

校舍結構耐震詳細評估及補強設計審查要項

林炳昌

中原大學土木系教授、土木技師、結構技師

摘要

教育部於民國 98 年起執行「加速高中職及國中小老舊校舍補強整建計畫」，預計分四年執行，並於「國家地震工程研究中心」內成立「專案辦公室」負責執行。尤其近兩年來，各縣市大量推動國中小老舊校舍結構耐震詳細評估及補強設計工作，筆者有幸參與各階段之審查工作。由於老舊校舍結構補強工作推行頗快速，審查者眾多，各方要求不一，造成執業技師執行上困擾！筆者謹將個人之淺見及經驗提供學者專家、工程先進們參考。

關鍵詞：老舊校舍補強、耐震能力詳細評估、非線性靜力推覆分析

一、前言

台灣位於全球地震活動最為激烈頻繁的環太平洋地震帶上，根據近百年資料統計，台灣地區約每隔 15 年至 20 年即會發生一次劇災型地震災害，造成極為重大的人員傷亡與經濟損失。國人記憶猶新之民國 88 年 921 地震，災情慘重造成二千多人死亡及嚴重之經濟損失。國內由於歷史因素，基礎教育之老舊校舍建物有潛伏危機因子，亟須加以重視！避免震災發生時造成慘重傷亡，因此，教育部於民國 98 年起執行「加速高中職及國中小老舊校舍補強整建計畫」，預計分四年執行，並於「國家地震工程研究中心」內成立「專案辦公室」負責執行，藉由此計畫之推動，老舊校舍之補強或拆除或拆除重建等工作能快速展開。期望能有效消弭老舊校舍結構安全潛伏之影響因素、提升校舍的耐震能力，加強校園安全，建構優質學習環境。

建築物耐震能力與其構材之強度與韌性能力有關，然而許多老舊建築物因為當初的施工品質不良、或結構系統配置不當、或梁、柱構材韌性設計不當等因素（例如梁柱構材端部箍筋間距太寬、箍筋為 90° 彎勾、梁柱接頭區無剪力筋、主筋搭接或錨定長度不足等缺失），導致構材的韌性或強度不足而產生構材的壓碎破壞、剪力破壞、桿件挫屈、握裹強度不足等無預警的破壞機制，進而導致建物無法發揮預期的韌性而提早崩潰，因此整體建築物的耐震能力無法滿足現行耐震規範之要求。

ETABS^[1] 及 SAP2000^[2] 為國內工程界最常使用之結構分析及設計工具，ETABS 及 SAP2000 程式不僅可以進行結構線性靜力及動力分析，也可考慮材料非線性或幾何非線性之靜力及動力分析，因此可運用其非線性推覆分析功能進行建築物的耐震能力評估工作（一般常用為非線性靜力推覆分析）。在執行推覆分析前需要先

對各構材定義塑鉸模型，當塑鉸設定完成後；再決定結構物所受的側力分佈型式，常見有各樓層側推力為均佈力型式、倒三角分佈側推形式或是基本模態分布側推型式^[3]。在推覆分析過程中，乃是利用每回逐步增加各樓層側推力或側位移推進，如此構材元素可能會承受加載或減載的情形，造成構材元素的勁度矩陣有所改變且重新計算內力，如此繼續施加側向力或側位移增量，直到結構不穩定或達到定義破壞點為止。無論 ETABS 及 SAP2000 程式均以 ATC-40^[3] 之分析準則定義構材塑鉸值，判斷其破壞機制及進行非線性靜力推覆分析。

美國應用科技委員會 (Applied Technology Council 簡稱 ATC) 於 1996 年發展出針對鋼筋混凝土建築物耐震評估與補強準則 ATC-40，當中提出一套結構性能之觀念，利用 Mahaney^[4] 提出的 ADRS (Acceleration Displacement Response Spectrum) 格式，將結構體容量曲線與耐震規範要求之工址設計彈性加速度反應譜轉換成結構容量譜 (Capacity Spectrum) 與結構需求譜 (Demand Spectrum)。容量曲線乃由推覆分析求得，為非線性行為結果，而一般規範要求之加速度反應譜為彈性反應譜，因此需要考量結構物於運動過程中產生之消能作用及非線性行為，將彈性反應譜折減為非彈性反應譜，才能成為結構需求譜並與結構容量譜比較。由於非彈性反應譜需考量結構體之變形量，因此需經由連串的迭代過程求得正確之結構體變形量，再研判建築物是否符合預期之性能目標來評估其耐震能力。

