

第一章 緒論

1-1 緣起與目的

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊碰撞之環太平洋地震帶上，幾乎每天都有規模不一的地震發生，而且平均每十年就會有一次規模 7.0 以上的強震，常使建築物受到嚴重之破壞，進而威脅到居住者或使用者之安全。此外，除了地震這種無可避免的大自然力量外，火災、鄰房不當施工等人為疏失，也會造成建築物基礎、柱、樑、牆壁、樓板等結構桿件的材料強度降低或受損，因而降低建築物之耐震能力，而需要進一步予以結構補強，以恢復或提昇其耐震能力。

台灣地區的中低層建築物，大部分都是鋼筋混凝土結構，而國內外有關鋼筋混凝土建築結構補強工法之研究成果已相當豐碩，除了學術單位之結構補強試驗、分析成果外，國內在 921 集集地震後，實際應用與施做的結構補強案例也非常多，惟這些研究成果與施做案例的施工方式與設計方法，仍存在相當多的差異，故常使得建築物補強後之耐震能力提昇程度，無法如預期之效果，因此有必要針對相關鋼筋混凝土建築結構補強工法及監造要點進行研究。

由於新增結構桿件（如牆、斜撐）或新增耐震構架，皆會改變原有結構系統的耐震行為，而且會因個案不同而有所差異。本準則無法針對個案編寫，因此本研究計劃僅針對鋼筋混凝土建築結構桿件之補強工法、施工要點及實際案例進行資料蒐集與分析，並藉此訂定桿件補強準則、桿件補強施工步驟及監造要點等，以作為工程界之參考。

化學錨栓在補強設計及施工上十分常見，但現場施工時，由於邊距與間距之限制，化學錨栓之拉力或剪力破壞面會交叉，因而使得其抗拉及抗剪強度不如預期效果。特別是在柱樑接頭部份、或錨栓間距太小、或錨栓距離桿件邊緣太近時。本研究計劃依據 ACI 355.2 之規定加以修正，建立一套化學錨栓抗拉及抗剪強度的理論計算公式，以作為結構補強設計時之參考。

1-2 文獻回顧

以建築物修復補強工法為探討主題之文獻資料相當豐富，其中包含學術期刊、研討會報告、實務案例介紹及學術研究論文【1~17】等。另就本所部分，近年來相關主要研究計畫與成果包括“學校建築常見之損壞現象及修復補強策略探討”【18】、“鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編”【19】，“鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編（二）”【20】、“九二一地震震壞建築物耐震能力個案分析及改善建議”【21】。

1-3 研究內容

本研究計劃針對柱、樑、樓板等結構桿件，依補強使用之材料或方法，分別訂定其補強準則及施工要點，研究內容包括結構桿件補強設計準則、結構桿件補強可行性評估、鋼筋混凝土柱的結構補強、鋼筋混凝土樑的結構補強、鋼筋混凝土樓版的結構補強，以及鋼筋混凝土柱樑間的應力傳遞問題。本計劃除了提供桿件補強準則外，並提供合理的結構補強施工要點，作為工程界之參考，進而確保鋼筋混凝土建築結構補強後之耐震效果。

根據研究發現【11】，結構補強用的化學錨栓，是屬於後置型錨栓，受制於現場施工時的邊距及間距限制，其強度不如預期。本研究計劃之另一研究重點，是建立一套化學錨栓抗拉及抗剪強度的理論計算公式，以做為補強設計時之參考，草案內容分別列於第九章與附錄 A 中。

第二章 通則

2-1 本準則適用範圍

2.1 本準則適用範圍

本準則適用於以鋼板、鋼筋、混凝土、碳纖維、環氧樹脂、化學錨栓等材料為主之結構桿件補強，但不包含新增結構桿件或更改原有結構系統的補強方式。

解說：本準則主要係針對鋼筋混凝土建築結構桿件之結構補強，新增結構桿件（如牆、斜撐）或新增耐震構架，皆會改變原有結構系統的耐震行為，而且會因個案不同而有所差異。本準則無法針對個案編寫，因此，特殊個案需由設計者依據實際現況、相關研究資料及專業知識進行結構補強設計。

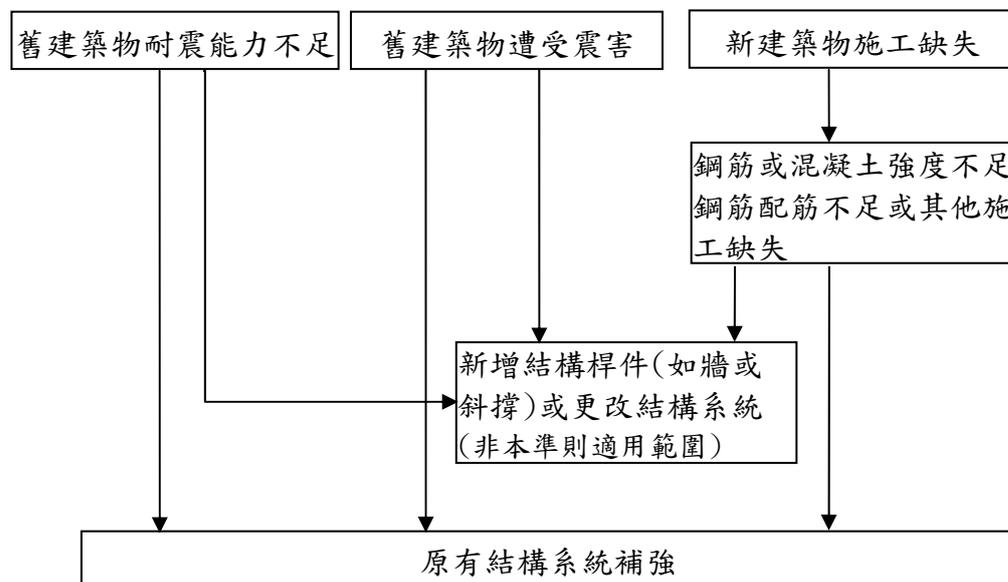


圖 2.1 本準則適用範圍

2-2 修復與補強的分別

2.2 修復與補強的分別

修復是將損壞桿件回復至原有強度，補強是回復或提高原有結構桿件的強度。

解說：建築物之設計、建造、變更使用乃至拆除，皆應由專業工程師負責辦理。建築物在平常若有適當維護，磚造或加強磚造建築物的耐用年限達四十年以上，而鋼筋混凝土造（RC）、鋼骨造（SC）或鋼骨鋼筋混凝土造（SRC）建築物的耐用年限，更高達六十年以上。不過，建築物常因材料品質不良（如海砂、輻射鋼筋等）、材料老化、熱脹冷縮、地層下陷、鄰房施工或地震、火災、颱風而受損，因而需要加以修復或補強。

修復的意義是將損壞桿件回復至原有良好的情況（原有強度），而補強則是回復或提高原有結構桿件的強度或建築物的耐震能力。以磚牆或 RC 牆的裂縫為例，若以水泥砂漿或環氧樹脂（EPOXY）修補磚牆或 RC 牆的裂縫，使磚牆或 RC 牆不致因裂縫的存在而四分五裂，並能恢復原有之抗壓及抗剪能力，即為修復。由於磚牆或 RC 牆的抗拉強度很低，已修復完成的磚牆或 RC 牆若再次受到同樣大小的拉力或剪力時，仍會裂開，因此是一種修復行為，雖然裂開的位置並不一定發生在原有裂縫處。

若除了修復原有磚牆或 RC 牆的裂縫外，也將原有受損的磚牆或 RC 牆加厚，或在原有磚牆或 RC 牆的表面增加抗拉的碳纖維或鋼板，則不但磚牆或 RC 牆的強度提高，建築物的耐震能力也可能提高。上述這種施工方式對磚牆或 RC 牆而言是補強，對建築物而言也“可能”具有補強效果，並且也“可能”改變了建築物原有的結構系統與耐震行為。必須注意的是，若磚牆或 RC 牆的補強結果，反而使得建築物產生嚴重偏心扭轉振動現象，或導致其他結構桿件變成耐震弱點，則不但失去結構補強的原意，建築物的耐震能力反而可能降低。因此，進行結構補強時，不但需找具有補強經驗的專業工程師與承包商，補強設計是否適當以及補強效果如何評估，也必須列入考量。

2-3 建築物的結構補強方式

2.3 建築物的結構補強方式

建築物的結構補強方式大致分為以下三種：

- (1) 原有結構桿件補強
- (2) 原有結構系統補強
- (3) 新增結構桿件或新增結構系統補強

不論採用何種方式補強，必須避免造成建築物偏心扭轉振動、或新增其他耐震弱點，或降低原有耐震能力的情形發生。

解說：建築物的結構補強方式大致分為以下三類：

- (一) 原有結構桿件補強：當結構補強的桿件數量不多，這些桿件的結構補強結果，對建築物的整體耐震性能力影響並不大。單純的結構桿件補強，應避免不當或過當的補強，因而使得臨近的未補強桿件成為耐震弱點，或降低原有建築物的耐震能力。
- (二) 原有結構系統補強：在不改變原有結構系統及結構行為的狀況下，將舊有樑、柱、牆壁、樓版等，作整體性、系統性的補強。例如將部份的柱樑構架系統補強，或將原有剪力牆由下至上作整體性的補強等。原有結構系統的補強，應會提高原有建築物之耐震能力，唯仍應避免原有結構系統補強後，反而產生偏心扭轉振動，或新增其他耐震弱點的情形發生。
- (三) 新增結構桿件或新增結構系統補強：除非能確切掌握新增結構桿件（如新增柱、牆、斜撐等）或新增結構系統（如新增柱樑構架等）的結構行為，否則，任意新增結構桿件或新增結構系統，是相當危險的。因為新增結構桿件或新增結構系統，可能會改變原有的結構系統及結構行為。若處理不好，新增結構桿件或新增結構系統的本身，或其鄰近的未補強桿件，反而可能形成耐震弱點，不但無法提昇原有建築物的耐震能力，甚至可能幫倒忙。

2-4 結構補強的品質要求

2.4 結構補強的品質要求

結構補強施工由備料、加工、現場施工，均應詳細查驗證明其材料品質。為確證施工能達到設計標準，監造人應負責並聘請專業人員辦理查驗工作，詳細記載查驗補強施工事項，並剔除不合格部份。

解說：由於補強材料之品質及現場施工好壞，影響補強效果甚鉅，其材料、加工、現場施工中所造成之瑕疵均可能對補強效果產生不利之影響，並導致無法達到原補強設計標準，故本準則將結構補強的品質要求列入。

2-5 製圖規定

2.5 製圖規定

2.5.1 設計圖

設計圖應依照結構補強計算結果繪製，至少應包含下列各項：

- (1) 結構補強之平面圖、立面圖、剖面圖及必要之詳細圖。圖上應註明使用尺寸之單位，尺寸之單位以 mm 為原則。
- (2) 補強桿件之剖面尺寸及其相關位置圖。
- (3) 補強材料與原有桿件接合詳圖，或所採用之接合型式。

2.5.2 製圖比例

設計圖之比例，以能明確標示各項資料為原則，但對於結構補強全圖之平面、立面不宜小於 1/100，而結構補強詳細圖之立面、剖面不宜小於 1/30。

2.5.3 圖線規定

繪製圖線，應依 CNS B1001 工程製圖之一般準則。

2.5.4 桿件符號

桿件符號依下列規定，以英文字母表示之：

- (B) 代表樑，(C) 代表柱，(F) 代表基腳，(G) 代表大樑

2.5.5 焊接符號

焊接符號及標註符號方法應依 CNS B1001 工程製圖之熔接(本準則以下稱為焊接)符號之規定。

解說：結構補強施工前應依據補強設計圖說，事先繪製補強設計施工圖。

第三章 結構桿件補強設計準則

3-1 作用力及應力分佈

3.1 作用力及應力分佈

作用力之決定：在決定結構桿件或接頭應力之補強設計時，對於作用在有效剖面之各階段載重均須考慮。

彈性分析：在彈性分析時，補強材料若具有延續性，可以假設為均勻剖面，並於計算勁度時，可依轉換剖面之慣性矩計算。

塑性分析：若採用塑性分析時，受撓曲與軸壓力之強度應由塑性應力分佈決定。

塑性應力分佈：若補強材料在正、負彎矩區以剪力連接物與原有桿件連結，則在混凝土有效壓力區之應力可假設為 $0.85f_c'$ 且為均勻分佈，而混凝土拉力強度則予忽略。補強材料不論在拉力區或壓力區，剪力連結物之強度應足以傳遞所需應力。

彈性應力分佈：若須求得彈性應力之分佈情形時，補強材料與混凝土之應變，應假設與中性軸之距離成正比，應力則等於應變與其彈性模數之乘積，混凝土抗拉應力則予忽略。

3-2 應變一致性

3.2 應變一致性

受撓曲或同時受撓曲與軸力之桿件，其強度設計應基於以下之假設，並符合平衡條件與應變一致性。

- (1) 混凝土最外受壓纖維之極限應變為 0.003。
- (2) 鋼材或補強材料之應力，應按鋼材或補強材料之彈性係數與應變之乘積計算，但不得大於鋼材降伏強度或補強材料之規定強度。
- (3) 混凝土壓應力之分佈假設為矩形外，亦可假設為梯形、拋物線形或其他形狀，但必須與試驗結果相接近。

解說：(一)靜力平衡：在計算桿件之補強強度時，作用於剖面上之靜力須保持平衡。

(二)應變性一致：在計算桿件之補強強度時，鋼筋、混凝土及補強材料的應變之一致性，須符合 3.1 節及本節之假設。

(三)鋼筋、混凝土及補強材料之應變，均假設與中性軸之距離成正比，此項假設對於決定補強材料之應變與應力非常重要。

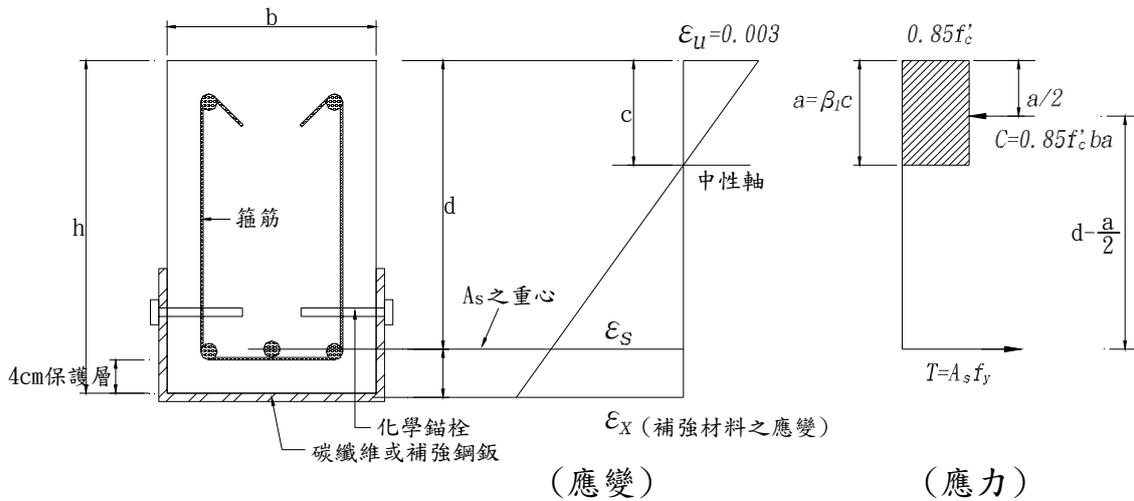


圖 3.1 鋼筋混凝土樑的應變及應力

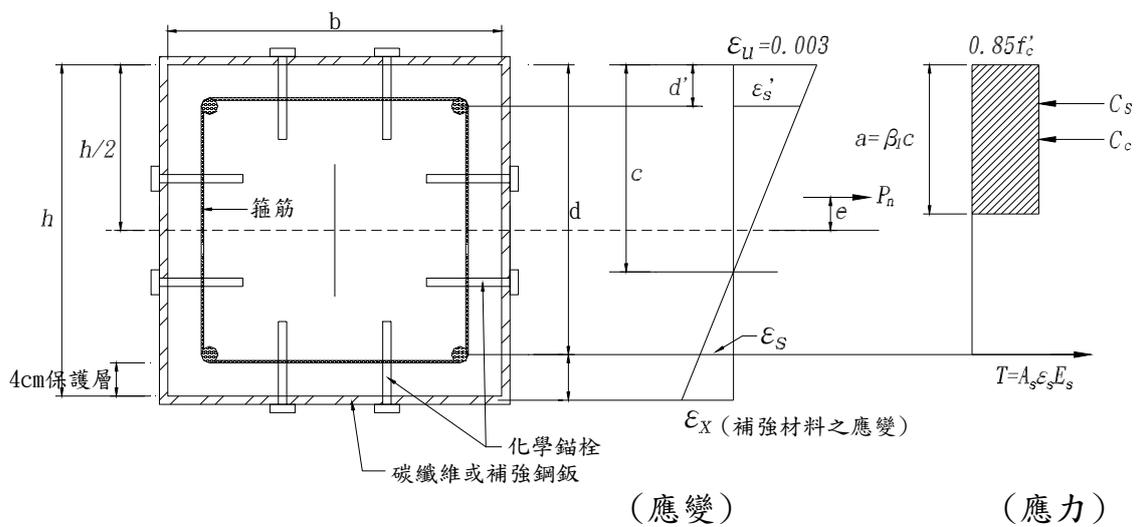


圖 3.2 鋼筋混凝土柱的應變及應力

3-3 補強設計流程

3.3 補強設計流程

補強設計必須依據原始結構設計圖說，並配合現場材料取樣試驗或其他現場調查結果，重新進行結構分析及設計；桿件補強後的總強度必須大於桿件應有的強度。

解說：

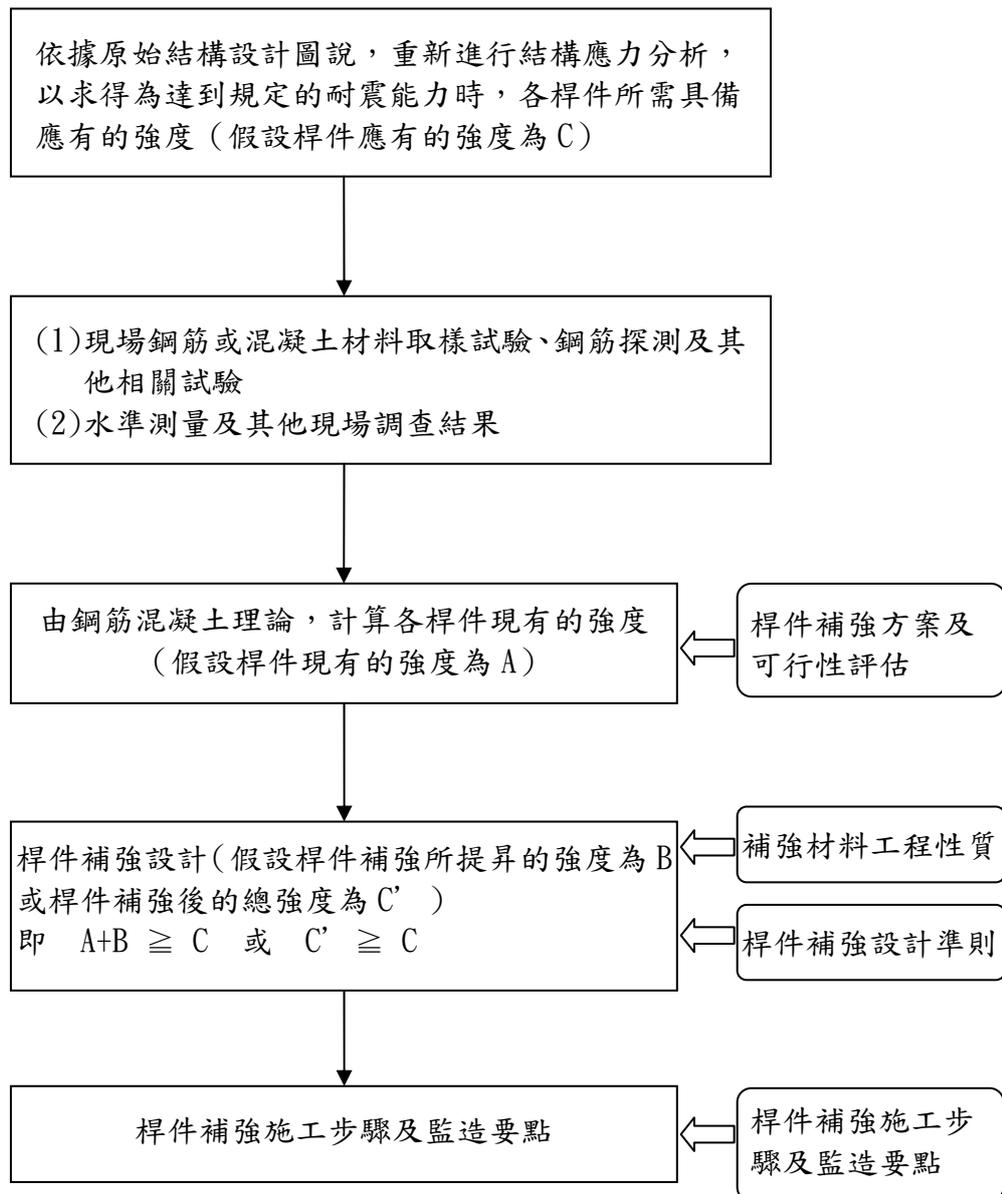


圖 3.3 補強設計流程圖

3-4 補強設計通則

3.4 補強設計通則

受撓曲或受軸力或受兩者共同作用之桿件，其補強設計應基於 3.1 節至 3.3 節之假設，並符合最新法規之要求。

解說：

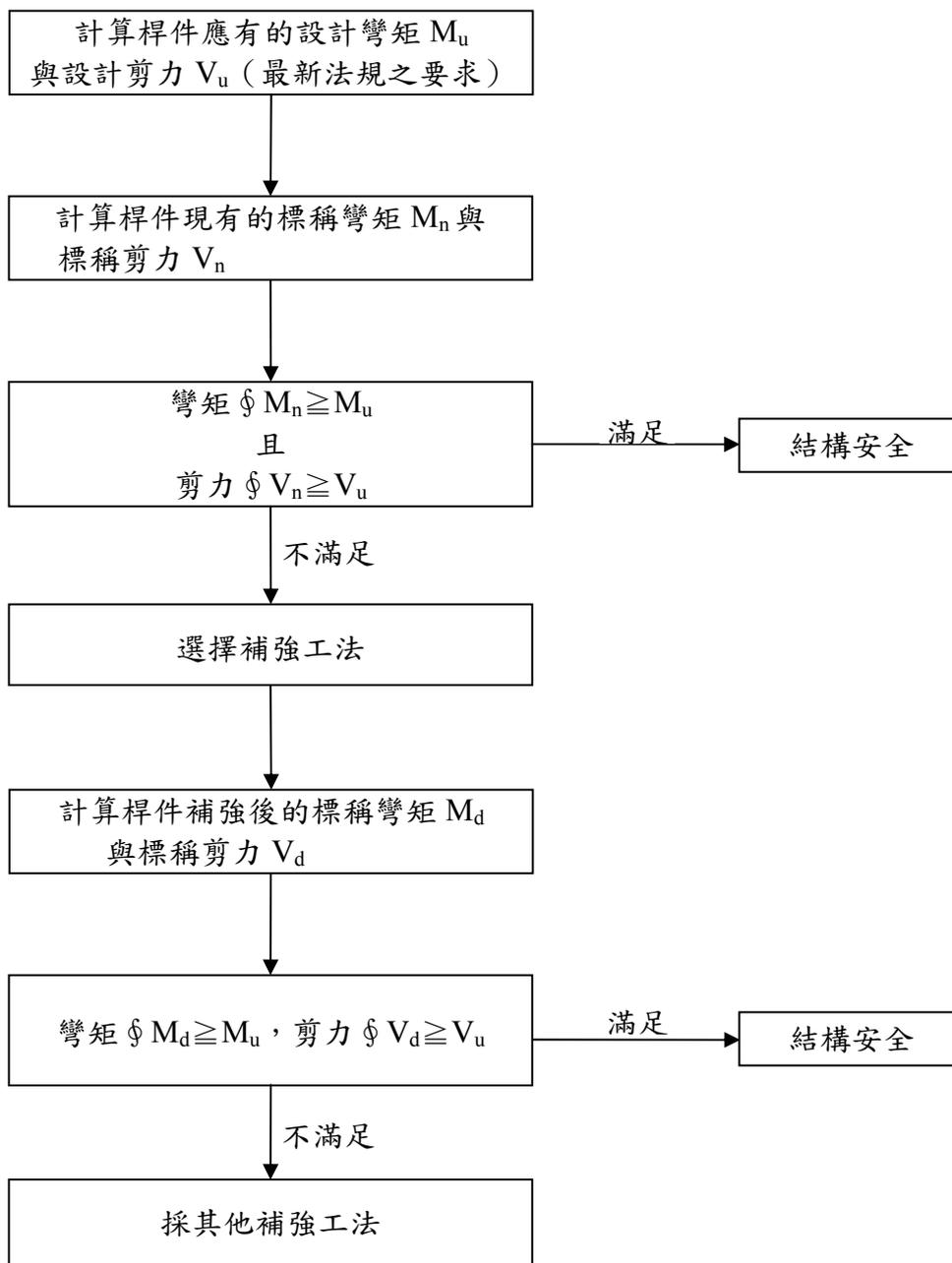


圖 3.4 鋼筋混凝土樑的補強設計流程圖

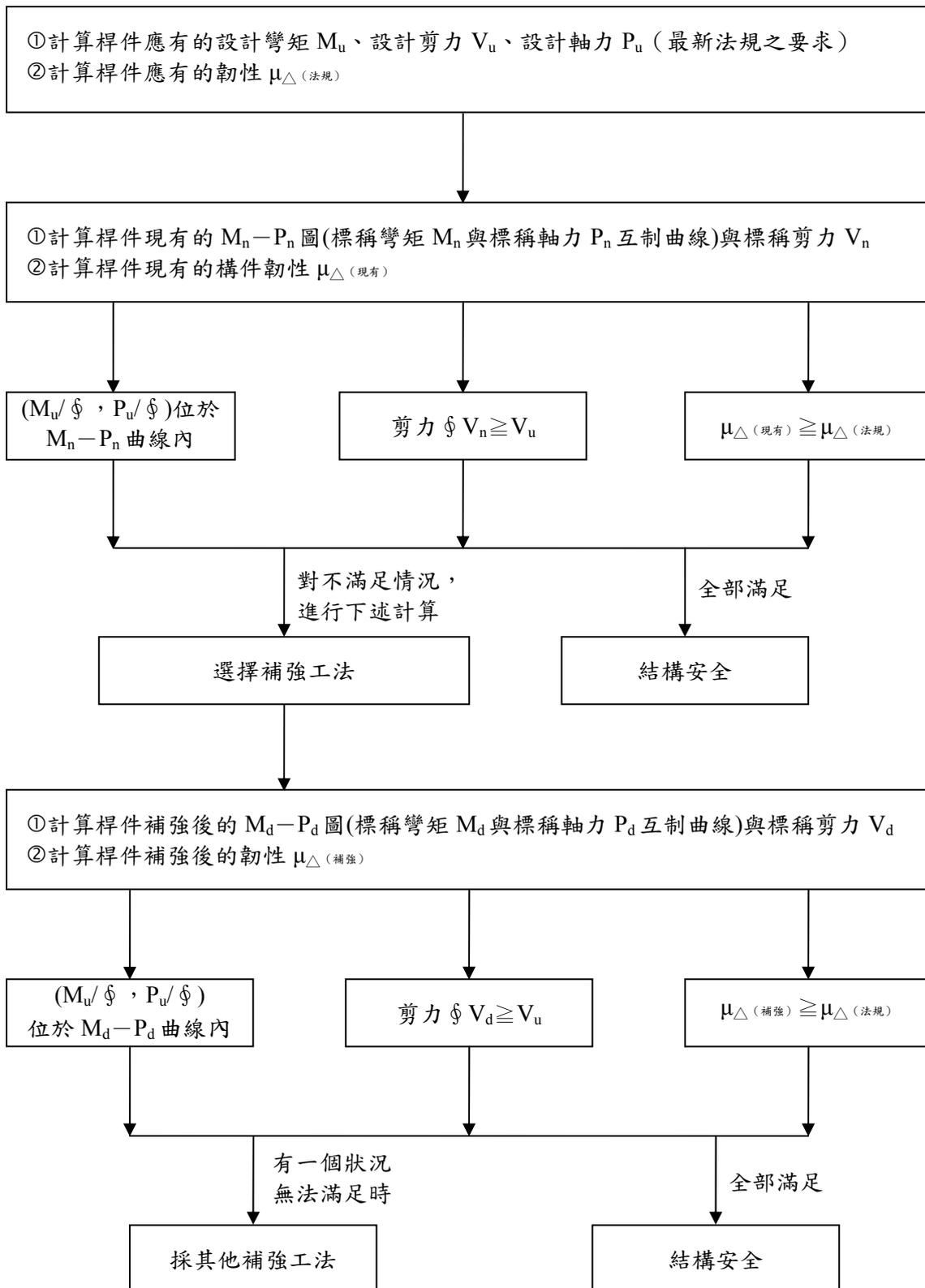


圖 3.5 鋼筋混凝土柱的補強設計流程圖

3-5 彎矩接合

3.5 彎矩接合

樑和樑、樑和柱之端部接合，應依其接合處所計算之彎矩、剪力與軸力之合成應力設計之。

3-6 界面剪力

3.6 界面剪力

在補強材料與混凝土間界面間之剪力傳遞，其強度應足以傳遞最大彎矩兩側之任一側剪力。

3-7 剪力連接物之配置

3.7 剪力連接物之配置

在最大正或負彎矩至零彎矩間之剪力連接物，可依其所需數目，以等間距配置。但在集中載重至臨近零彎矩間之剪力連接物數目，應足以抵抗在集中載重處所需之最大彎矩。

解說：剪力連接物之間距，若根據剪力分佈情形不等距設置，或以相同數量之剪力連接物作等距設置，兩者之極限強度及撓度於正常工作載重下均相同。惟當較高應力之剪力連接物，必須將界面剪力傳遞至較低應力之剪力連接物時，混凝土會有輕微之變形。剪力連接物之總數量應足以傳遞最大彎矩兩側之任一側剪力。如同 1978 AISC 規範中規定，除極大之集中載重處外，剪力連接物可採取等間距安裝。

3-8 所需剪力連接物

3.8 所需剪力連接物

在最大正或負彎矩至零彎矩間所需之剪力連接物，若以化學錨栓或環氧樹脂作為連接物，化學錨栓之抗剪強度應以第九章或附錄 A 計算之結果，或以試驗值為參考依據，環氧樹脂應以試驗值為參考依據。

第四章 結構桿件補強可行性評估

4-1 補強材料

4.1 補強材料

無論採用何種補強材料，新增補強材料與原有材料界面間的接續需確實，而且應考慮耐久性及耐火性。

解說：不論是原有結構桿件補強或新增結構桿件，常用的補強及界面接續材料如下：

- (一) 水泥類補強材料：如混凝土、水泥砂漿、膨脹水泥、無收縮水泥等。
- (二) 鋼鐵類補強材料：如鋼筋、鋼骨、鋼板等。
- (三) 碳纖維補強材料：如碳纖維貼片 (C-FRP) 等。
- (四) 界面接續材料：補強材料與原有材料界面間之接續材料，如環氧樹脂、化學錨栓、膨脹螺絲等。

不論採用何種補強材料，新增補強材料與原有材料界面間的接續需確實，而且應具有耐久性及耐火性（或具有防火披覆）。否則一旦接續不良或失火受傷，新增補強材料不但無法發揮補強功能，反而可能因重量增加而減少原有結構桿件的承載功能，或降低原有建築物之耐震能力。

傳統的補強材料中，混凝土、水泥砂漿、膨脹水泥等材料，抗壓而不抗拉，因此需要搭配鋼筋、鋼骨、鋼板等抗拉的補強材料。此外，碳纖維材料，其抗拉強度超過鋼鐵，也是一種很好的補強材料。不過，碳纖維必須借助環氧樹脂作為界面的接續材料，並無法單獨使用。而且碳纖維及環氧樹脂均不耐高熱，因此對於有火害疑慮的建築物，除非能確認防火披覆的防火功能，否則應儘量避免採用碳纖維補強。

在結構補強工程中，一定會碰到新舊材料界面間的接續問題，如果新舊材料的界面接續不良，再好的補強設計都很難發揮其功效。補強鋼板與鋼筋的接續方式，以焊接最為確實可靠，而補強鋼板與原有混凝土間，或碳纖維與原有混凝土間的接合方式，則以環氧樹脂的黏著效果最佳。

4-2 碳纖維貼片及環氧樹脂

4.2 碳纖維貼片及環氧樹脂

碳纖維貼片及環氧樹脂材料的力學性質，應以試驗值為設計參考依據，設計者應依工程經驗採用適當的安全係數。

4-3 結構桿件補強的可行性評估

4.3 結構桿件補強可行性評估

結構桿件的補強方式，會因所需補強的軸力、彎矩、剪力與扭力大小的不同，或補強材料的特性而會有不同的設計方法與補強效果。

解說：不論採用鋼鈹結構補強、擴大剖面結構補強或碳纖維結構補強，均會因結構桿件或受力的不同，而會有不同的設計方法與補強效果，如表 4-1 所示。

表 4-1 結構桿件補強可行性評估

桿件		鋼鈹結構補強	擴大剖面結構補強	碳纖維結構補強
柱	軸力	○	○	△
	彎矩	○	○	○
	剪力	○	△	○
	扭力	○	△	○
樑	正彎矩	○	△	○
	負彎矩	△	×	△
	剪力	○	△	△
	扭力	○	△	△
版	正彎矩	○	△	○
	負彎矩	△	×	△
	剪力	×	△	×
柱樑接頭	軸力	△	△	×
	彎矩	△	△	×
	剪力	△	△	×

註：○ 表示 有補強效果並應有設計準則及範例說明

△ 表示 有補強效果，但應注意設計及施工細節

× 表示 無補強效果

第五章 鋼筋混凝土柱的結構補強

5-1 柱的結構補強工法

5.1 柱的結構補強工法

常見的鋼筋混凝土柱的結構補強工法大致分為以下幾種：

- (1) 柱以鋼板結構補強
- (2) 柱以角鋼及帶狀鋼板結構補強
- (3) 柱以擴大柱剖面方式結構補強
- (4) 柱以增設翼牆方式結構補強
- (5) 柱以碳纖維結構補強
- (6) 柱以其他方式結構補強

無論採用何種方式的結構補強，柱的補強材料與原有柱、上下柱與左右橫樑間的應力傳遞須特別考慮，並應依據所需補強的軸力、彎矩、剪力與扭力大小，進行柱補強設計。

解說：鋼筋混凝土柱是鋼筋混凝土建築物最重要的耐震桿件，只要受損鋼筋混凝土柱的破壞沒有造成建築物嚴重傾斜，或使得上層樓版與主樑嚴重下陷，鋼筋混凝土柱裂縫即使超過 0.3mm 以上或混凝土有碎裂剝落現象，鋼筋混凝土柱均可以結構補強方式恢復，甚至提昇其強度。鋼筋混凝土柱的結構補強的方式有下列幾種；將分別在 5.2 節至 5.6 節中詳細說明。

- 5.2 節 柱以鋼板結構補強
- 5.3 節 柱以角鋼及帶狀鋼板結構補強
- 5.4 節 柱以擴大柱剖面方式結構補強
- 5.5 節 柱以增設翼牆方式結構補強
- 5.6 節 柱以碳纖維結構補強

5-2 柱以鋼板結構補強

5.2.1 柱以鋼板結構補強【柱韌性圍束補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除鋼筋混凝土柱表面之粉刷層及鬆動破碎之混凝土。
- (2) 柱裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (3) 組立補強鋼板及化學錨栓施工。
- (4) 補強鋼板焊接接合。
- (5) 化學錨栓孔隙及其他縫隙施作披縫劑。
- (6) 補強鋼板與混凝土柱之界面間，灌注環氧樹脂或無收縮水泥。
- (7) 補強鋼板表面漆環氧樹脂及灑石英砂或七厘石。
- (8) 補強後之柱表面以水泥砂漿粉刷被覆。

(二) 監造要點

- (1) 補強鋼板之厚度至少需滿足結構用鋼最小厚度 6mm 之要求。
- (2) 補強鋼板應以適量之化學錨栓錨定於混凝土柱內，以防止環氧樹脂或無收縮水泥注入時之鼓凸變形。
- (3) 化學錨栓之鑽孔不可損及柱主筋。
- (4) 補強鋼板之化學錨栓預留孔需在現場加工，依實際化學錨栓位置現場放樣，柱體上之電氣開關預留孔亦同。
- (5) 角柱或邊柱之補強鋼板可採 L 型或 U 型鋼板，補強鋼板之開口端應以化學錨栓確實錨定之，才有補強效果。
- (6) 補強鋼板彎角加工之圓角弧半徑 R 不得小於 10mm，以防止損及鋼板強度。
- (7) 補強鋼板之加工，若因材料尺寸需分為 2~3 片拼合時，其接縫宜採垂直縫，並以另一調節尺寸用之墊襯鋼板滿焊接合。
- (8) 補強鋼板不可接觸上方樑底及下方樓版面，並且應預留至少 3cm 以上之空隙，以防止地震力造成柱樑構架變形時，損及柱之韌性或圍束鋼板受破壞。
- (9) 為避免在補強鋼板與混凝土界面間殘留空隙，灌注環氧樹脂或無收縮水泥時，應在柱高二分之一以下，以壓力灌注，並在柱上方留排氣孔，以確實將空隙內之空氣排出。
- (10) 補強鋼板完成後，應於表面作水泥砂漿粉刷被覆，以求其耐火性、耐久性及美觀。

解說：鋼筋混凝土柱韌性不足時，可採用鋼板結構補強工法，如圖 5.1 所示。鋼板結構補強工法是先將舊有鋼筋混凝土柱的水泥粉刷層及磁磚、油漆等材料敲除，柱四周以補強鋼板包覆。補強鋼板與原有鋼筋混凝土柱之界面間，則灌注環氧樹脂或無收縮水泥。通常，為了確保補強鋼板與原有鋼筋混凝土柱界面間的拉力與剪力之應力傳遞，會增加化學錨栓或膨脹螺栓等補強材料。若補強鋼板圍成箱型 (BOX)，則鋼筋混凝土柱內部的混凝土即使碎裂也無法剝落，因此要將柱體本身震斷 (剪斷) 之可能性微乎其微。不過必須強調的是，由於柱上方及柱下方均預留 3cm 空隙，因此在柱體本身韌性圍束補強後，該兩處反而可能成為新的耐震弱點。

