性能如滑動量、伸長率及承受多次反復之非彈性應變之合格標準。本研究建議第一類機械續接相當於慣用之 B 級續接，須能使被續接鋼筋承受多次彈性負載並發展鋼筋規定降伏強度之 1.25 倍；第二類機械續接相當於慣用之 SA 級續接，其接合

強度至少應達鋼筋規定拉力強度且能使被續接鋼筋承受多次反復之非彈性應變；另新增一專節規定鋼筋機械式續接品質檢驗準則，包含性能判別、施工檢查、取樣頻率、試驗程序及合格標準。其中試驗程序、滑動量計算及合格標準有些微修正以提高試驗之可靠度及正確性。

建議二

修正新版「混凝土結構技術規範」(草案)第 18.2.7.1 節條文及解說並增加一專節規定檢驗準則：中長期建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、中國土木水利工程學會

新版「混凝土結構技術規範」草案第 18.2.7.1 節僅要求第一類或第二類鋼筋機械續接須能使被續接鋼筋發展至規定降伏強度之 1.25 倍或最小抗拉強度以上，尚欠缺其他續接性能如滑動量、伸長率及承受多次反復非彈性應變之合格標準。本研究建議第一類機械續接相當於慣用之 B 級續接，須能使被續接鋼筋承受多次彈性負載並發展鋼筋規定降伏強度之 1.25 倍；第二類機械續接相當於慣用之 SA 級續接，須能使被續接鋼筋承受多次反復之非彈性應變後發展至鋼筋規定抗拉強度；另新增一專節規定鋼筋機械式續接品質檢驗準則，包含性能判別、施工檢查、取樣頻率、試驗程序及合格標準。其中試驗程序、滑動量計算及合格標準有些微修正以提高試驗之可靠度及正確性。

ABSTRACT

Keywords: reinforcing bar, mechanical splice, coupler, sleeve, acceptance test

BSMI recently published CNS 15560 “Test methods of mechanical splice for steel reinforcing bars”, for which the inspection and acceptance criteria should be specified by building officials. Current building code only requires a mechanical splice shall develop at least $1.25f_y$ or f_u of the bar, while the connection slip and ductility are not clearly specified. Therefore, various test methods and acceptance criteria may be used, such as the Appendix B of Codes and Commentary for Concrete Structures, which is out-of-date and should be updated to be consistent with CNS 15560. Due to the need of large-diameter high-strength reinforcing bars, building designers are looking forward to seeing rational and consistent criteria for acceptance tests of the steel mechanical splices. This could improve the quality and safety of building structures. To verify the proposed acceptance criteria of mechanical splices for steel reinforcing bars, this study tests common types of mechanical couplers and coupling sleeves using CNS 15560 with specified loading procedures. Simple coupler tests and reinforced concrete beam bending tests were performed to assess the acceptance criteria for steel mechanical splices in building structures. Guidelines for on-site quality control of steel mechanical splices are also proposed.

The objectives of this study are (1) To verify the performance of steel mechanical splices using CNS 15560 test method and specified loading procedures, to set up the acceptance criteria on strength, slip, and ductility of mechanical splices for new building codes; and (2) To propose construction guidelines for quality control of mechanical splices of steel reinforcing bars in building structures.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

一、研究緣起

鋼筋及續接器施工品質攸關公眾生命財產安全，需要嚴格的品質檢驗。鋼筋屬於工業規格品，經濟部訂有國家標準 CNS 560「鋼筋混凝土用鋼筋」[1]規定製造方法、形狀尺度、品質檢驗及標示，其中品質檢驗包含外觀節尺度、化學及物理性質試驗方法及合格要求。然而，鋼筋實際施工必須續接，取代搭接工法之機械式續接具有產品及施工多樣性，不適合制定工業規格，故經濟部 104 年新訂之 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」[2]僅規定試驗方法，至於合格要求，應由主管機關考量土木與建築工程特性不同另定規範之。

現行內政部頒版「混凝土結構設計規範」第 5.15.3.3 節要求機械式續接器續接應發展其抗拉或抗壓強度至少達鋼筋以 $1.25f_y$ 計得之強度外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率等規定，但規範本文並未規定滑動量及伸長率之合格標準，導致國內業者多半引用舊有規範，導致現況鋼筋機械式續接之合格標準不一致，衍生執行上之困擾與爭議，且舊有規範試驗法與 CNS 15560 多有牴觸，有必要檢討更新。

此外，經濟部標檢局 106 年修訂 CNS 560「鋼筋混凝土用鋼筋」新增 SD550W 及 SD690 新高強度鋼筋，因應鋼筋強度大幅提升以及業界對大尺寸鋼筋之需求，近年來機械續接工法趨向多元化，各界期待本所能協助訂定鋼筋機械式續接性能之合格標準及施工品質檢驗準則，納入規範參採引用，讓業界有所依循，確保建築工程鋼筋續接

施工品質，維護國人生命財產安全。

本研究將按 CNS 15560 試驗法[2]測試國內各等級樣式的鋼筋續接器，調查使用鋼筋續接器之混凝土構件試驗，檢討耐震建築工程鋼筋機械式續接性能之合格標準，研擬鋼筋機械式續接施工品質檢驗準則。

二、研究背景

近年來台灣鋼筋用量年均約為 500 至 600 萬公噸，鋼筋續接器用量推估約為每年 2400 至 3000 萬個，用於土木工程及建築工程大約各半，鋼筋及續接器之品質良窳攸關公眾生命財產安全，需要嚴格的品質檢驗。從 1999 年 921 大地震到 2016 年美濃地震倒塌建築案例中所見的劣質續接器(圖 1-1)，可歸咎於 1980 至 1990 年間代我國建築工程鋼筋機械式續接欠缺相關規範及品質檢驗所致。

在公共工程方面，自 2004 年起「公共工程施工品質管理作業要點」第十二點規定：(一)鋼筋、混凝土、瀝青混凝土及其他適當檢驗或抽驗項目，應由符合 CNS 17025 (ISO/IEC 17025) [3]規定之實驗室辦理，並出具檢驗或抽驗報告。(二)前款檢驗或抽驗報告，應印有依標準法授權之實驗室認證機構之認可標誌。

惟工程會原訂定之檢驗項目為產品總稱，檢驗項目不甚明確，相關單位陸續希望能以試驗項目列舉。故工程會 2005 年 11 月 10 日工程管字第 09400415500 號函列舉 7 項(含鋼筋混凝土用鋼筋試驗)，2009 年 10 月 29 日工程管字第 09800480600 號函增列 10 項(含鋼筋續接器試驗)，總計 17 項[4]需依前開規定辦理。

我國唯一依標準法授權之實驗室認證機構為財團法人全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)，因此近十年來，公共工程所使用的鋼筋及續接器均必須檢具 TAF 認可標誌之報告，然而

TAF 辦理前開 17 項公共工程材料試驗之認證服務，認可之試驗規範限政府機關或機構發布為準，例如中華民國國家標準 CNS、內政部頒規範、國工局或高工局施工規範、公共工程委員會施工綱要規範等。

因此，目前國內業界較常使用且土木實驗室通過 TAF 認證之鋼筋續接器規範版本有下列規範版本：

1. 中國土木水利工程學會混凝土工程設計規範與解說（土木 401-86）之附錄乙[5]，1998；
2. 內政部營建署暨內政部建築研究所，鋼筋續接施工規範及解說(草案)[6]，1999；
3. 內政部建築研究所，鋼筋續接器續接設計規範與施工規範及解說研修報告[7]，2004。
4. 中華民國結構工程學會，鋼筋續接器續接規範與解說[8]，2007；

這四版鋼筋續接器續接規範之研擬作業皆源自內政部建研所之研究計畫，迄今皆逾十年未更新，且前述舊有規範[5-8]之試驗法、性能分級、及合格要求本來就存有差異，由於標準不一致，業界使用上有一些爭議及困擾，加上舊有規範[5-8]試驗法與經濟部 2015 年新訂之 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」[2] 多有抵觸，各界期盼建研所能盡快整合檢討更新鋼筋續接器續接規範。

在民間建築工程方面，一般由建築師向業主承攬設計及監造業務，實務上建築師通常只做重點監造，至於鋼筋及續接器施工品質，往往不能嚴格把關，許多業主自辦營造的工地並不查驗鋼筋機械式續接之施工品質，即使有查驗，所依據之合格標準亦不若公共工程來得嚴謹。一般建築工程之鋼筋續接器可能自訂檢驗頻率及合格標準，若設計者有特別要求耐震結構用之 SA 級鋼筋續接器，設計圖說可能引用前述舊有規範[5-8]，如無特別要求 SA 級，則可能依內政部頒版混凝土結

構設計規範[9]或 ACI 318 規範[10,11]，只執行鋼筋續接組件之基本拉伸試驗，要求續接處抗拉強度至少達鋼筋規定降伏強度下限值之 1.25 倍($1.25f_y$)。雖然我國混凝土結構設計規範[9]第 5.15.3 節解說提到機械式續接器續接除其強度規定外，應考慮滑動量、延展性、伸長率、實測強度、續接位置、續接器間距、保護層厚度等對構材之強度、裂縫寬度、延展性、耐久性等之影響。但也因為鋼筋之機械式續接器無國家標準，故未規定性能合格要求，僅指出結構工程學會訂定之「鋼筋續接器續接規範與解說」[8]可供參考。

綜合上述背景，現況建築工程鋼筋機械續接之合格要求，從嚴檢驗者會要求 SA 級性能須執行單向拉伸、滑動量以及高塑性拉壓反復負載試驗，即前述舊版規範[5-8]要求；從寬檢驗者只執行基本拉伸試驗要求續接組件抗拉強度至少 $1.25f_y$ [9-11]，忽視機械續接處滑動量對於構件裂紋控制及耐震性能之影響。台灣絕大多數人口居住於鋼筋混凝土造建築物內，氣候潮濕若混凝土構件裂紋過大容易使水汽接觸鋼筋導致鋼筋銹蝕影響耐久性，加上全島位於強震區所有建築物均需要抵抗地震，鋼筋機械續接有必要嚴格檢驗確保其使用性及耐震性能。

由於前述舊有鋼筋續接器續接規範[5-8] 已逾十年未更新，且與 2015 年新訂之 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」[2]有部分牴觸，確實需要檢討更新，加上未來新高強度鋼筋 SD550W 及 SD690 以及業界對大尺寸鋼筋機械續接之需求，機械式續接工法不斷推陳出新，超出舊有規範[5-8]之適用範圍，業界期盼建研所一併檢討並與現行混凝土結構設計規範[9-11]整合，期納入新版混凝土結構技術規範[12]，俾利工程界參考引用，以確保建築工程鋼筋續接施工品質，維護國人生命財產安全。

第二節 文獻回顧

有關本研究收集之相關文獻資料，分台灣、日本及美國規範分別說明如下：

一、台灣鋼筋續接器規範沿革

台灣大約從 30 年前開始自日本引進鋼筋機械式續接工法，當時國內工程界對於續接器的性能及施工瞭解不夠，亦欠缺相關檢驗法規，導致劣質的續接器被濫用，嚴重威脅當時起造的結構安全。有鑑於此，內政部 1990 年起陸續研擬續接器相關基準草案，至 1997 年內政部建研所委託台科大研究「鋼筋續接器續接施工規範與使用準則」，其中使用準則經過格式修改以設計規範附錄的位階收錄於中國土木水利工程學會之「混凝土工程設計規範與解說(土木 401-86)」之附錄乙：機械式續接器續接[5]，自此我國始有續接器參考規範。1999 年內政部營建署及建研所完成「鋼筋續接施工規範及解說(草案)」[6]，同年 921 大地震後開始推廣被各界接受使用，此後我國鋼筋續接工程品質有明顯提升。除建研所外，公共工程委員會也有頒布參考性質之施工綱要規範第 03210 章鋼筋(2001)(2003)(2005)[13-15]也有鋼筋續接器試驗相關規定，惟內容係以日本規範[16,17]為藍本加以簡化。

自 921 地震後經過幾年發展，台灣續接器產業生態及相關技術已有改變，工程界也逐漸發現 1999 年以前制定之舊規範[5,6, 13-15]有一些不夠嚴謹之處，在某些情況會產生一些爭議及困擾，2004 年內政部建研所完成「鋼筋續接器續接設計規範與施工規範及解說研修」[7]作業，2007 年中華民國結構工程學會鋼筋續接器續接規範工作小組工作報告(CSSE 96-01)[8]沿續 2004 年版建研所報告，再提出「鋼筋續接器續接設計規範與解說(建議案)」、「鋼筋續接器續接施工規範與解說(建議案)」、「鋼筋續接器續接試驗法(建議案)」。

展示我國鋼筋續接器規範之演進。自 1990 年起即由內政部建研所陸續推動修訂革新，參考日本建築中心之鋼筋續接性能判定基準[17]起草。

自 2007 年至 2015 年，續接器規範編修工作便陷於停頓，原因之一一是土木實驗室受 TAF 認證節制，而 TAF 僅認可官方版本[5, 6, 13-15]的續接器試驗方法，不認可未經官方審議通過之學會參考規範[8]，亦即實驗室無法依學會參考規範[8]試驗並出具 TAF 認可標誌之試驗報告，即無法用於公共工程。有鑑於此，經濟部標準檢驗局自 2006 年起開始草擬鋼筋機械式續接檢驗法，以美國材料與試驗協會出版之 ASTM A1034 鋼筋機械式續接試驗法[18]為藍本，惟 ASTM A1034 內容與國內業界使用多年的日系規範[5-8, 13-15]試驗法不一致，改用美規或是沿用日系規範之爭議討論多年，延宕至 2015 年才定案 CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗法[2]，今後試驗方法爭議應可平息。本計畫主持人李宏仁[19]整理國內鋼筋續接器規範歷年之重要變革及爭議，如表 1-1 所示。

然而現況 CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗法[2]只規定試驗方法，相關檢驗頻率及合格標準(Acceptance criteria)仍應由各主管機關另訂規範之。過往土木實驗室認證之試驗規範[5, 6, 13-15]與 CNS 15560 多有牴觸，故本研究加以重整。

各界期待主管機關訂定相關規範，公共工程委員會先於 2015-2016 年間委託台灣營建研究院辦理施工綱要規範第 03210 章鋼筋 V4.0[20]之編審工作，本計畫主持人亦協助編修及審查，2017 年小幅修正為 V4.1 版。此版規範[20]以 CNS 15560 試驗法為準，沿用業界慣用續接器規範[5,6] 之性能分級(SA 及 B 級)與合格標準，適用於普通強度鋼筋(SD 490 以下、#11 以下)之續接器，未來 CNS 560 如新增高強度 SD 550W 及 SD 690 鋼筋，仍須要持續檢討修訂。

台灣混凝土學會另有一份技術報告高強度鋼筋續接器續接性能規範[21]，內容較接近日本土木學會之鉄筋定着・継手指針[22]、國土交通省建築物構造關係技術基準解説書[23]之要求，其中對於高塑性拉壓反復試驗之要求不像我國舊有規範[5-8]嚴苛。考慮高強度鋼筋應力應變特性與普通強度鋼筋之差異，高塑性拉壓反復試驗之負載程序有必要再檢討。

台灣鋼筋續接器續接性能規範經過二十年演進，現況市場上主鋼筋等級以 SD420(W)占絕大多數，SD490(W)亦有人使用，未來新增 SD550W 及 SD690 高強度鋼筋，建築結構主鋼筋號徑介於#6(D19)至#12(D39)之間。市面上可選擇的鋼筋續接器樣式有摩擦銲接式、擴頭滾壓螺紋式、冷壓型鍛套管、螺紋節鋼筋續接器、灌漿填充續接套管等樣式，續接器本身並無國家標準規格。

無論續接器樣式為何，鋼筋機械式續接可依其性能分為第二類(SA 級)或第一類(B 級)機械式續接，鋼筋機械式續接之性能試驗及續接性能等級判別應依選用之規範[5-8, 20]規定辦理。原則上，SA 級續接後強度、變形及韌性與鋼筋母材相近，亦符合混凝土結構設計規範[9]或 ACI 318 [10]規範之第二類(耐震結構用)機械式續接。B 級續接後僅強度與鋼筋母材相近，也符合混凝土結構設計規範[9]或 ACI 318 [10,11]規範之第一類機械式續接。混凝土結構設計規範[9]第 15.3.6.5 節規定第一類機械式續接不得使用於梁、柱接頭面或地震時鋼筋可能降伏處起算兩倍構材深度範圍內，第二類機械式續接則准許使用於任何位置。

台灣現行鋼筋機械式續接性能試驗項目如表 1-2 所示，耐震結構用 SA 級續接器須執行之試驗項目有(1)續接試體單向拉伸及滑動試驗；及(2)續接試體高塑性反復負載試驗，加載程序及滑動量量測如圖 1-3 至圖 1-5 所示。

為了符合 CNS15560 鋼筋機械式續接試驗法[2]，工程會施工鋼要規範 03210 章 V4.0[20]規定之鋼筋機械式續接試驗布置如圖 1-6 所示。其他舊規範[5-8, 13-17]與 CNS15560 試驗法[2]抵觸問題點在於伸長計量測軸向變形之標定長度，CNS15560 規定之標定長度等於續接器或續接套管長度加上 2 倍至 6 倍鋼筋標稱直徑 d ，源自美規 ASTM A1034 規定[18]，但其他舊規範[5-8]或日系規範[13-17]之伸長計標定長度為續接器本體長度兩端各加 $1/2$ 鋼筋直徑或 20 mm 取大值「為原則」，無受壓挫曲疑慮時最大可取 50 cm。換言之，美規[2, 18, 20]之標定長度範圍較窄(本體長+ $2d$ 至本體長+ $6d$)，而日系規範之標定長度範圍較寬(本體長+40 mm 起，至多 50 cm)，除非續接套管過長，否則日規標點距離長度其實較有彈性。但是，我國規範[5-8]在翻譯日文時省略「為原則」三字，導致規範文字為續接器本體長度兩端各加 $1/2$ 鋼筋直徑或 20 mm 取大值，無受壓挫曲疑慮時最大可取 50 cm 為伸長計標距。TAF 認證委員從嚴解釋變成兩者擇一，完全失去彈性，造成執行上之困擾。經多年紛擾與爭論，現今確認國家標準 CNS 15560 試驗法，標定長度取本體長+ $2d$ 至本體長+ $6d$ 之間皆可，屬於中庸較有彈性之作法，今後試驗法爭議應可平息，後續工作是制定鋼筋機械式續接之檢驗頻率及合格標準。

我國舊有續接器性能規範[5-8]另一個較具爭議的問題在於韌性指標的不一致。如圖 1-7 所示，早期土木 401-86 乙[5]有兩個韌性指標伸長率 ϵ_{uc} 或是延展性 ϵ_{dc} ，兩者的計算都是拿試驗前後之跨越續接器本體之組件伸長量除以標點距離，惟組件伸長率 ϵ_{uc} 之標點距離較長(藍色線段)，而延展性 ϵ_{dc} 之量測標點距離較短(紅色線段)，後者標點距離又被侷限，以同一試體而言，延展性指標之合格標準相對較嚴苛，但是實務上執行有困難，因為延展性量測需要伸長計全程架設至鋼筋拉斷為止，實驗風險很高，實務上不採用。但也由於兩個指標合格標

準不一致且實驗代價差異很大，常衍生驗收上之爭議。

況且，實務上鋼筋有不同直徑或是不同降伏強度的鋼筋對鋼筋續接，其鋼筋降伏塑性變形將只會集中於直徑較小或是強度較低的一段鋼筋上，此時無論以組件伸長率 ε_{uc} 或延展性 ε_{dc} 之量測均不合理(試驗結果會偏低，容易不合格)。韌性指標量測目的為確保被續接鋼筋之塑性變形能力與母材鋼筋相近，不應該量測跨越續接器本體之組件伸長率或是延展性。因此何明錦[7]及陳正誠[8]等人在十年前即提案使用續接處外鋼筋直徑收縮率作為替代之韌性指標，如圖 1-7 所示，惟此法量測較麻煩且量測不確定度較高(受斷裂位置影響變異較大)，實驗室接受度較低，並不普及。

有鑑於此，作者建議 TCI 技術報告[20]及工程會施工綱要規範第 03210 章 V4.0[20] 採用續接處外鋼筋之伸長率(圖 1-7)，試驗前於續接器兩側之鋼筋上各刻劃兩個標示，如圖 1-6 所示，標示點距離續接器兩端或夾具均不得小於 $1/2d$ 及 20 mm，以量測續接處外兩側鋼筋之伸長量，取較大值。量測續接處外鋼筋之伸長率具有諸多優勢，可適用於各種機械式續接、不同直徑或不同強度鋼筋續接，有時續接處發生滑脫、拔出、或鋼筋無明顯頸縮斷裂、或鋼筋斷裂於套管內時，可能無法檢出直徑收縮率，此時仍可量測續接處外鋼筋之伸長率。

最後，不同版本之續接器規範[5-8, 20, 21-23]中有關於高塑性反復試驗之滑動量計算方法有些差異，李宏仁、王淑真[24]及陳智軒[25]等人曾研究前開規範滑動量計算公式，執行高塑性反復負載試驗比對不同版本的滑動量計算公式，經檢討建議圖 1-5 之計算法最為嚴謹。本研究將以此法為基準再做些微修正。

二、日本鋼筋續接器相關規範

日本鋼筋續接器之技術及使用頻率領先全球，機械式續接之品質

管制標準可供借鏡。日本在 1980 年代已經有相當嚴謹的續接器規範，有日本土木學會的鉄筋継手指針工程[16]與日本建築學會鉄筋混凝土造配筋指針[17]，兩者要求有差異。日本鋼筋續接性能分成 FA 級(耐高週次疲勞)、SA 級(耐震)、A 級、B 級、C 級，續接性能與母材鋼筋對比關係如表 1-3 所示。

2007 年日本土木學會出版鉄筋定着・継手指針[22]，日本國土交通省頒布 建築物の構造關係技術基準解説書[23]，政令第 73 條，鉄筋の継手及定着，內容與土木學會一致，此後日本土木與建築工程鋼筋續接性能要求趨於一致，刪除 FA 級，留下 SA 級、A 級、B 級、C 級共四級。表 1-4 是日本鋼筋續接性能判定基準，試驗名稱及加載程序與我國規範不盡相同，我國早期的土木 401-86 附錄乙[5,6]之續接性能分級即參考日本規範而來，惟經過編審程序考量台日國情不同，最後決定之台灣 SA 級續接性能合格標準竟然比日本還嚴格，一鋼筋續接器若能符合台灣 SA 級續接性能要求，就能符合日本 SA 級續接性能要求，反之則未必，台日續接規範之詳細差異比較詳閱參考文獻[24, 25]。

本研究再次歸納目前日本續接器規範[22,23]的幾項重要原則：

1. 續接性能優劣對照組為鋼筋母材；
2. 續接性能合格標準皆為定量指標如強度、勁度、滑動變形、韌性等，不限定破壞模式或破壞位置；
3. 土木與建築結構自 2007 年起標準一致。

三、美國鋼筋續接器相關規範

美國在鋼筋續接器的使用不若日本及台灣頻繁，建築工程主要使用美國混凝土學會 ACI 318 規範，1995 年版開始有第一類機械式續接，只要求接合強度至少達鋼筋 $1.25f_y$ 之強度。ACI 318 規範 1999

年版再增加第二類機械式續接，額外要求接合強度應至少達鋼筋之抗拉強度規定值 f_u 以上，試驗法及性能要求甚為簡略，不若日本及台灣規範嚴格要求滑動量及伸長率等項目，迄今 ACI 318-14 規範[10]仍只有第一類(接合強度至少 $1.25f_y$)及第二類續接(接合強度至少 $1.25f_y$ 及 f_u 以上)。

美國 ACI 318-14 規範[10]第一類機械式續接要求接合強度達鋼筋 $1.25f_y$ 之強度，目的是確保 95% 以上的第一類續接可以使被續接鋼筋可以進入降伏平台；而第二類機械式續接要求接合強度應大於鋼筋抗拉強度規定值 f_u ，目的是確保續接之鋼筋可以發生若干程度應變硬化，但不保證續接之鋼筋可以達到鋼筋實際抗拉強度 f_{ua} 後拉斷，假若續接之鋼筋實際抗拉強度過高，可能會使斷裂發生在機械式續接處，因此限定接合試體破壞模式在鋼筋續接處外斷裂是不合理的要求，因為鋼筋抗拉強度並沒有規定上限值。

美國國家標準技術研究所 NIST 於 2014 年一份技術報告[26]評估耐震結構用高強度 Grade 80 ksi (550 MPa)及 Grade 100 ksi (690 MPa)鋼筋之可行性，結論建議 ACI 318 增加第三類機械式續接，要求續接處外鋼筋至少達鋼筋實際抗拉強度 f_{ua} 對應之均勻伸長量 (Uniform Elongation)或至少 8% 應變。第三類機械式續接接合強度若能達到 f_{ua} 應能拉斷鋼筋，由於鋼筋抗拉強度規定值沒有上限，對於高強度鋼筋可能會導致續接處斷裂或拔出，所以另訂續接處外鋼筋之均勻伸長率至少 8%，可以參考。

在美國機械式續接已經被廣泛用於混凝土結構，因為其取代鋼筋搭接可以有效地節省空間便於施工。然而在大部分應用被侷限於弱震區，因為現行美國建築及橋樑規範[10, 27-29]禁止在中震及強震區結構塑鉸區使用機械式續接。唯有橋樑預鑄工法常在橋柱-基礎接合處使用砂漿填充式續接套管，然而這種工法也被橋樑規範要求

只能用於弱震區。

2015 年後美國陸續有實驗研究探討中震和強震區之橋柱塑鉸區使用機械式續接，Ameli et al.[30]測試三柱橋柱試體塑鉸區使用灌漿填充續接套管，柱受側向反復荷載之位移韌性比超過 5.0，顯示灌漿填充續接套管可以被用在強震區橋柱塑鉸區。同時 Ameli and Pantelides[31]的數值分析顯示橋柱塑鉸區使用續接套管是可以模擬的。Yang 等人[32]完成的另一個橋柱實驗研究使用不同類型的續接套管(剪力釘型及冷鍛壓合型)來修復續接橋柱斷裂的主筋，實驗顯示修復後之橋柱可以恢復其側力強度及變形能力。最後 Tazarv and Saiidi[33]調查不同的續接套管，包括剪力螺釘型、熱鍛擴頭續接、灌漿填充續接套管、螺紋式續接器以及冷鍛壓合續接套管等，經過徹底的文獻調查及試驗回顧，他們歸納以下結論：

- 剪力螺釘續接套管—拉伸試驗顯示其強度及變形能力較差，因為應力集中於剪力螺釘處，研究建議此型續接套管不宜用於耐震結構。
- 熱鍛擴頭續接器—拉伸試驗顯示其能發展鋼筋抗拉強度及極限變形，但高應變率時會減損其變形能力，柱構件實驗顯示此類型續接器可用於強震區結構柱塑鉸區無疑慮。
- 灌漿填充續接套管—拉伸試驗顯示其能發展鋼筋抗拉強度，但是其變形能力通常低於母材鋼筋，柱構件實驗亦顯示，主筋以續接套管續接之柱韌性低於連續主筋對照柱，原因是塑性應變集中於續接處外。這個問題可以藉由調整續接套管位置(離開臨界斷面)或是將續接處外鋼筋的握裹移除(debond)，例如包覆彈性材，舒緩應變集中，即可恢復韌性。
- 螺紋式續接器—一般而言，經擴頭滾壓螺紋直牙的接頭可

以完全發展鋼筋之抗拉強度，但鋼筋經車削錐拔螺紋接頭就不太能夠發展鋼筋之抗拉強度。柱構件實驗顯示，柱主筋使用具有擴頭滾壓螺紋直牙的接頭續接，其構件性能不亞於現場一體澆置、鋼筋連續之柱構件。

- 冷鍛壓合續接套管—實驗數據非常有限，儘管有限的試驗顯示其可以發展鋼筋之抗拉強度，但是研究者沒有具體結論是否可用於強震區結構塑鉸區。

綜合上述諸多研究顯示，已經有若干型式的續接器或續接套管經構件試驗證實可以用於耐震結構塑鉸位置，但是需要更嚴格的品質檢驗準則。儘管現行 ACI 318 規範[10]有要求第二類機械式續接須能使被續接鋼筋發展至規定抗拉強度，也預期第二類機械式續接須能承受多次反復非彈性應變，但是美國實務上針對機械式續接並沒有較嚴格的品質檢驗程序。

土木工程方面，與台灣同處於環太平洋地震帶的加州交通部標準規範[27]可以借鏡。依 California Test 670 鋼筋機械與銲接續接試驗法[28]檢核使用性(Service)及極限(Ultimate)性能，使用性能依圖 1-8(a)程序，自 3000 psi (21 MPa)將伸長計歸零、應力加載至 30,000 psi (210 MPa)再減載至 3000 psi (21 MPa)，量測續接處之相對滑動量，不得超過表 1-5 之規定值。此法主要是對 ASTM A706[29] Grade 60 ksi (420 MPa)鋼筋，規定降伏強度為 60,000 psi，換句話說，滑動試驗負載上下限分別為 $0.5P_y$ 及 $0.05P_y$ 。其中 P_y 為對應鋼筋規定降伏強度之軸力。

實務上，鋼筋稱號在 #7 (D22) 以上比較可能使用機械式續接，以 #8(D25) 鋼筋為例，加州交通部標準之滑動量不超過 0.7 mm，非常寬鬆，即使是原本 AASHTO 規範[34]滑動試驗也只要求滑動量不得超過 0.25 mm，台灣現有的續接器規範[5-8, 19]類似之試驗項目

(圖 1-3)之滑動量上限為 0.1 mm 則有過嚴之虞。本研究最後建議將此項目滑動量合格標準修正為 0.3 mm。

極限(Ultimate)性能方面，機械或鉸接續接組件抗拉強度應達 80 ksi (550 MPa)，即 ASTM A706[35] Grade 60 (550)鋼筋之規定抗拉強度 f_u 。換句話說，亦滿足 ACI 318 規範[10]第二類機械式續接之要求。注意其最終要求為

- a. Fail in the reinforcing bar but outside the affected zone, provided that the sample splice has visible necking or
- b. Fail anywhere provided that the sample splice has achieved the strain requirement for necking.

翻譯如下

- a. 若試體目視有頸縮且斷裂於鋼筋、但不在續接加工影響區，或
- b. 破壞於任何位置，如若續接試體達到頸縮之應變要求。

如為狀況 a，即判定合格；如果是狀況 b，沒有明顯頸縮、斷裂於續接處或夾具夾持處、或是鋼筋滑脫、拔出等其他破壞模式，則量測續接處外兩段鋼筋之伸長量取大值，不得少於 9% (#10-D32 鋼筋及較小者)或 6% (#11-D36 鋼筋及較大者)。注意此標準低於 ASTM A706 Grade 60 鋼筋破斷伸長率規定值為 12% (#7~#11、D22~D36) 及 10% (#14-D43、#18-D57)。

對照表 1-6 我國工程會施工綱要規範第 03210 章鋼筋 V4.0[20] 規定，SA 級機械式續接處外鋼筋之伸長率 ϵ_{su} 不得小於 CNS 560 標準[1]，即鋼筋母材伸長率規定值，以 SD420W 或 SD490W 為例，鋼筋號徑 D36 以下(含)伸長率規定值為 13% 以上，工程會規範要求比較嚴格。此一伸長率門檻值對於 SD 420W 或 SD490W 鋼筋並不算太高，但是對於更高強度鋼筋如 SD550W 或 SD690 就有檢討的空間。

在此重申加州交通部標準規範[28-29]對於鋼筋機械式續接試驗並不限定破壞模式或是破壞位置，斷裂位置於鋼筋可視為續接器試驗合格標準之一，但並不表示斷裂於其他位置是不合格的。對比1999年內政部版續接器規範[6]要求破壞模式在鋼筋續接處外斷裂，有過嚴之虞。本研究不支持將鋼筋斷裂位置列為合格或不合格標準，雖然直覺上是合理的，但實務上卻有疑慮，例如某續接組件剛好接合一帶有瑕疵的鋼筋母材反而可能斷裂於母材，無法真正檢驗續接組件之韌性。

除了基本使用性能及極限狀況要求外，針對 California Test 670 [29]另外還有重複負載試驗(Cyclic test)及疲勞試驗(Fatigue Test)各一次。重複負載程序如圖 1-8(b)，以正弦波循環負載頻率為 0.5 Hz (#10 以上)或 0.7 Hz (#10 以下)，疲勞試驗應力範圍為 $\pm 25,000$ psi (172 MPa)、以正弦波循環負載 10,000 週次，頻率為 0.083 Hz (#10 以上)或 0.35 Hz (未滿#10)，續接處不得產生疲勞裂紋或斷裂。這部分 Caltran 要求與早年台日規範之 FA 級續接性能相似但有差異，基本上還是較台灣的 FA 級寬鬆。

理論上，疲勞破壞週次與工作應力範圍有關，宜依據個別結構設計之工作應力範圍依 S-N curve 決定目標週次及加速試驗用應力範圍，可參考但不限定於上述 10,000 週次及 $\pm 25,000$ psi (172 MPa) 應力範圍。

然而，橋梁、鐵道等交通工程有較常遇之循環載重，故鋼筋機械式續接方有疲勞試驗之必要。如若在具有高週次疲勞問題之位置使用機械式續接，應視其應力範圍考慮採用耐高週次疲勞之機械式續接。而在建築工程中續接器主要用於續接柱主筋，次要用於續接梁主筋，建築梁柱構架沒有常遇循環載重之需求，故無疲勞試驗之必要。本研究只針對建築工程鋼筋續接器之應用，不考慮疲勞試驗

問題。

第三節 研究方法及步驟

本研究案研究方法包括：(1) 文獻之蒐集與整理；(2) 鋼筋機械續接組件試驗；(3) 鋼筋續接組件包覆混凝土拉伸試驗；(4) 混凝土梁彎曲試驗；(5) 實驗數據分析統計；(6) 座談檢討及撰寫報告。流程如圖 1-9 所示，預定之進度如表 1-7 所示。採用的研究方法及步驟說明敘述如後。

一、文獻之蒐集與整理

收集、整理相關文獻，一方面先徹底研究相關規範之演進及緣由，避免本研究之內容與現有成果重複，另一方面蒐集之規範及文獻資料可作為規範檢討及實驗數據比對分析的參考或補充資料。本研究蒐集到重要相關規範及文獻計 40 篇，其中規範檢討及比對結果彙整在前一節中詳細說明。部分文獻資訊在下一章中引用。

二、鋼筋機械續接組件試驗

本研究將依 CNS 15560 鋼筋續接器檢驗法測試國內各等級及各式樣的鋼筋續接器性能，計測試 CNS 560 鋼筋混凝土用鋼筋 SD 420W、SD 550、SD 690 三種鋼筋等級，累計測試#8(D25)、#11(D36)、#12(D38)共三種號徑，三種鋼筋續接器(摩擦銲接、螺紋節鋼筋續接器、灌漿填充續接套管)，涵蓋三種工法(現場組立、預組立、預鑄工法)。最大宗是場鑄工法 SD 420W(#8-D25 及#11-D36)摩擦銲接式續接組件試驗 70 組及 26 組零滑動對照組試驗。

其中高強度鋼筋 SD 550、SD 690 係以日規螺紋節鋼筋續接器及砂漿填充式續接套管共約 36 組，鋼筋母材對照試驗 6 組，試體在

日本原廠完成試體製作，養護 28 日後海運來台測試。

三、 鋼筋續接組件包覆混凝土拉伸試驗

將鋼筋續接組件包覆混凝土模擬保護層，再執行拉伸試驗混凝土表面之裂紋寬度，檢討續接器滑動量規定值 0.1 mm 或 0.3 mm 之合理性。試驗後發現鋼筋在彈性範圍只有 15 cm 混凝土包覆長度不足以誘發裂縫，經檢討決定直接以梁構件試驗檢核使用性並增加試體數量。

四、 混凝土梁彎曲試驗

本研究建議調整單向拉伸試驗之彈性應力上限(由 $0.60P_y$ 提高為 $0.95P_y$)並同步放寬滑動量上限為 0.3 mm，經梁構件彎曲試驗確認放寬滑動量上限對於構件表面裂紋寬度之影響。本研究共設計四組梁試體，分別是(A)三支主筋皆連續、(B)三支主筋機械續接且皆密合、(C)三支主筋機械續接但皆不密合、(D) 三支主筋機械續接其中一支密合另二支不密合。每組試體製造兩支測試兩次確認重現性。

五、 實驗數據分析統計

彙整上述單體拉伸試驗、包覆混凝土組件拉伸試驗、梁彎曲試驗之數據作統計分析，修正鋼筋機械式續接性能試驗合格標準。

六、 座談檢討及報告之撰寫

本研究包含召開專家座談會探討規範修正方案，期中、期末兩次報告審查，另赴中國土木水利學會混凝土工程委員會提案新增 26.6.5 節機械式續接品質檢驗相關規定，編審期間彙整各界意見完成建議案。此外，本研究執行期間亦訪問台灣鋼筋續接器各製造廠

商及日本高強度鋼筋續接套管製造廠商，了解業界最新技術發展及市場情況，於一年內順利完成本研究報告。

第四節 研究目的

機械式續接工法 20 年來已有長足的進步，但由於我國土木與建築工程鋼筋機械式續接品質檢驗尚無一致之合格標準，導致市面上鋼筋續接器品質良莠不齊。因應新訂 CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗法，以及未來新高強度鋼筋以及業界對大尺寸鋼筋之需求，各界期待建研所能協助訂定鋼筋機械式續接性能合格標準及施工品質檢驗準則，經本研究提出相關檢驗頻率、合格標準、施工查驗準則，提案修正部頒版混凝土結構設計規範或新版技術規範，讓業界可以參考引用，確保建築工程鋼筋機械式續接之施工品質，維護國人生命財產安全。