民國 98 年起國家地震工程研究中心對於低矮型校舍發展出一套靜力推覆分析之方法 (簡稱 NCREE)^[5]，對現有的低矮校舍做耐震能力評估，以判定其是否需要補強或拆除重建。此程式基本上應用 ETABS 程式進行非線性靜力推覆分析，但是為方便技師應用，提供「先處理程式」方便使用者設定各構材之塑鉸值 (梁定義類同 ATC-40，柱、牆定義另引用他人研究成果)，且又提供「後處理程式」方便使用者研判建築物之性能目標及其耐震能力。近兩年來，各縣市大量推動國中小老舊校舍結構耐震詳細評估及補強設計工作，筆者有幸參與各階段之審查工作。由於老舊校舍結構耐震詳細評估及補強工作推行頗快速，審查者眾多，各方要求不一，造成執業技師執行上困擾！再者，由於時間短促，參與技師對於這套程式熟識度不夠，及對於分析技巧認知不足，也容易造成校舍結構補強設計上之瑕疵。因此筆者謹將個人之淺見及經驗提供學者專家、工程先進們參考。

二、耐震詳細評估審查要項

依制式合約皆有要求校舍耐震詳細評估期末報告書內容，茲將筆者認為必要的內容亦即是審查時須注意的要項分述如下，其中包含建築物基本資料蒐集、結構現況調查、材料取樣方法與強度研判、模式設置與分析方法及補強建議與結論等應注意事項。

A. 建築物基本資料蒐集：

1. 建築物概述。

調查各樓層面積、用途及是否曾經變更 (增建、磚牆拆除、用途變更) 等事項。

2. 各樓層分期興建資料調查：

老舊校舍常有分期興建情事，其水平分期興建連接處之結構體可能會有

裂紋、滲水等現象，分析、補強或修復時須加以考量。一般校方可能會有基本資料可參考，例如圖 1 所示。

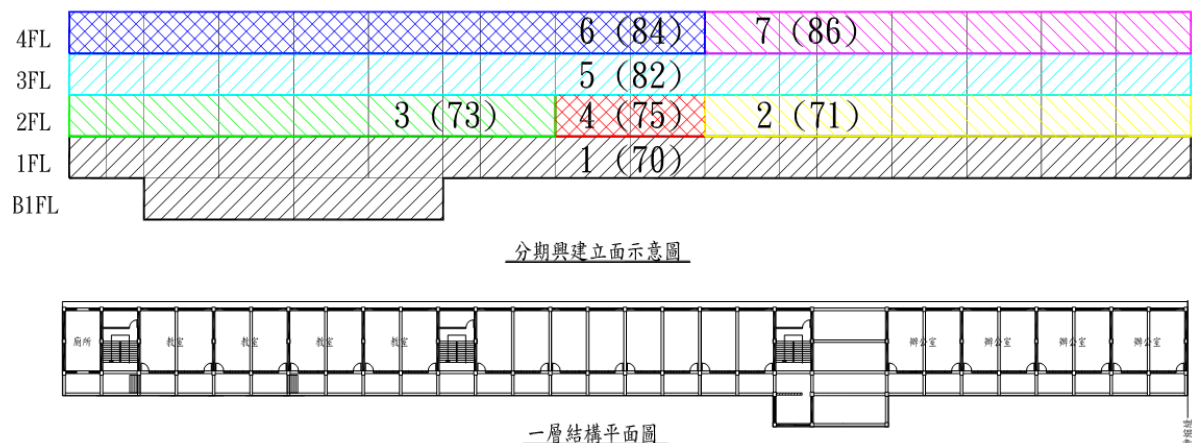


圖 1 分期興建示意圖，括弧內代表興建年代

3. 原始建築、結構設計圖說蒐集：

一般學校由於人事變遷頻繁，能保留早期建築、結構資料者並不多，若運氣好，或有建照或使照號碼，尚有一絲機會向建管單位申請調閱。缺乏時，承攬技師需重建各樓層建築、結構平面圖及結構桿件尺寸、配筋量（須由鋼筋掃描驗證）。

B. 結構現況調查：

4. 建築結構體損壞現況調查：

建築結構體損壞現況調查為基本資料，後續修復、補強內容之研判及經費編列皆依此行事。此等調查應詳盡，要求如下：

- (1) 梁、柱、牆、版等裂紋寬度 0.2mm 以上、滲水、油漆剝落等損害現象每處皆須拍照、記錄。
- (2) 須有各樓層損害照片之位置平面圖、調查記錄表及清晰照片。
- (3) 梁、柱、牆及版裂紋、滲水、油漆剝落等原因探討。

5. 現況結構斷面尺寸與原設計圖說比對：

- (1) 若有分期興建情事，依各樓層分期興建區域取樣比對。
- (2) 有原始施工圖說時：

須有各樓層檢測位置之平面圖、記錄表，並與原始施工圖說比對(註：每層樓面積 600m² 以下，梁、柱至少各檢測三根以上；每增加 400m²，增加檢測梁、柱各一根)。

