

不同軸力下組合繫筋型式對方 形RC柱撓曲行為之影響

內政部建築研究所
李台光研究員

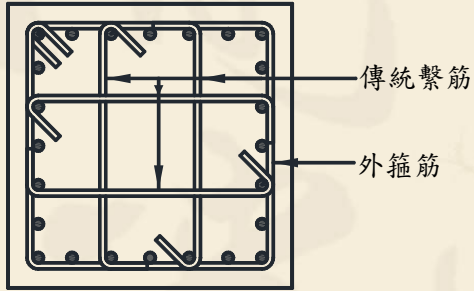


簡報內容

- ❖ 研究緣起及目的
- ❖ 相關文獻之蒐集與分析
- ❖ 不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論
- ❖ 既有RC柱軸壓實驗研究成果
- ❖ 既有RC柱撓曲實驗研究成果
- ❖ 試驗結果與討論
- ❖ 結論與建議

2

研究緣起(1)



- ❖ 鋼筋混凝土(RC)柱斷面的橫向鋼筋，在**圍束核心混凝土**上扮演重要的角色。
- ❖ 橫向鋼筋由圍繞斷面的**箍筋**及數根**繫筋**組成。
- ❖ **傳統繫筋90度彎鉤**的圍束效果較差，嚴重影響RC建築耐震安全。

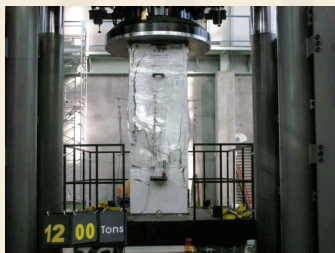
研究緣起(2)(921地震災害照片)



研究緣起(3)(0206地震災害照片)



研究緣起(4)



- ❖ 本所**3000噸萬能試驗機**，可進行大尺寸鋼筋混凝土柱**軸壓實驗**(斷面：**75 cm**)。
- ❖ 本所**大型試驗構架**，大尺寸方形柱，可進行大尺寸鋼筋混凝土柱**撓曲實驗**(斷面：**60 cm**)。

研究目的

- ❖ 驗證大尺寸RC方形柱在不同軸力下組合繫筋之撓曲行為，提供國內工程實務界參考。
- ❖ 依據本研究之結論，提出兼顧圍束效果及施工性繫筋配置方式之建議，提供國內工程實務界參考。
- ❖ 檢討現行RC構造設計規範柱繫筋之相關規定，並且提出適用於大尺寸RC方形柱繫筋施工方式之規範條文建議。

相關文獻之蒐集與分析(1)

- ❖ ACI 318M-11(橫向鋼筋量規定)

$$A_{sh} / sb_c \geq 0.3 \frac{f'_c}{f_{yt}} \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \leq 0.09 f'_c / f_{yt}$$

- ❖ Elwood et al. (2009) (較合理的橫向鋼筋量)

$$A_{sh} / sb_c \geq 0.25 k_p k_n (f'_c / f_{yt}) (A_g / A_{ch})$$

$$k_p = \frac{P_u}{A_g f'_c} \geq 0.2 \quad k_n = [0.6 + 0.4(n/n_{ls})][(h_x + 12) / 20]$$

相關文獻之蒐集與分析(2)

❖ ACI 318-14(橫向鋼筋量規定)

Transverse reinforcement	Conditions	Applicable expressions	
$\frac{A_{sh}}{s b_c}$ for rectilinear hoop	$P_u \leq 0.3A_g f'_c$ and $f'_c \leq 10,000$ psi	Greater of (a) and (b)	$0.3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (a)
	$P_u > 0.3A_g f'_c$ or $f'_c > 10,000$ psi	Greatest of (a), (b), and (c)	$0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (b) $0.2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (c)
ρ_s for spiral or circular hoop	$P_u \leq 0.3A_g f'_c$ and $f'_c \leq 10,000$ psi	Greater of (d) and (e)	$0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (d)
	$P_u > 0.3A_g f'_c$ or $f'_c > 10,000$ psi	Greatest of (d), (e), and (f)	$0.12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$ (e) $0.35 k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$ (f)