表 1-1 台灣鋼筋續接器規範歷年來重要之變革

規範版本	變革	重點說明
公共工程施工網 要規範第 03210 章 V1-3 [13-15]	試驗方法參考日本土木學會 鉄筋継手指針[16]加以簡 化，只有一級。	性能允收標準相當於日本 A 級續 接，不常用。
中國土木水利工 程學會 混凝土工程設計 規範與解說(土木 401-86)之附錄乙， 1998 [5]	參考日本建築學會鉄筋混凝 土造配筋指針及解說[17]簡 化而得，續接性能分成 FA、 SA、A、B 級，名稱與日本 指針相似但加載歷程及合格 要求較嚴，除強度外，還要 求滑動量、延展性及伸長率。	有兩個韌性指標，延展性或伸長 率，試驗法不同，允收標準不一 致造成困擾；A 級續接抗拉強度 至少達 $1.25f_{ya}$ 及 f_u 以上； SA 級要求高塑性(5 倍及 10 倍鋼 筋實際降伏應變)反復負載各 8 回；日本 SA 級只要 2 倍及 5 倍 鋼筋降伏應變各 4 回。
內政部營建署暨 內政部建築研究 所，鋼筋續接施工 規範及解說(草 案),1999 [6]	性能等級刪除上述 A 級，剩 下三級；SA 級允收準則增加 破壞模式在鋼筋續接處 2 cm 以外斷裂。	審查過程增加破壞模式作為拒 收理由。有時斷裂於續接處，但 其他所有性能皆符合要求，限定 破壞模式有過嚴之虞。
內政部建築研究 所報告，鋼筋續接 器續接設計規範 與施工規範及解 說研修,2004[7]	刪除 FA 級；合格允收準則 再刪除破壞模式，修正 SA 級續接抗拉強度允收準則， 另以鋼筋直徑收縮率取代延 展性及伸長率為韌性指標。	刪除難以執行試驗的 FA 級；訂 正 SA 級續接抗拉強度為 $1.25f_y$ 及 f_u 以上；以鋼筋直徑收縮率作為 韌性指標，想避免延展性、伸長 率、與破壞模式之爭議。
中華民國結構工 程學會，鋼筋續接 器續接規範,2007 [8]	沿續 2004 年版，修正 SA 級 高塑性為 6 倍及 12 倍鋼筋標 稱降伏應變反復負載各 8 回，修改當週次滑動量計算 法。	直徑收縮率量測不便，實驗室接 受度不高。此版雖未限定破壞模 式但若續接處斷裂或是拔出，仍 無法檢出直徑收縮率。此版當週 次滑動量計算法較不嚴謹。
經濟部訂定 CNS 15560 鋼筋機械式 續接試驗法[2]	參考美國材料與試驗協會 ASTM A1034 鋼筋機械式續 接試驗法[18]	只有試驗方法，惟各試驗項目之 加載歷程及性能允收標準仍由 個別規範自訂。

符號說明： f_y 為續接鋼筋之規定降伏強度下限值； f_{ya} 為續接鋼筋之實際降伏強度；
 f_u 為鋼筋之規定抗拉強度下限值。（資料來源：李宏仁，2016 [19]）

表 1-2 台灣鋼筋機械式續接性能試驗項目

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

試驗項目	SA 級	B 級
母材鋼筋基本拉伸試驗	○	○
續接試體單向拉伸及滑動試驗	○	○
續接試體重複負載及滑動試驗	X	○
續接試體高塑性反復負載試驗	○	X
續接試體高週次疲勞試驗	△	△

註：○適用、X 不適用、△僅適用於具有高週次疲勞疑慮之續接

(資料來源：參考書目[20])

表 1-3 日本鋼筋續接性能分級對應母材鋼筋機械性質

續接組件	母材鋼筋(被續接之鋼筋)			
	強度	勁度及變形	延展性	疲勞強度
FA 級	○	○	○	○
SA 級	○	○	○	
A 級	○	○		
B 級	○			
C 級				

註：○表示續接性能與鋼筋母材相近，空白表示性能較母材為劣

(資料來源：參考書目[22])

表 1-4 日本規範續接器性能判定基準

試驗項目		SA 級	A 級	B 級	C 級
單方向 拉伸試 驗	抗拉強度	$\geq 1.35f_y$ or f_u			$\geq f_y$
	彈性模數	$E_{0.7f_y} \geq E_s$ $E_{0.95f_y} \geq 0.9E_s$	$E_{0.7f_y} \geq 0.9E_s$ $E_{0.95f_y} \geq 0.7E_s$	$E_{0.5f_y} \geq 0.9E_s$ $E_{0.95f_y} \geq 0.5E_s$	$E_{0.5f_y} \geq 0.9E_s$ $E_{0.7f_y} \geq 0.5E_s$
	伸長率	$\epsilon_u \geq 20\epsilon_y$ & 0.04	$\epsilon_u \geq 10\epsilon_y$ & 0.02	$\epsilon_u \geq 5\epsilon_y$ & 0.01	—
	滑動量	$\delta_s \leq 0.3$ mm	$\delta_s \leq 0.3$ mm	—	—
高拉力 重複試 驗	抗拉強度	$\geq 1.35f_y$ or f_u			—
	彈性模數	$E_{30c} \geq 0.85E_{1c}$	$E_{30c} \geq 0.5E_{1c}$	$E_{30c} \geq 0.25E_{1c}$	—
	伸長率	$\epsilon_u \geq 20\epsilon_y$ & 0.04	$\epsilon_u \geq 10\epsilon_y$ & 0.02	$\epsilon_u \geq 5\epsilon_y$ & 0.01	—
	滑動量	$\delta_{s(30c)} \leq 0.3$ mm	$\delta_{s(30c)} \leq 0.3$ mm	—	—
彈性域 反復試 驗	抗拉強度	$\geq 1.35f_y$ or f_u			—
	彈性模數	$E_{20c} \geq 0.85E_{1c}$	$E_{20c} \geq 0.5E_{1c}$	$E_{20c} \geq 0.25E_{1c}$	—
	滑動量	$\delta_{s(20c)} \leq 0.3$ mm	$\delta_{s(20c)} \leq 0.3$ mm	—	—
塑性域 反復試 驗	抗拉強度	$\geq 1.35f_y$ or f_u			—
	滑動量	$\epsilon_{s(4c)} \leq 0.5\epsilon_y$ $\delta_{s(4c)} \leq 0.3$ mm $\epsilon_{s(8c)} \leq 1.5\epsilon_y$ $\delta_{s(8c)} \leq 0.9$ mm	$\epsilon_{s(4c)} \leq \epsilon_y$ $\delta_{s(4c)} \leq 0.6$ mm	—	—

f_y ：母材鋼筋之規定降伏強度

ϵ_y ：接合試體之降伏應變

f_u ：母材鋼筋之規定抗拉強度

ϵ_u ：接合試體之極限應變

δ_s ：接合試體的滑動量

E_s ：母材鋼筋之 $0.7f_y$ 割線剛性

$E_{0.5f_y}$ 、 $E_{0.7f_y}$ 及 $E_{0.95f_y}$ ：接合試體之 $0.5f_y$ 、 $0.7f_y$ 及 $0.95f_y$ 割線剛性

E_{1c} 、 E_{20c} 及 E_{30c} ：接合試體於第 1、20 及 30 週次之 $0.95f_y$ 割線剛性

$\epsilon_{s(4c)}$ 及 $\epsilon_{s(8c)}$ ：接合試體於第 4 及 8 週次之當週次軸向變形量

$\delta_{s(4c)}$ 、 $\delta_{s(8c)}$ 、 $\delta_{s(20c)}$ 及 $\delta_{s(30c)}$ ：接合試體於第 4、8、20 及 30 週次之當週次滑動量

(資料來源：參考書目 [22-23]，表格製作陳智軒 [25])

表 1-5 美國加州交通部標準規範鋼筋機械續接滑動試驗要求

鋼筋代號稱號	最大滑動量 in. (mm)
#4 D13	0.020 (0.5)
#5 D16	0.020 (0.5)
#6 D19	0.020 (0.5)
#7 D22	0.028 (0.7)
#8 D25	0.028 (0.7)
#9 D29	0.028 (0.7)
#10 D32	0.036 (0.9)
#11 D36	0.036 (0.9)
#14 D43	0.048 (1.2)
#18 D57	0.060 (1.5)

註：原 AASHTO 規範[27]滑動試驗合格標準為 0.01 in. (0.25 mm)

(資料來源：參考書目[28]，本研究整理)

表 1-6 公共工程委員會施工綱要規範 03210 章鋼筋 V4.0 之鋼筋機械式續接性能允收標準

續接試體試驗項目		SA 級	B 級
母材基本拉伸試驗		符合 CNS 560 之規定	
單向拉伸及滑動試驗	抗拉強度 f_{uc}	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$
	滑動量 δ_s	≤ 0.1 mm	≤ 0.1 mm
	續接處外鋼筋之伸長率 ϵ_{su}	\geq CNS 560 規定值	$\geq 2\%$
重複負載及滑動試驗	抗拉強 f_{uc}	--	$\geq 1.25f_y$
	滑動量 $(\delta_s)_{30c}$	--	≤ 0.3 mm
	續接處外鋼筋之伸長率 ϵ_{su}	--	$\geq 2\%$
高塑性反復負載試驗	抗拉強度 f_{uc}	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	--
	滑動量 $(\delta_s)_{16c}$	≤ 0.3 mm	--
	滑動量 $(\delta_s)_{24c}$	≤ 0.9 mm	--
	滑動量 $(\delta_s)_{32c}$	≤ 1.8 mm	--
	續接處外鋼筋之伸長率 ϵ_{su}	\geq CNS 560 規定值	--
高週次疲勞試驗		續接處不得產生疲勞裂紋或斷裂	

註： f_{uc} =續接試體實測抗拉負載除以鋼筋標稱剖面積； f_y =鋼筋最小規定降伏強度值； f_u =鋼筋最小規定抗拉強度值； ϵ_{su} =續接處外兩側鋼筋伸長率之較大值，量測伸長率之標記點距離為 3 倍鋼筋標稱直徑，標記點距離續接器兩端或夾具均不得小於 1/2 鋼筋標稱直徑及 20 mm；鋼筋續接處之殘留滑動量及當次滑動量如圖 1-3 至圖 1-5。

(資料來源：參考書目[20])

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

表 1-7 預定之研究進度

月次 工作項目	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月	第九月	第十月	第十一月	第十二月	備註
文獻蒐集及整理	■	■	■	■									
試驗規劃與試體製作			■	■	■	■	■						
續接組件單體試驗					■	■	■	■					
包覆混凝土組件試驗								■	■				
梁構件彎曲試驗									■				
試驗數據整理分析					■	■	■	■	■	■			
相關規範條文檢討									■	■	■		
報告撰寫					■	■	■	■	■	■	■	■	
期中報告						※							6/30
期末報告										※			10/13
結案報告												※	12/08
研究進度百分比	3	6	13	19	31	43	55	67	82	91	97	100	
預定查核點	第 1 季：無												
	第 2 季：期中報告												
	第 3 季：期末報告												
說明：1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。 2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分（與之前各月加總）除以總分，即為各月份之預定進度。 3 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。													



圖 1-1 台南維冠金龍大樓倒塌現場鋼筋續接器失敗案例

(資料來源：本研究蒐集，蘇模原技師提供，2016.02 照片)

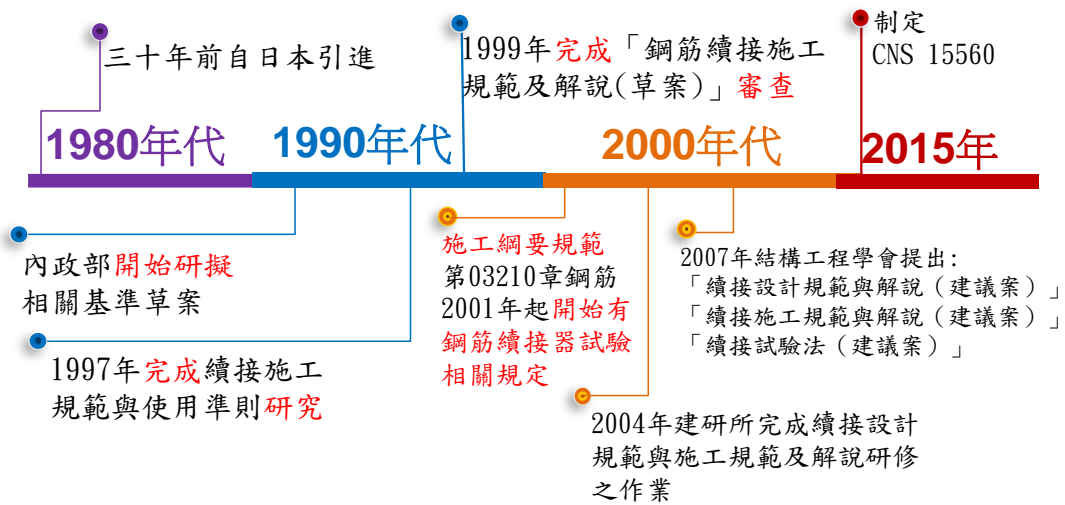


圖 1-2 台灣鋼筋續接器規範之演進圖

(資料來源：本研究製作)

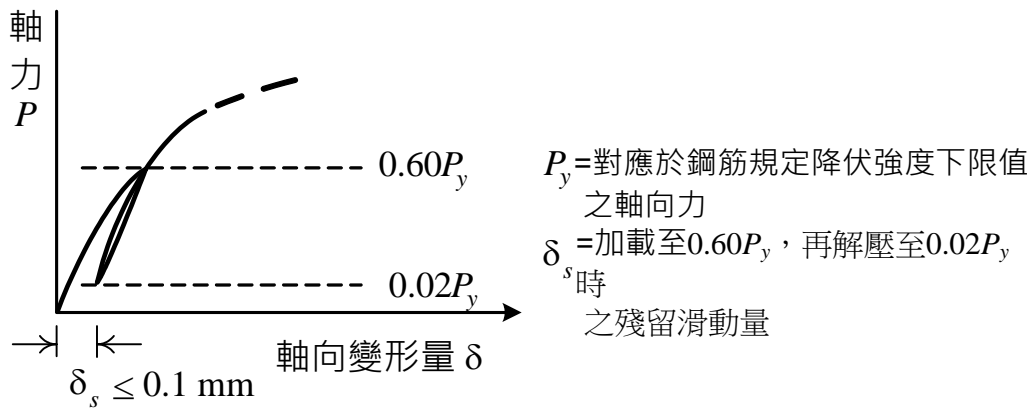


圖 1-3 續接試體單向拉伸及滑動試驗加載程序示意圖

(資料來源：參考書目[20]，李宏仁繪製，2016)

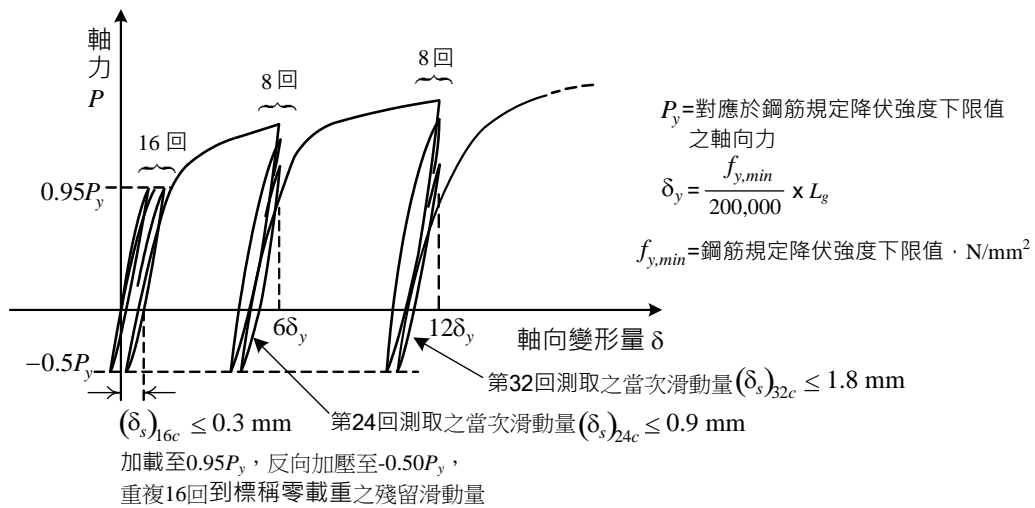


圖 1-4 續接試體高塑性反復負載試驗加載程序示意圖

(資料來源：參考書目[20]，李宏仁繪製，2016)

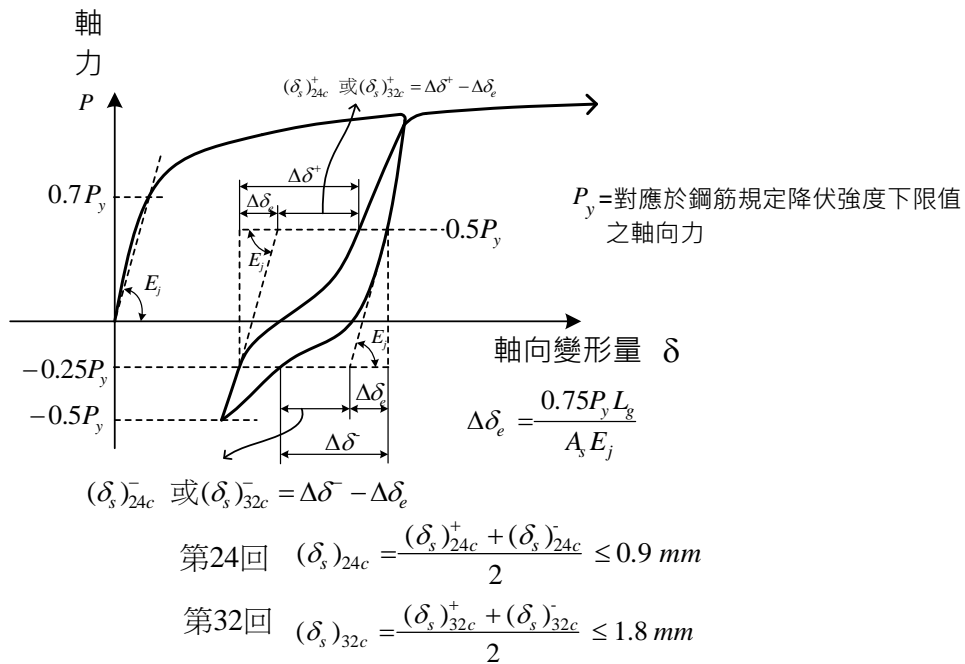


圖 1-5 當次滑動量計算法示意圖

(資料來源：參考書目[20]，李宏仁繪製，2016)

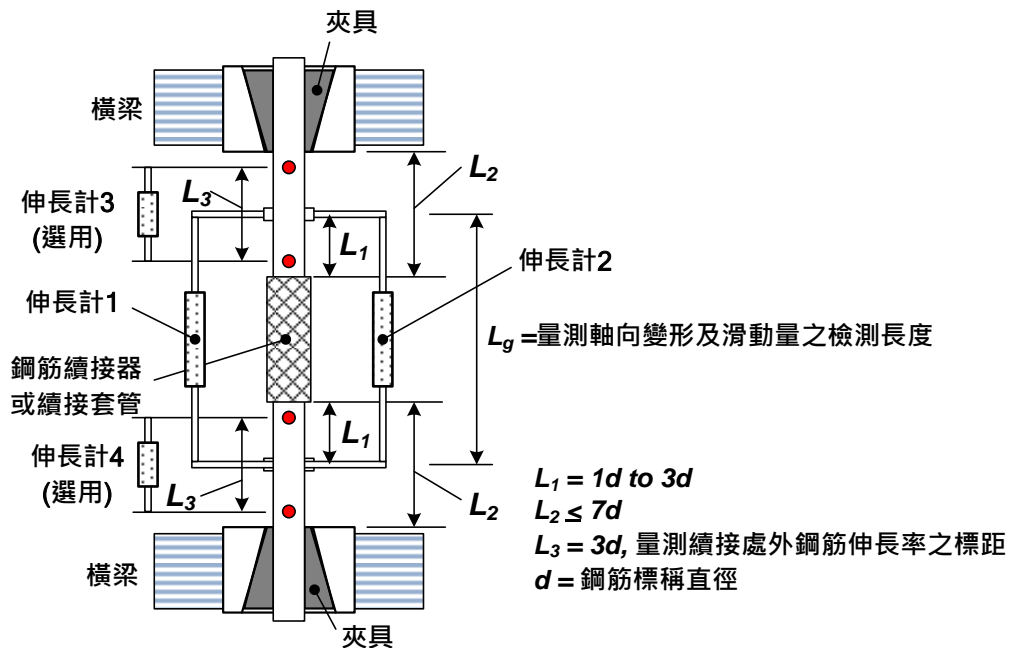


圖 1-6 鋼筋機械式續接試驗裝置示意圖

(資料來源：參考書目[20]，李宏仁繪製，2016)

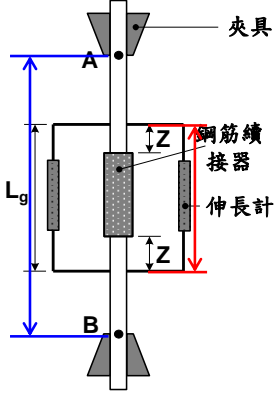
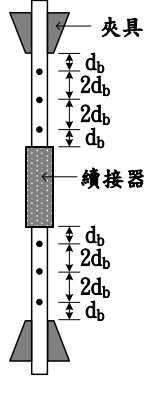
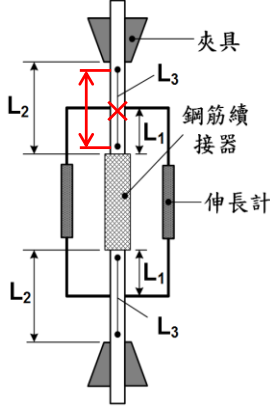
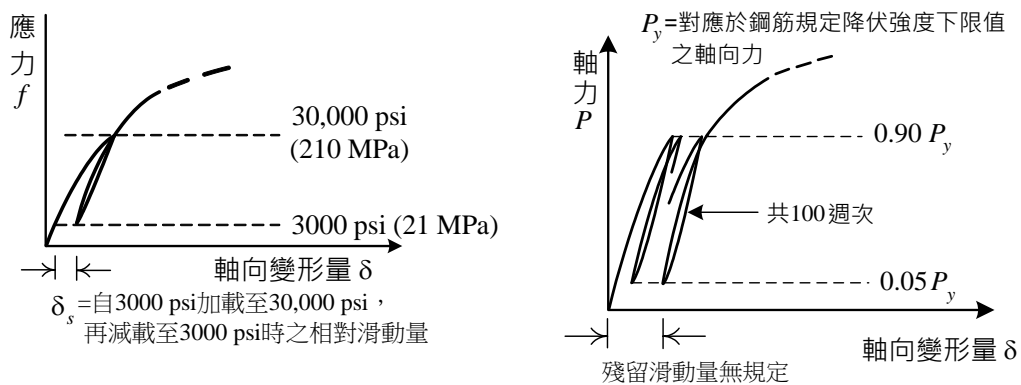
續 接 規 範	土木 401-86 乙[5]、 內政部鋼筋續接施工 規範及解說(草案)[6]	結構工程學會 鋼筋續接器續 接設計規範與 解說[8]	TCI 技術報告 [21]、公共工程委員 會施工綱要規範第 03210 章 V4.0[20]
韌 性 指 標	續接試體之伸長率 ϵ_{uc} (藍色標距)或 延展性 ϵ_{dc} (紅色標距)	續接處外鋼筋 直徑收縮率 $R = \left(\frac{d_r - d_0}{d_0}\right)$	續接處外鋼筋伸長 率 (紅色標距 $3d$)
量 測 法			

圖 1-7 我國鋼筋續接器規範韌性指標之比較

(資料來源：本研究製作)



(a) Slip test

(b) Cyclic test(Supplementary)

圖 1-8 California Test 670 之滑動試驗及重複負載試驗

(資料來源：參考書目[28]，本研究製作)

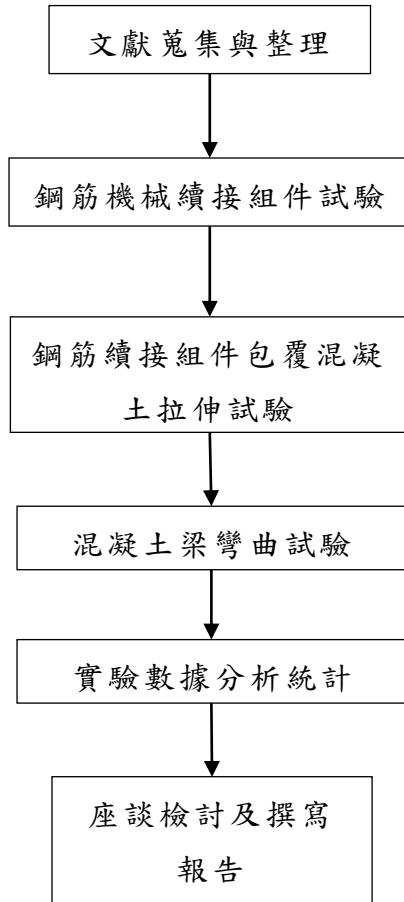


圖 1-9 研究流程圖

(資料來源：本研究製作)

第二章 鋼筋機械式續接工法

鋼筋機械式續接工法多年來已有長足進步，因應不同的施工方式廠商開發出各種樣式的鋼筋續接器。基本上，鋼筋機械式續接(Mechanical Splice)是為了取代浪費材料的搭接工法(Lap Splice)，或是取代耗時費工的對銲續接工法(Butt Welding Splice)，多年來使用經驗顯示，使用機械式續接取代搭接工法，在主筋號徑大於#7(D22)的情況便具有省時省工省料等經濟優勢，近年來機械式續接已經是大號鋼筋續接最常用之工法，其續接施工品質攸關結構工程安全需要嚴格的把關。本章簡介鋼筋機械式續接工法現況，並討論建築工程鋼筋續接器之應用問題。

第一節 鋼筋機械式續接種類

鋼筋機械式續接器基本上可以分成拉壓續接器、拉力續接器、及壓力續接器，顧名思義，拉壓續接器須能傳遞鋼筋拉力及壓力，而後兩者只用於傳遞鋼筋拉力或壓力。鋼筋續接器的設計通常是私有專利新式樣，各種續接器及續接套管具有特定之安裝程序及適用條件，相關資訊可以參閱日本土木學會之鉄筋定着継手指針[22]及美國混凝土學會 ACI 439.3R-07 報告[36]，目前在台灣鋼筋強度等級在 SD 490 以下，可以選擇的續接器樣式較多，高強度 SD 550W 或 690 鋼筋可以選擇的續接器樣式較少，尚待開發。

台灣位於強震區幾乎所有的建築物皆為耐震結構，因此結構主鋼筋機械式續接須能抵抗反復拉壓力；又大地震時梁柱端部及特定位置之鋼筋可能降伏承受非線性反復塑性變形，因此有必要參考日本對於鋼筋續接性能分級，續接後強度、韌性及變形能力與一連續鋼筋母材

相近者定義為 SA 級可用於任何位置，包括構材鋼筋可能降伏區域；而續接後僅強度與鋼筋母材相近，其他性質較鋼筋母材為劣者，定義為 B 級續接，不允許使用於構材鋼筋可能降伏區域。換句話說，在耐震結構設計時，SA 級續接後可以視為一段連續之鋼筋，而 B 級續接等同於傳統搭接工法。

李宏仁[19]擇要整理可抵抗反復拉壓力的機械式續接種類及其用途，如表 2-1 所示。第 1 項係鋼筋末端經機械車削具有錐拔螺紋，再接合具有內螺紋續接器，具有製程簡單、低成本、施工容易等優勢，然而車削螺紋接頭品質受鋼筋材質及真圓度影響，精度及品質控制不易，過往之使用經驗顯示此類型之機械式續接韌性較差，被視為規範第一類或 B 級續接性能等級，不得使用於鋼筋可能降伏區域。圖 1-1 照片維冠金龍大樓柱主筋續接器屬於此類，災區現場發現之續接器殘骸均顯示破壞為滑脫拔出。

表 2-1 第 2 及 3 項為鋼筋末端經過冷鍛或熱鍛擠壓擴大斷面積，經過削皮整圓後以滾壓機加工平行螺紋，優勢是接頭斷面積不亞於鋼筋母材且螺紋之精度及品質較容易控制，缺點是擴頭擠壓過程可能會造成局部塑性變形及裂紋形成弱面，導致接合試體在試驗過程可能發生在擴頭處斷裂、無明顯頸縮之現象。

表 2-1 第 4 及 5 項為鋼筋末端經摩擦鐸(熔)接具有公或母螺紋之接頭，現場施工時將公母螺紋接頭以扳手鎖緊完成續接。此類型續接器製程簡單具成本優勢，其公母螺紋續接器材質可視需要選用碳鋼、合金鋼或不銹鋼經電腦控制車床加工製造，螺紋精度及品質高，接頭在工廠以機具高速旋轉續接器摩擦鋼筋末端生熱使接合處熔化，同時施加壓力兩者熔接擴大斷面而成，類似熱鍛造，製程並無其他鐸材。摩擦鐸接之品質取決於母材品質、壓接面處理、壓接力量及冷卻時間等，此外續接器與鋼筋軸線是否重合亦會影響續接強度。此類型續接

器可能缺失是摩擦銲接處品質控制不當造成接合試體試驗時斷裂於銲接處。

表 2-1 第 6 至 8 項是以油壓機具壓合鋼套管與鋼筋，藉由鋼筋及套管間之互鎖力來傳遞應力。此類型機械式續接優勢可以對任何接點執行續接，缺點是需要機具空間對鋼筋施行壓合作業，現場施工品質較難控制，若油壓力不足或壓合次數不足，可能會導致續接處接合強度不足發生滑脫。因此有續接器廠商開發如表 4 第 9 及第 10 項之續接套管，以扭斷型剪力螺釘鎖住鋼筋達成績接目的，具有施工簡單容易檢視續接品質的優勢，缺點是續接套管長度及直徑較大，需注意鋼筋間距及保護層厚度是否足夠。第 11 項金屬熔融續接套管係藉由高熱劑化學反應產生熔融金屬充填在鋼筋與續接套管間完成績接，優勢是續接套管較短，在鋼筋長度不足情況還可以續接，缺點是需要特殊機具及技術控制高熱劑反應。

近年來有愈來愈多工程採用鋼筋預組立工法 (Prefabricated method)，表 2-1 第 12 項熱鍛擴頭鋼筋配合直螺紋續接套管之機械式續接，優勢是續接時不需要轉動鋼筋母材，只需要將鋼筋對接以手工工具轉動公母螺紋套管鎖固即可，施工甚為簡便，缺點須事先將公母螺紋套管分別套入鋼筋，在以機具對鋼筋末端加熱至 900°C 鍛壓擴頭，擴頭後再組裝鋼筋籠，由於續接器直徑較大，鎖固時也需要力臂較大的扭力扳手，設計時宜預留足夠的鋼筋淨間距及保護層厚度。

另一種特別適合預組立工法是表 2-1 第 13 項螺紋節鋼筋專用的續接器，螺紋節鋼筋在日本建築工程應用非常普遍，台灣自 2002 年後亦開始有廠商生產螺紋節鋼筋並有若干工程實績。由於螺紋節鋼筋續接器可以徒手輕易地在螺紋節鋼筋上旋轉移動，因此預組鋼筋時可以先將續接器旋轉套入鋼筋，待螺紋節鋼筋對準成直線後再轉動續接器至中央續接處，以止動螺帽固定，最後以手工工具注入高強度無收縮

水泥砂漿(或環氧樹脂則不需要止動螺帽)充填續接器與鋼筋之間隙，以避免續接處在反復拉壓力作用下產生滑動。此種機械式續接工法優勢是施工簡單，不需要特殊技術或機具，也不需要太大的淨間距即可續接，缺點是需要充填砂漿或環氧樹脂。

表 2-1 第 14 項灌漿填充續接套管主要是用於預鑄構件鋼筋之接合，預留之鋼筋插入鋼製套管後，於套管內充填無收縮高強度水泥砂漿，待砂漿硬固後使套管與鋼筋結成一體，藉由充填砂漿與鋼筋表面竹節與套管間的握裹力來傳遞鋼筋應力，因此灌漿作業是影響續接品質的重要工作，施工時必須力求全部注入砂漿的品質穩定，確保砂漿抗壓強度大於品質管理上所規定之強度。灌漿填充續接套管優勢是可以吸收施工誤差，特別適合預鑄構件之接合，缺點是續接套管體積較大，設計時需預留適當之套管間距。

綜合上述，針對現場澆置、預組立或預鑄接合、新建或補修工程等不同情況，廠商開發出各種樣式之續接器，具有多樣性故各國皆不訂定國家標準規格。日本、美國都是只訂定試驗法及機械性能允收標準，查驗鋼筋續接成品之機械性質，並不要求機械式續接之內容及成分，只要求無害於混凝土即可。國內某些設計單位對於續接器內容物設定材質或規格，並非必要條件，應由買賣雙方另議之。

經本研究調查訪問，目前在台灣市面上，較常用的續接器樣式有：

- a. 摩擦銲接續接器，如**表 2-1** 第 4 及 5 項，有多種變化組合(錐螺紋、平螺紋等，二件式、三件式、四件式組合，用於不同情況)；
- b. 冷鍛擴頭滾壓螺紋接頭，如**表 2-1** 第 2 項；
- c. 鋼筋車削錐拔螺紋接頭，如**表 2-1** 第 1 項，較早期產品，性能不佳；
- d. 冷壓型鍛套管，如**表 2-1** 第 6 項，適合修補用；

e. 螺紋節鋼筋續接器，如表 2-1 第 13 項，用於預組立及預鑄工法；

f. 灌漿填充續接套管，如表 2-1 第 14 項，用於預鑄工法。

其中 a. 摩擦銲接及 b. 冷鍛擴頭滾牙具有價格優勢，普遍用於一般現場組立鋼筋工程，c. 鋼筋車削錐拔螺紋接頭性能劣勢，不推薦繼續使用，d. 冷壓型鍛套管用於特定場合，而 e. 螺紋節鋼筋續接器需配合螺紋節鋼筋，最適合鋼筋預組立工法，最後 f. 灌漿填充續接套管則是針對預鑄構件接合特殊產品，注意灌漿填充套管不限鋼筋節形。

根據本研究調查訪問結果顯示，台灣市面上續接器以 SA 級為主，九成以上續接器是台灣製造加工，價格低廉，極少數特殊製品如螺紋節鋼筋續接器、灌漿填充續接套管部分由國外進口，國內亦有廠商製造，基本上。經訪問廠商年產能推估目前台灣鋼筋續接器每年用量約 2400~3000 萬個，推估台灣市場上目前大約 2/3 為摩擦銲接續接器、1/3 為冷鍛擴頭滾牙、少量為螺紋節鋼筋續接器、灌漿填充續接套管及其他套管。這跟國內慣行工法為現場組立鋼筋、現場澆置混凝土有關，日本因為多數工地已進步為鋼筋預組立工法或構件預鑄接合工法，續接器以螺紋節鋼筋續接器、灌漿填充續接套管為主。建築工法台灣大約落後日本約 15 年。

考慮台灣鋼筋工程現況及未來可能發展，本研究共測試三種樣式之機械式續接，包括 a. 摩擦銲接、e. 螺紋節鋼筋續接器、f. 灌漿填充續接套管，檢討研提之續接性能合格標準，最後撰寫相關之施工品質檢驗準則。

第二節 鋼筋機械式續接施工檢驗問題

就建築工程而言，我國鋼筋混凝土造建築工程設計以內政部頒版

設計規範[9]為準，本文有關於機械式續接之規定如表 2-2 所示，除比照 ACI 318 規範[10]將機械式續接分成兩類，除第一類續接接合強度至少達鋼筋之 $1.25f_y$ 、第二類續接接合強度至少達鋼筋之 $1.25f_y$ 及抗拉強度 f_u 規定值外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率、實測強度、續接位置、續接器間距、保護層厚度等對構材之影響，並符合其他有關規定。

由表 2-2 可見我國規範在建築工程之法規[9]要求較美國 ACI 318 規範[10]更嚴謹，對於鋼筋機械續接之滑動量及韌性有建議考慮，但是因為我國規範本文除規定強度外，沒有規定滑動量及韌性之檢驗法及合格標準，故國內設計圖說多半引用過時多年的土木 401-86 附錄乙[5]、內政部鋼筋續接施工規範及解說(草案)[6]或結構工程學會鋼筋續接器續接規範[8]。如表 1-1 所列，舊版規範[5,6,8]在延展性、伸長率、限定破壞模式等有過於嚴苛之虞，有時會衍生性能判定之爭議。

根據第一章文獻回顧與調查研究，本研究建議參考日本規範[22,23]及美國規範[27-29]之合格標準，只有定量的強度、變形及韌性指標，不限定破壞模式或斷裂位置。其中韌性指標最簡單可靠的量測法是取續接處外兩側鋼筋之伸長率，此法可適用所有樣式的機械式續接，亦可避免破壞模式或斷裂位置引發的爭議。

美國加州交通部規範[28,29]要求 ASTM A706 Grade 60 鋼筋(相當於我國 SD 420W 鋼筋) #10 鋼筋及較小者續接後伸長率至少 9% 以上，#11 鋼筋及較大者至少 6% 以上，而 NIST 報告[26]則對 ASTM A706 Grade 60 及 80 鋼筋建議至少均勻伸長率至少 8%。

台灣 SA 級續接性能合格標準[5-8, 20]其實高於美日規範，若能落實監造及品管作業，確實監督和查驗機械式續接的施工品質，SA 級續接器應可用於任何位置，包括鋼筋可能發生降伏的梁柱構材塑鉸區，甚至在同一斷面續接全部的鋼筋也是無害的，前提是續接器施工

品質要受到有效的監督和查驗。

圖 2-1 摘自結構工程學會及各技師公會合著之房屋結構鋼筋施工綱要與品管手冊[37]，說明耐震柱主筋之續接位置，注意落實品質管制的第二類(SA 級)機械式續接可以用於柱任何位置，包括柱塑鉸區，雖然第二類(SA 級)機械式續接位置不須錯開，但仍鼓勵錯開，因為錯開續接位置可提供較寬裕之空間增進施工性，同時避免鋼筋續接器間淨距過小阻礙混凝土澆置。隔根續接位置相距 60 cm 或 75 cm 以上固然可以增加些許安全性，但是如果續接處沒有確實固接，應力應變將集中於其他相鄰鋼筋續接處，即使錯開續接處亦很難避免失敗。本研究認為無法落實品質檢驗的劣質續接器，即使移到柱中央續接且隔根續接位置相距 60 cm 以上，一旦受拉力亦難避免失敗。

