

鋼筋混凝土建築結構耐久性診斷技術手冊研擬

內政部建築研究所委託研究成果報告

年度

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷 技術手冊研擬

內政部建築研究所委託研究案

中華民國 108 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)

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷 技術手冊研擬

受委託單位：國立臺灣科技大學
研究主持人：邱建國
協同主持人：陳君弢
研究助理：林昭妤、姚廷穎
研究期程：中華民國 108 年 1 月至 108 年 12 月
研究經費：新臺幣 109.8 萬元

內政部建築研究所委託研究案

中華民國 108 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	V
圖次	IX
摘要	XI
ABSTRACT	XV
第一章 緒論	1
第一節 研究背景、目的與範圍	1
壹、研究背景	1
貳、研究目的	2
參、研究範圍	2
第二章 文獻回顧	3
第一節 國內耐久性能評估相關研究	3
壹、建築物耐久性能評估指標與殘餘壽命預測方法之研究	3
貳、鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法	6
參、既有建築物漏水診斷及因應對策之研究	7
肆、集合住宅老劣化態樣調查與改善策略研究	9
第二節 國外耐久性能評估方法及手冊	11
壹、既有公寓大廈結構劣化調查和診斷技術手冊	11
貳、日本國土交通省-公寓大廈改建或修繕之判定手冊	14
參、美國相關規範	23
第三節 國內相關辦法及技術文件	36
壹、臺北市高氯離子混凝土建築物鑑定原則手冊	36
貳、臺北市建築物工程施工損害鄰房鑑定手冊	39
第三章 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬	41
第一節 耐久性能診斷流程說明	41
第二節 建築物概要調查	43
第三節 耐久性能初步診斷法	44
壹、初步診斷方法說明	44
貳、調查前準備項目	47
參、構件劣化調查	53
肆、外牆劣化調查	69
伍、環境影響因子調查	75
陸、其他使用性能評定表建立	78
柒、初步診斷綜合評定表	79

第四節 耐久性能詳細診斷法.....	80
壹、詳細診斷方法說明	80
貳、詳細診斷權重因子說明	91
參、詳細診斷綜合評定	95
第五節 補修/補強策略建議.....	98
壹、鋼筋腐蝕補修工法	99
貳、中性化抑制工法	100
參、氯離子抑制工法	102
肆、裂縫補修工法	103
第六節 手冊內容增修建議	107
第四章 鋼筋混凝土老劣化構件之非線性參數模型	109
第一節 鋼筋腐蝕柱構件塑鉸容量修正	110
壹、鋼筋腐蝕局部放大倍率	111
貳、腐蝕對鋼筋力學性質與握裹強度之影響	112
參、混凝土保護層剝落對構件之影響	114
肆、腐蝕柱構件撓曲行為	115
伍、腐蝕柱構件剪力行為	118
陸、柱構件變位角估算	123
柒、劣化柱構件塑鉸容量折減係數	125
第二節 足尺寸腐蝕構件驗證	128
第三節 小結	134
第五章 考慮鋼筋腐蝕影響之 RC 建物耐震能力評估	135
第一節 診斷鋼筋腐蝕耐震能力評估說明	135
第二節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力初步診斷	136
壹、一般街屋之初步診斷	136
貳、低矮型校舍之初步診斷	139
第三節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力詳細診斷	143
第六章 實例調查	145
第一節 建築物概要調查	145
第二節 構件劣化度判定	148
第三節 外牆劣化度判定	155
第四節 環境影響因子調查與評定	163
第五節 其他使用性相關項目評定	164
第六節 初步診斷綜合評定表	165
第七節 小結	166
第七章 結論與建議	167
第一節 結論	167
第二節 建議	168

附錄一	耐震能力初步評估表	171
附錄二	建築物概要調查表	175
附錄三	打診法	179
附錄四	詳細診斷因子專家問卷調查	181
附錄五	考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力實例操作	187
附錄六	鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊(草案)	203
附錄七	專家座談會議簽到表	301
附錄八	專家座談會議記錄	305
附錄九	期中審查會議紀錄與意見回覆	311
附錄十	期末審查會議紀錄與意見回覆	317
附錄十一	說明會辦理情形	325
參考書目		329

表次

表 2-1 建築物齡期因子之評定標準.....	4
表 2-2 混凝土構件材質狀況檢測指標與耐久性指標推薦權重值.....	4
表 2-3 混凝土單一構件之耐久性評估標準	5
表 2-4 混凝土建築物各構(部)件權重值	5
表 2-5 混凝土單一構件之耐久性評估標準	5
表 2-6 既有住宅室內空間防漏性能評估表	8
表 2-7 漏水診斷方法的評價	9
表 2-8 調查項目	11
表 2-9 診斷等級	12
表 2-10 老朽度之判定等級	19
表 2-11 結構軀體劣化之判定基準.....	21
表 2-12 評估既有結構物中硬固混凝土的測試方法.....	27
表 2-13 評估鋼筋性質的測試方法.....	30
表 2-14 目視檢視表.....	33
表 2-15 高氯離子混凝土建築物鑑定項目摘要	36
表 2-16 現況紀錄損壞項目	39
表 3-1 劣化症狀定義.....	45
表 3-2 初步診斷項目說明	46
表 3-3 準備工作細項說明	47
表 3-4 初步診斷調查之項目	49
表 3-5 柱、梁構件劣化度評定基準.....	57
表 3-6 鋼筋腐蝕等級評定基準	58
表 3-7 RC 結構牆、版構件劣化度評定基準.....	62
表 3-8 單一樓層柱、梁構件劣化紀錄及評定表	63
表 3-9 單一樓層柱、梁構件劣化紀錄及評定表(範例).....	64
表 3-10 單一樓層 RC 結構牆、版構件劣化紀錄及評定表.....	65
表 3-11 單一樓層 RC 結構牆、版構件劣化紀錄及評定表(範例).....	66
表 3-12 整棟建築物構件劣化評定表.....	67
表 3-13 整棟建築物構件劣化評定表(範例).....	68
表 3-14 建築物外牆劣化度評定基準.....	70
表 3-15 劣化發生頻率紀錄、評定表.....	73
表 3-16 建築物外牆評定表	74
表 3-17 建築物於 40 年時混凝土保護層厚度設計建議值(cm).....	75
表 3-18 氯離子環境影響因子評定表.....	76

表 3- 19 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表	76
表 3- 20 中、南部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表	77
表 3- 21 其他使用性相關項目評定表	78
表 3- 22 混凝土電阻率評定標準	82
表 3- 23 取樣數量與取樣位置建議	84
表 3- 24 分期興建取樣數量與取樣位置建議	84
表 3- 25 混凝土抗壓強度評定標準	84
表 3- 26 K 值與 n 值參考表	85
表 3- 27 鋼筋保護層厚度之評定標準	86
表 3- 28 鋼筋鏽蝕電位評定標準	87
表 3- 29 混凝土中性化深度評定標準	88
表 3- 30 氯離子含量評定標準	90
表 3- 31 針對材料因素評估項目之權重問卷	92
表 3- 32 針對腐蝕現況評估項目之權重問卷	92
表 3- 33 針對混凝土現況評估項目之權重問卷	92
表 3- 34 各服務單位之耐久性指標權重值	93
表 3- 35 全體之耐久性指標權重值	93
表 3- 36 各服務單位之耐久性指標權重值重要度排序	94
表 3- 37 全體之耐久性指標權重值重要度排序	94
表 3- 38 詳細診斷綜合評定項目	95
表 3- 39 單一樓層之耐久性能評定	96
表 3- 40 整體建築物之耐久性能評定	97
表 3- 41 鋼筋腐蝕補修工法與回復目標方法之關係	100
表 3- 42 混凝土中性化程度分類	101
表 3- 43 混凝土中性化修復工法之選定	101
表 3- 44 中性化抑制工法與回復目標方法之關係	101
表 3- 45 混凝土氯離子含量程度分類	102
表 3- 46 混凝土氯離子修復工法之選定	102
表 3- 47 氯離子補修工法與回復目標方法之關係	103
表 3- 48 混凝土裂縫補修工法之選定	105
表 4- 1 構件劣化度對應之斷面慣性矩	114
表 4- 2 考慮鋼筋腐蝕構件之塑鉸性質折減係數	126
表 4- 3 腐蝕後 RC 柱彎矩非線性鉸之參數	127
表 4- 4 腐蝕後 RC 柱剪力非線性鉸之參數	127
表 4- 5 腐蝕柱試體實際鋼筋材料強度	131
表 4- 6 腐蝕柱試體實際混凝土抗壓強度及施加軸力	131
表 4- 7 腐蝕柱鋼筋設計與實際重量減少率	131
表 4- 8 不同腐蝕程度下實驗強度之比較 (低軸力)	133

表 4-9 不同腐蝕程度下實驗強度之比較 (高軸力)	133
表 4-10 不同腐蝕程度下分析強度之比較 (低軸力)	134
表 4-11 不同腐蝕程度下分析強度之比較 (高軸力)	134
表 5-1 一般街屋不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數	136
表 5-2 一般街屋各豎向構件單位面積之側向強度	137
表 5-3 低矮型校舍柱構件於不同劣化度下之強度折減係數	139
表 5-4 低矮型校舍各豎向構件單位面積之極限側向強度	140
表 6-1 實例之建築物概要調查	145
表 6-2 實例之地下一樓版構件劣化紀錄、評定表	149
表 6-3 單一樓層 RC 結構牆劣化紀錄、評定表	153
表 6-4 實例之整棟建築物構件劣化評定表	154
表 6-5 第一側壁體劣化發生頻率紀錄、評定表	155
表 6-6 第一側雨遮劣化發生頻率紀錄、評定表	156
表 6-7 第一側女兒牆劣化發生頻率紀錄、評定表	157
表 6-8 實例之建築物第一側外牆評定表	158
表 6-9 實例之建築物第二側外牆評定表	159
表 6-10 實例之建築物第三側外牆評定表	160
表 6-11 實例之建築物第四側外牆評定表	161
表 6-12 實例之建築物第五側外牆評定表	162
表 6-13 實例之氯離子環境影響因子評定表	163
表 6-14 實例之北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表	163
表 6-15 實例之其他使用性相關項目評定表	164
附表 1-1 典型校舍耐震能力初步評估表	171
附表 1-2 考慮鋼筋腐蝕影響之典型校舍耐震能力初步評估表	172
附表 1-3 考慮鋼筋腐蝕影響之低矮型 RC 建築物耐震能力初步評估表	173
附表 4-1 技師針對材料因素評估項目之權重問卷	181
附表 4-2 教師針對材料因素評估項目之權重問卷	181
附表 4-3 工程顧問公司針對材料因素評估項目之權重問卷	181
附表 4-4 建築師針對材料因素評估項目之權重問卷	181
附表 4-5 全體針對材料因素評估項目之權重問卷	182
附表 4-6 技師針對腐蝕現況評估項目之權重問卷	182
附表 4-7 教師針對腐蝕現況評估項目之權重問卷	182
附表 4-8 工程顧問公司針對腐蝕現況評估項目之權重問卷	183
附表 4-9 建築師針對腐蝕現況評估項目之權重問卷	183
附表 4-10 全體針對腐蝕現況評估項目之權重問卷	184
附表 4-11 技師針對混凝土現況評估項目之權重問卷	184
附表 4-12 教師針對混凝土現況評估項目之權重問卷	185
附表 4-13 工程顧問公司針對混凝土現況評估項目之權重問卷	185

附表 4- 14 建築師針對混凝土現況評估項目之權重問卷.....	186
附表 4- 15 全體針對混凝土現況評估項目之權重問卷.....	186

圖次

圖 2-1 建築物老劣化評估指標	10
圖 2-2 建築物調查與診斷流程	13
圖 2-3 日本國土交通省-公寓大廈改建或修繕之判定手冊的功用	15
圖 2-4 日本國土交通省-公寓大廈改建或修繕之判定手冊的架構	16
圖 2-5 評估流程	24
圖 3-1 耐久性能診斷方法流程圖.....	42
圖 3-2 耐久性能初步診斷項目圖.....	46
圖 3-3 勘查動線示意圖	49
圖 3-4 構件編號規則示意圖	50
圖 3-5 柱構件單位設定示意圖	50
圖 3-6 梁構件單位設定示意圖	51
圖 3-7 版構件單位設定示意圖	51
圖 3-8 外牆單位設定示意圖	51
圖 3-9 初步診斷準備工具	52
圖 3-10 柱構件劣化造成的裂縫	54
圖 3-11 柱構件受外力作用下裂縫.....	55
圖 3-12 柱構件因施工不良形成之裂縫.....	55
圖 3-13 梁構件劣化造成的裂縫	56
圖 3-14 梁構件外力造成之裂縫	56
圖 3-15 腐蝕面積率與重量減少率之關係	57
圖 3-16 鋼筋腐蝕程度.....	59
圖 3-17 RC 結構牆混凝土乾縮與鋼筋腐蝕.....	61
圖 3-18 RC 牆結構不均勻下陷.....	61
圖 3-19 RC 牆施工不良造成的裂縫	61
圖 3-20 乾燥收縮裂縫.....	71
圖 3-21 陽臺及雨遮劣化形成之裂縫.....	71
圖 3-22 女兒牆劣化形成之裂縫	72
圖 3-23 初步診斷綜合評定	79
圖 3-24 耐久性能詳細診斷方法	81
圖 3-25 外牆劣化評定對照表	86
圖 3-26 構件劣化評定對照表	90
圖 3-27 環境影響因子對照表	90
圖 3-28 鋼筋腐蝕之修復	99
圖 3-29 裂縫補修工法示意圖	105

圖 3- 30 斷面修復法.....	106
圖 4- 1 構件鋼筋腐蝕後之塑鉸修正流程圖	110
圖 4- 2 鋼筋腐蝕前後材料性質示意圖	112
圖 4- 3 鋼筋於構件內自由體圖	115
圖 4- 4 鋼筋混凝土斷面應力分佈.....	116
圖 4- 5 桁架效應機制(握裹破壞).....	120
圖 4- 6 桁架效應機制(降伏破壞).....	120
圖 4- 7 拱效應機制(握裹破壞與降伏破壞)	120
圖 4- 8 腐蝕柱構件撓曲行為計算流程.....	121
圖 4- 9 腐蝕柱構件剪力計算流程(握裹破壞).....	122
圖 4- 10 腐蝕柱構件剪力行為計算流程(降伏破壞).....	122
圖 4- 11 雙曲率柱受力與變形機制.....	123
圖 4- 12 雙曲率柱破壞發展過程	123
圖 4- 13 塑鉸折減示意圖	126
圖 4- 14 足尺寸腐蝕柱試體設計圖.....	129
圖 4- 15 試驗之遲滯包絡線	130
圖 4- 16 實驗與分析結果比較 (腐蝕柱).....	133
圖 5- 1 幾何形狀不規則.....	142
圖 6- 1 實例之初步診斷綜合評定.....	165

摘要

關鍵字：鋼筋混凝土、耐久性能診斷、腐蝕構件、耐震能力

一、研究緣起

政府極力推動都市危險及老舊建築物加速重建工作，相關條例也已於民國 107 年 6 月修訂頒佈；然而，針對老劣化嚴重之鋼筋混凝土建築物，因目前國內尚無可供建築師及土木、結構技師使用之耐久或耐震性能定量評估方法，致使國內耐震能力評估方法無法將耐久性能定量評估結果納入耐震能力評估考慮因子。基於上述原因，本研究建立臺灣鋼筋混凝土建築適用之耐久性能診斷技術手冊，以協助建築師及土木、結構技師進行鋼筋混凝土建築之耐久性量化診斷與補修對策擬定。此外，本研究參考建研所 102 年「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」建議之構件劣化度判定構件鋼筋腐蝕量，與 98 及 100 年「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」及「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」之計劃成果以建立腐蝕構件力學評估模型，對腐蝕構件之塑鉸容量進行折減，配合非線性靜力分析(Pushover Analysis)以評估鋼筋腐蝕 RC 建築物耐震能力。

二、研究方法及過程

文獻調查與鋼筋混凝土建築物耐久性能影響因子探討

參考國內外文獻及現行 RC 建築結構耐震能力相關評估(如 PSERCB 與國震中心校舍或街屋耐震能力評估方法)，以擬定建築物耐久性能相關之主要評估項目；本研究目前規劃將建築物基本資料、環境條件及使用狀況等納入影響因子進行診斷，並透過外觀目視劣化度判定，以簡易且保守之方法獲得初步耐久性能診斷結果，且判斷是否進行詳細診斷及選擇是否進行補修工程。因影響鋼筋混凝土建築物耐久性能之因子眾多，若考慮範圍過於龐大，易造成診斷方法複雜而不適於實務應用；因此，藉由過去研究或已被實用之相關診斷方法之了解，有助於具實務應用之因子選擇與診斷方法建立。

劣化環境調查與分析

建築物於使用過程中隨著時間增長，因水化熱作用而使混凝土收縮並產生裂縫，加上外在環境影響，例如氯離子與二氧化碳，會逐漸造成內部鋼筋腐蝕。一旦鋼筋發生腐蝕，腐蝕生成物會使鋼筋體積膨脹，並導致其周圍混凝土開始產生細微裂縫，當裂縫蔓延至構件表面，促使更多腐蝕因子入侵，而導致混凝土結構物安

全性能或使用性能下降。以台灣而言，常見之外在劣化因子為二氧化碳與氯離子；

若環境中之二氧化碳濃度過高，混凝土易產生中性化現象，而鋼筋產生鏽蝕之機率亦會增加。另一方面，氯離子若由擴散行為，或經由混凝土病變處如裂縫、蜂窩、冷縫等缺陷處進入內部，而造成鋼筋鏽蝕增加。以上可知，建築物外在環境條件對其耐久性能之影響甚大，若能量化環境影響並設定分區，將有助於耐久性能之診斷。

RC 構件腐蝕試驗資料收集與模型驗證

鋼筋混凝土結構物老劣化現象大部分會伴隨著鋼筋腐蝕，導致鋼筋斷面積減少，並於局部區域發生孔蝕，降低鋼筋韌性與承載力；鋼筋腐蝕後體積會膨脹，降低鋼筋與混凝土介面間之握裹能力與造成保護層混凝土剝落，而保護層剝落會影響混凝土斷面幾何的完整性，進而降低構件勁度；箍筋腐蝕除造成構件抗剪強度下降外，亦會減弱對混凝土之圍束能力，進而降低核心混凝土之強度與韌性；綜合上述之現象，腐蝕構件可能發生非預期破壞模式。因此，本研究將探討上述劣化現象對於構件力學性質之影響，並針對其塑鉸性質進行修正。此外，本研究為考慮鋼筋腐蝕對於構件與結構物力學性能影響，參考文獻之目視構件劣化度與鋼筋腐蝕率判定準則，結合上述耐久性能診斷以評估構件腐蝕率。

本研究因受時程限制，無法進行構件腐蝕試驗以驗證相關腐蝕構件力學模型，取而代之將收集既有之文獻與試驗資料並進行模型驗證工作，以確保本研究所建議之考慮鋼筋腐蝕影響下塑鉸容量修正方法的合理性。

專家座談或問卷調查

本研究預定舉辦專家座談或問卷調查，目的在於決定台灣適用之耐久性能影響因子及各因子進行綜合判定時之相對權重。此外，為使本研究研擬之診斷方法更具合理性與實用性，結合現行既有之診斷原則與技術是必要的。

實例分析與檢討

除專家座談或問卷調查外，本研究將以既有之鋼筋混凝土建築物為對象，採用提案之耐久性能診斷方法對其進行評估，配合專家意見以檢討提案方法之合理性與實用性。

三、重要發現

經本次研究後發現，現行 RC 建築結構相關性能診斷尚缺乏以耐久性能為主之方法，多次與相關專家及學者交流訪談後，研究草擬之診斷手冊及劣化構件耐震容量評估均對實務應用上有極大助益，除可立即提供各土木結構技師公會參考外，亦可與現行耐震評估方法結合，以擴大使用建築標的。

四、主要建議事項

建議一

本研究已建立耐久性能診斷準則及手冊研擬，後續可將手冊提供給建築師、土木結構技師公會參考，以推動建築物之耐久性診斷，並可依診斷結果決定維護策略：立即可行建議

主辦機關：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

據統計全臺屋齡超過 30 年的老公寓約有 72 萬棟，而就臺北市居住資訊服務網指出臺北市 30 年以上老屋以宅數而言約占總宅數 68%，由此調查已知臺灣建築物屋齡老化現象已趨嚴重，因此進行建築物之耐久性診斷是必要的。因目前國內尚無對於建築物耐久性斷相關方法或手冊，後續可將手冊及老劣化 RC 建築結構之耐震初評及詳評修正建議，提供給建築師、土木結構技師公會參考，以推動建築物之耐久性診斷與維護。

建議二

本研究已建立之耐久性能診斷準則及手冊中亦包含維護策略建議，然而維護策略中與腐蝕構件相關之補修工法，臺灣目前尚無相關技術文件或規定可供參考，建議後續可規劃相關課題，除建議腐蝕構件之補修工法外，並可利用試驗證實其有效性：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

因目前腐蝕構件之補修施作過程大多全憑現場人員經驗操作，並無明確之使用手冊或量化數據。因此，斷面補修工法的施作程序與有效性驗證為一重要課題，應納入後續研究課題。

ABSTRACT

Keywords: reinforced concrete, durability performance assessment, corroded structural members, seismic resistance

The renovation and reconstruction of old and dangerous buildings in urban has been actively promoted by the government, and the associated regulations was promulgated in June 2018. However, there is so far no method for the domestic architects, civil engineers, and structure engineers to quantitatively evaluate the durability or seismic performance of the severely deteriorated buildings, and such that current seismic evaluation does not involve the durability assessment as influencing factors. For these reasons, this study proposes a manual of durability assessment for reinforced concrete buildings in Taiwan in order to help the architects, civil engineers, and structure engineers to quantitatively assess the durability performances and remedy strategies of those buildings. In addition, the manual involves reinforcement corrosion evaluated by deterioration of structural members in the ABRI (Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior) report in 2013, ‘Proposed durability and performance assessment for reinforced concrete buildings’, and research outcomes in the ABRI report in 1999 and 2001, ‘Influences of reinforcement corrosion on the life cycles and seismic resistances of reinforced concrete buildings’, and proposes a model to evaluate the mechanical properties of corroded structural members, in which the seismic resistance of RC buildings are evaluated by the reduced hinge capacities by those corroded structural members and nonlinear pushover analyses.

For immediate strategies:

This study has proposed evaluation criteria and the manual for the durability performance assessment. The manual is to be reviewed by the experts and published in the future.

This study suggests the preliminary evaluations for the seismic resistance, which is to be sent to Construction and Planning Agency, Ministry of Interior.

For long-term strategies:

This study has established evaluation methods for the seismic performance of old and deteriorated RC buildings. It is suggested to link those methods with the current seismic evaluation methods to broaden the applicable objects.

It is suggested to combine the quantitative durability performance assessment in this study with the ISO-15686, Buildings and constructed assets’, to complete the durability design methods.

第一章 緒論

第一節 研究背景、目的與範圍

壹、研究背景

政府極力推動都市危險及老舊建築物加速重建工作，相關條例也已於民國 107 年 6 月修訂頒佈；然而，針對老劣化嚴重之鋼筋混凝土建築物，因目前國內尚無可供建築師及土木、結構技師使用之耐久或耐震性能定量評估方法，致使國內耐震能力評估方法無法將耐久性能定量評估結果納入耐震能力評估考慮因子。

反觀日本，其與臺灣均屬四面環海且具地震危害潛勢，建築物面臨相似之耐久或耐震問題，日本建築學會於 1997 年頒佈「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」，以協助日本工程師進行鋼筋混凝土建築之耐久性量化診斷與補修對策擬定，視需要並進行耐震能力評估與補強。建築研究所亦曾於 98 及 100 年分別執行「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」及「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」，且於民國 100 年起從事鋼筋混凝土建築物耐久性能相關研究，於 102 年「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」亦已完成鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法建置工作，其診斷方法共包含：建築物概要調查、初步耐久診斷與詳細耐久診斷等三大項。

基於上述研究成果，本研究亦將參考日本相關耐久診斷指針，以建立臺灣鋼筋混凝土建築適用之耐久性能診斷技術手冊，以協助建築師及土木、結構技師進行鋼筋混凝土建築之耐久性量化診斷與補修對策擬定。然而，建研所 102 年「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」建議之詳細診斷方法中所提的各項試驗，雖然大多已有標準(ASTM 或 CNS)可供參考，但對於取樣位置與數量則尚未有一明確規定；以混凝土抗壓強度為例，台灣目前多數採用梁或版之鑽心試體進行抗壓試驗，然而所得之數據不足以代表柱或整體結構之混凝土抗壓強度，因此於診斷技術中建議取樣位置與數量，或可替代之試驗方法是必須的。本研究將針對已建置之詳細耐久診斷中各項檢測進行檢討，參考國內外相關文獻並建議標準實作流程及試體取樣位置與數量，另外亦研擬替代試驗方法，並結合建研所已發展之耐久綜合評定指標以增進詳細耐久診斷之實用性。此外，本研究將參考建研所

年「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」建議之構件劣化度判定構件鋼筋腐蝕量，與 98 及 100 年「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」及「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」之計劃成果以建立腐蝕構件力學評估模型，對腐蝕構件之塑鉸容量進行折減，配合非線性靜力分析(Pushover Analysis)以評估鋼筋腐蝕 RC 建築物耐震能力。

貳、研究目的

研究目的為建立臺灣鋼筋混凝土建築適用之耐久性能診斷技術手冊，以協助建築師及土木、結構技師進行鋼筋混凝土建築之耐久性量化診斷與補修對策擬定。此外，本研究將建立腐蝕構件力學評估模型，對腐蝕構件之塑鉸容量進行折減，配合非線性靜力分析(Pushover Analysis)以評估鋼筋腐蝕 RC 建築物耐震能力。

參、研究範圍

本研究適用於一般鋼筋混凝土建築物，調查混凝土內部鋼筋是否產生鏽蝕或建築物是否有劣化現象，進行劣化診斷與補修方法建議。

本研究僅適用因外部劣化因子進入混凝土內部並造成混凝土非預期之裂縫/剝落或鋼筋鏽蝕等，若因地震或使用不當等外力而造成的結構體損害，則不適用。

本研究僅針對建築物結構體部分進行耐久性能調查及診斷，主要包含：梁、柱、版、RC 結構牆及外牆等，其中外牆部分亦包含：女兒牆、雨遮及陽台等。

本研究所提供之腐蝕構件力學模型評估，僅適用於梁柱構件之塑鉸容量修正，後續可提供非線性靜力分析時之使用。

第二章 文獻回顧

第一節 國內耐久性能評估相關研究

壹、建築物耐久性評估指標與殘餘壽命預測方法之研究(內政部建築研究所，2012)

建築物耐久性評估指標與殘餘壽命預測方法之研究主要係針對鋼筋混凝土結構材料耐久性進行評估，RC 建築物結構耐久性評估是以組成結構的構件之耐久性作為評估值，綜合考慮各構件之影響係數或外在環境條件等，來評估既有 RC 建築物之耐久性等級，檢測時應結合環境條件與結構自身特性，針對影響耐久性的主要影響因素，進行重點檢測，必要時可以適當的增加權重值，而影響鋼筋混凝土的耐久性因子甚多，該研究計劃大致上分為環境因子、施工因子、設計因子、材料因子、維護營運因子等五類，此研究即為採用層級分析法作為決定因子間的相對權重時，因為層級分析法是假設各層因子間為獨立關係，之間並無關聯，最後整體的評估乃是由各因子評定分數乘上相對權重再加總起來。

在決定各項配置的權重上，一般來說可以採用層級分析法或是網絡分析法來決定，層級分析法基本上每一層的各因子間是互相獨立的，也就是說它們不會互相影響或是影響可以忽略；網絡分析法則可以容許因子間互相影響，甚至自我影響。理論上來說，網絡分析法比層級分析法更具合理性，不過以實際的應用層面來說，卻存在以下弊端：其一為結果對各因子間的相互影響係數非常敏感，因此如果問卷設計上無法得到準確評斷，則經過累乘加總之後，其收斂值將會差異甚大。換言之，在問卷設計上須要分級精確；其二網絡分析法雖然理論上可以讓因子間存在互相影響的關係，不過若是因子間的影響關係不明確時(如氯離子與碳化深度之關係)，則即使在問卷設計上分級詳盡，但是若因為資訊不足造成專家無法確定其影響為何，在決定材料因子的權重上採用層級分析法。

結構的使用壽命或耐久年限的定義為建築結構在正常使用和正常維護條件下，仍然具有其預定使用功能的時間。由於混凝土結構的性能退化過程是一個極其複雜的演化過程，不僅取決於結構本身，而且與結構所處環境有非常密切的關係，故在有些情況下，鋼筋銹蝕並不十分嚴重，但發了構件破壞現象；而有時鋼筋銹蝕已出現明顯的斷面損失，卻未發生破壞，構件還在正常使用。因此，並不

存在一個規定不變的耐久性評估準則，為了能綜合考慮結構的經濟效益與社會效益、採用齡期因子來判定分類，其評定標準如表 2-1 所示。

表 2-1 建築物齡期因子之評定標準

評定標準值	K	齡期影響係數
1	$1 \leq K$	1.0
2	$0.75 \leq K < 1$	1.05
3	$0.5 \leq K < 0.75$	1.10
4	$0.25 \leq K < 0.5$	1.15
5	$K \leq 0.25$	1.20
備註	$K = T1 / T2$ T1：設計年限；T2：檢測時年限	

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

在文獻中(內政部建築研究所 2012)，提出先以單一構件作出耐久性評定，然後再總合計算整體性耐久性評定的概念。混凝土構件材質狀況檢測指標與耐久性指標推薦權重值如下表所示。

表 2-2 混凝土構件材質狀況檢測指標與耐久性指標推薦權重值

項目		耐久性指標	Local 權重值	Global 權重值
鋼筋腐蝕狀況		-	0.727	0.727
腐蝕電位		1	0.210	0.153
中性化深度		2	0.182	0.133
氯離子		3	0.315	0.229
腐蝕電流		4	0.293	0.213
混凝土現況		-	0.273	0.273
電阻係數		5	0.068	0.019
抗壓強度		6	0.145	0.040
混凝土 表面損傷	裂縫	7	0.175	0.480
	開裂、剝落	8	0.265	0.720
	蜂窩、表面沉積	9	0.178	0.480
混凝土保護層厚度		10	0.169	0.046

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

表 2-3 混凝土單一構件之耐久性評估標準

D _{total} 範圍	$1 \leq D_{total} < 2$	$2 \leq D_{total} < 3$	$3 \leq D_{total} < 4$	$4 \leq D_{total} < 5$	$D_{total} \geq 5$
單一構件 耐久性等級	1	2	3	4	5
耐久性狀況	完好	較好	一般	較差	很差

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

有了單一構件之耐久性評定，則可以針對建築物整體結構耐久性作整體評定如表 2-4 所示。

表 2-4 混凝土建築物各構(部)件權重值

構(部)件	名稱	推薦權重
1	梁	0.4
2	柱	0.4
3	牆	0.1
4	板	0.1
備註	當評定標度值為“1”時，表示好的狀態，或表示沒有設置的構造部件，不再進行疊加。	

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

但是實作上可依據建築物所處環境、設計時之考量等之不同，故由專家進行評定再給予權重。同樣地在整體建築物耐久性評定上，也針對建築物整體耐久性評定分級。

表 2-5 混凝土單一構件之耐久性評估標準

D _{total} 範圍	$1 \leq D_{total} < 2$	$2 \leq D_{total} < 3$	$3 \leq D_{total} < 4$	$4 \leq D_{total} < 5$	$D_{total} \geq 5$
結構耐久等級 評定標度	1	2	3	4	5
耐久性狀況	完好	較好	一般	較差	很差
建議處理方式	正常使用	正常使用	持續維護 或修復	補強	拆除

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

貳、鋼筋混凝土建築物耐久性診斷方法(內政部建築研究所，2013)

內政部建築研究所於 102 年提出「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」，該方法適用於鋼筋混凝土建築物，用以調查混凝土內部鋼筋是否發生鏽蝕或建築物是否發生劣化現象，對建築物進行劣化診斷，並提出補修工法之建議。該研究僅適用於因劣化因子進入混凝土內部發生之劣化現象，不可適用於因外力(如地震、使用不當等)造成之結構體損害，且只針對主結構體(柱、梁、版、RC 牆)進行耐久性能調查及診斷。

研究內容分為建築物概要調查、耐久性能初步診斷方法與詳細耐久診斷方法等三大項。在建築物概要調查方面，主要係建立一般建築物適用之基本資料表格，除記載建築物之基本資料，包括完工年代、使用類別、平面尺寸、地盤種類、構造種類、內外裝修材料、補修或補強紀錄及結構平面圖等，用於了解建築物之概要狀況及所在位置之環境條件等。

初步診斷方法主要是以目視調查為主，診斷項目包含建築物外觀劣化狀況、使用性能相關之振動、漏水等，考量外在環境劣化因子以決定是否進行詳細診斷。建築物耐久性能受許多影響因子支配，該研究選定四類因子進行判定，以初步判定建築物之耐久性能。

主要構件劣化：主要評估建築物主要構件，柱、梁、版及 RC 結構牆等之劣化狀況。

表面被覆材料劣化程度：主要調查建築物外牆裝修材料於自然環境及維護不當下造成之劣化狀況。

環境影響因子：建築物耐久性能受氯離子、二氧化碳、溫度及濕度等影響甚大，依建築物所在環境及使用年限判定其環境劣化潛勢

其他使用性：以使用者觀點出發，判定是否有白華、變形及振動等易造成使用性能不佳問題。

詳細診斷係藉由混凝土鑽心取樣測試獲取其抗壓強度、中性化深度或氯離子濃度等，以了解混凝土材料性質與鋼筋腐蝕程度，判斷劣化主因及選擇適當維護方法。與初步診斷最大不同在於診斷結果不再只是劣化程度，而是將劣化程度賦予評定標準值，分別為 1、2、3、4、5 不同等級。採用相關材料試驗以決定一具量化之評定標準值，使詳細診斷結果更具客觀、公平及實用價值。詳細診斷共包含鋼筋腐蝕現況檢測、混凝土現況檢測及混凝土表面損傷、環境影響因子等四項。

除此之外，該研究建置一系列之表格應用於實際案例，並在確認其可行性與實用性後，提出「鋼筋混凝土建築物耐久性診斷準則」草案，供相關調查人員使用。

參、既有建築物漏水診斷及因應對策之研究(內政部建築研究所，2014)

鋼筋混凝土建築物會因混凝土乾燥收縮行為而產生龜裂之現象，這種鋼筋混凝土構造特有的現象，即為建築物漏水的主因之一。對於既有建築物的漏水現象，該文獻就漏水前的劣化現象以及發生漏水現象後的漏水診斷分別加以探討。既有建築物發現有裂縫後，應記錄其裂縫大小、裂縫發生位置等。裂縫發展之調查發法有尖錐探測法、裂縫末端時間紀錄法、裂縫針測定裂縫寬度變化法，或者反覆在裂縫塗上水泥砂漿用以確認裂縫再度發生時間之方法。常見的裂縫深度探測方法有超音波法和鑽心取樣法。另外，對於構造物表面裝修材料的剝離、剝落狀況之確認方法，可以採用目視觀察或以敲擊聽音法進行檢查。最後，提出無漏水時既有住宅室內空間防漏性能評估表(表 2- 6)、建築物容易產生漏水現象之位置、外牆或屋頂部位漏水診斷方法的評價(表 2- 7)。

表 2-6 既有住宅室內空間防漏性能評估表

項目	名稱	檢測器具	狀況	判斷基準	備註說明	程度*	
						I	II
1	窗框、開口處及其周圍、牆壁、樓板	目視	壁癌、鼓起、白華、銹水		目視檢查重點	I	
		裂縫計	裂縫	0.05 mm 以下 不需補修		I	
				0.05 mm ~ 0.2 mm 以上需補修	充填工法		II
				0.2 mm ~ 1.0 mm	注入樹脂工法、U-cut 工法		II
				0.05 mm ~ 0.2 mm 如為備註欄之情況需補修	1. 海砂屋 2. 近海岸區 3. 鋼筋保護層薄 4. 火山灰降灰地區 5. 開口部下側發生龜裂		II
		潮濕度 (使用溼度計)	含水、潮濕	濕度 以下	視使用濕度計種類而定	I	
				濕度 ~		I	
				濕度超過 以上			II
2	構造體	構造體 混凝土 強度	中性化	鑽心取樣			
3	樓板 (室內落水頭 上面)	潮濕度 (使用溼度計)	含水、潮濕	濕度 以下	視使用濕度計種類而定	I	
				濕度 ~		I	
				濕度超過 以上			II
4	施工縫	潮濕度 (使用溼度計)	含水、潮濕	濕度 以下	視使用濕度計種類而定	I	
				濕度 ~		I	
				濕度超過 以上			II

*「程度」欄內「I」、「II」代表意義為，I：要追蹤；II：要詳細調查
(資料來源：內政部建築研究所，2014)

表 2-7 漏水診斷方法的評價

診斷方法	診斷對象的部位別			評價
	屋頂女兒牆及反水部位	外牆部位	屋頂平面部分	
反覆進行簡易的修繕、觀察	O	Δ	O	這些方法是最為傳統最為原始之方法，但是適用的機會很多，是及好用得一種診斷方法。不過採用此等方法需要經過一定期間的觀察期，若診斷時相關條件設定不完備時，評估效果將會減低。
選擇適當的防水布於可疑的地方覆蓋之	O	X	X	
灑水、淋水、裝水	Δ	O	O	
氣體壓入調查法	■	■	O	適用範圍廣泛為其特長，但須具備若干經驗方可採用本法。
紅外線影像裝置的應用	X	O	Δ	可獲得具體漏水之相關資料，可以眼睛確認，但僅限是用於露出型防水工法。
其他檢查工具	內視鏡、檢查用潛望鏡、裂縫計、試錘、橡膠硬度計、溼度計(水分計)等			

(資料來源：內政部建築研究所，2014)

肆、 集合住宅老劣化態樣調查與改善策略研究(內政部建築研究所，2015)

集合住宅老劣化態樣調查與改善策略研究中提出，對於會影響既有集合住宅建築物使用壽命的原因，除建築物本身狀況外，還須把鄰里環境、經濟、社會、環境等層面納入。該研究參考德爾菲法，提出評估建築物使用壽命指標架構，分別有物理性指標、經濟性指標、技術性指標、功能性指標、社會性指標和政策性指標，如圖 2-1 所示。除此之外，共調查 20 處位於雙北 6-12 層集合住宅案例，據調查彙整出影響建築物使用壽命之因子。

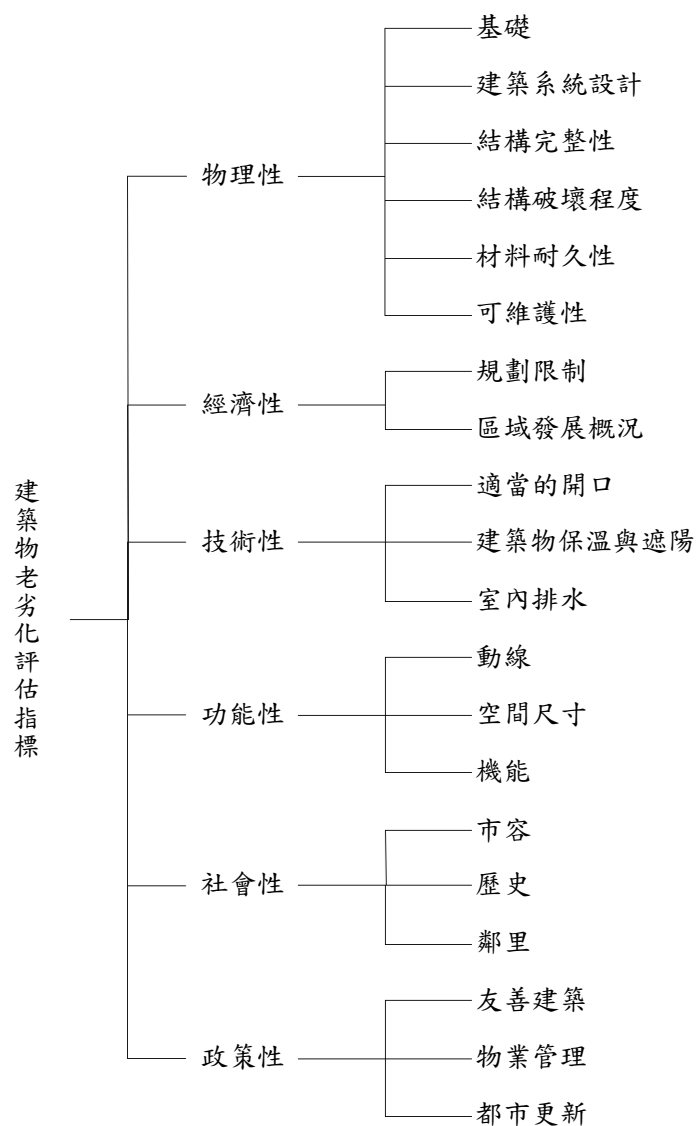


圖 2-1 建築物老劣化評估指標

(資料來源：內政部建築研究所，2015)

第二節 國外耐久性能評估方法及手冊

壹、既有公寓大廈結構劣化調查和診斷技術手冊（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」主要用於診斷和評估建築物之劣化程度。該手冊適用於日本既有之鋼筋混凝土公寓式建築，對目標建築物透過定期地調查和診斷，掌握目標建築物之劣化狀況以及修復必要性等，以延長鋼筋混凝土建築物之使用壽命。該手冊參考了建設省和日本建築學會發佈之相關手冊，並結合了後續調查和研究結果，整合出適用於既有鋼筋混凝土公寓式建築劣化狀況的診斷及調查手冊。該手冊之應用範圍限於正常使用之建築物自然劣化現象，並根據表 2-8 之調查項目進行診斷。

表 2-8 調查項目

調查對象	調 查 項 目
混凝土	強度、裂縫、中性化、氯離子、鹼骨材反應、凍害等
鋼筋	保護層厚度、自然電位、極化電阻、鋼筋腐蝕率等
砂漿、磁磚	浮起、剝落等
外牆塗裝	裂縫、剝落、變退色、粉化等
構件異常	樓板傾斜、變形等

(資料來源：日本建築研究所，2002)

除此之外，該手冊在日常檢點方面考量了，(1) 建築物外牆塗裝材料具有保護效用，如外牆塗裝材料發生劣化，則會降低外牆的保護作用，以及(2) 因建築設備和屋簷可維持建築物之使用性，因此關於外牆之塗裝材料、建築設備和屋簷均納入在診斷項目中。表 2-9 為日本目前的診斷等級，除日常點檢外，透過一次診斷(初次診斷)可簡單地掌握建築物的劣化狀況，二次診斷和三次診斷統稱為高次診斷，用以辨識劣化原因以及判斷修復之必要性。

表 2-9 診斷等級

診斷等級	目的	調查方法	調查對象
日常點檢	早期發現缺陷、劣化診斷的初步調查	目視調查	外牆等垂手可及之範圍
1 次診斷	原始狀態的掌控、劣化的危險性判斷	目視調查、使用少量的機器	設計圖、外觀
2 次診斷	劣化的危險性判斷、修復之必要性判斷	非破壞檢測、微破壞檢測	公共區域
3 次診斷	更詳細的診斷、評估	局部破壞檢測	除上述範圍外，包含內牆、室內地板等

(資料來源：日本建築研究所，2002)

該手冊之調查與診斷流程如圖 2-2 所示，除劣化狀況需要採取緊急措施，或需與修復工作同時進行時，可根據實際狀況調整。初步診斷(一次診斷)之目的係利用簡單的測試方法掌握建築物之狀況以及確認該建築物是否有缺陷或損壞，

根據調查判斷需不需要進行詳細調查(高階診斷)。在二次診斷和三次診斷中，依據初步診斷之結果進一步對可能出現劣化的區域和原因深入探討。調查方法盡量以不破壞建築物之方式進行，初步診斷將不考慮建築物之劣化程度，透過書面資料和目視進行調查；二次診斷涉及去除裝修材料或小規模之破壞，但足以修復，以仕途更詳細地了解劣化本質；三次診斷在進行時，如有必須，可採集少許混凝土；綜合診斷之目的是為了掌握建築物整體的劣化狀況，根據其診斷目的進行評估，特別是在判斷受否進行改建或修復時。

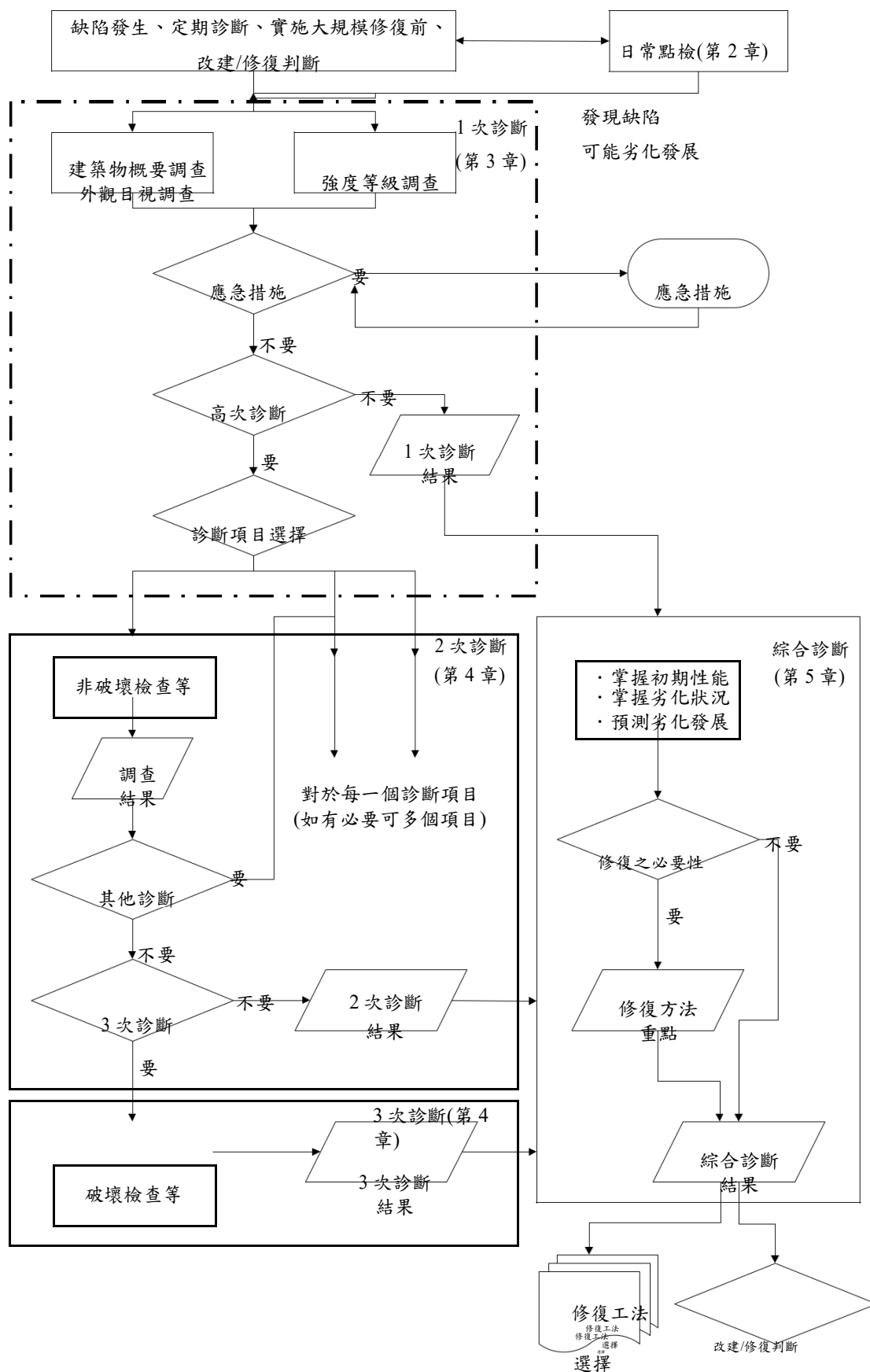


圖 2-2 建築物調查與診斷流程

(資料來源：日本建築研究所，2002)

貳、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)

日本國土交通省於2010年所改訂之「公寓大廈改建或修繕之判定冊」(マンション建替えか修繕を判断するためのマニュアル，日本國土交通省，2010)，主要目的是進行公寓大廈改建時，為讓各區分所有權人對於改建之必要性或合理性所有認知，必須了解目標建物之老朽化程度，並獲得其對應改建及修繕等方法之各項比較結果並討論，亦可讓後續改建規劃時更容易獲得各區分所有權人之共識。其內容主要涵蓋：

- 公寓大廈之老朽化程度判定，了解不符合現實之使用性能及設定要求之改善水準

- 修繕/改修之改善效果的了解與費用算定

- 改建之改善效果的了解與費用算定

- 基於費用之改善效果，以進行修繕/改修或改建之判定

本手冊

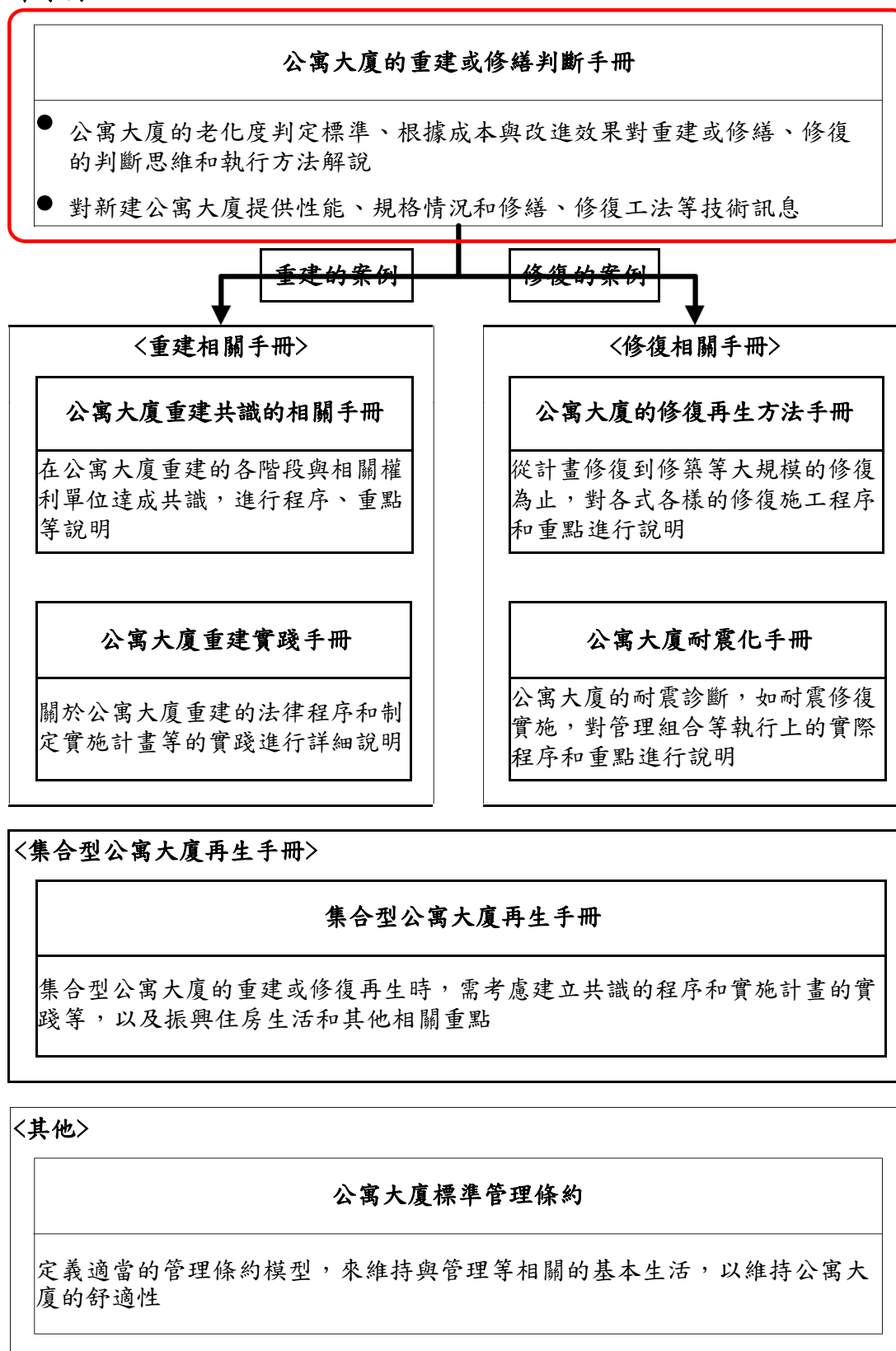


圖 2-3 日本國土交通省-公寓大廈改建或修繕之判定手冊的功用
(資料來源：日本國土交通省，2010)

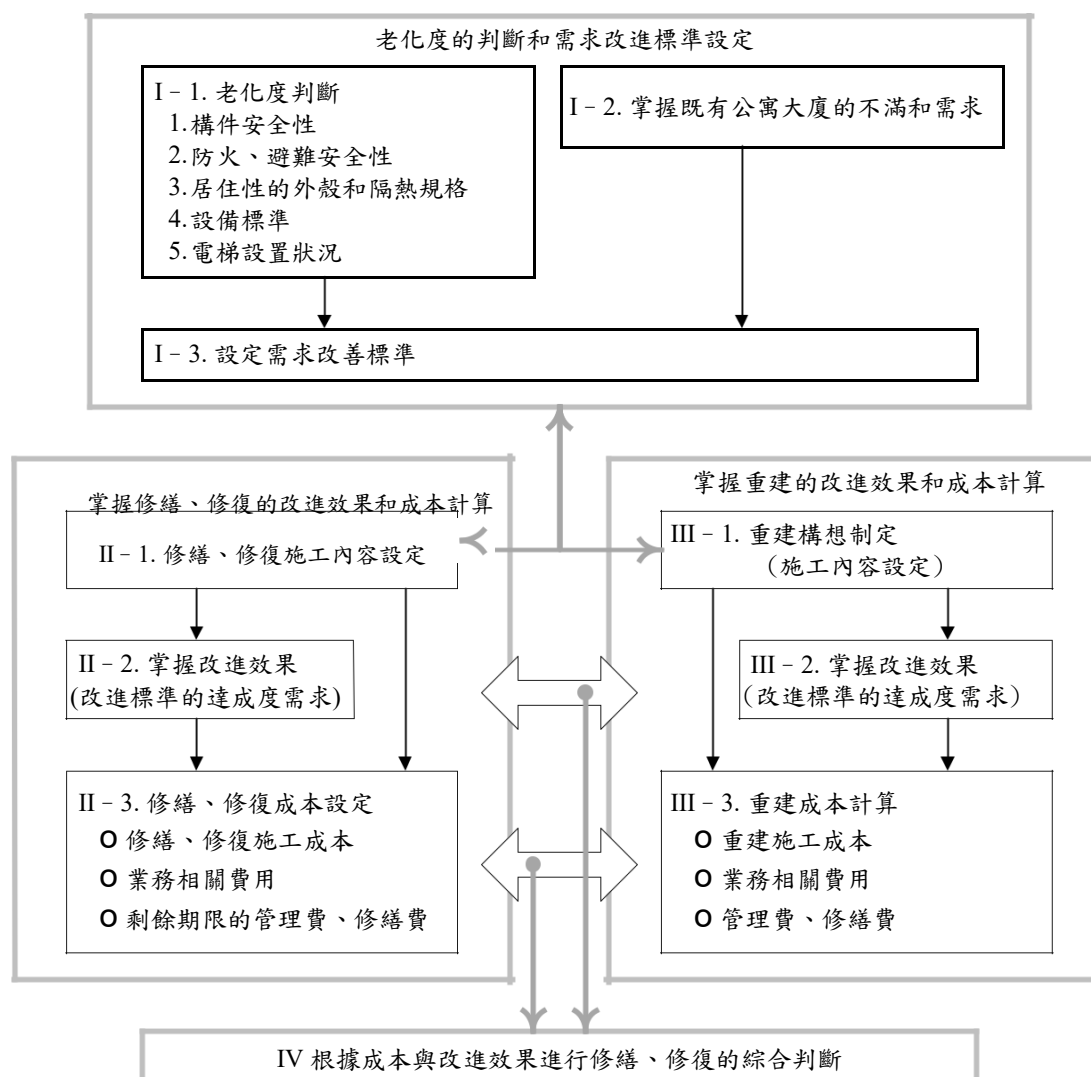


圖 2-4 日本國土交通省-公寓大廈改建或修繕之判定手冊的架構
(資料來源：日本國土交通省，2010)

本研究主要針對老朽度程度判定部分進行該手冊之相關說明，如下所述：就改建或修繕/改修判定之第一步而言，對於標的公寓大廈之老朽度必須要有客觀之判定。該手冊主要以中高層樓之公寓大廈為主要對象，且其構造種類為鋼筋混凝土造(RC 造)鋼骨鋼筋混凝土造(SRC)。以公寓大廈管理單位之簡易判定而言，委託專業人員進行老朽度判定時，為使一般區分所有權人對於自己居住之建物現狀有大概之了解，而建立「簡易判定」，主要分為「安全性判定」及「居住性判定」二大體系進行判定。以安全性判定而言，主要包含構造安全性及避難安全性，因均與居住者之安全性相關的重要項目，只要有一項目被列為「可能有問題」，則必要判定為「安全上之有危害疑慮」，而必要交由專業人員進行詳細判定。

就耐震性能而言，日本歷經多少大規模震災之教訓而多次修改建築基準法。

其中，1981 年進行最大篇幅之改正，同時 6 月 1 日也頒佈新的耐震基準，而頒佈後所建設之建築物應已符合現有基準之規定性能。1995 年 12 月 25 日因應阪神大地震而頒佈耐震改修促進法，為使不滿足現行新耐震基準之建築物能積極辦理耐震診斷或改進。因此，公寓大廈耐震性能的簡易判定可由標的建物之申請日期進行判定，手冊中所列之安全性判定確認項目為：

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?

$\bar{A}$ $\bar{A}$ $\bar{A}$ $\bar{A}$ $\bar{A}$

火/避難安全性:

共用廊道或樓梯之寬度為何?(是否有共用樓梯寬度不足 900 mm，共用廊道寬度不足 1200 mm 之問題。此外，二側均有住戶之共用廊道標準為 1600 mm，而避難用樓梯之寬度標準為 1200 mm.)

由陽台處是否容易至相鄰住戶或下方樓層住戶避難?

就專業人員之老朽度判定而言，判定部位以共同部分為主，並以與居住者安全性相關之結構軀體及對居住性能影響較大之共用設備為對象；可分為：

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)

非結構部分之材料劣化(外飾材劣化，金屬部分劣化等)

防火/避難安全性

以內部延燒為主之防火性

避難路徑之移動容易性

避難路徑之防煙性(共用梯間及共同廊道之防煙性)

建築軀體與斷熱式樣相關之居住性

共用部分：樓高、隔音性能、無障礙性能、省能源性能

專用部分：面積、無障礙性能

設備水準

電梯設置狀況

就老朽度判定之而言，共分為 A、B 及 C 三個等級。以等級 A 而言，現階段之建築結構軀體及居住性並沒有劣化及老舊化現象，也無須執行任何改善項目；以等級 B 而言，建築結構軀體已有一定之劣化現象產生，又可依居住性分為 B⁺、B⁻，分別代表居住性稍為老舊及相當老舊二類，配合管理委員會之要求進行改善項目的決定與執行；以等級 C 而言，現階段而言，結構安全性或防火/避難安全性等已發生問題，且必須針對執行特定改善項目。

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」	在結構軀體材料能看見某些程度的劣化和結構缺陷		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」
	劣化、結構軀體材料	無結構軀體材料劣化和結構缺陷問題			結構軀體材料劣化和結構缺陷顯著
	材料劣化	非結構部分 無材料劣化問題	等級 B ⁺ 非結構部分能看見某些程度的材料劣化	等級 B ⁻ 非結構部分發生了材料劣化	軀體防火、避難安全性問題顯著
		無軀體防火、避難安全性的問題			
	防火、避難安全性	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	
居住性的外殼和隔熱規定	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		
設備性能標準	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	無電梯，有無障礙問題		
狀況		沉稍差			↓
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)

以構造安全性中之耐震性能而論，對於已經執行過耐震診斷之公寓大廈而言，其診斷結果可用於本手冊之老朽度判定。原則上，耐震診斷結果以三年內為有效資料，超過三年以上之診斷結果須配合材料劣化之進行而判斷是否合適使用。由於公寓大廈之管理單位必須負擔耐震性能診斷之相關費用，首先可執行簡易調查，再依調查結果斷定是否進行詳細耐震診斷。耐震診斷以建築物耐震改修促進法中所建議之方法為主；一般而言，鋼筋混凝土構造建物則以日本建築防災協會發行之「2001 年改訂版既存鋼筋混凝土建築物之耐震診斷基準及解說」，鋼骨鋼筋混凝土建築物則以「2009 年改訂版既存鋼骨鋼筋建築物之耐震診斷基準及解說」為主要參考手冊。此一項目之判定共分為 A 及 C 二種等級，可依構造耐震指標 I_s 是符合構造耐震判定指標 I_{so} 決定之。

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 (F_c ：設計強度)	推定強度最小 值為 F_c 以上	推定強度最小 值為 $0.8 F_c$ 以上 ~ 未滿 $1.0 F_c$	推定強度最小 值未滿 $0.8 F_c$ ， 且平均值未滿 F_c	試樣 調查等
		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	$C \geq D$ 時，以及 中性化速度顯著	試樣 調查等
		鹽分濃度(氯 離子量換算)	新建混凝土基 準值為未滿 0.3 kg/m^3	0.3 kg/m^3 以上， 未滿 1.2 kg/m^3	超過最大氯離 子基準值 1.2 kg/m^3	試樣 調查等
		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	浮起和層狀鏽 跡廣泛，有斷面 缺陷	試樣 調查等
		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
		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
	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
	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)

就構造安全性中結構軀體的材料劣化/結構整體不良而言，又可分為表所列之細項。以混凝土強度為例，依是否符合建物軀體之混凝土設計基準強度為判定依據，若推定強度最小值小於混凝土設計基準強度 0.8 倍且推定強度平均值小於混

凝土設計基準強度時，則判定為等級 C；若推定強度最小值為混凝土設計基準強

0.8-1.0 倍間，則判定為等級 B；若推定強度最小值大混凝土設計基準強度時，則為等級 A。於一般而言，可採用敲擊回音法或超音波法等非破壞檢測及鑽心取樣之樣本調查等，然而就精度之考量，建議採用以鑽心取樣之樣本調查。

參、美國相關規範

針對鋼筋混凝土建築的耐久性評估法，美國混凝土學會(ACI)曾先後出版三本相關手冊，分別為「ACI 201.1R-08 Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service」、「ACI 562-13 Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings and Commentary」、「ACI 364.1R-19 Guide for Assessment of Concrete Structures before Rehabilitation」，其中 ACI 3164.1R-19 最近出版且內容完整，相當於國內與日本對建築物的初步評估，內文概述了如何評估混凝土結構修復前的方法和一般程序，可與 ACI 562 一同使用，主要目的為評估結構的當前狀況、由環境條件引起的劣化程度、評估因載重和支撐位移而導致的結構損壞或不穩定、進一步驗證結構的完整性及評估結構容納的能力，以確定改變結構使用的可行性並參考「ACI 365.1R-17 Report on Service Life Prediction」估算結構的剩餘使用壽命。

混凝土結構修復前的評估指南(ACI 364.1R-19)(美國混凝土學會，2019)

評估的流程如圖 2-5 所示，第一步為調查(investigation)和評測(evaluation)，取決於計畫要求而進行初步(preliminary assessment)或詳細(detailed assessment)評估。初步評估完成後，如果認為需要或必要，可以進行詳細評估。評估通常涉及四項主要工作：(1) 審查可用的相關文件；(2) 進行現場觀察和狀態評估；(3) 抽樣和材料試驗；(4) 評估和結構分析。根據調查結果，可以進行評估和分析，並在報告中總結結果。

首先是調查，目的是收集有關結構現有狀況的資訊。調查應確定影響結構行為性能或預期功能的條件類型和程度，還應提供業主資訊，以協助評估所需或預期修復的可行性。如果觀察到嚴重的劣化，專業人員應聯繫業主討論有關結構的使用，是否需要立即修復，以及使用臨時支撐以穩定觀察到的問題構件或結構等。接著為評估，包括初步和詳細的評估。初步評估有助於初步了解混凝土結構的行為及狀況，通常僅限於在沒有探測開孔或專用設備的情況下所可見或可檢測的可觸及構件。混凝土表面或隱藏構件下方的條件性評估(condition assessment)通常不包括在初步評估中。雖然初步評估可以包括具體的鑽心取樣和試驗，但更多時候這些試驗為詳細評估的一部分。

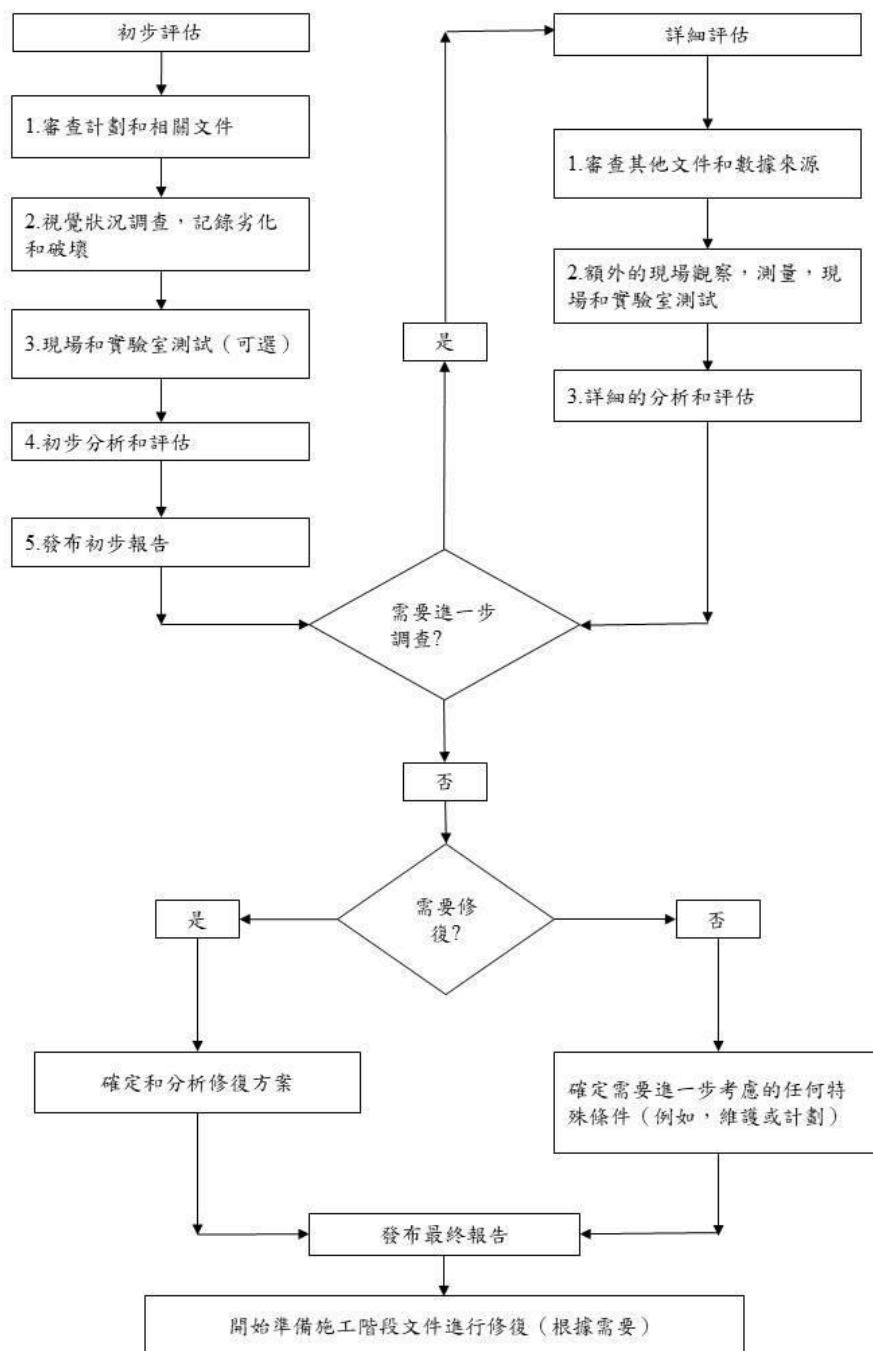


圖 2- 5 評估流程

(資料來源：美國混凝土學會，2019)

進行混凝土評估的第一步為審查與結構相關的建造、改建、修理和維護等有關的既有資訊。在評估結構時應驗證從文件審查中所收集的資訊，包括結構的類型、劣化的類型和程度、修復項目的範圍以及文獻的可及性。在某些情況下，當無法獲得文檔以進行詳細評估時，可能需要進行非破壞性檢測、材料取樣和實驗室材料研究等。

有關原始建築或改建的資訊可以從所有者、建築師或施工工程師及當地建管部門等獲得。施工文件和其他原始記錄可能有助於了解施工方法、材料、設計依據和施工中遇到的困難，其他可能的資訊來源為建造或修理建築物的建築公司和業主的代表，更多資訊通常透過與相關人員(例如，施工主管)的個人訪談獲得。

當沒有原始施工文件或維修文件時，應評估所缺失的資訊，例如透過使用非破壞性檢測或探索性開孔(exploratory openings)記錄結構部件的準確尺寸、分析材料和定位鋼筋。

實地調查包括觀察(observation)以驗證從文件審查所獲得資訊的準確性，並透過調查現有結構的物理條件來評估文件，通常包括以下三項主要項目：

準備和計劃

竣工建築的現場核查

結構的狀況調查

實地調查的範圍由項目要求決定，可能需要分階段或細化，以滿足時程和資金限制。每項項目的範圍應基於結構的現有條件和修復項目。此外，還要考慮結構的類型、大小、複雜性、齡期、建築或歷史意義及預期的未來使用。如果現地評估的進行是在災難性風災、地震、雪災、火災或洪水事件等自然災害後，則必須參考所適用的其他評估指南或標準及當地法令規章。如果可以獲得原始施工計畫書，則可使用非破壞性試驗方法來驗證原始結構或修復資訊(ACI 228.2R；ICRI 210.4；Carino 和 Malhotra(2004))。如果沒有原始施工計畫書，可以使用非破壞性檢測方法來建立現有條件，例如在關鍵部位的鋼筋尺寸和間距，另可在選定地點進行足夠數量的試驗以確定可靠的估算值(ACI 562；ASTM E122；ACI 228.2R)。為了確認非破壞性檢測，應透過在選定位置移除混凝土或探測開孔進行現地測量來驗證結果。

狀況調查應包括目視觀察並結合各項非破壞性檢測，如超音波 (ASTM D4580/D4580M)和探測開孔，狀況調查和目視觀察可參照 ASCE/SEI 11 和 ACI 201.IR，非破壞性檢測相關資訊可參見 ACI 228.2R。

通常很難對可見的劣化進行分類和量化，因為取決於與觀察區域的接近程度、主觀標準和經驗。例如，除非從近角度、從多個角度或兩者觀察，否則很難檢測到立面上的混凝土分層。另外，在一種情況下可接受的劣化反而在另一種情況下可能是不可接受的。例如，剝落可能在美學上令人反感，但可能其對結構承載能力並沒有顯著影響。因此，劣化的評級可能會根據判斷標準而有所不同，也因此

允許專業人員定義嚴重、中度和輕微劣化等術語，以建立對損害一致性的表示和理解。

有時可能需要以探索性的開孔來驗證竣工條件、揭示隱藏條件、獲取劣化的原因，並提供修復工作的可施工性相關資訊。例如，可用探索性開孔來驗證尺寸和透過非破壞性試驗來辨別隱藏的空隙或蜂窩區域與位置。從構件中取出的混凝土鑽心或樣品的試驗研究亦通常有助於評估混凝土。

ACI 437R、ICRI 210.4 和 ASCE/SEI 11 提供試驗方法和開孔位置的選擇指南，以調查結構、構件或部件的強度和變形特性。如果要使用鑽心取樣，則應選擇以代表構件的樣品位置，不應損壞鋼筋，並應保護樣品在過程中免受損壞。在沒有試驗的情況下，一些性能可以基於大致的施工日期，其中混凝土抗壓強度和鋼筋的降伏強度可參見 ASCE / SEI 41 和 ACI 562。

2- 12 整理了混凝土性能試驗方法，選擇試驗方法之前，應評估其適用性、設備和合格人員的可用性、準確性和可能的結果，以驗證是否適合評估。

鋼筋的評估可參見表 2- 13 時，由於需要破壞性地移除覆蓋混凝土並進行現場加固取樣，因此應根據文件的可用性和結構條件來確認是否需要進行此試驗。

表 2- 12 評估既有結構物中硬固混凝土的測試方法

性質/條件	可能的測試方法		備註
	主要	次要	
抗壓強度	抗壓試驗鑽心 (ASTM C42 / C42M; ASTM C39 / C39M; ACI 214R)	抗穿透性(ASTM C803 /C803M);在拉拔測試中鑽孔 (ASTM C900)	現地混凝土的強度; 根據 ASTM C900 在拉拔試驗中鑽出的位置強度比較
相對抗壓強度	回彈數(ASTM C805 / C805M);超音波脈衝速度 (UPV)(ASTM C597)	---	受鄰近地表性質影響的回彈數; UPV 依試體厚度提供平均結果
抗拉強度	劈裂抗拉強度 (ASTM C496 / C496M)	---	確定混凝土的近似抗拉強度
抗彎強度	鋸樑的取樣和測試(ASTM C42/ C42M)	斷裂測試(Carino 和 Malhotra 2004)	粒料尺度與非均勻性所造成的限制
密度	樣品比重(ASTM C642)	---	需要校準曲線的特殊技術
水分含量	濕度計(ASTM D6938; ASTM D4263; ASTM F1869; ASTM F2170; ASTM F2420; ASTM F2659)	---	---
靜態彈性模數	鑽心抗壓試驗 (ASTM C469 / C469M)	---	---
動態彈性模數	鋸切試樣的共振頻率測試(ASTM C215)	超音波脈衝速度 (ASTM C597);衝擊回波;表面波譜分析(ASW)	需要了解密度和卜松比(ASTM C215 除外);動態模數通常大於靜態彈性模數
收縮/膨脹	鑽孔或鋸切試樣的長度變化 (ASTM C157 /	---	剩餘長度變化的測量

	C157M; ASTM C341 / C341M)		
抗氯化物滲透	膠結材料的氯離子擴散係數 (ASTM C1556)	混凝土抗氯離子能力的電學性質 (ASTM C1202; AASHTO T 259)	建立混凝土對氯離子侵入的相對敏感性; 確定化學密封材、批覆膜和覆蓋層的有效性
空氣含量;水泥含量和水化程度;粒料特性(鹼-粒料反應性;凍融敏感性);水泥漿體微觀結構特徵和情況	從結構中所取出混凝土樣品的岩相分析(ASTM C856 和 C457 / C457M);水泥含量	---	協助確定損害的性質和程度;破壞原因;最初澆置與現時的混凝土品質
鹼-矽反應性 (ASR)	從結構中所取出混凝土樣品的岩相分析(ASTM C856 和 C457 / C457M)	Cornell / SHRP 快速測試(SHRPC-315)	確定現地觀察到的劣化是否歸因於 ASR
碳化, pH 值	酚酞(定性指示); pH 計	岩相檢驗, pH 值指標(例如石蕊試紙)	評估混凝土的腐蝕防護、保護層厚度和鋼筋對腐蝕的敏感性; 碳化深度
火害	鑽心岩相分析 (ASTM C856), 抗壓強度試驗 (ASTM C39 / C39M), 劈裂抗拉強度試驗 (ASTM C496 / C496M), 回彈數 (ASTM C805 / C805M)	SASW; UPV; 衝擊回波; 脈衝響應	回彈數(ASTM C805 / C805M)允許劃分受損表面
凍融	鑽心岩相分析 (ASTM C856), 抗壓強度試驗 (ASTM C39 / C39M), 劈裂抗拉強度試驗	SASW; UPV; 衝擊回波; 脈衝響應	凍融會導致混凝土內部開裂; 劈裂抗拉強度有助於估算混凝土的抗拉強度

	(ASTM C496 / C496M)		
氯離子含量	酸溶性(ASTM C1152 / C1152M) 和水溶性(ASTM C1218 / C1218M)	特定離子探針 (SHRP S-328)	氯化物進入增加了鋼筋對腐蝕的敏感性
氯透性	SHRP 表面氯流法與 Figg 技術 (SHRP S-329)		測量表面混凝土的現場滲透率指數 0.60 in. (15 cm);結果取決於混凝土的含水量
混凝土的電阻	採用四極式電阻計所量測的交流阻抗	SHRP 表面電阻測試(SHRP S-327)	交流電阻可用於評估摻料的有效性和膠結材狀況; SHRP 方法可用於評估填充料的有效性
內部空隙，脫層	音衝(ASTM D4580 /D4580M)，脈衝敲擊回音，紅外熱成像，UPV，雷達	伽瑪射線照相術	成功取決於測試程序、設備和人員，以及孔隙形狀