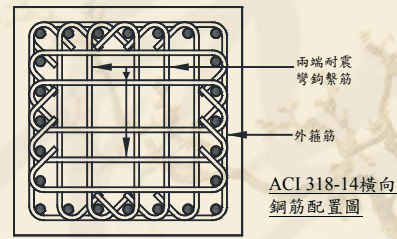
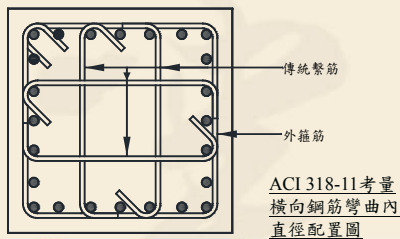
$$k_f = \frac{f'_c}{25,000} + 0.6 \geq 1.0$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2}$$

相關文獻之蒐集與分析(3)

❖ ACI 318-14

- ▶ 當柱之軸壓比大於0.3或柱使用高強度混凝土時(不論軸力大小)，所有的主筋都要受內、外箍筋角落或耐震彎鉤(彎鉤角度大於135度)束制，致使繫筋的施工性大幅提高。



不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(1)

❖ 傳統繫筋(90/135)

- ▶ 傳統繫筋目前普遍使用於實際工程，安裝時通常先將135度彎鉤勾住對面的主筋，然後再旋轉繫筋將90度彎鉤扣住這一面的主筋。
- ▶ 現行規範規定柱主筋的淨間距不得小於1.5倍主筋直徑、1.33倍骨材最大粒徑及40 mm。以D32(#10)鋼筋為例，主筋之淨間距可能僅有48 mm，繫筋之安裝將相當困難。
- ▶ 柱主筋應有80~100 mm之淨間距，才比較容易施作。

不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(2)

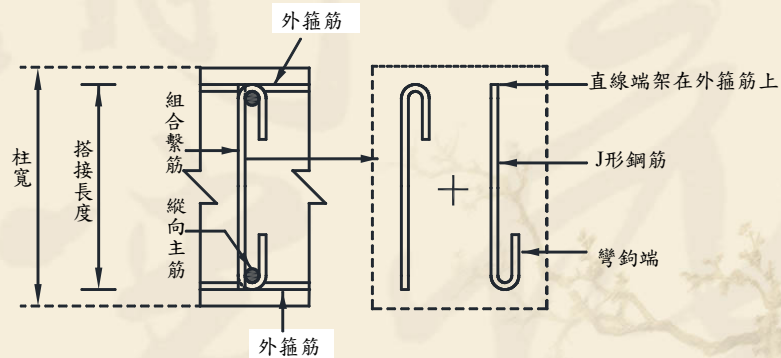
❖ 180度彎鉤一體繫筋(180/180)

- ▶ 在工地安裝180度彎鉤一體繫筋時，通常需要由主筋上端往下套，不但安裝較為困難，且常需要額外的施工架，實際工程很少使用。



不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(3)

❖ 組合繫筋(LS/180)



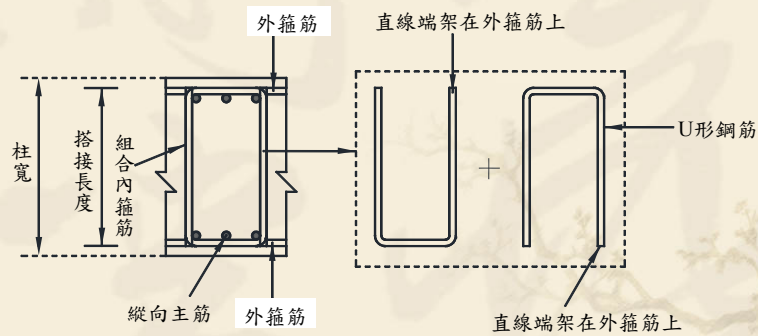
不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(4)

❖ 組合繫筋(LS/180)