各樣式的續接器或續接套管具有特定之安裝程序及適用條件，設計時應特別考量續接工法調整斷面配筋，施工時務必按照各產品之標準作業程序施作，例如螺紋接頭應依製造商設計之扭力值在工地現場鎖緊，在箍筋及繫筋未綁紮固定之前，由監造人員以扭力扳手抽驗，其扭力值應大於製造商之建議值，原則上應抽驗該批產品數量之 15%，不合格部分須鎖緊至扭力值之外，另再加倍抽驗直到合格為止。某些廠商宣稱其續接螺紋接頭可以徒手旋緊後拉伸試驗即可拉斷鋼筋，就單體拉伸試驗或許所言非虛，但是實際在構材同一斷面續接多根主鋼筋時，若螺紋接頭密合程度不一致，可能導致鋼筋應力分配不平均。

續接器廠商都會宣稱其產品可以達到第二類(SA 級)續接性能，實際上還是應先經過認證實驗室測試評估其續接性能。鋼筋續接器取樣應具有代表性，最好在工地由已完成加工之鋼筋及續接器中抽樣，並在工地依標準程序完成組裝，測試合格後再施工。若對於現地施工之品質有疑慮時，得由已組立之鋼筋籠切下之續接器接合試體，測試結構體之鋼筋續接器施工品質。有時無法由已組立之鋼筋籠切下續接組


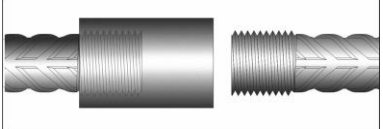
件，或切下試體可能難以修補，應審慎評估後不得已而為之。

預鑄工法或鋼筋預組立工法無法由已組立之鋼筋籠切下續接器接合試體，應提前取得同批之材料依相同程序於工地現場同時組立固定，其工地組立試體須具有代表性，例如螺紋節鋼筋用續接器須使用與現場相同之程序鎖固，灌漿填充續接器或套管須使用與現場同時拌和之砂漿並以相同之方式注射，而後以現場相同之條件養護續接器試體直到測試齡期，以確保續接器施工品質符合預訂之品質管理標準。




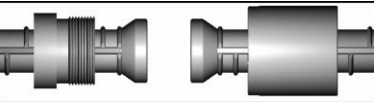
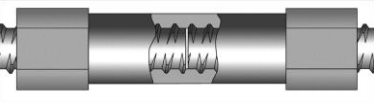
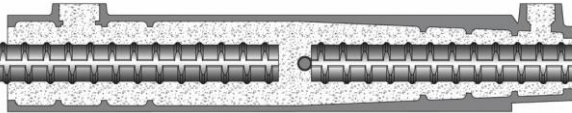
若鋼筋續接器經試驗證明接合強度可以達到鋼筋規定抗拉強度以上，滑動量及伸長率亦符合規定值，其破壞模式如斷裂位置或鋼筋拔出等不應該作為拒收之理由，有時若鋼筋實際抗拉強度過高，就有可能導致在續接處斷裂或滑脫拔出之破壞，若鋼筋續接處外具有足夠的均勻伸長率，證明續接後鋼筋仍具有適當之韌性即可，與美日規範要求比較接近。上述鋼筋機械式續接施工與品質管制對策，可參考文獻[19]，部分內容已被工程會施工綱要規範第 03210 章鋼筋 V4.0[20] 及 V4.1 版採納。

延續我國鋼筋續接器性能規範演進及實務執行上之疑義，本研究歸納待檢討課題及對策如表 2-3 所示。目前已經處理大部分問題，並就強度等級 SD490 以下鋼筋提出現行規範修正案。但是有關於高強度鋼筋 SD550W 及 SD690 之高塑性加載程序仍有疑慮，目前未有共識，建議後續繼續研究探討。

表 2-1 可抵抗反復拉壓力之機械式續接種類及用途

項次	機械式續接種類	用途				適用條件	
		A	B	C	D	E	F
1	 鋼筋車削錐拔螺紋接頭	■	—	■	—	■	—
2	 冷鍛擴頭滾壓螺紋接頭	■	—	■	—	■	—
3	 熱鍛擴頭滾壓螺紋接頭	■	—	■	—	■	—
4	 摩擦銲接續接器具平行螺紋接頭	■	—	■	—	■	—
5	 摩擦銲接續接器具錐螺紋接頭	■	—	■	—	■	—
6	 冷壓型鍛套管	■	—	■	■	□	■
7	 冷壓型鍛續接器具錐螺紋接頭	■	—	■	□	■	□
8	 鋼筋車削錐拔螺紋接頭	■	—	■	—	■	—

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

	擠壓鋼管續接器具平行螺紋接頭						
9	 <p>剪力螺釘續接套管</p>	■	—	■	■	—	■
10	 <p>剪力螺釘楔入續接套管</p>	■	—	■	■	—	■
11	 <p>熔融金屬填充續接套管</p>	■	—	■	■	—	■
12	 <p>熱鍛擴頭鋼筋及直螺紋續接套管</p>	■	—	■	■	■	■
13	 <p>螺紋節鋼筋續接器</p>	■	□	■	—	□	■
14	 <p>灌漿填充續接套管</p>	□	■	■	□	■	■

(資料來源：李宏仁[19]，2016)

表 2-2 內政部頒混凝土結構設計規範[9]對機械式續接之規定

版本	章節	規範
2002	鋼筋續接 通則 5.15.3.3	機械式續接器續接應發展其抗拉或抗壓強度至少達鋼筋 $1.25f_y$ 計得之強度外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率、實測強度、續接位置、續接器間距、保護層厚度等對構材之影響，並符合其他有關規定。
	耐震特別 規定 15.3.6.3	鋼筋採用鐸接或機械式續接器續接時，同一斷面之鋼筋最多只能隔根續接，且隔根續接處應相距 60 cm 以上。鋼筋如採用性能較佳之續接器續接時可不受本條文之限制，惟須經分析或實驗證明，且施工品質須嚴格管制。
2011	鋼筋續接 通則 5.15.3.3	機械式續接器續接應發展其抗拉或抗壓強度至少達鋼筋以 $1.25f_y$ 計得之強度外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率、實測強度、續接位置、續接器間距、保護層厚度等對構材之影響，並符合其他有關規定。機械式續接器之續接性能須與續接位置相配合並應明示於設計圖說。
	耐震特別 規定 15.3.6.4	鋼筋採用機械式續接時，應分下列兩類： (1)第一類機械式續接應符合第 5.15.3.3 節之規定。 (2)第二類機械式續接除須符合第 5.15.3.3 節之規定外，其接合強度至少應達鋼筋規定拉力強度。
	耐震特別 規定 15.3.6.5	第一類機械式續接不得使用於梁、柱接頭面或地震時鋼筋可能降伏處起算兩倍構材深度範圍內，第二類機械式續接則准許使用於任何位置。

(資料來源：本研究製作)

表 2-3 機械式續接性能規範待檢討之課題

項次	課題	對策及處理情況
1	性能分級簡化為 SA 級(第二類)和 B 級(第一類)	經彙整各方意見已有共識，第二類相當於 SA 級，第一類相當於 B 級，擬納入規範解說。
2	試驗法(軸向伸長量之標定長度)	已有國家標準 CNS 15560 定為本體長加 2d 至 6d。
3	試驗項目及檢驗頻率	經彙整各方意見已有共識，擬以附錄方式增補於規範。
4	韌性指標(不含破壞模式)	已有共識改取續接處外鋼筋伸長率，惟不同鋼筋等級之門檻值可以再檢討
5	續接試體單向拉伸試驗之加載上限 $0.60P_y$	本研究建議調整為 $0.95P_y$ ，較能有效檢驗續接處之密合度
6	續接試體單向拉伸試驗之滑動量 $\delta_s \leq 0.1 \text{ mm}$?	承上，本研究建議調整為 $\delta_s \leq 0.3 \text{ mm}$ ，提高檢測結果之可靠度及參考性
7	高塑性反復負載試驗之加載程序(週次及塑性率)應視鋼筋等級調整	建議視鋼筋等及調降塑性率，惟目前尚無定論，建議後續研究深入探討後再決定
8	施工品質檢驗準則	經訪問、座談及調查彙整各界意見，研擬規範修正案

(資料來源：本研究製作)

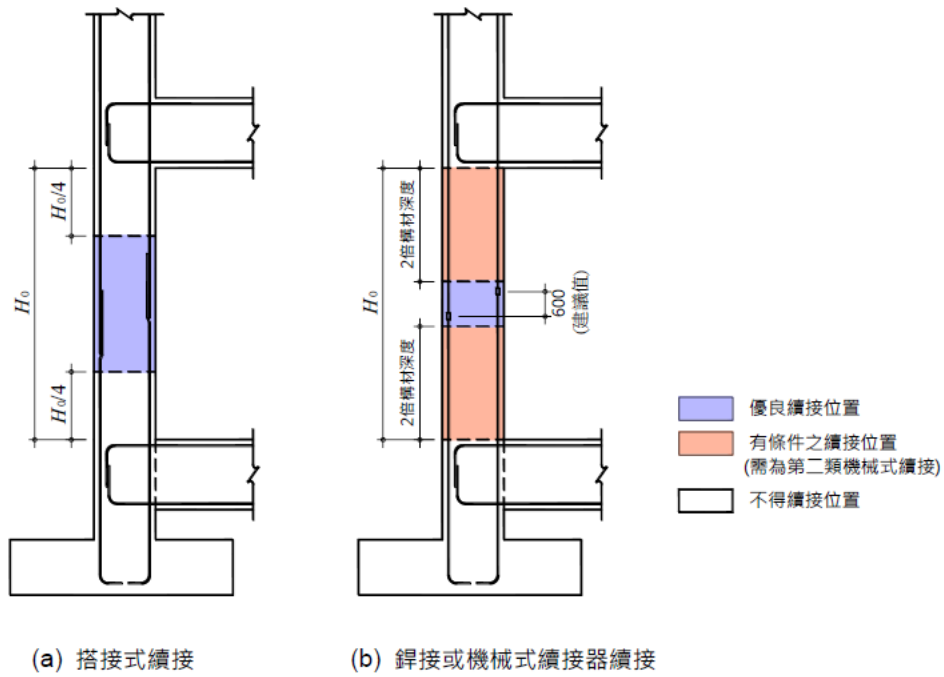


圖 2-1 柱主筋續接位置示意圖

(資料來源：中華民國結構工程學會等人[37]，2013)

第三章 鋼筋續接組件試驗

本研究完成 70 組 SD420W 鋼筋機械續接組件之單向拉伸試驗及高塑性反復負載試驗，另外對照組 26 組零滑動試驗。另有 36 組高強度鋼筋續接組件試驗。本章分析續接組件試驗之重點結果，說明研究方法、試驗及分析結果。

第一節 單向拉伸及滑動試驗

本研究鋼筋續接組件單向拉伸及滑動試驗依 CNS 15560 第 9.3 及 9.7 節之規定辦理，其指定負載及加載程序如圖 1-3 及表 3-1 所示。加載應力上限有 $0.60P_y$ 或 $0.95P_y$ 兩種版本，其中 $P_y = A_b f_y$ 對應鋼筋規定降伏強度之拉力；而每一件試體執行兩回合拉伸試驗，各減載至 $0.02P_y$ 量測殘留滑動量 δ_s ，最後再拉斷試體量測被續接鋼筋之伸長率。

依表 3-1 程序測試，假若鋼筋續接組件之螺紋接合不完全密合時，理論上在第 1 回就該檢測出較顯著的滑動量，續接處經過一次拉伸後螺紋接合處應該會被拉緊而密合，理論上第 2 回合的滑動量檢測值應該較小。

本研究之目的在於檢討試驗方法及程序，並非測試鋼筋續接器品質，為了減少變數，本研究就近採用蘭州(詮新)工程股份有限公司彰化工廠製作鋼筋續接器試樣如圖 3-1 所示，一件鋼筋兩端摩擦銲接具有公螺紋及母螺紋之續接器元件，將一段試樣鋸切成三段，中央段留作鋼筋母材對照組試驗，而左右兩段公母螺紋接頭對接組成試體，所有試樣以同一批母材鋼筋製作，換言之，母材鋼筋之機械性質是控制不變的。試驗目的在於檢討試驗程序之可靠度及合理性。

試樣摩擦壓接型續接器型號為 BLC-FW-S-2-T，母材鋼筋號徑有 #8-D25 及 #11-D36 為台中豐興鋼鐵製造之 SD420W 等級。摩擦壓接型之公母螺紋接頭須以扭力扳手鎖合，學理上，螺紋接頭鎖合之扭矩值 T 以下式計算

$$T = \mu D_n \sigma_v A_r \quad (3-1)$$

其中 μ 為鋼材間摩擦係數因螺紋為 CNC 車床加工取 0.09； D_n 為螺紋節徑(mm)等於公螺紋接頭中間外徑-螺牙高度/8； σ_v 為螺紋預應力(MPa)； A_r 為螺紋節徑斷面積 $\pi D_n^2/4$ 。

本批試樣續接器螺紋接頭材質為 JIS G4051 S45C 經熱處理後規定抗拉強度為 690 MPa，原廠設計螺紋預應力 σ_v 取強度之 20%。本批試樣牙距為 2.5 mm，螺牙高度為 2.165 mm，#8 續接器螺紋節徑 $D_n=21.7$ mm，#11 續接器螺紋節徑 $D_n=31.8$ mm，代入上式得 #8 續接器扭力值為 100 N-m，#11 續接器扭力值為 311 N-m。注意不同廠商製造之螺紋接頭材質、外徑、螺牙高度跟牙距不同，所需之鎖合扭矩值不同。實際工程使用之扭矩值應依廠商送審資料或試驗報告決定之。

試驗佈置及照片如圖 3-2 及圖 3-3 所示，量測續接處之伸長量的伸長計對稱佈置於試體兩側，標點距離及夾持距離符合圖 1-6 規定；所有試體上下兩段鋼筋稱之為 A 件、B 件，中央續接處簡稱 C 件，滑動量檢測對象為 C 件，而韌性指標取被續接兩段鋼筋 A 件或 B 件之伸長率(標點距離 3d)較大者。所有試驗的軸力-變形曲線圖整理於附件光碟。本節擇要報告如下。

首先依表 3-1 執行鋼筋母材拉伸試驗(零滑動對照組)至 $0.60P_y$ 再減載至 $0.02P_y$ 量測殘留滑動量 δ_s ，重複二回。理想上一連續的鋼筋母材是零滑動的，本次試驗標點距離 #8-D25 鋼筋為 200 mm，#11-D36 鋼筋為 230 mm，理論上鋼筋受拉力 $0.02P_y$ 時之理論伸長量為 0.0084 至 0.0096 mm，大約 0.01 mm，故表 3-2 是十支 #8-D25 鋼筋及十支

#11-D36 鋼筋各執行兩回合拉伸試驗檢測之滑動量，滑動量比較如圖 3-2 及 3-3 所示，大多數量測值變動範圍在 $0.01\text{ mm} \pm 0.007\text{ mm}$ 內。由於加載至 $0.60P_y$ 再減載至 $0.02P_y$ 量測殘留滑動量 δ_s 合格上限僅有 0.1 mm ，就表 3-1 之母材鋼筋零滑動試驗結果而言，光是背景值 (0.01 mm) 就佔了允收值 (0.1 mm) 的 10% ，注意還有量測不確定變異 $\pm 0.007\text{ mm}$ 。

接著我們按表 3-1 第一列 $0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0.02P_y$ 程序測試 SD420W D25 及 D36 鋼筋續接組件各十件，所有試體均採用各自標稱扭力值 (100 N 或 $311\text{ N}\cdot\text{m}$) 以扭力扳手鎖緊。每件試體共執行 2 回拉伸試驗量測滑動量，理論上第 1 回會測出續接處滑動量，而經過第 1 回拉伸後續接處將密合且試片將被拉直，因此第 2 回之滑動量理論上應該要接近零滑動試體之背景值 (約 0.01 mm)。試驗結果如表 3-3 所示，第 1 回與第 2 回滑動量比較如圖 3-6 及 3-7 所示。有下列幾點觀察：

1. 這批 D25 鋼筋續接組件第 1 回加載 $0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0.02P_y$ 滑動量平均值為 0.023 mm ，第 2 回重測之滑動量平均值為 0.016 mm 。大部分續接試體第 1 回滑動量大於第 2 回但是差距不顯著。
2. 這批 D36 鋼筋續接組件第 1 回加載 $0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0.02P_y$ 滑動量平均值為 0.031 mm ，第 2 回重測之滑動量平均值為 0.022 mm 。大部分續接試體第 1 回滑動量大於第 2 回但是差距不顯著。
3. 第 1 回與第 2 回滑動量差距不明顯，這表示圖 1-3 加載程序 $0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0.02P_y$ 並不能有效地測試出續接處之密合程度，因為其應力比不夠高。
4. 實驗室經驗顯示，續接組件組裝後可能同軸度跟直線度不若一連續鋼筋母材，滑動量量測結果將包含試樣之初始瑕疵。

接著我們按表 3-1 第二列 $0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ 程序測試 SD420W D25 及 D36 鋼筋續接組件各十件，所有試體同樣採用其標稱扭力值 (100 N 或 311 N-m) 以扭力板手鎖緊。每件同樣執行 2 回拉伸試驗量測滑動量，結果如表 3-4 所示，第 1 回與第 2 回試驗滑動量比較如圖 3-6 及 3-7 所示。有下列幾點觀察：

5. 這批 D25 鋼筋續接組件第 1 回加載 $0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ 滑動量平均值為 0.042 mm，第 2 回重測之滑動量平均值為 0.015 mm。大部分續接試體第 1 回滑動量明顯大於第 2 回。
6. 這批 D36 鋼筋續接組件第 1 回加載 $0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ 滑動量平均值為 0.079 mm，第 2 回重測之滑動量平均值為 0.032 mm。大部分續接試體第 1 回滑動量明顯大於第 2 回。
7. 第 1 回與第 2 回試驗之滑動量差距較顯著，這表示提高應力比，將加載程序改為 $0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ 較能有效地測試出續接處之密合程度。
8. 觀察試驗圖形發現，加載至 $0.95P_y$ 過程在第 1 回試驗時部分試體出現跳躍不連續(滑動)多出現在應力超過 $0.60P_y$ 以上，以此程序較能測出續接處之瑕疵。
9. 若將加載程序改為 $0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ ，對應之滑動量合格上限為 0.3 mm，檢測背景值(大約 0.01 mm)只佔允收標準值的 1/30，量測可靠度比較高，可以避免因為續接組件之初始不完美而導致試驗無效。

總結來說，鋼筋續接組件單向拉伸及滑動試驗將加載程序修改為 $0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ 量測殘留滑動量可接受值定為 0.3 mm 是比較合理的試驗程序。至於滑動量可接受值 0.3 mm 對於構件勁度及裂紋寬度之影響，將於下一章的梁構件試驗說明。

第二節 高塑性反復負載試驗

國內耐震結構用 SA 級續接器性能判定主要以高塑性反復負載試驗為準，其內涵與日規相近但要求較嚴格。

日系規範[21-23]之 SA 級性能判定本來須要通過彈性反復負載試驗(Elastic cyclic loading test)及塑性反復負載試驗(Plastic cyclic loading test)，前者先施加拉力至 $0.95P_y$ ，然後再反向加壓力至 $-0.50P_y$ ，如此在彈性範圍($-0.50P_y \leftrightarrow 0.95P_y$)反復負載共 20 週次。後者是先施加拉力至伸長 2 倍 δ_y ，然後再反向加壓力至 $-0.50P_y$ ，如此反復負載共 4 週次，接著施加拉力至伸長 5 倍 δ_y ，然後再反向加壓至力 $-0.50P_y$ ，同樣進行反復負載共 4 週次，合計塑性域 8 週次後再拉斷試體。其中 δ_y 為對應之母材鋼筋標稱降伏伸長量。實務上 SA 級續接器性能試驗將彈性和塑性反復載重試驗合併執行，俗稱拉壓反復載重試驗。

我國 SA 級高塑性反復負載試驗[20]之加載程序如表 3-5 所示，其中彈性域反復負載程序與日規雷同但週次減為 16 回，這部分跟日規很接近；但是塑性域變形從日規的 2 倍 δ_y 及 5 倍 δ_y 各 4 回，大幅提高為 6 倍 δ_y 及 12 倍 δ_y 各 8 回，故稱之為高塑性反復負載試驗。台灣的高塑性反復負載試驗加載程序是全世界最嚴格的版本，多年來使用經驗顯示，國產之 SD420(W)鋼筋續接器續接性能是可以達到高塑性反復負載試驗要求，惟更高等級鋼筋如 SD550W 或 SD690 鋼筋續接器續接性能是否還是沿用此標準就有待商榷，這部分尚待釐清。

本研究第一階段先針對現行標準測試對照組，準備 SD420W D25 及 D36 鋼筋續接器試樣(圖 3-1)，依 CNS 15560 第 9.5 節及表 3-5 之程序加載。試體準備時，分成(1)依製造廠標稱扭力值(D25:100 N-m 及 D36:311 N-m)以扭力扳手鎖緊密合；(2)徒手旋緊；(3)徒手拴緊後逆旋半圈(180 度，後退 1/2 牙距)。後兩者模擬工地可能出現的施工瑕疵。

本節擇要說明觀察結果。

表 3-6 比較 SD420W-D25 鋼筋母材(對照組)、螺紋接頭以扭力板手鎖緊至標稱扭力值 100 N-m、徒手旋緊、徒手拴緊後逆旋半圈共四組 12 件高塑性反復負載試驗之滑動量，滑動量取三支試體平均值降低量測不確定度。

首先，零滑動對照組鋼筋母材執行高塑性反復負載試驗結果如圖 3-10 所示，些微滑動量來自系統誤差、初始不完美以及鋼筋塑性變形的遲滯迴圈特性。第二組 SD420W-D25 標準續接組件以標稱扭力值 100 N-m 鎖緊，試驗結果如圖 3-11 所示，曲線及滑動量平均值很接近對照組母材鋼筋，顯示這批 SA 級續接器按標準程序鎖固後變形能力不亞於一支連續的鋼筋。

而第三組 SD420W-D25 續接組件僅以徒手旋緊(零扭矩)，試驗結果如圖 3-12 所示，在零力量附近確實出現些微滑動，滑動量測值較標準組大但尚在可接受值內。而第四組 SD420W-D25 續接組件逆旋半圈之試驗結果如圖 3-13 所示，在零力量附近滑動更明顯，但也還在可接受值以內。部分原因來自於圖 1-5 當次滑動量計算法的缺陷，此法取負載在拉力 $0.50P_y$ 至 $-0.25P_y$ 壓力之間，由拉至壓及由壓至拉之相對軸向變形量，分別扣除該試體之彈性變形量，取兩者之平均值為當次滑動量。其中彈性變形以該試體加載至 $0.70P_y$ 之割線勁度 E_j 計算，然而如若續接處不完全密合，此法擷取之割線勁度 E_j 值偏低，反而會低估實際滑動量。

為避免此一情況，建議計算當次滑動量用之 E_j 值不得少於 190,000 MPa，或是不要取原點至 $0.70P_y$ 之割線，改取 $0.05P_y$ 至 $0.70P_y$ 之割線勁度，皆能有效獲得續接組件之彈性勁度。

同樣地，本研究也測試 SD420W-D36 鋼筋母材(對照組)、螺紋接頭以扭力板手鎖緊標稱扭力值 311 N-m、徒手旋緊、徒手拴緊後逆旋

半圈共四組 12 件高塑性反復負載試驗之滑動量，如表 3-7 所示，滑動量取三支試體平均值降低量測不確定度。四組試驗曲線如圖 3-14、3-15、3-16、及 3-17 所示，獲得相似之結論如下：

1. 零滑動之鋼筋母材由於系統誤差跟遲滯迴圈特性也會測出些微滑動量，其值約為現行合格標準的 1/10。
2. 本研究以標稱扭力值鎖緊之螺紋續接組件，其滑動量、遲滯迴圈、變形能力、抗拉強度幾乎與其鋼筋母材相同，應可用於耐震結構塑鉸區鋼筋續接。
3. 本研究以徒手旋緊或不完全旋緊之螺紋續接組件，仍可發展其鋼筋抗拉強度，但是續接處滑動量較明顯，若用於耐震結構塑鉸區尚有疑慮。

本研究測試之 SD 420W 鋼筋續接組件，皆能發展母材鋼筋之規定抗拉強度以上，實際破壞模式皆為鋼筋斷裂，斷裂位置具有隨機不確定性，某些斷裂點會落在標點距離外，靠近夾具或是續接器端 20 mm 以內。依美日規範，斷裂位置不應該視為不合格之理由，實務上距離續接器端部 20 mm 也有認定上的困難，早期規範原意是銲接熱影響區至少 20 mm，故應該是距離銲道 20 mm 處，然而摩擦壓接或是擴頭鍛壓影響區域，有時很難認定何處是續接器端部。

第三節 被續接鋼筋之伸長率

因為耐震結構用之第二類(SA 級)機械式續接被許可用於任何位置，包括構件鋼筋可能降伏之塑鉸區，因此特別要求被續接鋼筋能承受多次反復之非彈性應變並發展至規定抗拉強度 f_u ，其中規定被續接鋼筋之伸長率是比較合理的韌性指標。如第一章第二節所述，伸長率可接受值尚有討論空間，參考文獻[26-29]及諸多規範，可接受值至少

為 8% 以上，9% 合宜，12% 以上就偏保守了。

實務上國內實驗室執行 CNS 560 大號鋼筋母材伸長率量測之標點距離為 5 倍鋼筋標稱直徑(5D)，與美規 ASTM 不論號徑一律 8 in. (200 mm)略有不同，故美規母材鋼筋單方向拉伸之伸長率合格標準 12% 僅供參考。

圖 3-18 是本研究執行 SD420W-D25 鋼筋續接組件之被續接鋼筋伸長率統計圖，對照組母材鋼筋標點距離 5D 之破斷伸長率平均是 19% 但是分布比較集中(最小值 16%、最大值 22%)，被續接鋼筋標點距離 3D 之破斷伸長率平均是 24.6% 但是變異較大(最小值 17%、最大值 30%)。而另一段未拉斷的被續接鋼筋在標點距離 3D 之均勻伸長率為平均是 15.1%，變異也很明顯(最小值 10%、最大值 19%)。觀察圖 3-18，被續接鋼筋標點距離 3D 之破斷伸長率最小值 17% 會接近均勻伸長率平均值，最小值這點是因為破斷位置不在標點距離內。

圖 3-19 是本研究執行 SD420W-D36 鋼筋續接組件之被續接鋼筋伸長率統計圖，有類似之觀察，對照組母材鋼筋標點距離 5D 之破斷伸長率平均是 20% 但是分布比較集中(最小值 16%、最大值 24%)，被續接鋼筋標點距離 3D 之破斷伸長率平均是 21.7% 但是變異較大(最小值 13%、最大值 30%)。而另一段未拉斷的被續接鋼筋在標點距離 3D 之均勻伸長率平均是 14.1%，變異也很明顯(最小值 10%、最大值 19%)。觀察圖 3-19，被續接鋼筋標點距離 3D 之破斷伸長率最小值 13% 會接近均勻伸長率平均值，同樣原因，部份破斷伸長率值較低是因為破斷位置不在標點距離內。

鋼筋超過抗拉強度後應力下降段之塑性變形集中於頸縮斷裂處，範圍約 0.5D 至 1.0D，理想上頸縮斷裂位置應位於標點距離之中央段，實際上可能發生於任何位置，包括標點距離外。依 CNS 2608 鋼料之檢驗通則第 9 節規定，拉伸試驗斷裂位置若在標點以外，或距離鄰近

標點之距離小於標點間距離四分之一時，且所得之伸長率數值不合要求時，此項試驗得視為無效，須另取試片重作試驗。

注意圖 3-18 或 3-19 內母材鋼筋皆為同一批材料，故理想上伸長率應相同，但因為標點距離及量測不確定度會使得數值有變異性，本研究歸納以下幾點結論：

1. 被續接鋼筋在標點距離 3D 內破斷伸長率之量測不確定度較大，理論上其合格標準應小於母材鋼筋 CNS 560 規定值；逕取 CNS 560 規定值例如 SD420W 為 13% 是很保守的。
2. 被續接鋼筋在標點距離 3D 內破斷伸長率門檻值若定得太高，因為標點距離短，斷裂位置若不在標點距離中央二分之一以內，依 CNS 2608 鋼料之檢驗通則得視為無效而非不合格。須另外取樣重驗，徒增執行上之困擾。
3. 學理上在被續接鋼筋上架設伸長計量測達最大應力時之均勻伸長率，量測可靠度最好，且不受頸縮位置之影響，若採用均勻伸長率法，合格允收標準定在 8% 為宜。
4. 實務上考慮實驗成本差異，難以全面執行均勻伸長率之量測，務實之作法為固定標距以游標卡尺量測破斷伸長率，選擇較便宜之量測方法就包含較高的量測不確定度，端視業界需求而定。

第四節 高強度鋼筋之續接組件試驗

因應高樓建築及先進預組預鑄工法所需，梁柱主筋有逐漸傾向使用大號徑及高降伏強度之趨勢。經濟部標檢局刻正制訂新版 CNS 560 新增 SD 550W 及 SD 690 鋼筋，其降伏強度超出現行建築技術規則及部頒版混凝土結構設計規範適用範圍，鋼筋及續接工法不適用現行規

範者須另經內政部營建署審核採建築新材料新工法認可，方可免適用現行建築技術規則授權訂定之混凝土結構設計規範。

因此，以現行續接器試驗程序及合格標準直接套用在高強度鋼筋可能並不適宜，儘管部分產品可以達到現有表 1-6 之合格標準，但是全面量產檢測結果仍有疑慮。

本研究總計測試 36 組高強度鋼筋續接組件試驗，包含鋼筋強度等級 SD 550 及 SD 690，每一等級有預組工法用之螺紋節鋼筋續接器及預鑄工法用之砂漿填充式續接套管各占一半。主要研究目的是檢討現有規範之高塑性反負負載試驗程序，故測試時改變加載程序。

舉 SD 550 鋼筋等級為例，其鋼筋母材、螺紋節鋼筋續接組件、及砂漿填充式續接套管之高塑性試驗部分結果如圖 3-20、3-21、及 3-22 所示，測試顯示螺紋節鋼筋續接組件由於機構因素具有較顯著的滑動量，但皆在合格標準內，如圖 3-21 所示。而砂漿填充式續接套管滑動量非常微小，如圖 3-22 所示，除了最後幾個迴圈因為管口砂漿碎裂而有些微滑動，但尚在合格標準內。

圖 3-23 及 3-24 顯示螺紋節鋼筋續接組件及續接套管兩種工法不同的破壞模式。前者破壞模式全部都是斷筋(Bar broken)且 3D 破斷伸長率分布於 13%至 25%，平均值 20%；後者破壞模式全部都是鋼筋拔出(Bar Pullout)，只有測出均勻伸長率平均約 6%，如果要令砂漿填充式套管達到斷筋之破壞模式，於套管管口增加螺旋箍即可能抑制拉拔錐破壞達成斷筋。

將鋼筋強度等級提升到 SD 690 試驗結果如圖 3-25 至 3-27 所示，大致上觀察與 SD 550 相同，即螺紋節鋼筋續接組件具有稍微較顯著的滑動量但是最終破壞模式是斷筋，因此被續接鋼筋之伸長率平均值可達 15%、最小值尚有 10%(斷裂於標距外)，皆達合格標準；而砂漿填充式續接套管幾乎是零滑動，但是續接套管管口的砂漿因鋼筋塑性

降伏貫入造成拉拔錐破壞，導致被續接伸長率平均只有 6%。同理，若能於套管管口增加螺旋箍抑制管口砂漿崩壞即可能抑制拉拔錐破壞達成斷筋。

儘管鋼筋斷裂不是合格標準之一，但是使用者長久以來一直以斷筋為理想目標，就試驗法而言，不宜限定鋼筋斷裂為合格標準，因為鋼筋規定抗拉強度沒有上限值，有時母材鋼筋強度低或經過加工導致韌性變差，試驗時反而容易斷裂在鋼筋母材。最公平的方式還是定量評估被續接鋼筋之伸長率。

綜合高強度螺紋節鋼筋續接組件及砂漿填充式續接套管之試驗，本研究有下列幾點觀察：

1. 螺紋節鋼筋續接組件之臨界試驗項目是滑動量，因為其續接機制是以高流動性無收縮水泥砂漿充填續接器與鋼筋之間隙，內部砂漿被壓碎後會有較顯著之滑動量，故砂漿品質為關鍵，施工時務必確保填充料注入量是否足夠，以避免產生滑動。
2. 螺紋節鋼筋續接器材質為沃斯回火球墨鑄鐵件，只要工廠品管得宜其材質強度遠高於母材鋼筋，續接組件拉伸試驗破壞模式可以輕易達成斷筋，被續接鋼筋之伸長率應可達到現行規範標準無虞。
3. 砂漿填充式續接套管是藉由充填砂漿握裹鋼筋達成續接，經試驗證明幾乎是零滑動，其臨界試驗項目是被續接鋼筋之伸長率，如以美規#11(D36)以上鋼筋至少 6% 為合格標準，則此批試體約有半數未達 6%，可能需要於管口增加螺旋箍補強方能提高合格率。
4. 高強度鋼筋 SD550 或 685 以續接套管續接是否需要達到斷筋或是 6-9% 以上之伸長率，在預鑄工法仍有討論空間，在沒有更進一步研究之前，建議參考台灣混凝土學會 TCI 建議之高

強度鋼筋續接器續接性能規範[21]，至少須達 6% 以上。

5. 螺紋節鋼筋續接組件及砂漿填充式續接套管之施工要求，可參考公共工程委員會施工綱要規範第 03210 章鋼筋 V4.1(2018)。
6. 我國 SA 級高塑性反復負載試驗程序之 6 倍 δ_y 及 12 倍 δ_y 各 8 回，不宜直接延伸至高強度鋼筋使用。如以 SD 420 鋼筋於塑鉸曲率轉角以等位移法則推估，鋼筋強度等級提高至 SD 550 時，高塑性反復負載試驗約為 5 倍 δ_y 及 10 倍 δ_y 各 8 回，提高至 SD 690 時，高塑性反復負載試驗約為 4 倍 δ_y 及 8 倍 δ_y 各 8 回。注意這個標準遠高於美國及日本評價續接器性能實施的塑性試驗程序，2 倍 δ_y 及 5 倍 δ_y 各 4 回。尚需後續研究再檢討此差異。

第五節 鋼筋續接品質檢驗準則

我國混凝土結構設計規範[9]是民國 100 年公告，106 年有修正部分規定，迄今已有 6 年，其內容是以美國 ACI 318 規範 2005 年版為藍本。美國 ACI 318 規範[10]於 2014 年有大幅度重組，章節重新編排並加入施工規範及工具箱，因此王炤烈等人[12]於 106 年受建研所委託完成「混凝土結構技術規範之修正研擬」，後續將進入內政部營建署審議。

本研究案經過大量的續接組件試驗檢討試驗方法，於 9 月 21 日及 28 日邀請專家學者舉行二場座談會彙整鋼筋機械式續接品質檢驗準則，共識是應該要納入混凝土結構設計或技術規範。經過期末審查建議朝向規範新增專節方式辦理，本研究團隊於 11 月 25 日至中國土木水利工程學會混凝土工程委員會報告本研究成果及建議規範修正

案，獲得委員會熱烈支持及迴響，經 12 月 9 日委員會第三群組討論編修，最終於 12 月 16 日決議營建署送審新版規範同意納入鋼筋機械式續接器規定，新增 26.6.5 節方式辦理。換言之，本研究案成果將與前期規範研究[12]併案提出新版「混凝土結構技術規範」送營建署審議。

惟規範編寫頗為嚴謹，有其用詞及格式要求，後續需經過混凝土工程委員會編審送內政部審議。受限於作業期程及順序，本成果報告不包含最後的規範修正案條文，僅報告修正草案。

附錄一是建議新增之專節，實際章節編碼及文字待審議後確定。

表 3-1 本研究檢討之單方向拉伸及滑動試驗程序

試驗項目	第 1 回	第 2 回
單向拉伸及滑動試驗 ($0.60P_y$), $\delta_s \leq 0.1$ mm	$0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0.02P_y$ →卸載	$0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0.02P_y$ →拉至破壞
單向拉伸及滑動試驗 ($0.95P_y$), $\delta_s \leq 0.3$ mm	$0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ →卸載	$0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ →拉至破壞

(資料來源：本研究製作)

表 3-2 SD420W 鋼筋母材之單方向拉伸及滑動試驗結果($0.60 P_y$)

試片編號	第 1 回 δ_s (mm)	第 2 回 δ_s (mm)	試片編號	第 1 回 δ_s (mm)	第 2 回 δ_s (mm)
D25-1	0.009	0.022	D36-1	0.011	0.009
D25-2	0.009	0.012	D36-2	0.012	0.011
D25-3	0.011	0.008	D36-3	0.014	0.015
D25-4	0.007	0.007	D36-4	0.012	0.014
D25-5	0.014	0.008	D36-5	0.012	0.011
D25-6	0.011	0.011	D36-6	0.010	0.013
D25-7	0.010	0.009	D36-7	0.015	0.018
D25-8	0.006	0.009	D36-8	0.016	0.017
D25-9	0.011	0.007	D36-9	0.010	0.013
D25-10	0.003	0.012	D36-10	0.015	0.013
平均值	0.009	0.010	平均值	0.013	0.013
最大值	0.014	0.022	最大值	0.016	0.018
最小值	0.003	0.007	最小值	0.010	0.009
標準差	0.003	0.005	標準差	0.002	0.003

(資料來源：本研究製作)

表 3-3 SD420W 鋼筋續接組件單方向拉伸及滑動試驗結果(0.60 P_y)

