

因應規範發展潮流之配筋細節探討

陳奕信／永峻工程顧問股份有限公司總經理

我國鋼筋混凝土房屋結構的配筋處理與應用往往依循著耐震規範的演進而發展，早期結構設計在無耐震設計概念時，地震力受到受到日本的影響，係以 0.1W 的震力係數方式進行設計，此一階段的設計配筋是以工作應力的彈性設計為基礎進行考量，此時尚缺乏韌性發展的概念，故配筋設計僅要求符合工作載重的組合需求即可。而隨著 ACI 318 設計規範的引入，並透過我國土木水利工程學會混凝土工程委員會的積極推動，設計規範開始進入強度設計法的應用，在構件細部設計上亦開始考慮結構非線性行為的可能破壞模式。

設計與施工·不宜「張冠」配「李戴」

此後 RC 設計主要依循 ACI 318 的一系列設計規範，並陸續落實於我國的 RC 設計規範與工程應用，然因 ACI 等美系配筋細節相較於日本體系的配筋應用，其圖說較少標準化的規定，且受到地緣等因素的影響，故早期 RC 工程的配筋細節與施工應用反而受到日本施工環境的影響較多，究其原因乃美國規範對於鋼筋的細節交代較少，而坊間甚易取得大量的日本鋼筋工程圖說的翻譯書籍，故受到日本施工技術的影響，相關配筋工程的施工處理自然受到日系的影響頗巨。此種設計規範依循美國 ACI 318 但施工細則另依循日規的特殊現象，常造成施工實務的差異與困擾。

日本早期結構設計雖然設計地震力相較台灣為高，但對於韌性細節的考慮反而不若美國的考慮詳盡，但自神戶地震後，日本對於耐震配筋細節則日益重視，但坊間的許多配筋施工的書籍因較為老舊而不合時宜，加上美、日配筋細節受到韌性要求的不同而有落差，日系的許多配筋細節未必符合我國 RC 設計的要求。但時至今日，受到建築高層化的影響，高層 RC 建築的需求日增，因此超高強度鋼筋與混凝土材料的

應用在日本快速發展，其對應的施工細節要求反而有部分凌駕於美規之處。

由於台灣地處高地震危害的區域，RC 結構的配筋細節極其重要，但鑑於符合我國鋼筋混凝土設計規範的配筋施工參考書籍較少，為期能正確落實配筋施工品管工作，中華民國結構工程學會等單位於去年底共同編著出版「房屋結構鋼筋施工綱要與品管」乙書 [1]，針對我國規範的內容，將 RC 結構的耐震細節、材料及各部構材的施工處理流程及配筋施工等常見問題進行說明。本文將配合其韌性相關配筋細節部分，說明其因應規範發展的演進背景與設計考量。

早期配筋設計方法的缺失

在設計方法的發展初期，大多數的老舊建築物是採用工作應力法 (Working Stress Design, WSD) 來進行配筋設計，此一階段的鋼筋設計方法有下列幾項重要缺失：

■ 軸力構件無鋼筋圍束概念

根據研究顯示，混凝土在圍壓作用下，如圖 1 所示，可提高混凝土的抗壓強度並顯示更佳的韌性行為，在遭受地震的高軸壓作用下，外圍箍筋的外部保護層因缺乏箍筋的圍束，故保護層混凝土在達極限應變及反覆應力作用下，其保護層將產生剝落而喪失強度貢獻。軸力構件配置緊密圍束橫向箍筋的主要目的之一即在藉由圍束鋼筋對混凝土抗壓強度的提昇貢獻足以補償柱保護層剝落的抗壓損失。因此圍束鋼筋的數量計算是結構柱耐震設計中相當重要的一個環節。由於矩形柱的有效圍束面積實際上會受到箍筋與繫筋的相鄰間距影響 (如圖 2 所示)，因此規範 [2] 要求箍筋與繫筋應至少每隔一根主鋼筋配置，且相鄰各肢之中心距不得超過 350mm，柱橫向箍筋之縱向間距不得超過 150 mm，此些規定皆與確保柱的有效圍束面積有

