劣損RC構件之診斷與修復

(教育部: 校舍耐久性能改善計畫)

(內政部: 整建維護/老宅延壽計畫)

邱建國 院長/教授

(台灣營建研究院)

高玉荃 助理教授

(中原大學)

TAIWAN TECH

National Taiwan University of Science and Technology

內容大綱

1. 緣起
2. 考慮老劣化影響之耐震能力評估(第一冊)
3. 鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊(第二冊)

緣起

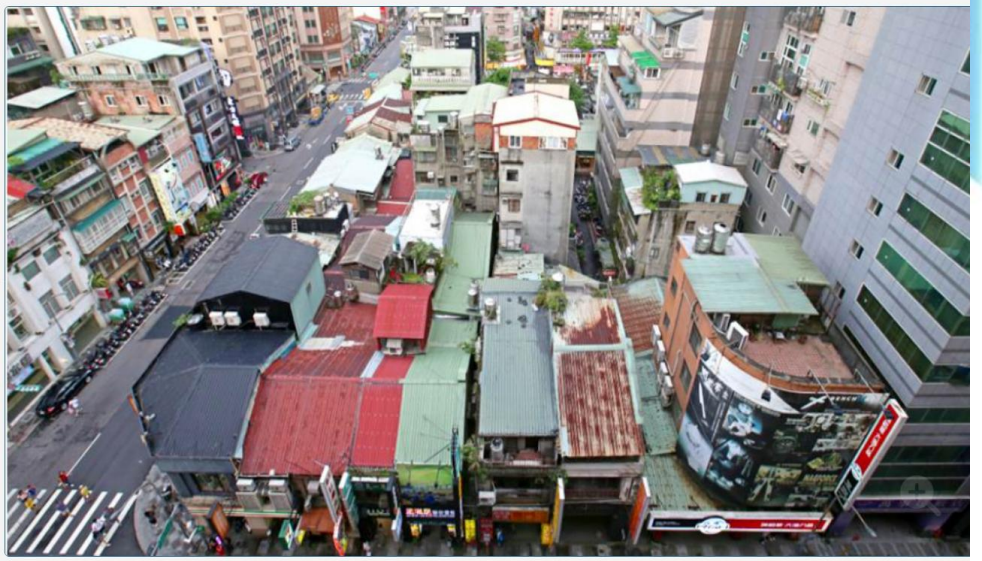
全台每2間住宅就有1間屋齡在30年以上

根據不動產資訊平台資料顯示，今年第1季全台住宅平均屋齡32年，房屋稅籍住宅類共910萬戶，其中就有101萬戶屋齡在50年以上，高達462萬戶的屋齡在30年以上，比例達到51%，每2間就有1間屋齡30年以上，顯見國人住在老房子狀況普遍。

全台老屋今年恐破500萬戶 北市占比居冠

2024.03.21 / 18:00 / 住展房屋網

#全台 #北市 #危老條例 #都更三法



本報資料圖庫。

內政部依《危老條例》門檻，屋齡30年以上為老舊房屋，統計國內老屋數量，從2014年第

工商時報 即時 › 要聞 › 證券 › 金融 › 理財 › 產業 › 房市 › 國際 › 兩岸 › 名家 › 樂

觀察比較全國及六都10年來的老屋數量比例變化，全國在2014年第2季時老屋占比約43%，尚在5成以下，之後呈現逐年上升趨勢，2021年一舉突破5成，2023年第2季更已攀升至53%左右，增加約10%；六都中以北市老屋增幅最高，10年來增加約14%。

台北及南2都 老屋占比高

六都當中，以台北市老屋比例最高，占全市房屋72.32%，且全市平均屋齡達37.78年，亦為全國最高，其次為台南市及高雄市，老屋數量均占該市的54%左右。

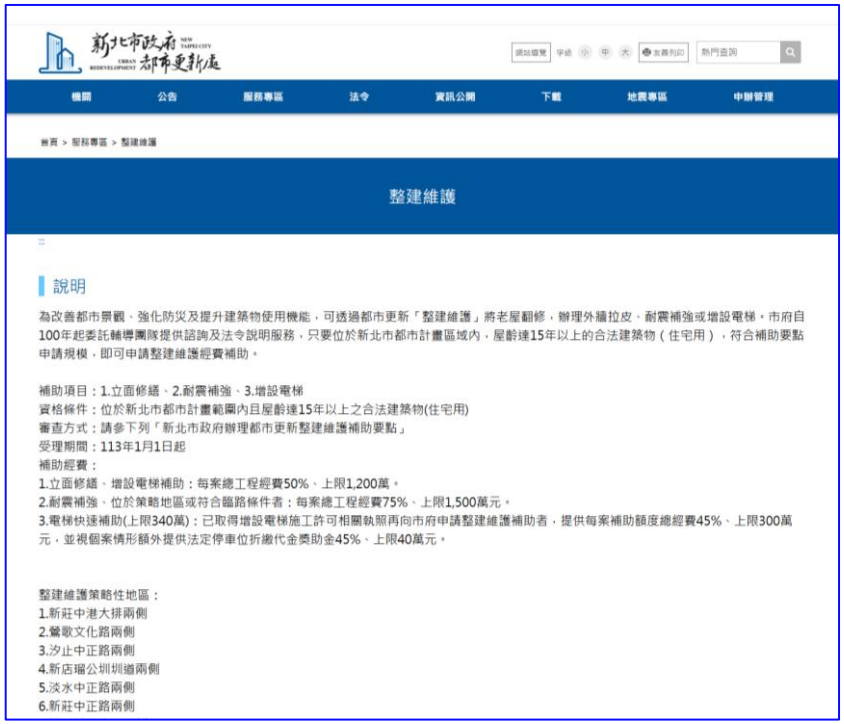
此外，新北市老屋數量最多，30年以上老屋近83萬棟，平均屋齡也逾30年；其次為台北市65.5萬棟，高雄市以60.5萬棟老屋居全國第三，平均屋齡來到33.19年。 因此，政府近年推動各項都市更新政策，陸續完成「都更三法」，包括修正《都市更新條例》及新訂《都市危險及老舊建築物加速重建條例》、《國家住宅及都市更新中心設置條例》，並於2018年核定「內政部賡續實施都市更新發展計畫」，盼透過強化政府主導都更機制與量能等措施，加速國內老屋活化。

臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明

資料來源：2050淨零排放路徑 - 行政院國家永續發展委員會 (ndc.gov.tw)

- ✓ 校舍延壽—可以減少建築全生命週期的平均碳排量。
- ✓ 研發與應用低碳的校舍補修工法。
- ✓ 上述公建計畫可落實政府相關政策，並且可以做為公有及民間建築延壽的典範。

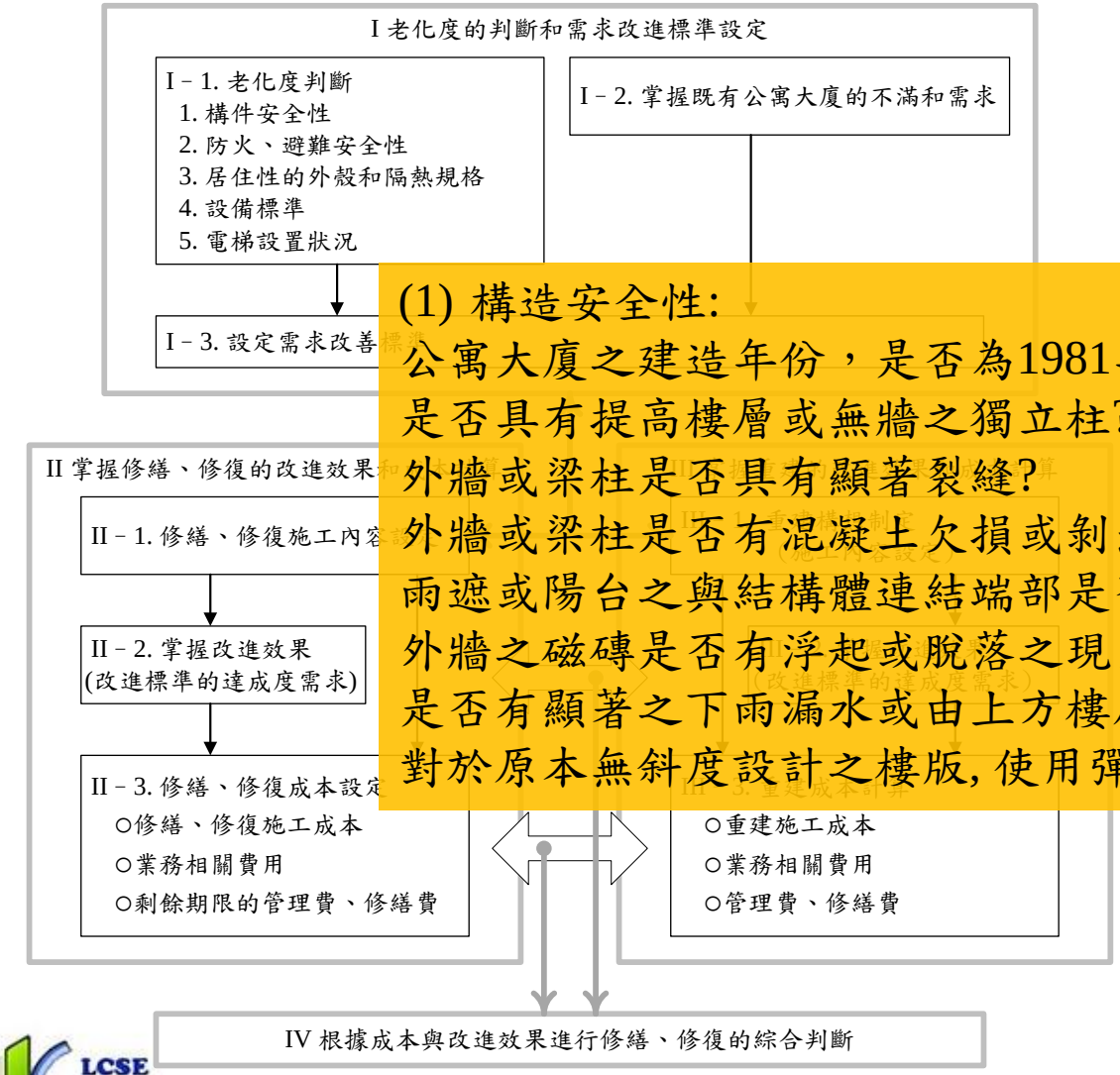
內政部-老宅延壽計畫



內政部最近提出的「老屋延壽計畫」，目的是協助屋齡超過 30 年的老舊集合住宅進行修繕，讓長輩能在熟悉的家園安心居住，同時減少拆除重建所造成的碳排放與廢棄物。此計畫對象為 屋齡 30 年以上、4 至 6 層樓、結構安全的老公寓或集合住宅。政府將提供最高 50% 補助，項目包括電線與水管更新、外觀拉皮、屋頂防水，以及增設無障礙設施等。計畫預計投入 50 億元特別預算，在 2025 年底開放申請，為期三年。這項政策除了改善居住安全，也希望透過延壽修繕替代都更重建，達到減碳目標，並搭配節能、長照等其他部會資源，帶動相關產業升級，進一步改善高齡化社區的生活品質。

日本國土交通省

日本國土交通省-公寓大廈改建或修繕之判定手冊(日本國土交通省，2010)



(1) 構造安全性:

公寓大廈之建造年份，是否為1981年6月1日之前?

是否具有提高樓層或無牆之獨立柱?

外牆或梁柱是否具有顯著裂縫?

外牆或梁柱是否有混凝土欠損或剝落之現象?

雨遮或陽台之與結構體連結端部是否存在裂縫?

外牆之磁磚是否有浮起或脫落之現象?

是否有顯著之下雨漏水或由上方樓層漏水之現象?

對於原本無斜度設計之樓版,使用彈珠測試時是否有自然滾動之現象?

日本國土交通省

(1) 構造安全性
> 耐震性能
> 結構軀體的材料劣化/結構整體不良(混凝土強度、中性化深度、基礎下陷及結構體傾斜等)
> 非結構部份之材料劣化(外飾材劣化、金屬部份劣化等)

(2)材料劣化
1. 混凝土抗壓強度
2. 中性化深度及速度
3. 氯離子濃度
4. 鋼筋腐蝕狀況
5. 裂縫
6. 剝落
7. 漏雨/漏水
8. 下陷
9. 傾斜

表 2-10 老朽度之判定等級

項目		等級 A	等級 B		等級 C
結構安全性	耐震性	確保構件之耐震性能足以抵抗地震力，所以判定為「安全的」			由於構件之耐震性能不足以抵抗地震力，所以判定為「存有疑問的」
結構安全性	結構軀體材料劣化、構件缺陷	無結構軀體材料劣化和結構缺陷問題	在結構軀體材料能看見某些程度的劣化和結構缺陷		結構軀體材料劣化和結構缺陷顯著
結構安全性	非結構部份材料劣化	非結構部份無材料劣化問題	等級 B⁺：非結構部份能看見某些程度的材料劣化	等級 B⁻：非結構部份發生了材料劣化	
防火、避難安全性		無軀體防火、避難安全性的問題			軀體防火、避難安全性問題顯著
居住性的外殼和隔熱規定		外殼和隔熱規格符合居住性	外殼和隔熱規格稍微不符合居住性	外殼和隔熱規格居住性較低，或者有嚴重問題	
設備性能標準		設備性能標準無問題	設備性能標準有某些程度的問題	設備性能標準較低，或者有嚴重問題	
電梯設備狀況		各樓電梯設備沒有無障礙問題	電梯設備當上升到 2 樓以上時，無障礙狀況稍差	無電梯，有無障礙問題	
			改善要求項目和是否需要管理組合改善需求等判斷		改善要求項目和必填項目

(資料來源：日本國土交通省，2010)

表 2-11 結構軀體劣化之判定基準

大項目	細項目		等級 A：無問題	等級 B：輕微劣化	等級 C：有問題	診斷手法
材料劣化	結構軀體	混凝土強度(Fc：設計強度)	推定強度最小值為 Fc 以上	推定強度最小值為 0.8 Fc 以上 - 未滿 1.0 Fc	推定強度最小值未滿 0.8 Fc，且平均值未滿 Fc	試樣調查等
材料劣化	結構軀體	中性化深度(壁體) C：中性化深度測定值 D：保護層厚度	C<D 時，以及中性化速度不顯著	雖然 C<D，但中性化速度顯著	C≥D 時，以及中性化速度顯著	試樣調查等
材料劣化	結構軀體	鹽分濃度(氯離子置換算)	新建混凝土基準值為未滿 0.3 kg/m³	0.3 kg/m³ 以上，未滿 1.2 kg/m³	超過最大氯離子基準值 1.2 kg/m³	試樣調查等
材料劣化	結構軀體	鋼筋腐蝕	無腐蝕狀態，但表面有出現點生鏽	點生鏽面積廣泛，部分有浮起發生	浮起和層狀銹跡廣泛，有斷面缺陷	試樣調查等
材料劣化	結構軀體	裂縫	無裂縫，且混凝土乾燥收縮裂縫幅度未滿 0.2 mm	混凝土乾燥收縮裂縫幅度超過 0.2 mm	因鋼筋腐蝕或鹼骨材反應，且會造成構件問題之裂縫	目視試樣調查等
材料劣化	結構軀體	缺陷、剝落等	無缺陷、剝落	小規模的缺陷、剝落等	大規模的缺陷、剝落等	目視
材料劣化	漏雨、漏水		無漏雨、漏水現象		漏雨、漏水現象頻繁發生	目視
構件缺陷	地基下沉		未滿 100 mm	100 mm 以上未滿 200 mm	200 mm 以上	目測實測
構件缺陷	牆、柱、版等傾斜		未滿 3/1000	3/1000 以上未滿 6/1000	6/1000 以上	目視實測

(資料來源：日本國土交通省，2010)

老劣化調查與診斷技術手冊(已完成審查)

鋼筋混凝土造建築物老劣化調查與診斷

技術手冊(待出版)

內政部建築研究所　編制

111 年 12 月

第一章 總則

1.1 目的
1.2 適用範圍
1.3 相關用語定義

第二章 概要調查及初步診斷

2.1 診斷流程說明
2.2 建築物概要調查
2.3 初步判斷
2.4 初步判斷綜合評定

第三章 詳細評斷

3.1 詳細診斷方法
3.2 詳細診斷項目
3.3 詳細診斷項目權重值
3.4 詳細診斷綜合評定

第四章 鋼筋腐蝕鋼筋混凝土造建築物耐震能力評估

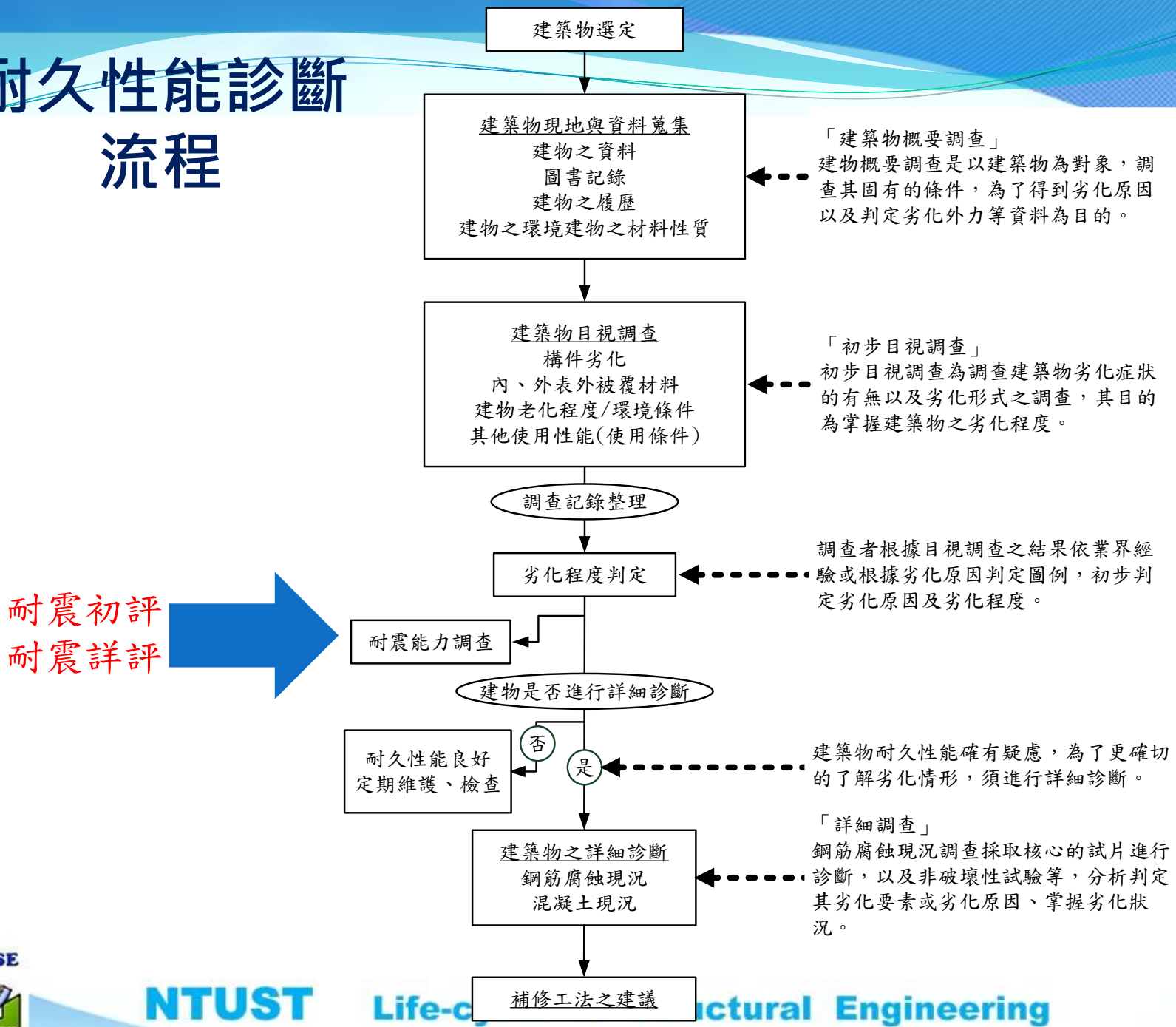
4.1 鋼筋腐蝕鋼筋混凝土造建築物耐震能力評估說明
4.2 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力診斷

第五章 補修工法擬定

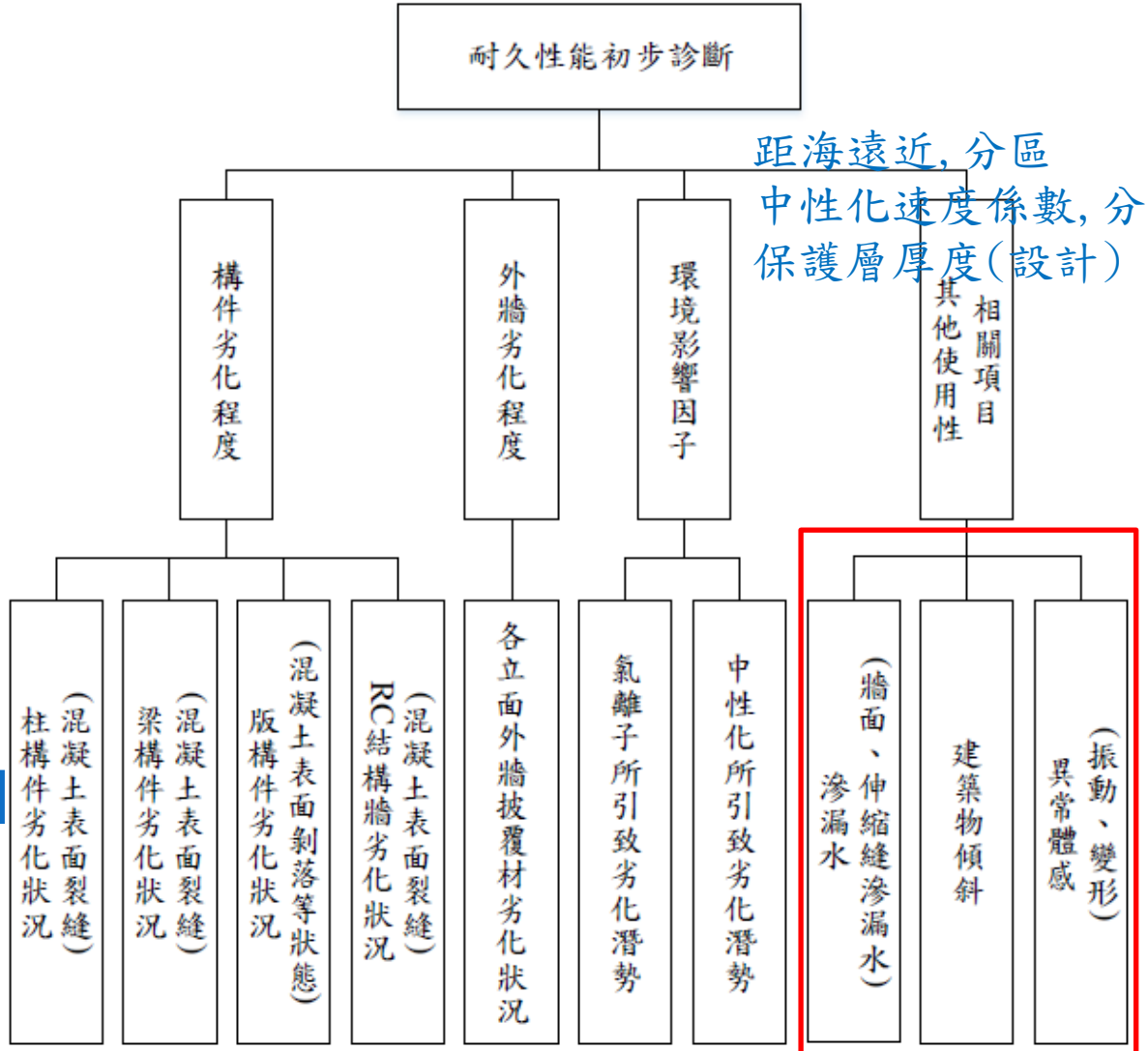
5.1 鋼筋腐蝕補修工法
5.2 中性化抑制工法
5.3 鹽害抑制工法
5.4 裂縫補修工法

無詳細補強工法

耐久性能診斷流程


建築物選定
建築物現地與資料蒐集
建物之資料
圖書記錄
建物之履歷
建物之環境建物之材料性質
「建築物概要調查」
建物概要調查是以建築物為對象，調查其固有的條件，為了得到劣化原因以及判定劣化外力等資料為目的。
建築物目視調查
構件劣化
內、外表外被覆材料
建物老化程度/環境條件
其他使用性能(使用條件)
「初步目視調查」
初步目視調查為調查建築物劣化症狀的有無以及劣化形式之調查，其目的為掌握建築物之劣化程度。
調查記錄整理
劣化程度判定
調查者根據目視調查之結果依業界經驗或根據劣化原因判定圖例，初步判定劣化原因及劣化程度。
耐震初評
耐震詳評
耐震能力調查
建物是否進行詳細診斷
否
是
耐久性能良好
定期維護、檢查
建築物耐久性能確有疑慮，為了更確切的了解劣化情形，須進行詳細診斷。
「詳細調查」
建築物之詳細診斷
鋼筋腐蝕現況
混凝土現況
鋼筋腐蝕現況調查採取核心的試片進行診斷，以及非破壞性試驗等，分析判定其劣化要素或劣化原因、掌握劣化狀況。
補修工法之建議

初步診斷法(目視調查)說明



距海遠近, 分區
中性化速度係數, 分區
保護層厚度(設計)

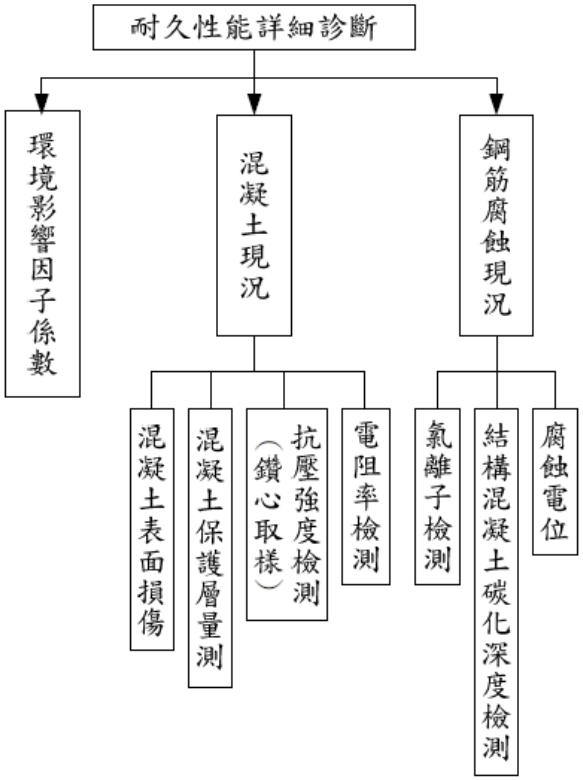
耐震能力評估

目視判定為主

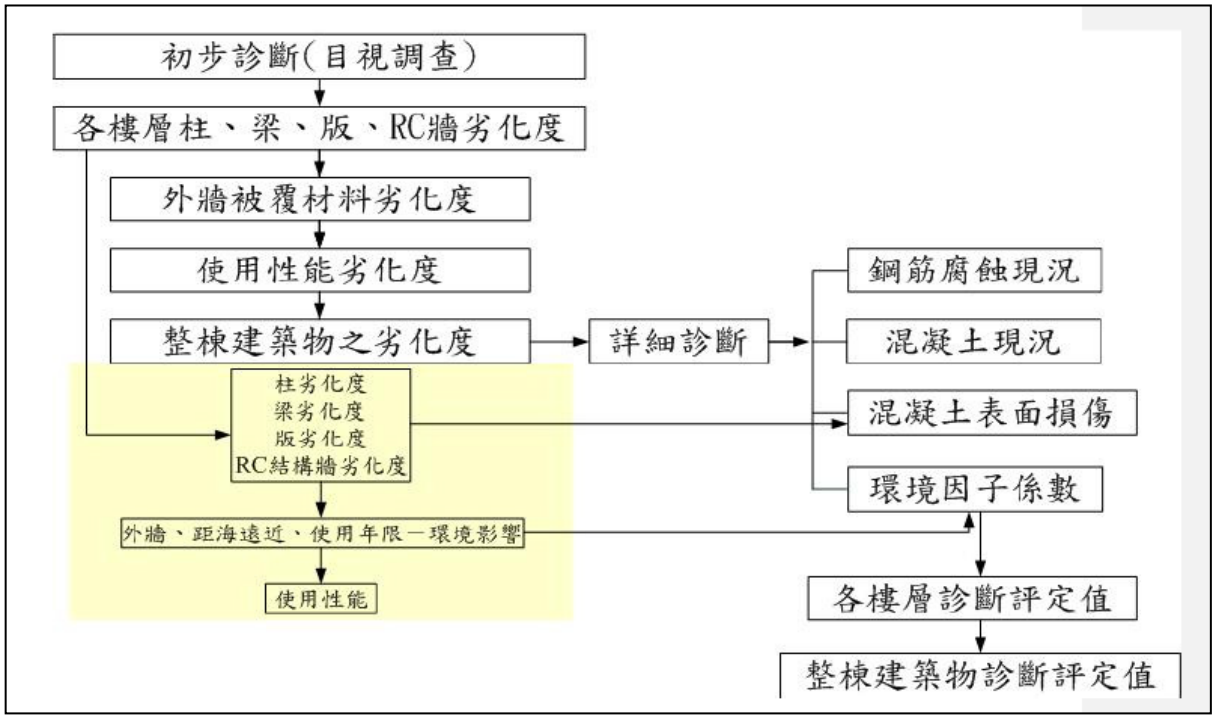
工程師經驗判定

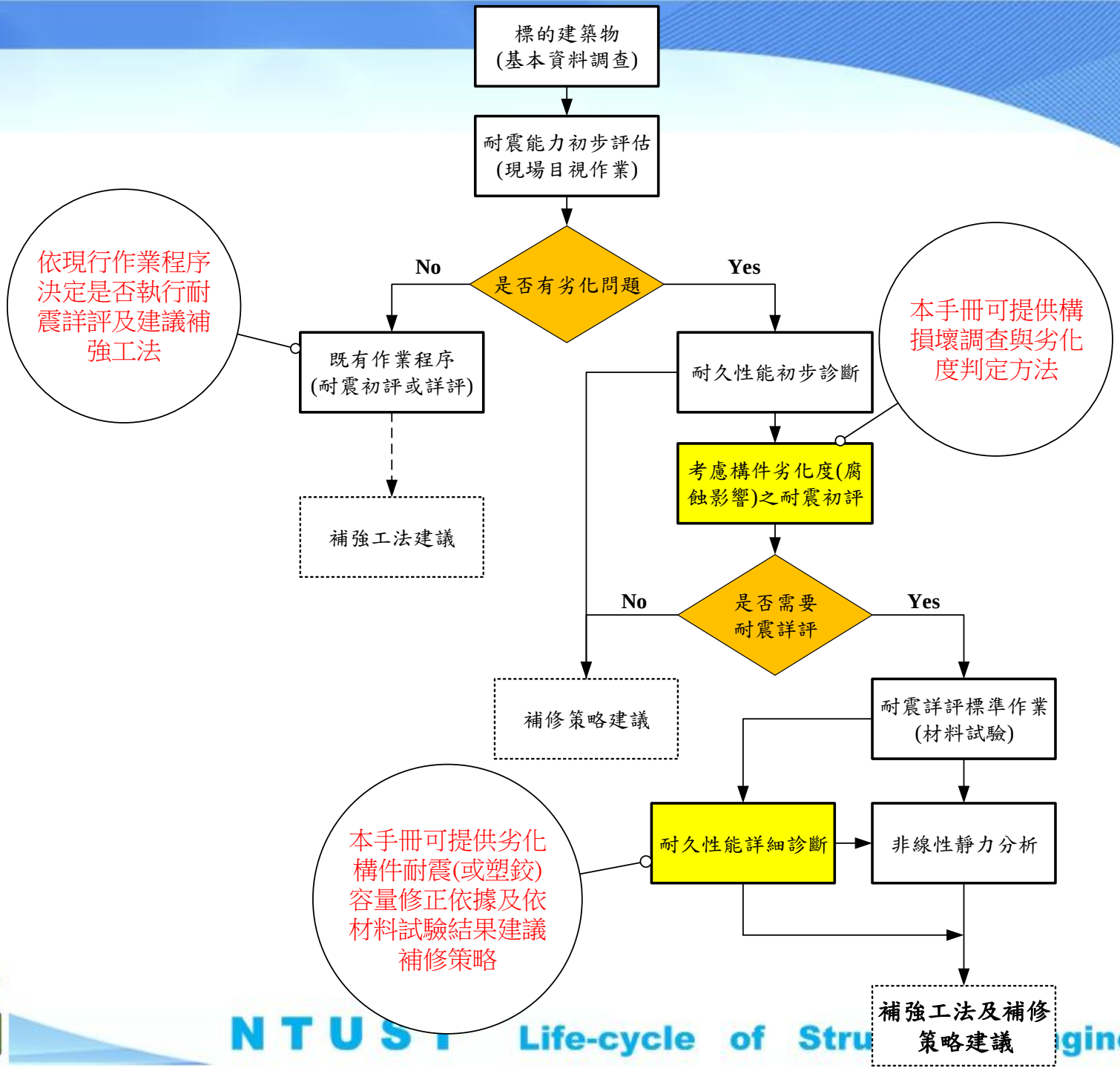
圖 2.2 耐久性能初步診斷分項架構

耐久性能詳細診斷法

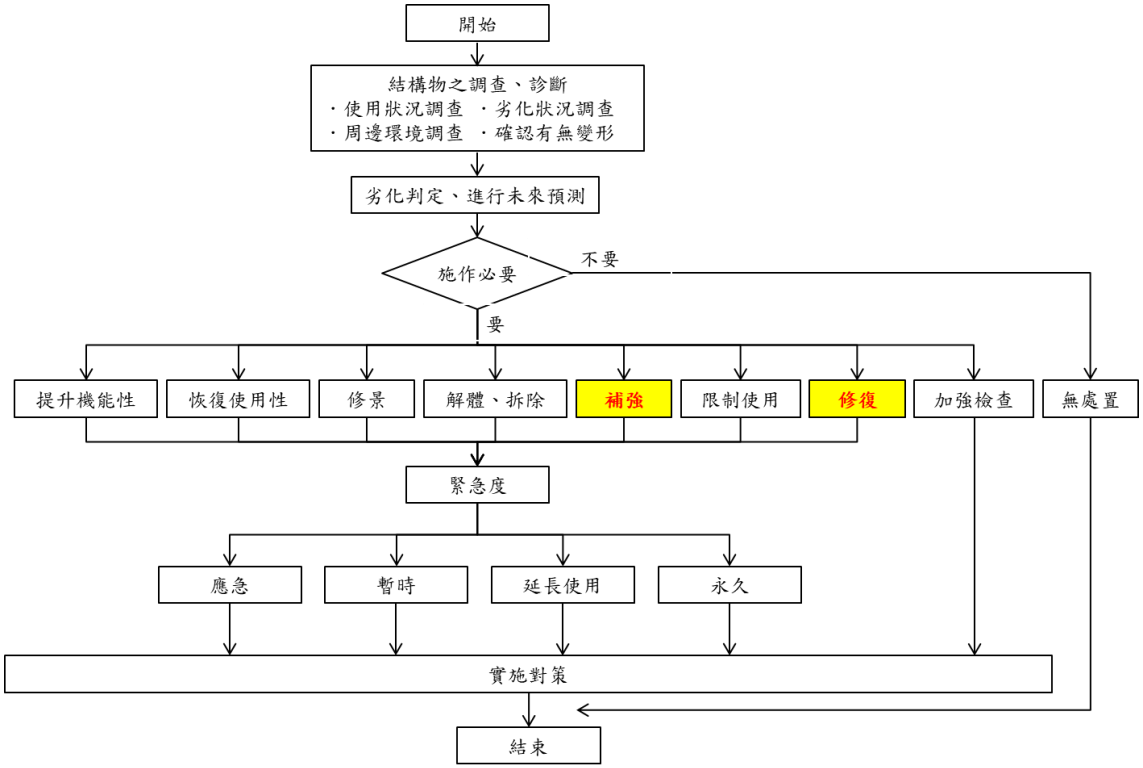


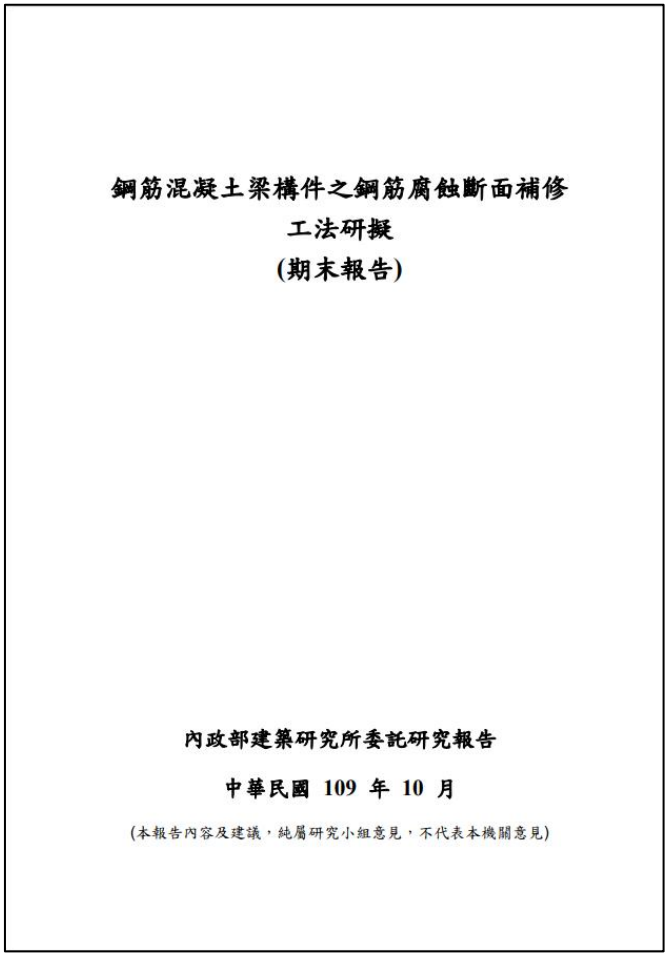
建議




標的建築物
(基本資料調查)
耐震能力初步評估
(現場目視作業)
是否有劣化問題
No
Yes
依現行作業程序決定是否執行耐震詳評及建議補強工法
既有作業程序
(耐震初評或詳評)
補強工法建議
耐久性能初步診斷
本手冊可提供構損壞調查與劣化度判定方法
考慮構件劣化度(腐蝕影響)之耐震初評
是否需要耐震詳評
No
Yes
補修策略建議
耐震詳評標準作業
(材料試驗)
本手冊可提供劣化構件耐震(或塑鉸)容量修正依據及依材料試驗結果建議補修策略
耐久性能詳細診斷
非線性靜力分析
補強工法及補修策略建議

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，2020)




鋼筋混凝土梁構件之鋼筋腐蝕斷面補修
工法研擬
(期末報告)

