

鋼斜撐用於鋼筋混凝土結構補強之接合設計探討

陳正平理事

摘要

鋼斜撐用於鋼筋混凝土結構之補強設計時，因鋼結構為高強度材料，而混凝土為低強度材料，二者間之連結若單靠鋼斜撐之端部與鋼筋混凝土結構之梁-柱結點處接合措施，則會因鋼斜撐所承受之力量甚大，無法依賴接合處少數之錨栓來傳遞鋼斜撐之全應力。因此必須由梁-柱結點處之「點」的接合方式，設法改變為鋼框架斜撐的四周邊與鋼筋混凝土結構框架間之「線」的接合方式，使接合應力分散，以達到「接合之受力模式，宜簡單明確，傳力方式宜緩和漸變，以避免產生應力集中之現象。接合型式之選用以製作簡單、維護容易為原則」之目標。

結構補強設計之重點即在新、舊結構系統間之連結，而化學錨栓與植筋更是新、舊鋼筋混凝土結構連結不可或缺之重要材料之一。目前在補強工程實務上普遍採用之植筋及化學錨栓，其理論基礎與實務應用上尚有差距，尤其是該等後置式埋設之錨定方式均為利用混凝土受張之脆性破壞模式，且多根太靠近時，混凝土強度更無法承受；其埋置深度不足之情況下亦無法達到規範所規定之搭接長度，與現行混凝土結構設計規範之韌性設計觀念不合，致韌性及安全性不足。因此**化學錨栓與植筋最有效之傳力模式即為剪力摩擦之接合模式**。

植筋與化學錨栓工法並非工程施工瑕疵補救及結構補強之萬靈丹，其使用限制甚多，應儘量避免採用，只有在不得已之情況下才使用，且除須利用其力學特性選擇較有利之傳力模式及分散或消散集中力外，必要時予以適當提高安全係數，以確保結構物之安全性。

一、前言

結構補強設計之重點即在新、舊結構系統間之連結，而化學錨栓與植筋更是新、舊鋼筋混凝土結構連結不可或缺之重要材料之一，但其應用上有很多力學行為方面之限制，因此必須充分了解化學錨栓與植筋之力學行為，充分利用**化學錨栓與植筋最有效之傳力模式「剪力摩擦」之接合模式**，才不致於在新、舊結構系統間產生弱面或傳力不完全的現象。而鋼斜撐所承受之力量甚大，無法依賴接合處少數之錨栓來傳遞鋼斜撐之全應力。因此必須由梁-柱結點處之「點」的接合方式，設法改變為鋼框架斜撐的四周邊與鋼筋混凝土結構框架間之「線」的接合，使接合應力分散鋼框架四周邊，實務上一般為採用化學錨栓與植筋之方式與舊鋼筋混凝土結構連結，然而化學錨栓與植

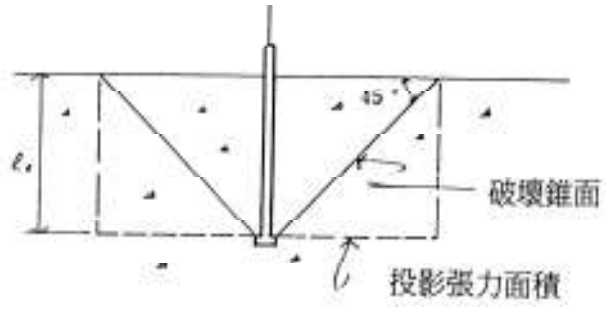
筋之理論背景及力學行為雖與鋼筋混凝土差異不大，但實務應用上却有甚大的差別，其主要的差別在鋼筋混凝土設計規範中認為混凝土構材承受張力及彎矩時，在達極限狀態情況下，開裂之可能性很大，可能因而失去韌性，因此「混凝土結構設計規範」忽略了混凝土抗張能力之貢獻，而只考慮鋼筋之貢獻，尤其是在耐震設計韌性檢核時，只要構材承受有軸拉力之情況即視其抗剪能力為零；而在化學錨栓與植筋工法中却完全是用所植鋼筋在混凝土結構上所產生之有效破壞應力錐範圍(亦即應力錐投影面積範圍)內之混凝土抗張能力(或謂貫穿剪力)來抵抗所植鋼筋之拉拔力。因此前者具有鋼筋之韌性特性；而後者具有混凝土之脆性特性，二者截然不同。