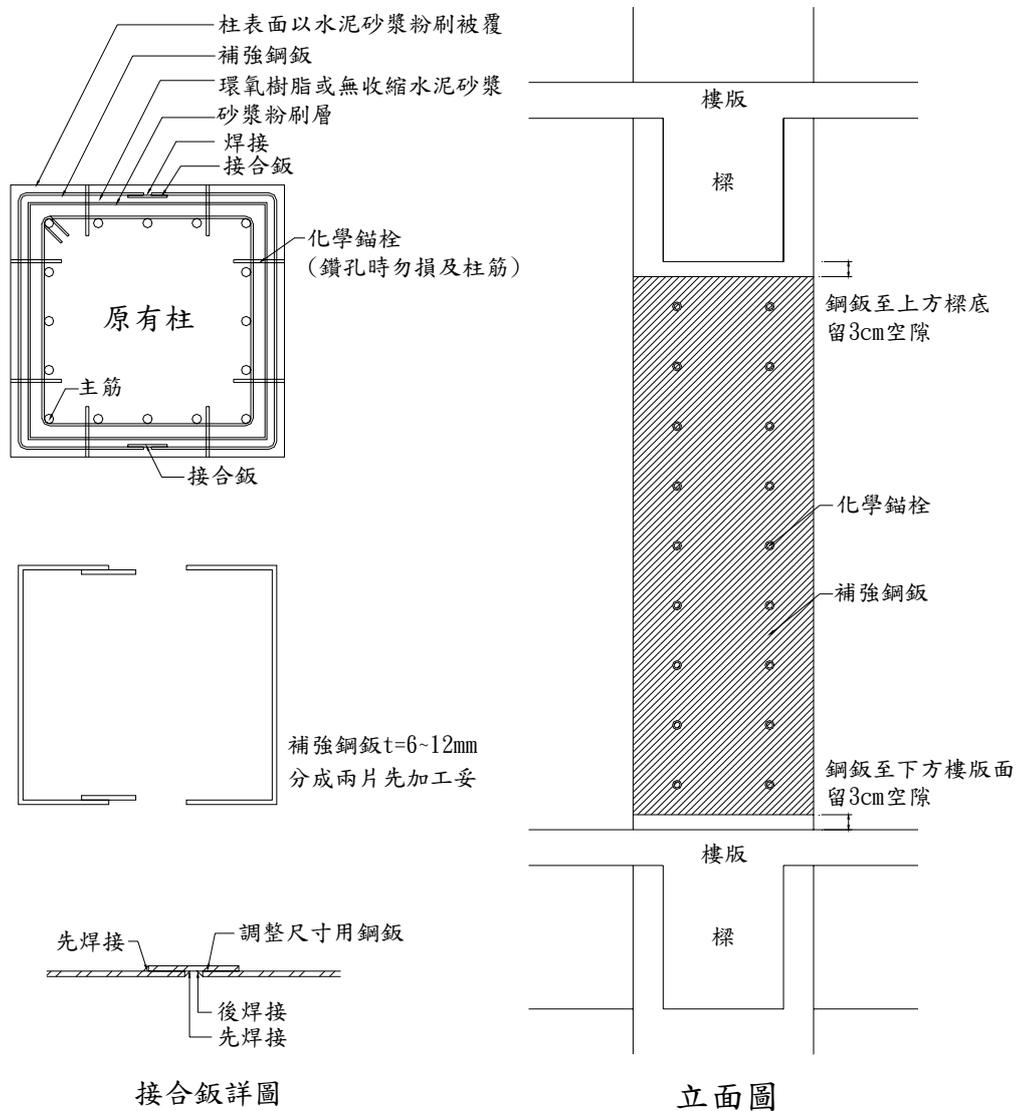


圖 5.1 柱以鋼板結構補強【柱韌性圍束補強】

5.2.2 柱以鋼板結構補強【柱軸力、彎矩及剪力補強】

(一) 施工步驟

- (1) 水電開關插座先行遷移。
- (2) 敲除鋼筋混凝土柱表面之粉刷層及鬆動破碎之混凝土。
- (3) 柱裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (4) 以超音波鋼筋探測器量測柱主筋位置。
- (5) 錨栓預定位位置鑽孔，並以高壓空氣吹淨孔內粉塵。
- (6) 植入化學藥劑及螺栓。
- (7) 鋼板貼附(鋼板貼附前需做噴砂處理，不可有油污)。
- (8) 敲開柱角隅樓版約 20cm 寬，切斷樓版鋼筋，讓補強鋼板貫穿延伸至上層，再將樓版鋼筋焊接於補強鋼板上。
- (9) 化學錨栓孔隙及其他縫隙施作披縫劑。
- (10) 補強鋼板與混凝土柱之界面間，灌注環氧樹脂或無收縮水泥。(由底部高壓灌注，上方留排氣孔)。
- (11) 隔日檢核補強鋼板內環氧樹脂或無收縮水泥灌注程度，再予以補足灌滿。
- (12) 鋼板表面點焊鋼網並塗抹 5cm 的水泥砂漿保護層。

(二) 監造要點

同 5.2.1 節

解說：

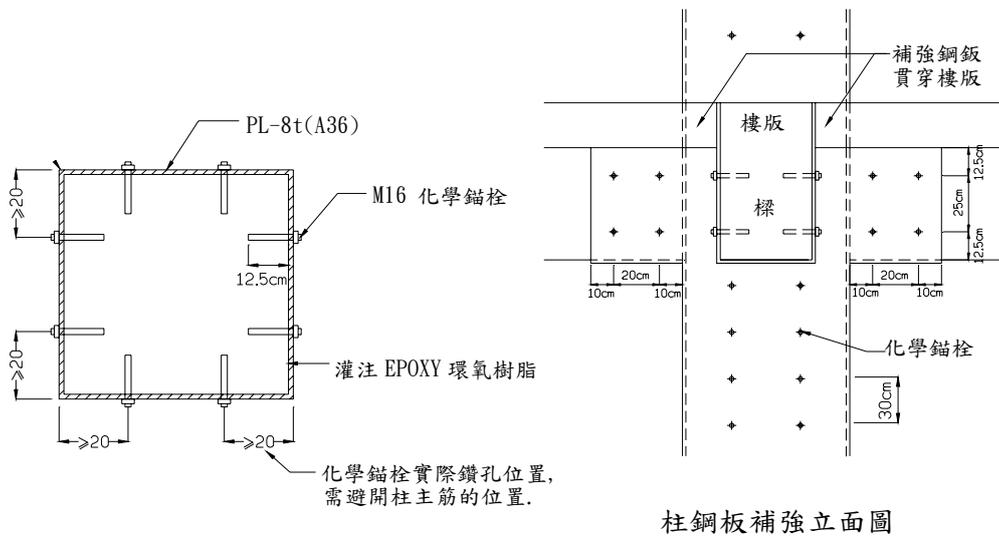


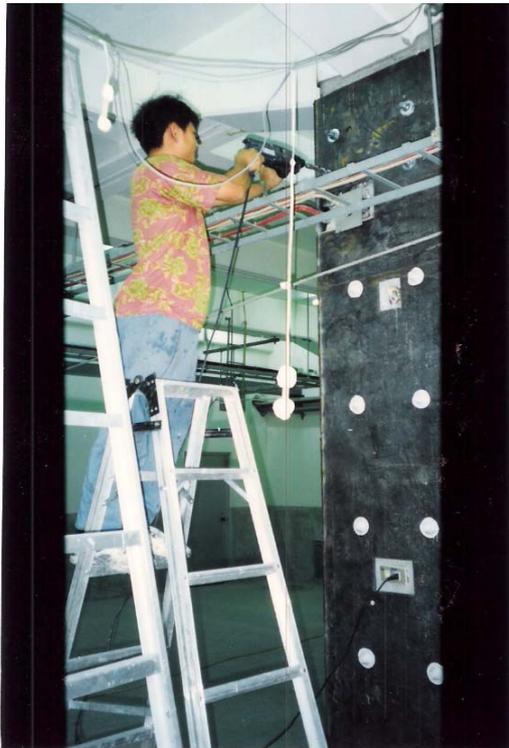
圖 5.2 柱以鋼板結構補強【柱軸力、彎矩及剪力補強】



(a) 柱粉刷層敲除



(b) 補強鋼板焊接



(c) 化學錨栓施工



(d) 環氧樹脂灌注

圖 5.3 柱以鋼板結構補強施工相片

5-3 柱以角鋼及帶狀鋼板結構補強

5.3 柱以角鋼及帶狀鋼板結構補強【柱剪力圍束補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除鋼筋混凝土柱表面粉刷層及鬆動破碎之混凝土。
- (2) 柱裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (3) 於鋼筋混凝土柱之四個角隅安裝角鋼
- (4) 帶狀圍束鋼板焊接至角鋼上。
- (5) 角鋼及帶狀鋼板空隙施作披縫劑。
- (6) 補強鋼板與混凝土柱之界面間，灌注環氧樹脂。
- (7) 角鋼及帶狀鋼板表面以環氧樹脂塗抹防銹並撒小石粒。
- (8) 補強鋼板表面及其餘柱表面以水泥砂漿粉刷被覆。

(二) 監造要點

- (1) 為使角鋼、帶狀圍束鋼板與舊有鋼筋混凝土柱能結合成一體，兩界面間之環氧樹脂應確實灌注填滿。
- (2) 灌注環氧樹脂時，混凝土表面務必為乾燥狀態。
- (3) 帶狀鋼板應確實焊接至角鋼上，以達圍束補強效果。
- (4) 施工完成之補強鋼板表面及其餘柱表面應以水泥砂漿粉刷作為防火被覆。
- (5) 採用本工法圍束補強可局部施作，不必全柱施作。
- (6) 帶狀圍束鋼板之間距應依計算結果配置，但其間距不得大於柱寬之 $1/2$ 。

解說：當鋼筋混凝土柱剪力強度不足或圍束效應不足時，可以帶狀圍束鋼板方式補強，如圖 5.4 所示。角鋼及帶狀鋼板結構補強工法，僅在鋼筋混凝土柱之四個角隅包覆角鋼，再於鋼筋混凝土柱之四面，焊接帶狀鋼板成為橫箍，以抵抗剪力並限制部份混凝土剝落。由於兩帶狀鋼板(橫箍)間的混凝土仍會剝落脫離，角鋼也可能會壓潰挫屈。因此其結構補強效果稍差。

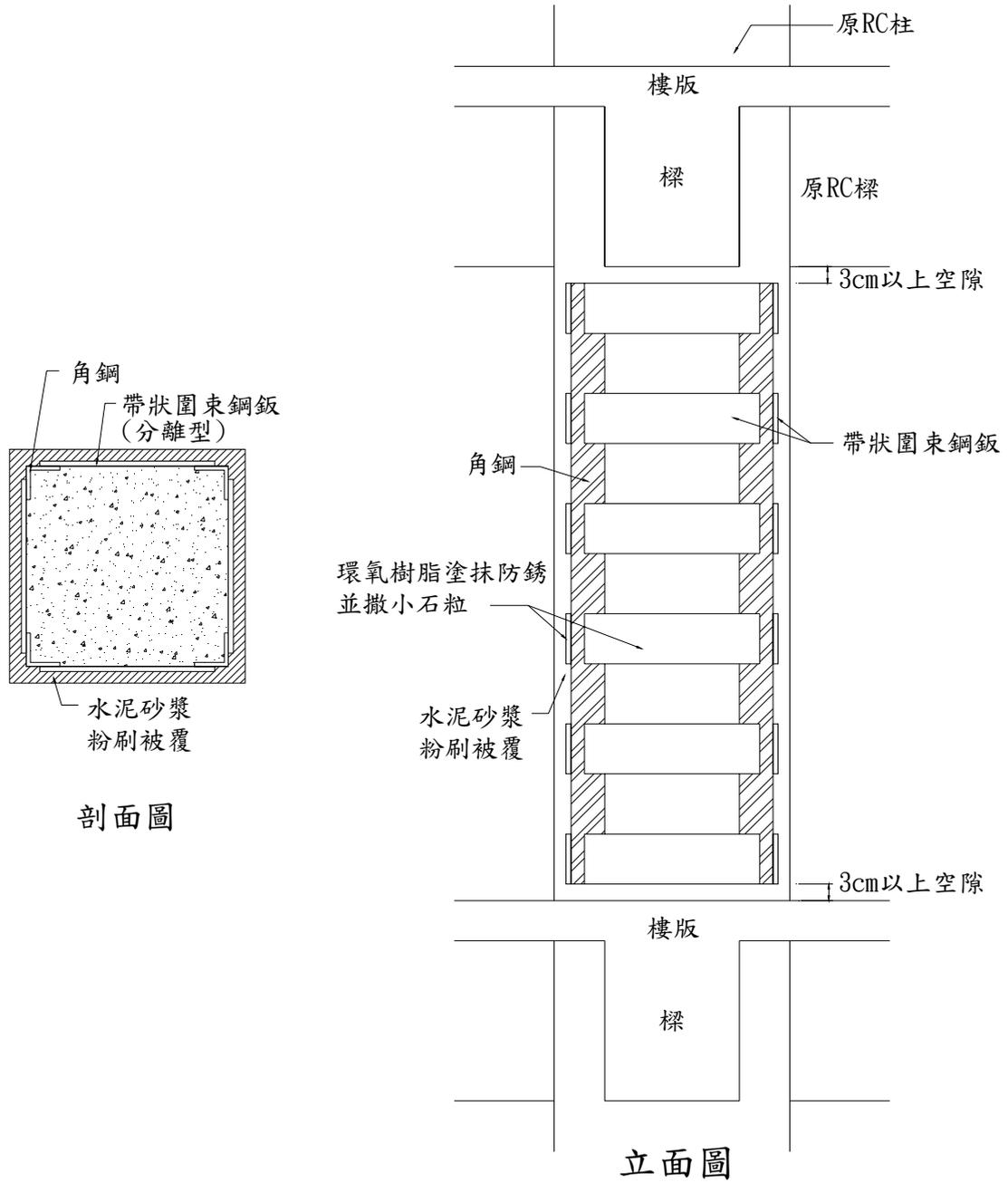


圖 5.4 柱以角鋼及帶狀鋼板結構補強【柱剪力圍束補強】

5-4 柱以擴大柱剖面方式結構補強

5.4.1 柱以擴大柱剖面方式結構補強【柱剪力圍束補強】

(一) 施工步驟

- (1) 柱之周邊架設臨時支撐。
- (2) 敲除原鋼筋混凝土柱表面之粉刷層及鬆動破碎之混凝土。
- (3) 柱裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (4) 彎紮箍筋及固定箍筋用之豎筋(豎筋不穿透上下樓版)。
- (5) 封模(預留適當喇叭灌漿口)。
- (6) 澆置無收縮水泥砂漿或混凝土。
- (7) 養護、拆模、粉刷。

(二) 監造要點

- (1) 若僅為鋼筋混凝土柱韌性補強，則固定箍筋用之豎筋不可貫穿上下樓版，以免柱端撓曲強度增加，導致塑性剪力亦增加。
- (2) 新澆置之無收縮水泥砂漿或混凝土，離柱頂及柱腳應保有 3~5cm 之空隙，以使韌性得以充分發揮。

解說：當鋼筋混凝土柱剪力強度不足或圍束效應不足時，可以增設箍筋方式補強，如圖 5.5 所示。水泥鐵絲網或擴大柱剖面結構補強工法，是將舊有鋼筋混凝土柱的水泥粉刷等表層材料敲除後，以鐵絲網圍繞鋼筋混凝土柱，再以水泥砂漿均勻塗抹柱面，或以模板成型後，內灌混凝土或無收縮水泥砂漿。若將水泥鐵絲網的補強方式改成鋼筋與混凝土，使鋼筋混凝土柱剖面擴大，則稱為擴大柱剖面結構補強。由於新增的水泥砂漿、混凝土或無收縮水泥，與舊有鋼筋混凝土柱間之黏接效果不如環氧樹脂，因此新舊材料間之接續與應力傳遞仍是弱點。

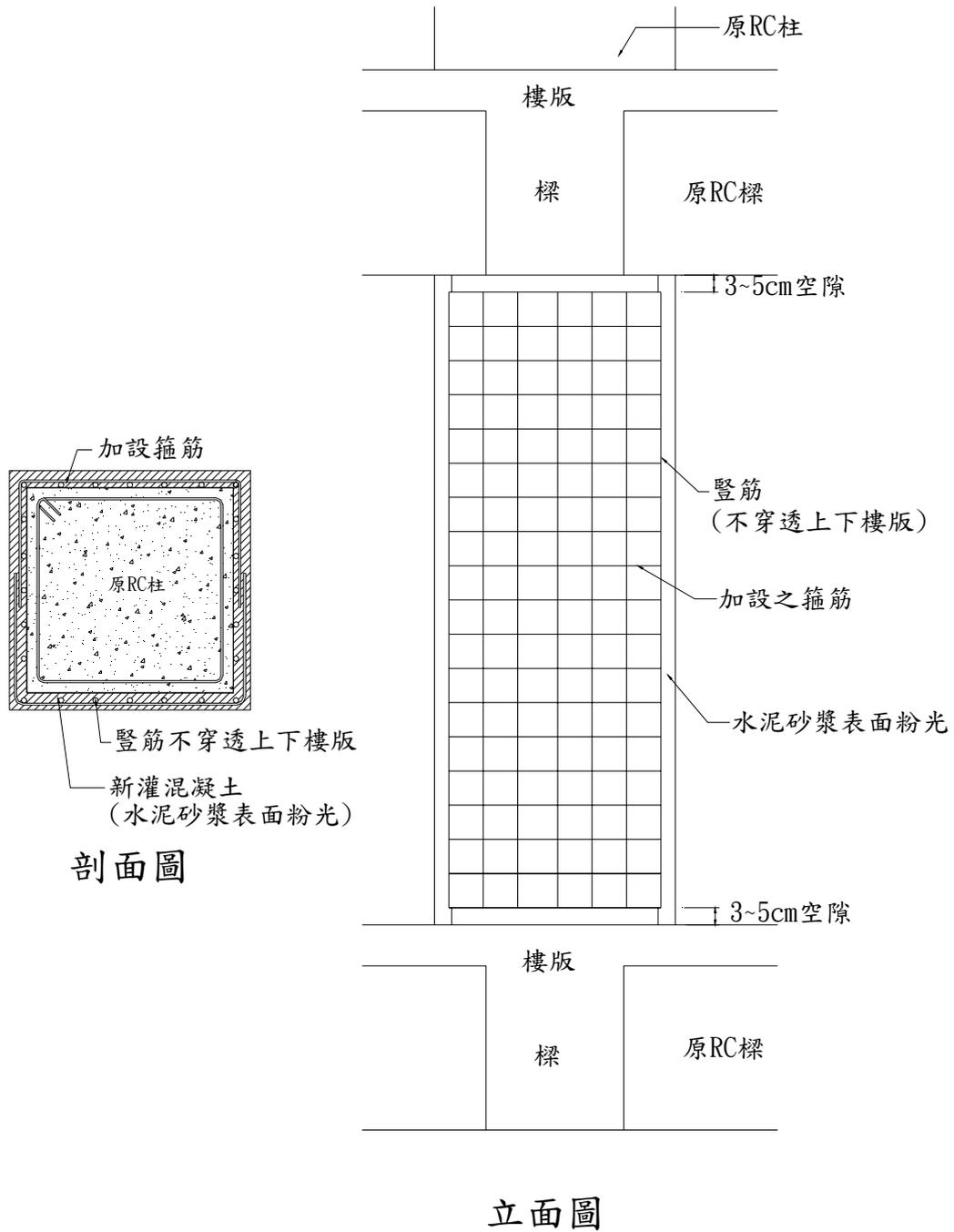


圖 5.5 柱以擴大柱剖面方式結構補強【柱剪力圍束補強】

5.4.2 柱以擴大柱剖面方式結構補強【柱軸力、彎矩及剪力補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除鋼筋混凝土柱表面之粉刷層及鬆動破碎之混凝土。
- (2) 柱裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (3) 鋼筋混凝土柱的四個角隅之樓版鑽孔或打穿。
- (4) 配置新增的柱主筋及箍筋(柱主筋在遇樑處採用植筋方式)。
- (5) 封模並澆置混凝土。
- (6) 拆模養護。

(二) 監造要點

- (1) 柱四個角隅之樓版，若僅鑽孔，則新增的柱主筋可能不易穿過，而且缺乏混凝土澆置之灌漿口，因此，以打除部份樓版混凝土較易施工，但不可切除樓版之鋼筋。
- (2) 澆置混凝土時，應於頂端設置灌漿喇叭口，以免角隅處灌漿不實，產生蜂窩現象。

解說：當鋼筋混凝土柱之強度不足，而欲提升其軸力、彎矩及剪力強度時，可將補強之新增柱主筋貫穿上下樓版（在遇樑處採用植筋方式補強），可使柱之軸力、彎矩及剪力強度全面提高（視同 RC 複合柱），如圖 5.6 所示。

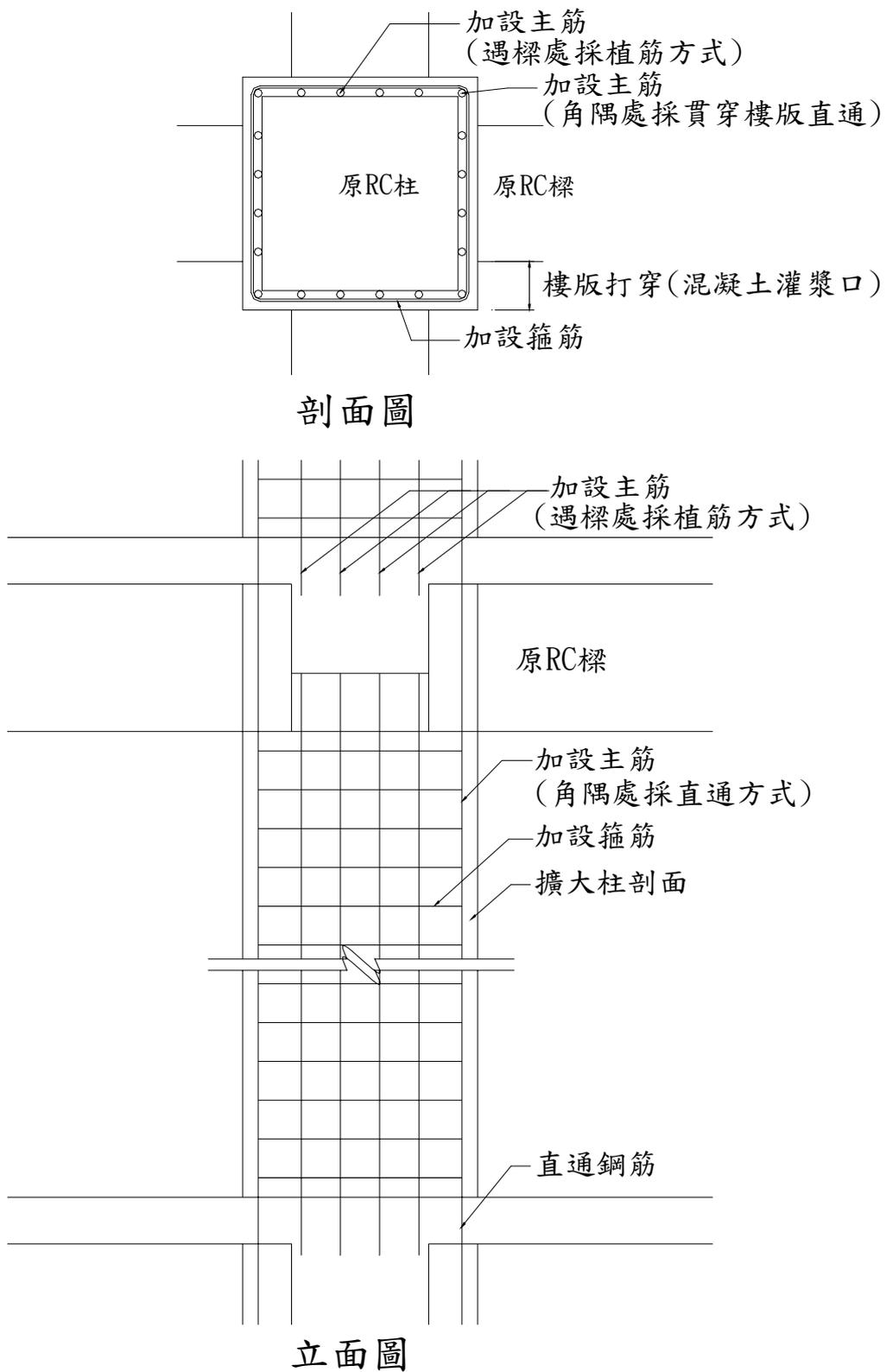


圖 5.6 柱以擴大柱剖面方式結構補強【柱軸力、彎矩及剪力補強】

5.4.3 柱以擴大柱剖面方式結構補強【柱軸力、彎矩、剪力及韌性補強】

(一) 施工步驟

- (1) 影響施工之管線先行遷移。
 - (2) 敲除鋼筋混凝土柱表面之粉刷層及鬆動破碎之混凝土。
 - (3) 柱裂縫以環氧樹脂注入修補。
 - (4) 配置新增的柱主筋及箍筋。(柱主筋於角隅處貫穿樓版，柱主筋遇樑處採植筋方式)
 - (5) 模板組立，並灌置混凝土。
 - (6) 以樹脂砂漿將混凝土表面補平。
 - (7) 以砂輪機將補平表面之凸出部份磨平。
 - (8) 若補強桿件有直角(例如矩形柱)時，則直角部份須作圓角處理($R \geq 3\text{cm}$)。
 - (9) 塗刷環氧樹脂底劑。
 - (10) 水平貼覆第一層碳纖維。
- 若為一層碳纖維補強則跳至步驟(13)
- (11) 碳纖維表面再塗刷環氧樹脂。
 - (12) 水平貼覆第二層碳纖維。
 - (13) 碳纖維表面再塗刷環氧樹脂，表面均勻灑佈七厘石。
 - (14) 以水泥砂漿粉刷被覆。
 - (15) 柱樑接頭鋼鈹結構補強。
 - (16) 復原已敲除之相連接牆面或管線。

(二) 監造要點

- (1) 柱四個角隅之樓版，若僅鑽孔，則新增的柱主筋可能不易穿過，而且缺乏混凝土澆置之灌漿口，因此，以打除部份樓版混凝土較易施工，但不可切除樓版之鋼筋。
- (2) 澆置混凝土時，應於頂端設置灌漿喇叭口，以免角隅處灌漿不實，產生蜂窩現象。

解說：

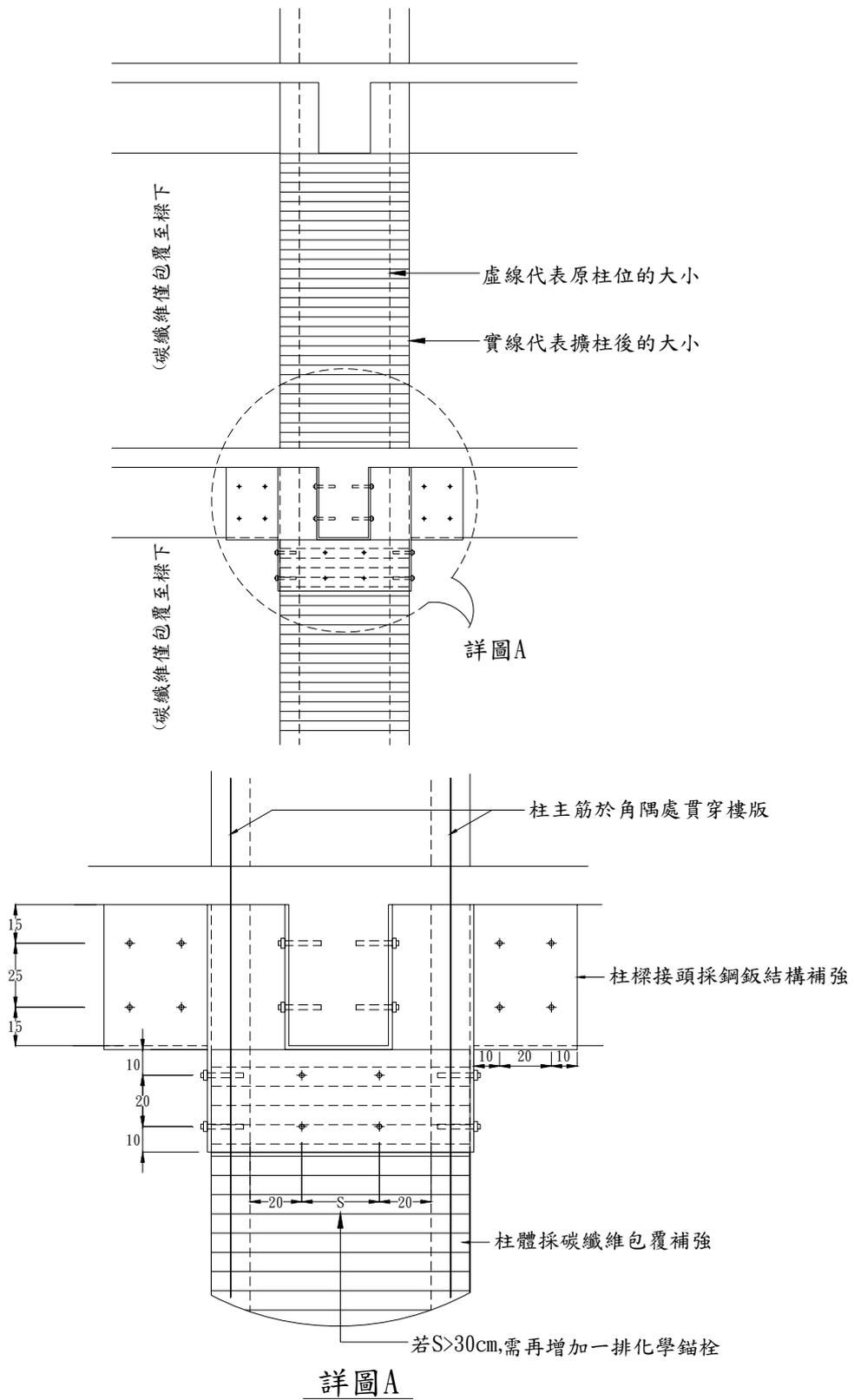


圖 5.7 柱以擴大柱剖面方式結構補強【柱軸力、彎矩、剪力及韌性補強】

5-5 柱以增設翼牆方式結構補強

5.5 柱以增設翼牆方式結構補強

(一) 施工步驟

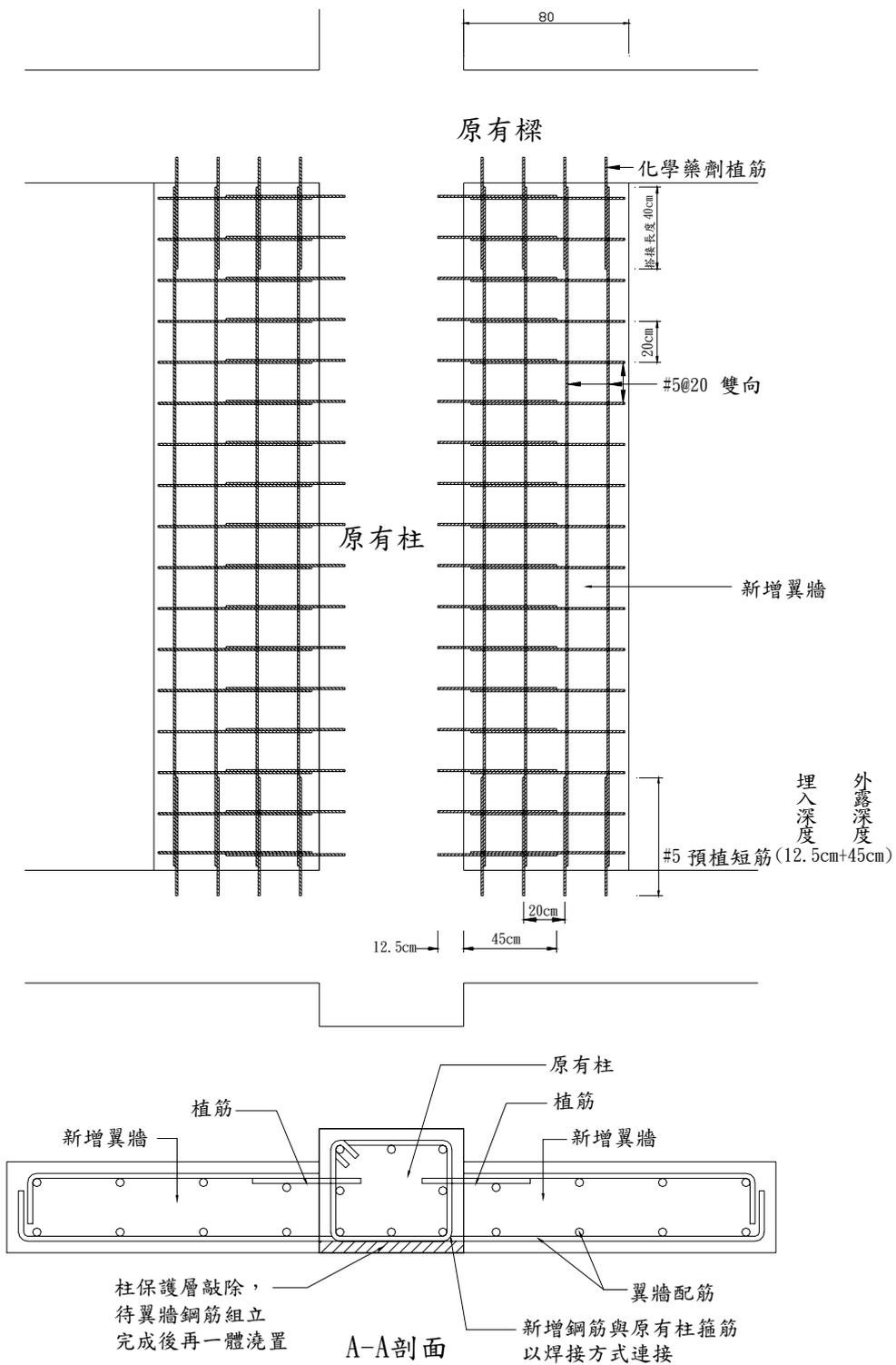
- (1) 敲除鋼筋混凝土柱表面之粉刷層及鬆動破碎之混凝土。
- (2) 以超音波鋼筋探測器量測樑柱鋼筋位置。
- (3) 樑、柱預定植筋位置鑽孔，並以高壓空氣吹淨孔內粉塵。
- (4) 配給化學藥劑植入鋼筋（植筋）。
- (5) 化學藥劑硬化後，依植筋間距綁紮鋼筋。
- (6) 模板組立並澆置混凝土。
- (7) 新增翼牆與上端樑底未密接處，灌注無收縮水泥至飽滿為止。
- (8) 柱樑及翼牆表面以水泥砂漿粉刷被覆。

(二) 監造要點

- (1) 確定欲增加翼牆之柱位置及樓層後，若原有磚牆存在時，必須將磚牆先行敲除。
- (2) 將與翼牆相接之樑柱部分之粉刷層敲除後，依所需之鋼筋間距植筋。
- (3) 待鋼筋及模板組立完成後灌漿。

解說：若柱與柱之間無法增設大片剪力牆時，可使用本補強工法。在原有柱之側邊增設較小之翼牆，以增加柱之抗震能力，並提高整體結構之耐震能力，如圖 5.8 所示。但增設翼牆後，會使樑之淨跨度減少，若樑之抗剪能力不足，容易發生剪力破壞的情形。因此在評估設置翼牆後的結構耐震能力時，必須將此點列入考慮，而且對柱間距較小之建築物，應避免使用此種補強工法。

同樣樓高、跨度的建築物，柱子愈粗，鋼筋愈多，所能承受的地震力也愈大。然而柱子愈粗，使用空間就愈小。如果將與柱子連接的牆壁作成剪力牆（上下層需成為一體，且直通基礎），是最好不過。不然，在鋼筋混凝土柱兩邊增加小片牆壁（稱為翼牆或袖壁），以協助鋼筋混凝土柱抵抗地震，也是一種很有效的補強方式。或者將原有翼牆加厚，也是一種補強方式。新增翼牆或加厚翼牆所使用的材料通常為鋼筋混凝土，不過為了與舊有鋼筋混凝土柱樑接合良好，通常會採用植筋方式，將新增牆壁的鋼筋植入鋼筋混凝土柱樑內。植筋，實際上是先將舊有鋼筋混凝土桿件鑽孔後，放入植筋膏（環氧樹脂類材料），再插入一段鋼筋，另一段則延伸在外，以供焊接或搭接用。



柱增設翼牆補強詳圖

圖 5.8 柱以增設翼牆方式結構補強

5-6 柱以碳纖維結構補強

5.6 柱以碳纖維結構補強【柱韌性圍束補強】

(一) 施工步驟

碳纖維複合材料的補強施工，基本上可分為鋼筋混凝土柱表面處理及碳纖維材料黏貼等兩部份。

(1) 鋼筋混凝土柱表面處理：

- ① 敲除混凝土表面粉刷層及劣質部份。
- ② 以樹脂砂漿將混凝土表面補平。
- ③ 以砂輪機將補平表面之凸出部份磨平。
- ④ 若補強桿件有直角（例如矩形柱）時，則直角部份須作圓角處理（ $R \geq 3\text{cm}$ ）。

(2) 碳纖維材料黏貼：

- ① 以丙酮清洗已處理過之混凝土表面。
- ② 塗刷環氧樹脂底劑。
- ③ 依設計方向鋪設碳纖維
- ④ 塗刷環氧樹脂。
- ⑤ 重複③④至符合設計層數及方向。
- ⑥ 碳纖維表面再塗刷環氧樹脂，表面均勻灑佈七厘石。
- ⑦ 以水泥砂漿粉刷被覆。

(二) 監造要點

- (1) 鋼筋混凝土柱剖面一般為矩形，其四個角隅應作圓弧處理（圓弧半徑至少 3cm），否則碳纖維材料會因直角而斷裂，因而影響補強效果。
- (2) 碳纖維材料貼附過程中，應確實將碳纖維浸透樹脂，且應以橡皮刮刀將氣泡確實去除，以確保碳纖維材料之補強效果。
- (3) 採用碳纖維材料圍束補強時，因其耐火性差之弱點，應於表面以水泥砂漿粉刷被覆之。
- (4) 碳纖維材料施工時，其疊接尺寸應足夠。

解說：鋼筋混凝土柱韌性不足，可採用複合材料圍束補強工法，如圖 5.9 及圖 5.10 所示。碳纖維結構補強，一般用於圓柱或大剖面柱之補強，也使用於建築物之中間柱（四周無牆之柱），但對於角柱及邊柱（兩側有牆）則圍束效果不佳，選用時宜審慎考量之。

