

89035
87006

鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編

內政部建築研究所專題研究計畫成果報告

研究案編號：MOIS 872011

計畫名稱：鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編

執行期間：86年7月1日至87年6月30日

鋼筋混凝土建築物之 修復與補強技術彙編

計畫主持人：何明錦

協同主持人：吳傳威

彭添富

研究人員：蕭興臺

王淑娟

鄒本駒

楊慕忠

內政部建築研究所

執行單位：內政部建築研究所

中華民國八十八年十二月 印行

內政部建築研究所專題研究計畫成果報告

研究案編號：MOIS 872011

計畫名稱：鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編

執行期間：86年7月1日至87年6月30日

鋼筋混凝土建築物之 修復與補強技術彙編

計畫主持人：何明錦

協同主持人：吳傳威

彭添富

研究人員：蕭興臺

王淑娟

鄒本駒

楊慕忠

執行單位：內政部建築研究所

中華民國八十八年十二月 印行

前 言

國內鋼筋混凝土建築高達九成以上，本次九二一集集大地震後造成眾多鋼筋混凝土建築物之損害，除了傾倒毀壞的建築物必須拆除外，大部分中度、輕度損害之建築物均可予以修復補強，倘為損害較嚴重的建築物經進一步評估後部分亦有補強修復的機會；如果大量的予以拆除，將造成財產重大的損失，與社會資源的浪費。

由於早期建築耐震專業知識與技術不足，相應的設計施工法規要求也不及目前的規範水準，在地震災害難免的情勢下，震後的建築物補強修復乃有其必要。八十七年度本所鑑於之前美國加州北嶺地震、日本阪神地震的建築損壞嚴重；台灣地區亦住處於環太平洋地震帶上，大地震在各方的推測下，可能再次發生之警訊，乃於八十七年六月完成了本書「鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編」之研究成果。

本項技術彙編，以協辦的方式辦理，由本所何主任秘書明錦為計畫主持人，邀請吳傳威教授、彭添富教授為協同主持人，並由蕭興台博士、本所王淑娟博士(現為朝陽大學助理教授)，鄒本駒副研究員、楊慕忠先生等共同參與研究。內容參考美、日等先進國家對震害建築之修復補強實用工法，彙總編製為一適合國內參考應用的手冊。除將各種修

復補強材料詳細介紹外，亦將各種構件補強修復之工法以圖例、適用時機、特性、施工法與應注意事項等陳述說明，俾利業界之選用參考。

如何適當有效的達到建築物補強修復的目的，涉及專業的技術應用，應由有證照並具實務經驗的專業技師或建築師認真的評估後，再作補強修復實務設計與施工監督。尤其高層建築結構受損，修復補強的計畫最好能再諮詢其他專業同業意見，集思廣益，以避免無效或反效果之盲點，以及不經濟的行為。此外，補強修復的方法甚多，除本彙編之外，其參考文獻所列各書及美國(Applied Technology Council) ATC40 等等均可供卓參。殷望本書的印行，對本次震災之復建振興有所助益。

內政部建築研究所 所長

A handwritten signature in black ink, appearing to read '蕭江碧' (Xiao Jiangbi).

八十八年十月

鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編

目 錄

第一章 緒 論.....	1
1-1 緣起與目的.....	1
1-2 文獻回顧.....	2
1-3 研究內容與方法.....	3
1-4 結構補強之內涵及本研究成果之應用注意事項.....	4
1-4-1 結構工程師的角色.....	4
1-4-2 修復補強作業所需的專業素養.....	5
1-4-3 修復補強作應注意事項.....	5
第二章 修復與補強材料.....	9
2-1 概述.....	9
2-2 填補用修復補強材料.....	10
2-2-1 環氧樹脂系裂縫灌注材料.....	10
2-2-2 樹脂砂漿系修補材料.....	14
2-3 粘結用修復補強材料.....	15
2-4 主要受力用修復補強材料.....	17
第三章 修復與補強工法.....	19
3-1 結構元件修復工法.....	20
3-1-1 裂縫灌注環氧樹脂工法.....	21
3-1-2 敲除鬆動混凝土再以樹脂砂漿修復工法.....	22
3-1-3 局部構件敲除重作工法.....	23
3-1-4 陰極防蝕工法.....	24
3-2 結構元件補強工法.....	26
3-2-1 樑加設箍筋補強工法（剪力補強）.....	27
3-2-2 樑帶狀鋼板補強工法（剪力補強）.....	29
3-2-3 樑中央底部鋼板補強工法（正彎矩補強）.....	32
3-2-4 樑兩端頂部鋼板補強工法（負彎矩補強）.....	35

3-2-5 樑兩側鋼板補強工法 (剪力與彎矩補強)	38
3-2-6 樑中央底部複合材料補強工法 (正彎矩補強) ...	40
3-2-7 樑兩端頂部複合材料補強工法 (負彎矩補強) ...	42
3-2-8 樑擴大斷面補強工法 (剪力與彎矩補強)	44
3-2-9 柱加設箍筋補強工法 (剪力圍束補強)	46
3-2-10 柱帶狀鋼板補強工法 (剪力圍束補強)	48
3-2-11 柱圍封鋼板補強工法 (軸力、彎矩、與剪力補強)	50
3-2-12 柱圍封複合材料補強工法 (剪力圍束補強)	52
3-2-13 柱擴大斷面主筋貫穿直通補強工法 (軸力、彎矩、 與剪力補強)	54
3-2-14 (板底鋼板補強工法 (正彎矩補強)	56
3-2-15 板頂端部鋼板補強工法 (負彎矩補強)	58
3-2-16 板加厚補強工法 (剪力、彎矩補強)	60
3-2-17 板加設鋼小樑補強工法	62
3-2-18 牆加厚補強工法 (剪力、彎矩、軸力補強)	64
3-3 結構系統改善補強工法	66
3-3-1 加設剪力牆補強工法	67
3-3-2 加設斜撐補強工法	71
3-3-3 加設翼牆補強工法	72
3-3-4 加設外側構架補強工法	74
3-3-5 加設中間柱補強工法	76
3-3-6 加設附屬鋼構架補強工法	78
3-4 結構系統加設消能、隔減震及主被動控制裝置補強工法	80
3-4-1 斜撐加設三角形鋼板消能器補強工法	81
3-4-2 斜撐加設黏彈性阻尼器補強工法	83
3-4-3 基礎加設鉛心橡膠支承墊補強工法	84
3-4-4 基礎加設橡膠支承墊並配合其他消能器補強工法	85
第四章 修復與補強工程檢驗	87
4-1 概述	87

4-2 修復補強材料檢驗.....	88
4-3 修復補強工法檢驗.....	90
第五章 修復與補強工程成本概估.....	92
5-1 概述.....	92
5-2 工程成本概估.....	93
5-2-1 基本單價.....	93
5-2-2 工項工料分析.....	95
第六章 結語與建議.....	98
參考文獻.....	100

第一章 緒 論

1-1 緣起與目的

鋼筋混凝土結構物多年來在國內一直都是建設的主流。早期由於經費的困難或資金的窘迫，加上技術之不足，因此不論在施工材料或是設計規範方面都無法滿足適當標準。因而以現代技術的眼光觀之，當時所構築之建築物其耐震能力甚或整體強度都令人頗為耽憂，而這類建築物，目前在國內各城市是到處充斥，有的較幸運的已在都市更新的過程中得以拆除重建，但有更多或因資金的問題，或因法令的限制而無法處理。這些建築物有的已因歷經滄桑出現了損壞現象，而也有的表面情況尚佳，卻因耐力不足而可能在下次地震或其他災害中損傷。因此鋼筋混凝土建築物安全評估及修復補強等工作，實為目前重要的課題之一。

然而，一項重要工作的推動，尤其是公共事務是需要全體民眾的配合。以公認效率最高的日本為例，他們發現在 1981 年新耐震設計規範實施之前完工的大部份建築物，其耐震能力普遍不足，最嚴重的甚至僅達需求的三分之一。而此類建築物就幾乎占全日本建物之七成以上。日本政府為求解決此一問題，自 1979 年起便積極謀求改善此潛在危機之方案。但礙於種種困難，使得截至 1995 年阪神大地震為止，這些耐震能力不足的建築物，在歷經近 20 年的推動改善，其補強率仍未達百分之一。

由日本的經驗可知，對既有耐震能力不足建築物之補強，在防災工作中雖屬必要，但礙於種種的主客觀環境因素，實不易落實執行。而觀察國內法令及民眾的觀念及認知，欲執行類似的全面評估

及補強工作，情況也不甚樂觀。其實近年來國內各相關單位或學術機構對建築物耐震能力評估及補強之研究也算投入了相當的人力和物力，但是在實務上，除了少數已明顯受地震損害之校舍及民間受火害無法確定是否可再使用之零星建物曾進行結構補強外，其餘早期興建耐震能力不足建物之評估與補強工作，目前之成效可以說幾乎為零。若純以統計學上地震發生週期之方式推測，台灣事實上已進入大地震十分可能發生的時程。在目前的狀況下若發生地震，可預期的是將會有極大多數的建築物受到不同程度的震害，其中有些將明顯無法修復再供使用，有些則可以適當方式加以修復。如何使這些受損建築物，能以最安全且最適當的工程方式儘早恢復機能，以減少損失及對社會的衝擊，應是目前我們可以也是必須立刻推動的工作。這項工作的進行，首先必須建立執行的流程及規範，而這些流程與規範又必須以具體的修復與補強技術為基礎。綜觀目前國內的修復補強實務設計，並無一完整修復補強技術資料可供遵循，大部分的設計仍停留在工程師的直覺判斷(不一定正確)，其實際效能並不確定，甚至可能得到反效果，因此所投注的修復補強經費，並不一定能達到預期的效益。

本研究即為補足這方面之缺失，以搜集各種現有的修復及補強工法為目標，並參考美國北嶺地震及日本阪神等地震發生後，這些先進國家對受震害建物的修復補強實用工法，彙總編製一適合國內環境的鋼筋混凝土建築物修復補強參考手冊，作為震害後鋼筋混凝土建築物修復與補強作業之參考。

1-2 文獻回顧

前曾提及，國內外產官學研界對鋼筋混凝土建築物耐震能力評估及補強之研究或實驗所投注的人力、物力，可謂相當龐大，也累

積了相當的成果。尤其在近三年，先進的美國、日本相繼發生了毀滅性的大地震，由災後重建工作所需，更累積了無數實務經驗，其他國家包括國內，尤其是也處於地震帶之地區，更是戰戰兢兢，引為殷鑒，並亟思防制之道。因此文獻資料快速累積，汗牛充棟。不過這些文獻尤其是與修復補強相關者，大多仍屬於零星的單一工法探討或實踐，且其工法亦多局限於目前較常用的少數幾種。內容比較完整者，諸如文獻[1]乃美國混凝土協會（ACI）針對混凝土結構物修復補強召開之研討會論文集，內容範圍偏重實驗成果。日本方面的文獻資料則最為豐富也最完整，例如文獻[2~16,24~34]則不但包含了修復補強工法的實例，也完整說明了各種工法的特質及施工方式，甚至包含單價。國內方面近年則以蔡益超、陳正誠、許茂雄、黃世建、陳正平、蕭興臺等人[16~23,35~36]之研究及報告為主導。然而以工程實務設計為目標導向之文獻，除了文獻[4]有較多著墨外，其他並不充分。尤其是提供施工圖說者，更是罕見，因此本計畫之成果應可提供實務上具體之須求。

1-3 研究內容及方法：

本計畫主要內容乃是對明顯有損壞現象或經安全性評估為不安全或耐震能力不足的鋼筋混凝土建築物提供一較完整安全且適當有效的修復補強方法，以使專案設計及施工人員有方便且合理之資料提供參考。因此本計畫之研究內容包括：

- 1.彙整所有國內外已知永久性與臨時性之修復補強工法，分項說明其適用時機、工法特性、施工方式及設計應注意事項，並提供簡易參考圖說，以供修復補強設計參考使用。

2.彙整修復補強工法使用材料之特性及檢驗程序。

依據前述之研究內容，本計畫之研究方法如下：

- 1.各國資料蒐集、翻譯、研讀與比較。
- 2.邀集學者專家座談提供對本計畫研究內容方向的修正建議，並提供補充相關資料。
- 3.以固定格式編寫各種補強工法的說明事項。
- 4.繪製修復補強技術之簡易參考圖說。

1- 4 結構補強之內涵及本研究成果之應用注意事項

1-4-1 結構工程師的角色

結構工程師面對結構安全有疑慮之結構物，其關係正如醫師面對健康有疑慮的病人一般，相對間之角色應是十分相似的。

對於結構安全有疑慮的結構物（健康有疑慮的病人），結構工程師（醫師）宜採取的正常步驟，通常包含以下五項：

- 1.受損現況勘察（病況觀察）
- 2.規劃、執行適當檢測項目（適當檢驗身體機能）
- 3.依檢測結果進行結構安全性分析研判（依檢驗結果研判身體健康狀況）
- 4.研擬並執行適當修復補強措施（研擬並施以適當治療）
- 5.檢驗修復補強效果（檢驗治療效果）

由上述之作業流程可知，結構工程師在處理結構安全有疑慮的構造物時，其進行的方式與醫師診治病人的方式是頗為相似的。故結構工程師在處理有安全疑慮的結構物時，其心態亦應比較醫者心態，不可稍有疏忽，導致補強治療作業失效。

1-4-2 修復補強作業所需的專業素養

在新建結構物的設計過程中，所有的材料及結構系統均由結構工程師事先選定，且新建結構物之設計與施工已有完備的規範可供遵循，故對新建的結構工程，結構工程師只須選定材料及結構系統，依照既有之規範設計並表現於設計圖中，施工單位即可據以施作完成。

但在既有結構物的修復補強設計中，所有材料及結構系統均已經存在，因此結構工程師除了新建工程的分析設計能力外，尚需具備以下四項專業素養：

1. 豐富的現場經驗（勘查現況）
2. 充分了解現有檢測技術之內涵（以求得具代表性的既有結構物力學特性）
3. 深厚的結構力學素養（以分析研判既有結構物的安全性）
4. 詳盡的了解各種補強材料與工法（以設計出最佳的補強方案，即充分的考量工程成本與使用機能間的最佳平衡點）

由以上所述可知，結構修復與補強的困難度，遠高於新建工程的設計與施工。又因各個既有結構物的受損現況及條件均不相同，故每一既有結構物的修復與補強的處理方式亦不相同。因此，如何利用充分的專業素養，使結構物之修復補強工程，能完善地達成安全、經濟、美觀及不影響使用機能的多重目的，實為一兼具工程與藝術的艱難任務。

1-4-3 修復補強作業應注意事項

結構物之修復與補強作業，一般均需現況勘查、檢測、結構分析評估、規劃合宜補強方案及確認補強效果等步驟。茲將各階段

工作之應注意事項分述如下：

- (1)現況勘查：此階段應能充分了解觀察結構物之受損表徵，並初步研判造成損傷的可能原因，再據以規劃合宜的檢測調查項目，切不可僅粗略的以照相記錄損傷外觀敷衍了事。
- (2)檢測調查：檢測調查的方法極多，一般針對鋼筋混凝土構造物的檢測，可概分為混凝土強度(鑽心試體、試錘、混凝土耐久性(氯離子、中性化、鋼筋強度(取樣抗拉試驗、鋼筋耐久性(腐蝕速率....)及總體性檢測(載重試驗、振動檢測....)等檢測項目。由不同檢測方法所得的資料代表性及其可靠度均不相同。故在規劃檢測項目及引用檢測結果時，應特別注意切不可隨意檢測就據以推論(如僅以試錘敲擊即推論混凝土強度等)，否則可能造成嚴重不良後果。
- (3)結構分析評估：經由檢測調查的結果(注意引用資料的可靠度)，應確實依可靠的結構力學理論加以分析評估，以了解現有結構物之結構安全性，再據以擬定修復補強策略，否則可能使補強方案極不具效益甚或有害。
- (4)修復補強方案規劃：由結構分析評估的結果，可得知既有結構物的安全性，若有不足則可據以擬定修復補強策略。由於目前常見的修復與補強材料及工法極多，其成效各有不同。其中部分修復補強工法已有理論或學術實驗証實有效，而亦有

部分補強工法仍停留在僅憑工程直覺判斷而不一定有效，故在選用修復補強工法時，應儘量選用較為可靠的補強工法方屬合宜。

- (5) 確認補強效果：修復補強的材料與工法種類繁多，惟施工完成後大部分尚無確切可靠的檢驗方法，可証實施工確實有效，故結構工程師在設計修復補強工法時，亦應考量施工過程中及施工完成後的檢驗工作，以確保結構補強的效果。

綜合上述，結構物修復補強的工作，主要的有檢測、分析評估與補強設計等項目，其中檢測的技術方興未艾，本研究不擬多加評述，又分析評估的方法亦有相當的研究投入其中，本研究亦不予包含。至於修復與補強的工法，本文則詳列說明各種可行的修復補強方式，供結構工程師參考採用，惟在適當的時機採用適當的修復補強工法，乃是結構工程師在作修復補強設計時所應注意的重點。正如醫師手上有各種可用的藥，但在適的時機採用適當的藥，則是醫師在治病人時所應注意的重點。本研究所得，基本上在彙編各種可行的修復補強工法（各種藥），供結構工程師（醫師）參考採用，結構工程師在選用適當的修復補強工法（藥）前，應先充分了解各種修復補強工法（藥）的特性，以免誤用反而造成不當的影響（副作用）。

第二章 鋼筋混凝土結構之修復與補強材料

2-1 概述

鋼筋混凝土構造物之修復與補強材料很多，除一般新建工程上常用之鋼材（含鋼筋、鋼骨、鋼鍵等）與混凝土（含砂漿）外，尚有一些對既有鋼筋混凝土構造物修復與補強工程所常採用的材料，如環氧樹脂、螺栓固結劑、植筋膏、纖維複合材料及樹脂砂漿等。一般而言，只要注意新舊混凝土交接界面之施工細節，以新拌鋼筋混凝土修補既有鋼筋混凝土，應屬最經濟且可靠的修復補強材料。至於其他修復補強材料，其單價成本則往往相對高於鋼筋混凝土材料。

目前工程界常用的修復補強材料，依其用途約可分為(1)填補用材料、(2)粘結用材料及(3)主要受力用材料等三種類型。填補用之修復補強材料主要用於填充既有鋼筋混凝土構造物之裂縫或修補剝落之混凝土保護層。粘結用材料主要用於將原有鋼筋混凝土與補強外加受力構材間作一有效的粘結，以達成力量有效傳遞的目的。至於主要受力用材料則係外加主要結構材料，著重於分擔原鋼筋混凝土構造的力量，以達到結構補強的目的。

填補用之修復補強材料，主要有裂縫灌注用之環氧樹脂及大塊混凝土剝落時修補用之樹脂砂漿等兩項。

粘結用之修復補強材料，主要有粘結補強貼片用的環氧樹脂、粘結化學螺栓的固結劑及粘結植入鋼筋用的植筋膏等三類。

至於主要受力用修復補強材料，則與一般新建鋼筋混凝土工程類似，如常用的鋼筋、鋼板、鋼索及纖維複合材料等主要結構用材

料，均可作為修復補強時之外加主要受力材料。

2-2 填補用修復補強材料

一般鋼筋混凝土建築物的受損表徵，主要有混凝土裂縫及大塊混凝土（保護層）剝落等兩類損傷。凡具有(1)良好施工性（灌注、填滿）、(2)與既有混凝土可有效結合及(3)本身材質之力學行為不亞於混凝土等三項特性的材料，基本上均可作為鋼筋混凝土構造物之填補用修復補強材料。目前工程界常用於鋼筋混凝土構造物之填補用修復補強材料，在針對裂縫部分主要有低粘滯性之環氧樹脂材料，在針對大塊混凝土（保護層）剝落部分，則有樹脂砂漿系列之修復補強材料。

2-2-1 環氧樹脂系裂縫灌注材料

環氧樹脂系列材料在工程上的應用極廣，依 ASTM C881-90 之規定，環氧樹脂在混凝土工程上之應用，共可分為七類（type I~VII），三級（grade 1~3）及六型（class A~F）。其中七類（type）主要係依用途不同而分。現分述七類不同用途之環氧樹脂材料如下表：

環氧樹脂粘結材料分類表

類別 (Type)	用途說明	備註
Type I	應用於硬固混凝土與硬固混凝土間之粘結，膠結面不承受載重者。	或硬固混凝土與其他材料間，如木料、金屬、石磚、塑膠材料等*。
Type II	應用於新拌混凝土與硬固混凝土間之粘結，膠結面不承受載重者。	
Type III	應用於固混凝土面上加設之抗滑，耐磨等面層材料。	如耐磨地磚
Type IV	應用於硬固混凝土與硬固混凝土之粘結，膠結面須承受載重者。	或硬固混凝土與其他材料間之粘結，如木料、金屬、

		石磚、塑膠材料等*。
Type V	應用於新拌混凝土與硬固混凝土間之粘結，膠結面須承受載重者。	
Type VI	應用於預鑄元件或分段加設之後拉預力元件間之粘結與封膜，膠結面須承受應力者。	
Type VII	應用於預鑄元件或分段架設元件間之粘結與封膜，膠結面不須承受應力者。	

* 聚乙烯 (polyethylene)、碳氟化合物 (TFE-fluorocarbon)、玻璃紙 (cellophane)、油質或臘質表面等材料應注意無法藉環氧樹脂與混凝土作有效之粘結。

由以上之分類可知，一般混凝土裂縫灌注及粘結外加貼片 (鋼板、FRP.....) 所適用之環氧樹脂應為第四類環氧樹脂 (type IV)。

除上述依用途所分之七類環氧樹脂外，ASTM C881-90 再依環氧樹脂之粘滯性 (viscosity) 分成三級。其中第一級 (grade 1) 為低粘滯性環氧樹脂 (粘滯係數小於 2.0 Pa-S)，第二級為中粘滯性環氧樹脂 (粘滯係數大於 2.0 Pa-S 但小於 10.0 Pa-S)，第三級則為不垂流 (non-sagging consistency) 環氧樹脂 (粘滯係數大於 10.0 Pa-S)。

