鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
(成果報告)

研究主持人 ： 蔡綽芳

協同主持人 ： 邱建國

研究員 ： 高玉荃

研究助理 ： 趙紀棠、梁芷菱、張仁豪

研究期程 ： 中華民國 113 年 3 月至 113 年 12 月

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 113 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次 I
表次 III
圖次 V
摘要 9
第一章 緒論 13
第一節 研究背景 13
第二節 研究目的 15
第三節 預期目標 17
第二章 文獻回顧 19
第一節 梁構件補修相關文獻 19
第二節 板構件補修相關文獻 44
第三節 牆構件補修相關文獻 48
第四節 材料試驗相關文獻 54
第五節 日本補修工法之相關文獻 57
第三章 研究方法與相關試驗規劃 89
第一節 研究方法與流程 89
第二節 修復材料試驗規劃 91
第四章 試驗結果與討論 113
第一節 修復材料試驗 113
第二節 耐候複合試驗 130
第五章 鋼筋混凝土造物之老劣化診斷與修復手冊 141
第六章 結論與建議 149
第一節 結論 149
第二節 建議 151
參考書目 153
附錄一 第一次專家座談會議記錄 159
附錄二 第一次手冊審查會議記錄 163
附錄三 第二次專家座談會議紀錄 167
附錄四 第二次手冊審查會議記錄 171

附錄五　第三次專家座談會議記錄.....173
附錄六　第三次手冊審查會議記錄.....181
附錄七　北、中、南說明會記錄.....185
附錄八　國外相關文獻補充.....187
附錄九　鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊.....233

表次

表 2- 1 灌注用之環氧樹脂黏度值建議表 21
表 2- 2 美國 ASTM 環氧樹脂材料之用途分類表 21
表 2- 3 裂縫寬度在 0.3 mm 以上之灌注環氧樹脂材料規格表 22
表 2- 4 CNS 10141 環氧樹脂性能要求表 23
表 2- 5 適用於斷面缺損時之鋼筋防鏽材料表 25
表 2- 6 適用於斷面缺損時之填補用材料 27
表 2- 7 斷面缺損時之填補用樹脂砂漿材料主要規格表 27
表 2- 8 無收縮混凝土之規格要求表 28
表 2- 9 無收縮水泥砂漿之規格要求表 29
表 2- 10 各構件補強工法 29
表 2- 11 碳纖維設計 33
表 2- 12 試驗結果 34
表 2- 13 試驗結果-扭矩與破壞模式 37
表 2- 14 試體編號 41
表 2- 15 試驗數據 42
表 2- 16 試驗數據 49
表 2- 17 試驗數據 52
表 2- 18 氙弧燈試驗機測試程序 55
表 2- 19 表面保護工法之材料性能評價指標 62
表 2- 20 依結構性能要求對應之表面保護工法適用範圍 62
表 2- 21 表面保護工法之檢查內容 (範例) 63
表 2- 22 塗料之分類 69
表 2- 23 A 類塗料之規格 69
表 2- 24 B 類塗料之規格 70
表 2- 25 C 類塗料之規格 70
表 2- 26 各材料之功能和目的 71
表 2- 27 混凝土表面披覆材料之性能查照項目 73
表 2- 28 混凝土表面保護工法之分類 74
表 2- 29 混凝土表面保護工法之性能一覽表 74

表 2- 30 西日本旅客鐵道公布之表面處理材料基本規格值.....76
表 2- 31 表面含浸材料預期達到之性能及適用效果.....79
表 2- 32 矽酸鹽基表面含浸法的適用目的和性能查照項目.....80
表 2- 33 以回復或增加性能為目的所對應之修復/補強工法.....84
表 2- 34 補修/補強使用之材料種類.....85
表 2- 35 水泥系材料之試驗方法.....86
表 3- 1 聚合物水泥砂漿之品質基準.....92
表 3- 2 環氧樹脂系斷面修復材之品質基準(AIJ).....93
表 3- 3 修復材料試體編號.....97
表 3- 4 水泥砂漿與聚合物水泥砂漿修復材料之配比.....97
表 3- 5 無收縮水泥砂漿配比.....97
表 3- 6 環氧樹脂系修復材料配比.....98
表 3- 7 基礎混凝土之配比.....98
表 3- 8 JIS A 6205 每公升之鹽水調配比例.....104
表 3- 9 氙弧燈試驗機測試程序.....110
表 4- 1 撓曲強度試驗數據.....116
表 4- 2 抗壓強度試驗數據.....116
表 4- 3 黏結強度試驗數據.....116
表 4- 4 吸水率試驗數據.....117
表 4- 5 透水量試驗數據.....117
表 4- 6 長度變化量試驗數據.....117
表 4- 7 各配比中性化深度.....128
表 4- 8 各配比氯離子滲透深度.....129
表 4- 9 經耐候試驗試體之抗壓強度試驗數據.....131
表 4- 10 經耐候試驗試體之氯離子滲透試驗數據.....134
表 4- 11 反彈錘 R 值.....137
表 4- 12 抗壓強度.....137
表 4- 13 經耐候試驗之第二批中性化試體滲透試驗數據.....139
表 4- 14 經耐候試驗之第二批氯離子滲透試體試驗數據.....140

圖次

圖 1-1 本研究執行步驟.....16
圖 2-1 碳纖維固定方式.....31
圖 2-2 碳纖維固定方式詳圖.....33
圖 2-3 碳纖維是否錨固之破壞模式.....34
圖 2-4 碳纖維設計詳圖.....36
圖 2-5 TB1 試驗結果-剪力.....37
圖 2-6 TB3 試驗結果-剪力.....38
圖 2-7 TB1、TB1S1、TB1S2 試體破壞照.....39
圖 2-8 各碳纖維錨固設計圖.....41
圖 2-9 試體破壞照.....42
圖 2-10 試體力量-位移曲線.....43
圖 2-11 試體能量吸收-位移曲線.....43
圖 2-12 縮尺板復原設計.....46
圖 2-13 無收縮水泥砂漿修復試體彎矩-位移曲線.....46
圖 2-14 輕質環氧樹脂砂漿修復試體彎矩-位移曲線.....47
圖 2-15 縮尺板裂縫發展.....47
圖 2-16 碳纖維錨固詳細圖說.....48
圖 2-17 試體包絡線與碳纖維貼覆示意圖.....49
圖 2-18 載重-位移曲線與破壞照.....50
圖 2-19 碳纖維貼布錨固詳細設計.....51
圖 2-20 LW1C 與 LW1Ca 試體角鋼位置.....52
圖 2-21 力量-位移曲線.....53
圖 2-22 表面保護工法之分類.....58
圖 2-23 表面保護工法之示意圖.....60
圖 2-24 表面保護工法選定流程.....61
圖 2-25 表面含浸法之材料種類.....78
圖 2-26 主成分與改質之關聯性.....78
圖 2-27 補修/補強流程.....83
圖 3-1 研究步驟.....90

圖 3- 2 無收縮水泥砂漿乾拌料.....95
圖 3- 3 輕質環氧樹脂砂漿材料.....96
圖 3- 4 中性化試體.....102
圖 3- 5 第二批中性化試體.....103
圖 3- 6 氯離子滲透深度量測示意圖.....104
圖 3- 7 第二批氯離子滲透試體.....105
圖 3- 8 內政部建築研究所 Q-SUN XE-3 XENON TEST CHAMBER 106
圖 3- 9 氙弧燈試驗機內部.....107
圖 3- 10 氙弧燈試驗機設定面板.....107
圖 3- 11 第一批耐候複合試驗流程圖.....108
圖 3- 12 第一批耐候試體放置於氙弧燈試驗機.....108
圖 3- 13 第二批耐候複合試驗流程圖.....109
圖 3- 14 第二批耐候試體放置於氙弧燈試驗機.....109
圖 3- 15 耐候試驗中性化深度與氯離子滲透深度測量位置.....110
圖 3- 16 本研究使用之反彈錘.....111
圖 3- 17 試體之測量點位.....111
圖 4- 1 撓曲強度試驗數據.....118
圖 4- 2 抗壓強度試驗數據.....118
圖 4- 3 黏結強度試驗數據.....119
圖 4- 4 吸水率試驗數據.....119
圖 4- 5 透水量試驗數據.....120
圖 4- 6 長度變化試驗數據.....120
圖 4- 7 50M 試體黏結強度破壞照.....121
圖 4- 8 50MF 試體黏結強度破壞照.....123
圖 4- 9 SBRF 試體黏結強度破壞照.....124
圖 4- 10 N 試體黏結強度破壞照.....125
圖 4- 11 5E 試體黏結強度破壞照.....126
圖 4- 12 3E 試體黏結強度破壞照.....127
圖 4- 13 中性化試體噴灑指示劑.....128
圖 4- 14 氯離子滲透試驗數據.....129

圖 4- 15 第一批氙弧燈試驗機照射後試體.....130
圖 4- 16 經耐候試驗試體之抗壓強度試驗數據.....132
圖 4- 17 經耐候試驗試體之中性化試體照片.....133
圖 4- 18 經耐候試驗試體之氯離子滲透試驗數據.....134
圖 4- 19 第二批氙弧燈試驗機照射前、後試體.....135
圖 4- 20 試體(SBRF-01)破碎情形.....136
圖 4- 21 反彈錘試驗數據.....136
圖 4- 22 抗壓強度之 R 值對照表.....138
圖 4- 23 經耐候試驗之第二批中性化試體照片.....139
圖 4- 24 經耐候試驗之第二批氯離子滲透試體照片.....140
圖 5- 1 鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊(草案)之架構.....145
圖 5- 2 初步診斷綜合評定.....146
圖 5- 3 構件補修工法選定流程.....147

摘要

關鍵字：鋼筋混凝土、修復材料、修復

一、研究緣起

在台灣，鋼筋建築物常見劣化狀況之一，便是內部鋼筋鏽蝕而造成混凝土裂縫或剝落，且當裂縫發生或混凝土剝落，亦會加劇鋼筋鏽蝕速度，進而影響建築物之安全性。當鋼筋混凝土構件劣化到某些程度時，將導致影響結構物之安全性與使用性，根據構件劣化程度，此時便需要進行補修、補強或拆除重建。一般來說，補修係將建築物之劣化部份去除，以恢復建築物之美觀和提高耐久性為目的，並提供建築物持續保有安全性、使用性和回復力學性能之對策；補強則是提出可讓建築物提高安全性和使用性，並使構件恢復其力學性能之對策。針對既有鋼筋混凝土造建築物老劣化診斷及修復之課題，從 108 年度的「鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬」、109 年度的「鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕斷面補修工法研擬」及 112 年度所執行的「鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊研擬」，從既有建築物之老劣化調查與診斷、修復策略研擬至修復工法之施作程序，一系列研究之目的就是為了能有效地修復鋼筋混凝土造建築物並延長其使用年限。

二、研究方法及過程

完善「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」，除統整過去針對不同修復材料及各修復工法之相關資料，以及比較不同修復工法對於腐蝕梁、板構件之修復性外，本研究亦打算對常見地補修材料進行耐候性試驗，將補修材料利用氙弧燈加速劣化，之後比較其力學性能及耐久性能。根據各項試驗結果建立鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊(初稿)，接著邀請業界及學界之專家學者召開專家座談會及審查會，根據專家學者們提出之意見來修正及補充其內容，最終提出具本土性之修復手冊並在北、中、南各區舉辦說明會進行推廣。

研究流程如下:

1. 鋼筋混凝土造建築物補修/補強工法之相關文獻蒐集
2. 斷面補修材料之耐候性能探討
3. 建構鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊

三、 重要發現

經本研究團隊之資料收集以及試驗數據成果整理所專寫之鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊各章節名稱如下，第一章為總則，第二章為鋼筋混凝土劣損構件之補修策略研擬及工法選定，第三章為構件補修工法種類與適用範圍，第四章為構件修復工法種類與適用範圍，第五章為構件補修材料之性能要求與試驗，第六章為施工圖說與注意事項。除舉辦專家審查會議外，藉由專業技師公會之座談回饋與北中南說明會，相關實務建議已納入手冊中，可以提供專業人員最為務實之參考資料。

四、 主要建議事項

建議一

「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」複審及公告:立即可行建議

主辦機關:內政部建築研究所、內政部國土管理署

協辦機關:國立臺灣科技大學、中華民國全國建築師公會、中華民國土木技師公會全國聯合會、中華民國結構工程技師公會全國聯合會

本研究為建立鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊，已完成三次專家座談會及三次手冊審查會，並已完成舉辦北、中、南 3 場說明會，後續可公告發行此手冊。

建議二

針對修復材料進行力學性能試驗、耐久性能試驗，並針對梁腐蝕構件進行修復補修結構試驗:中長期建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關：國立臺灣科技大學

本研究針對修復材料進行第二批耐候複合試驗，以了解其中性化深度、氯離子滲透深度、抗壓強度，並與第一批耐候複合試驗結果作比較，建議可規劃力學性能試驗及耐久性能試驗，將試驗結果寫入鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊。

本研究並未進行結構試驗，後續可針對梁腐蝕構件進行修復補修結構試驗，了解梁腐蝕構件在修復材料選用、修復方式之注意事項，旨在模擬老劣化的梁構件經過補修恢復到原始強度，使用往復載重試驗驗證修復情形，並寫入鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊。

第一章 緒論

第一節 研究背景

在台灣，鋼筋建築物常見劣化狀況之一，便是內部鋼筋鏽蝕而造成混凝土裂縫或剝落，且當裂縫發生或混凝土剝落，亦會加劇鋼筋鏽蝕速度，進而影響建築物之安全性。當鋼筋混凝土構件劣化到某些程度時，將導致影響結構物之安全性與使用性，根據構件劣化程度，此時便需要進行補修、補強或拆除重建。一般來說，補修係將建築物之劣化部份去除，以恢復建築物之美觀和提高耐久性為目的，並提供建築物持續保有安全性、使用性和回復力學性能之對策；補強則是提出可讓建築物提高其安全性和使用性，並增進構件力學性能之對策。109 年進行了「鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕斷面補修工法研擬」，該計劃案收集了日本、美國及台灣關於補修工法之相關文獻，以及對鋼筋腐蝕劣化梁構件進行一系列試驗，藉此探討國內常見的斷面修復材之修復性能，並結合了各試驗結果，草擬出鋼筋混凝土構件腐蝕劣損區域之補修工法手冊。更在 112 年執行「鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊研擬」研究案，執行期間採用台灣常見之補強材料(如鋼筋增補、CFRP 材料、點焊鋼絲網等)應用於腐蝕梁、板構件之修復，藉由試驗結果提出合適地修復材料、工法施作流程及應注意事項，建構本土化具實用性之鋼筋混凝土梁版構件腐蝕劣損區域之補修工法手冊草案。

內政部建築研究所於 112 年的「鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊研擬」(2023)研究計劃案中，為進一步完成修復手冊草擬，延續之前研究，共進行了三項工作。首先是修復材料之性能探討，除了力學性能，另對修復材料進行了中性化與氯離子加速滲透試驗，以了解其材料之耐久性能；在材料選用方面，除了水泥系材料外，特別對環氧樹脂材料內添加之細粒料比例進行性能探討，其目的皆是為了確保修復材料於構件裂損區域之修復性。其次是劣化梁、板構件之修復性能探討，採用電化學方式加速鋼筋腐蝕使梁、板構件產生裂損區域，並分

別採用水泥砂漿、無收縮水泥砂漿、環氧樹脂砂漿作為斷面補修材料，以斷面補修工法配合鋼筋增補或點焊鋼絲網或碳纖維(Carbon Fiber Reinforced Plastics; CFRP)貼布或 CFRP 板進行修復後，對梁、板構件進行單向加載試驗，藉由新舊材料交會區域之裂縫發展，以了解各補修工法之修復性能。最後，係將各試驗詳實記錄每一步施工程序及注意事項，整合其試驗結果並統整過去關於文獻及成果，提出鋼筋混凝土梁、板構件腐蝕劣損區域之補修工法手冊草案。然而，既有鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件不僅局限於梁、板構件，應建立更為全面之修復手冊，以包含柱、牆構件等，用以提供技師或建築師依現場構件之劣損狀態或程度，選擇合適補修工法並確保其修復性能。因此，著手建立一「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」是刻不容緩之事。

第二節　研究目的

本研究之目的為完善針對既有鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復手冊，用以提供技師或建築師依現場構件之劣損狀態或程度，選擇合適補修工法並確保其修復性能。為了延長鋼筋混凝土造建築物之耐久性，對既有建築物之老劣化調查、診斷及修復皆缺一不可，技師或建築師必須根據老劣化徵狀、構件之劣化度來研擬修復策略，對症下藥才能有效地改善或處理構件老劣化之狀況。故本研究將建立可用於修復鋼筋混凝土老劣化構件之「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」，並舉辦專家座談會與審查會以完善手冊內容，且將在北、中、南各區舉辦說明會，其內容包含推廣內政部建築研究所即將出版之「鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷技術手冊」以及本研究編修之「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」，讓技師或建築師們可以確實了解該如何對老劣化鋼筋混凝土造建築物進行維護及延壽。

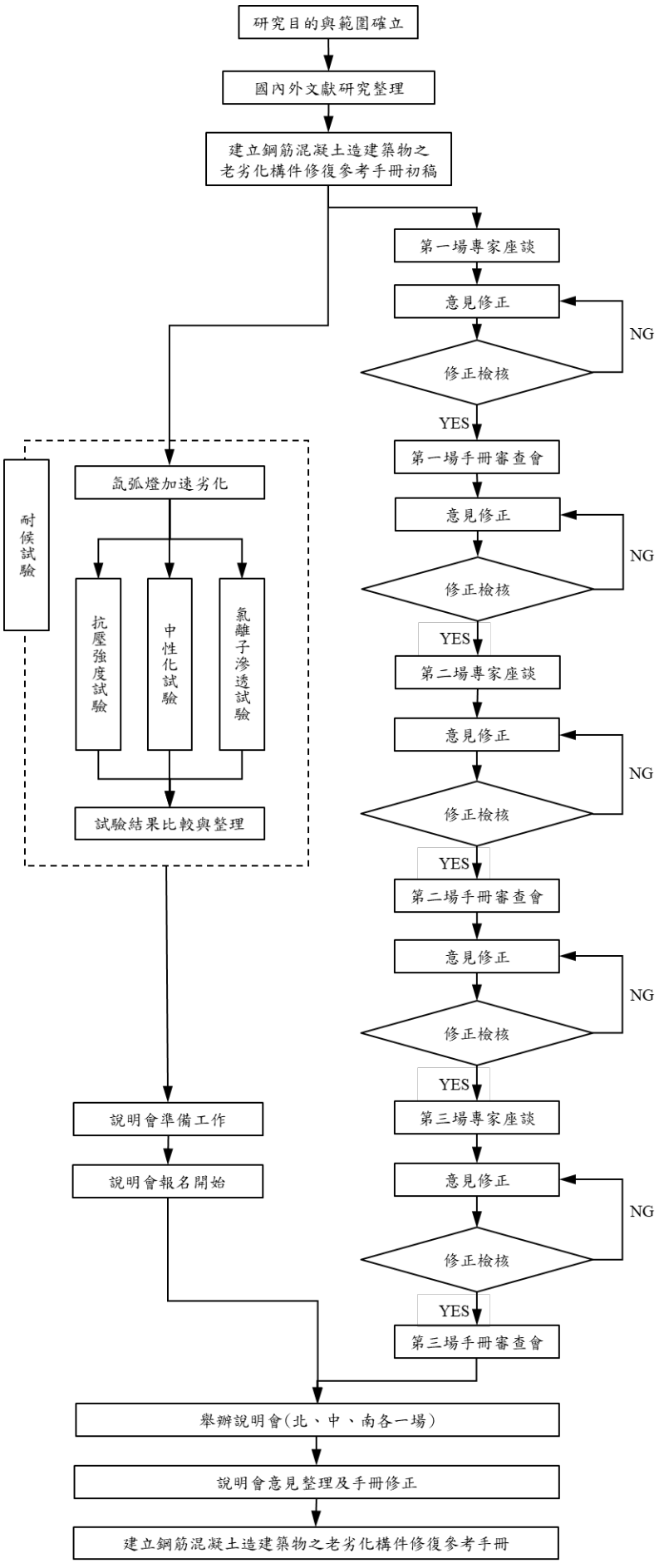


圖 1-1 本研究執行步驟

(資料來源：本研究整理)

第三節　預期目標

本研究之預期目標如下：

1. **完成鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊**
2. **進行至少 3 場專家座談及 3 場審查會進行「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」之編修。**
3. **舉辦北、中、南 3 場說明會推廣「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」。**

第二章　文獻回顧

第一節　梁構件補修相關文獻

鋼筋混凝土結構修復補強設計參考手冊 (中華民國結構工程技師公會全國聯合會，2008)

鋼筋混凝土結構之修復與補強不僅須注意到其經濟性、美觀性，更需注意到強度、新舊結構體介面之黏結性與力傳遞能力、施工性限制等等，舉例來說對於構件之補強，鋼筋混凝土材料雖較為經濟，但其施工性與在新舊混凝土之交界面之結合力是否會造成使用性的影響，都需要深入了解，另外常見之修復/補強材料，如：環氧樹脂材料，其黏度佳、施工性佳，能深入裂縫中與混凝土有良好的接著性，但因其力學強度高於常用混凝土，須依修補之混凝土結構物之狀態、裂縫寬度或用途，選用適當之環氧樹脂種類。

鋼筋混凝土結構中常見之損壞分為混凝土裂縫及斷面缺損兩大類。其中，混凝土裂縫與結構安全性有關，通常採用低黏滯性之環氧樹脂來進行施作；若為混凝土斷面缺損，則材料項目可分為：鋼筋防鏽材料、接合面處理材料、斷面填補材料。以下將分別整理各材料於參考手冊中之規定與說明：

1. 裂縫灌注用之環氧樹脂材料：
   (1) 使用時機：防止裂縫繼續擴大及抑制內部鋼筋鏽蝕。
   (2) 種類：分為有機系與無機系兩種，有機系國內較常用環氧樹脂與聚脂樹脂，無機系為聚合水泥漿等。
   (3) 材料規定：一般環氧樹脂之力學強度高於常用混凝土，故環氧樹脂之主要重點在於黏度、黏接強度與抗拉強度，當裂縫灌注時，須配合灌注壓力(小於 3 kgf/ cm^2)緩慢注入以確實填滿裂縫。其中黏度值依 CNS 10141 之規定，分成低黏度型、中黏度型及高黏度型，而灌注用環氧樹脂屬於中、低黏度型，並依照裂縫寬度建議使用不同種類之環氧樹脂，如表 2-

所示。美國 ASTM 則依用途分為七類，依黏度分為三級，依適用溫度分為六型，由表 2-2 中資料所示。國內相對應 ASTM 為 Type IV。另外，針對黏結強度、抗拉強度及硬化收縮率的部分，當裂縫寬度在 0.3 mm 以上，在國內有針對常用之環氧樹脂材料要求，如表 2-3 所示。CNS 之建築灌注補修用環氧樹脂(CNS 10141)中，根據不同施工環境溫度條件下，其適用之性能要求規定如表 2-4，且環氧樹脂施工環境可分為一般用和冬季用兩種，一般用之施工環境溫度為 10 °C~35 °C 之間，冬季用則為 5 °C ~15 °C。

2. 斷面修復用之防鏽材料：

(1) 使用時機：防止修補後之鋼筋繼續腐蝕。

(2) 基本要求:可抑制鋼筋腐蝕、能與鋼筋及斷面填補材料間有良好接著性。

(3) 材料規定：無標準化規格，但需具耐鹼性、防鏽性、對鋼筋之黏著性之規定，適用之鋼筋防鏽材料表如表 2-5 所示，建議以工程實績作為選用標準。若修復工程使用環氧樹脂砂漿作為填補材料，則配合選用環氧樹脂系塗料;若採用水泥砂漿或混凝土填補,則採用水泥漿作為接合處理。

(4) 施工注意事項：在防蝕塗裝前，須先用敲除裂化混凝土，並使用動力工具將鐵鏽去除，增加防蝕能力及附著性。若鋼筋鏽蝕導致鋼筋斷面機減少，應檢討是否要補強鋼筋施工。

表 2- 1 灌注用之環氧樹脂黏度值建議表

種類	黏度(20 ºC，Pa・S)	適用之裂縫寬度
低黏度型(L)	0.5 ± 0.2	0.1 mm 以下
中黏度型(M)	1.5 ± 0.5	0.2 mm 左右
高黏度型(H)	5.0 以上	0.3 mm 以上

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合會，2008)

表 2- 2 美國 ASTM 環氧樹脂材料之用途分類表

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黏結，膠結面不受載重者	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黏結，膠結面不受載重者	
Type III	應用於硬固混凝土面上加設之抗滑、耐磨等面層材料	如耐磨地坪
Type IV	應用於硬固混凝土與硬固混凝土間之黏結，膠結面須受載重者	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 V	應用於新拌混凝土與硬固混凝土間之黏結，膠結面須受載重者	
Type VI	應用於預鑄元件或分段施力之後拉預力元件之黏結與封膜，黏結面須承受應力者	
Type VII	應用於預鑄元件或分段施力之後拉預力元件之黏結與封膜，黏結面不須承受應力者	
*聚乙烯(polyethylene)、碳氟化合物(TFE-fluorocarbon)、玻璃紙(cellophane)、油質或蠟質表面等材料無法藉環氧樹脂與混凝土有效黏結。		

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合工會，2008)

表 2- 3 裂縫寬度在 0.3 mm 以上之灌注環氧樹脂材料規格表

試驗項目	規定值	適用之測試方法
黏度	3~10 Pa·S	CNS 13065 或 CNS 10141 (ASTM D293-86)
黏接強度	≧90 kgf/ cm^2(14 天)	ASTM C882-87
抗拉強度	≧30 kgf/ cm^2	CNS 1011 (ASTM C190-85) (已廢止)
硬化收縮率	3 %以下	CNS 10141

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合工會，2008)

表 2- 4 CNS 10141 環氧樹脂性能要求表

品質 \ 種類 \ 試驗條件				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	25 ± 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	

品質 \ 種類 / 試驗條件			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
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	
抗彎強度 N/cm^2 (kgf/cm^2)		–	3000 (306)以上		3000 (306)以上		3000 (306)以上	

(資料來源：中華民國國家標準，2010)

表 2- 5 適用於斷面缺損時之鋼筋防鏽材料表

聚合水泥系塗料	1. 苯乙烯-丁二烯橡膠 (Styrene Butadiene Rubber；SBR)系 2. 丙烯(Acryl)樹脂系 3. 防鏽劑添加系
合成樹脂系塗料	1. 環氧樹脂(Epoxy)系塗料(符合 CNS K2089 規範)。 2. 丙烯樹脂(Acryl)系塗料 3. 尿烷(Urethane)系之樹脂底塗料(Primer)
鏽層轉換塗料	磷酸、有機酸、螯行化合物(Chelate)劑等

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合工會，2008)

3. 斷面修復用之接合面處理材料：

(1) 使用時機：在填補前，混凝土需均為健全、膠結良好之結構材料，結合面處理材料可增加填補材料與基礎混凝土之接著性。若原有混凝土表面有鬆動或孔洞，須先鑿除並維持 6 mm 以上之粗糙度，以利黏接。

(2) 基本要求：高滲透性、高附著力，與混凝土具相容性，可遮斷原有材料之化學反應。

(3) 材料種類：可用於接合處理之黏結層材料甚多，必須配合填補材料之種類與鑿除方式來選用。國內常見之修補工程，在謹慎敲除裂化混凝土後，配合高壓噴槍清除雜物，再以環氧樹脂黏著材料作為接合面處理材料。若採用水泥系填補材料，則應採用水泥與砂為 1：1 之比例作為接合面處理材料。

4. 斷面填補用之樹脂砂漿材料：

(1) 使用時機：用以修復缺損斷面，恢復原有形狀，較大缺損時可用一般混凝土當作填充材，較小斷面或須重量輕又黏結力強之材料時，可用水泥砂漿或樹脂砂漿進行，適用斷面缺損之填補用材料如表 2- 6 所示。

(2) 基本要求：能與原有混凝土充分黏結，強度及耐久性等力學性質高於基

礎混凝土之材料。

(3) 國內常見之樹脂砂漿種類：環氧樹脂系砂漿、丙烯樹脂系聚合物水泥砂漿。

a. 環氧樹脂系砂漿：以 A、B 劑形式之產品，需依廠商提供之比例混和。施工時，確保環境乾燥，且須先完成接合處理及塗抹環氧樹脂底劑於原有混凝土表面以確保品質。另外，也可添加於水泥砂漿中作為環氧樹脂水泥砂漿使用，不同於輕質環氧樹脂砂漿，其具有凝結速度快、黏結力強、強度高之特性。

b. 丙烯樹脂系聚合物水泥砂漿：一般砂漿拌和時添加適量丙烯樹脂(壓克力樹脂)，可增加材料之黏著性及水密性，且可在不影響水灰比之情形下於濕潤環境實施填補工程。因其施工方式與水泥砂漿大致相同，故可用於較大面積之混凝土修補。

(4) 環氧樹脂系砂漿與丙烯樹脂系聚合物水泥砂漿之比較：環氧樹脂系砂漿重量輕，黏結性與強度高於丙烯樹脂系聚合物水泥砂漿，但成本高且凝結時間快，又不可於潮濕條件下施工。丙烯樹脂系聚合物水泥砂漿比重較重，且使用時須注意介面處理。一般補強工程應盡量採用黏著力高、強度高、重量輕之材料，故斷面缺損之填補，尤其對於混凝土劣化或鋼筋腐蝕之頂面的梁和板更宜採用環氧樹脂系砂漿。

(5) 材料規定：可依 JIS A 1172 與 JIS A 6203 之規定辦理，另外對於鋼筋腐蝕之修復與填補，可增加透水性規定，故可採用 JIS A 6916 所訂之測試辦理，各試驗項目之主要規格可參考表 2- 7。

表 2-6 適用於斷面缺損時之填補用材料

聚合水泥砂漿 (高分子水泥砂漿)	1. SBR(苯乙烯丁二烯橡膠)系。 2. 丙烯樹脂系(壓克力樹脂)。 3. 防鏽添加系等聚合水泥砂漿。
聚合樹脂砂漿	環氧樹脂砂漿。
水泥砂漿、混凝土	水泥、骨材、水、摻料等拌合而成之水泥砂漿或混凝土。

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合工會，2008)

表 2-7 斷面缺損時之填補用樹脂砂漿材料主要規格表

試驗項目	規定值	試驗方法
抗壓強度	依設計需求 (至少大於 210 kgf/ cm^2)	CNS 1010 (ASTM C109-90)
黏結強度	＞15 kgf/ cm^2 (一般)	ASTM 882-87
膨脹率	0～4 %@7 天	ASTM C927-87
最大水溶性 氯離子含量	鋼筋混凝土 0.3 kgf/ m^3 預力混凝土 0.15 kgf/ m^3	CNS 13465

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合工會，2008)

5. 斷面填補用之水泥系材料：

(1) 水泥系補強材料種類:除混凝土和水泥砂漿外,又因考量材料與施工法,還包含無收縮混凝土、無收縮水泥砂漿與噴凝土。

(2) 規定原則:依需求規定其抗壓強度、變形特性、彈性模數、膨脹係數等,並考量施工性，可訂定合宜之坍度。其防蝕需求，可規定混凝土之空氣含量，將依據 CNS 9661 進行測試。

(3) 混凝土材料：強度不應低於既有混凝土。配合補強工程，粗骨材粒徑應

比一般新建工程小，依照規範規定視施工需求添加摻料。以混凝土材料當作填補材時，可用水泥漿或水泥砂漿(水泥與通過 30 號篩之砂，以 1：15 之配比混合) 。

(4) 水泥砂漿材料：水泥與砂之比例視強度需求而定，一般採用 1：2~3，而所用之砂應為通過 16 號篩之細骨材。除作為填補用外，水泥砂漿與混凝土材料常用來提高材料強度、增加黏結能力及縮短凝土時間，常使用摻料、化學材料、高強度骨材，故除一般力學性質外，可比照聚合水泥砂漿與聚合樹脂砂漿之材料規定。

(5) 無收縮混凝土與無收縮水泥砂漿材料：其材料中添加膨脹性之水泥添加劑，使固化過程中不致於產生體積變化。該摻料應為非金屬氧化性材料且無侵蝕性，其規格要求如表 2- 8、表 2- 9 所規定。

(6) 噴凝土：使用噴附方式施工之水泥砂漿稱為噴漿，可分為乾式與濕式。每層最大噴附厚度約為 5 公分，其相關試驗及規定應詳見「結構混凝土施工規範」(內政部營建署，2011)及「混凝土工程施工規範與解說」(中國土木水利工程學會，2007)之相關規定。

表 2- 8 無收縮混凝土之規格要求表

試驗項目	規定值	試驗方法
膨脹率	0 ~ 0.3 %	ASTM C878
泌水率	0	ASTM C232
坍度	小於 15 cm	ASTM C143
初凝時間	小於 4 小時	ASTM C403
抗壓強度(28 天)	≧ 350 kgf/ cm^2	CNS 1010 R3032

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合工會，2008)

表 2- 9 無收縮水泥砂漿之規格要求表

試驗項目	規定值	試驗方法
膨脹率(7 天)	0 ~ 0.3 %	ASTM C827
收縮率(28 天)	0	ASTM C596
抗壓強度(28 天)	≧ 350 kgf/ cm^2	CNS 1010 R3032

(資料來源：中華民國結構工程技師公會全國聯合工會，2008)

由「鋼筋混凝土結構修復補強設計參考手冊」可以了解，不同修復材料有不同之試驗方法與規定，但因水泥砂漿常添加不同之摻料及化學材料，故可以環氧樹脂砂漿及聚合物水泥砂漿之材料規定為標準，惟無收縮水泥砂漿之試驗方法有所不同，故在比較各項材料差異時，需要更加詳細說明。

文獻除了針對不同修復材料說明之外，亦針對不同構件的補強工法做介紹詳如表 2- 10，文獻內除針對適用時機做說明之外也針對補強工法特性、施工方法與注意事項做說明。

表 2- 10 各構件補強工法

梁構件	1. 梁加設外箍筋補強工法（剪力補強） 2. 梁側加鋼板補強工法（剪力或正彎矩補強） 3. 梁中央底部鋼板補強工法（正彎矩補強） 4. 梁兩端頂部鋼板補強工法（負彎矩補強） 5. 梁中央底部纖維複合材料補強工法（剪力與正彎矩補強） 6. 梁兩端頂部纖維複合材料補強工法（負彎矩補強） 7. 梁擴大斷面補強工法（剪力與彎矩補強） 8. 預力鋼線補強工法(小梁正彎矩補強與變形復原補強)
柱構件	1. 柱加設箍筋補強工法(剪力與圍束補強) 2. 柱帶狀鋼板補強工法(剪力與圍束補強) 3. 柱圍封鋼板補強法(剪力與圍束補強) 4. 柱圍封碳纖維材料補強工法(剪力與圍束補強) 5. 柱擴大斷面主筋貫穿樓板補強工法(軸力、彎矩與剪力補強工法)

板構件	1. 板底鋼板補強工法(正彎矩補強) 2. 板底碳纖維材料補強工法(正彎矩補強) 3. 板頂端部鋼板補強工法(負彎矩補強) 4. 板頂端部碳纖維補強工法(負彎矩補強) 5. 板加厚補強工法(剪力與彎矩補強) 6. 板加設鋼小梁補強工法
牆構件	1. 牆加厚補強工法(剪力、彎矩與軸力補強)

混凝土結構加固外貼 FRP 系統設計和施工指南 (ACI 440.2R-17；美國混凝土學會，2017)

於 ACI 規範中提到五種不同之碳纖維固定方式，其中 U 型包覆與鋼板搭配固定件的方式為台灣較常見之碳纖維固定方式。文獻中提到碳纖維經這兩種方式做固定可以延遲或是有效預防碳纖維黏結失效，並且可以提高碳纖維使用性能，甚至能達到碳纖維極限拉伸強度。

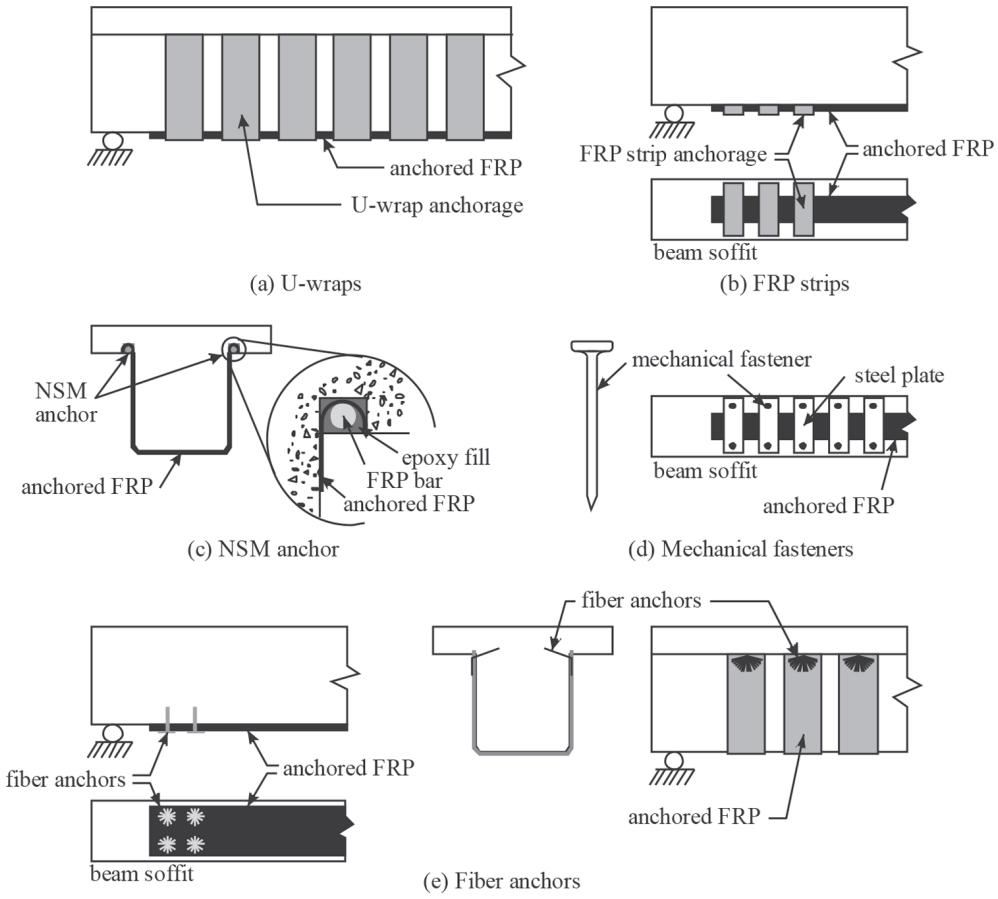


圖 2- 1 碳纖維固定方式

(資料來源：美國混凝土學會，2017)

Behavior of RC T-section beams strengthened with CFRP strips, subjected to cyclic load (Tanarslan，2010)

文獻為鋼筋混凝土 T 型梁構件反覆載重試驗之研究，總試體數量為 7 座，1 座為對照組，其餘 6 座試體無配置箍筋，而有 5 座試體以外貼碳纖維貼布補強構件剪力強度，試體之碳纖維貼布寬度與間距設計如表 2- 11。其中有 1 座試體 (Specimen 7)使用5 × 5 × 0.5 (cm)角鋼與直徑 1 cm 錨栓固定 U 型包覆之碳纖維貼布，詳細設計圖如圖 2- 2。

試驗結果如表 2- 12，主要結論如下:

(1) 無論碳纖維貼覆間距、寬度以及是否錨固，其抗剪能力皆提升。

(2) 碳纖維貼覆間距 S_f 由 110 mm 下降至 80 mm 時，其剪力強度增加 3 %，而碳纖維貼覆寬度 W_f 由 50 mm 增加至 100 mm，其剪力強度增加 14 %。

(3) 在相同碳纖維貼覆間距與寬度下，僅貼覆於梁構件兩側與採用 U 型包覆之設計，其兩種不同貼覆方式其抗剪能力相同。

(4) 若 U 型包覆碳纖維使用角鋼做固定，可以有效防止碳纖維剝落，並改變破壞模式。未固定碳纖維之構件破壞模式為碳纖維剝落，而採用角鋼固定碳纖維之構件破壞模式為碳纖維拉伸破壞，且抗剪能力提升。破壞照片參考圖 2- 3。

表 2- 11 碳纖維設計

Specimen #		f_c (MPa)	CFRP strip for strengthening			
			W_f[a] (mm)	S_f[b] (mm)	Anchorage	Arrangements
Specimen-1	(Control)	33.0	–	–	–	–
Specimen-2	(Control)	30.1	–	–	–	–
Specimen-3	(Strengthening)	32.4	50	110	–	Side bonding
Specimen-4	(Strengthening)	30.2	50	80	–	Side bonding
Specimen-5	(Strengthening)	31.4	100	130	–	Side bonding
Specimen-6	(Strengthening)	28.3	50	110	–	U-jacketing
Specimen-7	(Strengthening)	31.6	50	80	Yes	U-jacketing

[a] W_f = CFRP strip width

[b] S_f = center-to-center spacing between CFRP strips

(資料來源：Tanarslan，2010)

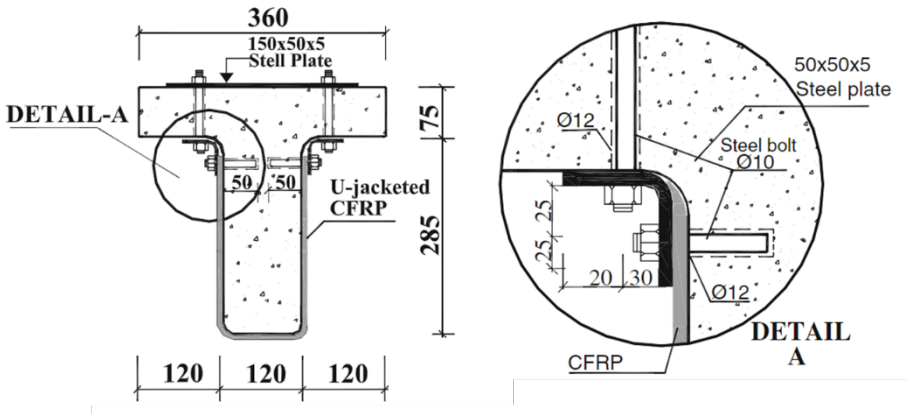


圖 2- 2 碳纖維固定方式詳圖

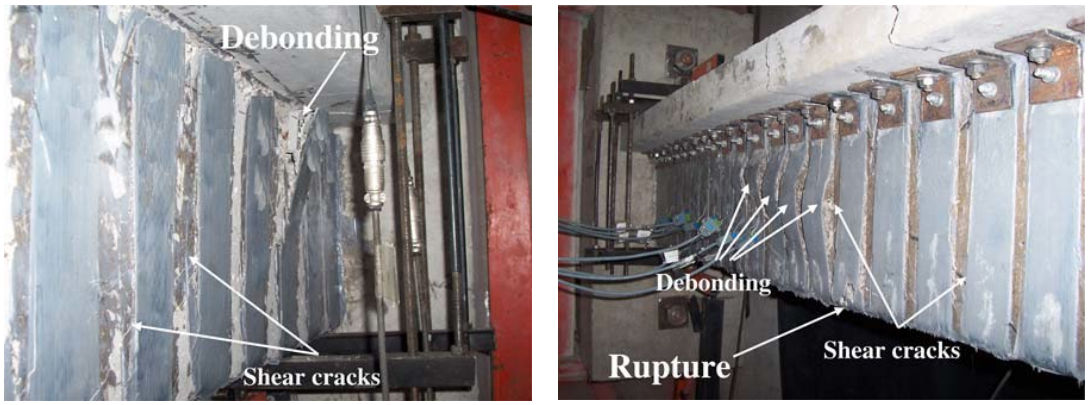
(資料來源：Tanarslan，2010)

表 2- 12 試驗結果

Specimen #		Ultimate load (V_u) (kN)	Failure disp. (δ_u) (mm)	Initial stiffness (kN/mm)	Stiffness at ultimate load (kN/mm)	Increase in ultimate displacement after strengthening ($\delta_{u,n}/\delta_{u,1}$)	Increase in ultimate load after strengthening ($V_{u,n}/V_{u,1}$)	Failure mode at ultimate
Specimen-1	Control	96.92	70.60	6.56	2.96	–	–	Flexure
Specimen-2	Control	39.52	8.70	6.15	3.62	–	–	Shear
Specimen-3	Side bonding	61.63	17.75	6.33	3.33	2.04	1.56	Shear (debonding)
Specimen-4	Side bonding	62.94	14.56	6.41	3.30	1.67	1.59	Shear (debonding)
Specimen-5	Side bonding	68.48	17.73	6.70	3.01	2.04	1.73	Shear (debonding)
Specimen-6	U-jacketing	60.01	16.20	6.38	3.10	1.86	1.52	Shear (debonding)
Specimen-7	U-jacketing	80.67	29.89	6.89	2.93	3.44	2.04	Shear (rupture)

Forward loading step was considered for ultimate load and ultimate displacement

(資料來源：Tanarslan，2010)



(a) Specimen 6　　(b) Specimen 7

圖 2- 3 碳纖維是否錨固之破壞模式

(資料來源：Tanarslan，2010)

Strengthening RC T-Beams Subjected to Combined Torsion and Shear Using FRP Fabrics Experimental Study (Deifalla and Ghobarah，2010)

文獻探討 T 型梁承受剪力與扭矩作用下，其纖維加固之成效。文獻總試體數量為 6 座，其中 2 座為對照組，4 座使用碳纖維包覆並使用直徑 2 cm 錨栓或是 12.5 × 5 × 1 (cm)角鋼與直徑 2 cm 錨栓錨固碳纖維，詳細碳纖維設計圖如圖 2- 4。其中文獻採用兩種不同剪力與扭矩比例進行試驗，TB1 的試體其 T/V=0.5 m，TB3 的試體其 T/V=1 m。

試驗結果如表 2- 13、圖 2- 5 與圖 2- 6，主要結論如下:

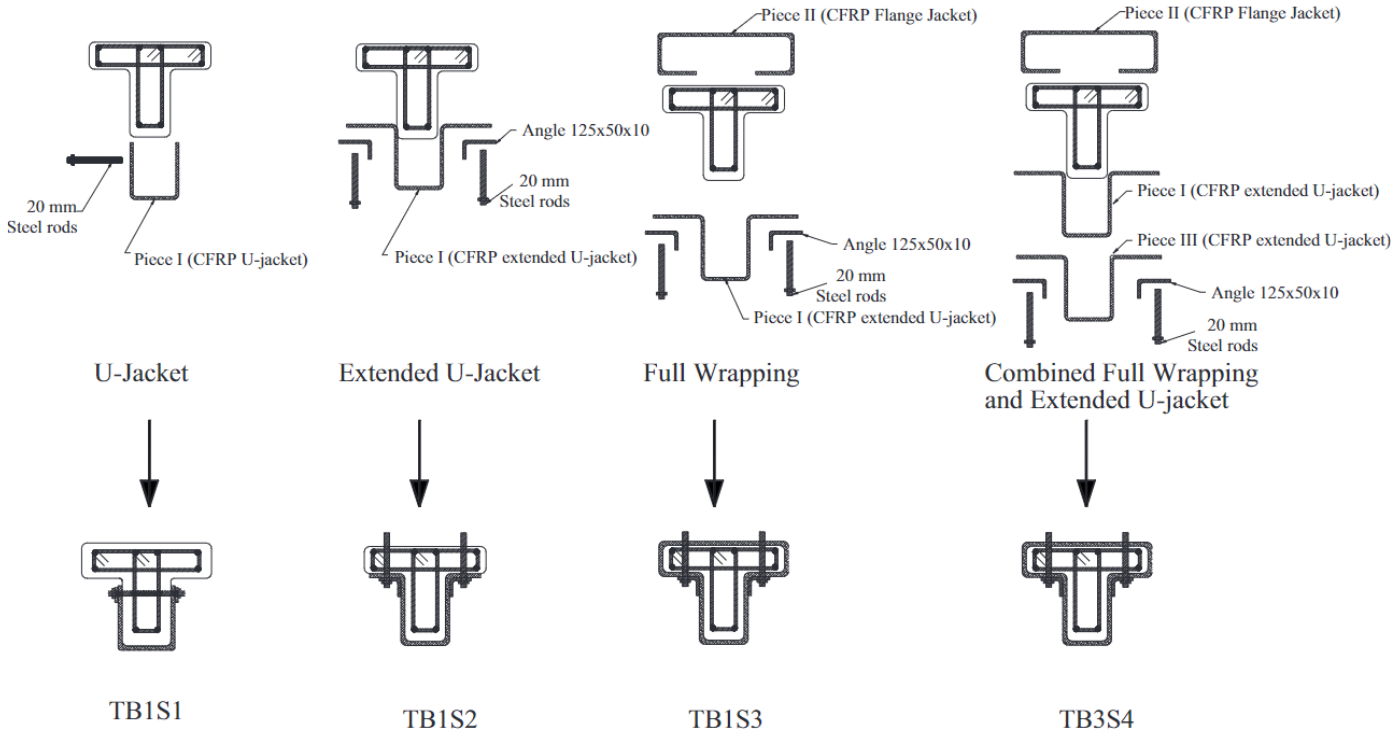
(1) 於 T 型梁外貼碳纖維可以增強構件承受剪力與扭矩作用，並且在開裂後勁度增加。碳纖維的錨固提升變形能力，並在試體破壞前保持其完整性。

(2) 加長型 U 型包覆(TB1S2)雖然強度提升較全包覆(TB1S3、TB3S4)差，但與對照組相比，其強度增加 23 %與延展性增加 38 %，加長型 U 型包覆是可行的。

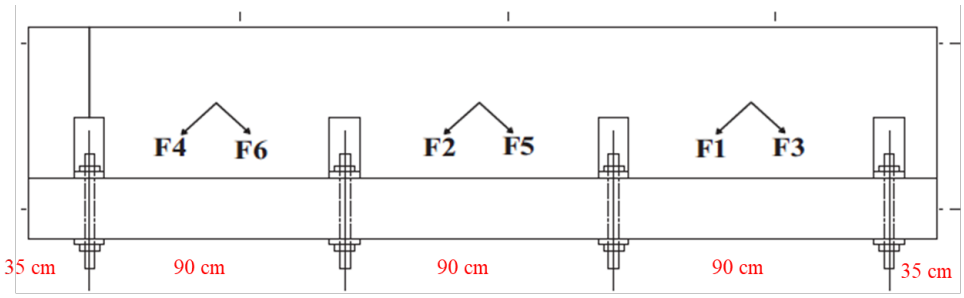
(3) U 型包覆(TB1S1)施工較為簡便，但相對於另外兩中錨固方式其效果最差。

(4) 全包覆(TB1S3、TB3S4)為最有效方式，但該包覆方法於實際不太可能應用，碳纖維包覆範圍涉及到板構件截面。

(5) 使用角鋼與錨栓之錨固方式可以延遲端部碳纖維黏結失效。



(a) 碳纖維包覆與錨固



(b) 錨栓間距

圖 2- 4 碳纖維設計詳圖

(資料來源：Deifalla and Ghobarah，2010)

表 2- 13 試驗結果-扭矩與破壞模式

Beam	Maximum torsional resistance (kN·m)	Maximum angle of twist (degrees/m)	Maximum FRP strain (mm/m)	Mode of failure
TB1	23.39	2.82	N/A	Combined torsion and shear
TB3	11	1	N/A	Combined Shear and torsion FRP debonding and torsional
TB1S1	33.85	3.11	4.26	FRP debonding and torsional failure of concrete
TB1S2	38.09	4.29	4.70	FRP debonding and torsional failure of concrete
TB1S3	40.01	6.10	7.69	FRP debonding
TB3S4	18	8.5	7.59	FRP debonding

Note: N/A=not applicable.

(資料來源：Deifalla and Ghobarah，2010)

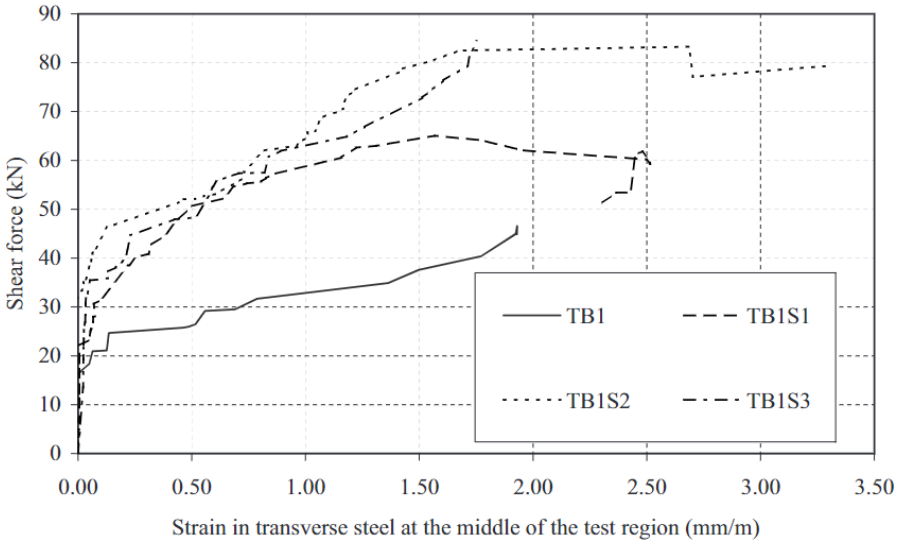


圖 2- 5 TB1 試驗結果-剪力

(資料來源：Deifalla and Ghobarah，2010)

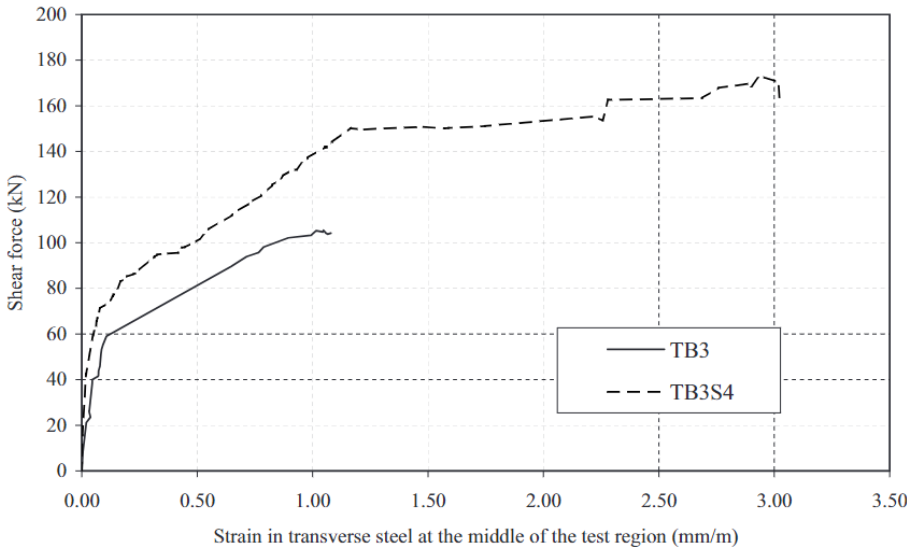
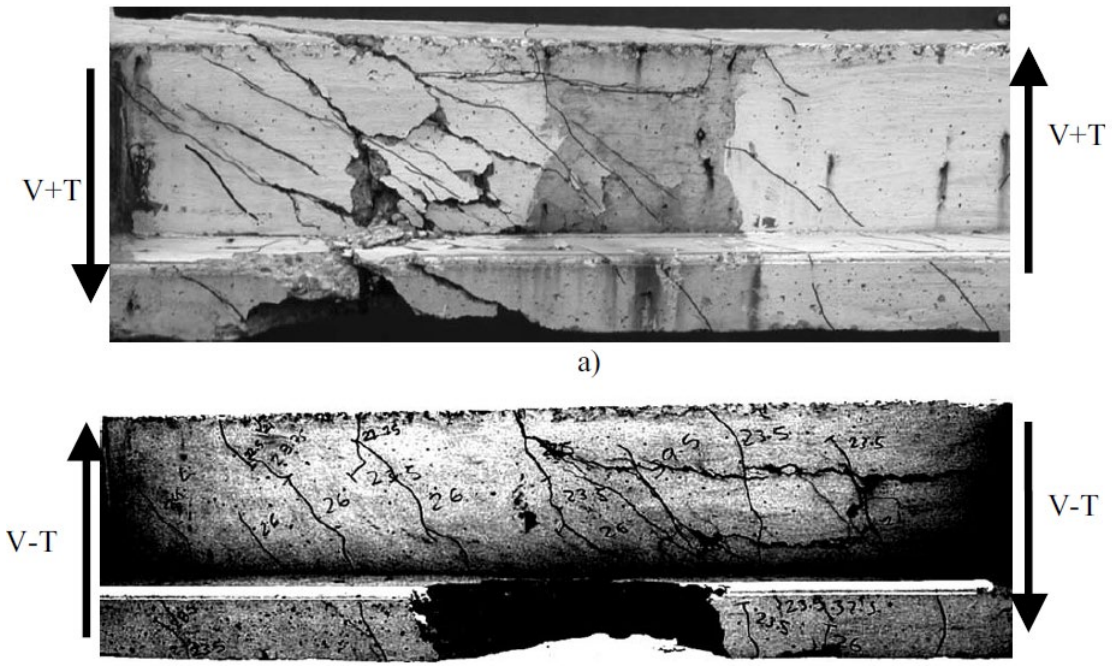
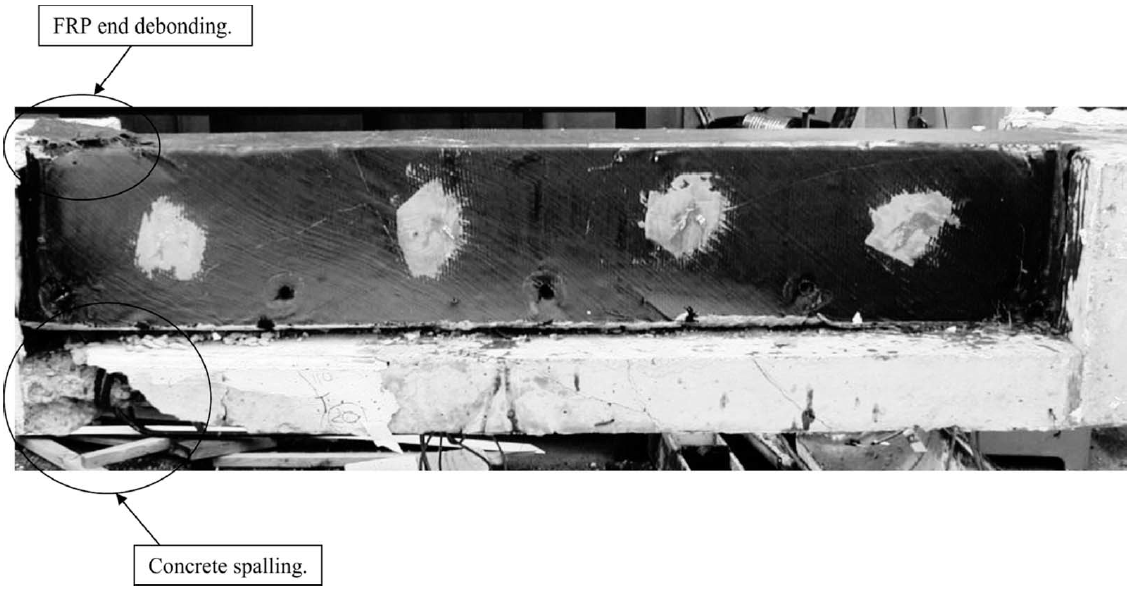


圖 2- 6 TB3 試驗結果-剪力

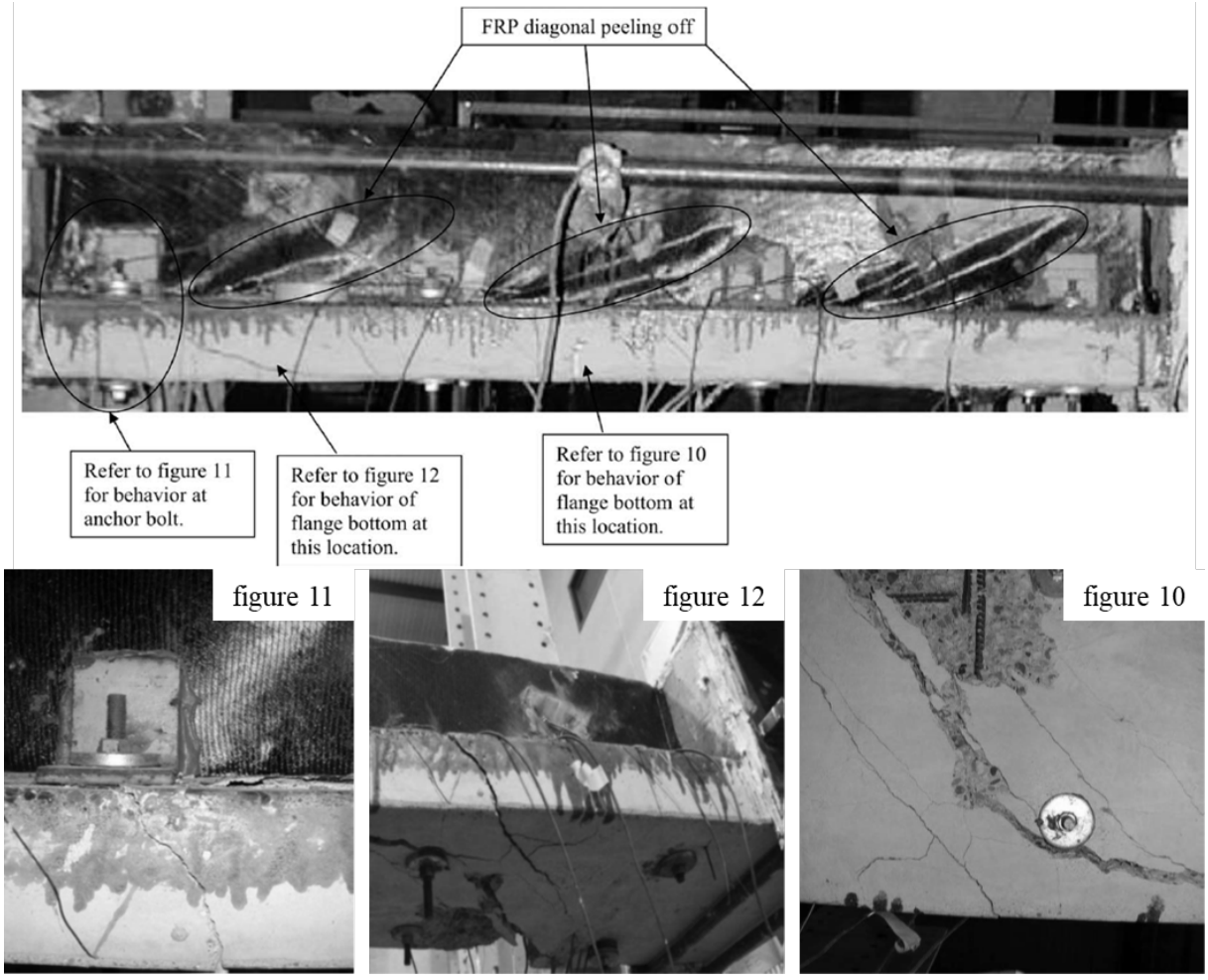
(資料來源：Deifalla and Ghobarah，2010)



(a) TB1



(b) TB1S1



(c) TB1S2

圖 2- 7 TB1、TB1S1、TB1S2 試體破壞照

(資料來源：Deifalla and Ghobarah，2010)

Ductility of T-shape RC beames strengthened by CFRP sheet (Kanakubo，1998)

文獻探討 T 型梁構件以不同碳纖維錨固方式對於梁構件最大載重與延展性之影響。總試體數量為 15 座，其中 9 座設計為剪力破壞 6 座為撓曲破壞，而各試體詳細錨固方式參考表 2-14 與圖 2-8，其中 A 錨固方式碳纖維為 U 型包覆且延伸至樓板，其餘碳纖維僅 U 型包覆。而 B 與 C 錨固方式為鋼板與錨栓做固定，其中 B 為連續鋼板，C 為非連續鋼板。

T 型梁反覆載重試驗數據與參考表 2-15、圖 2-9 至圖 2-11，文獻結論:

(1) 試驗結果顯示 ρ_w 為 0.18％之構件，最大載重與未加固碳纖維試體相比，增加 20％至 60％，且能量吸收能力提升 1.2 至 1.8 倍。

(2) ρ_w 為 0.18％之構件，由於主筋降伏導致最大載重上升幅度較小，而能量吸收能力約 1.2 至 1.8 倍。

(3) 比較 B 與 C 錨固方式，使用連續鋼板會影響構件變形能力，會導致梁與板構件分離破壞，而採用非連續鋼板之構件能有較好延展性。

(4) 比較試體編號 21 至 25，圖 2-10 可以發現利用 F 錨固方式，最大載重發生時構件位移量最大，由此可知 F 錨固可以顯著提高變形能力。

(5) 文獻於箍筋與碳纖維貼布上貼附應變計觀測，比較試體編號 24(F 錨固)與 25(C 錨固)。試驗結果顯示箍筋平均應變計數值 F 錨固較 C 錨固小，而碳纖維貼布應變計數值相反，由此可知 F 錨固可以使碳纖維發揮較好功效。

(6) 試驗結果顯示，採用固定件加固 U 型包覆碳纖維可以有效延緩碳纖維剝落，甚至能防止碳纖維剝落發揮其最大功效。

表 2- 14 試體編號

	Section, Main bars	Stirrup		CFRP sheet		Anchor method
		Reinforcement	p_w(%)	weight	Σ p_w(%)*	
No.11	200 × 300mm 5-D13 p_t=1.23%	2-D4@70	0.18	-	0.18	-
No.12				200g/m^2	0.58	B : continuous plate
No.13						A : slab surface
No.14						C : staggered plate
No.15		2-D6@70	0.46	-	0.46	-
No.16				200g/m^2	0.78	B : continuous plate
No.17						A : slab surface
No.21		2-D4@70	0.18	-	0.18	D' : angle with both bolts
No.22				200g/m^2	0.68	D : angle with both bolt
No.23						E : angle with beam bolt
No.24						F : angle with through bolt
No.25						C : staggered plate
No.26		2-D6@70	0.46	-	0.46	D' : angle with both bolts
No.27				200g/m^2	0.78	D : angle with both bolts
No.28						C : staggered plate

* Σ $p_w = p_w + (f_f / f_s) p_{wf}$: f_f = specified strength of CFRP, f_s = yield strength of stirrup, p_{wf} = ratio of CFRP

(資料來源：Kanakubo，1998)

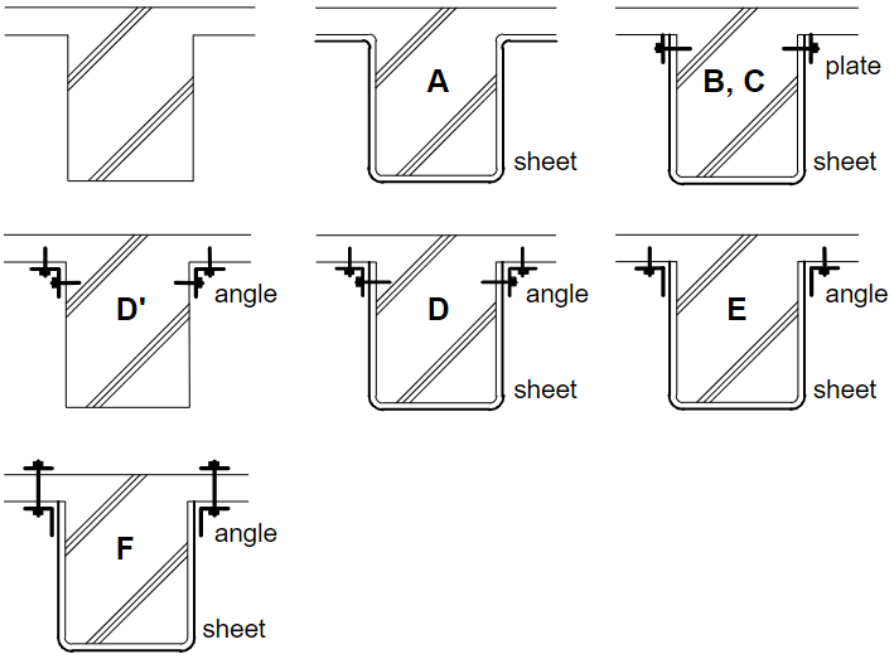


圖 2- 8 各碳纖維錨固設計圖

(資料來源：Kanakubo，1998)

表 2- 15 試驗數據

Spec-imen	Shear strength *cQsu* (kN)	*cQsu / cQmu*	Yield strength *eQy* (kN)	Maximum shear force *eQmax* (kN)	*eQy / cQmu*	*eQmax/ cQmu*	Yield angle *Ry* (rad.)	Ultimate angle *Ru* (rad.)	Ultimate ductility $\mu = Ru / Ry$	Failure mode
No.11	80.6	0.80		76.7		0.76		1/23		ST
No.12	102	1.01	102	105	1.01	1.04	1/154	1/37	4.19	F→BS
No.13	109	1.07	87	95	0.86	0.94	1/214	1/50	4.27	F→ST,BS
No.14	109	1.07	96	105	0.95	1.04	1/185	1/25	7.46	F→SC
No.15	101	1.00	107	112	1.06	1.11	1/98	1/23	4.33	F→BS
No.16	116	1.14	110	113	1.09	1.12	1/99	1/19	5.25	F→BS
No.17	116	1.14	111	116	1.10	1.15	1/115	1/22	5.29	F→ST,BS
No.21	82.5	0.81	91.2	99.4	0.89	0.97	1/207	1/20	10.4	F→ST
No.22	106	1.04	102	123	1.00	1.20	1/179	1/22	8.06	F→SR
No.23	106	1.04	118	122	1.15	1.19	1/129	1/31	4.14	F→AF
No.24	106	1.04	126	126	1.23	1.23	1/97	1/19	5.15	F→SR
No.25	104	1.01	102	105	1.00	1.03	1/158	1/30	5.22	F→BS→AF
No.26	104	1.02	115	118	1.12	1.16	1/117	1/19	5.98	F→SC
No.27	120	1.17	120	122	1.17	1.19	1/105	1/20	5.35	F→SR
No.28	120	1.17	109	118	1.07	1.15	1/136	1/21	6.38	F→BS→AF

note : *cQmu*=102 (kN)

F : bending yielding　BS : slab separated failure　SC : shear compression failure　ST : shear tension failure

SR : sheet rupture　AF : anchor failure

(資料來源：Kanakubo，1998)

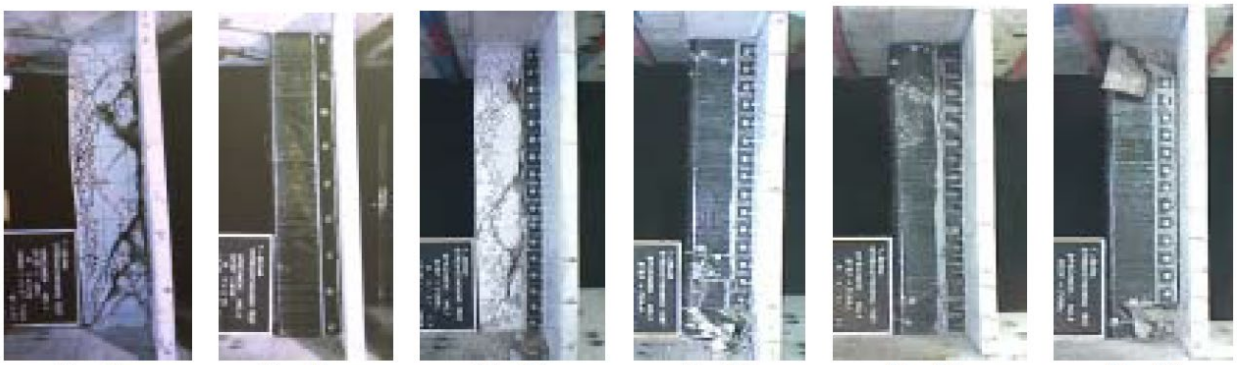


圖 2- 9 試體破壞照

(資料來源：Kanakubo，1998)

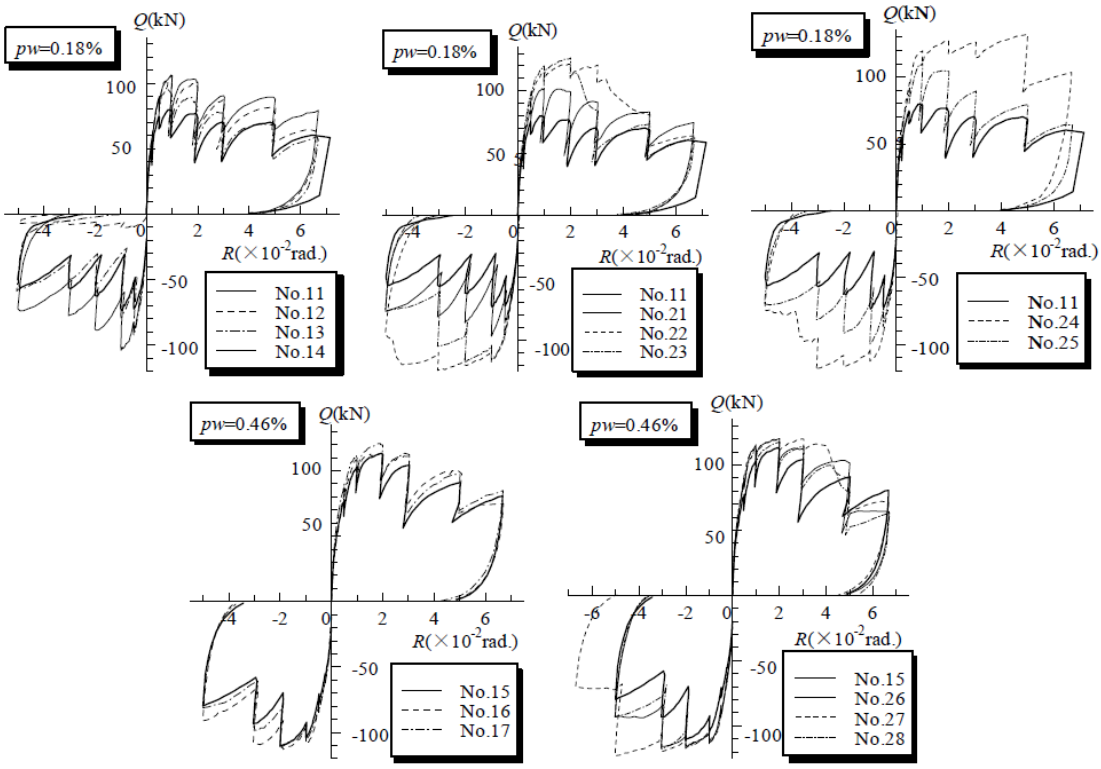


圖 2- 10 試體力量-位移曲線

(資料來源：Kanakubo，1998)

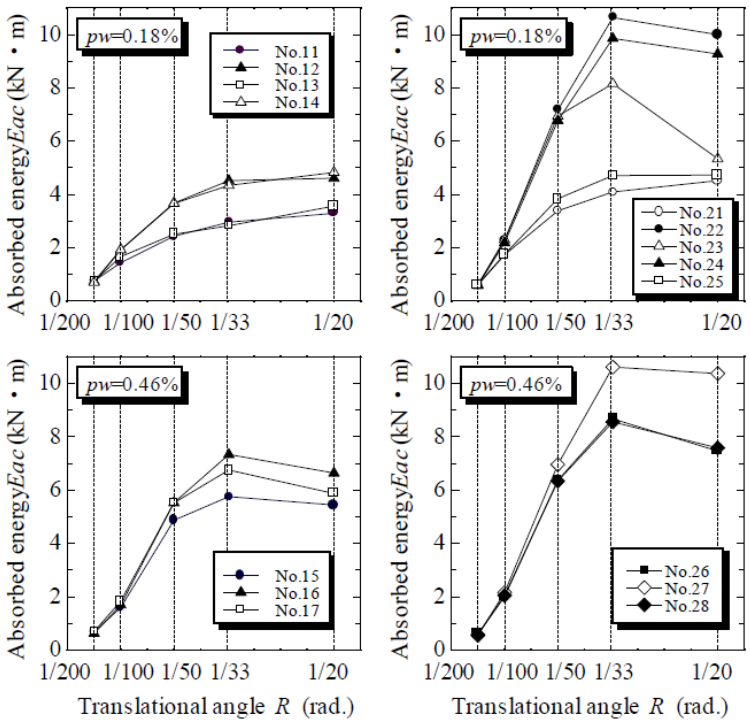


圖 2- 11 試體能量吸收-位移曲線

(資料來源：Kanakubo，1998)

第二節　板構件補修相關文獻

老劣化鋼筋混凝土樓板修復補強後力學行為探討 (黃靖雅，2021)

該研究採用之試體分別有現地取樣之老劣化樓板、無鋼筋腐蝕劣化之樓板及鋼筋腐蝕老劣化之樓板，對各樓板試體施以不同之修復方法。以斷面補修工法為基本修復方法，依腐蝕程度不同採取補修或補強施作。斷面補修材料選用環氧樹脂砂漿、水泥砂漿和無收縮水泥砂漿，補強材料選用點焊鋼絲網及碳纖維貼布。針對現地取樣之樓板試體，則是將試體進行補修或補強；而無鋼筋腐蝕劣化之樓板試體及鋼筋腐蝕老劣化之樓板試體，則是先製作基礎樓板試體，再對受撓曲面進行腐蝕鋼筋處理及補修或補強，待 28 天養護結束後進行四點抗彎試驗，以試體垂直位移量作為位移控制參數，觀測並記錄試體承受載重時之裂縫發展情況，及探討使用不同修復方法和材料之差異性。

該研究發現，當補修材料與基礎混凝土介面無塗抹接著劑時，容易從介面處開始產生裂縫，而塗抹接著劑可有效改善介面產生之裂縫與開裂問題，以及僅使用斷面補修工法只能恢復試體原貌，無法恢復至無劣化時之原有強度，如要提升構件之強度應搭配補強工法(如使用點焊鋼絲網或碳纖維貼布)來改善性能。針對使用之斷面補修材料，該研究建議以環氧樹脂砂漿為最佳，其次才是水泥砂漿與無收縮水泥砂漿；針對補強材料，發現利用碳纖維貼布進行補強不僅可提高老劣化樓板試體之強度及韌性，亦能超越無劣化試體之強度。

鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊研擬 (內政部建築研究所，2023)

文獻探討不同修復材料與復原方式於腐蝕縮尺板構件上之成效。為了符合實際構件腐蝕情形，研究先灌製好試體後採用電化學方式加速腐蝕縮尺板內部鋼筋。腐蝕程度設定為重量損失 10 %，使構件劣化後進行復原，最後利用單向載重加載試驗了解縮尺板構件復原成效。試驗共七座試體，其中一座為未腐蝕試體，其餘六座腐蝕構件則以兩種修復材料與三種復原方式補修。修復材料選用無收縮水泥砂漿(N)與輕質環氧樹脂砂漿(E)。復原方式為線徑 5 mm 網目10 cm × 10 cm點焊鋼絲網(WWM)、300 碳纖維貼布(CFRP-s)以及強度 12497.8 kgf/ cm^2 碳纖維板(CFRP-p)，試體復原設計如圖 2- 12。

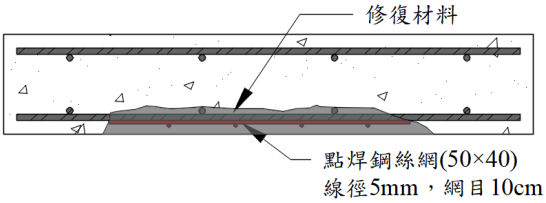
縮尺板單向載重試驗數據參考圖 2- 13 至圖 2- 15，文獻結論如下:

(1) 腐蝕構件經復原後可提升板構件承載載重能力。

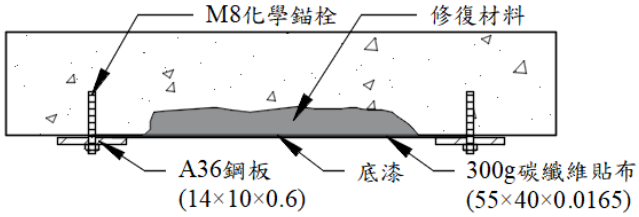
(2) 在相同載重下利用點焊鋼絲網復原之試體其變形量較無腐蝕構件大，而利用碳纖維材料復原可降低變形量，雖然點焊鋼絲網施工程序較為簡單、成本較便宜且承載能力也有提升但其變形量較大較不適合復原樓板。

(3) 縮尺板裂縫發展來看無收縮水泥砂漿修復試體可以有效抑制裂縫寬度之發展，而使用輕質環氧樹脂砂漿修復之試體可以有效抑制裂縫條數之發展。

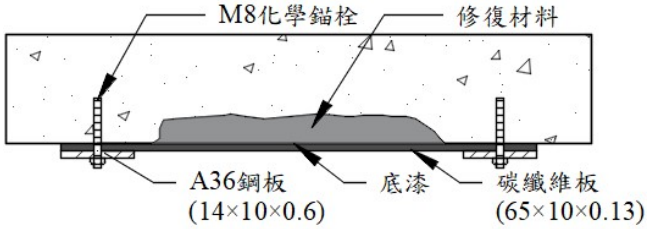
(4) 碳纖維貼布復原之試體，無論為何種裂縫發展之數量皆比點焊鋼絲網復原或是碳纖維板復原試體來得少，由結果可知利用碳纖維貼布復原可以減少試體裂縫條數發展。



(a) 點焊鋼絲網



(b) 碳纖維貼布



(c) 碳纖維板

圖 2- 12 縮尺板復原設計

(資料來源：內政部建築研究所，2023)

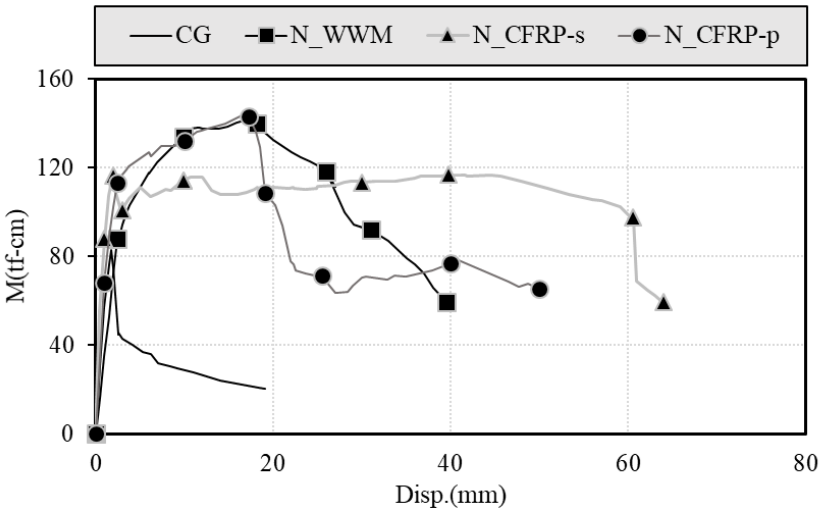


圖 2- 13 無收縮水泥砂漿修復試體彎矩-位移曲線

(資料來源：內政部建築研究所，2023)

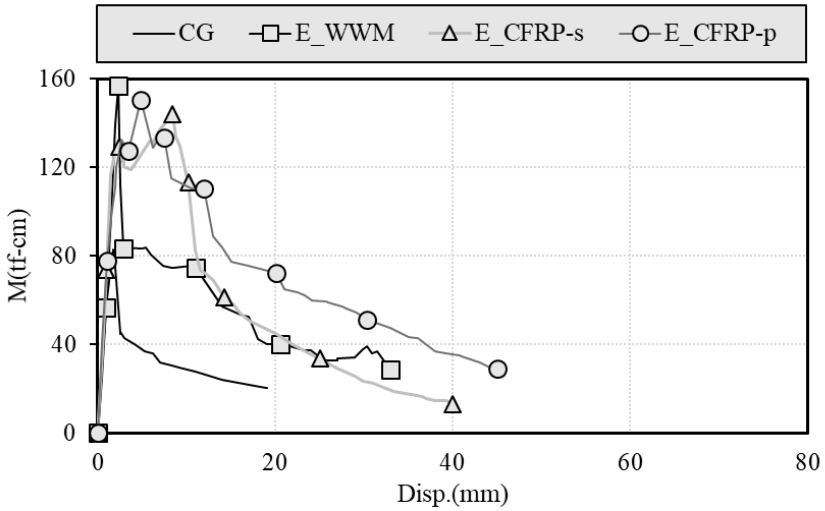
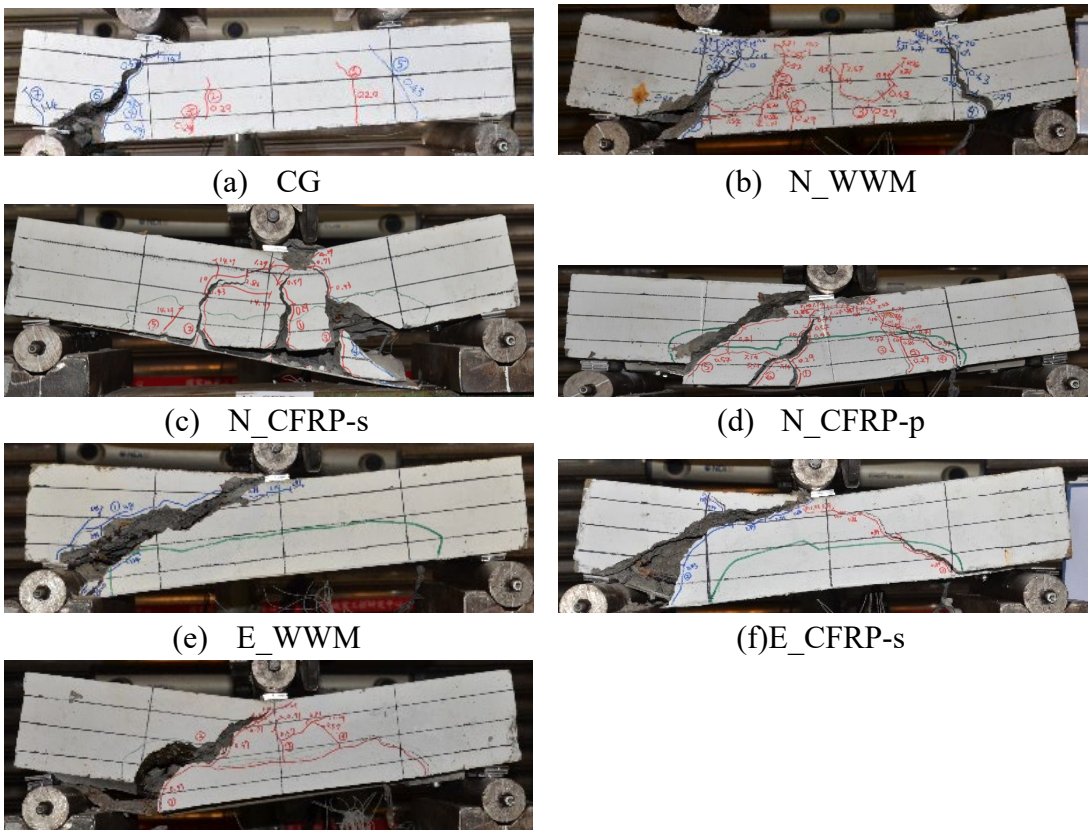


圖 2- 14 輕質環氧樹脂砂漿修復試體彎矩-位移曲線

(資料來源：內政部建築研究所，2023)



(a) CG　(b) N_WWM

(c) N_CFRP-s　(d) N_CFRP-p

(e) E_WWM　(f)E_CFRP-s

(g) E_CFRP-p

圖 2- 15 縮尺板裂縫發展

(資料來源：內政部建築研究所，2023)

第三節　牆構件補修相關文獻

Reinforced concrete partition walls retrofitted with carbon fiber reinforced polymer (Hwang，2004)

文獻為探討牆貼附碳纖維之研究，其中試體數量為 6 座，試體編號為 WF-牆厚度-碳纖維貼付方式(FV 為碳纖維垂直貼附，FHV 為碳纖維先水平貼附再垂直貼附一層)-是否利用鋼板固定碳纖維。其中碳纖維固定角鋼尺寸為 15 × 10 × 1 (cm)，而錨栓使用 M16 與 M12 固定，詳細圖說參考圖 2- 16。

試體經反覆加載後試驗數據結果參考表 2- 16 與圖 2- 18，試驗結果顯示:

(1) 碳纖維利用角鋼固定可以有效提升試體抗剪能力，甚至牆厚 12 公分試體包覆碳纖維後，抗剪能力超越牆厚 15 公分試體。

(2) 由試體破壞照可知碳纖維經錨固可有效預防碳纖維剝落。

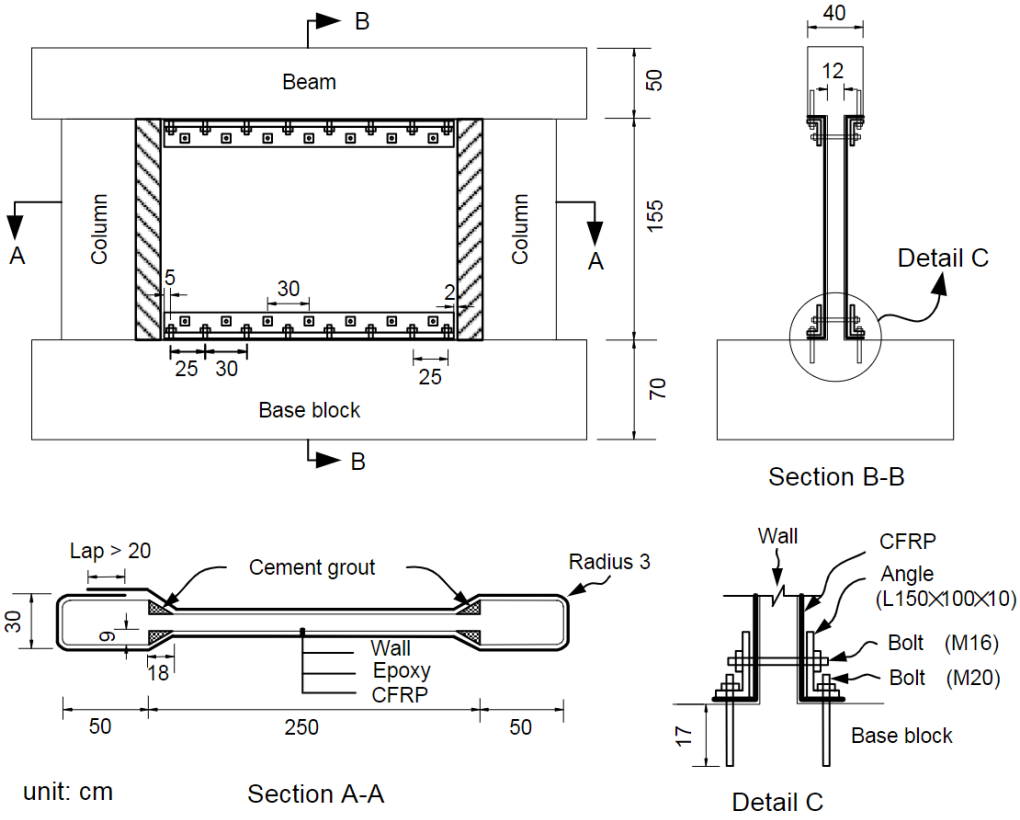


圖 2- 16 碳纖維錨固詳細圖說

(資料來源：Hwang，2004)

表 2- 16 試驗數據

Specimen	Measurement				Comparison		
	f_c'	V_u	δ_u	Failure mode†	V_n	$\frac{V_{u,test}}{V_{u,calc}}$	
	MPa	kN	mm		kN	SST	ACI
WF-12#	13.9	1180	17.9	DC	2996	1.16	1.59
WF-12-FV#	13.9	1299	18.2	DC	2996	1.24	1.75
WF-12-FHV#	21.6	1364	17.9	DC	3620	1.02	0.87
WF-12-FV-A*	22.1	2215	13.6	DC	4692	1.23	2.40
WF-12-FHV-A*	23.6	2669	17.8	DC	4670	1.39	1.95
WF-15*	22.6	2122	22.5	IS	4260	1.02	1.27
					AVG	1.18	1.64
					COV	0.11	0.30

Note: †Failure mode DC means the diagonal compression failure within web, and IS means the interface shear failure at base.
Yeh (2001)
* Chiou (2002)

(資料來源：Hwang，2004)

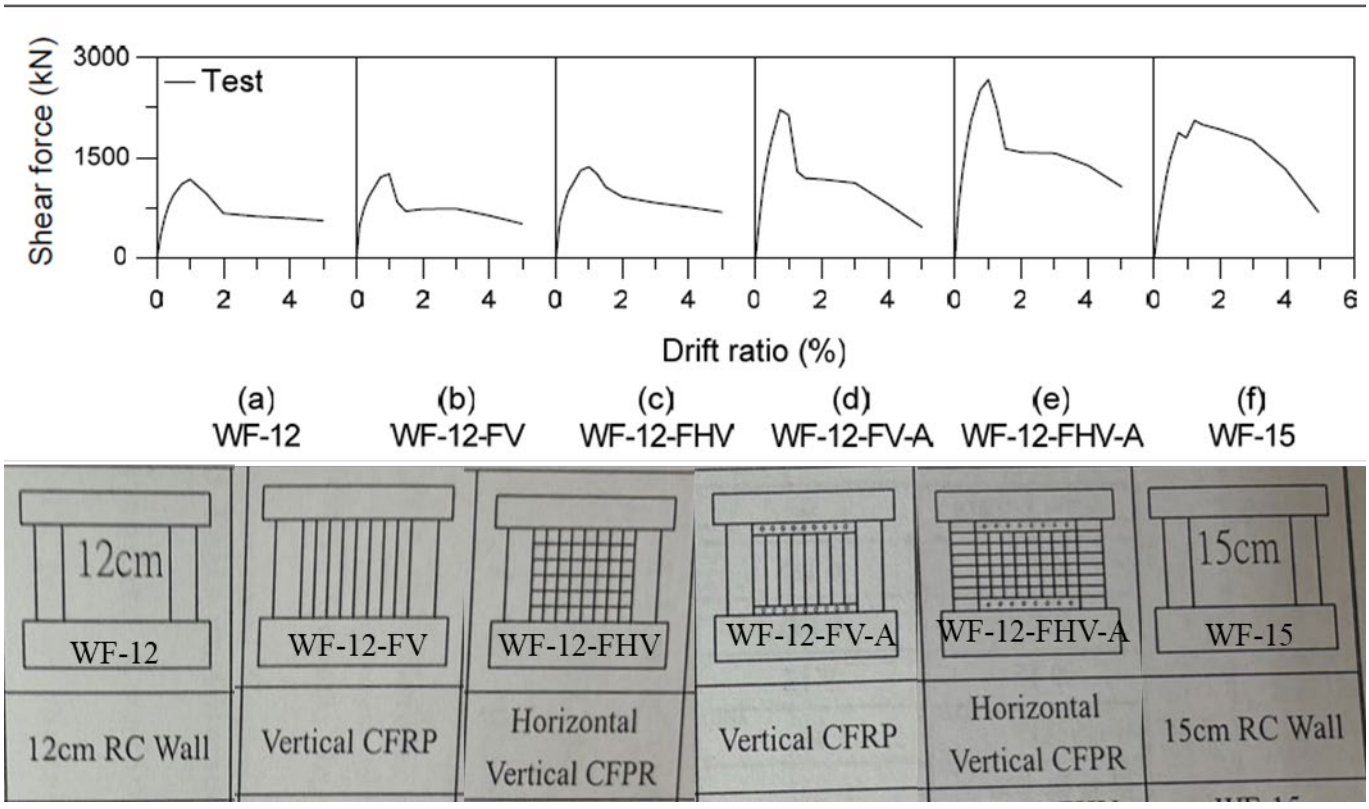


圖 2- 17 試體包絡線與碳纖維貼覆示意圖

(資料來源：Hwang，2004)

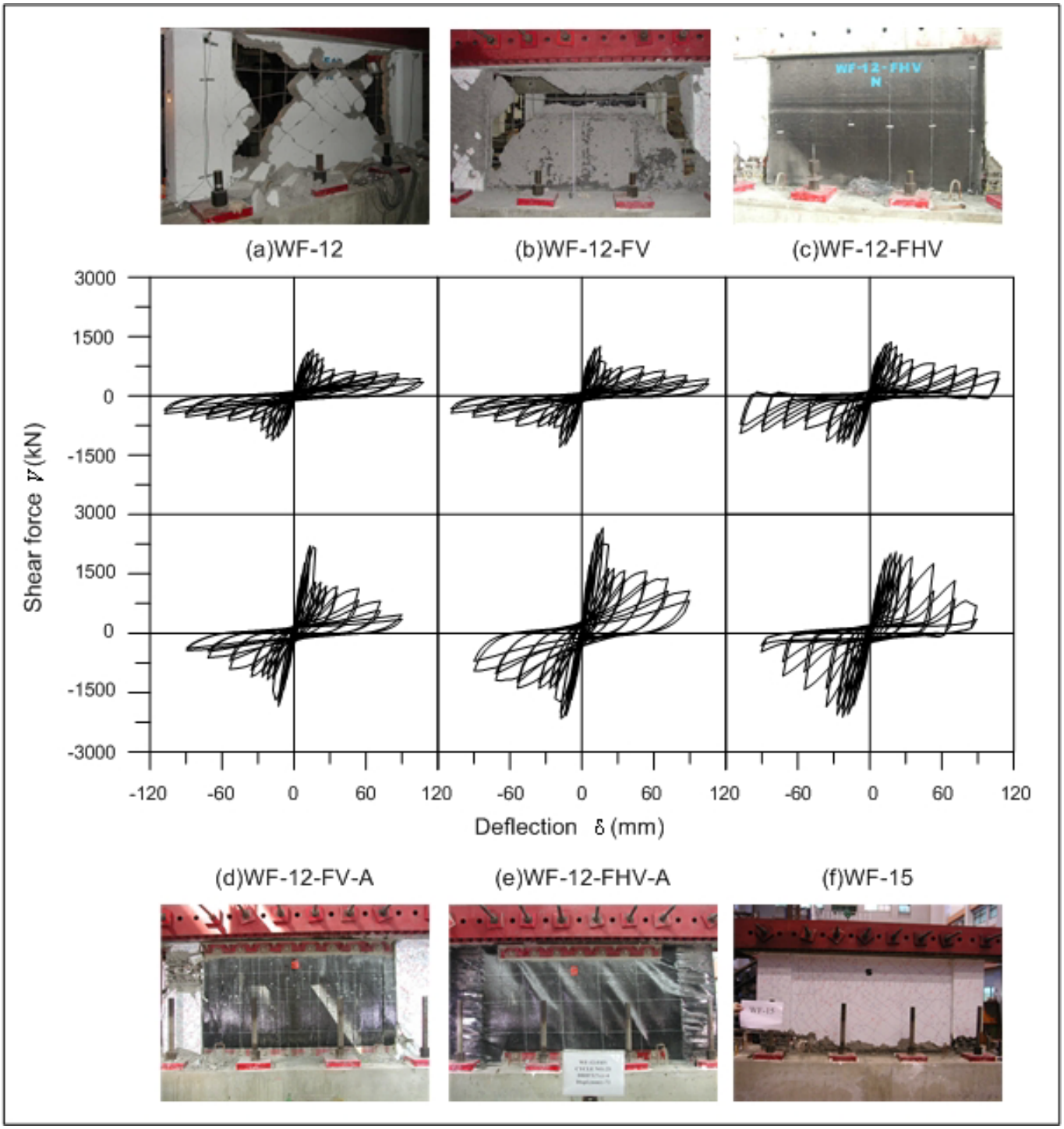


圖 2- 18 載重-位移曲線與破壞照

(資料來源：Hwang，2004)

以 CFRP 條狀貼片強化/補強鋼筋混凝土含牆構架之研究 (邱耀正，2007)

文獻為剪力牆貼覆 X 形碳纖維貼布之研究，其中有 3 座低型邊柱剪力牆分別為 LW1、LW1C、LW1Ca，LW1 為對照組，LW1C 與 LW1Ca 皆貼覆一層 X 型碳纖維貼布，而 LW1C 角鋼緊貼於邊柱，LW1Ca 角剛與邊柱相隔 5 cm，參考圖 2- 19 與圖 2- 20。除上述三試體之外還有 LW1R，為對照組試體破壞後以碳纖維貼布修補。

試體經反覆加載後試驗數據參考表 2- 17 與圖 2- 21，結論如下:

(1) 若把角鋼緊貼於邊柱將導致極限位移與韌性比降低，若把角鋼與邊柱隔開剪力強度將無法增加。

(2) 試體破壞後直接 CFRP 進行對角線的貼覆補強將無法發揮效果，因為裂縫過多將導致力量無法傳遞。

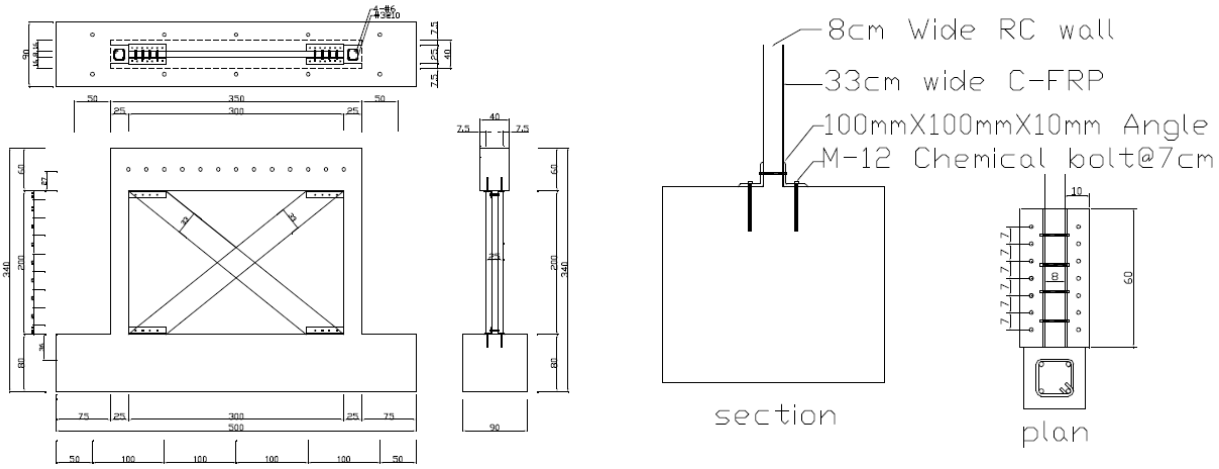
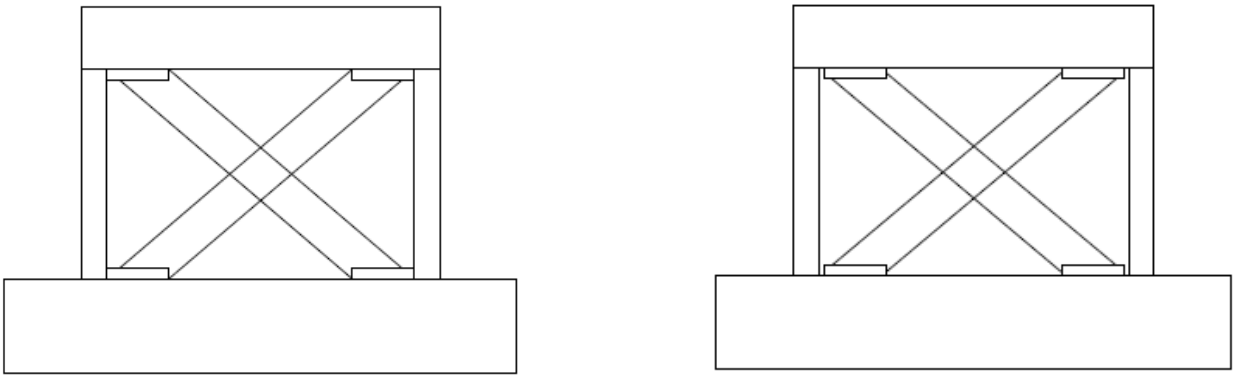


圖 2- 19 碳纖維貼布錨固詳細設計

(資料來源：邱耀正，2007)



(a) LW1C (b) LW1Ca

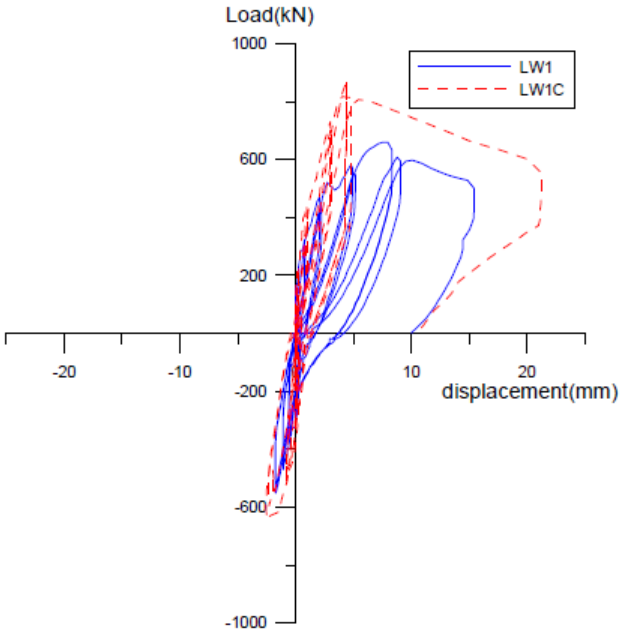
圖 2- 20 LW1C 與 LW1Ca 試體角鋼位置

(資料來源：邱耀正，2007)

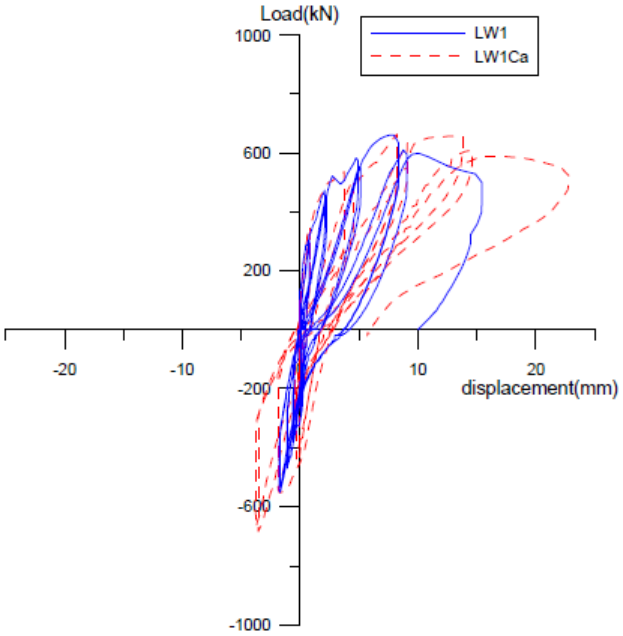
表 2- 17 試驗數據

低型試體	LW1	LW1C	LW1Ca	LW1R
Vmax(kN)	660.02	867	663	440
強化/補強效果	1	1.31	1	
能量消散量(kN-mm)	3273.16	4281.33	7931.8	
強化/補強效果	1	1.31	2.42	
註:Vmax 為試驗力量之最大值				

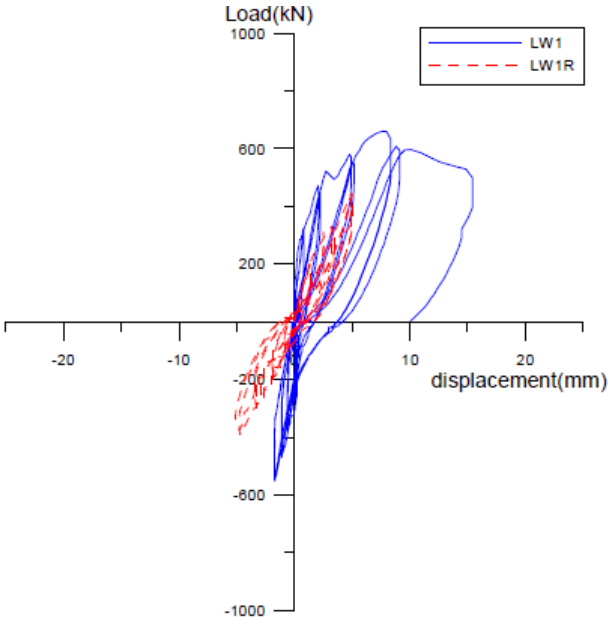
(資料來源：邱耀正，2007)