化學錨栓與植筋工法在應用考量上須避免用到混凝土承受抗拉力之脆性特性，而是儘可能利用化學錨栓與植筋之伸展長度較短之特性來承受剪力摩擦力，以確保破壞行為不會發生在化學錨栓與植筋系統中較具脆性的混凝土錨定部位，同時亦須考量植筋過密間距不足或距混凝土支承邊緣之邊距太近時，其破壞應力錐重疊或應力錐不完整之影響，此時必須酌予折減設計強度。植筋對結構物的安全性並不易掌握，但其使用機率越來越高，且施工簡單又方便，因而被廣泛採用。為防範因使用錯誤而致影響結構安全，實有必要進一步深入探討其適用性。

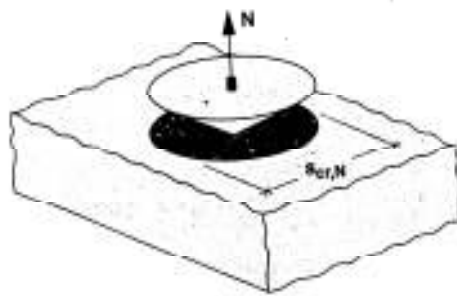
二、「化學錨栓與植筋」之力學行為

2.1 「化學錨栓與植筋」承受純拉力之情況。

單一化學錨栓與植筋的破壞模式除受到植筋劑對鋼筋的握裹強度，及植筋劑對混凝土孔壁間之抗剪強度所限制外，當埋置深度不足或混凝土強度較低時，亦會產生混凝土圓錐狀破壞錐拉出之破壞模式(見圖一)，尤其是多根鋼筋之間距太近(見圖二)或植筋離混凝土結構物之外緣太近時(見圖三)，會發生應力錐重疊或破壞應力錐之形狀不完整之情形，因而會導致應力錐有效投影面積不足以抵抗多根植筋之總拉力的現象。當用來施作植筋的混凝土結構物須在小範圍內植入甚多之鋼筋，或植筋之可能破壞應力錐之有效投影面積不足以抵抗設計總拉力時，此時植筋之錨定行為便須部份或全部由破壞應力錐錨定模式改變為受拉鋼筋搭接之模式，將力量傳遞給後側之鋼筋，才能抵抗多根植筋之總拉力。因此植筋之間距或邊距不足時，計算植筋之抗拉能力及錨定長度，不能以植筋材料供應廠商所提供之單根植筋數據作為設計依據。當植筋之錨定行為須改以鋼筋搭接之方式續接錨定時，此時植筋之邊距及間距就變成較不重要了，反而是有足夠之搭接長度才是設計考量的重點。