至於 A~F 等六型則係以環氧樹脂之適用溫度來區分。其中 A、B、C 三型係針對 type I~type V 等五類環氧樹脂，而 D、E、F 三型則係針對 type VI 及 type VII 二類環氧樹脂。適用溫度中 A 型及 D 型為低溫環氧樹脂 (適用溫度低於 4.5 °C)，B 型及 E 型為中溫環氧樹脂 (適用溫度介於 4.5 °C ~ 15.5 °C 之間)，而 C 型及 F 型則為高溫環氧樹脂 (適用溫度高於 15.5 °C)，至於 A 型及 D 型 (低溫環氧樹脂) 之最低適用溫度及 C 型及 F 型 (高溫環氧樹脂) 之最高適用溫度，則依製造廠之不同而由廠商依配方自行決定。另上述

有關之適用溫度意義並不同於材質本身的熱轉溫度，採用時應加注意。ASTM C881-90 依上述之分類，將各種類別之環氧樹脂性質表列如下：

Property	Type						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Viscosity, P (Pa - s):							
Grade 1, max	20(2.0)	20(2.0)	20(2.0)	20(2.0)	20(2.0)	...	...
Grade 2, min	20(2.0)	20(2.0)	20(2.0)	20(2.0)	20(2.0)	...	...
max	100(10)	100(10)	100(10)	100(10)	100(10)	...	...
Consistency, in (mm):							
Grade 3, Type I, II, III, IV, V, max	1/4(6.4)	1/4(6.4)	1/4(6.4)	1/4(6.4)	1/4(6.4)	...	...
Grade 3, Type VI, VII	...	...	...	...	...	...	...
Thickness 1/16 in. (1.6 mm), max	...	...	...	...	...	-0-	-0-
1/4 in. (6.4 mm), min	...	...	...	...	...	1/16(1.6)	1/16(1.6)
Gel time, minutes, min	30	30	30	30	30	30	30
Bond strength, min, psi (MPa):							
2 days (moist cure)	1000(6.9)	...	...	1000(6.9)	...	1000(6.9)	...
14 days (moist cure)	1500(10.3)	1500(10.3)	1500(10.3)	1500(10.3)	1500(10.3)	...	1500(10.3)
Absorption, 24 h, max, %	1	1	1	1	1	...	...
Heat Deflection							
Temperature, min, F (°C):							
7 days	...	...	...	120(49)	120(49)	...	...
14 days	...	...	...	...	...	120(49)	120(49)
Thermal compatibility	...	...	passes test	...	...	...	...
Linear coefficient of shrinkage on cure, max	0.005	0.005	...	0.005	0.005	...	...
Effective shrinkage							
	...	...	passes test	...	...	...	...
Compressive Yield							
Strength, min, psi (MPa):							
24 h	...	...	...	...	...	2000(13.8)	...
36 h	...	...	...	...	...	...	1000(6.9)
48 h	...	...	...	...	...	6000(41.4)	...
72 h	...	...	...	...	...	...	2000(13.8)
7 days	8000(55.2)	5000(34.5)	...	10000(69)	8000(55.2)	...	...
Compressive Modulus, x 10 ³ psi (MPa)							
min	150 (1034)	90 (612)	...	200 (1379)	150 (1034)	...	...
max	...	...	130 (896)	...	...	...	...
Tensile Strength, 7 days min, psi (MPa)*	5000 (34.5)	2000 (13.8)	...	7000 (48.3)	6000 (41.4)	...	...
Elongation at Break, %, min	1	1	30	1	1	...	...
Contact strength, psi (MPa)							
min							
2 days	...	...	...	...	...	1000(6.9)	...
14 days	...	...	...	...	...	...	1000(6.9)

* Not required for Viscosity Grade 3 systems

由前述資料顯示，在台灣的環境條件下應以第IV類、第一級、C型（type IV，grade 1，class C）之環氧樹脂，最適用於灌注鋼筋混凝土元件。又一般而言，由於環氧樹脂之力學參數均遠高於一般混凝土力學參數，故祇要具低粘滯性的材質能配合灌注器材將混凝土裂縫填滿，似無需特別採用特殊專利進口配方的環氧樹脂。

另在 CNS10141 之建築灌注補修用環氧樹脂，其將環氧樹脂依黏性分成低黏度（L），中黏度（M）及高黏度（H）等三項，依施工季節再分成適用於 10℃~35℃之一般用（R），及適用於 5℃~15℃之冬季用（W）等二類灌注用環氧樹脂。下表摘列 CNS10141 對環氧樹脂之性能須求。由表中之要求性能比較 ASTM C881-90 之性能要求較低。至於 CNS10142 中則詳列有關黏性、初期硬化性、接著強度、硬化收縮率、抗彎強度及抗壓強度等試驗方法以供參考使用。

環氧樹脂性能要求

品質		試驗條件		種類		低黏度型		中黏度型		高黏度型	
				一般用	冬季用	一般用	冬季用	一般用	冬季用		
黏性	黏度 mPa·S	20 ± 0.5 °C		100~1000		5000~20000		—			
	搖變度	20 ± 0.5 °C		—		5 ± 1		—			
	坍度 mm	15 ± 2 °C		—		—		—		5 以下	
30 ± 2 °C		—		—		—		5 以下			
初期硬化性 N/cm ² (kgf/cm ²)	標準條件		200(20.4) 以上	—	200(20.4))以上	—	200(20.4) 以上	—			
	低溫條件		—	200(20.4) 以上	—	200(20.4) 以上	—	200(20.4) 以上			
接著強度 N/cm ² (kgf/cm ²)	標準條件		600 (61.2) 以上		600 (61.2) 以上		600 (61.2) 以上				
	特殊條件	低溫時	—	300(30.6) 以上	—	300(30.6) 以上	—	300(30.6) 以上			
		濕潤時	300(30.6)以上		300(30.6)以上		300(30.6)以上				
		反覆乾濕時	300(30.6)以上		300(30.6)以上		300(30.6)以上				
硬化收縮率%	—		3 以下		3 以下		3 以下				

加熱 變化	質量變 化率%	—	5 以下	5 以下	5 以下
	體積變 化率%	—	5 以下	5 以下	5 以下
抗曲強度 N/cm ² (kgf/cm ²)		—	3000(306)以上	3000(306)以上	3000(306)以上
抗壓強度 N/cm ² (kgf/cm ²)		—	—	—	5000(510)以上

2-2-2 樹脂砂漿系修補材料

鋼筋混凝土構造發生大塊混凝土保護層剝落時，可以樹脂砂漿系列之修補材料加以修補。樹脂砂漿一般可分為環氧樹脂系砂漿 (Epoxy-based mortar) 及壓克力樹脂系砂漿 (Acrylic-based mortar) 等兩類樹脂砂漿。市售產品中則因製程技術不同其成分也不儘相同。對工程而言，祇要滿足(1)能充分粘結原混凝土及(2)強度及耐久性高於原混凝土等條件，均可作為大塊混凝土剝落的合宜修補材料。

環氧樹脂系砂漿大都為 A、B 劑型式產品，使用時將 A、B 劑依製造商提供之比例混合即可直接使用。一般 A、B 劑混合使用時約在 1~2 小時內，故真正大面積之修補應注意其時效。進行大塊混凝土剝落之修補時，先以底劑 (primer) 塗抹於舊有混凝土表面，再將混合完成後之環氧樹脂砂漿填補抹平即可。由於環氧樹脂須在乾燥環境中才能完全硬化並確保品質，故在潮濕環境下不宜採用環氧樹脂系砂漿。一般而言，A、B 型之環氧樹脂砂漿其比重較一般砂漿為輕 (比重大都低於 1.2)，故又稱輕質砂漿。

壓克力樹脂系砂漿係在一般砂漿拌合時添加適量的壓克力樹

脂即成。添加壓克力樹脂後之砂漿，其粘著性及水密性均可得到有效改良。因壓克力樹脂系砂漿與傳統砂漿之施工方式大致相同，故可應用於大面積之混凝土修補作業，惟其比重與一般砂漿相同（約 2.2~2.3），故無法達成減重的補強效果。另在潮濕環境下，祇要注意水量不影響水灰比（W/C）而導致砂漿強度降低，壓克力樹脂系砂漿可滿意的在潮濕環境下施工。

綜合前述，環氧樹脂系砂漿與壓克力樹脂系砂漿各有其特性。一般而言，環氧樹脂系砂漿成本較高，但重量輕、且粘結性能及本身強度均高於壓克力樹脂系砂漿，惟環氧樹脂砂漿 A、B 劑混合後須在 1~2 小時內施工，且環氧樹脂在潮濕條件下不易硬化等特性，採用時應特別注意。至於壓克力樹脂系砂漿可視為添加摻料（admixture）之傳統砂漿，其成本較低，比重較重，可大面積施工，惟應注意新舊混凝土界面之處理，以確保其修復補強效果。

2-3 粘結用修補強材料

在鋼筋混凝土構造物之修復補強工法中，常以外加貼片（鋼板、FRP...）或植入鋼材（螺栓、鋼筋）等方式，以補強原有鋼筋混凝土構造。在既有鋼筋混凝土構造物上，欲外加貼片或植入鋼材，常須採適當之粘結材料加以確實粘結，以確保外加之貼片或植入之鋼材得以有效發揮其補強效果。

目前在工程界常被採用的粘結用修復補強材料約有(1)粘著外加貼片的環氧樹脂(2)粘著植入鋼筋的化學膠結劑及(3)粘著植入螺栓專用的化學螺栓固結劑等三類粘結材料。

在粘著外加貼片的環氧樹脂方面，基本上與裂縫灌注所採用之

環氧樹脂同類型（type IV，grade 1，class C），惟需注意一般工程用環氧樹脂之熱轉換溫度（heat deflection temperature）約在 50℃，故應注意採用場合若可能發生高溫時，應特別予以注意採用特殊改良型的環氧樹脂粘結劑，以確保粘著補強效果。

在植入鋼材部份，一般均先以電鑽鑽孔至預定深度，並於孔中先置入固結材料，再將鋼筋或螺栓插入以達到完全粘結的植入效果。植入的鋼材，主要係為接續外加的補強結構元件所設。若外加的補強結構元件為鋼構元件（型鋼），則植入的鋼材須為螺栓型式，以使外加之補強鋼構元件得以錨碇於既有鋼筋混凝土構造物上。若外加的補強結構元件為新灌鋼筋混凝土，則植入的鋼材應為鋼筋，以使新灌的混凝土內鋼筋能有效的搭接，並藉植入的鋼筋使新灌鋼筋混凝土與既有鋼筋混凝土能確實的粘結成一體。

目前市面上常見的植入鋼材固結劑，可分為化學藥管型及乳膠注入型等兩類固結劑。化學藥管型固結劑，一般常用於固結植入螺栓。施工時先將化學藥管埋入預鑽的孔中，藉植入的螺栓將藥管鑽破使藥管內的藥劑與空氣產生化學作用，填滿鑽孔與螺栓間之空隙，進而達成固結的效果。

乳膠注入型固結劑使用時類似填縫用的填縫膠（silicon），一般常用於植入鋼筋狀況，施工時，將孔膠注入於預鑽的孔內後，再將鋼筋插入已填滿孔膠固結劑的孔內即成。

不管化學藥管或孔膠固結劑，均有專業的生產廠商製造，其各家之配方亦各有不同。一般廠家均會提供建議的植入深度與間距，供設計者採用，惟採用時應注意既有構造物之混凝土強度是否堪用。

2-4 主要受力用材料

所有新建的結構工程用材料，均可在修復補強工程中採用，如型鋼、鋼板、鋼筋、預力鋼鍵、混凝土及纖維複合材料等。對鋼材（型鋼、鋼板、鋼筋、預力鋼鍵）及混凝土等結構材料，已有充分之規範並為工程師所熟悉，故不擬贅述。在此僅針對纖維複合材料一項，作一概略說明。

纖維複合材料（FRP）為高分子強化複合材料，主要由纖維（fiber）及膠結材（matrix）所組成。纖維的種類很多，主要有碳纖維（carbon-fiber），玻璃纖維（glass-fiber），芳香族纖維（Aramid-fiber）及硼纖維（boron-fiber）等，而膠結材則有熱固性樹脂、熱塑性樹脂、金屬膠結材及水泥膠結材等。將纖維及膠結材藉由硬化劑及催化劑的作用，使其成為緊密結合的複合材料，展現出質輕且力學性質優良的工程材料特性。一般工程界所常採用的纖維複合材料，主要係碳纖維或玻璃纖維配合樹脂膠結材（特殊樹脂）所形成的碳纖維複合材料（CFRP）或玻璃纖維複合材料（GFRP）。下表為碳纖維材料及玻璃纖維材料的基本力學參數及特性。

複合補強用纖維材料之物性

纖維種類	纖維直徑 (μ)	密度 (g/cm^3)	張力強度 (kgf/mm^2)	張力模數 $\times 10^3 \text{ kgf/mm}$
E級玻璃纖維	13	2.54	350	7.4
碳纖維	7.8	1.8	370~510	24

碳纖維與玻璃纖維的特性比較

碳 纖 維	玻 璃 纖 維
1.極高比強度，比彈性係數 2.優越耐熱特性、其熱膨脹係數小，導熱係數大。 3.電傳導性能佳 4.耐腐蝕及抗化學性能佳 5.X-光透光性高	1.高抗張強度 2.韌性佳，最大伸長率約為 5 % 3.電氣絕緣性能良好 4.耐腐蝕性能佳 5.價格低廉

纖維複合材料之成品主要為層狀，依纖維方向使纖維複合材料基本上為單向性材料，但藉由多層不同角度的纖維組合，可形成平面多方向性的材料。上表之力學參數，主要係針對主要纖維方向而言，對第二及第三方向則完全不適用。設計時需藉多層不同角度之纖維組合，以達成平面多方向性強度之需求。

目前工程用纖維複合材料均屬專業廠商之特殊產品，大部分均為進口，國內所投入研發亦已略見成效。總體而言，質輕強度高的纖維複合材料應屬新世代的工程材料，惟目前仍有成本及部分結構力學上之盲點（如無法有效承受壓應力）有待克服。

第三章 修復補強工法

鋼筋混凝土建築物受損後，基本上有「修復 (Repair)」及「補強(Rehabilitation)」等兩種處理方式。其中修復工法旨在維持結構物之現有強度，防止繼續劣化，至於補強工法則能有效提高結構物之強度或韌性。應用上「修復」主要係針對結構元件進行修復，「補強」則可對結構元件或整體結構系統進行補強。故鋼筋混凝土建築物之修復與補強工法，依其應用方式不同可概分為四大類

- (1) 結構元件修復工法
- (2) 結構元件補強工法
- (3) 結構系統改善補強工法
- (4) 結構系統加設消能隔減震裝置補強工法

以下則對於上述四類修復與補強工法，將目前工程界常採用的實用方式，分別述明其內涵，以供工程界在結構補強設計施工時參考採用。在實際應用上，則往往為結構系統與結構元件之補強方式混合使用，以收最佳之補強功效。

3-1 結構元件修復工法

鋼筋混凝土建築物之結構元件受損，依其受損之混凝土表徵，概分為（1）混凝土局部裂縫（2）混凝土局部鬆動及（3）混凝土嚴重開裂剝落等三種。鋼筋混凝土結構元件若產生前述之受損現象，祇要鋼筋與混凝土尚具有整體性（粘結裹握尚稱完好），則均可以合宜之工法材料，將其「修復」，亦即可藉由「修復」工法維持住目前之結構元件強度。另有關氯離子含量偏高（俗稱海砂屋）之鋼筋混凝土結構物，本節亦摘述陰極防蝕工法，以供修復此類結構元件時，得以保護鋼筋不致腐蝕以確保其耐久性。

3-1-1 裂縫灌注環氧樹脂工法

- (1)適用狀況：鋼筋混凝土樑、柱、版、牆等結構元件，發生寬度在 0.3mm 以上之結構性裂縫，可以壓力將環氧樹脂注入填滿裂縫，以修復受損之樑、柱、版牆等結構元件，防止水分滲入造成鋼筋腐蝕。
- (2)特性說明：一般而言，環氧樹脂之力學強度遠高於混凝土，且環氧樹脂可與混凝土充分粘結，故注入環氧樹脂後之裂縫可完全密合，而達防止水份滲入的目的。另若再有外力造成混凝土開裂，則因環氧樹脂粘結係強度高於鄰近混凝土，故其再開裂位置應不會再在已灌注環氧樹脂之裂縫位置。
- (3)施工法：先沿裂縫方向約每隔 30cm 設置灌注頭，再將封塞劑塗封裂縫表面以防環氧樹脂外滲，待封塞劑硬化後，以裝有環氧樹脂之針筒從灌注頭將環氧樹脂以壓力注入裂縫直到填滿為止。
- (4)注意事項：
 - 力學上環氧樹脂僅能粘合開裂之混凝土，並無法提升整體混凝土強度。
 - 施工時應注意針筒中之環氧樹脂若已完全注入裂縫，應立即抽換針筒再補充環氧樹脂繼續灌注，以求裂縫確實填滿環氧樹脂。

3-1-2 敲除鬆動混凝土再以樹脂砂漿修復工法

- (1)適用時機：鋼筋混凝土結構元件中局部混凝土嚴重開裂或鬆動，與整體元件已明顯不符鋼筋混凝土力學行為者，可將嚴重開裂或鬆動部分敲除，再以樹脂砂漿修復結構元件。
- (2)特性說明：樹脂砂漿一般為乾式施工（A.B 劑混合即可填補施作），當嚴重開裂或鬆動部分敲除並清理乾淨後，用樹脂砂漿應可有效修復結構元件之現有強度。
- (3)施工法：首先將結構元件之嚴重開裂或動部分敲除，再以高壓空氣或水沖淨混凝土表面，待其乾燥後先塗抹底劑，再將A.B 劑混合後之樹脂砂漿填補敲除部分混凝土並抹平即可。
- (4)注意事項：
- 敲除嚴重開裂或鬆動之混凝土後，剩餘表面應確實清理乾淨。
 - 一般樹脂砂漿為 A、B 劑乾式混合即可施作，應注意施工位乾燥不得有額外水份。
 - 底劑塗抹應注意均勻塗於清理乾淨後之混凝土表面。

3-1-3 局部構件敲除重作工法

- (1)適用時機：鋼筋混凝土元件嚴重開裂或鬆動部分所佔比例過大，無法以樹脂砂漿填補時，可將鬆動或嚴重損害部分完全敲除後，重新灌置混凝土以修復受損結構元件。
- (2)特性說明：當鬆動或嚴重開裂混凝土之體積過大時，新拌樹脂砂漿不易固著且不經濟，故可將舊有混凝土表面清洗乾淨並組模後，依新舊混凝土交界之施工方式修復嚴重受損之結構元件。
- (3)施工法：先敲除嚴重受損或鬆動之混凝土並清潔舊有混凝土表面，組模後在舊有混凝土面先以水泥漿潤濕表面，再澆置新拌混凝土並注意養生即可。
- (4)注意事項：
 - 敲除後之結構元件應注意施工期間之結構安全性（注意加設臨時支撐）。
 - 新舊混凝土應注意接著面鑿毛並以水泥漿潤濕。
 - 新灌混凝土應注意養生並注意拆除臨時支撐之時程。

3-1-4 陰極防蝕工法

- (1)適用時機：鋼筋混凝土結構物因鹽份而產生腐蝕問題，依據美國公路管理局（FHWA）建議「陰極防蝕法為抑制因鹽份所產生的鋼筋混凝土腐蝕問題唯一有效方法」。但若鋼筋是因混凝土中性化而腐蝕，則陰極防蝕工法的可行性就必需審慎評估。一般而言，陰極防蝕工法可適用於地面上、下及水面上下的結構。
- (2)特性說明：鋼筋混凝土陰極防蝕的原理係對鋼筋提供一系統使其表面均呈陰極反應，而不再釋放出電子，亦即鋼筋將不再腐蝕。電流來源可以直流電流供應器或安裝一比鋼筋電位低的犧牲陽極。由於此一個方法係根本抑制腐蝕過程，倘若系統正常運作，其有效防蝕年限可以相當久，目前最久的個案迄今已有 30 多年的使用。
- (3)施工法：施工法可分為外加電流法及犧牲陽極法，一般在地上的結構物由於混凝土比電阻較高，大部份採用外加電流法。外加電流法的施工程序分述如下：系統設計--混凝土表面處理及修復--電極安裝--負極系統安裝--陽極系統安裝--監偵測系統安裝--試驗--維護使用。犧牲陽極法的施工較外加電流法為簡單，但供電能力受混凝土比電阻限制，為其最大缺點。
- (4)注意事項：
- 運用陰極防蝕工法於預力結構上時，必須考量電流過大時預力金屬可能產生的氣脆問題。
 - 運用陰極防蝕工法於預力結構中，必須注意套管可能會隔離電流導致預力鋼鍵無法接受到保護電流。

- 。運用陰極防蝕工法時應注意與結構補強工法之間的相容性，一般而言，在以樹脂砂漿作結構修復補強時，因樹脂砂漿會使混凝土比電阻提高，可能造成陰極防蝕工法失效，應予以特別注意。

3-2 結構元件補強工法

結構物基本上係由許多結構元件所組成，在鋼筋混凝土建築物中，最常見的結構元件有樑、柱、版、牆及基礎等各種結構元件。另外在樑柱構架系統中，則尚有樑柱接頭部分，亦須加以考量。一般而言，在鋼筋混凝土建築物之結構設計過程中係將複雜的三維應力問題，轉成各結構元件的剪力、彎矩、軸力及扭力等四種斷面合成力素，作為結構設計時的依據。故為配合工程的實用性，相關的結構補強工法，亦皆針對各種斷面合成力素（剪力、彎矩、軸力及扭力）加以補強，以收結構補強之功效。