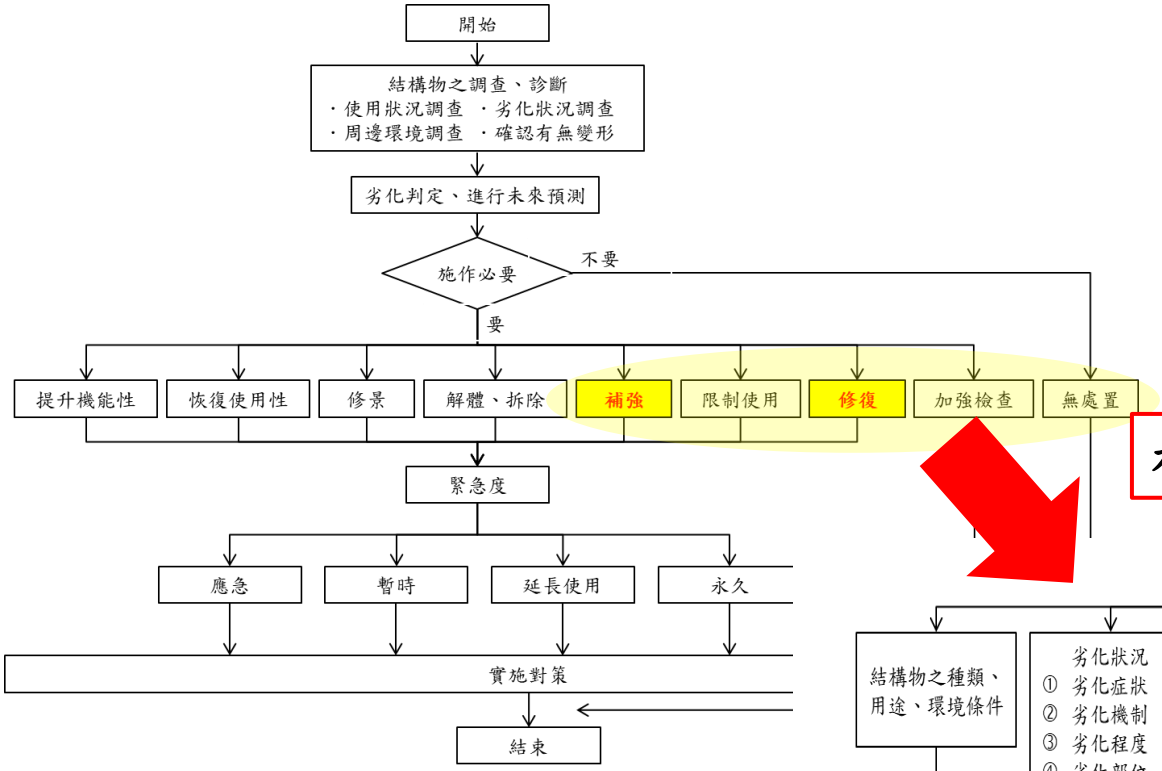
內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 109 年 10 月

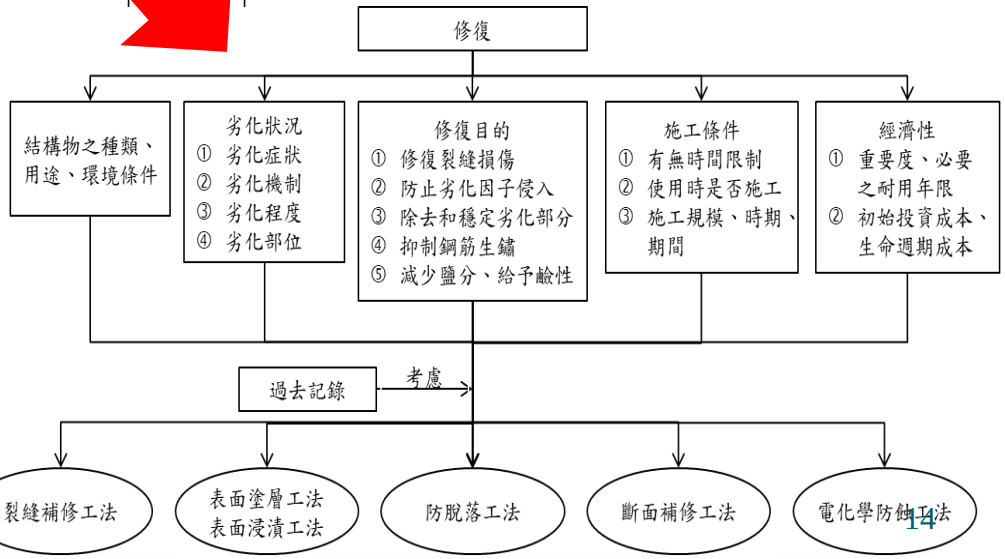
(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

すぐに役立つセメント系補修・補強材料の基礎知識
(日本水泥協會，2011)

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，2020)



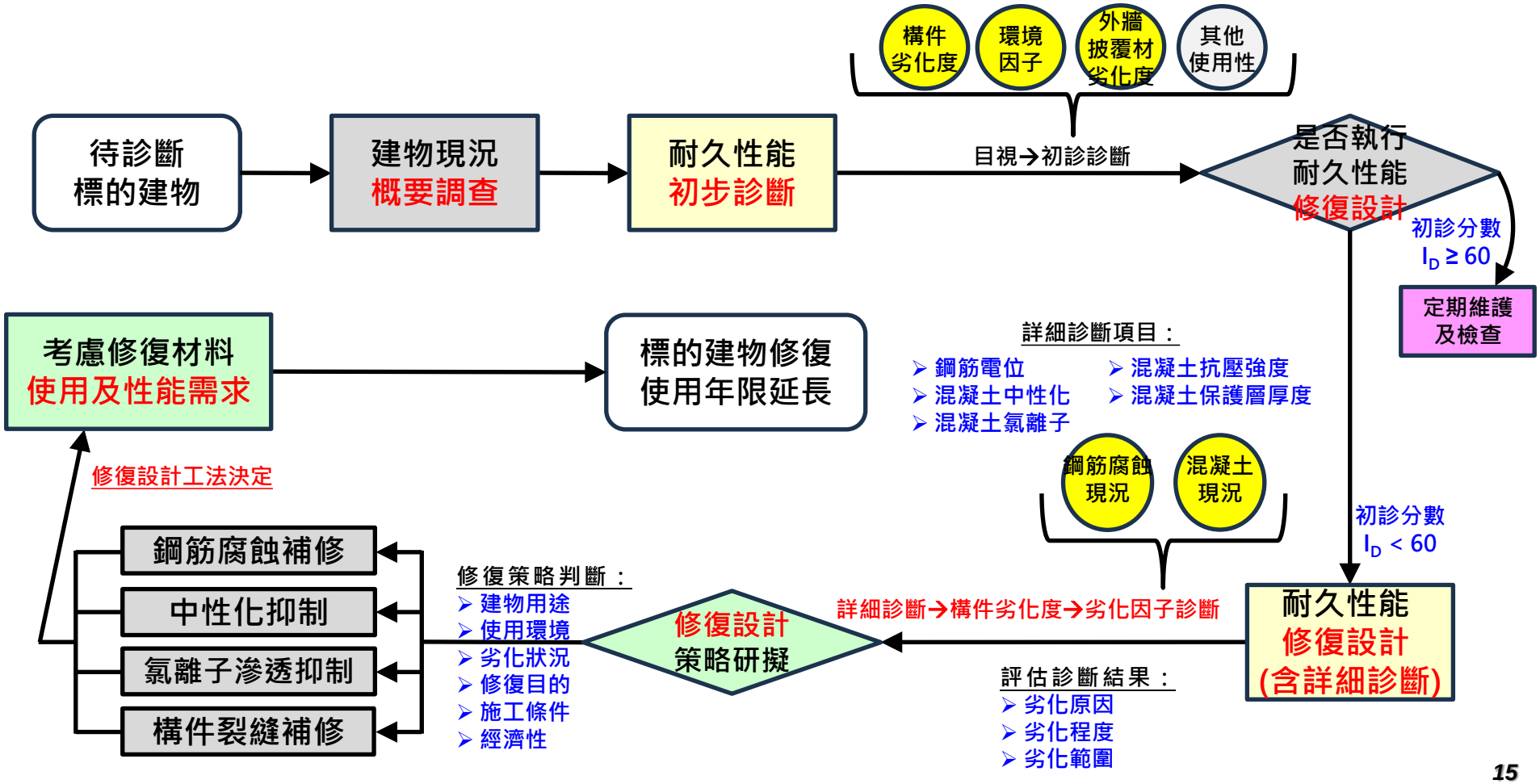
補修工法選定時應考量之條件



すぐに役立つセメント系補修・補強材料の基礎知識
(日本水泥協會，2011)

校舍耐久性能改善計畫執行流程研擬(教育部)

參考資料：邱建國、陳君弢、高玉荃等人(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。



初步診斷評定結果標準

單一樓層的構件劣化度評分
=(健全數量×0+輕度數量×1+中度數量×2+重度數量×4+嚴重數量×8)

整棟校舍的劣化度評分=合計全部樓層的構件劣化度評分

初診分數I_D =Max (0,100-整棟校舍的劣化度評分/環境影響因子)

構件劣化度	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
分數/構件	0	1	2	4	8

環境影響因子	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	高環境劣化潛勢
分數	0.95	0.9	0.85

初診分數 I_D	$I_D \geq 75$	$75 > I_D \geq 60$	$60 > I_D \geq 50$	$50 > I_D \geq 20$	$I_D < 20$
初診評定結果	不進入修復設計		進入修復設計		優先進入修復設計

初步診斷方法實例結果

結果	棟數	比例
優先進入修復設計	7	38.7%
進入修復設計	5	
不進入修復設計	19	61.3%

與**國震團隊**完成20棟校舍初診結果進入修復設計比例**65%**相比，由**專業技師**診斷結果進入修復設計比例較低**(38.7%)**。總計此51棟校舍之初診結果，耐久性初步診斷**約50%(=25/51)**的校舍會進入修復設計，此結果**可作為日後進行公建計畫之參考**。

縣市	學校名稱	校舍名稱	承作公司	初診分數	初診分數結果
新北市	市立石碇國小	第二棟教室	鴻碩工程顧問有限公司	91.11	不進入修復設計
新北市	市立瑞濱國小	至真樓	鴻碩工程顧問有限公司	47.06	進入修復設計
新北市	市立鼻頭國小	教學大樓	鴻碩工程顧問有限公司	82.35	不進入修復設計
新北市	市立牡丹國小	西棟	鴻碩工程顧問有限公司	87.06	不進入修復設計
基隆市	市立仁愛國小	直二棟	鴻碩工程顧問有限公司	44.44	進入修復設計
臺北市	市立龍安國小	幼教樓	鴻碩工程顧問有限公司	57.65	進入修復設計
桃園市	市立南崁國中	仁愛樓	青禾土木結構技師事務所	92.94	不進入修復設計
桃園市	市立西門國小	勤學樓(B棟)	青禾土木結構技師事務所	90.59	不進入修復設計
桃園市	市立新莊國小	舊校舍	青禾土木結構技師事務所	96.67	不進入修復設計
桃園市	市立瑞梅國小	B棟教室	青禾土木結構技師事務所	94.12	不進入修復設計
桃園市	市立社子國小	教學大樓	青禾土木結構技師事務所	95.56	不進入修復設計
臺北市	國立臺北教大實小	自強樓特別教室	擎利技術有限公司	100	不進入修復設計
臺北市	市立格致國中	行政大樓第二期	擎利技術有限公司	97.78	不進入修復設計
臺北市	市立格致國中	行政大樓第三期	擎利技術有限公司	93.33	不進入修復設計
臺北市	市立福林國小	信義樓	擎利技術有限公司	88.89	不進入修復設計
臺北市	市立劍潭國小	前瞻樓新生樓	擎利技術有限公司	70.59	不進入修復設計
臺北市	市立芝山國小	忠孝樓	擎利技術有限公司	85.88	不進入修復設計
花蓮縣	國立花蓮高工	第二排教室	擎利技術有限公司	98.82	不進入修復設計
臺中市	市立公明國小	西棟校舍	永安土木技師事務所	0	優先進入修復設計
臺中市	市立梧棲國中	專科大樓	永安土木技師事務所	0	優先進入修復設計
臺北市	市立螢橋國小	北棟(左)	永安土木技師事務所	0	優先進入修復設計
臺北市	市立螢橋國小	北棟(右)	永安土木技師事務所	0	優先進入修復設計
臺北市	市立復興高中	篤行樓	永安土木技師事務所	0	優先進入修復設計
臺北市	市立復興高中	自強樓	永安土木技師事務所	0	優先進入修復設計
臺中市	市立臺中國小	幼稚園	永安土木技師事務所	91.11	不進入修復設計
臺南市	市立中洲國小	圖書館(博文館)	陞豐土木技師事務所	49.41	進入修復設計
臺南市	市立太康國小	行政大樓	陞豐土木技師事務所	29.41	進入修復設計
臺南市	市立安南國中	禮堂	陞豐土木技師事務所	94.12	不進入修復設計
高雄市	市立左營高中	特別教室	陞豐土木技師事務所	71.11	不進入修復設計
高雄市	市立旗津國中	忠孝樓	陞豐土木技師事務所	0	優先進入修復設計
高雄市	市立福東國小	仁愛樓	陞豐土木技師事務所	96.67	不進入修復設計

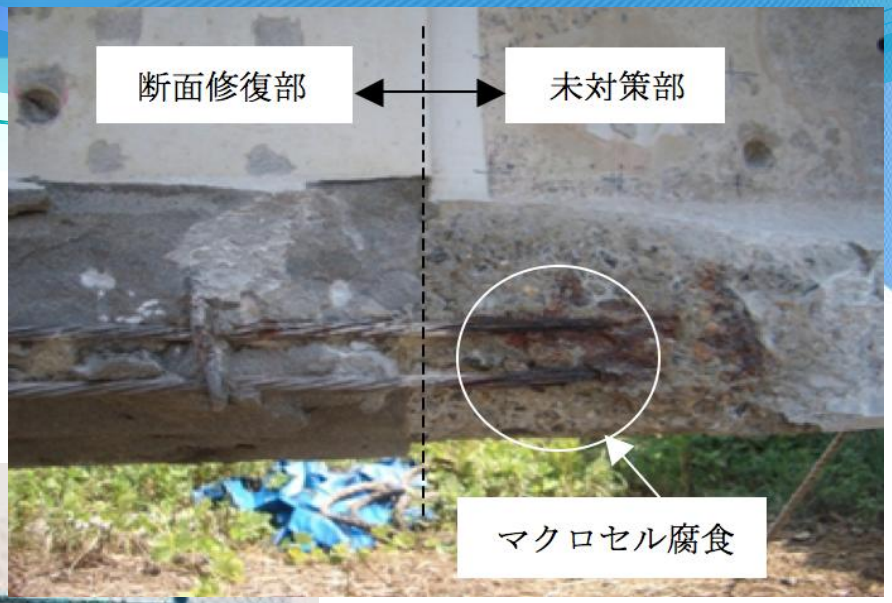
鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊研擬(內政部建築研究所，2023)

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)

將修復試體翻面架高，
採用由下往上施工，
符合實際修復狀況。

(a) かぶりコンクリートの浮き・剥離

(b) 主筋に沿う腐食ひび割れや錆汁



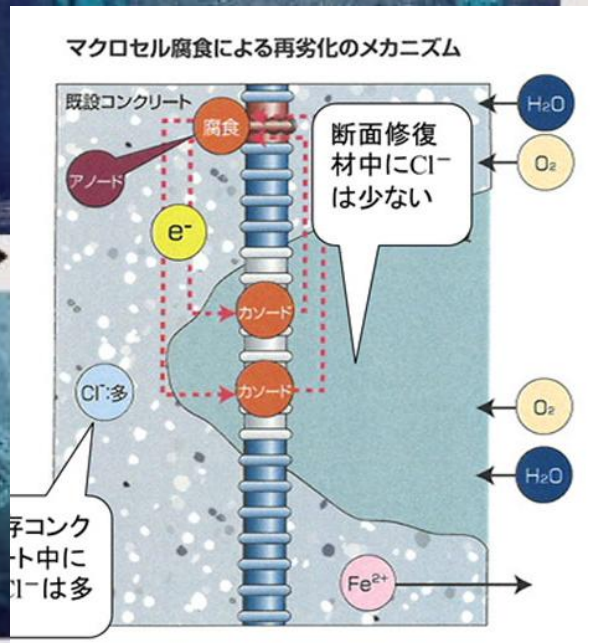
〈塩害〉

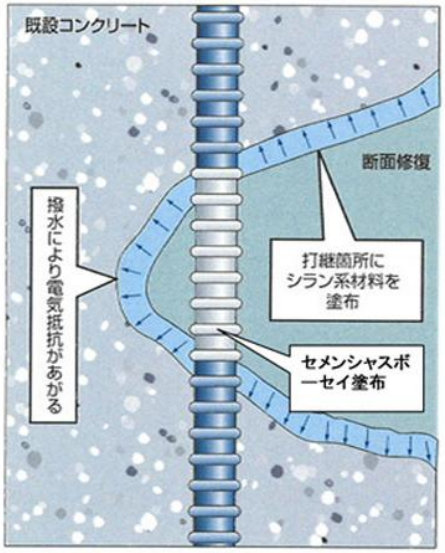
▶PC桁に橋軸方向のひび割れ。PC鋼材の腐食

▶マクロセル腐食*で再劣化。補修箇所のさび流出

〈中性化〉

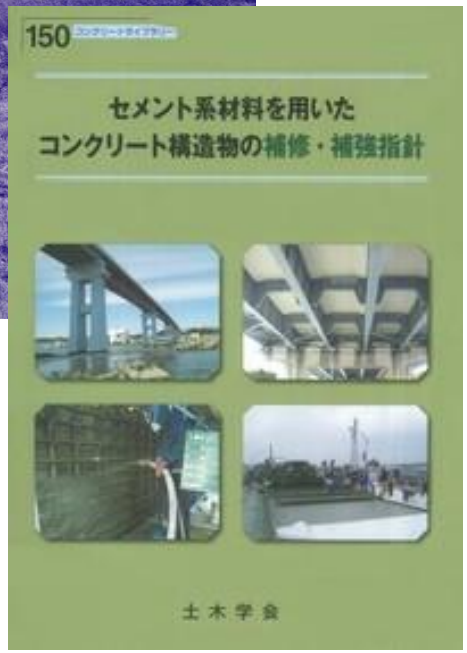
▶

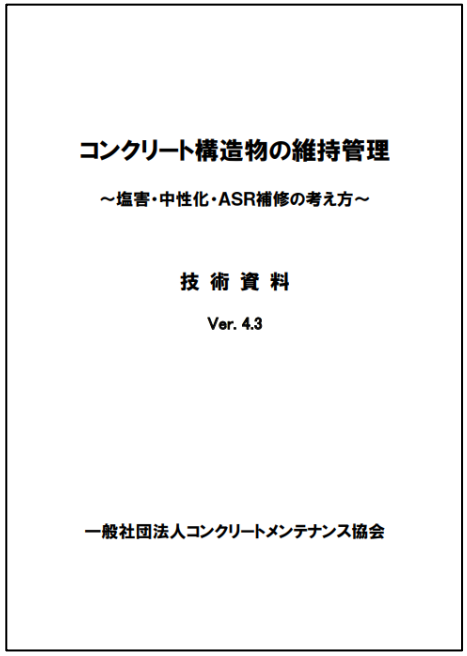


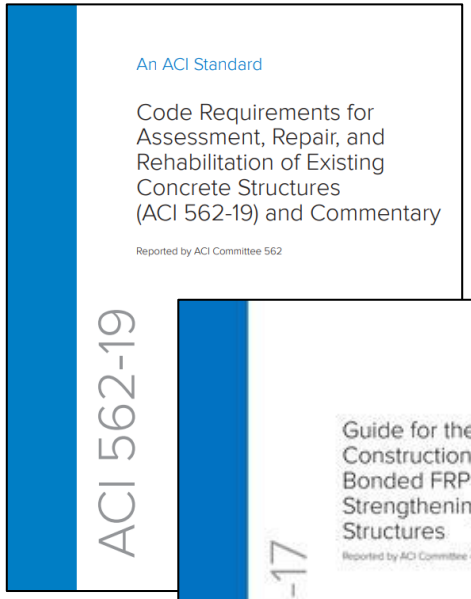


*修復した部分の鉄筋と、塩化物イオンを含む既設コンクリート部分の鉄筋との間に電位差が生じ、既設コンクリート側の鉄筋が腐食する現象

腐蝕構件的斷面修復和鋼筋混凝土補修設計
國外相關文獻蒐集







斷面修復材料種類

斷面修復材料之類型依「**既有混凝土結構物維修及補強技術手冊**」建議分別有水泥砂漿、環氧樹脂水泥砂漿、聚合物水泥砂漿。

1. 水泥系修復砂漿

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。

2. 環氧樹脂修復砂漿

與水泥系補修砂漿之施工方法相類似，但硬固時間短，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。優點為適用於薄邊緣區域之修復、緊急時可快速修復、比水泥系修復砂漿擁有更高的不透水性。

3. 聚合物修復砂漿

聚合物可改善水泥系修復砂漿之撓曲和抗拉強度、滲透性、黏結能力、抵抗化學侵蝕能力及抗凍融能力。但是，聚合物修復砂漿因熱膨脹係數較大、成本高且含有化學毒性，在使用前必須了解其材料特性和使用方法，以避免修復失敗。

斷面修復材料之相關試驗

參考日本JIS A 1171規範

撓曲強度

抗壓強度

黏結強度

透水量

吸水率

長度變化量

力學性能

中性化試驗

氯離子滲透試驗

耐久性能

斷面修復材料基準值

項目		基準值		標準試驗法
		水泥砂漿	環氧樹脂砂漿	
撓曲強度 (MPa)		6.0以上	10.0以上	JIS A 1171 ASTM C348
抗壓強度 (MPa)	7天	20.0以上	20.0以上	JIS A 1171 ASTM C109
	28天	28.0以上	35.0以上	
黏結強度 (N/mm^2)	標準時	1.5以上	1.5以上	JIS A 1171 ASTM C1583
	冷熱反覆後	1.5以上	1.5以上	
透水量 (g)		15.0以下	15.0以下	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

(內政部建築研究所，2020)

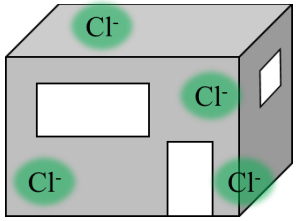
考慮老劣化影響之耐震能力評估

問題點??

現今鋼筋混凝土建築

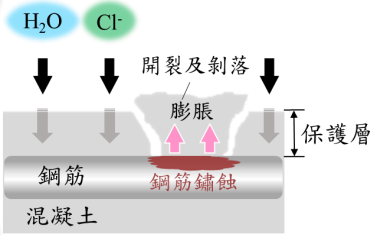
高鹽害環境

不考慮



保護層開裂

不考慮



耐震能力評估

不考慮

材料內部
氯鹽量

不考慮

鋼筋腐蝕

不考慮耐久性能的影響

老劣化

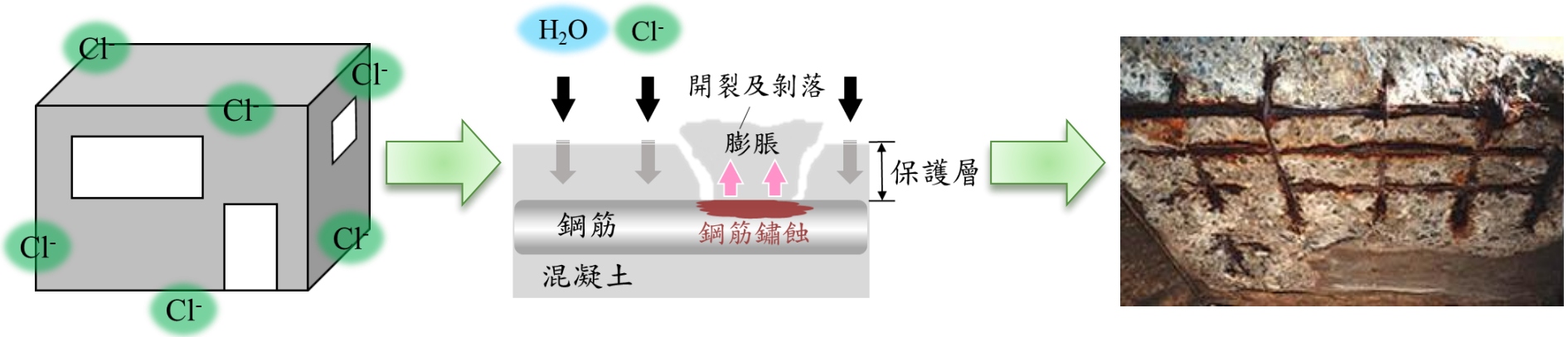
老劣化 → 老劣化因子 → 老劣化現象

老劣化因子

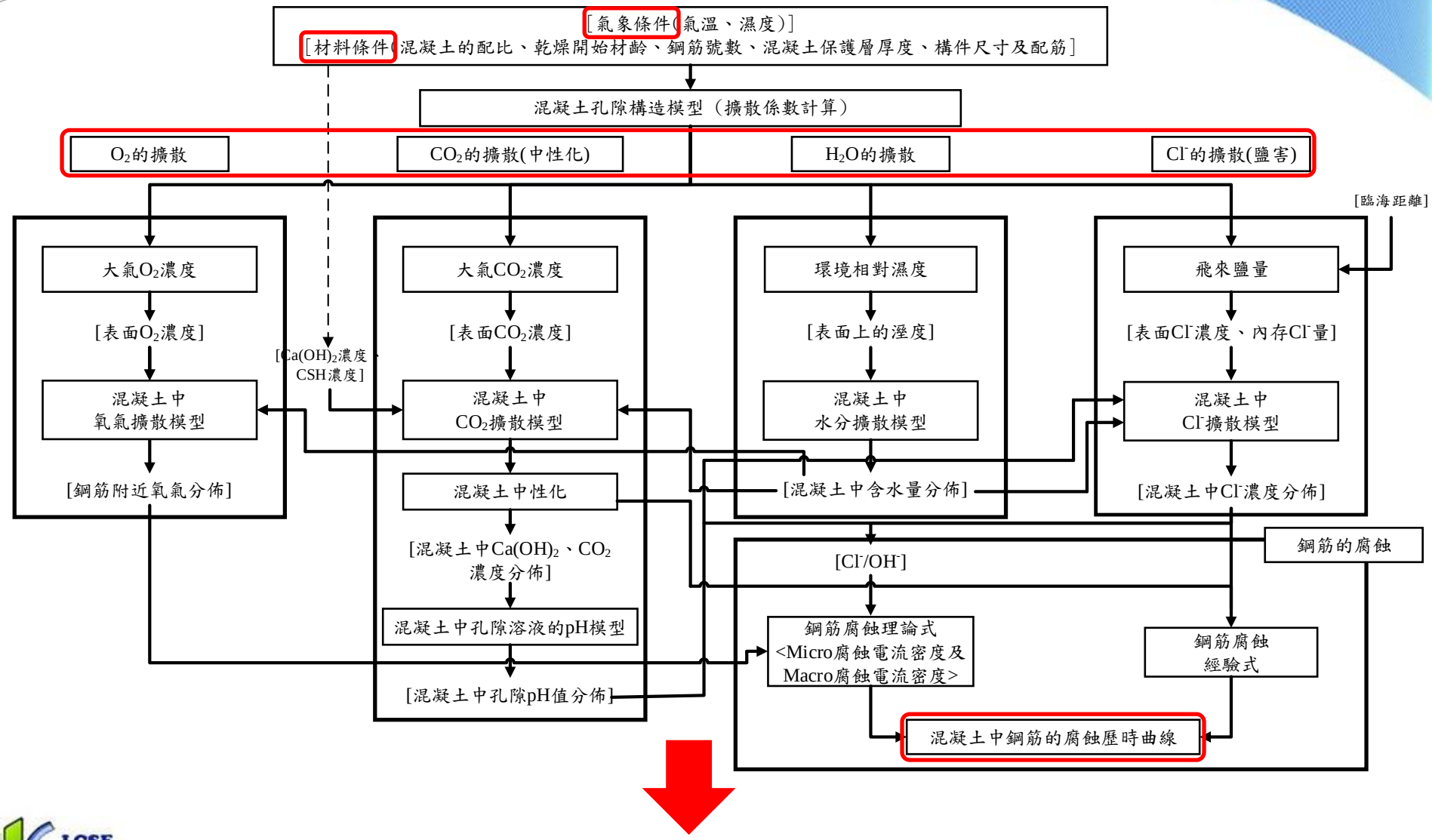
- 外在環境
- 材料本身

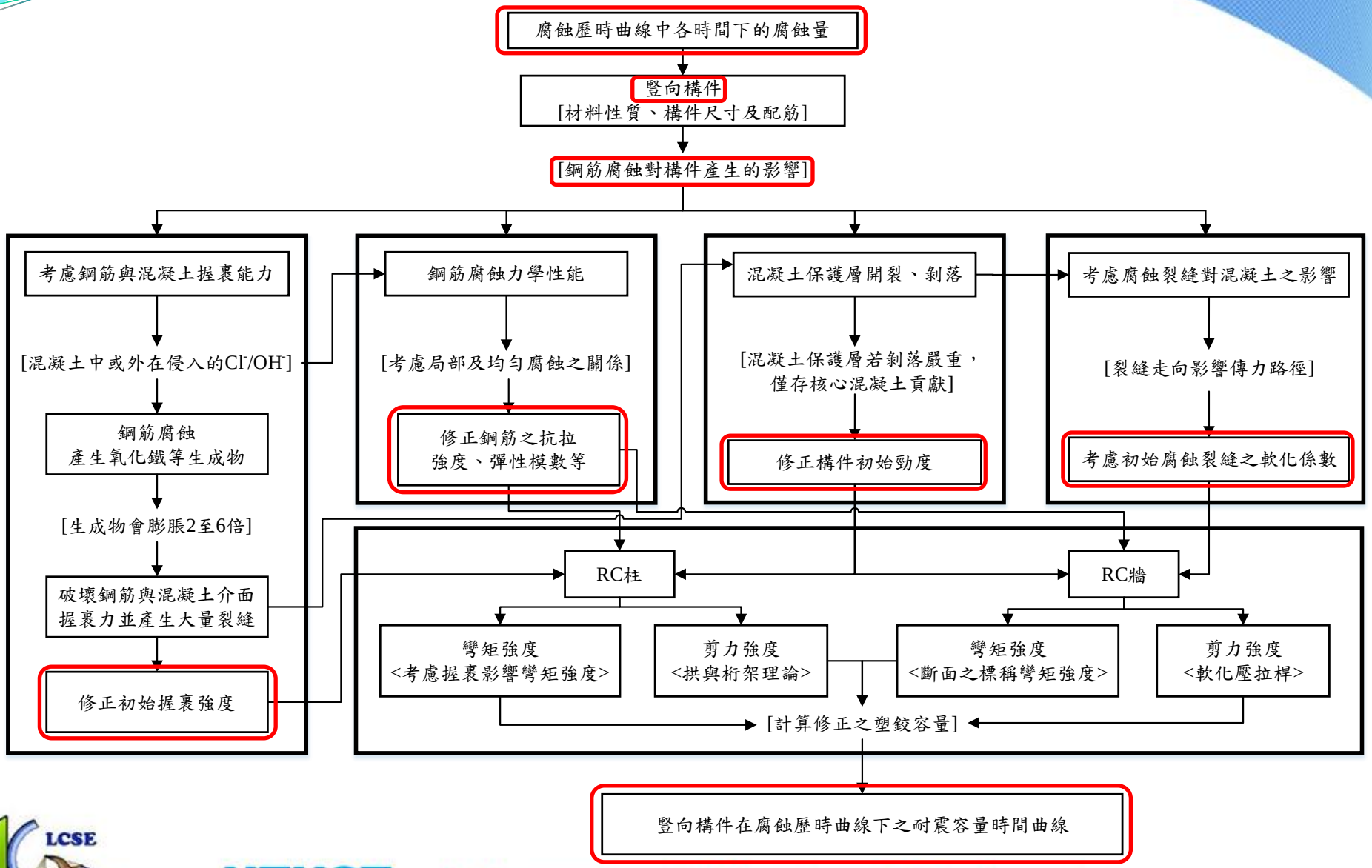
老劣化現象

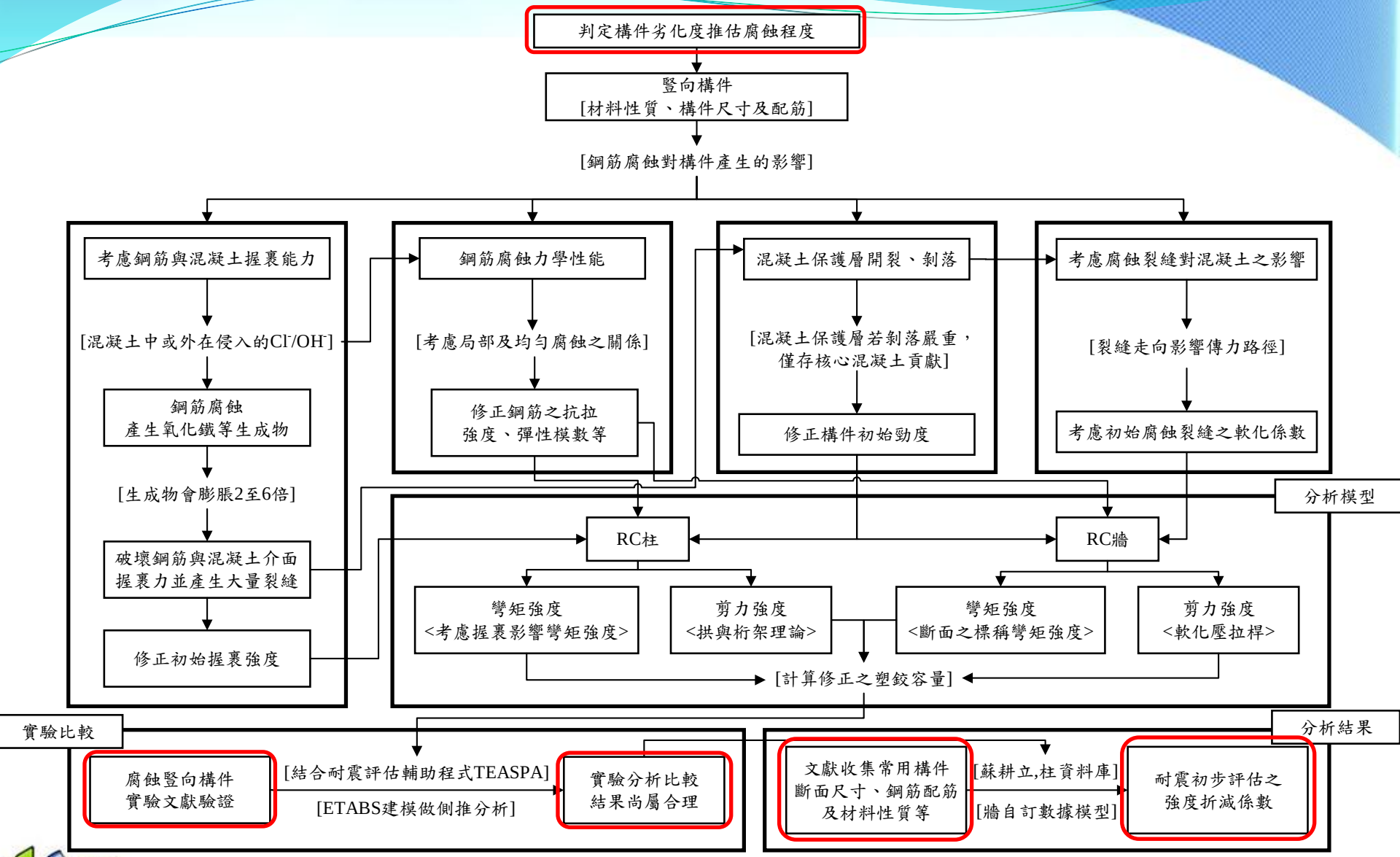
- 混凝土保護層開裂、剝落
- 鋼筋腐蝕嚴重



考慮耐久性能之耐震能力流程圖




腐蝕歷時曲線中各時間下的腐蝕量
豎向構件
[材料性質、構件尺寸及配筋]
[鋼筋腐蝕對構件產生的影響]
考慮鋼筋與混凝土握裹能力
[混凝土中或外在侵入的Cl⁻/OH⁻]
鋼筋腐蝕
產生氧化鐵等生成物
[生成物會膨脹2至6倍]
破壞鋼筋與混凝土介面
握裹力並產生大量裂縫
修正初始握裹強度
鋼筋腐蝕力學性能
[考慮局部及均勻腐蝕之關係]
修正鋼筋之抗拉
強度、彈性模數等
混凝土保護層開裂、剝落
[混凝土保護層若剝落嚴重，
僅存核心混凝土貢獻]
修正構件初始勁度
考慮腐蝕裂縫對混凝土之影響
[裂縫走向影響傳力路徑]
考慮初始腐蝕裂縫之軟化係數
RC柱
RC牆
彎矩強度
<考慮握裹影響彎矩強度>
剪力強度
<拱與桁架理論>
彎矩強度
<斷面之標稱彎矩強度>
剪力強度
<軟化壓拉桿>
[計算修正之塑鉸容量]
豎向構件在腐蝕歷時曲線下之耐震容量時間曲線


判定構件劣化度推估腐蝕程度
豎向構件
[材料性質、構件尺寸及配筋]
[鋼筋腐蝕對構件產生的影響]
考慮鋼筋與混凝土握裹能力
[混凝土中或外在侵入的Cl⁻/OH⁻]
鋼筋腐蝕
產生氧化鐵等生成物
[生成物會膨脹2至6倍]
破壞鋼筋與混凝土介面
握裹力並產生大量裂縫
修正初始握裹強度
鋼筋腐蝕力學性能
[考慮局部及均勻腐蝕之關係]
修正鋼筋之抗拉
強度、彈性模數等
混凝土保護層開裂、剝落
[混凝土保護層若剝落嚴重，
僅存核心混凝土貢獻]
修正構件初始勁度
考慮腐蝕裂縫對混凝土之影響
[裂縫走向影響傳力路徑]
考慮初始腐蝕裂縫之軟化係數
分析模型
RC柱
RC牆
彎矩強度
<考慮握裹影響彎矩強度>
剪力強度
<拱與桁架理論>
彎矩強度
<斷面之標稱彎矩強度>
剪力強度
<軟化壓拉桿>
[計算修正之塑鉸容量]
實驗比較
腐蝕豎向構件
實驗文獻驗證
[結合耐震評估輔助程式TEASPA]
[ETABS建模做側推分析]
實驗分析比較
結果尚屬合理
分析結果
文獻收集常用構件
斷面尺寸、鋼筋配筋
及材料性質等
[蘇耕立,柱資料庫]
[牆自訂數據模型]
耐震初步評估之
強度折減係數

耐久性能診斷

必要前置作業

耐久性能診斷 → 1.概要調查 / 2.初步診斷 → 詳細診斷

主要範圍

- 1.概要調查 → 和使用者訪談 → 收集基本資料
- 2.初步診斷 → 目視調查裂縫 → 判定腐蝕程度

耐震能力初步評估

耐震能力初步評估 → 耐震容量、需求 → 評估結果

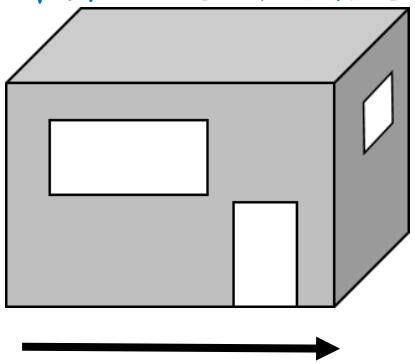
耐震容量、需求

- 底層構件提供容量
- 耐震規範提供需求

評估結果

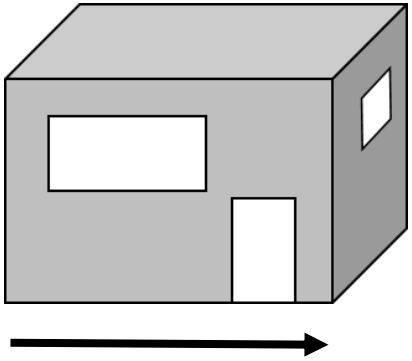
- 耐震指標I_s
- 耐震性能A_p

底層豎向構件
計算之總側力強度



耐震容量

內政部國土署
“耐震設計規範”