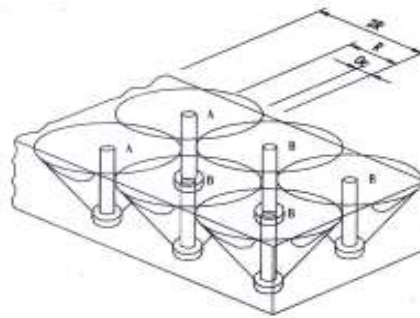


a) 應力錐投影張力面積

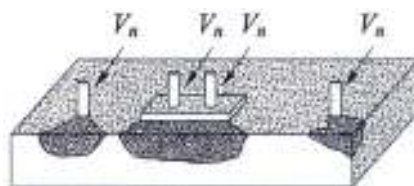


(b) 拔出應力錐

圖一 混凝土拉拔破壞應力錐



圖二 多根鋼筋之間距太近應力錐重疊



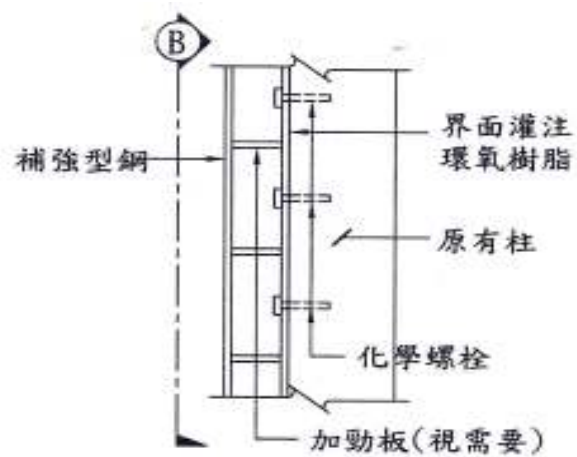
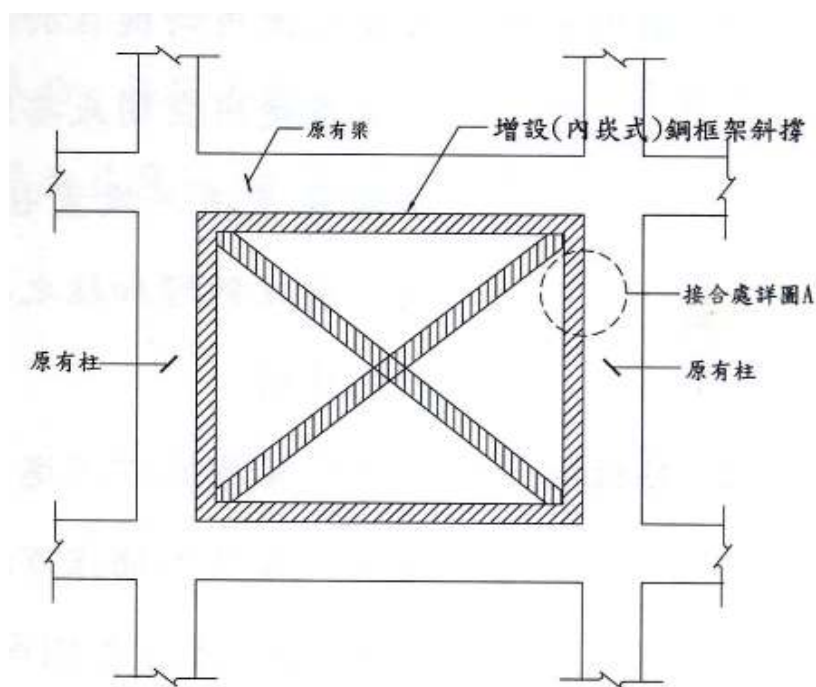
圖三 植筋離混凝土結構物之外緣太近

在梁柱接頭內植筋續接因所需植筋的根數較多，而梁柱接頭之空間有限，施作可行性非常低，各植筋之拉出應力錐勢必會重疊或超出接頭區以外，故必須改以搭接方式才能有效續接結構物。然而梁柱接頭內要達到足夠的搭接長度所需之鑽孔深度甚深，可能會貫穿柱全深，且既有梁柱接頭之鋼筋量及位置不易掌握，植筋鑽孔時容易破壞既有鋼筋，亦可能因植筋間距過近而破壞現有混凝土而產生龜裂現象，造成負面效果。