碳纖維結構補強是先將舊有鋼筋混凝土柱的水泥粉刷等表層材料敲除並整平後，以環氧樹脂均勻塗抹柱面，再鋪上碳纖維材料（C-FRP），然後再塗抹環氧樹脂及保護層。碳纖維材料若能圍繞整個鋼筋混凝土柱，則其補強效果佳。因為鋼筋混凝土柱內的混凝土即使受壓、受剪碎裂，而有膨脹或脫離鋼筋混凝土柱的趨勢，也會因為整根鋼筋混凝土柱被緊緊包住，而形成類似箍筋的圍束效果，因而提高柱的抗壓強度及耐震性。其原理正如同以抗拉的尼龍袋做成的砂包，儘管鬆散的砂粒無法成型，砂包卻可以堆高承重一樣。碳纖維材料若無法圍繞整根鋼筋混凝土柱，而成為開口型或U型時，則除了未圍繞的部份缺乏補強效果外，碳纖維自由端的錨定問題也必須特別注意，如圖 5.10 所示。此外，柱樑接頭或上柱、下柱間因樑或樓版的隔開，使得碳纖維材料在應力傳遞及錨定上遭遇極大的困難，因此在設計及施工上需謹慎處理，才可以達到預期的效果。通常，碳纖維結構補強的目的，是提高結構桿件的韌性，而非強度。

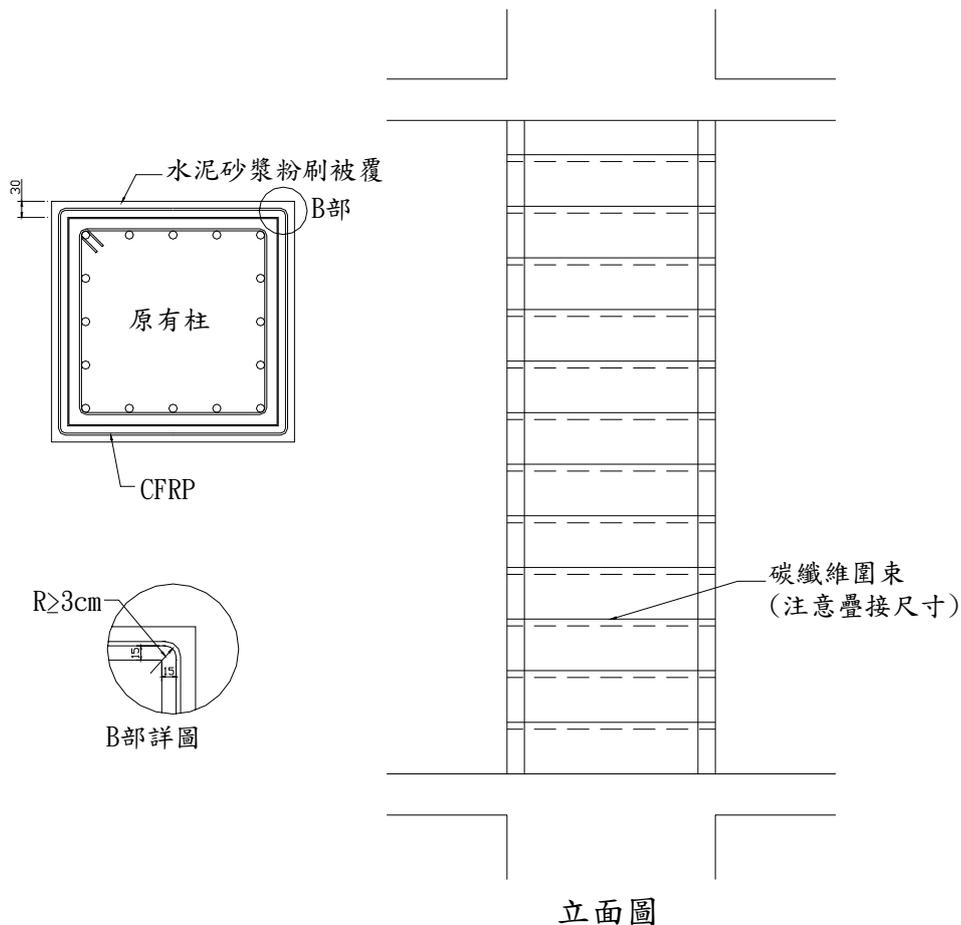
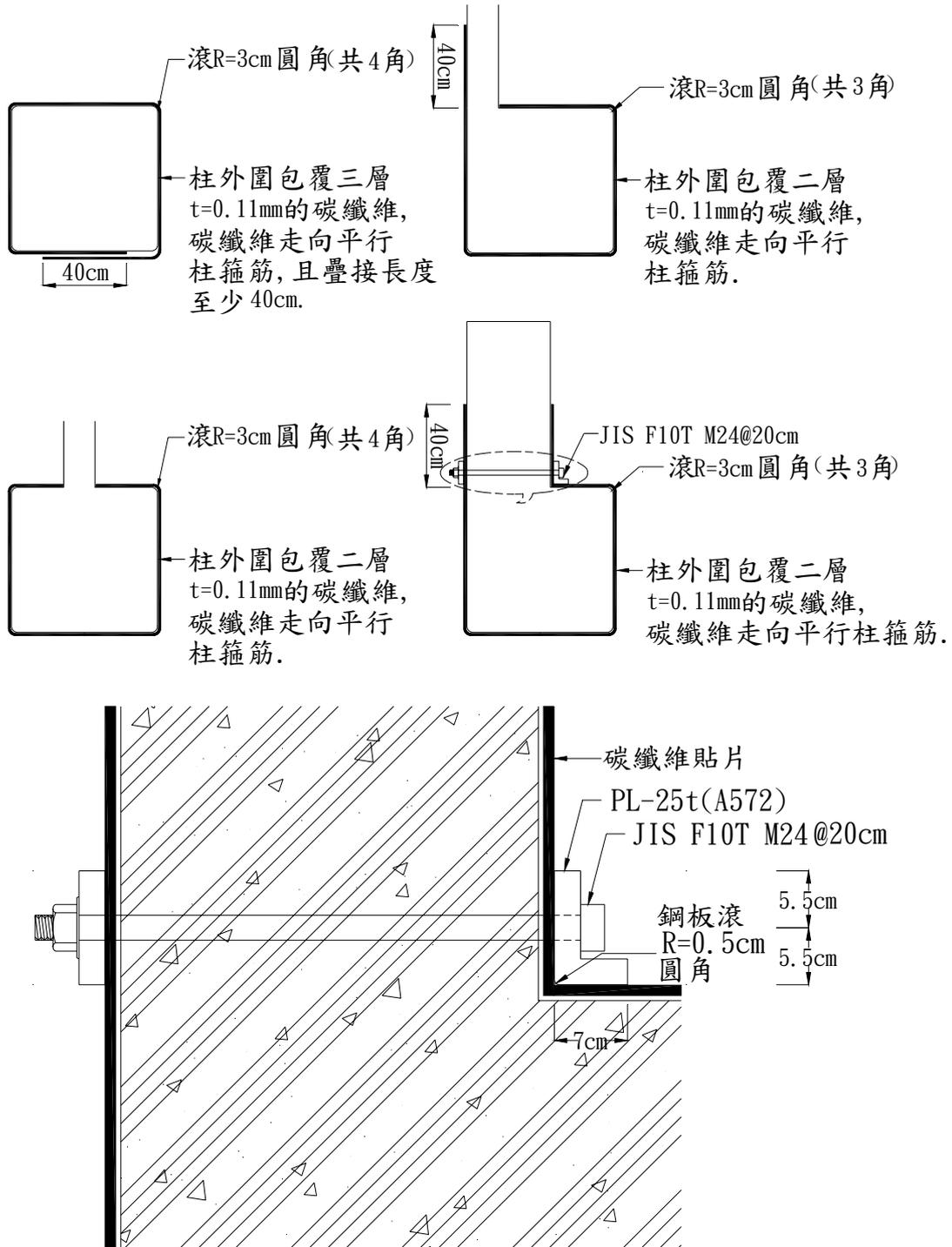


圖 5.9 柱以碳纖維結構補強【閉合型補強】



對鎖的鋼板壓條細部圖

圖 5.10 柱以碳纖維結構補強【非閉合型補強】

第六章 鋼筋混凝土樑的結構補強

6-1 樑的結構補強工法

6.1 樑的結構補強工法

常見鋼筋混凝土樑的結構補強工法大致分為以下幾種：

- (1) 樑以鋼板結構補強
- (2) 樑以水泥鐵絲網或擴大樑剖面方式結構補強
- (3) 樑以碳纖維結構補強
- (4) 樑以其他方式結構補強

無論採用何種方式的結構補強，樑的補強材料與原有樑或與原有柱的應力傳遞必須特別考慮，並且應依據所需補強的彎矩、剪力與扭力大小，進行樑補強設計。樑負彎矩區的補強必須特別考慮補強材料的錨定及實際施工問題。

解說：由於地震時，建築物會左右搖晃，因此鋼筋混凝土柱的任一方向均可能成為耐震弱點，所以鋼筋混凝土柱的結構補強通常會採用對稱方式。然而，鋼筋混凝土樑則受正負彎矩影響，而會有不對稱的補強方式，同一根鋼筋混凝土樑的不同區域會有不同的補強方式。

在靜載重及活載重作用下，兩端具有柱子支承的鋼筋混凝土樑，樑中央段屬於正彎矩區，正彎矩區的下半部容易開裂，因此，鋼筋混凝土樑中央段的下緣鋼筋量比較多。所以，鋼筋混凝土樑正彎矩區的結構補強，不論鋼板、鋼筋或碳纖維等抗拉材料，應集中於樑中央段的下半部。

在靜載重及活載重作用下，兩端具有支承的鋼筋混凝土樑，其樑兩端屬於負彎矩區。此外，一端懸臂挑出的懸臂樑，其懸臂挑出的部份均屬負彎矩區。鋼筋混凝土樑的負彎矩區，上半部容易開裂，因此，鋼筋混凝土樑兩端的上緣鋼筋量比較多。所以，鋼筋混凝土樑負彎矩區的結構補強，不論鋼板、鋼筋或碳纖維等抗拉材料，應集中於樑兩端或懸臂樑的上半部。必須強調的是，如果 RC 樑兩端的補強材料（鋼板、鋼筋或碳纖維）無法有效錨定（固定）於鋼筋混凝土柱上，或“直線”延伸至柱另一端的鋼筋混凝土樑上，則樑與柱之交界面將成補強弱點，而降低鋼筋混

凝土樑負彎矩區的補強效果。

在靜載重及活載重作用下，鋼筋混凝土樑若承受太大的剪力，也會在樑兩端的側面產生斜向裂縫，此時若在樑兩端的側面增加鋼板、鋼筋或碳纖維等抗拉材料，是可以具有相當好的補強效果。不過，在設計及施工時，需注意補強材料與舊有鋼筋混凝土樑之接合問題，以及樑兩端靠近鋼筋混凝土柱的錨定問題。

鋼筋混凝土樑結構補強方式有鋼板結構補強、水泥鐵絲網結構補強與碳纖維結構補強等幾種方式。第二種補強方式，有時以鋼筋取代鐵絲網，並灌注混凝土，而成為擴大樑剖面方式的結構補強。擴大樑剖面方式的補強方式，由於新舊混凝土界面常因施工因素及時間久了，而無法確實結合成一體。反而可能因界面分離，而無法達到預期的補強效果。至於碳纖維結構補強方式，對於鋼筋混凝土樑正彎矩及剪力補強均有良好的補強效果。但對於鋼筋混凝土樑負彎矩區的補強效果，則完全視鋼筋混凝土樑兩端碳纖維，錨定至鋼筋混凝土柱的成敗而定。通常，鋼板結構補強較可以達到鋼筋混凝土樑正彎矩、負彎矩及剪力的補強效果。

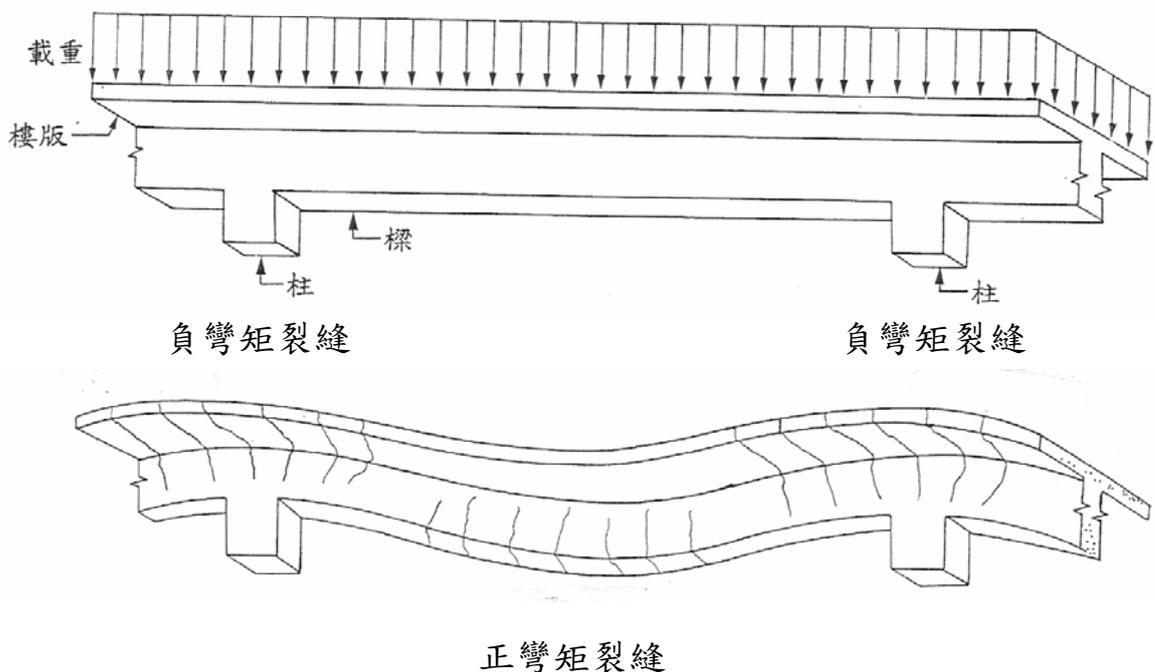


圖 6.1 鋼筋混凝土樑的正彎矩與負彎矩裂縫

6-2 樑以鋼鈹結構補強

6.2.1 樑中央底部鋼鈹結構補強【樑正彎矩補強】

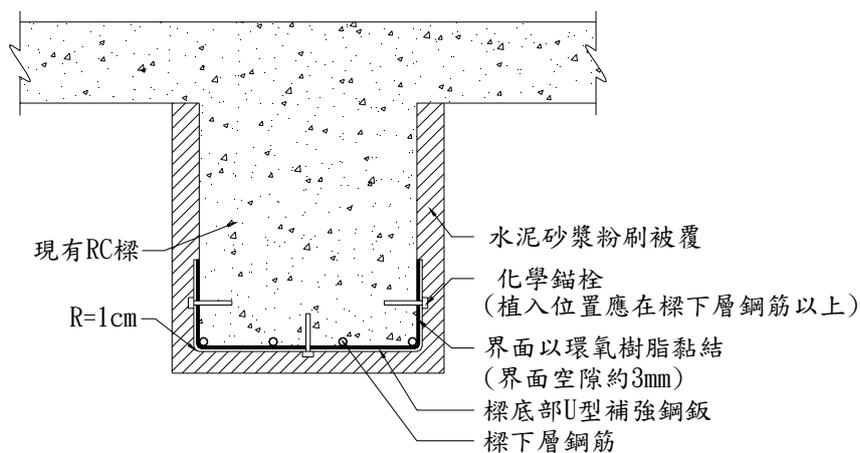
(一) 施工步驟

- (1) 將鋼筋混凝土樑下半部之粉刷層敲除。
- (2) 將補強鋼鈹以化學錨栓錨定於樑下半部之補強位置。
- (3) 化學錨栓孔隙及其他縫隙，塗抹披縫劑，以防止灌注環氧樹脂時溢出。
- (4) 披縫劑硬化後，將環氧樹脂以壓力灌入補強鋼鈹與鋼筋混凝土樑界面間之空隙。
- (5) 補強鋼鈹表面漆環氧樹脂及灑石英砂。
- (6) 補強鋼鈹及樑表面以水泥砂漿粉刷被覆。

(二) 監造要點

- (1) 補強鋼鈹應以化學錨栓錨定於樑上，以防止脫落造成危險。
- (2) 補強鋼鈹與鋼筋混凝土樑界面間之縫隙，應儘量保持約 3mm，以提高黏著效果。
- (3) 補強鋼鈹與鋼筋混凝土界面間之縫隙，在灌注環氧樹脂時，應注意預留排氣孔，以確保注入之環氧樹脂確實填滿縫隙。

解說：鋼筋混凝土樑中央段主要是承受垂直載重所產生的正彎矩，當鋼筋混凝土樑正彎矩強度不足時，可在樑中央段之底部，以環氧樹脂貼附補強鋼鈹，以增加原鋼筋混凝土樑之正彎矩強度，補強後之樑表面以水泥砂漿粉刷被覆，如圖 6.2 所示。



樑中央底部鋼鈹補強施工參考圖

圖 6.2 樑中央底部鋼鈹結構補強【樑正彎矩補強】

6.2.2 樑兩側鋼板或 U 型鋼板結構補強

【樑剪力補強】【樑剪力及正彎矩補強】

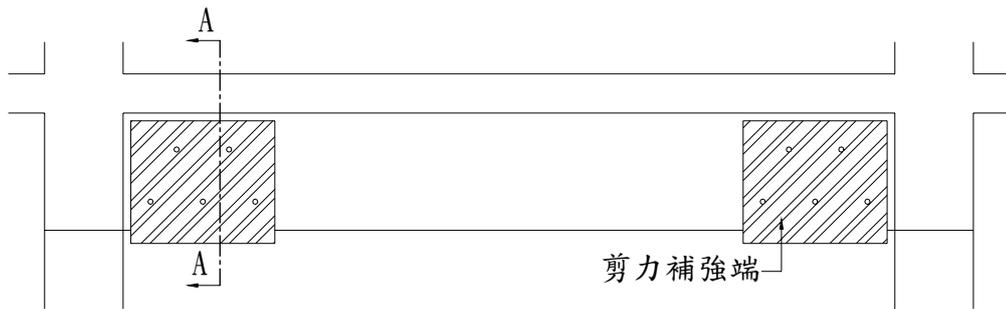
(一) 施工步驟

- (1) 將鋼筋混凝土樑粉刷層敲除。
- (2) 將補強鋼板以化學錨栓確實錨定於樑兩側，以防止補強鋼板脫落。
- (3) 化學錨栓孔隙及其他縫隙，塗抹披縫劑，以防止灌注環氧樹脂時溢出。
- (4) 披縫劑硬化後，將環氧樹脂以壓力灌入補強鋼板與鋼筋混凝土樑界面間之空隙。
- (5) 補強鋼板表面漆環氧樹脂及灑石英砂。
- (6) 補強鋼板及樑表面以水泥砂漿粉刷被覆。

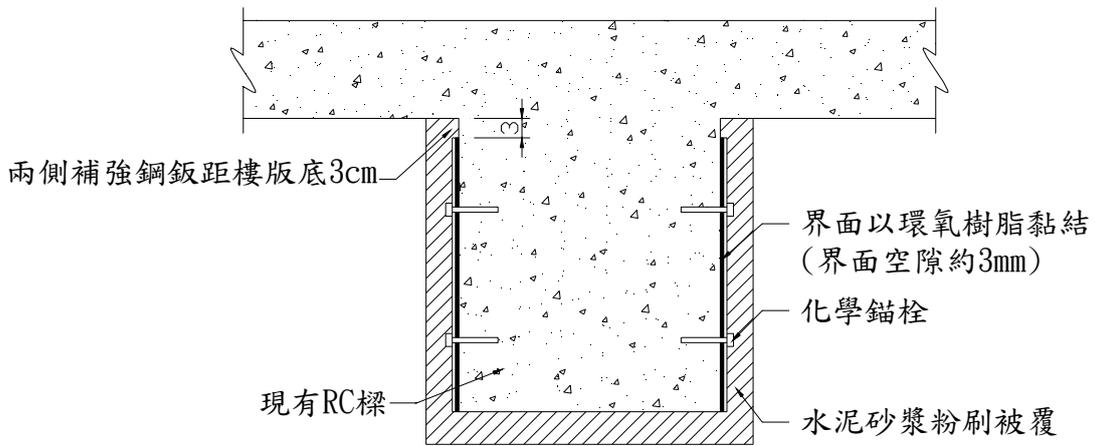
(二) 監造要點

- (1) 鋼筋混凝土樑之兩側鋼板或 U 型鋼板，應以環氧樹脂黏結，側面及底部並應以化學錨栓錨定。
- (2) 補強鋼板不宜過厚，一般而言 6~9mm 之厚度應屬合宜(依需強度選用)。
- (3) 補強鋼板與鋼筋混凝土界面間之空隙不宜過大(約 3mm)，安裝完成後，補強鋼板表面應以水泥砂漿粉刷被覆之。
- (4) 當鋼筋混凝土樑有斜向剪力裂縫產生時，在施作鋼板貼附補強前，應先將裂縫以環氧樹脂注入修復，然後才可施作補強鋼板。
- (5) 補強鋼板貼附時，需依賴足夠之化學錨栓錨定於樑側，以利固定補強鋼板及環氧樹脂注入，補強鋼板若僅依賴環氧樹脂貼附，其自重即可能破壞環氧樹脂之黏著力而脫落傷人。此外，若無化學錨栓錨定補強鋼板，在注入環氧樹脂時補強鋼板亦會鼓起。故施工時，應配置適當的化學錨栓。

解說：鋼筋混凝土樑剪力強度不足時，可採樑兩側鋼板結構補強；樑剪力及正彎矩強度不足時，可採 U 型鋼板結構補強。將鋼筋混凝土樑與兩側鋼板，或與 U 型鋼板視為複合三明治樑，以提昇鋼筋混凝土樑的強度，如圖 6.3 所示。鋼筋混凝土建築結構之設計多採用「強柱弱樑」系統，故地震受損建築物中，樑之剪力破壞最為常見。因此，震害受損建築物之緊急補強，最常採用此工法。

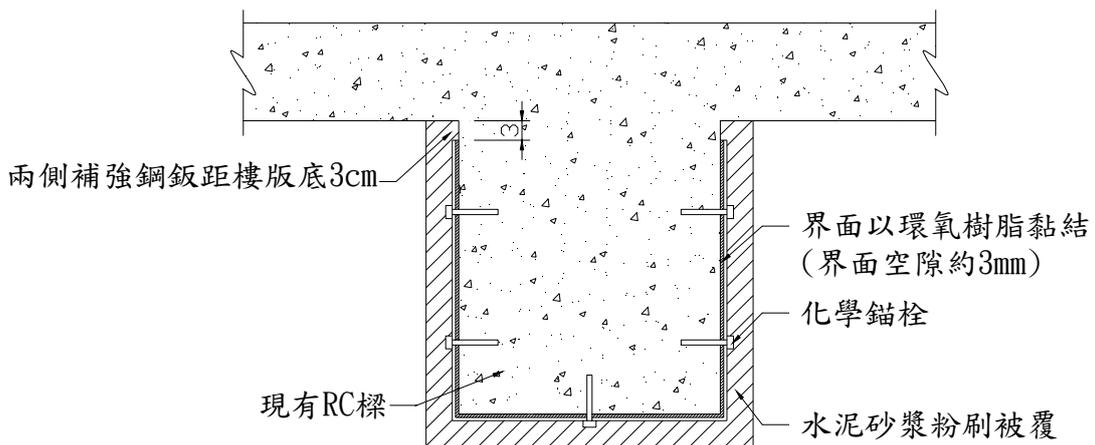


樑兩側鋼板或U型鋼板補強示意圖



A-A 剖面

樑兩側鋼板結構補強【樑剪力補強】



A-A 剖面

樑U型鋼板結構補強【樑剪力及正彎矩補強】

圖 6.3 樑兩側鋼板或 U 型鋼板結構補強
【樑剪力補強】 【樑剪力及正彎矩補強】

6.2.3 樑 U 型帶狀鋼板結構補強【樑剪力補強】

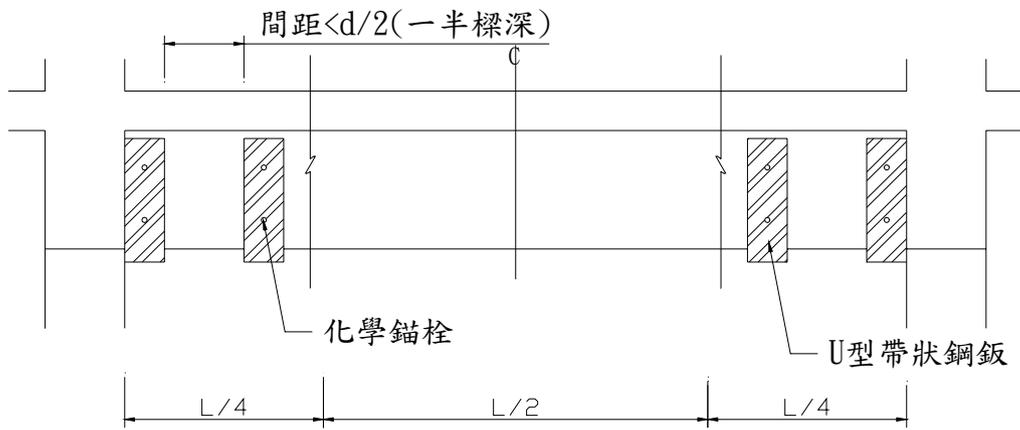
(一) 施工步驟

- (1) 將鋼筋混凝土樑粉刷層敲除。
- (2) 將 U 型帶狀鋼板以化學錨栓錨定於樑補強位置。
- (3) 化學錨栓孔隙及其他縫隙，塗抹披縫劑，以防止灌注環氧樹脂時溢出。
- (4) 披縫劑硬化後，將環氧樹脂灌入 U 型帶狀鋼板與鋼筋混凝土樑界面間之空隙。
- (5) U 型帶狀鋼板表面漆環氧樹脂及灑石英砂。
- (6) U 型帶狀鋼板及樑表面以水泥砂漿粉刷被覆。

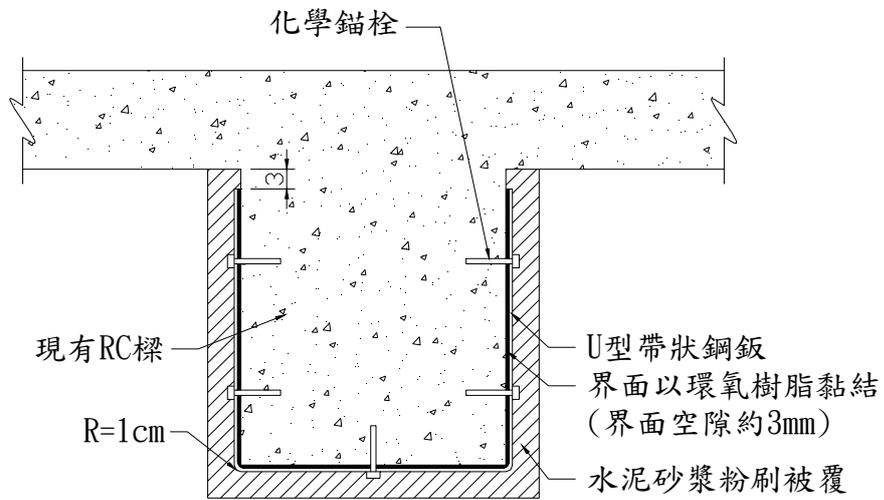
(二) 監造要點

- (1) 與混凝土接觸之 U 型帶狀鋼板，應以環氧樹脂黏結，側面及底面並應以化學錨栓錨定。
- (2) 型帶狀鋼板不宜過厚，亦不須採用高強度鋼板，一般而言，6~9mm 之厚度應屬合宜(依需求之剪力強度選用)。
- (3) U 型帶狀鋼板與混凝土界面間之空隙不宜過大，安裝完成後，U 型帶狀鋼板表面應以水泥砂漿粉刷被覆。

解說：鋼筋混凝土樑剪力強度不足時，可採用 U 型帶狀鋼板、環氧樹脂及化學錨栓補強，以提昇鋼筋混凝土樑之剪力強度。樑以增設箍筋方式補強時，須澆置新混凝土，故會減少樓層淨高，U 型帶狀鋼板補強則不須澆置新混凝土。對樓層高度較不足的建築物，U 型帶狀鋼板補強比增設箍筋的補強方式更適合，惟表面仍應以水泥砂漿粉刷被覆，如圖 6.4 所示。



U型帶狀鋼板補強示意圖



樑U型帶狀鋼板結構補強

圖 6.4 樑 U 型帶狀鋼板結構補強

6-3 樑以擴大剖面方式結構補強

6.3.1 樑增設箍筋結構補強【樑剪力補強】

(一) 施工步驟

樑增設箍筋結構補強，可分為先敲除保護層或不敲除保護層而直接外加箍筋（須敲除粉刷層）等兩種方式施作。

- (1) 施工時，先鑽孔穿透樑兩邊之樓版。
- (2) 將箍筋由鑽孔中穿過（由下往上穿過較容易施工）。
- (3) 頂部以帶狀鋼板焊接錨定，或直接彎折搭接均可。

(二) 監造要點

- (1) 原有混凝土表面應先鑿毛洗淨，以利新舊混凝土可以充分結合（原有粉刷層應先敲除）。
- (2) 若樑組模新灌混凝土，則應注意混凝土最大粒徑不得大於1cm，並於樑兩側樓版鑿洞作為混凝土灌漿口。澆置時須自樑兩側同時澆置，並由樑之一端往另一端逐次澆置。
- (3) 若混凝土澆置不易時，可改用無收縮水泥砂漿澆置。

解說：鋼筋混凝土樑剪力強度不足的原因很多，除了常見的混凝土強度不足，或因載重增加導致樑剪力強度不足外，其他造成樑剪力強度不足之原因如下：

- (1) 早期規範之規定，樑並無韌性設計之要求。
- (2) 結構補強若採用增設斜撐或剪力牆以抵抗地震力時，常會導致鄰跨樑之剪力提高，以致鄰跨樑之剪力強度不足。在樑剪力強度不足時，可以增設箍筋方式來提高樑的剪力強度，如圖 6.5 所示。

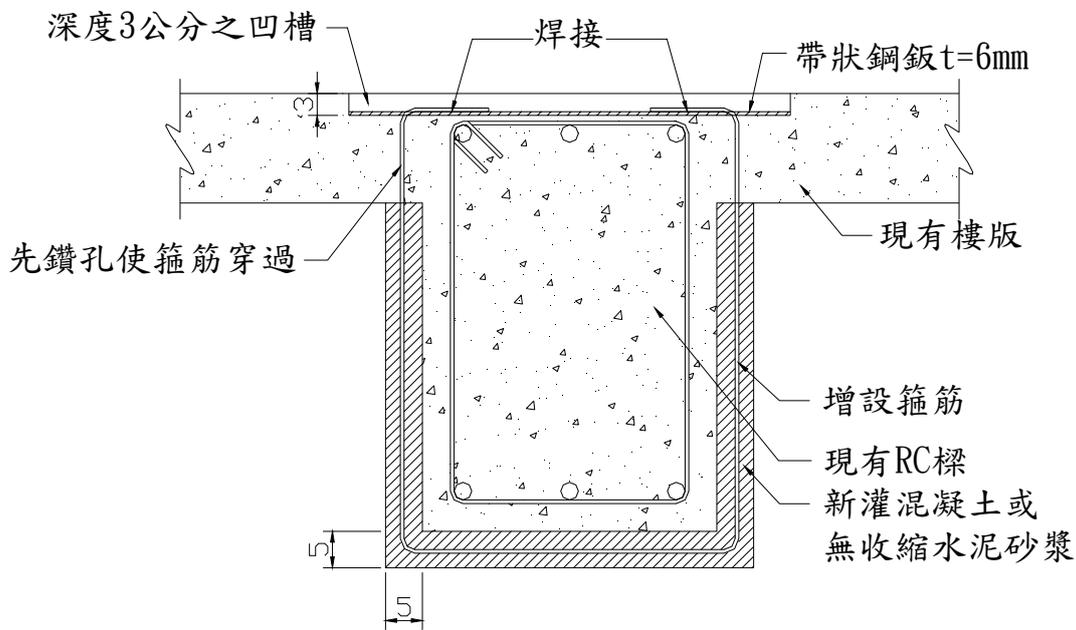
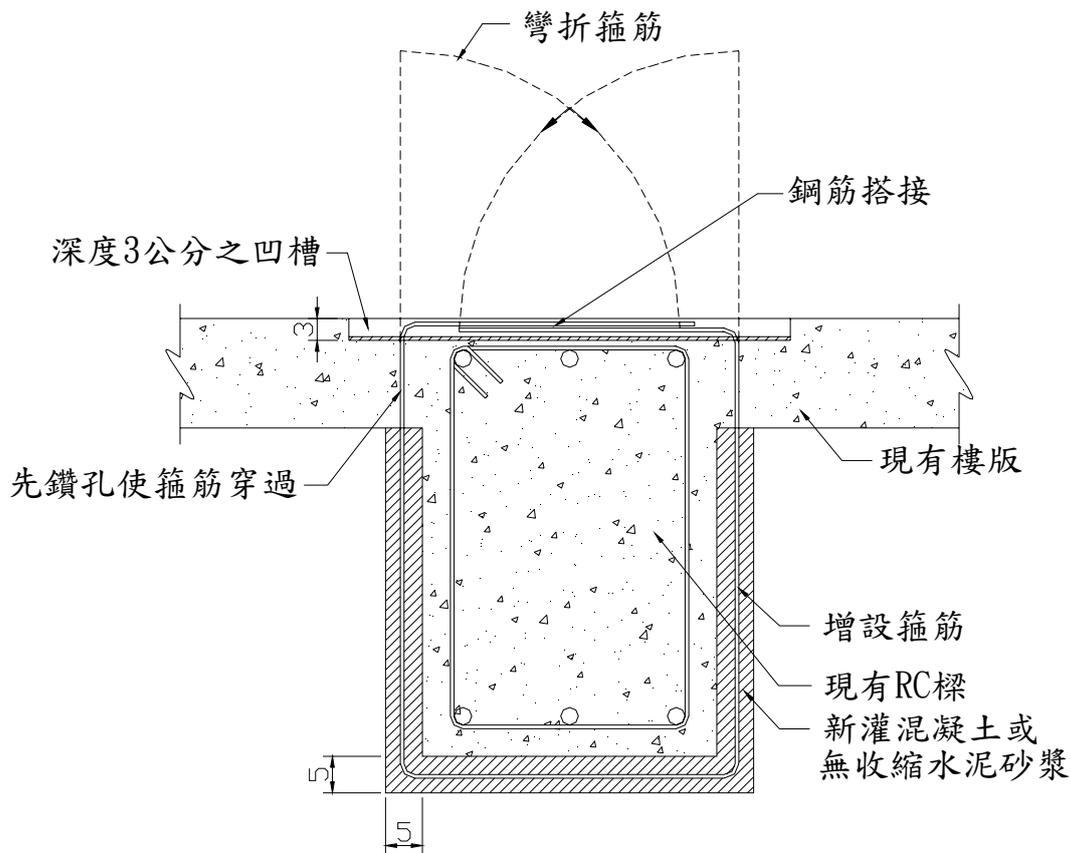


圖 6.5 樑增設箍筋結構補強【樑剪力補強】

6.3.2 構架樑或懸臂樑頂端植入鋼筋補強【樑負彎矩補強】

(一) 施工步驟

- (1) 將欲補強之鋼筋混凝土樑頂面及樓版面的保護層敲除。
- (2) 將樑之補強主筋植入錨定於鋼筋混凝土樑端之柱內(補強主筋之植入深度，至少為鋼筋直徑的 15 倍以上)。
- (3) 補強主筋植入完成後，再於樑上植入口型箍筋，並固定於樑上，再澆置無收縮水泥砂漿。

(二) 監造要點

- (1) 負彎矩植筋補強方式，需確實將樑之補強主筋植入錨定於柱內，且不可傷及原有柱之主筋(可由敲開之樑主筋正上方植入，就不會觸及原有柱之主筋)。
- (2) 在施工時當端部植筋完成後，在澆置無收縮水泥砂漿前，可應在樑下方以臨時支撐及千斤頂將撓曲之樑(或下垂之懸臂樑)頂回，並設定適當之預拱尺寸，待無收縮水泥砂漿養護完成後，再拆除支撐。
- (3) 若將植筋位置移至樑底部(在不影響室內使用淨高的情況下)加深樑深，亦可達到樑負彎矩之補強效果。