(資料來源：美國混凝土學會，2019)

表 2- 13 評估鋼筋性質的測試方法

性質/條件	可能的測試方法		備註
	主要	次要	
鋼筋位置	暴露鋼筋測量，轉速表;透地雷達 (GPR)(ASTM D4748，D6432)	X 射線和 γ 射線照相術	鋼筋的位置和分佈;混凝土保護層鋼筋尺寸估算
鋼筋斷面積減少	暴露鋼筋和測量直徑;使用卡尺，超音波測厚儀(需要直接接觸鋼筋)	侵入性探測;放射線照相術	觀察並測量鋼筋的減少量;觀察內埋後拉構件的腐蝕情況;驗證劣化的位置和程度;提供結構能力計算的更多確定性
腐蝕電位	半電池電位 (ASTM C876)	---	辨別和繪製鋼筋腐蝕區
腐蝕速率	線性極化(SHRP S-324 和 S-330)	電化學阻抗	內埋鋼筋的腐蝕速率;受環境條件影響的速率
抗拉試驗	金屬材料的抗拉試驗(ASTM A370 和 ASTM E8 / E8M)	---	取樣的抗拉試驗
化學分析	樣品實驗室測試 (ASTM A751)	---	需要確定可焊性或確認鋼筋等級
保護塗層厚度	暴露表面上的剩餘塗層厚度 (ASTM E376; ASTM D7091; ASTM G14; ASTM G20)	---	需要已校準的測試設備

(資料來源：美國混凝土學會，2019)

評估是確定和判斷結構、構件或系統的結構是否適合其當前的預期用途或性能的過程。再活化計劃可能需要不同的考慮因素，包括提議修改的結構對建築影響。修改的效果可以從相對明顯的(例如，更高的活載要求)到更微細的方面(例如，由於板厚度的改變而改變立面上的陰影線)。除了對正在修改的結構影響外，還需要考慮在進行大規模修復時所適用的管理規範或法規要求，包括符合當前的可用性或地震升級要求。

除了遇險或劣化所造成的原因外，重要的是要考慮損害的後果。混凝土結構的大多數劣化是隨著時間的推移而逐漸劣化。根據劣化的進展，可能或需要不同的再活化方法。另根據計畫目標和所觀察到的狀況，可能有必要評估全部或部分構件的當前結構能力，這可以透過遵循一般已接受的結構原理(例如 ACI 318)所進行的結構分析、負載試驗或兩者來完成，方法的選擇取決於所評估的結構或構件的性質及可用的資訊。過程中需要根據結構或構件的預期功能來定義所需的載重，並觀察現有條件所造成的差異，如應考慮重力(例如，靜載重，活載重和雪種)和橫向載重(例如，風和地震)。根據設計規範，可以根據原始設計時的負載要求或當前負載要求(IEBC 和 ACI 562)來建立負載。結構分析既可以使用從原始施工文件所獲得的設計資訊，也可以使用透過試驗所獲得的材料屬性。如果透過試驗收集了足夠的資訊，則可以使用調整後的強度降低因子。如果有詳細記錄，則試驗資訊可以是原始構造或是評估期間所進行的試驗。ACI 562 提供了必要的試驗資訊和適當的強度降低因子，亦提供相關材料屬性的建議值。在分析中應考慮任何已記錄的劣化所造成之影響。負載試驗通常在以下情況下執行：

沒有足夠的資訊可用於進行結構分析；

當設計複雜或缺乏該結構系統經驗時；

現有劣化的程度或性質使結構分析不可靠。

負載試驗應按照 ACI 437.1R 的建議進行，通常以結構計算或建模來補充。

評估結果應在報告中提供，該報告可根據評估或再活化的範圍進行詳細說明。報告是總結研究結果和建議的重要文件，也可作為有關範圍決策的依據。報告應包括以下內容的說明：

目的、目標和工作範圍

項目、背景和歷史

為支持評估結果所獲得的文件

現地觀察和狀況調查結果

抽樣和材料試驗結果

評估過程和結果

調查結果和建議

使用中混凝土的目視檢測(ACI 201.1R-08)(美國混凝土學會，2008)

ACI 201.1R 提供目視檢查混凝土的指南。目視檢查是對混凝土的檢查，以辨別和定義混凝土在其使用壽命期間可能呈現的許多各種狀況。目視檢查通常侷限於混凝土結構上目視可及的表面。

施工後立即完成對混凝土的目視檢查，並在混凝土的使用壽命期間定期重複檢測，則可提供關於性能和耐久性的重要歷史資訊。檢查結果還有助於及早發現構件遇險和劣化，並在需要更換前進行維修或修復。檢查員必須正確記錄和環境和負荷條件有關的任何觀察結果，通常輔以非破壞性試驗、破壞性試驗和其他調查，特別是在觀察到遇險和劣化時，需要有關混凝土內部狀況的資訊。

雖然目視檢查最常用於具缺陷或某種程度破壞的混凝土狀況調查，但建議將其應用於所有混凝土結構。更重要的是，檢查員應妥善記錄與環境暴露有關的任何觀察(物理荷重、變形、缺陷、缺陷和遇險的影響)、耐久性和性能，應具體紀錄材料、收集施工方法和審查。

透過照片可對缺陷和破壞進行分類和說明，並且盡可能量化其嚴重程度和發生程度。使用照片的目的係使與結構中混凝土狀況相關的報告標準化。進行調查的人應該完全熟悉各種類型的瑕疵和劣化的術語，提供附圖以說明各種類型的缺陷和損壞以及已知的劣化原因。

進行目視檢查的個人應選擇與檢查原因有關的具體且重要的項目，在檢查過程中也不應忽視清單中未列出的其他項目和因素。表 2- 14 中的目視檢查表可用於記錄檢查結果。最終報告至少包括以下內容：

進行視察的個人姓名；

檢查的目的；

列出結構現有的現有文件；

結構的類型、使用年、位置和一般描述；

所採用的檢查技術(例如，直接目視檢查和鏈條拖曳)；

現地觀察和檢查的結構範圍；

所採用現場試驗和收集的數據(如果適用)；

結論和建議；

附注釋的照片和草圖。

表 2- 14 目視檢視表

1. 一般	報告編號		
	檢查目的		
	檢查員的姓名		
1A. 結構說明	名稱		
	地點		
	類型		
	尺寸		
	所有者		
	專案工程師		
	承包商		
	施工日期		
	照片	概述	
		區域狀況詳細的特寫鏡頭	
	草圖指示陽光與陰影方向及排水良窳的區域		
1B. 材料使用 (如果已知)	混凝土	常重粒料類型	
		粒料尺寸	
		摻料類型	
		配比設計	
		抗壓強度	
		彈性模數	
2. 環境和負荷條件	曝露	環境(乾旱、亞熱帶、海洋、淡水、工業區等)	
		天氣(7 月和 1 月平均氣溫、年平均降雨量和 60%降雨的月份)	
		凍融	
		乾溼	
		在乾空氣下乾燥	
		化學腐蝕和侵蝕(硫酸鹽、酸、鹼、氯化物、	

		氣體)		
		磨蝕、淘蝕、孔蝕、衝擊		
		導電性		
		含氯離子的去冰化學藥品		
		來自鄰近的熱量		
	排水	積水		
		接縫密合		
		排水孔		
		地平		
		洩水高度		
	承載條件	靜載重		
		活載重		
		衝擊		
		振動		
		交通		
		地震		
		其他		
	土壤(基礎條件)	膨脹土壤		
		可壓縮土壤(沉陷)		
		抽水		
3. 破壞指標	開裂			
	染色			
	表面沉積和滲出			
	漏水			
4. 結構的現況	結構整體	沉陷		
		撓曲		
		膨脹		
		收縮		
	混凝土表面狀況	一般情況： 好、尚可、差		
		脫模和粉飾表面	平滑	
			表面空隙	
			條紋	
			蜂窩	
			弱區	

			冷縫	
			染色	
		開裂	位置和頻率	
			裂縫走向	
			寬度和圖案	
			析水、乳石化	
			進行中或已停止(靜止)	
		剝層	面積、深度	
			類型	
		剝落和彈出	編號、尺寸和深度	
			類型	
		污漬、白華		
		外露鋼筋： 腐蝕		
		冰壺和翹曲		
		侵蝕	磨損	
			孔蝕	
		以前的修補 或其他修復		
		表面塗層、 保護系統、 襯裡、 覆層	類型和厚度	
			粘結混凝土上	
			狀況	
		滲透密封	類型	
			效用	
			變色	

(資料來源：美國混凝土學會，2008)

第三節 國內相關辦法及技術文件

壹、臺北市高氯離子混凝土建築物鑑定原則手冊(臺北市建築管理工程處，2011)

臺北市高氯離子混凝土建築物鑑定原則手冊建立目的為處理高氯離子混凝土建築物評定及相關後續處理項目，目前高氯離子混凝土建築物經鑑定符合下列情形之一者，得判定為拆除重建：

混凝土水溶性氯離子含量樓層平均值 0.6 kg/m^3 以上、中性化深度檢測樓層平均值 2 公分以上等二項檢測結果之樓層總數與總樓層數之比值（以下

簡稱樓層比）四分之一以上，且經詳細耐震能力評估，任一方向性能目標崩塌地表加速度低於 150 cm/sec^2 者。

混凝土水溶性氯離子含量樓層平均值 0.6 kg/m^3 以上、中性化深度檢測樓層平均值 4 公分以上且混凝土抗壓強度平均值小於 $0.45f_c'$ 之樓層總數與總樓層數之比值二分之一以上者。

修復補強及防蝕監測計畫工程費用超過重建費用之 50 % 以上者。

該手冊所鑑定之項目除目視檢測外，亦包括鋼筋檢測及混凝土檢測等，透過鋼筋腐蝕電位、抗壓強度、氯離子含量、中性化及保護層厚度量測，搭配耐震能力詳細評估結果，如表 2- 15 所示，並判定是否達上述拆除重建標準或加勁補強或防蝕處理等，協助委託者進行後續處理。

表 2- 15 高氯離子混凝土建築物鑑定項目摘要

鑑定項目		辦理情形	鑑定結果
1	鋼筋檢測： 目視檢測或斷面量測。	目視檢測 ☐ 已檢測 ☐ 未檢測	版鋼筋銹蝕情形 ☐ 有 ☐ 無 梁鋼筋銹蝕情形 ☐ 有 ☐ 無 柱鋼筋銹蝕情形 ☐ 有 ☐ 無 牆鋼筋銹蝕情形 ☐ 有 ☐ 無 達影響結構安全程度 ☐ 是 ☐ 否
		斷面量測 ☐ 已檢測 ☐ 未檢測	達影響結構安全程度 ☐ 是 ☐ 否
	鋼筋腐蝕速率檢測	☐ 已檢測 ☐ 未檢測	☐ 無 ☐ 輕微 ☐ 中度 ☐ 嚴重

2	混凝土檢測： 抗壓強度、氯離子含量、中性化深度、保護層厚度。 各樓層混凝土檢測取樣數至少每 200 平方公尺一個，每樓層不得少於 3 個。	混凝土鑽心取樣 ☐ 已取樣 ☐ 未取樣 抗壓強度試驗 ☐ 已檢測 ☐ 未檢測 氯離子含量檢測 ☐ 已檢測 ☐ 未檢測 中性化深度 ☐ 已檢測 ☐ 未檢測 保護層厚度 ☐ 已檢測 ☐ 未檢測	取樣數共 _____ 個 ☐ 是 ☐ 否 各樓層取樣數量至少每 200 平方公尺一個，且每樓層不得少於 3 個。 ☐ 是 ☐ 否 各樓層取樣位置均勻分佈，且無集中同一處。 ☐ 是 ☐ 否 各樓層取樣位置以小梁為主。 原設計抗壓強度 _____ kgf/cm^2 平均抗壓強度 _____ kgf/cm^2 _____ 個試體抗壓強度小於原設計抗壓強度 75% 符合原設計 ☐ 是 ☐ 否 樓層平均值小於 0.45 f_c 之樓層別： 超過 0.6 kg/m^3 _____ 個 介於 0.3 kg/m^3 ~ 0.6 kg/m^3 _____ 個 低於 0.3 kg/m^3 _____ 個 樓層平均值 0.6 kg/m^3 以上之樓層別： 平均中性化深度 _____ cm 有耐久性疑慮 ☐ 是 ☐ 否 樓層平均值 ☐ 4cm 以上之樓層別： 樓層平均值 ☐ 2cm 以上之樓層別： 樑平均保護層厚度 _____ cm 柱平均保護層厚度 _____ cm 符合原設計 ☐ 是 ☐ 否
3	現況調查、裂縫量測(含損害狀況、裂縫寬度及長度)	損害狀況 ☐ 已調查 ☐ 未調查 裂縫寬度及長度 ☐ 已檢測 ☐ 未檢測	版有混凝土剝落 ☐ 是 ☐ 否 梁有混凝土剝落 ☐ 是 ☐ 否 柱有混凝土剝落 ☐ 是 ☐ 否 牆有混凝土剝落 ☐ 是 ☐ 否 有耐久性疑慮 ☐ 是 ☐ 否 梁最大裂縫寬度 _____ mm， _____ 長度 _____ cm 柱最大裂縫寬度 _____ mm， _____ 長度 _____ cm 版最大裂縫寬度 _____ mm， _____ 長度 _____ cm 牆最大裂縫寬度 _____ mm， _____ 長度 _____ cm 裂損情形影響構件結構強度 ☐ 是 ☐ 否
4	耐震能力詳細評估	☐ 已評估 ☐ 未評估	評估方式： ☐ NCREE ☐ SERCB X 方向之崩塌地表加速度： _____ cm/sec^2 Y 方向之崩塌地表加速度： _____ cm/sec^2

5	補強工程費用及重建工程費用	☐ 已提具補強計畫 ☐ 未提具補強計畫	補強費用(須含搬遷、租金等費用): ☐ 方案 1: _____ 元 ☐ 方案 2: _____ 元 重建費用(須含搬遷、租金等費用): _____ 元
6	1~3 項綜合研判: (1)氯離子含量樓層平均值 $>0.6\text{kg/m}^3$ (2)中性化深度樓層平均值 >4 公分 (3)混凝土抗壓強度平均值 $<0.45f_c'$ (4)前三項檢測結果之樓層比值 1/2 以上	☐ 是 ☐ 否, 辦理耐震能力詳細評估。 ☐ 已辦理(全棟) ☐ 待辦理	評估結果: 須拆除重建 評估結果: 需耐震能力詳細評估以為判斷依據
7	1~4 項綜合研判: (1)氯離子含量樓層平均值 $>0.6\text{kg/m}^3$ (2)中性化深度樓層平均值 >2 公分 (3)前二項檢測結果之樓層比值 1/4 以上 (4)任一方向性能目標崩塌地表加速度 $<150\text{cm/sec}^2$	☐ 是 ☐ 否, 提具補強計畫(含鋼筋長期腐蝕監測) ☐ 已辦理 ☐ 待辦理	評估結果: 須拆除重建 ☐ 工程費用超過重建費用 50% 評估結果: 須拆除重建 ☐ 工程費用未超過重建費用 50% 評估結果: 可加勁補強或防蝕處理
8	鑑定結論	☐ 已註明 ☐ 未註明	結構安全性可接受, 可加勁補強或防蝕處理 已提具補強計畫 須拆除重建 已作明確之建物危險程度判定 已辦理耐震能力評估 已提具補強計畫(工程費用超過重建費用 50%) 須拆除重建 已作明確之建物危險程度判定 已辦理耐震能力評估 須拆除重建 已作明確之建物危險程度判定 免耐震能力評估

(資料來源: 臺北市建築管理工程處, 2011)

貳、 臺北市建築物工程施工損害鄰房鑑定手冊(臺北市政府工務局，2000)

建築工程施工導致之損害事件，可能因施工過程疏失或設計不良所造成，因此需要透過鑑定報告，以公正的角度呈現報告結果。本鑑定報告分為現況鑑定及施工鄰損鑑定，鑑定單位接受申請後，相關人員將赴標的物進行現場，初步了解鑑定範圍與內容，擇日進行正式會勘，完成鑑定作業及會勘紀錄，並依會勘結果撰寫鑑定報告書，而鑑定項目包含標的物測量，可得該標的物傾斜率、水準測量成果等，以及現況記錄部分，需針對損壞部位進行裂縫寬度、長度的紀錄及剝落面積等，如表 2- 16 所示。鑑定手冊亦有說明住戶拒絕會勘之處理方式、注意事項，並提出通用之鑑定方法與程序與判定等規範與損害修復費用估算，以利鑑定人員執行與操作。

表 2- 16 現況紀錄損壞項目

損壞部位	說明
裂縫部位	如為主要裂縫應予以拍照或記錄，較大之裂縫應記錄其約略最大寬度及長度。
滲水部位	分別記錄漏水、滲水、潮濕、漬跡等狀況。
剝落部位	記錄剝落種類、面積及剝落程度等。
其他部位	如電梯、機電設備、門窗等。
其他非結構體	如磚牆、裝修等滲水、剝落等損害之拍照紀錄。

(資料來源：臺北市政府工務局，2000)

第三章 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

第一節 耐久性能診斷流程說明

鋼筋混凝土建築物因明顯看出劣化症狀，或想掌握建築物完工後經過數年其軀體之劣化狀況，而進行耐久性能調查及診斷。參考 2013 年內政部建築研究所之「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」及 2002 年日本建築研究所中之內容，本研究建議之耐久性能調查及診斷，不僅包含建築物基本資料、構件劣化狀況、環境影響及其他使用性相關項目等外，另外亦採用相關檢驗或試驗以了解鋼筋與混凝土現況，配合環境與使用年限設定可用於研擬各種修補或補修之方案，如圖 3-1 說明。

本研究提之耐久性能診斷方法中，建築物概要調查為第一步，須透過與建築物使用者訪談及現地探勘、調查，以初步了解該建築物之相關基本資料，而後進行耐久性能初步診斷。一般而言，建築物概要調查及耐久性能初步診斷為必要實施項目，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。各項目內容概述如下：建築物概要調查內要包含設計圖書、施工紀錄、檢查或補修工事紀錄等資料，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固有條件而實行之調查。

耐久性能初步診斷是依本研究建議之項目進行調查，且以目視為主，主要了解構件是否有劣化症狀及其程度外，並調查建築物所在環境之劣化潛勢及其他使用性相關項目狀況。

耐久性能詳細診斷是根據特定之劣化現象進行現地調查並採取試體樣本進行相關材料檢驗或試驗，其目的主要了解劣化原因與程度，並判定是否進行補修及合適之補修工法選定。鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬 本研究提供之耐久性能診斷方法及流程僅適用於自然狀態下鋼筋混凝土材料或因本身材料不良，而引發之老劣化現象；若因外力、地震力或施工不良等造成之建築物損壞，則不適用於本研究提供之方法，而地震所引致之損傷則可參考國家地震中心建議之初步耐震能力診斷方法(附錄一之附表 1-1)，或是內政部營建署建議之鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估(PSERCB)(內政部建築研究所，2016)，以進行耐震能力評估。

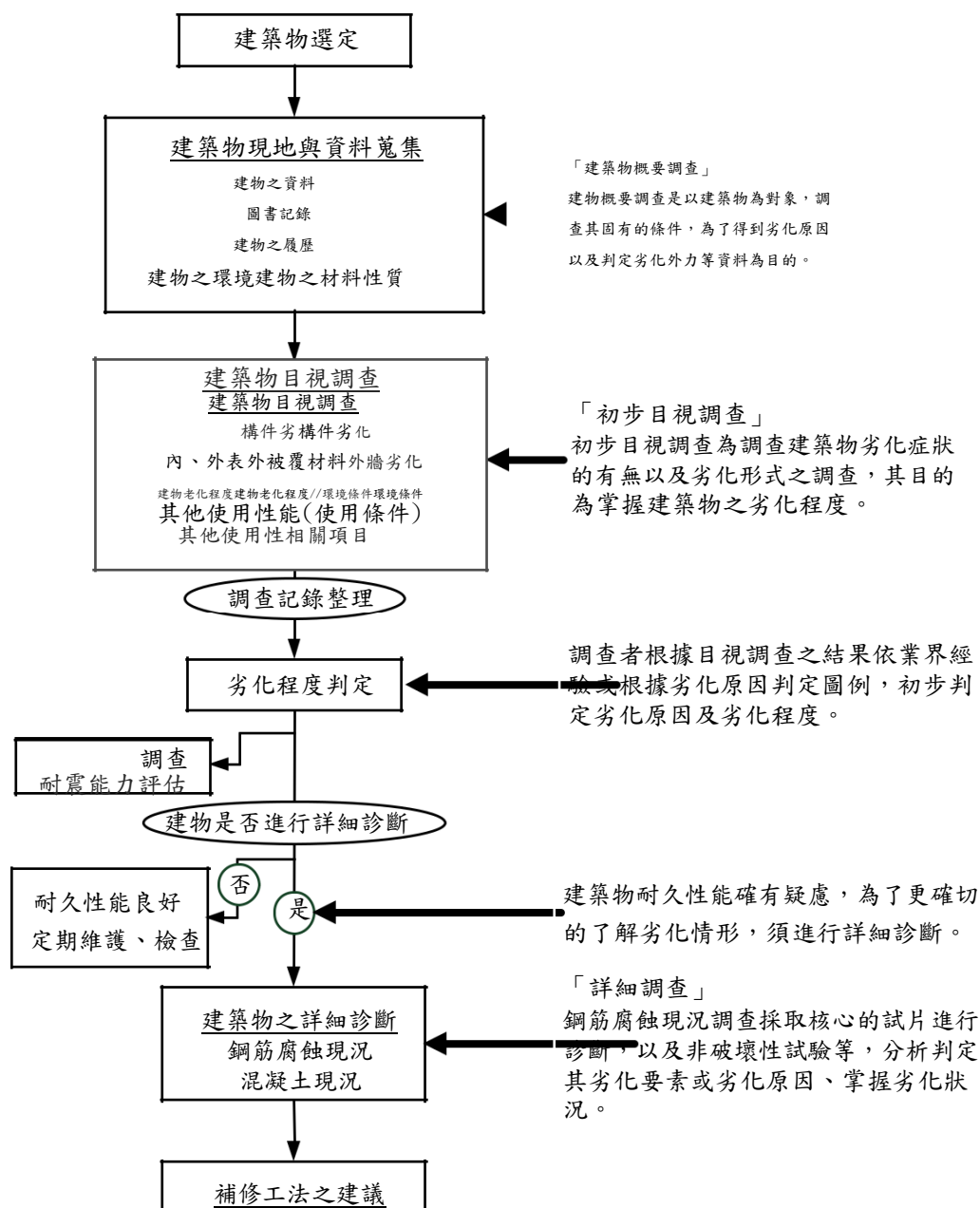


圖 3- 1 耐久性能診斷方法流程圖

(資料來源：本研究整理)

第二節 建築物概要調查

建築物概要調查如同人生病時之基本資料填寫，醫生藉由患者所填寫之基本資料，包含姓名、年齡、住所、職業、出生年月日、教育程度、病歷或父母病歷等，以獲取相關資訊，並可採用問診方式以了解患者可能之生病原因或協助醫生選擇合適之診斷與治療方法。建築物概要調查乃基於此種概念，為調查建築物固有資料而實施，以做為日後診斷或補修工法選擇之資料。

建築物概要調查表(詳見附錄二)之主要項目如下所述，依照 2002 年日本建築研究所中之內容建議可分為七大項：

概要調查—包含調查日期及委託機關、調查機關的基本資料

建物概要—需填寫用途、屋齡、所在位置等，並提出以下列項目：

竣工日期—建築物使用時間相當於其建造完工年代至該調查時間年份之差，使用時間越久遠，建築物之耐久性能應會越差。

使用類別—為調查該建築物使用用途及是否沿用原設計用途。

平面尺寸—建築物單一使用樓層之平面面積，約為長向×短向之尺度。

地盤種類—若地盤不夠堅硬，而容易造成地層下陷，而其引致之房屋傾斜現象，亦會造成使用性不佳問題。

構造種類—建築物構造方式眾多，如鋼筋混凝土造、鋼構、木構造、磚造等，而本研究所提出之耐久性能評估方法僅適用於鋼筋混凝土造建築物。

圖說記錄—包含設計圖、構造圖等，並提出以下項目做下方說明

結構平面圖—結構平面圖可用於了解建築物之結構構件配置、主要與次要構件位置等，以協助擬定調查範圍與順序。

補修或補強紀錄—建築物過去是否有進行過補修或補強，若曾進行相關工程，則須詳細紀錄補修或補強時間、位置及工法等。

建物周邊環境—針對建築物所處環境進行調查，包含該地區之特殊環境條件及溫度、距海岸最近距離及面向海側方向。

建物履歷—調查有無受災紀錄包含火災、地震、水災等，並記錄有無增改建或修復、改修。

材料—包括內外裝修材料，其主要為調查建築物外部及內部之主要裝潢材料，裝潢材料種類及裝修程度均會影響其耐久性能；混凝土設計標稱強度，細粒料及水泥種類等，並建議未來建設公司將資料轉移至管委會。

日常維護與管理—針對有無長期整修計畫及日常檢查情形做紀錄。

第三節 耐久性能初步診斷法

壹、初步診斷方法說明

初步診斷法以目視調查為主，以眼睛觀察構件劣化情形並利用望遠鏡或相機等，以確實掌握劣化狀況。由於目視調查較為主觀，因此為了降低調查者不同而產生之落差，須由相關專業人員進行調查。本研究已建立相關診斷準則與評估表，協助調查人員按表或流程操作，並詳細記錄要求之調查結果於建議之表中，以減少因項目缺漏而造成診斷結果失真。建築物耐久性能受許多影響因子支配，本研究選定四類因子進行判定(如圖 3-2 所示)。一為構件劣化，主要評估建築物構件，柱、梁、版及 RC 結構牆等之劣化狀況；二為外牆劣化程度，主要調查建築物壁體、女兒牆、雨遮、陽臺其於自然環境及維護不當下造成之劣化狀況；三為環境影響因子，建築物耐久性能受氯鹽、二氧化碳、溫度及濕度等影響甚大，本研究將依建築物所在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，以使用者觀點出發，判定是否有變形及振動等易造成其他使用性相關項目不佳問題。綜合以上四類因子結果，以初步判定建築物之耐久性能。

初步診斷範圍應以不使用鷹架而可執行之區域為主，且以共同使用空間為主要調查對象，專用或私人使用空間部分則依合約或業主需求而定。此外，進行各項工作調查時，以不去除表面裝修或裝飾材料為原則。

表 3-1 劣化症狀定義

劣化狀況		定義
裂縫	沿鋼筋	於混凝土面上之沿鋼筋位置裂縫，一般呈現垂直或水平線性，鋼筋包含主筋和橫向鋼筋。
	開口周邊	由開口邊角發生之斜向裂縫。
	網狀	網狀(不一定為矩形)裂縫，間接目視檢查無法確認之微細物除外。
	其他	上述以外之裂縫(規則性、不規則性不拘)
鼓起		具裝修材時，出現與軀體分離之狀態，或保護層混凝土呈現鼓起而與鋼筋已有分離現象，。對於鼓起之裝修材和混凝土，在初次診斷中無區別處理。
剝落	裝修材	裝修材剝離掉落
	混凝土	鼓起之保護層混凝土由軀體上剝離掉落，部分鋼筋露出。
鏽蝕汙損		腐蝕鋼筋的鏽蝕外漏可見，並附著在裝修材或混凝土表面之情況。
白華		硬化混凝土表面出現白色物質，通常伴隨著漏水。
起泡		由於混凝土內部之部分的膨脹壓力使混凝土表面的小部分出現錐形凹陷的破壞狀況。
表面弱化		混凝土表面因凍害和磨損而減弱，包含粉末化。
其他汙損		黴菌、煤煙、苔蘚等汙垢，除了鏽漬和粉化。
漏水痕跡		過去曾有漏水現象發生，常伴隨著粉化。
異常體感		下陷和傾斜引起的異常感，有地板震動、開關配件感覺異常。

(資料來源：日本建築研究所，2002)

表 3-2 初步診斷項目說明

調查方法	調查項目	調查位置
目視調查	裂縫(型態、寬度)	外牆、護欄、圍欄、陽台、走廊、室外樓梯、伸縮縫等可視範圍
	裝修材料鼓起	
	剝落、缺陷(片狀剝落、鋼筋裸露)	
	表面狀態(汙損、粉化、漏水痕跡等)	
	表面脆弱化	
	漏水痕跡	
打診調查	裝修材鼓起	外牆(伸手可及)
混凝土強度	反彈錘法(施密特錘)	樓梯間等可觸及之混凝土表面
其他	樓板下陷、傾斜、體感異常	樓板(如有必要)

(資料來源：日本建築研究所，2002)

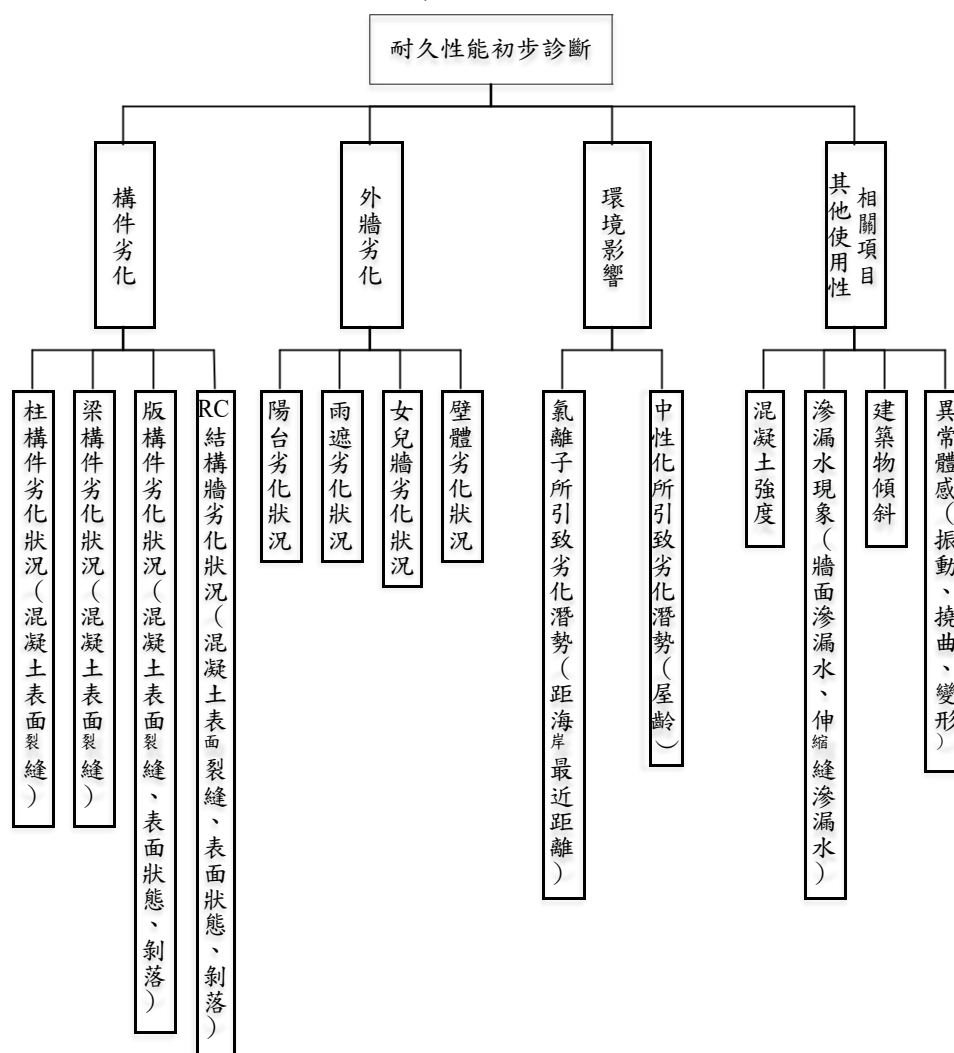


圖 3-2 耐久性能初步診斷項目圖

(資料來源：本研究整理)

貳、調查前準備項目

調查人員完成建築物概要調查後，進行初步診斷前須有一套完善之規劃，並依本研究建議之工作細項(如表 3-3 所示)，完成事前內業工作。

表 3-3 準備工作細項說明

作業流程	作業內容
概要	●耐久性能調查人員工作事項 建築物既存資料蒐集 -建築物平面圖、結構平面圖、竣工圖、修繕記錄等資料蒐集， 查由建築物管理人或使用者協助處理。 準●耐久性能概要調查表製成 備-建築物固有條件、所在環境、修繕履歷填寫
↓	
初步診斷準備	●目視調查前準備事項 ○1 調查順序之規劃 -屋外(被覆材料)→屋內(混凝土外觀)→其他使用性相關項目→屋頂(防水層) ○2 平面圖、立面圖、結構平面圖準備 -調查順序記錄 -調查構件編號記入 -調查單位
調查開始	●初步診斷前準備器材 -相機、裂縫尺、記錄紙等相關器材

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

調查路線規劃

進行建築物目視調查時，建議先由建築物外圍開始調查，擇一固定方向(如順時鐘或逆時鐘方向)依順序調查各立面之之外牆劣化狀況，再進入建築物內部(構件劣化、其他使用性相關項目)進行調查，最後為屋頂上之防水層調查，如圖 3-3 所示。將調查順序及調查重點整理成表 3-4，以供調查人員檢視。

調查順序 1~4：調查人員依本研究建議之調查順序，須先進行建築物四周外牆之劣化狀況，外牆調查目視重點為確認有無裂縫、浮起/鼓脹、剝落、表面狀態四種劣化形式之情形，除詳細紀錄於結構立面圖外並拍照。

調查順序 5：結束外牆劣化調查後，調查人員進入室內巡視建築物各樓層之柱、梁、版及 RC 結構牆等，依不同構件之調查重點逐一記錄其劣化發生位置、狀況及程度，並標記於結構平面圖上及拍照。檢測室內構件時，請依結構平面圖上所示構件依序調查，若有混凝土表面裂縫、剝落或鋼筋銹蝕或外露等現象，可依裂縫形式調查表及對照不同構件之評定基準，以確實判定各構件之劣化度。

調查順序 6：建築物性能部分，可由使用者提供相關資訊，並由目視觀察確認其問題嚴重性或急迫性，調查人員應著重於無法反映於構件調查階段之建築物現有不良症狀，例如：天花板滲漏水、伸縮縫功能是否完善、裝修材輕鋼架變形等，並將實際情形填寫於其他使用性相關項目評估表中及拍照記錄。

調查順序 7：若該棟建築物使用者同意調查人員進行屋頂層調查，則調查人員須確認屋頂層防水功能是否完善，並將實際情形填寫於其他使用性相關項目評估表中及拍照記錄。

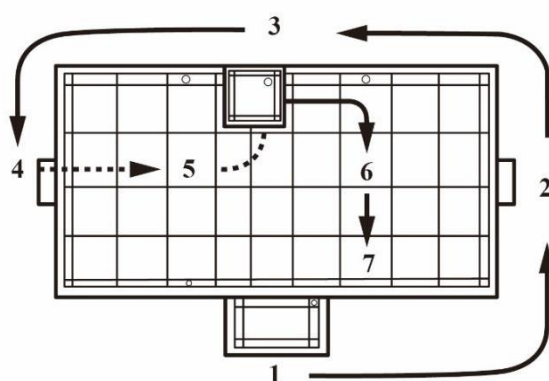


圖 3-3 勘查動線示意圖

(資料來源：建築物耐久性向上技術普及委員會，2007)

表 3-4 初步診斷調查之項目

勘查順序	調查事項	調查重點
1~4	建築物外牆劣化	調查壁體、女兒牆、雨遮、陽臺是否有剝落之情形
5	建築物構件劣化	柱、梁之混凝土表面是否有裂縫情形
		版構件及 RC 結構牆調查混凝土表面是否有剝落情形
6	使用性相關項目狀況	構架歪斜、牆壁樓板滲漏水、建築物傾斜、伸縮縫功能是否完善
7	屋頂防水層狀況	防水功能是否完善

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

構件編碼規則說明

目視調查前若沒有將構件加以編號，容易造成調查紀錄混亂，為有系統地整理調查結果進行構件編號之工作是必須的。因此，調查者可參考結構平面圖中各中心線名稱以命名構件編號。如圖 3-4 所示，圖中與走廊平行之中心線編號為英文字母 A、B、C 或 D 等，與走廊垂直之中心線編號為數字 1、2、3 或 4 等，構件編號形式為英文字母在前，數字在後。因此圖 3-4 中標註構件之編號分別為：柱 A-2；版 BC-3.4；梁 C-6.7。由於從平面圖中來看，梁位置與 RC 結構牆位置可能重疊，因此 RC 結構牆編號前以 W 為代號做為區隔，如：WAC-3。

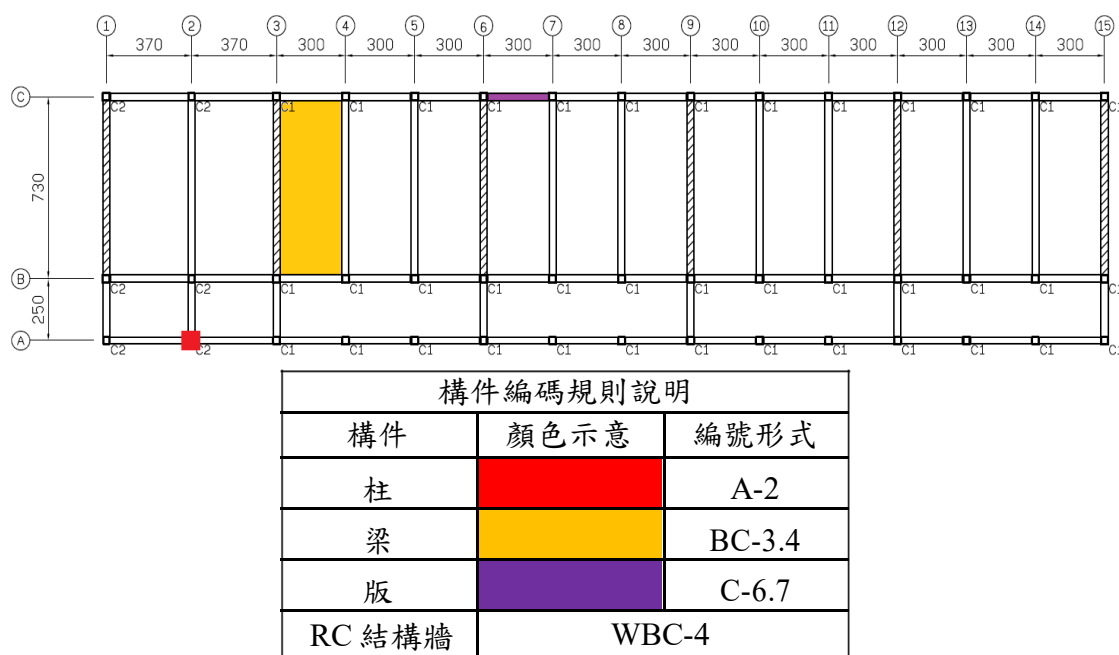


圖 3-4 構件編號規則示意圖

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

構件調查單位說明

為統一調查者之建築物構件數量決定，擬定各調查構件之單位設定。柱、梁構件單位較為單純，以圖 3-5 為例，柱構件共調查 45 根柱、以圖 3-6 為例，梁構件共調查 37 根梁；版構件四周皆有邊構材為一單位，以圖 3-7 為例，共調查 20 塊版；外牆以外柱線及外梁線判斷，以圖 3-8 為例，四面向之外牆及屋頂層之外牆，共計 50 個單位牆。

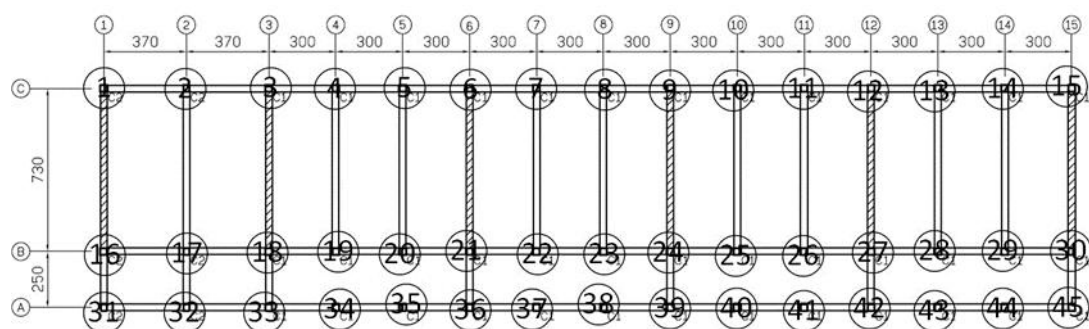


圖 3-5 柱構件單位設定示意圖(資料來源：建築物耐久性向上技術普及委員會，2007)

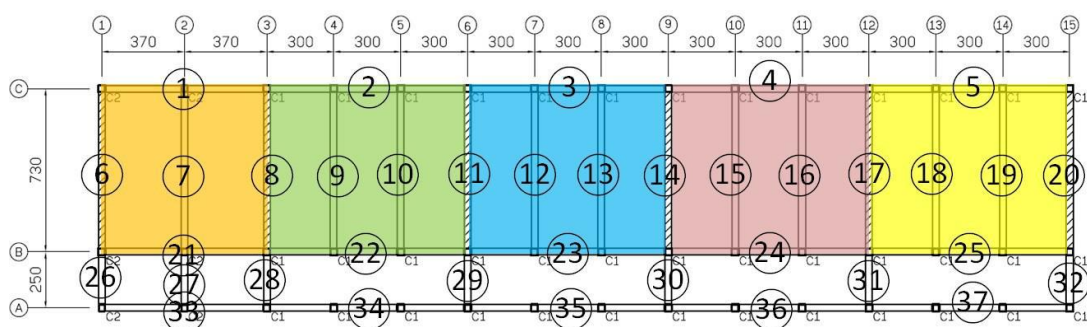


圖 3-6 梁構件單位設定示意圖(資料來源：建築物耐久性向上技術普及委員會，2007)

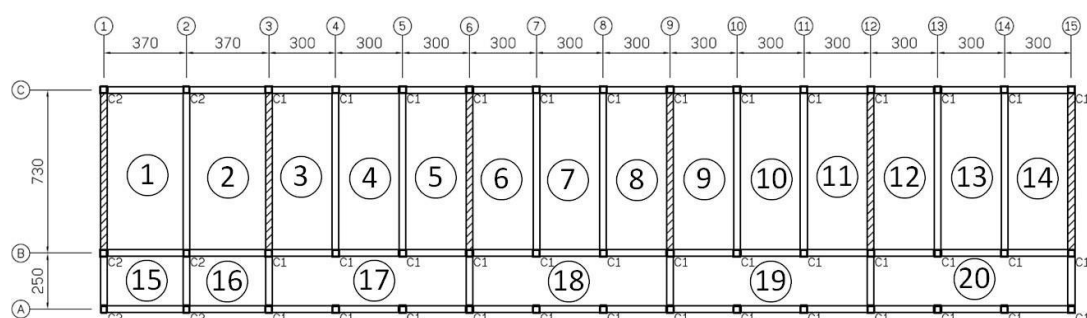


圖 3-7 版構件單位設定示意圖(資料來源：建築物耐久性向上技術普及委員會，2007)

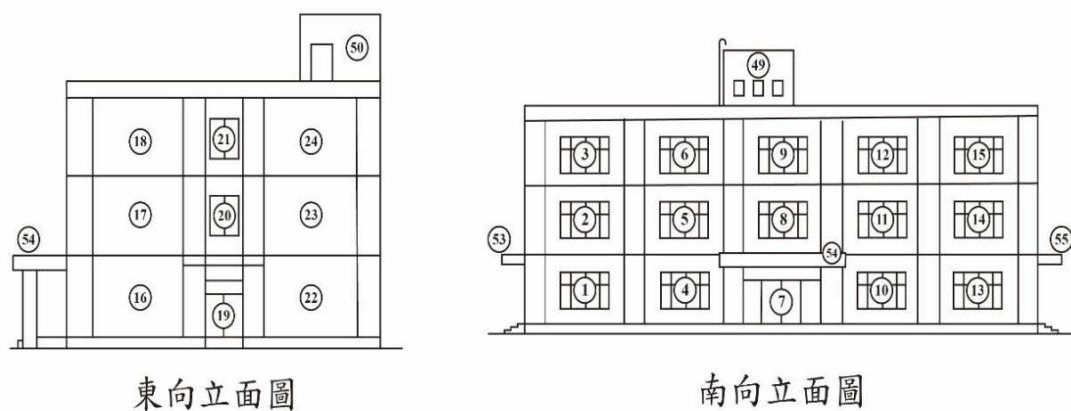


圖 3-8 外牆單位設定示意圖
(資料來源：建築物耐久性向上技術普及委員會，2007)

目視調查用工具

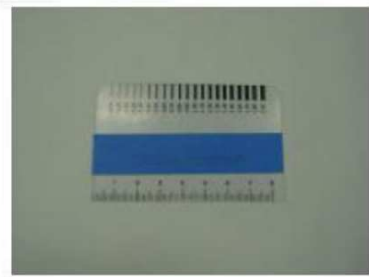
目視過程中可以利用工具輔助調查，如圖 3-9 所示。如構件位置過高且無法直接使用肉眼觀察時，則可使用望遠鏡輔助，調查中全程使用相機記錄構件損傷影像，以方便調查後之結果整理，裂縫調查方法為選定裂縫寬度最大處，並使用裂縫刻度尺量測並記錄。



相機



捲尺、標準尺等尺規



裂縫尺



鐵鎚等敲打工具



記錄紙、筆



手電筒等照明工具



望遠鏡



立腳梯子



反彈錘

圖 3-9 初步診斷準備工具

(資料來源：建築物耐久性向上技術普及委員會，2007)

參、構件劣化調查

柱構件及梁構件調查

調查重點

柱、梁之觀察重點為混凝土表面外觀裂縫情形，柱、梁構件須每層樓逐一調查外，可利用望遠鏡及相機等工具協助調查與紀錄。

裂縫形式判定

判定構件裂縫劣化度是根據構件之混凝土表面所呈現之裂縫寬度進行評定，然而構件裂縫可能許多原因造成，依日本建築學會(1997)，裂縫產生原因可分為三類，劣化、外力(震損)及施工不良。因此，量測裂縫寬度前須先確定其形式，

但若僅提供文字敘述並不足以讓調查人員決定裂縫形式，本研究參考文獻日本建築學會(1997)所建議之裂縫判定圖例(柱構件參考圖 3- 10～圖 3- 12；梁構件參考圖 3- 13～圖 3- 14)。

若經判定後發現為外力(震損)因素，則不適用本研究提出之耐久性能診斷法。因外力(震損)而損害者，則表示其構件為因地震力而造成之損壞，其部分可參考國家地震中心初步耐震能力評估表，可詳見附錄一之附表 1- 1，或是鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估(PSERCB)(內政部建築研究所，2016)，進行耐震能力初步評估。

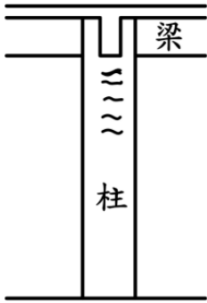
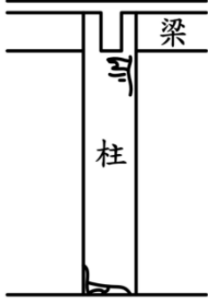
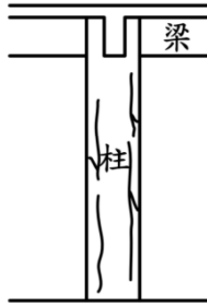
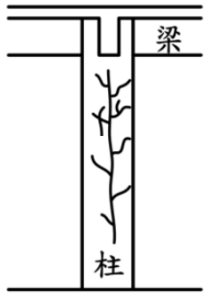
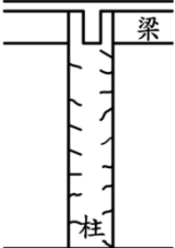
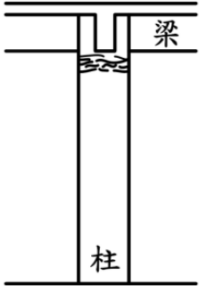
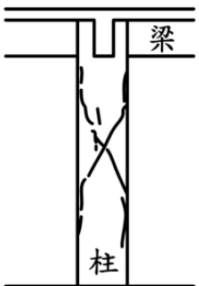
			
裂縫形式編號	Cd1	裂縫形式編號	Cd2
鋼筋腐蝕造成之裂縫，原因為保護層厚度不夠，沿著橫向鋼筋產生裂縫、剝落。		鋼筋腐蝕造成的裂縫柱頂和柱底因鋼筋較集中、保護層厚度不夠，產生裂縫、剝落。	
			
裂縫形式編號	Cd3	裂縫形式編號	Cd4
鋼筋腐蝕造成的裂縫混凝土中含有大量的鹽化物，沿著主筋產生裂縫。		鹼骨材反應造成的裂縫，其柱中心部位產生垂直樹狀裂縫。	
			
裂縫形式編號		Cd5	
乾燥收縮產生裂縫，柱角水平方向產生裂縫。			

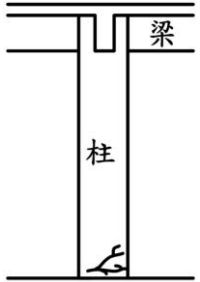
圖 3- 10 柱構件劣化造成的裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

			
裂縫形式編號	Cf1	裂縫形式編號	Cf2
建築物因地震，柱頂部分傾斜而造成的裂縫。		建築物因地震，產生剪力裂縫。	

3- 11 柱構件受外力作用下裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

			
裂縫形式編號	Cw1	裂縫形式編號	Cw2
蜂窩現象造成之裂縫，混凝土澆製時無法填充完整，柱底容易形成蜂窩現象。		冷縫造成之裂縫，施工時沒有持續的灌漿，造成一部分混凝土先凝結，前後澆置混凝土連接不良所產生的裂縫。	

3- 12 柱構件因施工不良形成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

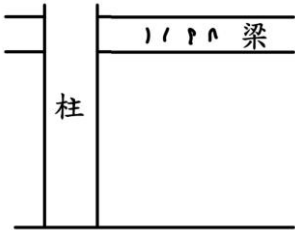
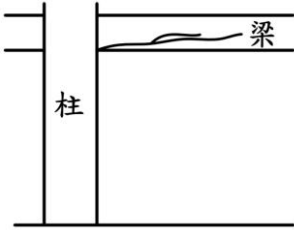
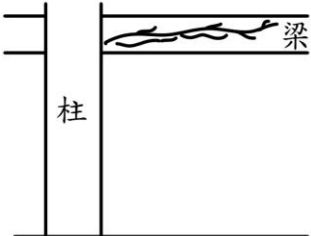
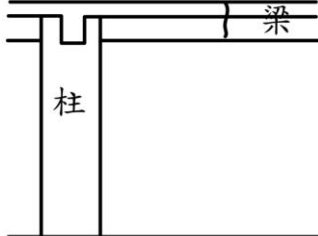
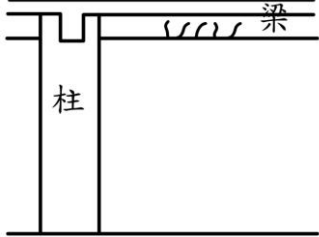
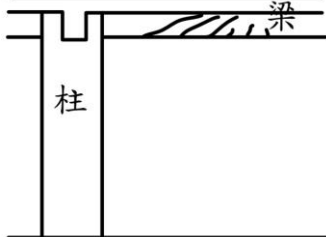
			
裂縫形式編號	Bd1	裂縫形式編號	Bd2
鋼筋腐蝕造成的裂縫，原因為保護層厚度不夠，沿著橫向鋼筋產生裂縫、剝落。		鋼筋腐蝕造成的裂縫，混凝土中含有大量的鹽化物，沿著主筋產生裂縫。	
			
裂縫形式編號	Bd3	裂縫形式編號	Bd4
鹼骨材反應成的裂縫，梁的中心部位沿著水平方向產生的樹狀裂縫。		乾燥收縮產生的裂縫，沿著梁的垂直方向產生裂縫，並且貫穿樓版。	

圖 3- 13 梁構件劣化造成的裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

			
裂縫形式編號	Bf1	裂縫形式編號	Bf2
撓曲裂縫梁，承受撓曲應力，容許產生細微的裂縫。		剪力裂縫，不均勻下陷或地震時承受剪力所造成斜方向的裂縫。	

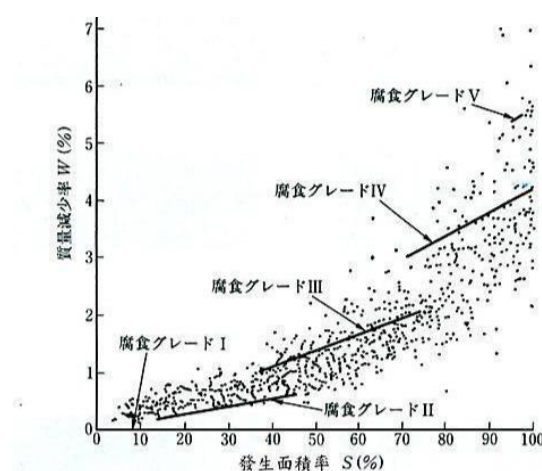
3- 14 梁構件外力造成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

參考日本建築學會(1997)，依構件外觀劣化狀況可判定其內部鋼筋腐蝕程度，當鋼筋腐蝕面積越大其重量減少率也較大，如圖 3-15 所示，鋼筋腐蝕程度則如

3-16 所示，並且依其腐蝕程度區分為 5 個等級，將外觀劣化症狀依劣化程度，分為健全、輕度、中度、重度及嚴重損壞等 5 種劣化度，如表 3-5 及表 3-6 所示。

構件劣化度評定需依其混凝土表面狀況及內部鋼筋腐蝕程度二者同時進行，但一般構件腐蝕程度較輕微時其混凝土保護層不易產生剝落，而無法直接目視鋼筋腐蝕程度，因此本研究建議依構件之混凝土表面外觀進行劣化度判定。



3-15 腐蝕面積率與重量減少率之關係

(資料來源：日本建築學會 1997)

3-5 柱、梁構件劣化度評定基準

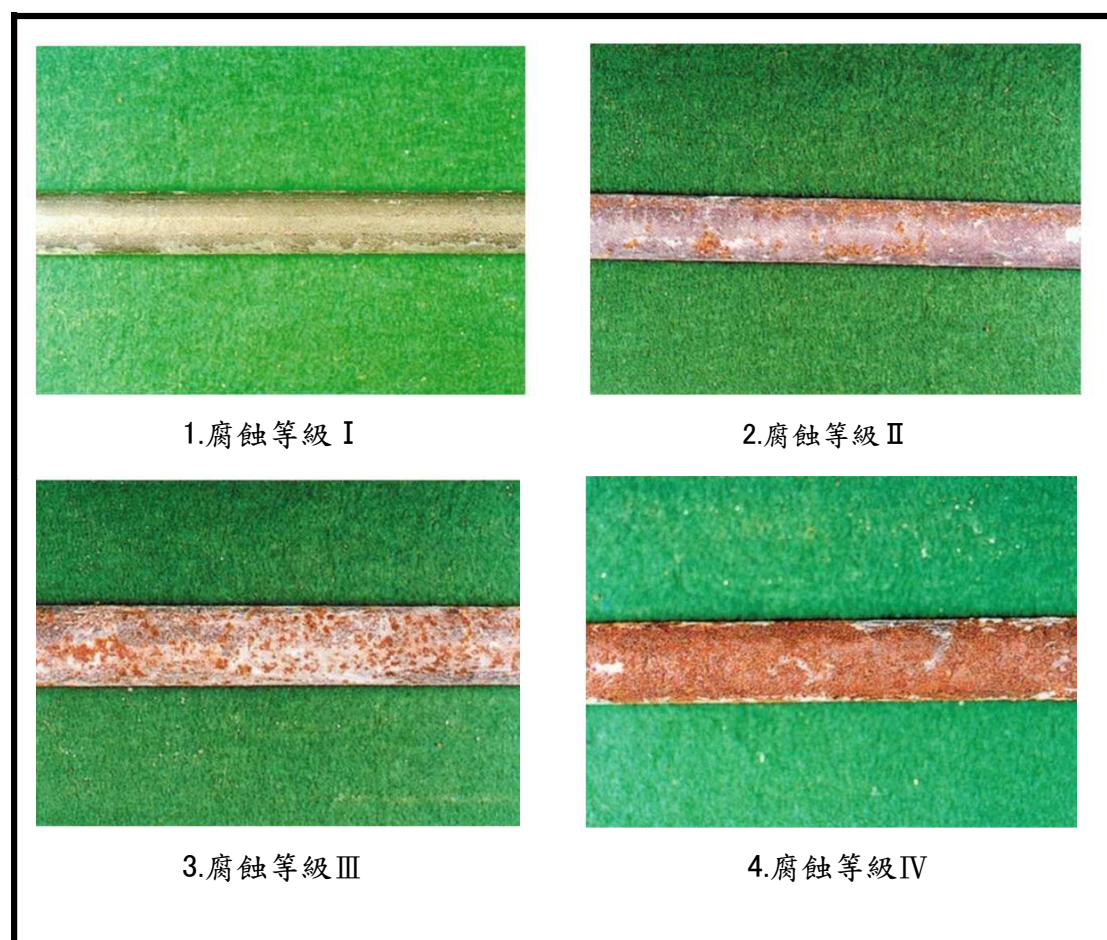
劣化度	評 定 基 準	
	外觀劣化症狀	鋼筋腐蝕狀況
健全	無明顯劣化症狀	鋼筋腐蝕於等級 II 以下
輕度	0.3mm 未滿	鋼筋腐蝕於等級 III
中度	0.3mm 以上 0.5mm 未滿	鋼筋腐蝕於等級 IV
重度	0.5mm 以上	鋼筋之腐蝕等級為 IV 以上
嚴重損壞	混凝土裂縫大到無法判定寬度、剝落嚴重，鋼筋完全露出且鏽蝕嚴重。	

(資料來源：日本建築學會，1997)

表 3-6 鋼筋腐蝕等級評定基準

等級	評 定 基 準	重量減少率
I	沒有發生腐蝕或表面僅有一些點狀鏽蝕現象	< 0.5 %
II	表面存在廣泛點狀生鏽	0.5 % ~ 1 %
III	表面點狀生鏽聯繫成面生鏽，產生部分生鏽浮起狀態	1 % ~ 3 %
IV	廣泛產生鏽蝕浮起狀態，鋼筋混凝土附著了鋼筋鏽蝕生成物，鋼筋斷面積損失部位約為 20% 以下之可能性	3 % ~ 5 %
V	廣泛產生較厚之層狀鏽蝕，鋼筋斷面積損失部分約 20% 以上之可能性	>5 %

(資料來源：日本建築學會，1997)





5.腐蝕等級V

圖 3- 16 鋼筋腐蝕程度

(資料來源：日本建築學會，1997)

RC 結構牆及版構件調查

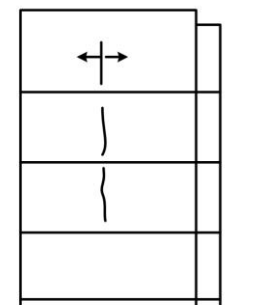
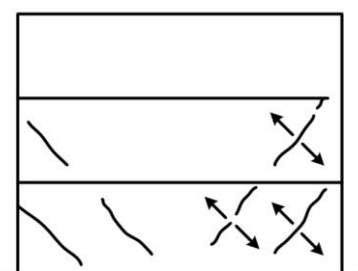
調查重點

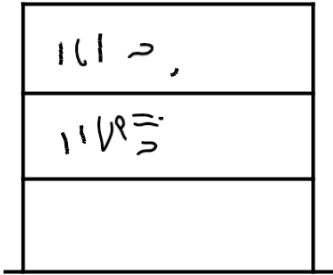
RC 結構牆、版構件之劣化形式較為複雜，調查人員往往難以判定其最大裂縫寬度及形式，因此本研究建議 RC 結構牆、版構件之劣化調查以調查個數的定量方式判定。

調查位置為調查人員站於地面並由下往上觀察 RC 結構牆、版構件之外觀狀況，而 RC 結構牆、版構件數量較多，因此僅須針對有明顯劣化情形之構件調查，並利用望遠鏡及相機等工具協助進行。

評定基準

本研究參考文獻日本建築學會(1997)及日本建築研究所(2002)所建議之裂縫判定圖例，如圖 3- 17～圖 3-19 所示，利用圖例及文字輔助調查人員進行劣化度評定工作。

			
裂縫形式編號	Wd1	裂縫形式編號	Wd2
乾燥收縮產生的裂縫： 大面積的牆壁因為乾燥收縮產生垂直裂縫。		乾燥收縮產生的裂縫： 大面積的牆壁，被基礎固定住，因為上部構造物收縮，端部產生斜裂縫。	

	
裂縫形式編號	Wd3
鋼筋腐蝕造成的裂縫： 根據鋼筋腐蝕產生之裂縫，保護層厚度較小的地方，常伴隨著混凝土產生剝落、鋼筋裸露等狀況。	

3- 17 RC 結構牆混凝土乾縮與鋼筋腐

蝕(資料來源：日本建築學會，1997)

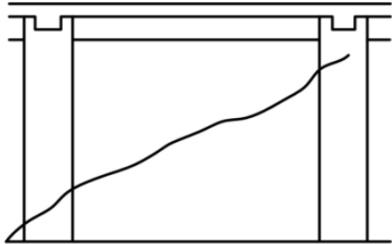
			
裂縫形式編號	Wf1	裂縫形式編號	Ww2
不均勻下陷產生的裂縫在大型牆壁上產生不均勻下陷倒八字型的裂縫產生。		冷縫造成的裂縫施工時沒有持續的灌漿，造成一部分混凝土先凝結，前後澆置混凝土連接不良所產生的裂縫。	

圖 3- 18 RC 牆結構不均勻下陷

圖 3- 19 RC 牆施工不良造成的裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

本研究建議 RC 結構牆、版構件之劣化調查針對裂縫、剝落、表面狀態及樓版下陷變形與牆面或樓版傾斜，並參考日本建築研究所(2002)所提出之定量評定基準，並加以修改，將調查資料單位化，共分為五個區間，包含健全、輕度、中度、重度、嚴重毀損，其中健全定義為無明顯劣化症狀，而嚴重毀損為混凝土表面剝落嚴重，造成鋼筋完全露出，且鋼筋已鏽蝕，其他三個劣化度如表 3-7 所示。

表 3-7 RC 結構牆、版構件劣化度評定基準

評估項目			評估單位	劣化度		
				輕度	中度	重度
裂 縫	沿鋼筋		轉換為 1 公尺長度時 每 100 平方公尺數量	未滿 2 條	2 ~ 5 條	5 條以上
	開口牆 網狀裂縫 其他		每十個開口個數 發生率 每 100 平方公尺	未滿 3 條 未滿 5 % 未滿 5 條	3 ~ 5 條 5 ~ 10 % 5 ~ 9 條	5 條以上 10 % 以上 10 條以上
	剝 落	混凝土	鋼筋露出	發生率	未滿 1 %	1 ~ 3 %
鋼筋未露出			發生率	未滿 5 %	5 ~ 10 %	10 % 以上
表 面 狀 態	鏽蝕污損/白華/起泡/浮 起/鼓脹/表面弱化/粉化 /其他污損		發生率	未滿 10 %	10 ~ 20 %	20 % 以上
樓版下陷變形			變形量(x/1000)	未滿 5/1000	5/1000 ~25/1000	25/1000 以上
牆面或樓版傾斜			傾斜角(x/1000)	未滿 5/1000	5/1000 ~25/1000	25/1000 以上

(資料來源：本研究整理)

構件調查結果紀錄及評定表

透過上述柱、梁及 RC 結構牆、版構件兩種判定基準，建議將所得資料填入內政部建築研究所(2013)所訂定的單一樓層構件劣化紀錄表，如表 3-8 及表 3-10 所示，並提出範例，如表 3-9 及表 3-11 所示。單一樓層調查結果依構件部位之不同，填寫於不同之構件劣化記錄表，接著利用構件評定基準，依混凝土表面之裂縫寬度或剝落、鼓/隆起等判定劣化度，並記錄於表中，記錄表中須詳細記錄每一構件編號、裂縫形式編號及量測之裂縫寬度或剝落、鼓/隆起面積，對於重度及嚴重損壞程度之構件，必須搭配影像及文字之描述說明，單一樓層各構件種類之劣化度選定主要以累積機率概念進行，由劣化程度為嚴重損壞之發生機率開始計算。

表 3-8 單一樓層柱、梁構件劣化紀錄及評定表

構件名稱			建築物名稱		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
現況照片			文字敘述		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
現況照片			文字敘述		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
☐ 嚴重損壞					
☐ 重度					
☐ 中度					
☐ 輕度					
☐ 健全					

(若表格不夠自行新增)

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

表 3- 9 單一樓層柱、梁構件劣化紀錄及評定表(範例)

構件名稱			建築物名稱		
梁			科學樓—B1F		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
D-1.2	Bd1				√
			梁構件鋼筋腐蝕產生之裂縫		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
D-3.4	Bd1			2.4mm	
			梁構件因鋼筋腐蝕產生沿鋼筋水平裂縫		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
□ 嚴重損壞		1/19		$\frac{1}{19} = 0.05 < 0.1$	
■ 重度		1/19		$\frac{1+1}{19} = 0.105 > 0.1$	
□ 中度		0/19			
□ 輕度		0/19			
□ 健全		17/19			

(若表格不夠自行新增)

(資料來源：陳美儒，2014)

表 3-10 單一樓層 RC 結構牆、版構件劣化紀錄及評定表

構件名稱			建築物名稱		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
現況照片			文字敘述		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
現況照片			文字敘述		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
☐ 嚴重損壞					
☐ 重度					
☐ 中度					
☐ 輕度					
☐ 健全					

(若表格不夠自行新增)

(資料來源：本研究整理)

表 3- 11 單一樓層 RC 結構牆、版構件劣化紀錄及評定表(範例)

構件名稱			建築物名稱		
版			XX 廣場		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S1	12.96		嚴重損壞	中度	嚴重損壞
			混凝土剝落 20%未露出鋼筋，10%白華，並有多處修補過		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S2	9.72		嚴重損壞	重度	嚴重損壞
			混凝土剝落 5%露出鋼筋，20%白華，並有多處修補過		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
☒ 嚴重損壞		10/14		$\frac{10}{14} \approx 0.71 \approx 0.7$	
☐ 重度		3/14			
☐ 中度		0/14			
☐ 輕度		0/14			
☐ 健全		1/14			

(若表格不夠自行新增)

(資料來源：本研究整理)

整體建築物構件劣化結果評定表

單一樓層各構件種類之劣化度經計算得知後，進行整棟建築物之劣化度記錄填寫，整棟建築物劣化度判定為採用最嚴重之樓層劣化度，將會有柱、梁、版、RC 結構牆之四個構件之劣化度，如表 3-12 所示，並提出範例，如表 3-13 所示，其最嚴重者則可判定該劣化程度為此建築構件劣化之劣化度。

表 3-12 整棟建築物構件劣化評定表

建築物名稱					
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
劣化度					

(若表格不夠自行新增)

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

表 3- 13 整棟建築物構件劣化評定表(範例)

建築物名稱			科學樓	
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆
B1F	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☒ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☒ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☒ 重度 ☐ 嚴重損壞	☒ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞
1F	☐ 健全 ☐ 輕度 ☒ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☒ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☒ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☒ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞
2F	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☒ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☒ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☒ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☒ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞
3F	☐ 健全 ☒ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☒ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☒ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☒ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞
4F	☐ 健全 ☒ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☒ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☒ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☒ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞
劣化度	重度	重度	重度	健全

(若表格不夠自行新增)

(資料來源：陳美儒，2014)

肆、外牆劣化調查

外牆雖然沒有直接影響建築物安全的疑慮，但建築物外牆長期暴露於戶外，當建築物使用一段時間後，會因環境、施工品質不良或使用者維護不當而變質逐漸失去原本功能及形態，並產生美觀上或結構上之劣化，嚴重者甚至會危害公共安全，因此外牆劣化是不可忽略的部分。

調查重點

除建築物本體結構外，尚須考慮外牆的劣化現象，另外調查人員須沿著建築物四周調查將四面的外牆分別進行記錄，並且站於良好之觀測地點，依序對建築外牆進行全面性之劣化調查。外牆之外飾材浮起或鼓脹部分，建議可採用部分打診方式進行量化評估。部分打診之施作位置選取，原則上以不使用鷹架之可及區域均可，一般建議如下：

經目視判定為具異常區域或判定因剝落、裂縫或白華等異常區域，可選擇之位置為：磁磚受損或剝落之 1 公尺周遭範圍、裂縫二側 1 公尺範圍、白華或鏽水流出部分之 1 公尺周遭範圍。

容易發生浮起之區域(外觀上並無異常，但建築構造上或外飾材施作上，磁磚或水泥容易發生浮起之區域)，可選擇之位置為：開口部位周邊 1 公尺內，與其他不同材料連接之 1 公尺範圍，女兒牆上端、雨遮及窗台部位之 1 公尺範圍，混凝土分區澆置處或施工縫等周邊 1 公尺範圍。

打診使用道具以打診專用之測試鎚進行打音診斷，若水泥砂漿厚度過大，則使用輕量型測試鎚則無法由打音反應判定是否異常，因此，調查或診斷實前必須進行試作，以決定合適之測試鎚。此外，打診法之執行，主要由打音反應進行異常與否判定，因而執行人員必須具備豐富之相關經驗。

評定基準

本研究將壁體、女兒牆、雨遮、陽臺分別進行調查，分成裂縫、浮起/鼓脹、剝落、表面狀態四種劣化形式。評定基準與 RC 結構牆、版構件之劣化之評定基準相似，同樣參考日本建築研究所(2002)所提出之定量評定基準，並加以修改，將調查資料單位化，共分為五個區間，包含健全、輕度、中度、重度、嚴重毀損，其中健全定義為無明顯劣化症狀，而嚴重毀損為混凝土表面剝落嚴重，造成鋼筋完全露出，且鋼筋已鏽蝕，其他三個劣化度如表 3- 14 所示。本研究參考文獻日本建築學會(1997)及日本建築研究所(2002)所建議之裂縫判定圖例，如圖 3- 20～3- 22 所示，利用圖例及文字輔助調查人員進行劣化度評定工作。

3- 14 建築物外牆劣化度評定基準

評估項目			評估單位	劣化度		
				輕度	中度	重度
裂縫	沿鋼筋		轉換為 1 公尺長度時 每 100 平方公尺數量	未滿 2 條	2 ～ 5 條	5 條以上
	開口牆		每十個開口個數	未滿 3 條	3 ～ 5 條	5 條以上
	網狀裂縫 其他		發生率 每 100 平方公尺	未滿 5 % 未滿 5 條	5 ～ 10 % 5 ～ 9 條	10 % 以上 10 條以上
浮起/ 鼓脹	部分打診		發生率	未滿 2 %	2 ～ 5 %	5 % 以上
	全面打診		發生率	未滿 1 %	1 ～ 3 %	3 % 以上
剝落	表面被覆材		發生率	未滿 2 %	2 ～ 5 %	5 % 以上
	混凝土	鋼筋露出	發生率	未滿 1 %	1 ～ 3 %	3 % 以上
		鋼筋未露出	發生率	未滿 5 %	5 ～ 10 %	10 % 以上
表面 狀態	鏽蝕污損/ 白華/ 起泡/ 表面弱化/粉化/其他污損		發生率	未滿 10 %	10 ～ 20 %	20 % 以上

(資料來源：本研究整理)

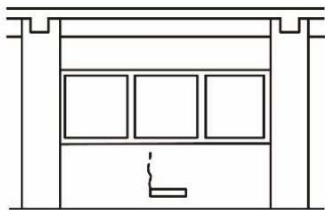
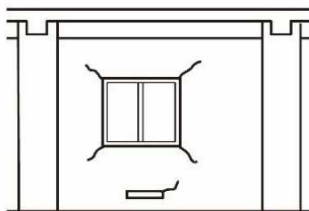
			
裂縫形式編號	Ww3	裂縫形式編號	Ww4
腰牆和垂牆容易發生垂直向的縫。		開口牆之開口四周角落容易出現斜向裂縫。	

圖 3- 20 乾燥收縮裂縫

(資料來源：日本建築研究所，2002)

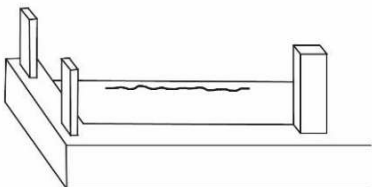
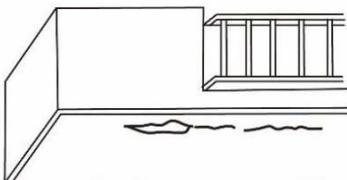
			
裂縫形式編號	WB1	裂縫形式編號	WB2
陽台與牆體連結處因彎矩造成之裂縫： 如果在施工時，陽台之設置鋼筋向下偏移，則無法抵抗彎矩，此時陽台與牆體連結處將產生撓曲裂縫。		由於鋼筋腐蝕導致的裂縫： 陽台或雨遮下方接近端部位置，容易因混凝土保護層厚度不足，而導致鋼筋腐蝕而發生裂縫，通常伴隨著浮起現象。	

圖 3- 21 陽臺及雨遮劣化形成之裂縫

(資料來源：日本建築研究所，2002)

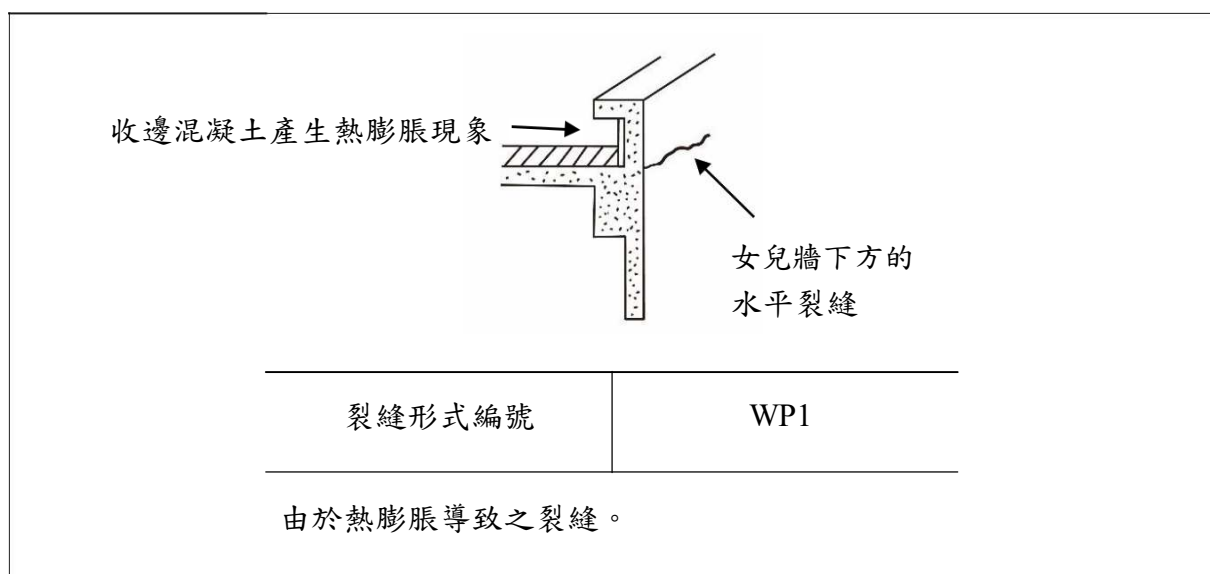


圖 3- 22 女兒牆劣化形成之裂縫

(資料來源：日本建築研究所，2002)

劣化發生頻率紀錄、評定表

透過上述的判定基準，建議將所得資料填入日本建築研究所(2002)所訂定的劣化發生頻率統計表，並加以整理，如表 3- 15 所示。調查結果依壁體、女兒牆、雨遮、陽臺，並記錄下各面向之結果，建議依方位分別紀錄，填寫於不同之劣化發生頻率統計表，記錄表中須詳細記錄調查範圍，及發生數或面積，並記錄於表中，並計算成發生頻率，接著利用評定基準判斷其劣化度，其最嚴重者則可判定該劣化程度為此建築外牆劣化之劣化度。

表 3- 15 劣化發生頻率紀錄、評定表

劣化症狀			調查範圍		發生數或面積	發生頻率	劣化度
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋		m ²	條	條/100m ²	
		開口牆	開口	處	條	條/10 處	
		網狀裂縫		m ²	m ²	%	
		其他		m ²	條	條/100m ²	
	浮起/鼓脹	部分打診		m ²	m ²	%	
		全面打診		m ²	m ²	%	
	剝落	表面被覆材		m ²	m ²	%	
		混凝土	鋼筋露出	m ²	m ²	%	
			鋼筋未露出	m ²	m ²	%	
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起 泡/表面弱化/粉化/ 其他污損		m ²	m ²	%	
	其他						