耐震需求

$$\frac{\text{耐震容量}}{\text{耐震需求}} \times Q \times 100 = \text{耐震指標} I_s$$

$$\frac{\text{耐震指標} I_s}{100} \times A_T = \text{耐震性能} A_p$$

耐震初步評估計算流程

收集基本資料

校舍

底層豎向構件提供總剪力強度

＜ 耐震容量 ＞

$$V_{bs}=\beta\left[\left(\sum_{i=1}^{N_{c,教室}}A_{c,i}\tau_c\right)_{教室柱}+\left(\sum_{j=1}^{N_{c,走廊}}A_{c,j}\tau_c\right)_{走廊柱}+\left(\sum_{k=1}^{N_{c,隔間}}A_{c,k}\tau_c\right)_{隔間柱}+\tau_{rcw}\sum A_{rcw}+\tau_{bw3}\sum A_{bw3}+\tau_{bw4}\sum A_{bw4}\right]$$

最小設計水平總橫力

＜ 耐震需求 ＞

總調整因子Q

街屋

底層豎向構件面積轉換之等效柱量比

＜ 耐震容量 ＞

$$CFR_{eq}=[\sum A_c+\beta(2.63\sum A_{rcw4}+1.50\sum A_{rcw3}+0.50\sum A_{bw4}+0.40\sum A_{bw3})]/\sum A_f$$

短週期設計水平譜加速度係數

＜ 耐震需求 ＞

現況調整因子Q

容量/需求=基本耐震性能E

初評結果-耐震指標I_s

$$Q\times E\times 100=I_s$$

構件劣化度判定

耐久性能初步診斷 → 目視檢測 → 腐蝕程度

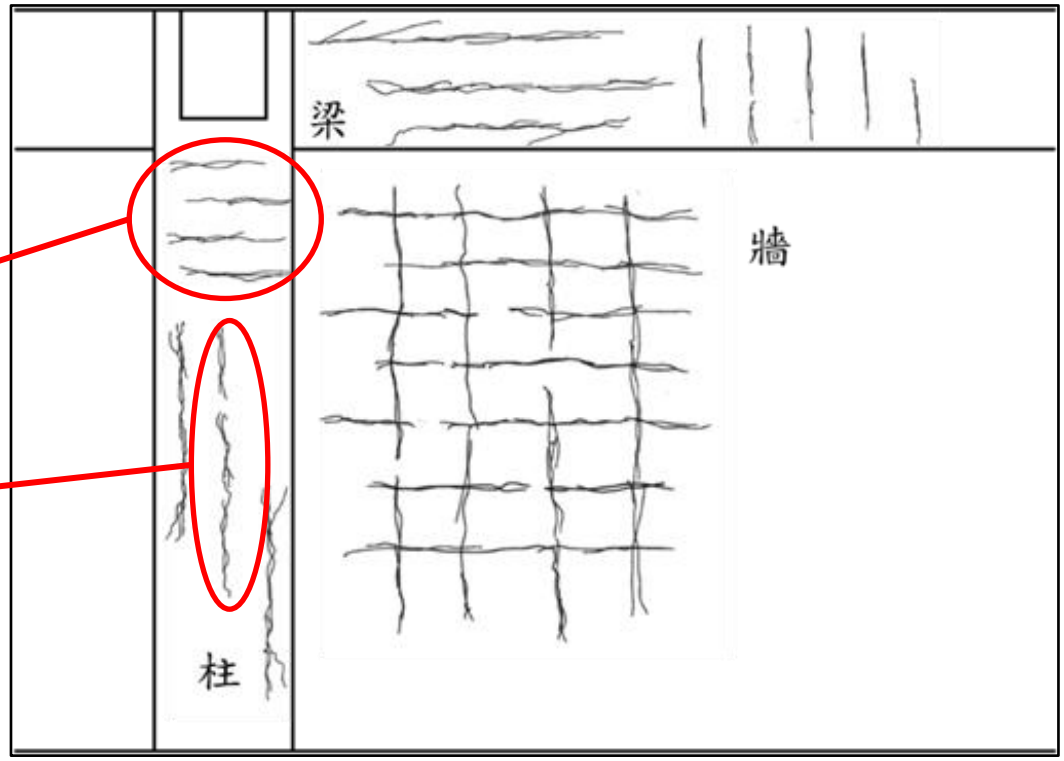
劣化度	劣化症狀 (裂縫寬度)	鋼筋腐蝕率 (重量減少率)
健全	無明顯劣化症狀	< 1%
輕度	< 0.3mm	3%
中度	0.3 - 0.5mm	5%
重度	> 0.5mm	10%
嚴重損壞	混凝土裂縫大到無法判定寬度、剝落嚴重，鋼筋完全露出且腐蝕嚴重	> 20%

構件劣化度判定

腐蝕產生裂縫　主筋、箍筋、水平及垂直筋　內部鋼筋走向

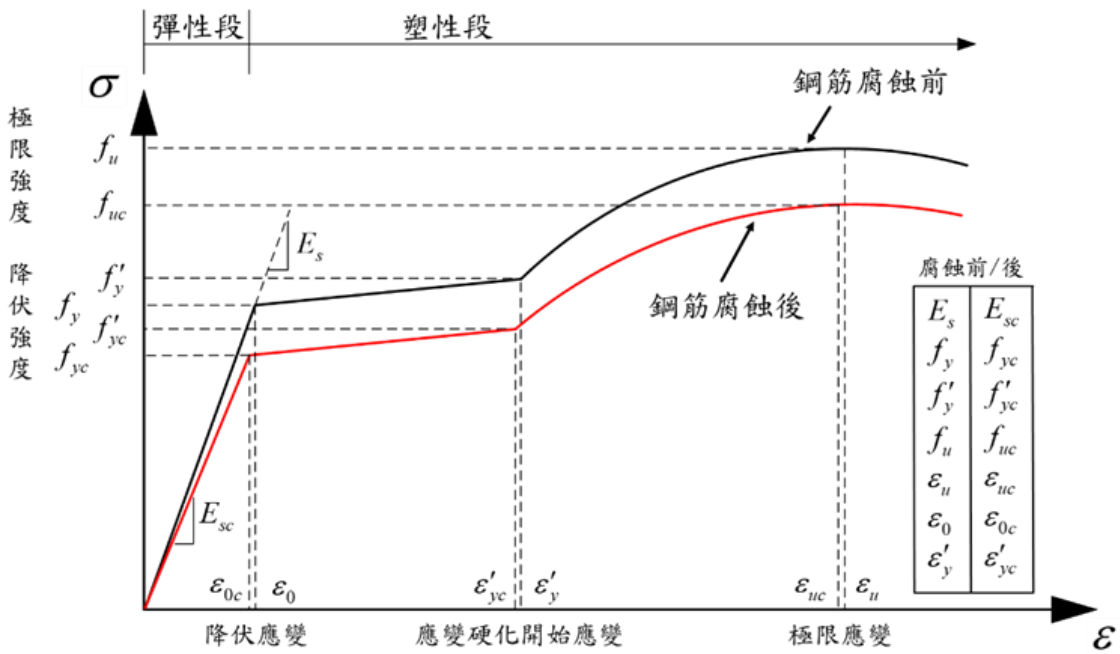
實際情況

鋼筋腐蝕造成之裂縫示意圖



腐蝕對鋼筋力學性能之影響

- 腐蝕鋼筋斷面積同未腐蝕，僅修改應力應變曲線模擬腐蝕效應。
- 文獻提供公式僅適用於腐蝕率20%以內。
- 且因局部腐蝕(孔蝕)關係，將平均腐蝕率ΔW_{avg}放大α倍(2.0)評估。

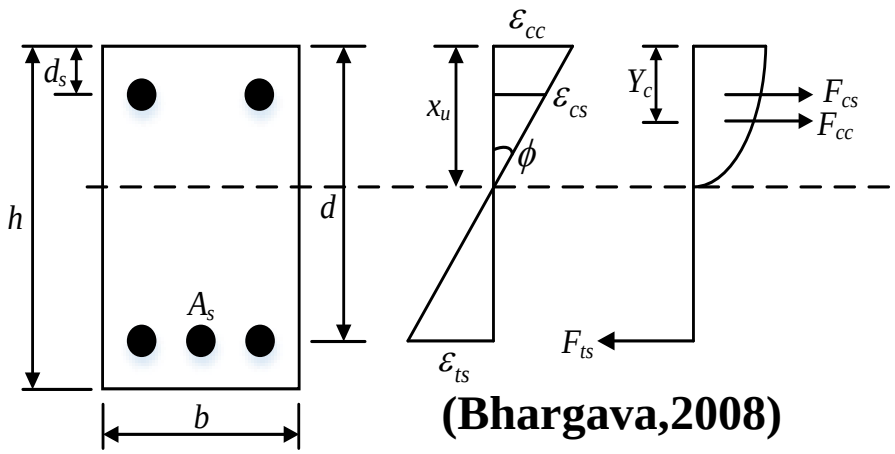


鋼筋腐蝕殘餘強度公式
$E_{sc}=(1-1.14(\alpha\times\Delta W_{avg}))E_s$
$f_{yc}=(1-1.14(\alpha\times\Delta W_{avg}))f_y$
$f'_{yc}=(1-0.66(\alpha\times\Delta W_{avg}))f'_y$
$f_{uc}=(1-1.00(\alpha\times\Delta W_{avg}))f_u$
$\varepsilon_{0c}=(1-1.73(\alpha\times\Delta W_{avg}))\varepsilon_0$

(金瑩來,2008)

腐蝕RC柱構件之撓曲行為

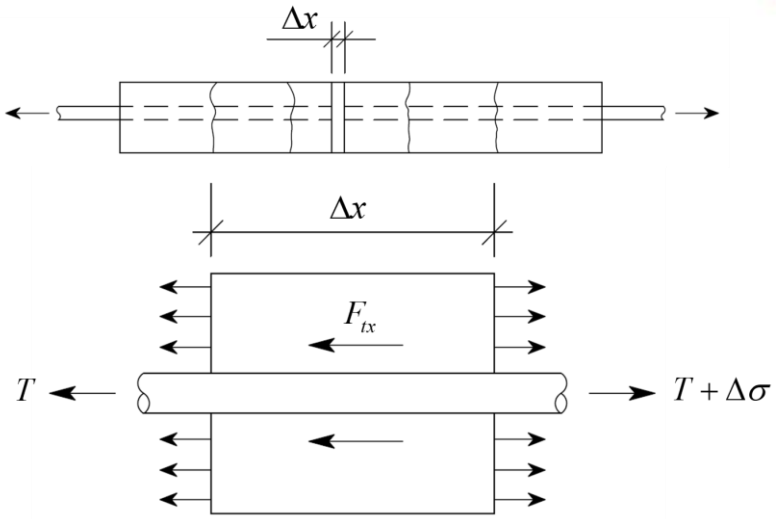
- 腐蝕柱構件評估模型



(Bhargava,2008)

(BIS,2000)

- 考慮握裹能力



鋼筋材料性質

$$E_{sc}=(1-1.14(\alpha\times\Delta W_{avg}))E_s$$

$$f_{yc}=(1-1.14(\alpha\times\Delta W_{avg}))f_y$$

腐蝕後握裹能力

$$u_c=\exp(-6.07\Delta W_{avg})$$

$$F_{tx}=u_c\times\pi\times d_b\times l_d\times N_s$$

破壞模式判斷

$$\Delta\sigma=\min\begin{cases}2f_{yc} & \text{主筋降伏破壞}\\ 4u_c\times l_d/d_s & \text{撓曲握裹破壞}\end{cases}$$

(日本建築學會AIJ,1999)

(蔡宜靜,2018)

彎矩容量

M_{cn} 主筋降伏破壞

M_{bn} 撓曲握裹破壞

腐蝕RC柱構件之剪力行為(1/3)

- 參考(蔡宜靜, 2018)整理的AIJ拱與桁架理論模型
- 構件力平衡分成三種分力:**箍筋提供的剪力、混凝土提供的斜向壓力**以及**主筋提供的握裹力**。
- 破壞模式分成:**箍筋降伏破壞、握裹破壞模式**

鋼筋材料性質

$$E_{sc} = (1 - 1.14(\alpha \times \Delta W_{avg}))E_s$$

$$f'_{yc} = (1 - 0.66(\alpha \times \Delta W_{avg}))f'_y$$

腐蝕後握裹能力

$$u_c = \exp(-0.0607\Delta W_{avg})$$

$$F_{tx} = u_c \times \pi \times d_b \times l_d \times N_s$$

破壞模式判斷

$$\min\begin{cases} V_{yu} = V_{su} + V_a & \text{箍筋降伏破壞} \\ V_{bu} = V_t + V_a & \text{握裹破壞模式} \end{cases}$$

剪力容量

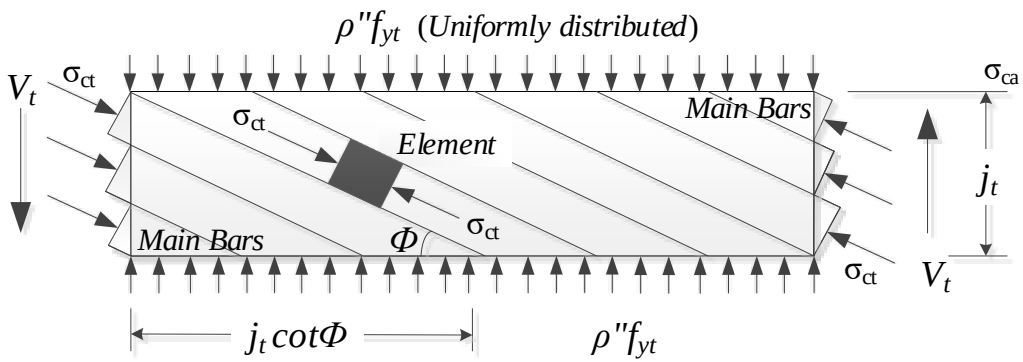
$2M_{bn}/H$	撓曲握裹破壞
V_{yu}	箍筋降伏破壞
V_{bu}	握裹破壞模式

(日本建築學會AIJ, 1999)
(蔡宜靜, 2018)

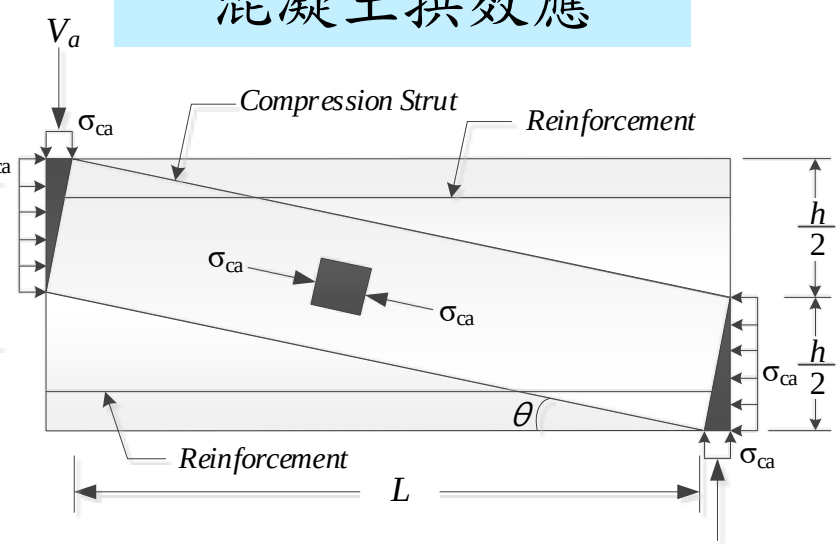
腐蝕RC柱構件之剪力行為(2/3)

- **拱與桁架理論**(Truss-Arch Theory)
- **箍筋降伏破壞**
  箍筋進入降伏階段時，主筋與混凝土間未發生握裹破壞行為

鋼筋桁架效應



混凝土拱效應



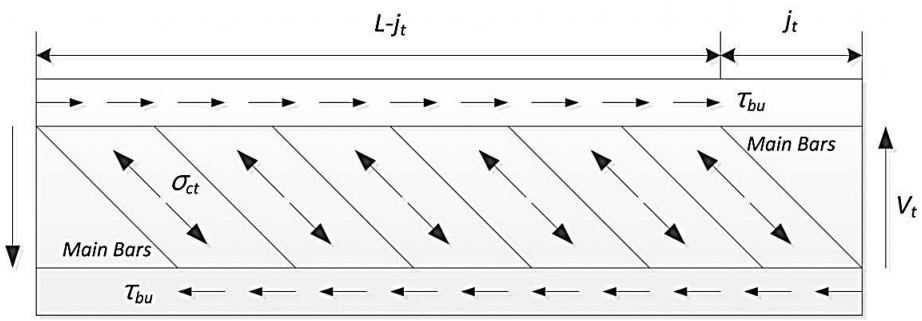
V_{su}：模擬鋼筋提供之剪力

V_a：模擬核心混凝土提供之剪力

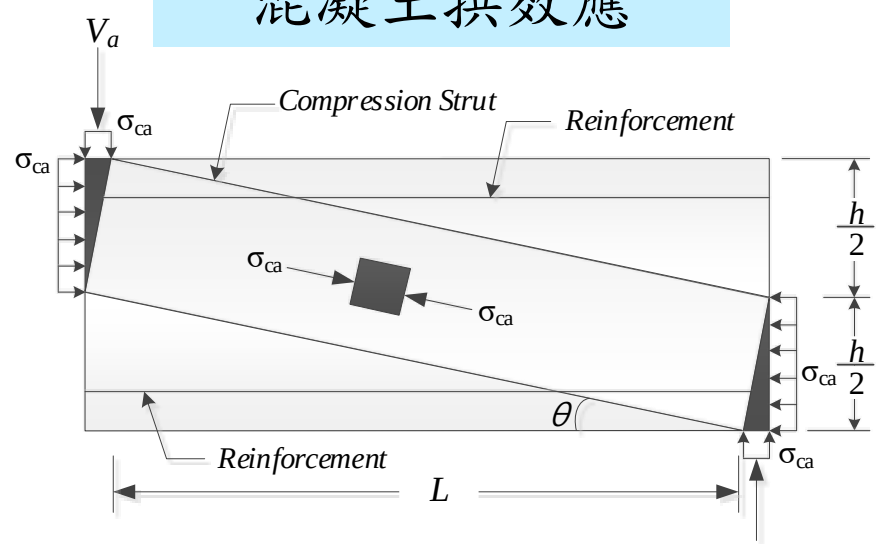
腐蝕RC柱構件之剪力行為(3/3)

- **拱與桁架理論**(Truss-Arch Theory)
- **握裹破壞模式**
  箍筋尚未降伏時，主筋與混凝土間已發生握裹破壞行為

鋼筋桁架效應



混凝土拱效應



V_t：模擬鋼筋提供之剪力

V_a：模擬核心混凝土提供之剪力

腐蝕RC柱塑鉸容量折減係數流程(1/2)

ACI撓曲容量

$$V_b = \frac{2M_n}{H}$$

標稱彎矩

AIJ撓曲容量

腐蝕 $Q_{M_{uc}} = \frac{2M_{cn}}{H}$

X ÷

未腐蝕 $Q_{M_{uc0}} = \frac{2M_{cn0}}{H}$

變位角公式

$$\Delta_y = \frac{V_b H^3}{12(\mathrm{EI})_{c,y}}$$

$$\Delta_n = \frac{V_b H^3}{12(\mathrm{EI})_{c,n}}$$

(國震中心,2013)

塑鉸容量 → 折減係數 → 修正塑鉸

剪力強度

$$V_n = V_s + V_c$$

腐蝕 $Q_{Su} = \min(\frac{2M_{bn}}{H}, V_{bu}, V_{yu})$

X ÷

未腐蝕 $Q_{Su0} = \min(\frac{2M_{bn}}{H}, V_{bu}, V_{yu})$

$$\frac{\Delta_s}{H} = \frac{3}{100} + 4\rho'' - \frac{1}{133}\frac{v_m}{\sqrt{f_c'}} - \frac{1}{40}\frac{P}{A_g f_c'} \geq 0.01$$

$$\frac{\Delta_a}{H} = \frac{4}{100}\frac{1+(\tan\theta)^2}{\tan\theta + P\left(\frac{s}{\kappa' A_{st} f_{yt} d_c \tan\theta}\right)}$$

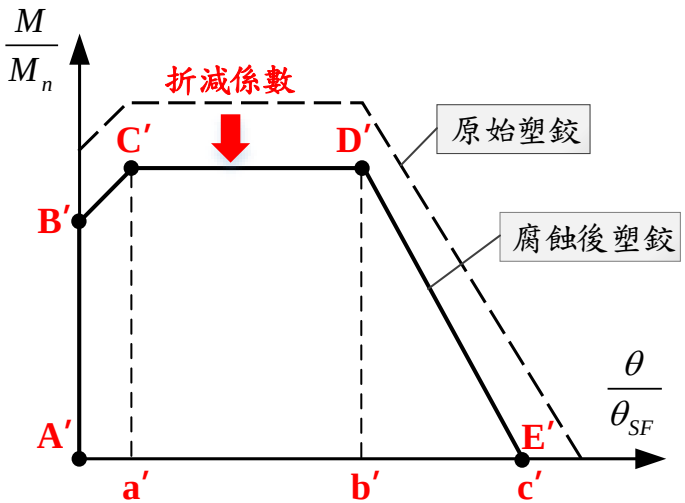
(國震中心,2013)

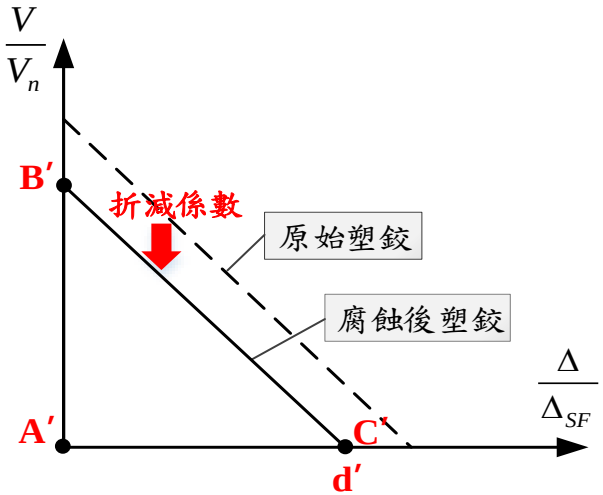
ACI剪力容量

AIJ剪力容量

(日本建築學會,1999)

腐蝕RC柱塑鉸容量折減係數流程(2/2)

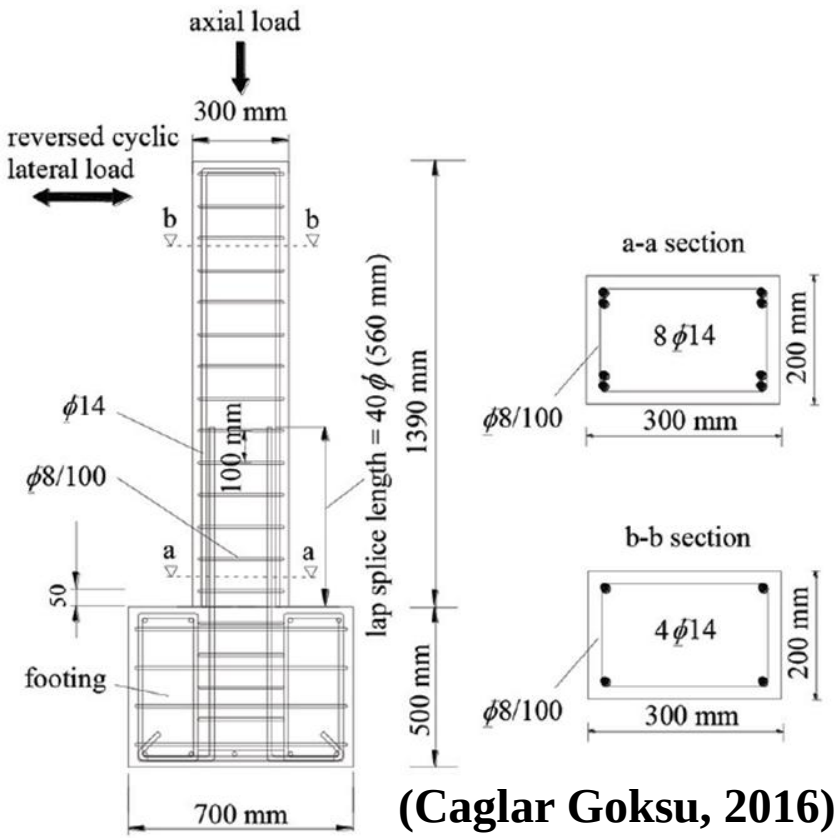




折減項目	彎矩塑鉸	剪力塑鉸
強度	$R_M = Q_{M_{cn}} / Q_{M_{cn0}}$ $R_{My} = Q_{M_{cy}} / Q_{M_{cy0}}$	$R_V = Q_{Su} / Q_{Su0}$
轉角與變位	$R_{dy} = (\Delta_{yc} / H) / (\Delta_y / H)$ $R_{dn} = (\Delta_{nc} / H) / (\Delta_n / H)$ $R_{ds} = (\Delta_{sc} / H) / (\Delta_s / H)$ $R_{da} = (\Delta_{ac} / H) / (\Delta_a / H)$	$R_{av} = \dfrac{\min(\Delta_{ac}, 0.04H)}{\min(\Delta_a, 0.04H)}$

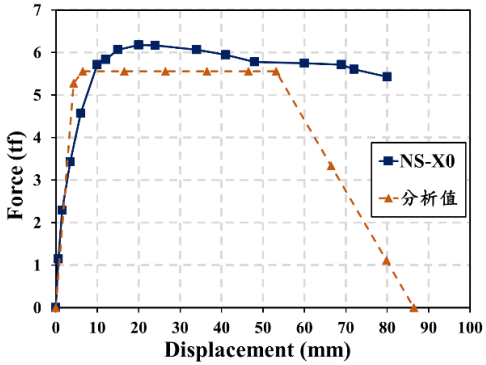
腐蝕RC柱實驗與驗證

腐蝕柱實驗文獻　腐蝕柱分析模型　軸壓比0.2、實際腐蝕率為紅字

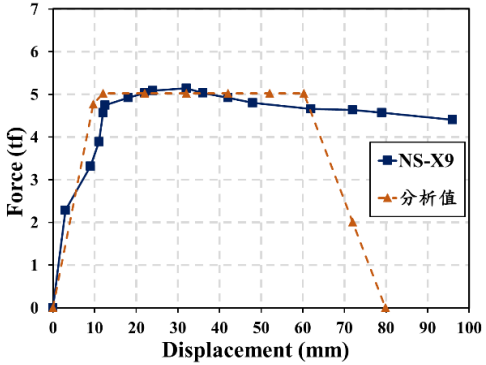


(Caglar Goksu, 2016)

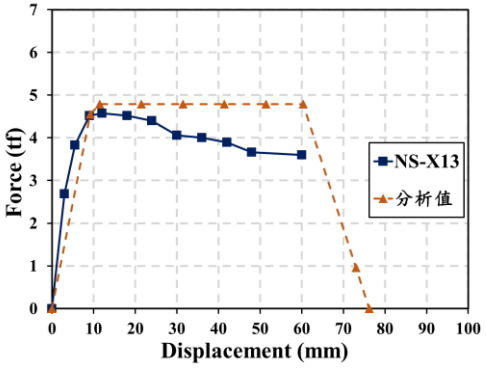
NS-X0



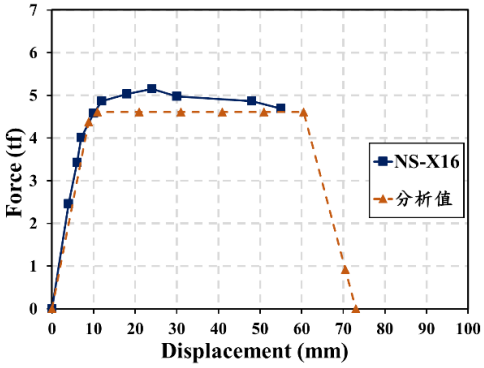
NS-X9



NS-X13



NS-X16



腐蝕RC柱資料庫

常用校舍初步評估法　RC柱資料庫　分教室、走廊及隔間柱

RC柱資料庫

(蘇耕立, 2008)

提供

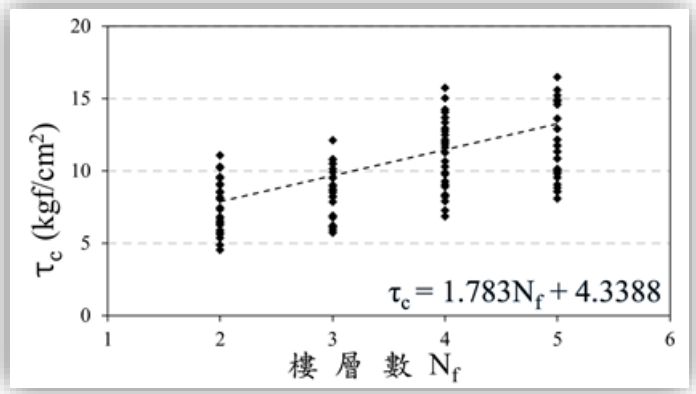
斷面尺寸

鋼筋配置

軸壓力

考慮不同劣化度

健全腐蝕率0%的教室柱



劣化度	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
腐蝕率	1%	3%	5%	10%	20%
裂縫寬度	<0.3	0.3	0.3~0.5	0.5	>0.5
單位	mm				

腐蝕RC柱資料庫

常用校舍初步評估法　RC柱資料庫　分教室、走廊及隔間柱

RC柱資料庫

(蘇耕立, 2008)

提供

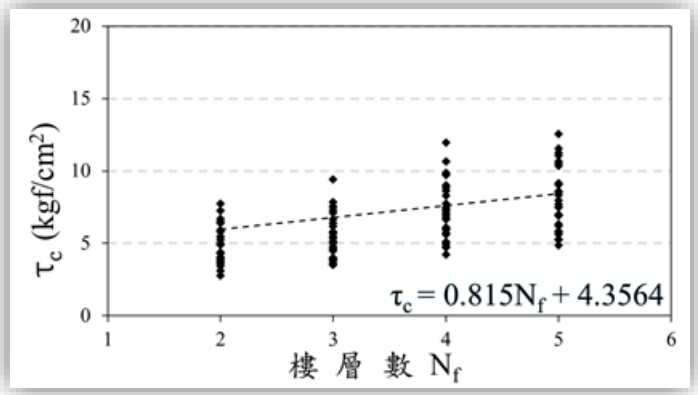
斷面尺寸

鋼筋配置

軸壓力

考慮不同劣化度

嚴重損壞腐蝕率20%的教室柱



劣化度	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
腐蝕率	1%	3%	5%	10%	20%
裂縫寬度	<0.3	0.3	0.3~0.5	0.5	>0.5
單位	mm				

校舍RC柱之強度折減係數

- 以未腐蝕RC柱的剪應力為基礎，回歸計算校舍RC柱的強度折減係數。

校舍適用之腐蝕RC柱構件強度折減係數

劣化度 / 豎向構件	健全*1 (< 1 %)	輕度 (3 %)	中度 (5 %)	重度 (10 %)	嚴重損壞*2 (> 20 %)
教室柱($X_{c,教室}$)	> 0.98	0.95	0.90	0.80	< 0.60
走廊柱($X_{c,走廊}$)	> 0.98	0.95	0.90	0.80	< 0.55
隔間柱($X_{c,隔間}$)	> 0.90	0.85	0.80	0.70	< 0.45
備註	*1 如無劣化現象可採用腐蝕率 0 % *2 若混凝土保護層裂縫過大且剝落嚴重或腐蝕嚴重，則應不計該柱之強度貢獻				

$$V_{bs}=\beta\left(\left(\sum_{i=1}^{N_{c,教室}}A_{c,i}\tau_c\right)_{教室柱}+\left(\sum_{j=1}^{N_{c,走廊}}A_{c,j}\tau_c\right)_{走廊柱}+\left(\sum_{k=1}^{N_{c,隔間}}A_{c,k}\tau_c\right)_{隔間柱}+\tau_{rcw}\sum A_{rcw}+\tau_{bw3}\sum A_{bw3}+\tau_{bw4}\sum A_{bw4}\right)$$

現行耐震容量

$$V_{bs}=\beta\left(\sum_{i=1}^{N_{c,教室}}X_{c,教室,i}A_{c,i}\tau_c\right)_{教室柱}+\left(\sum_{j=1}^{N_{c,走廊}}X_{c,走廊,j}A_{c,j}\tau_c\right)_{走廊柱}+\left(\sum_{k=1}^{N_{c,隔間}}X_{c,隔間,k}A_{c,k}\tau_c\right)_{隔間柱}+\cdots\cdots$$

考慮鋼筋腐蝕後之耐震容量

街屋RC柱之強度折減係數

- 街屋初步評估方法建立時，參考的資料庫跟校舍初步評估法相同，以保守的校舍隔間柱強度折減係數視為街屋RC柱。

街屋適用之腐蝕RC柱構件強度折減係數

劣化度 / 豎向構件	健全*1 (< 1 %)	輕度 (3 %)	中度 (5 %)	重度 (10 %)	嚴重損壞*2 (> 20 %)
RC 柱 (X_c)	> 0.90	0.85	0.80	0.70	< 0.45
備註	*1 如無劣化現象可採用腐蝕率 0 % *2 若混凝土保護層裂縫過大且剝落嚴重或腐蝕嚴重，則應不計該柱之強度貢獻				

$$CFR_{eq} = \frac{\sum A_c}{\sum A_f} + \beta\left(\frac{2.63\sum A_{rcw4} + 1.50\sum A_{rcw3} + 0.50\sum A_{bw4} + 0.40\sum A_{bw3}}{\sum A_f}\right)$$

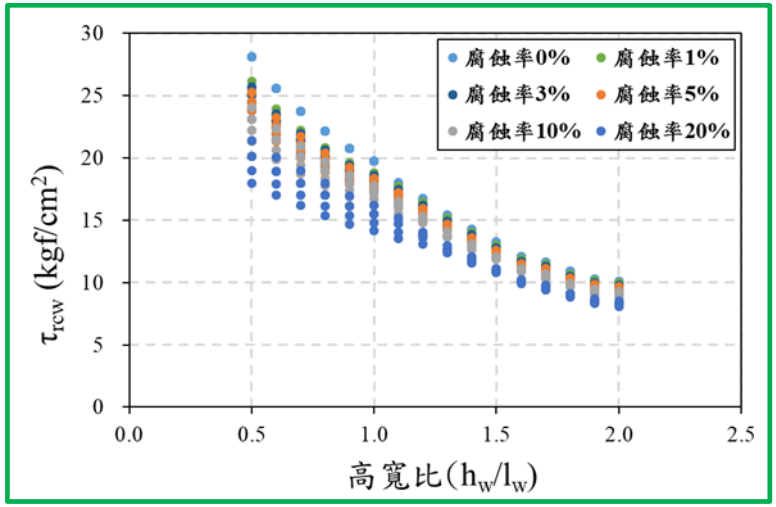
現行耐震容量

$$CFR_{eq} = \frac{\sum X_c A_c}{\sum A_f} + \beta\left(\frac{2.63\sum A_{rcw4} + 1.50\sum A_{rcw3} + 0.50\sum A_{bw4} + 0.40\sum A_{bw3}}{\sum A_f}\right)$$

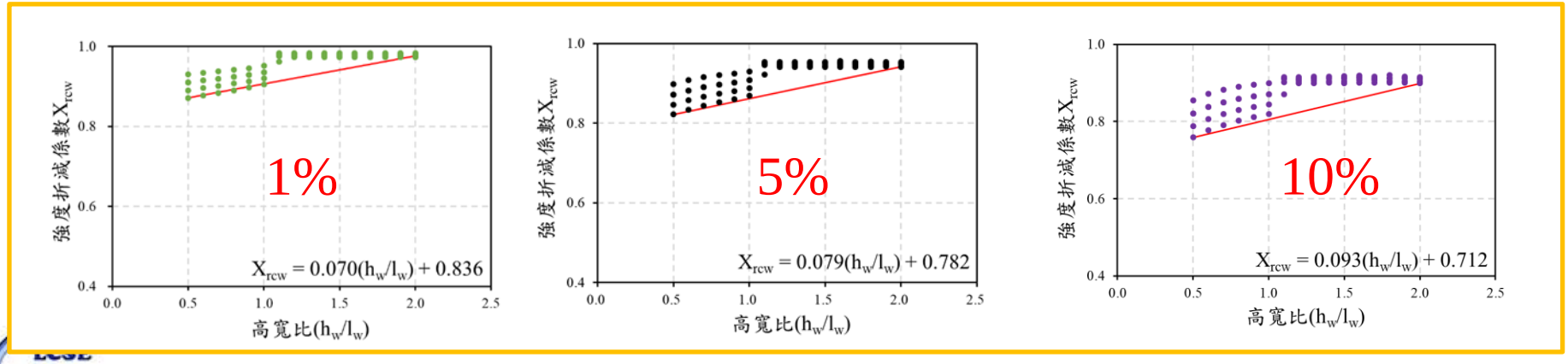
考慮鋼筋腐蝕後之耐震容量

計算腐蝕RC牆之強度折減係數

自訂數據模型各RC牆剪應力與高寬比之分佈



以未腐蝕RC牆剪應力為基礎，去回歸計算RC牆強度折減係數



腐蝕RC牆之強度折減係數

初評適用之腐蝕RC牆構件強度折減係數

劣化度 / 豎向構件 / RC 牆 (X_{rcw})		健全*1 (< 1 %)	輕度 (3 %)	中度 (5 %)	重度 (10 %)	嚴重損壞*2 (> 20 %)
高寬比 (A_r)	< 1.5	> 0.900	0.875	0.850	0.800	< 0.700
	1.5-2.0	> 0.925	0.900	0.875	0.825	< 0.725
	> 2.0	> 0.975	0.950	0.925	0.875	< 0.775
備註		*1 如無劣化現象可採用腐蝕率 0 % *2 若混凝土有局部剝落且鋼筋腐蝕嚴重則應參考腐蝕開口 RC 牆強度折減係數，否則應不計該牆之強度貢獻				

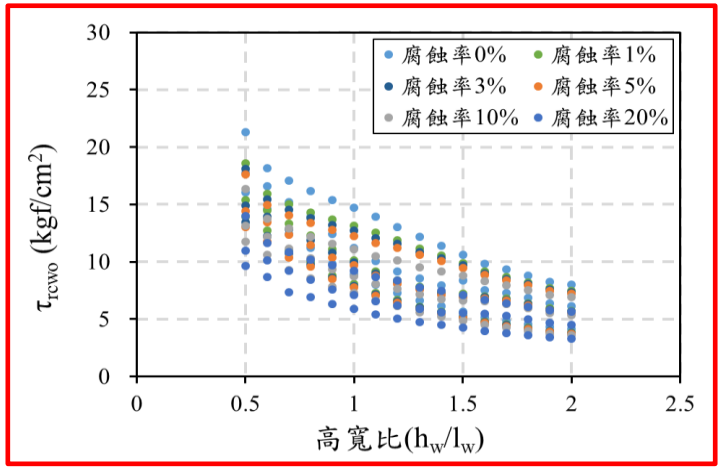
$$CFR_{eq} = \frac{\sum X_c A_c}{\sum A_f} + \beta\left(\frac{2.63\sum X_{rcw} A_{rcw4} + 1.50\sum A_{rcw3} + 0.50\sum A_{bw4} + 0.40\sum A_{bw3}}{\sum A_f}\right)$$

$$V_{bs} = \beta\left(\sum_{i=1}^{N_{c,教室}} X_{c,教室,i} A_{c,i} \tau_c\right)_{教室柱} + \left(\sum_{j=1}^{N_{c,走廊}} X_{c,走廊,j} A_{c,j} \tau_c\right)_{走廊柱} + \left(\sum_{k=1}^{N_{c,隔間}} X_{c,隔間,k} A_{c,k} \tau_c\right)_{隔間柱} + \tau_{rcw} \sum X_{rcw} A_{rcw} \cdots\cdots$$