解說：鋼筋混凝土構架樑或懸臂樑上端之強度不足(負彎矩)時，可在樑上端頂部，以補強鋼筋植入柱內，以提高鋼筋混凝土樑之負彎矩強度。

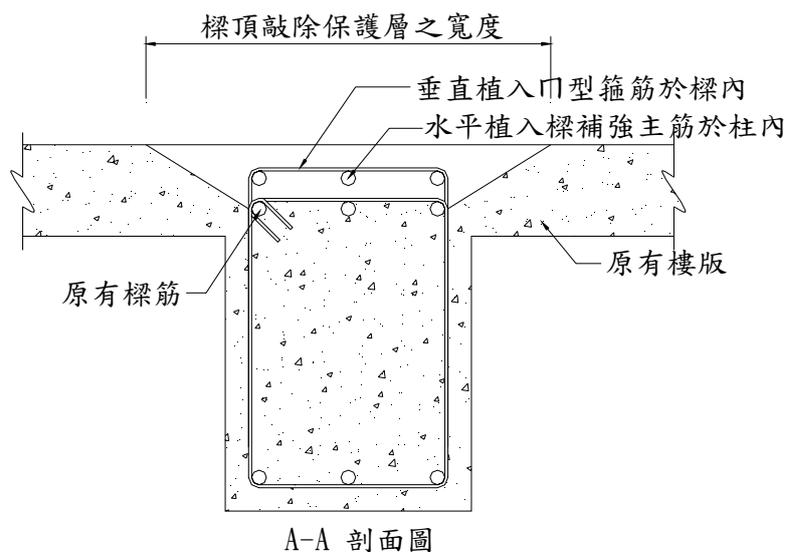


圖 6.6 樑端植入鋼筋補強示意圖

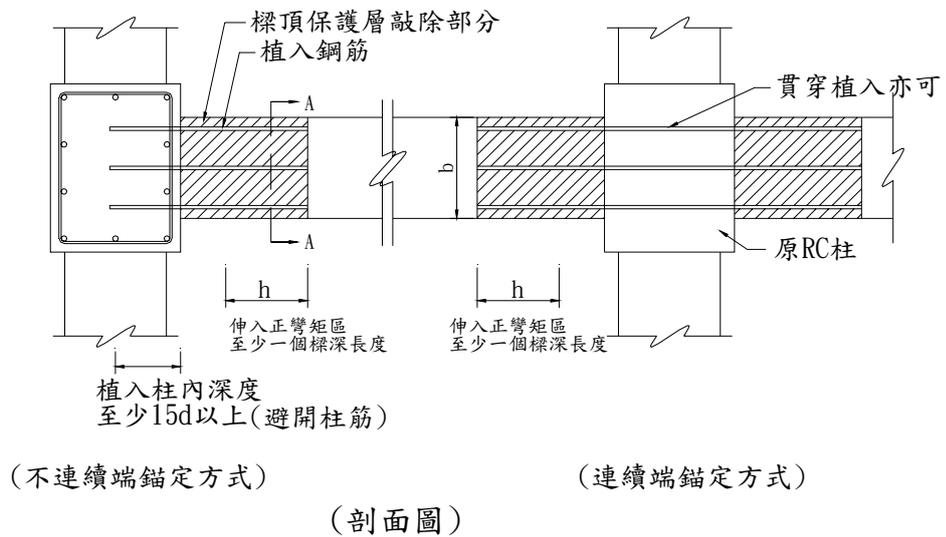
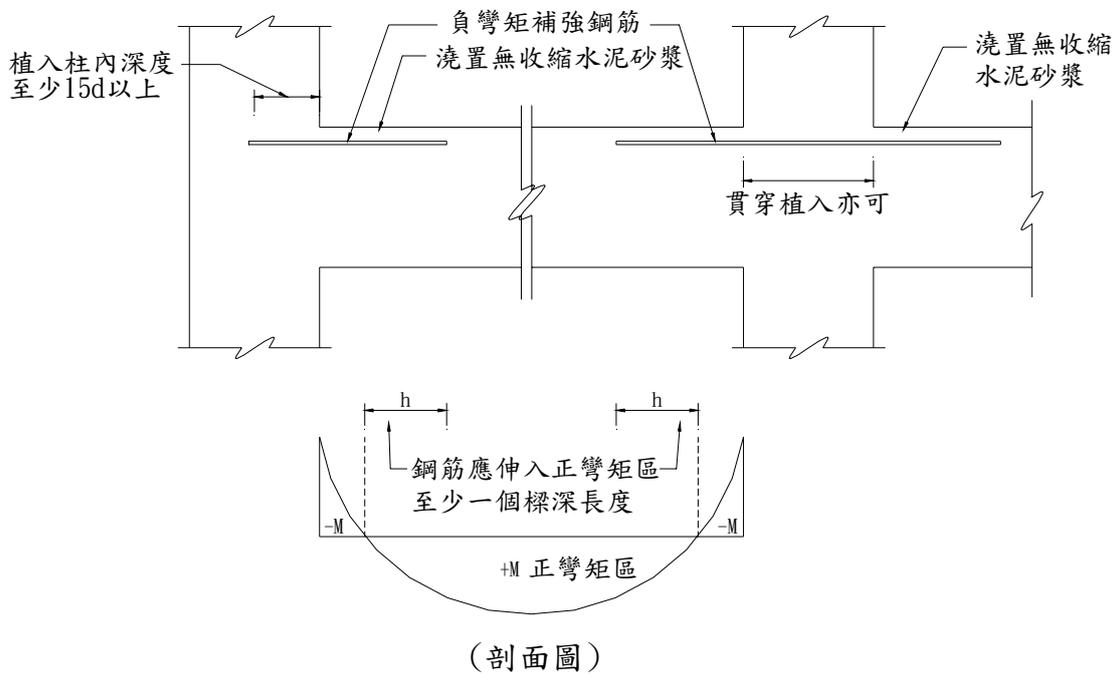


圖 6.7 構架樑或懸臂樑頂端植入鋼筋補強【樑負彎矩補強】

6.3.3 樑以擴大剖面方式結構補強【樑剪力或彎矩補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除樑之粉刷層及鬆動部份之混凝土。
- (2) 依需要位置植入樑主筋於柱或樑內，植入樑箍筋於樑或樓版內。
- (3) 封模(因採用流動性極佳之無收縮水泥或砂漿，故應採夾板模，並將接縫密封)
- (4) 無收縮水泥砂漿澆置(二次滿溢澆置工法)。
- (5) 養護、拆模、粉刷。

(二) 監造要點

- (1) 舊混凝土面在施工前，應先敲除粉刷層及鬆動混凝土，並作適當鑿毛處理，以利新舊混凝土界面之結合。
- (2) 樑主筋應植入柱內或樑內，樑箍筋應植入樑或樓版內(植入深度至少 15d)。
- (3) 原有樑體若有裂縫應先以環氧樹脂注入補修之。
- (4) 補強之樑若有撓度，應先以支撐預拱校正後施作。

解說：鋼筋混凝土樑之剪力強度或撓曲強度不足時，若無使用空間限制，可將鋼筋混凝土樑加深及加寬。本工法先植入樑主筋與箍筋，再以無收縮水泥砂漿(或混凝土)將樑剖面放大。由於樑之自重增加，故應檢討擴大剖面所增加之載重。本工法亦可應用於樑筋腐蝕之補修，如圖 6.8 所示。

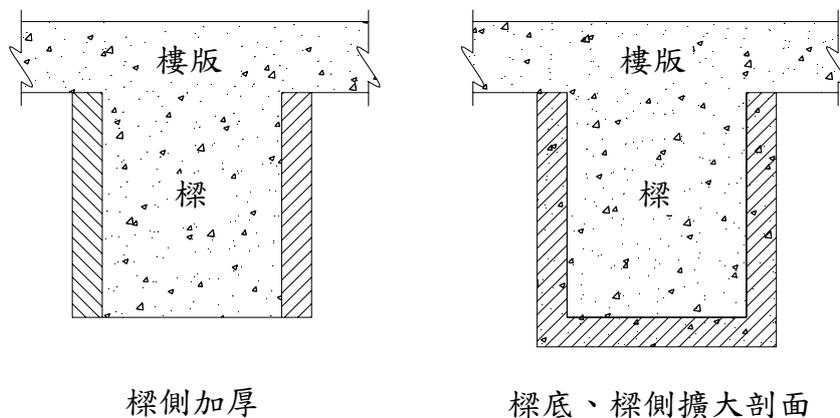


圖 6.8 樑以擴大剖面方式結構補強

6-4 樑以碳纖維結構補強

6.4.1 樑以碳纖維結構補強【樑正彎矩補強】

(一) 施工步驟

碳纖維複合材料的結構補強，基本上可分為事前整修及碳纖維材料黏貼等兩部份。

(1) 事前整修部份：

- ① 敲除混凝土表面粉刷層及劣質部份。
- ② 以樹脂砂漿將混凝土表面補平。
- ③ 以砂輪機將表面磨平光滑。
- ④ 若補強桿件有折角時，則須作圓滑去角處理。(一般圓角 $R \geq 3\text{cm}$ ，否則碳纖維容易斷裂)

(2) 碳纖維材料黏貼：

- ① 以丙酮清洗已處理過之混凝土表面。
- ② 塗刷環氧樹脂底劑。
- ③ 依設計方向鋪設碳纖維及塗刷環氧樹脂。
- ④ 重複③至符合設計層數及方向。

(二) 監造要點

- (1) 碳纖維複合材料的結構補強，對鋼筋混凝土樑之表面光滑度及折角弧度相當敏感，故事前的準備工作應特別注意處理，以防止碳纖維斷裂。
- (2) 碳纖維複合材料貼片補強後，應於表面作水泥粉刷層被覆，否則在耐火及美觀上均不宜。

解說：鋼筋混凝土樑柱構架之樑中央段，主要是承受垂直載重所產生的正彎矩，當原鋼筋混凝土樑正彎矩強度不足時，可在樑中央段之底部以環氧樹脂貼附碳纖維複合材料，以增加鋼筋混凝土樑之正彎矩強度，表面應以水泥砂漿粉刷被覆，如圖 6.9 及圖 6.10 所示。

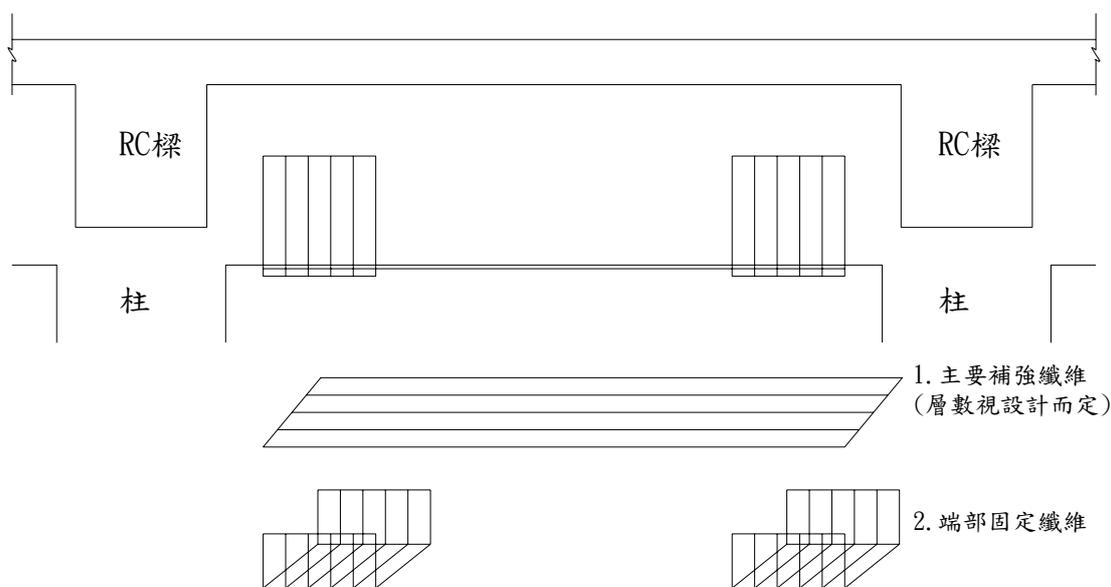


圖 6.9 樑以碳纖維結構補強

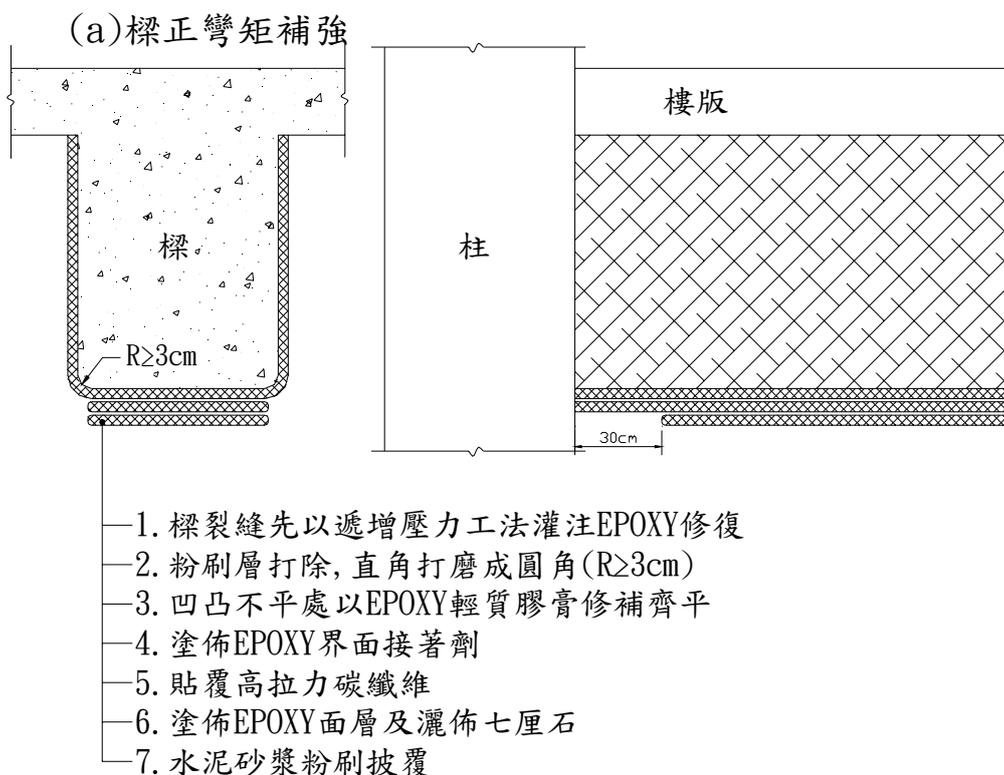


圖 6.10 樑以碳纖維結構補強【樑正彎矩補強】

6.4.2 樑以碳纖維結構補強【樑剪力補強】

(一) 施工步驟

碳纖維複合材料的結構補強，基本上可分為事前整修及碳纖維材料黏貼等兩部份。

(1) 事前整修部份：

- ① 敲除混凝土表面粉刷層及劣質部份。
- ② 以樹脂砂漿將混凝土表面補平。
- ③ 以砂輪機將表面磨平光滑。
- ④ 若補強桿件有折角時，則須作圓滑去角處理。(一般圓角 $R \geq 3\text{cm}$ ，否則碳纖維容易斷裂)

(2) 碳纖維材料黏貼：

- ① 以丙酮清洗已處理過之混凝土表面。
- ② 塗刷環氧樹脂底劑。
- ③ 依設計方向鋪設碳纖維及塗刷環氧樹脂。
- ④ 重複③至符合設計層數及方向。

(二) 監造要點

同 6.4.1 節

解說：樑剪力強度不足時，也可以碳纖維結構補強，如圖 6.11 所示。

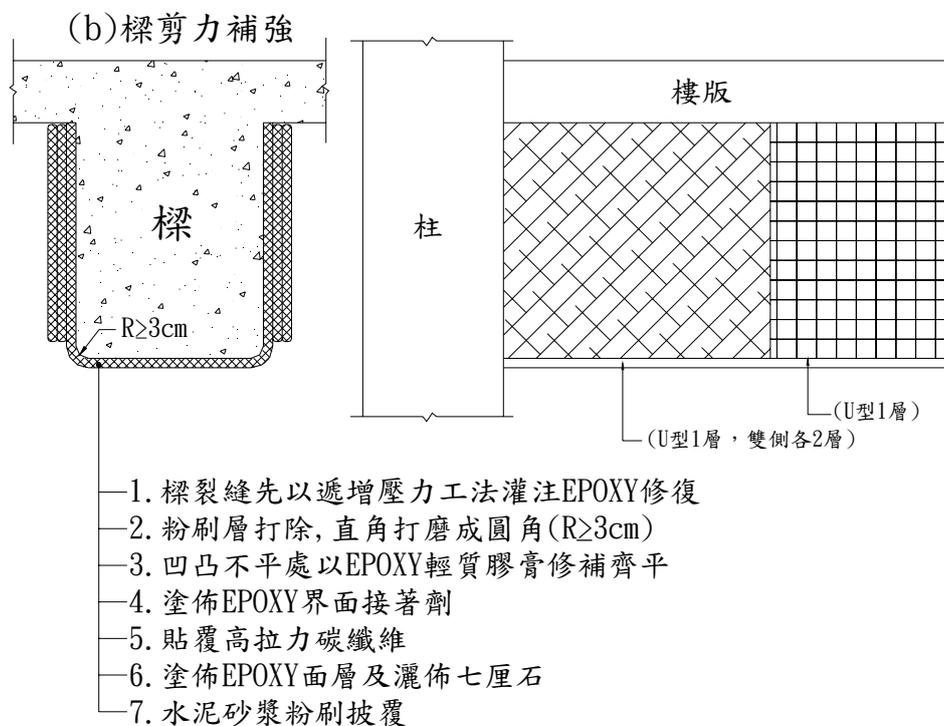


圖 6.11 樑以碳纖維結構補強【樑剪力補強】

第七章 鋼筋混凝土樓版的結構補強

7-1 樓版的鋼筋結構補強

7.1.1 樓版底帶狀鋼筋結構補強【版正彎矩補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除鋼筋混凝土樓版底之粉刷層及鬆動混凝土。
- (2) 樓版裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (3) 樓版底鑽孔並預埋化學錨栓。
- (4) 帶狀鋼筋貼附前，先預留化學錨栓孔，並於貼附位置塗佈環氧樹脂砂漿。
- (5) 以化學錨栓固定帶狀鋼筋。
- (6) 輕敲帶狀鋼筋，使環氧樹脂砂漿溢出為止，以使帶狀鋼筋與樓版底緊密貼合。
- (7) 鋼筋表面以環氧樹脂塗抹防銹並撒小石粒。
- (8) 樓版表面以水泥砂漿粉刷被覆。

(二) 監造要點

- (1) 由於帶狀鋼筋位於樓版正下方，故施工中應注意鋼筋掉落，必要時得以臨時支撐或以預埋之化學錨栓支援，俟環氧樹脂砂漿硬化為止。
- (2) 帶狀鋼筋因由下往上貼附，重量大不宜採大片或整片鋼筋，一般均以帶狀鋼筋補強。此外，因環氧樹脂不易注入，故採用環氧樹脂砂漿塗佈貼附。

解說：鋼筋混凝土樓版中央彎矩強度不足或樓版中央已產生裂縫時，可採用帶狀鋼筋黏貼於樓版底的補強方式，提高樓版的正彎矩強度，如圖 7.1 所示。

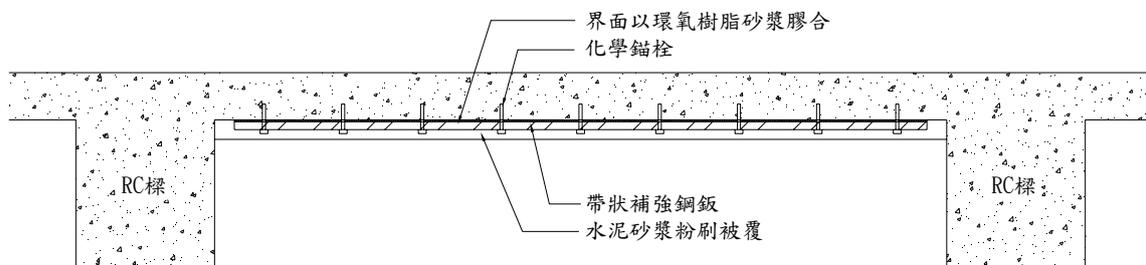


圖 7.1 樓版底帶狀鋼筋結構補強【版正彎矩補強】

7.1.2 樓版底增設鋼小樑結構補強【版剪力及彎矩補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除鋼筋混凝土樓版底之粉刷層及鬆動混凝土。
- (2) 樓版裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (3) 樓版及邊樑鑽孔並預埋化學錨栓。
- (4) 鋼小樑及兩端固定鋼板（端承鋼板）架設。
- (5) 螺栓鎖定及焊接施工。
- (6) 鋼小樑與混凝土界面間灌注環氧樹脂。
- (7) 鋼小樑表面防銹處理及防火被覆。

(二) 監造要點

- (1) 增設之鋼小樑，係支承於原鋼筋混凝土樓版週邊之邊樑，故這些邊樑之強度應先確認，否則增設之鋼小樑可能因邊樑強度不足而掉落。
- (2) 增設之鋼小樑與原鋼筋混凝土樓版間，除了灌注環氧樹脂外，若原樓版混凝土強度足夠，最好增設化學錨栓，以發揮其強度；惟若原混凝土強度不足，則不宜再增設化學錨栓。

解說：鋼筋混凝土樓版勁度或強度不足，可在樓版下方增設鋼小樑，並將鋼小樑支承於原樓版週邊之邊樑上，如此則可減少樓版的跨度，相對提高原鋼筋凝土樓版之勁度及強度。若樓版非為雙層配筋者，因樓版中央區無上層筋，增設鋼小樑反而使樓版中央區容易龜裂。

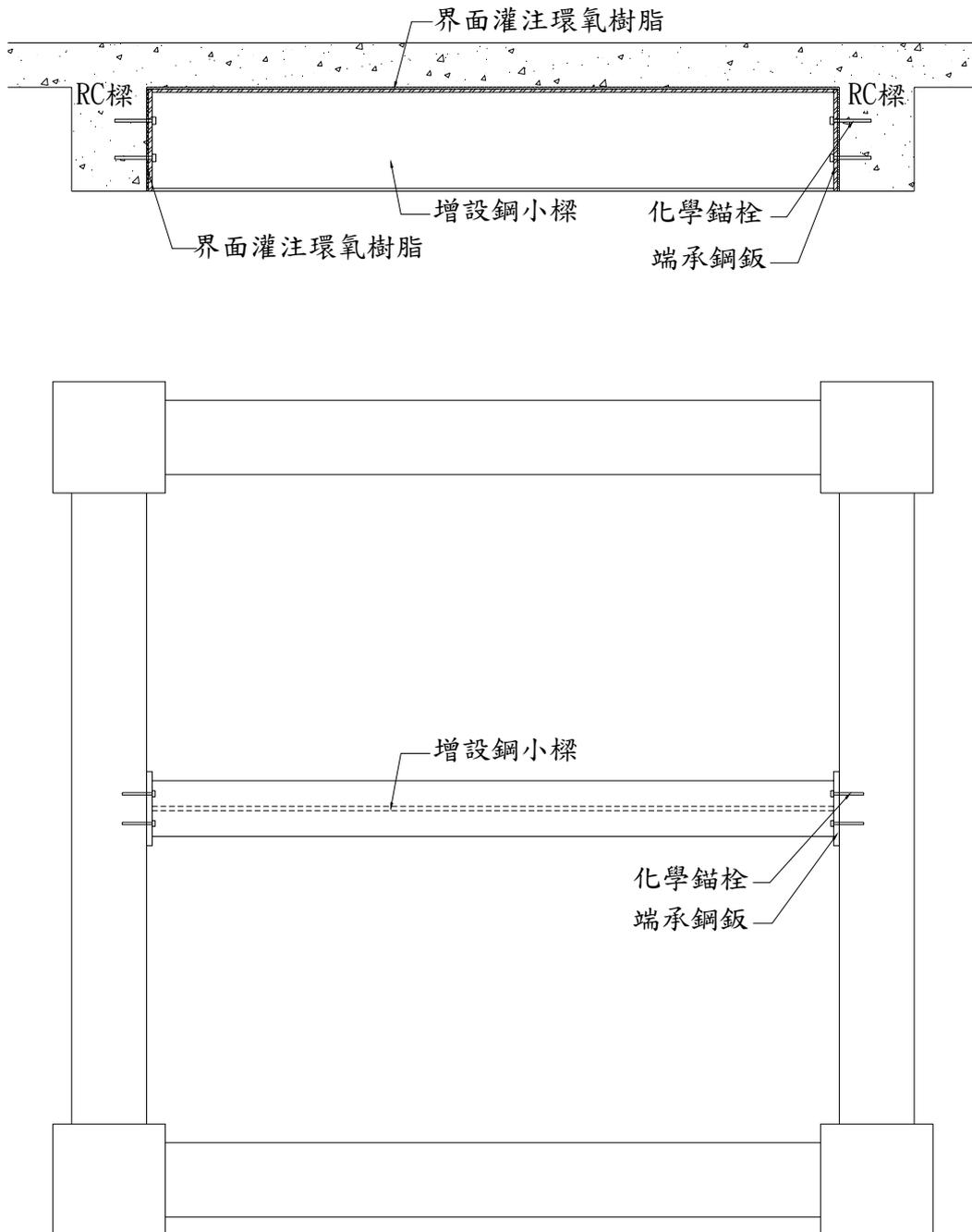


圖 7.2 樓版底增設鋼小樑結構補強

7.1.3 樓版底增設槽型鋼板結構補強【版剪力及彎矩補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除鋼筋混凝土樓版底之粉刷層及鬆動混凝土。
- (2) 樓版裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (3) 樓版鑽孔並預埋化學錨栓。
- (4) 槽型鋼板架設。
- (5) 槽型鋼板與混凝土界面間灌注環氧樹脂。
- (6) 槽型鋼板表面防銹處理及防火被覆。

(二) 監造要點

- (1) 增設之槽型鋼板與原鋼筋混凝土樓版間，除了灌注環氧樹脂外，若原樓版混凝土強度足夠，最好增設化學錨栓，以發揮其強度；惟若原混凝土強度不足，則不宜再增設化學錨栓。

解說：鋼筋混凝土樓版勁度或強度不足，可在樓版下方增設槽型鋼板，並將槽型鋼板支承於原樓版週邊之邊樑上，如此則可減少樓版的跨度，相對提高原鋼筋混凝土樓版之勁度及強度。

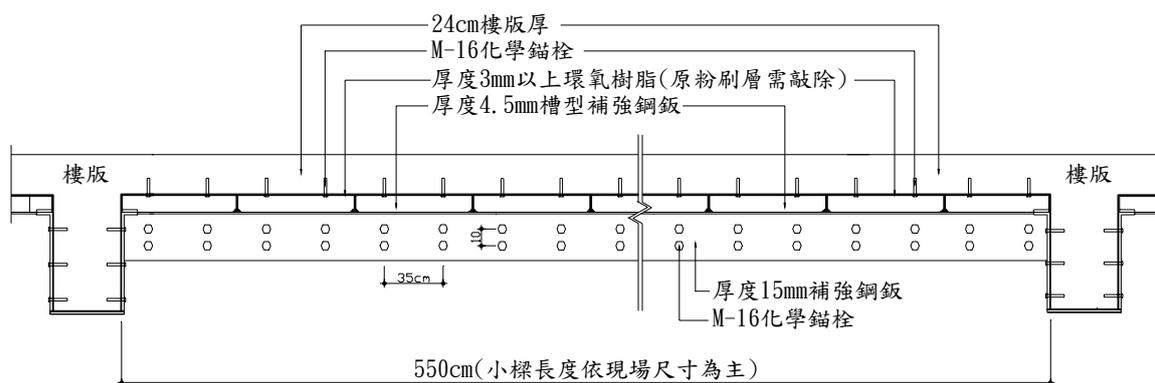


圖 7.3 樓版底增設槽型鋼板結構補強【版剪力及彎矩補強】

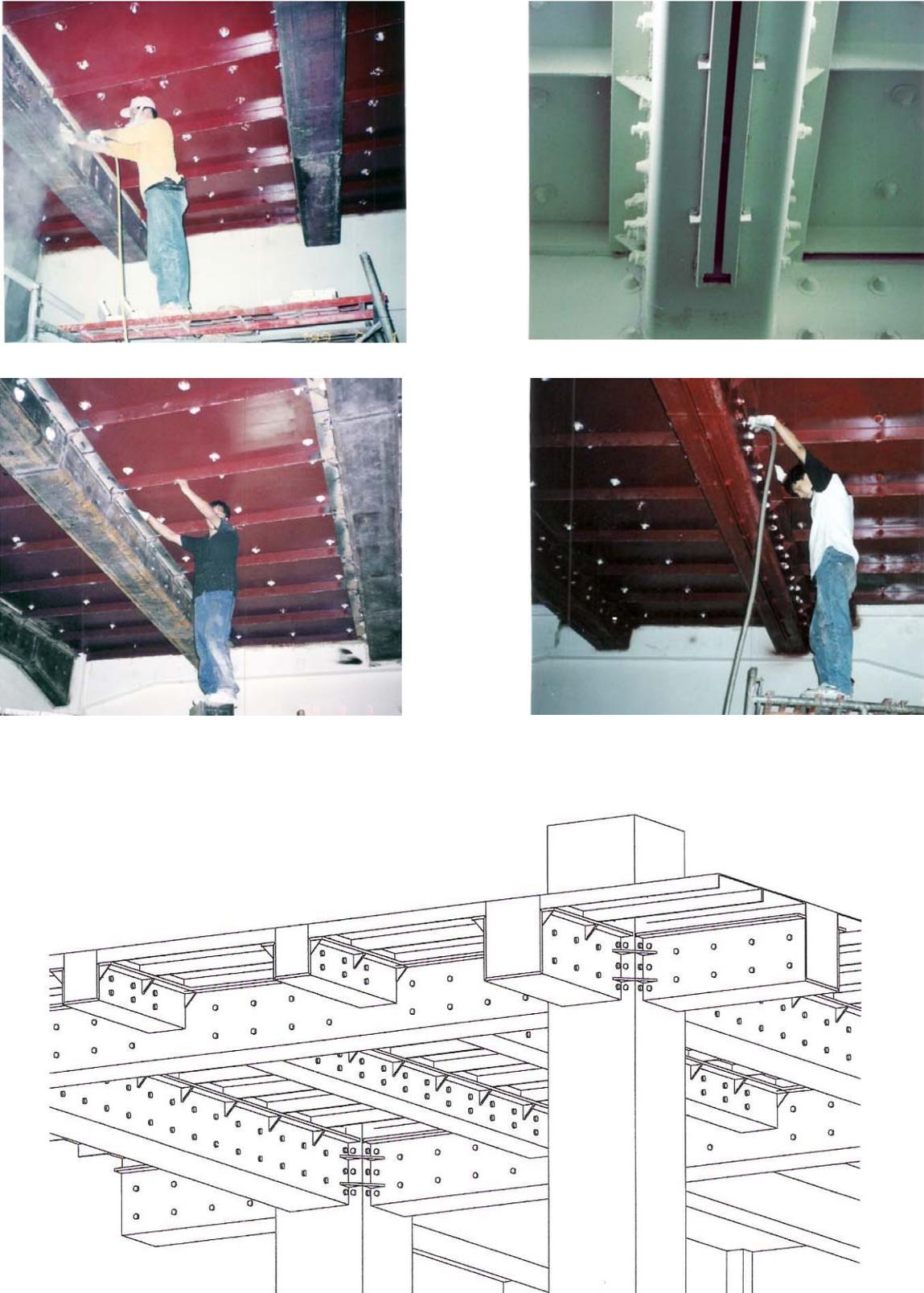


圖 7.4 樓版底增設槽型鋼鈹結構補強施工情形

7-2 樓版加厚結構補強

7.2 樓版加厚結構補強【版剪力及彎矩補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除鋼筋混凝土樓版上方之粉刷層及鬆動混凝土。
- (2) 樓版裂縫以環氧樹脂注入修補。
- (3) 打設剪力釘或化學錨栓(藉以傳遞新舊混凝土之水平剪力及拉力)
- (4) 鋪設新增鋼筋或鋼絲網，
- (5) 澆置混凝土。
- (6) 養護後整修地坪。

(二) 監造要點

- (1) 打設之剪力釘最好採用植筋方式或採用化學錨栓，其貫入樓版之深度應達原樓版厚度二分之一以上。
- (2) 新舊混凝土界面應打毛處理。

解說：原鋼筋混凝土樓版強度不足或樓版厚度不足時，容易產生振動現象，此時可以加厚樓版(並增設鋼筋或鋼絲網)的方式，使樓版的強度及勁度增加。增加的樓版厚度，一般最少為 5cm，故增加的重量可能增加整體結構之載重，應特別予以注意。

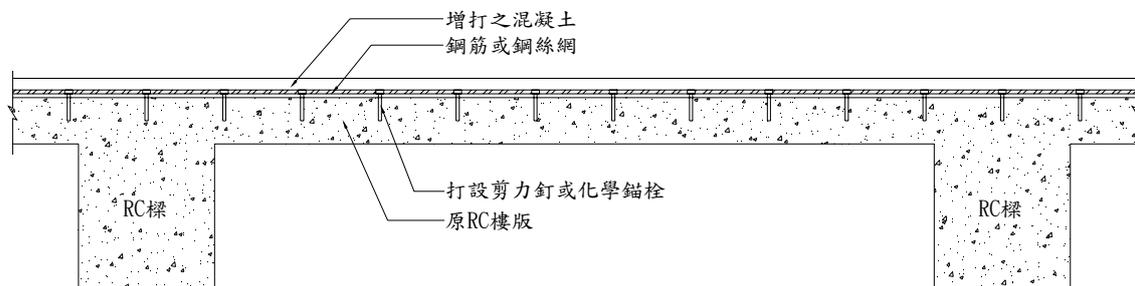


圖 7.5 樓版加厚結構補強【版剪力及彎矩補強】

第八章 鋼筋混凝土柱樑間的應力傳遞

8-1 內柱之上柱與下柱間的應力傳遞

8.1 內柱之上柱與下柱間的應力傳遞

鋼筋混凝土內柱之上柱與下柱間的應力傳遞若須延續，則位於柱樑接頭處的補強需特別檢討，並應依據所需傳遞的應力，進行柱樑接頭的補強設計。

解說：鋼筋混凝土內柱之上柱與下柱之間，由於有樑及樓版隔開，因此補強的材料若無法上下延續，則柱頭及柱腳仍可能成為耐震弱點。因此結構補強設計與施工的優劣，不但取決於結構桿件本身的補強，柱樑接頭設計與施工的好壞也是相當關鍵的因素。

8-1-1 方型內柱之上柱與下柱間的應力傳遞案例

以方型鋼筋混凝土柱之鋼板結構補強為例，若方型鋼筋混凝土柱四個角隅的補強鋼板能直通而上，其補強效果最佳。當然，補強鋼板與舊有鋼筋混凝土柱間的接合必須確實（配合環氧樹脂與化學錨栓），如圖 8.1 所示。

鋼筋混凝土柱四個角隅的補強鋼板若無法直通而上，則應在柱四個角隅以貫穿螺栓對鎖，並於無法貫穿的鋼筋混凝土樑處以化學錨栓錨定之，藉此以發揮補強鋼板之抗拉強度，如圖 8.2 所示。

由於碳纖維結構補強時，上柱與下柱間，以及柱樑接頭之接續問題很難克服，因此碳纖維結構補強一般以韌性補強為主。若要達到強度補強效果，並顧及柱樑接頭之傳力行為，則柱樑接頭處仍應以鋼板結構補強為主。

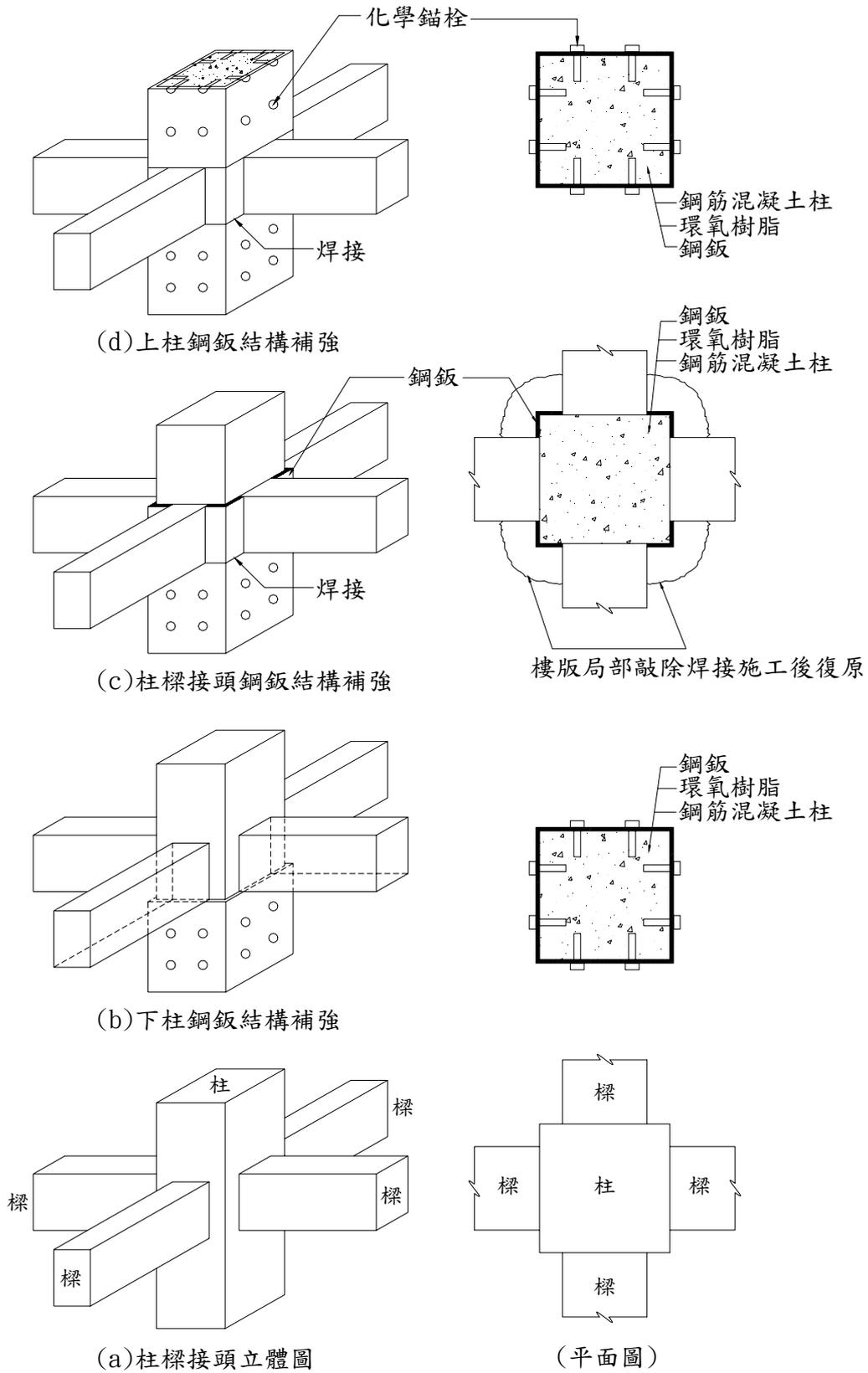
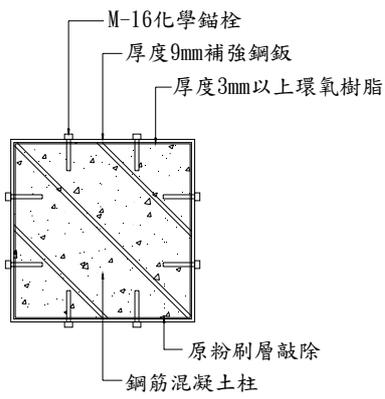
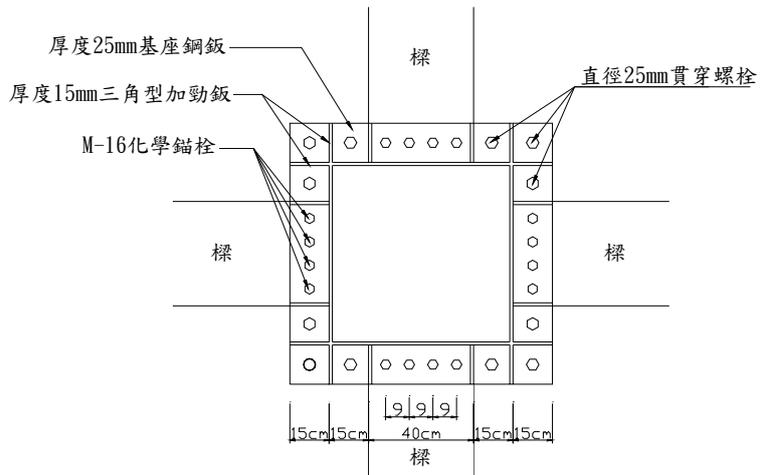