(a) LW1 與 LW1C 比較



(b) LW1 與 LW1Ca 比較



(c) LW1 與 LW1R 比較

圖 2- 21 力量-位移曲線

(資料來源：邱耀正，2007)

第四節　材料試驗相關文獻

Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete (ASTM C805-97)

ASTM C805 為反彈錘試驗之規範，本測試方法是使用 Spring-driven steel hammer 撞擊混泥土表面後，以其反彈錘回彈之程度來評估測試點的混凝土抗壓強度，是一種以表層混凝土(1~3 mm)的質量推斷整體質量的表面硬度法，此法亦被列入 CNS 國家標準中。

操作說明、注意事項如下:

(1) 溫度、濕度會影響反彈錘回彈之程度。

(2) 反彈錘和打擊面要保持垂直。

(3) 測試面要平滑，凹凸部份要用磨石把表面磨平，且混凝土表面的灰漿、加工層或塗物應抹去，如有蜂窩狀、空隙或高孔隙率，則不宜當作測試點。

(4) 混凝土構造之檢測部位厚度應有 10 cm 以上、面積應有 177 cm^2以上並平穩固定，較小的試體必須有剛性支撐。

(5) 取 10 個打擊點，並測量取平均值，其誤差值必定在 20％以內，若誤差在 20％以上時為異常現象，須重新測量。

Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials (ASTM G 155)

ASTM G 155 為非金屬材料的氙弧暴露測試標準，旨在模擬陽光、濕度和熱量對材料的影響，本測試方法是使用氙弧紫外線光源對試體進行加速老化。

測試目的如下:

(1) 重現材料暴露在陽光和濕氣時的風化效應。

(2) 在受控環境中進行光和濕度循環，以加速試體的老化過程。

測試方法如下:

(a) 使用氙弧燈產生光，模擬自然陽光的效果。

(b) 在受控環境中反覆切換光和濕度循環。

(c) 通過用軟化水噴灑試體或將水蒸氣冷凝到試體上來產生水分。

表 2- 18 氙弧燈試驗機測試程序

ASTM G 155 CYCLE 7A						
step	function	RH	irrad.	BP temp.	air temp.	time
1	light	50	0.55	70	47	0:40
2	light + spray front	50*	0.55	70*	47*	0:20
3	light	50	0.55	70	47	1:00
4	dark + spray front + back	95	-	-	38	1:00
5	final step - go to step 1					

(資料來源：ASTM G 155)

JISA1171:2016 ポリマーセメントモルタルの試験方法 (JISA1171:2016)

JIS A 1171:2016 為日本工業標準，規定了聚合物水泥砂漿的試驗方法，其中包括透過氯離子滲透試驗來評估材料的耐久性及透過中性化試驗來評估聚合物水泥砂漿曝露於二氧化碳環境下的中性化深度。

氯離子滲透試驗如下:

依照 JIS A 6205 鋼筋鹽水浸泡試驗方法，將試體加熱至 20±2 ℃，並浸泡在規定的鹽溶液中 28 天。鹽溶液的用量應適當調整，體積至少為試體體積的 3 倍，試體之間及距試驗槽底部的距離必須至少為 3 cm，以確保試體完全浸沒。浸漬完畢後，將試體進行劈裂，並將濃度 0.1N 的硝酸銀溶液噴灑在劈裂面上。待試體顏色發生變化後，無色處即為氯離子滲透深度；使用遊標卡尺測量深度，共 6 個點，每側各 3 個點，測量精確到 1 mm，將六個測量位置的平均值四捨五入到整數值，確定氯離子滲透深度，最終結果為三個試體的平均值，四捨五入到整數。

中性化試驗如下:

將試體置於溫度 30±2 ℃、相對濕度 60±10 %、二氧化碳濃度 5 % 的二氧化碳環境中，靜置 28 天後取出試體，並在普通養護室中靜置 24 小時，然後將試體分裂成兩部分，並將 1 %酚酞酒精溶液噴灑在橫切面上，去除不變紅的部分；作為中和區域，在 6 個位置測量從試體表面到變紅區域的深度，每側 3 個位置，使用卡尺進行測量，精確度為 1 mm，將六個測量位置的平均值四捨五入為整數值，確定為試體的中和深度，最終結果為三個試體的平均值，四捨五入到整數。

第五節　日本補修工法之相關文獻

表面保護工法 設計施工指針(案) (日本土木學會，2005)

日本土木學會所出版之「表面保護工法 設計施工指針(案)」(以下簡稱表面保護工法指針)共分兩冊，一冊為指針，另一冊為手冊。指針包含七個章節及附錄，其章節分別為第一章 總則、第二章 表面保護工法之種類及適用效果、第三章 性能要求、第四章 工法選定及設計、第五章 施工、第六章 檢查及記錄、第七章 維護管理，附錄則介紹表面含浸材料的試驗方法、混凝土結構之維護管理計畫及表面保護工法之性能設計、表面保護工法之各種類資料(如有機系披覆工法、無機系披覆工法、表面含浸工法、斷面補修工法)。手冊則以表面保護工法的種類區分為有機系披覆工法手冊、無機系披覆工法手冊、表面含浸工法手冊及斷面補修工法手冊。

表面保護工法指針主要為說明以抑制劣化為主要目的之各表面保護工法，以期達到提高混凝土結構物之耐久性，且表面保護工法常與其他補修工法併用，其相關設計、施工及維護管理皆可參考表面保護工法指針來進行。表面保護工法包括(1)在表面進行披覆工法施作，(2)在靠近表面之斷面塗抹表面含浸材料使之形成含浸層之施作，(3)使用樹脂等黏結劑將 FRP 貼布將表面包覆之施作，(4)在表面上貼附鋼板之施作，(5)埋設模板之施作，以及(6)以其他特殊之方式進行施作，各項工法皆是為了抑制由於外部劣化因子對混凝土構件造成之劣化。在表面保護工法指針中，如是在混凝土構件表面用材料(塗料)進行披覆，稱之為「表面披覆法」；如是使用表面含浸材料使材料(塗料)滲透進混凝土構件內，稱之為「表面含浸法」。「表面披覆法」及「表面含浸法」亦可被歸類為「表面處理法」，且「表面保護工法」包含「表面處理法」和「斷面補修法」(詳見圖 2-22)，各項工法可依需要單獨或配合使用。

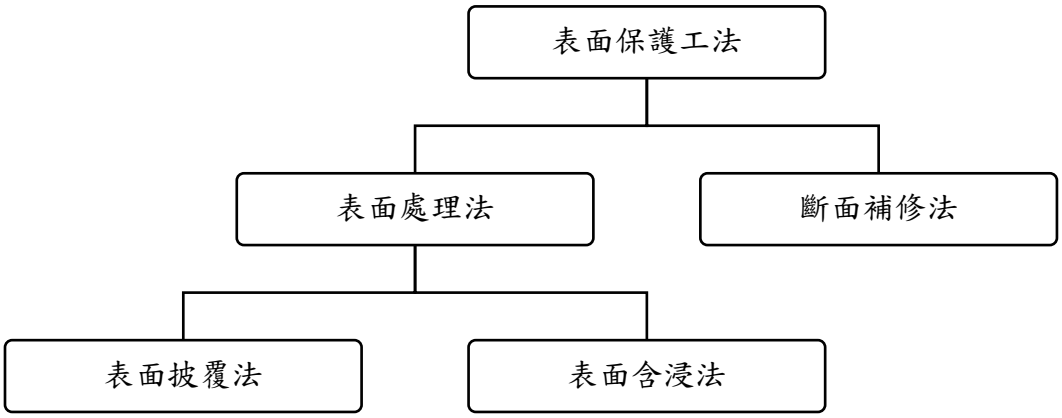


圖 2- 22 表面保護工法之分類

表面披覆法或表面含浸法皆是在混凝土表面塗佈塗料以抑制環境中的二氧化碳、氧氣、氯離子、水份等所帶來的影響。因此表面處理法的抑制劣化效果取決於施工後塗層的品質和與混凝土的完整性，而補修程度也會影響選用之材料類型、使用前間及長期之下的品質和性能。施工時，混凝土之含水量、基礎和介面處理是否確實、施工人員之技術等因素皆會使品質有極大差異。另一方面，斷面補修法是將混凝土構件有嚴重劣損或氯離子含量已超出容許限度之部分與之去除，再用斷面補修材料進行回填。經斷面補修法補修之部位，可以再配合表面披覆法或表面含浸法使用。例如，如果補修後不存在外部劣化因子侵入之風險，則僅採用斷面補修法即可；如經判斷即使經過斷面補修後，仍需進行劣化因子之抑制，則可將斷面補修法與表面處理法(單一或兩者皆用)一併使用。

關於表面保護工法之示意圖如圖 2- 23 所示，其各工法之介紹如下。

1. 表面披覆法

表面披覆法是將有機或無機披覆材料塗佈在混凝土構件表面或搭配斷面補修法使用，用以抑制和防止劣化因子侵入，從而提高構件之耐久性。表面披覆法之表面披覆材料種類分為有機披覆法和無機披覆法，有機披

覆法是在各層施工時使用有機材料，藉由有機材料之特性來達到抑制的效用；無機披覆法則是主要是將聚合物水泥基材料作為表面披覆法之中塗層材料(主材料)，用以達到抑制劣化因子侵入。

2. 表面含浸法

表面含浸法是指將表面含浸材料塗佈在混凝土表面，讓材料滲入混凝土內部，得以抑制劣化因子侵入，或者賦予混凝土新的性能。表面含浸法所使用的含浸材料如是使用矽烷類材料，則能在混凝土表面形成一層防水層，可防止水份和劣化因子侵入；如使用矽酸鹽類，其主要目的便是讓混凝土增加強度及使脆弱區域增加緻密性。

3. 斷面補修法

斷面補修法是將以劣化之混凝土或因劣化而有所損失之斷面除去後，再填補斷面補修材料使其恢復斷面進而提高構件耐久性能之補修方法。斷面補修法之施工方式有塗抹法、噴塗法、灌漿施工法，斷面補修材料有水泥砂漿、聚合物水泥砂漿、聚合物砂漿等。施工時，重點是需要充分了解各方法及材料之特性，正確地規劃及設計，才能達到預期之效用。

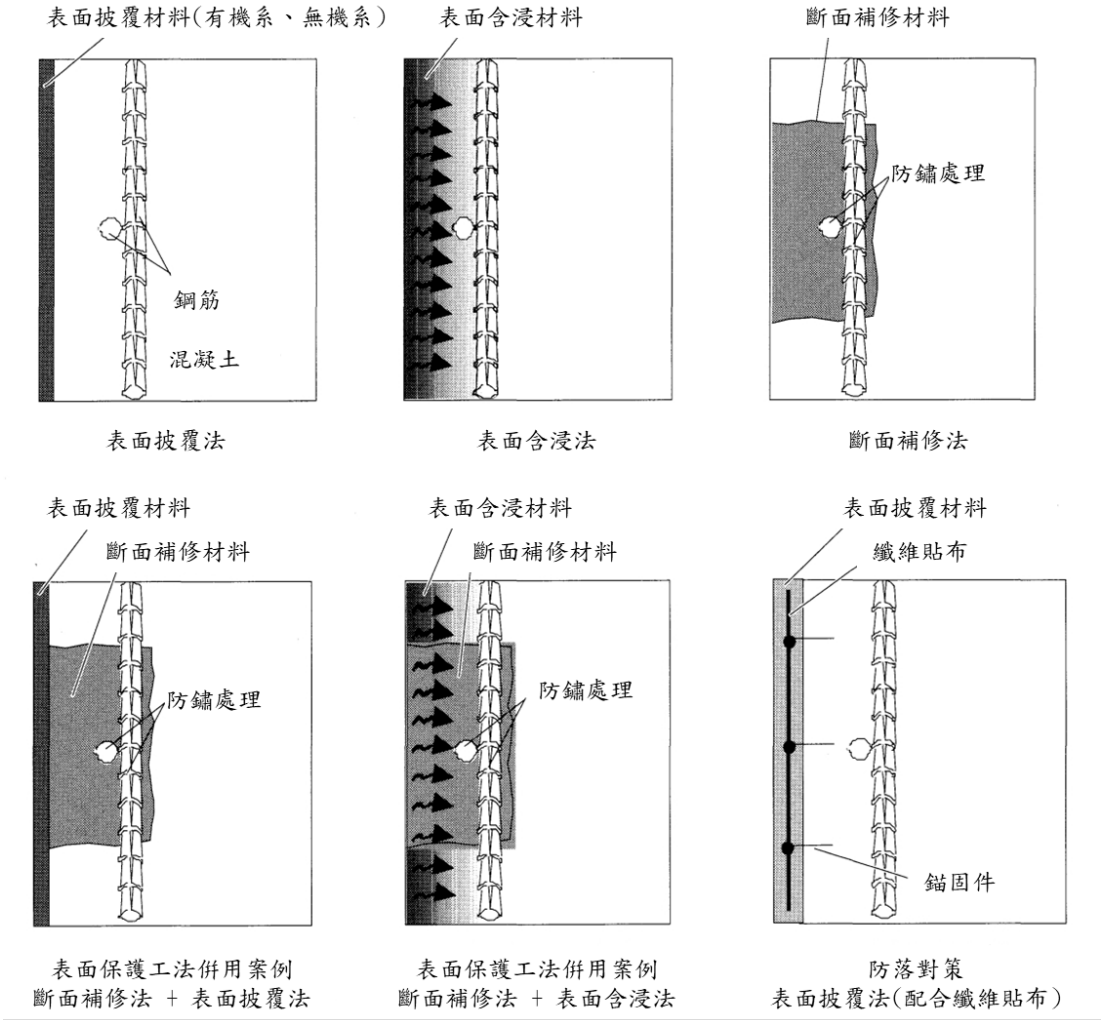


圖 2- 23 表面保護工法之示意圖

(資料來源:表面保護工法 設計施工指針(案))

針對表面保護工法之材料性能評價指標、依結構性能要求對應之表面保護工法適用範圍、表面保護工法選定流程、表面保護工法之檢查內容(範例)可詳見圖 2- 24 及表 2- 19 至表 2- 21 。表面保護工法之施工規劃應充分考慮構件周遭之環境、現地狀況、工程期限、施工條件等，施工時，噪音、粉塵、臭味等環境汙染皆應有對應之策略。表面保護工法施作完成後，施工報告須保存以作為後續維護管理及追蹤點檢資料。

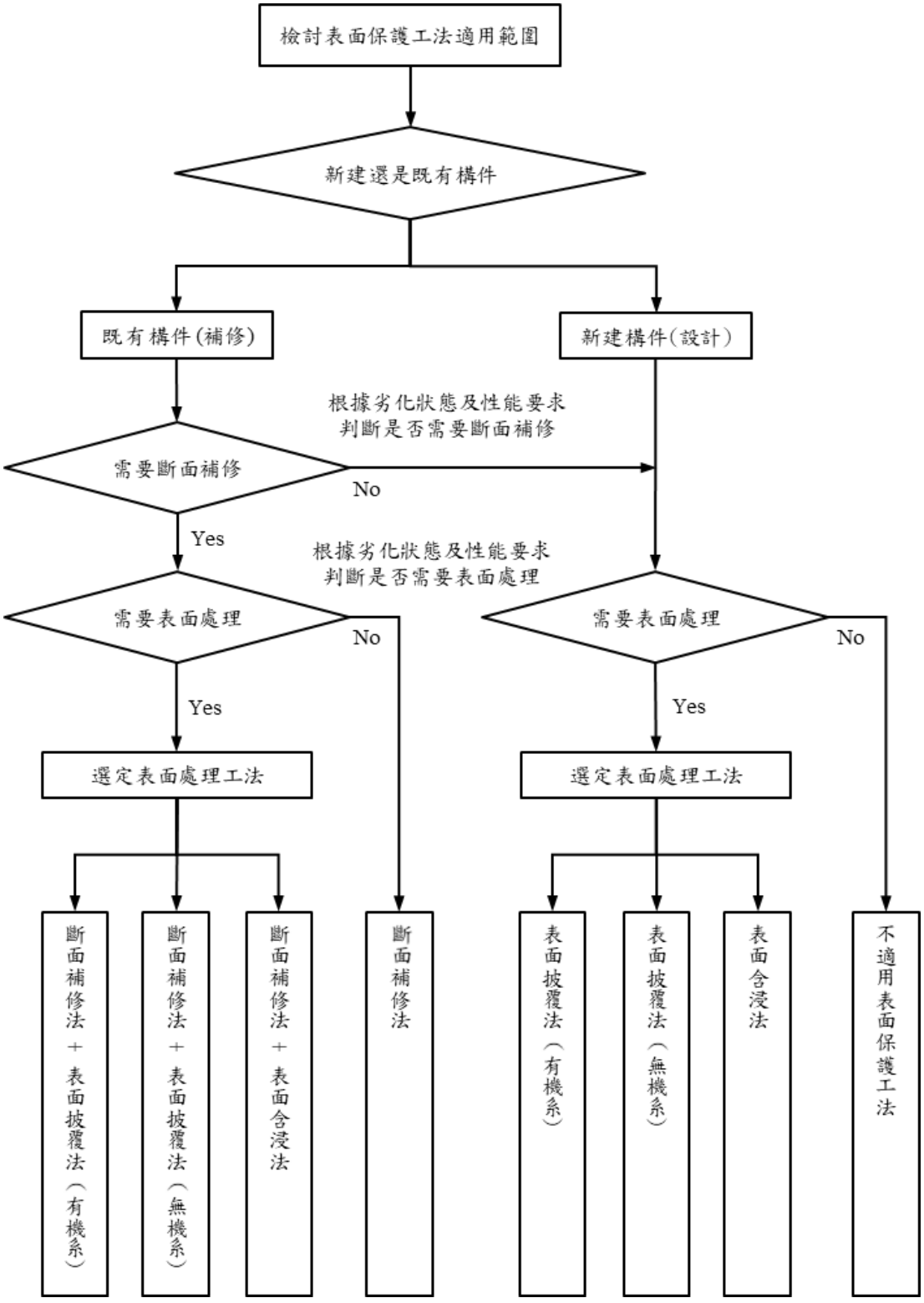


圖 2- 24 表面保護工法選定流程

表 2- 19 表面保護工法之材料性能評價指標

表面保護工法所用之材料性能	評價指標
二氧化碳阻斷性(抑制中性化)	二氧化碳通過量、混凝土中性化深度、混凝土中性化速率
氯離子阻斷性(阻鹽性)	氯離子通過量、氯離子擴散係數
氧氣阻斷性	氧氣通過量、氧氣擴散係數
凍融抵抗性	起泡、開裂、剝落、變色等塗料形變、混凝土相對動彈性係數、質量減少率
耐酸性、耐硫酸性	起泡、開裂、剝落、變色等塗料形變、化學物質滲透量、硫酸滲透量、混凝土重量變化等
耐鹼性	
防水性(阻水性)	透水量
溼氣通過性(透濕性)	溼氣通過量
隨裂縫之延展性(柔軟性)	伸長量、疲勞特性
剝落抵抗性	強度特性、伸長量、壓拉荷重

表 2- 20 依結構性能要求對應之表面保護工法適用範圍

表面保護工法 / 性能要求之相關項目		表面處理工法		表面含浸法	斷面補修法
		表面披覆法			
		有機系	無機系		
適用結構		新建 既有	新建 既有	新建 既有	既有
抵抗劣化之對應	中性化	O	O	O	O
	鹽害	O	O	O	O
	凍害	O	O	△	O
	化學侵蝕	O	△	-	O
	鹼骨材反應	△	△	△	O
	乾溼循環	O	O	O	O
	磨耗(抑制空蝕現象)	O	O	△	O
	因疲勞而產生裂縫	-	-	-	-
	構件之劣化部分去除	-	-	-	O
水密性	防水對策	O	O	O	O
美觀・景觀	預防塗鴉	O	△	△	-
	防止廢棄附著	O	△	△	-
	防藻・防霉	O	△	△	-
	改進設計	O	O	-	-
	外觀維護	-	-	O	-

表面保護工法 / 性能要求之相關項目		表面處理工法		表面含浸法	斷面補修法
		表面披覆法			
		有機系	無機系		
第三方影響度相關性能	防落	-	-	△	-
機能性	提升耐火性(防爆)	△	O	-	O
	抑制收縮裂縫	O	O	-	O
	提升保溫性	△	O	-	-
	防止海洋生物附著	△	-	-	-
	防止融雪溝的雪滑動	△	-	-	-
	提升車輛通行安全性	△	-	-	-
	脆弱部分強度恢復(固化)	-	-	O	-

表 2- 21 表面保護工法之檢查內容 (範例)

檢查項目		檢查對象	判定項目	試驗・檢查方法
材料檢查	設計時檢查	品質	性能	第三方機關評定結果
	驗收時檢查	品質	性能	製造商試驗結果
施工檢查	基底處理後檢查	劣損部位處理	處理狀態	目視
		表面狀態	狀態	觸摸、目視
	介面調整後檢查	表面狀態	狀態	觸摸、目視
	表面混凝土檢查	混凝土水份	含水率、表面含水率	水份測定
	設備檢查	材料貯藏	必要項目	目視、溫溼度測定
		計量設備	計量精度	檢查表
		攪拌設備	性能	性能表
		噴塗設備	性能	性能表
	施工中檢查	施工環境	天氣、溫濕度	目視、溫溼度測定
		施工方法	施作步驟	目視
		品質	狀態	目視
		施工厚度	材料使用量	確認使用數量(袋或罐)
	養護檢查	養護方法	施工步驟	目視、溫度測定
			養護時間	天數、時間確認
施工結束檢查	現場檢查	表面狀態	狀態	觸摸、目視
		出來形狀	膜厚	披覆材料施工厚度試驗、卡尺

檢查項目		檢查對象	判定項目	試驗・檢查方法
			斷面尺寸	標尺量測
		品質	附著強度	JSCE-K 531
	文書檢查	品質	系列的管理	報告書、管理紀錄

表面保護工を中心としたコンクリート構造物のアップグレード技術の現状と将来展望 (国枝 稔 *et al.*，2011)

為了延長既有混凝土建築物之使用年限，建築物之維護管理十分重要。為此，建築物需根據正確地診斷結果來進行適當地補修或補強工法。當混凝土構件需要防止或抑制外部劣化因子(氯離子、二氧化碳、氧氣、水份等)的侵入，採用表面保護工法將是有效地方法之一。其中，表面保護工法有表面披覆法(有機系、無機系)、表面含浸法和斷面補修法。

1. 表面披覆法(有機系)

當表面披覆法中的披覆材料使用的是有機系材料，有時亦被稱為有機系表面披覆法。有機系表面披覆材料其主要成分為樹脂型材料，由於施作時很難僅塗佈單層來滿足各種性能要求，因此需透過多層的樹脂塗層來獲得各種效用。表面披覆法之披覆順序為(1)底漆、(2)介面不平整調整、(3)主材料(中塗層材料)、(4)面漆，其各層之施作目的及適用材料如下所述。

a. 底漆：底漆具有增強基礎混凝土表面及提高表面披覆材料的附著能力之作用。常用之材料類型包括丙烯酸樹脂、環氧樹脂和聚氨酯樹脂等，其材料黏性相對較低。

b. 介面不平整調整：介面不平整調整是利用材料填充混凝土表面之空隙與孔洞來消除混凝土表面之凹凸面，減少之後對塗層的厚度影響。常用之材料類型包括丙烯酸樹脂、環氧樹脂和聚酯樹脂等。

c. 主材料(中塗層材料)：主材料必須要能抑制外部劣化因子侵入混凝土，有時亦會使用柔性材料，使主材料能隨著裂縫寬度增加而延展。另外，可多次塗佈來增加主材料之厚度，藉此提高主材料之抑制能力。常用之材料類型包括丙烯酸樹脂、丙烯酸橡膠、環氧樹脂、氯

丁橡膠、矽膠樹脂、聚氨酯樹脂、聚尿素樹脂和聚丁二烯橡膠等。

d. 面漆：面漆之目的除了增加美觀，最主要是要用來抑制因太陽光(紫外線)而造成的材料劣化。材料可選用耐候性佳的樹脂，如施工的位置未暴露在陽光下，亦可不塗面漆。常用之材料類型包括丙烯酸樹脂、丙烯酸矽膠樹脂、聚氨酯樹脂和氟樹脂等。

使用有機系材料進行表面披覆法時，可使用滾筒或鏝刀將上述每種塗層材料依序塗佈並層壓，基本上要待乾燥後再塗佈下一層材料，通常需要幾天時間才能完工。表面披覆法之主要目的是為了抑制劣化因子侵入，故施工前須先對劣損(如裂縫、缺損、鋼筋鏽蝕等)進行補修，以及為確保底漆的附著性，必須充分做好表面處理工作。如有機系材料屬於危險物質，使用時應遵守廠商提供之步驟進行施作及處理。塗佈時應遵守規定之計量，如要重複塗佈，也應遵守每種材料的規定時間。對於有機披覆材料來說，塗佈後如面臨降雨或結霜會導致表面劣化且不適合重複塗抹，此時必須去除劣化部分或使用指定溶劑清洗掉塗料再重新塗佈，才能避免表面披覆材料無法與混凝土密合之現象。

2. 表面披覆法(無機系)

用無機系材料進行表面披覆法施作時，是利用無機材料之特性用以抑制二氧化碳、氯離子、水份、氧氣等侵入混凝土。無機披覆材料之塗佈可單層或多層，其厚度約 1～5 mm。與有機材料相比，無機材料耐候性佳(特別是抗紫外線)且難以燃燒，但相對的，隨裂縫之延展能力較差。無機表面披覆材料大多使用聚合物水泥作為主材料，用於水泥外加的聚合物大致分為兩類，水性聚合物化學劑和再乳化粉末樹脂，常用的聚合物種類包括丁苯橡膠(SBR)、乙烯醋酸乙烯酯(EVA)、聚丙烯酸酯(PAE)、環氧樹脂等。聚合物水泥亦分為標準型和柔軟型，柔軟型材料具有隨裂

縫之延展性。

使用無機材料進行表面披覆法時，可單層塗佈或多層塗佈。單層塗佈的工序依序為基底處理、底漆塗佈、介面不平整調整、主材料塗佈。工具為鏝刀、刷子、噴霧器、滾筒等，依材料性能及補修需求，主材料可塗佈二或三次，但仍需遵守廠商規定之計量、塗佈次數和塗佈間隔時間。切記，如基底混凝土上存在較大之劣損或裂縫，可搭配斷面補修法或裂縫灌注法進行施工。多層塗佈施工步驟是待完成單層塗佈後再多塗佈面漆，讓面漆在主材料上多一層保護層。

コンクリート構造物に用いられる表面被覆工法の耐久性評価手法に関する研究 (山田卓司，2014)

對於混凝土結構物，在表面進行披覆能防止環境之劣化因子侵入，並延長建築物的使用壽命，這對於保護社會資產是很重要的事情。日本在表面披覆法施工時用來評估披覆材料的性能試驗方法可參考日本土木學會所出版的「表面保護工法設計施工指針(案)」，以及東日本高速公路株式會社、中日本高速公路株式會社、西日本高速公路株式會社(以下簡稱「NEXCO」)聯合制定的「コンクリート被覆材料の性能評価基準(混凝土披覆材料的性能評估基準)」，和西日本旅客鐵道株式會社所制定的「表面処理工基本規格値(表面保護工法基本規格)」等，各團體提供了許多材料性能的評定方式。然而，為了評估其長期的耐久性能，有必要從實際結構中的各種研究現象中找到更好的評估方法。在進行評估性能測試方法目的在定量的了解材料多方面的性能，雖然在實驗室裡進行測試其性能結果令人滿意，但在現地時，卻可能會得到不同之結果，尤其是需要透過戶外暴露來評估表面披覆法的耐候性試驗。對於耐候試驗，現有許多報告是透過長期戶外曝曬試驗並定期調查劣化程度作為二次物理性能測試來評估表面披覆法之有效性；此外，亦有利用加速劣化試驗以期能快速獲得評估結果。但由於劣化機制會根據表面披覆法中所使用的樹脂和塗料基底而有所不同，因此很難建構加速試驗和戶外曝曬兩種耐候試驗之間的相關連性，儘管許多研究皆試圖反覆改進其測試方法來評估表面披覆法的耐久性，但現實狀況為目前仍須依靠長期戶外曝曬來進行耐候性測試。

日本於 1984 年所發布的「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説(公路橋梁鹽害對策指針)」是第一個成熟的日本塗料指針。此指針將混凝土塗料分成三種類型，A 類、B 類和 C 類，其各種類別對混凝土構件的類型和使用條件如表 2-22 所示，而表 2-23 至表 2-25 列出了各種類別的塗料規格。

除此之外，日本工業標準(JIS)於 1972 年和 1983 年公布了「JIS A 6909 建築

用仕上塗材(建築用面漆塗料)[JIS, 2021]」和「JIS A 6916 建築用下地調整塗材(建築用介面調整塗料)[JIS, 2021]」。JIS A 6909 是針對適用於以水泥和合成樹脂作為主原料之黏結劑、顏料、骨材等材料，當用噴塗、滾塗、抹光等方式對建築物之室內或外牆進行施工時使用，提出所用之面漆塗料應符合之品質標準。JIS A 6916 則規定了對於建築裝飾材料、塗料、油漆、磁磚等用於室內或外牆裝飾工程時，所使用之介面調整塗料應符合之品質基準。

表 2- 22 塗料之分類

分類	混凝土構件的類型和使用條件
A 類	預力混凝土構件常用之塗料
B 類	鋼筋混凝土構件主用使用之塗料
C 類	用於難以重新塗裝或預計會發生嚴重腐蝕的構件等特別區域的塗料（長期防鏽型）。

表 2- 23 A 類塗料之規格

工程		使用材料	塗佈條件			塗佈間隔
			目標膜厚 (μm)	標準使用量 (kg/m^2)	塗佈方式	
前處理	底漆	環氧樹脂底漆	-	0.10	無氣噴塗 (刷子/滾輪)	各工程的間隔標準為 1 日至 10 日之內
	不平整調整	環氧樹脂黏結劑	-	0.30	抹刀	
中塗層		環氧樹脂中塗料	60	0.32 (0.26)	無氣噴塗 (刷子/滾輪)	
上塗層		聚氨酯樹脂面漆	30	0.15 (0.12)	無氣噴塗 (刷子)	

表 2- 24 B 類塗料之規格

工程		使用材料	塗佈條件			塗佈間隔
			目標膜厚 (μm)	標準使用量 (kg/m^2)	塗佈方式	
前處理	底漆	環氧樹脂或聚氨酯樹脂底漆	-	0.10	無氣噴塗 (刷子/滾輪)	各工程的間隔標準為 1 日至 10 日之內
	不平整調整	環氧樹脂黏結劑	-	0.30	抹刀	
中塗層		柔性環氧樹脂或柔性聚氨酯樹脂中塗料	60	0.32 (0.26)	無氣噴塗 (刷子/滾輪)	
上塗層		柔性聚氨酯樹脂面漆	30	0.15 (0.12)	無氣噴塗 (刷子)	

表 2- 25 C 類塗料之規格

工程		使用材料	塗佈條件			塗佈間隔
			目標膜厚 (μm)	標準使用量 (kg/m^2)	塗佈方式	
前處理	底漆	環氧樹脂或聚氨酯樹脂底漆	-	0.10	無氣噴塗 (刷子/滾輪)	各工程的間隔標準為 1 日至 10 日之內
	不平整調整	環氧樹脂黏結劑或乙烯基酯樹脂黏結劑	-	0.30	抹刀	
中塗層		厚膜型環氧樹脂或乙烯基酯樹脂中塗料	350	1.20	無氣噴塗 (刷子/滾輪)	
上塗層		柔性聚氨酯樹脂面漆	30	0.15 (0.12)	無氣噴塗 (刷子)	

在 1989 年日本提出了「コンクリートの耐久性向上技術の開発(混凝土耐久性能提升之技術開發)」，此標準提出了隨裂縫之伸展(ひび割れ追従性)的概念，意旨當使用厚膜柔性材料時，材料必須能隨著裂縫寬度增加而能伸展，以及厚膜型塗料對鹽害和鹼骨材反應之對策，並公布了相關施工及補修、補強手冊。當混

凝土出現開裂、剝落、鋼筋鏽蝕等劣化現象，會嘗試透過對混凝土表面進行塗漆來抑制導致劣化之因子(水、氧氣、二氧化碳、氯離子等)侵入以防止構件劣化，此施工方式早期被稱為「ライニング工法(襯砌工法)」，其施工步驟及各材料之功能及目的如下表 2- 26 所示。

1. 表面準備工作：清除混凝土表面之污漬、脆弱部分
2. 挖鑿：混凝土發生剝落、裂縫之部分去除
3. 防鏽處理：鋼筋除鏽，鋼筋防鏽材料塗佈
4. 介面處理：底漆塗佈及表面不平整調整處理
5. 斷面補修：使用斷面補修材料填補缺陷使斷面恢復至原狀
6. 主材料塗佈：塗佈主材料(阻隔塗料)
7. 面漆塗佈：塗佈面漆

表 2- 26 各材料之功能和目的

材料名稱			功能和目的
混凝土塗料	介面處理材料	底漆	提高基礎混凝土與主材料和斷面補修材料之間的附著能力。
		不平整調整材料	填補基礎混凝土表面的孔洞，形成適合塗漆的光滑表面。
	主材料		提升混凝土之水密性、氣密性等能力，防止混凝土及混凝土中的鋼筋劣化。
	面漆		提升主材料之耐候性及美觀性。
斷面補修材料			修復混凝土缺損之斷面。
鋼筋防鏽材料			防止鋼筋鏽蝕。

2005 年日本土木學會設立表面保護工法研究委員分會，將利用塗料對混凝土進行補修和預防性維護之施工方法稱為「表面披覆法」，並編制「表面保護工設計施工指針（案）」，將許多施工方法、材料、施工管理等進行分類及整理。依表面保護工法之工作類型劃分，此設計施工指針不僅總結了每種施工方法(如有機系披覆法、無機系披覆法等)所需之性能，還介紹了「表面含浸材の試驗方法（案）(表面含浸材料的試驗方法)」，以及在附錄內提供了 14 種有機系材料和 6 種無機系材料施工範例。

對於表面披覆材料之性能要求，依不同單位所提出之品質基準，如下所述。

1. NEXCO：根據在北陸、沖繩、東京三個地點進行了 10 年的曝曬試驗結果，修訂了混凝土表面披覆材料的性能查照項目，詳見，評估項目中除一般環境、加速劣化環境外，還包含了耐濕性試驗後的塗料表面觀察，在暴露 7 天(針對高濕度環境時)或 10 天(針對預期會使用在高濕度環境時)後，觀察塗料外觀來作為耐久性能評估項目之一。

2. 阪神高速道路株式會社：根據阪神高速道路(株)發布之「コンクリート構造物表面保護要領(混凝土構造物表面保護要領)」，將混凝土構件與使用條件分為六種類型並列出其性能要求。

3. 西日本旅客鐵道株式會社：西日本旅客鐵道(株)的「コンクリート構造物補修の手引き(混凝土結構補修手冊)列出了表面處理材料的基本規格值，並認為當以抑制中性化為目的之補修時，表面披覆法在施作時需考量 5 項標準。

   (1) 抑制中性化之耐久性能以「1.5 mm 以下/ 20 年」為目標值

   (2) 必須建立相應的施工管理制度

   (3) 未來塗料的劣化不會對基礎材料產生不良之影響

(4) 塗料未劣化之部位可重複塗抹補修

(5) 不可釋放對周遭環境有害之物質

表 2- 27 混凝土表面披覆材料之性能查照項目

項目	試驗條件	規格
塗料外觀	標準養護後	塗料必須均勻、無流動、不均勻、起泡、開裂、剝落等現象
	加速耐候性試驗後	塗料無粉化、起泡、開裂、剝落等現象
	冷溫循環反覆試驗後	塗料無起泡、開裂、剝落等現象
	耐鹼性試驗後	塗料無起泡、開裂、剝落等現象
	耐濕性試驗後	7(10)日間塗料無起泡、開裂、剝落等現象[*1]
阻鹽性	標準養護後	塗料之氯離子通過量為 5.0×10^{-3} mg/cm^2·日以下
氧氣通過阻止性	標準養護後	塗料之氧氣通過量為 5.0×10^{-2} mg/cm^2·日以下
濕氣通過阻止性	標準養護後	塗料之濕氣通過量為 5.0 mg/cm^2·日以下
中性化阻止性	中性化加速試驗	中性化深度 1.0 mm 以下
與混凝土的附著性	標準養護後	塗料在混凝土上之黏結強度為 1.0 N/mm^2 以上
	冷溫循環反覆試驗後	
	耐鹼性試驗後	
隨裂縫之延展性	標準養護後(常溫時)	塗料之伸長量為 0.4 (0.8) mm 以上[*2]
	標準養護後(低溫時)	塗料之伸長量為 0.2 (0.4) mm 以上[*3]
	加速耐候性試驗後(常溫時)	
[*1] 試驗環境為高濕度環境時，以 10 日算 [*2] 對於有特別要求時，塗料之伸長量可要求 0.8 mm 以上 [*3] 對於有特別要求時，塗料之伸長量可要求 0.4 mm 以上		

表 2- 28 混凝土表面保護工法之分類

分類	對象	混凝土構件、使用條件等
A 類	預防保護	充分利用混凝土之質地來進行預防保護 (防潑型[含浸]、水泥系)
B 類	中度防蝕	用於補修既有鋼筋混凝土、預力混凝土結構因中性化造成之劣化、開裂或鋼筋腐蝕，或用於對新建之鋼筋混凝土、預力混凝土結構的中性化和鹽害防護。
C 類	中度防蝕	用於擔心混凝土構件因劣化而剝落，導致可能造成第三方損害等需特別關注之部位。
D 類	重度防蝕	用於難以重新塗佈之區域或預計會出現特別嚴重腐蝕(主要為鹽害環境)之部位。
E 類	耐污染性	用於防止或減少廢氣和灰塵造成之污染
F 類	ASR	用於補修因 ASR 所引起之劣化 (防潑型[含浸]、防潑型[塗料]、防水型)

表 2- 29 混凝土表面保護工法之性能一覽表

工法樣式 性能種類	預防保護		中度防蝕		重度防蝕	耐汙染	ASR		
	A 類		B 類	C 類	D 類	E 類	F 類		
	防潑型[含浸]	水泥系					防潑型[含浸]	防潑型[塗料]	防水型
耐鹼性	經飽和氫氧化鈣溶液中浸泡 30 天後，外觀無變化、塗料不得膨脹、裂縫、剝落、軟化或降解。								
一體性(空氣中) (N/mm^2)	-	0.5 以上	2.0 以上	母材破壞及 2.0 以上	2.0 以上	-	-	0.3 以上	0.3 以上
一體性 (水中、半水中) (N/mm^2)									

工法樣式 / 性能種類	預防保護		中度防蝕		重度防蝕	耐汙染	ASR		
	A 類		B 類	C 類	D 類	E 類	F 類		
	防滲型[含浸]	水泥系					防滲型[含浸]	防滲型[塗料]	防水型
非吸水性 (g/m^2・日)	3.5 以下		1.0 以下		1.2 以下	2.5 以下	3.5 以下	3.5 以下	1.2 以下
透濕性 (g/m^2・日)	30 以上	-	-	-	-	-	30 以上	15 以上	5 以上
Cl^-阻斷性 (mg/cm^2・日)	(10^{-2} 以下)	10^{-2} 以下	10^{-3} 以下		(10^{-4}) 10^{-3} 以下	-	-	-	-
O_2 阻斷性 (mol/m^2・年)	-	-	1.00 以下		0.34 以下	-	-	-	-
隨裂縫之延展性(mm)	-	-	0.4 以上		0.7 以上	-	-	0.7 以上	
耐候性 (加速耐候性)	經過 1500 小時的加速耐候試驗後，應幾乎無粉化（根據 JIS K 5600 8.6 的 1 級以下），且塗層不應有膨脹、裂縫或剝落。				註 1)	經過 1500 小時的加速耐候試驗後，應幾乎無粉化（根據 JIS K 5600 8.6 的 1 級以下），且塗層不應有膨脹、裂縫或剝落。			
耐候性 (色差、光澤保持率)	-				色差 1.5 以下 光澤保持率 90 % 以上		-		
裂縫可視性 註 2)	-								經過 1500 小時的加速劣化測試後，裂縫可見度應該沒有問題。

註 1) 進行 3000 小時加速耐候試驗後，應幾乎無粉化（依 JIS K 5600 8.6 的 1 級以下），且塗層應無膨脹、裂縫或剝落。

註 2) 依需求檢視混凝土表面的裂縫等損傷可視性。

表 2- 30 西日本旅客鐵道公布之表面處理材料基本規格值

規格項目	試驗方法	規格值	備註
抑制 中性化	30 ℃，R.H. 60%，CO_2 5%	28 天加速，平均 0.0 mm	混凝土配比 W/C = 70 %
加速 耐候性	JECE-K 511 (氙弧燈法)經照射 1,500 小時後，無膨脹、開烈、剝落等異常現象，且「光澤保持率」、「色差」、「粉化」之測定須兩項以上滿足標準值。		
	JIS K 5600-8-2 (膨脹)	無異常	
	JIS K 5600-8-4 (開裂)	無異常	
	JIS K 5600-8-5 (剝落)	無異常	
	JIS K 5600-4-7 (光澤保持率)	80 %以上	
	JIS K 5600-4-6 (色差)	3.0 以下	
	JIS K 5600-8-6 (粉化)	0 或 1	
附著性	JSCE-K 531	1.0 N/mm^2 以上	
阻隔氧氣 通過	製科研式 改良	1.5×10^{-2} $mg/cm^2 \cdot day$ 以上	試驗板使用水泥砂漿
水分阻斷	JIS A 1404 改良	0.05 g 以下	加壓時間 6 小時
水蒸氣 通過率	JIS A 1171 7.11	0.03 $mg/cm^2 \cdot day$	釋放濕氣
隨裂縫之 延伸性	JSCE-K 532	0.3 mm (加速)以上 0.6 mm (常溫)以上	
耐鹼性	JIS K 5600-6-1	30 天浸漬，無膨脹、開裂、剝落、軟化、溶出等異常現象	試驗板尺寸 150 × 70 × 20 mm，使用飽和氫氧化鈣溶液，試驗板需全部沒入水溶液
阻鹽性	JSCE-E 530	5.0×10^{-3} $mg/cm^2 \cdot day$ 以下	試驗板為 70 × 70 × 10 mm 水泥砂漿

在上述所提的規格中，由於表面披覆材料需評估塗料對二氧化碳、氯離子、氧氣、水和水蒸氣的滲透控制能力(抑制能力)，因此試驗方法多採用塗料測試，且披覆材料須依步驟塗佈在混凝土構件上，因此對塗料的附著性也很重要。表面披覆材料之相關試驗與施加荷重無關，多是以環境條件或加速劣化來測試材料性能，而評估項目包含附著性、隨裂縫之延展性、阻隔劣化因子之能力，以及加速劣化後材料之二次物理性能。

此文獻除了整理日本關於表面披覆法的歷史、表面披覆材料的規格和表面披覆法之相關研究報告外，先是檢討過去對表面披覆材料的性能要求，並決定將重點放在劣化因子的滲透控制，分別採用加速耐候試驗和戶外耐候試驗讓表面披覆材料進行劣化，再藉著附著力和隨裂縫之延展性來探討三種耐候試驗法(戶外曝曬、氙弧燈加速耐候試驗和耐久性循環耐候試驗)的關連性。戶外曝曬分別是經曝曬 1 年、3 年和 5 年；氙弧燈加速耐候試驗是根據 JIS K 5600-7-7 設定氙弧燈照射 3000 小時；耐久性循環試驗則是以氙弧燈加速劣化 72 小時後，再以濕潤冷熱反覆 4 次(水中浸漬 18 小時(溫度 23±2 ℃、RH 50±5 %)、-20 ℃環境溫度放置 3 小時、50 ℃環境溫度放置 3 小時)為 1 循環(共 168 小時)，進行 10 次循環(共 1680 小時)。對於表面披覆材料之附著性結果顯示，相較於氙弧燈加速耐候試驗，耐久性循環試驗與戶外曝曬之結果獲得較好之趨勢。

表面含浸法之相關文獻

1. 表面含浸工法の現状と課題(山田 耕士，2018)

對於表面含浸法之定義為「透過表面含浸材料讓混凝土表層改質，以發揮特定性能來恢復或提高混凝土之耐久性」，且表面含浸材料之主要成分有矽烷基、矽酸鹽基(鋰基和鈉基)等(圖 2-25)。矽烷基表面含浸材料主要成分為矽烷或矽氧烷，矽酸鹽基表面含浸材料則依能改質之機理不同，可分為固化型和反應型兩類(圖 2-26)。在「表面保護工法 設計施工指針（案）[工種別マニュアル編(工法類別手冊篇)]」有列出各表面含浸材料預期達到之性能及適用效果，可詳見表 2-31 。

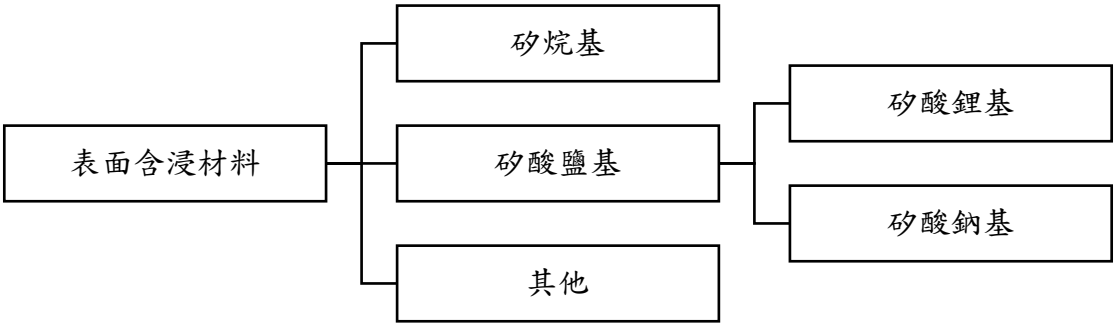


圖 2-25 表面含浸法之材料種類

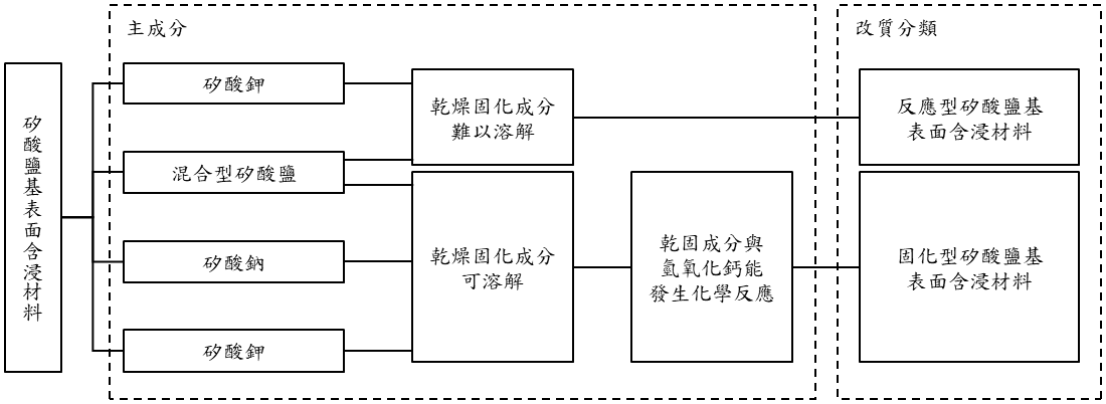


圖 2-26 主成分與改質之關聯性

表 2- 31 表面含浸材料預期達到之性能及適用效果

預期達到之性能	矽烷基	矽鹽酸基		其他
		矽酸鋰基	矽酸鈉基	
抑制中性化	△	△	O	
抑制氯離子侵入	O	-	O	
抗凍融	O	-	O	
抑制化學侵蝕	-	-	-	
抑制鹼骨材反應[*2]	O	O	△	
美觀、景觀相關性能[*3]	O	O	O	
抵抗剝落[*4]	-	△	△	

[*1] 表中「O」表示適用、「△」表示適用場合必須經過檢討(如與其他工法併用等)、「-」表示不適用。
[*2] 抑制鹼骨材反應以標準遮水性來判定。
[*3] 美觀、景觀相關性能以基本之維持來判定。
[*4] 抵抗剝落以基本附著性來判斷。

2. シラン系表面含浸材について(小林 聖，2019)

矽烷是有機矽分子單體，由於其分子小，所以矽烷基表面含浸材料具有及高之防水性。將矽烷基表面含浸材料塗佈在混凝土表面後，材料滲透至混凝土內進行改質，能降低混凝土之吸水率。矽烷基表面含浸材料可透過滾筒或噴塗輕鬆塗佈，使用後為無色透明，將不會影響美觀性。矽烷基之缺點為易揮發，因此難以增加含浸深度；而矽氧烷機表面含浸材料雖滲透性不如矽烷基，但難以揮發，當附著在混凝土表層時，可形成有機矽網層，同樣能提高混凝土之防水性。

3. けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)の概要(武若 耕司，2012)

矽酸鹽基表面含浸材料的主要成分矽酸鹽基會與水泥水化反應產生的氫氧化鈣進行反應，進而在混凝土中產生 C-H-S 膠體。此類物質包括矽酸鋰、矽酸鈉、矽酸鉀等。然而，市售材料很少單獨使用某種物質，且為了提高主材料之穩定性和物理性能，會與各種添加劑和副成分混合使用，故在「けい酸塩系表面含浸工

法の設計施工指針(案)(矽酸鹽基表面含浸工法之設計施工指針)」是根據材料對混凝土表層的改質機理將材料分為固化型和反應型，如圖 2- 26 所示，且矽酸鹽基表面含浸法的適用目的和性能查照項目如表 2- 32 所示。

表 2- 32 矽酸鹽基表面含浸法的適用目的和性能查照項目

目的	性能	試驗方法
提升抑制劣化能力	抑制中性化	JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」等
	抑制鹽害	JSCE-G 572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの拡散係数試験方法(案)」
	抑制凍害	JSCE-K 572「けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)」
	抑制鹼骨材反應	JCI-DD 2「アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法(案)」
混凝土表層改質	裂縫透水性	JSCE-K 572「けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)」
	防水性	JSCE-K 572「けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)」
	耐磨性	JIS K 7204「プラスチック-摩耗輪による摩耗試験方法」
	表面硬度	JIS A1155「コンクリートの反発度の測定方法」
	鹼賦予性	噴灑酚酞指示溶劑確認

固化型表面含浸材料在初期階段便會與混凝土中的氫氧化鈣反應形成 C-S-H 膠體，可是待乾燥後，已固化之成分變得難以溶解，並且固化成分會填充混凝土內的空隙，以此對混凝土進行改質，因此需要在乾燥的狀態下進行固化型表面含浸材料之施作。另一方面，反應型表面含浸材料在初期階段也同固化型表面含浸材料一樣會與氫氧化鈣反應，可當固化成分遇到水，固化成分將會溶解並再與氫氧化鈣反應。因此使用反應型表面含浸材料施作時，養護期間需持續保持濕潤狀態。矽酸鹽基表面含浸材料之試驗方法可參考「JSCE-K 572 けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)」。

矽酸鹽基表面含浸法之施作時應注意三大要點：

1. 將表層混凝土的含水率調整到適合塗佈矽酸鹽基表面含浸材料之狀態。如是使用固化型，則必須處於乾燥狀態；如使用反應型，則必須為濕潤狀態。

2. 可採用刷塗、滾塗、噴塗等方式進行塗佈，應考慮耗損率，需塗佈足夠(或多過)的量讓表面含浸材料滲入混凝土，且表面含浸材料不可稀釋。

3. 施工後之養護會影響到表面含浸材料之品質，根據使用之材料類型(固化型或反應型)給予適當地養護條件及規定時間。

表面含浸法是為延長構件使用壽命及為了建築物維護管理而應用的一項重要的補修技術，並且被視為一種高可靠度的施工方法。為了確保品質已達到目標，有必要確保施工按照設計的要求及規範進行，並且後續的維護和調查也必須持續追蹤，才能達到預期的效用。

セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針 (日本土木學會，2018)

「セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針」內容包括可用於所有補修/補強工法之「共通篇」，及介紹使用水泥系材料進行補修/補強之設計、施工、維護之「工法類別篇」。該指針對於使用碳纖維(Fiber Reinforced Plastics; FRP)進行補強之方法加以描述，其工法分別有樓板之頂面及底面進行增厚之施工方法，以及橋墩包覆的設計和施工方法。

1. 上表面增厚工法

   上表面增厚工法係在樓板頂部上安裝鋼筋並鋪設碳纖維補修/補強混凝土，此為一種與現有樓板整合之施工方式，並能有效地提高抗剪和抗彎承載能力。因要與現有樓板整合，如現有樓板表面上有局部受損，則必須去除劣化、受損之混凝土。

2. 下表面增厚工法

   下表面增厚工法係將鋼筋鋪設在樓板底面上，然後使用聚合物水泥砂漿、碳纖維補強快速硬化砂漿等材料使之與現有樓板結合。使用增厚工法後之樓板能有效地提高抗彎承載能力。如果有水從樓板上部滲入，則滲透之水分將會停留在樓板與鋼筋界面處，導致耐久性下降，因此需配合防水工法。

3. 包覆工法

   包覆工法係用包覆之方式把現有之鋼筋混凝土柱構件進行補修/補強，使之與既有構件整合形成複合結構，進而確保承載能力。其包覆材料有鋼筋混凝土、聚合物水泥砂漿、鋼板、碳纖維網等。為防止補強之結構挫曲，在某些情況下，會在構件中間穿刺 PC 鋼管用以約束鋼筋。

建築物之補修/補強流程詳見圖 2- 27，在共通篇中提到，補修主要係為了使構造物之性能回復至設定值，並減低會引起性能低下之原因。一般來說，補修之目的包含對產生裂縫、開裂、變形、腐蝕等劣化部位進行修復、部分區域填補、除去劣化部位、除去劣化因子、降低可能影響性能低下之原因。補強主要係為了使提升該構造物之性能，其方法有更換鋼筋、導入預力以及增加斷面、部材、支撐點、補強材等。表 2- 33 為以回復或增加性能為目的所對應之修復/補強工法，表 2- 34 為補修/補強使用之材料種類。除此之外，關於水泥系之補修/補強材料

之試驗方法，詳列見下表 2- 35 中。

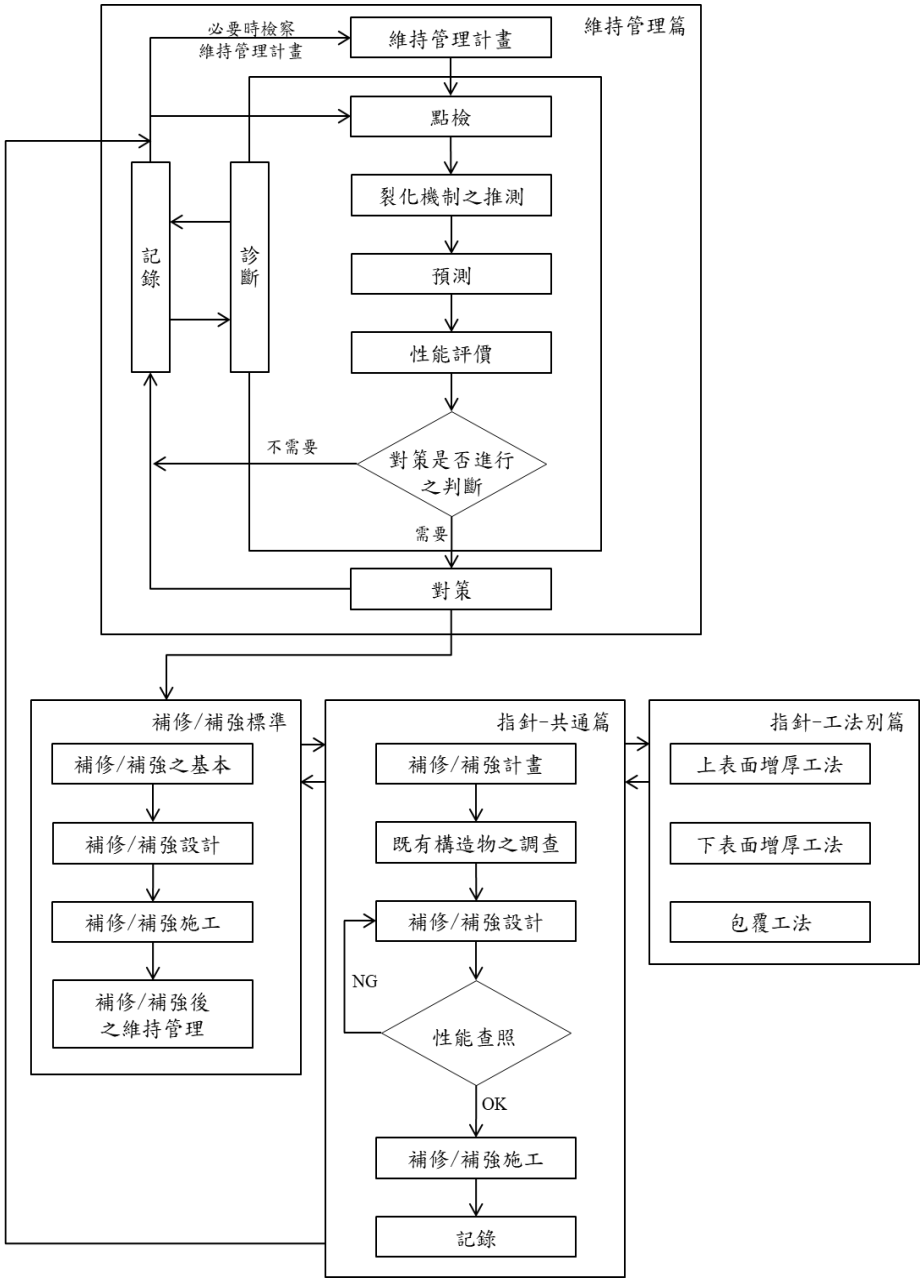


圖 2- 27 補修/補強流程

表 2- 33 以回復或增加性能為目的所對應之修復/補強工法

補修/補強之目的	補修/補強之方法	補修/補強之工法
維持/提升力學的抵抗性	部分交換	更換混凝土工法 替換高拉力螺栓工法
	增加斷面 增加補強材	砂漿增厚工法 混凝土增厚工法 砂漿包覆工法 混凝土包覆工法 鋼板包覆工法 FRP 包覆工法 墊片、鋼板接著工法 FRP 接著工法
	增加構材	橫梁增設工法 壁增設工法 支撐增設工法
	增加支撐	支撐增設工法
	導入預力	導入預力工法
維持/提升材料劣化之抵抗性	部材表面保護	表面披覆/塗裝法 表面含浸法 斷面補修法
	電化學防蝕	電氣防蝕法 脫鹽法 再鹼化法 電鍍法
	裂縫/裂紋抑制	裂縫灌注法 裂縫補修法 打孔抑制工法

表 2- 34 補修/補強使用之材料種類

分類	種類
水泥系材料	普通混凝土、高強度混凝土 短纖維補強砂漿/混凝土 流動混凝土 高流度混凝土 聚合物水泥砂漿/混凝土
補強材料	鋼筋、PC 鋼材 鋼板 補強用 FRP、構造用 FRP
接合材料	樹脂系/水泥系接著劑 錨栓
填充/灌注材料	無收縮水泥灌漿 水中不分離性砂漿/混凝土 聚合物水泥砂漿 樹脂系注入材
表面保護材料	樹脂塗料 聚合物水泥漿/砂漿 矽烷系/矽酸鹽系浸漬材 連續纖維片
防鏽材料	樹脂塗料 亞硝酸鹽系/螯合反應系(Chelation)/氨基醇(Amino alcohol)系防鏽材 陽極材

表 2- 35 水泥系材料之試驗方法

項目	試驗方法
抗壓強度	JIS A 1108:コンクリートの圧縮強度試験方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JSCE-G 541-1999:充てんモルタルの圧縮強度試験方法
	JSCE-G 551-2007:鋼繊維補強コンクリートの圧縮強度および圧縮タフネス試験方法
	JSCE-G 562-2007:はりによる吹付けコンクリートの初期圧縮強度試験方法
	JSCE-G 505-1999:円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法
抗拉強度	JIS A 1113:コンクリートの割裂引張強度試験方法
撓曲強度	JIS A 1106:コンクリートの曲げ強度試験方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JSCE-G 552-2007:鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法
黏結強度	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JSCE-K 561-2003:コンクリート構造物用断面修復材の試験方法
破壞能量	JCI-S001:切欠きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法
楊氏係數	JIS A 1149:コンクリートの静弾性係数試験方法
熱膨脹係數	JSCE-K 561-2003:コンクリート構造物用断面修復材の試験方法
	JCI マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016
收縮	JIS A 1129:モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JIS A 6202:コンクリート用膨張材
	JCI-SAS2:セメントペースト、モルタルおよびコンクリート.の自己収縮および自己膨張試験方法

項目	試驗方法
	JSCE-K 561-2003:コンクリート構造物用断面修復材の試験方法
熱變形	JIS A 1157:コンクリートの圧縮クリープ試験方法
中性化速率係數	JIS A 1153:コンクリートの促進中性化試験方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
氯離子擴散係數	JSCE-G 571-2007:電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法
	JSCE-G 572-2007:浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法
相對動彈性係數	JIS A 1148:コンクリートの凍結融解試験方法

第三章　研究方法與相關試驗規劃

第一節　研究方法與流程

為確保修復材料之品質，本研究針對修復材料進行一系列材料試驗。研究步驟可參考圖 3- 1 。

1. 力學性能試驗：

將不同配比設計之修復材料進行基本材料力學性能試驗，修復材料之種類為水泥砂漿及環氧樹脂砂漿。修復材料之力學性能標準參考(陳儷文，2020)所提出之修復材料基本力學性能需求。基本力學性能包括：撓曲強度、抗壓強度、黏結強度、吸水率及透水量、長度變化量等六種試驗，確認規劃之配比是否符合修復材料之基準值。

2. 耐久性能試驗：

另外為確保修復材料之長期性能，針對修復材料做材料耐久性能試驗，包括：中性化試驗與氯離子滲透試驗。

3. 耐候試驗：

此外還進行材料加速耐候測試，將氙弧燈試驗機照射過之試體進行抗壓強度、中性化試驗與氯離子滲透試驗這三項測試，確認試體經加速耐候後材料上變化。

4. 反彈錘試驗：

進行完第二批材料耐候測試後，將氙弧燈試驗機照射過之試體進行抗壓強度試驗，確認不同配比的試體經加速耐候後抗壓強度的差異。

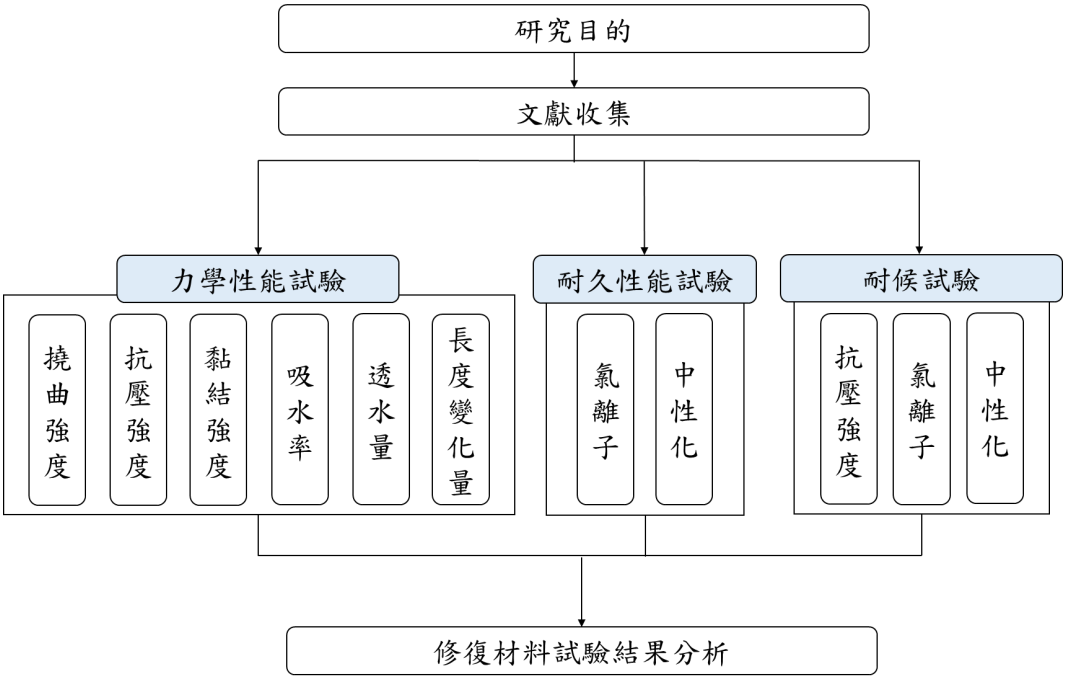


圖 3- 1 研究步驟

(資料來源：本研究提供)

第二節　修復材料試驗規劃

本階段主要分為材料之力學性能試驗、耐久性能試驗以及耐候試驗，力學性能試驗分別是撓曲強度試驗、抗壓強度試驗、黏結強度強度、吸水率試驗、透水量試驗與長度變化量試驗等，耐久性能試驗分別為中性化試驗與氯離子滲透試驗，而耐候複合試驗是將試體經過氙弧燈試驗機加速耐候後再進行抗壓強度試驗、中性化試驗與氯離子滲透試驗。

修復材料之抗壓及撓曲強度建議與原修復之基底混凝土強度相近，使用強度過高的修復材料可能在澆置完成後產生乾縮或是裂縫的狀況。黏結強度為表示修復材料與基底混凝土之間黏結能力的指標，若黏結強度不足，則修復材料會在完全發揮其抗壓或撓曲強度前提早與基底混凝土產生剝離、脫落等現象。因此，在進行斷面修復材料填補時，基底混凝土必須進行除塵、表面處理等前置步驟。此外，修復材料在養護齡期內，熱膨脹及乾燥收縮不能過大，避免其在硬固過程中與基底混凝土產生差異變形，導致在介面處產生應力集中的現象。

長度變化為混凝土或水泥砂漿等材料內部水分蒸發，導致總體體積收縮的現象，在選用修復材料時，應選擇長度變化量較小或是無收縮之修復材，以免與基底混凝土之修復介面產生張力裂縫。透水性之高低會影響修復材料耐久性發展，當混凝土表面水分蒸發時，其內部水氣會因毛細作用向表面移動，進而導致水氣在混凝土與修復材料間殘留，造成黏結強度降低，或是溫度變化時產生裂縫。因此，在選用修復材料時應考慮低透水性之材料。

中性化深度及氯離子滲透深度為評定材料耐久性之重要指標，新拌混凝土 pH 值約為 12 - 13，鋼筋在此強鹼環境下會產生一層鈍態模，阻隔鋼筋與外在腐蝕元素進行反應。但當空氣中二氧化碳(CO_2)與混凝土孔隙中的氫氧化鈣($Ca(OH_2)$)進行反應後，會生成碳酸鈣($CaCO_3$)，同時降低孔隙環境中之 pH 值。一旦內部環境 pH 值小於 11.5，鈍態模開始不穩定，並在 pH 值小於 9 時破壞。鋼筋開始活化並與氯離子等外部侵入元素進行反應，鋼筋腐蝕作用也開始進行。

因此在選用修復材料時，應選用中性化深度符合規範及氯離子滲透深度相對較低之材料，藉此延緩已修復構件再次腐蝕之時間。

本研究之修復材料性能評定基準為參考(內政部建築研究所，2020)提出之聚合物水泥砂漿及環氧樹脂砂漿品質基準表 3-2(日本建築學會，2013)，本基準其中材料性能試驗包括撓曲強度、抗壓強度、黏結強度、吸水率、透水量、長度變化量、中性化試驗以及氯離子滲透試驗。上述試驗惟氯離子滲透試驗沒有基準值進行參考，只能以選定之修復材料間之滲透深度加以比較。

表 3-1 聚合物水泥砂漿之品質基準

性能要求		項目	基準值		試驗方法
基本性能	黏結力	黏結強度	標準	1.5 MPa 以上	JIS A 1171
			潮濕		JSCE-K 561
			低溫		
			水中		
			乾溼循環		
			冷熱循環		
	相容性	抗壓強度	24.0 MPa 以上		JIS A 1171
		撓曲強度	8.0 MPa 以上		JIS A 1171
		彈性模數	20～28 GPa		JIS A 1149
		熱膨脹係數	15×10^{-6} / °C 左右		JSCE-K 561
	透水、吸水性	透水量	15.0 g 以下		JIS A 1171
		吸水率	10.0 %以下		JIS A 1171
	尺寸安定性	長度變化量	0～0.150 %		JIS A 1171 ASTM C596
耐久性能	抵抗中性化性	中性化速度	中性化深度 5 mm 以下 (4 週) 中性化速度係數 18mm/$\sqrt{t}$(年)以下		JIS A 1153 JIS A 1171
	耐磨耗性	磨耗深度	平均磨耗深度比 1.5 以下		表面被覆材の水砂噴流

性能要求		項目	基準值	試驗方法
				摩耗試驗(案)
	耐凍害性	相對動彈性係數	85 %以上	JIS A 1148

(資料來源：內政部建築研究所，2020)

表 3- 2 環氧樹脂系斷面修復材之品質基準(AIJ)

項目		基準值	
		一般用	低溫用
撓曲強度(N/ mm^2)		10.0 以上	
抗壓強度(N/ mm^2)		35.0 以上	
黏結強度 (N/ mm^2)	標準時	1.0 以上	-
	低溫時	-	1.0 以上
	耐久性	1.0 以上	
硬化收縮率(%)		3 以下	

(資料來源：日本建築學會，2013)

修復材料種類

根據(中國土木水利工程學會，2005)所定義之斷面修復材料主要分為水泥系修復材料、聚合樹脂砂漿以及聚合水泥砂漿三種。

1. 水泥系修復材料

包括水泥、粗細粒料及混凝土用化學混合劑拌合而成之一般水泥砂漿或混凝土。其優點為較經濟、易取得、施工容易及力學發展行為與基底混凝土相近;缺點則為抗拉及黏結強度較低，且其吸水率及透水性也無法進行改善。

2. 環氧樹脂砂漿

環氧樹脂砂漿主要包括環氧樹脂黏結材料與石英砂、中空陶瓷砂辦合而成之環氧樹脂砂漿。其優點為凝固時間快、吸水率及透水率低;惟施工時需注意其硬固時間，避免修復中，環氧樹脂硬化情形產生。

3. 聚合水泥砂漿

包括 SBR(苯乙烯丁二烯橡膠)系、丙烯樹脂系及防鏽劑添加系材料與水泥及例料混合而成之聚合水泥砂漿。其抗彎及抗壓強度優於一般水泥砂漿，並擁有更低的吸水率及透水性等特性；缺點則為單位成本較一般水泥砂漿高，及修復時須謹慎使用特定含毒性之聚合材料。

修復材料試驗規劃

研究所採用三種不同性質之斷面修復材料，分別為水泥砂漿、環氧樹脂砂漿以及聚合物水泥砂漿。

1. 水泥砂漿

採用水膠比 0.5 水泥砂漿與 0.5 且飛灰取代率均為 25 %，試體代號分別為 50M 以及 50MF，另外也使用市售之無收縮水泥砂漿而試體代號為 N，如圖 3-2，按照廠商所提供之拌合比例，每 25 kg 無收縮乾拌料添加 4 kg 拌合水量進行拌合。

水泥砂漿之拌合步驟如下：

(1) 利用濕抹布擦拭拌碗內壁，分別依序加入細粒料、水泥、飛灰等材料於拌碗內；

(2) 利用低速攪拌乾拌料 15 秒，使其攪拌均勻；

(3) 不暫停拌合器，於 3 分鐘內分多次將水加入拌碗；

(4) 拌合器暫停 3 分鐘，利用勺子將邊緣與底部之拌料往拌合碗內集中；

(5) 以低速拌合 2 分鐘。

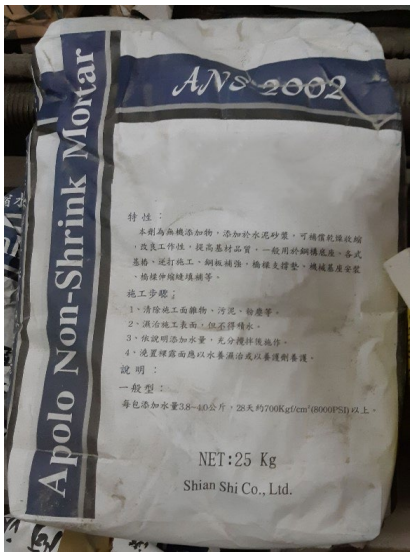


圖 3- 2 無收縮水泥砂漿乾拌料

(資料來源：本研究提供)

2. 環氧樹脂砂漿

環氧樹脂砂漿分成一般環氧樹脂砂漿與輕質環氧樹脂砂漿，一般環氧樹脂砂漿。使用市售之環氧樹脂並添加 5 倍之含砂量，其中 A 劑(主劑):B 劑(硬化劑)為 2:1，且添加劑量 5 倍之石英砂，試體代號為 5E；輕質環氧樹脂砂漿添加劑量 2 倍之石英砂與 1 倍之輕質砂，試體代號為 3E。石英砂挑選 9 號石英砂，而輕質砂為中空陶瓷砂可參考圖 3- 3。

輕質環氧樹脂砂漿之拌合步驟如下：

(1) 於拌碗內分別加入環氧樹脂 A 劑與 B 劑，並以低速拌合 1 分鐘；

(2) 於拌鍋內加入石英砂以及輕質砂，並以低速拌合 3 分鐘；

(3) 拌合器暫停 3 分鐘，利用勺子將邊緣與底部之拌料往拌合碗內集中；

(4) 以低速拌合 2 分鐘。



(a) A 劑　　(b) B 劑　　(c) 輕質砂

圖 3-3 輕質環氧樹脂砂漿材料

(資料來源：本研究提供)

3. 聚合物水泥砂漿

聚合物水泥砂漿之聚合物為粉末狀丁苯橡膠(SBR)，聚合物與水之比例為 7%(高玉荃，2019)，且水與砂之比例同水泥砂漿修復材，水膠比為 0.55 且添加 25%飛灰，試體代號為 SBRF。

聚合物水泥砂漿之拌合步驟與水泥砂漿之拌合步驟相同，其中 SBR 聚合物比重水小，因此需於第一步驟放入拌碗內與其它乾拌料拌合均勻後添加拌合水。

各配比代號可以參考表 3-3，而試體配比可參考表 3-4 至表 3-6。另外，根據 JIS A 1171，黏結試驗之試驗方法為將混凝土或砂漿等覆蓋或修復材料覆蓋在已進行表面處理之基底混凝土材料上，再利用黏結在修復材料上之鐵片進行直拉試驗，其各補修材料及基底混凝土採用之配比為下表 3-7 所述。

表 3- 3 修復材料試體編號

修復材料	試體編號
水泥砂漿 (水膠比 0.5)	50M
水泥砂漿 (水膠比 0.5，含飛灰)	50MF
聚合物水泥砂漿 (水膠比 0.55，含飛灰)	SBRF
無收縮水泥砂漿	N
環氧樹脂砂漿	5E
輕質環氧樹脂砂漿	3E

(資料來源：本研究提供)

表 3- 4 水泥砂漿與聚合物水泥砂漿修復材料之配比

類型	試體編號	W/ B (%)	飛灰取代率(%)	單位體積重(kgf/m^3)				
				C	S	W	FA	SBR
水泥砂漿	50M	50	0	509	1514	266	0	0
	50MF	50	25	376	1493	263	125	0
聚合物水泥砂漿	SBRF	55	25	360	1429	275	120	18

(資料來源：本研究提供)

表 3- 5 無收縮水泥砂漿配比

試體編號	單位體積重(kgf/ m^3)	
	W	FA
N	304	1900

(資料來源：本研究提供)

表 3- 6 環氧樹脂系修復材料配比

類型	試體編號	單位體積重(kgf/ m^3)			
		A 劑	B 劑	石英砂	輕質砂
環氧樹脂砂漿	5E	235	117.5	1736	0
輕質環氧樹脂砂漿	3E	222	111	667	334

(資料來源：本研究提供)

表 3- 7 基礎混凝土之配比

W/ B (%)	s/ a (%)	G_{max} (mm)	Unit Amount (kg/ m^3)				
			C	W	S	G	WRA*
60	48	15	300	180	833	903	0.5

WRA*：減水劑

(資料來源：本研究提供)

修復材料力學性能試驗

材料力學試驗分別為撓曲強度試驗、抗壓強度試驗、黏結強度試驗、吸水率試驗、透水量試驗以及長度變化量試驗。

1. 撓曲強度試驗

本研究撓曲強度試驗採用 JIS A 1171 之試驗方法，試體尺寸為 40 mm × 40 mm × 160 mm，在材料養護至指定齡期後，利用 50 噸萬能試驗機及三點抗彎加壓版進行試驗，加壓版施加之速度為 50 ± 10 N 直至材料破壞，每一指定齡期至少需要 3 組試驗數據，取平均值至小數點後一位。撓取強度計算公式如式(3- 1)：

$$S_f = \frac{3PL}{2bh^2} = 0.02758\,P \qquad (3\text{- }1)$$

其中，S_f：撓曲強度(MPa)、P：破壞最大強度(kgf)、L：試體下支點間距(cm)、b：試體寬度(cm)、h：試體高度(cm)。

2. 抗壓強度試驗

JIS A 1171 中，抗壓強度試體為利用進行完撓曲強度試驗後之試體進行試驗，因此試體尺寸約為 40 mm × 40 mm ×160 mm 之一半，同一齡期之試體在進行完撓曲強度之後，直接進行抗壓強度試驗。加壓版所施加之速度為固定 800 ± 50 N/ sec 直至破壞，每一指定齡期至少需 6 組試驗數據，取平均值至小數點後一位。抗壓強度之公式如式(3- 2)：

$$\sigma_c = \frac{P}{16315} \tag{3- 2}$$

其中，σ_c：抗壓強度(MPa)，P：最大破壞荷重(kgf)。

3. 黏結強度試驗

本研究參考 JIS A 1171 之黏結強度試驗方法，在齡期至少為 14 天，且已進行表面處理之混凝土基底材料上覆蓋欲測試之修復材料。依規範所規定濕治養護至指定齡期後，將待測試之斷面區域切至基底混凝土內部至少 10 mm，再藉由黏著劑將鐵片黏結在測試斷面上，待黏著劑製造商建議之固化時間後開始進行試驗。使用直拉試驗機，並以 1500 ~ 2000 N/ min 之加載速度沿著鐵片垂直方向拉起，直至修復材料破壞、修復材料與混凝土介面處破壞，或是基底混凝土破壞等現象發生。本研究中鐵片與修復材料之黏結劑皆使用 AB 膠，確保破壞發生點不會介於鐵片與修復材料間。此試驗每種材料每一組齡期皆需五個數據，且取其平均值至小數點後一位。黏結強度之公式如式(3- 3)：

$$\sigma_a = \frac{T}{1600} \tag{3- 3}$$

其中，σ_a：黏結強度(MPa)，T：最大拉破荷重(N)。

為了探討修復材料在極端氣候下能否發展出應有的黏結強度，本研究在進行黏結試驗時，會另外準備一組試體，在試體拆模後，置於冷熱反覆循環條件下進行養護，待養護結束再進行黏結試驗。

JSCE-K 561 所建議之冷熱循環環境條件為：將試體置於 20 ± 1 °C 水中 18 小時後，立即將試體放入-20 ± 3 °C 之恆溫恆濕箱中冷卻 3 小時，冷卻後將環境溫

度改為 50±3 °C，加熱 3 小時，6 小時為 1 個循環，10 個循環後再將試體置於常溫一天後進行黏結強度試驗。為了使試驗較符合台灣的氣候條件，本計畫將試驗之環境條件改為：試體置於恆溫恆濕箱時，相對溼度固定為 70 %，並將循環調整為 24 小時 1 循環，前 12 小時環境溫度為 10 ± 3 °C，後 12 小時將溫度調整為 50 ± 3 °C，並在第 5 個循環及第 26 個循環時將試體取出進行黏結試驗。

4. 吸水率試驗

本研究參考 JIS A 1171 中吸水率之試驗方法。試體尺寸為 160 mm × 40 mm × 40 mm，在試體進行養護至指定齡期後，先將試體置於 80 °C 之環境乾燥 48 小時，待其冷卻後量測初始重量，再將試體置於 20 °C 之水中浸泡 48 小時，取出後使用乾布將試體擦試至面乾內飽和狀態並秤重。本計畫每一指定齡期取 3 個數據之平均值至小數點後 1 位。吸水率計算公式如式(3- 4)：

$$W_a=\frac{w_1-w_0}{w_0}\times 100 \tag{3- 4}$$

其中，W_a：吸水率(%)，w_1：吸水後試體重(g)，w_2：乾燥後試體重(g)。

5. 透水量試驗

本研究參考 JIS A 1171 中透水量之試驗方法。試體尺寸為 φ150 mm × 40 mm，養護至指定齡期後，將試體置於 80 °C 之環境乾燥 48 小時，試體取出後將其圓形表面磨平並秤重。對試體施加 100 kPa 之水壓 1 小時後，再取出秤重。本計畫每一指定齡期取 3 個數據之平均值至小數點後 1 位。透水量之公式如式(3- 5)：

$$W_p=w_1-w_0 \tag{3- 5}$$

其中，W_p：透水量(g)，w_1：透水後試體重(g)，w_0：烘乾後試體重(g)。

6. 長度變化量試驗

本研究參考 ASTM C 596 中長度變化之試驗方法，其目的是為了測試修復材料在一般空氣靜置養護的狀況下，其體積穩定性。試體尺寸為 25 mm × 25 mm × 285 mm。試體經養護 72 小時後量測其初始長度，將試體置於溫度 25 °C 之實驗室內，於第 7 天、14 天、21 天、28 天量測其長度，並記錄每個時間點之長度變

化。本計畫取 3 個數據至小數點後 3 位，長度變化之公式如式(3- 6)：

$$\text{乾縮量 } (\%) = \frac{CRD - Initial\ CRD}{285} \times 100 \qquad (3\text{- }6)$$

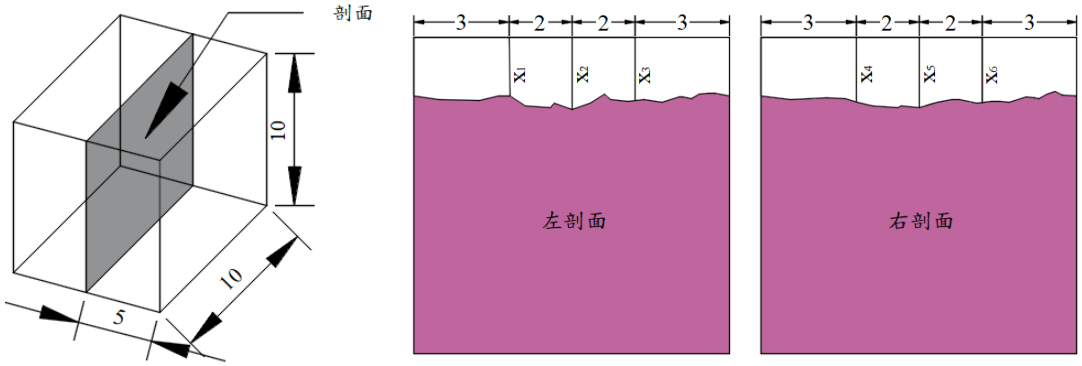
其中，*CRD*：試體長度(mm)-標準棒長度(mm)，*Initial CRD*：初始試體長度(mm)-標準棒長度(mm)。

修復材料耐久性能試驗

材料耐久試驗分別為中性化試驗以及氯離子滲透試驗，試驗所參考之規範為JIS A 1171。

1. 第一批中性化試驗

中性化試驗參考規範 JIS A 1171，試體尺寸為邊長 100 mm 之正方體，每組配比至少需 3 個試體測量中性化深度。試體養護完成前三天需先將試體取出利用環氧樹脂塗封於試體表面，待養護完成將試體放置溫度 30 °C，濕度 60 %，二氧化碳濃度 5 %之碳化箱 28 天後取出靜置一天後將試體利用砂輪機剖半噴灑酚酞溶液，未變色區域為中性化區域，並利用游標卡尺測量記錄試體中性化深度。本研究每配比灌置 3 個試體，每試體皆剖半如圖 3- 4(a)，每試體測量中性化深度位置如圖 3- 4(b)。



(a) 試體剖半示意圖　　(b) 中性化深度測量位置

圖 3- 4 中性化試體

(資料來源:本研究提供)

2. 第二批中性化試驗

本試驗同樣參考規範 JIS A 1171，試體尺寸為邊長 50 mm 之正方體，每組配比至少需 3 個試體測量中性化深度，試體進行中性化試驗前需先利用環氧樹脂塗封於試體表面，待塗封完成放置一天後，將試體放置進材料組提供溫度 25 °C，

濕度 60 %，二氧化碳濃度 50 %之碳化箱 28 天後取出靜置一天後將試體利用砂輪機剖半噴灑酚酞溶液，未變色區域為中性化區域，並利用游標卡尺測量記錄試體中性化深度。本研究每配比灌置 3 個試體，每試體皆剖半如圖 3- 4(a)，每試體測量中性化深度位置如圖 3- 4(b)。



(a) 碳化箱環境參數



(b) 試體放入碳化箱

圖 3- 5 第二批中性化試體

(資料來源:本研究提供)

3. 第一批氯離子滲透試驗

氯離子滲透試驗參考規範 JIS A 1171，試體尺寸為邊長 100 mm 之正方體，每組配比至少需 3 個試體測量氯離子滲透深度。試體養護完成前三天需先將試體取出利用環氧樹脂塗封於試體表面，待養護完成將試體浸泡 28 天於溫度 20 °C 之鹽水溶液，每公升鹽水溶液之配比需符合 JIS A 6205 如表 3- 8，而鹽水溶液之體積需為試體體積 3 倍以上，並且確保試體完全浸泡於溶液中。浸泡後將試體取出剖半並噴灑 0.1 mol/ L 之硝酸銀溶液於剖面並利用游標卡尺測量記錄氯離子滲透之深度。本研究每配比灌置 3 個試體，每試體皆剖半與中性化試體相同如圖 3- 4(a)，每試體測量氯離子滲透深度位置如圖 3- 6。

表 3- 8 JIS A 6205 每公升之鹽水調配比例

藥品名稱	質量(g)
氯化鈉(NaCl)	24.5
氯化鎂($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)	11.1
硫酸鈉(Na_2SO_4)	4.1
氯化鈣($CaCl_2$)	1.2
氯化鉀(KCl)	0.7

(資料來源:本研究提供)

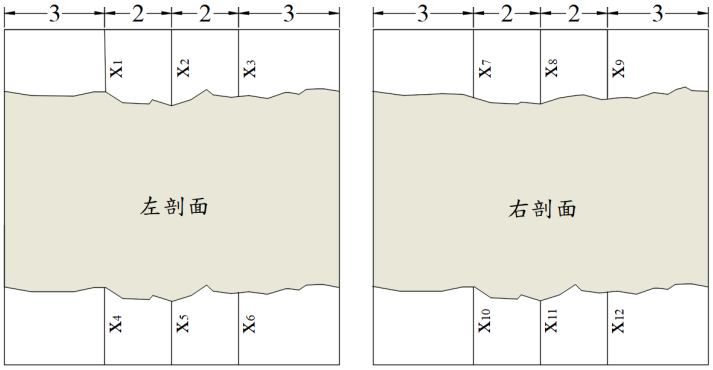


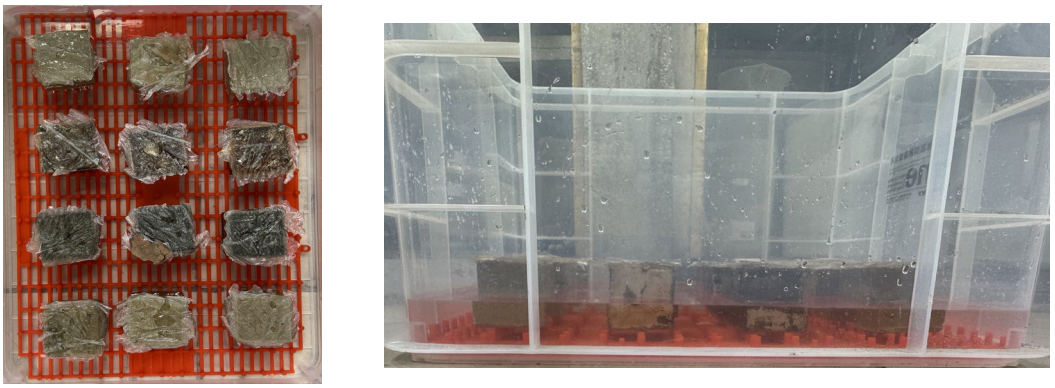
圖 3- 6 氯離子滲透深度量測示意圖

(資料來源:本研究提供)

4. 第二批氯離子滲透試驗

本試驗同樣參考規範 JIS A 1171，試體尺寸為邊長 50 mm 之正方體，每組配比至少需 3 個試體測量氯離子滲透深度，試體進行氯離子滲透試驗前需先利用環氧樹脂塗封於試體表面，本試驗塗封五個面，待塗封完成放置一天後，將試體放置進材料組提供溫度 20 °C 之水箱浸泡鹽水溶液 28 天後取出，每公升鹽水溶液之配比需符合 JIS A 6205 如表 3- 8，而鹽水溶液之體積需為試體體積 3 倍以上，並且確保試體一半處浸泡於溶液中，浸泡後將試體取出剖半並噴灑 0.1 mol/ L 之硝酸銀溶液於剖面並利用游標卡尺測量記錄氯離子滲透之深度。本研究每配比灌置 3 個試體，每試體皆剖半與中性化試體相同如圖 3- 4(a)，每試體測量氯離子滲

透深度位置如圖 3- 6。



(a) 試體放入水箱　　(b) 試體浸泡鹽水溶液

圖 3- 7 第二批氯離子滲透試體

(資料來源:本研究提供)

修復材料耐候複合試驗

研究團隊租借內政部建築研究所之氙弧燈試驗機加速材料劣化，其中儀器型號為 Q-SUN XE-3 XENON TEST CHAMBER，如圖 3- 8，此氙弧燈試驗機能以太陽光、雨水造成材料加速劣化。在幾天或幾週時間內就能造成數月或是數年戶外老化造成之損害。儀器放置試體托架尺寸為 451 mm × 718 mm，內政部建研究所之氙弧燈試驗機配有雙噴功能，而儀器內設有三根獨立燈管，分別提供紫外光、可見光與紅外光波段，可以提供真實太陽光譜，如圖 3- 9。儀器可以控制太陽福照度、濕度控制與溫度控制等，儀器內建設有些許試驗規範設定可供使用，也可自行新增其它循環設定，設定面板如圖 3- 10。

研究團隊規劃進行兩批材料耐候試驗，第一批耐候試驗測試配比為修復材料試驗規劃所提到六種配比，而第二批耐候試驗針對有機材料 SBRF、N、5E、3E 四種配比。



圖 3- 8 內政部建築研究所 Q-SUN XE-3 XENON TEST CHAMBER

(資料來源:本研究提供)

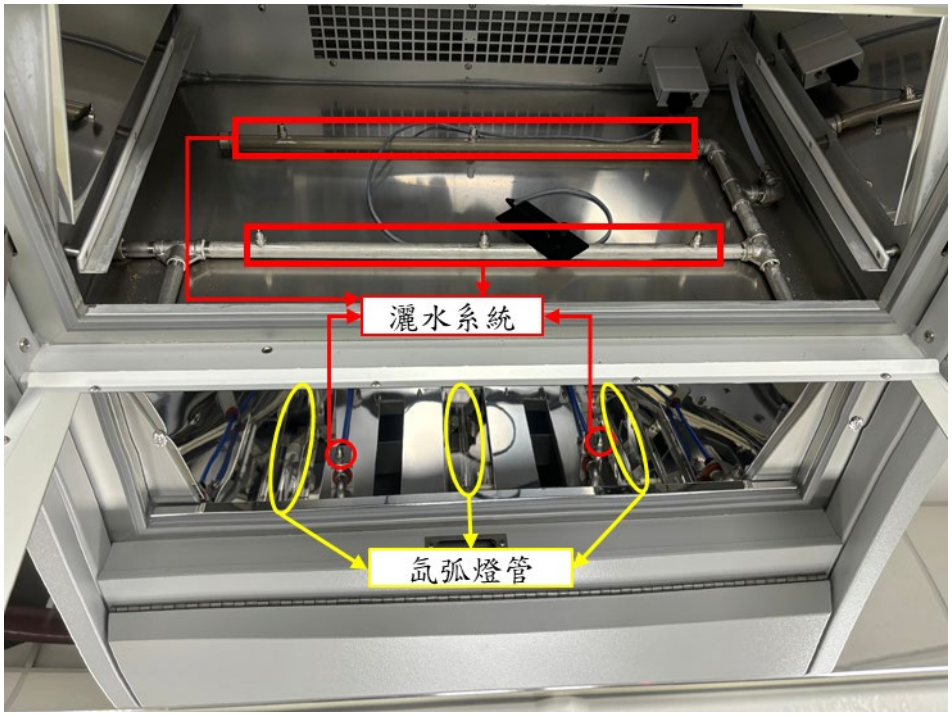


圖 3- 9 氙弧燈試驗機內部

(資料來源:本研究提供)



圖 3- 10 氙弧燈試驗機設定面板

(資料來源:本研究提供)

1. 第一批耐候複合試驗

材料耐候試驗分成二階段如圖 3- 11，階段一將養護 28 天之試體放入平板式氙弧燈試驗機內並依照規範 ASTM G 155 之 7A 循環如圖 3- 12，每步驟之詳細資訊參考表 3- 9，依照此循環將試體放置於氙弧燈試驗機內 91 天後取出，由於儀器內部空間有限，因此試體尺寸為採邊長 50 mm 之正方體，而每配比製作 9 個

試體。

階段二將經過氙弧燈試驗機循環之每配比試體平均分成三個組別分別進行抗壓試驗、中性化試驗以及氯離子滲透試驗，其中抗壓試驗依照 ASTM C 109 規範測試其試體經過試驗機循環後試體抗壓強度變化，而中性化試驗以及氯離子滲透試驗依照修復材料耐久性能試驗中所述之試驗方法將試體浸泡於鹽水溶液以及碳化箱內，其中因試體尺寸與耐久性能試驗不同因此中性化深度測量位置如圖 3- 15(a)，氯離子滲透深度測量位置如圖 3- 15(b)，因試體尺寸邊長僅 50 mm，避免氯離子滲透深度超過 25 mm 導致無法準確測量出試體氯離子滲透深度，因此試體僅保留一面未塗封環氧樹脂使氯離子僅從此面滲入。

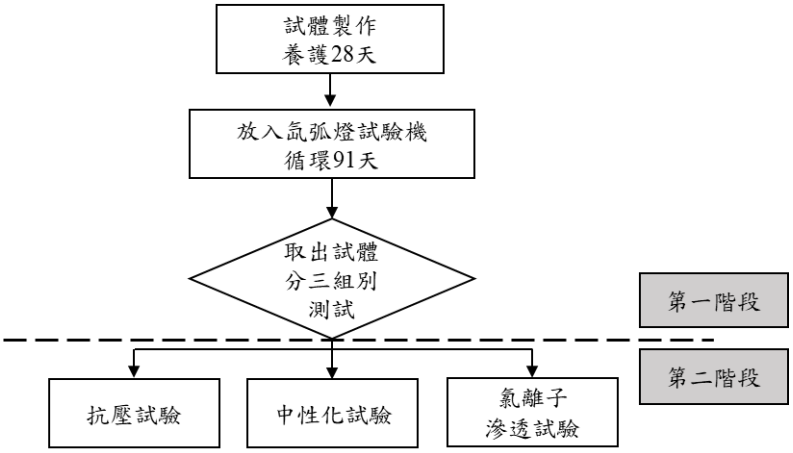


圖 3- 11 第一批耐候複合試驗流程圖

(資料來源:本研究提供)

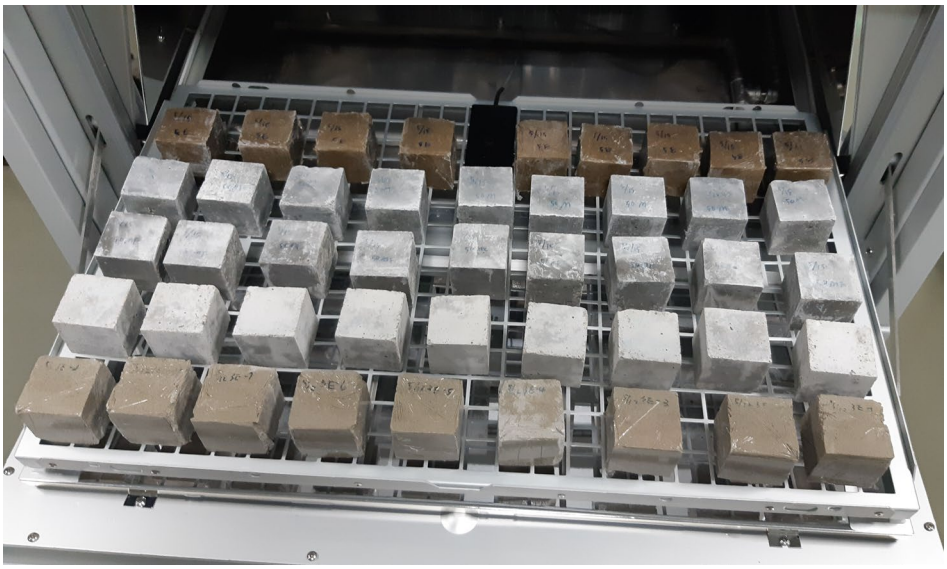


圖 3- 12 第一批耐候試體放置於氙弧燈試驗機

(資料來源:本研究提供)

2. 第二批耐候複合試驗

由第一批耐候試驗結果發現材料經氙弧燈試驗機照射後，表面會有明顯劣化跡象，因此第二批耐候試驗試體經加速劣化後利用反彈錘測試試體抗壓強度，與第一批耐候試驗利用萬能試驗機測試試體抗壓強度不同。除了抗壓強度測試方法不同外其餘測試第一批與第二批耐候試驗皆相同。

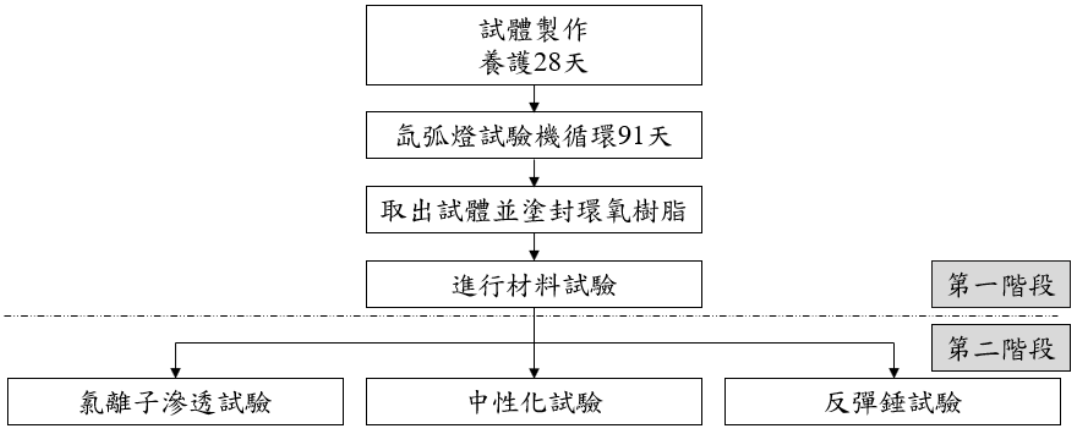


圖 3- 13 第二批耐候複合試驗流程圖

(資料來源:本研究提供)



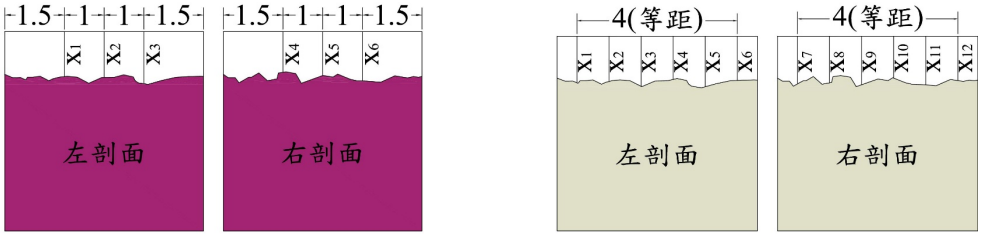
圖 3- 14 第二批耐候試體放置於氙弧燈試驗機

(資料來源:本研究提供)

表 3- 9 氙弧燈試驗機測試程序

步驟	功能	輻照度 W/ (m^2·nm)	黑板溫度 °C	空氣溫度 °C	相對溼度 %	時間 min
1	光照	0.55	70	47	50	40
2	光照+前噴	0.55	70	47	-	20
3	光照	0.55	70	47	50	60
4	黑暗+前噴+背噴	-	38	38	95	60
5	返回步驟一					

(資料來源:本研究提供)



(a) 中性化深度測量位置　　(b) 氯離子滲透深度測量位置

圖 3- 15 耐候試驗中性化深度與氯離子滲透深度測量位置

(資料來源:本研究提供)

反彈錘試驗

本研究在試體經過氙弧燈照射加速耐候後，使用反彈錘撞擊混凝土表面，以其回彈之 R 值來對照測試點的混凝土抗壓強度，因需配合氙弧燈試驗機之放置空間，故試體尺寸為邊長 50 mm 之正方體。



圖 3- 16 本研究使用之反彈錘

(資料來源:本研究提供)

反彈錘試驗步驟如下：

(1) 將欲測試之試體表面磨平並清理乾淨；

(2) 標記出 9 個測量點位；

(3) 垂直點位撞擊混凝土表面測量 R 值；

(4) 取測量點位之平均值，若誤差值大於平均值 6 個單位以上需去除，若有多於 2 個測量值誤差太大則須重新標記點位測量；

(5) 將平均 R 值對照圖 4- 22 得試體之抗壓強度。

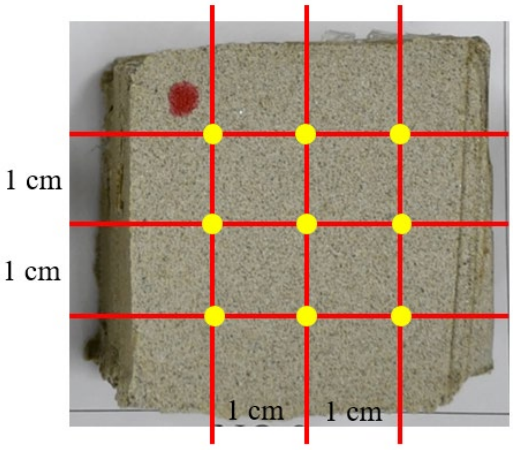


圖 3- 17 試體之測量點位

(資料來源:本研究提供)

第四章　試驗結果與討論

第一節　修復材料試驗

本節先就材料之力學性能試驗、耐久性能試驗與耐候複合試驗結果進行說明。耐候試驗主要租借內政部建築研究所氙弧燈試驗機，以進行加速試驗，並比較材料於耐候試驗前後之力學性能與耐久性能差異；其中，力學性能試驗及耐久性能試驗之部份數據主要取自參考文獻(陳儷文，2020)、(莊昱昇，2023)與(內政部建築研究所，2023)。

力學試驗結果

1. 撓曲強度試驗

參考與之撓曲強度試驗數據，水泥系材料撓曲強度相對於環氧樹脂系材料較低，但皆有符合水泥系材料規範 28 天撓曲強度至少 6.0 MPa 之要求，而環氧樹脂系材料也皆符合環氧樹脂系材料規範最小值 10 MPa，由環氧樹脂系材料數據可發現當含砂量較多時，齡期 28 天材料撓曲強度會較低，水泥系材料之水膠比越高則會有較好的工作性能，但撓曲強度有降低的趨勢；此外，添加飛灰後，由於卜作嵐反應較緩慢，齡期 28 天時之撓曲數據並未顯著提高。

2. 抗壓強度試驗

參考表 4- 2 與圖 4- 2 之抗壓強度試驗數據，抗壓強度試驗數據中無收縮水泥砂漿(N)以及環氧樹脂(5E)，28 天齡期抗壓強度會降低，但無收縮水泥砂漿(N)有符合修復補強手冊之基準值 20 MPa，然而環氧樹脂砂漿(5E)則低於規範值之 35 MPa，由此可知無收縮水泥砂漿與環氧樹脂砂不適合濕治養護，並且 5 倍含砂量之一般環氧樹脂砂漿較不適合作為修補材料。輕質環氧樹脂砂漿(3E)因含砂量較少，抗壓強度較環氧樹脂砂漿(5E)高，且 28 天齡期抗壓強度有提升超過規範之數據，同時達到降低重量提高強度，較不會有垂流的問題，作為修補材料是為較好的選擇。水泥系材料於齡期 7 天時皆有高於規範之 20 MPa，且到齡期 28 天

時，除無收縮水泥砂漿(N)外，其餘配比之強度皆有提升，水泥系添加飛灰之材料於齡期 28 天時，抗壓強度皆比未加飛灰強度低；此外，可發現水膠比越低抗壓強度越高，相對工作性能較差。SBR 聚合物會附著於水泥及粒料表面，經過水化反應形成薄膜降低孔隙率，因此 SBRF 試體 28 天齡期抗壓強度有大幅提升超過齡期 7 天試體。

3. 黏結強度試驗

試驗數據參考不同文獻試驗結果，(N、5E、3E)試體之冷熱循環溫度設定為 20 °C -12 小時與 50 °C -12 小時循環，(50N、50MF、SBRF)試體溫度設定為 10 °C -12 小時與 50 °C -12 小時循環，參考表 4- 3 與圖 4- 3 之黏結強度試驗數據，本研究黏結強度試驗僅在水泥系材料基礎上噴灑少量水份，而環氧樹脂系材料並未於交界處塗上黏結劑。試驗結果顯示經 28 天冷熱循環後，僅環氧樹脂砂漿(3E)之黏結強度未達到基準值 1.5 MPa，由此可知選用環氧樹脂系材料進行斷面修復時於交界面必須塗上專用黏結劑，以避免黏結強度過低未達到修復的效能。此外，試驗數據顯示未進行冷熱循環的情況下，除了 3E 試體，其餘(50M、50MF、SBRF、N、5E)試體，28 天黏結強度都比 7 天來得好。而經 28 天冷熱循環後，SBRF 試體、環氧樹脂系材料(3E、5E)，其材料黏結強度有明顯降低之趨勢，水泥系材料(50MF、N)黏結強度則有明顯上升之情形，在相同齡期下，其中又以無收縮水泥砂漿 N 試體之黏結強度表現最佳。

4. 吸水率試驗

參考表 4- 4 與圖 4- 4 吸水率試驗數據，所有配比皆符合規範基準值 10 %，且所有環氧樹脂砂漿試體吸水率都在 0.3 %以下，顯現出環氧樹脂系修復材料有相當優異的不吸水性。

5. 透水量試驗

參考表 4- 5 與圖 4- 5 透水量試驗數據，由抗壓試驗可知水膠比較高時水泥系試體抗壓強度較低，推測其因孔隙比會較高而使透水量會較多，經過透水量試驗數據可知推測結果符合試驗數據，聚合物水泥砂漿(SBRF)透水量較水泥砂漿

(50M 與 50MF)高。無收縮水泥砂漿(N)透水量相較於其它水泥系材料都來得低，符合其材料性質，另外環氧樹脂系材料幾乎不透水。

6. 長度變化量試驗

參考表 4-6 與圖 4-6 長度變化試驗數據，長度變化之數據皆符合基準值 0.15 %。長度變化之試驗數據受試體孔隙率影響較大，由無收縮砂漿材料特性、抗壓強度、透水量可知其孔隙較少，也符合長度變化之試驗數據結果。由觀察可知，經過時間越長長度變化量會越來越平緩，甚至會趨近於零，其中以環氧樹脂材料變化最小。

表 4-1 撓曲強度試驗數據

試體編號	齡期 7 天平均(MPa)	齡期 28 天平均(MPa)
50M	6.89	8.48
50MF	6.57	7.81
SBRF	5.94	6.55
N	8.18	8.18
5E	14.51	15.24
3E	13.06	15.55

(資料來源:本研究整理)

表 4-2 抗壓強度試驗數據

試體編號	齡期 7 天平均(MPa)	齡期 28 天平均(MPa)
50M	45.09	47.59
50MF	37.04	45.86
SBRF	28.87	44.82
N	44.01	40.63
5E	35.89	31.82
3E	38.83	44.21

(資料來源:本研究整理)