試片編號	第 1 回 δ_s (mm)	第 2 回 δ_s (mm)	試片編號	第 1 回 δ_s (mm)	第 2 回 δ_s (mm)
D25-1	0.027	0.025	D36-1	0.026	0.024
D25-2	0.009	0.008	D36-2	0.028	0.024
D25-3	0.038	0.017	D36-3	0.026	0.015
D25-4	0.013	0.013	D36-4	0.033	0.023
D25-5	0.014	0.010	D36-5	0.030	0.008
D25-6	0.027	0.012	D36-6	0.020	0.022
D25-7	0.028	0.018	D36-7	0.010	0.021
D25-8	0.022	0.014	D36-8	0.033	0.024
D25-9	0.023	0.027	D36-9	0.063	0.032
D25-10	0.028	0.015	D36-10	0.042	0.028
平均值	0.023	0.016	平均值	0.031	0.022
最大值	0.038	0.027	最大值	0.063	0.032
最小值	0.009	0.008	最小值	0.010	0.008
標準差	0.009	0.006	標準差	0.014	0.007

(資料來源：本研究製作)

表 3-4 SD420W 鋼筋續接組件單方向拉伸及滑動試驗結果(0.95 P_y)

試片編號	第 1 回 δ_s (mm)	第 2 回 δ_s (mm)	試片編號	第 1 回 δ_s (mm)	第 2 回 δ_s (mm)
D25-16	0.058	0.015	D36-11	0.066	0.044
D25-17	0.023	0.005	D36-12	0.121	0.020
D25-18	0.081	***	D36-13	0.219	0.051
D25-19	0.043	0.025	D36-14	0.058	0.041
D25-20	0.024	0.012	D36-15	0.016	0.011
D25-21	0.076	0.000	D36-16	0.094	0.041
D25-22	0.012	0.023	D36-17	0.110	0.035
D25-23	0.056	0.023	D36-18	0.084	0.022
D25-24	0.021	***	D36-19	0.000	0.029
D25-25	0.024	0.013	D36-20	0.025	0.024
平均值	0.042	0.015	平均值	0.079	0.032
最大值	0.081	0.025	最大值	0.219	0.051
最小值	0.012	0.000	最小值	0.000	0.011
標準差	0.025	0.009	標準差	0.063	0.013

(資料來源：本研究製作)

表 3-5 本研究初步檢討之高塑性反復負載試驗程序

試驗項目	加載程序	滑動量上限
高塑性反復 負載試驗	$0 \rightarrow (0.95P_y \leftrightarrow -0.5P_y) \times 16$ 回	$(\delta_s)_{16c} \leq 0.3$ mm
	$\rightarrow (6\delta_y \leftrightarrow -0.5P_y) \times 8$ 回	$(\delta_s)_{24c} \leq 0.9$ mm
	$\rightarrow (12\delta_y \leftrightarrow -0.5P_y) \times 8$ 回	$(\delta_s)_{32c} \leq 1.8$ mm
	\rightarrow 拉至破壞	

(資料來源：本研究製作)

表 3-6 SD420W-D25 鋼筋高塑性反復負載試驗滑動量比較

試體編號	控制參數	殘留滑動量 $(\delta_s)_{16c}$ $\leq 0.3 \text{ mm}$	當次滑動量 $(\delta_s)_{24c}$ $\leq 0.9 \text{ mm}$	當次滑動量 $(\delta_s)_{32c}$ $\leq 1.8 \text{ mm}$
母材-35	零滑動	-0.002	0.083	0.119
母材-38	零滑動	-0.001	0.082	0.117
母材-39	零滑動	0.023	0.078	0.121
平均值		0.007	0.081	0.119
續接-35	標準扭力	0.057	0.081	0.116
續接-38	標準扭力	0.019	0.096	0.129
續接-40	標準扭力	0.032	0.089	0.124
平均值		0.036	0.088	0.123
續接-31	徒手旋緊	0.059	0.196	0.225
續接-32	徒手旋緊	0.101	0.077	0.112
續接-34	徒手旋緊	0.077	0.115	0.153
平均值		0.079	0.129	0.163
續接-36	逆旋半圈	-0.007	0.255	0.290
續接-37	逆旋半圈	-0.076	0.196	0.223
續接-39	逆旋半圈	0.023	0.078	0.121
平均值		-0.020	0.176	0.211

(資料來源：本研究製作)

表 3-7 SD420W-D36 鋼筋高塑性反復負載試驗滑動量比較

試體編號	控制參數	殘留滑動量 (δ_s) _{16c} ≤ 0.3 mm	當次滑動量 (δ_s) _{24c} ≤ 0.9 mm	當次滑動量 (δ_s) _{32c} ≤ 1.8 mm
母材-01	零滑動	0.0055	0.0921	0.1365
母材-02	零滑動	-0.0088	0.0927	0.1327
母材-07	零滑動	-0.0025	0.1049	0.1541
平均值		-0.002	0.097	0.141
續接-21	標準扭力	0.0444	0.0981	0.1299
續接-22	標準扭力	0.0452	0.1003	0.1432
續接-23	標準扭力	0.0341	0.1097	0.1444
平均值		0.041	0.103	0.139
續接-24	徒手旋緊	0.0405	0.1186	0.1479
續接-25	徒手旋緊	0.0035	0.1985	0.2323
續接-26	徒手旋緊	0.0148	0.1608	0.2025
平均值		0.020	0.159	0.194
續接-27	逆旋半圈	0.0041	0.2839	0.3270
續接-28	逆旋半圈	-0.0018	0.2301	0.2699
續接-29	逆旋半圈	0.0697	0.1857	0.2270
平均值		0.024	0.233	0.275

(資料來源：本研究製作)

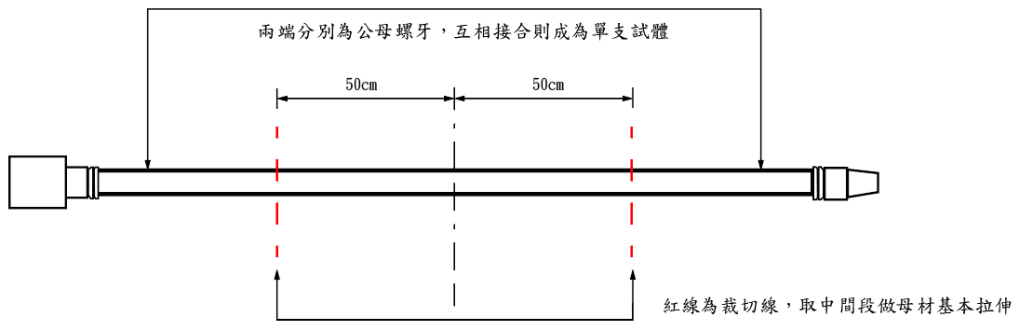
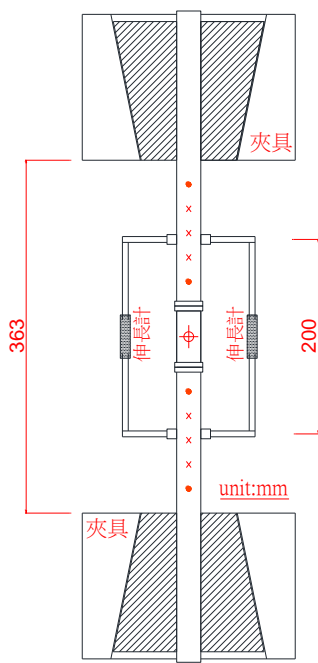
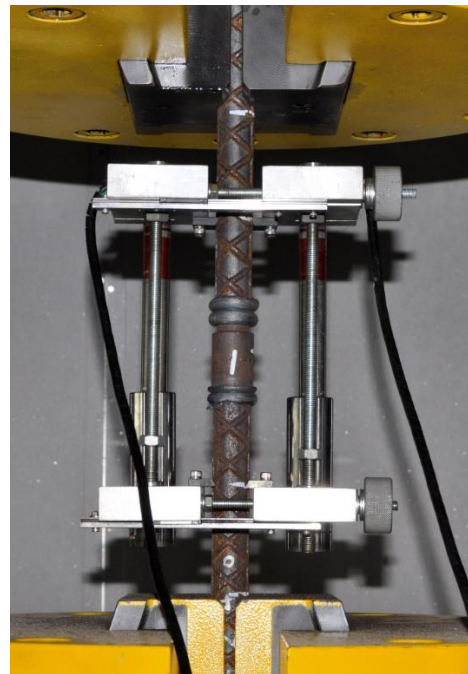


圖 3-1 訂製之鋼筋續接器試體示意圖
(資料來源：本研究製作)

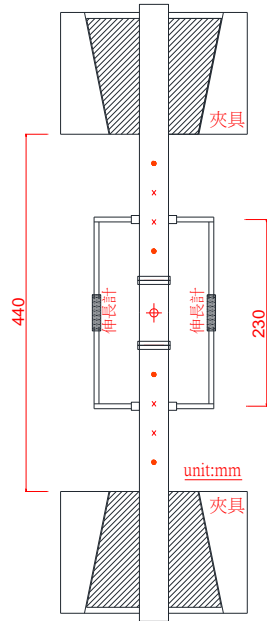


(a) 標點距離及夾持距離



(b) 照片

圖 3-2 SD420W-D25 鋼筋續接組件試驗佈設
(資料來源：本研究製作)



(a)標點距離及夾持距離

(b)照片

圖 3-3 SD420W-D36 鋼筋續接組件試驗佈設

(資料來源：本研究製作)

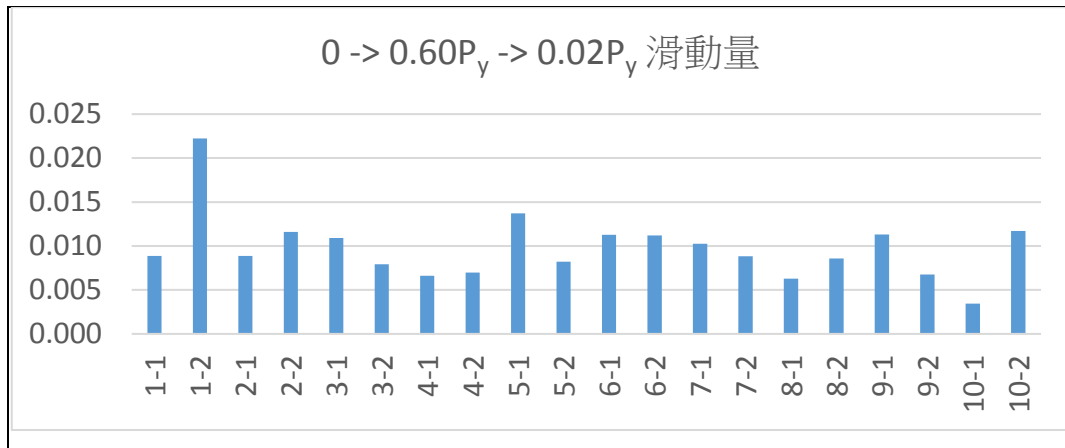


圖 3-4 SD420W-D25 鋼筋母材零滑動試驗結果(0.60 P_y)

(資料來源：本研究製作)

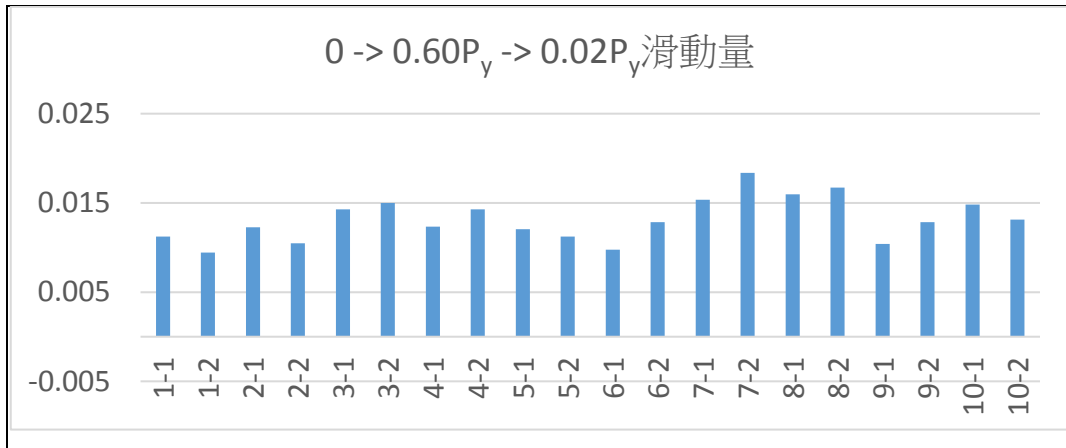


圖 3-5 SD420W-D36 鋼筋母材零滑動試驗結果(0.60 P_y)
(資料來源：本研究製作)

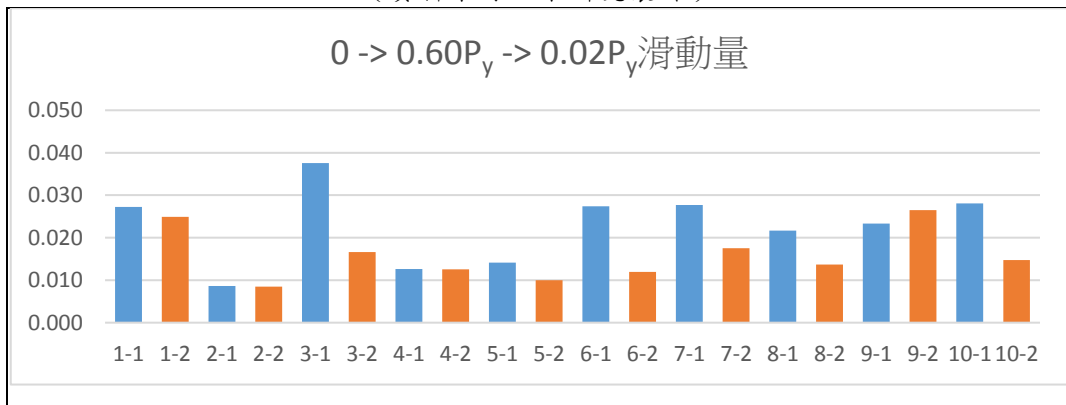


圖 3-6 SD420W-D25 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量(0.60 P_y)
(資料來源：本研究製作)

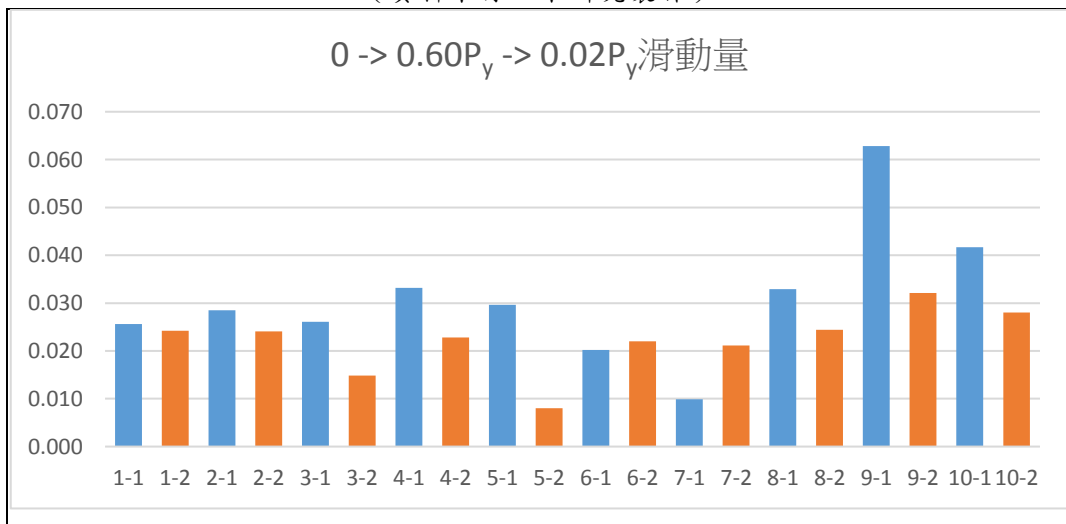


圖 3-7 SD420W-D36 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量(0.60 P_y)
(資料來源：本研究製作)

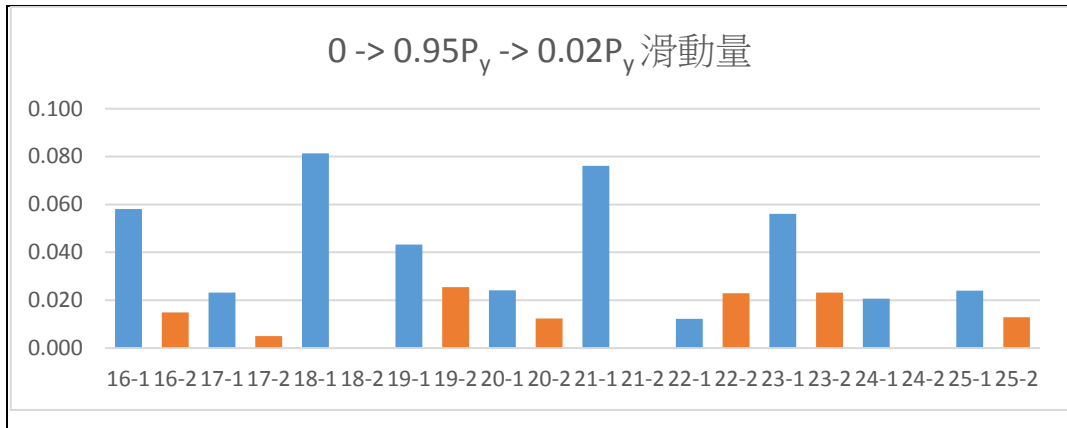


圖 3-8 SD420W-D25 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量(0.95 P_y)
(資料來源：本研究製作)

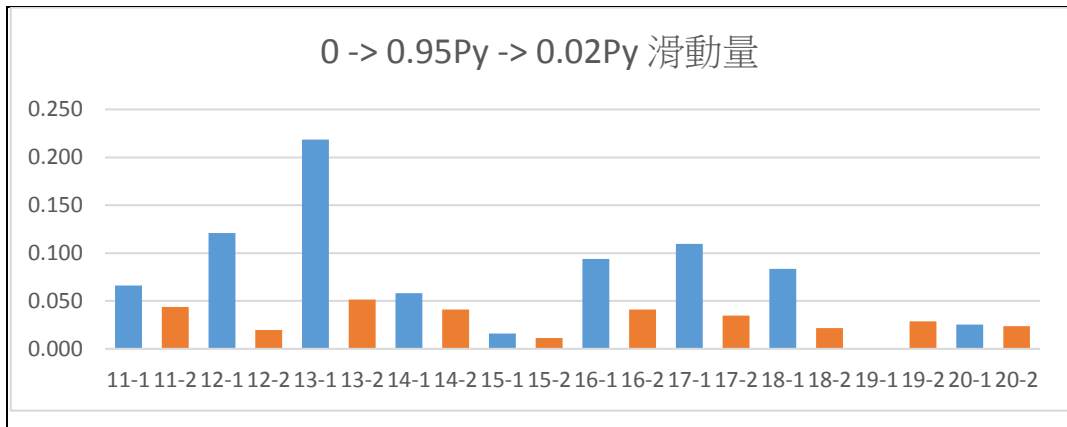


圖 3-9 SD420W-D36 鋼筋續接組件單向拉伸試驗滑動量(0.95 P_y)
(資料來源：本研究製作)

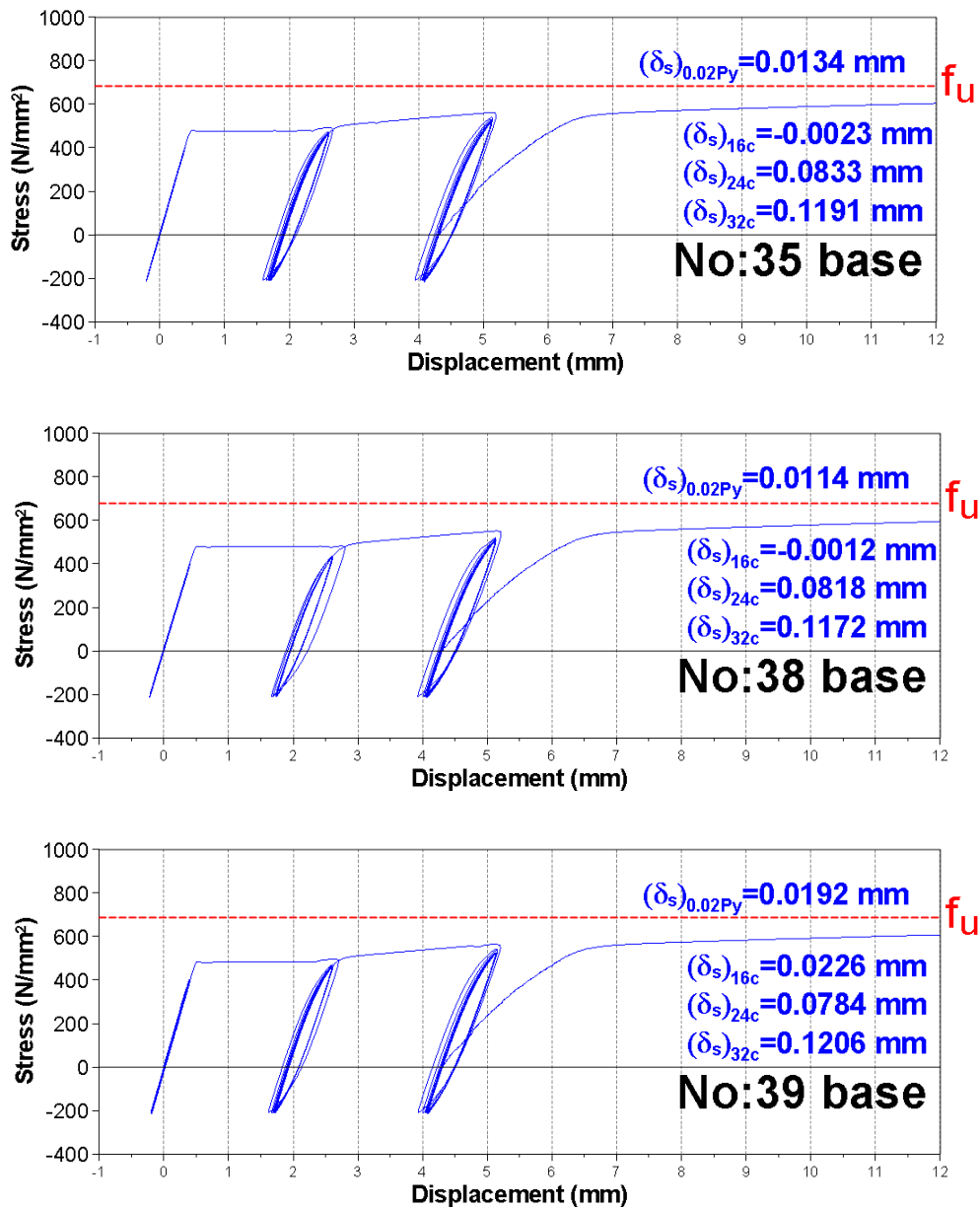


圖 3-10 SD420W-D25 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果
(資料來源：本研究製作)

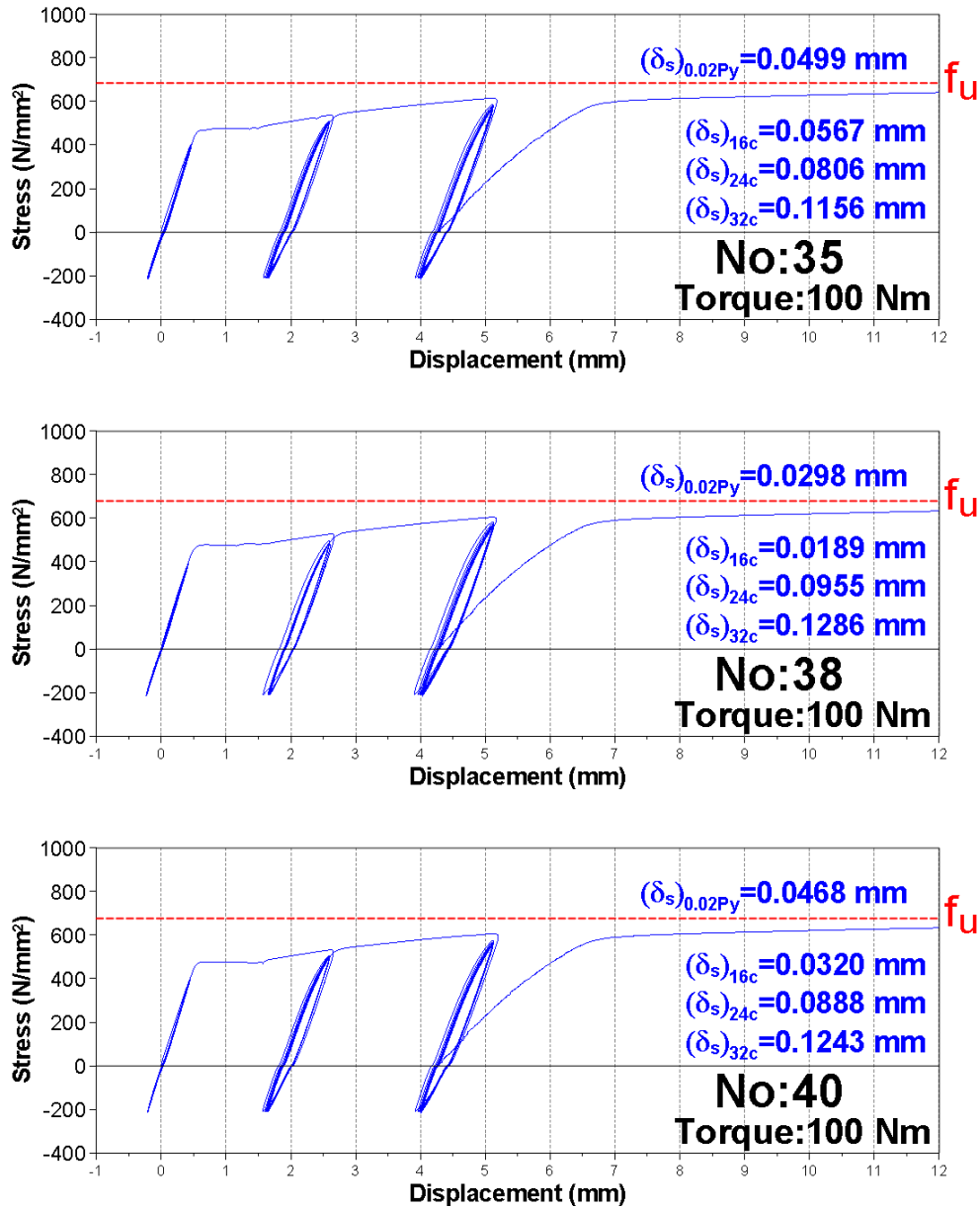


圖 3-11 SD420W-D25 鋼筋續接組件(標稱扭力鎖緊)之高塑性反復負載試驗結果

(資料來源：本研究製作)

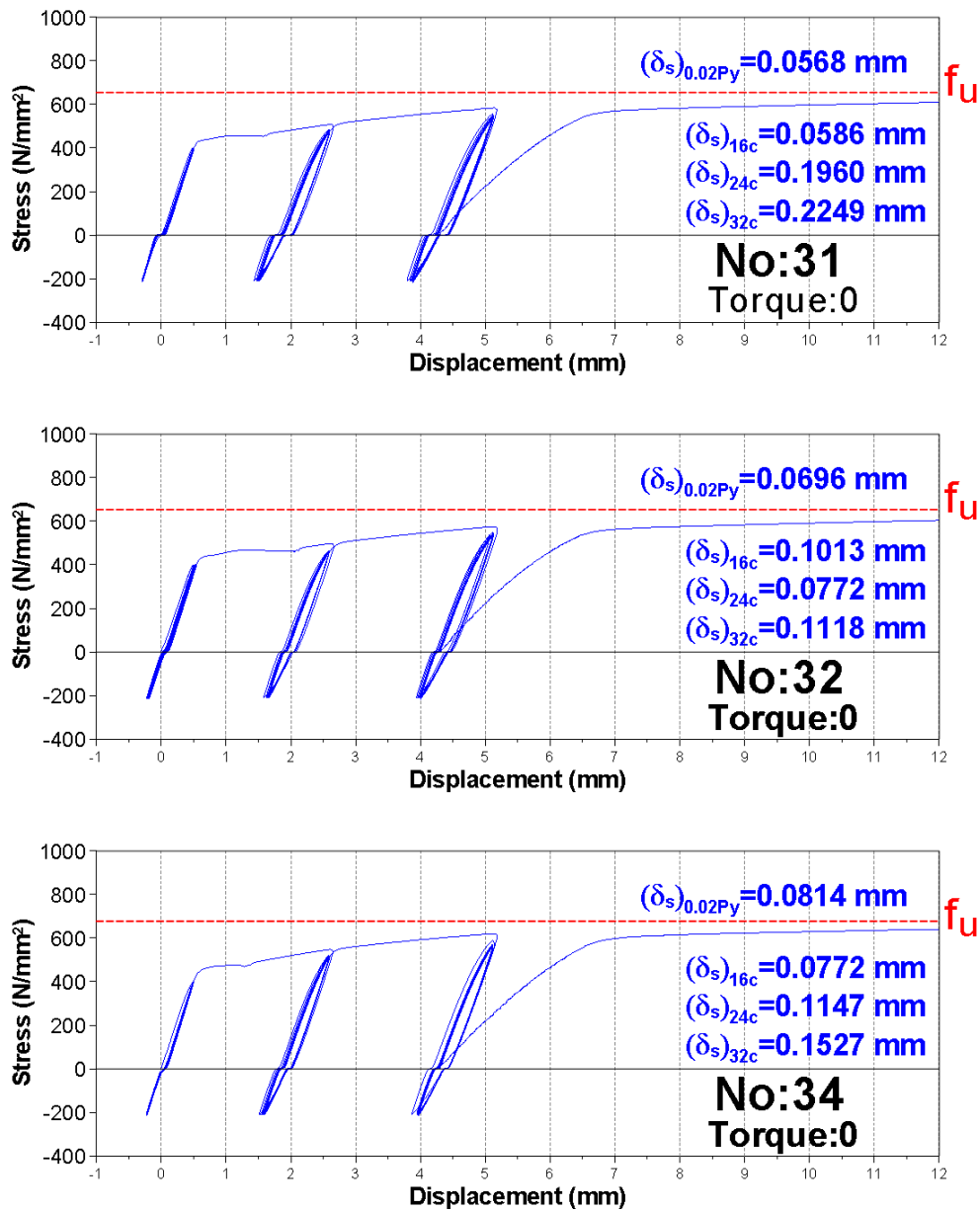


圖 3-12 SD420W-D25 鋼筋續接組件(徒手旋緊)之高塑性反復負載試驗結果

(資料來源：本研究製作)

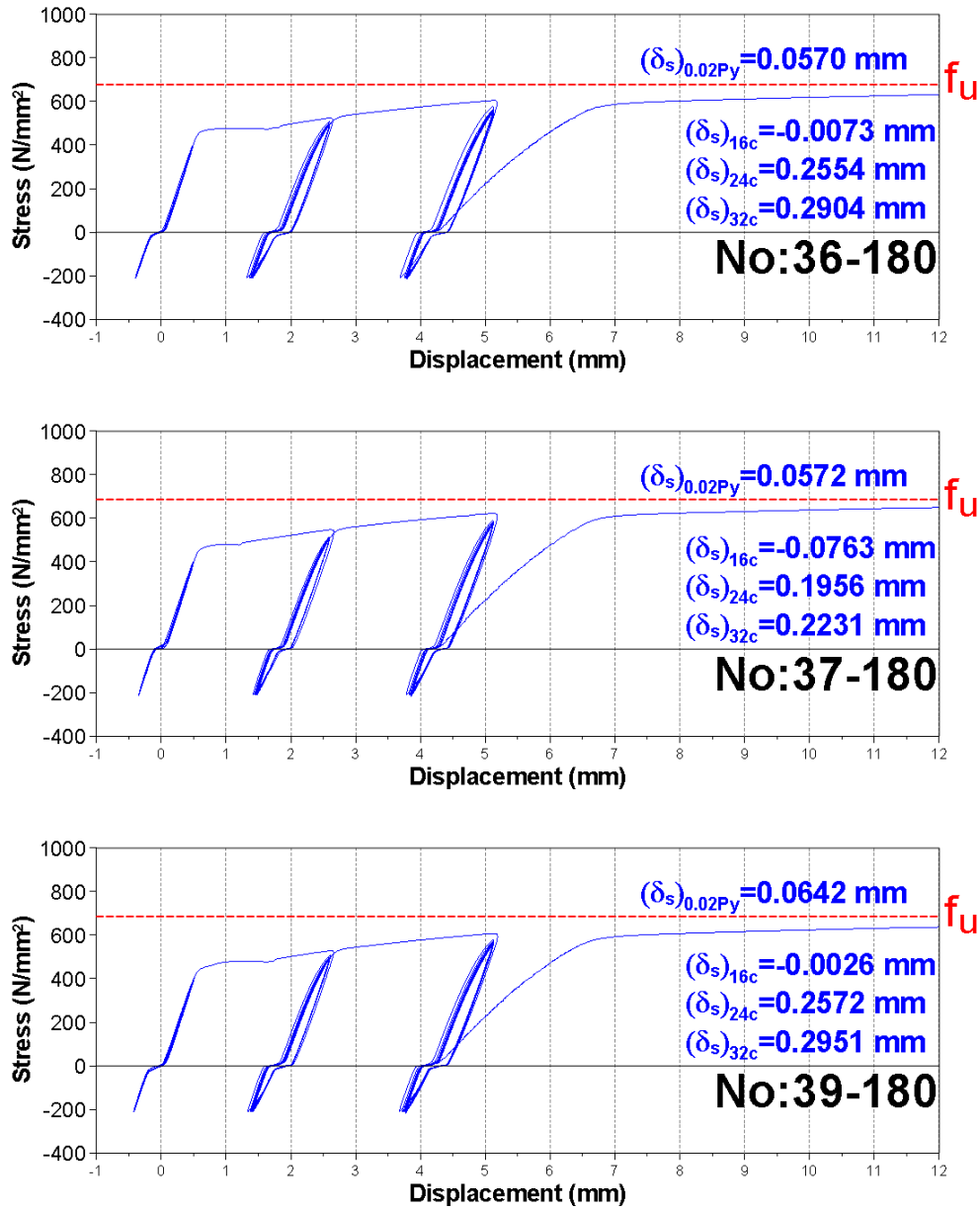


圖 3-13 SD420W-D25 鋼筋續接組件(逆旋半圈)之高塑性反復負載試驗結果

(資料來源：本研究製作)

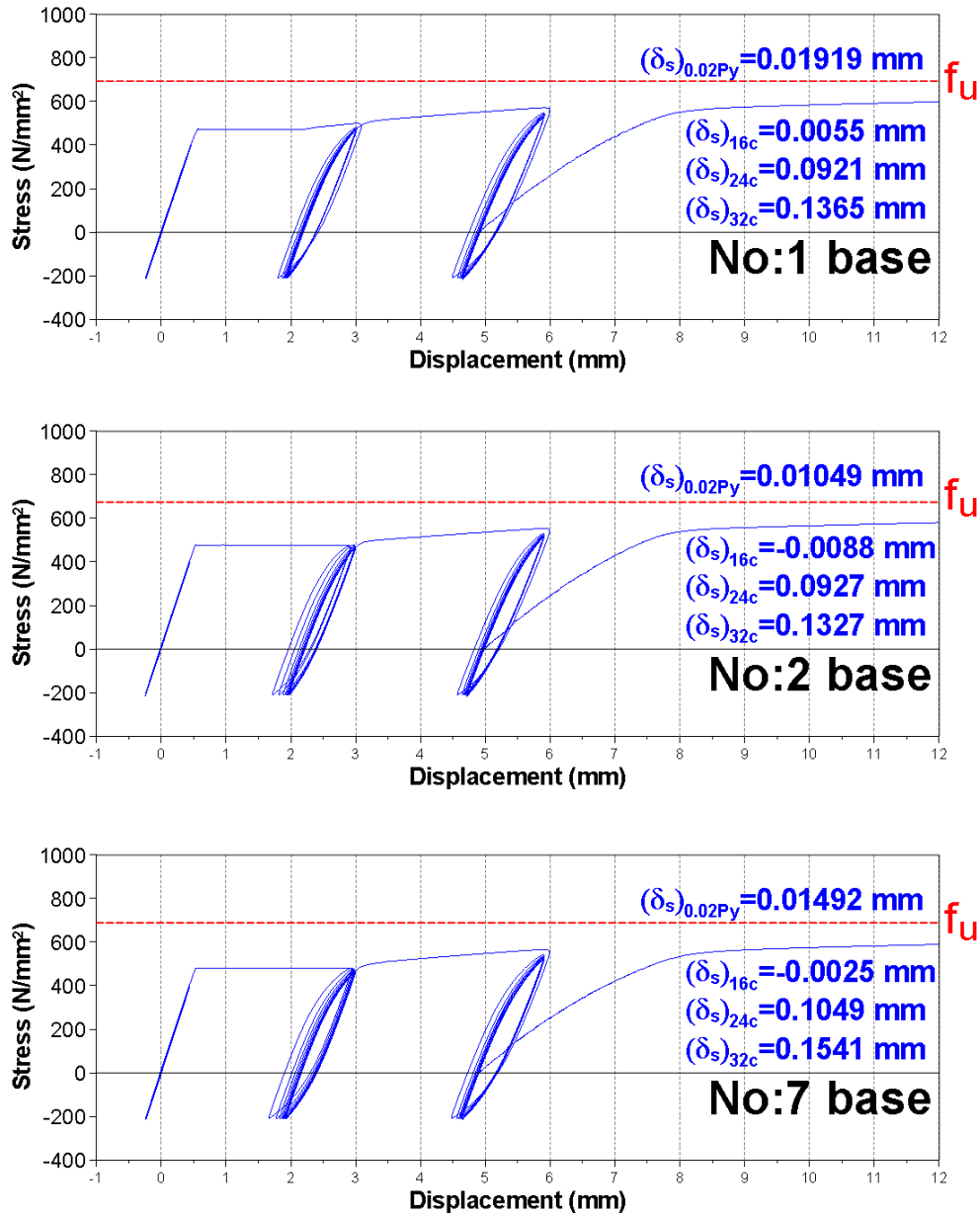


圖 3-14 SD420W-D36 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果
(資料來源：本研究製作)