檢測成果需與原始施工圖說相對應。若有差異，須說明詳評分析時處理方式，並重建各樓層結構平面圖，梁柱桿件編號、尺寸於報告書中。

- (3) 若無原始施工圖說時：

重建各樓層結構平面圖，梁柱桿件編號、尺寸，並與非破壞性鋼筋檢測成果相對應。

6. 鋼筋配置查核：

- (1) 若有分期興建情事，依各樓層分期興建區域取樣。
- (2) 有原始施工圖說時：

非破壞性檢測鋼筋號數、數量及間距，並與原始施工圖說比對(註：每層樓面積 600m² 以下，梁、柱至少各檢測三根以上；每增加 400m²，增加檢測梁、柱各一根)。

鋼筋檢測成果需與原始施工圖說相對應。若有差異，須說明詳評分析時處理方式，並重建各樓層結構平面圖，梁柱桿件編號、尺寸、配筋圖於報告書中。

(3) 若無原始施工圖說時：

除非是特殊性校舍，早期一般校舍型態類同性頗高，可參考同期類同的校舍型態資料。無論如何皆須量測尺寸、研判，重繪各樓層結構平面圖；若無可參考之資料，則須以興建時法規地震力與垂直力重新設計，重建梁柱桿件編號及所研判之配筋圖。此配筋圖說須由非破壞性鋼筋檢測成果驗證。各樓層分期興建區域取樣至少梁、柱各檢測三根以上，以滿足驗證需求為原則。

註：一般校舍大多是規則性結構，柱之主筋數量及箍筋間距較容易由非破壞性鋼筋檢測儀器查出，一般儀器研判鋼筋之號數可能會有壹個號數之誤差，除非採用敲除混凝土保護層查驗，否則缺原始圖說時，宜以較保守方式研判之。然而一般儀器只能檢測梁下層主筋數量及箍筋間距，梁上層主筋數量僅能經由重新設計方法併同技師經驗研判之，其誤差之可能性頗高。故缺乏原始圖說時，技師為保守計，很可能會低估梁配筋量，若再設定梁塑鉸，容易形成梁端塑鉸破壞之機制，此分析結果與實務並不符合且造成不易補強之困境，因此建議此類分析不宜採用設定梁塑鉸方式執行。

7. 蒐集地質調查報告等相關資料：

蒐集該校或附近學校地質調查鑽探報告資料（請學校協助）。若缺乏，可依中央地質調查所資料庫之附近地區地盤資料，研判工址地盤類別（依規範規定計算地表 30m 內地質）。

8. 查詢近活斷層距離：

(1)先查詢建物所在位置座標(緯度，經度)：

進入 google 經緯度查詢系統(http://card.url.com.tw/realads/map_latlng.php)，見圖 2。

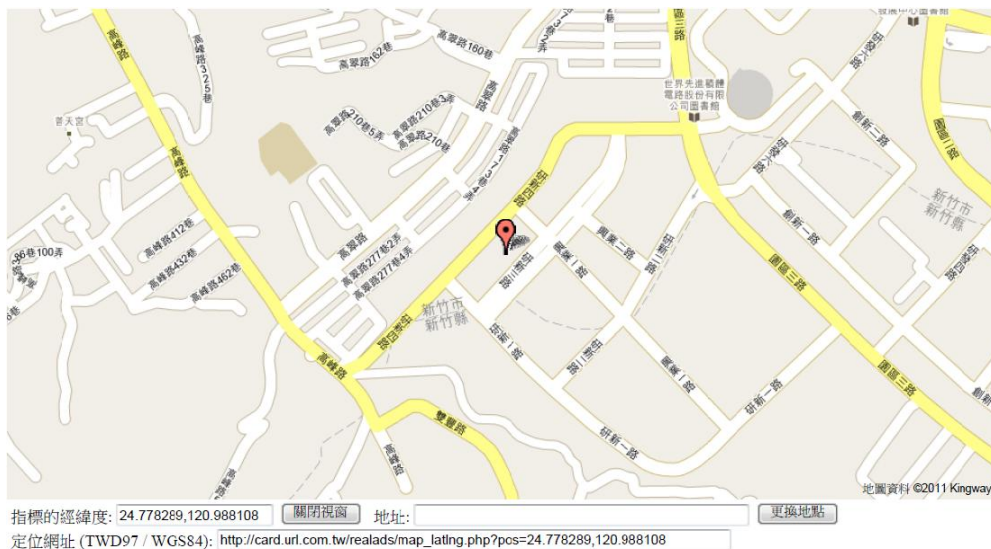


圖 2 google 經緯度查詢系統

(2)進入經濟部中央地調所 GIS 系統：

進入經濟部中央地調所 GIS 系統(<http://fault.moeacgs.gov.tw/MGFault/Default.aspx>)。

(A)以半徑範圍查詢：

功能選單/座標定位/大地基準 TWD97/輸入方式經緯度(度)/輸入經度/輸入緯度/範圍半徑/定位。根據左列圖層控制可判斷離第一、二類斷層是否於範圍半徑內，見圖 3。