表 4-3 黏結強度試驗數據

試體編號	7 天(MPa)	7 天循環(MPa)	28 天(MPa)	28 天循環(MPa)
50M	2.3	2.5	2.9	2.8
50MF	0.8	2.5	1.6	2.5
SBRF	2.3	2.6	2.4	1.6
N	3.1	3.6	3.3	4.6
5E	2.3	1.6	3.2	1.9
3E	3.0	1.8	2.1	1.4

(資料來源:本研究整理)

表 4-4 吸水率試驗數據

試體編號	齡期 28 天吸水率(%)
50M	8.1
50MF	8.8
SBRF	5.8
N	6.2
5E	0.3
3E	0.0

(資料來源:本研究整理)

表 4-5 透水量試驗數據

試體編號	齡期 7 天平均(g)	齡期 28 天平均(g)
50M	14.0	13.3
50MF	15.7	15.3
SBRF	24.9	16.0
N	-	9.9
5E	1.4	1.2
3E	-	0.6

(資料來源:本研究提供)

表 4-6 長度變化量試驗數據

齡期 / 試體編號	72 小時	7 天	14 天	21 天	28 天
50M	0.000%	0.026%	0.045%	0.050%	0.000%
50MF	0.000%	0.013%	0.034%	0.046%	0.000%
SBRF	0.000%	0.041%	0.053%	0.057%	0.000%
N	0.000%	-0.049%	-0.086%	-0.113%	-0.116%
5E	0.000%	0.023%	-0.003%	0.001%	0.001%
3E	0.000%	0.006%	0.005%	0.008%	0.002%

(資料來源:本研究整理)

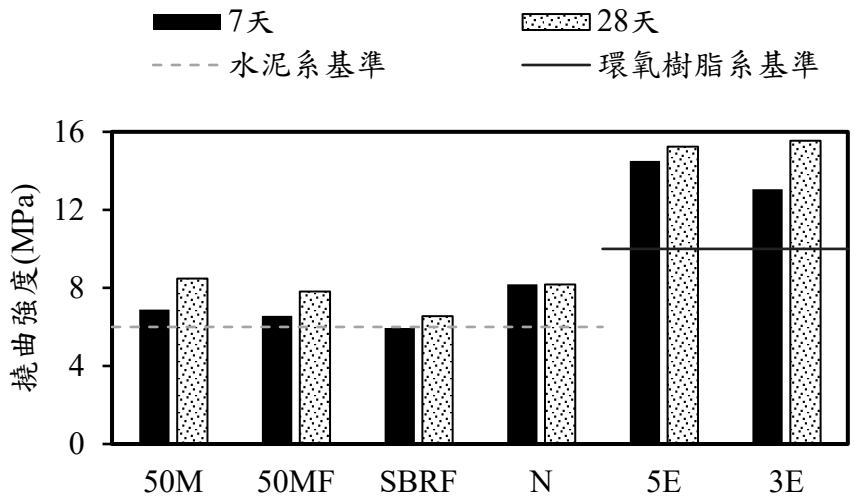


圖 4- 1 撓曲強度試驗數據

(資料來源:本研究整理)

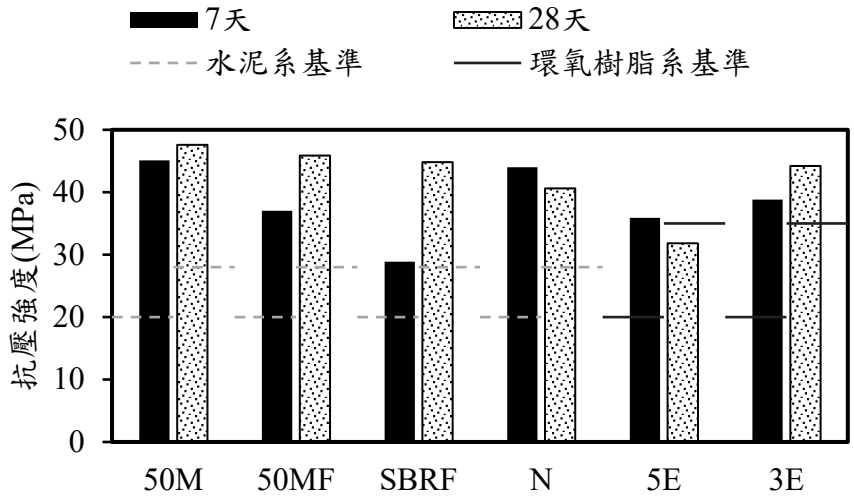


圖 4- 2 抗壓強度試驗數據

(資料來源:本研究整理)

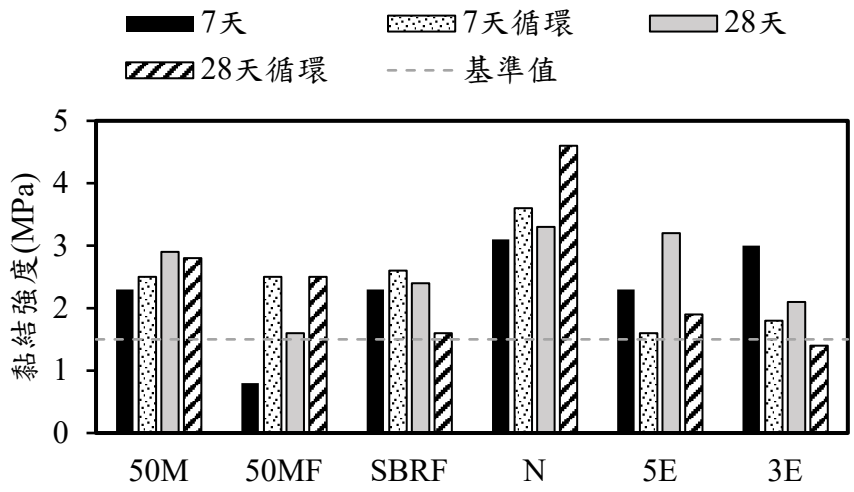


圖 4-3 黏結強度試驗數據

(資料來源:本研究整理)

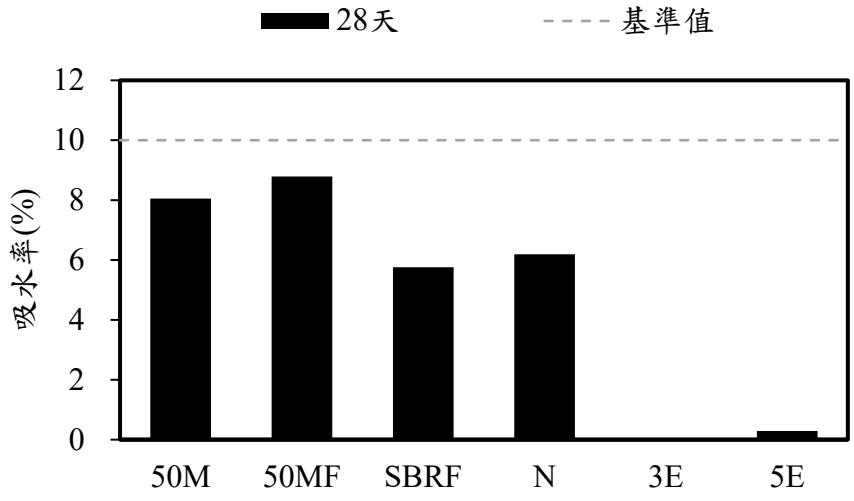


圖 4-4 吸水率試驗數據

(資料來源:本研究整理)

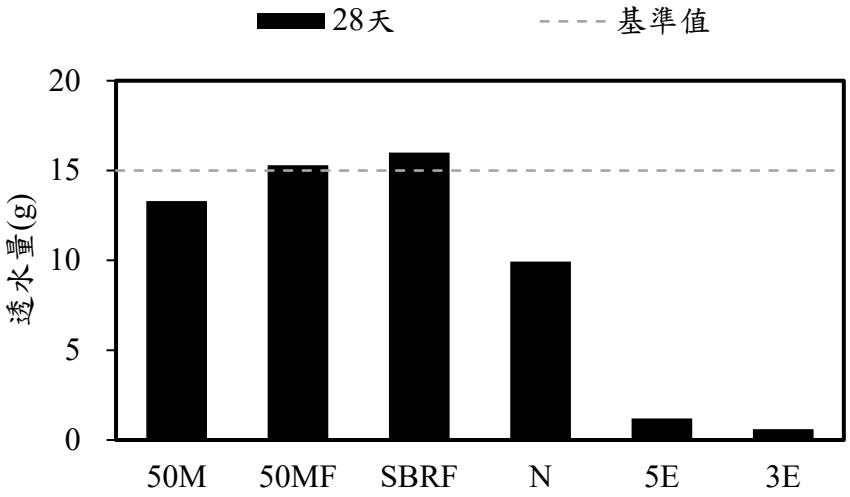


圖 4-5 透水量試驗數據

(資料來源:本研究整理)

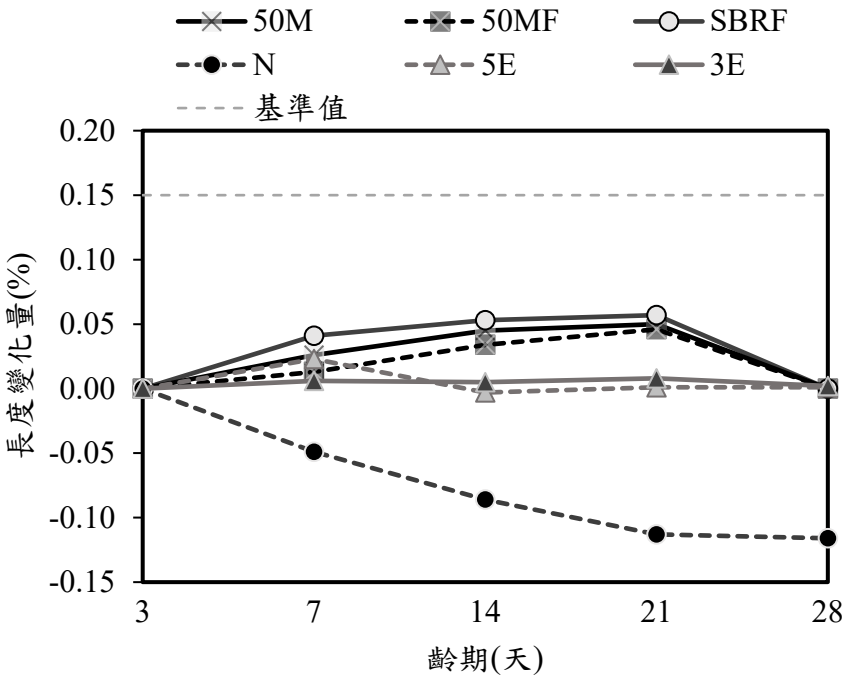


圖 4-6 長度變化試驗數據

(資料來源:本研究整理)



(a) 50M 試體 7 天黏結強度



(b) 50M 試體 7 天循環黏結強度



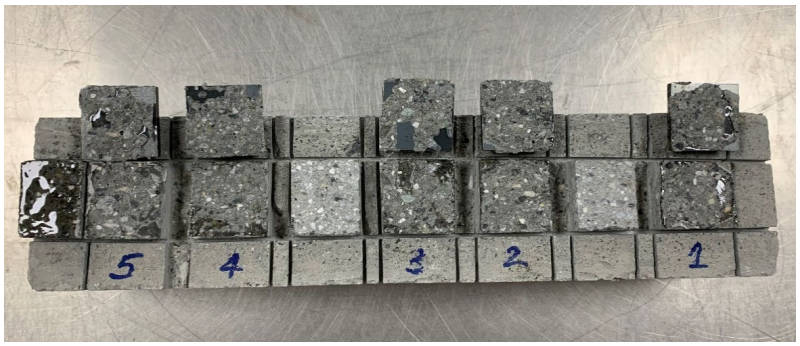
(c) 50M 試體 28 天黏結強度



(d) 50M 試體 28 天循環黏結強度

圖 4- 7 50M 試體黏結強度破壞照

(資料來源:本研究整理)



(a) 50MF 試體 7 天黏結強度



(b) 50MF 試體 7 天循環黏結強度



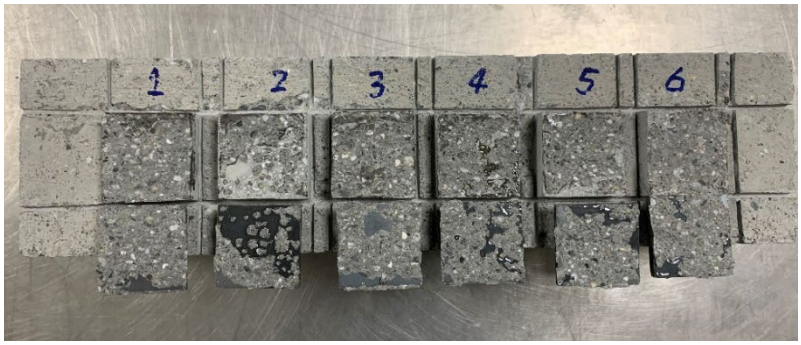
(c) 50MF 試體 28 天黏結強度



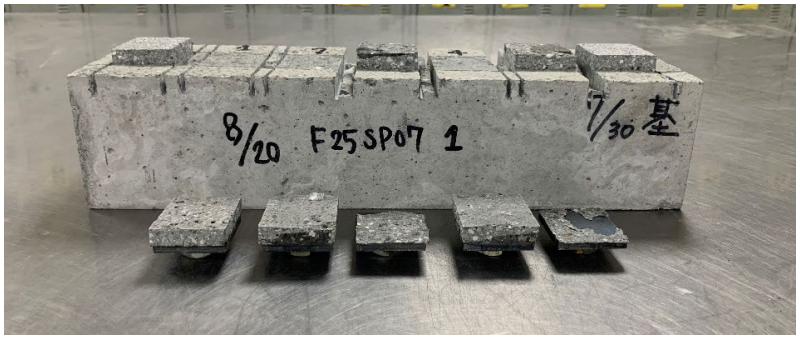
(d) 50MF 試體 28 天循環黏結強度

圖 4- 8 50MF 試體黏結強度破壞照

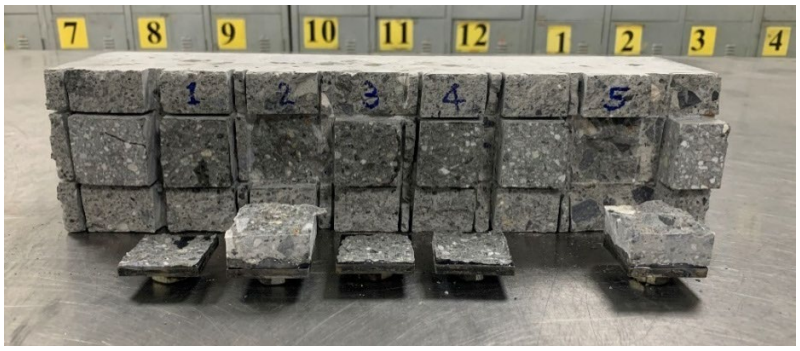
(資料來源:本研究整理)



(a) SBRF 試體 7 天黏結強度



(b) SBRF 試體 7 天循環黏結強度



(c) SBRF 試體 28 天黏結強度



(d) SBRF 試體 28 天循環黏結強度

圖 4- 9 SBRF 試體黏結強度破壞照

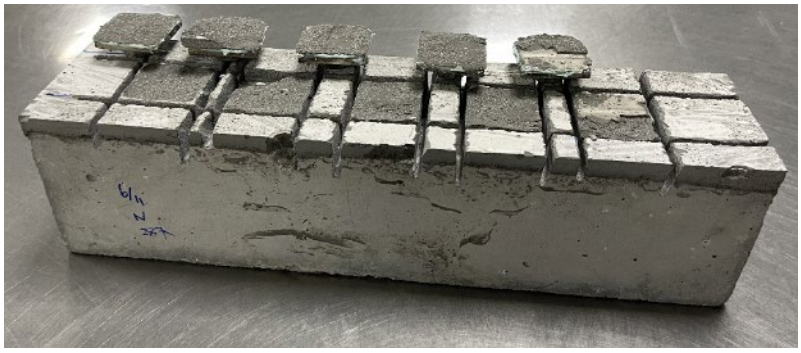
(資料來源:本研究整理)



(a) N 試體 7 天黏結強度



(b) N 試體 7 天循環黏結強度



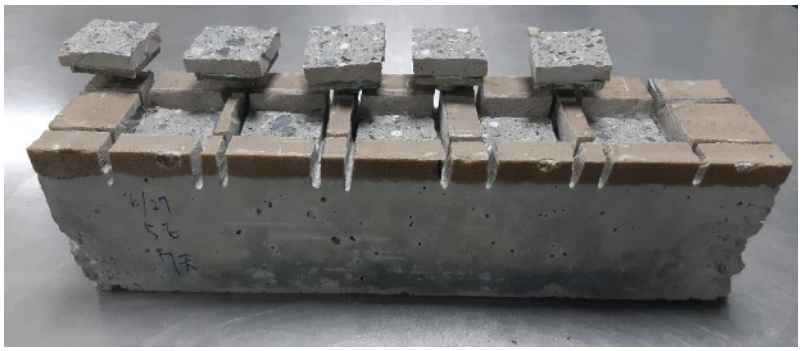
(c) N 試體 28 天黏結強度



(d) N 試體 28 天循環黏結強度

圖 4- 10 N 試體黏結強度破壞照

(資料來源:本研究整理)



(a) 5E 試體 7 天黏結強度



(b) 5E 試體 7 天循環黏結強度



(c) 5E 試體 28 天黏結強度



(d) 5E 試體 28 天循環黏結強度

圖 4- 11 5E 試體黏結強度破壞照

(資料來源:本研究整理)



(a) 3E 試體 7 天黏結強度



(b) 3E 試體 7 天循環黏結強度



(c) 3E 試體 28 天黏結強度



(d) 3E 試體 28 天循環黏結強度

圖 4- 12 3E 試體黏結強度破壞照

(資料來源:本研究整理)

耐久性能試驗結果

本章結介紹兩種材料耐久試驗結果分別為，中性化試驗以及氯離子滲透試驗，針對耐久性試驗目前無基準值可以參考之文獻，因此藉由不同配比間之結果以相對比較優劣。

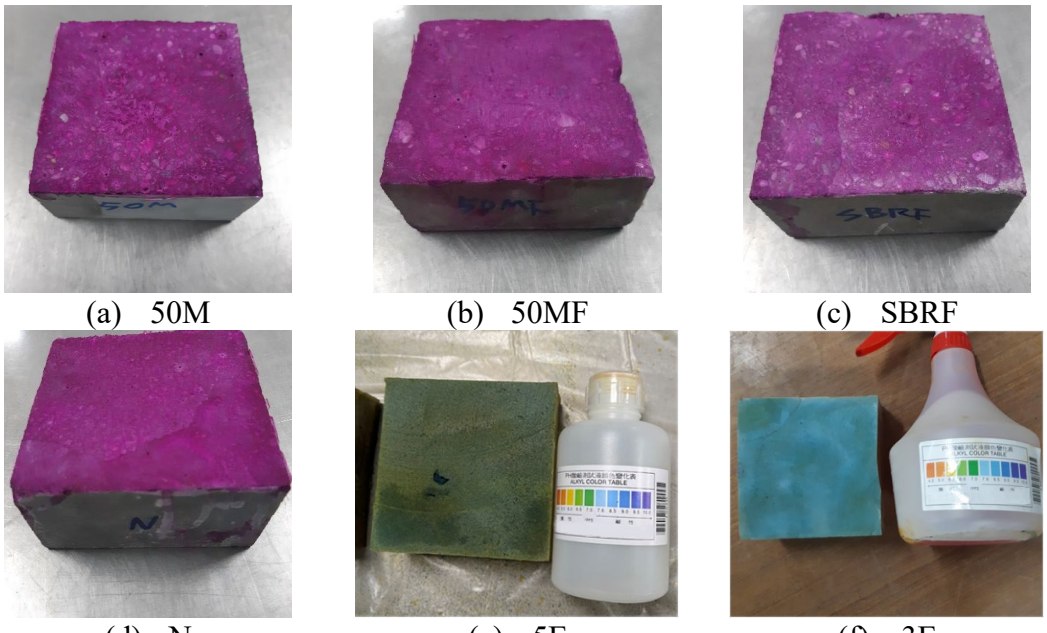
1. 第一批中性化試驗

參考表 4- 7 中性化試驗數據，一共針對 6 種不同配比進行中性化試驗，可參考圖 4- 13 試驗試體之照片結果皆無中性化之現象；水泥系材料表面採以酚酞確認是否產生中性化，而環氧樹脂材料本身為中性，則改噴灑廣用指示劑確認其結果，測量位置參考圖 3- 15。試體之碳化箱環境依照規範 JIS A 1171 進行試驗。

表 4- 7 各配比中性化深度

試體編號	50M	50MF	SBRF	N	5E	3E
中性化深度 (mm)	0	0	0	0	0	0

(資料來源:本研究整理)



(a) 50M (b) 50MF (c) SBRF

(d) N (e) 5E (f) 3E

圖 4- 13 中性化試體噴灑指示劑

(資料來源:本研究提供)

2. 第一批氯離子滲透試驗

參考表 4- 8 與圖 4- 14 氯離子滲透試驗數據，由於試體數量較多，無法全部放入同一恆溫水槽浸泡，所以將配比 50M、50MF、SBRF、N 等試體放置於室外恆溫水槽浸泡。因試驗時之室外溫度較高，恆溫水槽則維持約 27 °C～30 °C，無法繼續下降至 20 °C，然而室內恆溫水槽溫度符合 JIAS A 1171 氯離子滲透試驗所規定之 20 °C。由試驗數據可觀察出當水膠比越高則氯離子滲透深度越大，若試體有添加纖維或是聚合物則滲透深度會比水泥砂漿試體來得深，故 SBRF 試體氯離子滲透深度較其它水泥系材料大，而環氧樹脂砂漿系試體經氯離子溶液浸泡過後滴上硝酸銀溶液無法看出顏色變化測量出滲透深度，配比 5E 與 3E 氯離子滲透深度皆為零。

表 4- 8 各配比氯離子滲透深度

試體編號	50M	50MF	SBRF	N	5E	3E
氯離子滲透深度(mm)	3.41	3.90	5.05	3.14	0.00	0.00

(資料來源:本研究提供)

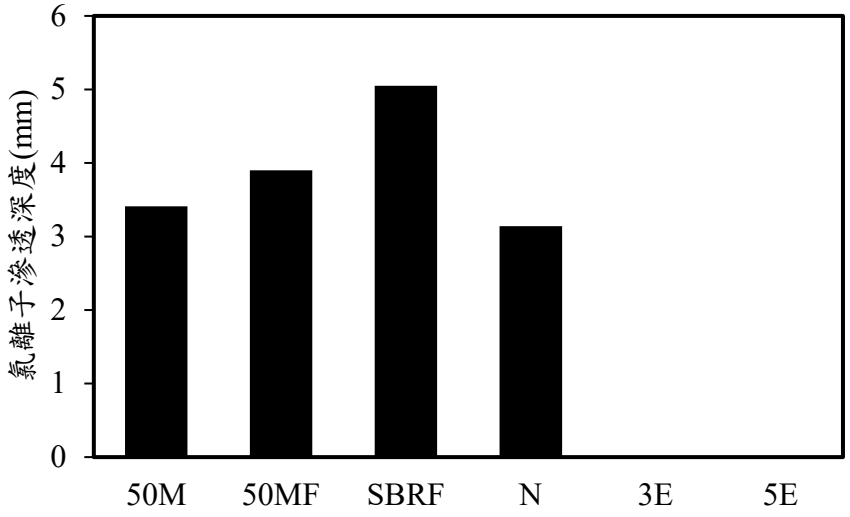


圖 4- 14 氯離子滲透試驗數據

(資料來源:本研究提供)

第二節　耐候複合試驗

第一批耐候複合試驗結果

第一批耐候複合試驗將試體放入氙弧燈試驗機依 ASTM G 115 之 7A 循環照射加速耐候，之後將試體平分成三組，分別測試其抗壓強度、中性化深度以及氯離子滲透深度，依照三項材料試驗結果分析。

試體經氙弧燈試驗機照射過後，除了可透過力學性能試驗及耐久性能試驗判斷其劣化情形外，也可目視其外觀差異，觀察試體表面是否有裂縫、剝落、變色或其他明顯之劣化跡象，而根據試驗結果，可觀察到試體並無裂縫或剝落，且環氧樹脂系材料試體表面與未經氙弧燈試驗機照射前之狀況幾乎無變化如圖 4-15(a)；而水泥系材料試體可以明顯觀察到變色之情形，照射面如圖 4- 15(b)、圖 4- 15(d)，皆有黃斑產生，底面接觸層架側也有局部黃斑的現象如圖 4- 15(c)，推測其現象與試體內添加之細粒料有關，無收縮水泥砂漿乾拌料由廠商所提供，其它水泥砂漿內之細粒料為天然河砂。



(a)　環氧樹脂系　　(b)　水泥系　　(c)　水泥系底面　　(d)　無收縮水泥系

圖 4- 15　第一批氙弧燈試驗機照射後試體

(資料來源:本研究提供)

1. 抗壓強度試驗

經耐候試驗試體之抗壓強度試驗數據可參考表 4- 9 與圖 4- 16，由試驗結果可發現水泥砂漿系材料經過氙弧燈試驗機加速耐候後，其抗壓強度皆有提升之情形，其中以(SBRF、N)與(50M、50MF)試驗結果較為不同。聚合物水泥砂漿 SBRF 抗壓強度雖有提升但較不明顯，推測因聚合物長期受陽光照射使水泥砂漿有劣化之情形，而無收縮水泥砂漿抗壓強度則有明顯之提升，推測與材料用砂或材料內添加成分有關。另外，環氧樹脂系材料經過氙弧燈循環照射後，環氧樹脂含量較少之配比 5E 的抗壓強度有提升，但較一般水泥砂漿提升少，而環氧樹脂含量較多之配比 3E 的抗壓強度則有降低情形，由此兩筆試驗數據可知環氧樹脂經過氙弧燈照射後有劣化之現象。

表 4- 9 經耐候試驗試體之抗壓強度試驗數據

耐候試體抗壓強度試驗數據 (MPa)			
齡期 / 配比	7 天	28 天	耐候試驗 (加速耐候)
50M	45.09	47.59	59.72
50MF	37.04	45.86	63.02
SBRF	28.87	44.82	46.85
N	44.01	40.63	82.90
5E	35.89	36.87	42.81
3E	38.83	44.21	32.62

(資料來源:本研究提供)

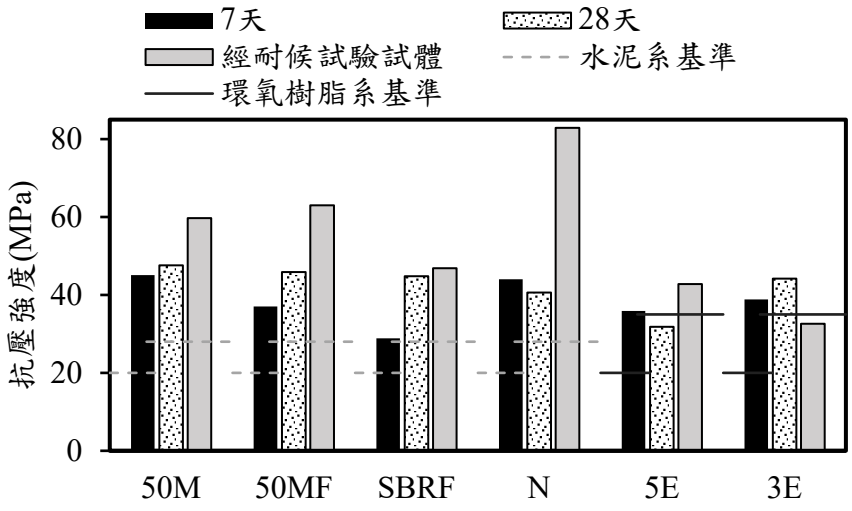


圖 4- 16 經耐候試驗試體之抗壓強度試驗數據

(資料來源:本研究提供)

2. 中性化試驗

經耐候試驗試體之中性化試體放置碳化箱環境設定為溫度 25 °C,濕度 78 %,二氧化碳濃度 50 %,並非規範 JIS A 1171 之設定。由試驗結果可發現在此設定下,經過 28 天後各配比之試體皆無中性化之現象,參考圖 4- 17 為試體噴灑酚酞以及廣用指示劑後之照片。



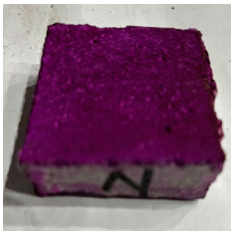
(a) 50M



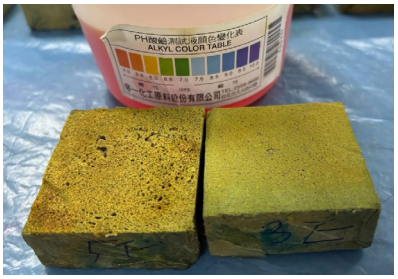
(b) 50MF



(c) SBRF



(d) N



(e) 由左至右 5E、3E



(f)由上至下為 50M、50MF、SBRF 試體全



(g) N 試體全

圖 4- 17 經耐候試驗試體之中性化試體照片

(資料來源:本研究提供)

3. 氯離子滲透試驗

經耐候試驗試體之氯離子滲透試驗數據參考表 4- 10 與圖 4- 18；其中試體浸泡之水槽溫度符合 JIAS A 1171 氯離子滲透試驗所規定之 20 °C，而氯離子滲透深度量測位置參考圖 3- 15。由試驗數據可發現，經過氙弧燈試驗機 91 天循環後水泥系材料氯離子滲透深度比未經耐候試驗試體之滲透深度來得低，由此可知雖然試體經過加速耐候但僅表面材料有劣化之跡象，因耐候試驗會提供足夠水分而使得試體內部之水化反應持續而抗壓強度增加。環氧樹脂系材料經噴灑硝酸銀後試體顏色無變化，因此氯離子滲透深度皆為零。

表 4- 10 經耐候試驗試體之氯離子滲透試驗數據

配比	50M	50MF	SBRF	N	5E	3E
未經耐候試驗 (mm)	3.41	3.90	5.05	3.14	0.00	0.00
經耐候試驗 (mm)	2.54	2.52	2.64	3.09	0.00	0.00

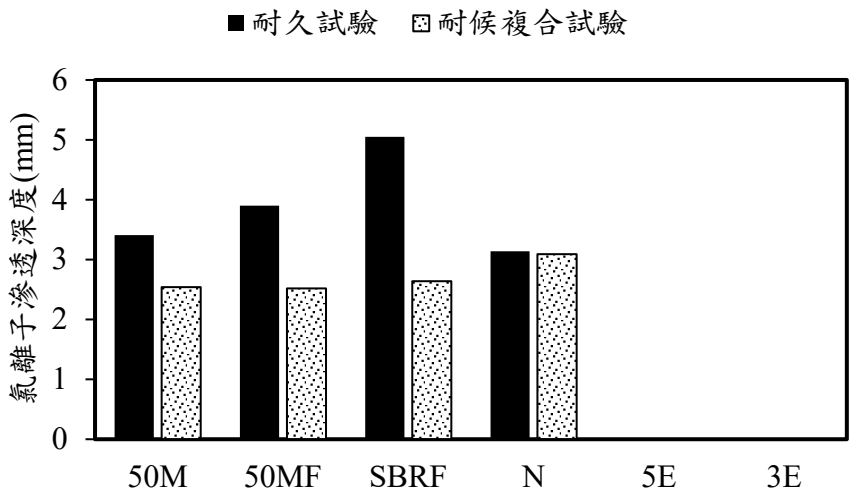


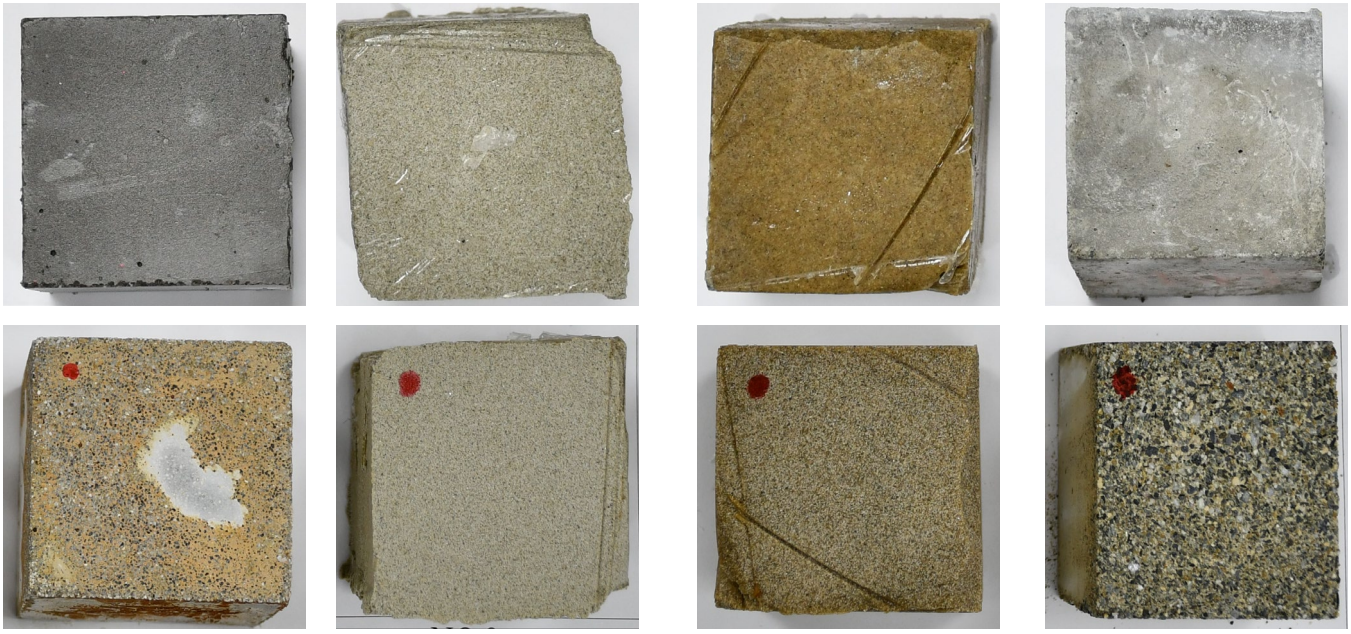
圖 4- 18 經耐候試驗試體之氯離子滲透試驗數據

(資料來源:本研究提供)

第二批耐候複合試驗結果

第二批耐候試驗將試體放入氙弧燈試驗機依 ASTM G 115 之 7A 循環照射加速耐候，之後將試體平分成三組，分別測試其反彈錘抗壓強度、中性化深度以及氯離子滲透深度，依照三項材料試驗結果分析。

第二批試體經氙弧燈試驗機照射過後，目視其差異可以發現試體皆無裂縫或剝落的狀況，且輕質環氧樹脂砂漿及環氧樹脂砂漿試體與未經氙弧燈試驗機照射前，從顏色、有無裂損方面來判斷，表面無明顯之差異如圖 4- 19(f)及圖 4- 19(g)；水泥系試體表面則可以明顯發現顏色變化之情形，其中以無收縮水泥砂漿試體照射面最為明顯如圖 4- 19(e)，有大面積黃斑現象發生，而聚合物水泥砂漿試體也有輕微黃斑現象如圖 4- 19(h)，但並未像無收縮水泥砂漿試體明顯，其觀察結果與第一批耐候試驗試體一致。



(e) 無收縮水泥砂漿　(f) 輕質環氧樹脂砂漿　(g) 環氧樹脂砂漿　(h) 聚合物水泥砂漿

圖 4- 19 第二批氙弧燈試驗機照射前、後試體

(資料來源:本研究提供)

1. 反彈錘試驗

經耐候試驗各配比試體之反彈錘 R 值可參考表 4- 11 與圖 4- 21，由數據可發現不同配比間，除了環氧樹脂砂漿試體(5E-01)之 R 值較另外兩者(5E-02、5E-03)高以外，其餘配比的測量結果差異不大，其中試體(SBRF-01)在塗封時，第 1、2、4 點位有沾附到環氧樹脂，雖經磨砂紙打磨仍有些許殘留，從表 4- 11 可觀察到有環氧樹脂沾附的點位其抗壓強度會略高於未沾附的點位，故在計算平均值時不予列入計算，且試體(SBRF-01)在進行第 8 點位的衝擊時，試體邊角有破碎的情形發生，造成第 8、9 點位的測量值異常下降，此兩點同樣不予列入計算。



圖 4- 20 試體(SBRF-01)破碎情形

(資料來源:本研究提供)

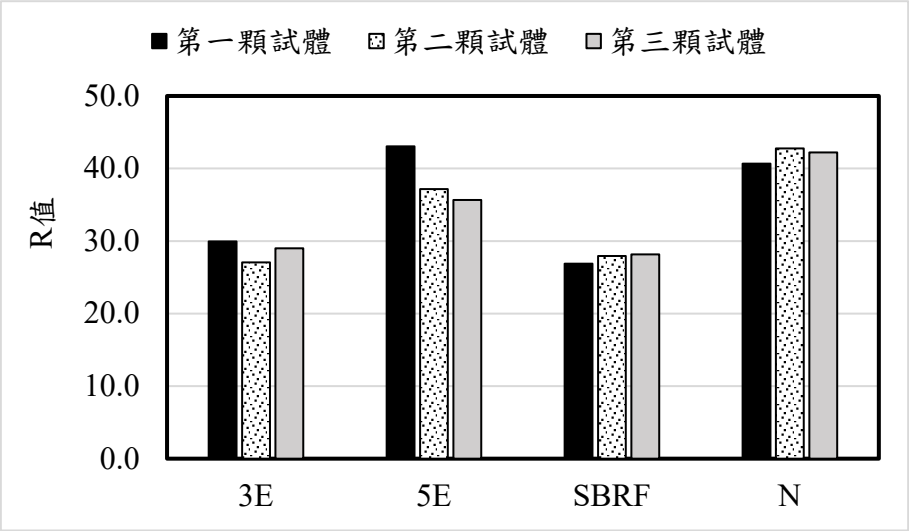


圖 4- 21 反彈錘試驗數據

(資料來源:本研究提供)

表 4- 11 反彈錘 R 值

試體名稱	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均 R 值
3E-01	33	27	32	27	32.5	31	30	31	26	29.9
3E-02	27	27	27.5	24	30.5	26	26	28	27.5	27.1
3E-03	28	28.5	39	28.5	29.5	27.5	24	27.5	28.5	29.0
5E-01	44	42	43	43	40.5	43.5	42.5	43	46	43.1
5E-02	38	34	34	39.5	38.5	37	35	37	41.5	37.2
5E-03	35.5	35	39.5	35.5	38	35.5	34	35	33	35.7
SBRF-01	30	30	28	28.5	27.5	25	27	22	14	26.9
SBRF-02	29.5	29.5	25	26	30	26.5	30	27	28	27.9
SBRF-03	30	31.5	25	28.5	31.5	26	27.5	27.5	26	28.2
N-01	38	40.5	41	43	44.5	42	39.5	39.5	38	40.7
N-02	38.5	41.5	44.5	40.5	47	42	45	42	44	42.8
N-03	45	43	44	44	47.5	40	39	38.5	39	42.2

(資料來源:本研究提供)

在試驗結束後檢視測量數據，每個試體各有 9 個點位，若點位的誤差值大於平均值 6 個單位以上需去除，若有多於 2 個點位的測量值誤差太大則須重新標記點位測量，確認無誤後，即可計算每組配比間 3 個試體之平均值，並將平均 R 值對照圖 4- 22 可得試體之抗壓強度，因本研究是採向下垂直之方法進行試驗，故對照圖 4- 22 最上方的曲線。

表 4- 12 抗壓強度

試體名稱	總平均 R 值	抗壓強度(MPa)
3E	28.7	23
5E	38.6	37
SBRF	27.8	22
N	41.9	42

(資料來源:本研究提供)

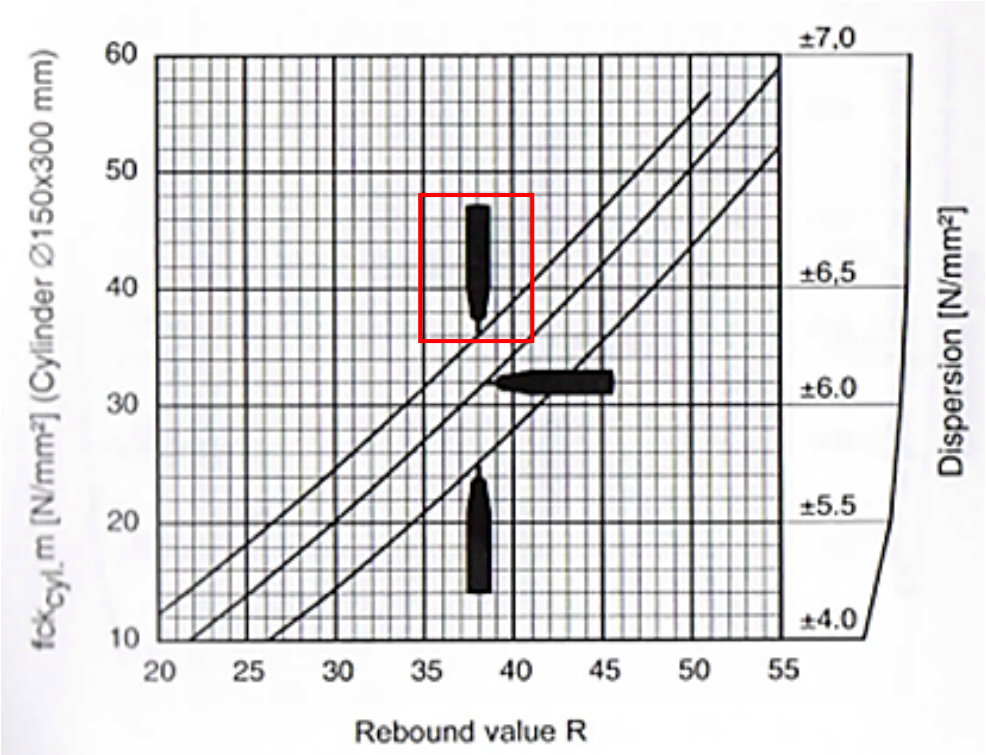


圖 4- 22 抗壓強度之 R 值對照表

(資料來源:儀丞儀器工程有限公司)

各試體的平均 R 值經圖 4- 22 對照後，試體抗壓強度結果可參考表 4- 12，由試驗結果可發現無收縮水泥砂漿(N)的抗壓強度最高，環氧樹脂砂漿(5E)次之，再來是輕質環氧樹脂砂漿(3E)，而聚合物水泥砂漿(SBRF)的抗壓強度最低。將此結果與萬能試驗機試驗數據作比較，參考表 4- 9 與圖 4- 17 可觀察到在兩種試驗方法下，試體(3E、5E)經氙弧燈循環照射後，輕質環氧樹脂砂漿(3E)的抗壓強度皆會低於環氧樹脂砂漿(5E)，而無收縮水泥砂漿(N)不論是使用萬能試驗機還是反彈錘測量，抗壓強度皆是最高的。其中不同之處在於聚合物水泥砂漿(SBRF)使用萬能試驗機測量之抗壓強度為第二高，而使用反彈錘測量之抗壓強度最低，推測是經氙弧燈照射後，其表層混凝土(1~3 mm)有明顯劣化之現象。

2. 中性化試驗

經耐候試驗之第二批中性化試體放置碳化箱環境設定為溫度 25 °C，濕度 60 %，二氧化碳濃度 50 %，並非規範 JIS A 1171 之設定。由試驗結果可發現在此設定下，經過 28 天後，僅聚合物水泥砂漿(SBRF)有中性化現象，推測是因聚合物水泥砂漿(SBRF)具有較高的孔隙率和滲透性，使二氧化碳更容易滲透進入並引起中性化反應，參考圖 4- 23 為試體噴灑酚酞以及廣用指示劑後之照片。

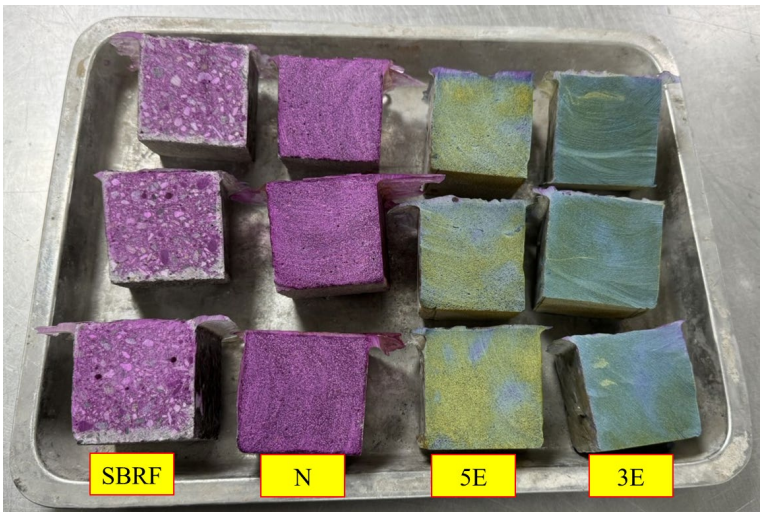


圖 4- 23 經耐候試驗之第二批中性化試體照片

(資料來源:本研究提供)

表 4- 13 經耐候試驗之第二批中性化試體滲透試驗數據

配比	SBRF	N	5E	3E
滲透深度(mm)	4.20	0.00	0.00	0.00

(資料來源:本研究提供)

3. 氯離子滲透試驗

經耐候試驗之第二批氯離子滲透試體試驗數據參考表 4-14 與圖 4-24；其中試體浸泡之水槽溫度符合 JIAS A 1171 氯離子滲透試驗所規定之 20 °C。由試驗數據可發現，經過氙弧燈試驗機 91 天循環後，於試體表面噴灑硝酸銀，第一批氯離子滲透試體及第二批氯離子滲透試體試驗結果皆顯示環氧樹脂砂漿(5E)、輕質環氧樹脂砂漿(3E)等環氧樹脂系材料皆無氯離子滲透深度。

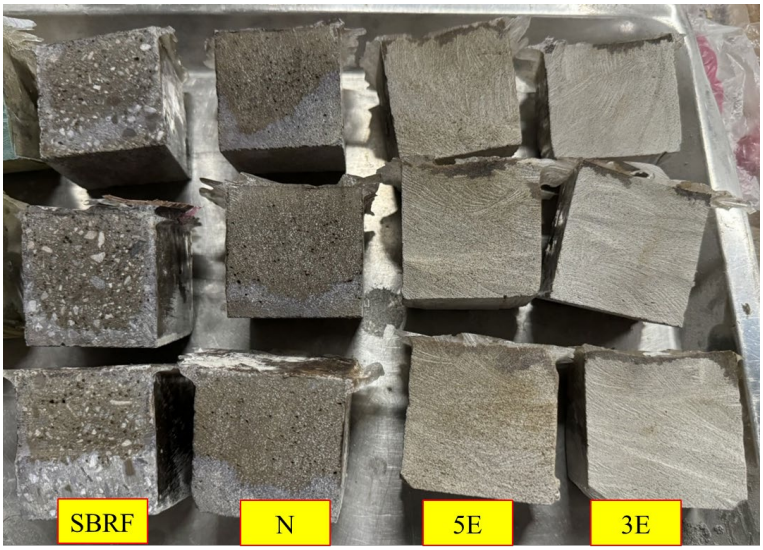


圖 4-24 經耐候試驗之第二批氯離子滲透試體照片

(資料來源:本研究提供)

表 4-14 經耐候試驗之第二批氯離子滲透試體試驗數據

配比	SBRF	N	5E	3E
滲透深度(mm)	14.00	12.30	0.00	0.00

(資料來源:本研究提供)

第五章 鋼筋混凝土造物之老劣化診斷與修復手冊

國內目前正積極推動工程之永續設計或減碳設計，以期達到「台灣 2050 淨零排放」之要求。除在設計端和材料選用外，針對鋼筋混凝土(Reinforced concrete; RC)建築物而言，延長其生命週期或使用年限，以提升其"耐久性"來符合長壽命建築為目標，便是朝著永續工程之方向前進。內政部建築研究所自民國 100 年起從事鋼筋混凝土造建築物老劣化調查等相關研究，亦於 111 年度完成鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷手冊。

除了建築物調查與診斷外，鋼筋混凝土結構應透過必要之維護作業和修復策略，使其建築物在使用年限期間內皆能保持所需之性能，並在適當地修復策略下具有足夠的安全性。建築物之整體維護作業應包含建築物之調查與診斷和適當地修修復策略，並依建築物老劣化程度和原因給予正確地預防、補修或其他特殊處理(如果有需要)。故本手冊之目的便是當建築物經調查與診斷後，被判定該建築物需進行維護，一旦確認其老劣化之原因及狀況後，便可參考本手冊來制定補修對策，且在研擬修復策略時，本手冊能用來提供研擬修復策略、選定合適之補修工法、施作時之補修程序及注意事項、配合使用之補修材料以及材料應有之品質基準。本計畫將完善鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊，以提供技師進行補修工程規劃設計時參考，以及讓現場人員在施工時能有所依據，使得補修工程能確實修復構件之性能及延長耐久性。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊共規劃有六個章節，包含第一章 總則、第二章 鋼筋混凝土劣損構件之修復策略研擬及工法選定、第三章 構件補修工法與適用範圍、第四章構件修復工法種類與適用範圍、第五章 構件補修材料之性能要求與試驗及第六章 施工圖說及注意事項，該手冊之架構如圖 5-1 所示。本計畫執行期間經 3 場專家座談及 2 場手冊審查會議後，各章節之簡介如下：

第一章 總則

總則包含目的、適用範圍及相關用語定義，主要是說明手冊建立之目的以及適用範圍，並對手冊內出現的專有名詞進行解釋。

第二章 鋼筋混凝土劣損構件復原策略研擬及補修工法選定

第二章之內容主要說明鋼筋混凝土造建築物被經診斷判定為須進行維護時,該如何根據調查結果來進行復原策略之研擬和選擇適合地補修工法。老劣化診斷是針對鋼筋混凝土造建築物於自然狀態下，或因施工不良，或因本身材料不良而引發之自然老劣化現象(不包含因外力或地震力造成之構件損壞)，必要之診斷程序包括建築物概要調查和初步診斷，而詳細診斷則須根據初步診斷來判別其必要性。

第二章可大致分為兩部分，第一部分為簡略地介紹老劣化診斷方法，目的為說明鋼筋混凝土造建築物之老劣化診斷與調查包含哪些項目、各階段能獲取哪些資訊得以延用至復原策略之研擬及補修工法選定。第二部分重點為介紹在研擬復原策略時應考量之條件及選定補修工法之流程。

鋼筋混凝土造建築物老劣化診斷與調查包括建築物概要調查、初步診斷及詳細診斷，經過一系列調查流程後可獲得該建築物目前之狀態，如各構件之劣化度、劣化因子強度、單一樓層之老化評定等級、整棟建築物之老劣化評定等級等。而這些資訊將可提供技師及建築師用來研擬復原策略及補修工法選定。現場施工人員進行補修施作時，為了能確實地對症下藥來復原各構件之性能與延長耐久性，故選擇合適地補修工法為重中之重。補修工法之選定，將先依據構件之劣化度，經老劣化診斷後，構件之劣化度可分為健全、輕度、中度、重度、嚴重損壞五個等級(圖 5-2)，其中被判定為黃色(中度)則判定該建築物之耐久性存有疑慮，被判定為紅色(重度及嚴重損壞)則為確有疑慮，且判定為黃色及紅色皆建議進入詳細診斷以獲得更詳盡之資訊，如造成裂損之原因、劣化因子強度、劣化範圍等。之後，根據劣化因子強度可選定用哪些補修工法組合使用(詳見圖 5-3)，以及由詳細診斷結果還確認劣化範圍並決定應進行補修施工之面積。

第三章 構件補修工法種類與適用範圍

根據建築物老劣化調查後，經診斷判定該建築物構件需進行補修，則可根據構件之劣化程度及老劣化詳細診斷結果，以選擇合適地補修工法進行施作(詳見) 。手冊第三章提供之補修工法包括表面處理法、表面披覆法、表面含浸法、裂縫灌注法、裂縫補修法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法，但如構件因施工或介面問題，亦或在補修後會有滲漏水之疑慮時，

請參考手冊附錄提供之防水工法並配合施作。各補修工法可視情況單一或組合使用在構件劣化度未達重度之構件，如構件劣化度達重度以上，則除第三章提供之補修工法外,還須與第四章之構件修復工法配合使用。

第三章共提供 7 種不同之補修法，包含表面處理法、表面披覆法、表面含浸法、裂縫灌注法、裂縫補修法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法，各補修工法之適用條件簡要說明如下。

1. 表面處理法(第 3.2 節)：如僅混凝土表面出現輕微劣化(如微裂縫或表面粉化)，且當劣化因子強度小，可使用表面處理法。

2. 表面披覆法(第 3.3 節)：當劣化因子強度中以上，須使用表面披覆法來阻隔劣化因子侵入。

3. 表面含浸法(第 3.4 節)： 當劣化因子強度為大，此時劣化因子很可能已存在於混凝土內，除了去除劣化之混凝土外，可使用表面含浸法來改善未打除之混凝土品質。

4. 裂縫灌注法(第 3.5 節):當混凝土出現裂縫,如裂縫寬度為約 0.3 mm 以下，則可使用裂縫灌注法。

5. 裂縫補修法(第 3.6 節)：如裂縫寬度為約 0.3 mm 以上，則使用裂縫補修法。

6. 斷面補修法(第 3.7 節)：一旦混凝土內部由於劣化因子而出現部分開裂或剝落現象，可使用斷面補修法去除補修區域內之混凝土劣化因子。

7. 鋼筋腐蝕補修法(第 3.8 節)：如內部鋼筋已出現銹蝕情形，則必須利用鋼筋腐蝕補修法，以去除鋼筋銹蝕部分並塗上防銹材料，可搭配斷面補修法或表面含浸法(視情況使用)以抑制鋼筋持續腐蝕。

第四章 構件修復工法種類與適用範圍

在考慮劣化構件補修時，是僅採用補修工法，或補修工法與修復工法配合使用，最重要考量係根據老劣化診斷與調查結果，若構件之劣化度為重度以上，則在施作構件補修工法後，應再搭配構件修復工法，讓構件

恢復其原有力學性能，以確保其安全性和使用性。本手冊針對劣化構件之修復分為**劣化梁構件修復、劣化柱構件修復、劣化板構件修復及劣化牆構件修復等**，再根據各劣化構件適用之修復工法加以詳細介紹。構件修復工法適用之對象為劣化度重度以上之劣化構件，且構件修復工法需搭配構件補修工法(第三章)共同使用，才能有效地讓構件恢復其原有力學性能，以確保結構整體之安全性和使用性。

第五章 構件補修材料之性能要求與試驗

對於混凝土建築物之修復工作，在確實地實施調查和診斷後，對建築物制定正確地補修策略，並且選擇合乎需求之補修材料，每一項皆非常重要。在挑選補修材料時，須根據施工單位之補修標準或手冊選擇符合品質規格之商品，如施工單位之補修標準或手冊無限定補修材料之品質規格，則可參考類似之相關規定來選定補修材料。由於導致混凝土劣化原因相當複雜，所以在進行混凝土補修時，其補修之工法、步驟及材料的選擇上必須仔細評估並執行。為了避免構件在補修後再度損壞，補修工程應考慮施工方便性，及需具有耐久性、安全性、經濟性和環境適應能力，並且也要將後續維護管理納入考量。

第六章 施工圖說與注意事項

本手冊提供之施工圖說，其目的便是為了待技師及建築師在選定補修工法組合並根據詳細診斷規劃應補修之範圍後，在繪製施工圖說時能有所參考依據。施工圖說內將包含施工步驟、材料品質要求及注意事項，讓現場施工人員能根據規畫按圖施工，以確保補修工程之品質。

本手冊之目的是為了讓技師及建築師在研擬復原策略時能有所依據，選擇合適地補修工法及材料，以及方便現場施工人員在施作時能依循手冊建議之施工步驟、圖說、注意事項來確實地完成復原工程，亦可根據手冊建議之查核基準檢驗施工成果。其上述之內容及目前手冊擬定之草案，請詳見附錄所提供之鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊(草案)。

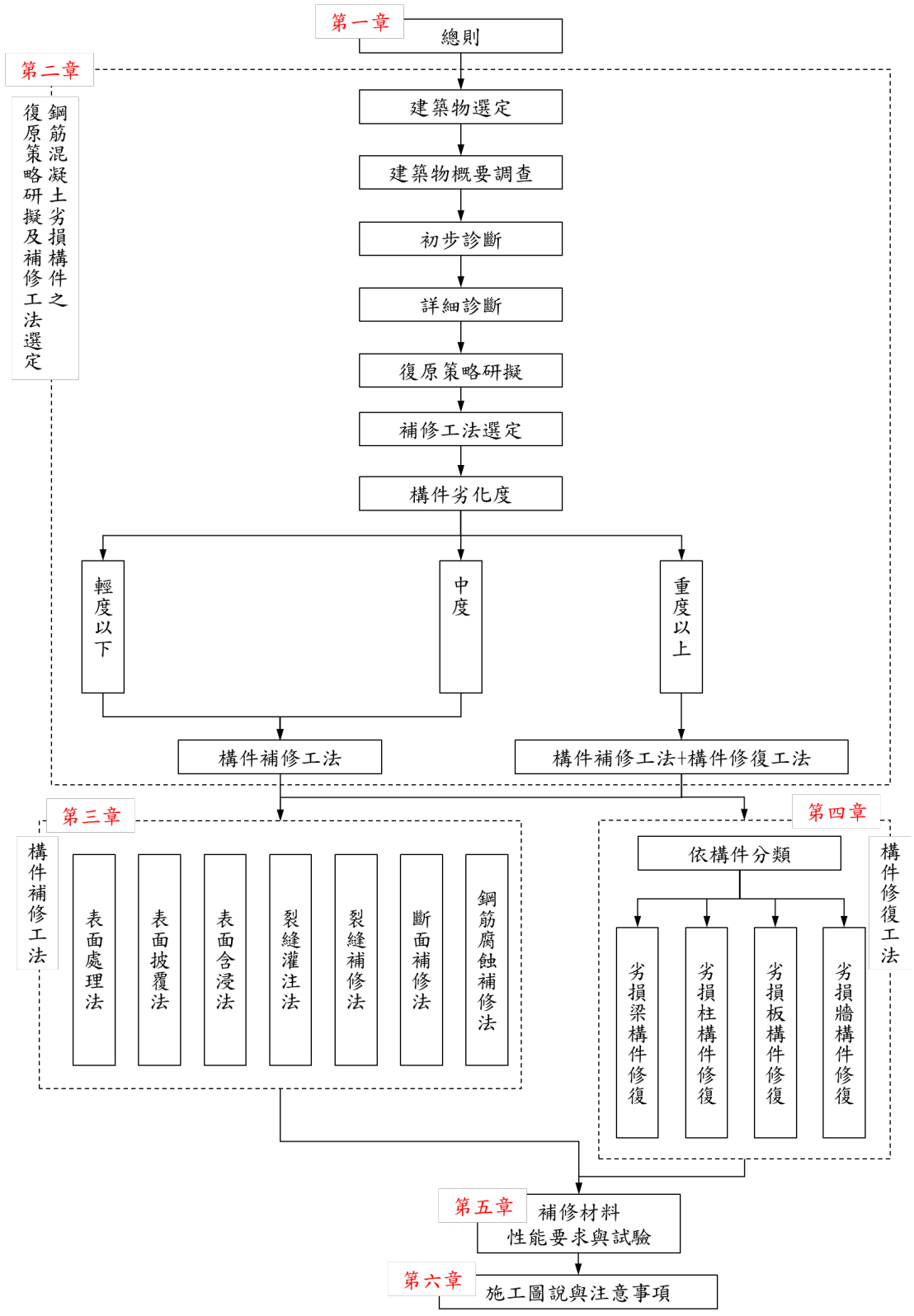


圖 5- 1 鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊(草案)之架構

(資料來源:本研究整理)

構件劣化	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
評定標準值 (詳細診斷)	1	2	3	4	5



環境影響因子	低劣化潛勢	中劣化潛勢	高劣化潛勢
評定係數 (詳細診斷)	1.0	1.1	1.2
外牆劣化與環境條件			
環境條件 外牆劣化	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	重環境劣化潛勢
健全			
輕度			
中度			
重度			
嚴重損壞			



其他使用性 相關項目	完好	普通	不良	極差

圖 5- 2 初步診斷綜合評定

(資料來源:內政部建築研究所，2019)

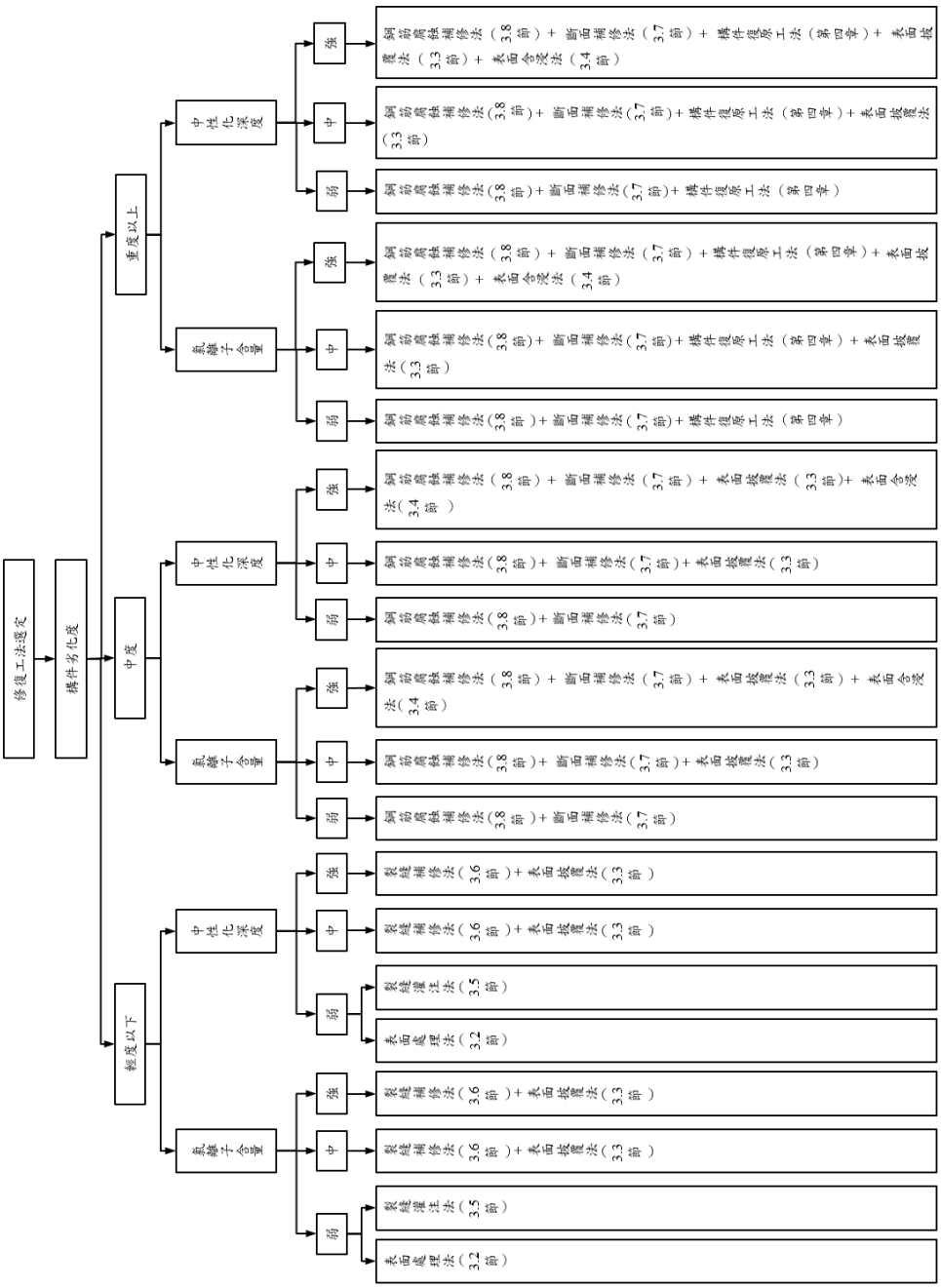


圖 5-3 構件補修工法選定流程
（資料來源:本研究整理）

第六章　結論與建議

第一節　結論

在台灣，鋼筋混凝土建築物常見的劣化狀況之一是內部鋼筋鏽蝕，這會導致混凝土裂縫或剝落，進而影響建築物的安全性。當鋼筋混凝土構件劣化到一定程度時，便需要進行補修、補強或拆除重建。補修的目的是去除建築物的劣化部分，恢復其美觀和耐久性，並確保其安全性和使用性；補強則是提高建築物的安全性和力學性能。內政部建築研究所於 112 年進行了「鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊研擬」研究計劃，進行了三項工作：修復材料性能探討、劣化梁板構件修復性能探討及施工程序記錄，採用台灣常見的補強材料（如鋼筋增補、CFRP 材料、點焊鋼絲網等）進行修復，提出合適的修復材料、工法流程及注意事項，研究結果整合過去的文獻及成果，提出鋼筋混凝土梁、板構件腐蝕劣損區域的補修工法手冊草案。然而，既有鋼筋混凝土建築物的老劣化構件不僅局限於梁、板構件，應建立更全面的修復手冊，包括柱、牆構件等。

為此，本研究建立「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」，本團隊為了完成鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊，除參考現有之文獻及資料，亦蒐集大量的施工圖說以規整技師們常用之補修工法、施工步驟及材料規格。舉辦專家座談會與審查會以完備手冊內容，與技師們面談及討論常見之補修工法在現場施工時應注意情況及常遇到之問題，亦將技師或公會所提供之施工圖說整理及重繪後於手冊內呈現。等完成手冊內容後舉辦北、中、南 3 場說明會，除推廣內政部建築研究所即將出版的「鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷技術手冊」及本研究編修的「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」，並讓技師或建築師了解如何對老劣化鋼筋混凝土建築物進行維護及延壽，同時廣泛收集建議與意見以利後續精進與推動。

本研究完成工項如下所述:

1. 建立鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
2. 完成三場專家座談會及三場手冊審查會，以修正、完善手冊內容
3. 完成試體經加速耐候之反彈錘試驗、中性化試驗及氯離子滲透試驗，以了解耐候複合性能
4. 完成舉辦北、中、南 3 場說明會，以推廣內政部建築研究所即將出版的「鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷技術手冊」及本研究編修的「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」，讓技師或建築師了解如何對老劣化鋼筋混凝土建築物進行維護及延壽

第二節　建議

建議一

「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」複審及公告:立即可行建議

主辦機關:內政部建築研究所、內政部國土管理署

協辦機關:國立臺灣科技大學、中華民國全國建築師公會、中華民國土木技師公會全國聯合會、中華民國結構工程技師公會全國聯合會

本研究為建立鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊，已完成三次專家座談會及三次手冊審查會，並已完成舉辦北、中、南3場說明會，後續可公告發行此手冊。

建議二

針對修復材料進行力學性能試驗、耐久性能試驗，並針對梁腐蝕構件進行修復補修結構試驗:中長期建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:國立臺灣科技大學

本研究針對修復材料進行第二批耐候複合試驗，以了解其中性化深度、氯離子滲透深度、抗壓強度，並與第一批耐候複合試驗結果作比較，建議可規劃力學性能試驗及耐久性能試驗，將試驗結果寫入鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊。

本研究並未進行結構試驗，後續可針對梁腐蝕構件進行修復補修結構試驗，了解梁腐蝕構件在修復材料選用、修復方式之注意事項，旨在模擬老劣化的梁構件經過補修恢復到原始強度，使用往復載重試驗驗證修復情形，並寫入鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊。

參考書目

American Concrete Institute，(2006)，ACI 546.3R-06 Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete.

American Concrete Institute，(2007)，ACI 503.7-07. Specification for Crack Repair by Epoxy Injection.

American Concrete Institute，(2013)，ACI 506.2-13. Specification for Shotcrete.

American Concrete Institute，(2014)，ACI 546R-14. Guide to Concrete Repair.

American Concrete Institute，(2019)，ACI 318-19. Building code requirements for structural concrete.

American Society for Testing and Materials，(2014)，Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete(ASTM C878 / C878M).

American Society for Testing and Materials，(2016)，Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance(ASTM C403 / C403M).

American Society for Testing and Materials，(2016)，Standard Test Method for Change in Height at Early Ages of Cylindrical Specimens of Cementitious Mixtures(ASTM C827 / C827M).

American Society for Testing and Materials，(2018)，ASTM C596. Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement(ASTM C596).

American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) (ASTM C109 / C109M).

American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear(ASTM

C882 / C882M).

American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Bleeding of Concrete (ASTM C232 / C232M).

American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete(ASTM C143 / C143M).

American Society for Testing and Materials，(2020)，tandard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method) (ASTM C1583/C1583M).

Deifalla, A., & Ghobarah, A. (2010). Strengthening RC T-Beams Subjected to Combined Torsion and Shear Using FRP Fabrics: Experimental Study. Journal of Composites for Construction, 14(3), 301-311.

Hwang, S.-J., Tu, Y.-S., Yeh, Y.-H., & Chiou, T.-C. (2004). Reinforced concrete partition walls retrofitted with carbon fiber reinforced polymer. ANCER annual meeting: networking of young earthquake engineering researchers and professionals,

International Organization for Standardization，(2014)，Maintenance and repair of concrete structures(ISO 16311).

Kanakubo, T., Aridome, Y., Furuta, T., & Matsui, M. (1998). Ductility of T-shape RC beames strengthened by CFRP sheet. Transactions of the Japan Concrete Institute, 20, 117-124.

Tanarslan, H. M., & Altin, S. . (2010). Behavior of RC T-section beams strengthened with CFRP strips, subjected to cyclic load. . Materials and structures, 43, 529-542.

Yu-Chuan Kao, Chien-Kuo Chiu, Takao Ueda, Yu-Jou Juan，(2018)，Experimental Investigation on Mechanical Properties of SBR-Modified Mortar with Fly Ash for Patch Repair Material. Journal of Advanced Concrete Technology. No.16(8)

pp.382-385.

中國土木水利工程學會，(2005)，既有混凝土結構物維修及補強技術手冊。

中國土木水利工程學會，(2007)，混凝土工程施工規範與解說。

中國土木水利工程學會，(2021)，混凝土工程設計規範與解說。

中華民國國家標準，(1992)，環氧樹脂及硬化劑黏度測定法(CNS 13065)。

中華民國國家標準，(1993)，水硬性水泥墁料抗壓強度檢驗法(用 50 mm 或 2 in. 之立方體試體) (CNS 1010)。

中華民國國家標準，(2009)，水硬性水泥墁料抗拉強度檢驗法(CNS 1011)。

中華民國國家標準，(2011)，建築灌注補修用環氧樹脂(CNS 10141)。

中華民國國家標準，(2014)，新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法(CNS 13465)。

中華民國結構工程技師公會全國聯合會，(2008)，鋼筋混凝土結構修復補強設計參考手冊。

內政部建築研究所，(2000)，鋼筋混凝土建築物之修復與補強技術彙編(二)。

內政部營建署，(2011)，結構混凝土施工規範。

日本コンクリート工学協会，(2016)，コンクリート診断技術 ’16，日本。

日本土木學會，(2005)，コンクリートライブラリー119 号 表面保護工法 設計施工指針(案)，日本：日本混凝土委員會。

日本土木學會，(2007)，コンクリート標準示方書[維持管理編]，日本。

日本土木學會，(2013)，コンクリート標準示方書[維持管理編]，日本。

日本土木學會，(2018)，セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針，日本：丸善出版。

日本土木學會，(2018)，複合構造シリーズ 09 FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案），日本：丸善出版。

日本水泥協會，(2011)，すぐに役立つセメント系補修・補強材料の基礎知識，日本：技報堂出版。

日本建設顧問協會，(2016)，材料・工法の選定に関する参考資料(案)。

日本建築研究所，(2002)，既存マンション躯体の劣化度調査・診断技術マニュアル，日本。

日本建築學会(AIJ)，(1997)，鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説，日本：丸善株式會社。

日本建築學會，(1997)，鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説。日本。

日本混凝土維護協會，(2017)，コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASR 補修の考え方～技術資料 Ver. 4.2，日本。

日本產業標準 JIS A 1171，ポリマーセメントモルタルの試験方法，日本。

日本纖維補修補強協會，(2013)，断面修復工法の紹介，その２，日本。

片平博，渡辺博志，(2014)，付着面の表面粗さが断面修復材の付着強度に与える影響，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム，第 14 巻，pp. 265-270，日本。

加藤誠司，(2018)，コンクリート断面修復部の変形，強度特性，日本。

內政部營建署，(2011)，結構混凝土施工規範。

何明錦、歐昱辰、邱建國、蔡煒銘、陳君弢、范鴻達，(2011)，鋼筋腐蝕對於鋼筋混凝土建築構件耐震性能與生命週期之影響 - 含腐蝕橫向鋼筋的梁構件，內政部建築研究所。

李有豐，(1998)，混凝土結構物劣化機制與維修補強要領。結構物補研討會論文集，工業技術研究院，中華民國新竹市。

邱建國、陳君弢、林昭妤、姚廷穎，(2019)，鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬，內政部建築研究所。

大匠工程顧問有限公司，(2015)，103 年度校舍結構鋼筋外露景及補強工程(第一次變更設計)細部設計圖。

趙永悌結構技師事務所，(2023)，碳纖維網_RC 樑包覆詳圖。

鵬程工程顧問有限公司，(2020)，中華郵政公司淡水崁頂二路郵政大樓地下室結

構修復及防水工程。

點構土木結構技師事務所，(2024)，信義國中信義科學樓樓版補強說明。

宮川豊章，(2011)，コンクリート補修・補強ハンドブック，日本：朝倉書店。

高玉荃、邱建國，(2019)，含飛灰之 SBR 水泥砂漿補修材料性能之試驗研究，博士論文，國立臺灣科技大學。

陳儷文、邱建國，(2021)，鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕補修工法研究，碩士論文，國立臺灣科技大學。

國立研究開發法人土木研究所，(2016)，コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル，日本。

國家地震工程研究中心，(2016)，鋼筋混凝土建築物補強及修復參考圖說及解說研討會 - 耐久性修復及防水工程。

陳建忠、宋裕祺、蔡益超、陳長佑、李台光、謝宗典、邱毅宗、顏志良，(2016)，鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估平台開發與應用，內政部建築研究所。

農林水省，(2015)，農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル[開水路補修編]（案）。

鄭元良、邱建國、陳君弢、周楷峻、陳美儒、陳重利，(2013)，鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬，內政部建築研究所。

邱建國、陳君弢、陳儷文、許譽騰，(2020)，鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕斷面補修工法研擬，內政部建築研究所。

邱耀正、王繼慶、周原仲、蕭輔沛，(2007)，以 CFRP 條狀貼片強化/補強鋼筋混凝土含牆構架之研究。

蔡綽芳、邱建國、高玉荃、周楷峻、李台光、黃國倫、趙紀棠、莊昱昇、謝龍成，(2023)，鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊研擬，內政部建築研究所。

莊昱昇、邱建國，(2023)，鋼筋混凝土腐蝕梁構件修復補強工法研擬，碩士論文，國立臺灣科技大學。

附錄一　第一次專家座談會議記錄

本研究已舉行第一次專家座談會議，會議記錄及簽到表請詳見附表一- 1 及附圖一- 1，主要針對手冊第四章內容進行討論。

附表一- 1 第一次專家座談會會議紀錄

內政部建築研究所協同研究案 專家座談會		
計畫名稱	鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊	
會議主持人	邱教授建國	
會議時間	113 年 4 月 17 日(星期三) 上午 10 時 00 分	
專家	專家意見	回覆
徐茂卿委員	1. 梁、柱、板、牆構件設計例參考。	感謝委員之建議。 本手冊對於梁、柱、板、牆構件之補強設計將會於手冊內提供可參考之方法或文獻以供技師使用。
	2. 耐久性補完後，剩餘使用年限。	感謝委員之提問。
	3. 氯離子過高時，含水分過高時，建議板打除新作補強。	感謝委員之意見。
婁光銘委員	1. 含高氯離子建築物，鋼筋鏽蝕問題難以作局部修繕。	感謝委員之意見。 由於鋼筋鏽蝕嚴重之高氯離子建築物該如何進行修復，本手冊會提出建議之補強工法。
	2. 應考慮保固年限及責任歸屬問題，建議以有規範依據及實體驗證之工法為主。	感謝委員之建議。 由於既有之建築物或構件其使用狀況及修復方法皆不相同，故目前本手冊尚未能提出明確之保固年限，但本團隊仍會收集相關資料。
楊金龍委員	1. CFRP 包覆長度，圖說為 20 cm，板、梁的包覆長度是否不同。	感謝委員之提問。 CFRP 之貼附延伸長度，20 cm 為一般之保守貼附延伸長度，如有長度之變更，需進行補修設計計算。

	2. 界面的清潔方式，是否說明是水洗，或高壓空氣機等試。	謝謝委員之建議。 關於表面清潔，由於清潔方式須考量使用之補修/補強材料，故本手冊會提出根據不同之補修/補強材料可配合何種表面清潔方法或機具已供技師參考。
	3. CFRP修復,是否一定要在端點做成R角。	謝謝委員之提問。 本團隊會蒐集更多 CFRP 補強方式並羅列於手冊內，技師可參考手冊選擇合適之施工方法及錨定方式。
陳宗斌委員	1. 建議建立構件示範例、單價、標準圖為參考方向。	感謝委員之建議。 本團隊未來會收集相關資料於手冊內以供技師參考。
	2. 屋頂板耐久性修復可能有漏水問題,應考量環境、建築物體質。	謝謝委員之意見。 本手冊在編寫時會特別提醒對於屋頂板之修復時，應注意那些狀況。
蘇模原委員	1. 工程費用及勞務費用計算標準建議增列。	感謝委員之建議。 本團隊未來會收集相關資料於手冊內以供技師參考。
	2. 梁之負彎矩補強,將CFRP延伸，或許可思考。	謝謝委員之意見。 本團隊會思考用 CFRP 延伸以進行梁之負彎矩補強該如何設計並蒐集是否有相關文獻。
黃志坤委員	1. 建議限制混凝土強度過低時應不適用EPOXY膠結,或應增加化錨,增加CFRP和混凝土黏結性。	謝謝委員之提點。
	2. 梁CFRP補強其倒L的錨定之必要性，另側邊錨定是否效果即可取代倒L錨定。	謝謝委員之提問。 本團隊會蒐集更多 CFRP 補強方式於手冊內，技師可參考手冊內提供之方法來進行補強施作。
	3. 樓板 CFRP 採用全面貼附時,應規定要留有間隔,避免水留在樓板內，造成鋼筋持續鏽蝕。	謝謝委員之提點。

吳嘉偉委員	1. 碳纖維補強 A.有防火時效的問題，是否需要補充這方面的探討包括防火批覆等的可行性。 B.碳纖維若是用在屋頂版有漏水的問題，建議天花板採用條狀交錯貼法中間空隙可用來排水。	謝謝委員之提點。
	2. 鋼板補強，因本案為耐久性的問題，鋼板之後的維護方式與經費也需要提出建議。	謝謝委員之提點。 關於鋼板補強後之維護，本手冊會盡量提供維護之方法；關於鋼板補強之施工或維護經費，本團隊會根據蒐集到之資料提出建議。
	3. 樓板底部常因保護層不足造成劣化，可以增加採用點銲鋼絲網植筋後以樹脂砂漿補足保護層厚度的方式，經費較省。	謝謝委員之建議。
謝國勳委員	1. 建議修復材料 EPOXY 規格之訂定。	謝謝委員之建議。 除 CNS 對 EPOXY 有規格外，本手冊第五章為「構件修復材料之性能要求與試驗」，該章節將會提出用作補修/補強之 EPOXY 或 EPOXY 砂漿應必須符合哪些性能。
	2. 碳纖維補強梁板交界處之 R 角施作與角鋼規格無法匹配，建議以鋼板圓弧處理。	謝謝委員之建議。

附圖一-1 第一次專家座談會簽到

專家座談會簽到簿			
內政部建築研究所 113 年度「建築工程技術及資訊跨領域整合計畫協同研究計畫」遴用協同研究人員第 1 案「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」專家座談會簽到簿			
時間: 113 年 04 月 17 日(星期三)上午 10 點 00 分			
地點:台北市信義區東興路 37 號 7 樓(台北市結構工程技師公會)			
主持人:邱教授建國			
出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
徐茂卿	徐茂卿		
婁光銘	婁光銘		
楊金龍	楊金龍		
陳宗斌	陳宗斌		
蘇模原	蘇模原		
黃志坤	黃志坤		
吳嘉偉	吳嘉偉		
謝國勳	謝國勳		
黃國倫			
周楷峻	周楷峻		
邱建國	邱建國		
高玉荃	高玉荃		
	趙紹棠		
	梁芷菱		

附錄二 第一次手冊審查會議記錄

本研究舉行之第一次手冊審查會議，會議記錄及簽到表請詳見附表二-1及附圖二-1，主要針對修復材料之材料試驗、後續板構件之結構試驗、試體補修步驟以及手冊內容進行討論。

附表二-1 第一次手冊審查會會議紀錄

內政部建築研究所協同研究案 手冊審查會		
計畫名稱	鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊	
會議主持人	邱教授建國	
會議時間	113年5月7日(星期二) 上午10時00分	
專家	專家意見	回覆
廖文義教授	1. 本手冊內容豐富，對國內工程師進行RC建物之劣化評估與修復有相當程度之幫助。	感謝委員肯定。
	2. 對於"補強"之定義可再考量，補強應為恢復至初始或高於原始程度較合適。	感謝委員建議。 本手冊所提之工法皆是以"復原"為目的，無論是以提升構件之耐久性和使用性，或為維持構件之安全性和使用性並讓構件之強度能恢復至原設計強度之對策，內文將統一採用"補修工法"或"復原工法"來作為各項工法之統稱。針對劣化度較嚴重之構件，為了讓構件之性能能恢復至原設計強度，因此可使用"補強材料"(如鋼筋置換、CFRP材料、鋼板或點和鋼絲網等)來進行構件之補修。
	3. 表1-1之用語可再簡潔，如"建築物外牆"可用"外牆"。其定義可與混凝土結構設計規範結合。	感謝委員意見。 手冊之"建築物外牆"將簡化為"外牆"，其定義將同建築技術規則建築設計施工篇之定義為"建築物外圍之牆壁"。
	4. 手冊內容有包括到診斷與調查部分，手冊標題應要	感謝委員意見。 手冊欲將第二章之調查與診斷

	能適當反應。	方法進行刪減，重點將會放在如何將診斷結果連結到修復工法之選用。
	5. 第二章之內容包括有調查與診斷部分，所以標題應該適當反應。	感謝委員意見。 手冊欲將第二章之調查與診斷方法進行刪減，重點將會放在如何將診斷結果連結到修復工法之選用。
	6. 2.3 節之修復策略在表面披覆，部分宜增加復原砂漿之種類與使用時機。	感謝委員建議。
邱聰智教授	1. 補強是具有提升構件性能(強度或變形能力)的用意，若僅有回復原始構件性能，建議用"修復"。	感謝委員建議。 本手冊所提之工法皆是以"復原"為目的，無論是以提升構件之耐久性和使用性，或為維持構件之安全性和使用性並讓構件之強度能恢復至原設計強度之對策，內文將統一採用"補修工法"或"復原工法"來作為各項工法之統稱。針對劣化度較嚴重之構件，為了讓構件之性能能恢復至原設計強度，因此可使用"補強材料"(如鋼筋置換、CFRP 材料、鋼板或點和鋼絲網等)來進行構件之補修。
	2. 表 R2-2 柱、梁構件有裂縫寬度 0.3 mm/0.5 mm 之規定，而外牆是否也有裂縫寬度之評定基準?	感謝委員提問。 外牆的裂縫評定並非著重看裂縫寬度，而是必須記錄其調查範圍和發生數或面積後，計算其發生頻率，再透過評定基準來判定外牆之劣化度。外牆劣化評定過程需參考"鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷技術手冊"。
	3. 修復只針對構件，應可不涉及系統後續編列修復經費只針對局部構件處理即可，是否比較可行?	感謝委員提問。 補修或復原之修復工程，可能會針對不同構件或採用不同工法，的確是針對局部構件即可。
	4. P.21、P.34"錯誤參照"訂稿前請全面清查一遍。	感謝委員提醒。 內文裡使用的參考文獻和引用

		連結會再次進行檢查。
李翼安副教授	1. 建議將參考文獻編號部分統一，文獻部分分成參考書目、參考文獻…等，易混淆不易閱讀。	感謝委員提醒。 手冊會統一參考文獻之標示，將參考書目、參考文獻進行統整。
	2. 文章中提及的構件補強工法，補強字眼有能力提升之義，建議以復原或修復較為適合。	感謝委員建議。 本手冊所提之工法皆是以"復原"為目的，無論是以提升構件之耐久性和使用性，或為維持構件之安全性和使用性並讓構件之強度能恢復至原設計強度之對策，內文將統一採用"補修工法"或"復原工法"來作為各項工法之統稱。針對劣化度較嚴重之構件，為了讓構件之性能能恢復至原設計強度，因此可使用"補強材料"(如鋼筋置換、CFRP 材料、鋼板或點和鋼絲網等)來進行構件之補修。
	3. 原手冊為診斷與修復手冊，第二章部分強調過多的診斷方法，建議第二章以詳細診斷結果與修復策略、工法選擇的關係聯結。	感謝委員意見。 手冊欲將第二章之調查與診斷方法進行刪減，重點將會放在如何將診斷結果連結到修復工法之選用。
陳宗琄技師	1. P13.→依建築物公共安全檢查專"業"機構。	感謝委員。 漏掉的文字會加以進行補充。
	2. P19.→資格同耐震能力評估"檢查"員資格。	感謝委員。 漏掉的文字會加以進行補充。
	3. CH2.建議有一個指引流程圖。	感謝委員建議。 本手冊會再建立指引流程圖，以便技師或建築師能更清楚手冊的使用。

附圖二-1 第一次手冊審查會簽到

手冊會議簽到簿			
「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」會議簽到簿			
時間: 113 年 05 月 07 日(星期二)上午 10 點 00 分			
地點:台北市大安區基隆路四段 43 號營建系退休教師辦公室(E2-218旁)			
主持人:邱教授建國			
出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
廖文義	廖文義		
邱聰智	邱聰智		
李翼安	李翼安		
陳宗斌	陳宗斌		
蔡綽芳	蔡綽芳		
黃國倫	黃國倫		
周楷峻	周楷峻		
邱建國	邱建國		
高玉荃	高玉荃		
趙紀棠	趙紀棠		

附錄三　第二次專家座談會議紀錄

本研究舉行第二次專家座談會議，會議記錄及簽到表請詳見附表三- 1 及附圖三- 2，主要針對手冊第四章內容進行討論。

附表三- 1 第二次專家座談會議紀錄

內政部建築研究所協同研究案 專家座談會		
計畫名稱	鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊	
會議主持人	邱教授建國	
會議時間	113 年 7 月 12 日(星期五) 上午 10 時 00 分	
專家	專家意見	回覆
蘇模原委員	1. 梁正彎矩鋼筋補強建議考慮增加可焊接工法。	感謝委員之建議。
	2. 碳纖維補強建議考慮防火。	感謝委員之提點。
	3. 延壽的部份建議提供資料，以利向業主說明。	感謝委員之提問。 由於既有之建築物或構件其使用狀況及使用年限皆不相同，目前本手冊尚未能提出明確之延長年限，但會盡量蒐集相關資料。
周宏勳委員	1. 劣化診斷後，材料對應之修正參數是否可一併建議。	感謝委員之提問。 本手冊適用之標的為當前通過耐震能力診斷之建築物，且補修之目的為延長耐久性及使用性或為使構件之性能恢復至原設計強度。但在老劣化調查與診斷手冊的第四章內有提出經診斷後考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力診斷方法，其中就有提到劣化度對構件強度之折減係數。
	2. 補鋼筋入梁內，採用彎鉤增加錨定強度的適用範圍，可否加入說明。	感謝委員之提問。 腐蝕梁採用鋼筋置換進行構件修復時，彎鉤鋼筋之伸展長度需符合「建築物混凝土結構設

		計規範(112 年版)」第 25.4 節之規定。
陳建志委員	1. 建議針對垂直向可能造成滲水劣化提出必要之建議（伸縮縫亦同）。	感謝委員之建議。 關於構件之防水補修工法，本手冊將會在第三章進行說明
	2. CFRP 梁端之錨定建議針對化栓錨定板提出建議。	感謝委員之建議。 如使用化學錨栓進行 CFRP 端部錨定之施工步驟及注意事項，本手冊將會在對應之補修工法章節進行說明。
陳柏伸委員	1. 建議針對垂直向可能造成滲水劣化提出必要之建議（伸縮縫亦同）。	感謝委員之建議。 關於構件之防水補修工法，本手冊將會在第三章進行說明
	2. CFRP 梁端之錨定建議針對化栓錨定板提出建議。	感謝委員之建議。 如使用化學錨栓進行 CFRP 端部錨定之施工步驟及注意事項，本手冊將會在對應之補修工法章節進行說明。
	3. 建議針對垂直向可能造成滲水劣化提出必要之建議（伸縮縫亦同）。	感謝委員之建議。 關於構件之防水補修工法，本手冊將會在第三章進行說明
	4. CFRP 梁端之錨定建議針對化栓錨定板提出建議。	感謝委員之建議。 如使用化學錨栓進行 CFRP 端部錨定之施工步驟及注意事項，本手冊將會在對應之補修工法章節進行說明。
郭盛胤委員	1. 本次座談會對鋼筋腐蝕診斷復原說明內容完整、清楚。	感謝委員之肯定。
	2. 希望耐久性內容可以補充說明。	感謝委員之提問。 為延長構件耐久性之補修工法，將在本手冊第三章中呈現。年底之說明會將會有手冊第三章內容之介紹及說明。



附圖三-1 第二次專家座談會議照片

專家座談會簽到簿			
內政部建築研究所 113 年度「建築工程技術及資訊跨領域整合計畫協同研究計畫」邀用協同研究人員第 1 案「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」專家座談會簽到簿			
時間：113 年 07 月 12 日(星期五)上午 10 點 00 分			
地點：桃園市桃園區三民路三段288號4樓之一(桃園市土木技師公會)			
主持人：邱教授建國			
出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
周宏勳	周宏勳		
陳建志	陳建志		
陳柏伸	陳柏伸		
郭盛龐	郭盛龐		
蘇楷原	蘇楷原		
黃國倫			
周楷峻	周楷峻		
邱建國	邱建國		
高玉荃	高玉荃		
趙紀棠	趙紀棠		
梁芷菱	梁芷菱		

附圖三-2 第二次專家座談會議簽到表

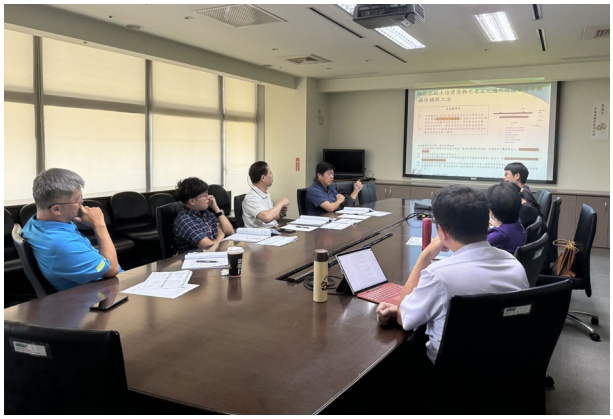
附錄四　第二次手冊審查會議記錄

本研究舉行之第二次手冊審查會議，會議記錄及簽到表請詳見附表四- 1 及附圖四- 2，主要針對手冊第三章內容進行討論。

附表四- 1 第二次手冊審查會議紀錄

內政部建築研究所協同研究案 手冊審查會		
計 畫 名 稱	鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊	
會議主持人	邱教授建國	
會 議 時 間	113 年 8 月 27 日(星期二) 上午 10 時 00 分	
專　　家	專家意見	回覆
廖文義教授	1. 本手冊內容豐富，具有工程實用價值，未來完成後可提供工程實務上之使用來使工程師有所依循及參考。	謝謝委員之肯定。
	2. 在表面處理等工法之水泥砂漿(粉刷層)塗抹，宜能解說適當的說明"柱"及"板、梁"之砂漿種類使用之不同及考量。	謝謝委員之意見。 本手冊會根據構件類型、施工方式及施工位置，經考慮補修材料之流洩狀況，給予補修材料之建議
	3. 報告書中有日文之部分宜翻譯成中文方式呈現或提供中文翻譯於後。	謝謝委員之意見。 有關日文部分將會翻譯成中文，如為參考文獻，則會於日文後再加註中文翻譯。
	4. 圖 R3-12 中之"10 cm 以上"可能為錯字。	謝謝委員指正，錯誤會進行更正。
李翼安副教授	1. 建議明確定義手冊適用範圍，如考慮混凝土材料老劣化係本手冊的主要標的。	感謝委員之意見。 關於本手冊之適用範圍，會更明確地進行說明。
	2. 表面處理法及表面披覆法的差異性，建議整理解說中的說法，放入本文中，以利區分。	感謝委員之意見。 第三章各補修工法之適用標的及差異會於第一小節的本文(3.1 前言)中進行解說。

	3. **3.4 節之標題過於細小，建議加大加粗，以免混淆本文與解說。**	**謝謝委員之建議。**



附圖四-1 第二次手冊審查會議照片

手冊會議簽到簿

「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」會議簽到簿

時間：113 年 08 月 27 日(星期二)上午 10 點 00 分

地點：新北市新店區北新路三段200號13樓討論室（一）

主持人：邱教授建國

出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
廖文義	廖文義		
邱聰智			
李翼安	李翼安		
陳宗城	陳宗城		
蔡綽芳	蔡綽芳		
黃國倫			
周錫峰	周錫峰		
邱建國	邱建國		
高玉荃	高玉荃		
趙紀棠	趙紀棠		
梁芷菱	梁芷菱		

附圖四-2 第二次手冊審查會議簽到表

附錄五　第三次專家座談會議記錄

本研究舉行第三次專家座談會議，會議記錄及簽到表請詳見附表五- 1 及附圖五- 2，主要針對手冊第四章內容進行討論。

附表五- 1 第三次專家座談會議紀錄

內政部建築研究所協同研究案 手冊審查會		
計 畫 名 稱	鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊	
會議主持人	邱教授建國	
會 議 時 間	113 年 10 月 2 日(星期三) 下午 14 時 00 分	
專　　家	專家意見	回覆
許庭偉委員	1. **梁中央底部 CFRP 修復工法圖說，實際施工時因需考慮鑽孔機而無法滿足螺栓錨定距離 10 公分，施作距離為 15~20 公分，又因角鋼大小通常為 10 公分*10 公分，故建議不使用角鋼，改採將 CFRP 彎折至樓板處，以錨栓或貼附第二層 CFRP 貼布作固定。**	**感謝委員之建議。**
	2. **CFRP 貼布與混凝土間的接著劑，若黏結材效果夠好，不使用角鋼是否不對剪力強度造成影響?**	**感謝委員之提問。** **ACI 規範中，角鋼不列入強度計算，是為了用來預防端部脫離及異常脫落造成的提早失效。**
	3. **手冊是否有建議現場施作 CFRP 取樣試驗或提供相關遵循依據，非 CFRP 貼布本身的抗拉強度試驗，而是 CFRP 貼布及混凝土間的黏結強度試驗(5 公分*5 公分的混凝土塊，需有混凝土的殘塊，不能為完整的 CFRP 貼布被撕下**	**感謝委員提問。** **補修手冊目前有提出對於水泥系及環氧樹脂系補修材料的材料品質基準及相關試驗。但對於現場檢核的基準，目前尚未在手冊中給予建議，但未來會考慮加入相關內容。**

	來)。	
	4. 梁底鋼板包覆工法，非採用 U 型包覆是否很容易開掉?	感謝委員提問。 根據既有圖說及所收集到的資訊，此工法可補修梁之負彎矩，但剪力部分並無貢獻，且確實有介面開裂之風險，故目前大多採用 U 型包覆。
	5. 鋼板自重大，於現場難施作。	感謝委員之建議。 目前已知鋼板有在現場難以施作之問題,現在大多採用 CFRP 貼布為梁構件進行補修。而採用 CFRP 貼布補修較好施作，且 ACI 有提供使用 CFRP 貼布補修之明確指引。
	6. 鋼筋鏽蝕嚴重或氯離子構件是否不建議使用鋼板包覆或 CFRP 貼布修復工法?	感謝委員提問。 本手冊有提供針對氯離子或劣化因子作根本的處理及改質，若無法處理根源上的問題，則就算用鋼板或 CFRP 貼布進行補修，也無法充分發揮補修之效用，之後仍會有再劣化之疑慮。
	7. 針對構件的劣化程度(輕、中、重度)是否有判斷的依據?	感謝委員之提問。 在進行補修工法策略研擬時，除本手冊可參考外，建研所還有一本手冊有提供關於建築物老劣化診斷的方法。該診斷手冊內便有提供相關判斷依據，如表面裂縫的走向、寬度作判定。
	8. 柱圍封鋼板工法，若要進行植筋則需打除原有混凝土保護層，但保護層打除後距離鋼板大概會有 4~5 公分，使用 EPOXY 回填價格昂貴，因此在距離大	感謝委員之意見。 針對不同材料之適用情況，手冊內會有相關說明，讓技師可以根據現場施作環境及狀況來選擇合適地材料進行補修。

	於 0.5 公分的情況下，是否改採無收縮水泥砂漿回填?	
林育信委員	1. 過去的概念中,CFRP 貼布不可有穿孔或破損，避免造成撕裂，此概念與本手冊提出的用角鋼及螺栓固定不相符。	感謝委員之提問。 在 ACI 規範中，提到只能在端部、錨定處作穿孔,不可在任意延伸段作穿孔。本手冊提供之 CFRP 補修方法是根據收集到之文獻及現場技師提供的圖說來歸納出的補修方法建議。在實際施工上，並非完全不可穿孔，但有限定的位置跟端部處理(連續角鋼作壓條)的方法。
	2. 柱圍封鋼板工法通常會留 5 公分的間隔，因鋼板是用來補軸力及剪力，非參與梁柱接頭間的彎矩傳遞，在主要補剪力容量的情況下，是否不需使用植筋?	感謝委員之提問。 一般使用柱圍封鋼板補修工法是為了用來補軸力及剪力，若要增加彎矩容量可使用擴柱工法。但有些業主會不希望使用會改變斷面大小的擴柱工法來提升彎矩強度，故而只能選用圍封鋼板或圍封 CFRP 的情況下進行補修，此時便可考慮搭配小號鋼筋進行植筋。
陳冠宏委員	1. 柱圍封鋼板工法中，是否可不使用化錨來作假固定?	感謝委員之提問。 現進行柱鋼板包覆工法時，使用化錨作假固定或單純用環氧樹脂灌注的作法都有人使用。
	2. 柱圍封鋼板工法所留的 5 公分間隔，此間隔是計算出來的還是經驗值?用途是避免傳遞彎矩還是避免建築物有大變形時，鋼板把混凝土壓破?	感謝委員之提問。 圖說上標示之 5 公分為經驗值，用途最主要還是施工性上的便利問題。
	3. 板打除新作修復工法中，原有 RC 梁跟新 RC 梁間是否有連接?	感謝委員之提問。 進行板打除新作修復工法時，原有 RC 梁跟新 RC 梁間有植筋,除此之外,應還有其他工法

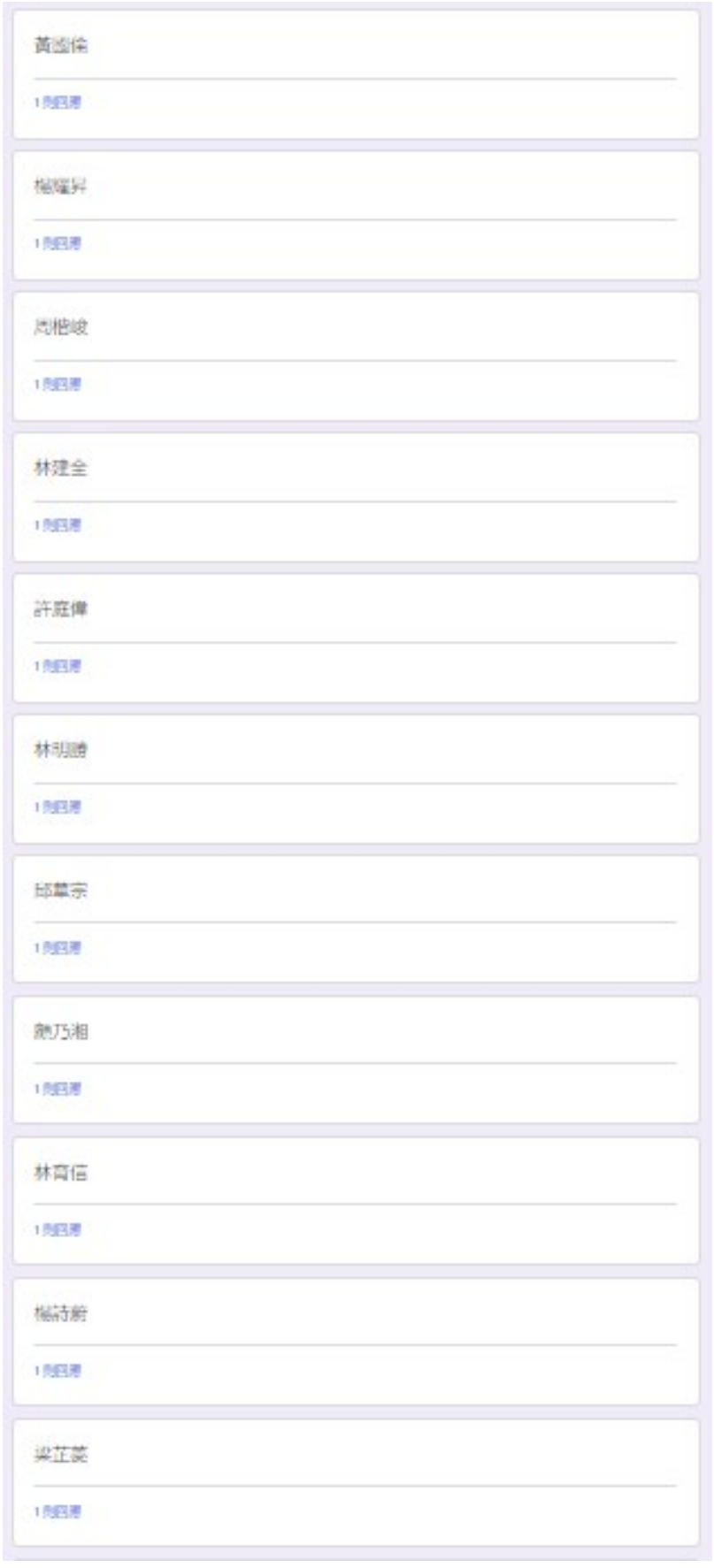
		可選用。
	4. 有關 CRFP 貼布 U 型包覆的工法，陳冠宏委員在實務上是使用“E 型”的作法，利用類似訂書針的方式將 CFRP 貼布轉折後固定於板上，並使用扁鋼而非角鋼來固定。	感謝委員之建議。 學理上，兩種作法皆可行，但因梁、板錨定的作法較費工，施工性方面想請委員們建議實務上較好施作的方法。
邱華宗委員	1. 實際施工上，柱圍封鋼板工法中鋼板與混凝土間非完全平滑面，會因表面凹凸造成縫隙，一般情況下，圖說上應標示灌環氧樹脂，若縫隙大於 3 公分則應標示灌無收縮水泥砂漿；兩者皆是由下往上加壓灌注，而化錨在加壓灌注過程中有假固定、避免變形的功效，故化錨在圖說上應保留。	感謝委員之建議。
	2. 以 TYPE-Beam-D3 為例，如果圖上已顯示出用兩根間距 40 公分的 M16 化錨於鋼板上可以讓梁下緣的變形一致的話或者傳力的行為，會讓使用者覺得說不必再去計算和檢核。	感謝委員之建議。 在手冊中，除了會列出相關參考圖說外，還會有作業程序及該注意事項等要點，以及還會在本文內加註現有的設計規範供技師們進行檢核時能參考。
	3. 對於樓板的補強，在很難用濕式施工的狀態下，會補一些鋼角梁讓梁跨度變小，這個工法當初沒有被納入的原因是什麼。	感謝委員之提問。 用鋼小梁補修時，由於容易因現場施作環境而有各種設計，故當初在歸納施工程序時，不太容易去建構一個標準的程序，因此目前沒有將此工法列在手冊內。
	4. 目前除了鋼板和碳纖維板外，在只需要做類似保護層的功能時，是否可以使用玻璃纖維來做貼布，以	感謝委員之建議。 在纖維貼布的選用上，因玻璃纖維的性質與碳纖維性質有所不同，玻璃纖維的延展性不佳，

	及當時未被納入的原因為何。	多用於防裂。所以如果真的要拿來作能力的提升，建議還是使用碳纖維。
	5. 也許玻璃纖維無法在強度上提供幫助，但在其他不需要提供強度的情況下，是否能夠也提供一些方式供技師使用玻璃纖維。	感謝委員之建議。 玻璃纖維應被歸類為防落裝置，所以依本手冊之目的，就不特別說明玻璃纖維之施工程序；但如使用者端需要進行美化或改善，亦可搭配使用。
林建全委員	1. CFRP 尾端非錨定，應更改"錨定〃一詞，避免造成理解上的誤會。	感謝委員之建議。
	2. 以使用者觀點來看，是否能增加一點設計案例的圖例，供設計者可以使用。	感謝委員之提問。 未來是希望能提供施工案例，但今年計畫目標是完成補修手冊之內容。關於施工案例，還待後續規畫及建研所的支持，目前還是得先按部就班完成本年度之進度。
楊耀昇委員	1. 針對第三章的幾個的方法，例如本來的材質氯離子很高，而現在的這些方法是否有包含犧牲陽極或外加電流。	感謝委員之提問。 關於電化學防蝕工法會提供在附錄。因電化學防蝕工法施工單價高，且能做的廠商不多，大多為重大工程才會使用，一般住宅還是傾向使用藥劑來改善混凝土或鋼筋現況。
	2. 是否在手冊內增加 UHPC。	感謝委員之提問。 使用 UHPC 用作補修材料，目前並未納入手冊中。因為對於用在劣化構件的補修，目前實際案例還是太少，無法找到強而有力的佐證。
	3. 有些柱子因表面氯離子含	感謝委員之提問。

	量過高導致開裂很嚴重，但柱子的某一面又有隔間牆，如果只包三面的情況下又不去處理內部的問題，這樣效果會不會不好。	在手冊第三章內有強調，如構件是因其混凝土內部含有劣化因子而劣化或產生裂縫，要確實地使用第三章提供之補修工法進行處理。並且，在手冊第四章內也會強調，應確實把混凝土劣化和鋼筋腐蝕問題處理完畢，才能使用第四章提供之構件修復工法來進行補修施作。