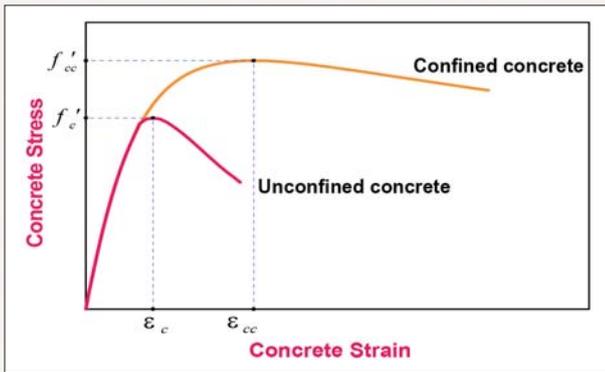


圖 1 混凝土有無圍壓作用之應力—應變曲線

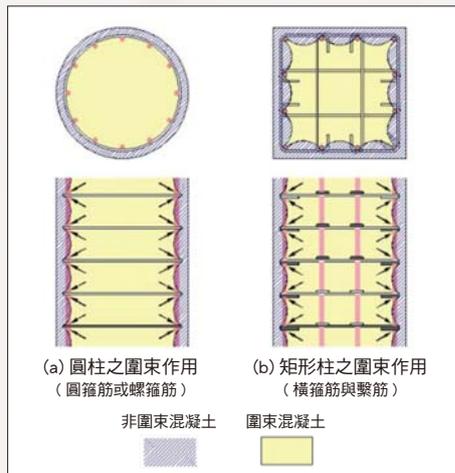


圖 2 箍筋與主筋提供柱之圍束作用

關。顯見高軸力構件的圍束橫向箍筋配置要求對於韌性配筋的規範發展上，著實扮演著極其重要的角色。

■ 輕視續接位置的重要性

柱縱向主筋之可採搭接、銲接或鋼筋續接器方式續接。早期工程以採用搭接方式為主，規範 [2] 要求耐震構材之柱主筋續接位置應在低應力區域，因此縱向鋼筋若採搭接時，須在柱淨高之中央 1/2 範圍。在早期耐震配筋觀念較為不足的年代，鋼筋搭接位置基於施工方便性考慮，往往由樓板面即開始進行搭接，由於搭接處位於柱下端的高應力區，加以缺乏在搭接段配置橫向圍束鋼筋，因此從 921 地震中不難發現此種災害案例，圖 3 照片的案例即是在樓板面開始進行搭接的錯誤案例，同時其下層鋼筋錯位造成混凝土保護層不足，加上無配置橫向鋼筋提供圍束，將使柱之縱向主筋無法發揮應有的強度。圖 4 的照片破壞案例即是此一情形，由於搭接位置錯誤及橫向鋼筋不足等眾多因素，故在柱主筋的外保護層受壓剝落後即迅速喪失鋼筋握裹能力，使結構柱產生搭接處瞬間拉離破壞，使整體建築結構產生傾倒崩塌。



圖 3 柱筋搭接錯誤例



圖 4 柱筋搭接破壞案例

■ 搭接處無橫向鋼筋的束制觀念

鋼筋的搭接或伸展長度範圍若有橫向鋼筋提供圍束效應，則其握裹強度也會提高，尤其當柱之外圍保護層剝落後，其橫向鋼筋的圍束效應將更形重要。雖然在設計上可能已配置有許多的縱向主筋來提供設計強度，但若搭接處並無配置足夠圍束鋼筋時，在缺乏橫向鋼筋的束制作用下，縱向鋼筋常在未達降伏強度之前，已經因混凝土的剝離而形成握裹強度的喪失，造成鋼筋搭接處的脫離破壞。因此 RC 規範 [2] 要求耐震柱之縱向主筋搭接除僅容許於於構材淨長之中央 1/2 內，尚應考慮為拉力搭接，此搭接段並應配置橫向圍束鋼筋，來增加其抵抗反覆應力的能力。

■ 弱剪強彎的設計缺失

因一般採用工作應力法設計梁配筋之撓曲鋼筋量往往較採用強度設計法者為多，使許多人有工作應力法較安全保守的觀念，然就剪力的角度而言，此觀念並不正確 [3]，即使在設計上不考慮因構件端部產生塑性鉸所衍生之剪力控制的韌性設計概念，單就工作應

力法設計所得的實際剪力強度常低於強度設計法所得者，而工作應力法之撓曲鋼筋量往往又高於強度設計法，故以工作應力法設計之建築物更易造成剪力控制破壞的機制，而形成脆性剪力破壞的現象。

■ 梁柱接頭區箍筋配置的疏忽

由於梁柱接頭箍筋的綁紮步驟較為繁瑣，因此常有工人因無法掌握接頭箍筋配置程序，而遺漏梁柱接頭區的箍筋配置，而 921 地震的諸多震害案例中有為數眾多的建築即因梁柱接頭區未配置箍筋而造成接頭節點產生剪力破壞。由圖 5 及圖 6 的接頭破壞案例可發現接頭節點破壞後，相連構件的端部也就連帶喪失承載強度，進而造成端部錨定失敗，而容易衍生整體結構的穩定問題。



圖 5 接頭未配置箍筋之破壞例 (1)



圖 6 接頭未配置箍筋之破壞例 (2)

RC 結構的耐震設計概念要點

我國耐震設計的基本原則，係使建築物能達到小震不壞、中震可修、大震不倒的設計要求，雖然耐震設計分別考慮了三級地震的震害控制，但目前實務上仍以彈性階段的結構分析模型進行設計為主。雖然設計規範基於經濟性考量，在中、大地震時可容許進入降伏狀態，但同時也須考慮對抗罕遇地震的可能崩塌破壞，故對於結構系統進入非線性階段的韌性發展機制與構件韌性需求也就必須特別注重。

就設計方法來比較，工作應力法 (Working Stress Design, WSD) 是以彈性階段的容許應力為基準來進行線性反應的分析與設計，故較難藉由此類設計方法明確掌握構件的韌性發展機制與行為，因此其應用也就日漸式微而逐漸由強度設計法 (Ultimate Strength Design, USD) 所取代。強度設計法則是以斷面計算強度為出發，透過載重因數與強度折減因數的引入，來確認設計強度是否滿足需求，由於此設計方法較能掌握構件的強度與行為特性，並可合理推估極限狀態下的韌性行為強度需求，適合作為反應非線性行為的構件設計方法，故成為目前 RC 規範應用的設計方法主流，而自 ACI 318-02 起，對載重因數與強度折減因數則做進一步的修訂，採用更為合理的因數，同時限制淨拉應變來控制斷面最大鋼筋比，以確保構件最低的韌性能力。ACI 318-02 的此一變革亦已納入目前「混凝土結構設計規範」的版本之中。

除了前述的設計方法變革外，在結構設計的韌性發展機制上，尚須依據構件的韌性能力，考慮構件降伏的優先順序，因此 RC 結構耐震設計概念上就須掌握下列幾項要點：

■ 強節弱桿

對於梁柱構架而言，所謂「節」即是指梁柱接頭，由於梁柱接頭銜接來自上下柱與兩方向大梁的桿件 (構件)，若梁柱接頭強度低於梁柱構件強度時，單一節點的破壞會造成所有連接桿件的強度失效，甚至產生穩定的問題，因此在梁柱接頭的設計概念上，須檢核構架接頭的剪力計算強度，以確保『強節弱桿』的結構行為。而對於梁柱接頭的耐震韌性配筋而言，因構架系統梁柱縱向主筋的錨定主要在梁柱接頭區進行，因此梁、柱主筋的錨定或伸展處理細節至為重要，也因為常有眾多主