圖 3 經濟部中央地調所 GIS 系統(以半徑範圍查詢)

(B)以距離查詢：

功能選單/座標定位/大地基準 TWD97/輸入方式經緯度(度)/輸入經度/輸入緯度/定位/功能選單/選擇定位點/選擇最近斷層距離。螢幕顯示距最近斷層距離，見圖 4。



圖 4 經濟部中央地調所 GIS 系統(以距離查詢)

C. 材料取樣方法與強度研判:

9. 各樓層混凝土鑽心取樣數量規劃：

依據國家地震工程研究中心之要求如下：

- (1) 每層樓面積 600m² 以下 (含) 至少三個混凝土鑽心試體(施作強度及中性化試驗)；每增加 400m²，增加一個混凝土鑽心試體。
註：鑽心取樣前，需先用儀器掃描避開鋼筋位置，取樣位置以小梁為主，事後須以無收縮水泥填補。
- (2) 若有分期興建情事，依各樓層分期興建區域取樣至少 3 個試體為原則 (各樓層分期面積小於 300m² 時，至少 2 個)。
- (3) 每層樓至少一個氯離子含量檢測試驗；若有分期興建，每一分期興建區域氯離子含量檢測試驗至少一個 (若有不合格，須增加 2 個試體確認)。

註：一般校舍有氯離子含量過高的情事並不多，因此希望幫承攬技師先節省經費，但若有不合格情事，則須增加 2 個試體確認，如圖 5 範例，依各樓層分期興建區域取樣，再研判各分區之混凝土強度。

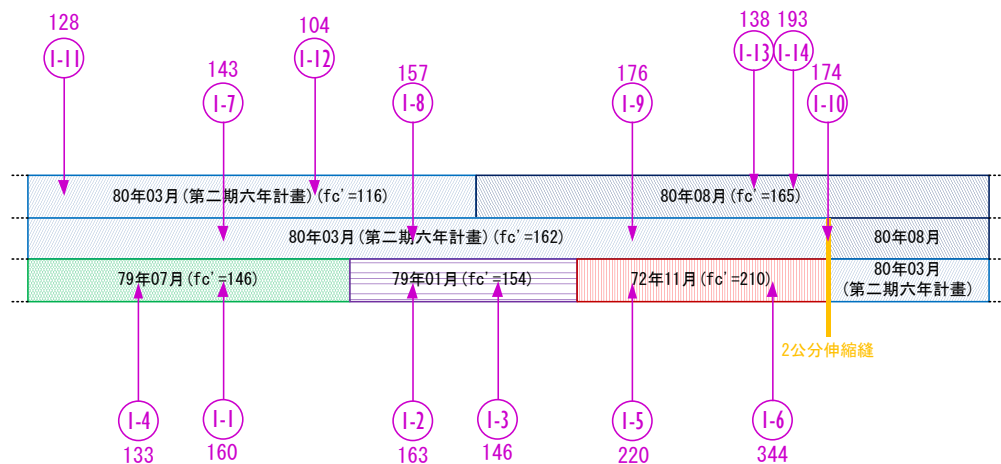


圖 5 各樓層混凝土鑽心取樣數量規劃及結果

10. 各樓層混凝土強度評估以供耐震能力評估時使用：

非線性靜力推覆分析主要可展示結構物在分析過程中何處構件較脆弱會破壞，因此若有分期興建情事，須依各樓層分期興建區域分別評估，分析時各樓層分期興建區域應區分其混凝土強度之不同。

各區混凝土強度可依據施工規範第 18.5.5 節規定評估：

鑽心試體合格之標準為同組試體之平均強度不低於規定強度 f'_c 之 85%，且任一試體之強度不低於 f'_c 之 75%。

例如表 1 之範例，依照工程界慣例，可取同組試體之平均強度視為其評估強度，不再除以 0.85；另一評估標準為最小值除以 0.75；然後兩者取小執作為強度評估值。一般若此值大於設計強度，保守地取設計強度為評估值。

表 1 混凝土鑽心取樣試驗結果及強度評估（參考範例）

建築物名稱	取樣樓層	編號	抗壓強度 (kgf/cm^2)	中性化深度 (cm)	氯離子含量 (kg/m^3)	平均強度 (kgf/cm^2)	最小強度/0.75 (kgf/cm^2)	強度評估取小值 (kgf/cm^2)	備註
後棟校舍	壹樓	1F-1	144	2.2	0.9896	112	120	112	中性化深度 不含水泥砂 漿粉光層。
		1F-2	90	2.5	0.8874				
		1F-3	102	4.7	0.9757				
	貳樓	2F-1	85	4.5	0.4065	116	113	113	
		2F-2	117	6.7	1.1034				
		2F-3	145	3.1	1.0291				
	參樓	3F-1	101	4.7	0.4251	95	113	95	
		3F-2	99	7.7	0.1951				
		3F-3	85	6.6	1.5913				
	肆樓	4F-1	228	6.5		155	127	127	
		4F-2	95	6.1	0.1626				
		4F-3	142	6.2					