(資料來源：本研究整理)

建築物外牆劣化評定表

將劣化發生頻率紀錄、評定表之結果，建議統整於日本建築研究所(2002)所訂定的建築物外牆評定表，並加以整理，若有無法調查的部分，請於備註欄詳述原因，如表 3- 16 所示。調查結果依各不同面向分別記錄於建築物外牆評估表中，並利用表格下劣化度所代表之記號填寫。

表 3- 16 建築物外牆評定表

			壁體		女兒牆		雨遮		陽臺		室外樓梯
			一般	開口 周圍	頂部	其他	前端	下面	前端	下面	
一般事項	調查面積										
	外部施工材										
	補修經歷										
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋									
										開口牆	
		網狀裂縫									
		其他									
	浮起/鼓脹	部分打診									
		全面打診									
	剝落	表面被覆材									
		混凝土	鋼筋露出								
			鋼筋未露出								
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/表面弱化/粉化/其他污損									
	其他										
	備註	劣化度記號：嚴重毀損(記號●) 重度(記號◎) 中度(記號○) 輕度(記號△) 健全(記號—)									

(資料來源：本研究整理)

伍、環境影響因子調查

氯離子引致劣化潛勢分區

由於台灣目前並無規範或手冊建議混凝土之氯離子擴散係數，因此本研究採用內政部建築研究所(2013)所蒐集之國家地震中心-校舍補強辦公室(共包含民國年至 101 年各縣市校舍補強成果之部分材料試驗單)，針對台灣各地區進行鋼筋腐蝕氯離子臨界含量分析及歸納，並採用文獻針對常用混凝土之氯離子擴散模擬結果以決定使用年限 40 年條件下，建築物應具有之混凝土保護層厚度，且根據地區及距海最近距離進行分類。

氯離子為針對建築物所在位置之距海最近距離與混凝土保護層厚度進行評估，如表 3- 17、表 3- 18，內政部建築研究所(2013)參考邱建國(2012)及中華民國結構工程技師公會全國聯合會(2008)將台灣沿岸地區分為蘇澳、台中、高雄以及花蓮等四個區域，且僅針對嚴重鹽害區、中度鹽害區以及輕度鹽害區之鋼筋混凝土建築物，設定以 40 年為其使用年限，歸納出台灣沿岸地區之混凝土保護層設計建議值，如表 3- 17 所示。嚴重鹽害區及中度鹽害區因於離海岸 1 km 以內，受海風吹襲而造成鹽害影響嚴重，可判定為高潛勢，而輕度鹽害區因離海岸距離 1 ~ 3 km，其鹽害影響較輕微，但若以保護層厚度 4cm 為一參考值，台中(中部)與高雄(南部)則仍須列為高潛勢區域，判定標準如表 3- 18 所示。

3- 17 建築物於 40 年時混凝土保護層厚度設計建議值(cm)

區域	嚴重鹽害區	中度鹽害區	輕度鹽害區	規範建議值*
離海岸距離	0 ~ 0.3 km	0.3 ~ 1.0 km	1.0 ~ 3.0 km	
蘇澳	> 10	8	4	7.5
台中	> 10	> 10	8	7.5
高雄	> 10	10	6	7.5
花蓮	> 10	10	4	7.5
劣化潛勢	高潛勢		見下表	-

(資料來源：邱建國，2012)

表 3- 18 氯離子環境影響因子評定表

離海岸距離 區域	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	高環境劣化潛勢
北部	☐ 3.0 km 以上	☐ 1.0 ~ 3.0 km	☐ 0 ~ 1.0 km
東部	☐ 3.0 km 以上	☐ 1.0 ~ 3.0 km	☐ 0 ~ 1.0 km
中部	☐ 5.0 km 以上	☐ 3.0 ~ 5.0 km	☐ 0 ~ 3.0 km
南部	☐ 5.0 km 以上	☐ 3.0 ~ 5.0 km	☐ 0 ~ 3.0 km

(資料來源：邱建國，2012)

中性化引致劣化潛勢分區

由於台灣目前並無各縣市之混凝土中性化速度係數，因此本研究採用內政部建築研究所(2013)所採用之鋼筋混凝土典型校舍之混凝土中性化深度試驗結果進行中性化速度係數歸納，相關試驗資料主要來自國家地震中心一校舍補強專案辦公室(共包含民國 98 年至 101 年度各縣市校舍補強成果之部分材料試驗單)。

中性化考慮建築物外牆表面無被覆材種類及其使用年限，以各地區之中性化速度係數、建築物已使用年限決定中性化引致之劣化潛勢高低，分別以北部及中、南部之 RC 建築物列表，以供檢測者使用如表 3- 19、表 3- 20 所示。此外，表中所列之與被覆材相關之建議數字，均為假設其為不可慮劣化影響下之分析結果；因此，進行劣化度判定時，須與外牆劣化狀況一同決定。

表 3- 19 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表

	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	重環境劣化潛勢
無任何被覆之 使用年限	☐ 屋齡 10 年以下	☐ 屋齡 10 ~ 45 年	☐ 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之 使用年限	☐ 屋齡 45 年以下	☐ 屋齡 45 ~ 100 年	☐ 屋齡 100 年以上
樹脂材料、瓷 磚、水泥板材被 覆之使用年限	☐ 屋齡 100 年以下		☐ 屋齡 100 年以上

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

表 3-20 中、南部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表

	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	重環境劣化潛勢
無任何被覆之 使用年限	☐ 屋齡 25 年以下	☐ 屋齡 25 ~ 100 年	☐ 屋齡 100 年以上
水泥砂漿、樹脂 材料、瓷磚、 水泥板材被覆之 使用年限	☐ 屋齡 100 年以下		☐ 屋齡 100 年以上

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

陸、其他使用性相關項目評定表建立

除了建築物構件及外牆劣化狀況外，其他使用性相關項目亦為重要指標，為避免一些使用性問題無法於前文提及之調查項目中反映，因此於其他使用性相關項目部分，將使用者平常於日常生活中可能遭遇之問題列為評定項目，其中包含牆面滲漏水現象、使用者異常體感(振動、變形)、基礎下陷或建築物傾斜現象、建築物接續部位或伸縮縫有老化或滲漏水情形等，如表 3- 21 所示，另外相較於內政部建築研究所(2013)增加了混凝土強度的部分，依據 CNS 10732，利用反彈錘法進行判斷。

反彈錘法施作部位主要以樓梯間、設備室或停車場等處所，且無被覆材之區域為優先。測定面盡可能為與模版接近之一側，且表面平整及質地均勻，一般而言，厚度在 10 cm 以下之樓版或牆、單邊小於 15 cm 之柱或支承間之細長構材等均要避免。若以厚度較小之樓版或牆為測定對象時，量測點應盡可能接近固定端或支承端，而梁則其測面為主進行量測。初步診斷時，因混凝土強度並非主要判定項目，建議以三處為原則進行量測，若經業主同意則適度增加量測點位，以減少判定誤差及了解全棟建築物之混凝土品質狀況。

表 3- 21 其他使用性相關項目評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
牆面漏水	☐ 無	☐ 點滲水	☐ 面滲水	☐ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
異常體感 (樓板震動、跨距大變形)	☐ 無	☐ 輕微感覺	☐ 使用者感覺不適	☐ 有安全疑慮
建築物傾斜	☐ 無	☐ 輕微感覺	☐ 使用者感覺不適	☐ 有安全疑慮
天花板裝修物 變形(輕鋼架)	☐ 無	☐ 輕微變形	☐ 變形曲折	☐ 使用上造成困擾
伸縮縫	☐ 無	☐ 點滲水	☐ 面滲水	☐ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
混凝土強度	☐ 全部大於 f_c'	☐ 最小值小於 f_c' 但平均值大於 f_c'	☐ 平均值小於 f_c'	☐ 平均值小於 $0.85f_c'$
屋頂防水層	調查人員描述			
其他補充	調查人員描述			

(資料來源：本研究整理)

柒、初步診斷綜合評定表

本研究建立之耐久性能初步診斷共包含「構件劣化」、「外牆劣化」、「環境影響因子」及「其他使用性相關項目」等四項因子，配合表格使用及並保守判定基準，已簡化初步診斷流程，可讓調查人員者能快速得到初步判定結果，以決定是否進入詳細診斷。診斷方法如圖 3- 23 所示。

依「構件劣化」→「外牆劣化」→「環境影響因子」→「其他使用性相關項目」等階段式方式進行評定，本研究將各階段評定結果以顏色區分，以利調查人員判定之用。其中若有一項目進入黃色則判定該建築物之耐久性能疑有疑慮，紅色則為確有疑慮，均建議進入耐久性能詳細診斷以了解其可能劣化主因。此外，有關其他使用性相關評定部分，因大多與混凝土或鋼筋之劣化無關，建議依評定之結果而由專業技師配合使用者或所有權人決定適合之修復工法與維護策略。

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	高環境劣化潛勢
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 3- 23 初步診斷綜合評定

(資料來源：本研究整理)

第四節 耐久性能詳細診斷法

詳細診斷是根據初步診斷之結果來判定是否需要實施。本節參考內政部建築研究所(2013)內容，一般而言，經由概要調查及初步診斷結果即可大致了解建築物之劣化狀況，但若資訊不夠充分而無法判定或判定為耐久性不佳等則需進行詳細診斷。

初步診斷以目視調查為主，因而其最大特點為快速且簡單上手，但僅能以外觀來研判各構件之劣化程度，而無法了解表面劣化嚴重構件之內部之劣化情形及引致之關鍵因子。因此，須藉由儀器進行詳細材料試驗診斷，以判定嚴重程度是否如初步診斷調查之結果，並利用診斷結果及權重分析，而得一較為客觀之耐久性能評定值，以進一步決定建築物是否進行補修或補強建議。

壹、詳細診斷方法說明

依內政部建築研究所(2013)建議，將詳細診斷因子分為鋼筋腐蝕現況及混凝土現況兩部分，結合初步診斷結果中之構件劣化、外牆劣化、環境影響因子，以使詳細診斷之結果能更確切反映建築物真實之劣化程度。

根據文獻鋼筋腐蝕現況須檢測項目為中性化深度檢測、氯離子檢測及腐蝕電位、構件劣化，混凝土現況須檢測項目為混凝土電阻率檢測、抗壓強度檢測、混凝土保護層厚度檢測、外牆劣化，本研究建議之初步診斷中即包含建築物各構件及外牆之劣化狀況目視調查，因此將初步診斷之結果直接融入詳細診斷標準評定值，再將整個詳細診斷之權重值重新加以分配，如圖 3-24 所示。

詳細診斷與初步診斷最大不同在於診斷結果不再只是劣化程度，而是將劣化程度賦予評定標準值，分別為 1、2、3、4、5，除目視調查結果外，採用相關材料試驗以決定一具量化之評定標準值，而使詳細診斷結果更具客觀、公平及實用價值。綜合以上，詳細診斷共包含鋼筋腐蝕現況檢測、混凝土現況檢測環境影響因子等三項。

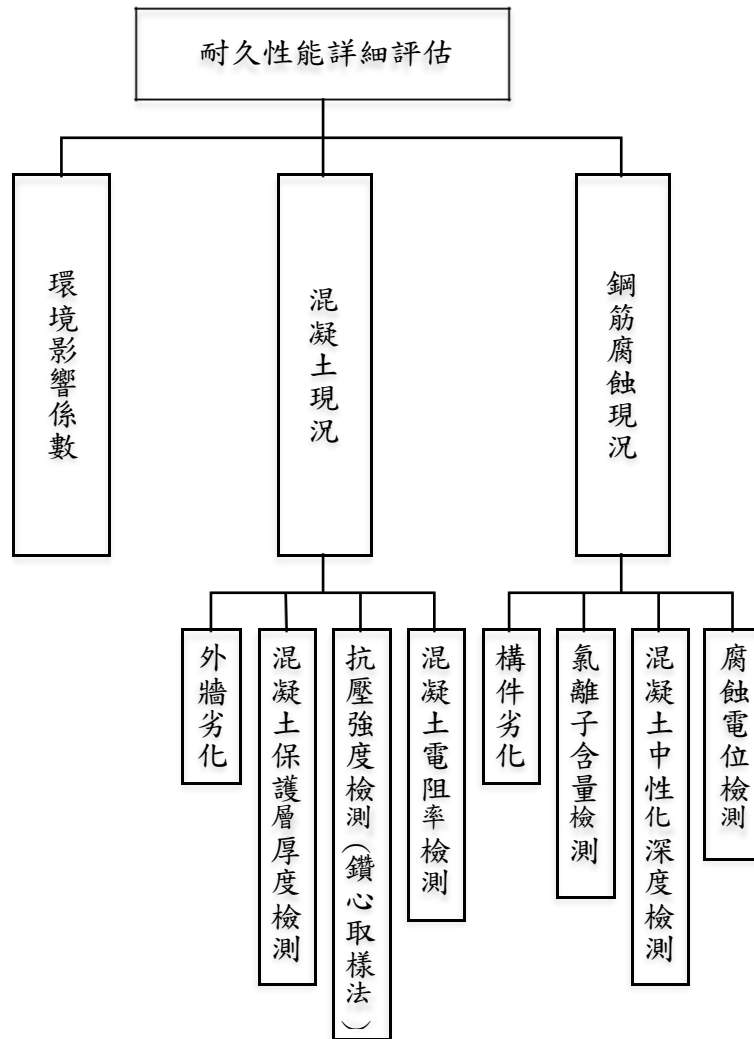


圖 3-24 耐久性能詳細診斷方法

(資料來源：本研究整理)

混凝土現況

混凝土電阻率檢測與評定

檢測目的

混凝土電阻率影響其導電性。電阻率越大，鋼筋腐蝕進行速度較慢，劣化因子之擴散能力也較弱。因此，對於混凝土內部鋼筋狀況進行評定時，混凝土電阻率為一項重要項目。

檢測方法

混凝土電阻率測量依據 AASHTO T358-15 混凝土電阻率測量，可採用四極式電阻法測定，即在混凝土表面設置等間距接觸四支電極，兩外側為電流電極，兩內側為電壓電極，通過檢測兩電壓電極間之混凝土阻抗得知混凝土電阻率 ρ ，如式(3-1)：

$$\rho = \frac{2\pi dV}{I} \quad (3-1)$$

式中， V ：電壓(V)、 I ：電流電極所通過電流(A)、 d ：電流間距(cm)、 $R = \frac{V}{I}$ ：電阻(Ω)。

建議取樣位置及數量

測區與測位可參照腐蝕電位的檢測進行。

評定標準

本項次之評定標準如表 3- 22 所示：

3- 22 混凝土電阻率評定標準

評定標準值	混凝土電阻率($\Omega \cdot \text{cm}$)	鋼筋可能腐蝕速度
1	>20000	很慢
2	15000 ~ 20000	慢
3	10000 ~ 15000	一般
4	5000 ~ 10000	快
5	<5000	很快

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

抗壓強度檢測與評定-鑽心取樣法

檢測目的

此試驗屬於破壞性檢測，主要目的在決定建築物部份區域之混凝土抗壓強度，為得其強度須將此區域所採樣試體進行加壓，以獲取其破壞時之強度。本研究參考文獻建議採用混凝土鑽心取樣法，並針對版及梁進行試驗。

檢測方法

依據 CNS1230 及 CNS1232，使用儀器鑽取欲檢測部位的混凝土試體，再送回試驗室內經抗壓試驗求混凝土抗壓強度。

而鑽心試體進行抗壓試驗時應依以下之步驟進行：

○¹ 兩端平整處理(End Preparation)

抗壓試驗用的圓柱體，其兩端需平滑，整個試體之直徑應相同，試體兩端平面上的突出物不得高出 5mm，其直徑與試體之平均直徑相差不得大於 3 mm，超出上述三種情形時，需鋸切或鑿琢使合於上述規定。

○² 潮濕狀況

試體未進行抗壓試驗 40~48 小時前，需全部浸入保持室溫之飽和石灰水中，試體自水中取出後需即行試驗，自水中取出至試驗前之一段時間內，試驗需在試體潮濕狀況下進行。

○³ 蓋平

抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS1230 混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求。

○⁴ 度量

試驗前應先量蓋平後之試體長度，準確至 1mm。其平均直徑取試體長之中央，量二個成直角之直徑再平均得之，亦需準確至 1mm。

○⁵ 試驗

可依 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估之建議，混凝土鑽心試體數量依每一層樓地板面積(A)為基準，如表 3-23 所示：

表 3- 23 取樣數量與取樣位置建議

樓地板面積	鑽心取樣數量
$A \leq 600\text{m}^2$ 者	每層樓至少 3 個鑽心試體
$A > 600\text{m}^2$ 者	每層樓至少 $N=3+(A-600)/400$ 個(無條件進位)

(國家地震工程研究中心，2019)

同一樓層若有分期興建情事，依該樓層各分期興建區域面積(A)決定取樣數量，如表 3- 24 所示：

表 3- 24 分期興建取樣數量與取樣位置建議

樓地板面積	鑽心取樣數量
$A \leq 300\text{m}^2$ 者	該分期興建區域至少 2 個鑽心試體
$300\text{m}^2 < A \leq 600\text{m}^2$ 者	該分期興建區域至少 3 個鑽心試體
$A > 600\text{m}^2$ 者	該分期興建區域至少 $N=3+(A-600)/400$ 個(無條件進位)

(國家地震工程研究中心，2019)

須先以儀器掃描避開鋼筋位置，並取對結構體強度不造成傷害之處如牆、版，若取於小梁，則取小梁跨度中央附近之中性軸以下部位為宜。

評定標準

本項次之評定標準可參考表 3- 25 所示：

3- 25 混凝土抗壓強度評定標準

評定標準值	K_{bt}	K_{bm}	強度狀況
1	≥ 0.95	≥ 1.00	良好
2	$0.95 > K_{bt} \geq 0.90$	≥ 0.95	較好
3	$0.90 > K_{bt} \geq 0.80$	≥ 0.90	較差
4	$0.80 > K_{bt} \geq 0.70$	≥ 0.85	差
5	< 0.70	< 0.85	很差
備註	$(1) K_{bt} = \frac{R_{it}}{R}$ 式中：K_{bt} = 單一平均強度係數、R_{it} = 檢測試體抗壓強度的實測值、R = 混凝土原設計強度 $(2) K_{bm} = \frac{R_{im}}{R}$ 式中：K_{bm} = 整體平均強度係數、R_{im} = 檢測試體之平均抗壓強度值、R = 混凝土原設計強度		

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

混凝土保護層厚度檢測與評定

檢測目的

利用鋼筋探測器掃描鋼筋位置，現場修正確定保護層厚度，估測鋼筋直徑，量測值精度到毫米。

檢測方法

進行保護層厚度測讀前，須於測區內確認並繪出鋼筋位置及走向。

將傳感器至於鋼筋正上方，讀取儀器上最小值讀數(精確度至 mm)。

建議每一測點值宜讀取 2~3 次穩定讀數，取其平均值，並避免在鋼筋交叉位置進行檢測。

按式(3-2~3-3)計算混凝土保護層厚度：

$$\bar{D} = \frac{\sum_{n} \text{測點混凝土厚度實測值}}{\text{次數}} \quad (3-2)$$

$$\bar{D}_{ne} = \bar{D}_n - K S_D \quad (3-3)$$

式中，n：實測次數、 S_D ：測點部位保護層厚度之標準差(精確至 0.1mm)按式(3-4)計算、 K 為合格評定係數，按表 3-26 採用。

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} \quad (3-4)$$

表 3-26 K 值與 n 值參考表

n	10 ~ 15	16 ~ 24	≥ 25
K	1.695	1.645	1.595

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估之建議混凝土保護層厚度檢測，每一層樓梁、柱至少各取 3 處進行檢測。

評定標準

本項次之評定標準可參考表 3- 27 所示：

3- 27 鋼筋保護層厚度之評定標準

評定標準值	D_{ne}/D_{nd}	對混凝土耐久性之影響
1	>0.95	影響不顯著
2	$0.85 \sim 0.95$	有輕度影響
3	$0.70 \sim 0.85$	有影響
4	$0.55 \sim 0.70$	有較大影響
5	<0.55	鋼筋易失去鹼性保護，發生鏽蝕
備註	D_{ne} 為混凝土厚度實測值； D_{nd} 為混凝土厚度設計值	

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

外牆劣化評定

本文第三節之耐久性能初步診斷法部分，將外牆劣化分為健全、輕度、中度、重度、嚴重損壞五個等級，並分別對應到詳細診斷之五個評定標準值 1、2、3、4、5，如圖 3- 25 所示，依結果評定。

外牆劣化等級	外牆劣化評定值
健全	1
輕度	2
中度	3
重度	4
嚴重損壞	5

↓

初步診斷-外牆劣化等級

圖 3- 25 外牆劣化評定對照表

(資料來源：本研究整理)

鋼筋腐蝕現況

腐蝕電位檢測與評定

檢測目的

本法主要用於評定混凝土中鋼筋之腐蝕發生與否。

檢測方法

此方法主要依據 ASTM C876 腐蝕電位量測法，量測鋼筋腐蝕而引致之電位變化來測定鋼筋是否發生腐蝕之一種方法。藉由通過測定鋼筋/混凝土半電池電極與在混凝土表面之銅和硫酸銅參考電極間之電位差大小，評定混凝土中鋼筋之腐蝕活化程度。

建議取樣位置及數量

檢測範圍建議於初步診斷時劣化較為嚴重之部位進行，採每一層樓取一處進行檢測，並利用鋼筋掃描結果佈設點位。

評定標準

在對已處理過的數據(溫度修正)進行判讀前，必須先將數據加以負號，並繪製等電位圖，再進行判讀。按表 3- 28 以判斷混凝土中的鋼筋發生腐蝕機率及評定標準值。

表 3- 28 鋼筋鏽蝕電位評定標準

評定標準值	電位區間(mV)	鋼筋狀態
1	0 ~ -200	無腐蝕可能或腐蝕可能性不確定
2	-200 ~ -300	具腐蝕可能性，但腐蝕狀態不確定
3	-300 ~ -400	腐蝕可能性較大，發生腐蝕機率>90%
4	-400 ~ -500	腐蝕可能性大，且為嚴重腐蝕
5	< -500	構件存在腐蝕開裂區域
備註	(1) 表中電位值為採用銅-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，量測時構件應為自然狀態。	

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

混凝土中性化深度檢測與評定

檢測目的

混凝土材料暴露於空氣中，若環境中含有弱酸性的二氧化碳並經由混凝土的孔隙溶解在水中，可能會使原本呈鹼性(pH 值為 12~13)之混凝土材料，因碳化反應使 pH 值降至 8.5~10(趨向中性)，此即為混凝土中性化。

中性化是由混凝土表面逐漸往內部發展，讓混凝土失去原本保護鋼筋發生腐蝕之能力，因而鋼筋在低鹼狀態下發生腐蝕，並且使混凝土產生裂縫。

檢測方法

中性化檢測須依據 RILEM CPC-18 規定，利用酚酞指示劑噴灑於混凝土斷面，利用顏色變化判斷該混凝土碳化深度。

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估之建議取樣位置及數量同混凝土鑽心。

評定標準

中性化深度結果與該構件鋼筋保護層厚度之比值，且依各取樣試體比值及平均比值決定本項次之評定標準值，如表 3- 29 所示。

表 3- 29 混凝土中性化深度評定標準

評定標準值	1	2	3	4	5
$\frac{\text{中性化深度}}{\text{保護層厚度}}$	$<1^{*1}$	<1	$=1$	>1	$>1^{*2}$
備註	1.評定標準值 1： 構件各個實測比值全部均小於 1。 2.評定標準值 5： 構件各個實測比值全部均大於 1。 3.評定標準值為 2.3.4： 全部構件比值的平均值 <1 、 $=1$ 、 >1 。				

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

氯離子含量檢測與評定

檢測目的

為了量測鋼筋混凝土建築物中是否含有氯離子，氯離子之存在會加速腐蝕鋼筋，並造成混凝土保護層剝落，嚴重者會損害房屋結構體。

檢測方法

本試驗依據 CNS 14703 硬固水泥砂漿及混凝土中水溶性氯離子含量試驗法量測氯離子濃度，其試驗步驟如下：

量取質量約 10g 之試樣，測定其質量準確至最接近之 0.01g，將試樣置入一只 250ml 之燒杯中，並加入 50±1mL 符合 CNS 3699 (化學分析用水)A3 等級之分析用水。

將試樣以錶玻璃覆蓋，加熱煮沸 5 分鐘後靜置 24 小時。

以重力或抽氣過濾方式將試樣以符合 CNS 5038(化學分析用濾紙)G 級濾紙過濾之。

將濾液移入 250mL 燒杯，並加入 3±0.1mL 比例 1：1 之硝酸及 3±0.1mL 濃度 30%之過氧化氫，將燒杯以錶玻璃覆蓋，靜置 1 至 2 分鐘。

將覆蓋錶玻璃之燒杯迅速加熱至沸騰，沸騰時立即將燒杯移開，避免持續沸騰超過數秒鐘。

繼續依 CNS 1078 中氧化物之試驗步驟，將燒杯自電熱板移出後之步驟操作。

本研究使用電位差自動滴定儀量測氯離子濃度，利用滴定過程中電位之改變，繪出滴定反應圖，自動找出滴定終點，並計算出溶液之濃度。

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估之建議氯離子含量檢測，每一層樓至少一個試體，取樣位置同混凝土鑽心，若該樓層有分期興建，每一分期興建區域之氯離子試體至少一個試體；若試驗結果大於 0.15kg/m^3 ，該區域須再補做 2 個試體確認(至多不超過該分期鑽心數量)。

評定標準

本項次之評定標準可參考表 3- 30 所示：

表 3- 30 氯離子含量評定標準

評定標準值	1	2	3	4	5
氯離子含量 (kg/m^3)	<0.15	0.15 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 1.2	>1.2
鋼筋鏽蝕之可能性	很小	不確定	有可能誘發 鋼筋鏽蝕	會誘發鋼筋 鏽蝕	鋼筋鏽蝕活 化

(資料來源：本研究整理)

構件劣化評定

本文第三節之耐久性能初步診斷法部分，將構件劣化分為健全、輕度、中度、重度、嚴重損壞五個等級，並分別對應到詳細診斷之五個評定標準值 1、2、3、4、5，如圖 3- 26 所示，可依各樓層結果分別評定。

構件劣化等級	構件劣化評定值
健全	1
輕度	2
中度	3
重度	4
嚴重損壞	5

↓

初步診斷-各樓層構件劣化等級

圖 3- 26 構件劣化評定對照表

(資料來源：本研究整理)

環境影響因子

內政部建築研究所(2013)建議之環境影響因子評定內容，採用耐久性能初步診斷中環境影響潛勢結果以決定本項次之影響因子，如圖 3- 27 所示。

環境影響潛勢	環境影響因子
低劣化潛勢	1.0
中劣化潛勢	1.1
高劣化潛勢	1.2

↓

初步診斷-環境影響因子潛勢

圖 3- 27 環境影響因子對照表

(資料來源：內政部建築研究所，2012)

貳、詳細診斷權重因子說明

本研究參考內政部建築研究所(2012)之建築物耐久性評估指標與殘餘壽命預測方法之研究問卷，並經過修改重新調查耐久性指標權重值，利用層級分析法和專家問卷調查統計出耐久性指標權重值。層級分析法為將要相互比較之要素，依據其重要程度做評估尺度的基本劃分，包括相等重要、稍微重要、重要、相當重要及絕對重要五項，並賦予 1、3、5、7、9 的衡量值，以利進行後續數值運算，首先須先建立成對比較矩陣，當矩陣建立完成後，接著計算特徵值與特徵向量，以求得各權重值。本案利用專家問卷調查，如表 3-31 至表 3-33 所示，將之以 Google 表單方式呈現，以利專家學者填寫，依據服務單位將技師、教師、工程顧問公司及建築師分別調查，共 57 人次，調查問卷以人次表示如附錄四，並使用列向量幾何平均值標準化法計算，得其權重值。

相較於內政部建築研究所(2013)修改後之耐久性指標權重值，本案將混凝土表面損傷改由初步診斷之構件及外牆劣化調查結果取代，環境影響因子部份，依初步診斷環境影響結果決定係數，共分為 1.0、1.1 及 1.2 等三個程度，相較於內政部建築研究所(2013)所訂定的權重值腐蝕現況由 0.73 更改為 0.52，而混凝土現況由 0.27 改為 0.48，混凝土表面損傷值改由構件及外牆劣化取代其權重值分別 0.38 及 0.21，其餘耐久性指標權重值也有所更改，如表 3-34 及表 3-35 所示，並針對腐蝕現況及混凝土現況其評估項目進行重要度排序，排序 1 代表最為重要，如表 3-36 及表 3-37 所示。

3-31 針對材料因素評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕現況										混凝土現況

(資料來源：本研究整理)

表 3-32 針對腐蝕現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕電位										中性化深度
腐蝕電位										氯離子
腐蝕電位										構件劣化
中性化深度										氯離子
中性化深度										構件劣化
氯離子										構件劣化

(資料來源：本研究整理)

表 3-33 針對混凝土現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
電阻係數										抗壓強度
電阻係數										外牆劣化
電阻係數										鋼筋保護層厚度
抗壓強度										外牆劣化
抗壓強度										鋼筋保護層厚度
外牆劣化										鋼筋保護層厚度

(資料來源：本研究整理)

表 3- 34 各服務單位之耐久性指標權重值

診斷指標	項目	技師	教師	工程顧問公司	建築師
腐蝕現況	-	0.50	0.56	0.50	0.59
腐蝕電位	1	0.16	0.21	0.31	0.13
中性化深度	2	0.18	0.08	0.18	0.17
氯離子檢測	3	0.29	0.13	0.22	0.28
構件劣化	4	0.37	0.58	0.29	0.42
混凝土現況	-	0.50	0.44	0.50	0.41
電阻係數	5	0.15	0.18	0.18	0.12
抗壓強度	6	0.36	0.52	0.36	0.35
鋼筋保護層厚度	7	0.29	0.17	0.28	0.18
外牆劣化	8	0.20	0.13	0.18	0.35
環境影響因子	1.1	1.2	1.3		

(資料來源：本研究整理)

表 3- 35 全體之耐久性指標權重值

診斷指標	項目		權重值	
腐蝕現況	-			0.52
腐蝕電位	1		0.20	
中性化深度	2		0.17	
氯離子檢測	3		0.25	
構件劣化	4		0.38	
混凝土現況	-			0.48
電阻係數	5		0.16	
抗壓強度	6		0.37	
鋼筋保護層厚度	7		0.26	
外牆劣化	8		0.21	
環境影響因子	1.1	1.2		1.3

(資料來源：本研究整理)

表 3- 36 各服務單位之耐久性指標權重值重要度排序

重要度排序	技師	教師	工程顧問公司	建築師
腐蝕現況	-	-	-	-
1	構件劣化	構件劣化	腐蝕電位	構件劣化
2	氯離子檢測	腐蝕電位	構件劣化	氯離子檢測
3	中性化深度	氯離子檢測	氯離子檢測	中性化深度
4	腐蝕電位	中性化深度	中性化深度	腐蝕電位
混凝土現況	-	-	-	-
1	抗壓強度	抗壓強度	抗壓強度	外牆劣化
2	鋼筋保護層厚度	電阻係數	鋼筋保護層厚度	抗壓強度
3	外牆劣化	鋼筋保護層厚度	電阻係數	鋼筋保護層厚度
4	電阻係數	外牆劣化	外牆劣化	電阻係數

(資料來源：本研究整理)

表 3- 37 全體之耐久性指標權重值重要度排序

重要度排序	全體
腐蝕現況	-
1	構件劣化
2	氯離子檢測
3	腐蝕電位
4	中性化深度
混凝土現況	-
1	抗壓強度
2	鋼筋保護層厚度
3	外牆劣化
4	電阻係數

(資料來源：本研究整理)

參、詳細診斷綜合評定

初步診斷結果連結詳細診斷

利用初步診斷之結果提供詳細診斷基本依據，分別有兩部分連結至詳細診斷，一為構件調查及外牆調查連結至構件及外牆劣化評定值，另一部分則為環境影響連結至環境因子係數。兩部分將分別對應不同之評定標準值，反映不同之劣化程度。

耐久性能詳細診斷中，藉由各項之評定值與權重分別計算各樓層之耐久性能指標，並利用整體權重比例，最後求得整體建築物之整體耐久性能指標，而可依指標分數之不同對應至不同之建議或等級，如表 3-38。

表 3-38 詳細診斷綜合評定項目

	● 各樓層構件劣化程度 ○₂ 梁構件劣化程度 ○₃ 版構件劣化程度 ○₄ RC 結構牆劣化程度 ● 環境影響因子 ○₁ 氣離子引致劣化潛勢 ○₂ 中性化引致劣化潛勢
詳細診斷 	● 詳細診斷綜和評定 ○₁ 鋼筋腐蝕現況 - 腐蝕電流、氣離子檢測、中性化深度檢測、構件劣化 ○₂ 混凝土現況 - 電阻率檢測、混凝土保護層厚度、抗壓強度檢測、外牆劣化 ○₃ 環境影響因子
體建築物耐久性能評定值→整體耐久性能評定等級	● 單一樓層之耐久性能評定值→單一耐久性能評定等級 ● 綜和評定 ● 整體耐久性能評定等級 - 定期維護、補修建議

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

單一樓層之耐久性能評定

將耐久性能各指標值代入式(3-5)，計算單一樓層耐久性能評定值。

$$D_i = \delta \times \prod_{j=1}^4 \beta_j \prod_{m=1}^{A_{jm}} \alpha_{jm} \quad (3-5)$$

式中， D_i ：第 i 樓層耐久性能評定值、 δ_i ：環境影響放大係數、 β_j ：第 j 類因子中代表之權重(鋼筋腐蝕現況=0.52、混凝土現況=0.48)、 A_{jm} ：第 j 類因子中第 m 個指標獲得之評定值、 α_{jm} ：第 j 類因子中第 m 個指標所佔之權重值。

未考量環境影響因子係數前，單一樓層之最大值為 5，乘上放大因子後，可能發生計算結果超過 5 之情形，因此將單一樓層之耐久性評斷分為五個等級，如表 3-39 所示。

表 3-39 單一樓層之耐久性能評定

D_i 之範圍	$0 \leq D_i < 2$	$2 \leq D_i < 3$	$3 \leq D_i < 4$	$4 \leq D_i < 5$	$5 \leq D_i$
單一耐久性能評定等級	5	4	3	2	1
耐久性能	良好	好	普通	較差	極差

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

整棟建築物之耐久性能評定

將單一樓層耐久性能評定值代入式(3-6)，即可獲得建築物之整體耐久性能評定等級。

$$D_{total} = \sum_{j=1}^q D_j r_j \quad (3-6)$$

式中， D_{total} ：整體建築物耐久性能評定值、 D_j ：第 j 個樓層之單一樓層耐久性能評定值、 r_j ：第 j 個樓層在整體建築物中所佔之權重、 q ：該建築物之樓層數。
 r_j 權重容易較有爭議，因此由專家依建築物所在環境、設計時考量之不同，提出適當之權重，並進行評定。相同的，在整體建築物耐久性能評定上，也可提出整體耐久性能評定分級，如表 3-40。

表 3-40 整體建築物之耐久性能評定

D 之範圍 total	$0 \leq D < 2$ total	$2 \leq D < 3$ total	$3 \leq D < 4$ total	$4 \leq D < 5$ total	$5 \leq D$ total
整體耐久性能評定等級	5	4	3	2	1
整體耐久性能	良好	好	普通	較差	極差
建議處理	正常使用		定期維護	補修工法建議	

(資料來源：內政部建築研究所，2013)

第五節 補修/補強策略建議

當鋼筋混凝土構件劣化到某些程度時，將導致影響建築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。根據建築物之耐久性診斷調查結果，在確定其劣化主因、程度及範圍後，進而決定補修/補強策略，包含補修/補強範圍、補修/補強工法及修復材料之選定，並考量施工性、工期、經濟性、施工安全和施工環境等因素。一般而言，除上述之客觀條件外，建築物管理者或使用人可依需求設立修復目標。目前工程界常採用的補修/補強工法大致可分為四大類，依修復程度可分為臨時修復、延壽修復、永續修復。

結構元件補修工法：針對結構桿件之裂縫損壞加以修復，使其恢復原有強度。

結構元件補強工法：針對結構桿件之剪力、彎矩、軸力及韌性等加以補強(如鋼板補強、碳纖補強及擴大斷面等)以提昇桿件及總體結構之強度，一般而言對結構元件加以補強，多少可提昇其總體結構之強度，惟其補強成本效益較差。故結構元件補強適用於耐震能力不足程度較低者或採用結構系統補強有困難者，一般而言須與結構系統之改善補強配合使用可得最佳之補強效果。

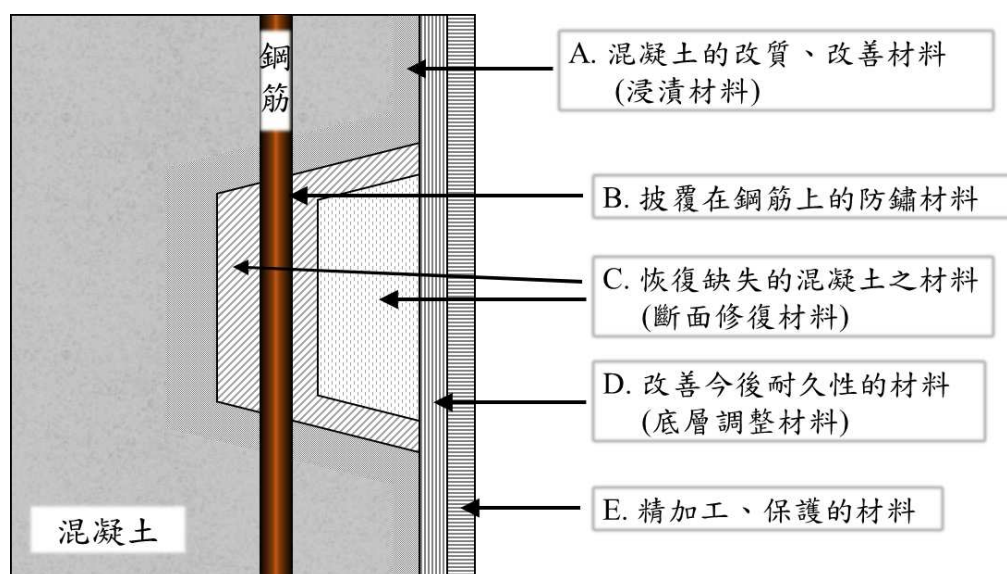
結構系統改善補強工法：抗震補強中增設抵抗地震橫力的構材如(剪力牆、斜撐及翼牆等)以改變結構系統的力量傳遞路徑應屬最具總體補強效益(安全性高、成本低)等，惟建築物使用機能可能會受到影響。

結構系統加設消能隔減震裝置補強工法：建築物若本身抵抗垂直力之能力無虞，但耐震能力不足，則在原結構系統中加設消能隔減震裝置亦可具體提昇建築物耐震能力，惟一般消能隔減震裝置具有專利，且成本較高。

對於建築物之補修/補強之策略建議，除考量耐震能力評估外，如出現以下之狀況，建議進行適當地補修或補強。例如，建築物之主結構有裂縫產生，基於結構安全，建議仍需針對受損結構進行適當地補修、補強；樓版及牆面有滲(漏)水現象，考量使用性及耐久性，建議仍需適當地補修、補強；屋頂版防水隔熱層因長時間曝曬出現龜裂老化及滲水現象，建議全面施作防水隔熱層，以避免裂縫滲水導致鋼筋鏽蝕；建築物出現鋼筋腐蝕膨脹導致保護層剝落之情況，建議鋼筋需先經除鏽處理，方才進行後續補修工程。下面將針對台灣常見之修復工法加以介紹。

壹、鋼筋腐蝕修復工法

鋼筋腐蝕修復工法即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，以隔絕外界的空氣及水分，抑制鋼筋繼續銹蝕，再以補修材料填充形成保護層作用，藉此達到修復之目的。一般來說，對於鋼筋腐蝕部分的修復順序為底層處理、鐵筋防鏽、斷面修復、表面披覆依序進行(圖 3-28)。首先，將混凝土剝落、鋼筋暴露或出現裂縫的位置，移除該部位之混凝土露出鋼筋。剝落之混凝土須徹底敲除，並除去鋼筋表面銹蝕，再利用高壓空氣機將表面處理乾淨。鋼筋除銹後塗上防鏽材料，建議塗刷兩層以上以達到良好效果。在新舊混凝土介面塗布接著劑後，最後用修復材料填補以及表面披覆材以隔絕劣化因子入侵。如果鋼筋腐蝕嚴重，則需焊接新的鋼筋或用鋼筋加固。表 3-41 為鋼筋腐蝕修復工法與回覆目標方法之關係，對於臨時性修復，主要係針對腐蝕部分進行除銹處理，延長使用性修復則增加了鋼筋防銹處理。至於永久性修復，除了上述修復工法外，還需增加表面披覆材料處理以隔絕劣化因子入侵。



3-28 鋼筋腐蝕之修復

(資料來源：日本土木學會，2018)

表 3- 41 鋼筋腐蝕補修工法與回復目標方法之關係

損傷種類 補修種類		回復目標方法			
		臨時性	延長使用性	永久性(1)	永久性(2)
鋼筋腐蝕修復工法	劣化混凝土處理	除去裂縫	鋼筋腐蝕部分	鋼筋腐蝕部分	鋼筋腐蝕部分
	銹蝕鋼筋處理	劣化部份去除	劣化部份去除	劣化部份去除	劣化部份去除
	含浸材處理	-	-	強鹼塗佈型材料	-
	鋼筋防銹處理	-	鋼筋防銹材料	鋼筋防銹材料	鋼筋防銹材料
	斷面修復	斷面修復	斷面修復	斷面修復	斷面修復
	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

(資料來源：日本建築學會，1997)

貳、 中性化抑制工法

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修復，須依劣化程度將其分類(表 3- 42)。一般來說，可通過表面披覆來防止外部二氧化碳入侵，抑制中性化反應。但如果中性化達到鋼筋位置時，混凝土中需浸漬強鹼劑，強鹼劑可回復鋼筋抑制的腐蝕的能力。因中性化造成劣化時，所採取之修復工法以及中性化抑制工法與回復目標方法之關係，如

3- 43 和表 3- 44 所示。對於臨時性修復，主要係對混凝土表面之劣化部份進行清除、處理，延長使用性修復除了混凝土表面劣化處理外，還需配合表面披覆中性化抑制材料。至於永久性修復，除了上述修復工法外，還需視情況增加含浸材處理或斷面修復以抑制中性化和隔絕劣化因子入侵。

表 3- 42 混凝土中性化程度分類

劣化因子程度	中性化進展程度
輕度以下	中性化深度評定值為 2 以下
中度	中性化深度評定值為 3
重度以上	中性化深度評定值為 4 以上

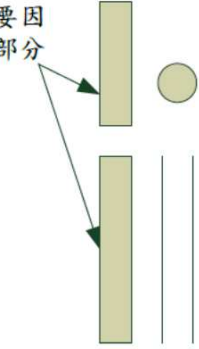
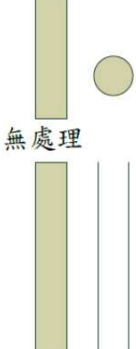
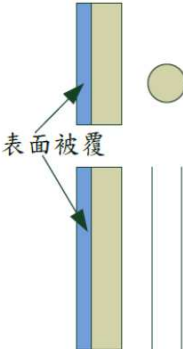
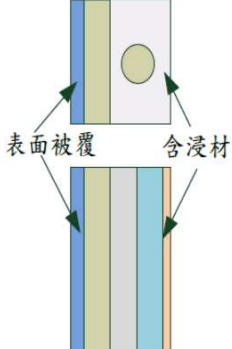
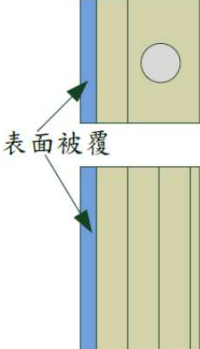
(資料來源：日本建築學會，1997)

表 3- 43 混凝土中性化修復工法之選定

劣化度	劣化原因的強度(中性化深度)		
	小	中	大
輕度以下	不用	中性化抑制工法	中性化抑制工法
中度	檢討其他原因	裂縫補修工法 中性化抑制工法	鋼筋腐蝕修復工法 中性化抑制工法
重度以上	檢討其他原因	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法 中性化抑制工法

(資料來源：日本建築學會，1997)

表 3- 44 中性化抑制工法與回復目標方法之關係

損傷種類 補修種類		回復目標方法			
		臨時性	延長使用性	永久性(1)	永久性(2)
		 無處理	 表面被覆	 表面被覆 含浸材	 表面被覆
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	中性化部分去除
	含浸材處理	-	-	強鹼性材料	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復
	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

(資料來源：日本建築學會，1997)

參、鹽害抑制工法

硬固結構混凝土中最大水溶性氯離子含量是否符合規定之判定基準為依據民國 83 年 7 月 22 日修訂之國家標準 CNS 3090 A2042 新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量所規定，一般鋼筋混凝土須小於 0.6 kg/m^3 (水溶法)、超過 0.3 kg/m^3 至 0.6 kg/m^3 時，鋼筋須做防蝕處理；民國 87 年 6 月 25 日修訂公佈之 CNS 3090 A2042 新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量之規定，鋼筋混凝土須小於 0.3 kg/m^3 (水溶法)。因此，若建築物之硬固結構混凝土中最大水溶性氯離子含量介於 0.3 kg/m^3 至 0.6 kg/m^3 之間，混凝土氯離子含量程度評判為中度，氯離子含量平均值為 0.6 kg/m^3 以上，評判為重度(表 3-45)。鹽害抑制工法主要係通過表面披覆來防止外部氯離子入侵，抑制水分和氧氣供給造成鋼筋腐蝕。當混凝土已含有大量氯化物時，需使用防銹劑來阻止氯離子吸收並抑制鋼筋繼續腐蝕。其劣化程度之分類以及建議之修復工法如表 3-46 和表 3-47 所示。

表 3-45 混凝土氯離子含量程度分類

劣化因子程度	氯離子含量平均值
輕度以下	0.3 kg/m^3 以下
中度	0.3 kg/m^3 以上 0.6 kg/m^3 以下
重度以上	0.6 kg/m^3 以上

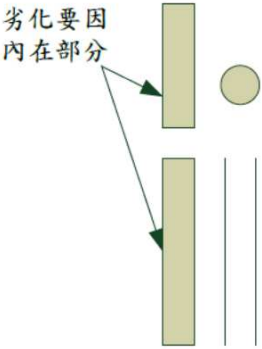
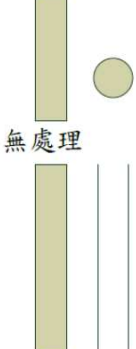
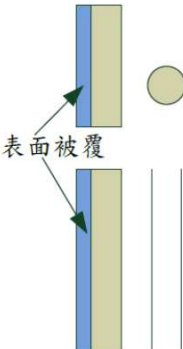
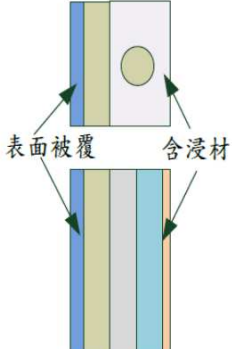
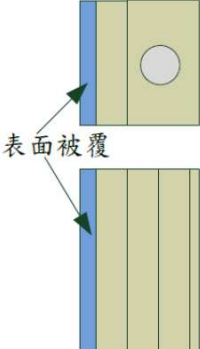
(資料來源：本研究整理)

表 3-46 混凝土氯離子修復工法之選定

劣化度	劣化原因的強度(鋼筋位置的氯離子含量)		
	小	中	大
輕度	不用	鹽害抑制工法	鹽害抑制工法
中度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法 鹽害抑制工法	鋼筋腐蝕修復工法 鹽害抑制工法
重度	檢討其他原因	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法 鹽害抑制工法

(資料來源：日本建築學會，1997)

表 3-47 氯離子補修工法與回復目標方法之關係

損傷種類 補修種類		回復目標方法			
		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	氯離子滲透部分去除
	含浸材處理	-	-	塗佈行防銹材	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復
	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

(資料來源：日本建築學會，1997)

肆、裂縫補修工法

根據構件裂縫開裂程度，日本建築學會(AIJ 1999)針對腐蝕劣化構件之修復方面可分為：裂縫灌注、裂縫補修、斷面修復、構件包覆補強、構件拆除重作等不同等級對策工作，其詳細描述如下：

裂縫灌注工法

適用於鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等裂縫寬度 0.3 mm 以下之構件。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。將混凝土表面清理乾淨，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。

裂縫補修工法

適用於鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等裂縫寬度 0.3 mm 以上之構件。裂縫補修工法係注入樹脂類補修材料填補裂縫，防止水、氧氣和腐蝕物質從裂縫中

進入，造成鋼筋腐蝕。當鋼筋混凝土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，均可以合宜之修復工法和修復材料將其「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。修復工法示意圖詳見圖 3-29，關於裂縫補修法施工步驟為：

施工時需先清理裂縫雜物後，清除表面粉化或分離之部分，再進行裂縫表面強化處理。

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。

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。

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 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。

灌注完成後至少養生 24 小時，再行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，並無提升整體混凝土強度之效用。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。

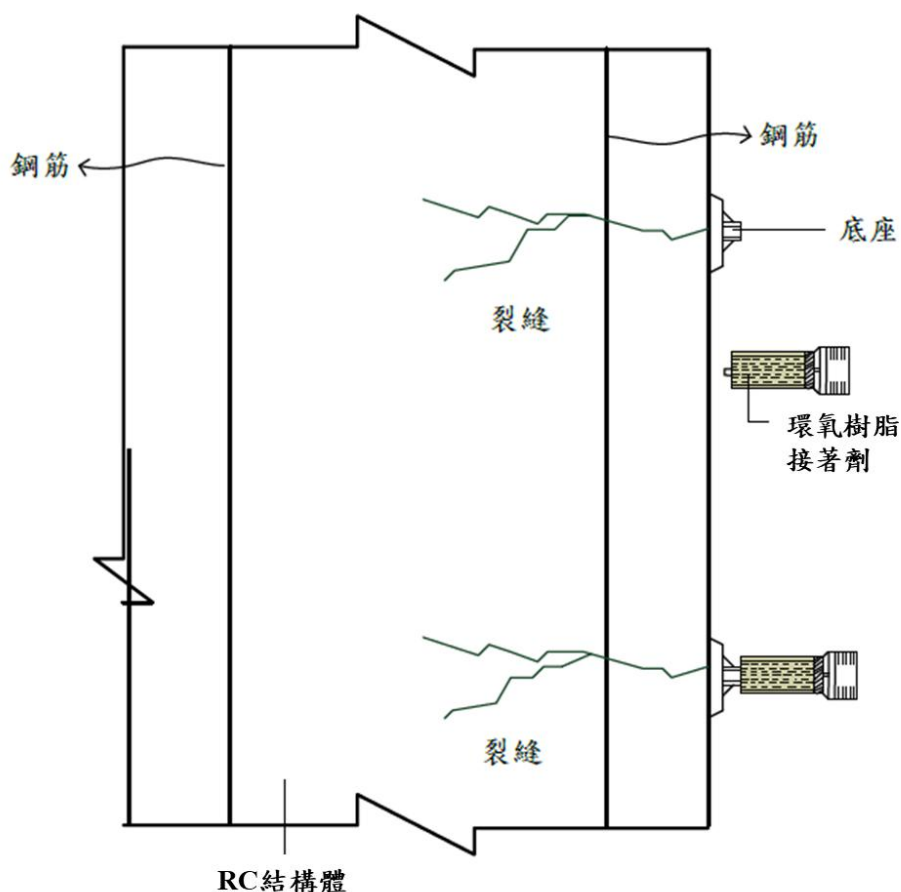


圖 3-29 裂縫補修工法示意圖

(資料來源：鹿島工程技術顧問股份有限公司，2009)

表 3-48 混凝土裂縫補修工法之選定

劣化度	劣化原因的強度(混凝土表面的裂縫幅度)	
	小	大
輕度	不用	裂縫補修工法
中度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法
重度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法

(資料來源：日本建築學會，1997)

局部鬆動之混凝土修復工法(斷面修復法)

適用於鋼筋混凝土構件局部混凝土嚴重開裂或鬆動。一般而言，當混凝土表面出現鬆動或嚴重開裂之現象，需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待，等乾燥後塗抹環氧樹脂黏著劑於新舊混凝土接觸面上，並於黏著劑尚未硬化前以環氧樹脂砂漿填補，最後加以整平及養護。斷面修復法之應用範圍包括(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

等劣化受損區域，以及(3)需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，斷面修復材之強度會等於或高於基礎混凝土之強度，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，通常會使用聚合物水泥砂漿型補修材料。塗抹工法是針對很小或分散之區塊，藉由人力塗抹施工。灌漿施工法是針對修復範圍較大之區塊，灌以斷面修復材或無收縮砂漿。噴塗工法針對大區域之大規模修復工作，有乾式和濕式兩種。利用可壓縮空氣之專用噴塗器具進行施工，此為可適用於恢復頂部或側向斷面之結構補修法。

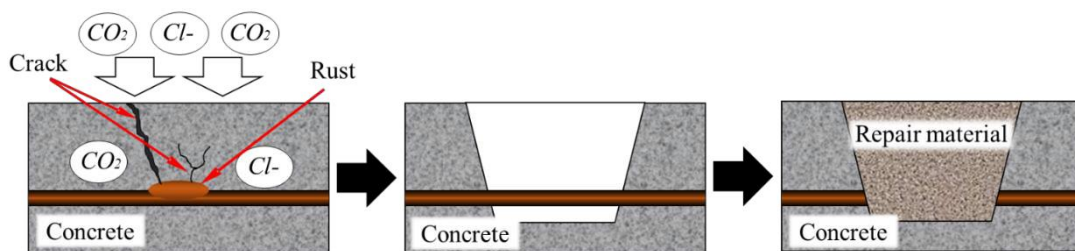


圖 3- 30 斷面修復法

(資料來源：本研究整理)

構件包覆補強工法

適用於鋼筋混凝土構件可能發生嚴重開裂或鬆動。構件包覆補強工法係將鋼板或碳纖維布等包覆材料緊緊包覆在柱體外圍。當地震發生時，開裂的混凝土塊也會因為包覆材料而不會輕易地自柱體剝落，進而提升耐震能力。首先，打除混凝土碎塊及粉刷層，並在柱體裂縫注入膠結劑填滿。其次，將裸露之鋼筋除鏽後，組模灌製混凝土。拆模後在柱體塗上底漆打底及表面批平，表面進行包覆材披覆，最後處理表面。

局部構件敲除重作工法

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。一般而言，當鬆動或嚴重開裂之混凝土體積過大時，可將舊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處面，

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，新舊混凝土接著面鑿毛應有 6 mm 以上粗糙度。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。

第六節 手冊內容增修建議

建研所於 102 年「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」亦已完成鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法建議，並以校舍為例提出相關手冊草案。本研究參考上述之手冊草案內容，改以一般公寓大廈為對象，基本次研究內容與成果提出增修建議，並於附錄六呈現相關增修內容。

第四章 鋼筋混凝土老劣化構件之非線性參數模型

本章節為考慮鋼筋腐蝕對於構件與結構物力學性能影響，使用目視構件劣化度與鋼筋腐蝕率判定準則，來評估構件腐蝕率；且為探討構件腐蝕之影響，參考文獻(蔡宜靜，2018)，並收集實驗文獻進行不同腐蝕程度塑鉸容量折減以了解其差異性。

最後，建議適合應用於結構物上之方法，並結合耐震能力詳細評估輔助程式 TEASPA(國家地震工程研究中心，2013)及鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估 SERCB(內政部建築研究所，2006)進行建築物劣化後之耐震能力評估。

第一節 鋼筋腐蝕柱構件塑鉸容量修正

鋼筋混凝土結構物老劣化現象大部分會伴隨著鋼筋腐蝕，導致鋼筋斷面積減少，並於局部區域發生孔蝕，降低鋼筋韌性與承載力；鋼筋腐蝕後體積會膨脹，降低鋼筋與混凝土介面間之握裹能力和造成保護層混凝土剝落，保護層剝落則會影響混凝土斷面幾何的完整性，進而降低構件勁度；橫向鋼筋腐蝕除了造就構件抗剪強度下降外，亦會減弱對混凝土之圍束能力，進而降低核心混凝土之強度與韌性；綜合上述之現象，腐蝕構件可能發生非預期破壞模式。

因此，本節主要探討劣化現象對於梁柱構件力學性質之影響，並針對其塑鉸性質進行修正，其整體流程如圖 4-1 所示。

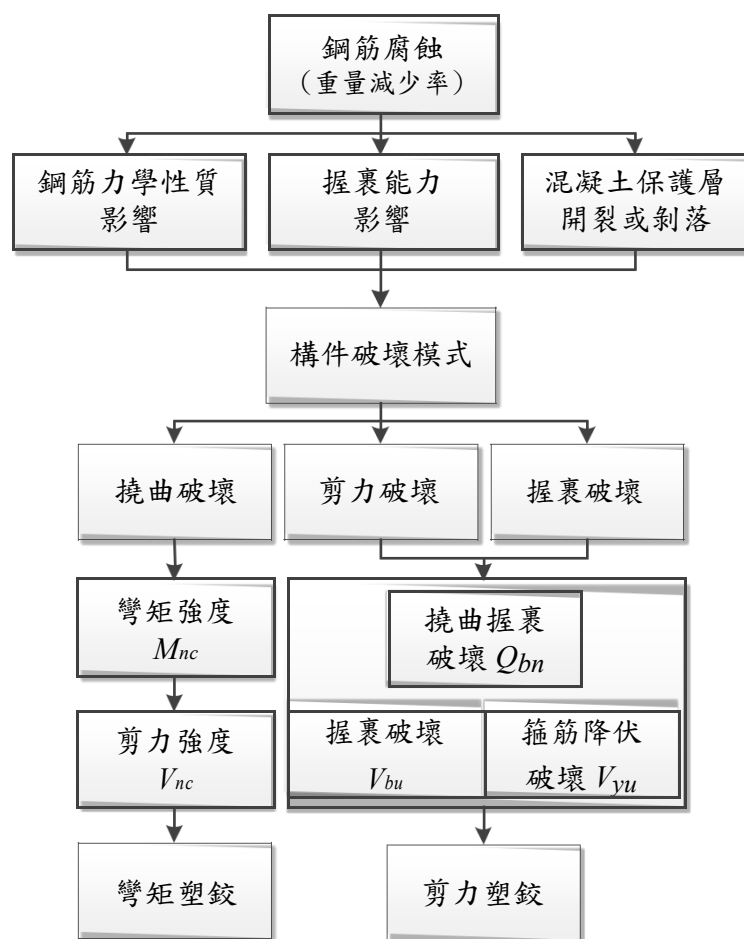


圖 4-1 構件鋼筋腐蝕後之塑鉸修正流程圖

(資料來源：蔡宜靜，2018)

壹、鋼筋腐蝕局部放大倍率

腐蝕對鋼筋斷面積影響並非沿著鋼筋軸向均勻分佈，不均勻分佈(孔蝕)會導致鋼筋受力時，其斷面應力應變性質為不均勻分佈。腐蝕鋼筋之拉力強度通常取決於鋼筋最小斷面，因此若依據整根鋼筋平均重量減少率推得平均剩餘斷面積，來計算腐蝕鋼筋的殘餘強度，往往會高估其真實強度，而有不保守的評估結果，且無法反應鋼筋孔蝕對整體鋼筋極限變形能力之影響。然鋼筋孔蝕之局部放大倍率與鋼筋腐蝕速率相同皆有著不確定性高的特性，因此本章節將相關文獻整理如下。

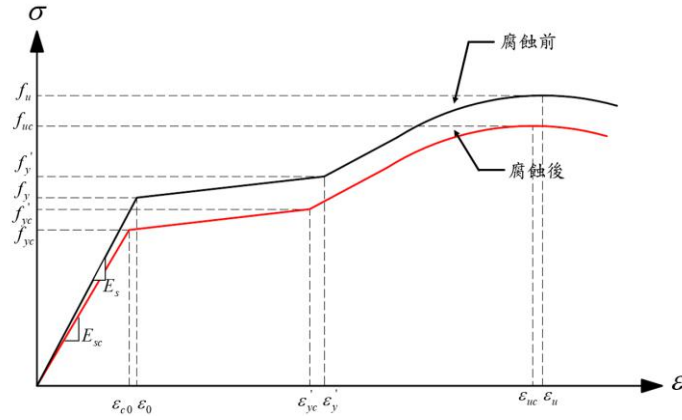
金螢來(2008)針對含鋼筋之混凝土縮尺試體進行加速腐蝕試驗，其中腐蝕方法分為通電加速腐蝕與乾溼循環試驗兩種，腐蝕深度量測之方式為使用 3D 表面形狀量測儀來觀察鋼筋整體腐蝕情況。研究結果說明不同腐蝕方法對應的局部放大倍率會有所差異，通電加速腐蝕為 2.06 倍，乾溼循環為 1.40 倍，平均則為 1.8 倍。

林宜鋒(2011)亦進行含鋼筋之混凝土縮尺試體通電加速腐蝕試驗，並以 3D 表面形狀量測儀來建立腐蝕鋼筋之完整 3D 模型，進行斷面積計算，其研究結果說明局部斷面最大減少倍率約為平均斷面減少率之 2 倍。

加速腐蝕試驗是為利用電化學方法，並藉由控制實驗條件(可能較實際環境更為嚴苛)，模擬構材暴露於大氣環境中力學性質改變之程度，以在短時間內取得特定材料於腐蝕發生後之力學性質，一般而言加速腐蝕試驗之結果較真實腐蝕情況為保守。

貳、腐蝕對鋼筋力學性質與握裹強度之影響

本章節對於腐蝕鋼筋拉力行為模擬方式為假設腐蝕鋼筋之斷面積同未腐蝕鋼筋，並透過改變鋼筋應力應變曲線模擬腐蝕效應，其示意圖如圖 4-2。腐蝕鋼筋力學性質與鋼筋重量減少率之關係，為參考文獻(金螢來，2008)提出之鋼筋腐蝕殘餘強度公式，如式(4-1)至式(4-5)；腐蝕後鋼筋之殘餘強度受局部斷面減少率甚大，因此為考慮孔蝕影響，將依平均重量減少率與局部腐蝕放大倍率評估鋼筋腐蝕後之殘餘強度，根據文獻(林宜鋒，2011)之研究成果，局部斷面最大減少率約為平均斷面之 2 倍。



4-2 鋼筋腐蝕前後材料性質示意圖

(資料來源：蔡宜靜，2018)

$$E_{sc} = (1 - 1.14(\alpha \times \Delta W_{avg})) E_s \quad (4-1)$$

$$f_{yc} = (1 - 1.14(\alpha \times \Delta W_{avg})) f_y \quad (4-2)$$

$$f'_{yc} = (1 - 0.66(\alpha \times \Delta W_{avg})) f'_y \quad (4-3)$$

$$f_{uc} = (1 - 1.00(\alpha \times \Delta W_{avg})) f_u \quad (4-4)$$

$$\varepsilon_{0c} = (1 - 1.73(\alpha \times \Delta W_{avg})) \varepsilon_0 \quad (4-5)$$

式中， α ：局部腐蝕放大率、 ΔW_{avg} ：鋼筋平均重量減少率(%)、 E_{sc} 與 E_s ：腐蝕後與腐蝕前之彈性係數(kgf/cm²)、 f_{yc} 與 f_y ：腐蝕後與腐蝕前之降伏強度(kgf/cm²)、 f'_{yc} 與 f'_y ：腐蝕前與腐蝕後之應變硬化開始強度(kgf/cm²)、 f_{uc} 與 f_u ：腐蝕後與腐蝕前之極限強度(kgf/cm²)、 ε_{0c} 與 ε_0 ：腐蝕後與腐蝕前之極限應變。

腐蝕除會造成鋼筋應力應變性質改變外，亦會使混凝土與鋼筋間之握裹強度下降，根據文獻(JCI, 1998)中鋼筋腐蝕後握裹能力與重量減少率之關係，如式(4-6)所示，即可求得鋼筋腐蝕後剩餘握裹應力容量 u_c ，而初始握裹應力 u 則參考文獻(AIJ, 1999)之評估方式，如式(4-7)至式(4-10)。

$$u_c = u \times \exp(-0.0607 \Delta W_{avg}) \quad (4-6)$$

$$u = \alpha \left\{ (0.27b + 0.33) \sqrt{f'_c} + k \right\} \quad (4-7)$$

$$\alpha_t = 0.75 + f'_c / 4000 \quad (4-8)$$

$$b_i = \min \left\{ \begin{array}{l} b_{i1} = (b - N_s d_s) / (N_s d_s) \\ b_{i2} = (\sqrt{2} \times 2 d_{ts} - d_s) / d_s \end{array} \right. \quad (4-9)$$

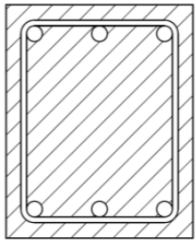
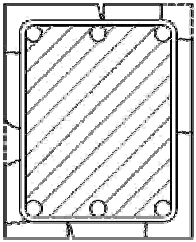
$$b_{i1} = \begin{cases} \left[\frac{460(N_v + N_w + 1) \rho_s}{1430 A / (d_s s)} \right] \geq b_{i1} & (b_{i1} < b_{i2}) \\ b_{i2} & (b_{i1} \geq b_{i2}) \end{cases} \quad (4-10)$$

式中， u ：初始握裹強度(kgf/cm²)、 b_i ：割裂線長度之比值、 f'_c ：混凝土抗壓強度(kgf/cm²)、 b ：構件寬度(cm)、 N_s ：拉力筋數量、 d_s ：主筋直徑(cm)、 d_{ts} ：構材最外受拉纖維至受拉鋼筋斷面重心之距離(cm)、 N_v ：橫切面剪力筋數量、 N_w ： $N_w = A_{sv} / (b \times s)$ ：剪力橫向鋼筋體積比， A_{sv} ：剪力橫向鋼筋總斷面積(cm²)、 A_{sv} ：單支橫向鋼筋斷面積(cm²)、 s ：橫向鋼筋間距(cm)。

參、 混凝土保護層剝落對構件之影響

鋼筋腐蝕之產物具有膨脹性，會導致混凝土開裂甚至剝落，並影響構件斷面幾何性質，進而降低構件勁度。當鋼筋腐蝕所造成混凝土表面裂縫超越某一臨界寬度時，即發生剝離或剝落現象，參考日本 AIJ 耐久性診斷修補指針(1999)之建議裂縫臨界寬度應設為 0.5~1.0 mm，並依據構件劣化度判定準則及鋼筋腐蝕等級判定準則，對應之劣化度為重度，鋼筋腐蝕等級為 IV，鋼筋重量減少率為 5%，因此本研究建議若劣化度判定為重度或嚴重損壞時，保護層視為已剝落，意即斷面慣性矩只有核心混凝土有所貢獻，如表 4-1 所示。

表 4-1 構件劣化度對應之斷面慣性矩

構件劣化度	健全、輕度、中度	重度、嚴重損壞
斷面示意圖		
斷面慣性矩	$I_g = \frac{b \times h^3}{12}$	$I_c = \frac{(b-x) \times (h-x)^3}{12}$
b ：構件寬度 (cm)、 h ：構件深度 (cm)、 x ：混凝土保護層厚度 (cm)。		

(資料來源：蔡宜靜，2018)

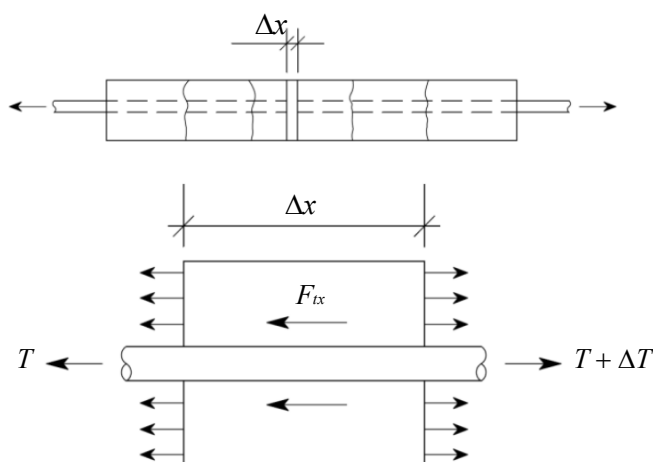
肆、腐蝕柱構件撓曲行為

鋼筋混凝土行為之基本假設為鋼筋與其周圍之混凝土在受力狀態下，不論產生拉應變或壓應變，兩者應變相同，即兩者間具有完全握裹之性質，不會發生滑移現象。

4-3 為鋼筋於混凝土內應力分佈之自由體圖，考慮鋼筋於力平衡狀態，因此鋼筋與混凝土接觸面需提供與 ΔT 大小相等、方向相反之握裹力，以平衡鋼筋兩端拉力變化。鋼筋腐蝕後，其與混凝土介面間之握裹能力下降，鋼筋在考量重量減少率影響下所能發展之握裹能力式(4-11)所示。

$$F_{tx} = u_c \times \pi \times d_s \times l_d \quad (4-11)$$

式中， u_c ：腐蝕後握裹強度 (kgf/cm²)、 $l_d = L - d$ 有效握裹長度 (cm)

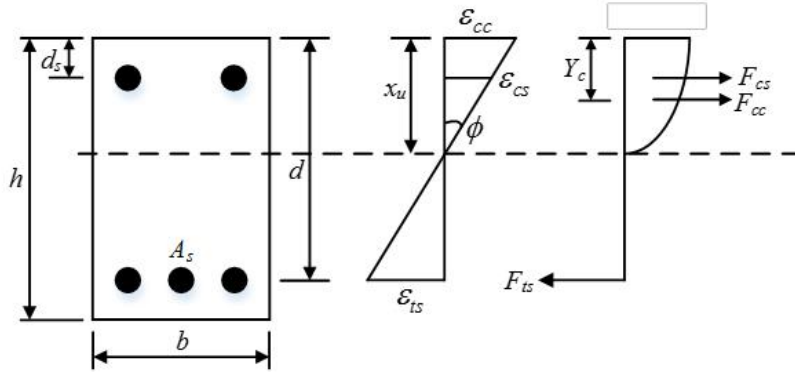


4-3 鋼筋於構件內自由體圖

(資料來源：蔡宜靜，2018)

鋼筋兩端差值即為作用於拉力筋上之握裹力需求，式(4-11)則為腐蝕後鋼筋握裹力之容量。鋼筋腐蝕前期其重量減少率較小，握裹力足以承擔鋼筋兩端之拉力 ($T \leq F_{tx}$)，故鋼筋呈現拉力降伏破壞型態；但到腐蝕後期，會因握裹力驟降，以致鋼筋未達降伏強度即發生撓曲握裹破壞 ($T > F_{tx}$)。拉力筋之有效握裹長度為控制這兩種破壞模式的主要因素。

RC 構件於鋼筋腐蝕影響下之撓曲行為分析為參考文獻(Bhargava et al., 2008)建議(圖 4-4)，除考量材料因鋼筋斷面積減少造成應力與應變力學性質影響外，亦須考量握裹的影響，如式(4-12)所示，腐蝕後混凝土、拉力筋及壓力筋之應變值如式(4-13)至式(4-15)所示。



4-4 鋼筋混凝土斷面應力分佈

(資料來源：蔡宜靜，2018)

$$\Delta\sigma = \min \left\{ \begin{array}{l} 2f_{yc} \quad \text{撓曲破壞, } M = M_{cn} \\ 4u_c \times l_d / d_s \quad \text{握裹破壞, } M = M_{bn} \end{array} \right. \quad (4-12)$$

$$\varepsilon_{cc} = \frac{x \Delta\sigma}{E (d - d_s)} \quad (4-13)$$

$$\left(\frac{x - d_s}{x_u} \right) \varepsilon_{cc} \quad (4-14)$$

$$\left(\frac{d - x}{x_u} \right) \varepsilon_{ts} \quad (4-15)$$

式中， ε_{cc} ：混凝土應變、 ε_{cs} ：壓力筋應變、 ε_{ts} ：拉力筋應變、 x_u ：腐蝕影響下中性軸位置(cm)、 d_{cs} ：壓力筋中心至受壓外緣距離(cm)。鋼筋混凝土構件斷面分析須遵守力平衡定理，因此依式(4-16)即可求得斷面中性軸 x_u 。

$$F_{cc} + F_{cs} = F_{ts} \quad (4-16)$$

混凝土應力呈曲線分佈，依 BIS(2000)可以將混凝土力量分佈視為一集中力 F_{cc} 並找出其作用位置 Y_{cc} ，如式(4-17)至式(4-20)所示。

當 $\varepsilon_{cc} \leq 0.002$,

$$F_{cc} = f_c b x_u \left[500 \varepsilon_{cc} - \left(\frac{250,000}{3} \right) \varepsilon_{cc}^2 \right] \quad (4-17)$$

$$Y_{cc} = x_u - x_u \left[\frac{\left(\frac{1,000}{3} \right) - 62,500 \varepsilon_{cc}}{500 - \left(\frac{250,000}{3} \right) \varepsilon_{cc}} \right] \quad (4-18)$$

當 $0.002 \leq \varepsilon_{cc} \leq 0.0035$,

$$F_{cc} = f_c b x_u \left[\frac{3 \varepsilon_{cc} - 0.002}{3 \varepsilon_{cc}} \right] \quad (4-19)$$

$$Y_{cc} = x_u - x_u \left[\frac{6 \varepsilon_{cc} - \left(\frac{0.000004}{\varepsilon_{cc}} \right)}{12 \varepsilon_{cc} - 0.008} \right] \quad (4-20)$$

拉力筋及壓力筋受力如式(4-21)及式(4-22)，最後依式(4-23)求得構件於鋼筋腐蝕下之撓曲強度，其整體計算流程如圖 4- 8 所示。

$$F_{ts} = A_{ts} E_{ts} \varepsilon_{ts} \quad (4-21)$$

$$F_{cs} = A_{cs} E_{cs} \varepsilon_{cs} \quad (4-22)$$

$$M_{bn} = F_{cc} (d - Y_{cc}) + F_{cs} (d - d_{cs}) \quad (4-23)$$

式中， A_{ts} ：拉力筋面積總和(cm²)、 A_{cs} ：壓力筋面積總和(cm²)、 M_{bn} ：撓曲握裹破壞之彎矩容量(kgf-cm)。

伍、腐蝕柱構件剪力行為

構件之剪力分析為參考文獻(Ririt Aprilin S, 2010)，以桁架與拱理論 (Truss-arch theory) 為基礎，建立因腐蝕而造成握裹強度衰減行為之剪力容量 (Shear capacity) 評估模型，並需同時考量橫向鋼筋降伏與握裹破壞等兩種破壞模式。

握裹破壞模式其剪力容量 V_{bu} 評估如式(4-24)至式(4-30)所示，第一項 V_t 為模擬鋼筋桁架效應提供之剪力，其橫向鋼筋未降伏前主筋與混凝土間已發生握裹破壞，如圖 4-5 所示，第二項 V_a 為模擬核心混凝土拱效應提供之剪力，如圖 4-7 所示，整體計算流程如圖 4-9。

$$V_{bu} = V_t + V_a \quad (4-24)$$

$$V_t = \tau \times \phi \times j \times (L - j) / L \quad (4-25)$$

$$V_a = \tan \theta (1 - \beta) \times b \times h \times v \times f_c' / 2 \quad (4-26)$$

$$\tan \theta = \sqrt{(L/h)^2 + 1} - L/h \quad (4-27)$$

$$\beta = \{(1 + \cot^2 \phi) \rho'' \times f_{yt} / (v \times f_c')\} \quad (4-28)$$

$$v = (1 - 15 R_p) \times (0.7 - f_c' / 2000) \quad (4-29)$$

$$\cot \phi = \begin{cases} 2 - 50 R_p & R_p \leq 0.02 \\ 1.0 & R_p > 0.02 \end{cases} \quad (4-30)$$

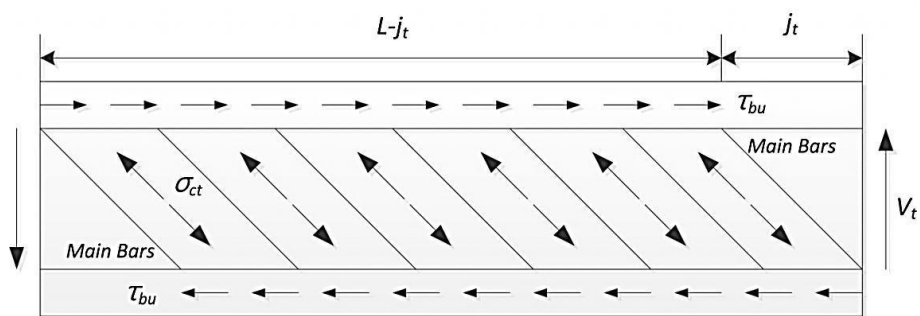
式中， L ：梁或柱構件之淨跨距(cm)、 $\sum \phi$ ：主筋總周長(cm)，其中 $\sum \phi = N_s \times \pi \times d_s$ 、 j_d ：壓力筋與拉力筋間之距離(cm)、 θ ：混凝土壓力拱與角垂直面之夾角、 ϕ ：桁架效應中混凝土元素作用角度、 v ：混凝土抗壓強度之有效係數、 R_p ：梁或柱構件之塑性變形角。