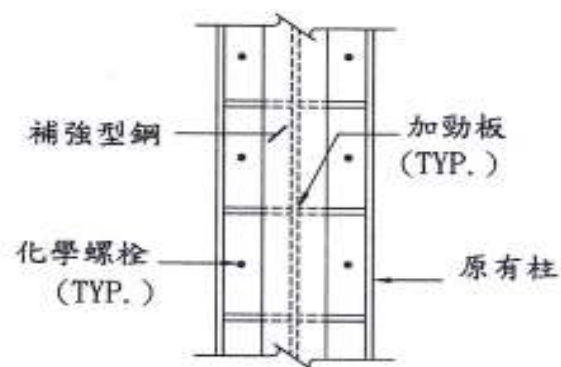
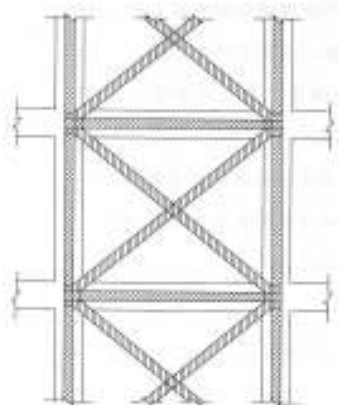
2.2 「化學錨栓與植筋」承受剪力之情況。

「化學錨栓與植筋」承受剪力之應用情況甚多，例如框架構架間嵌入補強鋼框架斜撐的應用例(見圖七至圖九)，其結構系統係先以鋼斜撐接於鋼框架上，再利用鋼框架四周邊與鋼筋混凝土結構框架間之「線」的接合方式，利用化學錨栓與植筋之「剪力摩擦」之接合模式連結。在結構設計時亦可設法將桿件正面對接之拉力轉變為側面剪力搭接續接之情況。

「化學錨栓與植筋」承受剪力之力學行為係藉由植筋在混凝土面二端鋼筋之伸展長度，將界面二側混凝土繫在一起不致脫離，再藉由接觸界面 6mm 以上之粗糙度之表面來承受剪力，故無搭接的問題存在。只須該界面二端之鋼筋長度符合受拉伸展長度之規定即可。工程師可參照「混凝土工程設計規範(土木 401-96) 第 4.8 節(剪力摩擦)之規定設計之。由於鋼斜撐均為高勁度之構材，因此地震時可分擔承受較大之水平力，在結構補強實務上係屬最有效之結構系統補強工法之一。因鋼斜撐承受之水平力很大，因此水平力進出鋼斜撐時，單靠節點新增作之錨栓的錨定，會存有前述力量過於集中於單點的缺失，此種情形除了未利用框架周邊來平均分散力量外，亦反而易造成力量集中而提早損壞既有結構；此種做法亦無法利用「化學錨栓與植筋」以剪力摩擦方式傳遞剪力的優點(見圖十及圖十二)。

