

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

內政部建築研究所協同研究成果報告（103年度）

# 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

內政部建築研究所協同研究成果報告

中華民國 102 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)

# 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

研究主持人    ： 鄭元良  
協同主持人    ： 邱建國  
研究員           ： 陳君弢、周楷峻  
研究助理       ： 陳美儒、陳重利

## 內政部建築研究所協同研究成果報告

中華民國 102 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
表索引.....	I
圖索引.....	IX
摘要.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
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
肆、相關用語定義.....	3
第二章 文獻回顧.....	7
第一節 鋼筋混凝土老劣化原因 .....	7
第二節 國外耐久性能評估方法 .....	14
壹、建築物耐久性能調查.....	14
貳、鋼筋混凝土建築物耐久設計法 .....	17
第三節 國內耐久性能評估方法 .....	23
壹、橋梁 D.E.R.&U.目視檢測評估.....	23
貳、建築物耐久性評估指標與殘餘壽命預測方法之研究 .....	27
第三章 鋼筋混凝土建築物耐久性能損壞案例圖集 .....	32
第一節 主要構件損壞案例.....	33
壹、柱構件耐久性能損壞型式.....	33
貳、梁構件耐久性能損壞型式.....	35

參、版構件耐久性能損壞型式.....	36
肆、RC 牆構件耐久性能損壞型式.....	38
第二節 次要構件損壞案例.....	38
第三節 使用性能損壞案例.....	40
第四章 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬.....	44
第一節 耐久性能診斷流程說明.....	44
第二節 建築物概要調查.....	46
第三節 耐久性能初步診斷法.....	48
壹、初步診斷方法說明.....	48
貳、調查前準備項目.....	50
參、主要構件調查.....	57
肆、建築物外牆被覆條件調查.....	69
伍、環境影響因子調查.....	71
陸、其他使用性能評定表建立.....	83
柒、初步診斷綜合評定表.....	84
第四節 耐久性能詳細診斷.....	85
壹、詳細診斷方法說明.....	85
貳、詳細診斷權重因子說明.....	97
參、詳細診斷綜合評定.....	98
第五節 補修策略建議.....	104
壹、鋼筋腐蝕補修工法.....	104
貳、中性化抑制工法.....	105
參、氯離子抑制工法.....	106
肆、裂縫補修工法.....	107
第五章 實例調查與專家訪談.....	114

第一節 實例調查.....	114
壹、實例一.....	114
貳、實例二.....	137
參、實例三.....	165
第二節 專家諮詢會議紀錄.....	178
第六章 結論與建議.....	183
第一節 結論.....	183
第二節 建議.....	184
參考文獻.....	187
附錄一 典型校舍耐震能力初步評估表.....	190
附錄二 概要調查表.....	191
附錄三 耐久性能評定準則.....	192
附錄四 第一次專家諮詢會議紀錄.....	253
附錄五 第二次專家諮詢會議紀錄.....	256
附錄六 期中審查會議記錄與意見回覆.....	258
附錄七 期末審查會議記錄與意見回覆.....	262

## 表索引

表 2-1 建築物耐久性調查內容 .....	15
表 2-2 日本建築學會 JASS 5 之耐久設計基準強度規定 .....	22
表 2-3 橋梁構造物檢測評定標準 .....	26
表 2-4 A.B.C.D.評定法對結構損傷等級之判定標準 .....	26
表 2-5 推薦建築物所處環境條件影響的分級評定標準 .....	28
表 2-6 建築物齡期因子的評定標準 .....	29
表 2-7 混凝土構件材質狀況檢測指標與耐久性指標推薦權重值 .....	30
表 2-8 混凝土單一構件之耐久性評估標準 .....	30
表 2-9 混凝土建築物各構(部)件權重值 .....	30
表 2-10 混凝土建築物各構(部)件權重值 .....	31
表 3-1 柱構件耐久性損壞形式 .....	33
表 3-2 梁構件耐久性損壞形式 .....	35
表 3-3 版構件耐久性損壞形式 .....	36
表 3-4 RC 牆構件耐久性損壞形式 .....	38
表 3-5 次要構件構件耐久性損壞形式 .....	38
表 3-6 使用性能耐久性損壞形式 .....	40
表 4-1 準備工作細項說明 .....	50
表 4-2 初步診斷調查之項目 .....	52
表 4-3 柱、梁構件及 RC 結構牆劣化度評定基準 .....	63
表 4-4 鋼筋腐蝕等級評定基準 .....	63
表 4-5 版構件評定基準 .....	65
表 4-6 單一樓層構件劣化紀錄表 .....	67
表 4-7 整棟建築物構件劣化紀錄表 .....	68

表 4-8 建築物外牆被覆材評定基準 .....	69
表 4-9 建築物外牆劣化紀錄表 .....	70
表 4-10 各國氯離子含量規定值 .....	71
表 4-11 不同海洋腐蝕區域中混凝土保護層最小厚度 .....	74
表 4-12 建築物於 40 年時混凝土保護層厚度設計建議值 .....	75
表 4-13 氯離子環境影響因子評定表 .....	75
表 4-14 中性化引致之劣化潛勢評定 .....	76
表 4-15 台灣各縣市橋梁混凝土中性化速度係數平均值 .....	78
表 4-16 北部及中部地區校舍中性化速度係數 .....	79
表 4-17 無任何被覆之潛勢判斷結果統整表 .....	79
表 4-18 水泥砂漿被覆(m=2cm)之潛勢判斷結果統整表 .....	80
表 4-19 樹脂材料中性化抵抗係數 .....	80
表 4-20 瓷磚及水泥板材中性化抵抗係數 .....	81
表 4-21 各種被覆材預防中性化發生之比較結果 .....	81
表 4-22 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表 ....	82
表 4-23 中、南部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表 ....	82
表 4-24 其他使用性能評估表 .....	83
表 4-25 鋼筋鏽蝕電位的評定標準 .....	87
表 4-26 混凝土中性化深度評定標準 .....	88
表 4-27 氯離子含量評定標準 .....	90
表 4-28 混凝土電阻率的評定標準 .....	91
表 4-29 混凝土抗壓強度的評定標準 .....	93
表 4-30 K 值與 n 值參考表 .....	94
表 4-31 鋼筋保護層厚度之評定標準 .....	95
表 4-32 修改後之耐久性指標權重值 .....	97

表 4-33 詳細診斷綜合評定項目 .....	99
表 4-34 單一樓層之耐久性能評定 .....	100
表 4-35 整體建築物之耐久性能評定 .....	101
表 4-36 單一樓層評定表 .....	102
表 4-37 整棟建築物評定表 .....	103
表 4-38 鋼筋腐蝕補修工法與回復目標方法之關係 .....	105
表 4-39 混凝土中性化程度分類 .....	105
表 4-40 混凝土中性化補修工法選定 .....	106
表 4-41 混凝土氯離子含量程度分類 .....	106
表 4-42 氯離子補修工法選定 .....	106
表 4-43 中性化及氯離子補修工法與回復目標方法之關係 .....	107
表 5-1 科學樓校舍基本資料 .....	114
表 5-2 地下一樓柱構件之劣化記錄表 .....	118
表 5-3 地下一樓梁構件之劣化記錄表 .....	119
表 5-4 地下一樓版構件之劣化記錄表 .....	120
表 5-5 整棟建築物構件之劣化紀錄表 .....	121
表 5-6 氯離子環境影響因子評定表 .....	122
表 5-7 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表 ...	122
表 5-8 其他使用性能評定表 .....	123
表 5-9 抗壓強度試驗表(1) .....	125
表 5-10 抗壓強度試驗表(2) .....	126
表 5-11 中性化深度試驗表(1) .....	127
表 5-12 中性化深度試驗表(2) .....	127
表 5-13 氯離子含量試驗表(1) .....	128
表 5-14 氯離子含量檢測表(2) .....	128

表 5-15 柱(C10)電阻率.....	131
表 5-16 柱(C9)電阻率.....	131
表 5-17 柱(C6)電阻率.....	132
表 5-18 科學樓混凝土保護層厚度實測值.....	133
表 5-19 表面損傷係數.....	135
表 5-20 環境影響係數對照表.....	135
表 5-21 科學樓地下一樓案例說明.....	136
表 5-22 忠孝樓校舍基本資料.....	137
表 5-23 忠孝樓一樓構件劣化記錄表.....	140
表 5-24 忠孝樓二樓構件劣化記錄表.....	144
表 5-25 忠孝樓三樓構件劣化記錄表.....	148
表 5-26 整棟建築物構件劣化紀錄表.....	151
表 5-27 整棟建築物構件之劣化紀錄表.....	152
表 5-28 氯離子環境影響因子評定表.....	153
表 5-29 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表 ..	153
表 5-30 其他使用性能評定表.....	154
表 5-31 抗壓強度試驗表.....	156
表 5-32 中性化深度檢測試驗表(1).....	157
表 5-33 氯離子含量試驗表(1).....	158
表 5-34 氯離子含量試驗表(2).....	158
表 5-35 腐蝕電位試驗表.....	159
表 5-36 柱(C8)電阻率.....	160
表 5-37 柱(C9)電阻率.....	160
表 5-38 科學樓混凝土保護層厚度實測值.....	161
表 5-39 表面損傷係數.....	163

表 5-40 環境影響係數對照表 .....	163
表 5-41 忠孝樓地下一樓案例說明 .....	164
表 5-42 四維、忠孝樓構件調查表 .....	171
表 5-43 信義樓西棟構件調查表 .....	172
表 5-44 信義樓東棟構件調查表 .....	173
表 5-45 氬離子環境影響因子評定表 .....	174
表 5-46 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境因子評定表 .....	174
表 5-47 四維樓其他使用性能評定表 .....	175
表 5-48 四維樓其他使用性能評定表 .....	177
表 5-49 忠孝樓東棟其他使用性能評定表 .....	178
表 5-50 忠孝樓西棟其他使用性能評定表 .....	180
表 5-51 專家諮詢會議紀錄表 .....	183

## 圖索引

圖 2-1 混凝土劣化之物理因子.....	8
圖 2-2 混凝土劣化之化學因子.....	8
圖 2-3 結構耐久性損傷原因分類.....	9
圖 2-4 鋼筋鏽蝕對混凝土結構性能的影響.....	11
圖 2-5 鋼筋鏽蝕引起黏結強度退化.....	12
圖 2-6 劣化症狀、劣化現象、劣化因素的關係.....	16
圖 2-7 劣化診斷的整個流程.....	17
圖 2-8 建築物耐久性設計過程示意圖.....	18
圖 2-9 建築物耐久性設計過程示意圖.....	19
圖 2-10 材料耐久性評估項目示意圖.....	27
圖 4-1 本研究建議之耐久性能診斷流程.....	45
圖 4-2 耐久性能初步診斷項目.....	49
圖 4-3 勘查動線示意圖(一).....	52
圖 4-4 勘查動線示意圖(二).....	52
圖 4-5 構件編號規則示意圖.....	53
圖 4-6 柱構件單位設定示意圖.....	54
圖 4-7 梁構件單位設定示意圖.....	54
圖 4-8 版構件單位設定示意圖.....	55
圖 4-9 外牆單位設定示意圖.....	55
圖 4-10 初步診斷準備工具.....	56
圖 4-11 柱構件劣化造成之裂縫.....	58
圖 4-12 柱構件受外力作用下裂縫.....	59
圖 4-13 柱構件因施工不良形成之裂縫.....	59

## 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

圖 4-14 梁構件劣化造成之裂縫.....	60
圖 4-15 梁構件外力造成之裂縫.....	60
圖 4-16 RC 結構牆混凝土乾縮與鋼筋腐蝕 .....	61
圖 4-17 RC 牆結構不均勻下陷.....	62
圖 4-18 RC 結構牆之施工不良.....	62
圖 4-19 腐蝕面積率與重量減少率之關係.....	62
圖 4-20 鋼筋腐蝕程度.....	64
圖 4-21 北部校舍氯離子含量與鋼筋鏽蝕之關係.....	72
圖 4-22 北部校舍氯離子臨界含量.....	73
圖 4-23 中部校舍氯離子含量與鋼筋鏽蝕之關係.....	73
圖 4-24 中部校舍氯離子臨界含量.....	74
圖 4-25 北部校舍中性化速度係數.....	78
圖 4-26 中部校舍中性化速度係數.....	78
圖 4-27 初步診斷綜合評定.....	84
圖 4-28 耐久性能詳細診斷方法.....	86
圖 4-29 表面損傷係數對照表.....	96
圖 4-30 環境影響係數對照表.....	96
圖 4-31 初步診斷連結詳細診斷說明.....	98
圖 4-32 裂縫修補工法示意圖.....	108
圖 4-33 鋼筋生鏽、混凝土開裂修補工法示意圖.....	112
圖 5-1 台北市某高中平面圖.....	115
圖 5-2 建築物概要調查表.....	116
圖 5-3 初步診斷綜合評定.....	124
圖 5-4 腐蝕電位檢測測點.....	129
圖 5-5 柱劣化度重度(C10)腐蝕電位檢測結果 .....	130

圖 5-6 柱劣化度中度(C9)腐蝕電位檢測結果 .....	130
圖 5-7 柱劣化度輕度(C6) 腐蝕電位檢測結果 .....	130
圖 5-8 腐蝕電位值圖形對照圖 .....	130
圖 5-9 建築物概要調查表 .....	138
圖 5-10 初步診斷綜合評定 .....	155
圖 5-11 建築物概要調查表 .....	170
圖 5-12 初步診斷綜合評定 .....	181
圖 6-1 台灣建築物屋齡調查 .....	184

## 摘要

關鍵詞：建築物概要調查、建築物耐久性診斷、建築物耐久性能評估

### 一、研究緣起

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。

### 二、研究內容

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，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，除建築物外觀劣化狀況外，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。

### 三、重要成果

本研究目完成之成果如下所述：

1. 鋼筋混凝土建築物概要調查方法與表格建置；
2. 鋼筋混凝土建築物初步診斷方法與表格建置；
3. 鋼筋混凝土建築物詳細診斷項目與評估方法建置；
4. 案例分析與專家座談。

本研究已將建置之表格應用於實際案例，並藉由專家座談方式確認其可行性與實用性，且為調查人員便於使用，已將本研究所提之耐久性能診方法精簡成一準則草案，調查人員可依此一準則即可進行相關作業。

# ABSTRACT

**Keywords: durability, reinforce concrete, preliminary assessment, detailed assessment, maintenance strategy**

## **1. Background**

Reinforced concrete (RC) structures or buildings deteriorate over time when exposed to corrosive environments. When the service-life in terms of the structural safety or serviceability of a deteriorating RC building does not meet the original target, lifecycle maintenance strategies should be implemented. Once the cause of corrosion has been identified, structural members, beams, or columns with reinforcing steel components corroded by carbonation or chloride ingress can be repaired or retrofitted. Therefore, there is an need for a method that can be used to assess the durability of an RC building and then determine an appropriate maintenance strategy to prolong its service life.

## **2. Methods**

The main purpose is to build an assessment method of the durability for an RC building. Besides of the preliminary assessment including the visible investigation, the detailed assessment of the durability consists of several tests of material properties, e.g., concrete cover depth, concrete compression strength, chloride concentration, carbonation depth and so on. Engineers can follow the proposed assessment method to determine the durability of an RC building. Futhermore, according to the quantitative index of the durability and deterioration factors obtained from the detailed assessment, the appropriate maintence strategy can be suggested to prolong the service life. In brief, several topics drafted in the research plan have been accomplished and concluded, as follows:

### **3.Results**

1. Summary investigation for an RC building.
2. Preliminary assessment method of the durability for an RC building.
3. Detailed assessment method of the durability for an RC building.
4. Case studies and professional discussion meetings.

Finally, several case studies and professional discussion meetings are used to investigate the application the proposed assessment method; then the principal draft is finished for engineers.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究背景、目的與研究範圍

#### 壹、研究背景

近年日本因建築物性能維持與管理所產生之大量資源使用、營建廢棄物增加等危害地球環境等問題日益受到重視，建築物之長壽命化或耐久性問題也受到廣泛的關心與注意。較於 1997 年之京都議定書內容，日本建築學會於 1997 年 12 月亦提出「如為減少 30% 之 LCCO<sub>2</sub>，建築物之壽命必須延長為原設定值 3 倍，即為 100 年之供用目標」，由於可見，建築物之性能維持或長壽命化於「永續發展」或「永續工程」中是不可缺少的。2008 年 9 月日本建築學會頒布「鋼筋混凝土建築物之環境配慮施工指針（案）及解說」一書，當中以鋼筋混凝土建築物為對象，依生命週期(Life-cycle)觀點提出「省資源型」、「省能源型」、「環境負荷物質減低型」及「長壽命型」等共四類之環境考慮方法，並於生命週期各階段(設計階段、施工階段及使用維護階段等)提及各型應滿足事項外，各相關人員(設計師、施工監造人員等)所應具備之思維與知識。

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準則。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準則是極為需要之研究課題。

## 貳、研究目的

研究內容可分為：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。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。初步診斷方法以目視調查為主，除建築物外觀劣化狀況外，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診斷。詳細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。工作項目可分為：

1. 蒐集相關研究及方法
2. 台灣既有鋼筋混凝土建築物劣化事例研究與分析
3. 耐久性能影響因子確立及量化模式建立
4. 建築物概要調查(含目視調查)、耐久性能初步診斷、耐久性能  
詳細診斷及結果判定等方法研擬
5. 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷準則草案案例研究與適用性  
檢討

## 參、研究範圍

1. 本研究適用於典型之鋼筋混凝土建築物，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。
2. 本研究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。

3. 本研究僅針對主要受力構件，也就是主結構體(柱、梁、版、RC牆)，進行耐久性能調查、診斷。

## 肆、相關用語定義

### 1. 主要構件

結構體的柱為支承樑所傳來的載重；梁為建築物的水平構材，支撐樓板、地板重量，並將力傳至；版為房屋內部的水平構造物，用來區隔建築物的垂直空間；而牆為建築物的垂直構造物，界定不同機能空間的區劃結構體，以上皆為建築物重要的承重結構，由主要鋼筋、混凝土兩大材料構成，而牆構件則為輕質磚堆砌而成。

### 2. 次要構件

次要構件為建築物的輔助結構，組成包含如下:樓梯、女兒牆陽台、邊梁等。樓梯為建築物不同樓層間垂直動線交通的構造物；女兒牆為建築物屋頂外圍之矮牆，主要作用為防止墜落之欄杆，以維護安全。

### 3. 劣(老)化

建築物為鋼筋混凝土材料建造而成的，經時間、環境、施工不良、使用不當等各種影響因素，皆會造成材料的劣(老)化並影響建築物的安全及使用性。常見的劣化現象為混凝土裂縫、混凝土剝落、鋼筋鏽蝕、建築物滲漏水等。

### 4. 鼓起

鼓起又稱為鼓脹，為水泥砂漿和覆蓋水泥砂漿的裝修材料之介面發生間隙併發產生材料分離現象。

### 5. 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。新拌混凝土具高鹼性，可使鋼筋表面形成鈍態氧化膜，而能防止鋼筋腐蝕。當混凝土暴露在大氣中，尤其是工業污染的環境下，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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  會和空氣中之二氧化碳反應而產生近中性之  $\text{CaCO}_3$  (pH 值為 7)，使得混凝土的酸鹼度由 pH 12~14 約降至 pH 10；此一反應稱為中性化反應。當表面混凝土產生中性化反應後，二氧化碳接著由混凝土中的孔隙滲入混凝土中，逐漸將較深的混凝土轉變為中性。鋼筋混凝土結構中對混凝土中性化的影響，一般可分為材料因素和環境介質因素。材料對混凝土中性化速度的影響，分成下列五種情況：

- (1) 水灰比
- (2) 水泥種類和水泥用量
- (3) 摻和劑
- (4) 施工品質和養護條件
- (5) 混凝土的強度

而環境因素對混凝土中性化的影響包含了(1).大氣的相對濕度、(2).大氣的溫度、(3).酸性介質的濃度、(4).外界風壓及(5).應力狀。

### 6. 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。

## 7. 鹽害

引起鹽害之原因有二種。其一為在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，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，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一臨界值時，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。

## 8. 鹼質與粒料反應

混凝土為含有連續微細空隙之孔質材料，易造成氧或水份等之浸透。鹼質與粒料反應為混凝土之細孔溶液內含有氫氧化鹼(KOH 或 NaOH)，而與粒料中之活性物質形成化學反應，此種化學反應在化學產物形成過程中，會因吸水產生膨脹而引致混凝土產生裂縫，裂縫發生後，不僅直接造成混凝土結構物構材強度降低，且將降低對於抵抗鹽害或化學物質侵蝕之能力，亦增大混凝土內鋼筋腐蝕之可能性。鹼質與粒料反應將造成混凝土產生有害的膨脹現象，此反應的產生基於下列三項因素：1.材料中存在有反應性粒料，2.混凝土中存有充分的 KOH 或 NaOH 溶液，3.混凝土處於多濕或維持濕潤狀態。混凝土中鹼之主要來源係由水泥所供應，水泥原料之粘土礦物等含有鹼成份，因此，混凝土配比單位體積中水泥含量越高者，產生鹼質與粒料反應之機率就越高。水泥以外之鹼供應來源為自海砂附著 NaCl 等鹽化物，

## 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

鹼質與粒料反應所引致之膨脹現象有賴水份或濕氣之供給，對於易受雨淋之結構物或內部水份乾燥不易之巨積結構物而言，特別容易形成損傷。

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 鋼筋混凝土老劣化原因

根據 ACI Committee 201 對卜特嵐水泥混凝土耐久性的定義如下：「耐久性是指其抵抗風化作用、化學侵蝕、磨損及其他劣化過程的能力，亦即其耐久性之混凝土，在不同暴露的環境下仍能保持其原來的幾何尺寸、品質與使用性」。且混凝土常被廣泛的使用在不同的建築結構上，如核能發電廠、儲氣槽、儲油槽等多曝露於高溫、低溫、高壓等環境上，或使用於濱海的建築結構物與跨海橋梁上；一般環境中的二氧化碳與環境的溫度、環境的濕度、酸雨等將使混凝土中性化，使混凝土結構物當中的鋼筋產生銹蝕的現象，而環境溫度與環境溼度則是影響鋼筋銹蝕的主要因素。故混凝土耐久性需求更顯得重要。

產生混凝土劣化的原因有許多，大致可分為物理性與化學性兩方面。物理性的原因如圖 2-1，表現出來的現象即為面層的破壞與裂縫的擴張；化學性的原因如圖 2-2，由化學作用與電化學作用使結構產生劣化現象主要有：混凝土中的鋼筋銹蝕、混凝土的碳化等，最常見的原因是由於侵蝕性物質與混凝土中的漿體產生化學反應。除此之外，由物理作用使結構產生的破壞現象主要有：混凝土的磨損、沖蝕、碰撞、凍融等，而凍融破壞在臺灣並不常見。耐久性損傷的分類圖如圖 2-3。混凝土也可能因鋼筋的腐蝕造成剝落(spalling)及裂縫擴張等現象，在自然的狀態下，混凝土的劣化是由許多因素所混合造成的，如果能瞭解到個別因素影響機理並提出預防之道，必能提升整體混凝土的耐久性。

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

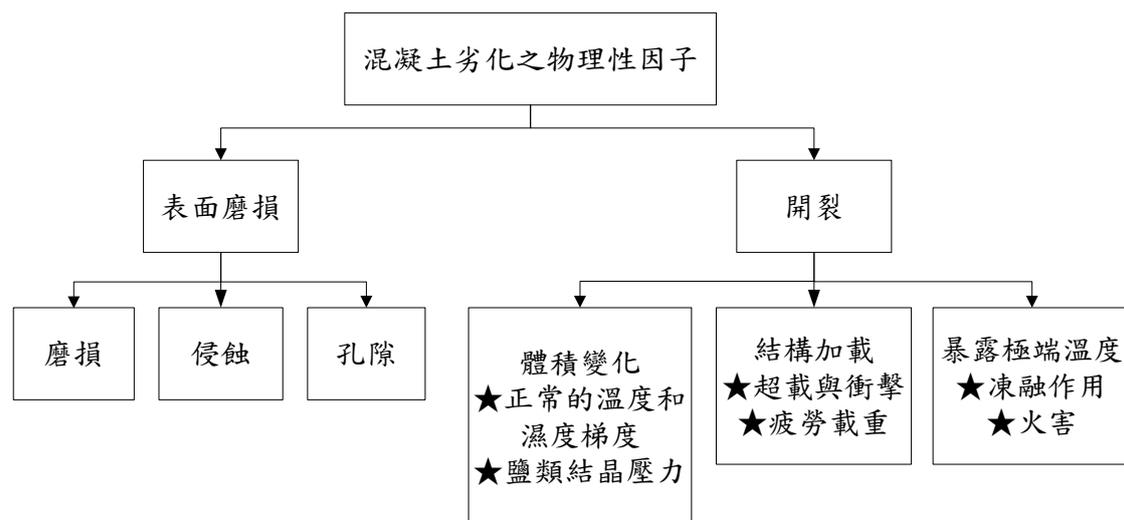


圖 2-1 混凝土劣化之物理因子

(資料來源：(Mehta, P.k.等 1982, Mehta, P.k.等 1993)

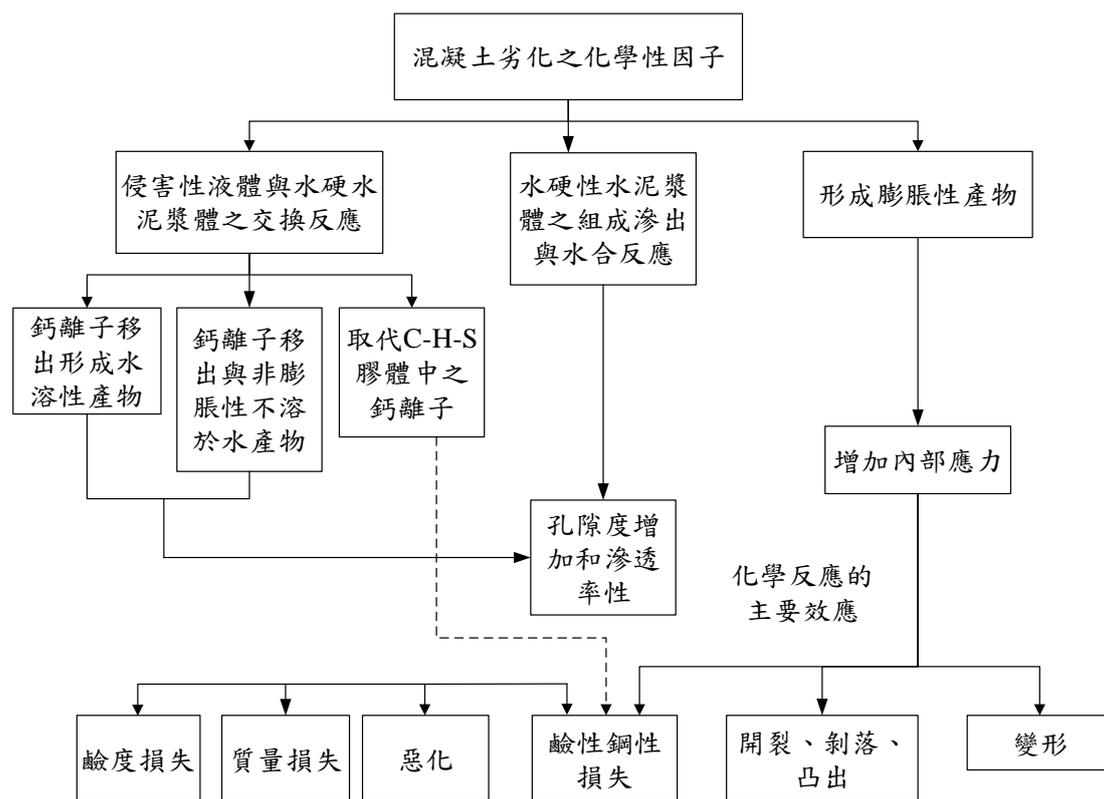


圖 2-2 混凝土劣化之化學因子

(資料來源：(Mehta, P.k.等 1982, Mehta, P.k.等 1993)

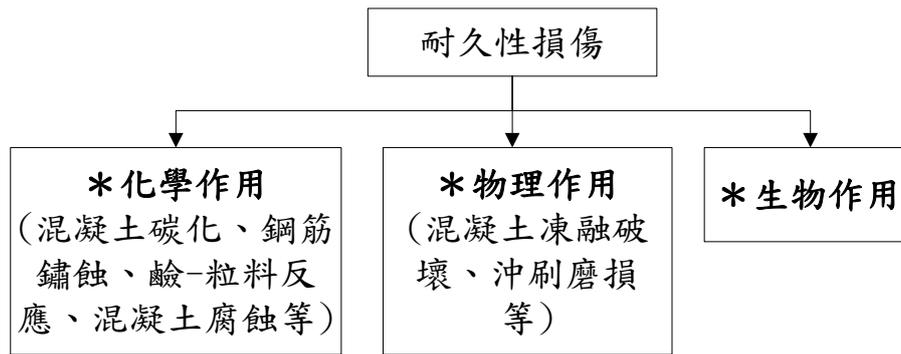


圖 2-3 結構耐久性損傷原因分類

(資料來源：牛荻濤，2003)

混凝土結構的破壞原因按重要性排列為：混凝土中的鋼筋銹蝕、寒冷氣候的凍融現象，侵蝕環境的物理化學作用，但從混凝土耐久性損傷的劣化現象上，主要有以下幾種類型：混凝土中的鋼筋銹蝕、混凝土碳化、混凝土的裂縫、混凝土強度降低、結構過大變形等。

### 1. 混凝土碳化

混凝土碳化是混凝土中的鹼與環境中的二氧化碳發生化學反應生成碳酸鈣的過程，這會使混凝土的鹼性降低，從而失去對鋼筋的保護作用，是一般大氣環境混凝土中鋼筋銹蝕的前提件，而衡量混凝土碳化的指標為碳化深度。混凝土碳化是一個緩慢的過程，碳化的主要結果是降低了混凝土孔隙溶液的 pH 值，從標準值 12.5~13.5 降低至完全碳化的 8.3 左右，碳化導致鈍壞膜的破壞，使鋼筋不具有保護的作用，實際上，鋼筋周圍混凝土的 pH 值 11.5 時，鋼筋表面的鈍態保護膜已經開始混凝土中的鋼筋變得不穩定，對鋼筋失去保護的作用。

### 2. 鋼筋鏽蝕

鋼筋混凝土構件，是將鋼筋置於混凝土中，利用混凝土具高鹼性，面形成一保護層，避免鋼筋生鏽。唯保護層若因混凝土裂縫，導致氧氣、水氣侵入，變為氧化鐵，即為生鏽。鋼筋混凝土構件中的鋼筋，

雖不易鏽蝕，但發現鏽蝕時，該構件可能已經呈現嚴重的破壞，故建築物檢測時，鋼筋鏽蝕應為檢測重點之一。鋼筋鏽蝕為鋼筋混凝土構件破壞之主要因素，由於鋼筋鏽蝕時，體積會膨脹（原為體積的 1~7 倍），推擠混凝土，導致混凝土承受張力而裂開剝落，使鋼筋暴露於大氣當中，加速鋼筋生鏽，並造成鋼筋混凝土構件之劣化。鋼筋鏽蝕後，鋼筋的斷面積將會減少，導致強度降低，並影響結構物的耐久性。

造成鋼筋鏽蝕的主要原因有：

- (1) 混凝土中性化。
- (2) 鋼筋表面氯離子含量高。
- (3) 鋼筋受到濕氣及氧氣之作用。

然而產生鋼筋鏽蝕會造成各個方面的損傷，如圖 2-5 所示，鋼筋鏽蝕會對混凝土結構造成以下三個方面的影響：

- (1) 導致鋼筋保護層脹裂或脫落，混凝土截面面積減小。
- (2) 鋼筋截面積減少，導致鋼筋的力學性能如：極限強度、伸長率產生變化。
- (3) 使鋼筋與混凝土之間的黏結性能下降。

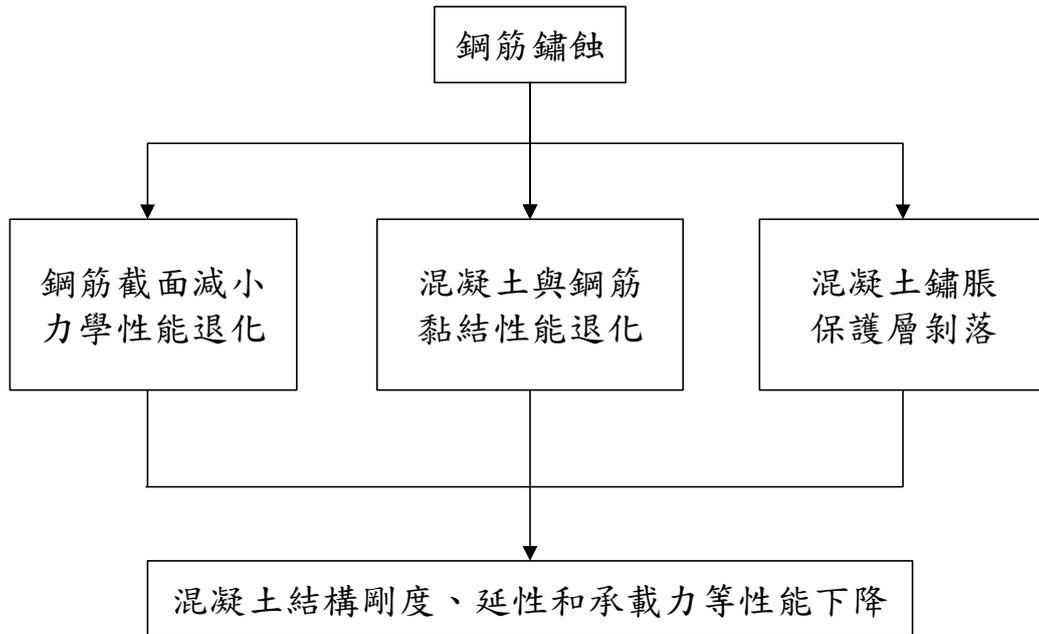


圖 2-4 鋼筋鏽蝕對混凝土結構性能的影響

(資料來源：Andrade C, Alonso C, Molina F J. , 1993)

鋼筋鏽蝕亦會導致黏結強度的降低，如圖 2-5 所示，在鋼筋發生鏽蝕後，鋼筋與混凝土之鏽蝕層會促使鋼筋與混凝土接觸面上之化學膠著力產生變化；而鋼筋鏽脹所引起的保護層開裂會降低混凝土對鋼筋的約束作用且鋼筋橫肋的鏽蝕也會影響到其對混凝土之機械咬合力。鋼筋鏽蝕與混凝土結構的黏結問題不僅在理論研究上具有重要的意義，對工程實務上也是一大重點。

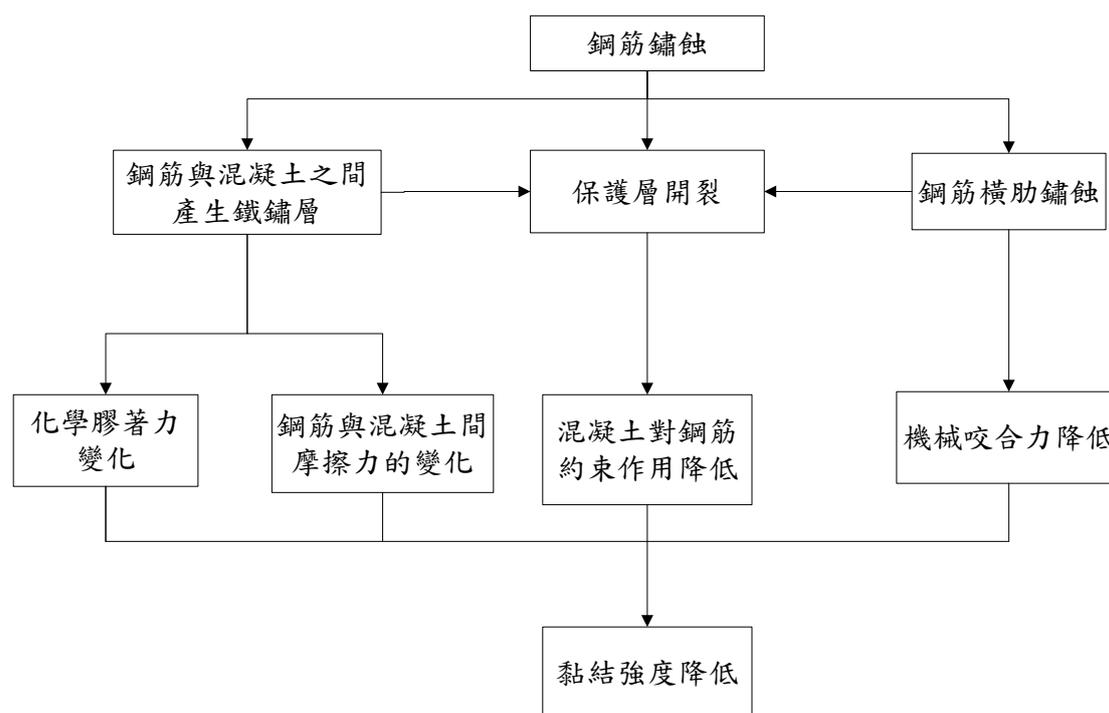


圖 2-5 鋼筋鏽蝕引起黏結強度退化

(資料來源：Andrade C,Alonso C,Molina F J. ， 1993)

### 3. 混凝土裂縫

由於混凝土的收縮，地基不均勻沉降，溫度應力以及載重的作用，將會使混凝土產生裂縫，混凝土中的鋼筋鏽蝕將會導致混凝土沿著鋼筋產生縱向裂縫，裂縫為混凝土構造物最常見的劣化現象，也是導致混凝土內部鋼筋腐蝕的主因，裂縫生成的原因不外乎為以下原因：

- (1) 溫度變化或凍融效應。
- (2) 混凝土孔隙水與表面水分蒸發，導致塑性收縮。
- (3) 材料的老化
- (4) 土石流、地震或強風等外在環境衝擊力。
- (5) 潛變等材料本質特性的共同作用下，混凝土材料的抗拉或抗剪強度小於混凝土的拉裂或剪切作用力所導致。
- (6) 水泥水化反應所導致的自體收縮。

裂縫多伴隨白華與鋼筋生鏽等劣化現象。裂縫寬度不論大小，都

會對建築物耐久性產生影響，裂縫對結構物的影響，視裂縫類型(包括發生之位置與裂縫走向)以及裂縫的尺寸(包括長度與寬度)是否隨著時間的增長有所不同，所以建築物在檢測發現裂縫時，應該需要詳細記錄裂縫發生位置與走向，以提供判斷是否為結構裂縫；紀錄裂縫的寬度與長度時須和以前檢測紀錄比較，判斷是否為活裂縫，避免危及建築物的安全性與耐久性。混凝土裂縫一般採用裂縫寬度作為度量指標。

### 4. 剝落與剝離

剝落是混凝土表面水泥砂漿體流失，造成粗粒料外露、粒料鬆脫之現象，剝落一般發生於混凝土表層。混凝土構件內之鋼筋鏽蝕體積膨脹，導致鋼筋與外層鋼筋附近之混凝土產生分離，當層隙處的混凝土層完全流失時，即產生剝離。「剝離」的形狀一般近似圓形或橢圓形，「剝離」與「剝落」最大區別在於，「剝離」是呈現片塊狀流失，且流失掉的面積較「剝落」大。

### 5. 蜂窩

當混凝土澆注時，搗實不確實或因為模板漏漿，會導致水泥砂漿無法充分的填充粗粒料之間的縫隙，使混凝土產生空洞，此現象即為蜂窩。混凝土產生蜂窩會造成混凝土的強度降低，也會使空氣中的氧氣、水氣與腐蝕因子容易進入混凝土中，發生混凝土中性化以及鋼筋受到腐蝕，加速混凝土構件的劣化。

### 6. 混凝土保護層不足

鋼筋為容易腐蝕的材料，鋼筋的耐蝕能力，視混凝土保護層厚度而定，混凝土保護層不足時，容易使鋼筋的鏽蝕、混凝土剝落，混凝土保護層不足之原因均因施工不當所造成。

### 7. 混凝土強度降低

混凝土結構隨著齡期的增長，其混凝土強度也會隨之下降。混凝土強度劣化主要是受到環境因素影響，在一般大氣環境之下，混凝土強度在相當長時間後，才會開始降低，在自由性濱海環境的混凝土強度，齡期到達 30 年時其強度約降低 50%。

### 8. 結構變形過大

結構產生變形原因，主要是因為荷載作用下(包括振動與疲勞)梁、版的過大變形以及不均勻沉降所引起的過大變形，使結構物產生劣化現象。

## 第二節 國外耐久性能評估方法

### 壹、建築物耐久性能調查

若建築物處於鹽害環境或者本身含有較高之氯鹽量，將會降低其結構物之耐久性，不僅造成鋼筋腐蝕，甚至影響建築物其耐震能力。因此，透過耐久性調查可瞭解建築物之劣化狀況，並且依調查結果可決定劣化建築物是否需要補修、補強以及其工法之選定。依文獻 AIJ(1997)建築物耐久性調查可分為三類，「概要調查」、「外觀目視調查」及「詳細調查」，其調查內容如表 2-1 所示。調查目的如下述：

#### 1. 概要調查：

記錄建築物相關資訊，如設計圖說、施工記錄、補修記錄以及使用者口述建築物之狀況，其目的是為瞭解建築物固有之條件，可作為後續診斷之依據。就好比人類進行健康檢查，醫生將患者的姓名、年齡、住所、職業、出生年月日、教育環境、病歷及父母病歷等依據紀錄，對於診斷、治療是有其必要性的。

#### 2. 外觀目視調查：

透過外觀目視調查可判定建築物其劣化原因及劣化程度。一般從

建築物外觀症狀可大概評估其劣化狀況，作為補修、補強之依據。

### 3. 詳細調查：

通常經由概要調查以及外觀目視調查之結果即可判定建築物之劣化狀況，若資訊不夠充分而無法判定時，則需進行詳細調查。一般而言，經由外觀目視劣化較嚴重之構件其腐蝕量也較大，但亦有可能外觀看似健全但內部嚴重腐蝕，因此若需要確定劣化狀況需要更詳細的調查方式，如除去混凝土保護層、鋼筋腐蝕電位量測等。

表 2-1 建築物耐久性能調查內容

調查種類	調查內容
概要調查	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建築物的名稱和所在地。</li> <li>2. 建築物的設計者及施工者。</li> <li>3. 完工時間。</li> <li>4. 建築物之用途、規模、構造形式。</li> <li>5. 建築物所在環境與氣候條件。</li> <li>6. 建築物使用材料。</li> <li>7. 外裝材料之有無以及種類(如外裝石材、油漆塗料、磁磚等)。</li> <li>8. 補修、補強履歷。</li> <li>9. 建築物於使用上之損壞與交易。</li> <li>10. 其他。</li> </ol>
外觀目視調查	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建築物外觀狀況               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1). 外裝材損傷狀況</li> <li>(2). 混凝土保護層裂縫、剝離及剝落。</li> <li>(3). 鋼筋腐蝕程度(可目視鋼筋之情況下進行調查)。</li> <li>(4). 建築物構件發生腐蝕之位置。</li> <li>(5). 其他。</li> </ol> </li> <li>2. 建築物使用機能</li> </ol>

	(1). 漏水。 (2). 變形。 (3). 異常感覺(振動、撓曲)。 (4). 其他。
詳細調查	1. 利用儀器掃描鋼筋號數、配筋狀況。 2. 鋼筋腐蝕電位量測。 3. 除去混凝土保護層觀測鋼筋腐蝕狀況。 4. 進行混凝土鑽心試驗，判定混凝土中性化深度、氯離子含量以及混凝土抗壓強度。

(資料來源：涂豐鈞等，2012)

由劣化的症狀，推定出劣化現象，進而推測出導致劣化的因素，其關係如圖 2-1 所示。



圖 2-6 劣化症狀、劣化現象、劣化因素的關係

(資料來源：建築物耐久性向上技術普及委員會，2007)

由建築物耐久性向上技術普及委員會頒布之鋼筋混凝土建築物耐久性技術指針中，為了進一步了解既有建築物現況，以確定是否需要進行各種症狀調查，其診斷方法共分為三次診斷，第一次診斷為目視的概要診斷與劣化症狀的調查，由劣化程度的結果作為評定是否進行第二次的診斷調查，或進入維持管理指針的依據。第二次診斷和第三次診斷主要是依照指定的劣化現象調查，且進行劣化現象的原因推定，進而作為補修工法或是維護管理指針的必要性判斷。

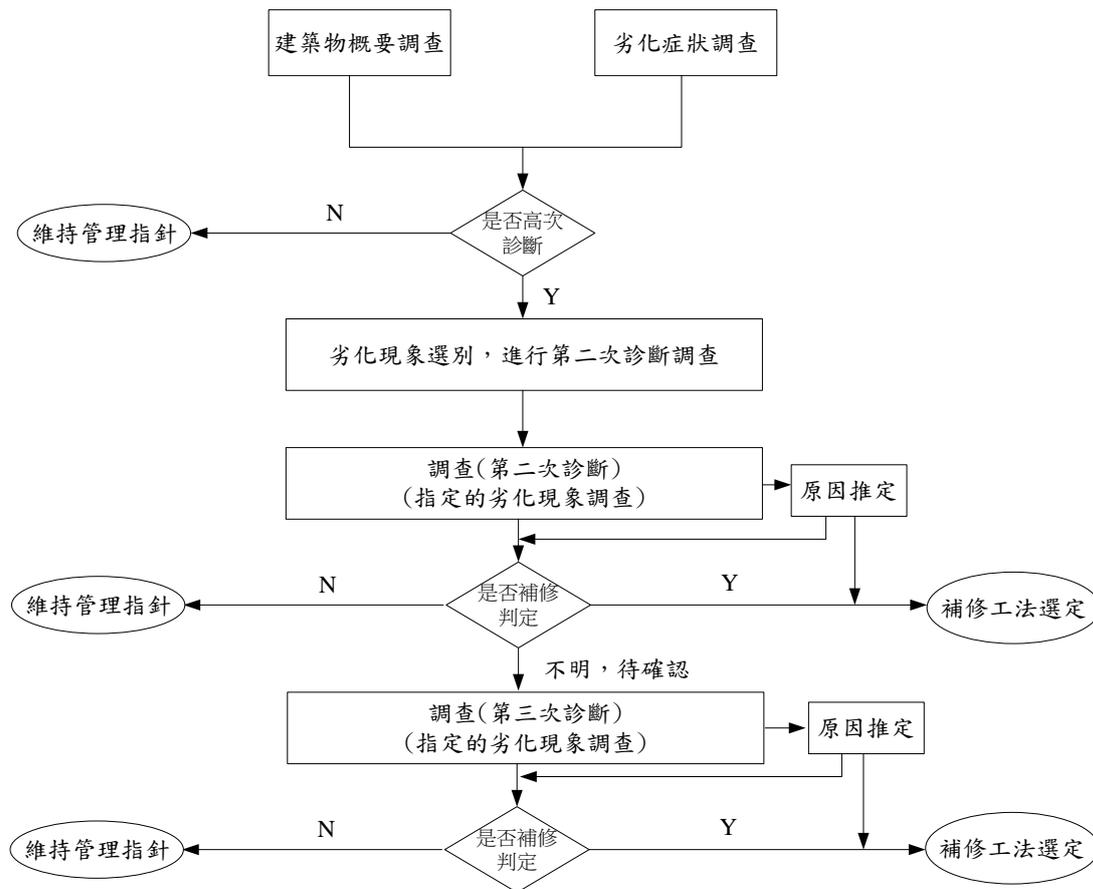


圖 2-7 劣化診斷的整個流程

(資料來源 文獻【20】)