橫向鋼筋降伏模式其剪力容量 V_{yu} 評估如式(4-31)所示，第一項 V_{su} 為模擬鋼筋之桁架效應提供之剪力，如圖 4- 6，其橫向鋼筋進入降伏階段時主筋與混凝土間之握裹並無破壞，第二項 V_a 為模擬核心混凝土拱效應提供之剪力，如圖 4- 7 所示，整體計算流程如圖 4- 10。

$$V_{yu} = V_{su} + V_a \quad (4-31)$$

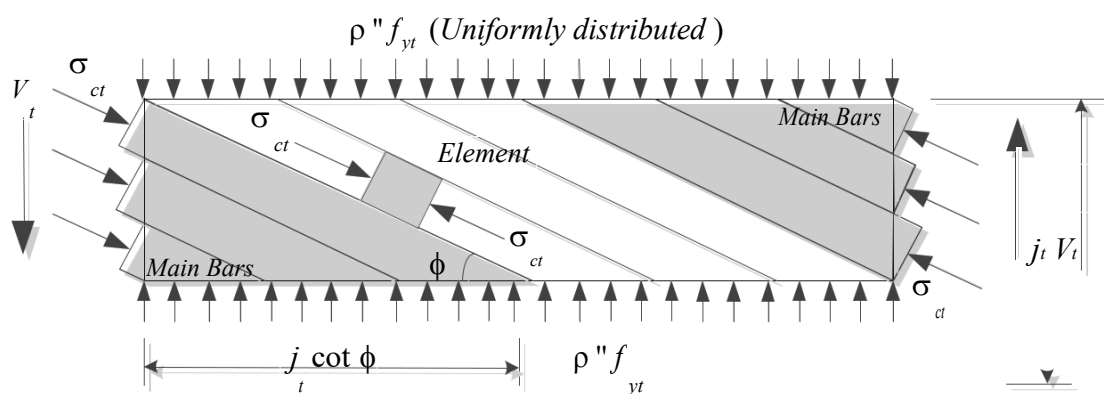
$$V_{su} = b \times j_t \times \rho_s \times f_{ytc} \times \cot \phi \quad (4-32)$$

式中， f_{ytc} ：橫向鋼筋腐蝕後之降伏強度(kgf/cm²)。



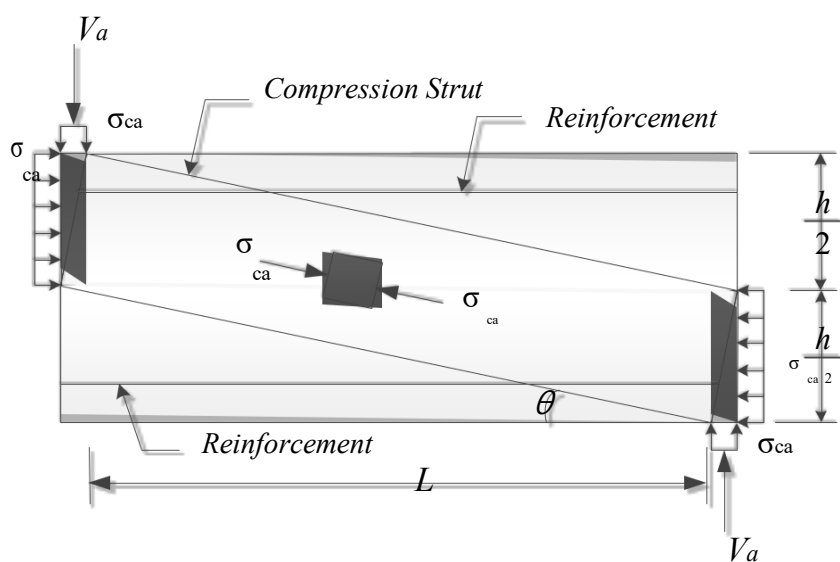
4-5 桁架效應機制(握裹破壞)

(資料來源：蔡宜靜，2018)



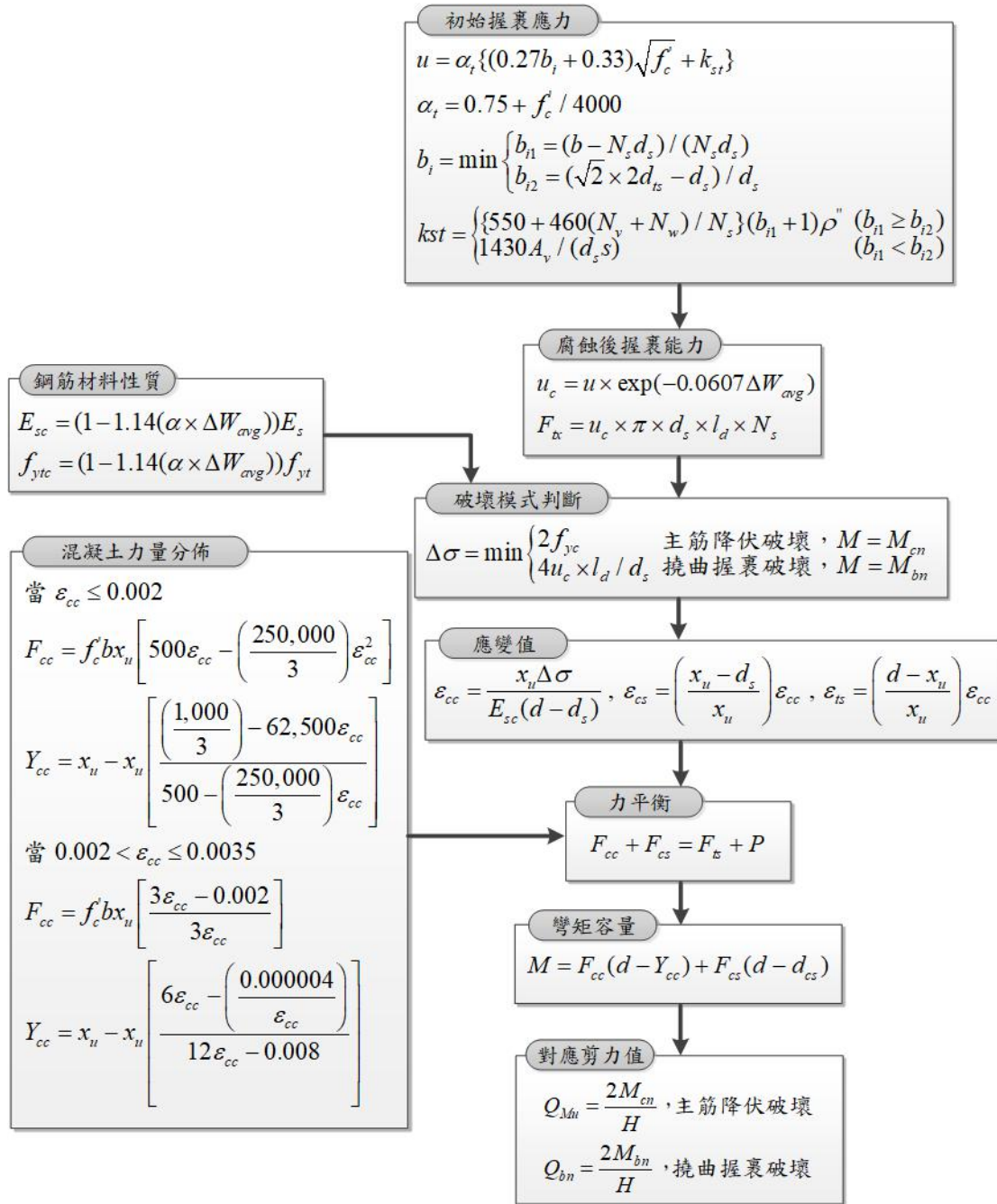
4-6 桁架效應機制(降伏破壞)

(資料來源：蔡宜靜，2018)



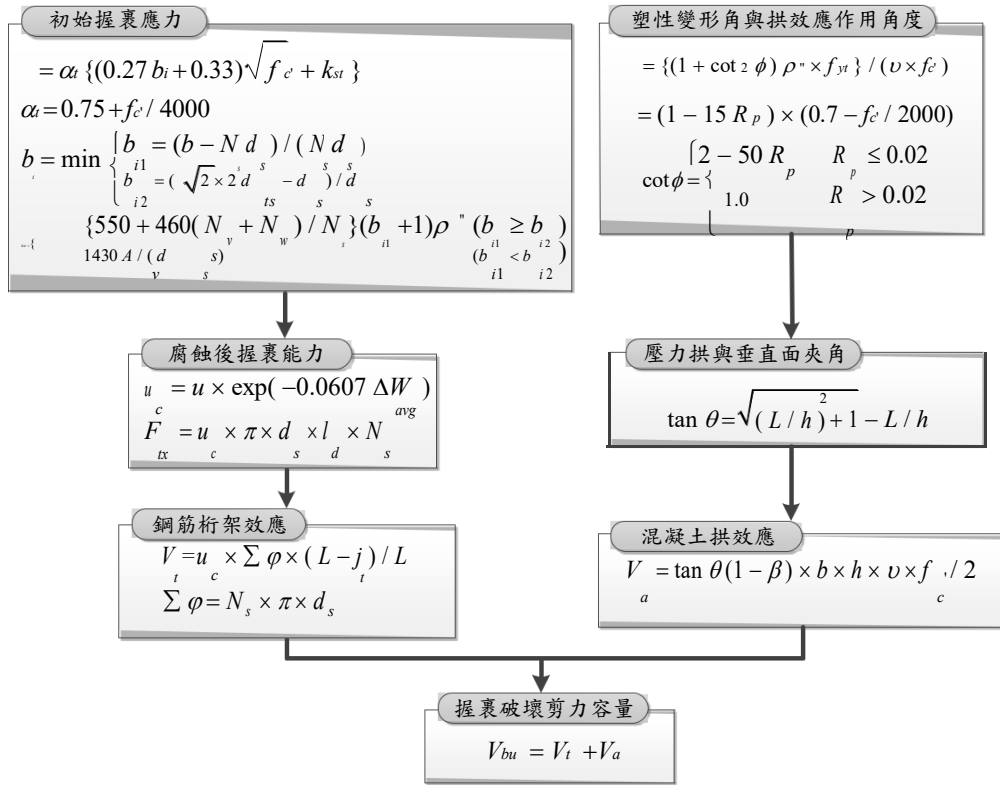
4-7 拱效應機制(握裹破壞與降伏破壞)

(資料來源：蔡宜靜，2018)



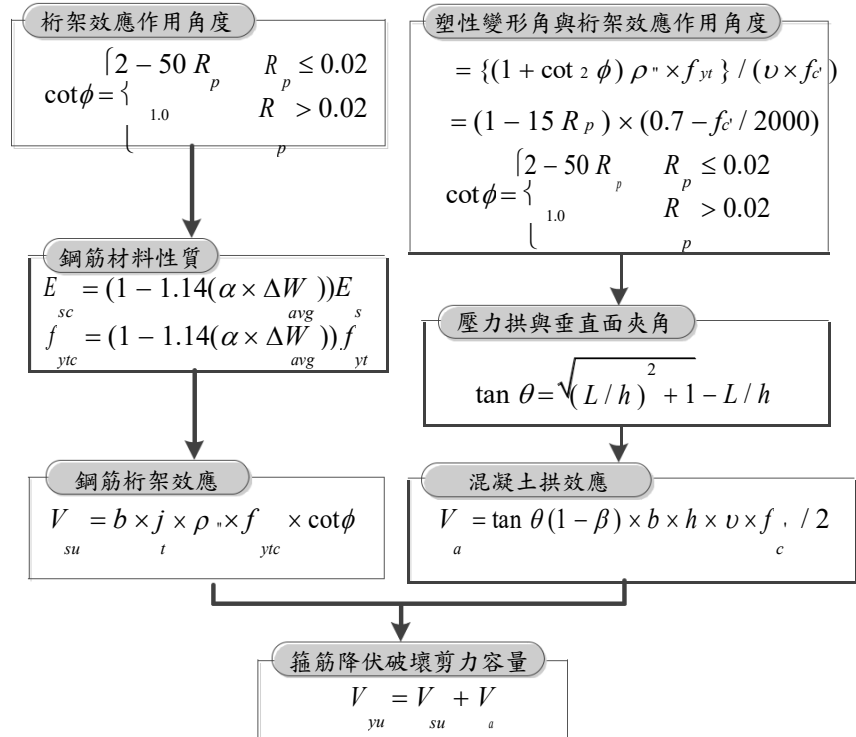
4-8 腐蝕柱構件撓曲行為計算流程

(資料來源：蔡宜靜，2018)



4-9 腐蝕柱構件剪力計算流程(握裹破壞)

(資料來源：蔡宜靜，2018)



4-10 腐蝕柱構件剪力行為計算流程(降伏破壞)

(資料來源：蔡宜靜，2018)

陸、柱構件變位角估算

根據文獻(Elwood et al., 2005)說明，當一雙曲率柱受軸力與側力的作用下，當側向位移達 y 時，柱主筋會先降伏；側向位移達 s 時，柱端部的非線鉸區會產生明顯的剪力斜裂縫，此狀態稱為撓剪破壞 (Flexural-shear failure)，之後側力強度會下降；側向位移達 a 時，側力強度趨近於零，柱體亦喪失軸向承載能力，以致發生軸向破壞 (Axial failure)，如圖 4- 11 及圖 4- 12 所示。

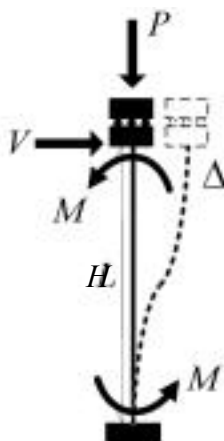


圖 4-11 雙曲率柱受力與變形機制

(資料來源：國家地震工程研究中心，2013)

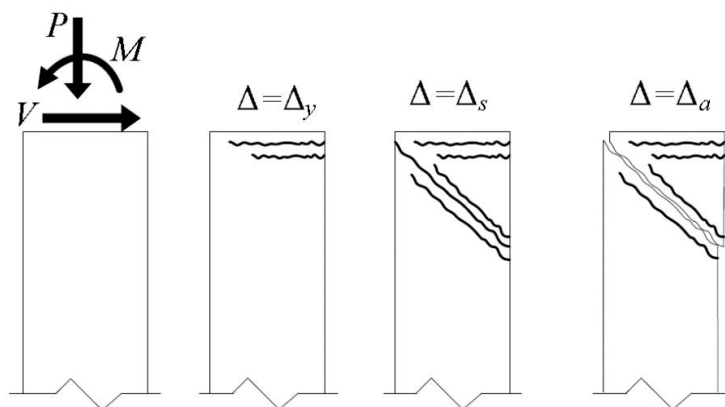


圖 4-12 雙曲率柱破壞發展過程

(資料來源：國家地震工程研究中心，2013)

本章節變位角估算為參考文獻(Moehle et al., 2002)由 50 個各種尺寸及不同橫向鋼筋比之鋼筋混凝土柱試體，控制雙曲率變形試驗，用最小平方差的數值方法，歸納出柱體剪力破壞時剪應力與變位(Drift ratio)之關係，以定義塑鉸性質。其理論發展主要應用於完美柱構件，而非腐蝕柱，然目前腐蝕柱變位角相關研究成果不足，未來若有更為可靠之實驗成果或理論則可取代。

柱主筋降伏時其變位角如式(4-33)，撓剪破壞時的變位角如式(4-35)，軸向破壞時的變位角如式(4-36)。其中斷面慣性矩依據本節第參小節建議依相對應劣化度進行折減。

$$\frac{\Delta_y}{H} = \frac{V_y}{kH} = \frac{V_y H^2}{12(EI)_c} \quad (4-33)$$

式中， $V_y = 2 \min(M_y, 0.95 M_n) / H$ ：雙曲率柱降伏強度對應之剪力(kgf)、 $(EI)_c = 0.7E_c I_g$ 為當彎矩為降伏彎矩 M_y 時其開裂斷面的撓曲剛度、 E_c ：混凝土彈性係數(kgf/cm²)、 I_g ：斷面慣性矩(cm⁴)。構件之剪力分析為參考文獻(Ririt Aprilin S, 2010)，以桁架與拱理論(Truss-arch theory) 為基礎，建立因腐蝕而造成握裹強度衰減行為之剪力容量(Shear capacity) 評估模型，並需同時考量橫向鋼筋降伏與握裹破壞等兩種破壞模式。

$$\frac{\Delta_n}{H} = \frac{V}{kH} = \frac{V H^2}{12(EI)_c} \quad (4-34)$$

式中， $V = 2 M_{bn} / H$ ：雙曲率柱撓曲強度對應之剪力(kgf)、 $(EI)_c = 0.35E_c I_g$ 為降伏彎矩 M_y 至彎矩強度 M_u 間之撓曲剛度。

$$\frac{\Delta_s}{H} = \frac{3 + 4\rho''}{100} - \frac{1}{133} \frac{v_m}{\sqrt[3]{f_c}} - \frac{1}{40} \frac{P}{A_g f_c} \geq \frac{1}{100} \quad (4-35)$$

式中， H ：柱淨高(cm)、 $\rho = A_{st} / (b \times s)$ ：剪力橫向鋼筋體積比， A_{st} ：剪力筋總斷面積，計算剪力鋼筋於橫向鋼筋間距內之斷面積(cm²)， b ：柱寬(cm)， s ：橫向鋼筋間距(cm)、 $v_m = V_b / (b \times d)$ ：剪應力(kgf/cm²)、 d ：柱斷面有效深度，可設為柱深 h 之 0.8 倍、 A_g ：柱斷面積(cm²)、 P ：柱承受之軸力(kgf)。

$$\frac{\Delta_a}{H} = \frac{4}{100} \frac{1 + (\tan \theta)^2}{\tan \theta + P \frac{s}{A_{st} f_{yt} d_c \tan \theta}} \quad (4-36)$$

式中， f_{yt} ：橫向鋼筋降伏強度(kgf/cm²)、 d_c ：柱核心混凝土深度(cm)、 θ ：剪力裂縫與水平之夾角，一般可訂為 65°，但不可超過 $\tan^{-1} (H/h)$ 。

柒、劣化柱構件塑鉸容量折減係數

根據前面數小節即可求得構件腐蝕後之撓曲容量與剪力容量，及其相對應之剪力強度如式(4-37)及式(4-38)所示；依前一小節則可求得轉角變位。

$$Q_{Mu} = \frac{2M_{cn}}{H} \quad (4-37)$$

$$Q_{Su} = \min\left(\frac{2M_{bn}}{H}, V_{bu}, V_{yu}\right) \quad (4-38)$$

式中， M_{cn} ：構件因主筋降伏破壞之撓曲容量、 M_{bn} ：構件因主筋握裹破壞之撓曲容量， V_{bu} ：構件因握裹破壞之剪力容量、 V_{yu} ：構件因橫向鋼筋降伏破壞之剪力容量。

若由式(4-12)判斷柱構件破壞模式為撓曲握裹破壞，因其行為屬於脆性破壞，因此以相對應剪力強度反映於剪力塑鉸中；若判斷為主筋降伏破壞，式(4-38)則可不須考量撓曲握裹破壞之項次。

本研究以未腐蝕構件之塑鉸性質為基底，定義腐蝕後塑鉸性質折減係數，示意圖如圖 4-13，折減係數則如表 4-2，參數定義如式(4-39)至式(4-42)所示，其塑鉸參數設定如表 4-3 及表 4-4，最後結合國震中心之耐震能力輔助程式 TEASPA，或鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估(SERCB)(內政部建築研究所，2006)，以評估劣化結構之耐震能力。

$$a' = (\Delta_{nc} - \Delta_{yc}) / H \quad (4-39)$$

$$b' = (\Delta_{sc} - \Delta_{yc}) / H \quad (4-40)$$

$$c' = \min(\Delta_{sc}, \Delta_{ac}) / H \quad (4-41)$$

$$d' = \min(\Delta_{ac}, 0.04 H) / H \quad (4-42)$$

式中， H ：構件淨高(cm)、 Δ_{yc} ：腐蝕後降伏變位(cm)、 Δ_{sc} ：腐蝕後撓剪破壞變位(cm)、 Δ_{ac} ：腐蝕後軸向破壞變位(cm)。

Δ_{sc} ：腐蝕後撓剪破壞變

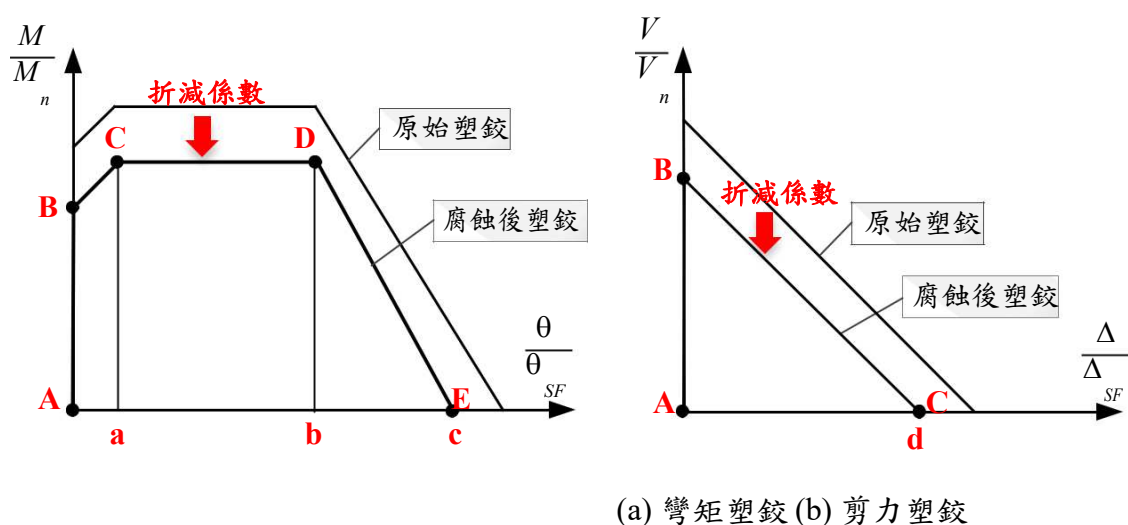


圖 4-13 塑鉸折減示意圖

(資料來源：蔡宜靜，2018)

表 4-2 考慮鋼筋腐蝕構件之塑鉸性質折減係數

折減項目	彎矩塑鉸	剪力塑鉸
強度	$R = \frac{M_{nc}}{M_n} = \frac{M_{yc}}{M_y}$	$R_V = Q_{Su} / Q_{Suo}$
轉角與變位	$R_{dy} = (\Delta_{yc} / H) / (\Delta_y / H)$ $R_{dn} = (\Delta_{nc} / H) / (\Delta_n / H)$ $R_{ds} = (\Delta_{sc} / H) / (\Delta_s / H)$ $R_{da} = (\Delta_{ac} / H) / (\Delta_a / H)$	$= \min(\Delta_{ac}, 0.04 H)$ $= \min(\Delta_a, 0.04 H)$ $= \min(\Delta_{ac}, 0.04 H)$ $= \min(\Delta_a, 0.04 H)$
其中，M_{nc} 與 M_n：腐蝕後與腐蝕前之彎矩容量、Δ_{yc} 與 Δ_y：腐蝕後與腐蝕前降伏變位、Δ_{sc} 與 Δ_s：腐蝕後與腐蝕前之撓剪破壞位移、Δ_{ac} 與 Δ_a：腐蝕後與腐蝕前之軸向破壞位移、Q_{Su} 與 Q_{Suo}：腐蝕後與腐蝕前之剪力容量。		

(資料來源：蔡宜靜，2018)

表 4-3 腐蝕後 RC 柱彎矩非線性鉸之參數

Point	M/M_n	Δ / H
A'	0	0
B'	$\min(M_{yc}/M_{nc}, 0.95)$	0
C'	R_M	a'
D'	R_M	b'
E'	0	c'

(資料來源：蔡宜靜，2018)

表 4-4 腐蝕後 RC 柱剪力非線性鉸之參數

Point	V/V_n	Δ / H
A'	0	0
B'	R_V	0
C'	0	d'
D', E'	0	$10d'$

(資料來源：蔡宜靜，2018)

第二節 足尺寸腐蝕構件驗證

本章節採用 ETABS 軟體進行分析，主要探討前面一節所述之腐蝕構件分析模式其可行性，並將分析結果與足尺寸腐蝕鋼筋混凝土柱試驗(張立法，2016)結果進行比較探討。

腐蝕構件試體說明

腐蝕柱試驗其尺寸及配筋參考典型低矮鋼筋混凝土建築，並施作 2 種軸力範圍，分別為低軸力($0.1f_c A_g$)以模擬一般橋柱受壓行為及高軸力($0.2f_c A_g$)以模擬一般建築，腐蝕區位則針對塑鉸區之縱向鋼筋及橫向鋼筋。依腐蝕程度與施加軸力將試體命名為 C-0-1_I、C-0-1_II、C-0-2、C-10-1、C-10-2、C-20-1、C-20-2，0、10、20 為鋼筋重量減少率，1、2 為設計軸力之比例，總共 7 組足尺寸柱試體進行試驗，其設計圖如圖 4-14 所示，足尺寸構件試體主要進行反覆載重試驗並取得其遲滯包絡線，如圖 4-15 試驗之遲滯包絡線所示，以了解其結構性能。

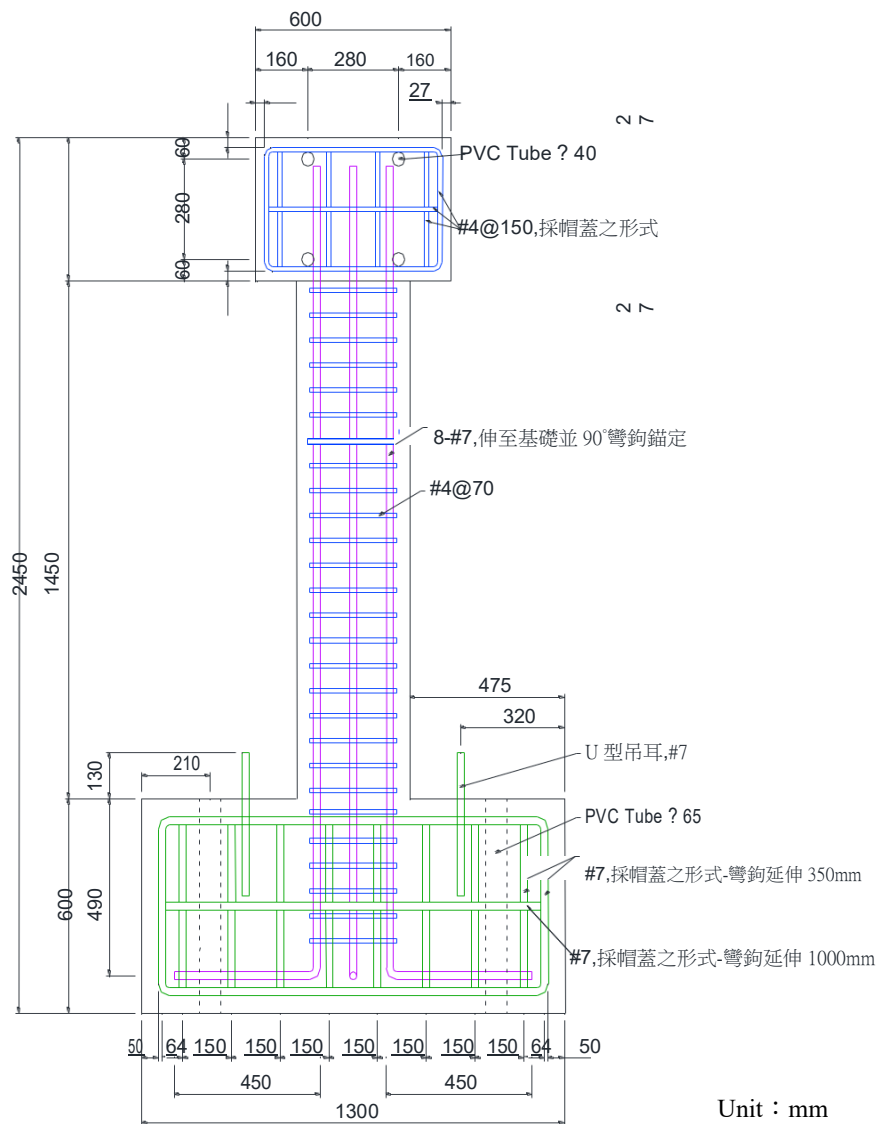
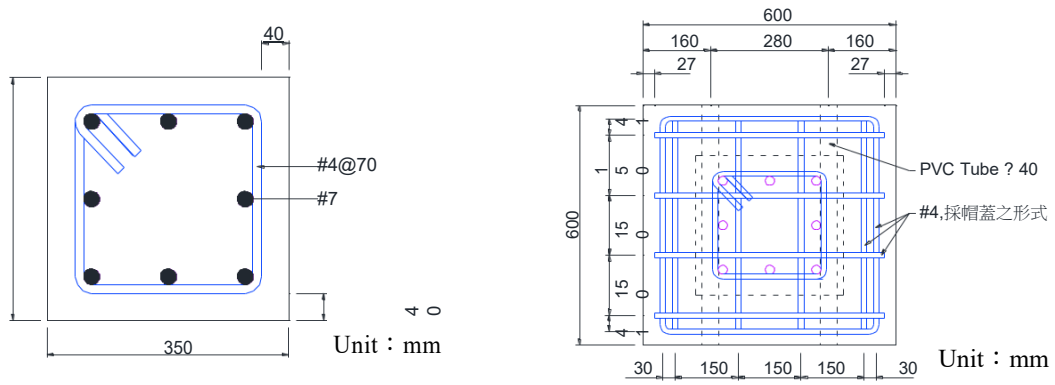


圖 4- 14 足尺寸腐蝕柱試體設計圖

(資料來源：張立法，2016)

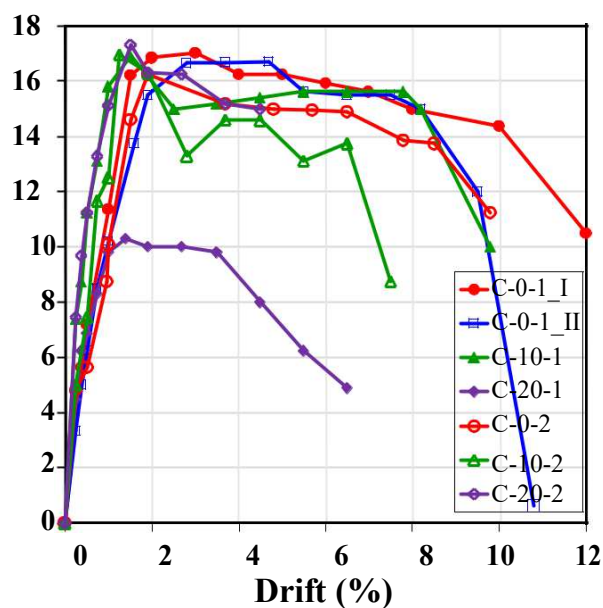


圖 4-15 試驗之遲滯包絡線

(資料來源：張立法，2016)

實際材料性質與鋼筋重量減少率

由於設計試體時之材料性質及重量減少率與實際情形不相同，因此本小節將實際情況整理如表 4-5 至表 4-7 所示，作為分析時之主要依據，其中主筋與橫向鋼筋依個別實際重量減少率折減材料強度。

鋼筋重量減少率其定義方式為取出腐蝕區域(塑鉸區之鋼筋)，除鏽後進行秤重，以計算鋼筋腐蝕前後重量之差值，如式(4-43)。

$$\Delta w = (W_0 - W_G) / W_0 \quad (4-43)$$

式中， W_0 ：鋼筋初始重量 (g)、 W_G ：腐蝕後鋼筋剩餘重量 (g)。

表 4-5 腐蝕柱試體實際鋼筋材料強度

鋼筋種類	降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	極限強度 f_u (kgf/cm ²)
#7 主筋	4230	6730
#4 橫向鋼筋	4660	7160

(資料來源：蔡宜靜，2018)

表 4-6 腐蝕柱試體實際混凝土抗壓強度及施加軸力

試體編號	混凝土抗壓強度 f'_c (kgf/cm ²)	軸力 P (tf)
C-0-1_I	365	44.66
C-0-1_II	358	43.84
C-0-2	306	87.49
C-10-1	316	38.72
C-10-2	313	89.28
C-20-1	296	36.32
C-20-2	312	89.06

(資料來源：蔡宜靜，2018)

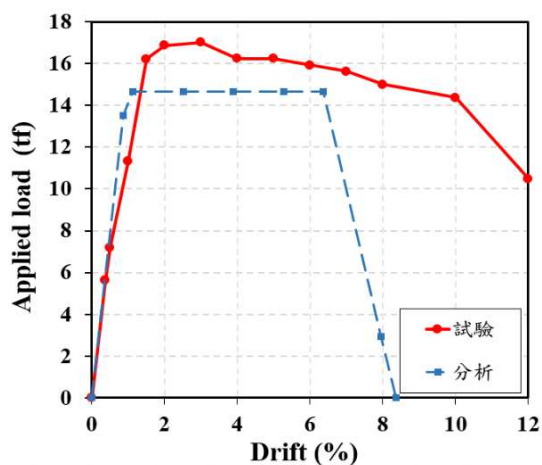
表 4-7 腐蝕柱鋼筋設計與實際重量減少率

試體編號	鋼筋設計 重量減少率	主筋 重量減少率	橫向鋼筋 重量減少率
C-0-1_I	0.00	0.00	0.00
C-0-1_II	0.00	0.00	0.00
C-0-2	0.00	0.00	0.00
C-10-1	0.10	0.06	0.15
C-10-2	0.10	0.05	0.17
C-20-1	0.20	0.12	0.34
C-20-2	0.20	0.06	0.14

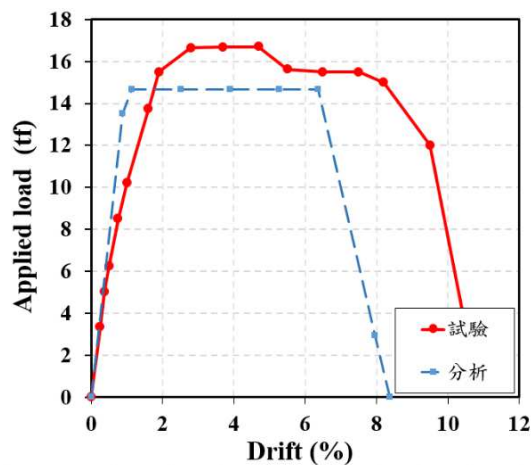
(資料來源：蔡宜靜，2018)

3. 腐蝕構件試驗與分析結果比較

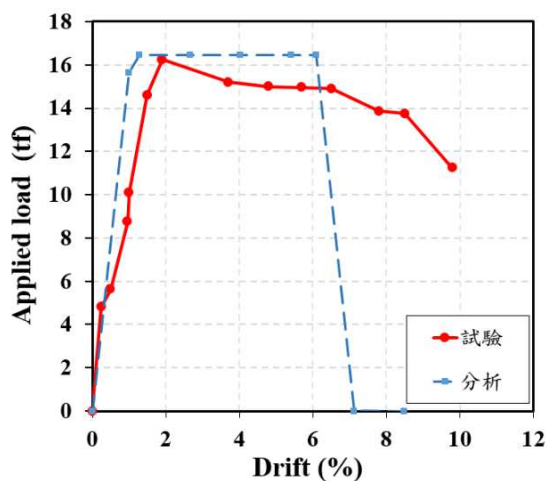
實驗主要探討不同腐蝕程度下對構件耐震行為之影響，其中鋼筋腐蝕範圍柱構件為針對塑鉸區，然而腐蝕柱 C-20-1 試體因橫向鋼筋實際重量減少率超出鋼筋殘餘強度公式的適用範圍，因此本小節僅列出其餘六組試體比較結果，如圖 4-16；表 4-8 至表 4-11 為不同腐蝕及軸壓下各柱的剪力強度衰減；因 C-20-2 腐蝕程度與 C-10-2 腐蝕程度相近，使得實驗分析值相近。



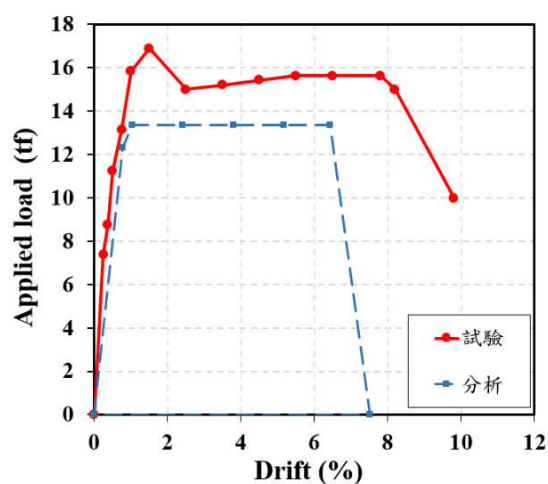
(a) C-0-1_I 試體



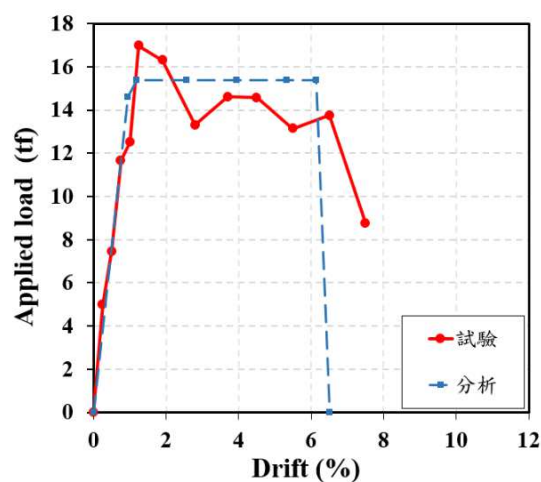
(b) C-0-1_II 試體



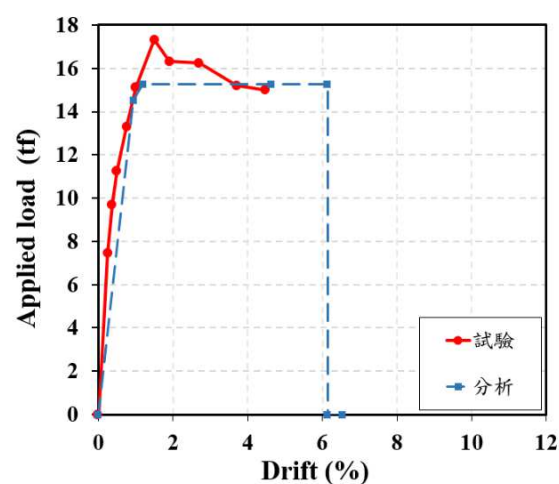
(c) C-0-2 試體



(d) C-10-1 試體



(e) C-10-2 試體



(f) C-20-2 試體

4- 16 實驗與分析結果比較 (腐蝕柱)

(資料來源：蔡宜靜，2018)

4- 8 不同腐蝕程度下實驗強度之比較 (低軸力)

柱稱	V_{max} (tf)	與原始 V_{max} 比較
C0-1_I	17.02	100.00%
C0-1_II	16.70	100.00%
C10-1	16.9	99.29%

(資料來源：蔡宜靜，2018)

表 4- 9 不同腐蝕程度下實驗強度之比較 (高軸力)

柱稱	V_{max} (tf)	與原始 V_{max} 比較
C0-2	16.25	100.00%
C10-2	16.97	104.43%
C20-2	17.32	106.58%

(資料來源：蔡宜靜，2018)

表 4- 10 不同腐蝕程度下分析強度之比較 (低軸力)

柱稱	重量減少率(主/箍)	V_{max} (tf)	與原始 V_{max} 比較
C0-1_I	0.00/0.00	14.68	100.00%
C0-1_II	0.00/0.00	14.68	100.00%
C10-1	0.06/0.15	13.36	91.00%

(資料來源：蔡宜靜，2018)

表 4- 11 不同腐蝕程度下分析強度之比較 (高軸力)

柱稱	重量減少率(主/箍)	V_{max} (tf)	與原始 V_{max} 比較
C0-2	0.00/0.00	16.25	100.00%
C10-2	0.05/0.17	15.36	94.52%
C20-2	0.06/0.14	15.28	94.03%

(資料來源：蔡宜靜，2018)

第三節 小結

混凝土實際情況

腐蝕試體因鋼筋腐蝕使其周圍的混凝土產生沿主筋向之裂縫，進而造成鋼筋與混凝土間的握裹能力損失，其裂縫集中於腐蝕區域且寬度較大；此外，保護層混凝土較早剝落且剝落面積較大，導致核心混凝土破碎較早。

鋼筋腐蝕實際情況

於分析模式中鋼筋為採用腐蝕區域平均重量減少率進行模擬，然鋼筋實際腐蝕情況為非均勻腐蝕，而腐蝕鋼筋強度又與最小斷面有關，則若需準確評估則必須更進一步了解鋼筋腐蝕狀況、孔蝕程度及腐蝕位置等因素。

構件破壞實際情況

腐蝕構件其最終破壞時多數因橫向鋼筋頸縮斷裂而使構件喪失圍束能力；於高軸力試體則為主筋有明顯挫屈現象；腐蝕會導致鋼筋斷面積減少，使得斷面強度降低，且會提高裂縫發展速率。

第五章 考慮鋼筋腐蝕影響之 RC 建物耐震能力評估

第一節 診斷鋼筋腐蝕耐震能力評估說明

本章提供考慮鋼筋腐蝕影響後的耐震能力評估方法，不再拘束於減少鋼筋號數進行診斷；且根據文獻(國家地震工程研究中心，2018)以及(蘇耕立，2008)，建立不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數。

初步診斷透過考慮鋼筋腐蝕影響之目視檢測紀錄(附錄一之附表 1-2 及附表 1-3)與現場勘查，結合校舍或街屋於不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數，計算耐震指標 (I_s) 有否大於等於 100，若有則建物暫時沒有耐震能力的安全疑慮，若無則進入詳細診斷。

詳細診斷除了耐久性能初步診斷構件的劣化度外，需考量耐久性能詳細診斷之相關材料實驗，配合實際圖說及現場條件以建立結構分析模型。

第二節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力初步診斷

壹、一般街屋之初步診斷

初步耐震能力檢測方式似於耐久性能初步診斷法，需透過專業人士到現場勘查且記錄構件劣化程度，並參考表 5-1 的一般街屋不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數，以進行鋼筋腐蝕影響之初步耐震能力診斷，透過耐震指標評估是否進入詳細診斷。

5-1 RC 柱劣化度參考表 3-5、表 3-6 保守評定而得，若柱構件表面無劣化事象亦可忽略；若混凝土裂縫大到無法判定寬度、剝落嚴重，且鋼筋鏽蝕嚴重應不計該柱之強度貢獻；若評估對象為 RC 結構牆，因目前仍缺乏相關實驗佐證，本節建議劣化度重度以上之牆體，其強度可予以忽略，而中度及輕度之強度折減係數則分別取 0.8 及 0.9，以進行保守之推估。

表 5-1 一般街屋不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數

劣化度 腐蝕率 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	>0.95	0.90	0.85	0.70	<0.50
備註	^{*1} 如無劣化可採用 0% ^{*2} 若腐蝕嚴重，則應不計該柱之強度貢獻				

(資料來源：本研究整理)

透過文獻(國家地震工程研究中心，2013)的校舍耐震能力詳細評估資料庫做統計分析出經驗回歸公式如式(5-1)、(5-2)，提出以底層(一樓)豎向構件面積對總樓地板面積之比值，推估整棟建築物的性能目標地表加速度 A_p ，即是耐震容量。

$$A_p = \frac{100CFR_{eq} - 0.4 + 0.05N_f}{1.62 - 0.24N_f}, CFR_{eq} \geq (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (5-1)$$

$$A_p = 0, CFR_{eq} < (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (5-2)$$

式中， A_p 建築物的性能目標地表加速度，分為 X 與 Y 方向、 N_f ：建築物的總樓層數(大於四層樓以四層樓做計算，僅限八樓以下建築)、 CFR_{eq} ：等效柱量比，如式(5-3)，將柱的權重係數定義 1.0，其餘構件權重係數按單位面積側向強度做更動參考表 5-2。

$$CFR_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} X_{cor,i} A_{c,i} \beta \times (2.63 \frac{A_{rcw4}}{\sum A_f} + 1.5 \frac{A_{rcw3}}{\sum A_f} + 0.5 \frac{A_{bw4}}{\sum A_f} + 0.4 \frac{A_{bw3}}{\sum A_f})}{\sum A_f}$$

式中， X_{cor} ：不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數參考表 5-1、 N_c ：一樓 RC 柱構件之總數量、 A_c ：一樓 RC 柱各根面積、 β ：強度折減因子取 0.9，因最大側向強度不會同時發生、 $\sum A_{rcw4}$ ：一樓之所有無開口 RC 牆(四面圍束)面積和、 $\sum A_{rcw3}$ ：一樓之所有開口 RC 牆(三面圍束)面積和、 $\sum A_{bw4}$ ：一樓之所有無開口磚牆(四面圍束)面積和、 $\sum A_{bw3}$ ：一樓之所有開口磚牆(三面圍束)面積和、 $\sum A_f$ ：一樓以上總樓地板面積。

表 5-2 一般街屋各豎向構件單位面積之側向強度

豎向構件	單位面積之側向強度 (kgf/cm ²)	權重係數
RC 柱	8	1.0
RC 牆	21	2.63
	12	1.5
磚牆	4	0.5
	3.2	0.4

(資料來源：國家地震工程研究中心，2013)

總調整因子 Q 參考文獻(國家地震工程研究中心，2018)由四種調整因子相乘得知式(5-4)，各項反映建物結構系統與歷經時間的老劣化。

$$Q = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \quad (5-4)$$

$$q_4 = 1 - q_1' \quad (5-5)$$

式中：

q_1 ：扭轉效應，當建物有雙向騎樓為 0.9，單向為 1.0。

q_2 ：興建年代範圍，建於民國 63 年前為 0.9，建於民國 64~71 年為 0.95，建於民國 78~88 年為 1.0，建於民國 89 以後為 1.05。

q_3 ：軟弱底層，當建物底層有牆體中斷為 0.9，若無則為 1.0。

q_4 ：短柱效應如式(5-5)，其值不得小於 0.5。

q'_4 ：極短柱面積和佔總柱面積和之比例。

耐震容量需求比 R_{CD} 為耐震容量與耐震需求 A_T 式(5-6)的比值，如式(5-7)。

$$\frac{A_T}{A_{DS}} = 0.4S \quad (5-6)$$

式中， A_T ：耐震需求(EPA)，也為工址等效最大地表加速度、 S_{DS} 可依據建築物耐震設計規範及解說(營建署，2011)查出該建築物所在位置的短週期水平加速度、近斷層修正係數和工址放大係數求得。

$$R_{CD} = \frac{\min(A_T, A_{DS})}{A_T} \quad (5-7)$$

耐震指標 I_s 如式(5-8)，如大於等於 100 表示耐震能力暫無疑慮，小於 100 表示進入詳細診斷。

$$I_s = E \times Q = 100 \times R_{CD} \times Q \quad (5-8)$$

式中， E ：基本耐震性能比，為 R_{CD} 的 100 倍。

貳、低矮型校舍之初步診斷

初步耐震能力檢測方式似於耐久性能初步診斷法，需透過專業人士填寫完成校舍耐震能力初步評估表(附錄一之附表 1-2)，並參考表 5-1 的低矮型校舍不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數，以進行鋼筋腐蝕影響之初步耐震能力診斷，本節建議採用(國家地震工程研究中心，2013)流程求得耐震指標。

5-3 RC 柱劣化度參考表 3-5、表 3-6 保守評定而得，若柱構件表面無劣化事象亦可忽略；若混凝土裂縫大到無法判定寬度、剝落嚴重，且鋼筋鏽蝕嚴重應不計該柱之強度貢獻。若評估對象為 RC 結構牆，因目前仍缺乏相關實驗佐證，本節建議劣化度重度以上之牆體，其強度可予以忽略，而中度及輕度之強度折減係數則分別取 0.8 及 0.9，以進行保守之推估。

表 5-3 低矮型校舍柱構件於不同劣化度下之強度折減係數

劣化度 腐蝕率 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	>0.98	0.95	0.90	0.80	<0.60
走廊柱	>0.98	0.95	0.90	0.80	<0.60
隔間柱	>0.95	0.90	0.85	0.70	<0.50
備註	* ¹ 如無劣化可採用 0% * ² 若腐蝕嚴重，則應不計該柱之強度貢獻				

(資料來源：本研究整理)

參考文獻(國家地震工程研究中心，2013)探討豎向構件之極限基底剪力強度和基本耐震性能，進而推得校舍結構耐震容量需求比與耐震指標，極限基底剪力強度如式(5-9)。

$$V_{bs} = \beta \times V_{vm} \quad (5-9)$$

式中， V_{bs} ：極限基底剪力強度、 β ：強度折減因子取 0.9，因最大側向強度不會同時發生、 V_{vm} ：一樓豎向構件極限強度之總和，如式(5-10)。

$$V_{vm} = \left(\sum_{i=1}^{N_{c,教室}} X_{cor,i} A_{c,i} \tau_c \right) + \left(\sum_{j=1}^{N_{c,走廊}} X_{cor,j} A_{c,j} \tau_c \right) + \left(\sum_{k=1}^{N_{c,隔間}} X_{cor,k} A_{c,k} \tau_c \right) + \tau_{rcw} A_{rcw} + \tau_{bw3} A_{bw3} + \tau_{bw4} A_{bw4} \quad (5-10)$$

式中， X_{cor} ：不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數參考表 5-3、 N_c ：一樓 RC 柱構件之各總數量、 τ_c ：RC 柱單位面積之側向強度，參考表 5-4、 A_c ：一樓 RC 教室、走廊和隔間柱各根面積、 τ_{rcw} ：RC 牆單位面積之側向強度、 A_{rcw} ：一樓 RC 牆面積之和、 τ_{bw3} ：三面圍束磚牆單位面積之側向強度、 A_{bw3} ：一樓三面圍束磚牆面積之和、 τ_{bw4} ：四面圍束磚牆單位面積之側向強度、 A_{bw4} ：一樓四面圍束磚牆面積之和。

表 5-4 低矮型校舍各豎向構件單位面積之極限側向強度

單位面積之極限側向強度 豎向構件		τ_c (kgf/cm^2)
柱	教室	$1.8 N_f + 4$
	走廊	$1.08 N_f + 2.4$
	隔間	2.6
RC 牆		12
磚牆	四面圍束	3
	三面圍束	2
備註	N_f = 總樓層數，僅限五樓以下	

(資料來源：蘇耕立，2008)

根據建築物耐震設計規範及解說(營建署，2011)之結構最小設計總橫力如式(5-11)，移項為耐震容量需求比如式(5-12)；性能目標地表加速 A_p 與耐震容量需求求比之關係如式(5-13)。

$$V = \frac{S_{aD} I}{1.4 \alpha_y F_u} W \quad (5-11)$$

式中， V ：最小設計水平總橫力(規範 2.2 節)、 I ：用途係數(規範 2.8 節)、 S_{aD} ：工址設計水平加速度係數(規範表 2-5(a))、 W ：建築物總靜載重(蘇耕立，2008)、 α_y ：起始降伏地震力放大係數(規範 2.9 節)、 F_u ：結構系統地震力折減係數(規範 2.9 節)。

$$R_{CD} = \frac{1.4\alpha_y V}{S_{aD} \frac{IW}{F_u}} = \frac{V_{bs}}{S_{aD} \frac{IW}{F_u}} \quad (5-12)$$

式中，耐震容量： $1.4\alpha_y V = V_{bs}$ 、耐震需求： $S_{aD} IW / F_u$ 。

$$A_p = R_{CD} A_T \quad (5-13)$$

式中， A_p ：性能目標地表加速度、 A_T ：等效最大地表加速度如式(4-14)。

$$A_T = 0.4 S_{DS} \quad (5-14)$$

式中， S_{DS} ：近斷層區域工址短週期設計水平加速度係數(規範 2.5 節)。

參考文獻(國家地震工程研究中心，2003)之結構現況調整因子 Q 如式(4-15)，各項反映建物結構系統與歷經時間的老劣化。

$$Q = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_5 \times q_6 \quad (5-15)$$

式中：

q_1 ：平面及立面對稱性，若超過凹角部分於兩水平方向之結構尺寸同時大於沿該方向結構總長之 15% 以上者，具凹角性取 0.95(如圖 5-1 所示)，不足則取 1.0，不具有任何凹角或不規則情況取 1.05。

q_2 ：軟弱底層，若 2/3 以上之牆體於下一層中斷取 0.8，若 1/3 至 2/3 之牆體於下一層中斷取 0.9，若 1/3 以下之牆體於下一層中斷取 1.0。

q_3 ：裂縫銹蝕滲水，若裂縫銹蝕滲水較嚴重取 0.9，若稍有裂縫銹蝕滲水取 0.95，若無裂縫銹蝕滲水取 1.0。

q_4 ：變形程度，若目視有明顯變形及想對應之裂縫取 0.9，若無取 1.0。

q_5 ：平面耐震性，走廊外無柱或其他取 1.0，單走廊且廊外有柱或中間廊取 1.1，雙走廊且廊外有柱取 1.2。

q_6 ：短柱效應，若校舍窗台產生的短柱根數達到全部柱根數之 50% 以上取 0.9，若不足取 1.0。

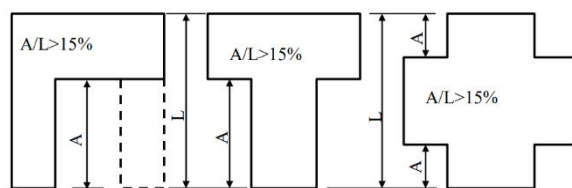


圖 5- 1 幾何形狀不規則

(資料來源：建築物耐震設計規範及解說，圖 C1-2)

耐震指標 I_s 如式(5-16)，如大於等於 100 表示耐震能力暫無疑慮，小於 100 表示進入詳細診斷。

$$I_s = E \times Q = 100 \times R_{CD} \times Q \quad (5-16)$$

式中， E ：基本耐震性能比，為 R_{CD} 的 100 倍。

第三節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力詳細診斷

依照耐久性能初步、詳細診斷所得之柱構件及 RC 結構牆的劣化度及詳細的材料試驗，結合第四章鋼筋混凝土老劣化構件之非線性參數模型，參考文獻(涂豐鈞，2012)和(蔡宜靜，2018)，考慮了握裹破壞、撓曲破壞、撓剪破壞以及剪力破壞形式，修正該構件之撓曲、剪力強度以及塑鉸容量，將塑鉸設定進建置完成的結構分析軟體模型內，快速計算結構的容量震譜、性能曲線、性能目標地表加速度 A_p 和耐震容量需求比(CDR)，當 CDR 大於等於 1.0，該建築物之耐震能力暫無疑慮，若低於 1.0 則可以考慮進行補強；附錄五為實際案例操作，並參考(蔡宜靜，2018)開發的考慮鋼筋腐蝕之耐震能力初步評估。

第六章 實例調查

本實例之建築物為新北市某社區，為地上五層地下一層之鋼筋混凝土建築物，興建於民國 77 年。

依構件劣化、外牆劣化、建築物已使用年數、環境條件及其他使用性相關項目等部分，藉由目視方式判斷其是否有劣化症狀與劣化現象之調查，綜合調查之結果可判定其劣化的程度。本研究僅列出最嚴重之樓層進行各項評定，並將修補過之處列為剝落計算。

第一節 建築物概要調查

根據建物概要、圖說記錄及建物周邊環境等資料以及對於建物管理者進行訪談後等所匯集之資訊記錄下來，如表 6-1 所示，可以進一步掌握建築物實際現況。

表 6-1 實例之建築物概要調查

1. 概要調查		
1.1	調查日期	108 年 9 月 20 日
1.2	委託調查者	廣場管理委員會
	委託調查者聯絡方式	地址: XX 連絡電話: XX
1.3	調查機關	台灣科技大學-耐久研究員
	調查者	林昭妤、姚廷穎、黃新雅
	調查者聯絡方式	地址: 台北市大安區基隆路四段 連絡電話: 27301211
	調查動機	☐ 定期檢查 ☐ 大規模整修前 ☒ 重建和翻修判斷 ☐ 耐震診斷 ☐ 長期維修計畫 ☐ 其他 (_____)
2. 建物概要		
2.1	建物名稱	XX 廣場
2.2	所在地	新北市
2.3	用途	☒ 住宅 ☐ 住商混 ☐ 其他
2.4	所有權	☒ 自用 ☐ 出租 ☐ 混和
2.5	住戶數	85 戶
2.6	竣工日期	77 年 11 月
2.7	屋齡	31 年

2.8	樓層數	地下 5 層 地上 1 層
2.9	占地面積	2639.79 m ²
2.1	建築面積	1583.87m ²
2.11	構造形式	☐ 牆 ☐ 構架 ☒ 其他
2.12	構造種類	☒ RC ☐ SRC ☐ 其他
2.13	施工方式	☐ 傳統工法 ☐ PC 工法 ☐ 部分 PC 工法 ☒ 不明
2.14	基礎	☐ 直接基礎 ☐ 獨立基礎 ☐ 其他 ☒ 不明
2.15	地盤	☐ 良好 ☐ 軟弱 ☐ 傾斜地 ☒ 其他
2.16	設計者	XX ☐ 不明
2.17	監造者	XX ☐ 不明
2.18	施工單位	XX 營造廠 ☐ 不明
2.19	管理單位	_____ ☒ 不明
3. 圖說記錄		
3.1	一般圖	☒ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.2	設計圖	☒ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.3	結構圖	☒ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.4	結構計算書	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☒ 不明
3.5	設備圖	
3.6	確認申請副本	
3.7	地質調查報告書	
3.8	施工記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☒ 不明
3.9	檢查紀錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☒ 不明
3.10	過去調查記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☒ 不明
3.11	修復工作記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☒ 不明
4. 建物周邊環境		
4.1	環境分區	☒ 郊區 ☐ 市區 ☐ 工業區 ☐ 溫泉區
4.2	距海岸最近距離	☐ 0 km ☐ 0 – 0.3 km ☐ 0.3 – 1.0 km ☐ 1.0 – 3.0 km ☐ 3.0 – 5.0 km ☒ 5.0 km 以上
4.3	面向海側方向	☐ 東 ☐ 西 ☐ 南 ☒ 北
4.4	主風方向	☐ __ 面 ☒ 不明
4.5	周圍道路狀況	1 面(寬度 6m)
4.6	其他特別說明 (鄰近住宅的情況等)	
5. 建物履歷		
5.1	改建	☐ 有(_____) ☐ 無 ☒ 不明
5.2	修復、改修	☐ 有 內容: _____、時期: __年__月

		內容：_____、時期：__年__月 內容：_____、時期：__年__月 ☐ 無 ☒ 不明
5.3	災害	☐ 火災(____年) ☐ 地震(____年) ☐ 水災(____年) ☐ 其他(_____) ☐ 無 ☒ 不明
5.4	改善(下陷、漏水設備機器故障等)	☐ 有 內容：_____、時期：__年__月 內容：_____、時期：__年__月 內容：_____、時期：__年__月 ☐ 無 ☒ 不明
6. 材料		
6.1	混凝土	☐ 普通 ☐ 其他(_____) ☒ 不明
6.2	水泥	☐ 普通 ☐ 早強 ☐ 其他(_____) ☒ 不明
6.3	粗粒料	☐ 河岸礫石 ☐ 碎石(岩石名:____) ☐ 其他(_____) ☒ 不明
6.4	細粒料	☐ 川砂 ☐ 山砂 ☐ 海砂 ☐ 碎砂 ☐ 其他(_____) ☒ 不明
6.5	摻合料或添加劑	☐ AE 劑 ☐ AE 減水劑 ☐ 未使用 ☐ 其他(_____) ☒ 不明
6.6	單位水量	____l/m ³ 、 ☒ 不明
6.7	設計標稱強度	____kgf/cm ² 、 ☒ 不明(推定值 280kgf/cm ²)
6.8	製造方式	☐ 預拌 ☐ 場拌 ☒ 不明
6.9	施工目標強度	____、 ☒ 不明
6.1	澆注時間	☐ 春 ☐ 夏 ☐ 秋 ☐ 冬 ☒ 不明
6.11	外牆飾材(工法)	
6.12	內部裝修(工法)	
7. 日常維護與管理		
7.1	長期整修計畫	☐ 有 ☐ 無 ☒ 不明
7.2	管理形態	☐ 自主管理 ☐ 委託 ☒ 不明
7.3	日常檢查實施情況	☐ 有(頻率____次/年) ☐ 無 ☒ 不明
7.4	法定檢查狀況	☐ 已實施 ☐ 無 ☐ 部分實施(內容:_____) ☒ 不明
8. 其他特別說明		

(資料來源：本研究整理)

第二節 構件劣化度判定

依實際勘查結果，所檢測的地下一樓，因梁與柱構件皆由粉刷層所被覆無法得知內部混凝土劣化程度，因此地下室梁構件與柱構件不予以計入，而版構件共 14 個單位面積，其中 10 個單位面積為嚴重損壞，依構件劣化發生機率為該劣化程度之調查根數/該樓層調查總根數，單一樓層版構件劣化度之計算結果為嚴重損壞，發生機率為 10/14、其以上之累積機率仍為 10/14，如表 6-2 所示。

表 6-2 實例之地下一樓版構件劣化紀錄、評定表

構件名稱			建築物名稱		
版			XX 廣場		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S1	12.96		嚴重損壞	中度	嚴重損壞
			混凝土剝落 20%未露出鋼筋，10%白華，並有多處修補過		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S2	9.72		嚴重損壞	重度	嚴重損壞
			混凝土剝落 5%露出鋼筋，20%白華，並有多處修補過		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S3	9.72		嚴重損壞		嚴重損壞
			20%修補過		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S4	17.28		嚴重損壞		嚴重損壞
			30%處修補過		

構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S5	17.28			嚴重損壞	嚴重損壞
			40%白華		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S6	9.72		1 處	嚴重損壞	嚴重損壞
			混凝土剝落 1%露出鋼筋，40%白華，5%經修補過		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S7	9	重度	中度	重度	重度
			混凝土剝落 1%露出鋼筋，1 條沿鋼筋裂縫，20%有鏽蝕污漬		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S8	6.75		嚴重損壞	重度	嚴重損壞
			混凝土剝落 25%未露出鋼筋及補修，25%白華		

構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S9	8.25		嚴重損壞	嚴重損壞	嚴重損壞
			混凝土剝落 5% 露出鋼筋及 50% 修補，並有超過 50% 汙損、白華，		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S10	11.81		重度		重度
			15% 修補過		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S12	11.81		重度		重度
			10% 修補過		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S13	9.72		嚴重損壞	重度	嚴重損壞
			混凝土剝落 3% 露出鋼筋及，，20% 白華及鏽蝕污漬，10% 修補過		

構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
S14	9.72	重度	嚴重損壞	重度	嚴重損壞
		混凝土剝落 5% 露出鋼筋及 30% 補修，1 條沿鋼筋裂縫，20% 污漬			
劣化度		發生機率		累積發生機率	
☒ 嚴重損壞		10/14		10 14	
☐ 重度		3/14			
☐ 中度		0/14			
☐ 輕度		0/14			
☐ 健全		1/14			

(資料來源：本研究整理)

依實際勘查結果，所檢測的地下一樓 RC 牆共 11 個單位面積，其中 2 個為嚴重損壞，單一樓層 RC 牆劣化度之計算結果為嚴重損壞，發生機率為 2/11，其以上之累積機率為 2/11，如表 6-3 所示。

表 6-3 單一樓層 RC 結構牆劣化紀錄、評定表

構件名稱			建築物名稱		
RC 牆			XX 廣場		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
W5	10.8	嚴重損壞		重度	嚴重損壞
			多處網狀裂縫，30%白華、汙損		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
W7	14.4	嚴重損壞			嚴重損壞
			多處網狀裂縫		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
☒ 嚴重損壞		2/11		$\frac{2}{11}$	
☐ 重度		0/11			
☐ 中度		0/11			
☐ 輕度		0/11			
☐ 健全		9/11			

(資料來源：本研究整理)

每樓層各構件種類之劣化度計算後，將判定結果填寫在整棟建築物之劣化度記錄表中，如表 6-4 所示，因無法進入屋內調查，僅調查樓梯間，因此一至五樓無柱構件資料，版構件調查僅為梯間之版，且一至五樓牆及梁分別有瓷磚、粉刷層，無法調查內部混凝土劣化程度，因此一至五樓 RC 結構牆及梁構件不予以計入。

表 6-4 實例之整棟建築物構件劣化評定表

建築物名稱		XX 廣場		
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆
B1F			☐ 健全度 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☒ 嚴重損壞	☐ 健全度 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☒ 嚴重損壞
1F			☐ 健全度 ☐ 輕度 ☒ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
2F			☒ 健全度 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
3F			☐ 健全度 ☐ 輕度 ☒ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
4F			☒ 健全度 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
5F			☒ 健全度 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
劣化度			嚴重損壞	嚴重損壞

(資料來源：本研究整理)

第三節 外牆劣化度判定

本實例之建築物共調查五面牆，本研究僅列出第一側現地調查紀錄表，如表 6-5 至表 6-7 所示，由調查範圍與發生數或面積換算成發生頻率，並分別記錄每側外牆之壁體、雨遮、陽台、女兒牆，可得每側外牆所對應部位之各劣化症狀劣化度，最後統計於建築物外牆評定表如表 6-8 至表 6-12 所示，將壁體、雨遮、陽台、女兒牆各劣化症狀劣化度填入較嚴重之位置，如一般或開口周圍等，最後各側各部位劣化症狀最嚴重者之劣化度則為外牆劣化度。

表 6-5 第一側壁體劣化發生頻率紀錄、評定表

劣化症狀			調查範圍	發生數或面積	發生頻率	劣化度
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋				
		開口牆				
		網狀裂縫				
		其他	282m ²	多條		嚴重毀損
	浮起/鼓脹	部分打診				
		全面打診				
	剝落	表面被覆材	282m ²	5.6m ²	1.98%	輕度
		混凝土 鋼筋露出				
		鋼筋未露出				
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起 泡/表面弱化/粉化/ 其他污損				
	其他					

(資料來源：本研究整理)

表 6-6 第一側雨遮劣化發生頻率紀錄、評定表

劣化症狀			調查範圍	發生數或面積	發生頻率	劣化度
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋	4.3m ²	3 條	70 條/100m ²	嚴重毀損
		開口牆				
		網狀裂縫				
		其他	67.6m ²	20 條	30 條/100m ²	嚴重毀損
	浮起/鼓脹	部分打診				
		全面打診				
	剝落	表面被覆材	63.3m ²	0.9m ²	1.42%	輕度
		混凝土	4.3m ²	一大處		嚴重毀損
		鋼筋未露出	4.3m ²	一大處		嚴重毀損
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起	4.3m ²	一大處		嚴重毀損
		泡/表面弱化/粉化/其他污損				
	其他					

(資料來源：本研究整理)

表 6-7 第一側女兒牆劣化發生頻率紀錄、評定表

劣化症狀			調查範圍	發生數或面積	發生頻率	劣化度
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋				
		開口牆				
		網狀裂縫				
		其他	28.5m ²	0 條	0 條/100m ²	健全
	浮起/鼓脹	部分打診				
		全面打診				
	剝落	表面被覆材	28.5m ²	0m ²	0%	健全
		混凝土 鋼筋露出				
		鋼筋未露出				
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起 泡/表面弱化/粉化/ 其他污損				
	其他					

(資料來源：本研究整理)

表 6-8 實例之建築物第一側外牆評定表

第一側外牆			壁體		女兒牆		雨遮		陽臺		室外樓梯	
			一般	開口周圍	頂部	其他	前端	下面	前端	下面		
一般事項	調查面積		282 m ²		28.5 m ²		67.6 m ²					
	外部施工材		磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	無				
	補修經歷		是	是	否	否	是	否				
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋							●			
		開口牆										
		網狀裂縫										
		其他	●		—		●					
	浮起/鼓脹	部分打診										
		全面打診										
	剝落	表面被覆材	△		—		△					
		混凝土	鋼筋露出							●		
			鋼筋未露出							●		
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/表面弱化/粉化/其他污損								●		
	其他											
備註	1. 委託者限定區域調查因此不施作打診法。											
	2. 因外牆表面有磁磚被覆無法調查內部混凝土狀態，因此磁磚裂縫部分紀錄於其他裂縫，表面狀態僅記錄無被覆部分。											
劣化度記號：嚴重毀損(記號●) 												

(資料來源：本研究整理)

表 6-9 實例之建築物第二側外牆評定表

第二側外牆			壁體		女兒牆		雨遮		陽臺		室外樓梯	
			一般	開口周圍	頂部	其他	前端	下面	前端	下面		
一般事項	調查面積		122 m ²		28.5 m ²		17.3 m ²		35.7 m ²			
	外部施工材		磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	無	磁磚			
	補修經歷		是	是	否	否	否	否	是			
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋						●				
		開口牆										
		網狀裂縫										
		其他	○		—		●		◎			
	浮起/鼓脹	部分打診										
		全面打診										
	剝落	表面被覆材			△	—		○		△		
		混凝土	鋼筋露出						●			
			鋼筋未露出							●		
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/表面弱化/粉化/其他污損							●			
其他												
備註	1. 委託者限定區域調查因此不施作打診法。						劣化度記號：嚴重毀損(記號●)					
	2. 因外牆表面有磁磚被覆無法調查內部混凝土狀態，因此磁磚裂縫部分紀錄於其他裂縫，表面狀態僅記錄無被覆部分。						重度(記號◎) 中度(記號○) 輕度(記號△) 健全(記號—)					
現況照片												
												

(資料來源：本研究整理)

表 6-10 實例之建築物第三側外牆評定表

第三側外牆			壁體		女兒牆		雨遮		陽臺		室外樓梯
			一般	開口周圍	頂部	其他	前端	下面	前端	下面	
一般事項	調查面積		171 m ²		33 m ²		16.6 m ²		64.5 m ²		
	外部施工材		磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	無	磁磚		
	補修經歷		是	是	否	否	否	否	是		
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋							—		
		開口牆									
		網狀裂縫									
		其他		△		—		●		—	
	浮起/鼓脹	部分打診									
		全面打診									
	剝落	表面被覆材			●	—		○		△	
		混凝土	鋼筋露出						—		
			鋼筋未露出						—		
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/表面弱化/粉化/其他污損							◎		
	其他										
備註	1. 委託者限定區域調查因此不施作打診法。						劣化度記號：嚴重毀損(記號●)				
	2. 因外牆表面有磁磚被覆無法調查內部混凝土狀態，因此磁磚裂縫部分紀錄於其他裂縫，表面狀態僅記錄無被覆部分。						重度(記號◎) 中度(記號○) 輕度(記號△) 健全(記號—)				
現況照片											
 											

(資料來源：本研究整理)

表 6-11 實例之建築物第四側外牆評定表

第四側外牆			壁體		女兒牆		雨遮		陽臺		室外樓梯	
			一般	開口 周圍	頂部	其他	前端	下面	前端	下面		
一般事項	調查面積		62 m ²									
	外部施工材		磁磚	磁磚								
	補修經歷		否	否								
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋										
										開口牆		
		網狀裂縫										
		其他		●								
	浮起/鼓脹	部分打診										
		全面打診										
	剝落	表面被覆材		—								
		混凝土	鋼筋露出									
			鋼筋未露出									
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/表面弱化/粉化/其他污損										
		其他										
備註	1. 委託者限定區域調查因此不施作打診法。											
	2. 因外牆表面有磁磚被覆無法調查內部混凝土狀態，因此磁磚裂縫部分紀錄於其他裂縫，表面狀態僅記錄無被覆部分。											
劣化度記號：嚴重毀損(記號●) 												

(資料來源：本研究整理)

表 6-12 實例之建築物第五側外牆評定表

第五側外牆			壁體		女兒牆		雨遮		陽臺		室外樓梯
			一般	開口周圍	頂部	其他	前端	下面	前端	下面	
一般事項	調查面積		257 m ²		35 m ²		13 m ²		34 m ²		
	外部施工材		磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	磁磚	無	磁磚		
	補修經歷		是	是	否	否	是	是	否		
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋									
		開口牆									
		網狀裂縫									
		其他		○	—		◎		—		
	浮起/鼓脹	部分打診									
		全面打診									
	剝落	表面被覆材	○		—		◎		—		
		混凝土	鋼筋露出								
			鋼筋未露出								
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/表面弱化/粉化/其他污損									
其他											
備註			雨遮下端混凝土部分全部經補修無法得知劣化狀況不列入考量。劣化度記號：嚴重毀損(記號●)								
			重量(記號◎)								
			中度(記號○)								
			輕度(記號△)								
			健全(記號—)								
註3.			因外牆表面有磁磚被覆無法調查內部混凝土狀態，因此磁磚裂縫部分紀錄於其他裂縫，表面狀態僅記錄無被覆部分。								
			現況照片								
											

(資料來源：本研究整理)

第四節 環境影響因子調查與評定

氯離子以建築物所在位置之距海遠近距離進行評估，本實例距離海岸線 3km 以上，屬於低環境劣化潛勢，如表 6- 13 所示；另外此建築物位於北部區域，因該建築物建於民國 77 年，屋齡為 31 年，所以屬於低環境劣化潛勢，如 6- 14 所示。

表 6- 13 實例之氯離子環境影響因子評定表

離海岸距離 區域	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	高環境劣化潛勢
北部	☒ 3.0 km 以上	☐ 1.0 ~ 3.0 km	☐ 0 ~ 1.0 km
東部	☐ 3.0 km 以上	☐ 1.0 ~ 3.0 km	☐ 0 ~ 1.0 km
中部	☐ 5.0 km 以上	☐ 3.0 ~ 5.0 km	☐ 0 ~ 3.0 km
南部	☐ 5.0 km 以上	☐ 3.0 ~ 5.0 km	☐ 0 ~ 3.0 km

(資料來源：本研究整理)

表 6- 14 實例之北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表

	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	重環境劣化潛勢
無任何被覆之使用年限	☐ 屋齡 10 年以下	☐ 屋齡 10 ~ 45 年	☐ 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之使用年限	☐ 屋齡 45 年以下	☐ 屋齡 45 ~ 100 年	☐ 屋齡 100 年以上
樹脂材料、磁磚、水泥板材被覆之使用年限	☒ 屋齡 100 年以下		☐ 屋齡 100 年以上

(資料來源：本研究整理)

第五節 其他使用性相關項目評定

除了建築物構件及外牆被覆材料之外觀劣化狀況外，使用性能亦為重要指標，

6-15 所示，但因委託者僅限定調查範圍為梯間，因此多項其他使用性相關項目之評估容無法評定。

6-15 實例之其他使用性相關項目評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
牆面漏水	☐ 無	☐ 點滲水	☐ 面滲水	☒ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
異常體感 (樓板震動、 跨距大變形)	☐ 無	☐ 輕微感覺	☐ 使用者感覺不適	☐ 有安全疑慮
建築物傾斜	☐ 無	☐ 輕微感覺	☐ 使用者感覺不適	☐ 有安全疑慮
天花板裝修物 變形(輕鋼架)	☐ 無	☐ 輕微變形	☐ 變形曲折	☐ 使用上造成困擾
伸縮縫	☐ 無	☐ 點滲水	☐ 面滲水	☐ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
混凝土強度	☒ 全部大於 fc'	☐ 最小值小於 fc' 但平均值大於 fc'	☐ 平均值小於 fc'	☐ 平均值小於 $0.85fc'$
屋頂防水層	調查人員描述			
其他補充	1. 委託者僅限定調查範圍為梯間，因此多項其他使用性相關項目之評估內容無法評定 2. 委託單位不方便提供多處地點施作反彈錘，因此本實例僅施作一處			

(資料來源：本研究整理)