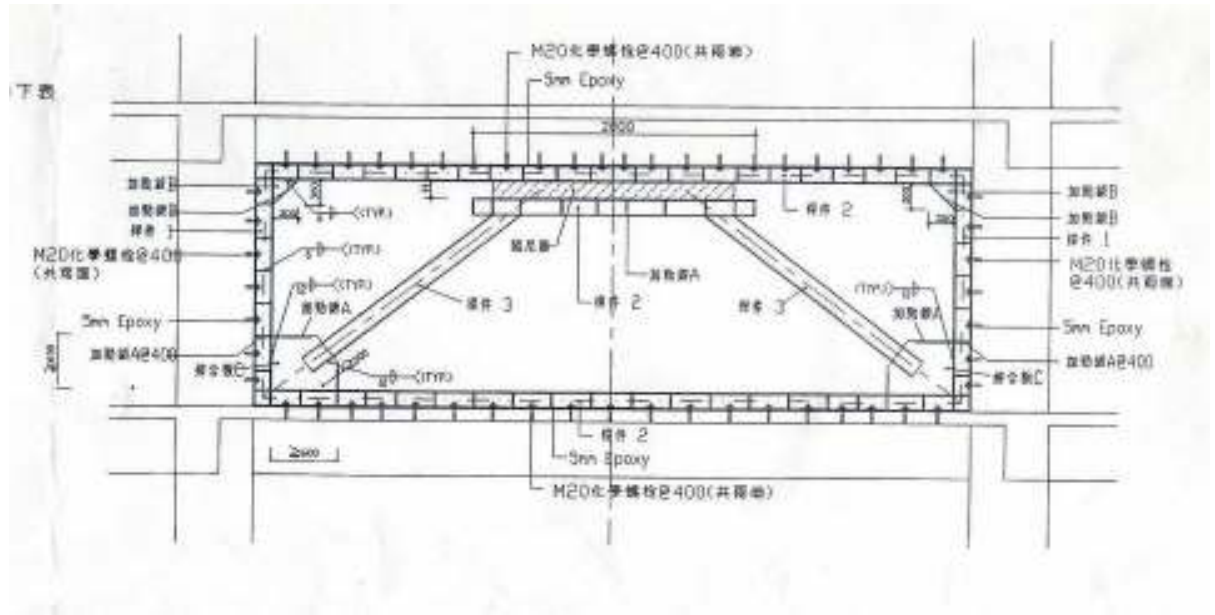


詳圖 A



詳圖 B

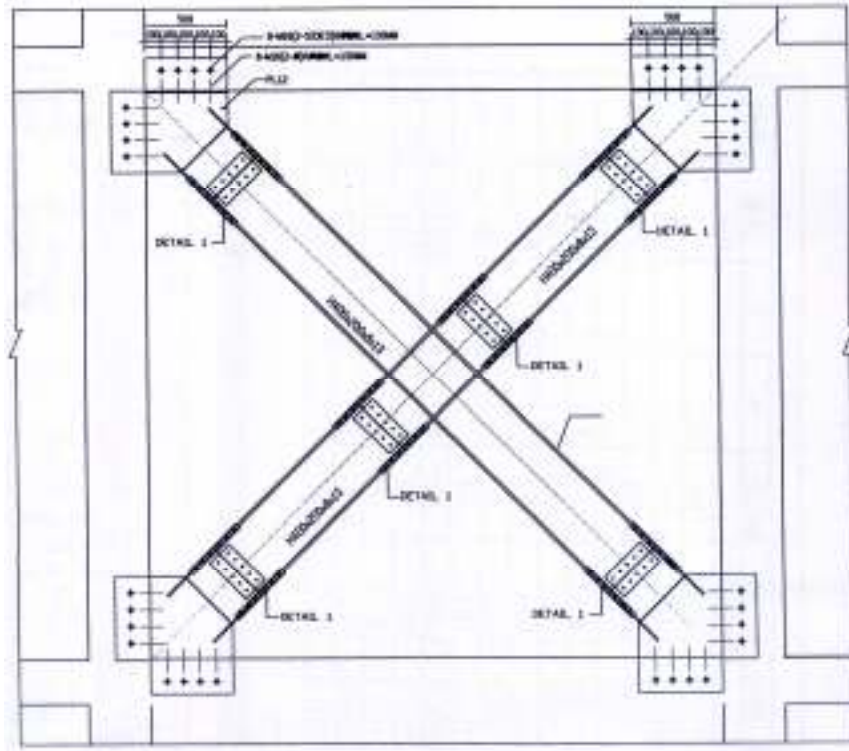
圖七 承受剪力之植筋應用於鋼框架斜撐示意圖



圖八 承受剪力之植筋應用於鋼框架斜撐示意圖



圖九 承受剪力之植筋應用於鋼框架斜撐實例



圖十 無鋼框架之斜撐造成錨定點力量集中之現象。



圖十一 無鋼框架之斜撐造成錨定點力量集中之現象。



圖十二 無鋼框架之斜撐造成錨定點力量集中之現象。

三、以鋼框架斜撐補強工法設計及施工要點

3.1 適用範圍及特性說明

當抗彎矩構架系統之側向抗剪強度不足，或側向勁度不足時，於梁、柱構架間增設鋼框架斜撐補強，可大幅改善整個結構系統，並減輕梁、柱構件之負擔，適當的斜撐設計，可容許內部空間動線之使用，且不影響採光及通風之原有機能。故為一經濟有效的改善方法。其力學特性為：