## 貳、鋼筋混凝土建築物耐久設計法

由日本建築學會所頒布之建築物材料耐久設計方法與解說中，於建築物的設計規劃中，將耐久性能納入考量，有助於建築物延長壽命並符合設定之使用年限。於建築物設計規劃階段，由所有者(管理者)、設計者、施工者至使用者角度考量耐久性能要求，並橫跨全生命週期包含規劃、設計、契約、使用、保全等均為耐久設計之重要一環。該文獻建議由建築物設計使用年限、耐久性劣化相關因素與條件、施工監理與施工計畫、維護管理、劣化條件下之耐用年限預測方法等各方

面著手耐久設計。

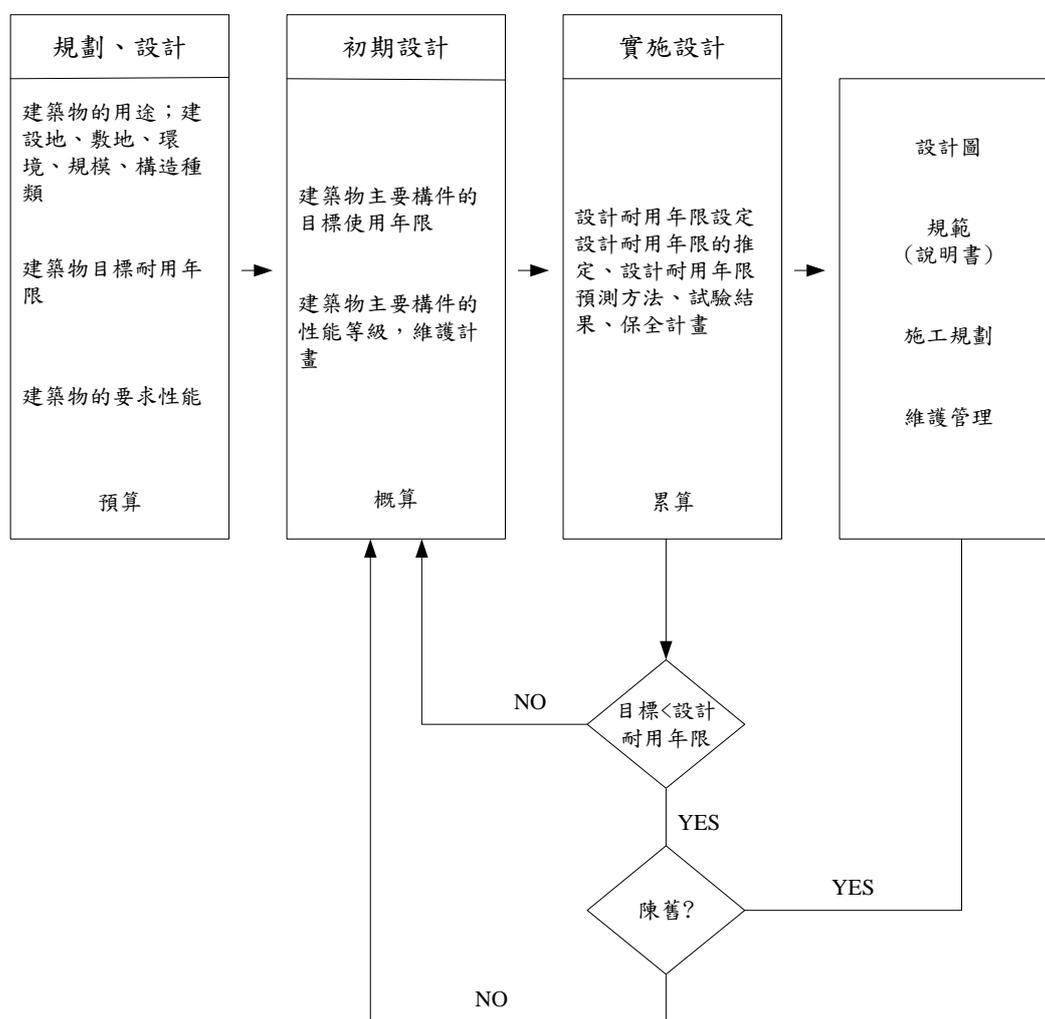


圖 2-8 建築物耐久性設計過程示意圖

(資料來源：日本建築學會，2003)

日本建築學會於 2004 年發行之鋼筋混凝土建築物耐久性設計施工指針中，已針對劣化耐久設計部分加以說明，假設建築物因環境條件影響包括：中性化、鹽害、氯離子或其他因素致使產生鋼筋鏽蝕、凍害、鹼骨材反應、混凝土剝落、表面劣化或抗壓強度下降等劣化現象發生，故於耐久性能設計中考慮各劣化外力影響，大致分為以下四種劣化影響因素：

1. 針對設計劣化外力中性化的影響
2. 針對設計劣化外力鹽害的影響
3. 針對設計劣化外力凍害的影響
4. 針對設計劣化外力鹼骨材的影響

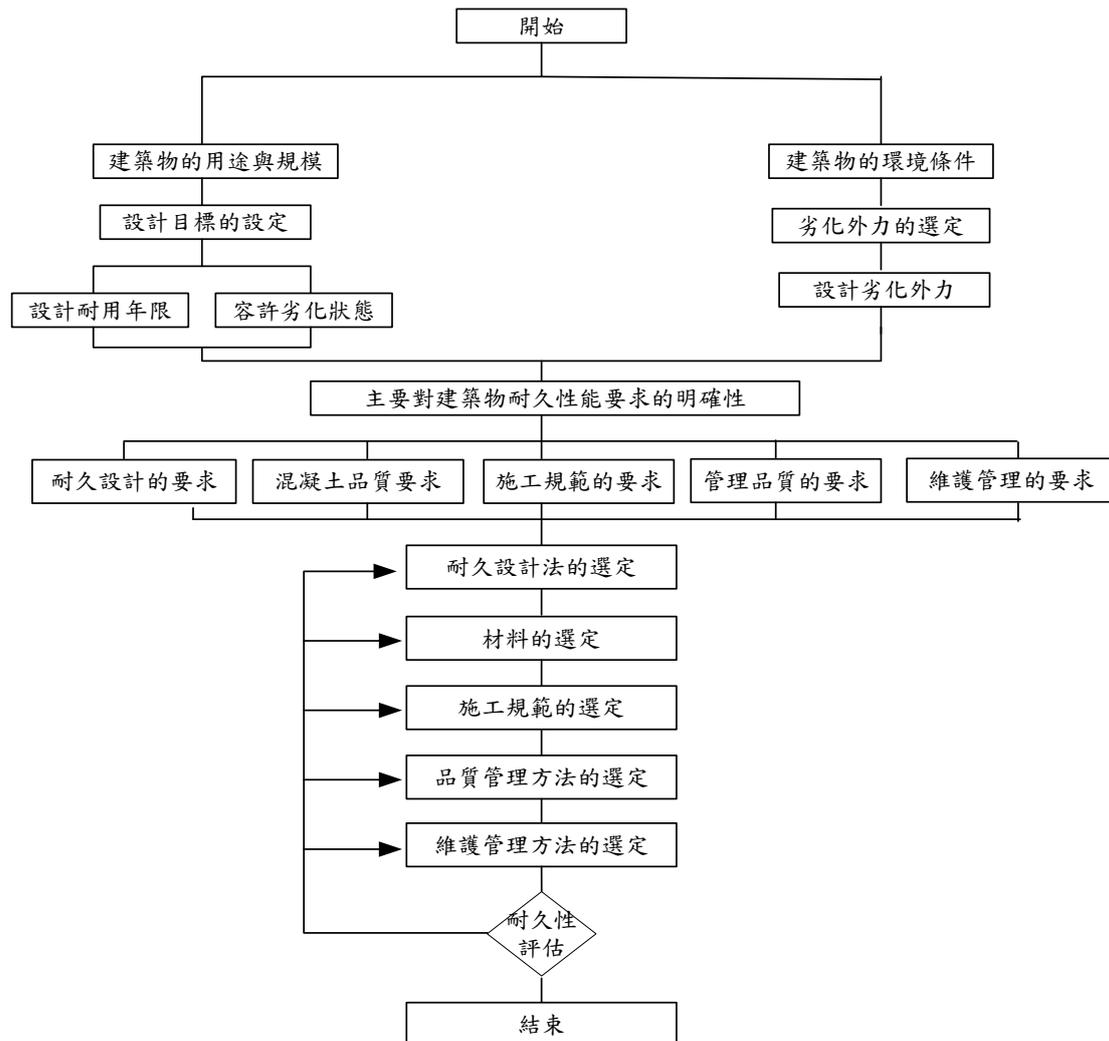


圖 2-9 建築物耐久性設計過程示意圖

(資料來源：日本建築學會，2004)

日本土木學會混凝土標準示方書設計篇中關於一般環境下且其使用年限為 100 年之結構物耐久設計(第 2 章)，主要建議混凝土水灰比及保護層厚度，設計者若依其建議值設計，可不須進行性能核檢。

然而，若對於具塩害、中性化、凍害或化學侵蝕等劣化可能之結構物，則提供耐久性簡易設計法(第3章)以符合示方書中所規定之性能檢核。以塩害為例，設計者須依環境條件(混凝土表面氣塩量)及性能檢核基準(鋼筋腐蝕之臨界氣塩量；第8章)，以決定混凝土保護層厚度與氯離子擴散係數之組合；並於設定之保護層厚度下，依容許之裂縫寬度及氯離子擴散係數以決定所須之混凝土水灰比。以中性化而言，設計者須依環境條件及性能檢核基準(第8章)，以決定混凝土保護層厚度及其水灰比。日本土木學會混凝土標準示方書設計篇主要之耐久性能檢核方法，除環境條件或作用之設定參數外，分為鋼筋腐蝕檢核及混凝土劣化檢核二大項目。混凝土劣化之原因以凍害及化學侵蝕為主；鋼筋腐蝕檢核又細分為：

1. 混凝土表面裂縫是否符合最小值規定；
2. 鋼筋表面氯離子濃度於使用期間內是否小於腐蝕發生之臨界值；
3. 中性化深度於使用期間內是否未達腐蝕發生之臨界深度。

日本於2000年開始推動「住宅品質確保制度」，而其國土交通省則適時建立相關住宅性能評估基準與表示方法，主要包含10個領域(結構安全、火災安全、劣化減輕、維護管理與更新等)及34個項目。結構安全中共規定七個項目，除地震荷重外風力及積雪也考慮在內，以耐震等級—結構崩塌防止為例，共分為三個等級如下所示：

等級1：於日本建築基準法所定之稀有地震(約數百年1次)作用下，建築物不能倒壞或崩塌。

等級2：於日本建築基準法所定之稀有地震(約數百年1次)之

1.25 倍作用下，建築物不能倒壞或崩塌。

等級 3：於日本建築基準法所定之稀有地震(約數百年 1 次)之

1.50 倍作用下，建築物不能倒壞或崩塌。

劣化減輕對策中僅規定一項目，依劣化對策等級共分為：

等級 1：依日本建築基準法所規定之相關事項進行設計(使用年限約 25-30 年)。

等級 2：於設定之自然環境與維護管理條件下，符合 2 世代建築標準(使用年限約 50-60 年)。

等級 3：於設定之自然環境與維護管理條件下，符合 3 世代建築標準(使用年限約 75-90 年)。

除劣化對策等級 1 外，為使建築符合 2 世代或 3 世代建築標準，可依日本國土交通省建議之基準，依 a. 水泥種類；b. 混凝土水灰比；c. 構件設計與配筋；d. 混凝土品質；e. 施工計畫；f. 其它結構構件等項目進行設計。台灣之內政部建築研究所雖有推動「新建住宅性能評估制度」，但對耐久或劣化相關規定或建議，則鮮少著墨；換言之，台灣對於建築之耐用壽命部份並無清楚定義。

日本建築學會出版之「建築工事標準仕様書·同解説 JASS 5 鋼筋混凝土工事」(2009)中亦有提及一般劣化環境下(中性化為主)之混凝土耐久設計基準強度，如下表所示，並配合混凝土保護層、混凝土內含氯鹽量容許值( $0.3 \text{ kg/m}^3$ )及表面裂縫容許值( $0.2 \text{ mm}$ )等規定，以確保其耐久性能。若建築物承受特殊劣化作用，如鹽害或凍融作用等，則除上述各項依所處環境條件另有規定外，亦可考慮設置表面被覆材料以增進其耐久性能。

表 2-2 日本建築學會 JASS 5 之耐久設計基準強度規定

計畫供用期間等級	計畫供用期間(年)	耐久設計基準強度(N/mm <sup>2</sup> )
短期供用等級	30	18
標準供用等級	65	24
長期供用等級	100	30
超長期供用等級	200	36

\*若為超長期供用等級時，當混凝土保護層增加 10 mm 時，耐久設計基準強度可設定為 30 N/mm<sup>2</sup>

### 第三節 國內耐久性能評估方法

#### 壹、橋梁 D.E.R.&U.目視檢測評估

D.E.R.&U.檢測系統，是分別對混凝土結構之構件劣化程度(D)、劣化範圍(E)、與劣化情形對該構件的影響度，或是對整體混凝土結構安全及使用性的影響度(R)，三大方面來做評估並給予評等，劣化範圍(E)可由目視直接來評等，但劣化現象的種類繁多，且各種劣化程度也各不同，所以需要簡易的劣化現象與劣化程度對應表，以便現場檢測時參考。

目視檢測之準則影響未來維修工法與構件選定之決策。構件劣化之評估等級不宜過多或過少。過於過於簡略之檢測評估準則，無法提供足夠的資料給予管理單位進行維修決策；使用過多列化評估等級，雖有利於構件劣化現象之表達，但太過複雜之檢測評估準則，卻會增加現場檢測人員之負擔與困擾。所以選擇適合的方法不但對整個建築物檢測工作時程、成本有相當的影響，對於整體結構物的耐久性能評估與建議的分析方法建立亦是以此為輸入與回饋的重要參考資料。

目前國內主要採用之檢測準則為 D.E.R.&U.檢測系統以及 A.B.C.D.準則等，此兩種評等法之檢查項目大同小異，只是在檢查項目之群組分類稍有差異，當中以 D.E.R.&U.評等法檢測項目較為詳細齊全，但對於劣化與損傷等級之程度判定(相對於 D 值)，A.B.C.D.評等法比 D.E.R.&U.評等法有較明確的規定與說明。其中，D.E.R.&U.檢測準則為昭凌工程顧問公司為國道高速公路局開發橋梁管理時制定之目視檢測評估準則。A.B.C.D.檢測準則則為中華工程顧問公司為台灣省住都處所編定的「混凝土、鋼橋一般檢查手冊」中所制定之目視檢測準則。雖然這兩種檢測準則各有其優劣，但是於「臺灣地區橋

梁管理系統」開始，全國使用之目視檢測標準則以 D.E.R.&U. 檢測準則為主要目視檢測標準。

D.E.R.&U. 評等法強調的是大規模、快速、且有效率的進行初步的檢測與評估，故檢測紀錄方式需甚為精簡，其 D.E.R.&U. 之記錄方式即相當符合此精神。D.E.R.&U. 評等法已針對混凝土的剝落、蜂窩、撓曲裂縫、剪力裂縫、保護層厚度不足、混凝土表面劣化等十五項劣化現象的劣化程度(D 值)、混凝土的劣化程度(D 值)由輕微到嚴重逐條列表說明，以提供檢測時判斷之參考，雖然 D.E.R.&U. 評等法對劣化程度(D 值)判斷等級的「原則性」定義不構明確，但主要仍以劣化程度判斷之「等級定義」做為檢測判斷之標準，若能夠經由訓練來充分瞭解劣化程度判斷等級之定義與準則或能更加明確來說明與解釋，D.E.R.&U. 評等法將會更加理想。

D.E.R.&U. 檢測準則中分別為，「劣化程度」(Degree)、「劣化範圍」(Extend)、「對橋梁結構安全性與使用性之影響 (Relevancy)」、「急迫性」(Urgency) 四個項目，前三個項目為檢測評估項目，最後之「急迫性」則為評估是否需緊急維修處理之項目如表 2-3 所示。而檢測評分等級則分為四等，評估值為 1~4，若評估值為 0，則代表特殊情形造成無法檢測與判定。

而 A.B.C.D. 評等法之判定標準則分為 A~D 四個等級，若無此項目或無法判斷結構物損傷狀況時，則評估值為 N，上述以外之場合則記錄為 OK，其評等準則如表 2-4 所示。

採用以 D.E.R.&U. 檢測準則使用上有以下優點：

1. 可簡化檢測工作：僅需針對有劣化現象之構件進行評估，並可凸顯建築物損壞之重點。

2. 簡化電腦資料之輸入:僅針對有劣化之構件進行評估與記錄,可節省記錄不必要的資料。此外,記錄檢測之資料均為評分分數,對電腦的量化分析與處理有極佳的相容性。

3. 可針對維修建築物之急迫性提出維修之時程,使維修時程有具體的概念,並方便建築物維修作業之規畫。

4. 強調缺陷對建築物整體重要性之影響:不僅只針對劣化嚴重程度與劣化範圍進行評估,亦可對缺陷的建築物整體重要性之影響進行評估,其中包括對建築物安全性與交通性之影響。

目前台灣公路總局主要是採用 D.E.R.&U.方法,此評估法乃根據交通部國道高速公路局所開發之橋梁管理系統基礎,委託 CSIR 公司與昭凌顧問工程股份有限公司制定之目視評估準則。檢測人員於定期檢測時參照橋梁檢測表格,表列各構件之劣化情形,分別依劣化程度(D)、劣化範圍(E)、劣化情形或現象對橋梁結構安全性與服務性之影響度(R)等三項予以評定後;再評估該劣化構件需維修之急迫性(U)。

為評估劣化情形,D.E.R.U 以 1 至 4 之四個等級予以具體評估劣化程度,但若「無此項目」或「無法檢測」或「無法判定」時,則以 0 予以記錄,如表 2-4。並由橋梁檢測人員於檢測現場予以評等。橋梁檢測員得參考相關檢測手冊並接受適當之橋梁檢測培訓,以期了解 D.E.R.U 檢測評估方法及評定準則。

表 2-3 橋梁構造物檢測評定標準

分數 項目	0	1	2	3	4
D	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
E	無法檢測	<10%	10%~30%	30%~60%	>60%
R	無法判定重要性	微	小	中	大
U	無法判定急迫性	例行維護	3年內	1年內	緊急處理維護

(資料來源：公路養護手冊，2003)

表 2-4 A.B.C.D.評定法對結構損傷等級之判定標準

判定等級	狀 況
A	損傷輕微，需要做重點檢查。
B	有損傷，但需要進行監視，且必要時視狀況加以補強。
C	有明顯的損傷，且變形持續進行，功能可能降低，必須加以補修。
D	損傷顯著，有重大變形及結構物功能降低，必須採取緊急補修。
N	無此項目或無法判斷結構物之損傷狀況。
OK	上述以外之場合。

(資料來源：公路養護手冊，2003)

## 貳、建築物耐久性評估指標與殘餘壽命預測方法之研究

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。

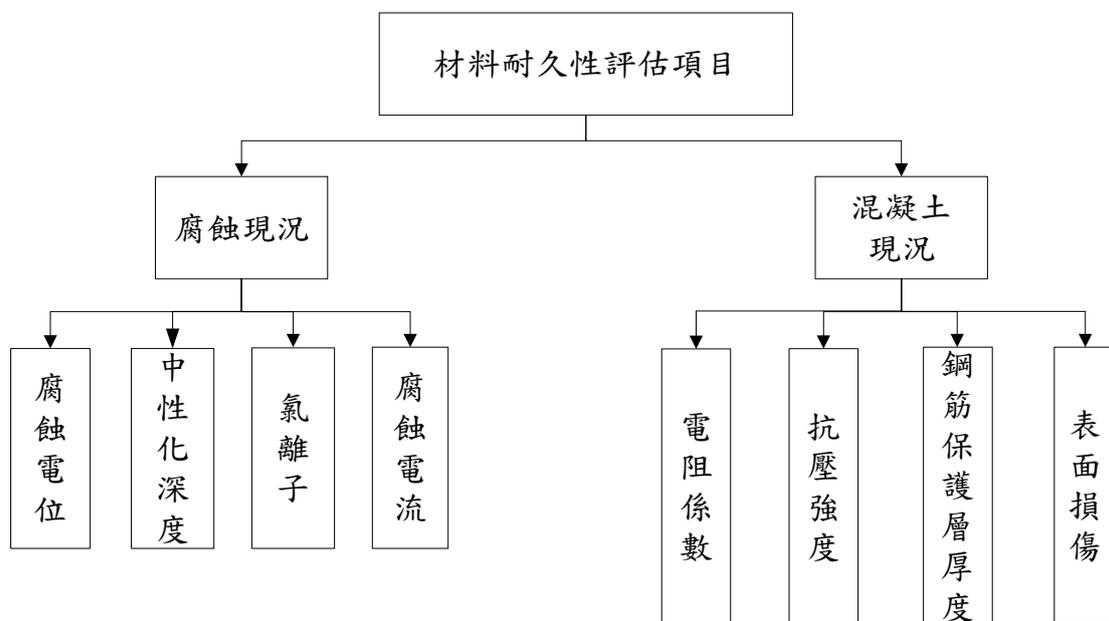


圖 2-10 材料耐久性評估項目示意圖

(資料來源：交通部，2003)

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，卻存在以下的弊端：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。

表 2-5 推薦建築物所處環境條件影響的分級評定標準

環境類別	環境條件		環境影響係數
I 可忽略	非常冷或寒冷地區的大氣環境，水或土壤無侵蝕性；乾燥環境；風環境	內陸乾旱地區	1.0
II 輕微	嚴寒地區的大氣環境潮濕	不直接受日曬、雨淋或風蝕的構件；水下構件	1.05
III 中度	內陸潮濕氣候：乾溼交替	一般的環境受日曬、雨淋與風蝕的構件；靠近地表受地下水影響的構件	1.10
IV 嚴重	酸雨或沿海環境；接觸除冰鹽構件	沿海煙霧地區：酸雨或鹽鹼環境	1.15
V 惡劣	乾溼交替，有侵蝕性水、氣體或土壤；高度水飽和並受凍融循環	海水浪濺、潮差區	1.20

(資料來源：葉為忠等，2012)

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。

表 2-6 建築物齡期因子的評定標準

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：葉為忠等，2012)

在文獻中，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表所示：

表 2-7 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
	開裂、剝落	8	0.265
	蜂窩、表面沉積	9	0.178
混凝土保護層厚度	10	0.169	0.046

(資料來源：葉為忠等，2012)

表 2-8 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：葉為忠等，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下所示：

表 2-9 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：葉為忠等，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與權重。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 2-10 混凝土建築物各構(部)件權重值

D total 範圍	$1 \leq D \text{ total} \leq 2$	$2 \leq D \text{ total} \leq 3$	$3 \leq D \text{ total} \leq 4$	$4 \leq D \text{ total} \leq 5$	$D \text{ total} > 5$
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：葉為忠等，2012)

### 第三章 鋼筋混凝土建築物耐久性能損壞案例圖集

鋼筋混凝土建築物之構件或單元因耐久性能問題而產生損壞，且損壞現象已甚明顯，並損及建築物本身之機能性、安全性與服務性，則需進行結構修復，而此損壞現象或形式為本章節探討之重點。探討國內鋼筋混凝土建築物耐久性能損壞之形式，除了可對建築物其劣化原因進一步瞭解外，亦有助於評估其劣化的狀況，以作為建築物往後補修或補強之依據。

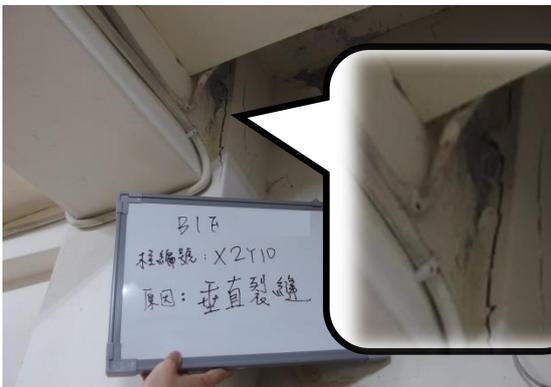
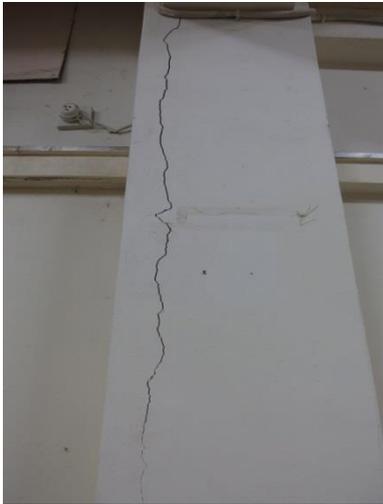
本研究收集鋼筋混凝土校舍建築之耐久性能損壞相關照片，而將常見之損壞案例依下列項目分類探討之，即：(1)主要構件損壞案例(2)次要構件損壞案例(3)使用性能損壞案例。由於構件損壞形式與其結構特性或使用材料有密切之關係，因此在進行建築物損壞形式之探討時，將以建築物結構組成分類為主，即根據所定義之建築物構件與單元，進行損壞形式分類，探討如下。

## 第一節 主要構件損壞案例

### 壹、柱構件耐久性能損壞形式

柱構件為建築物主要結構構件之一，因耐久性能而產生常見之裂縫形式如下圖所示，此案例圖集本研究實際探勘之資料彙整。

表 3-1 柱構件耐久性能損壞形式

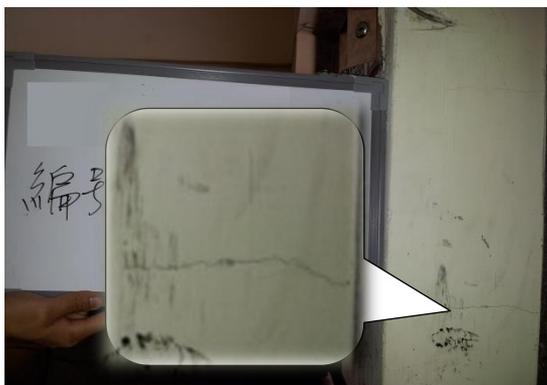
	<p>鋼筋腐蝕造成之裂縫；柱頂和柱底因鋼筋較集中、混凝土保護層厚度不夠，而產生裂縫、剝落。</p>
	<p>鋼筋腐蝕造成之裂縫；混凝土中含有過量之氯離子，而於沿著主筋方向產生裂縫。</p>



鋼筋腐蝕造成裂縫;混凝土中含有過量氯離子,而於沿著主筋產生裂縫。



鋼筋腐蝕造成裂縫;混凝土中含有過量氯離子,而於沿著主筋產生裂縫。



混凝土乾燥收縮產生裂縫;柱角水平方向裂縫。

	<p>面磚底部承壓而受損，柱底裂縫往上延伸。</p>
---	----------------------------

## 貳、梁構件耐久性能損壞形式

梁構件為建築物主要結構構件之一，因耐久性能而產生常見之裂縫形式如下圖所示，此案例圖集為校舍實際探勘之資料彙整。

表 3-2 梁構件耐久性能損壞形式

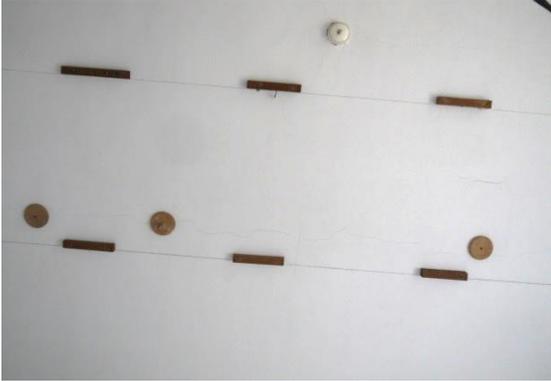
	<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；原因為混凝土保護層厚度不夠，沿著箍筋方向產生混凝土裂縫、剝落。</p>
---	---

	<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；混凝土中含有過量氯離子，而於沿著主筋方向產生裂縫。</p>
	<p>剪力裂縫；梁端斜向裂縫，大多屬外力所造成。</p>

### 參、版構件耐久性能損壞形式

版構件為建築物主要結構構件之一，因耐久性能而造成之裂縫或混凝土剝落形式如下圖所示，此案例圖集為校舍實際探勘之資料彙整。

表 3-3 版構件耐久性能損壞形式

	<p>鋼筋腐蝕產生混凝土剝落；於版下層之混凝土保護層厚度不足且含過量氯離子，而於下層鋼筋附近產生混凝土大量剝落。</p>
	<p>鋼筋腐蝕產生裂縫；版下層之混凝土保護層厚度不足且含過量氯離子而使鋼筋產生銹蝕，沿著下層鋼筋產生裂縫。</p>
	<p>版角隅滲水問題嚴重，而造成鋼筋銹蝕。</p>

## 肆、RC 牆構件耐久性能損壞形式

RC 牆構件為建築物主要結構構件之一，因耐久性能造成的之裂縫形式如下圖所示：

表 3-4 RC 牆構件耐久性能損壞形式

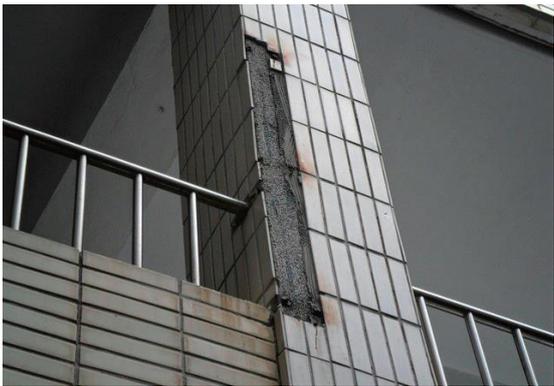
	<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；氣窗下方滲水嚴重而使鋼筋產生銹蝕，且混凝土保護層厚度較不足之地方，常伴隨著混凝土產生剝落、鋼筋裸露等狀況。</p>
---	---

## 第二節 次要構件損壞案例

次要構件為建築物輔助結構，組成包含如下：樓梯、女兒牆、陽台、邊梁等。樓梯為建築物不同樓層間垂直動線交通的構造物；女兒牆為建築物屋頂外圍之矮牆，主要作用為防止墜落之欄杆，以維護安全。

表 3-5 次要構件耐久性能損壞形式

	<p>伸縮縫之鄰近牆體混凝土受損。</p>
---	-----------------------

	<p>女兒牆角隅產生縱向裂縫。</p>
	<p>外柱面磚明顯有剝落現象。</p>
	<p>門窗邊之牆面磁磚剝落。</p>
	<p>門窗邊梁面磁磚嚴重剝落。</p>



### 第三節 使用性能損壞案例

除了建築物構件、裝修材料外觀劣化狀況外，使用性能、室內環境美觀也為相當重要指標，為了避免一些使用性問題無法於前文提及之調查中反映，因此在其他使用性能的部分，將使用者平常於日常生活中所發現的問題列為評估項目，其中包含室內滲漏水、油漆剝落、混凝土的白華現象及使用者異常體感(振動或變形)等。

表 3-6 使用性能耐久性能損壞形式



	<p>滲水白華。</p>
	<p>因頂樓防水層未完善，造成樓板漏水嚴重、潮濕、發霉。</p>
	<p>因頂樓層滲水問題，造成內部裝修材之油漆剝落。</p>
	<p>天花板滲水白華。</p>

### 第三章 鋼筋混凝土建築物耐久性能損壞案例圖集

	<p>樓梯角隅積水。</p>
	<p>因滲漏水問題而使天花板油漆剝落。</p>
	<p>輕鋼架因滲水而造成嚴重變形受損。</p>

	<p>伸縮縫受損而變形。</p>
	<p>外牆流水汙漬。</p>
	<p>教室外側排水不良而造成地 坪積水。</p>

## 第四章 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。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、環境影響及使用性能等外，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 4-1 說明。

1. 本研究所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。
2. 耐久性能初步診斷是依本研究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。
3. 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)，以進行耐震能力評估。

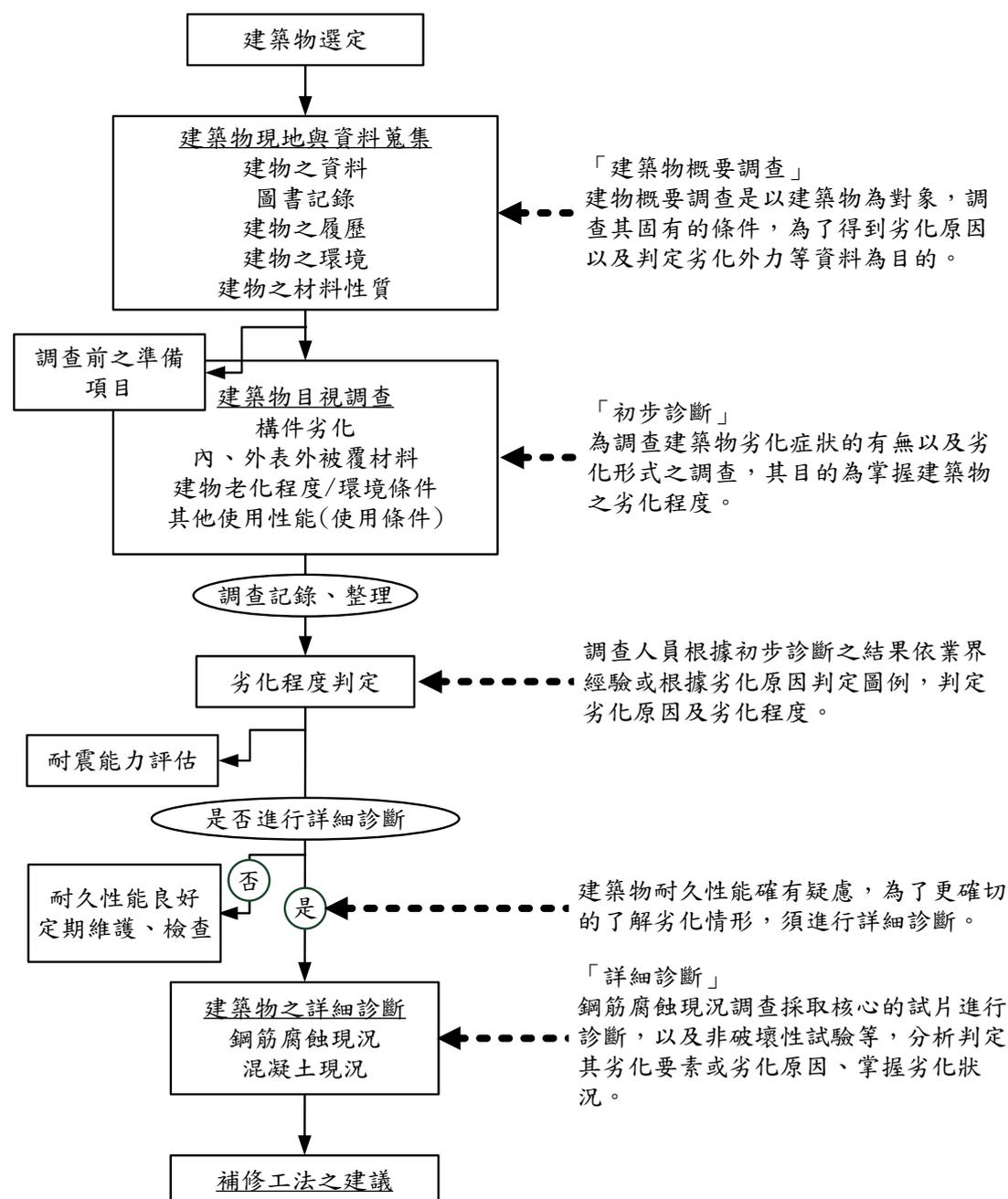


圖 4-1 本研究建議之耐久性能診斷流程(本研究整理)

## 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：

1. 完工年代—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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 內外裝修材料—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。
7. 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。

8. 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。

其餘還包含地下室、頂樓加蓋有無、受災紀錄、重繪設計圖等。

### 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 4-2 所示)。一為主要構件劣化，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；二為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；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，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。綜合以上四類因子結果，以初步判定建築物之耐久性能。

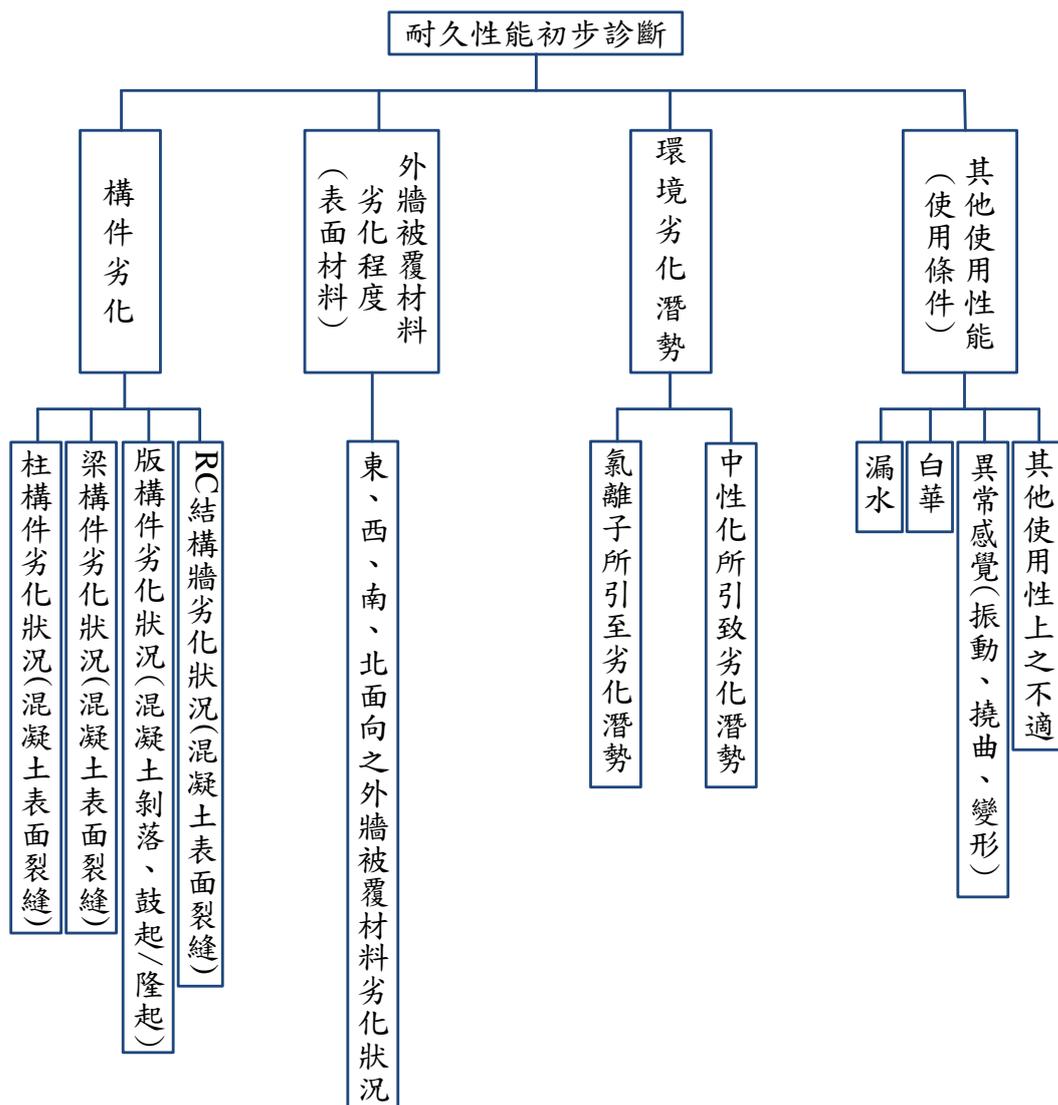


圖 4-2 耐久性能初步診斷項目(本研究整理)

## 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 4-1 所示)，完成事前內業工作。

表 4-1 準備工作細項說明(本研究整理)

作業流程	作業內容
概要調查準備 ↓ 初步診斷準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>●耐久性能調查人員工作事項</li> <li>IC1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人協助處理。</li> <li>●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</li> <li>●目視調查前準備事項</li> <li>成成1調查順序之規劃 -屋外(被覆材料)覆屋內(混凝土外觀)凝使用性能→屋頂(防水層)</li> <li>成成2平面圖、立面圖、結構平面圖準備</li> <li>-調查順序記錄</li> <li>-調查構件編號記入</li> <li>-調查單位</li> </ul>
調查開始	<ul style="list-style-type: none"> <li>●初步診斷前準備器材</li> <li>-相機、裂縫尺、記錄紙等相關器材</li> </ul>

已  
完  
成

## 1. 調查路線規劃

如圖4-3所示，現場調查前須進行路線之規劃，能有效提升目視調查效率。檢測棟數越多，路線規劃更是不可或缺；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，如圖4-4所示。本研究將調查順序及調查重點整理成表4-2，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被覆材料之劣化狀況，外牆調查目視重點為被覆材料種類確認及被覆材料有無剝落、鼓/隆起之情形，除詳細紀錄於結構立面圖外並拍照。

**調查順序5**—結束外牆被覆材料劣化調查後，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**—建築物使用性能部份，可由使用者提供相關資訊，並由目視觀察確認其問題重嚴性或急迫性，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、牆壁發生白華現象、裝修材輕鋼架變形等，並將實際情形填寫於其他使用性能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使用

性能評估表中及拍照記錄。

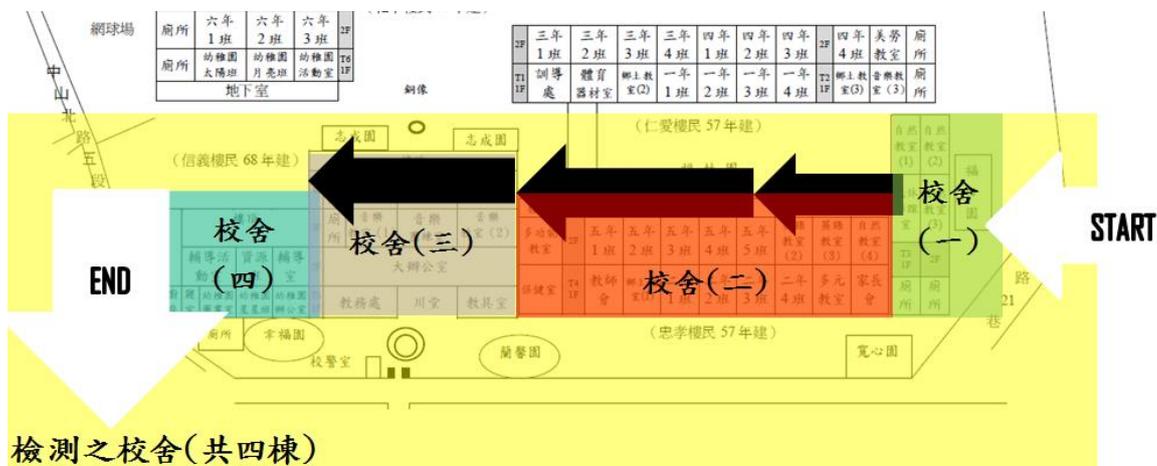


圖 4-3 勘查動線示意圖(一)

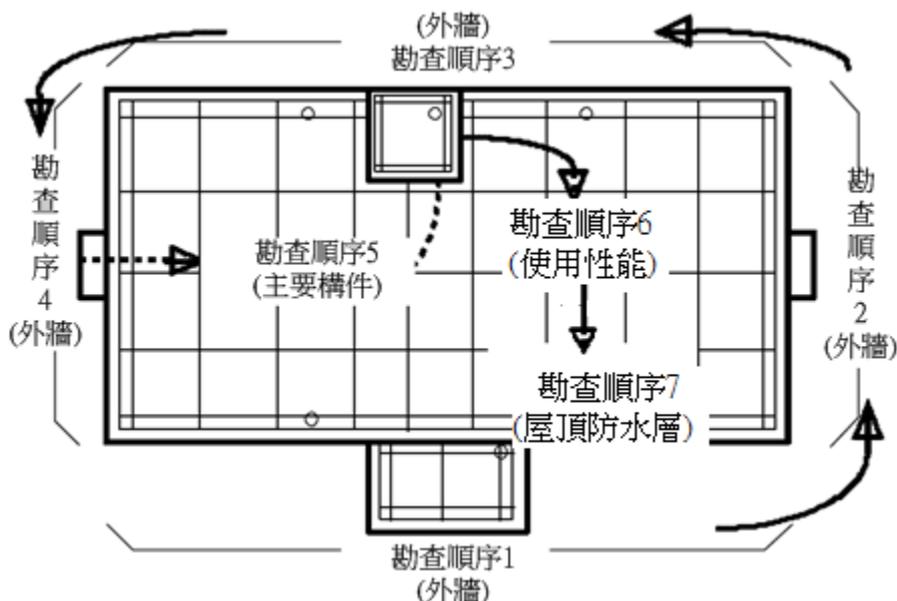


圖 4-4 勘查動線示意圖(二)

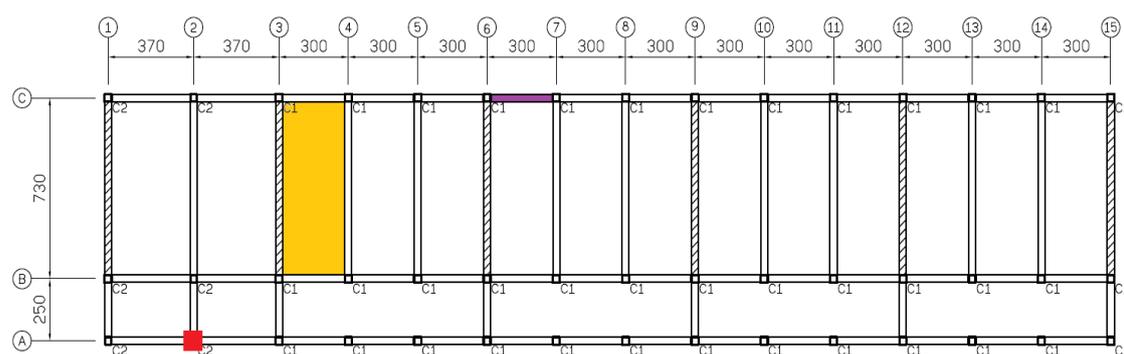
(資料來源：日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查，2003)