第六節 初步診斷綜合評定表

本實例於構件劣化程度判定時，結果為「嚴重損壞」，故可直接進入詳細性能診斷階段，評定結果如圖 6-1 所示。

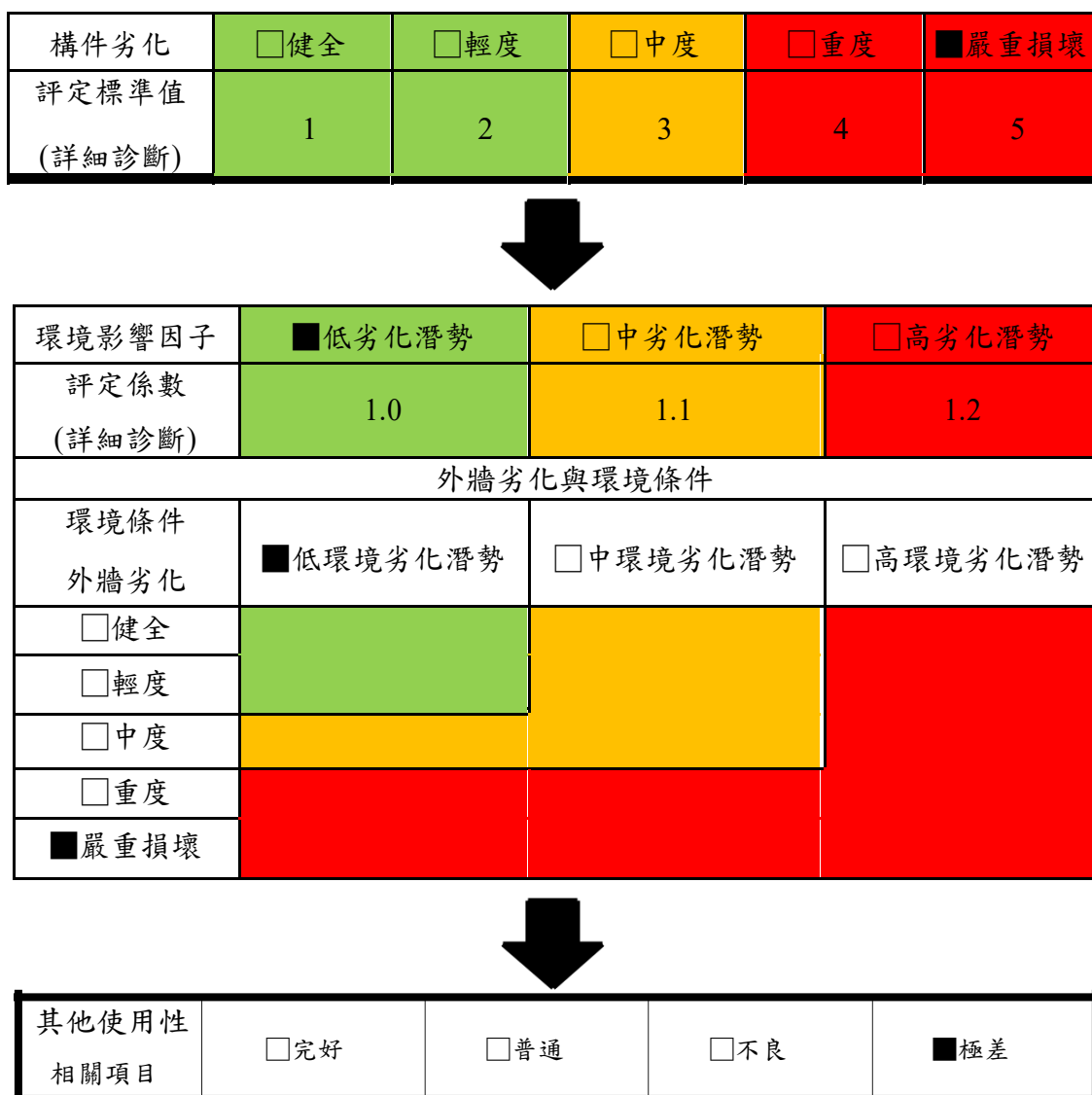


圖 6-1 實例之初步診斷綜合評定
(資料來源：本研究整理)

第七節 小結

依實際勘查結果，發現實際執行上遇到的問題，因此針對此進行調整與討論：

於實際調查後，認為在期中報告中構件劣化與外牆劣化之剝落與表面狀態的部分以處為單位調查，並不容易執行，因處無明確定義，導致判斷上會出現爭議，因此在期末報告書的部分將之改為以面積調查，最後轉換成發生率。

因委託者限定調查範圍，導致許多項目無法調查，如外牆劣化調查時無法操作打診法，構件劣化時無法調查住家內部之柱梁等構件。

調查時外牆由磁磚被覆而地下室梁與柱構件由粉刷層被覆，導致無法調查混凝土真實現況。

反彈錘執行上因其施力不易，導致調查範圍有限。

透過上述問題之修正與討論，實際操作上已無問題，而若因委託者有特別要求或限制調查範圍，則需備註。

第七章 結論與建議

第一節 結論

鋼筋混凝土建築物於其生命週期中，常因天然因素(如地震、海風、降雨等)，更有可能因人為因素(施工設計不良、品質管控不佳、維護不當、外在改變結構物原先的用途等)，混凝土及鋼筋會因其影響而產生劣化與腐蝕，造成強度降低及使用年限減少。因此我們更須擬定一套客觀之評估系統，對於耐久性或安全性不足之建築物，應拆除重建或給予適當之補修。

由於本研究主要研擬鋼筋混凝土建築物整體之耐久性能診斷，並以公寓大廈為對象，如何將各部位劣化狀況或各劣化因子影響範圍統合為一綜合性指標將為主要研究重點，且如何依診斷結果劣化建築物耐震能力評估與建議合適之補修方法亦為另一大挑戰。為解決上述之問題，本研究內容可分為：建築物概要調查、初步耐久診斷與詳細耐久診斷等三大項。以建築物概要調查而言，主要建立一般建築物適用之基本資料表格，除可記載建築物相關之基本資料(如興建年代、基礎型式、用途、外裝材料及所在位置等)外，亦可用了解所在位置之環境條件等。

初步耐久診斷以目視調查為主，其中外牆部分納入女兒牆、雨遮及陽台等，除建築物外觀劣化狀況外，建議使用打診法與反彈錘法協助判定劣化狀態，而與使用性能相關之振動、漏水等也應考慮於診斷項目內，考量外在環境劣化因子以決定是否進行詳細耐久診斷。詳細耐久診斷以了解混凝土材料性質與鋼筋腐蝕程度，因此須進行混凝土鑽心取樣之測試其抗壓強度、中性化深度或氯離子濃度等，其目的主要了解劣化主因及選擇適當維護方法，並建立考慮鋼筋腐蝕影響之塑角容量修正模型。本研究完成之工項如下所述：

鋼筋混凝土建築物概要調查方法與表格建置。

鋼筋混凝土建築物初步及詳細診斷方法與表格建置。

考慮鋼筋腐蝕影響之塑角容量修正模型。

實例調查及專家座談。

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷技術手冊建置。

第二節 建議

依技師報 864 期內容指出，據統計全台屋齡超過 30 年的老公寓約有 72 萬棟，而就台北市居住資訊服務網指出台北市 30 年以上老屋以宅數而言約占總宅 68%，由此調查已知台灣建築物屋齡老化現象已趨嚴重，因此進行建築物之耐久性診斷是必要的。

內政部營建署頒佈之「住宅性能評估實施辦法」，其中共包含 8 項評估項目，然而相較於日本 2000 起推動之「住宅品質確保制度」，明顯對於耐久或劣化相關規定或建議鮮少著墨，主要原因為台灣目前以鋼筋混凝土建築為對象之耐久性診斷方法尚未建置其相關技術手冊。因此，內政部建築研究所自民國 100 年起從事鋼筋混凝土建築物耐久性能相關研究，於本年度已完成建置鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊(草案)，內容包含概要調查與耐久性初步、詳細診斷，亦將考慮鋼筋腐蝕影響之 RC 建物耐震能力評估納入手冊中，並提供補修/補強策略建議。

以建築物概要調查而言，主要建立一般建築物適用之基本資料表格，除可記載建築物相關之基本資料外，亦可用了解所在位置之環境條件等。初步耐久診斷以目視調查為主，考量外在環境劣化因子以決定是否進行詳細耐久診斷。詳細耐久診斷透過混凝土材料性質與鋼筋腐蝕狀況，本年度針對取樣位置與數量進行規定，藉此了解劣化主因及選擇適當維護方法。並提供考慮鋼筋腐蝕影響後的耐震能力評估方法以利操作。短、中及長期之建議如下：

四、主要建議事項

建議一

本研究已建立耐久性診斷準則及手冊研擬，後續可將手冊提供給建築師、土木結構技師公會參考，以推動建築物之耐久性診斷，並可依診斷結果決定維護策略：立即可行建議

主辦機關：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

據統計全臺屋齡超過 30 年的老公寓約有 72 萬棟，而就臺北市居住資訊服務網指出臺北市 30 年以上老屋以宅數而言約占總宅數 68%，由此調查已知臺灣建築物屋齡老化現象已趨嚴重，因此進行建築物之耐久性診斷是必要的。因目前國

內尚無對於建築物耐久性斷相關方法或手冊，後續可將手冊及老劣化 RC 建築結構之耐震初評及詳評修正建議，提供給建築師、土木結構技師公會參考，以推動建築物之耐久性診斷與維護。

建議二

本研究已建立之耐久性能診斷準則及手冊中亦包含維護策略建議，然而維護策略中與腐蝕構件相關之補修工法，臺灣目前尚無相關技術文件或規定可供參考，建議後續可規劃相關課題，除建議腐蝕構件之補修工法外，並可利用試驗證實其有效性：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

因目前腐蝕構件之補修施作過程大多全憑現場人員經驗操作，並無明確之使用手冊或量化數據。因此，斷面補修工法的施作程序與有效性驗證為一重要課題，應納入後續研究課題。

附錄一 耐震能力初步評估表

附表 1- 1 典型校舍耐震能力初步評估表

典型校舍耐震能力初步評估表

校舍基本資料									
學校名稱				評估日期					
建築物名稱				樓號					
評估者				結構物		建築物高度 H (m)			
學校地址				基本振動週期 (T)		T = 0.07 * H ^{0.75} (鋼筋混凝土造)		(sec)	
興建年代						S _{DS}			
經緯度座標				475 年設計地震		S _{D1}			
						S _{SD}			
上傳平面配置圖									
請上傳校園平面圖及相關圖說 Pic									
基本結構耐震性能調查項目									
二樓以上(含屋頂層) 各樓層樓地板面積調查		平面尺寸		樓地板面積 (A _{fl})				樓層數	
		長 (m)	寬 (m)	計算式		面積 (m ²)	地下層	地上層 (NF)	
		二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 (A _f = A _{fl} * NF)						(m ²)	
		地下層總樓地板面積						(m ²)	
一樓柱量	柱類別	柱形式	柱尺寸 (cm) (寬*深)	斷面積 (cm ²) (A _{sci})	根數 (N _{ci})	斷面積小計 (A _{ci} = A _{sci} * N _{ci})			
	走廊外柱	第一種		0		CorAci	0 (cm ²)		
		第二種		0			0 (cm ²)		
		第三種		0			0 (cm ²)		
	教室柱	第一種		0		ClaAci	0 (cm ²)		
		第二種		0			0 (cm ²)		
		第三種		0			0 (cm ²)		
	隔間柱	第一種		0		InsAci	0 (cm ²)		
		第二種		0			0 (cm ²)		
	走廊外柱總斷面積 (cm ²) CorAc = Σ(CorAci)			0	教室柱總斷面積 (cm ²) ClaAc = Σ(ClaAci)		0	隔間柱總斷面積 (cm ²) InsAc = Σ(InsAci)	
柱等效強度 TAc = (4+1.8*NF)*ClaAc+(2.4+1.08*NF)*CorAc+2.6*InsAc (kgf)									
一樓牆量	牆種類	牆厚度 (cm) (T _{wi})	牆長度 (cm)		斷面積小計 (A _{wi} = T _{wi} * L _{wi})				
	RC 牆		計算式		長度 (L _{wi})	RCAwi	0 (cm ²)		
							0 (cm ²)		
							0 (cm ²)		
	四面圍束磚牆					B2Awi	0 (cm ²)		
							0 (cm ²)		
							0 (cm ²)		
	三面圍束磚牆					B1Awi	0 (cm ²)		
							0 (cm ²)		
							0 (cm ²)		
RC 牆總斷面積 (cm ²) RCAw = Σ(RCAwi)			0	四面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B2Aw = Σ(B2Awi)		0	三面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B1Aw = Σ(B1Awi)		0
牆等效強度 TAw = 2*B1Aw+3*B2Aw+12*RCAw (kgf)									
基本耐震性能 E: E = 0.354*NF*(TAc+TAw)/((1+6*NF)*(0.4*SaD)*Af)									
調整因子調查項目									
項目		說明					因子		
平面及立面對稱性		□差(0.95) □尚可(1.0) □良(1.05)					q1 =		
軟弱層顯著性		□2/3 以上牆體中斷(0.8) □1/3 至 2/3 之牆體中斷(0.9) □1/3 以下之牆體中斷(1.0)					q2 =		
裂縫滲水等程度		□嚴重(0.9) □少許(0.95) □無(1.0)					q3 =		
變形程度		□嚴重(0.9) □無(1.0)					q4 =		
平面耐震性		□雙走廊且兩旁有柱(1.2) □單走廊且兩旁有柱或中間走廊(1.1) □兩旁無柱或其他(1.0)					q5 =		
短柱嚴重性		□50%以上(0.9) □50%以下(1.0): 指窗台、窗簾造成之短柱現象					q6 =		
調整因子 Q:		Q = q1*q2*...*q6							
耐震指標 Is:		Is = E*Q =					是否有疑慮:		
							確有耐震疑慮		

備註: *三面圍束磚牆不包含窗台磚牆

負責評估者簽章

(資料來源:校舍耐震資訊網-評估與補強相關文件)

附表 1-2 考慮鋼筋腐蝕影響之典型校舍耐震能力初步評估表

典型校舍耐震能力初步評估表

校舍基本資料				評估日期										
學校名稱				證號										
建築物名稱				結構物										
評估者				基本振動週期 (T)										
學校地址				建築物高度 H (m)										
興建年代				T = 0.07 * H ^ 0.75 (鋼筋混凝土造)										
經緯度座標				475年設計地震										
				S _{D8}										
				S _{D1}										
S _{D0}														
上傳平面配置圖				請上傳校園平面圖及相關圖說 Pic										
基本結構耐震性能調查項目														
二樓以上(含屋頂層)各樓層樓地板面積調查		平面尺寸		樓地板面積 (A _{Fl})				樓層數						
		長 (m)	寬 (m)	計算式		面積 (m ²)		地下層	地上層 (NF)					
		二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 (A _f = A _{Fl} * NF)												
		地下層總樓地板面積						(m ²)						
								(m ²)						
一樓柱量	柱類別	柱形式	柱尺寸 (cm) (寬*深)	斷面積 (cm ²) (A _{sci})	根數 (N _{ci})	健全	輕度	中度	重度	損壞	總折減係數 X _{cor}	斷面積小計 (A _{ci} = A _{sci} * N _{ci})		
	走廊外柱	第一種										CorA _{ci}	(cm ²)	
		第二種											(cm ²)	
		第三種											(cm ²)	
	教室柱	第一種										ClaA _{ci}	(cm ²)	
		第二種											(cm ²)	
		第三種											(cm ²)	
	隔間柱	第一種										InsA _{ci}	(cm ²)	
		第二種											(cm ²)	
	走廊外柱總斷面積 (cm ²)			CorA _c = Σ(CorA _{ci})		教室柱總斷面積 (cm ²)			ClaA _c = Σ(ClaA _{ci})		隔間柱總斷面積 (cm ²)			InsA _c = Σ(InsA _{ci})
柱等效強度 T _{Ac} = X _{cor} (4+1.8*NF)*ClaA _c +X _{cor} (2.4+1.08*NF)*CorA _c +X _{cor} 2.6*InsA _c											(kgf)			
一樓牆量	牆種類	牆厚度 (cm) (T _{wi})	牆長度 (cm)		斷面積小計 (A _{wi} = T _{wi} * L _{wi})									
	RC牆		計算式		長度 (L _{wi})		RCA _{wi}							
								(cm ²)						
								(cm ²)						
	四面圍束磚牆						B2A _{wi}							
								(cm ²)						
								(cm ²)						
	三面圍束磚牆*						B1A _{wi}							
								(cm ²)						
								(cm ²)						
RC牆總斷面積 (cm ²)		RCA _w = Σ(RCA _{wi})		四面圍束磚牆總斷面積 (cm ²)		B2A _w = Σ(B2A _{wi})		三面圍束磚牆總斷面積 (cm ²)		B1A _w = Σ(B1A _{wi})				
牆等效強度 T _{Aw} = 2*B1A _w +3*B2A _w +12*RCA _w											(kgf)			
基本耐震性能 E:				E = 0.354*NF*(T _{Ac} +T _{Aw})/((-1+6*NF)^2*(0.4*SaD)^5*Af)										
調整因子調查項目														
項目		說明						因子						
平面及立面對稱性		□差(0.95) □尚可(1.0) □良(1.05)						q1 =						
軟弱層顯著性		□2/3以上牆體中斷(0.8) □1/3至2/3之牆體中斷(0.9) □1/3以下之牆體中斷(1.0)						q2 =						
裂縫滲水等程度		□嚴重(0.9) □少許(0.95) □無(1.0)						q3 =						
變形程度		□嚴重(0.9) □良(1.0)						q4 =						
平面耐震性		□雙走廊且廊外有柱(1.2) □單走廊且廊外有柱或中間走廊(1.1) □廊外無柱或其他(1.0)						q5 =						
短柱嚴重性		□50%以上(0.9) □50%以下(1.0): 窗窗台、氣窗造成之短柱現象						q6 =						
調整因子 Q:		Q = q1*q2*...*q6												
耐震指標 Is:				Is = E*Q =				是否有疑慮:						
備註: *三面圍束磚牆不包含台灣磚牆 RC結構牆若判斷嚴重損壞應不計其強度貢獻; 劣化度輕、中度折減係數可取0.9、0.8								負責評估者簽章						

(資料來源:本研究整理)

附表 1-3 考慮鋼筋腐蝕影響之低矮型 RC 建築物耐震能力初步評估表

低矮型RC建築物耐震能力初步評估表															
建物基本資料															
建築物名稱					GPS座標					N					
建築物地址					建築物高度					E					
興建年代(民國)					總高度 H (m)										
評估日期					第一層高度 h ₁ (m)										
評估者					S _D					Na Fa S _{DS}					
證號:					耐震需求					A _T =0.4S _{DS}					
基本結構耐震性能調查項目															
二樓(含)以上各層樓地板面積和					各層樓地板面積A _{fi} (cm ²)					二樓以上總樓地板面積					
					2FL 3FL 4FL 5FL 6FL ROOF					ΣA _{fi} (cm ²)					
										樓層數					
										地下 地上 (NF)					
劣化度根數															
總折減係數 X _{cor}															
斷面積小計 (A _{ci} = A _{sci} * N _{ci})															
一樓柱量	騎樓柱	第一種	柱尺寸 (長cm x 寬cm)	斷面積 (A _{sci})	根數 (N _{ci})	健全	輕度	中度	重度	損壞				(cm ²)	
		第二種												(cm ²)	
		第三種												(cm ²)	
	室內柱	第一種												(cm ²)	
		第二種												(cm ²)	
		第三種												(cm ²)	
		第四種												(cm ²)	
		第五種												(cm ²)	
	總柱面積 ΣA _c														(cm ²)
	一樓牆量														
沿騎樓或街道方向	開口磚牆	牆厚度 (T _{wi} , cm)	有效牆長度 (L _{wi} , cm)	斷面積小計 (A _{wi} =T _{wi} * L _{wi}) (cm ²)		各類牆斷面積合計 (cm ²)									
	無開口磚牆			Abwx3		ΣAbwx3									
	開口RC牆			Abwx4		ΣAbwx4									
	無開口RC牆			Arcwx3		ΣArcwx3									
垂直騎樓或街道方向	開口磚牆			Arcwx4		ΣArcwx4									
	無開口磚牆			Abwy3		ΣAbwy3									
	開口RC牆			Abwy4		ΣAbwy4									
	無開口RC牆			Arcwy3		ΣArcwy3									
沿騎樓方向等效柱量比 CF _{Reqx,cor} = (ΣX _{cor} A _c +0.36ΣAbwx3+0.45ΣAbwx4+1.36ΣArcwx3+2.38ΣArcwx4)/A _f (%)															
垂直騎樓方向等效柱量比 CF _{Rey,cor} = (ΣX _{cor} A _c +0.36ΣAbwy3+0.45ΣAbwy4+1.36ΣArcwy3+2.38ΣArcwy4)/A _f (%)															
沿騎樓向性能地表加速度 A _{px} (100CF _{Rx} -0.4+0.05NF)/(1.62-0.24NF)															
垂直騎樓向性能地表加速度 A _{py} (100CF _{Ry} -0.4+0.05NF)/(1.62-0.24NF)															
性能地表加速度 A _p (g)															
基本耐震性能 E = A _p /A _T															
調整因子調查項目															
項目 說明 因子															
興建年代 民國□63以前(0.9) □64~71(0.95) □72~88 (1.0) □89以後(1.05) q ₁ =															
三角窗轉角騎樓 □雙向有騎樓(0.9) □單向有騎樓(1.0) q ₂ =															
軟弱層顯著性 □有牆體中斷(0.9) □無牆體中斷(1.0) q ₃ =															
極短柱顯著性 (1-極短柱占整體柱量比例)≥0.5 ; 極短柱為高深比H _c /D≤2 q ₄ =															
調整因子 Q: Q = q ₁ *q ₂ *q ₃ *q ₄															
耐震指標 Is: Is = E*Q = 是否有疑慮:															
備註:															
Is小於100分表示耐震能力有疑慮，應進行詳細評估確認耐震能力。															
Is大於等於100分以上表示耐震能力暫無疑慮。															
RC結構牆若判斷嚴重損壞應不計其強度貢獻；劣化度輕、中度折減係數可取															
負責評估者簽章															

(資料來源:本研究整理)

附錄二 建築物概要調查表

1. 概要調查		
1.1	調查日期	__年__月__日
1.2	委託調查者	
	委託調查者聯絡方式	地址: 連絡電話:
1.3	調查機關	
	調查者	
	調查者聯絡方式	地址: 連絡電話:
	調查動機	☐ 定期檢查 ☐ 大規模整修前 ☐ 重建和翻修判斷 ☐ 耐震診斷 ☐ 長期維修計畫 ☐ 其他 (_____)
2. 建物概要		
2.1	建物名稱	
2.2	所在地	
2.3	用途	☐ 住宅 ☐ 住商混 ☐ 其他
2.4	所有權	☐ 自用 ☐ 出租 ☐ 混和
2.5	住戶數	__戶
2.6	竣工日期	__年__月
2.7	屋齡	__年
2.8	樓層數	地下__層 地上__層 屋突__層
2.9	占地面積	__m ²
2.1	建築面積	__m ²
2.11	構造形式	☐ 牆 ☐ 構架 ☐ 其他
2.12	構造種類	☐ RC ☐ SRC ☐ 其他
2.13	施工方式	☐ 傳統工法 ☐ PC 工法 ☐ 部分 PC 工法
2.14	基礎	☐ 直接基礎 ☐ 獨立基礎 ☐ 其他 ☐ 不明
2.15	地盤	☐ 良好 ☐ 軟弱 ☐ 傾斜地 ☐ 其他
2.16	設計者	_____ ☐ 不明
2.17	監造者	_____ ☐ 不明
2.18	施工單位	_____ ☐ 不明
2.19	管理單位	_____ ☐ 不明
3. 圖說記錄		
3.1	一般圖	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.2	設計圖	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明

3.3	結構圖	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.4	結構計算書	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.5	設備圖	
3.6	確認申請副本	
3.7	地質調查報告書	
3.8	施工記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.9	檢查紀錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.10	過去調查記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.11	修復工作記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
4. 建物周邊環境		
4.1	環境分區	☐ 郊區 ☐ 市區 ☐ 工業區 ☐ 溫泉區
4.2	距海岸最近距離	☐ 0 km ☐ 0 – 0.3 km ☐ 0.3 – 1.0 km ☐ 1.0 – 3.0 km ☐ 3.0 – 5.0 km ☐ 5.0 km 以上
4.3	面向海側方向	☐ 東 ☐ 西 ☐ 南 ☐ 北
4.4	主風方向	☐ __面 ☐ 不明
4.5	周圍道路狀況	__面(寬度__m)
4.6	其他特別說明 (鄰近住宅的情況等)	
5. 建物履歷		
5.1	改建	☐ 有(_____) ☐ 無 ☐ 不明
5.2	修復、改修	☐ 有 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 ☐ 無 ☐ 不明
5.3	災害	☐ 火災(__年) ☐ 地震(__年) ☐ 水災(__年) ☐ 其他(_____) ☐ 無 ☐ 不明
5.4	改善(下陷、漏水設備機器故障等)	☐ 有 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 ☐ 無 ☐ 不明
6. 材料		
6.1	混凝土	☐ 普通 ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.2	水泥	☐ 普通 ☐ 早強 ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.3	粗粒料	☐ 河岸礫石 ☐ 碎石(岩石名: __) ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.4	細粒料	☐ 川砂 ☐ 山砂 ☐ 海砂 ☐ 碎砂

		☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.5	摻合料或添加劑	☐ AE 劑 ☐ AE 減水劑 ☐ 未使用 ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.6	單位水量	____ l/m ³ 、 ☐ 不明
6.7	設計標稱強度	____ kgf/cm ² 、 ☐ 不明(推定值____ kgf/cm ²)
6.8	製造方式	☐ 預拌 ☐ 場拌 ☐ 不明
6.9	施工目標強度	____、 ☐ 不明
6.1	澆注時間	☐ 春 ☐ 夏 ☐ 秋 ☐ 冬 ☐ 不明
6.11	外牆飾材(工法)	
6.12	內部裝修(工法)	
7. 日常維護與管理		
7.1	長期整修計畫	☐ 有 ☐ 無
7.2	管理形態	☐ 自主管理 ☐ 委託
7.3	日常檢查實施情況	☐ 有(頻率____次/年) ☐ 無
7.4	法定檢查狀況	☐ 已實施 ☐ 無 ☐ 部分實施(內容:_____)
8. 其他特別說明		

(資料來源：日本建築研究所，2002)

附錄三 打診法

參考廖硃岑(2017)文獻，打音診斷法常用於磁磚牆面劣化檢測，是利用工具敲擊磁磚牆面所產生的音頻高低(郭斯傑、黃世孟，2011)。打診法斷診之標準作業流程共分為四個步驟：

將打診棒拉至適當長度以便刷動與敲擊。

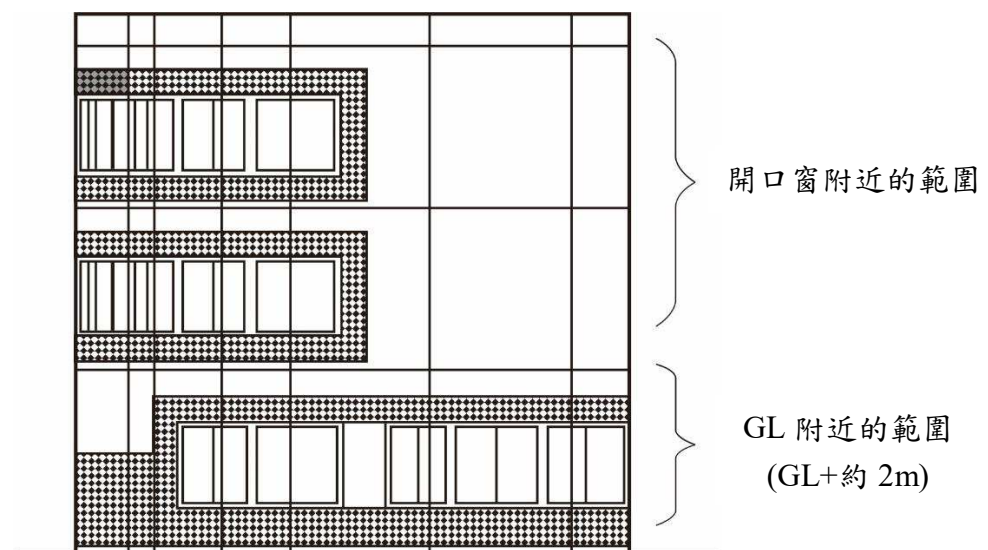
針對欲診斷磁磚牆面大範圍左右來回刷動。

若有發現異質音，則限縮異質音區塊，沒有異質音及判斷為正常磁磚牆面。

針對異質音區塊磁磚個別敲擊。戴佩宜(2008)指出磁磚黏貼缺陷處之聲音頻率較大(空洞聲)，黏貼完整處之聲音頻率較低(厚實聲)，磁磚黏貼缺

陷處之黏著強度較小，而黏貼完整處之黏著強度較大。不同黏貼缺陷所造成的打音結果黏著強度有不同關聯(顏嘉慶，2013)。

以日本而言，目前大多公司採用日本社團法人全國磁磚業協會所出版之操作手冊(外牆磁磚打音調查實務手冊草案)進行打診試驗，其建議之打音重點為開口部附近/陽台下方和窗台/混凝土灌漿冷縫或收縮縫/剝落磁磚附近/裂縫附近/顯著白華部分或上方/鑄水週邊或上方等。若以部分打診而言，主要以伸手可及之處進行試驗，如下圖所示。



附圖 部分打診建議區域

(資料來源：日本社團法人全國磁磚業協會)

參考文獻

郭斯傑、黃世孟、張智元、江立偉，(2011)，建築立面更新健診與評估系統之研究，內政部建築研究。

楊于萱、陳光柔、廖硃岑，(2017)，打診法應用於海菜粉黏貼磁磚工法之劣化檢測探討，2017 年第十一屆物業管理研究成果發表會論文集。

戴佩宜，(2008)，以打音法從事建築外牆磁磚非破壞檢測研究，碩士論文，國立高雄大學創意設計與建築學系研究所。

顏嘉慶，(2013)，利用打音法檢測學校建築外牆磁磚狀況之研究，碩士論文，逢甲大學土木工程學系。

附錄四 詳細診斷因子專家問卷調查

附表 4-1 技師針對材料因素評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕現況	2	0	0	0	23	0	1	0	1	混凝土現況

(資料來源：本研究整理)

附表 4-2 教師針對材料因素評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕現況	1	1	0	0	7	0	0	0	0	混凝土現況

(資料來源：本研究整理)

附表 4-3 工程顧問公司針對材料因素評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕現況	0	1	0	0	12	0	0	0	1	混凝土現況

(資料來源：本研究整理)

附表 4-4 建築師針對材料因素評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕現況	1	1	0	0	4	0	0	1	0	混凝土現況

(資料來源：本研究整理)

附表 4-5 全體針對材料因素評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕現況	4	3	0	0	46	0	1	1	2	混凝土現況

(資料來源：本研究整理)

附表 4-6 技師針對腐蝕現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕電位	1	5	1	0	12	0	2	5	1	中性化深度
腐蝕電位	1	0	2	0	13	0	2	4	5	氯離子
腐蝕電位	0	0	0	0	13	0	2	9	3	構件劣化
中性化深度	0	3	0	0	15	0	1	4	4	氯離子
中性化深度	1	2	0	0	10	0	2	8	4	構件劣化
氯離子	2	1	1	0	16	0	1	5	1	構件劣化

(資料來源：本研究整理)

附表 4-7 教師針對腐蝕現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕電位	1	0	1	0	5	0	0	0	0	中性化深度
腐蝕電位	1	0	0	0	4	0	0	0	2	氯離子
腐蝕電位	1	0	0	0	2	0	0	3	1	構件劣化
中性化深度	0	0	0	0	5	0	0	2	0	氯離子
中性化深度	0	0	0	0	0	0	0	5	2	構件劣化
氯離子	0	0	0	0	0	0	1	4	2	構件劣化

(資料來源：本研究整理)

附表 4-8 工程顧問公司針對腐蝕現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕電位	1	3	1	0	6	0	0	2	1	中性化深度
腐蝕電位	1	3	1	0	5	0	0	3	1	氯離子
腐蝕電位	0	3	2	0	5	0	0	3	1	構件劣化
中性化深度	1	2	0	0	6	0	2	1	2	氯離子
中性化深度	0	1	1	0	7	0	1	2	2	構件劣化
氯離子	2	0	1	0	5	0	1	4	1	構件劣化

(資料來源：本研究整理)

附表 4-9 建築師針對腐蝕現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕電位	0	0	1	0	3	0	1	2	2	中性化深度
腐蝕電位	0	1	0	0	4	0	1	0	3	氯離子
腐蝕電位	0	0	0	0	4	0	0	3	2	構件劣化
中性化深度	0	1	0	0	3	0	1	3	1	氯離子
中性化深度	0	0	0	0	4	0	0	3	2	構件劣化
氯離子	1	0	0	0	4	0	0	2	2	構件劣化

(資料來源：本研究整理)

附表 4-10 全體針對腐蝕現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
腐蝕電位	3	8	4	0	26	0	3	9	4	中性化深度
腐蝕電位	3	4	3	0	26	0	3	7	11	氯離子
腐蝕電位	1	3	2	0	24	0	2	18	7	構件劣化
中性化深度	1	6	0	0	29	0	4	10	7	氯離子
中性化深度	1	3	1	0	21	0	3	18	10	構件劣化
氯離子	5	1	2	0	25	0	3	15	6	構件劣化

(資料來源：本研究整理)

附表 4-11 技師針對混凝土現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
電阻係數	0	2	2	0	6	0	5	5	7	抗壓強度
電阻係數	1	4	2	0	7	0	4	6	3	外牆劣化
電阻係數	0	3	1	0	8	0	2	7	6	鋼筋保護層厚度
抗壓強度	6	4	2	0	9	0	1	5	0	外牆劣化
抗壓強度	3	5	0	0	14	0	2	2	1	鋼筋保護層厚度
外牆劣化	1	2	0	1	13	0	2	4	4	鋼筋保護層厚度

(資料來源：本研究整理)

附表 4- 12 教師針對混凝土現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
電阻係數	0	0	0	0	3	0	0	2	4	抗壓強度
電阻係數	0	0	0	0	4	0	0	4	1	外牆劣化
電阻係數	0	1	0	0	2	0	1	3	2	鋼筋保護層厚度
抗壓強度	2	1	0	0	2	0	0	3	1	外牆劣化
抗壓強度	3	1	0	0	4	0	0	1	0	鋼筋保護層厚度
外牆劣化	1	2	0	0	5	0	1	0	0	鋼筋保護層厚度

(資料來源：本研究整理)

附表 4- 13 工程顧問公司針對混凝土現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
電阻係數	0	2	0	0	6	0	0	4	2	抗壓強度
電阻係數	0	3	2	0	4	0	1	4	0	外牆劣化
電阻係數	0	1	0	1	6	0	1	3	2	鋼筋保護層厚度
抗壓強度	3	4	2	0	3	0	1	1	0	外牆劣化
抗壓強度	1	2	1	0	7	0	1	2	0	鋼筋保護層厚度
外牆劣化	0	2	0	0	6	0	2	4	0	鋼筋保護層厚度

(資料來源：本研究整理)

附表 4- 14 建築師針對混凝土現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
電阻係數	0	1	0	0	1	0	0	2	3	抗壓強度
電阻係數	1	2	0	0	1	0	1	2	0	外牆劣化
電阻係數	1	2	0	0	1	0	1	2	0	鋼筋保護層厚度
抗壓強度	4	1	0	0	2	0	0	0	0	外牆劣化
抗壓強度	3	2	0	0	1	0	0	1	0	鋼筋保護層厚度
外牆劣化	1	1	0	0	2	0	0	2	1	鋼筋保護層厚度

(資料來源：本研究整理)

附表 4- 15 全體針對混凝土現況評估項目之權重問卷

評估準則	左邊重要性較右邊重要					右邊重要性較左邊重要				評估準則
	絕對重要	相當重要	重要	稍微重要		稍微重要	重要	相當重要	絕對重要	
電阻係數	0	5	2	0	16	0	5	13	16	抗壓強度
電阻係數	2	9	4	0	16	0	6	16	4	外牆劣化
電阻係數	1	7	1	1	17	0	5	15	10	鋼筋保護層厚度
抗壓強度	15	10	4	0	16	0	2	9	1	外牆劣化
抗壓強度	10	10	1	0	26	0	3	6	1	鋼筋保護層厚度
外牆劣化	3	7	0	1	26	0	5	10	5	鋼筋保護層厚度

(資料來源：本研究整理)

附錄五 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力實例操作

本實例為台北市某國小之校舍，此建築為地上四層地下一層之鋼筋混凝土建築，興建於民國 78 年，平面配置為長方形，長向為 33 公尺，短向為 12.5 公尺，該建築之基本資料如附表 5-1 所示。

附表 5-1 實例基本資料

構造種類	鋼筋混凝土造
基礎形式	單層筏式基礎
屋齡	約 29 年
樓層數	地上四層、地下一層
平面配置	長方形
長向尺度	33 公尺
短向尺度	12.5 公尺
層高	3.6m
現況用途	防空避難室(地下室)、教室、 辦公室、活動中心

(資料來源：蔡宜靜，2018)

第一節 初步診斷

初步診斷主要進行結構物所在環境對其耐久性能之影響與目視劣化度，其中構件劣化度判定資料可延續至劣化耐震能力初步診斷。使用者除了以表格記錄各構件劣化度外，亦可搭配結構平面圖及圖例進行(此案例構件劣化度判定如附圖 5-3，四樓皆判定為健全，因此省略其圖示)，以便於操作系統時對照構件位置並取得結構模型中相對應的構件名稱，並參考文獻(蔡宜靜，2018)開發的考慮鋼筋腐蝕之耐震能力初步評估做檢核。

本節根據文獻(國家地震工程研究中心，2013)計算耐震指標是否大於等於 100，若無則結構之耐震能力有安全疑慮，計算耐震需求參考編號(1)至(6)，耐震容量參考編號(7)至(11)，檢核所示於附圖 5-1 及附圖 5-2。

(1) 耐震需求，結構靜載重 W 參考式(附 5-1)。

$$W = \sum_{i=2}^N W_{Fi} \frac{A_{Fi}}{A_{RF}} + W_{RF} \frac{A_{RF}}{A_{RF}} = 2 \times 0.9 \times 412.5 + 0.75 \times 412.5 = 1051.9tf \quad (\text{附 5-1})$$

式中， N ：建築物的總樓層數、 w_i ：二樓至屋頂層單位面積載重為 900kgf/cm^2 、 w_{RF} ：屋頂層單位面積載重為 750kgf/cm^2 、 A_{Fi} ：二樓至屋頂層各層總樓地板面積、 A_{RF} ：屋頂層總樓地板面積。

(2) 用途係數取 $I=1.5$ 。

結構基本震動週期參考式(附 5-2)。

$$T = 0.07 \frac{h}{n}^{3/4} = 0.07 \times 14.4^{3/4} = 5.2s \quad (\text{附 5-2})$$

式中， T ：結構基本震動週期、 h_n ：建築物的總高。
結構之設計水平地表加速度反應譜係數參考式(附 5-3)。

$$T_D = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad 1.6s \rightarrow S_{aD} = S_{DS} = 0.6 \quad (\text{附 5-3})$$

式中， T_D ：反應譜短週期與中週期分界之轉角週期、 S_{aD} ：工址設計水平加速度反應譜係數。

(5) 地震力折減係數，既有校舍結構之韌性容量 $R=2.8$ ，容許韌性容量 $R_a=2.2$ 參考式(附 5-4)。

$$F_u = \sqrt{2 R_a - 1} = 1.84 \quad (\text{附 5-4})$$

式中， F ：地震力折減係數。

耐震需求，參考式(附 5-5)。

$$I \left(\frac{S_{aD}}{F} \right)_m W = 1.5 \times \left(0.52 \frac{0.6}{1.84} + 0.144 \right) \times 1051.9 = 494.8\text{tf} \quad (\text{附 5-5})$$

式中， $(S_{aD}/F_u)_m$ ：譜加速度係數之修正。

建築物基本資料		垂直構件之斷面積和 (cm ²)		折減係數
學校	xx國小	教室柱	48600	0.98
建築物	xx樓	走廊柱	16200	0.845
樓層數	4	隔間柱	0	1
		鋼筋混凝土牆	0	1
		四面圍束磚牆	0	
		三面圍束磚牆	0	
		確定		

垂直構件單位面積之側向強度	
$\tau_c = \begin{cases} 1.8N_F + 4 & \text{教室柱} \\ 1.08N_F + 2.4 \text{ (kg/cm}^2\text{)} & \text{走廊柱} \\ 2.6 & \text{隔間柱} \end{cases}$	
$\tau_{RCW} = 12$ 鋼筋混凝土牆	
$\tau_{BFW} = 3$ (kg/cm ²) 四面圍束磚牆	
$\tau_{BFW} = 2$ 三面圍束磚牆	

極限基底剪力	
側向強度折減係數 $\beta=0.9$	
Vbs	562.881312 tf

附圖 5-1 考慮鋼筋腐蝕之耐震容量

(資料來源 本研究整理)

考慮鋼筋腐蝕影響之耐震容量，鋼筋腐蝕柱附表 5-2。附表

5-2 校舍初步診斷柱之劣化度

劣化度 柱類型	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
教室柱	18	0	0	0	0
走廊柱	2	0	0	6	0

(資料來源：本研究整理)

單位面積之側向強度，無隔間柱，參考式(附 5-6 至附 5-7)

$$\tau_{c,教室柱} = 1.8N_F + 4 = 1.8 \times 4 + 4 = 11.2 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{附 5-6})$$

$$\tau_{c,走廊柱} = 1.08N_F + 2.4 = 1.08 \times 4 + 2.4 = 6.72 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{附 5-7})$$

式中， τ_c ：單位面積之側向強度。

考慮鋼筋影響之側向強度和，參考式(附 5-8)。

$$\begin{aligned} (V_{vm})_{cor} &= \sum_{i=1}^{I_N,教室柱} A_{cor,i} \tau_{c,i} + \sum_{i=1}^{I_N,走廊柱} A_{cor,i} \tau_{c,i} \\ &= 0.98 \times 11.2 \times (45 \times 60 \times 18) + 0.98 \times 6.72 \times (45 \times 45 \times 2) \\ &\quad + 0.80 \times 6.72 \times (45 \times 45 \times 6) = 625.4 \text{ tf} \end{aligned} \quad (\text{附 5-8})$$

式中， X_{cor} ：不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數參考表 5-3。

(10) 耐震容量，參考式(附 5-9)。

$$(V_{bs})_{cor} = \beta (V_{vm})_{cor} = 0.9 \times 625.4 = 562.9 \text{ tf} \quad (\text{附 5-9})$$

式中， β ：強度折減因子取 0.9。

(11) 耐震容量需求比 (CDR)，參考式(附 5-10)。

$$R_{CD} (CDR) = \frac{562.9}{494.8} = 1.13 \quad (\text{附 5-10})$$

(12) 總調整因子 Q 參考式(附 5-11)。

$$= 1.0 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.9 \times 1.1 \times 1.0 = 0.80 \quad (\text{附 5-11})$$

(13) 耐震指標 I_s ，參考式(附 5-12)，小於 100 進入詳細診斷。

$$I_s = Q \times E = 0.80 \times 100 \times 1.13 = 91 \quad (\text{附 5-12})$$

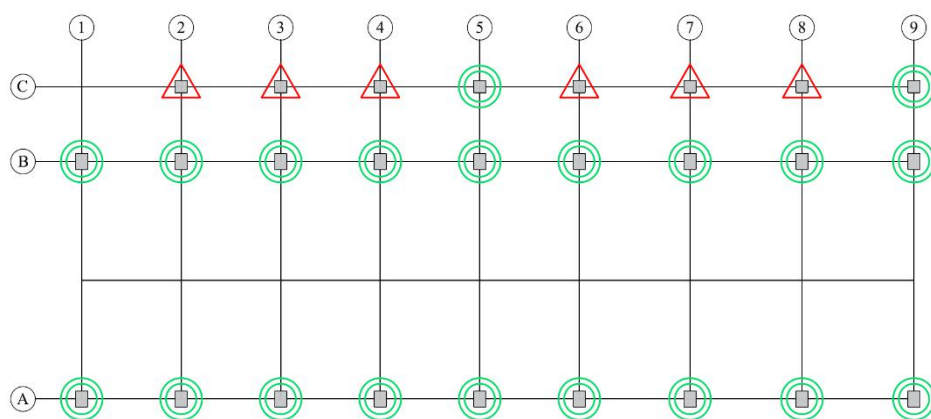
建築用途	第二類建築	工址設計水平加速度反應譜係數 SaD	0.6
用途係數	1.5	韌性容量 R	2.8
基本振動週期	14.4 m	韌性容量 Ra	2.2
結構基本振動週期經驗公式	0.070	結構系統地震折減係數 Fu	1.8439
基本振動週期	0.5175 s	工址設計水平加速度反應譜係數之修正	0.3132
全部靜載重		耐震需求	494.18
頂層樓地板面積	412.5 m ²	耐震容量需求比 CDR	1.139
其他層樓地板面積	825 m ²		
全部靜載重	1051.875 tf		
確定			

(a) 耐震需求與耐震容量需求比 (CDR)

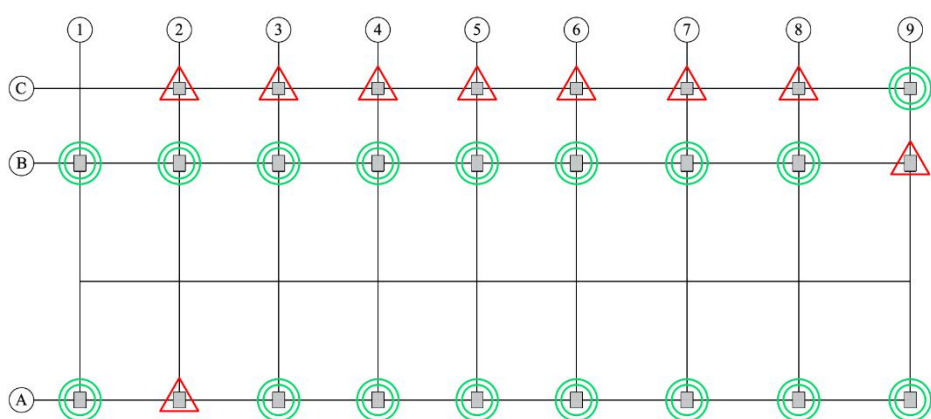
平面及立面對稱性 q1	1.0
軟弱層顯著因子 q2	0.9
裂縫銹蝕滲水等程度 q3	0.9
變形程度 q4	0.9
平面耐震性 q5	1.1
短柱嚴重性 q6	1.0
耐震指標 Is	91.3381
疑有耐震疑慮	
確定	

(b) 總調整因子 Q 與耐震指標 I_s
標附圖 5-2 耐震指標

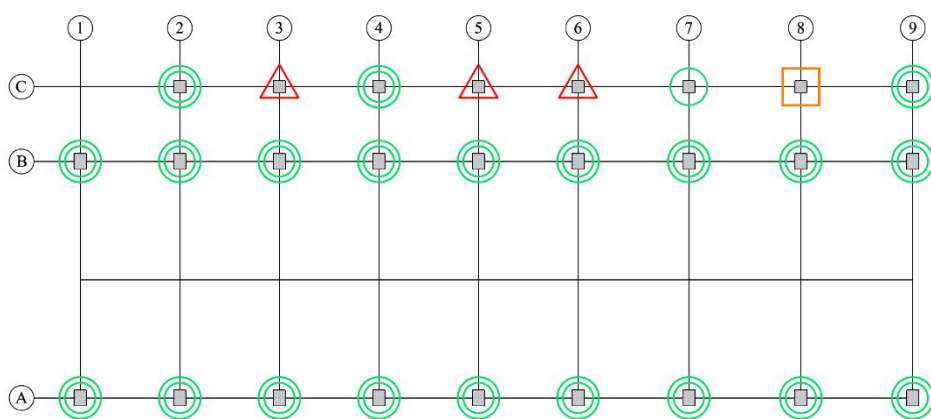
(資料來源：蔡宜靜，2018)



一樓



二樓



三樓

健全 輕度 中度 重度 嚴重損壞

附圖 5-3 實例構件劣化度判定結果

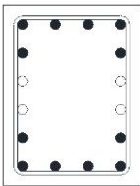
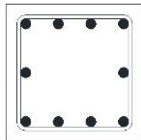
(資料來源：蔡宜靜，2018)

第二節 詳細診斷

依據第三章做詳細的材料性能試驗，透過建築物的圖說及現場條件，將材料特性以及構件斷面，建立於結構分析軟體 ETABS 模型內；建立額外的子程式鋼筋腐蝕柱構件塑鉸容量修正於臺灣結構耐震評估側推分析法(TEASPA)，配合文獻(國家地震工程研究中心，2013)之操作方式，新增構件柱之腐蝕率參數鍵入(r_p ：柱主筋之腐蝕率、 r_{pt} ：柱箍筋之腐蝕率)，如附圖 5-4，輸出成果設定回結構分析軟體 ETABS 模型內，並進行劣化結構物耐震能力評估。

本案例其柱面配置及材料性質整理如附表 5-3 至附表 5-4 所示，基本圖說(平面圖、立面圖)與結構模型如附圖 5-5 至附圖 5-7 所示。

附表 5-3 實例柱斷面配置

柱編號	C1	C2	C3
尺寸(cm)	45×60	45×60	45×45
斷面			
主筋	● 12 - #7 ○ 4 - #6	● 10 - #7 ○ 2 - #6	● 10 - #7
箍筋	#3@20~25cm	#3@20~25cm	#3@20~25cm
樓層	1F~4F	1F~4F	1F~4F

(資料來源：蔡宜靜，2018)

附表 5-4 實例材料性質

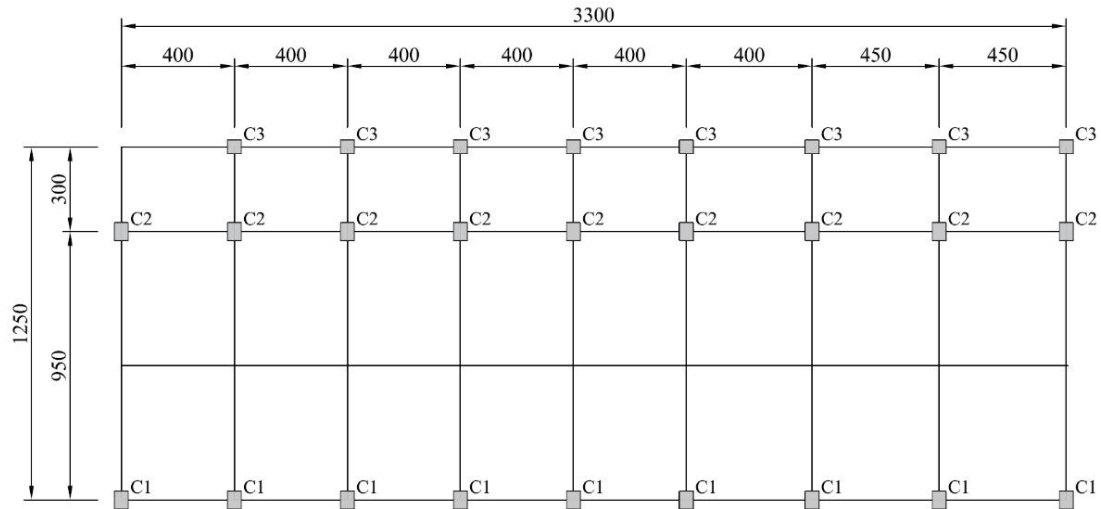
樓層	混凝土抗壓強度 f'_c (kgf/cm^2)	鋼筋降伏強度 f_y (kgf/cm^2)	箍筋降伏強度 f_{yt} (kgf/cm^2)
1F	157	2800	2800
2F	160	2800	2800
3F	206	2800	2800
4F	200	2800	2800

(資料來源：蔡宜靜，2018)

\$ COLUMN DATA									
\$Name	story	properties		section		H	L	fromBtm	rp rpt
C1	2FL	C1L	C1L	150	150	0	0	0	
C1	3FL	C1L	C1L	150	150	0	0.03	0.03	
C1	RFL	C1L	C1L	150	150	0	0.05	0.05	
C2	2FL	C1L	C1L	150	150	0	0.10	0.10	
C2	3FL	C1L	C1L	150	150	0	0.15	0.15	
C2	RFL	C1L	C1L	150	150	0	0.20	0.20	

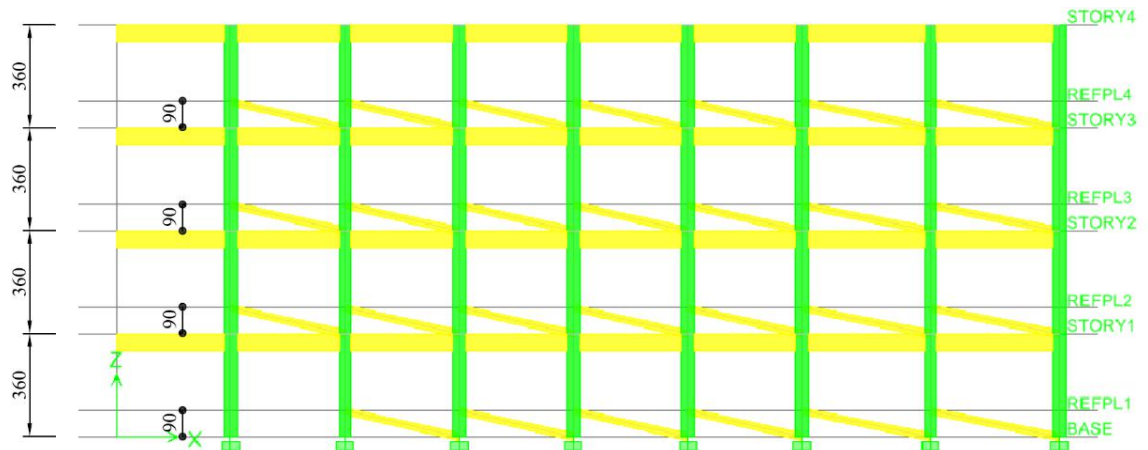
附圖 5- 4 TEASPA 輸入檔 txt 之構件柱腐蝕率參數 (rp , rpt)

(資料來源：蔡宜靜，2018)



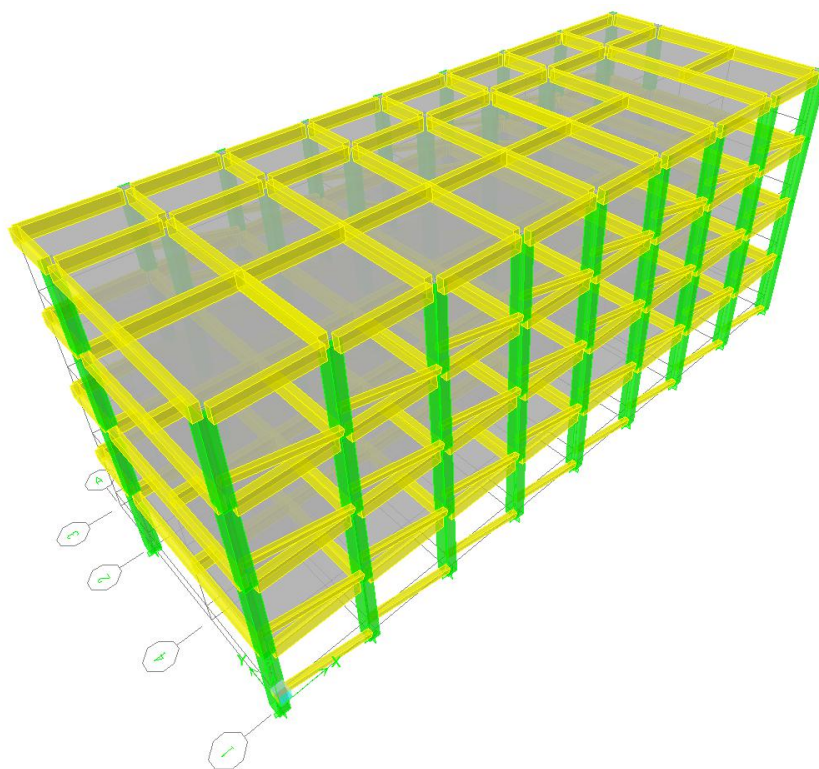
附圖 5- 5 實例結構平面圖

(資料來源：蔡宜靜，2018)



附圖 5- 6 實例立面圖

(資料來源：蔡宜靜，2018)



附圖 5- 7 實例結構模型

(資料來源：蔡宜靜，2018)

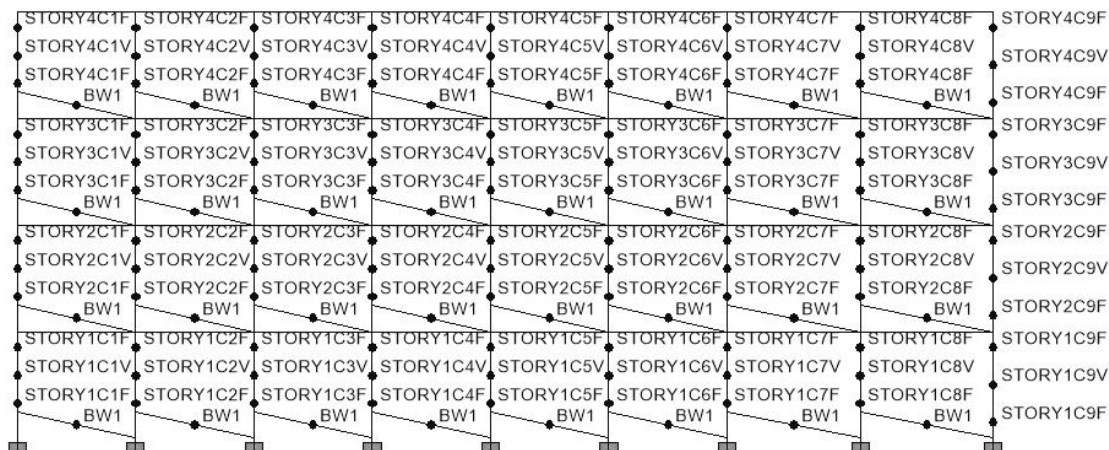
本實例對於鋼筋腐蝕柱劣化度情況的考量基準為採用健全分析暫判定為 0%，而重度判定為 10%；藉由臺灣結構耐震評估側推分析法(TEASPA)可得結構物之

容量曲線、耐震性能曲線、性能目標地表加速度及相關數值；性能目標地表加速度標準根據(國家地震工程研究中心，2013)，如附表 5- 5；原始為不考慮劣化影響，腐蝕後為考慮劣化影響，十年後為柱構件劣化度皆嚴重一級，健全增為輕度、輕度增為中度等以此類推；附圖 5- 8 為結構分析模型塑鉸分佈；附圖 5- 9 為實例側推分析模型塑鉸發展圖。

附表 5- 5 既有校舍補強對應 475 年設計地震之性能目標標準

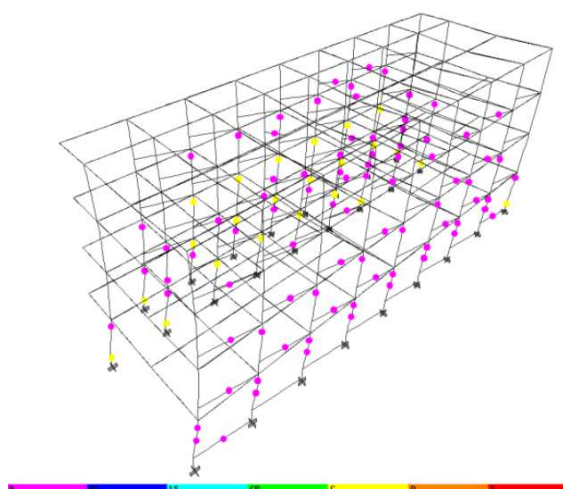
用途分組	A_p			A_T
一般校舍 (I = 1.25)	V_{max}	$D_r^T = 2.0\%$	垂直構件發生 軸向破壞 ^{*2}	0.4S _{DS}
緊急避難用校舍 (I = 1.5)	$0.8V_{max}^{*1}$	$D_r^T = 1.0\%$		0.4S _{DS}
備註	^{*1} 位於基底剪力上升段，最大值 V_{max} 的 0.8 倍 ^{*2} 撓曲彎矩非線性鉸到達 E 點，剪力非線性鉸達到 C 點			

(資料來源：國家地震工程研究中心，2013)

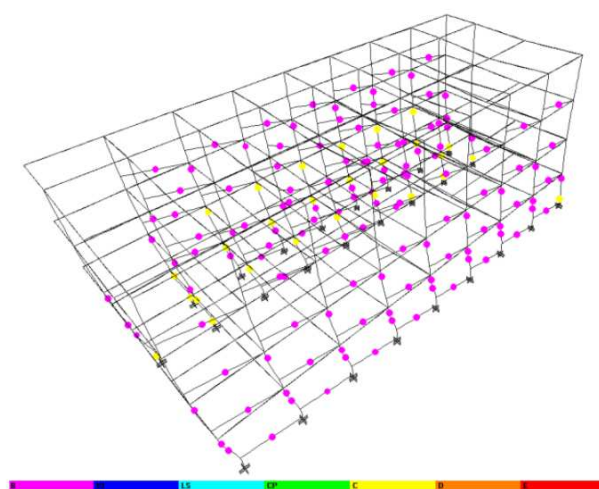


附圖 5- 8 塑鉸分佈

(資料來源：本研究整理)

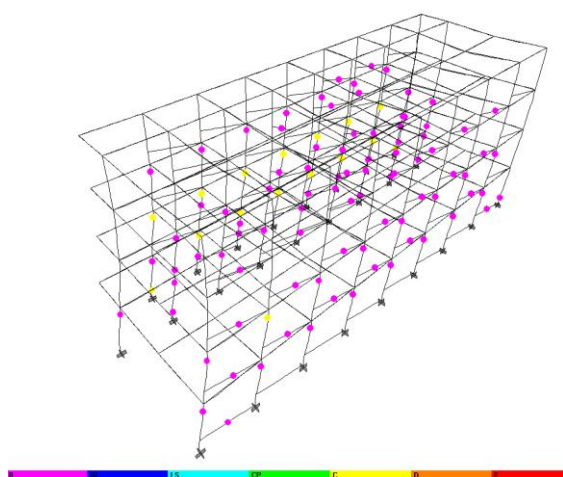


+X 向塑鉸發展圖

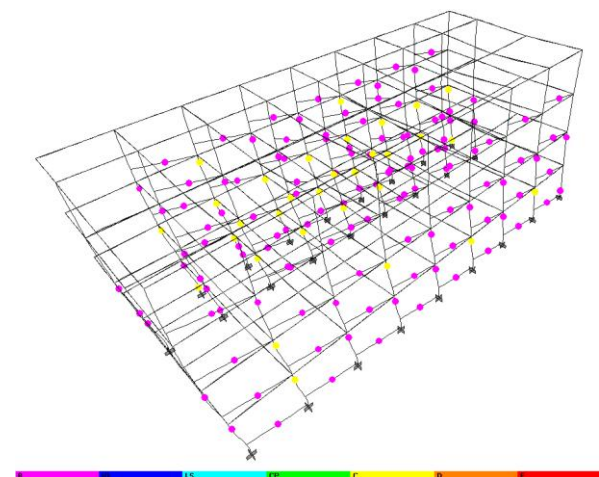


-X 向塑鉸發展圖

側推分析模型(原始)

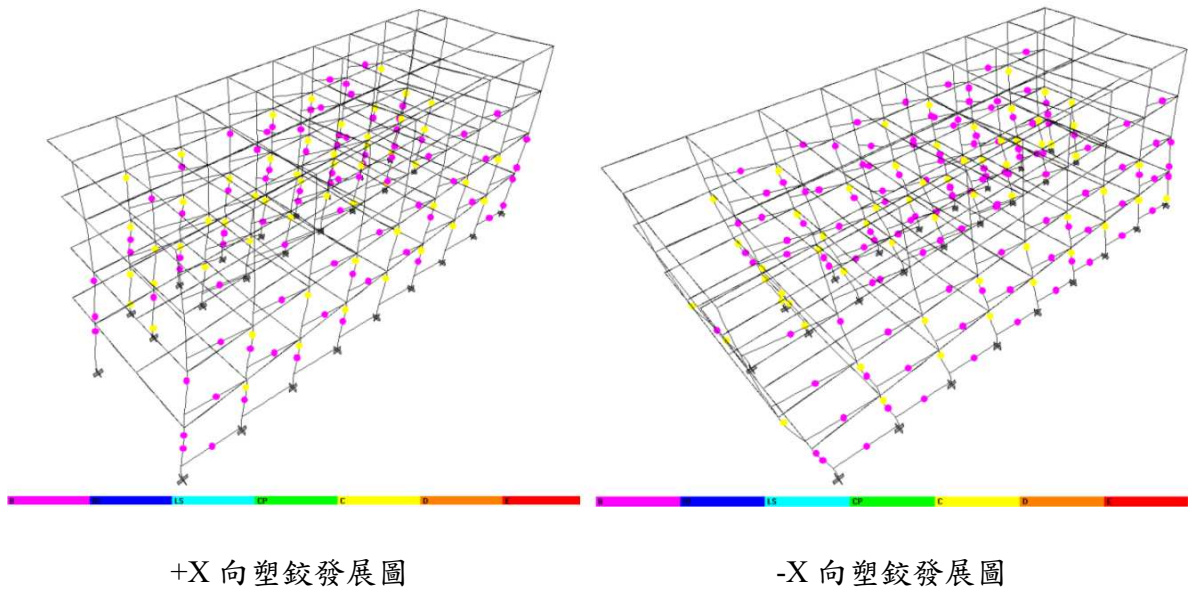


+X 向塑鉸發展圖



-X 向塑鉸發展圖

側推分析模型(腐蝕後)

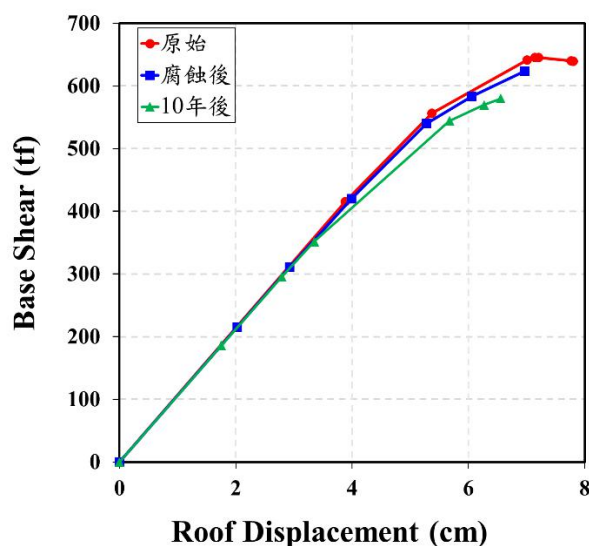


側推分析模型(十年後)

附圖 5-9 實例側推分析結果展示圖

(資料來源：本研究整理)

實例考慮劣化耐震能力評估結果如附圖 5- 10 至附圖 5- 13 所示，不同情況下之耐震能力則整理如附表 5- 6，本實例用途係數為 1.5，性能目標地表加速度參考附表 5- 5 檢核。



附圖 5- 10 實例容量曲線

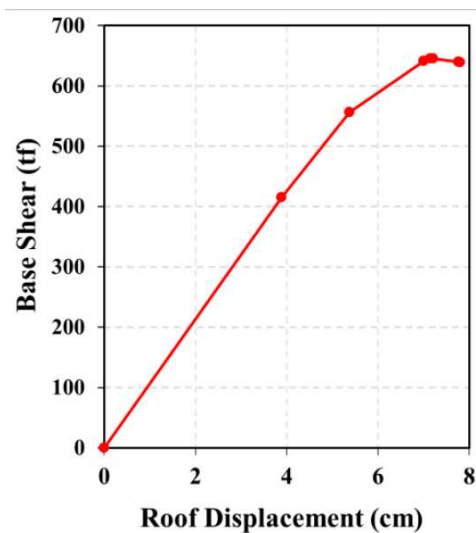
(資料來源：本研究整理)

附表 5- 6 實例耐震能力比較

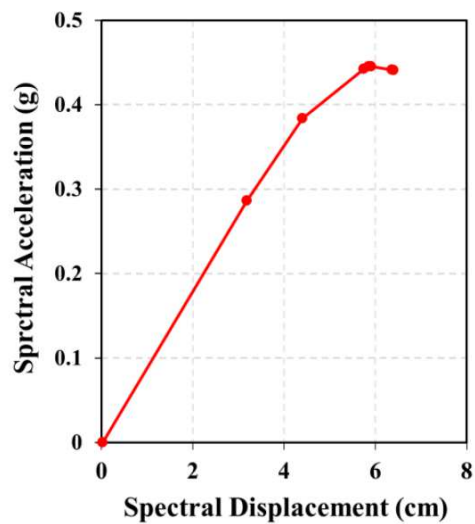
耐震能力評估成果(用途係數 1.5)

性能目標地表加速度 A_p				
工址回歸期 475 年設計地震地表加速度 $A_T=0.24g$				
準則	檢核項目	原始	腐蝕後	十年後
強度準則 $V=0.8V_{max}$	Step 階段	7	7	7
	基底剪力	645507	623523	579926
	位移比 $D_T=1.0\%$	0.749%	0.730%	0.724%
	耐震能力 A_{p1}	0.145	0.142	0.136
位移準則 $DTR=1.0\%$	Step 階段	—	—	—
	位移比	未達	未達	未達
	耐震能力 A_{p2}	—	—	—
軸向破壞準則	Step 階段	—	—	—
	軸向破壞有無	無	無	無
	耐震能力 A_{p3}	—	—	—
耐震能力 $A_{p,min}$		0.145	0.142	0.136
補強需求		$A < A_{pT}$ (NG)	$A < A_{pT}$ (NG)	$A < A_{pT}$ (NG)
與原始 V_{max} 比較(%)		100.00%	96.59%	89.84%
與原始 A_p 比較(%)		100.00%	87.82%	80.87%

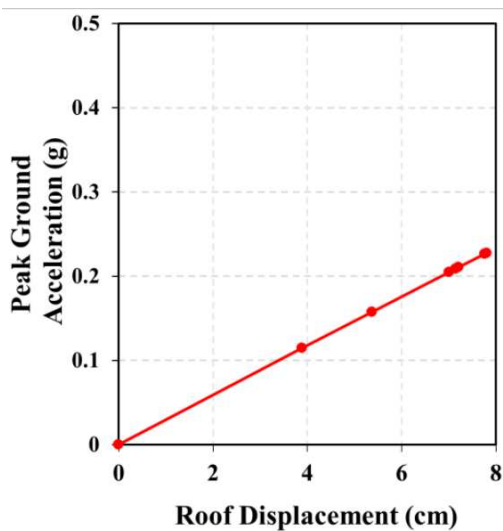
(資料來源：本研究整理)



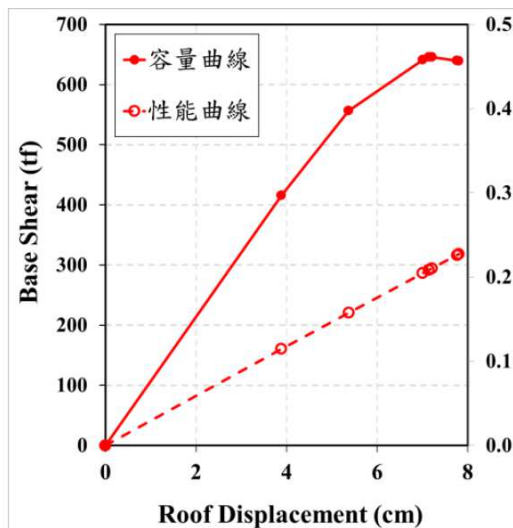
(a) 容量曲線



(b) 容量震譜



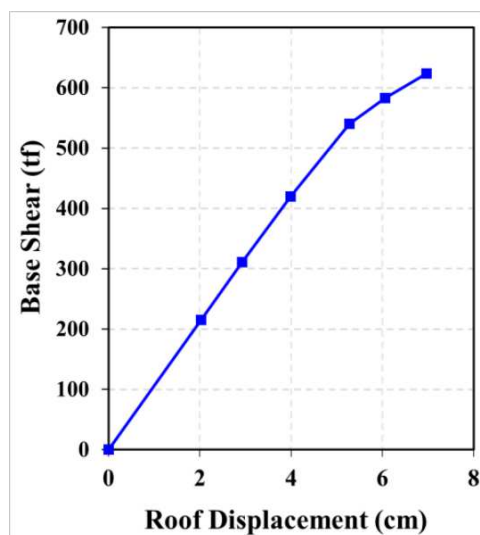
(c) 性能曲線



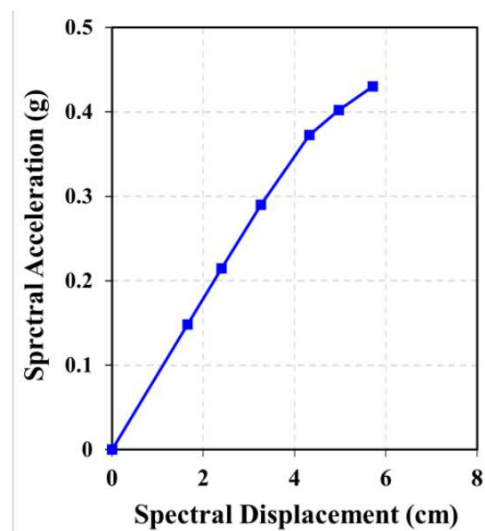
(d) 容量曲線與性能曲線

附圖 5- 11 實例耐震能力評估結果(原始)

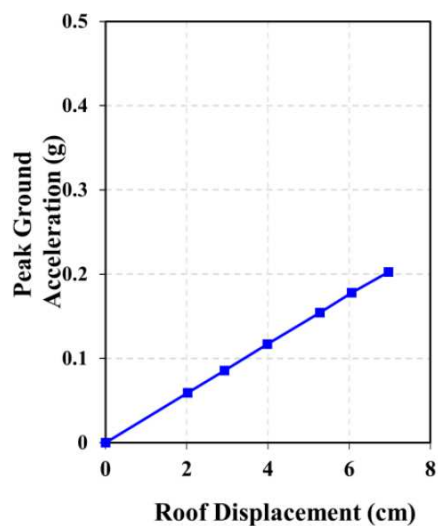
(資料來源：本研究整理)



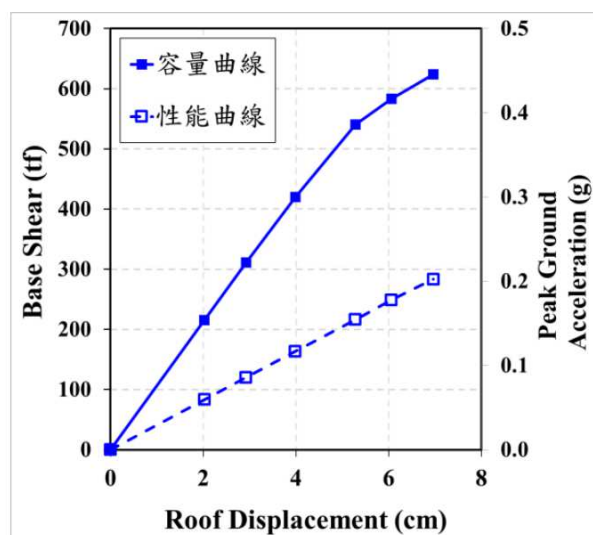
(a) 容量曲線



(b) 容量震譜



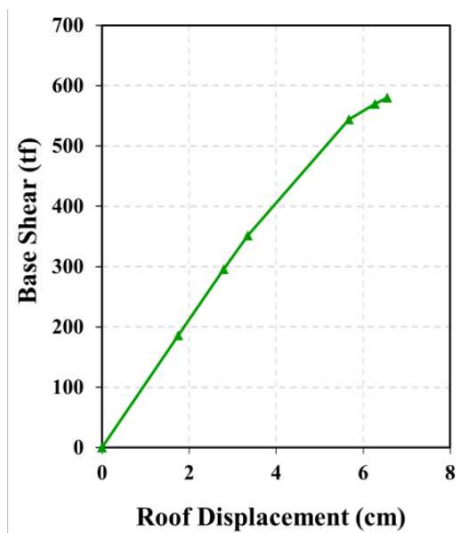
(c) 性能曲線



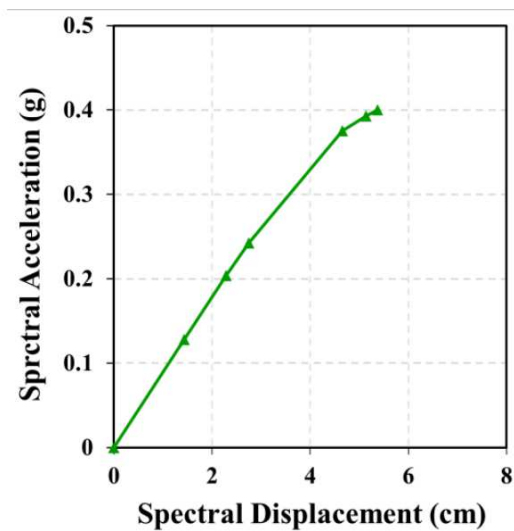
(d) 容量曲線與性能曲線

附圖 5- 12 實例耐震能力評估結果(腐蝕後)