附圖五-1 第三次專家座談會議照片



附圖五- 2 第三次專家座談會議簽到表

附錄六 第三次手冊審查會議記錄

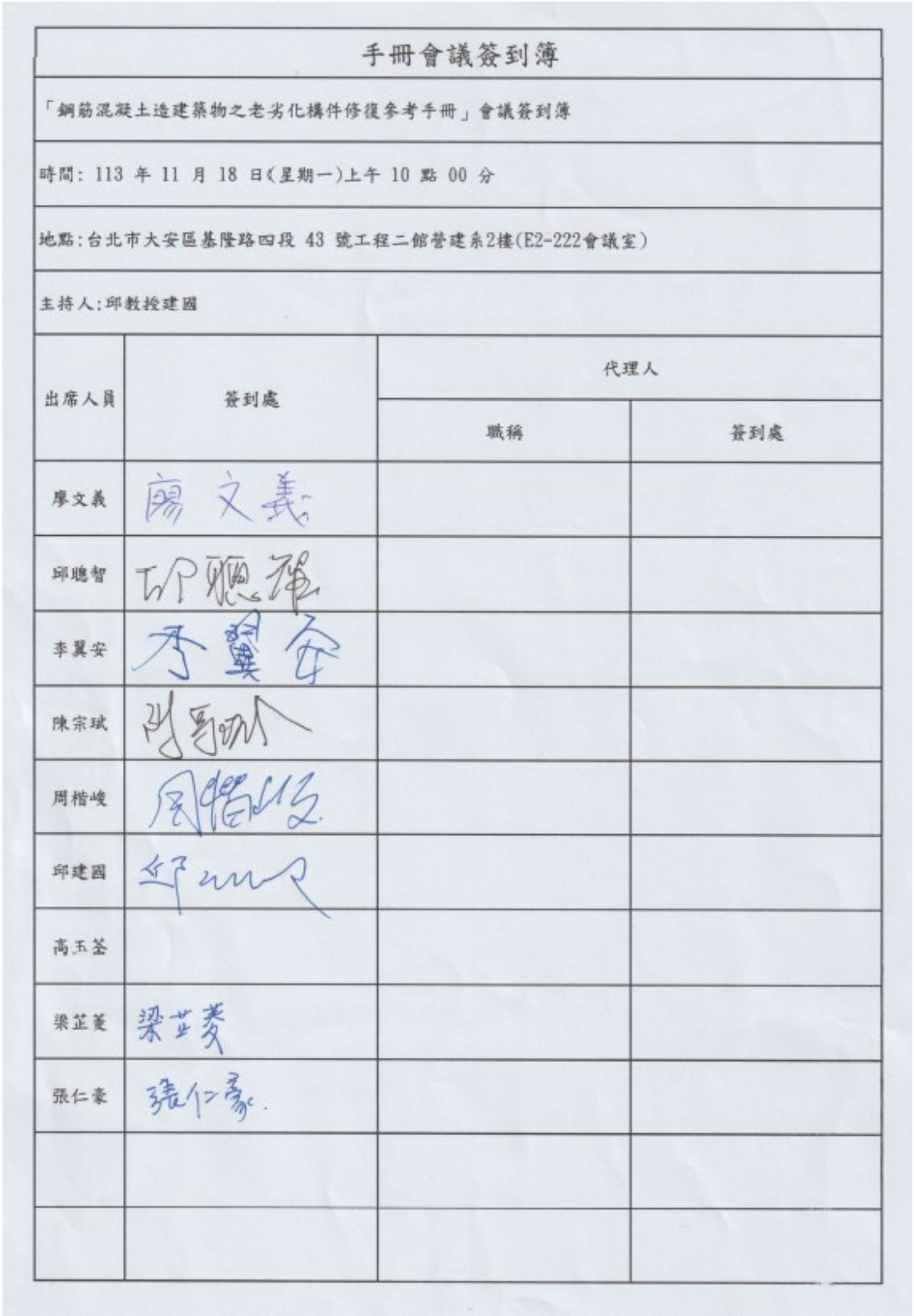
本研究舉行之第三次手冊審查會議，會議記錄及簽到表請詳見附表六- 1 及附圖六- 1，主要針對手冊第三章至第五章內容進行討論。

附表六- 1 第三次手冊審查會議紀錄

內政部建築研究所協同研究案 手冊審查會		
計 畫 名 稱	鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊	
會議主持人	邱教授建國	
會 議 時 間	113 年 11 月 18 日(星期一) 上午 10 時 00 分	
專 家	專家意見	回覆
廖文義教授	1. 施工圖說部分之內容充實，未來圖說完整後，可提供為實務技師、工程師之重要參考。	謝謝委員肯定。
	2. 表 R5- 8 中之單位有MPa及N/mm^2，建議可統一。	謝謝委員意見。 手冊內之單位會統一修正。
	3. 報告內公式之單位建議可統一。	謝謝委員意見。
	4. 新舊介面黏著劑可適當說明如何與修補材料搭配。	謝謝委員意見。 關於新舊介面黏結劑與補修材料的搭配，會於內文中再詳細說明。
	5. 後續鋼材補修或可增加鋼板表面處理方式供參考，另 FRP 之外表面處理亦同。	謝謝委員意見。 相關施工步驟會再補述。
李翼安副教授	1. 建議第六章施工圖說，文字說明部分重新打字，以免字型模糊，不易閱讀。	謝謝委員意見。 第六章之施工圖說會再調整圖片及文字之解析度。
	2. 第 8 項的剪力設計公式為英制單位(psi)，請修正為公制單位或是 SI 制單位。	謝謝委員意見。 手冊內之單位會統一修正。
	3. 第 118 及 119 頁表 R5- 3、表 R5- 4 引用文獻的表達	謝謝委員意見。

	方式不同，建議統一格式。	
	4. 建議手冊之單位表達方式統一。	謝謝委員意見。 手冊內之單位會統一修正。
	5. 建議第四章修復工法之圖面文字說明字型調整，目前較為模糊不清、不易閱讀。	謝謝委員意見。 模糊的圖示會再調整。
邱聰智教授	1. P.134，是否需求增加防火披覆，再請團隊考量。	謝謝委員意見。 防火披覆材料是屬於裝飾層材料，會在手冊內提醒技師們，須根據需要選擇可用之防火披覆。
	2. P.69，新設箍筋錨定方式，可增加貫穿樓板方式錨定的選項，並繪圖示意。	謝謝委員建議。 新設箍筋錨定方式，會再增加貫穿樓板之形式錨定並添加示意圖。
陳宗斌技師	1. P.69 頁圖說之擴梁，建議增加打開上方樓板，可施作閉合箍。	謝謝委員建議。
	2. 柱梁板包覆鋼板前，是否一定要進行斷面修補，或可以直接以鋼板當模板澆砂漿。	謝謝委員建議。 斷面補修法包含去除劣化部位和填補補修材料。所以當劣化之混凝土去除並進行鋼筋除銹(如有需要)後，的確可以使用鋼板作為模板，再行灌注補修材料，上述步驟皆屬於斷面補修之工序。
	3. CH.5 相關 JIS 試驗是否有 CNS 或 ASTM。可詢問 SGS 或相關日本東廠公司在台灣的測試結果。	謝謝委員建議。 會在第五章一開始加註，如材料品質基準無法完全根據 JIS 或 ASTM 試驗進行檢測，亦可利用相似之試驗方法以進行材料品質檢測，再提出相同之材料性能。

	4. 貼附材、塗料的取樣頻率、試驗流程、試片大小，底中、面塗之試驗程序是否需要明訂?	謝謝委員意見。 手冊僅為提供給技師們在進行補修策略及施作時能有所依據，且實際施工情形多變，無法太仔細明訂補修材料、施作頻率和施作範圍等資訊，仍須請技師們根據實際狀況來規劃補修工程。
	5. CFRP 與不同的含浸材料接合時，測試方式是否不同?	謝謝委員提問。 含浸材料主要目的為改善混凝土品質(提升混凝土強度或讓混凝土恢復鹼性)，基本上不會對貼附 CFRP 前塗抹的黏結劑造成影響，故在檢測 CFRP 貼附性時，仍需利用直拉黏結強度試驗來檢核品質即可。



手冊會議簽到簿

「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」會議簽到簿

時間：113 年 11 月 18 日(星期一)上午 10 點 00 分

地點：台北市大安區基隆路四段 43 號工程二館營建系2樓(E2-222會議室)

主持人：邱教授建國

出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
廖文義	廖文義		
邱聰智	邱聰智		
李翼安	李翼安		
陳宗斌	陳宗斌		
周楷峻	周楷峻		
邱建國	邱建國		
高玉荃			
梁芷菱	梁芷菱		
張仁豪	張仁豪		

附圖六-1 第三次手冊審查會議簽到表

附錄七　北、中、南說明會記錄

本研究為了推廣「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊」，讓技師及建築師能了解其內容及正確地使用，特研擬「鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊說明會」，以期能提供實務界做為參考。





附圖七-1 台北場說明會照片

(資料來源:本研究提供)





附圖七-2 台中場說明會照片

(資料來源:本研究提供)





附圖七-3 高雄場說明會照片

(資料來源:本研究提供)

附錄八　國外相關文獻補充

コンクリート診断技術(日本コンクリート工学協会，2016)

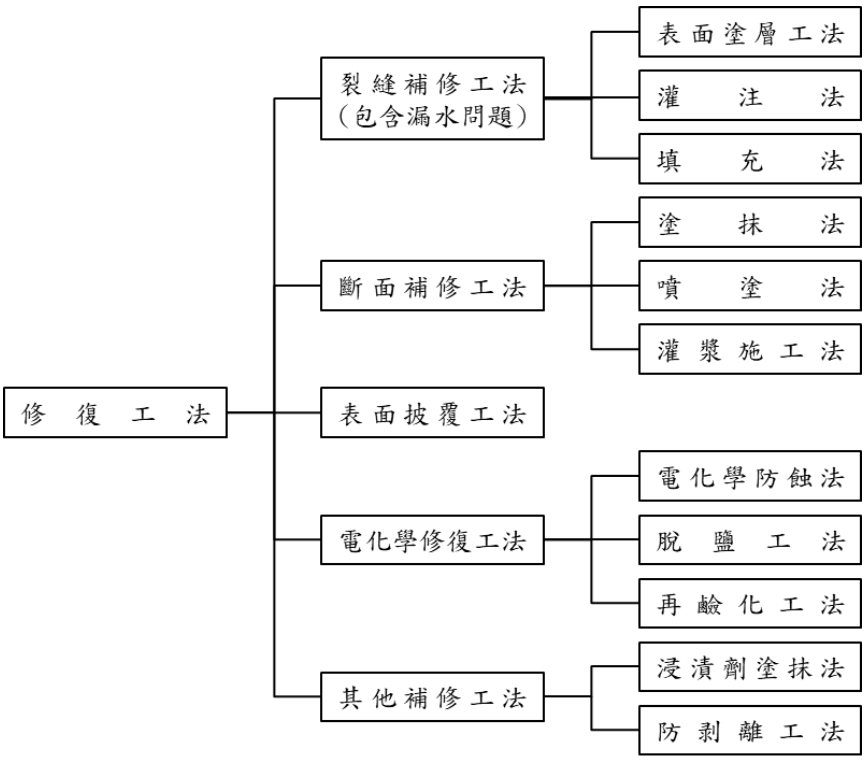
為了保持混凝土結構的性能，有必要根據混凝土的當前劣化程度並根據結構的調查和診斷結果，對將來的劣化進展進行定期的適當的維護管理。選擇修復/補強方法時，重要的是要徹底了解結構劣化的原因和劣化狀態，並建立一種能夠適當對應這些劣化機理的方法。進行修復/補強時，應根據結構的劣化狀態及對安全性緊急程度之影響來判斷和處理。如果難以消除劣化原因或劣化進展太快，則應考慮目標結構物的預期壽命和生命週期成本，設定修復/補強的目標水平。從長期的角度來看，有必要制定維修/補強的維護計劃。

修復是為了抑制即將劣化之構件或結構的劣化狀況，這是為了恢復及提高耐久性並消除或減少對第三方(受損結構物周遭的人和物)影響程度的措施。常見的混凝土修復工法附圖八- 1 所示。修復工作必須根據惡化因素和構件劣化之程度選擇適當地修復工法和材料。通常，依據結構變形之類型、劣化機制和劣化程度，施工方法可以單獨進行或結合多種施工方法進行。

在確定混凝土結構的修復/補強策略及選擇施工方法時，其檢討項目如所示。在考慮修復/補強策略及選擇施工方法時，應根據調查診斷之結果來確定修復/補強目標物的劣化的類型、程度和範圍，並且，必須正確地理解和了解發生的原因和因素。因為，即使可見的劣化狀況相同，根據發生之原因，其修復/補強方法也不同。因此，如果錯誤地識別了原因或因素，劣化則可能再次發生或擴散。

在考量了各種條件後，可參考下表來設定修復/補強後預期之性能目標等級，並選擇合適地修復/補強方法來達到目標等級。如果劣化的原因是一時的，可僅透過修復或補強其劣化之後便可無須再擔心，因此施工方法的選擇就很簡單。但是，如果難以消除或劣化情況嚴重，則在某些情況時就不可避免地需要臨時修復。此外，有必要考慮目標結構物之預期剩餘壽命和生命週期成本以及維修/補強後的

維護管理方法和頻率來設定目標水平，如附表八-2 所列。



附圖八-1 常見的混凝土修復工法

(資料來源：日本コンクリート工学協会，2016)

附表八-1 檢討項目

基本項目	
明確對象	劣化的類型、程度、原因
結構物的要求條件	機能、性能、剩餘壽命
回復目的等級	修復/補強效果的目標
材料、工法的比較檢討	
基本性能	材料物性(硬度、強度、黏結性、延伸性、耐水性、防水性、遮鹽性等)
效果和持續性 (耐久性)	修復/補強性能、材料壽命(資料、試驗、實績等)
經濟性	材料和施工成本、生命週期成本
施工性	作業性、操作安全、減少工時、維持保全性(修復性)
美觀性(設計方案)	質感、色調、花紋、隱藏性、耐汙染

(資料來源：日本コンクリート工学協会，2016)

附表八-2 目標等級區分

臨時	主要目的是確保安全，防止劣化發展和消除是次要的。
暫定	僅修復出現劣化狀況的部分而不是消除主因，因此當劣化出現在哪個位置就修復該位置。
延命	修復出現明顯劣化之部位，並抑制劣化因子對其之影響，保證至少幾年間不再出現同樣的劣化狀況。
永久	不僅修復已經出現明顯劣化之部位，並幾乎完全消除潛在的劣化因子，消除或減少外在因素。此目標等級預計具有 10 年或 10 年以上之修復效果。

(資料來源：日本コンクリート工学協会，2016)

コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASR 補修の考え方～技術資料 Ver. 4.2 (混凝土維護協會，2017)

1. 混凝土結構之定期維護

混凝土建築物之檢查、調查、診斷、修復及補強等相關維護工作，在日本被視為極其重要並獲得廣泛關注。根據早期之混凝土修復工程，對劣化修復之對策大多為「因產生裂縫而採取灌注工法修復」和「由於鋼筋裸露而使用斷面補修工法修復」，未對劣化之主因進行探討，例如「為何會產生裂縫？」和「為何鋼筋會腐蝕？」，導致修復後之構件仍會再次產生劣化。為此，日本混凝土維護協會針對混凝土之鹽害、中性化和 ASR 之劣化，進行相關研究。對於混凝土建築物所發生的各種劣化，例如裂縫、浮起、剝落等，採取詳細調查、實驗室試驗等程序來釐清劣化機理，依據其劣化原因來選擇修復方法和材料，並聲稱此該修復方法能有效地對抗劣化機理。由於大量的新材料和新工法開發，修復手冊變得十分豐富。但不幸的是，構件修復後再劣化之狀況，仍無止境。

日本混凝土維護協會提出了「定量補修工法」。舉例來說，構件受鹽害而損壞之情況下，所進行修復之目的將根據劣化過程而異，例如防止氯離子侵入、防止水和氧氣滲入、減緩鋼筋腐蝕反應速度、停止鋼筋腐蝕反應、填補因鋼筋腐蝕所減少之斷面積、恢復構件之承載性能等。首先，須清楚補修工法之性能要求，其次是調查和診斷氯離子含量，因氯離子濃度與內部鋼筋腐蝕速率有關，使用含亞硝酸根離子之塗佈材，利用浸漬工法不但可阻隔劣化因子，亦可增加抑制鋼筋腐蝕之效果。同樣地，使用斷面補修工法時，於聚合物水泥砂漿修復材料中添加所需之亞硝酸根離子量，採用內部注入工法對鋼筋進行大面積的包覆，即使在高氯離子濃度之結構和已具有明顯鋼筋腐蝕之結構，仍可定量且迅速地將亞硝酸根離子提供給鋼筋。除了選擇定量補修工法外，修復後的維持管理在時間軸上的掌握也很重要。不會再劣化的補修工法並不總是最好的選擇，還有一種修復方式，是先進行最小限度之修復，然後再通過反覆地進行修復來抑制劣化。通過綜合評估之定量地施工方法和未來維護方案，以實現延長混凝土建築物之使用年限。

2. 鹽害補修工法

當因鹽害而劣化之混凝土建築物，選擇補修工法時，應確認建築物處於哪個劣化過程，潛伏期、進展期、加速期還是劣化期？附表八- 3 列出了由於鹽害引起的建築物外觀等級(劣化過程)與劣化狀況之關係。附表八-4 顯示鹽害劣化等級與適用之補修工法的關係。

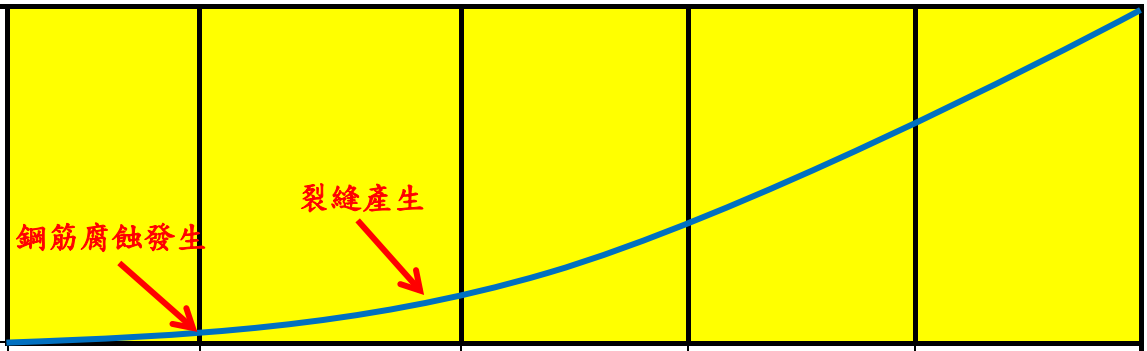
於潛伏期時，儘管觀察到氯離子滲透，但鋼筋腐蝕尚未發生，此時維護性能要求為抑制氯離子自外部滲透，適合此性能要求之方法有表面塗層工法或表面浸漬工法。鋼筋於進展期時開始腐蝕，但尚未產生裂縫等變化，這時基本仍是通過表面塗層工法或表面浸漬工法來抑制氯離子、水分和氧氣之滲透並抑制隨後之鋼筋腐蝕。如在氯離子濃度高或不允許劣化時，則可通過斷面補修工法或脫鹽工法除去氯離子以改善鋼筋腐蝕環境，亦可考慮採用電化學防蝕工法和內部注入工法進行修復。在加速期前期，鋼筋腐蝕，混凝土出現裂縫和浮起，此時僅通過遮斷或去除劣化因子是不夠的，重要的是要考慮將鋼筋腐蝕進行抑制，可採取大面積斷面補修工法除去所有含氯離子之混凝土並進行鋼筋防銹。由於加速期後期是加速期前期之發展狀態，因此可認為此時適用之方法與加速期前期相同。如果達到劣化期，則有必要通過大規模的斷面補修工法進行修復，且鋼筋斷面積因腐蝕減少，造成耐久性和乘載能力降低，須配合使用適當地補強工法。

附表八-3 受鹽害之鋼筋混凝土建築物外觀等級和劣化狀態

建築物外觀等級	劣化過程	劣化狀態
等級 I	潛伏期	外觀上無變化，氯離子濃度低於腐蝕發生之極限
等級 II	進展期	外觀上無變化，氯離子濃度超過腐蝕發生極限，開始腐蝕
等級 III-1	加速期前期	腐蝕裂縫產生，可以看見銹汁
等級 III-2	加速期後期	腐蝕裂縫長且多，隨著裂縫發展，觀察到混凝土部分剝離、剝落，且有觀察到鋼筋斷面積顯著減小
等級 IV	劣化期	觀察到由於腐蝕裂縫而導致大規模地剝離、剝落，鋼筋斷面積減少，以及大位移、變形

(資料來源：日本土木學會，2013)

附表八-4 鹽害劣化等級與適用之補修工法的關係

鹽害造成之劣化程度					
劣化過程	潛伏期	進展期	加速期前期	加速期後期	劣化期
劣化狀況	外觀無變化	外觀無變化 氯離子濃度超過腐蝕發生極限，開始腐蝕	腐蝕裂縫產生 銹汁 混凝土浮起	腐蝕裂縫長且多 混凝土剝離、剝落	大規模地剝離、剝落 鋼筋斷面積減少 位移、變形
工法選定	表面塗層工法 表面浸漬工法	表面塗層工法 表面浸漬工法 脫鹽工法 電化學防蝕工法 斷面補修工法 內部注入工法	電化學防蝕工法 斷面補修工法 內部注入工法	電化學防蝕工法 斷面補修工法 內部加壓工法	斷面補修工法+補強工法

(資料來源：日本土木學會，2013)

在評估劣化時，主要是從表面混凝土是否被擠出、腐蝕存在與否、位置、面積、是否存在點腐蝕等，以便獲取有關鋼筋腐蝕之定量數據。另外，量測混凝土中之氯離子含量，特別是量測距離混凝土表面深度之氯離子量，可使用 Fick 擴散方程式來評估將來之劣化程度。通過充分地調查和診斷結果，來確定修復之必要性並選擇符合性能要求之補修工法。鹽害補修工法性能要求以及為滿足要求之補修工法如下：

(1) 遮蔽劣化因子–降低氯離子、水、氧氣侵入混凝土。

a. 表面保護工法之表面塗層法

表面塗層法是通過將有機或無機覆蓋材料塗抹到混凝土表面，以阻止外界之劣化因子侵入。通常，會將多種類型之材料分批塗抹，如底漆、中塗層材料、面塗層材料等。有機塗料種類繁多，可根據環境條件自由地選擇柔軟性和膜厚；無機塗料主要是使用聚合物水泥砂漿基塗料。

b. 表面保護工法之表面浸漬法

表面浸漬法是通過用刷子或滾筒將矽烷或矽酸鹽等浸漬材料塗抹在混凝土表面並使其滲透，以阻止外部之劣化因子侵入。矽烷類浸漬材具有浸漬混凝土表層以形成防水層；矽酸鹽類浸漬材具有使混凝土表層緻密化和改性作用。一般來說，此法對劣化因子之阻斷效果不如表面塗層法，但表面浸漬法因不添加塗層，因此不會改變結構外觀，此有便於後續監測。

c. 裂縫灌注工法(超細水泥型材料、環氧樹脂材料等)

裂縫灌注工法是使用低壓注入器於低壓低速下，將水泥、聚合物水泥、環氧樹脂和丙烯酸樹脂等有機材注入裂縫中。裂縫灌注工法可應用於裂縫寬度 0.2 mm～30.0 mm 之混凝土表面。在簡單的裂縫修復中，如出於經濟原因，可將裂縫填充工法(U 型切槽)應用於寬度較寬之裂縫。自抑制鋼筋腐蝕之觀點來看，裂縫灌注工法比裂縫填充工法具有更有效之抑制效果，因此需要視情況來選擇。

使用有機灌注材料時，必須在乾燥狀態施作，如裂縫內部是濕的，則可能會阻礙灌注材料的固化且不能獲得足夠之附著能力。反之，使用水泥基灌注材料時，必須在施工前對裂縫內部進行預濕潤(澆水)，以增加流動性和填充性。

(2) 除去劣化因子–除去侵入既有混凝土內之氯離子。

a. 斷面補修工法(局部斷面補修工法、大面積斷面補修工法等)

如果混凝土中之氯離子含量超過腐蝕發生極限並已經開始發生腐蝕，則應清除含有氯離子之混凝土，之後再用斷面修復材料進行斷面修復。一般而言，斷面補修工法是用於修復混凝土脆弱部位(浮起、剝落、鋼筋裸露、斷面缺陷之部位)，目的在去除混凝土內部氯離子。由於斷面修復材與基礎混凝土需具有黏合性和完整性，因此聚合物水泥砂漿常被使用於斷面補修工法。

(a) 局部斷面補修工法

局部斷面補修工法其施工範圍相對較小，因此主要使用塗抹法。由於氯離子從刮除之混凝土中被去除，因此可以表示為劣化因子已被部分去除，但由於修復範圍之外的氯離子仍存於混凝土內，因此預計未來仍會發生新的鋼筋腐蝕。此外，經修復部位和未修復部位間之介面可能會發生巨觀腐蝕(Macro corrosion)，須謹慎注意。

(b) 大面積斷面補修工法

為去除鋼筋周圍所有的氯離子，大面積斷面補修工法是除去區域範圍內所有的混凝土，以滿足除去劣化因子之要求，之後再用斷面修復材料回填。不管混凝土表面是否有浮起或剝落，大面積斷面補修工法皆適用。大面積斷面修復工法根據目標位置、施工方向、施工規模等，可使用塗抹法、噴塗法和灌漿施工法等。

b. 脫鹽工法

脫鹽工法係將陽極材料和電解質溶液放置於混凝土表面上，並將直流電流從陽極傳遞到混凝土中的鋼筋(陰極)，將混凝土中之氯離子帶到陽極，此為減少混凝土內氯離子之方法。通過此工法可減少鋼筋位置的氯離子量，改善鋼筋腐蝕環境。脫鹽工法之電流通常約為 1 A/m^2，通電約 8 週。當混凝土表面健全之情況下，此法可使氯離子自混凝土內去除，如對於鹽害劣化嚴重之狀況，則須配合表面保護工法等對策，來防止脫鹽後氯離子再次侵入。

(3) 抑制鋼筋腐蝕–抑制已經開始腐蝕的鋼筋其腐蝕進展。

a. 電化學防蝕工法(外部電源法、陽極法)

電氣防蝕工法係通過持續通電，控制鋼筋在混凝土中的腐蝕反應來抑制劣化。電氣防蝕工法係將陽極材料安裝在混凝土表面，通以直流電(防蝕電流)將陽極材料連續流至混凝土內的鋼筋(陰極)。電氣防蝕電流通常約為 0.001～0.03 A/m^2。電氣防蝕工法大致可分為 2 種，使用外部電源強制防蝕電流流至外部電源之方法，以及通過鋼筋和陽極材料之電池作用，使防蝕電流通過陽極之方法(犧牲陽極法)。

b. 使用鋼筋防銹材(亞硝酸鋰等)

亞硝酸根離子具有預防鋼筋鏽蝕之作用。因此，由於鹽害引起的鋼筋鏽蝕嚴重，或預計未來鋼筋腐蝕會顯著發展之狀況，可採用亞硝酸鹽離子用作鋼筋防銹材。

3. 中性化補修工法

當因中性化而劣化之混凝土建築物選擇補修工法時，可通過評估混凝土建築物所處之劣化過程，潛伏期、進展期、加速期或劣化期，來根據需求確認補修工法。附表八-5 列出了由於中性化引起的建築物外觀等級(劣化過程)與劣化狀況之關係。附表八-6 顯示中性化劣化等級與適用之補修工法的關係。

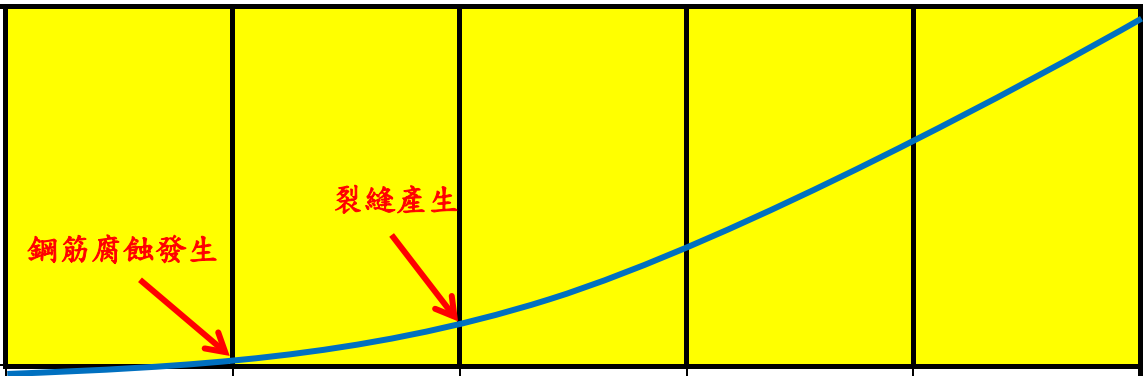
於中性化潛伏期時，鋼筋腐蝕尚未發生，此時維護性能要求為抑制二氧化碳侵入，適合此性能要求之方法有表面塗層工法或表面浸漬工法。鋼筋於進展期時開始腐蝕，但尚未產生裂縫等變化，這時基本仍是通過表面塗層工法或表面浸漬工法來抑制二氧化碳、水分和氧氣之滲透並抑制隨後之鋼筋腐蝕。如重要結構不允許中性化劣化，則可通過斷面補修工法去除中性化混凝土，或者利用再鹼化工法恢復混凝土鹼度，以改善鋼筋腐蝕環境，亦可考慮採用電氣防蝕工法和內部注入工法進行修復。在加速期前期，鋼筋腐蝕，混凝土出現裂縫和浮起，此時僅通過遮斷劣化因子來恢復中性化區域是不夠的，重要的是要考慮將鋼筋腐蝕進行抑制，可採取大面積斷面補修工法除去所有中性化之混凝土並進行鋼筋防銹。由於加速期後期是加速期前期之發展狀態，因此可認為此時適用之方法與加速期前期相同。如果達到劣化期，則有必要通過大規模的斷面補修工法進行修復，且鋼筋斷面積因腐蝕減少，造成耐久性和乘載能力降低，須配合使用適當地補強工法。

附表八-5 受中性化之鋼筋混凝土建築物之外觀等級和劣化狀態

建築物外觀等級	劣化過程	劣化狀態
等級 I	潛伏期	外觀上無變化，殘留中性化在生鏽極限內。
等級 II	進展期	外觀上無變化，殘留中性化超過生鏽極限，腐蝕開始。
等級 III-1	加速期前期	腐蝕裂縫產生。
等級 III-2	加速期後期	隨著腐蝕裂縫發展，觀察到混凝土剝離、剝落，且鋼筋斷面積沒有缺損。
等級 IV	劣化期	觀察到由於腐蝕裂縫而導致剝離、剝落，鋼筋斷面積減少。

(資料來源：日本土木学会，2013)

附表八-6 中性化劣化等級與適用之補修工法的關係

中性化造成之劣化程度					
劣化過程	潛伏期	進展期	加速期前期	加速期後期	劣化期
劣化狀況	外觀無變化。	外觀無變化。 殘留中性化超過腐蝕發生極限，鋼筋開始腐蝕。	腐蝕裂縫產生。	腐蝕裂縫發展。 混凝土剥離、剝落。	大規模地剥離、剝落。 鋼筋斷面積減少。
工法選定	表面塗層工法 表面浸漬工法	表面塗層工法 表面浸漬工法 再鹼化工法 電氣防蝕工法 斷面補修工法 內部注入工法	表面塗層工法 電氣防蝕工法 斷面補修工法 內部注入工法	表面塗層工法 電氣防蝕工法 斷面補修工法 內部注入工法	斷面補修工法 +補強工法

(資料來源：日本土木学会，2013)

在評估中性化劣化時，重要的是獲得類似於鹽害時之鋼筋腐蝕定量數據。酚酞溶液可測量混凝土中性化深度，以及使用$\sqrt{t}$定律可預測中性化發展。由於混凝土受中性化發展導致鋼筋腐蝕，其中性化補修工法性能要求以及為滿足要求之補修工法如下：

(1) 遮蔽劣化因子–降低二氧化碳、水、氧氣侵入混凝土。

a. 表面保護工法

中性化之劣化因子為二氧化碳，二氧化碳會降低混凝土 pH 值並破壞鋼筋之鈍態膜。利用表面保護工法減少二氧化碳之滲透時，可抑制中性化產生並防止鋼

筋腐蝕環境擴大，還可防止水和氧氣侵入。表面保護工法分為表面塗層法和表面浸漬法兩種，其基本考量與鹽害相同。

(a) 表面塗層法

表面塗層法是通過將有機或無機覆蓋材料塗抹到混凝土表面，以阻止外界之劣化因子侵入。通常，會將多種類型之材料分批塗抹，如底漆、中塗層材料、面塗層材料等。有機塗料種類繁多，可根據環境條件自由地選擇柔軟性和膜厚；無機塗料主要是使用聚合物水泥砂漿基塗料。

(b) 表面浸漬法

表面浸漬法是通過用刷子或滾筒將矽烷或矽酸鹽等浸漬材料塗抹在混凝土表面並使其滲透，以阻止外部之劣化因子侵入。矽酸鈉和矽酸鋰類浸漬材具有使混凝土表層緻密化和改性作用；通常認為矽烷浸漬材對中性化適應性低。一般來說，此法對劣化因子之阻斷效果不如表面塗層法，但表面浸漬法因不添加塗層，因此不會改變結構外觀，此有便於後續監測。

b. 裂縫灌注工法(超細水泥型材料、環氧樹脂材料等)

裂縫灌注工法是使用低壓注入器於低壓低速下，將水泥、聚合物水泥、環氧樹脂和丙烯酸樹脂等有機材注入裂縫中。裂縫灌注工法可應用於裂縫寬度 0.2 mm～30.0 mm 之混凝土表面。在簡單的裂縫修復中，如出於經濟原因，可將裂縫填充工法(U 型切槽)應用於寬度較寬之裂縫。自抑制鋼筋腐蝕之觀點來看，裂縫灌注工法比裂縫填充工法具有更有效之抑制效果，因此需要視情況來選擇。

使用有機灌注材料時，必須在乾燥狀態施作，如裂縫內部是濕的，則可能會阻礙灌注材料的固化且不能獲得足夠之沾附性。反之，使用水泥基灌注材料時，必須在施工前對裂縫內部進行預濕潤(澆水)，以增加流動性和填充性。

(2) 恢復中性化區–使已中性化之混凝土恢復鹼性。

a. 斷面補修工法(局部斷面補修工法、大面積斷面補修工法等)

如果混凝土內之鋼筋位置發生中性化，鋼筋開始發生腐蝕，則應清除中性化之混凝土，之後再用斷面修復材料進行斷面修復，使中性化深度回歸到 0。一般

而言，斷面補修工法是用於修復混凝土脆弱部位(浮起、剝落、鋼筋裸露、斷面缺陷之部位)，目的在恢復中性化範圍之混凝土的 pH 值。由於斷面修復材與基礎混凝土需具有黏合性和完整性，因此聚合物水泥砂漿常被使用於斷面補修工法。

(a) 局部斷面補修工法

局部斷面補修工法其施工範圍相對較小，因此主要使用塗抹法。由於部分刮除區域之混凝土中性化深度回歸到 0，因此可以說是部分區域恢復中性化，但由於修復範圍之外的中性化仍在發展，因此預計未來仍會發生新的鋼筋腐蝕。

(b) 大面積斷面補修工法

大面積斷面補修工法是除去區域範圍內所有的混凝土，使中性化深度回歸到 0，之後再用斷面修復材料回填。不管混凝土表面是否有浮起或剝落，大面積斷面補修工法皆適用。大面積斷面修復工法根據目標位置、施工方向、施工規模等，可使用塗抹法、噴塗法和灌漿施工法等。

b. 再鹼化工法

再鹼化工法係將陽極材料和電解質溶液放置於混凝土表面上，並將直流電流從陽極傳遞到混凝土中的鋼筋(陰極)，使鹼性溶液滲透至混凝土內，直到混凝土 pH 值回到原始值。通過此工法恢復混凝土之 pH 值以改善鋼筋腐蝕環境，其電流通常約為 1 A/m^2，通電約 1～2 週。再鹼化施作後，為防止二氧化碳再次侵入，應配合表面保護工法等對策。

(3) 抑制鋼筋腐蝕–抑制已經開始腐蝕的鋼筋其腐蝕進展。

a. 電化學防蝕工法(外部電源法、陽極法)

電氣防蝕工法係通過持續通電，控制鋼筋在混凝土中的腐蝕反應來抑制劣化。電氣防蝕工法係將陽極材料安裝在混凝土表面，通以直流電(防蝕電流)將陽極材料連續流至混凝土內的鋼筋(陰極)。電氣防蝕電流通常約為 0.001～0.03 A/m^2。電氣防蝕工法大致可分為 2 種，使用外部電源強制防蝕電流流至外部電源之方法，以及通過鋼筋和陽極材料之電池作用，使防蝕電流通過陽極之方法(犧牲陽極法)。

b. 使用鋼筋防銹材(亞硝酸鋰等)

亞硝酸根離子具有預防鋼筋鏽蝕之作用。因此，由於中性化引起的鋼筋鏽蝕嚴重，或預計未來鋼筋腐蝕會顯著發展之狀況，可採用亞硝酸鹽離子用作鋼筋防銹材。

4. ASR 補修工法

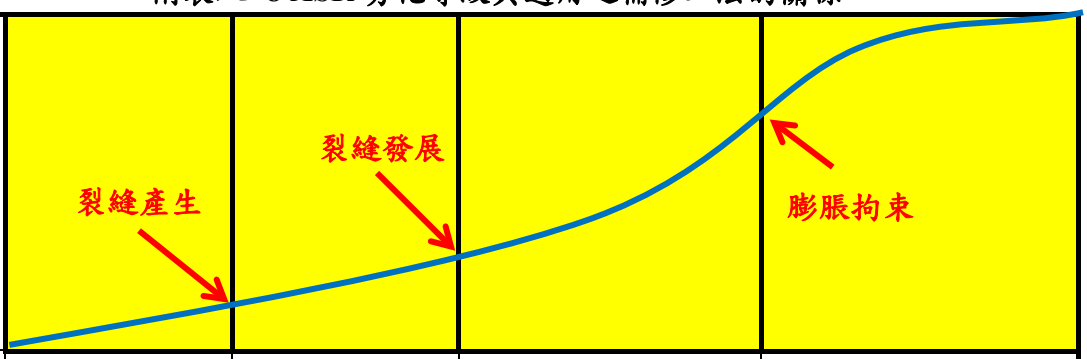
當因 ASR 而劣化之混凝土建築物選擇補修工法時，有必要確認該建築物在哪個劣化過程，潛伏期、進展期、加速期還是劣化期，並根據需求選擇補修工法。附表 6- 7 列出了由於 ASR 進行的建築物外觀等級(劣化過程)與劣化狀況之關係。附表 6- 8 顯示 ASR 劣化等級與適用之補修工法的關係。

附表八- 7 ASR 之鋼筋混凝土建築物之外觀等級和劣化狀態

建築物外觀等級	劣化過程	劣化狀態
等級 I	潛伏期	尚未因 ASR 發生膨脹和裂縫，且外觀無變形。
等級 II	進展期	在水和鹼的供應下，膨脹發展，出現裂縫、色變和鹼凝膠滲出。然而，沒有出現鋼筋腐蝕造成的銹汁。
等級 III	加速期	此階段之 ASR 造成的膨脹速度最快，裂縫擴展，且裂縫寬度和密度增加。另外，可能會看到由於鋼筋腐蝕造成的銹汁。
等級 IV	劣化期	裂縫的寬度和密度進一步增加，導致段差、錯位、覆蓋部位發生剥離、剝落，鋼筋腐蝕並能看到銹汁。且由於外力影響，可能會發現鋼筋破裂、損壞，位移、變形增加。

(資料來源：日本土木学会，2013)

附表八- 8 ASR 劣化等級與適用之補修工法的關係

ASR 造成之劣化程度				
劣化過程	潛伏期	進展期	加速期	劣化期
劣化狀況	外觀無變化	膨脹裂縫發生	膨脹裂縫發展 膠體滲出 強度、彈性係數下降 鋼筋腐蝕產生銹汁	膨脹裂縫擴張 錯位、段差 強度、彈性係數顯著下降 剝離、剝落 鋼筋斷裂 位移、變形
工法選定	防水處理 表面塗層工法 表面浸漬工法	防水處理 表面塗層工法 表面浸漬工法 裂縫灌注工法 內部注入工法	防水處理 表面塗層工法 表面浸漬工法 裂縫灌注工法 內部注入工法工法 補強以限制膨脹	防水處理 斷面補修工法+補強工法 鋼筋斷裂位置之修復

(資料來源：日本土木学会，2013)

於潛伏期時形成凝膠，但混凝土尚未出現裂縫，此時維護性能要求為抑制水從外部滲透，適合此性能要求之方法有表面塗層工法或表面浸漬工法。在進展期間凝膠膨脹，混凝土表面開始出現裂縫。這時裂縫小，因此仍採取阻止水分滲入之策略，並通過裂縫灌注法與表面塗層工法和表面浸漬工法來抑制 ASR 膨脹。該階段結構被認為具高殘餘膨脹性，考慮結構之重要性和維護之容易性，如不允許再次劣化，則採用內部注入方式用於預防性維護。在加速期前期，ASR 膨脹進

展速度快，此時裂縫寬度和延展增加，建築物之耐久性能迅速下降。如果建築物之殘餘膨脹性低，可利用裂縫注入工法和表面塗層法來抑制水分滲透。另外，根據構件形狀，可應用包覆工法和接合工法抑制 ASR 膨脹。當達到劣化期，則混凝土劣化範圍和缺陷部位大，然結構殘餘膨脹性已收斂，因此在該階段不再需要用內部注入工法那樣的抑制策略。可由於鋼筋斷裂或強度降低，會影響結構之承載能力，需進行適當地補強措施。

ASR 之劣化主要是通過外觀變形引起的程度來判斷，此時，掌握該建築物殘餘之膨脹性，就目前的劣化狀況和評估未來膨脹的程度，選擇適當地修復方法。例如，即使外觀等級與加速期相對應之劣化狀況，如果鹼性凝膠仍具有較高之膨脹性，應選擇能抑止膨脹效果較高之補修工法。如果在相同加速期和外觀等級但膨脹性低之情況，則可簡單地修復變形即可。由於鹼凝膠吸水膨脹導致的 ASR 劣化，其 ASR 補修工法性能要求以及為滿足要求之補修工法如下：

(1) 遮蔽劣化因子–降低水分侵入混凝土。

a. 表面保護工法

表面保護工法可以阻止並減少來自外部的水分，以抑制 ASR 之膨脹。表面保護工法分為表面塗層法和表面浸漬法兩種。

(a) 表面塗層法

表面塗層法是通過將有機或無機覆蓋材料塗抹到混凝土表面，以阻止外界之劣化因子侵入。通常，會將多種類型之材料分批塗抹，如底漆、中塗層材料、面塗層材料等。有機塗料種類繁多，可根據環境條件自由地選擇柔軟性和膜厚；無機塗料主要是使用聚合物水泥砂漿基塗料。當表面塗層法應用於 ASR 修復時，可使用柔軟性塗層材料，使得塗層能隨著 ASR 膨脹而延展。如覆蓋材料之延伸能力跟不上 ASR 之膨脹速度，將導致再劣化的發生，因此需要重複地進行維護。

(b) 表面浸漬法

即使抑制了外部的水分，但混凝土內部之水分同樣會造成 ASR 膨脹，如表面塗層具有高不透水性，使得水分被困於混凝土內部，這也會促使 ASR 發生。

因此，常採用表面浸漬法，可抑制來自外部的水分同時亦可消散混凝土內部的水分。表面浸漬法是通過用刷子或滾筒將矽烷或矽酸鹽等浸漬材料塗抹在混凝土表面並使其滲透，以阻止外部之劣化因子侵入。矽烷類浸漬材料具有在混凝土表層形成防水層之作用；矽酸鹽類浸漬材具有使混凝土表層緻密化和改性作用。表面浸漬法對劣化因子之阻斷效果不如表面塗層法，但表面浸漬法因不添加塗層，因此不會改變結構外觀，此有便於後續監測。

b. 裂縫灌注工法(超細水泥型材料、環氧樹脂材料等)

裂縫灌注工法是使用低壓注入器於低壓低速下，將水泥、聚合物水泥、環氧樹脂和丙烯酸樹脂等有機材注入裂縫中。裂縫灌注工法可應用於裂縫寬度 0.2 mm～30.0 mm 之混凝土表面。當裂縫灌注工法應用於 ASR 修復時，據 ASR 預期膨脹，可使用會隨著裂紋延伸之灌注材。使用有機灌注材料時，必須在乾燥狀態施作，如裂縫內部是濕的，則可能會阻礙灌注材料的固化且不能獲得足夠之沾附性。反之，使用水泥基灌注材料時，必須在施工前對裂縫內部進行預濕潤(澆水)，以增加流動性和填充性。

(2) 非膨脹化凝膠–使鹼凝膠之膨脹性消失。

a. 內部注入工法(亞硝酸鋰)

常見的 ASR 抑制劑為亞硝酸鋰，其鋰離子可取代鹼凝膠中的鈉和鉀來使凝膠膨脹，從而生出不同吸水膨脹性能之矽酸鋰，此為通過供給鋰離子來抑制鹼凝膠之吸水膨脹性。內部注入工法首先會在 ASR 劣化之混凝土上鑽一個小直徑的孔，然後將亞硝酸鋰加壓注入，使之滲透到混凝土內部。鑽孔直徑為 φ10 mm 或 φ20 mm，鑽孔間隔為 500～1000 mm，加壓壓力根據目標結構物之劣化程度來設置，通常在 0.5～1.5 MPa 之間。由於內部注入工法是從根本上抑制凝膠膨脹，因此結構劣化程度在進展期和加速期，通常應用於殘留膨脹性高之結構。一旦凝膠被亞硝酸鋰還原，即使水分滲入也不會發生膨脹，因此可說此法將不會發生再劣化。

(3) 限制混凝土膨脹–利用外部拘束來限制 ASR 膨脹。

a. 接合工法、包覆工法(鋼板、FRP 板等)

此工法係利用在混凝土表面添加構件來抵抗 ASR 所引起之混凝土膨脹，此物理性限制膨脹的附加構件有 FRP 板、鋼板、PC 面板等。由於目的是為抑止膨脹，因此當結構劣化程度在進展期和加速期，並應用於殘留膨脹性高之結構。但是，部件形狀複雜或設置範圍受限制之情況下，無法得到膨脹抑制效果。限制膨脹所需的加固量之計算方法在應用時，需事先進行詳細檢查及計算。

セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針(日本土木學會，2018)

於 2018 年出版之「セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針」內容包括可用於所有修復/補強工法之「共通篇」和介紹使用水泥系材料進行修復/補強之設計、施工、維護之「工法類別篇」。

該指針專門針對使用碳纖維(Fiber Reinforced Plastics; FRP)進行補強之方法加以描述，其工法分別有樓板之頂面及底面進行增厚之施工方法，以及橋墩包覆的設計和施工方法。

1. 上表面增厚工法

上表面增厚工法係在樓板頂部上安裝鋼筋並鋪設碳纖維補強混凝土，此為一種與現有樓板整合之施工方式，並能有效地提高抗剪和抗彎承載能力。因要與現有樓板整合，如現有樓板表面上有局部受損，則必須去除劣化、受損之混凝土。

2. 下表面增厚工法

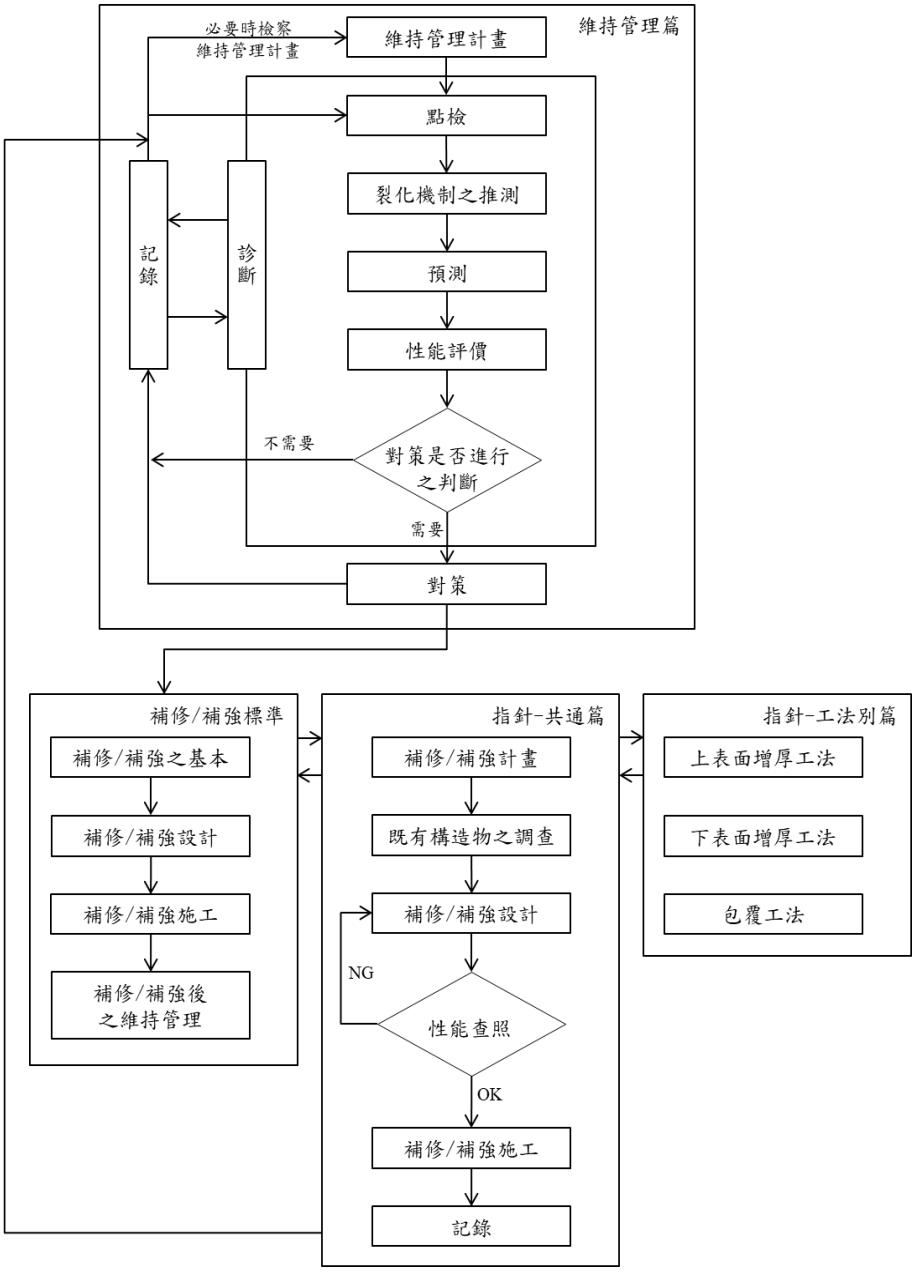
下表面增厚工法係將鋼筋鋪設在樓板底面上，然後使用聚合物水泥砂漿、碳纖維補強快速硬化砂漿等材料使之與現有樓板結合。使用增厚工法後之樓板能有效地提高抗彎承載能力。如果有水從樓板上部滲入，則滲透之水分將會停留在樓板與鋼筋界面處，導致耐久性下降，因此需配合防水工法。

3. 包覆工法

包覆工法係用包覆之方式把現有之鋼筋混凝土柱構件進行補強，使之與既有構件整合形成複合結構，進而確保承載能力。其包覆材料有鋼筋混凝土、聚合物水泥砂漿、鋼板、碳纖維網等。為防止補強之結構挫曲，在某些情況下，會在構件中間穿刺 PC 鋼管用以約束鋼筋。

建築物之修復/補強流程詳見附圖八- 2 在該文獻之共通篇中提到，修復主要係為了使構造物之性能回復至設定值，並減低會引起性能低下之原因。一般來說，修復之目的包含對產生裂縫、開裂、變形、腐蝕等劣化部位進行修復、部分

區域填補、除去劣化部位、除去劣化因子、降低可能影響性能低下之原因。補強主要係為了使提升該構造物之性能，其方法有更換鋼筋、導入預力以及增加斷面、部材、支撐點、補強材等。附表八- 9 為以回復或增加性能為目的所對應之修復/補強工法，附表八- 10 為修復/補強使用之材料。除此之外，關於水泥系之修復/補強材料之試驗方法，詳列見下附表八- 11 中。



附圖八- 2 修復/補強流程

(資料來源：日本土木學會，2018)

附表八-9 以回復或增加性能為目的所對應之修復/補強工法

修復/補強之目的	修復/補強之方法	修復/補強之工法
維持/提升力學的抵抗性	部分交換	更換混凝土工法 替換高抗拉螺栓工法
	增加斷面 增加補強材	砂漿增厚工法 混凝土增厚工法 砂漿包覆工法 混凝土包覆工法 鋼板包覆工法 FRP 包覆工法 墊片、鋼板接著工法 FRP 接著工法
	增加部材	橫梁設工法 壁增設工法 支撐增設工法
	增加支撐	支持增設工法
	導入預力	導入預力工法
維持/提升材料劣化之抵抗性	部材表面保護	表面披覆/塗裝工法 表面浸漬工法 斷面修復工法
	電氣化學防蝕	電氣防蝕工法 脫鹽工法 再鹼化工法 電鍍工法
	裂縫/裂紋抑制	注入工法 充填工法 打孔抑制工法

(資料來源：日本土木學會，2018)

附表八- 10 修復/補強使用之材料種類

分類	種類
水泥系材料	普通混凝土、高強度混凝土 短纖維補強砂漿/混凝土 流動混凝土 高流度混凝土 聚合物水泥砂漿/混凝土
補強材料	鋼筋、PC 鋼材 鋼板 補強用 FRP、構造用 FRP
接合材料	樹脂系/水泥系接著劑 錨栓
填充/注入材料	無收縮灌漿 水中不分離性砂漿/混凝土 聚合物水泥砂漿 樹脂系注入材
表面保護材料	樹脂塗料 聚合物水泥漿/砂漿 矽烷系/矽酸鹽系浸漬材 連續纖維片
防鏽材料	樹脂塗料 亞硝酸鹽系/螯合反應系(Chelation)/氨基醇(Aminoalcohol)系防鏽材 陽極材

(資料來源：日本土木學會，2018)

附表八- 11 水泥系材料之試驗方法

項目	試驗方法
抗壓強度	JIS A 1108:コンクリートの圧縮強度試験方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JSCE-G 541-1999:充てんモルタルの圧縮強度試験方法
	JSCE-G 551-2007:鋼繊維補強コンクリートの圧縮強度および圧縮タフネス試験方法
	JSCE-G 562-2007:はりによる吹付けコンクリートの初期圧縮強度試験方法
	JSCE-G 505-1999:円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法
抗拉強度	JIS A 1113:コンクリートの割裂引張強度試験方法
撓曲強度	JIS A 1106:コンクリートの曲げ強度試験方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JSCE-G 552-2007:鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法
黏結強度	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JSCE-K 561-2003:コンクリート構造物用断面修復材の試験方法
破壞能量	JCI-S001:切欠きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法
楊氏係數	JIS A 1149:コンクリートの静弾性係数試験方法
熱膨脹係數	JSCE-K 561-2003:コンクリート構造物用断面修復材の試験方法
	JCI マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016
收縮	JIS A 1129:モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
	JIS A 6202:コンクリート用膨張材
	JCI-SAS2:セメントペースト、モルタルおよびコンクリート.の自己収縮および自己膨張試験方法
	JSCE-K 561-2003:コンクリート構造物用断面修復材の試験方法

項目	試驗方法
熱變形	JIS A 1157:コンクリートの圧縮クリープ試験方法
中性化速率係數	JIS A 1153:コンクリートの促進中性化試験方法
	JIS A 1171:ポリマーセメントモルタルの試験方法
氯離子擴散係數	JSCE-G 571-2007:電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法
	JSCE-G 572-2007:浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法
相對動彈性係數	JIS A 1148:コンクリートの凍結融解試験方法

(資料來源：日本土木學會，2018)

複合構造シリーズ 09 FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案）(日本土木學會，2018)

日本土木學會出版之「複合構造シリーズ 09 FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案）」內容主要是介紹 FRP(纖維補強材料)應用於鋼及鋼筋混凝土結構補強設計流程，流程包括 FRP 補強材料及黏結材料主要規格及規範、既有建築物採用 FRP 補強後之構件強度估算、FRP 補強材料之施工步驟，以及經補強後後續相關維護。

FRP 材料會因不同製造廠商而使用不同纖維原料，而導致成品本身變異性質大，因此日本土木學會僅統整出目前日本市面上常見之 FRP 材料之強度特性，詳見附表八- 12 及附表八- 13；而 FRP 要完整地貼附於既有結構物(混凝土構件或型鋼基底)上需使用環氧樹脂，故該規範特別規定底層塗料及積層黏結用之環氧樹脂規範值如附表八- 14 及附表八- 15 所示。

經 FRP 補強後之結構物其實際強度往往與補強施作步驟有關，日本土木學會特別將碳纖維貼布、芳綸纖維板及碳纖維板等補強材料之施工步驟進行標準程序化，施工步驟可詳見附圖八- 3 和附圖八- 4，以期讓各結構物經補強後其構件強度更為穩定。

附表八- 12 碳纖維貼布材料特性值

No.	碳纖維貼布種類	纖維方向	每層纖維重	設計厚度 (mm)	拉力強度 (MPa)	彈性模數 (MPa)
1	高強度型	單向	200	0.111	3400	2.45×10^5
2	高強度型	單向	300	0.163	3400	2.45×10^5
3	高強度型	單向	400	0.222	3400	2.45×10^5
4	高強度型	單向	600	0.333	3400	2.45×10^5
5	中彈性型	單向	300	0.165	2900	3.90×10^5
6	中彈性型	單向	300	0.163	2400	4.40×10^5
7	中彈性型	單向	340	0.185	2400	4.40×10^5
8	中彈性型	單向	400	0.217	2400	4.40×10^5
9	高彈性型	單向	300	0.143	1900	5.40×10^5
10	高彈性型	單向	300	0.143	1900	6.40×10^5
11	高彈性型	單向	400	0.190	1900	6.40×10^5
12	高強度型	雙向	200	0.111	2900	2.45×10^5
13	高強度型	雙向	300	0.163	2900	2.45×10^5

(資料來源:日本土木學會，2018)

附表八- 13 碳纖維板特性值

No.	碳纖維板種類	厚度 (mm)	拉力強度 (MPa)	彈性模數 (MPa)
1	高強度型	1.0、1.2、1.5、2.0	2400	1.67×10^5
2	中彈性型	1.2、2.0	1500	2.85×10^5
3	高彈性型	1.2、2.0、4.0	1200	4.50×10^5

(資料來源:日本土木學會，2018)

附表八- 14 碳纖維貼布環氧樹脂規範值

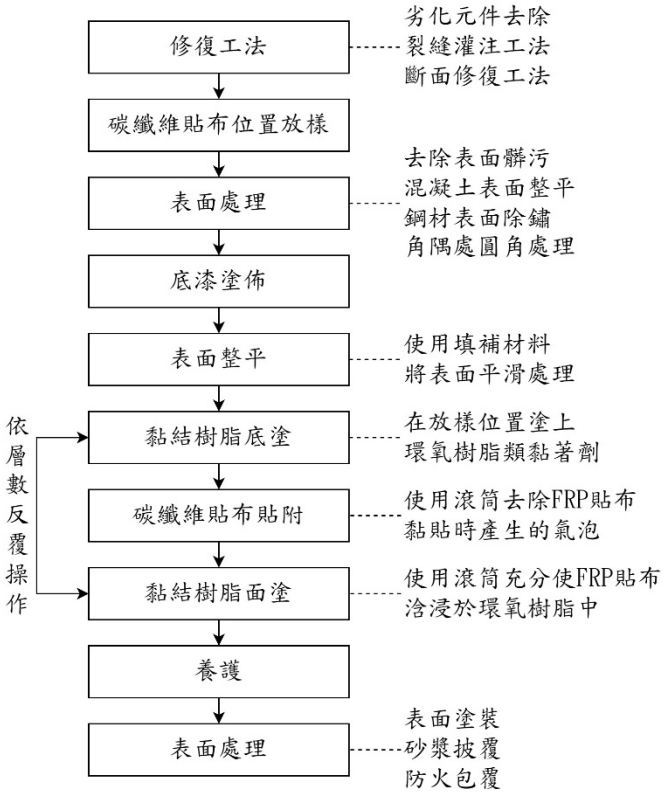
材料	項目	規格值	試驗方法
底塗樹脂 填補樹脂	黏結強度	1.5 MPa 以上	JIS A 6909
碳纖維貼布用 積層樹脂	拉力強度	29 MPa 以上	JIS K 7161
	撓曲強度	39 MPa 以上	JIS K 7171
	剪力強度	9.8 MPa 以上	JIS A 6850

(資料來源:日本土木學會，2018)

附表八- 15 碳纖維板黏結劑特性值

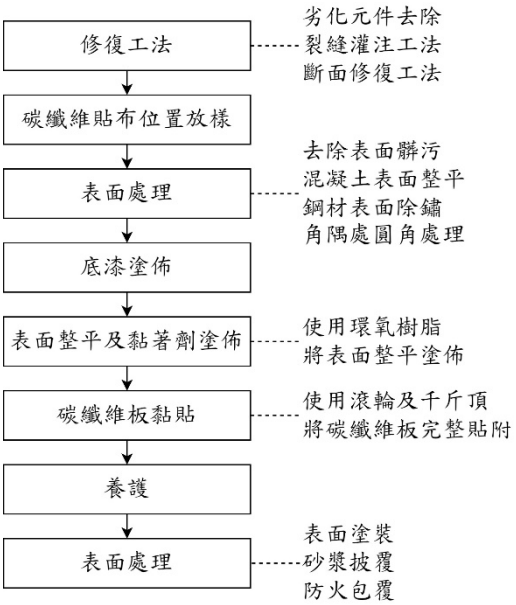
材料	項目	實驗值	試驗方法
碳纖維板用 黏結樹脂	壓力降伏強度	55 MPa	JIS K 7181
	壓力彈性模數	3.5×10^3 MPa	JIS K 7181
	拉力強度	29 MPa	JIS K 7181
	剪力強度	25 MPa	JIS K 6850

(資料來源:日本土木學會，2018)



附圖八- 3 碳纖維貼布施工程序

(資料來源:日本土木學會，2018)



附圖八- 4 碳纖維板施工程序

(資料來源:日本土學會，2018)

混凝土修補材之選擇指引(ACI 546.3R-06)(美國混凝土學會，2006)

本指引介紹混凝土修補材的性質、試驗法與選擇方式，涵蓋的修補材包括：

1. 混凝土替代材(concrete replacement)：依深度與修補方向而分類。
2. 加鋪材(overlays)：依厚度分類。
3. 裂縫修補材(crack repairs)：依裂縫穩定性、裂縫寬度與其他服務性質條件而分類。
4. 表面填縫(surface sealers)及(traffic-bearing elastomeric coatings)：依水及氯離子滲透性分類。
5. 抗碳化塗層(anti-carbonation coatings)：依二氧化碳擴散性而分類。
6. 加勁鋼筋材塗層(reinforcing steel coatings)、內埋伽凡尼陽極(galvanic anodes)、混凝土黏結材(bonding agents)、孔隙結晶阻斷劑(pore blockers)及表面施加滲透之腐蝕抑制劑等：依改變不同混凝土的性質而分類。

有別於前述指引，此指引詳細說明試驗法並於部份試驗法建議合格數值，須考慮修補材料的性質包括體積穩定性、力學性質、可施工性(constructability characterisitics)、美學性質(aesthetic properris)、耐久性質及化學成分等，試驗方法如附表八- 16 所示，適用於未摻料或改質的卜特蘭水泥混凝土(portland-cement replacement concrete)。當使用摻料、高分子、卜作嵐材料等改質卜特蘭水泥混凝土時，或添加其他膠結材或僅砂漿的修補材時，則可能的性質改變如附表八- 17 改所列。

選擇材料時須依以下步驟：

1. 背景調查包括結構條件、修補目的、目視或不可目視所及之瑕疵、破壞及未來可能的劣化及破壞等。
2. 探討造成劣化的原因。
3. 評估修補材暴露的環境、條件。
4. 決定修補的目的及使用年限。

5. 選擇修補策略，包括未來維護所需的保護系統。

由於所有的修補材料都有其限制，因此使用者須根據試驗結果選擇最有機會成功的材料。比較差不多的材料時，成本通常為決定的因素，尤其可考慮整個生命週期的成本。

附表八- 16 卜特蘭水泥混凝土替代材料的試驗法與試驗值

Description	Test method	Typical value	Recommended value*	Recommended test
3.2-Volume stability				
Length change - concrete	ASTM C157	0.02 percent (expansion) to -0.05 percent (shrinkage)	Less negative than (-0.05 percent) (shrinkage)	No; curing and comparator reading regimens not representative of field conditions of repair mortars and concretes.
Drying shrinkage - mortar*	ASTM C596	0.05 to 0.15 percent	<0.10 percent	Yes
Restrained expansion	ASTM C806	0.06 percent	Refer to 3.2	Yes
3.3.2-Modulus of elasticity	ASTM C469	1,000,000 to 5,500,000 psi (6.8 to 38 GPa)	Refer to 3.3.3	Yes
	ASTM C 580	300,000 to 3,000,000 psi (2.1 to 21 GPa)		Yes
3.3.3-Thermal expansion	ASTM C531	0.000014/°F (0.000025/°C)	Refer to 3.3.3	Yes
	ASTM D696	0.000014/°F (0.000025/°C)		Yes
	USACE CRD-C 39	0.000006/°F (0.0000108/°C)		Yes
	ASTM C884	Qualitative test		Yes
3.3.4-Creep	ASTM C512	0.000000001/psi (0.000000007/KPa)	Refer to 3.3.4	Yes
	ASTM C1181	—		Yes
3.3.5-Bond strength				
Slant shear bond	ASTM C882	I day-400 to 1000 psi (2.8 to 6.9 MPa) 7 days - 1000 to 1800 psi (6.9 to 12 MPa) 28 days - 2000 to 3000 psi (14 to 21 MPa)	Committee 546 does not have a recommended value for this test.	No; results are highly dependent on compressive strength of substrate and roughness of bonding surface.
	ASTM C1042			
Direct tensile bond	ASTM C1404	1 day - 70 to 150 psi (0.48 to 1.0 MPa) 7 days – 150 to 250 psi (1.0 to 1.7 MPa) 28 days - 250 to 300 psi (1.7 to 2.1 MPa)	Refer to 3.3.5	Yes
	CSA A23.2-6B			Yes
	ASTM C1583			Yes
	ICRI 210.3			Yes
Direct shear bond	MDOT	1 day - 150 to 300 psi (1.0 to 2.1 MPa)	Committee 546 does not have a	No, test apparatus not

Description	Test method	Typical value	Recommended value*	Recommended test
		7 days - 300 to 400 psi (2.1 to 2.8 MPa) 28 days - 400 to 600 psi (2.8 to 4.1 MPa)	recommended value for this test.	commonly available and test not commonly performed.
3.3.6-Compressive strength	ASTM C39	28 days - 3000 to 10,000 psi (21 to 70 MPa)	Similar to substrate	Yes
	ASTM C109	28 days - 4000 to 12,000 psi (28 to 85 MPa)		Yes
3.3.7-Tensile strength*	ASTM C307	—	—	Yes
	ASTM C496	400 to 1800 psi (2.8 to 12 MPa)	> 400 psi (2.8 MPa)	Yes
	USACE CRD-C 164	200 to 600 psi (1.4 to 4.1 MPa)	> 400 psi (2.8 MPa)	Committee 546 does not have a recommendation for this test.
3.3.8-Flexural strength	ASTM C78	28 days - 1200 psi (8.3 MPa)	Committee 546 does not have a recommended value for this test.	Yes
	ASTM C293	28 days - 500 to 1200 psi (3.4 to 8.3 MPa)		Yes
	ASTM C348	28 days - 1500 psi (10 MPa)		Yes
	ASTM C580	7 days - 2400 psi (17 MPa)		Yes
3.6.1-Resistance to freezing and thawing*	ASTM C666	28 days - 80 to 100 DF at 300 cycles	> 80 DF	Yes
Scaling resistance	ASTM C672	28 days - 0 to 5 visual rating at 50 to 300 cycles	< 2	Yes
	ASTM C672 modified by ICRI 320.2R		Committee 546 does not have a recommended value for this test.	Yes
3.6.2-Permeability				
90-day ponding	AASHTO T259	0.42 percent at 0.5 in. (13 mm) 0.15 percent at 1.0 in. (25 mm)	Committee 546 does not have a recommended value for this test.	Yes
	ASTM C1543			NO
Rapid chloride permeability	AASHTO T277	28 days - 4000 to 5000 C	4000 C^{+}	Yes
	ASTM C1202			Yes
Absorption after immersion	ASTM C642	4 to 6 percent	<6 percent	Yes
Volume of	ASTM C642	5 to 12 percent	< 12 percent	Committee 546

Description	Test method	Typical value	Recommended value*	Recommended test
permeable pore space				does not have a recommendation for this test.
3.6.3-Alkali-aggregate reaction	ASTM C227	Refer to 3.6.3	<0.1 percent	Yes
	ASTM C1260	Refer to 3.6.3	<0.1 percent	Yes
	ASTM C1293	Refer to 3.6.3	<0.1 percent	Yes
	ASTM C289	Refer to 3.6.3	Refer to 3.6.3	No; may not reliably predict aggregate reactivity in concrete.
	ASTM C295	Refer 3.6.3	Refer to 3.6.3	Yes
3.6.5-Abrasion resistance	ASTM C779 Procedure A	0.004 to 0.1 in. (O.1 to 2.5 mm) at 30 min. 0.008 to 0.2 in. (0.2 to 5.1 mm) at 60 min.	Refer to 3.6.5	Refer to 3.6.5
3.6.6-Sulfate resistance	ASTM CI012	0 to 0.2 percent	<0.1 percent	Yes

(資料來源：美國混凝土學會，2014)

附表八- 17 改質卜特蘭水泥混凝土或砂漿的性質改變

Modification to basic portland-cement concrete	Effects on properties
Various hydraulic cements (slag cement is discussed separately below)	Reduce heat of hydration; reduce set time; increase early strength; reduced drying shrinkage; expansive or shrinkage compensating; improve sulfate resistance.
Chemical admixtures	
Air-entraining	Improved workability; improved durability in freezing-and-thawing, deicing, sulfate, and alkali-reactive environments; reduced compressive strength
Accelerating	Accelerated set and early-strength development; increased creep and drying shrinkage.
Water-reducing, mid-range water-reducing	Reduce water content at least 5 percent (5 to 10 percent for mid-range); reduced permeability; increased strength.
Water-reducing and set-retarding	Reduce water content at least 5 percent and delay set time;reduced permeability, increased strength.
High-range water-reducing	Reduce water content by at least 12 to 40 percent, increase slump, decrease placing time, and increase flowability; reduced permeability; increased strength.
Flowing concrete	Slump greater than 7-1/2 in. (190 mm) while maintaining cohesive nature (ASTM C1017); reduced permeability.
Self-consolidating concrete	Reduced construction time and labor; improved formed surface finish; increased strength, shrinkage, and creep; reduced permeability and improved durability
Very high early strength	Reduced set/working time; Strategic Highway Research Program (SHRP) SHRP-C-363 defines very high-early strength material as 2000 psi (13.8 MPa) minimum compressive strength 6 hours after mixing; durability factor of 80 percent after 300 freezing-and-thawing cycles in accordance with ASTM C666, Procedure A.
Extended set control	Used to stop or severely retard cement hydration process.
Shrinkage-reducing	Increased set time; reduce drying shrinkage by 30 to 50 percent; reduced strength, thermal cracking, and slab curling; increased susceptibility to freezing-and-thawing deterioration.
Corrosion-inhibiting	Significantly reduce rate of steel corrosion and extend time of onset of corrosion; reduced or increased compressive strength; may distort results of ASTM C1202 and AASHTO T277.
Lithium	May affect set/working time; minimize deleterious expansion from alkali-silica reaction.
Permeability-reducing: For hydrostatic conditions.	Reduced permeability, increased resistance to water penetration under pressure; Can affect finishing properties, consistency, compressive strength, freezing-and-thawing resistance, and shrinkage.
Bonding	Increased bond, tensile, and flexural strength; decreased compressive strength; latex may cause excessive entrained air; some polymers may decompose and sofn in the presence of moisture.
Rheology- and viscosity-modi-*fying; Anti-washout*	Increased cohesiveness; reduced segregation and bleeding: used as pumping aid, for concrete to be pumped underwater; reduced loss of *cementitious material due to washout.*
Supplementary cementitious materials	

Modification to basic portland-cement concrete	Effects on properties
Fly ash	Reduced water demand; reduction in portland cement; increased air-entraining admixture demand; improved workability; slower rate of reaction; reduced permeability and alkali-aggregate reactivity; improved sulfate resistance; discoloration of concrete.
Silica fume	Increased water demand; increased air-entraining admixture demand; decreased workability;increased cohesiveness, reduced bleeding: increased plastic shrinkage cracking; darker color; increased compressive and bond strength; increased electrical resistivity; reduced permeability; increased resistance to alkali-silica reaction; sulfate and chemical attack; increased abrasion resistance.
Natural pozzolans	Improved workability and finishing; reduction in portland cement; increased cohesiveness; increased set time; reduced permeability, increased strength at later ages; improved resistance to alkali-silica reaction in minimum dosages; too little natural pozzolan may actually increase detrimental effects of alkali-silica reaction; improved resistance to sulfate attack
Slag cement	Improved workability; increased set time; reduced early rate of heat generation; reduced strength at early ages; increased strength at later ages;lighter in color, reduced permeability and potential expansion due to alkali-silica reaction; improved sulfate resistance.
Polymer modifiers	Excessive amounts of entrained air unless antifoam agent is used; improved workability, increased set time, increased tendency for plastic shrinkage cracking; lower compressive strength; increased bond and tensile strength; reduced permeability, improved resistance to freezing *and thawing; may improve impact strength and abrasion resistance.*
Fiber reinforcement	
Steel fibers	Reduced slump and workability; tendency for fibers to ball; increased number of smaller-width shrinkage cracks; improved post-cracking ductility; increased compressive, direct tension, shear and torsion, flexural, and flexural fatigue strength; improved toughness and resistance to flexural impact loading.
Synthetic fibers	Reduced workability; reduced average width of shrinkage cracks; improved post-cracking ductility; improved resistance to impact, fatigue strength, and flexural toughness.
Polymer concrete	Increased safety concerns during construction; typically less contractor familiarity with materials and installation procedures, reduced cum time; reduced weight; increased tensile, flexural, compressive, and bond strengths; reduced modulus of elasticity, increased coefficient of thermal expansion; reduced permeability; improved chemical resistance.
Portland-cement mortar	Increased drying shrinkage; may be modified by substituting various hydraulic cements or polymers; or including chemical mineral admixtures, polymer modifiers, slag cement and fiber reinforcement, or both; effects on properties are similar to these discussed to concrete above.

(資料來源：美國混凝土學會，2014)

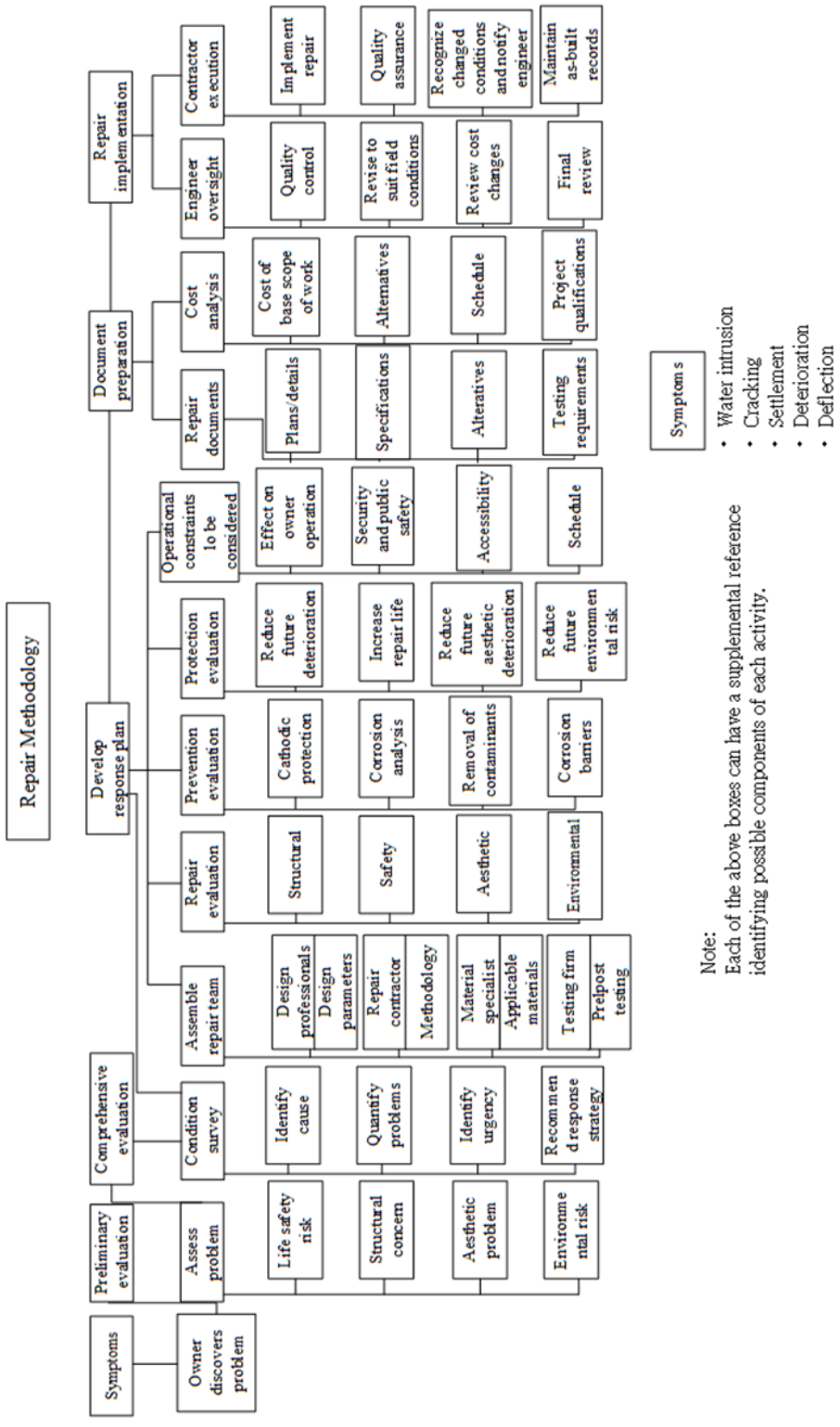
混凝土修補指引(ACI 546R-14)(美國混凝土學會，2014)

本指引提供混凝土修補所需之相關資訊，包括修補前準備、選擇材料與工法。相較於前述之 ACI 563-18，該指引提供較詳細的修補法，隨附許多圖說與照片以利了解。

混凝土結構的修補方法包括結構評估、修補設計、準備施工文件、投標與溝通過程及進行修補施工，如附圖八- 5 所示。首先就表面混凝土移除而言，此為確保修補年限的最重要因素，過程中不可破壞鄰近混凝土或影響新修補材的握裹，尤其留意預力鋼筋附近的混凝土。一般移除的方式包括鋸切、衝擊與高壓水柱，如附表八- 18 所示。混凝土移除後，接下來最重要的步驟即為表面處理，只有好的表面處理下才有好的修補，與移除混凝土的程序及修補材的類型有關，處理的技術通常包括噴砂(abrasive blasting)、珠粒噴擊(shot-blasting)、噴水(water blasting)及清潔(cleaning)，如附表八- 19 所示。

本指引介紹數類混凝土修補或修復材料的性質、優缺點、限制、典型用途及適用規範與參考文獻。其中就本研究所選用的材料而言，傳統砂漿的優點在於其性質與原混凝土接近，具經濟性，易澆置、粉飾與養護，特別適合局部修補，但其乾縮量大。高分子改質水泥砂漿(PPCC，polymer-portland-cement concrete)具有優良的長期性能表現，能抵抗凍融，長時間後較不會發生握裹破壞，亦具低滲透性。然而其必須於 7-30 °C 間澆置與養護，30 分鐘內完成澆置與粉飾，於現地使用可能具較高的塑性乾縮。此外，因為其彈性模數較混凝土低，因此用於垂直或軸向荷重的構材時須特別留意。高分子混凝土與砂漿(polymer concrete and mortar)係指粒料非由水泥漿而是由高分子材料所膠結。環氧樹脂即為其中之一材料，雖然貴，但具低乾縮、快速養護、高抗拉、高抗彎及高抗壓強度，與多數的表面具高黏結，抗凍融，低滲水，適合用於較薄層修補(小於 20 mm)。然而，高溫造成高分子混凝土與砂漿軟化，須考慮其抗火能力。

修補材料的選擇主要考慮黏結性及抗壓強度，亦包括熱膨脹係數、乾縮、滲透性、彈性模數、化性、導電性、施工難易、成本、勞工技術、設備及顏色與紋理。



附圖八-5 修補方法

(資料來源：美國混凝土學會，2014)

附表八- 18 混凝土移除法的特色、考量與限制

Category	Features	Considerations/limitations
Water-jet cutting (uses perimeter cuts to remove large pieces of concrete)	a) High-pressure water jet without abrasives b) Applicable for making cutouts through slabs, decks, and other thin concrete members c) Cuts irregular and curved shapes d) Makes cutouts without overcutting corners e) Cuts flush with intersecting surfaces f) No heat, vibration, or dust is produced g) Handling of debris is efficient because bulk of concrete is removed in large pieces	a) Cutouts for removal limited to thin sections b) Cutting is typically slower and more costly than diamond blade sawing c) Moderate levels of noise may be produced d) Controlling flow of waste water may be required e) Additional safety precautions are required due to the high water pressure produced by the system f) Does not cut reinforcing steel
Saw cutting (applicable for making cutouts through slabs, decks, and other thin concrete members)	a) Makes precision cuts b) No vibration is produced c) Handling of debris is efficient because bulk of concrete is removed in large pieces	a) Cutouts for removal limited to thin sections b) Performance is affected by type of diamonds and the diamond-to-metal bond in blade segments (segment selection is based on aggregate hardness) c) The higher the percentage of steel reinforcement in cuts, the slower and more costly the cutting d) The harder the aggregate, the slower and more costly the cutting e) Controlling flow of waste water may be required
Diamond wire cutting (applicable for cutting large, thick pieces of concrete)	a) The diamond wire chain can be any length b) No dust or vibration is produced c) Large blocks of concrete can be lifted out by a crane or other mechanical methods d) The cutting operation can be efficient in any direction	a) The cutting chain must be continuous b) Access to drill holes through the concrete must be available or access around the full section of the structure if the full section is to be cut c) Water must be available to the chain d) Controlling the flow of waste water may be required e) The harder the aggregate or concrete, and the higher the percentage of steel, the slower and more costly the cutting f) Performance is affected by the quality, type, and number of diamonds as well as the diamond-to-metal bond in the chain.
Mechanical shearing	a) Steel reinforcement can be cut	a) Limited to thin sections where

Category	Features	Considerations/limitations
(applicable for making cutouts through slabs, decks, and other thin concrete members)	b) Limited noise and vibration are produced c) Handling of debris is efficient because bulk of concrete is removed in large pieces	an edge is available or a hole can be made to start the cut b) Exposed reinforcing steel is damaged beyond reuse c) Remaining concrete is damaged d) Extremely rugged profile is produced at the cut edge e) Ragged feather edges remain after removal
Stitch drilling (applicable for making cutouts through concrete members where access to only one face is feasible)	a) Handling of debris is more efficient because bulk of concrete is removed in large pieces	a) Rotary-percussion drilling is more expedient and economical than diamond core drilling; however, it may result in more damage to the concrete that remains, especially at the point of exit from the concrete b) Depth of cuts is dependent on accuracy of drilling equipment in maintaining overlap between holes with depth and diameter of the boreholes drilled. The deeper the cut, the greater borehole diameter required to maintain overlap between adjacent holes and the greater the cost c) Uncut portions between adjacent boreholes will hamper or prevent the removal d) Cutting reinforced concrete increases the cutting time and increases the cost. Aggregate toughness for percussion drilling and aggregate hardness for diamond coring will affect cutting cost and rate. e) Personnel must wear hearing protection due to high noise levels.
Impacting (uses repeated striking of the surface with a mass to fracture and spall the concrete)	a) Hand-held breakers b) Applicable for limited volumes of concrete removal c) Applicable where blow energy must be limited d) Widely available commercially e) Can be used in areas of limited work space f) Produces relatively small and easily handled debris	a) Performance is a function of concrete soundness and aggregate toughness b) Significant loss of productivity occurs when breaking action is other than downward c) Removal boundaries will likely require saw cutting to avoid feathered edges d) Concrete that remains may be damaged (micro cracking) e) Produces high levels of noise, dust, and vibration
Boom-mounted	a) Can be used for vertical and	a) Blow energy delivered to the

Category	Features	Considerations/limitations
breakers (appli- cable for full-depth removal of slabs, decks, and other thin concrete members and for surface removal from more massive concrete structures)	overhead surfaces b) Widely available commercially c) Produces easily handled debris	concrete may have to be limited to protect the structure being repaired and the surrounding structures from damage b) Performance is a function of concrete soundness and aggregate toughness c) Damages remaining concrete d) Damages reinforcing steel e) Produces feathered edges f) Produces high level of noise and dust

(資料來源：美國混凝土學會，2014)

附表八- 19 表面處理的特色、考量與限制

Category	Features	Considerations/limitations
Abrasive blasting-Sandblasting (dry/wet) (uses equipment that propels an abra-size medium at high velocity at the concrete to abrade the surface)	a) Efficient method for roughening the surface and exposing aggregate b) Cleans reinforcing steel c) Removes surface contamination	a) Dry sandblasting procedure produces large volumes of dust b) Wet sandblasting is slow
Low-pressure water blasting (with abrasives)	a) Selectively removes defective concrete b) Precise control of removal process c) Cleans reinforcing steel while removing concrete d) Produces minimal damage to remaining concrete e) Produces no heat or dust f) Abrasives enable jet to cut steel reinforcement and hard aggregates	a) High initial investment b) Additional protection and safety procedures may be required due to water pressure c) Controlling flow of contaminated waste water may be required
Abrasive blasting-Shot Blasting	a) Efficient method for roughening the surface and exposing aggregate b) Low dust emissions c) Removes surface contaminants d) Controlled depth of concrete removal e) Readily available commercially	a) Large units may produce high noise levels b) High voltage power requirements
Chemical cleaning	a) Application of chemicals to remove dirt and contaminants from surface b) Additional surface preparation may be neces-sary to remove cleaning chemical residue c) Follow cleaning chemical manufacturer's recommendations d) Follow coating manufacturer's instructions	a) Additional surface preparation may be necessary b) May not be effective in removing all contaminants C) May have strong chemical odor d) Protection of adjacent area necessary
Acid etching	a) Effective in removing cement-based materials b) Increases porosity of concrete surface	a) Protective clothing is necessary b) Large amounts of water necessary c) May permanently stain concrete

Category	Features	Considerations/limitations
		d) Protection of adjacent area necessary e) May contaminate and damage remaining concrete surface
Low-pressure water cleaning (without abrasives)	a) Effectively removes surface contaminants without chemical residue b) Minimal protection of adjacent areas necessary	a) Control of large amounts of water b) Removal of small amounts of concrete may be noticeable

(資料來源：美國混凝土學會，2014)

附錄九 鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊(草案)

內政部建築研究所　編制

113 年 12 月

目錄

表目錄 IV
附表目錄 IV
圖目錄 VI
附圖目錄 VI
第一章　總則 1
1.1 目的 1
1.2 適用範圍 2
1.3 相關用語定義 4
第二章　鋼筋混凝土劣損構件之補修策略研擬及工法選定 13
2.1 前言 13
2.2 鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷 13
2.2.1 鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷適用範圍 13
2.2.2 概要調查 18
2.2.3 初步診斷 18
2.2.4 詳細診斷 21
2.3 補修策略研擬 24
2.3.1 鋼筋腐蝕補修 25
2.3.2 中性化抑制 27
2.3.3 氯離子滲透抑制 29
2.3.4 裂縫補修 31
2.4 補修工法選定 33
第三章 構件補修工法種類與適用範圍 36
3.1 前言 36
3.2 表面處理法 37
3.3 表面披覆法 39
3.4 表面含浸法 48
3.5 裂縫灌注法 53
3.6 裂縫補修法 57
3.7 斷面補修法 59
3.8 鋼筋腐蝕補修法 66
第四章 構件修復工法種類與適用範圍 70
4.1 前言 70
4.2 劣化梁構件修復 70
4.2.1 梁底部鋼筋置換修復工法(正彎矩修復) 71
4.2.2 擴梁修復工法(剪力與彎矩修復) 73
4.2.3 梁底部鋼板修復工法 (正彎矩修復) 75

4.2.4 梁側 U 型鋼板修復工法 (剪力及正彎矩修復)....78
4.2.5 梁底部 CFRP 貼布修復工法 (剪力及正彎矩修復)....81
4.3 劣化柱構件修復....89
4.3.1 柱加設箍筋修復工法(剪力或圍束修復)....90
4.3.2 柱圍封鋼板修復工法(剪力及圍束修復)....92
4.3.3 柱 CFRP 包覆修復工法(剪力及圍束修復)....95
4.3.4 擴柱修復工法(軸力、彎矩、剪力及圍束修復)....98
4.4 劣化板構件修復....100
4.4.1 板底鋼板修復工法(正彎矩修復)....101
4.4.2 板底 CFRP 貼布修復工法(正彎矩修復)....102
4.4.3 板加厚修復工法(剪力與彎矩修復)....105
4.4.4 板打除新作修復工法(剪力與彎矩修復)....107
4.5 劣化牆構件修復....108
4.5.1 牆加厚修復工法(剪力與彎矩修復)....109
4.5.2 牆面 CFRP 貼布修復工法(剪力修復)....110
4.5.3 牆打除新作修復工法(剪力與彎矩修復)....112
第五章 構件補修材料之性能要求與試驗....114
5.1 前言....114
5.2 表面披覆材料....115
5.3 表面含浸材料....124
5.4 裂縫灌注材料....127
5.5 斷面補修材料....129
5.6 鋼筋、鋼板及點焊鋼絲網....132
5.7 CFRP貼布....137
第六章 施工圖說與注意事項....141
6.1 構件補修工法....141
6.1.1 表面處理法....141
6.1.2 表面披覆法....143
6.1.3 表面含浸法....146
6.1.4 裂縫灌注法....148
6.1.5 裂縫補修法....150
6.1.6 斷面補修法....152
6.1.7 鋼筋腐蝕補修法....155
6.2 劣化梁構件修復....158
6.2.1 梁底部鋼筋置換修復工法....158
6.2.2 擴梁修復工法....160
6.2.3 梁底部鋼板修復工法....163
6.2.4 梁側 U 型鋼板修復工法....165

6.2.5 梁底部 CFRP 貼布修復工法 167
6.3 劣化柱構件修復 169
6.3.1 柱加設箍筋修復工法 169
6.3.2 柱圍封鋼板修復工法 170
6.3.3 柱 CFRP 包覆修復工法 172
6.3.4 擴柱修復工法 174
6.4 劣化板構件修復 176
6.4.1 板底鋼板修復工法 176
6.4.2 板底 CFRP 貼布修復工法 177
6.4.3 板加厚修復工法 179
6.4.4 板打除新作修復工法 181
6.5 劣化牆構件修復 183
6.5.1 牆加厚修復工法 183
6.5.2 牆面 CFRP 貼布修復工法 184
6.5.3 牆打除新作修復工法 186
試驗標準 188
參考文獻 191
附錄 195
R1 電化學防蝕工法 195
R1.1 電化學防蝕法 195
R1.2 電化學脫鹽法 197
R1.3 電化學再鹼法 200
R2 防水補修 202

表目錄

表 1- 1 用語定義(之 1) 4
表 1- 2 用語定義(之 2) 5
表 1- 3 用語定義(之 3) 6
表 2- 1 鋼筋腐蝕電位評定基準 25
表 2- 2 混凝土中性化程度 28
表 2- 3 混凝土中性化補修工法之選定 28
表 2- 4 硬固混凝土氯離子含量程度 29
表 2- 5 混凝土氯離子補修工法之選定 30

附表目錄

表 R2- 1 單一樓層之老劣化度評定表 23
表 R2- 2 整體建築物之老劣化度評定 24
表 R2- 3 柱、梁構件劣化度評定基準 26
表 R2- 4 鋼筋腐蝕補修法與恢復目標之關係 27
表 R2- 5 中性化抑制工法與恢復目標之關係 29
表 R2- 6 氯離子補修工法與恢復目標之關係 31
表 R2- 7 混凝土裂縫補修法之選定 32
表 R3- 1 披覆材料性能要求 44
表 R3- 2 有機披覆材料之預期性能和適用效果 45
表 R3- 3 無機披覆材料預期之性能及適用效果 46
表 R3- 4 無機披覆材料施作對應之適用情況 48
表 R3- 5 塗佈含浸材料之種類及特徵 50
表 R3- 6 表面含浸材料預期達到之性能及適用效果 52
表 R3- 7 裂縫補修法之分類 56
表 R3- 8 依黏性之分類 57
表 R3- 9 依施工季節分類 57
表 R3- 10 斷面補修法適用範圍概念 64
表 R3- 11 水量對混漿之影響 64
表 R3- 12 防銹材料之種類及適用環境【13】 68
表 R5- 1 環氧樹脂黏結劑之要求(ASTM C881) 117
表 R5- 2 環氧樹脂漆品質要求(CNS 4938) 119

表 R5- 3 披覆材料品質要求與試驗方法【4】 122
表 R5- 4 面漆之品質(CNS 15666) 123
表 R5- 5 表面含浸材料之性能要求(JSCE-K571) 125
表 R5- 6 環氧樹脂性能要求(CNS 10141) 128
表 R5- 7 斷面補修材料之適用效果 131
表 R5- 8 斷面補修材料之性能要求 131
表 R5- 9 鋼筋混凝土用之防銹劑品質規格(CNS 12456) 132
表 R5- 10 鋼筋之機械性質(CNS 560) 134
表 R5- 11 鋼板之機械性質(CNS 2947) 136
表 R5- 12 點焊鋼絲網之相關試驗 137
表 R5- 13 CFRP 貼布之品質規格及試驗方法【17】 139
表 R5- 14 CFRP 板之品質規格及試驗方法【17】 139
表 R5- 15 底漆及接著劑之品質規格及試驗方法【17】 140
表 R5- 16 環氧樹脂面漆之品質規格及試驗方法【17】 140

圖目錄

圖 2- 1 初步診斷綜合評定 19

附圖目錄

圖 R2- 1 老劣化診斷與耐震能力調查之相輔性(思考路線) 16
圖 R2- 2 老劣化診斷方法流程圖 17
圖 R2- 3 初步診斷項目 20
圖 R2- 4 詳細診斷項目 23
圖 R2- 5 補修工法選定之建議 35
圖 R3- 1 表面處理法示意圖 38
圖 R3- 2 表面披覆法各層適用之材料 40
圖 R3- 3 表面披覆法示意圖 41
圖 R3- 4 單層或多層施作之無機披覆材料種類 47
圖 R3- 5 表面含浸法示意圖 50
圖 R3- 6 表面含浸材料之種類 51
圖 R3- 7 裂縫灌注法示意圖 55
圖 R3- 8 裂縫補修法示意圖 59
圖 R3- 9 斷面補修法之施作流程 65
圖 R3- 10 斷面補修法示意圖(鋼筋未腐蝕) 65
圖 R3- 11 斷面補修法之選擇參考 66
圖 R3- 12 鋼筋腐蝕補修法示意圖 69
圖 R4- 1 擴梁修復工法示意圖(原梁錨定) 75
圖 R4- 2 梁底部鋼板修復工法示意圖 78
圖 R4- 3 梁側 U 型鋼板修復工法示意圖 81
圖 R4- 4 梁底部 CFRP 修復工法示意圖 84
圖 R4- 5 梁頂陰、陽角磨圓角與砂漿補圓角示意圖 84
圖 R4- 6 CFRP 端部錨定示意圖【20】 85
圖 R4- 7 柱加設箍筋修復工法示意圖 92
圖 R4- 8 柱圍封鋼板修復工法示意圖 95
圖 R4- 9 柱圍封 CFRP 修復工法示意圖 97
圖 R4- 10 擴柱修復工法示意圖(主筋貫穿樓板) 100
圖 R4- 11 板底 CFRP 貼布修復工法示意圖 104

圖 R4- 12 板底延伸 CFRP 搭接方式示意圖 105
圖 R4- 13 板加厚修復工法示意圖 106
圖 R4- 14 板打除新作修復工法示意圖 108
圖 R4- 15 牆面 CFRP 修復工法之示意圖 112
圖 R5- 1 補修設計、補修施工及補修材料之關係 114
圖 R5- 2 補修材料之選定流程 115
圖 R6- 1 表面處理法之施工圖說 142
圖 R6- 2 表面披覆法之施工圖說 144
圖 R6- 3 表面含浸法之施工圖說 147
圖 R6- 4 裂縫灌注法之施工圖說 149
圖 R6- 5 裂縫補修法之施工圖說 151
圖 R6- 6 斷面補修法之施工圖說(鋼筋未腐蝕) 154
圖 R6- 7 鋼筋腐蝕補修法之施工圖說 157
圖 R6- 8 擴梁修復工法之施工圖說 162
圖 R6- 9 梁底部鋼板修復工法之施工圖說 164
圖 R6- 10 梁側加鋼板修復工法之施工圖說 166
圖 R6- 11 梁底部 CFRP 貼布修復工法之施工圖說 168
圖 R6- 12 柱加設箍筋修復工法 170
圖 R6- 13 柱圍封鋼板修復工法之施工圖說 171
圖 R6- 14 柱 CFRP 包覆修復工法之施工圖說 173
圖 R6- 15 擴柱修復工法之施工圖說 175
圖 R6- 16 板底 CFRP 貼布修復工法之施工圖說 178
圖 R6- 17 板加厚修復工法之施工圖說 180
圖 R6- 18 板打除新作修復工法之施工圖說 182
圖 R6- 20 牆面 CFRP 貼布修復工法之施工圖說 185

第一章　總則

1.1 目的

既有鋼筋混凝土造建築物隨著使用年限增長，將逐漸出現自然老劣化徵狀，且當構件老劣化到某些程度時，將影響其建築物之安全性與使用性。因此，為提高建築物之安全性和使用性，並欲恢復構件之設計強度，須根據建築物之老劣化診斷調查結果，在確定其劣化主因、程度及範圍後，進而決定構件補修策略。當建築物經調查與診斷後，根據建築物老劣化之原因及程度，如是以增進耐久性和美觀性為目的或欲使構件恢復至原本之設計強度為目標，在進行補修策略研擬時，得以參考本手冊所提供之構件補修或構件修復工法、施作程序和材料選用等建議來擬定合適之補修策略及工法。

解說：

國內目前正積極推動工程之永續設計或減碳設計，以期達到「台灣 2050 淨零排放」之要求。除在設計端和材料選用外，針對鋼筋混凝土(Reinforced concrete; RC)建築物而言，延長其生命週期或使用年限，以提升其”耐久性”來符合長壽命建築為目標，亦是朝著永續工程之方向前進。內政部建築研究所自民國 100 年起從事鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷等相關研究，亦於民國 111 年度完成鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷手冊(尚未出版)。

除了建築物調查與診斷外，鋼筋混凝土構件應透過必要之維護作業和補修策略，使其建築物在使用年限期間內皆能保持所需之性能，並在適當地補修策略下具有足夠之安全性。建築物之整體維護作業應包含建築物老劣化之調查與診斷和適當地維護策略，並依建築物老劣化程度和原因給予正確地預防、補修或其他特殊處理(如果有需要)。故本手冊之目的便是當鋼筋混凝土造建築物經調查與診斷後，一旦確認其老劣化程度及原因後，便需進行補修施作。構件經診斷出原因及程度後，在進行補修對策研擬時，得以參考本手冊所提供之構件補修(第三章)及構件修復(第四章)工法，並且根據各工法之施作程序、材料的選用、施作時應注意事項及施工品質檢核等建議即可完成建築物構件之補修工程。

1.2 適用範圍

1. 本手冊適用於當鋼筋混凝土造建築物之構件老劣化到達某些程度，以至於會影響其建築物之安全性與使用性。此時，須根據各構件之劣化程度，進行補修策略之研擬、工法選定、材料選用及品質檢核來進行補修施作。
2. 本手冊適用於鋼筋混凝土造建築物經老劣化調查及診斷，並確定其劣化主因、程度及範圍後，在進行以提高建築物之安全性及使用性為目的之補修工法、材料選用及品質檢核時使用。
3. 本手冊所指之補修工法包含構件補修工法及構件修復工法。構件補修工法是指將構件之劣化部分去除，以恢復構件之美觀和提高耐久性為目的之補修工法；構件修復工法則是提出可讓構件恢復其安全性和使用性，且亦能使構件恢復其原始設計強度為目的之修復工法。

解說：

本手冊適用對象為既有鋼筋混凝土造建築物結構(含加強磚造建築)，以及在施工初期內便有劣化因子(如氯離子、酸性化學物質、二氧化碳等)於混凝土內或因外部劣化因子進入混凝土內部與粒料發生化學變化之構件。一旦構件經老劣化調查與診斷後，在確定其劣化主因、程度及範圍後，在進行以提高其安全性和使用性為目的之補修策略時，得以參考本手冊建議之補修材料與工法。但若是因地震、使用不當等，或因外力而造成的結構體損害，則不適用本手冊。

本手冊共分為五個章節，第一章為總則，主要在介紹本手冊之目的、適用範圍及相關用語定義。第二章為簡述研擬鋼筋混凝土構件劣化補修策略之依據及步驟。鋼筋混凝土構件需先經過老劣化調查與診斷，從建築物概要調查、初步診斷至詳細診斷，確認導致其劣化之原因、現劣化之範圍和程度後，方才得以進行補修策略之研擬及補修工法之選定。第三章為介紹構件補修工法之種類與適用範圍，包含常見地表面處理法、表面披覆法、裂縫補修法及斷面補修法等，而在本手冊之附錄，亦有提供於國外會使用之電化學防蝕工法供使用者參考。第四章為介紹各構件修復工法之種類及適用範圍，以梁、柱、板、牆來分類，列舉了針對不同力學性能之修復工法。第五章為構件補修材料之性能要求與試驗，針對常用之補修材料，包含斷面補修材、環氧樹脂黏結劑、碳纖維貼布、鋼板等，提出各材料應符合之性能和相關試驗標準。

本手冊所指之補修工法包含構件補修工法及構件修復工法。在考慮採取補修時，最重要之考量係根據構件之劣化度，構件劣化度可由老劣化診斷獲得，當構件劣化度為中度以下，雖構件無立即之危險，但已影響其耐久性且使用上將會有安全之疑慮，故須施予「補修」。當構件劣化度為重度以上，此時構件將會影響其安全性，故除了施予「補修」外，亦可搭配鋼板、碳纖維貼布、點焊鋼絲等材料讓構件能提升耐久性及恢復安全性，並讓構件性能能恢復至原始之設計強度，該搭配使用之工法於本手冊稱為「修復工法」。當需施予「修復工法」時，可參考本手冊第四章列舉之構件修復工法，其目的是提出可讓構件恢復其安全性和使用性，且亦能使構件恢復其原本力學性能之方法。當應施予「補修」時，可參考本手冊列舉之構件補修工法(第三章)，主要目的便係將構件之劣化部分去除，以恢復構件之美觀和提高耐久性為目的之補修工法。

1.3 相關用語定義

本手冊之相關用語定義如表 1- 1 所示，自第二章開始使用。

表 1- 1 用語定義(之 1)

用語	定義
老劣化	鋼筋混凝土造建築物經時間、環境、施工不良或使用不當等各種影響因素，造成材料老化及劣化並影響到建築物之安全性及使用性。
劣化度	建築物構件在自然環境下因物理或化學因素影響，使得該建築物之耐久性降低之程度。
形變	由於某些不應存在於混凝土或混凝土構件之問題，如初始缺陷、損壞、劣化等狀況之統稱。
診斷	為了確切掌握建築物老劣化狀況，經一系列之調查後，給出適當地評定結果，使後續能根據劣化原因與程度，選定適當地修復策略。
建築物 主結構體	建築物結構體之柱、梁、板為重要傳力或承重構件，主要由鋼筋及混凝土材料構成，而牆構件因有可能由輕質磚堆砌可視為非傳力或承重構件。
外牆	建築外牆定義為建築物外圍之牆壁，不包含建築物結構體、內牆或其他構造物。
第三方影響	從結構上掉落的混凝土碎片對物體造成影響和對人造成傷害之程度。
補修	當構件之劣化度僅為輕度，此時補修之目標可以恢復或改善構件之美觀性和耐久性，或為了消除第三方影響；當構件之劣化度為中度或重度以上，此時補修之目的將以維持構件之安全性和使用性並讓構件之設計強度能恢復至初始程度為目標。
修復	本手冊所提之補修工法意旨一旦建築物經評估檢查員判定該建築物有安全性及使用性之疑慮時，以提高建築物之安全性和使用性為目的而對其老劣化構件採取之措施，通常會搭配鋼板、碳纖維(CFRP)貼布等補修材料使用。
評估檢查員	本手冊提到之評估檢查員，同符合進行耐震能力評估檢查員之資格。

表 1-2 用語定義(之 2)

用語	定義
裂縫	本手冊提到之裂縫泛指顯在裂縫，多發生於建築物表面，同時也可能造成建築物危害之風險。
氯離子侵蝕	混凝土由於外界鹽分侵入或使用含鹽分之材料，使鋼筋表面氯離子含量超越臨界值時，鋼筋表面的鈍化膜便會遭受破壞而產生腐蝕，鋼筋腐蝕膨脹將導致混凝土龜裂、剝落。
中性化	中性化是由於空氣中的二氧化碳或其他具酸性物質侵入混凝土而發生化學變化，使得鋼筋表面狀態由鈍化狀態變為易腐蝕之狀態。若混凝土繼續受碳化作用，碳酸鈣會轉變成溶解性較高的碳酸氫鈣析出混凝土而增加混凝土的孔隙讓有害因子更容易滲入混凝土中，故混凝土之碳化現象亦更廣義的稱為「中性化」。
鋼筋腐蝕	鋼筋腐蝕之劣化現象通常因混凝土裂縫產生後導致水氣、濕氣及大氣中之有害因子(如氯離子或二氧化碳等)侵入，造成混凝土逐漸發生中性化現象，此時中性化會造成混凝土 pH 值由高鹼性轉變成低鹼性，從而失去對鋼筋的保護作用。一旦發生鋼筋腐蝕，銹蝕會使得鋼筋體積膨脹，將促使混凝土內部受鋼筋擠壓，造成混凝土產生裂縫與保護層剝落等現象。
特殊環境引致之劣化	鋼筋混凝土造建築物在工業地區等惡劣環境下，如空氣中的二氧化碳濃度高、氯離子含量過高或含有污染物質等，很容易造成中性化、鋼筋腐蝕、表面劣化及強度降低等劣化現象。
構件劣化度	經老劣化診斷與調查結果後，構件劣化度可分為健全、輕度、中度、重度及嚴重損壞五個等級。在補修工法選用可考慮將之區分成輕度以下、中度、重度以上。當構件之劣化程度為健全、輕度、中度，可單一或組合使用構件補修工法；如構件劣化度為重度或嚴重損壞，則除構件補修工法外，還須與構件修復工法配合使用，才能確保能有效地復原劣化構件之力學性能。
劣化因子強度	構件之劣化因子強度可根據詳細診斷試驗結果來評定，其項目與中性化深度及氯離子含量相關。如劣化因子強度判定為中，其補修工法建議必須搭配表面披覆法；如劣化因子強度判定為強，不僅是表面披覆法，還建議須搭配表面含浸法來改善混凝土現況。

表 1-3 用語定義(之 3)

用語	定義
構件補修工法	根據建築物老劣化調查後，構件劣化度未達重度之構件可視情況單一或組合使用構件補修工法。構件補修工法包含表面處理法、表面披覆法、表面含浸法、裂縫灌注法、裂縫補修法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法。
構件修復工法	構件修復工法適用之對象為劣化度重度以上之構件，且構件修復工法需搭配構件補修工法，才能有效地讓構件恢復其原有力學性能，以確保結構整體之安全性和使用性。構件修復工法會依構件類型和欲修復之性能加以區分及介紹。
阻隔劣化因子	目的為降低外部劣化因子(如氯離子、酸性化學物質、二氧化碳等)侵入混凝土。
抑制劣化因子	目的為使混凝土回復鹼性並賦予鋼筋防銹效果或用以填充內部孔隙使混凝土緻密，以抵抗水分侵入。
除去劣化因子	目的為除去存在混凝土內之劣化因子，直接打除已劣化之部分再填補上新的補修材料恢復其斷面。
抑制鋼筋腐蝕	目的為抑制鋼筋繼續銹蝕，可用之方法有去除混凝土內之劣化因子或用能使混凝土回復鹼性以抑制鋼筋腐蝕之電化學方法進行補修。
披覆材料	披覆材料為表面披覆法之中間層主材料(亦稱披覆材料或中塗層材料)主要為阻擋水、氯離子等劣化因子侵入混凝土，其選用將會影響修復之效用。
含浸材料	表面含浸法所使用之材料亦可被稱為含浸材料，含浸材料的選用非常重要，依用途可分為以防止水分侵入為目、為強化脆弱部分為目、為賦予混凝土再鹼化為目的、以防銹為目的，根據其主要目的可選定合適之含浸材料種類。
裝飾材料	裝飾材料指的是覆蓋在建築物梁、柱、板、牆構件上之最外層材料，除了常見之磁磚、大理石、油漆等材料外，防水漆、水泥砂漿、防火材料、防水毯亦涵蓋在裝飾材料內。
CFRP 貼布	CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)貼布是將碳纖維以單向或雙向配列成為片狀材料，亦稱為CFRP貼布或CFRP貼片，可用於貼附在構件外圍以進行剪力、彎矩強度或圍束能力之補修。