11. 鋼筋強度：

構材主筋強度若要取樣試驗，一般會破壞結構體，因此一般建議以不取樣為原則(除非屋頂有柱頭凸出容易取樣)，鋼筋強度以興建年代時常用之鋼筋降伏強度規定值假設之。

D. 模式設置與分析方法：

12. 磚牆強度模擬方式：

不切除取樣為原則，以免破壞原始結構。

(1) 1B 磚牆窗台、高窗、隔間牆須模擬分析：

缺乏資料時，紅磚單軸抗壓強度可採用 $150 kgf/cm^2$ 。1B 磚隔間牆依國家地震工程研究中心建議磚牆分析時砂漿單軸抗壓強度可採用 $100 kgf/cm^2$ 。但是 1B 磚牆窗台、高窗之砂漿單軸抗壓強度應採用 $150 kgf/cm^2$ 以上。

依國家地震工程研究中心建議磚牆分析時之砂漿單軸抗壓強度皆採用 100 kgf/cm^2 。其分析結果對四面圍束之 1B 磚隔間牆而言為低估其強度，然而對建物之耐震能力評估屬於安全側，因為此類磚牆常存在建物之短向為隔間牆，此向耐震能力常無問題，因此可以接受；但是若使用於長向之窗台或高窗，常造成此窗台或高窗將首先破壞，評估程式即中斷，常被研判此狀態為性能點，但是窗台或高窗之破壞與建物耐震能力並無關連，且一般地震後調查照片顯示窗台或高窗本身破壞之現象並不多見，最常發生的是窗台或高窗旁短柱之破壞(見照片 1-5)，因此若採用砂漿單軸抗壓強度 100 kgf/cm^2 於窗台或高窗之模擬並不合理，建議改用 150 kgf/cm^2 以上，讓窗台或高窗旁之短柱優先破壞才合理。



照片 1 窗台旁短柱之破壞



照片 2 窗台旁短柱之破壞



照片 3 高窗旁短柱之破壞



照片 4 廁所高窗旁短柱之破壞



照片 5 地下室高窗旁短柱之破壞

(2) 若翼牆與窗台同時存在時以模擬窗台分析為主。

由台灣地區歷年地震災害顯示(照片 6) 窗台不易損壞，若僅單獨

模擬翼牆存在，分析結果不易顯示其旁柱之破壞。故分析時，應以模擬窗台分析為主，若能同時模擬翼牆與窗台更佳。



照片 6 翼牆與窗台

(3) 1B 磚牆須注意模擬及分析方式：

1B 磚牆重量須計入樓層重量及地震力之計算。但是 ETABS 輸入時樓板重量不宜含 1B 磚牆重；磚牆載重模擬，要區分：

(a) 1B 磚隔間牆未中斷狀況及

(b) 1B 磚隔間牆中斷狀況(查明下面樓層空間是否有被改變用途，例如原有教室隔間牆被拆除變為大辦公室使用)。

NCREE 程式之柱塑鉸能力對柱軸力大小頗為敏感，務必精準模擬 1B 磚隔間牆旁的柱及教室窗台旁中間柱之軸力狀態，才能區分各柱塑鉸能力之不同。傳統加強磚造建物，乃先砌磚牆、後澆置混凝土，故磚牆之上方梁及其旁柱並不承受其上層磚牆重量，其重量直接傳遞至下方磚牆，不經由梁柱。除非 1B 磚牆中斷狀況時，其上層磚牆重量才會經由梁柱傳遞。故宜以線載模擬磚牆中斷以上之磚牆載重狀況，確實模擬載重偏心狀況及其旁柱軸力，見圖 6。

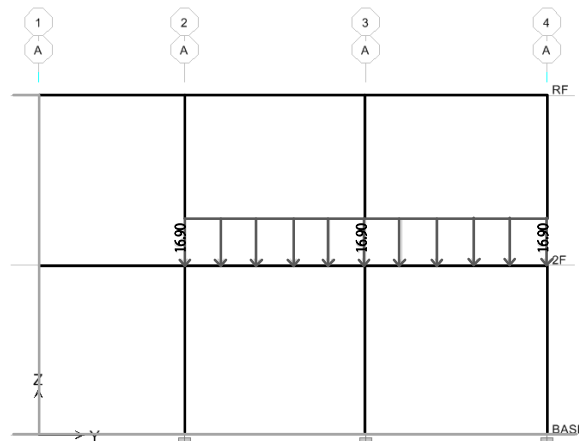


圖 6 軟弱層時磚牆之模擬

(4) 翼牆或窗台以斜撐模擬分析時須注意：

根據過往震損校舍及現地試驗觀察，老舊校舍為強梁弱柱，原有梁受台度磚牆拘束者不至於產生梁塑鉸破壞。NCREE 手冊對於擴柱或翼牆補強後部分跨度改變為強柱弱梁，因此建議梁需要設定塑鉸。而對於補強前梁(尤其是有翼牆或窗台相連之梁)是否需要設定塑鉸、位置