筋須集中於接頭錨定的情況產生，加以圍束箍筋的配置也造成鋼筋施工的困難，接頭區的鋼筋處理細節與錨定方法的改良常是鋼筋施工品管的重點之一。

■ 強柱弱梁

由於 RC 構件在較高軸力作用下，其韌性行為較差，而且當柱兩端同時產生塑鉸後，在垂直載重作用下，易因 P- Δ 效應而逐漸喪失穩定性。因此設計上須提高柱的彎矩強度，以降低柱產生降伏的可能性，因此在設計規範的耐震特別規定中，特別要求連接於接頭各柱之計算彎矩強度的總和應大於各梁之計算彎矩強度總和的 1.2 倍，以符合『強柱弱梁』的要求。雖然強柱弱梁的考慮主要是強度的考慮，但就耐震韌性配筋的處理層面，通常梁柱接頭區是以柱斷面做為配筋延伸的主體，同時仍須考慮柱的軸壓作用影響，配置柱之橫向圍束箍筋，以確保滿足強柱弱梁的條件。

■ 強剪弱彎

與鋼骨構件有所不同的是，就鋼筋混凝土構件而言，其剪力破壞多屬脆性行為，因此耐震 RC 結構的梁柱構件降伏模式，一般考慮優先產生彎矩降伏機制來避免剪力破壞產生，故設計上之梁、柱剪力須依據構件端部產生的最大塑性彎矩強度來計算可能的剪力強度，並據以計算剪力鋼筋的需求，來避免非韌性的剪力破壞。而『強剪弱彎』的目的即在確保消能機制能藉由韌性行為良好的梁端彎矩塑鉸來提供變形消能作用。而對於耐震韌性配筋的處理而言，須注意主筋的伸展、錨定、截斷位置與續接的處理，以確保彎矩強度的發揮；而箍筋配置除依據最大可能的剪力強度進行設計外，箍筋的施工細節須注意箍筋的形式（包含彎鉤處理與排置方法）、圍束區或端部閉合箍筋之長度範圍、箍筋的位置與間距等，以提供設計所須的剪力強度。

為確保『強剪弱彎』的韌性行為，有時也需要特別注意結構主要構件是否受到垂壁或窗台的束制影響。圖 7 與圖 8 的震害照片即是結構柱受到垂壁或窗台的束制作用，由於結構分析時並未確實反映垂壁與窗台的影響，故長、短柱產生變形的有效高度與設計條件常有所差異，使短柱的勁度高於設計值，實際所分配的地震剪力也就超出預期，故產生短柱效應的破壞現象，加上早期建築並無配置緊密的橫向箍筋，因此常見 X 形裂縫的剪力破壞。



圖 7 短柱效應的破壞例



圖 8 短柱剪力破壞例

■ 強壓弱拉

由於混凝土受壓達極限強度後呈現脆性破壞行為，而鋼筋受拉降伏變形則有良好的延展性，因此 RC 梁之斷面設計時，為使構件能有足夠韌性，若在受壓混凝土達到規定極限應變 0.003 時，最外受拉鋼筋之淨拉應變控制最好能大於或等於 0.005 以上（規範稱此為拉力控制斷面，此為鋼筋降伏應變兩倍以上），則該斷面破壞前可產生大變形量或裂縫，將有充分的預警作用。反之若最外受拉鋼筋之淨拉應變小於或等於壓力控制應變界限，此時該斷面可能產生欠缺預警之瞬間脆性破壞。因此斷面設計應依據『強壓弱拉』的原則，控制斷面設計為『拉力控制斷面』，此目標一般藉由拉力鋼筋比的上限控制與提供適當的壓力鋼筋來達成，故規範除要求拉力鋼筋比不得大於 $(f'_c + 100) / (4f_y)$ (f'_c 、 f_y 單位：kgf/cm²)，亦不得大於 0.025；另撓曲構材在梁柱交接面及其它可能產生塑鉸位置，使用壓力鋼筋來強化混凝土壓力區，其壓力鋼筋量不得小於拉力鋼筋量之半。由於『強壓弱拉』的考慮主要

是基於斷面韌性設計的考慮，因此對於鋼筋施工細節的影響也就相對較小。

雖然上述的 RC 結構耐震設計概念大多已落實於設計規範中，但對 RC 結構的施工面上，仍須注意相關之配筋細節，方能充分發揮鋼筋混凝土的材料強度與韌性，以確保整體結構的韌性行為。以下各節將就耐震配筋的重要項目說明其配筋細節因應規範發展潮流的演進過程與處理細節。

耐震配筋的重點

台灣位於歐亞板塊及菲律賓海板塊交界處，地震活動頻繁，結構系統須具備足夠的韌性容量來消散中大地震所帶來的能量，因此無論在設計與施工細節皆應特別注意，以避免產生脆性破壞而影響結構的韌性發展，也由於 RC 結構配筋施工或配筋細節的疏失與錯誤，常會造成嚴重的地震危害，因此須在施工面確實依據配筋細節妥善施作，以確保結構的韌性發展，並提高結構整體的耐震能力。

國內有關耐震梁柱配筋細節的處理主要是參考美國 ACI 315-99 「Details and Detailing of Concrete Reinforcement」 [4] 的相關圖說為基礎，圖 9 及圖 10 的圖示中分別簡述了 ACI 315-99 對於梁、柱構件主要的耐震韌性配筋相關規定。

但在圖 9 的梁韌性細節圖示中，因許多尺寸（上下主

筋之截斷點、耐震箍筋之配置範圍等）仍須交由結構工程師決定並提供，此與國內慣用以標準圖統一標示尺寸的方式有所不同，國內常見之大梁縱向主筋截斷位置與箍筋之標準配置圖大多以類似圖 11 及圖 12 的方式呈現。

圖 10 的柱韌性細節圖示中，大多與國內的規範與標準圖說一致，而主要差異在於目前規範對於鋼筋續接位置的規定與圖 10 的 ACI 315-99 處理圖示已有所不同，其差異處將於後續文內另行說明。