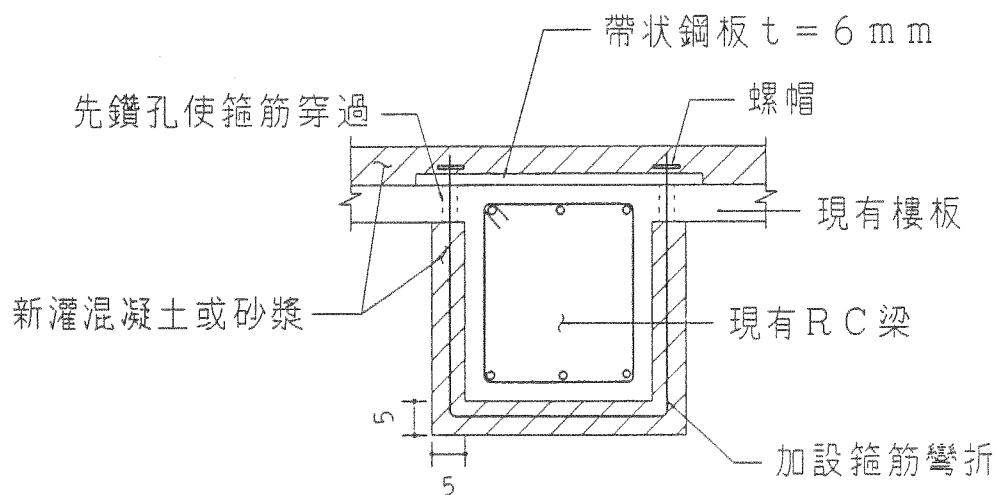
以下共提出十八種對鋼筋混凝土樑柱板牆剪力、彎矩、軸力及韌性的補強方式，其中部分的補強方式已經研究証實成效可靠，另部份補強方式目前仍尚處於工程直覺判斷的階段。至於樑柱接頭等部位的補強工法，因迄今並無較為可靠的補強方式可供參考，故此部分在此暫不討論。

另外若就結構補強原理而言，對各結構元件加以補強，一般皆多少可提升總體結構之強度，惟其補強成本卻極不經濟。故實用上，結構元件之補強，常須與結構系統之改善補強配合使用，以求最佳之補強效果。

3-2-1 樑加設箍筋補強工法（剪力補強）

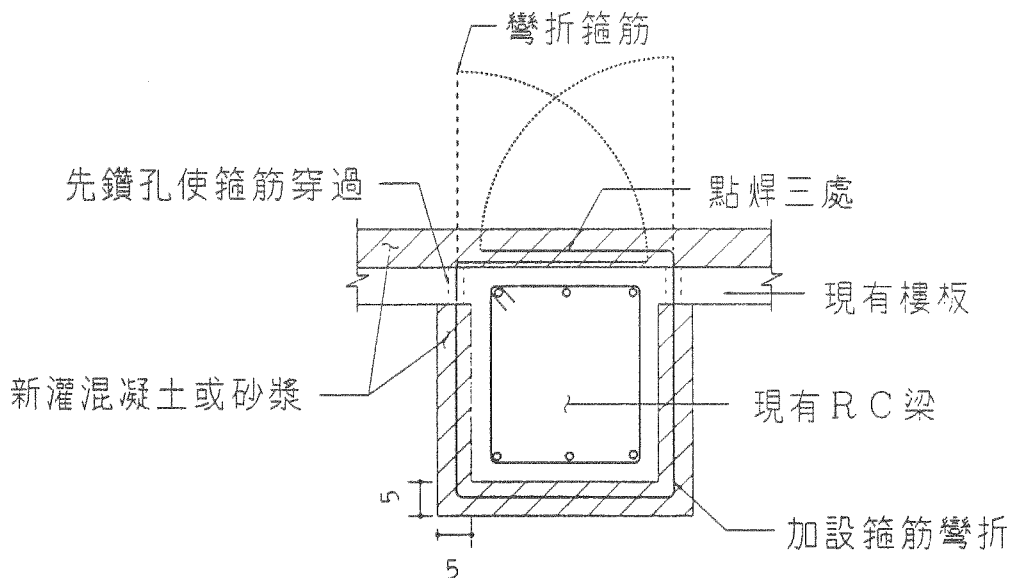
- (1)適用狀況：鋼筋混凝土樑剪力強度不足的原因很多，除國內最常見的混凝土強度不足，或增加載重樑剪力強度不足外，主要造成樑剪力強度不足有二：(一)早期樑設計並無韌性設計的要求，(二)補強設計中加設斜撐或剪力牆以抵抗橫力致鄰跨樑應力提高導致剪力強度不足。在樑剪力強度不足時，可以加設箍筋方式提高樑之剪力強度。
- (2)特性說明：在地震頻繁之台灣，建築物之韌性乃為當前學界公認最有效的建築物耐震機制，而樑之韌性則完全依賴樑之剪力強度是否足以提供樑端塑性鉸的產生。以加設箍筋方式施工應是最有效的提高樑剪力強度又不會增加彎矩強度的補強方之一。另因混凝土之新舊混凝土交界面施工，若經適當處理應可達到充分粘結，故樑加設箍筋方式應可直接以鋼筋混凝土理論作為設計依據。
- (3)施工法：R.C 樑之加設箍筋補強方式，可先敲除保護層（若有樓高挑限制）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。施工時先鑽孔穿透樑邊樓版，再將箍筋由鑽孔穿過（一般而言由下往上穿過較易施工），頂部之帶狀鋼板或直接彎折箍筋均可適用。
- (4)注意事項：
- 原有混凝土面應先鑿毛洗淨，以充分結合新舊混凝土，另原有之粉刷層應先敲除。
 - 若樑組模新灌混凝土，則應注意混凝土最大骨材料徑不得大於 1cm，並具足夠坍度以能確實灌滿填實，另澆置時須自樑兩側同時澆置。

(5) 梁加設箍筋施工參考圖



詳圖一 R C 梁加設箍筋

Scale: N. T. S.



詳圖二 R C 梁加設箍筋

Scale: N. T. S.

3-2-2 樑帶狀鋼板補強工法（剪力補強）

(1)適用狀況：鋼筋混凝土樑剪力強度不足時，除以加設箍筋方式補強外，亦可以帶狀 U 型鋼版包覆於鋼筋混凝土樑上，以提升鋼筋混凝土樑之剪力強度。一般而言，加設箍筋方式須灌置新混凝土(樑頂部及樑底部各最少 5cm)，故而會減少樓層淨高。帶狀 U 型鋼板則不需灌置新混凝土，對樓層高度較為不足的建築物，帶狀 U 型鋼板較加設箍筋方式更具合宜性。

(2)特性說明：以帶狀 U 型鋼板包覆鋼筋混凝土樑之補強方式，基本上係利用環氧樹脂將帶狀鋼版與鋼筋混凝土樑粘結成一體，以期帶狀 U 型鋼板能發揮如箍筋之抗剪效果。惟因 U 型鋼板乃單面利用環氧樹脂與鋼筋混凝土樑粘著，其力量係透過環氧樹脂之粘結效果傳遞至鋼板，不像加設箍筋再灌漿的方式，係從加設的箍筋四週混凝土裏握與箍筋整體發揮效果。故加設箍筋再灌漿方式，可以鋼筋混凝土樑剪力強度理論加以檢核補強效果，但帶狀 U 型鋼板的補強方式則至今仍無一可供定量設計之研究成果可供參考。由目前所知之試驗研究成果可知，帶狀鋼板之剪力補強，須使帶狀鋼板成封閉型式才能有效提升其剪力強度，惟其效用並不宜以鋼筋混凝土箍筋理論計算。

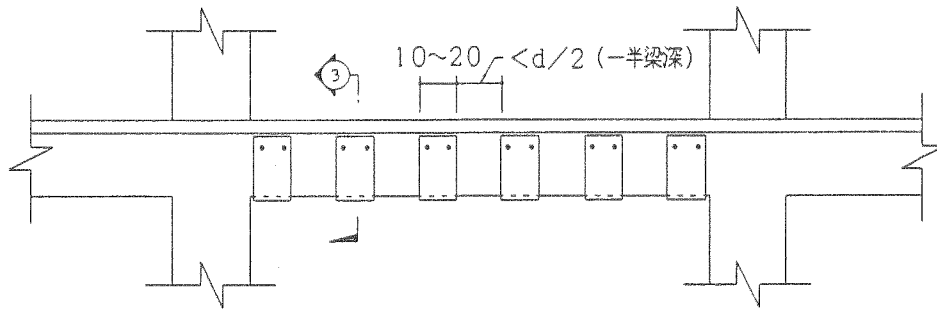
(3)施工法：帶狀 U 型鋼板之補強方式，有附圖中所示之三種施工細節，曾被學者具體試驗過其行為。由研究成果顯示，帶狀 U 型鋼板應設法使其成封閉模式，方可有效提升鋼筋混凝土樑之抗剪強度。其中封閉型狀之帶

狀 U 型鋼板又以貫穿螺栓將 U 型鋼板鎖成一封閉箍筋型式最為有效。施工時，先將原鋼筋混凝土樑之粉刷層敲除，再於樑位(版下)鑽貫穿孔位，由現場鑽得之孔位，反套於預先切割成型之 U 型鋼板上鑽孔以便現場安裝。裝設完成後之 U 型鋼板，先於鋼板四週填封塞劑，再將 U 型鋼板與鋼筋混凝土樑間之空隙以環氧樹脂灌滿，最後再在 U 型鋼板表面作防銹處理。

(4)注意事項：

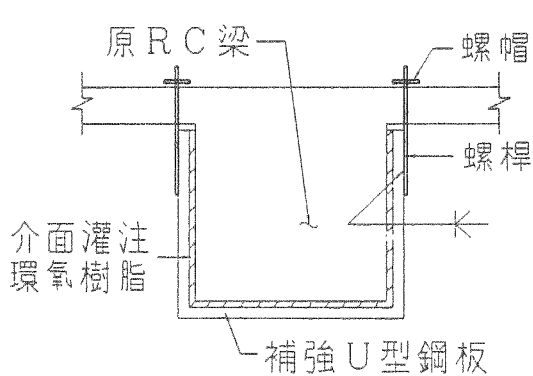
- 現場鑽貫穿孔可能碰到原鋼筋混凝土樑鋼筋，作局部之調整移位應可達成鑽孔之目的。U 型鋼板之孔位則須待現場孔位完成後，再配合現場之安裝。
- 與混凝土接觸之 U 型鋼板面，應作噴砂處理以加強鋼板與混凝土間之粘結效果。
- 鋼板不宜過厚，亦不須採高強度鋼，一般而言 3mm~6mm 之厚度 應屬合宜，
- 鋼板與混凝土間空隙不宜過大，最好不超過 3mm，另安裝完成後之鋼板表面應作防銹處理，以確保其性。

(5) 梁帶狀U型鋼板補強施工參考圖



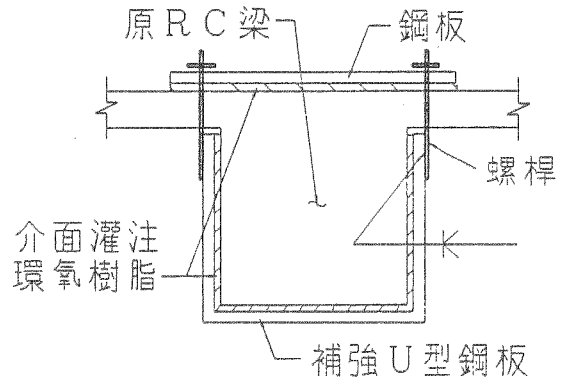
帶狀U型鋼板示意圖

Scale: N. T. S Unit: cm



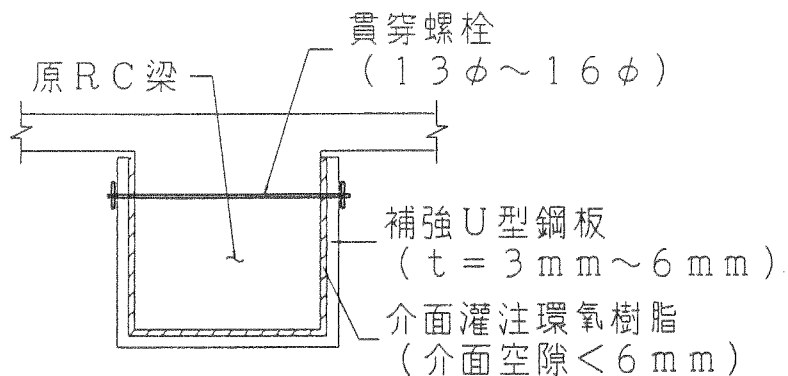
詳圖一 剪力補強效果普通

Scale: N. T. S.



詳圖二 剪力補強效果適佳

Scale: N. T. S.



詳圖三 剪力補強效果最適佳

Scale: N. T. S.

3-2-3 樑中央底部鋼板補強工法（正彎矩補強）

(1)適用時機：鋼筋混凝土樑柱構架之樑中央主要承受垂直載重所產生的正彎矩(底部受拉)，當原鋼筋混凝土樑正彎矩強度不足抵抗外力所造成之樑中央正彎矩時，則在樑中央底部鋼板以環氧樹脂粘貼於鋼筋混凝土樑上，以增加原鋼筋混凝土樑之正彎矩強度，應為一適當可行之補強方式。

(2)特性說明：目前學術界對鋼筋混凝土構件鋼板(貼片)補強之研究，絕大部分均從「將外加鋼板視為鋼筋並以鋼筋混凝土理論加以分析」的角度切入研究。這其中又以彎矩補強的研究成果最為顯著。由所有研究成果均顯示，將鋼板粘貼於鋼筋混凝土樑主筋外側，可採鋼筋混凝土理論視鋼板為鋼筋(主筋)作為設計分析的方法，但必須特別注意：

(1)鋼板寬厚比不宜過小， $b/t > 50$ 。

(2)鋼板須兩側適當延伸(最少須延伸至彎矩容量圖以外)，且端點處須作適當錨碇措施。此錨碇措施以 U 型托架最為有效，錨碇螺栓次之。

(3)施工法：首先將鋼筋混凝土樑底粉刷層敲除乾淨，再將鋼板及兩端之 U 型托架假安裝於樑底欲補強位置(必要時可以膨脹螺栓做假安裝)，塗抹封塞劑以防灌注環氧樹脂時滲漏。待封塞劑硬化後再以壓力將環氧樹脂灌入填滿空隙，最後再在鋼板之外側作防銹處理即可。

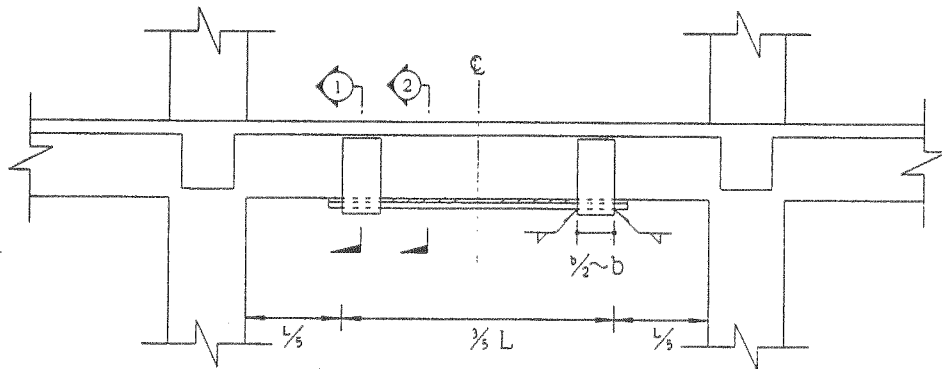
(4)注意事項：

。鋼板與鋼筋混凝土樑之粘結面，應注意先作噴砂處理，

以增強鋼板與混凝土間之粘接效果。

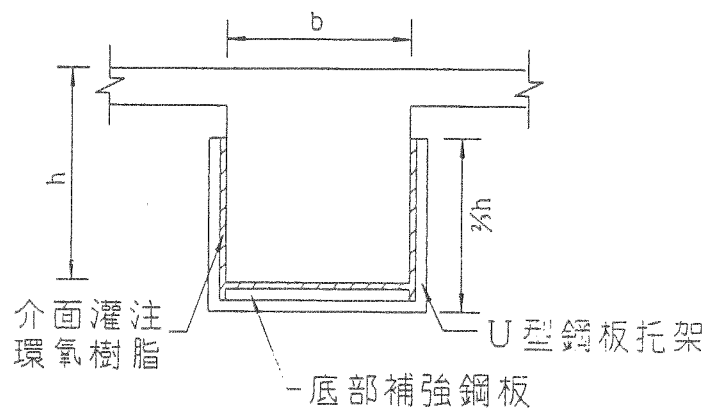
- 鋼板與鋼筋混凝土樑間之空隙，應注意儘量保持在 3mm 以下(不得超過 6mm)，以提高粘著強度。
- 鋼板與混凝土間空隙灌注環氧樹脂時，應注意預留出氣孔，以確保注入之環氧樹脂確實填滿空隙。

(5) 梁中央底部鋼板補強施工參考圖



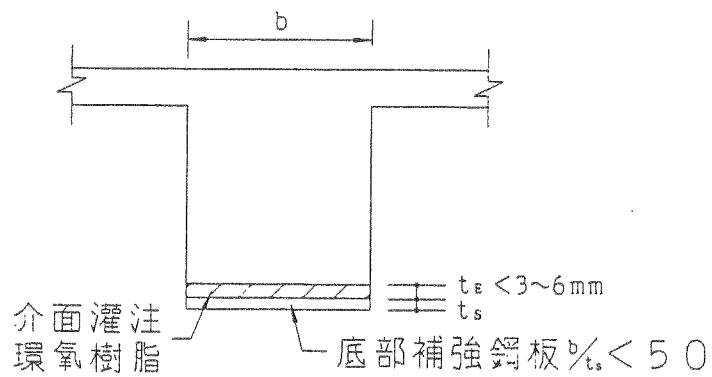
採中央底部鋼板補示意圖強

Scale: N. T. S.



1-1 剖面圖

Scale: N. T. S.



2-2 剖面圖

Scale: N. T. S.

3-2-4 樑兩端頂部鋼板補強工法（負彎矩補強）

(1)適用時機：鋼筋混凝土建築因垂直力之作用造成鋼筋混凝土樑兩端之彎矩強度不足以抵抗外力所產生之負彎矩(頂部受拉)時，可在樑兩端頂部以鋼板粘貼之補強方式，提高鋼筋混凝土樑兩端之負彎矩強度，以符合安全需求。但對地震加風力等水平外力而言，因都屬來回反復作用行為，故單純的鋼筋混凝土樑端頂部鋼板補強，並無法確實有效的提升樑端抵抗反復載重的負彎矩強度。

(2)特性說明：鋼筋混凝土樑以在主筋方向粘貼鋼板方式來提升其彎矩強度的補強方法，基本上已被研究證實有效，惟鋼板兩端的錨碇措施必須確實有效(如中央底部鋼板補強之U型托架)，否則鋼板極易產生剝離。

一般而言，鋼筋混凝土建築物之樑柱構架系統，其樑端因有柱的存在，補強鋼板無法延伸入柱範圍，且亦無法以U型托架的方式，將補強鋼板作一有效的錨碇。由於上述原因，目前學界之研究對樑端負彎矩之補強，尚無顯著結論。惟依據基本結構力學力量傳遞觀念，利用逐漸擴展鋼板的方式，將補強鋼板在柱面前一段距離擴展轉換至柱兩側面樑上加以錨碇，應可達到負彎矩補強效果。

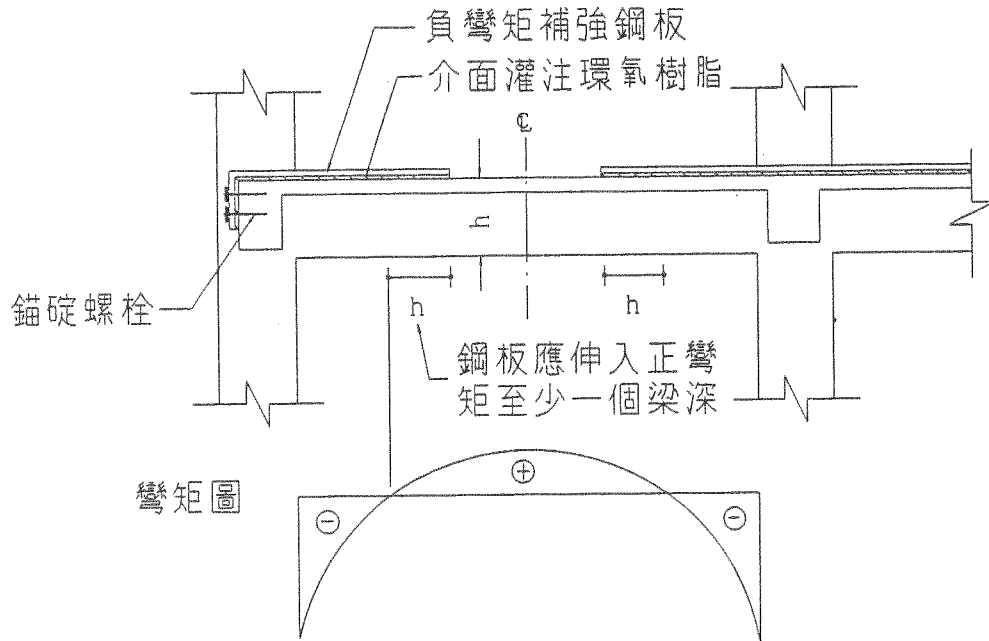
(3)施工法：先將欲補強位置之鋼筋混凝土樑頂面及樓版面的粉刷層敲除，再將預先裁切好之鋼板假安裝於鋼筋混凝土樑上(必要時可以膨脹螺栓先行固定)，並確實注意鋼板與混凝土間之空隙須小於3 mm(最大不得超過6 mm)，若在

不連續端作負彎矩補強則應先行鑽孔以埋設錨碇螺栓。鋼板假固定完成後，先在鋼板四週塗抹封塞劑，待封塞劑硬化後即可在鋼板與混凝土間空隙灌注環氧樹脂至確實填滿為止。最後再對鋼板外表做適當防銹處理即可。

(4)注意事項：

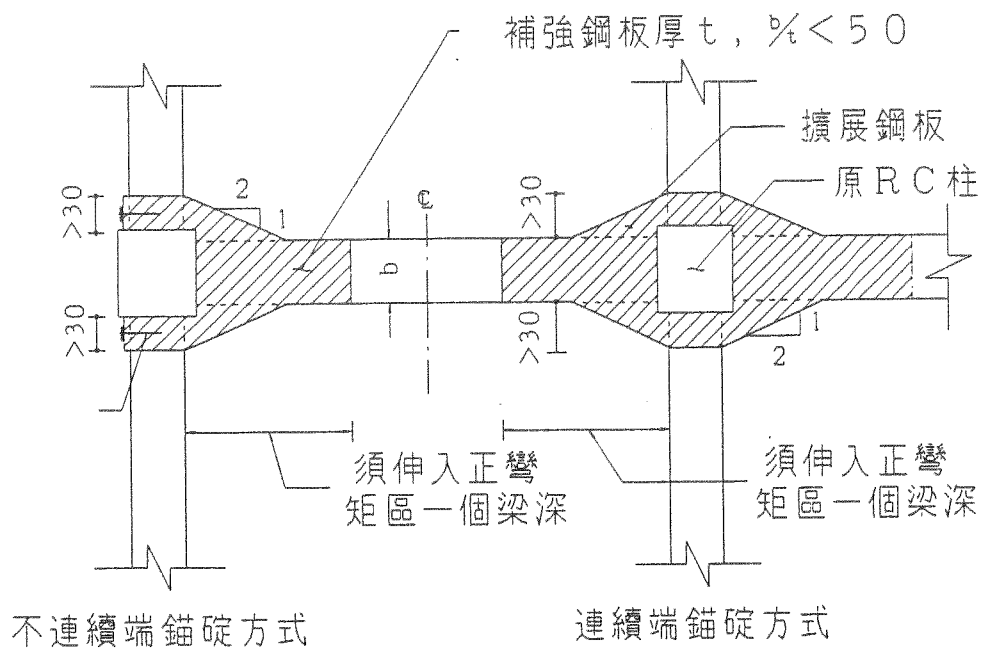
- 此類負彎矩鋼板補強方式，並未經嚴謹研究證明與正彎矩鋼板補強具同樣效用，故設計時宜偏保守考量。
- 樑端鋼板之錨碇，在不連續端係靠鋼板彎折後錨碇於兩側向樑之螺栓(詳施工圖)，在連續端則靠柱左右樑之補強鋼板連續使其產生自我平衡。設計時應特別注意錨碇措施之可靠度。又不連續端之錨碇係從柱之另兩橫向樑作錨碇，應注意兩橫向樑之弱軸彎矩強度，是否足以抵抗此錨碇所需傳遞之力。
- 由於敲除粉刷層後鋼板係向下覆蓋，在覆蓋前應確實清理混凝土表面，不得殘留粉屑，以免折損環氧樹脂之粘著強度。
- 補強鋼板施工完成後，應注意加設鋼板後之樓板面高程，須作適當之地坪整修處理。
- 本鋼板補強負彎矩的方式僅適用於垂直力的負彎矩補強，地震力之樑端負彎矩因係反復載重，故樑端底部之負彎矩並無法藉此方式達到具體補強效果。

(5) 梁兩端頂部鋼板補強施工參考圖



RC 梁端鋼板補強立面圖

Scale: N. T. S.