解說：

1. 老劣化

當建築物為鋼筋混凝土材料建造而成，經時間、環境、施工不良或使用不當等各種影響因素，造成鋼筋及混凝土出現老化及劣化現象，並影響到建築物之安全性及使用性。常見地老劣化現象有混凝土產生裂縫或剝落、鋼筋銹蝕及建築物滲漏水等。

2. 劣化度

建築物構件在自然環境下因物理或化學因素影響，使得該建築物之耐久性降低，甚至出現老劣化徵狀，經診斷及調查後獲得之降低程度便稱為劣化度。

3. 形變

由於某些不應存在於混凝土或混凝土構件之問題，如初始缺陷、損壞、劣化等狀況之統稱。其中初始缺陷包含施工缺失所造成之裂縫、石窩、蜂窩、冷縫等現象。

4. 診斷

為了確切掌握建築物老劣化狀況，根據一系列之調查，再根據調查結果進行評定，獲得之評定能瞭解構件之劣化原因與程度，進而選定適當地補修策略。鋼筋混凝土造建築物之老劣化調查包含建築物概要調查、初步診斷及詳細診斷，老劣化初步診斷以目視調查為主，調查內容包含建築物構件劣化、外牆劣化、使用性相關項目和環境影響，根據初步診斷之結果決定是否進行老劣化詳細診斷。老劣化詳細診斷可獲得混凝土材料性質與鋼筋腐蝕狀況，其主要目的是為瞭解劣化主因及選擇適當維護方法。

5. 建築物主結構體

建築物結構體中柱構件為支撐梁所傳來載重；梁為建築物水平構材，支撐樓板、地板重量，並將力傳至豎向構材；板為建築內部水平構材，用來區隔建築物垂直空間；牆為建築物垂直構材，界定不同機能空間之區劃結構體。以上皆為建築物重要傳力或承重構件，主要由鋼筋及混凝土材料構成，而牆構件則有可能由輕質磚堆砌因而視為非傳力或承重構件。

6. 外牆

根據建築技術規則之建築設計施工篇，外牆定義為建築物外圍之牆壁，不包含建築物結構體、內牆或其他構造物。外牆之功用為保護使用者避免受到自

然災害，對建築物內使用者形成保護效果。

7. 第三方影響

從結構上掉落的混凝土碎片對物體之影響和對人的傷害程度。而防止掉落之混凝土塊對人身或財產造成其傷害限度，亦稱為防止第三方傷害限度。

8. 補修

本手冊之補修，意旨當構件經老劣化診斷後，被判定劣化度僅為輕度，此時補修之目標可以恢復或改善構件之美觀性和耐久性，或為了消除第三方影響；當構件之劣化度為中度，補修之目的為延長構件之耐久性及維持安全性；當構件劣化度為重度以上，此時補修之目標是為了讓構件維持其安全性和使用性，還必須讓構件能延長其耐久性及讓構件之設計強度能恢復至初始程度。由於本手冊並不適用於因地震、使用不當等，或因外力而造成的結構體損害，故本手冊所提之補修目的並非為提升建築物之耐震能力。

9. 修復

本手冊所提之修復意旨一旦建築物經評估檢查員判定該建築物有安全性及使用性之疑慮時，以提高建築物之安全性和使用性為目的而對其老劣化構件採取之措施。本手冊之提供之構件修復工法其目的只是為了是構件復原至初始設計，並非為提升構件之性能。本手冊建議之修復工法所使用之補修材料通常為鋼板、碳纖維(CFRP)貼布等，且會搭配補修工法一起施作。

10. 評估檢查員

本手冊所提之評估檢查員資格同耐震能力評估檢查員。依建築物公共安全檢查專案機構及人員認可要點之第六點規定，評估檢查員應具有下列資格之一：

(1) 依法登記開業建築師或依法登記執業土木工程技師、結構工程技師，開(執)業五年以上者。

(2) 未登記開業之建築師或未登記執業之土木工程技師、結構工程技師，具有五年以上建築結構工程經驗者。

11. 裂縫

裂縫分為隱性裂縫與顯在裂縫，隱性裂縫主要分布於建築物各處，無法由肉眼觀測表面得知，但一般可在混凝土表面用敲擊的方式，根據聲音不同來判斷內部有沒有脫層。此種劣化現象普遍存在於各結構體內。倘若建築物無受任何外力影響，則細小裂縫則會保持原狀於結構體內，一旦受到極大的外力

介入，則有可能轉變為顯在裂縫。本手冊提到之裂縫泛指顯在裂縫，顯在裂縫有別於隱性裂縫，多發生於建築物表面，同時也可能造成建築物危害之風險；其危害程度視裂縫寬度、長短、深淺、發生部位、外在環境與使用條件而有所差異。

12. 氯離子侵蝕

由氯離子侵蝕導致劣化之原因可分為二種，一為澆鑄混凝土時直接使用鹽分過高的水或海砂導致建築物氯離子含量過高，或建築物位於鄰近海岸地區，使得混凝土表面沾附海水，致使超過容許含量之鹽化物由吸水或擴散作用滲入混凝土，歷經數年後，混凝土之品質將因鋼筋腐蝕而大受影響。當混凝土內的鋼筋表面附著的氯離子含量超越臨界值時，則鋼筋表面的鈍化膜便會遭受破壞而產生腐蝕，鋼筋腐蝕膨脹將會造成混凝土龜裂、剝落。

13. 中性化

當混凝土暴露在大氣中，空氣中的二氧化碳或其他具酸性物質侵入混凝土而發生化學變化，會使混凝土的 pH 值降低，而使鋼筋表面狀態由鈍化狀態變為易腐蝕之狀態。若混凝土繼續受碳化作用，碳酸鈣會轉變成溶解性較高的碳酸氫鈣析出混凝土而增加混凝土的孔隙，造成強度遞減現象，使有害因子更易滲入混凝土中。換言之，混凝土之氫氧化鈣會和空氣中之二氧化碳反應而產生近中性之碳酸鈣(pH 值為 7)，使得混凝土的酸鹼度 pH 值由 12~14 約降至 9~10；此一反應稱為中性化反應。

14. 鋼筋腐蝕

鋼筋腐蝕之劣化現象通常因混凝土裂縫產生後導致水氣、濕氣及大氣中之有害因子(如氯離子或二氧化碳等)侵入，造成混凝土逐漸發生中性化現象，此時中性化會造成混凝土 pH 值由高鹼性轉變成低鹼性，從而失去對鋼筋的保護作用。但鋼筋腐蝕初期不易由混凝土表面察覺，一旦發生鋼筋腐蝕，銹蝕會使得鋼筋體積膨脹，將促使混凝土內部受鋼筋擠壓，造成混凝土產生裂縫與保護層剝落等現象，更嚴重還會導致建築物使用年限折減，因而浪費大量之維修及重建費用。故分析造成鋼筋腐蝕及剖析導致混凝土 pH 值下降之原因，實在是刻不容緩。

15. 特殊環境引致之劣化

工業地區空氣中二氧化碳濃度高，容易促使混凝土產生中性化。另外，空氣

中含有污染物質與氧作用後形成有害物，將自混凝土表面緩緩弱化混凝土品質，此即為表面劣化或強度降低之主要因素。除上述之不利影響外，工業地區亦常常設立於鄰海區域，若再加上海鹽粒子與雨水交互作用，將侵蝕混凝土而造成鋼筋腐蝕，發生鹽害。

16. 構件劣化度

經老劣化診斷後，技師及建築師便能掌握該構件之劣化度及劣化因子強度。根據診斷與調查結果後，構件劣化度可分為健全、輕度、中度、重度及嚴重損壞五個等級。對於劣化度輕度以下之構件，補修重點將使用表面處理法、裂縫灌注法、裂縫充填法及表面披覆法等對混凝土表面進行處理；對於劣化度中度之構件，由於構件之劣損已經達到可能會對其耐久性造成影響，故此時建議應搭配鋼筋腐蝕補修法、斷面補修法及表面含浸法用以去除鋼筋銹蝕、劣損混凝土及改善既有混凝土之狀況，讓構件得以復原成健全之狀態；至於一旦構件之劣化度達到重度以上，則此時除使用補修工法進行構件補修外，還需配合鋼筋置換工法、擴柱/梁工法或搭配使用補修材料(CFRP、鋼板、點焊鋼絲網等)進行補修，目的為欲使構件能恢復至原始之設計強度。

17. 劣化因子強度

構件之劣化因子強度與中性化深度及氯離子含量相關。如是探討與中性化相關之劣化因子強度，則是根據詳細診斷之混凝土中性化深度檢測和混凝土保護層厚度檢測之結果來計算中性化深度評定值並獲得劣化因子強度；如是探討與氯離子含量相關，則是根據詳細診斷之硬固混凝土氯離子含量平均值以獲得劣化因子強度。且根據劣化因子強度，如劣化因子強度為中，其補修工法建議必須搭配表面披覆法，並選擇能有效阻隔劣化因子之披覆材料；如劣化因子強度為強，不僅是表面披覆法，還建議須搭配表面含浸法來改善混凝土現況。

18. 構件補修工法

根據建築物老劣化調查後，經診斷判定該建築物構件需進行補修，其構件之劣化程度為健全、輕度、中度，可單一或組合使用構件補修工法。構件補修工法包括表面處理法、表面披覆法、表面含浸法、裂縫灌注法、裂縫補修法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法。

19. 構件修復工法

構件修復工法適用之對象為劣化度重度以上之構件，且構件修復工法需搭配構件補修工法，才能有效地讓構件恢復其原有力學性能，以確保結構整體之安全性和使用性。劣化構件之修復以構件類型分為劣化梁構件修復、劣化柱構件修復、劣化板構件修復及劣化牆構件修復，再依欲修復之性能詳細介紹各構件修復工法。

20. 阻隔劣化因子

目的為降低外部劣化因子(如氯離子、酸性化學物質、二氧化碳等)侵入混凝土，相關工法有表面披覆法、表面含浸法、裂縫灌注法等構件補修工法。

21. 抑制劣化因子

目的為使混凝土內部恢復鹼性並賦予鋼筋防銹效果或用以填充內部孔隙使混凝土緻密，以抵抗水分侵入，相關補修工法可用表面含浸法。

22. 除去劣化因子

目的為除去存在混凝土內之劣化因子，直接打除已劣化之部分再填補上新的補修材料恢復其斷面，相關工法有裂縫補修法、斷面補修法等構件補修工法。

23. 抑制鋼筋腐蝕

目的為抑制鋼筋繼續銹蝕，可用之方法有去除混凝土內之劣化因子或用能使混凝土回復鹼性以抑制鋼筋腐蝕之電化學方法進行補修。抑制鋼筋腐蝕建議之補修工法可用鋼筋腐蝕補修法或電化學相關防腐蝕工法等。

24. 披覆材料

表面披覆法所使用之中塗層材料(主材料)亦可被簡稱為披覆材料，目的是為防止外部劣化因子侵入造成構件劣化。故披覆材料要能有效阻隔二氧化碳、氧氣及水分等環境中之劣化因子侵入。

25. 含浸材料

表面含浸法所使用之主要材料亦可被簡稱為含浸材料。用於塗敷在混凝土表面，以防止外部劣化因子之侵入，使混凝土呈鹼性並賦予鋼筋防銹效果，修復材料之劣化。除讓含浸材料自然滲透外，亦可利用外力輔助，如使用電化學電滲作用加強含浸材料之滲透，又或者通過真空高壓強制含浸材料滲入。

26. 裝飾材料

裝飾層指的是覆蓋在建築物梁、柱、板、牆構件上之最外層材料，裝飾層所使用之材料可統稱為裝飾材料，裝飾材料並非結構體的一部分，除了市售常

見之磁磚、大理石、油漆等材料外，防水漆、水泥砂漿、防火材料、防水毯亦涵蓋在裝飾層所使用的材料內。

27. CFRP 貼布

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)貼布是將碳纖維與基底樹脂複合成的纖維強化高分子複合材料，根據碳纖維的配列(單向或雙向)可分為單向 CFRP 貼布或雙向 CFRP 貼布，其優點為重量輕、強度高、裁剪容易、施工容易及耐腐蝕，可用於提升劣化構件之剪力、彎矩強度及圍束能力。

第二章　鋼筋混凝土劣損構件之補修策略研擬及工法選定

2.1 前言

當鋼筋混凝土造建築物因發生劣化而必須進行補修時，制定之補修策略必須根據構件劣化的原因、範圍及程度來選擇合適之補修材料及工法。因此，為了掌握鋼筋混凝土造建築物老劣化狀況，須適時地進行建築物劣化度調查與診斷，並根據劣化度來判定該建築物是否需要進行補修。如經過診斷後判定需對構件進行補修，便可參考本手冊以進行補修策略之研擬，以及選擇合適之補修工法進行施作及選用適合之補修材料。

解說：

當人出現病徵時，必須先經過醫師之診斷才能「對症下藥」。建築物也一樣，一旦建築物出現老劣化徵狀，必須經過評估檢查員調查，瞭解造成建築物劣化之原因、範圍及程度後，才能給予適當地補修策略。因此，在研擬補修策略前，必須進行一系列之診斷及調查，本章節即主要在介紹如何根據鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷結果來進行補修策略研擬和選定合適之補修工法及材料。

2.2 鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷

2.2.1 鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷適用範圍

1. 鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷是針對一般鋼筋混凝土造建築物(含加強磚造)，目的為調查建築物是否有老劣化現象與混凝土內部鋼筋是否發生銹蝕，從而進行劣化診斷與補修策略建議。其調查包含施工初期便含於混凝土中之劣化因子或因外部劣化因子進入混凝土內部導致混凝土產生非預期之裂縫、剝落或鋼筋銹蝕等。
2. 診斷對象包含既有建築物主結構體部份，主要包含梁、柱、板、鋼筋混凝土結構牆(含加強磚造之承重磚牆，並統一以 RC 結構牆統稱)及外牆等，

進行老劣化調查及診斷。

3. 老劣化調查與診斷可分為建築物概要調查、初步診斷及詳細診斷。建築物經概要調查和老劣化初步診斷後，若無法充分取得資料來判定原因，則需進行詳細診斷。

解說：

1. 鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷之詳細流程及步驟可詳見內政部建築研究所出版之「鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷技術手冊」【1】(以下簡稱診斷技術手冊)，診斷技術手冊適用於既有鋼筋混凝土造建築物結構(含加強磚造建築)，目的為調查建築物是否有老劣化現象或混凝土內部鋼筋是否發生銹蝕，從而進行劣化診斷及補修策略建議。且亦適用於施工初期便含於混凝土中之劣化因子(如氯離子、酸性化學物質、二氧化碳等)或因外部劣化因子進入混凝土內部與骨材發生化學變化，而造成之劣化現象。
2. 老劣化診斷方法及流程僅適用於鋼筋混凝土造建築物於自然狀態下，或因施工不良，或因本身材料不良而引發之自然老劣化現象；若因外力或地震力等造成之構件損壞，則不適用於老劣化診斷。
3. 如是由地震所引致之損傷可參考國家地震中心建議之初步耐震能力診斷方法，或是內政部國土管理署(原營建署)建議之鋼筋混凝土造建築物耐震能力初步評估(PSERCB)【2】進行耐震能力評估。關於老劣化診斷與耐震能力調查之相輔性，請詳見圖 R2- 1。
4. 診斷技術手冊之診斷對象僅針對主結構體(主要受力構件)以及外牆部份。主結構體包含梁、柱、板及鋼筋混凝土結構牆(以下簡稱 RC 結構牆)和鋼筋混凝土隔間牆(以下簡稱 RC 隔間牆)。RC 結構牆包含 RC 結構牆和加強磚造之承重磚牆。外牆部份包含外牆、女兒牆、雨遮及陽臺等。
5. 針對既有鋼筋混凝土造建築物顯而易見地某些劣化徵狀，又或者是想掌握建築物完工後經過數年各構件之老劣化狀況，可對其進行老劣化調查。調查是為了瞭解建築物各構件之損傷情形，其老劣化形式、老劣化程度、老劣化發生原因等皆為診斷項目。一般而言，建築物概要調查及初步診斷為必要之實施項目，而詳細診斷則須根據初步診斷結果而判定有無實施之必要性。
6. 圖 R2- 2 為老劣化診斷方法之流程圖，各項目內容概述如下，建築物概要調

查包含：設計圖書、施工記錄、檢查或修復工事紀錄等資料，並透過與建築物使用者之訪談以獲得建築物相關資訊。換言之，其目的為調查建築物既有條件而實行之調查；初步診斷項目以目視調查為主，除了瞭解構件是否有老劣化徵狀及老劣化程度外，另調查建築物所在環境之劣化潛勢及使用性能狀況；詳細診斷是根據特定之老劣化現象進行現地調查並取樣進行相關材料檢驗或試驗，其目的主要為瞭解老劣化原因與程度，並判定是否進行補修及建議合適之補修策略。

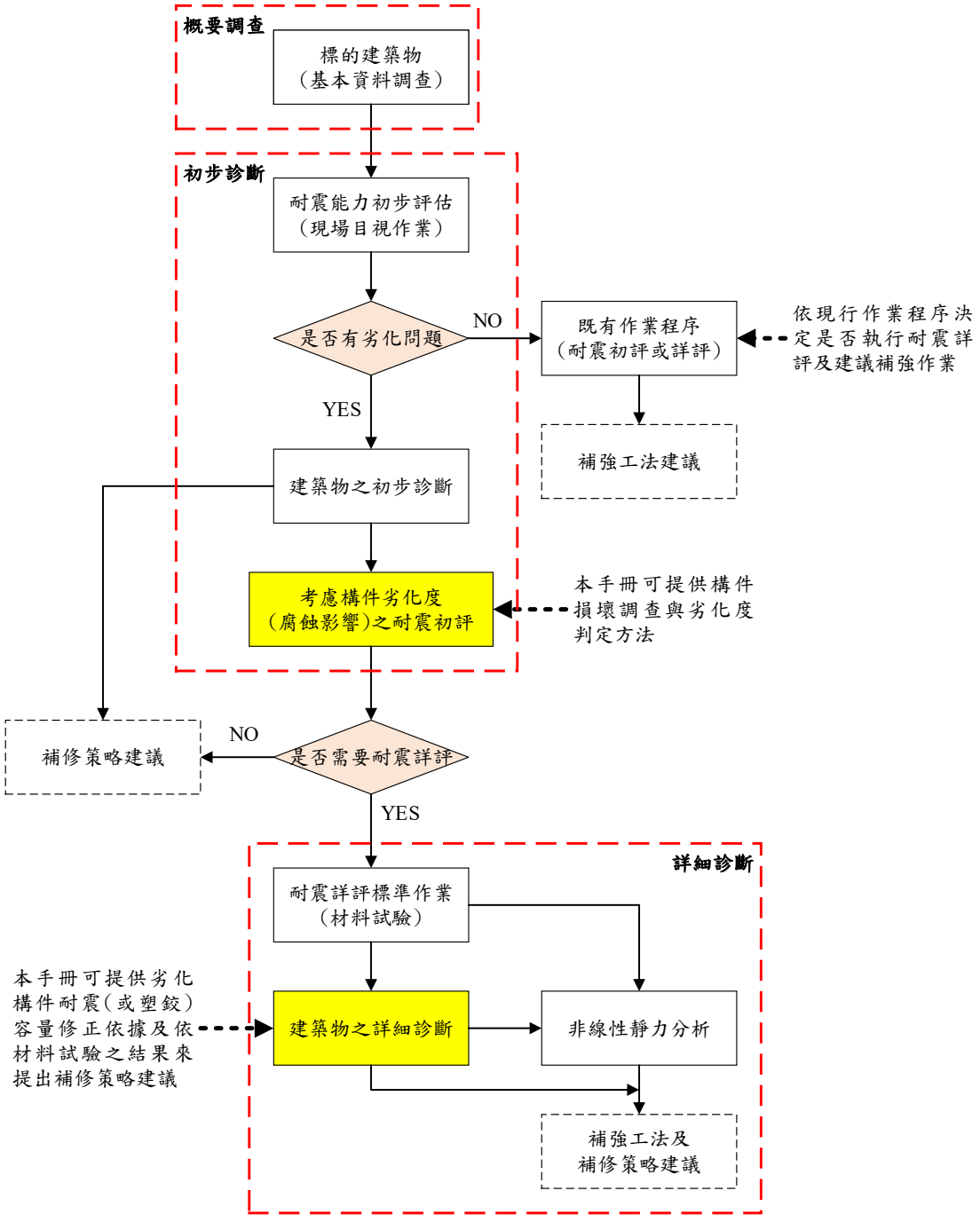


圖 R2- 1 老劣化診斷與耐震能力調查之相輔性(思考路線)

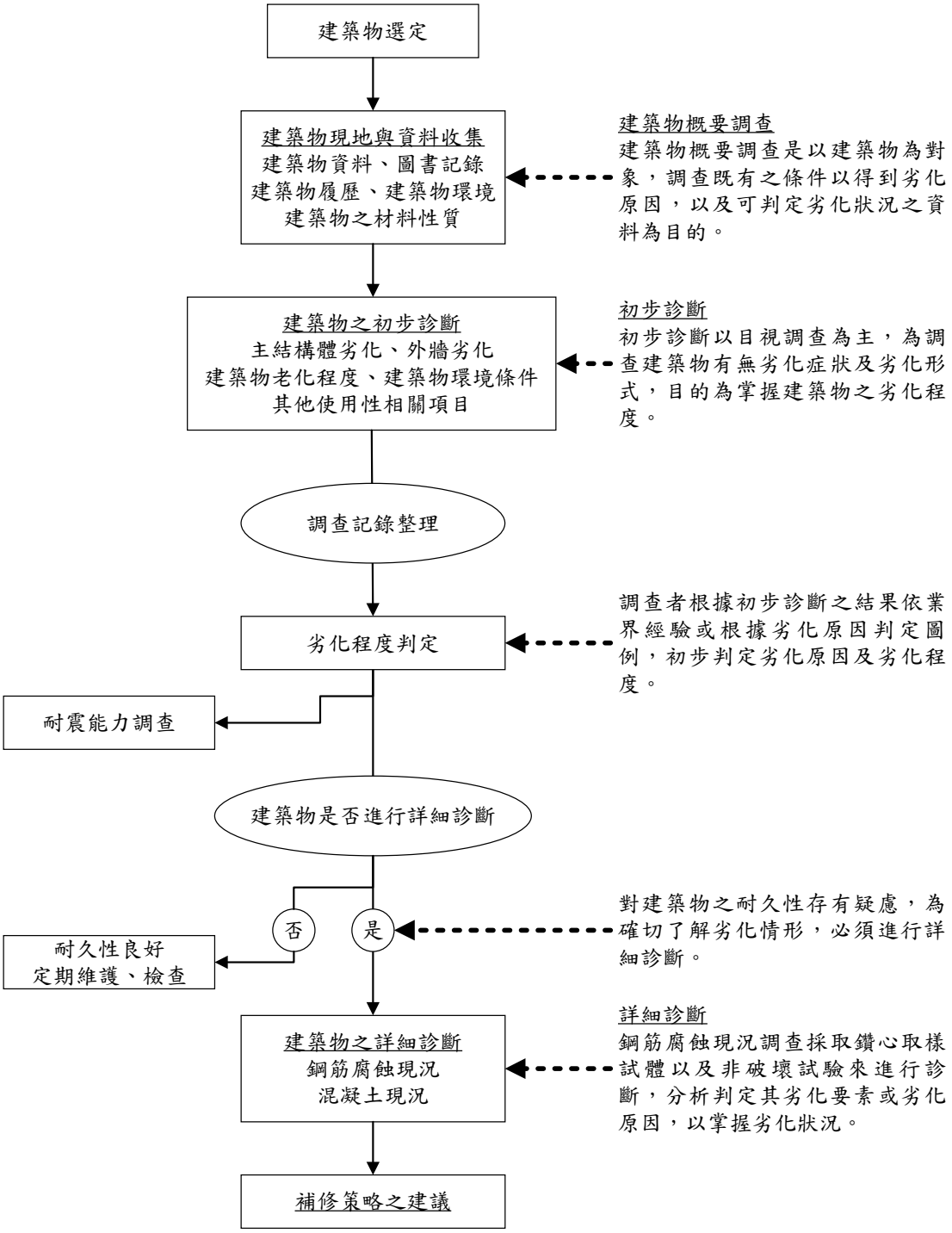


圖 R2- 2 老劣化診斷方法流程圖

2.2.2 概要調查

1. 建築物概要調查是由具專業資格之評估檢查員以建築物為對象，透過訪談之方式調查其既有條件，以得到可能之劣化原因及可用來判定劣化狀況等資料為目的。
2. 建築物概要調查項目包含建築物之概要、圖說紀錄、周邊環境、建物履歷、材料及日常維護與管理等項目。
3. 詳細之建築物概要調查內容，可參照診斷技術手冊【1】。

解說：

1. 人類會經歷生老病死，建築物也不例外，建築物概要調查就好比人在生病去就醫看診時，被醫師問診一樣，紀錄其姓名、年紀、住所、職業、家族病史等，藉由問診途徑獲得病人之背景資料，作為推定病因之參考。
2. 鋼筋混凝土造建築物之老劣化診斷人員資格同耐震能力評估人員資格，將具有資格之專業人士稱為「評估檢查員」，並且其評估檢查員須具備以下資格：
   (1) 依法登記開業建築師、執業土木工程技師或結構工程技師。
   (2) 參加中央主管機關主辦或所委託相關機關、團體舉辦之建築物實施耐震能力評估及補強講習會，並取得結訓證明文件者。
3. 建築物概要調查為老劣化調查與診斷之第一步驟，其項目及相關內容，可參考診斷技術手冊【1】。

2.2.3 初步診斷

1. 初步診斷為老劣化調查與診斷之第二步驟，診斷方式以目視調查為主，針對不同調查項目分別調查其裂縫、浮起/鼓脹、剝落、表面狀態等劣化形式。經評估檢查員根據裂縫判定圖例或相關評定基準來判定構件劣化之成因，並將調查結果按照所訂定的樣式紀錄之。
2. 初步診斷之調查項目包含構件劣化、外牆劣化、環境影響因子和其他使用性相關項目，各調查項目之紀錄表及評定方式可參考診斷技術手冊【1】。
3. 評估檢查員依「構件劣化」→「外牆劣化」→「環境影響因子」→「其他使用性相關項目」等以階段式進行初步診斷綜合評定(詳見圖 2- 1)。

4. 初步診斷各階段之評定結果若其中有一項目進入黃色則判定該建築物之耐久性存有疑慮，紅色則為確有疑慮，均建議進入詳細診斷以瞭解其可能劣化之主因。

構件劣化	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
評定標準值 (詳細診斷)	1	2	3	4	5



環境影響因子	低劣化潛勢	中劣化潛勢	高劣化潛勢
評定係數 (詳細診斷)	1.0	1.1	1.2
外牆劣化與環境條件			
環境條件 外牆劣化	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	重環境劣化潛勢
健全			
輕度			
中度			
重度			
嚴重損壞			



其他使用性 相關項目	完好	普通	不良	極差

圖 2- 1 初步診斷綜合評定

解說：

1. 初步診斷以目視調查為主，其調查重點是以目視觀察構件劣化狀況並利用工具(如望遠鏡或相機等)確實掌握各構件損害情形。由於目視調查工程較為主觀，因此須由具資格之評估檢查員進行。診斷技術手冊【1】中建立了詳細地診斷流程與評估表用來協助評估檢查員按表或按流程操作，並確實紀錄其調查結果後，再依診斷技術手冊內提供之評定基準進行老劣化診斷。之後，綜合各項調查之結果，可初步判定該建築物之老劣化狀況。
2. 初步診斷項目共分為四個項目(圖 R2- 3)：一為構件劣化，主要評估對象為建築物之柱、梁、板以及 RC 結構牆和隔間牆之劣化狀況；二為外牆劣化，主要調查該建築物外牆之壁體、女兒牆、雨遮、陽臺於自然環境及維護不當所造成之劣化狀況；三為環境影響因子，依建築物所在之環境及已使用年限判

定其環境劣化潛勢；四為其他使用性相關項目，從使用者觀點出發，判定建築物是否有滲漏水、變形及振動等易造成使用性能不佳之問題。

3. 初步診斷各階段之評定結果以顏色來區分便於判定，若其中有一項目進入黃色則判定該建築物之耐久性存有疑慮，紅色則為確有疑慮，均建議進入詳細診斷以瞭解其可能劣化之主因。此外，有關其他使用性相關項目之評定部份，因大多與混凝土或鋼筋之劣化無關，建議由評估檢查員配合使用者或所有權人依評定結果來決定適合之補修工法與維護策略。

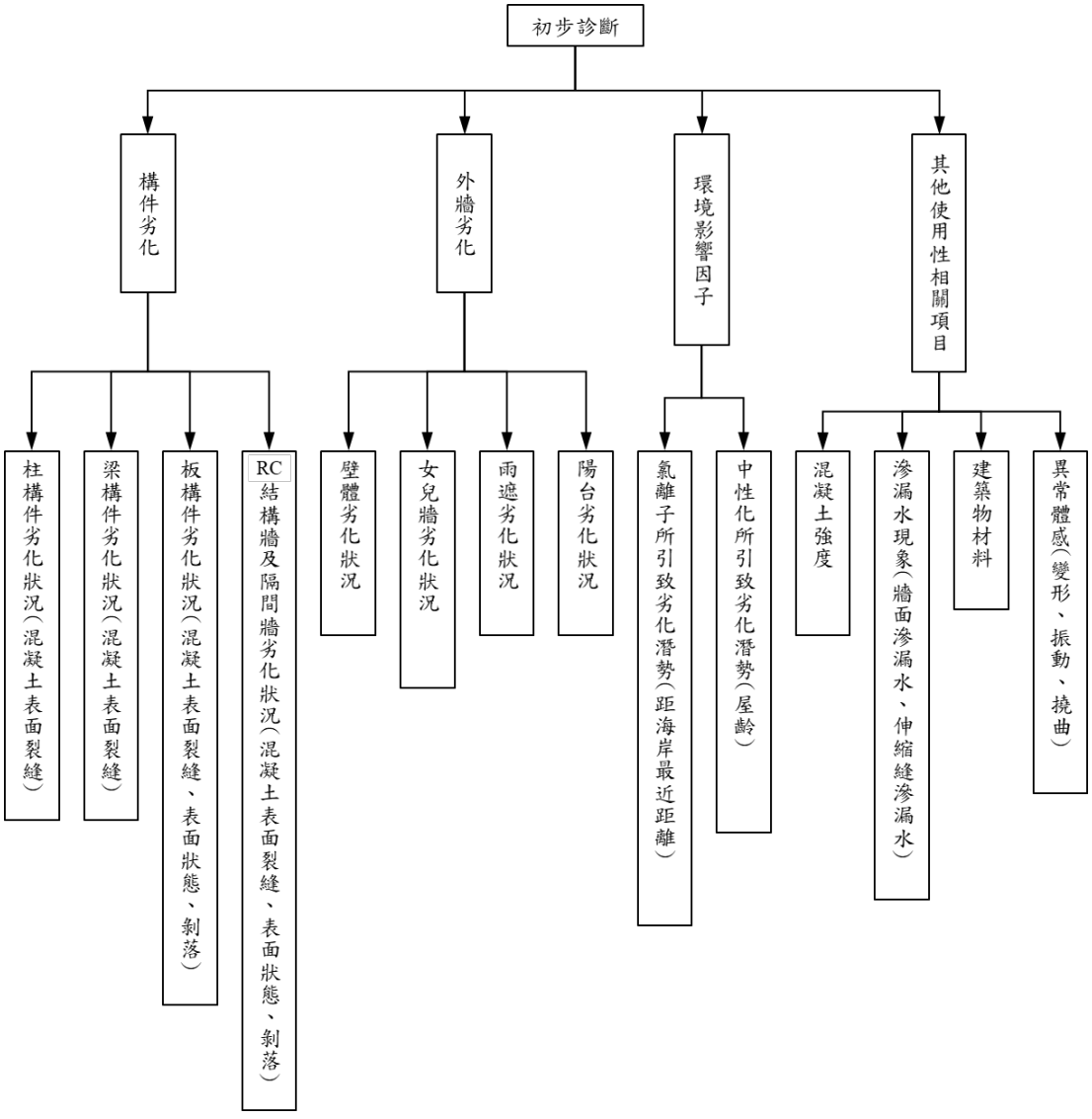


圖 R2- 3 初步診斷項目

2.2.4 詳細診斷

1. 詳細診斷是根據初步診斷之結果來判定是否需要實施。
2. 詳細診斷項目有混凝土現況、鋼筋腐蝕現況和環境影響因子，結合初步診斷的構件劣化、外牆劣化和環境影響因子之結果，使詳細診斷結果能更確切地反映建築物真實之老劣化程度。
3. 詳細診斷與初步診斷最大不同在於診斷結果不再只是老劣化程度，而是將老劣化程度賦予評定標準值，分別為 1、2、3、4、5(數字越大表示劣化程度越大)。
4. 以初步診斷之結果作為基本依據，結合詳細診斷之各項試驗評定標準值，並將其評定標準值乘以權重值後，用以計算單一樓層之單一老劣化評定等級及整棟建築物之整體老劣化評定等級。

解說：

1. 初步診斷是以目視調查為主，最大特點是能快速且簡單地上手，但僅能自外觀來研判各構件之劣化程度，卻無法得知其構件內部劣化情形及引致之關鍵劣化因子。因此，須藉由儀器進行詳細地材料試驗來判定構件內部的劣化嚴重程度，以及驗證是否與初步診斷調查結果相同，並利用診斷結果及權重分析，得一較為客觀之建築物老劣化評定標準值，並進一步決定該建築物是否該進行補修。
2. 詳細診斷分為三大項(圖 R2-4)，一為混凝土現況，須檢測之項目為電阻率檢測、抗壓強度檢測、混凝土保護層厚度檢測及外牆劣化評定；二為鋼筋腐蝕現況，須檢測之項目為腐蝕電位、混凝土中性化深度檢測、混凝土氯離子含量測定及構件劣化評定，各試驗方法及評定標準請參照診斷技術手冊【1】。除此之外，構件及外牆之劣化狀況和環境影響因子皆為初步診斷中建築物目視調查之結果。
3. 詳細診斷可將劣化程度賦予評定標準值，分別為 1 至 5，評定值越大，表示

建築物劣化程度越大。在詳細診斷中，除採用目視調查之結果外，亦採用相關材料試驗以決定一具量化之評定標準值，可使詳細診斷結果更具客觀、公平及實用價值。

4. 利用初步診斷之結果作為提供給詳細診斷之基本依據，並藉由詳細診斷之結果，計算單一樓層之單一老劣化評定等級及整棟建築物之整體老劣化評定等級。首先，將詳細診斷各指標權重值代入(2-1)式中，便可計算單一樓層之老劣化評定等級，再透過表 R2- 1 得到單一樓層之老劣化評定等級。

$$D_i=\delta_1\times\sum_{j=1}^{2}\sum_{m=1}^{4}\beta_j A_{jm}\alpha_{jm} \tag{2-1}$$

式中，D_i 為第 i 樓層老劣化評定值；δ_1 為環境影響放大係數；β_j 為第 j 類因子中代表之權重；A_{jm} 為第 j 類因子中第 m 個指標獲得之評定值；α_{jm} 為第 j 類因子中第 m 個指標所佔之權重值，各權重值請詳見診斷技術手冊【1】。

5. 將獲得之單一樓層之老劣化評定值代入(2-2)式中，便可計算出整棟建築物之老劣化評定等級，並透過表 R2- 2 獲得整棟建築物之整體老劣化度及處理建議。

$$D_{total}=\sum_{j=1}^{q}D_j r_j \tag{2-2}$$

式中，D_{total} 為整體建築物老劣化評定值；D_j 為第 j 個樓層之單一樓層老劣化評定值；r_j 為第 j 個樓層在整體建築物中所佔之權重，會因各樓層之使用特性可有不同之考量，一般而言，建議採用同等權重方式進行評定；q 為該建築物之樓層數。此外，在整棟建築物之整體老劣化評定上，除了可提出整體老劣化度評定分級外，亦可給予該建築物之處理建議。

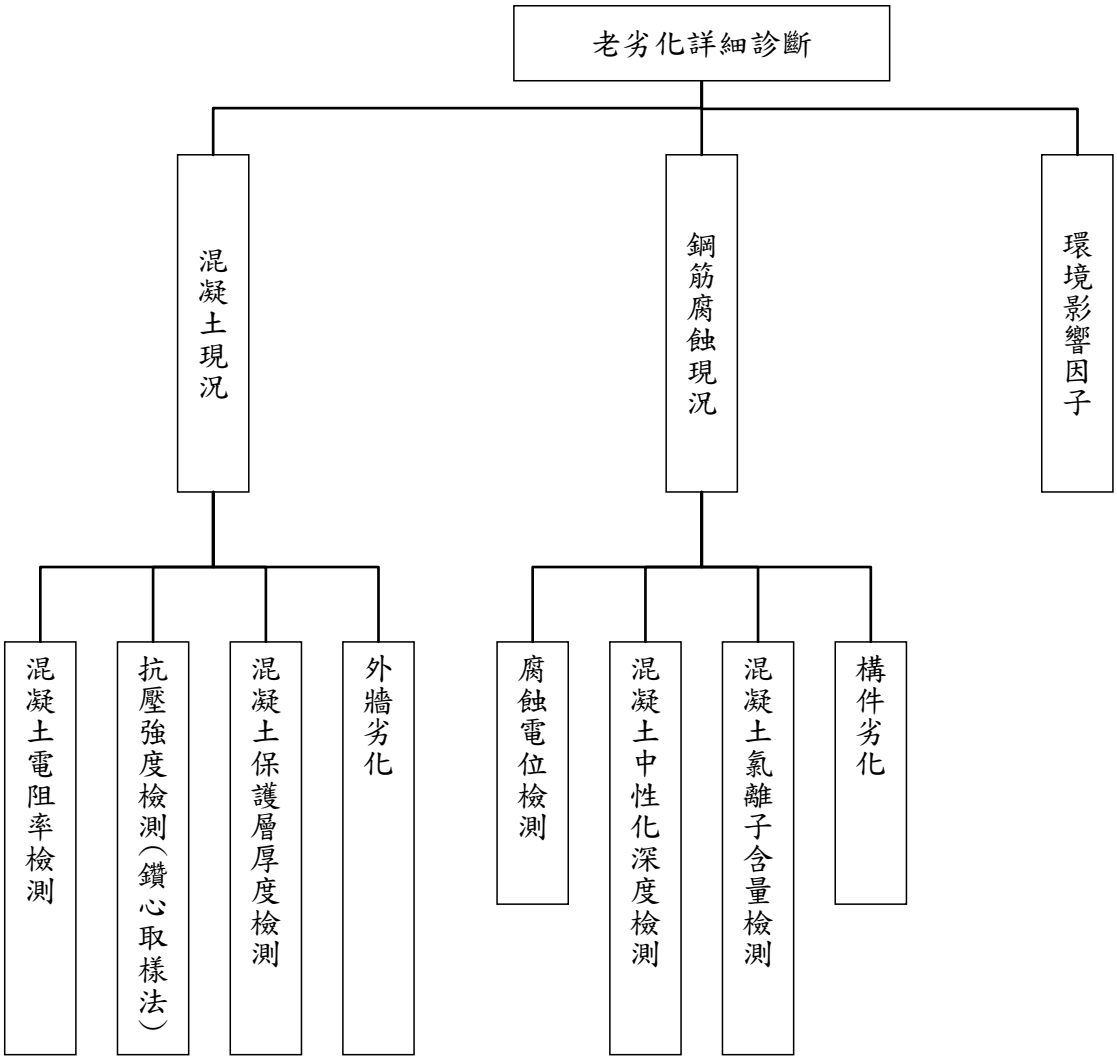


圖 R2- 4 詳細診斷項目

表 R2- 1 單一樓層之老劣化度評定表

D_i 之範圍	$0 \le D_i < 2$	$2 \le D_i < 3$	$3 \le D_i < 4$	$4 \le D_i < 5$	$5 \le D_i$
單一樓層老劣化等級	5	4	3	2	1
老劣化評定等級	良好	好	普通	較差	極差

表 R2- 2 整體建築物之老劣化度評定

D_{total} 之範圍	$0 \le D_{total} < 2$	$2 \le D_{total} < 3$	$3 \le D_{total} < 4$	$4 \le D_{total} < 5$	$5 \le D_{total}$
整體老劣化等級	5	4	3	2	1
整體老劣化評定等級	良好	好	普通	較差	極差
處理建議	正常使用		定期維護	補修策略建議	

2.3 補修策略研擬

1. 當鋼筋混凝土構件老劣化到某些程度時，將影響建築物之安全性與使用性時，根據各構件之老劣化程度，此時便需要進行補修。
2. 為提高其安全性和使用性，並讓構件恢復至原始設計強度之對策，須根據建築物之老劣化診斷調查結果，在確定其老劣化主因、程度及範圍後，進而決定復原策略。
3. 當選擇補修工法時，應考量之條件有(1)建築物之種類、用途和使用環境、(2)老劣化狀況和劣化因子強度、(3)修復目的、(4)施工條件和(5)經濟性。除此之外，依據老劣化診斷之結果，應考量構件之劣化度(健全、輕度、中度、重度或嚴重損壞)及劣化因子強度(氯離子含量、中性化深度)等狀況，經綜合考量後，選擇最適當之修復工法及材料來進行補修。
4. 依詳細診斷之結果，根據造成構件老劣化之原因、程度及範圍後，便可參考本手冊提供之方法來研擬補修策略以及選定補修工法及材料。如是為延長構件之耐久性與使用性，可參考本手冊第三章之構件補修工法；如是為了使構件恢復至初始設計強度，可參考本手冊第四章之構件修復工法。

解說：

1. 當既有鋼筋混凝土造建築物經老劣化診斷及調查被判定該建築物需對已老劣化之構件或未來有可能出現老劣化徵狀之構件進行抑制，使其耐久性能得以提升或恢復，以及預期能去除或降低第三者(外力)之影響度而進行之補修工作，皆須依各構件之老劣化程度來制定補修策略並選定補修工法及材料。

2. 補修策略會依劣化原因及劣化程度而有所不同，構件劣化可能因鋼筋腐蝕、中性化或氯離子而造成，根據老劣化診斷之劣化度及造成構件之劣化原因後，即可參考本手冊來研擬補修策略並選定適合之補修工法及材料。
3. 當選擇補修工法時，應考量之條件有(1)建築物之種類、用途和使用環境、(2)老劣化狀況和劣化因子強度、(3)修復目的、(4)施工條件和(5)經濟性。除此之外，根據構件之劣化度(健全、輕度、中度、重度或嚴重損壞)及劣化因子強度(中性化深度或氯離子含量)經綜合考量下依序選擇合適地補修工法。

2.3.1 鋼筋腐蝕補修

1. 鋼筋腐蝕補修適用於因鋼筋腐蝕而裂損之構件。當混凝土內之鋼筋發生銹蝕，可藉由詳細診斷之腐蝕電位檢測來獲取鋼筋之狀態，其鋼筋腐蝕電位評定基準表可詳見表 2- 1。
2. 如構件劣化度為健全或輕度，建議可參考本手冊第三章提供之構件補修工法進行施作；如構件劣化度為中度以上，建議可使用本手冊第四章所提供之構件修復工法進行復原工程。

表 2- 1 鋼筋腐蝕電位評定基準

評定標準值	電位區間(mV)	鋼筋狀態
1	> -200	無腐蝕活動或腐蝕活動性不確定
2	-200 ≥ x > -300	有腐蝕活動，但腐蝕狀態不確定
3	-300 ≥ x > -400	腐蝕活動性較強，發生腐蝕機率> 90 %
4	-400 ≥ x >-500	腐蝕活動性強，嚴重腐蝕可能性大
5	≤ -500	構件存在腐蝕開裂區域
備註	(1)表中電位水平為採用銅-硫酸銅電擊時的測量值。 (2)混凝土濕度對量測值有明顯影響，量測時構件為自然狀態。	

解說：

1. 鋼筋腐蝕補修法是利用防銹材料對鋼筋進行防銹處理，使鋼筋表面形成保護膜，以隔絕空氣及水分、抑制鋼筋繼續生銹，再以填充補修材料來隔絕劣化

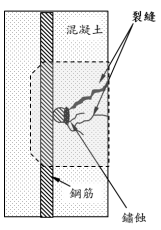
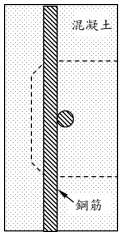
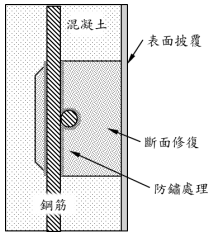
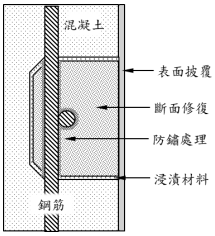
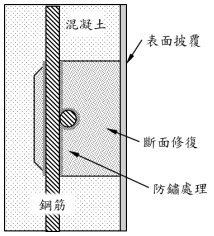
因子並保護鋼筋，藉此達到補修之目的。藉由鋼筋腐蝕評定基準值可知道鋼筋之狀態，當評定基準值為2 (含)以下時，代表鋼筋無腐蝕活動或腐蝕活動性不確定，或者為有腐蝕活動但腐蝕狀態不確定，此時之補修順序為(1)將出現裂縫和劣化之混凝土去除至鋼筋腐蝕部份，(2)鋼筋除銹處理，(3)填補斷面補修材料、底層調整材料及裝飾材料；但當評定基準值為3，除上述之步驟外，在鋼筋除銹後還必須塗抹鋼筋防銹材料，以及填補上斷面補修材料後亦須對混凝土進行表面披覆；如評定值更高，則甚至還須對既有混凝土塗佈上強鹼材料進行含浸，用以使混凝土內部恢復為強鹼，藉以改善混凝土之狀態及抑制鋼筋持續腐蝕。

2. 梁、柱構件之劣化度亦可表示鋼筋腐蝕狀況(詳見表R2- 3)，如構件劣化度為健全或輕度，將無須使用鋼板或CFRP材料來進行外部地構件補修，此時補修之目的只為恢復或改善構件之美觀性和耐久性，或為了消除第三方影響，建議可參考本手冊第三章提供之補修工法；如構件劣化度為重度以上，則補修之目的將以維持構件之安全性和使用性並以構件之設計強度能恢復至初始程度為目標，故建議使用本手冊第四章所提供之構件修復工法。
3. 除了根據不同程度之劣化度等級和劣化因子強度來選擇合適地補修工法外，如使用者提出特定之恢復目標(如臨時性補修、延長使用性補修或永久性補修)，亦可參考表 R2- 4 提供之補修工法與恢復目標之關係來選用合適之修復工法。

表 R2- 3 柱、梁構件劣化度評定基準

劣化度	評　　定　　基　　準	
	外觀劣化徵狀	鋼筋腐蝕狀況
健全	無顯著裂縫劣化徵狀	鋼筋腐蝕於等級 II 以下
輕度	裂縫寬度 < 0.3 mm	鋼筋腐蝕於等級 III
中度	0.3 mm ≤裂縫寬度 < 0.5 mm	鋼筋腐蝕於等級 IV
重度	0.5 mm ≤ 裂縫寬度	鋼筋之腐蝕等級為 IV 以上
嚴重損壞	混凝土裂縫大到無法判定寬度、剝落嚴重，鋼筋完全露出且銹蝕嚴重。	

表 R2- 4 鋼筋腐蝕補修法與恢復目標之關係

損傷狀況		恢復目標			
						
補修工法		臨時性	延長使用性	永久性(1)	永久性(2)
鋼筋腐蝕補修法	劣化混凝土處理	除去裂縫	受鋼筋腐蝕影響部份	受鋼筋腐蝕影響部份	受鋼筋腐蝕影響部份
	鋼筋銹蝕處理	鋼筋銹蝕部份去除	鋼筋銹蝕部份去除	鋼筋銹蝕部份去除	使用電動工具將鋼筋銹蝕部份去除
	含浸材料處理	-	-	塗佈型強鹼材料	-
	鋼筋防銹處理	-	鋼筋防銹材料	鋼筋防銹材料	鋼筋防銹材料
	斷面補修	斷面補修	斷面補修	斷面補修	斷面補修
	表面披覆	-	中性化抑制材料、氯離子浸透抑制材料	中性化抑制材料、氯離子浸透抑制材料	中性化抑制材料、氯離子浸透抑制材料

2.3.2 中性化抑制

1. 混凝土中性化速度受材料或混凝土密實性等因素影響，如何根據損傷部位之受損程度進行有效地補修，須依中性化程度將其分類(表 2- 2)。
2. 混凝土中性化程度是根據中性化深度評定值來判定，關於中性化評定值請詳見調查診斷手冊【1】。
3. 根據混凝土構件劣化度及劣化因子強度(與中性化深度相關)，可藉由表 2- 3 選定混凝土中性化補修工法。

表 2- 2 混凝土中性化程度

劣化因子強度	中性化進展程度
弱	中性化深度評定值 ≤2
中	中性化深度評定值 =3
強	中性化深度評定值 ≥4

表 2- 3 混凝土中性化補修工法之選定

劣化因子強度 / 劣化度	弱	中	強
輕度以下	不用或 裂縫補修法	裂縫補修法 中性化抑制工法	裂縫補修法 中性化抑制工法
中度	鋼筋腐蝕補修法 (檢討其他原因)	鋼筋腐蝕補修法 中性化抑制工法	鋼筋腐蝕補修法 中性化抑制工法
重度以上	鋼筋腐蝕補修法 (檢討其他原因)	鋼筋腐蝕補修法 中性化抑制工法	鋼筋腐蝕補修法 中性化抑制工法

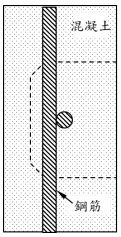
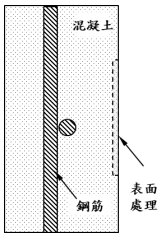
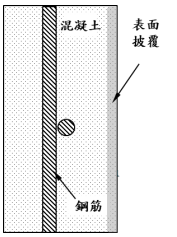
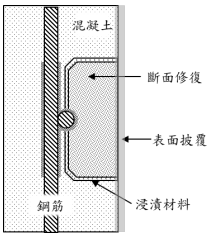
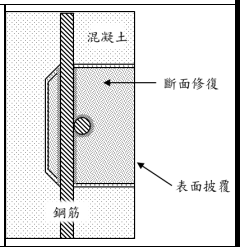
解說：

一般來說，混凝土可利用表面裝飾材料(如油漆、磁磚等)來防止外部二氧化碳侵入、抑制中性化反應，但如果中性化深度達到鋼筋位置時，混凝土則須採用表面含浸法以強鹼劑(矽酸鹽類材料)來改變混凝土組織以恢復混凝土抑制鋼筋腐蝕之能力。經診斷後判定其劣化因子強度為弱之構件，主要是對混凝土表面之劣化部份進行清除、處理；而劣化因子強度為中之構件除了對混凝土表面進行處理外，還須配合表面披覆法使用，在混凝土表面塗抹可阻隔中性化之披覆材料(樹脂系有機或聚合物水泥系無機披覆材料)及裝飾材料來隔絕二氧化碳、水、氧氣之侵入，並提高耐久性。至於劣化因子強度為強之構件，除了上述補修工法外，還需視情況在除去混凝土劣化部份後，可用含浸工法將矽烷基、矽酸鹽基、亞硝酸鋰等強鹼劑塗抹於鋼筋附近之混凝土，藉此改變混凝土組織，抑制劣化因子對鋼筋造成的腐蝕狀態，以提高其耐久性；或者，可用斷面補修法除去混凝土內已中性化之部份，再搭配表面披覆法，隔絕劣化因子侵入。

除了根據不同程度之劣化度等級和劣化因子強度來選擇合適地補修工法外，如使用者提出特定之恢復目標(如臨時性補修、延長使用性補修或永久性補修)，

亦可參考表 R2- 5 提供之中性化抑制工法與恢復目標之關係來選用合適之修復工法。

表 R2- 5 中性化抑制工法與恢復目標之關係

損傷種類		恢復目標			
						
補修方法		臨時性	延長使用性	永久性(1)	永久性(2)
中性化抑制工法	混凝土表面處理	劣化部份清除、處理	劣化部份清除、處理	劣化部份清除、處理	劣化部份清除、處理
	表面含浸處理	-	-	強鹼性材料	-
	斷面補修	-	-	斷面補修	斷面補修(擴大範圍)
	表面披覆	-	中性化抑制材料	中性化抑制材料	中性化抑制材料

2.3.3 氯離子滲透抑制

要抑制氯離子滲透可利用表面披覆材料來防止外部氯離子侵蝕，以及抑制水分和氧氣供給，避免鋼筋腐蝕。建築物之混凝土氯離子含量程度分類與氯離子含量平均值有關，依硬固氯離子含量平均值將劣化因子強度分為強、中、弱(表 2- 4)。根據構件劣化度與劣化因子程度可選擇合適的補修工法，如表 2- 5 所示。

表 2- 4 硬固混凝土氯離子含量程度

劣化因子強度	硬固氯離子含量平均值
弱	$< 0.3\ kg/m^3$
中	$0.3\ kg/m^3 \leq$ 平均值 $< 0.6\ kg/m^3$
強	$\geq 0.6\ kg/m^3$

表 2- 5 混凝土氯離子補修工法之選定

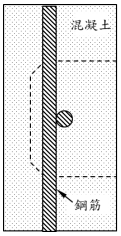
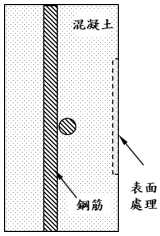
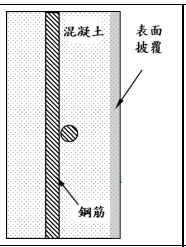
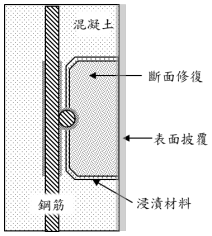
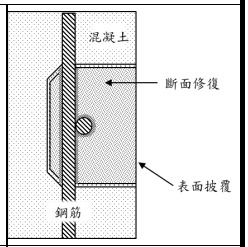
劣化因子強度 / 劣化度	弱	中	強
輕度	不用或 裂縫補修法	裂縫補修法 氯離子抑制工法	裂縫補修法 氯離子抑制工法
中度	鋼筋腐蝕補修法 (檢討其他原因)	鋼筋腐蝕補修法 氯離子抑制工法	鋼筋腐蝕補修法 氯離子抑制工法
重度	鋼筋腐蝕補修法 (檢討其他原因)	鋼筋腐蝕補修法 氯離子抑制工法	鋼筋腐蝕補修法 氯離子抑制工法

解說：

一般來說，混凝土之表面裝飾材料(如油漆、磁磚等)能阻隔空氣中之氯離子滲入並抑制侵蝕，但當混凝土內已含有大量氯離子時，混凝土則須採用適當之補修工法來恢復其性能。對於劣化因子強度為弱之構件，只須將混凝土表面之劣化部份清除、處理；對於劣化因子強度為中之構件，除了處理混凝土表面劣化部份，還須搭配表面披覆法，在混凝土表面披覆氯離子滲透抑制材料(如樹脂系有機或聚合物水泥系無機披覆材料、油漆、磁磚等)以阻隔氯離子、水、氧氣侵入。對於劣化因子強度為強之構件，將混凝土表面劣化部份處理後，可視情況在混凝土部分塗抹含浸材料(如亞硝酸鹽類、氨基醇類等)，藉以改變混凝土組織，隔絕劣化因子侵入並抑制鋼筋繼續腐蝕，再搭配表面披覆法在混凝土表面披覆氯離子滲透抑制材料來阻隔劣化因子；亦或者，選擇用可除去劣化因子之斷面補修法或電化學脫鹽法將已滲透混凝土內之氯離子去除後，再利用表面披覆法來有效地阻隔劣化因子侵入。

除了根據不同程度之劣化度等級和劣化因子強度來選擇合適地補修工法外，如使用者提出特定之恢復目標(如臨時性補修、延長使用性補修或永久性補修)，亦可參考表 R2- 6 提供之氯離子補修工法與恢復目標之關係來選用合適之修復工法。

表 R2- 6 氯離子補修工法與恢復目標之關係

損傷種類		復原方法			
						
補修方法		臨時性	延長使用性	永久性(1)	永久性(2)
氯離子抑制工法	混凝土表面處理	劣化部份 清除、處理	劣化部份 清除、處理	劣化部份 清除、處理	劣化部份 清除、處理
	表面含浸處理	-	-	塗抹 含浸材料	-
	斷面補修	-	-	斷面補修	斷面補修 (擴大範圍)
	表面披覆	-	氯離子滲透抑制材料	氯離子滲透抑制材料	氯離子滲透抑制材料

2.3.4 裂縫補修

現今針對腐蝕劣化構件之裂縫補修，根據構件裂縫的開裂程度可分為：裂縫灌注法、裂縫補修法、斷面補修法、構件修復工法、構件拆除重作等不同等級之補修對策。

1. 裂縫灌注法：適用於鋼筋混凝土梁、柱、板、牆等裂縫寬度 0.3 mm 以下之構件。
2. 裂縫填充工法：適用於鋼筋混凝土梁、柱、板、牆等裂縫寬度 0.3 mm 以上之構件。
3. 斷面補修法：適用於鋼筋混凝土構件局部混凝土嚴重開裂或鬆動。
4. 構件修復工法：適用於鋼筋混凝土構件可能發生嚴重開裂或鬆動。
5. 局部構件敲除重作：適用於鋼筋混凝土構件嚴重開裂或鬆動，因範圍過大而無法使用填補材料進行修復時。

解說：

1. 裂縫灌注法

一般而言，裂縫寬度 0.3 mm 以下之非結構性裂縫，經填補後可有效地防止水氣侵入。首先，將混凝土表面清除乾淨，以水泥漿、環氧樹脂或彈性披土

填充、抹平裂縫，或沿裂縫開 V 形槽再以水泥砂漿填補粉平，最後塗刷油漆與周圍顏色一致。施工前應事先取得技師同意，施工時需嚴格遵守安全防護措施，並依材料廠商建議方式塗刷、施作。

2. 裂縫補修法

裂縫補修法是注入樹脂類補修材料填補裂縫，防止水、氧氣和劣化因子從裂縫中滲入，導致鋼筋腐蝕。當鋼筋混凝土造建築物之構件雖出現受損現象，但混凝土與鋼筋之黏結握裹依舊完好，均可以適合之工法和材料將其「補修」，亦可藉此維持構件之既有強度。一般而言，環氧樹脂之強度遠高於混凝土，且可與混凝土充分黏結，故以壓力注入環氧樹脂之裂縫不但可以達到完全密合之效果，還可防止水氣侵入。且補修過後之部位若再受外力導致混凝土開裂，因環氧樹脂之黏結強度高於基礎混凝土，則再開裂之位置應不會發生在灌注環氧樹脂的部位。

裂縫補修法是根據劣化度及混凝土表面之裂縫幅度來選定(表 R2- 7)，劣化度須依據老劣化初步診斷之構件劣化中的裂縫劣化度之判定。

表 R2- 7 混凝土裂縫補修法之選定

劣化度	劣化原因的強度(混凝土表面之裂縫幅度)	
	小	大
輕度	不用	裂縫補修法
中度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕補修法
重度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕補修法

3. 斷面補修法

一般而言，斷面補修法是當混凝土表面出現鬆動或嚴重開裂之現象時，適用於修復混凝土的補修工法。首先，須先敲除鬆動之混凝土至堅實面，再以高壓噴槍進行清除修飾作業，待清除表面粉塵及鬆動碎屑，等乾燥後塗抹介面黏著劑(如水泥砂漿或環氧樹脂等)於新舊混凝土介面上，並於黏著劑尚未硬化前填補斷面補修材料，最後加以整平及養護。

斷面補修法之應用範圍包括施工期間發生未填滿之混凝土或混凝土部份劣化區域、混凝土開裂或剝落、鋼筋腐蝕等劣化受損區域，以及須去除劣化因子之混凝土開裂或剝落、鋼筋腐蝕等具體損壞區域。通常，斷面補修材料之強度會等於或高於既有混凝土之強度，並且滿足規定之黏結強度。在許多情況下，補修材料需要具備良好之耐久性，通常會使用含聚合物之水泥系補修

材料。

4. 構件修復工法

構件修復工法是將鋼板、碳纖維貼布(Carbon Fiber Reinforced Plastic；CFRP)或玻璃纖維強化塑膠（Glass Fiber Reinforced Plastic；GFRP）等材料緊緊貼附在構件外圍。當地震發生時，開裂的混凝土塊也會因為貼附材料而不會輕易地自構件剝落，進而提升安全性。構件修復工法之施工程序須先去除粉刷層及混凝土碎塊，其次，將裸露之鋼筋除銹後，組模灌製混凝土。拆模後於構件塗上底漆打底及表面批平，並在表面進行補修材料貼附，最後再進行表面處理即完成構件修復作業。

5. 局部構件敲除重作

當鬆動或嚴重開裂之混凝土體積過大時，將既有混凝土之鬆動或嚴重損害部位完全敲除後，依新舊混凝土接合面之施工方式修復其嚴重受損之構件。首先，確定欲敲除之混凝土範圍，敲除表面鬆動之混凝土後檢查鋼筋是否銹蝕。如確定鋼筋已銹蝕，敲除範圍則須包含從混凝土表面至鋼筋內側，之後進行鋼筋除銹以及用高壓噴槍清除雜物。外露之鋼筋確實塗上除銹劑後，塗抹水泥漿或符合規定之黏著劑於新舊混凝土接合面，在黏著劑仍然保持濕潤狀態時以新拌混凝土填補，最後進行表面修飾整平及養護。經敲除後之構件應注意施工期間之結構安全性，新舊混凝土接合面鑿毛後，介面處的粗糙度應有1/3~1/2 的粗骨材裸露。如新灌混凝土並非使用無收縮混凝土，應預留接縫，待養護拆模後補灌無收縮水泥砂漿以避免新舊混凝土間發生乾縮裂縫。

2.4 補修工法選定

1. 在進行補修策略研擬時，需考量之因素包含構件現況及劣化範圍(劣化度)、造成劣化之原因及程度(劣化因子強度)等條件。補修工法亦須根據老劣化診斷結果來選定，確實施作才能達到補修之功效。 2. 補修工法選定流程，會先根據構件劣化度(輕度以下、中度、重度以上)，接著根據劣化因子(氯離子含量或中性化深度)及強度(弱、中、強)，依構件實際狀況來選定適合之補修工法來施作。

解說：

1. 在進行補修策略研擬時，需考量之因素包含構件現況及劣化範圍(劣化度)、造成劣化之原因及程度(劣化因子強度)等，故本章2.3小節主要介紹了關於鋼

筋腐蝕補修、中性化抑制、氯離子滲透抑制及裂縫補修四種不同情況下適用之補修工法。

2. 經老劣化診斷後，技師及建築師便能掌握該構件之劣化度及劣化因子強度。補修工法係根據老劣化診斷結果來選定，補修工程之施作須確實才能達到延長構件之使用性、耐久性及提升安全性之效用。

3. 補修工法選定流程可參考圖R2-5所示，其第一步便是根據構件劣化度。雖構件劣化度分為健全、輕度、中度、重度及嚴重損壞五個等級，但在補修工法選用可考慮將之區分成輕度以下(含健全和輕度)、中度、重度以上(含重度極嚴重損壞)。對於劣化度輕度以下之構件，補修重點將使用表面處理法、裂縫灌注法、裂縫充填法及表面披覆法等對混凝土表面進行處理；對於劣化度中度之構件，由於構件之劣損已經達到可能會對其耐久性造成影響，故此時建議應搭配鋼筋腐蝕補修法、斷面補修法及表面含浸法用以去除鋼筋銹蝕、劣損混凝土及改善既有混凝土之狀況，讓構件得以復原成健全之狀態；至於一旦構件之劣化度達到重度以上，則此時除使用補修工法進行構件補修外，還需配合鋼筋置換工法、擴柱/梁工法或搭配使用補修材料(CFRP、鋼板、點焊鋼絲網等)進行補修，目的為欲使構件能恢復至原始之設計強度。

4. 關於上述之各補修工法之施工步驟及注意事項，技師及建築師可參考本手冊第三章及第四章，且第五章提供了各補修材料之性能要求及試驗標準。

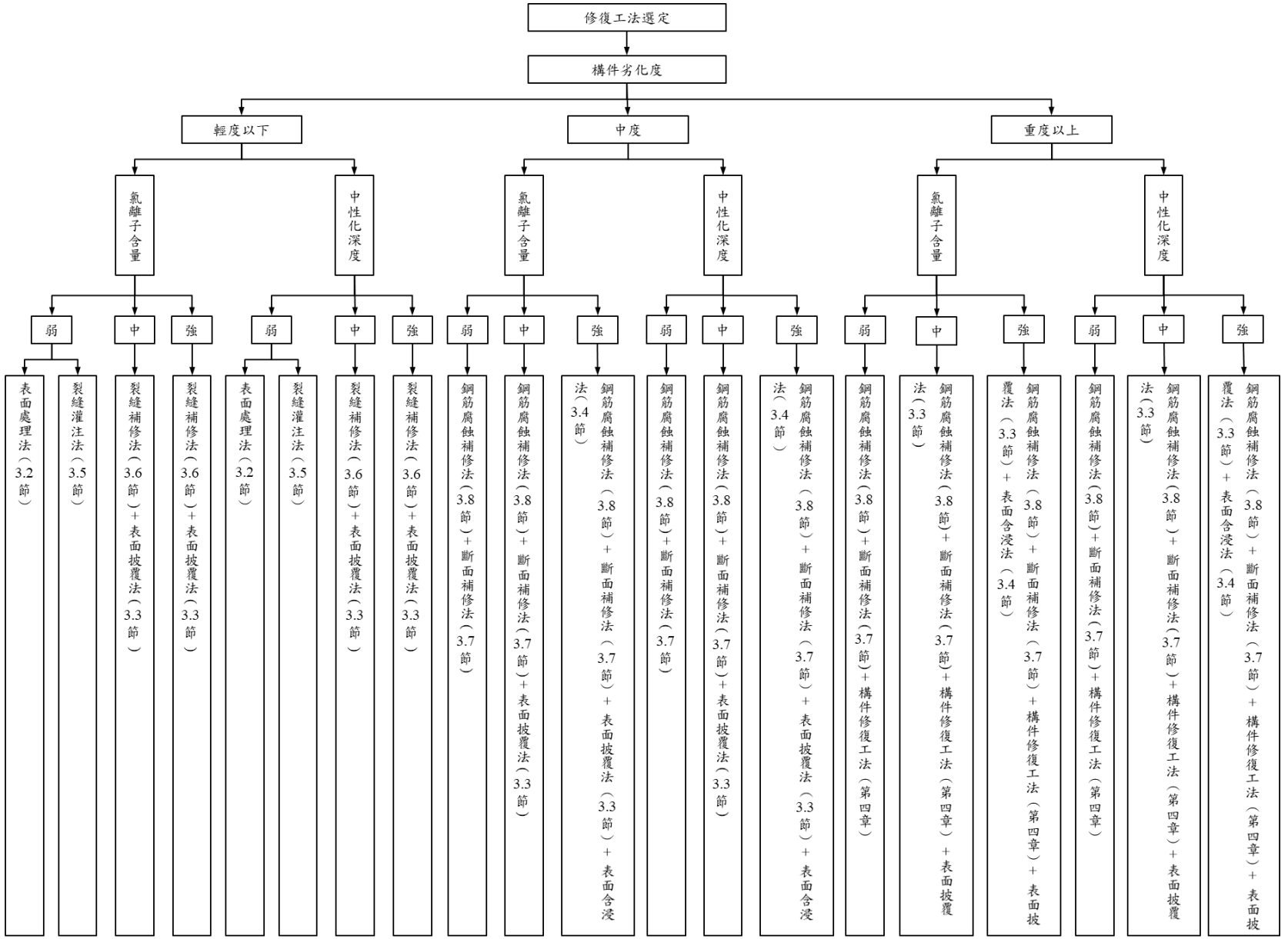


圖 R2- 5 補修工法選定之建議

第三章 構件補修工法種類與適用範圍

3.1 前言

根據建築物老劣化調查後，經診斷判定該建築物構件需進行補修，則可根據構件之劣化程度及老劣化詳細診斷結果，以選擇合適地補修工法進行施作(圖 R2- 5)。本章節提供之補修工法包括**表面處理法、表面披覆法、表面含浸法、裂縫灌注法、裂縫補修法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法**，但如構件因施工或介面問題，亦或在補修後會有滲漏水之疑慮時，請參考**附錄提供之防水工法**並配合施作。各補修工法可視情況單一或組合使用在構件劣化度未達重度之構件，如構件劣化度達重度以上，則除本章節提供之補修工法外，還須與第四章之構件修復工法配合使用。

解說：

1. 本章節提供之補修工法適用於鋼筋混凝土構件經老劣化調查與診斷後，已獲得該構件之劣化程度及劣化因子強度，並可參考第 2.4 小節提出之補修工法組合進行補修工程。
2. 本章節共提供 7 種不同之補修法，包含表面處理法、表面披覆法、表面含浸法、裂縫灌注法、裂縫補修法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法，各補修工法之適用條件簡要說明如下。
   (1) 表面處理法(第 3.2 節)：如僅混凝土表面出現輕微劣化(如微裂縫或表面粉化)，且當劣化因子強度小，可使用表面處理法。
   (2) 表面披覆法(第 3.3 節)：當劣化因子強度中以上，須使用表面披覆法來阻隔劣化因子侵入。
   (3) 表面含浸法(第 3.4 節)： 當劣化因子強度為大，此時劣化因子很可能已存在於混凝土內，除了去除劣化之混凝土外，可使用表面含浸法來改善未打除之混凝土品質。
   (4) 裂縫灌注法(第 3.5 節)：當混凝土出現裂縫，如裂縫寬度為約 0.3 mm 以下，則可使用裂縫灌注法。
   (5) 裂縫補修法(第 3.6 節)：如裂縫寬度為約 0.3 mm 以上，則使用裂縫補修

法。

(6) 斷面補修法(第 3.7 節)：一旦混凝土內部由於劣化因子而出現部分開裂或剝落現象，可使用斷面補修法去除補修區域內之混凝土劣化因子。

(7) 鋼筋腐蝕補修法(第 3.8 節)：如內部鋼筋已出現銹蝕情形，則必須利用鋼筋腐蝕補修法，以去除鋼筋銹蝕部分並塗上防銹材料，可搭配斷面補修法或表面含浸法(視情況使用)以抑制鋼筋持續腐蝕。

3. 如構件因施工或介面問題，亦或在補修後會有滲漏水之疑慮時，可參考本手冊附錄提供之防水工法，以有效地延長構件於補修後之使用年限。

4. 當構件之劣化程度為健全、輕度、中度，可單一或組合使用本章節提供之補修工法；如構件劣化度為重度或嚴重損壞，則除本章節提供之補修工法外，還須與第四章構件修復工法配合使用，才能確保能有效地復原劣化構件之力學性能。

3.2 表面處理法

1. 表面處理法是以提高補修對象之防水性及耐久性為目的，在寬度為約 0.2 mm 以下之裂縫上塗抹防水材料和補修材料，使其在混凝土表面形成保護膜。
2. 表面處理法之缺點為無法對裂縫內部進行補修及無法修補發展快速之裂縫。

解說：

1. 表面處理法是以提高防水性和耐久性為目的，在細小裂縫(裂縫寬度為約 0.2 mm 以下)上塗抹防水材料和補修材料，且僅覆蓋住有裂縫之範圍(圖 R3- 1)，使其在混凝土表面形成保護膜以實現防水效用並藉此提高其耐久性。
2. 表面處理法無法對裂縫內部進行補修，以及無法修補發展快速之裂縫。如裂縫之寬度發展較快，導致其寬度變化超過塗料之拉伸容量時，則可先用彈性材料(如具彈性環氧樹脂)進行裂縫填充。
3. 表面處理法所使用之塗抹材料會依構件所處的環境而有所不同，一般採用彈性防水塗料、聚合物水泥砂漿、水泥系材料及環氧樹脂等。
4. 表面處理法之施工程序如下：

(1) 去除損害之裝飾層和粉刷層：用鋼絲刷等工具將混凝土表面打毛使其粗糙，去除表面沉積物；

(2) 表面清理：用水清洗後擦乾表面；

(3) 確認裂縫發展狀況：混凝土表面之氣孔或裂縫用填補材料進行填補，如裂縫寬度發展較大，混凝土表面可用具彈性之樹脂(如彈性批土、壓克力樹酯等)填充裂縫；

(4) 填補補修材料：用合適之補修材料塗抹在混凝土表面，覆蓋所有裂縫區域；

(5) 塗抹水泥砂漿：恢復粉刷層和裝飾層。

5. 表面處理法施工時，應注意事項有：

(1) 表面處理法主要用於修復表面裂縫，適用於臨時防水措施，但補修材料覆蓋厚度小，不能期望構件原有性能可以恢復。

(2) 施作前需要確認裂縫之發展狀況。一旦發現裂縫最大寬度已超過約 0.2 mm，建議改為執行其他合適之補修工法，如裂縫灌注法、裂縫補修法或斷面補修法等。

(3) 聚合物水泥砂漿和環氧樹脂適用於裂縫無持續發展之情況下，如裂縫有持續發展之趨勢，應使用彈性樹脂或彈性批土。

(4) 有些環氧樹脂和具彈性樹脂耐候性不佳，使用時須考量適用環境。

(5) 根據補修材料不同，有些裝飾材料之黏結強度低，亦有些材料容易產生色差、顏色不均勻，使用時須考量。

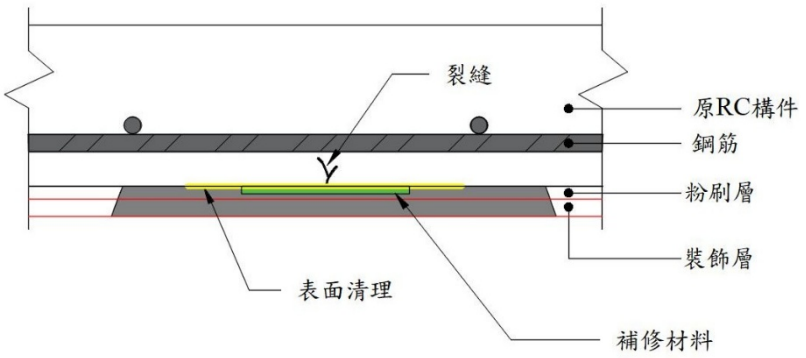


圖 R3- 1 表面處理法示意圖

3.3 表面披覆法

1. 表面披覆法是在混凝土構件上塗佈樹脂系或聚合物水泥砂漿系材料進行表面披覆用以阻隔劣化因子(如水、氧氣、氯離子、二氧化碳、硫酸等)、抑制劣化因子侵入，以提升構件耐久性為目的之補修工法。
2. 表面披覆材料依施工程序可分為三類，分別為底塗層材料(底漆及表面不平整調整)、中塗層材料(主材料)和上塗層材料(面漆)。依序為底漆、表面不平整調整(介面處理)、主材料、面漆及裝飾材料等。其中，主材料亦可稱為披覆材料或中塗層材料，主要用途為能有效阻隔劣化因子侵入，一般可使用有機系披覆材料或無機系披覆材料。
3. 根據施工現場之環境、施工條件及混凝土劣化等情況，須選擇能滿足其要求之表面披覆材料。當採用表面披覆法時，其目的為阻斷造成混凝土劣化之因子滲透，故對於已劣化之混凝土結構，須先處理劣化之部分，並配合裂縫填補或斷面補修進行施工。
4. 表面披覆法所使用之披覆材料(中塗層材料)，如目的是為防止氯離子侵入造成構件劣化，則披覆材料要能有效阻隔氯離子、氧氣及水分之侵入。
5. 如使用表面披覆材料之目的是為防止中性化造成構件劣化，則披覆材料(中塗層材料)要能有效阻隔二氧化碳、氧氣及水分侵入。此時，披覆材料選用之重點除了阻隔劣化因子外，亦可增加混凝土之緻密性以降低二氧化碳進入混凝土。

解說：

1. 表面披覆法使用之目的是為防止水、氧氣、氯離子、二氧化碳、硫酸等劣化因子侵入混凝土而引發之混凝土構件劣化的補修措施。表面披覆法是在混凝土表面塗上披覆材料以隔絕外部劣化因子侵入混凝土，被廣泛應用於土木工程結構，如公路橋梁或建築結構等，有時也稱為表面塗層工法。
2. 表面披覆法之施作材料主要分為三類，最底層為底塗層材料，目的為處理新舊介面問題，因環氧樹脂具有良好之附著力和耐鹼性，以及環氧樹脂可修整混凝土表面之凹凸不平的部分，故一般常採用環氧樹脂作為底塗層材料(底漆及表面不平整調整)；中間層主材料(亦稱披覆材料或中塗層材料)主要為阻擋水、氯離子等劣化因子侵入混凝土，其選用將會影響修復之效用，因此最為重要；表層之面漆主要用於保護中間層主材料，目的在保持主材料之穩定

度及增加其耐候性，以避免紫外線影響下而使得表面披覆性能下降；表面披覆法之各層適用材料可參考如圖R3- 2所示。

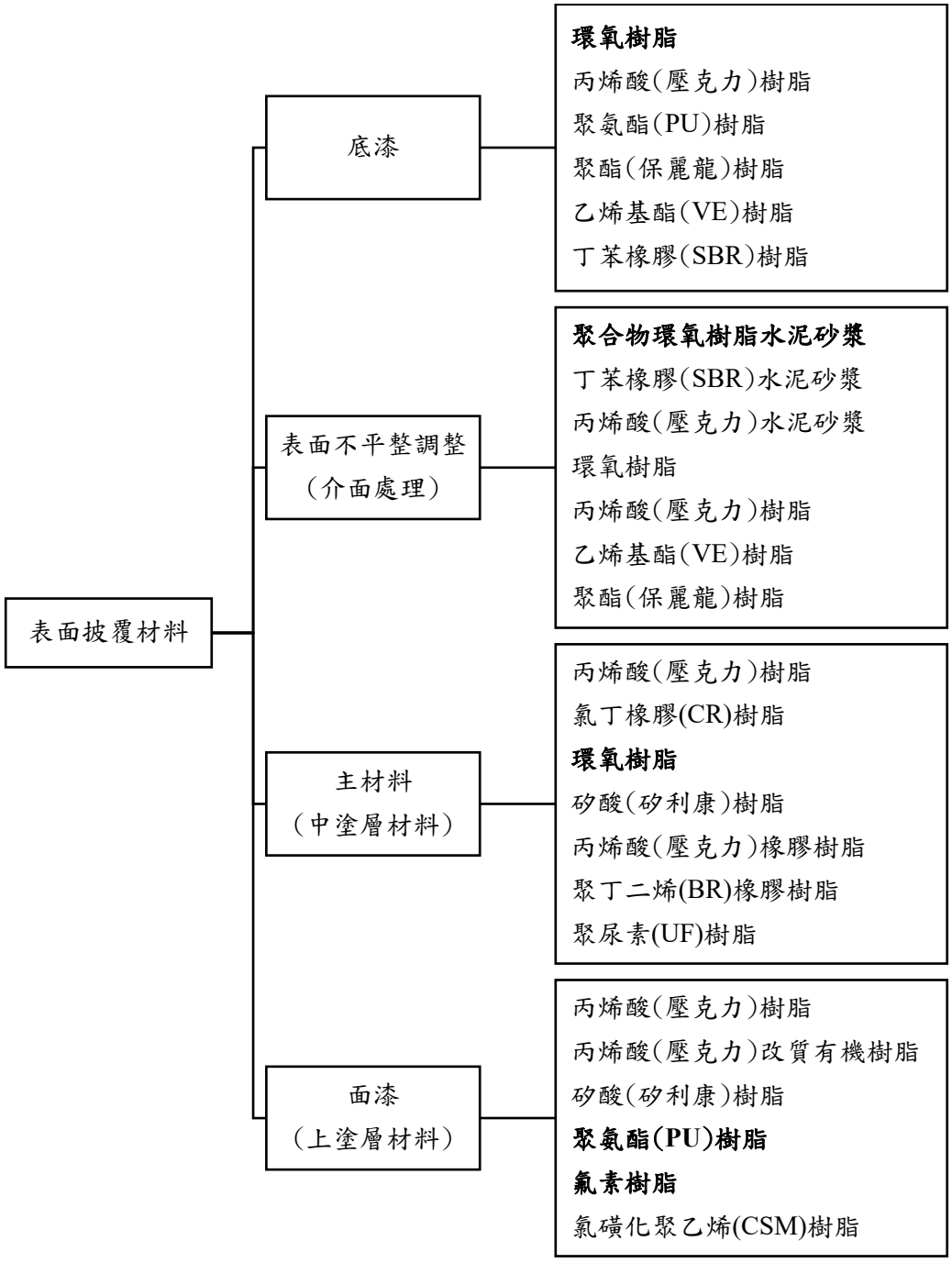


圖 R3- 2 表面披覆法各層適用之材料

3. 圖R3- 3為表面披覆法示意圖，表面披覆法是由多種材料分層堆疊而成，每一層都具有不同之功能。表面披覆法之施工步驟如下：

(1) 去除損害裝飾層和粉刷層；

(2) 既有混凝土(基材)表面處理：目的為去除會對表面披覆材料附著力造成影響之因素，如灰塵、油汙、脆弱部分等。將既有混凝土表面打毛，待去除表面附著物及劣化部位後，用高壓清洗機清洗表面；

(3) 確認構件劣化狀況：如混凝土表面有劣化現象，建議須先進行裂縫填補法或斷面補修法之施作；

(4) 底漆處理：目的為對混凝土底層進行處理，並確保混凝土與披覆材料之相容性。施工時可重複塗抹能讓混凝土表面緻密化及增加附著性之底漆材料；

(5) 表面不平整調整：目的為盡可能消除表面之不平整，同時對混凝土裂縫和孔洞等進行填充，如混凝土表面存在孔洞，將會導致披覆材料不均勻或厚度不足；

(6) 塗抹披覆材料：此為最重要之工序。依披覆材料之廠商規定進行施作，並遵守最低標準之披覆厚度。為避免施作失敗，需精準測量材料比例並徹底混合，不可僅靠目測來判斷。如是針對一般劣化，使用之披覆材料必須能有效阻隔劣化因子侵入，以及使用具彈性類材料以便能與裂縫同時伸展；

(7) 面漆塗佈：為保護披覆材料能不受紫外線照射而性能下降，須在表層塗佈面漆，故材料選用需具有良好之耐候性；

(8) 修飾：恢復粉刷層和裝飾層。

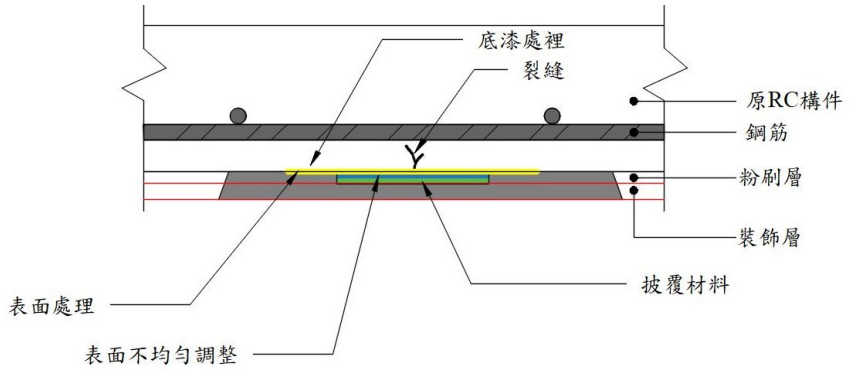


圖 R3- 3 表面披覆法示意圖

4. 根據施工現場之環境、施工條件及混凝土劣化等情況，需選擇能滿足其要求

之表面披覆材料。在進行表面披覆法時，應注意事項有：

(1) 表面披覆材料可能受使用時之溫度和表面水分含量而影響，因此了解每種材料之性能和特性，並在合適之使用狀況下進行施工極為重要。表面披覆材料可分為有機系和無機系，使用有機表面披覆材料時，可使用滾筒或鏝刀將表面披覆材料依序塗佈並層壓，基本上要待乾燥後再塗佈下一層材料，通常需要幾天時間才能完工。如有機表面披覆材料屬於危險物質，使用時應遵守廠商提供之步驟進行施作及處理。塗佈時應遵守規定之計量，如要重複塗佈，也應遵守每種材料的規定時間。對於有機表面披覆材料而言，塗佈後如面臨降雨或結霜會導致表面劣化且不適合重複塗抹，此時必須去除劣化部分或使用指定溶劑清洗掉塗料再重新塗佈，才能避免表面披覆材料無法與混凝土密合之現象。使用無機表面披覆材料施作時，可單層塗佈或多層塗佈。單層塗佈的工序依序為底漆塗佈、表面不平整調整、主材料塗佈。工具為鏝刀、刷子、噴霧器、滾筒等，依材料性能及補修需求，主材料可塗佈二或三次，但仍需遵守廠商規定之計量、塗佈次數和塗佈間隔時間。多層塗佈施工步驟是待完成單層塗佈後再多塗佈面漆，讓面漆在主材料上多一層保護層。

(2) 當採用表面披覆法時，其目的為阻斷造成混凝土劣化之劣化因子滲透，故對於已劣化之混凝土結構，需先去除劣化之部分，並配合裂縫填補法或斷面補修法進行施工。

(3) 底漆施作時，施工面需無灰塵及油脂，且還需平整及乾燥。底漆建議塗佈 2 層以上，以避免塗佈不均勻而影響效果。

(4) 表面不平整調整所使用之介面處理材料，必須能填補混凝土表面之孔洞以及增加披覆材料之附著性，故應選用能與披覆材料匹配相融之介面處理材料。

(5) 披覆材料除了需能夠防止劣化因子從外部侵入外，還要具有彈性，以至於能隨著裂縫寬度增加而伸展，才能發揮補修之效用。

(6) 面漆可分為水性面漆及油性面漆，水性面漆常見地有水性水泥漆及水性乳膠漆，水性面漆之主要成份為水溶性樹脂與水，使用時可用水作為稀釋劑，稀釋後便可直接塗刷；油性面漆最常見地即為油性水泥漆，主要成份為化學合成樹脂、溶劑及催化劑，使用時須用香蕉水、松香水或甲

苯作為稀釋劑。水性面漆可用於室內，施工方便、氣味低且價格實惠，但缺點是防水性和耐磨性比油性面漆差；油性面漆適用於室外，油性面漆防水性佳、耐水沖刷且耐久性及耐磨性較水性面漆佳，但施工程序繁瑣、經濟性差，且需較長時間來消散氣味。

5. 當造成構件劣化之原因為氯離子侵入，為阻止因氯離子而持續甚至加速劣化，可使用表面披覆法來阻隔氯離子、氧氣及水分之侵入，表R3-1列出以阻隔氯離子為目的之披覆材料性能要求，而披覆材料之品質基準請參照第5.2小節列出之基準值。披覆材料除了要能阻隔氯離子、氧氣及水分侵入，還要有能阻隔濕氣和能隨裂縫之伸展，並且具有良好之耐久性能。
6. 當目的為阻隔混凝土中性化之披覆材料性能要求可詳見表R3-1。為了防止混凝土中性化而引致之劣化，針對披覆材料之性能要求包含二氧化碳、氧氣、水分、濕氣之阻隔及能隨裂縫之伸展，並且具有良好之耐久性能。
7. 能阻隔氯離子和中性化之披覆材料大致相同，皆可分為有機系和無機系材料。對於有機系披覆材料，須選擇柔軟且能隨裂縫之伸展的披覆材料和面漆，常見有環氧樹脂、聚氨酯樹脂(PU樹脂)、丙烯酸樹脂(壓克力樹脂)、乙烯基酯樹脂(VE樹脂)、聚酯樹脂(保麗膠)、丙烯酸橡膠(壓克力橡膠)、氯丁橡膠(CR橡膠)、聚尿素(UF)等有機系材料。針對無機材料之選用，可用聚合物水泥基為主之材料，其使用之聚合物種類常見地有丙烯酸樹脂(壓克力樹脂)和環氧樹脂。
8. 對於有機披覆材料，土木學會出版之表面保護工法設計施工指針(案)(土木学会コンクリートライブラリー119)【4】有提供關於有機披覆材料之預期性能及適用效果，詳見表R3-2。塗佈型有機披覆材料可分為標準型、厚膜型、柔軟型和柔軟厚膜型，標準型為一般有機系披覆材料，使用時不用考量塗佈厚度即可發揮阻隔之效用；厚膜型表示該有機披覆材料建議需要塗佈100 μm以上之厚度才能充分發揮效用；柔軟型表示該材料具有隨著裂縫伸展之特性，如裂縫寬度增加，而披覆材料因為柔軟而能延展且依然覆蓋住裂縫；柔軟厚膜型表示該披覆材料之質地同為柔軟型，但要塗佈足夠之厚度才能發揮效用。
9. 與有機材料相比，無機材料具有較優異之抗紫外線及耐候性，且無機披覆材料在表面潮濕之環境下亦可施工，最常使用之產品為聚合物水泥砂漿系列。亦由於無機披覆材料具有優異之耐候性，因此可單層或多層施作。單層施作

是指待底漆和表面不平整調整工序完成後，可只再塗佈1～5 mm厚之主材料即可；多層施作則是回歸到底漆、表面不平整調整、主材料、面漆依序完成之工序。針對無機披覆材料預期之性能及適用效果可詳見表R3- 3。關於單層或多層施作之無機披覆材料種類及施作對應之適用情況，可參考圖R3- 4及表R3- 8。無機披覆材料可分為標準型和柔軟型，柔軟型無機披覆材料為水泥砂漿中添加柔軟型樹脂來增加其柔軟性，有助於增加披覆材料隨裂縫之延展，如環氧樹脂水泥砂漿、聚氨酯樹脂(PU樹脂)水泥砂漿、氟素樹脂水泥砂漿等。能單層塗佈之無機披覆材料常見有丙烯酸(壓克力)水泥砂漿、醋酸乙烯酯(VAEP)水泥砂漿、丁苯橡膠(SBR)水泥砂漿和環氧樹脂水泥砂漿；能多層塗佈之無機披覆材料在完工後，其美觀．景觀會比單層塗佈後佳，常見類型有丙烯酸(壓克力)水泥砂漿、丁苯橡膠(SBR)水泥砂漿和環氧樹脂水泥砂漿。

表 R3- 1 披覆材料性能要求

性能要求		評估項目	預期效果
具有抑制和防止氯離子滲透而引起之劣化	氯離子之阻隔	氯離子滲透深度、氯離子通過量	阻止氯離子滲透混凝土中
	氧氣之阻隔	氧氣通過量	阻止氧氣進入混凝土中
	濕氣之阻隔	透濕度	阻止濕氣進入混凝土中
	阻隔水分	透水量	阻止水分侵入
	隨裂縫之延展	塗膜的伸縮量	阻止劣化因子因裂縫寬度增加而進入
具有抑制和防止中性化而引起之劣化	二氧化碳之阻隔	中性化深度、中性化滲透係數	阻止 CO_2 在混凝土中擴散
	氧氣之阻隔	氧氣通過量	阻止氧氣進入混凝土中
	濕氣之阻隔	透濕度	阻止濕氣進入混凝土中
	阻隔水分	透水量	阻止水分侵入
	隨裂縫之延展	塗膜的伸縮量	阻止水分及 CO_2 因裂縫寬度增加而進入
耐久性能	耐候性	光澤變化、龜裂、剝落、起泡、粉化	抗紫外線劣化之耐久性
	附著性	黏結強度	透過與基礎混凝土之附著性來維持耐久性

表 R3- 2 有機披覆材料之預期性能和適用效果

	塗佈型披覆材料			
	標準型	厚膜型	柔軟型	柔軟厚膜型
樹脂種類[*1]	**環氧樹脂**	**環氧樹脂** 丙烯酸(壓克力)樹脂 乙烯基酯(VE)樹脂 聚氨酯(PU)樹脂	**環氧樹脂** 聚氨酯(PU)樹脂 氟素樹脂	**環氧樹脂** 聚氨酯(PU)樹脂 丙烯酸(壓克力)橡膠 氯丁橡膠(CR)樹酯 聚丁二烯橡膠(BR)樹脂 聚尿素(UF)樹脂
膜厚(μm)	100 以下	100 以上	100 以下	100 以上
預期性能[*2]				
抑制中性化	O	O	O	O
抑制氯離子侵入	O	O	O	O
抵抗凍融	△	△	△	O
抑制化學侵蝕	△	O	△	O
抑制鹼骨材反應	△	△	△	△
隨裂縫之伸展	△	△	O	O
美觀、景觀相關性能	O	O	O	O
防落	-	-	-	-

[*1] 樹酯種類並不代表所有樹脂基材料，但列出了代表性的市售有機塗佈型披覆材料。

[*2] 僅顯示主要預期效果，「O」表示適用、「△」表示適用場合必須經過檢討(如與其他工法併用等)、「-」表示不適用。

表 R3- 3 無機披覆材料預期之性能及適用效果

預期性能[*1]	單層塗佈		多層塗佈		貼附法[*4]
	標準型	柔軟型	標準型	柔軟型	
抑制中性化	O	O	O	O	*
附著性	O	O	O	O	*
抑制氯離子侵蝕	O	O	O	O	*
抗凍融	O	O	O	O	*
抑制化學侵蝕	△	-	△	△	*
抑制鹼骨材反應[*2]	△	-	△	△	*
裂縫追隨性	O	△	O	△	*
美觀、景觀相關性能	△	△	O	O	*
防落[*3]	-	-	-	-	O

[*1] 顯示主要預期效果，「O」表示適用、「△」表示適用場合必須經過檢討、「-」表示不適用。

[*2] 抑制鹼骨材反應是根據防水能力來決定。

[*3] 抗剝落是根據黏結強度來決定。

[*4] 貼附法之施工方式是使用單層纖維貼布配合多層塗佈配合使用，「*」表示與相應之無機披覆材料相似。

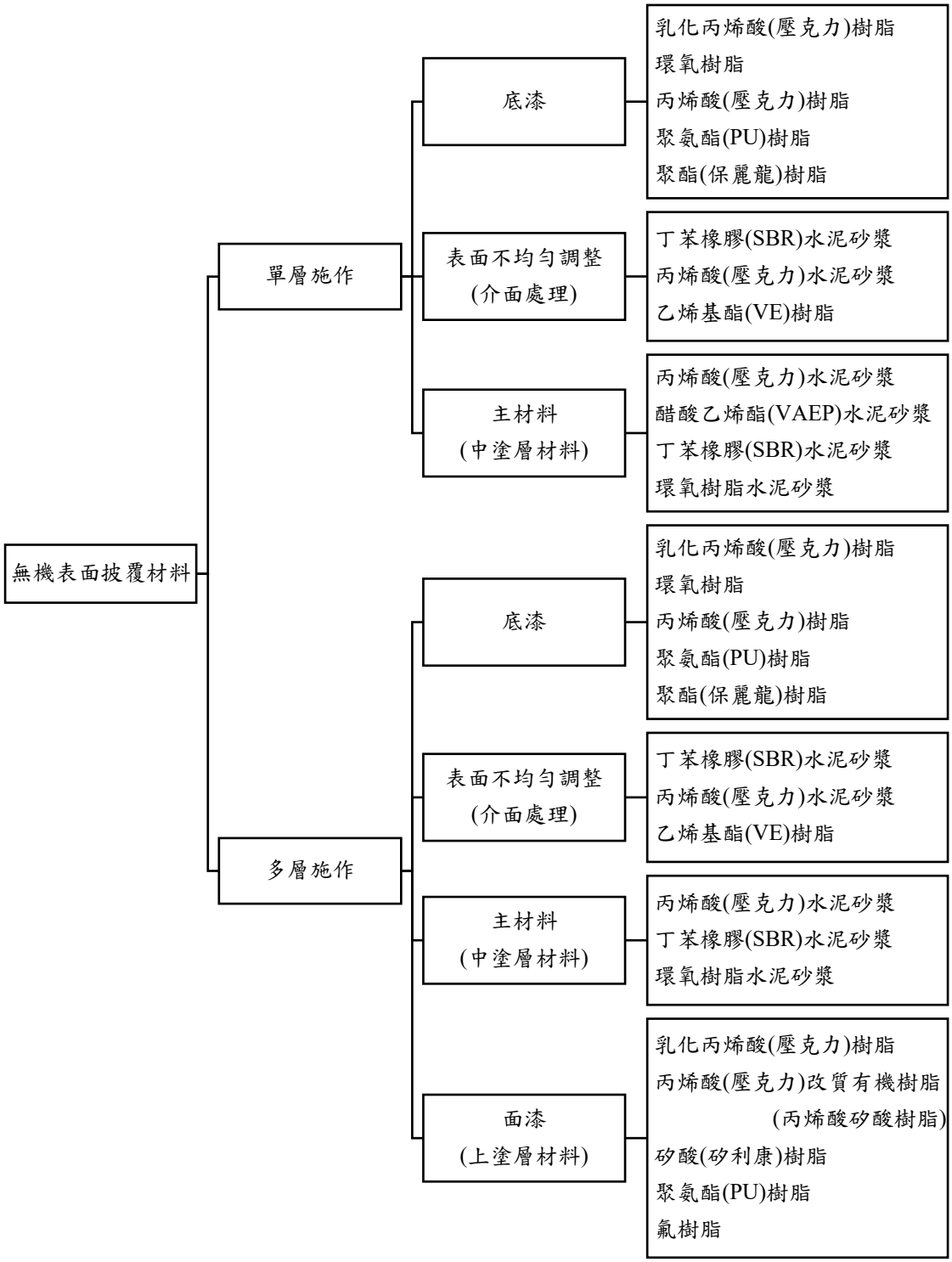


圖 R3- 4 單層或多層施作之無機披覆材料種類

表 R3- 4 無機披覆材料施作對應之適用情況

性能要求		單層塗佈		多層塗佈	
		標準型	柔軟型	標準型	柔軟型
抑制二氧化碳侵入	預防性維護，無裂縫	O	O	O	O
	有裂縫	△	O	△	O
附著性		O	O	O	O
抑制氯離子侵入	預防性維護及腐蝕潛伏期	O	O	O	O
	鹽害環境及腐蝕進展期以上	△	△	△	△
抗凍融	抑制凍融	O	O	O	O
抑制化學侵入		-	△	△	△
抑制鹼骨材反應	裂縫開裂停止	-	△	-	△
	裂縫開裂中	-	-	-	-
美觀、景觀相關性能		△	△	O	O
抗剝落		-	-	-	-
註：顯示主要預期效果，「O」表示適用、「△」表示適用場合必須經過檢討、「-」表示不適用。					

3.4 表面含浸法

1. 表面含浸法是在混凝土表面塗敷含浸材料，待含浸材料滲透至混凝土內部空隙和裂縫中，用以防止外部劣化因子之侵入，亦可使混凝土回復鹼性並賦予鋼筋防銹效果。
2. 表面含浸法之施工包含施工面清理(前處理)、塗抹含浸材料和養護。
3. 表面含浸法之含浸材料的選用非常重要，依用途可分為以防止水分侵入為目、為強化脆弱部分為目、為賦予混凝土再鹼化為目的、以防銹為目的，根據其主要目的可選定合適之含浸材料種類。
4. 一般來說，含浸材料只能滲透到混凝土表面附近，因此很容易受到現有混凝土狀況之影響，故在選擇材料時，有必要清楚地了解混凝土之狀況(如孔隙結構、成分和碳化程度等)。
5. 表面含浸材料常見之種類可分為三大類，分別是矽烷基表面含浸材料、矽酸鹽基表面含浸材料和其他類型之表面含浸材料。
6. 在選用能抑制氯離子之含浸材料時，建議可選用矽烷基之表面含浸材料。矽烷基含浸材料雖然具有高滲透性，但缺點是易揮發，因此難以提高含浸

深度，且無法填充空隙或裂縫。因此對於已產生裂縫之構件，應先進行斷面補修法之施作。

7. 如要抑制中性化，含浸材料可選擇使用矽酸鹽基之含浸材料。當鹼性矽酸鹽在孔隙中與混凝土中之氫氧化鈣反應生成矽酸鈣，可填充內部孔隙使混凝土緻密，以抵抗水分侵入，且矽酸鋰亦有恢復混凝土鹼性之效用。

解說：

1. 表面含浸法是在混凝土表面塗敷含浸材料，用以防止外部劣化因子之侵入，使混凝土呈鹼性並賦予鋼筋防銹效果，修復材料劣化之施工方法。除讓含浸材料自然滲透外，亦可利用外力輔助，如使用電化學電滲作用加強含浸材料之滲透，又或者通過真空高壓強制含浸材料滲入。
2. 將混凝土表面經過刮除、清洗等表面處理作業，再透過刷塗或噴塗等方法將有機或無機材料塗抹至混凝土表面，待含浸材料滲透至混凝土內部空隙和裂縫中，含浸材料將發揮其修復效用。
3. 表面含浸法之施工步驟如下(圖 R3- 5)：
   (1) 去除損害裝飾層和粉刷層；
   (2) 表面清理(前處理)：用吹風機、毛刷等清除施工面之灰塵，並用刮刀去除表面沾黏物，必要時可用高壓清洗機進行清潔。
   (3) 確認表面狀況：如混凝土表面有劣損，請在塗抹含浸材料前先施行裂縫灌注法、裂縫補修法或斷面補修法(如有需要)。
   (4) 塗抹表面含浸材料：混凝土表面處理 1~3 天後，待施工面乾燥且確認表面無汙垢及浮漿，再用滾筒或噴塗機進行含浸材料之塗抹或噴塗。如果基材吸水率高，請多次施工。
   (5) 養護：至少在 20 ℃環境溫度下自然乾燥 24 小時以上(依現場狀況判斷)；
   (6) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；
   (7) 修飾。
4. 一般來說，含浸材料只能滲透到混凝土表面附近，因此很容易受到現有混凝土狀況之影響。故在選擇材料時，有必要清楚地了解混凝土之狀況(如孔隙結構、成分和碳化程度等)和含浸材料的種類及特徵(表 R3- 5)，並且為獲得良好之施工品質，須遵守製造廠商提供之使用手冊和施工程序。

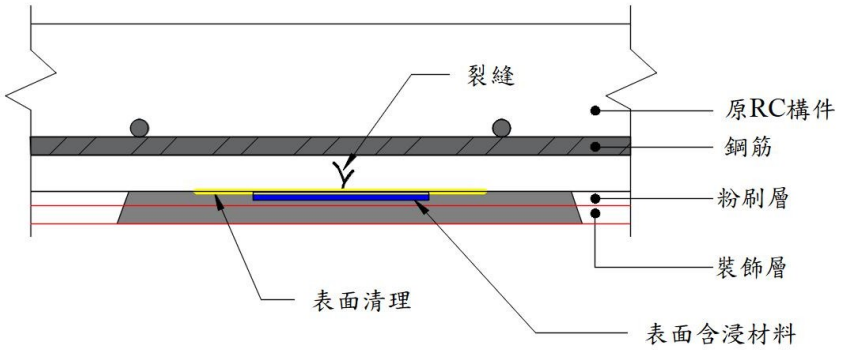


圖 R3- 5 表面含浸法示意圖

表 R3- 5 塗佈含浸材料之種類及特徵

名稱	種類(組成)	用途(構件、種類)
滲透性防吸水材	• 矽烷基 • 非矽基 • 混合基	• 混凝土、砂漿、預製混凝土板、ALC板、瓦、磚、石材等適用 • 防止磁磚接縫白華
滲透性硬固材	• 環氧基 • 聚氨酯基 • 丙烯酸基 • 聚酯基 • 矽鹽酸基 • 膠體二氧化矽基 • 氟矽基	• 建築物之外牆、屋頂、陽台 • 橋梁等土木結構物
滲透性鹼性附加劑	• 矽酸鋰	• 各種鋼筋混凝土結構物的翻新工程
塗佈型防銹材	• 亞硝酸鈣 • 亞硝酸鋰 • 亞硝酸鈉 • 亞硝酸鉀	• 棧橋 • 護岸擁壁 • 橋梁 • 沿海的各種鋼筋混凝土結構物
聚合物含浸材	• 苯乙烯 • 甲基丙烯酸甲酯	• 道路鋪裝 • 大壩補修 • 屋頂板防水處理 • 工廠地面防蝕

名稱	種類(組成)	用途(構件、種類)
鹼骨材反應抑制材	• 亞硝酸鋰	
滲透型混凝土表面養護材	• 矽酸化合物	• 預防表面龜裂 • 預防混凝土表面風化 • 預防白華

5. 圖 R3-6 為表面含浸法適用之含浸材料，以防止水分侵入為目的之含浸材料可用樹脂系材料(如壓克力樹脂、PU 樹脂等)、矽酮基(矽膠)材料、矽烷基材料(如矽烷、矽烷-矽氧烷系等)、矽鹽酸基材料和無機系材料(如矽酸化合物、氟樹脂、水泥基材料等)；如為強化脆弱部分為目的可使用樹脂基材料，如乙氧基和丙烯酸基等；如為賦予混凝土再鹼化為目的，可採用矽酸鋰基、矽酸鈉基等矽鹽酸基材料；如以防銹為目的，可選用亞硝酸鋰之無機鹽類作為含浸材料。

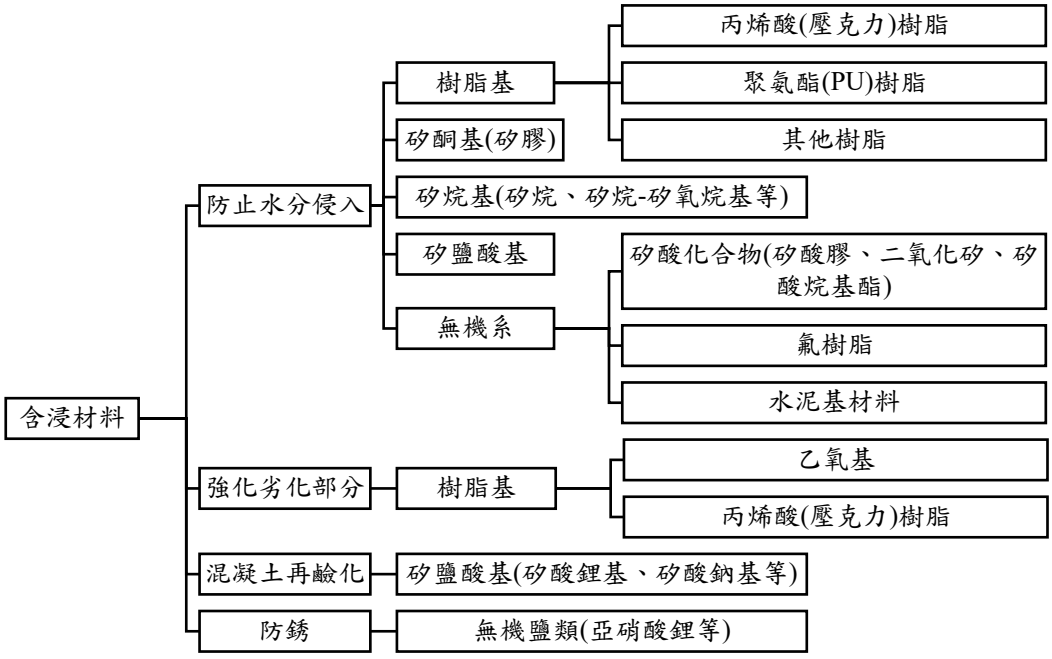


圖 R3-6 表面含浸材料之種類

6. 對於各種表面含浸材料預期能達到之性能與適用效果，可參考表 R3-6，其性能要求基準值請詳見 5.3 小節所示。市售常見之表面含浸材料，包括矽烷基、矽鹽酸基和其他類型之表面含浸材料。其中矽烷基之表面含浸材料能透

過在表層形成防水層來抑制劣化因子侵入(如氯離子、水分、氧氣等)，由於矽烷基含浸材料具有高滲透性，將其塗抹到混凝土表面後能對表層進行改性使其防水，且使用後為透明無色，不會影響到美觀。矽烷基含浸材料能有效防止鹽害或凍害，但無法抑制中性化。矽烷基含浸材料需在乾燥之環境下進行施工。使用矽烷基材料，能防止鹼骨材反應及抑制鋼筋腐蝕之效果，但如果混凝土內部已含大量氯離子，則無法達到預期之效用。

表 R3- 6 表面含浸材料預期達到之性能及適用效果

預期達到之性能	矽烷基	矽鹽酸基		其他
		矽酸鋰基	矽酸鈉基	
抑制中性化	△	△	O	
抑制氯離子侵入	O	-	O	
抗凍融	O	-	O	
抑制化學侵蝕	-	-	-	
抑制鹼骨材反應[*2]	O	O	△	
美觀、景觀相關性能[*3]	O	O	O	
抵抗剝落[*4]	-	△	△	