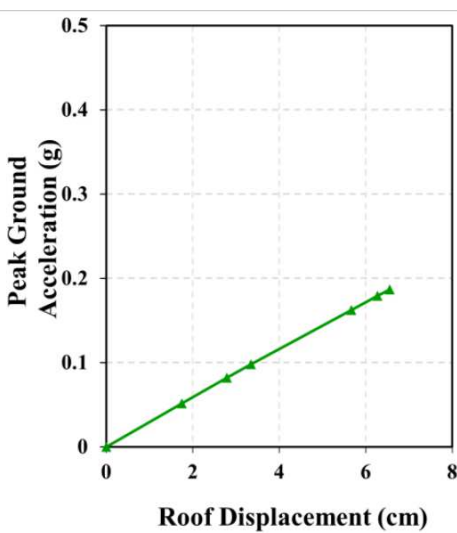
(資料來源：本研究整理)



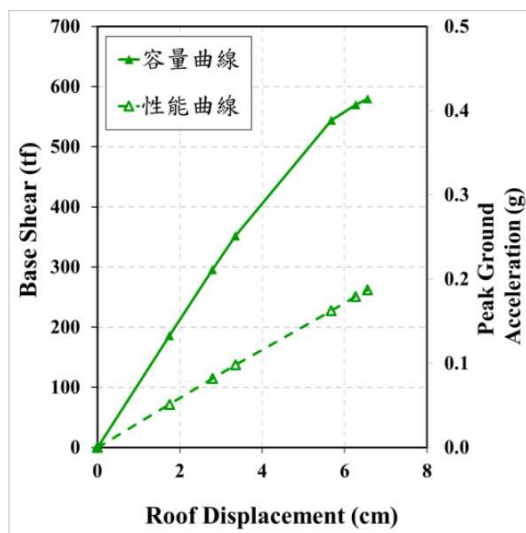
(a) 容量曲線



(b) 容量震譜



(c) 性能曲線



(d) 容量曲線與性能曲線

附圖 5- 13 實例耐震能力評估結果(十年後)

(資料來源：本研究整理)

參考文獻

邱建國、蔡宜靜，(2018)，RC 建物耐久與耐震性能整合評估系統開發與建置，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系。

國家地震工程研究中心，(2013)，校舍結構耐震評估與補強技術手冊第三版報告
編號：NCREE-2013-023。

附錄六 鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊(草案)

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷
技術手冊(草案)

內政部建築研究所 編制

108 年 12 月

手冊內容

第一章 手冊說明.....	205
第一節 本手冊緣起與說明.....	205
第二節 本手冊適用範圍	206
第三節 相關用語定義	207
第二章 概要調查與耐久性能初步診斷.....	211
第一節 本手冊診斷流程說明.....	211
第二節 建築物概要調查	213
第三節 耐久性能初步診斷	214
第四節 初步診斷綜和評定	239
第三章 耐久性能詳細診斷	240
第一節 詳細診斷方法說明.....	241
第二節 診斷項目說明	242
第三節 詳細診斷綜合評定	254
第四章 考慮鋼筋腐蝕影響之 RC 建物耐震能力評估	257
第一節 診斷鋼筋腐蝕耐震能力評估說明.....	257
第二節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力初步診斷.....	258
第三節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力詳細診斷.....	265
第五章 維護管理策略擬定	266
參考文獻 維護管理策略擬定.....	276
手冊附錄一 耐震能力初步評估表.....	278
手冊附錄二 建築物概要調查表.....	281
手冊附錄三 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力實例操作.....	284

第一章 本手冊說明

第一節 本手冊目的

目前國內雖積極推動工程之永續設計或低碳設計，但多為定性方法或理論而缺乏一系統性定量手冊。以鋼筋混凝土建築而言，延長其生命週期或使用年限，可提升其”耐久性能”以符合長壽命建築之要求，則能使其符合永續工程目標。因此，建立台灣適用之鋼筋混凝土建築耐久診斷與設計手冊是極為需要之研究課題。

在現有的鋼筋混凝土建築物中，針對耐久性能較低的建築物依本研究所提出之建議方法進行診斷，以了解建築物劣化之原因及狀況，並提出抑制建築物退化之補修方法，維持建築物該有之耐久性能為本手冊之目的。內政部建築研究所自民國 100 年起從事鋼筋混凝土建築物耐久性能相關研究，於本年度亦已完成鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法建置工作，其診斷方法共包含：建築物概要調查、初步耐久診斷與詳細耐久診斷等三大項。以建築物概要調查而言，主要建立一般建築物適用之基本資料表格，除可記載建築物相關之基本資料(如興建年代、基礎型式、用途、外裝材料及所在位置等)外，亦可用了解所在位置之環境條件等。初步耐久診斷以目視調查為主，除建築物外牆劣化狀況外，與使用性相關項目之震動、漏水等也應考慮於診斷項目內，考量外在環境劣化因子以決定是否進行詳細耐久診斷。詳細耐久診斷以了解混凝土材料性質與鋼筋腐蝕狀況，因此須進行混凝土鑽心取樣之測試其抗壓強度、中性化深度或氯離子濃度等，其目的主要了解劣化主因及選擇適當維護方法。

第二節 本手冊適用範圍

本手冊適用於鋼筋混凝土建築物，調查混凝土內部鋼筋是否產生鏽蝕或建築物是否有劣化現象，進行劣化診斷及補修工法建議，且僅適用因外部酸性之化學物質進入混凝土內部與骨材發生化學變化，而造成的劣化現象，若因地震、使用上不當等因外力而造成的結構體損害，則不適用。本手冊僅針對主要受力構件，也就是主結構體（柱、梁、版及 RC 結構牆等），進行耐久性能調查、診斷。

第三節 相關用語定義

調查

建築物進行診斷前的調查，透過使用者訪談及調查者現場勘查為了解建築物之背景及現況。

診斷

為了確切掌握建築物劣化之原因，根據調查結果進行評定，以決定劣化原因與程度，進而選定適當補修工法。

建築物構件

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；版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，由主要鋼筋及混凝土材料構成，而牆構件則有可能輕質磚堆砌而視為非傳力或承重構件。

劣(老)化

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，皆會造成材料劣(老)化並影響建築物之安全及使用性。常見劣化現象為混凝土裂縫、混凝土剝落、鋼筋鏽蝕及建築物滲漏水等。

建築物外牆

外牆為建築技術規則建築設計施工篇定義為建築物外圍之牆壁，不包含建築物結構、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。

鼓脹

鼓脹又稱為鼓起，為水泥砂漿和覆蓋水泥砂漿的牆體之介面發生間隙併發產生材料分離現象。

白華

白華形成主要因為水份滲透到混凝土中，溶解在水泥固結水化(Hydration)過程所產生且存留於混凝土裡的氫氧化鈣(Calcium hydroxide)，然後經由混凝土表面蒸發或裂縫滲漏時並和空氣中二氧化碳起反應作用，而成了碳酸鈣。當水份蒸發乾燥，所遺留之附著於混凝土表面白色粉末即為粉狀白華。粉狀

白華如果又被滲漏水一再溶解、乾固等不斷重複作用，就會形成比較大、比較結實的晶狀白華。另外，除了混凝土固化產生的氫氧化鈣，混凝土骨材或瓦片磚石裡，多少含有一些化學離子鹽份(Sulfates)，也可能被滲透水溶解、氧化及乾固而形成白華。

裂縫

隱性裂縫主要存在於建築物內部，無法由肉眼觀測表面得知。此種劣化現象普遍存在於結構體中。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建築物內，一旦受極大外力的介入，則其有可能轉變為顯在之混凝土裂縫。顯在裂縫有別於隱在裂縫，而多發生於建築物表面，同時也可能存在對建築物危害；其危害程度則視裂縫寬度、長短、深淺、發生部份、外在環境與使用條件而有所差異。

中性化

中性化作用是空氣中二氧化碳或其他具酸性氣體侵入混凝土而產生之化學變化。當混凝土暴露在大氣中，空氣中二氧化碳或其他具酸性氣體侵入混凝土而產生之化學變化，會使混凝土的 pH 值降低，而使鋼筋表面狀態由鈍化區變為易腐蝕之狀態，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，使有害物質更易滲入混凝土中。換言之，混凝土之 Ca(OH)_2 會和空氣中之二氧化碳反應而產生近中性之 CaCO_3 (pH 值為 7)，使得混凝土的酸鹼度由 pH 12~14 約降至 pH 9~10；此一反應稱為中性化反應。

鋼筋腐蝕

鋼筋腐蝕之劣化現象通常因混凝土裂縫發生後導致水氣、濕氣及大氣中之有害氣體侵入，造成混凝土逐漸產生中性化現象，此時中性化會造成混凝土 pH 值由高鹼性轉變成低鹼性，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，一旦發生鋼筋銹蝕，加上其原始成份與新生物質的不同，原始體積也會變為未銹蝕前之 2.5 倍，促使混凝土內產生體積膨脹應力，將造成混凝土裂縫與保護層剝落等現象，更嚴重導致軀體之使用年限降低，因而浪費大量之維修及重建費用，故分析造成鋼筋混凝土腐蝕之因素及剖析造成鋼筋混凝土變質原因，實於刻不容緩。

鋼筋之混凝土保護層不足

因鋼筋易腐蝕，因此鋼筋之耐蝕能力與混凝土保護層厚度有密切關係，當混凝土保護層不足時，容易使鋼筋鏽蝕、混凝土剝落等現象。

特殊環境引致之劣化

混凝土結構物在工業地區等惡劣的環境下，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。工業地區空氣中二氧化碳濃度高，容易促使混凝土結構產生中性化現象，另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之作用，將侵蝕混凝土而造成鋼筋腐蝕，產生鹽害。

氯離子劣化

引起氯離子劣化原因可分為二種。一為製造混凝土時由海砂或水等使用直接化物而形成；另一則為鄰近海岸地區之結構物，混凝土表面附著海水，由於吸水或擴散使得超過容許含量之鹽化物自混凝土中侵入，經過數年，混凝土之品質將因鋼筋腐蝕而大受影響。混凝土由於外界鹽份侵入或使用含鹽份材料，使鋼筋表面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。在鹽害方面，當混凝土中鋼筋表面的氯離子超過一定的量時，鋼筋表面的保護性鈍化膜開始破壞，接著鋼筋開始腐蝕膨脹造成混凝土龜裂。

蜂窩

混凝土澆置時，因搗實不確實或施工不良等因素，而導致水泥砂將無法充分的填充粗細粒料間空隙，使混凝土產生大小不一空洞，此現象稱為蜂窩。

冷縫

氣溫低於 25°C 時若澆置混凝土間停頓 120 分鐘以上；或氣溫高於 25°C 時停頓 100 分鐘以上，則前後澆置混凝土間會發生連接不良之接縫，稱為冷縫。混凝土冷縫有兩個缺點，一是會漏水，二是混凝土剪應力傳遞不良，由於冷縫會造成漏水導致鋼筋腐蝕，以及影響結構安全等弊病，所以施工過程中，應盡量避免其發生。

乾燥收縮

乾燥收縮是引起水泥混凝土開裂的主要原因之一，它直接影響水泥混凝土的耐久性。混凝土在硬化過程中，多餘水分蒸發引起體積縮小，稱為乾燥收縮。

乾燥收縮受很多因素的影響，一般用水量大、水泥用量多、構件尺寸越小或越薄、周圍空氣濕度很小，則乾燥收縮量就越大。

結構變形

結構變形原因主要為荷重作用下，基礎不均勻沉陷所引起之過大變形，易造成裂縫而使結構物產生進一步劣化現象。

伸縮縫

伸縮縫也叫做溫度縫，是為了避免建築構件在溫度變化的時候由於熱脹冷縮產生的溫度應力破壞建築物而預留的縫隙，是一種變形縫。和其他變形縫相同，預留伸縮縫會導致構造措施的增加，從而增加建築成本。同時，預留伸縮縫還會影響建築物的外觀。所以，在建築設計的時候，建築師通常會盡量避免使用伸縮縫。但是，對於跨度非常長或者結構變化比較複雜的建築物，伸縮縫是避免溫度應力破壞建築物的最佳方法。在房屋建築中，伸縮縫應該從房屋基礎頂面開始，向上全部斷開直到屋頂。

劣化度

建築物因物理或化學因素影響，而造成降低耐久性能之程度。

補修

針對不同的劣化症狀提出適當之補修方針，目的是將已老化之建築物回復到原本既有之狀態。

鏽蝕汙損

腐蝕鋼筋的鏽蝕外漏可見，並附著在裝修材或混凝土表面之情況。

表面脆弱化

混凝土表面因凍害和磨損而減弱，包含粉末化。

異常體感

下陷和傾斜引起的異常感，有地板震動、開關配件感覺異常。

第二章 概要調查與耐久性能初步診斷

第一節 本手冊診斷流程說明

2.1 本手冊診斷流程說明

為了掌握建築物劣化狀況，進行耐久性能調查，以劣化程度判定是否需進行補修，而補修則依診斷的結果選定適宜之工法。

本手冊建議之耐久性能調查可分為建築物概要調查、初步診斷、詳細診斷。建築物概要調查、初步診斷後，若無法充分取得資料足以判定的情況時需進行詳細診斷。

本手冊建議之耐久性能調查方法僅適用自然狀態下而發生的劣化行為，若建築物損壞為震損造成的，則進行耐震能力評估。

解說：

本手冊參考內政部建築研究所【1】及日本建築研究所【2】，鋼筋混凝土建築物可明顯看出某些劣化症狀，或者是想掌握建築物完工後經過數年其軀體的劣化狀況，而對其進行耐久性能調查。調查是為了瞭解建築物各部位構件之損傷狀況，其劣化形式、劣化程度、劣化發生原因等等，皆可以做為診斷之資料。一般而言，建築物概要調查及耐久性能初步診斷為必要實施項目，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。

圖 R 2- 1，各項目內容概述如下：建築物概要調查內要包含設計圖書、施工紀錄、檢查或補修工事紀錄等資料，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固有條件而實行之調查；初步診斷依本手冊所建議之項目進行調查，且以目視為主，主要了解構件是否有劣化症狀及其程度外，並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劣化現象進行現地調查並採取試體樣本進行相關材料檢驗或試驗，其目的主要了解劣化原因與程度，並判定是否進行補修及合適之補修工法選定。

本手冊提供之耐久性能診斷方法及流程僅適用於自然狀態下鋼筋混凝土材料或因本身材料不良，而引發之自然(劣)老化現象；若因外力、地震力或施

工不良等造成之建築物損壞，則不適用於本手冊提供之方法，而地震所引致之損傷則可參考國家地震中心建議之初步耐震能力診斷方法(手冊附錄一之附表 1-1)，或是內政部營建署建議之鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估(PSERCB)【3】，以進行耐震能力評估。

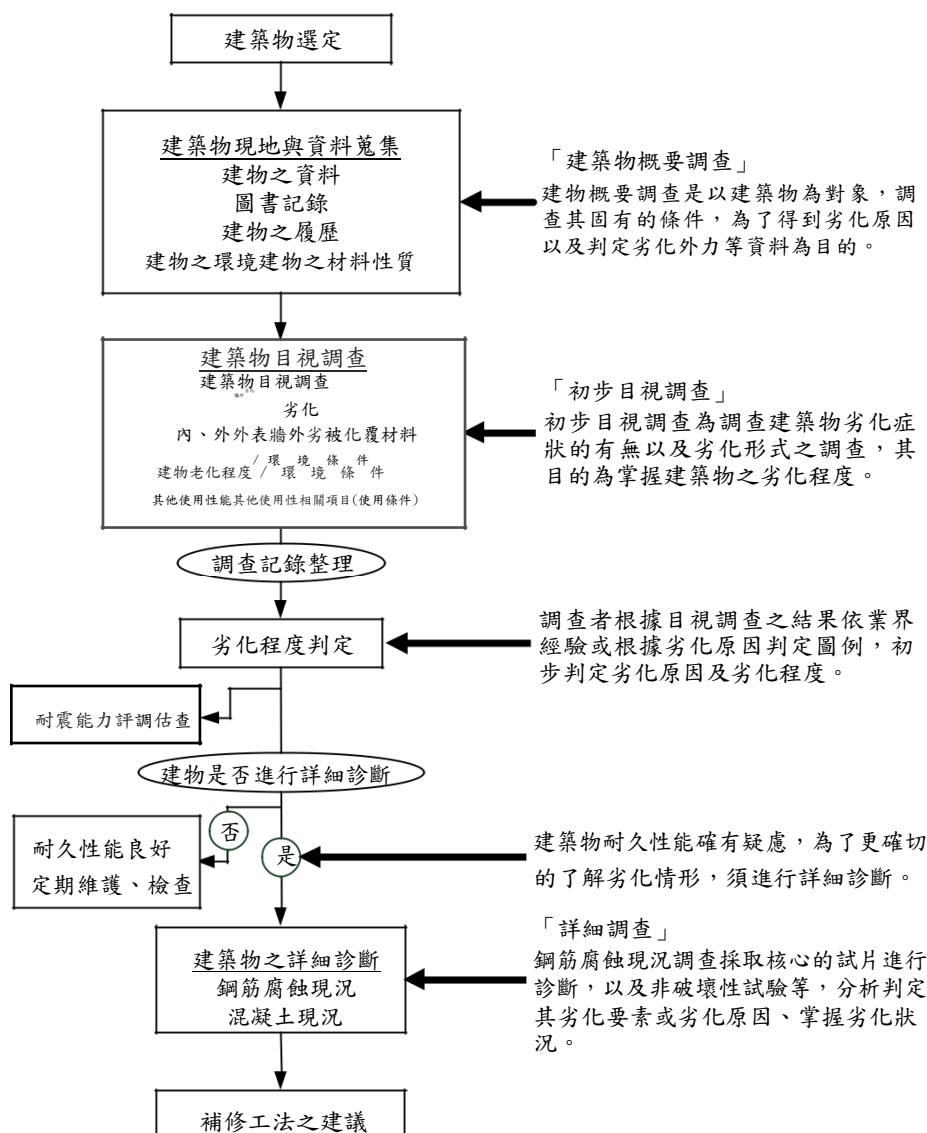


圖 R 2- 1 耐久性能診斷方法流程圖

第二節 建築物概要調查

2.2 建築物概要調查

建物概要調查是調查人員以建築物為對象透過問診，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。

根據下列項目進行調查

- a. 概要調查—包含調查日期及委託機關、調查機關的基本資料建築物的設計者及施工者。

建物概要—需填寫用途、屋齡、所在位置等。

- c. 圖說記錄—包含設計圖、構造圖等。

- d. 建物周邊環境—針對建築物所處環境進行調查，包含該地區之特殊環境條件及溫度、距海岸最近距離及面向海側方向。

- e. 建物履歷—調查有無受災紀錄包含火災、地震、水災等，並記錄有無增改建或修復、改修。

材料—包括內外裝修材料、混凝土設計標稱強度，細粒料及水泥種類等。

日常維護與管理—針對有無長期整修計畫及日常檢查情形做紀錄。

其他、必要的事項。

根據概要調查表(手冊附錄二)紀錄其調查結果。

解說：

人類有生老病死之現象，建築物也不例外，建築物概要調查好比人生病問診一樣，紀錄姓名、年紀、住所、職業、家族病歷等，藉由問診獲得病人之背景資料，為了推定劣化原因而作之參考資料。

依照日本建築研究所【2】中之內容建議可分為七大項，調查人員依據所得到的資料進行調查，完工年代、建物有無設計圖、施工紀錄、檢查紀錄及補修紀錄等資料。

將建築物概要調查之結果記錄於手冊附錄二。

第三節 耐久性能初步診斷

2.3.1 耐久性能初步診斷流程說明

初步診斷使用目視調查，調查重點為裂縫、浮起/鼓脹、剝落、表面狀態四種劣化形式，依調查項目而定，初步診斷依下列影響因子進行調查：

構件劣化

外牆劣化

環境影響因子

其他使用性相關項目

調查人員參考裂縫形式判定圖例，判定構件劣化之成因，並將調查結果按照所訂定的樣式記錄之。

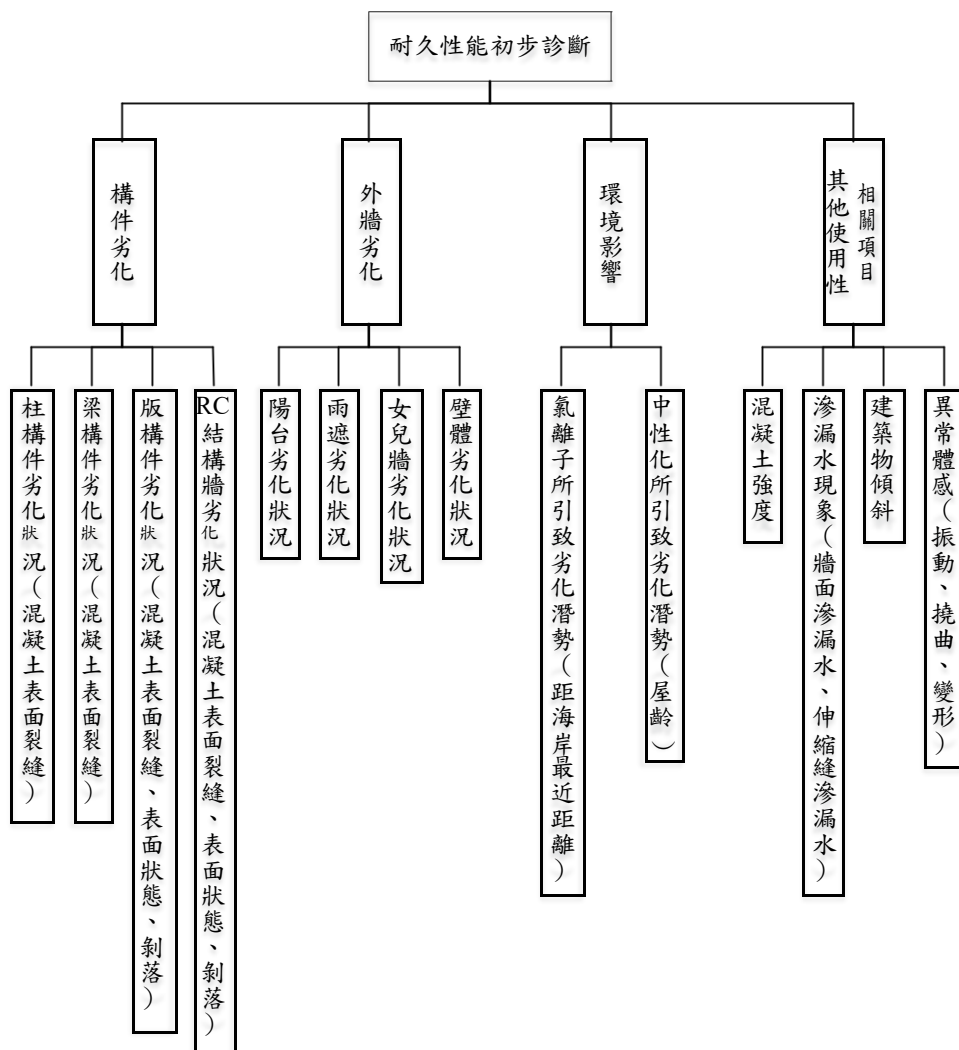
解說：

調查人員依表 R 2- 1 進行目視調查，本手冊選定四類因子進行判定：一為構件劣化，主要評估建築物柱、梁、版及 RC 結構牆等之劣化狀況；二為外牆劣化程度，主要調查建築物外牆、女兒牆、雨遮、陽臺其於自然環境及維護不當下造成之劣化狀況；三為環境影響因子，本手冊將依建築物所在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，以使用者觀點出發，判定是否有滲漏水、變形及振動等易造成使用性能不佳問題，參考圖 R 2- 2，綜合目視調查之結果，以初步判定建築物之耐久性能。

R 2- 1 初步診斷項目

項目	調查事項	調查重點
1	建築物外牆劣化	調查壁體、女兒牆、雨遮、陽臺是否有剝落之情形
2	建築物構件劣化	柱、梁之混凝土表面是否有裂縫情形
		版構件及 RC 結構牆調查混凝土表面是否有剝落情形
3	使用性相關項目狀況	構架歪斜、牆壁樓板滲漏水、建築物傾斜、伸縮縫功能是否完善
4	屋頂防水層狀況	防水功能是否完善

(資料來源 【1】)



R 2-2 耐久性能初步診斷項目

初步診斷法以目視調查為主，其調查重點以眼睛觀察構件劣化情形並利用工具（望遠鏡或相機等）確實掌握劣化損害狀況。由於目視調查工程較為主觀，因此須由相關專業人員進行，並建立相關診斷手冊與評估表，協助調查人員按表或流程操作，詳細記錄要求之調查結果於建議之表中。

調查人員調查裂縫寬度前，須依裂縫形式之分類判定裂縫成因，依日本建築學會【4】與日本建築研究所【2】，參考圖 R 2-3 至圖 R 2-13。

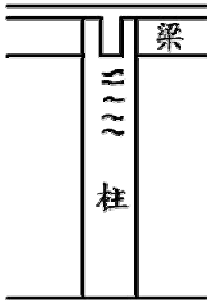
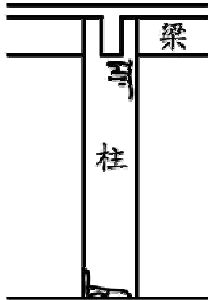
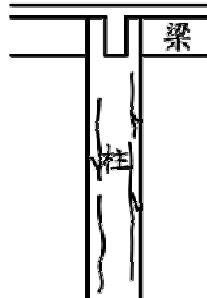
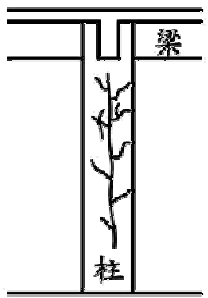
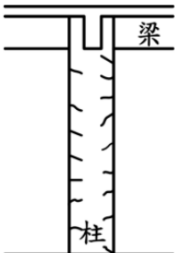
			
裂縫形式編號	Cd1	裂縫形式編號	Cd2
鋼筋腐蝕造成之裂縫，原因為保護層厚度不夠，沿著橫向鋼筋產生裂縫、剝落。		鋼筋腐蝕造成的裂縫柱頂和柱底因鋼筋較集中、保護層厚度不夠，產生裂縫、剝落。	
			
裂縫形式編號	Cd3	裂縫形式編號	Cd4
鋼筋腐蝕造成的裂縫混凝土中含有大量的鹽化物，沿著主筋產生裂縫。		鹼骨材反應造成的裂縫，其柱中心部位產生垂直樹狀裂縫。	
			
裂縫形式編號		Cd5	
乾燥收縮產生裂縫，柱角水平方向產生裂縫。			

圖 R 2- 3 柱構件劣化造成的裂縫

(資料來源 【4】)

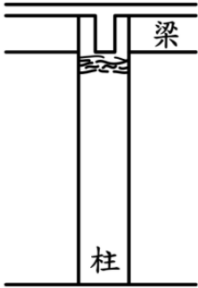
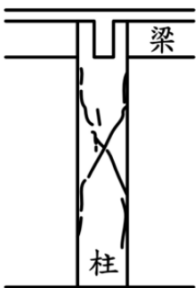
			
裂縫形式編號	Cf1	裂縫形式編號	Cf2
建築物因地震，柱頂部分傾斜而造成的裂縫。		建築物因地震，產生剪力裂縫。	

圖 R 2-4 柱構件受外力作用下裂縫

(資料來源 【4】)

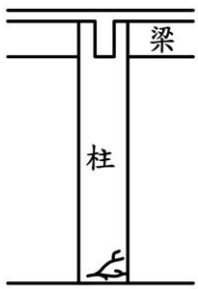
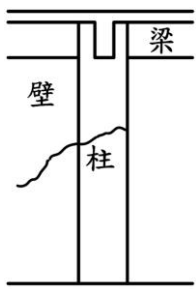
			
裂縫形式編號	Cw1	裂縫形式編號	Cw2
蜂窩現象造成之裂縫，混凝土澆製時無法填充完整，柱底容易形成蜂窩現象。		冷縫造成之裂縫，施工時沒有持續的灌漿，造成一部分混凝土先凝結，前後澆置混凝土連接不良所產生的裂縫。	

圖 R 2-5 柱構件因施工不良形成之裂縫

(資料來源 【4】)

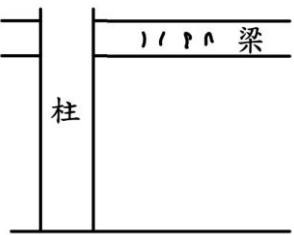
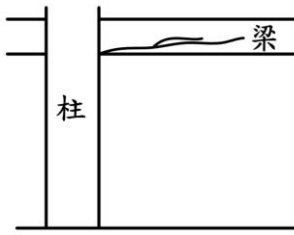
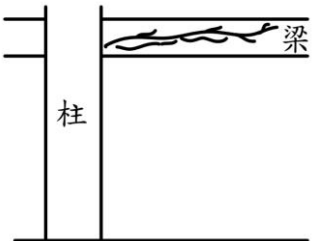
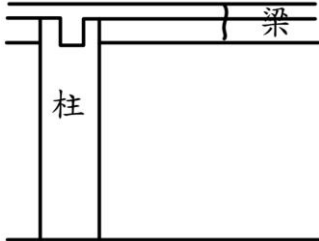
			
裂縫形式編號	Bd1	裂縫形式編號	Bd2
鋼筋腐蝕造成的裂縫，原因為保護層厚度不夠，沿著橫向鋼筋產生裂縫、剝落。		鋼筋腐蝕造成的裂縫，混凝土中含有大量的鹽化物，沿著主筋產生裂縫。	
			
裂縫形式編號	Bd3	裂縫形式編號	Bd4
鹼骨材反應成的裂縫，梁的中心部位沿著水平方向產生的樹狀裂縫。		乾燥收縮產生的裂縫，沿著梁的垂直方向產生裂縫，並且貫穿樓版。	

圖 R 2- 6 梁構件劣化造成的裂縫

(資料來源 【4】)

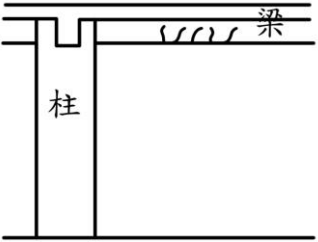
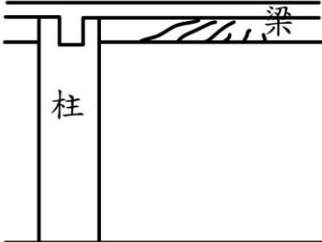
			
裂縫形式編號	Bf1	裂縫形式編號	Bf2
撓曲裂縫梁，承受撓曲應力，容許產生細微的裂縫。		剪力裂縫，不均勻下陷或地震時承受剪力所造成斜方向的裂縫。	

圖 R 2- 7 梁構件外力造成之裂縫

(資料來源 【4】)

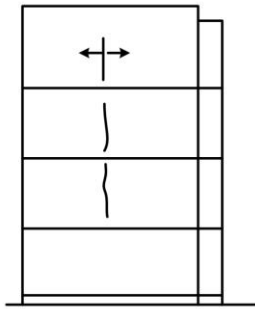
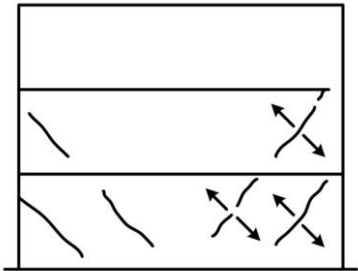
			
裂縫形式編號	Wd1	裂縫形式編號	Wd2
乾燥收縮產生的裂縫： 大面積的牆壁因為乾燥收縮產生垂直裂縫。		乾燥收縮產生的裂縫： 大面積的牆壁，被基礎固定住，因為上部構造物收縮，端部產生斜裂縫。	
101 ~, 11V8 ~			
裂縫形式編號		Wd3	
鋼筋腐蝕造成的裂縫： 根據鋼筋腐蝕產生之裂縫，保護層厚度較小的地方，常伴隨著混凝土產生剝落、鋼筋裸露等狀況。			

圖 R 2- 8 RC 結構牆混凝土乾縮與鋼筋腐蝕

(資料來源 【4】)

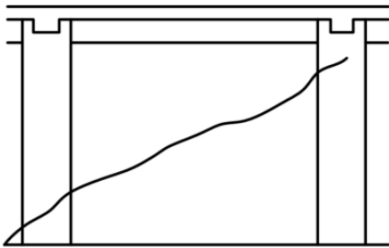
			
裂縫形式編號	Wf1	裂縫形式編號	Ww2
不均勻下陷產生的裂縫在大型牆壁上產生不均勻下陷倒八字型的裂縫產生。		冷縫造成的裂縫施工時沒有持續的灌漿，造成一部分混凝土先凝結，前後澆置混凝土連接不良所產生的裂縫。	

圖 R 2- 9 RC 牆結構不均勻下陷

圖 R 2- 10 RC 牆施工不良造成的裂縫

(資料來源 【4】)

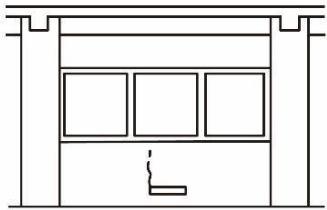
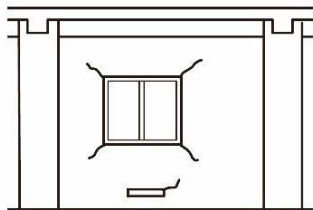
			
裂縫形式編號	Ww3	裂縫形式編號	Ww4
腰牆和垂牆容易發生垂直向的縫。		開口牆之開口四周角落容易出現斜向裂縫。	

圖 R 2- 11 乾燥收縮裂縫

(資料來源 【4】)

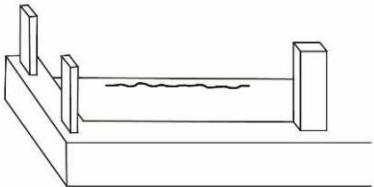
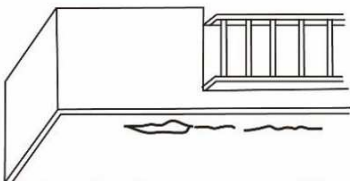
			
裂縫形式編號	WB1	裂縫形式編號	WB2
陽台與牆體連結處因彎矩造成之裂縫： 如果在施工時，陽台之設置鋼筋向下偏移，則無法抵抗彎矩，此時陽台與牆體連結處將產生撓曲裂縫。		由於鋼筋腐蝕導致的裂縫： 陽台或雨遮下方接近端部位置，容易因混凝土保護層厚度不足，而導致鋼筋腐蝕而發生裂縫，通常伴隨著浮起現象。	

圖 R 2- 12 臺及雨遮劣化形成之裂縫

(資料來源 【2】)

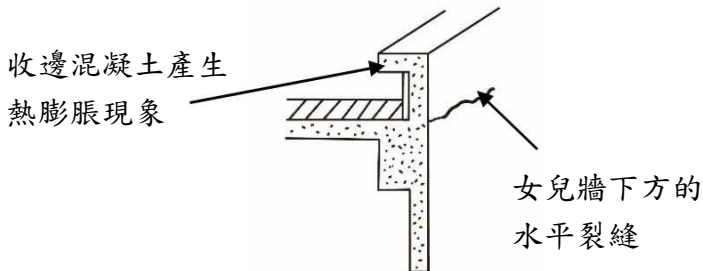
	
裂縫形式編號	WP1
由於熱膨脹導致之裂縫。	

圖 R 2- 13 女兒牆劣化形成之裂縫

(資料來源 【2】)

2.3.2 調查前準備項目

調查路線規劃，利用建築平面圖，事先擬定勘查動線，能大幅減少調查時間。

將建築物相關圖說(如建築平面圖及結構平面圖及建築立面圖)進行構件編號。

構件調查單位數。

調查時準備裂縫刻度尺、捲尺、大鐵鎚、望遠鏡、相機、照明器具等工具，協助調查人員進行調查。

解說：

調查人員完成建築物概要調查後，進行初步診斷前須有一套完善之規劃，並依本研究建議之工作細項(如表 R 2- 2 所示)，完成事前內業工作。

R 2- 2 準備工作細項說明

作業流程	作業內容
概要調查準備	●耐久性能調查人員工作事項 建築物既存資料蒐集 -建築物平面圖、結構平面圖、竣工圖、修繕記錄等資料蒐集，由建築物管理人或使用者協助處理。 ●耐久性能概要調查表製成 -建築物固有條件、所在環境、修繕履歷填寫
↓	
初步診斷準備	●目視調查前準備事項 ○1 調查順序之規劃 -屋外(外牆)→屋內(混凝土外觀)→其他使用性相關項目→屋頂(防水層) ○2 平面圖、立面圖、結構平面圖準備 -調查順序記錄 -調查構件編號記入 -調查單位
調查開始	●初步診斷前準備器材 -相機、裂縫尺、記錄紙等相關器材

(資料來源 【1】)

如圖 R 2- 14 及表 R 2- 3 所示，建議先由建築物外圍開始調查，擇一固定方向(如順時鐘或逆時鐘方向)依順序調查各立面之之外牆被覆劣化狀況，再進入建築物內部（構件劣化、使用性能）進行調查，最後為屋頂上之防水層調查。

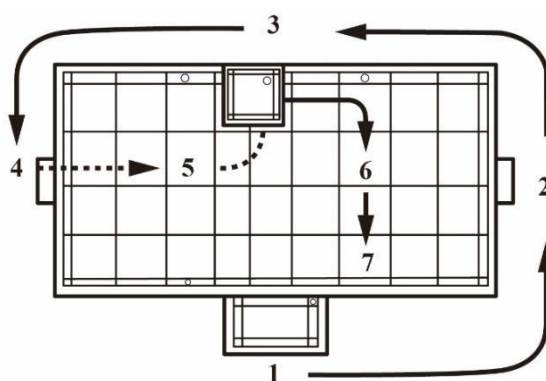


圖 R 2- 14 勘查動線示意圖

(資料來源 【5】)

表 R 2- 3 初步診斷調查之項目

勘查順序	調查事項	調查重點
1~4	建築物外牆劣化	調查壁體、女兒牆、雨遮、陽臺是否有剝落之情形
5	建築物構件劣化	柱、梁之混凝土表面是否有裂縫情形
		版構件及 RC 結構牆調查混凝土表面是否有剝落情形
6	使用性相關項目狀況	構架歪斜、牆壁樓板滲漏水、建築物傾斜、伸縮縫功能是否完善
7	屋頂防水層狀況	防水功能是否完善

(資料來源 【1】)

構件編號說明如圖 R 2- 15，調查者依結構平面圖之中心線來命名構件編號，也就是說利用構件在平面圖中與中心線的位置編號，平面圖中橫向中心線編號為英文字母 A、B、C、D，垂直向中心線編號為數字 1、2、3、4，因此構件編號形式為英文字母在前，後為數字，英文及數字間以符號“-“做區隔，例如柱編號：A-2；版編號：BC-3.4；梁編號：C-6.7；由於從平面圖中來看，梁位置與 RC 結構牆位置可能重疊，因此 RC 結構牆編號前會有 W 之代號以區分，如：WAC-3。

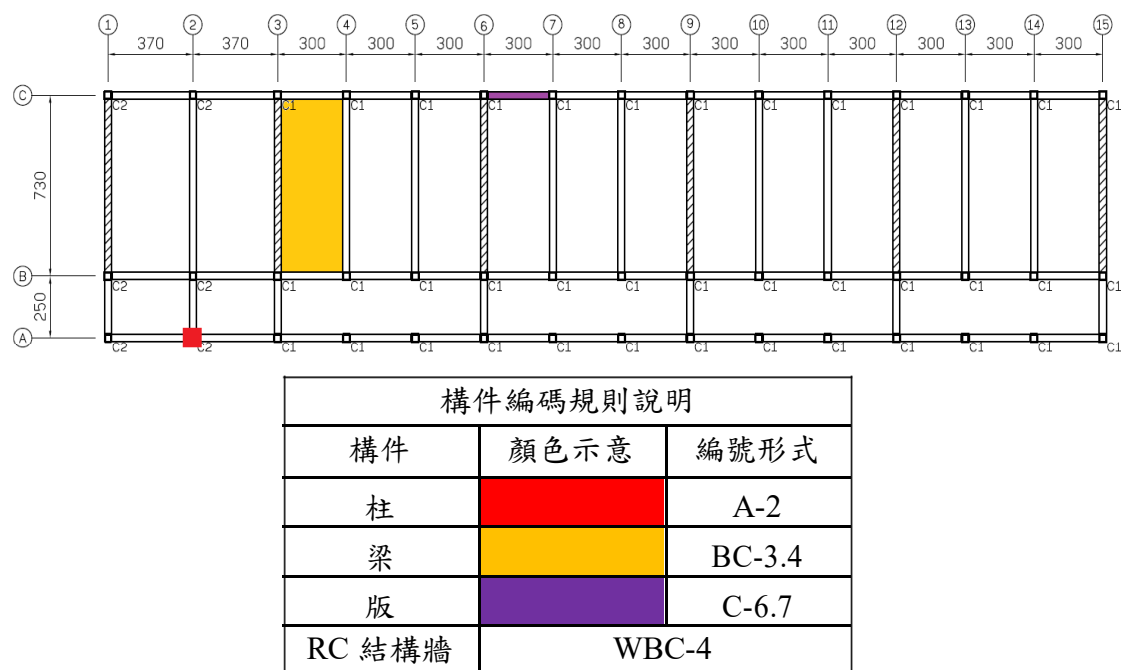


圖 R 2- 15 構件編號規則示意圖

(資料來源 【1】)

建築物構件數量決定，擬定調查構件之單位設定。柱、梁構件較為單純，柱構件調查 45 根柱；梁構件調查 37 根梁；版構件四周皆有邊構材為一單位，共調查 20 塊版；外牆以外柱線及外梁線判斷，四面向及屋頂層之外牆，共計 50 個單位牆，如圖 R 2- 16 至圖 R 2- 19 所示。

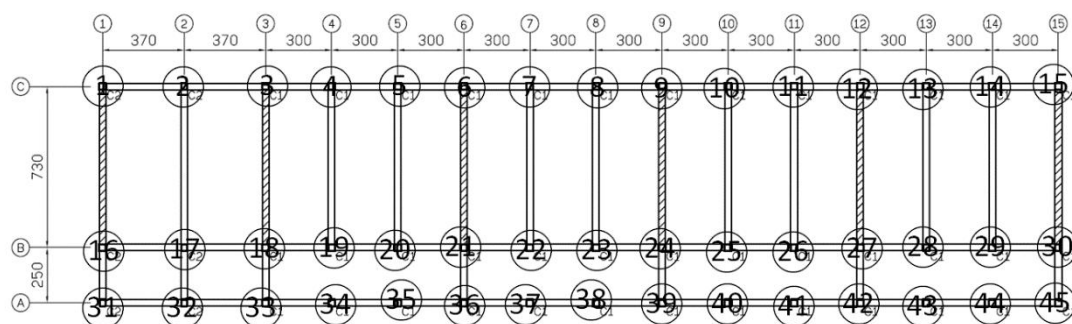


圖 R 2- 16 柱構件單位設定示意圖

(資料來源 【5】)

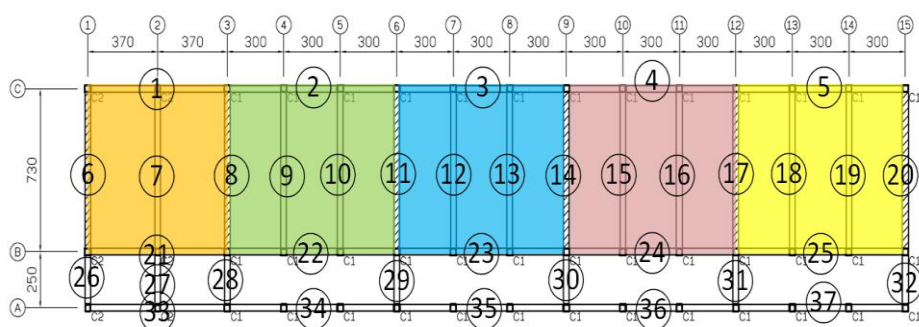


圖 R 2-17 梁構件單位設定示意圖

(資料來源 【5】)

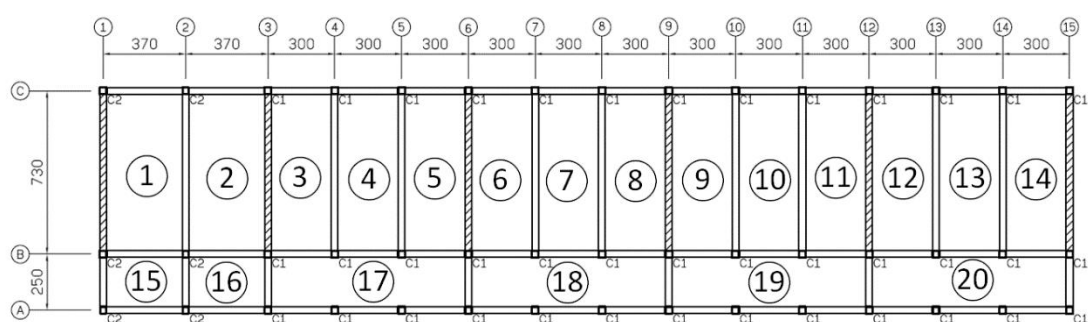


圖 R 2-18 版構件單位設定示意圖

(資料來源 【5】)

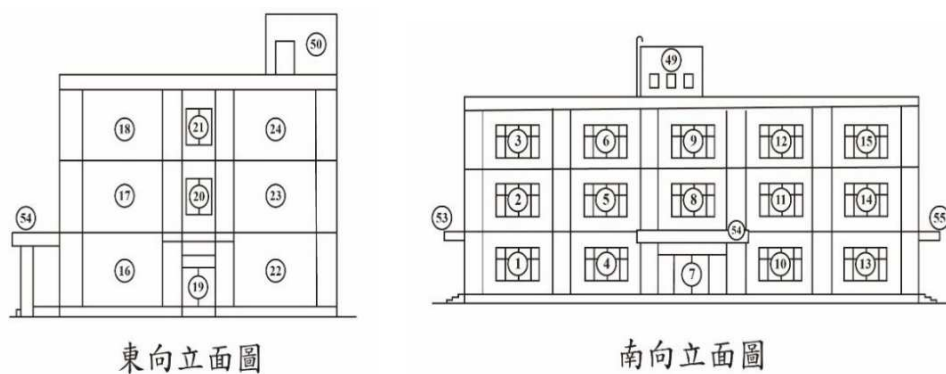


圖 R 2-19 外牆單位設定示意圖

(資料來源 【5】)

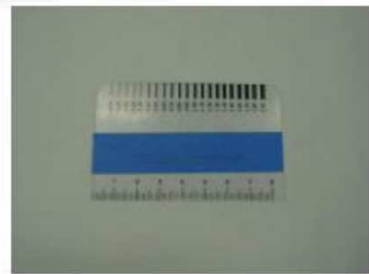
目視過程中可以利用工具輔助調查，如圖 R 2- 20 所示。如構件位置過高且無法直接使用肉眼觀察時，則可使用望遠鏡輔助，調查中全程使用相機記錄構件損傷影像，以方便調查後之結果整理，裂縫調查方法為選定裂縫寬度最大處，並使用裂縫刻度尺量測、記錄。



相機



捲尺、標準尺等尺規



裂縫尺



鐵鎚等敲打工具



記錄紙、筆



手電筒等照明工具



望遠鏡



立 腳梯子



反彈錘

圖 R 2- 20 現地調查之準備工具

(資料來源【5】)

2.3.3 構件劣化評定與記錄

構件劣化應調查下列各部位所對應之項目：

柱、梁構件調查

裂縫：記錄其位置、數目、最大約略寬度及約略長度。

版構件、RC 結構牆調查

裂縫：評估項目包括沿鋼筋裂縫、開口牆裂縫、網狀裂縫、其他裂縫，並記錄其位置、數目及約略長度。

剝落：評估項目包括鋼筋露出及鋼筋未露出兩部分，並記錄其位置、數目。

表面狀態：評估項目包括鏽蝕污損、白華、起泡、浮起、鼓脹、表面弱化、粉化、其他污損，並記錄其位置、數目。

樓版下陷變形、牆面或樓版傾斜程度。

構件劣化調查依下列所示之構件劣化評定基準給予構劣化度：

柱、梁構件裂縫評定基準，如表 2- 1 及表 2- 2 所示。

2- 1 柱、梁構件劣化度評定基準

劣化度	評 定 基 準	
	外觀劣化症狀	鋼筋腐蝕狀況
健全	無明顯劣化症狀	鋼筋腐蝕於等級 II 以下
輕度	0.3mm 未滿	鋼筋腐蝕於等級 III
中度	0.3mm 以上 0.5mm 未滿	鋼筋腐蝕於等級 IV
重度	0.5mm 以上	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，鋼筋完全露出且鏽蝕嚴重。	

(資料來源 【4】)

表 2-2 鋼筋腐蝕等級評定基準

等級	評 定 基 準	重量減少率
I	沒有發生腐蝕或表面僅有一些點狀鏽蝕現象	< 0.5 %
II	表面存在廣泛點狀生鏽	0.5 % ~ 1 %
III	表面點狀生鏽聯繫成面生鏽，產生部分生鏽浮起狀態	1 % ~ 3 %
IV	廣泛產生鏽蝕浮起狀態，鋼筋混凝土附著了鋼筋鏽蝕生成物，鋼筋斷面積損失部位約為 20% 以下之可能性	3 % ~ 5 %
V	廣泛產生較厚之層狀鏽蝕，鋼筋斷面積損失部分約 20% 以上之可能性	> 5 %

(資料來源 【4】)

版構件、RC 結構牆裂縫、剝落等評定基準，如表 2-3 所示。

2-3 RC 結構牆、版劣化度評定基準

評估項目			劣化度		
			輕度	中度	重度
裂 縫	沿鋼筋	轉換為 1 公尺長度時 每 100 平方公尺數量	未滿 2 條	2 ~ 5 條	5 條以上
	開口牆	每十個開口個數	未滿 3 條	3 ~ 5 條	5 條以上
	網狀裂縫 其他	發生率 每 100 平方公尺	未滿 5% 未滿 5 條	5 ~ 10% 5 ~ 9 條	10% 以上 10 條以上
剝 落	鋼筋露出	發生率	未滿 1%	1 ~ 3%	3% 以上
	混凝土 鋼筋未露出	發生率	未滿 5%	5 ~ 10%	10% 以上
表 面 狀 態	鏽蝕污損/白華/起泡/ 浮起/鼓脹/表面弱化/ 粉化/其他污損	發生率	未滿 10%	10 ~ 20%	20% 以上
樓版下陷變形		變形量(x/1000)	未滿 5/1000	5/1000 ~25/1000	25/1000 以上
牆面或樓版傾斜		傾斜角(x/1000)	未滿 5/1000	5/1000 ~25/1000	25/1000 以上

調查人員利用相機記錄影像並將結果記錄於單一樓層構件劣化紀錄表、整棟建築物構件劣化紀錄表。

解說：

參考內政部建築研究所【1】及日本建築研究所【2】，調查人員進行劣化度判定前，需參考柱、梁構件評定基準，如表 2- 1 及表 2- 2；版構件及 RC 結構牆評定基準參考表 2- 3。

單一樓層各構件種類之劣化度選定以劣化程度為嚴重損壞之發生機率開始計算，只要累積機率 $\geq 10\%$ ，則可判定該劣化程度為此樓層該構件之劣化度。調查人員將調查結果建議填寫於表 R 2- 4 及表 R 2- 5，記錄表中須詳細記錄每一構件編號、裂縫形式編號及量測之裂縫寬度或剝落、表面狀態位置，對於重度及嚴重損壞程度之構件，必須搭配影像及文字之描述說明；單一樓層各構件種類之劣化度經計算得知後，進行整棟建築物之劣化度記錄填寫，整棟建築物劣化度判定為採用最嚴重之樓層劣化度，將會有柱、梁、版、RC 結構牆之四個構件之劣化度，建議表格如表 R 2- 6 為例，其最嚴重者則可判定該劣化程度為此建築構件劣化之劣化度。

表 R 2-4 單一樓層柱、梁構件劣化紀錄、評定表

構件名稱			建築物名稱		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
現況照片			文字敘述		
現況照片			文字敘述		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
☐ 嚴重損壞					
☐ 重度					
☐ 中度					
☐ 輕度					
☐ 健全					

(若表格不夠自行新增)

(資料來源 【1】)

表 R 2-5 單一樓層 RC 結構牆、版構件劣化紀錄、評定表

構件名稱			建築物名稱		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
現況照片			文字敘述		
構件編號	調查範圍(m ²)	裂縫	剝落	表面狀態	劣化度
現況照片			文字敘述		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
☐ 嚴重損壞					
☐ 重度					
☐ 中度					
☐ 輕度					
☐ 健全					

(若表格不夠自行新增)

表 R 2-6 整棟建築物構件劣化評定表

建築物名稱					
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	☐ 健全 ☐ 輕度 ☐ 中度 ☐ 重度 ☐ 嚴重損壞	
劣化度					

(資料來源 【1】)

(若表格不夠自行新增)

2.3.4 外牆劣化評定與記錄

外牆劣化應分別調查壁體、女兒牆、雨遮、陽臺，其調查項目如下：

裂縫：評估項目包括沿鋼筋裂縫、開口牆裂縫、網狀裂縫、其他裂縫，並記錄其位置、數目。

浮起、鼓脹：評估項目包括部分打診、全面打診，並記錄其發生率。

剝落：評估項目包括鋼筋露出及鋼筋未露出兩部分，並記錄其位置、數目。

表面狀態：評估項目包括鏽蝕污損、白華、起泡、表面弱化、粉化、其他污損，並記錄其位置、數目。

調查人員調查建築物外牆劣化情形，參考外牆劣化評定基準判定劣化度，如表 2-4 所示。

2-4 建築物外牆劣化度評定基準

評估項目		評估單位	劣化度		
			輕度	中度	重度
裂縫	沿鋼筋	轉換為 1 公尺長度時 每 100 平方公尺數量	未滿 2 條	2 ~ 5 條	5 條以上
	開口牆	每十個開口個數	未滿 3 條	3 ~ 5 條	5 條以上
	網狀裂縫 其他	發生率 每 100 平方公尺	未滿 5% 未滿 5 條	5 ~ 10% 5 ~ 9 條	10%以上 10 條以上
浮起/ 鼓脹	部分打診	發生率	未滿 2%	2 ~ 5%	5%以上
	全面打診	發生率	未滿 1%	1 ~ 3%	3%以上
剝落	表面被覆材	發生率	未滿 2%	2 ~ 5%	5%以上
	混凝土	鋼筋露出	發生率	未滿 1%	1 ~ 3%
		鋼筋未露出	發生率	未滿 5%	5 ~ 10%
表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡 /表面弱化/粉化/其 他污損		發生率	未滿 10%	10 ~ 20% 20%以上

利用相機紀錄影像並將結果記錄於評估表中。

解說：

調查人員進行劣化度判定前，需參考建築物外牆劣化度評定基準表 2-4 所示。

透過上述的判定基準，所得資料填入建議之劣化發生頻率統計表，並加以整理，調查結果依壁體、女兒牆、雨遮、陽臺，並記錄下各面向之結果，填寫於不同之劣化發生頻率統計表，記錄表中須詳細記錄調查範圍，及發生數或面積，並記錄於表中，並計算成發生頻率，建議表格如表 R 2- 7 所示。利用評定基準判斷其劣化度，並判斷其發生位置，統整於建築物外牆評定表，若有無法調查的部分，請於備註欄詳述原因，建議表格如表 R 2- 8 所示，其最嚴重者則可判定該劣化程度為此建築外牆劣化之劣化度。

表 R 2- 7 外牆劣化發生頻率紀錄、評定表

劣化症狀			調查範圍	發生數或面積	發生頻率	劣化度
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋	m ²	條	條/100m ²	
		開口牆	開口處	條	條/10處	
		網狀裂縫	m ²	m ²	%	
		其他	m ²	條	條/100m ²	
	浮起/鼓脹		部分打診	m ²	m ²	%
			全面打診	m ²	m ²	%
	剝落	表面被覆材	m ²	m ²	%	
		混凝土	鋼筋露出	m ²	m ²	%
				m ²	m ²	%
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/表面弱化/粉化/其他污損	m ²	m ²	%	
	其他					

表 R 2- 8 建築物外牆評定表

			壁體		女兒牆		雨遮		陽臺		室外樓梯	
			一般	開口周圍	頂部	其他	前端	下面	前端	下面		
一般事項	調查面積											
	外部施工材											
	補修經歷											
各種劣化症狀	裂縫	沿鋼筋										
		開口牆										
		網狀裂縫										
		其他										
	浮起/鼓脹	部分打診										
		全面打診										
	剝落	表面被覆材										
		混凝土	鋼筋露出									
			鋼筋未露出									
	表面狀態	鏽蝕污損/白華/起泡/ 表面弱化/ 粉化/ 其他污損										
		其他										
備註	劣化度記號：嚴重毀損(記號●) 											

2.3.5 環境影響因子劣化評定與評估表

環境影響因子主要包括中性化與氯離子兩項因子，調查人員利用環境影響因子評定此建築物之環境影響潛勢，如表 2-5 至表 2-8 所示。

表 2-5 建築物於 40 年時混凝土保護層厚度設計建議值(cm)

區域	嚴重鹽害區	中度鹽害區	輕度鹽害區	規範建議值*
離海岸距離	0 ~ 0.3 km	0.3 ~ 1.0 km	1.0 ~ 3.0 km	
蘇澳	> 10	8	4	7.5
台中	> 10	> 10	8	7.5
高雄	> 10	10	6	7.5
花蓮	> 10	10	4	7.5
劣化潛勢	高潛勢		見下表	-

(資料來源 【6】)

表 2-6 氯離子環境影響因子評定表

離海岸距離 區域	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	高環境劣化潛勢
北部	☐ 3.0 km 以上	☐ 1.0 ~ 3.0 km	☐ 0 ~ 1.0 km
東部	☐ 3.0 km 以上	☐ 1.0 ~ 3.0 km	☐ 0 ~ 1.0 km
中部	☐ 5.0 km 以上	☐ 3.0 ~ 5.0 km	☐ 0 ~ 3.0 km
南部	☐ 5.0 km 以上	☐ 3.0 ~ 5.0 km	☐ 0 ~ 3.0 km

(資料來源 【6】)

表 2-7 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表

	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	重環境劣化潛勢
無任何被覆之使用年限	☐ 屋齡 10 年以下	☐ 屋齡 10 ~ 45 年	☐ 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之使用年限	☐ 屋齡 45 年以下	☐ 屋齡 45 ~ 100 年	☐ 屋齡 100 年以上
樹脂材料、瓷磚、水泥板材被覆之使用年限	☐ 屋齡 100 年以下		☐ 屋齡 100 年以上

(資料來源 【1】)

表 2-8 中、南部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表

	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	重環境劣化潛勢
無任何被覆之使用年限	☐ 屋齡 25 年以下	☐ 屋齡 25 ~ 100 年	☐ 屋齡 100 年以上
水泥砂漿、樹脂材料、瓷磚、水泥板材被覆之使用年限	☐ 屋齡 100 年以下	☐ 屋齡 100 年以上	

(資料來源 【1】)

解說：

參考內政部建築研究所【1】及中華民國結構工程技師公會全國聯合會【7】，環境影響因子主要包含中性化與氯離子所引至之環境影響。氯離子為針對建築物所在位置之距海遠近距離與混凝土保護層厚度進行評估，建議表格如表

2-5 及表 2-6；中性化考慮建築物外牆表面無被覆材種類及其使用年限，以各地區之中性化速度係數、建築物已使用年限決定中性化引致之劣化潛勢高低，建議表格如表 2-7 及表 2-8 所示。

2.3.6 其他使用性能評定與評估表

調查人員記錄使用者日常生活中遇到的使用性能問題，以反映現有建築物耐久性能，利用相機記錄影像並記錄於評估表中，如表 2-9 所示。

表 2-9 其他使用性能評估表

評估內容	完好	普通	不良	極差
牆面滲漏水	☐ 無	☐ 點滲水	☐ 面滲水	☐ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
異常體感 (樓板震動、 跨距大變形)	☐ 無	☐ 輕微感覺	☐ 使用者 感覺不適	☐ 有安全疑慮
建築物傾斜	☐ 無	☐ 輕微感覺	☐ 使用者 感覺不適	☐ 有安全疑慮
天花板裝修物 變形(輕鋼架)	☐ 無	☐ 輕微變形	☐ 變形曲折	☐ 使用上造成困 擾
伸縮縫	☐ 無	☐ 點滲水	☐ 面滲水	☐ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
混凝土強度	☐ 全部 大於 f_c'	☐ 最小值小於 f_c' 但平均值大於 f_c'	☐ 平均值 小於 f_c'	☐ 平均值 小於 $0.85f_c'$
屋頂防水層	調查人員描述			
其他補充	調查人員描述			

解說：

最後一部分的調查為針對使用者所補充的建築物使用性能調查，透過使用者描述或調查人員觀察到之使用性上有不適之情形須詳細紀錄於建議之表格

2-9，其中包含牆面滲漏水、使用者異常體感(振動、撓曲)或建築物傾斜現象或伸縮縫有老化或滲漏水情形、混凝土強度的部分，依據 CNS 10732，利用反彈錘法進行判斷。

第四節 初步診斷綜和評定

2.4 初步診斷綜和評定

調查人員依「構件劣化」→「外牆劣化」→「環境影響因子」→「其他使用性相關項目」等階段式方式進行評定劣化度，如圖 2-1 所示。

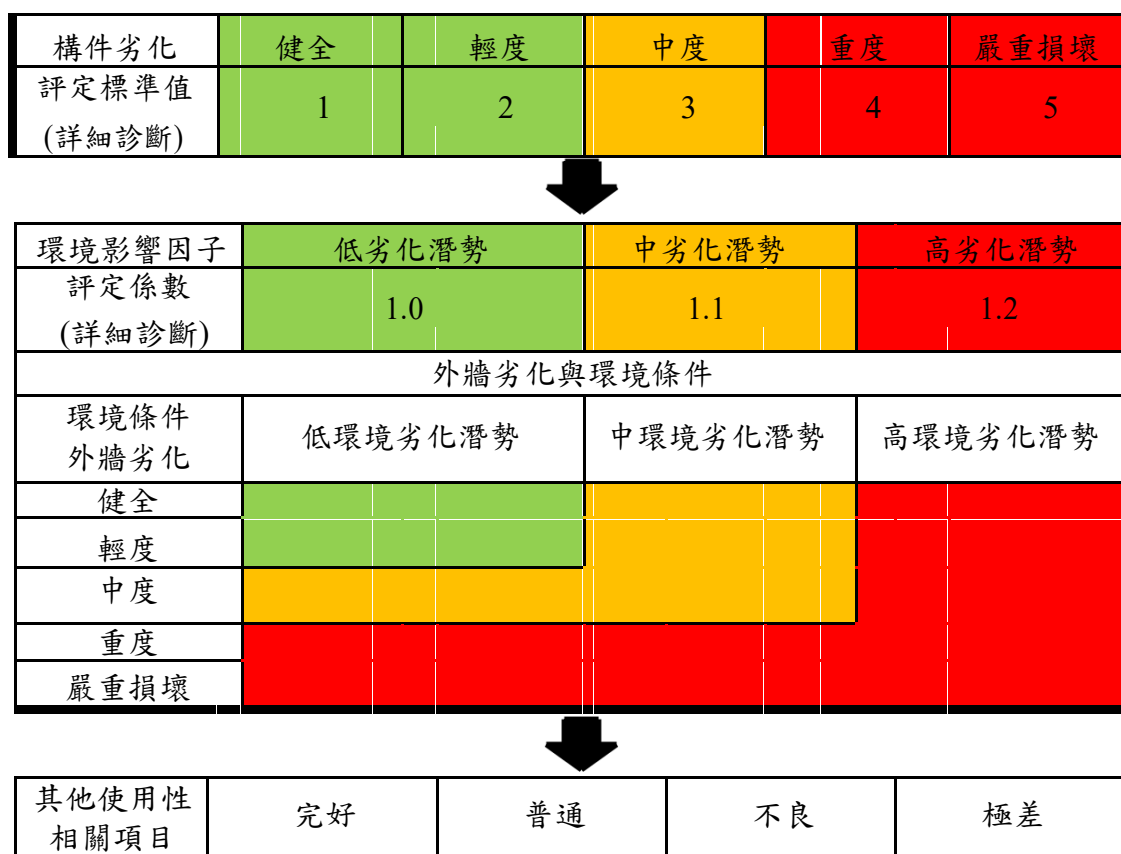


圖 2-1 初步診斷綜合評定

解說：

本手冊將各階段評定結果以顏色區分，以利判定之用。其中若有一項目進入黃色則判定該建築物之耐久性能疑有疑慮，紅色則為確有疑慮，均建議進入耐久性能詳細診斷以了解其可能劣化主因，參考圖 2-1，此外，有關其他使用性相關評定部分，因大多與混凝土或鋼筋之劣化無關，建議依評定之結果而由專業技師配合使用者或所有權人決定適合之修復工法與維護策略。

第三章 耐久性能詳細診斷

第一節 詳細診斷方法說明

3.1 詳細診斷方法說明

詳細診斷是根據初步診斷之結果來判定是否需要實施。

詳細診斷項目為鋼筋腐蝕現況、混凝土現況，結合初步診斷結果中之構件劣化、外牆劣化、環境影響因子，以使詳細診斷之結果能更確切反映建築物真實之劣化程度。

詳細診斷與初步診斷最大不同在於診斷結果不再只是劣化程度，而是將劣化程度賦予評定標準值，分別為 1、2、3、4、5。

解說：

初步診斷以目視調查為主，因而其最大特點為快速且簡單上手，但僅能以外觀來研判各構件之劣化程度，而無法了解表面劣化嚴重構件之內部之劣化情形及引致之關鍵因子。因此，須藉由儀器進行詳細材料試驗診斷，以判定嚴重程度是否如初步診斷調查之結果，並利用診斷結果及權重分析，而得一較為客觀之耐久性能評定值，以進一步決定建築物是否進行補修或補強建議。

鋼筋腐蝕現況須檢測項目為中性化深度檢測、氯離子檢測及腐蝕電位、構件劣化，混凝土現況須檢測項目為電阻率檢測、抗壓強度檢測、混凝土保護層厚度檢測、外牆劣化，而構件及外牆之劣化狀況即為初步診斷中建築物目視調查結果；另外環境影響評定係數即為初步診斷環境影響因子。

參考內政部建築研究所【8】，詳細診斷將劣化程度賦予評定標準值，分別為 1、2、3、4、5，除目視調查結果外，採用相關材料試驗以決定一具量化之評定標準值，而使詳細診斷結果更具客觀、公平及實用價值。綜合以上，詳細診斷共包含鋼筋腐蝕現況檢測、混凝土現況檢測及環境影響因子等三項，如圖 R 3- 1 所示。

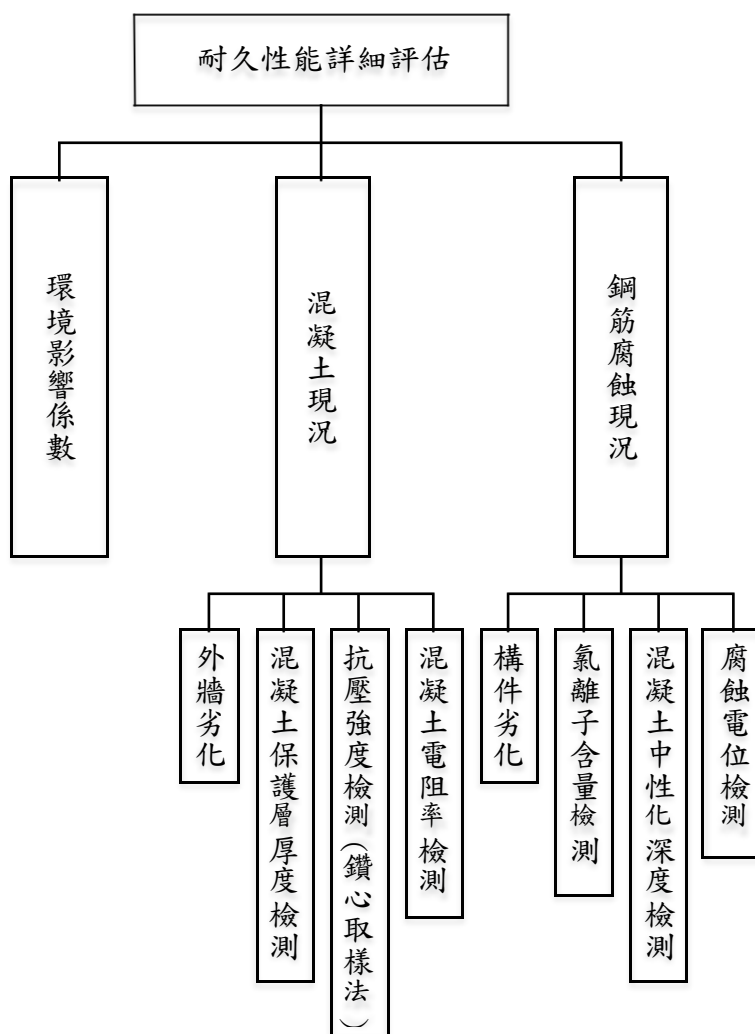


圖 R 3- 1 耐久性能詳細診斷方法

第二節 診斷項目說明

一、 混凝土現況

3.2.1 混凝土電阻率檢測與評定

混凝土電阻率影響其導電性，電阻率越大，鋼筋腐蝕進行速度較慢，劣化因子之擴散能力也較弱，依據 AASHTO T358-15 混凝土電阻率測量，可採用四極式電阻法測定。

建議取樣位置及數量測區與測位可參照腐蝕電位的檢測進行。

並透過電阻率的評定標準，如表 3- 1 所示，判定其評定標準值。

3- 1 混凝土電阻率評定標準

評定標準值	混凝土電阻率($\Omega \cdot \text{cm}$)	鋼筋可能腐蝕速度
1	>20000	很慢
2	15000 ~ 20000	慢
3	10000 ~ 15000	一般
4	5000 ~ 10000	快
5	<5000	很快

(資料來源 【8】)

解說：

檢測方法

混凝土電阻率測量依據 AASHTO T358-15 混凝土電阻率測量，可採用四極式電阻法測定，即在混凝土表面設置等間距接觸四支電極，兩外側為電流電極，兩內側為電壓電極，通過檢測兩電壓電極間之混凝土阻抗得知混凝土電阻率

ρ ，如式(R3-1)：

$$\rho = \frac{2\pi dV}{I} \quad (\text{R3-1})$$

式中， V ：電壓(V)、 I ：電流電極所通過電流(A)、 d ：電流間距(cm)、 $R = \frac{V}{I}$ ：

電阻(Ω)。

建議取樣位置及數量

測區與測位可參照腐蝕電位的檢測進行。

評定標準

本項次之評定標準如表 3- 所示。

3.2.2 抗壓強度檢測與評定-鑽心取樣法

抗壓強度檢測主要目的在決定建築物部份區域之混凝土抗壓強度，為得其強度須將該區域所採樣試體進行加壓，以獲取其破壞時之強度，依據 CNS1230 及 CNS1232，採用混凝土鑽心取樣法。

建議取樣位置及數量，取對結構體強度不造成傷害之處，混凝土鑽心試體數量依每一層樓地板面積(A)為基準，如表 3- 2 所示。

表 3- 2 取樣數量與取樣位置建議

樓地板面積	鑽心取樣數量
$A \leq 600\text{m}^2$ 者	每層樓至少 3 個鑽心試體
$A > 600\text{m}^2$ 者	每層樓至少 $N=3+(A-600)/400$ 個(無條件進位)

(資料來源 【9】)

同一樓層若有分期興建情事，依該樓層各分期興建區域面積(A)決定取樣數量如表 3- 3 所示。

表 3- 3 分期興建取樣數量與取樣位置建議

樓地板面積	鑽心取樣數量
$A \leq 300\text{m}^2$ 者	該分期興建區域至少 2 個鑽心試體
$300\text{m}^2 < A \leq 600\text{m}^2$ 者	該分期興建區域至少 3 個鑽心試體
$A > 600\text{m}^2$ 者	該分期興建區域至少 $N=3+(A-600)/400$ 個(無條件進位)

(資料來源 【9】)

並透過抗壓強度的評定標準，如表 3- 4 所示，判定其評定標準值。

表 3-4 混凝土抗壓強度評定標準

評定標準值	K_{bt}	K_{bm}	強度狀況
1	≥ 0.95	≥ 1.00	良好
2	$0.95 > K_{bt} \geq 0.90$	≥ 0.95	較好
3	$0.90 > K_{bt} \geq 0.80$	≥ 0.90	較差
4	$0.80 > K_{bt} \geq 0.70$	≥ 0.85	差
5	< 0.70	< 0.85	很差
備註	(1) $K_{bt} = \frac{R_{it}}{R} \quad (3-1)$ 式中：K_{bt} = 單一平均強度係數、R_{it} = 檢測試體抗壓強度的實測值、R = 混凝土原設計強度 (2) $K_{bm} = \frac{R_{im}}{R} \quad (3-2)$ 式中：K_{bm} = 整體平均強度係數、R_{im} = 檢測試體之平均抗壓強度值、R = 混凝土原設計強度		

(資料來源 【8】)

解說：

檢測方法

依據 CNS1230 及 CNS1232，使用儀器鑽取欲檢測部位的混凝土試體，再送回試驗室內經抗壓試驗求混凝土抗壓強度，而鑽心試體進行抗壓試驗時應依以下之步驟進行

○¹ 兩端平整處理(End Preparation)

抗壓試驗用的圓柱體，其兩端需平滑，整個試體之直徑應相同，試體兩端平面上的突出物不得高出 5mm，其直徑與試體之平均直徑相差不得大於 3 mm，超出上述三種情形時，需鋸切或鑿琢使合於上述規定。

○² 潮濕狀況

試體未進行抗壓試驗 40~48 小時前，需全部浸入保持室溫之飽和石灰水中，試體自水中取出後需即行試驗，自水中取出至試驗前之一段時間內，試驗需

在試體潮濕狀況下進行。

○³ 蓋平

抗壓試驗之試體，兩端需平整以符合 CNS 1230 混凝土抗壓及抗彎在試驗室澆置及養濕法之要求。

○⁴ 度量

試驗前應先量測蓋平後之試體長度，準確至 1 mm。其平均直徑取試體長之中央，量二個成直角之直徑再平均得之，亦需準確至 1 mm。

○⁵ 試驗

可依 CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估【9】之建議，須先以儀器掃描避開鋼筋位置，並取對結構體強度不造成傷害之處如牆、版，若取於小梁，則取小梁跨度中央附近之中性軸以下部位為宜。混凝土鑽心試體數量依每一層樓地板面積(A)為基準，如表 3- 2 所示，同一樓層若有分期興建情事，依該樓層各分期興建區域面積(A)決定取樣數量如表 3- 3 所示。

評定標準

本項次之評定標準如表 3- 4 所示。

3.2.3 混凝土保護層厚度檢測與評定

利用鋼筋探測器掃描鋼筋位置，現場修正確定保護層厚度，估測鋼筋直徑。

建議取樣位置及數量，每一層樓梁、柱至少各取三處進行檢測。

並透過混凝土保護層厚度的評定標準，如表 3-5 所示，判定其評定標準值。

表 3-5 鋼筋保護層厚度之評定標準

評定標準值	D_{ne}/D_{nd}	對混凝土耐久性之影響
1	>0.95	影響不顯著
2	$0.85 \sim 0.95$	有輕度影響
3	$0.70 \sim 0.85$	有影響
4	$0.55 \sim 0.70$	有較大影響
5	<0.55	鋼筋易失去鹼性保護，發生鏽蝕
備註	D_{ne} 為混凝土厚度實測值； D_{nd} 為混凝土厚度設計值	

(資料來源 【8】)

解說：

檢測方法

○¹ 進行保護層厚度測讀前，須於測區內確認並繪出鋼筋位置及走向。○² 將傳感器至於鋼筋正上方，讀取儀器上最小值讀數(精確度至 mm)。○³ 建議每一測點值宜讀取 2~3 次穩定讀數，取其平均值，並避免在鋼筋交叉位置進行檢測。

○⁴ 按式(R3-2~R3-3)計算混凝土保護層厚度：

$$\overline{D}_n = \frac{\sum \text{測點混凝土厚度實測值}}{n} \quad \text{次數} \quad (\text{R3-2})$$

$$\overline{D}_{ne} = \overline{D}_n - K S_D \quad (\text{R3-3})$$

式中， n ：實測次數、 S_D ：測點部位保護層厚度之標準差(精確至 0.1mm)

按式(R3-4)計算、 K 為合格評定係數，按表 R 3- 1 採用。

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \overline{D}_n)^2}{n-1}} \quad (\text{R3-4})$$

R 3-1 K 值與 n 值參考表

n	10~15	16~24	≥ 25
K	1.695	1.645	1.595

(資料來源 【1】)

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估【9】之建議混凝土保護層厚度檢測，每一層樓梁、柱至少各取三處進行檢測。