RC 梁端鋼板補強平面圖

Scale: N. T. S. Unit: cm

3-2-5 樑兩側鋼板補強工法（剪力與彎矩補強）

(1)適用時機：鋼筋混凝土樑剪力彎矩強度普遍不足時，可以樑兩側夾鋼板的補強方式，視鋼筋混凝土樑與兩側鋼板為複合三明治樑，共同分擔外力，進而提升鋼筋混凝土樑的總體剪力彎矩強度。

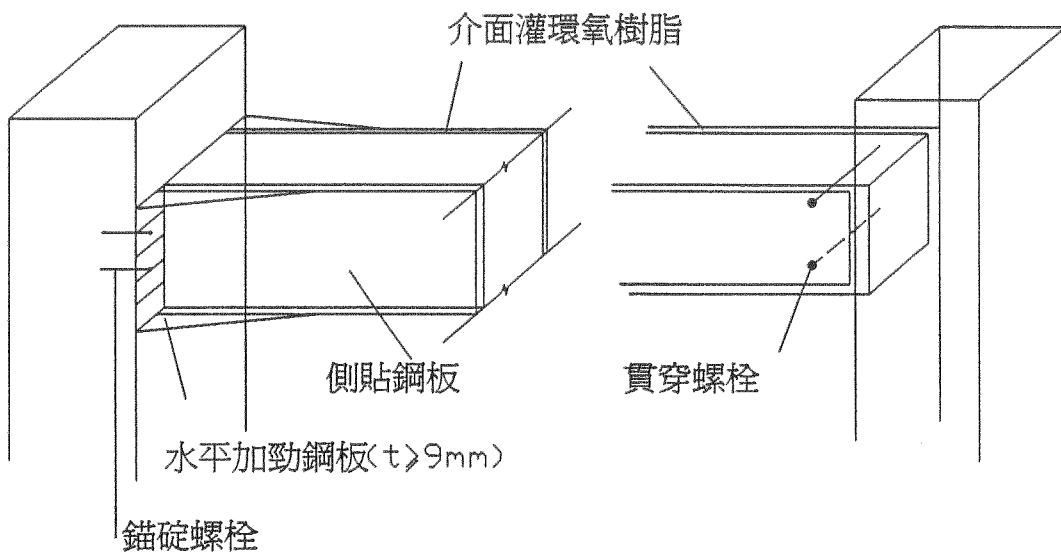
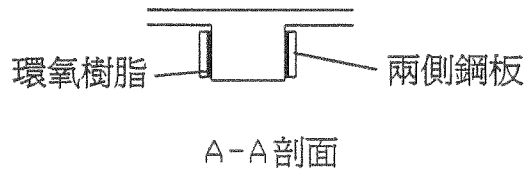
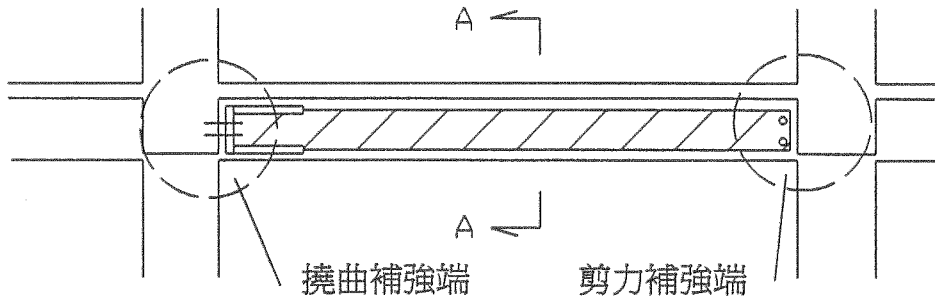
(2)特性說明：在鋼筋混凝土建築物構架中，於樑的兩側粘貼鋼板補強，為最不影響原建築使用空間的補強方式之一。若將兩側鋼板與原鋼筋混凝土樑視為複合的三明治樑，則原鋼筋混凝土樑的剪力與彎矩強度可同時獲得提升。由研究証實撓曲強度不足時，臨柱端的鋼板可藉擴角加勁板的補強方式，有效發揮兩側鋼板的撓曲強度。又若剪力強度不足時，兩側鋼板加設貫穿螺栓亦可增加其抗剪強度，進而有效提升原鋼筋混凝土樑的剪力與撓曲強度。

(3)施工法：同前述之鋼板補強施工方式，僅加設的螺栓與鋼板的位置有所不同而已。

(4)注意事項：

- 欲充分發揮兩側補強的撓曲強度，臨柱端的加勁水平鋼板及錨碇螺栓，須非常確實的施工。尤其一般鋼筋混凝土柱的鋼筋已經很多，欲在柱面加設錨碇螺栓，其鑽孔施工更應注意，須避開鋼筋位置且不得傷及原鋼筋混凝土柱斷面。
- 剪力補強為主時的貫穿螺栓應可確保其效果，須注意一般的膨脹螺栓（貫入僅 5cm）在極限強度時常有拔出現象，故若無法設置貫穿螺栓時，至少應設置化學螺栓。

(5) 樑兩側鋼板補強參考圖



以撓曲為主的端點處理方式

以剪力補強為主的端點處理方式

3-2-6 樑中央底部纖維複合材料補強工法（正彎矩補強）

(1)適用時機：與 3-2-3 節之樑中央底部鋼板補強工法相同，惟以纖維複合材料替代鋼板而已。

(2)特性說明：此部份的研究亦已証實纖維補強只要兩端加設 U 型錨碇纖維，此纖維的補強可以鋼筋混凝土撓曲理論，視纖維為外加鋼筋加以計算。另纖維複合材料質輕且強度高的特性，在此正彎矩補強工法中其效果應較鋼板為佳。

(3)施工法：纖維複合材料的補強施工，基本上可分為事前整修及複合材料粘貼等兩部分。

(a)事前整修部份：

- ①敲除混凝土表面粉刷層及劣質部分。
- 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若補強構件有折角須作圓滑去角處理（使成圓溝滑）。

(b)粘貼纖維材料：

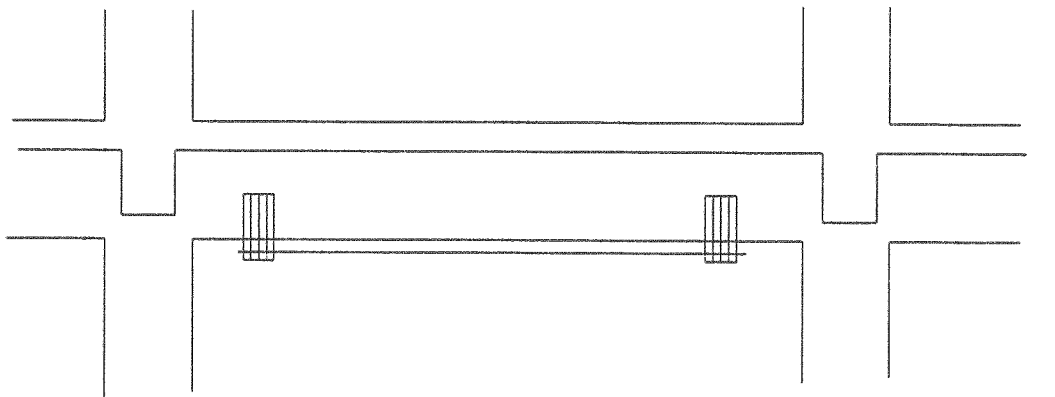
- ①以丙酮清洗已處理過之混凝土表面。
- ②塗刷底膠（底劑）。
- ③依設計方向鋪設纖維布及塗刷環氧樹脂。
- ④重復②、①至符於設計層數及方向。

(4)注意事項：

- 纖維複合材料的貼片補強，對原鋼筋混凝土樑之表面光滑度及折角圓滑度相當敏感，故事前的準備工作應特別注意處理。

- 纖維貼片的鋪設過程中，應確實將纖維浸透樹脂，且須於鋪設過程中以橡皮刮刀將氣泡確實去除，以確保複合材料補強效果。

(5) 樑底複合材料補強施工參考圖



1. 主要補強纖維
(層數視設計而定)



2. 端部固定纖維

3-2-7 樑兩端頂部複合材料補強工法（負彎矩補強）

- (1)適用時機：同 3-2-4 節之樑兩端頂部鋼板補強工法。
- (2)特性說明：纖維複合材料的補強與鋼板一樣，在適當的地方須有錨碇措施，其補強貼片方能有效的發揮效用。鋼板的不連續端負彎矩補強可以錨碇螺栓錨碇於橫向的樑上，至於纖維複合材料則不宜打設螺栓（因可能會破壞纖維），而宜以延伸長度替代。
- (3)施工法：同 3-2-6 節之纖維複合材料施工，惟須注意纖維之鋪設方向。
- (4)注意事項：
同 3-2-6 節纖維複合材料注意事項。

3-2-8 樑擴大斷面補強工法（剪力與彎矩補強）

(1)適用時機：鋼筋混凝土樑撓曲或剪力強度不足，若無樑加深（樓層淨高）及加寬的使用空間限制，可將鋼筋混凝土樑外加主筋與箍筋再以混凝土或砂漿將原樑斷面放大。為一經濟可靠的鋼筋混凝土樑補強方式之一。

(2)特性說明：一般而言，在原鋼筋混凝土樑柱之外側加設鋼筋再以混凝土或砂漿包覆，可使原鋼筋混凝土樑有效提升其斷面面積及強度，惟須注意新舊混凝土介面之施工處理及外加的鋼筋應設置有效的錨碇措施，藉以確實有效發揮鋼筋應力，進而提升樑之強度。

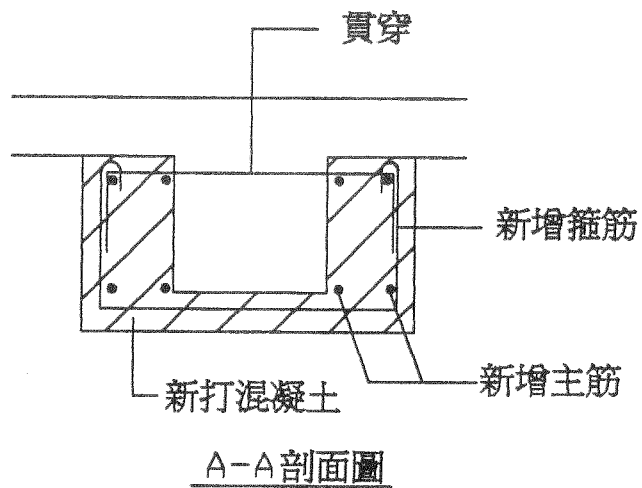
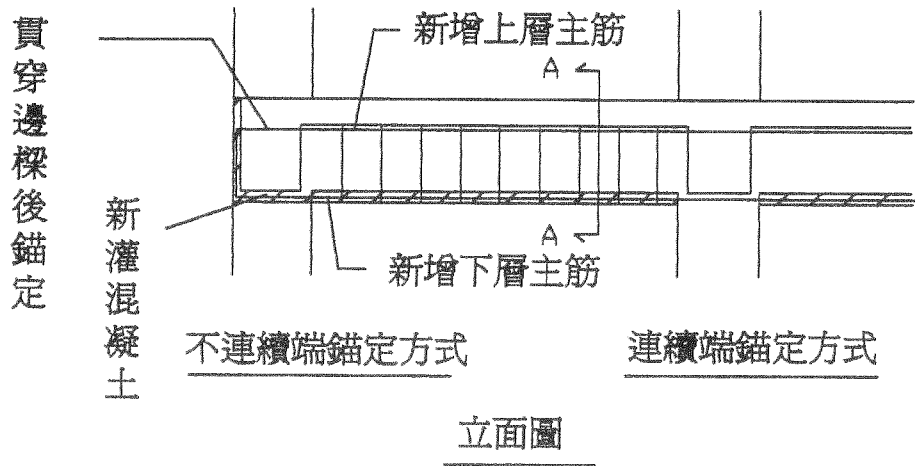
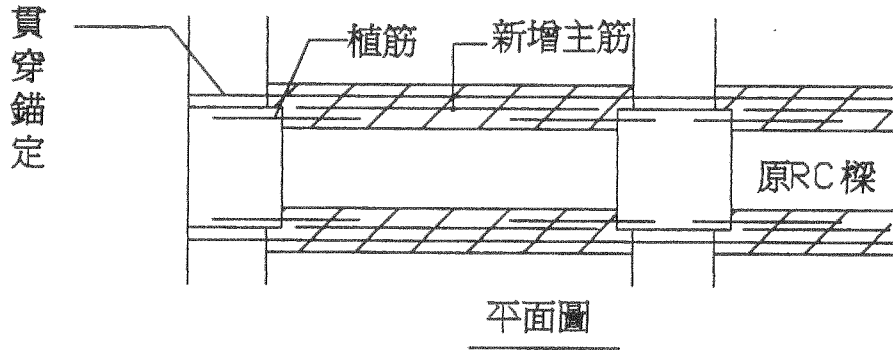
(3)施工法：原鋼筋混凝土樑擴大斷面的施工流程，除必要之鑽孔及敲除粉刷層外，與新作鋼筋混凝土工程相同。其步驟為：

- ①敲除原 RC 柱之粉刷層及鬆動部分保護層
- ②依需要位置鑽孔並配置鋼筋
- ③封模（若採噴砂漿或噴凝土則不需封模）
- ④砂漿或混凝土施工（澆置或噴漿）
- ⑤養生

(4)注意事項：

- 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，以利新舊混凝土介面之粘結。
- 主筋的配置應能直通或具適當的錨碇措施。

(5) 樑擴大斷面補強施工參考圖



3-2-9 柱加設箍筋補強工法（剪力圍系補強）

(1)適用時機：當鋼筋混凝土柱剪力強度不足或圍束效應不足時，可以柱加設箍筋方式補強。

(2)特性說明：鋼筋混凝土柱加設箍筋方式可有效提升柱之韌性，進而提升整體結構物之耐震能力。若加設之箍筋無法配合貫穿上下接層之主筋，則柱頂及柱底之撓曲強度不會提升，亦即祇會增加柱之韌性而不會增加柱之撓曲強度（即塑性剪力），對總體結構物有極佳的耐震補強效果。

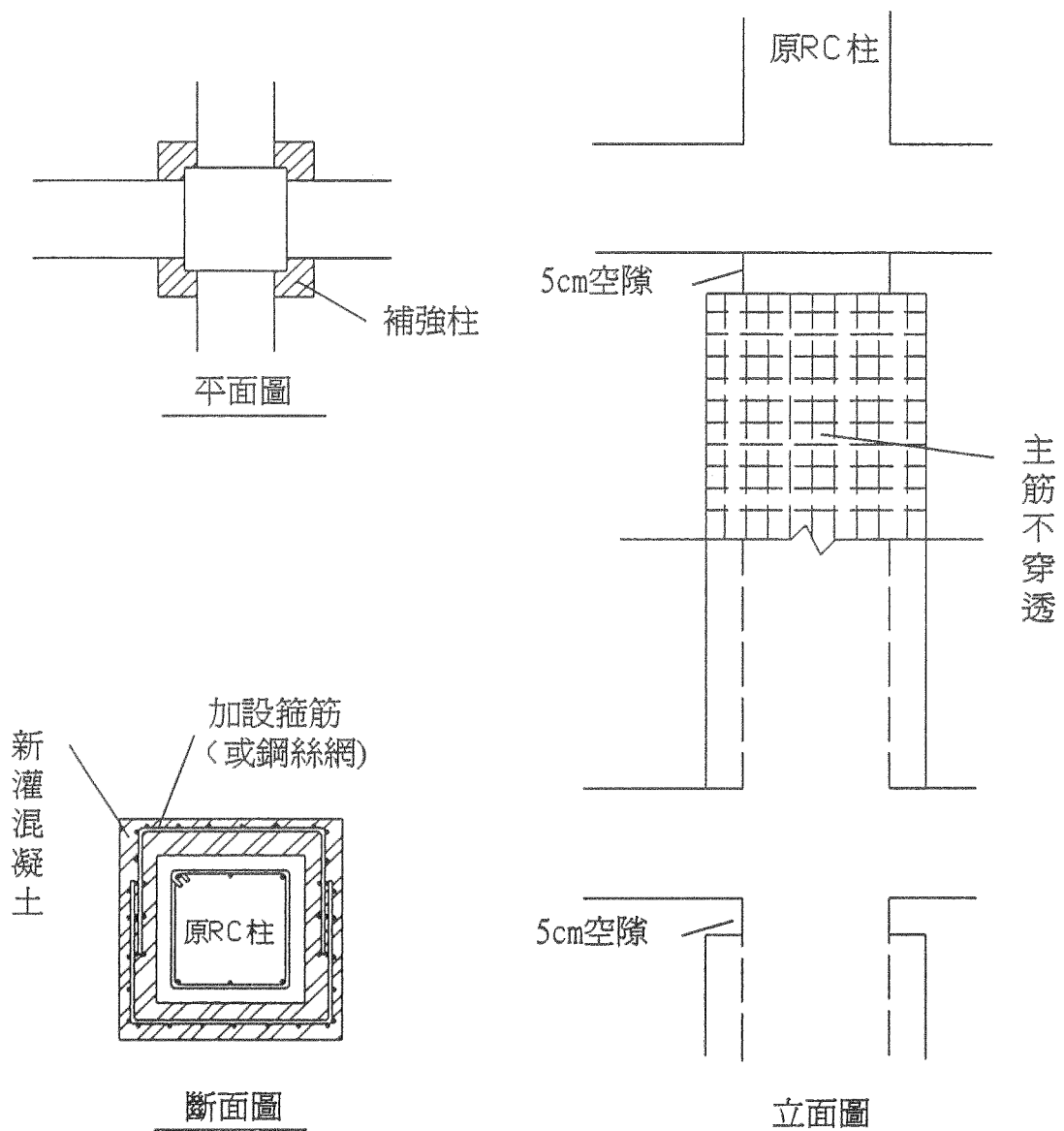
(3)施工法：

- ①敲除原鋼筋混凝土柱面之粉刷層及鬆動混凝土
- ②彎紮箍筋及固定用之縱向筋
- ③封模（預留適當喇叭灌漿口）
- ④澆置混凝土

(4)注意事項：

- 若僅為鋼筋混凝土柱韌性補強，則固定用縱向主筋不可貫穿上下樓層，以免柱端撓曲強度增加，導致塑性剪力亦增加。
- 新灌混凝土離柱頂應保有空隙以使韌性（柱端產生塑性鉸）得以充分發揮。