- ▶ 組合繫筋的安裝由柱之對邊往柱內插入，主筋淨間距只要滿足設計規範的要求，即有足夠的空間來安裝組合繫筋，施工相當方便。
- ▶ 安裝時每一J形鋼筋之180度彎鉤都可以和主筋密接，J形鋼筋直線端架在外箍筋上，不但方便J形鋼筋之固定，並可避免混凝土澆置時J形鋼筋移位。
- ▶ 使用組合繫筋一方面可以增進韌性，另一方面施工簡便且施工品質容易控制，可以大幅提升鋼筋施工品質。

不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(5)

❖ 組合內箍筋(LS/cn)



不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(6)

❖ 組合內箍筋(LS/cn)

- ▶ 傳統內箍筋之安裝與180彎鉤一體繫筋類似，需由主筋頂部往下套，安裝相當困難，國內甚少使用。
- ▶ 組合內箍筋的安裝可以由柱兩對邊往內插入，比傳統內箍筋的施工簡易。
- ▶ U形鋼筋角落的主筋應該位於鋼筋彎轉處，U形鋼筋直線端亦應架在外箍筋上。

不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(7)

- ❖ ACI 318-14以有效圍束彎鉤個數來決定橫向鋼筋量，有效圍束彎鉤個數越多，所需橫向鋼筋量就越小，而僅有外箍筋之角落、內箍筋之角落、繫筋之135度彎鉤及繫筋之180度彎鉤，才被認定為有效彎鉤。
- ❖ 一支傳統繫筋(即90/135繫筋)僅具有1個有效彎鉤，而一支兩端為180彎鉤的繫筋(如180彎鉤一體繫筋及組合繫筋)則具有2個有效彎鉤，其有效性為傳統繫筋的兩倍。

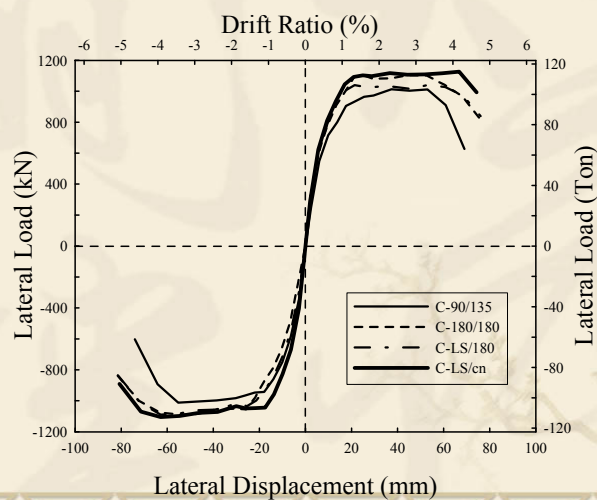
不同繫筋型式施工性及有效彎鉤討論(8)

- ❖ 傳統內箍筋及組合內箍筋都具有4個有效彎鉤，兩者之有效性相同。
- ❖ 以有效彎鉤的觀點觀之，組合繫筋及組合內箍筋，其有效性皆為傳統繫筋的2倍。

既有RC柱軸壓實驗研究成果

- ❖ 些微的繫筋施工誤差，影響RC方形柱之軸壓變形能力並不顯著。
- ❖ 標準繫筋同時鈎住主筋及箍筋之軸壓變形能力佳，但其施工性不佳。
- ❖ 180度繫筋之軸壓變形能力佳，但其施工性不佳。
- ❖ 180度組合繫筋之軸壓變形能力及施工性最佳，惟需進一步探討其撓曲行為。

既有RC柱撓曲實驗研究成果(軸壓比0.3)(1)



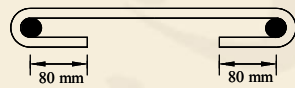
既有RC柱撓曲實驗研究成果(軸壓比於0.3)(2)

- ❖ 組合繫筋圍束混凝土之效應明顯比傳統繫筋優異，且與180度彎鈎一體繫筋的表現不相上下。
- ❖ 組合內箍筋圍束混凝土之效應最為優異。
- ❖ 組合繫筋可以大幅降低施工空間之需求，不但施工簡便、施工誤差可降到很低，且彎鈎可以和主筋密接，可有效提升RC柱之施工品質。