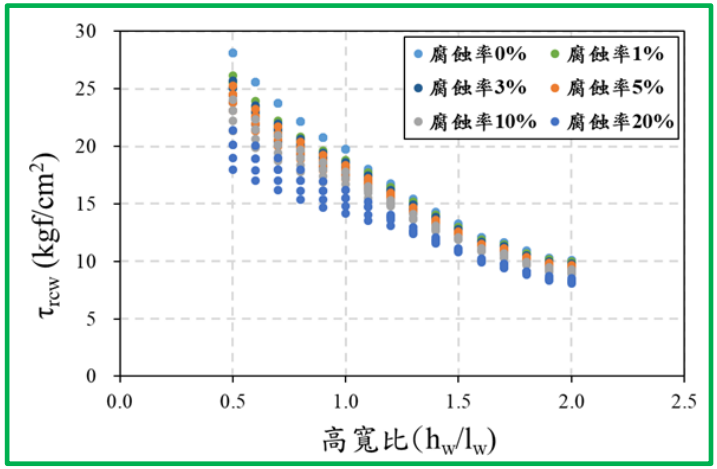
考慮鋼筋腐蝕後之耐震容量

計算腐蝕開口RC牆強度

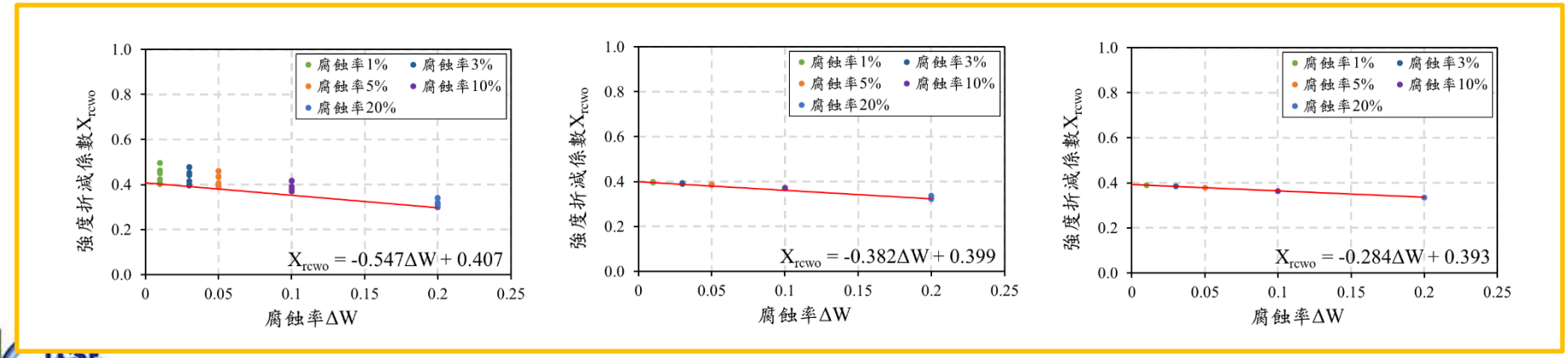
腐蝕開口RC牆強度計算



腐蝕RC牆強度計算



以未腐蝕未開口RC牆的剪應力為基礎回歸計算，以下為開口率30%的分佈



1% 5% 10%

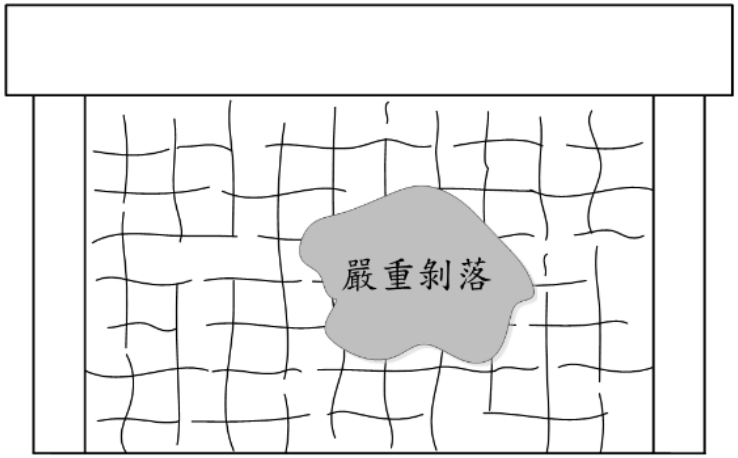
強度折減係數-腐蝕開口RC牆

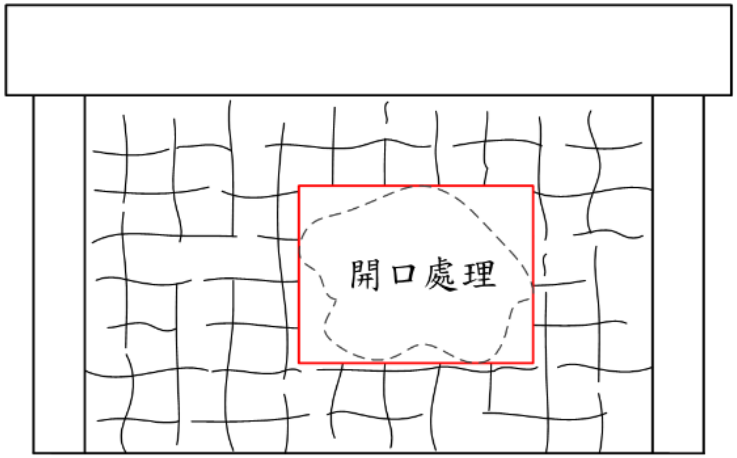
適用開口RC牆

適用RC牆有區塊嚴重剝落及腐蝕，開口處理

初評適用之腐蝕開口RC牆構件強度折減係數

劣化度 / 豎向構件 / 開口牆(X_{rcwo})		健全*1 (< 1 %)	輕度 (3 %)	中度 (5 %)	重度 (10 %)	嚴重損壞*2 (> 20 %)
高寬比	開口面積率*3					
< 1.5	未滿 10%	> 0.625	0.600	0.575	0.525	< 0.450
	10-20%	> 0.525	0.500	0.475	0.425	< 0.350
	20-30%	> 0.425	0.400	0.375	0.350	< 0.300
1.5-2.0	未滿 10%	> 0.750	0.725	0.700	0.650	< 0.525
	10-20%	> 0.550	0.525	0.500	0.475	< 0.400
	20-30%	> 0.425	0.400	0.375	0.350	< 0.300
> 2.0	未滿 10%	> 0.750	0.725	0.700	0.650	< 0.575
	10-20%	> 0.600	0.575	0.550	0.525	< 0.450
	20-30%	> 0.425	0.400	0.375	0.350	< 0.300
備註		*1 如無劣化現象可採用腐蝕率 0 % *2 若混凝土保護層裂縫過大且剝落嚴重或腐蝕嚴重，則應不計該牆之強度貢獻 *3 若開口面積大於 30%，則應不計該牆之強度貢獻				





強度折減係數-腐蝕開口RC牆

$$CFR_{eq} = \frac{\sum X_c A_c}{\sum A_f} + \beta\left(\frac{2.63\sum X_{rcw} A_{rcw4} + 1.50\sum X_{rcwo} A_{rcw3} + 0.50\sum A_{bw4} + 0.40\sum A_{bw3}}{\sum A_f}\right)$$

考慮鋼筋腐蝕後之耐震容量

$$V_{bs} = \beta\left(\sum_{i=1}^{N_{c,教室}} X_{c,教室,i} A_{c,i} \tau_c\right)_{教室柱} + \left(\sum_{j=1}^{N_{c,走廊}} X_{c,走廊,j} A_{c,j} \tau_c\right)_{走廊柱} + \left(\sum_{k=1}^{N_{c,隔間}} X_{c,隔間,k} A_{c,k} \tau_c\right)_{隔間柱} + \tau_{rcw} \sum X_{rcw} A_{rcw} \cdots\cdots$$

應用於PSERCB平台折減係數-縱向鋼筋腐蝕

目的：應用低矮型街屋撓剪破壞之PSERCB初步評估

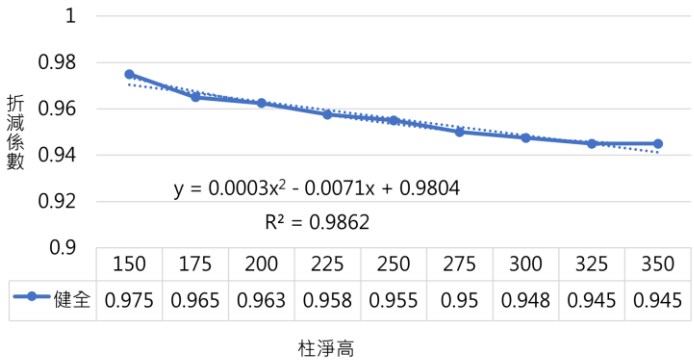
鋼筋比折減係數(縱向鋼筋腐蝕主控)

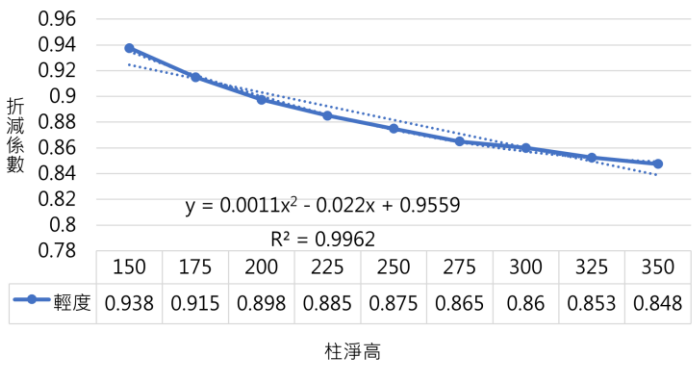
劣化度	無損失	健全	輕度	中度	重度	嚴重
比值	1	0.98	0.95	0.9	0.85	<0.7

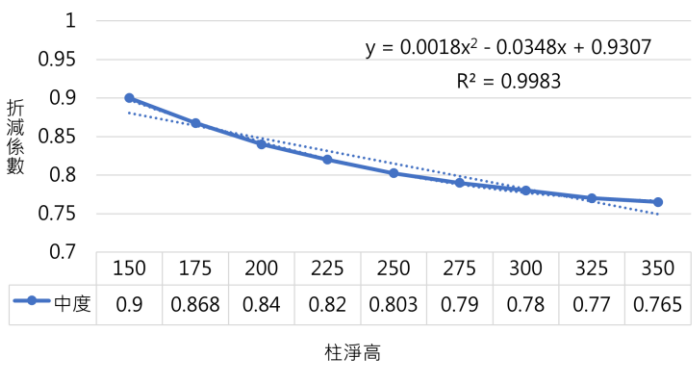
應用於PSERCB平台折減係數-橫向鋼筋腐蝕

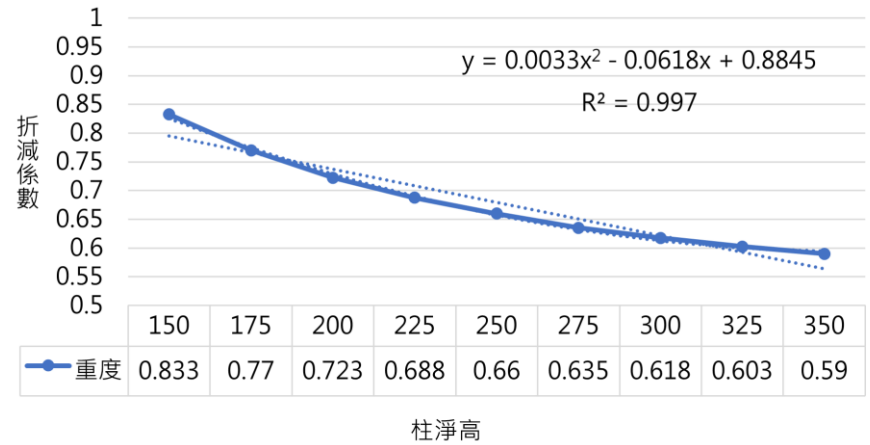
柱寬折減係數

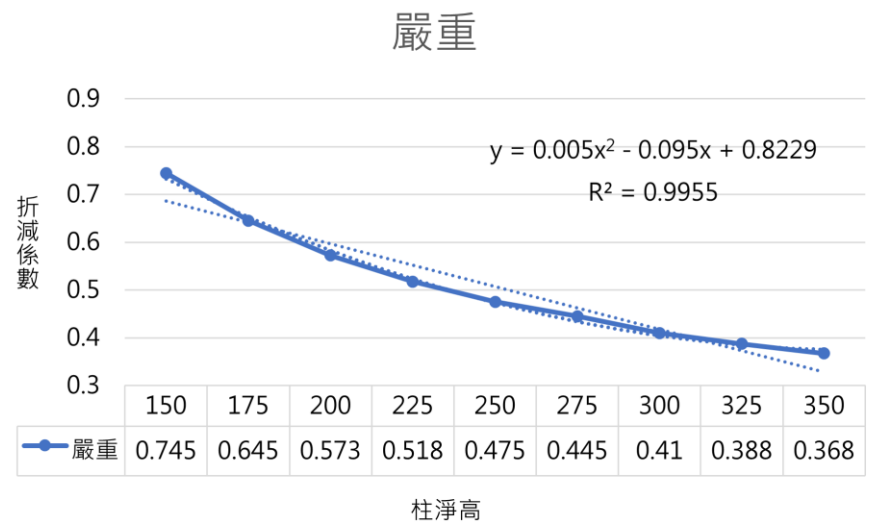
柱淨高	健全	輕度	中度	重度	嚴重
150	0.97	0.93	0.9	0.83	<0.74
175	0.96	0.91	0.86	0.77	<0.64
200	0.96	0.89	0.84	0.72	<0.57
225	0.95	0.88	0.82	0.68	<0.51
250	0.95	0.87	0.80	0.66	<0.47
275	0.95	0.86	0.79	0.63	<0.44
300	0.94	0.86	0.78	0.61	<0.41
325	0.94	0.85	0.77	0.60	<0.38
350	0.94	0.84	0.76	0.59	<0.36
	0.95	0.85	0.75	0.60	< 0.35


健全
折減係數
1
0.98
0.96
0.94
0.92
0.9
y = 0.0003x² - 0.0071x + 0.9804
R² = 0.9862
150 175 200 225 250 275 300 325 350
健全 0.975 0.965 0.963 0.958 0.955 0.95 0.948 0.945 0.945
柱淨高


輕度
折減係數
0.96
0.94
0.92
0.9
0.88
0.86
0.84
0.82
0.8
0.78
y = 0.0011x² - 0.022x + 0.9559
R² = 0.9962
150 175 200 225 250 275 300 325 350
輕度 0.938 0.915 0.898 0.885 0.875 0.865 0.86 0.853 0.848
柱淨高


中度
折減係數
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
y = 0.0018x² - 0.0348x + 0.9307
R² = 0.9983
150 175 200 225 250 275 300 325 350
中度 0.9 0.868 0.84 0.82 0.803 0.79 0.78 0.77 0.765
柱淨高


重度
折減係數
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
0.55
0.5
y = 0.0033x² - 0.0618x + 0.8845
R² = 0.997
150 175 200 225 250 275 300 325 350
重度 0.833 0.77 0.723 0.688 0.66 0.635 0.618 0.603 0.59
柱淨高


嚴重
折減係數
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
y = 0.005x² - 0.095x + 0.8229
R² = 0.9955
150 175 200 225 250 275 300 325 350
嚴重 0.745 0.645 0.573 0.518 0.475 0.445 0.41 0.388 0.368
柱淨高

柱寬折減係數

鋼筋混凝土造建築物
之老劣化構件修復參考手冊

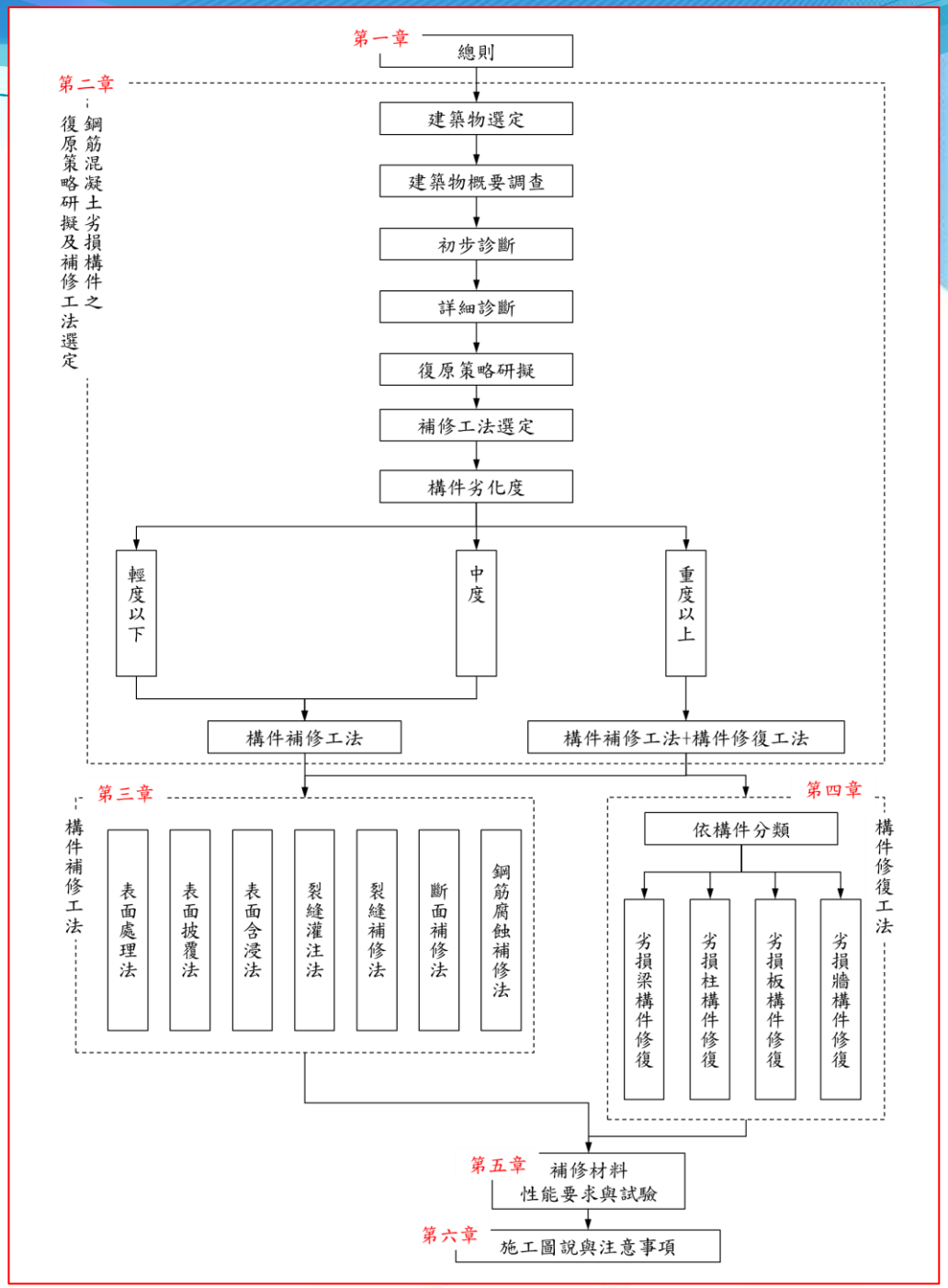
鋼筋混凝土梁版構材劣損腐蝕區域之補修手冊(草案)

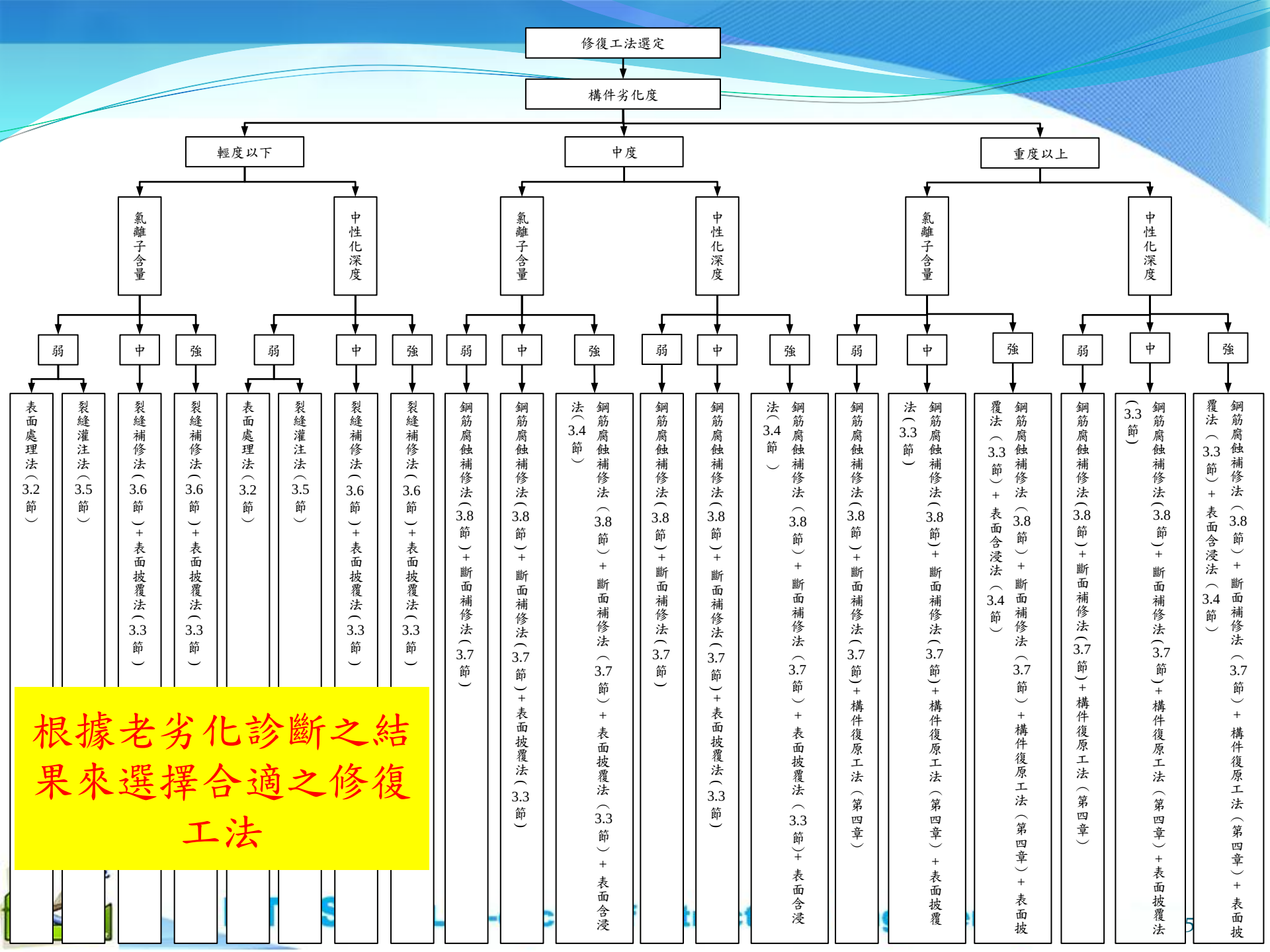
建築物之整體維護作業應包含建築物之調查與診斷和適當地修復策略，並依建築物老劣化程度和原因給予正確地預防、修復或其他特殊處理(如果有需要)。故本手冊之目的便是當建築物經調查與診斷後，一旦確認其老劣化之原因及狀況後，在進行補修/補強對策研擬時，得以參考本手冊所提供之補修/補強工法、施作程序和材料選用等建議來擬定合適之修復策略。

第一章 總則
第二章 鋼筋混凝土構件劣化修復策略
第三章 構件補修工法種類與適用範圍
第四章 構件補強工法種類與適用範圍
第五章 構件修復材料之性能要求與試驗
第六章 施工圖說及注意事項

各章節介紹

第一章
　總則
第二章
　鋼筋混凝土構件劣化修復策略
第三章
　構件補修工法種類與適用範圍
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
第六章
　施工圖說及注意事項




修復工法選定
構件劣化度
輕度以下
中度
重度以上
氯離子含量
中性化深度
弱
中
強
表面處理法（3.2節）
裂縫灌注法（3.5節）
裂縫補修法（3.6節）+表面披覆法（3.3節）
鋼筋腐蝕補修法（3.8節）+斷面補修法（3.7節）
鋼筋腐蝕補修法（3.8節）+斷面補修法（3.7節）+表面披覆法（3.3節）
鋼筋腐蝕補修法（3.8節）+斷面補修法（3.7節）+構件復原工法（第四章）
鋼筋腐蝕補修法（3.8節）+斷面補修法（3.7節）+構件復原工法（第四章）+表面披覆法（3.3節）
鋼筋腐蝕補修法（3.8節）+斷面補修法（3.7節）+構件復原工法（第四章）+表面披覆法（3.3節）+表面含浸法（3.4節）
根據老劣化診斷之結果來選擇合適之修復工法

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法(第三章)

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。

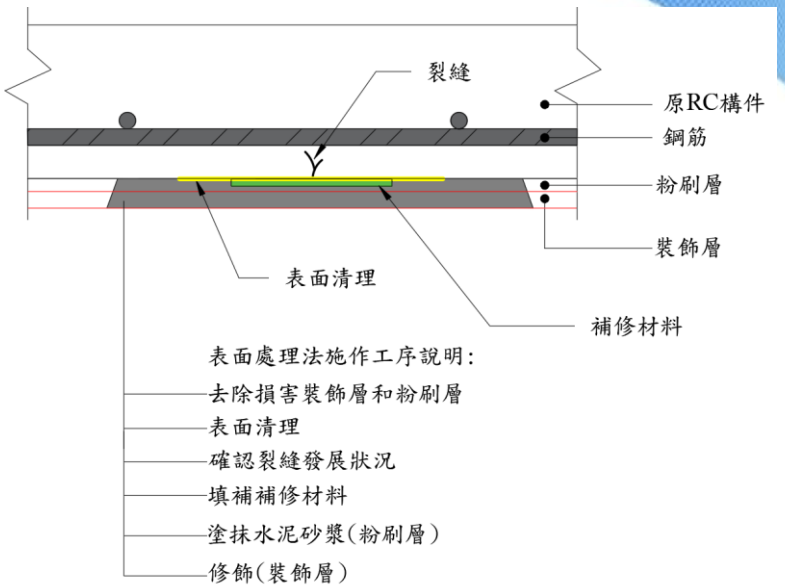
第三章提供之7種補修法

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。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

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。



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。

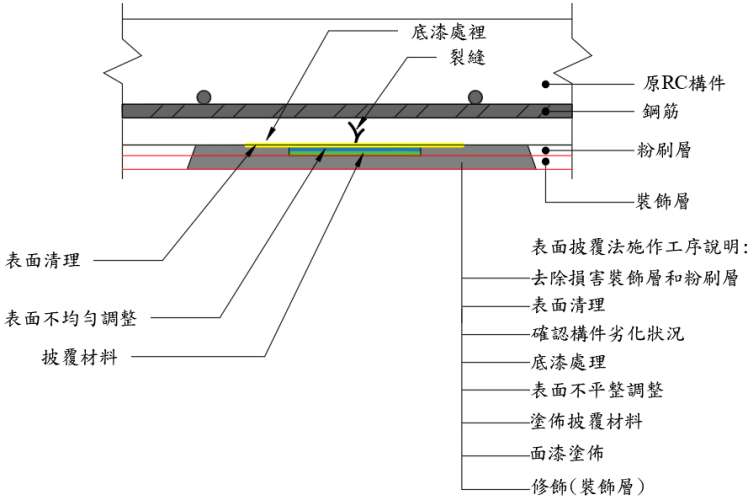
(4) 有些環氧樹脂和具彈性樹脂耐候性不佳，使用時須考量適用環境。

(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。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

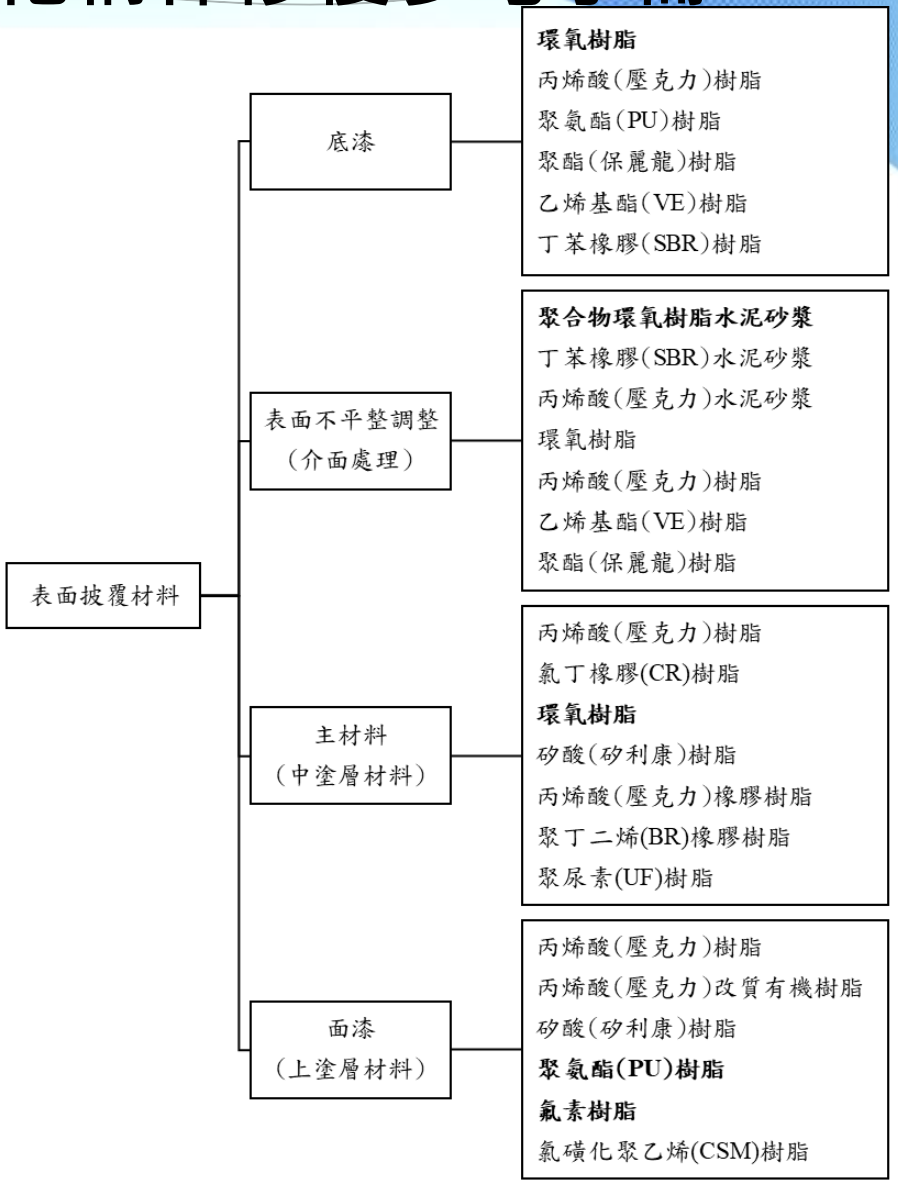
3.3 表面披覆法

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。



鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

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。



鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

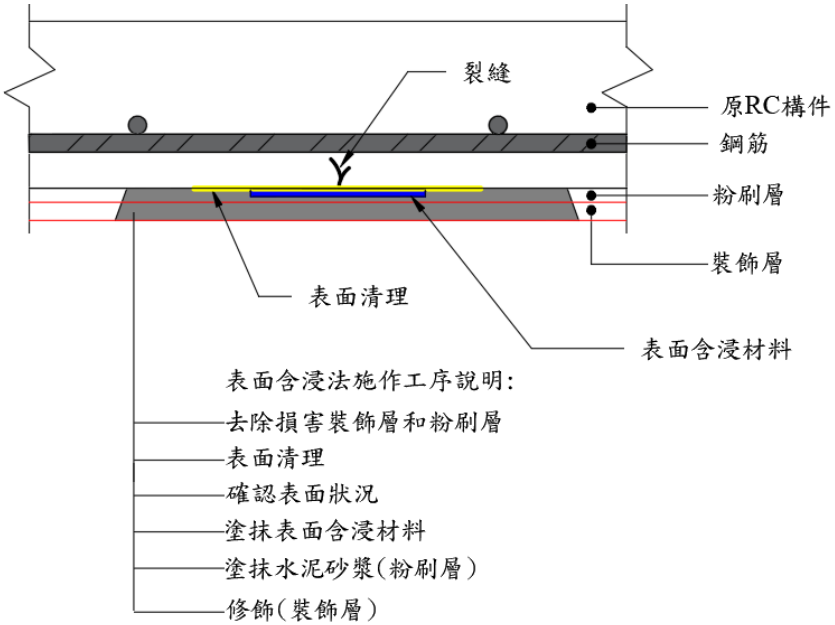
性能要求		評估項目	預期效果
具有抑制和防止氯離子滲透而引起之劣化	氯離子之阻隔	氯離子滲透深度、氯離子通過量	阻止氯離子滲透混凝土中
	氧氣之阻隔	氧氣通過量	阻止氧氣進入混凝土中
	濕氣之阻隔	透濕度	阻止濕氣進入混凝土中
	阻隔水分	透水量	阻止水分侵入
	隨裂縫之延展	塗膜的伸縮量	阻止劣化因子因裂縫寬度增加而進入
具有抑制和防止中性化而引起之劣化	二氧化碳之阻隔	中性化深度、中性化滲透係數	阻止 CO_2 在混凝土中擴散
	氧氣之阻隔	氧氣通過量	阻止氧氣進入混凝土中
	濕氣之阻隔	透濕度	阻止濕氣進入混凝土中
	阻隔水分	透水量	阻止水分侵入
	隨裂縫之延展	塗膜的伸縮量	阻止水分及 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

- 無機表面披覆材料
  - 單層施作
    - 底漆
      - 乳化丙烯酸(壓克力)樹脂
      - 環氧樹脂
      - 丙烯酸(壓克力)樹脂
      - 聚氨酯(PU)樹脂
      - 聚酯(保麗龍)樹脂
    - 表面不均勻調整(介面處理)
      - 丁苯橡膠(SBR)水泥砂漿
      - 丙烯酸(壓克力)水泥砂漿
      - 乙烯基酯(VE)樹脂
    - 主材料(中塗層材料)
      - 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
      - 環氧樹脂水泥砂漿
  - 多層施作
    - 底漆
      - 乳化丙烯酸(壓克力)樹脂
      - 環氧樹脂
      - 丙烯酸(壓克力)樹脂
      - 聚氨酯(PU)樹脂
      - 聚酯(保麗龍)樹脂
    - 表面不均勻調整(介面處理)
      - 丁苯橡膠(SBR)水泥砂漿
      - 丙烯酸(壓克力)水泥砂漿
      - 乙烯基酯(VE)樹脂
    - 主材料(中塗層材料)
      - 丙烯酸(壓克力)水泥砂漿
      - 丁苯橡膠(SBR)水泥砂漿
      - 環氧樹脂水泥砂漿
    - 面漆(上塗層材料)
      - 乳化丙烯酸(壓克力)樹脂
      - 丙烯酸(壓克力)改質有機樹脂(丙烯酸矽酸樹脂)
      - 矽酸(矽利康)樹脂
      - 聚氨酯(PU)樹脂
      - 氟樹脂

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

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)。



鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

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(固化型)亦有恢復混凝土鹼性之效用。

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。

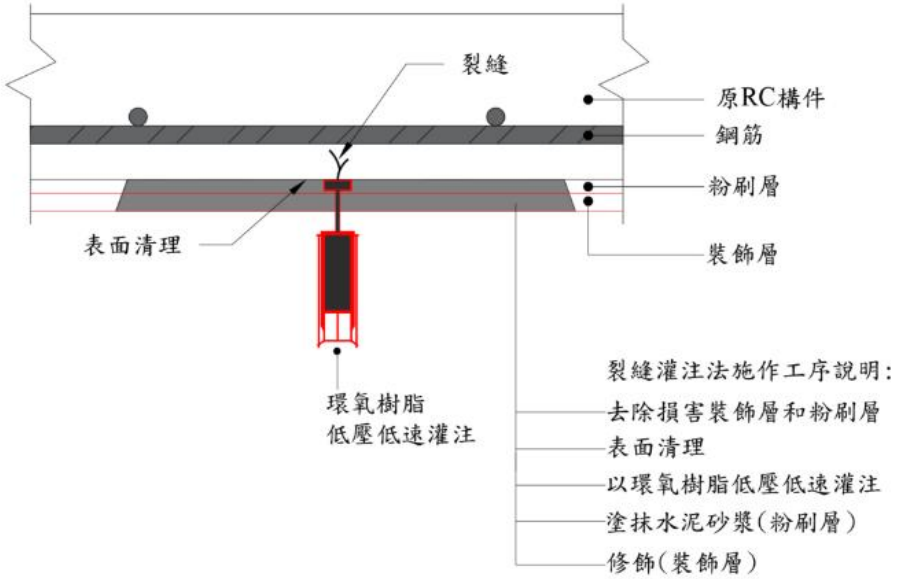
*3 美觀、景觀相關性能以基本之維持來判定。

*4 抵抗剝落以基本附著性來判斷。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

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。

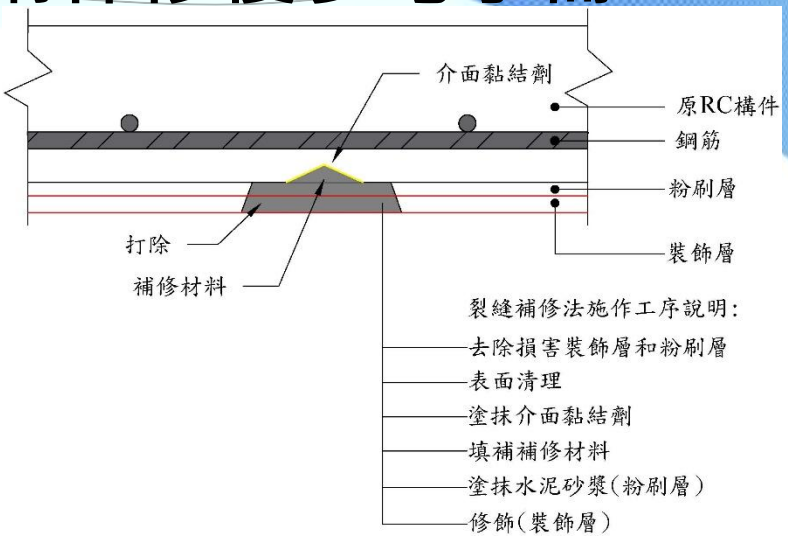


補修目的	裂縫發展情況及原因		裂縫寬度*1 (mm)	補修工法*2				
				表面處理法	裂縫灌注法	裂縫補修法	其他工法	
							滲透性防水劑塗抹法	其他
防水性	鋼筋無腐蝕之情況	裂縫寬度變動小	0.2以下	O	△		O	
			0.2～1	△	O	O		
		裂縫寬度變動大	0.2以下	△	△		O	
			0.2～1	△	O	O		
耐久性	鋼筋無腐蝕之情況	裂縫寬度變動小	0.2以下	O	△	△		
			0.2～1	△	O	O		
			1以上		△	O		
		裂縫寬度變動大	0.2以下	△	△	△		
			0.2～1	△	O	O		
			1以上		△	O		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