[*1] 表中「O」表示適用、「△」表示適用場合必須經過檢討(如與其他工法併用等)、「-」表示不適用。

[*2] 抑制鹼骨材反應以標準遮水性來判定。

[*3] 美觀、景觀相關性能以基本之維持來判定。

[*4] 抵抗剝落以基本附著性來判斷。

7. 矽酸鹽基之表面含浸材料是一種可使混凝土表面緻密化、提高耐久性之材料，依乾燥固形的溶解性，可分為固化型和反應型。固化型之矽酸鹽基材料其乾燥後材料內之固體成分難以溶解；反應型之矽酸鹽基材料待乾燥後，其固體成分能與氫氧化鈣反應。固化型矽酸鹽基含浸材料會隨著乾燥而固化，並在

固化後填充混凝土空隙，隨著材料乾燥後，其溶解性較差；然而，當材料尚未乾燥時(溶液狀態)，能與混凝土中之氫氧化鈣反應生成 C-S-H 膠體使材料緻密。固化型的表面含浸材料多以矽酸鋰為主要成分，在養護期間須保持混凝土乾燥。反應型矽酸鹽基含浸材料能與混凝土中之氫氧化鈣反應生成 C-S-H 膠體以填補混凝土空隙，即使未發生反應而乾燥沉澱，一旦補充水分，便會再次溶解並進行反應。反應型的表面含浸材料可單獨使用矽酸鈉或矽酸鉀，或將兩者混合使用，可如利用鈉離子或鉀離子替代鋰離子與各種硬化劑一併使用時，必須考慮鹼骨材反應。使用後，養護期間必須使混凝土保持濕潤。

8. 其他類型之表面含浸材料依成分而會具有不同之性能，當用丙烯酸系或聚氨酯系材料配合催化劑進行表面含浸法時，含浸材料將在混凝土空隙中形成聚合物來防止水分侵入。

3.5 裂縫灌注法

1. 裂縫灌注法是利用灌注材料注入裂縫內以填補裂縫，主要目的為提高構件之防水性和耐久性。
2. 裂縫灌注法適用之環氧樹脂須符合 CNS 10141 A2151 建築灌注補修用環氧樹脂之要求。

解說：

1. 在建築結構中，混凝土表面應常被磁磚和塗料所保護，因此並沒有直接暴露在惡劣之自然環境下。但由於構件尺寸小、材料初期之乾燥收縮、構件設計複雜、構件易受拘束應力等因素影響，許多構件常因裂縫發生而需要補修。特別是生活時，裂縫發生會影響美觀性和可能產生漏水，造成極大的問題，故需要仔細施行補修工作。
2. 裂縫之補修須依裂縫發展情況及原因來選擇，其參考依據可詳見表 R3- 7。在鋼筋無腐蝕之情況，如裂縫寬度為 0.2 mm 以下且裂縫寬度變動小，適用表面處理法；如裂縫寬度為 0.2 mm～1 mm 之間，可視情況採用裂縫灌注法或裂縫補修法來進行補修；如裂縫寬度為 1 mm 以上，則建議採用裂縫補修

法。可一旦發現鋼筋已腐蝕，則一定要採用鋼筋腐蝕補修法配合裂縫補修法或斷面補修法進行補修。

3. 混凝土結構物和構件補修之恢復目標因竣工時的初期性能、結構物之歷史、裂縫產生原因、劣化程度、劣化範圍等而有所不同，其補修保固期也不一樣。一般來說，補修之恢復目標可分為三階段：
   (1) 使構件恢復到與健全時相同之性能，此針對裂縫產生原因明確之補修，如由於水泥水化熱、中性化和乾燥收縮所引起之裂縫。通常補修保固期最好是 10 年左右。
   (2) 使構件恢復至不妨礙使用性，適用於因鋼筋腐蝕、鹼骨材反應所引起之嚴重劣化而產生之裂縫，和由於各種無法明確查明原因造成之裂縫。此狀況之補修保固期一般取 5 年左右。
   (3) 構件以確保人的居住安全為目的之緊急補修。

4. 裂縫灌注法是注入樹脂類補修材料填補裂縫，防止水、氧氣和劣化因子從裂縫中滲入，導致鋼筋腐蝕。當鋼筋混凝土構件雖出現受損現象，但混凝土與鋼筋之黏結握裹依舊完好，均可以合宜之補修工法和補修材料將其進行修復，亦可藉此維持構件之既有強度。一般而言，環氧樹脂之力學強度遠高於混凝土，且可與混凝土充分黏結，固以壓力注入環氧樹脂之裂縫不但可以達到完全密合之效果，還可防止水氣侵入。且修復過後之部位若再受外力導致混凝土開裂，因環氧樹脂之黏結強度高於基礎混凝土，則再開裂之位置應不會發生在灌注環氧樹脂的部位。

5. 裂縫補修法示意圖詳見圖 R3- 7，其施工步驟如下：
   (1) 去除損害裝飾層和粉刷層：施工時需先清除裂縫雜物、表面粉化或分離之部份；
   (2) 表面清理；
   (3) 裝設灌注裝置：將灌注底座對準裂縫處並以環氧樹脂固定，視裂縫寬度取決灌注器間距，一般約為 150 mm 至 400 mm 之間，以能灌滿裂縫為原則。灌注器填滿環氧樹脂接著劑後與底座旋轉密合，完成裝置；

(4) 低壓低速灌注裂縫灌注材料：灌注壓力須根據裂縫寬度、深度及補修材料之稠度來決定，原則上採用低壓低速方式進行灌注，穩定地將環氧樹脂注入裂縫中；

(5) 塗抹水泥砂漿；

(6) 修飾。

6. 裂縫灌注法在施工時，應注意事項有：

(1) 灌注間距以每 30 cm 安裝乙支為標準，灌注期間應隨時檢查並補充環氧樹脂，使其能充分灌滿約 0.3 mm 以下之裂縫。若在垂直面或傾斜面施工時，通常先從最低灌注點依序向上灌注，若有需要且灌注時間在 30 分鐘內，可再次進行補灌。

(2) 灌注完成後至少養護 24 小時，再拆除底座以及進行披土磨平。值得注意的是，環氧樹脂僅能黏合開裂之混凝土，並無提升混凝土強度之效用。承包商應根據裂縫寬度之不同，提出適當地材料規格，如黏滯性、黏結強度及抗拉強度等，經技師核准後方可施工。

7. 裂縫灌注用之環氧樹脂，依 CNS 10141 A2151 建築灌注補修用環氧樹脂所要求，其黏性分類及施工季節分類如表 R3- 8 和表 R3- 9 所示。

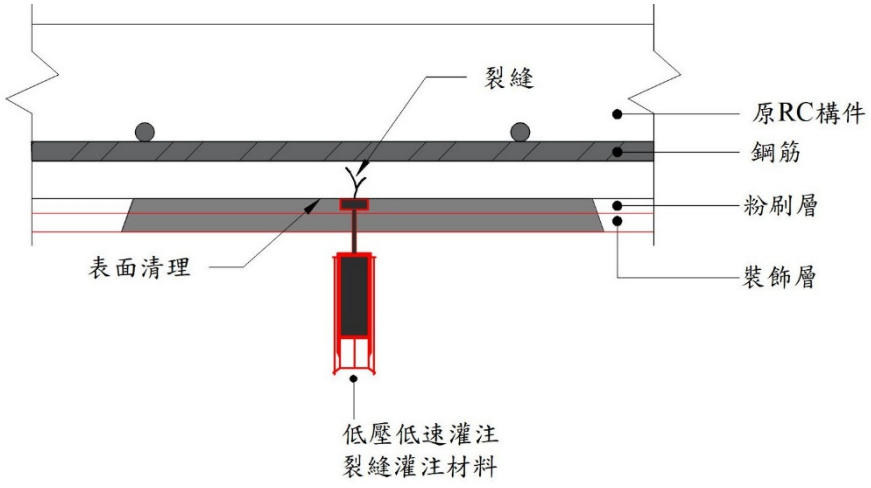


圖 R3- 7 裂縫灌注法示意圖

表 R3- 7 裂縫補修法之分類

補修目的	裂縫發展情況及原因		裂縫寬度[*1] (mm)	補修工法[*2]				
				表面處理法	裂縫灌注法	裂縫補修法	其他工法	
							滲透性防水劑塗抹法	其他
防水性	鋼筋無腐蝕之情況	裂縫寬度變動小	0.2 以下	O	△		O	
			0.2 ~ 1	△	O	O		
		裂縫寬度變動大	0.2 以下	△	△		O	
			0.2 ~ 1	△	O	O		
耐久性	鋼筋無腐蝕之情況	裂縫寬度變動小	0.2 以下	O	△	△		
			0.2 ~ 1	△	O	O		
			1 以上		△	O		
		裂縫寬度變動大	0.2 以下	△	△	△		
			0.2 ~ 1	△	O	O		
			1 以上		△	O		
	鋼筋腐蝕					O		
	氯離子							●
	鹼骨材反應							●

[*1] 當產生寬度 30 mm 以上之裂縫，通常與構件缺陷有關，如要進行修復，通常使用修復工法。

[*2]「O」可使用此工法、「△」表示在某些條件下可使用；、「●」表示正在研究階段。

表 R3- 8 依黏性之分類

種類	代號	區分內容
低黏度型	L	主要用以補修龜裂，具低黏度者
中黏度型	M	主要用以補修龜裂及鼓起，為中黏度且具搖變度者
高黏度型	H	主要用於大龜裂、損壞、鼓起修補及固定描形螺栓，具高搖變度者

表 R3- 9 依施工季節分類

種類	代號	區分內容
一般用	R	主要在春季、夏季及秋季使用者 (適用溫度範圍 10 ℃ ~ 35 ℃)
冬季用	W	主要在冬季使用者 (適用溫度範圍 5 ℃ ~ 15 ℃)

3.6 裂縫補修法

1. 裂縫補修法適用於寬度約 0.2 mm 以上之裂縫補修。
2. 裂縫補修法之施工方式會根據鋼筋是否發生腐蝕而有所不同，如鋼筋未腐蝕，則沿裂縫切割 V 型凹槽後，填補合適之補修材料；如鋼筋已腐蝕，則須挖除混凝土至鋼筋裸露之深度，先對鋼筋進行除銹作業，再塗抹防銹材料和充填補修材料。
3. 充填材料可使用聚合物水泥砂漿或環氧樹脂砂漿等補修材料。

解說：

1. 裂縫補修法適用於寬度約 0.2 mm 以上之裂縫補修。對混凝土表面之裂縫進行切割後，填補其補修材料。
2. 裂縫補修法示意圖詳見圖 R3- 8，其施工步驟如下：
   (1) 去除損害裝飾層和粉刷層；
   (2) 劣化混凝土去除：如混凝土內部鋼筋未腐蝕，而僅需將混凝土表面劣化部分去除，但如鋼筋已腐蝕，則混凝土需打除至鋼筋裸露，以便進行鋼筋除銹；
   (3) 鋼筋除銹及塗抹鋼筋防銹材料(如鋼筋已腐蝕)；

(4) 表面清理：表面清理包含混凝土之碎屑、粉化及表面灰塵等；

(5) 塗抹介面黏結劑；

(6) 填補補修材料：依施工環境選擇合適地補修材料進行填補；

(7) 養護；

(8) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；

(9) 修飾。

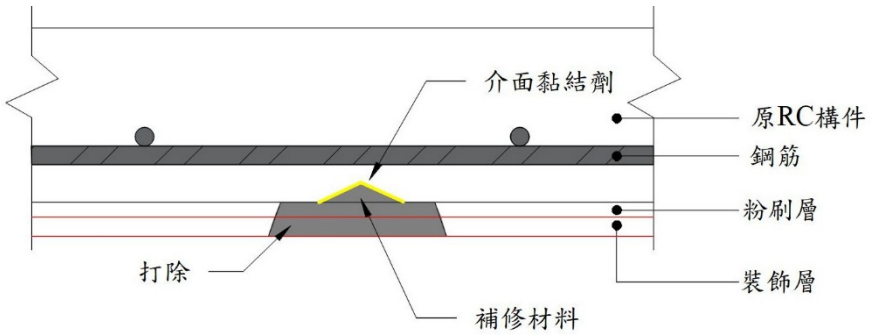
3. 裂縫補修法之施工方式會根據鋼筋是否發生腐蝕而有所不同，其注意事項如下：

(1) 鋼筋未銹蝕

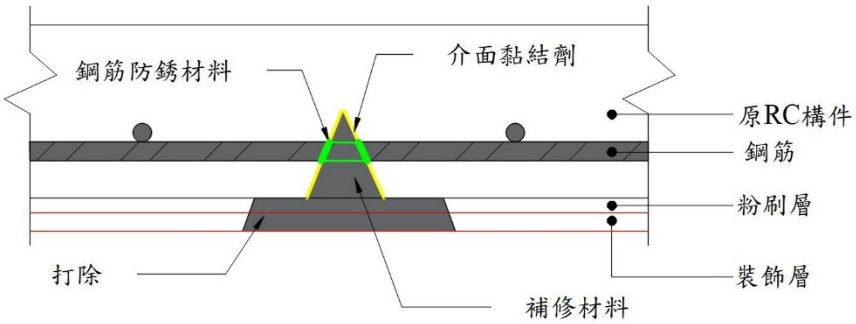
沿裂縫切割成寬度約 10 mm 之 V 型凹槽，之後再填補補修材料，通過充填環氧樹脂或聚合物水泥砂漿來修復裂縫(圖 R3- 8 (a))。切割 V 型凹槽時，是使用安裝了圓錐形金剛石鑽頭之電鑽沿著裂縫切削。雖然 V 型凹槽較易施工，但填充的補修材料容易剝落，故須使用介面黏結劑。

(2) 鋼筋已銹蝕

挖除混凝土至鋼筋銹蝕部分裸露之深度，除去鋼筋銹蝕並進行防銹處理，在混凝土上塗抹底漆，然後填充聚合物水泥砂漿或環氧樹脂砂漿等補修材料(圖 R3- 8 (b))。若範圍較大則可考慮採用第 3.7 節之斷面補修法。



(a) 鋼筋未腐蝕



(b) 鋼筋已腐蝕

圖 R3- 8 裂縫補修法示意圖

3.7 斷面補修法

1. 斷面補修法適用於修復因浮起、剝落、斷面缺陷、蜂窩、鹽害、鹼骨材反應等劣化之混凝土，其主要目的在去除混凝土之劣化因子。規劃補修策略時應考量其修復範圍、施工性、經濟性等因素。
2. 如移除混凝土後出現鋼筋裸露，需檢查鋼筋狀況，並視現況進行鋼筋除銹、防銹，再依介面處理後填入補修材料。
3. 斷面補修法根據修復範圍可分為局部斷面補修法和大面積斷面補修法，根據目標位置、施工方向、施工規模等不同狀況，可選用塗抹法、噴塗法及灌漿施工法等。
4. 斷面補修材料依種類可分為水泥系補修材料、聚合物水泥系補修材料及樹脂系補修材料。水泥系補修材料與聚合物水泥系補修材料性質相近皆屬於無機系材料，當混凝土表面潮濕時得以施作，抗紫外線能力與成本皆比樹枝系補修材料佳，適合大面積施工及橫向施工及向下施工；樹脂系補修材料為有機系材料，強度高且適用於薄邊緣區域之補修、附著性高適合向上施工、緊急時可快速補修、比水泥系補修材料及聚合物水泥系補修材料擁有更高的不透水性，但在施作時，混凝土表面必須保持乾燥，且施作後必須塗佈面漆以隔離紫外線。

解說：

1. 斷面補修法之應用範圍包括(1)施工期間發生未填滿之混凝土或混凝土部分質量劣化區域，(2)混凝土開裂或剝落、鋼筋腐蝕等劣損區域，以及(3)須去除劣化因子之混凝土開裂或剝落、鋼筋腐蝕等具體損壞區域。如果混凝土中之

氯離子含量超過腐蝕發生之臨界值並已經開始發生腐蝕或混凝土內之鋼筋位置發生中性化使得鋼筋開始發生腐蝕等劣化現象,則應清除含有劣化因子(氯離子、中性化等)之混凝土,之後再用斷面補修材料進行補修。一般而言,斷面補修法是用於修復混凝土脆弱部位(浮起、剝落、鋼筋裸露、斷面缺陷之部位),主要目的在去除混凝土之劣化因子。

2. 如移除混凝土後出現鋼筋裸露,需檢查鋼筋狀況,視情況進行鋼筋除銹、防銹,再依介面處理後填入補修材料,其施作流程及示意圖詳見圖 R3-9 和圖 R3-10。在進行鋼筋處理(前處理)時,會使用高壓清洗機和研磨機將鋼筋上的鐵銹徹底清除,為了預防鋼筋再腐蝕,鐵鏽脫落後應塗抹防銹材,並注意鋼筋紋路(螺紋、人字紋)確實讓防銹材附著在鋼筋表面。

3. 斷面補修法根據修復範圍可分為局部斷面補修法和大面積斷面補修法。局部斷面補修法其施工範圍相對較小,主要使用塗抹法。由於劣化之混凝土已被去除,因此可以被認為劣化因子已部分去除,但由於修復範圍外之劣化因子可能仍存於混凝土內,因此預計未來仍會發生新的鋼筋腐蝕現象。此外,經修復部位和未修復部位間之介面可能會發生巨觀腐蝕(Macro corrosion),須謹慎注意。

4. 大面積斷面補修法是除去範圍內所有的混凝土,之後再用斷面補修材料回填。不管混凝土表面是否有浮起或剝落,大面積斷面補修法皆適用,其依據目標位置、施工方向、施工規模等不同狀況,可使用噴塗法及灌漿施工法。

5. 塗抹法、灌漿施工法及噴塗法之適用條件與方法說明如下:

   (1) 塗抹法

   塗抹法使用於修復面積較小之場合。將斷面補修材料(環氧樹脂砂漿、聚合物水泥砂漿等)用塗抹的方式填補。此法無需使用機具,手動進行,最小施工厚度為約 5 mm 以上。塗抹法適用流動性低且黏稠之材料,塗抹厚度小(薄塗層)的情況下建議可用輕質水泥砂漿。

   (2) 灌漿施工法

   灌漿施工法使用於修復面積較大、厚度較深之場合,最小施工厚度為 10 約 mm 以上。施工時須架設模板,將高流動性補修材料倒入模具後壓實。當使用高流動性材料時,其材料應具備自我填充性能。

   (3) 噴塗法

噴塗法使用於無斷面尺寸限制或中大型修復面積之場合，分為濕式和乾式兩種。濕式噴塗法是預先混合斷面補修材料進行噴塗，乾式噴塗法是將粉末、水、混合物分別用泵浦噴塗。此法限用專門機具以吹出之壓縮空氣壓實，最小施工厚度為約 10 mm 以上。乾式適用流動性高具黏性之材料，濕式適用流動性低且快硬性材料。

6. 斷面補修法之各工法種類適用範圍可參考表 R3-10，並且針對施工方法和斷面補修深度或用修復面積和深度等標準來選擇斷面補修法，可參考圖 R3-11。總結來說，當施工面積小(10 m^2 以下)且施工厚度不超過約 30 mm 時，可使用塗抹法來進行修復；當施工面積超過 10 m^2 以上，可使用灌漿施工法和噴塗法，但灌漿施工法需要架設模板，而噴塗法不用。向上施工或側面施工時，若修復深度不超過約 10 cm，建議可使用噴塗法，且乾式施工性較濕式為佳。

7. 經確認補修範圍及斷面補修工法後，用於填補之斷面補修材料有以下三種類型可選擇：

   (1) 水泥系補修材料：水泥系補修材料包含水泥砂漿、無收縮水泥砂漿及混凝土等以水泥為主之斷面補修材料(無機系斷面補修材料)。水泥系補修材料具有與混凝土性質相近、使用範圍廣泛、施工容易、較經濟，以及可根據需求來添加特殊摻料或藥劑等優點。其缺點為凝結時間長、強度發展慢、黏結強度低、抗裂性差、脆性大和無法改善就有混凝土之抗滲透性等缺點。水泥系補修材料適用於橫向施工或向下施工等較無須考量材料流洩問題之修復位置，且如水泥系補修材料具有較優異之抗紫外線及耐候性，並在表面潮濕之環境下亦可施工，因此對於大範圍、潮濕或室外皆適用。

   (2) 聚合物水泥系補修材料：聚合物水泥系補修材料是在水泥系材料中添加聚合物(如 SBR、PAE、環氧樹脂、壓克力樹脂等)，而聚合物可改善水泥系補修材料之撓曲和抗拉強度、滲透性、黏結能力、抵抗化學侵蝕能力及抗凍融能力。由於聚合物特殊的成膜性能，可將氫氧化鈣包裹住，降低氫氧化鈣對耐久性的影響。除此之外，因聚合物之成膜過程與水泥水化反應同步進行，當水分被水化反應使用或蒸發，聚合物便在基體中膠結成一堅韌緻密的薄膜網絡結構，不但填充了混凝土/砂漿內部之孔隙，還隔絕了與外介接觸的可能性，進一步改善材料性能。聚合物水泥

系補修材料由於添加之聚合物含量少，故依然屬於無機系斷面補修材料，仍可於表面潮濕之環境下施工。但由於添加了聚合物，故在使用時前必須了解其材料特性和使用方法，添加聚合物後會導致熱膨脹係數增加、成本提高且可能含有化學毒性，施工時應遵守補修材料之使用規定，以避免補修失敗。

(3) 樹脂系補修材料：樹脂系補修材料是樹脂系材料作為主要黏結劑，並在其中添加細粒料。然而，當環氧樹脂材料混合在一起時會發生化學作用，此化學反應屬於放熱反應，一旦溫度上升則會使反應速度加快，硬固的時間便會相對縮短，容易在未施工完畢前就硬固，且使用時必須加熱，因此會有熱應力現象發生。其優點為適用於薄邊緣區域之補修、附著性高適合向上施工、緊急時可快速補修、比水泥系補修材料及聚合物水泥系補修材料擁有更高的不透水性【5】。但樹脂系補修材料成本高且不適用於在潮濕環境下施作，因此在施工前必須用工具或燈照射讓施作面保持乾燥。此外，有機系材料在紫外線照射下會發生降解，使用樹脂系補修材料進行斷面補修後需再塗抹面漆以隔絕紫外線。

8. 經調查、診斷後被判定為需要進行斷面補修，其施工程序可分為前處理和斷面補修兩階段，斷面補修法之施作流程如下(圖 R3- 9)：

(1) 劣化混凝土打除：去除劣化之裝飾層、粉刷層及混凝土；

(2) 表面清理：清除細碎混凝土和灰塵；

(3) 表面打毛並清理：用機器將混凝土表面打毛，表面粗糙度至少要達到砂目或中間之程度；

(4) 塗抹新舊介面黏結劑：於混凝土表面塗抹與斷面補修材料配合之新舊介面黏結劑；

(5) 填補斷面補修材料：根據施工環境及施工方向選擇合適之斷面補修材料，並在新舊介面黏結劑有效時間內填補上斷面補修材料；

(6) 養護；

(7) 塗抹表面披覆材料(如有需要)：如環境中之劣化因子(氯離子或中性化)強度為中度以上，則須在斷面補修法施作後，再於混凝土進行表面披覆法，以防止劣化因子侵入(圖 R3- 10(b))。

(8) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；

(9) 修飾。

9. 在斷面補修法施工時，應特別注意以下幾點：

(1) 標記修復範圍時，需要將劣化部位和預計可能劣化的部分盡可能地包含在內，且切除混凝土時要注意避免破壞到鋼筋。此外，為了預防再劣化，修復範圍包含混凝土劣化部分再向外延伸 10 mm，且邊緣必須為健全之混凝土。

(2) 混凝土介面之表面粗糙程度可分為平滑、砂目(細骨材裸露)、中間(介於細骨材裸露和粗骨材裸露之間)和洗出(粗骨材裸露)。待除去混凝土後，表面粗糙度至少要達到砂目或中間程度，才能增加斷面補修材料與既有混凝土之黏結力。

(3) 黏結材(介面劑)的使用應符合斷面補修材料之種類，例如水泥系補修材料或聚合物水泥砂漿補修材料，係使用水泥砂漿作為黏結材；環氧樹脂砂漿則使用環氧樹脂作為黏結材。

(4) 介面處理時，黏結材必須均勻塗抹，如黏結材塗抹不確實，可能導致補修材料剝離、剝落。

(5) 斷面補修法有塗抹法、灌漿施工法、塗抹法三種，根據修復範圍規模和修復深度可選擇合適之方法(圖 R3- 11)。如修復面積為 10 mm^2 以下或在中~大規模修復面積但修復深度為 30 mm 以下，可選用塗抹法；當修復面積為中~大規模且修復深度為 30 mm 以上，如需架設模版，使用灌漿施工法，不需要模版時，可用噴塗法。

(6) 斷面補修材料之計量，請根據廠商規定計量混合。混漿水量與斷面補修材料之性能有關，其兩者關係整理如表 R3- 11 所示。對於不同工法之使用材料，斷面補修材料混漿時手動攪拌器葉片建議適當挑選。此外，除乾式噴塗法外，其他工法使用之斷面補修材料皆必須與水充分混合，混漿時間與材料之黏結強度有關，尤其對聚合物水泥砂漿來說，如果混和時間不夠，則聚合物材料沒有吸收充足之水分，將導致聚合物材料無法發揮效用；如混和時間過長，則會因夾帶空氣過多而導致強度下降，故混漿時間務必確認清楚。

(7) 修復完畢後進行養護時，避免強風或陽光直射，防止補修材料表面乾燥而產生裂縫。在夏季高溫時，須適時地灑水做好冷卻工作。修復工作結

束後，應進行最後檢測確認斷面補修材料不會剝落。

表 R3- 10 斷面補修法適用範圍概念

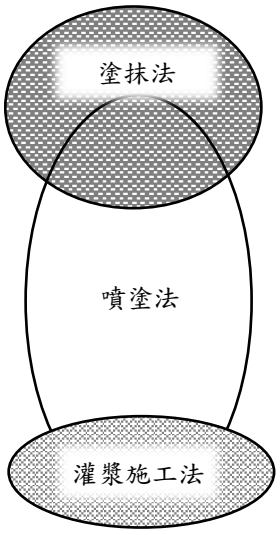
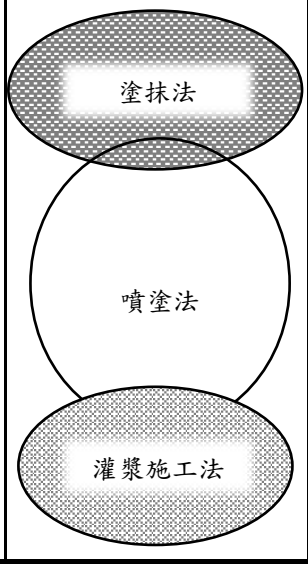
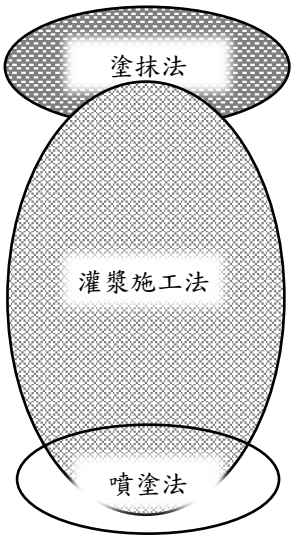
修復位置	下表面	側面	上表面
施工方向 / 修復面積	向上施工	橫向施工	向下施工
小 ▼ 大			

表 R3- 11 水量對混漿之影響

指標	混漿水量過多	混漿水量不足
流動性	上升	下降
鏝刀抹平	流瀉	增壓
噴霧	流瀉	堵塞
抗壓、撓曲強度	下降	上升
黏結力、耐久性	下降	上升

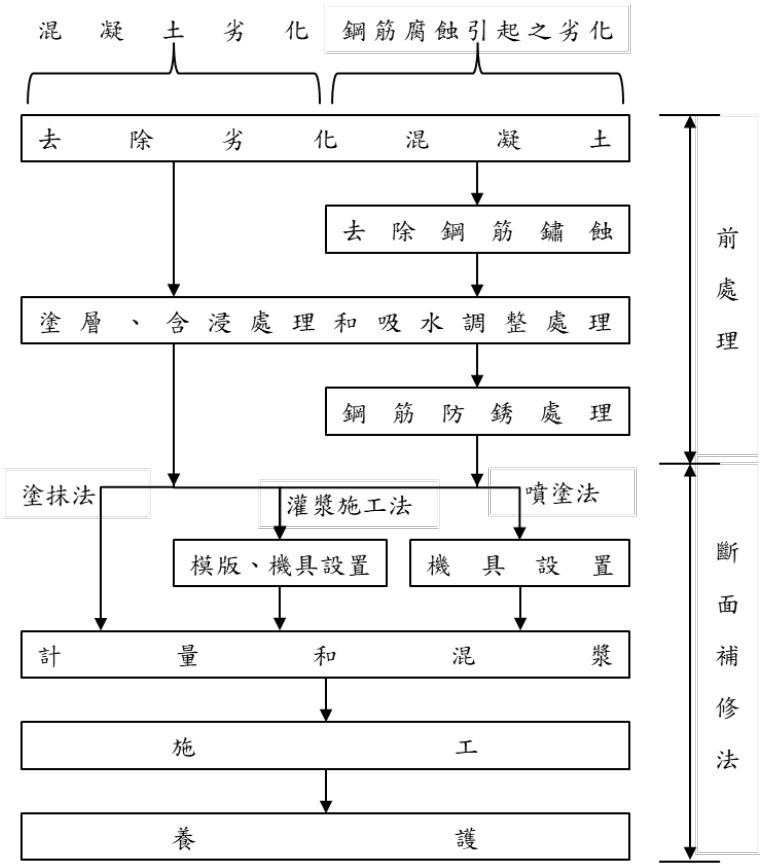
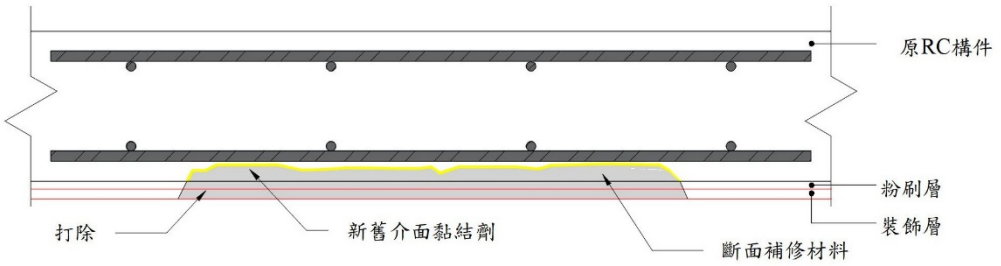
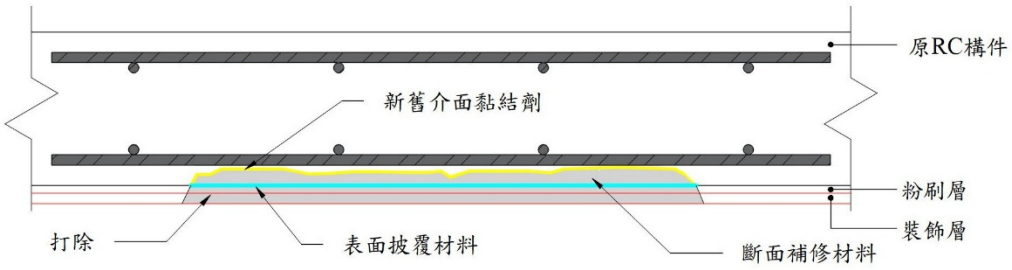


圖 R3- 9 斷面補修法之施作流程



(a) 斷面補修法



(b) 表面披覆法配合斷面補修法

圖 R3- 10 斷面補修法示意圖(鋼筋未腐蝕)

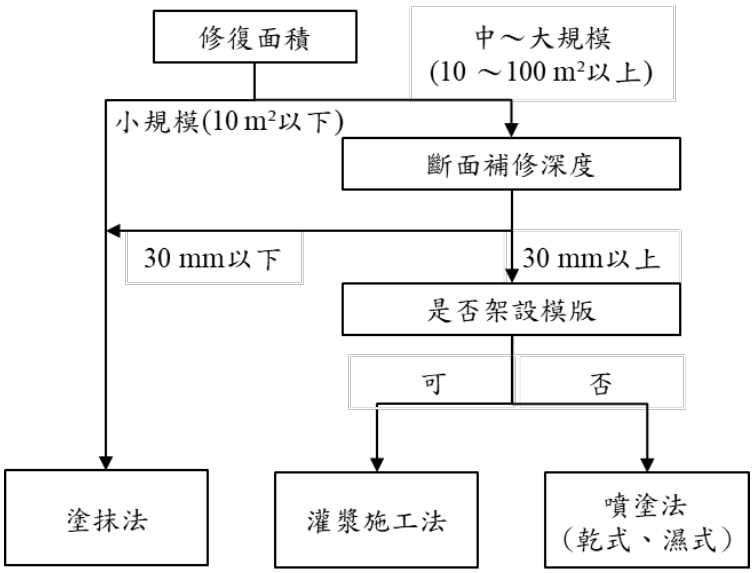


圖 R3- 11 斷面補修法之選擇參考

3.8 鋼筋腐蝕補修法

對於劣化度為中度以上之構件，因內部之鋼筋已發生腐蝕，因此在去除劣化混凝土後，應進行鋼筋腐蝕補修法。鋼筋腐蝕補修法之修復順序為先將裂縫和劣化之混凝土去除至鋼筋腐蝕部份，鋼筋經除銹處理後，塗抹含浸材料(基層處理)和鋼筋防銹材料(鋼筋防銹)後，再填補斷面補修材料(斷面補修法)，並依需求施作表面披覆材料或裝飾材料。

解說：

1. 鋼筋腐蝕補修法是利用防銹材料對鋼筋進行防銹處理，使鋼筋表面形成保護膜，以隔絕氧氣及水分、抑制鋼筋繼續生銹，再以填充補修材料來隔絕劣化因子並保護鋼筋，藉此達到修復之目的。
2. 對於鋼筋腐蝕部份的修復順序，是先將混凝土剝落、鋼筋暴露或出現裂縫等位置，移除該部位之混凝土至鋼筋露出。劣損的混凝土須徹底敲除，並除去鋼筋表面銹蝕，再利用高壓噴槍將表面污漬及碎屑清除乾淨。鋼筋除銹後塗上防銹材料，建議鋼筋各面均塗刷兩層以上以確實達到防銹之效用，並注意鋼筋紋路(螺紋、人字紋)確實讓防銹材附著在鋼筋表面。在新舊混凝土介面塗抹接著劑後，最後用補修材料填補以及表面披覆材料(如有機或無機披覆材料或油漆、磁磚等裝飾材料)以隔絕劣化因子侵入(如圖 R3- 12 所示)。

3. 一般來說,鋼筋腐蝕補修法皆會搭配斷面補修法一同施作,但在進行補修前,還需確認混凝土內之劣化因子強度。如混凝土內部已存有劣化因子,為使混凝土恢復鹼性以避免鋼筋再度腐蝕,還可再搭配表面含浸法。鋼筋腐蝕補修法之施工步驟如下：

(1) 劣化混凝土打除：去除裝飾層和粉刷層後,將劣化之混凝土打除至鋼筋裸露；

(2) 鋼筋除銹：使用高壓清洗機將鋼筋上的鐵銹徹底清除；

(3) 塗抹鋼筋防銹材料；

(4) 表面清理：把修復範圍內之細碎混凝土、灰塵和鐵鏽全部清除乾淨

(5) 表面打毛並清理：用機器將混凝土表面打毛,表面粗糙度至少要達到砂目或中間之程度；

(6) 塗抹表面含浸材料(如有需要)；

(7) 塗抹新舊介面黏結劑：於混凝土表面塗抹與斷面補修材料配合之新舊介面黏結劑；

(8) 填補斷面補修材料：根據施工環境及施工方向選擇合適之斷面補修材料,並在新舊介面黏結劑有效時間內填補上斷面補修材料；

(9) 養護；

(10) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；

(11) 修飾。

4. 鋼筋腐蝕補修法施工時，應特別注意以下幾點：

(1) 鋼筋除銹後，為了預防鋼筋再腐蝕，鐵鏽脫落後應塗抹防銹材，並注意鋼筋紋路(螺紋、人字紋)，確實地讓防銹材附著在鋼筋表面。

(2) 防銹劑塗抹於鋼筋背側時，可用刷子或噴槍，使用噴槍後，必須注意避免防銹劑滴落。

(3) 與鋼筋腐蝕補修法搭配使用之斷面補修法，其施工時應注意事項，可參照 3.7 小節。

(4) 鋼筋腐蝕補修法除搭配斷面補修法一同施作,還可依需要搭配表面含浸法或表面披覆法，相關應注意事項可參照 3.3 小節和 3.4 小節。

5. 鋼筋防銹材料之種類及規格應符合國家標準之規定,並根據鋼筋表面及環境狀況選擇適當地防銹材料，其防銹材料之種類及適用環境可參照表 R3- 12

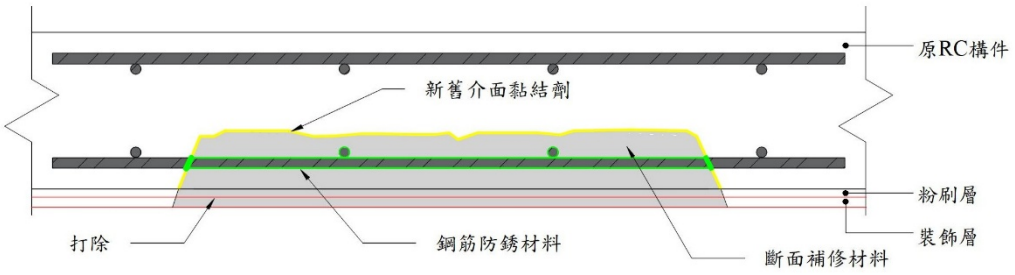
所示。

表 R3- 12 防銹材料之種類及適用環境【13】

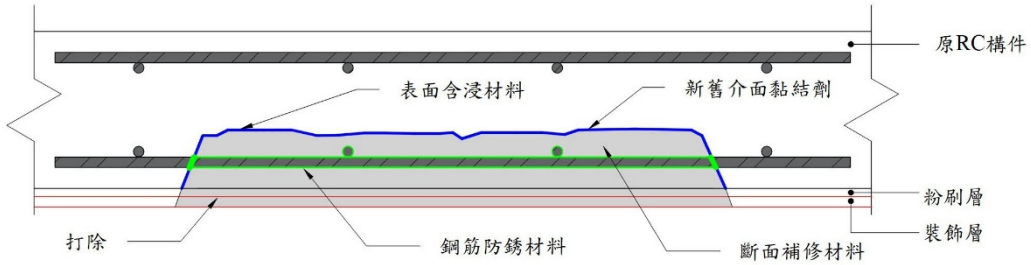
防銹材料種類	規格	使用環境及適用表面			
		一般環境		腐蝕環境	
		鋼鐵面	鍍鋅面	鋼鐵面	鍍鋅面
一般防銹底漆	CNS 4908 K2059 第 1 種	O	-	-	-
紅丹底漆	CNS 774 K2020 第 1 種，第 2 種	O	-	-	-
一氧化二鉛防銹底漆	CNS 4909 K2060 第 1 種，第 2 種	O	-	-	-
氯化橡膠鋅鉻鉛紅防銹漆	CNS 4917 K2068	O	-	-	-
氰氨化鉛防銹底漆	CNS 12131 K2158 第 1 種，第 2 種	O	-	-	-
鋅鉻黃防銹底漆	CNS 776 K2021	-	-	-	-
氯化橡膠系紅丹防銹底漆	CNS 4915 K2066	-	-	O[*1]	O
環氧樹脂底漆	CNS 4959 K2089	-	-	O	O
環氧樹脂鋅粉底漆	CNS 4936 K2087	-	-	O	-
無機鋅粉底漆	CNS 4937 K2088	-	-	O	-
伐銹底漆	CNS 4934 K2085 (長曝型)	-	-	O	-
伐銹底漆	CNS 4935 K2085 (短曝型)	-	O	-	O
醇酸樹脂系三聚磷酸防銹底漆	CNS 12266 K2201	-	-	O	-
環氧樹脂系三聚磷酸防銹底漆	CNS 12268 K2202	-	-	O	-
氯化橡膠系三聚磷酸防銹底漆	CNS 12270 K2203	-	-	O	-
環氧樹脂柏油漆	CNS 4939 K2090	-	O	-	O

[*1] 氯化橡膠防銹底漆直接塗佈於鋼鐵面可能會促進腐蝕，塗刷氯化橡膠底漆前須先塗裝有機鋅粉底漆（CNS K2087）。

防銹材料種類	規格	使用環境及適用表面			
		一般環境		腐蝕環境	
		鋼鐵面	鍍鋅面	鋼鐵面	鍍鋅面
本表以 CNS 為主，若無 CNS 標準者，則可參考國內外常用標準。					



(a) 斷面補修法配合鋼筋腐蝕補修法



(b) 表面含浸法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法

圖 R3- 12 鋼筋腐蝕補修法示意圖

第四章 構件修復工法種類與適用範圍

4.1 前言

本手冊對劣化構件之修復共分為**劣化梁構件修復、劣化柱構件修復、劣化板構件修復及劣化牆構件修復等**，各小節分別針對劣化構件欲回復性能之適用修復工法加以詳細介紹。構件修復工法適用之對象為劣化度重度以上之構件，且構件修復工法需搭配構件補修工法(第三章)，才能有效地讓構件恢復其原有力學性能，以確保結構整體之安全性和使用性。此外，若原有混凝土強度低，經評估不適合進行植筋或使用化學錨栓等工法時，應考慮採用梁柱擴大斷面或牆板置換方式進行修復，且須確保新舊材料間之黏結強度。

解說：

在考慮劣化構件補修時，是僅採用補修工法，或補修工法與修復工法配合使用，最重要考量係根據老劣化診斷與調查結果，若構件之劣化度為重度以上，則在施作構件補修工法後，應再搭配構件修復工法，讓構件恢復其原有力學性能，以確保其安全性和使用性。本手冊針對劣化構件之修復分為劣化梁構件修復、劣化柱構件修復、劣化板構件修復及劣化牆構件修復等，再根據各劣化構件適用之修復工法加以詳細介紹。依過去工程實例可知，老舊建物之混凝土抗壓強度會有低於 100 kgf/cm^2 之可能，若採於植筋或使用化學錨栓等工法進行相關修復時，應特別注意其強度發展，所選取之修復工法應儘可能減少植筋或化學錨栓之使用數量。

4.2 劣化梁構件修復

劣化梁構件可依其欲修復之性能(如剪力、彎矩或以上二者同時復原等)，分別採用**梁底部鋼筋置換修復工法、擴梁修復工法、梁底部鋼板修復工法、梁側 U 型鋼板修復工法或梁底部 CFRP 貼布修復工法等**。

解說：

針對劣化梁構件之修復，一般常用構件接著修復工法來進行構件之剪力或正彎矩修復，或對梁構件兩端頂部進行負彎矩修復，施作重點是在混凝土某側黏貼鋼板或 CFRP 貼布等材料，使其與既有構件結合，形成複合結構，而使構件之承

載能力恢復至原設計要求。除上述接著修復工法外，尚有梁底部鋼筋置換修復工法及擴梁修復工法。一般而言，梁構件之劣化位置大多位於梁底且靠近正彎矩位置，而梁端附近之負彎矩處，其上方受拉側則較少出現劣化現象，若有修復需求建議可採用梁板同時復原之工法。

採用 CFRP 貼布進行相關工法施作時，因主要採用黏結方式進行，因此施工環境條件與舊有混凝土表面處理均會影響其使用年限。若採用環氧樹脂材料進行黏結貼覆，一般合適之施工環境條件為溫度 5 ºC 以上且溼度必需控制在 85 %以下，亦可採用適合環境條件之樹脂類別。此外，若舊有混凝土表面之含水率高，會造成樹脂硬化不良或白化而造成 CFRP 鼓脹現現，建議施作前應進行混凝土含水率量測，以不超過 5%為主。

4.2.1 梁底部鋼筋置換修復工法(正彎矩修復)

1. 當梁構件內部之鋼筋銹蝕嚴重以至於會影響到其原有正彎矩強度時，可採用斷面補修法及鋼筋腐蝕補修法並搭配梁底部鋼筋置換工法來進行構件修復。
2. 置換之直線鋼筋或彎鉤鋼筋需有足夠伸展長度，或可配合機械式錨定等組合使用，相關規定可參考規範【10】建議。
3. 置換之鋼筋於滿足伸展長度要求下，其正彎矩強度貢獻可依規範【10】建議分析方法進行評估。
4. 梁底部鋼筋置換修復工法是先將劣化之混凝土去除及對已腐蝕之鋼筋進行除銹及防銹，接續埋置鋼筋以補充損失鋼筋量或進行鋼筋更換，最後再施行斷面補修以回復梁原有斷面積。
5. 置換之鋼筋號數可根據銹蝕鋼筋的斷面積減少量，補充損失鋼筋量，以讓置換後之斷面正彎矩強度回復至原設計要求。

解說：

1. 當鋼筋銹蝕嚴重，導致鋼筋重量減少率過多以至於會影響到構件之安全性，

此時，可採用鋼筋腐蝕補修法先進行鋼筋除銹後，再利用斷面補修法搭配鋼筋置換工法來進行構件修復。鋼筋腐蝕補修法可參照本手冊之 3.8 小節，斷面補修法可參照 3.7 小節。

2. 鋼筋置換工法所使用之置換鋼筋可為直線鋼筋或彎鉤鋼筋，除鋼筋相關規定外，亦請參考「建築物混凝土結構設計規範」【10】中所提到之鋼筋伸展(第 25.4 小節)相關設計要求。

3. 為讓鋼筋能發展其強度，置換之直線鋼筋或彎鉤鋼筋需有足夠伸展長度，或可配合機械式錨定等組合使用。使用彎鉤鋼筋置換時，當鋼筋受拉，彎鉤鋼筋會產生部分拉力；當鋼筋受壓，則不計彎鉤鋼筋之伸展效應。

4. 根據「建築物混凝土結構設計規範」【10】第 25.4 小節關於鋼筋之伸展規定，構材任一斷面之鋼筋，藉由埋設長度、彎鉤、擴頭竹節鋼筋、機械裝置或其組合等，應在鋼筋所在斷面兩側發展出足夠之計算拉力或壓力(25.4.1 通則)，且在第 25.4.1.4 小節規定，計算伸展長度所使用$\sqrt{f_c'}$值不得超過 26.5 kgf/cm^2。對於受拉竹節鋼筋與麻面鋼線之伸展，請依第 25.4.2 小節之規定計算受拉竹節鋼筋與麻面鋼線之伸展長度(l_d)。對於受拉標準彎鉤之伸展，請參考第 25.4.3 小節之規定計算受拉竹節鋼筋標準彎鉤之伸展長度(l_{dh})。

5. 梁底部鋼筋置換修復工法之施工步驟如下：
   (1) 裝飾材料去除：敲除裝飾材、鬆動之混凝土，混凝土需敲除至鋼筋完全裸露程度且符合埋至鋼筋之伸展長度之範圍；
   (2) 表面處理；
   (3) 鋼筋腐蝕補修法施作：採用鋼筋腐蝕補修法(第 3.8 小節)對已腐蝕之鋼筋進行除銹及防銹處理；
   (4) 埋設置換鋼筋；
   (5) 塗抹介面黏結劑：將灰塵、粉塵清除乾淨後，塗抹介面黏結劑；
   (6) 填補斷面補修材料：設置模板以填補斷面補修材料恢復梁構件斷面；
   (7) 拆除模板並養護。

6. 在施作梁底部鋼筋置換修復工法時應注意事項有：
   (1) 由於須要進行鋼筋除銹和置換鋼筋埋置，所以混凝土去除之範圍須讓鋼筋完全裸露，且需有足夠空間進行鋼筋置換，必要時可移除銹蝕嚴重鋼筋。

(2) 補修範圍須考量診斷結果(鋼筋腐蝕現況)、鋼筋伸展長度及置換鋼筋之放置空間。

(3) 置換之鋼筋號數可根據銹蝕鋼筋的斷面積減少量，補充損失之鋼筋量，以讓鋼筋置換後之斷面彎矩強度回復至原設計時要求。

(4) 介面處理時，要特別注意新舊鋼筋接觸面，如有灰塵或殘留物，須清除乾淨。

4.2.2 擴梁修復工法(剪力與彎矩修復)

1. 當劣化梁構件之彎矩或剪力強度不足時，若無空間限制則可在原梁構件外部加設鋼筋(主筋及肋筋)及混凝土或水泥砂漿，將原梁斷面積擴大以提升梁構件之剪力及彎矩強度。
2. 擴梁修復工法係先將裝飾材及鬆動之混凝土敲除，可先行採用鋼筋腐蝕補修法進行腐蝕鋼筋之補修。
3. 為有效擴大梁構件之斷面積，在施工時須注意新舊混凝土之接合及鋼筋錨定。
4. 新設鋼筋於滿足規範【10】建議之伸展長度要求下，其彎矩及剪力強度貢獻可依規範【10】建議分析方法進行評估。

解說：

1. 擴梁修復工法為經濟可靠之補修工法之一，主要是利用在原鋼筋混凝土梁之外側加設鋼筋並用混凝土或水泥砂漿包覆，使原有梁擴大斷面而回復梁構件之彎矩與剪力強度。
2. 為有效擴大梁構件之斷面積，在施工時須注意新舊混凝土之介面黏結及鋼筋錨定。擴大斷面處之新設鋼筋與混凝土均可依規範建議進行設計與分析【10】。
3. 擴梁修復工法之施工步驟如下，相關圖說可參考圖 R4- 1(僅供參考)：
   (1) 裝飾材料去除：敲除裝飾材、鬆動之混凝土後進行表面處理，其表面粗糙度須為 6 mm 以上或達到達到砂目(細骨材裸露)或中間(介於細骨材裸露和粗骨材裸露之間)程度。若原有鋼筋已有腐蝕現象，須採用鋼筋腐蝕補修法進行處理；
   (2) 打除混凝土(如有需要)：如擴梁修復需要將新設之肋筋埋設至原 RC 板

或以貫穿原 RC 板之方式新增板厚及擴梁，則需將原 RC 板之混凝土部分打除；

(3) 前處理：標記並鑽孔後，去除所有細碎混凝土及灰塵；

(4) 埋置鋼筋：進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋；

(5) 安裝模板；

(6) 塗抹介面黏結劑：塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性；

(7) 澆置混凝土或水泥砂漿：進行混凝土或水泥砂漿澆置作業，澆置完畢後封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

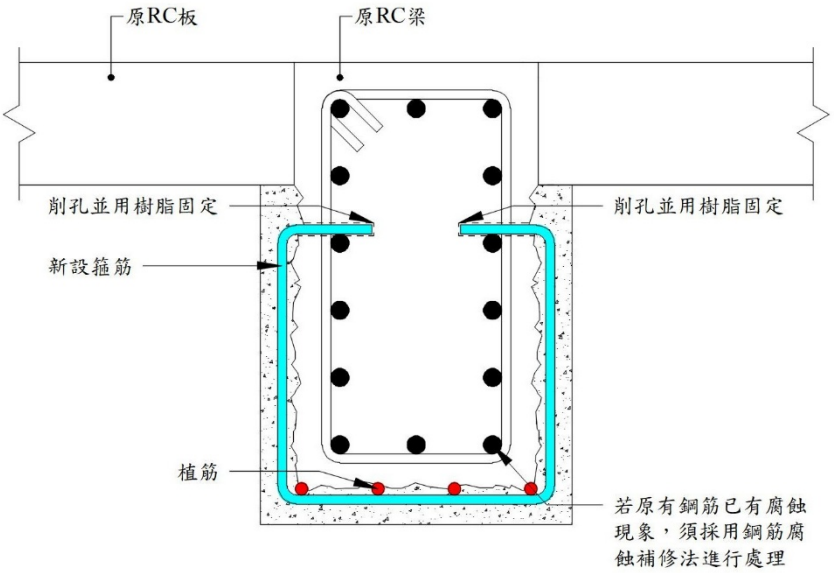
(8) 拆除模板並養護。

4. 進行擴梁修復工法時，應注意以下幾點：

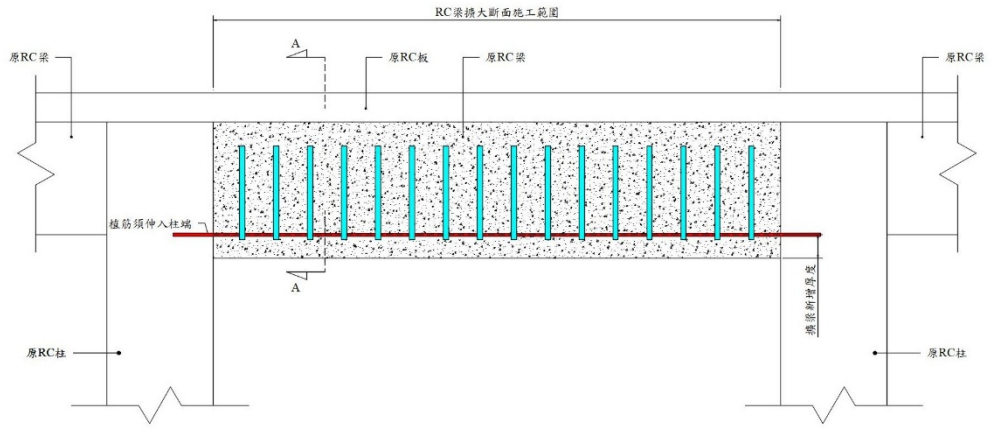
(1) 進行既有混凝土之表面處理時，需用機器進行鑿毛，表面粗糙度須為 6 mm 以上或達到達到砂目(細骨材裸露)或中間(介於細骨材裸露和粗骨材裸露之間)程度，以增加混凝土或水泥砂漿與既有混凝土之黏結力。

(2) 加設之鋼筋進行植筋時，不得損壞既有之鋼筋；加設之主筋應於柱端有足夠錨定；加設之肋筋應以貫穿樓板方式或利用原有梁進行錨定。

(3) 梁構件經擴大斷面修復後會增加其結構體重量，需重新計算載重。



(a) 斷面圖



(b) 側視圖

圖 R4- 1 擴梁修復工法示意圖(原梁錨定)

4.2.3 梁底部鋼板修復工法 (正彎矩修復)

1. 當梁因底部劣化而導致正彎矩強度下降，且有安全疑慮時，可在其底部加設鋼板進行梁構件修復，以回復其正彎矩強度。梁底部鋼板修復工法係將鋼板貼附在混凝土之受拉應力面上，並在鋼板與混凝土隙縫注入接著劑，可配合化學錨栓使用，以讓鋼板與混凝土構件結合為一體。
2. 梁底新設鋼板於錨定或黏結之要求充份確保下，可採等值鋼筋量方式並依規範【10】建議分析方法進行彎矩強度評估。
3. 梁底部鋼板修復工法之施工步驟為先將裝飾材敲除後，可針對劣化部位進行鋼筋腐蝕補修與斷面補修，再將鋼板安裝於梁構件之底部(受拉面)，鋼板經由錨定固定後以壓力灌注環氧樹脂於接縫處，最後對鋼板進行防銹處理及表面裝飾後即完成補修作業。

解說：

1. 梁底部鋼板修復工法係將鋼板貼附於鋼筋混凝土梁底部，可視鋼板為主筋並採等值鋼筋量方式依規範【10】建議方法進行設計。
2. 梁底部鋼板修復工法是在構件承受拉應力面貼附鋼板，可利用化學錨栓固定鋼板和環氧樹脂填充空隙及裂縫，使鋼板與構件合為一體，以復原構件之抗彎能力。

1. 梁底部鋼板修復工法之施工步驟如下所示，相關圖說可參考圖 R4- 2 (僅供參考) 。

(1) 裝飾材料去除：裝飾材去除時，需打除至既有鋼筋混凝土結構，且應將表面灰塵完全去除乾淨；

(2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋修復作業；

(3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性。鋼板與鋼筋混凝土梁間之空隙應盡量保持在 3 mm 以下；

(4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行施作位置固定；

(5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，待密封劑硬化後再行注入環氧樹脂。利用機械壓力灌注環氧樹脂直至環氧樹脂從透氣孔流出為止；

(6) 後處理：隔日須確認鋼板是否緊密貼附，以及從出氣孔檢視接合處之環氧樹脂是否灌滿，若無則須補滿；

(7) 養護；

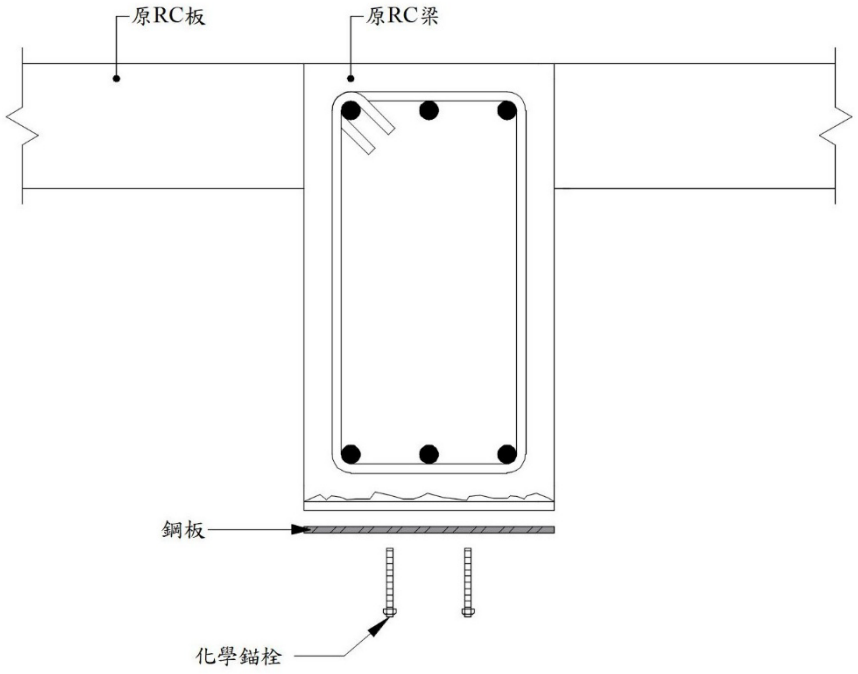
(8) 檢查施工品質：養生期間過後，去除注入孔及透氣孔，並將環氧樹脂溢出部分或不平整部分用無收縮水泥砂漿修飾；

(9) 進行表面裝飾。

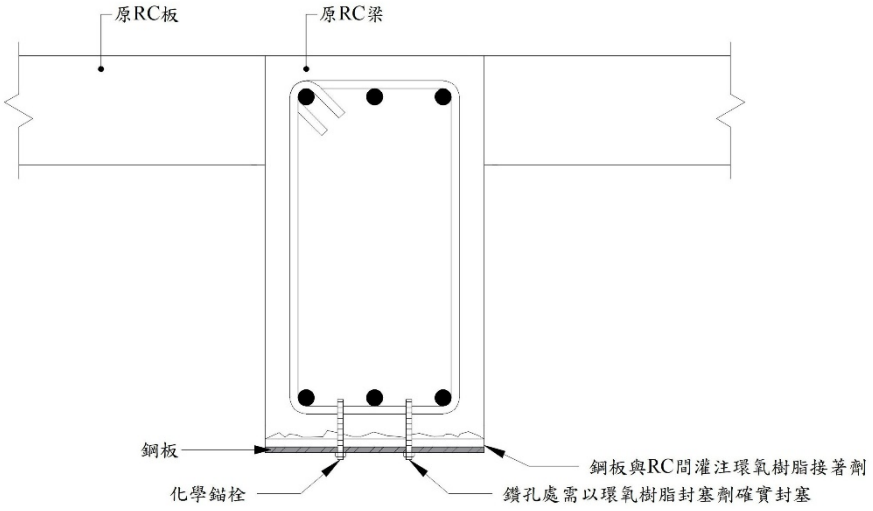
2. 進行在梁底部鋼板修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 鋼板需按實際尺寸進行剪裁、折合、噴砂、放孔，鋼板外側需塗抹環氧樹脂紅丹底漆防銹。鋼板交接位置應經滿焊處理。

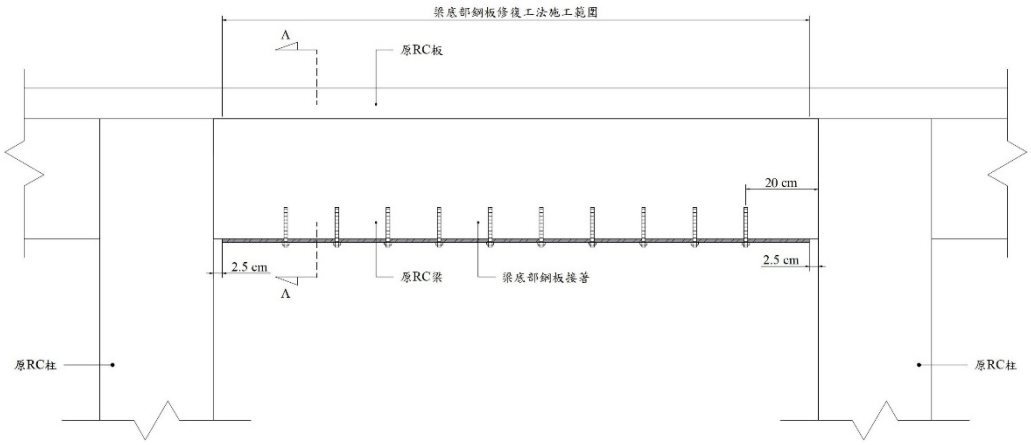
(2) 使用化學錨栓固定時，應閃避鋼筋混凝土梁內之鋼筋，並按標準施工法施作，必要時須進行拉拔試驗。


原RC板
原RC梁
鋼板
化學錨栓

(a)　分解圖


原RC板
原RC梁
鋼板
化學錨栓
鋼板與RC間灌注環氧樹脂接著劑
鑽孔處需以環氧樹脂封塞劑確實封塞

(b)　斷面圖



(c)　側視圖

圖 R4- 2 梁底部鋼板修復工法示意圖

4.2.4 梁側 U 型鋼板修復工法 (剪力及正彎矩修復)

1. 當梁因劣化而導致剪力強度及正彎矩強度不足時，可以採用 U 型鋼板包覆，同時復原其剪力及彎矩強度。採 U 型鋼板包覆劣化梁構件之修復，係利用環氧樹脂或錨栓將鋼板與梁結合，以讓 U 型鋼板能發揮預期效果。
2. 進行梁側 U 型鋼板修復工法設計時，可採用等效鋼筋量方式並依規範【10】建議公式進行強度計算，其錨定件亦需進行相關檢核以確保 U 型鋼板發揮其預期能力。
3. 梁側 U 型鋼板修復工法之施工步驟係將裝飾材敲除後，針對劣化部位進行鋼筋腐蝕補修與斷面補修，再將 U 型鋼板以化學錨栓固定，並於 U 型鋼板與梁構件之空隙處填入環氧樹脂，最後對 U 型鋼板進行防銹處理及表面裝飾。

解說：

1. 梁側 U 型鋼板修復工法係採用 U 型鋼板進行劣化梁構件之修復，由於 U 型鋼板毋需灌置新的混凝土，對於樓層高度較為不足之建築物，以 U 型鋼板進行修復比加設箍筋並灌置混凝土之修復方法更為合適。
2. 梁側 U 型鋼板修復工法之施工步驟與梁底部鋼板修復工法相似，唯採用之鋼板形狀不同。可採用等效鋼筋量方式並依規範【10】建議公式進行強度計

算，其錨定件亦需進行相關檢核以確保U型鋼板發揮其預期能力。

3. 梁側加鋼板修復工法之施工步驟如下所示，相關圖說可參考圖 R4- 3 (僅供參考)。

(1) 裝飾材料去除：裝飾材去除時，需打除至既有鋼筋混凝土結構，且應將表面灰塵完全去除乾淨；

(2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋修復作業；

(3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性；

(4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行施作位置固定；

(5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，待密封劑硬化後再行注入環氧樹脂。利用機械壓力灌注環氧樹脂直至環氧樹脂從透氣孔流出為止；

(6) 後處理：隔日須確認鋼板是否緊密貼附，以及從出氣孔檢視接合處之環氧樹脂是否灌滿，若無則須補滿；

(7) 檢查施工品質：養生期間過後，去除注入孔及透氣孔，並將環氧樹脂溢出部分或不平整部分用無收縮水泥砂漿修飾；

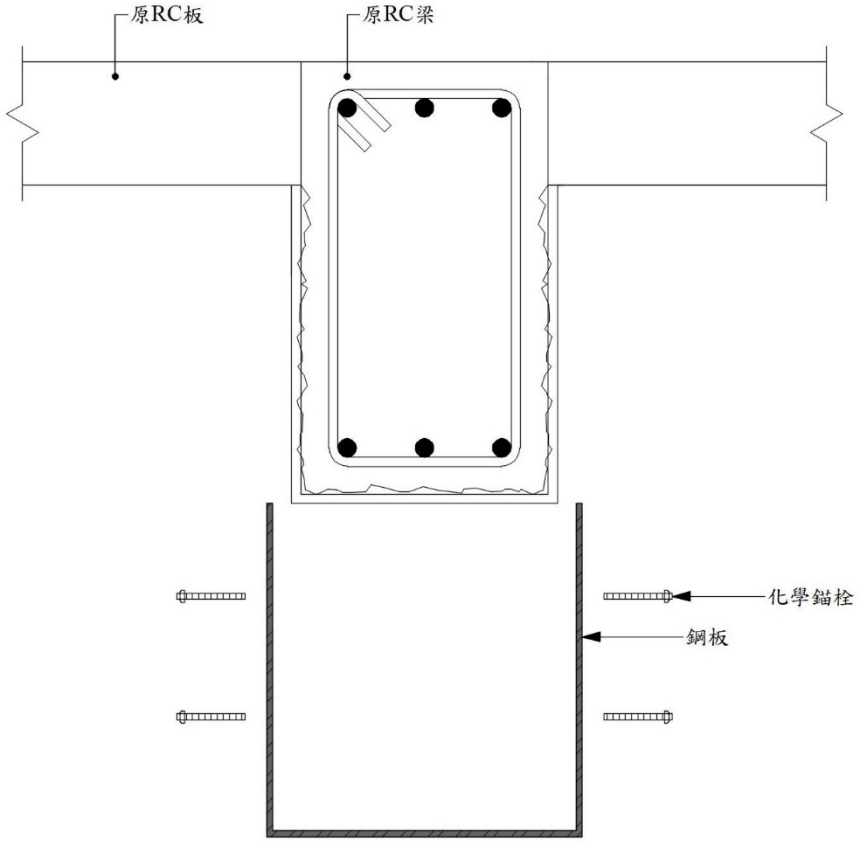
(8) 防銹並進行表面裝飾。

4. 進行在梁側加鋼板修復工法時，應注意以下幾點：

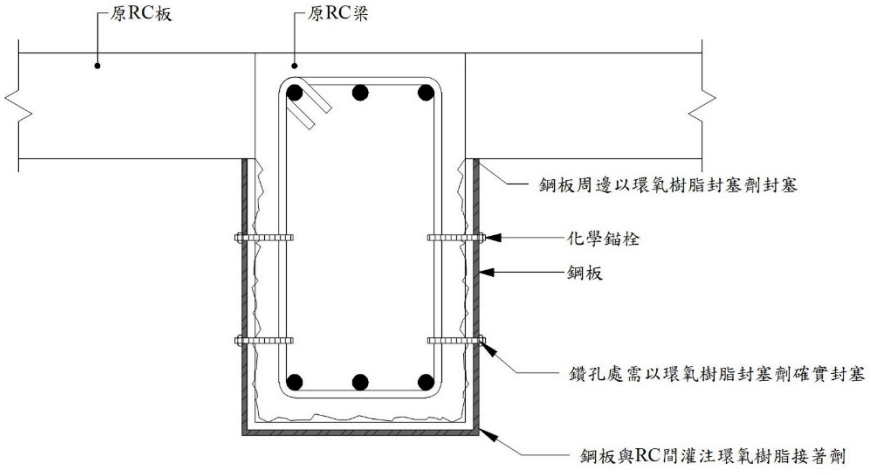
(1) 鋼板與鋼筋混凝土梁間之空隙應盡量保持在 3 mm 以下。

(2) 進行補修之 U 型鋼板不宜過厚，建議採用 4 mm～10 mm 厚度之鋼板，亦無須採用高強度鋼材。

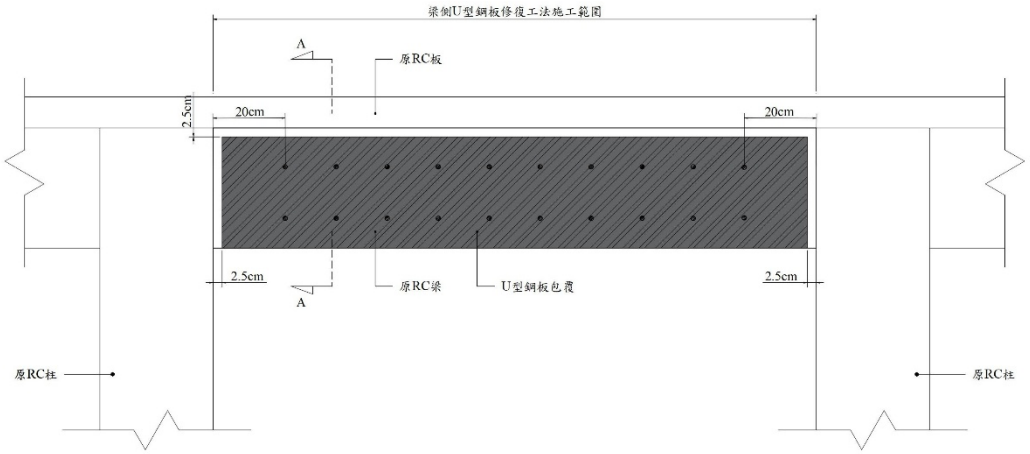
(3) 使用化學錨栓固定時，應閃避鋼筋混凝土梁內之鋼筋，並按標準施工法施作，必要時須做拉拔試驗。


原RC板
原RC梁
化學錨栓
鋼板

(a) 分解圖


原RC板
原RC梁
鋼板周邊以環氧樹脂封塞劑封塞
化學錨栓
鋼板
鑽孔處需以環氧樹脂封塞劑確實封塞
鋼板與RC間灌注環氧樹脂接著劑

(b) 斷面圖



(c) 側視圖

圖 R4- 3 梁側 U 型鋼板修復工法示意圖

4.2.5 梁底部 CFRP 貼布修復工法 (剪力及正彎矩修復)

1. 梁底部 CFRP 貼布修復工法概念與梁側U型鋼板修復工法之概念相同，主要以同時復原剪力及正彎矩強度，惟將補修材料以 CFRP 貼布取代U型鋼板。
2. 利用 CFRP 貼布進行劣化梁構件修復時，可將 CFRP 貼布視為外加補強材，可配合 ACI 440.2R【20】或 JSCE【18】 建議分析方法評估斷面彎矩強度。CFRP 貼布之剪力強度評估則可參考 ACI 440.2R【20】或 JSCE【18】建議方式進行。
3. 梁底部 CFRP 貼布修復工法之施工步驟從準備工作起，到進行斷面補修法或裂縫補修法、表面清理、導角及整平、劃線、塗抹底漆、進行 CFRP 貼附並於其端部進行固定或壓條處理，最後經養護和表面裝飾後，即完成施作。

解說：

1. CFRP 是一種高耐久性材料，可分散出現在構件上之裂縫並減少裂縫寬度，亦可防止劣化因子侵入。此外，使用 CFRP 貼布進行修復可提高混凝土構件之部分性能。
2. 梁底部 CFRP 貼布修復工法之施工步驟如下所示，相關圖說可參考圖 R4- 4

(僅供參考)。

(1) 前處裡：敲除裝飾材至混凝土部分(梁底、梁側、天花板頂之角鋼施作範圍)；敲除鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；

(2) 斷面補修法或裂縫灌注法施作：斷面補修法或裂縫灌注法可詳見本手冊第三章的第 3.5 小節(裂縫灌注法)和第 3.7 小節(斷面補修法)；

(3) 表面清理；

(4) 導角、整平：為避免刮損 CFRP 貼布及為了讓 CFRP 貼布能更緊密地貼附梁構件，梁構件之陽、陰角面必須以用砂漿補圓角或用砂輪機導圓角(詳見圖 R4- 5)，而表面需要用砂輪機整平；

(5) 劃線：確認 CFRP 貼布貼附位置及錨定位置並劃線標記；

(6) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；

(7) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；

(8) 貼附 CFRP：在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並以手順貼附之方向鋪設；鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 貼布能平順貼附；梁底部 CFRP 貼布修復建議以 U 型貼附為佳，且 U 型端部需保留固定段；

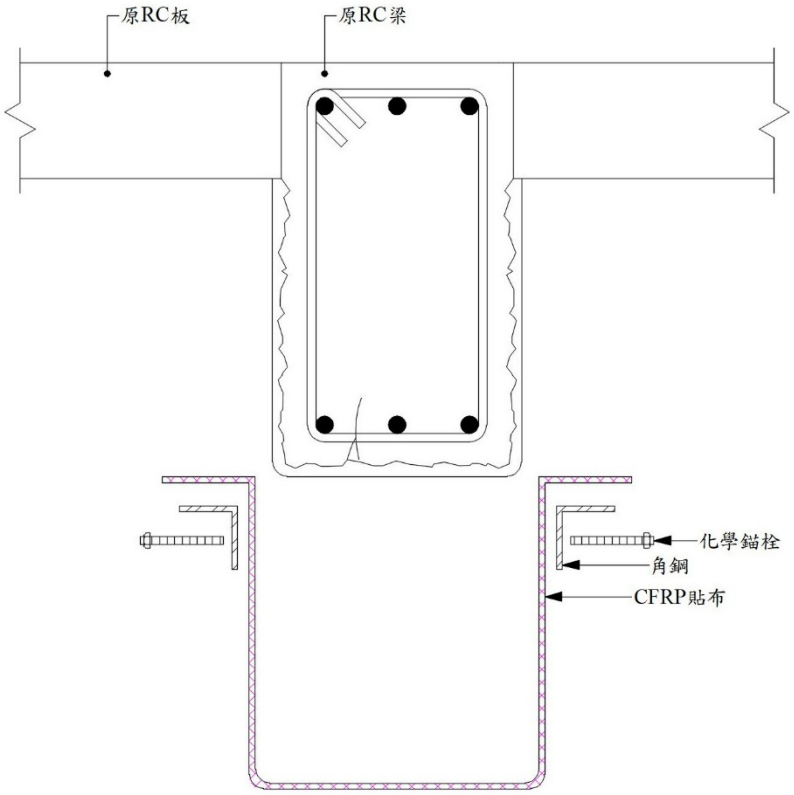
(9) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；

(10) CFRP 端部固定：為避免 CFRP 脫落，須利用角鋼及螺栓進行端部固定或壓條處理。端部固定或壓條處理可參考圖 R4- 6 提供的三種方式，據文獻【20】表示，三種方式皆具良好固定效果，可依現況選擇適合方法使用。此外，角鋼應與陰角面須保持密實貼合，避免留有空隙而造成水份堆積。

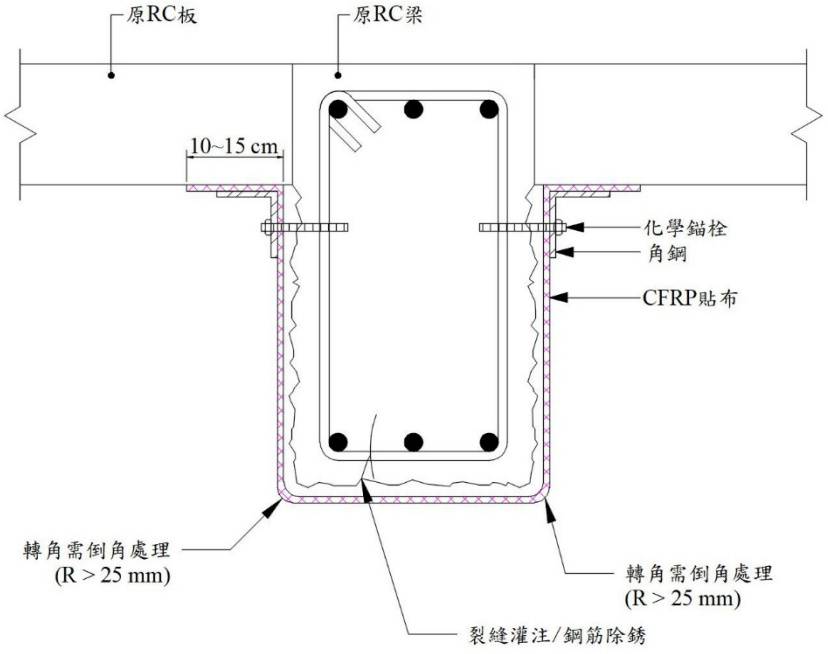
(11) 養護；

(12) 表面裝飾。

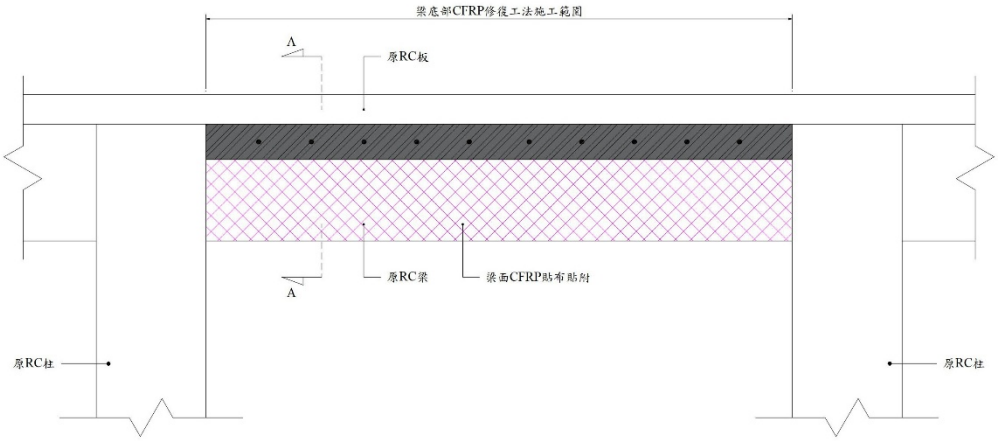
3. 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(7)及(9)，依設計要求之層數及方向重複施作。


原RC板
原RC梁
化學錨栓
角鋼
CFRP貼布

(a) 分解圖

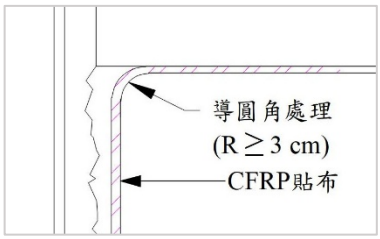

原RC板
原RC梁
10~15 cm
化學錨栓
角鋼
CFRP貼布
轉角需倒角處理
(R > 25 mm)
轉角需倒角處理
(R > 25 mm)
裂縫灌注/鋼筋除銹

(b) 斷面圖

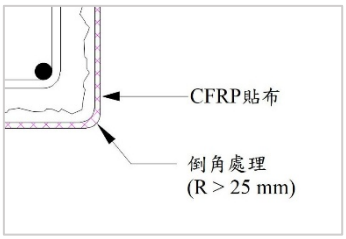


(c) 側視圖

圖 R4- 4 梁底部 CFRP 修復工法示意圖

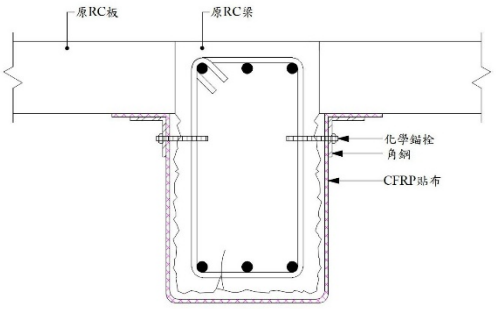


(a) 梁頂陰角砂漿補圓角

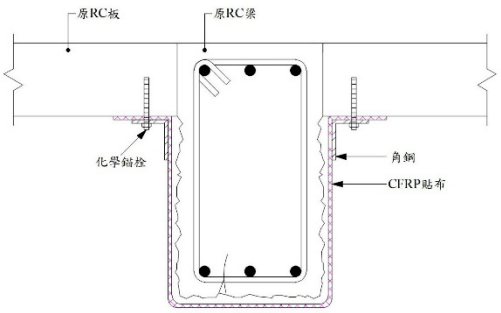


(b) 梁頂陽角磨圓角

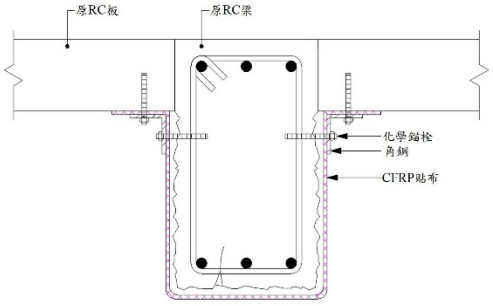
圖 R4- 5 梁頂陰、陽角磨圓角與砂漿補圓角示意圖



(a) 梁側面錨定



(b) 板底部錨定



(c) 梁側及板底兩端錨定

圖 R4- 6 CFRP 端部錨定示意圖【20】

4. 利用 CFRP 貼布進行劣化梁構件修復時，可將 CFRP 貼布視為外加補強材，可配合 ACI 440.2R【20】或 JSCE【18】 建議分析方法評估斷面彎矩強度。CFRP 貼布之剪力強度評估則可參考 ACI 440.2R【20】或 JSCE【18】建議方式進行。以 JSCE【18】為例，其建議計算方法如下：

(1) CFRP 貼布之剪力強度貢獻

主要採用 CFRP 貼布之補強效率係數進行剪力破壞下之強度發展計算，如下列所示之計算式：

$$V_{fd} = \phi \times V_f$$

$$V_f = 1020K\{A_f \times f_{fud} \times d \times (sin\alpha_f + cos\alpha_f)/s_f\}$$

$$\mathrm{K} = 1.68 - 0.67\mathrm{R};\ 0.4 \le \mathrm{K} \le 0.8$$

$$\mathrm{R} = (p_f \times E_f)^{1/4}\left(\frac{f_{fud}}{E_f}\right)^{2/3} \times (\frac{1}{f'_{cd}})^{1/3}; 0.5 \le R \le 2.0$$

$$p_f = \frac{A_f}{(b_w \times s_f)}$$

V_{fd}：由修復用 FRP 承受的設計剪斷力。

V_f：由修復用 FRP 承受的剪斷力。

K：修復用 FRP 的剪斷補強效率係數。

A_f：區間s_f內的修復用 FRP 的總斷面積(cm^2)。

s_f：修復用 FRP 的配置間隔(cm)。

R：FRP 修復效果係數。

p_f：FRP 配置密度係數。

f'_{cd}：混凝土設計抗壓強度。

f_{fud}：修復用 FRP 的設計拉伸強度(kgf/cm^2)。

E_f：修復用 FRP 的楊氏係數(kgf/cm^2)。

α_f：修復用 FRP 與結構元素主要受力方向之間的角度。

(2) CFRP 貼布之彎矩強度貢獻

CFRP 貼布施作之梁構件，若於力量作用下沒有發生 CFRP 貼布剝離現象，則其斷面彎矩強度計算可依一般 RC 梁斷面塑性分析理論進行，主要考慮 CFRP 位置至中性軸距離。若有可能存在因撓曲裂縫或剪力裂縫之生成而引發 CFRP 貼布剝離現象時，則可依最大彎矩處撓曲裂縫位置與其鄰近 CFRP 間之拉應力差，於滿足下列條件下進行斷面彎矩強度分析。

$$\Delta\sigma_f \leq 1.442\sqrt{\frac{G_f E_f}{n_f t_f}}$$

$\Delta\sigma_f$：修復用 FRP 的拉伸應力。

G_f：修復用 FRP 與介面的斷裂能量(kgf/cm)。

E_f：修復用 FRP 的楊氏係數(kgf/cm^2)。

n_f：修復用 FRP 的層數。

t_f：碳纖維厚度(cm)。

以 ACI 440.2R【20】為例，其建議計算方法如下：

(1) CFRP 貼布之剪力強度貢獻

碳纖維之剪力強度由包覆所提供，而碳纖維之包覆可以分成三種:全斷面包覆、U 型包覆與兩側包覆。碳纖維包覆所提供之剪力計算如下列所示之計算式：

$$\emptyset V_n \geq \emptyset(V_c + V_s + \psi_f V_f)$$

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin\alpha \cos\alpha) d_{fv}}{s_f}$$

$$A_{fv} = 2nt_f w_f$$

梁構件剪力 V_n 由鋼筋提供之標稱剪力強度 V_s 與混凝土提供之標稱剪力強度 V_c 相加求得，若 $A_v \geq A_{v,min}$ 則 V_c 可使用上式或是下式中 λ_s 代 1 做計算；若$A_v < A_{v,min}$則 V_c 只可以下式計算：

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

$$A_v \geq A_{v,min} \begin{cases} V_c = \left(6.387\lambda\sqrt{f_c'} + 0.016\frac{N_u}{A_g}\right) b_w d \\ V_c = \left(2.5\,\lambda_s\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f_c'} + 0.016\frac{N_u}{6A_g}\right) b_w d\,,\ \lambda_s = 1 \end{cases}$$

$$A_v < A_{v,min}\,, V_c = \left(25.55\,\lambda_s\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f_c'} + 0.016\frac{N_u}{6A_g}\right) b_w d\,,\ \lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+d}} \leq 1$$

V_f：碳纖維提供之剪力(kgf)。

α：碳纖維包覆方向與構件夾角。

d_{fv}：碳纖維有效貼附深度(cm)。

s_f：碳纖維中至中心距離(cm)。

A_{fv}：抗剪碳纖維面積(cm^2)。

w_f：碳纖維寬度(cm)。

V_n：標稱剪力強度(kgf)。

V_s：鋼筋提供之標稱剪力強度(kgf)。

V_c：混凝土提供之標稱剪力強度(kgf)。

ψ_f：碳纖維折減係數，全包覆取 0.95，U 型包覆、兩側包覆取 0.85。

A_v：剪力鋼筋間距 s 內之面積(cm^2)。

f_{yt}：橫向鋼筋降伏強度(kgf/cm^2)。

s：橫向鋼筋間距(cm)。

λ：輕質混凝土修正係數，常重混凝土取 1。

N_u：垂直斷面之軸力，壓力為正。

A_g：斷面面積(cm^2)。

b_w：梁覆寬度(cm)。

λ_s：斷面折減因子。

ρ_w：縱向鋼筋比值，$A_s/b_w d$。

f_c'：混凝土規定抗壓強度(kgf/cm^2)。

(2) CFRP 貼布之彎矩強度貢獻

計算碳纖維復原的構件彎矩強度需先判斷試體達到極限強度時碳纖維破壞應變ε_{fu}、碳纖維剝落應變ε_{fd}與混凝土壓碎時之碳纖維應變ε_{fd}，來確定試體破壞時復原試體的破壞模式，確認試體之破壞模式求得碳纖維的應變後，再經由迭代計算 c 值，最後再計算出碳纖維復原後試體之彎矩強度。其中公式計算假設斷面設計無壓力鋼筋A_s'：

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^{*}$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.13\sqrt{\frac{f_c'}{nE_f t_f}} \le 0.28\varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu}\left(\frac{d_f - c}{c}\right) - \varepsilon_{bi} \le \varepsilon_{fd}$$

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b}$$

$$\varepsilon_c' = \frac{1.7 f_c'}{E_c}$$

$$\beta_1 = \frac{4\varepsilon_c' - \varepsilon_c}{6\varepsilon_c' - 2\varepsilon_c}$$

$$\alpha_1 = \frac{3\varepsilon_c'\varepsilon_c - {\varepsilon_c}^2}{3\beta_1 {\varepsilon_c}^2}$$

$$M_n = A_s f_s\left(d - \frac{\beta_1 c}{2}\right) + \psi_f A_f f_{fe}(d_f - \frac{\beta_1 c}{2})$$

ε_{fu}：碳纖維設計破壞應變。

ε_{fd}：碳纖維剝落應變。

ε_{fe}：混凝土壓碎時之碳纖維應變。

C_E：環境折減因子，室內碳纖維復原取 0.9。

$\varepsilon_{fu}{}^{*}$：碳纖維極限破壞應變。

f_c'：混凝土規定抗壓強度(kgf/cm^2)。

n：碳纖維層數。

E_f：碳纖維彈性模數(kgf/cm^2)。

t_f：碳纖維厚度(cm)。

ε_{cu}：未受圍束的混凝土的極限軸向應變，可取 $\varepsilon_{cu} = 0.003$。

d_f：碳纖維有效深度(cm)。

c：中性軸至最外側受壓纖維距離(cm)。

ε_{bi}：碳纖維貼附於混凝土時之應變(kgf/cm^2)。

A_s：拉力筋面積(cm^2)。

f_s：拉力筋應力(kgf/cm^2)。

A_f：碳纖維面積(cm^2)。

f_{fe}：碳纖維應力(kgf/cm^2)。

α_1、β_1：應力塊轉換係數。

b：斷面寬(cm)。

ε_c'：無圍束混凝土抗壓應變。

M_n：斷面之彎矩計算強度$(kgf - cm)$。

d：拉力鋼筋重心位置至最外側受壓纖維距離(cm)。

ψ_f：碳纖維折減係數，彎矩復原取 0.85。

4.3 劣化柱構件修復

針對劣化柱構件之修復，皆是採用構件包覆方式進行，使之與既有構件整合形成複合結構，進而修復其原設計之承載能力；其包覆材料有鋼筋混凝土、聚合物水泥砂漿、鋼板、CFRP 貼布材料等。部份劣化柱構件之縱向鋼筋腐蝕嚴重時，建議可採用傳統擴柱工法【14】以使軸力、剪力、圍束及彎矩強度等

同時提升。

解說：

1. 劣化柱構件之修復係利用鋼筋混凝土、鋼板、CFRP 貼布等材料進行構件包覆，使之與既有構件整合形成複合結構，進而使構件能恢復其原設計承載能力。
2. 劣化柱構件修復工法依包覆形式及材料之不同，分別有柱加設箍筋修復工法、柱圍封鋼板修復工法、柱 CFRP 包覆修復工法、擴住修復工法等。其中，部份劣化柱構件之縱向鋼筋腐蝕嚴重時，建議可採用傳統擴柱工法以使軸力、剪力、圍束及彎矩強度等同時提升；雖然傳統之擴柱工法會造成使用空間上之影響，但其對於力學性能修復與再劣化防止均會有顯著成效。

4.3.1 柱加設箍筋修復工法(剪力或圍束修復)

1. 當劣化柱構件之剪力強度或圍束不足時，可採用柱加設箍筋修復工法。
2. 利用加設箍筋修復工法進行劣化柱構件修復時，可參考文獻【14】【15】或規範【10】所提供之設計與強度計算，並符合其相關配筋細節規定。
3. 柱加設箍筋修復工法之施工步驟包含敲除原鋼筋混凝土柱表面之裝飾材料及鬆動混凝土、綁紮箍筋及固定用之縱向筋、架設模板、澆置混凝土及表面修飾。此外，針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理。

解說：

1. 柱加設箍筋修復工法因無加設貫穿上下樓之主筋，故此工法只會提升圍束能力或剪力強度，而不會提升撓曲強度。
2. 柱加設箍筋修復工法之施工步驟如下，相關圖說可參考圖 R4-7(僅供參考)。
   (1) 敲除原鋼筋混凝土柱表面之裝飾材料及鬆動混凝土；此外，針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理；
   (2) 綁紮箍筋及固定用之縱向筋；

(3) 架設模板：架設模板時須預留適當之灌漿口；

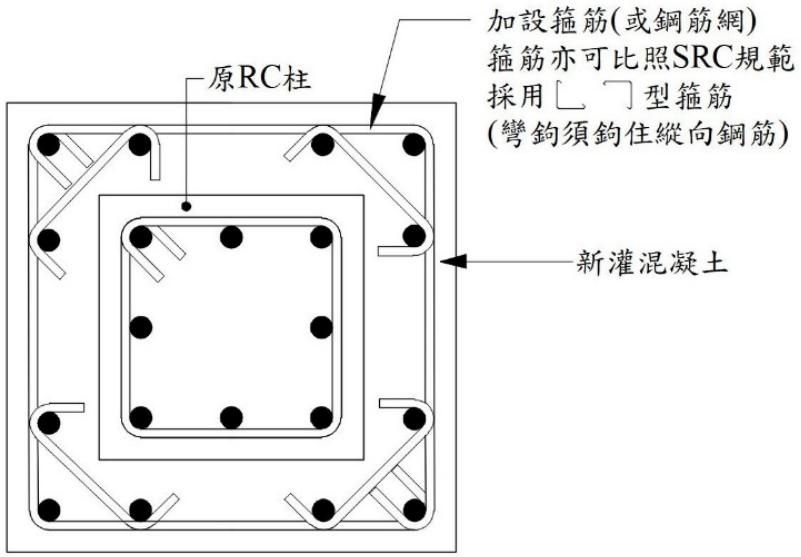
(4) 澆置混凝土：新澆置之混凝土離柱頂應保有空隙以使韌性得以充分發揮；

(5) 拆除模板；

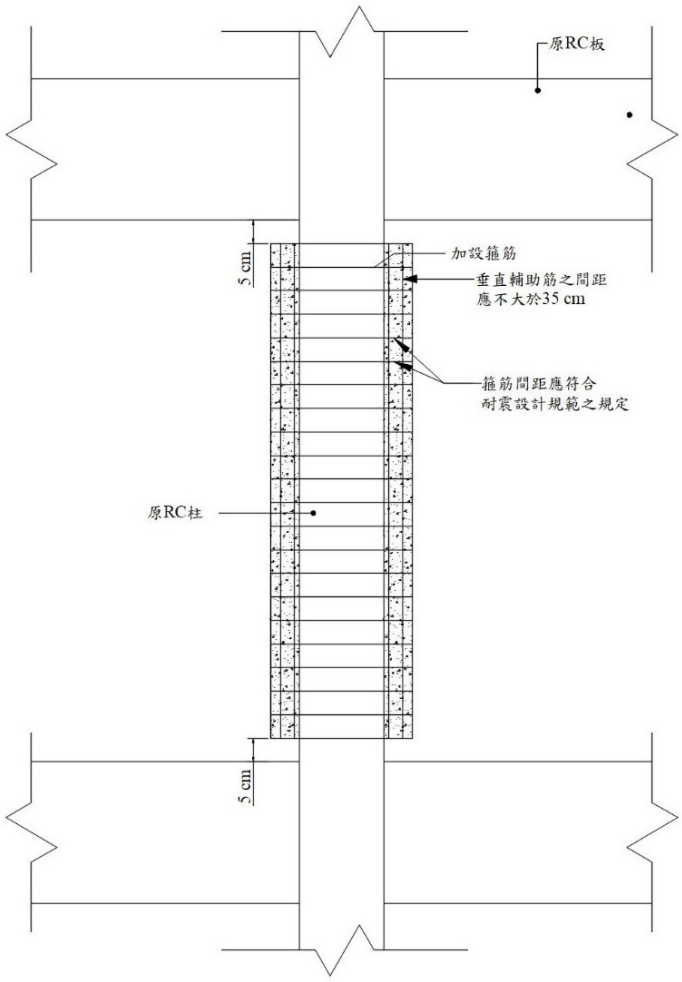
(6) 養護；

(7) 表面修飾。

3. 柱加設箍筋修復工法可能會擴大原柱構件斷面積，而使占用之室內空間變大，且柱體擴大亦會造成柱勁度增加，而改變原有力量分配。



(a) 斷面圖



(b) 側視圖

圖 R4- 7 柱加設箍筋修復工法示意圖

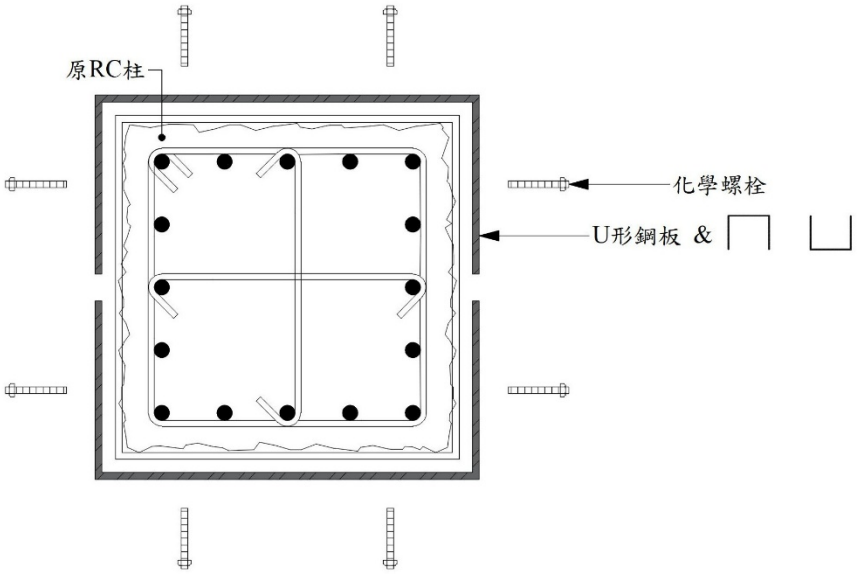
4.3.2 柱圍封鋼板修復工法(剪力及圍束修復)

1. 當劣化柱構件之剪力強度或圍束不足時，除可採用柱加設箍筋修復工法外，亦可採用柱圍封鋼板修復工法。
2. 利用柱圍封鋼板修復工法進行劣化柱構件修復時，可採用等值鋼筋量並配合規範【10】建議公式進行設計與強度計算。一般而言，鋼板包覆後由於對斷面積和自重影響不大，故無需再進行結構載重評估。
3. 柱圍封鋼板修復工法係將鋼板包覆住既有柱構件並用錨栓固定，其空隙用無收縮水泥砂漿或環氧樹脂填充，以提升柱構件性能之修復方法。

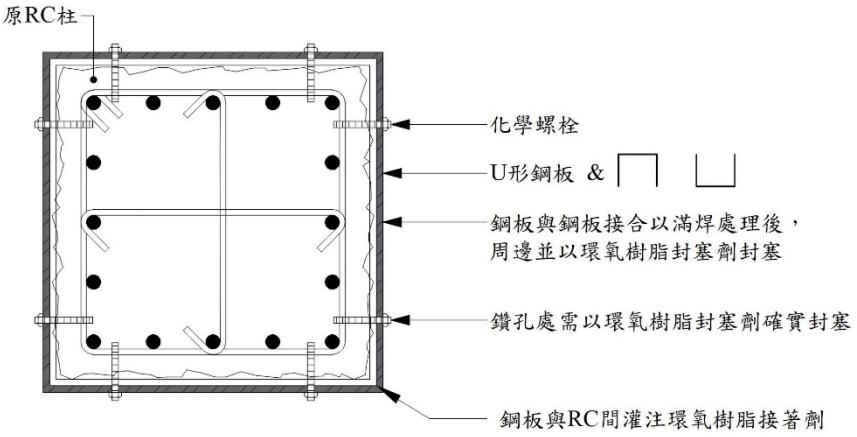
4. 進行鋼板圍封前，必須先清除劣損混凝土；若柱構件有裂縫，須進行裂縫灌柱補修；若混凝土剝落或甚至有鋼筋腐蝕之狀況，則須進行斷面補修。

解說：

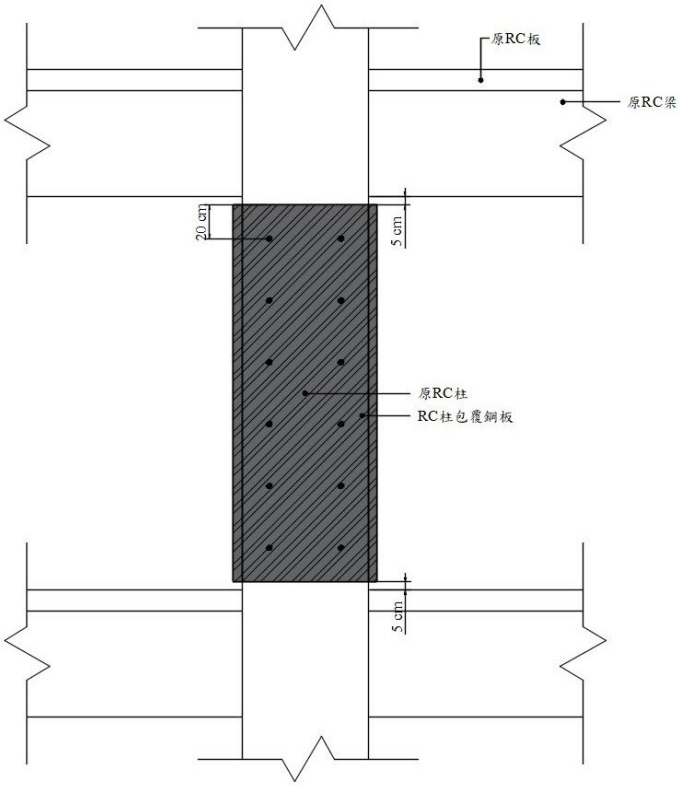
1. 柱圍封鋼板修復工法由於不會增加太多柱的斷面積，所以不但可以有效地提升柱之剪力及圍束，亦在空間利用上較為有優勢。
2. 鋼板包覆法是在柱構件外側包覆厚度約 6～12 mm 之鋼板，其柱構件與鋼板之間隙用無收縮砂漿或環氧樹脂加以填充，修復後對構件的自重並無太大影響。
3. 柱圍封鋼板修復工法之施工步驟如下，相關圖說可參考圖 R4-8 (僅供參考)。
   (1) 裝飾材去除及前處理：將原有裝飾材去除至鋼筋混凝土結構體後，去除細碎混凝土及灰塵；
   (2) 進行柱構件修復：若柱構件有裂縫，需進行裂縫灌柱補修；若柱構件混凝土剝落或甚至有鋼筋腐蝕之狀況，需進行斷面補修；
   (3) 鋼板安裝：鋼板在安裝前應依需求進行剪裁、折合、噴砂、放孔等工序，且鋼板外側應塗抹環氧樹脂紅丹底漆以防銹。若鋼板有使用化學錨栓進行固定時，應閃避鋼筋換凝土內之鋼筋，並依標準施工程序施作，必要時須執行拉拔試驗檢核；
   (4) 鋼板密封：鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及透氣孔；
   (5) 環氧樹脂灌注：待密封劑硬化後，利用機械施加壓力灌注環氧樹脂，直至環氧樹脂從透氣孔流出為止；
   (6) 後處理：環氧樹脂灌注後隔天須檢視鋼板間隙之環氧樹脂是否有灌滿，若無灌滿則須再行補滿以利鋼板與柱構件之貼合；
   (7) 養護；
   (8) 表面修飾：養護過後，將注入孔及透氣孔去除並用無收縮水泥進行表面修飾。


原RC柱
化學螺栓
U形鋼板 &

(a) 分解圖


原RC柱
化學螺栓
U形鋼板 &
鋼板與鋼板接合以滿焊處理後，
周邊並以環氧樹脂封塞劑封塞
鑽孔處需以環氧樹脂封塞劑確實封塞
鋼板與RC間灌注環氧樹脂接著劑

(b) 斷面圖



(c) 側視圖

圖 R4- 8 柱圍封鋼板修復工法示意圖

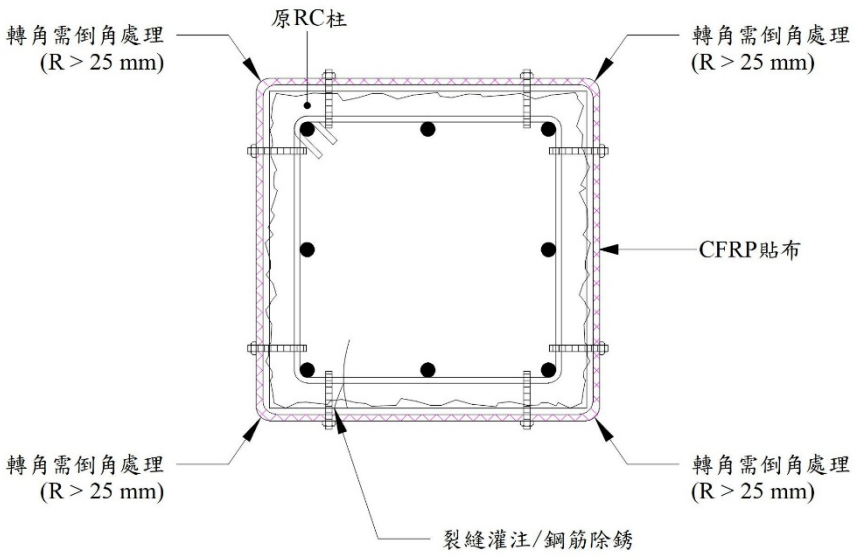
4.3.3 柱 CFRP 包覆修復工法(剪力及圍束修復)

1. 柱 CFRP 包覆修復工法係利用 CFRP 貼布纏繞在柱構件周圍，並以環氧樹脂填充空隙，用以提高構件性能之修復工法。
2. CFRP 重量輕且貼覆性佳，因此具有出色的可加工性。建築使用之柱斷面一般為矩形，其四個角落需進行導圓角處理，否則會影響修復效果。
3. 利用柱 CFRP 包覆修復工法進行劣化柱構件修復時，可參考 ACI 440.2R【20】或 JSCE【18】建議公式進行設計與強度計算，計算方式亦可參考 4.2.5 小節之解說第 4 點所示。一般而言，CFRP 包覆後由於對斷面積和自重影響不大，故無需再進行結構載重評估。
4. 柱 CFRP 包覆修復工法之施工步驟從準備工作起，到進行斷面補修法或

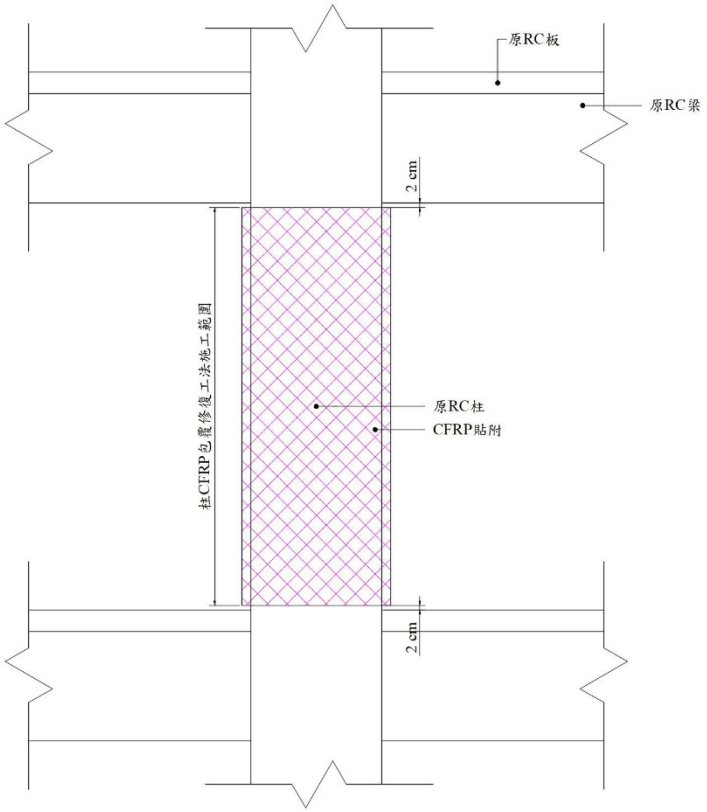
裂縫補修法、表面清理、導角及整平、劃線、塗抹底漆、進行 CFRP 貼附，最後經養護和表面裝飾後，即完成施作。

解說：

1. 與鋼板相比，CFRP 具有高強度、高耐久性、重量輕、容易施工等優點，將環氧樹脂作為黏結劑使 CFRP 以包覆之形式貼附於柱構件表面，可以提高柱構件之剪力及圍束性能。
2. 柱 CFRP 包覆修復工法之施工步驟如下所示，相關圖說可參考圖 R4-9(僅供參考)。
   (1) 前處裡：敲除裝飾材至混凝土部分(梁底、梁側、天花板頂之角鋼施作範圍)。敲除鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；
   (2) 斷面補修法或裂縫灌注法施作：依柱構件劣化程度選擇進行裂縫灌注修復或斷面修復；
   (3) 表面清理；
   (4) 導角、整平：柱構件之陽、陰角面以砂漿導圓角施作(詳見圖 R4-5)，表面以砂輪機整平；
   (5) 劃線：確認 CFRP 貼附位置及錨定位置並劃線標記；
   (6) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；
   (7) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；
   (8) 貼附 CFRP：在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並以手順 CFRP 之方向鋪設。鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 能平順貼附。當 CFRP 在貼附時需要應用搭接之方式來續接，則搭接長度至少需要 15 ~ 20 cm 以上。
   (9) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；
   (10) 養護；
   (11) 表面裝飾。
5. 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(7)及(9)，依設計要求之層數及方向重複施作。