評定標準

本項次之評定標準如表 3-5 所示。

3.2.4 外牆劣化評定

透過初步診斷之外牆劣化度，分別對應到詳細診斷之五個評定標準，如圖 3-1 所示，判定其評定標準值。

外牆劣化度	外牆劣化評定值
健全	1
輕度	2
中度	3
重度	4
嚴重損壞	5



初步診斷-外牆劣化度

圖 3-1 外牆劣化評定對照表

解說：

耐久性能初步診斷法部分，將外牆劣化分為健全、輕度、中度、重度、嚴重損壞五個等級，並分別對應到詳細診斷之五個評定標準值 1、2、3、4、5，如圖 3-1 所示，依結果評定。

二、 鋼筋腐蝕現況

3.2.5 腐蝕電位檢測與評定

腐蝕電位檢測主要用於評定混凝土中鋼筋之腐蝕發生與否，依據 ASTM C876 腐蝕電位量測法量測鋼筋腐蝕而引致之電位變化。

建議取樣位置及數量，建議於初步診斷時劣化嚴重之部位進行，採每一層樓取一處進行檢測。

並透過鋼筋鏽蝕電位的評定標準，如表 3-6 所示，判定其評定標準值。

3-6 鋼筋鏽蝕電位評定標準

評定標準值	電位區間(mV)	鋼筋狀態
1	0 ~ -200	無腐蝕活墩或腐蝕活動性不確定
2	-200 ~ -300	有腐蝕活動，但腐蝕狀態不確定
3	-300 ~ -400	腐蝕活動性較強，發生腐蝕機率>90%
4	-400 ~ -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，量測時構件應為自然狀態。	

(資料來源 【8】)

解說：

檢測方法

此方法主要依據 ASTM C876 腐蝕電位量測法，量測鋼筋腐蝕而引致之電位變化來測定鋼筋是否發生腐蝕之一種方法。藉由通過測定鋼筋/混凝土半電池電極與在混凝土表面之銅和硫酸銅參考電極間之電位差大小，評定混凝土中鋼筋之腐蝕活化程度。

建議取樣位置及數量

檢測範圍建議於初步診斷時劣化嚴重之部位進行，採每一層樓取一處進行檢測，並利用鋼筋掃描結果佈設點位。

評定標準

在對已處理過的數據(溫度修正)進行判讀前，必須先將數據加以負號，並繪製等電位圖，再進行判讀。按表 3-6 以判斷混凝土中的鋼筋發生腐蝕機率及評定標準值。

3.2.6 混凝土中性化深度檢測與評定

中性化是由混凝土表面逐漸往內部發展，讓混凝土失去原本保護鋼筋發生腐蝕之能力，依據 RILEM CPC-18 規定，利用酚酞指示劑噴灑於混凝土斷面。

建議取樣位置及數量，同混凝土鑽心。

並透過混凝土中性化深度的評定標準，如表 3-7 所示，判定其評定標準值。

3-7 混凝土中性化深度評定標準

評定標準值	1	2	3	4	5
中性化深度 保護層厚度	<1 * ₁	<1	$=1$	>1	>1 * ₂
備註	1.評定標準值 1：構件各個實測比值全部均小於 1。 2.評定標準值 5：構件各個實測比值全部均大於 1。 3.評定標準值為 2.3.4：全部構件比值的平均值 <1 、 $=1$ 、 >1 。				

(資料來源 【8】)

解說：

檢測方法

中性化檢測須依據 RILEM CPC-18 規定，利用酚酞指示劑噴灑於混凝土斷面，利用顏色變化判斷該混凝土碳化深度。

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估【9】之建議取樣位置及數量同混凝土鑽心。

評定標準

中性化深度之影響評定為中性化深度結果與該構件鋼筋保護層厚度之比值，且依各取樣試體比值及平均比值決定本項次之評定標準值，如表 3-7 所示。

3.2.7 氯離子含量測定與評定

氯離子之存在會加速腐蝕鋼筋，並造成混凝土保護層剝落，本試驗依據 CNS 14703 硬固水泥砂漿及混凝土中水溶性氯離子含量試驗法量測氯離子濃度。

建議取樣位置及數量，氯離子含量檢測，每一層樓至少一個試體，取樣位置同混凝土鑽心，若該樓層有分期興建，每一分期興建區域之氯離子試體至少一個試體；若試驗結果大於 0.15kg/m^3 ，該區域須再補做兩個試體確認(至多不超過該分期鑽心數量)。

並透過氯離子含量的評定標準，如表 3-8 所示，判定其評定標準值。

3-8 氯離子含量評定標準

評定標準值	1	2	3	4	5
氯離子含量 (kg/m^3)	<0.15	0.15 ~ 0.3	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 1.2	>1.2
鋼筋鏽蝕之 可能性	很小	不確定	有可能誘 發鋼筋鏽 蝕	會誘發鋼 筋鏽蝕	鋼筋鏽蝕 活化

解說：

檢測方法

本試驗依據 CNS 14703 硬固水泥砂漿及混凝土中水溶性氯離子含量試驗法量測氯離子濃度，其試驗步驟如下：

- ¹ 量取質量約 10g 之試樣，測定其質量準確至最接近之 0.01g，將試樣置入一只 250mL 之燒杯中，並加入 $50 \pm 1\text{mL}$ 符合 CNS 3699 (化學分析用水)A3 等級之分析用水。
- ² 將試樣以錶玻璃覆蓋，加熱煮沸 5 分鐘後靜置 24 小時。
- ³ 以重力或抽氣過濾方式將試樣以符合 CNS 5038(化學分析用濾紙)G 級濾紙過濾之。
- ⁴ 將濾液移入 250mL 燒杯，並加入 $3 \pm 0.1\text{mL}$ 比例 1：1 之硝酸及 $3 \pm 0.1\text{mL}$ 濃度 30% 之過氧化氫，將燒杯以錶玻璃覆蓋，靜置 1 至 2 分鐘。
- ⁵ 將覆蓋錶玻璃之燒杯迅速加熱至沸騰，沸騰時立即將燒杯移開，避免持續

沸騰超過數秒鐘。

- ⁶ 繼續依 CNS 1078 中氧化物之試驗步驟，將燒杯自電熱板移出後之步驟操作。
- ⁷ 使用電位差自動滴定儀量測氯離子濃度，利用滴定過程中電位之改變，繪出滴定反應圖，自動找出滴定終點，並計算出溶液之濃度。

建議取樣位置及數量

根據國家地震研究中心針對校舍耐震能力詳細評估【9】之建議氯離子含量檢測，每一層樓至少一個試體，取樣位置同混凝土鑽心，若該樓層有分期興建，每一分期興建區域之氯離子試體至少一個試體；若試驗結果大於 0.15kg/m^3 ，該區域須再補做兩個試體確認(至多不超過該分期鑽心數量)。

評定標準

本項次之評定標準如表 3-8 所示。

3.2.8 構件劣化評定

透過初步診斷之構件劣化度，分別對應到詳細診斷之五個評定標準，如圖 3-2 所示，判定其評定標準值。

構件劣化度	構件劣化評定值
健全	1
輕度	2
中度	3
重度	4
嚴重損壞	5



初步診斷-各樓層構件劣化度

圖 3-2 構件劣化評定對照表

解說：

耐久性能初步診斷法部分，將構件劣化分為健全、輕度、中度、重度、嚴重損壞五個等級，並分別對應到詳細診斷之五個評定標準值 1、2、3、4、5，如圖 3-2 所示，可依各樓層結果分別評定。

三、 環境影響因子

3.2.9 環境影響因子評定

透過初步診斷之環境影響因子潛勢結果，分別對應到詳細診斷之環境影響因子，如圖 3-3 所示。

環境影響潛勢	環境影響因子
低劣化潛勢	1.0
中劣化潛勢	1.1
高劣化潛勢	1.2



初步診斷-環境影響因子潛勢

圖 3-3 環境影響因子對照表

(資料來源 【8】)

解說：

利用耐久性能初步診斷中環境影響因子潛勢結果以決定本項次之環境影響因子，如圖 3-3 所示。

四、 詳細診斷項目權重值

3.2.10 詳細診斷權重值

詳細診斷診斷指標之各權重值，如表 3- 9 所示，利用此表進行詳細診斷綜合評定。

表 3- 9 耐久性指標權重值

診斷指標	項目		權重值
腐蝕現況	-		0.52
腐蝕電位	1		0.20
中性化深度	2		0.17
氯離子檢測	3		0.25
構件劣化	4		0.38
混凝土現況	-		0.48
電阻係數	5		0.16
抗壓強度	6		0.37
鋼筋保護層厚度	7		0.26
外牆劣化	8		0.21
環境影響因子	1.1	1.2	1.3

解說：

3- 9 為詳細診斷診斷指標之各權重值，利用此表進行詳細診斷綜合評定，詳細診斷之綜合評定於下小節說明。

第三節 詳細診斷綜合評定

3.3.1 詳細診斷綜合評定流程說明

利用初步診斷之結果提供詳細診斷基本依據，並藉由詳細診斷結果，計算單一耐久評定等級及整體耐久評定等級。

解說：

耐久性能詳細診斷中，藉由各項之評定值與權重分別計算各樓層之耐久性能指標，並利用整體權重比例，最後求得整體建築物之整體耐久性能指標，而可依指標分數之不同對應至不同之建議或等級，如表 R 3-2。

表 R 3-2 詳細診斷綜合評定項目

初步診斷 	● 各樓層構件劣化程度 1 ○柱構件劣化程度 2 ○梁構件劣化程度 3 ○版構件劣化程度 ○4RC 結構牆劣化程度 - 環境影響因子 ○1 氯離子引致劣化潛勢 ○2 中性化引致劣化潛勢 四者取其最嚴重之劣化程度
詳細診斷 	● 詳細診斷綜和評定 ○1 鋼筋腐蝕現況 -腐蝕電流、氯離子檢測、中性化深度檢測、構件劣化 ○2 混凝土現況 -電阻率檢測、混凝土保護層厚度、抗壓強度檢測、外牆劣化 ○3 環境影響因子
綜和評定	● 單一樓層之耐久性評定值→單一耐久評定等級 ● 整體耐久性評定值→整體耐久評定等級 -定期維護、補修建議

(資料來源 【1】)

一、 單一樓層之耐久性評定

3.3.2 單一樓層之耐久性評定

利用耐久性各指標權重值代入式(3-3)，計算單一樓層耐久性評定等級，透過表 3- 10 得單一樓層之耐久性能。

$$D_i = \delta \times \prod_{j=1}^4 \beta_j A_{jm} \alpha_{jm} \quad (3-3)$$

式中， D_i ：第 i 樓層耐久性能評定值、 δ_i ：環境影響放大係數、 β_j ：第 j 類因子中代表之權重(鋼筋腐蝕現況=0.52、混凝土現況=0.48)、 A_{jm} ：第 j 類因子中 m 個指標獲得之評定值、 α_{jm} ：第 j 類因子中第 m 個指標所佔之權重值。

表 3- 10 單一樓層之耐久性評定

D 之範圍	$0 \leq D < 2$	$2 \leq D < 3$	$3 \leq D < 4$	$4 \leq D < 5$	$5 \leq D_i$
單一樓層 耐久性等級	5	4	3	2	1
耐久性能	良好	好	普通	較差	極差

(資料來源 【8】)

解說：

將耐久性各指標權重值代入式(3-3)，計算單一樓層耐久性評定等級，並將單一樓層之耐久性評斷分為五個等級，如表 3- 10 所示。

二、整棟建築物之耐久性評定

3.3.3 整棟建築物之耐久性評定

利用單一樓層之耐久性評定值代入式(3-4)，計算整棟建築物之耐久性評定等級，透過表 3- 11 得整棟建築物之耐久性能。

$$D_{total} = \sum_{j=1}^q D_j r_j \quad (3-4)$$

式中， D_{total} ：整體建築物耐久性能評定值、 D_j ：第j個樓層之單一樓層耐久性能評定值、 r_j ：第j個樓層在整體建築物中所佔之權重、 q ：該建築物之樓層數。

表 3- 11 整體建築物之耐久性評定

D_{total} 之範圍	$0 \leq D_{total} < 2$	$2 \leq D_{total} < 3$	$3 \leq D_{total} < 4$	$4 \leq D_{total} < 5$	$5 \leq D_{total}$
整體 耐久性等級	5	4	3	2	1
整體 耐久性能	良好	好	普通	較差	極差
建議處理	正常使用		定期維護	補修工法建議	

(資料來源 【8】)

解說：

將單一樓層之耐久性評定值代入式(3-4)，即可獲得建築物之整體耐久性評定等級。 r_j 權重容易較有爭議，因此由專家依建築物所在環境、設計時考量之不同，提出適當之權重，並進行評定。相同的，在整體建築物耐久性評定上，也可提出整體耐久性評定分級，如表 3- 11 所示。

第四章 考慮鋼筋腐蝕影響之 RC 建物耐震能力評估

第一節 診斷鋼筋腐蝕耐震能力評估說明

4.1 耐震能力評估說明

本章節提供可考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力評估方法。主要依耐久性能診斷所得之柱構件及 RC 結構牆的劣化度及材料特性，以進行強度或非線性塑鉸修正。

以初步耐震能力診斷而言，因收集之柱斷面資料分為兩類建築物：一般街屋及低矮型校舍；4.2 節分別對此二類建築物建議柱構件於不同劣化度下之強度折減係數。

以詳細耐震能力評估而言，除耐久性能初步診斷之構件劣化度外，需考量耐久性能詳細診斷中之相關材料試驗，配合實際圖說及現場條件以建立結構分析模型。

解說：

第二章耐久性能初步診斷而得的各種裂縫形式，參考圖 R 2- 3 至圖 R 2- 13，其中圖 R 2- 3 裂縫形式編號 Cd1 至 Cd4 皆是腐蝕影響產生的，通常沿著箍筋或主筋方向發展延伸。

藉由鋼筋混凝土構件表面之裂縫寬度，參考表 2- 1 評定該構件之鋼筋腐蝕等級，並書面紀錄之；牆之不同劣化度之強度折減係數暫無數據參考，若牆體腐蝕嚴重，則應不計該牆之強度貢獻。

國內對於一般街屋以及低矮型校舍有不同的初步診斷方法，一般街屋使用單位樓地板面積得柱量比(CFR_{eq})對應之 A_p 關係【10】評估耐震指標，低矮型校舍使用台灣中小學校舍結構耐震能力初步評估方法之探討【11】，計算豎向構件極限強度之總和(V_{vm})對最小設計水平總橫力【12】，求得耐震容量需求比(R_{CD})和耐震指標。

詳細評估是根據初步診斷結果來判斷是否需要實施，詳細的各項材料試驗請參閱第三章，將調查之材料數據以及建物構件建立於結構工程套裝軟體模型內，透過老劣化構件之非線性參數模型結合耐震能力詳細評估輔助程式，計算帶入鋼筋腐蝕塑鉸容量修正並做側推分析，比較容量曲線、耐震性能曲線、性能目標地表加速度及相關數值。

第二節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力初步診斷

4.2.1 一般街屋之初步診斷

若評估對象為一般街屋，可參考表 4-1 決定腐蝕柱構件之強度折減係數。配合既有之診斷方法，以進行考慮鋼筋腐蝕影響之初步耐震能力診斷。

若評估對象之 RC 結構牆具劣化事象，因目前仍缺乏相關實驗佐證，本手冊建議劣化度重度以上之牆體，其強度可予以忽略，而中度及輕度之強度折減係數則分別取 0.8 及 0.9，以進行保守之推估。

表 4-1 一般街屋不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數

劣化度 腐蝕率 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	>0.95	0.90	0.85	0.70	<0.50
備註	¹ 如無劣化可採用 0% ² 若腐蝕嚴重，則應不計該柱之強度貢獻				

解說：

透過國家地震工程研究中心【14】的校舍耐震能力詳細評估資料庫做統計分析出經驗回歸公式如式(R4-1)、(R4-2)，提出以底層(一樓)豎向構件面積對總樓地板面積之比值，推估整棟建築物的耐震性能地表加速度，即是耐震容量。

$$A_p = \frac{100CFR_{eq} - 0.4 + 0.05N_f}{1.62 - 0.24N_f} f, CFR_{eq} \geq (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (R4-1)$$

$$A_p = 0, CFR_{eq} < (0.4 - 0.05N_f)\% \quad (R4-2)$$

式中， A_p ：建築物的耐震性能地表加速度，分為 X 與 Y 方向、 N_f ：建築物的

總樓層數(大於四層樓以四層樓做計算，僅限八樓以下建築)、 CFR_{eq} ：等效柱量比，如式(R4-3)，將柱的權重係數定義 1.0，其餘構件權重係數按單位面積側向強度做更動參考表 R 4-1。

$$CFR_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^N A_{cor,i} A_{c,i}}{\sum A_f} + \frac{\beta \times (2.63 \sum A_{rcw4} + 1.5 \sum A_{rcw3} + 0.5 \sum A_{bw4} + 0.4 \sum A_{bw3})}{\sum A_f} \quad (R4-3)$$

式， X_{cor} ：不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數參考表 4-1、 N_c ：一樓 RC 柱構件之總數量、 $A_c \beta$ ：一樓 RC 柱各根面積、 β ：強度折減因子取 0.9，因最大側向強度不會同時發生、 $\sum_{rcw4}^A$ ：一樓之所有無開口 RC 牆(四面圍束)面積和、 $\sum_{rcw3}^A$ ：一樓之所有開口 RC 牆(三面圍束)面積和、 $\sum_{bw4}^A$ ：一樓之所有無開口磚牆(四面圍束)面積和、 $\sum_{bw3}^A$ ：一樓之所有開口磚牆(三面圍束)面積和、 $\sum A_f$ ：一樓以上總樓地板面積。

表 R 4- 1 一般街屋各豎向構件單位面積之側向強度

豎向構件	單位面積之側向強度 (kgf/cm ²)	權重係數
RC 柱	8	1.0
RC 牆	21	2.63
	12	1.5
磚牆	4	0.5
	3.2	0.4

(資料來源 【10】)

(2) 總調整因子 Q 如式(R4-5)

q_1 ：扭轉效應，當建物有雙向騎樓為 0.9，單向為 1.0。
 q_2 ：興建年代範圍，建於民國 63 年前為 0.9，建於民國 64~71 年為 0.95，建於民國 78~88 年為 1.0，建於民國 89 以後為 1.05。

q_3 ：軟弱底層，當建物底層有牆體中斷為 0.9，若無則為 1.0。

q_4 ：短柱效應如式(R4-5)，其值不得小於 0.5。

q'_4 ：極短柱面積和佔總柱面積和之比例。

$$Q = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \quad (R4-4)$$

$$q_4 = 1 - q'_4 \quad (R4-5)$$

(3) 耐震需求如式(R4-6)。

$$A_T = 0.4S_{DS} \quad (R4-6)$$

式中， A_T ：耐震需求(EPA)，也為工址等效最大地表加速度、 S_{DS} 可依據營建署【12】查出該建築物所在位置的短周期水平加速度、近斷層修正係數和工址放大係數求得。

(4) 基本耐震性能如式(R4-7)。

$$E = 100 \times R_{CD} = 100 \times \frac{\min(A_x, A_y)}{A_T} \quad (R4-7)$$

式中， E ：基本耐震性能比， R_{CD} ：耐震容量需求比。

(5) 耐震指標如式(R4-8)

$$I_s = E \times Q \quad (R4-8)$$

式中， I_s ：耐震能力初步評估指標，大於等於 100 表示耐震能力暫無疑慮，小於 100 表示有疑慮。

4.2.2 低矮型校舍之初步診斷

若評估對象為低矮型校舍，可參考表 4-2 決定腐蝕柱構件之強度折減係數。配合既有之診斷方法，以進行考慮鋼筋腐蝕影響之初步耐震能力診斷。

若評估對象之 RC 結構牆具劣化事象，因目前仍缺乏相關實驗佐證，本手冊建議劣化度重度以上之牆體，其強度可予以忽略，而中度及輕度之強度折減係數則分別取 0.8 及 0.9，以進行保守之推估。

本手冊建議採用國家地震中心【13】去做耐震能力評估，考慮是否有疑慮需要藉由耐震指標做推估計算，耐震指標是為耐震容量與耐震需求的比值乘上結構現況調整因子而得，大於等於 100 表示暫無耐震疑慮。

表 4-2 低矮型校舍柱構件於不同劣化度下之強度折減係數

劣化度 腐蝕率 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	>0.98	0.95	0.90	0.80	<0.60
走廊柱	>0.98	0.95	0.90	0.80	<0.60
隔間柱	>0.95	0.90	0.85	0.70	<0.50
備註	¹ 如無劣化可採用 0% ² 若腐蝕嚴重，則應不計該柱之強度貢獻				

解說：

文獻【11】主要探討極限基底剪力強度和基本耐震性能，進而推得校舍結構耐震容量需求比，極限基底剪力強度如式(R4-9)。

$$V_{bs} = \beta \times V_{vm} \quad (R4-9)$$

式中， V_{bs} ：極限基底剪力強度、 β ：強度折減因子取 0.9，因最大側向強度

不會同時發生、 V_{vm} ：一樓豎向構件極限強度之總和，如式(R4-10)。

$$V_{vm} = \left(\sum_{i=1}^{N_{c,教室}} X_{cor,i} A_{c,i} \tau_{rcw} \right) + \left(\sum_{j=1}^{N_{c,走廊}} X_{cor,j} A_{c,j} \tau_{bw3} \right) + \left(\sum_{k=1}^{N_{c,隔間}} X_{cor,k} A_{c,k} \tau_{bw4} \right) \quad (R4-10)$$

式中， X_{cor} ：不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數參考表 4-2、 N_c ：一樓

RC 柱構件之各總數量、 τ_c ：RC 柱單位面積之側向強度，參考表 R 4- 2、 A_c ：

一樓 RC 教室、走廊和隔間柱各根面積、 τ_{cw} ：RC 牆單位面積之側向強度、 A_{cw} ：

一樓 RC 牆面積之和、 τ_{bw3} ：三面圍束磚牆單位面積之側向強度、 A_{bw3} ：一樓

三面圍束磚牆面積之和、 τ_{bw4} ：四面圍束磚牆單位面積之側向強度、 A_{bw4} ：

一樓四面圍束磚牆面積之和。

表 R 4- 2 低矮型校舍各豎向構件單位面積之極限側向強度

單位面積之極限 側向強度 豎向構件		c (kgf/cm^2)
柱	教室	$1.8 N_f + 4$
	走廊	$1.08 N_f + 2.4$
	隔間	2.6
RC 牆		12
磚牆	四面圍束	3
	三面圍束	2
備註	N_f 總樓層數，僅限五樓以下	

(資料來源 【11】)

根據營建署【12】之結構最小設計水平總橫力如式(R4-11)，耐震容量需求比

(R_{CD}, CDR)：耐震容量與耐震需求之比值如式(R4-12)，最後計得基本耐震性能如式(R4-13)。

$$V = \frac{S_{ad} I}{1.4 \alpha F_y u} W \quad (R4-11)$$

式中， V ：最小設計水平總橫力(【12】2.2 節)、 I ：用途係數(【12】2.8 節)、

S_{ad} ：工址設計水平加速度係數【(12) 表 2- 5(a)]、 W ：建築物總靜載重【(11)]、

γ ：起始降伏地震力放大係數(【12】2.9 節)、 F_u ：結構系統地震力折減係數(【12】2.9 節)。

$$R_{CD} = \frac{1.4\alpha_y V}{S_{aD} IW / F_u} = \frac{V_{bs}}{S_{aD} IW F_u} \quad (R4-12)$$

式中，耐震容量： $1.4\alpha_y V = V_{bs}$ 、耐震需求： $a_D IW / F_u$ 。

$$SE = 100R_{CD} \quad (R4-13)$$

式中， E ：基本耐震性能比。

性能目標地表加速度如式(R4-14)。

$$A_p = R_{CD} A_T \quad (R4-14)$$

式中， A_p ：性能目標地表加速度、 A_T ：等效最大地表加速度如式(R4-15)。

$$A_T = 0.4S_{DS} \quad (R4-15)$$

式中， S_{DS} ：近斷層區域工址短週期設計水平加速度係數(【12】2.5 節)。

根據國家地震工程研究中心【16】結構現況調整因子 Q 如式(R4-16)

q_1 ：平面及立面對稱性，若超過凹角部分於兩水平方向之結構尺寸同時大於沿該方向結構總長之 15%以上者，具凹角性取 0.95(如圖 R 4- 1 所示)，不足則取 1.0，不具有任何凹角或不規則情況取 1.05。

q_2 ：軟弱底層，若 2/3 以上之牆體於下一層中斷取 0.8，若 1/3 至 2/3 之牆體於下一層中斷取 0.9，若 1/3 以下之牆體於下一層中斷取 1.0。

q_3 ：裂縫銹蝕滲水，若裂縫銹蝕滲水較嚴重取 0.9，若稍有裂縫銹蝕滲水取 0.95，

若無裂縫銹蝕滲水取 1.0。

q_4 ：變形程度，若目視有明顯變形及想對應之裂縫取 0.9，若無取 1.0。

q_5 ：平面耐震性，走廊外無柱或其他取 1.0，單走廊且廊外有柱或中間廊取 1.1，

雙走廊且廊外有柱取 1.2。

q_6 ：短柱效應，若校舍窗台產生的短柱根數達到全部柱根數之 50%以上取 0.9，若不足取 1.0。

$$Q = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_5 \times q_6 \quad (R4-16)$$

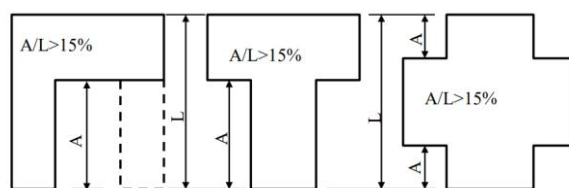


圖 R 4- 1 幾何形狀不規則

(資料來源 【12】圖 C1-2)

(5) 耐震指標如式(R4-17)

$$I_S = E \times Q \quad (R4-17)$$

式中， I_S ：耐震能力初步評估指標，大於等於 100 表示耐震能力占無疑慮，小於表示有疑慮。

第三節 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力詳細診斷

4.3 詳細診斷評估法

依照耐久性能初步、詳細診斷所得之柱構件及 RC 結構牆的劣化度及材料特性，以進行強度或非線性塑鉸修正，設定修正後的塑鉸進行結構套裝軟體分析，目的求得結構物之容量曲線、耐震性能曲線等。

解說：

事先完成詳細的耐久性能詳細診斷評定建築物構件之材料特性，根據文獻

【17】【18】建立了鋼筋混凝土老劣化構件之非線性參數模型，考慮了握裹破壞、撓曲破壞、撓剪破壞以及剪力破壞，修正該構件之撓曲、剪力強度以及塑鉸(請參閱報告書)，將塑鉸設定進建置完成的結構分析軟體模型內，快速計算結構的容量震譜、性能曲線、性能目標地表加速度 A_p 和耐震容量需求比(CDR)，當 CDR 大於等於 1.0，該建築物之耐震能力暫無疑慮，若低於 1.0 則可以考慮進行補強。

第五章 維護管理策略擬定

5.1 一般

當鋼筋混凝土構件劣化到某些程度時，將導致影響建築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。

提高其安全性和使用性，並增進構件力學性能之對策。根據建築物之耐久性診斷調查結果，在確定其劣化主因、程度及範圍後，進而決定補修/補強策略。

目前工程界常採用的補修/補強工法大致可分為結構元件補修工法、結構元件補強工法、結構系統改善補強工法、結構系統加設消能隔減震裝置補強工法。

補修回復目標設定依修復程度可分為臨時修復、延壽修復、永續修復。

依劣化程度分類選定適合之補修工法，如鋼筋腐蝕補修工法、中性化抑制工法、氯離子抑制工法及裂縫修補工法。

解說：

本章節參考內政部建築研究所【1】及日本土木學會【19】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。

補修/補強策略包含補修/補強範圍、補修/補強工法及修復材料之選定，並考量施工性、工期、經濟性、施工安全和施工環境等因素。一般而言，除上述之客觀條件外，建築物管理者或使用人可依需求設立修復目標。

目前工程界常採用的補修/補強工法大致可分為四大類。

- ¹ 結構元件補修工法：針對結構桿件之裂縫損壞加以修復，使其恢復原有強度。
- ² 結構元件補強工法：針對結構桿件之剪力、彎矩、軸力及韌性等加以補強(如鋼板補強、碳纖補強及擴大斷面等)以提昇桿件及總體結構之強度，一般而言對結構元件加以補強，多少可提昇其總體結構之強度，惟其補強成本效益較差。故結構元件補強適用於耐震能力不足程度較低者或採用結構系統補強有困難者，一般而言須與結構系統之改善補強配合使用可得最佳之補強效果。
- ³ 結構系統改善補強工法：抗震補強中增設抵抗地震橫力的構材如(剪力牆、斜撐及翼牆等)以改變結構系統的力量傳遞路徑應屬最具總體補強效益(安全性高、成本低)等，惟建築物使用機能可能會受到影響。
- ⁴ 結構系統加設消能隔減震裝置補強工法：建築物若本身抵抗垂直力之能力無

虞，但耐震能力不足，則在原結構系統中加設消能隔減震裝置亦可具體提昇建築物耐震能力，惟一般消能隔減震裝置具有專利，且成本較高。

補修回復目標設定依修復程度可分為臨時修復、延壽修復、永續修復。

○¹ 永續修復：不僅修復其劣化之部分，以近乎完全消除固有之劣化因子為目標，使其達到永久修復之效果。

○² 延壽修復：修復其劣化之部分，且現有之劣化因子亦藉由抑制工法之施作以減緩其影響速率，以達到期待之延命效果。○³ 臨時修復：修復已發生劣化之部分，或僅對於劣化較為明顯之部分進行修復。

5.2 鋼筋腐蝕修復工法

一般來說，鋼筋腐蝕修復工法之修復順序為底層處理、鐵筋防鏽、斷面修復、表面披覆依序進行如圖 5- 1 所示。表 5- 1 為鋼筋腐蝕修復工法與回覆目標方法之關係。

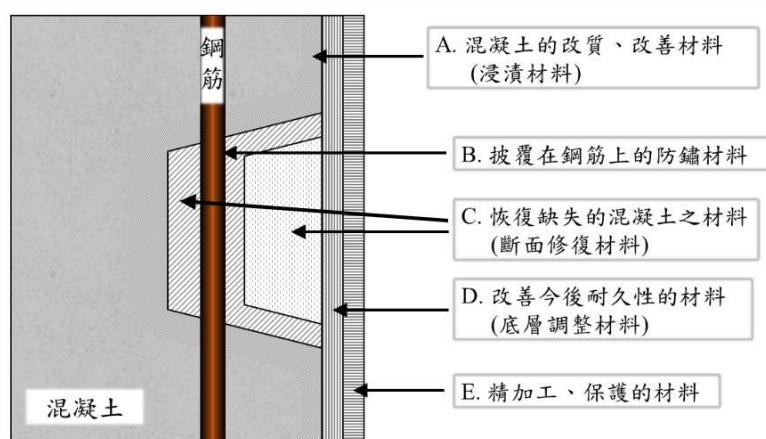


圖 5-1 鋼筋腐蝕之修復

(資料來源 【19】)

表 5-1 鋼筋腐蝕補修工法與回復目標方法之關係

損傷種類 補修種類		回復目標方法			
		臨時性	延長使用性	永久性(1)	永久性(2)
鋼筋腐蝕修復工法	劣化混凝土處理	除去裂縫	鋼筋腐蝕部分	鋼筋腐蝕部分	鋼筋腐蝕部分
	銹蝕鋼筋處理	劣化部份去除	劣化部份去除	劣化部份去除	劣化部份去除
	含浸材處理	-	-	強鹼塗佈型材料	-
	鋼筋防銹處理	-	鋼筋防銹材料	鋼筋防銹材料	鋼筋防銹材料
	斷面修復	斷面修復	斷面修復	斷面修復	斷面修復
	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

(資料來源 【4】)

解說：

鋼筋腐蝕修復工法即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，以隔絕外界的空氣及水分，抑制鋼筋繼續銹蝕，再以補修材料填充形成保護層作用，藉此達到修復之目的。

對於鋼筋腐蝕部分的修復順序，先將混凝土剝落、鋼筋暴露或出現裂縫的位置，移除該部位之混凝土露出鋼筋。剝落之混凝土須徹底敲除，並除去鋼筋表面銹蝕，再利用高壓空氣機將表面處理乾淨。鋼筋除銹後塗上防鏽材料，建議塗刷兩層以上以達到良好效果。在新舊混凝土介面塗布接著劑後，最後用修復材料填補以及表面披覆材以隔絕劣化因子入侵。如果鋼筋腐蝕嚴重，則需焊接新的鋼筋或用鋼筋加固。

5.3 中性化抑制工法

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修復，須依劣化程度將其分類，如表 5-2 所示。因中性化造成劣化時，所採取之修復工法以及中性化抑制工法與回復目標方法之關係，如表 5-3 和表 5-4 所示。

表 5-2 混凝土中性化程度分類

劣化因子程度	中性化進展程度
輕度以下	中性化深度評定值為 2 以下
中度	中性化深度評定值為 3
重度以上	中性化深度評定值為 4 以上

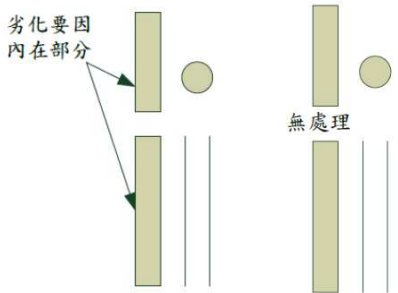
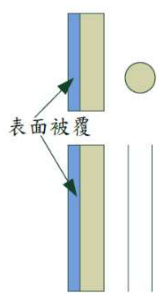
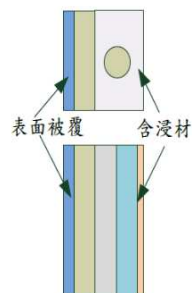
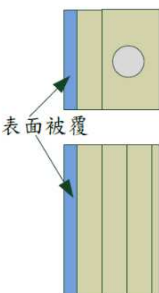
(資料來源 【4】)

表 5-3 混凝土中性化修復工法之選定

劣化度	劣化原因的強度(中性化深度)		
	小	中	大
輕度以下	不用	中性化抑制工法	中性化抑制工法
中度	檢討其他原因	裂縫補修工法 中性化抑制工法	鋼筋腐蝕修復工法 中性化抑制工法
重度以上	檢討其他原因	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法 中性化抑制工法

(資料來源 【4】)

表 5-4 中性化抑制工法與回復目標方法之關係

損傷種類		回復目標方法			
補修種類		臨時性	延長使用性	永久性(1)	永久性(2)
中性化抑制工法	劣化要因 內在部分				
	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	中性化部分去除
	含浸材處理	-	-	強鹼性材料	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復
	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

(資料來源 【4】)

解說：

一般來說，可通過表面披覆來防止外部二氧化碳入侵，抑制中性化反應。但如果中性化達到鋼筋位置時，混凝土中需浸漬強鹼劑，強鹼劑可回復鋼筋抑制的腐蝕的能力。對於臨時性修復，主要係對混凝土表面之劣化部份進行清除、處理，延長使用性修復除了混凝土表面劣化處理外，還需配合表面披覆中性化抑制材料。至於永久性修復，除了上述修復工法外，還需視情況增加含浸材處理或斷面修復以抑制中性化和隔絕劣化因子入侵。

5.4 鹽害抑制工法

鹽害抑制工法主要係通過表面披覆來防止外部氯離子入侵，抑制水分和氧氣供給造成鋼筋腐蝕。建築物之混凝土氯離子含量程度分類如表 5-5 所示，劣化程度之分類以及建議之修復工法如表 5-6 和表 5-7 所示。

表 5-5 混凝土氯離子含量程度分類

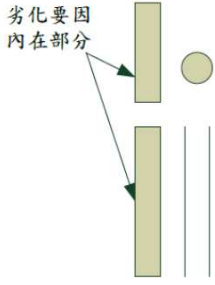
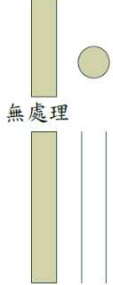
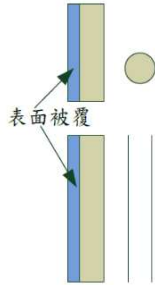
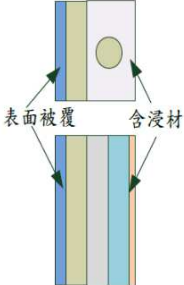
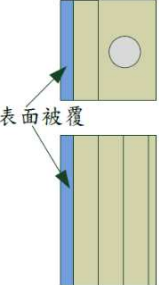
劣化因子程度	氯離子含量平均值
輕度以下	0.3 kg/m^3 以下
中度	0.3 kg/m^3 以上 0.6 kg/m^3 以下
重度以上	0.6 kg/m^3 以上

表 5-6 混凝土氯離子修復工法之選定

劣化度	劣化原因的強度(鋼筋位置的氯離子含量)		
	小	中	大
輕度	不用	鹽害抑制工法	鹽害抑制工法
中度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法 鹽害抑制工法	鋼筋腐蝕修復工法 鹽害抑制工法
重度	檢討其他原因	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法 鹽害抑制工法

(資料來源 【4】)

表 5-7 氯離子補修工法與回復目標方法之關係

損傷種類 補修種類		回復目標方法			
		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	氯離子滲透部分去除
	含浸材處理	-	-	塗佈防銹材	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復
	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

(資料來源 【4】)

解說：

硬固結構混凝土中最大水溶性氯離子含量是否符合規定之判定基準為依據民國 83 年 7 月 22 日修訂之國家標準 CNS 3090 A2042 新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量所規定，一般鋼筋混凝土須小於 0.6 kg/m^3 (水溶法)、超過 0.3 kg/m^3 至 0.6 kg/m^3 時，鋼筋須做防蝕處理；民國 87 年 6 月 25 日修訂公佈之 CNS 3090 A2042 新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量之規定，鋼筋混凝土須小於 0.3 kg/m^3 (水溶法)。因此，若建築物之硬固結構混凝土中最大水溶性氯離子含量介於 0.3 kg/m^3 至 0.6 kg/m^3 之間，混凝土氯離子含量程度評判為中度，氯離子含量平均值為 0.6 kg/m^3 以上，評判為重度。當混凝土已含有大量氯化物時，需使用防銹劑來阻止氯離子吸收並抑制鋼筋繼續腐蝕。

5.5 裂縫修復工法

根據構件裂縫開裂程度，日本建築學會(AIJ 1999)針對腐蝕劣化構件之修復方面可分為：裂縫灌注、裂縫補修、斷面修復、構件包覆補強、構件拆除重作等不同等級對策工作。

裂縫灌注工法：適用於鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等裂縫寬度 0.3 mm 以下之構件。

裂縫補修工法：適用於鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等裂縫寬度 0.3 mm 以上之構件。

斷面修復工法：適用於鋼筋混凝土構件局部混凝土嚴重開裂或鬆動。

構件包覆補強工法：適用於鋼筋混凝土構件可能發生嚴重開裂或鬆動。

局部構件敲除重作工法：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：

裂縫灌注工法

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。將混凝土表面清理乾淨，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。

裂縫補修工法

裂縫補修工法係注入樹脂類補修材料填補裂縫，防止水、氧氣和腐蝕物質從裂縫中進入，造成鋼筋腐蝕。當鋼筋混凝土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，均可以合宜之修復工法和修復材料將其「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。修復工法示意圖詳見圖 R 5- 1，關於裂縫補修法施工步驟為：

- ¹ 施工時需先清理裂縫雜物後，清除表面粉化或分離之部分，再進行裂縫表面強化處理。
- ² 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。
- ³ 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。
- ⁴ 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 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。
- ⁵ 灌注完成後至少養生 24 小時，再行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，並無提升整體混凝土強度之效用。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。

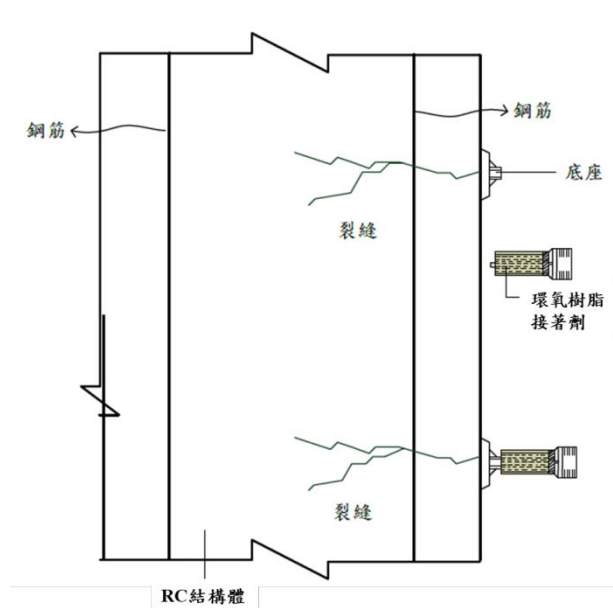


圖 R 5- 1 裂縫補修工法示意圖

(資料來源 【20】)

表 R 5- 1 混凝土裂縫補修工法之選定

劣化度	劣化原因的強度(混凝土表面的裂縫幅度)	
	小	大
輕度	不用	裂縫補修工法
中度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法
重度	檢討其他原因	鋼筋腐蝕修復工法

(資料來源 【4】)

斷面修復法

一般而言，當混凝土表面出現鬆動或嚴重開裂之現象，需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待，等乾燥後塗抹環氧樹脂黏著劑於新舊混凝土接觸面上，並於黏著劑尚未硬化前以環氧樹脂砂漿填補，最後加以整平及養護。斷面修復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分質量劣化區域、混凝土開裂或剝落、鋼筋腐蝕等劣化受損區域，以及需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，斷面修復材之強度會等於或高於基礎混凝土之強度，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，通常會使用聚合物水泥砂漿型補修材料。塗抹工法是針對很小或分散之區塊，藉由人力塗抹施工。灌漿施工法是針對修復範圍較大之

區塊，灌以斷面修復材或無收縮砂漿。噴塗工法針對大區域之大規模修復工

作，有乾式和濕式兩種。利用可壓縮空氣之專用噴塗器具進行施工，此為可適用於恢復頂部或側向斷面之結構補修法。

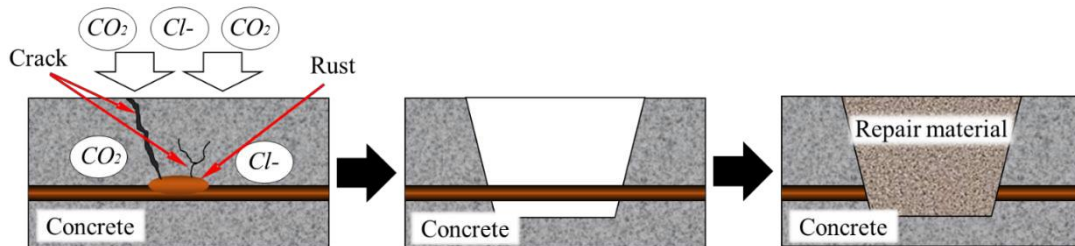


圖 R 5- 2 斷面修復法

構件包覆補強工法

構件包覆補強工法係將鋼板或碳纖維布等包覆材料緊緊包覆在柱體外圍。當地震發生時，開裂的混凝土塊也會因為包覆材料而不會輕易地自柱體剝落，進而提升耐震能力。首先，打除混凝土碎塊及粉刷層，並在柱體裂縫注入膠結劑填滿。其次，將裸露之鋼筋除鏽後，組模灌製混凝土。拆模後在柱體塗上底漆打底及表面批平，表面進行包覆材披覆，最後處理表面。

局部構件敲除重作工法

一般而言，當鬆動或嚴重開裂之混凝土體積過大時，可將舊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處面，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，新舊混凝土接著面鑿毛應有 6 mm 以上粗糙度。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。

參考文獻

- 【1】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。
- 【2】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，日本建築研究所。
- 【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】日本建築學會(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，丸善株式會社。
- 【5】建築物耐久性向上技術普及委員會，(2007)，日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查-技術資料。
- 【6】邱建國、涂豐鈞，(2012)，考慮鋼筋腐蝕危害度之混凝土保護層厚度設計-以台灣沿岸地區為例。
- 【7】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。
- 【8】葉為忠、張建智、黃然、鄒思宇，(2012)，建築物耐久性評估指標與殘餘壽命預測方法之研究，內政部建築研究所。
- 【9】國家地震工程研究中心，(2019)，縣(市)政府委託辦理校舍耐震能力「詳細評估」勞務採購契約範本。
- 【10】國家地震工程研究中心，(2018)，2016 美濃地震玉井區建築物普查暨震損建物資料庫。
- 【11】蘇耕立、黃世建(2008)，台灣中小學校舍結構耐震能力初步評估方法之探討，碩士論文，國立台灣大學土木工程系。

- 【12】營建署，(2011)，建築物耐震設計規範及解說。
- 【13】國家地震工程研究中心，(2013)，校舍結構耐震評估與補強技術手冊第三版，報告編號：NCREE-2013-023。
- 【14】國家地震工程研究中心，(2013)，臺灣中小學校舍結構耐震安全柱量比之研究，報告編號：NCREE-2013-031。
- 【15】國家地震工程研究中心，(2016)，校舍結構外加 RC 構架補強耐震分析，報告編號：NCREE-2016-006。
- 【16】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。
- 【17】邱建國、涂豐鈞(2012)，考慮劣化與震損影響之 RC 校舍耐震能力評估研究，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系。
- 【18】邱建國、蔡宜靜(2018)，RC 建物耐久與耐震性能整合評估系統開發與建置，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系。
- 【19】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
- 【20】鹿島工程技術顧問股份有限公司，(2009)，校舍評估報告書。

手冊附錄一 耐震能力初步評估表

附表 1-1 典型校舍耐震能力初步評估表

典型校舍耐震能力初步評估表

校舍基本資料										
學校名稱				評估日期						
建築物名稱				座號						
評估者				結構物						
學校地址				建築高度 H (m)						
興建年代				基本振動週期 (T)						
經緯度座標				T = 0.07 * H^0.75 (鋼筋混凝土造) (sec)						
N				S _{DS}						
E				S _{D1}						
				S _{D2}						
				475年設計地震						
上傳平面配置圖										
請上傳校園平面圖及相關圖說 Pic										
基本結構耐震性能調查項目										
二樓以上(含屋頂層) 各樓層樓地板面積調查		平面尺寸		樓地板面積 (A _{fl})				樓層數		
		長 (m)	寬 (m)	計算式		面積 (m ²)		地下層	地上層 (NF)	
		二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 (A _f = A _{fl} * NF)								
		地下層總樓地板面積								
一樓柱量	柱類別	柱形式	柱尺寸 (cm) (寬*深)	斷面積 (cm ²) (A _{sci})	根數 (N _{ci})	斷面積小計 (A _{ci} = A _{sci} * N _{ci})				
	走廊外柱	第一種		0	CorAci	0		(cm ²)		
		第二種		0		0		(cm ²)		
		第三種		0		0		(cm ²)		
	教室柱	第一種		0	ClaAci	0		(cm ²)		
		第二種		0		0		(cm ²)		
		第三種		0		0		(cm ²)		
	隔間柱	第一種		0	InsAci	0		(cm ²)		
		第二種		0		0		(cm ²)		
	走廊外柱總斷面積 (cm ²) CorAc = Σ(CorAci)		0		教室柱總斷面積 (cm ²) ClaAc = Σ(ClaAci)		0		隔間柱總斷面積 (cm ²) InsAc = Σ(InsAci)	0
柱等效強度 TAc = (4+1.8*NF)*ClaAc+(2.4+1.08*NF)*CorAc+2.6*InsAc								(kgf)		
一樓牆量	牆種類	牆厚度 (cm) (T _{wi})	牆長度 (cm)		斷面積小計 (A _{wi} = T _{wi} * L _{wi})					
	RC牆		計算式	長度 (L _{wi})	RCAw _i	0		(cm ²)		
						0		(cm ²)		
						0		(cm ²)		
	四面圍束磚牆				B2Aw _i	0		(cm ²)		
						0		(cm ²)		
						0		(cm ²)		
	三面圍束磚牆				B1Aw _i	0		(cm ²)		
						0		(cm ²)		
	RC牆總斷面積 (cm ²) RCAw = Σ(RCAw _i)		0		四面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B2Aw = Σ(B2Aw _i)		0		三面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B1Aw = Σ(B1Aw _i)	0
牆等效強度 TAw = 2*B1Aw+3*B2Aw+12*RCAw								(kgf)		
基本耐震性能 E:				E = 0.354*NF*(TAc+TAw)/((-1+6*NF)*(0.4*SaD)*Af)						
調整因子調查項目										
項目	說明						因子			
平面及立面對稱性	□差(0.95) □尚可(1.0) □良(1.05)						q1 =			
軟弱層顯著性	□2/3以上牆體中斷(0.8) □1/3至2/3之牆體中斷(0.9) □1/3以下之牆體中斷(1.0)						q2 =			
裂縫銹蝕滲水等程度	□嚴重(0.9) □少許(0.95) □無(1.0)						q3 =			
變形程度	□嚴重(0.9) □無(1.0)						q4 =			
平面耐震性	□雙走廊且無珍貴柱(1.2) □單走廊且無珍貴柱或中間走廊(1.1) □廊外無柱或異地(1.0)						q5 =			
短柱嚴重性	□50%以上(0.9) □50%以下(1.0); 附圖表 - 氣窗造成之短柱現象						q6 =			
調整因子 Q:	Q = q1*q2*...*q6									
耐震指標 Is:				Is = E*Q =				是否有疑慮:		確有耐震疑慮

備註: *三面圍束磚牆不包含台座磚牆

負責評估者簽章

(資料來源: 校舍耐震資訊網, 評估與補強相關文件, 檢字
<https://school.ncree.org.tw/school/information/evaluation-and-retrofit-file-download.php>)

附表 1-2 考慮鋼筋腐蝕影響之典型校舍耐震能力初步評估表

典型校舍耐震能力初步評估表

校舍基本資料																																																																																																																																				
學校名稱				評估日期																																																																																																																																
建築物名稱				證號			建築物高度 H (m)																																																																																																																													
評估者				結構物 基本振動週期 (T)			T = 0.07*H ^{0.75} (鋼筋混凝土造)																																																																																																																													
學校地址							S _{DS}																																																																																																																													
興建年代							S _{D1}																																																																																																																													
經緯度座標				475年設計地震			S _{AD}																																																																																																																													
N																																																																																																																																				
E																																																																																																																																				
上傳平面配置圖																																																																																																																																				
請上傳校園平面圖及相關圖說 Pic																																																																																																																																				
基本結構抗震性能調查項目																																																																																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">二樓以上(含屋頂層) 各樓層樓地板面積調查</th> <th colspan="2">平面尺寸</th> <th colspan="3">樓地板面積 (A_{Fl})</th> <th colspan="2">樓層數</th> </tr> <tr> <th>長 (m)</th> <th>寬 (m)</th> <th>計算式</th> <th>面積 (m²)</th> <th>地下層</th> <th>地上層 (NF)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 (A_F = A_{Fl}*NF)</td> <td></td> <td></td> <td>(m²)</td> </tr> <tr> <td colspan="5">地下層總樓地板面積</td> <td></td> <td></td> <td>(m²)</td> </tr> </tbody> </table>										二樓以上(含屋頂層) 各樓層樓地板面積調查	平面尺寸		樓地板面積 (A _{Fl})			樓層數		長 (m)	寬 (m)	計算式	面積 (m ²)	地下層	地上層 (NF)									二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 (A _F = A _{Fl} *NF)							(m ²)	地下層總樓地板面積							(m ²)																																																																																					
二樓以上(含屋頂層) 各樓層樓地板面積調查	平面尺寸		樓地板面積 (A _{Fl})			樓層數																																																																																																																														
	長 (m)	寬 (m)	計算式	面積 (m ²)	地下層	地上層 (NF)																																																																																																																														
二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 (A _F = A _{Fl} *NF)							(m ²)																																																																																																																													
地下層總樓地板面積							(m ²)																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">柱類別</th> <th rowspan="2">柱形式</th> <th rowspan="2">柱尺寸 (cm) (寬*深)</th> <th rowspan="2">斷面積 (cm²) (A_{sci})</th> <th rowspan="2">根數 (N_{ci})</th> <th colspan="4">劣化度根數</th> <th rowspan="2">總折減係數 X_{cor}</th> <th colspan="2">斷面積小計 (A_{ci} = A_{sci} * N_{ci})</th> </tr> <tr> <th>健全</th> <th>輕度</th> <th>中度</th> <th>重度</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">一樓柱量</td> <td rowspan="3">走廊外柱</td> <td>第一種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">CorA_{ci}</td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td>第二種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td>第三種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">教室柱</td> <td>第一種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">ClaA_{ci}</td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td>第二種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td>第三種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">隔間柱</td> <td>第一種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="2">InsA_{ci}</td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td>第二種</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">走廊外柱總斷面積 (cm²) CorA_c = Σ(CorA_{ci})</td> <td colspan="4">教室柱總斷面積 (cm²) ClaA_c = Σ(ClaA_{ci})</td> <td colspan="2">隔間柱總斷面積 (cm²) InsA_c = Σ(InsA_{ci})</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">柱等效強度 TAc = X_{cor}(4+1.8*NF)*ClaA_c+X_{cor}(2.4+1.08*NF)*CorA_c+X_{cor}2.6*InsA_c</td> <td colspan="2">(kgf)</td> </tr> </tbody> </table>										柱類別	柱形式	柱尺寸 (cm) (寬*深)	斷面積 (cm ²) (A _{sci})	根數 (N _{ci})	劣化度根數				總折減係數 X _{cor}	斷面積小計 (A _{ci} = A _{sci} * N _{ci})		健全	輕度	中度	重度			一樓柱量	走廊外柱	第一種								CorA _{ci}		(cm ²)	第二種								(cm ²)	第三種								(cm ²)	教室柱	第一種								ClaA _{ci}		(cm ²)	第二種								(cm ²)	第三種								(cm ²)	隔間柱	第一種								InsA _{ci}		(cm ²)	第二種								(cm ²)	走廊外柱總斷面積 (cm ²) CorA _c = Σ(CorA _{ci})			教室柱總斷面積 (cm ²) ClaA _c = Σ(ClaA _{ci})				隔間柱總斷面積 (cm ²) InsA _c = Σ(InsA _{ci})				柱等效強度 TAc = X _{cor} (4+1.8*NF)*ClaA _c +X _{cor} (2.4+1.08*NF)*CorA _c +X _{cor} 2.6*InsA _c										(kgf)	
柱類別	柱形式	柱尺寸 (cm) (寬*深)	斷面積 (cm ²) (A _{sci})	根數 (N _{ci})	劣化度根數				總折減係數 X _{cor}						斷面積小計 (A _{ci} = A _{sci} * N _{ci})																																																																																																																					
					健全	輕度	中度	重度																																																																																																																												
一樓柱量	走廊外柱	第一種								CorA _{ci}		(cm ²)																																																																																																																								
		第二種									(cm ²)																																																																																																																									
		第三種									(cm ²)																																																																																																																									
	教室柱	第一種								ClaA _{ci}		(cm ²)																																																																																																																								
		第二種									(cm ²)																																																																																																																									
		第三種									(cm ²)																																																																																																																									
	隔間柱	第一種								InsA _{ci}		(cm ²)																																																																																																																								
		第二種									(cm ²)																																																																																																																									
	走廊外柱總斷面積 (cm ²) CorA _c = Σ(CorA _{ci})			教室柱總斷面積 (cm ²) ClaA _c = Σ(ClaA _{ci})				隔間柱總斷面積 (cm ²) InsA _c = Σ(InsA _{ci})																																																																																																																												
	柱等效強度 TAc = X _{cor} (4+1.8*NF)*ClaA _c +X _{cor} (2.4+1.08*NF)*CorA _c +X _{cor} 2.6*InsA _c										(kgf)																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">牆種類</th> <th rowspan="2">牆厚度 (cm) (T_{wi})</th> <th colspan="2">牆長度 (cm)</th> <th rowspan="2">斷面積小計 (A_{wi} = T_{wi} * L_{wi})</th> </tr> <tr> <th>計算式</th> <th>長度 (L_{wi})</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">一樓牆量</td> <td rowspan="3">RC牆</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">RCA_{wi}</td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">四面圍束磚牆</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="2">B2A_{wi}</td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">三面圍束磚牆*</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="2">B1A_{wi}</td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>(cm²)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">RC牆總斷面積 (cm²) RCA_w = Σ(RCA_{wi})</td> <td colspan="2">四面圍束磚牆總斷面積 (cm²) B2A_w = Σ(B2A_{wi})</td> <td colspan="2">三面圍束磚牆總斷面積 (cm²) B1A_w = Σ(B1A_{wi})</td> </tr> <tr> <td colspan="5">牆等效強度 TAw = 2*B1A_w+3*B2A_w+12*RCA_w</td> <td colspan="2">(kgf)</td> </tr> </tbody> </table>										牆種類	牆厚度 (cm) (T _{wi})	牆長度 (cm)		斷面積小計 (A _{wi} = T _{wi} * L _{wi})	計算式	長度 (L _{wi})	一樓牆量	RC牆			RCA _{wi}		(cm ²)				(cm ²)				(cm ²)	四面圍束磚牆			B2A _{wi}		(cm ²)				(cm ²)	三面圍束磚牆*			B1A _{wi}		(cm ²)				(cm ²)	RC牆總斷面積 (cm ²) RCA _w = Σ(RCA _{wi})		四面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B2A _w = Σ(B2A _{wi})		三面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B1A _w = Σ(B1A _{wi})		牆等效強度 TAw = 2*B1A _w +3*B2A _w +12*RCA _w					(kgf)																																																																					
牆種類	牆厚度 (cm) (T _{wi})	牆長度 (cm)		斷面積小計 (A _{wi} = T _{wi} * L _{wi})																																																																																																																																
		計算式	長度 (L _{wi})																																																																																																																																	
一樓牆量	RC牆			RCA _{wi}		(cm ²)																																																																																																																														
						(cm ²)																																																																																																																														
						(cm ²)																																																																																																																														
	四面圍束磚牆			B2A _{wi}		(cm ²)																																																																																																																														
						(cm ²)																																																																																																																														
	三面圍束磚牆*			B1A _{wi}		(cm ²)																																																																																																																														
					(cm ²)																																																																																																																															
RC牆總斷面積 (cm ²) RCA _w = Σ(RCA _{wi})		四面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B2A _w = Σ(B2A _{wi})		三面圍束磚牆總斷面積 (cm ²) B1A _w = Σ(B1A _{wi})																																																																																																																																
牆等效強度 TAw = 2*B1A _w +3*B2A _w +12*RCA _w					(kgf)																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>基本耐震性能 E:</th> <th>E = 0.354*NF*(TA_c+TA_w)/((1+6*NF)*(0.4*SaD)*A_F)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										基本耐震性能 E:	E = 0.354*NF*(TA _c +TA _w)/((1+6*NF)*(0.4*SaD)*A _F)																																																																																																																									
基本耐震性能 E:	E = 0.354*NF*(TA _c +TA _w)/((1+6*NF)*(0.4*SaD)*A _F)																																																																																																																																			
調整因子調查項目																																																																																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>說明</th> <th>因子</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平面及立面對稱性</td> <td>☐差(0.95) ☐尚可(1.0) ☐良(1.05)</td> <td>q1 =</td> </tr> <tr> <td>軟弱層顯著性</td> <td>☐2/3以上牆體中斷(0.8) ☐1/3至2/3之牆體中斷(0.9) ☐1/3以下之牆體中斷(1.0)</td> <td>q2 =</td> </tr> <tr> <td>裂縫牆滲水等程度</td> <td>☐嚴重(0.9) ☐少許(0.95) ☐無(1.0)</td> <td>q3 =</td> </tr> <tr> <td>變形程度</td> <td>☐嚴重(0.9) ☐無(1.0)</td> <td>q4 =</td> </tr> <tr> <td>平面耐震性</td> <td>☐雙走廊且廊外有柱(1.2) ☐單走廊且廊外有柱或中間走廊(1.1) ☐廊外無柱或其他(1.0)</td> <td>q5 =</td> </tr> <tr> <td>短柱嚴重性</td> <td>☐30%以上(0.9) ☐50%以下(1.0): 指窗台、長窗造成之短柱現象</td> <td>q6 =</td> </tr> <tr> <td colspan="2">調整因子 Q:</td> <td>Q = q1*q2*...*q6</td> </tr> </tbody> </table>										項目	說明	因子	平面及立面對稱性	☐ 差(0.95) ☐ 尚可(1.0) ☐ 良(1.05)	q1 =	軟弱層顯著性	☐ 2/3以上牆體中斷(0.8) ☐ 1/3至2/3之牆體中斷(0.9) ☐ 1/3以下之牆體中斷(1.0)	q2 =	裂縫牆滲水等程度	☐ 嚴重(0.9) ☐ 少許(0.95) ☐ 無(1.0)	q3 =	變形程度	☐ 嚴重(0.9) ☐ 無(1.0)	q4 =	平面耐震性	☐ 雙走廊且廊外有柱(1.2) ☐ 單走廊且廊外有柱或中間走廊(1.1) ☐ 廊外無柱或其他(1.0)	q5 =	短柱嚴重性	☐ 30%以上(0.9) ☐ 50%以下(1.0): 指窗台、長窗造成之短柱現象	q6 =	調整因子 Q:		Q = q1*q2*...*q6																																																																																																			
項目	說明	因子																																																																																																																																		
平面及立面對稱性	☐ 差(0.95) ☐ 尚可(1.0) ☐ 良(1.05)	q1 =																																																																																																																																		
軟弱層顯著性	☐ 2/3以上牆體中斷(0.8) ☐ 1/3至2/3之牆體中斷(0.9) ☐ 1/3以下之牆體中斷(1.0)	q2 =																																																																																																																																		
裂縫牆滲水等程度	☐ 嚴重(0.9) ☐ 少許(0.95) ☐ 無(1.0)	q3 =																																																																																																																																		
變形程度	☐ 嚴重(0.9) ☐ 無(1.0)	q4 =																																																																																																																																		
平面耐震性	☐ 雙走廊且廊外有柱(1.2) ☐ 單走廊且廊外有柱或中間走廊(1.1) ☐ 廊外無柱或其他(1.0)	q5 =																																																																																																																																		
短柱嚴重性	☐ 30%以上(0.9) ☐ 50%以下(1.0): 指窗台、長窗造成之短柱現象	q6 =																																																																																																																																		
調整因子 Q:		Q = q1*q2*...*q6																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>耐震指標 Is:</th> <th>Is = E*Q =</th> <th>是否有疑慮:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										耐震指標 Is:	Is = E*Q =	是否有疑慮:																																																																																																																								
耐震指標 Is:	Is = E*Q =	是否有疑慮:																																																																																																																																		
備註: *三面圍束磚牆不包含台座磚牆 RC結構牆若判斷嚴重損壞應不計其強度貢獻; 劣化度輕、中度折減係數可取0.9、0.8																																																																																																																																				
負責評估者簽章																																																																																																																																				

附表 1-3 考慮鋼筋腐蝕影響之低矮型 RC 建築物耐震能力初步評估表

低矮型RC建築物耐震能力初步評估表

建物基本資料													
建築物名稱				GPS座標				N					
建築物地址				建築物高度				E					
興建年代(民國)								總高度 H (m)					
評估日期								第一層高度 h ₁ (m)					
評估者				證號:				S _D		Na		Fa	
								A _T =0.4S _{DS}					
基本結構耐震性能調查項目													
二樓(含)以上各層樓地板面積和		各層樓地板面積 A _{fi} (cm ²)						二樓以上總樓地板面積				樓層數	
		2FL	3FL	4FL	5FL	6FL	ROOF	ΣA _{fi} (cm ²)				地下	地上 (NF)
劣化度根數													
柱類別		柱形式	柱尺寸 (長cm x 寬cm)	斷面積 (A _{sci})	根數 (N _{ci})	健全	輕度	中度	重度	損壞	總折減係數 X _{cor}	斷面積小計 (A _{ci} = A _{sci} * N _{ci})	
一樓柱量	騎樓柱	第一種											(cm ²)
		第二種											(cm ²)
		第三種											(cm ²)
	室內柱	第一種											(cm ²)
		第二種											(cm ²)
		第三種											(cm ²)
		第四種											(cm ²)
		第五種											(cm ²)
	總柱面積 ΣA _c												(cm ²)
	一樓牆量												
牆種類	牆厚度 (T _{wi} , cm)	有效牆長度 (L _{wi} , cm)				斷面積小計 (A _{wi} =T _{wi} * L _{wi}) (cm ²)				各類牆斷面積合計 (cm ²)			
沿騎樓或街道方向	開口磚牆						Abwx3				ΣAbwx3		
	無開口磚牆						Abwx4				ΣAbwx4		
	開口RC牆						Arcwx3				ΣArcwx3		
	無開口RC牆						Arcwx4				ΣArcwx4		
垂直騎樓或街道方向	開口磚牆						Abwy3				ΣAbwy3		
	無開口磚牆						Abwy4				ΣAbwy4		
	開口RC牆						Arcwy3				ΣArcwy3		
	無開口RC牆						Arcwy4				ΣArcwy4		
沿騎樓方向等效柱量比 CFReq _{x,cor} = (ΣX _{cor} A _c +0.36ΣAbwx3+0.45ΣAbwx4+1.36ΣArcwx3+2.38ΣArcwx4)/A _f (%)													
垂直騎樓方向等效柱量比 CFReq _{y,cor} = (ΣX _{cor} A _c +0.36ΣAbwy3+0.45ΣAbwy4+1.36ΣArcwy3+2.38ΣArcwy4)/A _f (%)													
沿騎樓向性能地表加速度 A _{px} (100CFR _x -0.4+0.05NF)/(1.62-0.24NF)													
垂直騎樓向性能地表加速度 A _{py} (100CFR _y -0.4+0.05NF)/(1.62-0.24NF)													
性能地表加速度 A _p (g)													
基本耐震性能 E = A _p /A _T													
調整因子調查項目													
項目		說明										因子	
興建年代		民國 ☐ 63 以前 (0.9) ☐ 64~71 (0.95) ☐ 72~88 (1.0) ☐ 89 以後 (1.05)										q ₁ =	
三角窗轉角騎樓		☐ 雙向有騎樓 (0.9) ☐ 單向有騎樓 (1.0)										q ₂ =	
軟弱層顯著性		☐ 有牆體中斷 (0.9) ☐ 無牆體中斷 (1.0)										q ₃ =	
極短柱顯著性		(1-極短柱占整體柱量比例) ≥ 0.5 : 極短柱為高深比 H _u /D ≤ 2										q ₄ =	
調整因子 Q:		Q = q ₁ *q ₂ *q ₃ *q ₄											
耐震指標 I _s :													
I _s = E*Q =													
是否有疑慮:													

備註:

I_s 小於 100 分表示耐震能力有疑慮, 應進行詳細評估確認耐震能力。I_s 大於等於 100 分以上表示耐震能力暫無疑慮。

RC 結構牆若判斷嚴重損壞應不計其強度貢獻; 劣化度輕、中度折減係數可取

負責評估者簽章

手冊附錄二 建築物概要調查表

1. 概要調查		
1.1	調查日期	__年__月__日
1.2	委託調查者	
	委託調查者聯絡方式	地址: 連絡電話:
1.3	調查機關	
	調查者	
	調查者聯絡方式	地址: 連絡電話:
	調查動機	☐ 定期檢查 ☐ 大規模整修前 ☐ 重建和翻修判斷 ☐ 耐震診斷 ☐ 長期維修計畫 ☐ 其他 (_____)
2. 建物概要		
2.1	建物名稱	
2.2	所在地	
2.3	用途	☐ 住宅 ☐ 住商混 ☐ 其他
2.4	所有權	☐ 自用 ☐ 出租 ☐ 混和
2.5	住戶數	__戶
2.6	竣工日期	__年__月
2.7	屋齡	__年
2.8	樓層數	地下__層 地上__層 屋突__層
2.9	占地面積	__m ²
2.1	建築面積	__m ²
2.11	構造形式	☐ 牆 ☐ 構架 ☐ 其他
2.12	構造種類	☐ RC ☐ SRC ☐ 其他
2.13	施工方式	☐ 傳統工法 ☐ PC 工法 ☐ 部分 PC 工法
2.14	基礎	☐ 直接基礎 ☐ 獨立基礎 ☐ 其他 ☐ 不明
2.15	地盤	☐ 良好 ☐ 軟弱 ☐ 傾斜地 ☐ 其他
2.16	設計者	_____ ☐ 不明
2.17	監造者	_____ ☐ 不明
2.18	施工單位	_____ ☐ 不明
2.19	管理單位	_____ ☐ 不明
3. 圖說記錄		
3.1	一般圖	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明

3.2	設計圖	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.3	結構圖	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.4	結構計算書	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.5	設備圖	
3.6	確認申請副本	
3.7	地質調查報告書	
3.8	施工記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.9	檢查紀錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.10	過去調查記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
3.11	修復工作記錄	☐ 有 ☐ 無 ☐ 一部分有(_____) ☐ 不明
4. 建物周邊環境		
4.1	環境分區	☐ 郊區 ☐ 市區 ☐ 工業區 ☐ 溫泉區
4.2	距海岸最近距離	☐ 0 km ☐ 0 – 0.3 km ☐ 0.3 – 1.0 km ☐ 1.0 – 3.0 km ☐ 3.0 – 5.0 km ☐ 5.0 km 以上
4.3	面向海側方向	☐ 東 ☐ 西 ☐ 南 ☐ 北
4.4	主風方向	☐ __面 ☐ 不明
4.5	周圍道路狀況	__面(寬度__m)
4.6	其他特別說明 (鄰近住宅的情況等)	
5. 建物履歷		
5.1	改建	☐ 有(_____) ☐ 無 ☐ 不明
5.2	修復、改修	☐ 有 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 ☐ 無 ☐ 不明
5.3	災害	☐ 火災(__年) ☐ 地震(__年) ☐ 水災(__年) ☐ 其他(_____) ☐ 無 ☐ 不明
5.4	改善(下陷、漏水設備機器故障等)	☐ 有 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 內容: _____、時期: __年__月 ☐ 無 ☐ 不明
6. 材料		
6.1	混凝土	☐ 普通 ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.2	水泥	☐ 普通 ☐ 早強 ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.3	粗粒料	☐ 河岸礫石 ☐ 碎石(岩石名: __) ☐ 其他(_____) ☐ 不明

6.4	細粒料	☐ 川砂 ☐ 山砂 ☐ 海砂 ☐ 碎砂 ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.5	摻合料或添加劑	☐ AE 劑 ☐ AE 減水劑 ☐ 未使用 ☐ 其他(_____) ☐ 不明
6.6	單位水量	____ l/m ³ 、 ☐ 不明
6.7	設計標稱強度	____ kgf/cm ² 、 ☐ 不明(推定值____ kgf/cm ²)
6.8	製造方式	☐ 預拌 ☐ 場拌 ☐ 不明
6.9	施工目標強度	____、 ☐ 不明
6.1	澆注時間	☐ 春 ☐ 夏 ☐ 秋 ☐ 冬 ☐ 不明
6.11	外牆飾材(工法)	
6.12	內部裝修(工法)	
7. 日常維護與管理		
7.1	長期整修計畫	☐ 有 ☐ 無
7.2	管理形態	☐ 自主管理 ☐ 委託
7.3	日常檢查實施情況	☐ 有(頻率____次/年) ☐ 無
7.4	法定檢查狀況	☐ 已實施 ☐ 無 ☐ 部分實施(內容:_____)
8. 其他特別說明		

(資料來源：日本建築研究所，(2002)，既有公寓結構劣化調查和診斷技術手冊)

手冊附錄三 考慮鋼筋腐蝕影響之耐震能力實例操作

本實例為台北市某國小之校舍，此建築為地上四層地下一層之鋼筋混凝土建築，興建於民國 78 年，平面配置為長方形，長向為 33 公尺，短向為 12.5 公尺，該建築之基本資料如附表 3-1 所示。

附表 3-1 實例基本資料

構造種類	鋼筋混凝土造
基礎形式	單層筏式基礎
屋齡	約 29 年
樓層數	地上四層、地下一層
平面配置	長方形
長向尺度	33 公尺
短向尺度	12.5 公尺
層高	3.6m
現況用途	防空避難室(地下室)、教室、 辦公室、活動中心

(資料來源 【1】)

一、初步診斷

初步診斷主要進行結構物所在環境對其耐久性能之影響與目視劣化度，其中構件劣化度判定資料可延續至劣化耐震能力初步診斷。使用者除了以表格記錄各構件劣化度外，亦可搭配結構平面圖及圖例進行(此案例構件劣化度判定如附圖 3-3，四樓皆判定為健全，因此省略其圖示)，以便於操作系統時對照構件位置並取得結構模型中相對應的構件名稱，並參考【1】開發的考慮鋼筋腐蝕之耐震能力初步評估做檢核。

本節根據國家地震中心【2】計算耐震指標是否大於等於 100，若無則結構之耐震能力有安全疑慮，計算耐震需求參考編號(1)至(6)，耐震容量參考編號(7)至(11)，檢核所示於附圖 3-1 及附圖 3-2。
耐震需求，結構靜載重 W 參考式(附 3-1)。

$$W = \sum_{i=2}^{N_f} w_i A_{Fi} + w_{RF} A_{RF} = 2 \times 0.9 \times 412.5 + 0.75 \times 412.5 = 1051.9tf \quad (\text{附 3-1})$$

式中， N_f ：建築物的總樓層數、 w_i ：二樓至屋頂層單位面積載重為 $900\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 w_{RF} ：屋頂層單位面積載重為 $750\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 A_{Fi} ：二樓至屋頂層各層總樓地板面積、 A_{RF} ：屋頂層總樓地板面積。

用途係數取 $I=1.5$ 。

結構基本震動週期參考式(附 3-2)。

$$T = 0.07 \frac{h}{n}^{3/4} = 0.07 \times 14.4^{3/4} = 5.2s \quad (\text{附 3-2})$$

式中， T ：結構基本震動週期、 h_n ：建築物的總高。

結構之設計水平地表加速度反應譜係數參考式(附 3-3)。

$$\frac{T_0^D}{S_{DS}} = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 1.6s \rightarrow S_{aD} = S_{DS} = 0.6 \quad (\text{附 3-3})$$

式中， T_0^D ：反應譜短週期與中週期分界之轉角週期、 S_{aD} ：工址設計水平加速度反應譜係數。

(5) 地震力折減係數，既有校舍結構之韌性容量 $R=2.8$ ，容許韌性容量 $R_a=2.2$ 參考式(附 3-4)。

$$F_u = \sqrt{2 R_a - 1} = 1.84 \quad (\text{附 3-4})$$

式中， F_u ：地震力折減係數。

耐震需求，參考式(附 3-5)。

$$I \left(\frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W = 1.5 \times (0.52 \frac{0.6}{1.84} + 0.144) \times 1051.9 = 494.8\text{tf} \quad (\text{附 3-5})$$

式中， $(S_{aD}/F_u)_m$ ：譜加速度係數之修正。

建築物基本資料		垂直構件之斷面積和 (cm ²)		折減係數
學校	xx國小	教室柱	48600	0.98
建築物	xx樓	走廊柱	16200	0.845
樓層數	4	隔間柱	0	1
		鋼筋混凝土牆	0	1
		四面圍束磚牆	0	
		三面圍束磚牆	0	
		確定		

垂直構件單位面積之側向強度	
$\tau_c = \begin{cases} 1.8N_f + 4 & \text{教室柱} \\ 1.08N_f + 2.4 \text{ (kg/cm}^2\text{)} & \text{走廊柱} \\ 2.6 & \text{隔間柱} \end{cases}$	
$\tau_{RCW} = 12$	鋼筋混凝土牆
$\tau_{BW4} = 3 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	四面圍束磚牆
$\tau_{BW3} = 2$	三面圍束磚牆

極限基底剪力	
側向強度折減係數 $\beta=0.9$	
Vbs	562.881312 tf

附圖 3-1 考慮鋼筋腐蝕之耐震容量

考慮鋼筋腐蝕影響之耐震容量，鋼筋腐蝕柱附表 3-2。附表

3-2 校舍初步診斷柱之劣化度

劣化度 柱類型	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
教室柱	18	0	0	0	0
走廊柱	2	0	0	6	0

單位面積之側向強度，無隔間柱，參考式(附 3-6 至附 3-7)

$$\tau_{c, \text{教室柱}} = 1.8N_f + 4 = 1.8 \times 4 + 4 = 11.2 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{附 3-6})$$

$$\tau_{c, \text{走廊柱}} = 1.08N_f + 2.4 = 1.08 \times 4 + 2.4 = 6.72 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{附 3-7})$$

式中， τ_c ：單位面積之側向強度。

考慮鋼筋影響之側向強度和，參考式(附 3-8)。

$$\begin{aligned}
 (V_{vm})_{cor} &= \sum_{i=1}^{N_{c, \text{教室柱}}} A_{cor, i} \tau_{c, i} + \sum_{i=1}^{N_{c, \text{走廊柱}}} A_{cor, i} \tau_{c, i} \\
 &= 0.98 \times 11.2 \times (45 \times 60 \times 18) + 0.98 \times 6.72 \times (45 \times 45 \times 2) \\
 &\quad + 0.80 \times 6.72 \times (45 \times 45 \times 6) = 625.4 \text{ tf}
 \end{aligned} \quad (\text{附 3-8})$$