表 4-2 初步診斷調查之項目

勘查順序	調查事項	調查重點
1~4	建築物外牆被覆材料劣化	調查被覆材料是否有剝落之情形
5	建築物構件劣化	柱、梁及 RC 結構牆之混凝土表面是否有裂縫情形
		版構件調查混凝土表面是否有剝落情形
6	使用性能狀況	構架歪斜、牆壁樓板滲漏水、白華、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

## 2. 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 4-5 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 4-5 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。



構件編碼規則說明		
構件	顏色示意	編號形式
柱		A-2
梁		BC-3.4
版		C-6.7
RC 結構牆		WBC-.4

圖 4-5 構件編號規則示意圖

### 3. 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 4-6 為例，柱構件共調查 45 根柱、以圖 4-7 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 4-8 為例，共調查 20 塊版；外牆以外柱線及外梁線判斷，以圖 4-9 為例，四面向之外牆及屋頂層之外牆，共計 50 個單位牆。

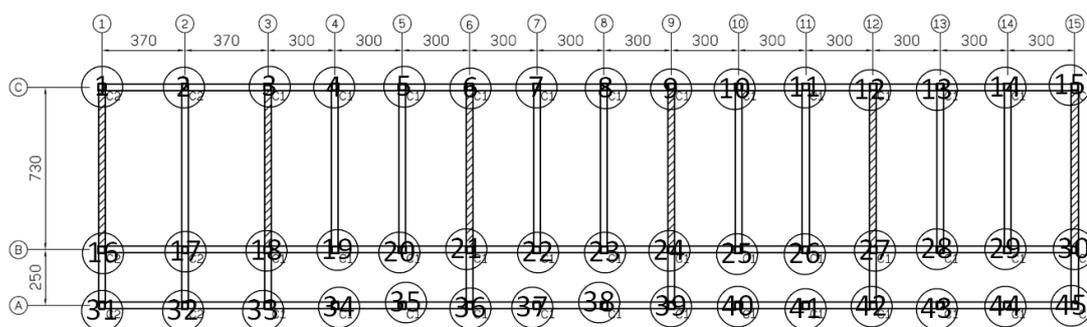


圖 4-6 柱構件單位設定示意圖

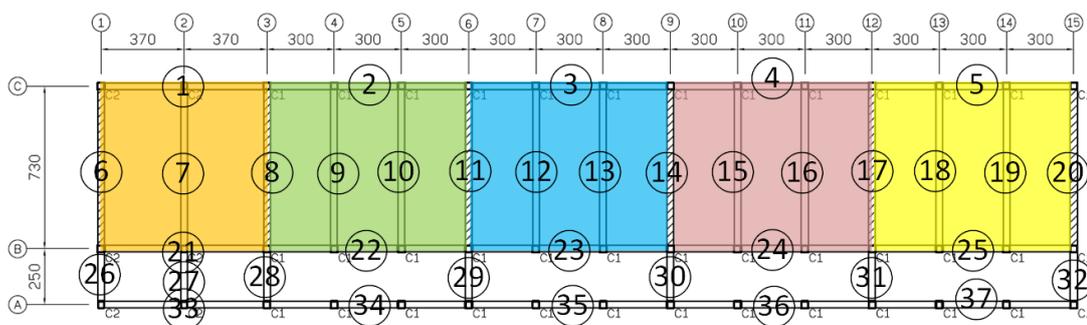


圖 4-7 梁構件單位設定示意圖

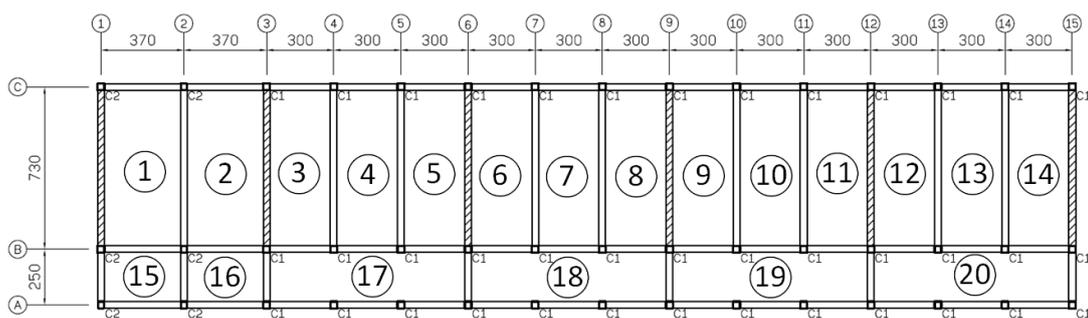


圖 4-8 版構件單位設定示意圖

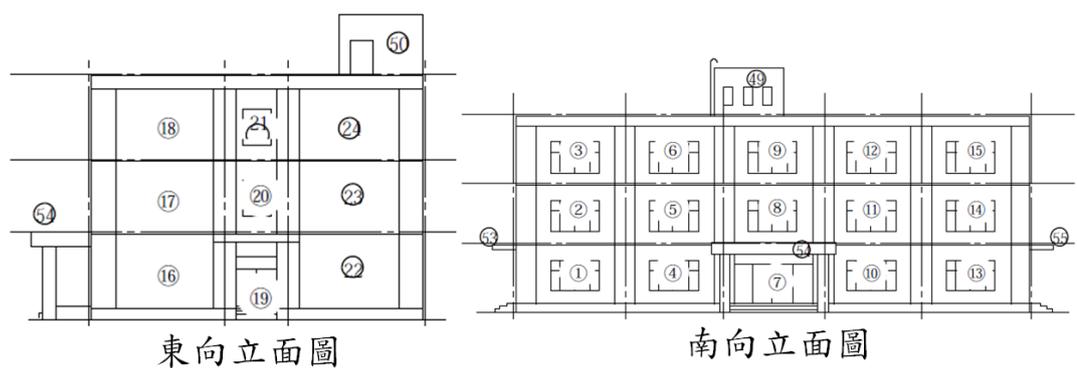


圖 4-9 外牆單位設定示意圖

(資料來源：日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查，2003)

#### 4. 目視調查用工具

目視過程中可以利用工具輔助調查，如圖 4-10 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。



圖 4-10 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、主要構件調查

### 1. 柱、梁及 RC 結構牆調查

#### (1) 調查重點

柱、梁及 RC 結構牆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。另外，RC 結構牆須由結構平面圖判斷其位置，因數量較少亦須逐一檢測，而除震損外牆面之劣化較少剝落現象，因此結構牆部份仍以混凝土裂縫狀況評定其劣化度。

#### (2) 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 4-11~4-13；梁構件參考圖 4-14~4-15；RC 結構牆參考圖 4-16~4-18)，利用圖例及文字輔助調查人員進行劣化度評定工作。

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，其部分可參考校舍耐震資訊網提供之初步耐震能力評估表進行耐震能力初步評估，可詳見附錄一。

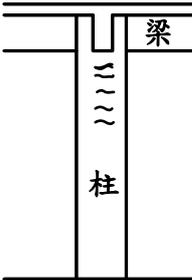
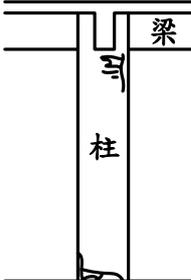
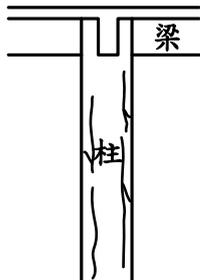
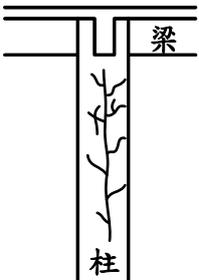
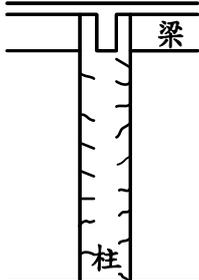
			
裂縫形式編號	Cd1	裂縫形式編號	Cd2
<p>鋼筋腐蝕造成之裂縫；原因為混凝土保護層厚度不夠，而沿著箍筋方向產生裂縫、剝落。</p>		<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；柱頂和柱底因鋼筋較集中且混凝土保護層厚度不夠，產生混凝土表面裂縫或剝落。</p>	
			
裂縫形式編號	Cd3	裂縫形式編號	Cd4
<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；混凝土中含有過量氯離子，而沿著主筋方向產生裂縫。</p>		<p>鹼骨材反應造成裂縫；柱中心部位產生垂直樹狀裂縫。</p>	
			
裂縫形式編號		Cd4	
<p>乾燥收縮產生裂縫；柱周邊產生水平方向產生裂縫。</p>			

圖 4-11 柱構件劣化造成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

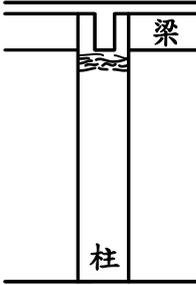
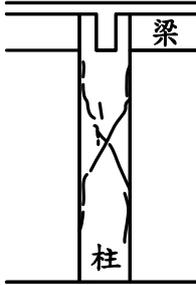
			
裂縫形式編號	Cf1	裂縫形式編號	Cf2
建築物因地震，柱頂部分傾斜而造成的裂縫。		建築物因地震，產生剪力裂縫。	

圖 4-12 柱構件受外力作用下裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

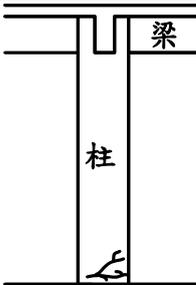
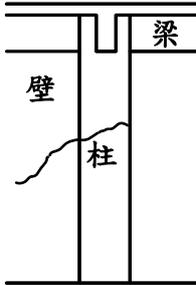
			
裂縫形式編號	Cw1	裂縫形式編號	Cw2
蜂窩現象造成之裂縫；混凝土澆製時無法填充完整，柱底容易形成蜂窩現象。		冷縫造成之裂縫，施工時沒有持續的灌漿，造成一部分混凝土先凝結，前後澆置混凝土連接不良所產生的裂縫。	

圖 4-13 柱構件因施工不良形成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

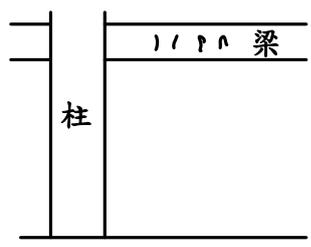
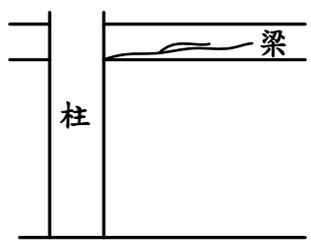
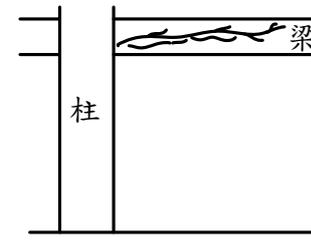
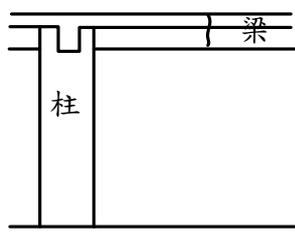
			
裂縫形式編號	Bd1	裂縫形式編號	Bd2
<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；原因為混凝土保護層厚度不夠，而沿著箍筋方向產生裂縫。</p>		<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；混凝土中含有過量氯離子，而沿著主筋方向產生裂縫。</p>	
			
裂縫形式編號	Bd3	裂縫形式編號	Bd4
<p>鹼骨材反應成裂縫；梁中心部位沿著水平方向產生的樹狀裂縫。</p>		<p>乾燥收縮產生裂縫；沿著梁的垂直方向產生裂縫，並且貫穿樓版。</p>	

圖 4-14 梁構件劣化造成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

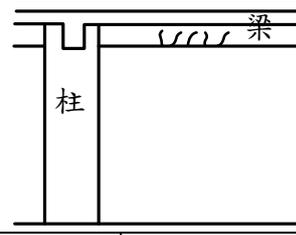
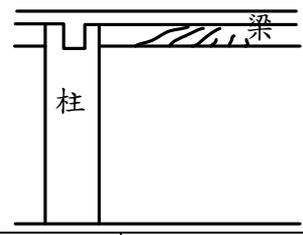
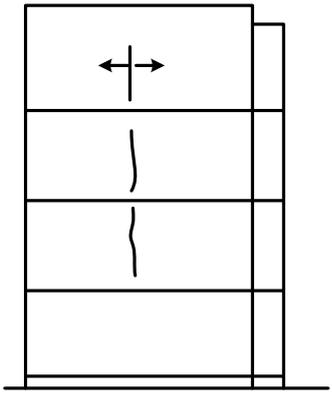
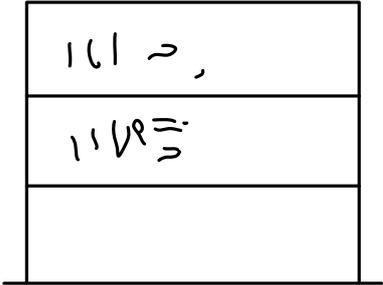
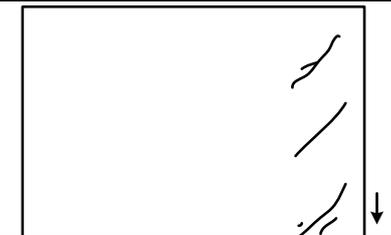
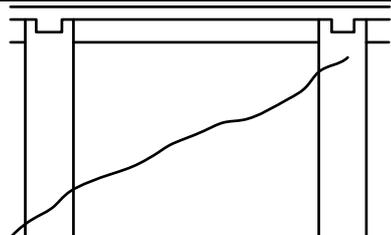
			
裂縫形式編號	Bf1	裂縫形式編號	Bf2
<p>撓曲裂縫梁，承受撓曲應力，容許產生細微的裂縫。</p>		<p>剪力裂縫，不均勻下陷或地震時承受剪力所造成斜方向的裂縫。</p>	

圖 4-15 梁構件外力造成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，1997)

			
裂縫形式編號	Wd1	裂縫形式編號	Wd2
<p>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。</p>		<p>乾燥收縮產生的裂縫；大面積的牆壁，被基礎固定住，因為上部結構收縮，端部產生斜裂縫。</p>	
			
裂縫形式編號		Wd1	
<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；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或鋼筋裸露等狀況。</p>			
<p><b>圖 4-16 RC 結構牆混凝土乾縮與鋼筋腐蝕</b></p> <p>(資料來源：日本建築學會，1997)</p>			

			
裂縫形式編號	Wf1	裂縫形式編號	Ww2
不均勻下陷產生裂縫；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。	
<b>圖 4-17 RC 牆結構不均勻下陷</b> (資料來源：日本建築學會，1997)		<b>圖 4-18 RC 結構牆之施工不良</b>	

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 4-19 所示，鋼筋腐蝕程度則如圖 4-20 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 4-3 及表 4-4 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。

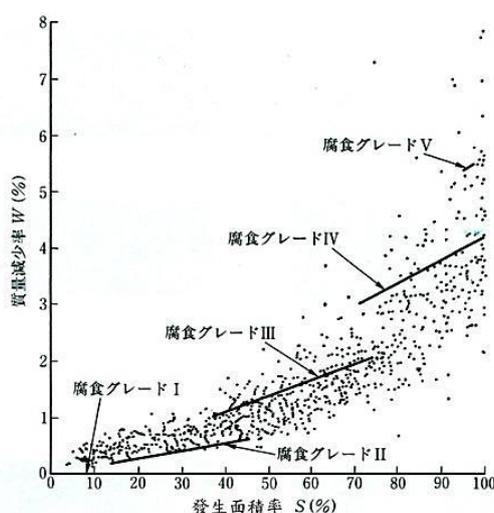


圖 4-19 腐蝕面積率與重量減少率之關係

(資料來源：日本建築學會，1997)

表 4-3 柱、梁構件及 RC 結構牆劣化度評定基準

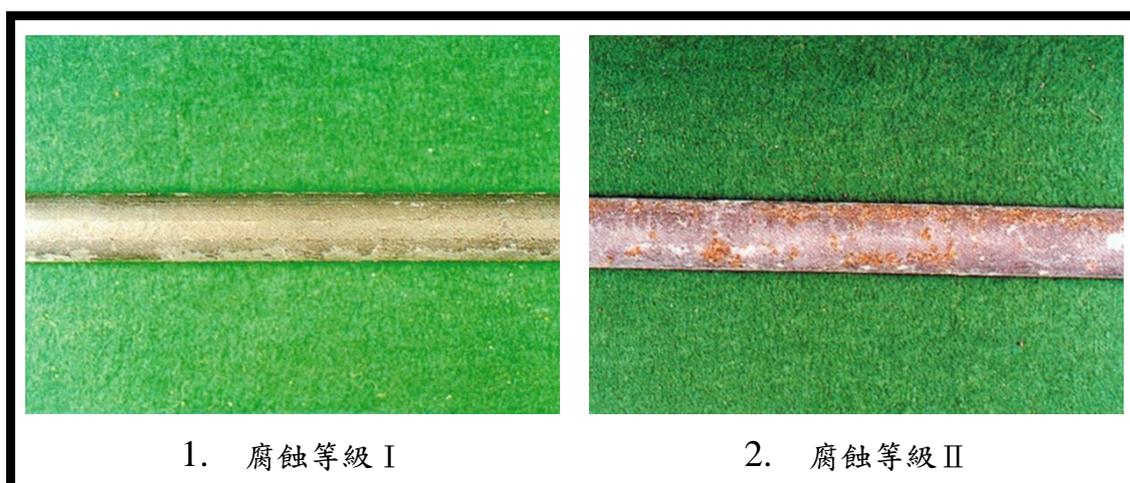
劣化度	評 定 基 準	
	外觀劣化症狀	鋼筋腐蝕狀況
健全	無明顯劣化症狀	鋼筋腐蝕於等級 II 以下
輕度	0.3mm 未滿	鋼筋腐蝕於等級 III
中度	0.3mm 以上 0.5mm 未滿	鋼筋腐蝕於等級 IV
重度	0.5mm 以上	鋼筋之腐蝕等級為 IV 以上
嚴重損壞	混凝土裂縫大到無法判定寬度、剝落嚴重，鋼筋完全露出且鏽蝕嚴重。	

(資料來源：日本建築學會，1997)

表 4-4 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，鋼筋斷面積損失部份約 20% 以上之可能性	>5%

(資料來源：日本建築學會，1997)



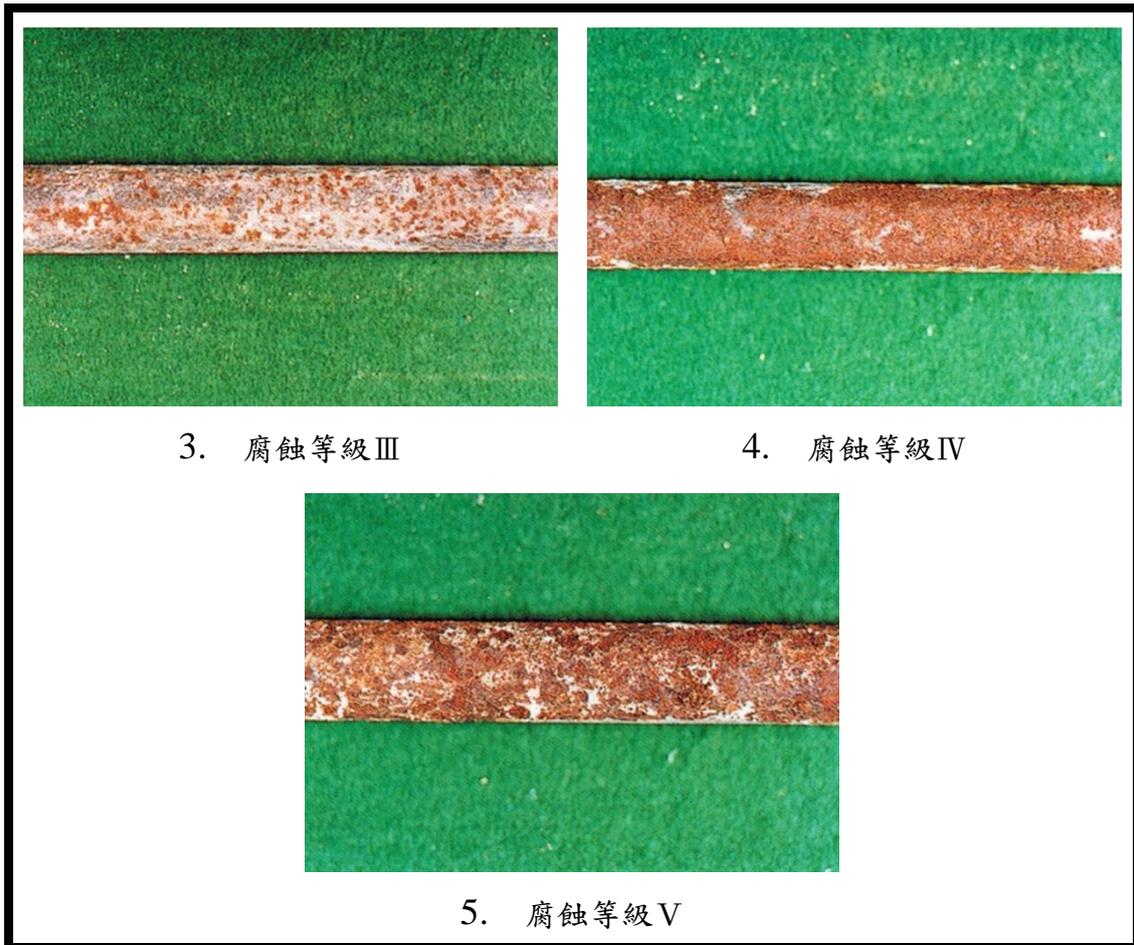


圖 4- 20 鋼筋腐蝕程度

(資料來源：日本建築學會，1997)

## 2. 版構件調查

### (1) 調查重點

經多次專家座談及期中意見彙整，版構件之劣化情形不同於前一小節所提及之狀況，換言之版構件之裂縫較多且形式較為複雜，調查人員往往難以判定其最大裂縫寬度及形式，因此本研究建議版構件之劣化調查僅針對剝落及鼓起/隆起項目進行，其中”剝落”定義為混凝土自然劣化現象，不包含人為(碰撞、敲除)造成之混凝土損傷。

調查位置為調查人員站於地面並由下往上觀察版構件之外觀狀況，而版構件數量較多，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。

### (2) 評定基準

依日本建築學會(1997)擬定版構件評定基準表(如表 4-5 所示)，本研究將版構件之混凝土劣化形式分為剝落、鼓起/隆起，此評定基準包含二種量化比較標準，一為以相對面積比率(百分比)表示，主要將檢測面積以網格平均分配，目視構件發生劣化面積共佔總面積之比率；另一為使用標準尺量測劣化範圍之實際面積，以進行劣化度判定；上述二種量化標準以嚴重者代表其劣化度。

表 4-5 版構件評定基準

劣化程度 劣化形式	健全	輕度		中度	重度	嚴重損壞 混凝土表面剝落嚴重，造成鋼筋完全露出，且鋼筋已鏽蝕。
剝落	無明顯劣化症狀	相對	1%~5%	5%~10%	10% 以上	
		絕對	1m <sup>2</sup> ~4m <sup>2</sup>	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> 以上	
鼓起/隆起	無明顯劣化症狀	相對	1%~10%	10%~25%	20% 以上	
		絕對	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> ~24m <sup>2</sup>	25m <sup>2</sup> 以上	

(資料來源：日本建築學會，2008)

### 3. 調查結果之記錄

- (1). 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，表 4-6 以柱構件為例。
- (2). 利用本研究擬定之構件評定基準，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。
- (3). 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。
- (4). 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，本研究設定當某一劣化程度以上之累計機率 $\geq 10\%$ ，即可判定該劣化程度為此樓層該構件之代表劣化度。以表 4-6 為例，忠孝樓一樓共調查了 26 根柱構件，調查結果為：嚴重損壞有 0 根、重度有 1 根、中度 9 根、輕度 4 根、健全 6 根；而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。單一樓層柱構件劣化度之計算結果為中度，發生機率為  $9/26$ 、累積發生機率為  $10/26$ 。

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 4-7 為例。

表 4-6 單一樓層構件劣化紀錄表(本研究整理-範例)

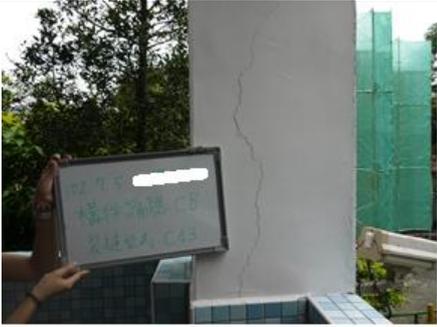
構件名稱			建築物名稱		
柱			忠孝樓-1F		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-8	Cd3		2.5 mm		
			裂縫由下往上延伸，延著主筋開裂。		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
E-7	Cd3	0.25 mm	-	-	
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-1	Cd3	-	0.46 mm	-	
			裂縫由下往上延伸，延著主筋開裂，柱下方為磁磚被覆，裂縫寬度已嚴重影響至外層被覆材。		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
E-6	Cd3	-	-	0.54 mm	-
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		$\frac{0}{26}$		$\frac{0}{26}$	
<input type="checkbox"/> 重度		$\frac{1}{26}$		$\frac{0+1}{26} = 0.038 \leq 0.1$	
<input checked="" type="checkbox"/> 中度		$\frac{9}{26}$		$\frac{0+1+9}{26} = 0.385 \geq 0.1$	
<input type="checkbox"/> 輕度		$\frac{4}{26}$		$\frac{0+1+9+4}{26} = 0.538$	
<input type="checkbox"/> 健全		$\frac{6}{26}$		$\frac{0+1+9+4+6}{26} = 0.769$	

表 4-7 整棟建築物構件劣化紀錄表(本研究整理-範例)

建築物名稱		忠孝樓			
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆	
1F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
2F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
3F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
4F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
劣化度	重度	中度	中度	中度	

## 肆、建築物外牆被覆材料調查

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，被覆材料會因環境、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，因此外牆表面被覆材料劣化是不可忽略的部分。

### 1. 調查重點

除建築物本體結構外，為了保護結構物或美觀而於混凝土外層設置表面被覆材料，其中本研究設定之材料種類分為石材、磁磚、木材及油漆等。另外調查人員須沿著建築物四周調查或確認其被覆材種類，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。

### 2. 評定基準

本研究將外牆依裝修材料的種類分別進行調查，分成剝落、鼓起/隆起兩種劣化形式。評定基準與版構件之評定基準相同，唯一不同的為版構件之調查對象為混凝土外觀，而外牆針對的則為被覆材料之劣化情形，依表 4-8 判定其外牆之劣化度。

表 4-8 建築物外牆被覆材評定基準

劣化程度 劣化形式	健全	輕度		中度	重度	嚴重損壞
		相對	絕對			
剝落	無明顯劣化症狀	相對	1%~5%	5%~10%	10% 以上	表面被覆材料大面積剝落，內部鋼筋明顯露出，鏽蝕嚴重。
		絕對	1m <sup>2</sup> ~4m <sup>2</sup>	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> 以上	
鼓起及隆起	無明顯劣化症狀	相對	1%~10%	10%~25%	20% 以上	
		絕對	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> ~24m <sup>2</sup>	25m <sup>2</sup> 以上	

(資料來源：日本建築學會，2008)

### 3. 調查記錄

調查人員將調查結果記錄於表 4-9 中，並評定建築物各面向之劣化度，一般可分為四個面向。

表 4-9 建築物外牆劣化記錄表(本研究整理)

被覆材種類		<input type="checkbox"/> 磁磚 磚石材 材油漆 漆其他種類_____				
劣化結果判定						
方位	調查項目	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
	剝落					
	鼓起/隆起					
	剝落					
	鼓起/隆起					
	剝落					
	鼓起隆起					
	剝落					
	鼓起/隆起					
劣化度評定結果= 最嚴重劣化個數/檢測數目						

## 伍、環境影響因子調查

### 1. 氯離子引致劣化潛勢分區

#### (1) 氯離子資料蒐集與統整

混凝土氯離子含量多少為鋼筋是否產生鏽蝕的重要因素。因各國氯離子含量規定值並無統一標準，如表 4-10 所示，因此本研究蒐集國家地震中心-校舍補強辦公室(共包含民國 98 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。

表 4-10 各國氯離子含量規定值

國名	規範	氯離子含量規定值
英國	BS 8110-85Part1	氯化鈣佔水泥重量之百分比( $C_aCl_2$ )。 1. 一般 RC: 0.4% ( $0.768 \text{ kg/m}^3$ ) 2. 耐硫酸鹽水泥: 0.2% 3. PC(高溫養護 RC): 0.1% 4. 參料: 參料的 2% 或水泥的 0.03%
法國	DTU 21.4	1. 無筋之混凝土及保護層厚度 4cm 之 RC，佔水泥重量: 2% ( $C_aCl_2$ ) ( $3.838 \text{ kg/m}^3$ ) 2. 保護層厚度 2cm 之 RC 其水泥重量的 1% ( $C_aCl_2$ ) 3. RC 用拌合水中的氯鹽量 0.25g/1% (Cl <sup>-</sup> ) ( $0.413 \text{ kg/m}^3$ )
德國	DIN	可溶性氯離子佔骨材之百分比 1. 先拉預力混凝土 PC；PC 填充材(DIN 4227): 0.02% (Cl <sup>-</sup> ) 2. RC(DIN 1045)，後拉預力混凝土 PC(DIN 4227): 0.04% (Cl <sup>-</sup> ) ( $0.72 \text{ kg/m}^3$ )
美國	ACI 301-72	$C_aCl_2$ 氯化鈣佔水泥重量的 2% 以下 ( $3.383 \text{ kg/m}^3$ )
	ACI 318-83	可溶性氯離子佔水泥重量之百分比 (Cl <sup>-</sup> ) 1. PC: 0.06% 2. RC(鹽害環境下): 0.15% ( $0.45 \text{ kg/m}^3$ ) 3. RC(一般環境下): 0.30% (相當於 $0.9 \text{ kg/m}^3$ ，每立方公尺水泥，0.9 公斤 Cl <sup>-</sup> ) 4. RC(乾燥下狀態): 1.00%
	ACI 222R-85	氯離子佔水泥重量之百分比 (Cl <sup>-</sup> ) 1. PC: 0.08% 2. RC: 0.20% ( $0.6 \text{ kg/m}^3$ )

日本	日本建築學會 AIJ(JASS 5-1991)	混凝土氯離子含量限制在 $0.3 \text{ kg/m}^3$ 以下，若在不得超越的情況，即使有防止劣化之對策，氯離子含量也不得超過 $0.6 \text{ kg/m}^3$ 。
	日本土木學會 JSCE	混凝土含有之氯離子 1. 一般 RC，後拉預力混凝土 PC: $0.6 \text{ kg/m}^3$ 2. 有特別考慮耐久性之 RC，或者考慮鹽害腐蝕情況之後拉預力混凝土 PC 以及先拉預力混凝土 PC: $0.3 \text{ kg/m}^3$
臺灣	內政部營建署結構 混凝土施工規範 CNS-3090	新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量(依水溶法) 1. 預力混凝土: $0.15 \text{ kg/m}^3$ 2. 鋼筋混凝土: $0.3 \text{ kg/m}^3$

## (2) 台灣各地區鋼筋腐蝕氯離子臨界含量

本研究整理北部及中部各縣市校舍之氯離子含量與鋼筋鏽蝕關係，如圖 4-21~圖 4-24 所示。本研究利用對數自然分布並設定累積機率 0.5，以決定各區之鋼筋腐蝕臨界氯離子含量；其中北部氯離子臨界含量為  $1.1727 \text{ kg/m}^3$ ，而中部則為  $0.4494 \text{ kg/m}^3$ 。

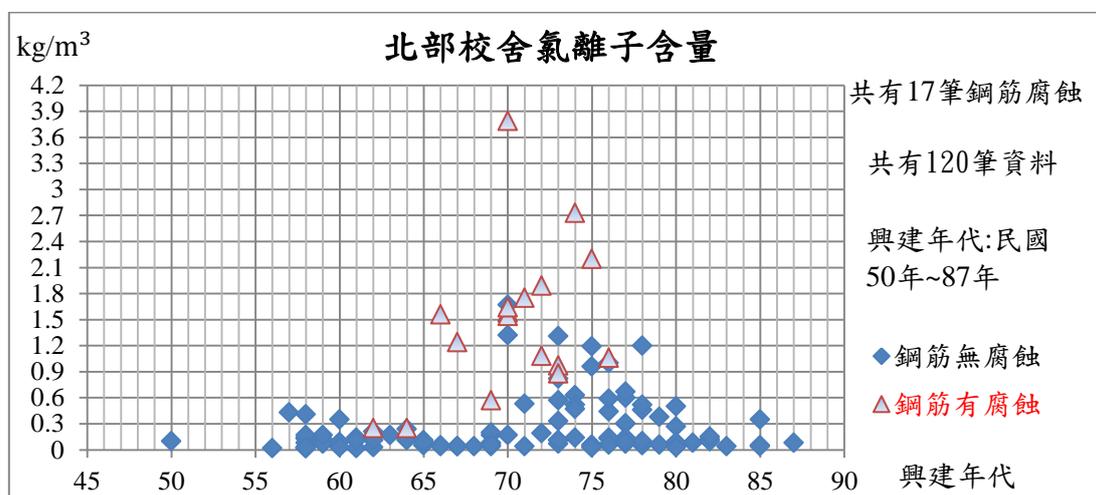


圖 4-21 北部校舍氯離子含量與鋼筋鏽蝕之關係

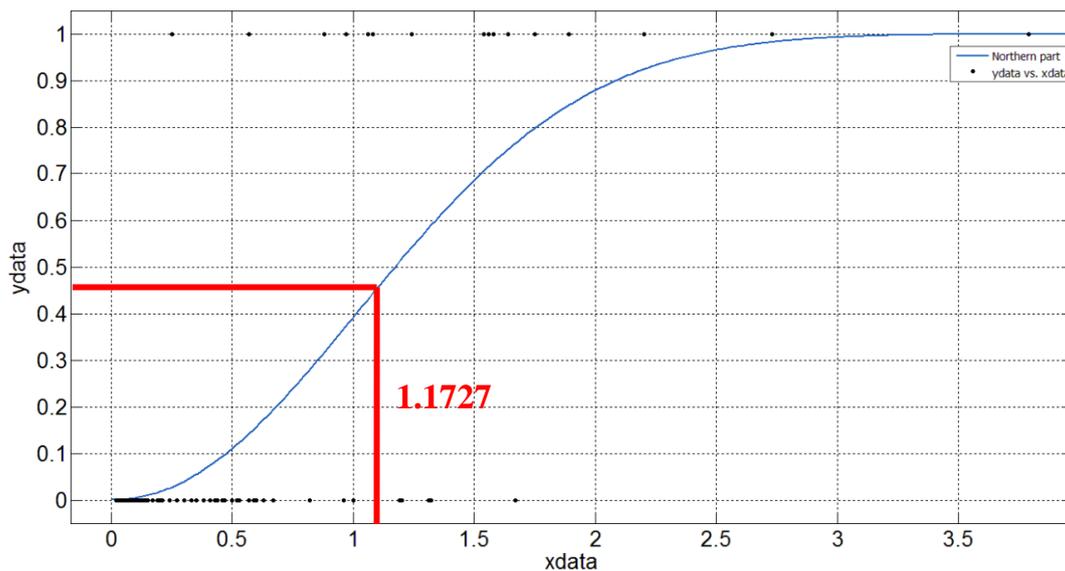


圖 4-22 北部校舍氯離子臨界含量

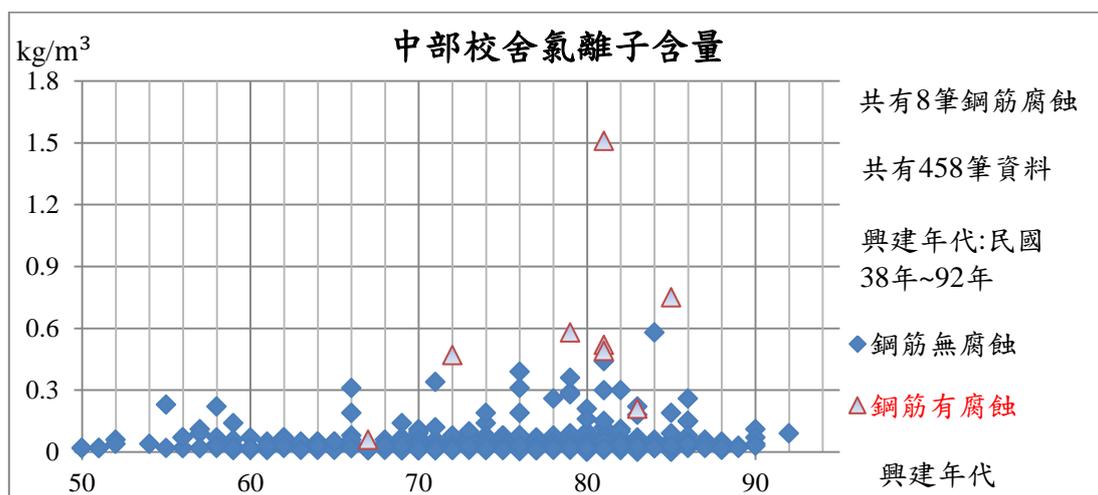


圖 4-23 中部校舍氯離子含量與鋼筋鏽蝕之關係

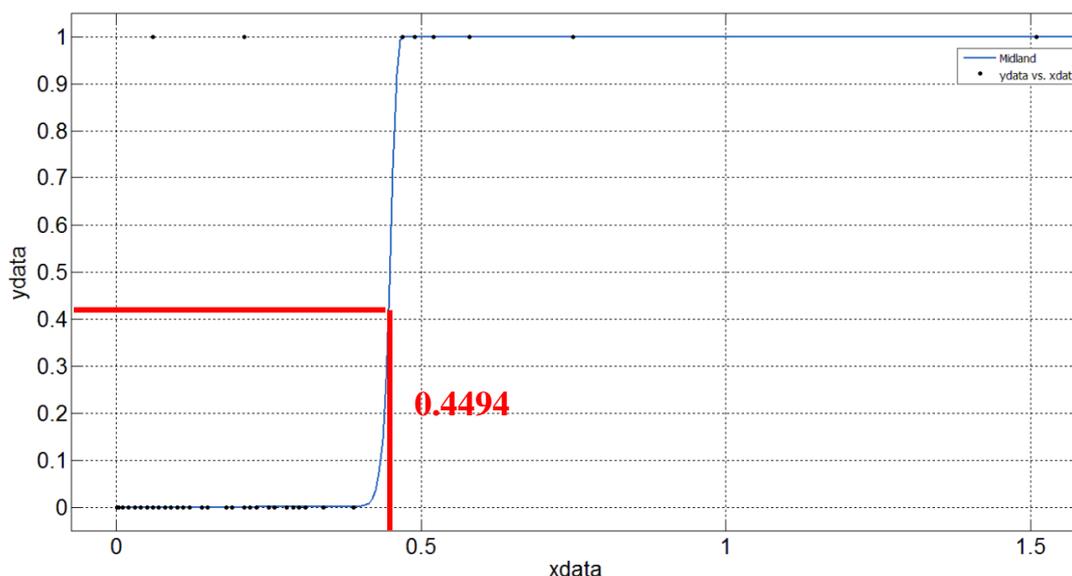


圖 4-24 中部校舍氯離子臨界含量

### (3) 考慮鋼筋混凝土保護層厚度之氯離子劣化潛勢

除統計與分析各地區 RC 建築物之氯離子臨界含量之外，本研究亦參考邱建國(2012)以及中華民國結構工程技師公會全國聯合會(2008)之建議，對台灣各地區之混凝土保護層厚度規定做一整裡與歸納。

依邱建國(2012)所示，台灣海洋腐蝕區域可分為極嚴重鹽害區、嚴重鹽害區、中度鹽害區以及一般區域，而不同海洋腐蝕區域所對應之柱構件最小混凝土保護層厚度建議值如表 4-11 所示。

表 4-11 不同海洋腐蝕區域中混凝土保護層最小厚度

鹽害環境分類	極嚴重鹽害區	嚴重鹽害區	中度鹽害區	一般區域*
離海岸距離	海水中飛沫區	0~0.3 km	0.3~3 km	3 km 以上
說明	係指橋梁位於海水中，會受海浪飛沫影響之部分，如橋墩柱	未直接受海浪飛沫影響之部分，如橋面版	—	—
柱之最小混凝土保護層厚度(cm)	10	7.5	7.5	主筋：4 箍筋：5

(資料來源：邱建國，2012)

另外，本研究將表 4-11 之中度鹽害區細分為中度鹽害區與輕度鹽害區，並參考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 4-12 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為 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 4-13 所示。

表 4-12 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		見表 4-13	-

(資料來源：邱建國，2012)

表 4-13 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	<input type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 1.0 km
東部	<input type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 1.0 km
中部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 3.0 km
南部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 3.0 km

## 2. 中性化引致劣化潛勢分區

### (1) 劣化因子資料蒐集與統整

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—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份材料試驗單)。

### (2) 台灣各地區之混凝土中性化速度係數

依據日本建築學會(1997)之建議，中性化深度從混凝土表面算起2cm以內判定為低潛勢，介於2cm~4cm判定為中潛勢，4cm以上到達鋼筋表面則判定為高潛勢，如表4-14所示。

表 4-14 中性化引致之劣化潛勢評定

劣化潛勢等級	中性化深度 C (cm)
低環境劣化潛勢	$<2$
中環境劣化潛勢	$2 \leq C < 4$
高環境劣化潛勢	$\geq 4$

(資料來源：日本建築學會，1997)

本研究採用之中性化深度預測公式主要依據邱建國等(2012)和日本建築學會(2004)之建議；若混凝土表面無被覆材料時，可依式(4-1)評估中性化深度；若混凝土表面被覆材料為水泥砂漿時，可依式(4-2)進行評估；若表面被覆材料為樹脂材料時，可依式(4-3)進行評估。本研究利用中性化深度預測公式，反推北部、中部及南部地區於中性化深度 C 分別等於 2cm 及 4cm 時之年數 t，以做為劣化潛勢高低之判別標準。

$$C = A(\sqrt{t}) \quad (4-1)$$

$$C = A(\sqrt{t}) - m \quad (4-2)$$

$$C = A(\sqrt{t + R^2} - R) \quad (4-3)$$

$$A=1.72 \times \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \quad (4-4)$$

式中 A：中性化速度係數( $\text{cm} \times \sqrt{\text{年}}$ )、S：瓷磚類被覆材料中性化抵抗係數、m：水泥砂漿塗抹厚度(cm)、R：樹脂被覆材料中性化抵抗係數( $\sqrt{\text{年}}$ )、t：時間(年)。

依據日本建築學會之建議，影響中性化速度係數 A 之因子可分為混凝土影響因子  $\alpha$ ，包括  $\alpha_1$ ：骨材種類影響係數、 $\alpha_2$ ：水泥種類影響係數、 $\alpha_3$ ：水灰比影響係數，以及環境影響因子  $\beta$ ，包括  $\beta_1$ ：氣溫影響係數、 $\beta_2$ ：濕度影響係數、 $\beta_3$ ：二氧化碳濃度影響係數。依參考中華民國結構工程技師公會全國聯合會(2008)一般而言，相對濕度 50% 左右其濕度影響係數  $\beta_2$  會最大，然而相對濕度過大或過小反而會降低其影響係數  $\beta_2$ ，換句話說相對濕度過大或過小限制了中性化深度之發展，也就是較不易產生中性化。

由於國家地震中心一校舍補強辦公室所提供之資料大部分皆為北部地區及中部地區之校舍補強資料，因此可直接進行線性回歸以得該二地區之中性化速度係數(如圖 4-25 及 4-26)，但由於南部地區資料蒐集較不齊全，因此南部地區之中性化速度係數必須使用橋梁混凝土中性化速度係數修正而得(如表 4-15 所示)，但因建築與橋梁使用之混凝土強度不同，因此本研究計算北部地區校舍與北部地區橋梁之平均中性化速度係數比值約 1.5，而用此比值修正南部地區橋梁之平均中性化速度係數，並以此係數代表南部地區校舍之中性化速度係數(如表 4-16 所示)。

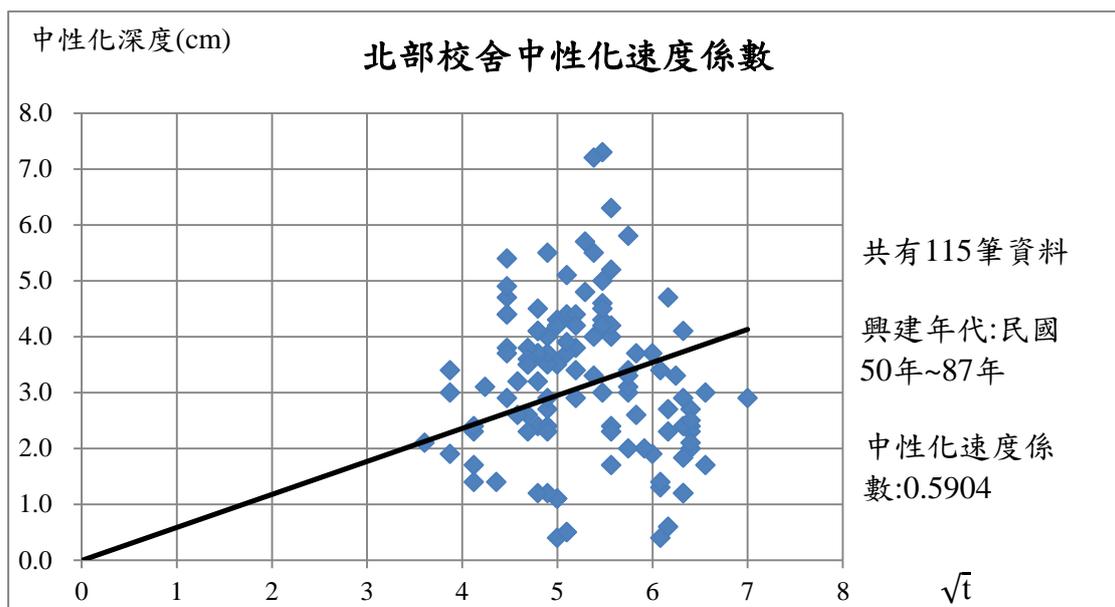


圖 4- 25 北部校舍中性化速度係數

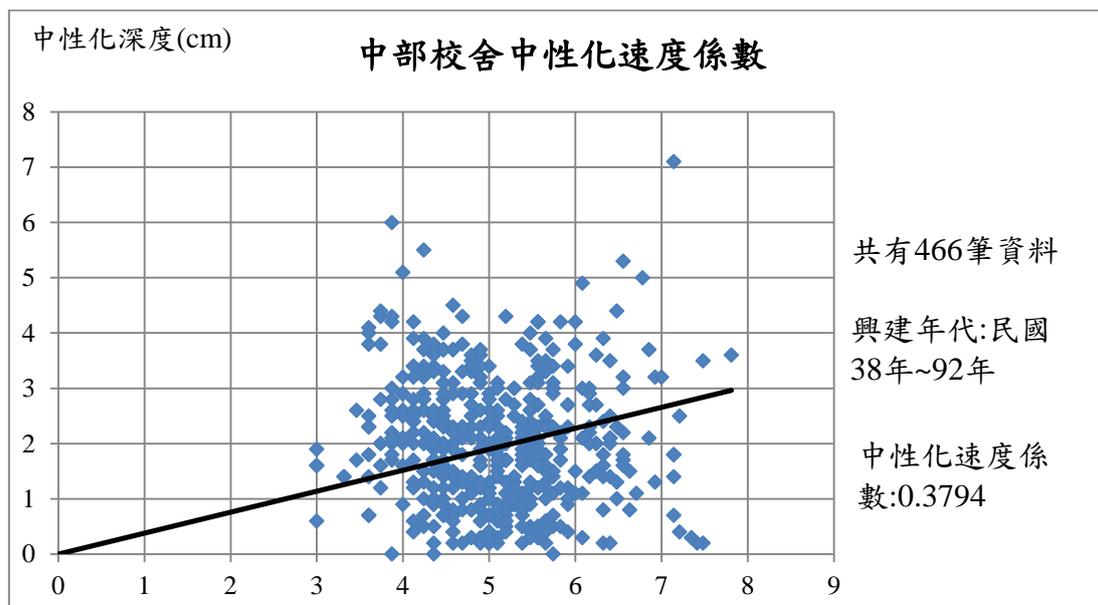


圖 4- 26 中部校舍中性化速度係數

表 4- 15 台灣各縣市橋梁混凝土中性化速度係數平均值【31】

區域	地點	中性化速度係數平均值(cm/ $\sqrt{\text{年}}$ )	平均值
北部	台北	0.467	0.395
	宜蘭	0.300	
	桃園	0.376	
	新竹	0.388	
	苗栗	0.445	
中部	台中	0.316	0.255