(a) 斷面圖



(b) 側視圖

圖 R4- 9 柱圍封 CFRP 修復工法示意圖

4.3.4 擴柱修復工法(軸力、彎矩、剪力及圍束修復)

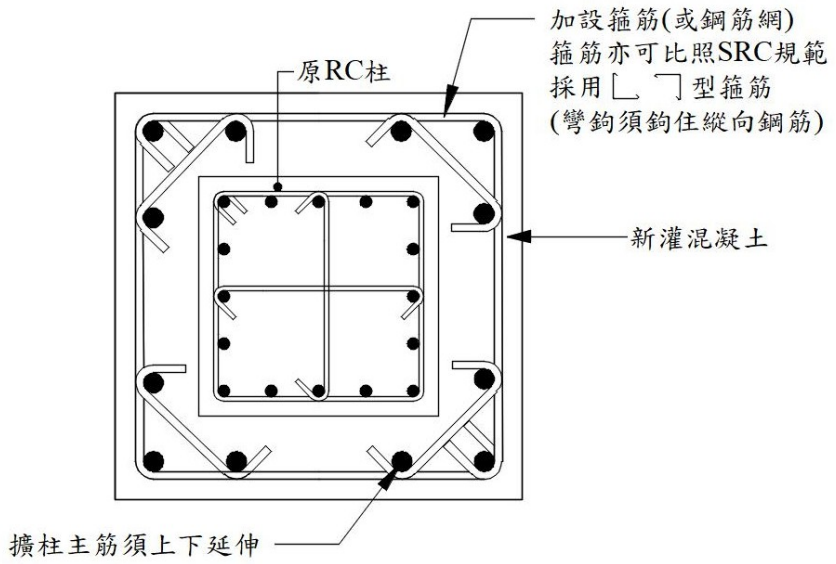
1. 當欲修復劣化柱構件之軸力及彎矩強度時,可將柱主筋貫穿上下樓層並擴大其斷面積，同時必須加設箍筋，使得圍束與剪力強度亦可同步復原。
2. 利用擴柱修復工法進行劣化柱構件修復時，可參考文獻【14】【15】及規範【10】所提供之設計與強度計算，並符合其相關配筋細節規定。為擴大柱構件之斷面積，將多放置主筋、箍筋和混凝土，因此需要將增加之重量加至建築物之靜載重內，並重新進行載重評估。
3. 擴柱修復工法之施工步驟包含敲除裝飾材及劣化混凝土、於柱構件上、下層之局部樓板鑽孔、綁紮修復鋼筋、澆製混凝土、拆模養護及表面修飾等工序。此外,針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理。

解說：

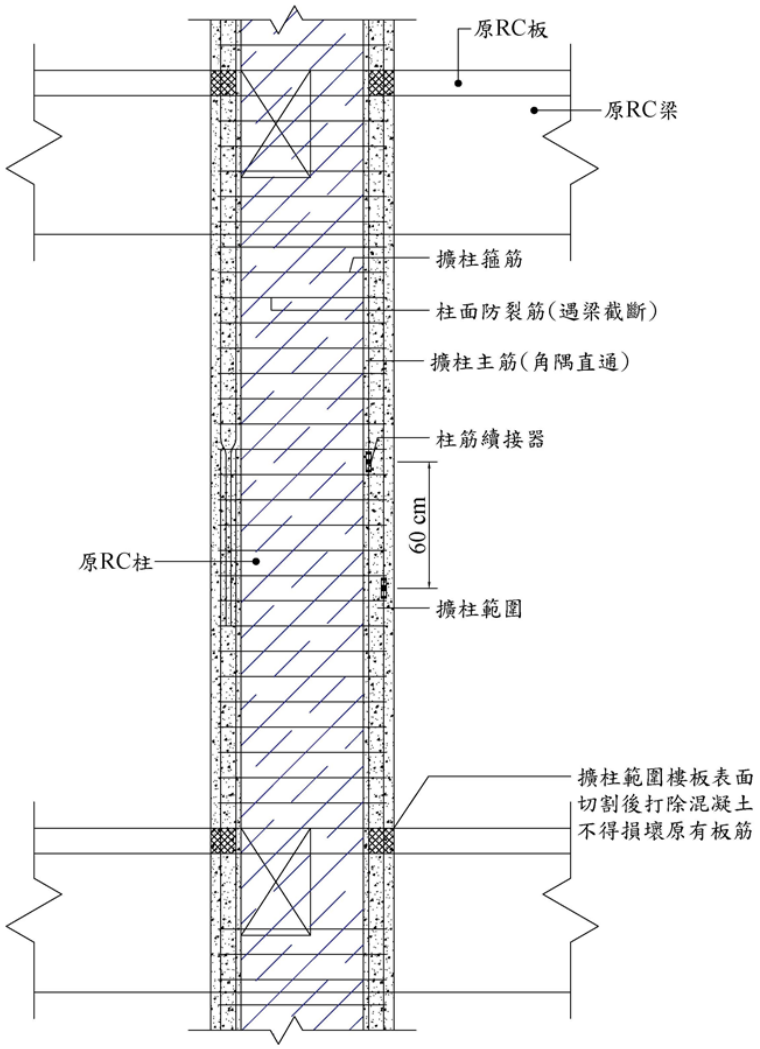
1. 一般而言，鋼筋混凝土柱構件之尺寸通常大於梁構件，如欲進行柱擴大斷面主筋貫穿樓板修復，需將樓板打洞讓主筋貫穿以達到主筋連續之條件。
2. 為擴大柱構件之斷面積，將多放置主筋、箍筋和混凝土，因此需要將增加之重量加至建築物之靜載重內，並重新進行載重評估。
3. 擴柱修復工法之施工步驟如下，相關圖說可參考圖 R4- 10 (僅供參考)。
   (1) 遷移相關管線與附掛物；
   (2) 前處理：敲除裝飾材及劣化混凝土(既有鋼筋混凝土柱構件表面處理)；此外，針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理；
   (3) 鑽孔及部分敲除：打穿既有鋼筋混凝土柱構件上、下層之局部樓板(保留原設計之版鋼筋)，以及敲除梁柱接頭處之梁構件側邊保護層；
   (4) 綁紮修復鋼筋：擴柱主筋採用鋼筋續接器搭接，箍筋以 L 字型製作，箍筋交疊處以工具彎折成 135 度彎勾施作以形成圍束，不得使用 90 - 135 度彎鉤交疊及 U 型夾。如擴柱頂端遇屋頂層時，則施作至梁柱接頭底緣為主；
   (5) 架設模板；
   (6) 澆置混凝土；
   (7) 拆除模板；

(8) 養護；

(9) 表面修飾：補修工程結束後除進行表面修飾外，亦須恢復原管線、電源開關及原有附掛物。



(a) 斷面圖



(b) 側視圖

圖 R4- 10 擴柱修復工法示意圖(主筋貫穿樓板)

4.4 劣化板構件修復

劣化板構件之修復工法依補修材料可分為板底鋼板修復工法、板底 CFRP 貼布修復工法、板加厚修復工法等。對於板構件劣化嚴重者，為避免後續維護次數過於頻繁，可採局部或全面拆除劣化板構件而重新置換新板，此一工法本手冊統稱為板拆除新作修復工法。

解說：

劣化板構件之補修材料常見有鋼板、CFRP 貼布及鋼筋混凝土或鋼絲網混凝土等，於板構件底部進行修復時，能進行正彎矩強度恢復；若用增加板厚度之方式來進行修復時，則可進行剪力與彎矩強度之恢復。近年之工程案例中亦可發現，

對於板構件劣化嚴重者，為避免後續維護次數過於頻繁，技師或建築師會採拆除劣化板構件而重新置換新板。

4.4.1 板底鋼板修復工法(正彎矩修復)

1. 當樓板正彎矩強度不足時，可以於樓板底部貼附鋼板進行修復，以恢復其原設計要求強度。
2. 板底鋼板修復工法之施作方式與梁底部鋼板修復工法相同，應以化學錨拴固定及環氧樹脂填縫。對於劣損區域之處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
3. 板底新設鋼板於錨定或黏結之要求充份確保下，可採等值鋼筋量方式並依規範【10】建議分析方法進行彎矩強度評估。
4. 鋼板雖可提升板構件之正彎矩強度，但鋼板亦會成為樓板之額外載重，若劣化板構件已不足以承受鋼板之重量，則不得使用板底鋼板修復工法。

解說：

1. 於劣化板構件底部安裝鋼板進行補修時，因鋼板擁有較佳之抗拉強度，故可使用鋼板進行板構件之正彎矩修復。板底新設鋼板於錨定或黏結之要求充份確保下，可採等值鋼筋量方式並依規範【10】建議分析方法進行彎矩強度評估。
2. 採用鋼板進行修復時，如板構件不足承受鋼板重量，或因混凝土品質不良可能導致錨栓錨定強度較差，為安全之考量，不建議使用板底鋼板修復工法。
3. 板底鋼板修復工法之施工步驟如下
   (1) 去除裝飾材料及鬆動之混凝土；
   (2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整；進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修；進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐

蝕鋼筋補修作業；

(3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性；

(4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行鋼板施作位置固定；

(5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，待密封劑硬化後再行注入環氧樹脂。利用機械壓力灌注環氧樹脂直至環氧樹脂從透氣孔流出為止；

(6) 後處理：隔日須確認鋼板是否緊密貼附，以及從出氣孔檢視接合處之環氧樹脂是否灌滿，若無則須補滿；

(7) 養護；

(8) 檢查施工品質：養生期間過後，去除注入孔及透氣孔，並將環氧樹脂溢出部分或不平整部分用無收縮水泥砂漿修飾；

(9) 進行表面裝飾。

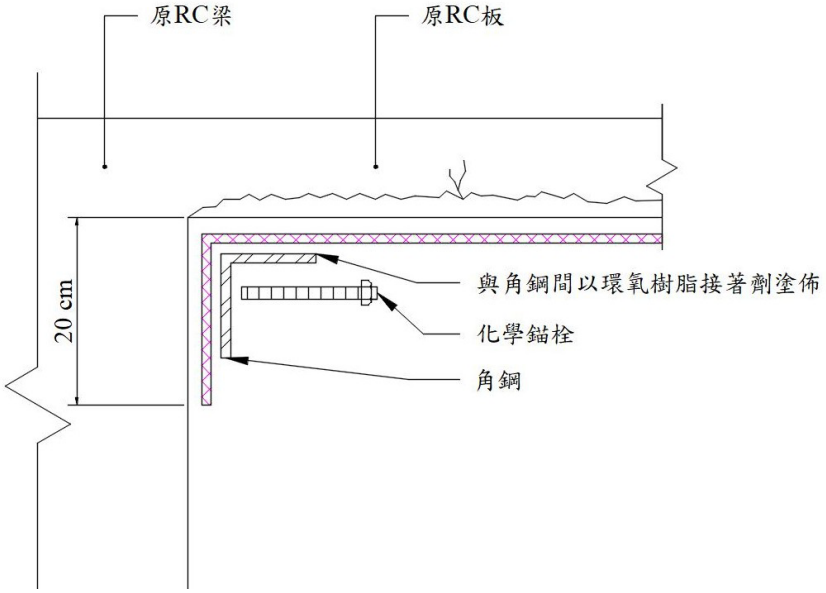
4.4.2 板底 CFRP 貼布修復工法(正彎矩修復)

1. 當劣化樓板之正彎矩強度不足時，可使用 CFRP 貼附於板構件底部進行修復，使其正彎矩強度恢復至原設計要求。
2. 板底 CFRP 貼布修復工法之施作步驟與梁底部 CFRP 貼布修復工法相同。同樣地，關於 CFRP 之貼附層數及方向皆須依設計圖規定施作。對於劣損區域之處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
3. 利用 CFRP 貼布進行劣化板構件修復時，可將 CFRP 貼布視為外加鋼筋，並採用等值鋼筋量方式，配合 ACI 440.2R【20】建議分析方法評估斷面彎矩強度。
4. 板底 CFRP 貼附時，若遇到與其它構件之交介處，建議可適度延伸並配合鐵件及錨栓進行夾緊固定，可避免產生端部剝離現象。

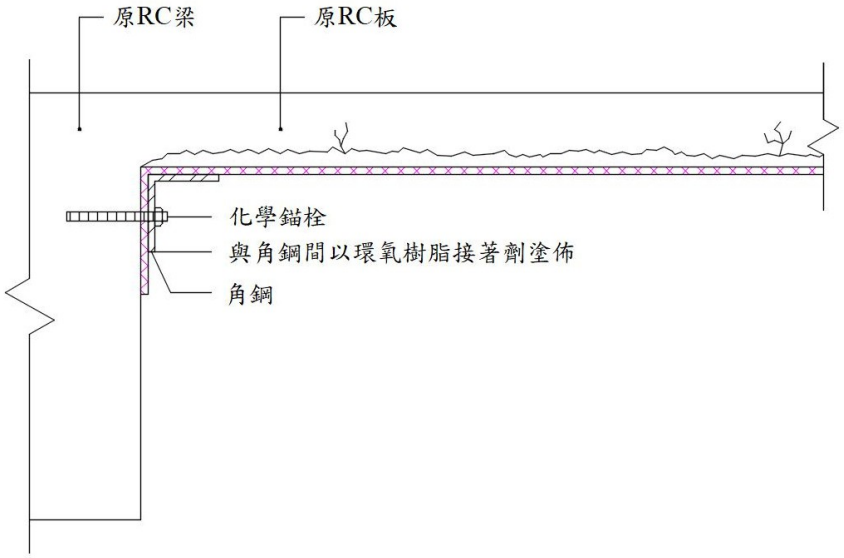
解說：

1. 採用 CFRP 貼布於板構件底部進行修復，因 CFRP 有較佳之抗拉強度，故具有良好之修復效果。
2. CFRP 重量輕且好施作，修復後不會影響樓板之重量下。但特別須注意在，在鋪設過程中，應確實將 CFRP 浸透環氧樹脂，以及應確實用工具將氣泡去除，以確保 CFRP 之貼附性及修復效果。
3. 板底 CFRP 貼布修復工法之施工步驟如下，相關圖說可參考圖 R4- 11 (僅供參考)。
   (1) 前處理：敲除裝飾材及鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵。此一階段尚包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整等。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
   (2) 表面清理及整平：表面灰塵去除並以砂輪機整平；
   (3) 劃線：確認 CFRP 貼附位置及錨定位置並劃線標記；
   (4) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；
   (5) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；
   (6) 貼附 CFRP：在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並以手順 CFRP 之方向鋪設；鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 能平順貼附；關於 CFRP 搭接方式可參考圖 R4- 5 所示；
   (7) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；
   (8) 端部固定；
   (9) 養護；
   (10) 表面裝飾。
4. 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(7)及(9)，依設計要求之層數及方向重複施作。
5. 板底 CFRP 貼附時，若遇到與其它構件之交介處，因不易確實施工，建議可適度延伸並配合角鋼及錨栓進行夾緊固定，可避免產生端部剝離現象。以梁板交界為例，可參考如圖 R4- 12 所示之施作方式。此外，角鋼應與陰角面

須保持密實貼合，避免留有空隙而造成水份堆積，陰角面處理則可參考 4.2.5 節。



(a) 分解圖



(b) 側視圖

圖 R4- 11 板底 CFRP 貼布修復工法示意圖

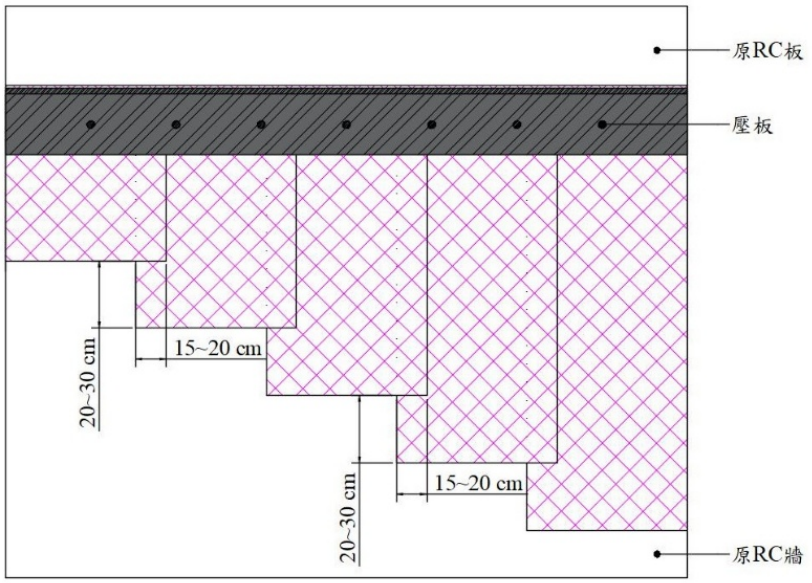


圖 R4- 12 板底延伸 CFRP 搭接方式示意圖

4.4.3 板加厚修復工法(剪力與彎矩修復)

1. 當劣化樓板強度不足或板的厚度太薄而產生振動，可用加設鋼絲網或鋼筋並加厚混凝土之方式，讓其強度及勁度恢復至原設計要求。
2. 若原有混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議採用斷面補修法。當進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，則必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
3. 樓板加設之混凝土厚度一般最少為 5 cm 以上，故修復後會增加結構自重，應特別注意。
4. 樓板加厚時所增設之鋼筋應有足夠的伸展長度，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求。

解說：

1. 板加厚修復工法是採用將樓板加厚之方式進行修復，若新舊混凝土介面處理後不會產生相對滑動，則修復後之樓板便可用樓板總厚度來檢討強度及勁度。

2. 板加厚修復工法之施工步驟如下，相關圖說可以參考圖 R4- 13 (僅供參考)。

(1) 前處理：敲除鬆動之混凝土後進行表面處理，包含裂縫處理及鋼筋腐蝕處理；

(2) 表面打毛、標記植筋位置並鑽孔；

(3) 表面清理：去除所有細碎混凝土及灰塵；

(4) 固定鋼筋或鋼絲網：進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋或鋼絲網；

(5) 安裝模板；

(6) 塗抹介面黏結劑：塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性；

(7) 澆置混凝土或水泥砂漿；

(8) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

(9) 拆除模板並養護。

3. 以板加厚修復工法在樓板底部鋪設鋼筋等補修材料及高黏性之混凝土或水泥砂漿施作時，除用塗抹法外，亦可用噴塗之方式來增加其厚度。欲使用聚合物水泥砂漿或鋼纖維修復砂漿進行施工時，為提高工作性和經濟性，建議可用噴塗法施工。

4. 樓板加厚時所增設之鋼筋應有足夠的伸展長度，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求；但既有梁之可植筋空間若有限制，則可於端部加大斷面以進行增設鋼筋錨定。

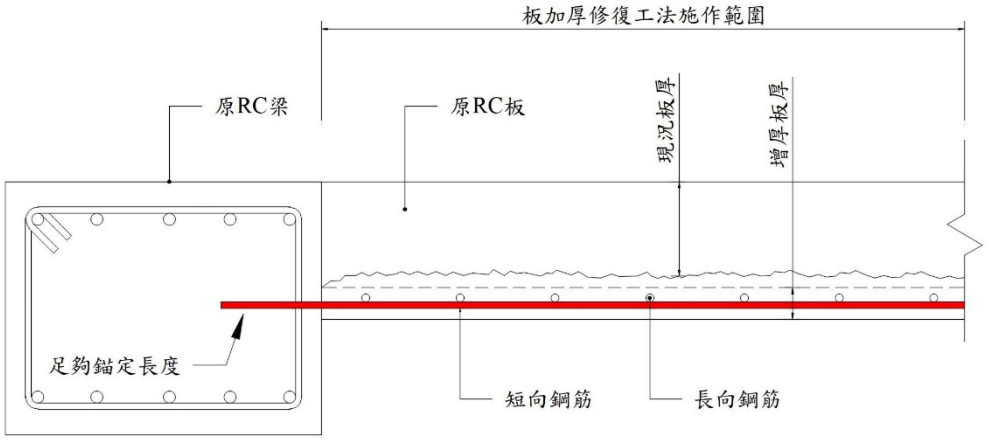


圖 R4- 13 板加厚修復工法示意圖

4.4.4 板打除新作修復工法(剪力與彎矩修復)

1. 當樓板劣化嚴重，出現嚴重之鋼筋裸露、銹蝕及混凝土剝落現象，建議可採用板打除新作修復工法，將劣化板構件局部或全面打除，以重新施作板構件恢復原設計需求強度。
2. 板打除新作修復工法在設計時應考量之項目包含既有梁構件之性能、新作板構件之設計、新作板構件與既有構件之接合及鋼筋伸展或錨定等問題。
3. 樓板新作時所增設之鋼筋應有足夠的錨定，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求。此外，符合上述規範要求之鋼筋設置細節下，亦可依規範【10】建議方式進行強度分析與評估。

解說：

1. 若板構件出現嚴重之鋼筋裸露、銹蝕及混凝土剝落現象，除上述之劣化板構件修復工法(如板底鋼板修復工法、板底 CFRP 貼布修復工法、板加厚修復工法等)外，亦可使用板打除新作修復工法來對構件之剪力與彎矩修復。
2. 板打除新作修復工法在設計時應考量之項目如下：
   (1) 既有梁構件之性能：需檢核既有梁構件之性能及重新進行結構計算，如梁構件也有劣化，應同時進行梁構件之修復，及考量梁構件是否需要增加其斷面積，並可用於錨定新板內部鋼筋。
   (2) 新作板構件之設計：劣化板構件之打除，是全面打除或部分打除，打除後新作板構件應如何施作，例如鋼筋該如何綁紮、混凝土強度為何等，應經過技師檢核並評估其施作程序。
   (3) 新作板構件與既有構件之結合及鋼筋錨定：新作板構件的鋼筋應確實進行錨定作業，以確保修復後承載力能順利傳遞。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求，亦可保留既有板之健全鋼筋以提供搭接使用。
   (4) 新作板筋在符合規範【10】要求之鋼筋設置細節下，可依規範【10】建議方式進行新作樓板之強度分析與評估。
3. 板打除新作修復工法之施工步驟如下，相關圖說可參考圖 R4- 14 (僅供參考)。

(1) 確認既有梁構件之狀況:如梁構件亦有劣化,可同時進行梁構件之修復;

(2) 打除劣化板構件;

(3) 打毛、鑽孔及表面清理:表面打毛、標記植筋位置並鑽孔後,去除所有細碎混凝土及灰塵;

(4) 進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋;除可使用原 RC 梁進行新作板筋之錨定外,亦可增設新梁之協助固定新作板筋。

(5) 安裝模板;

(6) 澆置混凝土;

(7) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固;

(8) 拆除模板並養護。

4. 如施作地點在屋頂或板構件是因漏水而劣化,則修復工程亦先進行防水施作。

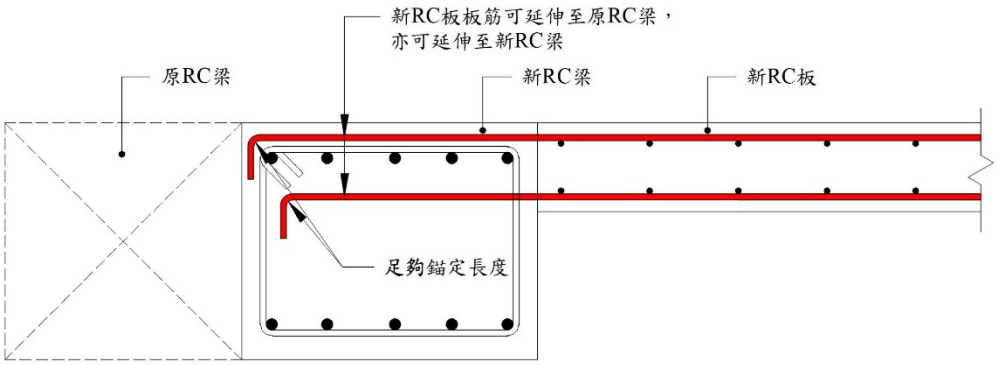


圖 R4- 14 板打除新作修復工法示意圖

4.5 劣化牆構件修復

劣化牆構件之修復工法依補修可分為牆面 CFRP 貼布修復工法及牆加厚修復工法。對於牆構件劣化嚴重者,為避免後續維護次數過於頻繁,可採局部或全面拆除劣化牆構件而重新置換新牆,此一工法本手冊統稱為牆拆除新作修復工法。

解說:

劣化牆構件之修復,若用增加牆厚度之方式來進行修復時,則可進行剪力與彎矩強度之恢復;若採用 CFRP 貼布時則可恢復其剪力強度。近年之工程案例中亦可發現,對於牆構件劣化嚴重者,為避免後續維護次數過於頻繁,技師或建築

師會採拆除劣化牆構件而重新置換新牆。

4.5.1 牆加厚修復工法(剪力與彎矩修復)

1. 劣化牆構件可用增加牆體厚度恢復其原設計要求之勁度及強度。牆構件經牆加厚修復後，其厚度一般約會增厚 10～20 cm，因此在澆置時應避免產生蜂窩或孔隙。
2. 若原有混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議採用斷面補修法。當進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，則必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
3. 牆加厚時所增設之鋼筋應有足夠的伸展長度，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範【10】要求。
4. 因混凝土或水泥沙漿之澆置方式，可能會造成梁底與牆之交介處存在弱面或附近混凝土或水泥沙漿強度不足，建議可設置補強筋予以強化。

解說：

1. 劣化牆構件可用增加牆體厚度恢復其原設計要求之勁度及強度，此為具經濟性且快速之劣化牆構件修復工法。牆構件經牆加厚修復後，其厚度一般約會增厚 10～20 cm，因此在澆置時應避免產生蜂窩或孔隙。
2. 除去除劣損混凝土外，若原有混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議採用斷面補修法。當進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，則必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
3. 牆加厚時所增設之鋼筋應有足夠之錨定，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範【10】相關要求。
4. 劣化牆加厚修復工法之施工步驟如下：
   (1) 敲除鬆動之混凝土後進行表面處理或打毛；包含裂縫處理及鋼筋腐蝕處理；

(2) 去除所有細碎混凝土及灰塵以加強新舊介面之黏結性；

(3) 在鋼筋混凝土梁柱與牆之交接處鑽孔後進行植筋；

(4) 錨定、綁紮以固定鋼筋或鋼絲網；

(5) 安裝模板；

(6) 塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性；

(7) 澆置混凝土或水泥砂漿；

(8) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

(9) 拆除模板並養護。

5. 為改善增厚部份牆體與既有牆面之一體性，除確實打毛二者之介面混凝土外，亦可使用植筋方式加強結合。

6. 牆屬垂直構件，因混凝土或水泥沙漿之澆置方式，可能會造成梁底與牆之交介處存在弱面或附近混凝土或水泥沙漿強度不足，建議可設置補強筋予以強化，可參考文獻【16】提供之 RC 牆增厚施工圖說。

4.5.2 牆面 CFRP 貼布修復工法(剪力修復)

1. 劣化牆構件可用 CFRP 貼布以恢復其原設計之剪力強度；可在牆體整面貼附 CFRP 或採用 X 型貼附方式。
2. 牆面 CFRP 貼布修復工法之施作步驟與梁底部或板底 CFRP 貼布修復工法相同。同樣地，關於 CFRP 之貼附層數及方向皆須依設計圖規定施作。
3. 若原有混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議採用斷面補修法。當進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，則必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
4. 利用 CFRP 貼布進行劣化牆構件修復時，可參考 ACI 440.2R【20】建議分析方法評估剪力強度。
5. 牆面 CFRP 貼附時，若遇到與其它構件之交介處，建議可適度延伸並配合鐵件及錨栓進行夾緊固定，可避免產生端部剝離現象。

解說：

1. 牆面 CFRP 貼布修復工法之施工步驟如下：

(1) 前處理：敲除裝飾材及鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理及斷面補修等；

(2) 表面清理及整平：表面灰塵去除並以砂輪機整平；

(3) 劃線：確認 CFRP 貼附位置及錨定位置並劃線標記；

(4) 塗佈底漆：將環氧樹脂底漆均勻以毛刷塗佈於施作表面；

(5) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；

(6) 貼附 CFRP：在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並以手順 CFRP 之方向鋪設。鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 能平順貼附；

(7) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；

(8) CFRP 端部固定(如有需要)；

(9) 養護；

(10) 表面裝飾。

2. 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(6)及(7)，依設計要求之層數及方向重複施作。

3. 牆面 CFRP 貼附時，若遇到與其它構件之交介處，因不易確實施工，建議可適度延伸並配合鐵件及錨栓進行夾緊固定，可避免產生端部剝離現象。以梁牆交界為例，可參考如圖 R4- 15 所示之方式施作。此外，角鋼應與陰角面須保持密實貼合，避免留有空隙而造成水份堆積，陰角面處理則可參考 4.2.5 節。

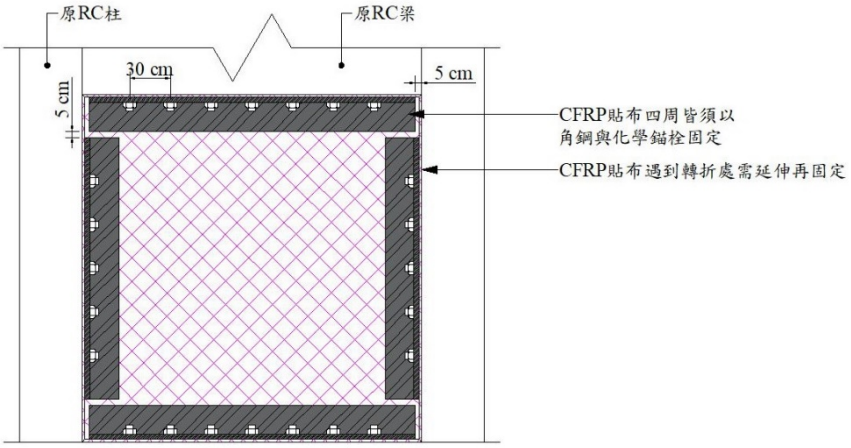


圖 R4- 15 牆面 CFRP 修復工法之示意圖

4.5.3 牆打除新作修復工法(剪力與彎矩修復)

1. 當牆劣化嚴重，出現嚴重之鋼筋裸露、銹蝕及混凝土剝落現象，建議可採用牆打除新作修復工法，將劣化牆構件局部或全面打除，以重新施作牆構件恢復原設計需求強度。
2. 牆打除新作修復工法在設計時應考量之項目包含既有梁柱構件之性能、新作牆構件之設計、新作牆構件與既有構件之接合及鋼筋伸展或錨定等問題。
3. 牆新作時所增設之鋼筋應有足夠的錨定，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求。此外，符合上述規範要求之鋼筋設置細節下，亦可依規範【10】建議方式進行強度分析與評估。

解說：

1. 若牆構件出現嚴重之鋼筋裸露、銹蝕及混凝土剝落現象，除上述之劣化牆構件修復工法(板面 CFRP 貼布修復工法及牆加厚修復工法等)外，亦可使用牆打除新作修復工法恢復原構件之剪力與彎矩強度。
2. 牆打除新作修復工法在設計時應考量之項目如下：
   (1) 既有梁柱構件之性能：需檢核既有梁柱構件之性能及重新進行結構計算，

如梁柱構件也有劣化，應同時進行梁柱構件之修復，及考量梁柱構件是否需要增加其斷面積，並可用於錨定新作牆體內部鋼筋。

(2) 新作牆構件之設計：劣化牆構件之打除，是全面打除或部分打除，打除後新作牆構件應如何施作，例如鋼筋該如何綁紮、混凝土強度為何等，應經過技師檢核並評估其施作程序。

(3) 新作牆構件與既有構件之結合及鋼筋錨定：新作牆構件的鋼筋應確實進行錨定作業，以確保修復後承載力能順利傳遞。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求，亦可保留既有牆之健全鋼筋以提供搭接使用。

(4) 新作牆筋在符合規範【10】要求之鋼筋設置細節下，可依規範【10】建議方式進行新作牆之強度分析與評估。

3. 牆打除新作修復工法之施工步驟如下：

(1) 確認既有梁柱構件之狀況；如梁柱構件亦有劣化，可同時進行梁柱構件之修復；

(2) 打除劣化牆構件；

(3) 表面打毛、標記植筋位置並鑽孔後，去除所有細碎混凝土及灰塵；

(4) 進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋；除可使用原 RC 梁柱進行新作牆筋之錨定外，亦可擴大梁柱斷面之協助固定新作牆筋。

(5) 安裝模板；

(6) 澆置混凝土；

(7) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

(8) 拆除模板並養護。

第五章 構件補修材料之性能要求與試驗

5.1 前言

對於鋼筋混凝土造建築物之修復工作，在確實地實施調查和診斷後，為其制定正確的補修策略，並且選擇符合其需求之補修材料，以確保其使用與安全性。本章節主要以 CNS 中之相關品質要求基準與試驗方法為主，並輔以美國 ASTM、日本 JIS 及 JSCE 等相關內容進行建議。

解說：

在挑選補修材料時，須根據施工單位之補修標準或手冊選擇符合品質規格之商品，或可參考之相關規定來選定補修材料(圖 R5- 1 和圖 R5- 2)。本章節提供 CNS 中之相關品質要求基準與試驗方法，並輔以美國 ASTM、日本 JIS 及 JSCE 等相關標準，如補修材料無法完全根據其試驗標準進行檢測，亦可接受相似之試驗方法所提出之品質要求，再經評估該材料是否適用。

由於導致混凝土劣化或鋼筋生銹的原因相當複雜，所以在進行補修時，其補修之工法、步驟及材料的選擇上必須仔細評估並執行。為了避免構件在補修後即在短時間內再度發生劣化或損壞，補修工程應考慮施工便利性，及具有耐久性、安全性及經濟性等，並且也要將後續維護管理納入考量。

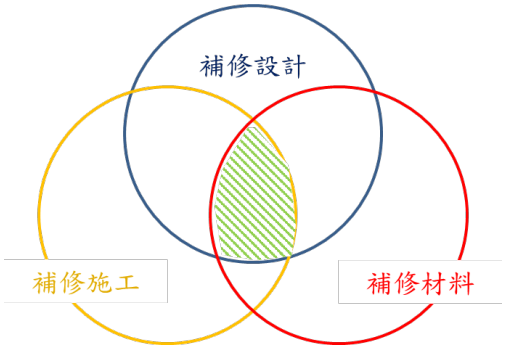


圖 R5- 1 補修設計、補修施工及補修材料之關係

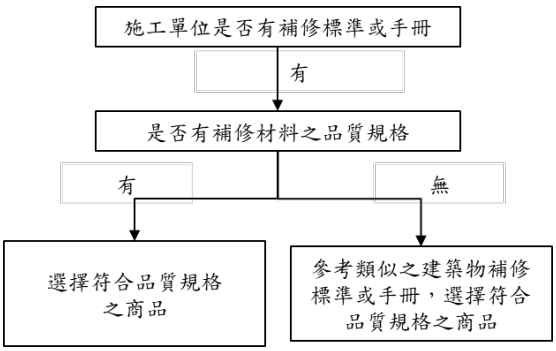


圖 R5- 2 補修材料之選定流程

5.2 表面披覆材料

1. 表面披覆法是在混凝土表面塗抹有機或無機材料，藉此來阻隔外部劣化因子侵入。使用之材料依工序分為底塗層材料(底漆及表面不平整調整)、主材料(披覆材料)和面漆等三大類。
2. 根據表面披覆法之各工序，可參考 ASTM、CNS、JIS 及內政部國土管理署所頒佈之建築物工程施工規範中與塗料相關要求，並配合建築物現況以擬定其須符合之標準與試驗方法。若無特別要求，本手冊建議應符合之內容如下：
   (1) 底塗層材料(底漆及表面不平整調整)：底塗層材料之作用為處理新舊介面問題，其相關標準有 ASTM C932-06 (Standard Specification for Surface-Applied Bonding Compounds for Exterior Plastering)、ASTM C881/C881M-20a (Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete)、ASTM C1059/C1059M-24 (Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh To Hardened Concrete；同 CNS 14701 新拌與硬固混凝土接著用乳膠劑)、CNS 4938　K2089 (環氧樹脂漆)。
   (2) 主材料(披覆材料)：無論是使用有機材料或無機材料，披覆材料之試驗方法可參考日本 JIS K5600 (塗料一般試驗方法)，其試驗項目包含塗膜之外觀試驗、耐候性試驗、阻鹽性試驗、耐鹼性試驗、與混凝土

之附著性試驗及裂縫追隨性試驗等；相關品質要求可參考表 R5- 3。

(3) 面漆：可參考 CNS 15666 K2248 (建築用長期耐候性面漆)，主要適用於建築物水泥、混凝土、水泥砂漿表面及預鑄混凝土等細緻表面建築用長期耐候性面漆，其規定耐酸性、耐鹼性、耐濕冷熱循環性、加速耐候性及室外暴露耐候性等相關品質，以確保面漆長期耐候性品質；相關品質要求可參考表 R5- 4。

解說：

1. 參考 ASTM、CNS、JIS 及內政部國土管理署所頒佈之建築物工程施工規範中所提到與塗料相關規範，本小節根據表面披覆法之工序，建議應符合之標準及試驗方法。

2. 底塗層材料(底漆及表面不平整調整)：底塗層材料之作用為處理新舊介面問題，其相關標準有 ASTM C932-06 (Standard Specification for Surface-Applied Bonding Compounds for Exterior Plastering) 、 ASTM C881/C881M-20a (Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete)、ASTM C1059/C1059M-24 (Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh To Hardened Concrete；同 CNS 14701 (新拌與硬固混凝土接著用乳膠劑))、CNS 4938 K2089 (環氧樹脂漆)。

   (1) ASTM C932 適用於以提高水泥材料與混凝土或其他磚石表面或任何健全結構表面之表面外施加黏結劑的最低要求，性能要求如下：

   - 黏合性：依廠商說明使用後進行測試，其黏結劑應能黏合在水泥材料上。
   - 降解：將樣品放入烘箱中 15 天後，取出並檢查樣品，黏結劑不可有沉澱或分離，且能重新混合至均勻稠度。
   - 拉伸黏結強度：無論是在乾燥條件下、高溫條件下或潮濕條件下測試，平均抗拉強度皆不可小於 10.34 kgf/cm^2。

   (2) ASTM C881 適用於混凝土用之環氧樹脂黏結劑要求，將使用狀況分成 I

至 VII 型，分別為：

- I 型：用於非承重結構，將硬固混凝土與硬固混凝土和其他材料黏合，以及作為環氧樹脂砂漿或環氧樹脂混凝土的黏合劑。
- II 型：用於非承重結構，將新拌混凝土黏合到硬固混凝土上。
- III 型：用於將防滑材料黏合到硬化混凝土上，並作為交通承載表面時使用的環氧樹脂砂漿或環氧樹脂混凝土的黏合劑。
- IV 型:用於承載結構,將硬固混凝土與硬固混凝土和其他材料黏合,並作為環氧樹脂砂漿和硬固混凝土的黏合劑。
- V 型：用於承載結構，將新拌混凝土黏合到硬固混凝土上。
- VI 型：用於黏接和密封分段預製構件。
- VII 型：用作節段預製構件的無應力承載密封劑。

表 R5- 1 環氧樹脂黏結劑之要求(ASTM C881)

項目	類型						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
黏度 Pa·s							
第 1 級 最大	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
第 2 級 最小	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
第 2 級 最大	10	10	10	10	10		
一致性 mm							
第 3 級 最大	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
凝結時間 (分鐘)	30	30	30	30	30	30	30
黏結強度，最小 kgf/cm^2							
硬固混凝土與硬固混凝土黏結							
2 天 (濕固化)	70			70		70	

項目	類型						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
14 天 (濕固化)	100		100	100			70
新拌混凝土與硬固混凝土黏結							
14 days		100			100		
吸收率 (%) 24 小時，最大	1	1	1	1	1		
熱變形溫度，最小 °C:							
7 天				50	50		
14 天						50	50
熱相容性			通過測試				
固化收縮係數，最大值	0.005	0.005		0.005	0.005		
抗壓降伏強度，最小值 kgf/cm^2							
24 小時						140	
36 小時							70
48 小時						400	
72 小時							140
7 天	550	350		700	550		
抗壓模數 kgf/cm^2							
最小	10000	6000		14000	10000		
最大			8960				
抗拉強度 (最小 7 天) kgf/cm^2	350	140		500	4000		
斷裂伸長率 % (最小值)	1	1	30	1	1		
接觸強度，最小值 kgf/cm^2							
2 天						70	
14 天							70

(3) ASTM C1059/C1059M-24 (同 CNS 14701)適用於以塗刷或噴塗方式接著新拌和硬固混凝土之乳膠黏結劑。依使用環境將黏結劑分為兩型，第 I 型

限制在非水中或非高濕環境下之室內使用，乾燥狀態時的黏結強度不可小於 28 kgf/cm^2；第 II 型則可使用在水中或高濕環境，亦可適用於其他地區，浸漬後之黏結強度不可小於 86 kgf/cm^2。

(4) CNS 4938 K2089(環氧樹脂漆)中亦有針對底漆之要求(如表 R5- 2)，環氧樹脂厚塗底漆應符合 CNS 4938 K2089 第一種之規定，透明環氧樹脂底漆應符合 CNS 4938 K2089 第三種之規定。環氧樹脂漆之環氧樹脂主劑及硬化劑之比例必須依照製造廠商之技術資料為準。根據 CNS 4938 所提出之品質要求，須根據 CNS 8012 K6693 (環氧樹脂漆檢驗法)進行項目檢測。

表 R5- 2 環氧樹脂漆品質要求(CNS 4938)

種類 / 檢驗項目	第一種 底漆(配合紅丹、鋅鉻黃等防鏽顏料)	第二種 面漆(配合耐酸鹼等之顏料)	第三種 透明(供化學品貯槽或油槽內壁之防蝕用)	第四種 鋁粉漆(配合銀漿供著色用)
容器狀態	主劑、硬化劑攪拌時無堅硬結塊且均勻			
研磨細度(μm)	-	30 以下	-	-
混合性	能均勻混合			
作業性	無礙於刷塗或噴塗作業			
乾燥時間(h)	10 以內(半堅結)			
塗膜外觀	塗膜外觀需正常			
混合後使用時間(h)	8 以上		3 以上	
耐屈曲性	應無龜裂、剝離等現象			
耐衝擊性	應無龜裂、剝離等現象			
耐鹼性[*1]	-	應無膨脹、龜裂、剝離等現象	應無膨脹、龜裂、剝離等現象	-
耐揮發油性	應無剝離、起泡、起皺、軟化現象			
鹽水噴霧試驗	應無生銹、起泡、剝離等現象			
耐濕性	應無膨脹、剝離、生銹等現象			
混合漆中加熱殘分(%)	60 以上	55 以上	50 以上	-

種類 檢驗項目	第一種 底漆(配合紅丹、鋅鉻黃等防鏽顏料)	第二種 面漆(配合耐酸鹼等之顏料)	第三種 透明(供化學品貯槽或油槽內壁之防蝕用)	第四種 鋁粉漆(配合銀漿供著色用)
環氧樹脂之定性	含有環氧樹脂			
備考：若明顯地說明使用塗刷時，則用刷塗作業試驗。 *1 含鋁顏料時因其塗膜不能用於與藥品類直接接觸之處，故不作耐鹼性及耐酸性試驗。				

3. 主材料(披覆材料)：為了讓披覆材料充分地發揮效用，材料品質要求之項目包含塗膜之外觀狀況、阻隔性、耐候性、附著性能及隨裂縫之延展性(表 R5-3)。

(1) 外觀狀況

表面披覆材料經塗佈後，經標準養護後、加速耐候試驗性試驗後、冷溫循環反覆後、耐鹼性試驗後(浸泡鹼性溶液後)、耐濕試驗後等各種環境下，其塗膜必須無起泡、開裂、剝落等劣化現象。

(2) 阻隔性

- 氯離子阻隔性：為獲得披覆材料對氯離子之阻隔能力，可參考 JSCE K524 (表面被覆材の塩化物イオンの浸透深さ試験方法)之方法對材料進行氯離子加速滲透，再根據 JIS A1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法)將 0.1 %之螢光素納溶液和 0.1 N 之硝酸銀溶液混合噴塗在試體，檢測其氯離子滲透深度。
- 氧氣阻隔性：對於材料之氧氣阻隔性，可參考 JSCE K521 (表面被覆材の酸素透過性試験方法)或 JIS K7126 (フィルム及びシート－ガス透過度試験方法)來進行測試。
- 防水性：防水性試驗可參考 JSCE K523 (表面被覆材の透水量試験方法)或 JIS A 6909 (建築用仕上塗材)來進行測試。
- 透濕性：透濕性試驗可參考 JSCE K522 (表面被覆材の性能評価に関する試験方法)、JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法)或 JIS Z0208 (防湿包装材料の透湿度試験方法 (カップ法))來進行測試。

- 二氧化碳阻隔性(抗中性化)：披覆材料之抗中性化試驗亦是採用加速劣化，將試體放置在溫度 20±2 ℃、相對溼度 60±5 %、二氧化碳濃度 5 ± 0.2 %之環境來加速劣化(JIS A1153 (コンクリートの促進中性化試験方法))，之後再噴灑酚酞溶液，根據顏色來判定中性化深度。藉此來得知披覆材料抵抗中性化之能力。

(3) 耐候性

耐候性使指材料因自然環境影響下,隨時間推移而產生之劣化抵抗能力。一般來說，耐候性試驗是透過戶外曝曬來評估材料之耐候性，但因獲得結果之時間較長且結果可能因曝曬環境而異，故可使用加速試驗來快速地使材料劣化而獲得其結果。加速耐候試驗主要是人為放大光、熱、濕氣對材料之影響，且劣化條件得以控制。對於披覆材料而言，紫外線對披覆材料之影響較大，如是使用有機材料作為披覆材料，則紫外線可能會切割其分子結構使材料降解、變質。表面披覆材料之耐候性試驗方法可參考 JSCE-K 511 (表面被覆材の耐候性試験方法(案))來進行。

(4) 附著性

附著性著重在當披覆材料處於不同環境下與混凝土之黏結強度，除標準養護環境外，可藉由濕度或溫度差來控制冷溫循環反覆之養護環境，以直拉之方式來檢測披覆材料之黏結強度(JSCE K531 (コンクリートの促進中性化試験方法))。通常對黏結強度之要求為 10 kgf/cm^2 以上。

(5) 隨裂縫之延展性

表面披覆材料的隨裂縫之延展性可參考 JSCE K532 (表面被覆材のひび割れ. 追従性試験方法)試驗規範，主要是要了解當披覆材料覆蓋在裂縫時，如裂縫隨著時間發生變化，披覆材料是否能依然貼附並發揮其阻隔之效用。

表 R5- 3 披覆材料品質要求與試驗方法【4】

性能要求	檢核項目		基準值	試驗方法
耐久性	塗膜健全性	標準養護	塗膜必須均勻、無流動、不均勻、起泡、開裂、剝落等現象	JIS K5600 CNS 10756-1
		加速耐候性試驗	塗膜無粉化、起泡、開裂、剝落等現象	
		冷溫循環反覆	塗膜無起泡、開裂、剝落等現象	
		耐鹼性試驗	塗膜無起泡、開裂、剝落等現象	
		耐濕試驗	7(10)日間塗膜無起泡、開裂、剝落等現象[*1]	
	與混凝土之附著性	標準養護	塗膜在混凝土上之黏結強度為 10 kgf/cm^2 以上	JIS K5600 JSCE K531
		加速耐候性試驗		JIS K5600 JSCE-K 511
		溫冷循環反覆		
		耐鹼性試驗		
氧氣阻隔性	阻隔氧氣通過		塗膜之氧氣通過量為 5.0 × 10^{-2} mg/cm^2·日以下	JIS K5600 JSCE K521
濕氣阻隔性	阻隔濕氣通過		塗膜之濕氣通過量為 5.0 mg/cm^2·日以下	JIS K5600 JSCE K522
中性化	抗中性化		中性化深度 1 mm 以下	JIS K5600 JIS A 1171
柔軟性	隨裂縫之延展性	標準養護(常溫時)	塗膜之伸長量為 0.4 (0.8) mm 以上[*2]	JIS K5600 JSCE K532
		標準養護(低溫時)	塗膜之伸長量為 0.2 (0.4) mm 以上[*3]	
		加速耐候性(常溫時)		

[*1] 試驗環境為高溫多濕時，以 10 日算

[*2] 對於有特別要求時，塗膜之伸長量可要求 0.8 mm 以上

[*3] 對於有特別要求時，塗膜之伸長量可要求 0.4 mm 以上

4. 面漆：CNS 15666 K2248 (建築用長期耐候性面漆)是適用於建築物水泥、混

凝土、水泥砂漿表面及預鑄混凝土等細緻表面之建築用長期耐候性面漆，面漆之主要成分包含氟素樹脂、矽酸(矽利康)樹脂或聚氨酯(PU)樹脂等以主劑與硬化劑混合之塗料。CNS15666 內有規定相關耐酸性、耐鹼性、耐濕冷熱循環性等品質外，亦規定加速耐候性及室外暴露耐候性，以確保其長期耐候性品質(表 R5- 4)。

表 R5- 4 面漆之品質(CNS 15666)

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">項目</td><td colspan="3">種類</td><td rowspan="2">試驗節次</td></tr>
<tr><td>第 1 級</td><td>第 2 級</td><td>第 3 級</td></tr>
<tr><td colspan="2">容器內狀態</td><td colspan="3">攪拌時無堅硬結塊且均勻</td><td>7.4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">乾燥時間
(表面乾燥性)</td><td>23 ℃</td><td colspan="3">8 小時以內</td><td rowspan="2">7.5</td></tr>
<tr><td>5 ℃</td><td colspan="3">16 小時以內</td></tr>
<tr><td colspan="2">塗膜外觀</td><td colspan="3">塗膜外觀正常</td><td>7.6</td></tr>
<tr><td colspan="2">可使用時間</td><td colspan="3">5 小時</td><td>7.7</td></tr>
<tr><td colspan="2">遮蓋力(白色、淺色[*1])</td><td colspan="3">90 以上</td><td>7.8</td></tr>
<tr><td colspan="2">60°鏡面光澤度</td><td colspan="3">70 以上</td><td>7.9</td></tr>
<tr><td colspan="2">耐衝擊性</td><td colspan="3">無龜裂或剝離</td><td>7.10</td></tr>
<tr><td colspan="2">附著性(方格法)</td><td colspan="3">1 級或 0 級</td><td>7.11</td></tr>
<tr><td colspan="2">重塗適合性</td><td colspan="3">無礙於重塗</td><td>7.12</td></tr>
<tr><td colspan="2">耐鹼性</td><td colspan="3">無異狀</td><td>7.13</td></tr>
<tr><td colspan="2">耐酸性</td><td colspan="3">無異狀</td><td>7.14</td></tr>
<tr><td colspan="2">揮發性有機化合物(VOC)最大限量值(g/L)</td><td colspan="3">符合 CNS 15080 表 1 中 J 型別之規定</td><td>7.15</td></tr>
<tr><td colspan="2">耐濕冷熱循環</td><td colspan="3">耐濕冷熱循環</td><td>7.16</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">加速耐候性</td><td colspan="3">經規定照射時間後，塗膜無龜裂、起泡或剝離，試樣之色差不較參比樣品之色差大，且粉化等級應為 1 或 0。</td><td rowspan="2">7.17</td></tr>
<tr><td>經 2500 小時照射後，光澤保持率 80 %以上</td><td>經 1200 小時照射後，光澤保持率 80 %以上</td><td>經 600 小時照射後，光澤保持率 70 %以上</td></tr>
<tr><td colspan="2">室外暴露耐候性[*2]</td><td colspan="3">塗膜無龜裂、起泡或剝離，光澤度變化程度與參比樣品比較差異不大，色差值不較參比樣品大。</td><td>7.18</td></tr>
</table>

項目	種類			試驗節次
	第 1 級	第 2 級	第 3 級	
	1.光澤保持率 60 %以上 2.粉化等級應為 1 或 0	1.光澤保持率 40 %以上 2.粉化等級應為 2、1 或 0	1.光澤保持率 30 %以上 2.粉化等級應為 3、2、1 或 0	

[*1] 淺色系指以白色塗料為主成分所製成，塗料之塗膜所顯現顏色為灰色、粉紅、淺黃、淺綠及淺藍等淺色，依 CNS 11295 規定之明度(V)在 6 以上至未滿 9 者。

[*2] 室外暴露耐候性經由當事者間協議或製造廠商提供符合附錄 C 規定之紀錄時，免除試驗。

5.3 表面含浸材料

1. 表面含浸材料試驗方法和相關材料性能要求可參考日本 JSCE-K571 (表面含浸材の試驗方法(案))和 JSCE-K572 (けい酸塩系表面含浸材の試驗方法(案))。
2. 表面含浸材料需含浸至混凝土中後才會展現其特性，因此相關材料性能試驗皆須使用到水泥砂漿或混凝土作為基底材料。試驗項目包含材料外觀觀察、含浸深度、透水性、吸水性、透濕性、抗中性化、抗氯離子滲透等。性能要求之判斷基準值，除含浸深度外，其餘項目皆是將未塗佈表面含浸材料試體(對照組)與經塗佈表面含浸材料試體(控制組)在相同時間及環境下進行試驗後之性能加以比對，以作為表面含浸材料施作前後之性能差異；可參考表 R5- 5 所列要求。

解說：

1. 表面含浸材料常見地有矽烷基和矽酸鹽基，這兩種材料均需含浸至混凝土中後才會展現其特性，因此在評估其性能時，應考慮與基礎混凝土或水泥砂漿之相容性。
2. 表面含浸材料試驗項目包含外觀觀察試驗、含浸深度試驗、透水量試驗、吸水率試驗、透濕性試驗、抗中性化試驗、抗氯離子滲透試驗等多項試驗，其試驗方法可參考 JSCE-K571 (表面含浸材の試驗方法(案))，針對表面含浸材

料之性能要求，請詳見表 R5- 5 所示。表 R5- 5 所示之基準值，皆是以未塗佈表面含浸材料之混凝土試體作為對照組，比對塗佈表面含浸材料之混凝土試體(控制組)，其控制組比對照組之性能提升程度。

表 R5- 5 表面含浸材料之性能要求(JSCE-K571)

試驗項目	基準值
外觀	無外觀變化
含浸深度	4.0 mm 以上
抑制透水率	80 %以上
抑制吸水率	80 %以上
透濕性	80 %以上
抑制中性化速率	30 %以上
抑制氯離子滲透率	80 %以上

3. 在試驗方法中，JSCE-K571 (表面含浸材の試験方法(案))之含浸深度試驗僅針對矽烷基含浸材料，矽酸鹽含浸材料的含浸深度試驗須參考 JSCE-K572 (けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案))。此外，吸水率試驗是為檢測表面含浸材料之防水性能。
4. JSCE-K572 (けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案))提供了對於矽酸鹽基表面含浸材料之試驗方法，試驗項目包含反應性試驗、乾燥固化率試驗、種類判定試驗、外觀觀察試驗、含浸深度試驗、透水量試驗、吸水率試驗、抗中性化試驗、抗氯離子滲透試驗、抗收縮試驗、裂縫透水性試驗及加壓透水性試驗；其各項試驗方法及評估結果之簡述如下：

(1) 反應性試驗

反應性試驗是將水泥砂漿試體分別放入純水(對照組)和矽酸鹽基表面含浸材料溶液(控制組)內，檢測水泥砂漿試體內之氫氧化鈣與矽酸鹽基表面含浸材料之生成反應物。該過程可以用目視觀察，如表面含浸材料出現混濁，以判定表面含浸材料已經與氫氧化鈣產生反應，試驗結果拍照紀錄。

(2) 乾燥固化率試驗

將未稀釋或濃縮之矽酸鹽基表面含浸材料在 105 ± 5 ℃之恆溫槽內乾燥 24 小時，根據乾燥前後之試樣質量改變計算出乾燥固化率。一般而言，

矽酸鹽基表面含浸材料施工會規劃矽酸鹽基表面含浸材料用量，如該材料內之乾燥固化量低，則即使使用大量之表面含浸材料，依舊無法獲得期待之改質效果。

(3) 種類判定試驗

將矽酸鹽基表面含浸材料在 105 ± 5 ℃之環境下乾燥，獲得之乾燥固化物再溶解與水泥砂漿試體進行反應性試驗。由結果判斷該矽酸鹽基表面含浸材料是固化型或是反應型表面含浸材料。

(4) 含浸深度試驗

將矽酸鹽基表面含浸材料塗佈於混凝土表面，待材料含浸後，於不同深度取樣磨粉並浸泡水中後，使用分析儀器檢測水溶液內之鹼金屬離子。水溶液內之鹼金屬離子須至少增加 30％才可視為該深度已受含浸。但值得注意，含浸深度並不代表該深度之混凝土已受到改質。

(5) 抗收縮試驗

抗收縮試驗是將試體至於 3.0 ± 0.3 %之 NaCl 水溶液內，放置於凍融循環機內，讓試體經過反覆之結凍、融解後，評估試體因凍融而造成之損壞。一般而言，經表面含浸材料施作之混凝土能減緩凍融產生之劣化，因此該試驗亦可作為評估表面含浸材料之性能項目。

(6) 裂縫透水性試驗

將混凝土填入內徑 75 mm 之塑膠管內，縫隙用低黏度環氧樹脂填封，然後根據 JIS A 1113 (コンクリートの割裂引張強度試験方法)將試體進行分層切斷及抗拉強度試驗來產生裂縫，生成之裂縫必須小於 0.2 mm 才可使用。將試體塗佈矽酸鹽基表面含浸材料含浸後，對試體進行透水試驗。透水試驗是對試體施加水壓 60 分鐘，接著靜置 30 分鐘後擦去表面水分並測量透水量。將有塗佈表面含浸材料與未塗佈表面含浸材料試體之透水率相比較，有塗佈之試體的透水量應提升 80％以上才符合品質要求。

(7) 加壓透水性試驗

加壓透水性試驗是透過加壓容器對試體上方施加 0.5 kgf/cm^2 之水壓，經 48 小時滲透後，將試體劈裂量測其滲透深度。經塗佈及未塗佈表面含浸材料之混凝土試體加以比較計算出水的滲透比後，其性能應要能提升 80

%才表示該材料符合品質要求。

(8) 外觀觀察試驗、透水量試驗、吸水率試驗、抗中性化試驗、抗氯離子滲透試驗外觀觀察試驗、透水量試驗、吸水率試驗、抗中性化試驗、抗氯離子滲透試驗皆可參考 JSCE-K 571 (表面含浸材の試験方法(案))進行。

5.4 裂縫灌注材料

一般裂縫灌注法以使用環氧樹脂作為灌注材料為主，其環氧樹脂裂縫灌注材料依使用環境須符合 CNS 10141 A2151 (建築灌注補修用環氧樹脂)之品質標準及試驗。

解說：

1. 裂縫灌注材料之品質標準依 CNS 10141 A2151 (建築灌注補修用環氧樹脂)之規定，其各項要求之項目說明如下：

(1) 黏性

黏性越低之材料、流動性越好，如此越容易灌注到裂縫中，因此裂縫灌注材料需要適當之黏性。

(2) 使用性

使用性是指材料從開始攪拌到完全灌注到裂縫深處所需要之時間。樹脂系灌注材料會受溫度影響，溫度越高、固化越快。

(3) 耐硬化收縮性、耐膨脹收縮性

灌注材料在固化時會收縮，如果材料之收縮或膨脹性大，灌注到裂縫內時，可能會在養護期間發生裂縫、空隙等變形。

(4) 接著性

當材料灌注至裂縫，使其沾黏到既有混凝土上以填補孔隙並抑制劣化因子侵入，故附著性是灌注材料重要的性能指標之一。特別是在潮濕環境下進行施工或施工後可能暴露在水中等情況下，皆需材料具有良好之附著性才能有效地修復。

(5) 流動性

流動性會影響灌注之容易程度，流動性越高，在低壓下對裂縫灌注之效率越好。

表 R5- 6 環氧樹脂性能要求(CNS 10141)

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)℃		100 ~1000		5000 ~ 20000		-	
	搖變度	(20 ± 0.5)℃		-		5 ± 1		-	
	坍度(mm)	(15 ± 2)℃		-				-	5 以下
		(30 ± 2)℃		-		-		5 以下	-
初期硬化性 kgf/cm^2		標準條件		20.4 以上	-	20.4 以上	-	20.4 以上	-
		低溫條件		-	20.4 以上	-	20.4 以上	-	20.4 以上
接著強度 kgf/cm^2		標準條件		61.2 以上		61.2 以上		61.2 以上	
		特殊條件	低溫時	-	30.6 以上	-	30.6 以上	-	30.6 以上
			濕潤時	30.6 以上		30.6 以上		30.6 以上	
			反覆乾溼時	30.6 以上		30.6 以上		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 kgf/cm^2		-		306 以上		306 以上		306 以上	
抗壓強度 kgf/cm^2		-		-		-		510 以上	
揮發性有機化合物(VOC)最大限量值 (g/L)		-		符合 CNS 15080 表 1 中 J 型別 SB 之規定					

5.5 斷面補修材料

1. 斷面補修材料種類繁多，單純地選擇材料性質優於既有混凝土的斷面補修材料並非最為恰當，而補修材料之性能將根據修復構件、環境條件、施工方法等不同而改變，但共通點如下：
   (1) 抗壓、撓曲、抗拉強度必須等於或高於既有混凝土
   (2) 熱膨脹係數、彈性係數、柏松比必須與既有混凝土相同
   (3) 乾燥收縮小、附著力高
   (4) 因為需在現場施工，所以工作性要好
2. 防銹劑可抑制鋼筋腐蝕，除對鋼筋有良好之附著性外，也要與斷面補修材料有良好之黏結性，以避免介面上之不良影響。
3. 斷面補修材料試驗包含力學性能(抗壓強度、撓曲強度、黏結強度、彈性係數、熱膨脹係數)相關試驗、裂縫抵抗能力(長度變化)相關試驗及耐久性能(中性化、氯離子、抗凍融)相關試驗等。

解說：

1. 由於內部鋼筋腐蝕膨脹、凍融損壞、鹼骨材反應等引起之混凝土劣化(裂縫)，或含有中性化、氯離子等劣化因子之混凝土，或因孔洞造成混凝土保護能力下降，將上述之劣化部位敲除並進行鋼筋防銹處理後，再填補上斷面補修材料，即為斷面補修法。
2. 斷面補修法用之斷面補修材料依種類可分為水泥系補修材料、聚合物水泥系補修材料和樹脂系補修材料。其中，水泥系補修材料包含混凝土、水泥砂漿、無收縮水泥砂漿等以水泥作為主要膠結材料之斷面補修材料；聚合物水泥系補修材料是在水泥系補修材料內添加聚合物(如 SBR、PAE、環氧樹脂、壓克力樹脂等)以提高其材料性能，聚合物水泥系補修材料與水泥系補修材料由於主要膠結材料皆為水泥，故同屬於無機系材料；樹脂系補修材料屬有機系材料，是以樹脂材料作為主要膠結材料並添加細粒料混合而成之補修材料。
3. 由於斷面補修材料與既有混凝土需具有良好之黏合性和完整性，表 R5-7 列出水泥系補修材料、聚合物水泥系補修材料和樹脂系補修材料分別對於不同劣化機制之適用性。

4. 為了解斷面補修材料之性能，需進行各項相關試驗，根據「鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕斷面補修工法研擬」及相關試驗結果，提出建議之斷面補修材料性能要求，其性能要求及試驗方法可詳見表 R5- 8。
5. 對於斷面補修法使用之防銹劑，根據 CNS 12456 A2232 (鋼筋混凝土用防銹劑)規定防銹劑試驗法須依 CNS 12457 A3299 (鋼筋混凝土用防銹劑檢驗法)第 3 節之規定進行試驗，其防銹劑之性能須滿足如表 R5- 9 所述之條件。
6. 對於斷面補修材料來說，黏結強度係十分重要的性能指標之一。如果沒有足夠之黏結強度來確保補修材料能充分地貼附在既有混凝土上，則補修材料可能因脫落或剝落而無法有效地發揮其修復效用。
7. 考慮建築物之環境和修復位置，日本土木學會提出斷面補修材料黏結強度試驗之試體養護條件分別有標準環境、潮濕環境、低溫環境、水中環境、乾溼循環環境和冷溫循環環境，可視補修環境之情況選擇。
8. 在進行黏結強度試驗時，其試體破壞位置會出現四種狀況：(1)破壞在基礎混凝土處、(2)破壞在混凝土與斷面補修材料之介面、(3)破壞在斷面補修材料處、(4)直拉貼片脫落，以至於須視情況謹慎判斷。
9. 關於中性化試驗及氯離子滲透深度試驗，可噴灑酚酞試劑和硝酸銀溶液來測試，可由是否變色來判斷其受中性化或氯離子滲透之狀況。
10. 除此之外，斷面補修材料之坍流度與施工性能有關，塗抹法與噴塗法主要以流度值試驗和坍度試驗來確認材料之施工性，灌漿施工法則由坍落試驗(漏斗法)來評價其施工性。

表 R5- 7 斷面補修材料之適用效果

主要期待效果	要求性能/劣化機制	斷面補修材料種類		
		水泥系補修材料	聚合物水泥系補修材料	樹脂系補修材料
除去劣化因子造成之劣化，和劣化、損傷部分修復	力學性能	O	O	O
	抵抗裂縫能力	△	O	△
修復劣化，並抑制和預防劣化因子再侵入	中性化	O	O	O
	鹽害	△	△	O
	凍害	O	O	O
	化學侵蝕	△	△	O
	鹼骨材反應[*1]	△	△	O
與美觀、景觀相關性能	美觀、景觀	△	△	O
第三者影響度	剝落抵抗性[*2]	O	O	O

O：適用；△：有再檢討之必要(配合其他工法使用等)

[*1] 標準防水性判斷結果；[*2] 標準黏結性能判斷結果

表 R5- 8 斷面補修材料之性能要求

項目		基準值		標準試驗法
		聚合物水泥系補修材料(含水泥系補修材料)	樹脂系補修材料	
撓曲強度 (kgf/cm^2)		60.0 以上	60.0 以上	JIS A 1171 ASTM C348
抗壓強度 (kgf/cm^2)	7 天	200 以上	200 以上	JIS A 1171 ASTM C109
	28 天	280 以上	350 以上	
黏結強度 (kgf/cm^2)	標準時	15.0 以上	15.0 以上	JIS A 1171 ASTM C1583
	冷熱反覆後	15.0 以上	15.0 以上	
透水量 (g)		15.0 以下	15.0 以上	JIS A 1171
吸水量 (%)		10.0 以下	10.0 以下	JIS A 1171
長度變化 (%)		0.15 以下	0.15 以下	JIS A 1171 ASTM C596

表 R5- 9 鋼筋混凝土用之防銹劑品質規格(CNS 12456)

要求性能項目	品質規格			試驗方法
鋼筋之浸鹽水試驗	不得有銹蝕現象			CNS 12457 第 3.1 節
混凝土中之鋼筋加速銹蝕試驗	防銹率 95 %以上			CNS 12457 第 3.2 節
混凝土之凝結時間及抗壓強度試驗	凝結時間差異	初凝	±60 分鐘以內	CNS 12457 第 3.3 節
		終凝		
	抗壓強度比	齡期 7 天	0.90 以上	
		齡期 28 天		

5.6 鋼筋、鋼板及點焊鋼絲網

1. 構件修復工法用之鋼筋應通過 CNS 560 A2006 (鋼筋混凝土用鋼筋)之相關要求與規定。
2. 構件修復工法用之鋼板應符合 CNS 2608 (鋼料之檢驗通則)及相關之國家檢驗測試標準，或政府主管單位認可之國際通行檢驗標準檢驗測試，確認符合其原標示之標準，且證明達到設計標準者方可使用。
3. 鋼板之化學成分和機械性能(如拉伸、衝擊、硬度、彎曲、壓凹等)試驗方法，均應符合 CNS 2608 (鋼料之檢驗通則)所訂定之相關規定。而依 ASTM A572/A572M-21e1 (Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel)所規定之鋼板力學性能包含鋼板厚度、降伏強度、抗拉強度和最少伸長率。
4. 構件修復工法用之點焊鋼絲網，根據內政部國土管理署「混凝土結構設計規範 建築工程施工規範」第 03220 章所述【13】，點焊鋼絲網施工前應就其外觀、尺度等進行檢驗，經工程司核可後，始可進行鋪設。

解說：

1. 構件修復工法用之鋼筋、鋼板或點焊鋼絲網均應符合國家標準(CNS)規範，但因選用材料時，有可能使用其他國家之鋼材，故亦容許使用經由國際通行檢驗標準檢驗合格，且符合設計所需之最低要求之材料。

2. 構件修復工法用之鋼筋應通過 CNS 560 A2006(鋼筋混凝土用鋼筋)之相關要求與規定。鋼筋力學性能包含降伏強度、抗拉強度、伸長率和彎曲性，請詳見表 R5- 10 所示，鋼筋之力學性能試驗可參照 CNS 2111 G2013 (金屬材料拉伸試驗法)和 CNS 3941 G2034 (金屬彎曲試驗法)進行檢測。
3. 鋼板之化學成分和機械性能(如拉伸、衝擊、硬度、彎曲、壓凹等)試驗方法，均應符合 CNS 2608 (鋼料之檢驗通則)所訂定之相關規定，若有未能符合規定之鋼材，除經設計者同意，否則不可使用。而依 CNS 2947 G3057 (銲接結構用軋鋼料)所規定之鋼板力學性能包含鋼板厚度、降伏強度、抗拉強度和伸長率，如表 R5- 11 所示，力學性能試驗可參照 CNS 2111 G2013 (金屬材料拉伸試驗法)進行檢測。
4. 構件修復用之點焊鋼絲網在現場使用時，應無塵垢、凹痕、銹斑、油汙或其他附著物，須遵照設計圖說正確安置並固定，且在澆置混凝土時不可產生位移。點焊鋼絲網之搭接是以握裹力來考量，故搭接長度應依規定來計算並繪製設計圖說。
5. 點焊鋼絲網可依施工需求訂製，常用之線徑為 2.6 ~ 14 m/m，網目常用地規格有 7.5 x 7.5 cm、10 x 10 cm、15 x 15 cm、20 x 20 cm。點焊鋼絲網之相關試驗如表 R5- 12 所示。
6. 點焊鋼絲網在接觸處須重疊，除設計上另有需求，否則重疊部分不得少於一個網目之寬度加 5 cm，但圓形光面鋼絲網最少不得小於 15 cm，異形竹節鋼絲網(肋形或壓痕)不得小於 20 cm。重疊接頭處須緊連捆紮，使與鄰接之網片連成一均勻之表面，邊緣及末端應緊密固定。
7. 構件修復用之鋼板及點焊鋼絲網之試驗方法，應符合 CNS 要求或相關之國家檢驗測試標準，或政府主管單位認可之國際通行檢驗標準，經檢驗合格後方可使用。鋼板之試驗包含化學成分和機械性能檢測(如拉伸、衝擊、硬度、彎曲、壓凹等)，點焊鋼絲網之試驗項目包含尺度及外觀、焊接點之脫落、彎曲試驗、焊接點剪斷強度試驗和拉伸試驗。

表 R5- 10 鋼筋之機械性質(CNS 560)

種類	符號	降伏點或降伏強度 kgf/cm^2	抗拉強度 kgf/cm^2	伸長率 %	彎曲性		
					彎曲角度	彎曲直徑	
光面鋼筋	SR 240	2400 以上	3800 以上	20 以上	180°	標稱直徑之 3 倍	
	SR 300	3000 以上	4800 以上	22 以上	180°	標稱直徑之 3 倍	
竹節鋼筋	SD 280	2800 以上	4200 以上	18 以上	180°	D16 以下	標稱直徑之 3.5 倍
				19 以上		D19 以上	標稱直徑之 5 倍
	SD 280W	2800 ~ 3800	4200 以上	18 以上	180°	D16 以下	標稱直徑之 3 倍
						D19 ~D25	標稱直徑之 4 倍
				19 以上		D29 ~D36	標稱直徑之 6 倍
						D39 以上	標稱直徑之 8 倍
	SD 420	4200 以上	6200 以上	13 以上	180°	D16 以下	標稱直徑之 3.5 倍
						D19 ~D25	標稱直徑之 5 倍
				14 以上		D29 ~D36	標稱直徑之 7 倍
					90°	D39 以上	標稱直徑之 9 倍
	SD 420W	4200 ~ 5400	5500 以上	13 以上	180°	D16 以下	標稱直徑之 3 倍
						D19 ~D25	標稱直徑之 4 倍
				14 以上		D29 ~D36	標稱直徑之 6 倍
						D39 以上	標稱直徑之 8 倍
	SD	4900 ~	6200 以上	13 以上	180°	D16	標稱直徑

種類	符號	降伏點或降伏強度 kgf/cm^2	抗拉強度 kgf/cm^2	伸長率 %	彎曲性		
					彎曲角度	彎曲直徑	
	490W	6150				以下	之 3 倍
						D19 ~D25	標稱直徑之 4 倍
				14 以上		D29 ~D36	標稱直徑之 6 倍
						D39 以上	標稱直徑之 8 倍
	SD 550W	5500 ~ 6750	6900 以上	12 以上	180°	D16 以下	標稱直徑之 3.5 倍
						D19 ~D25	標稱直徑之 5 倍
				13 以上		D29 ~D36	標稱直徑之 7 倍
						D39 以上	標稱直徑之 9 倍
	SD 690	6900 ~ 8150	8600 以上	10 以上	180°	D16 以下	標稱直徑之 3.5 倍
						D19 ~D25	標稱直徑之 5 倍
				10 以上		D29 ~D36	標稱直徑之 7 倍
					90°	D39 以上	標稱直徑之 9 倍

表 R5- 11 鋼板之機械性質(CNS 2947)

種類 符號	厚度 mm	降伏點或降伏強度 kgf/cm^2	抗拉強度 kgf/cm^2	伸長率 (%)
SM 400A	超過 200 450 以下	1950 以上	4000 ~ 5100	21 以上
SM 400B	超過 200 450 以下			
SM 400C	超過 100 160 以下	2050 以上		24 以上[*1]
	超過 160 250 以下	1950 以上		
SM 490A	超過 200 300 以下	2750 以上	4900 ~ 6100	20 以上
SM 490B	超過 200 250 以下			
SM 490C	超過 100 160 以下	2850 以上		23 以上[*1]
	超過 160 250 以下	2750 以上		
SM 490YA	超過 100 150 以下	3150 以上	4900 ~ 6100	21 以上[*1]
SM 490 YB	超過 100 150 以下			
SM 520B	超過 100 150 以下	3150 以上	5200 ~ 6400	21 以上[*1]
SM 520C	超過 100 150 以下			
SM 570	超過 100 150 以下	4100 以上	5700 ~ 7200	20 以上[*1]

[*1] 厚度超過 100 mm 鋼板的伸長率，厚度每增加 25 mm 或其餘數，其伸長率為此表所規定之下限值減去 1 %，但最多減去 3 %。

表 R5- 12 點焊鋼絲網之相關試驗

檢驗項目	依據之方法	規範之要求	頻率
尺度及外觀 焊接點之脫落	CNS 6919	應符合 CNS 6919 規定	逐一檢驗
彎曲試驗 焊接點剪斷強度試驗	CNS 6919	應符合 CNS 6919 規定	1. 數量未達 500 m^2 時免檢驗，惟需檢具原廠證明書 2. 數量達 500～1,000 m^2 檢驗 1 組 3. 數量超過 1,000 m^2 時，每 1,000 m^2 加驗 1 組 4. 餘數未達 500 m^2 者，併入前 1 組檢驗，超過 500 m^2 為單獨 1 組檢驗
拉伸試驗	CNS 2111	應符合 CNS 6919 規定	

5.7 CFRP 貼布

1. 使用 CFRP 貼布進行構件修復工程時，其施作步驟依序為前處理、構件補修、表面清理、導角及整平、劃線、塗佈底漆、塗佈接著劑、貼附 CFRP、塗佈環氧樹脂面漆、CFRP 多層貼附(如有需要)、CFRP 端部固定、養護及表面裝飾。基於以上所述，CFRP 貼布進行構件復原時，除考量 CFRP 貼布之材料性能要求外，配合使用之底漆、接著劑及環氧樹脂面漆皆須使用合乎要求之材料。
2. CFRP 貼布施作時，須配合符合之黏結劑一起使用，故選擇 CFRP 貼布和黏結劑時，應確認各材料特性。CFRP 貼布施作後，外層還須搭配表面保護工法，使得修復區域不會因時間而發生品質變化。
3. CFRP 貼布應確認具符合工程需求之單位面積重量、抗拉強度、彈性係數及延伸率等品質要求，相關力學性質試驗可參考 CNS 13553 K61027 (碳纖維試驗法)，相關品質要求及試驗可詳見表 R5- 13。
4. CFRP 貼布施作前，須在混凝土上塗佈底漆，底漆之品質要求包含直拉黏結強度、黏度及可操作時間，相關性能試驗可詳見 CNS 11053 A3215 (粗

糙水泥飾面噴髮材料檢驗法)及 CNS 13065 K6995 (環氧樹脂及硬化劑黏度測定法)。

5. 接著劑主要目的為用於黏貼 CFRP 貼布，並且讓 CFRP 與混凝土能一體化，因此為與 CFRP 貼布、底漆和環氧樹脂面漆具有良好之相容性，通常亦會選用環氧樹脂接著劑來使用，其環氧樹脂接著劑之品質要求與底漆相同。

6. 環氧樹脂面漆會塗佈於 CFRP 貼布表面使之含浸至 CFRP 內，故對於抗拉強度、抗彎強度、拉力抗剪強度、混合後初黏度及搖變度皆有所要求，相關試驗包括 CNS 15606 K 61183 (塑膠－抗拉性能測定法)、CNS 4392 K6419 (塑膠－彎曲性能測定法)、CNS 5606 K6500 (黏著劑之抗剪強度測定(法拉力負荷法))、CNS 13065 K6995 (環氧樹脂及硬化劑黏度測定法)、CNS 10141 A2151 (建築灌注補修用環氧樹脂)。

解說：

1. 根據 CFRP 補強混凝土結構物技術規範(草案)【17】中提到，CFRP 貼布是用直徑約 7 ~ 10 μm 之碳纖維以每平方公尺數百支排列成片，並與基層樹脂複合而成之纖維強化高分子複合材料。
2. 關於 CFRP 貼布使用之碳纖維，其性質應符合 CNS 13062 碳纖維及環氧樹脂製預浸材料檢驗法是測定每單位面積之預浸質量、揮發分、樹脂流出率、膠化時間、水份等各種性質，對預浸材料之最合適製造條件設定、保管中之品質調查及最適硬化條件之設定皆有所助益。
3. CFRP 貼布應選擇符合工程需求之材料，且配合使用之黏結劑，也必須與 CFRP 貼布具有相容性。CFRP 貼布之品質會隨著時間、承載重量、環境等因素而引起變化，當使用 CFRP 貼布貼附於構件上修復時，為防止補修材料質變，故外層還需施予塗裝或水泥砂漿予以保護。
4. CFRP 補強混凝土結構物技術規範(草案)【17】中有提出，如材料是以單向或多向排列製成之 CFRP 貼布，其材料品質規格及試驗方法如表 R5- 13 所示；如將 CFRP 貼布經樹脂浸漬固化製成 CFRP 板材，其材料品質規格及試驗方法應符合表 R5- 14 之規定。

5. 為了讓 CFRP 貼布能與基礎混凝土密合貼附，在進行貼附前，會先在基礎混凝土上塗佈底漆，以確保 CFRP 貼布之貼合。所使用之底漆品質應符合表 R5- 15 所示之要求，且為了能確保品質管理，主劑/硬化劑之主要成分、混合比(重量比表示)、比重(CNS 2940 K6271 (聚乙烯樹脂檢驗法))、黏度(CNS 13065 K6995 (環氧樹脂及硬化劑黏度測定法))及操作時間(CNS 13065 K6995 (環氧樹脂及硬化劑黏度測定法))等相關資訊皆須詳細記錄。
6. 接著劑之功用是為了讓 CFRP 貼布能貼附在混凝土上，會接續在塗佈底漆後施作。接著劑必須具備適當地黏度以黏貼 CFRP 貼布，還要能與底漆和環氧樹脂面漆相容，故一般也會選擇環氧樹脂作為接著劑，而接著劑之品質要求同底漆之要求，請詳見表 R5- 15。
7. CFRP 貼布貼附後，接著將塗佈環氧樹脂面漆於 CFRP 表面，讓環氧樹脂面漆含浸至 CFRP 貼布內，以確保 CFRP 與混凝土能良好地貼合。環氧樹脂面漆須具備足夠的含浸性和黏度，才能確保施工品質，對於環氧樹脂面漆之品質要求如表 R5- 16 所示。除此之外，為確保施工品質，應詳細記錄主劑/硬化劑之主成分、混合比(重量比表示)、比重(CNS 2940 K6271 (聚乙烯樹脂檢驗法))、黏度(CNS 13065 K6995 (環氧樹脂及硬化劑黏度測定法))和操作時間(CNS 13065 K6995 (環氧樹脂及硬化劑黏度測定法))等相關資訊。

表 R5- 13 CFRP 貼布之品質規格及試驗方法【17】

項目	規格值	試驗方法
單位面積重量	200 g/m^2	CNS 13062
抗拉強度	36000 kgf/cm^2	CNS 13553
彈性係數	2.35 × 10^6 kgf/cm^2	CNS 13553
延伸率	1.5 %	CNS 13553

表 R5- 14 CFRP 板之品質規格及試驗方法【17】

項目	規格值	試驗方法
抗拉強度	30000 kgf/cm^2	CNS 13555
彈性係數	2.35 × 10^6 kgf/cm^2	CNS 13555
延伸率	1.5 %	CNS 13555

表 R5- 15 底漆及接著劑之品質規格及試驗方法【17】

項目	規格值	試驗方法
直拉黏結強度 (kgf/cm^2)	15	CNS 11053
黏度 (cps)	600 ~ 1300	CNS 13065
可操作時間 (分)	60 ~ 100	CNS 13065

表 R5- 16 環氧樹脂面漆之品質規格及試驗方法【17】

項目	規格值			試驗方法
	大氣中	水中	纏繞用	
抗拉強度 (kgf/cm^2)	300	300	300	CNS 15606
抗彎強度 (kgf/cm^2)	400	400	400	CNS 4392
拉力抗剪強度 (kgf/cm^2)	100	100	100	CNS 5606
混合後初黏度 (cps)	900 ~ 2000	-	600 ~ 1300	CNS13065
可操作時間 (分)	60 ~ 100	60 ~ 100	180 以上	CNS 13065
搖變度	2 以上	2 以上	2 以上	CNS 10141

第六章 施工圖說與注意事項

6.1 構件補修工法

6.1.1 表面處理法

6.1.1.1 目的

表面處理法是以提高防水性和耐久性為目的，在細小裂縫(裂縫寬度為約 0.2 mm 以下)上塗抹防水材料和補修材料，且僅覆蓋住有裂縫之範圍，使其在混凝土表面形成保護膜以實現防水效用並藉此提高其耐久性。

6.1.1.2 適用範圍

表面處理法適用於經老劣化診斷被判定構件劣化度為輕度以下且劣化因子強度為弱之構件。

6.1.1.3 施工圖說及步驟

表面處理法之施工圖說請詳見圖 R6- 1，而表面處理法之施工程序如下：

(1) 去除損害之裝飾層和粉刷層：用鋼絲刷等工具將混凝土表面打毛使其粗糙，去除表面沉積物；

(2) 表面清理：用水清洗後擦乾表面；

(3) 確認裂縫發展狀況：混凝土表面之氣孔或裂縫用填補材料進行填補，如裂縫寬度發展較大，混凝土表面可用具彈性之樹脂(如彈性批土、壓克力樹酯等)填充裂縫；

(4) 填補補修材料：用合適之補修材料塗抹在混凝土表面，覆蓋所有裂縫區域；

(5) 塗抹水泥砂漿。

(6) 修飾。

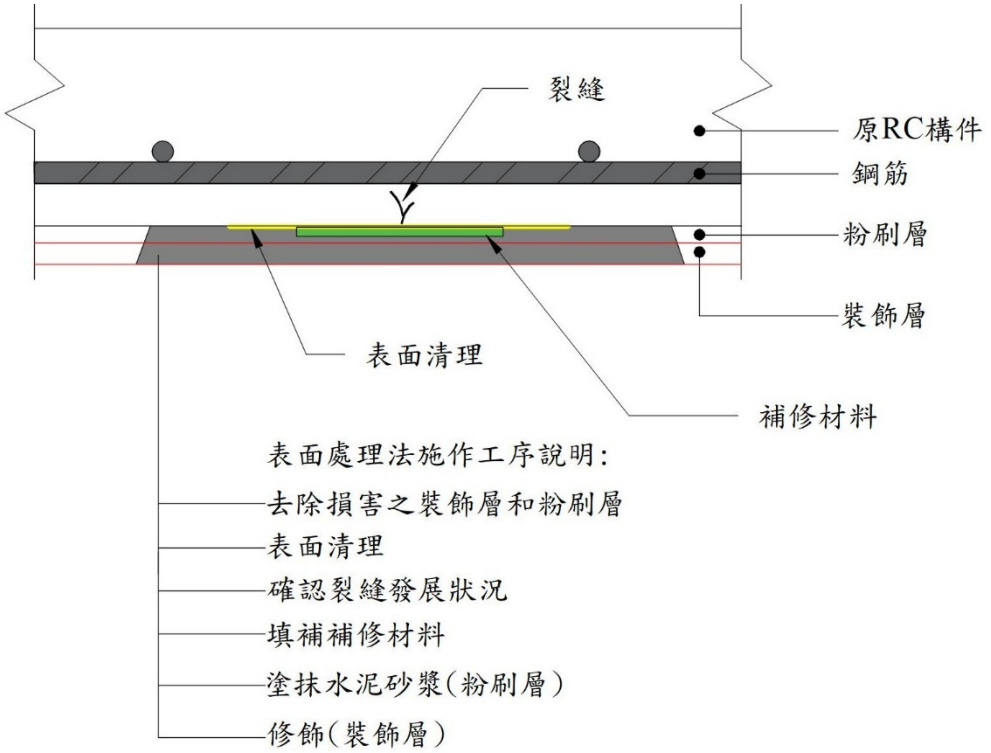


圖 R6- 1 表面處理法之施工圖說

6.1.1.4 注意事項

表面處理法施工時，應注意事項有：

(1) 表面處理法主要用於修復表面裂縫，適用於臨時防水措施，但補修材料覆蓋厚度小，不能期望構件原有性能可以恢復。

(2) 施作前需要確認裂縫之發展狀況。一旦發現裂縫最大寬度已超過約 0.2 mm，建議改為執行其他合適之補修工法，如裂縫灌注法、裂縫補修法或斷面補修法等。

(3) 聚合物水泥砂漿和環氧樹脂適用於裂縫無持續發展之情況下，如裂縫有持續發展之趨勢，應使用彈性樹脂或彈性批土。

(4) 有些環氧樹脂和具彈性樹脂耐候性不佳，使用時須考量適用環境。

(5) 根據補修材料不同，有些裝飾材料之黏結強度低，亦有些材料容易產生色差、顏色不均勻，使用時須考量。

6.1.2 表面披覆法

6.1.2.1 目的

表面披覆法是在混凝土構件上塗佈樹脂系或聚合物水泥砂漿系材料進行表面披覆用以阻隔劣化因子(如水、氧氣、氯離子、二氧化碳、硫酸等)、抑制劣化因子侵入，以提升構件耐久性為目的之補修工法。

6.1.2.2 適用範圍

表面披覆法適用於經老劣化診斷被判定劣化因子強度為中或強，需要防止劣化因子侵入之構件。表面披覆法可單獨或與其他補修工法一同使用。

6.1.2.3 施工圖說及步驟

表面披覆法之施工圖說請詳見圖R6- 2，而表面披覆法之施工步驟如下：

(1) 去除裝飾層和粉刷層；

(2) 既有混凝土(基材)表面處理：目的為去除會對表面披覆材料附著力造成影響之因素，如灰塵、油汙、脆弱部分等。將既有混凝土表面打毛，待去除表面附著物及劣化部位後，用高壓清洗機清洗表面；

(3) 確認構件劣化狀況：如混凝土表面有劣化現象，建議須先進行裂縫填補法或斷面補修法之施作；

(4) 底漆處理：目的為對混凝土底層進行處理，並確保混凝土與披覆材料之相容性。施工時可重複塗抹能讓混凝土表面緻密化及增加附著性之底漆材料；

(5) 表面不平整調整：目的為盡可能消除表面之不平整，同時對混凝土裂縫和孔洞等進行填充，如混凝土表面存在孔洞，將會導致披覆材料不均勻或厚度不足；

(6) 塗抹披覆材料：此為最重要之工序。依披覆材料之廠商規定進行施作，並遵守最低標準之披覆厚度。為避免施作失敗，需精準測量材料比例並徹底混合，不可僅靠目測來判斷。如是針對一般劣化，使用之披覆材料必須能有效阻隔劣化因子侵入，以及使用具彈性類材料以便能與裂縫同

時伸展；

(7) 面漆塗佈：為保護披覆材料能不受紫外線照射而性能下降，須在表層塗佈面漆，故材料選用需具有良好之耐候性；

(8) 修飾：恢復粉刷層和裝飾層。

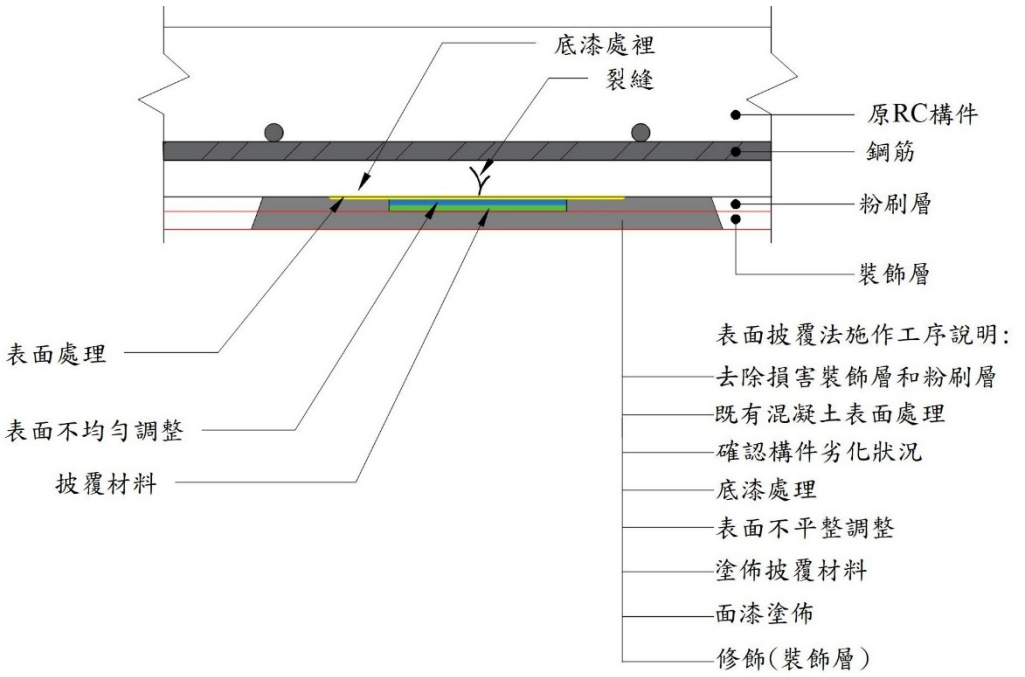


圖 R6- 2 表面披覆法之施工圖說

6.1.2.4 注意事項

表面披覆法施工時，應注意事項有：

(1) 表面披覆材料可能受使用時之溫度和表面水分含量而影響，因此了解每種材料之性能和特性，並在合適之使用狀況下進行施工極為重要。表面披覆材料可分為有機系和無機系，使用有機表面披覆材料時，可使用滾筒或鏝刀將表面披覆材料依序塗佈並層壓，基本上要待乾燥後再塗佈下一層材料，通常需要幾天時間才能完工。如有機表面披覆材料屬於危險物質，使用時應遵守廠商提供之步驟進行施作及處理。塗佈時應遵守規定之計量，如要重複塗佈，也應遵守每種材料的規定時間。對於有機表面披覆材料而言，塗佈後如面臨降雨或結霜會導致表面劣化且不適合重複塗抹，此時必須去除劣化部分或使用指定溶劑清洗掉塗料再重新塗佈，

才能避免表面披覆材料無法與混凝土密合之現象。使用無機表面披覆材料施作時，可單層塗佈或多層塗佈。單層塗佈的工序依序為底漆塗佈、表面不平整調整、主材料塗佈。工具為鏝刀、刷子、噴霧器、滾筒等，依材料性能及補修需求，主材料可塗佈二或三次，但仍需遵守廠商規定之計量、塗佈次數和塗佈間隔時間。多層塗佈施工步驟是待完成單層塗佈後再多塗佈面漆，讓面漆在主材料上多一層保護層。

(2) 當採用表面披覆法時，其目的為阻斷造成混凝土劣化之劣化因子滲透，故對於已劣化之混凝土結構，需先去除劣化之部分，並配合裂縫填補法或斷面補修法進行施工。

(3) 底漆施作時，施工面需無灰塵及油脂，且還需平整及乾燥。底漆建議塗佈 2 層以上，以避免塗佈不均勻而影響效果。

(4) 表面不平整調整所使用之介面處理材料，必須能填補混凝土表面之孔洞以及增加披覆材料之附著性，故應選用能與披覆材料匹配相融之介面處理材料。

(5) 披覆材料除了需能夠防止劣化因子從外部侵入外，還要具有彈性，以至於能隨著裂縫寬度增加而伸展，才能最大限度地發揮補修之效用。

(6) 面漆可分為水性面漆及油性面漆，水性面漆常見地有水性水泥漆及水性乳膠漆，水性面漆之主要成份為水溶性樹脂與水，使用時可用水作為稀釋劑，稀釋後便可直接塗刷；油性面漆最常見地即為油性水泥漆，主要成份為化學合成樹脂、溶劑及催化劑，使用時須用香蕉水、松香水或甲苯作為稀釋劑。水性面漆可用於室內，施工方便、氣味低且價格實惠，但缺點是防水性和耐磨性比油性面漆差；油性面漆適用於室外，油性面漆防水性佳、耐水沖刷且耐久性及耐磨性較水性面漆佳，但施工程序繁瑣、經濟性差，且需較長時間來消散氣味。

(7) 參考 ASTM、CNS、JIS 及內政部國土管理署所頒佈之建築物工程施工規範中所提到與塗料相關規範，關於表面披覆法之各工序所使用之材料，可參考本手冊 5.2 小節所列之標準及試驗方法擬定品質要求規定。

6.1.3 表面含浸法

6.1.3.1 目的

表面含浸法是在混凝土表面塗敷含浸材料，待含浸材料滲透至混凝土內部空隙和裂縫中，用以防止外部劣化因子之侵入，亦可使混凝土回復鹼性並賦予鋼筋防銹效果。

6.1.3.2 適用範圍

表面含浸法適用於經老劣化診斷被判定構件劣化度為中度以上且劣化因子強度為強之構件。表面含浸法可單獨使用或與表面披覆法、斷面補修法一同使用。

6.1.3.3 施工圖說及步驟

表面含浸法之施工圖說請詳見圖 R6- 3，而表面含浸法之施工程序如下：

(1) 去除損害裝飾層和粉刷層；

(2) 表面清理(前處理)：用吹風機、毛刷等清除施工面之灰塵，並用刮刀去除表面沾黏物，必要時可用高壓清洗機進行清潔。

(3) 確認表面狀況：如混凝土表面有劣損，請在塗抹含浸材料前先施行裂縫灌注法、裂縫補修法或斷面補修法(如有需要)。

(4) 塗抹表面含浸材料：混凝土表面處理 1~3 天後，待施工面乾燥且確認表面無汙垢及浮漿，再用滾筒或噴塗機進行含浸材料之塗抹或噴塗。如果基材吸水率高，請多次施工。

(5) 養護：至少在 20 ℃環境溫度下自然乾燥 24 小時以上(依現場狀況判斷)；

(6) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；

(7) 修飾。

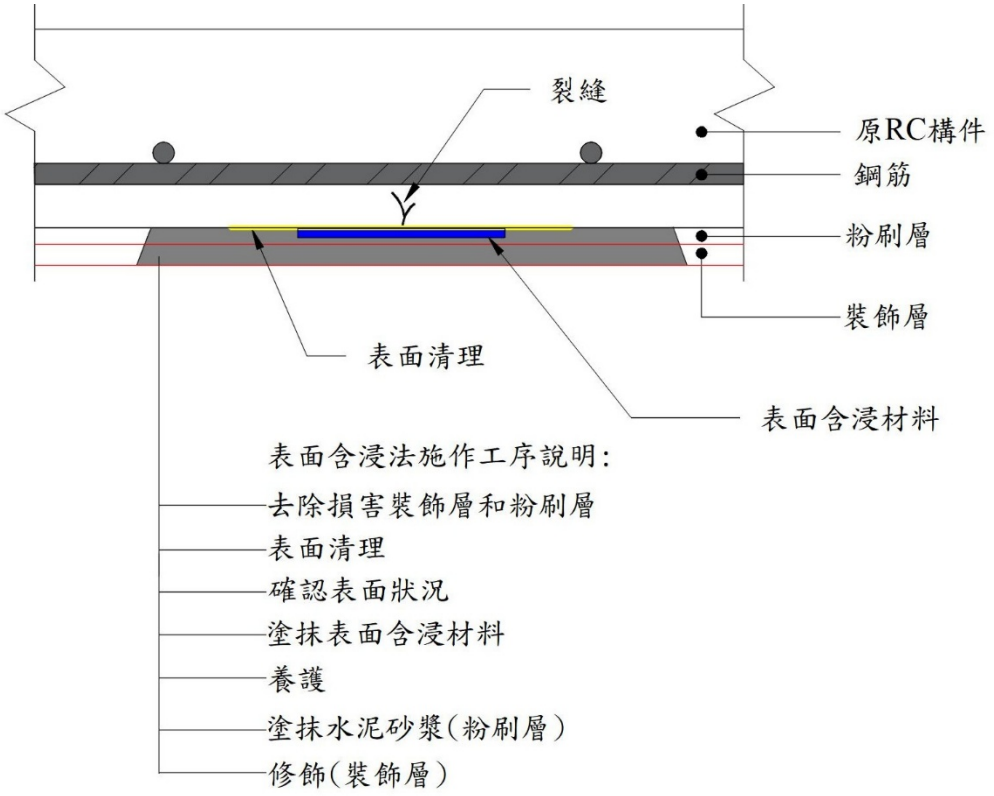


圖 R6- 3 表面含浸法之施工圖說

6.1.3.4 注意事項

表面含浸法施工時，應注意事項有：

(1) 表面含浸材料由於只能滲透到混凝土表面附近，因此很容易受到現有混凝土狀況之影響。故在選擇材料時，有必要清楚地了解混凝土之狀況(如孔隙結構、成分和碳化程度等)和含浸材料的種類及特徵，並且為獲得良好之施工品質，須遵守製造廠商提供之使用手冊和施工程序表面含浸法。

(2) 在選用能抑制氯離子之含浸材料時，建議可選用矽烷基之表面含浸材料。矽烷基含浸材料雖然具有高滲透性，但缺點是易揮發，因此難以提高含浸深度，且無法填充空隙或裂縫。因此對於已產生裂縫之構件，應先進行斷面補修法之施作。

(3) 如要抑制中性化，含浸材料可選擇使用矽酸鹽基之含浸材料。當鹼性矽酸鹽在孔隙中與混凝土中之氫氧化鈣反應生成矽酸鈣，可填充內部孔隙使混凝土緻密，以抵抗水分侵入，且矽酸鋰亦有恢復混凝土鹼性之效用。

(4) 關於表面含浸法所使用之材料，可參考本手冊 5.3 小節所列之標準及試驗方法擬定品質要求規定。

6.1.4 裂縫灌注法

6.1.4.1 目的

裂縫灌注法是利用灌注材料注入裂縫內以填補裂縫，主要目的為提高構件之防水性和耐久性。

6.1.4.2 適用範圍

裂縫灌注法適用於經老劣化診斷被判定構件劣化度為輕度以下，劣化因子強度為弱，且混凝土表面之裂縫得以用灌注器以低壓低速灌注之構件。

6.1.4.3 施工圖說及步驟

裂縫灌注法之施工圖說請詳見圖 R6- 4，而裂縫灌注法之施工步驟如下：

(1) 去除損害裝飾層和粉刷層：施工時需先清除裂縫雜物、表面粉化或分離之部份；

(2) 表面清理；

(3) 裝設灌注裝置：將灌注底座對準裂縫處並以環氧樹脂固定，視裂縫寬度取決灌注器間距，一般約為 150 mm 至 400 mm 之間，以能灌滿裂縫為原則。灌注器填滿環氧樹脂接著劑後與底座旋轉密合，完成裝置；

(4) 低壓低速灌注裂縫灌注材料：灌注壓力須根據裂縫寬度、深度及補修材料之稠度來決定，原則上採用低壓低速方式進行灌注，穩定地將環氧樹脂注入裂縫中；

(5) 塗抹水泥砂漿；

(6) 修飾。

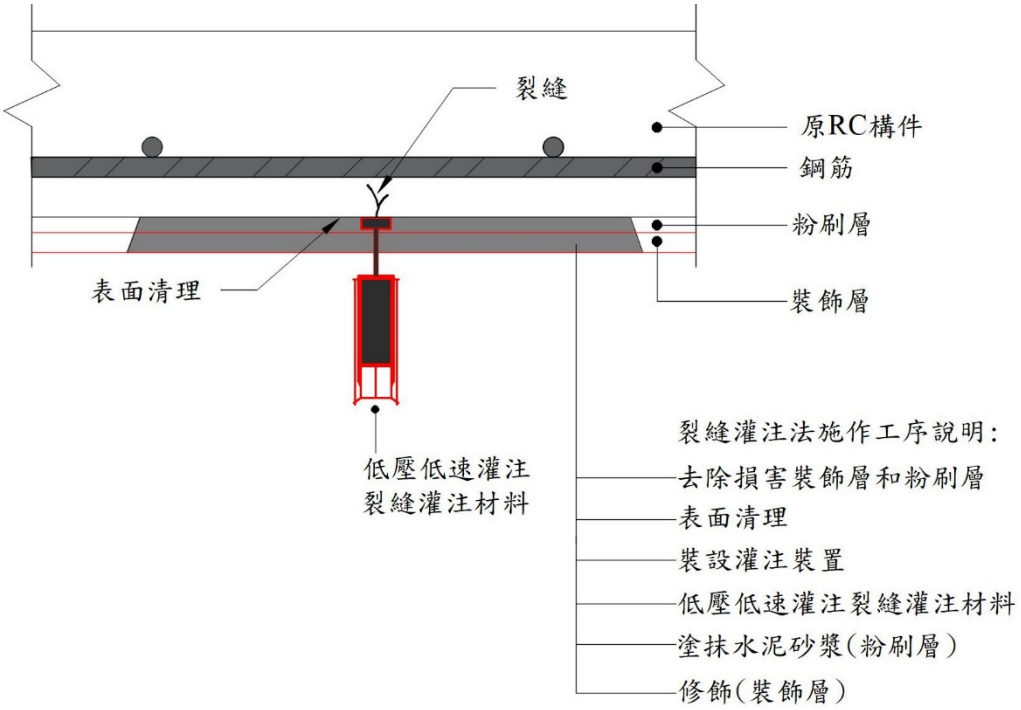


圖 R6- 4 裂縫灌注法之施工圖說

6.1.4.4 注意事項

裂縫灌注法在施工時，應注意事項有：

(1) 灌注間距以每 30 cm 安裝乙支為標準，灌注期間應隨時檢查並補充環氧樹脂，使其能充分灌滿約 0.2 mm 以下之裂縫。若在垂直面或傾斜面施工時，通常先從最低灌注點依序向上灌注，若有需要且灌注時間在 30 分鐘內，可再次進行補灌。

(2) 灌注完成後至少養護 24 小時，再拆除底座以及進行披土磨平。值得注意的是，環氧樹脂僅能黏合開裂之混凝土，並無提升混凝土強度之效用。承包商應根據裂縫寬度之不同，提出適當地材料規格，如黏滯性、黏結強度及抗拉強度等，經技師核准後方可施工。

(3) 裂縫灌注用之環氧樹脂應符合本手冊 5.4 小節所列之標準及試驗方法。

6.1.5 裂縫補修法

6.1.5.1 目的

裂縫充填法是針對寬度 0.3 mm 以上之裂縫。對混凝土表面之裂縫進行切割後，填補其補修材料，以提高構件之耐久性為目的。

6.1.5.2 適用範圍

裂縫補修法適用於經老劣化診斷被判定構件劣化度為輕度且劣化因子強度為中或強之構件，且混凝土表面有寬度約 0.3 mm 以上之裂縫補修。

6.1.5.3 施工圖說及步驟

裂縫補修法示意圖詳見圖 R6- 5，其施工步驟如下：

(1) 去除損害裝飾層和粉刷層；

(2) 劣化混凝土去除：如混凝土內部鋼筋未腐蝕，而僅需將混凝土表面劣化部分去除，但如鋼筋已腐蝕，則混凝土需打除至鋼筋裸露，以便進行鋼筋除銹；

(3) 鋼筋除銹及塗抹鋼筋防銹材料(如鋼筋已腐蝕)；

(4) 表面清理：表面清理包含混凝土之碎屑、粉化及表面灰塵等；

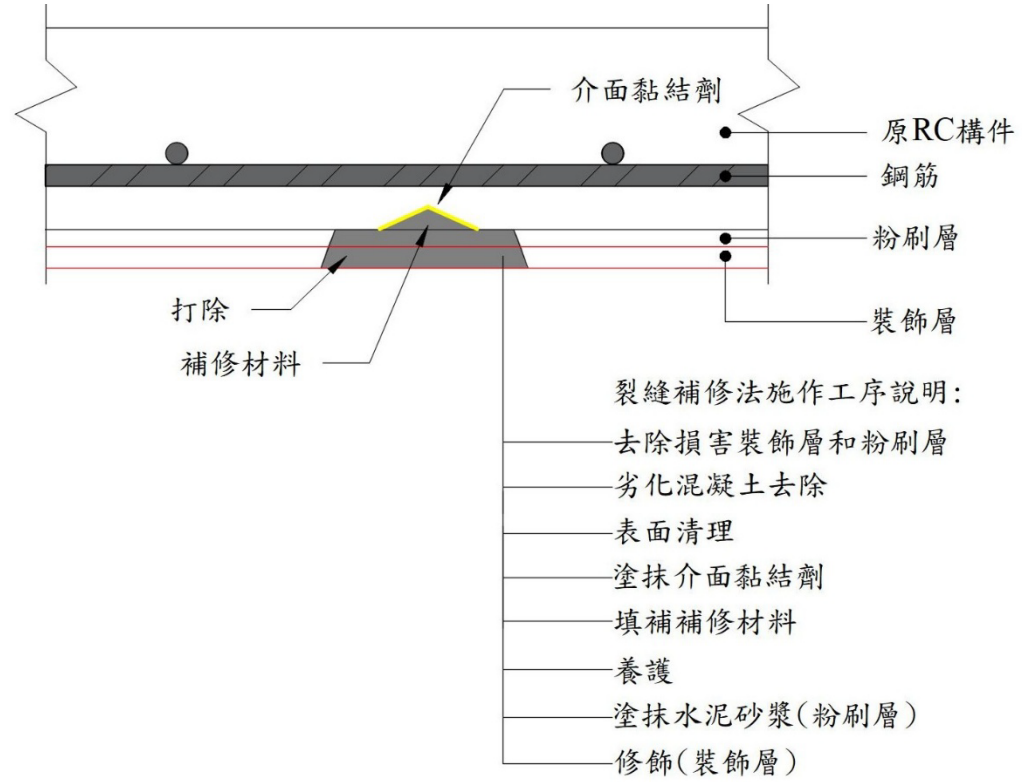
(5) 塗抹介面黏結劑；

(6) 填補補修材料：依施工環境選擇合適地補修材料進行填補；

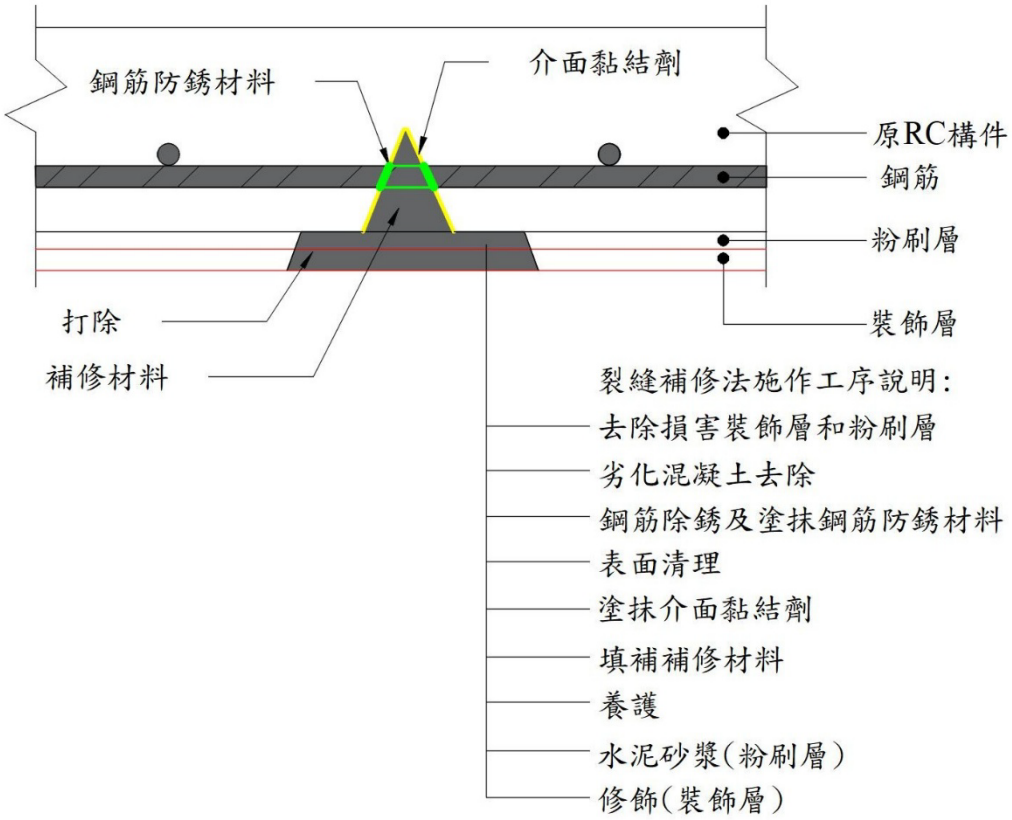
(7) 養護；

(8) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；

(9) 修飾。



(a) 鋼筋未腐蝕



(b) 鋼筋腐蝕

圖 R6- 5 裂縫補修法之施工圖說

6.1.5.4 注意事項

裂縫補修法之施工方式會根據鋼筋是否發生腐蝕而有所不同，其注意事項如下：

(1) 鋼筋未銹蝕

沿裂縫切割成寬度約 10 mm 之 V 型凹槽，之後再填補補修材料，通過充填環氧樹脂或聚合物水泥砂漿來修復裂縫(圖 R6- 5 (a))。切割 V 型凹槽時，是使用安裝了圓錐形金剛石鑽頭之電鑽沿著裂縫切削。雖然 V 型凹槽較易施工，但填充的補修材料容易剝落，故須使用介面黏結劑。