式中， X_{cor} ：不同腐蝕率下柱構件之強度折減係數參考表 4-2。

耐震容量，參考式(附 3-9)。

$$(V)_{bs} = \beta (V)_{vm\ cor} = 0.9 \times 625.4 = 562.9 \text{ tf} \quad (\text{附 3-9})$$

β ：強度折減因子取
式中， 0.9。

(11) 耐震容量需求比(CDR)，參考式(附 3-10)。

$$R_{CD} (CDR) = \frac{562.9}{494.8} = 1.13 \quad (\text{附 3-10})$$

(12) 總調整因子 Q 參考式(附 3-11)。

$$Q = 1.0 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.9 \times 1.1 \times 1.0 = 0.80 \quad (\text{附 3-11})$$

(13) 耐震指標 I_s ，參考式(附 3-12)，小於 100 進入詳細診斷。

$$I_s = Q \times E = 0.80 \times 100 \times 1.13 = 91 \quad (\text{附 3-12})$$

建築用途	第二類建築	工址設計水平加速度反應譜係數 SaD	0.6
用途係數	1.5	韌性容量 R	2.8
基本振動週期		韌性容量 Ra	2.2
基面至屋頂面高度	14.4 m	結構系統地震折減係數 Fu	1.8439
結構基本振動週期經驗公式	0.070	工址設計水平加速度反應譜係數之修正	0.3132
基本振動週期	0.5175 s	耐震需求	494.18
全部靜載重		耐震容量需求比 CDR	1.139
頂層樓地板面積	412.5 m ²		
其他層樓地板面積	825 m ²		
全部靜載重	1051.875 tf		
確定			

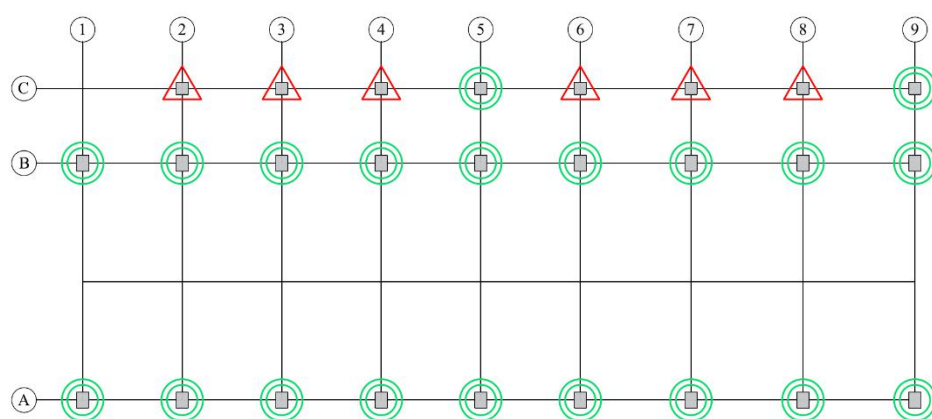
(a) 耐震需求與耐震容量需求比 (CDR)

平面及立面對稱性 q1	1.0
軟弱層顯著因子 q2	0.9
裂縫銹蝕滲水等程度 q3	0.9
變形程度 q4	0.9
平面耐震性 q5	1.1
短柱嚴重性 q6	1.0
耐震指標 Is	91.3381
疑有耐震疑慮	
確定	

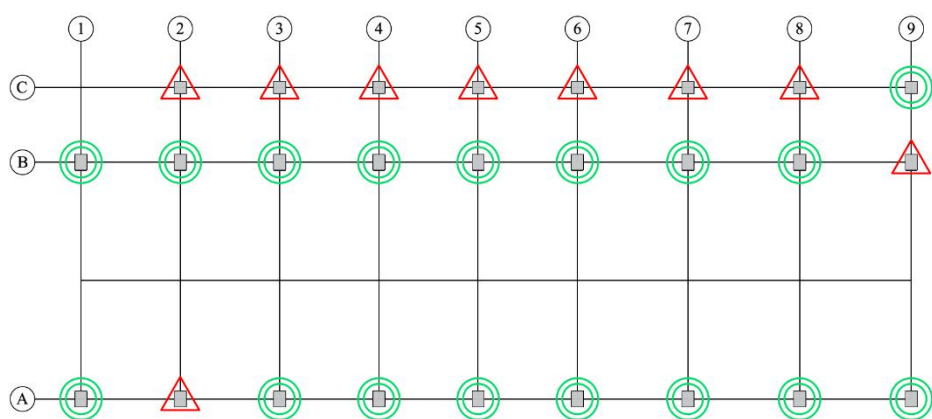
總調整因子 Q 與耐震指標 I_s

附圖 3-2 耐震指標

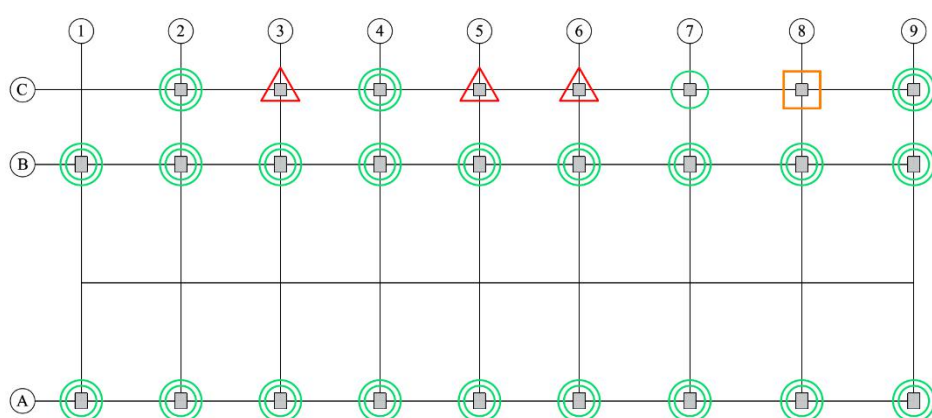
(資料來源 【1】)



(a) 一樓



(b) 二樓



(c) 三樓

○ 健全
 ○ 輕度
 中度
 △ 重度
 ✕ 嚴重損壞

附圖 3-3 實例構件劣化度判定結果

(資料來源 【1】)

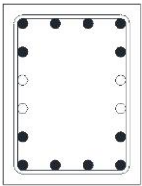
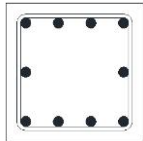
二、詳細診斷

依據第三章做詳細的材料性能試驗，透過建築物的圖說及現場條件，將材料特性以及構件斷面，建立於結構分析軟體 ETABS 模型內；建立額外的子程式鋼筋腐蝕柱構件塑鉸容量修正於臺灣結構耐震評估側推分析法(TEASPA)，配合【2】

之操作方式，新增構件柱之腐蝕率參數鍵入(r_p ：柱主筋之腐蝕率、 r_{pt} ：柱箍筋之腐蝕率)，如附圖 3-4，輸出成果設定回結構分析軟體 ETABS 模型內，並進行劣化結構物耐震能力評估。

本案例其柱面配置及材料性質整理如附表 3-3 至附表 3-4 所示，基本圖說(平面圖、立面圖)與結構模型如附圖 3-5 至附圖 3-7 所示。

附表 3-3 實例柱斷面配置

柱編號	C1	C2	C3
尺寸(cm)	45×60	45×60	45×45
斷面			
主筋	● 12 - #7 ○ 4 - #6	● 10 - #7 ○ 2 - #6	● 10 - #7
箍筋	#3@20~25cm	#3@20~25cm	#3@20~25cm
樓層	1F~4F	1F~4F	1F~4F

(資料來源 【1】)

附表 3-4 實例材料性質

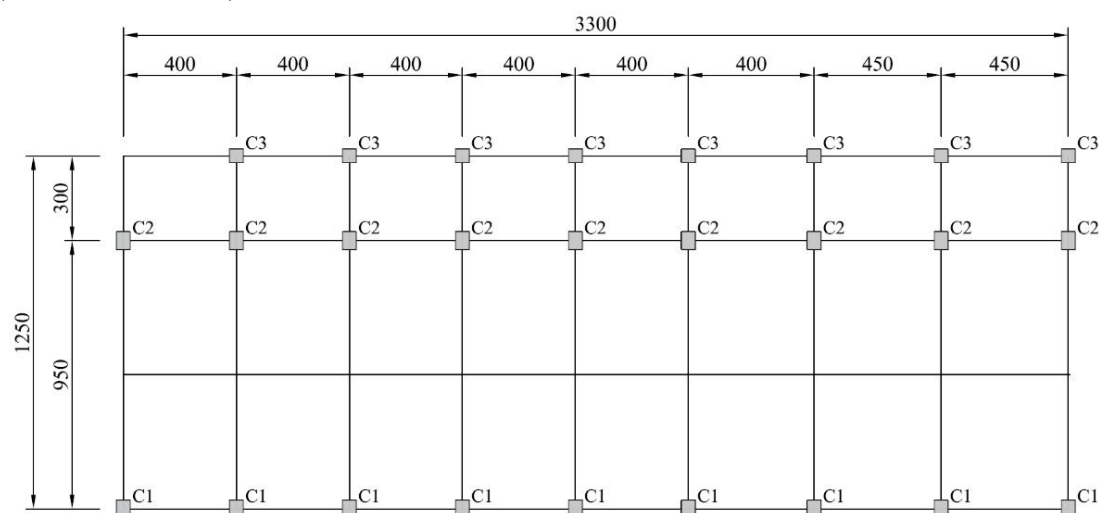
樓層	混凝土抗壓強度 f'_c (kgf/cm^2)	鋼筋降伏強度 f_y (kgf/cm^2)	箍筋降伏強度 f_{yt} (kgf/cm^2)
1F	157	2800	2800
2F	160	2800	2800
3F	206	2800	2800
4F	200	2800	2800

(資料來源 【1】)

\$ COLUMN DATA										
\$Name	story	properties		section H		L	fromBtm		rp	rpt
C1	2FL	C1L	C1L	150	150	0	0	0		
C1	3FL	C1L	C1L	150	150	0	0.03	0.03		
C1	RFL	C1L	C1L	150	150	0	0.05	0.05		
C2	2FL	C1L	C1L	150	150	0	0.10	0.10		
C2	3FL	C1L	C1L	150	150	0	0.15	0.15		
C2	RFL	C1L	C1L	150	150	0	0.20	0.20		

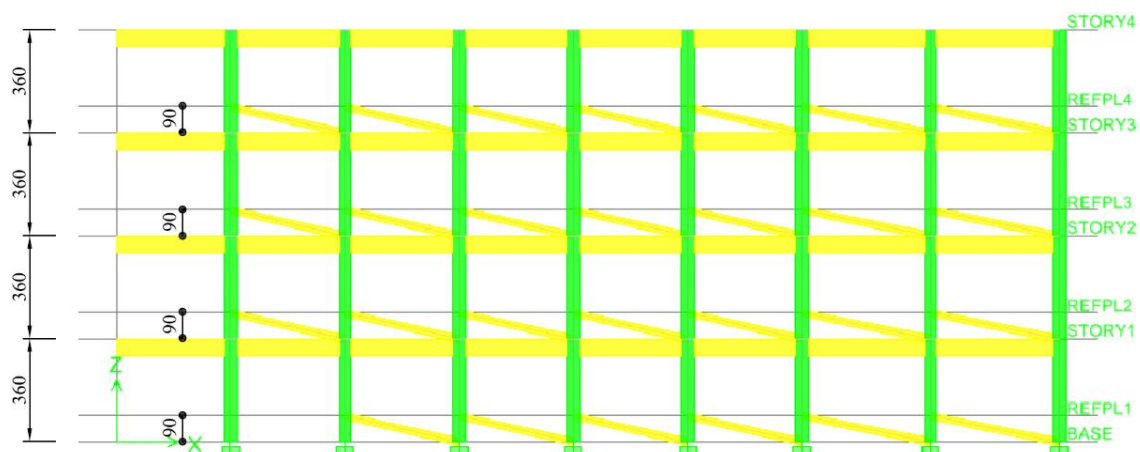
附圖 3- 4 TEASPA 輸入檔 txt 之構件柱腐蝕率參數 (rp , rpt)

(資料來源 【1】)



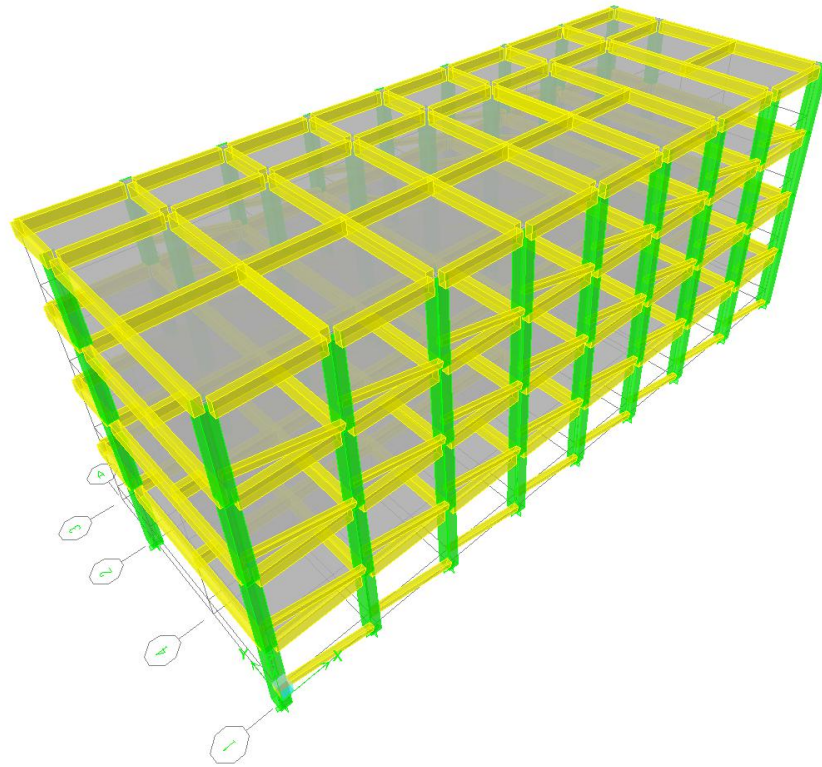
附圖 3- 5 實例結構平面圖

(資料來源 【1】)



附圖 3- 6 實例立面圖

(資料來源 【1】)



附圖 3- 7 實例結構模型

(資料來源 【1】)

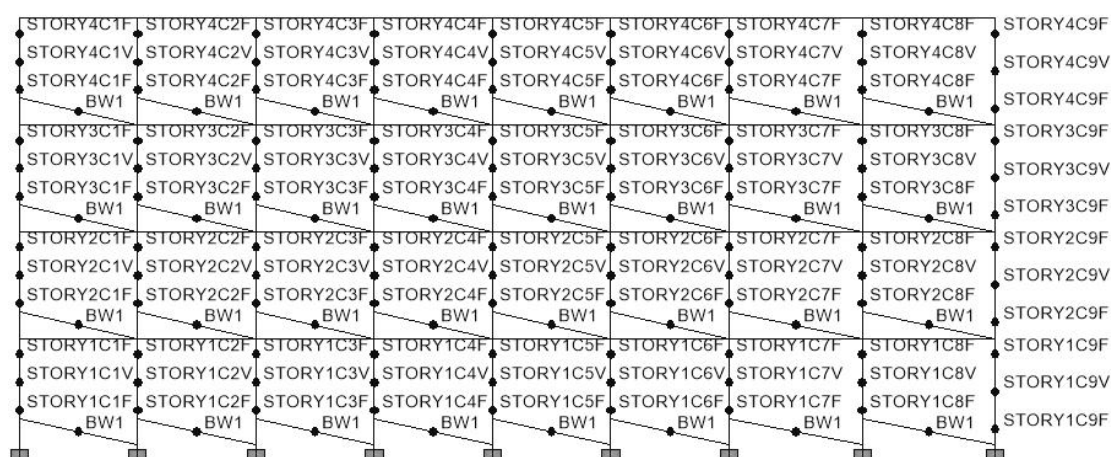
本實例對於鋼筋腐蝕柱劣化度情況的考量基準為採用健全分析暫判定為 0%，而重度判定為 10%；藉由臺灣結構耐震評估側推分析法(TEASPA)可得結構物之

容量曲線、耐震性能曲線、性能目標地表加速度及相關數值；性能目標地表加速度標準根據(國家地震工程研究中心，2013)，如附表 3-5；原始為不考慮劣化影響，腐蝕後為考慮劣化影響，十年後為柱構件劣化度皆嚴重一級，健全增為輕度、輕度增為中度等以此類推；附圖 3-8 為結構分析模型塑鉸分佈；附圖 3-9 為實例側推分析模型塑鉸發展圖。

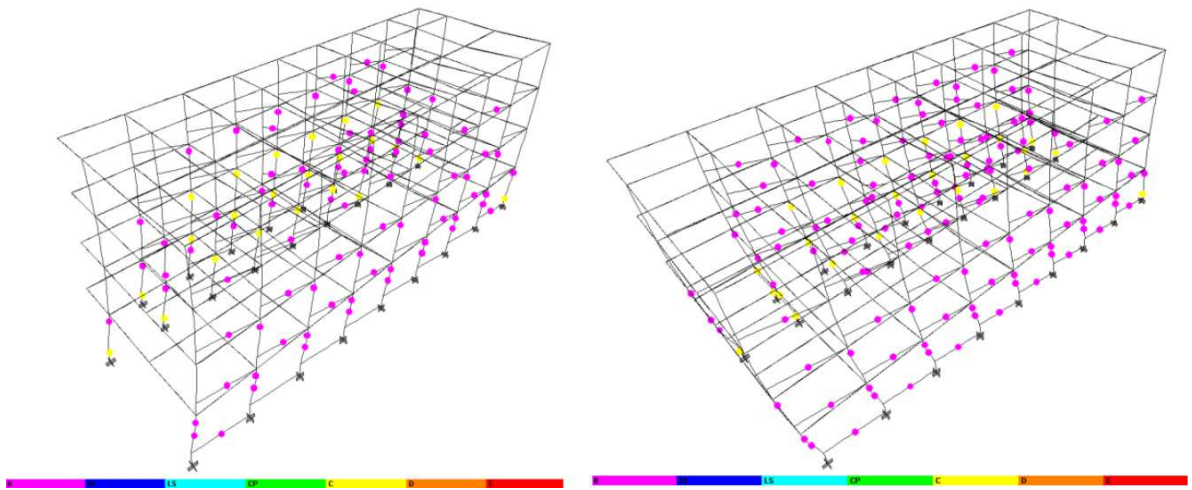
附表 3-5 既有校舍補強對應 475 年設計地震之性能目標標準

用途分組	A_p			A_T
一般校舍 (I = 1.25)	$V_{\max}$	$D_r^T = 2.0\%$	垂直構件發生 軸向破壞 ^{*2}	0.4S _{DS}
緊急避難用校舍 (I = 1.5)	$0.8V_{\max}^{*1}$	$D_r^T = 1.0\%$		0.4S _{DS}
備註	^{*1} 位於基底剪力上升段，最大值 $V_{\max}$ 的 0.8 倍 ^{*2} 撓曲彎矩非線性鉸到達 E 點，剪力非線性鉸達到 C 點			

(資料來源 【2】)



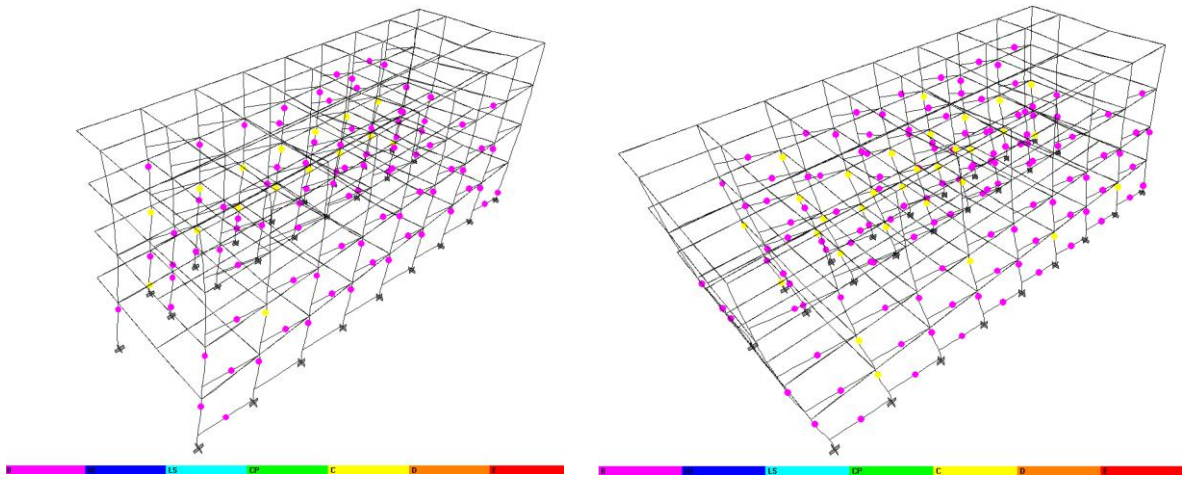
附圖 3-8 塑鉸分佈



+X 向塑鉸發展圖

-X 向塑鉸發展圖

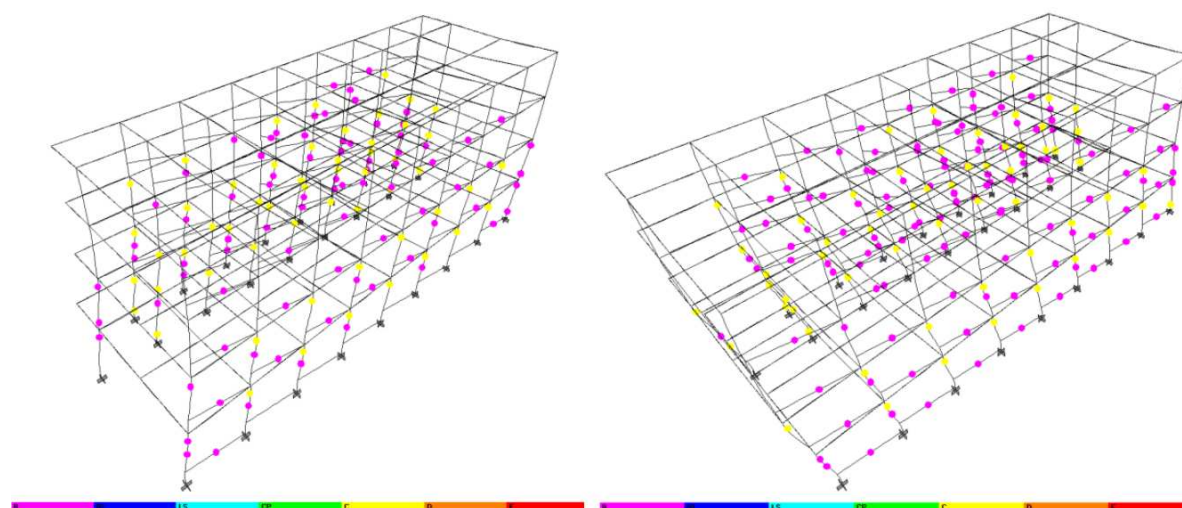
側推分析模型(原始)



+X 向塑鉸發展圖

-X 向塑鉸發展圖

側推分析模型(腐蝕後)



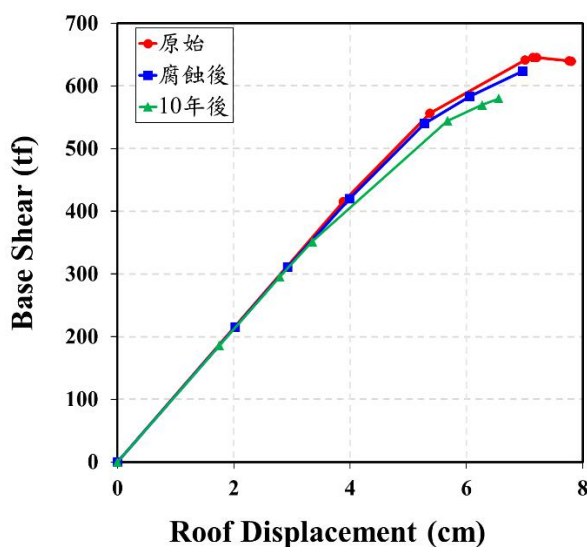
+X 向塑鉸發展圖

-X 向塑鉸發展圖

側推分析模型(十年後)

附圖 3-9 實例側推分析結果展示圖

實例考慮劣化耐震能力評估結果如附圖 3- 10 至附圖 3- 13 所示，不同情況下之耐震能力則整理如附表 3- 6，本實例用途係數為 1.5，性能目標地表加速度參考附表 3- 5 檢核。

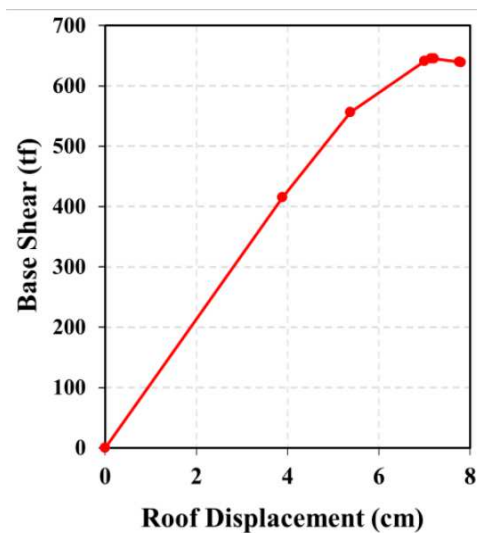


附圖 3- 10 實例容量曲線

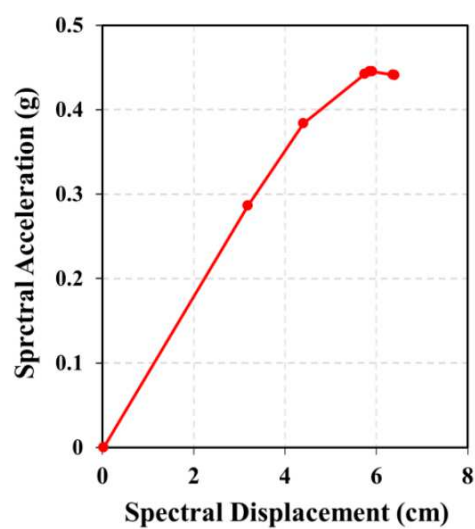
附表 3- 6 實例耐震能力比較

耐震能力評估成果(用途係數 1.5)

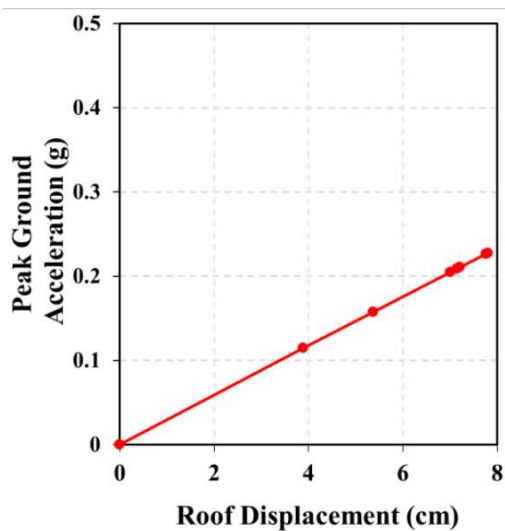
性能目標地表加速度 A_p				
工址回歸期 475 年設計地震地表加速度 $A_T=0.24g$				
準則	檢核項目	原始	腐蝕後	十年後
強度準則 $V=0.8V_{max}$	Step 階段	7	7	7
	基底剪力	645507	623523	579926
	位移比 $D_1=1.0\%$	0.749%	0.730%	0.724%
	耐震能力 A_{p1}	0.145	0.142	0.136
位移準則 $DTR=1.0\%$	Step 階段	-	-	-
	位移比	未達	未達	未達
	耐震能力 A_{p2}	-	-	-
軸向破壞準則	Step 階段	-	-	-
	軸向破壞有無	無	無	無
	耐震能力 A_{p3}	-	-	-
耐震能力 $A_{p,min}$		0.145	0.142	0.136
補強需求		$A_p < A_T$ (NG)	$A_p < A_T$ (NG)	$A_p < A_T$ (NG)
與原始 V_{max} 比較(%)		100.00%	96.59%	89.84%
與原始 A_p 比較(%)		100.00%	87.82%	80.87%



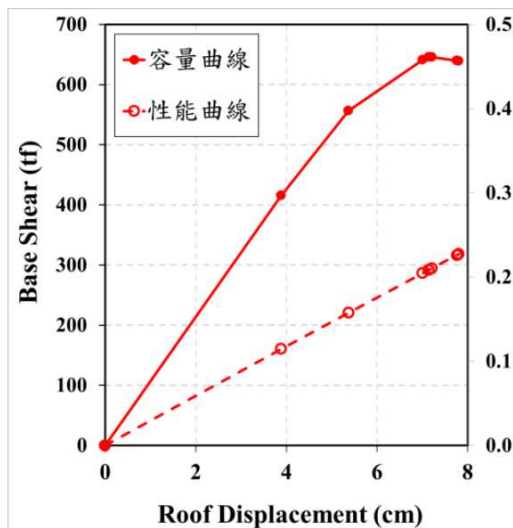
(a) 容量曲線



(b) 容量震譜

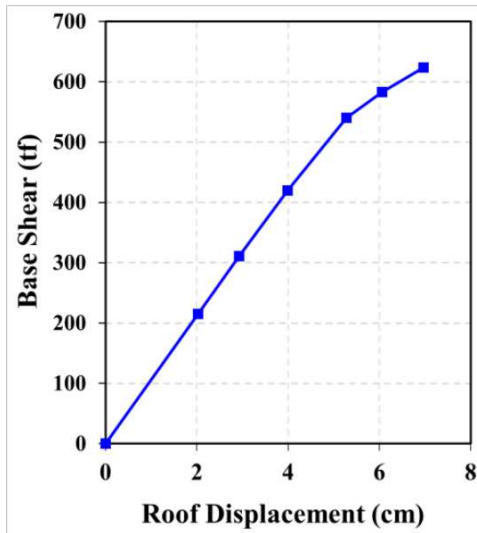


(c) 性能曲線

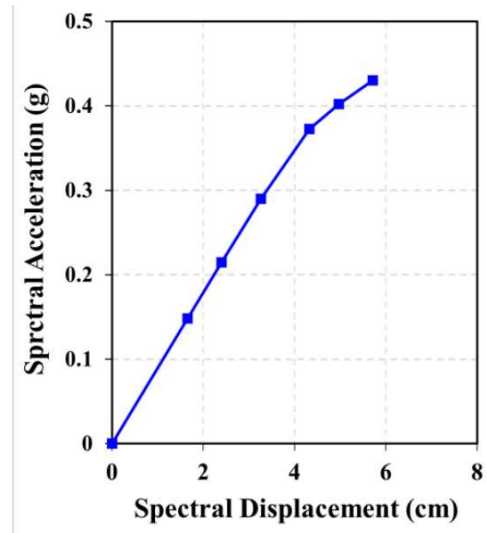


(d) 容量曲線與性能曲線

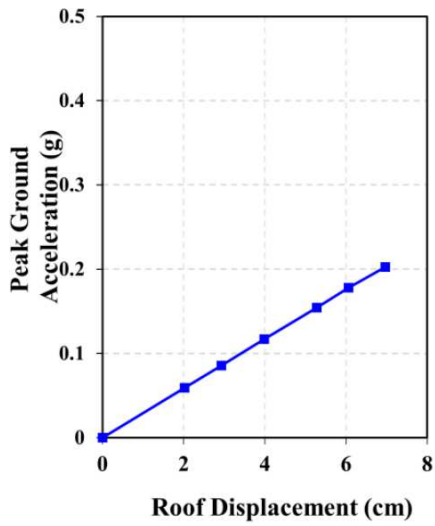
附圖 3- 11 實例耐震能力評估結果(原始)



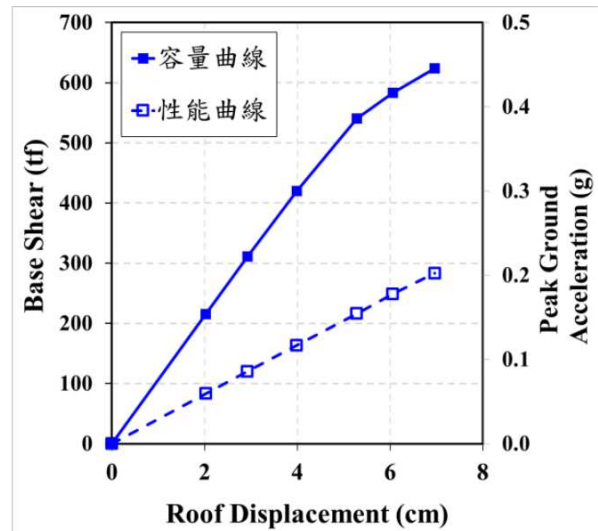
(a) 容量曲線



(b) 容量震譜

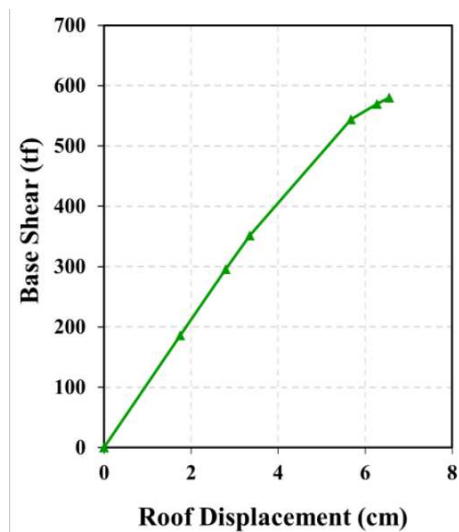


(c) 性能曲線

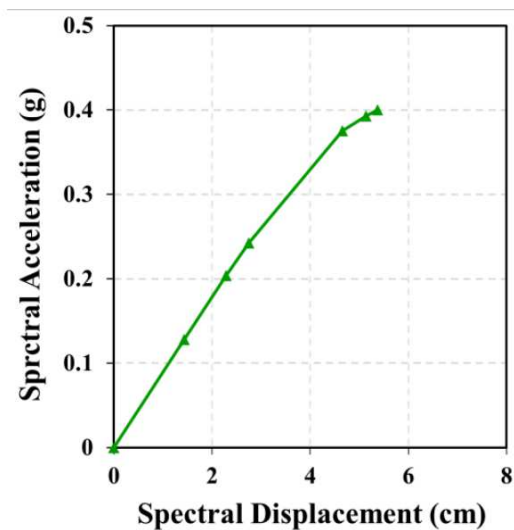


(d) 容量曲線與性能曲線

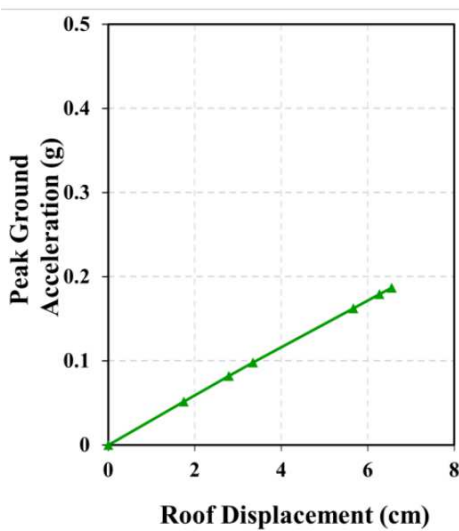
附圖 3- 12 實例耐震能力評估結果(腐蝕後)



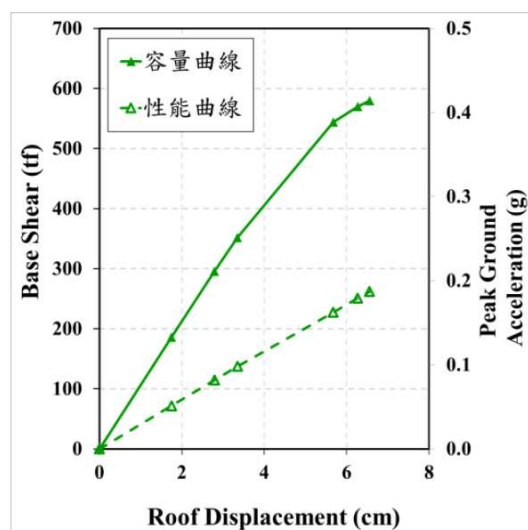
(a) 容量曲線



(b) 容量震譜



(c) 性能曲線



(d) 容量曲線與性能曲線

附圖 3- 13 實例耐震能力評估結果(十年後)

參考文獻

- 【1】邱建國、蔡宜靜，(2018)，RC 建物耐久與耐震性能整合評估系統開發與建置，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系。
- 【2】國家地震工程研究中心，(2013)，校舍結構耐震評估與補強技術手冊第三版
報告編號：NCREE-2013-023。

附錄七 專家座談會議簽到表

第一次 專家座談會議簽到表

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術 手冊研擬 第 1 次專家會議

時間：108 年 5 月 2 日（星期四）上午 10 時 00 分

地點：內政部建築研究所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號
13 樓）

單 位	姓 名 (依姓氏筆畫排序)	簽 到
國立中央大學	王輝蓓	王輝蓓
國家地震工程研究中心	林克強	林克強
財團法人台灣營建研究院	陳育聖	陳育聖
世鼎結構工業技師事務所	婁光銘	婁光銘
國立臺北科技大學	黃中和	黃中和
國立臺灣海洋大學	黃然	黃然

國立高雄大學	廖硯岑	廖硯岑
震庭工程顧問有限公司	蘇模原	蘇模原
內政部建築研究所	陳建忠	陳建忠
內政部建築研究所	陶其駿	陶其駿
內政部建築研究所	李台光	李台光
國立台灣科技大學	邱建國	邱建國
國立台灣科技大學	林昭好	林昭好

第二次專家座談會議簽到表

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術
手冊研擬專家座談會議

時間：108 年 8 月 20 日（星期二）上午 10 時 00 分

地點：台北市松山區東興路 26 號（台北市土木技師公會）

單 位	姓 名	簽 到
台北市土木技師公會	莊均緯	莊均緯
台北市土木技師公會	蘇模原	蘇模原
台北市土木技師公會	徐勤威	徐勤威
國立台灣科技大學	邱建國	邱建國
國立台灣科技大學	陳君強	陳君強
國立台灣科技大學	林昭好	林昭好
國立台灣科技大學	姚廷穎	姚廷穎
國立台灣科技大學	高玉堃	高玉堃

國立台灣科技大學

黃新雅

黃新雅

第三次專家座談會議簽到表

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術
手冊研擬專家座談會議

時間：108 年 9 月 24 日（星期二）上午 10 時 30 分

地點：台北市大安區基隆路四段 43 號 E2-220

單 位	姓 名	簽 到
新北市土木技師公會	陳哲生	陳哲生
新北市土木技師公會	徐勤威	徐勤威
國立台灣科技大學	邱建國	邱建國
國立台灣科技大學	陳君強	陳君強
國立台灣科技大學	林昭妤	林昭妤
國立台灣科技大學	姚廷穎	姚廷穎

附錄八 專家訪談會議紀錄

本研究舉行三次專家諮詢會議，主要針對耐久性能診斷方法與手冊之架構進行討論，並選定初步診斷項目及可配合之非破壞性檢測，會議紀錄如下所列：

第一次專家訪談會議紀錄

計畫名稱：鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬

執行期間：108 年 1 月 31 日～108 年 12 月 31 日

研究主持人：邱建國

協同主持人：陳君弢

時間：108 年 5 月 2 日(星期四)上午 10 時 00 分開會

地點：內政部建築研究所簡報室主 持 人：邱教授
建國

出席人員(依姓氏筆畫排序)：王教授韡蒨、林研究員克強、陳組長育聖、婁技師光銘、黃教授中和、黃教授然、廖教授硃岑、蘇技師模原

列席者：陳組長建忠、陶主任其駿、李研究員台光、林研究助理昭好

專家發言重點(依發言順序)

專家	專家意見
黃然教授	1. 把材料構件劣化跟耐震、結構體及非結構體之間重要性、差異性提出，日本國土交通省的文獻是不錯的參考。
	2. 技師在詳評時，材料強度應使用經驗判斷或是指標判斷。
	3. 施工的保護層厚度不足造成開裂，是比劣化更嚴重的部分。
廖硃岑教授	1. 桃園屋齡 20 年以上勘檢，劣化等級越多，住戶在場影響結果，最後調成三等級。
	2. 日本全面打診龐大、費用高，會先做部分打診配合紅外線、目視，若有問題，再進行全面打診，配合大規模整建，檢查加修繕，檢查人員須擁有外牆檢測證照，另外立面圖竣工圖難以取得
	3. 紐約州建築法，包含雨遮、陽台、女兒牆、附掛物都列入外牆的一部分。
陳育聖組長	1. 要把劣化的參數轉化成結構分析使用的參數難度相對高。
	2. 反彈錘法誤差大，可參考性有限。
	3. 打診法同意廖教授意見，檢查人員須擁有外牆檢測證照，以目視為主，若有需要到詳細診斷再做全面打診。
王韡蒨教授	1. 三個等級少不容易判斷會失真，太多太繁雜，要思考如何訂定。
	2. 手冊看得對象為何，要先訂定。

	3. 是否能先將程序跑一遍，評估是否有問題。
	4. 認同打診法不用全面性，先目視一次診斷後有疑慮，再進入打診法。
	5. 反彈錘法誤差大，與實際強度有差距，要用甚麼方法判斷結構體強度，需要再討論。
	6. 裂縫問題不光是材料造成，力學造成推估成劣化造成，準確度有疑慮。
	7. 劣化的部分不是只考慮氯離子的部分。
黃中和教授	1. 確立適用對象及範圍。
	2. 訂定項目使嚴重性、高風險直接進入後續評估。
	3. 技師自行決定有無需求，建議性程序就好。
	4. 反彈錘法有誤差，手冊裡提到的試驗有沒有標準的試驗程序或認證標準，還是要求實驗室來做。
	5. 不同技師做出來的結果不一樣，想辦法找出自己合理的方法去做，所以要定一個標準。
	6. 建議分三級就好，級距越大分數越不容易跳級，不同技師做出來的差異比較不會那麼大。
	7. 後續建議把資訊數位化，例如 APP。
蘇模原技師	1. 劣化程度需量化，要有照片、圖片範例提供技師判斷依據。
	2. 老屋健檢單一案件費用及勞安資格是一大問題。
	3. 詳評輔助程式目前沒有考慮鋼筋生鏽折減。
	4. 建物有裝修以及人的問題，例如房價會不會跌，導致難以執行。
	5. 贊成五個級距，稍微分細一點比較好。
婁光明技師	1. 劣化部分主要影響使用性跟耐久性，與抗震無如此大的關係，一部分有關，但在耐震評估時劣化因子影響沒有考慮，邱老師提到國震 TEASPA 目前有只是未開放使用，但反應在構件，所以工作量龐大，以目前經費上可能不足以執行。
	2. 握裹破壞的部分，國震無考慮，但氯離子部分，可能造成握裹破壞，如何進行修正分析。
	3. 初評是否加入彈性錘，持贊成態度，以工會角度，雖然有誤差，但希望有依據，並不須要準確度如此高，希望能依法有據。
	4. 外牆部分，原因的研判進行部分檢測，修繕部分進行全面打診，建議若將來不論是哪一階段評估，曾有外牆掉落的紀錄，應該做全面性診斷。
林克強 研究員	1. 建議目標定義明確，希望達到甚麼目標，訂定相應對策。
	2. 同意黃老師所說，性能需要有標準，是否真的有考慮到性能，需要思考。

	技術、時間、成本關係，現況是否有執行性，耐久性是否容易執行。
	判斷裂縫，若為結構性裂縫，如何折減就比較沒有問題，但如果為非結構性裂縫，放到耐震能力評估，不一定要考慮那麼多。
	握裹部分比較擔心滑移，個人認為會有影響，目前未考慮，但現在看起來還好，因為混凝土強度低，通常會進入補強，藉由補強方式，加上補強有一定保守程度，所以甚麼問題。
	耐久性初評就應該考慮傾斜、沉陷，因為可能影響耐久性大。

第二次專家訪談會議紀錄

計畫名稱：鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬

執行期間：108 年 1 月 31 日 ~ 108 年 12 月 31 日研究

主持人：邱建國

協同主持人：陳君弢

時間：108 年 8 月 20 日（星期四）上午 10 時 00 分

開會地點：台北市松山區東興路 26 號(台北市土木技師

公會)主 持 人：邱教授建國

出席人員(依姓氏筆畫排序)：莊理事長均緯、蘇理事模原、徐技師勤威、陳副教授君弢、林研究助理昭妤、姚研究助理廷穎專家重點發言：

此案與 102 年建研所的研究之關係。

本案之調查資料，技師本身從以前就已經在調查了，制訂了手冊的表格沒有不好，但技師在看到此表並不會使用，因為太複雜了，而且各工會已有自己的調查表，調查資料也類似。

耐久性僅 PSERCB 裡面的一小部分，耐震評估時僅需鑽心目視判斷就可以得到結果，但現在需要用這麼詳細的調查才能得到，要如何做接軌。

技師認為，耐久性診斷方式業界早已再做，只是每個人的表格方式不同，所以訂定這些表格以後採用的能性不高，反而應該注重研究出耐久性量化，建築物能維持多久。

手冊裡裂縫形式的圖，在訂定住宅自我檢查的部分也有相似的圖，國內已有相關圖形，怕會產生矛盾問題。

工會已有既定表格，希望手冊訂定時不要規定表格，表格可以建議，但要有彈性，並訂定標準，可得劣化程度做結論。

診斷流程有提到耐震能力調查，與材料的耐震能力調查關聯性。

本案注重維護部分，可能需要將維護寫進手冊及報告裡。

台北市土木技師公會提供臺北市、新北市、臺中市施工損壞鄰房鑑定手冊。綜合回覆：

目前需求，校舍、公宅及社宅，補強完要如何修繕，有沒有對應方法或者評估機制，讓他們去做延壽的處理。

102 年的報告是針對技術、方法探討，102 年後找不到合適時機，今年再被提出是因為公宅及社宅的建置，希望找到管理方法，基於 102 成果決定今年手冊，解決 2009 年補強完學校，需要提出一個維護的方法面臨時間所造成的劣化現象，接下來如何做對應。

技術手冊擬定方法大原則，該做甚麼該做哪幾個點，結果怎麼呈現工會自行決定，但是判斷準則就必須按照手冊，報告書還是會建議表格，希望透過工會既有的表格進行延伸，希望蒐集一些資料。

本案並非針對安全耐震，許多技師認為在耐震分析都做了，但是否有確實反

映材料行為是個問題，雖然在既有評估方法材料問題多多少少被提及，但究竟這些項目到底有沒有辦法跟日後維護或者耐用年限等等有直接相關，是有疑慮。

日常檢查的時候如果已補強完，仍發現力學所造成的受損，需要轉成耐震能力評估。

第三次專家訪談會議紀錄

計畫名稱：鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬

執行期間：108 年 1 月 31 日 ~ 108 年 12 月 31 日研究

主持人：邱建國

協同主持人：陳君弢

時間：108 年 9 月 24 日（星期二）上午 10 時 30 分開會

地點：台北市大安區基隆路四段 43 號 E2-220(國立臺灣科技大學)

主 持 人：邱教授建國

出席人員(依姓氏筆畫排序)：陳技師哲生、徐博士勤威、陳副教授君弢、林研究助理昭好、姚研究助理廷穎

專家重點發言：

技師建議將耐久性能評估架設網頁版，以利評估。

腐蝕速度利用現有資料推估，回歸統計。

整理好之後在北中南東部辦說明會，應讓政府單位如都更處、建管處、技師等人員參與。

耐久性與耐震性要結合，透過程式計算折減後修正塑鉸。

附錄九 期中審查會議紀錄與意見回覆

計畫名稱：鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬

計畫主持人：邱教授建國

協同主持人：陳副教授君弢

委員審查意見與意見回覆(依發言順序)

專家	期中審查意見	意見回覆
陳組長建忠	PSERCB 及營建署危老建方案可知，目前 RC 建築耐震能力評估結果，不佳者占大多數，本研究之究如何合作、如何分工及如何整合，亦屬研究主要方法。減因子，後續將依各位委員建議之事項納入工項進行檢討，並將訪談現行 TEASPA 及 SERCB 之負責單位，研擬如何提供相關資訊以進行耐震能力評細評估。	感謝組長建議，本研究主要探討依目視結果如何建立劣化構件對應之容量修正，包含耐震詳評使用非線性塑角及初評使用之強度折因子，後續將依各位委員建議之事項納入工項進行檢討，並將訪談現行 TEASPA 及 SERCB 之負責單位，研擬如何提供相關資訊以進行耐震能力評細評估。
	臺灣科技大學日前來研究中心所洽談研究合作事項，提及教育部或科技部委託該校彙整結構改善完成的學校建築物資料，未來學校建築維護如為內政部接管業務，則應是好的研究方向。	感謝組長建議。
	如對象鎖定為民宅，則其問題多在所有權人同不同意改善，有無經費改善。本案每年可成案數及單元面積、型態，請做預估。	感謝組長意見，將於期末報告中說明。
	目前已有之技師、建築師公會鑑定手冊，請蒐集整理	感謝組長建議，遵照辦理。

張威建築師	1. 本研究耐久性評估成果，是否會列為建築物耐震初評項目？請說明。	本案主要建立鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊，以作為日後建築物進行定期維護策略擬定之參考依據。如同現行橋梁維護管理機制，為使管理單位之經費有效運用，須有明確且具量化之指標以決定合適維護策略與經費編列，其目的與現行耐震初評有所不同。
	2. 對於打診法，建議蒐集彙整打診法及鑽心試體強度之統計比對資料以供參考。	國內目前無打診法之相關國家標準，其參考文獻與操作方式將於期末報告中補充。
陳技師哲生	1. 期中報告第 100 頁，若可以與目前耐震詳評程式(TEASPA、SERC B)接軌，其塑鉸折減恐需大量的分析程式，才能計算求出。	感謝委員意見，會提供相關修正程式。
	2. 本案若可行，目前高氯離子混凝土建築物之耐震詳細評估是否可納入採用？	感謝委員意見，可以採用。
林研究員克強	1. 若欲採用反彈錘推估混凝土強度，應採對反彈錘的可能誤差範圍與可靠度。	反彈錘試驗法的誤差與可靠度可參考「CNS 10732 硬化混凝土反彈數試驗法」。
	2. 建議耐久性評估應於固定時間內施作。	感謝委員建議。
姚教授昭智	1. 混凝土中性化程度與維護工法有關，建請提供數個較佳工法，並做比較。	耐久性能診斷技術手冊可與建築物之定期維護檢查結合，以了解結構體之耐久或使用狀況。若已出現顯著劣化現象，則依其建議之材料試驗決定劣化因子與範圍，並提出合適之維護策略以供使用者或管理單位參考。此外，本案亦會針對不同劣化況狀建立其對應之維護方法。

	腐蝕位置與塑鉸的位置若相隔較遠，則似較無影響，但應如何定義，建請說明。	目前塑角修正係以構件為單位，不同構件依其劣化程度或目視結果進行修正。委員所提之單一構件中不同區位腐蝕所造成的影響，將於期末報告中探討及說明。依過去研究可知，現行分類法為較為保守之分析。
巫技師垂晃	如何將本研究結果量化應用於目前高氯離子建築物判定標準（臺北市及新北市）？本診斷手冊是否可予以取代？	有關現行之劣化現象相關判定方法或處理辦法，如高氯離子混凝土建築物善後處理自治條例等，本案後續將收集其相關資訊並進行研析比較。現階段二方法之目的有所差異，因而無法取代之。
	利用打診試驗與反彈錘等做為劣化程度及強度判定時，請說明如何判定所得出數值之合理性（含正確性）？	反彈錘試驗可參考「CNS 10732 硬化混凝土反彈數試驗法」。打診法之相關文獻與操作將於期末報告中補充。
	傾斜率因子如何納入耐久性診斷技術手冊中？又耐震詳細評估柱構件之強度折減係數，是否使用初評時所使用之數值？請說明之。	傾斜率為初步診斷中之查核項目。有關腐蝕構件容量修正部份，本研究主要探討依目視結果如何建立否之容量修正，包含耐震詳評使用之非線性塑角及初評使用之強度折減因子，後續將依各位委員建議之事項，納入工項進行檢討，並將訪談現行 TEASPA 及 SERCB 之負責單位，研擬如何提供相關資訊以進行耐震能力評細評估。
	詳細評估所使用之塑鉸參數（剪力、彎矩塑鉸）應用在高氯離子建築物時，由於劣化分布差異極大，採用目前之設定方式是否偏保守？請說明之。期末	目前塑角修正係以構件為單位，不同構件依其劣化程度或目視結果進行修正。委員所提之單一構件中不同區位腐蝕所造成的影響，將於報告中探討及說明。依過去研究可知，現行分類法為較為保守之分析。

	5. 耐久性隨著維護狀況（時間）改變，如何納入本分析模式？監測系統如何納入耐久性評估之要求？建請說明。	耐久性能診斷應配合定期維護檢查而進行，可由歷年診斷結果了解其劣化速率及可能劣化原因，雖然未來或許可配合自動化監測系統，但非本案研究範圍。
高 建 築 師 豐 順	1. 規範歷經數次修訂，對耐久性評估之影響如何？建請考量。	感謝委員建議，將納入後續研究工作。
	2. 建議參考各縣市鑑定手冊傾斜率分界值，納為本研究內容。	感謝委員建議，已納入修正。
	3. 有無管理維護、違規使用及違章加載等因素，建議可納入評估考量。	感謝委員建議，遵照辦理。
陳 技 師 正 平	1. 關於初步調查，建議納入震區所在位置。	感謝委員建議，遵照辦理。
	2. 建議將結構性裂縫納入「劣化」之中。結構性裂縫應由技師找出應力集中位置優先檢查，例如短梁、短柱、牆斜裂等。表 3.1 建議納入結構性裂縫。	感謝委員建議；初步診斷中已建議結構性相關裂縫之調查重點。
	3. 鋼筋腐蝕通常是單側（靠外側）進行，因此對於斷面減少計算法，建議予以規定。	感謝委員建議，將納入後續研究工作。
	4. 保護層常有鋼筋籠偏一側的現象，因此宜進行 4 面檢測。	感謝委員建議，將納入後續研究工作。
	5. 混凝土強度影響握裹力，及塑鉸無法發展。	感謝委員建議，本研究所發展之劣化構件的塑鉸行為修正，已考慮鋼筋腐蝕所造成之握裹強度劣化影響。

	建議將傾斜率納入 P- 之影響因素。	本研究主要以耐久性能診斷為主，此一項目非為相關工項。
蘇建築師錦江	1. 現階段研究成果大致符合研究目的與預期成果。	感謝委員肯定。
	2. 目前地方政府有「高氯離子混凝土建築物善後處理自治條例」，中央政府亦有「耐震能力初評及詳評」的相關辦法，建議彙整其異同，並分析其競合要點，避免重覆及多軌。	感謝委員建議，目前將參考委員建議收集相關資料，並進行比對與統整。
	3. 期中報告附錄五耐震性能診斷準則係於 102 年 12 月草擬，時過近 6 年，各項相關評估已有建置，請檢討整合。	本案主要建立鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊，以作為日後建築物進行定期維護策略擬定之參考依據。如同現行橋梁維護管理機制，為使管理單位之經費有效運用，須有明確且具量化之指標以決定合適維護策略與經費編列。附錄五為本團隊於 2012 年所提出之草案，內容較為精簡，且對象以校舍為主。本次研究將對象擴大至一般公寓大廈，期望未來此一手冊之完成，除可提供學校建築使用外，亦可提供公宅/社宅/公共類重要建築結構等進行定期維護檢查時之參考依據。
鍾璿幫工程司	1. 建議針對現行耐震初評及詳評項目以及本研究耐久性能診斷項目，具體比較差異性，做為改善現行耐震初評及詳評方式精進作為之參據。	感謝委員建議，本研究將於期末報告中說明如何連結現有耐震初評及詳評方法。
	2. 本研究將概估國內需進行耐久性能診斷之建築物數量，供主管機關參考，因會影響行政機關列管的方式，應先檢討概估的方法妥適性。	感謝委員建議，此一項目將於期末報告中說明。

劉 技 師 紹 魁	1. 期中報告第 55 頁主要構件調查中，建請增加 RC 剪力牆，及加強磚造建築之 1B 磚牆等 2 種構件的調查重點。	感謝委員建議，遵照辦理。
	2. 構件老劣化下之非線性參數模型，是否可有更簡化的做法，提供給業界實務應用？	感謝委員建議，本研究亦會提供相關輔助程式及耐震初評所使用之劣化構件強度折減係數。
	3. 本手冊提供業界於耐久性的診斷上，有定量的方式做為依據，可讓老劣化的判斷更加客觀，降低人為影響，值得繼續發展。	感謝委員肯定。

附錄十 期末審查會議紀錄與意見回覆

計畫名稱：鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬

計畫主持人：邱教授建國

協同主持人：陳副教授君弢

委員審查意見(依發言順序)

專家	期末審查意見	意見回覆
陳組 長建忠	1. 應用性估算，簡報提出老舊建築物統計屋齡超過 30 年有 72 萬棟，如何較合理估算，以供應用推廣的參考，以安家固園執行結果，可做為參考之一。	感謝委員意見。本案參考台北市統計資料，因目前其多依據稅籍資料以戶或宅為單位，不容易獲取”棟數”，僅能參照技師報過去的調查記錄進行推估，並匯整內政部之既有資料，進而估算以符合本手冊之標的。此外，成果報告書亦建議本手冊之可能使用時機。
	2. 使用者對象宜有好的定義，以免落入俗套。	本案主要建立鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊，以作為日後建築物進行定期維護策略擬定之參考依據。現階段可填補現行方法對於老劣化構件或建物之性能評估不足之處。使用者對象於研究目的中所定義，協助建築師及土木、結構技師進行鋼筋混凝土建築之耐久性量化診斷與補修對策擬定。
江 建 築 師 星 仁	1. 整體架構共七章，建議第六章專家訪談紀錄改為附件。	感謝委員意見。本研究將進行修正。
	2. 第 107 頁，圖 3-28，有一個圖例沒標示(日本建築學會)。	感謝委員意見。本研究將進行修正。
	3. 第 216 頁，中性化部分提到 pH 12~14 約降至 pH 10，建議將 pH 10 改為 pH 9~10。	感謝委員意見。本研究將進行修正。

第 222 頁提到屋頂防水，另應有浴室、陽台。	感謝委員意見。本案已將陽台部分列入調查。然而，浴室部分因老劣化現象受多種因素影響，且多與設備管線相關，故暫不列入本方法之診斷標的。
5. 第 224 頁 cd4 編號有兩個，第 227 頁亦同。	感謝委員意見。本研究將進行修正。
6. 手冊第 4 頁鼓脹，定義欠嚴密(水泥砂漿與裝修材；水泥砂漿與牆體)。	感謝委員意見。本研究將進行修正。
7. 耐久性能診斷最終是否可知能再用幾年。	感謝委員意見，因國內無耐久性能預測之相關規範，因此無法進行判定。
8. 如何判定是粉刷層或主體裂縫。	感謝委員意見。本研究提供參考裂縫形式樣態，由圖示協助判定。
問卷調查部分加入建築師公會。	感謝委員意見，遵照辦理。

陳技師哲生	本研究案可作為各縣市政府已判定為”高氣離子建物”，”何時”可執行建築法第 77 條強制拆除的重要依據，建議貴所應向技師公會，各縣市府都發局(工務局宣導)。 (1) 目前各技師公會所做出的高氣離子(海砂屋)的鑑定報告，雖判定可拆除重建，唯標的物內之反對戶及憲法有保障人民生命安全財產的要求，故主管單位常於進退維谷的現象。 (2)同上，目前各縣市政府，對已判定的海砂屋，是採後續的長期目視觀察法，來決定何時拆除的依據(即無法量化，憑感覺)。	感謝委員意見。
	本案可推廣各縣市府之海砂屋拆除的判定，利用現況耐震能力(法規規定 0.15g)，利用本研究”時變”的判定，可推算未來何年何月可達 0.08g(目前北市府建議判拆標準)，即可依法拆除。	感謝委員肯定。
	本案內容可解決各縣市政府長期困擾問題(海砂屋何時可研故建議應將報告內容計算考。網頁化，讓專業技師可先輸入判斷。	感謝委員意見，本項意見不在本次研究範圍，但會納入後續研究參拆)。
嘉張峰博士	本報告十分符合預期需求(內容豐富)。	感謝委員肯定。容

	2. 以下相關建議供參考： (1)柱樑構件劣化度評定基準，其鋼筋腐蝕狀況有述採鋼筋腐蝕後之重量減少率，為何沒採斷面減少率？其考量為何？ (2)詳細診斷法中，沒有採用裂縫的深度檢測，其考量為何？ (3)內政部建築研究所(2012)在 Global 權重值可否確認一下。	感謝委員意見。 (1) 研究團隊主要以重量減少率為腐蝕量化指標，並根據該指標建立鋼筋力學性質修正方程式與梁柱構件之塑角修正模型。因此，於構件劣化度診斷時，則由表面裂縫發展以間接推估鋼筋之重量減少率。此外，建立腐蝕鋼筋之力學性質修正方程式時，不易以斷面減少率為指標。 (2) 有關裂縫深度檢測部份，研究團隊會將委員建議納入評估，探討其於建築物之可行性。 (3)報告書已就權重值部份進行確認及修正。
吳建築師毓昌	1. 日本全國磁磚協會的內容，需將其重點翻譯，列入報告書內。(指外牆磁磚打音調查實務手冊)(第 199 頁所寫)	感謝委員建議，相關內容已納入報告書中。
	2. 除了打音重點為開口部附近、窗台附近外，是否需將全面打音的方法及費用列入報告書內，比如吊蜘蛛人全面打音等，另外打音人員的合格證照取得應如何考試等，應可列入報告書中。	本項意見不在本次研究範圍，但會納入後續研究參考。
	3. 第 197 至 198 頁，有關日本建築研究所關於建築物概要表中第 6 項材料中摻合料澆注時間等，是否將來建設公司將資料移交給管委。	感謝委員意見，本研究會將此建議列入報告書。

巫技師垂晃	第 21 頁，氯離子含量有關 0.3~1.2kg/m ³ 等級屬於輕度劣化與目前台北市(新北市)之規定不甚一致，請說明。	感謝委員意見。有關委員所提之氯離子含量標準問題，因本手冊以水溶性檢測法為主，手冊中之相關評定值已進行修正，與日本現行規定有所不同。
	2. 高氯離子建築物塑鉸設定之決定難以與目前現況模擬一致 (複雜性高)，請說明。	感謝委員意見。報告書內討論不同位置所造成的影響，以塑鉸的修正最為保守。
	3. 造成劣化之因素甚多，如中性化、高氯離子、混凝土強度等之權重如何量化其合理性，可充分反應至初步評估與詳細評估中。	感謝委員意見。本研究已採用問卷調查方式，重新調查權重值。
	4. 某些單一項劣化嚴重及造成結構破壞，因此是否應加重權重，亦即考慮重要因子之影響	感謝委員意見。本研究已採用問卷調查方式，重新調查權重值。
	5. 裂縫寬度及深度會加速劣化，惟評估並未納入。	感謝委員意見。本研究以現況進行耐久性能診斷，並未進行劣化速度之推估。裂縫寬度已納入評估指標，但僅能反應現況，是否會加速後續的劣化並不在本次診斷範圍。有關裂縫深度檢測部份，研究團隊會將委員建議納入評估，探討其於評估建築物之可行性。
高建築師豐順	1. 有關建築物衝擊試驗，傾斜檢測之環境條件，儀器檢測時機，建議補充說明。	感謝委員意見；建築物衝擊試驗依據「CNS 10732 硬化混凝土反彈數試驗法」標準操作程序進行。
	2. 有關高氯離子未發病建築老劣化狀況，建議評估說明	感謝委員意見。本手冊不針對未發生劣化現象之建築物或建築物之劣化預測進行探討。

陳技師正平	1. 基礎及隱蔽部分無法檢視，如何處理。例如南方澳大橋倒塌，承作檢測單位對鋼索目視無法檢測，卻認為良好。	感謝委員意見。本次報告不包含基礎及隱蔽部分，因本案係以目視調查為主。
	2. 對結構物產生傾斜時，其 P-效應及其動態反應如何納入未提供。	感謝委員意見。有關基礎、傳力路徑或 P- Δ 效應等，與耐震性能診斷較為相關，研究團隊建議不要納入本手冊中。
	3. 耐久性、中性化等與殘餘壽命不宜連結。尤其是地震之影響比耐久性及中性化更直接，地震不大之情況下，建築物可能可以永久使用；若地震力超大，則會瞬間倒塌。	本項目不納入本次研究範圍，感謝委員建議。本研究並未擬定殘餘壽命，本案僅按照診斷結果建議維護方法，並不會與殘餘壽命相連結。
	4. 耐震能力評估未納入傳力路徑弱點。	感謝委員意見。有關基礎、傳力路徑或 P- Δ 效應等則與耐震性能診斷較為相關，研究團隊建議不要納入本手冊中。
劉技師紹魁	1. 耐久性診斷中建議併入地下室外牆及基礎層的評定方式。	感謝委員意見。地下室外牆部分已納入，本次報告不包含基礎部分，因本案係以目視調查為主。
	2. 外牆劣化評定基準時，若有外飾材時(磁磚或洗石子)，是否對打診法有不同的影響。	感謝委員意見。對於不同外飾材，分別可以對應之工具進行打診，因此外飾材存在時(磁磚或洗石子)，的確須調整打診工具。
	3. 技術手冊的開發給業界很好的依據，也可以讓劣化評定的結果，減少因人為因素造成的差異。	感謝委員肯定。
師 蘇 錦 建 江 築	1. 認大致符合研究目標與預期成果需求。	感謝委員肯定。

	建議考量目前已實施之耐震能力初評、詳評及住宅結構性能估等現行規定，整合納入修正。	感謝委員建議。本研究會蒐集相關資料，現階段已納入耐震能力初評、詳評做為參考。
鍾璿幫工程司	建議比對現行「公有建築物耐震能力詳細評估工作共同供應契約」之基本服務內容及本案提出之「耐久性能詳細評估」之診斷方法差異性及相關修正或精進意見。	感謝委員意見。本研究以耐久性能為主，與現行耐震能力評估方法有所不同。
	報告書第 52 頁至 53 頁之耐久性評定等級，建議再細分增加分級區間及不同等級之差異處理方式，如定期維護得否分為不同維護頻率，性能較差亟得修補者得否再行分區期修復之急迫性，或應否立即停止使用等，俾利後續處置參考。	感謝委員意見。現行區分等級參照建研所過去成果報告，本研究並未提出修正，亦無資料可做為再細分之依據。

附錄十一 說明會辦理情形

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬說明會

(一)時間：108 年 11 月 25 日(一)

(二)地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓-國際會議廳(計 57 人)

(三)說明會議程

時間		議題	主講人
108 年 11 月 25 日	08:30~09:00	報到	
	09:00~09:10	長官致詞	建研所長官
	09:10~10:00	危老改建相關議題	台北市土木技師公會 蘇模原 理事
	10:00~10:50	鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷研 擬說明	國立臺灣科技大學 邱建國 教授
	10:50~11:00	中場休息	
	11:00~11:50	耐久性能詳細診斷材料試驗說明	國立臺灣科技大學 陳君弢 副教授
	11:50~12:20	綜合討論	

(四)活動照片：



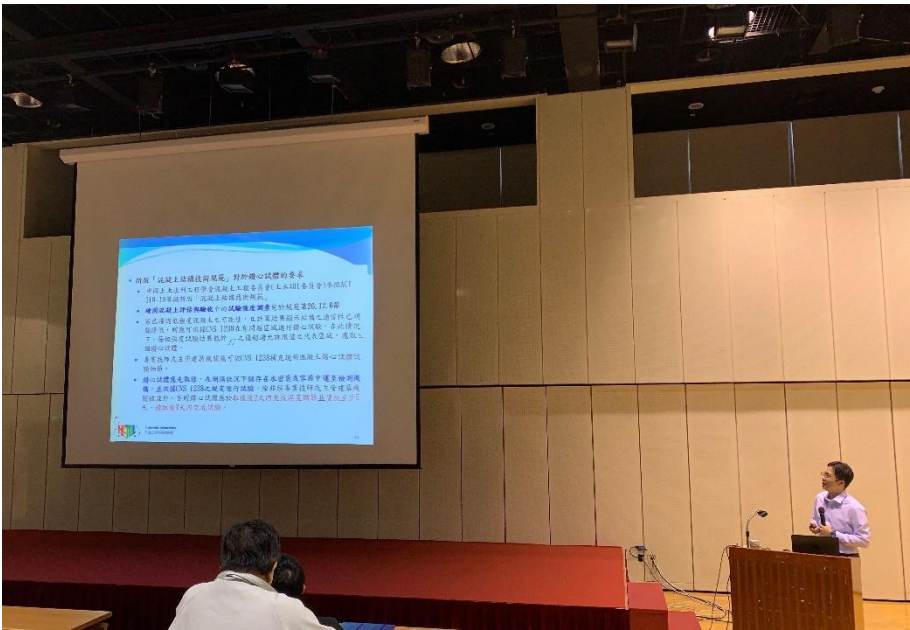
建研所長官致詞



演講情形



演講情形



演講情形

(資料來源：本研究製作)

參考書目

American Concrete Institute(ACI) , (2003) , Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings(ACI 437R-03).

American Concrete Institute(ACI) , (2007) , Load Tests of Concrete Structures: Methods, Magnitude, Protocols, and Acceptance Criteria(ACI 437. 1R-07).

American Concrete Institute(ACI) , (2008) , Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service(ACI 201.1R-08).

American Concrete Institute(ACI) , (2013) , Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings and Commentary(ACI 562-13).

American Concrete Institute(ACI) , (2013) , Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures(ACI 228.2R-13).

American Concrete Institute(ACI) , (2016) , Code Requirements for Assessment Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary(ACI 562-16).

American Concrete Institute(ACI) , (2017) , Report on Service-Life Prediction(ACI 356.1R- 17).

American Concrete Institute(ACI) , (2019) , Guide for Assessment of Concrete Structures before Rehabilitation(ACI 364.1R-19).

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).

American Society for Testing and Materials(ASTM) , (2018) , Standard Practice for Measuring Delaminations in Concrete Bridge Decks by Sounding(ASTM D4580/D4580M-12).

American Society of Civil Engineers(ASCE)/ Structural Engineering Institute(SEI) , (2017) , Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings(ASCE/SEI 41-17).

- American Society of Civil Engineers(ASCE)/Structural Engineering Institute(SEI) , (2000) , Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings(ASCE/SEI 11-99).
- Caglar Goksu & Alper Ilki , (2016) “Seismic Behavior of Reinforced Concrete Columns with Corroded Deformed Reinforcing Bars”, ACI Structural Journal. No. 113-S90.
- Carino, N., and Malhotra, V. , (2004) “Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, second edition, Auerbach Publishing”, 392 pp.
- Dawang Li, Ren Wei, Feng Xing, Lili Sui, Yingwu Zhou & Wenyu Wang , (2018) “Influence of Non-uniform corrosion of steel bars on the seismic behavior of reinforced concrete columns”, Construction and Building Materials 167(2018) 20-32.
- Hakan Yalciner, Serhan Sensoy & Ozgur Eren , (2012). “Effect of corrosion damage on the performance level of a 25-year-old reinforced concrete building” , Shock and Vibration 19,891-902.
- Hakan Yalciner, Serhan Sensoy & Ozgur Eren , (2015). “Seismic Performance Assessment of a Corroded 50-Year-Old Reinforced Concrete Building” , J. Struct. Eng,141(12).
- International Building Code(IBC) , (2018) , Existing Building Code International Concrete Repair Institute.
- International Concrete Repair Institute(ICRI) , (2009) , Guide for Nondestructive Evaluation Methods for Condition Assessment, Repair, and Performance Monitoring Concrete Structures(ICRI 210.4-09).
- Luisa Berto, Renato Vitaliani, Anna Saetta & Paola Simioni , (2009). “Seismic assessment of existing RC structures affected by degradation phenomena” , Structural Safety 31,284-297.
- Stefania Imperatore, Maria Zucconi & Barbara Ferracuti , (2017). “Pitting corrosion effects on the seismic behavior of existing R.C. building” , ANIDIS 2017.

- 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。
- 中華民國營內政部營建署，(2011)，建築物耐震設計規範及解說。
- 日本コンクリート工学会(JCI)，(1998)，コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書。
- 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。
- 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，日本建築研究所。
- 日本建築學會(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，丸善株式會社。
- 日本建築學會(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。
- 日本國土交通省，(2010)，マンションの建替えか修繕かを判断するためのマニュアル，日本國土交通省。
- 台北市居住服務網，住宅存量依屋齡區分統計，檢字 http://www.housing.taipei.gov.tw/h_statistics-1.aspx(20191204)。
- 阮怡凱、施宣光、蔡孟廷、徐胤豪，(2015)，集合住宅老劣化態樣調查與改善策略研究，內政部建築研究所。
- 社團法人台灣省土木技師公會，(2013)，保障人民的居住安全，政府做到了嗎?，技師報 864 期，社團法人台灣省土木技師公會。
- 邱建國、涂豐鈞，(2012)，考慮鋼筋腐蝕危害度之混凝土保護層厚度設計-以台灣沿岸地區為例。
- 金螢來、野口貴文、長井宏憲，(2008)，腐食形態を考慮した腐食鉄筋の力学的性能の評価に関する研究，日本建築學會構造論文集 第 73 卷 第 624 号，181-188。

建築物耐久性向上技術普及委員會，(2007)，日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查-技術資料。

校 舍 耐 震 資 訊 網 ， 評 估 與 補 強
相 關 文 件 ， 檢 字

<https://school.ncree.org.tw/school/information/evaluation-and-retrofit-file-download.php>(20191204)。

涂豐鈞、邱建國，(2012)，考慮劣化與震損影響之 RC 校舍耐震能力評估研究，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系。

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。

國家地震工程研究中心，(2013)，校舍結構耐震評估與補強技術手冊第三版，報告編號：NCREE-2013-023。

國家地震工程研究中心，(2013)，臺灣中小學校舍結構耐震安全柱量比之研究，報告編號：NCREE-2013-031。

國家地震工程研究中心，(2016)，校舍結構外加 RC 構架補強耐震分析，報告編號：NCREE-2016-006。

國家地震工程研究中心，(2018)，2016 美濃地震玉井區建築物普查暨震損建物資料庫。

國家地震工程研究中心，(2019)，縣(市)政府委託辦理校舍耐震能力「詳細評估」勞務採購契約範本。

國家地震中心，(2013)，校舍修復補強報告書。

張立法、歐昱辰，(2016)，低矮建築之腐蝕鋼筋混凝土柱耐震行為，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系。

陳幸均、邱建國，(2017)，鹽害環境下之混凝土保護層度研究，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系。

陳建忠、石正義、梁銘剛、施宏晉、張照聆、周楷峻、盧珽瑞、鄒思宇，(2014)，既有建築物漏水診斷及因應對策之研究，內政部建築研究所。

- 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。
- 陳美儒、邱建國，(2014)，鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬，碩士論文，
國立台灣科技大學營建工程系。
- 鹿島工程技術顧問股份有限公司，(2009)，校舍評估報告書。
- 曾姿燕、邱建國，(2015)，建築資訊模型於耐久性能診斷與維護管理之應用，碩
士論文，國立台灣科技大學營建工程系。
- 葉為忠、張建智、黃然、鄒思宇，(2012)，建築物耐久性評估指標與殘餘壽命預
測方法之研究，內政部建築研究所。
- 葉祥海、蔡益超、宋裕祺、謝尚賢、盧明德、黎益筆，(2006)，鋼筋混凝土建築
物耐震能力評估之案例示範，內政部建築研究所，研究報告。
- 臺北市建築管理工程處，(2011)，臺北市高氯離子混凝土建築物鑑定原則手冊。
- 臺北市政府工務局、臺北市建築師公會、臺北市土木技師公會、臺北市結構工
程工業技師公會，(2000)，臺北市建築物工程施工損害鄰房鑑定手冊。
- 褚志鵬，(2009)，層級分析法(AHP)理論與實作，國立東華大學企業管理學系。
- 蔡宜靜、邱建國，(2018)，RC 建物耐久與耐震性能整合評估系統開發與建置，碩
士論文，國立台灣科技大學營建工程系。
- 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。
- 蘇耕立、黃世建，(2008)，台灣中小學校舍結構耐震能力初步評估方法之探討，
碩士論文，國立台灣大學土木工程系。

鋼筋混凝土建築結構耐久性能診斷技術手冊研擬

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：邱建國、陳君弢、林昭妤、姚廷穎

出版年月：108年12月版次：第1版

ISBN：ISBN 978-986-5448-25-7 (平裝)