	南投	0.208	
	彰化	0.270	
	雲林	0.277	
	嘉義	0.206	
南部	台南	0.251	0.266
	高雄	0.27	
	屏東	0.278	

表 4-16 北部及中部地區校舍中性化速度係數

區域	中性化速度係數( $\text{cm} \times \sqrt{\text{year}}$ )
北部	0.59
中部	0.38
南部	0.40

### (3) 考慮外牆被覆材料之中性化劣化潛勢

本研究依上節所得之混凝土中性化速度係數，並參考文獻建議之考慮外牆被覆材料之中性化深度評估模式，進行推得不同被覆材料設定中性化深度分別達致 2 公分及 4 公分之所需時間。若無任何被覆材料條件下，則如表 4-17 所示：

表 4-17 無任何被覆之潛勢判斷結果統整表

區域 等級	北部	中部	南部
低環境劣化潛勢	<10	<25	<25
中環境劣化潛勢	$10 \leq t < 45$	$25 \leq t < 100$	$25 \leq t < 100$
高環境劣化潛勢	$\geq 45$	$\geq 100$	$\geq 100$

從表 4-17 發現北部地區的 RC 建築物興建後 10 年內判定為低潛勢、45 年以上判定為高潛勢，中、南部依此類推，比較三地區可觀察出在北部的建物建造完成後 45 年即為高潛勢，代表著北部地區人口較密集，二氧化碳排放量高才會造成此結果；由於中、南部地區濕度較高因而降低其濕度影響係數  $\beta_2$  而造成中、南部地區發生中性化的可能性比北部地區輕微。而造成中、南部地區發生中性化的可能性比北部地區輕微。

若表面被覆材料設定為水泥砂漿被覆(厚度約為 2cm)，其分析結果則如表 4-18 所示。由於計算後的結果顯示在中、南部地區的 RC 建築物興建後 100 年以上才會產生中性化之疑慮，因此可直接判定為低潛勢，而北部地區的 RC 建築物在興建後 45 年內判定為低潛勢、100 年以上判定為高潛勢，由此可見使用水泥砂漿被覆對於預防中性化的發生有很不錯的效果。

表 4-18 水泥砂漿被覆(m=2cm)之潛勢判斷結果統整表

區域 等級	北部	中部	南部
低環境劣化潛勢	< 45	< 100	< 100
中環境劣化潛勢	$45 \leq t < 100$	/	/
高環境劣化潛勢	$\geq 100$		

一般而言，樹脂被覆材料(油漆塗料)在國內被廣泛利用，但台灣目前並無樹脂被覆材料之中性化抵抗係數 R 相關研究資料，因此參考邱建國等(2012)和日本建築學會(2004)之建議如表 4-19 所示。因台灣氣候問題，此類材料劣化嚴重而使其中性化抵抗係數 R 會隨時間降低，為保守起見，本研究採文獻中經劣化 12 年所得之中性化抵抗係數進行評估。

表 4-19 樹脂材料中性化抵抗係數

樹脂材料中性化抵抗係數(R)	
經 6 年劣化	$R=0.0437 \times 100 \times 52^{0.5}$
經 12 年劣化	$R=0.0272 \times 100 \times 52^{0.5}$

(資料來源：邱建國等，2012,日本建築學會，2004)

由於在中性化深度從混凝土表面算起 2cm 的條件下，經 12 年劣化之樹脂材料被覆結果顯示各地區皆為低潛勢，因此本研究不再探討中性化深度從混凝土表面算起 4cm 以及經 6 年劣化之樹脂材料中性化抵抗係數之影響，雖然樹脂材料被覆對於預防中性化的發生有極佳的效果，但由於混凝土中性化現象會隨時間而持續進行，為確保建築物之耐久性，定期性的油漆粉刷與保養維護成為必備的重點課題。

瓷磚或水泥板材亦為常用之外牆被覆材料，但台灣目前亦無瓷磚及水泥板材被覆材料之中性化抵抗係數相關研究資料，因此參考邱建國等(2012)和日本建築學會(2004)建議如表 4-20 所示。

表 4-20 瓷磚及水泥板材中性化抵抗係數

中性化抵抗係數(S)			
瓷磚		水泥板材	
屋內	屋外	屋內	屋外
0.31	0.16	0.48	0.26

(資料來源：邱建國等，2012,日本建築學會，2004)

本研究將以屋外的瓷磚及水泥板材之中性化抵抗係數做為參考。考慮瓷磚屋外中性化抵抗係數 0.16 以及各地區之中性化速度係數，經換算後即可求得各地區 RC 建築物在興建後多少年會發生中性化劣化危險。同樣地，水泥板材之中性化抵抗係數設為 0.26，並依相同步驟計算之；如表 4-21 所示。

由於計算後的結果顯示使用瓷磚及水泥板材被覆在各地區之 RC 建築物興建後 100 年以上才會產生中性化之疑慮，因此可直接判定為低環境劣化潛勢；換言之，瓷磚及水泥板材被覆對於預防中性化的發生有極佳的效果。針對北部地區在中性化深度從混凝土表面算起 2cm 的條件下，比較各種被覆材預防中性化發生之結果如表 4-21 所示，從中可觀察出使用瓷磚被覆對於中性化的預防有很好的效果，而理所當然無任何被覆的效果最不理想。

表 4-21 各種被覆材預防中性化發生之比較結果

等級	被覆材種類	建築物使用幾年中性化深度 C 會到達 2cm
 劣    優	無任何被覆	10 年
	水泥砂漿被覆	45 年
	樹脂材料被覆	144.36 年
	水泥板材被覆	169.75 年
	瓷磚被覆	488.26 年

**(4) 中性化環境影響因子評定表建立**

由以上小節統計資料彙整，本研究分別以北部及中、南部之 RC 建築物列表，以供檢測者使用，如表 4-22 及表 4-23 所示。

**表 4-22 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表(本研究整理)**

	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	<input type="checkbox"/> 用屋齡 10 年以下	<input type="checkbox"/> 以屋齡 10~45 年	<input type="checkbox"/> 5 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 泥屋齡 45 年以下	<input type="checkbox"/> 以屋齡 45~100 年	<input type="checkbox"/> 0 屋齡 100 年以上
樹脂材料被覆、 瓷磚被覆、 水泥板材被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 泥屋齡 100 年以下		<input type="checkbox"/> 以屋齡 100 年以上

**表 4-23 中、南部 RC 建築物考慮表面被覆材之影響因子評定表(本研究整理)**

	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	<input type="checkbox"/> 用屋齡 25 年以下	<input type="checkbox"/> 以屋齡 25~100 年	<input type="checkbox"/> 5 屋齡 100 年以上
水泥砂漿被覆、 樹脂材料被覆、 瓷磚被覆、 水泥板材被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 泥屋齡 100 年以下		<input type="checkbox"/> 以屋齡 100 年以上

## 陸、其他使用性能評定表建立

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，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，因此於其他使用性能部分，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，其中包含室內滲漏水、混凝土的白華現象、使用者異常體感(振動、撓曲)、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、外牆磁磚汙損等，如表 4-24 所示。

表 4-24 其他使用性能評定表(本研究整理)

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	<input type="checkbox"/> 大範圍斑塊狀
異常體感 (振動、樓板跨距大變形)	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物傾斜	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
天花板裝修物變形 (輕鋼架)	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	<input type="checkbox"/> 使用上造成困擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	調查人員描述			
外牆汙損	調查人員描述			
其他補充	調查人員描述			

## 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」、「外牆表面被覆材料」、「環境影響因子」及「使用條件」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 4-27 所示：

依「構件劣化」→「表面被覆材料」→「環境影響因子」→「使用條件」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。

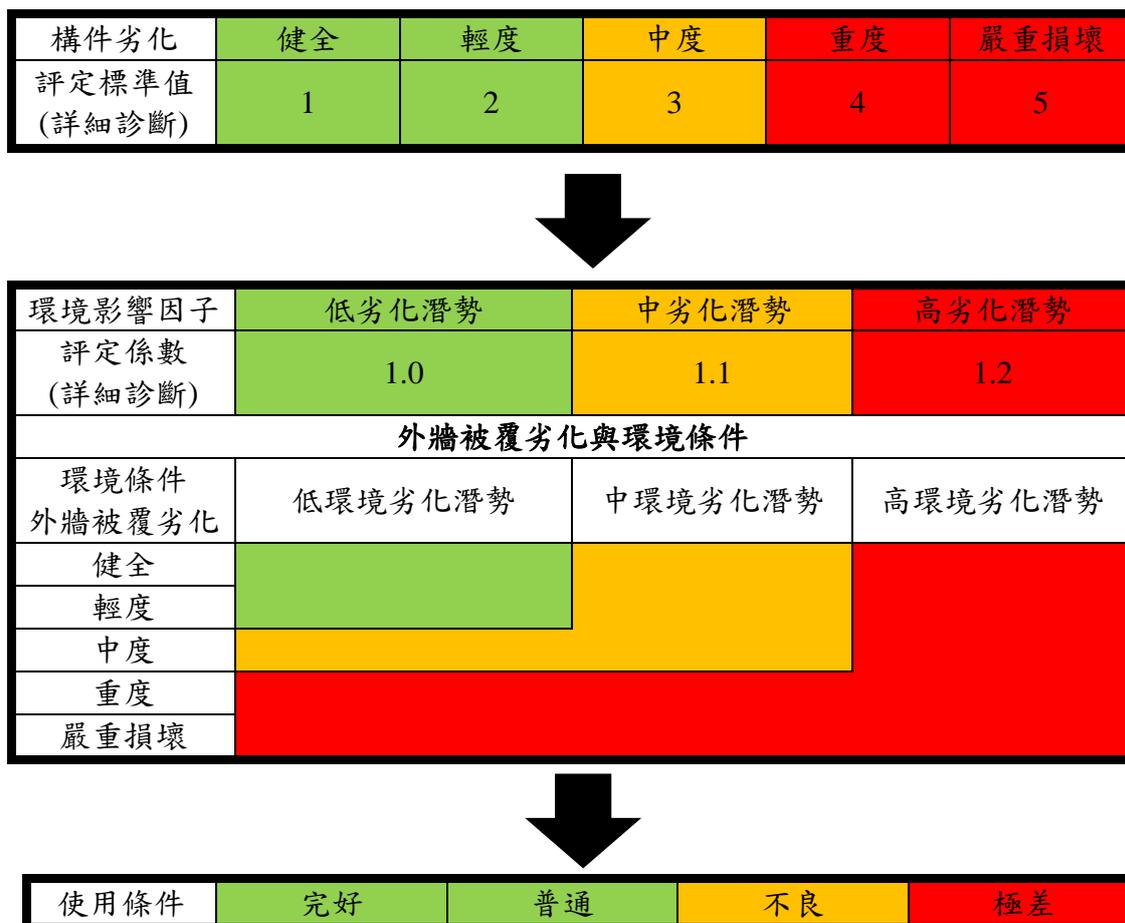


圖 4-27 初步診斷綜合評定(本研究整理)

## 第四節 耐久性能詳細診斷

詳細診斷是根據初步診斷之結果來判定是否需要實施。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

依葉為忠等(2012)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、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腐蝕電流、中性化深度檢測、氯離子檢測及腐蝕電位，但與相關學者與專家討論了解後，發現腐蝕電流之量測並不容易，往往因技術層面或環境條件問題，量測的結果幾乎無法反映真實結果。另外，混凝土現況之評定項目中需進行混凝土表面損傷之目視調查，由於本研究所建議之初步診斷中即包含建築物各構件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4-28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、混凝土現況檢測及混凝土表面損傷、環境影響因子等四項。

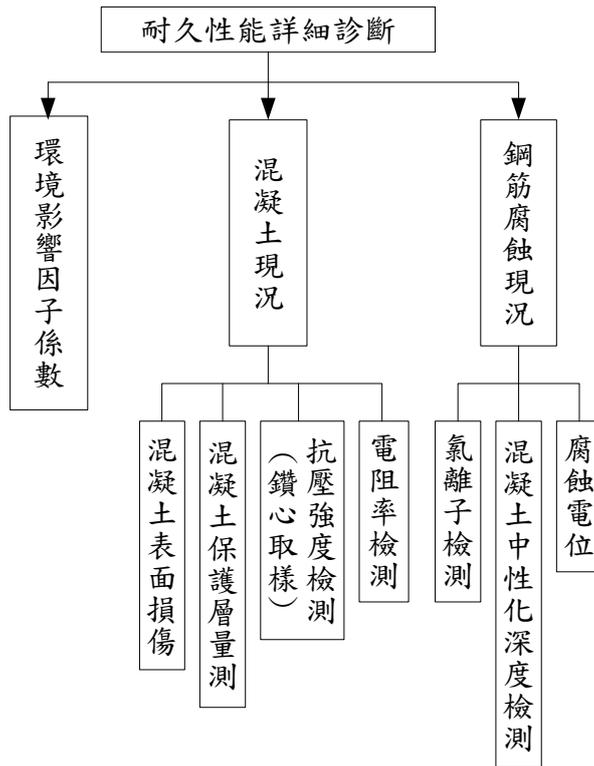


圖4-28 耐久性能詳細診斷方法(本研究整理)

## 1. 鋼筋腐蝕現況

### (1) 腐蝕電位檢測與評定

#### A. 檢測目的

鋼筋腐蝕狀況檢測範圍，應為主要承重構件或承重構件主要受力部位，或根據一般檢測結果而有跡象表示鋼筋可能腐蝕之部位。本法主要用於評定混凝土中鋼筋之腐蝕發生與否。

#### B. 檢測方法

此方法主要利用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。

#### C. 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4-25以判斷混凝土中的鋼筋發生腐蝕機率及評定標準值。

表 4-25 鋼筋鏽蝕電位評定標準

評定標準值	電位值(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：葉為忠等，2012)

## (2) 混凝土中性化深度檢測與評定

### A. 檢測目的

- a. 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。
- b. 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。

### B. 檢測方法

- a. 可配合鋼筋腐蝕電位之測試結果，於可能發生鋼筋腐蝕區域進行現場混凝土鑽心試驗及中性化深度量測。
- b. 中性化檢測須於混凝土斷面噴灑酸鹼指示劑，利用酸鹼指示劑顏色變化判斷該混凝土中性化深度。
- c. 評定標準

中性化深度影響評定為：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4-26所示。

表 4- 26 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：葉為忠等，2012)

### (3) 氯離子含量檢測與評定

#### A. 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。

#### B. 檢測方法

本試驗依據AASHTO T260-97量測氯離子濃度，其試驗步驟如下：

- a. 將取樣的試體磨成粉末後，取通過No.50篩之粉末做為試驗樣本，並放置烘箱烘乾一天。
- b. 烘乾試驗樣本取3 g粉末加入60 ~ 70 ml去離子水中加熱至沸騰後，密封放置於無鹽害之環境中24小時。
- c. 以雙層濾紙(Whatman No.41在上、No.40在下)過濾試驗樣本溶液，將過濾後所得之待測液加入1 ~ 2滴甲基橙指示劑，使其溶液顏色呈橙黃色。
- d. 於待測液中加入濃硝酸使其酸化，酸化完成之水溶液顏色將呈現粉紅色。
- e. 將待測液以去離子水補足至150 ml後，即可利用電位差滴定法進行量測。

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。

## C. 評定標準

本項次之評定標準可參考表 4-27 所示：

表 4-27 氯離子含量評定標準

評定標準值	1	2	3	4	5
氯離子含量 ( $\text{kg/m}^3$ )	<0.45	0.45~1.2	1.2~2.1	2.1~3.0	>3.0
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：葉為忠等，2012)

## 2. 混凝土現況

### (1) 電阻率檢測與評定

#### A. 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。

#### B. 檢測方法

利用鋼筋腐蝕電位測試結果選擇鋼筋可能腐蝕活化區域，以進行混凝土電阻率測量。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  $\rho$ ，如式(4-5)：

$$\rho = \frac{2\pi dV}{I} \quad (4-5)$$

式中，V：電壓電極間所測的電流；I：電流電極所通過電流；D：電流間距。

#### C. 評定標準

本項次之評定標準如表 4-28 所示：

表 4-28 混凝土電阻率評定標準

評定標準值	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：葉為忠等，2012)

## (2) 抗壓強度檢測與評定-鑽心取樣法

### A. 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。

### B. 檢測方法

- a. 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。
- b. 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 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 CNS1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

C. 評定標準

本項次之評定標準可參考表 4-29 所示：

表 4-29 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	$\geq 0.95$	$\geq 1.00$	良好
2	$0.95 > K_{bt} \geq 0.90$	$\geq 0.95$	較好
3	$0.90 > K_{bt} \geq 0.80$	$\geq 0.90$	較差
4	$0.80 > K_{bt} \geq 0.70$	$\geq 0.85$	差
5	$< 0.70$	$< 0.85$	很差
備註	<p>(1) <math>K_{bt} = \frac{R_{it}}{R}</math>            式中：<math>K_{bt}</math> = 單一平均強度係數  <math>R_{it}</math> = 檢測試體抗壓強度的實測值  <math>R</math> = 混凝土原設計強度</p> <p>(2) <math>K_{bm} = \frac{R_{im}}{R}</math>            式中：<math>K_{bm}</math> = 整體平均強度係數  <math>R_{im}</math> = 檢測試體之平均抗壓強度值  <math>R</math> = 混凝土原設計強度</p>		

(資料來源：葉為忠等，2012)

### (3) 混凝土保護層厚度檢測與評定

#### A. 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。檢測範圍為一般檢查結果為鋼筋可能腐蝕部位。

#### B. 檢測方法

- a. 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。
- b. 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)。
- c. 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。
- d. 按式(4-6~4-7)計算混凝土保護層厚度：

$$\overline{D}_n = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (4-6)$$

$$\overline{D}_{nc} = \overline{D}_n - K S_D \quad (4-7)$$

式中， $D_i$ ：測點部位保護層厚度實測值； $n$ ：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(4-8)計算； $K$ 為合格評定係數，按表4-30採用。

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{ni} - \overline{D}_n)^2}{n-1}} \quad (4-8)$$

表 4-30 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：葉為忠等，2012)

C. 評定標準

本項次之評定標準可參考表 4-31 所示：

表 4-31 鋼筋保護層厚度之評定標準

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

(資料來源：葉為忠等，2012)

### 3. 混凝土表面損傷評定值

本文第三節之耐久性能初步診斷法部分，將構件劣化分別為健全、輕度、中度、重度、嚴重損壞成五個等級，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4-29所示，可依各樓層結果分別評定。

構件劣化等級	表面損傷評定值
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
--------------

圖4-29 表面損傷係數對照表

### 4. 環境影響係數

葉為忠等(2012)建議之環境影響係數評定內容，因其描述較不符合臺灣環境，因此本研究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係數，如圖4-30所示。

環境影響潛勢	環境影響係數
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4-30 環境影響係數對照表

## 貳、詳細診斷權重因子說明

建研所執行之建築物耐久性指標與殘餘壽命預測方法一研究案中，利用層級分析法和專家問卷調查設計了一套針對鋼筋混凝土建築物之耐久性指標權重值。本研究參考其耐久性指標權重值建議以進行詳細診斷之耐久性能評定。依前文提及，本研究將文獻建議詳細診斷進行修改，因而權重值也須做重新調配，其中將鋼筋腐蝕現況中腐蝕電流之權重值加至腐蝕電位之權重值，由原本的 0.210 更改為 0.503；另外，將混凝土現況中之混凝土表面損傷更為細部檢測項目移除，而改由初步診斷之構件調查結果取代，因此權重值則亦改定為 0.535。此外，環境影響係數部份，本研究建議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，如表 4-32 所示。

表 4-32 修改後之耐久性指標權重值(本研究整理)

診斷指標	項目	權重值	
腐蝕現況	-	0.73	
腐蝕電位	1	0.50	
中性化深度	2	0.18	
氯離子檢測	3	0.32	
混凝土現況	-	0.27	
電阻係數	4	0.08	
抗壓強度	5	0.18	
鋼筋保護層厚度	6	0.20	
混凝土表面損傷	7	0.535	
環境影響係數	1.1	1.2	1.3

(資料來源：葉為忠等，2012)

## 參、詳細診斷綜合評定

### 1. 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，如圖4-31所示。分別有兩部分連結至詳細診斷，一、構件調查連結至混凝土表面損傷；二、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。

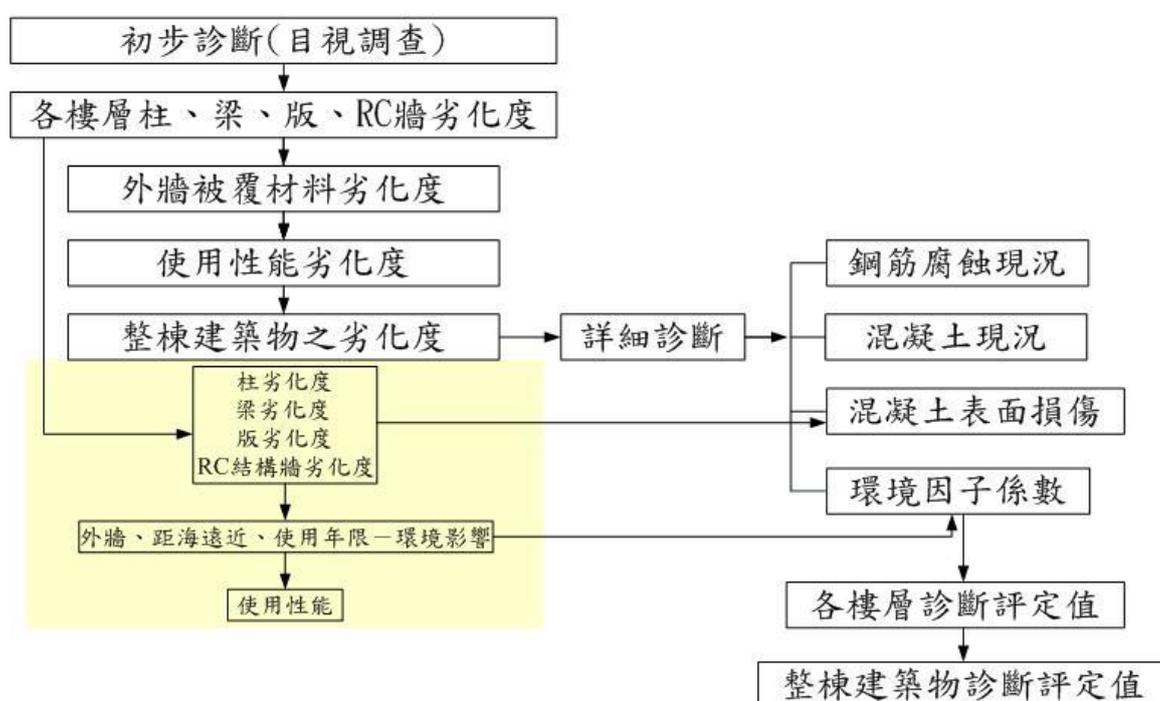
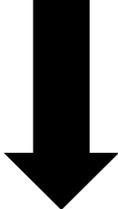
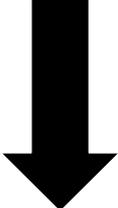


圖4-31 初步診斷連結詳細診斷說明

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 4-33。

表 4-33 詳細診斷綜合評定項目

<p>初步診斷</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>●步各樓層構件劣化程度</li> <li>①柱構件劣化程度</li> <li>②梁構件劣化程度</li> <li>③版構件劣化程度</li> <li>④RC 結構牆劣化程度</li> <li>●度環境影響因子</li> <li>①氯離子引致劣化潛勢</li> <li>②中性化引致劣化潛勢</li> </ul>
<p>詳細診斷</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>●細詳細診斷綜和評定</li> <li>①鋼筋腐蝕現況</li> <li>-腐蝕電流、氯離子檢測、中性化深度檢測</li> <li>②混凝土現況</li> <li>-電阻率檢測、混凝土保護層厚度、抗壓強度檢測</li> <li>③混凝土表面損傷</li> <li>④環境影響係數</li> </ul>
<p>綜和評定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●單一樓層之耐久性能評定值→單一耐久性能評定等級</li> <li>●整體建築物耐久性能評定值→整體耐久性能評定等級</li> <li>-定期維護、補修建議</li> </ul>

## 2. 單一樓層之耐久性能評定

將耐久性能各指標值代入式(4-9)，計算單一樓層耐久性能評定值。

$$D_i = \delta_i \times \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^i \beta_j A_{jm} \alpha_{im} \quad (4-9)$$

式中， $D_i$ ：第*i*樓層耐久性能評定值； $\delta_i$ ：環境影響放大係數； $\beta_i$ ：第*i*類因子中代表之權重(鋼筋腐蝕現況=0.727、混凝土現況0.273)； $A_{jm}$ ：第*i*類因子中第*m*個指標獲得之評定值； $\alpha_{im}$ ：第*i*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4-34所示。

表 4-34 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

### 3. 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(4-10)，即可獲得建築物之整體耐久性能評定等級。

$$D_{\text{total}} = \sum_{j=1}^q D_j r_j \quad (4-10)$$

式中， $D_{\text{total}}$ ：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 4-35。

表 4-35 整體建築物之耐久性能評定

$D_{\text{total}}$ 之範圍	$0 \leq D_{\text{total}} < 2$	$2 \leq D_{\text{total}} < 3$	$3 \leq D_{\text{total}} < 4$	$4 \leq D_{\text{total}} < 5$	$5 \leq D_{\text{total}}$
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	

## 4. 案例說明

此案例為台北市某一校舍之檢測結果，其中腐蝕電位及電阻係數無從量測，因此並無評定標準值。由初步診斷獲得之混凝土表面損傷評定值為4，劣化等於為重度、環境影響係數為1.1，範圍落於中劣化潛勢，將詳細診斷之結果整理於表4-36。

表4-36 單一樓層評定表

名稱		XX樓 1F
項目	權重值	評定標準值
腐蝕現況	0.73	-
腐蝕電位	0.50	NA
中性化深度	0.18	1
氯離子檢測	0.32	1
混凝土現況	0.27	-
電阻係數	0.08	NA
抗壓強度	0.18	1
鋼筋保護層厚度	0.20	5
混凝土表面損傷	0.54	4
環境影響係數	1.1	-
名稱		XX樓 2F
項目	權重值	評定標準值
腐蝕現況	0.73	-
腐蝕電位	0.50	NA
中性化深度	0.18	2
氯離子檢測	0.32	2
混凝土現況	0.27	-
電阻係數	0.08	NA
抗壓強度	0.18	1
鋼筋保護層厚度	0.20	4
混凝土表面損傷	0.54	3
環境影響係數	1.1	-

將耐久性能各指標評定值代入式(4-9)，並得到 D1、D2 耐久性能評定值如下式：

$$D_1 = 1.1 \times \left( 0.73 \times \frac{1 \times 0.18 + 1 \times 0.32}{0.18 + 0.32} + 0.27 \times \frac{1 \times 0.18 + 5 \times 0.20 + 4 \times 0.54}{0.18 + 0.20 + 0.54} \right)$$

$$= 1.88$$

$$D_2 = 1.1 \times \left( 0.73 \times \frac{2 \times 0.18 + 2 \times 0.32}{0.18 + 0.32} + 0.27 \times \frac{1 \times 0.18 + 4 \times 0.20 + 3 \times 0.54}{0.18 + 0.20 + 0.54} \right)$$

$$= 2.45$$

由上式得知第一樓層之耐久性能評定等級為 5，耐久性能良好；第二樓層耐久性能評定等級為 4，耐久性能好，將結果整理成表 4-37，並計算整體耐久性能評定等級。

表4-37 整棟建築物評定表

樓層	權重	單一樓層耐久性能評定值
第一樓層	0.5	1.88
第二樓層	0.5	2.45

調查人員依專業經驗進行耐久性能調查結果，並擬定整體各樓層權重，利用單一樓層評定表計算得之單一耐久性能評定等級，進而計算整體建築物耐久性能評定值，如下式所示：

$$D_{\text{total}} = \frac{0.5 \times 1.88 + 0.5 \times 2.45}{0.5 + 0.5} = 2.17$$

由上式可知整體耐久性能評定等級為 4，耐久性能好，正常使用下並無安全疑慮。

## 第五節 補修策略建議

基於調查與耐久性能診斷結果、以確定其劣化主因、程度及範圍，進而決定補修範圍設定、修復材料與補修工法選定。此外，補修策略亦須考量其施工性、補修工期、經濟性、施工安全性與施工周遭環境等各項因素。一般而言，除上述所列之客觀條件外，建築物使用者或管理者可依其考量選定或設定一補修目標；一般而言，補修回復目標設定分為三種，一為永續修復，二為延壽修復，三為臨時修復。

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。

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。

### 壹、鋼筋腐蝕補修工法

鋼筋腐蝕修復種類可分為劣化混凝土處理、鋼筋防銹處理、含浸材處理、鋼筋防銹處理、斷面修復、表面被覆部分，如表 4-38。其中，臨時修復主要針對腐蝕部分進行除鏽處理，而延壽修復則增加鋼筋防鏽處理；永續修復除上述工法外，須增加表面被覆材部分，以隔絕劣化因子入侵。

表4- 38 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	延壽	永續(1)	永續(2)
鋼筋腐蝕補修工法	劣化混凝土處理	去除裂縫部分	鋼筋腐蝕地方	鋼筋腐蝕地方	鋼筋腐蝕地方
	銹蝕鋼筋處理	劣化部分去除	劣化部分去除	劣化部分去除	劣化部分去除
	含浸材處理	-	-	強鹼塗布型材料	-
	鋼筋防銹處理	-	鋼筋防鏽材	鋼筋防鏽材	鋼筋防鏽材
	斷面修復	斷面修復	斷面修復	斷面修復材	斷面修復材
	表面被覆	-	中性化抑制材料和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使用水泥、建材種類或混凝土密實性等因素影響，如何依損傷部位之受損程度進行有效之補修等，須依其劣化程度將其分類，表 4-39 所示，並建議適合之工法，如表 4-40。

表4- 39 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 以上
中度	中性化深度評定值為 3
重度以上	中性化深度評定值 4 以上

(資料來源：日本建築學會，1997)

表4-40 混凝土中性化補修工法選定

構件劣化度	中性化影響因子劣化程度		
	輕度以下	中度	重度以上
輕度以下	不補修	中性化抑制工法	中性化抑制工法
中度	檢討	裂縫補修工法和 中性化抑制工法	鋼筋腐蝕補修工法 中性化抑制工法
重度以上	檢討	檢討	鋼筋腐蝕補修工法 中性化抑制工法

(資料來源：日本建築學會，1997)

### 參、氯離子抑制工法

依據其劣化程度將其分類，如表 4-41 所示，並建議適合之修補工法，表 4-42 所示。

表4-41 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	0.6 kg/m <sup>3</sup> 以下
中度	0.6 kg/m <sup>3</sup> 以上，1.2 kg/m <sup>3</sup> 以下
重度以上	1.2 kg/m <sup>3</sup> 以上

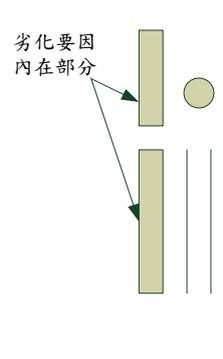
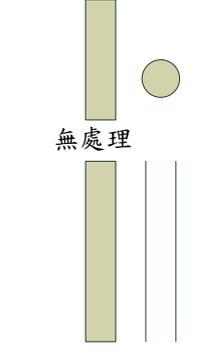
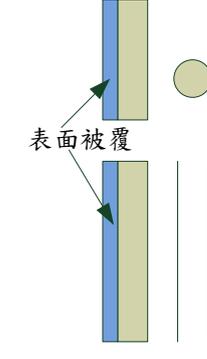
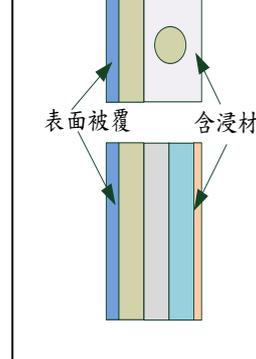
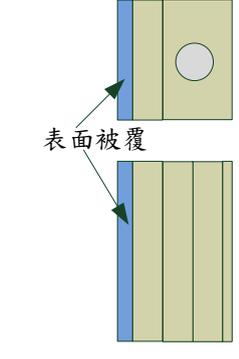
(資料來源：日本建築學會，1997)

表4-42 氯離子補修工法選定

構件劣化度	氯離子影響因子劣化程度		
	輕度以下	中度	重度以上
輕度以下	不補修	氯離子抑制工法	氯離子抑制工法
中度	檢討	鋼筋腐蝕補修工 法和氯離子抑制 工法	鋼筋腐蝕補修工法 氯離子抑制工法
重度以上	檢討	檢討	鋼筋腐蝕補修工法 氯離子抑制工法

(資料來源：日本建築學會，1997)

表4-43 中性化及氯離子補修工法與回復目標方法之關係

					
中性化抑制工法	混凝土表面處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	中性化部分去除
	含浸材處理	-	-	強鹼性材料	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復材
	表面被覆	-	中性化抑制材料	中性化抑制材料	中性化抑制材料
氯離子抑制工法	混凝土表面處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	氯離子滲透部分去除
	含浸材處理	-	-	塗布型防銹材	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復材
	表面被覆	-	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、裂縫修補工法

依中華民國結構工程技師公會全國聯合會(2008)中，鋼筋混凝土建築物之結構元件受損，依其受損之混凝土表徵，概分為：混凝土裂縫寬度小於 0.3mm、混凝土裂縫寬度大於 0.3mm 之結構性裂縫、混凝土局部鬆動及混凝土嚴重開裂剝落等四種。

鋼筋混凝土結構元件若產生前述之受損現象，只要鋼筋與混凝土尚具有整體性(黏結握裹尚稱完好)，則均可以合宜之工法材料，將其「修復」，亦即可藉由「修復」工法維持結構元件之既有強度。

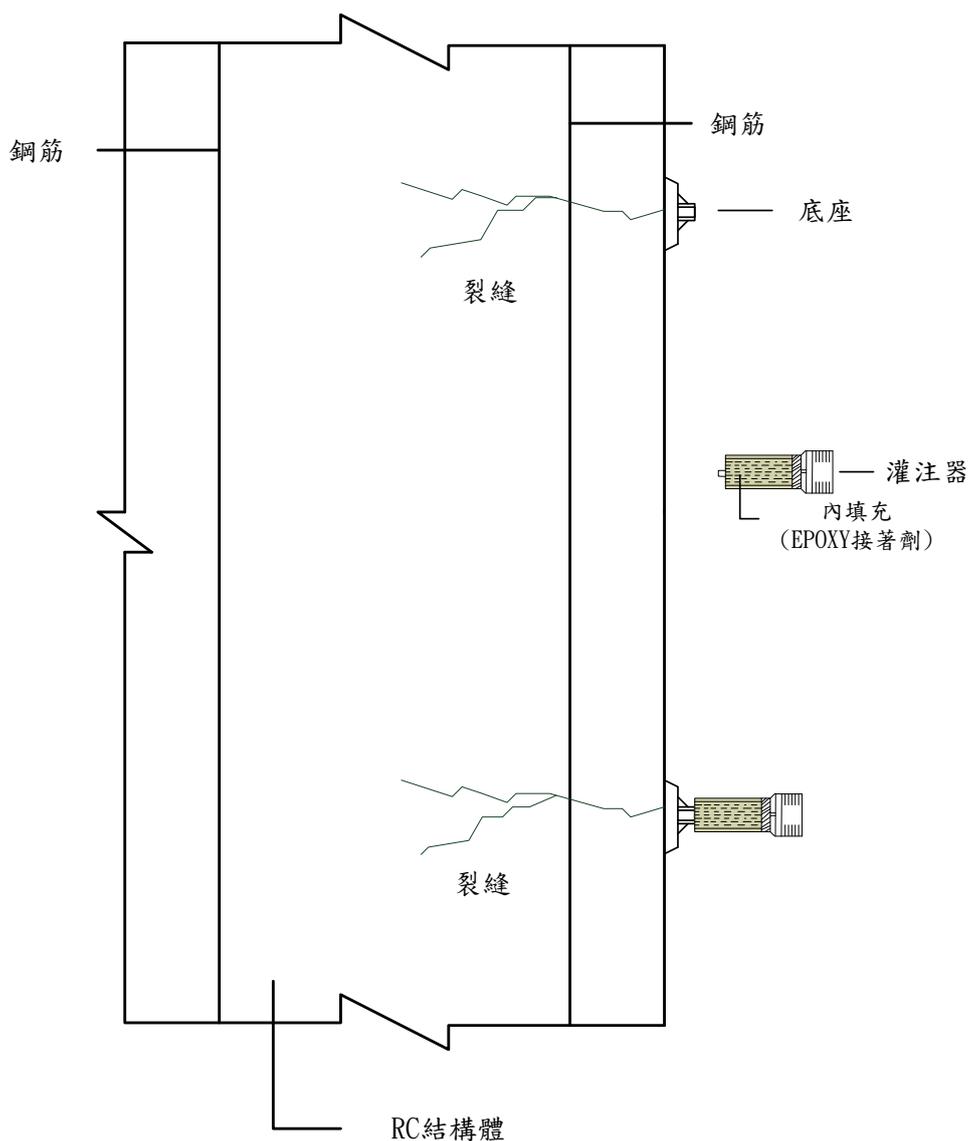


圖4-32 裂縫修補工法示意圖

(資料來源：鹿島工程技術顧問股份有限公司，2009)

施工步驟：

- (1). 粉刷層有分離現象時，先打除清理，並進行裂縫表面強化處理。
- (2). 將灌注口對準裂縫安置，並以 EPOXY 封塞劑固定。將灌注器填注滿 EPOXY 接著劑後與底座旋轉密合。
- (3). 對灌注器以低壓低速方式(15P 以上橡皮筋)施加壓力，將 EPOXY 注入裂縫中。
- (4). 灌注間距約每 30cm 安裝乙支，灌注期間應隨時檢查並補充灌注器內 EPOXY，使其充分灌飽 0.2mm 以下之裂縫，灌注器若灌完須加注 EPOXY 至灌注器內存量為止。

## 1. 裂縫灌注工法

裂縫寬度小於 0.3mm，以水泥膏或環氧樹脂膏或彈性披土填補 V 形槽，再以水泥砂漿填補。

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等結構元件，發生寬度 0.3mm 以下之微裂縫。

(2) 特性說明：一般而言，寬度 0.3mm 以下非結構性裂縫，填補後可有效防止水氣侵入。

(3) 施工步驟：

將混凝土表面清理乾淨，以水泥膏、環氧樹脂膏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並粉平，塗刷油漆之於裂縫部位，油漆顏色宜與周圍油漆顏色一致，如圖 4-32 所示。

(4) 注意事項：其施工安全防護措施及塗刷方式，須依材料廠商之建議方式施作，承商建議之方式應事先取得技師之同意。

## 2. 裂縫寬度大於 0.3mm 之結構性裂縫工法

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等結構元件，發生寬度在 0.3mm 以上之結構性裂縫。

(2) 特性說明：一般而言，環氧樹脂之力學強度遠高於混凝土，且環氧樹脂可與混凝土充分黏結，故以壓力注入環氧樹脂後之裂縫可完全密合，而達修復及防止水氣滲入目的，若再有外力造成混凝土開裂，則因環氧樹脂黏結強度高於鄰近混凝土，如再開裂其位置應不會在已灌注環氧樹脂之縫位置。

(3) 施工步驟：

清理裂縫之雜物，並固定裂縫灌注器於裂縫上，灌注器間距為 150 至 400mm 之間，視裂縫寬度而定，以能灌滿裂縫為原則。安裝灌注器底座；裂縫表面須用密封劑沿裂縫作寬度約 30mm、厚 3mm 之密

封，以避免注入之補修材料流出；灌注的壓力須由裂縫寬度、深度及補修材料的稠度來決定，原則上須採用低壓低速方式灌注，灌注時須從裂縫最寬處開始，若在垂直或傾斜面施工時，通常先從最低的灌注點開始依序向上灌注，當環氧樹脂滲過上方的灌注點時，再移至新的灌注點灌注，若有需要且在該裂縫灌注 30 分鐘，可再進行補灌。灌滿後至少養生 24 小時，拆除灌注底座，並進行披土磨平。

(4) 注意事項：

環氧樹脂僅能黏合開裂之混凝土，並無法提升整體混凝土強度；灌注環氧樹脂，應由下往上，逐次注入，至上方排氣孔溢出為止，以確保環氧樹脂確實填入裂縫。

施工時應注意針筒中之環氧樹脂若已灌注完，應立即補充環氧樹脂繼續灌注，以求裂縫確實填滿環氧樹脂。

若混凝土表面已有銹斑及剝落現象發生時，需先敲除鬆動混凝土至堅實面，並將鋼筋及骨材作適當清理，並於清理後的一小時內，塗上鋼筋除銹劑後再以補修材料補修。

裂縫灌注之環氧樹脂材料規格如黏滯性、黏結強度及抗拉強度，承包商應依據不同裂縫寬度，提出適當之材料規格，送經技師核可後方可施工。

### 3. 局部鬆動混凝土修復工法(斷面修復)

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土結構元件中局部混凝土嚴重開裂或鬆動。

(2) 特性說明：環氧樹脂砂漿一般為乾式施工，當嚴重開裂或鬆動部分敲除至堅實面並清理乾淨後，用環氧樹脂砂漿應可有效修復結構元件之現有強度。

(3) 施工步驟：

畫定欲敲除混凝土範圍，並敲除劣化混凝土至堅實面，修飾被敲

#### 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

除之混凝土範圍，以高壓噴槍清除表面粉塵及鬆動碎屑待其乾燥後，先塗抹環氧樹脂黏著劑於新舊混凝土接觸面上，而此黏著劑須與補修材料及混凝土具有相容性，並於黏著劑未硬化前，以環氧樹脂砂漿填補敲除之部位，並加以整平及養護，如圖 4-33 所示。

#### (4) 注意事項：

敲除嚴重開裂或鬆動之混凝土應至堅實面，剩餘表面應確實清理乾淨。應注意施工部位乾燥不得有額外水份。底劑應注意均勻塗於清理乾淨後之混凝土表面。

### 4. 局部構件敲除重作工法

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土元件嚴重開裂或鬆動部分所佔比例過大，無法以填補材料填補時。

(2) 特性說明：當鬆動或嚴重開裂混凝土之體積過大時，使用環氧樹脂砂漿不經濟，故可將舊有混凝土鬆動或嚴重損害部位完全敲除後，表面清洗乾淨並組模後，依新舊混凝土接合面之施工方式修復嚴重受損之結構元件。

#### (3) 施工步驟：

確定欲敲除表面鬆動混凝土之範圍，敲除表面鬆動混凝土，並檢查鋼筋是否銹蝕。敲除已產生鋼筋銹蝕之表面混凝土至鋼筋內側，銹蝕鋼筋除銹，並以高壓噴槍清除敲除範圍之雜物。外露鋼筋塗佈除銹劑。塗抹水泥漿或其他黏著劑於新舊混凝土接觸面上。黏著劑須與修補材料及混凝土具相容性。於黏著劑濕潤狀態時，以新拌混凝土填補，將表面修飾整平及養護。

#### (4) 注意事項：

敲除後之結構元件應注意施工期間之結構安全性(注意加設臨時支撐)；新舊混凝土應注意接著面鑿毛且有 6mm 以上面粗糙度，清潔後並以水泥漿潤濕；新灌混凝土應注意養護並注意拆除臨時支撐之時