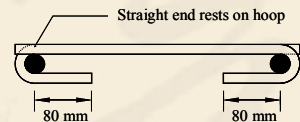
不同軸力下RC柱撓曲行為研究之必要性

- ❖ 組合繫筋係依賴鋼筋搭接強度將2支J形鋼筋組合而成，當柱承受的軸壓力越小，J形鋼筋搭接的效果也可能受影響，因此在柱的軸壓力偏小時，組合繫筋的一體性應該被檢驗。
- ❖ 超高層房屋底層之內柱往往承受很高的軸力，而底層柱在強烈地震作用下，又容易產生塑性鉸，因此組合繫筋在超高軸力作用下之耐震性能，也應該被檢驗。

RC柱試體之細部設計(3)



180-180 Crosstie



LS-180 Crosstie

試體製作照片(1)



試體製作照片(2)



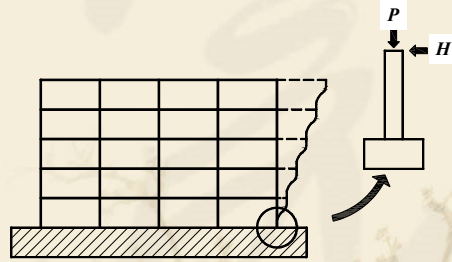
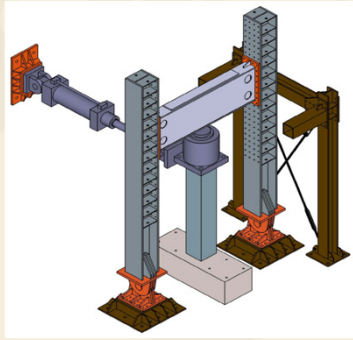
27

試體製作照片(3)

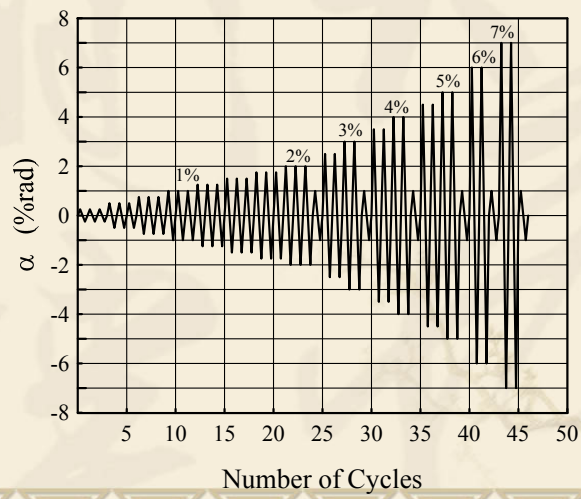


28

撓曲試驗及柱試體示意圖



側向位移加載歷程圖

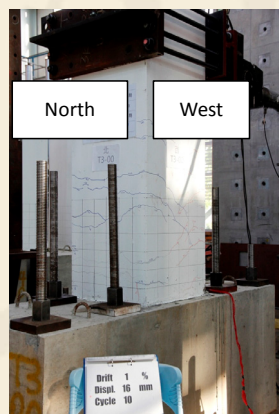


試驗結果討論-整體行為描述

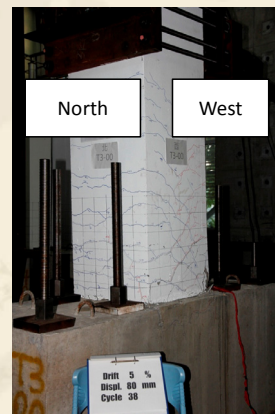
- ❖ 裂縫可分成2類，第1類為撓曲(水平)裂縫，發生於側推及側拉面，第2類則為撓剪(傾斜)裂縫，發生於側面。
- ❖ 所有試體的破壞模式，皆以塑性鉸區的撓曲破壞為主，且順序都很類似。

31

C-LS/180-00試體混凝土受損情況(1)