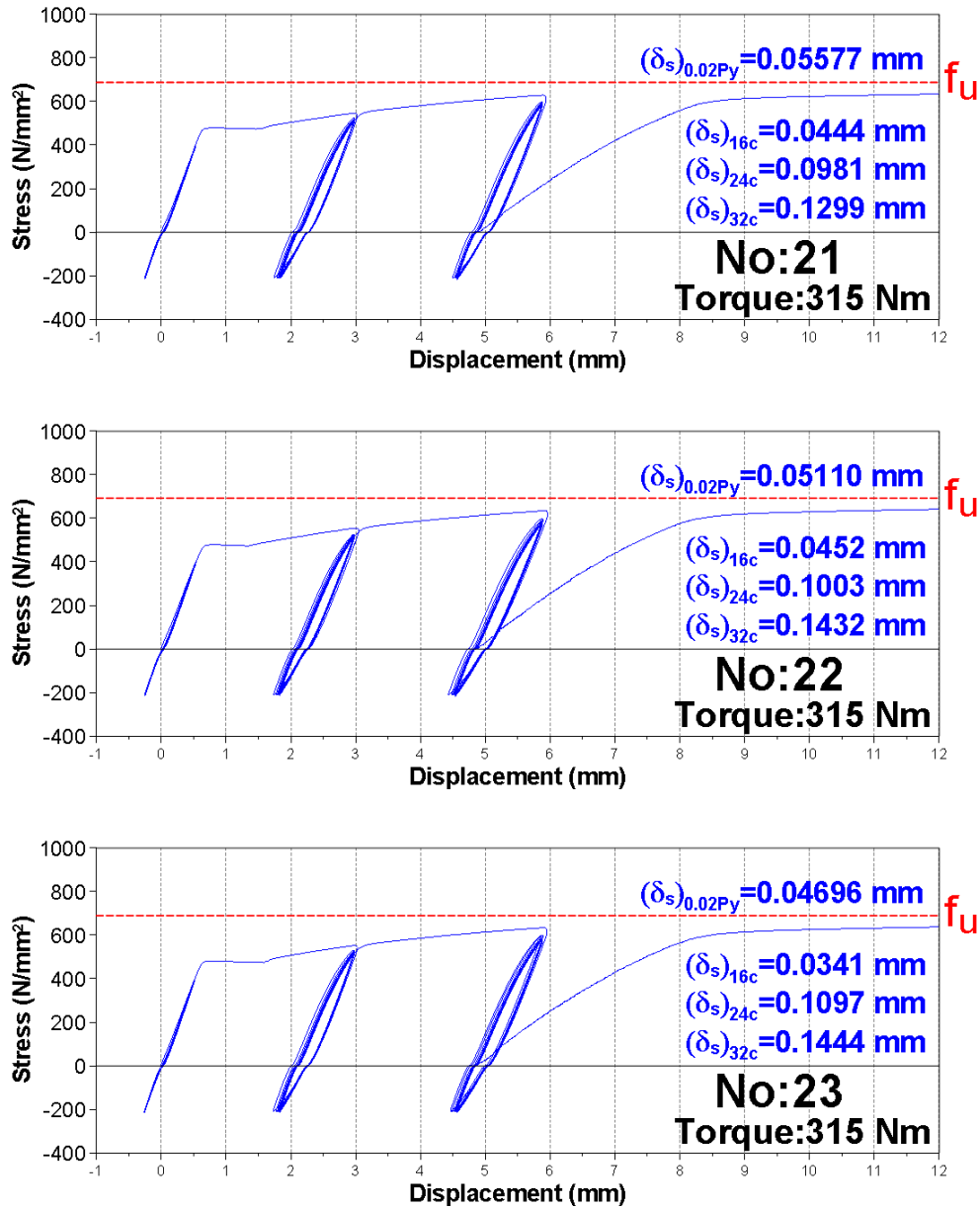


圖 3-15 SD420W-D36 鋼筋續接組件(標稱扭力鎖緊)之高塑性反復負載試驗結果

(資料來源：本研究製作)

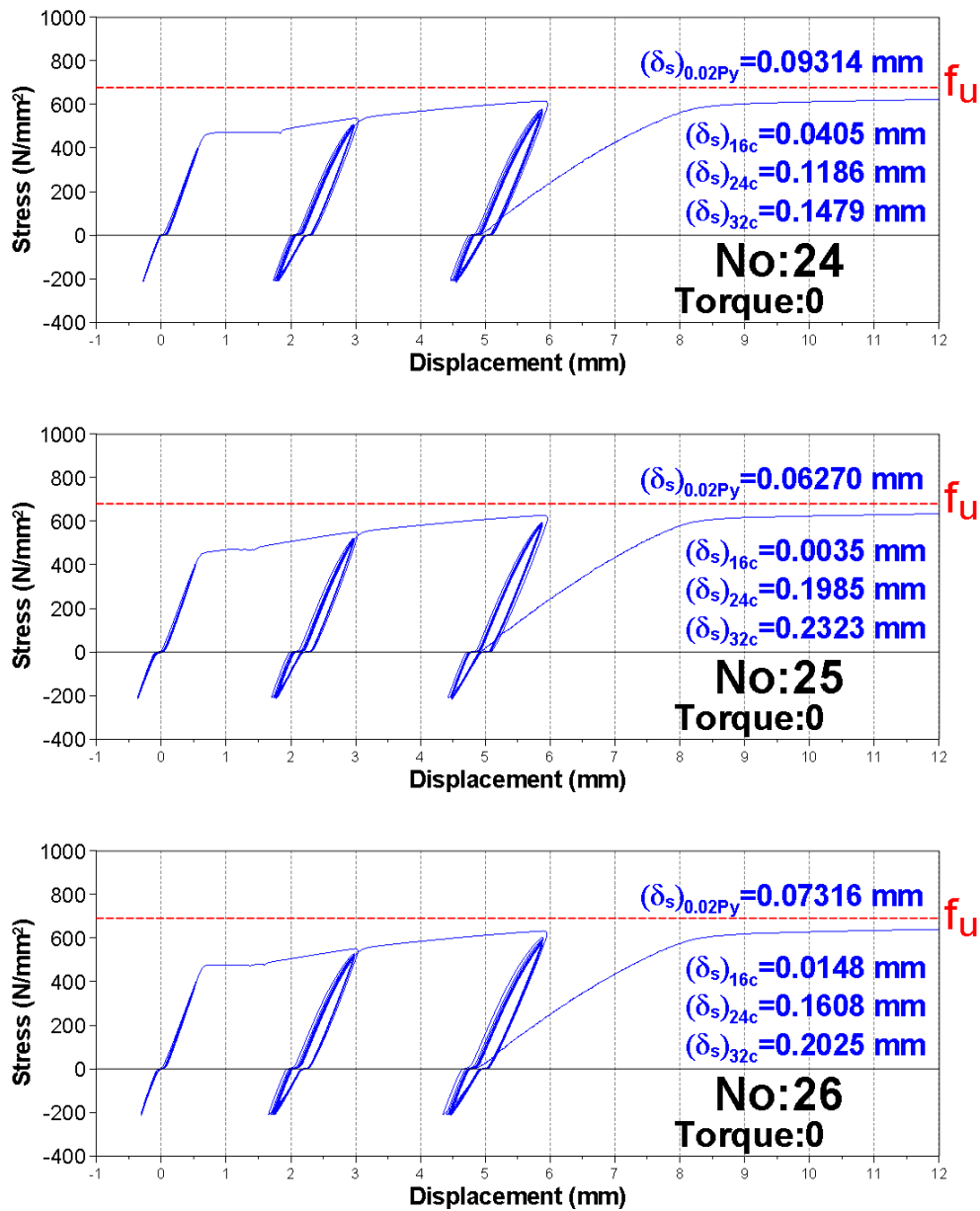


圖 3-16 SD420W-D36 鋼筋續接組件(徒手旋緊)之高塑性反復負載試驗結果

(資料來源：本研究製作)

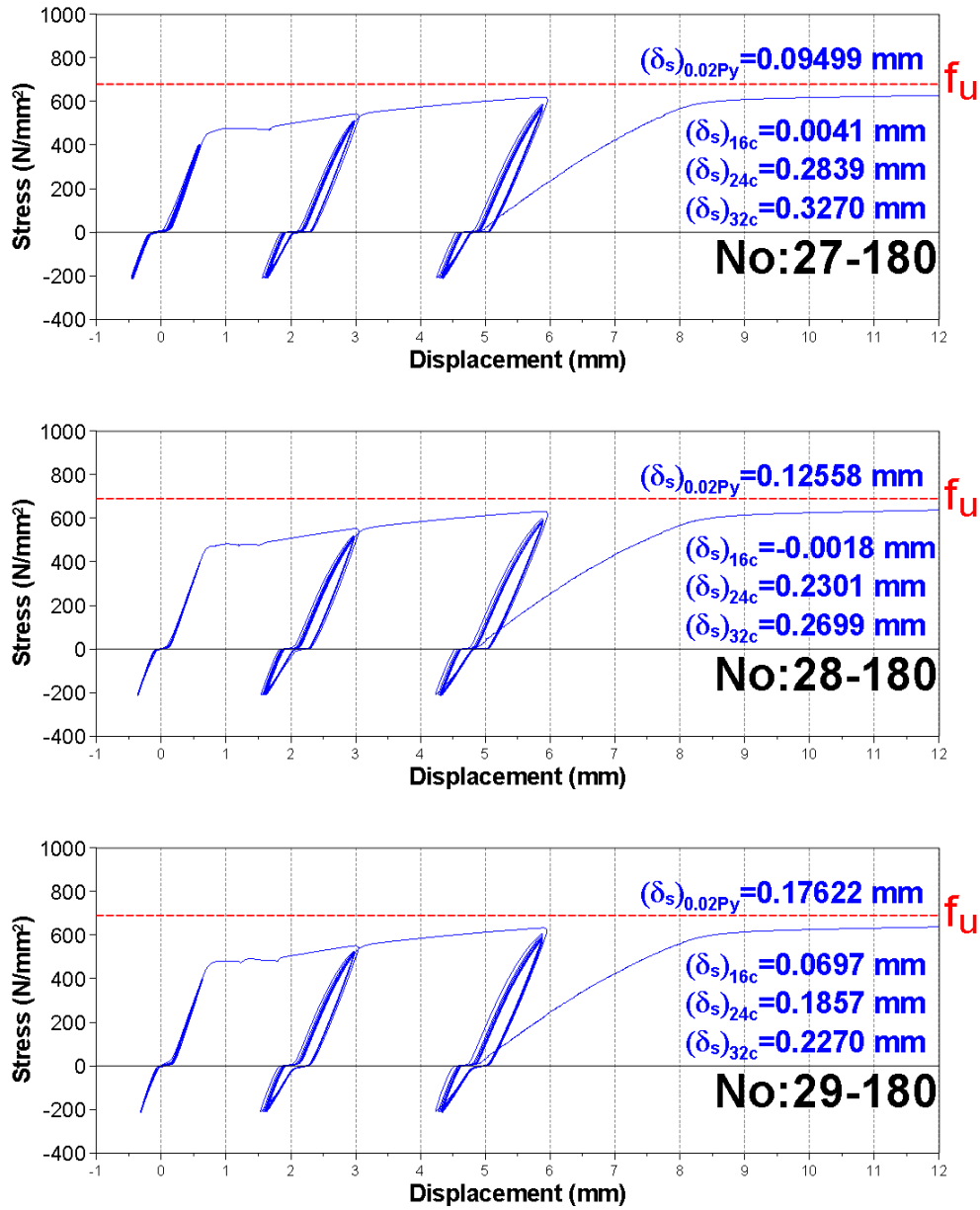


圖 3-17 SD420W-D36 鋼筋續接組件(逆旋半圈)之高塑性反復負載試驗結果

(資料來源：本研究製作)

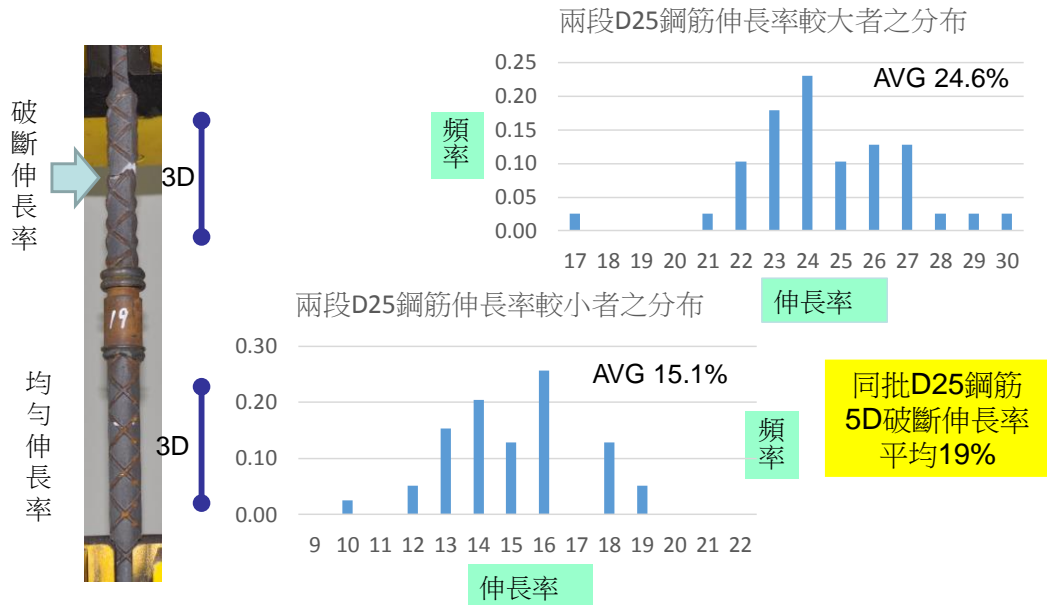


圖 3-18 SD420W-D25 鋼筋續接組件被續接鋼筋伸長率比較
(資料來源：本研究製作)

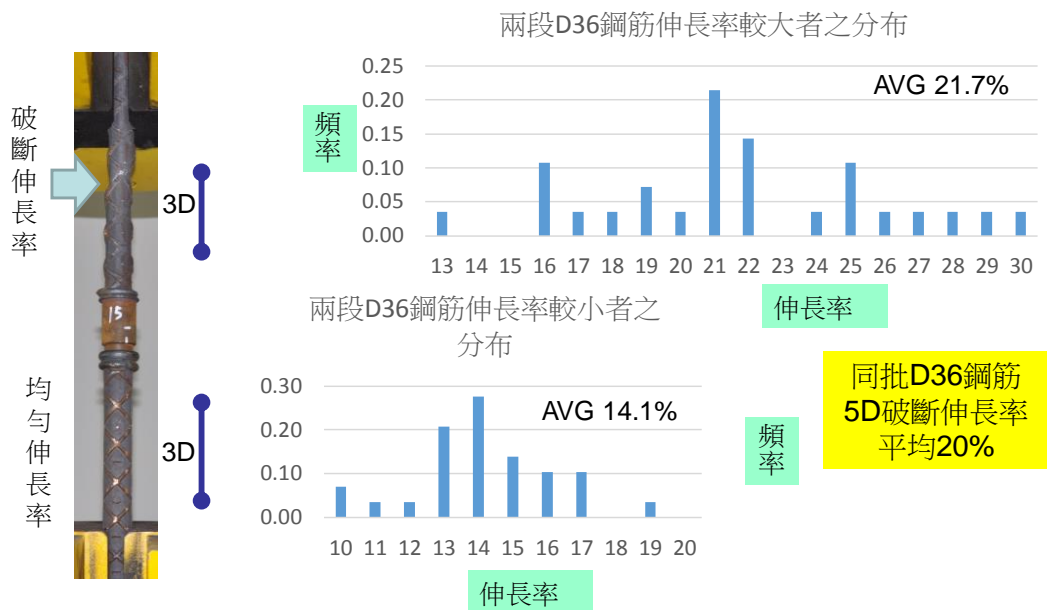


圖 3-19 SD420W-D36 鋼筋續接組件被續接鋼筋伸長率比較
(資料來源：本研究製作)

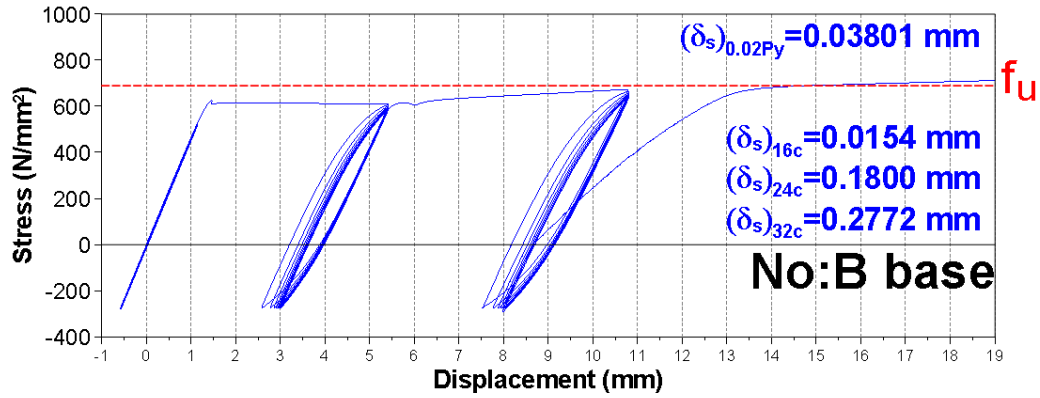


圖 3-20 SD550 D38 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果
(資料來源：本研究製作)

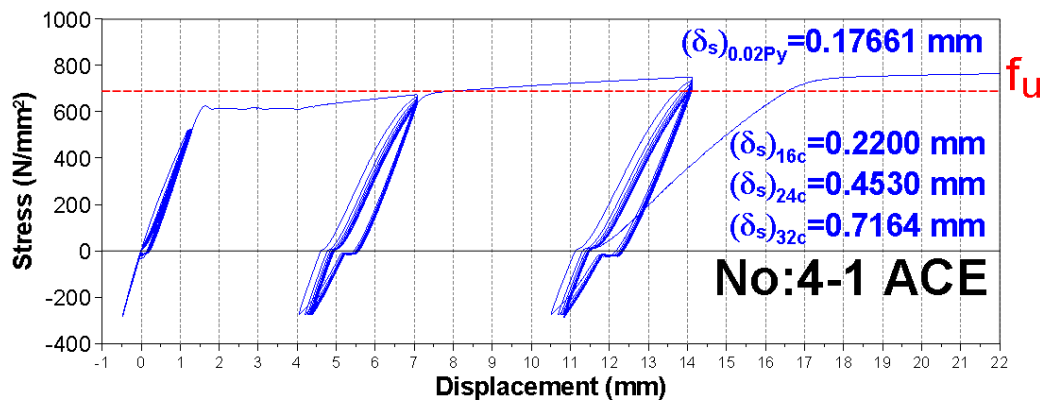


圖 3-21 SD550 D38 螺紋節鋼筋續接組件高塑性反復負載試驗結果
(資料來源：本研究製作)

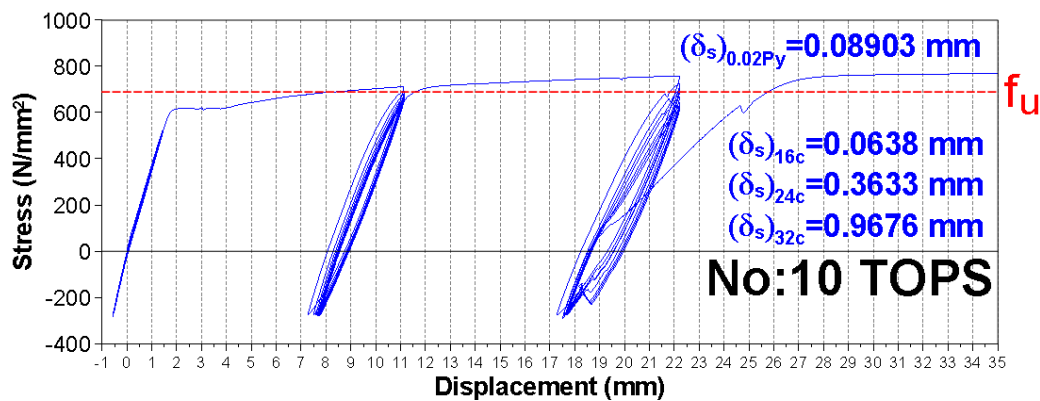


圖 3-22 SD550 D38 鋼筋續接套管組件高塑性反復負載試驗結果
(資料來源：本研究製作)



圖 3-23 SD550 D38 螺紋節鋼筋續接組件破壞模式-斷筋
(資料來源：本研究製作)



圖 3-24 SD550 D38 鋼筋續接套管破壞模式-拔出
(資料來源：本研究製作)

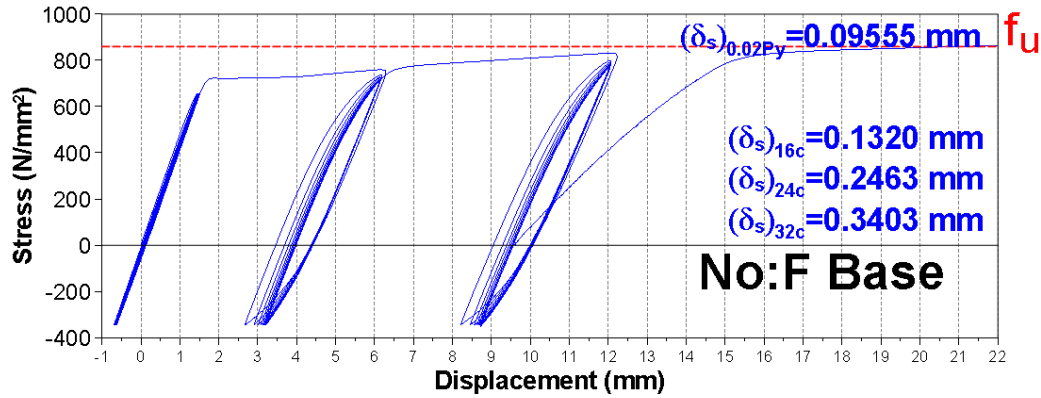


圖 3-25 SD690 D38 鋼筋母材高塑性反復負載試驗結果
 (資料來源：本研究製作)

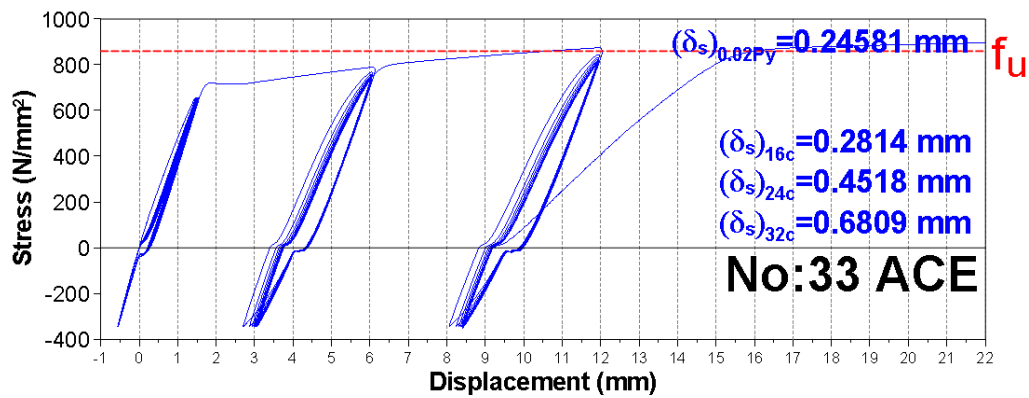


圖 3-26 SD690 D38 螺紋節鋼筋續接組件高塑性反復負載試驗結果
 (資料來源：本研究製作)

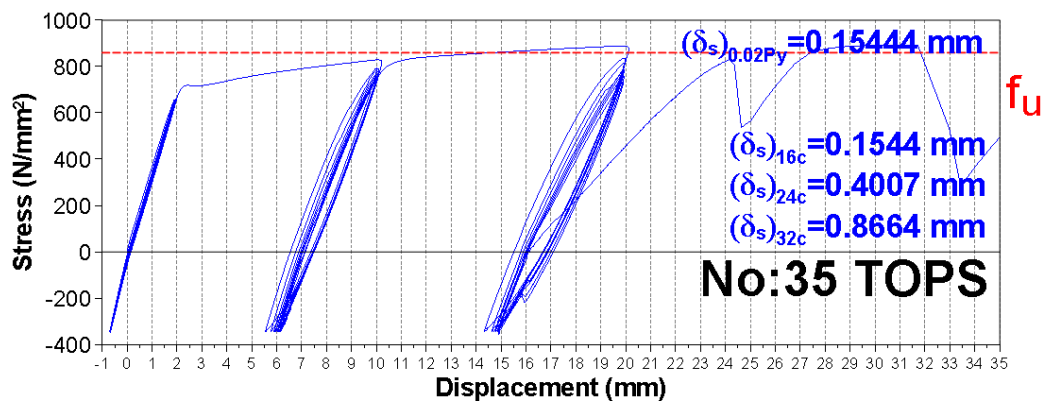


圖 3-27 SD690 D38 鋼筋續接套管組件高塑性反復負載試驗結果
 (資料來源：本研究製作)

第四章 梁彎曲試驗

為檢討續接組件單向拉伸試驗滑動量可接受值 0.3 mm 是否會影響構件使用性，本研究特別準備不完全密合之螺紋接頭，控制初始滑動量平均值約為 0.23 mm。然後製造以混凝土(置於鋼模具澆置普通混凝土) 包覆鋼筋續接組件試體，如圖 4-1 所示，但由於混凝土塊長度僅 15 cm，經過拉伸試驗發現以 $0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0.02P_y$ 程序試驗，鋼筋續接器雖然應該有滑動量但是混凝土塊表面沒有任何裂紋可以量測。顯然包覆長度 15 cm 不足以誘發裂縫，日後類似研究應採用更長之包覆長度。經過檢討，本研究最後設計 4 組 8 座鋼筋混凝土梁構件執行抗彎試驗，直接以梁構件試驗來檢核勁度及裂紋寬度，本章各節將討論試驗結果。

第一節 以梁抗彎試驗檢討使用性

本研究共製造 4 組 8 座鋼筋混凝土梁，標準試體 A 斷面配筋如圖 4-2 所示，底層拉力鋼筋為三支連續的 SD 420W #8(D25)鋼筋；續接性能檢核之試體 B、C、D 與試體 A 完全相同，除了底層筋鋼筋在中央處採用機械式續接，如圖 4-3 所示，試體 B 三支底層筋皆鎖緊密合(以標稱扭力值拴緊)，試體 C 三支底層筋皆不密合(殘餘滑動量目標值 0.25 mm)，試體 D 三支底層筋僅一支密合另兩支不完全密合。

以圖 4-4 之試驗佈置執行簡單梁彎曲試驗，底部支承跨度為 3 m，頂部荷載處內跨度為 200 mm，在中央 200 mm 範圍為純彎矩區無剪力鋼筋之干擾。梁彎曲試驗目的在使用載重下測試構件勁度及裂紋寬度，故加載程序設定為力量控制 $0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0 \rightarrow$ 彎曲破壞，在各階段皆暫停以顯微攝影紀錄裂紋寬

度。裂紋寬度量測位置為距離梁底面 15 mm，中央試驗區最顯著之撓曲裂縫。

本研究測試鋼筋混凝土梁彎曲試驗檢覈構件使用性能，係參考 2008 年 Coogler 等人[38]之研究方法，他們研究鋼筋偏心機械式搭接行為，其試驗佈設如圖 4-5 所示，除續接組件以拉伸試驗量測滑動量外，另以鋼筋混凝土梁彎曲試驗來比對連續鋼筋與機械續接對構件性能之影響。2014 年 Sayadi 等人[39]研究鋼筋以灌漿填充續接套管之握裹行為時，也是執行續接組件拉伸試驗及梁構件彎曲試驗，如圖 4-6 所示，由於續接套管長度及勁度高於鋼筋，其續接位置採取不對稱配置。而 2015 年 Phuong and Mutsuyoshi [40]研究螺紋節鋼筋續接器性能，除續接組件拉伸試驗外，如圖 4-7 所示，也是執行鋼筋混凝土梁彎曲試驗，注意其試體設計為四支主筋錯開續接位置，圖 4-8 之加載程序可供借鏡。

第二節 試體製造及材料性質

本研究共製作 4 組 8 座試體，試體 ABCD 各製造兩支作試驗，試體製造過程部分照片如圖 4-9 所示，一次澆置 4 支梁，分兩批次澆置。混凝土設計抗壓強度 f'_c 為 28 MPa，每批次澆置取樣 6 個圓柱試體採標準養護 28 天測試抗壓強度，第一批平均值為 34.5 MPa，第二批平均值為 37.3 MPa，均在合理範圍。

梁構件所使用之鋼筋續接器與第三章試驗是相同型號但不同批次製造，重新取樣鋼筋母材執行拉伸試驗，實測降伏點平均值為 479 MPa，實測抗拉強度平均值為 669 MPa，5D 伸長率平均值為 19.5%，機械性質與第三章試驗之鋼筋相近。

每支試體底層筋在距離跨度中央 ± 100 mm 處有黏貼電阻式應變計監測鋼筋之應變，在彈性階段可以乘以 E_s 轉換為鋼筋應力。

第三節 梁試驗結果與討論

圖 4-10 及圖 4-11 分別為兩批次各 4 座梁試體受力-位移曲線，對照組試體 A 底層筋連續，試體 B 底層筋機械續接且密合之梁勁度與試體 A 相近，但是底層筋機械續接不完全密合之試體 C 或試體 D，都有勁度降低之情形。注意試體 C 跟 D 因為底層筋不完全密合，底層鋼筋與鋼筋之應力分布較不平均，鋼筋沒有同時降伏，所以降伏點較不明顯，降伏點不明顯不會影響實際結構安全，試體 C 和試體 D 較大的問題是加載 $0.60P_y$ 及 $0.95P_y$ 後卸載之殘餘變形較顯著，因為其底層筋機械續接處不完全密合，歸咎於續接處的滑動量。

表 4-1 列出 4 組 8 座試體載重各階段之撓曲裂縫寬度，注意底層筋機械續接且密合之試體 B 裂紋寬度甚至比試體 A 還小，但是底層筋不完全密合之試體 C 跟 D，各階段裂紋寬度皆大於試體 A 和 B，注意表 4-1 第(4)欄代表構件使用載重下之裂紋寬度，續接處密合之試體 B 裂紋寬度確實在 0.3 mm 以下，但試體 C 跟 D 裂紋寬度達 0.6 mm 以上。注意表 4-1 第(9)欄殘餘裂紋寬度，此值與第三章單體試驗之殘餘滑動量相關，續接處密合之試體 B 裂紋寬度確實在 0.12 mm 以下，但試體 C 跟 D 裂紋寬度已經逼近甚至超過 0.3 mm。

圖 4-12 是 $0.60P_y$ 載重下之鋼筋應力量測值，理論值約 252 MPa，試體 A 和 B 量測值顯示與理論值接近且三支鋼筋平均分布。但是續接處密合程度不一的試體 C 和 D，可以發現三支鋼筋應力分布不平均，其中試體 D 應變計讀數顯示，續接較密合的鋼筋會承受較高的應力先達到降伏，續接較不密合的鋼筋應力較低，這也造成試體 C 和 D 加載至 $0.95P_y$ 時有部分鋼筋先降伏，卸載後有較顯著的殘餘裂縫。

表 4-1 梁彎曲試驗之裂縫寬度(單位 mm)

試體	0.6Py	0	0.6Py	0	0.95Py	0	0.95Py	0
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
A-1	0.42	0.15	0.43	0.15	0.63	0.16	0.65	0.17
A-2	0.27	0.07	0.30	0.07	0.44	0.07	0.44	0.08
B-1	0.05	0.01	0.05	0.02	0.08	0.03	0.08	0.02
B-2	0.15	0.07	0.16	0.09	0.17	0.10	0.19	0.12
C-1	0.79	0.24	0.81	0.27	1.16	0.32	1.17	0.33
C-2	0.79	0.25	0.78	0.27	1.01	0.32	1.02	0.33
D-1	0.69	0.23	0.69	0.25	0.97	0.26	0.97	0.26
D-2	0.59	0.16	0.70	0.19	1.14	0.30	1.22	0.31

註：加載程序為 $0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0 \rightarrow 0.60P_y \rightarrow 0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0 \rightarrow 0.95P_y \rightarrow 0 \rightarrow$ 彎曲破壞

(資料來源：本研究製作)

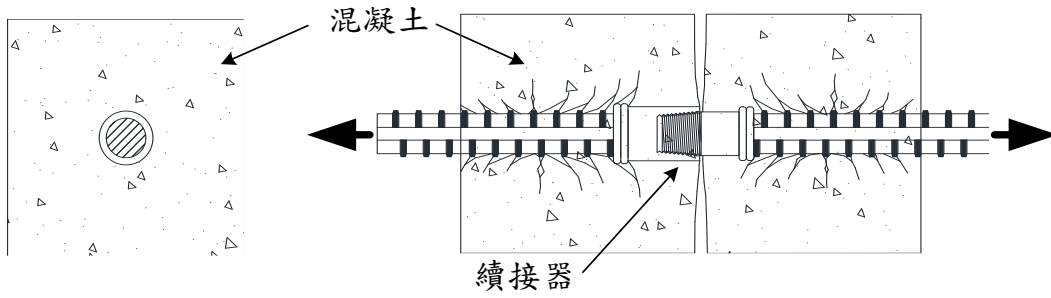


圖 4-1 特製鋼筋續接組件包覆混凝土試體之滑動試驗
(資料來源：本研究製作)

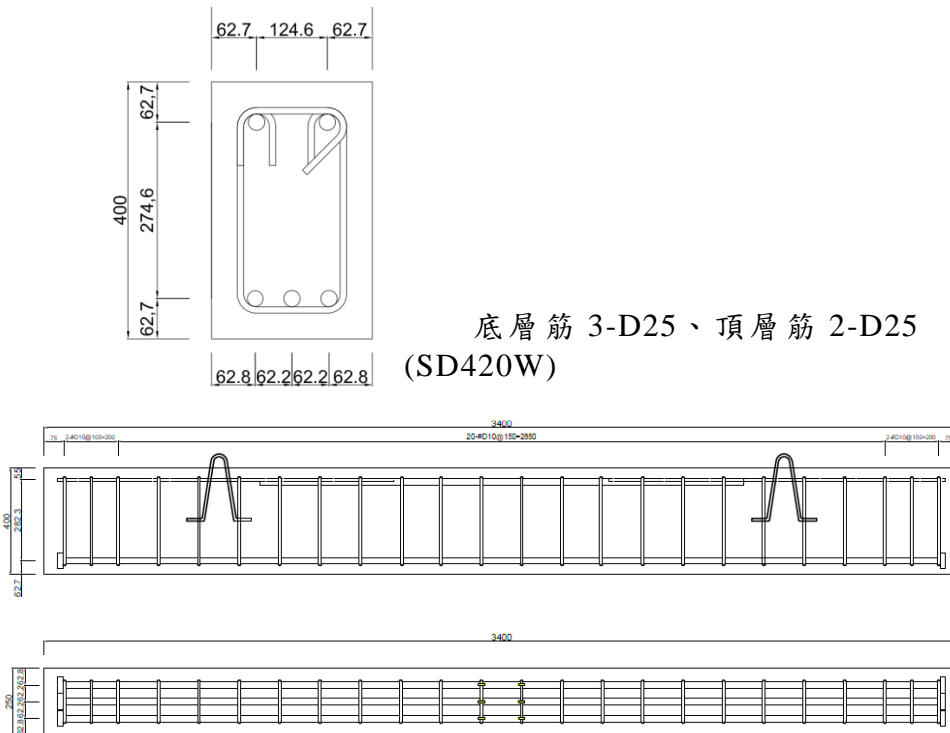
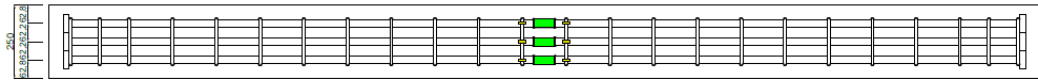
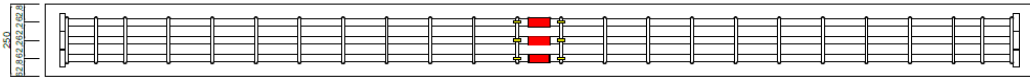


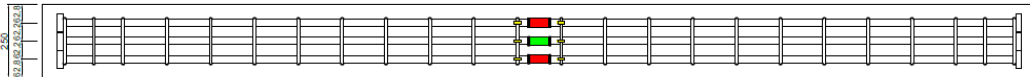
圖 4-2 梁彎曲試驗標準試體 A 斷面配筋圖
(資料來源：本研究製作)



試體 B 底層筋機械式續接(三支鎖固密合)



試體 C 底層筋機械式續接(三支皆不密合)



試體 D 底層筋機械式續接(中央密合、兩側不密合)

圖 4-3 梁彎曲試驗續接試體 BCD 底層筋續接情況

(資料來源：本研究製作)