機；如新灌混凝土非無收縮混凝土，應預留接縫，養護拆模後補灌無收縮水泥砂漿，以避免新舊混凝土間產生乾縮裂縫。

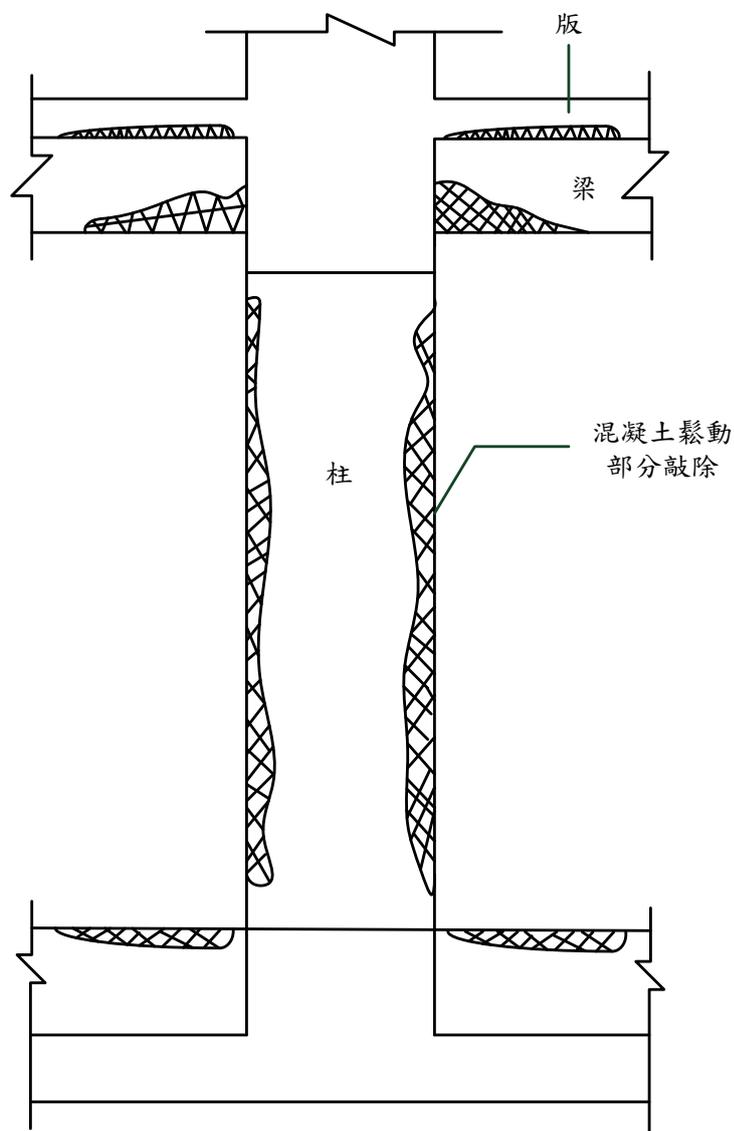


圖4-33 鋼筋生鏽、混凝土開裂修補工法示意圖

(資料來源：鹿島工程技術顧問股份有限公司，2009)

施工步驟：

- (1). 敲除剝落處及鄰近鬆動之混凝土，至堅實混凝土面為止，敲除部分邊緣應垂直，以利新舊介面接合。
- (2). 鋼筋除鏽，並塗佈紅丹漆/鋅漆做防鏽處理，若鋼筋已鏽蝕嚴重致斷面已明顯減 20% 以上，需於原有鋼筋旁搭接新加且有足夠長度之鋼筋作為補強。

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

- (3). 高壓空氣吹淨。
- (4). 裂縫灌注 EPOXY 。
- (5). 塗佈 EPOXY 界面接著劑。
- (6). 披補環氧樹脂砂漿至與原結構面平齊。
- (7). 1:3 水泥砂漿粉刷，外裝復原。

## 第五章 實例調查與專家訪談

### 第一節 實例調查

本節主要進行實體結構物之耐久性能調查，以了解本研究所建議之診斷方法的適用性。

#### 壹、實例一

##### 1. 建築結構使用現況概述：

本實例之建築物為台北市某高中科學樓，為地上四層地下一層之鋼筋混凝土建築物，興建於民國 73 年，平面尺度為長方形，常邊為 40.5 公尺，短向寬度 18 公尺，地下一層至四層樓高為 3.6 公尺，總樓高 14.4 公尺，各樓層高級建築面積詳下表：

表 5-1 科學樓校舍基本資料

名稱	科學樓				
構造種類	鋼筋混凝土造				
基礎形式	單層筏式基礎				
平面配置	長方形				
X 向	40.5m				
Y 向	18m				
樓層	B1F	1F	2F	3F	4F
層高(m)	3.6				
面積(m <sup>2</sup> )	734.05	739.31	739.31	735.36	772.50
現況用途	教室、辦公室				

(資料來源：某高中科學樓校舍修復補強報告書，2013)

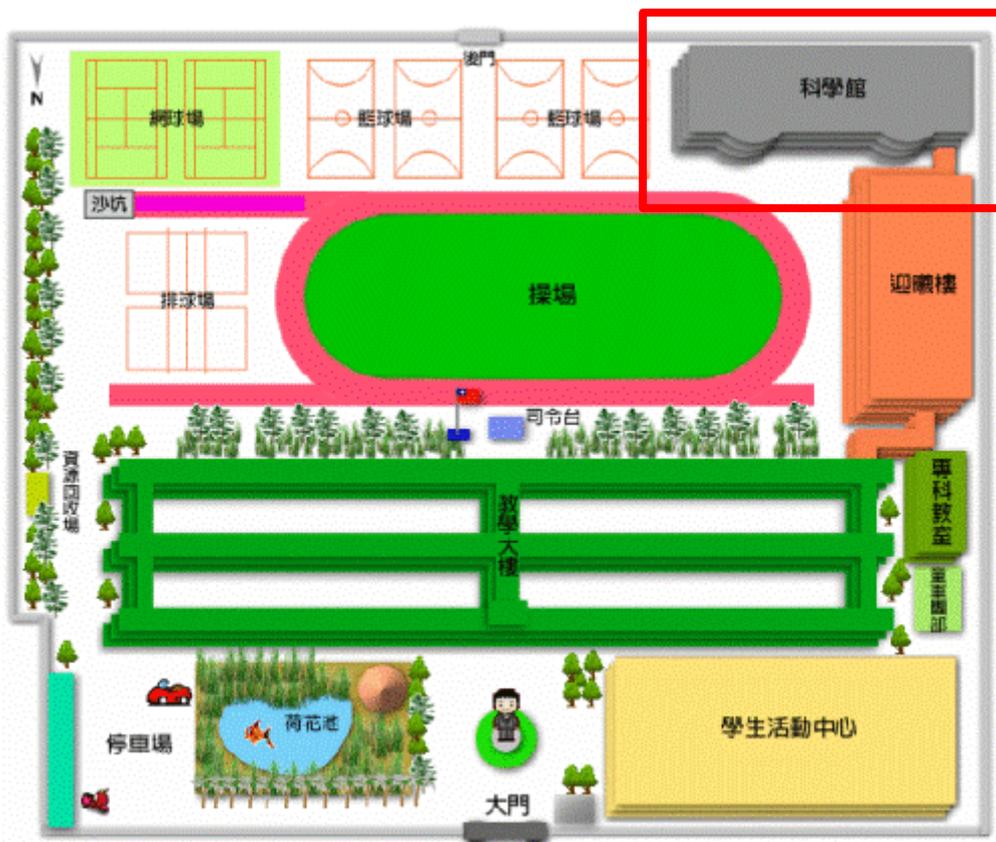


圖 5-1 台北市某高中平面圖  
(資料來源：某高中科學樓校舍修復補強報告書，2013)

## 2. 建築概要調查表建立：

根據設計圖說、施工紀錄、檢查或補修工事紀錄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，如圖 5-2 所示，可以進一步掌握建築物實際現況。

表 5-2 建築物概要調查表

<p>1. 調查概要</p> <p>1.1 調查日期 <u>102年05月10日</u></p> <p>1.2 調查機關名稱 <u>財大性能研究團隊</u></p> <p>1.3 機關所在地 <u>財大性能研究團隊</u></p> <p>1.4 調查者姓名 <u>(02) 2583-4017 卅 14-2</u></p> <p>1.5 聯絡電話</p>	<p>3. 圖書記錄</p> <p>3.1 一般圖 <input type="checkbox"/>有 <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>部分有 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.2 構造圖 <input type="checkbox"/>有 <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>部分有 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.3 構造計算書 <input type="checkbox"/>有 <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>部分有 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.4 施工紀錄 <input type="checkbox"/>有 <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>部分有 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.5 過去之調查資料 <input type="checkbox"/>有 <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>部分有 <input type="checkbox"/>不明</p>	<p>7. 其他補充事項</p> <p style="text-align: center;"><u>無</u></p>	<p>8. 簽名處 <u>財大性能研究團隊</u></p>
<p>2. 建物之資料</p> <p>2.1 名稱 <u>英高中科學樓</u></p> <p>2.2 所在地 <u>台北市英高中</u></p> <p>2.3 用途 <u>學校</u></p> <p>2.4 竣工日期 <u>73</u>年<u>09</u>月</p> <p>2.5 已使用年限 <u>40.5</u>年</p> <p>2.6 平面尺寸 長 <u>40.5</u>m<sup>2</sup>; 短 <u>18</u>m<sup>2</sup></p> <p>2.7 總樓層面積 <u>3019</u>m<sup>2</sup></p> <p>2.8 構造型式 <input checked="" type="checkbox"/>RC <input type="checkbox"/>SRC <input type="checkbox"/>SS <input type="checkbox"/>其他</p> <p>2.9 基礎型式 <input type="checkbox"/>筏式基礎 <input type="checkbox"/>獨立基礎 <input type="checkbox"/>其他</p> <p>2.10 樓層數 <u>地上四樓</u> <u>頂加</u> <u>無</u></p> <p>2.11 設計者 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>2.12 監工者 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>2.13 施工者 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>2.14 管理者 <input type="checkbox"/>不明</p>	<p>4. 建築物履歷</p> <p>4.1 用途變更 <input type="checkbox"/>有 ( ) <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.2 增改建 <input type="checkbox"/>有 ( ) <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.3 受災紀錄 <input type="checkbox"/>有 ( ) <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.4 補修紀錄 <input type="checkbox"/>有 ( ) <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>不明</p> <p>3.5 補強紀錄 <input type="checkbox"/>有 ( ) <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>不明</p>	<p>5. 建築物環境</p> <p>5.1 地域區分 <input type="checkbox"/>田園郊外 <input type="checkbox"/>市街區 <input type="checkbox"/>工廠區</p> <p style="padding-left: 20px;"><input type="checkbox"/>溫泉區</p> <p>3.2 距海遠近 <input type="checkbox"/>有 ( ) <input type="checkbox"/>無 <input type="checkbox"/>不明</p>	<p>6. 建築物之材料性質</p> <p>6.1 混凝土之設計強度 <u>210</u> kg/cm<sup>2</sup> <input type="checkbox"/>不明</p> <p>6.2 被覆材 屋內 ( ) 屋外 ( )</p>

圖 5-2 建築物概要調查表

(資料來源 本研究整理)

### 3. 耐久性能初步診斷

依構件劣化、外牆表面被覆材料劣化、建築物已使用年數、環境條件及其他使用性能(使用條件)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。

#### (1) 主要構件劣化度判定

依實際勘查結果，所檢測的地下一樓柱構件共 40 根，其中 11 根為重度，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，單一樓層柱構件劣化度之計算結果為重度，發生機率為 11/40、其以上之累積機率為 11/40，如表 5-2 所示。

表 5-2 地下一樓柱構件之劣化記錄表

構件名稱		建築物名稱			
柱		科學樓-B1F			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-1	Cd3			1.2 mm	
					柱構件因鋼筋腐蝕產生垂直裂縫。
C-2	Cd3			1.7	
C-3	Cd3			2	
C-6	Cd3	0.2		-	
C-8	Cd3			1.2	
C-9	Cd3				√
C-10	Cd3			2.85	
B-2	Cd3			0.85	
B-3	Cd3			2	
B-5	Cd3				√
B-7	Cd3			0.85	
B-8	Cd3			0.25	
B-9	Cd3			2.25	
B-10	Cd3			3.5	
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		2/40		$\frac{2}{40} = 0.05 < 0.1$	
<input checked="" type="checkbox"/> 重度		11/40		$\frac{2+11}{40} = 0.375 > 0.1$	
<input type="checkbox"/> 中度		0/40		-	
<input type="checkbox"/> 輕度		1/40		-	
<input type="checkbox"/> 健全		26/40		-	

(資料來源 本研究整理)

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

依實際勘查結果，所檢測的地下一樓梁構件共 19 根，其中 2 根為重度，單一樓層梁構件劣化度之計算結果為嚴重損壞一根，發生機率為 1/19；重度一根，發生機率為 1/19、其以上之累積機率為 2/19，如表 5-3 所示。

表 5-3 地下一樓梁構件之劣化記錄表

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			
D-3.4	Bd1			2.4	
		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	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		1/19		$\frac{1}{19} = 0.05 < 0.1$	
<input checked="" type="checkbox"/> 重度		1/19		$\frac{1+1}{19} = 0.105 > 0.1$	
<input type="checkbox"/> 中度		0/19		-	
<input type="checkbox"/> 輕度		0/19		-	
<input type="checkbox"/> 健全		17/19		-	

(資料來源 本研究整理)

依實際勘查結果，所檢測的地下一樓版構件共 18 個單位面積，其中 2 個為嚴重損壞，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 2/18、其以上之累積機率為 2/19，如表 5-4 所示。

表 5-4 地下一樓版構件之劣化記錄表

構件名稱			建築物名稱		
版			科學樓-B1F		
構件編號	形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
AB-9.10	剝落				~
		鋼筋腐蝕產生之裂縫，版下端因保護層厚度較小或含有鹽化物，混凝土產生剝落現象			
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input checked="" type="checkbox"/> 嚴重損壞		2/18		$\frac{2}{18} = 0.11 \geq 0.1$	
<input type="checkbox"/> 重度		1/18		$\frac{2+1}{18} = 0.17$	
<input type="checkbox"/> 中度		2/18		$\frac{2+1+2}{18} = 0.278$	
<input type="checkbox"/> 輕度		1/18		$\frac{2+1+2+1}{18} = 0.33$	
<input type="checkbox"/> 健全		10/18		$\frac{2+1+2+1+10}{18} = 0.89$	

(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 5-5 所示。

表 5-5 整棟建築物構件之劣化紀錄表

建築物名稱		科學樓			
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆	
B1F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input checked="" type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
1F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
2F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input checked="" type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
3F	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
4F	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input checked="" type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
劣化度	重度	重度	嚴重損壞	健全	

## (2) 建築物外牆被覆材料調查

外牆四面向被覆材料調查結果狀況良好。

## (3) 環境影響因子調查與評定

本研究所建議之耐久性能初步診斷法中，主要包含中性化與氯離子所引至之環境影響。以氯離子而言，以建築物所在位置之距海遠近距離進行評估，如表 5-6 所示，本實例屬於中環境劣化潛勢；另外中性化而言，本案例位於北部，使用北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表，該校舍建於民國 73 年，屋齡為 29 年，所以屬於低環境劣化潛勢，如表 5-7 所示。

表 5-6 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	<input type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input checked="" type="checkbox"/> 1.0 - 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 - 1.0 km
東部	<input type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 1.0 - 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 - 1.0 km
中部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 - 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 - 3.0 km
南部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 - 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 - 3.0 km

表 5-7 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表

	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	<input type="checkbox"/> 屋齡 10 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 10~45 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之 使用年限	<input checked="" type="checkbox"/> 屋齡 45 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 45~100 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上
樹脂材料被覆、 瓷磚被覆、 水泥板材被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以下		<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上

#### (4) 其他使用性能評定

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，如表 5-8 所示。

表 5-8 其他使用性能評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input checked="" type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	<input checked="" type="checkbox"/> 大範圍斑塊狀
異常體感 (振動、樓板 跨距大變形)	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物 傾斜	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
天花板裝修物 變形 (輕鋼架)	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	<input checked="" type="checkbox"/> 使用上造成困 擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input checked="" type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	四樓滲漏水嚴重，故屋頂層之防水層須修復			
外牆汙損	已重新粉刷完成			
其他補充	建築物經目視檢查，梁有多處垂直、水平裂縫，柱有多處垂直裂縫，地坪有多處裂縫，地下室坪頂有多處混凝土鼓起、鋼筋外露之現象。本實例建築物結構體現況地下室滲水、鋼筋外露及粉刷層崩落現象；此外，建築物教室牆面有些許粉刷層剝落之現象(俗稱「壁癌」)，且柱、梁等主要之構件皆有因劣化而產生之裂縫。			

(資料來源 本研究整理)

### (5) 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「重度」，故可直接進入詳細性能診斷階段，評定結果如圖 5-3 所示。

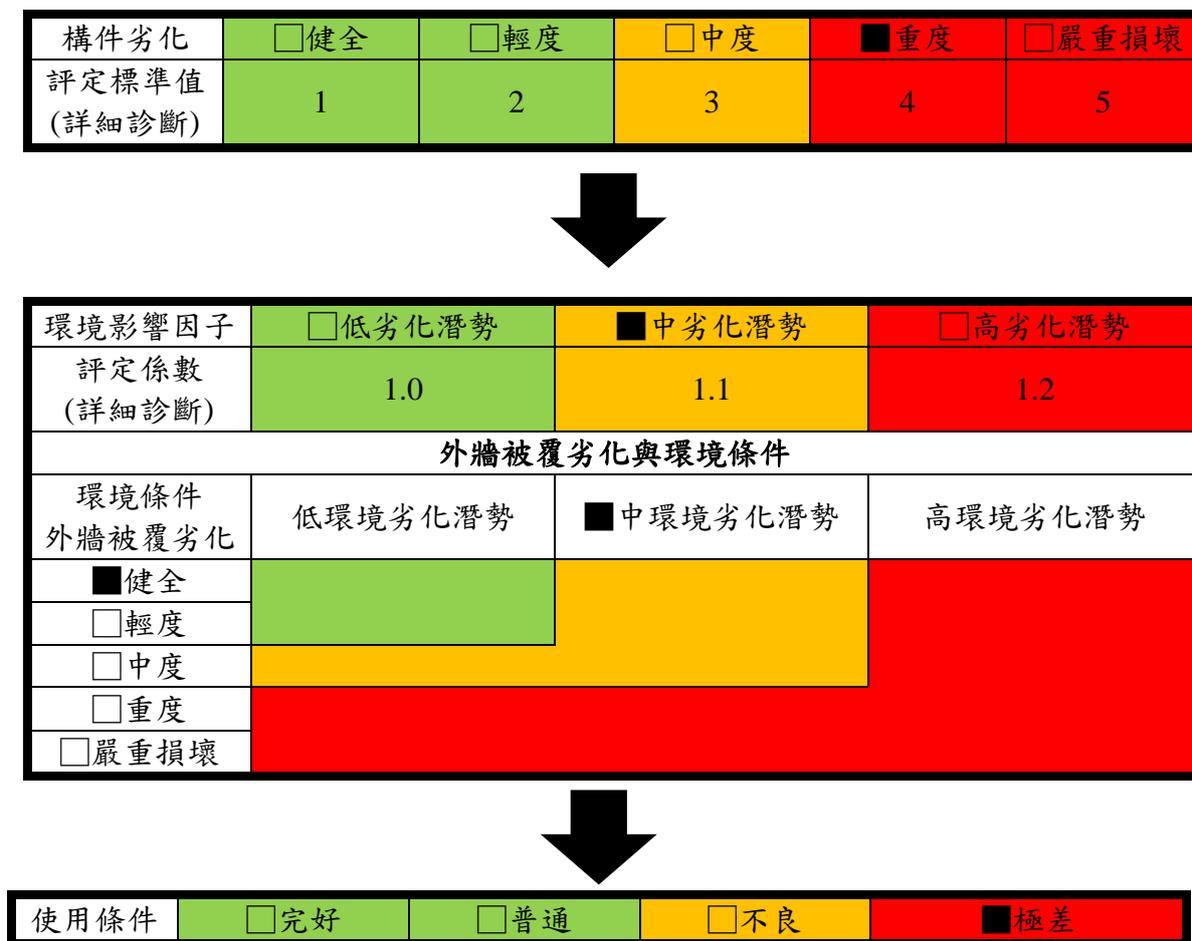


圖 5-3 初步診斷綜合評定

## 4. 耐久性能詳細診斷

### (1) 抗壓強度檢測與評定

依該建築物之詳細耐震能力評估報告可知，共取樣 20 個試體且其混凝土抗壓強度統計如下表 5-9，該建築混凝土設計強度為  $f_c'=210\text{kg/cm}^2$ ，試驗平均結果為  $f_c'=111\sim 153\text{kg/cm}^2$ 。

表 5-9 抗壓強度試驗表(1)

樓層	取樣位置	取樣強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	平均強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_{bm}$	$K_{bt}$	評定標準值
B1F	B1F-1	117	138	$\frac{138}{210} = 0.66$	117/210=0.56	5
	B1F-2	169			169/210=0.80	
	B1F-3	136			136/210=0.65	
	B1F-4	128			128/210=0.61	
1F	1F-1	142	153	$\frac{153}{210} = 0.73$	142/210=0.68	5
	1F-2	164			164/210=0.78	
	1F-3	130			130/210=0.62	
	1F-4	177			177/210=0.84	
2F	2F-1	155	128	$\frac{128}{210} = 0.61$	155/210=0.74	5
	2F-2	97			97/210=0.46	
	2F-3	121			121/210=0.58	
	2F-4	142			142/210=0.68	
3F	3F-1	133	123	$\frac{123}{210} = 0.59$	133/210=0.63	5
	3F-2	120			120/210=0.57	
	3F-3	84			84/210=0.4	
	3F-4	158			158/210=0.75	
4F	4F-1	94	111	$\frac{111}{210} = 0.53$	94/210=0.45	5
	4F-2	88			88/210=0.42	
	4F-3	109			109/210=0.52	
	4F-4	156			156/210=0.74	

(資料來源：某高中科學樓校舍修復補強報告書，2013)

各樓層抗壓強度與設計強度比值偏低，介於 0.8~0.4 之間，因此評定標準值為 5。

本研究選定構件劣化最嚴重之樓層，並針對梁構件進行鑽心取樣，取樣位置為地下室，共四顆試體，將其試體進行抗壓強度檢測，其試驗值如表 5-10 所示。

表 5-10 抗壓強度試驗表(2)

樓層	取樣位置	取樣強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	平均強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	$K_{bm}$	$K_{bt}$	評定標準值
B1F	B1F-1	165	152	$\frac{152}{210} = 0.72$	0.79	5
	B1F-2	150			0.71*	
	B1F-3	154			0.73	
	B1F-4	139			0.66	
備註 備註	*代表為該樓層抗壓強度之最小值，取其最小值為 $K_{bt}$ 與 $K_{bt}$ 進行評定。					

## (2) 中性化深度檢測與評定

依該建築物之詳細耐震能力評估報告可知，共取樣 20 個試體且其中性化深度統計如下表 5-11，中性化深度平均結果為 3.1~5.5cm。

表 5-11 中性化深度試驗表(1)

試體編號	取樣位置	中性化深度(cm)	平均深度(cm)
1	B1F-1	4.3	3.1
2	B1F-2	4.1	
3	B1F-3	1.8	
4	B1F-4	2.2	
5	1F-1	4.8	5.4
6	1F-2	4.9	
7	1F-3	7.0	
8	1F-4	4.9	
9	2F-1	2.9	4.5
10	2F-2	6.7	
11	2F-3	3.6	
12	2F-4	5.0	
13	3F-1	5.5	5.4
14	3F-2	2.1	
15	3F-3	6.8	
16	3F-4	4.1	
17	4F-1	5.3	5.5
18	4F-2	6.2	
19	4F-3	5.5	
20	4F-4	5.0	

(資料來源：某高中科學樓校舍修復補強報告書，2013)

根據鑽心取樣之試體進行中性化檢測，其試驗值如表 5-12 所示，保護層厚度為參考混凝土保護層厚度之實測值而定。

表 5-12 中性化深度試驗表(2)

試體編號	取樣位置	中性化深度(cm)	$\frac{\text{中性化深度}}{\text{保護層厚度}}$ (cm)	評定標準值
1	B1F-1	3.6	$3.6/8=0.45$	1
2	B1F-2	4.1	$4.1/8=0.51$	1
3	B1F-3	6.8	$6.8/8=0.85$	1
4	B1F-4	4.5	$4.5/8=0.56$	1

(資料來源 本研究整理)

### (3) 氯離子含量檢測與評定

氯離子濃度之檢測為採用氯離子測定儀主要藉由電極量測滴定過程中氯離子的氧化電位，當電位突然巨幅變化時，此為滴定終點。表 5-13 為由該建築物之詳細耐震能力評估報告中取得，根據氯離子含量評定標準，評定標準值取 4。

表 5-13 氯離子含量試驗表(1)

試體編號	取樣位置	氯離子含量 (kg/m <sup>3</sup> )	評定標準值
1	B1F-1	0.96	2
2	B1F-2	1.78	3
3	B1F-3	1.18	2
4	1F-1	0.21	1
5	2F-1	1.91	3
6	2F-2	2.06	3
7	2F-3	3.29	5
8	3F-1	3.49	5
9	3F-2	2.67	4
10	3F-3	1.48	3
11	4F-1	1.85	3
12	4F-2	2.35	4
13	4F-3	2.95	4

(資料來源：某高中科學樓校舍修復補強報告書，2013)

根據鑽心取樣之試體進行氯離子含量檢測，其試驗值如表 5-14 所示，並取其最嚴重之評定值為該樓層評定標準值。

表 5-14 氯離子含量試驗表(2)

試體編號	位置編號	氯離子濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	評定標準值
1	B1-1	0.64	2
2	B1-2	1.54	3
3	B1-3	0.23	1
4	B1-4	1.82	3

#### (4) 腐蝕電位檢測與評定

本實例腐蝕電位檢測測點如圖 5-4 所示，共取點 66 個，進行檢測作業，其結果如圖 5-5、5-6、5-7 所示。其中柱劣化度重度(C10)腐蝕電位平均值為 410(mV)、柱劣化中度(C9)腐蝕電位平均值為 245(mV)、柱劣化輕度(C6)腐蝕電位平均值為 190(mV)。依據鋼筋鏽蝕電位評定標準，其腐蝕電位評定標準值取 4。

某高中科學樓-  
混凝土電阻係數量測編號

	1	2	3	4	5	6
A						
B						
C						
D						
E						
F						
G						
H						
I						
J						
K						

圖5-4 腐蝕電位檢測測點

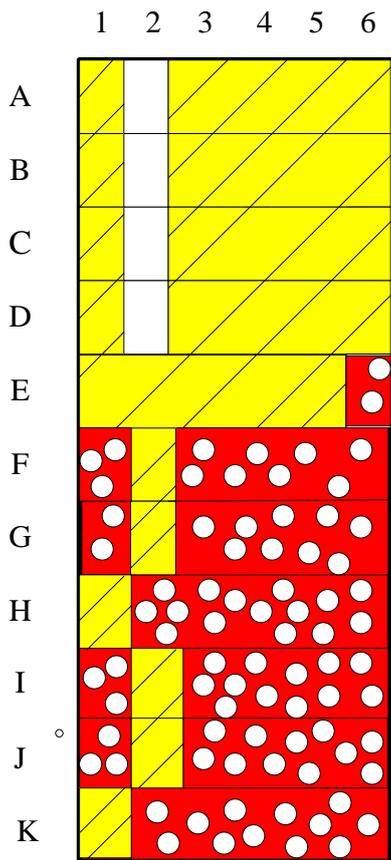


圖5-5 柱劣化度重度(C10)  
腐蝕電位檢測結果

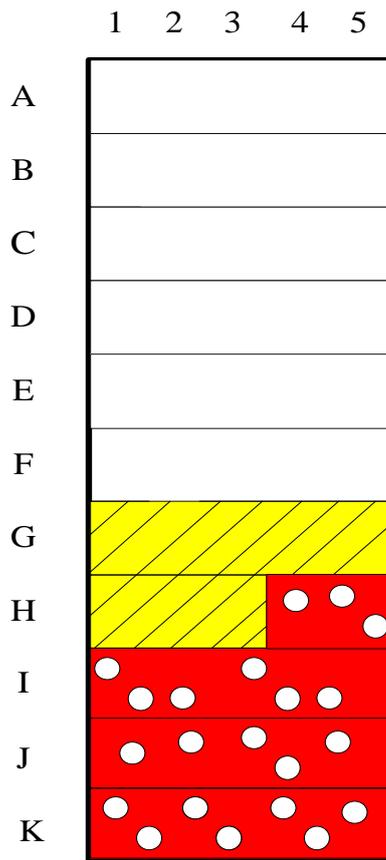


圖5-6 柱劣化度中度(C9)  
腐蝕電位檢測結果

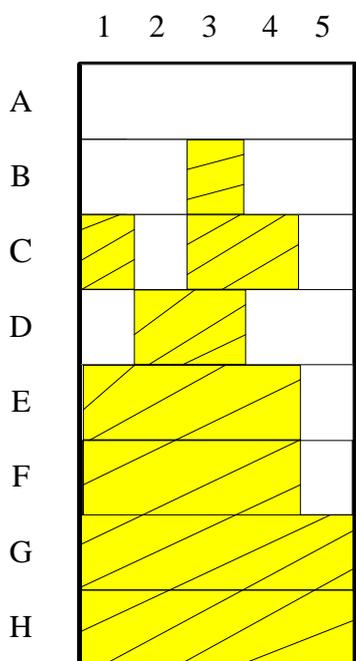


圖5-7 柱劣化度輕度(C6)  
腐蝕電位檢測結果

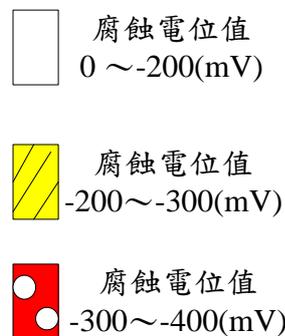


圖5-8 腐蝕電位值圖形對照圖

### (5) 電阻率檢測與評定

本實例檢測之結果如表5-15~表5-17所示，總共檢測三根柱，依評定標準表，柱C10、C9該值平均大於20000( $\Omega$ )，則其評定標準值為1；柱C6該值介於15000~20000( $\Omega$ )之間，其評定標準值為2，整體評定值取2。

表5- 15 柱(C10)電阻率

測點	電阻 ( $\Omega$ )	測點	電阻 ( $\Omega$ )
A1	71000	F3	30000
A2	58000	G1	12000
A3	52000	G2	19000
B1	58000	G3	12000
B2	54000	H1	12000
B3	40000	H2	19000
C1	48000	H3	12000
C2	54000	I1	15000
C3	49000	I2	15000
D1	40000	I3	15000
D2	36000	J1	11000
D3	48000	J2	14000
E1	32000	J3	12000
E2	32000	K1	10000
E3	32000	K2	15000
F1	24000	K3	10000
F2	34000	平均值	<b>30000</b>
評定標準值		<b>1</b>	

表5- 16 柱(C9)電阻率

測點	電阻 ( $\Omega$ )	測點	電阻 ( $\Omega$ )
A1	77000	F3	51000
A2	56000	G1	31000
A3	59000	G2	35000
B1	50000	G3	31000
B2	49000	H1	29000
B3	50000	H2	30000
C1	57000	H3	27000
C2	56000	I1	23000
C3	58000	I2	21000
D1	42000	I3	22000
D2	55000	J1	17000
D3	45000	J2	19000
E1	65000	J3	17000
E2	64000	K1	27000
E3	60000	K2	12000
F1	28000	K3	12000
F2	39000	平均值	<b>40000</b>
評定標準值		<b>1</b>	

表 5-17 柱(C6)電阻率

測點	電阻 ( $\Omega$ )	測點	電阻 ( $\Omega$ )
A1	20000	E1	13000
A2	14000	E2	14000
A3	15000	E3	10000
B1	15000	F1	28000
B2	11000	F2	32000
B3	13000	F3	25000
C1	15000	G1	42000
C2	19000	G2	28000
C3	13000	G3	34000
D1	10000		
D2	12000		
D3	15000	平均值	<b>19000</b>
評定標準值		2	

(資料來源 本研究整理)

## (6) 混凝土保護層

參考此建築物校舍耐震能力評估報告書所得之混凝土保護層厚度實測值如表 5-18 所示，其中混凝土保護層設計值為 4cm，依本研究第四章中式 4-6~4-8 計算混凝土保護層厚度與設計值之比值，進而得知評定標準值。

表 5-18 科學樓混凝土保護層厚度實測值

編號	探測位置	保護層厚度(cm) (由粉刷層至鋼筋最外緣)	$\overline{D}_n$	n	$S_D$	$\overline{D}_{nc}$	$\frac{\overline{D}_{nc}}{\overline{D}_{nd}}$	評定標準值
1	B1F 柱上端	8.0	8.33	3	0.58	7.35	1.84	1
2	B1F 柱上端	8.0						
3	B1F 柱上端	9.0						
4	1F 柱下端	8.0	6.50	3	1.32	4.26	1.06	1
5	1F 柱下端	5.5						
6	1F 柱下端	6.0						
7	1F 梁端底部	5.0	7.00	3	1.73	4.06	1.02	1
8	1F 梁端底部	8.0						
9	1F 梁端底部	8.0						
10	2F 柱上端	5.0	6.00	3	1.32	3.76	0.94	2
11	2F 柱下端	5.5						
12	2F 柱下端	7.5						
13	2F 梁端底部	5.0	6.17	3	1.26	4.03	1.01	1
14	2F 梁端底部	7.5						
15	2F 梁端底部	6.0						
16	3F 柱下端	5.0	5.67	3	1.61	2.94	0.74	3
17	3F 柱下端	4.5						
18	3F 柱下端	7.5						
19	3F 梁端底部	8.0	7.17	3	1.04	5.40	1.35	1
20	3F 梁端底部	6.0						
21	3F 梁端底部	7.5						
22	4F 柱下端	5.0	6.83	3	1.61	4.11	1.03	1
23	4F 柱下端	7.5						
24	4F 柱下端	8.0						
25	4F 梁端底部	7.0	6.50	3	1.32	4.26	1.06	1
26	4F 梁端底部	7.5						
27	4F 梁端底部	5.0						

由表 5-18 可知各樓層柱、梁構件之評定標準值，取其最嚴重程度為其樓層之評定標準值。

### (7) 混凝土表面損傷評定值

依表5-19耐久性能初步診斷之構件劣化度評定可知，本實例之混凝土表面損傷評定值為”重度”，其表面損傷評定值為4。

表 5-19 表面損傷係數

構件劣化等級	表面損傷評定值
<input type="checkbox"/> 健全	1
<input type="checkbox"/> 輕度	2
<input type="checkbox"/> 中度	3
<input checked="" type="checkbox"/> 重度	4
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞	5

### (8) 環境影響係數

本實例採用耐久性能初步診斷中環境影響潛勢結果，如表5-20以決定本項次之影響係數，環境影響係數為”中劣化潛勢”，其環境影響評定值1.1。

表 5-20 環境影響係數對照表

環境影響潛勢	環境影響係數
<input type="checkbox"/> 低劣化潛勢	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> 中劣化潛勢	1.1
<input type="checkbox"/> 高劣化潛勢	1.2

## (9) 單一樓層之耐久性能評定

此實例之檢測結果，如表 5-21 所示。其中抗壓強度、氯離子含量檢測及中性化試驗本研究已自行進行檢測，因此評定標準值也將由表 5-11、5-13、5-15 得知。

表 5-21 科學樓地下一樓案例說明

名稱		BIF
項目	權重值	評定標準值
腐蝕現況	0.73	-
腐蝕電位	0.50	4
中性化深度	0.18	1
氯離子檢測	0.32	3
混凝土現況	0.27	-
電阻係數	0.08	2
抗壓強度	0.18	5
鋼筋保護層厚度	0.21	1
混凝土表面損傷	0.54	4
環境影響係數	1.0	1.1

將表 5-21 評定標準值代入單一樓層之耐久性能評定公式，式

(5-1)：

$$D_i = \delta_1 \times \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^i \beta_j A_{jm} \alpha_{im} \quad (5-1)$$

$$D_{BIF} = 1.1 \times 1 \times \left[ \begin{aligned} & (0.73 \times \frac{0.5 \times 4 + 0.18 \times 1 + 0.32 \times 3}{0.5 + 0.18 + 0.32}) \\ & + (0.27 \times \frac{0.08 \times 2 + 0.18 \times 5 + 0.21 \times 1 + 0.54 \times 4}{0.08 + 0.18 + 0.21 + 0.54}) \end{aligned} \right]$$

$$= 3.53$$

得知此校舍之地下一樓耐久性能評定值為 3.53，參考單一樓層之耐久性能評定表，可知此樓層耐久性能評定等級為 3，耐久性能普通。

## 貳、實例二

### 1. 建築結構使用現況概述：

本實例之建築物為台北市某小學忠孝樓，為地上四層地下一層之鋼筋混凝土建築物，興建於民國 78 年，平面尺度為長方形，常邊為 33 公尺，短向寬度 12.5 公尺，該樓層校舍資料詳下表 5-22，圖 5-9 為實例二檢測校舍配置圖：

表 5-22 忠孝樓校舍基本資料

名稱	忠孝樓
構造種類	鋼筋混凝土造
基礎形式	單層筏式基礎
屋齡	約 31 年
樓層數	地下一層、地上四層
平面配置	長方形
X 向	40.5m
Y 向	18m
總樓地板面積	3815.15 m <sup>2</sup>
現況用途	防空避難室(地下室)、教室、辦公室、活動中心

## 2. 建築概要調查表建立：

由於尚未進行與使用者訪談，因此關於建築物資料、記錄並未詳細得知，僅透過該建築物之詳細耐震能力評估報告獲得基本資料，如圖 5-9 所示。

<p>1. 調查概要</p> <p>1.1 調查日期 2013 年 05 月 24 日</p> <p>1.2 調查機關名稱 臺灣科技大學-耐久研究員</p> <p>1.3 機關所在地 台北市大安區基隆路四段</p> <p>1.4 調查者姓名 曾姿燕、陳美儒、范成宇</p> <p>1.5 聯絡電話 0953218900</p>	<p>2. 建築物之資料</p> <p>2.1 名稱 市立三興國小-忠孝樓(南側)</p> <p>2.2 所在地 臺北市信義區基隆路二段 99 號</p> <p>2.3 用途 教室、視聽教室</p> <p>2.4 竣工日期 民國 78 年</p> <p>2.5 平面尺寸 長 33 m<sup>2</sup>；寬 12.5 m<sup>2</sup></p> <p>2.6 總樓層面積 412.5 m<sup>2</sup></p> <p>2.7 構造型式 <input checked="" type="checkbox"/> RC <input type="checkbox"/> SRC <input type="checkbox"/> SS <input type="checkbox"/> 其他</p> <p>2.8 基礎型式 <input checked="" type="checkbox"/> 筏式基礎 <input type="checkbox"/> 獨立基礎 <input type="checkbox"/> 其他</p> <p>2.9 樓層數 地下 1 地上 4 頂加 0</p> <p>2.10 設計者 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>2.11 監工者 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>2.12 施工者 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>2.13 管理者 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p>	<p>3. 圖書記錄</p> <p>3.1 一般圖 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 部分有 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>3.2 構造圖 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 部分有 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>3.3 構造計算書 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 部分有 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>3.4 施工紀錄 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 部分有 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>3.5 過去之調查資料 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 部分有 <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p>	<p>4. 建築物之履歷</p> <p>4.1 用途變更 <input type="checkbox"/> 有 ( ) <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 不明</p> <p>3.2 增改建 <input type="checkbox"/> 有 ( ) <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 不明</p> <p>3.3 受災紀錄 <input type="checkbox"/> 有 ( ) <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 不明</p> <p>3.4 補修紀錄 <input checked="" type="checkbox"/> 有 (外牆、門窗整修；樓板修補)</p> <p>3.5 補強紀錄 <input type="checkbox"/> 有 ( ) <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 不明</p>	<p>5. 建築物之環境</p> <p>5.1 地域區分 <input type="checkbox"/> 田園郊外 <input checked="" type="checkbox"/> 市街區 <input type="checkbox"/> 工廠區</p> <p><input type="checkbox"/> 溫泉區</p> <p>3.2 距海遠近 3 km</p>	<p>6. 建築物之材料性質</p> <p>6.1 混凝土之設計強度 _____ kg/cm<sup>2</sup> <input checked="" type="checkbox"/> 不明</p> <p>6.2 被覆材 屋內 (油漆) _____</p> <p>屋外 (油漆、磁磚、磨石子) _____</p>	<p>7. 其他補充事項</p>	<p>8. 簽名處</p>
---	---	--	--	--	--	------------------	---------------

圖 5-9 建築物概要調查表

### 3. 耐久性能初步診斷

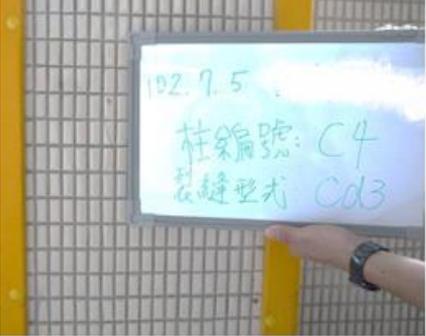
#### (1) 主要構件劣化度判定

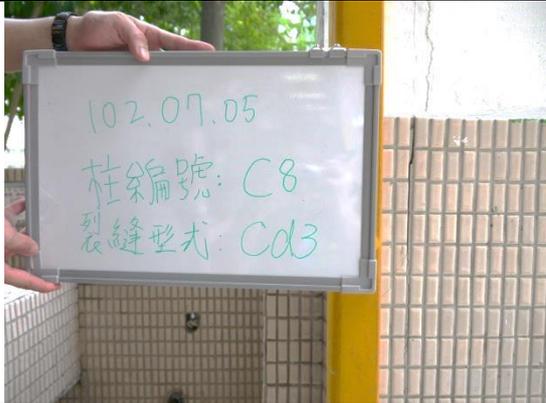
由於該檢測校舍之地下室因施工因素，因此並無進行初步診斷。  
依實際勘查結果，柱、梁、版及 RC 結構牆檢測結果如表 5-23 所示。

表 5-23 忠孝樓一樓構件劣化記錄表

建築物名稱			忠孝樓-1F		
柱構件					
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-2	Cd3			4.0 mm	
		裂縫由柱底往柱頂沿著邊緣開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-3	Cd3			1.3 mm	
		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-4	Cd3			0.55 mm	

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-6	Cd3			2.75 mm	
		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-7	Cd3			3.60 mm	
		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-8	Cd3			2.75 mm	

		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		0/26		0	
<input checked="" type="checkbox"/> 重度		6/26		$\frac{6}{26} = 0.23 > 0.1$	
<input type="checkbox"/> 中度		0/26		-	
<input type="checkbox"/> 輕度		0/26		-	
<input type="checkbox"/> 建全		20/26		-	
梁構件					
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
CD-8.9	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
CD-7.8	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
DE-1.2	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
DE-4.5	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
		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。			
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		0/12		0	
<input type="checkbox"/> 重度		0/12		0	
<input type="checkbox"/> 中度		0/12		0	
<input type="checkbox"/> 輕度		0/12		0	
<input checked="" type="checkbox"/> 建全		12/12		-	

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

版構件					
劣化度	發生機率		累積發生機率		
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞	0/16		0		
<input type="checkbox"/> 重度	0/16		0		
<input type="checkbox"/> 中度	0/16		0		
<input type="checkbox"/> 輕度	0/16		0		
<input checked="" type="checkbox"/> 健全	16/16		-		
RC 結構牆					
劣化度	<input checked="" type="checkbox"/> 健全	<input type="checkbox"/> 輕度	<input type="checkbox"/> 中度	<input type="checkbox"/> 重度	<input type="checkbox"/> 嚴重損壞

(資料來源 本研究整理)

表 5-24 忠孝樓二樓構件劣化記錄表

建築物名稱		忠孝樓-2F			
柱構件					
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-1	Cd3			2.25 mm	
		裂縫由柱底往柱頂沿著邊緣開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-2	Cd3			1.3 mm	
		裂縫由柱底往柱頂沿著邊緣開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-3	Cd3			3.5 mm	
		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-4	Cd3			3.5 mm	

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

		氣離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-5	Cd3			1.9 mm	
		氣離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-6	Cd3			4.8 mm	
		氣離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-7	Cd3			0.55 mm	
		氣離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞

C-8	Cd3			0.95 mm	
			<p>氯離子過高，裂縫沿主筋開裂</p>		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-17	Cd3		0.4 mm		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-18	Cd3			0.5 mm	
			<p>氯離子過高，裂縫沿主筋開裂</p>		
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		0/26		0	
<input checked="" type="checkbox"/> 重度		9/26		$\frac{6}{26} = 0.23 > 0.1$	
<input type="checkbox"/> 中度		0/26		-	
<input type="checkbox"/> 輕度		0/26		-	
<input type="checkbox"/> 健全		20/26		-	
梁構件					
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
CD-8.9	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
CD-7.8	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
DE-1.2	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
DE-4.5	Bf2	因外力造成之裂縫，無法判定			
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		0/12		0	
<input type="checkbox"/> 重度		0/12		0	
<input type="checkbox"/> 中度		0/12		0	

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

<input type="checkbox"/> 輕度	0/12	0			
<input checked="" type="checkbox"/> 健全	12/12	-			
版構件					
劣化度	發生機率	累積發生機率			
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞	0/16	0			
<input type="checkbox"/> 重度	0/16	0			
<input type="checkbox"/> 中度	0/16	0			
<input type="checkbox"/> 輕度	0/16	0			
<input checked="" type="checkbox"/> 健全	16/16	-			
RC 結構牆					
劣化度	<input checked="" type="checkbox"/> 健全	<input type="checkbox"/> 輕度	<input type="checkbox"/> 中度	<input type="checkbox"/> 重度	<input type="checkbox"/> 嚴重損壞

表 5-25 忠孝樓三樓構件劣化記錄表

建築物名稱		忠孝樓-3F			
柱構件					
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-2	Cd3			0.6 mm	
		裂縫由柱底往柱頂沿著邊緣開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-3	Cd3			2.0 mm	
		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-5	Cd3			2.75 mm	
		氯離子過高，裂縫沿主筋開裂			

鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-6	Cd3			1.45 mm	
		<p>氯離子過高，裂縫沿主筋開裂</p>			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-5	Cd3			1.9 mm	
		<p>氯離子過高，裂縫沿主筋開裂</p>			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-6	Cd3			4.8 mm	
		<p>氯離子過高，裂縫沿主筋開裂</p>			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-7	Cd3		0.45 mm		
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-8	Cd3	0.25 mm			
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		0/26		0	

<input checked="" type="checkbox"/> 重度	4/26	$\frac{4}{26} = 0.15 > 0.1$			
<input type="checkbox"/> 中度	1/26	-			
<input type="checkbox"/> 輕度	1/26	-			
<input type="checkbox"/> 健全	20/26	-			
梁構件					
劣化度	發生機率	累積發生機率			
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞	0/12	0			
<input type="checkbox"/> 重度	0/12	0			
<input type="checkbox"/> 中度	0/12	0			
<input type="checkbox"/> 輕度	0/12	0			
<input checked="" type="checkbox"/> 健全	12/12	-			
版構件					
劣化度	發生機率	累積發生機率			
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞	0/16	0			
<input type="checkbox"/> 重度	0/16	0			
<input type="checkbox"/> 中度	0/16	0			
<input type="checkbox"/> 輕度	0/16	0			
<input checked="" type="checkbox"/> 健全	16/16	-			
RC 結構牆					
劣化度	<input checked="" type="checkbox"/> 健全	<input type="checkbox"/> 輕度	<input type="checkbox"/> 中度	<input type="checkbox"/> 重度	<input type="checkbox"/> 嚴重損壞

表 5-23~5-25 為調查人員針對忠孝樓一至三樓之構件的調查結果，其中柱構件裂縫發生為因結構體氯離子濃度過高而產生的劣化，其餘構件狀況良好，四樓調查結果皆為健全，因此在此並無詳細列出調查結果紀錄。