國內因鋼筋混凝土設計規範主要沿襲 ACI 318 的變革而來，故除部分配筋施工圖說受到日本施工技術常規的影響外，重要的耐震配筋細節規定通常依循著 ACI 318 的變革腳步進行，而自 ACI 318-77 [5] 開始在附篇 A 「耐震設計之特別規定」中納入耐震設計的配筋規定後，國內許多配筋圖說也就參照 ACI 318-77 及後續版本 [6,7,8]，將耐震韌性配筋的相關規定納入結構配筋圖說中。

自 ACI 318-77 以來，RC 結構耐震韌性配筋細節主要有幾個重要的發展議題：

- 圍束箍筋的配置
- 續接處理的要求
- 梁柱接頭的鋼筋錨定處理
- 機械式續接與擴頭鋼筋（機械式錨頭）的應用
- 預組與預鑄工法

這些議題將分別於後續章節依序進行說明。

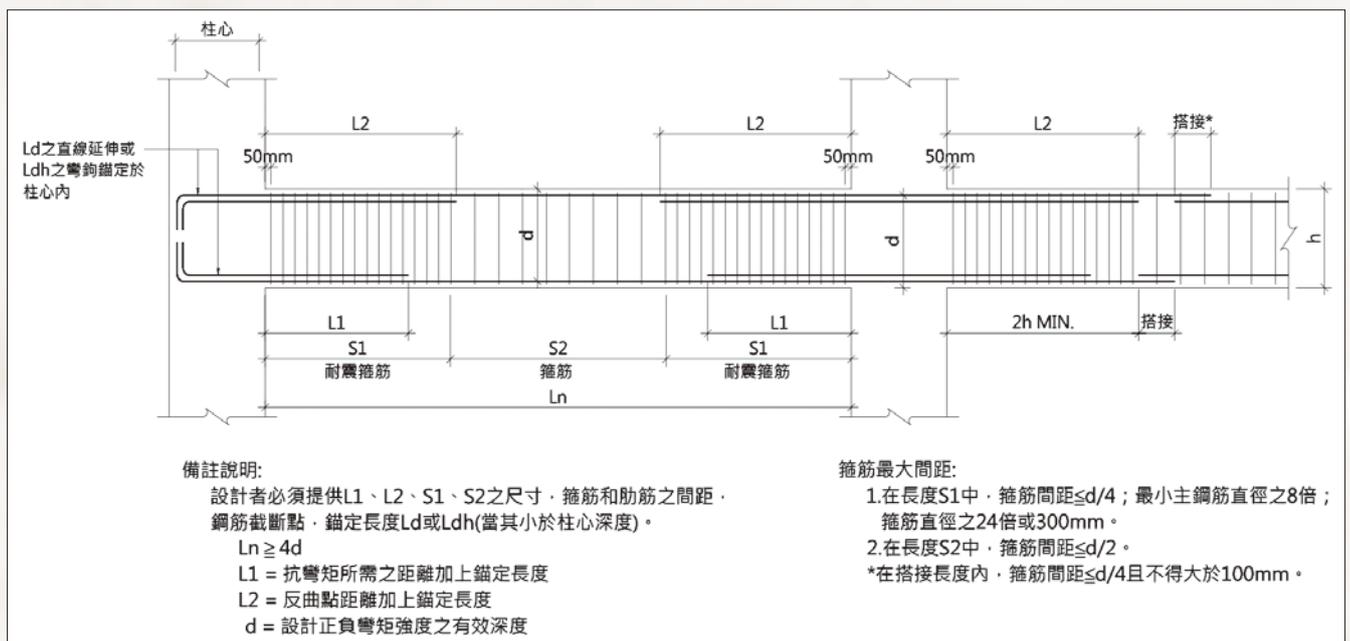


圖 9 ACI 315-99 的梁耐震韌性配筋細節

圖束箍筋的配置

箍筋的作用除了提供抗剪與抗扭能力、限制裂縫的發展及提供縱向鋼筋搭接伸展的橫向圍束作用外，在軸力構件的耐震行為上，藉由箍筋的核心圍束作用尚可提高混凝土的抗壓強度與韌性（如圖 1 所示），同時箍筋（繫筋）亦能提供縱向主筋的固定與橫向支撐作用。圖 1 中之無圍束作用的混凝土應力在達到最大抗壓強度 f'_c 後，強度會迅速衰減；反之具良好圍束的混凝土強度不僅可提高至圖示之 f'_{cc} 外，其達到最大抗壓強度後之應力衰減行為較為緩和，且可提供更大的極限應變量，來提高構件的韌性，因此耐震構件常藉由箍筋的圍束作用來提昇構件的韌性能力。同時，柱核心區受壓時，會產生向外擠壓的力量，若無繫筋等提供橫向支撐作用，則會使縱向鋼筋容易產生挫屈破壞，因此規範要求繫筋兩端均須圍繞於縱向鋼筋，並配合前述之橫向與縱向間距要求，以提供縱向鋼筋的固定與橫向支撐之用。

由於圍束箍筋在結構柱的耐震韌性行為中扮演非常重要的角色，故其外箍筋與繫筋的施作細節及其圍束作用的有效性也就必須特別重視。在早期 ACI 318-77 [5] 的版本中（圖 13），其輔助繫筋彎鉤為兩端 180° 彎鉤，但容許以 180° 彎鉤鉤住外部閉合箍筋並緊靠主筋的方式施作，且輔助繫筋彎鉤的保護層容許降低至 13mm，但在 ACI 318-83 [6] 的下一版本中即取消此種作法，並要求繫筋之兩端均須圍繞於縱向鋼筋，並間隔換端。而在繫筋的施作細節上則規定：「一連續鋼筋，其一端具耐震彎鉤；另一端為至少 90° 之彎鉤，且彎後至少直線延伸 6db。各彎鉤均須圍繞縱向鋼筋。鉤住同一主筋相鄰各繫筋之 90° 與 135° 彎鉤應交替排置」，此一作法仍沿用至目前的 ACI 318-11 [8] 版本，我國規範即採用相同規定，圖 14 則為目前國內常