- (1)提高抗剪強度。
- (2) 提高建築物側向勁度，減小側向位移。
- (3)改變建築物平面、立面之剛性分佈。
- (4)大幅降低梁、柱構件應力。

3.3 施工步驟

- (1)遷移相關管線及附掛物。
- (2)與鋼框架交界之梁、版及柱面粉刷層打除。
- (3)以超音波鋼筋探測器量測梁、柱鋼筋位置。
- (4)梁、柱鑽孔，高壓空氣吹淨。
- (5)植筋及灌注植筋劑 EPOXY。

- (6)鋼框架斜撐組立，以所植鋼筋以剪力摩擦行為與原有梁、柱構架相連接。
- (7)型鋼與梁、柱之界面處，應灌注環氧樹脂，以確保鋼梁與鋼筋混凝土結構之黏結性。

3.4 設計及施工注意事項

- (1)增設之斜撐系統建議自增設之樓層起，連續向下設置至基礎，以確保剪力能夠順利傳遞至基礎。
- (2)斜撐加設之後，結構體在斜撐構架附近之勁度增大，會導致應力集中於此處，尤其是在斜撐與混凝土梁柱接合處會因應力集中現象而成為結構系統之新弱點。因此與斜撐相連接之梁、柱，必須針對剪力傳遞及強度加以檢核。另外，亦必須檢核與斜撐相連接之基礎，是否因外力集中，而產生基礎上舉力，下壓力或承载力不足之情形。
- (3)配置鋼框架斜撐系統，須符合對稱、均佈原則，以避免完成後剛心與質心偏移過大，反造成更不利的偏心扭轉效應，且須上下連貫。
- (4)增設鋼框架斜撐受橫力作用時，將藉由週邊剪力摩擦行為將水平力傳遞至構架上，對於集力構材與樓版剪力傳遞之影響應予以檢核。
- (5)增設鋼框架斜撐系統補強工法，因所需植筋數量甚多，因此施工過程中需注意避免損害既有梁、柱構件之內部鋼筋以及內部管線。
- (6)新舊混凝土交界面，為提高摩擦剪力，應打除表面粉刷層，其接觸界面並應有 6mm 之粗糙度。

三、結論

植筋並非工程施工瑕疵補救及結構補強之萬靈丹，其應用仍須符合「混凝土結構設計規範」鋼筋伸展、錨定與續接之相關規定；若植筋工法可毫無限制的使用，則「混凝土結構設計規範」對鋼筋伸展與續接之相關規定豈不是太嚴而該修改放寬嗎？目前在補強工程實務上普遍採用之植筋及化學錨栓，其理論基礎與實務應用上尚有差距，尤其是該等後置式埋設之錨定方式均為利用混凝土受張之脆性破壞模式，與現行混凝土結構設計規範之韌性設計觀念不合，致其韌性及安全性不足，鋼框架與既有混凝土框架之連接方式，建議應利用其力學特性選擇較有利之剪力摩擦之傳力模式及分散或消散集中力外，並須符合「混凝土結構設計規範」對鋼筋伸展與續接之相關規定。同時依前述

之建議考量結構物之重要性，植筋劑之強度、韌性、耐久性及耐火性等，予以適當提高安全係數，以確保結構物之安全性。

【參考資料】

- [1] 營建署(2002) “結構混凝土設計規範” 內政部營建署。
- [2] 中國土木水利學會(2007) “混凝土工程設計規範與解說” (土木 401-96)。
- [3] 陳正平(1986) “鋼構件在混凝土結構體上之錨定設計” 結構工程第二卷第三期。
- [4] 喜帝利股份有係限公司 “鋼筋固定設計概念”，HILTI B2.2 固定技術手冊。
- [5] Fischer Fixing System “Technical Handbook” 。
- [6] M. Lee Marsh and Edwin G. Burdette “Multiple Bolt Anchorages: Method for Determining the Effective Projected Area of Overlapping Stress cones.” 。
- [7] “Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures.” ACI Committee 349 。