(5)柱加設箍筋補強工法參考圖



3-2-10 柱帶狀鋼板補強工法（剪力圍束補強）

(1)適用時機：同 3-2-9 節加設箍筋補強工法。

(2)特性說明：鋼筋混凝土柱以帶狀鋼板圍束補強，可有效提升柱之韌性，且不會增加太多之柱斷面積，在空間利用上較為經濟。

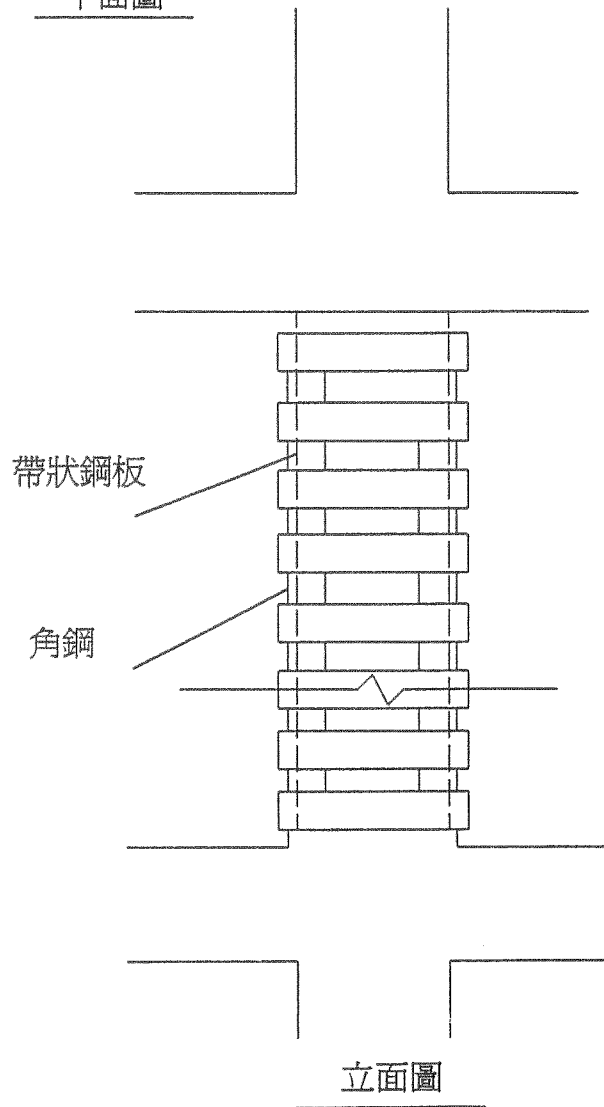
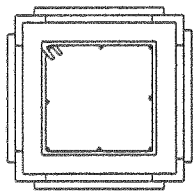
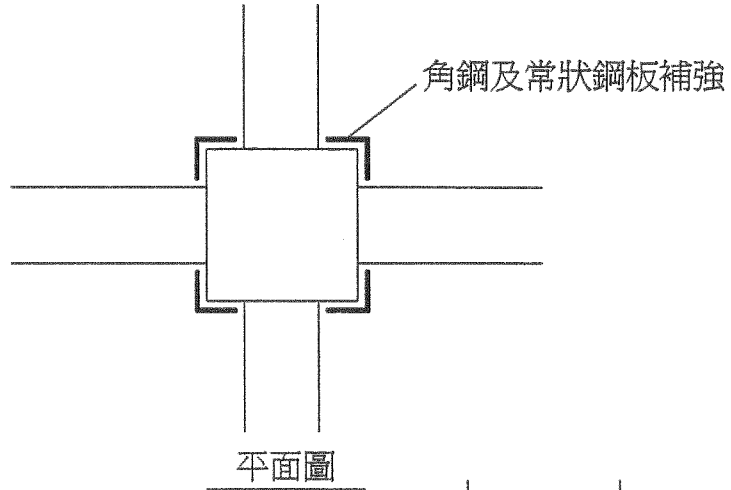
(3)施工法：

- ①敲除鋼筋混凝土柱面粉刷層，並以樹脂砂漿整平表面
- ②安裝組立鋼板於原混凝土柱面
- ③封塞鋼板空隙並灌注環氧樹脂
- ④鋼板表面防銹處理

(4)注意事項：

- 為使鋼板與混凝土柱能粘成一體，介面之環氧樹脂應確實灌注填滿。
- 與混凝土接觸之鋼板面應先噴沙處理。

(5) 柱帶狀鋼板補強工法參考圖



3-2-11 柱圍封鋼板補強工法

(1)適用時機：同 3-2-9 節鋼筋混凝土柱加設箍筋補強工法。

(2)特性說明：鋼筋混凝土柱圍封鋼板補強工法能有效增加柱之圍束效應，提升柱的韌性，進而增加總體結構物的耐震強度。

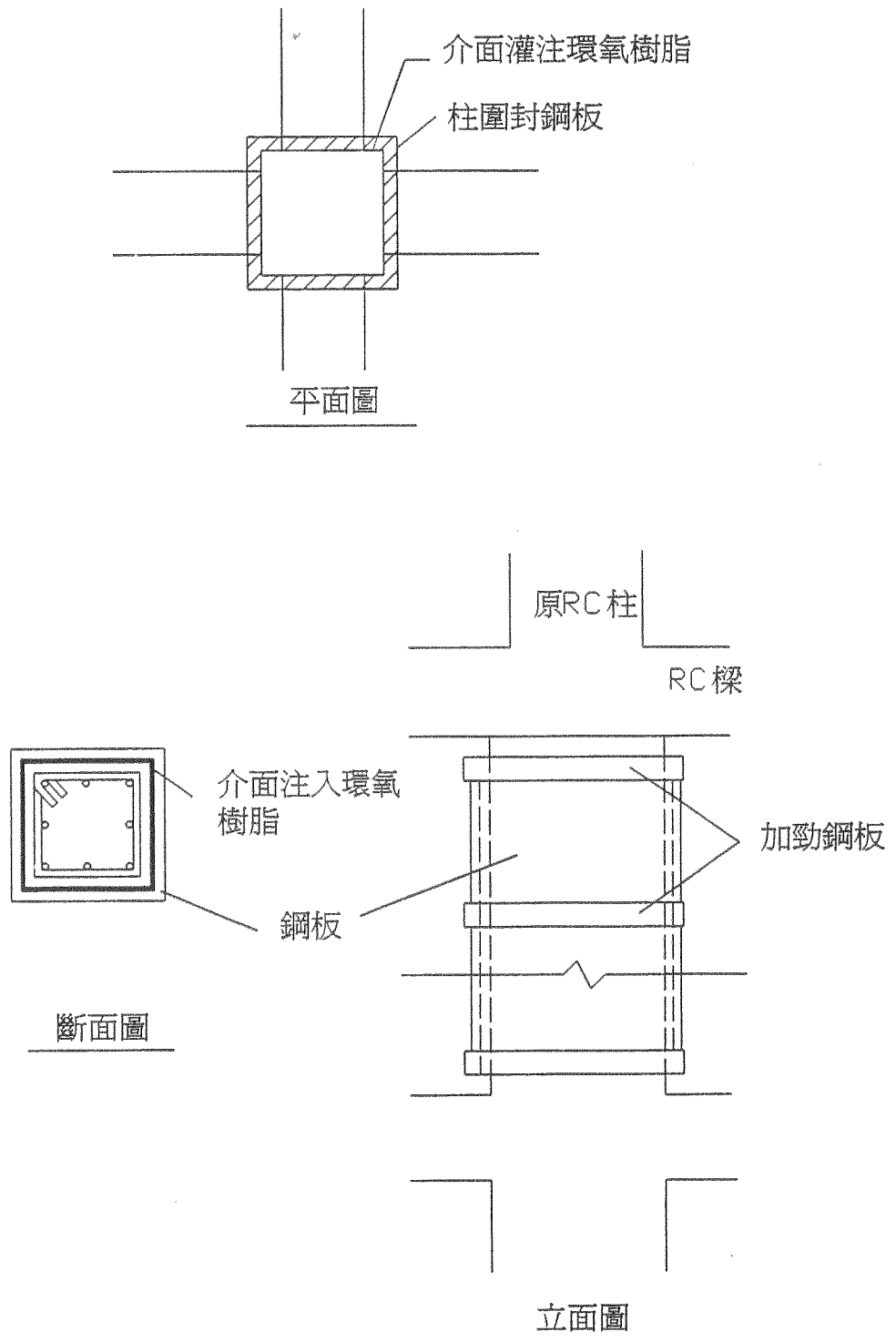
(3)施工法：

- ①敲除鋼筋混凝土柱粉刷層及鬆動混凝土
- ②安裝組立圍封鋼板
- ③施作封邊劑
- ④鋼板與混凝土介面灌注環氧樹脂
- ⑤鋼板表面防銹處理

(4)注意事項：

- 鋼板表面應作噴砂處理，以增加與環氧樹脂與鋼板面之粘著強度。
- 灌注環氧樹脂應從下方以壓力灌注，並留出氣孔於上方，以免在鋼板與混凝土介面間殘留孔隙。

(5) 柱圍封鋼板補強工法參考圖



3-2-12 柱圍封複合材料補強工法（剪力圍束補強）

(1)適用時機：同 3-2-9 節鋼筋混凝土柱加設箍筋補強工法。

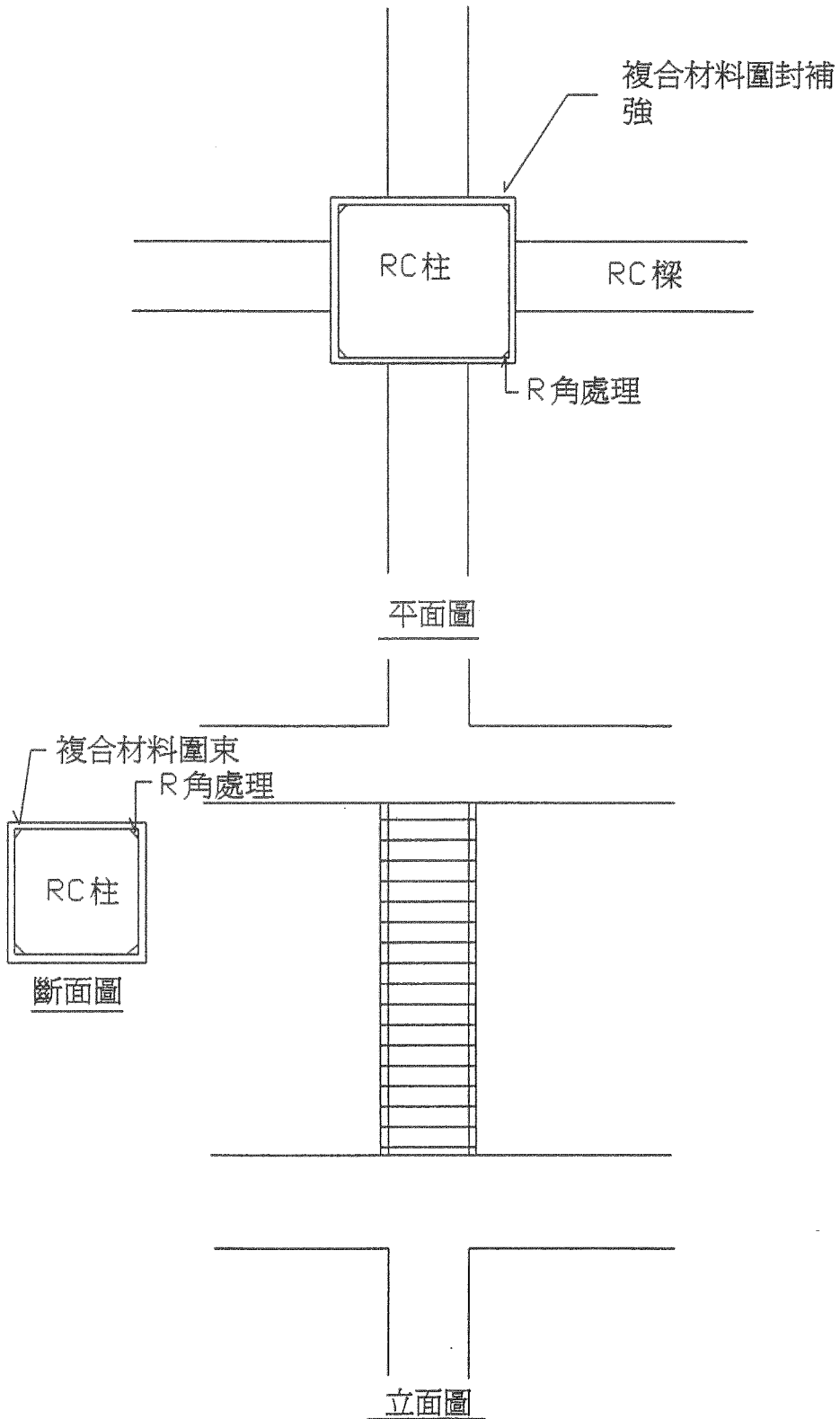
(2)特性說明：柱圍封複合材料補強工法，其所增加的柱尺寸最少，亦即最不影響使用空間。一般而言，複合材料的圍束效果目前甚受肯定，故應屬較佳的柱圍束補強工法。

(3)施工法：同 3-2-6 節複合材料施工法。

(4)注意事項：

- 鋼筋混凝土柱斷面一般為矩形，其四個角落須作圓弧處理，否則會明顯影響複合材料補強效果。
- 纖維材料鋪設過程中，應確實將纖維浸透樹脂，且須以橡皮刮刀將氣泡確實去除，以確保複合材料補強效果。

(5) 柱圍封複合材料補強工法參考圖



3-2-13 柱擴大斷面主筋貫穿直通補強工法（軸力、彎矩及剪力補強工法）

(1)適用時機：當鋼筋混凝土柱斷面之強度不足，而欲提升其軸力及彎矩強度時，將補強之柱主筋貫穿上下樓層，可使柱之軸力、彎矩及剪力強度全面提高。

(2)特性說明：一般而言，鋼筋混凝土柱之尺度通常大於樑之尺度，故欲擴大柱斷面將主筋貫穿直通上下樓層，祇需將樓版打洞讓主筋穿透即可達成主筋連續的條件。又一般擴大鋼筋混凝土柱斷面時均會加設柱箍筋，故此時柱剪力及圍束強度亦可同時提升。

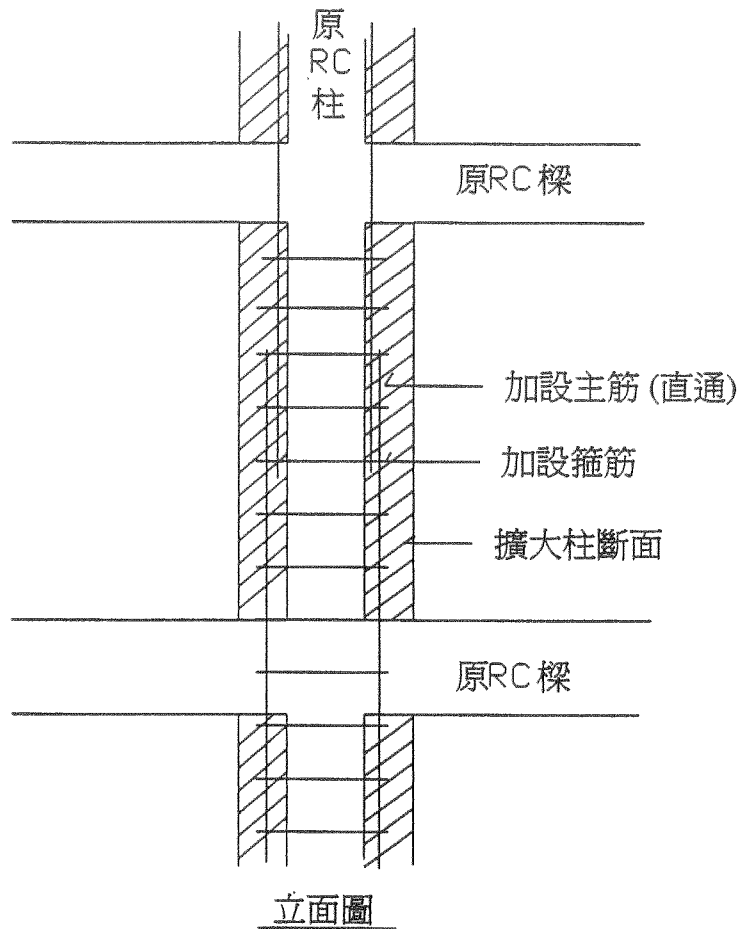
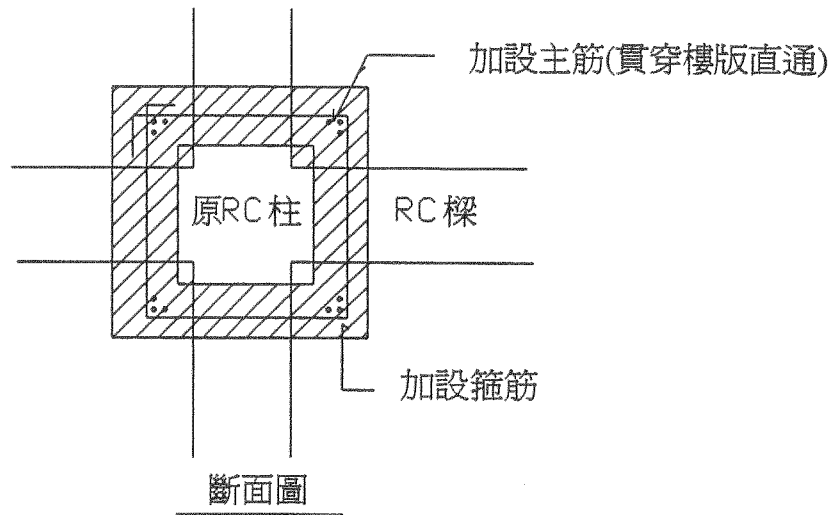
(3)施工法：

- ①敲除鋼筋混凝土柱粉刷層及鬆動混凝土
- ②鋼筋混凝土柱上層及柱下層樓板鑽孔或打除
- ③配置補強主筋及箍筋
- ④封模澆灌混凝土
- ⑤拆模養護

(4)注意事項：

- 一般上、下樓層以打除部分混凝土較易施工，若僅鑽孔主筋可能不易穿過彎紮。
- 灌漿應注意於頂端設置喇叭口，以免角隅處灌漿不實產生蜂窩現象。

(5)柱擴大斷面主筋貫穿直通補強工法參考圖



3-2-14 板底鋼板補強工法（正彎矩補強）

(1)適用時機：鋼筋混凝土板中央正彎矩強度不足或板中已產生裂縫時，可以鋼板粘貼於版底的補強方式，提高版的正彎矩強度。

(2)特性說明：於鋼筋混凝土板底粘貼鋼板，因鋼板可有適當的延伸長度故應具適當補強效果，惟因鋼板不連續處無法像鋼筋混凝土樑中央鋼板補強般加設 U 型托架，故應以化學螺栓加以固定，以防止鋼板產生剝離現象。

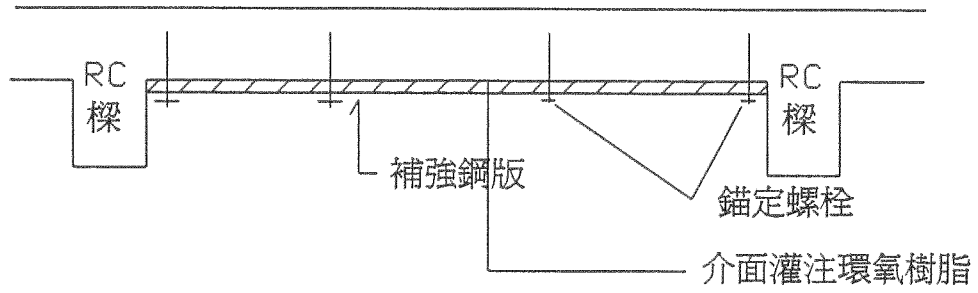
(3)施工法：

- ①敲除鋼筋混凝土樓板粉刷層及鬆動混凝土
- ②安裝鋼板，並須以膨脹螺固定鋼板
- ③封邊劑施作
- ④灌注環氧樹脂
- ⑤鋼板表面防銹處理

(4)注意事項：

- 由於鋼板依位於樓板正下方，故施工中應注意鋼板掉脫，尤其是灌注環氧樹脂時。
- 一般而言，鋼板雖可提升強度，但鋼板亦同時成為樓板之額外載重，故若原鋼筋混凝土樓板不足以承受鋼板重量時，不宜採用此法。

(5) 板底鋼版補強工法參考圖



3-2-15 板頂端部鋼板補強工法（負彎矩補強）

(1)適用時機：鋼筋混凝土樓板近支承樑端已產生撓曲裂縫，或檢測發現板端負彎矩強度不足時，可於版頂臨四週支承樑處粘貼鋼板，以補強板四週之負彎矩強度。

(2)特性說明：鋼筋混凝土樓板頂四週粘貼鋼板，因係往下施工故較為方便，又因補強鋼板可延伸跨過邊樑，故其錨碇延伸長較為可靠。惟因鋼板無法加設 U 型托架，故須以化學螺栓加以錨碇。

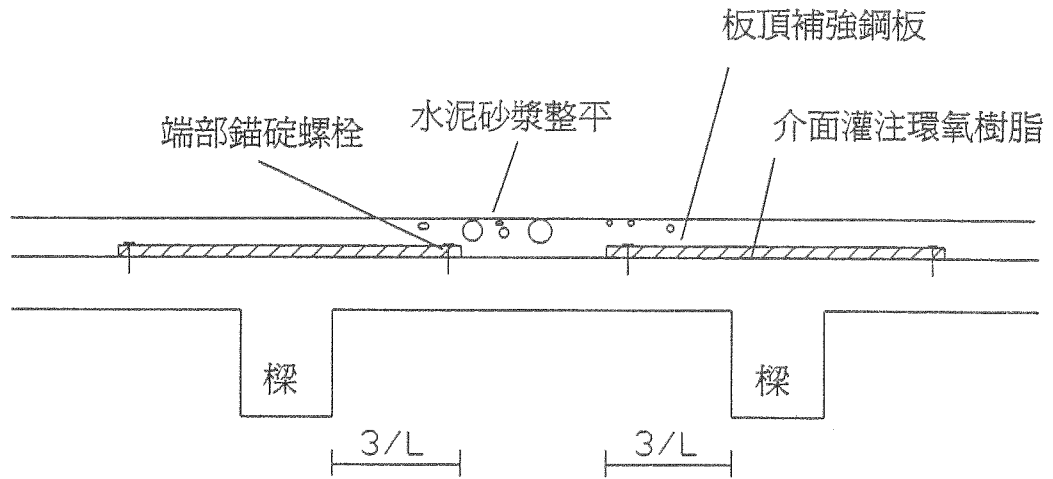
(3)施工法：

- ①敲除鋼筋混凝土樓板地坪材料及鬆動混凝土
- ②安裝鋼板並封邊
- ③灌注環氧樹脂
- ④鋼板表面防銹處理
- ⑤地坪整修復原

(4)注意事項：

- 因敲除粉刷層係往下施工，故敲除後之鋼筋混凝土樓板面之土粉應確實清掃乾淨，否則將會明顯影響環氧樹脂粘結行為。
- 灌注環氧樹脂時，應注灌注口有出氣口之配置，以確實消除氣泡。