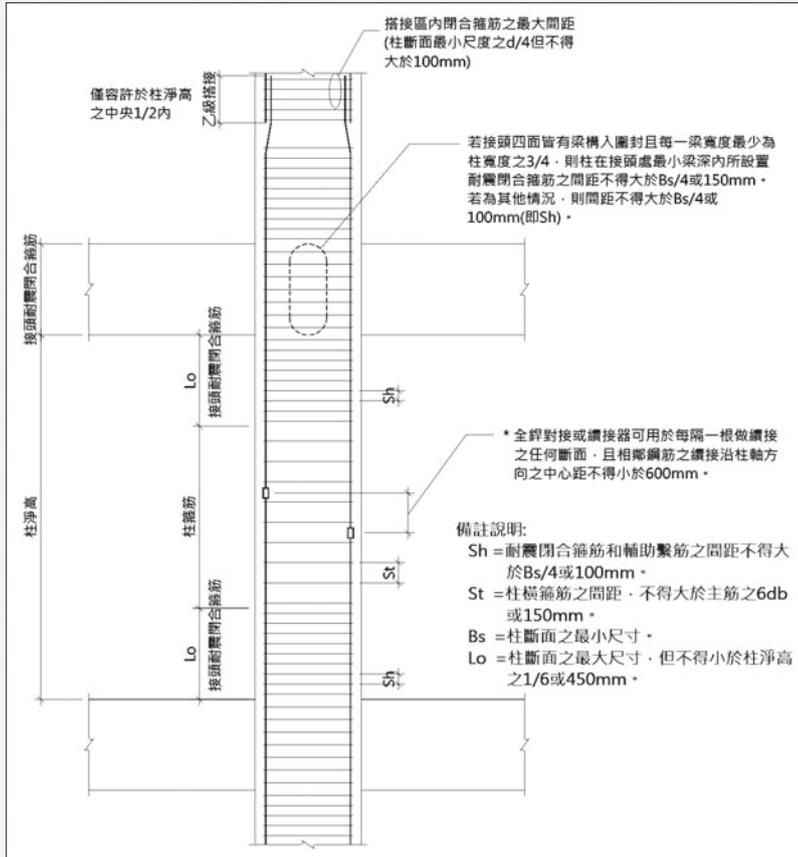


圖 10 ACI 315-99 的柱耐震韌性配筋細節

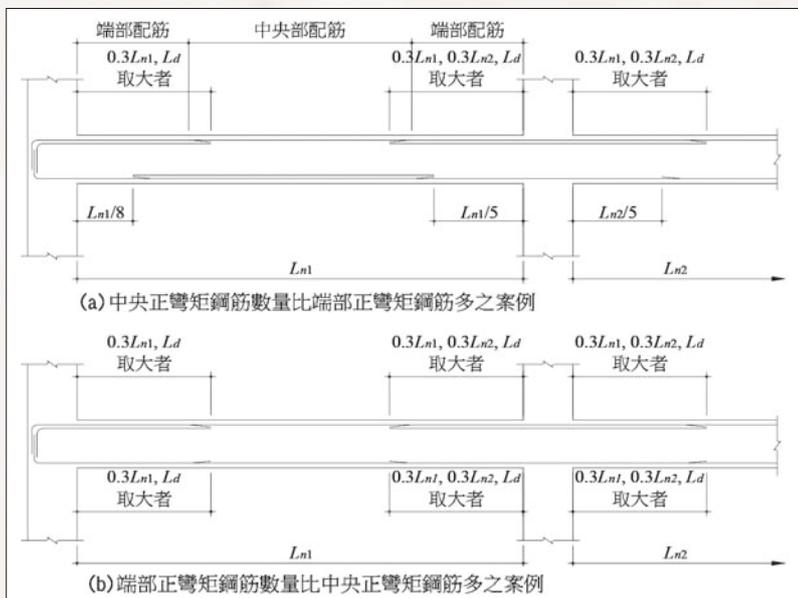


圖 11 大梁縱向主筋之截斷位置圖

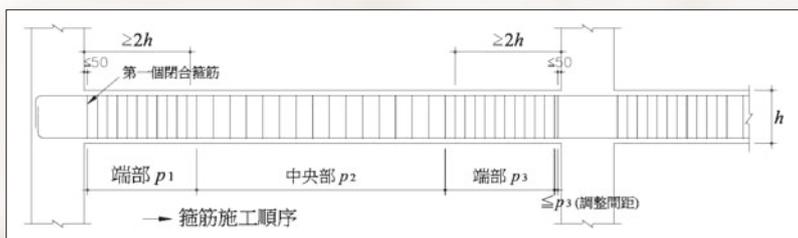


圖 12 梁箍筋之標準配置圖

見的圍束箍筋配置形式。雖然繫筋一端的 90°彎鉤主要有工作性的考量，但其有效性常受到質疑，而 ACI 318-11 於 R21.6.4.2 之解說中闡述：「繫筋 90°彎鉤在提供圍束的效果上並不若 135°彎鉤或閉合箍筋，但試驗顯示繫筋之 90°彎鉤若在交替排置下，將能提供足夠的圍束作用」，但目前日本、紐西蘭等國規範 [9,10] 尚無柱繫筋一端採用 90°彎鉤的做法，隨著超高強度混凝土的應用，在高軸壓力下的箍筋及繫筋有效性更為重要，由於日本 New RC 的應用上，其繫筋兩端皆採用 180°彎鉤，根據國內試驗結果，其軸壓行為比前述 ACI 規範的繫筋彎鉤具有較佳的圍束行為，故當有 90°彎鉤存在時，其高軸壓力下的圍束箍筋用量應考慮酌予增加。