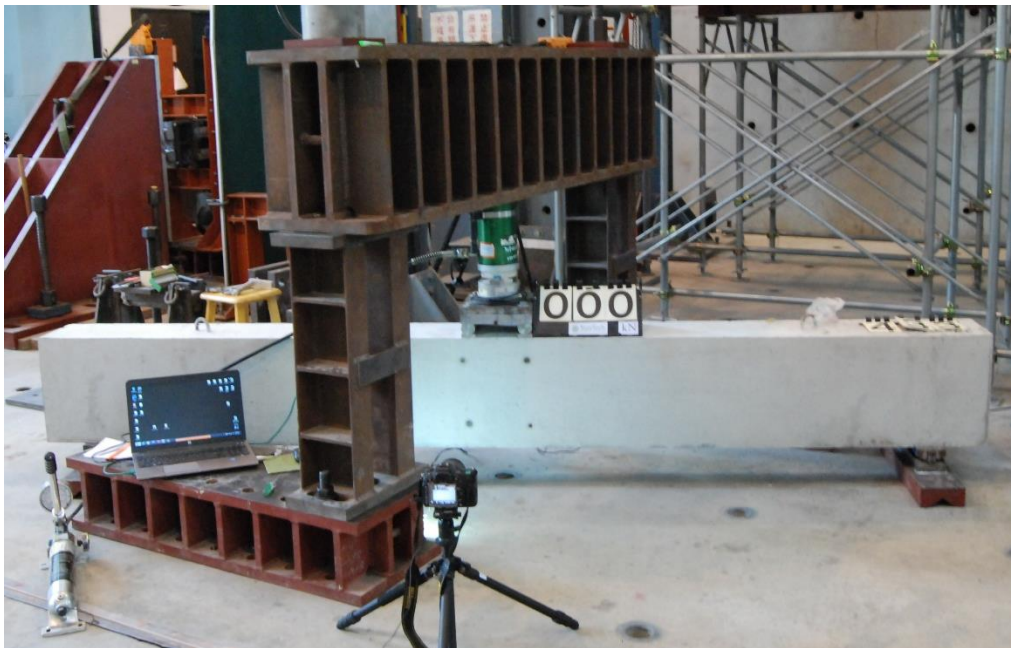


圖 4-4 梁彎曲試驗佈置

(資料來源：本研究製作)

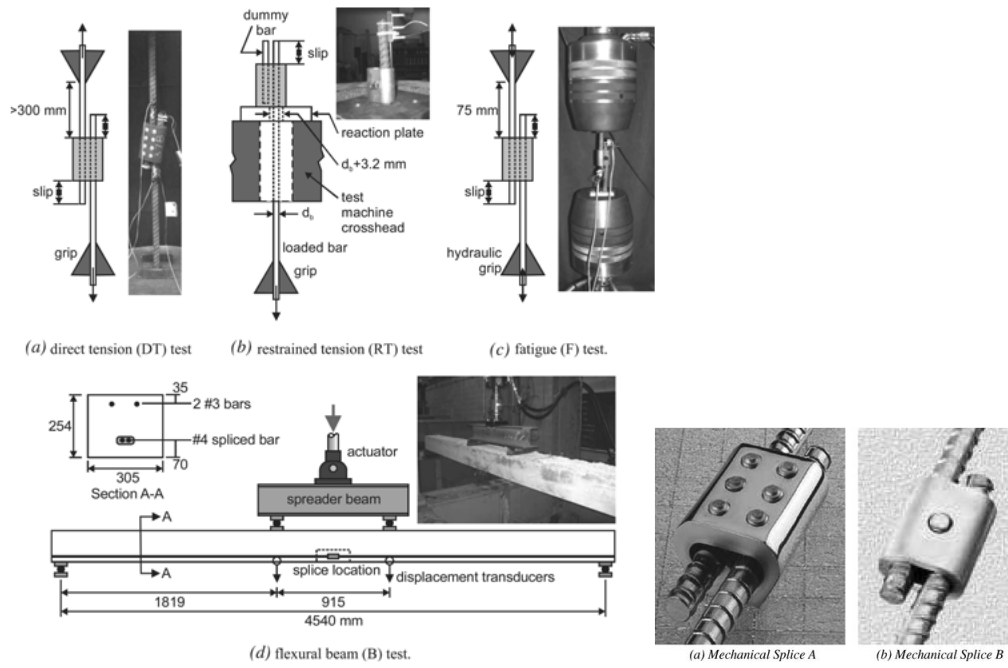


圖 4-5 Coogler 等人研究鋼筋偏心機械式搭接行為之試驗佈設
(資料來源：參考書目[38])

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

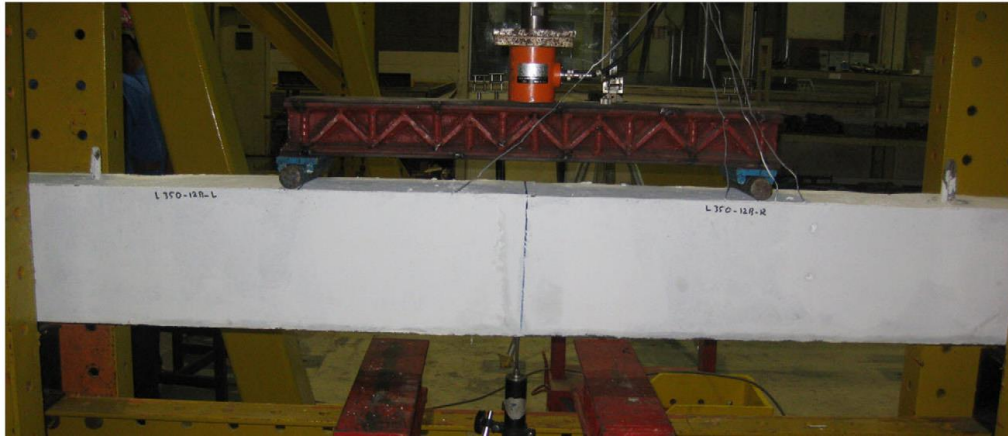
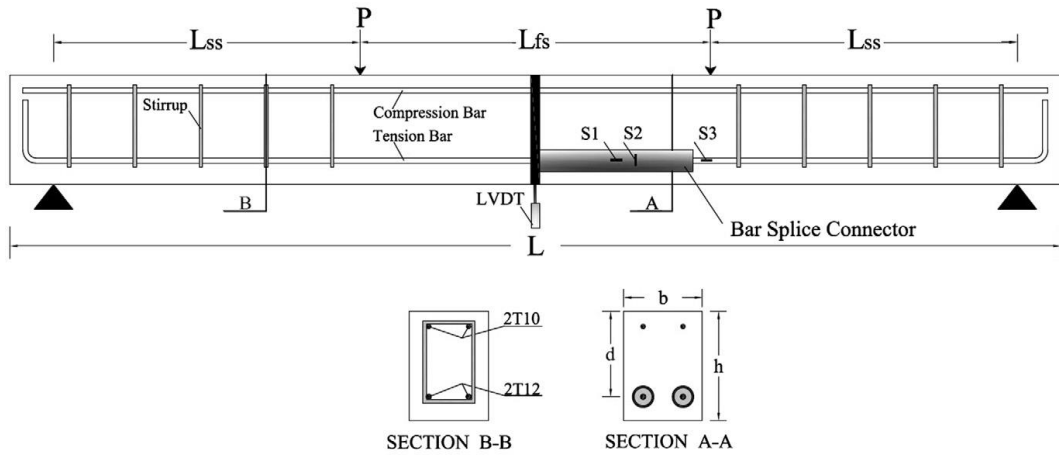


圖 4-6 Sayadi 等人研究灌漿填充續接套管續接鋼筋之實驗

(資料來源：參考書目 [39])

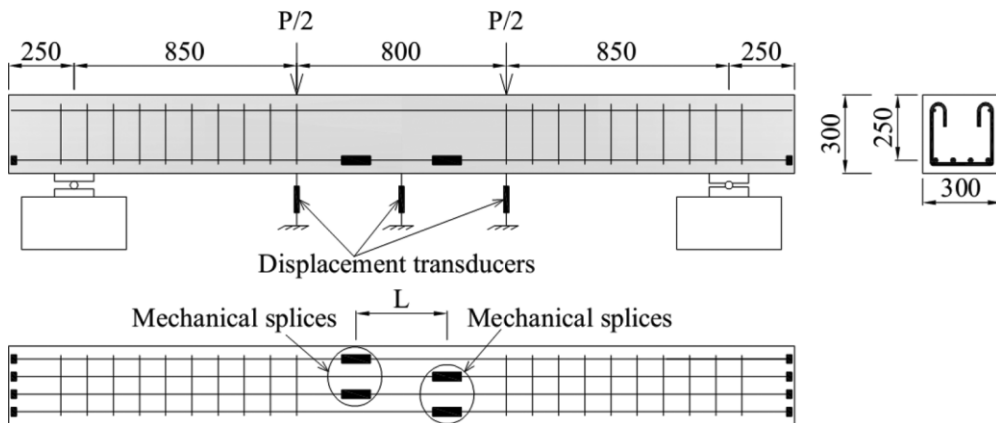


圖 4-7 Phuong and Mutsuyoshi 研究混凝土梁主筋機械續接之實驗

(資料來源：參考書目 [40])

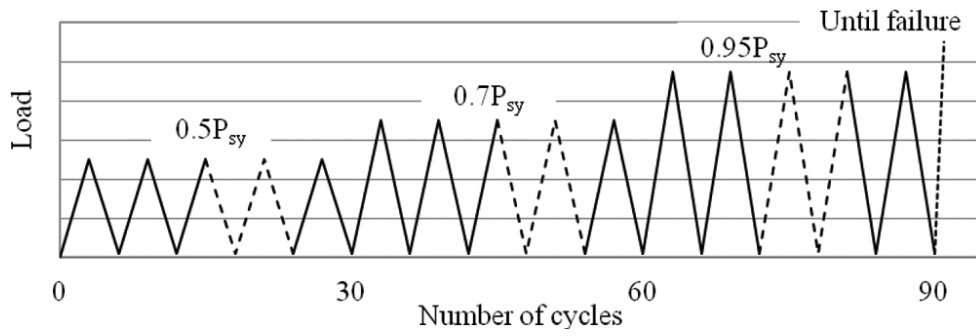


圖 4-8 Phuong and Mutsuyoshi 實驗之加載程序
(資料來源：參考書目[40])



圖 4-9 梁試體製作之部分照片
(資料來源：本研究製作)

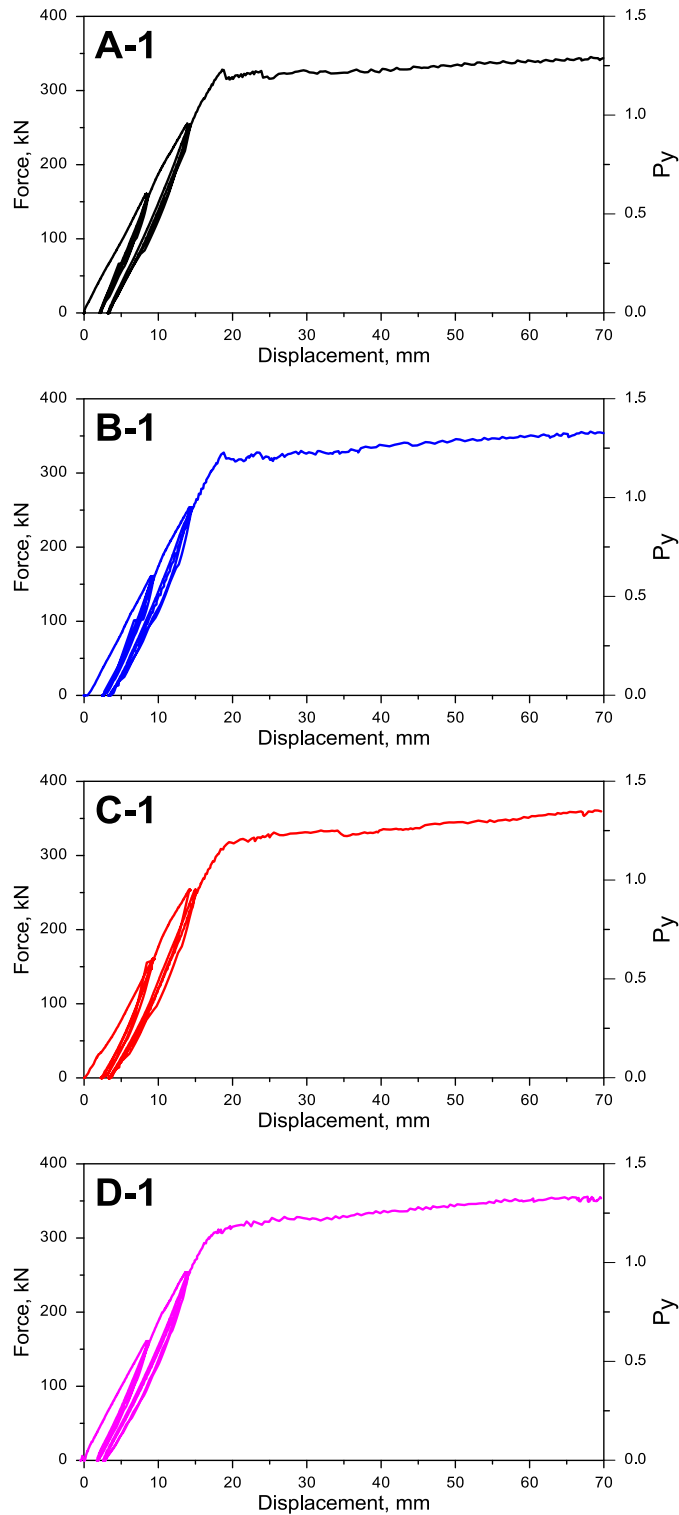


圖 4-10 第一批澆鑄 4 座梁試驗力-位移曲線
(資料來源：本研究製作)

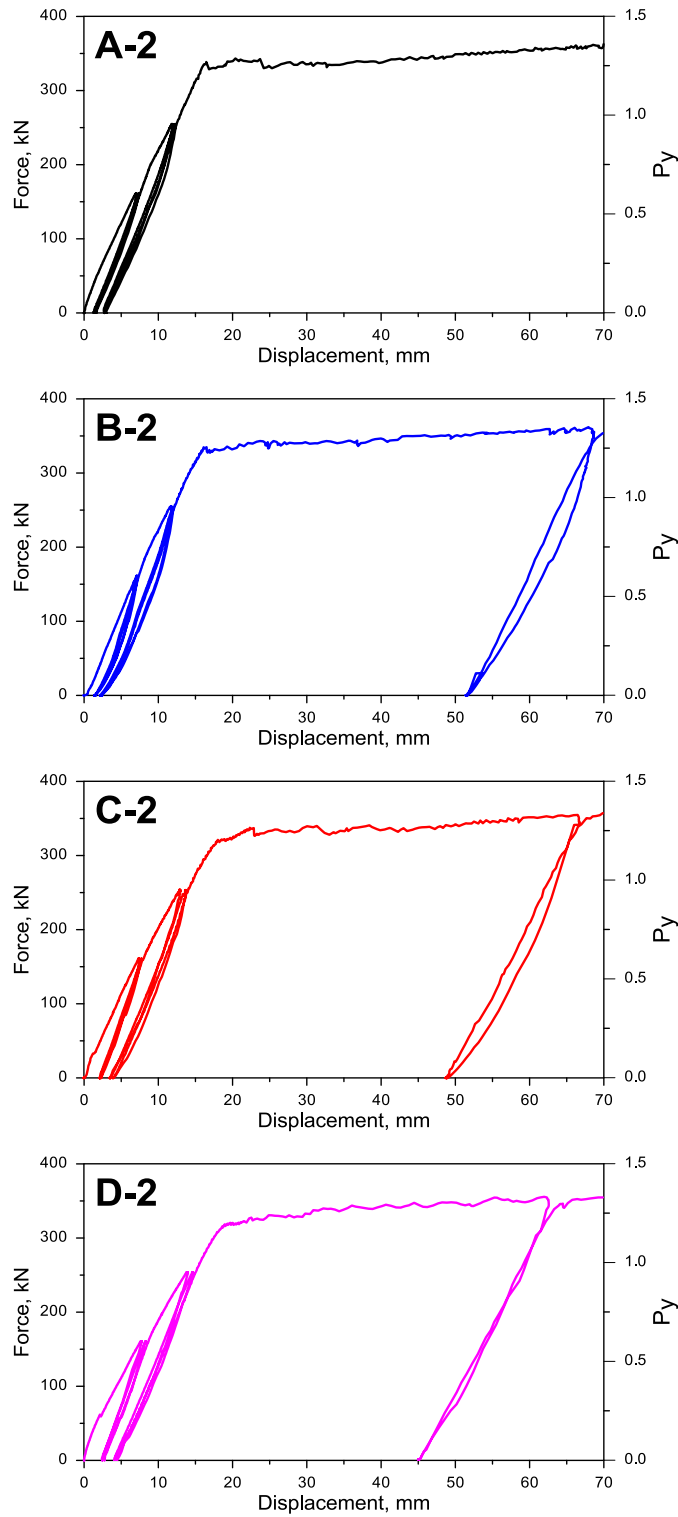


圖 4-11 第二批澆鑄 4 座梁試驗力-位移曲線
(資料來源：本研究製作)

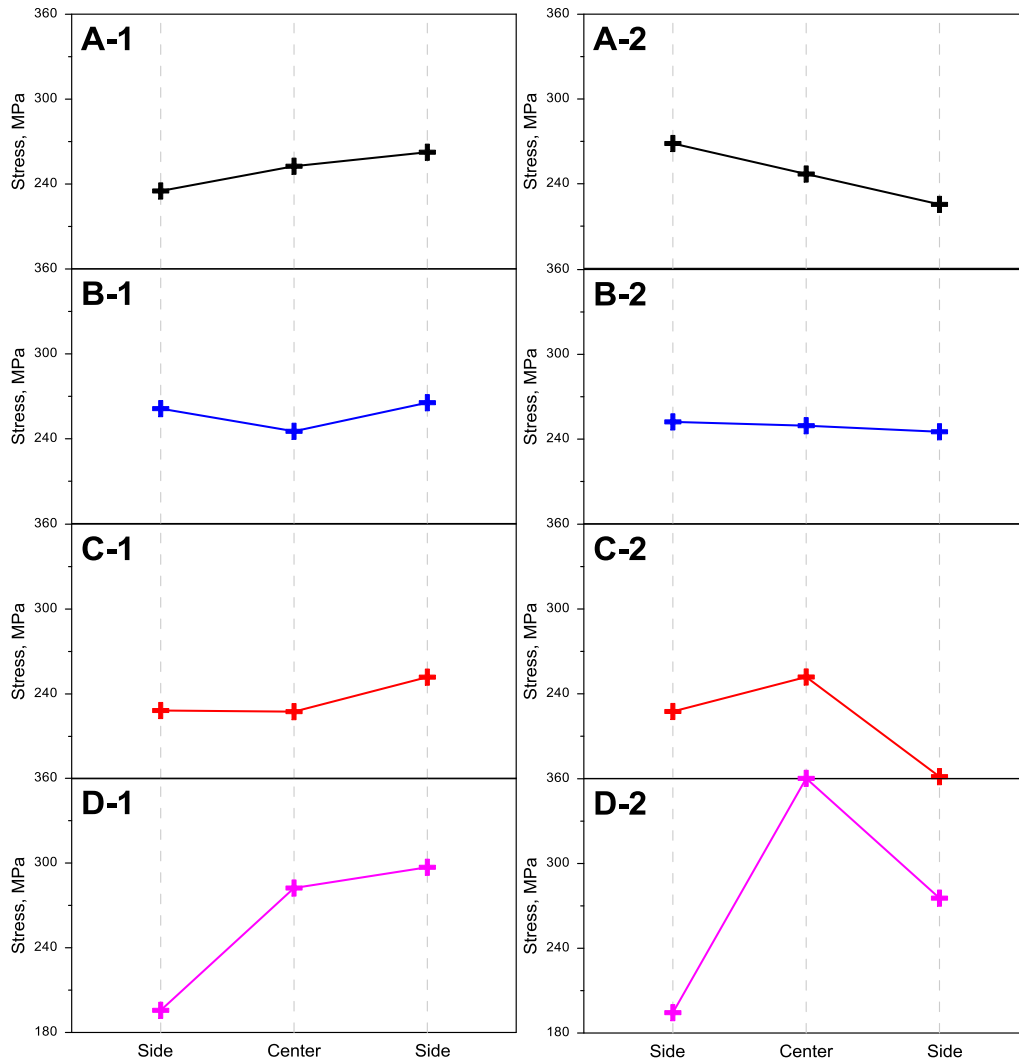


圖 4-12 梁試體主筋在 0.60Py 情況下之鋼筋應力分布
(資料來源：本研究製作)

第五章 結論與建議

第一節 結論

鋼筋及續接器施工品質攸關公眾生命財產安全，需要嚴格的品質檢驗。鋼筋屬於工業規格品，經濟部訂有國家標準 CNS 560「鋼筋混凝土用鋼筋」規定製造方法、形狀尺度、品質檢驗及標示，其中品質檢驗包含外觀節尺度、化學及物理性質試驗方法及合格要求。然而，鋼筋實際施工必須續接，取代搭接工法之機械式續接具有產品及施工多樣性，不適合制定工業規格，故經濟部 104 年新訂之 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」只有規定試驗方法，至於檢驗頻率及合格標準，應由主管機關考量土木與建築工程特性不同另定規範之。

我國每年鋼筋續接器市場用量為 2400 萬至 3000 萬個，土木與建築工程大約各半，現行內政部頒版「混凝土結構設計規範」僅第 5.15.3.3 節要求機械式續接器續接應發展其抗拉強度至少達鋼筋最小降伏強度之 1.25 倍外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率等規定，但規範本文並沒有規定相關合格標準，導致業界多引用十幾年前的舊規範(土木 401-86 附錄乙、內政部「鋼筋續接施工規範及解說草案等)，這些舊規範均已逾十年未更新且試驗法牴觸 CNS 15560，部分試驗項目之合格標準過於嚴苛或是不一致，衍生爭議造成業界之困擾，本研究建議內政部營建署修訂「混凝土結構設計規範」第 15.3.6.4 節並更新「混凝土結構技術規範」第 18.2.7.1 節規範條文及解說，並於規範新增一專節規定鋼筋機械式續接品質檢驗準則，包括性能判別、施工檢查、取樣頻率、試驗程序及合格標準，提升鋼筋機械續接之品質管制水準，維護國人生命財產安全。

本研究按 CNS 15560 試驗法執行超過 100 組鋼筋機械式續接組件單向拉伸及滑動試驗、高塑性反復荷載試驗、續接器埋置於混凝土之組件拉伸、及梁構件彎曲試驗，研究修正建築工程鋼筋機械式續接性能合格標準及檢驗準則。本研究建議如后。

第二節 建議

本研究進行建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究，提出下列具體建議。

建議一

修正「混凝土結構設計規範」第 15.3.6.4 節條文及解說並增加一專節規定檢驗準則：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、中國土木水利工程學會

部頒版「混凝土結構設計規範」第 15.3.6.4 節僅要求第一類或第二類鋼筋機械續接接合強度須達鋼筋規定降伏強度之 1.25 倍或規定拉力強度以上，尚欠缺其他續接性能如滑動量、伸長率及承受多次反復之非彈性應變之合格標準。本研究建議新增一專節規定鋼筋機械式續接品質檢驗準則，草案如附錄一所示包含性能判別、施工檢查、取樣頻率、試驗程序及合格標準。其中試驗程序、滑動量計算及合格標準有些微修正以提高試驗之可靠度及正確性。

建議二

修正新版「混凝土結構技術規範」(草案)第 18.2.7.1 節條文及解說並增加一專節規定檢驗準則：中長期建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、中國土木水利工程學會

新版「混凝土結構技術規範」草案第 18.2.7.1 節僅要求第一類或第二類鋼筋機械續接須能使被續接鋼筋發展至規定降伏強度之 1.25 倍或最小抗拉強度以上，尚欠缺其他續接性能如滑動量、伸長率及承受多次反復之非彈性應變之合格標準。本研究建議新增一專節規定鋼筋機械式續接品質檢驗準則，草案如附錄一所示包含性能判別、施工檢查、取樣頻率、試驗程序及合格標準。其中試驗程序、滑動量計算及合格標準有些微修正以提高試驗之可靠度及正確性。

附錄一 規範修正草案

本研究建議新版「混凝土結構技術規範」新增

第二章符號與名詞定義 (26.6.5 節新增之符號)

2.2 符號

E_j = 鋼筋續接試體加載取 $0.05P_y$ 至 $0.70P_y$ 擷取之割線勁度，
kgf/cm² [MPa]。

L_g = 量測鋼筋續接試體軸向變形之標定長度，cm [mm]。

$P_y = A_b f_y$ ，對應於鋼筋最小規定降伏強度之軸向力，kgf [N]。

δ_s = 單向拉伸試驗加載至 $0.95P_y$ 再減載至 $0.02P_y$ 時之殘留滑動量，cm [mm]。

$(\delta_s)_{30c}$ = 重複負載試驗加載至 $0.95P_y$ 再減載至 $0.02P_y$ 重複30回時之殘留滑動量，cm [mm]。

$(\delta_s)_{16c}$ = 高塑性反復負載試驗施加拉力至 $0.95P_y$ ，再反向加壓至 $-0.50P_y$ 重複16回到標稱零載重之殘留滑動量，cm [mm]。

$(\delta_s)_{24c}$ = 高塑性反復負載試驗第24回測取之當次滑動量，cm [mm]。

$(\delta_s)_{32c}$ = 高塑性反復負載試驗第32回測取之當次滑動量，cm [mm]。

$\delta_y = L_g f_y / E_s$ ，鋼筋標稱降伏伸長量，cm [mm]。

第三章 參考標準(26.6.5 節新增之參考標準)

3.2 參考標準

3.2.1 中華民國國家標準(CNS)

CNS 2608 鋼料之檢驗通則

CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗法

18.2.7.1 機械式續接應分為(a)或(b)類：

- (a) 第一類 符合第25.5.7 節及26.6.5節規定之機械式續接。
- (b) 第二類 符合第 25.5.7 節及 26.6.5 節規定且能使被續接鋼筋發展至規定抗拉強度之機械式續接。

解說：

第二類機械式續接之額外規定係為使機械式續接能承受多次反復之非彈性應變。ACI 318 規範 1995 年版只規定第一類機械式續接須能發展 $1.25f_y$ 之抗拉或抗壓強度，惟相鄰鋼筋機械續接位置要交錯 60 cm 以上。1999 年後增加第二類機械式續接可使用於任何位置，但額外要求第二類機械式續接須能使被續接鋼筋發展至規定抗拉強度 f_u 。

我國 2015 年方訂定 CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗法，惟鋼筋機械式續接之檢驗頻率及合格標準則應由各主管機關另訂規範之。2015 年以前鋼筋機械式續接並無國家標準，業界多半參考其他續接器規範(中國土木水利工程學會 1998-混凝土工程設計規範與解說(土木 401-86)附錄乙；內政部營建署及內政部建築研究所 1999；中華民國結構工程學會 2007)，慣用之續接器依機械性能分成 SA 級與 B 級。本規範規定之第二類機械式續接性能與業界慣用之 SA 級相近，而第一類機械式續接性能則與 B 級續接相近，惟前開續接器規範試驗方法與 CNS 15560 有差異，經內政部建研所(李宏仁等人 2017)彙整各方意見建議新增 26.6.5 節規定鋼筋機械式續接之檢驗頻率及合格標準。

26.6.5 機械式續接

26.6.5.1 檢驗頻率

- (a) 鋼筋機械式續接檢驗包含施工前性能試驗及施工中品質檢驗。
- (b) 鋼筋機械式續接施工前應出具最近試驗室辦理相同製造廠同型號續接組件之性能試驗合格報告，並經監造單位核准。

解說：

鋼筋機械式續接之品質管制包含材料與施工，選擇續接器廠商時，要求該續接器廠商出具最近 3 年內試驗室辦理相同製造廠同型號續接組件之續接性能試驗合格報告，並經監造單位核准。

材料進場施工前執行一組續接性能試驗，每一種續接型式與不同

鋼筋強度等級之組合分別執行性能試驗，每一種續接型式與同一鋼筋強度等級、標稱直徑差未滿 8 mm 之組合，得以直徑較大者之性能試驗報告為代表。一組性能試驗包含表 26.6.5.1 之試驗項目，各項目至少取樣 3 個試體。

續接性能試驗之試體須與工地現場採用同一規格之材料及施工方法製作，具備材料證明並符合 CNS 15560 相關規定。例如具有公母螺紋接頭之機械式續接所需之鎖固扭矩值、壓合式續接套管之油壓機具規格、砂漿填充式續接器或續接套管所需之充填砂漿強度及工作度等。

(c) 鋼筋機械式續接施工期間施工廠商應全數作外觀檢查，並依下表辦理工地取樣執行 26.6.5.2 節之試驗。

表26.6.5.1 鋼筋機械續接施工期間最低取樣頻率

試驗項目	第二類機械式續接 取樣頻率	第一類機械式續 接取樣頻率
單向拉伸及滑動試驗	1/100	1/100
重複負載及滑動試驗	不適用	1/1000
高塑性反復負載試驗	1/1000	不適用

解說：

鋼筋機械續接組件進場各號數須分開取樣，每滿 100 個至少取樣 1 個(未滿 100 個亦須取樣 1 個)，執行 26.6.5.2 節單向拉伸及滑動試驗；第二類(SA 級)機械式續接每滿 1000 個至少取樣 1 個(未滿 1000 個亦須取樣 1 個)，執行 26.6.5.2 節高塑性反復負載試驗；第一類(B 級)機械式續每滿 1000 個至少取樣 1 個(未滿 1000 個亦須取樣 1 個)，執行 26.6.5.2 節重複負載及滑動試驗。由於高塑性反復負載試驗或重複負載及滑動試驗已包含單向拉伸及滑動試驗，可合併檢驗不重複取樣。

本節所規定之抽樣頻率係參考國內工程習慣而定之最低量，設計

單位或業主得視情況提高抽樣頻率，惟增加之試驗費用由買賣雙方約定之。選擇續接器或決定抽樣頻率時，可參考製造廠商之品管記錄，具有良好品管記錄且檢驗紀錄良好之廠商，其產品品質較穩定；欠缺品管記錄之廠商，其產品品質較不穩定，宜酌予提高取樣頻率。

鋼筋機械續接如需要摩擦銲接、擴頭滾牙或任何機械加工時，其品質受生產設備、製造程序及材料之影響較有疑慮，監造單位得被允許進入工廠檢查並抽樣送驗。填充式續接器或續接套管其鋼筋不需要加工較無疑慮，但仍應訂定施工說明書辦理填充料之試驗及檢查，例如填充砂漿品質受拌和水量、溫度、及時間影響其工作度及強度。

(d) 工地取樣須具有代表性，應由工地內已完成加工之鋼筋及續接組件中抽樣，並在工地比照實際施工程序完成組裝，送試驗室試驗合格後再澆鑄混凝土。

解說：

試體取樣、長度及準備依 CNS 15560 辦理，續接組件取樣紀錄包括工廠證明及主要尺度等，視需求紀錄爐號及相關材料證明，續接組件宜在工地依實際施工程序完成組裝，並記錄於報告書。機械式續接使用砂漿或是其他水泥或樹脂系材料固結續接器與鋼筋時，依製造廠之使用規定準備試樣及養護。

續接組件進場檢驗是為了確保材料符合要求，原則上檢驗合格後方可進行鋼筋籠組立作業。若對於現場施工品質有疑慮時，得由已組立鋼筋籠切下續接器試體進行測試。

鋼筋預組立或預鑄工法可能無法切下或取出續接試體，宜提前取得同批材料依相同程序於工地現場同時組立製作樣品，例如螺紋式鋼筋續接器須使用與現場相同之程序鎖固，砂漿填充式續接器或續接套管宜使用與現場同時拌和之砂漿並以相同之方式充填，並以相同條件養護續接器試體直到測試齡期，以確保續接器施工品質符合要求。

(e) 工地取樣試驗結果不符 26.6.5.2 節規定時，應依 CNS 2608 之規

定進行重驗，如重驗結果符合規定時，該批續接組件視為合格。若重驗結果仍不合格時，該批續接組件應予以拒收。重驗以一次為限。

(f) 外觀檢查應包括位置、型式、密合度、同軸度等項目。

解說：

外觀檢查包括位置、型式、密合情形、同軸度等項目，由施工廠商進行 100% 之檢驗，監造進行抽驗。監造抽驗比例與抽驗不合格時之處理方式依契約之規定辦理。如契約未規定抽驗比例，則以至少 5% 為宜。

具有螺紋接頭之續接組件密合度須以扭力扳手抽驗，其扭矩值不得小於續接性能合格報告紀錄之標稱值，扭矩大小與螺紋接頭材質、外徑、牙形、牙高及牙距有關，一般螺紋預應力設計值為約為材料規定降伏強度之 20%。施工中扭矩值抽驗數量不得低於該批產品數量之 15%，不合格部分須鎖緊至扭矩值之外，另再加倍抽驗直到合格為止。

外觀檢查不合格之續接部位，除不影響強度者得經監造單位核可之方法予以適當之修正或改善外，宜拆除或切斷重新續接。

26.6.5.2 允收準則

(a) 鋼筋機械式續接試驗應依 CNS 15560 之規定辦理，惟指定負載、加載反復週次及循環週次等應依本節規定辦理。

(b) 續接試體準備及裝置依 CNS 15560 規定辦理，續接試體在進行試驗前不得預拉。

解說：

鋼筋機械續接試體準備及裝置依 CNS 15560 辦理，惟各種規範組織或管理機構制定之測試程序及合格標準可能有所不同，本節規定之試驗項目、指定負載及加載程序是參考美日相關規範並彙整國內各方意見而訂定。

續接試體在試驗前不得預拉否則視為無效試體，進行續接試驗時得先施加拉力至標稱零載重，將伸長計讀數歸零後再開始加載，標稱零載重不得超過 40 kgf/cm^2 [4 MPa] 乘以鋼筋之標稱斷面積。

(c) 鋼筋機械式續接試驗合格標準如表 26.6.5.2 所列。

表26.6.5.2 鋼筋機械式續接試驗性能合格標準

試驗項目	加載程序	指標	合格標準	
			第二類 (SA 級)	第一類 (B 級)
單向 拉伸 及滑 動試 驗	0→0.95P _y →0.02P _y →拉至破壞	抗拉強 度	≥ 1.25f _y 且 ≥ f _u	≥ 1.25f _y
		殘留滑 動量 δ _s	≤ 0.3 mm	≤ 0.3 mm
		續接處 外鋼筋 之伸長 率 ^[1]	≥9% , 鋼筋尺 度 D32 以下 ≥6% , 鋼筋尺 度 D36 以上	≥ 2%
重複 負載 及滑 動試 驗	0→(0.95P _y ↔0.02P _y)×30 回→拉至破壞	抗拉強 度	不適用	≥ 1.25f _y
		滑動量 (δ _s) _{30c}	不適用	≤ 0.3 mm
		續接處 外鋼筋 之伸長 率 ^[1]	不適用	≥ 2%
高塑 性反 復負 載試 驗	0→(0.95P _y ↔ -0.5P _y)×16 回→(6δ _y ↔ -0.5P _y)×8 回→(12δ _y ↔ -0.5P _y)×8 回→拉至破 壞	抗拉強 度	≥ 1.25f _y 且 ≥ f _u	不適用
		滑動量 (δ _s) _{16c}	≤ 0.3 mm	不適用
		滑動量 (δ _s) _{24c}	≤ 0.9 mm	不適用
		滑動量 (δ _s) _{32c}	≤ 1.8 mm	不適用
		續接處 外鋼筋 之伸長 率 ^[1]	≥9% , 鋼筋尺 度 D32 以下 ≥6% , 鋼筋尺 度 D36 以上	不適用

^[1]續接處外兩側鋼筋伸長率之較大值。

- (d) 除非另有規定，試體破壞模式如斷裂位置或鋼筋拔出等不作為等級判別或拒收之理由。
- (e) 高塑性反復負載試驗過程如發生試體挫曲之現象，該試驗視為無效而非試體不合格。

解說：

由於第二類(SA 級)機械式續接被許可用於任何位置，包括地震時鋼筋可能降伏並承受多次反復非彈性應變之位置，因此需要較第一類(B 級)更嚴格之施工品質檢驗。除續接處之強度及滑動量外，被續接鋼筋須能發展至規定之伸長率以確保破壞時具有適當之韌性。

各項試驗依 CNS 15560 規定辦理，試驗裝置及加載程序如圖 R26.6.5.2 所示。另為量測續接處外兩側鋼筋之伸長率，試驗前於續接器兩側之鋼筋上各刻劃兩個標示點，標示點距離續接器兩端或夾具均不得小於 1 倍鋼筋標稱直徑 d_b ，此法可適用於各種樣式之機械式續接。被續接鋼筋之伸長率合格標準參考加州交通廳標準(Caltrans 2015)，要求鋼筋尺度 D32 或更小者至少 9%，鋼筋尺度 D36 或更大者至少 6%。

高塑性反復負載試驗之當次滑動量依圖 R26.6.5.2(e)所示方法計算，取荷重在拉力 $0.50P_y$ 至 $-0.25P_y$ 壓力之間，由拉至壓及由壓至拉之相對軸向變形量，分別扣除該試體之彈性變形量，取兩者之平均值為當次滑動量。彈性變形以該試體加載 $0.05P_y$ 至 $0.70P_y$ 之割線彈性勁度 E_j 計算。