圖 8.1 方型內柱之上柱與下柱間的應力傳遞案例



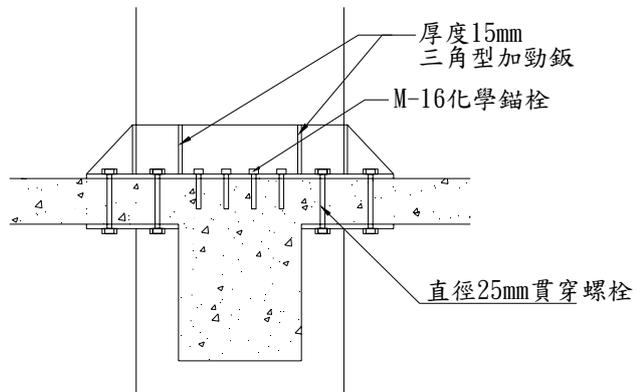
鋼筋混凝土補強柱



柱腳基座



樓版上方之柱腳基座



樓版下方之柱頭貫穿螺栓

圖 8.2 方型內柱之上柱與下柱間之施工照片

8-1-2 圓型內柱之上柱與下柱間的應力傳遞案例

圓型內柱之上柱與下柱間的應力傳遞如圖 8.3 與圖 8.4 所示。當圓型鋼筋混凝土柱的柱徑大於樑寬時如圖 8.4 所示，鋼筋混凝土柱樑接頭的補強效果，完全取決於柱樑接頭的四小片弧形補強鋼板，而非鋼筋混凝土柱體本身的圓型補強鋼板。因此，貫穿樓版的四小片弧形鋼板，其焊接及施工需特別小心處理。

如果圓型鋼筋混凝土柱與鋼筋混凝土樑同寬，而無法利用柱樑角隅延伸補強鋼板，以連接上柱、下柱時，則應採用擴大圓柱之方式處理，如圖 8.3 與圖 8.4 所示。這種情形在一般寺廟的結構補強中十分常見。



圓柱四個角隅的樓版敲除



圓柱四個角隅的樓版敲除

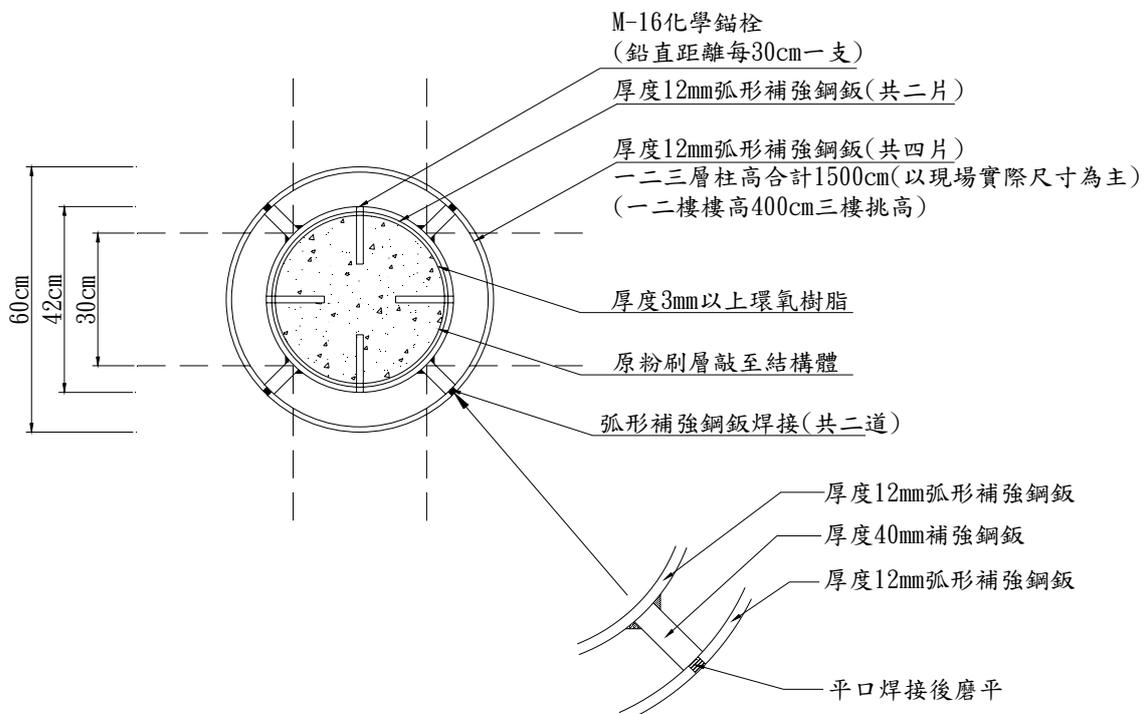


圖 8.3 擴大圓柱之鋼板結構補強施工相片

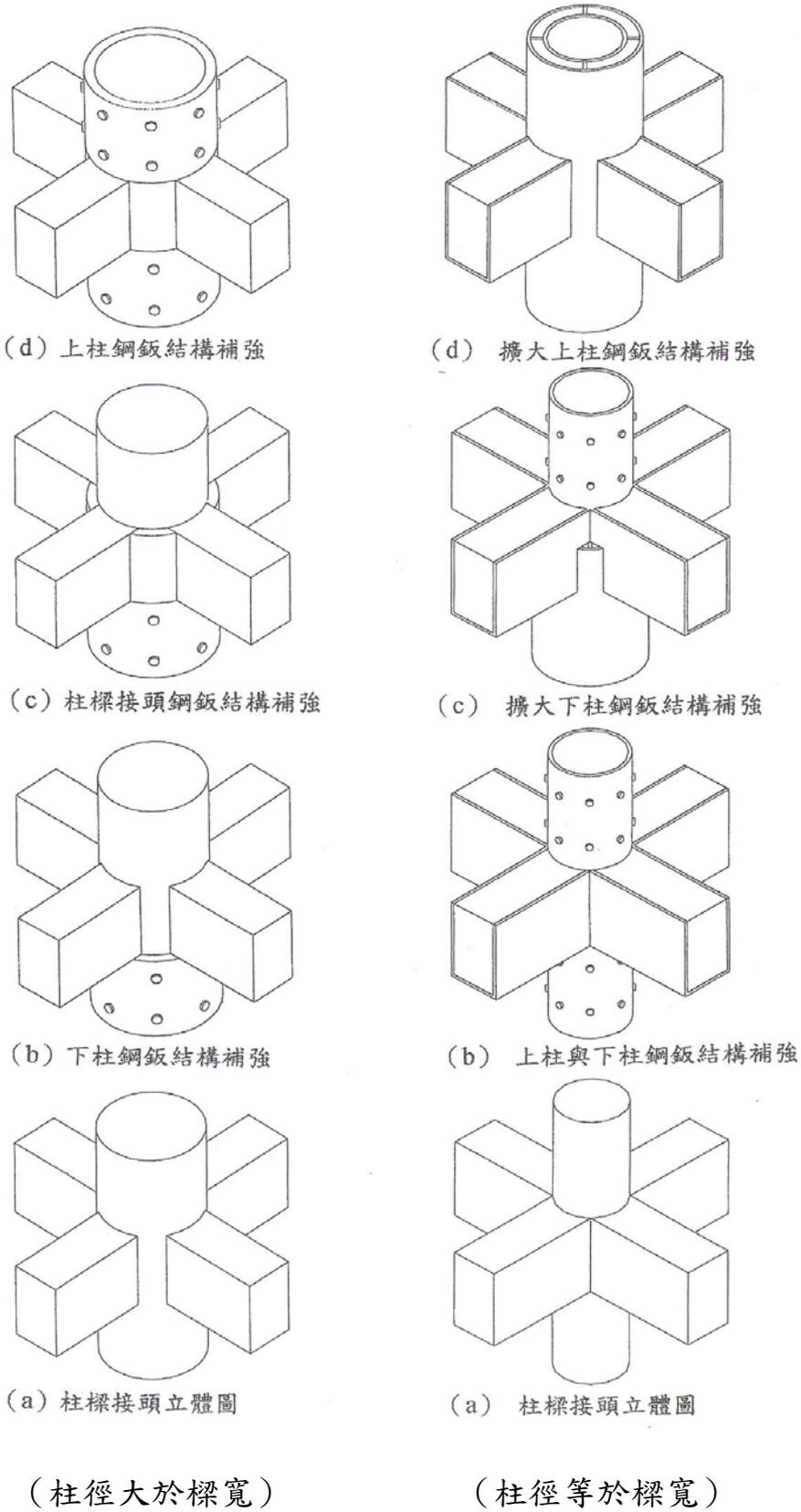


圖 8.4 圓型內柱之上柱與下柱間的應力傳遞

8-2 外柱之上柱與下柱間的應力傳遞

8.2 外柱之上柱與下柱間的應力傳遞

鋼筋混凝土外柱之上柱與下柱間的應力傳遞若須延續，則位於柱樑接頭處的補強需特別檢討，並應依據所需傳遞的應力及外柱之補強材料至少有一邊可上下延續之優點，進行柱樑接頭的補強設計。

解說：鋼筋混凝土外柱之上柱與下柱之間，至少有一邊（或兩邊）沒有樑及樓版隔開，因此補強材料應儘量利用這項優點上下延續，以達到最佳的補強效果。

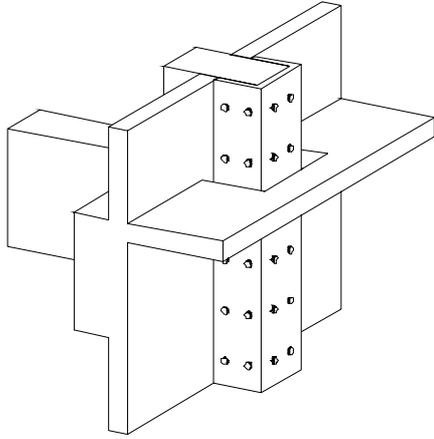
以外柱有雨遮為例（圖 8.5），雨遮可局部敲除並切斷兩遮之鋼筋，讓補強鋼鈹直通而上。在柱結構補強後，再將雨遮之鋼筋焊接至補強鋼鈹上，然後灌漿修復雨遮。

以外柱有走廊柱為例（圖 8.6），位於柱兩側樓版可局部敲除，並切斷樓版鋼筋，讓柱兩側之補強鋼鈹直通而上，在柱結構補強後，再將樓版之鋼筋焊接至補強鋼鈹上，然後灌漿修復樓版。

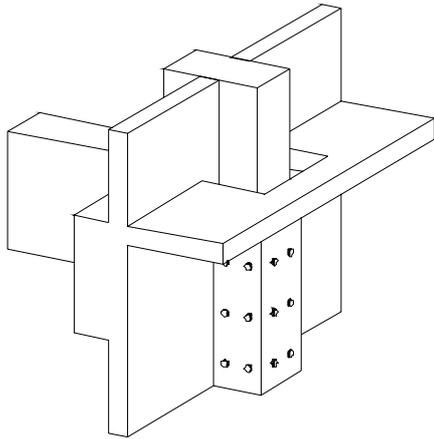
外柱若突出於牆面，其補強鋼鈹可延著牆外之柱剖面形狀補強，通常為 U 型（如圖 8.7(a)所示），其補強效果佳，上下延續性亦佳，但必須向下延伸至基礎上。

若外柱未突出牆面，且延著柱外邊的單片鋼鈹補強效果不佳時，則可以新增 BOX 鋼柱補強（如圖 8.7(b)所示）。新增 BOX 鋼柱需向下延伸至基礎上，且應檢核新增 BOX 鋼柱與原有柱之應力傳遞問題。

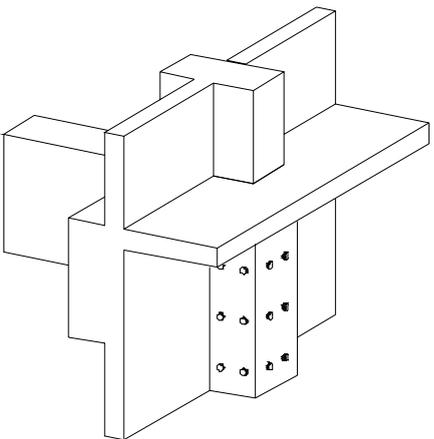
8-2-1 外柱（有雨遮）之上柱與下柱間的應力傳遞案例



(c)上柱鋼板結構補強



(b)雨遮局部敲除

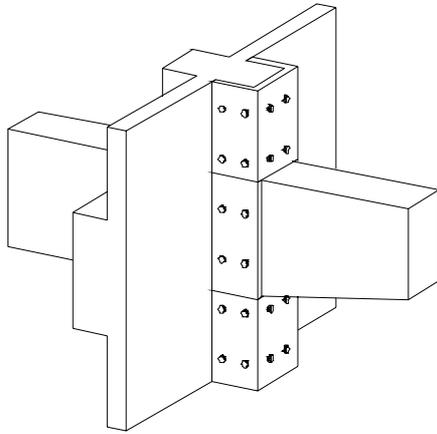


(a)下柱鋼板結構補強

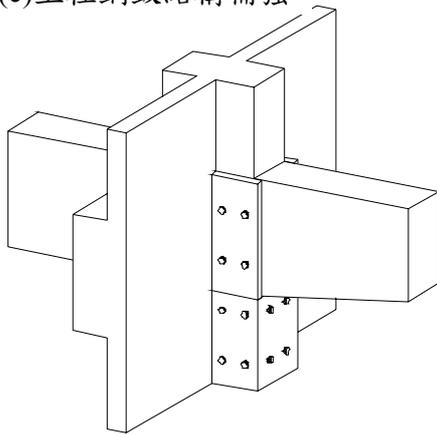


圖 8.5 外柱（有雨遮）之上柱與下柱間的應力傳遞案例

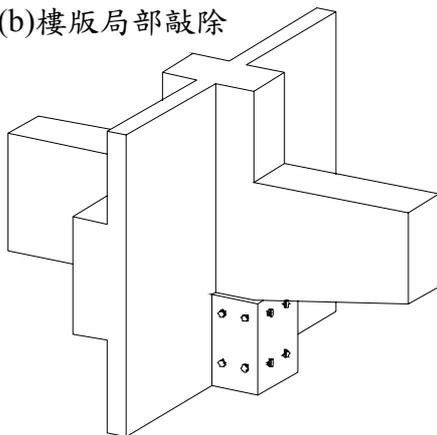
8-2-2 外柱（走廊柱）之上柱與下柱間的應力傳遞案例



(c)上柱鋼板結構補強



(b)樓版局部敲除

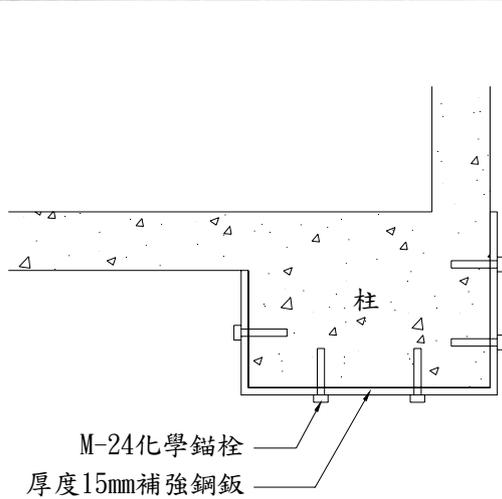


(a)下柱鋼板結構補強

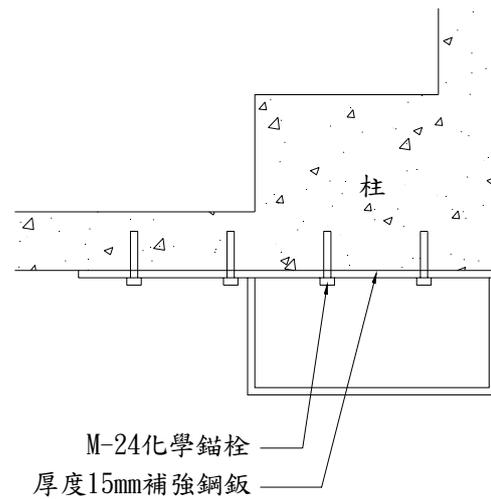


圖 8.6 外柱（走廊柱）之上柱與下柱間的應力傳遞案例

8-2-3 外柱以 U 型鋼板或新增 BOX 鋼柱補強



(a) 外柱以 U 型鋼板補強



(b) 外柱以新增 BOX 鋼柱補強

圖 8.7 外柱以 U 型鋼板或新增 BOX 鋼柱補強

8-3 樑與樑的應力傳遞

8.3 樑與樑的應力傳遞

鋼筋混凝土樑與樑之間的應力傳遞若須延續，則位於樑與樑接頭處的補強需特別檢討，並應依據所需傳遞的應力，進行樑與樑的補強設計。

解說：樑與樑之間的應力傳遞，一般採用貫穿螺栓或三角形加勁鈹補強，如圖 8.8 所示。

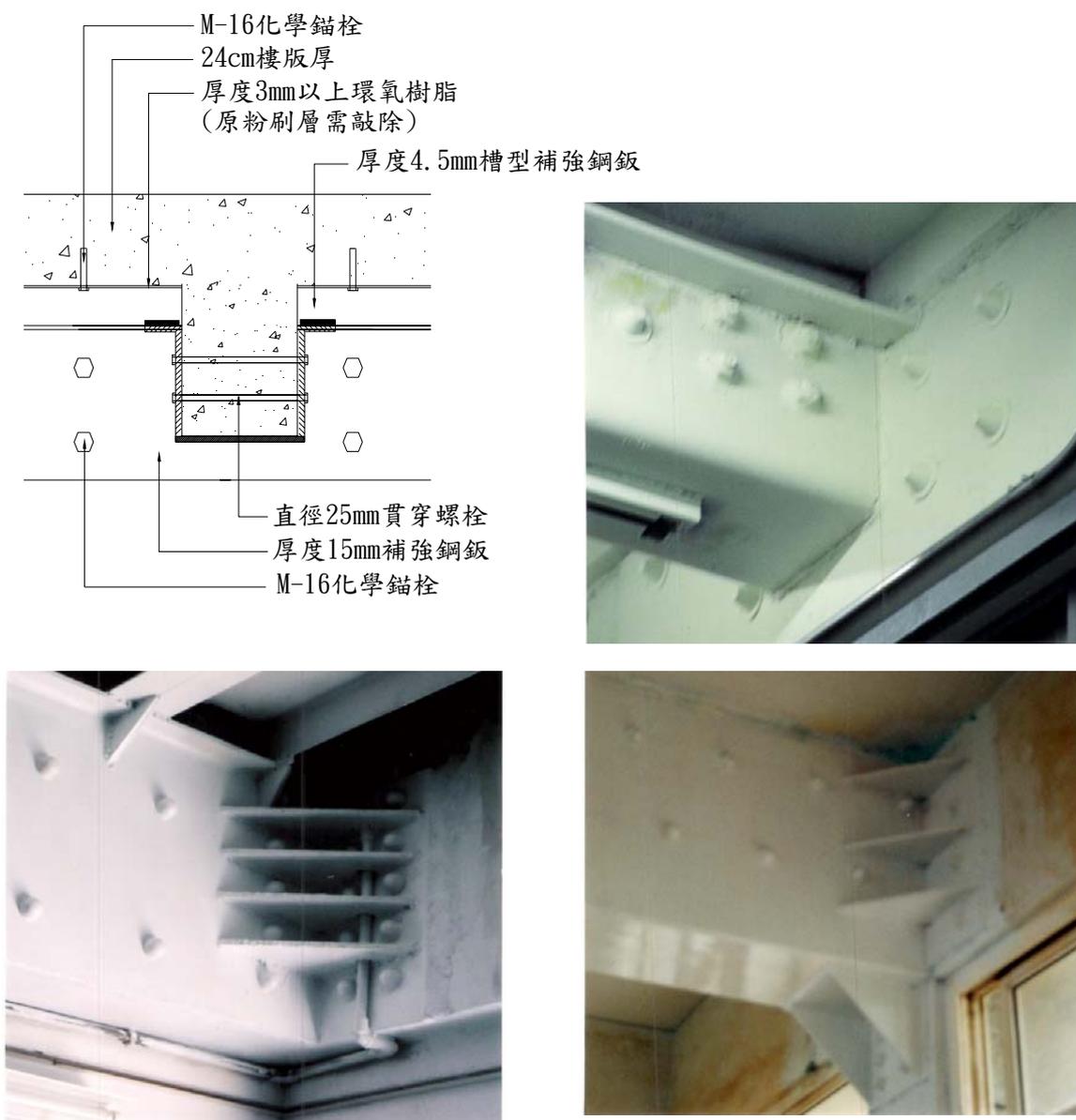


圖 8.8 樑與樑的應力傳遞

8-4 樑與柱的應力傳遞

8.4 樑與柱的應力傳遞

鋼筋混凝土樑與柱之間的應力傳遞若須延續，則位於柱樑接頭處的補強需特別檢討，並應依據所需傳遞的應力，進行柱樑接頭的補強設計。

解說：鋼筋混凝土樑與鋼筋混凝土柱交接面之負彎矩結構補強，也必須依靠化學錨栓及環氧樹脂錨定至柱頭上，並且於鋼筋混凝土柱樑接頭處增加三角形水平加勁鈹。必要時，可於柱樑接頭處之樑下端增加三角形加勁鈹（俗稱牛腿），以提高負彎矩之力臂及補強效果，樑柱接頭的結構補強，如圖 8.9 至圖 8.11 所示。

如果柱的寬度稍大於樑寬時，樑補強鋼鈹在柱頭處，可以額外厚度的鋼鈹墊厚，以使樑補強鋼鈹的拉力可以傳遞至柱頭上，如圖 8.9 所示。

當柱的寬度等於樑寬時，樑補強鋼鈹在柱頭處的拉力，可以直線延伸至柱頭上，如圖 8.10 所示。

當柱的寬度大於樑寬，而無法以額外的鋼鈹墊厚時，則柱樑接頭的化學錨栓及三角形加勁鈹即十分重要，如圖 8.11 所示，此時，化學錨栓的抗拉及抗剪強度，必須另外檢討。因為化學錨栓太過靠近柱邊（即邊距太小），其強度會不如預期效果，詳細情形見第九章。

8-4-1 樑與柱的應力傳遞案例一

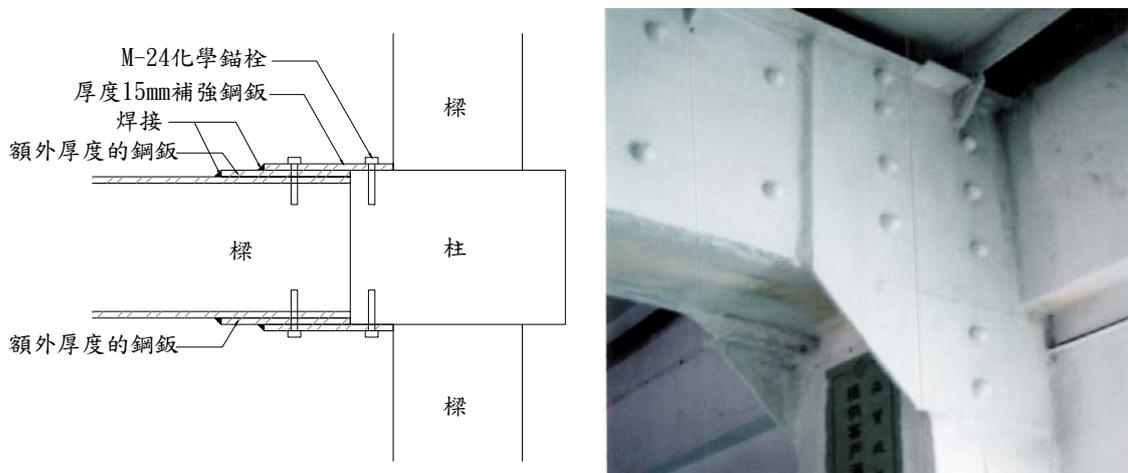


圖 8.9 樑與柱的應力傳遞案例一

8-4-2 樑與柱的應力傳遞案例二

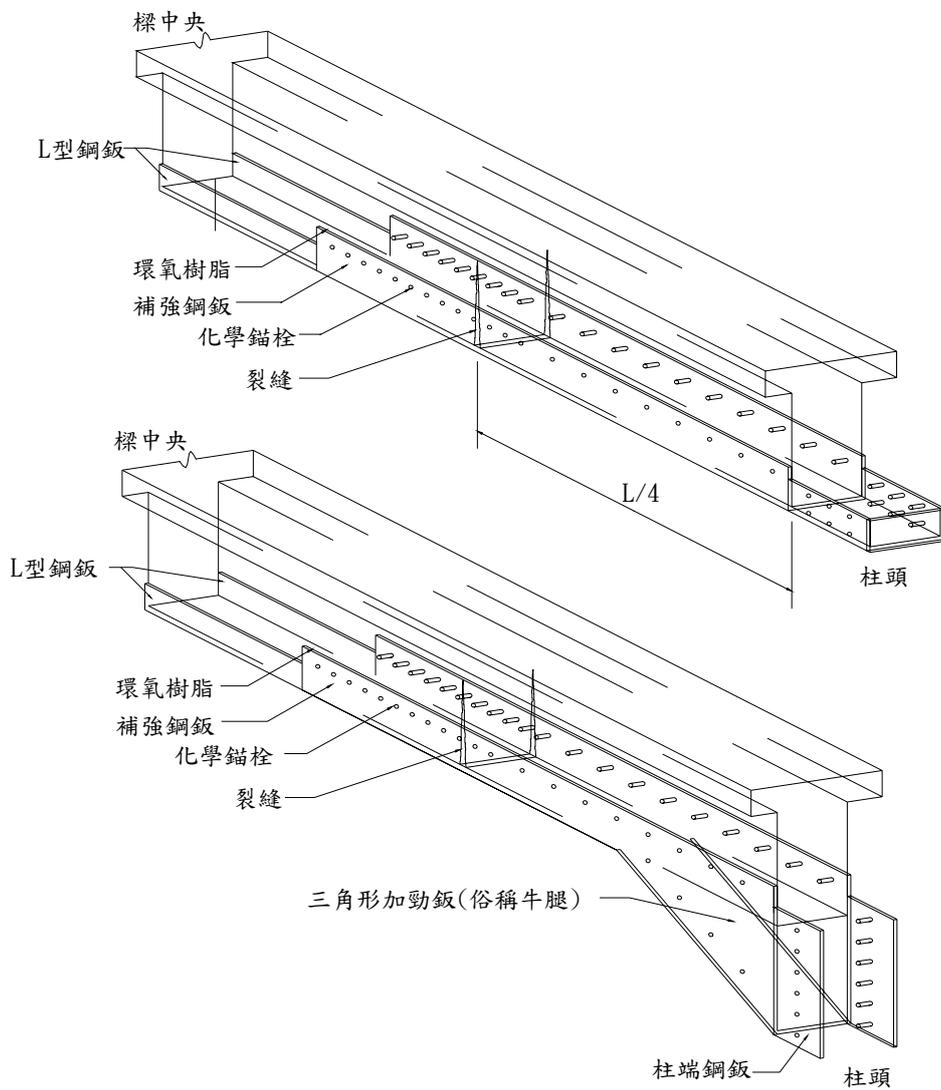


圖 8.10 樑與柱的應力傳遞案例二

8-4-3 樑與柱的應力傳遞案例三

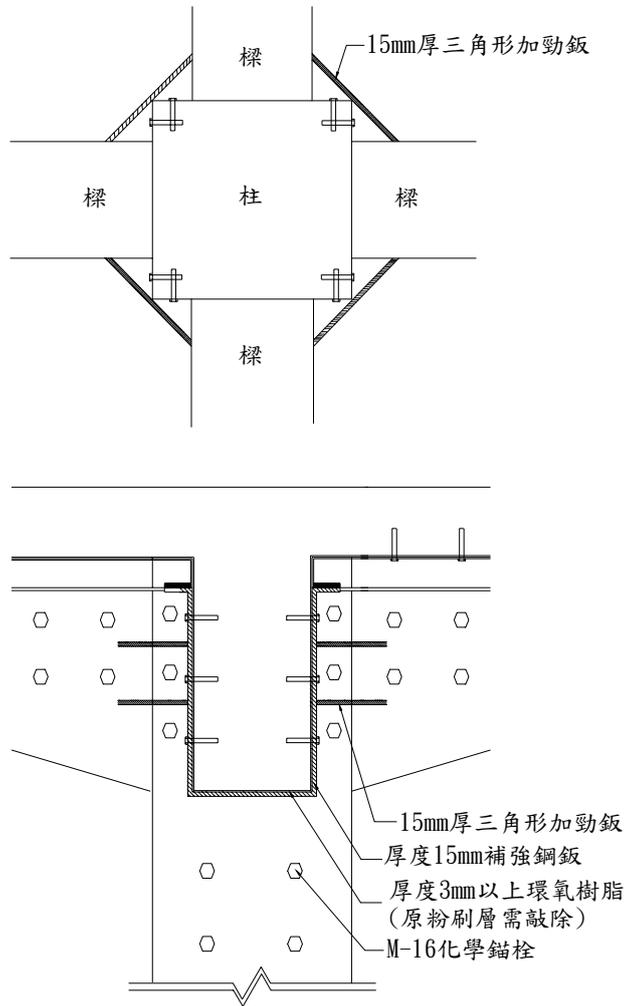


圖 8.11 樑與柱的應力傳遞案例三

第九章 化學錨栓試驗值與理論值之差異

9-1 化學錨栓的破壞模式

9.1 化學錨栓的破壞模式

化學錨栓的強度及破壞模式應考慮下列各項：

- (1) 化學錨栓的鋼材桿件拉力強度 (N_s)
- (2) 化學錨栓的鋼材桿件拔出強度 (N_{pn} 或 N_{png})
- (3) 化學錨栓的混凝土拉破強度 (N_{cb} 或 N_{cbg})
- (4) 化學錨栓拉力造成混凝土劈裂。
- (5) 化學錨栓拉力造成混凝土邊緣脹破。
- (6) 化學錨栓的鋼材桿件剪力強度 (V_s)
- (7) 化學錨栓的混凝土剪破強度 (V_{cb} 或 V_{cbg})
- (8) 化學錨栓剪力造成混凝土邊緣被化學錨栓撬破。

解說：結構錨栓所傳遞之結構載重和強度、穩定度或生命安全有關。雖然黏著型錨栓（化學錨栓）已廣泛使用於結構補強工程中，而且具有良好效果，但目前並沒有適用的試驗和設計公式【22】。標準型或預埋式擴頭錨栓和擴頭錨釘，其計算之拉拔值是可被認可。但後置式錨栓（如化學錨栓）沒有可預測之拉拔值，因此，通常必須依據試驗結果。

當化學錨栓的強度由混凝土破壞所控制，其行為是脆性的，尤其是在地震力作用下，剪力載重之方向無法被預測。錨栓破壞模式在參考文獻【23~26】中有深入討論。

混凝土破裂設計方法是由混凝土能力設計（*Concrete Capacity Design* (CCD)）方法發展而來，CCD 方法可以預測單根錨栓或錨栓群之載重承載能力。CCD 方法係採用單根錨栓在開裂混凝土中的拉力或剪力之基本公式，另外再乘以錨栓數目，並考慮邊距，間距，偏心和混凝土未開裂等因數。

拉力破壞強度計算是以破裂角錐之角度約 35° 時計算所得。 A_N 是錨栓群的投影總面積， A_{N0} 是單根錨栓的面積，假如錨栓群之配置造成投影面積重疊時， A_N 值應予以折減。

剪力強度公式亦採用 CCD 方式演譯發展而來，其剪破角錐之角度為 35° 。剪力破壞強度是依循破壞機構理論，並考量包括錨栓群效應，錨栓間距、邊距、混凝土構材厚度等因數。 A_{v0} 是單根錨栓之最大剪破強度時之投影面積，完全不受邊距影響，而 A_v 是錨栓群之總投影面積。假如錨栓群之配置造成投影面積重疊時， A_v 值應予折減。

許多錨栓的性能表現取決於錨栓之安裝。化學錨栓之承載力和變形可依據 ACI 355.2 的驗收試驗方法評估。這項試驗會因錨栓廠商之安裝指南、化學錨栓的變異度、孔徑、清潔程度、孔軸方向性、安裝扭轉力、開裂寬度及其他因素而不同。

某些變異度在不同的錨栓試驗中，間接地反應在 ϕ 值中。依據 ACI 355.2 驗收試驗的偏離度，會因為錨栓元件之不當更換，或錨栓裝置方法未遵循廠商建議，而有很大的差異。因此設計及施工時，應依據廠商之建議。

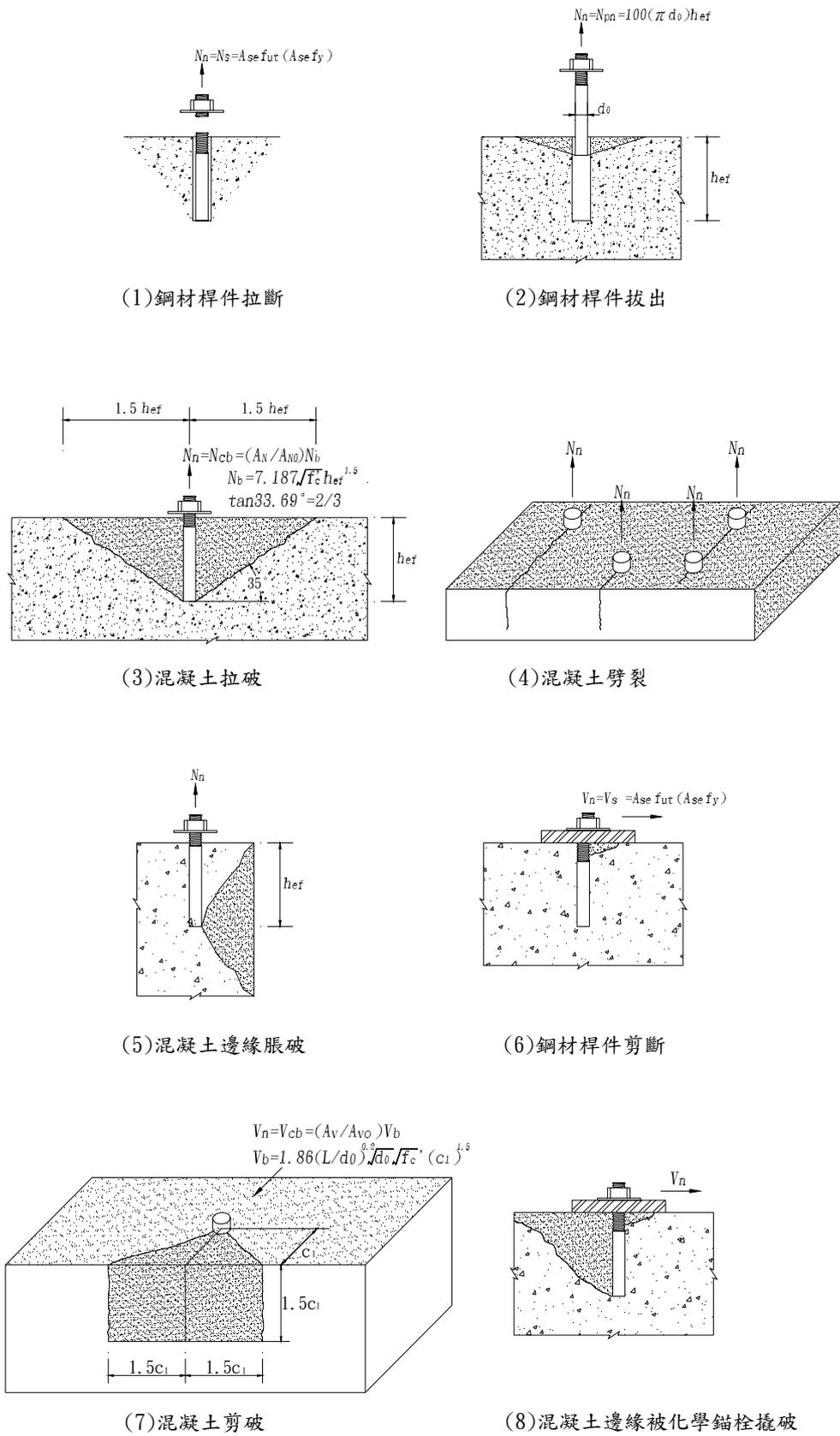


圖 9.1 化學錨栓的破壞模式

9-2 化學錨栓的最小強度與設計強度

9.2 化學錨栓的最小強度與設計強度

化學錨栓的最小強度與設計強度如下：

$$\phi N_n \geq N_u \quad (\text{A-1})$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (\text{A-2})$$

在式 (A-1) 和式 (A-2) 中， ϕN_n 和 ϕV_n 是所有破壞模式之最小強度。 ϕN_n 是單根化學錨栓或化學錨栓群的最小拉力強度，即 ϕN_s ， ϕN_{pn} (或 ϕN_{png})， ϕN_{cb} (或 ϕN_{cbg}) 之最小值。 ϕV_n 是單根化學錨栓或化學錨栓群之最小剪力強度，即 ϕV_s ， ϕN_{cb} (或 ϕN_{cbg}) 之最小值。