續接處理的要求

規範規定耐震柱之鋼筋搭接，如圖 15(a) 所示，僅容許於構材淨長之中央 1/2 內，並應考慮為拉力搭接，此外並應配置橫向圍束鋼筋。而早期常見柱錯誤的搭

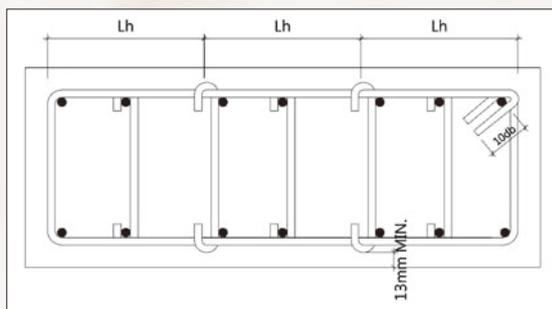


圖 13 ACI 318-77 的圍束箍筋配置圖

接方式為在樓版面以上的高應力區直接進行搭接，且未依規範規定配置符合間距與數量的圍束鋼筋，使得柱端在反覆地震作用下，當柱面保護層剝落後，因柱筋缺乏橫向鋼筋的保護與圍束，造成柱筋迅速拔出而斷開破壞的現象。圖 4 及圖 16 的照片即為鋼筋拉力搭接破壞的案例，由於早期建築常未配置圍束箍筋，加上箍筋端部僅以 90°彎鉤施作，在保護層剝落時，常將 90°彎鉤順勢拔開，造成鋼筋與混凝土之間的握裹能力喪失，使鋼筋無法發揮應有的強度而拔脫破壞。

當柱鋼筋之搭接若使用偏折處理時，其鋼筋偏斜部份之斜度不得大於 1:6，鋼筋偏折處須用橫箍筋、螺箍筋做橫向支撐，提供適度加強作用，並應進行箍筋橫向支撐分力的檢討。偏折主筋須事先加工彎折，對於較大直徑主筋採偏折搭接時，若有主筋定位或箍筋固定綁紮問題時，可於彎折處配置施工縱向筋與上下主筋綁紮固定。

由於鋼筋搭接處理較為繁雜，目前國內柱縱向鋼筋大多如圖 15(b) 改採鋼筋續接器續接，且多以 SA 級鋼筋續接器進行續接，因其性能可符合規範第二類機械式續接之規定，故依據規範規定可准許使用於任何位置，同時相鄰鋼筋也無須錯位。雖然規範可准許 SA 級鋼筋續接器使用於任何位置，但續接器若能參照「混凝土結構設計規範」第 5.16.4.1 條之規定，將相鄰續接器位置錯開 600 mm 以上，並配置在柱淨高中央