如何設定？並無明確說明！SERC B 程式亦同。此類模擬方式皆是審查時有討論的空間，學術界也有做進一步探討的必要。

13. 耐震能力詳細評估分析：

須包含下列內容：

- (1) 說明使用之分析程式。
- (2) 研判工址地盤類別（依規範規定計算地表 30m 內地質）。
- (3) 用途係數 I 值（校舍用途）。
一般校舍：I=1.25。
緊急避難：I=1.5。
- (4) 目標地表加速度 A_T 。
- (5) 建物耐震能力評估標準。
- (6) 水箱、各樓層載重計算（含樓層單位重）。
- (7) 窗台及磚牆強度模擬方式：
- (8) 原設計耐震能力評估結果。
- (9) 現況耐震能力評估結果（含 1B 磚牆）。

+X向、-X向、+Y向、-Y向性能目標所對應之地表加速度 A_p 值及容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖，見圖7(示意圖，窗台相連之梁及地梁之塑鉸設定有討論的空間)。

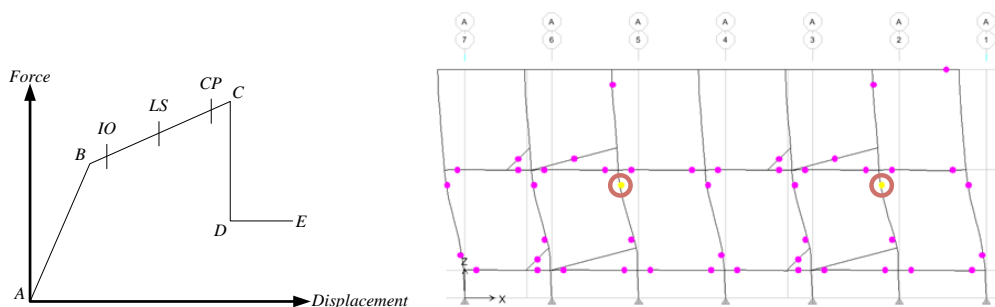


圖7 各構架破壞塑鉸機制彩色圖

- (10) 緊急避難用校舍 (I=1.50) 分析要點。

校舍作緊急避難使用，選用 $0.8 V_{\max}$ 及 $D_R^T = 1.0\%$ 作為評估 A_p 標準，但是塑鉸破壞機制的展現仍需以 V_{\max} 時為主，才能知道優先補強之構件位置。

- (11) 補強方法及位置標示於建築平面圖。

提出兩種補強方法，並將補強構件位置標示於各樓層建築平面圖及各樓層結構平面圖。尤其須確認各構架破壞塑鉸機制中塑鉸顏色首先出現黃色（結構達到極限承载力之C點）或塑鉸變成橘色（外力卸載達D點）位置應優先考慮補強。並將補強方法及位置標示於建築平面圖（學校人士乃非專業人員，若不標示於建築平面圖，他們不易了解），且與校方溝通，同意補強方式。

(12) 補強後耐震能力評估結果。

容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖，並與補強前各構架破壞塑鉸狀況對比，證明有效。

(13) 補強數量合理性探討。

補強後耐震能力評估 A_p 值不宜超出目標地表加速度 A_T 值太多。

14. 說明碰撞問題之處理：



照片 7 兩棟間碰撞案例

E. 補強建議與結論：

15. 補強建議須提供兩方案，補強工程經費與修復工程經費需分細目編列：

總經費單價以 2,500-4,000 元/ m^2 為限，修復工程經費以 30% 為限。

(1) 當面積 $A < 600m^2$ 時：「補強工程」費用 = 實際面積 $\times 4,000/m^2$ 。

(2) 當 $600 \leq$ 面積 $A < 3,600m^2$ 時：

甲、「補強工程」費用 = 計價面積 \times 浮動單價(元/ m^2)。

乙、「計價面積」係由「實際面積」以無條件進位為2的倍數之方式轉換而成；其中「計價面積」為2的倍數且為整數。例如：實際面積 $601m^2$ ，應轉換為計價面積 $602m^2$ 。

丙、「浮動單價」 = $[(-1/2) \times \text{計價面積}] + 4,300$ 。

(3) 當面積 $A \geq 3,600m^2$ 時：「補強工程」費用 = 實際面積 $\times 2,500$ 元/ m^2

16. 若結論建議拆除，需有殷實依據佐證。

一般校舍大都為老舊、滲水、油漆剝落等現象，顯得非常老舊，校方常希望拆除。但是此計畫之精神為以少數經費先行補強，不論及拆除事情。若過於勉強配合校方意見行事，可能會傷及承辦技師的專業形象，應審慎為之！