9-3 化學錨栓的最小拉力強度

9.3.1 化學錨栓鋼材桿件的拉力強度

化學錨栓鋼材桿件之拉力強度， N_s ，應依鋼材性質和桿件尺寸決定。

單根化學錨栓或化學錨栓群之拉力強度不可超過下式，

$$N_s = nA_s f_{ut} \quad (\text{或 } N_s = nA_s f_y) \quad (9-3)$$

9.3.2 化學錨栓的拔出強度

單根化學錨栓之拔出強度 N_{pn} 不可超過下式，(環氧樹脂之黏著應力 = 100kgf/cm²)

$$N_{pn} = 100(\pi d_0) h_{ef} \quad (9-4)$$

9.3.3 化學錨栓的混凝土拉破強度

單根化學錨栓或化學錨栓群之混凝土拉破強度， N_{cb} 或 N_{cbg} ，不可超過下式：

$$\text{單根化學錨栓: } N_{cb} = (A_N / A_{N0}) N_b \quad (9-5)$$

$$\text{化學錨栓群: } N_{cbg} = \Psi_I (A_N / A_{N0}) N_b \quad (9-6)$$

A_N = 單根化學錨栓或化學錨栓群之混凝土拉力破壞面之投影面積，該面積近似由單根化學錨栓之中心或化學錨栓群之外圍錨栓之中心線向外 $1.5h_{ef}$ 所形成之破壞面，為四方形幾形投影。 A_N 不可超過 nA_{N0} ，其中 n 是化學錨栓群之錨栓數目。 A_{N0} 是單根化學錨栓之混凝土拉力破壞面遠離邊緣之投影面積，單根化學錨栓或化學錨栓群承受拉力時之抗拉投影面積。

$$A_{N0} = 9h_{ef}^2 \quad (9-7)$$

單根化學錨栓之基本混凝土拉破強度 N_b 不可超過下式，

$$N_b = 7.187 \sqrt{f_c'} h_{ef}^{1.5} \quad (9-8)$$

其中

N_b : 基本混凝土拉破強度，kgf

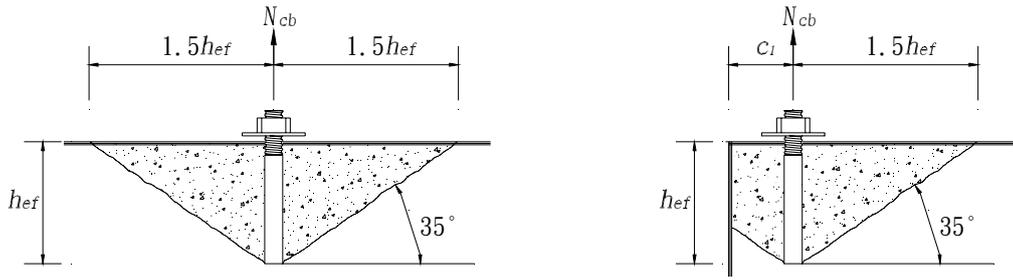
f_c' : 混凝土之規定抗壓應力，kgf/cm²

h_{ef} : 化學錨栓有效埋置深度，cm

化學錨栓群之偏心拉力載重修正係數

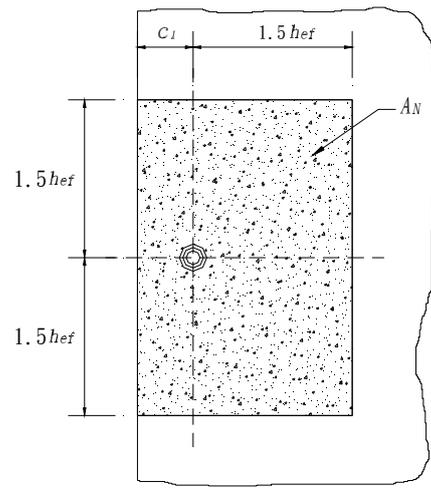
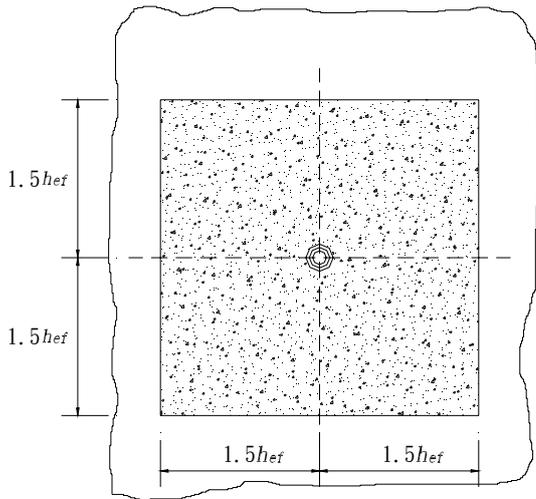
$$\Psi_I = 1 / (1 + 2e'_N / 3h_{ef}) \leq 1 \quad (9-9)$$

式 (9-9) 僅適用於 $e'_N \leq s/2$ 。當化學錨栓群中僅有某部份化學錨栓是拉力時決定式 (9-9) 之偏心值 e'_N 僅須要考量承受拉力之化學錨栓。



破裂角錐剖面圖

破裂角錐剖面圖



平面圖

平面圖

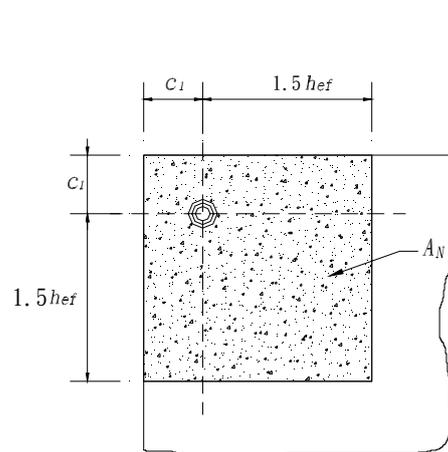
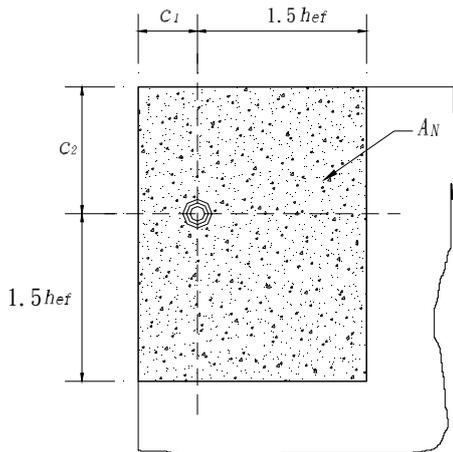
$$A_{N0} = (2 \times 1.5h_{ef}) (2 \times 1.5h_{ef}) = 9h_{ef}^2$$

$$A_N = (c_1 + 1.5h_{ef}) (2 \times 1.5h_{ef})$$

$c_1 < 1.5h_{ef}$ 時

(a) A_{N0} 之計算

(b) A_N 之計算



平面圖

平面圖

$$A_N = (c_1 + 1.5h_{ef}) (c_2 + 1.5h_{ef})$$

$c_1 < 1.5h_{ef}$ 且 $c_2 < 1.5h_{ef}$ 時

$$A_N = (c_1 + 1.5h_{ef})^2$$

$c_1 = c_2 < 1.5h_{ef}$ 時

(c) A_N 之計算

(d) A_N 之計算

圖 9.2 單根化學錨栓承受拉力時之投影面積 A_{N0} 及 A_N 之計算

9-4 化學錨栓的最小剪力強度

9.4.1 化學錨栓鋼材桿件的剪力強度

化學錨栓鋼材桿件之剪力強度， V_s ，應依鋼材性質和桿件尺寸決定。

單根化學錨栓或化學錨栓群之剪力強度不可超過下式：

$$V_s = 0.6nA_{se}f_{ut} \quad (\text{或 } N_s = 0.6nA_{se}f_y) \quad (9-10)$$

9.4.2 化學錨栓的混凝土剪破強度

單根化學錨栓或化學錨栓群之混凝土剪破強度， V_{cb} 或 V_{cbg} ，不可超過下式：

(1) 單根化學錨栓其剪力受力方向垂直於邊緣

$$V_{cb} = (A_V/A_{V0}) V_b \quad (9-11)$$

(2) 化學錨栓群其剪力受力方向垂直於邊緣

$$V_{cbg} = \Psi_2 (A_V/A_{V0}) V_b \quad (9-12)$$

(3) 當剪力受力方向平行於邊緣， V_{cb} 或 V_{cbg} 分別為式 (9-11) 或 (9-12) 計算值之二倍。

(4) 當化學錨栓位於角落時，其混凝土剪破強度依各邊距分別計算，並取最小值。

V_b 是單根化學錨栓之基本混凝土剪破強度。 A_V 是單根化學錨栓或化學錨栓群在混凝土構件邊緣之破壞面投影面積。其面積取構件面半角錐之截頭面積，半角錐之頂點選取於錨栓桿軸心且為最臨界之點。 c_1 值為該軸至邊緣之距離。 A_V 不可大於 nA_{V0} ，其中 n 是錨栓群之數目。

A_{V0} 是埋置於深厚構件且遠離受剪力方向邊緣之單根化學錨栓之投影面積。其面積係由平行於邊緣之邊長為 $3c_1$ ，深度為 $1.5c_1$ 之半角錐依據式 (9-13) 算得：

$$A_{V0} = 4.5(c_1)^2 \quad (9-13)$$

其中錨栓埋置於距離邊距各種距離，而且錨栓焊於附掛桿上，其受力可均分佈於各錨栓上。錨栓強度評估時取距邊緣最遠的錨栓列。所有剪力假設僅由此臨界錨栓列承受。

單根化學錨栓基本之混凝土剪破強度 V_b 不可超過

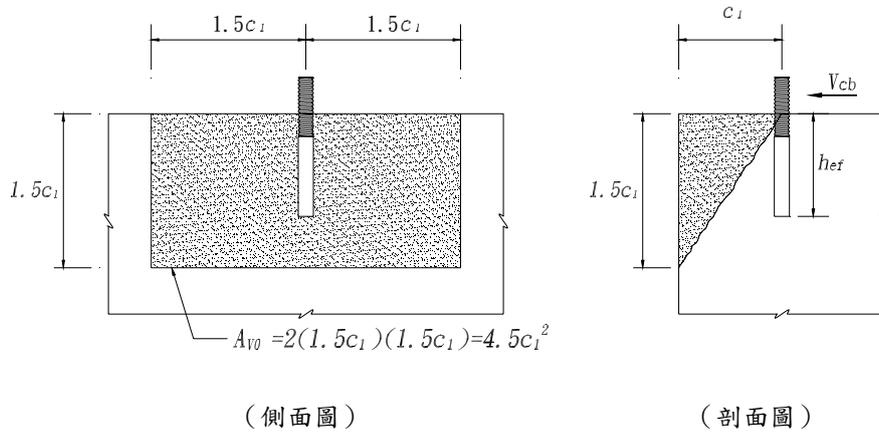
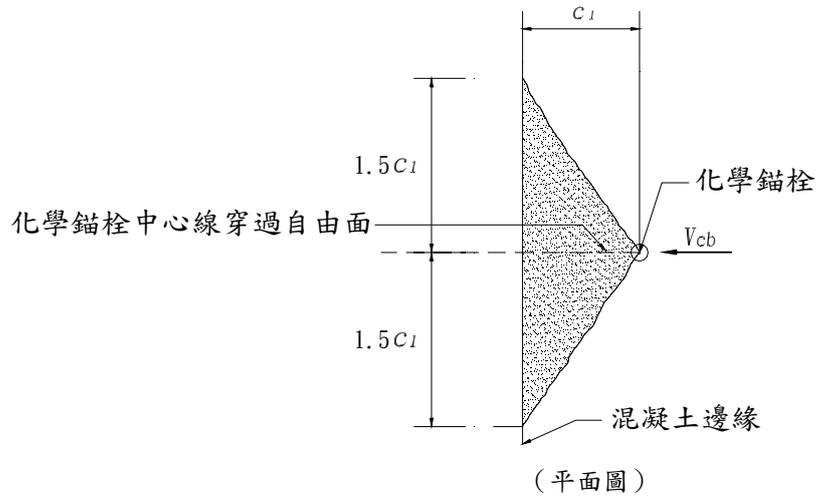
$$V_b = 1.86(L/d_0)^{0.2} \sqrt{d_0} \sqrt{f_c'} (c_1)^{1.5} \quad (9-14)$$

在特殊情況下，錨栓強度受到三邊以上影響時，其邊距限制為 $h/1.5$ 。

化學錨栓群偏心載重之修正因數

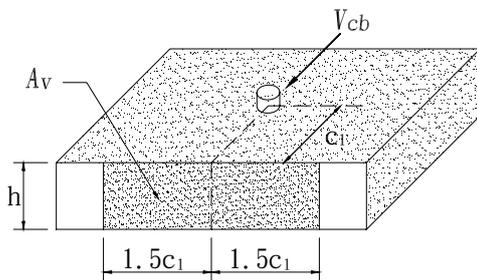
$$\Psi_2 = 1 / (1 + 2e'_v / 3c_1) \leq 1 \quad (9-15)$$

式 (9-15) 僅適用於 $e'_v \leq s/2$ 。



(a) A_{V0} 之計算

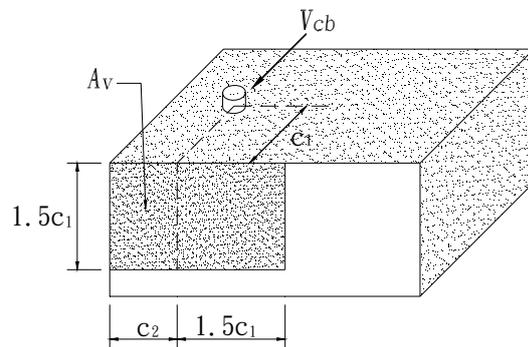
當 $h < 1.5c_1$



$$A_v = 2 (1.5c_1) h$$

(b) A_v 之計算

當 $c_2 < 1.5c_1$



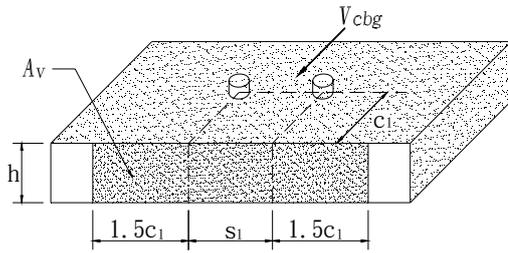
$$A_v = (1.5c_1 + c_2) (1.5c_1)$$

(c) A_v 之計算

圖 9.3 單根化學錨栓承受剪力時之投影面積 A_{V0} 及 A_v 之計算

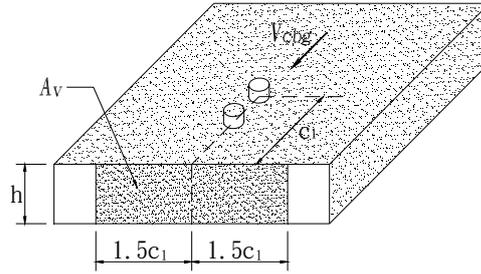
當 $h < 1.5c_1$ 且 $s_1 < 3c_1$

當 $h < 1.5c_1$



$$A_V = [2(1.5c_1) + s_1]h$$

(a) 二根化學錨栓群 A_V 之計算



$$A_V = 2(1.5c_1)h$$

(b) 二根化學錨栓群 A_V 之計算

圖 9.4 化學錨栓群承受剪力時之總投影面積 A_V 之計算

9-5 拉力與剪力互制作用

9.5 拉力與剪力互制作用

化學錨栓或化學錨栓群承受拉力與剪力作用時，其互制曲線如圖所示：

當 $V_u \leq 0.2 \phi V_n$ 時，全部拉力強度為有效，即 $\phi N_n \geq N_u$ 。

當 $N_u \leq 0.2 \phi N_n$ 時，全部剪力強度為有效，即 $\phi V_n \geq V_u$ 。

當 $V_u > 0.2 \phi V_n$ 和 $N_u > 0.2 \phi N_n$ 時，依下式計算

$$(N_u / \phi N_n) + (V_u / \phi V_n) \leq 1.2 \quad (9-16)$$

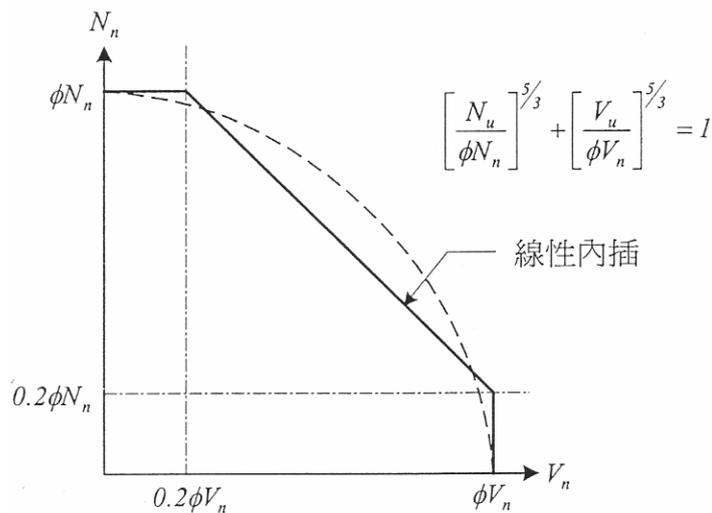


圖 9.5 拉力與剪力互制曲線

9-6 化學錨栓抗拉及抗剪強度的試驗值

一般坊間常用化學錨栓的力學性質如表 9-1 及表 9-2 所示。表 9-1 雖有安全拉力及安全剪力的資料，卻沒有極限拉力與極限剪力的資料。表 9-2 則缺少極限剪力及安全剪力之資料。此外，當化學錨栓靠近混凝土邊緣或兩化學錨栓間距太小時，安全拉力及安全剪力，極限拉力及極限剪力皆會降低，表 9-1 及表 9-2 也都缺少力學資料。因此，在結構補強實務上，應建立一套化學錨栓抗拉及抗剪強度的理論計算方法，這也是本計劃的另一目的。

表 9-1 化學錨栓的力學性質 [資料來源：混凝土結構物補強 P.120，台麒營造有限公司出版]

項目 \ 化學錨栓	M8	M10	M12	M16	M20	M24
安全拉力 (kgf) ($f_c' = 210 \text{ kgf/cm}^2$)	498	747	996	1660	2490	3569
安全拉力 (kgf) ($f_c' = 280 \text{ kgf/cm}^2$)	582	873	1165	1941	2912	4173
安全拉力 (kgf) ($f_c' = 350 \text{ kgf/cm}^2$)	667	1000	1333	2222	3333	4778
安全剪力 (kgf) ($f_c' = 210 \text{ kgf/cm}^2$)	410	668	858	1516	2575	3548
安全剪力 (kgf) ($f_c' = 280 \text{ kgf/cm}^2$)	431	702	903	1594	2708	3731
安全剪力 (kgf) ($f_c' = 350 \text{ kgf/cm}^2$)	452	737	947	1673	2841	3914
埋置深度 (cm)	≥ 8	≥ 9	≥ 11	≥ 12.5	≥ 17	≥ 21
最小間距 (cm)	4	4.5	5.5	6.3	8.5	10.5
常用間距 (cm)	30	30	30	30	40	40
固定鋼板厚度 (cm)	≤ 1.4	≤ 2.1	≤ 2.8	≤ 3.8	≤ 4.8	≤ 5.4
混凝土厚度 (cm)	≥ 12	≥ 14	≥ 16	≥ 18	≥ 22	≥ 27

表 9-2 化學錨栓的力學性質

[資料來源：鋼結構設計手冊極限設計法 P5~108，科技圖書公司出版]

編型 TYPE	外徑 D mm	全長 L mm	容量 cm^3	螺桿	鑽孔 徑 mm	鑽孔深 mm	混凝土強度 (210 kgf/cm^2)		
							極限 抗拉力 kgf	長期 抗拉力 kgf	短期 抗拉力 kgf
HP-10	10.5	95	6	M10, W3/8" D10	12 12	90	4179	1065	1598
HP-12	12	105	9	M12, W1/2" D12	14 16	110	6209	1583	2375
HP-16	15	135	18	M16, W5/8" D16	18 20	125	8137	2075	3112
HP-20	18	170	34	M20 W3/4" D19	23 22 24	170	14937	3808	5713
HP-24	24	195	75	M24 W1" D22 D25	28 28 28 32	210	19376	4941	7411

9-7 化學錨栓的理論值

依據 9-1 節至 9-5 節的公式（詳列於附錄 A「鋼筋混凝土結構補強用化學錨栓（草案）」），化學錨栓拉力強度的理論值如表 9-3 及表 9-4 所示。容許拉力的理論值與廠商建議值之誤差不大。但若要充分發揮化學錨栓的抗拉強度，其所需的邊距（化學錨栓與任一邊之最小距離）或間距（化學錨栓間之最小距離）卻超乎傳統上的認知。由於化學錨栓的邊距或間距愈小時，其容許拉力也愈低。因此，設計者若未注意到邊距與間距的最小要求，而誤用廠商建議值，則可能降低化學錨栓的安全性。

依據 9-1 節至 9-5 節的公式（詳列於附錄 A「鋼筋混凝土結構補強用化學錨栓（草案）」），化學錨栓剪力強度的理論值如表 9-5 及表 9-6 所示。容許拉力的理論值與廠商建議值之誤差不大。但若要充分發揮化學錨栓的抗剪強度，其所需的邊距（化學錨栓與任一邊之最小距離）或間距（化學錨栓間之最小距離）卻超乎傳統上的認知。由於化學錨栓的邊距或間距愈小時，其容許剪力也愈低。因此，設計者若未注意到邊距與間距的最小要求，而誤用廠商建議值，則可能降低化學錨栓的安全性。

9-8 化學錨栓受邊距與間距的影響

錨栓的承載能力，係假設混凝土之破壞機制為破壞錐角度為 35° 時導引而來。當錨栓的一邊或更多邊的邊距小於 $1.5h_{ef}$ 時，拉破強度以 CCD 方式計算時，會引致不合理之結果。因為化學錨栓靠近邊緣，沒有足夠空間發展完整性的破壞錐。錨栓之承載能力小於預期。假如最小的邊距大於 $1.5h_{ef}$ ，完整性的破壞錐可以形成，因此不必折減。假如邊距小於 $1.5h_{ef}$ 時，應做邊距效應修正。美國 PCI 設計手冊在第 6.5.2.2 節中建議，錨栓遠離邊緣可增加承載能力。錨栓間距足夠者，其破壞面不會交叉。

根據參考文獻【11】的補強實驗結果，如圖 9.6 所示。化學錨栓的拉力及剪力強度，受到邊距與間距的影響甚大。因此，在補強設計時，不可過度依賴廠商的建議值，而影響結構補強的成效。

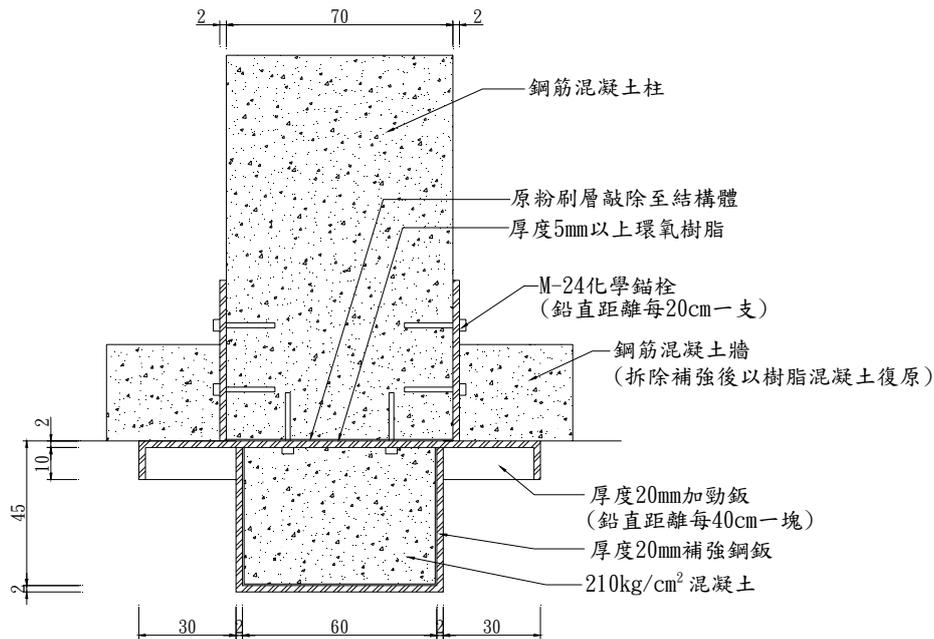


圖 9.6 結構補強試驗【11】

9-9 化學錨栓試驗值與理論值之比較

[範例一] 化學錨栓廠商建議值與理論值之比較

新增箱型鋼柱 (60 cm×45 cm) 與原有 RC 柱 (70 cm×120 cm) 之接合，需靠原有 RC 柱兩側的鋼板與 M24 化學錨栓 (鉛直距離每 20 cm 一支) 傳遞剪力，每邊鋼板的化學錨栓共 40 支



(一) 依廠商建議值(表 9-1, $f_c' = 210\text{kgf/cm}^2$)，單根 M24 化學錨栓的安全剪力為 3548kgf，因此由 40 支化學錨栓所提供的總抗剪能力為 $40 \times 3548\text{kgf} = 141920\text{kgf} = 141.92\text{t}$

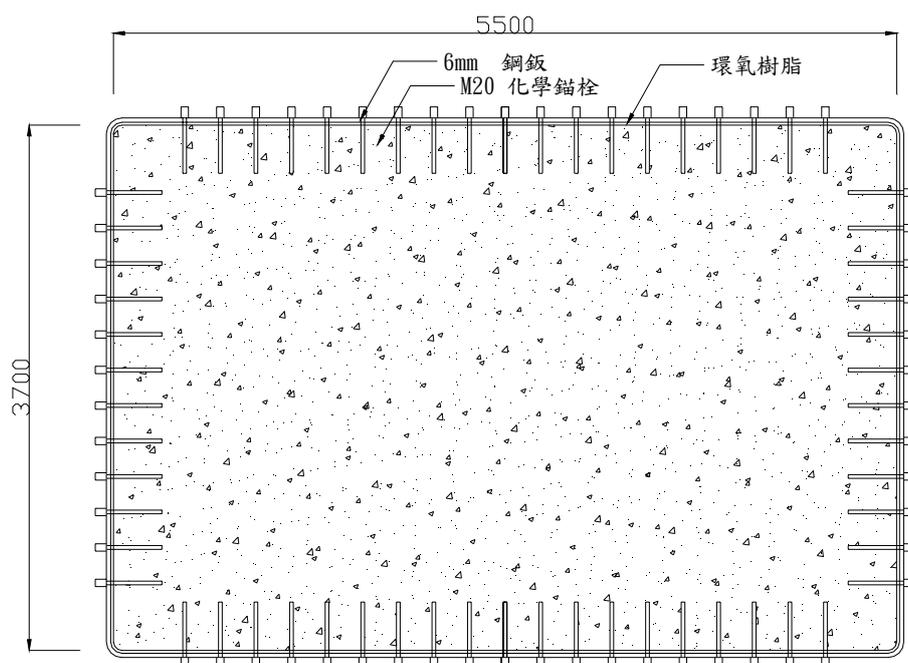
(二) 然而 M24 每隔 20 cm 的化學錨栓，其剪力破壞面會交叉，因此安全剪力會低於 3548kgf，依理論分析結果(表 9-6)，要充分發揮 M24 化學錨栓的抗剪強度，其最小邊距至少為 349.82 mm (34.98 cm)。因此間距 20 cm 的安全剪力只有 1242kgf

$$40 \times 1242\text{kgf} = 49680\text{kgf} = 49.68\text{t}$$

大概只有原預估值 (141.92t) 的 35% 而已。

[範例二]化學錨栓廠商建議值與理論之比較

某方型墩柱 (5500 mm×3700 mm) 因少配置 D19@125 mm 之箍筋 (hoop bars)，而需進行結構補強。墩柱短邊 (3700 mm) 之 M20 化學錨栓，上下每 25 cm 一排，每排 12 支 (左右間距 25 cm)，每公尺共計 48 支。



- (一) 依廠商建議值 (表 9-1, $f_c' = 210\text{kgf/cm}^2$), M20 化學錨栓之安全剪力為 2575kgf, 總抗剪能力為 $48 \times 2575\text{kgf} = 123600\text{kgf} = 123.60\text{t}$
- (二) 然而 M20 每隔 25 cm 的化學錨栓, 其剪力破壞面會交叉, 因此安全剪力會低於 2575kgf, 依理論分析結果 (表 9-6), 要充分發揮 M20 化學錨栓的抗剪強度, 其最小邊距至少為 291.55 mm (29.16 cm)。因此, 間距 25 cm 的安全剪力只有 1941kgf。
 $48 \times 1941\text{kgf} = 93168\text{kgf} = 93.17\text{t}$

大概只有原預估值 (123.60t) 的 75% 而已。

表 9-3 M8~M12 化學錨栓拉力強度理論值之計算表 (kgf)

(一) 當化學錨栓四邊之最小邊距 $c_1 \geq 1.5h_{ef}$										
化學錨栓編號	M8			M10			M12			
鋼材桿件直徑 d_0 (mm)	8			10.5			12			
鋼材桿件斷面積 A_{sc} (cm ²)	0.503			0.866			1.131			
鋼材桿件降伏應力 f_y (kgf/cm ²)	4200			4200			4200			
鋼材桿件抗拉應力 f_{ut} (kgf/cm ²)	6300			6300			6300			
混凝土抗壓應力 f_c' (kgf/cm ²)	210	280	350	210	280	350	210	280	350	
化學錨栓埋設深度 h_{ef} (mm)	75	75	75	95	95	95	105	105	105	
化學錨栓之最小邊距 (mm)	112.5	112.5	112.5	142.5	142.5	142.5	157.5	157.5	157.5	
化學錨栓之最小間距 (mm)	225	225	225	285	285	285	315	315	315	
(A) $N_s = A_{sc} f_y$	2113			3637			4750			
(B) $N_m = 100(\pi d_0) h_{ef}$	1885	1885	1885	3134	3134	3134	3958	3958	3958	
(C) $N_{cb} = N_b = 7.187 \sqrt{f_c'} h_{ef}^{1.5}$	2139	2470	2762	3050	3521	3937	3544	4092	4575	
$N_n = \min(N_s, N_m, N_{cb})$	1885	1885	1885	3050	3134	3134	3544	3958	3958	
化學錨栓破壞模式	(B)	(B)	(B)	(C)	(B)	(B)	(C)	(B)	(B)	
化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	628	628	628	1017	1045	1045	1181	1319	1319	
與表 9-1 (廠商建議值) 之比較	498	582	667	747	873	1000	996	1165	1333	
與表 9-2 (廠商建議值) 之比較	—	—	—	1065	1065	1065	1583	1583	1583	
(二) 當化學錨栓單邊之最小間距 $c_1 < 1.5h_{ef}$ 時 $N_{cb} = (A_v/A_{v0}) N_b$, $A_v = (c_1 + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef})$, $A_{v0} = 9 h_{ef}^2$ 。										
(1)	(C) $c_1 = 100$ mm 時之 N_{cb}	2020	2333	2609	2595	2996	3350	2897	3345	3740
	$N_n = \min(N_s, N_m, N_{cb})$	1885	1885	1885	2595	2996	3134	2897	3345	3740
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	628	628	628	865	999	1045	966	1115	1247
(2)	(C) $c_1 = 80$ mm 時之 N_{cb}	1830	2113	2363	2381	2749	3074	2672	3085	3449
	$N_n = \min(N_s, N_m, N_{cb})$	1830	1885	1885	2381	2749	3074	2672	3085	3449
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	610	628	628	794	916	1025	891	1028	1150
(三) 當化學錨栓雙邊之最小間距 $c_1 = c_2 < 1.5h_{ef}$ 時 $N_{cb} = (A_v/A_{v0}) N_b$, $A_v = (c_1 + 1.5h_{ef})^2$, $A_{v0} = 9 h_{ef}^2$ 。										
(1)	(C) $c_1 = c_2 = 100$ mm 時之 N_{cb}	1908	2203	2464	2208	2549	2850	2368	2734	3057
	$N_n = \min(N_s, N_m, N_{cb})$	1885	1885	1885	2208	2549	2850	2368	2734	3057
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	628	628	628	736	850	950	789	911	1019
(2)	(C) $c_1 = c_2 = 80$ mm 時之 N_{cb}	1566	1808	2022	1859	2146	2400	2015	2326	2601
	$N_n = \min(N_s, N_m, N_{cb})$	1566	1808	1885	1859	2146	2400	2015	2326	2601
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	522	603	628	620	715	800	672	775	867

表 9-4 M16~M24 化學錨栓拉力強度理論值之計算表 (kgf)

(一) 當化學錨栓四邊之最小邊距 $c_1 \geq 1.5h_{ef}$										
化學錨栓編號	M16			M20			M24			
鋼材桿件直徑 d_0 (mm)	16			20			24			
鋼材桿件斷面積 A_{se} (cm ²)	2.011			3.142			4.524			
鋼材桿件降伏應力 f_y (kgf/cm ²)	4200			4200			4200			
鋼材桿件抗拉應力 f_{ut} (kgf/cm ²)	6300			6300			6300			
混凝土抗壓應力 f'_c (kgf/cm ²)	210	280	350	210	280	350	210	280	350	
化學錨栓埋設深度 h_{ef} (mm)	135	135	135	170	170	170	210	210	210	
化學錨栓之最小邊距 (mm)	202.5	202.5	202.5	255	255	255	315	315	315	
化學錨栓之最小間距 (mm)	405	405	405	510	510	510	630	630	630	
(A) $N_s = A_{se} f_y$	8446			13196			19001			
(B) $N_{pn} = 100(\pi d_0) h_{ef}$	6786	6786	6786	10681	10681	10681	15834	15834	15834	
(C) $N_{cb} = N_b = 7.187\sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5}$	5166	5965	6669	7300	8429	9424	10023	11573	12939	
$N_n = \min(N_s, N_{pn}, N_{cb})$	5166	5965	6669	7300	8429	9424	10023	11573	12939	
化學錨栓破壞模式	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	
化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	1722	1988	2223	2433	2810	3141	3341	3858	4313	
與表 9-1 (廠商建議值) 之比較	1660	1941	2222	2490	2912	3333	3569	4173	4778	
與表 9-2 (廠商建議值) 之比較	2075	2075	2075	3808	3808	3808	4941	4941	4941	
(二) 當化學錨栓單邊之最小間距 $c_1 < 1.5h_{ef}$ 時 $N_{cb} = (A_N/A_{N0}) N_b$, $A_N = (c_1 + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef})$, $A_{N0} = 9 h_{ef}^2$										
(1)	(C) $c_1 = 100$ mm 時之 N_{cb}	3859	4455	4981	5081	5867	6560	6602	7623	8523
	$N_n = \min(N_s, N_{pn}, N_{cb})$	3859	4455	4981	5081	5867	6560	6602	7623	8523
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	1286	1485	1660	1694	1956	2187	2201	2541	2841
(2)	(C) $c_1 = 80$ mm 時之 N_{cb}	3603	4161	4652	4795	5537	6190	6284	7256	8112
	$N_n = \min(N_s, N_{pn}, N_{cb})$	3603	4161	4652	4795	5537	6190	6284	7256	8112
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	1201	1387	1551	1598	1846	2063	2095	2419	2704
(三) 當化學錨栓雙邊之最小間距 $c_1 = c_2 < 1.5h_{ef}$ 時 $N_{cb} = (A_N/A_{N0}) N_b$, $A_N = (c_1 + 1.5h_{ef})^2$, $A_{N0} = 9 h_{ef}^2$										
(1)	(C) $c_1 = c_2 = 100$ mm 時之 N_{cb}	2882	3328	3721	3537	4084	4566	4349	5022	5615
	$N_n = \min(N_s, N_{pn}, N_{cb})$	2882	3328	3721	3537	4084	4566	4349	5022	5615
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	961	1109	1240	1179	1361	1522	1450	1674	1872
(2)	(C) $c_1 = c_2 = 80$ mm 時之 N_{cb}	2514	2902	3245	3150	3637	4066	3940	4549	5086
	$N_n = \min(N_s, N_{pn}, N_{cb})$	2514	2902	3245	3150	3637	4066	3940	4549	5086
	化學錨栓容許拉力 ($N_n/3$)	838	967	1082	1050	1212	1355	1313	1516	1695

表 9-5 M8~M12 化學錨栓剪力強度理論值之計算表 (kgf)

(一) 當化學錨栓埋置於深厚構件且遠離受剪力方向邊緣時，其所需最小邊距 c_1 $V_b=1.86(L/d_0)^{0.2}\sqrt{d_0}\sqrt{f_c'}(c_1)^{1.5}$									
化學錨栓編號	M8			M10			M12		
鋼材桿件直徑 d_0 (mm)	8			10.5			12		
鋼材桿件斷面積 A_{se} (cm ²)	0.503			0.866			1.131		
鋼材桿件降伏應力 f_y (kgf/cm ²)	4200			4200			4200		
鋼材桿件抗拉應力 f_{ut} (kgf/cm ²)	6300			6300			6300		
(D) $V_s=0.6A_{se}f_y$	1268			2182			2850		
混凝土抗壓應力 f_c' (kgf/cm ²)	210	280	350	210	280	350	210	280	350
化學錨栓埋設深度 h_{ef} (mm)	75	75	75	95	95	95	105	105	105
$L=h_{ef}\leq 8d_0$ (mm)	64			84			96		
(E) $V_b=V_s=0.6A_{se}f_{ut}$ 所需之 最小邊距 c_1 (mm)	152.85	138.87	128.92	200.54	182.21	169.15	229.20	208.24	193.31
(E') $V_b=V_s=0.6A_{se}f_y$ 所需之 最小邊距 c_1 (mm)	116.69	106.02	98.42	153.04	139.05	129.08	174.91	158.92	147.52
化學錨栓最小間距 $3c_1$ (mm)	350.07	318.06	295.26	459.12	417.15	387.24	524.73	476.76	442.56
$V_n=\min(V_s, V_b)$	1268	1268	1268	2182	2182	2182	2850	2850	2850
化學錨栓容許剪力 ($V_n/3$)	423	423	423	727	727	727	950	950	950
與表 9-1 (廠商建議值) 之 比較	410	410	410	668	668	668	858	858	858
(二) 當化學錨栓埋置於深厚構件，但受剪力方向之邊距 c 小於所需最小邊距 c_1 $V_{cb}=(A_v/A_{v0})V_b \quad A_v=4.5c^2 \quad A_{v0}=4.5c_1^2$									
(1)	(E) $c=350$ mm時之 V_{cb}								
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)								
(2)	(E) $c=300$ mm時之 V_{cb}								
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)								
(3)	(E) $c=250$ mm時之 V_{cb}								
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)								
(4)	(E) $c=200$ mm時之 V_{cb}								
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)								
(5)	(E) $c=150$ mm時之 V_{cb}				2096	2539		2096	2539
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)				699	846		699	846
(6)	(E) $c=100$ mm時之 V_{cb}	932	1128	1310	932	1128	1310	932	1128
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	312	376	437	312	376	437	312	376
(7)	(E) $c=80$ mm時之 V_{cb}	596	722	838	596	722	838	596	722
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	199	241	279	199	241	279	199	241

表 9-6 M16~M24 化學錨栓剪力強度理論值之計算表 (kgf)