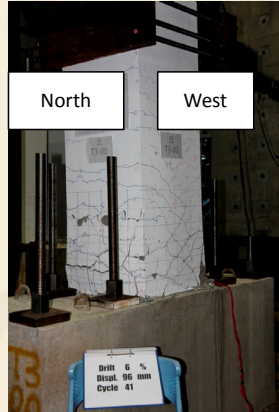


撓曲與撓剪細裂縫

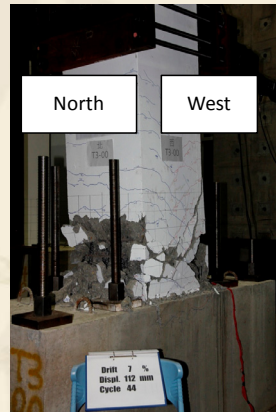


保護層明顯壓碎

C-LS/180-00試體混凝土受損情況(2)

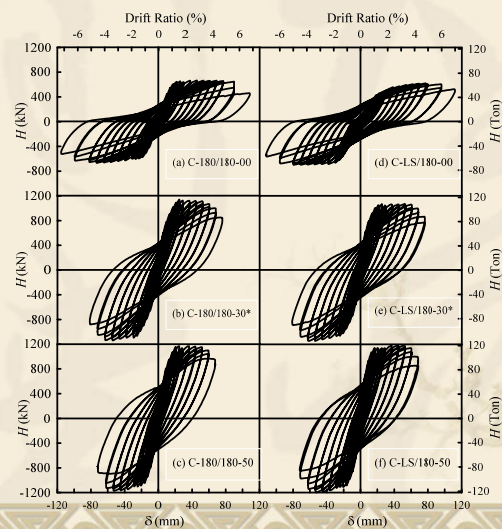


混凝土保護層明顯剝落

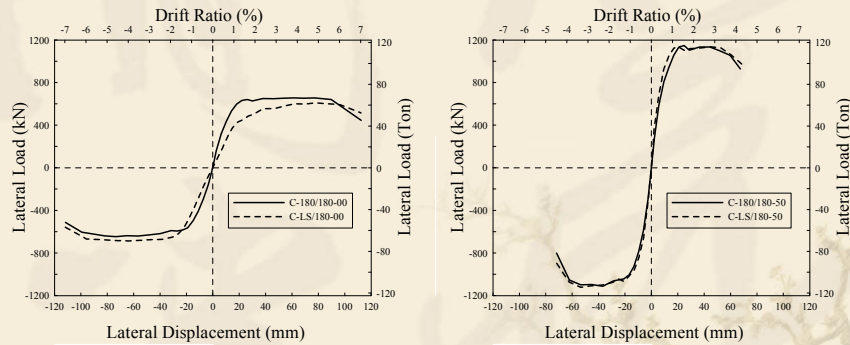


主筋受壓挫屈且核心混凝土壓碎

所有試體之側向載重與位移遲滯迴圈



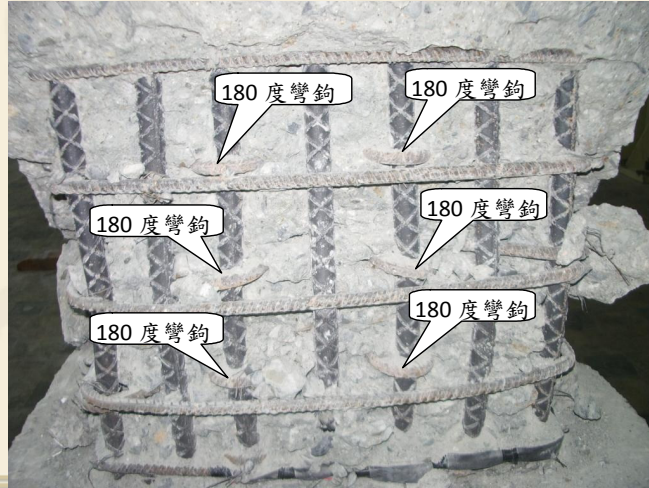
試體側向載重與位移包絡線



試驗結果討論-各種繫筋的表現

- ❖ 180-180繫筋：彎鈎內側的混凝土皆與彎鈎緊密接觸，彎鈎基本上沒有負面的變形。
- ❖ LS-180組合繫筋：彎鈎內側的混凝土也都與彎鈎緊密接觸，J形鋼筋直線端也沒有向柱內滑動的現象。