17. 報告書內容至少應包括下列資料為附件：

(1) 原始建築、結構設計圖說及地盤資料：

含建築物使用執照、權狀影本及地盤資料。

(2) 各樓層建築平面圖：

缺乏時，需量測、重繪。

(3) 各樓層結構平面圖及梁柱構件配筋圖：

缺乏時，需量測尺寸、研判、重繪，配筋圖須由鋼筋掃描成果驗證。

(4) 建築物損壞現況及照片：

須有各樓層照片位置平面圖、調查記錄表及損害照片。

- (5) 結構斷面尺寸比對成果。
- (6) 鋼筋非破壞檢測成果：
含掃描位置平面圖、照片、掃描成果及鋼筋尺寸、數量、間距。
- (7) 混凝土鑽心取樣、抗壓強度、中性化試驗及氯離子含量檢測試驗：
取樣位置平面圖、照片，試驗室試驗報告、混凝土鑽心取樣試驗結果整理表及各樓層混凝土強度評估值。
- (8) 結構分析計算相關資料及 ETABS 分析模式。
- (9) 建築物原設計耐震能力詳細評估成果。
- (10) 建築物現況耐震能力詳細評估（含 1B 磚牆）成果：
含+X向、-X向、+Y向、-Y向容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖。
- (11) 建築物補強後耐震能力詳細評估成果。
含補強方向之雙向容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖。
- (12) 耐震能力詳細評估檢核要項。
- (13) 補強建議圖說。
含兩方案之各樓層補強位置建築平面圖、結構平面圖及補強建議細部圖說（含基礎補強）。
- (14) 修復補強費用概估。
補強工程經費與修復工程經費需分細目編列。
- (15) 耐震詳評上傳資料。
- (16) 各次審查會意見及回覆表。

三、補強設計審查要點

目前耐震詳細評估審查乃為各縣市之權責，而補強設計審查本為國家地震工程研究中心「專案辦公室」之權責，但是業務繁重，為爭取時效，故依各縣市之要求，授權各縣市處理，由國家地震工程研究中心協助、督導。因此審查制度乃分耐震詳細評估審查及補強設計審查兩階段分別審查，一般各縣市皆交由兩所不同學校負責，故有可能為由完全不同的兩組人審查，造成技師的怨言！此乃因為此工作推行快速，審查者眾多，各方要求不一，造成所致！但也因為有兩階段審查，也使得耐震詳細評估審查不實之案件有機會被重新檢視！有關補強設計審查應注意事項，筆者謹將個人之淺見及經驗提供學者專家、工程先進們參考。

1. 重新檢視耐震詳細評估時之基本資料:

- (1) 建築物概述。
- (2) 各樓層分期興建調查資料。
- (3) 原始建築、結構設計圖說蒐集或重建。
各樓層建築、結構平面圖及結構構件尺寸、配筋量（須由鋼筋掃描驗證）。
- (4) 建築結構體現況調查資料。

須有各樓層損害照片之位置平面圖、調查記錄表及清晰照片。

- (5) 現況結構斷面尺寸與原設計圖說比對資料。
- (6) 鋼筋配置查核及比對資料。
- (7) 各樓層混凝土鑽心取樣試驗資料及各樓層混凝土強度評估結果。
- (8) 蒐集地質調查報告等相關資料。
- (9) 查詢近活斷層距離資料。

2. 說明耐震能力詳細評估分析內容

須包含下列內容：

- (14) 說明使用之分析程式。
- (15) 研判工址地盤類別（依規範規定計算地表 30m 內地質）。
- (16) 用途係數 I 值（校舍用途）。
 - 一般校舍：I=1.25。
 - 緊急避難：I=1.5。
- (17) 目標地表加速度 A_T 。
- (18) 建物耐震能力評估標準計算內容。
- (19) 水箱、各樓層載重計算（含樓層單位重）。
- (20) 窗台及 1B 磚牆模擬方式。
- (21) 說明鋼筋使用強度。
- (22) 現況耐震能力評估結果（含 1B 磚牆）。

應有+X 向、-X 向、+Y 向、-Y 向性能目標地表加速度 A_p 值及容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖。
- (23) 補強方法及位置標示於建築平面圖。

提出壹種經校方認可之補強方法即可（須有會議記錄簽名確認），並將補強桿件位置標示於各樓層建築平面圖及各樓層結構平面圖。尤其須確認各構架破壞塑鉸機制中塑鉸顏色首先出現黃色（結構達到極限承载力之 C 點）或塑鉸變成橘色（外力卸載達 D 點）位置應優先考慮補強。
- (24) 補強後耐震能力評估結果。