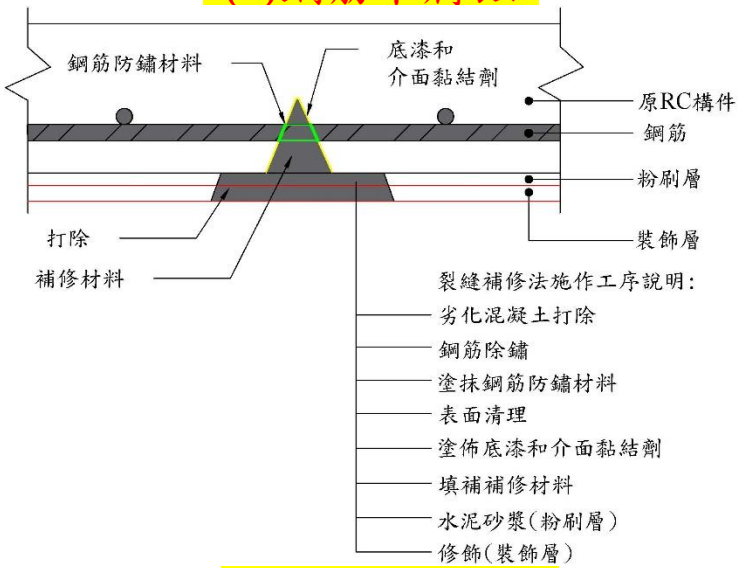
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

3.6 裂縫補修法

1. 裂縫補修法適用於寬度約0.3 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。



(a)鋼筋未腐蝕

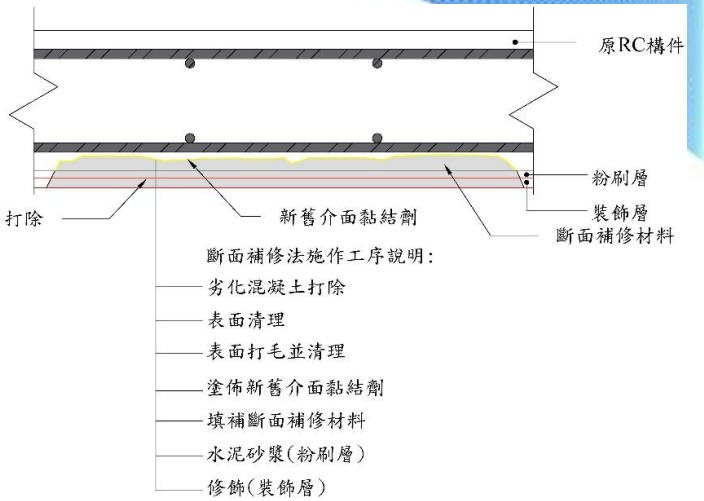


(b)鋼筋已腐蝕

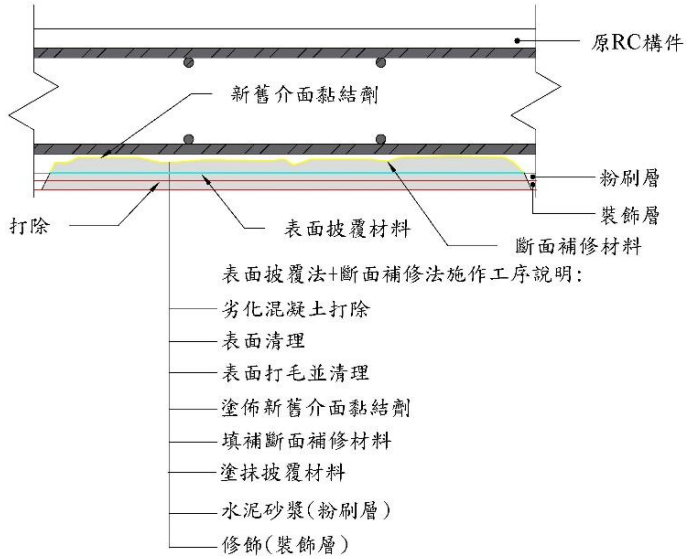
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-構件補修工法

3.7 斷面補修法

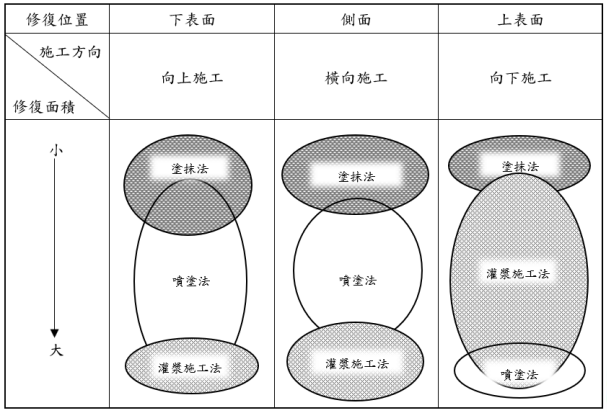
1. 斷面補修法適用於修復因浮起、剝落、斷面缺陷、蜂窩、鹽害、鹼骨材反應等劣化之混凝土，其主要目的在去除混凝土之劣化因子。規劃補修策略時應考量其修復範圍、施工性、經濟性等因素。
2. 如移除混凝土後出現鋼筋裸露，需檢查鋼筋狀況，並視現況進行鋼筋除銹、防銹，再依介面處理後填入補修材料。
3. 斷面補修法根據修復範圍可分為局部斷面補修法和大面積斷面補修法，根據目標位置、施工方向、施工規模等不同狀況，可選用塗抹法、噴塗法及灌漿施工法等。



(a)斷面補修法(鋼筋未鏽蝕)



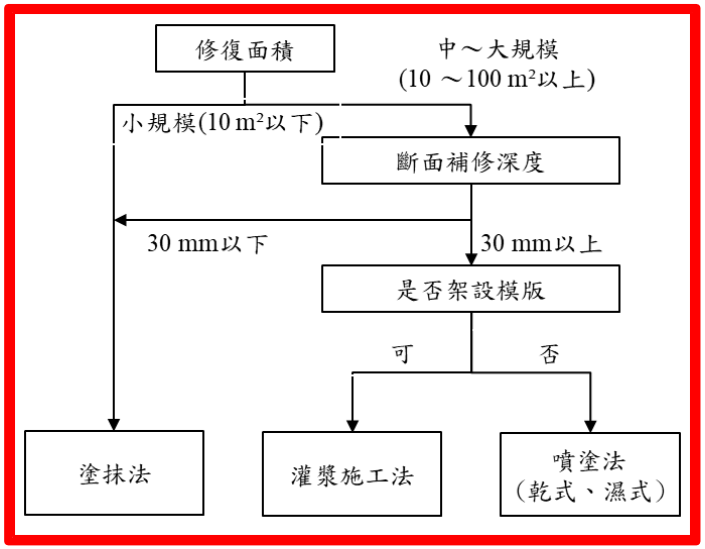
(b)表面披覆法配合斷面補修法

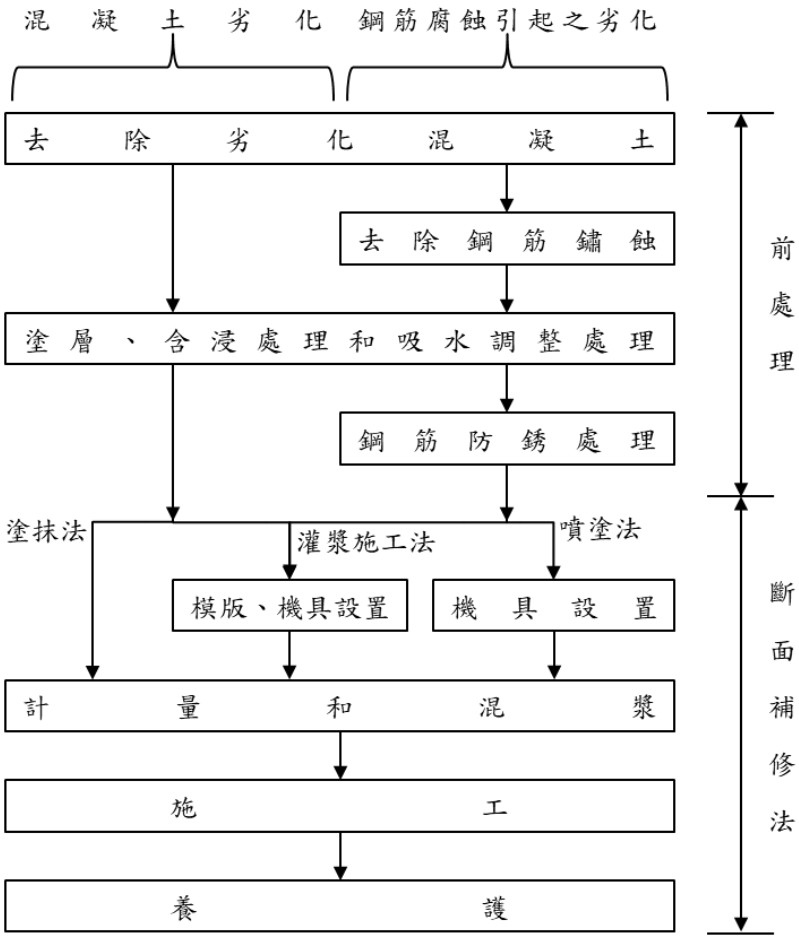


鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

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

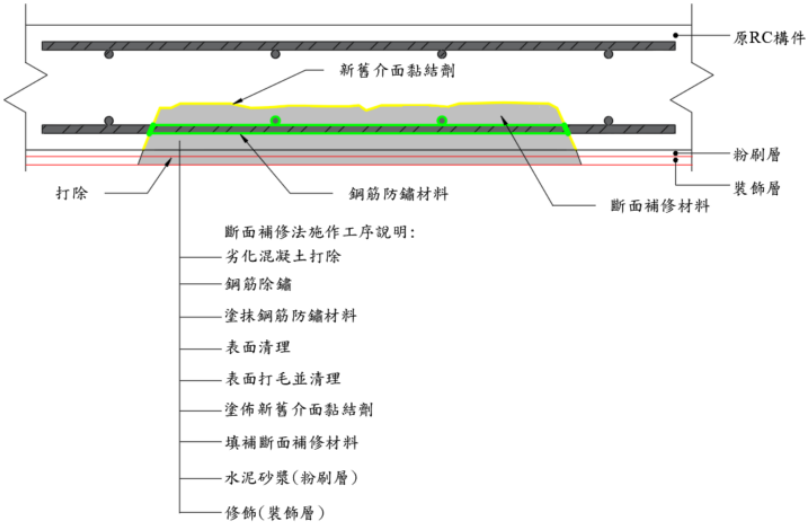




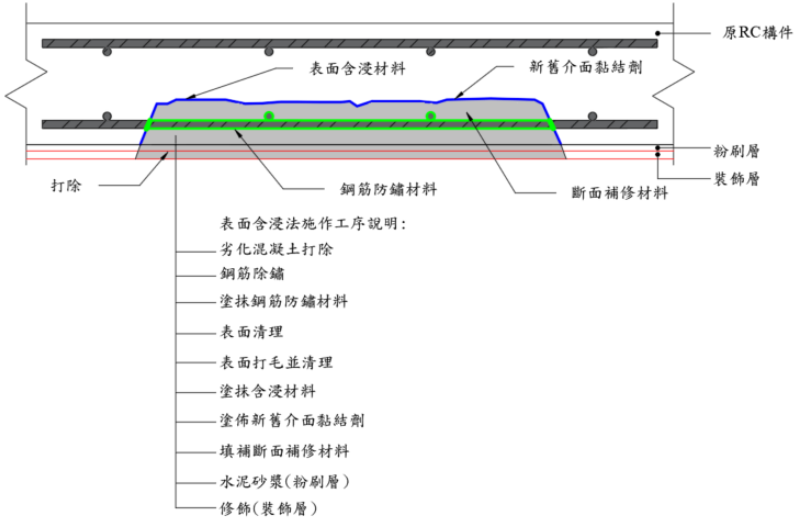
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修工法

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。



(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

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-構件修復工法種類與適用範圍(第四章)

前言

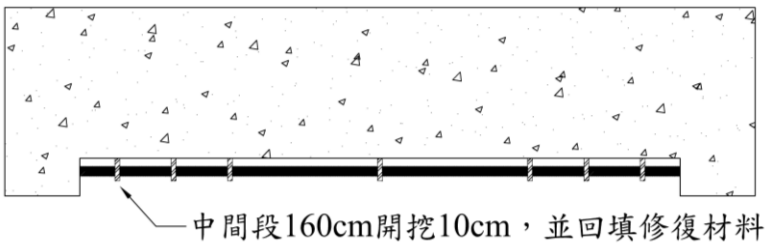
本手冊對劣化構件之修復共分為**劣化梁構件修復、劣化柱構件修復、劣化板構件修復及劣化牆構件修復等**，各小節分別針對劣化構件欲回復性能之適用修復工法加以詳細介紹。構件修復工法適用之對象為劣化度重度以上之構件，且構件修復工法需搭配構件補修工法(第三章)，才能有效地讓構件恢復其原有力學性能，以確保結構整體之安全性和使用性。此外，若原有混凝土強度低，經評估不適合進行植筋或使用化學錨栓等工法時，應考慮採用梁柱擴大斷面或牆板置換方式進行修復，且須確保新舊材料間之黏結強度。

1. 劣化梁構件修復(第4.2節)：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**。
2. 劣化柱構件修復(第4.3節)：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。
3. 劣化板構件修復(第4.4節)：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。
4. 劣化牆構件修復(第4.5節)：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。

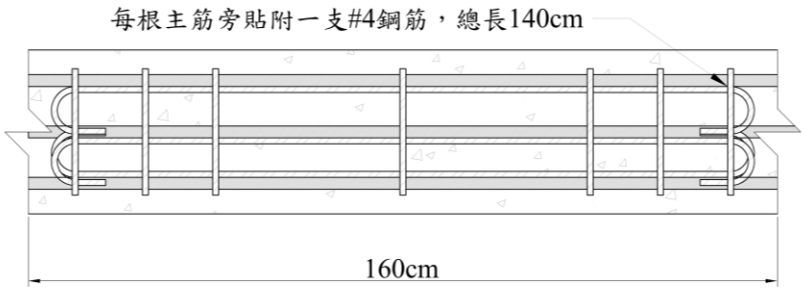
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

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。



正視圖

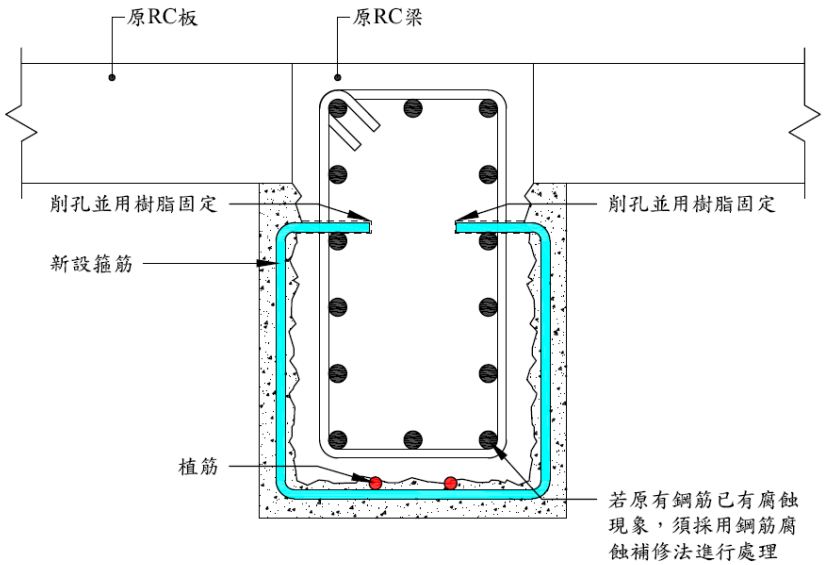


仰視圖

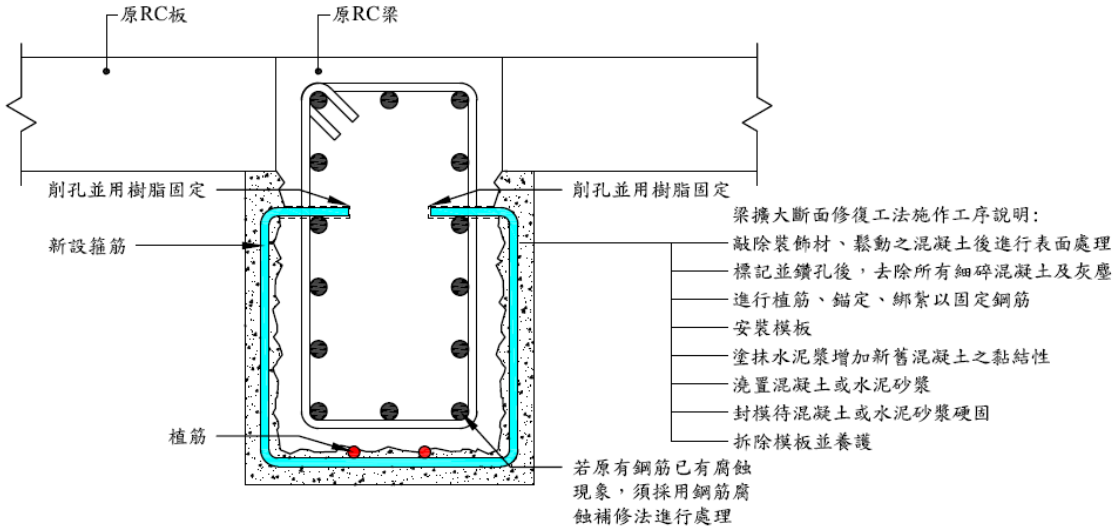
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

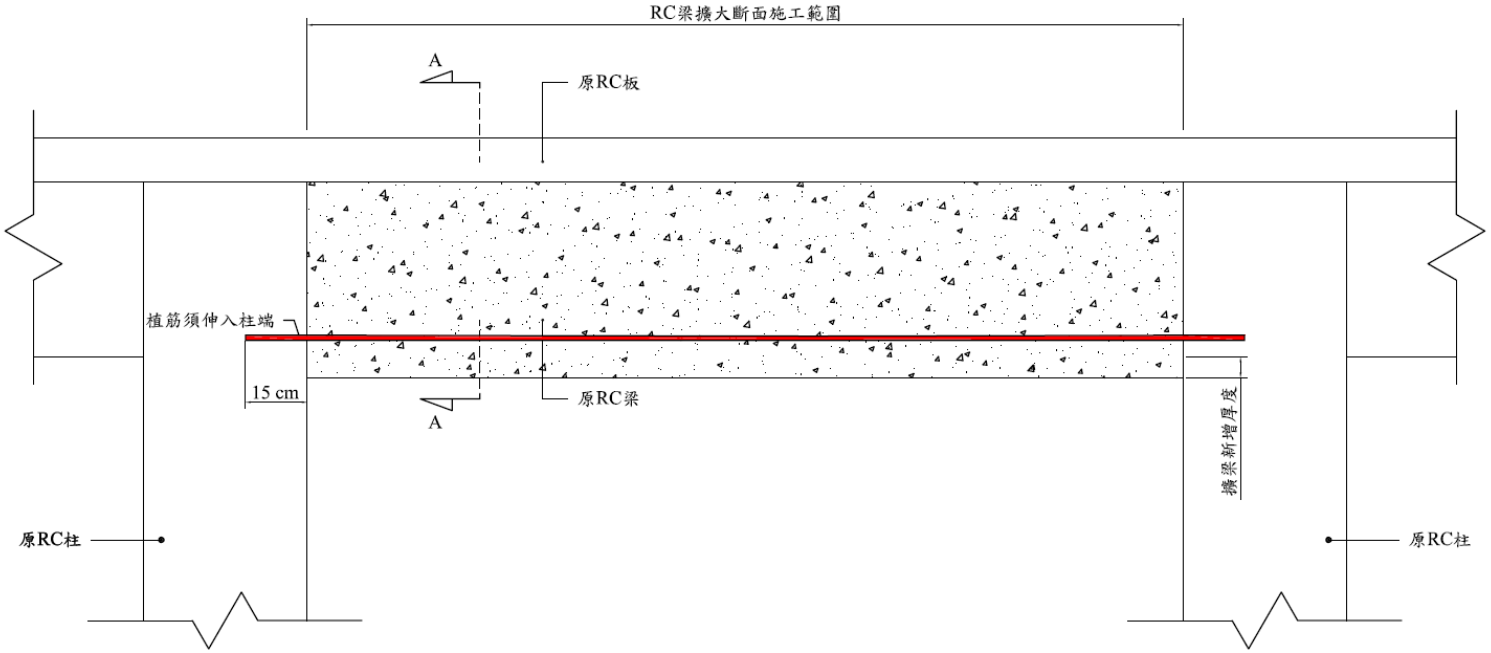
4.2.2 擴梁修復工法(剪力與彎矩修復)

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。



TYPE-Beam-D2
(擴梁修復工法)

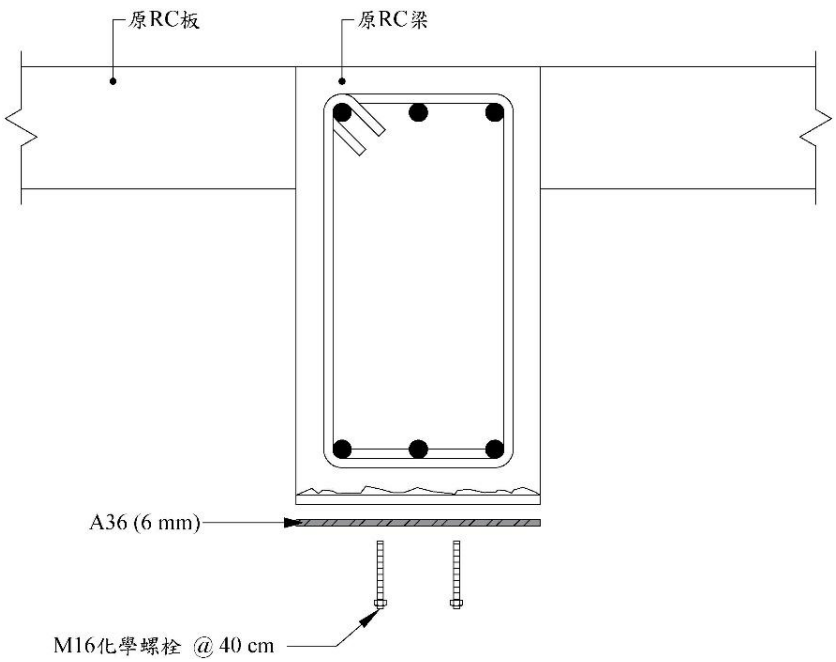




鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

4.2.3 梁底部鋼板修復工法(正彎矩修復)

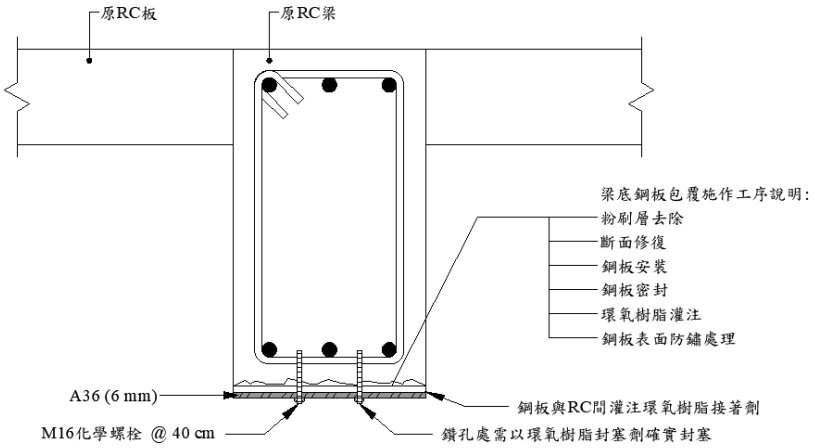
1. 當梁因底部劣化而導致正彎矩強度下降，且有安全疑慮時，可在其底部加設鋼板進行梁構件修復，以回復其正彎矩強度。梁底部鋼板修復工法係將鋼板貼附在混凝土之受拉應力面上，並在鋼板與混凝土隙縫注入接著劑，可配合化學錨栓使用，以讓鋼板與混凝土構件結合為一體。
2. 梁底新設鋼板於錨定或黏結之要求充份確保下，可採等值鋼筋量方式並依規範【10】建議 分析方法進行彎矩強度評估。
3. 梁底部鋼板修復工法之施工步驟為先將裝飾材敲除後，可針對劣化部位進行鋼筋腐蝕補修與斷面補修，再將鋼板安裝於梁構件之底部(受拉面)，鋼板經由錨定固定後以壓力灌注環氧樹脂於接縫處，最後對鋼板進行防銹處理及表面裝飾後即完成補修作業。



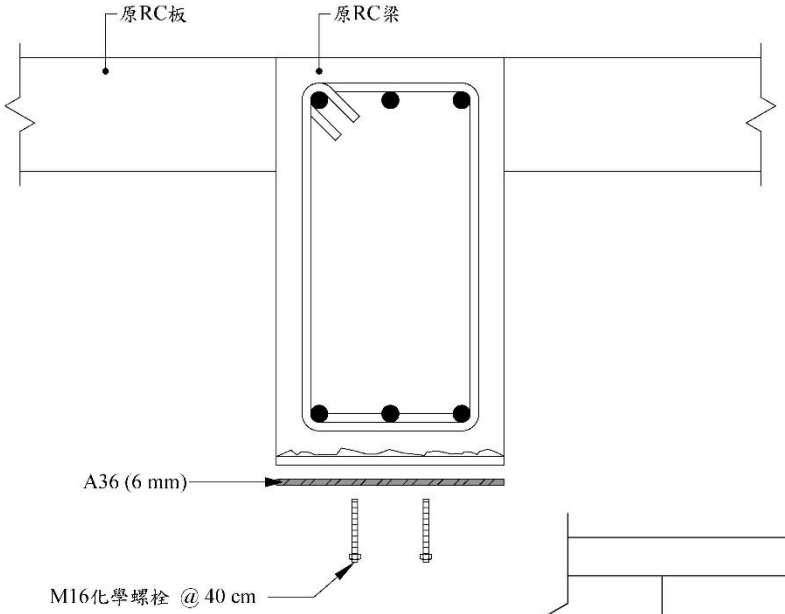
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-劣損梁構件修復

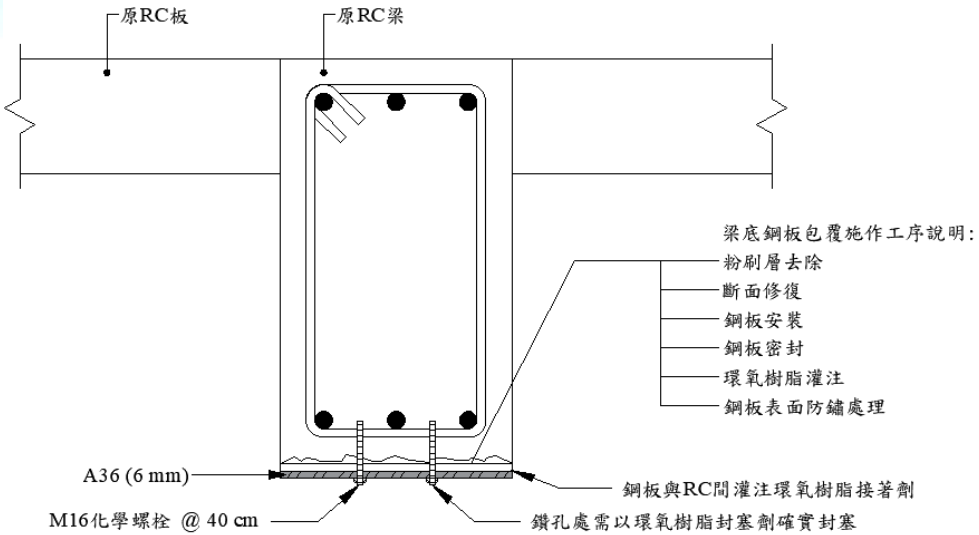
梁底部鋼板修復工法之施工步驟如下所示:

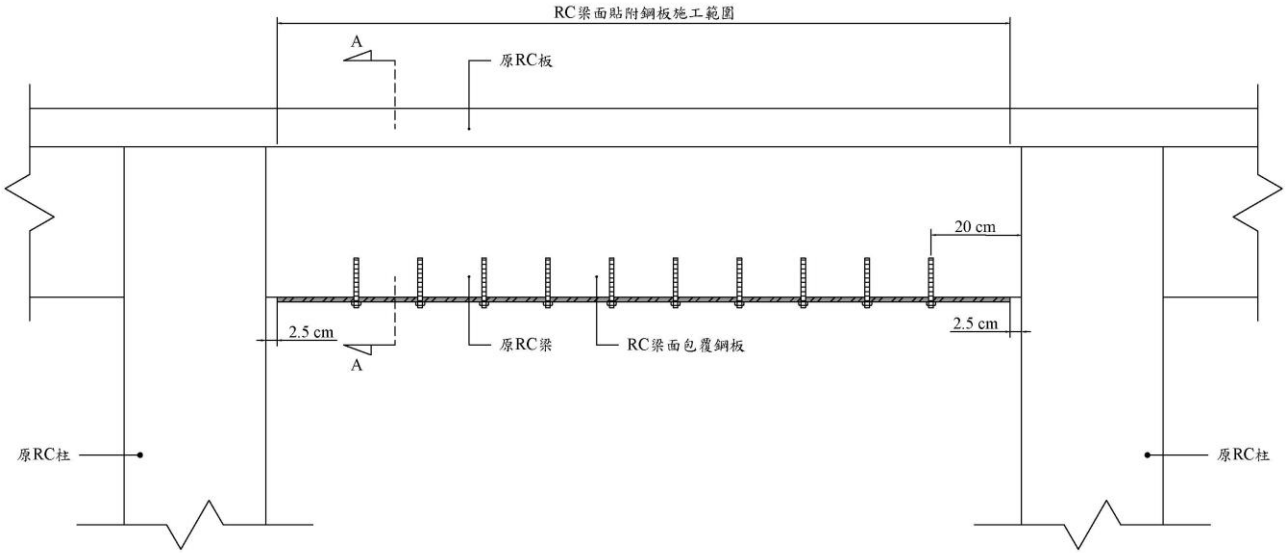
1) 裝飾材料去除：裝飾材去除時，需打除至既有鋼筋混凝土結構，且應將表面灰塵完全去除乾淨；
2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋修復作業；
3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性。鋼板與鋼筋混凝土梁間之空隙應盡量保持在3 mm以下；
4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行施作位置固定；
5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，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。



TYPE-Beam-D3
(梁底鋼板包覆)



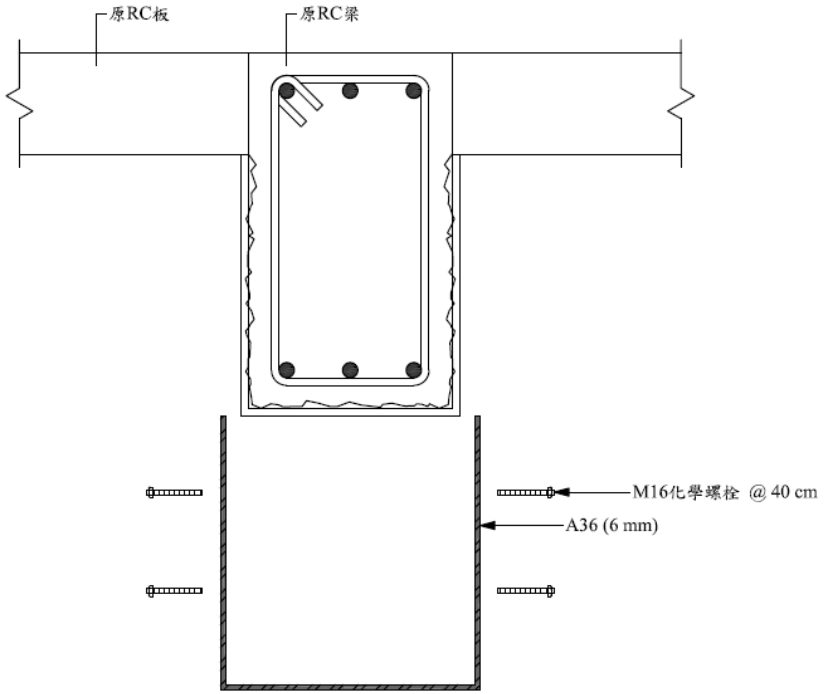




鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

4.2.4 梁側U型鋼板修復工法(剪力或正彎矩修復)

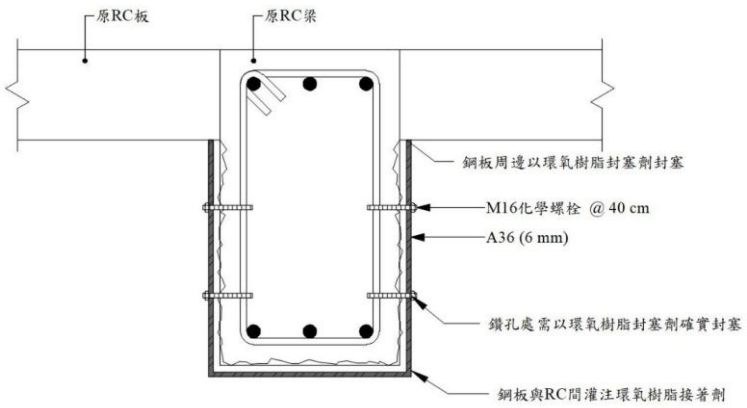
1. 當梁因劣化而導致剪力強度及正彎矩強度不足時，可以採用U型鋼板包覆，同時復原其剪力及彎矩強度。採U型鋼板包覆劣化梁構件之修復，係利用環氧樹脂或錨栓將鋼板與梁結合，以讓U型鋼板能發揮預期效果。
2. 進行梁側U型鋼板修復工法設計時，可採用等效鋼筋量方式並依規範【10】建議公式進行強度計算，其錨定件亦需進行相關檢核以確保U型鋼板發揮其預期能力。
3. 梁側U型鋼板修復工法之施工步驟係將裝飾材敲除後，針對劣化部位進行鋼筋腐蝕補修與斷面補修，再將U型鋼板以化學錨栓固定，並於U型鋼板與梁構件之空隙處填入環氧樹脂，最後對U型鋼板進行防銹處理及表面裝飾。



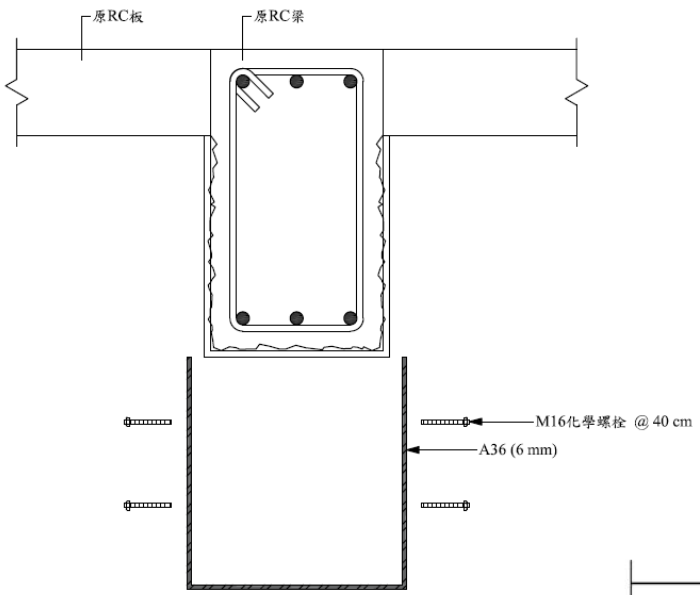
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

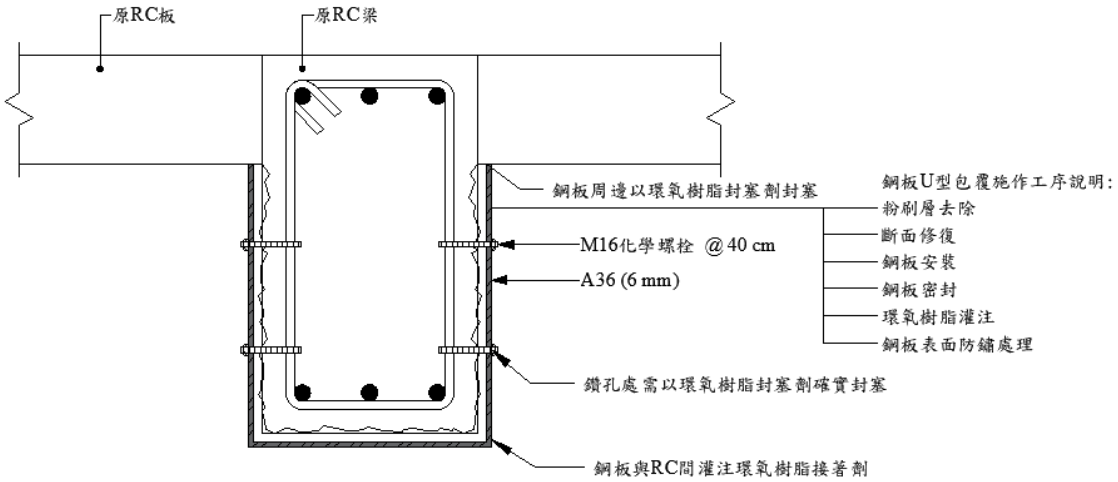
梁側U型鋼板修復工法之施工步驟如下所示:

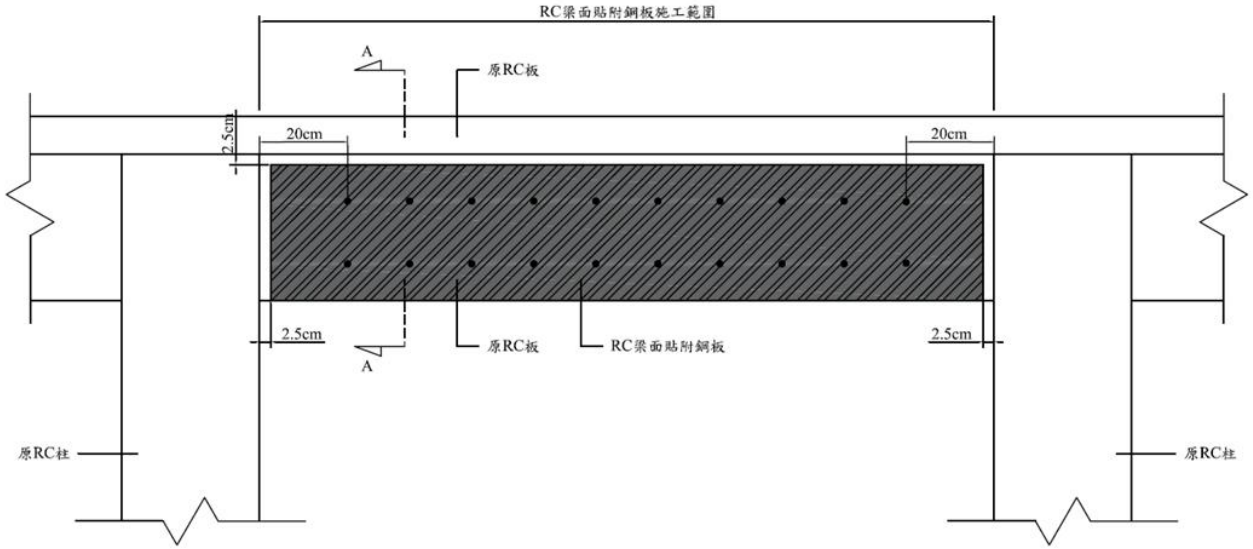
1) 裝飾材料去除：裝飾材去除時，需打除至既有鋼筋混凝土結構，且應將表面灰塵完全去除乾淨；
2) 前處理：前處理包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋修復作業；
3) 表面處理：鋼板與鋼筋混凝土梁之接合面應先進行噴砂處理，以增加鋼板與混凝土間之黏結性；
4) 鋼板錨定：主要採用化學錨栓方式進行施作位置固定；
5) 注入環氧樹脂：注入環氧樹脂前，須在鋼板四周及化學錨栓位置用密封劑密封，並預留注入孔及出氣孔，待密封劑硬化後再行注入環氧樹脂。利用機械壓力灌注環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。