(5) 板頂端部鋼板補強工法參考圖



3-2-16 板加厚補強工法（剪力彎矩補強）

(1)適用時機：原鋼筋混凝土樓板強度不足或板厚太薄易產生振動，可以加設鋼絲網並加厚混凝土的方式，使樓板的強度及勁度增加。

(2)特性說明：使用將鋼筋混凝土樓板加厚的方式補強，若新舊混凝土介面間不產生相對滑動，則補強後之樓板可以總厚度檢討其強度及勁度，由於新築混凝土皆施作於原有樓板之上，故其施工性頗佳。

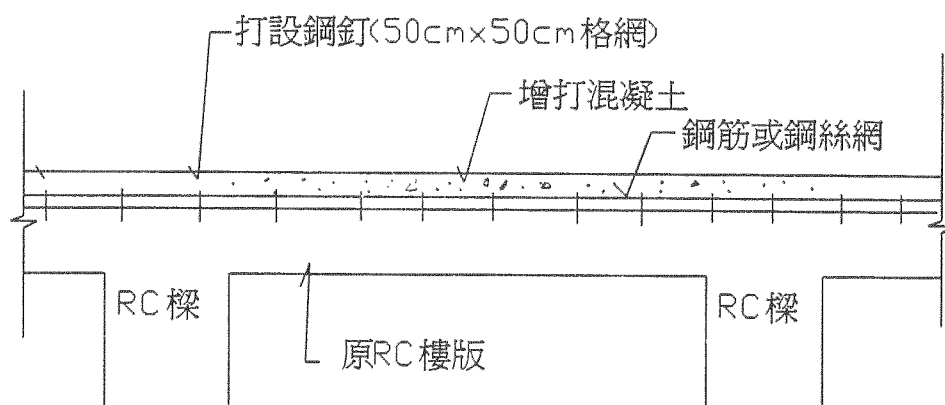
(3)施工法：

- ①敲除混凝土粉刷層及鬆動混凝土
- ②打設鋼釘以傳遞水平剪力鋪設新增鋼筋或鋼絲網
- ③澆置混凝土
- ④養生後整修地坪

(4)注意事項：

- 加設樓板厚度一般最少為 5cm 以上，故增加的重量可能增加整體結構之地震橫力，應特別予以注意。

(5)板加厚補強施工參考圖



3-2-17 板加設鋼小樑補強工法

(1)適用時機：鋼筋混凝土樓板勁度或強度不足，可在樓板下方加設鋼小樑，並將鋼小樑支承於原樓板四週之大樑上，如此則可減少樓板的跨度，相對提高原鋼筋混凝土樓板之勁度及強度。

(2)特性說明：加設鋼小樑以支撐鋼筋混凝土樓板的補強方式，常被工程界所採用。其補強行為一般也較為可靠，故此方式應視為補強鋼筋混凝土樓板的較可靠方式之一。

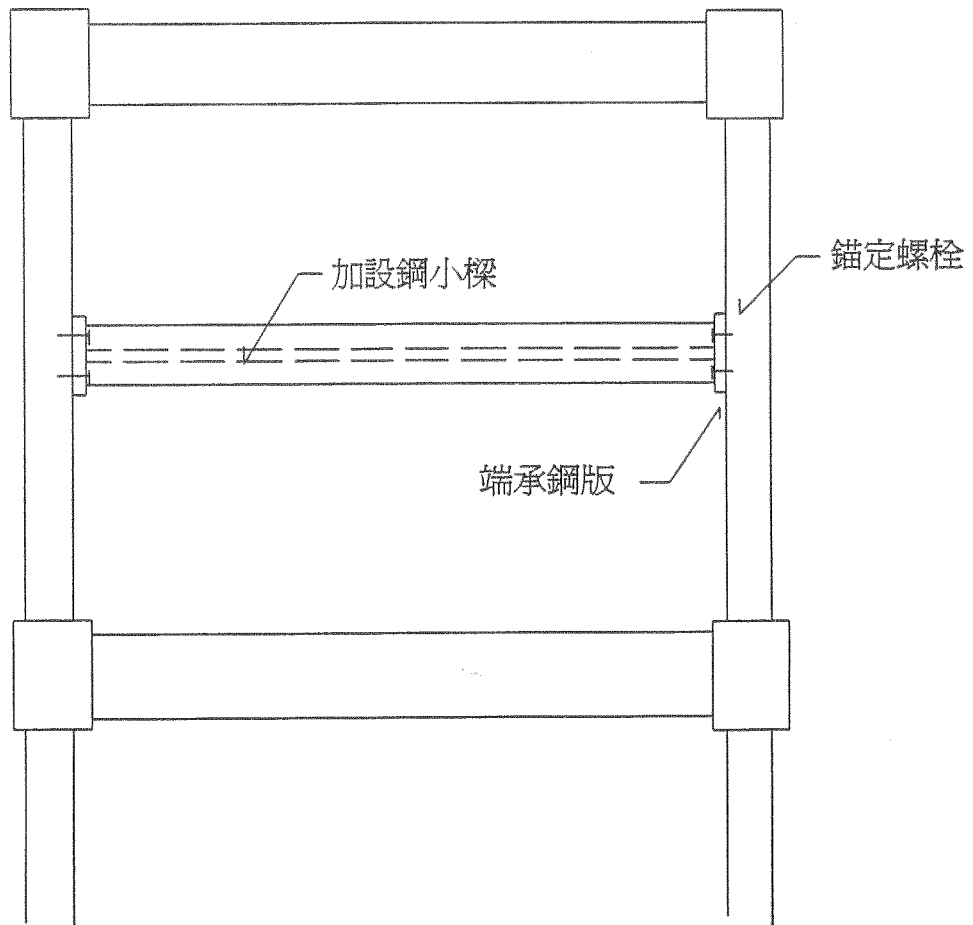
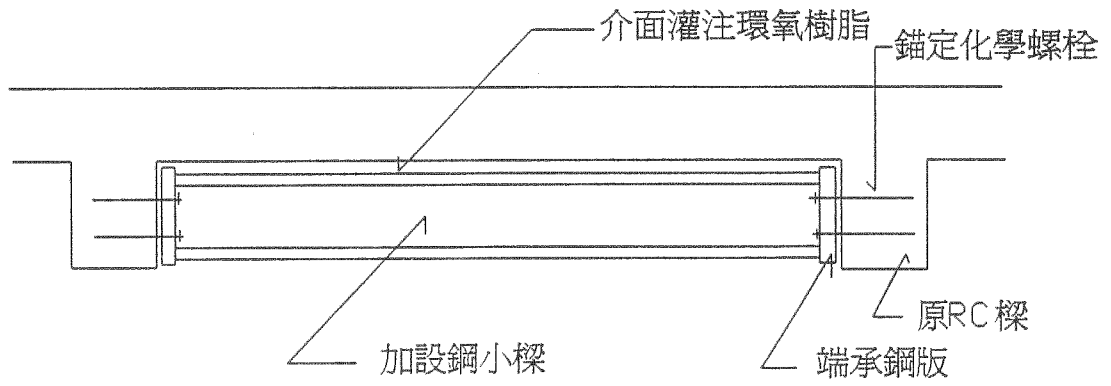
(3)施工法：

- ①敲除鋼筋混凝土樓板粉刷層及鬆動混凝土
- ②樓板及邊樑鑽孔以埋設螺栓
- ③鋼小樑及兩端固定鋼板架設
- ④螺栓鎖定及焊接施工
- ⑤鋼小樑與混凝土介面間灌注環氧樹脂
- ⑥鋼小樑表面防銹處理

(4)注意事項：

- 鋼小樑因係支承於原鋼筋混凝土樓板四週之邊樑，故四週之 RC 樑強度應先確認足夠，否則鋼小樑可能因自重而掉落。
- 鋼小樑與原鋼筋混凝土樓板間除環氧樹脂外，若原樓板混凝土強度足夠最好加打化學螺栓，以增加其複合程度，惟若原混凝土強度不足，則不宜再打螺栓。

(5) 板加設鋼小樑補強工法參考圖



3-2-18 牆加厚補強工法（剪力、彎矩、軸力補強）

(1)適用時機：原結構系統中，增加鋼筋混凝土牆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強度。

(2)特性說明：一般而言，加牆為最經濟有效的耐震能力補強方式。若原結構系統中無牆，則在適當位置加設剪力牆可明顯改善建築物之耐震能力(見 3-3-1 節)。然若原結構系統中已有牆，但厚度不足，則可將牆加厚以提升總體結構之耐震能力。

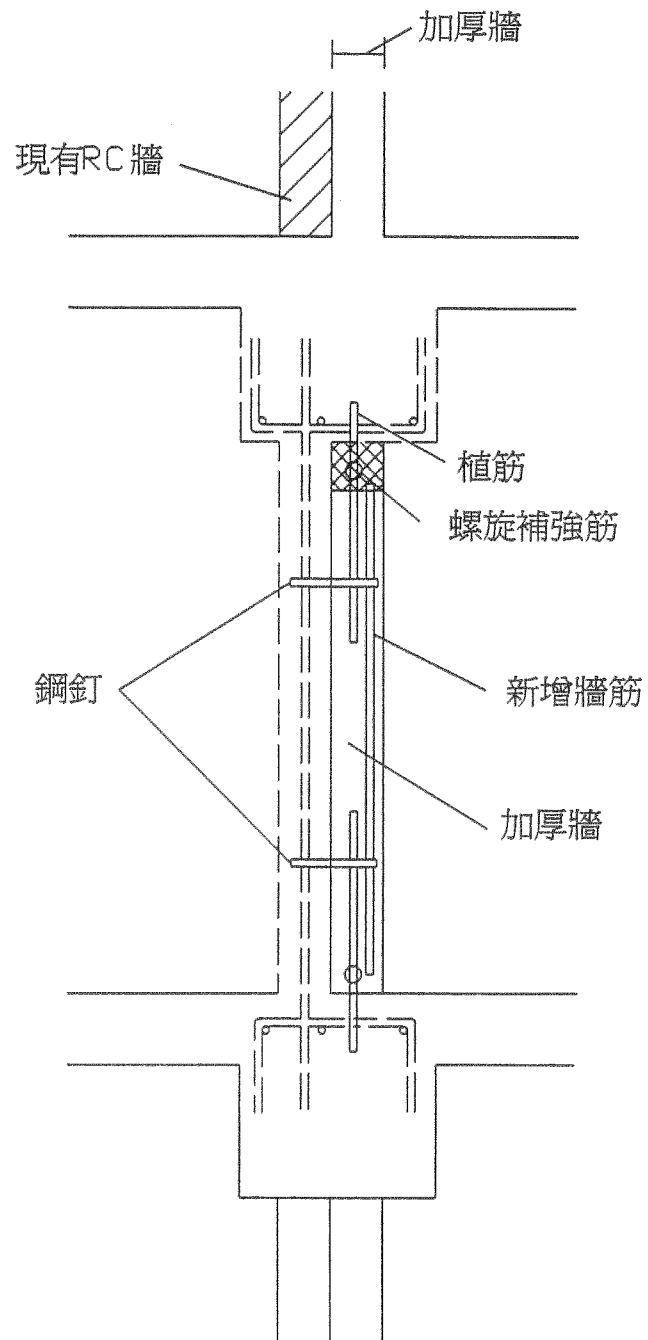
(3)施工法：

- ①敲除粉刷層及鬆動混凝土
- ②打設鋼釘以加強新舊混凝土介面粘著性
- ③鋼筋混凝土樑柱四週植筋
- ④鋪設鋼絲網或鋼筋
- ⑤封模並預留混凝土灌漿口
- ⑥灌注混凝土
- ⑦拆模養生，裝修

(4)注意事項：

- 牆新增厚度一般均不厚（約 10~20cm），故其澆置混凝土時應注意避免產生孔隙（蜂窩）。

(5) 牆加厚補強之參考圖



3-3 系統改善補強工法

結構物承受外力作用時，基本上係經由各結構元件的配置方式所形成的力量傳遞路徑將外力藉由元件(同時產生元件內力)傳遞至地球(基礎)。一般而言，建築物為滿足使用需求，在垂直外力部分通常係經由版→樑→柱→基礎的力量傳遞路徑，而抗橫力部分則仰賴樑柱構架加剪力牆(斜撐)之二元系統，使橫力得以有效傳遞至基礎。實務上，由於垂直外力通常假設為均勻分佈，故若欲提升建築物抵抗垂直外力的能力，常需對每一結構元作進行補強(樑柱版)。如若建築物之垂直外力抵抗能力無慮，僅耐震能力不足，則加設抗橫力之豎向構材(剪力牆、斜撐)以改變結構系統的力量傳遞路徑，應屬最為有效的結構補強方式之一。

總體言之，在結構補強的方式中，改變結構系統力量傳遞路徑的處理方式，應最具總體補強效益，惟應用此種方式，建築物的使用機能可能會受到影響。如若不能或不允許改變原有結構系統，則針對各別構件之補強，亦可提升結構安全性，惟其補強效果一般略遜於結構系統改善的補強方式。

3-3-1 加設剪力牆補強工法

(1)適用時機：對於樑柱結構系統而言，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，為一有效的改善方法。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。

(2)特性說明：於樑、柱間增設剪力牆，以改善結構系統的補強方式，一般認為係一相當經濟有效的方法。根據建築物之條件，可能達到下列的目標：

1. 提高耐剪強度
2. 提高抗變形能力
3. 改變建築物平面、立面之剛性分佈
4. 增加建築物側向剛性

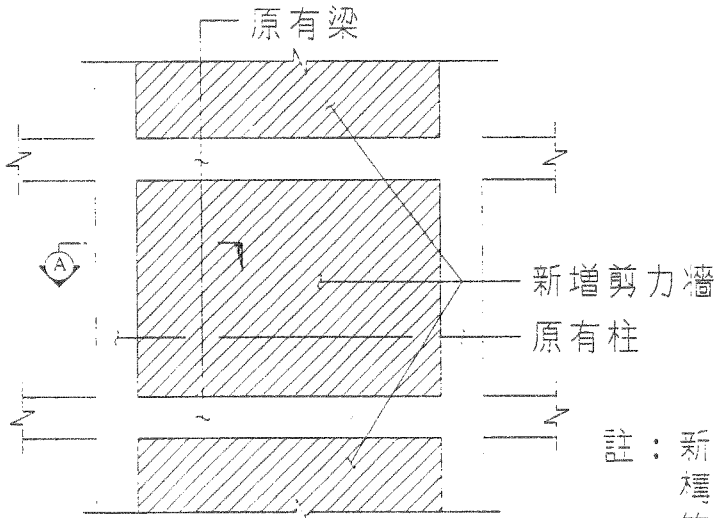
(3)施工法：確定欲增加剪力牆之位置及樓層之後，若原有磚牆存在時，必須將磚牆先行敲除。然後將與剪力牆相接之樑柱部分之粉刷層敲除乾淨後，依所需之鋼筋量植筋，待鋼筋及模板組立完成後灌漿。

(4)注意事項

- 澆置混凝土時，須自樓版底至樑頂確實灌滿不可留有空隙，因此組立模板時，須於頂端預留喇叭口，待澆置完成以後再將頂端突出部分敲除。
- 增設之剪力牆必須自增設之樓層起，一直設置至基礎部分為止，以確保剪力能夠順利傳遞至基礎。
- 加設了剪力牆之後，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。另外，亦必須檢核與剪力牆相連接之基礎，是否因外力集中，而產生傾覆（overturning）或基礎上揚（uplifting）的可能。

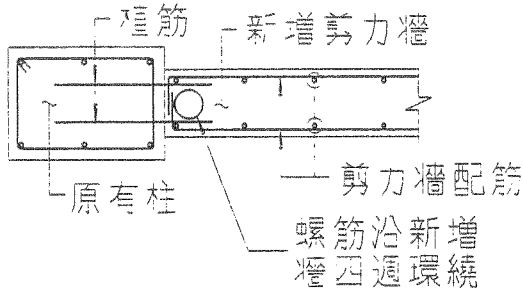
(5) 加設剪力牆補強施工參考圖



註：新增之剪力牆與原有結構梁、柱相接處，須植筋與之連接（說數及間距同剪力牆配筋）。

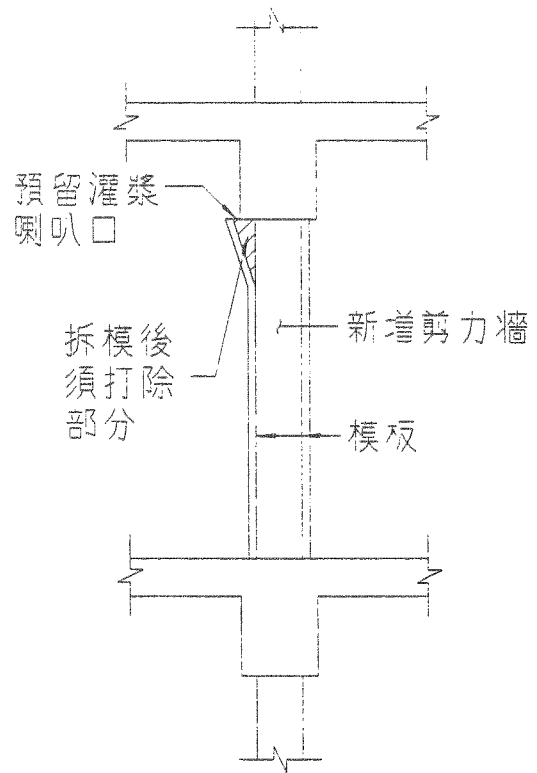
增設剪力牆補強詳圖

Scale: N. T. S.



斷面 A - A

Scale: N. T. S.



新設剪力牆澆置施工詳圖

Scale: N. T. S.

3-3-2 加設斜撐補強工法

(1)適用時機：適用於樑柱接合部分有充分之餘力，且有適當之位置配置斜撐者。大體上而言，本補強方式與加設剪力牆之補強方式有類似的效果。

(2)特性說明：與增設耐震壁的結果相似，但主要是藉著新設置之斜撐承擔系統額外之側向力，以提高結構系統橫向之抗剪能力，並增加側向勁度。

(3)施工法

(4)注意事項：

- 澆置混凝土時，須自樓版底至樑頂確實灌滿不可留有空隙，因此組立模板時，須於頂端預留喇叭口，待澆置完成以後再將頂端突出部分敲除。
- 增設之斜撐必須自增設之樓層起，一直設置至基礎部分為止，以確保剪力能夠順利傳遞至基礎。
- 斜撐加設了之後，結構體在斜撐附近之勁度增大，會導致應力皆集中於此處，尤其是在斜撐與混凝土樑柱接合處經常是結構系統之新弱點。因此與斜撐相連接之樑柱，必須針對彎矩及剪力強度加以檢核。另外，亦必須檢核與斜撐相連接之基礎，是否因外力集中，而產生傾覆（overturning）或基礎上揚（uplifting）。

3-3-3 加設翼牆補強工法

(1)適用時機：主要之使用時機在於柱與柱間無法增設剪力牆時（大部分為使用空間之因素），則可使用本補強方法。設置在原有柱之側邊增設一體化之較小壁版，以達到增加柱之抗震能力，提高整體結構耐震性能的目的。

(2)特性說明：以增設翼牆的方式進行結構補強的方式，亦經研究證實為一有效的補強方法。可達下列之目標：

- 1.改善建築物之強度，使成為強度抵抗型之結構。
- 2.因補強使建築物成為樑屈服型結構，改善建築物之韌性。
- 3.增設翼牆之柱，可有效提高其本身強度。

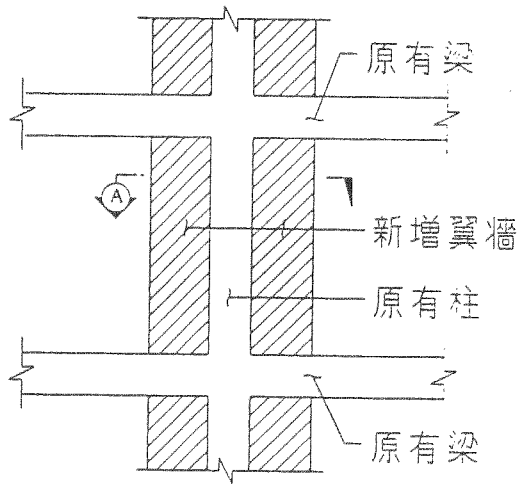
(3)施工法

同加設剪力牆施工法之補強方式。

(4)注意事項

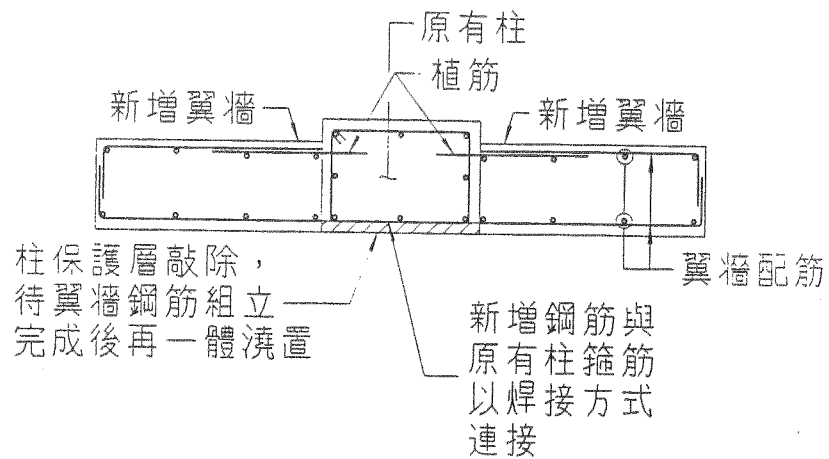
- 增設翼牆之後，會使樑之淨跨度減少，若樑之抗剪能力不足，則容易發生剪力破壞的情形。因此在評估設置翼牆後結構耐震能力時，必須將此點列入考慮。
- 對柱間距較小之建築物，應避免使用此種補強方法。

(5) 加設翼牆補強施工參考圖



註：新增之翼牆與原有結構梁、柱相接處，須植筋與之連接或以焊接方式與原有箍筋相連接。

增設翼牆補強詳圖
Scale: N. T. S.