整體建築物調查結果填寫在整棟建築物之劣化度記錄表中，如表 5-26 所示。

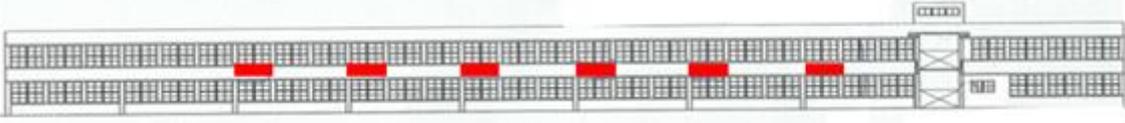
表 5-26 整棟建築物構件劣化紀錄表

建築物名稱		科學樓			
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆	
B1F	-	-	-	-	
1F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
2F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
3F	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input checked="" type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
4F	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input checked="" type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
劣化度	重度	健全	健全	健全	

## (2) 建築物外牆被覆材料調查

該棟校舍外牆被覆材料為仿石子的一種，狀況良好，僅發現於外牆某一處皆有異常剝落情形，推判可能不是為自然劣化現象，因此僅以照片記錄，劣化位置及情形如表 5-27 所示。

表 5-27 整棟建築物構件之劣化紀錄表

被覆材種類		<input type="checkbox"/> 磁磚 <input type="checkbox"/> 石材 <input type="checkbox"/> 油漆 <input checked="" type="checkbox"/> 其他:仿石子			
劣化結果判定					
方位	劣化程度	輕度	中度	重度	嚴重
	劣化形式				
東	剝落	無法目視調查			
西	剝落				
南	剝落	健全			
北	剝落	健全			
劣化度評估結果= 最嚴重劣化個數/檢測數目				健全	
劣化位置示意圖					
 <p style="text-align: center;">忠孝樓-北向立面圖</p>					
現況照片					
					
中間磁磚被覆之部分，都有相同的剝落情形。					

### (3) 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，本實例校舍距離海岸線 3km 以上，屬於低環境劣化潛勢，如表 5-28 所示；另外此校舍位於北部區域，因該校舍建於民國 78 年，屋齡為 31 年，所以屬於低環境劣化潛勢，如表 5-29 所示。

表 5-28 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	<input checked="" type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 1.0 km
東部	<input type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 1.0 km
中部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 3.0 km
南部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 3.0 km

表 5-29 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表

	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	<input type="checkbox"/> 屋齡 10 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 10~45 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之 使用年限	<input checked="" type="checkbox"/> 屋齡 45 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 45~100 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上
樹脂材料被覆、 瓷磚被覆、 水泥板材被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以下		<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上

## (4) 其他使用性能評定

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，表 5-30 所示。

表 5-30 其他使用性能評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input checked="" type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	<input checked="" type="checkbox"/> 大範圍斑塊狀
異常體感 (振動、樓板 跨距大變形)	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物 傾斜	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
天花板裝修物 變形 (輕鋼架)	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	<input checked="" type="checkbox"/> 使用上造成困擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input checked="" type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	良好			
外牆汗損	有部分剝落，並且有多處汗損。			
其他補充	本實例建築物教室牆面有些許粉刷層剝落之現象(俗稱「壁癌」)，油漆之剝落造成環境髒亂，可進行整修。			

(資料來源 本研究整理)

### (5) 初步診斷綜合評定表

本實例一樓層於構件劣化程度判定時，結果為「重度」，故可直接進入詳細性能診斷階段，評定結果如圖 5-10 所示。

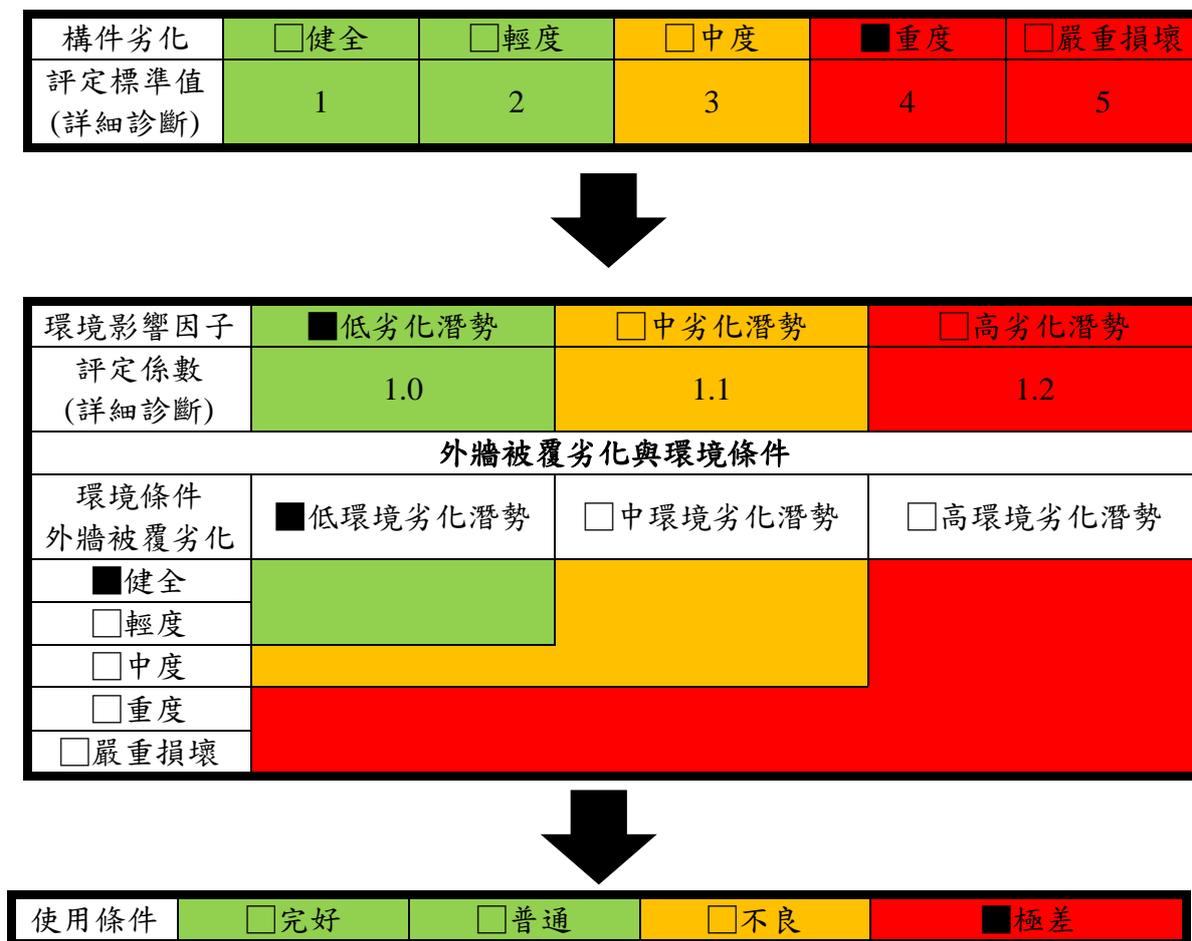


圖 5-10 初步診斷綜合評定

## 4. 耐久性能詳細診斷

### (1) 抗壓強度檢測與評定

依該建築物之詳細耐震能力評估報告可知，共取樣 25 個試體且其混凝土抗壓強度統計如下表 5-31，該建築混凝土設計強度為  $f_c'=210\text{kg/cm}^2$ ，試驗平均結果為  $f_c'=111\sim153\text{kg/cm}^2$ 。

表 5-31 抗壓強度試驗表

樓層	取樣位置	試體抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	平均強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	$K_{bm}$	$K_{bt}$	評定標準值
B1F	B1F-1	98	182	$\frac{182}{210} = 0.87$	0.45	5
	B1F-2	139			0.66	
	B1F-3	196			0.93	
	B1F-4	213			1.01	
	B1F-5	265			1.26	
1F	1F-1	136	157	$\frac{157}{210} = 0.75$	0.65	5
	1F-2	106			0.50	
	1F-3	161			0.77	
	1F-4	194			0.92	
	1F-5	188			0.90	
2F	2F-1	198	160	$\frac{160}{210} = 0.76$	0.94	5
	2F-2	140			0.67	
	2F-3	150			0.71	
	2F-4	188			0.90	
	2F-5	126			0.60	
3F	3F-1	156	206	$\frac{206}{210} = 0.98$	0.74	5
	3F-2	83			0.40	
	3F-3	282			1.35	
	3F-4	263			1.25	
	3F-5	246			1.71	
4F	4F-1	162	200	$\frac{200}{210} = 0.95$	0.77	5
	4F-2	161			0.77	
	4F-3	139			0.66	
	4F-4	283			1.35	
	4F-5	253			1.20	

(資料來源：某國小忠孝樓校舍修復補強報告書，2013)

一、二樓層抗壓強度與設計強度比值偏低，介於約 0.5~0.9 之間，因此評定標準值為 5。

## (2) 中性化深度檢測與評定

依該建築物之詳細耐震能力評估報告可知，共取樣 25 個試體且其中性化深度統計如下表 5-32，中性化深度平均結果為 3.1~5.5cm。

表 5-32 中性化深度檢測試驗表(1)

試體編號	取樣位置	中性化深度 (cm)	中性化深度 保護層厚度 (cm)	評定標準值
1	B1F-1	1.5	0.25	1
2	B1F-2	1.4	0.23	
3	B1F-3	1.1	0.18	
4	B1F-4	0.3	0.05	
5	B1F-5	0.2	0.03	
6	1F-1	4.1	0.70	1
7	1F-2	5.5	0.94	
8	1F-3	4.5	0.77	
9	1F-4	0.2	0.03	
10	1F-5	0.3	0.05	
11	2F-1	1.7	0.25	1
12	2F-2	3.1	0.46	
13	2F-3	5.0	0.75	
14	2F-4	0.3	0.04	
15	2F-5	0.3	0.04	
16	3F-1	4.1	0.68	1
17	3F-2	2.9	0.48	
18	3F-3	3.9	0.65	
19	3F-4	0.3	0.05	
20	3F-5	0.4	0.07	
21	4F-1	3	0.46	1
22	4F-2	5.5	0.85	
23	4F-3	4.1	0.63	
24	4F-4	0.3	0.05	
25	4F-5	0.3	0.05	

(資料來源：某國小忠孝樓校舍修復補強報告書，2013)

### (3) 氯離子含量檢測與評定

由表 5-33 可知此棟校舍之氯離子含量偏高，造成鋼筋所處之環境 pH 值偏低，使得該建築物長期處於惡劣劣化狀態。根據氯離子含量評定標準，評定標準值取 4。

表 5-33 氯離子含量試驗表(1)

試體編號	取樣位置	氯離子含量 (kg/m <sup>3</sup> )
1	B1F-1	0.07
2	1F-1	0.97
3	1F-2	1.33
4	1F-3	0.92
5	2F-1	1.51
6	2F-2	1.02
7	2F-5	1.30
8	3F-1	0.29
9	4F-1	1.32
10	4F-2	1.71
11	4F-5	0.87

(資料來源：某國小忠孝樓校舍修復補強報告書，2013)

本研究根據鑽心取樣之試體進行氯離子含量檢測，其試驗值如表 5-34 所示，利用此表進行評定，並取其最嚴重之評定值 3 為該樓層評定標準值。

表 5-34 氯離子含量試驗表(2)

試體編號	位置編號	氯離子濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	評定標準值
1	1F-1	1.23	3
2	1F-2	0.28	1
3	1F-3	1.24	3
4	1F-4	0.88	1
5	1F-5	0.92	1
6	1F-6	0.37	1

#### (4) 腐蝕電位檢測與評定

本實例腐蝕電位結果如表 5-35 所示，共取點 57 個進行檢測作業。其中柱劣化度重度(C-8)腐蝕電位平均值為-88(mV)、柱劣化中度(C-9)腐蝕電位平均值約為-65(mV)，腐蝕電位值偏低，可能因保護層厚度太厚而造成試驗值誤差，依據鋼筋鏽蝕電位評定標準其腐蝕電位評定標準值取 1。

表 5-35 腐蝕電位試驗表

柱	C-8	劣化度	重度	柱	C-9	劣化度	輕度
編號	mV	編號	mV	A1	-33	I2	-92
A1	-50	I1	-133	A2	-32	I3	-77
A2	-57	I2	-119	A3	-12	J1	-103
A3	-50	I3	-97	B1	-43	J2	-103
B1	-62			B2	-45	J3	-90
B2	-64			B3	-23		
B3	-52			C1	-43		
C1	-75			C2	-40		
C2	-55			C3	-35		
C3	-58			D1	-49		
D1	-85			D2	-50		
D2	-78			D3	-51		
D3				E1	-68		
E1	-95			E2	-59		
E2	-93			E3	-57		
E3	-75			F1	-90		
F1	-126			F2	-68		
F2	-123			F3			
F3	-103			G1	-98		
G1	-112			G2	-91		
G2	-108			G3	-79		
G3	-100			H1	-98		
H1	-117			H2	-91		
H2	-105	平均值	<b>-88.23</b>	H3	-79	平均值	<b>-65.52</b>
H3	-102	評定值	<b>1</b>	I1	-101	評定值	<b>1</b>

## (5) 電阻率檢測與評定

本實例檢測之結果如表5-36~表5-37所示，共檢測兩根柱，依評定標準，柱C-8、C-9該值平均大於20 (kΩ)，則其評定標準值為1，取其整體評定值亦為1。

表5-36 柱(C8)電阻率

測點	電阻(kΩ)	測點	電阻(kΩ)
A1	29	G1	25
A2	29	G2	31
A3	40	G3	43
B1	27	H1	24
B2	34	H2	41
B3	24		
C1	27		
C2	33		
C3	37		
D1	44		
D2	30		
D3	24		
E1	32		
E2	28		
E3	36		
F1	27		
F2	41		
F3	46	平均值	33
評定標準值		1	

表5-37 柱(C9)電阻率

測點	電阻(kΩ)	測點	電阻(kΩ)
A1	29	G1	31
A2	29	G2	29
A3	無法量測	G3	38
B1	23	H1	28
B2	33	H2	27
B3	無法量測	H3	42
C1	25	I1	31
C2	37	I2	34
C3	無法量測		
D1	28		
D2	32		
D3	25		
E1	26		
E2	23		
E3	無法量測		
F1	26		
F2	20		
F3	無法量測	平均值	29
評定標準值		1	

## (6) 混凝土保護層檢測與評定

參考此建築物校舍耐震能力評估報告書所得之混凝土保護層厚度實測值如表 5-38 所示，其中混凝土保護層設計值為 4cm，依本研究第四章中式 4-6~4-8 計算混凝土保護層厚度與設計值之比值，進而得知評定標準值。

表 5-38 科學樓混凝土保護層厚度實測值

編號	探測位置	保護層厚度(cm) (由粉刷層至鋼筋最外緣)	$\bar{D}_n$	n	$S_D$	$\bar{D}_{ne}$	$\frac{\bar{D}_{ne}}{\bar{D}_{nd}}$	評定標準值
1	B1F 柱上端	5	6.00	2	1.73	3.06	0.77	3
2	B1F 柱下端	7						
3	1F 柱上端	7	5.83	3	1.04	4.07	1.02	1
4	1F 柱上端	5.5						
5	1F 柱上端	5						
6	1F 梁端底部	7.5	6.50	3	1.32	4.26	1.06	1
7	1F 梁端底部	7						
8	1F 梁端底部	5						
9	2F 柱上端	9	6.67	3	2.52	2.40	0.60	4
10	2F 柱上端	4						
11	2F 柱下端	7						
12	2F 梁端底部	5	6.83	3	1.61	4.11	1.03	1
13	2F 梁端底部	8						
14	2F 梁端底部	7.5						
15	3F 柱上端	6	6.00	3	2.00	2.61	0.65	4
16	3F 柱上端	4						
17	3F 柱上端	8						
18	3F 梁端底部	7	6.33	3	0.58	5.35	1.34	1
19	3F 梁端底部	6						
20	3F 梁端底部	6						
21	4F 柱下端	6.5	6.50	3	0.50	5.65	1.41	1
22	4F 柱下端	6						
23	4F 柱下端	7						
24	4F 梁端底部	7.5	6.38	4	2.62	1.94	0.49	5
25	4F 梁端底部)	8						
26	4F 梁端側面)	5						
27	4F 梁端底部	5						

由表 5-38 可知各樓層柱、梁構件之評定標準值，取其最嚴重程度為其樓層之評定標準值。

### (7) 混凝土表面損傷評定值

根據耐久性能初步診斷之構件劣化度評定可知，本實例之混凝土表面損傷評定值為”重度”，其表面損傷評定值為4，如表5-39所示。

表 5- 39 表面損傷係數

構件劣化等級	表面損傷評定值
健全	1
輕度	2
中度	3
√ 重度	4
嚴重損壞	5

### (8) 環境影響係數

依耐久性能初步診斷中環境影響潛勢結果，如表5-40以決定本項次之影響係數，環境影響係數為”低劣化潛勢”，其環境影響評定值1.0。

表 5- 40 環境影響係數對照表

環境影響潛勢	環境影響係數
√ 低劣化潛勢	1.0
中劣化潛勢	1.1
高劣化潛勢	1.2

## (9) 單一樓層之耐久性能評定

此實例之地下一樓檢測結果，如表 5-41 所示。

表 5-41 忠孝樓地下一樓案例說明

名稱		1F
項目	權重值	評定標準值
腐蝕現況	0.73	-
腐蝕電位	0.50	1
中性化深度	0.18	1
氯離子檢測	0.32	3
混凝土現況	0.27	-
電阻係數	0.08	1
抗壓強度	0.18	5
鋼筋保護層厚度	0.21	1
混凝土表面損傷	0.54	4
環境影響係數	1.0	1.0

將檢測之數據帶入單一樓層之耐久性能評定公式，式(5-1)

$$D_i = \delta_1 \times \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^i \beta_j A_{jm} \alpha_{im} \quad (5-1)$$

$$D_{1F} = 1.0 \times 1 \times \left[ (0.73 \times \frac{0.5 \times 1 + 0.18 \times 1 + 0.32 \times 3}{0.5 + 0.18 + 0.32}) + (0.27 \times \frac{0.08 \times 1 + 0.18 \times 5 + 0.21 \times 1 + 0.54 \times 4}{0.08 + 0.18 + 0.21 + 0.54}) \right]$$

$$= 2.30$$

結果： $D_{1F} = 2.30$ ，耐久性能等級為 4，耐久性能狀況好。





### 3. 耐久性能初步診斷

#### (1) 主要構件劣化度判定

表 5-42 為四維樓及忠孝樓構件劣化狀況，皆無明顯裂縫或其混凝土剝落、鼓起之情形；表 5-43、44 為信義樓西棟及東棟構件調查結果，僅有些許構件因除劣化意外因素而造成劣化，其餘構件無明顯劣化。

表 5-42 四維、忠孝樓構件調查表

建築物名稱	四維樓、忠孝樓(1、2F)
柱劣化度	健全
梁劣化度	健全
版劣化度	健全
結構牆劣化度	健全

表 5-43 信義樓西棟構件調查表

建築物名稱		信義樓西棟-1F			
柱構件					
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-14	Cd3			1.9mm	
		於柱邊緣之裂縫，疑似人為造成之剝落混凝土。			
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-3	Cd3			2.0 mm	
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		0/45		0	
<input type="checkbox"/> 重度		1/45		$\frac{1}{45} = 0.02 < 0.1$	
<input type="checkbox"/> 中度		0/45		-	
<input type="checkbox"/> 輕度		0/45		-	
<input checked="" type="checkbox"/> 健全		44/45		-	
梁、版及 RC 結構牆			健全		

表 5-44 信義樓東棟構件調查表

建築物名稱		信義樓東棟-1、2、3F			
柱、梁、及 RC 結構牆		健全			
建築物名稱		忠孝樓東棟-4F			
柱構件					
構件編號	裂縫形式編號	輕度	中度	重度	嚴重損壞
C-14	Cd3			2.5mm	
		敲擊時聲音空洞，沿著垂直開裂。			
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞		0/21		0	
<input type="checkbox"/> 重度		1/21		$\frac{1}{21} = 0.05 < 0.1$	
<input type="checkbox"/> 中度		0/21		-	
<input type="checkbox"/> 輕度		0/21		-	
<input checked="" type="checkbox"/> 健全		20/21		-	
梁、版及 RC 結構牆		健全			

## (2) 建築物外牆被覆材料調查

各棟建築物外牆之被覆材料無明顯剝落或鼓/隆起之劣化情形，因此判定耐久性能為健全。

## (3) 環境影響因子調查與評定

表 5-45 為氯離子劣化潛勢調查，其中因離海距離有 3km 以上，低環境劣化潛勢；另外中性化而言，本案例位於北部，使用北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境條件評估表，該校舍建於民國 66 年，屋齡為 36 年，所以屬於低環境劣化潛勢，如表 5-46 所示。

表 5-45 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	<input checked="" type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 1.0 km
東部	<input type="checkbox"/> 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 1.0 km
中部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 3.0 km
南部	<input type="checkbox"/> 5.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 3.0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 0 – 3.0 km

表 5-46 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境因子評定表

	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	<input type="checkbox"/> 屋齡 10 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 10~45 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之 使用年限	<input checked="" type="checkbox"/> 屋齡 45 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 45~100 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上
樹脂材料被覆、 瓷磚被覆、 水泥板材被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以下		<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上

#### (4) 其他使用性能評定

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，如表 5-47~5-50 所示。

表 5-47 四維樓其他使用性能評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input checked="" type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	<input checked="" type="checkbox"/> 大範圍斑塊狀
異常體感 (振動、樓板跨距大變形)	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物傾斜	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
裝修物變形 (輕鋼架、門構架)	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	<input checked="" type="checkbox"/> 使用上造成困擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input checked="" type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	無法視察			
外牆汙損	外牆除了屋簷積水處有青苔，其餘狀況保持良好。			
其他補充	1.二樓樓板滲水，造成油漆剝落嚴重。 2.少數樓板有修補過之痕跡。			
				
<p>因南北棟為不同時期興建，因此於兩棟之交界面會有空隙產生。</p>				



外牆裝修部分-仿石子小面積剝落。

表 5-48 四維樓其他使用性能評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	■ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	■ 大範圍斑塊狀
異常體感 (振動、樓板跨距大變形)	■ 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物傾斜	■ 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
裝修物變形 (輕鋼架、門構架)	■ 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	<input type="checkbox"/> 使用上造成困擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	■ 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	無法視察			
外牆汙損	良好			
其他補充				
現況照片				
				
版、梁構件有多處皆有滲水、白華及被覆材剝落之現象，而於社會教室發現有梁鼓起之現象。				
				
混凝土塊狀剝落，疑似人為因素。				

表 5-49 忠孝樓東棟其他使用性能評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input checked="" type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	<input checked="" type="checkbox"/> 大範圍斑塊狀
異常體感 (振動、樓板跨距大變形)	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物傾斜	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
裝修物變形 天花板輕鋼架 門窗構架	<input checked="" type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	<input checked="" type="checkbox"/> 使用上造成困擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input checked="" type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	無法視察			
外牆汙損	外牆除了屋簷雨水滴落處有青苔，其餘狀況保持良好。			
其他補充	無			
現況照片				
				
隔間牆因滲水、潮濕而有壁癌現象。		屋簷因雨水潮濕，被覆材也有剝落之現象。		



少數柱構件外圍有裝修板包覆，再覆蓋水泥漆，因此於裝修版及混凝土交界面有裂縫。



版構件有多處修補過痕跡。

表 5-50 忠孝樓西棟其他使用性能評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	■ 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	■ 大範圍斑塊狀
異常體感 (振動、樓板跨距大變形)	■ 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物傾斜	■ 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
裝修物變形 (輕鋼架、門構架)	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	■ 使用上造成困擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	■ 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	無法視察			
外牆汙損	良好			
其他補充	1.版滲水嚴重，多處皆有修補過痕跡。 2.梁底端多有水平之裂縫。 3.門型歪曲，常有門關不起之現象。			
現況照片				
				
漏水嚴重，造成環境潮溼及油漆剝落、白華。		屋簷漏水嚴重，油漆剝落。		
				
推判裂縫原因可能為中間為了安插插座，因此開洞而造成之裂縫。				

### (5) 初步診斷綜合評定表

本實例於構件劣化程度判定時為輕度，故進入下階段外牆被覆劣化與環境條件綜合評定，評定結果為低劣化潛勢，使用條件評定結果為重度，即可進行詳細性能診斷，評定結果如圖 5-12 所示。

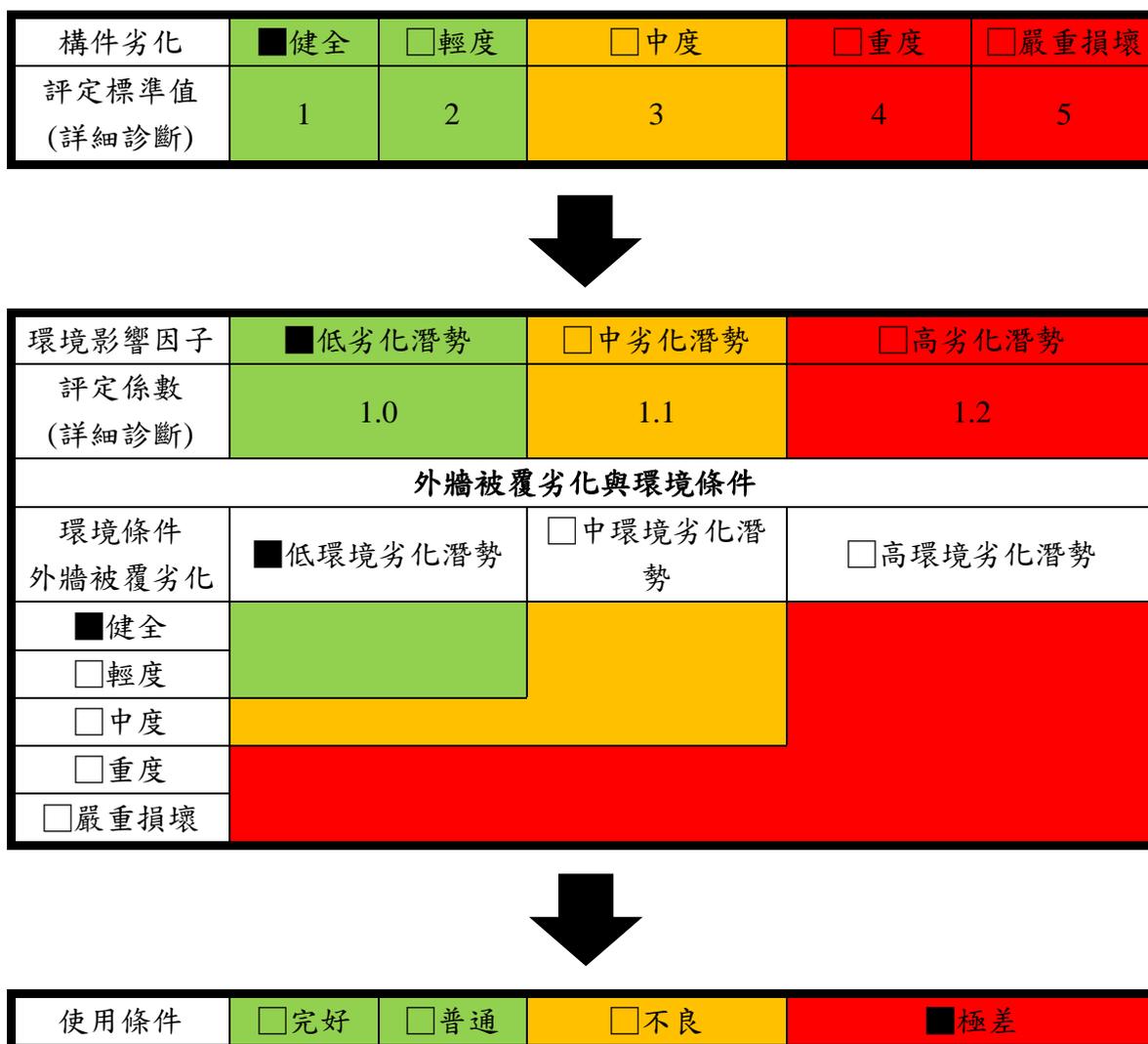


圖 5-12 初步診斷綜合評定

由於本研究並未獲得此校舍之詳細診斷報告之內容，因此並無資料可供檢視。

## 第二節 專家諮詢會議紀錄

### 第一次專家諮詢會議記錄

內政部建築研究所 102 年度建築先進技術創新開發與推廣應用計畫  
協同研究計畫(三)

#### 第 2 案「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」

時間：102 年 5 月 24 日 9 時 00 分

地點：國立台灣科技大學 營建工程系 E2-222 會議室

主席：邱建國 教授

列席：廖硃岑教授、丁春生技師、陳美儒研究助理

---

邱老師：首先感謝各位參加本次的專家訪談會議。本研究將收集國內外文獻及相關研究成果，配合台灣既有鋼筋混凝土建築物劣化事例研究與分析，以確立台灣適用之耐久性能影響因子及建立其量化模式。為研擬具實用性之耐久性能診斷方法，本研究亦將訪談專家學者或由問卷調查及實例分析，以達成預期設定目標。目前參考日本建築學會的建築物調查與診斷指針，並建立一個鋼筋混凝土建築物耐久性初步診斷的方法，此方法第一階段先進行建築物的概要調查，如建築物的評估結果為確有疑慮，則須進入第二階段的詳細診斷，那詳細診斷事實上就是所謂的破壞性檢測，如混凝土的鑽心、氯離子檢測、中性化檢測、還有一些混凝土表面抗阻等...，藉由材料試驗的結果，診斷建築物目前的情狀，然後再建議適當的維護，這是我們整個的流程。本研究的耐久性能評斷的項目，主要是涵蓋構件的劣化(主要構件柱、

梁、版、牆(RC 牆)，例如：以柱構件為例，建築物的每層樓每根柱子都會做調查，是否有因劣化所造成的裂縫，並排除震損的部分。

表 5-51 專家諮詢會議紀錄表

專家	專家提供之建議	研究團隊回應
<p style="text-align: center;">廖 硃 岑 教 授</p>	<p>初步診斷為目視調查嗎?</p>	<p>是的，初步概要診斷為目視調查，現在初步診斷都是用目視的，初步診斷評估項目主要分為主要構件、次要構件，再者表面被覆材料之外牆，還有使用性能，因為建築物的所在環境與他的外牆種類都會影響到它的性能。依據其所在的環境條件去判定其氯離子潛勢區域和中性化潛勢區域的分類。而其他使用性能的項目，如滲漏水、伸縮縫的損壞等等，綜合四個項目做耐久性能初步評估。</p>
	<p>由高雄大學黃世孟教授所指導之碩士論文其中有幾篇文獻是關於建築物外牆目視的評估方法，可供參考。</p>	<p>目前所蒐集參考的文獻中，有針對外牆的部分，也有針對材料試驗的部分，依據材料試驗結果，用試驗結果直接反應建築物之耐久性能。但以建築物的角度思考，使用性能等項目，會無法在材料試驗報告上呈現出它的問題所在。</p>
<p style="text-align: center;">丁 春 生</p>	<p>貴研究以評估整棟建築物為主嗎?</p>	<p>是的，本研究參考日本的耐久性能診斷指針，針對每一個構件去做劣化度的判斷，如按照裂縫寬度大小，或是</p>

技師		鋼筋的腐蝕程度等...但較有問題之處為外牆的評估標準,在落實方面期評估標準容易因人而異。
	此評估方式由使用者去判斷嗎?	希望提供給技師作診斷時,可作為參考的依據。比如說以橋梁為例,橋梁目視檢測評估的話有 21 個項目,其中,有 10 個是安全性,有 11 個是使用性,橋梁的 D.E.R.&U.目視檢測,其中 D 就是你的狀態,E 就是範圍,R 是重要性,U 就是急迫性,評估的結果會有一個分數,且每個構件都有一個權重,再利用權重再把這些構件得到的分數轉換成一個整體性的分數。
	這個初步耐久性診斷是針對既有建築物嗎?	是針對既有的建築物,主要藉由此次專家諮詢會議,瞭解技師在現場作業時的經驗,藉由經驗的分享,使這個初步診斷能更實際的呈現建築物的劣化情形,作為補修的依據。

第二次專家諮詢會議記錄

計畫名稱：鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

執行期間：102 年 3 月 1 日-102 年 12 月 31 日

計畫主持人：鄭主任秘書元良

協同主持人：邱教授建國

專家	審查意見	意見回覆
鄭主任秘書元良	一. 建議修正診斷準則部分語意。	感謝專家意見；將進行改正。
	二. 耐久性能診斷流程建議先行排除耐震能力不足之情形。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
	三. 建議提高電阻係數評估之權重。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
丁春生技師	一. 耐久性能診斷與耐震評估的關係，施作時機，又診斷後補修時機及其必要性，以及補修目標，是否再加強。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
	二. 牆是否再將內牆、外牆或剪力牆予以細分，其劣化原因依結構(地震力)、材料再論述。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	三. 建築物每一根梁柱均需檢測，是否有其必要性。	感謝專家意見；梁柱皆為建築物之主要構件，均需考量其安全性。
	四. 建築物的用途係數，是否納入考量。	
	五. 第三章補修設計，有結構技師字眼易有爭議。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
刁健原技師	一. 建築物概要調查表意見增加使用者訪談，敘述使用上耐久性問題點、維修歷史紀錄、過程材料式驗、有無耐震評許等。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
	二. 初步診斷法建議考慮屋頂防水、地下室防水、窗戶水密性等之評估。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	三. 修補工法建議考慮外牆防水、屋頂防水等工法之說明。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。

林景棋技師	一. 版、牆混凝土剝落、鋼筋裸露多以面積計，非以裂縫，如何判定其劣化等級?或以面積比?	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	二. 外柱或外牆構件外觀劣化程度，因其裂縫寬度及長度不易以目測判別，及無法判別鋼筋腐蝕狀況、腐蝕面積及重量減少率、劣化度。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	三. 圖例調查事項均針對構件裂縫部分，但結構體之滲漏水、白華現象亦影響耐久性，建議針對滲漏水、白華現象列入調查表。	感謝專家意見；此一部份將於期末報告中進行說明。
	四. 柱外力(地震力)實已影響耐久性，建議列入本研究耐久性診斷準則，惟另在報告中建議另行進行耐震能力評估	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	五. 補強修復建議針對鋼筋防腐蝕處理及防水工法訂定施工準則。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
黃昭勳教授	一、由於一般「研究報告」與「評估準則」所需提供的內容及格式差異甚大，建議將後者作為研究報告之附件。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	二、由於性能診斷之目的在確保結構系統的安全性，因此對於是否需進行詳細診斷時亦需進行結構評估。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行評估討論。
	三、草案中對於裂縫形式之判定以圖形表示，於現場有時不易判定，建議提供照片以利參考。	感謝專家意見；此一部份將於期末報告中進行說明。
	四、診斷項目建議包含建築物設計時間(是用規範)及興建年代(與混凝土強度，與氯離子含量有關)。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	五、開裂原因可考慮增加「裝修」、「管線」、「結構變形」，等非材料劣化所造成之裂縫。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。

## 第六章 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，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，除建築物外觀劣化狀況外，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。本研究目完成之工項如下所述：

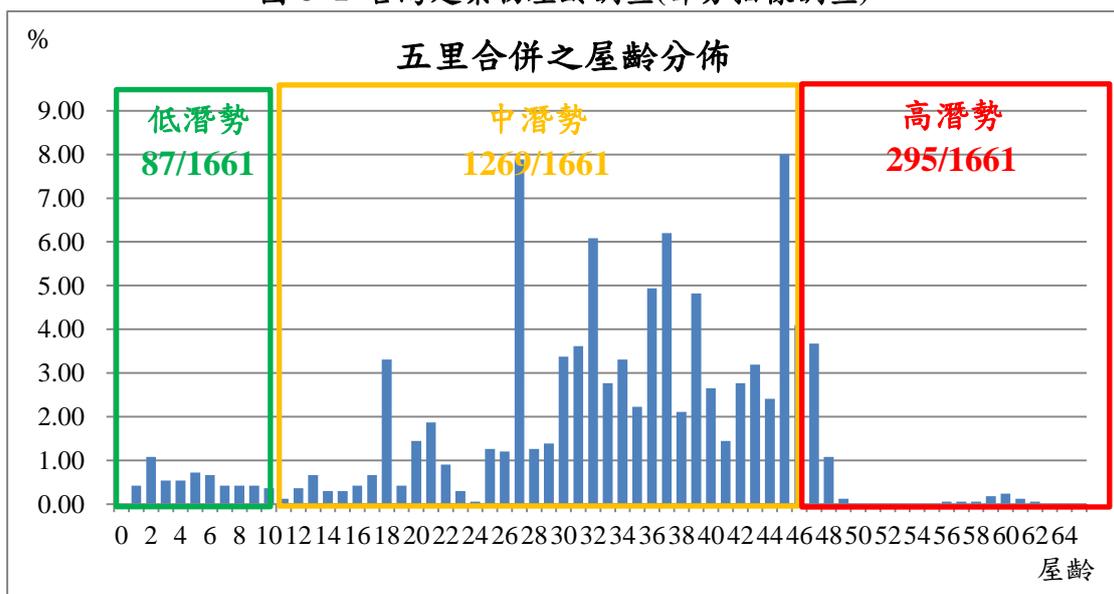
1. 鋼筋混凝土建築物概要調查方法與表格建置
2. 鋼筋混凝土建築物初步診斷方法與表格建置；
3. 鋼筋混凝土建築物詳細診斷項目與評估方法建置；
4. 案例分析與專家座談。

本研究已將建置之表格應用於實際案例，並藉由專家座談方式確認其可行性與實用性，且為調查人員便於使用，已將本研究所提之耐久性能診方法精簡成一準則草案，調查人員可依此一準則即可進行相關作業。

## 第二節 建議

本研究針對台北地區進行五個里之屋齡統計，並利用初步診之中性化潛勢分區進行分類，共調查 1661 棟建築物，其中於低潛勢範圍共有 87 棟；中潛勢範圍共有 1269 棟；高潛勢範圍則有 295 棟。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。

圖 6-1 台灣建築物屋齡調查(部分抽樣調查)



內政部營建署日前頒佈之「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能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，除建築物外觀劣化狀況外，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。

然而，詳細診斷方法中所建議之各項試驗，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，並結合建築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。短、中及長期之建議如下：

短期：本研究已建立耐久性能診斷準則，後續建議充實詳細診斷方法部份，包含材料試驗數量與施作範圍等，以擬定一鋼筋混凝土耐久性能診斷手冊。

中期：依本研究完成之耐久性能量化指標,可建議新增”住宅性能評估”項目-耐久性能.

長期：依本研究建議之耐久性能量化方法，結合 ISO—15686 建築物使用壽命評估，以完成耐久設計方法。

## 參考文獻

- 【1】 周健捷、蔣偉寧、唐治平、董必正，(2000)，「機械手臂技術與橋梁結構安全檢測之應用」，內政部營建署，研究報告。
- 【2】 ACI Committee 201.2R(1922)Guide to Durable Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Proc., Vol. 74, pp.573-609。
- 【3】 Fookes, P.G(1997). Aggregates : a Review of Prediction and Performance , Prediction of Concrete Durability. Proceedings of Stats 21st Anniversary Conference, E&FN SPON, London.
- 【4】 Mehta, P.k. and Gerwick, B.C.(1982). Journal of Concrete International, 4, pp.45-51.
- 【5】 Mehta, P.k. and Monteiro, J.M(1993). Concrete Structures, Properties and Materials, 2nd Edition, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- 【6】 牛荻濤，(2003)，混凝土結構耐久性與壽命預測，科學出版社，北京。
- 【7】 Metha P K. Concrete durability-fifty year's progress. Proc. of the 2nd Inter. Conf. on Concrete Durability , ACI SP 126-11991:1~31.
- 【8】 吳澤雄，(1999)，國內公路橋梁防蝕現況，橋梁腐蝕防治研討會論文集，第1~13頁。
- 【9】 金偉良，袁迎曙，衛軍，王海龍，(2011)，氯環境下混凝土結構耐久性理論與設計方法，科學出版社，北京。
- 【10】 Andrade C, Alonso C, Molina F J. , (1993) , Cover cracking as a function of bar corrosion part I: Experimental test[J]. Materials and Structures, 26(162):453~464.
- 【11】 Castel A, Francois R, Arliguie G , (2000) , Mechanical behaviour of corroded reinforced concrete beam I: Experimental study of corroded beams[J]. Materials Structures , 33(233):539~544.
- 【12】 張偉平，商登峰，顧祥林，鋼筋應力-應變關係研究[J]. 同濟大學學報: 自然科學出版，2006，34(005):586~592.
- 【13】 Fang C Q, Lundgren K, Chen L G, et al. , (2004) , Corrosion influence on bond in reinforced concrete[J]. Cement and Concrete Research , 34(11):2159~2167.
- 【14】 李騰芳，(1999)，混凝土構造物裂縫發生原因與補強探討，構造物破

壞原因探討與處置研討會論文集，第47~72頁。

- 【15】李有豐，林安彥，(2000)，橋梁檢測評估與補強，全華科技圖書股份有限公司。
- 【16】牛荻濤，王慶霖，(1995)，一般大氣環境混凝土強度經時變化模型，工業建築，25(6):36~38。
- 【17】Gjorv O E.，(1971)，Long-time of durability of concrete in seawater.ACI Journal，68:60~67
- 【18】笠井芳夫，松井勇，1985，RC建築物の劣化プロセス，建築の技術施工。
- 【19】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，第21~22頁。
- 【20】建築物耐久性向上技術普及委員會，(2007)，鋼筋混凝土造建築物的耐久性向上技術，技報堂，第15~19頁
- 【21】日本建築學會，(2003)，建築物材料耐久設計方法與解說。
- 【22】日本建築學會，(2004)，鋼筋混凝土造建築物耐久設計施工指針。
- 【23】交通部，(2003)，公路養護手冊。
- 【24】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。
- 【25】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。
- 【26】日本建築學會，(1997)，耐久性調查與診斷指針。
- 【27】日本建築學會，(2008)，耐久性調查與診斷指針。
- 【28】邱建國、莊育泰，(2012)，劣化RC牆生命週期耐震能力研究，碩士論文。
- 【29】日本建築學會，(2004)，耐久設計施工指針(案)。
- 【30】交通部公路，(2009)，橋梁設計規範。
- 【31】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。
- 【32】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。
- 【33】鹿島工程技術顧問股份有限公司，(2009)，校舍評估報告書。
- 【34】國家地震中心，(2013)校舍修復補強報告書。

【35】某高中科學樓校舍修復補強報告書，2013

【36】某國小忠孝樓校舍修復補強報告書，2013

# 附錄一、

## 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						
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 <sup>0.75</sup> (鋼筋混凝土造)				(sec)	
興建年代		475年設計地震	S <sub>DS</sub>					
經緯度座標	N		S <sub>D1</sub>					
	E		S <sub>AD</sub>					
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 <sub>f1</sub> )			樓層數		
	長 (m)	寬 (m)	計算式	面積 (m <sup>2</sup> )		地下層	地上層 (NF)	
	二樓以上(含屋頂層)總樓地板面積計算 (A <sub>f</sub> = A <sub>f1</sub> *NF)					(m <sup>2</sup> )		
	地下層總樓地板面積					(m <sup>2</sup> )		
一樓柱量	柱類別	柱形式	柱尺寸 (cm) (寬*深)	斷面積 (cm <sup>2</sup> ) (A <sub>sci</sub> )	根數 (N <sub>ci</sub> )	斷面積小計 (A <sub>ci</sub> = A <sub>sci</sub> * N <sub>ci</sub> )		
	走廊外柱	第一種		0	CorAci	0 (cm <sup>2</sup> )		
		第二種		0		0 (cm <sup>2</sup> )		
		第三種		0		0 (cm <sup>2</sup> )		
	教室柱	第一種		0	ClaAci	0 (cm <sup>2</sup> )		
		第二種		0		0 (cm <sup>2</sup> )		
		第三種		0		0 (cm <sup>2</sup> )		
	隔間柱	第一種		0	InsAci	0 (cm <sup>2</sup> )		
		第二種		0		0 (cm <sup>2</sup> )		
	走廊外柱總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) CorAc=Σ(CorAci)		0	教室柱總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) ClaAc=Σ(ClaAci)		0	隔間柱總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) 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 <sub>wi</sub> )	牆長度 (cm)		斷面積小計 (A <sub>wi</sub> =T <sub>wi</sub> * L <sub>wi</sub> )			
	RC牆		計算式	長度 (L <sub>wi</sub> )	0 (cm <sup>2</sup> )			
					0 (cm <sup>2</sup> )			
					0 (cm <sup>2</sup> )			
	四面圍束磚牆				0 (cm <sup>2</sup> )			
					0 (cm <sup>2</sup> )			
					0 (cm <sup>2</sup> )			
	三面圍束磚牆 *				0 (cm <sup>2</sup> )			
					0 (cm <sup>2</sup> )			
					0 (cm <sup>2</sup> )			
RC牆總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) RCAw=Σ(RCAwi)		0	四面圍束磚牆總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) B2Aw=Σ(B2Awi)		0	三面圍束磚牆總斷面積 (cm <sup>2</sup> ) B1Aw=Σ(B1Awi)		
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	<input type="checkbox"/> 差(0.95) <input type="checkbox"/> 尚可(1.0) <input type="checkbox"/> 良(1.05)					q1 =		
軟弱層顯著性	<input type="checkbox"/> 2/3以上牆體中斷(0.8) <input type="checkbox"/> 1/3至2/3之牆體中斷(0.9) <input type="checkbox"/> 1/3以下之牆體中斷(1.0)					q2 =		
裂縫銹蝕滲水等程度	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.9) <input type="checkbox"/> 少許(0.95) <input type="checkbox"/> 無(1.0)					q3 =		
變形程度	<input type="checkbox"/> 嚴重(0.9) <input type="checkbox"/> 無(1.0)					q4 =		
平面耐震性	<input type="checkbox"/> 雙走廊且廊外有柱(1.2) <input type="checkbox"/> 單走廊且廊外有柱或中間走廊(1.1) <input type="checkbox"/> 廊外無柱或其他(1.0)					q5 =		
短柱嚴重性	<input type="checkbox"/> 50%以上(0.9) <input type="checkbox"/> 50%以下(1.0); 指窗台、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:		確有耐震疑慮

備註：\*三面圍束磚牆不包含台度磚牆

負責評估者簽章

附錄二 建築物概要調查表

1. 調查概要

- 1.1 調查日期 \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日
- 1.2 調查機關名稱 \_\_\_\_\_
- 1.3 機關所在地 \_\_\_\_\_
- 1.4 調查者姓名 \_\_\_\_\_
- 1.5 聯絡電話 \_\_\_\_\_