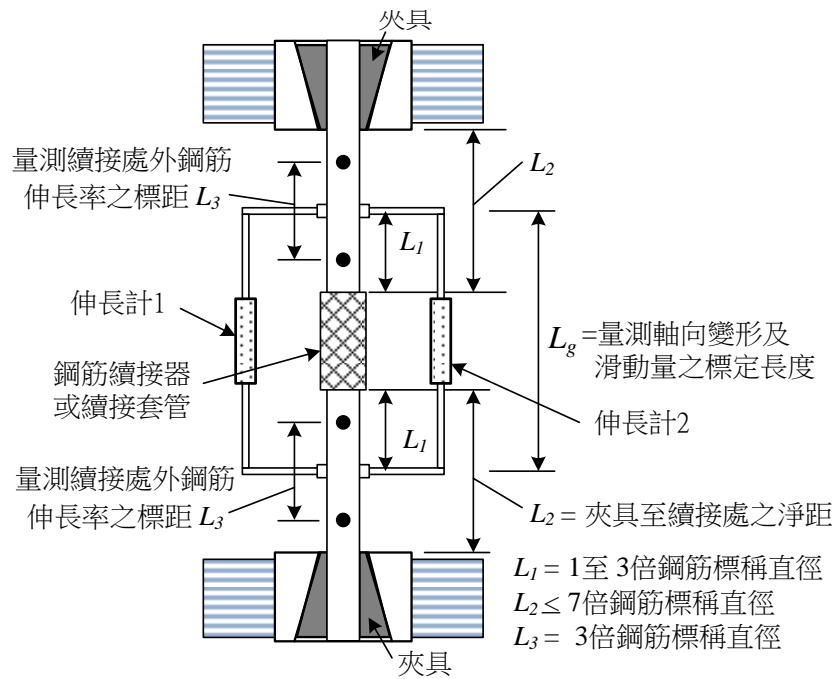


圖 R26.6.5.2(a) 鋼筋機械式續接試驗裝置

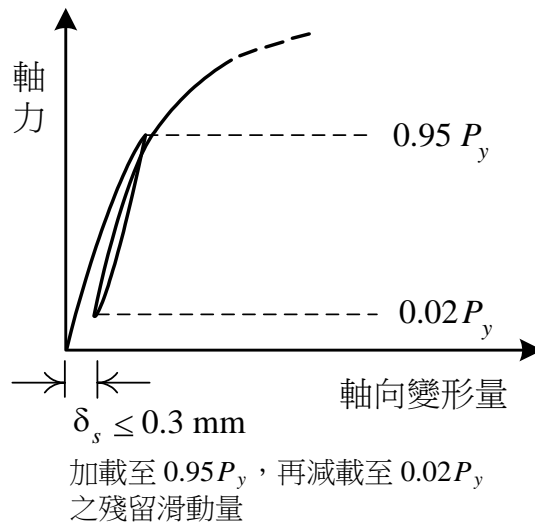


圖 R26.6.5.2(b) 單向拉伸及滑動試驗程序

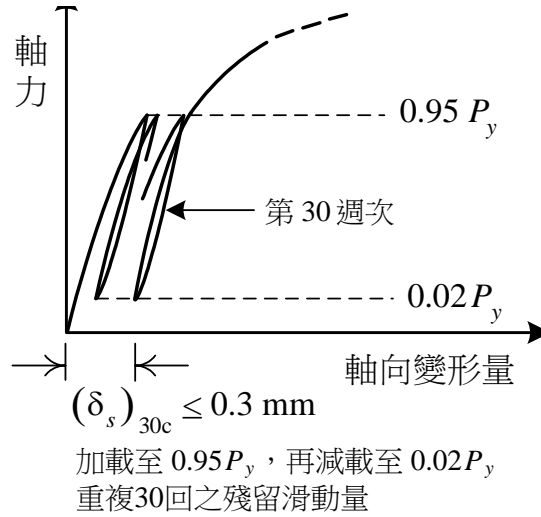


圖 R26.6.5.2(c) 重複負載及滑動試驗程序

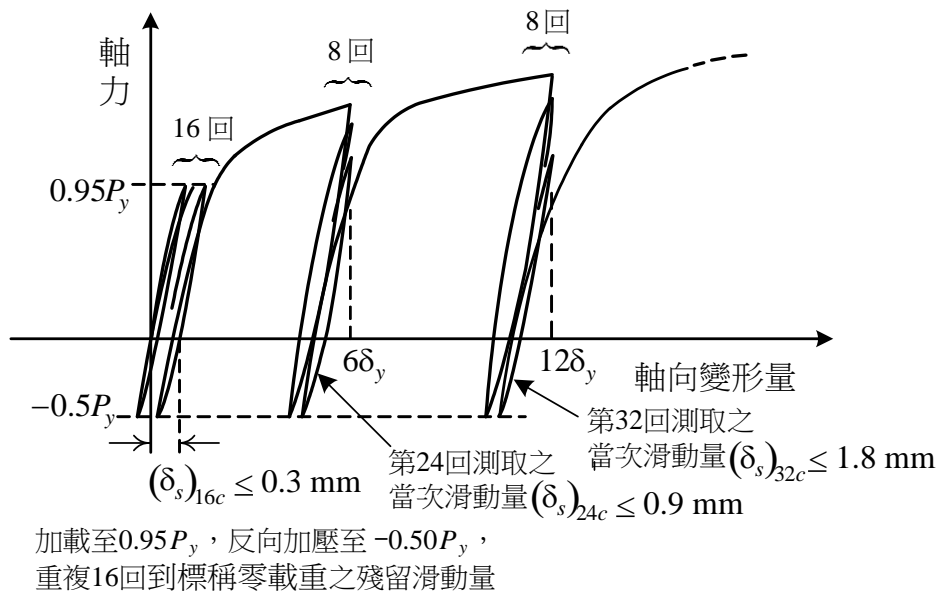


圖 R26.6.5.2(d) 高塑性反復負載試驗程序

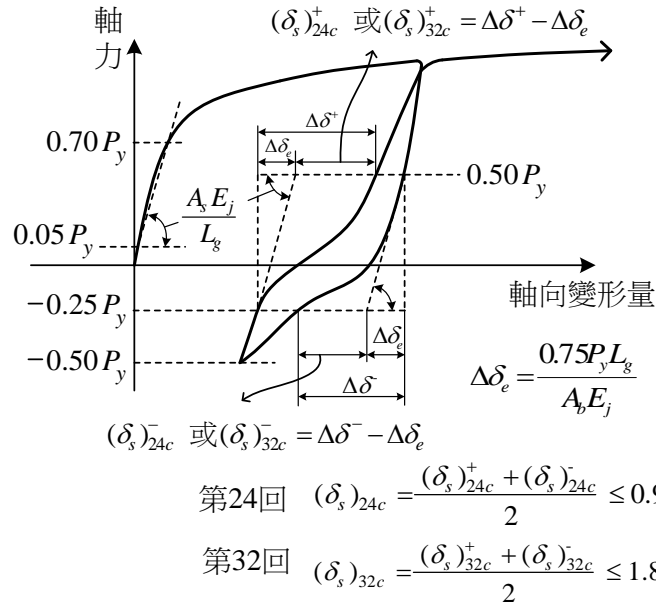


圖 R26.6.5.2(e) 當次滑動量計算法示意圖

圖 R26.6.5.2 鋼筋機械式續接試驗裝置及加載程序

解說之參考文獻 (26.6.5 節新增之參考文獻)

- Caltrans, 2015, *Standard Specifications*, Department of Transportation, California State Transportation Agency, State of California, CA, pp. 713-714.
- 中國土木水利工程學會, 1998, 混凝土工程設計規範與解說(土木 401-86)-附錄乙：機械式續接器續接, 台北.
- 內政部營建署暨內政部建築研究所, 鋼筋續接施工規範及解說(草案), 1999.
- 中華民國結構工程學會, 2007, 鋼筋續接器續接規範, 工作小組工作報告 CSSE 96-01.
- 李宏仁, 陳正誠, 陳建中, 張家榮, 建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究, 內政部建築研究所研究報告, 106301070000G0032, 台北.

附錄二 期初評選會議紀錄

內政部建築研究所 106 年度「建築工程鋼筋機械式 續接性能基準及驗證研究」委託研究計畫 採購評選會議紀錄

- 一、時間：106 年 1 月 20 日(星期五) 下午 3 時 30 分
- 二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）
- 三、主席：陳召集人建忠 記錄：黃國倫
- 四、出席及請假委員：(詳如簽到單)
- 五、列席人員：秘書室（請假）
- 六、主持人報告：本委託研究案共聘委員 7 人，目前會場中出席之外聘專家學者委員 4 人及本所委員 2 人，合計 6 人，超過委員總額二分之一，外聘之專家學者委員人數亦超過出席委員人數之三分之一，宣布會議正式開始。
- 七、主辦單位報告：
（一）本採購案自 106 年 1 月 3 日公告招標訊息，並於 106 年 1 月 16 日下午 5 時截止投標收件，計有 1 家廠商投標；經 106 年 1 月 17 日資格審查，資格合於規定之投標廠商共計 1 家，為國立雲林科技大學。
（二）本採購案業於 106 年 1 月 18 日上午 11 時 30 分，召開工作小組初審會議，經審查投標廠商所送之服務建議書規格，均符合招標及投標規定。
- 八、投標受評廠商簡報：略。
- 九、委員發言重點與投標受評廠商回應：

國立雲林科技大學

委員	審查委員意見	廠商綜合回應
王委員勇	服務建議書第 23 頁，圖 8 塑性反復測試受壓過程，是否可能造成鋼筋挫屈？是否限制圖 5 之 L2 最大值？亦或修改軸向變形量值？	實務上有可能發生挫屈而造成該試驗無效，確實會造成困擾。委員意見將納入研究，探討臨界挫屈長度及可行之夾持距離，視研究結果探討是否針對圖 8 塑性反復測試縮短 L2 距離。

委員	審查委員意見	廠商綜合回應
智		
鍾委員肇滿	<p>有關續接器辦理反復載重試驗之結果，對建築結構體承受地震力造成之反復載重強度影響重大，因此如果規定試驗結果產生之破壞模式不能做為續接器採用與否之標準，似有未妥，建議辦理本研究時慎重斟酌其適用性。</p>	<p>感謝委員指導。續接器破壞模式之爭議由來已久，國內工程師習慣上用破壞模式作為拒收之理由，然而，破壞位置具有隨機之特性，固然限定破壞模式最保守，但是美國、日本規範皆無此規定，故此爭議在 10 年前研究案就已被探討過，在前兩版規範已經確認刪除破壞模式限定位置之條款，改以強度及韌性等定性指標規定機械性質。委員意見仍會列入規範修正案，在專家座談會多方討論後再定案。</p>
呂委員顏龍	<p>續接器扭力值與滑動量是否存在相互關係？</p>	<p>感謝委員指出，此為本研究規劃檢討課題之一，將於試驗時比較探討。</p>
陳委員秀傑	<ol style="list-style-type: none"> 1.87 至 96 年有關鋼筋續接器之規範有哪些需要增訂修正？ 2.本研究是否包含續接器材質、牙距等統計研究？ 3.現場施工檢測與試驗室之檢測落差。 4.請教搭接與續接器混合用之效能如何？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1.試驗法改用 CNS15560 之後，剩下待改正問題包括加載程序、滑動量允收標準、韌性允收標準，以及取樣頻率及方法。 2.續接器材質具有多樣性，目前多為鑄鐵、高碳鋼、或是合金鋼成分；牙距亦為本研究探討課題之一，會納入檢討。 3.感謝委員指出實務上之問題，本研究將包含續接施工準則之撰寫。 4.本研究暫無此規劃，實務上應用機會較少見。建議納入後續研究探討。

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

委員	審查委員意見	廠商綜合回應
李副召集人台光	<ol style="list-style-type: none"> 1.由歷次地震災害發現，RC 柱續接器受損嚴重，建議增加 RC 柱試體反復載重試驗。 2.RC 梁採用續接器可以大幅增加 RC 梁之施工性，建議可以簡略說明。 3.續接器之滑動量、延展性及伸長率允收標準，應與採用的耐震規範相關，建議應參考國內耐震規範，研擬允收標準。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.本研究目標是檢討續接器單體試驗之試驗程序、允收標準及取樣頻率等，設計 RC 梁試驗是為了驗證滑動量影響性。至於 RC 柱試體則是用於驗證鋼筋續接後構件之韌性消能能力，受限於本研究預算及工期，恐無法如期完成，建議另案執行。 2.遵照委員意見辦理。將於期中、期末報告中說明續接器應用之優勢。 3.遵照委員意見辦理。將於期中報告引用實驗數據分析說明允收標準與耐震設計韌性要求之關聯。
陳召集人建忠	<ol style="list-style-type: none"> 1.此類合格規定是否稱為允收標準，如是標準應由標檢局擬定，自 CNS 15560 訂定以來，目前有何機關訂定相關規定？內政部有無時間表承諾訂定推行？ 2.由簡報所示，似乎非屬 RC 規範，其他法規須修訂者併請提出。 3.如何推廣及應用？請協助在本部業務行動計畫及亮點事項提供資料，提升業務績效與亮點。 4.文獻、書籍收集分析、翻譯等，請於前 3 個月經費動支達 80% 以上，電子檔分期集結交存本所，並於第 1 個月提供目錄與執行計畫，與本所人員洽商實施。 5.建請統計有使用續接器之受地震災害建案比率，客觀檢討續接器是否地震災害獨立主因。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.委員意見納入本研究探討。名詞為允收標準或基準，後續再跟規範文稿比對確認用語。CNS 15560 訂定後，工程會已修訂施工綱要規範 03210 章為 V4.0。今(106)年度內政部營建署將審議新版混凝土結構技術規範，續接器部分相關規定付之闕如，故各界期盼本研究之執行。 2.遵照辦理。將一併檢討混凝土結構技術規範應修訂之條文。 3.遵照辦理。 4.遵照辦理。 5.建築物倒塌可能跟材料、設計、及施工三方面有關，本研究僅限於材料層次，難以推論整棟建築物之倒塌與材料之統計關聯。此議題尚須後續研究加以確認。

十、討論事項與臨時動議：無。

十一、會議結論：

(一) 本採購案投標受評廠商 1 家，國立雲林科技大學之序位和為 6 (平均總評分為 84.67)，國立雲林科技大學為優勝順序第 1 位。評選結果經核，符合評選須知第 4 點之規定。

(二) 請主辦單位將評選結果簽報機關首長或其授權人員核定。

十二、出席委員確認會議紀錄：本會議紀錄經出席委員確認，無異議通過。

十三、散會：下午 5 時整。

附錄三 期中審查會議紀錄

本所 106 年度委託研究「中高樓層建築非韌性 RC 配筋柱擴柱補強技術研究」、「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」及「中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究」等 3 案期中審查會議紀錄

- 一、時間：106 年 7 月 6 日（星期四）上午 9 時 30 分
- 二、地點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）
- 三、主持人：王副所長安強 記錄：黃國倫、李台光
- 四、出席人員：如簽到單
- 五、簡報內容：略。
- 六、綜合討論意見：
 - （一）「中高樓層建築非韌性 RC 配筋柱擴柱補強技術研究」案：
王技師亭復：

原有柱及補強柱請用實際的材料強度進行彎矩-曲率分析，推算各載重階段之材料強度與應變，並與試驗值做比較。

根據 ACI318-14 第 18.2.3 節，植筋錨定不能在耐震構材塑鉸區，至於其他區域，也須依規範考量各種因素進行施作。

邱顧問昌平：

本研究旨在如何對中高樓層大樓柱進行擴柱補強，但期中報告之試驗規劃，為配合測試之佈置，試體邊界條件無法反映現實情形，宜再檢視試驗設計予詳加敘述。

低矮樓層常用單柱基腳或聯合基腳，而中高樓層之 RC 構造，一般常有地下室，且其下尚有筏式基礎，本研究之試體基礎採用單柱基腳，無法模擬現實情形。

早年 RC 構造採用容許應力法設計，容許軸向壓應力為 $0.45f_c'$ ，此數值應可當作中高樓層 RC 柱合理斷面尺寸之參考。

期中報告的測試方式，請修正為「定軸力反覆側向載重」。

陳技師正平：

試體植筋長度與實務上不合，且基礎之配筋量，及其鎖固在強力地板上，均與實務上含有地下室之情形不符。

補強柱所增加的彎矩強度，會被梁之塑鉸強度控制而無法完整發揮其功效，因此若僅研究補強單柱之耐震行為，其評估成果可能會高估。

期中報告第 49 頁「6mm 之振幅」，建議修正為「6mm 之粗糙度」。

陳副總經理煥焯：

試體設計圖中的補強外圍箍筋設計細節，應符合規範。例如：圖例說明應是而非。

期中報告第 49 頁「6mm 之振幅」，建議修正為「打毛至表面粗糙度至少 6mm」。

既有結構柱與補強區之 f_c' 可能會不同，在與一體澆置柱比較上會有疑慮。

新舊介面有無植入繫筋之研究，在實務上有其必要性。

主筋如需發揮其降伏強度，則植筋深度應使用「降伏埋入深度」而不能使用「安全拉力埋入深度」，本研究之植筋深度符合需求。曾協理慶祥：

若僅針對原有結構柱進行擴柱補強，對於梁柱接頭區應如何處理？

如期中報告第 3 頁的研究進度表，得知進度已經落後許多，要如何追趕進度？

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心林研究員克強：

請說明 7 樓以下的大樓與 7 樓以上的大樓，其補強設計方法，是否有差異？若有，差異為何？若無，請強調本研究的特色為何？

補強的基本原則為何？提高強度或者韌性？

若補強柱構材主要承受壓力，則主筋所受之拉拔力應較小，是否仍然需採用本研究之植筋深度？

陳組長建忠：

本研究應蒐集屋齡 20 年以上、樓高 7 樓以上未滿 50 公尺之 RC 大樓柱設計資料，文中未見，請往後補列實際設計案例。此類建築物危險性多高？有多少數量？是否先用耐震力初評 PSERCB 評估補強需求？

粗估試驗及試體費用約有 200 萬元，一座試體即達 30 萬元，試驗十分辛苦，所有的資料宜有條理建置、分析，含原始試驗設計及試驗產出資料，宜逐次整理交由本所收存。

現宜建構預期成果所提之擴柱補強設計準則初步內容。

王副所長安強：

希望本研究能與現行的耐震評估做法相互結合，因應小震不傷、中震修繕，大震不倒理念，加強成果及效益說明。

陶主任其駿(書面意見)：

由於本研究僅規劃鋼筋混凝土單柱之擴柱補強試驗，係探討中高樓建築於底層柱局部補強之應用，實無法藉以驗證於鋼筋混凝土結構系統之行為，故建議於成果報告應針對其研究目的敘明清楚，以免為外界誤解所探討問題之主軸。

建議本研究能利用擴柱試體所得之試驗結果，增列於鋼筋混凝土建築結構系統之補強案例分析，並藉以提出於既有中高樓建築於底層柱進行擴柱補強後，量化之補強效果分析資訊。

本研究成果報告後續所呈現擴柱補強之細部設計圖，建議儘量放大及清楚標示各項說明，俾利使用者之閱讀與應用。

研究單位回應(歐教授昱辰)：

本研究會進行斷面彎矩與曲率分析並與實驗結果比對之。

連續縱向鋼筋之植筋係位於基礎內，植筋長度的設計符合規範之規定。

本研究主要是觀察柱體之耐震行為，試驗重點為新舊混凝土交界面之握裹，以及補強斷面角隅間混凝土圍束對柱耐震行為之影響，柱試體之邊界條件為兩端固接，係配合實驗室機台配置而無法完全

模擬真實情況，但兩端固接能更嚴苛的檢驗前述試驗重點，因此若能通過試驗之檢驗，亦能符合實際應用之性能要求。

將按委員建議修正成「定軸力反覆側向載重」。

關於植筋深度之問題，則由技師在設計時依現地的狀況，作適當地考量，本研究之補強細節，能適用在各種情況。

本研究係在改善柱強度不足之問題，亦即不符合強柱弱梁之情形，另即便滿足強柱弱梁，大樓柱底仍可能產生塑鉸。

補強設計目標有 2 個，分別是：

(1)使原有柱所承受的軸力降至 $0.3f' cA_g$ 以下，以期符合新版結構設計規範。

(2)將透過實驗的結果及觀察，以研擬補強柱之鋼筋細節配置。

期中報告第 49 頁「6mm 之振幅」，本研究會參照委員的意見進行修改。

本研究之研究對象為大樓柱，其尺寸、軸力及剪力等都較低矮建築柱高，因此發生新舊混凝土介面滑移的機率，比低矮建築柱來得高，因此將低矮建築柱之補強細節，應用在本研究會有疑慮，會透過實驗來驗證之。

將配合更正補強外圍箍筋之設計細節。

本研究受限於試體數目，無法研究新舊混凝土強度不同之影響，建議可納入未來研究課題。

梁柱接頭補強區之設計，可參考既有擴柱補強作法，亦可納入未來研究規劃。

進度落後係因實驗場地排程不如預期之故，但仍能期末報告前將試驗與分析完成。

本研究團隊將妥善保存試驗與分析資料。

本研究將透過國震中心與政府（如營建署）相關政策（如安家固園計畫）緊密配合。

（二）「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」案：
王技師亭復：

加州運輸局(Caltrans)鋼筋續接分為(1)塑鉸區不得續接、(2)極限續接、(3)一般使用續接；在極限續接區可用在除塑鉸區外任何位置，其最大應力伸長率允收標準為 D32 以下應大於 9%、D36 以上應大於 6%(Caltrans MTD 2009)，其標準並不較我國規範為低。NIST 及 ISO 均建議 8%，大陸標準之建議為 6%。

ACI318 R18.2.7 已說明實用上排除在塑鉸區續接，若不得已應採用 Type 2，續接時則應符合續接鋼筋之性能。

滑動量加載量為 $0.5F_y$ ，日本及大陸規定均為 $0.6F_y$ ，主要考慮在頻遇荷重組合下之鋼筋應力(例如容許應力)。

於上述組合應力有明顯提高時，則可予調動，因此是否提高至 $0.95F_y$ ，尚待斟酌。又滑動試驗加載至 $0.02P_y$ 時，讀數應予歸零，此部分不宜加入允收值，至於加州規範是否太鬆，希望本研究再予判斷，但宜適合各種續接型式為宜。

目前 ASTM A706 耐震鋼筋並無 Gr.100，NIST 也正在研究試驗中。

邱顧問昌平：

期中報告附錄一及第三章「鋼筋續接組件試驗」，對於組件試體之編號相當不明確，請重新考量修正。例如簡報之續接器，有表 2-1 中項次 2、4、13、14 等 4 種續接器(此字有必要)，但表 3-3 起之各種試驗結果，只見「試片標號」，無法得知用哪一種續接器。

母材之材質、紋節與螺紋等，續接器之材質、製法與尺寸(如螺牙)等皆宜交代。

日本對續接器之基準要求，是先由大型合格廠商組成之協會自我把關，避免草莽小廠商之劣質鋼材，草率施工之產品，低價競爭，所以政府之管理不是只有試驗方法，應有協會之連帶保證、取樣及相片等補充條件。

陳技師正平：

建議鎖緊扭力換算鎖緊軸力，納入驗證基準。

建議不得使用錐牙，以減低鎖緊軸力不足時的影響程度。

期中報告第 6 頁倒數第 5 行「告需」應改為「急需」。

陳副總經理煥燁：

本研究對於提供「鋼筋續接器試驗」之允收標準，有其必要性，針對取樣頻率及性能試驗的規定(是否一定要或是可以用一定年限內的試驗報告取代)，建議應有較明確的規定。

期中報告第 55 頁，為何很多拉第 2 次的組件沒有試驗成果數據？

曾協理慶祥：

本研究與林克強研究員所介紹國震中心於 2014 年研擬的「TCI 高強度鋼筋續接器續接性能規範」有何差異？請說明。

期中報告第 12 頁第 9 行「表 3 要求滑動量大約不超過大號鋼筋的 2.8%」，在表 3-1 至 3-6，看不出此要求，請說明。

第 16 頁第 4 行「放寬滑動量上限為 0.3 mm」，其實在工程會 03210 章 V4.0，已有訂定，可否直接引用？

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心林研究員克強：

是否能增列 A 級之續接器，以顧及高強度(SD690 鋼筋)套筒灌漿續接器使用之可能性。

扭力值標準為何？

陳組長建忠：

本研究以往本所及相關單位業有相關研究，本研究又加做梁實驗，應屬最後一哩路的研究。請併同其他研究既有具體成果，是對建築技術規則相關規範不宜列中長期建議，至於需要改哪一條文的哪一段文字，宜提出文字(建議尚未試驗者予以留空)，在新版混凝土結構技術規範尚未正式發布實施前，是否先在現行規範予以修正。

期中報告所敘國內標準或規範偏嚴，但使用現況又說是重要原因，是否產品面有問題？是否研析要否納入商品檢驗應施檢驗公告項目，或其他行政管理體系內？

柱續接才是重點，已往文獻多已研究完成，本研究係再補做梁試驗，而柱續接文獻研究成果，宜予回顧整理。

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

既有建築物結構已被外裝粉刷及結構包覆，如何知悉其有否安裝續接器？其續接器是否仍有效？如何補強？

建議考量混凝土設計抗壓強度與實際混凝土圓柱試體抗壓強度之差異。

建議鋼筋亦應考量設計與實際之差異。

王副所長安強：

請本研究執行單位在期末報告除技術面研究之外，在制度面(例如：續接器品質檢驗機構、法規，以及主管機關的角色)，應作較清楚的說明。

陶主任其駿(書面意見)：

本研究試體試驗之細部規劃，已見對鋼筋機械式續接檢驗法可能影響因子之討論，惟建議能再針對機械式續接品質相對較不易控制之續接方式，再增列在同型號規格下，屬不同製造批號或不同公司所生產之鋼筋，驗證其試驗結果是否適合忽略其變異性，以提供研訂合格基準之參採。

研究單位回應(李教授宏仁)：

續接組件之歸零，係依 CNS 15560 第 9.7 節先施加拉力至標稱零載重，將伸長計讀數歸零後再開始加載，標稱零載重不得超過 4 MPa 乘以鋼筋之標稱斷面積。

執行拉伸試驗至 $0.60F_y$ 或 $0.95F_y$ 後，再減載至 $0.02F_y$ ，主因為實務上減載至零載重有困難，故取 $0.02F_y$ 對應之伸長量為殘留滑動量，確實會包含一部分彈性變形，必須納入允收值門檻一併檢討。此處與 Caltran 確實有些微差異。

目前 ASTM A706 並無 Gr.100，但主持人參加美國 ACI 相關會議得知 2019 年版 ASTM A706 將新增 Gr.100 鋼筋規格。

錐牙形跟平牙形續接施工特性不同，各有利弊，但是都應該要鎖緊，施工規範將會建議不同牙形之作業流程及檢驗要求，不會限定單一工法或牙形，以免影響廠商公平競爭。

日前規範編修會議，已有初步共識施工中查驗大約為 1/200 至 1/300，高塑性試驗頻率約為 2000 個取 3 個作 1 組。將於期末報告作完整陳述。

許多拉第 2 次的組件沒有試驗成果數據，部分是檢出值接近於零，另一部分是試驗儀器沒架好量測值錯誤。

本研究與社團法人台灣混凝土學會(簡稱 TCI)出版之「高強度鋼筋續接器續接性能規範」，適用範圍不同，TCI 版與日規相近，只適用 SD550 及 SD690 鋼筋。

遵照委員意見辦理，將新增 A 級對應第 2 類，將 SA 級對應第 3 類續接器。

期末報告將針對加州運輸局相關規範應用時機及條件，作完整的論述，所有試體將作系統編號以識別續接器樣式、鋼筋等級、直徑、試驗程序等變數，敘明試體及續接器各項尺度(包含牙型及扭力值計算)，加強有關於續接器性能分級分類與適用條件，作整合比較說明，新增一專章檢討續接器施工及品質管制相關程序(特別是施工規範與檢驗流程，以及政府主管機關所應扮演之角色)，補充柱構件相關文獻探討比對，以及說明取 $0.60F_y$ 與 $0.95F_y$ 在設計上之考量。

(三)「中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究」案：
王技師亭復：

若屬新設計建築物，請依「建築物耐震設計規範及解說」表 1.1、1.2 及圖 C1-2 等，予以量化說明，並舉例確立可採用分析方法。

邱顧問昌平：

研究緣起所言之力傳遞路徑不良、贅餘度不足、底層軟弱、結構不規則效應過大及非韌性配筋等問題，國內已探討研究數十年，所以本不是學術研究之課題，反而是政府對新建築結構設計審查及老舊建築耐震評估制度的問題。

期中報告表 2-1 損壞嚴重甚至倒塌之建物，宜加上建築完工年月，補充地下 1 層或 2 層(有無筏基)等之說明(幸福大樓、旺林飯店未見說明)。

地下層之設計圖、施工方式、土層特性、地下水位等資料，使用階段有無任意敲牆、有無震損等狀況也有必要瞭解。以維冠大樓為例，地上 16 層卻為單跨，且地下僅為 1 層，結構分析時可能有 Rocking 效應，增加 P- Δ 效應。

陳技師正平：

建議將結構系統之一樓橫隔版，完整性納入考量。

建議將單跨結構梁筋未延伸入柱核心遠側的情形，納入考量評估。

建議納入非結構牆的影響。

期中報告第 13 頁「感興趣」方向建議，改為「考慮的地震力」方向。

陳副總經理煥煒：

建議案例能與現行「建築物耐震設計規範及解說」第 2.14 節意外扭矩進行比較，檢核目前的 Ax 是否有不保守的情況。

曾協理慶祥：

期中報告第 4 章結論，已展現初期研究成果，其後之建議事項是否部分或全部為本研究範疇，請說明。

期中報告缺中文摘要及研究主旨目標論述。

有關贅餘因子章節，其標題為 IBC 2006，內文則依據 IBC 2003，另表 2-2、2-3 分別引用 IBC 2012，請問這些 IBC 各年代版本與本研究引用之相關規定，有無差異？ ρ 之計算式來源，是否依據 IBC 2006？

承上述章節，有關 E_m 之定義，似乎需再斟酌，相關公式原為 E_{mh} ，是否誤植為 E_m ？

期中報告誤植部分供參考：第 24 頁參考文獻[56]應為[27]，第 25 頁文獻[57]應為[26]，第 30 至 31 頁圖 2-19、圖 2-20 中公式(2-1)、(2-3)、(2-4)及(2-5)誤植為(2.4.1)、(2.4.3)、(2.4.4)及(2.4.5)，第 57 頁圖 3.1.1 及 3.1.2，應分別為圖 3-1 及 3-2 誤植，第 75 頁參考書目[20]至[22]ICBO 應為 IBC 誤植。

期中報告第 31 頁第 5 節之各細節，編號標示不易閱讀，請參酌調整。

陳組長建忠：

針對本研究第 1 項預期成果「……並提出將其納入既有建築耐震初評表格之可行性方案以及改進補強對策建議。」，對於臺灣既有建築耐震評估與補強排序，請依設計年度(即耐震設計程度)、是否為大眾使用，以及平面不規則性，在可調閱建築執照圖說有利條件下，請研擬優先評估建築類別之評估項目，以及由圖說即可檢核初評的建築，以便納入初評之輔導，請研究針對安家固園計畫具體呈現。

王副所長安強：

請本研究執行單位在期末報告，應清楚說明本研究成果如何納入目前本部營建署刻正推動之既有建築耐震初評表格(PSERCB)之可行性作法。

陶主任其駿(書面意見)：

本研究未來所提用以篩選不良結構系統之指標與評估方式，宜朝具體可行及簡易操作之原則訂定，俾符用以「篩選」之精神。

有關「研提後續研究課題之規劃建議」之預期成果，惟為配合本所撰擬 108 年至 111 年新興科技計畫之作業期程，建議研究單位能提早於今年 9 月中旬前提出，俾提供本所納於新興科技計畫相關研究主軸之參採。

研究單位回應(翁研究員元滔)：

後續研究，將納入有關一樓橫隔版完整性、梁主筋是否延伸入柱核心遠側及非結構牆之影響等，作為初評項目考量。

期中報告所引用災損案例，會再補充地下室部份等相關結構圖說資訊。

期中報告如摘要主旨、文獻引用及章節編排等再力求清晰明確，並勘誤相關文字與圖表。

後續研究將於案例分析，研討結構扭轉不規則與扭矩放大係數之關係。

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

七、會議結論：

本次會議 3 案期中報告，審查結果原則通過。請業務單位詳實記錄與會審查委員及出席代表意見，供研究團隊及主持人參採，納入後續事項積極辦理，並於期末報告妥予回應，如期如質完成。業務單位請依規定時程管控作業進度，並請各委託單位儘速依約辦理請領第 2 期款。

八、散會：中午 12 時 40 分。

附錄四 第一次專家座談會會議紀錄與簽到表

附錄四 第一次專家座談會會議紀錄與簽到表

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

第一次專家座談會會議紀錄

會議時間：106年9月21日(星期四)上午10:00-12:00

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室15樓第3會議室

計畫主持人：雲林科技大學 李宏仁 副教授

協同主持人：台灣科技大學 陳正誠 教授

紀錄：雲林科技大學 張家榮 研究助理

出席委員：

內政部建築研究所	陳建忠 組長
內政部建築研究所	陶其駿 主任
內政部建築研究所	黃國倫 研究員
台灣世曦工程顧問	王炤烈 總經理
永峻工程顧問	陳奕信 總經理
國家地震工程研究中心	林克強 研究員
國家地震工程研究中心	蕭輔沛 研究員
國立台灣科技大學營建系	邱建國 教授
台灣檢驗科技 SGS 台北實驗室	丁先勇 協理
華光工程顧問楊梅實驗室	陳在炘 主任

列席人員：

研究助理	張家榮
內政部建築研究所	黃柏嘉

會議議程：

1. 主持人簡報研究背景及規範現況。
2. 座談與討論規範修訂方向。
3. 散會。

會議結論：

1. 部頒版現行規範及技術規範草案均需要修訂。
2. 請主持彙整座談會意見於下次會議提出修正案全文。
3. 下次會議時間為9月28日(星期四)上午10:00，另發開會通知。

附錄四 第一次專家座談會會議紀錄與簽到表

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

第一次專家座談會內容概要

	專家意見	研究團隊回應
陳建忠 組長	<ol style="list-style-type: none"> 1. 訂定允收標準是否與標準檢驗局有量化相呼應? 2. 新規範之緩衝期是否有必要性?緩衝期間責任如何歸屬。 3. 舊有規範修訂或增加新的規範等是否能同時進行。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意，下次會議修訂草案將包含量化之機械式續接性能接受(允收)標準及檢驗頻率。 2. 同意，應視為立即需要逕行修改規範，並於規範頒布前先對各技師公會作推廣教育或說明會，縮短緩衝期。 3. 遵照辦理，將同時提出部頒版現行規範條文修正案暨新版技術規範修正案，兩案同時作業。
丁先勇 協理	<p>建議施工綱要規範第 03210 章鋼筋 V4.0 進行『引用與參考』，原因如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 施工綱要規範依據 CNS 15560 鋼筋機械式續接器試驗法，首次依據國家標準制訂規範。 2. 該施工規範綱要針對續接性能之延展性、伸長率有制訂完整之試驗方法與允收標準，除避免因試體破壞模式所造成之試驗爭議，並可定量量測出鋼筋續接性能結果。 3. 有關高塑性反覆負載試驗之滑動量量測與計算方式需更加嚴謹且符合實際試體需求。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員專業意見，本研究將持續努力，推動施工綱要規範第 03210 章鋼筋 V4.0 部分內容(允收標準、檢驗頻率、施工查驗)納入我國建築主管機關頒布之混凝土工程設計規範。 2. 該版試驗程序及性能接受標準已相當完整，惟本研究經過驗證，試驗程序仍有一些細節可以再稍微修正，讓結果更嚴謹。 3. 該版高塑性反覆負載試驗程序及滑動量計算方式已經完備。另因應高強度 SD550W 及 SD690 問世，塑性負載程序尚待檢討，將於結案報告一併建議修正方式。
王炤烈 總經理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鋼筋續接器之滑動量確實會影響每一處接頭之各支鋼筋受力情況，尤其 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見，遵照辦理。下次會議提出建議案，於規範本文制定機械

附錄四 第一次專家座談會會議紀錄與簽到表

<p>王炤烈 總經理</p>	<p>滑動量大的會較慢受力，這將影響整體結構的行為，因此在規範中應要採較嚴格的規定，其中在新版規範裡應要有規定，在本次會議中的資料可採乙案方式辦理。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 對於檢驗頻率、允收準則之數值，在規範中要以『施工綱要規範』之名詞來規定，因該『綱要規範』並非我國法定規範，不合適放在國家混凝土規範中，此部分建議考慮在混凝土設計規範之解說中以表格數值方式提出。 3. 另外建議在相關法規還未修改前，可由建研所先以研究案方式公告給各技師公會、建築師公會等單位，預先在相關設計案辦理(或注意事項)。 	<p>式續接之性能目標，於解說敘明欲達到續接性能所需之檢驗頻率及接受(允收)標準，試驗方法引用國家標準，試驗程序及細節以附錄方式提案。提案緣由及研究過程將詳述於本研究結案成果報告。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 感謝委員指導，遵照辦理。將以上述方式，同時提出部頒版現行規範條文修正案暨新版技術規範修正案。 3. 感謝委員建議，將遵照辦理。本研究結案成果報告後將辦理相關研究課題之成果發表會，敬邀各技師公會、建築師公會等單位與會說明規範修訂內容及圖說應注意事項。
<p>陳奕信 總經理</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議以乙案為方向，直接在 18.2.7.7 節修訂規範並新增解說。 2. 建議新增附錄 C 規定試驗項目、檢驗頻率及允收標準。 3. 建議將目前業界的 SA 級、B 級的性能與規範的第一類、第二類進行統一合併。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意委員意見，將於 18 章耐震篇特別要求內修訂規範及解說。 2. 同意委員意見，綜合諸位委員意見，下次會議提出建議案，於規範本文制定機械式續接之性能目標，於解說敘明欲達到續接性能所需之檢驗頻率及接受(允收)標準，試驗方法引用國家標準，試驗程序及細節以附錄方式提案。 3. 同意委員意見，遵照辦理。由於提到第一類第二類的條文散佈於各節，下次建議案會讓 SA 級和 B

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

		級出現在 18.2.7.7 節解說直接對應。
邱建國 教授	<ol style="list-style-type: none"> 25.5.7 節之部分，是否維持新版技術規範(草案)，但 18.2.7.1 節中之第一類為耐震使用，是否加註性能之要求，如同第二類之條文格式。 規範條文應只要求考慮事項、合格標準等，至於試驗方法或測試標準則歸類至解說。 	<ol style="list-style-type: none"> 同意委員意見，遵照辦理納入下次會議之建議案。 同意委員意見，遵照辦理。下次會議提出建議案，於規範本文制定機械式續接之性能目標，於解說敘明欲達到續接性能所需之檢驗頻率及接受(允收)標準，試驗方法引用國家標準，試驗程序及細節則以附錄方式呈現。
林克強 研究員	<ol style="list-style-type: none"> 規範定義續接器是在構材及結構系統等行為，若欲將續接器的允收標準規定於規範亦可，但是否適當應於規範修訂中討論取得共識即可。 若續接器個體性能規範，建議新增一統一的續接器試體及允收方法的規定。 是否能增列 A 級之續接器。 	<ol style="list-style-type: none"> 同意委員意見。 遵照辦理。下次會議提出建議案，於規範本文制定機械式續接之性能目標，於解說敘明欲達到續接性能所需之檢驗頻率及接受(允收)標準，試驗方法引用國家標準，試驗程序及細節則以附錄方式呈現。 這部分需要一個後門條款，將於下次會議討論。
蕭輔沛 研究員	<ol style="list-style-type: none"> 現行規範及規範草案建議同步修正。 提議之甲、乙案可考慮同時並行。 現行規範所引用結構工程學會之『續接器續接規範與解說』，是否會考慮留有或有其他考量。 目前似僅有定性解說，未有定量說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 同意委員意見，將提兩案同步修正。 同意委員意見，綜合諸位委員座談意見，將甲乙兩案整併。 除了工程會版施工綱要規範之外，本研究不建議引用結構工程學會或其他舊有規範，因為牴觸國家標準 CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗法。 感謝委員指導，下次會議會提出定量之允收標準及檢驗頻率於規範條文