(2) 鋼筋已銹蝕

挖除混凝土至鋼筋銹蝕部分裸露之深度，除去鋼筋銹蝕並進行防銹處理，在混凝土上塗抹底漆，然後填充聚合物水泥砂漿或環氧樹脂砂漿等補修材料(圖 R6- 5 (b))。若範圍較大則可考慮採用斷面補修法。

(3) 對於裂縫補修法使用之補修材料，其性能須滿足本手冊 5.5 小節所列之標準及試驗。

6.1.6 斷面補修法

6.1.6.1 目的

斷面補修法適用於修復因浮起、剝落、斷面缺陷、蜂窩、鹽害、鹼骨材反應等劣化之混凝土，其主要目的在去除混凝土之劣化因子。

6.1.6.2 適用範圍

斷面補修法適用於經老劣化診斷被判定構件劣化度為中度，劣損範圍較大之構件。斷面補修法常搭配鋼筋腐蝕補修法一同使用。

6.1.6.3 施工圖說及步驟

斷面補修法之施工圖說請詳見圖 R6- 6，而斷面補修法之施工程序如下：

(1) 劣化混凝土打除：去除劣化之裝飾層、粉刷層及混凝土；

(2) 表面清理：清除細碎混凝土和灰塵；

(3) 表面打毛並清理：用機器將混凝土表面打毛，表面粗糙度至少要達到砂目或中間之程度；

(4) 塗抹新舊介面黏結劑：於混凝土表面塗抹與斷面補修材料配合之新舊介面黏結劑；

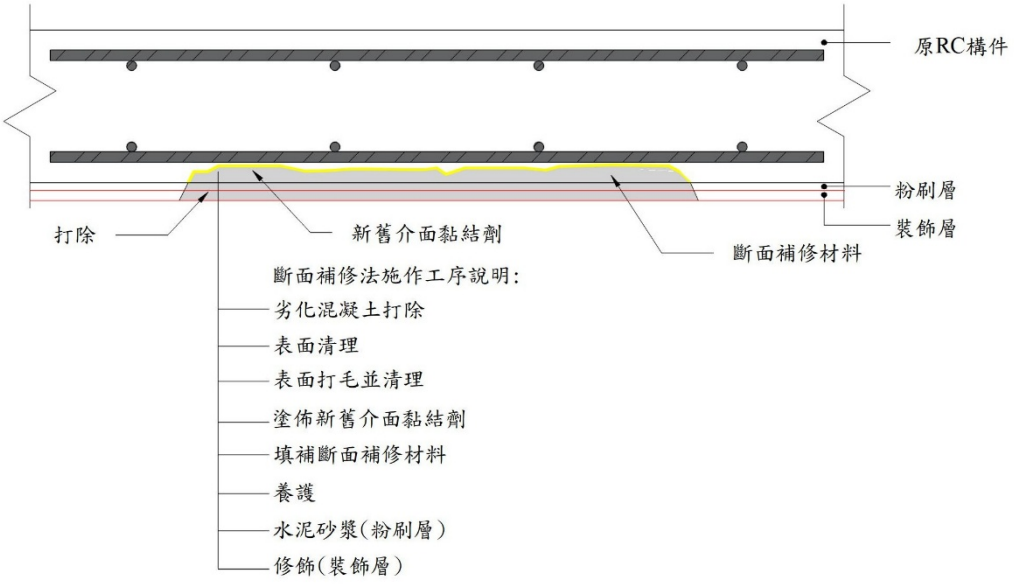
(5) 填補斷面補修材料：根據施工環境及施工方向選擇合適之斷面補修材料，並在新舊介面黏結劑有效時間內填補上斷面補修材料；

(6) 養護；

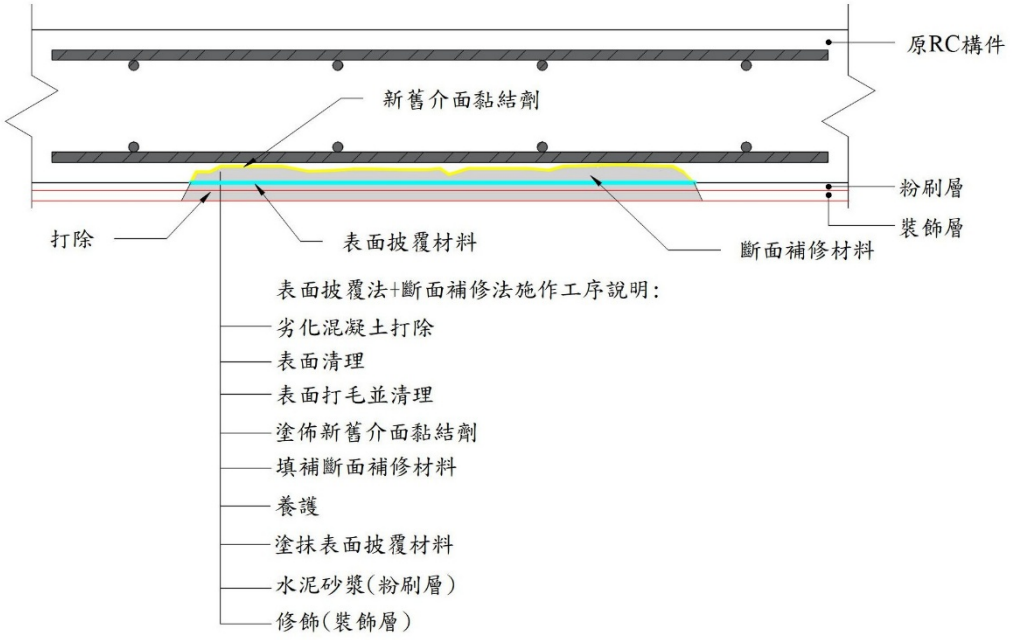
(7) 塗抹表面披覆材料(如有需要)：如環境中之劣化因子(氯離子或中性化)強度為中度以上，則須在斷面補修法施作後，再於混凝土進行表面披覆法，以防止劣化因子侵入(圖 R3- 10(b))。

(8) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；

(9) 修飾。



(a) 斷面補修法



(b) 表面披覆法配合斷面補修法

圖 R6- 6 斷面補修法之施工圖說(鋼筋未腐蝕)

6.1.6.4 注意事項

在斷面補修法施工時，應特別注意以下幾點：

(1) 標記修復範圍時，需要將劣化部位和預計可能劣化的部分盡可能地包含在內，且切除混凝土時要注意避免破壞到鋼筋。此外，為了預防再劣化，修復範圍包含混凝土劣化部分再向外延伸 10 mm，且邊緣必須為健全之混凝土。

(2) 混凝土介面之表面粗糙程度可分為平滑、砂目(細骨材裸露)、中間(介於細骨材裸露和粗骨材裸露之間)和洗出(粗骨材裸露)。待除去混凝土後，表面粗糙度至少要達到砂目或中間程度，才能增加斷面補修材料與既有混凝土之黏結力。

(3) 黏結材(介面劑)的使用應符合斷面補修材料之種類，例如水泥系補修材料或聚合物水泥砂漿補修材料，係使用水泥砂漿作為黏結材；環氧樹脂砂漿則使用環氧樹脂作為黏結材。

(4) 介面處理時，黏結材必須均勻塗抹，如黏結材塗抹不確實，可能導致補修材料剝離、剝落。

(5) 斷面補修法有塗抹法、灌漿施工法、塗抹法三種，根據修復範圍規模和修復深度可選擇合適之方法(圖 R3- 11)。如修復面積為 10 mm^2 以下或在中~大規模修復面積但修復深度為 30 mm 以下，可選用塗抹法；當修復面積為中~大規模且修復深度為 30 mm 以上，如需架設模版，使用灌漿施工法，不需要模版時，可用噴塗法。

(6) 斷面補修材料之計量，請根據廠商規定計量混合。混漿水量與斷面補修材料之性能有關，其兩者關係整理如表 R3- 11 所示。對於不同工法之使用材料，斷面補修材料混漿時手動攪拌器葉片建議適當挑選。此外，除乾式噴塗法外，其他工法使用之斷面補修材料皆必須與水充分混合，混漿時間與材料之黏結強度有關，尤其對聚合物水泥砂漿來說，如果混和時間不夠，則聚合物材料沒有吸收充足之水分，將導致聚合物材料無法發揮效用；如混和時間過長，則會因夾帶空氣過多而導致強度下降，故混漿時間務必確認清楚。

(7) 修復完畢後進行養護時，避免強風或陽光直射，防止補修材料表面乾燥而產生裂縫。在夏季高溫時，須適時地灑水做好冷卻工作。修復工作結束後，應進行最後檢測確認斷面補修材料不會剝落。

(8) 對於斷面補修法使用之補修材料，其性能須滿足本手冊 5.5 小節所列之標準及試驗。

6.1.7 鋼筋腐蝕補修法

6.1.7.1 目的

鋼筋腐蝕補修法是利用防銹材料對鋼筋進行防銹處理，使鋼筋表面形成保護膜，以隔絕氧氣及水分、抑制鋼筋繼續生銹，再以填充補修材料來隔絕劣化因子並保護鋼筋，藉此達到修復之目的。

6.1.7.2 適用範圍

鋼筋腐蝕補修法適用於經老劣化診斷被判定構件劣化度為中度以上，且混凝土內部鋼筋已腐蝕之構件。鋼筋腐蝕補修法會與斷面補修法一同施作。

6.1.7.3 施工圖說及步驟

鋼筋腐蝕補修法之施工圖說請詳見圖 R6- 7，而鋼筋腐蝕補修法之施工步驟如下：

(1) 劣化混凝土打除：去除裝飾層和粉刷層後，將劣化之混凝土打除至鋼筋裸露；

(2) 鋼筋除銹：使用高壓清洗機將鋼筋上的鐵銹徹底清除；

(3) 塗抹鋼筋防鏽材料；

(4) 表面清理：把修復範圍內之細碎混凝土、灰塵和鐵鏽全部清除乾淨

(5) 表面打毛並清理：用機器將混凝土表面打毛，表面粗糙度至少要達到砂目或中間之程度；

(6) 塗抹表面含浸材料(如有需要)；

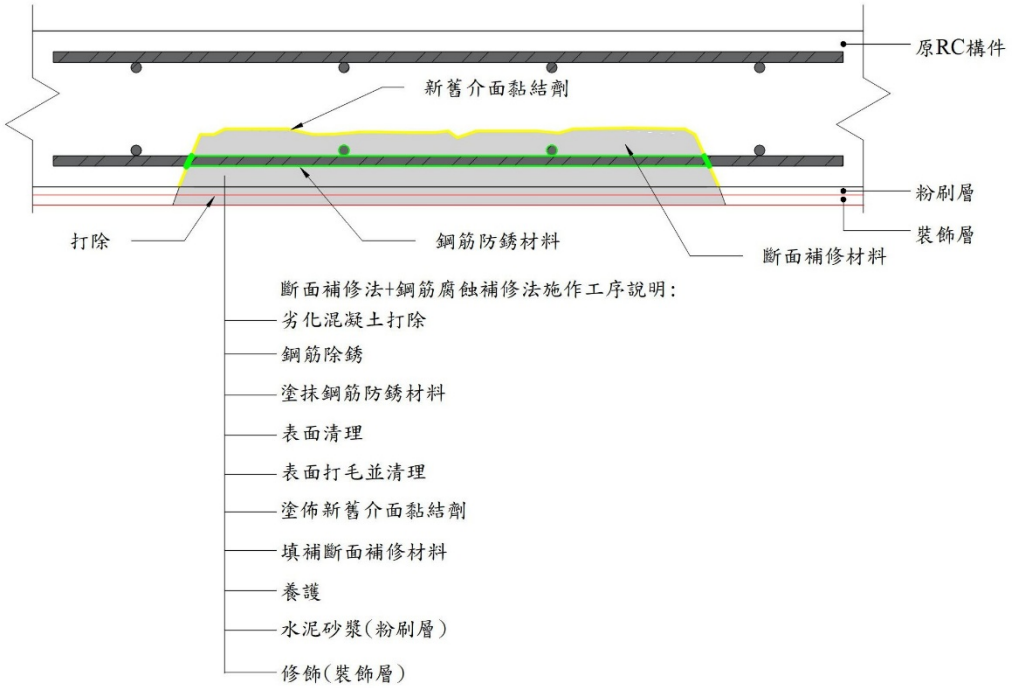
(7) 塗抹新舊介面黏結劑：於混凝土表面塗抹與斷面補修材料配合之新舊介面黏結劑；

(8) 填補斷面補修材料：根據施工環境及施工方向選擇合適之斷面補修材料，並在新舊介面黏結劑有效時間內填補上斷面補修材料；

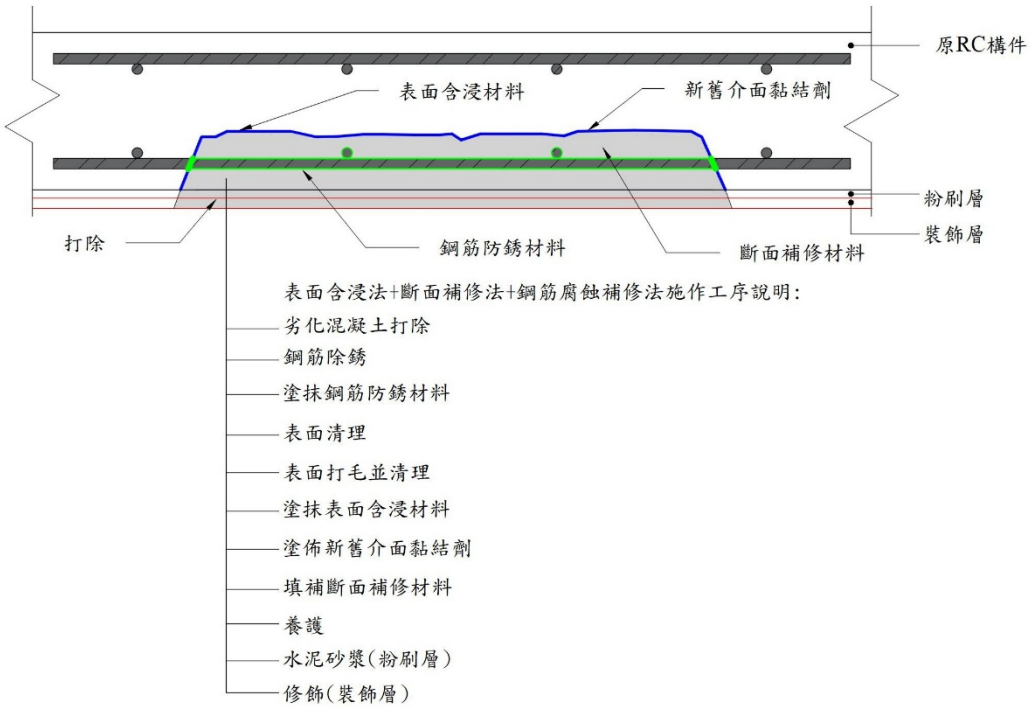
(9) 養護；

(10) 塗抹水泥砂漿(粉刷層)；

(11) 修飾。



(a) 斷面補修法配合鋼筋腐蝕補修法



(b) 表面含浸法、斷面補修法和鋼筋腐蝕補修法

圖 R6- 7 鋼筋腐蝕補修法之施工圖說

6.1.7.4 注意事項

鋼筋腐蝕補修法施工時，應特別注意以下幾點：

(1) 鋼筋除銹後，為了預防鋼筋再腐蝕，鐵鏽脫落後應塗抹防銹材，並注意鋼筋紋路(螺紋、人字紋)，確實地讓防銹材附著在鋼筋表面。

(2) 防銹劑塗抹於鋼筋背側時，可用刷子或噴槍，使用噴槍後，必須注意避免防銹劑滴落。

(3) 與鋼筋腐蝕補修法搭配使用之斷面補修法，其施工時應注意事項，可參照 3.7 小節。

(4) 鋼筋腐蝕補修法除搭配斷面補修法一同施作，還可依需要搭配表面含浸法或表面披覆法，相關應注意事項可參照 3.3 小節和 3.4 小節。

(5) 對於鋼筋腐蝕補修法使用之防銹劑，其性能須滿足本手冊 5.5 小節所列之標準及試驗。

6.2 劣化梁構件修復

6.2.1 梁底部鋼筋置換修復工法

6.2.1.1 目的

梁底部鋼筋置換修復工法是先將劣化之混凝土去除及對已腐蝕之鋼筋進行除銹及防銹，接續埋置鋼筋以補充損失鋼筋量或進行鋼筋更換，最後再施行斷面補修以回復梁原有斷面積，用以修復梁正彎矩強度為目的之構件修復工法。

6.2.1.2 適用範圍

當梁內部之鋼筋銹蝕嚴重以至於會影響到其原有正彎矩強度時，可採用斷面補修法及鋼筋腐蝕補修法並搭配梁底部鋼筋置換工法來進行構件修復。

6.2.1.3 施工圖說及步驟

梁底部鋼筋置換修復工法之施工步驟如下：

(1) 裝飾材料去除：敲除裝飾材、鬆動之混凝土，混凝土需敲除至鋼筋完全裸露程度且符合埋至鋼筋之伸展長度之範圍；

(2) 表面處理；

(3) 鋼筋腐蝕補修法施作：採用鋼筋腐蝕補修法(第 3.8 小節)對已腐蝕之鋼筋進行除銹及防銹處理；

(4) 埋設置換鋼筋；

(5) 塗抹介面黏結劑：將灰塵、粉塵清除乾淨後，塗抹介面黏結劑；

(6) 填補斷面補修材料：設置模板以填補斷面補修材料恢復梁構件斷面；

(7) 拆除模板並養護。

梁底部鋼筋置換修復工法之施工步驟如下：

(1) 敲除裝飾材、鬆動之混凝土，混凝土需敲除至鋼筋完全裸露程度且符合埋至鋼筋之伸展長度之範圍；

(2) 表面處理；

(3) 採用鋼筋腐蝕補修法(第 3.8 小節)對已腐蝕之鋼筋進行除銹及防銹處理；

(4) 埋設置換鋼筋；

(5) 將灰塵、粉塵清除乾淨後，塗抹介面黏結劑；

(6) 設置模板以填補斷面補修材料恢復梁構件斷面；

(7) 拆除模板並養護。

6.2.1.4 注意事項

在施作梁底部鋼筋置換修復工法時應注意事項有：

(1) 由於須要進行鋼筋除銹和置換鋼筋埋置，所以混凝土去除之範圍須讓鋼筋完全裸露，且需有足夠空間進行鋼筋置換，必要時可移除銹蝕嚴重鋼筋。

(2) 補修範圍須考量診斷結果(鋼筋腐蝕現況)、鋼筋伸展長度及置換鋼筋之放置空間。

(3) 置換之鋼筋號數可根據銹蝕鋼筋的斷面積減少量，補充損失之鋼筋量，以讓鋼筋置換後之斷面彎矩強度回復至原設計時要求。

(4) 介面處理時，要特別注意新舊鋼筋接觸面，如有灰塵或殘留物，須清除乾淨。

(5) 梁底部鋼筋置換修復工法所使用置換之鋼筋應符合本手冊 5.6 小節所列

之標準及試驗。

6.2.2 擴梁修復工法

6.2.2.1 目的

擴梁修復工法為經濟可靠之補修工法之一，主要是利用在原鋼筋混凝土梁之外側加設鋼筋並用混凝土或水泥砂漿包覆，使原有梁擴大斷面而回復梁之彎矩與剪力強度為目的之構件修復工法。

6.2.2.2 適用範圍

擴梁修復工法適用於當劣化梁之彎矩或剪力強度不足，且無空間限制之構件修復。

6.2.2.3 施工步驟

擴梁修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 8，而擴梁修復工法之施工步驟如下：

(1) 敲除裝飾材、鬆動之混凝土後進行表面處理，其表面粗糙度須為 6 mm 以上或達到達到砂目(細骨材裸露)或中間(介於細骨材裸露和粗骨材裸露之間)程度。若原有鋼筋已有腐蝕現象，須採用鋼筋腐蝕補修法進行處理；

(2) 打除混凝土(如有需要)；

(3) 標記並鑽孔後，去除所有細碎混凝土及灰塵；

(4) 進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋；

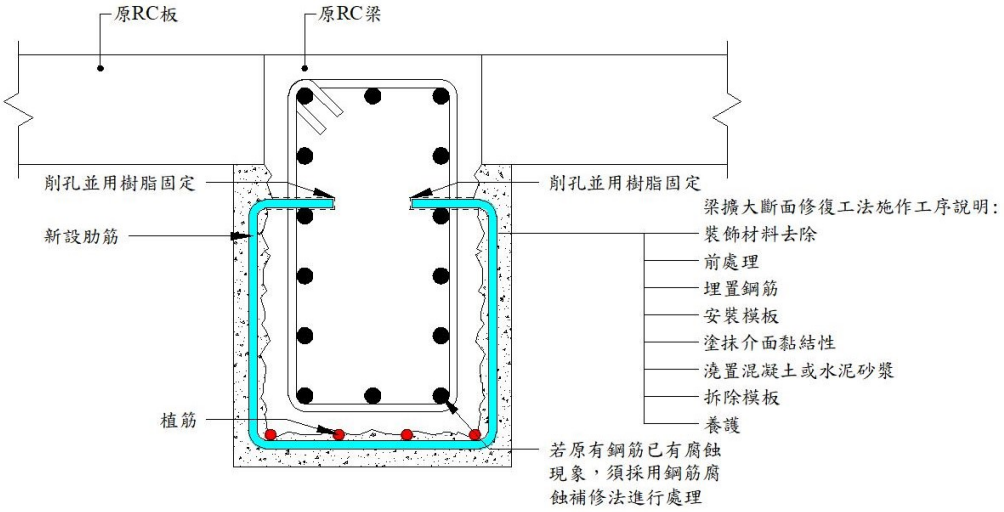
(5) 安裝模板；

(6) 塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性；

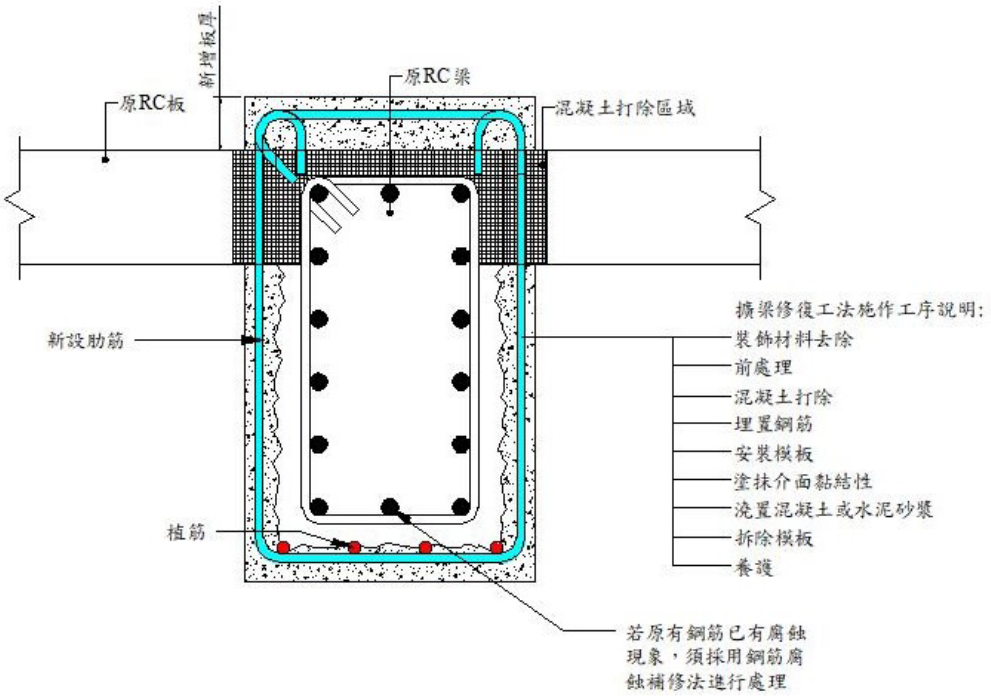
(7) 澆置混凝土或水泥砂漿；

(8) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

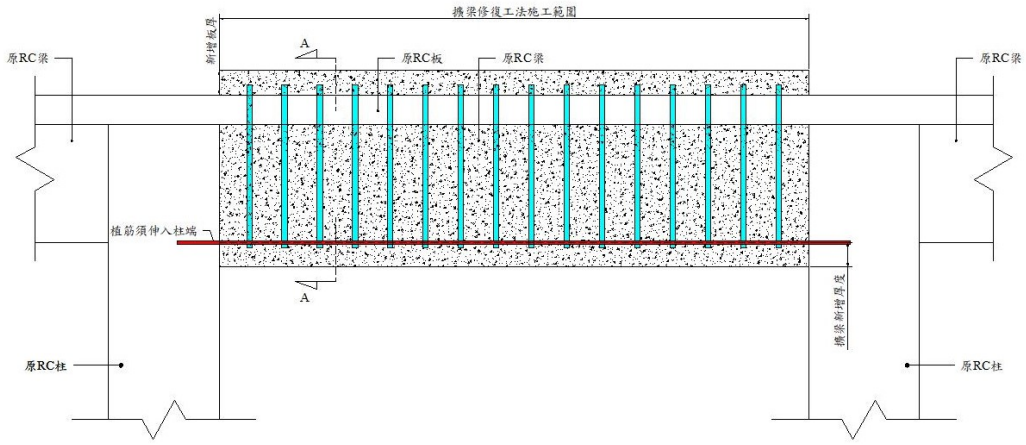
(9) 拆除模板並養護。



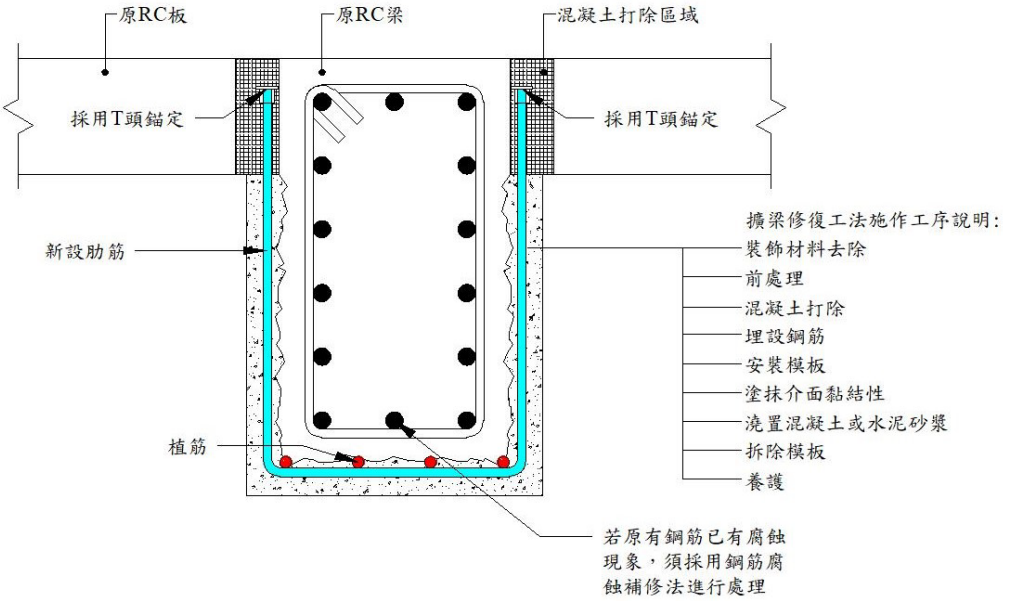
(a) 原梁錨定



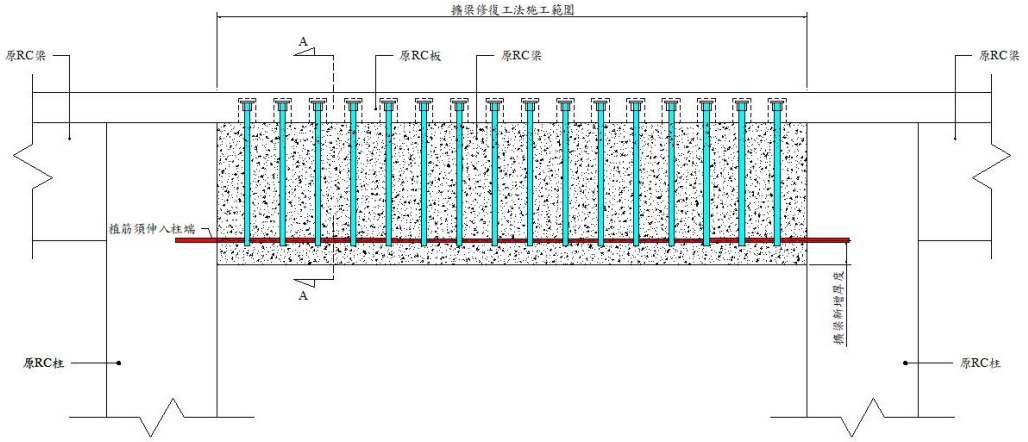
(b) 樓板增厚錨定



(c) 樓板增厚錨定側視圖



(d) 樓板錨定



(e) 樓板錨定側視圖

圖 R6- 8 擴梁修復工法之施工圖說

6.2.2.4 注意事項

進行擴梁修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 進行既有混凝土之表面處理時，需用機器進行鑿毛，表面粗糙度須為 6 mm 以上或達到達到砂目(細骨材裸露)或中間(介於細骨材裸露和粗骨材裸露之間)程度，以增加混凝土或水泥砂漿與既有混凝土之黏結力。

(2) 加設之鋼筋進行植筋時，不得損壞既有之鋼筋；加設之主筋應有適當之錨定；加設之肋筋應以貫穿樓板方式進行錨定。

(3) 梁構件經擴大斷面修復後會增加其結構體重量，需重新計算載重。

(4) 擴梁修復工法所使用之鋼筋應符合本手冊 5.6 小節所列之標準及試驗，另對於使用之混凝土，應符合混凝土工程設計規範與解說(土木 401-112)【19】第十四章 純混凝土之要求。

6.2.3 梁底部鋼板修復工法

6.2.3.1 目的

梁底部鋼板修復工法係將鋼板貼附在混凝土之受拉應力面上，並在鋼板與混凝土隙縫注入接著劑，可配合化學錨栓使用，以讓鋼板與混凝土構件結合為一體，以修復劣化梁之正彎矩強度為目的之構件修復工法。

6.2.3.2 適用範圍

梁底部鋼板修復工法適用於當梁因底部劣化而導致正彎矩強度下降，且有安全疑慮時，可在其底部加設鋼板進行梁修復，以回復其正彎矩強度。

6.2.3.3 施工圖說及步驟

梁底部鋼板修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 9，而梁底部鋼板修復工法之施工程序如下：

(1) 裝飾材料去除：裝飾材去除時，需打除至既有鋼筋混凝土結構，且應將表面灰塵完全去除乾淨；

(2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋修復作業；

(3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性。鋼板與鋼筋混凝土梁間之空隙應盡量保持在 3 mm 以下；

(4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行施作位置固定；

(5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，待密封劑硬化後再行注入環氧樹脂。利用機械壓力灌注環氧樹脂直至環氧樹脂從透氣孔流出為止；

(6) 後處理：隔日須確認鋼板是否緊密貼附，以及從出氣孔檢視接合處之環氧樹脂是否灌滿，若無則須補滿；

(7) 養護；

(8) 檢查施工品質：養生期間過後，去除注入孔及透氣孔，並將環氧樹脂溢出部分或不平整部分用無收縮水泥砂漿修飾；

(9) 進行表面裝飾。

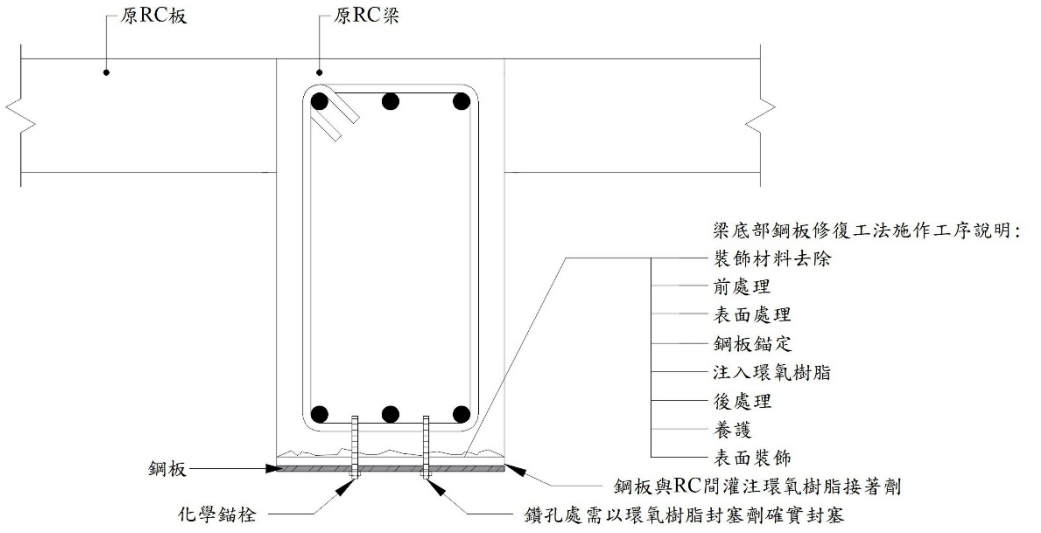


圖 R6- 9 梁底部鋼板修復工法之施工圖說

6.2.3.4 注意事項

進行在梁底部鋼板修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 鋼板需按實際尺寸進行剪裁、折合、噴砂、放孔，鋼板外側需塗抹環氧樹脂紅丹底漆防銹。鋼板交接位置應經滿焊處理。

(2) 使用化學錨栓固定時，應閃避鋼筋混凝土梁內之鋼筋，並按標準施工法施作，必要時須進行拉拔試驗。

(3) 梁底部鋼板修復工法所使用之鋼板，須符合本手冊 5.6 小節之標準及試驗。

6.2.4 梁側 U 型鋼板修復工法

6.2.4.1 目的

梁側 U 型鋼板修復工法係採用 U 型鋼板進行劣化梁之修復，利用環氧樹脂或錨栓將鋼板與梁結合，以讓 U 型鋼板能發揮預期效果，以復原劣化梁之剪力及彎矩強度為目的之構件復原工法。

6.2.4.2 適用範圍

梁側 U 型鋼板修復工法適用於當梁因劣化而導致剪力強度及正彎矩強度不足時，可以採用 U 型鋼板包覆，同時復原其剪力及彎矩強度。

6.2.4.3 施工圖說及步驟

梁側加鋼板修復工法之施工圖說請詳見圖 R6-10，而梁側加鋼板修復工法之施工程序如下：

(1) 裝飾材料去除：裝飾材去除時，需打除至既有鋼筋混凝土結構，且應將表面灰塵完全去除乾淨；

(2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐

蝕鋼筋修復作業；

(3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性；

(4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行施作位置固定；

(5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，待密封劑硬化後再行注入環氧樹脂。利用機械壓力灌注環氧樹脂直至環氧樹脂從透氣孔流出為止；

(6) 後處理：隔日須確認鋼板是否緊密貼附，以及從出氣孔檢視接合處之環氧樹脂是否灌滿，若無則須補滿；

(7) 檢查施工品質：養生期間過後，去除注入孔及透氣孔，並將環氧樹脂溢出部分或不平整部分用無收縮水泥砂漿修飾；

(8) 防銹並進行表面裝飾。

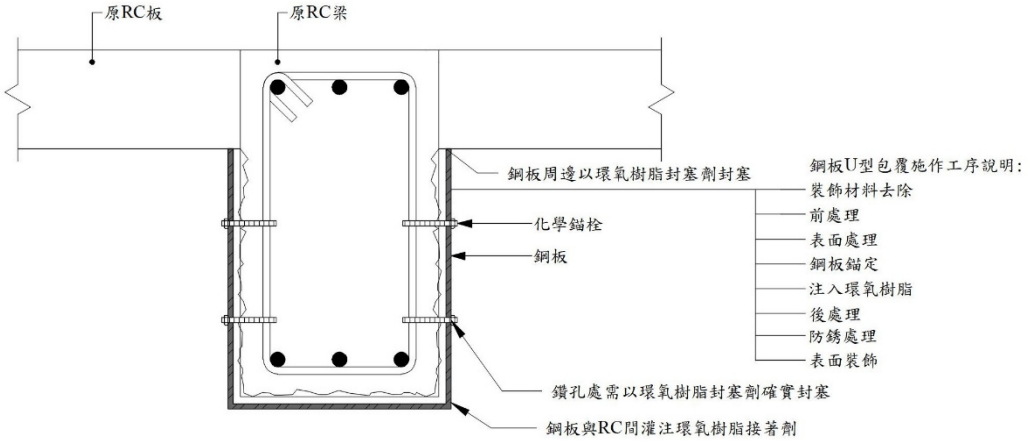


圖 R6- 10 梁側加鋼板修復工法之施工圖說

6.2.4.4 注意事項

進行在梁側加鋼板修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 鋼板與鋼筋混凝土梁間之空隙應盡量保持在 3 mm 以下。

(2) 進行補修之 U 型鋼板不宜過厚，建議採用 4 mm～10 mm 厚度之鋼板，亦無須採用高強度鋼材。

(3) 使用化學錨栓固定時，應閃避鋼筋混凝土梁內之鋼筋，並按標準施工法

施作，必要時須做拉拔試驗。

(4) 梁側加鋼板修復工法所使用之鋼板，須符合本手冊 5.6 小節之標準及試驗。

6.2.5 梁底部 CFRP 貼布修復工法

6.2.5.1 目的

梁底部 CFRP 貼布修復工法概念與梁側U型鋼板修復工法之概念相同，主要以同時復原剪力及正彎矩強度為目的之構件復原工法。

6.2.5.2 適用範圍

梁底部 CFRP 貼布修復工法適用於當梁因劣化而導致剪力強度及正彎矩強度不足時，可以採用 CFRP 貼布進行修復，同時復原其剪力及彎矩強度。

6.2.5.3 施工圖說及步驟

梁底部 CFRP 貼布修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 11，而梁底部 CFRP 貼布修復工法之施工程序如下：

(1) 前處裡：敲除裝飾材至混凝土部分(梁底、梁側、天花板頂之角鋼施作範圍)；敲除鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；

(2) 斷面補修法或裂縫灌注法施作：斷面補修法或裂縫灌注法可詳見本手冊第三章的第 3.5 小節(裂縫灌注法)和第 3.7 小節(斷面補修法)；

(3) 表面清理；

(4) 導角、整平；

(5) 劃線：確認 CFRP 貼布貼附位置及錨定位置並劃線標記；

(6) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；

(7) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；

(8) 貼附 CFRP；

(9) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；

(10) CFRP 端部固定；

(11) 養護；

(12) 表面裝飾。

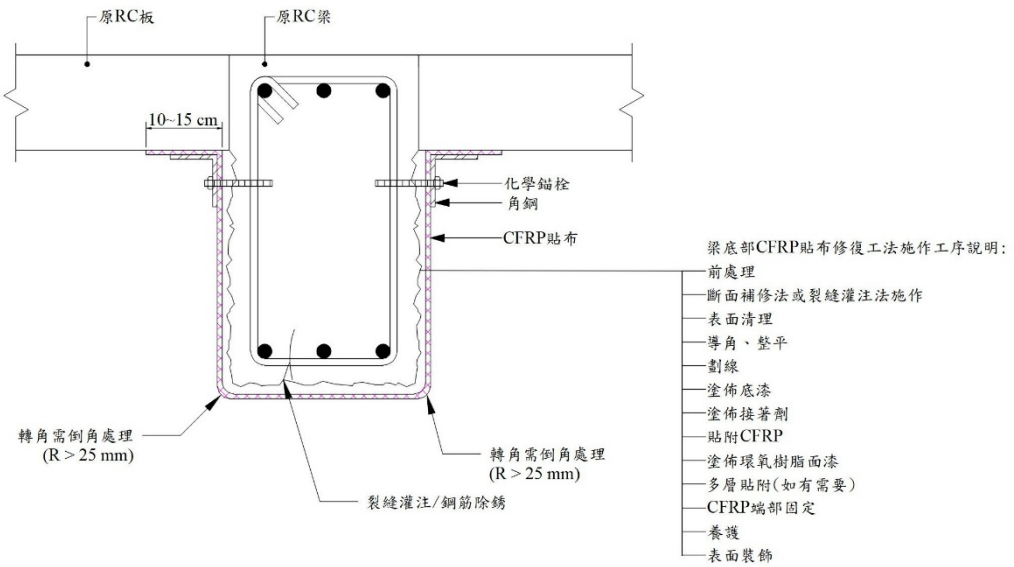


圖 R6- 11 梁底部 CFRP 貼布修復工法之施工圖說

6.2.5.4 注意事項

進行梁底部 CFRP 貼布修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 為避免刮損 CFRP 貼布及為了讓 CFRP 貼布能更緊密地貼附梁構件，梁構件之陽、陰角面必須以用砂漿補圓角或用砂輪機導圓角(詳見圖 R4-5)，而表面需要用砂輪機整平

(2) 在貼附 CFRP 貼布時，需在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並以手順貼附之方向鋪設；鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 貼布能平順貼附；梁底部 CFRP 貼布修復建議以 U 型貼附為佳，且 U 型端部需保留固定段。

(3) 為避免 CFRP 脫落，須利用角鋼及螺栓進行端部固定或壓條處理。端部固定或壓條處理可參考圖 R4- 6 提供的三種方式，據文獻【20】表示，三種方式皆具良好固定效果，可依現況選擇適合方法使用。此外，角鋼應與陰角面須保持密實貼合，避免留有空隙而造成水份堆積。

(4) 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(7)及(9)，依設計要求之層數及方向重複施作。

(5) 梁底部 CFRP 貼布修復工法所使用之 CFRP 材料和黏結劑，應參考本手冊 5.7 小節所列之標準及試驗擬定品質要求規定；必要時可執行現地拉拔試驗以確定貼覆性能。

6.3 劣化柱構件修復

6.3.1 柱加設箍筋修復工法

6.3.1.1 目的

當劣化柱構件之剪力強度或圍束能力不足時，柱加設箍筋修復工法是在既有鋼筋混凝土柱構件外加設箍筋及混凝土用以復原其剪力強度或圍束為目的之構件修復工法。

6.3.1.2 適用範圍

柱加設箍筋修復工法適用於當劣損柱構件之剪力強度或圍束不足時，以提升其圍束能力或剪力強度，但毋須提升撓曲強度，且可容許改變室內使用空間之狀況。

6.3.1.3 施工圖說及步驟

柱加設箍筋修復工法之施工圖說請詳見圖 R6-12，而柱加設箍筋修復工法之施工程序如下：

(1) 敲除原鋼筋混凝土柱表面之裝飾材料及鬆動混凝土；此外，針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理；

(2) 綁紮箍筋及固定用之縱向筋；

(3) 架設模板：架設模板時須預留適當之灌漿口；

(4) 澆置混凝土：新澆置之混凝土離柱頂應保有空隙以使韌性得以充分發揮；

(5) 拆除模板；

(6) 養護；

(7) 表面修飾。

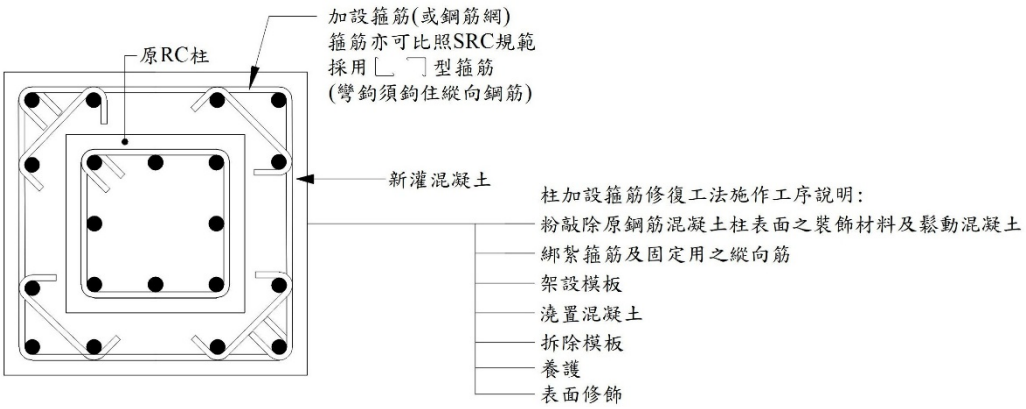


圖 R6- 12 柱加設箍筋修復工法

6.3.1.4 注意事項

進行柱加設箍筋修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 柱加設箍筋修復工法可能會擴大原柱構件斷面積，而使占用之室內空間變大，且柱體擴大亦會造成柱勁度增加，而改變原有力量分配。

(2) 柱加設箍筋修復工法所使用之鋼筋應符合本手冊 5.6 小節所列之標準及試驗，另對於使用之混凝土，應符合混凝土工程設計規範與解說(土木 401-112) 【19】第十四章 純混凝土之要求。

6.3.2 柱圍封鋼板修復工法

6.3.2.1 目的

當劣化柱構件之剪力強度或圍束不足時，柱圍封鋼板修復工法是在柱外圍用鋼板進行圍封，以復原其柱構件之剪力強度及圍束能力為目的之構件修復工法。

6.3.2.2 適用範圍

柱圍封鋼板修復工法適用於要有效地提升柱之剪力強度及圍束能力，且有空間限制之狀況。

6.3.2.3 施工圖說及步驟

柱圍封鋼板修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 13，而柱圍封鋼板修復工法之施工程序如下：

(1) 裝飾材去除及前處理：將原有裝飾材去除至鋼筋混凝土結構體後，去除細碎混凝土及灰塵；

(2) 進行柱構件修復：若柱構件有裂縫，需進行裂縫灌柱補修；若柱構件混凝土剝落或甚至有鋼筋腐蝕之狀況，需進行斷面補修；

(3) 鋼板安裝；

(4) 鋼板密封；

(5) 環氧樹脂灌注；

(6) 後處理：環氧樹脂灌注後隔天須檢視鋼板間隙之環氧樹脂是否有灌滿，若無灌滿則須再行補滿以利鋼板與柱構件之貼合；

(7) 養護；

(8) 表面修飾：養護過後，將注入孔及透氣孔去除並用無收縮水泥進行表面修飾。

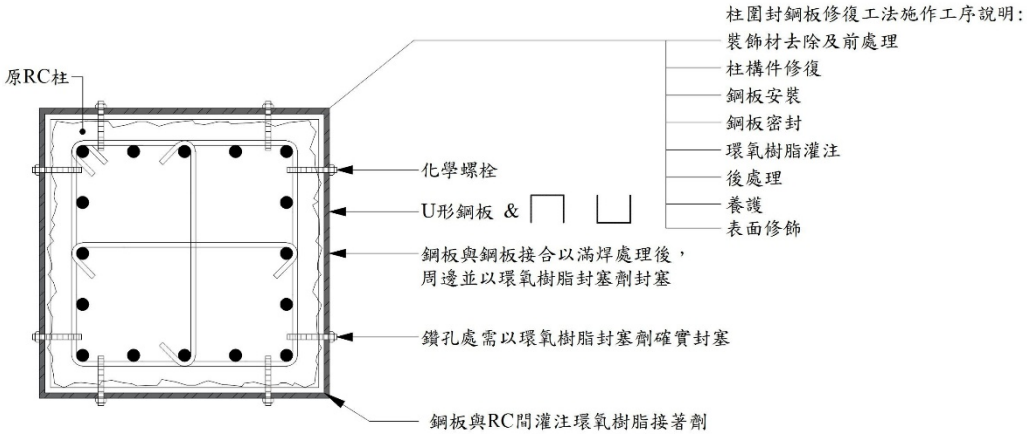


圖 R6- 13 柱圍封鋼板修復工法之施工圖說

6.3.2.4 注意事項

進行柱圍封鋼板修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 鋼板在安裝前應依需求進行剪裁、折合、噴砂、放孔等工序，且鋼板外側應塗抹環氧樹脂紅丹底漆以防銹，環氧樹脂紅丹底漆應符合 5.2 小節表 R5- 2 所列之標準及試驗。

(2) 若鋼板有使用化學錨栓進行固定時，應閃避鋼筋換凝土內之鋼筋，並依標準施工程序施作，必要時須執行拉拔試驗檢核。

(3) 鋼板密封時，鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及透氣孔。除此之外，待密封劑硬化後，利用機械施加壓力灌注環氧樹脂，直至環氧樹脂從透氣孔流出為止。

(4) 柱圍封鋼板修復工法所用之鋼板應符合本手冊 5.6 小節所列之標準及試驗。

6.3.3 柱 CFRP 包覆修復工法

6.3.3.1 目的

柱 CFRP 包覆修復工法係利用 CFRP 貼布纏繞在柱構件周圍，並以環氧樹脂填充空隙，用以提高構件性能為目的之構件修復工法。

6.3.3.2 適用範圍

柱 CFRP 包覆修復工法適用於以 CFRP 包覆之形式貼附於柱構件表面，以提高柱構件之剪力強度及圍束性能之狀況。

6.3.3.3 施工圖說及步驟

3. 柱 CFRP 包覆修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 14，而柱 CFRP 包覆修復工法之施工程序如下：

(1) 前處裡：敲除裝飾材至混凝土部分(梁底、梁側、天花板頂之角鋼施作範圍)。敲除鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；

(2) 斷面補修法或裂縫灌注法施作：依柱構件劣化程度選擇進行裂縫灌注修復或斷面修復；

(3) 表面清理；

(4) 導角、整平；

(5) 劃線：確認 CFRP 貼附位置及錨定位置並劃線標記；

(6) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；

(7) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；

(8) 貼附 CFRP；

(9) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；

(10) 養護；

(11) 表面裝飾。

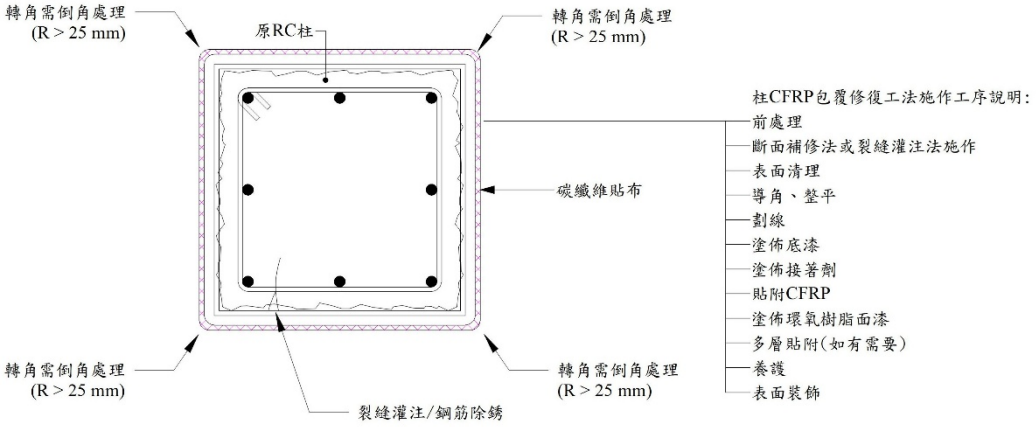


圖 R6- 14 柱 CFRP 包覆修復工法之施工圖說

6.3.3.4 注意事項

進行柱 CFRP 包覆修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(7)及(9)，依設計要求之層數及方向重複施作。

(2) 柱構件之陽、陰角面以砂漿導圓角施作(詳見圖 R4- 5)，表面以砂輪機整平。

(3) 貼附 CFRP 貼布時，需在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並以手順 CFRP 之方向鋪設。鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 能平順貼附。當 CFRP 在貼附時需要應用搭接之方式來續接，

則搭接長度至少需要 15 ~ 20 cm 以上。

(4) 柱 CFRP 包覆修復工法所使用之 CFRP 材料和黏結劑，應符合本手冊 5.7 小節所列之標準及試驗；必要時可執行現地拉拔試驗以確定貼覆性能。

6.3.4 擴柱修復工法

6.3.4.1 目的

當欲修復劣化柱構件之軸力及彎矩強度，將樓板打洞讓主筋貫穿以達到主筋連續之條件，並加設箍筋擴大其斷面積，以復原構件之軸力、彎矩、剪力及圍束能力為目的之構件修復工法。

6.3.4.2 適用範圍

擴柱修復工法適用於欲修復劣化柱構件之軸力及彎矩強度時，將柱主筋貫穿上下樓層並擴大其斷面積，同時必須加設箍筋，使得圍束與剪力強度亦可同步復原。

6.3.4.3 施工圖說及步驟

擴柱修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 15，而擴柱修復工法之施工程序如下：

(1) 遷移相關管線與附掛物；

(2) 前處理：敲除裝飾材及劣化混凝土(既有鋼筋混凝土柱構件表面處理)；此外，針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理；

(3) 鑽孔及部分敲除：打穿既有鋼筋混凝土柱構件上、下層之局部樓板(保留原設計之板鋼筋)，以及敲除梁柱接頭處之梁構件側邊保護層；

(4) 綁紮修復鋼筋；

(5) 架設模板；

(6) 澆置混凝土；

(7) 拆除模板；

(8) 養護；

(9) 表面修飾：

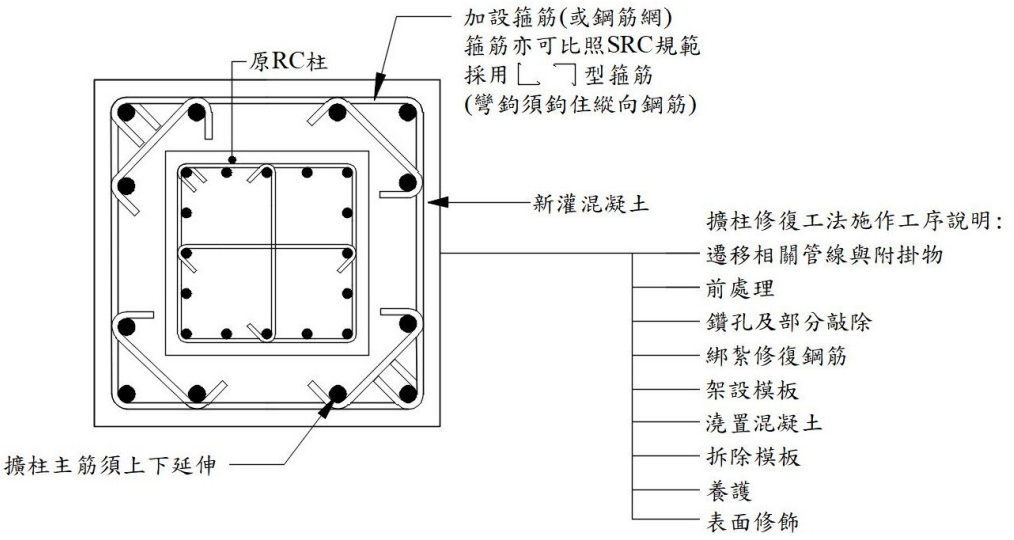


圖 R6- 15 擴柱修復工法之施工圖說

6.3.4.4 注意事項

進行擴柱修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 在鑽孔或部分敲除時，需打穿既有鋼筋混凝土柱構件上、下層之局部樓板(保留原設計之版鋼筋)，以及敲除梁柱接頭處之梁構件側邊保護層。

(2) 擴柱主筋採用鋼筋續接器搭接，箍筋以 L 字型製作，箍筋交疊處以工具彎折成 135 度彎勾施作以形成圍束，不得使用 90 - 135 度彎鉤交疊及 U 型夾。如擴柱頂端遇屋頂層時，則施作至梁柱接頭底緣為主。

(3) 擴柱修復工法之補修工程結束後除進行表面修飾外，亦須恢復原管線、電源開關及原有附掛物。

(4) 擴柱修復工法所使用之鋼筋應符合本手冊 5.6 小節所列之標準及試驗，另對於使用之混凝土，應符合混凝土工程設計規範與解說(土木 401-112)【19】第十四章 純混凝土之要求。

6.4 劣化板構件修復

6.4.1 板底鋼板修復工法

6.4.1.1 目的

板底鋼板修復工法為當樓板正彎矩強度不足時，於樓板底部貼附鋼板，以恢復其原設計要求強度為目的之構件修復工法。

6.4.1.2 適用範圍

板底鋼板修復工法與梁底部鋼板修復工法相同，適用於當樓板正彎矩強度不足，欲以鋼板貼附進行修復，使其正彎矩強度恢復至原設計要求。

6.4.1.3 施工步驟

板底鋼板修復工法之施工步驟如下：

(1) 去除裝飾材料及鬆動之混凝土；

(2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整；進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修；進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋補修作業；

(3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性；

(4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行鋼板施作位置固定；

(5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，待密封劑硬化後再行注入環氧樹脂。利用機械壓力灌注環氧樹脂直至環氧樹脂從透氣孔流出為止；

(6) 後處理：隔日須確認鋼板是否緊密貼附，以及從出氣孔檢視接合處之環氧樹脂是否灌滿，若無則須補滿；

(7) 養護；

(8) 檢查施工品質：養生期間過後，去除注入孔及透氣孔，並將環氧樹脂溢

出部分或不平整部分用無收縮水泥砂漿修飾；

(9) 進行表面裝飾。

6.4.1.4 注意事項

進行板底鋼板修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 採用鋼板進行修復時，如板構件不足承受鋼板重量，或因混凝土品質不良可能導致錨栓錨定強度較差，為安全之考量，不建議使用板底鋼板修復工法。

(2) 板底鋼板修復工法所使用之鋼板，須符合本手冊 5.6 小節之標準及試驗。

6.4.2 板底 CFRP 貼布修復工法

6.4.2.1 目的

板底 CFRP 貼布修復工法為當劣化樓板之正彎矩強度不足時，使用 CFRP 貼附於板構件底部進行修復，使其正彎矩強度恢復至原設計要求為目的之構件修復工法。

6.4.2.2 適用範圍

板底 CFRP 貼布修復工法之施作步驟與梁底部 CFRP 貼布修復工法相同，適用於當板構件因劣化而導致剪力強度及正彎矩強度不足時，可以採用 CFRP 貼布進行修復，同時復原其剪力及彎矩強度。

6.4.2.3 施工圖說及步驟

板底 CFRP 貼布修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 16，而板底 CFRP 貼布修復工法之施工程序如下：

(1) 前處理：敲除裝飾材及鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；

(2) 表面清理及整平：表面灰塵去除並以砂輪機整平；

(3) 劃線：確認 CFRP 貼附位置及錨定位置並劃線標記；

(4) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；

(5) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；

(6) 貼附 CFRP；

(7) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；

(8) 養護；

(9) 表面裝飾。

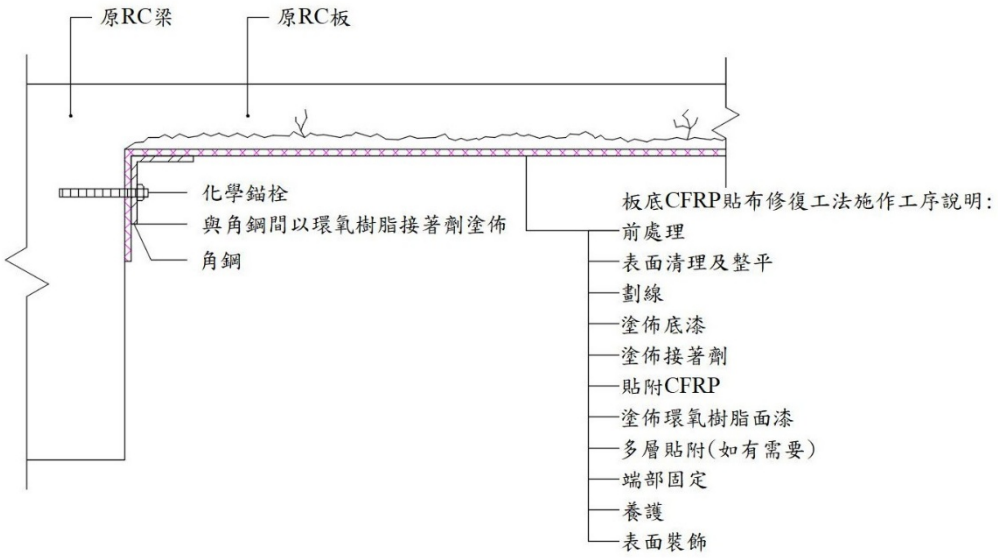


圖 R6- 16 板底 CFRP 貼布修復工法之施工圖說

6.4.2.4 注意事項

進行梁底部 CFRP 貼布修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 進行前處理時，除了必須敲除裝飾材及鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵外，此一階段尚包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整等。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋補修作業。

(2) 在貼附 CFRP 貼布時，需在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並

以手順 CFRP 之方向鋪設；鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 能平順貼附；關於 CFRP 搭接方式可參考圖 R4- 5 所示。

(3) 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(7)及(9)，依設計要求之層數及方向重複施作。

(4) 板底 CFRP 貼附時，若遇到與其它構件之交介處，因不易確實施工，建議可適度延伸並配合角鋼及錨栓進行夾緊固定，可避免產生端部剝離現象。以梁板交界為例，可參考如圖 R4- 12 所示之施作方式。此外，角鋼應與陰角面須保持密實貼合，避免留有空隙而造成水份堆積，陰角面處理則可參考 4.2.5 節。

(5) 板底 CFRP 貼布修復工法所使用之 CFRP 材料和黏結劑，應符合本手冊 5.7 小節所列之標準及試驗；必要時可執行現地拉拔試驗以確定貼覆性能。

6.4.3 板加厚修復工法

6.4.3.1 目的

板加厚修復工法為當劣化樓板強度不足或板的厚度太薄而產生振動，用加設鋼絲網或鋼筋並加厚混凝土之方式，讓其強度及勁度恢復至原設計要求為目的之構件修復工法。

6.4.3.2 適用範圍

板加厚修復工法適用於以加厚樓板之方式來提升劣化板構件之剪力與彎矩強度及勁度，使其恢復至原設計要求之狀況。

6.4.3.3 施工圖說及步驟

板加厚修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 16，而板加厚修復工法之施工程序如下：

(1) 前處理：敲除鬆動之混凝土後進行表面處理，包含裂縫處理及鋼筋腐蝕

處理；

(2) 表面打毛、標記植筋位置並鑽孔；

(3) 表面清理：去除所有細碎混凝土及灰塵；

(4) 固定鋼筋或鋼絲網：進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋或鋼絲網；

(5) 安裝模板；

(6) 塗抹介面黏結劑：塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性；

(7) 澆置混凝土或水泥砂漿；

(8) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

(9) 拆除模板並養護。

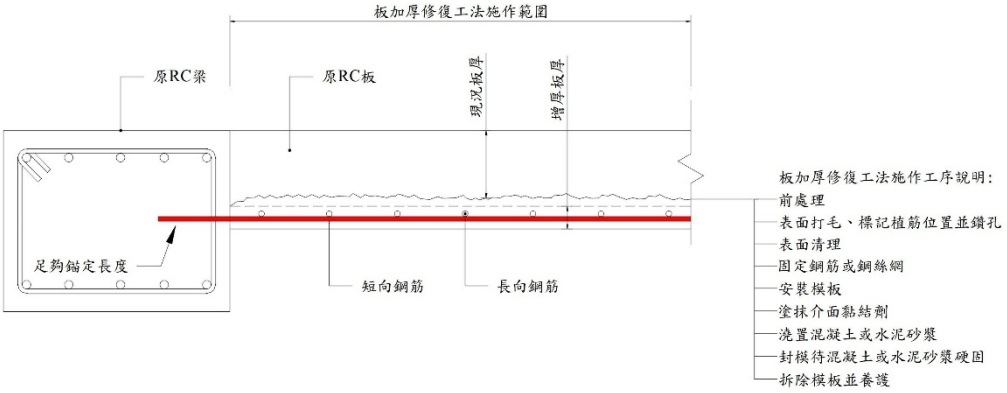


圖 R6- 17 板加厚修復工法之施工圖說

6.4.3.4 注意事項

進行板加厚修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 板加厚修復工法是採用將樓板加厚之方式進行修復，若新舊混凝土介面處理後不會產生相對滑動，則修復後之樓板便可用樓板總厚度來檢討強度及勁度。

(2) 以板加厚修復工法在樓板底部鋪設鋼筋等補修材料及高黏性之混凝土或水泥砂漿施作時，除用塗抹法外，亦可用噴塗之方式來增加其厚度。欲使用聚合物水泥砂漿或鋼纖維修復砂漿進行施工時，為提高工作性和經濟性，建議可用噴塗法施工。

(3) 樓板加厚時所增設之鋼筋應有足夠的伸展長度，必須依規範【10】建議

進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求；但既有梁之可植筋空間若有限制，則可於端部加大斷面以進行增設鋼筋錨定。

(4) 板加厚修復工法所使用之鋼筋應符合本手冊 5.6 小節所列之標準及試驗，另對於使用之混凝土，應符合混凝土工程設計規範與解說(土木 401-112)【19】第十四章 純混凝土之要求。

6.4.4 板打除新作修復工法

6.4.4.1 目的

板打除新作修復工法是將劣化板構件局部或全面打除，將劣化嚴重之樓板重新施作，使其剪力強度與彎矩強度恢復至原設計要求為目的之構件修復工法。

6.4.4.2 適用範圍

當樓板劣化嚴重，出現嚴重之鋼筋裸露、銹蝕及混凝土剝落現象時，可適用板打除新作修復工法，將劣化板構件局部或全面打除，以重新施作板構件恢復原設計需求強度。

6.4.4.3 施工圖說及步驟

板打除新作修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 17，而板打除新作修復工法之施工程序如下：

(1) 確認既有梁構件之狀況：如梁構件亦有劣化，可同時進行梁構件之修復；

(2) 打除劣化板構件；

(3) 打毛、鑽孔及表面清理：表面打毛、標記植筋位置並鑽孔後，去除所有細碎混凝土及灰塵；

(4) 進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋；除可使用原 RC 梁進行新作板筋之錨定外，亦可增設新梁之協助固定新作板筋。

(5) 安裝模板；

(6) 澆置混凝土；

(7) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

(8) 拆除模板並養護。

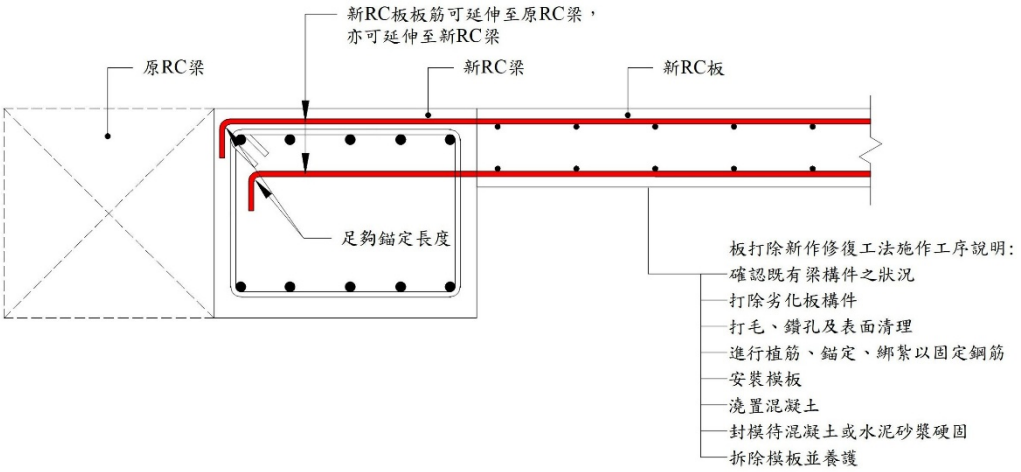


圖 R6- 18 板打除新作修復工法之施工圖說

6.4.4.4 注意事項

進行板打除新作修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 既有梁構件之性能：需檢核既有梁構件之性能及重新進行結構計算，如梁構件也有劣化，應同時進行梁構件之修復，及考量梁構件是否需要增加其斷面積，並可用於錨定新板內部鋼筋。

(2) 新作板構件之設計：劣化板構件之打除，是全面打除或部分打除，打除後新作板構件應如何施作，例如鋼筋該如何綁紮、混凝土強度為何等，應經過技師檢核並評估其施作程序。

(3) 新作板構件與既有構件之結合及鋼筋錨定：新作板構件的鋼筋應確實進行錨定作業，以確保修復後承載力能順利傳遞。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求，亦可保留既有板之健全鋼筋以提供搭接使用。

(4) 新作板筋在符合規範【10】要求之鋼筋設置細節下，可依規範【10】建議方式進行新作樓板之強度分析與評估。

(5) 如施作地點在屋頂或板構件是因漏水而劣化，則修復工程亦先進行防水

施作。

(6) 板打除新作修復工法所使用之鋼筋應符合本手冊5.6小節所列之標準及試驗，另對於使用之混凝土，應符合混凝土工程設計規範與解說(土木401-112)【19】第十四章 純混凝土之要求。

6.5 劣化牆構件修復

6.5.1 牆加厚修復工法

6.5.1.1 目的

牆加厚修復工法是對劣化牆構件用增加牆體厚度之方式，使其剪力強度及彎矩強度恢復至原設計要求為目的之構件修復工法。

6.5.1.2 適用範圍

牆加厚修復工法適用於允許以增加牆體厚度來讓劣化牆構件恢復至原設計要求之勁度及強度之狀況。

6.5.1.3 施工步驟

劣化牆加厚修復工法之施工程序如下：

(1) 敲除鬆動之混凝土後進行表面處理或打毛；包含裂縫處理及鋼筋腐蝕處理；

(2) 去除所有細碎混凝土及灰塵以加強新舊介面之黏結性；

(3) 在鋼筋混凝土梁柱與牆之交接處鑽孔後進行植筋；

(4) 錨定、綁紮以固定鋼筋或鋼絲網；

(5) 安裝模板；

(6) 塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性；

(7) 澆置混凝土或水泥砂漿；

(8) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

(9) 拆除模板並養護。

6.5.1.4 注意事項

進行劣化牆加厚修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 除去除劣損混凝土外，若原有混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議採用斷面補修法。當進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，則必須進行腐蝕鋼筋補修作業。

(2) 牆加厚時所增設之鋼筋應有足夠之錨定，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範【10】相關要求。

(3) 牆屬垂直構件，因混凝土或水泥沙漿之澆置方式，可能會造成梁底與牆之交介處存在弱面或附近混凝土或水泥沙漿強度不足，建議可設置補強筋予以強化，可參考文獻【16】提供之 RC 牆增厚施工圖說。

(4) 劣化牆加厚修復工法所使用之鋼筋應符合本手冊 5.6 小節所列之標準及試驗，另對於使用之混凝土，應符合混凝土工程設計規範與解說(土木 401-112) 【19】第十四章 純混凝土之要求。

6.5.2 牆面 CFRP 貼布修復工法

6.5.2.1 目的

牆面 CFRP 貼布修復工法是在牆體整面貼附或採用 X 型貼附 CFRP 之方式，讓劣化牆構件恢復其原設計之剪力強度為目的之構件修復工法。

6.5.2.2 適用範圍

牆面 CFRP 貼布修復工法之施作步驟與梁底部或板底 CFRP 貼布修復工法相同，適用於當牆構件因劣化而導致剪力強度不足時，可以採用 CFRP 貼布進行修復，以復原其剪力強度。

6.5.2.3 施工圖說及步驟

牆面 CFRP 貼布修復工法之施工圖說請詳見圖 R6- 20，而牆面 CFRP 貼布修

復工法之施工程序如下：

(1) 前處理：敲除裝飾材及鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理及斷面補修等；

(2) 表面清理及整平：表面灰塵去除並以砂輪機整平；

(3) 劃線：確認 CFRP 貼附位置及錨定位置並劃線標記；

(4) 塗佈底漆：將環氧樹脂底漆均勻以毛刷塗佈於施作表面；

(5) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；

(6) 貼附 CFRP：在環氧樹脂接著劑未初凝前將 CFRP 貼附，並以手順 CFRP 之方向鋪設。鋪設時可用橡皮刮刀或滾輪使中間氣泡排出，讓 CFRP 能平順貼附；

(7) 塗佈環氧樹脂面塗：CFRP 貼附後將環氧樹脂面塗塗刷於 CFRP 表面，使 CFRP 表面全部受環氧樹脂浸潤；

(8) CFRP 端部固定(如有需要)；

(9) 養護；

(10) 表面裝飾。

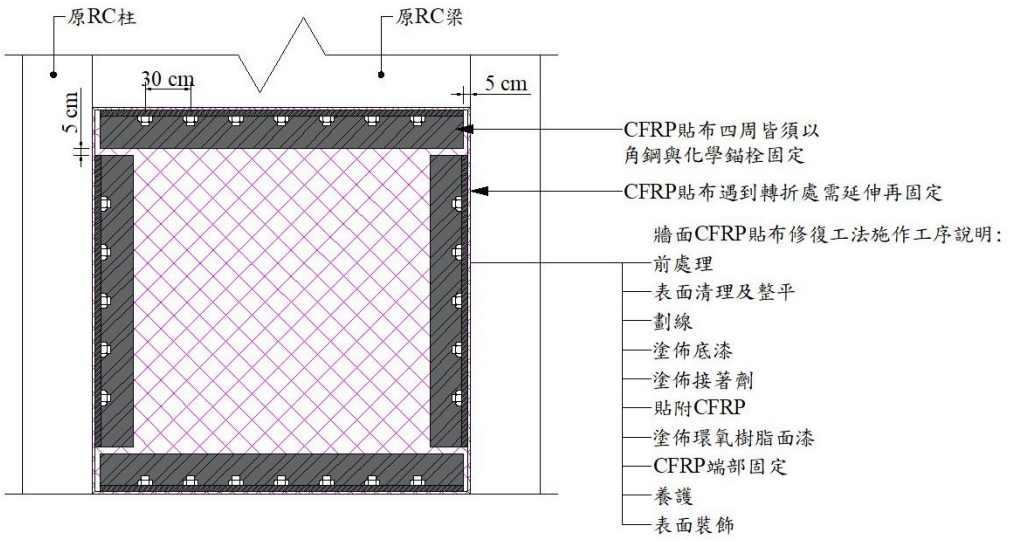


圖 R6- 19 牆面 CFRP 貼布修復工法之施工圖說

6.5.2.4 注意事項

進行梁牆面 CFRP 貼布修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 如 CFRP 需多層貼附，請重複施工步驟(6)及(7)，依設計要求之層數及方向重複施作。

(2) 牆面 CFRP 貼附時，若遇到與其它構件之交介處，因不易確實施工，建議可適度延伸並配合鐵件及錨栓進行夾緊固定，可避免產生端部剝離現象。以柱牆交界為例，可參考如圖 R4- 15 所示之施作方式。此外，角鋼應與陰角面須保持密實貼合，避免留有空隙而造成水份堆積，陰角面處理則可參考 4.2.5 節。

(3) 牆面 CFRP 貼布修復工法所使用之 CFRP 材料和黏結劑，應符合本手冊 5.7 小節所列之標準及試驗；必要時可執行現地拉拔試驗以確定貼覆性能。

6.5.3 牆打除新作修復工法

6.5.3.1 目的

牆打除新作修復工法是將劣化牆構件局部或全面打除，將劣化嚴重之牆體重新施作，使其剪力強度與彎矩強度恢復至原設計要求為目的之構件修復工法。

6.5.3.2 適用範圍

當牆劣化嚴重，出現嚴重之鋼筋裸露、銹蝕及混凝土剝落現象時，適用牆打除新作修復工法，將已劣化牆體局部或全面打除，以重新施作恢復至原設計需求強度。

6.5.3.3 施工步驟

牆打除新作修復工法之施工程序如下：

(1) 確認既有梁柱構件之狀況；如梁柱構件亦有劣化，可同時進行梁柱構件之修復；

(2) 打除劣化牆構件；

(3) 表面打毛、標記植筋位置並鑽孔後，去除所有細碎混凝土及灰塵；

(4) 進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋；除可使用原 RC 梁柱進行新作牆筋之錨定外，亦可擴大梁柱斷面之協助固定新作牆筋。

(5) 安裝模板；

(6) 澆置混凝土；

(7) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；

(8) 拆除模板並養護。

6.5.3.4 注意事項

進行牆打除新作修復工法時，應注意以下幾點：

(1) 既有梁柱構件之性能：需檢核既有梁柱構件之性能及重新進行結構計算，如梁柱構件也有劣化，應同時進行梁柱構件之修復，及考量梁柱構件是否需要增加其斷面積，並可用於錨定新作牆體內部鋼筋。

(2) 新作牆構件之設計：劣化牆構件之打除，是全面打除或部分打除，打除後新作牆構件應如何施作，例如鋼筋該如何綁紮、混凝土強度為何等，應經過技師檢核並評估其施作程序。

(3) 新作牆構件與既有構件之結合及鋼筋錨定：新作牆構件的鋼筋應確實進行錨定作業，以確保修復後承載力能順利傳遞。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求，亦可保留既有牆之健全鋼筋以提供搭接使用。

(4) 新作牆筋在符合規範【10】要求之鋼筋設置細節下，可依規範【10】建議方式進行新作牆之強度分析與評估。

(5) 牆打除新作修復工法所使用之鋼筋應符合本手冊 5.6 小節所列之標準及試驗，另對於使用之混凝土，應符合混凝土工程設計規範與解說(土木 401-112) 【19】第十四章 純混凝土之要求。

試驗標準

AASHTO T358-15 (Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration)

ACI 440.2R-17 (Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures)

ASTM A572/A572M-21e1 (Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel)

ASTM C1059/C1059M-24 (Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh To Hardened Concrete

ASTM C876-15 (Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete)

ASTM C881/C881M-20a (Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete)

ASTM C932-06 (Standard Specification for Surface-Applied Bonding Compounds for Exterior Plastering)

CNS 10141 A2151 (建築灌注補修用環氧樹脂)

CNS 10732 A3199 (硬化混凝土反彈數試驗法)

CNS 1078 R3039 (水硬性水泥化學分析法)

CNS 11053 A3215 (粗糙水泥飾面噴髮材料檢驗法)

CNS 1230 A3043 (試驗室混凝土試體製作及養護法)

CNS 1232 A3045 (混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法)

CNS 12456 A2232 (鋼筋混凝土用防銹劑)

CNS 12457 A3299 (鋼筋混凝土用防銹劑檢驗法)

CNS 13065 K6995 (環氧樹脂及硬化劑黏度測定法)

CNS 13553 K61027 (碳纖維試驗法)

CNS 14701 (新拌與硬固混凝土接著用乳膠劑)

CNS 14703 A3385 (硬固水泥砂漿及混凝土中水溶性氯離子含量試驗法)

CNS 15606 K61183 (塑膠－抗拉性能測定法)

CNS 15666 K2248 (建築用長期耐候性面漆)

CNS 2111 G2013 (金屬材料拉伸試驗法)

CNS 2608 (鋼料之檢驗通則)

CNS 2940 K6271 (聚乙烯樹脂檢驗法)

CNS 2947 G3057 (銲接結構用軋鋼料)

CNS 3699 K1165 (化學分析用水)

CNS 3941 G2034 (金屬彎曲試驗法)

CNS 4392 K6419 (塑膠－彎曲性能測定法)

CNS 4938 K2089 (環氧樹脂漆)

CNS 5038 P2058 (化學分析用濾紙)

CNS 560 A2006(鋼筋混凝土用鋼筋)

CNS 5606 K6500 (黏著劑之抗剪強度測定(法拉力負荷法))

JIS A1113 (コンクリートの割裂引張強度試験方法)

JIS A1153 (コンクリートの促進中性化試験方法)

JIS A1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法)

JIS A6909 (建築用仕上塗材)

JIS K5600 (塗料一般試験方法)

JIS K7126 (フィルム及びシート－ガス透過度試験方法)

JIS Z0208 (防湿包装材料の透湿度試験方法 (カップ法))

JSCE K521 (表面被覆材の酸素透過性試験方法)或

JSCE K522 (表面被覆材の性能評価に関する試験方法)

JSCE K523 (表面被覆材の透水量試験方法)

JSCE K524 (表面被覆材の塩化物イオンの浸透深さ試験方法)

JSCE K532 (表面被覆材のひび割れ．追従性試験方法)

JSCE-K511 (表面被覆材の耐候性試験方法(案))

JSCE-K571 (表面含浸材の試験方法(案))

JSCE-K572 (けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案))

RILEM CPC-18 (Measurement of hardened concrete carbonation depth)

參考文獻

【1】 內政部建築研究所，(2022)，鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷，內政部建築研究所。

【2】 國家地震工程研究中心，(2003)，國民中小學典型校舍耐震能力初步評估，報告編號：NCREE-2003-049。

【3】 陳建忠、宋裕祺、蔡益超、陳長佑、李台光、謝宗典、邱毅宗、顏志良，(2016)，鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估平台開發與應用，內政部建築研究所。

【4】 土木學會，(2005)，コンクリートライブラリー 119 表面保護工法設計施工指針(案)，日本。

【5】 內政部建築研究所，(2020)，鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕斷面補修工法研擬，內政部建築研究所。

【6】 日本土木学会コンクリート委員会，(2018)，セメント系材料を用いたコンクリート構造物の補修・補強指針 。コンクリート委員会，日本土木學會。

【7】 日本水泥協會，(2011)，すぐに役立つセメント系補修・補強材料の基礎知識，日本：技報堂出版。

【8】 日本混凝土維護協會，(2017)，コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASR 補修の考え方～技術資料 Ver. 4.2，日本。

【9】 東日本高速道路(株)·中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)，(2008)，構造物施工管理要領，日本。

【10】 內政部國土管理署，(2023)，建築物混凝土結構設計規範。

【11】 日本建築學会(AIJ)，(2016)，鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説，丸善株式會社。

【12】 中華民國結構工程技師公會全國聯合會，(2008)，鋼筋混凝土結構修復補強設計參考手冊。

【13】 內政部國土管理署(原營建署)，(2018)，鋼構造建築物鋼結構施工規範。

【14】 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心，(2019)，單棟大樓階段性補強技術手冊。

【15】 內政部建築研究所，(2020)，鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術〈參考手冊〉。

【16】 內政部建築研究所，(2002)，九二一建築物修復補強技術彙編及檢討。

【17】 李有豐、彭添富，(2003)，CFRP 補強混凝土結構物技術規範(草案)，內政部國土管理署。

【18】 日本土木學會，(2018)，複合構造シリーズ 09 FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案），日本：丸善出版。

【19】 中國土木水利工程學會，(2023)，混凝土工程設計規範與解說(土木 401-112)，科技圖書股份有限公司。

【20】 American Concrete Institute(ACI)，(2017)， Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (440.2R-17).

【21】 Kanakubo, T., Aridome, Y., Furuta, T., & Matsui, M. (1998). Ductility of T-shape RC beames strengthened by CFRP sheet. Transactions of the Japan Concrete Institute, 20, 117-124.

【22】 American Society for Testing and Materials(ASTM)，(2017)，Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate: With Specified the Average for Characteristic of a Lot or Process(ASTM E 122-17).

【23】 American Society for Testing and Materials(ASTM)，(2018)，Standard Practice for Measuring Delaminations in Concrete Bridge Decks by Sounding(ASTM D4580/D4580M-12).

【24】 American Society for Testing and Materials，(2014)，Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete(ASTM C878 / C878M).

【25】 American Society for Testing and Materials，(2016)，Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance(ASTM C403 / C403M).

【26】 American Society for Testing and Materials，(2016)，Standard Test Method for Change in Height at Early Ages of Cylindrical Specimens of Cementitious Mixtures(ASTM C827 / C827M).

【27】 American Society for Testing and Materials，(2018)，ASTM C596. Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement(ASTM C596).

【28】 American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) (ASTM C109 / C109M).

【29】 American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear(ASTM C882 / C882M).

【30】 American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Bleeding of Concrete (ASTM C232 / C232M).

【31】 American Society for Testing and Materials，(2020)，Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete(ASTM C143 / C143M).

【32】 American Society for Testing and Materials，(2020)，tandard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method) (ASTM C1583/C1583M).

【33】 Hwang, S.-J., Tu, Y.-S., Yeh, Y.-H., & Chiou, T.-C. (2004). Reinforced concrete partition walls retrofitted with carbon fiber reinforced polymer. ANCER annual meeting: networking of young earthquake engineering researchers and professionals,

【34】 International Organization for Standardization，(2014)，Maintenance and repair of concrete structures(ISO 16311).

【35】 Kanakubo, T., Aridome, Y., Furuta, T., & Matsui, M. (1998). Ductility of T-shape RC beames strengthened by CFRP sheet. Transactions of the Japan Concrete Institute, 20, 117-124.

【36】 Tanarslan, H. M., & Altin, S. . (2010). Behavior of RC T-section beams strengthened with CFRP strips, subjected to cyclic load. . Materials and structures, 43, 529-542.

附錄

R1 電化學防蝕工法

電化學防蝕工法是藉由通電作用，以改善混凝土內部環境並抑制鋼筋腐蝕之方法，根據其應用目的和效果可分為電化學防蝕法、電化學脫鹽法和電化學在鹼法。

解說：

1. 為了長期保持鋼筋混凝土構件之性能，有必要維持構件之耐久性以及確保混凝土和鋼筋不會劣化。一般而言，鋼筋置於混凝土內可確保長期之耐用性，因為混凝土鹼性環境可以阻止鋼筋腐蝕。可一旦有氯離子或大氣中的二氧化碳侵入混凝土內部，使混凝土之 pH 值下降，則鋼筋就會發生腐蝕，從而無法確保構件性能。
2. 電化學防蝕工法是藉由通電作用，以改善混凝土內部環境並抑制鋼筋腐蝕之方法。電化學防蝕工法根據其應用目的和效果可分為電化學防蝕法、電化學脫鹽法和電化學在鹼法。

R1.1 電化學防蝕法

1. 電化學防蝕法的原理是藉由向混凝土內部的鋼筋通電，以此切斷鋼筋腐蝕電流以對鋼筋進行腐蝕抑制的一種電化學方法。
2. 電化學防蝕法依供電方式大致分為外部電源供應之形式和犧牲陽極之形式。
3. 電化學防蝕法根據陽極材料之形狀不同，分為平面狀陽極方式、線狀陽極方式和點狀陽極方式。

解說：

1. 鋼筋腐蝕是由於鐵離子失去電子而被溶出到混凝土中，這被腐蝕的部分將形成為陽極；從鐵放出的自由電子移動到鋼筋的健全部分，這些自由電子將與

水和氧氣反應生成氫氧根離子，此部分將形成為陰極。具體來說，離子的流動形成電流，自由電子和離子之運動產生的電流即稱為腐蝕電流，此為鋼筋腐蝕的電化學反應。

2. 進行電化學防蝕法施作前，混凝土內部鋼筋由於陰極和陽極之間的電位差產生腐蝕電流。當於混凝土表面裝設電化學防蝕設備並對鋼筋進行通電後，電流會優先供應給高電位之陰極，讓陰極和陽極之電位差變小。一旦提供足夠的電流讓陰極和陽極之間的電位差幾乎消失，則腐蝕電流消失，即鋼筋腐蝕反應停止。
3. 使用電化學防蝕法對鋼筋持續通電，就能不受存在於混凝土中之氯離子、氧氣、水分等劣化因子濃度影響，達到持續抑制鋼筋腐蝕之效用。就算是在嚴重劣化之環境下亦可抑制鋼筋腐蝕，故對受氯離子侵蝕及中性化反應之構件尤其有效。
4. 電化學防蝕法依供電方式大致分為外部電源供應之形式和犧牲陽極之形式。外部電源供應之形式是以直流電源進行持續供電，直流電源為陽極、內部鋼筋為陰極，其特點為可調整電流大小；犧牲陽極之形式則是藉由內部鋼筋和外加陽極材料(如鋅、鋁等)產生之電池效應來阻斷腐蝕電流，特點為無須電源供應器。
5. 電化學防蝕法根據陽極材料之形狀不同，有平面狀、線狀和點狀三種。對於平板式陽極材料，優點是電流分布均勻；線狀陽極材料是將直線狀的陽極材料以固定之間隔安裝在混凝土表面上，即使表面已塗漆修復亦可使用；點狀陽極材料必須先在表面鑽孔後，將陽極材料安裝至孔洞中，特點是能局部配置。
6. 在電化學防蝕法中，只要向混凝土內部之鋼筋提供適當之電流，便可在整個供電期間保持抑制鋼筋腐蝕之效用。電化學防蝕法之分類，構成電化學防蝕系統包含陽極材料、供電器、陽極披覆材料、排流端子、測量端子和導線等。根據陽極的材料形狀、安裝方式及材料特性整理如附錄表 R1- 1 所示。

附錄表 R1- 1 電化學防蝕法之分類

防蝕電流之供電方法	陽極材料之形狀	陽極之設置方法	陽極材料
外部電流供應	平面狀	外裝方式*	鈦網陽極 面板陽極 導電性砂漿
		塗裝方式	導電性塗料
		溶射方式	鈦熱噴塗
	線狀	埋入方式**	鈦帶網 鈦網格
		外裝方式	鈦帶網
	點狀	埋入方式	鈦棒
犧牲陽極	面狀	接著方式***	鋅板
		溶射方式	鋅鋁合金擬合金溶射

*外裝方式：陽極材料安裝後進行覆蓋和回填材料。

**埋入方式：在混凝土表面開槽或開孔，將陽極材料埋入孔洞中後，再鋪設陽極披覆材料。

***接著方式：先將陽極材料和回填材料預組裝後再進行安裝。

R1.2 電化學脫鹽法

1. 電化學脫鹽法是藉由電流的流動(電化學泳動)來去除混凝土因氯離子滲入而造成之劣化。
2. 設定電化學脫鹽法施作範圍時，應考慮之條件包含混凝土中之氯離子分布、鋼筋位置和腐蝕狀況、鋼筋保護層厚度、構件之位置和形狀及是否容許進行通電等。
3. 一般來說，通電之電流應根據鋼筋表面積，設定之電流不可超過每平方米 5 A/m^2m
4. 在規劃電化學脫鹽法之補修策略時，應根據欲達到之修復效果來估算適當地通電時間，以及根據構件之形狀和條件等因素選用合適之通電設備和裝

設方法，如臨時陽極、直流電源、電解質溶液、電路等。

5. 在施工期間，應確保施工人員之安全及避免第三方影響，並且確保通電期間設備運作正常和建築物相關設施之維持及安全。

解說：

1. 電化學脫鹽法是藉由電流的流動(電化學泳動)來去除混凝土因氯離子滲入而造成之劣化。當使用電化學脫鹽法時，通電後，氯離子會向混凝土表面移動，而鈉離子、鉀離子等陽離子會向鋼筋移動，因此導致鋼筋周圍之鹼金屬離子濃度比通電前高，可抑制鋼筋腐蝕。
2. 修復受氯離子影響而鋼筋腐蝕之構件時，如果僅修復一部分，卻還有其他位置未進行修復，則未修復之部分其鋼筋腐蝕速度會加快，因此反而導致構件加速劣化。故規劃電化學脫鹽法之施作範圍時，需確認整個構件的氯離子含量及鋼筋位置，其施作範圍須包含全部受劣化之部位。
3. 電化學脫鹽法是藉由對構件之內部鋼筋及表面混凝土進行通電，以從構件外部除去氯離子之方法。因此，對於無埋置鋼筋之區域或即使有鋼筋但難以讓電流通過之區域，無法進行施作。
4. 如果混凝土出現裂縫或剝落等現象，則該區域之混凝土電阻值與健全區域之混凝土電阻值會有明顯差異，如要在該區域內施加電流，可能難以讓電流均勻流動。因此，在施作之前，須先進行補修讓該區域之電阻值與健全之電阻值相同，方可進行電化學脫鹽法。
5. 如果鋼筋腐蝕嚴重，則鋼筋與混凝土之間的電阻會因鐵銹而增加，導致難以導電，甚至有可能電流會集中在腐蝕程度較輕之位置。除此之外，如果鋼筋腐蝕減少率過高，因電化學脫鹽法無法恢復鋼筋因腐蝕而喪失之承載能力，此時便需要結合修復工法來恢復構件性能。
6. 混凝土的電阻會隨溫度變化，溫度越低，則電阻越大，表示其溫度越高越有利電化學脫鹽法之施作。
7. 一般來說，電化學脫鹽法之電流設定為每平方米之混凝土面積設定 1A 之電流。實際上，電流設定應以實際構件設計而異，須根據靠近鋼筋位置之電阻值來設定電流，且對於電流流通量小的區域不適用電化學脫鹽法。但也要注意，如果鋼筋附近之電流過大，則可能會因鋼筋表面產生之氫氣壓力而導致

混凝土開裂等劣化現象。但據研究，如果鋼筋表面受平均 5 A/m^2 之(平均)電流，則應不會有問題發生。另一方面，通電電流越小，則通電修復時間越長。

8. 一旦確定了所需之脫鹽量和通電電流，則可利用(R1.1)式計算其通電時間。

$$t = \frac{W_{cl}}{\alpha \cdot Q \cdot a} \qquad \text{(R1.1)}$$

其中，t為必要之通電時間；W_{cl}為目標之脫鹽量(g)；α為 1 庫倫電荷以 100 %效率轉移氯離子時之氯離子轉移量，3.67×10^{-4}(g)；Q為通過之電荷(C)；a為氯離子輸送率(%)。

然而，已知補修範圍內之氯離子含量和混凝土質量會影響氯離子轉移量，且隨著通電時間增加，氯離子轉移量會減少，但目前尚未有其他既定方法可進行估算。或者，亦可利用鑽心取樣試體來測試實際之氯離子轉移量。

9. 進行電化學脫鹽法時，通電時間過長可能會對鋼筋與混凝土之握裹力產生不良之影響，根據經驗，最佳之通電時長約為 8 週左右。

10. 電化學脫鹽法之設備分為如下幾項

(1) 臨時陽極

電化學脫鹽法所使用之臨時陽極之安裝方法有纖維安裝法、平板安裝法、黏接法等。臨時陽極之材料和設置方法，應根據施工記錄和性能測試之結果來選擇。

(2) 直流電源

直流電源需穩定地供應電流，當施作範圍越大，則需要之電流越大。特別注意，如果電流之正負極接反，則混凝土中之鋼筋將會受到電解腐蝕，因此須特別標明極性。

(3) 電解質溶液

電化學脫鹽法使用之電解質溶液包括 $Ca(OH)_2$、LiOH、Li_2CO_3 等水溶液，應根據施工記錄和性能測試之結果來選擇合適之電解質溶液。當混凝土內含有一定量之鋰離子時，由於鹼-矽反應引起的混凝土膨脹將會受到抑制。因此，如使用含鋰離子之溶液作為電解質溶液，據說將可以降低鹼-矽反應之風險。

(4) 電路

構件內之氯離子含量會因鋼筋之數量及排列而異，因此在規劃的施工範

圍內皆須配置電路，並適當地規劃以便在每個區間段皆能隨時斷電。

11. 電化學脫鹽法施作時，應特別注意電解質溶液飛濺，電解質溶液之類型及 pH 值可能會對周遭環境產生不利之影響，故必須採取適當之措施來防止飛濺，並將使用過之電解質溶液妥善收集及處理。如果施工現場下雨，電解質溶液可能會因雨水滲漏，此時需加裝擋板。施工人員必須遵守安全措施，如戴安全護目鏡和穿防護衣等。
12. 結構物可能具備電線及管路，因此在通電時，電線及管路可能會干擾到設備運作，或設備在通電時可能影響到結構物之正常運作，上述之情況必須避免。
13. 通電後，脫鹽效果需在鋼筋附近進行採樣，確認達到預期之補修成效後方可斷電。

R1.3 電化學再鹼法

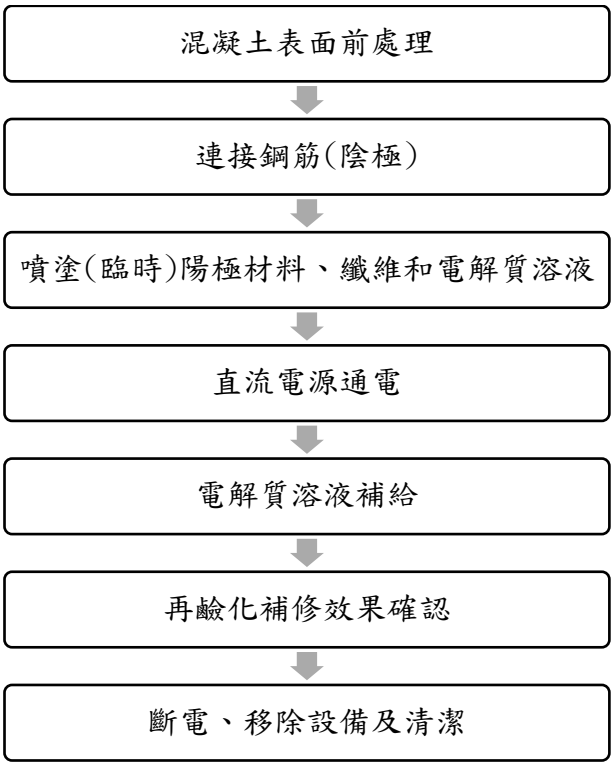
1. 電化學再鹼法是對已中性化之混凝土進行通電使其恢復混凝土之鹼性及讓鋼筋再鈍化為目的之電化學防蝕方法。
2. 電化學再鹼法通常使用鹼離子之碳酸水溶液作為臨時陽極材料，以鋼筋為陰極，通電迫使陽極材料之鹼離子滲透至混凝土內部，為期約 1 至 2 週。

解說：

1. 電化學再鹼法是對已中性化之混凝土進行通電，利用外部電極與混凝土內部之鋼筋形成迴路並進行通電，使電極或陽極材料所含之鹼溶液滲入混凝土中，讓混凝土恢復成鹼性，致使鋼筋再次形成鈍態膜以抑制鋼筋腐蝕。
2. 電化學再鹼法之設置由鹼性電解質溶液、陽極材料或臨時陽極材料、混凝土內之鋼筋、直流電源和線路構成。
3. 電化學再鹼法是以碳酸鉀(K_2CO_3)等鹼性溶液作為臨時陽極材料，以鋼筋為陰極，通電迫使陽極材料之鹼離子滲透至混凝土內部，為期約 1 至 2 週。
4. 電化學再鹼法之施工流程如附錄圖 R1-1 所示。首先，先將混凝土表面進行前處理，因電解質溶液和陽極材料會噴塗在混凝土表面上，故要先去除裝飾材料和清潔混凝土表面。接著，將直流電源之陰極連接混凝土內部之鋼筋，

以及在混凝土表面噴塗電解質溶液、纖維和(臨時)陽極材料，一切就緒後即可通電。通電期間定期補給電解質溶液，通電期滿後，先進行混凝土之 pH 值檢測，確認混凝土恢復成鹼性，方可斷電並進行設備移除及後處理。

5. 電化學再鹼法之優點為不需要大規模之作業及短時間內即可完成補修工程；缺點為其陽極材料需要安裝在構件上，且電極需安裝在鋼筋上，因此可能需要一些吊裝工程，以及使用之陽極材料可能出現氫脆現象或促進鹼-矽反應。



附錄圖 R1- 1 電化學再鹼法之施工流程

R2 防水補修

1. 建築物防水補修工程亦為補修工程中需要重視的環節之一，防水補修之目的便是確保建築物結構不受水的侵襲及內部空間不受到水的危害。
2. 防水補修工程常在屋頂、露臺、陽台、浴廁、外牆、窗空等進行施作，施作方式會針對構件主體、構件表面或接縫而略有不同。
3. 屋頂及露臺容易在下雨時積水，補修時，須將舊的防水材料去除乾淨並修整混凝土，接著在表面塗佈防水材料以阻絕靜水壓力下之水流通路。使用之防水材料性能要求較高，須達到完全不透水，且應在防水層上再給予必要之保護。
4. 陽台承受之靜水壓力不如屋頂或露臺大，故防水材料可採用親水泥性之防水材料。施作時還要考慮是否要規劃隔熱層，隔熱層可在防水層上方。
5. 浴廁因靜水壓力不嚴重且不會使其長時間積水，故雖採用全面性隔絕防水，但防水材料等級無需太高。浴廁一般會在表面鋪設地磚，因此防水材料應使用親水泥性材料。
6. 外牆之防水，宜採用全面性的阻絕，但因靜水壓不大，故防水材料等級無須太高，可用親水泥性防水材料。
7. 窗框周邊容易發生牆面龜裂而造成白華，補修時，應去除劣化之範圍包含白華及劣化之混凝土，待施以斷面補修後，再採用親水泥性之防水材料進行防水補修。
8. 防水補修常用之防水材料包含防水漆、PU 聚氨脂、防水毯、乳化瀝青、矽酸質防水塗料和彈性水泥。

解說：

1. 鋼筋混凝土構件在健全時具有高水密性，但隨著使用年限增長，構件慢慢劣化，可能將無法完全地阻斷水分通過混凝土之孔隙，此時便需要補修以增進構件之防水能力。
2. 防水補修之目的便是確保建築物結構不受水的侵襲及內部空間不受到水的危害，其補修方法為使用防水材料來增加混凝土之水密性及阻斷水流之通路。
3. 當構件因出現裂縫或剝落而導致水分可藉由劣化位置滲入，此時須優先處理劣化狀況，必要時可在補修材料內加入防水添加劑或是用不透水之補修材料以增進構件之水密性；或者，將防水塗料塗佈在構件表面，藉著防水材料本身之不透水性、耐久性、抗張性等性能，形成一道良好之防水層以隔離水氣。

4. 為防止水份從施工縫或伸縮縫等位置滲入，可藉由填縫材料、止水帶或襯墊條等不同形式之防水材料進行接縫防水(線防水)施作。

5. 屋頂及露臺之防水補修施作時，應注意事項如下：

(1) 防水補修施作前，應去除裝飾層和粉刷層，用機械研磨至構件表面並清潔表面。

(2) 防水層必須達到整理性之要求，如遇女兒牆、轉角處、排水管、垂直牆面接合處或特別突出之部位，應特別注意。

(3) 施工後應檢查並做積水試驗。

(4) 防水層上方應再鋪設其他材料(如水泥砂漿、裝飾材料等)以達到保護之效用。

6. 陽台之防水補修施作時，應注意事項如下：

(1) 防水補修施作前，應去除裝飾層和粉刷層，用機械研磨至構件表面並清潔表面。

(2) 陽台之防水施工規劃時應注意洩水坡度，且側牆容易因地面積水而滲漏，建議規劃 40 cm 以上之防水層保護。

(3) 陽台之防水補修可採用水泥砂漿打底，再塗佈防水層及裝飾層。

7. 浴廁之防水補修施作時，應注意事項如下：

(1) 防水補修施作前，應去除裝飾層和粉刷層，用機械研磨至構件表面並清潔表面。

(2) 浴廁洩水速度要快，以及坪數小，因此洩水坡度需求較大。

(3) 浴廁一般會鋪設地磚，因此可用水泥砂漿打底再進行防水施作及裝飾材料鋪設。

8. 外牆之防水補修施作時，應注意事項如下：

(1) 防水補修施作前，應去除裝飾層和粉刷層，用機械研磨至構件表面並清潔表面。

(2) 外牆防水補修之施作，依序為以水泥砂漿打底、防水層塗佈、介面黏結劑塗抹及面磚貼附。

(3) 若外牆用粉刷裝飾，施作程序為防水底層塗佈及纖維網貼附、彈性防水漆、面漆。

9. 窗框之防水補修施作時，應注意事項如下：

(1) 窗框之防水補修範圍建議為周圍 30 cm 範圍內。

(2) 窗框與面層間之接縫應以軟性填縫材料封閉水通路。

(3) 窗框之角隅應注意是否有裂縫或龜裂。

10. 防水補修常用之防水材料包含防水漆、PU 聚氨脂、防水毯、乳化瀝青、矽酸質防水塗料和彈性水泥，其不同種類之防水材料之特性與適用區域如下所述：

(1) 防水漆

防水漆又稱為防水膠，常用之成分為壓克力樹脂。防水漆之優點為施工方便，且能與混凝土表面緊密結合。防水漆亦可作為屋頂防水之底漆使用，使後續施作之防水材料能更好地附著在混凝土。但缺點為容易龜裂、老化，建議每 3 至 5 年便要重新塗刷。

(2) PU 聚氨脂

PU 聚氨酯具有良好之防水性，且為目前被廣泛應用之防水塗料之一。使用 PU 聚氨酯施工時須將表面清理乾淨以避免接著不佳，以及混凝土含水率需低於 8%才能施作，否則材料可能會受水蒸氣影響而破裂。

(3) 防水毯

防水毯是以聚酯纖維布、合成瀝青與特殊橡膠所製成，鋪設防水毯之施工過程中還會撒上細砂以增加隔熱效果，依鋪設方式可分成熱熔式、瀝青黏貼式和自黏式三種。防水毯彈性家、對日曬雨淋耐受度高且黏著性佳，但對於施工要求也高，需要確保地面完全乾燥、平整、無沙塵，搭接時亦需要有足夠之搭接面積，否則會影響防水效果。

(4) 乳化瀝青

乳化瀝青主要成分為瀝青及乳化劑，若添加聚合物樹脂則稱為橡膠瀝青；若添加水性 PU 與丙烯酸則稱為水性 PU 黑膠。乳化瀝青為傳統防水材料，適用範圍廣，但因乳化瀝青會與磁磚接著性不佳，故不適用於外牆防水。

(5) 矽酸質防水塗料

矽酸質防水塗料由於可消耗混凝土中之氫氧化鈣，進而抑制白華之生成，所以適用於所有混凝土表面。矽酸質防水塗料施作前需要先處理漏水，施作時施工面需要有足夠的溼度，塗佈完畢後還需灑水養護 3 至 7 天，

方能達到最佳效果。

(6) 彈性水泥

彈性水泥是由水泥和壓克力樹脂混合而成之塗料，常用於屋頂防水之中塗層或地下室與浴室的防水塗料。彈性水泥塗佈時通常會塗佈2或3層，如塗層厚度不足，將會讓防水效果不足。除此之外，彈性水泥不耐紫外線照射，如使用在會受陽光照射之屋頂或陽台，必須再塗佈面漆或具有阻隔效用之裝飾材料。

11. 關於防水補修之相關標準及圖說，可參考各地方政府工務局提供之防水施工標準或各防水工會提供之施工圖說。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓

網址：http://www.abri.gov.tw

編者：**陳興隆、邱建國、高玉荃、周楷峻、厲娓娓、曾晟修、趙紀棠、梁芷菱、張仁豪**

出版年月：113 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN：978-626-7501-22-1 （平裝）