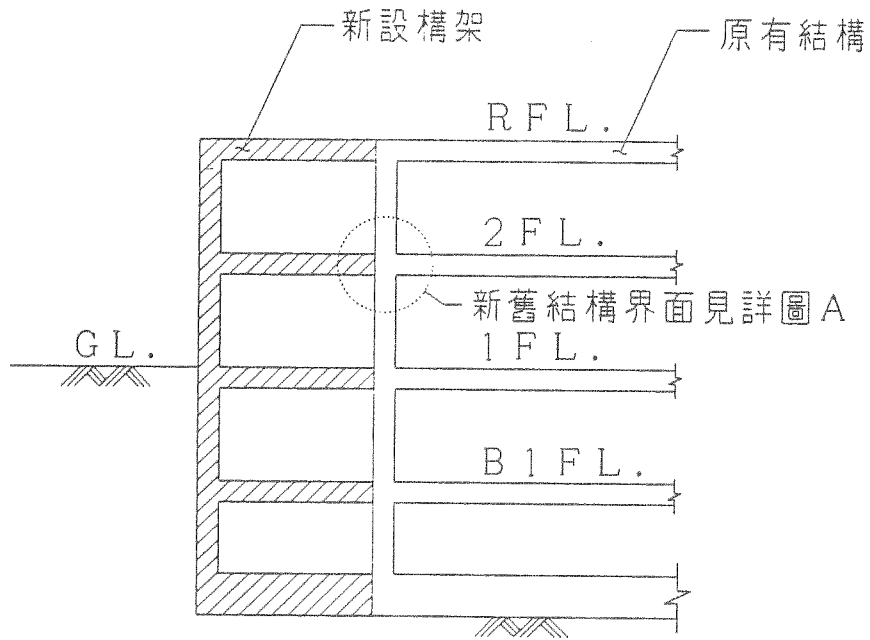


斷面 A - A
Scale: N. T. S.

3-3-4 加設外側構架補強工法

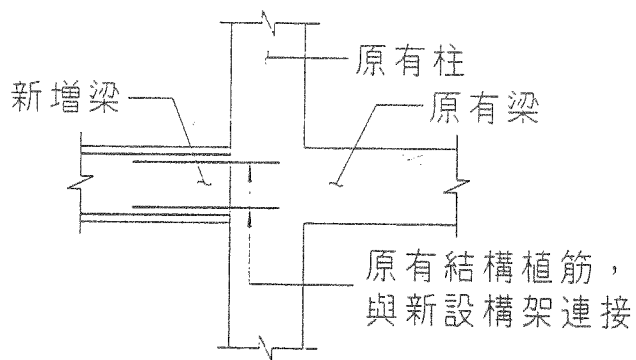
- (1)適用時機：當結構系統本身不具有足夠的抵抗橫力能力，但在原建物本身又因空間使用因素，無法設置剪力牆或斜撐等補強措施時，可使用加設外側構架的方式，分擔原結構物所承受之橫力。不過使用本補強方法時，建物周圍須有足夠的空間加設外側構架。
- (2)特性說明：本補強法主要的原理，是利用增設外側構架後，結構體柱總數增加，抗剪能力亦隨之提高。而原結構體樑、柱構件所分擔之外力，亦可隨之降低。
- (3)施工法：經分析決定增設之外側構架尺寸及位置後，將新設構架處開挖至與原結構基礎相同的高程，再將新、舊結構界面處粉刷層及裝修材敲除乾淨，以植筋方式與新設構架連接，待模板組立及鋼筋彎紮完成後灌漿施工即可。
- (4)注意事項
- 由於新設構架緊臨原結構體施工，因此在開挖及施工之時，須注意勿損及原有樑、柱基礎部分，以免造成整體強度降低。
 - 增設之外側構架須具有足夠的強度及勁度，在地震時除承受自身的地震力，且能分擔原結構體之地震力。若設計不當，反而將造成建物之負擔。
 - 新、舊建物之界面須妥善處理使內力能順利傳遞。
 - 新設外側構架基礎須設置至原結構物基礎同高，並確實錨碇，方能將地震力傳至地下。

(5) 加設外側構架補強施工參考圖



加設外側構架補強詳圖

Scale: N. T. S.



詳圖 A

Scale: N. T. S.

3-3-5 加設中間柱補強工法

(1)適用時機：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，但不如加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，加設中間柱亦具有改善作用。

(2)特性說明：增設中間柱的方式，可達到下列目標：

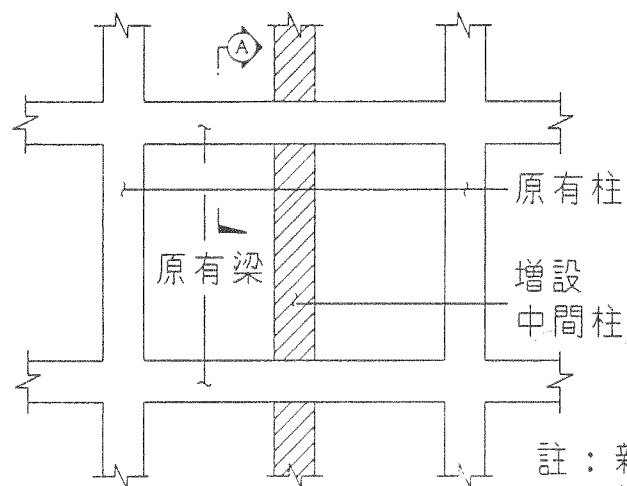
- 1.提高結構體抗剪強度
- 2.改變建築物之剛性
- 3.增加大樑垂直載重之能力

(3)施工法：經分析確定欲加柱的位置，若有磚牆存在，則必須先將磚牆敲除。將原有大樑粉刷層敲除之後，先將柱位置處之鋼筋以植筋的方式固定在大樑上，待鋼筋組立完成後，再灌漿澆置即可。

(4)注意事項

- 新增中間柱植筋時，應植筋於大樑最外側主筋內側，以免地震時大樑保護層剝落時，造成大樑主筋拔出。
- 增設之中間柱必須自增設之樓層起，一直設置至基礎部分為止，以確保垂直力及水平力皆能順利的傳遞。
- 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。
- 澆置混凝土時，必須將樑與樑之間確實灌滿，因此施工時可使用類似加設剪力牆的施工方式，先預留喇叭口，待澆置完成後，再將頂端多餘的部分敲除。

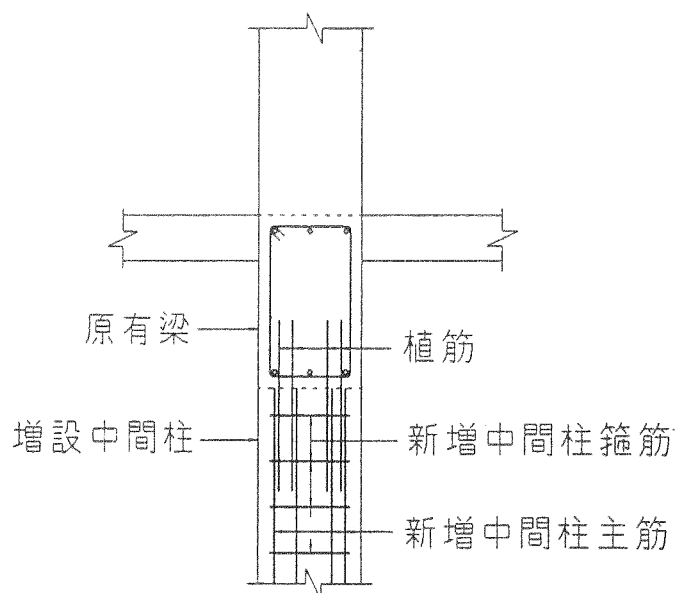
(5) 加設中間柱補強施工參考圖



註：新增之中間柱與原有結構大梁相接處，須植筋與之連接（號數與根數同中間柱配筋）。

增設中間柱補強詳圖

Scale: N. T. S.



斷面 A - A

Scale: N. T. S.

3-3-6 加設附屬鋼構架補強工法

(1)適用時機：樑柱構架系統載重能力不足，或構件有受損的情形，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。

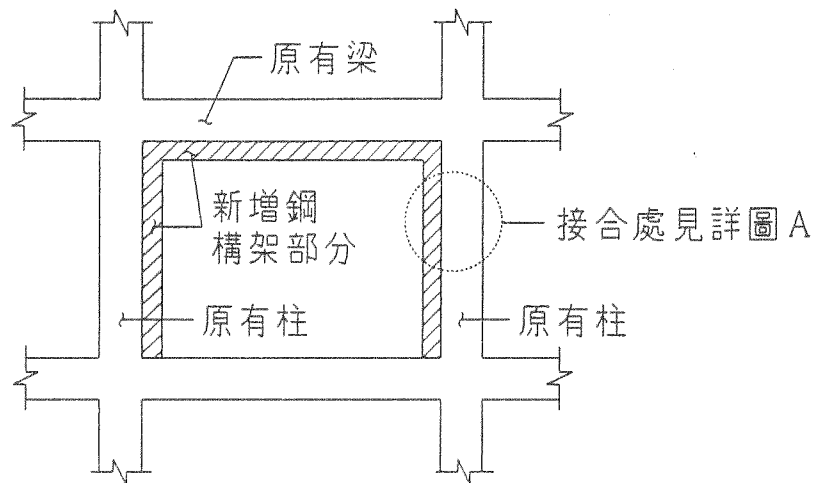
(2)特性說明：以增設附屬鋼構架的方式補強樑柱結構系統，主要在增加樑、柱構件之抗剪及抗彎能力，而對於整體結構之側向勁度而言，並不會像增設剪力牆或斜撐一般，會明顯的提高。不過由於構件勁度相對而言會增加，故仍會有地震力集中的現象。因此對於附近相連接的樑柱，必須檢核是否因增設了附屬構架後，而會有剪力破壞或撓曲破壞的情形發生。

(3)施工法：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分，再選定適當尺寸的型鋼，以化學螺栓與原有的樑、柱構架相連接。在施工之前必須將原有樑、柱表面粉刷層敲除，並清潔乾淨。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。

(4)注意事項

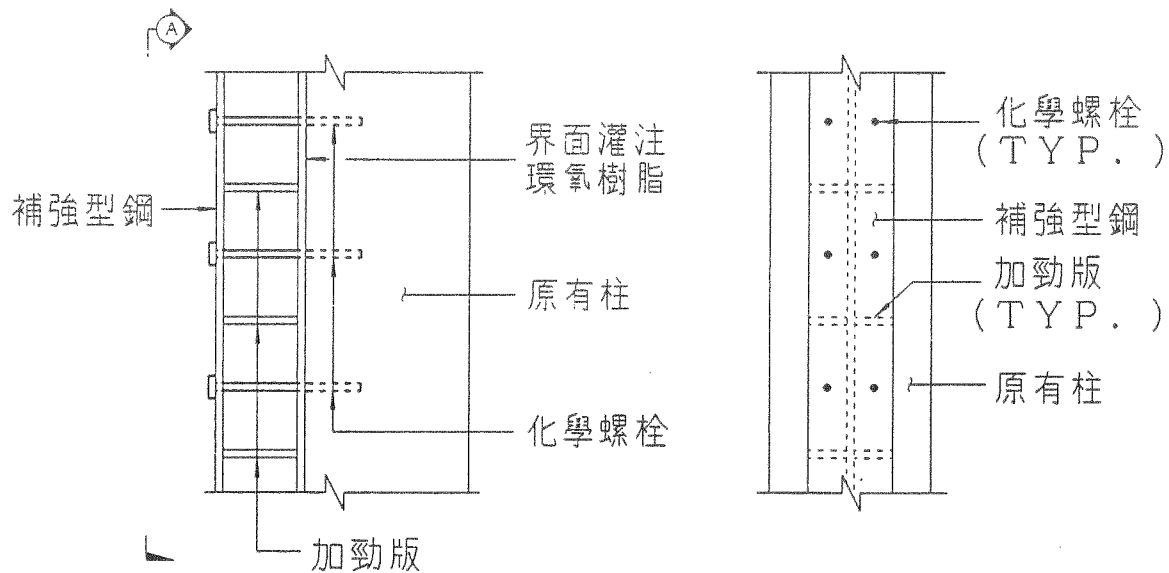
。一般而言，用於補強鋼筋混凝土結構之型鋼多為H型鋼樑。在使用化學螺栓連結型鋼與原有結構體時，須於型鋼上配置加勁板，以避免受外力作用時，型鋼有局部挫屈的情形發生。

(5) 加設附屬鋼構架補強施工參考圖



增設鋼構架示意圖

Scale: N. T. S.



詳圖 A

Scale: N. T. S.

斷面 A - A

Scale: N. T. S.

3-4 結構系統加設消能隔減震裝置補強工法

建築物若本身抵抗垂直力之能力無慮，僅耐震能力有所不足，則在原結構系統中，加設專為提升結構耐震能力的消能隔減震裝置，應屬極佳的選擇方案之一。目前較具研究成效的消能隔減震裝置有：(1)加設斜撐並含三角鋼板消能片(TADAS)；(2)加設斜撐並含粘彈性阻尼器(V.E)；(3)基礎加設鉛心橡膠支承墊(LRB)... 等方式，一般皆可具體提升建物的耐震能力。

基本上，前述之消能隔減震裝置，最先主要是為了新建工程所研發。但若能適當注意施工及裝置細節，應亦可用於既有建築物之耐震補強用途，惟目前似尚無具體應用實例可供參考。

3-4-1 斜撐加設三角形鋼板消能器補強工法

- (1)適用狀況：鋼筋混凝土建築結構整體側向勁度不足，易在樑柱端點造成塑鉸，以消釋部分能量，但若其韌性不佳，則無法有效發揮消能效果。此時，可用斜撐加設三角形鋼板消能器(Triangular plate added damping and stiffness device, TADAS)，使結構系統之側向勁度提高，並以 TADAS 之遲滯消能能力，將地震輸入能量大部分集中於 TADAS 消散，以保護結構系統之主要構件。
- (2)特性說明：TADAS 消能器之三角形鋼板以懸臂式將底邊固定，而在三角形頂端為自由端，於自由端承受垂直於三角形鋼板面之側向力。因為 TADAS 之撓曲勁度與作用彎矩均是沿高度方向成線性變化，故鋼板斷面沿高度方向之曲率均相同，當 TADAS 進入降伏時是整塊鋼板全面降伏，可提供大量且穩定的遲滯消能能力，有效消釋地震輸入之能量。而在斜撐上安裝 TADAS，可有效提高結構系統之側向勁度。
- (3)施工法：依設計在適當樑跨兩側柱底加裝連接斜撐之連接板，並安裝斜撐使之交會於樑中央底部，而在樑底與斜撐頂部之間安裝 TADAS，其中 TADAS 以適當方法固定於樑底部，斜撐頂部則安裝讓 TADAS 只承受側向力之檔板。
- (4)注意事項：
 - 斜撐加設 TADAS 消能器之設計應配合原結構之側向勁度，使兩者之勁度比大約在 2 到 4 之間，並注意安裝 TADAS 處之樑，其強度是否足夠承受由 TADAS 所傳

入之彎矩。

- TADAS 之自由端擋板，必須只容許 TADAS 承壓棒上下滑動，而在水平向提供束制，並在 TADAS 承壓棒兩側加設墊圈，使 TADAS 與擋板在側向互相頂緊，以提供斜撐之側向穩定性。

3-4-2 斜撐加設黏彈性阻尼器補強工法

- (1)適用狀況：鋼筋混凝土建築結構整體強度不足時，易造成樑柱主要構件之破壞，可採用斜撐加設黏彈性阻尼器(Visco-elastic damper, VE)，以 VE 阻尼器之黏滯性消能能力，將地震輸入能量大部分消釋於該處，而達到保護其他主要構件之目的。
- (2)特性說明：典型之黏彈性阻尼器係由黏彈性材料及鋼板一片一片膠結而成，藉由黏彈性材料之剪力與剪力變形間的相位差，來達到消散能量之目的。
- (3)施工法：依設計在適當樑跨兩側樑柱交點附近加裝連接斜撐之連接板，安裝斜撐之方向係由一側底部之樑柱交點至另一側頂部之樑柱交點，而 VE 阻尼器安裝於斜撐中間，並與斜撐相平行於同一軸線上。
- (4)注意事項：
 - 因 VE 材料容易受其他化學物質影響而改變其特性，故需做適當的保護措施，以隔絕外界之接觸。
 - 斜撐與 VE 阻尼器之結合，必須確保兩者在一直線上，使 VE 阻尼器沿斜撐方向只有剪力變形。

3-4-3 基礎加設鉛心橡膠支承墊補強工法

- (1)適用狀況：鋼筋混凝土建築結構整體強度不足時，可採用基礎隔震的方法，降低上部結構所受到之地震力，確保建築物之安全。鉛心橡膠支承墊(Lead Rubber Bearing, LRB)是使用最廣泛的一種隔震裝置，很適合使用於建築物的隔震補強。
- (2)特性說明：鉛心橡膠支承墊係由橡膠薄片與鋼板薄片疊積膠結而成後，再鑽孔壓入鉛心。疊積而成之橡膠支承墊可承受很大的垂直荷重且垂直勁度很高，而水平勁度較低可延長結構週期，降低上部結構所受之地震力。鉛心在支承墊中受到剪力變形，可發揮遲滯消能的效果，降低結構物受到地震作用下之各項反應。
- (3)施工法：先挖開基礎底部的土壤，同時做好適當的臨時支撐，於原基礎下灌製穩固的基礎，而在新舊基礎間安裝鉛心橡膠支承墊。在原結構物四周至隔震層之範圍內，需留有足夠空間，以容納地震作用下結構物的最大水平位移。
- (4)注意事項：
- 若原基礎間沒有地樑，應補做地樑以連結各基礎，使各鉛心橡膠支承墊得以均勻變形。
 - 水電、瓦斯及通訊管線於連接至建築物的介面部分，應配合隔震建築的最大水平位移量，採取必要的變更設計。

3-4-4 基礎加設橡膠支承墊並配合其他消能器補強工法

(1)適用狀況：鋼筋混凝土建築結構整體強度不足時，可採用基礎隔震的方法，降低上部結構所受到之地震力，確保建築物之安全。隔震元件可採用橡膠支承墊(Laminated Rubber Bearing, RB)為隔震器，另外配合其他各種消能器為消能單元，兩者共同作用以達到隔震的效果。

(2)特性說明：橡膠支承墊係由橡膠薄片與鋼板薄片疊積膠結而成，可承受很大的垂直荷重且垂直勁度很高，而水平勁度較低可延長結構週期，降低上部結構所受之地震力。再配合其他消能器（例如：三角形鋼板消能器、黏彈性阻尼器、剪力連桿消能器等），可消散大量地震輸入的能量，降低結構物受到地震作用下之各項反應。

(3)施工法：先挖開基礎底部的土壤，同時做好適當的臨時支撐，於原基礎夏灌製穩固的基礎，在新舊基礎間各柱底安裝橡膠支承墊，而在地樑與新灌製基礎間安裝各種選定之消能器。在原結構物四周至隔震層之範圍內，需留有足夠空間，以容納地震作用下結構物的最大水平位移。

(4)注意事項：

- 若原基礎間沒有地樑，應補做地樑以連結各基礎，使各鉛心橡膠支承墊得以均勻變形，並作為安裝消能器之用。
- 若消能器只容許在一個方向變形，在另一個垂直方向應設計成可滑動的接合細節，避免影響消能器的力學行為。
- 水電、瓦斯及通訊管線於連接至建築物的介面部分，應

配合隔震建築的最大水平位移量，採取必要的變更設計。

第四章 修復與補強工程檢驗

4-1 概述

工程在施作過程當中，相關的檢驗工作乃是確保工程品質的重要工作。在新建鋼筋混凝土結構物的設計施工過程中，只要依照設計規範設計，在施工中對主要材料混凝土與鋼筋之相關檢驗工作切實執行，其成品多半不會發生問題。然在修復與補強之工程中，則因使用材料的種類繁多，材料的規範及檢驗方式又常不明確，加上大部分的修復補強材料，多為土木工程人員所不熟悉的化工材料，因此鋼筋混凝土構造物的修復與補強工程的檢驗工作，遠較新建工程重要。此外，結構修復與補強設計，基本上極為繁鎖複雜，設計過程所需的檢測與分析又遠較新工程設計困難，又缺乏完整之設計規範，故對於修復補強工作，檢驗工作必須自規劃設計時就開始。最可靠及有效的方式就是自初步方案起，由分析、設計、施工程序以至成品之驗收，換句話說就是對對整體設計補強案，應經過一第三公正結構專業單位參與審查，以確保修復補強設計工作的可靠性。避免無益的補強工作浪費了大量人物力，結果卻是未蒙其利反而有害。

一般而言，工程之檢驗可分為材料的材質檢驗與施工完成後的成品檢驗兩項。在材質檢驗方面，主要係對材料之強度、工作度及耐久性等力學參數作檢驗，以確認其材質符於原設計需求。至於施工完成後的成品檢驗，則須注重其施工過程是否確實，亦即材料的加工、安裝等過程是否確實符於需求。

在材質檢驗方面，由於是主要是對材料的基本力學性質作檢

驗，目前之規範也大都有詳盡的檢驗程序規定，基本上各種材料的基本參數都可使用規範中所定的檢驗方法加以測定。至於試驗所得之材料參數（強度、耐久性等）是否合格，則需由結構工程師在原設計過程中加以標示說明。