附錄四 第一次專家座談會會議紀錄與簽到表

		及解說內。
陶其駿 主任	<ol style="list-style-type: none"> 1. 現行部頒規範與新版技術規範修正案宜並陳。 2. 施工綱要規範不適合當作參考與引用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意，遵照辦理，詳上述意見回覆。 2. 同意，遵照辦理，將於規範解說直接敘明機械式續接性能接受(允收)標準及檢驗頻率，不再引用其他規範，避免疑義。

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」

第一次專家座談會簽到單

會議時間：106 年 9 月 21 日(星期四)上午 10:00~12:00

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室 13 樓第 3 會議室

計畫主持人：雲林科技大學 李宏仁 副教授

協同主持人：台灣科技大學 陳正誠 教授

出席委員簽到表

出席單位與人員	簽名
內政部建築研究所 陳建忠 組長	陳建忠
內政部建築研究所 陶其駿 主任	陶其駿
內政部建築研究所 李台光 研究員	
內政部建築研究所 黃國倫 研究員	黃國倫 黃柏嘉
台灣世曦工程顧問 王昭烈 總經理	王昭烈
永峻工程顧問 陳奕信 總經理	陳奕信
國家地震工程研究中心 黃世建 主任	
國家地震工程研究中心 林克強 研究員	林克強
國家地震工程研究中心 蕭輔沛 研究員	蕭輔沛
台灣大學土木工程學系 歐昱辰 教授	
台灣科技大學營建工程系 邱建國 教授	邱建國
台灣檢驗科技 SGS 台北實驗室 丁先勇 經理	丁先勇
華光工程顧問 楊梅實驗室 陳在炘 主任	陳在炘
	李宏仁
列席單位與人員	簽名
雲林科技大學 張家榮 研究助理	張家榮

附錄四 第一次專家座談會會議紀錄與簽到表

附錄五 第二次專家座談會會議紀錄與簽到表

附錄五 第二次專家座談會會議紀錄與簽到表

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

第二次專家座談會會議紀錄

會議時間：106 年 9 月 28 日(星期四)上午 10:00-12:00

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室 13 樓簡報室

計畫主持人：雲林科技大學 李宏仁 副教授

協同主持人：台灣科技大學 陳正誠 教授

紀錄：雲林科技大學 張家榮 研究助理

出席委員：

內政部建築研究所	陶其駿 主任
內政部建築研究所	李台光 研究員
內政部建築研究所	黃國倫 研究員
永峻工程顧問	陳奕信 總經理
國家地震工程研究中心	林克強 研究員
國立台灣大學土木工程學系	歐昱辰 教授
國立台灣科技大學營建系	邱建國 教授
台灣檢驗科技 SGS 台北實驗室	丁先勇 協理
華光工程顧問楊梅實驗室	陳在炘 主任

列席人員：

研究助理 張家榮

會議議程：

4. 主持人簡報規範修訂草案。
5. 座談與討論。
6. 散會。

會議結論：

4. 文字修飾、規範只修改耐震設計特別條款，解說精簡品質管制手段(試驗項目及合格標準)，引用之試驗法另以附錄 C 方式完整敘述補充於規範之後。
5. 請研究團隊彙整座談會意見並辦理後續作業。

附錄五 第二次專家座談會會議紀錄與簽到表

第二次專家座談會內容概要

	專家意見	研究團隊回應
陳在 忻主 任	<p>4. 技術規範(草案)18.2.7.1 解說，第一類鋼筋機械式續接器重覆負載及滑動試驗項目缺乏取樣取樣頻率要求。第二類(SA 級)每滿 2000 個取樣 3 個為一組缺乏辦理試驗項目之說明。</p> <p>5. 取樣頻率、檢驗程序、允收標準等，建議以附錄方式完整呈現，供規範使用者較清楚明確的指引依據。若對本文、解說、附錄位階上有解讀誤判之疑慮，建議可參考國內外標準做法，例如 ASTM 於本文中針對細解會索引至附錄裡，於附錄中會括弧說明是屬於強制性規定或資訊；CNS 作法亦同。</p>	<p>4. 感謝所有與會學者專家指正疏誤之處，相關意見將彙整納入期末報告辦理。</p> <p>5. 同意建議，經彙整座談意見，修飾規範文字只修改耐震設計特別條款，解說精簡品質管制手段(試驗項目及合格標準)，引用之試驗法另以附錄 C 方式完整敘述補充於規範之后。</p>
歐昱 辰教 授	<p>1. 規範內容分為兩個等級，為本文及解說，附錄也是屬於解說之延伸。</p> <p>2. 規範對試驗方法是以引用方式說明，建議將試驗方法放至附錄 C。</p> <p>3. 25.5.7.1 主要為描述強度，若增加『尚須考慮其續接性能及續接位置對構材之影響』在被其它條文引用下會不會有誤解。例如被引用到 Ductile Steel Element。</p> <p>4. 建議本文 18.2.7.1(b)第二類中之『及伸長率』拿掉，否則需額外定義名詞。</p> <p>5. 草案資料第二頁，將『測試鋼筋機械式續接試體應依』</p>	<p>1. 同意，遵照辦理。</p> <p>2. 同意，遵照辦理。</p> <p>3. 同意，將不處理 25.5.7.1 節。</p> <p>4. 同意，文字將再修飾。</p> <p>5. 同意，文字將再修飾。</p>

	改寫為『鋼筋機械式續接試體之測試應依 CNS11560 辦理及本規範』。	
陳正誠教授	<ol style="list-style-type: none"> 4. 用合格標準取代允收標準。 5. 抽樣頻率影響品質，是否一并放進附錄。 6. 廠商能力試驗對試體可以分組方式呈現；施工抽查取樣試驗建議不分組，改以每個試體皆須符合規範。並規定抽樣頻率(300 的倍數)及指定試驗項目。 7. 預鑄工法之續接套筒需現場注射砂漿，無法對組件取樣試驗，建議於現場注射砂漿同時取樣做試體抗壓為代表性。 8. 廠商能力試驗亦須標明扭力值，作為日後抽樣查驗之依據。 9. 扭力值抽樣不合格對廠商是否有訂定懲罰以確保施工品質。 10. 25.5.7.1 紅字改寫為『尚須考慮其續接位置對機械式續接性能要求』。 11. 將草案 18.2.7.1 第一段解說移至本文中。 12. 抽驗的用意為何？若試驗不合格該如何處理？ 	<ol style="list-style-type: none"> 4. 同意，遵照辦理。 5. 同意，取樣頻率及查驗核要點將置於附錄。 6. 同意，將改成能力試驗一組 3 個，施工中檢驗不再分組，直接論述取樣頻率。 7. 同意，將納入解說附錄。 8. 同意，扭力值列為能力試驗報告應出具之數值。 9. 同意，列入附錄撰寫之參考。 10. 經座談決定暫不處理 25.5.7.1 節減少爭議。 11. 同意，遵照辦理。 12. 抽驗是為確保施工中品質一致性；抽驗若不合格將依 CNS 2608 第 9 節之規定比照辦理。
丁先勇協理	<ol style="list-style-type: none"> 4. 機械式續接試驗，以表及圖作說明。顯示之資料似乎簡化許多，例如兩側鋼筋伸長率取較大值、挫曲為無效試體，是否能詳述。 5. 一般採用應力-應變圖形或軸力-位移來顯現試驗流程。該草案以應力-位移表示是否合適。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同意，確實過於簡略，正式報告會再增修完整論述。 2. 謝謝指正疏誤，圖座標軸單位誤植會再修正。 3. 同意，但目前規範對彈性模數之單位為 SI 制跟 kgf/cm^2 並列，為維持風格一致擬並列單位。

附錄五 第二次專家座談會會議紀錄與簽到表

	<p>6. 鋼筋彈性模數建議採用公制單位，與 CNS 560 規範單位能否一致。</p> <p>7. 內文之『續接器』改為『續接器組件』。</p> <p>8. 會議資料中未標出兩側鋼筋伸長率取大者。</p>	<p>4. 感謝指正疏誤之處，全文一併調整。</p> <p>5. 感謝專家指正疏誤之處，隨即修正。</p>
陳奕信總經理	<p>4. 續接器性能標準主要有抗拉強度、殘留滑動量及伸長率三者，其中抗拉強度及伸長率之性能為鋼筋主控，因此建議伸長率之性能標準宜與 CNS 之伸長率要求進行整合。</p> <p>5. 由於機械式續接之細節甚多，有關取樣、詳細試驗程序、合格標準等，建議以附錄或附篇方式呈現。</p>	<p>1. 同意，伸長率將比照母材鋼筋之合格標準。</p> <p>2. 同意，遵照辦理。</p>
邱建國教授	<p>3. 18.2.7.1 之第一類，其條款應補充相關性能需求，以使其對應 B 級續接器。</p>	<p>3. 同意委員意見，遵照辦理納入建議案。</p>
林克強研究員	<p>4. 建議續接器組件伸長率以『不低於母材伸長率之多少』表示，以涵蓋日後更高強度之鋼筋。</p> <p>5. 建議高塑性初始割線勁度取 0.1-0.7 Py。</p> <p>6. 目前規範並無定義 Py。</p> <p>7. 建議將續接器規範獨立出來以適用往後各種續接器檢驗。</p>	<p>4. 同意，遵照辦理。</p> <p>5. 同意，將研究數據後確認上下限值。</p> <p>6. 同意，研究團隊會再確認符號說明一致性。</p> <p>7. 同意，將一併處理。</p>
陶其駿主任	<p>3. 草案第一頁倒數第二段，『因此機械式續接宜具有』在認定上是參考或屬強制性？</p> <p>4. 同上述，『設計者可以經由鋼筋續接器性能試驗或構材耐震試驗來證明機械式續接性能是否符合要求』，能否</p>	<p>3. 感謝建議，規範及解說用詞會再斟酌修正。</p> <p>4. 同上。</p> <p>5. 同意，將全文一併清查修正。</p>

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

	<p>拿掉『構材耐震試驗』並歸類為新材料新工法較為單純。</p> <p>5. 規範中不適宜出現『廠商』等用字。</p>	
--	---	--

「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」

第二次專家座談會簽到單

會議時間：106年9月28日(星期四)上午10:00~12:00

會議地點：內政部建築研究所大坪林辦公室15樓第3會議室

計畫主持人：雲林科技大學 李宏仁 副教授

協同主持人：台灣科技大學 陳正誠 教授

李宏仁
陳正誠

出席委員簽到表

出席單位與人員	簽名
內政部建築研究所 陳建忠 組長	
內政部建築研究所 陶其駿 主任	陶其駿
內政部建築研究所 李台光 研究員	李台光
內政部建築研究所 黃國倫 研究員	黃國倫
台灣世曦工程顧問 王炤烈 總經理	
永峻工程顧問 陳奕信 總經理	陳奕信
國家地震工程研究中心 黃世建 主任	
國家地震工程研究中心 林克強 研究員	林克強
國家地震工程研究中心 蕭輔沛 研究員	
台灣大學土木工程學系 歐昱辰 教授	歐昱辰
台灣科技大學營建工程系 邱建國 教授	邱建國
台灣檢驗科技 SGS 台北實驗室 丁先勇 經理	丁先勇
華光工程顧問 楊梅實驗室 陳在炘 主任	陳在炘

列席單位與人員	簽名
雲林科技大學 張家榮 研究助理	張家榮

附錄六 期末審查會議紀錄

本所 106 年度委託研究「中高樓層建築非韌性 RC 配筋柱擴柱補強技術研究」、「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」及「中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：106 年 10 月 31 日（星期二）上午 9 時 30 分

二、地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第三會議室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）

三、主持人：王副所長安強 記錄：黃國倫、李台光

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「中高樓層建築非韌性 RC 配筋柱擴柱補強技術研究」案：

中華民國全國建築師公會 林建築師鴻志：

本案採用繫筋植筋，其植筋要求（如植筋膠材料及強度等）為何？

王技師亭復：

1. 請說明本案結論建議之補強方式，究竟為採試體 S3-JCD/T3-JCD 之方式，或是試體 S2-M/T2-M 之方式。

2. 請說明本案期末報告表 3-4 鋼筋拉伸試驗試片，係依 CNS 2112 標距 5db，或 ASTM A706 標距 200mm 進行？若採標距 5db 之試片，則鋼筋 #8-2 及 #8-3 之伸長率，依 ISO 標準可能不及格（期末報告第 207 頁附錄表 3-7 及 3-8）。

3. 期末報告表 3-1 中，S3-JCD、S4-JC 及 T3-JCD 試體之尺寸標示有誤，請修正。

4. 期末報告圖 4-54 至 4-56，是否為繫筋之應變值？圖 4-56 之 $\varepsilon / \varepsilon_y$ 已達 6，建議根據試驗過程，討論試體之圍束效果，並檢核以 Mander 公式計算與彎矩-曲率分析是否相吻合。

邱顧問昌平：

1. 國內校舍之 RC 柱擴柱工法，絕大多數用於 3 層樓以下之建築物，國外之試驗研究(文獻[1]至[7])也都是小尺寸 RC 柱，故採矩形柱四側加寬之擴柱補強，在施工性及經濟性皆可行。
 2. 中高層樓 RC 構造建築，通常都有 B1 層(甚至到 B2 層)，且邊柱之數目偏多，而外側搭架施工之困難度甚高，再則牽涉到地下室 RC 擋土牆或連續壁，以及其外側之土與水等問題，RC 擴柱補強並不值得鼓勵。921 大地震後位於中部的秀傳醫院，係採外加鋼板包覆之擴柱方式，此方法應用在中高樓層大樓較合適。
 3. 文獻[1]至[7]新舊混凝土介面之處理方式(只敲除粉刷層打毛，或加剪力筋加強介面密合)，應比「敲除保護層」之方式合宜。
 4. 本案探討重點為「箍筋不足」，但 20 年前已有緊密箍筋之規定，為何還有「箍筋間距過寬」之問題？(維冠大樓之建築師借牌問題，此為建管制度之缺失。)
 5. 本案花費很多人力及經費，故在工地施工製作之合宜與否，應一併探討。亦請探討補強繫筋之植入密度或深度(達 200 mm)必要性，若原 RC 柱已有震損，或原 RC 柱寬度小於 600 mm 之情況是否適用？提出建議方案時，請述明應該考慮限制條件(如已有嚴重震損之 RC 柱不適用等)。
 6. 國內施工習慣及本案，皆為敲除原始柱之保護層，請說明為何不要只敲除粉刷層至原 RC 柱面再打毛。請說明封模後，是否需在灌漿前先淋水潤濕？
 7. 期末報告第 52 頁圖下方，需增加文字「圖 3-1 試體設計」，而第 53 至 55 頁之圖下方，需增加文字「圖 3-1 試體設計(續)」。
- 陳副總經理煥煒：
1. 本案說明敲除原始柱之保護層時係採 6 mm 振幅，建議「振幅」改為「打毛」或「粗糙度」。
 2. 請說明實務應用上，邊柱或角柱無法四面擴柱是否仍適用。
 3. 鋼筋如採用植筋，宜規定植筋深度需達「降伏埋深」。
- 曾協理慶祥：

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

1. 本案係針對屋齡 20 年以上、樓高 7 樓以上、未滿 50 公尺之中高層 RC 建築，實際上台灣目前 30 年以上的中高層 RC 建築(甚至 40 年以上)也不少，本案可否涵蓋並直接應用之？
2. 本案預期成果包含提出補強設計準則及標準配筋圖，依預計進度，應於 9 至 10 月完成，惟期末報告並未呈現，請說明。

陳組長建忠：

1. 本案期末報告第二章文獻回顧，相較其他案子較為完整。
2. 對於中高樓層的定義為何是 7 層樓以上建物？是否 6 層樓與 7 層樓建物行為會有巨大差異？本案是否適用於 6 層樓建物？如無特別考量，建議可依照建築法供公眾使用建築物 6 層以上來定義。
3. 所謂提升 37 %、157 %、12 %、146 %、100 %及 140 %是相對於何種分類？可否用規範基準比對說明？
4. 各試體是比對哪一受損建築物？有否其受損建築物該部分資料可檢核？否則如何掌握建築物受震損壞的原因？本案研究成果應是可用且有用的。
5. 請提出至少 3 種未來可進行研究與本案獨立分離之提案單，格式洽本所人員。

王副所長安強：

最終成果未於期末報告提出，希望能在合約期限前盡快補齊。

研究單位回應(歐教授昱辰)：

1. 本案採用植筋膠廠商提供相關手冊建議之降伏埋入深度，以及混凝土結構設計規範計算之伸展長度(Ld)，取大值做為本案植筋之設計深度，故已相當保守。
2. 本案所提補強方式，並無法應用於邊柱及角柱，因其原有柱本身的圍束不足，若無四邊補強，無法改善圍束不足之問題，且施工方式還需再研擬。鋼板補強只能提升柱裡圍束及剪力強度，並不能提升撓曲強度，而本案之補強方法能有效提升撓曲強度、剪力強度、柱裡圍束及韌性。

3. 本案之實驗與結果討論皆已完成，最終成果設計準則及標準配筋圖，會在成果報告提出。
4. 本案推廣之補強方案係試體 S3-JCD 及試體 T3-JCD，主因為其符合規範的規定(繫筋間距 $\leq 35\text{cm}$)，實驗結果顯示，與未植補強繫筋之試體(S4-JC)比較，發現強度差不多但韌性差 20%，因此在柱面植入補強繫筋，有其必要性。
5. 鋼筋的試驗規範，會在成果報告補充。
6. 本案發現美濃大地震受損倒塌的中高樓層 RC 建築多為屋齡約 20 年，而屋齡 30 年或 40 年的中高樓層 RC 建築暫時不討論。
7. 期末報告對於 6 mm 的「振幅」會更正成「粗糙度」。
8. 依勘災經驗統計而言，7 樓以上的建物，較容易發現震損問題，故本案中高樓層建築暫以 7 樓為界。
9. 本案建議之補強方式，可使用混凝土設計規範公式，計算柱之抗彎強度，因此可透過設計，符合係數化載重之強度需求。

(二)「建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究」案：

中華民國全國建築師公會 林建築師鴻志：

被續接鋼筋母材之機械性質及化學性質，應與續接工法(例如摩擦銲接)相匹配。

王技師亭復：

1. 期末報告第 133 頁所建議修訂規範 5.15.3.3 節，刪除「延展性」，建議仍予保留，因其較伸長率，更能正確表現接合耐震性。
2. 期末報告第 115 頁所建議修訂規範 15.3.6.5 節於解說內容，宜加入 ACI318-2014 R18.2.8 第二段解說，亦即「實用上在可能發生塑鉸區不得續接，若無法避免時，應採用第二類續接，其應力-應變特性應與續接鋼筋相近，且應符合續接鋼筋之『耐震性能需求』，亦即不得妨礙該位置產生塑鉸。」。
3. 期末報告第 14 頁對於加州 Caltran SDC 續接規定所指 9%或 6%，均為均勻伸長率，ISO 規定耐震鋼筋全部為 8%，不受標距試體強度、形狀、尺寸影響。Caltran 拉力試驗為取續接鋼筋未拉斷之一支，量測其均勻伸長率。

4. 量測均勻伸長率 ε_{dc} 時，伸長計不必全程架設，另若續接器用於塑鉸區，為量測套管 ε_{dc} ，圖 1-6 宜另選用架設「伸長計 5」（可參考 CNS 15560 之圖 1）。
5. 期末報告對於加州交通部規範有誤解，有關於續接器使用位置的說明，要再加強，需特別強調避免在塑性區使用。Caltran SDC 之續接分為「塑鉸區不得續接」、「極限強度續接」及「服務強度續接」3 類。若無法避免，應於靠近非塑鉸區續接。
6. 現行 CNS 伸長率規定，係以 ASTM A706 規定 12 % 為基準（例如 SD420W），CNS 2112 中 14A 試片之標距為 5db，而 ASTM 試片標距為 200 mm，後者較長，量測值會較短，以 ISO 規定試片（標距同樣為 5db）要求伸長率 16 % 及均勻伸長率 8 %，CNS 560 修訂案，僅將伸長率要求由 12 % 提高至 14 %，並未與國際接軌。

邱顧問昌平：

1. 本案對鋼筋機械式續接組件（以下簡稱試體）之品管，進行 80 組試驗，所得成果，完成部頒版及新版混凝土結構設計規範草案相關條文修正建議，以及附錄 C「規定鋼筋機械式續接之品質檢驗基準」之立即可行建議和中長期建議，成果良好。另以 4 組 RC 梁試體進行彎曲試驗做補充修正之用。尚有一些試驗待做，於成果報告再詳述。
2. 「試體」之 3 要件為「鋼筋本身」（不可用合格鋼筋成品混充工地取樣）、「續接器本身」及「製作與施工方式」，此 3 要件之品質確認，亦應在修正條文中敘明。
3. 期末報告附錄四之第 2 個規範修正案，第 5.15.3 節銲接或機械式續接器，其 5.15.3.1 至 5.15.4 條文與解說，敘及全銲續接部分，似有不足且不妥之處，業者冒然採用實係一大災難。日本規格之好鋼筋，以對銲方式組合成鋼筋籠，其製作、施工、品管有專門之規範，非 ANSI/ANS 足以因應。鋼筋全銲對接規範部分不夠妥善，水淬鋼筋文字部分刪減有疑慮，非本案範圍建議不要納入報告。

陳副總經理煥煒：

本案能提供機械式鋼筋續接器性能合格標準，及施工品質檢驗準則，可補足 104 年新訂 CNS 15560 只規定試驗方法，未規定檢驗頻率及合格標準的不足。

曾協理慶祥：

請作說明如何確保機械式續接施工之品質管制準則。請說明本案成果是否主要為附錄四規範修正案及附錄 C。

陶主任其駿：

1. 本案所提對現行與新規範草案修訂條文之建議，應依營建署對法規修訂提案規定之 3 段式表格撰寫。
2. 有關「建築工程鋼筋機械式續接施工品質管制標準」之預期成果，於成果報告應有專節之說明。

陳組長建忠：

1. 原修訂 CNS 15560 並無扭力等檢驗法，請提出修正條文，俾便送標檢局修正，藉以在規範以及 TAF 實驗室申請增項使用。
2. 關於續接器性能承受多次反復之非彈性應變等，只有定性規定，解說有提到規範附錄乙或是附錄 C。規範要求應放在本文、解說或是附錄，請再斟酌。
3. 請提出至少 3 種未來可進行研究與本案獨立分離之提案單，格式洽本所人員。

王副所長安強：

本案建議之成果發表會，為何屬中長期建議，而非立即可行建議？

研究單位回應(李教授宏仁)：

1. 於成果報告附錄四 C.1.1.2 節規範，擬增加敘述被續接鋼筋母材之機械性質及化學性質，應與續接工法相匹配。
2. 取樣需要代表性，將在修正提案納入，強化取樣流程及檢驗程序之細節，將修改 C.2.1.4 節解說。
3. 本案將在第二章補充建議，不鼓勵在工地現場實施對鐸壓接，並敘述水淬鋼筋對鐸之疑慮。

4. 研究團隊充分理解，採用均勻伸長率，可統一被續接鋼筋韌性合格標準，也瞭解伸長計可精確地量測。但由於我國國家標準仍慣用破斷伸長率，且實驗室需要較務實之伸長率量測法，故仍須以多數人採用之破斷伸長率，作為規範提案。
5. 本案將把第二類解說全文，納入規範修正案。
6. 本案將建議均勻伸長率合格標準為 8 %。
7. 橋梁工程與建築工程之特性有差異，關於塑鉸區使用準則本應不同，此部分會在成果報告，再補充說明。
8. 附錄四確實是本案主要建議，已包含施工過程取樣方法、試驗項目、檢驗頻率及合格標準，惟關於續接組件所有元件包括母材、填充材等應該再加強。
9. 後續格式修正後，提案進入實質審議程序，內容還會持續修正，期能更嚴謹、務實可行，以對工程品質有幫助。
10. 本案也可以反饋建議國家標準不足之處。
11. 本案初步認為營建署審議程序通過後，才宜辦理正式說明會，故列為中長期建議。

(三) 「中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究」案：

中華民國全國建築師公會 林建築師鴻志：

1. 本案題目與研究內容之關聯性，須再清楚一些，就其實際內容，主要是放在耐震初步評估法比較之研究及建議。
2. 請團隊加強說明歷年耐震設計規範之影響極大，以我所在某區域而言，僅就新舊規範在某條件下，設計地震力竟可達到 30%之差異(新規範較高)，而未列為耐震不足之因素，實為不足(上述所謂舊規範泛指建築技術規則構造篇)。

王技師亭復：

1. 本案若為補充 PSERCB 初步評估，則(1)贅餘度、(2)穩定因子、(3)立面不規則與(4)耐震容量需求比等，應予簡化，不必結構分析且數據化。
2. 贅餘度亦即 PSERCB 之第(1)項靜不定，或可依墨西哥(MOC)規範給分。

3. PSERCB 第(3)項中平面對稱性，則宜依技術規則表 1.2 之 2.3 項，予量化給分。
4. PSERCB 第(4)項中立面對稱性，則宜依技術規則表 1.1 或 IBC(1a, 1b, 1c, 2, 3, 4, 5, 5a)予以量化，若為極軟層(1c)及極弱層(5a)，則初評給分應予 60 分不及格。
5. 極軟層之各層橫向剛度，可簡化為各柱及牆上下均為固接，即(第 23 頁)，予以計算。
6. 極弱層則依第 39 頁初步評估簡單計算耐震容量需求比 RCD，依其評分反推入 PSERCB 第(7)項中，惟若 $RCD < 0.5$ (即 $E < 50\%$) 則屬極弱層，此第(7)項直接計 60 分為不合格。
7. 增列穩定因子 j 為簡化計算，依期末報告第 15 頁公式，若大於 0.25，則在初評給 60 分不合格，另分 0.1 與 0.15 酌給分。

邱顧問昌平：

1. 本案目前完成之重點在第三章，以第二節至第六節的 6 個既有中高樓層建築物進行耐震初評，所得 E_x 、 E_y 值皆小於 100 分，須進行詳評。其所採之 PSERCB 方法等證明方法可行(第二章第五節)，但圖 2-22 中公式(2.5.12)至(2.53)及(2.54)等，似與第四節、第五節中之(2-1)至(2-32)等不符。
2. 改進補強對策為何，似尚敘明於成果報告(簡報中已有)。
3. 6 個案例對 B1(或 B1、B2)地下層之結構耐震力與其在初評中之位階或如何量化，未說明之。
4. 原有建築 A/E 圖之檢核，與現場實地探勘之比對，使用中是否有嚴重之結構變更或超限使用等，皆未見於流程中。
5. 30 年前已一再強調軟弱層及扭轉效應之弊病，為何仍一再出現？
6. 結論與建議提及 P- Δ 效應，更應考慮單薄中高樓而只有入土一層時，於軟弱層 B1 層之 rocking 效應，以及邊柱拉拔力之能力檢核，不宜一味將上部結構模擬，完全固定於 GL 面。
7. 文字修正：

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

(1)第三章中第一節至第六節的文字結尾，敘及……須在進行詳細評估，「在」字改為「再」字。第二節中興建年代之描述有 81 年、79 年。

(2)第三章第四節之圖 3-55 有甲棟及乙棟(須加註)，而在 6、7、9... 中只見乙棟，請本節再修正。

陳副總經理煥燁：

1. 案例評估結果「梁之跨深比」的定義為何？簡報提及幸福與旺林深梁過淺，但跨深比確比較小？
2. 簡報資料第 3 頁勘災分布圖都是「簡體字」？母片有「國家地震工程研究中心」似不妥。
3. 本案對於目前的耐震初評方式，能有效改進且執行的方式尚屬簡易。

曾協理慶祥：

1. 期末報告第 201 頁，評估項目「剛重比指標」沒有訂定權重 W，請補充。
2. 期末報告第 202、203 頁，建議三提及增訂有關結構贅餘度、P- Δ 效應及樓層非線性側向位移限制等及相關規定，請說明具體建議內容。

陳組長建忠：

1. 本案所完成 PSERCB 的程式開發，宜請將原始碼程式說明及軟件交存本所。(其分析宜有可綜合交叉分析、統計功能)。
2. PSERCB 所建議修正部分，是否以表面量測、目視及有內部無法鑽心探視的參考值(如剛重比等)可參考的方式來修正或增列，以降低人力負擔。
3. 修正的 PSERCB 請檢核是否較有鑑別度？是否以 0206 已收集的倒塌案例核算即知，如怎麼修正在鑑別度上產生效果，請具體反映，以便 PSERCB 協助研修，各研究人員注意參考。
4. 請提出至少 3 種未來可進行研究與本案獨立分離之提案單，格式洽本所人員。

王副所長安強：

本案研究成果，應提出「建築物耐震設計規範及解說」修訂條文(草案)，以利後續法制化作業。

研究單位回應(鍾副主任立來)：

1. 本案主要針對有關既有中高樓層建物初評程序，與力傳遞路徑不良、贅餘度不足、底層軟弱、結構不規則效應過大及非韌性配筋等因素之相關性，以研擬例如 PSERCB 初評等程序之修正方案，並未撰寫程式碼或軟件，但會將本案的成果與相關建議傳達給 PSERCB 研發團隊參酌修正。
2. 本案針對結構不規則性、底層梁柱構件強度與韌性及 P- Δ 效應等，提出相對應之量化方法，工程師若無法獲取建築結構圖說等資訊，或無法進行內部混凝土鑽心取樣等，可依工程上之經驗值配合參酌本案所提之量化指標，以進行初評，應可適切彌補相關資訊不足的缺憾。
3. 根據本案所進行之案例研討，發現有關底層梁柱構件強度與韌性及 P- Δ 效應等與建物嚴重損壞或倒塌原因有明顯相關，故建議 PSERCB 初評程序，可適度將有關結構不規則性、底層梁柱構件強度與韌性及 P- Δ 效應等，參酌本案所建議之量化方法，加以量化後融入定量評估內容之項目與分級，應可適度提升其鑑別度。
4. 本案題目所提底層軟弱與扭轉不規則等內容，利用結構不規則性、底層梁柱構件強度與韌性及 P- Δ 效應等，提出對應之量化方法，並經一系列之案例研討，以探究其對既有中高樓層建物耐震能力之影響。
5. 本案將在成果報告，簡要整理近年建築物耐震規範的主要變革及其原因，以說明其新舊規範差異所在。
6. 本案所提(1)贅餘度、(2)穩定因子、(3)立面不規則與(4)耐震容量需求比之量化方法時，皆力求儘量不必進行結構分析，利用圖說資訊及簡易估算方式，直接進行簡易估算即可。
7. 有關樓層側向剛度之簡易估算方法，會在成果報告再加詳細說明。

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

8. 有關本案所研討的 6 個案例之地下層相關資訊，若已有獲取相關圖說者，則補充於成果報告，並說明其在初評中之位階及量化方式。
9. 已增補有關結構贅餘度、P- Δ 效應及樓層非線性側向位移限制等，以及相關規定草案之具體建議內容。
10. 參考現行建築物耐震設計規範及解說第三章動力分析方法，建築物超過 20 公尺或 5 層以上，應採用動力分析方法設計，故本方案中高樓層建築高度暫以 20 至 50 公尺為範圍。

七、會議結論：

(一) 本次會議 3 案期末報告，經審查結果原則通過；請業務單位將與會審查委員及出席代表意見詳實記錄，供執行團隊參採，並注意本部規定格式提交成果報告。

(二) 請執行團隊依本次會議與會審查委員意見卓參修正報告書，本所期待成果結論能與預期成果呼應；另成果建議事項須考量建議機關或單位職掌及實施時間的可行性，建議內容宜詳細描述並具體可行。

八、散會：中午 12 時 30 分。

附錄六 期末審查會議紀錄

參考書目

- [1] 中華民國國家標準, CNS 560 鋼筋混凝土用鋼筋, 經濟部標準檢驗局, 2014.
- [2] 中華民國國家標準, CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗法, 2015.
- [3] 中華民國國家標準, CNS 17025 測試與校正實驗室能力一般要求, 2007.
- [4] 蔡榮一, "公共工程服務計畫的緣起、形成及意義/價值," 認證報導 TAF Newsletter, July 2012.
- [5] 中國土木工程學會, 混凝土工程設計規範與解說(土木 401-86)-附錄乙: 機械式續接器續接, 台北, 1998.
- [6] 內政部營建署暨內政部建築研究所, 鋼筋續接施工規範及解說(草案), 1999.
- [7] 何明錦, 陳正誠, 黃伯誠, 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, 編號 093301070000G3019, 台北, 2004.
- [8] 中華民國結構工程學會, 鋼筋續接器續接規範, 工作小組工作報告 CSSE 96-01, 2007.
- [9] 內政部營建署, 混凝土結構設計規範, 營建法令, 2011.
- [10] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 520 pp.
- [11] 中國土木工程學會, 混凝土結構技術規範 (ACI 318-14 Traditional Chinese) 及解說 (ACI 318R-14 Traditional Chinese), Dec. 2016.
- [12] 王炤烈, 黃世建, 李釗, 蕭輔沛, 混凝土結構技術規範之修正研擬, 內政部建築研究所研究報告, 編號 105301070000G0033, 台北, 2016.
- [13] 公共工程委員會, 施工綱要規範, 第 03210 章 鋼筋, V1.0, Aug. 2001.

- [14] 公共工程委員會，施工綱要規範，第 03210 章 鋼筋，V2.0, Aug. 2003.
- [15] 公共工程委員會，施工綱要規範，第 03210 章 鋼筋，V3.0, Aug. 2005.
- [16] 日本土木學會，鉄筋継手指針，1982, 208 pp.
- [17] 日本建築學會，鉄筋混凝土造配筋指針，1986
- [18] ASTM A1034-05, Standard Test Methods for Testing Mechanical Splices for Steel Reinforcing Bars, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, 6 pp.
- [19] 李宏仁，「建築工程鋼筋續接器的合理應用」，混凝土科技，第 10 卷，第 2 期，第 56-64 頁，2016。
- [20] 公共工程委員會，施工綱要規範，第 03210 章 鋼筋，V4.0, Aug. 2016.
- [21] 台灣混凝土學會 TCI 技術報告，高強度鋼筋續接器續接性能規範，2014 年 10 月。
- [22] 日本土木学会，鉄筋定着・継手指針，2007, 561 pp.
- [23] 日本國土交通省，建築物の構造關係技術基準解説書，政令政令第 73 條，鉄筋の継手及定着，2007.
- [24] 李宏仁，王淑真，"論新世代鋼筋續接器性能評定方法," 混凝土科技, V. 3, No. 2, April, 2009, 2009, pp. 58-67.
- [25] 陳智軒，高強度鋼筋續接器性能評估，碩士論文，國立雲林科技大學營建工程系碩士班，雲林，2014。
- [26] NIST, "Use of High-Strength Reinforcement for Earthquake Resistance of Concrete Structures," NIST GCR Report 14-917-30. Prepared by the Applied Technology Council for the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, March 2014.
- [27] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). AASHTO Guide Specification for LRFD Seismic Bridge Design. Washington, D.C., 2014.

- [28] Caltrans, Standard Specifications, Department of Transportation, California State Transportation Agency, State of California, 2015, pp. 713-714.
- [29] Caltrans, "California Test 670 - Method of Tests for Mechanical and Welded Reinforcing Steel Splices," Transportation Laboratory, Division of Engineering Services, Department of Transportation, California State Transportation Agency, State of California, 2013.
- [30] Ameli MJ, Brown DN, Parks JE, and Pantelides CP. Seismic column-to-footing connections using grouted splice sleeves. *ACI Structural Journal* 113(5): 1021-1030, 2016.
- [31] Ameli MJ and Pantelides CP. Seismic analysis of precast concrete bridge columns connected with grouted splice sleeve connectors. *Journal of Structural Engineering* 143(2), 04016176, 2017.
- [32] Yang Y, Sneed LH, Morgan A, Saiidi MS, and Belarbi A. Repair of RC bridge columns with interlocking spirals and fractured longitudinal bars – an experimental study. *Construction and Building Materials* 78: 405-420, 2015.
- [33] Tazarv M and Saiidi MS. Seismic design of bridge columns incorporating mechanical bar splices in plastic hinge regions. *Engineering Structures* 124: 507-520, 2016.
- [34] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). AASHTO LRFD Bridge Design Specification. Washington, D.C., 2014.
- [35] ASTM A706/A706M-15, "Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, 7 pp.
- [36] ACI Committee 439, "Types of Mechanical Splices for Reinforcing Bars (ACI 439.3R-07)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007, pp. 24.

- [37] 中華民國結構工程學會等著, 房屋結構鋼筋施工綱要與品管, 科技圖書, 台北, 2013, 256 pp.
- [38] Coogler, K. L.; Harries, K. A.; and Gallick, M., "Experimental Study of Offset Mechanical Lap Splice Behavior," *ACI Structural Journal*, V. 105, No. 4, Jul-Aug, 2008, pp. 478-487.
- [39] Sayadi, A. A.; Rahman, A. B. A.; Jumaat, M. Z. B.; Johnson Alengaram, U.; and Ahmad, S., "The Relationship Between Interlocking Mechanism and Bond Strength in Elastic and Inelastic Segment of Splice Sleeve," *Construction and Building Materials*, V. 55, 2014, pp. 227-237.
- [40] Phuong, N. D.; and Mutsuyoshi, H., "Experimental Study on Performance of Mechanical Splices in Reinforced Concrete Beams," *ACI Structural Journal*, V. 112, No. 6, Nov-Dec, 2015, pp. 749-760.

建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：李宏仁、陳正誠、陳建中、張家榮

出版年月：106年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-05-4324-7（平裝）