C-180/180-00柱試體破壞照片



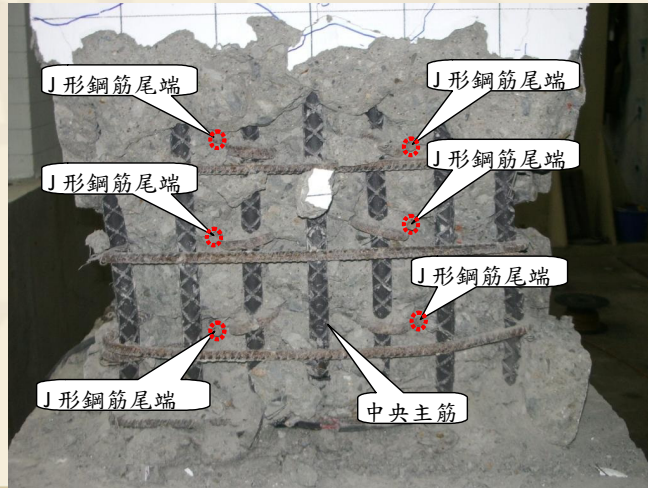
37

C-180/180-50柱試體破壞照片



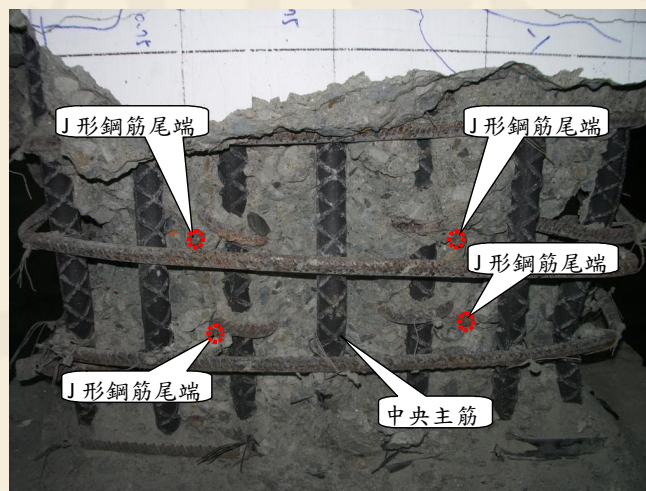
38

C-LS/180-00柱試體破壞照片



39

C-LS/180-50柱試體破壞照片



40

結論與建議(1)

- ❖ 使用組合繫筋之柱試體在不同軸力比作用下，其層間位移角容量及塑性轉角容量，與含兩端皆為180度彎鉤一體繫筋之試體不相上下。以組合繫筋取代傳統繫筋，可以顯著提升柱桿件之耐震性能。
- ❖ 含組合繫筋之柱試體在無軸力作用下，J形鋼筋直線端未發現有向柱內滑動的現象，顯示兩個J形鋼筋有效組合成一個兩端為180度彎鉤之繫筋，維持良好的一體性。

41

結論與建議(2)

- ❖ 使用組合繫筋及180度彎鉤一體繫筋之試體，其韌性表現皆隨著軸力比的增加，而大幅衰減。目前「混凝土結構設計規範」之橫向鋼筋量公式，並未依學理納入軸力比因子，建議可參考國際相關規範修正。

42

後續研究規劃

- ❖ 所有的主筋都受內、外箍筋角落或耐震彎鉤束制RC柱耐震性能之研究
- ❖ 水平搭接組合繫筋耐震性能之研究
- ❖ 搭接長度對組合繫筋圍束效應影響之研究
- ❖ 含組合繫筋RC柱承受軸拉力耐震性能之研究

43

敬請指正