TYPE-Beam-D4
(梁側U型鋼板)



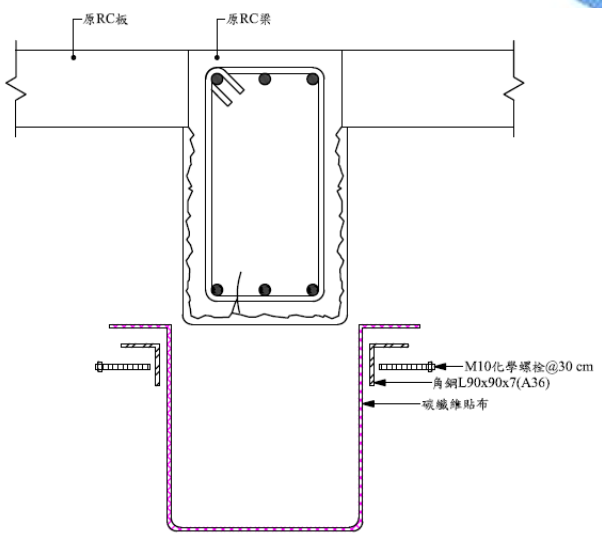


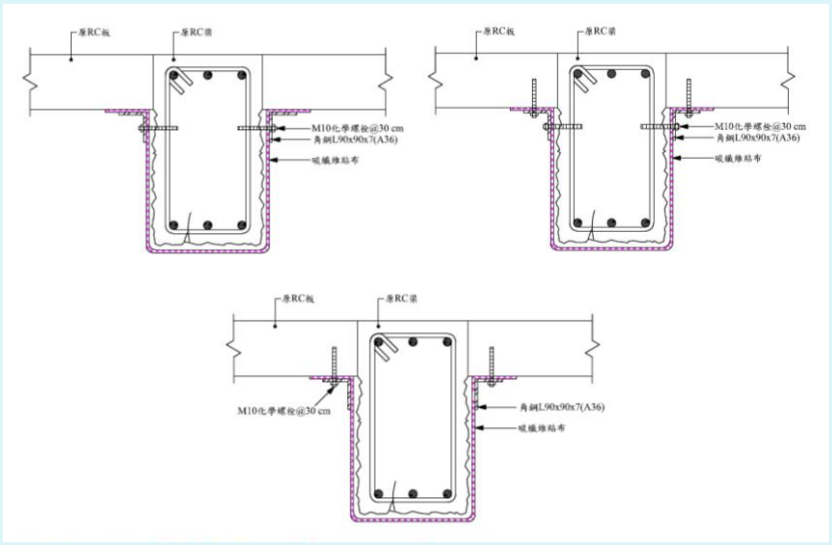


鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

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【18】或JSCE 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【18】或JSCE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。





鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊 -劣損梁構件修復

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【18】或JSCE 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【18】或JSCE建議方式進行。以JSCE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：

$$V_{fd} = \phi \times V_f$$

$$V_f = K\{A_f \times f_{fud} \times d \times (sin\alpha_f + cos\alpha_f)/s_f\}$$

$$\mathrm{K} = 1.68 - 0.76\mathrm{R};\ 0.4 \le \mathrm{K} \le 0.8$$

$$\mathrm{R} = (p_f \times E_f)^{1/4}\left(\frac{f_{fud}}{E_f}\right)^{2/3} \times (\frac{1}{f'_{cd}})^{1/3}; 0.5 \le R \le 2.0$$

$$p_f = \frac{A_f}{(b_w \times s_f)}$$

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Sf內的修復用FRP的總斷面積(mm^2)。
s_f：修復用FRP的配置間隔(mm)。
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(N/mm^2)。
E_f：修復用FRP的楊氏係數(kN/mm^2)。
α_f：修復用FRP與結構元素主要受力方向之間的 角度。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

(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。

$$\Delta\sigma_f \leq \sqrt{\frac{2G_f E_f}{n_f t_f}}$$

$\Delta\sigma_f$：修復用FRP的拉伸應力；
G_f：修復用FRP與介面的斷裂能量(N/mm)；
E_f：修復用FRP的楊氏係數(N/mm^2)；
n_f：修復用FRP的層數；
t_f：碳纖維厚度(mm)。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊 -劣損梁構件修復

V_f：碳纖維提供之剪力(N)。
α：碳纖維包覆方向與構件夾角。
d_{fv}：碳纖維有效貼附深度(mm)。
s_f：碳纖維中至中心距離(mm)。
A_{fv}：抗剪碳纖維面積(mm^2)。
w_f：碳纖維寬度(mm)。

以ACI 440.2R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：

$$\emptyset V_n \geq \emptyset(V_c + V_s + \psi_f V_f)$$

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin\alpha \cos\alpha) d_{fv}}{s_f}$$

$$A_{fv} = 2nt_f w_f$$

V_n：標稱剪力強度(N)。
V_s：鋼筋提供之標稱剪力強度(N)。
V_c：混凝土提供之標稱剪力強度(N)。
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(mm^2)。
f_{yt}：橫向鋼筋降伏強度(MPa)。
s：橫向鋼筋間距(mm)。

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：

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

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(mm^2)。
b_w：梁覆寬度(mm)。
λ_s：斷面折減因子。
ρ_w：縱向鋼筋比值，$A_s/b_w d$。
f_c'：混凝土抗壓強度(MPa)。

$$A_v \geq A_{v,min} \begin{cases} V_c = \left(0.17\lambda\sqrt{f_c'} + \dfrac{N_u}{6A_g}\right) b_w d \\ V_c = \left(0.66\,\lambda_s \lambda (\rho_w)^{1/3}\sqrt{f_c'} + \dfrac{N_u}{6A_g}\right) b_w d\,,\ \lambda_s = 1 \end{cases}$$

$$A_v < A_{v,min}\,, V_c = \left(0.66\,\lambda_s \lambda (\rho_w)^{1/3}\sqrt{f_c'} + \frac{N_u}{6A_g}\right) b_w d\,,\ \lambda_s = \sqrt{\frac{50}{25+d}} \leq 1$$

(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_{fe}，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'：

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^{*}$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.41\sqrt{\frac{f_c'}{nE_f t_f}} \leq 0.9\varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu}\left(\frac{d_f - c}{c}\right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b}$$

$$\varepsilon_c' = \frac{1.7 f_c'}{E_c}$$

$$\beta_1 = \frac{4\varepsilon_c' - \varepsilon_c}{6\varepsilon_c' - 2\varepsilon_c}$$

$$\alpha_1 = \frac{3\varepsilon_c'\varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3\beta_1 \varepsilon_c^2}$$

$$M_n = A_s f_s\left(d - \frac{\beta_1 c}{2}\right) + \psi_f A_f f_{fe}\left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2}\right)$$

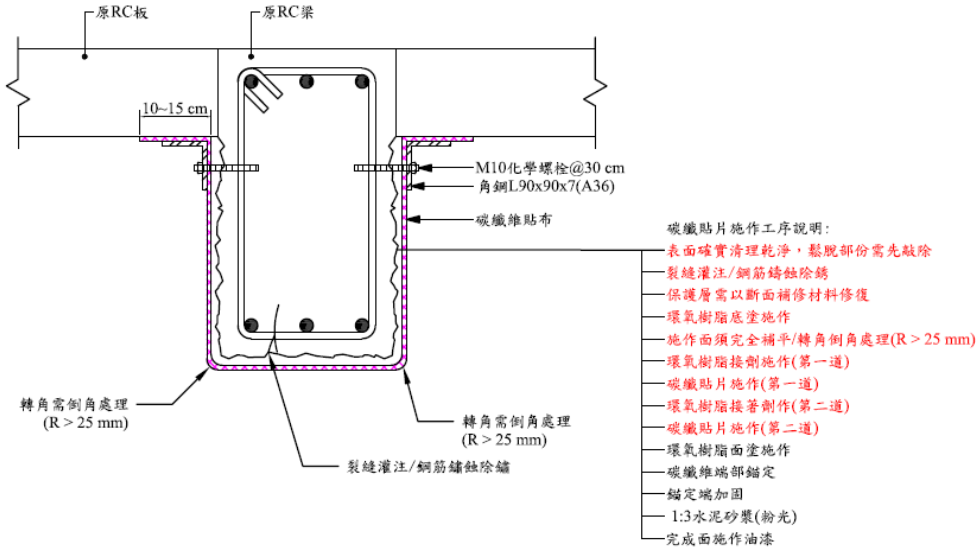
ε_{fu}：碳纖維設計破壞應變。
ε_{fd}：碳纖維剝落應變。
ε_{fe}：混凝土壓碎時之碳纖維應變。
C_E：環境折減因子，室內碳纖維復原取0.9。
ε_{fu}^{*}：碳纖維極限破壞應變。
f_c'：混凝土抗壓強度(MPa)。
n：碳纖維層數。
E_f：碳纖維彈性模數(MPa)。
t_f：碳纖維厚度(mm)。
ε_{cu}：未受圍束的混凝土的極限軸向應變，可取$\varepsilon_{cu} = 0.003$。
d_f：碳纖維有效深度(mm)。
c：中性軸至最外側受壓纖維距離(mm)。
ε_{bi}：碳纖維貼附於混凝土時之應變(MPa)。
A_s：拉力筋面積(mm^2)。
f_s：拉力筋應力(MPa)。
A_f：碳纖維面積(mm^2)。
f_{fe}：碳纖維應力(MPa)。
α_1、β_1：應力塊轉換係數。
b：斷面寬(mm)。
ε_c'：無圍束混凝土抗壓應變。
M_n：標稱彎矩強度(MPa)。
d：拉力鋼筋重心位置至最外側受壓纖維距離(mm)。
ψ_f：碳纖維折減係數，彎矩復原取0.85。

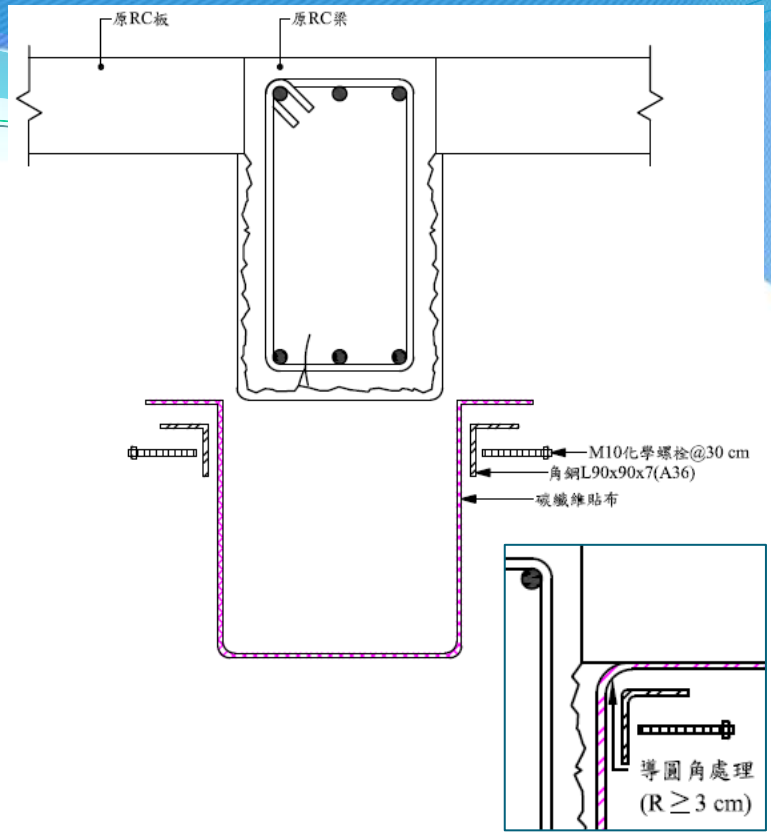
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損梁構件修復

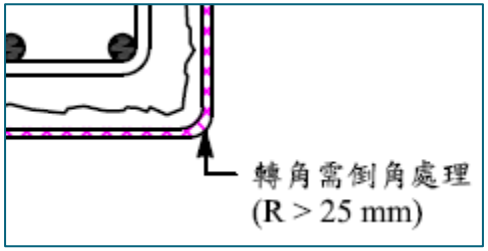
梁底部CFRP貼布修復工法之施工步驟如下所示:

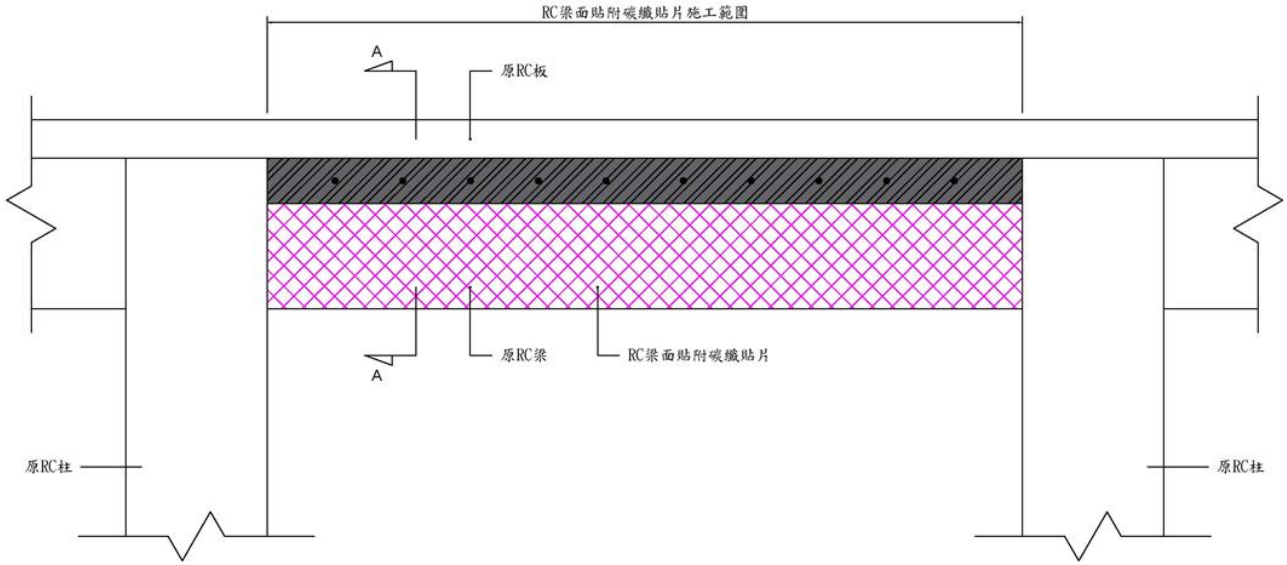
1) 前處裡：敲除裝飾材至混凝土部分(梁底、梁側、天花板頂之角鋼施作範圍)；敲除鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵；
2) 斷面補修法或裂縫灌注法施作：斷面補修法或裂縫灌注法可詳見本手冊第三章的第3.5小節(裂縫灌注法)和第3.7小節(斷面補修法)；
3) 表面清理；
4) 導角、整平：為避免刮損CFRP貼布及為了讓CFRP貼布能更緊密地貼附梁構件，梁構件之陽、陰角面必須以用砂漿補圓角或用砂輪機導圓角(詳見圖R4- 5)，而表面需要用砂輪機整平；
5) 劃線：確認CFRP貼布貼附位置及錨定位置並劃線標記；
6) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；
7) 塗佈接著劑：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- 5提供的三種方式，據文獻【18】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；
11) 養護；
12) 表面裝飾。

TYPE-Beam-D5
(梁底部CFRP貼布修復工法)

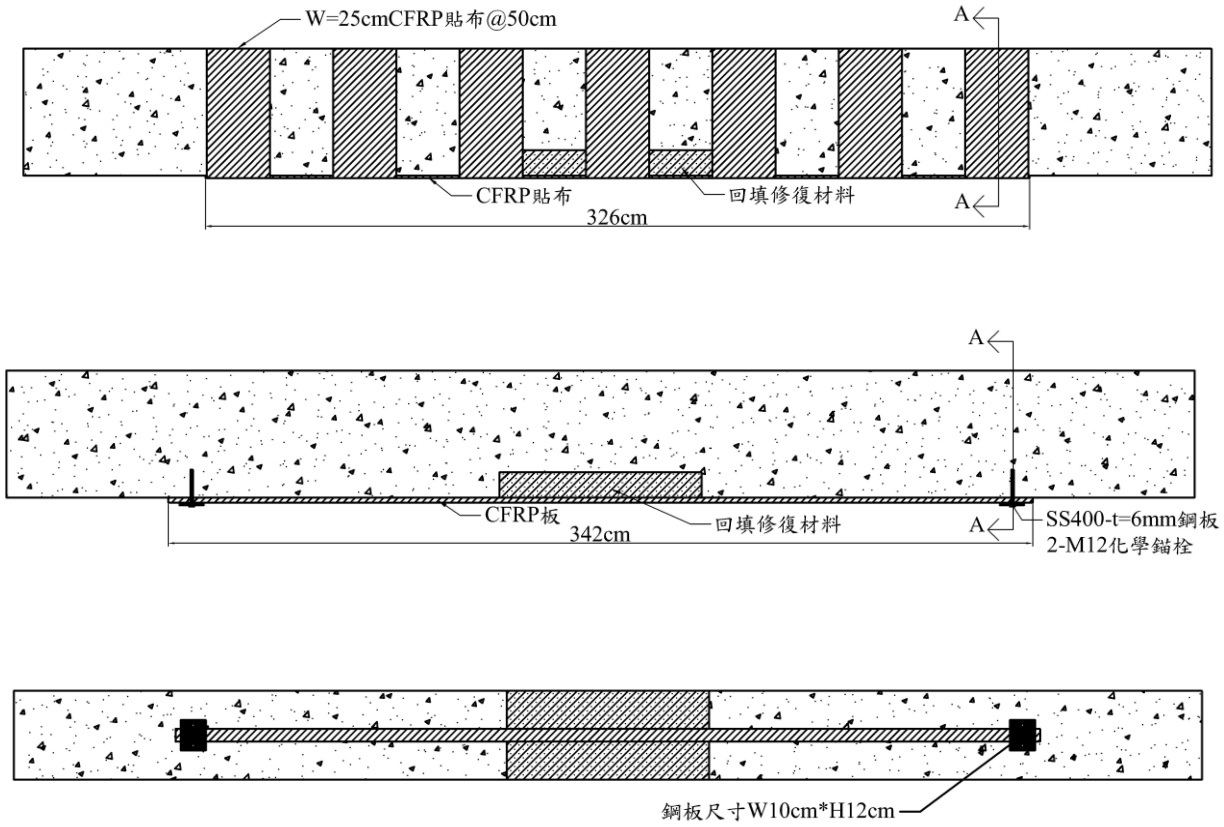


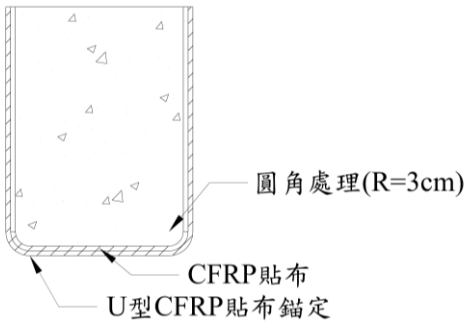


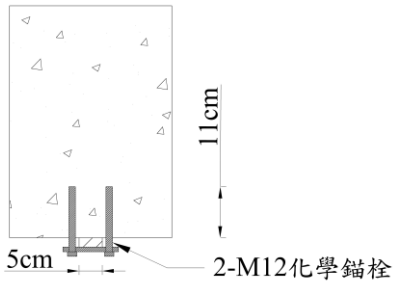




鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-劣損梁構件修復







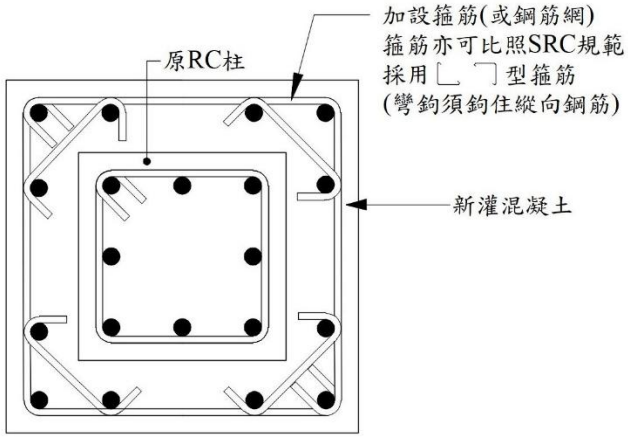
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損柱構件修復

4.3.1 柱加設箍筋修復工法(剪力與圍束修復)

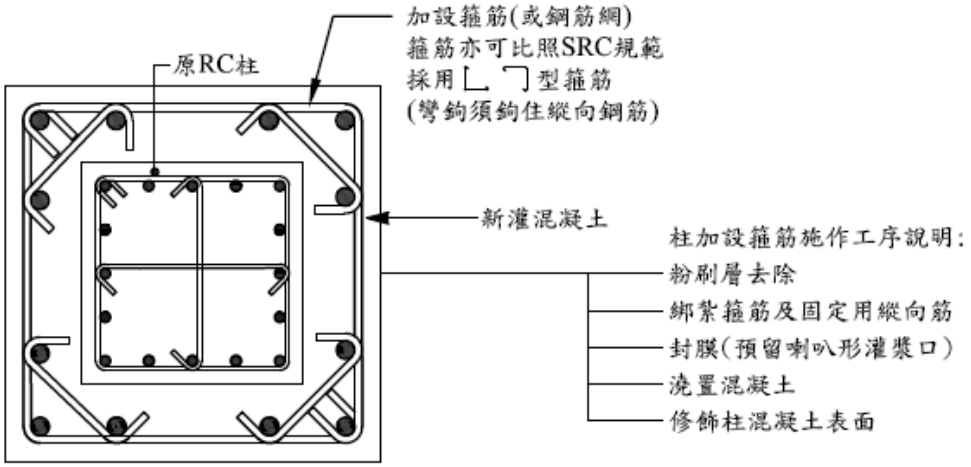
1. 當劣化柱構件之剪力強度或圍束不足時，可採用柱加設箍筋修復工法。
2. 利用加設箍筋修復工法進行劣化柱構件修復時，可參考文獻【14】【15】或規範【10】所提供之設計與強度計算，並符合其相關配筋細節規定。
3. 柱加設箍筋修復工法之施工步驟包含敲除原鋼筋混凝土柱表面之裝飾材料及鬆動混凝土、綁紮箍筋及固定用之縱向筋、架設模板、澆置混凝土及表面修飾。此外，針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理。

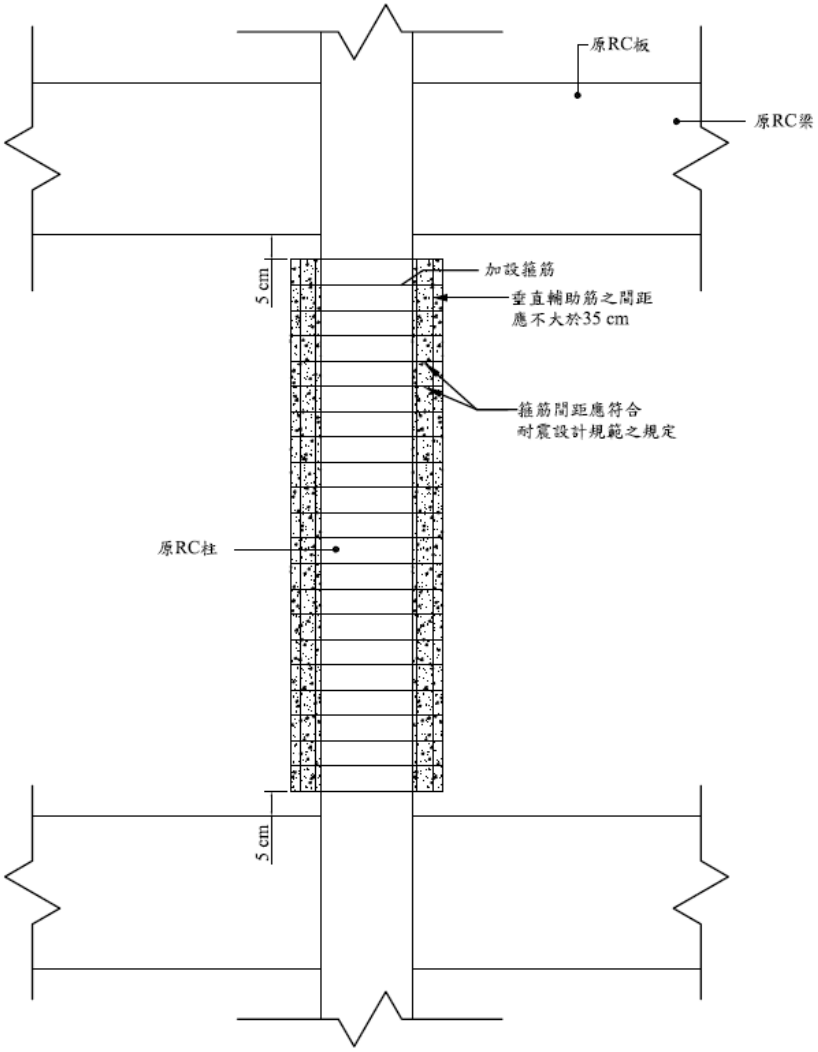
柱加設箍筋修復工法之施工步驟如下:

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。



TYPE-Column-D3
(柱加設箍筋)

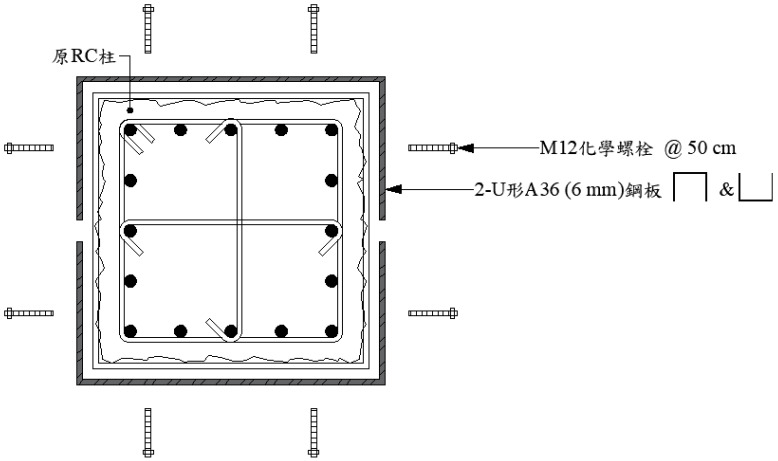




鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損柱構件修復

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。

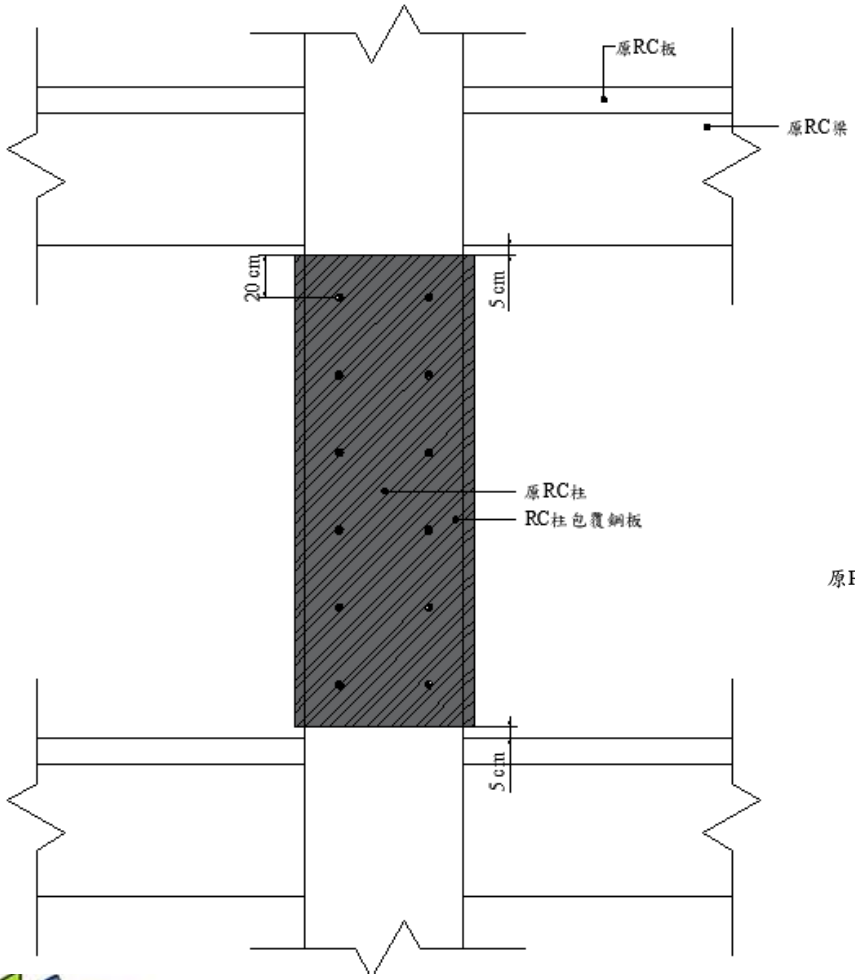


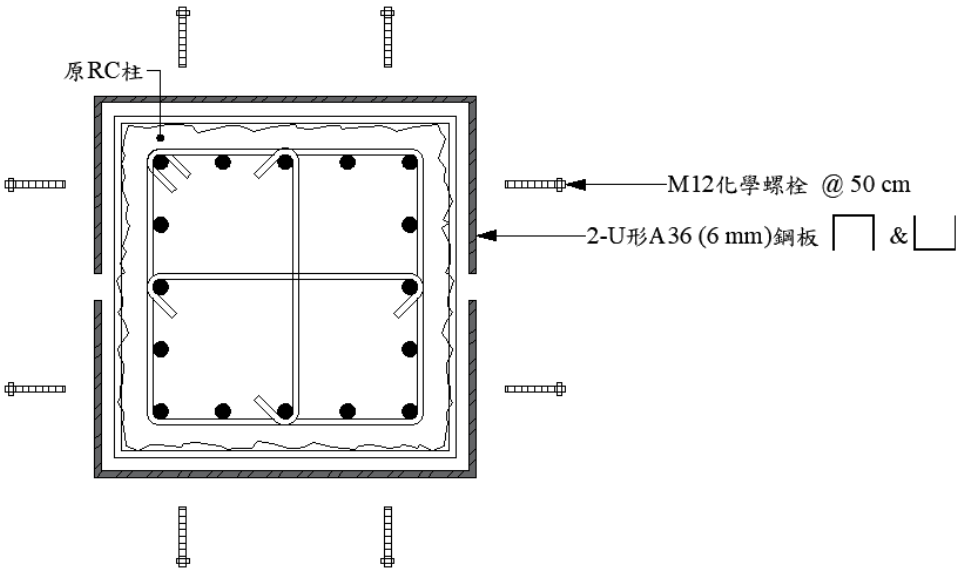
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損柱構件修復

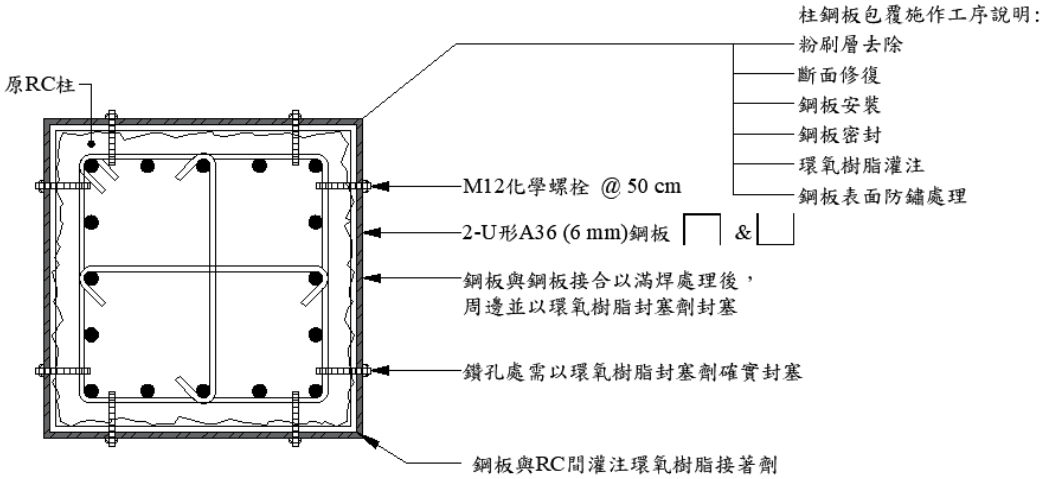
柱圍封鋼板修復工法之施工步驟如下：

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：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。

TYPE-Column-D2
(柱圍封鋼板)



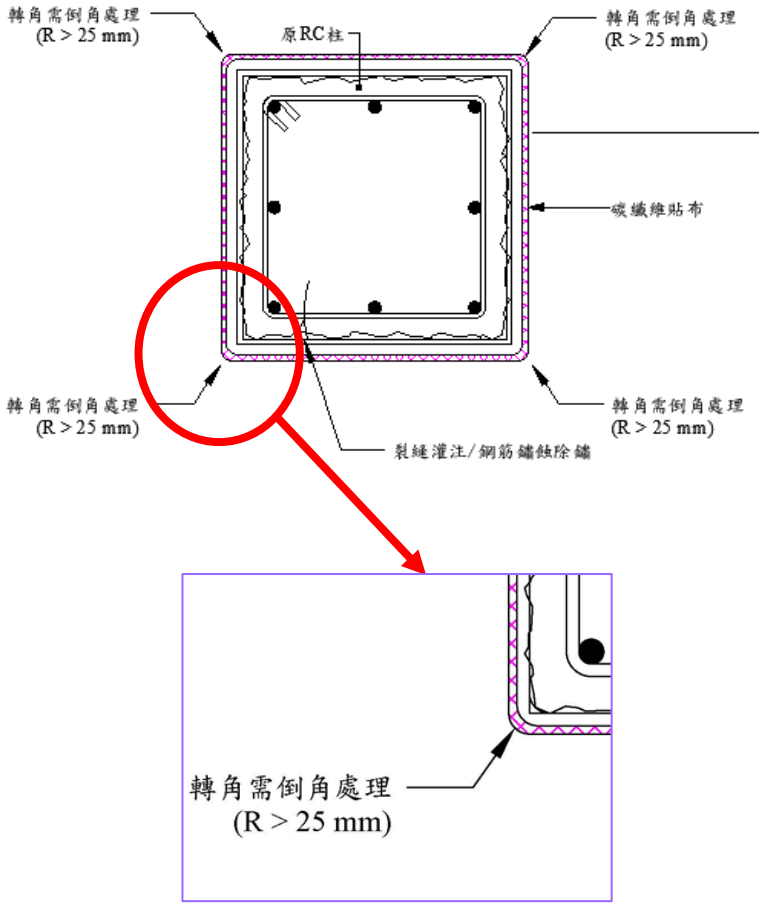




鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損柱構件修復

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【18】或JSCE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。
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。

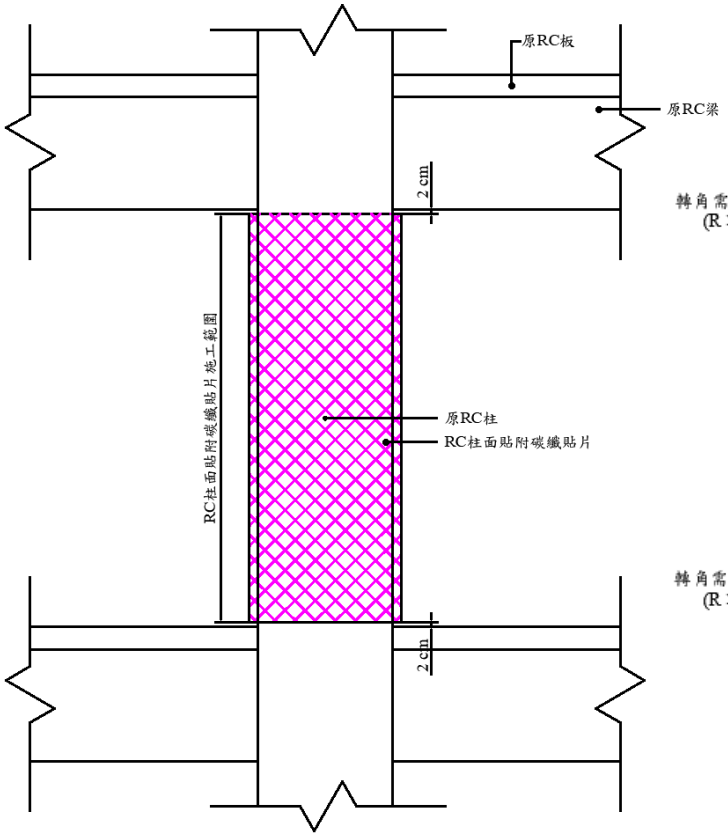


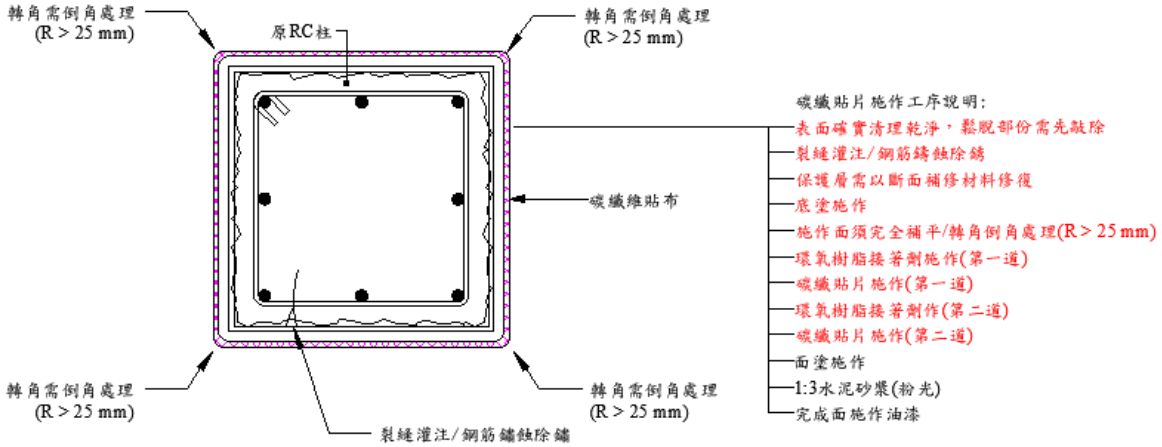
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損柱構件修復

柱CFRP包覆修復工法之施工步驟如下所示:

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：梁構件之陽、陰角面以砂漿導圓角施作(詳見圖R4- 4)，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。

TYPE-Column-D1
(柱CFRP包覆)





鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損柱構件修復

4.3.4 擴柱修復工法

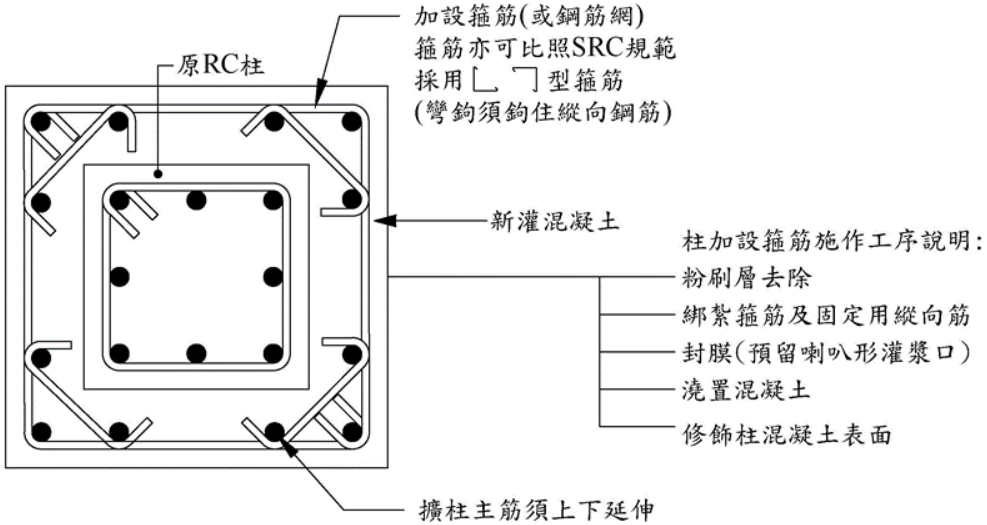
(軸力、彎矩、剪力及圍束修復)

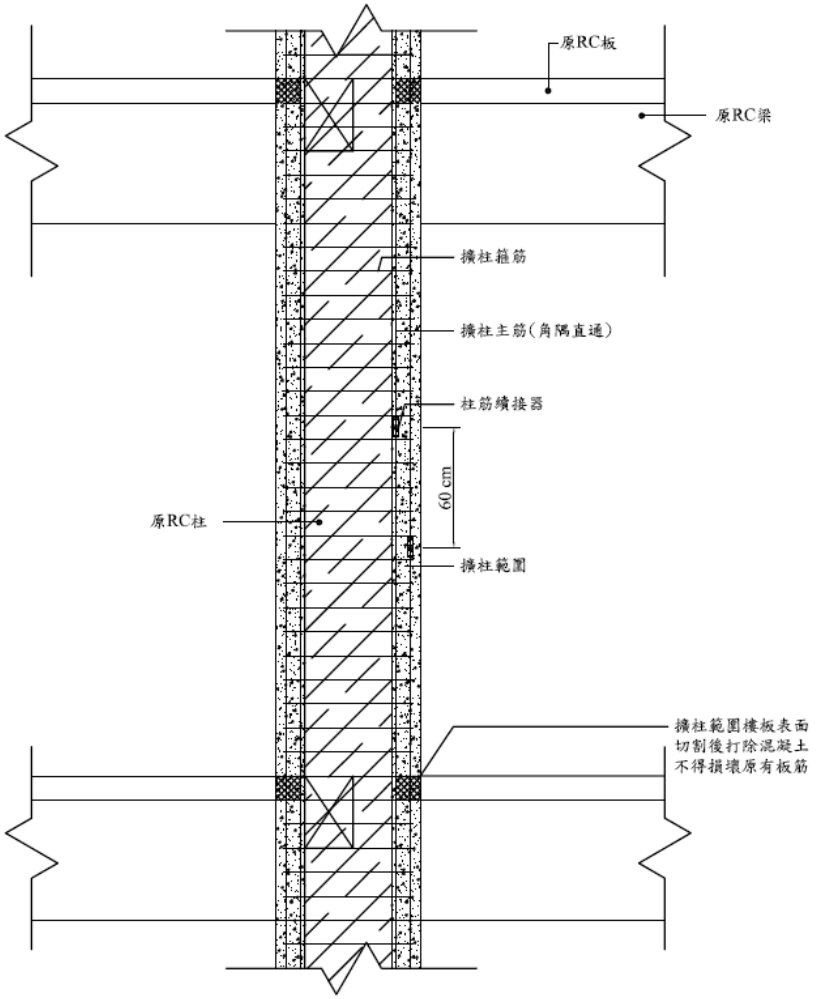
1. 當欲修復劣化柱構件之軸力及彎矩強度時，可將柱主筋貫穿上下樓層並擴大其斷面積，同時必須加設箍筋，使得圍束與剪力強度亦可同步復原。
2. 利用擴柱修復工法進行劣化柱構件修復時，可參考文獻【14】【15】及規範【10】所提供之設計與強度計算，並符合其相關配筋細節規定。為擴大柱構件之斷面積，將多放置主筋、箍筋和混凝土，因此需要將增加之重量加至建築物之靜載重內，並重新進行載重評估。
3. 擴柱修復工法之施工步驟包含敲除裝飾材及劣化混凝土、於柱構件上、下層之局部樓板鑽孔、綁紮修復鋼筋、澆製混凝土、拆模養護及表面修飾等工序。此外，針對銹蝕嚴重鋼筋可以移除或採用鋼筋腐蝕補修法進行處理。

擴柱修復工法之施工步驟如下:

1) 遷移相關管線與附掛物；
2) 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) 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。

TYPE-Column-D4 (擴柱)





腐蝕鋼筋確認-CC

a. 排水並拆除壓克力板及銅線

b. 打除腐蝕區混凝土

c. 量測腐蝕鋼筋之周長

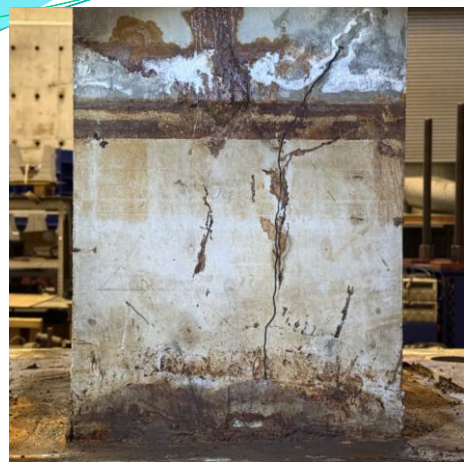
d. 其餘兩座試體之第二階段腐蝕

	周長	腐蝕鋼筋直徑(含竹節)	原鋼筋直徑(含竹節)	減少率(%)	腐蝕鋼筋直徑(含竹節)
主筋(#10)	10.2875	3.275	3.54	7.5	3.275
箍筋(#4)	3.725	1.186	1.37	13.5	1.186

再腐蝕天數 → 8.36天÷0.75=11.15天

因考量到箍筋受主筋腐蝕影響 →故不再腐蝕箍筋

腐蝕結束-CC-CFRP/CC-CP



	東側	西側	南側	北側
最大初始裂縫 (mm)	0.08	0.11	0.1	0.08

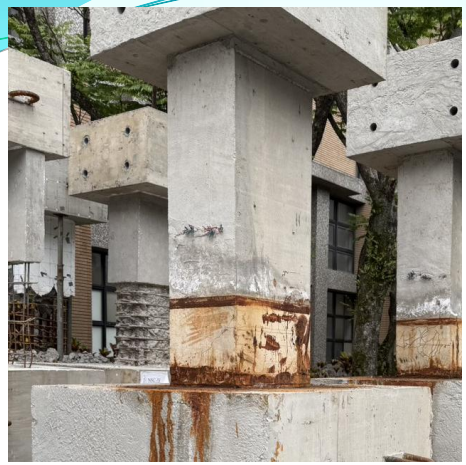
CC-CFRP

	東側	西側	南側	北側
最大初始裂縫 (mm)	0.05	0.03	0.05	0.05

CC-CP

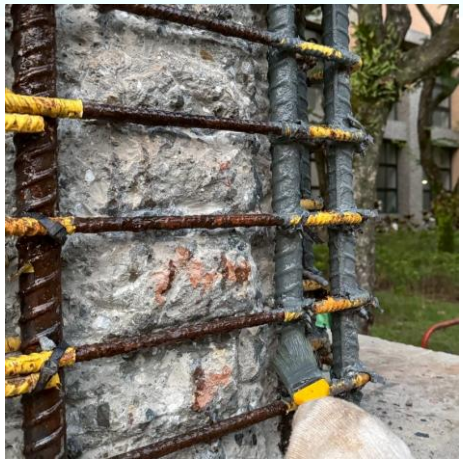
皆不符合重度劣化評定

梁試體-鋼筋腐蝕補修法+斷面補修法+植筋工法

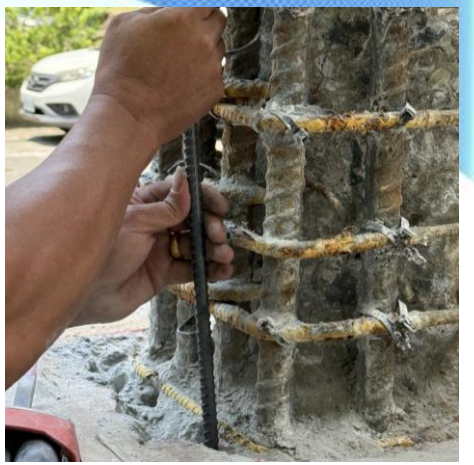


a. 拆除水箱、銅線

b. 打除混凝土



c. 除鏽、鍍鋅漆防蝕



d. 植入#4鋼筋

e. 模板組立

f. 無收縮水泥砂漿配比

g. 試體拆模

h. 試體修復完成

倒角處理

梁試體-CFRP貼布

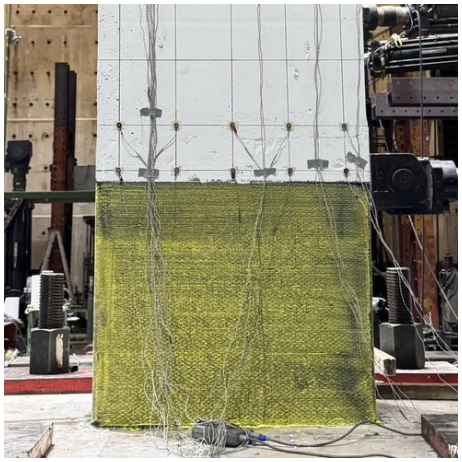
a. 標記、塗佈底塗

b. 塗佈環氧樹脂接著劑

c. 貼附雙層碳纖維貼布

d. 環氧樹脂浸潤

e. 修復完成



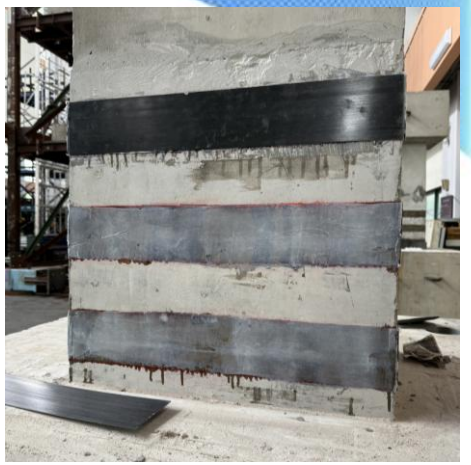
f. 塗佈黃石膏粉

梁試體-CFRP板

a. 標記、增加表面粗糙度

b. 塗佈底塗

c. 砂紙磨碳纖維板



d. 塗佈環氧樹脂於表面

e. 塗佈環氧樹脂於碳纖維板

f. 貼附碳纖維板

g. 使用壓力棒壓合

h. 板四周填補環氧樹脂

梁試體-CFRP板

i. 試體鑽孔、清孔

j. 砂輪機磨鋼板

k. 砂紙磨鋼板貼附區域

l. 塗佈環氧樹脂

m. 貼附鋼板並輕敲鋼板以利密合

n. 打入植筋膠

o. 固定化學錨栓

p. 塗佈黃石膏粉

梁試體-鋼板

a. 標記貼附位置

b. 塗佈底塗

c. 鋼板焊接

d. 使用環氧樹脂砂漿填補表面裂縫

e. 低壓灌注EPOXY

f. 試體鑽孔

g. 清理鑽孔

h. 打入植筋膠

梁試體-鋼板

i. 固定化學錨栓

j. 鋼板底部封塞

k. 化學錨栓封塞

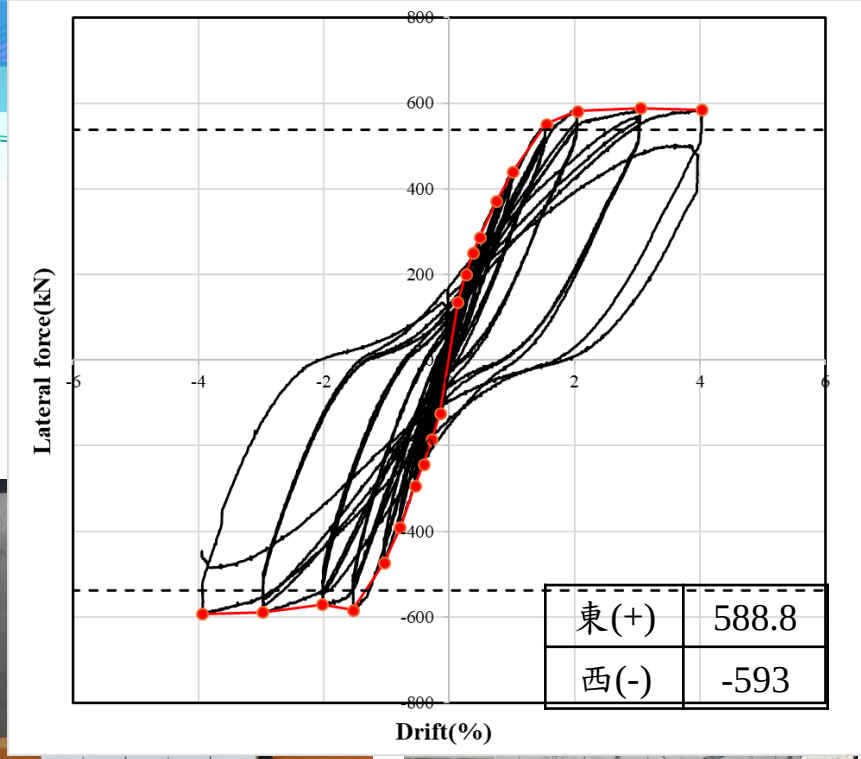
l. 環氧樹脂灌注

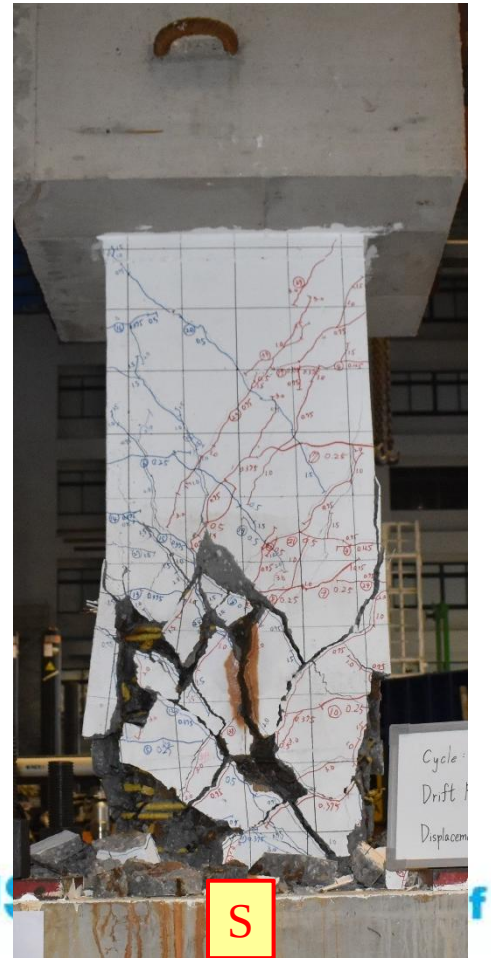
m. 鋼板修復完成

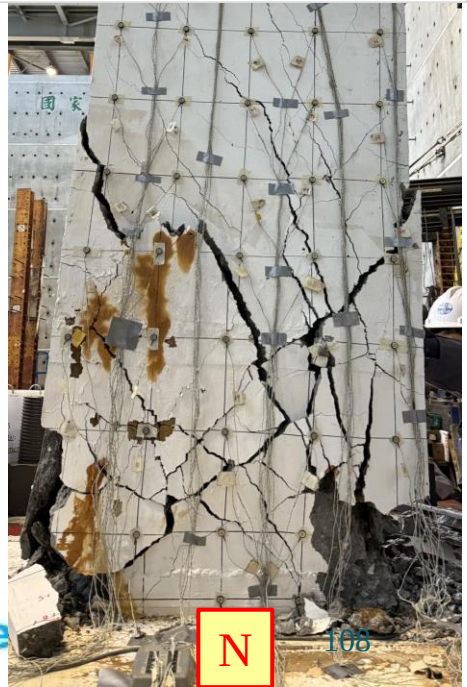
n. 塗佈黃石膏粉

梁試體-CC試驗結果

試體裂縫由彎矩裂縫逐漸發展為剪力裂縫，破壞主要集中在塑鉸區，觀察其遲滯迴圈無明顯瞬時性破壞特徵，推測破壞模式為撓剪破壞

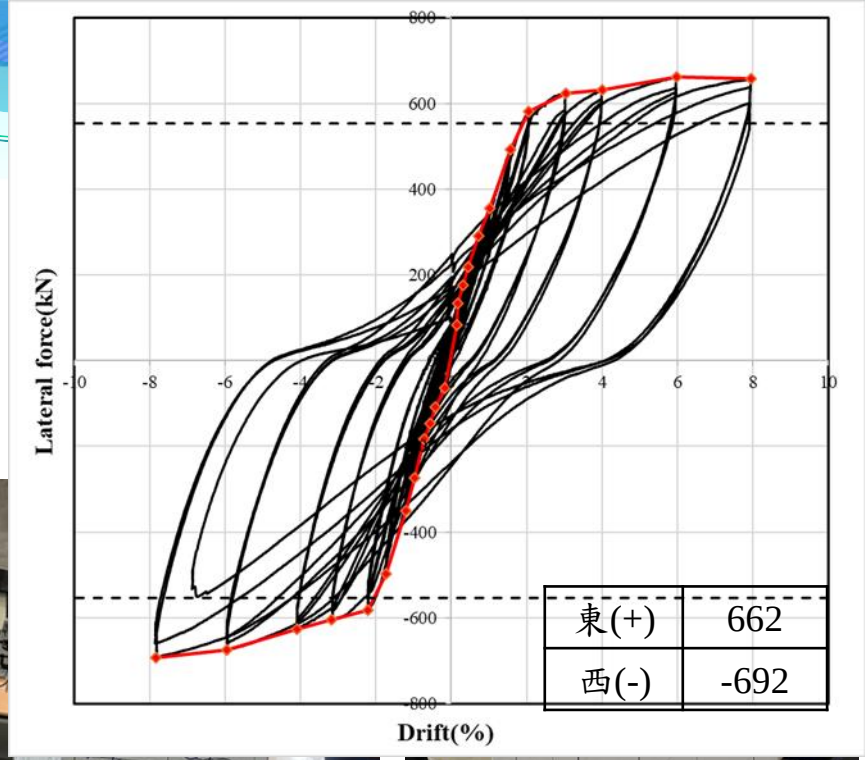




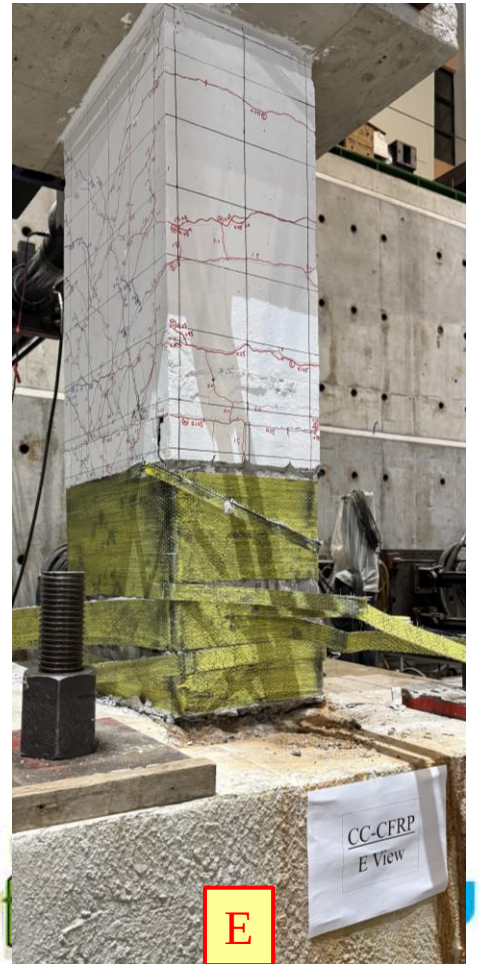


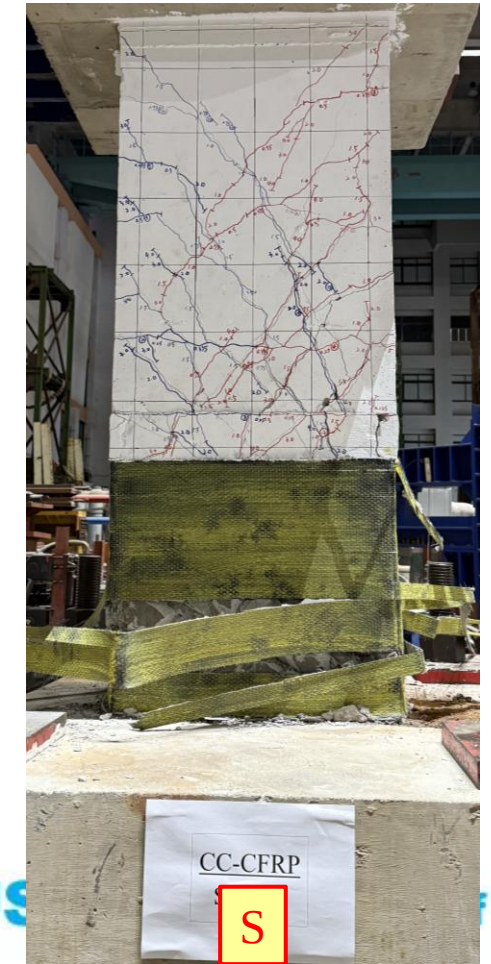
梁試體-CC-CFRP試驗結果

試體於塑鉸區偏支承端出現大量斜裂縫，裂縫型態與破壞面皆呈撓剪破壞之特徵，雖其遲滯迴圈於8% Cycle3階段顯現力量略為衰退，但由於最後一個cycle未完成，強度是否持續下跌無法確定



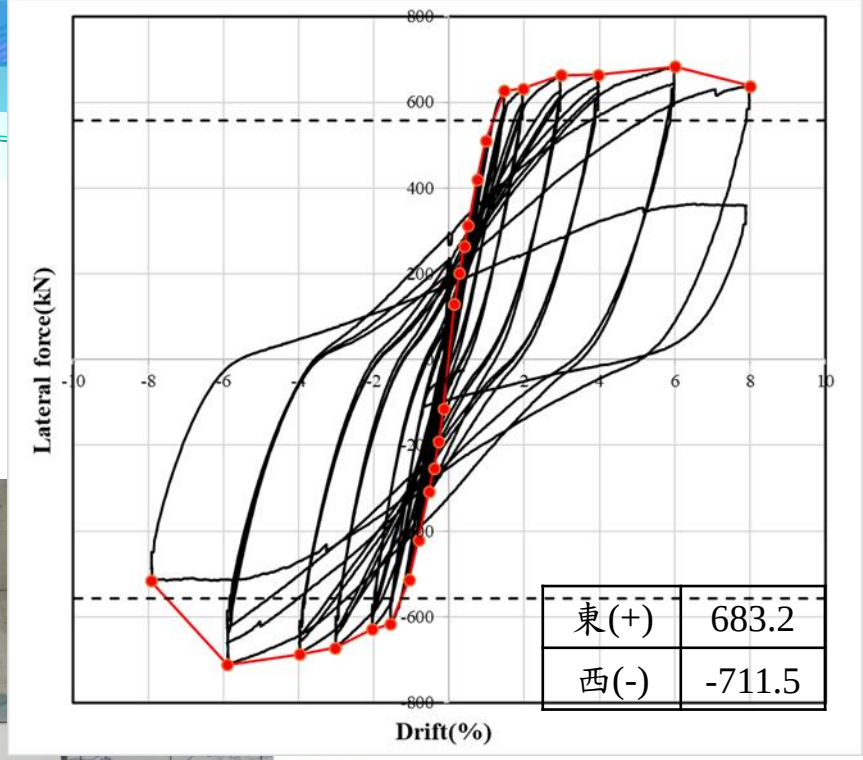
東(+)	662
西(-)	-692



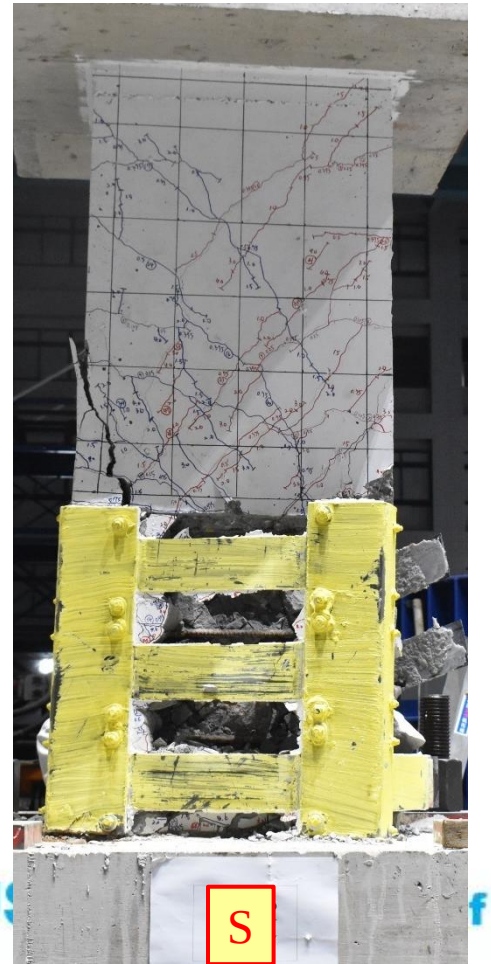


梁試體-CC-CP試驗結果

試體裂縫由彎矩裂縫逐漸發展為剪力裂縫，觀察其遲滯迴圈無明顯瞬時性破壞特徵，推測破壞模式為撓剪破壞，碳纖維板、鋼板與修復材有效黏結，但推測因砂漿強度不足以支撐，導致碳纖維板無法發揮其最大性能

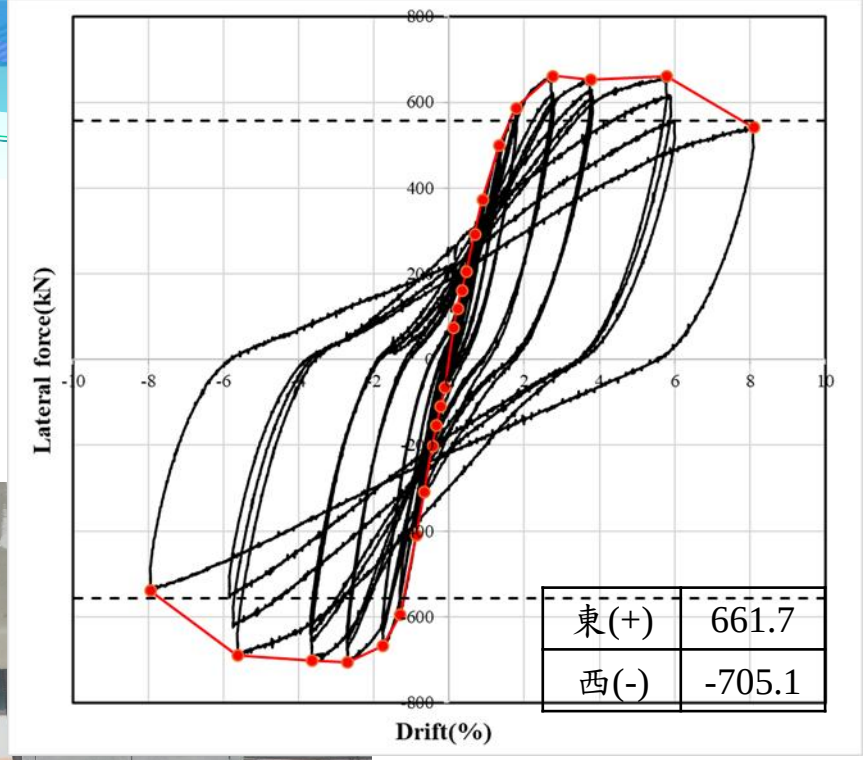


東(+)	683.2
西(-)	-711.5

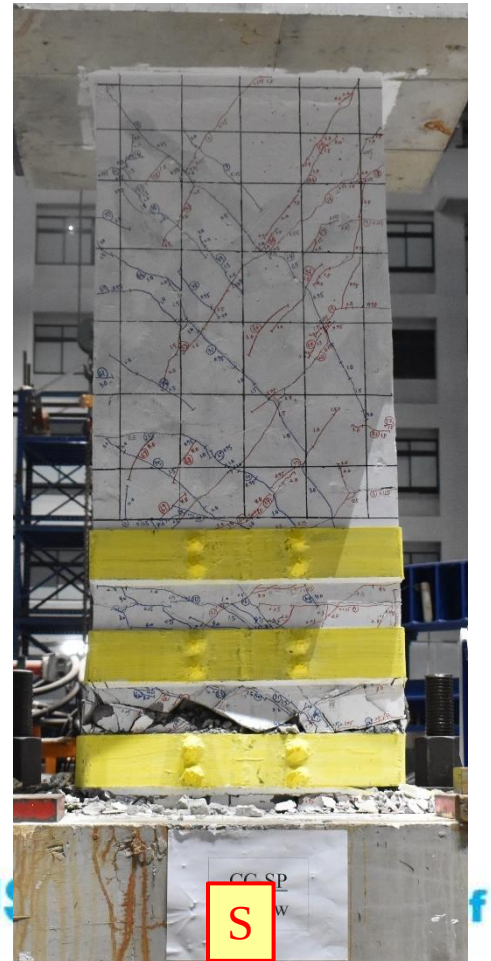


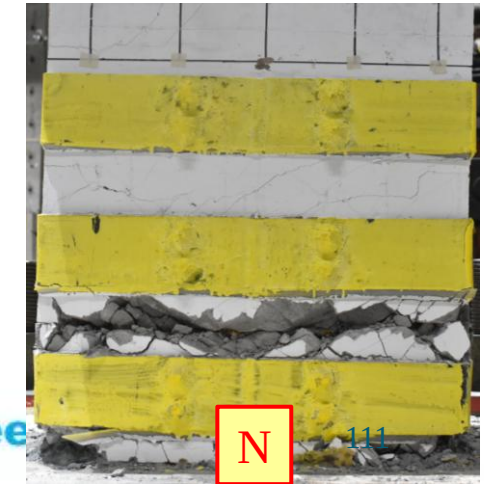
梁試體-CC-SP試驗結果

試體裂縫由彎矩裂縫逐漸發展為剪力裂縫，觀察其遲滯迴圈無明顯瞬時性破壞特徵，推測破壞模式為撓剪破壞，鋼板與修復材有效黏結，並未觀察到滑脫現象

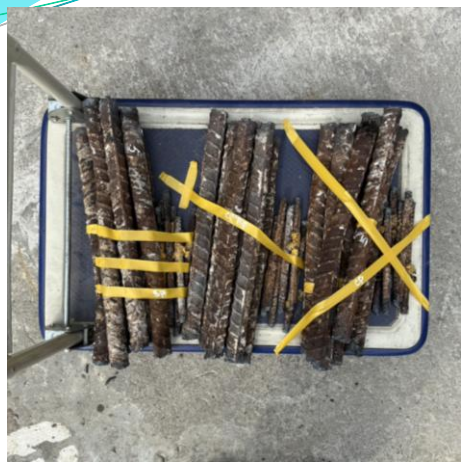


東(+)	661.7
西(-)	-705.1





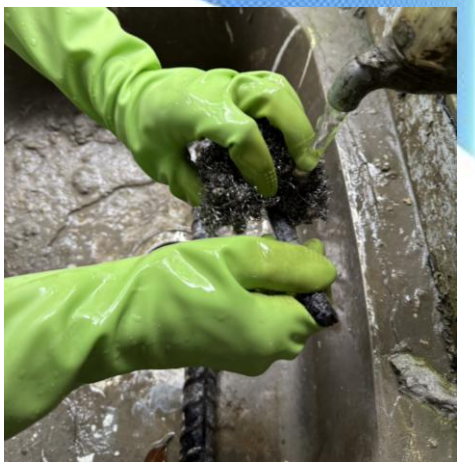
腐蝕鋼筋實際重量損失率



a. 取出鋼筋做標記

b. 塗佈鏽膜轉換劑除鏽

c. 鋼筋兩端切割



d. 鋼筋表面清潔

e. 以餐巾紙擦拭

重量損失率

	CC-CFRP (%)	CC-CP (%)	CC-SP(CC) (%)
主筋(#10)	6.39	5.38	5.14
箍筋(#4)	15.31	14.95	14.38

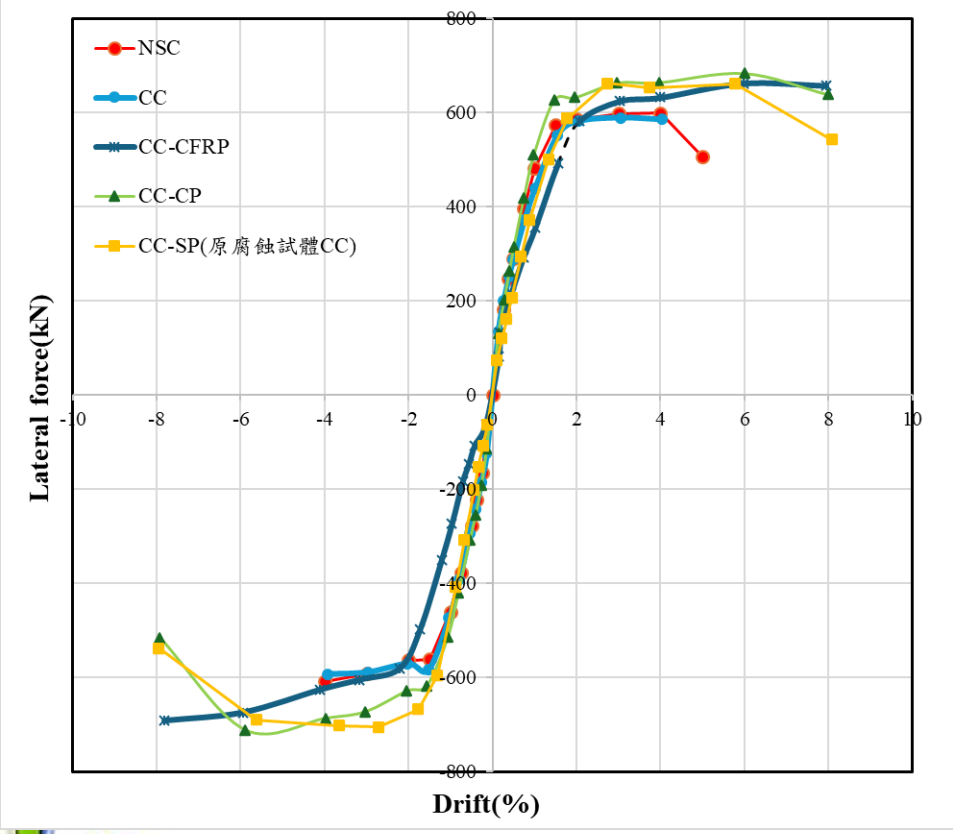
規劃腐蝕重量損失:主筋10 %/箍筋15%

實際通電時間腐蝕重量損失:主筋12.5%/箍筋15%

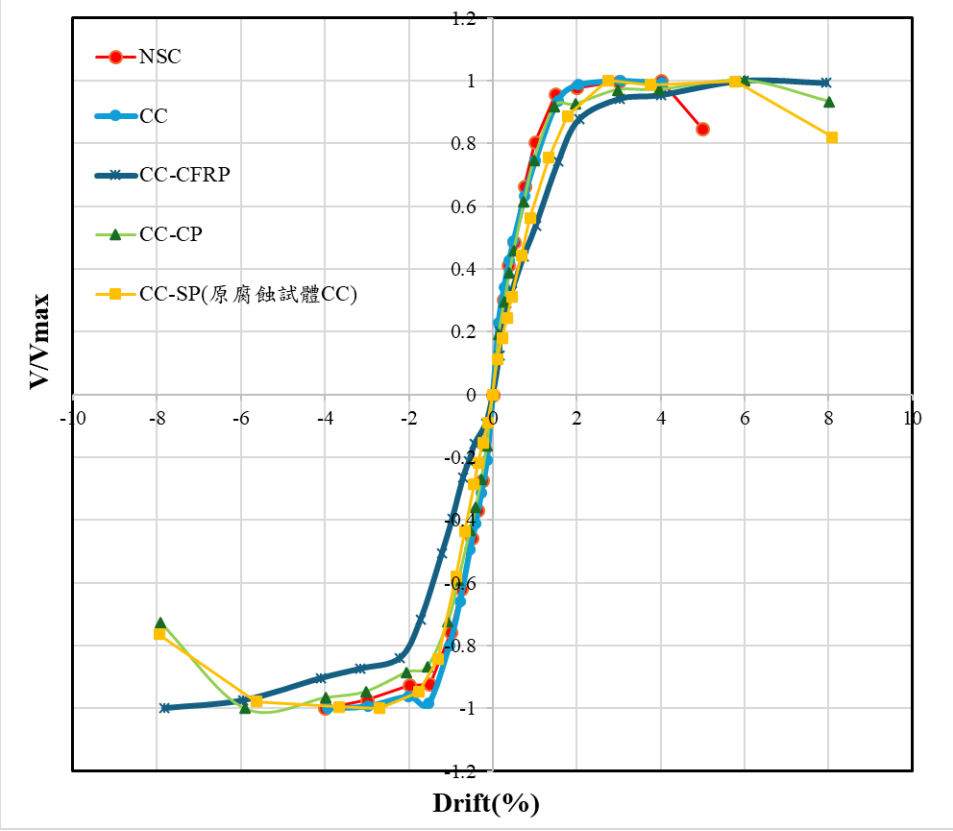
梁試體-包絡曲線比較

- 以橫軸為校正層間變位角，縱軸為側力強度。將試體於各層間變位角第一週期之側力尖峰值連線繪製出包絡曲線，並以各試體最大側力強度進行包絡曲線正規化
- 全包覆CC-CFRP之強度維持性效果最佳，而CC-CP修復的強度維持性相較高於鋼板修復

無正規化



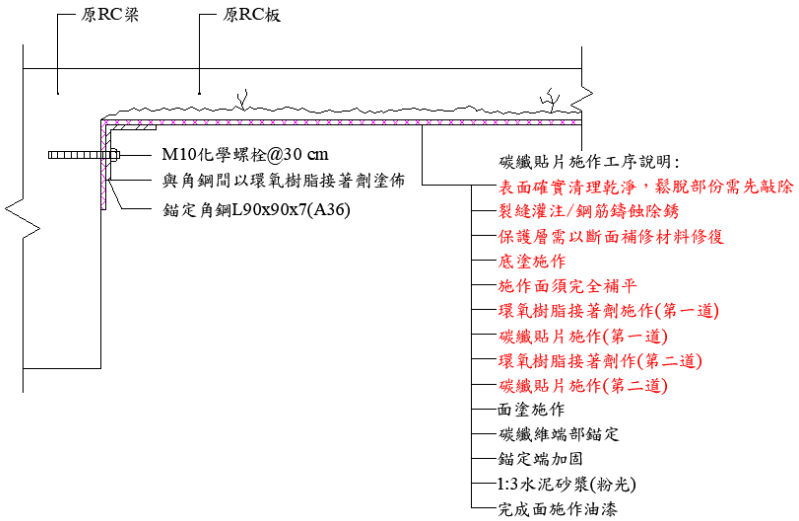
正規化



鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損板構件修復

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【18】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。