2. 建物之資料

- 2.1 名稱 \_\_\_\_\_
- 2.2 所在地 \_\_\_\_\_
- 2.3 用途 \_\_\_\_\_
- 2.4 竣工日期 \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月
- 2.5 已使用年限 \_\_\_\_\_年
- 2.6 平面尺寸 長\_\_\_\_\_m<sup>2</sup>；短\_\_\_\_\_m<sup>2</sup>
- 2.7 總樓層面積 \_\_\_\_\_m<sup>2</sup>
- 2.8 構造型式 RC SRC SS 其他
- 2.9 基礎型式 筏式基礎 獨立基礎 其他
- 2.10 樓層數 地下\_\_\_\_\_地上\_\_\_\_\_頂加\_\_\_\_\_
- 2.11 設計者 \_\_\_\_\_ 不明
- 2.12 監工者 \_\_\_\_\_ 不明
- 2.13 施工者 \_\_\_\_\_ 不明
- 2.14 管理者 \_\_\_\_\_ 不明

3. 圖書記錄

- 3.1 一般圖 有 無 部分有 不明
- 3.2 構造圖 有 無 部分有 不明
- 3.3 構造計算書 有 無 部分有 不明
- 3.4 施工紀錄 有 無 部分有 不明
- 3.5 過去之調查資料 有 無 部分有 不明

4. 建築物履歷

- 4.1 用途變更 有(\_\_\_\_\_) 無 不明
- 3.2 增改建 有(\_\_\_\_\_) 無 不明
- 3.3 受災紀錄 有(\_\_\_\_\_) 無 不明
- 3.4 補修紀錄 有(\_\_\_\_\_) 無 不明
- 3.5 補強紀錄 有(\_\_\_\_\_) 無 不明

5. 建築物環境

- 5.1 地域區分 田園郊外 市街區 工廠區  
溫泉區
- 3.2 距海遠近 有(\_\_\_\_\_) 無 不明

6. 建築物之材料性質

- 6.1 混凝土之設計強度 \_\_\_\_\_kg/cm<sup>2</sup> 不明
- 6.2 被覆材 屋內 (\_\_\_\_\_) 屋外 (\_\_\_\_\_)

7. 其他補充事項

8. 簽名處

# 鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷準則 (草案)

內政部建築研究所 編制

102年12月

## 準則內容

### 第一章 準則說明

- 第一節 本準則緣起與說明
- 第二節 本準則適用範圍
- 第三節 相關用語定義

### 第二章 概要調查與耐久性能初步診斷

- 第一節 本準則診斷流程說明
- 第二節 建築物概要調查
- 第三節 耐久性能初步診斷
- 第四節 初步診斷綜和評定

### 第三章 耐久性能詳細診斷

- 第一節 詳細診斷方法說明
- 第二節 診斷項目說明
- 第三節 詳細診斷綜合評定
- 第四節 補修策略建議

### 文獻

### 附件一

### 附件二

# 第一章 本準則說明

## 第一節 本準則緣起與目的

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準則。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準則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準則之目的。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，除建築物外觀劣化狀況外，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 本準則適用範圍

本準則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。本準則僅針對主要受力構件，也就是主結構體（柱、梁、版、RC 牆），進行耐久性能調查、診斷。

### 第三節 相關用語定義

#### 1. 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。

#### 2. 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。

#### 3. 建築物構件

結構體中柱構件為支承梁所傳來載重；梁為建築物水平構材，支撐樓板、地板重量，並將力傳至堅向構材；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。

#### 4. 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。

#### 5. 建築物外牆被覆材料

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。外牆之功用為保戶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。被覆材料為包覆外牆之材料，對建築物本身則可避免直接受風雨及化學

物質侵蝕，而減緩自然劣化速率。

#### 6. 鼓起

鼓起又稱為鼓脹，為水泥砂漿和覆蓋水泥砂漿的裝修材料之介面發生間隙併發產生材料分離現象。

#### 7. 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。

#### 8. 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。

#### 9. 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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  會和空氣中之二氧化碳反應而產生近中性之  $\text{CaCO}_3$  (pH 值為 7)，使得混凝土的酸鹼度由 pH 12~14 約降至 pH 10；此一反應稱為中性化反應。

#### 10. 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。

#### 11. 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。

#### 12. 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。

### 13. 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，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，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一臨界值時，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。

### 14. 蜂窩

混凝土交至十，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。

### 15. 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。

#### 16. 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、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。

#### 17. 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。

#### 18. 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。

#### 19. 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。

#### 20. 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。

## 第二章 概要調查與耐久性能初步診斷

### 第一節 本準則診斷流程說明

評定事項：

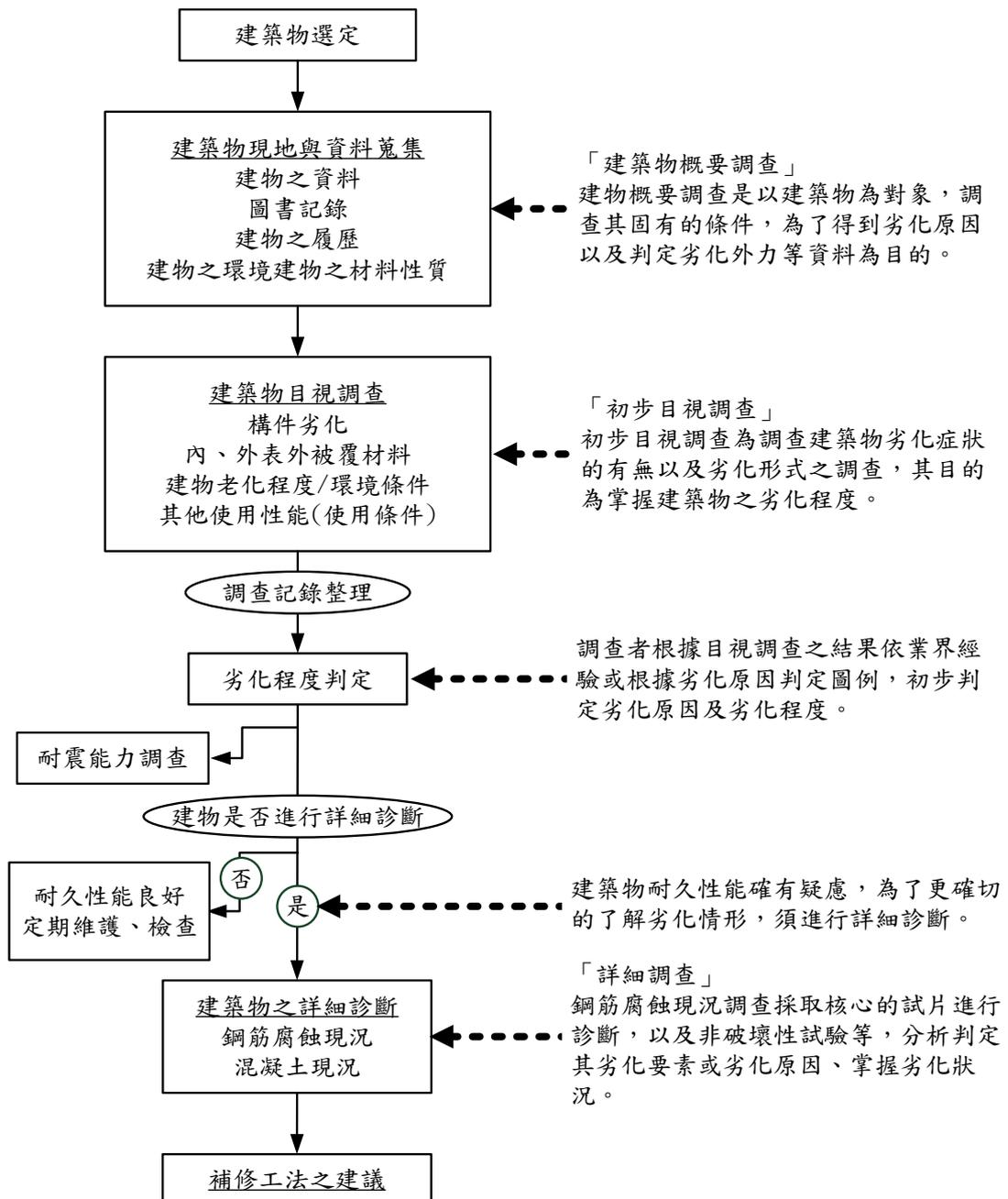
- a. 為了掌握建築物劣化狀況，進行耐久性能調查，以劣化程度判定是否需進行補修，而補修則依診斷的結果選定適宜之工法。
- b. 本準則建議之耐久性能調查可分為建築物概要調查、初步診斷、詳細診斷。建築物概要調查、初步診斷後，若無法充分取得資料足以判定的情況時需進行詳細診斷。
- c. 本準則建議之耐久性能調查方法僅適用自然狀態下而發生的劣化行為，若建築物損壞為震損造成的，則進行耐震能力評估。

說明：

- a. 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。
- b. 附圖 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；初步診斷依本準則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。

- c. 本準則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，則不適用於本準則提供之方法，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)，以進行耐震能力評估。



附圖 2-1 耐久性能診斷方法流程圖

## 第二節 建築物概要調查

### 評定事項：

- a. 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。
- b. 根據下列項目進行調查
  1. 建築物的名稱和所在地
  2. 建築物的設計者及施工者
  3. 完工時間
  4. 建築物的用途、規模、構造形式
  5. 建物所在地條件（環境條件等）
  6. 使用材料
  7. 裝潢材料的有無及種類（如外裝石材、油漆塗料、磁磚等）
  8. 受災補修、補強履歷
  9. 是否維持原本設計用途
  10. 其他、必要的事項
- c. 根據概要調查表(附錄二)紀錄其調查結果

### 說明：

- a. 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。
- b. 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
- c. 將建築物概要調查之結果記錄於附錄二。

### 第三節 耐久性能初步診斷

**評定事項：**

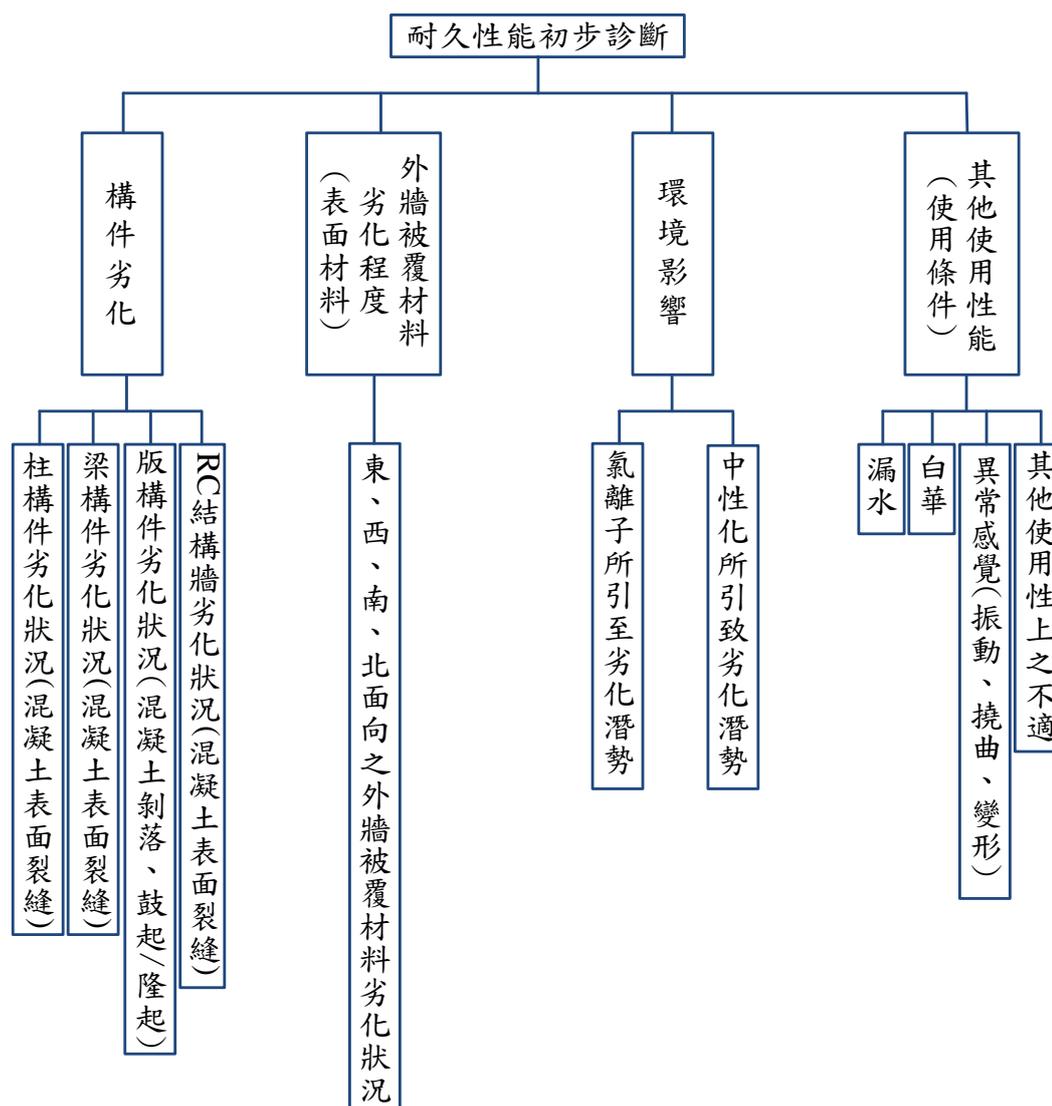
- a. 初步診斷使用目視調查，調查重點為裂縫、剝落、鼓起/隆起三種，依調查項目而定，初步診斷依下列影響因子進行調查：
  - 1. 構件劣化
  - 2. 外牆表面被覆材料劣化
  - 3. 環境影響因子
  - 4. 其他使用性能
- b. 調查人員參考裂縫形式判定圖例，判定構件劣化之成因，並將調查結果按照所訂定的樣式記錄之。

**說明：**

- a. 調查人員依附表 2-1 進行目視調查，本準則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；三為環境影響因子，本準則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，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，參考附圖 2-2，綜合目視調查之結果，以初步判定建築物之耐久性能。

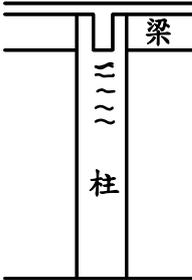
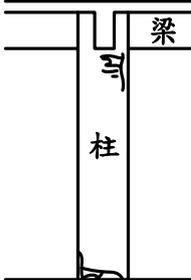
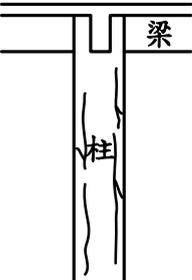
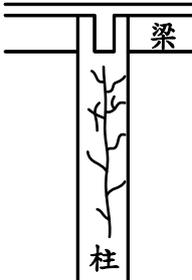
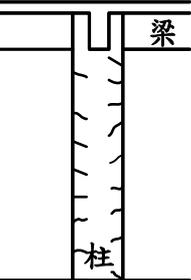
附表 2-1 初步診斷項目

項目	調查事項	調查重點
1	建築物外牆被覆材料劣化	調查建築物四面向是否有被覆材料剝落之情形
2	建築物內部構件劣化	柱、梁及 RC 結構牆之混凝土表面是否有裂縫情形
		版構件調查混凝土表面是否有剝落情形
3	使用性能狀況	構架歪斜、牆壁樓板滲漏水、白華、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

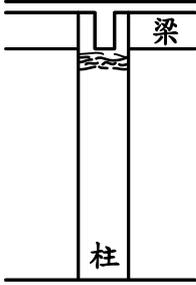
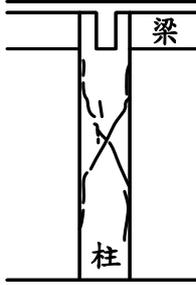


附圖 2-2 耐久性能初步診斷項目

- b. 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，並建立相關診斷準則與評估表，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。
- c. 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，參考附圖 2-3~2-10。

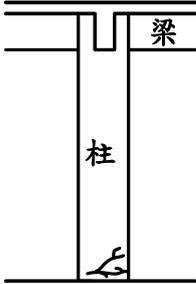
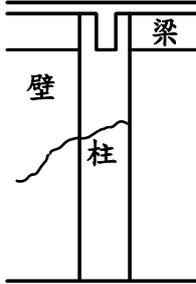
			
裂縫形式編號	Cd1	裂縫形式編號	Cd2
<p>鋼筋腐蝕造成之裂縫；原因為混凝土保護層厚度不夠，而沿著箍筋方向產生裂縫、剝落。</p>		<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；柱頂和柱底因鋼筋較集中且混凝土保護層厚度不夠，產生混凝土表面裂縫或剝落。</p>	
			
裂縫形式編號	Cd3	裂縫形式編號	Cd4
<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；混凝土中含有過量氯離子，而沿著主筋方向產生裂縫。</p>		<p>鹼骨材反應造成裂縫；柱中心部位產生垂直樹狀裂縫。</p>	
			
裂縫形式編號		Cd4	
<p>乾燥收縮產生裂縫；柱周邊產生水平方向產生裂縫。</p>			

附圖 2-3 柱構件劣化造成之裂縫

			
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。	

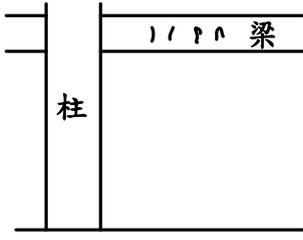
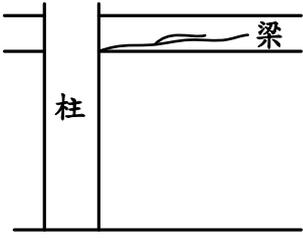
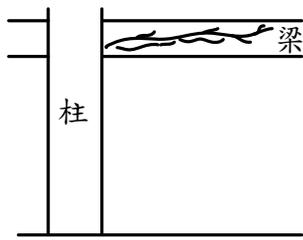
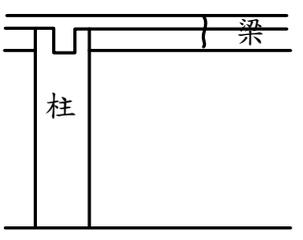
附圖 2-4 柱構件受外力作用下裂縫

(資料來源：日本建築學會，2003)

			
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。	

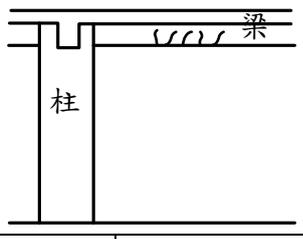
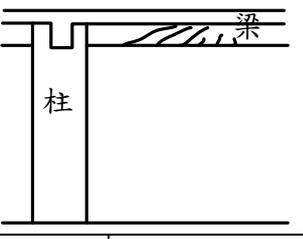
附圖 2-5 柱構件因施工不良形成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，2003)

			
裂縫形式編號	Bd1	裂縫形式編號	Bd2
<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；原因為混凝土保護層厚度不夠，而沿著箍筋方向產生裂縫。</p>		<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；混凝土中含有過量氯離子，而沿著主筋方向產生裂縫。</p>	
			
裂縫形式編號	Bd3	裂縫形式編號	Bd4
<p>鹼骨材反應成裂縫；梁中心部位沿著水平方向產生的樹狀裂縫。</p>		<p>乾燥收縮產生裂縫；沿著梁的垂直方向產生裂縫，並且貫穿樓版。</p>	

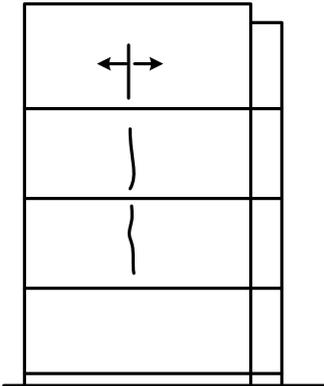
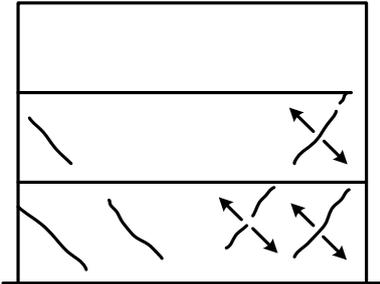
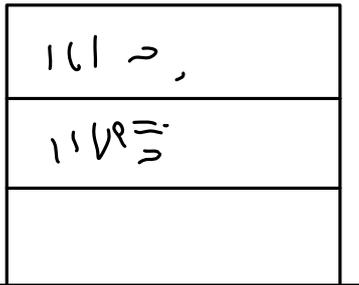
附圖 2-6 梁構件劣化造成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，2003)

			
裂縫形式編號	Bf1	裂縫形式編號	Bf2
<p>撓曲裂縫梁，承受撓曲應力，容許產生細微的裂縫。</p>		<p>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。</p>	

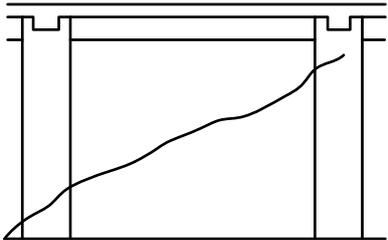
附圖 2-7 梁構件外力造成之裂縫

(資料來源：日本建築學會，2003)

			
裂縫形式編號	Wd1	裂縫形式編號	Wd2
<p>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。</p>		<p>乾燥收縮產生的裂縫；大面積的牆壁，被基礎固定住，因為上部結構收縮，端部產生斜裂縫。</p>	
			
裂縫形式編號		Wd1	
<p>鋼筋腐蝕造成裂縫；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或鋼筋裸露等狀況。</p>			

附圖 2-8 RC 結構牆混凝土乾縮與鋼筋腐蝕

(資料來源：日本建築學會，2003)

			
裂縫形式編號	Wf1	裂縫形式編號	Ww2
<p>不均勻下陷產生裂縫；在大型牆壁上產生不均勻下陷倒八字型的裂縫產生。</p>		<p>冷縫造成裂縫；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。</p>	

**附圖 2-9 RC 牆結構不均勻下陷**  
(資料來源：日本建築學會，2003)

**附圖 2-10 RC 結構牆之施工不良**

## 一、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，並依本準則建議之工作細項（如附表 2-2 所示），完成事前內業工作。

附表 2-2 準備工作細項說明

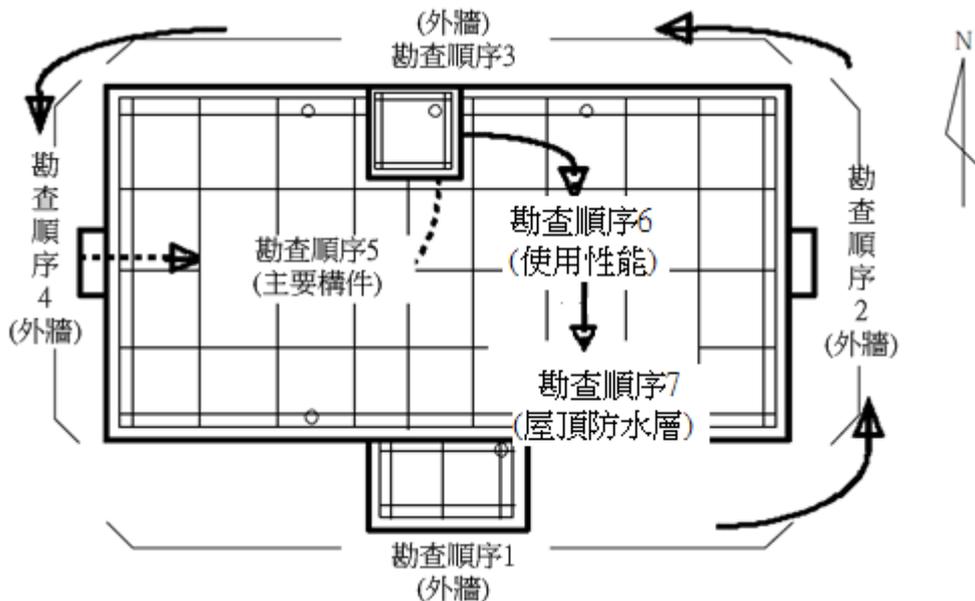
作業流程	作業內容
概要調查準備 ↓ 初步診斷準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>●耐久性能調查人員工作事項</li> <li>①建築物既存資料蒐集                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-建築物平面圖、結構平面圖、竣工圖、修繕記錄等資料蒐集，由建築物管理人或使用人協助處理。</li> </ul> </li> <li>●耐久性能概要調查表製成                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-建築物固有條件、所在環境、修繕履歷填寫</li> </ul> </li> </ul> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>●目視調查前準備事項</li> <li>①調查順序之規劃                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-屋外(被覆材料)→屋內(混凝土外觀)→使用性能→屋頂(防水層)</li> </ul> </li> <li>②平面圖、立面圖、結構平面圖準備                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-調查順序記錄</li> <li>-調查構件編號記入</li> <li>-調查單位</li> </ul> </li> </ul>
調查開始	<ul style="list-style-type: none"> <li>●初步診斷前準備器材                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-相機、裂縫尺、記錄紙等相關器材</li> </ul> </li> </ul>

**評定事項：**

- a. 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。
- b. 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。
- c. 構件調查單位數。
- d. 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。

**說明：**

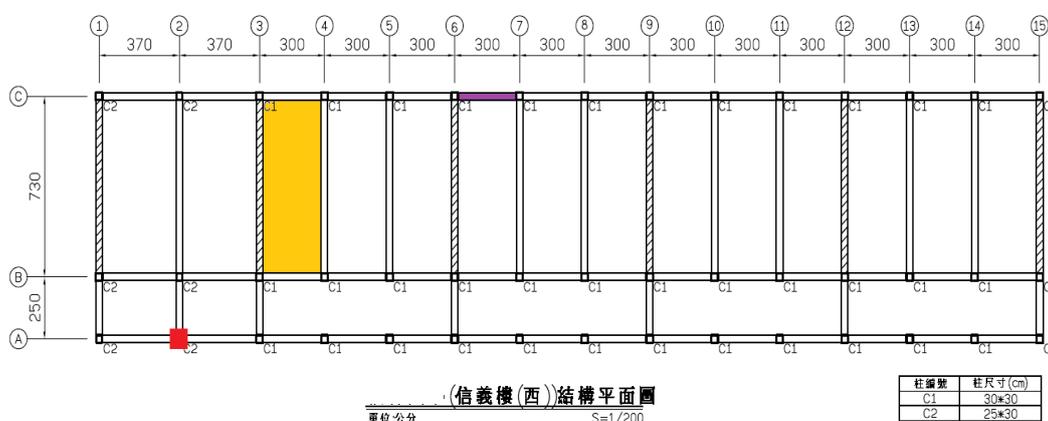
- a. 如附圖 2-11 所示，建議先由建築物外圍開始調查，擇一固定方向(如順時鐘或逆時鐘方向)依順序調查各立面之之外牆被覆劣化狀況，再進入建築物內部(構件劣化、使用性能)進行調查，最後為屋頂上之防水層調查。



**附圖 2-11 勘查動線示意圖(二)**

(資料來源：日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查-技術資料)

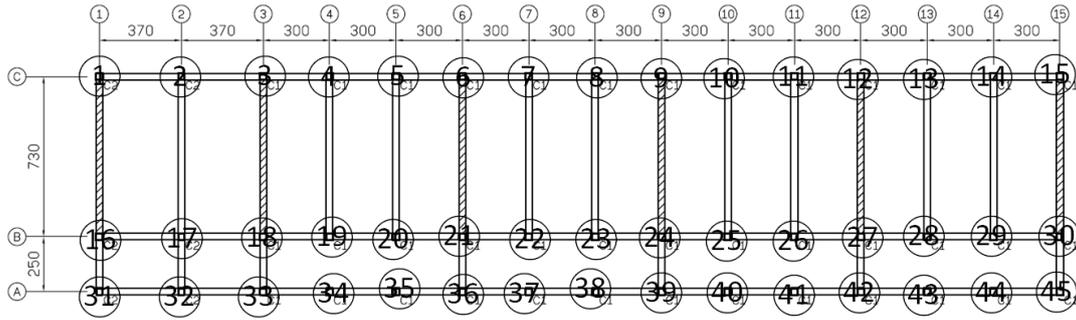
b. 構件編號說明如附圖 2-12，調查者依結構平面圖之中心線來命名構件編號，也就是說利用構件在平面圖中與中心線的位置編號，平面圖中橫向中心線編號為英文字母 A、B、C、D，垂直向中心線編號為數字 1、2、3、4，因此構件編號形式為英文字母在前，後為數字，英文及數字間以符號“-“做區隔，例如柱編號：A-2；版編號：BC-3.4；梁編號：C-6.7；由於從平面圖中來看，梁位置與 RC 結構牆位置可能重疊，因此 RC 結構牆編號前會有 W 之代號以區分，如：WAC-3。



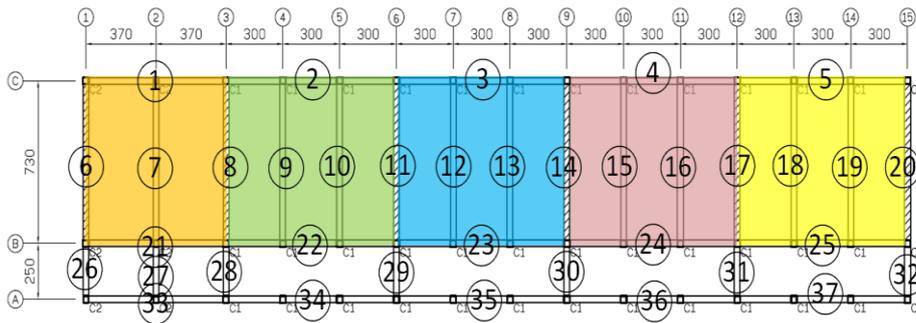
構件編碼規則說明		
構件	顏色示意	編號形式
柱		A-2
梁		BC-3.4
版		C-6.7
RC 結構牆		WBC-.4

附圖 2-12 構件編號規則示意圖

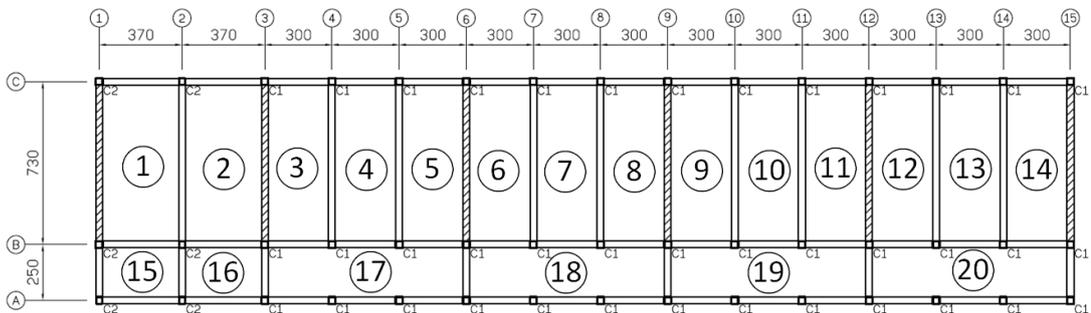
c. 建築物構件數量決定，擬定調查構件之單位設定。柱、梁構件較為單純，柱構件調查 45 根柱；梁構件調查 37 根梁；版構件四周皆有邊構材為一單位，共調查 20 塊版；外牆以外柱線及外梁線判斷，四面向及屋頂層之外牆，共計 50 個單位牆，如附圖 2-13 ~2-16 所示。



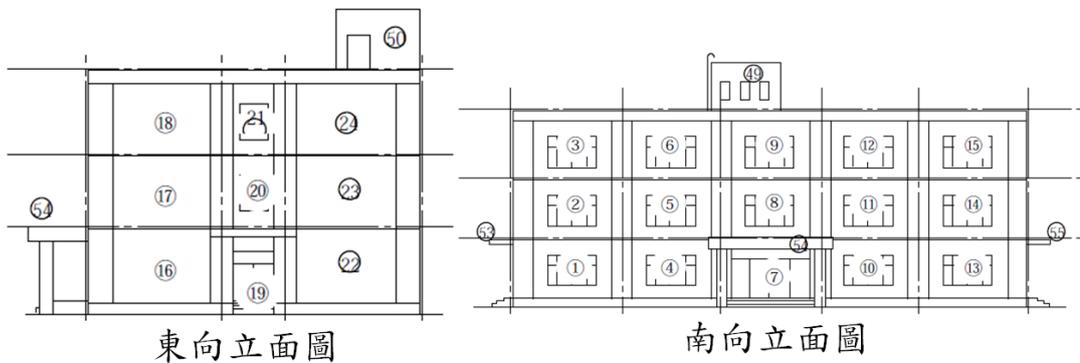
附圖 2-13 柱構件單位設定示意圖



附圖 2-14 梁構件單位設定示意圖



附圖 2-15 版構件單位設定示意圖



附圖 2-16 外牆單位設定示意圖

(資料來源：日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查-技術資料)

- d. 目視過程中可以利用工具輔助調查，如附圖 2-17 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。



附圖 2-17 現地調查之準備工具

(資料來源：日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查-技術資料)

## 二、構件劣化評定與記錄

### 評定事項：

- a. 構件調查依下列所示之構件劣化評定基準給予構件劣化度：
1. 柱構件裂縫評定基準
  2. 梁構件裂縫評定基準
  3. 版構件剝落評定基準
  4. RC 結構牆裂縫評定基準
- b. 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。

### 說明：

- a. 調查人員進行劣化度判定前，需參考柱、梁、版及 RC 結構牆評定基準，如附表 2-3；版構件評定基準參考附表 2-4。

附表 2-3 柱、梁構件及 RC 結構牆劣化度評定基準

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，2003)

附表 2-4 版構件評定基準

劣化程度 劣化形式	健全	輕度		中度	重度	嚴重損壞
剝落	無明顯劣 化症狀	相對	1%~5%	5%~10%	10% 以上	混凝土表面剝落嚴重，造成鋼筋完全露出，且鋼筋已鏽蝕。
		絕對	1m <sup>2</sup> ~4m <sup>2</sup>	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> 以上	
鼓起/隆起	無明顯劣 化症狀	相對	1%~10%	10%~25%	20% 以上	
		絕對	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> ~24m <sup>2</sup>	25m <sup>2</sup> 以上	

(資料來源：日本建築學會，2008)

- b. 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，若累積機率 $\geq 10\%$ ，即可判定該劣化程度為此樓層該構件之代表劣化度。調查人員將調查結果填寫於附表 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、鼓/隆起面積，對於重度及嚴重損壞程度之構件，並以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，如附表 2-6 為例。

附表 2-5 單一樓層構件劣化紀錄表

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
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
劣化度		發生機率		累積發生機率	
<input type="checkbox"/> 嚴重損壞					
<input type="checkbox"/> 重度					
<input type="checkbox"/> 中度					
<input type="checkbox"/> 輕度					
<input type="checkbox"/> 健全					

(若表格不夠自行新增)

附表 2-6 整棟建築物構件劣化紀錄表

建築物名稱		忠孝樓			
樓層	柱	梁	版	RC 結構牆	
	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	<input type="checkbox"/> 健全 <input type="checkbox"/> 輕度 <input type="checkbox"/> 中度 <input type="checkbox"/> 重度 <input type="checkbox"/> 嚴重損壞	
劣化度					

(若表格不夠自行新增)

### 三、外牆劣化評定與記錄

**評定事項：**

- a. 調查人員調查建築物外牆被覆材料劣化情形，參考外牆劣化評定基準判定劣化度。
- b. 利用相機紀錄影像並將結果記錄於評估表中。

**說明：**

- a. 本準則設定之材料種類分為石材、磁磚、木材及油漆等，調查人員須沿著建築物四周調查、確認其被覆材種類，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，參考附表 2-7，評定外牆劣化度。

附表 2-7 建築物外牆劣化度評定基準

劣化程度 劣化形式	健全	輕度		中度	重度	嚴重損壞
剝落	無明顯劣化 症狀	相對	1%~5%	5%~10%	10% 以上	表面被覆材料 大面積剝落，內 部鋼筋明顯露 出，鏽蝕嚴重。
		絕對	1m <sup>2</sup> ~4m <sup>2</sup>	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> 以上	
鼓起及隆起	無明顯劣化 症狀	相對	1%~10%	10%~25%	20% 以上	
		絕對	5m <sup>2</sup> ~9m <sup>2</sup>	10m <sup>2</sup> ~24m <sup>2</sup>	25m <sup>2</sup> 以上	

(資料來源：日本建築學會，2008)

- b. 調查人員將調查結果記錄於附表 2-8 中，並評定建築物各面向之劣化度，一般可分為四個面向。

附表 2-8 建築物外牆劣化記錄表

被覆材種類		<input type="checkbox"/> 磁磚 <input type="checkbox"/> 石材 <input type="checkbox"/> 油漆 <input type="checkbox"/> 其他種類_____				
劣化結果判定						
方位	調查項目	健全	輕度	中度	重度	嚴重損壞
	剝落					
	鼓起/隆起					
	剝落					
	鼓起/隆起					
	剝落					
	鼓起隆起					
	剝落					
	鼓起/隆起					
劣化度評評定結果= 最嚴重劣化個數/檢測數目						
現況照片				文字敘述		
現況照片				文字敘述		
現況照片				文字敘述		
現況照片				文字敘述		

#### 四、環境影響因子劣化評定與評估表

##### 評定事項：

- a. 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。

##### 說明：

- a. 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，如附表 2-9、2-10；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，如附表 2-10、2-11 所示。

附表 2-9 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		見附表 2-10	-

(資料來源：涂豐鈞等，2012，交通部公路，2009)

附表 2-10 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	<input type="checkbox"/> 部 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 上 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 30 – 1.0 km
東部	<input type="checkbox"/> 部 3.0 km 以上	<input type="checkbox"/> 上 1.0 – 3.0 km	<input type="checkbox"/> 30 – 1.0 km
中部	<input type="checkbox"/> 部 ..0 km 以上	<input type="checkbox"/> 上 ..0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 50 – 3.0 km
南部	<input type="checkbox"/> 部 ..0 km 以上	<input type="checkbox"/> 上 ..0 – 5.0 km	<input type="checkbox"/> 50 – 3.0 km

附表 2- 11 北部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表

	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	<input type="checkbox"/> 屋齡 10 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 10~45 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 45 年以上
水泥砂漿被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 屋齡 45 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 45~100 年	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上
樹脂材料、瓷磚、 水泥板材被覆之 使用年限	<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以下		<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上

附表 2- 12 中、南部 RC 建築物考慮表面被覆材之環境影響因子評定表

	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	<input type="checkbox"/> 屋齡 25 年以下	<input type="checkbox"/> 屋齡 25~100 年	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 泥屋齡 100 年以下		<input type="checkbox"/> 屋齡 100 年以上

## 五、其他使用性能評定表

### 評定事項：

- a. 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定表中。

### 說明：

- a. 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附表 2-13，其中包含室內滲漏水、混凝土的白華現象、使用者異常體感(振動、撓曲)、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、外牆磁磚汙損等。

附表 2- 13 其他使用性能評定表

評估內容	完好	普通	不良	極差
漏水	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
白華	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微斑點	<input type="checkbox"/> 大範圍斑點狀	<input type="checkbox"/> 大範圍斑塊狀
異常體感 (樓板震動、跨距大變形)	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
整體結構物傾斜	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微感覺	<input type="checkbox"/> 使用者感覺不適	<input type="checkbox"/> 有安全疑慮
天花板裝修物變形 (輕鋼架)	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 輕微變形	<input type="checkbox"/> 變形曲折	<input type="checkbox"/> 使用上造成困擾
伸縮縫	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 點滲水	<input type="checkbox"/> 面滲水	<input type="checkbox"/> 表面生霉 (變黑或粉末狀)
屋頂防水層	調查人員描述			
外牆汙損	調查人員描述			
其他補充	調查人員描述			

### 第四節 初步診斷綜和評定

調查人員依「構件劣化」→「表面被覆材料」→「環境影響因子」→「使用條件」等階段式方式進行評定，本準則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，參考附圖 2-18。

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
外牆被覆劣化與環境條件			
環境條件 外牆被覆劣化	低環境劣化潛勢	中環境劣化潛勢	高環境劣化潛勢
健全	[Green]	[Yellow]	[Red]
輕度			
中度	[Yellow]		
重度	[Red]		
嚴重損壞	[Red]		



使用條件	完好	普通	不良	極差
------	----	----	----	----

附圖 2-18 初步診斷綜合評定

## 第三章 耐久性能詳細診斷

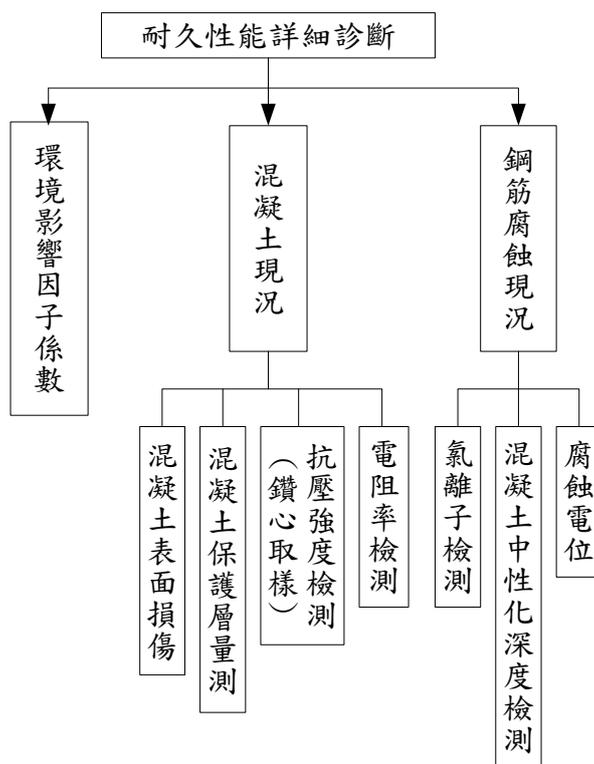
### 第一節 詳細診斷方法說明

#### 評定事項：

- a. 詳細診斷是根據初步診斷之結果來判定是否需要實施。
- b. 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、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。
- c. 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。

#### 說明：

- a. 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。
- b. 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；混凝土現況之檢測項目中需進行混凝土表面損傷之目視調查，即為初步診斷中建築物各構件之劣化狀況目視調查；另外環境影響評定係數即為初步診斷環境影響因子。
- c. 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、混凝土現況檢測及混凝土表面損傷、環境影響因子等四項，如附圖2-19所示。



附圖2-19 耐久性能詳細診斷方法

## 第二節 診斷項目說明

### 一、鋼筋腐蝕現況

#### (1) 腐蝕電位檢測與評定

##### A. 檢測方法

此方法主要利用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。

##### B. 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4-25以判斷混凝土中的鋼筋發生腐蝕機率及評定標準值。

附表 2- 14 鋼筋鏽蝕電位的評定標準

評定標準值	電位值(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：葉為忠等，2012)

## (2) 混凝土中性化深度檢測與評定

### A. 檢測方法

- a. 可配合鋼筋腐蝕電位之測試結果，於可能發生鋼筋腐蝕區域進行現場混凝土鑽心試驗及中性化深度量測。
- b. 中性化檢測須於混凝土斷面噴灑酸鹼指示劑，利用酸鹼指示劑顏色變化判斷該混凝土中性化深度。

### B. 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，如附表2-15所示。

附表 2- 15 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：葉為忠等，2012)

### (3) 氯離子含量檢測與評定

#### A. 檢測方法

依據AASHTO T260-97量測氯離子濃度，其試驗步驟如下：

- a. 將取樣的試體磨成粉末後，取通過No.50篩之粉末做為試驗樣本，並放置烘箱烘乾一天。
- b. 烘乾試驗樣本取3g粉末加入60~70 ml去離子水中加熱至沸騰後，密封放置於無鹽害之環境中24小時。
- c. 以雙層濾紙(Whatman No.41在上、No.40在下)過濾試驗樣本溶液，將過濾後所得之待測液加入1~2滴甲基橙指示劑，使其溶液顏色呈橙黃色。
- d. 於待測液中加入濃硝酸使其酸化，酸化完成之水溶液顏色將呈現粉紅色。
- e. 將待測液以去離子水補足至150 ml後，即可利用電位差滴定法進行量測。

本準則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。

#### A. 評定標準

本項次之評定標準可參考附表 2-16 所示：

附表 2- 16 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 <sup>3</sup> )	<0.45	0.45~1.2	1.2~2.1	2.1~3.0	>3.0
鋼筋鏽蝕之可能性	很小	不確定	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：葉為忠等，2012)

## 二、混凝土現況

### (1) 電阻率檢測與評定

#### A. 檢測方法

利用鋼筋腐蝕電位測試結果選擇鋼筋可能腐蝕活化區域，以進行混凝土電阻率測量。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  $\rho$ ，如式(2-1)：

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

式中V：電壓電極間所測的電流；I：電流電極所通過電流；D：電流間距。

#### B. 評定標準

本項次之評定標準如附表 2-17 所示：

附表 2-17 混凝土電阻率評定標準

評定標準值	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

備註：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：葉為忠等，2012)

## (2) 抗壓強度檢測與評定-鑽心取樣法

### A. 檢測方法

- a. 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。
- b. 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 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 CNS1232混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法試驗之。

### B. 評定標準

本項次之評定標準可參考附表 2-18 所示：

附表 2- 18 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	$\geq 0.95$	$\geq 1.00$	良好
2	$0.95 > K_{bt} \geq 0.90$	$\geq 0.95$	較好
3	$0.90 > K_{bt} \geq 0.80$	$\geq 0.90$	較差
4	$0.80 > K_{bt} \geq 0.70$	$\geq 0.85$	差
5	$< 0.70$	$< 0.85$	很差
備註	<p>(1) <math>K_{bt} = \frac{R_{it}}{R}</math>            式中：<math>K_{bt}</math> = 單一平均強度係數  <math>R_{it}</math> = 檢測試體抗壓強度的實測值  <math>R</math> = 混凝土原設計強度</p> <p>(2) <math>K_{bm} = \frac{R_{im}}{R}</math>            式中：<math>K_{bm}</math> = 整體平均強度係數  <math>R_{im}</math> = 檢測試體之平均抗壓強度值  <math>R</math> = 混凝土原設計強度</p>		

(資料來源：葉為忠等，2012)

### (3) 混凝土保護層厚度檢測與評定

#### A. 檢測方法

- a. 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。
- b. 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)。
- c. 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。
- d. 按式(2-2~2-3)計算混凝土保護層厚度：

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

$$\overline{D}_{nc} = \overline{D}_n - K S_D \quad (2-3)$$

式中， $D_i$ ：測點部位保護層厚度實測值； $n$ ：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(2-4)； $K$ 為合格評定係數，按附表2-19採用。

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

附表 2-19 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：葉為忠等，2012)

B. 評定標準

本項次之評定標準可參考附表 2-19 所示：

附表 2- 20 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	0.85~0.95	有輕度影響
3	0.70~0.85	有影響
4	0.55~0.70	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：葉為忠等，2012)

三、 混凝土表面損傷評定值

耐久性能初步診斷法部分，將構件劣化分別為健全、輕度、中度、重度、嚴重損壞成五個等級，並分別對應到詳細診斷之五個評定標準值1、2、3、4、5，如附圖2-20所示，可依各樓層結果分別評定。