(二) 當化學錨栓埋置於深厚構件且遠離受剪力方向邊緣時, 其所需最小邊距 c_1 $V_b=1.86(L/d_0)^{0.2}\sqrt{d_0}\sqrt{f_c'}(c_1)^{1.5}$									
化學錨栓編號	M16			M20			M24		
鋼材桿件直徑 d_0 (mm)	16			20			24		
鋼材桿件斷面積 A_{se} (cm ²)	2.011			3.142			4.524		
鋼材桿件降伏應力 f_y (kgf/cm ²)	4200			4200			4200		
鋼材桿件抗拉應力 f_{ut} (kgf/cm ²)	6300			6300			6300		
(D) $V_s=0.6A_{se}f_{ut}$ (0.6 $A_{se}f_y$)	7601 (5068)			11877 (7918)			17100 (11400)		
混凝土抗壓應力 f_c' (kgf/cm ²)	210	280	350	210	280	350	210	280	350
化學錨栓埋設深度 h_{ef} (mm)	135	135	135	170	170	170	210	210	210
$L=h_{ef}\leq 8d_0$ (mm)	128			160			192		
(E) $V_b=V_s=0.6A_{se}f_{ut}$ 所需之 最小邊距 c_1 (mm)	305.62	277.68	257.77	382.04	347.10	322.22	458.39	416.48	386.62
(E') $V_b=V_s=0.6A_{se}f_y$ 所需之 最小邊距 c_1 (mm)	233.25	211.92	196.73	291.55	264.89	245.90	349.82	317.83	295.05
化學錨栓最小間距 $3c_1$ (mm)	699.75	635.76	590.19	874.65	794.67	737.70	1049.46	953.49	885.15
$V_n=\min(V_s, V_b)$	5068	5068	5068	7918	7918	7918	11400	11400	11400
化學錨栓容許剪力 ($V_n/3$)	1689	1689	1689	2639	2639	2639	3800	3800	3800
與表 9-1 (廠商建議值) 之 比較	1516	1594	1673	2575	2708	2841	3548	3731	3914
(二) 當化學錨栓埋置於深厚構件, 但受剪力方向之邊距 c 小於所需最小邊距 c_1 $V_{cb}=(A_v/A_{v0})V_b$ $A_v=4.5c^2$ $A_{v0}=4.5c_1^2$									
(1)	(E) $c=350$ mm時之 V_{cb}								
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)								
(2)	(E) $c=300$ mm時之 V_{cb}	8384	10157	11786	8384	10157	11786	8384	10157
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	2795	3386	3929	2795	3386	3929	2795	3386
(3)	(E) $c=250$ mm時之 V_{cb}	5822	7053	8185	5822	7053	8185	5822	7053
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	1941	2351	2728	1941	2351	2728	1941	2351
(4)	(E) $c=200$ mm時之 V_{cb}	3726	4514	5238	3726	4514	5238	3726	4514
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	1242	1505	1746	1242	1505	1746	1242	1505
(5)	(E) $c=150$ mm時之 V_{cb}	2096	2539	2946	2096	2539	2946	2096	2539
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	699	846	982	699	846	982	699	846
(6)	(E) $c=100$ mm時之 V_{cb}	932	1128	1309	932	1128	1309	932	1128
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	311	376	436	311	376	436	311	376
(7)	(E) $c=80$ mm時之 V_{cb}	596	722	838	596	722	838	596	722
	化學錨栓容許拉力 ($V_{cb}/3$)	199	241	279	199	241	279	199	241

第十章 結論與建議

10-1 結論

鋼筋混凝土桿件結構補強，必須由設計、監造及施工單位等三方面密切配合，才能達到預期的補強效果。施工單位若無法瞭解補強設計者的設計理念，則實際補強效果必定大打折扣。反之，若設計單位無法瞭解實際施工上的限制，則其設計強度也很難完全發揮。本研究計劃所訂定的結構桿件補強準則、施工步驟及監造要點等，可作為工程界之參考。

此外，結構補強用的化學錨栓，是屬於後置型錨栓，受制於現場施工時的邊距及間距限制，其拉力或剪力破壞面會交叉，因此強度不如預期，特別是在柱樑接頭部份、或錨栓間距太小、或錨栓距離桿件邊緣太近時。本研究計劃依據 ACI 355.2 之規定加以修正，建立一套化學錨栓抗拉及抗剪強度的理論計算公式，以作為結構補強設計時之參考。

10-2 建議

化學錨栓是結構補強設計及施工上常用的剪力連結物，然而其抗拉或抗剪強度試驗值（或廠商建議值），是在破壞面沒有交叉的狀況下所得的試驗結果。在補強施工實務上，化學錨栓的邊距與間距均會使其破壞面交叉重疊，因而降低化學錨栓的抗拉及抗剪強度。本計劃所建立的理論計算公式，在沒有邊距與間距的限制下，是與廠商的建議值差異不大。但若有邊距與間距的限制時，仍需進一步進行試驗研究。

參考文獻

- 【1】“阪神大地震後日本 RC 建築之耐震診斷與補強研討會資料”，國家地震工程研究中心，國立台灣大學應用力學館國際會議廳，民國 89 年 3 月 20 日。
- 【2】高橋敏夫、西田哲池，“補強要領”，建築物耐震評估及補強研討會資料集，內政部營建署（2000）。
- 【3】財團法人中華建築中心，“震後受損鋼筋混凝土建築物緊急修復及補強技術手冊”，科技圖書（2000）。
- 【4】邱秀吉，「鋼板補強工法」，震災後建築物補強技術研討會，台灣省土木技師公會（1999.10）。
- 【5】勇凱，“耐震補強技術淺論”，土木技術期刊，第 14 期（2000.4）。
- 【6】吳傳威、蕭興臺、李俊宏，“921 集集大地震後建築物補強實錄及探討”，關懷集集與嘉義大地震災害研討會論文集，國立台北科技大學（2000）。
- 【7】曾一平、吳志強、陳清祥，“震災後建築物結構補強實例”，慶祝八十九年度土木日百年大地震周年研討會講義，台灣省土木技師公會（2000）。
- 【8】Huang, Chin-Chi. “Examples of RC Structures Reinforced by Steel Plate”, Proc. National Earthq. Conf., Tainan, Taiwan, A87~A108, (1999).
- 【9】Huang, Chin-Chi, “Examples and Reinforcing Strategies of High-Rise Steel Buildings After Conflagration”, Proc. High-Rise Buildings Fire-Proof Conf., Kaushung, Taiwan, P.68-P.84, (2000).
- 【10】Huang, Chin-Chi, “Reinforcing Design on Structures”, (2001).
- 【11】劉玉文，“預鑄翼牆用於提昇受損及舊有 RC 構架耐震能力之研究” 國科會研究報告，(2003)。

- 【12】劉文欽、康繼仁，”鋼筋混凝土構架震後之補強試驗及其效果分析—包覆工法”，成大建研所碩士論文，1996年。
- 【13】王庭華，”建築物結構耐震補強工法及經費之比較研究”，國立台北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文，(2002)。
- 【14】蔡忠吉，”震害受損建築物之評估與補強”，淡江大學土木工程研究所碩士論文，(2000)。
- 【15】日本建築學會，”Design and Construction Guideline of Continuous Fiber Reinforced Concrete”，日本建築學會出版，2002年。
- 【16】日本建築學會，”Recommendations for Practice of Crack Control in Reinforced Concrete Structures (Design and Construction)”，日本建築學會出版，2002年。
- 【17】日本建築學會，”建築工事標準仕様書・同解説 JASS1 一般共通事項”，日本建築學會出版，2002年。
- 【18】黃世建、蕭興臺等，”學校建築常見之損壞現象及修復補強策略探討”，內政部建築研究所研究報告，85年。
- 【19】何明錦、吳傳威、彭添富、蕭興臺、王淑娟、鄒本駒、楊慕忠，”鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編”，內政部建築研究所，民國87年6月30日。
- 【20】丁育群、陳宗禮，”鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編(二)”，內政部建築研究所，民國89年4月。
- 【21】蕭江碧、顏聰、黃玉麟，”九二一地震震壞建築物耐震能力個案分析及改善建議”，內政部建築研究所，民國90年12月。
- 【22】中國土木水利工程學會，”混凝土工程設計規範與解說”，科技圖書公司，1999。

- 【23】Lutz,L., "Discussion to Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," ACI Structural Journal, Nov-Dec. 1995, pp. 791-792, Also authors' closure, pp. 798-799.
- 【24】Zhang Y., "Dynamic Behavior of Multiple Anchor Connections in Cracked Concrete," PhD dissertation, The University of Texas at Austin, Aug. 1997.
- 【25】PCI Design Handbook, 5th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1999.
- 【26】Farrow, C. B., and Klingner, R. E., "Tensile Capacity of Anchors with Partial or Overlapping Failure surfaces: Evaluation of Existing Formulas on an LRFD Basis," ACI Structural Journal, V. 92, No. 6, Nov.-Dec. 1995, pp.698-710.

附錄 A

混凝土結構補強用化學錨栓（草案）

附錄 A 混凝土結構補強用化學錨栓（草案）

A.1 符號

- A_{N0} = 計算混凝土拉破強度時（當邊距或間距不是控制因素，即 $c_1 \geq 1.5h_{ef}$ ），單根化學錨栓所產生混凝土拉力破壞面之投影面積， cm^2 。 $A_{N0} = 9h_{ef}^2$ 。
 A_N = 計算混凝土拉破強度時，單根化學錨栓或化學錨栓群（ n 根化學錨栓）之混凝土拉力破壞面之投影面積， cm^2 。 A_N 不得大於 nA_{N0} 。
 A_{se} = 化學錨栓之鋼材桿件有效斷面積， cm^2 。
 A_{V0} = 計算混凝土剪破強度時（當該強度不受角隅間距或桿件厚度影響），單根化學錨栓所產生混凝土剪力破壞面之投影面積， cm^2 。 $A_{V0} = 4.5c_1^2$ 。
 A_V = 計算混凝土剪破強度時，單根化學錨栓或化學錨栓群（ n 根化學錨栓）之混凝土剪力破壞面之投影面積， cm^2 。 A_V 不得大於 nA_{V0} 。
 c = 化學錨栓桿件中心到混凝土邊緣之距離， cm 。
 c_1 = 化學錨栓桿件中心到混凝土邊緣之距離， cm ；當剪力作用於化學錨栓時， c_1 是沿剪力方向之距離。
 c_2 = 化學錨栓桿件中心到混凝土邊緣（垂直於 c_1 ）之距離， cm 。
 c_{max} = 最大邊距， cm 。
 c_{min} = 最小邊距， cm 。
 d_0 = 化學錨栓之鋼材桿件直徑， cm 。
 e'_N = 化學錨栓群拉力之偏心距，偏心距係指化學錨栓群拉力與受拉力之化學錨栓群之形心距離， cm 。
 e'_v = 化學錨栓群剪力之偏心距，偏心距係指剪力作用點與化學錨栓群抵抗剪力方向之形心距離， cm 。
 f'_c = 混凝土之規定抗壓應力， kgf/cm^2 。
 f'_{ct} = 混凝土之規定抗拉應力， kgf/cm^2 。
 f_y = 化學錨栓鋼材桿件之規定降伏應力， kgf/cm^2 。
 f_{ut} = 化學錨栓鋼材桿件之規定抗拉應力， kgf/cm^2 。
 h_{ef} = 化學錨栓有效埋設深度， cm 。
 L = 化學錨栓之剪力載重承壓長度，不可超過 $8d_0$ ， cm 。化學錨栓之埋設全長具有相同勁度時，採用 h_{ef} 。
 n = 化學錨栓群之錨栓個數。
 N_b = 單根化學錨栓之基本混凝土拉破強度， kgf 。
 N_{cb} = 單根化學錨栓之混凝土拉破強度， kgf 。
 N_{cbg} = 化學錨栓群之混凝土拉破強度， kgf 。
 N_n = 拉力強度， kgf 。
 N_{pn} = 單根化學錨栓之拔出強度， kgf 。
 N_s = 由鋼材桿件拉力強度控制時之單根化學錨栓或化學錨栓群拉力強度， kgf 。
 N_u = 設計拉力， kgf 。
 V_b = 單根化學錨栓之基本混凝土剪破強度， kgf 。
 V_{cb} = 單根化學錨栓之混凝土剪破強度， kgf 。
 V_{cbg} = 化學錨栓群之混凝土剪破強度， kgf 。
 V_n = 剪力強度， kgf 。
 V_s = 由鋼材桿件剪力強度控制時之單根化學錨栓或化學錨栓群之剪力強度， kgf 。
 V_u = 設計剪力， kgf 。
 ϕ = 強度折減因數。
 Ψ_1 = 考量化學錨栓群偏心拉力載重時，計算混凝土拉破強度之修正因素。
 Ψ_2 = 考量化學錨栓群偏心剪力載重時，計算混凝土剪破強度之修正因素。

A.2 定義

化學錨栓

鋼材桿件以環氧樹脂類黏著劑，後置於已硬化之混凝土中，並且可以傳遞拉力及剪力。

化學錨栓群

一群化學錨栓，其有效埋設深度幾乎相同，且化學錨栓之間距小於三倍的埋設深度。

化學錨栓拔出強度

化學錨栓之鋼材桿件由混凝土拔出，而未造成化學錨栓鄰近四周混凝土破裂之強度。

混凝土拉破強度

單根化學錨栓或化學錨栓群承受拉力，而使四周混凝土因拉力破裂時之強度。

混凝土剪破強度

單根化學錨栓或化學錨栓群承受剪力，而使四周混凝土因剪力破裂時之強度。

混凝土撬破強度

短且勁度大之化學錨栓，在剪力作用方向之反側混凝土剝裂時之強度。

邊距

混凝土邊緣之表面到最接近之化學錨栓中心之距離。

有效埋設深度

化學錨栓傳力到四周混凝土之全部深度。有效埋置深度一般係指拉力作用下混凝土破壞面之深度。

邊緣面脹裂強度

具有較深之埋置長度，但是邊緣保護層厚度較薄，在化學錨栓側邊混凝土碎裂，而混凝土表面無破裂時之強度。

A.3 化學錨栓的破壞模式

化學錨栓的強度及破壞模式應考慮下列各項：

- (1) 化學錨栓的鋼材桿件拉力強度 (N_s)
- (2) 化學錨栓的鋼材桿件拔出強度 (N_{pn} 或 N_{png})
- (3) 化學錨栓的混凝土拉破強度 (N_{cb} 或 N_{cbg})
- (4) 化學錨栓拉力造成混凝土劈裂。
- (5) 化學錨栓拉力造成混凝土邊緣脹破。
- (6) 化學錨栓的鋼材桿件剪力強度 (V_s)
- (7) 化學錨栓的混凝土剪破強度 (V_{cb} 或 V_{cbg})
- (8) 化學錨栓剪力造成混凝土邊緣被化學錨栓撬破。

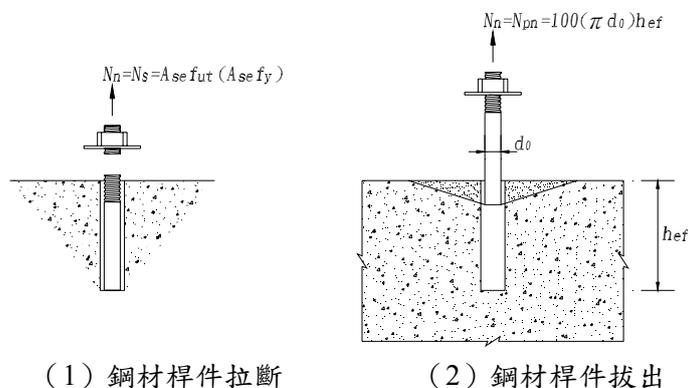


圖 A.1 化學錨栓的破壞模式

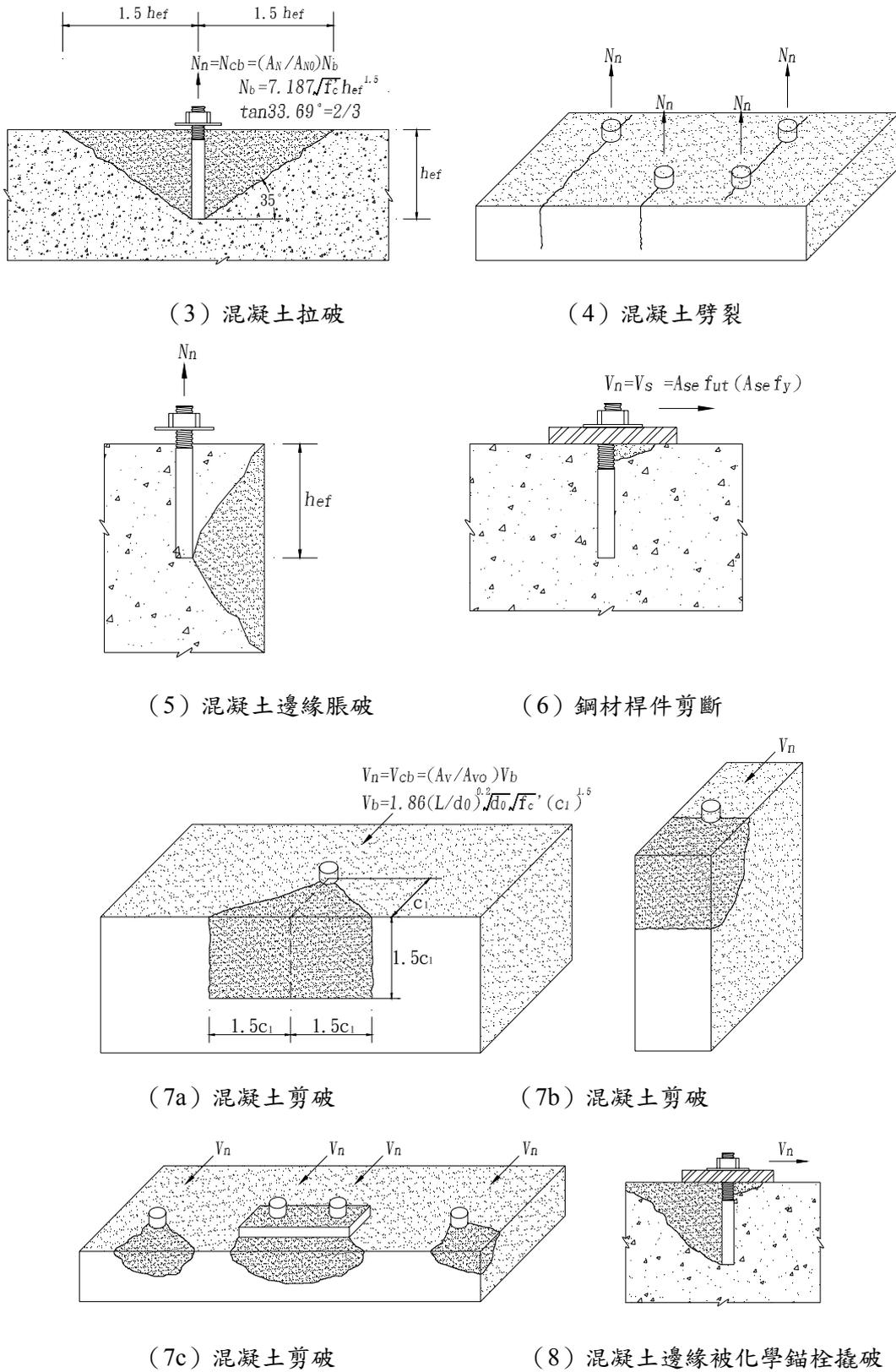


圖 A.1 化學錨栓的破壞模式 (續)

A.4 化學錨栓的最小強度與設計強度

化學錨栓的最小強度與設計強度如下：

$$\phi N_n \geq N_u \quad (\text{A-1})$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad (\text{A-2})$$

在式 (A-1) 和式 (A-2) 中， ϕN_n 和 ϕV_n 是所有破壞模式之最小強度。 ϕN_n 是單根化學錨栓或化學錨栓群的最小拉力強度，即 ϕN_s ， ϕN_{pn} (或 ϕN_{png})， ϕN_{cb} (或 ϕN_{cbg}) 之最小值。 ϕV_n 是單根化學錨栓或化學錨栓群之最小剪力強度，即 ϕV_s ， ϕN_{cb} (或 ϕN_{cbg}) 之最小值。

A.5 強度折減因數 ϕ

化學錨栓埋設於混凝土中，其強度折減因數 $\phi=1/3$

A.6 化學錨栓的最小拉力強度

A.6.1 化學錨栓鋼材桿件的拉力強度

化學錨栓鋼材桿件之拉力強度， N_s ，應依鋼材性質和桿件尺寸決定。

單根化學錨栓或化學錨栓群之拉力強度不可超過下式，

$$N_s = n A_{se} f_{ut} \quad (\text{或 } N_s = n A_{se} f_y) \quad (\text{A-3})$$

A.6.2 化學錨栓的拔出強度

單根化學錨栓之拔出強度 N_{pn} 不可超過下式，(環氧樹脂之黏著應力 = 100kgf/cm²)

$$N_{pn} = 100(\pi d_0) h_{ef} \quad (\text{A-4})$$

A.6.3 化學錨栓的混凝土拉破強度

單根化學錨栓或化學錨栓群之混凝土拉破強度， N_{cb} 或 N_{cbg} ，不可超過下式：

單根化學錨栓：

$$N_{cb} = (A_N / A_{N0}) N_b \quad (\text{A-5})$$

化學錨栓群：

$$N_{cbg} = \Psi_1 (A_N / A_{N0}) N_b \quad (\text{A-6})$$

A_N = 單根化學錨栓或化學錨栓群之混凝土拉力破壞面之投影面積，該面積近似由單根化學錨栓之中心或化學錨栓群之外圍錨栓之中心線向外 $1.5h_{ef}$ 所形成之破壞面，為四方形幾形投影。 A_N 不可超過 nA_{N0} ，其中 n 是化學錨栓群之錨栓數目。 A_{N0} 是單根化學錨栓之混凝土拉力破壞面遠離邊緣之投影面積，單根化學錨栓或化學錨栓群承受拉力時之抗拉投影面積。

$$A_{N0} = 9h_{ef}^2 \quad (\text{A-7})$$

單根化學錨栓之基本混凝土拉破強度 N_b 不可超過下式，

$$N_b = 7.187 \sqrt{f_c'} h_{ef}^{1.5} \quad (\text{A-8})$$

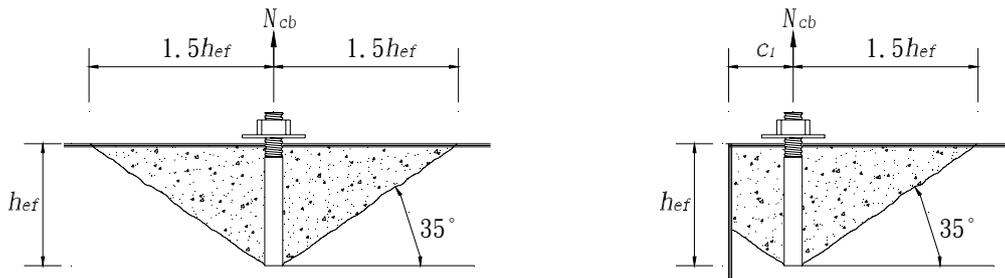
其中

N_b ：基本混凝土拉破強度，kgf
 f_c' ：混凝土之規定抗壓應力，kgf/cm²
 h_{ef} ：化學錨栓有效埋置深度，cm

化學錨栓群之偏心拉力載重修正係數

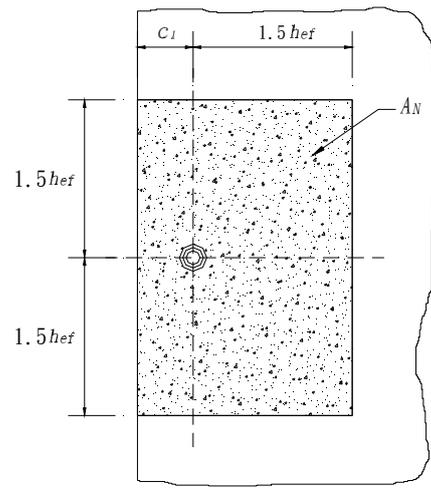
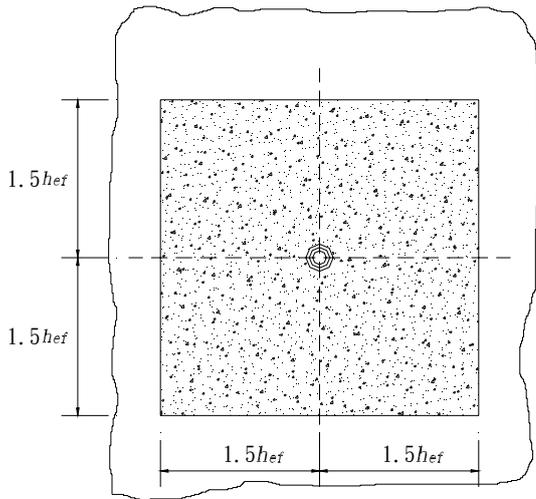
$$\Psi_1 = 1 / (1 + 2e'_N / 3h_{ef}) \leq 1 \quad (\text{A-9})$$

式 (A-9) 僅適用於 $e'_N \leq s/2$ 。當化學錨栓群中僅有某部份化學錨栓是拉力時決定式 (A-9) 之偏心值 e'_N 僅須要考量承受拉力之化學錨栓。



破裂角錐剖面圖

破裂角錐剖面圖



平面圖

平面圖

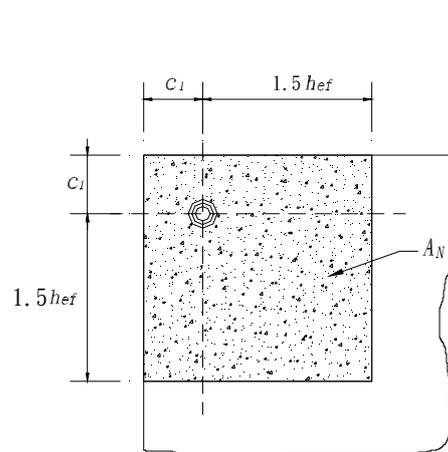
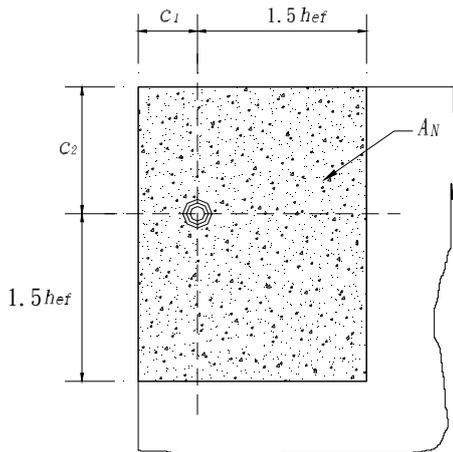
$$A_{N0} = (2 \times 1.5h_{ef}) (2 \times 1.5h_{ef}) = 9h_{ef}^2$$

$$A_N = (c_1 + 1.5h_{ef}) (2 \times 1.5h_{ef})$$

$c_1 < 1.5h_{ef}$ 時

(a) A_{N0} 之計算

(b) A_N 之計算



平面圖

平面圖

$$A_N = (c_1 + 1.5h_{ef}) (c_2 + 1.5h_{ef})$$

$c_1 < 1.5h_{ef}$ 且 $c_2 < 1.5h_{ef}$ 時

$$A_N = (c_1 + 1.5h_{ef})^2$$

$c_1 = c_2 < 1.5h_{ef}$ 時

(c) A_N 之計算

(d) A_N 之計算

圖 A.2 單根化學錨栓承受拉力時之投影面積 A_{N0} 及 A_N 之計算

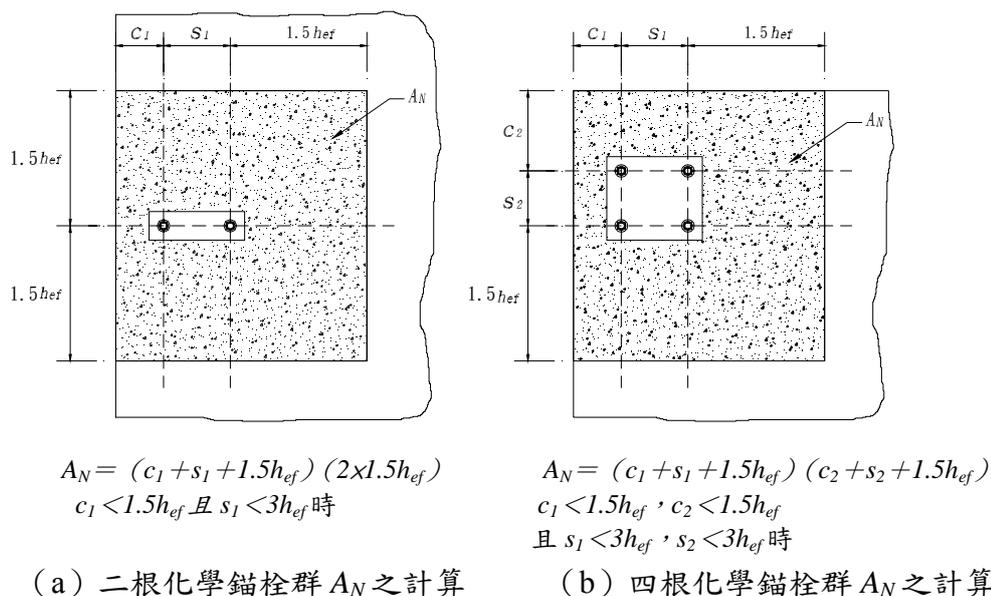


圖 A.3 化學錨栓群承受拉力時之總投影面積 A_N 之計算

A.7 化學錨栓的最小剪力強度

A.7.1 化學錨栓鋼材桿件的剪力強度

化學錨栓鋼材桿件之剪力強度， V_s ，應依鋼材性質和桿件尺寸決定。

單根化學錨栓或化學錨栓群之剪力強度不可超過下式：

$$V_s = 0.6nA_{se}f_{ut} \quad (\text{或 } N_s = 0.6nA_{se}f_y) \quad (\text{A-10})$$

A.7.2 化學錨栓的混凝土剪破強度

單根化學錨栓或化學錨栓群之混凝土剪破強度， V_{cb} 或 V_{cbg} ，不可超過下式：

- (1) 單根化學錨栓其剪力受力方向垂直於邊緣

$$V_{cb} = (A_V/A_{V0}) V_b \quad (\text{A-11})$$

- (2) 化學錨栓群其剪力受力方向垂直於邊緣

$$V_{cbg} = \Psi_2 (A_V/A_{V0}) V_b \quad (\text{A-12})$$

- (3) 當剪力受力方向平行於邊緣， V_{cb} 或 V_{cbg} 分別為式 (A-11) 或 (A-12) 計算值之二倍。

- (4) 當化學錨栓位於角落時，其混凝土剪破強度依各邊距分別計算，並取最小值。

V_b 是單根化學錨栓之基本混凝土剪破強度。 A_V 是單根化學錨栓或化學錨栓群在混凝土構件邊緣之破壞面投影面積。其面積取構件面半角錐之截頭面積，半角錐之頂點選取於錨栓桿軸心且為最臨界之點。 c_1 值為該軸至邊緣之距離。 A_V 不可大於 nA_{V0} ，其中 n 是錨栓群之數目。

A_{V0} 是埋置於深厚構件且遠離受剪力方向邊緣之單根化學錨栓之投影面積。其面積係由平行於邊緣之邊長為 $3c_1$ ，深度為 $1.5c_1$ 之半角錐依據式 (A-13) 算得：

$$A_{V0} = 4.5(c_1)^2 \quad (\text{A-13})$$

其中錨栓埋置於距離邊距各種距離，而且錨栓焊於附掛桿上，其受力可均分佈於各錨栓上。錨栓強度評估時取距邊緣最遠的錨栓列。所有剪力假設僅由此臨界錨栓列承受。

單根化學錨栓基本之混凝土剪破強度 V_b 不可超過

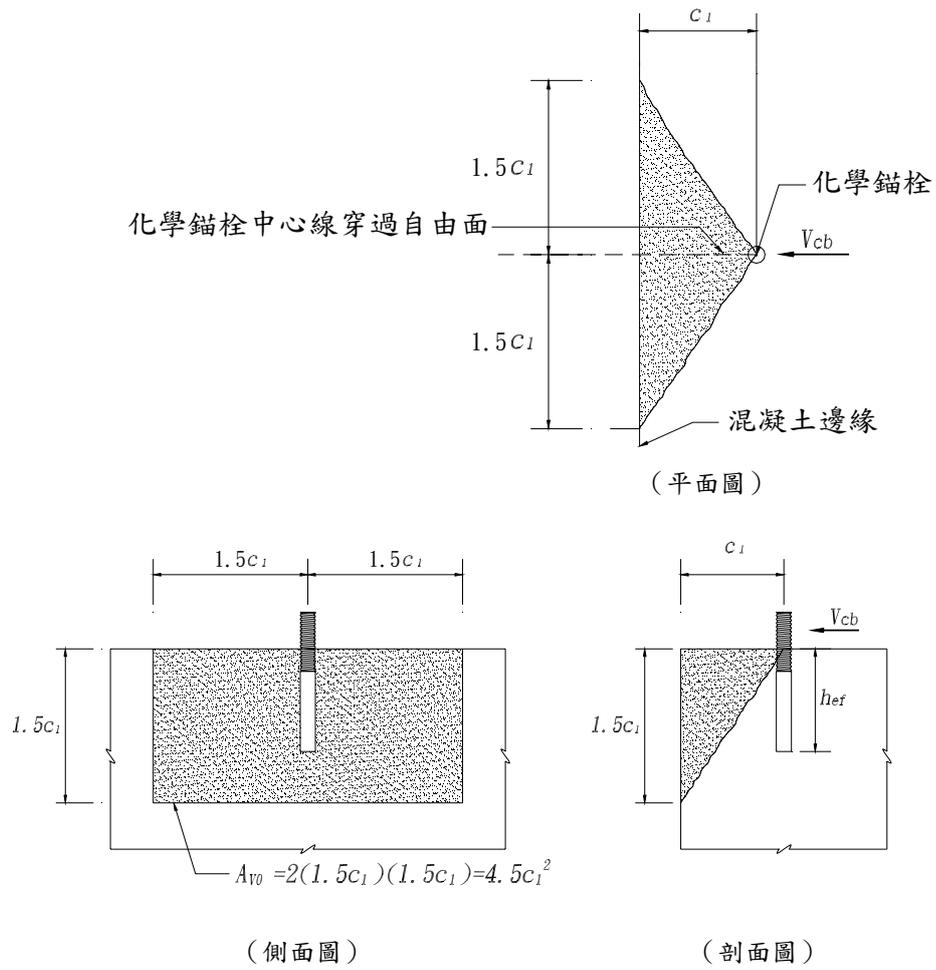
$$V_b = 1.86(L/d_0)^{0.2} \sqrt{d_0} \sqrt{f_c'} (c_1)^{1.5} \quad (\text{A-14})$$

在特殊情況下，錨栓強度受到三邊以上影響時，其邊距限制為 $h/1.5$ 。

化學錨栓群偏心載重之修正因數

$$\Psi_2 = 1 / (1 + 2e'_v / 3c_1) \leq 1 \quad (\text{A-15})$$

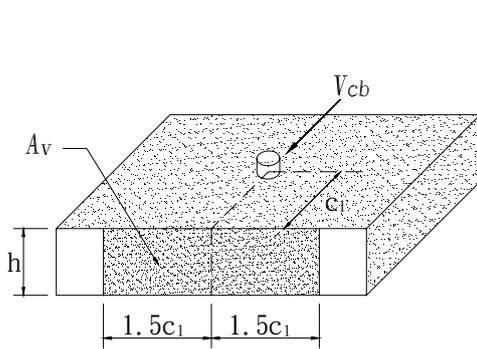
式 (A-15) 僅適用於 $e'_v \leq s/2$ 。



(a) A_{v0} 之計算

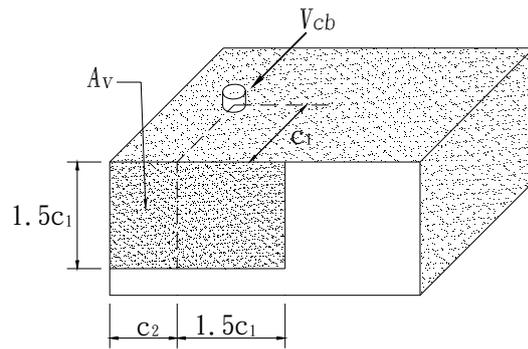
當 $h < 1.5c_1$

當 $c_2 < 1.5c_1$



$$A_v = 2(1.5c_1)h$$

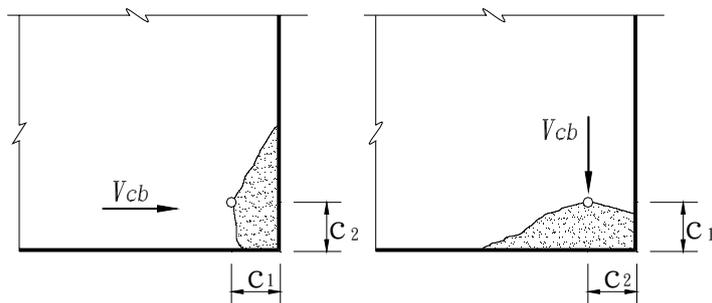
(b) A_v 之計算



$$A_v = (1.5c_1 + c_2)(1.5c_1)$$

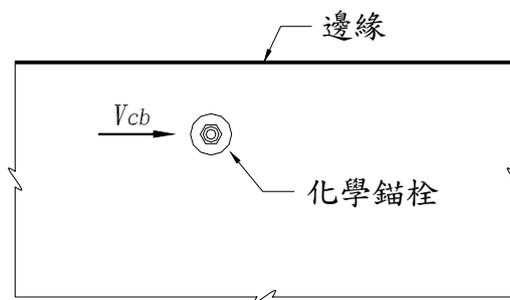
(c) A_v 之計算

圖 A.4 單根化學錨栓承受剪力時之投影面積 A_{v0} 及 A_v 之計算



(平面圖)

圖 A.5 位於角隅之化學錨栓剪破強度應分別計算

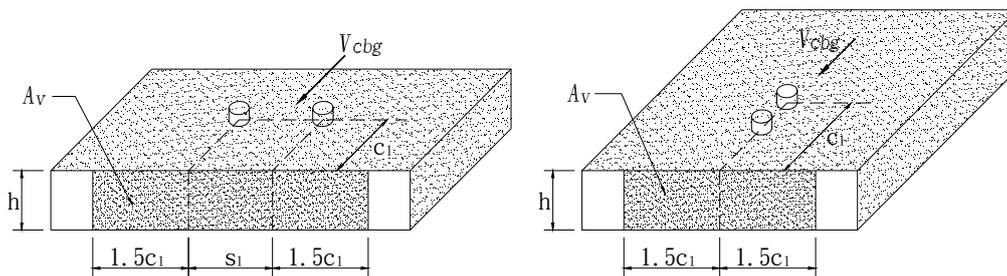


(平面圖)