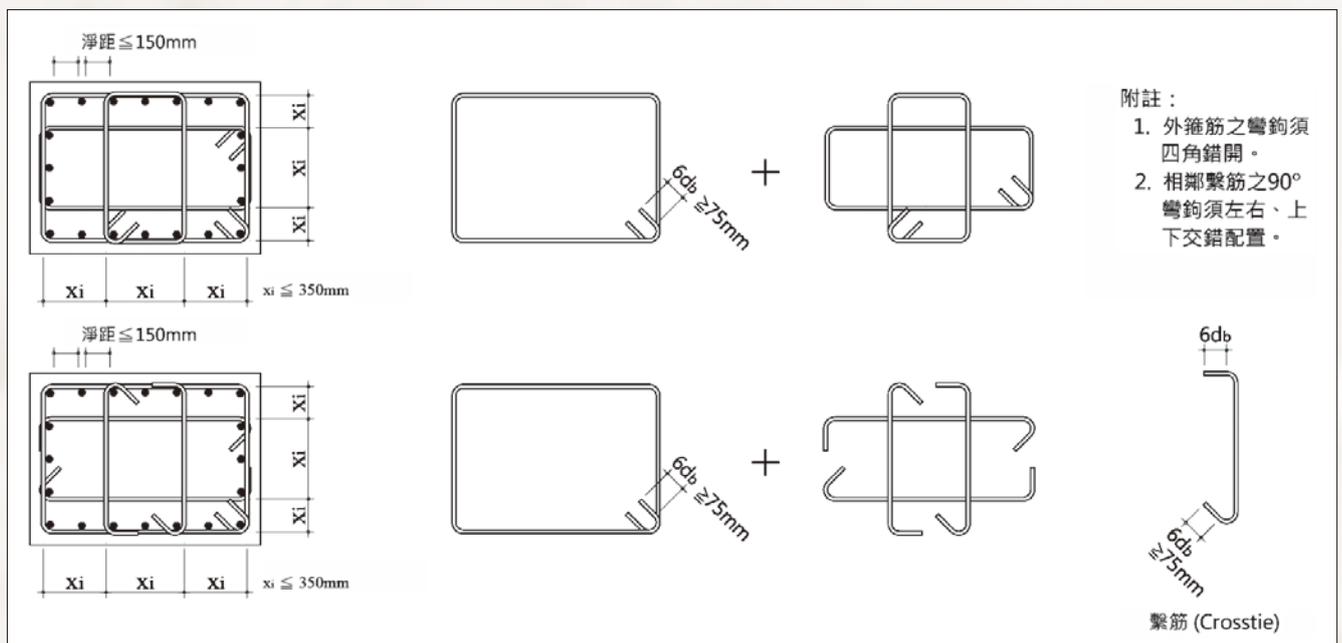


圖 14 圍束箍筋配置圖

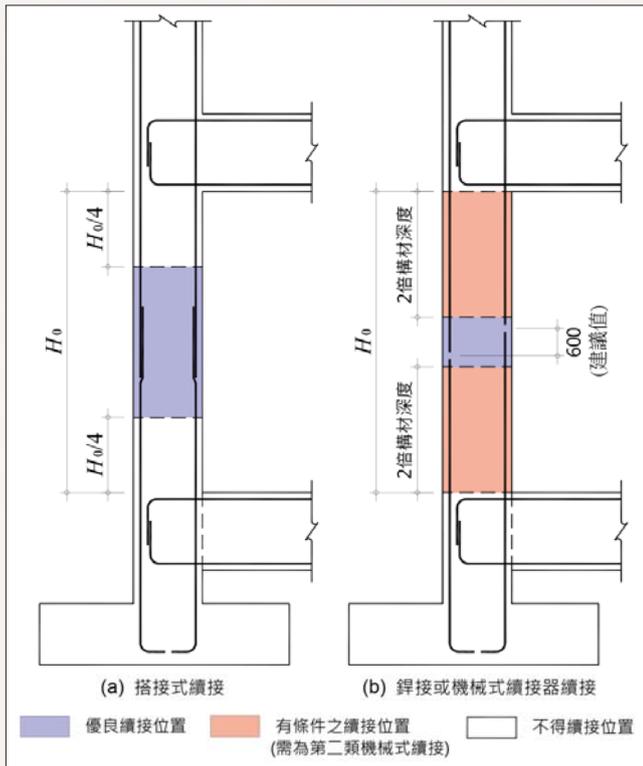


圖 15 柱縱向鋼筋續接位置



圖 16 繫筋 90°彎鉤拉開破壞



圖 17 梁筋錨定不足破壞

1/2 範圍內，或採用隔根隔層續接的方式處理，將可提高續接的安全性，並降低製造及施工品質等不確定性之影響。

梁柱接頭的鋼筋錨定處理

依據規範規定，梁柱接頭區之上下層梁主筋之彎鉤錨定除應錨定於柱圍束核心內且長度 $\geq L_{dh}$ 外，並應延伸至柱圍束核心區之另一面。圖 17 的破壞案例即為梁之主筋錨定長度不足而造成構件拔出掉落的現象。

當梁筋須終止於梁柱接頭區時，梁主筋必須以彎鉤或擴頭鋼筋（機械式錨頭）等方式於梁柱接頭區內進行梁筋錨定。當採用 90° 標準彎鉤錨定時，梁主筋之彎鉤方向，應如圖 18 之左圖所示，上層筋之彎鉤向下彎折，下層筋則應向上彎折。除採 90° 彎鉤外亦可採 180° 彎鉤，但對於直交梁之配筋會有妨礙，因此鋼筋端部以 90° 標準彎鉤處理成為基本的錨定方式。當標準彎鉤有施工困難時，亦可改採圖 18 右圖之擴頭鋼筋的機械式錨定方式。惟擴頭鋼筋之拉力伸展長度 L_{dt} 與適用原則，在國內相關規範未正式頒布前，應依據 ACI 318-11 12.6 節之規定或相關試驗報告，經結構設計單位同意後使用。

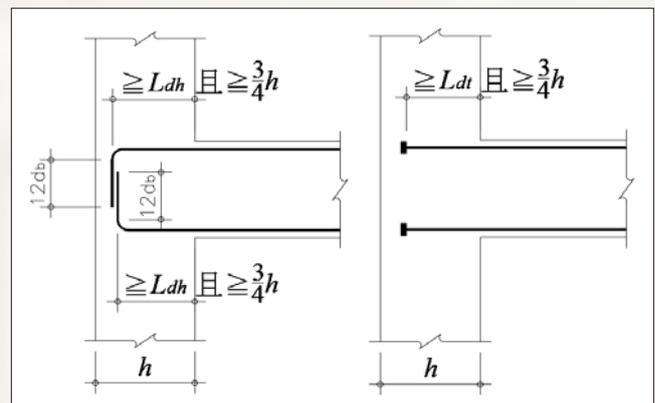


圖 18 梁柱接頭區之梁筋伸展與錨定

梁柱接頭區之主筋端部彎鉤錨定位置，依據規範規定，應延伸至柱圍束核心區之另一面。上下層主筋之彎鉤錨定長度應 $\geq L_{dh}$ ，且除施工確有困難外，彎鉤錨定長度應大於 3/4 柱深且儘可能錨定於遠端。

頂層外柱等 L 形接頭之梁上層鋼筋彎鉤處理與一般樓層略有不同，因梁柱接頭區之梁筋水平段部分因缺乏足夠橫向拘束來傳遞握裹力，因此上層鋼筋之最

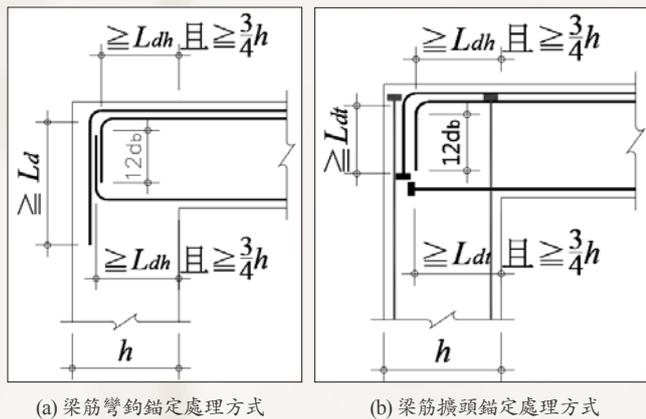


圖 19 頂層 L 形柱頭區之梁筋處理

外層鋼筋如圖 19(a) 所示，於 90° 彎轉後之直線延伸長須 $\geq L_d$ 。上層鋼筋採雙層配筋時，第一層筋彎鉤部分之直線延伸長須確保 $\geq L_d$ ；第二層筋以 90° 標準彎鉤錨定之。

對於一般樓層梁柱接頭區之梁筋可以擴頭鋼筋取代 90° 標準彎鉤，但有關鋼筋擴頭的規格與擴頭鋼筋保護層、相鄰鋼筋淨距等，仍應依據相關規範與試驗報告之規定辦理。

頂層外柱等 L 形接頭之梁上層鋼筋之最外層鋼筋，不可將梁之鋼筋端部直接以擴頭鋼筋終止，但可如圖 19(b) 之做法，於 90° 彎轉後，以擴頭鋼筋直線延伸至擴頭鋼筋之拉力伸展長度 L_{dt} 以上。

當屋頂為平屋頂而無柱頭延伸時，考慮接頭的施工性，無論頂層梁柱接頭區之柱筋以 90° 或 180° 標準彎鉤或擴頭鋼筋方式錨定，一般皆將彎鉤或擴頭部置於頂層梁筋下方。但因接頭區之箍筋通常以柱箍筋為主體配置，因此在兩向梁筋交會處之柱頂區域並無橫向鋼筋對梁主筋提供拘束力，故應於柱頂處配置如圖 20 之 \square 型圍束鋼筋。