構件劣化等級	表面損傷評定值
健全	1
輕度	2
中度	3
重度	4
嚴重損壞	5

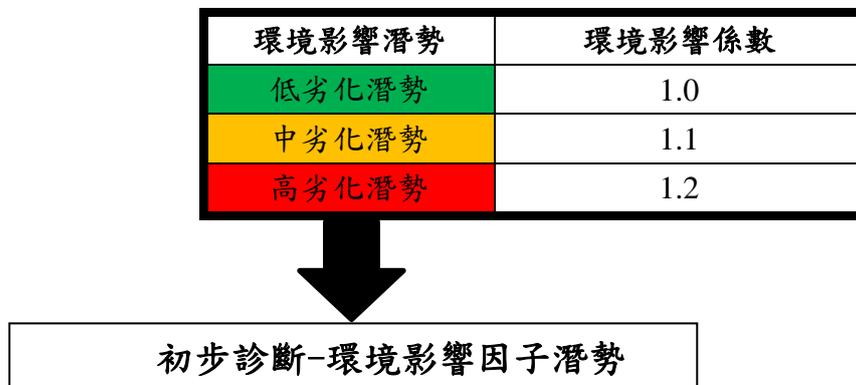


初步診斷-各樓層構件劣化

附圖2- 20 表面損傷係數對照表

#### 四、環境影響係數

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係數，如附圖 2-21 所示。



附圖2- 21 環境影響係數對照表

#### 五、詳細診斷項目權種值

附表 2-21 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。

附表 2- 21 耐久性指標權重值

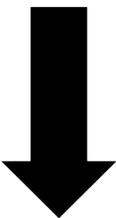
診斷指標	項目	權重值	
腐蝕現況	-	0.73	
腐蝕電位	1	0.50	
中性化深度	2	0.18	
氯離子檢測	3	0.32	
混凝土現況	-	0.27	
電阻係數	4	0.08	
抗壓強度	5	0.18	
鋼筋保護層厚度	6	0.20	
混凝土表面損傷	7	0.535	
環境影響係數	1.1	1.2	1.3

(資料來源：葉為忠等，2012)

### 第三節 詳細診斷綜合評定

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，如附表 2-22。

附表 2-22 詳細診斷綜合評定項目

<p>初步診斷</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 各樓層構件劣化程度             <ul style="list-style-type: none"> <li>① 柱構件劣化程度</li> <li>② 梁構件劣化程度</li> <li>③ 版構件劣化程度</li> <li>④ RC 結構牆劣化程度</li> </ul> </li> <li>● 環境影響因子             <ul style="list-style-type: none"> <li>① 氯離子引致劣化潛勢</li> <li>② 中性化引致劣化潛勢</li> </ul> </li> </ul> <p style="margin-left: 150px;">} 四者取其最嚴重之劣化程度</p>
<p>詳細診斷</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 詳細診斷綜和評定             <ul style="list-style-type: none"> <li>① 鋼筋腐蝕現況                 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 腐蝕電流、氯離子檢測、中性化深度檢測</li> </ul> </li> <li>② 混凝土現況                 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 電阻率檢測、混凝土保護層厚度、抗壓強度檢測</li> </ul> </li> <li>③ 混凝土表面損傷</li> <li>④ 環境影響係數</li> </ul> </li> </ul>
<p>綜和評定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 單一樓層之耐久性能評定值→單一耐久性能評定等級</li> <li>● 整體建築物耐久性評定值→整體耐久性能評定等級</li> <li>- 定期維護、補修建議</li> </ul>

## 一、單一樓層之耐久性能評定

將耐久性能各指標權重值代入式(2-5)，計算單一樓層耐久性能評定等值。

$$D_i = \delta_1 \times \sum_{j=i}^2 \sum_{m=i}^i \beta_j A_{jm} \alpha_{im} \quad (2-5)$$

式中， $D_i$ ：第*i*樓層耐久性能評定值； $\delta_1$ ：環境影響放大係數； $\beta_i$ ：第*i*類因子中代表之權重(鋼筋腐蝕現況=0.727、混凝土現況0.273)； $A_{jm}$ ：第*i*類因子中第*m*個指標獲得之評定值； $\alpha_{im}$ ：第*i*類因子中第*m*個指標所佔之權重值。

將單一樓層之耐久性能評斷分為五個等級，如附表2-23所示。

附表 2- 23 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：葉為忠等，2012)

## 二、整體建築物之耐久性能評定

將單一耐久性能評定值代入式(2-6)，即可獲得建築物之整體耐久性能評定等級。

$$D_{\text{total}} = \sum_{j=1}^q D_j r_j \quad (2-6)$$

式中， $D_{\text{total}}$ ：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，如附表 2-24。

附表 2-24 整體建築物之耐久性能評定

$D_{\text{total}}$ 之範圍	$0 \leq D_{\text{total}} < 2$	$2 \leq D_{\text{total}} < 3$	$3 \leq D_{\text{total}} < 4$	$4 \leq D_{\text{total}} < 5$	$5 \leq D_{\text{total}}$
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：葉為忠等，2012)

## 第四節 補修策略建議

基於調查與耐久性能診斷結果、以確定其劣化主因、程度及範圍，進而決定補修範圍設定、修復材料與補修工法選定。此外，補修策略亦須考量其施工性、補修工期、經濟性、施工安全性與施工周遭環境等各項因素。一般而言，除上述所列之客觀條件外，建築物使用者或管理者可依其考量選定或設定一補修目標；一般而言，補修回復目標設定分為三種，一為永續修復，二為延壽修復，三為臨時修復。

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。

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。

### 壹、鋼筋腐蝕補修工法

鋼筋腐蝕修復種類可分為劣化混凝土處理、鋼筋防銹處理、含浸材處理、鋼筋防銹處理、斷面修復、表面被覆部分，如附表 2-25。其中，臨時修復主要針對腐蝕部分進行除鏽處理，而延壽修復則增加鋼筋防鏽處理；永續修復除上述工法外，須增加表面被覆材部分，以隔絕劣化因子入侵。

附表2- 25 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	延壽	永續(1)	永續(2)
鋼筋腐蝕 補修 工法	劣化混凝土處理	去除裂縫部分	鋼筋腐蝕地方	鋼筋腐蝕地方	鋼筋腐蝕地方
	銹蝕鋼筋處理	劣化部分去除	劣化部分去除	劣化部分去除	劣化部分去除
	含浸材處理	-	-	強鹼塗布型材料	-
	鋼筋防銹處理	-	鋼筋防鏽材	鋼筋防鏽材	鋼筋防鏽材
	斷面修復	斷面修復	斷面修復	斷面修復材	斷面修復材
	表面被覆	-	中性化抑制材料和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 【1】)

## 貳、中性化抑制工法

混凝土中性化速度受使用水泥、建材種類或混凝土密實性等因素影響，如何依損傷部位之受損程度進行有效之補修等，須依其劣化程度將其分類，如附表 2-26 所示，並建議適合之工法，如附表 2-27。

附表2- 26 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	中性化深度評值為 2 以上
中度	中性化深度評值為 3
重度以上	中性化深度評定值 4 以上

(資料來源 【1】)

附表2- 27 混凝土中性化補修工法選定

構件劣化度	中性化劣化因子程度		
	輕度以下	中度	重度以上
輕度以下	不補修	中性化抑制工法	中性化抑制工法
中度	檢討	裂縫補修工法和 中性化抑制工法	鋼筋腐蝕補修工法 中性化抑制工法
重度以上	檢討	檢討	鋼筋腐蝕補修工法 中性化抑制工法

(資料來源：日本建築學會，2003)

### 參、氯離子抑制工法

依據其劣化程度將其分類，如附表 2-28 所示，並建議適合之修補工法，附表 2-29 所示。

附表2- 28 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	0.6 kg/m <sup>3</sup> 以下
中度	0.6 kg/m <sup>3</sup> 以上，1.2 kg/m <sup>3</sup> 以下
重度以上	1.2 kg/m <sup>3</sup> 以上

(資料來源：日本建築學會，2003)

附表2- 29 氯離子補修工法選定

構件劣化度	氯離子劣化因子程度		
	輕度以下	中度	重度以上
輕度以下	不補修	氯離子抑制工法	氯離子抑制工法
中度	檢討	鋼筋腐蝕補修工法和氯離子抑制工法	鋼筋腐蝕補修工法 氯離子抑制工法
重度以上	檢討	檢討	鋼筋腐蝕補修工法 氯離子抑制工法

(資料來源：日本建築學會，2003)

附表2- 30 中性化及氯離子補修工法與回復目標方法之關係

中性化抑制工法	混凝土表面處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	中性化部分去除
	含浸材處理	-	-	強鹼性材料	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復材
	表面被覆	-	中性化抑制材料	中性化抑制材料	中性化抑制材料
氯離子抑制工法	混凝土表面處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	劣化部分清除、處理	氯離子滲透部分去除
	含浸材處理	-	-	塗布型防銹材	-
	斷面修復	-	-	-	斷面修復材
	表面被覆	-	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，2003)

## 肆、裂縫修補工法

依中華民國結構工程技師公會全國聯合會(2008)中，鋼筋混凝土建築物之結構元件受損，依其受損之混凝土表徵，概分為：混凝土裂縫寬度小於 0.3mm、混凝土裂縫寬度大於 0.3mm 之結構性裂縫、混凝土局部鬆動及混凝土嚴重開裂剝落等四種。

鋼筋混凝土結構元件若產生前述之受損現象，只要鋼筋與混凝土尚具有整體性(黏結握裹尚稱完好)，則均可以合宜之工法材料，將其「修復」，亦即可藉由「修復」工法維持結構元件之既有強度。

### 1. 裂縫灌注工法

裂縫寬度小於 0.3mm，以水泥膏或環氧樹脂膏或彈性披土填補 V 形槽，再以水泥砂漿填補。

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等結構元件，發生寬度 0.3mm 以下之微裂縫。

(2) 特性說明：一般而言，寬度 0.3mm 以下非結構性裂縫，填補後可有效防止水氣侵入。

(3) 施工步驟：

將混凝土表面清理乾淨，以水泥膏、環氧樹脂膏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並粉平，塗刷油漆之於裂縫部位，油漆顏色宜與周圍油漆顏色一致，如圖 4-32 所示。

(4) 注意事項：其施工安全防護措施及塗刷方式，須依材料廠商之建議方式施作，承商建議之方式應事先取得技師之同意。

## 2. 裂縫寬度大於 0.3mm 之結構性裂縫工法

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土梁、柱、版、牆等結構元件，發生寬度在 0.3mm 以上之結構性裂縫。

(2) 特性說明：一般而言，環氧樹脂之力學強度遠高於混凝土，且環氧樹脂可與混凝土充分黏結，故以壓力注入環氧樹脂後之裂縫可完全密合，而達修復及防止水氣滲入目的，若再有外力造成混凝土開裂，則因環氧樹脂黏結強度高於鄰近混凝土，如再開裂其位置應不會在已灌注環氧樹脂之縫位置。

(3) 施工步驟：

清理裂縫之雜物，並固定裂縫灌注器於裂縫上，灌注器間距為 150 至 400mm 之間，視裂縫寬度而定，以能灌滿裂縫為原則。安裝灌注器底座；裂縫表面須用密封劑沿裂縫作寬度約 30mm、厚 3mm 之密封，以避免注入之補修材料流出；灌注的壓力須由裂縫寬度、深度及補修材料的稠度來決定，原則上須採用低壓低速方式灌注，灌注時須從裂縫最寬處開始，若在垂直或傾斜面施工時，通常先從最低的灌注點開始依序向上灌注，當環氧樹脂滲過上方的灌注點時，再移至新的灌注點灌注，若有需要且在該裂縫灌注 30 分鐘，可再進行補灌。灌滿後至少養生 24 小時，拆除灌注底座，並進行披土磨平。

(4) 注意事項：

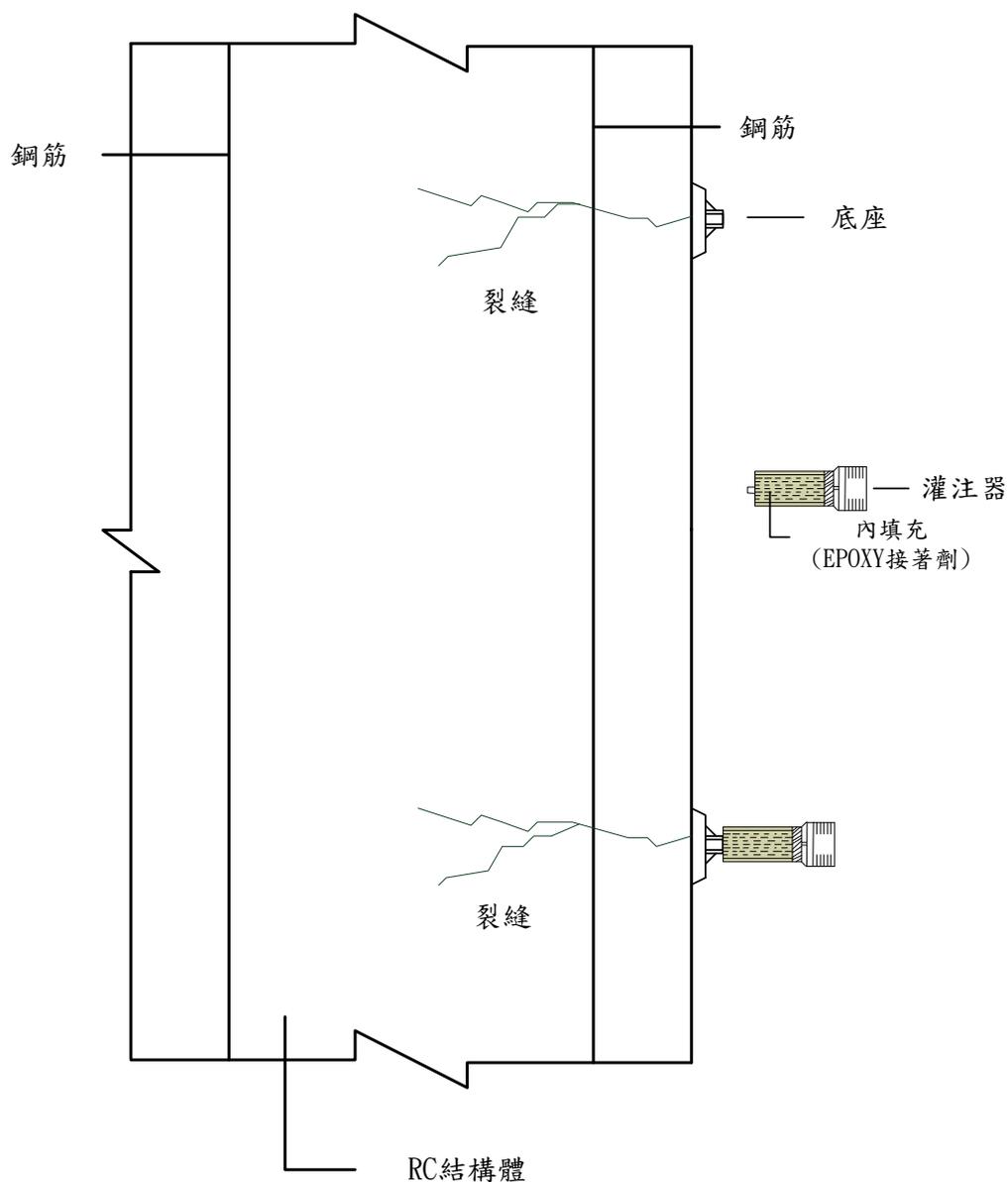
環氧樹脂僅能黏合開裂之混凝土，並無法提升整體混凝土強度；灌注環氧樹脂，應由下往上，逐次注入，至上方排氣孔溢出為止，以確保環氧樹脂確實填入裂縫。

施工時應注意針筒中之環氧樹脂若已灌注完，應立即補充環

氧樹脂繼續灌注，以求裂縫確實填滿環氧樹脂。

若混凝土表面已有銹斑及剝落現象發生時，需先敲除鬆動混凝土至堅實面，並將鋼筋及骨材作適當清理，並於清理後的一小時內，塗上鋼筋除銹劑後再以補修材料補修。

裂縫灌注之環氧樹脂材料規格如黏滯性、黏結強度及抗拉強度，承包商應依據不同裂縫寬度，提出適當之材料規格，送經技師核可後方可施工。



附圖2-22裂縫修補工法示意圖

(資料來源：鹿島工程技術顧問股份有限公司，2009)

施工步驟：

- (1) 粉刷層有分離現象時，先打除清理。
- (2) 裂縫表面強化處理。
- (3) 將灌注口對準裂縫安置，並以 EPOXY 封塞劑固定。
- (4) 將灌注器填注滿 EPOXY 接著劑後與底座旋轉密合。
- (5) 對灌注器以低壓低速方式(15P 以上橡皮筋)施加壓力，

將 EPOXY 注入裂縫中。

(6) 灌注間距約每 30cm 安裝乙支

(7) 灌注期間應隨時檢查並補充灌注器內 EPOXY，使其充分灌飽 0.2mm 以下之裂縫，灌注器若灌完須加注 EPOXY 至灌注器內存量為止。

### 3. 局部鬆動混凝土修復工法(斷面修復)

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土結構元件中局部混凝土嚴重開裂或鬆動。

(2) 特性說明：環氧樹脂砂漿一般為乾式施工，當嚴重開裂或鬆動部分敲除至堅實面並清理乾淨後，用環氧樹脂砂漿應可有效修復結構元件之現有強度。

(3) 施工步驟：

畫定欲敲除混凝土範圍，並敲除劣化混凝土至堅實面，修飾被敲除之混凝土範圍，以高壓噴槍清除表面粉塵及鬆動碎屑待其乾燥後，先塗抹環氧樹脂黏著劑於新舊混凝土接觸面上，而此黏著劑須與補修材料及混凝土具有相容性，並於黏著劑未硬化前，以環氧樹脂砂漿填補敲除之部位，並加以整平及養護，如附圖 2-23 所示。

(4) 注意事項：

敲除嚴重開裂或鬆動之混凝土應至堅實面，剩餘表面應確實清理乾淨，應注意施工部位乾燥不得有額外水份，底劑應注意均勻塗於清理乾淨後之混凝土表面。

#### 4. 局部構件敲除重作工法

(1) 適用範圍：鋼筋混凝土元件嚴重開裂或鬆動部分所佔比例過大，無法以填補材料填補時。

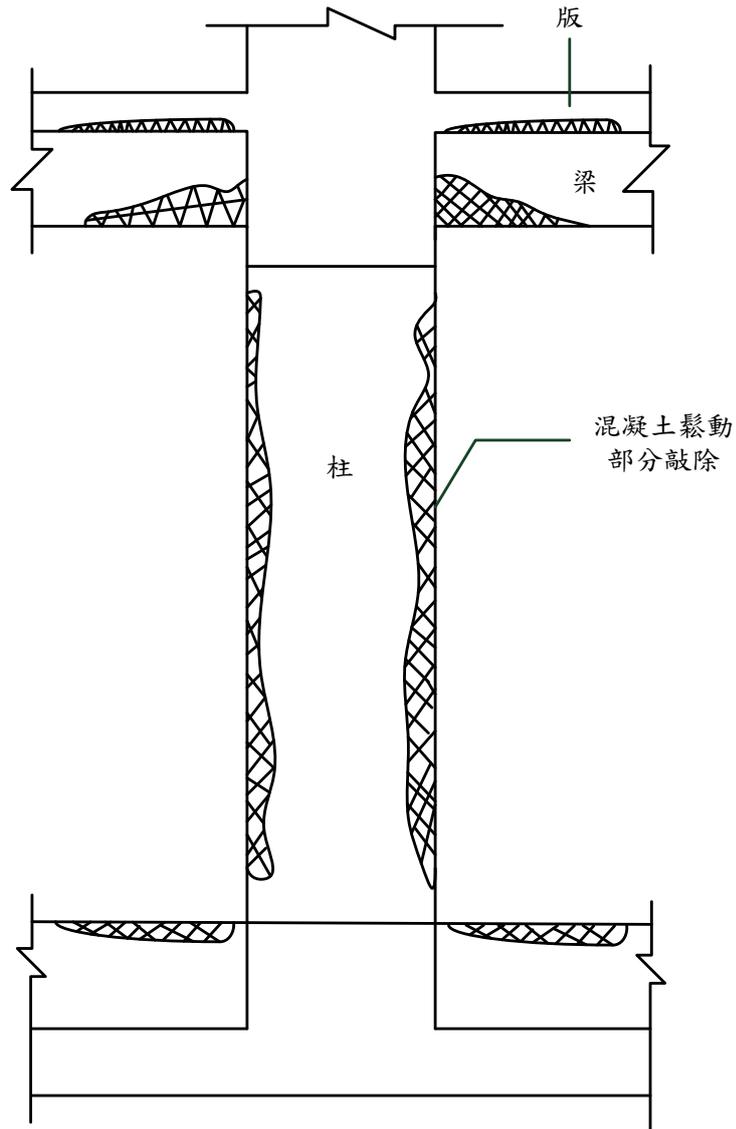
(2) 特性說明：當鬆動或嚴重開裂混凝土之體積過大時，使用環氧樹脂砂漿不經濟，故可將舊有混凝土鬆動或嚴重損害部位完全敲除後，表面清洗乾淨並組模後，依新舊混凝土接合面之施工方式修復嚴重受損之結構元件。

(3) 施工步驟：

確定欲敲除表面鬆動混凝土之範圍，敲除表面鬆動混凝土，並檢查鋼筋是否銹蝕。敲除已產生鋼筋銹蝕之表面混凝土至鋼筋內側，銹蝕鋼筋除銹，並以高壓噴槍清除敲除範圍之雜物。外露鋼筋塗佈除銹劑。塗抹水泥漿或其他黏著劑於新舊混凝土接觸面上。黏著劑須與修補材料及混凝土具相容性。於黏著劑濕潤狀態時，以新拌混凝土填補，將表面修飾整平及養護。

(4) 注意事項：

敲除後之結構元件應注意施工期間之結構安全性(注意加設臨時支撐)；新舊混凝土應注意接著面鑿毛且有 6mm 以上面粗糙度，清潔後並以水泥漿潤濕；新灌混凝土應注意養護並注意拆除臨時支撐之時機；如新灌混凝土非無收縮混凝土，應預留接縫，養護拆模後補灌無收縮水泥砂漿，以避免新舊混凝土間產生乾縮裂縫。



附圖2-23 鋼筋生鏽、混凝土開裂修補工法示意圖

(資料來源：鹿島工程技術顧問股份有限公司，2009)

施工步驟：

- (1) 敲除剝落處及鄰近鬆動之混凝土，至堅實混凝土面為止，敲除部分邊緣應垂直，以利新舊介面接合。
- (2) 鋼筋除鏽，並塗佈紅丹漆/鋅漆做防鏽處理，若鋼筋已鏽蝕嚴重致斷面已明顯減 20% 以上，需於原有鋼筋旁搭

接新加且有足夠長度之鋼筋作為補強。

- (3) 高壓空氣吹淨。
- (4) 裂縫灌注 EPOXY 。
- (5) 塗佈 EPOXY 界面接著劑。
- (6) 披補環氧樹脂砂漿至與原結構面平齊。
- (7) 1:3 水泥砂漿粉刷，外裝復原。

## 文獻

- 【1】日本建築學會，(2003)，建築物材料耐久設計方法與解說。
- 【2】日本既存鋼筋混凝土建築物現狀調查-技術資料。
- 【3】日本建築學會，(2008)，耐久性調查與診斷指針。
- 【4】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。
- 【5】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，第21~22頁。
- 【6】交通部公路，(2009)，交通部公路橋梁設計規範，第339-342頁。
- 【7】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。
- 【8】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。
- 【9】鹿島工程技術顧問股份有限公司，(2009)，校舍評估報告書。

## 附錄四 第一次專家諮詢會議紀錄

內政部建築研究所

第2案「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」

時間：102年5月24日 9時00分

地點：國立台灣科技大學 營建工程系 E2-222 會議室

主席：邱建國 教授

列席：廖硃岑教授、丁春生技師、陳美儒研究助理

---

邱老師：首先感謝各位參加本次的專家訪談會議。本研究將收集國內外文獻及相關研究成果，配合台灣既有鋼筋混凝土建築物劣化事例研究與分析，以確立台灣適用之耐久性能影響因子及建立其量化模式。為研擬具實用性之耐久性能診斷方法，本研究亦將訪談專家學者或由問卷調查及實例分析，以達成預期設定目標。目前參考日本建築學會的建築物調查與診斷指針，並建立一個鋼筋混凝土建築物耐久性初步診斷的方法，此方法第一階段先進行建築物的概要調查，如建築物的評估結果為確有疑慮，則須進入第二階段的詳細診斷，那詳細診斷事實上就是所謂的破壞性檢測，如混凝土的鑽心、氯離子檢測、中性化檢測、還有一些混凝土表面抗阻等...，藉由材料試驗的結果，診斷建築物目前的情狀，然後再建議適當的維護，這是我們整個的流程。本研究的耐久性能評斷的項目，主要是涵蓋構件的劣化(主要構件柱、梁、版、牆(RC牆)，例如：以柱構件為例，建築物的每層樓每根柱子都會做調查，是否有因劣化所造成的裂縫，並排除震損的部分。

附表一專家諮詢會議紀錄表

專家	專家提供之建議	研究團隊回應
<p>廖 硃 岑 教 授</p>	<p>初步診斷為目視調查嗎?</p>	<p>是的，初步概要診斷為目視調查，現在初步診斷都是用目視的，初步診斷評估項目主要分為主要構件、次要構件，再者表面被覆材料之外牆，還有使用性能，因為建築物的所在環境與他的外牆種類都會影響到它的性能。依據其所在的環境條件去判定其氯離子潛勢區域和中性化潛勢區域的分類。而其他使用性能的項目，如滲漏水、伸縮縫的損壞等等，綜合四個項目做耐久性能初步評估。</p>
	<p>由高雄大學黃世孟教授所指導之碩士論文其中有幾篇文獻是關於建築物外牆目視的評估方法，可供參考。</p>	<p>目前所蒐集參考的文獻中，有針對外牆的部分，也有針對材料試驗的部分，依據材料試驗結果，用試驗結果直接反應建築物之耐久性能。但以建築物的角度思考，使用性能等項目，會無法在材料試驗報告上呈現出它的問題所在。</p>
<p>丁 春 生 技 師</p>	<p>貴研究以評估整棟建築物為主嗎?</p>	<p>是的，本研究參考日本的耐久性能診斷指針，針對每一個構件去做劣化度的判斷，如按照裂縫寬度大小，或是鋼筋的腐蝕程度等...但較有問題之處為外牆的評估標準，在落實方面期評估標準容易因人而異。</p>
	<p>此評估方式由使用者去判斷嗎?</p>	<p>希望提供給技師作診斷時，可作為參考的依據。比如說以橋梁為例，橋梁目視檢測評估的話有 21 個項目，其</p>

		<p>中，有 10 個是安全性，有 11 個是使用性，橋梁的 D.E.R.&amp;U.目視檢測，其中 D 就是你的狀態，E 就是範圍，R 是重要性，U 就是急迫性，評估的結果會有一個分數，且每個構件都有一個權重，再利用權重再把這些構件得到的分數轉換成一個整體性的分數。</p>
	<p>這個初步耐久性診斷是針對既有建築物嗎?</p>	<p>是針對既有的建築物，主要藉由此次專家諮詢會議，瞭解技師在現場作業時的經驗，藉由經驗的分享，使這個初步診斷能更實際的呈現建築物的劣化情形，作為補修的依據。</p>

## 附錄五 第二次專家諮詢會議紀錄

計畫名稱：鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

執行期間：102年3月1日-102年12月31日

計畫主持人：鄭主任秘書元良

協同主持人：邱教授建國

專家發言重點與回應(依發言順序)

專家	審查意見	意見回覆
鄭主任秘書元良	一. 建議修正診斷準則部分語意。	感謝專家意見；將進行改正。
	二. 耐久性能診斷流程建議先行排除耐震能力不足之情形。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
	三. 建議提高電阻係數評估之權重。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
丁春生技師	一. 耐久性能診斷與耐震評估的關係，施作時機，又診斷後補修時機及其必要性，以及補修目標，是否再加強。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
	二. 牆是否再將內牆、外牆或剪力牆予以細分，其劣化原因依結構(地震力)、材料再論述。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	三. 建築物每一根梁柱均需檢測，是否有其必要性。	感謝專家意見；梁柱皆為建築物之主要構件，均需考量其安全性。
	四. 建築物的用途係數，是否納入考量。	
	五. 第三章補修設計，有結構技師字眼易有爭議。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
刁健原技師	一. 建築物概要調查表意見增加使用者訪談，敘述使用上耐久性問題點、維修歷史紀錄、過程材料式驗、有無耐震評許等。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行修正。
	二. 初步診斷法建議考慮屋頂防水、地下室防水、窗戶水密性等之評估。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	三. 修補工法建議考慮外牆防水、屋頂防水等工法之說明。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。

林景棋技師	一. 版、牆混凝土剝落、鋼筋裸露多以面積計，非以裂縫，如何判定其劣化等級?或以面積比?	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	二. 外柱或外牆構件外觀劣化程度，因其裂縫寬度及長度不易以目測判別，及無法判別鋼筋腐蝕狀況、腐蝕面積及重量減少率、劣化度。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	三. 圖例調查事項均針對構件裂縫部分，但結構體之滲漏水、白華現象亦影響耐久性，建議針對滲漏水、白華現象列入調查表。	感謝專家意見；此一部份將於期末報告中進行說明。
	四. 柱外力(地震力)實已影響耐久性，建議列入本研究耐久性診斷準則，惟另在報告中建議另行進行耐震能力評估	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	五. 補強修復建議針對鋼筋防腐蝕處理及防水工法訂定施工準則。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
黃昭勳教授	一、由於一般「研究報告」與「評估準則」所需提供的內容及格式差異甚大，建議將後者作為研究報告之附件。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	二、由於性能診斷之目的在確保結構系統的安全性，因此對於是否需進行詳細診斷時亦需進行結構評估。	感謝專家意見；將遵照委員意見進行評估討論。
	三、草案中對於裂縫形式之判定以圖形表示，於現場有時不易判定，建議提供照片以利參考。	感謝專家意見；此一部份將於期末報告中進行說明。
	四、診斷項目建議包含建築物設計時間(是用規範)及興建年代(與混凝土強度，與氯離子含量有關)。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。
	五、開裂原因可考慮增加「裝修」、「管線」、「結構變形」，等非材料劣化所造成之裂縫。	感謝專家意見；將遵照專家意見進行討論修正。

## 附錄六 期中審查會議紀錄與意見回覆

計畫名稱：鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

計畫主持人：鄭主任秘書元良

協同主持人：邱教授建國

委員發言重點與回應(依發言順序)

專家	審查意見	意見回覆
邱昌平顧問	一. 國內 20 多年前對於 RC 建築物氯離子含量、構件中性化程度、抗壓強度等早已相當重視，也進行了甚多之調查、分析、試驗研究等，惟大多偏重於 CI 及 $fc'$ ，中性化問題較少探討。本計畫將各種劣化因子綜合探討，對一 RC 建築物之耐久性予以調查，分析有一些具體之數據後，擬提出一種有用的診斷方法，初步有一些成果。	感謝委員意見。
	二. 期中報告書中有些表中之數字應加註單位。如 $fc'$ (kgf/cm <sup>2</sup> )、中性化深度(cm)、氯離子含量(%)。	感謝委員意見；將遵照委員意見進行修正。
	三. 一般 RC 建築物之設計使用年限約 50 年，耐久性之診斷必然要討論“剩餘使用年限”的問題，亦請著墨。	感謝委員意見；此一部份內容將於期末報告時說明。剩餘使用年限將參考 ISO-15686(2012)給予定義及評估。
胡銘煌顧問	一. 研究背景提到“建立台灣適用之鋼筋混凝土建築耐久診斷與設計準則是極為需要之研究課題”，其中“設計準則”是否為研究內容之一部分，若否，建議盡快列入下次的研究計畫中，因其為迫切需要之課題。	感謝委員意見；有關設計準則部份已納入後續研究課題之中。
	二. 主要構件包括梁、柱、版、牆，而缺基礎，基礎仍有部分可能看得到，建議列入。	感謝委員意見；初步診斷以目視為主，因此基礎部份難以評判，但會考慮採用其它方式進行基礎部份評判。
	三. 表 5.5 之調查資料，無設計者、施工者欄位(承造人)，請檢討。	感謝委員意見；會將委員建議人員納入欄位。
	四. 所謂“牆構件則為輕質磚堆砌而成”(p.3)專有名詞可能需進一步檢討。	感謝委員意見；初步診斷之牆構件以 RC 造為主，非文中所提之輕質磚，會進行改正。
	一. 期中報告內容字謄打錯誤甚多，建議修正。	感謝委員意見；將進行改正。
	二. 「性能診斷」建議改「性能評估」。	感謝委員意見；此一名稱將於專家座

陳正平技師		談時討論，再依結論進行保留或變更。
	三. 第四張文章欠通順建議潤飾。	感謝委員意見；將進行潤飾與改正
	四. 是否包含判定等級及對應維修方案(例如拆除重建、立即停止使用儘速維修.....)	感謝委員意見；此一部份將於期末報告中進行說明。
謝忠恕技師	一. 材料或建築物之使用年限有無納入初步診斷判讀因子。	感謝委員意見；本研究所提及之使用年限會將初步診斷結果納入考量。
	二. 初步診斷流程之建物老化程度需依據混凝土中性化程度判讀，是否需進行試驗是混凝土中性化試驗始得判斷?	感謝委員意見；本研究所提及之初步診斷方法是不包含中性化試驗，僅使用建築物年齡進行中性化潛勢判斷。
	三. 梁、版主要構件之初步診斷結果是否會因取樣數之不同而異，研究團隊是否可提其他抽樣方式使診斷結果受抽樣數影響降至最低。	感謝委員意見；此一部份將招開專家座談以決定最適數量。
	四. 後續詳細診斷及結果建議是否納入本研究案。	感謝委員意見；詳細斷診及對應之維護方案將於期末報告中說明。
莊金生建築師	一. 是否可將混凝土劣化原因(函數)逐項列出，最好能具體化(數字化)。如 a. 材料：氯離子含量、強度(fc') b. 屋齡：使用年度(關係到中性化程度) c. 環境：濕度(潮濕度或乾燥度)、鹽度(海邊)	感謝委員意見；將參照委員意見於後續報告中載明。
	二. 以上是否研究只要列出上述之因素即可直接對應查出劣化程度，再加上總反應得出整棟建築物之耐久性。 以上建議僅供研究團隊參考	感謝委員意見；本研究所提出之診斷方法即為此一邏輯概念。
鍾立來教授	一. 有何誘因，讓屋主執行耐久性診斷。	感謝委員意見；此一部份將參考日本作法提出建議。
	二. 耐久性評估結果如何量化，其嚴重程度，如何讓屋主了解。	感謝委員意見；後續將以”使用年限”方式讓使用者了解其耐久性能。
	三. 若耐久性問題嚴重，需要維修或補強方法，作為配套。	感謝委員意見；此一部份將於期末報告中說明。
郭詩毅教授	一. 建議在資料蒐集上，可以參考國家地震中心歷年對國中小學校舍耐震補強案的資料(如概要調查資料取得、現況資料的取得等.....)	感謝委員意見；目前許多資料已從國家地震中心歷年對國中小學校舍耐震補強資料庫中獲取，後續會再加強資料收集工作。
	二. 性能評估表單的項目設計，如施工、材料劣化、結構等問題，都對耐久性有影響。建議對專業人士(團體)的問卷，專家訪談等，兼顧實際面與周全性。	感謝委員意見；此一部份將於下半年度進行。
	三. 評估多為質化描述(定性)，工程師使用，評量的尺度或最後評量的結果，建議分等級或分數(量化)呈現逐年變化，有助於工程師與民眾業主的溝通。	感謝委員意見；後續將建議綜合評斷方式，期提供使用者一量化指標以做為耐久性能參考之依據。

陳宗斌技師	一. 鋼筋劣化程度應使用斷面減少率表示。	感謝委員意見；報告中除用照片標示外，亦詳列可能之重量減少率。
陳建忠組長	一. 本案報告第3章都以國小建築為例，其成果可否用於住宅、商用建築或公有建築物？除框架主要構件外，因臥室等居住空間單元均屬少面積而有大量牆體，其在力學上效用，顯有不同。	感謝委員意見；因目前資料以學校建築最為完整，因此案例或評估項目多以學校建築為主。待方法架構完成後，未來再進一步擴充至一般建築。
	二. 耐久性的需求是什麼，是決定要否拆除？修繕、抽換不考慮(如何決定其範圍?)，分別其需求，再來找個有關的因子，診斷基準。	感謝委員意見；本研究目的在建立一個量化耐久性能診斷方法，並依結果選擇合適之修復或補強方法。
	三. 各建築師公會、土木技師公會、建築技術學會，均有在做建築相關評鑑，其著重事項請分析，是否本研究案有無參考之處。	感謝委員意見；將會再收集相關資料以強化其實用性。
	四. 既有建築耐震性能與耐久性評估有何異同，報告內容說明。	感謝委員意見；本研究之耐久性能評估主要以建築之使用性觀點出發，其中亦包含建築安全部份(耐震)。
廖肇昌委員	一、第三章案例圖集除以照片顯示劣化外觀，建議再增加該劣化相關的背景資料，採用如圖4-3~圖4-7的表之方式提供使用，或兩者應整合一致化。	感謝委員意見；將遵照委員意見進行修正。
	二、第22頁壹，第4行「◎ 鹼骨材反應造成的裂縫」，對應23頁圖3-3裂縫型式，從黑白照片不易判斷出是否為鹼骨材反應造成，且國內很少(非常少)有聽到建築物的柱之裂縫係鹼骨材反應造成，仍請應經相關方法的確認為宜。	感謝委員意見；此一部份將再行確認其適用性。
	三、第42頁有關圖4-1中，提到「無疑慮」、「稍有疑慮」、「確有疑慮」，要如何認定，請補充說明。又其與第72頁的初步診斷綜合評定表間的關係連結為何，宜加注意，以為前後的說法有一致及連貫性。	感謝委員意見；綜合評定表之方法與內容將於下半年度研究中進行。
	四、第44頁「壹、1.劣化度評定標準建立」，是否指第50及51頁表4-1梁構件劣化度評估基準及4-2鋼筋腐蝕等級評估基準等，名稱宜一致。	感謝委員意見；將遵照委員意見進行調整。
	五、第51頁的表4-1內，有關0.3mm及0.5mm所指為何，是否指裂縫寬度？	感謝委員意見；即為裂縫寬度。
	六、第52頁D:各劣化程度之劣化度，是否以 $D_{ci}$ ：第i層樓之柱的總劣化度，i指樓層	感謝委員意見；將參考委員意見進行調正與修正。

	別，C 指柱構件表示。第 53 頁的梁，則以 $D_{bi}$ ：第 i 樓層之梁的總劣化度，i 指樓層別，b 指梁構件表示。	
	七、第 53 頁第 1 段的文字描述與表 4-3 內容不易連結與閱讀清楚(如文字敘述有 2.4mm 及 2.5mm，但表中沒對應的相同值?表 4-3 至表 4-10 等表內未標示該等數據為裂縫寬度。	感謝委員意見；將進行確認與修正。
	八、第五章的實例調查是否達到圖 4-1 中所敘述流程及目標，如可提出「無疑慮」、「稍有疑慮」或「確有疑慮」的判斷，請再檢視。	感謝委員意見；此一部份將放入期末報告中進行討論。
許協隆委員	一、系統化之建築物耐久性調查，需耗大量人力，為有效達成建築物性能診斷，建議研究中可提出具體定量之老劣化標準，供現場評估人員，快速施行。	感謝委員意見；將參考委員意見進行調正與修正。
	二、結構老劣化之判斷常為現場調查人員之主觀判斷，建議提出相關之判斷案例(或教材)，供調查人員之教育訓練用。	感謝委員意見；將遵照委員意見進行調整。

## 附錄七 期末審查會議紀錄與意見回覆

計畫名稱：鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

計畫主持人：鄭主任秘書元良

協同主持人：邱教授建國

委員發言重點與回應(依發言順序)

審查委員	審查意見	意見回覆
陳建忠 組長	1.研究成果宜考慮爭取本(內政)部今年所提防災型都市更新,以及住宅估計評估相關法令表單納入之表現方式。	感謝委員意見,將於成果報告之建議中說明。
胡銘煌 顧問	1.”主要構件””次要構件”之用語定義,使否可配合台灣常用名稱修改。	感謝委員建議,將遵照委員意見進行全文用語之更正。
	2.耐久性能診斷涉及其劣化原因,有劣化、外力、施工不良,台灣地震多,施工狀況不良也不少,因此造成許多裂縫,因此裂縫對劣化之影響很大,將來是否可進一步研究量化評估其耐久性。	感謝意見建議,不同成因之裂縫均已納入初步診斷方法中,詳細診斷部份則以其形成原因探究為主,並依結果決定維護策略。
全國土木 聯合會 陳宗斌	1.建議研究應能說明裂縫產生原因為氯離子過高或中性化嚴重的判斷方式,因兩者都會造成混凝土掉落。	感謝委員建議,將遵照委員意見於成果報告中說明。
宋裕祺 教授	1.本研究若能完整成果,對未來國內建築結構之生命週期效益之評估有相當大之助益,建議未來應持續研究。	感謝委員肯定。
	2.目視檢測項目應能夠由工程師具體量化判別,否則易生困擾。	感謝委員意見,將於成果報告之建議中補述。
	3.建議檢測者與評分者角色應予以區別,如此檢測紀錄方能具有客觀性。	感謝委員意見,將於成果報告之建議中補述。

郭詩毅 教授	1.環境因子中的”水”，是一個重要因子，需多鋼筋、混凝土耐久性問題與”水”有關，可以做了解。	感謝委員建議，將於成果報告中之文獻部份加強說明。
	2.有關建築物外牆，屋頂等目視的評估方法是否也納入參考。另研究是否以整棟建築物為範圍。	感謝委員意見，本研究已將外牆、屋頂納入，且以一棟建築物為診斷標的。
	3.建議本研究計畫有規畫後續研究加以配合。	感謝委員肯定。
陳正平 技師	1.期末報告 p.3 次要構件中「邊梁」屬主要構件。	感謝委員意見，將於成果報告中修正。
	2.基礎及地下室外牆如何診斷?尤其施工缺失基礎最多。	感謝委員建議，基礎部份不易採用本研究規劃方法進行，且對於結構物之耐久性影響有限，本研究建議其不納入評估項目中。然而地下室外牆部份，本研究已將其納入觀察構件之中。
	3.鋼筋鏽蝕嚴重處，對靠近邊緣處，補強筋之錨定方式，建議提供評估補強設計給工程師參考。	感謝委員建議，本研究案以耐久性為主，關於結構補強部份，會說明其應參考書目。
陳鵬欽 建築師	1.構件劣化或震損，如調查人員不具經驗設難判斷，不易填調查表。	感謝委員意見，本研究於準則草案中已明述診斷方法，未來執行時亦可採用教育訓練方式推廣。
	2.附錄二，建築物概要調查表，完全是日翻中，應依實際現況加以修正。	感謝委員意見，將於成果報告書中修正。
	3.建築物耐久性能，調查不易，本報告均以校舍為例，一般民間建築、辦公、商業大樓、住宅等均不易調查。	感謝委員意見，未來將會以民宅為對象進行示範診斷。
	4.初步耐久診斷，以目視調查為主，易偏主觀，能量化應盡量量化。(調整使用性能評估表)	感謝委員意見，此一部份會再納入未來研究課題中考慮。

	5.建築物管理，影響建築物耐久性甚大，調查亦應考慮。	感謝委員意見，此一部份已納入初步診斷方法中。
洪盟峰 技師	1.p.4 碳酸鈣、碳酸氫鈣請補充化學式，在第 5-7 行之敘述建議先說明 CH 與 CO <sub>2</sub> 反應形成 CaCO <sub>3</sub> ,再說明 CaCO <sub>3</sub> 與 H <sub>2</sub> O 及 CO <sub>2</sub> 作用才形成 Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 避免混淆閱讀。若可能建議將化學反應式列上。	感謝委員意見，將於成果報告書中補述說明。
	2.p.36 由本研究實際探勘之建築物，所觀察之垂直裂縫，認為是鋼筋腐蝕所造成柱裂縫，及敘述含有過量氯離子，建議均有數據作為佐證。	感謝委員建議，將於成果報告書中補充說明。
	3.p.124 採用電阻率檢測，該試驗方法為混凝土表面電阻之量測，在 ASTM 已有相關規範，建議引用，此方法屬非破壞性量測，非常簡易，單位應為 Ω-cm 或 KΩ-cm，請修正。	感謝委員意見，將於成果報告書中說明。
	4.簡報 p.42，台灣本島氯離子 1.0kg/m <sup>3</sup> 值，但中部地區為 0.5274 kg/m <sup>3</sup> 請補充說明。	感謝委員意見，中部地區之資料點數較少，其結果可靠度較低，僅提供參考。而台灣本島部份，則使用所有資料點數進行回歸。
	5.p.36，將 0.6 kg/m <sup>3</sup> 氯離子列為輕度，但混凝土施工規範規定須小於 0.3 kg/m <sup>3</sup> ，請說明。	感謝委員意見，本研究會將文獻調查及試驗資料統計詳載於報告書中，以說明設定臨界量之合量性。
	6.p.3，第 7 行，梁支撐樓板將力傳至？未說明，請補充。	感謝委員意見，將於成果報告書中說明並修正。
	1.本案係屬法案評估階段，未來是否有針對調查對象不配合執行時之處置建議。	感謝委員意見，本研究目標為擬定一耐久性能診斷準則，對於私人建物部份則建議採申請制度，而非強制執行。

謝忠恕 技師	2.詳細診斷階段是否有鋼筋鏽蝕處為之試驗納入評估紀錄。	感謝委員意見，針對鋼筋鏽蝕部份，本研究中之詳細診斷主要以半電池電位法進行評估。
	3.本計畫之評估程序及項目是否有參考現行其他相關針對建築結構之相關評估內容及方式，如「老屋健檢」等。	感謝委員建議，目前台北市老屋健檢仍以結構安全、防火、避難逃生及設備等四項為主，關於耐久性能部份尚未納入。內政部營建署所推行之住宅品質評估辦法亦是如此。
	4.建議評估表中可加入調查對象之使用者訪談內容記錄，以客觀角度納入使用者自行評估之因子。	感謝委員建議，而使用者訪談部份已包含於初步診斷方法中。
	5.p.137 柱之鑽心取樣應審慎評估其執行之可行性，建議仍以同時灌漿之位置取樣較為可行。	感謝委員建議，本研究將於成果報告書中說明。

**鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬**

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：鄭元良、邱建國、陳君弢、周楷峻、陳美儒、  
陳重利

出版年月：102年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-03-8853-4（平裝）