至於施工完成後之成品檢驗，則主要注重在施工過程中的材料加工、安裝是否確實符於需求。一般而言，由於各種修復與補強工程的類型均不相同，並不易定訂一完全通用的施工成品檢驗準則，在此僅能將常用的幾種成品驗收方法加以說明，結構工程師在實際工程設計則須需多加活用，以確保修復補強工程的品質符於設計需求。

4-2 修復與補強材料檢驗

一般工程材料的性質，依工程上的需求可概分為（1）主要力學強度參數及（2）其他物理性質參數等兩大類。結構工程師在選用修復補強材料時，對不同的應用需求可訂定不同的材料參數合格值。以下茲摘列有關的材料性質檢驗規範，供結構工程師在檢驗材質時參考使用。

(1) 主要力學強度參數檢驗

力學參數項目	中國規範 (CNS)	美國規範 (ASTM)	英國規範 (BS)	備 註
抗壓強度	1010 1032	C109-90	6319:Pt2:1983	
抗拉強度	1011 (砂漿) 3801 (混凝土)	C307-93 C190-85	6319:Pt7:1984	
粘著強度	--	C882-87	6319:Pt7:1985	斜剪試驗
抗彎強度	1233	C348-86	4551:Pt3:1990	
壓縮彈性模數	--	C469-87a	6319:Pt6:1984	
撓曲彈性模數	--	--	6319:Pt3:1990	
剪力粘著強度	5809	D905-89	--	檢驗粘著劑之粘著強度 (剪力盒試驗)
接縫破裂韌度	5811	D3433-75	--	粘著劑之剝離粘著強度
搭接剪力強度	5606	D3165-73	--	兩貼片疊接之粘著強度
疲勞載重	--	D1166-73	--	兩貼片疊接粘著時之百萬次反復載重強度

(2) 其他物理性參數檢驗

物理參數項目	中國規範 (CNS)	美國規範 (ASTM)	英國規範 (BS)	備註
乾縮試驗	11056	C596-82	---	砂漿-水泥漿
膨脹試驗	1258	C827-87	---	水泥系列產品
收縮試驗	---	C883-89	2782:pt6:1979	環氧樹脂產品
稠度試驗	3590	D2183-69	5350:ptb9:1984	
粘滯度試驗	13065	D2393-86	---	
吸水性試驗	---	C413-93 D1151-72	---	
熱撓溫度	---	D2295-72	---	
透氣性試驗	---	C803-90	---	
流動試驗	---	C143-90	BD27/86 運輸部規範	
品質控制錐	---	C230-61T C939-94a	890	

此外另有其他基本物理性質如比重、硬度、吸水率、熱性、電性等，因所有工程材料的檢驗方法均相同，故在此不予贅述。

4-3 修復與補強工法檢驗

修復與補強工法，因實際應用變化頗大，故並無一完全通用的檢驗規範可供遵循。結構工程師在進行修復補強設計時，應先了解構造物在修復補強後的結構行為，並依現場狀況訂定施作完成後的工法檢驗方式，以確保修復補強工作的有效性。以下茲摘列常用修復補強工法的檢驗方式以供參考。至於在新建工程上常用的鋼材、混凝土等工程之檢驗則與新建工程相同，在此不擬贅述。

修復補強工法檢驗

修復補強工法項目	檢驗主要目的	檢 驗 方 式	備 註
裂縫注入環氧樹脂	檢驗裂縫確實填滿環氧樹脂	(1)目視法：目視注射針筒是否殘留環氧樹脂 (2)鑽心檢驗法：沿裂縫位置鑽心，觀查裂縫是否確實填滿環氧樹脂	若針筒無殘留環氧樹脂，表示裂縫尚未填滿環氧樹脂，應抽換注射針筒再加注入環氧樹脂。
樹脂砂漿修補剝落混凝土	檢驗樹脂砂漿是否確實填滿剝落處，並粘著完好。	(1)目視法：目視樹脂砂漿是否確實填滿混凝土剝落處 (2)鑽心拉拔試驗：在修補樹脂砂漿處鑽心至舊有混凝土處（含新舊混凝土之粘著間），將鑽心試體以金屬盤兩側粘結施拉力，以檢驗破裂處位置發生於舊有混凝土、粘著面或修補樹脂砂漿。	若破裂面發生於舊有混凝土，應視為粘著良好。
纖維複合材料補強工法	檢驗纖維複合材料是否確實緊密粘著於既有鋼筋混凝土表面	(1)目視法：檢驗複合材料施工完後外觀上是否有間隙（Gaps）、孔洞（Holes）、起泡泡（Blisters）、缺脂區（Starved-area）、皺紋（Wrinkles）等缺陷現象。 (2)木錘敲擊法：以木錘敲擊以檢驗是否有空洞的分離聲音，亦或緊密的粘著在舊有混凝土面上。	
鋼板貼片補強工法	檢驗鋼板是否確實緊密粘貼於既有鋼筋混凝土表面	(1)目視法：檢驗鋼板在施工完成後有無鼓起等缺陷 (2)木錘敲擊法：以木錘敲擊鋼板表面，以檢驗是否有空洞的分離聲音，亦或緊密的粘著在舊有混凝土面上。	
植筋工法（或化學螺栓）	檢驗粘著是否良好	現場拉拔試驗：將施工完成之植筋（或化學螺栓），以拉拔器施拉至預定抗拉拔力或被拔出為止，以確認植筋之粘著強度。	一般抗拉拔以植入鋼筋之極限強度為準。

第五章 修復與補強工程成本概估

5-1 概述

狹義的工程成本，通常係指建造該項工程所需的費用，其中主要包含主要工程成本（材料、勞務、機具）、假設工程成本、工程管理成本（設計、監造等）及工期成本（利息）等項目。廣義的工程成本則除上述外，尚包含因工程效用（使用機能）優劣所衍生之使用效益成本、不同的替代方案（修復補強或拆除重建）所衍生的機會成本，及考量工程使用壽命長短所應配合考量的結構安全風險成本（使用年限短其耐久性及耐震能力均可能降低）。

由於廣義的工程成本其牽涉範圍太過廣泛，尤其對修復補強工程而言，實不易加以舉例說明（如補強後的使用效益成本在住宅僅為「便」與「不便」），在商場則為「引進客源之多寡」），故本節僅對前文中所提的修復補強材料及修復補強工法的直接工程成本，以目前的物價指數（87年3月），參訪目前工程各界實際狀況加以說明，提供參考使用。

另外，在工程管理成本（設計、監造）部分，國內一般工程的管理費依工程單位的不同，其新建工程的設計監造費用約在新建工程費之2%至5%左右。由於修復補強工程設計與監造的技術與作業內容，遠遠多於新建工程的作業內容（修復補強設計之工作內容至少2倍於新建工程的設計），且修復補強工程的工程費用又往往遠低於新建工程的工程費（修復補強工程費約僅新建工程的1/5至1/10），再加上結構物經修復補強設計及施工後，其安全性上之責任會被認為由原設計施工單位轉移至修復補強的設計施工單位，故

以前述之工程量多，工程費少，加上需負全部的安全責任，因此若修復補強之工程管理費用（設計監造費）採用新建工程的設計監造費用計算標準，明顯不合成本效益，甚至可說不合理，因此為了避免血本無歸，只有大量灌水。此亦即目前國內工程界大量修復補強工程的設計結果，幾乎完全不符結構工程之基本邏輯的主要原因之一。故為求結構修復補強作業的確實有效，不再浪費大筆並無必要之經費，以目前之實際狀況而言，相關之修復補強設計監造成本，若以工程費之百分率計，依前述之相對比例關係其合理之費用應在 15% 至 20%。

5-2 工程成本概估

有關直接工程成本分析部分，一般常以先確定基本單價後，再依工率分析計算得工項單價，最後將工項單價乘以實際數量而得總直接工程成本。以下則依修復補強工程之基本單價、工項工料分析等兩部份分別加以說明。

5-2-1 基本單價

如前所述，常用的修復補強工法材料包括環氧樹脂、A+B 樹脂砂漿、壓克力樹脂、植筋膏(膠結劑)、化學螺栓固結劑、纖維複合材料等。另有常用的一般工程材料則有砂漿、混凝土、鋼筋、鋼板、模板等，茲將上述於民國八十七年三月經市調後得之基本單價表列如下以提供參考：

修復補強材料基本單價表(87.03)

工程名稱	單位	基本單價(元)	備註
灌注裂縫環氧樹脂	Kg	250	符於 ASTM C881-90 規範
積層樹脂	Kg	500	纖維複合料用
壓克力樹脂	m ³	80,000	石英砂、金鋼砂加壓克力樹脂
A+B 樹脂砂漿	m ³	160,000	輕度砂漿、比重<1.2 (一般均為專業廠商材料)
環氧樹脂砂漿	m ³	120,000	石英砂加環氧樹脂
植筋膏	Kg	100	膠結劑
鑽孔工資	孔	80	深度 20cm，直徑 ≤ 25mm
鑽孔工資	孔	100	深度 30cm，直徑 ≤ 25mm
化學螺栓固結劑	支	60	M10，含螺桿，不含鑽孔
化學螺栓固結劑	支	80	M12，含螺桿，不含鑽孔
化學螺栓固結劑	支	120	M16，含螺桿，不含鑽孔
化學螺栓固結劑	支	180	M20，含螺桿，不含鑽孔
化學螺栓固結劑	支	250	M22，含螺桿，不含鑽孔
化學螺栓固結劑	支	350	M24，含螺桿，不含鑽孔
纖維貼片 FAW200	m ²	1600	碳纖維，FAW200
纖維貼片 FAW250	m ²	1,800	碳纖維，FAW250
纖維貼片 FAW300	m ²	2,000	碳纖維，FAW300
普通砂漿	m ³	2,500	f _c ' = 210 kg/cm ²
混凝土	m ³	2,200	f _c ' = 210 kg/cm ²
鋼筋	Kg	12 (不含加工) 17 (含加工組立)	f _y = 4,200 kg/cm ²
鋼筋	Kg	11 (不含加工) 16 (含加工組立)	f _y = 2,800 kg/cm ²
鋼板	Kg	15 (不含加工) 25 (含加工組)	f _y = 2,500 kg/cm ²
專業工	工	2500	
普通工	工	2000	

5-2-2 工項工料分析

由基本材料及工資等項目，配合現場施工過程之工率分析，現將常用各種修復補強工法的工料分析，表列如後，且為能提供更具體之印象，並將前述於 87 年 3 月市調工料單價一併列出，顯示可能對應用者更具參考價值之明確單價分析表。至於新建工程中常用的工項（如裝修工程等），則因相關資料頗多熟知，故於此不擬贅述。另有關結構系統加設消能、隔減震、主被動控制裝置等特殊系統改善補強工法，因均為特殊處理方式，不易以單價分析方式估計其成本，於此亦未予考量。

工程項目：保護層鬆動部分敲除以樹脂砂漿修復					單位：m ²
工程名稱	單位	數量	單價	複價	備註
1.保護層鬆動部分敲除	m ³	0.03	3,000	90	
2.鋼筋防鏽處理	式	1	200	200	
3.表面塗壓克力樹脂	m ²	1.0	250	250	
4.樹脂砂漿	kg	10	200	2,000	
5.表面油漆復原(含披土)	m ²	1	166	166	同原有油漆
6.零星工料	式	1		294	
總計				3,000	

工程項目：裂縫灌注環氧樹脂					單位：m
工程名稱	單位	數量	單價	複價	備註
1.壓力注射筒筒	支	3	100	300	
2.密封材	kg	0.2	200	40	
3.環氧樹脂灌注	kg	0.5	250	125	
4.裝填抽換藥劑工資	式	1	250	250	含安裝注射筒及表面
5.表面披土復原	m ²	0.3	70	21	油漆另計
6.零星工料	式	1		64	
總計				800	

工程項目：增設鋼筋混凝土 25cm 厚鋼筋混凝土牆					單位：m ²
工程名稱	單位	數量	單價	複價	備註
1.210kg/c m ³ 混凝土	m ³	0.25	2,200	550	依厚度決定
2.清水模板	m ²	2	350	700	
3.鋼筋(含彎紮組立)	kg	51	17	867	#4@10 雙層雙向
4.牆面整平粉刷	m ²	2	70	140	油漆另計
5.零星工料	式	1	343	343	
總計				2,600	

工程項目：碳纖維複合材料貼片補強工法					單位：m
工程名稱	單位	數量	單價	複價	備註
1.底層研磨塗底漆	m ²	1	750	750	
2.碳纖維貼片	m ²	1.15	1,800	2,070	
3.積層環氧樹脂	kg	0.8	500	400	
4.塗裝及補土工資	m ²	1	600	600	
5.粘貼纖維	m ²	1	500	500	
6.底劑	kg	0.3	500	150	第二層以上不需此費用
7.補土	kg	1.5	400	600	第二層以上不需此費用
8.零星工料	式	1	200	200	
總計				5,270	第一層
總計				3,170	第二層以上

工程項目：埋設化學螺栓					單位：支
工程名稱	單位	數量	單價	複價	備註
1.鑽孔工資	孔	1	100	100	
2.化學固結劑	支	1	250	250	含螺桿，M22
3.零星工料	式	1	30	30	
總計				380	

工程項目：鑽孔植筋					單位：支
工程名稱	單位	數量	單價	複價	備註
1.鑽孔工資	孔	1	100	100	以深30cm， 25mm孔計
2.植筋膏	kg	0.5	100	50	
3.鋼筋	kg	1.27	11	14	以#4計
4.零星工料	式	1	16	16	
總計				180	

工程項目：RC結構之鋼板補強工法					單位：m ²
工程名稱	單位	數量	單價	複價	備註
1.鋼板 $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$	kg	47	15	705	以6mm厚計
2.灌注環氧樹脂	kg	12	250	3,000	與混凝土接觸面
3.鋼板噴砂處理	m ²	1	800	800	
4.表面一底二度防鏽漆	m ²	1	100	100	顏色須配合室內 粉刷
5.固定用螺栓	支	2	200	400	膨脹螺栓
6.安裝組立工資	式	1	2,000	2,000	
7.零星工料	式	1	987	745	
總計				7,750	

第六章 結語與建議

- (一)本計劃整合目前國內外實際開發應用之鋼筋混凝土建築物修復補強技術，予以整理分類依固定格式分別說明編成手冊，對國內損壞之建築物提供一些具體之原則及工法以迅速有效的修復補強以恢復其機能。
- (二)目前國內的修復補強實務，大部分仍停留在憑工程師直覺(不一定正確)作修復補強設計的狀態，通常施工後亦未經測試，其實際效能並不確定，因此所投注的修復補強經費，並不一定能達到預期的效益。故本計劃所整合後的鋼筋混凝土修復補強技術，應可具體的提供參考。
- (三)本計畫特別說明目前研究已可量化及尚無法量化的補強技術並說明其特性及適用時機，並特別提示應注意事項，應可適當教育國內之工程師，避免對補強工法的誤用而反蒙其害。
- (四)本計畫以儘可能完整地提示各種維修補強工法為主，工法之說明則力求簡潔以使參考使用者可一目了然，更深入之內容則不在本計畫範圍，不過使用者應亦可由參考文獻中得到所需進一步資料。在另一方面，本計畫雖勉力收集各種工法資料並招開兩次學者專家諮詢會議，但疏漏之處應仍在所難免，尚望有識者指教。
- (五)本彙編在可能之範圍內同時提供各種修復補強工法之參考工程示意圖說，一方面可補文字說明之不足外，另應可使修復補強設計作業更能順利有效地進行。

(六)維修與補強工作通常十分難判斷，本身已不只是技術，而可歸於是一種藝術，其設計通常並無法循一定的規則，工法也非必須一成不變。主要目的在期望恢復原有構造物之機能，解除瑕疵原因，更重要的以實務而言，必須考慮結構物壽命週期成本。由於維修補強經常有因物而異，因地制宜且必須隨時應變的特性，其成本評估甚難考慮替代成本或機會成本，因此雖有許多希望本計畫在提供各種工法之餘，再加入成本分析的聲音，在此僅能提供直接成本之概估。

(七)結構修復與補強設計，基本上極為繁鎖複雜，設計過程所需的檢測與分析又遠較新工程設計困難，又缺乏完整之設計規範。因此最可靠及有效的方式就是自初步方案起，由分析、設計、施工程序以至成品之驗收，換句話說就是對對整體設計補強案，應經過一第三公正結構專業單位參與審查，以確保修復補強設計工作的可靠性。

(八)長期而言，本計畫可作為目前尚未盡完善之鋼筋混凝土建築物修復補強技術的一項先期工作，應可啟發後續的研究方向目標，尤其是若能對本手冊所提出之各種維修補強工法之使用及設計有進一步深入的探討，將可使相關補強技術更加精進有效。此外，由於近年來國家及民間之財務皆趨於拮据，對於結構物之維護，維修補強之重要性日益提高，各種維修補強之技術及工法亦將不斷推陳出新，本計畫之成果在現階段應有其一定的意義。

參考文獻

- [1] "Seismic Rehabilitation of Concrete Structures"， ACI SP-160 ， (1996) 。
- [2] "建築物地震災害補修與既有建物耐震改修"，日本建築技術月刊，1996年5月特刊。
- [3] "既存鐵筋混凝土造建築物耐震診斷基準及耐震改修設計指針"，三冊一套，財團法人日本建築防災協會(1977)。
- [4] "補修補強的實踐手法"，日本土木工法年鑑 96 ，日經 BP 社 (1996) 。
- [5] "既存鐵筋混凝土構造物之耐震補強"，財團法人日本混凝土工學協會編，技報堂出版刊 (1984) 。
- [6] "耐震診斷及補強補修"，日本鹿島都市防災研究會編著 (1997) 。
- [7] "耐震診斷及補強法--設計，施工實務"，武田壽一編著，理工圖書 (1996) 。
- [8] "復舊事例耐震診斷，補強設計之實務"，日本建設省建築研究所監修 (1991)
- [9] "鐵筋混凝土床版補強工法之開發研究報告"，日本建設株式會社 (1973) 。
- [10] "炭素纖維對鐵道高架橋柱耐震補強工法設計，施工指針"，日本財團法人鐵道總合技術研究所 (1996) 。
- [11] "鋼板接著橋梁床版補強工法振動中補強之鋼板接著工法之效果"，建設株式會社 (1975) 。
- [12] "鐵筋混凝土床版及桁補強工法之開發研究報告"，建設株式會社 (1974) 。
- [13] "樹脂注入效果確認試驗"，建設株式會社 (1977) 。
- [14] "鋼板接著、補強試驗"，建設株式會社 (1979) 。
- [15] "建築物地震被害補修及既存建物之耐震改修特集" (1997) 。
- [16] 黃世建、陳正平、王森源、陳正誠、蕭興臺，"學校建築常見之結構損害現象歸類及補強計畫建議"，中華民國結構工程學會 (1996) 。
- [17] 陳慧慈、周健捷、洪思閔、鄧崇任，"現有鋼筋混凝土建築物

- 補強之初步研究"，國家地震工程研究中心（1992）。
- [18] "鋼筋混凝土結構物維修補強技術講習會論文輯"，國立台灣工業技術學院營建系（1995）。
 - [19] 劉文欽，"鋼筋混凝土構架震後之補強試驗及其效果分析--重塑支柱、增設斜撐與增設 R.C.牆等工法"，國立成功大學建築研究所碩士論文，許茂雄教授指導（1996）。
 - [20] 彭耀南，趙文成，林昌佑，"建築物之耐震診斷與補強---梁"，國科會防災科技研究報告 77-60 號。
 - [21] 康繼仁，"鋼筋混凝土構架震後之補強試驗及其成果分析--包覆工法"，國立成功大學建築研究所碩士論文，許茂雄教授指導（1996）。
 - [22] 王俊傑，"鋼筋混凝土柱構件受碳纖複合物圍束之結構行為"，國立台灣工業技術學院營建工程研究所碩士論文，林草英教授指導（1996）。
 - [23] 楊尚衡，"建築物既有鋼筋混凝土短柱補強措施之研究"，國立成功大學建築研究所碩士論文，許茂雄教授指導，民國八十一年六月。
 - [24] 真山鳥光保，幸左賢二，大野定俊，"纖維補強/複合材料"，技報堂出版（1994）。
 - [25] 吉松正行，松澤哲次郎，荒木聰，"建物診斷及耐震補強"，Ohmsha（1995）。
 - [26] "鋼纖維補強混凝土設計施工（法面保護工編）"，社團法人鋼材俱樂部，SFRC 構造設計施工研究會編，技報堂出版（1995）。
 - [27] 牧野良一，"住宅之耐震與補強"，Ohmsha（1995）。
 - [28] "鋼纖維補強混凝土設計施工（道路鋪裝編）"，社團法人鋼材俱樂部，SFRC 構造設計施工研究會編，技報堂出版（1992）。
 - [29] "住宅耐震診斷補強之實例"，日本建築學會編，彰國社（1997）。
 - [30] 秋濱繁幸，"纖維補強混凝土"，鹿島出版社（1992）。
 - [31] 米倉亮三，兼松陽，島田俊介，"最新補強土工法"，第二版，山海堂（1993）。

- [32] "連續纖維補強混凝土(諸性質與設計法)", 連續纖維補強混凝土編集委員會編, 技報堂出版(1995)。
- [33] "道路橋之補修補強事例集", 日本土木施工編集委員會編, 山海堂(1996)。
- [34] "即存 RC 建物之耐震診斷與補強", 小倉弘一監修, 技術書院(1988)。
- [35] 蕭興臺, 宋永巒, 廖肇昌, "RC 構件鋼板補強工法之探討", 結構工程, 第九卷, 第四期, 79~96 頁, (1994)。
- [36] 蕭興臺, 宋永巒, 廖肇昌, 史鈞陶, "RC 樑鋼板補強設計法", 結構工程, 第十一卷, 第四期, 85~99 頁, (1996)。

鋼筋混凝土建築物修復與補強技術彙編

本出版品由內政部建築研究所同意授權中華民國建築投資商業同業公會全國聯合會印行

印行者：中華民國建築投資商業同業公會全國聯合會

地 址：台北市安和路一段二十九號八樓

電 話：(02)27405665

印刷者：明河印刷企業有限公司

地 址：台北市龍江路95-1號

電 話：(02)27812679

定 價：新台幣40元

出版日期：中華民國八十八年十二月