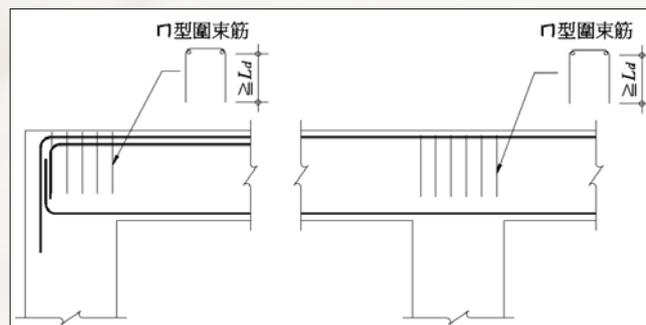


圖 20 頂層柱頭區之梁筋 \square 型圍束鋼筋

機械式續接與擴頭鋼筋（機械式錨頭）的應用

由於台灣地處強震帶，且限於空間使用，因此梁、柱的主筋配置往往甚為壅塞，尤其是搭接段及梁柱接頭區的錨定最為明顯。當梁、柱的配筋量較多時，搭接段或梁柱接頭區的密集鋼筋除造成施工困難外，也因混凝土的澆灌不易而常造成施工品質的瑕疵，而更甚者則因鋼筋排置不易而有任意斷筋、減筋或提前錨定的現象，致使構件強度嚴重喪失。故為減少搭接段及梁柱接頭區的鋼筋排置問題，目前鋼筋施工的應用潮流為朝向以機械式續接取代搭接，及以機械錨頭取代彎鉤錨定的方式處理。

目前國內柱縱向鋼筋的續接大多已採用 SA 級鋼筋續接器進行續接，而大梁亦有部分案例也採行鋼筋續接器的續接方式，而目前尚須特別推展的是梁柱接頭區擴頭鋼筋（機械式錨頭）的錨定方式，由圖 21 的圖例比較可發現採用左圖之擴頭鋼筋的錨定方式可有效解決接頭區的鋼筋壅塞問題。

由於目前我國的混凝土結構設計規範尚未納入擴頭鋼筋的應用，但 ACI 318-08 12.6.2 節 [7] 開始納入擴頭鋼筋的規定，惟其鋼筋淨間距規定較為嚴苛，故目前耐震構件的應用以頂層柱頭的柱筋錨定應用較多。

預組與預鑄工法

台灣目前興建的超高層建築物主要都是採用鋼骨（Steel）或鋼骨鋼筋混凝土（Steel-Reinforced Concrete, SRC）構造為主，但因 SRC 構造的構築時間、造價以及施工複雜性等因素，故在日本國內採用 SRC 構造的建築也逐漸減少，反而由採用超高強度鋼筋搭配超高的

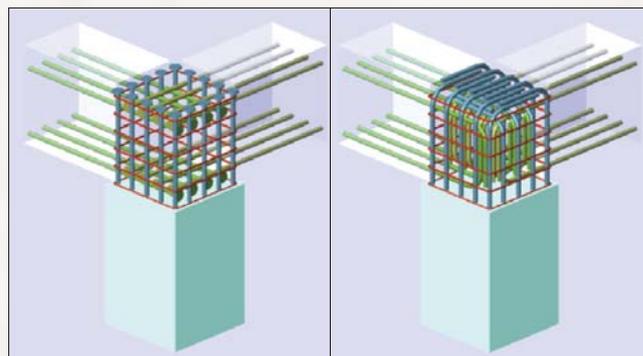


圖 21 頂層柱頭之擴頭與彎鉤錨定處理 [李宏仁教授提供]

強度混凝土的所謂「New RC」建築所取代。無論 RC 或 New RC 的建築物，若能藉由提高鋼筋混凝土材料的強度，並配合其材料特性搭配快速的預組或預鑄工法等，將使得鋼筋混凝土材料的構築方式可應用於超高層建築，來滿足住宅舒適、隔音、耐震的性能要求。

由於採用超高強度鋼筋時，因其材料特性，其鋼筋續接應避免搭接方式，同時也應避免電銲及鋼筋彎鉤錨定的彎折處理方式。故在日本 New RC 的工程應用上，超高強度鋼筋通常是以螺紋節方式製造，並搭配特殊的灌漿套筒續接器及擴頭式灌漿續接器來進行續接與錨定。由於國內高層建築仍有 RC 建築構造的應用需求，若能配合 New RC 推展，未來鋼筋工程預組與預鑄工法的應用將可有突破性的發展。

參考資料

1. 中華民國結構工程學會等編著，「房屋結構鋼筋施工綱要與品管」，科技圖書，2013。
2. 內政部營建署，「混凝土結構設計規範」，2011.7。
3. 陳奕信、許茂雄、郭心怡，「RC 結構之初步耐震評估與我國耐震設計規範之合理性探討」，結構工程第十八卷第四期，第 3-21 頁，民國九十二年十二月。
4. American Concrete Institute, ACI Committee 315, “Details and Detailing of Concrete Reinforcement (ACI 315-99)”, 1999.
5. American Concrete Institute, ACI Committee 318, “Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77)”, 1977.
6. American Concrete Institute, ACI Committee 318, “ACI 318R-83, Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)”, 1983.
7. American Concrete Institute, ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-08) and Commentary”, 2008.
8. American Concrete Institute, ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-11) and Commentary”, 2011.
9. 日本建築學會，「鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」，2010。
10. New Zealand Standard, NZS3101:2006, “Concrete Structures Standard”, 2006.
11. American Concrete Institute, Joint ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02)”, 2002.
12. 中華民國結構工程學會等編著，「鋼筋混凝土房屋結構配筋準則（第二版）」，科技圖書，2011。
13. 內政部營建署，「建築物耐震設計規範及解說」，2011.7。