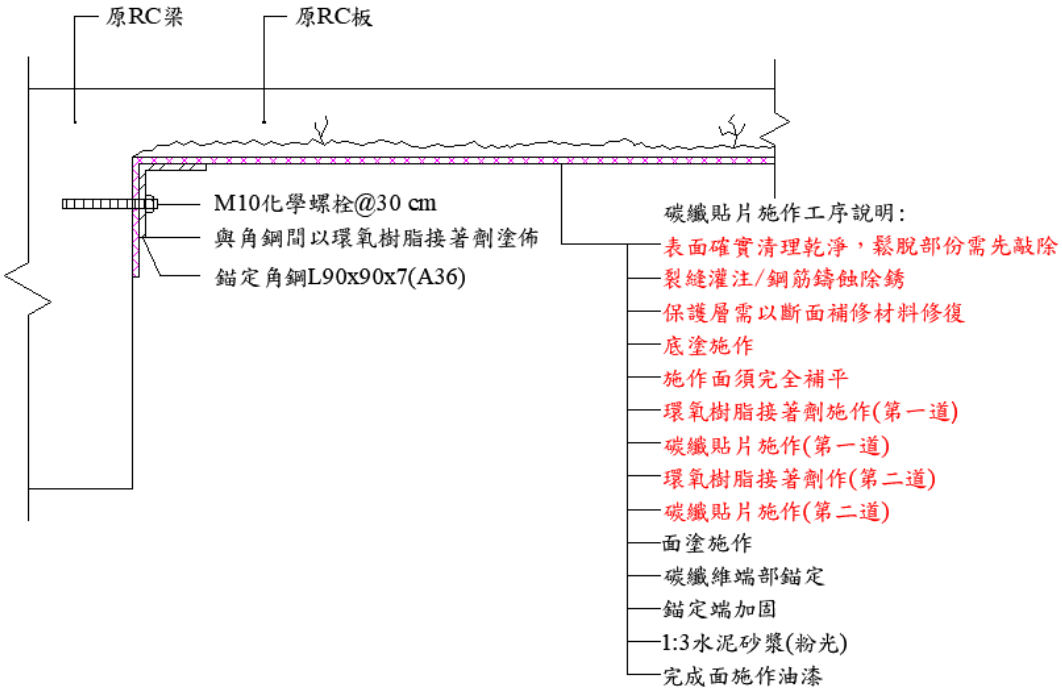


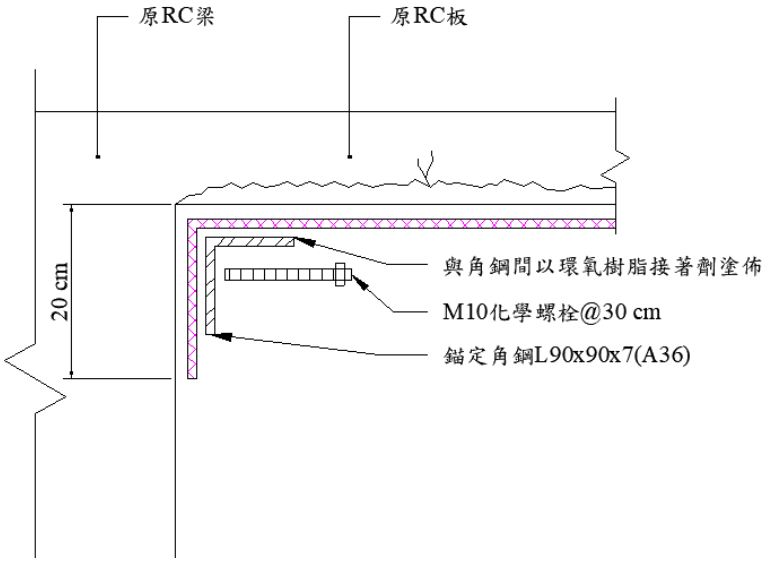
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損板構件修復

板底CFRP貼布修復工法之施工步驟如下:

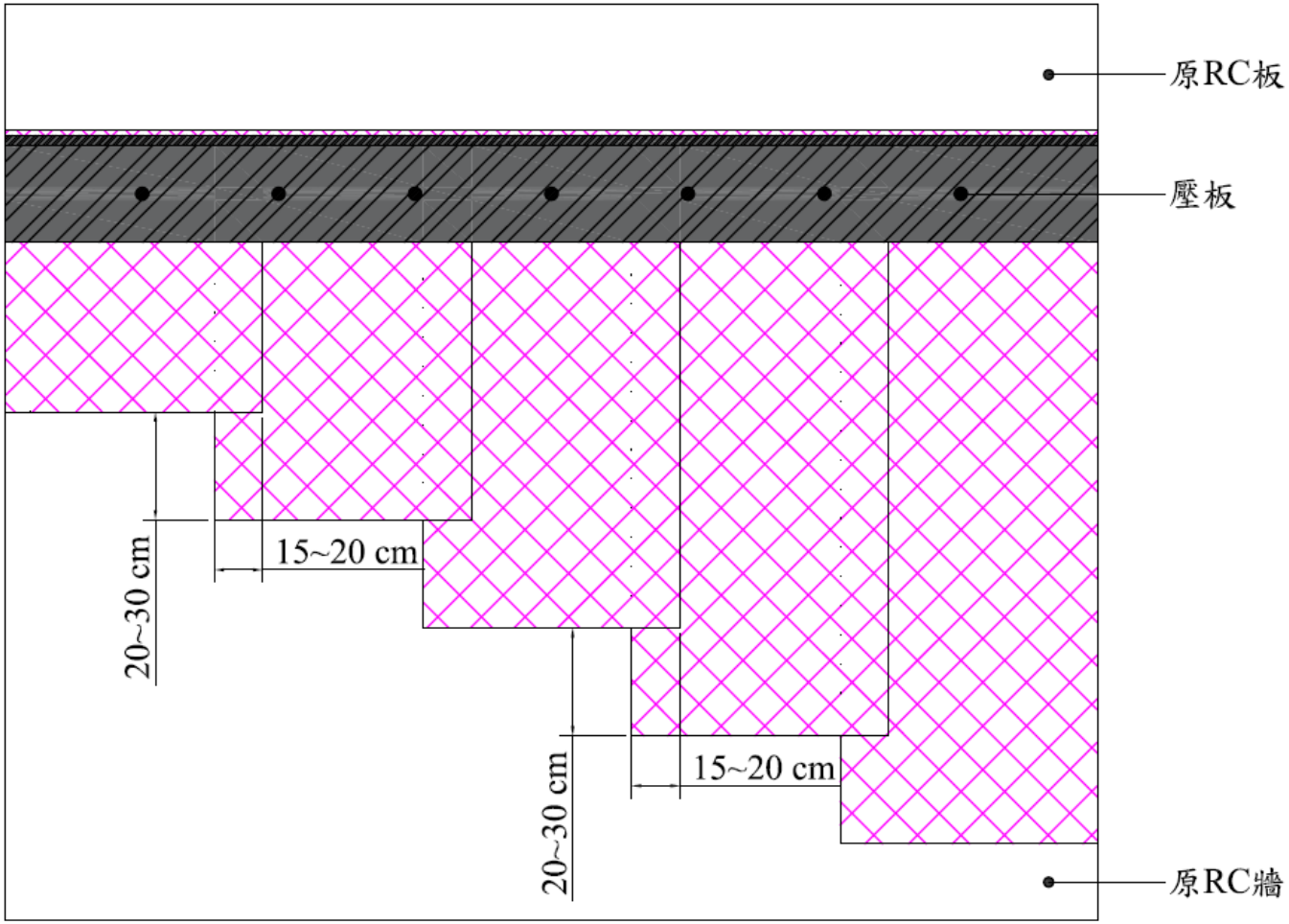
1) 前處理：敲除裝飾材及鬆脫之混凝土並以高壓機清除鬆脫之混凝土塊及灰塵。此一階段尚包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理和不平整處修整等。進行前處理時，若混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議實施斷面補修。進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，必須進行腐蝕鋼筋補修作業；
2) 表面清理及整平：表面灰塵去除並以砂輪機整平；
3) 劃線：確認CFRP貼附位置及錨定位置並劃線標記；
4) 塗佈底塗：將環氧樹脂底塗均勻以毛刷塗佈於施作表面；
5) 塗佈接著劑：待底塗完全乾燥後將環氧樹脂接著劑均勻塗佈於施作表面；
6) 貼附CFRP：在環氧樹脂接著劑未初凝前將CFRP貼附，並以手順CFRP之方向鋪設；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) 養護；
9) 表面裝飾。

TYPE-Slab-D1
(板底CFRP貼布)





TYPE-Slab-D1
(板底CFRP貼布)



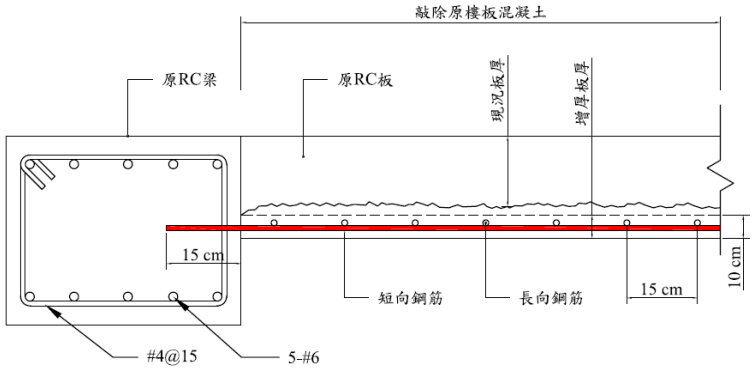
鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-劣損板構件修復

4.4.3 板加厚修復工法(剪力與彎矩修復)

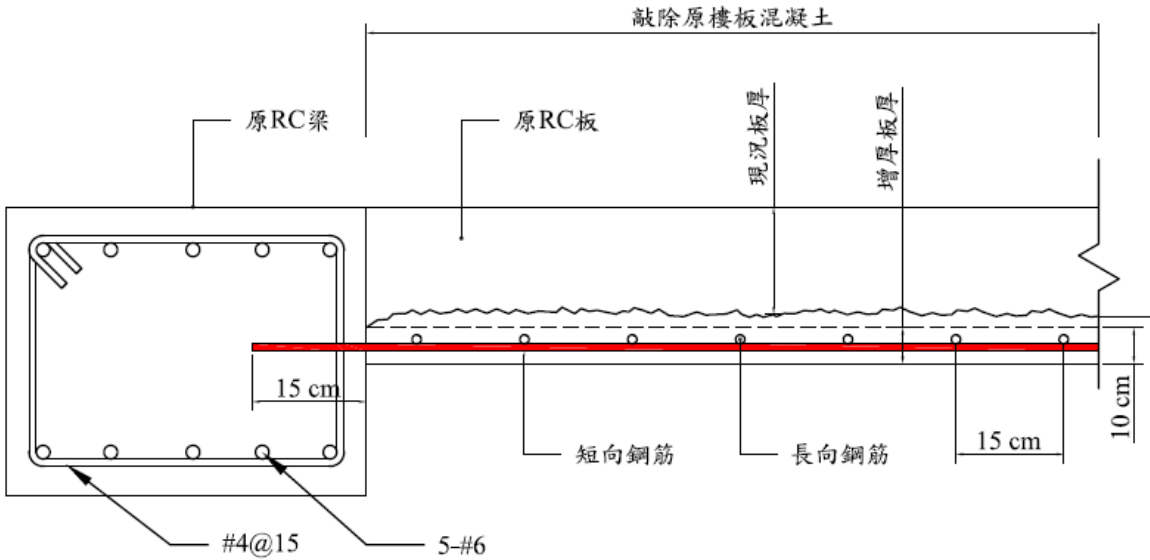
1. 當劣化樓板強度不足或板的厚度太薄而產生振動，可用加設鋼絲網或鋼筋並加厚混凝土之方式，讓其強度及勁度恢復至原設計要求。
2. 若原有混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議採用斷面補修法。當進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，則必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
3. 樓板加設之混凝土厚度一般最少為5 cm以上，故修復後會增加結構自重，應特別注意。
4. 樓板加厚時所增設之鋼筋應有足夠的伸展長度，必須依規範【10】建議進行設計。一般而言，可採用植筋方式並配合搭接以確保增設鋼筋滿足規範要求。

板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；包含裂縫處理、鋼筋腐蝕處理及斷面補修等；
2) 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；
3) 進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋或鋼絲網；
4) 安裝模板；
5) 塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性；
6) 澆置混凝土或水泥砂漿；
7) 封模待混凝土或水泥砂漿硬固；
8) 拆除模板並養護。



TYPE-Slab-D2
(板加厚)



板加厚復原工法施作工序說明:

- 敲除鬆動之混凝土後進行表面處理
- 表面打毛、標記植筋位置並鑽孔
- 進行植筋、錨定、綁紮以固定鋼筋或鋼絲網
- 安裝模板
- 塗抹水泥漿增加新舊混凝土之黏結性
- 澆置混凝土或水泥砂漿
- 封模待混凝土或水泥砂漿硬固
- 拆除模板並養護

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損板構件修復

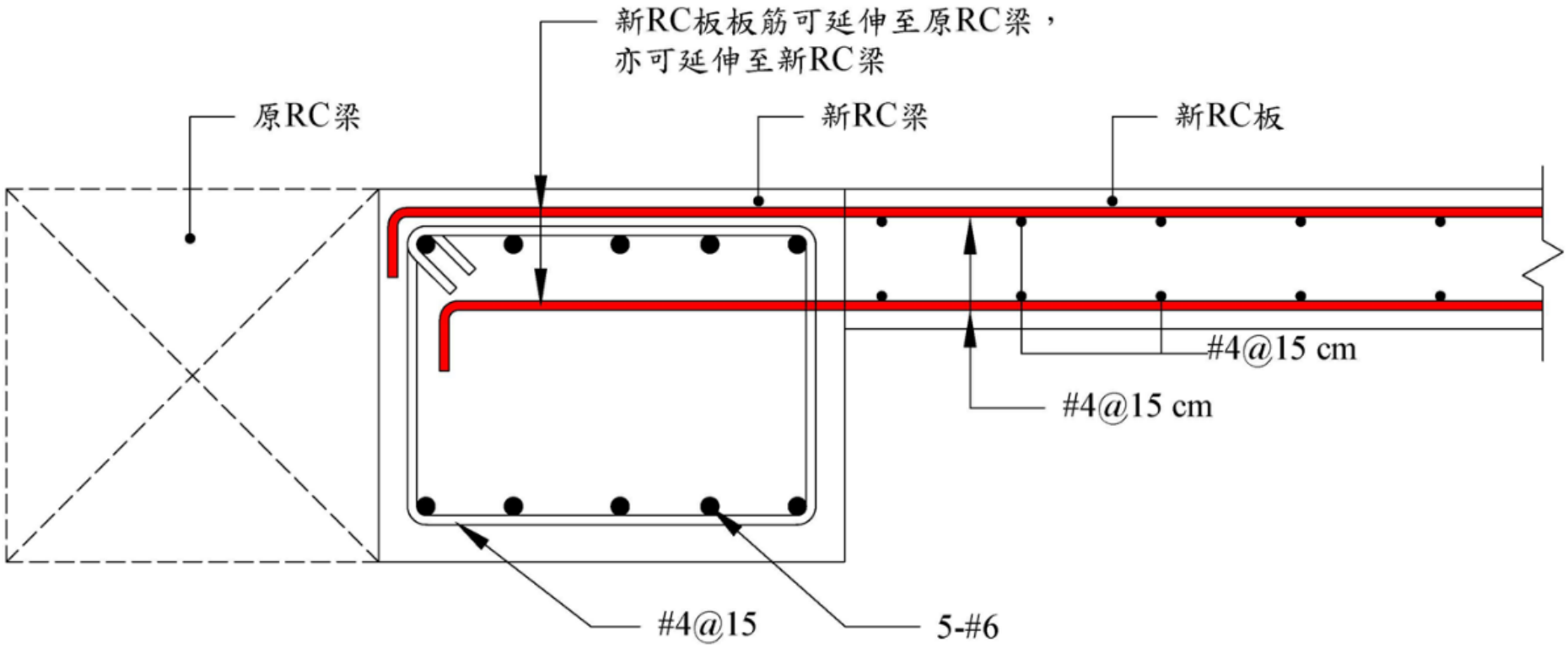
4.4.4 板打除新作修復工法(剪力與彎矩修復)

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。

板打除新作修復工法之施工步驟如下:

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) 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。

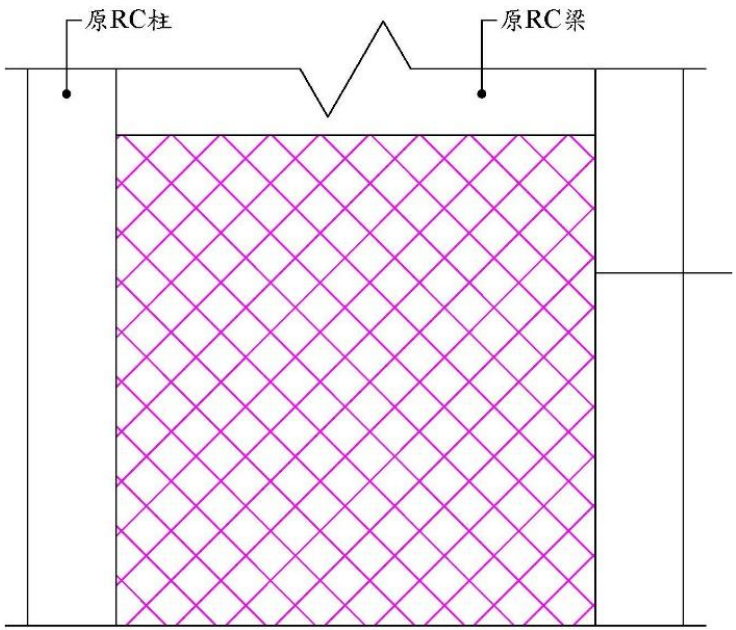
TYPE-Slab-D3
(板打除新作)



鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-劣損牆構件修復

4.5.2 牆面CFRP貼布修復工法(剪力修復)

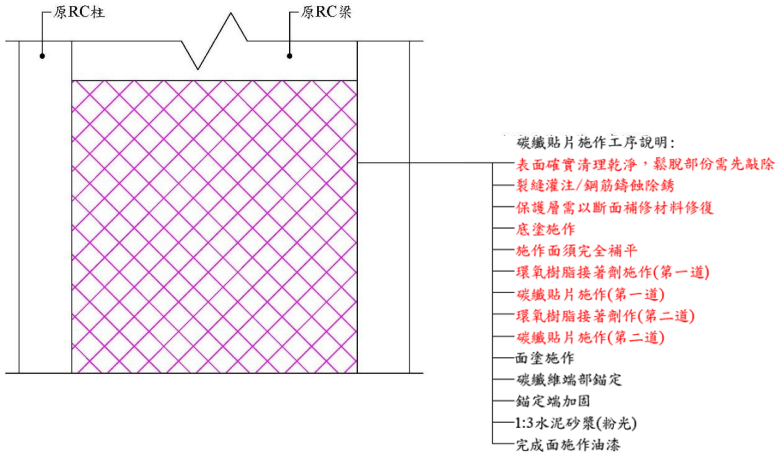
1. 劣化牆構件可用CFRP貼布以恢復其原設計之剪力強度；可在牆體整面貼附CFRP或採用X型貼附方式。
2. 牆面CFRP貼布修復工法之施作步驟與梁底部或板底CFRP貼布修復工法相同。同樣地，關於CFRP之貼附層數及方向皆須依設計圖規定施作。
3. 若原有混凝土表面有裂縫，應進行裂縫灌注補修；若裂縫寬度較大，建議採用斷面補修法。當進行斷面補修時，如構件有鋼筋銹蝕，則必須進行腐蝕鋼筋補修作業。
4. 利用CFRP貼布進行劣化牆構件修復時，可參考 ACI 440.2R【18】建議分析方法評估剪力強度。
5. 牆面CFRP貼附時，若遇到與其它構件之交介處，建議可適度延伸並配合鐵件及錨栓進行夾緊固定，可避免產生端部剝離現象。

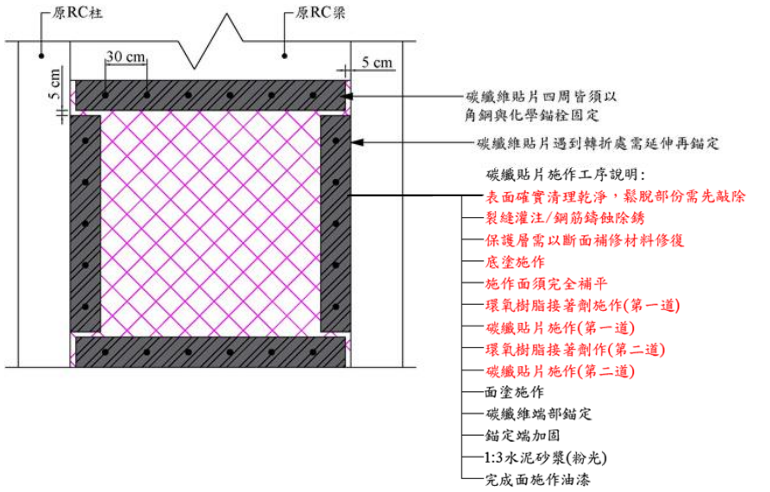


鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-劣損牆構件修復

牆面CFRP貼布修復工法之施工步驟如下：

1) 前處裡：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；
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端部錨定(如有需要)；
9) 養護；
10) 表面裝飾。





鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修材料之性能要求與試驗

前言

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)。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。

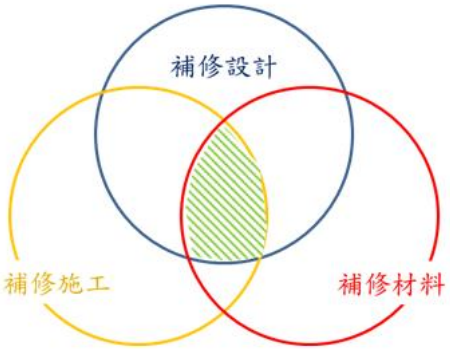


圖 R5- 1 補修設計、補修施工及補修材料之關係

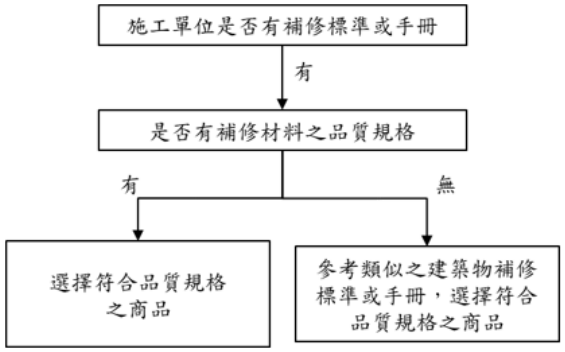


圖 R5- 2 補修材料之選定流程

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修材料之性能要求與試驗

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 (2019) (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。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修材料之性能要求與試驗

表面披覆材料品質基準

性能要求	檢核項目		基準值
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
		加速耐候性試驗後	塗膜無粉化、起泡、開裂、剝落等現象
		冷溫循環反覆後	塗膜無起泡、開裂、剝落等現象
		耐鹼性試驗後	塗膜無起泡、開裂、剝落等現象
		耐濕試驗後	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 1.0 N/mm^2 以上
		加速耐候性試驗後	
		溫冷循環反覆後	
		耐鹼性試驗後	
阻鹽性	氯離子之阻隔		塗膜之氯離子通過量為 5.0 × 10^{-3} mg/cm^2·日以下
氧氣阻隔性	氧氣之阻隔		塗膜之氧氣通過量為 5.0 × 10^{-2} mg/cm^2·日以下
濕氣阻斷性	透濕性		塗膜之濕氣通過量為 5.0 mg/cm^2·日以下
中性化	二氧化碳之阻隔(抗中性化)		中性化深度 1 mm 以下
柔軟性	裂縫追隨性	標準養護後(常溫時)	塗膜之伸縮量為 0.4 (0.8) mm 以上*2
		標準養護後(低溫時)	塗膜之伸縮量為 0.2 (0.4) mm 以上*3
		加速耐候性後(常溫時)	

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修材料之性能要求與試驗

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。

表面含浸材料品質基準

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

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-構件補修材料之性能要求與試驗

裂縫灌注材料品質基準

品質		試驗條件 \ 種類	低黏度型 一般用	低黏度型 冬季用	中黏度型 一般用	中黏度型 冬季用	高黏度型 一般用	高黏度型 冬季用
黏性	黏度 (mPa・S)	(20 ± 0.5)°C	100 ~1000		5000 ~ 20000		-	
黏性	搖變度	(20 ± 0.5)°C	-		5 ± 1		-	
黏性	坍度(mm)	(15 ± 2)°C	-				-	5 以下
黏性	坍度(mm)	(30 ± 2)°C	-		-		5 以下	-
初期硬化性 (N/cm²){kgf/cm²}		標準條件	200{20.4}以上	-	200{20.4}以上	-	200{20.4}以上	-
初期硬化性 (N/cm²){kgf/cm²}		低溫條件	-	200{20.4}以上	-	200{20.4}以上	-	200{20.4}以上
接著強度 (N/cm²){kgf/cm²}		標準條件	600{61.2}以上		600{61.2}以上		600{61.2}以上	
接著強度 (N/cm²){kgf/cm²}		特殊條件 低溫時	-	300{30.6}以上	-	300{30.6}以上	-	300{30.6}以上
接著強度 (N/cm²){kgf/cm²}		特殊條件 濕潤時	300{30.6}以上		300{30.6}以上		300{30.6}以上	
接著強度 (N/cm²){kgf/cm²}		特殊條件 反覆乾溼時	300{30.6}以上		300{30.6}以上		300{30.6}以上	
硬化收縮率(%)		-	3 以下		3 以下		3 以下	
加熱變化	質量變化率 (%)	-	5 以下		5 以下		5 以下	
加熱變化	體積變化率 (%)	-	5 以下		5 以下		5 以下	
抗曲強度 (N/cm²){kgf/cm²}		-	3000{306}以上		3000{306}以上		3000{306}以上	
抗壓強度 (N/cm²){kgf/cm²}		-	-		-		5000{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					

5.4 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表R3- 13規定之品質標準。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修材料之性能要求與試驗

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。

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修材料之性能要求與試驗

項目		基準值		標準試驗法
		水泥砂漿	環氧樹脂砂漿	
撓曲強度 (MPa)		6.0以上	10.0以上	JIS A 1171 ASTM C348
抗壓強度 (MPa)	7天	20.0以上	20.0以上	JIS A 1171 ASTM C109
	28天	28.0以上	35.0以上	
黏結強度 (N/mm^2)	標準時	1.5以上	1.5以上	JIS A 1171 ASTM C1583
	冷熱反覆後	1.5以上	1.5以上	
透水量 (g)		15.0以下	15.0以下	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

斷面補修材料品質基準

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊
-構件補修材料之性能要求與試驗

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 572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(原營建署)「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。

檢驗項目	依據之方法	規範之要求	頻率
尺度及外觀	CNS 6919	應符合 CNS 6919 規定	逐一檢驗
焊接點之脫落			
彎曲試驗	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
焊接點剪斷強度試驗			
拉伸試驗	CNS 2111	應符合 CNS 6919 規定	

點焊鋼絲網之相關試驗

鋼筋混凝土造建築物之老劣化構件修復參考手冊-構件補修材料之性能要求與試驗

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。
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 (粗糙水泥飾面噴髹材料檢驗法)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)。

耐久性先導計畫簡介

https://global.udn.com/global_vision/story/8662/5557071

2021/6/24美國佛州邁阿密一棟40年屋齡的12層公寓倒塌，造成98人死亡，11人受傷。

可能的致災原因之一：海水侵蝕，造成鋼筋鏽蝕與混凝土開裂。

臺東縣新港國中前棟教學大樓

新竹縣尖石國中宿舍

建築物老劣化—安全性、使用性

亟須建立系統化耐久性能診斷及改善的機制

耐久性先導計畫簡介

聯合新聞網 udn.com　中華民國113年9月30日　農曆甲辰年八月二十八日　星期一

老校舍整建補助 挨批過低

政院僅撥款37億　立委籲中央採專案編列長期預算

國中小逾50年校舍 全台超過2000棟

台北市	新北市	台南市	桃園市	台中市	高雄市	其他縣市
127	230	113	164	82	136	68
177	48	49	29	57	364	548

中央補助	台北市	新北市	台南市	桃園市	台中市	高雄市	其他縣市
	5億元	3億元	0.54億元	1.5億元	7.7億元	2.7億元	13.5億元

高齡校舍占比：其他49%、國中小、逾50年11%、31-49年40%

政院補助經費：拆除重建12%、結構補強88%、用途

校舍老舊問題：耐震強度不足、可能是海砂屋、屋頂易漏水、教學環境較差

資料來源／教育部、視聞調查公司　製表／政治中心　編輯／吳加怡　作圖／林國賢　2024.09.29製表

國中小50年校舍 逾2千棟

地方改建 多數須自行籌錢

聯合報 UNITED DAILY NEWS

113年9月30日報紙

其他版面的標題則有「學校改建動輒上億 地方籌不出」、「3兆總預算 沒錢替孩子修校舍？」、「現有預算規模 跟不上校舍老舊速度」、「學生在這種教室上課…」，足見整建老舊校舍的重要性與急迫性。

內容與目標

- 教育部擬推動「公立高級中等以下學校校舍耐久性能改善計畫」(114~117年公建計畫)。計畫目標：

1. 協助高(屆)齡校舍延長壽命

超過40年以上未滿50年者約有4,873棟、超過50年以上者則約有3,462棟

2. 強化非高(屆)齡氯離子偏高校舍耐久性能

- **113年先導型計畫目標**：建立系統化的校舍耐久性能診斷與補修機制，為上述公建計畫做準備。

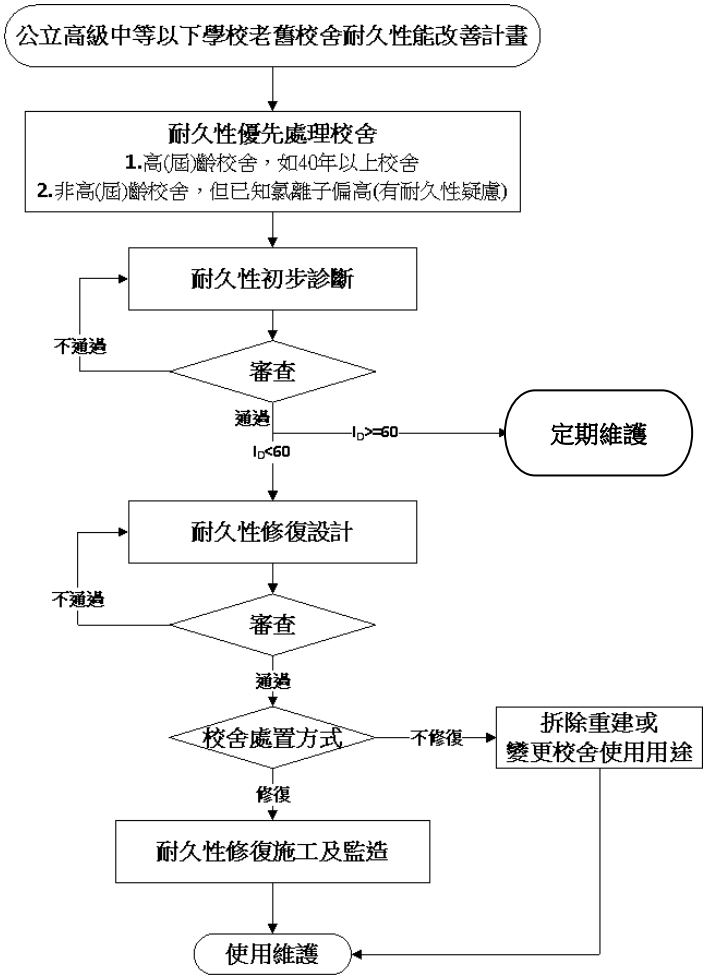
工作內容：

1. 研擬校舍鋼筋混凝土結構耐久性能診斷與修復補強作業規範及相關表單
2. 研擬校舍鋼筋混凝土結構耐久性能診斷與修復補強技術手冊
3. 配合推動老舊校舍公共建設計畫研擬等相關工作
4. 執行成效期末報告

計畫期程：113/2~113/12

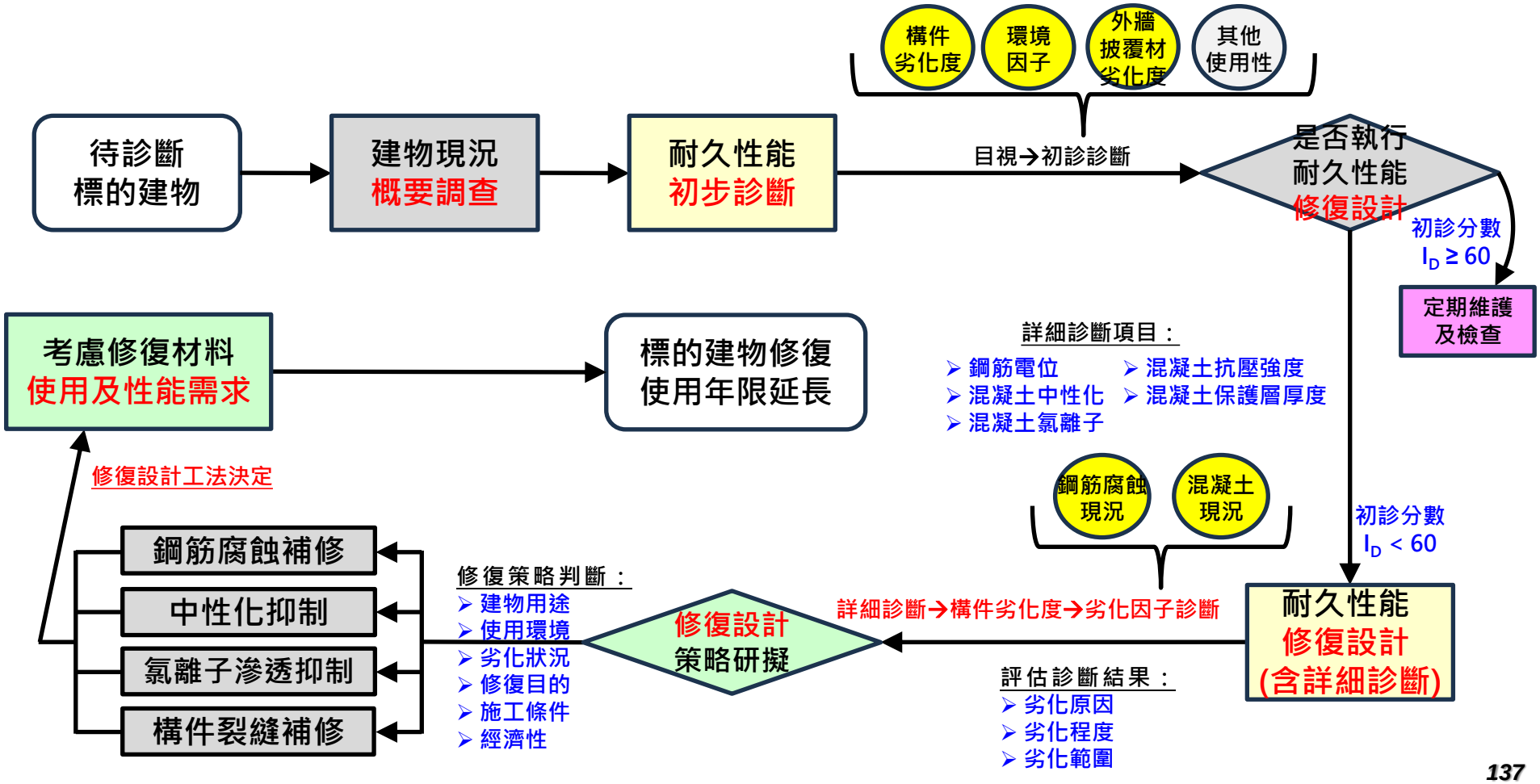
耐久性能診斷與修復執行策略

- ✓ 由校舍資料庫篩選標的校舍(條件1.屋齡40年以上、或條件2.已經耐震補強，但氯離子濃度超標，進行耐久性初步診斷。
- ✓ 耐久性初步診斷分數不合格(I_D<60)，由公共建設專案計畫經費處理，進行耐久性修復設計(含耐久性詳細診斷)，及耐久性修復施工或拆除。
- ✓ 依據初診分數，對耐久性修復施工給予排序。
- ✓ 如有校舍耐震能力不足問題，須循校舍耐震評估與補強程序辦理。



校舍耐久性能改善計畫執行流程研擬

參考資料：邱建國、陳君弢、高玉荃等人(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。



114-117年耐久性診斷、修復補修及拆除重建工程經費需求表

年度			114年	115年	116年	117年	合計
耐久性 初步診斷	預計辦理棟數	棟	400	400	400	253	**1453**
	經費需求(A1)	億	0.04	0.04	0.04	0.025	0.145註1
	縣市自籌款(B1)	億	0.008	0.008	0.008	0.005	0.029
	申請公共建設經費小計(C1=A1-B1)	億	0.032	0.032	0.032	0.032	0.116
耐久性 修復設計 (含詳細診斷)	預計辦理棟數	棟	260	260	260	165	945註2
	經費需求(A2)	億	1.04	1.04	1.04	0.66	3.78
	縣市自籌款(B2)	億	0.208	0.208	0.208	0.13	0.756
	申請公共建設經費小計(C2=A2-B2)	億	0.832	0.832	0.832	0.528	3.328
耐久性 修復工程	預計辦理棟數	棟	30	60	60	40	190註3
	經費需求(A3)	億	3	6	6	4	19
	縣市自籌款(B3)	億	0.6	1.2	1.2	0.8	3.8
	申請公共建設經費小計(C3=A3-B3)	億	2.4	4.8	4.8	3.2	15.2
拆除工程	預計辦理棟數	棟	4	5	5	5	19註4
	經費需求(A4)	億	0.4	0.5	0.5	0.5	1.9
	縣市自籌款(B4)	億	0.08	0.1	0.1	0.1	0.38
	申請公共建設經費小計(C4=A4-B4)	億	0.32	0.4	0.4	0.4	**1.52**
拆除重建工程	預計辦理棟數	棟	12	15	15	15	57註5
	經費需求(A5)	億	18	22.5	22.5	22.5	85.5
	縣市自籌款(B5)	億	3.6	4.5	4.5	4.5	17.1
	申請公共建設經費小計(C5=A5-B5)	億	14.4	18	18	18	**68.4**
申請公共建設經費總計(T=C1+C2+C3+C4+C5)		**億**	**17.952**	**24.032**	**24.032**	**22.128**	**88.144**

(單位：億元)

在完成耐震初步評估或詳細評估或補強設計而未進入至補強或拆除階段之校舍計5,678棟，其中屋齡超過40年者有**995棟**，；另考量有11,466棟校舍雖已完成耐震能力改善，惟其氯離子含量超標(高於0.3kg/m3)且混凝土中性化深度大於4cm之校舍有**458棟**。故本計畫針對前開範圍內之屋齡達40年以上校舍或具有耐久性疑慮問題應予定期檢視之校舍共計**1,453棟**。

備註：

1. 以上經費以耐久性初步診斷**10,000元/棟**、修復設計(含耐久性詳細診斷) **40萬元/棟**、耐久性修復或補修工程**1,000萬元/棟**、拆除重建工程**1.5億元/棟**來預估。
2. 耐久性初步診斷**1453棟進入修復設計**(含耐久性詳細診斷)預估數為**65%**。
3. 耐久性修復設計(含耐久性詳細診斷)945棟**進入修復工程**預估數為**20%**。
4. 耐久性修復設計(含耐久性詳細診斷)945棟**進入拆除工程**預估數為**2%**。
5. 耐久性修復設計(含耐久性詳細診斷)945棟**進入重建工程**預估數為**6%**。

70億元

報告完畢，謝謝聆聽

TAIWAN TECH

National Taiwan University of Science and Technology