圖 A.6 平行邊緣之化學錨栓具有雙倍剪破強度

當 $h < 1.5c_1$ 且 $s_1 < 3c_1$

當 $h < 1.5c_1$



$$A_V = [2(1.5c_1) + s_1]h$$

$$A_V = 2(1.5c_1)h$$

(a) 二根化學錨栓群 A_V 之計算

(b) 二根化學錨栓群 A_V 之計算

圖 A.7 化學錨栓群承受剪力時之總投影面積 A_V 之計算

A.8 拉力與剪力互制作用

化學錨栓或化學錨栓群承受拉力與剪力作用時，其互制曲線如圖所示：

當 $V_u \leq 0.2 \phi V_n$ 時，全部拉力強度為有效，即 $\phi N_n \geq N_u$ 。

當 $N_u \leq 0.2 \phi N_n$ 時，全部剪力強度為有效，即 $\phi V_n \geq V_u$ 。

當 $V_u > 0.2 \phi V_n$ 和 $N_u > 0.2 \phi N_n$ 時，依下式計算

$$(N_u / \phi N_n) + (V_u / \phi V_n) \leq 1.2 \quad (\text{A-16})$$

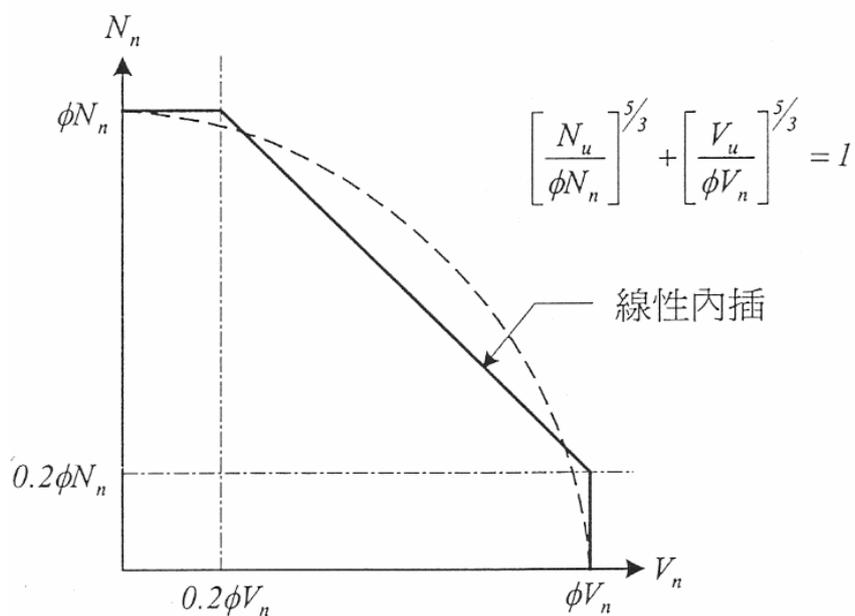


圖 A.8 拉力與剪力互制曲線

附錄 B

其他型式的結構補強

B.1 牆加厚補強工法【牆剪力、彎矩、軸力補強】

(一) 施工步驟

- (1) 敲除粉刷層及鬆動混凝土。
- (2) 打設鋼釘或植筋以加強新舊混凝土界面黏著性。
- (3) 鋼筋混凝土樑柱四週植筋。
- (4) 組立鋼絲網或鋼筋。
- (5) 封模並預留混凝土灌漿口。
- (6) 灌注混凝土。
- (7) 拆模養護，粉刷。

(二) 監造要點

- (1) 牆增加的厚度一般均不厚(約 10~20cm)，故其澆置混凝土時應注意避免產生孔隙(蜂窩)。
- (2) 澆置混凝土時，需自樓版底至梁頂確實灌漿不可留有空隙，因此組立模板時，需於頂端預留喇叭口，待澆置完成以後再將頂端突出部分敲除。

解說：原結構系統中，增加原有鋼筋混凝土牆的厚度可提升牆之勁度及強度，進而可提升總體結構物之耐震能力。如圖 B.1。增牆厚可能減少柱之韌性應審慎考量。

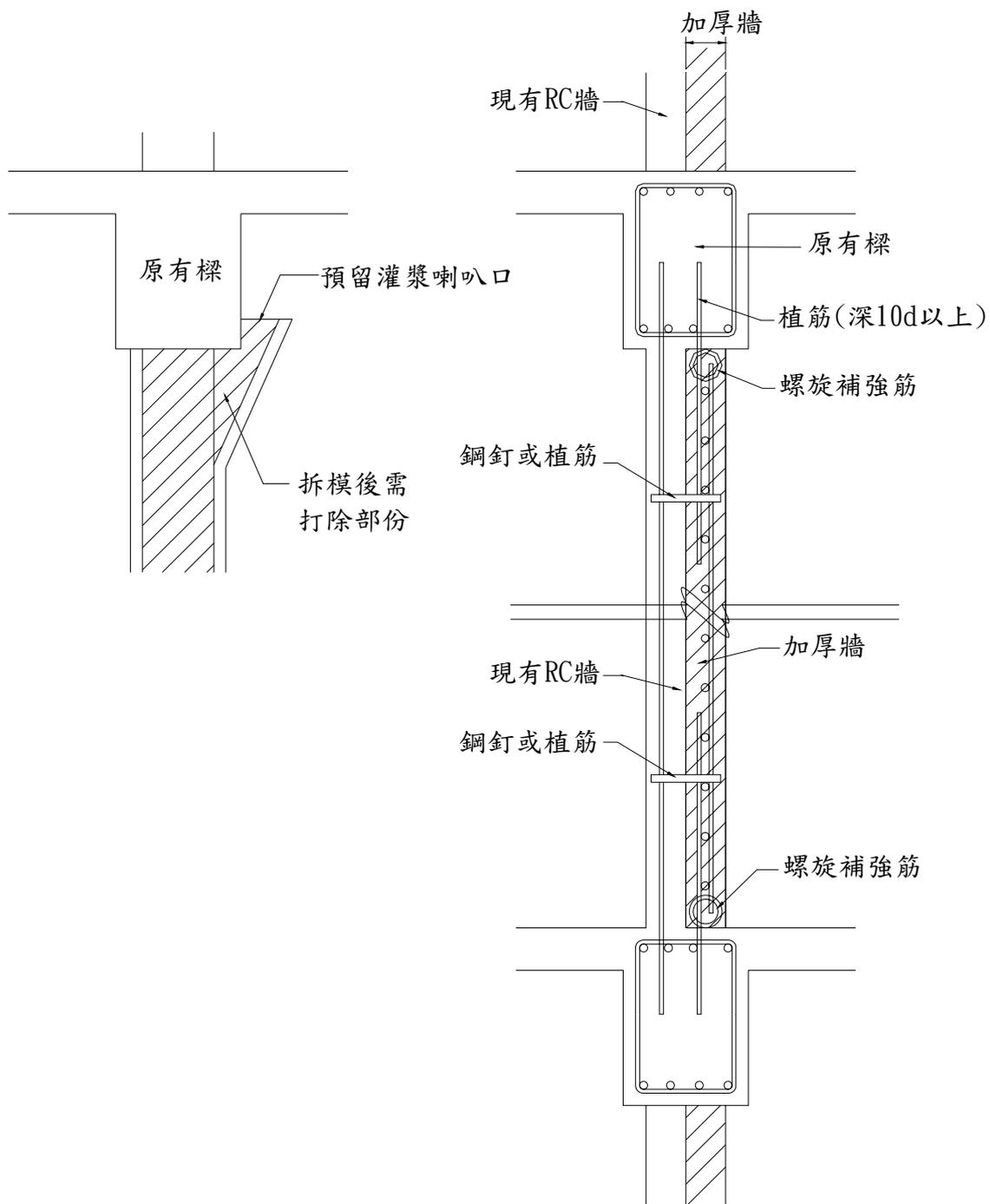


圖 B.1 牆加厚補強工法【牆剪力、彎矩、軸力補強】

B.2 加設剪力牆補強工法

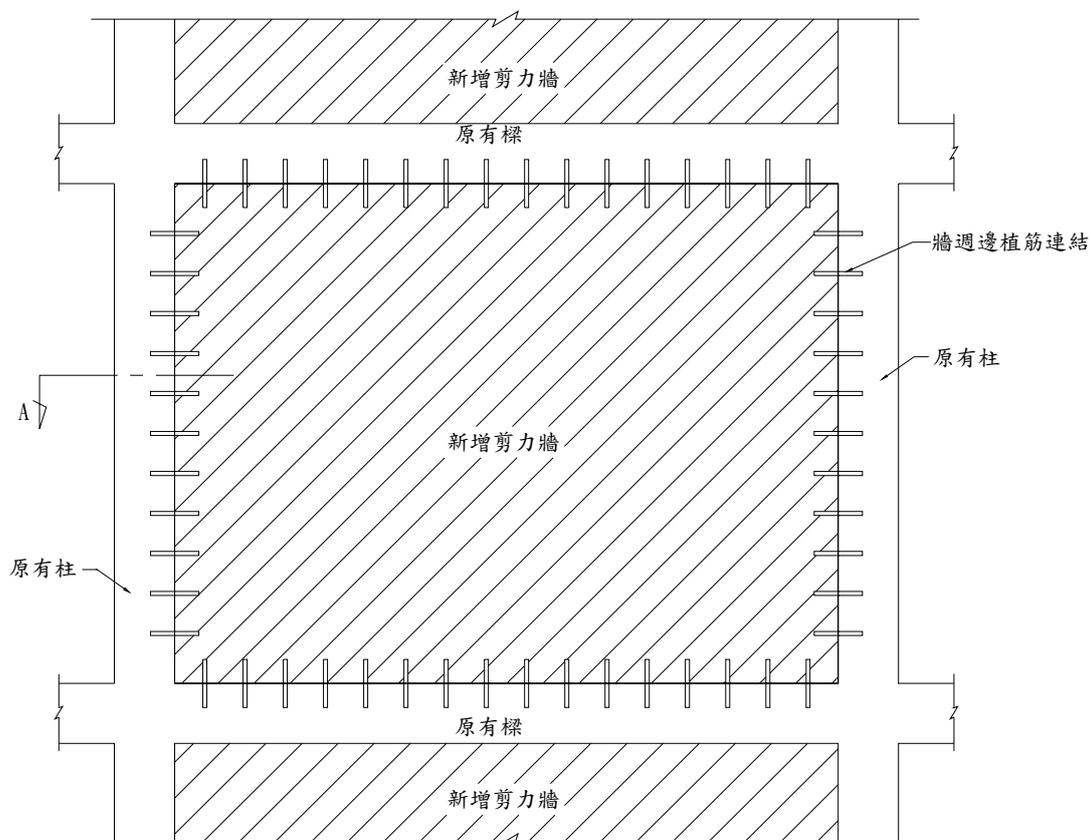
(一) 施工步驟

- (1) 確定欲增加剪力牆之位置及樓層後，若原有磚牆存在時，必須將磚牆先行敲除。
- (2) 然後將剪力牆相接之樑柱部分之粉刷層敲除乾淨後，依所需之鋼筋量植筋。
- (3) 待鋼筋及模板組立完成後灌漿。

(二) 監造要點

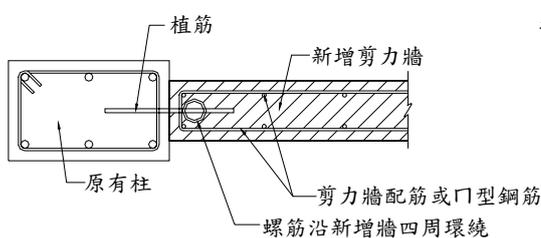
- (1) 牆增加的厚度一般均不厚(約 10~20cm)，故其澆置混凝土時應注意避免產生孔隙(蜂窩)。
- (2) 澆置混凝土時，需自樓版底至梁頂確實灌漿不可留有空隙，因此組立模板時，需於頂端預留喇叭口，待澆置完成以後再將頂端突出部分敲除。
- (3) 增設之剪力牆必須自增設樓層起，一直向下增設至基礎部分為止，以確保應力能夠順利傳遞至基礎。

解說：對於樑柱系統而言，當其側向抗剪能力不足，或側向勁度不足時，於樑、柱間增設剪力牆，是一種有效的改善方法。此補強方式主要是藉著所增設的剪力牆本身之抗剪強度及側向勁度，以改善整個結構系統，並減輕樑、柱構件之負擔，如圖 B.2。不過，增設了剪力牆之後，結構體在剪力牆附近之勁度增大，會導致外力皆集中於此處。因此與剪力牆相連接之樑柱，必須針對彎矩及剪力強度加以檢核。此外，亦必須檢核與剪力牆相連接之基礎，是否因外力集中或增加，而產生傾覆(overturning)或基礎上揚(uptifting)的可能。



增設剪力牆補強詳圖

註：新增之剪力牆與原有結構樑、柱相接處，須植筋與之連接。



A-A剖面

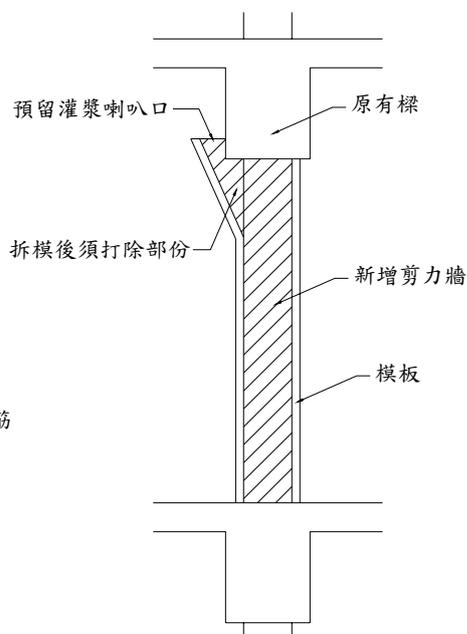


圖 B.2 增設剪力牆補強工法

B.3 增設中間柱補強工法

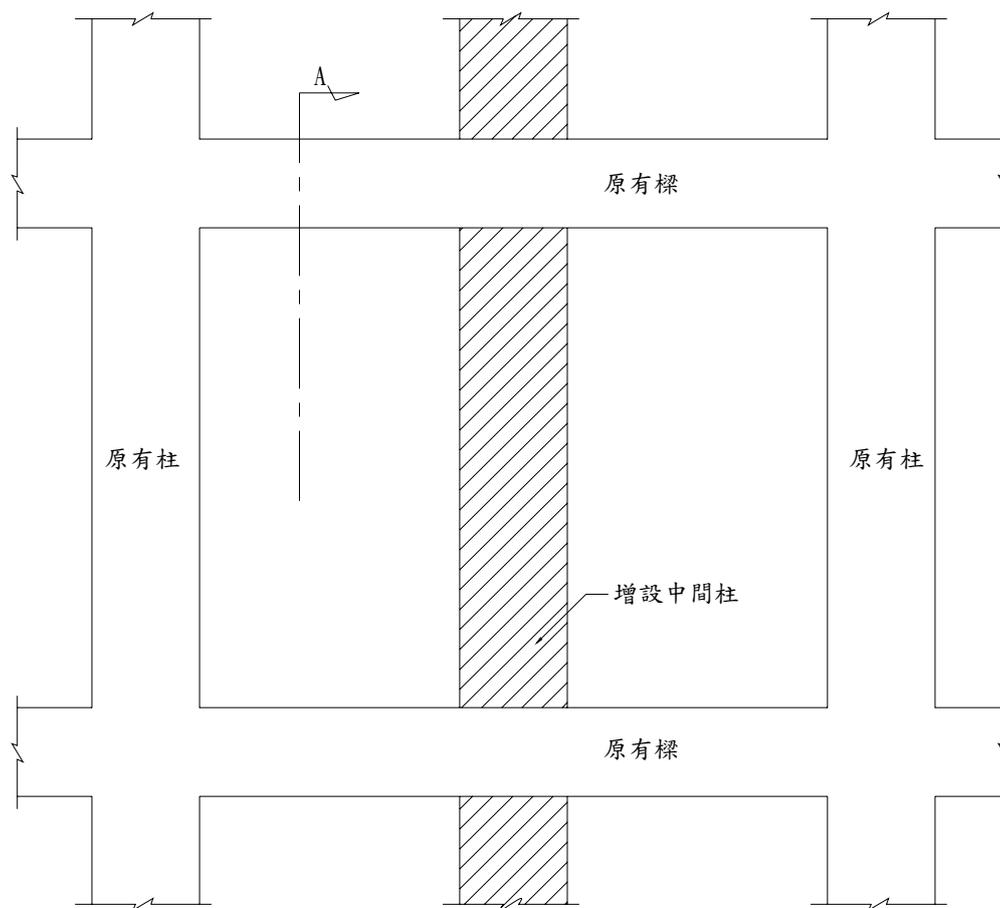
(一) 施工步驟

- (1) 確定欲增設中間柱之位置，若有磚牆存在，則必須先將磚牆敲除。
- (2) 將原有大樑粉刷層敲除之後，先將柱位置處之鋼筋以植筋方式固定在大樑上，待鋼筋組立完成後，再灌漿澆置。

(二) 監造要點

- (1) 牆增加的厚度一般均不厚(約 10~20cm)，故其澆置混凝土時應注意避免產生孔隙(蜂窩)。
- (2) 澆置混凝土時，必須將柱與樑之間確實灌滿，因此施工時可使用類似增設剪力牆的施工方式，先預留喇叭口，待澆置完成後，再將頂端多餘的部份敲除。
- (3) 新增中間柱的柱鋼筋植筋時，應植筋於大樑最外側主筋的內側，以免地震時大樑保護層剝落時，造成新增的柱鋼筋植筋拔出。
- (4) 增設之中間柱必須自增設之樓層起，一直向下設置至基礎部份為止，以確保垂直力及水平力皆能順利的傳遞。

解說：當結構體側向抗剪能力不足，但由於空間使用因素，無法增設剪力牆或斜撐時，可利用增加中間柱之補強工法。由於柱數目增加，因此亦有增加結構體側向勁度之效果，但不如增設剪力牆及斜撐系統明顯。另外對於大樑垂直載重能力不足時，增設中間柱亦具有改善作用，如圖 B.3。由於大樑加設中間柱後，造成短樑的情形，因此必須注意其是否會在地震力作用時，造成剪力破壞。若有此種情形，則大樑亦必須針對剪力做補強。



增設中間柱補強詳圖

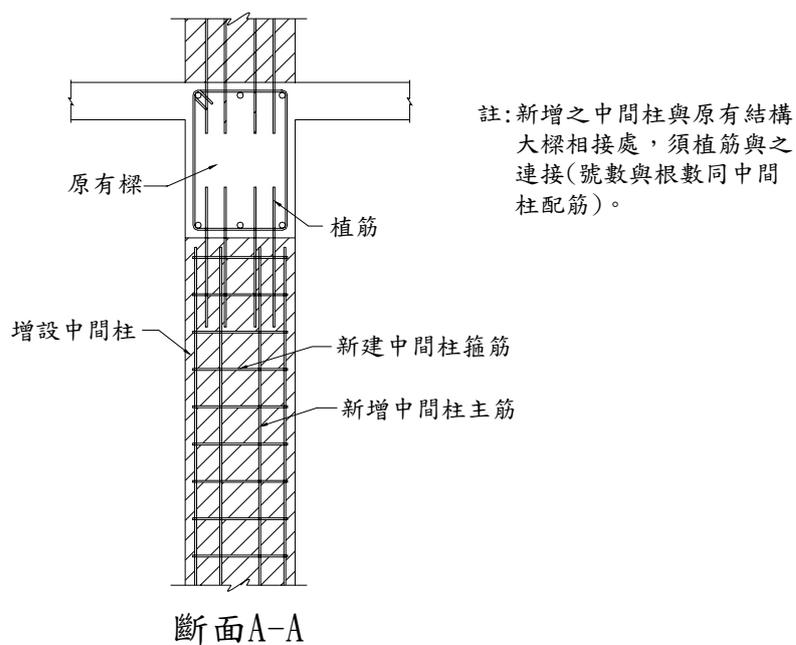


圖 B.3 增設中間柱補強工法

B.4 增加鋼構架補強工法

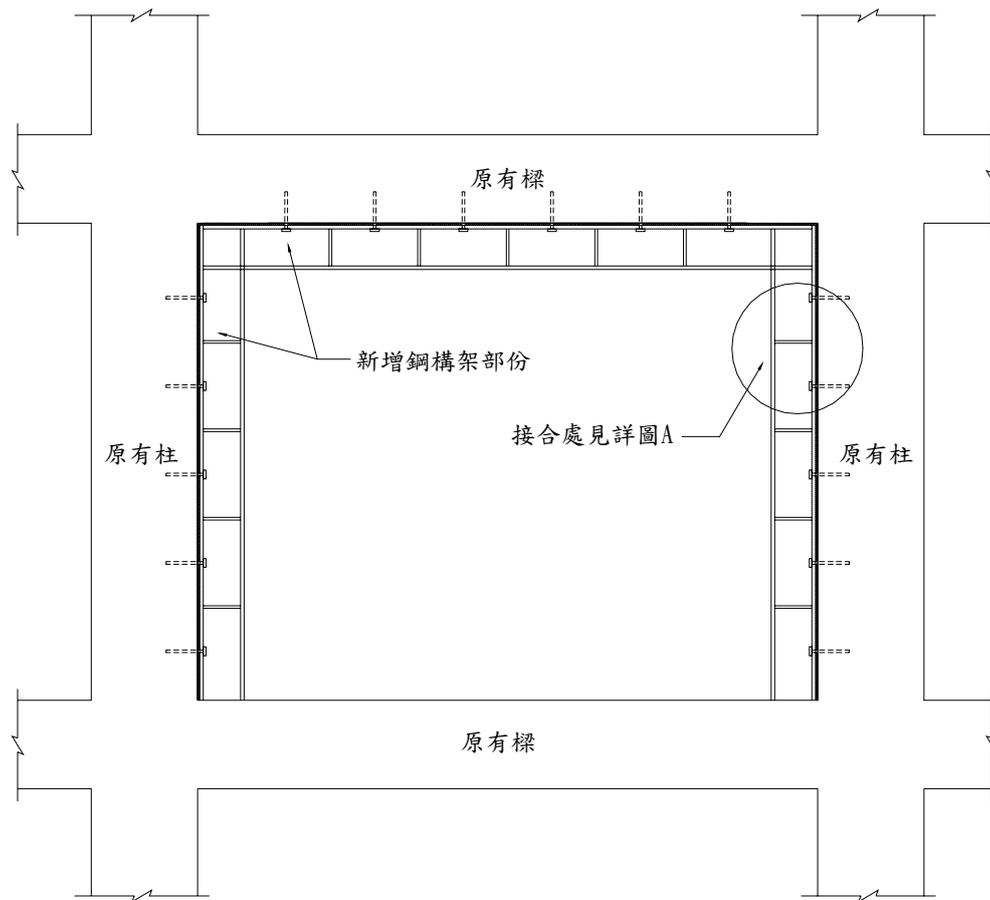
(一) 施工步驟

- (1) 在施工之前必須將原有樑、柱表面粉刷層敲除，並清潔乾淨。
- (2) 以化學錨栓與原有的樑、柱構架相連接。
- (3) 型鋼與樑、柱之界面處，應灌注環氧樹脂，以確保鋼樑與鋼筋混凝土結構之連結性。

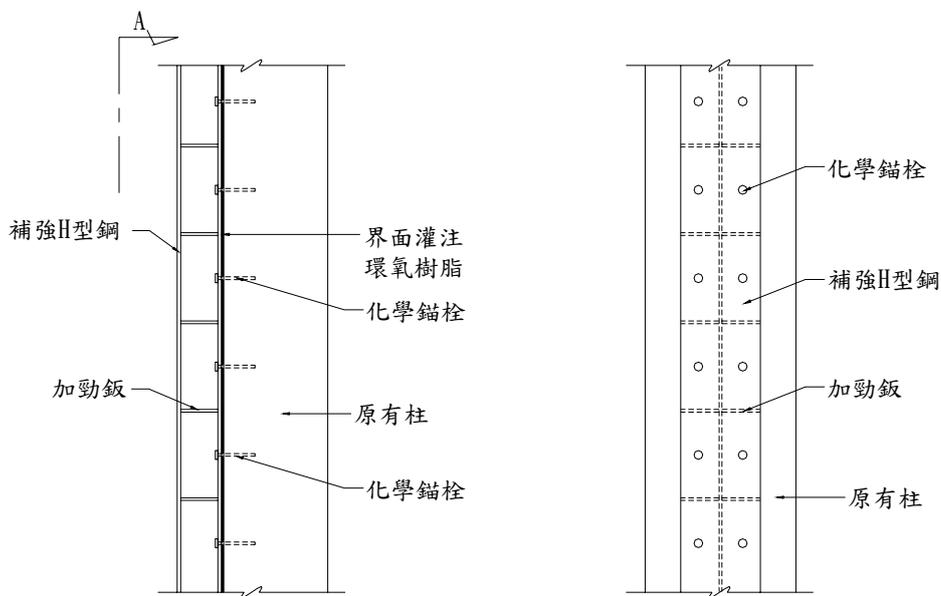
(二) 監造要點

- (1) 化學錨栓鑽孔時，需避開柱筋主筋。
- (2) 型鋼與樑、柱界面處之環氧樹脂灌注前，所有焊接工作需先完成，以防止環氧樹脂因高熱而碳化。

解說：樑柱構架系統載重能力不足，或桿件有受損的情形，但由於室內使用空間的問題，無法使用增設耐震壁，或加設斜撐補強工法時，可使用本方法加以補強，如圖 B.4。採用此工法時，在使用化學錨栓連結型鋼與原有結構體時，須於型鋼上配置加勁鈹，以避免受外力作用時，型鋼有局部挫屈的情形發生。先經由結構分析及現場情況確認必須加設附屬鋼構架的部份，再選定適當尺寸的型鋼。



增設鋼構架示意圖



詳圖 A

側面圖 A-A

圖 B.4 增加鋼構架補強工法

附錄 C

期初、期中及期末審查意見回覆說明

「鋼筋混凝土建築結構桿件補強準則之研擬」

期初審查意見回覆說明

審查意見 1：建議研擬補強準則時應以建築物的耐震能力評估為主要考量。

意見回覆 1：非本計畫範圍。

審查意見 2：有關補強材料之工程性質，請一併列入以為業界之參考

意見回覆 2：已列入，見第四章及第九章。

審查意見 3：有關樑柱接頭及樑的補強方式，若全面補強施工有困難時，建議提出變通方式及補強效果之差異性。

意見回覆 3：已考慮，見第八章。

審查意見 4：設計準則中應增加 R.C 牆及鋼斜撐補強之準則。

意見回覆 4：已列入，見附錄 B。

審查意見 5：最近幾年發展完成之制震、減震材料，建議能一起納入本研究案，並作一整合。

意見回覆 5：略。

審查意見 6：建請增加補強相關審查機制及確保品質方面的研究內容。

意見回覆 6：非本計畫範圍。

審查意見 7：鋼筋混凝土結構補強準則之研擬應於補強設計之前有一“補強策略”，可以流程圖中表示，俾使設計者能適當選擇補強方案。

意見回覆 7：已列入，見第四章。

審查意見 8：補強方法除簡報所列外，在本地或國外尚有加斜撐、加樑、加柱、外加構架、加減震裝置、加隔震裝置及土工技術之地盤改良等方法。

意見回覆 8：已考慮，見附錄 B。

審查意見 9：各種補強方案宜有試驗資料或可信分析證明，分析方法可於準則中規範。

意見回覆 9：已列入，見第三章。

審查意見 10：本案之國外參考文獻多為日本資料，建議亦應將其他國家的資料納入參考。

意見回覆 10：已列入，見參考文獻。

審查意見 11：補強準則應該有設計公式，如此才可以推廣。本研究報告似乎只有施工圖與照片等補強工法，對補強設計之準則著墨較少。

意見回覆 11：已列入，見第三章。

審查意見 12：鋼板補強樑柱接頭，有一圖說穿越樓版，若遇樑或樓版鋼筋應如何處理，應予說明。

意見回覆 12：已考慮，見第八章。

審查意見 13：應多參考 ACI 之及 ASCE 等之相關資料。另應提出剪力牆的補強準則，而加強磚造方面之剪力補強，許茂雄教授的研究成果可納入參考。

意見回覆 13：磚牆非本計畫範圍，但剪力牆部份已列入附錄 B。

審查意見 14：有關地下室部分的地下牆補強，軟弱基礎採用基樁之補強，以及基礎補強的必要性等應納入考量。另針對地震力傳至高山山坡上時會否有放大效應，有否相關準則等，對諸此坡地建築之補強限制請納入考量，

意見回覆 14：非本計畫範圍。

審查意見 15：Push Over 分析之必要性、非線性動力限界分析之必要性、地震強度(級數)及補強結果之說明、非結構構材之補強注意事項(或另案研究)、補強後微震量測或其他非破壞檢驗的方式、各種補強方法之計算準則及例子、補強材料特性分析等，亦請納入考量。

意見回覆 15：非本計畫範圍。

審查意見 16：有關古蹟(RC 造)補強的原則，總統府的補強實例值得參考。另應建立補強的 S.O.P 標準作業程序以及提出補強結構設計費用之相關分析及建議，供補強工程實務參考。

意見回覆 16：非本計畫範圍。

審查意見 17：本研究所列參考文件太少，而國內從事耐震補強之研究非常多，應多參考彙整。除施工規範及施工要點外，應納入補強設計之準則；研究計畫之焦點應更為明確。

意見回覆 17：已修正，見參考文獻及第三章。

審查意見 18：請將補強效益納入研究計畫中。另補強成效應提出佐證。

意見回覆 18：非本計畫範圍。

審查意見 19：依內容看，本計畫名稱宜為“R.C 建築結構構件修復補強準則”之研擬。

意見回覆 19：計畫名稱已修正。

審查意見 20：研究內容宜加入作業流程，包括對原結構圖說之瞭解、原結構裂損老化之調查、震後耐震能力之探討、可修補時訂定修復補強目標(經濟性、預定使用年限)、修復補強設計(訂定設計準則)、訂定構件修復補強施工規範、監造要點或計畫、施工要點或計畫等，並建議由作業流程中確定設計與施工之相關準則或規範。

意見回覆 20：已修正。

審查意見 21：本計畫未必僅針對耐震結構震損構件之修復補強，應探討比較補強程度的差異性。例如樑的補強使用 U 型被覆或口型包覆的差異性等。

意見回覆 21：已列入考慮，見第六章。

審查意見 22：本研究計畫，探討建築耐震補強修復之研究，可提供建築師暨相關技師執行業務之準據，本會特表支持之意見並樂觀其成。至於技術層面，前面專家學者已有充分說明，本會不再贅述。

意見回覆 22：略。

審查意見 23：補強作業準則建請研議，如設計可行性評估，補強方法的經濟性、可靠性，應有評審機制，以免不當的補強措施。

意見回覆 23：非本計畫範圍。

審查意見 24：設計的考量因素與問題探討、結構系統與構件補強的互制關係與施工要求、品質達成的目標等，建議在準則中納入研究。

意見回覆 24：非本計畫範圍。

審查意見 25：本所及國家地震工程研究中心國科會等歷年來均有甚多之補強研究成果，建請參考，並避免與既有研究成果重複。

意見回覆 25：已考慮。

「鋼筋混凝土建築結構桿件補強準則之研擬」

期中審查意見回覆說明

審查意見 1：各種補強施工及驗收規範可作為附錄，另 CNS 部分可當附錄及重點摘要(含 ASTM 等..)。

意見回覆 1：驗收規範非本計畫範圍，補強施工部份已列入。

審查意見 2：以消能制震方式補強者是否應另訂請檢討。

意見回覆 2：略。

審查意見 3：日本與美國(ASCE MANUAL)之規定可做一比較。

意見回覆 3：略。

審查意見 4：與性能之關係說明，可補強至何種地震加速度，與地震級數之歸類等應考量。

意見回覆 4：非本計畫範圍。

審查意見 5：本案是否可考慮包括維修部分，而粘著材之施工驗收準則可納入。

意見回覆 5：非本計畫範圍。

審查意見 6：P5 鋼板不能只用 ASTM A572 須考慮原設計之材質。

意見回覆 6：已修正。

審查意見 7：4-6 節及 4-7 節之試驗方法及檢驗規定，補強鋼板最小厚度的規定(6mm)，原來非可焊鋼筋之焊接處理問題等請考量。

意見回覆 7：略。

審查意見 8：第 5 頁有關桿件補強方案及可行性評估表中，請加一欄格“其他”，如型鋼、剪力牆等

意見回覆 8：已修正，見附錄 B。

審查意見 9：第 8 頁 4-3 節，“鋼鈹”請改為“鋼構”。

意見回覆 9：已修正。

審查意見 10：第 8 頁 4-4 節，化學錨栓性質應與鋼材錨栓用料有關。

意見回覆 10：已修正，見第九章。

審查意見 11：除強度補強外，請提供耐震韌性之補強案例。

- 意見回覆 11：已列入，見第五章至第八章。
- 審查意見 12：本案應屬結構桿件補強準則研究，不涉及整體結構系統分析及補強後整體效果。
- 意見回覆 12：略。
- 審查意見 13：本案以侷限在碳纖鋼板及擴大剖面等之柱、樑、版及樑柱接頭之補強上，不涉及改變結構系統之構材加強。應以圖片示意各種補強施工方法及其步驟、優缺點。尤其施工中或施工後其密實度檢驗應予規範。
- 意見回覆 13：已修正。
- 審查意見 14：玻璃纖維貼片亦屬廉價且不錯的補強材料，可列入考量，與碳纖總稱複合材料積層板(片)。
- 意見回覆 14：略。
- 審查意見 15：材料(含接著劑)的檢驗、儲存及施工現場工作人員毒氣防護等應予特別規定。
- 意見回覆 15：非本計畫範圍。
- 審查意見 16：桿件補強效果宜另以反覆循環載重試驗以評估其增加耐震效果，如強度、韌性等之增加予數據化。
- 意見回覆 16：非本計畫範圍。
- 審查意見 17：本案既稱為“準則”，則適按準則方式以條文式及解說方式顯現為宜。
- 意見回覆 17：已修正，全文改採條文式及解說方式。
- 審查意見 18：加強參考資料之收集研讀及彙整，納入九二一補強的經驗近年來國內外的研究成果作補充或更新。
- 意見回覆 18：已納入。
- 審查意見 19：期中報告內容稍嫌單薄宜加強進度管控。
- 意見回覆 19：略。
- 審查意見 20：R.C 建築結構耐震力不足有三原因：(1)舊建築物原設計時之法規地震力偏小或細部設計規範不佳。(2)新舊建築物震損(或火害)。(3)新建物施工缺失明顯。故前言中之流程宜修正之(以三者同一流程為原則)
- 意見回覆 20：已修正。

審查意見 21：桿件補強方案及可行性評估宜將表中註明○△X 者，以圖文說明之。如樑柱接頭，以鋼板補強時皆註○，真的可行嗎？有無“分離體”之應力計算？現場鋼板焊接之強度為何？會否傷及 R.C 部分。

意見回覆 21：已修正。

審查意見 22：某層加 RC 翼牆、或 RC 隔戶牆加鋼板（LYP）或 RC 牆加筋加厚之經濟性比擴柱補筋要好時則如何？

意見回覆 22：非本計畫範圍。

審查意見 23：除了柱、樑、版、接頭外，牆之結構補強或柱體部份或全部敲除重新灌注（必要時加筋）等也宜探討之。

意見回覆 23：非本計畫範圍。

審查意見 24：碳纖維之補強有不宜實施之情況，請舉例之。必要時應以數值計算表示。

意見回覆 24：已列入考慮，見第五章至第八章。

審查意見 25：鋼筋混凝土結構體桿件補強時，應特別注意補強材料及施工之防火性能。

意見回覆 25：已列入考慮，見第五章至第八章。

審查意見 26：過去之經驗顯示，補強大多偏重於桿件而忽視樑柱接頭，建議本研究加強接頭之補強。

意見回覆 26：已列入，見第八章。

審查意見 27：除桿件本身及接頭之補強外，應注意整體結構系統之補強以竟全功。

意見回覆 27：非本計畫範圍。

「鋼筋混凝土建築結構桿件補強準則之研擬」 建築研究計畫聯合研討會審查意見回覆說明

- 審查意見 1：內容大致尚可，惟仍有許多文字須修改之處。
- 意見回覆 1：已修正。
- 審查意見 2：關於適用範圍所言「…但不包…」，實際之構件補強難以避免新增桿件（如門型鋼架或設牆等）或更改原有結構系統。
- 意見回覆 2：已列入，見附錄 B。
- 審查意見 3：補強準則宜分設計準則，施工及監造準則、補強方法或數量變更時之處理原則等，委託設計監造合約或工程合約之特殊注意事項等重點。各節內之「監造要點」有大部份須列於設計準則中，有部份須置於施工準則中。
- 意見回覆 3：已修正，見第五章至第八章。
- 審查意見 4：5.4.4 節加設外側構架補強工法之圖例不太正確，細部設計不妥，GL 下之構造恐難以施工等。
- 意見回覆 4：已刪除。
- 審查意見 5：RC 裂縫之修復，方式很多，除注入 EPOXY 外，尚有敲除剝離之保護層後刮除銹斑（皮）甚至換筋、補筋等。
- 意見回覆 5：已刪除。
- 審查意見 6：RC 版之修復補強，文中未見敘述，請補充。
- 意見回覆 6：已修正，見第七章。
- 審查意見 7：研究成果第二部份「化學錨栓試驗值與理論值之差異」，屬準則第三章之參考資料，宜列為附錄。
- 意見回覆 7：已修正，並改列入附錄 A。
- 審查意見 8：本案準則適用範圍「僅限於結構桿件補強」，不包括「新增桿件或結構系統變更」。請加列說明，作如何評估後選擇桿件補強為最佳方案，以免不當補強或效果不佳的補強方案出現。此外 5.4.1~5.4.10 所述者皆屬「新增桿件或系統變更」之補強，與前述適用範圍不符，請澄清。
- 意見回覆 8：已修正，並將「新增桿件或系統變更」之補強工法改列入附錄 B。
- 審查意見 9：裂縫修補為混凝土結構補強之基本步驟，2.3 節規定太過簡

易，請補充。

意見回覆 9：已刪除。

審查意見 10：RC 柱或樑之補強方式甚多，2.4 節及 2.5 節所規定為常用的方式，不宜作硬性規定，讓有更佳、更具彈性的方式來因應不同情形之需要。

意見回覆 10：已修正。

審查意見 11：5.1.1 節~5.1.8 節各補強工法所列之「監造要點」，甚多屬設計時即應考慮者請改用其他適當名稱。5.1.9 節~5.1.19 節僅有照片或圖，請補充文字敘述，照片及圖列納於解說中較為妥適。

意見回覆 11：已修正。

審查意見 12：鋼板、角鋼、水泥鐵絲網、碳纖維、柱斷面增大及設置翼牆等之補強方式，相關補強材料與接合材料之容許應力及結構特性等分析幾無考慮，請加以補充。

意見回覆 12：略。

審查意見 13：含氯離子過高的混凝土之補強準則請加以考慮納入。

意見回覆 13：非本計畫範圍。

審查意見 14：針對碳纖及環氧樹脂材料等之試驗及安全因素應提供相關建議供設計使用之參考。

意見回覆 14：已修正，見第四章及第九章。

審查意見 15：4.1 之解說應將各式分析法圖示。4.5 參考橋樑之補強值部份，可參考北科大李有豐教授的相關研究成果。另針對參考圖片，應註明出處。

意見回覆 15：已修正，見第三章及第九章。