應有+X 向、-X 向、+Y 向、-Y 向性能目標地表加速度 A_p 值及容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖，並與補強前資料對比，說明補強位置之合宜性。

3. 補強及修復設計圖說須完整。

應含：

- (1) 現況各樓層建築平面圖、各向立面圖及各樓層結構平面圖。
- (2) 各樓層補強位置建築平面圖、補強後各向立面圖及各樓層補強位置結構平面圖。
- (3) 各樓層假設工程（圍籬、施工架）位置建築平面圖、結構平面圖。
- (4) 各樓層修復工程建築平面圖，並於各樓層圖說上標明位置、施工種類及列表說明施工類別之數量與施工細部詳圖圖號。
- (5) 補強工程施工細部圖說（含基礎補強及植筋）。
- (6) 更換門窗詳圖及規範。

- (7) 修復工程施工細部圖說。
4. 補強及修復經費編列。
補強工程經費與修復工程經費需分細目編列，總經費單價以2,500-4,000元/m²為限，修復工程經費以30%為限。細目應詳列數量及單價，編列壹式之項目應有單價分析佐證，經費僅能在標的物使用，不可挪用於它棟建物。
5. 補強設計報告書內容應包括下列資料為附件：
- (1) 原始建築、結構設計圖說及地盤資料：
含建築物使用執照、權狀影本及地盤資料。
 - (2) 各樓層建築平面圖。
 - (3) 各樓層結構平面圖及梁柱桿件配筋圖。
 - (4) 建築物損壞現況及照片：
須有各樓層照片位置平面圖、調查記錄表及損害照片。
 - (5) 結構斷面尺寸比對成果。
 - (6) 鋼筋非破壞檢測成果：
含掃描位置平面圖、照片、掃描成果及鋼筋尺寸、數量、間距。
 - (7) 混凝土鑽心取樣、抗壓強度、中性化試驗及氯離子含量檢測試驗：
取樣位置平面圖、照片，試驗室試驗報告、混凝土鑽心取樣試驗結果整理表及各樓層混凝土強度評估值。
 - (8) 結構分析計算相關資料及 ETABS 分析模式。
 - (9) 建築物現況耐震能力詳細評估（含 1B 磚牆）成果：
含+X向、-X向、+Y向、-Y向容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖。
 - (10) 建築物補強後耐震能力詳細評估成果。
含補強方向之雙向容量震譜、各構架破壞塑鉸機制彩色圖。
 - (11) 耐震能力詳細評估檢核要項。
 - (12) 補強圖說。
含各樓層補強位置建築平面圖、結構平面圖及補強建議細部圖說（含基礎補強）等。
 - (13) 修復補強費用預算。
補強工程經費與修復工程經費需分細目編列。
 - (14) 補強設計上傳資料(包含補強前詳評彙整、補強設計上傳、綠色內涵及綠色能源規劃表)。
 - (15) 各次審查會意見及回覆表。

四、結論

老舊校舍結構補強工作牽涉台灣地區學童之安全，從事相關工作之技師及審查者，應該有歷史的使命感，老舊校舍結構的改善只有一次機會，當我們的專業技師簽字保證安全後，將來若有學童在地震中傷亡，我們的專業形象將會受損外，良心上也會受極大譴責！近年審查時有見少數建築師或技師，

承攬案件太多，人力無法負荷，造成轉包或品質低弱情事，令人痛心！這工作不該只考量賺錢而已，該有極大之社會責任，希望參與其中的我們能替我們所處之社會盡一份力量，建造一個安全的環境。

雖然目前撥付的經費僅能以「補強至建物受強震後不倒塌」為目標，但是若補強位置非建物之最脆弱處（這也就是會何要採用非線性靜力推覆分析的理由），可預期的是中小度地震來襲時最脆弱桿件可能有所裂損，雖然校舍不會倒塌，但會造成全校師生及家長之恐慌！會質疑為何已花費數百萬元補強的校舍，會那麼「不耐震」？屆時會對我們的專業能力懷疑！這也是為何技師須提出補強前與補強後資料，比對各構架破壞塑鉸機制彩色圖，說明補強位置合宜的重要性。補強工作不能僅要求補強後建物耐震能力達到目標地表加速度 A_T 即可，尚須檢討各構架破壞塑鉸機制，了解建物之最脆弱處加以補強才是。

有建築師或審查者考量施工或美觀因素，建議補強位置非必要坐落於建物之最脆弱處（窗台短柱），此立論並非不可，但是分析者不應僅考量 A_p 值是否滿足要求，更應注意補強後之各構架破壞塑鉸機制彩色圖，確認原先結構最脆弱處不會太早發生破壞塑鉸。

參考文獻

1. CSI (2005), "ETABS(v8.4.8): Integrated Building Design Software", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.
2. CSI (2005), "SAP2000 (v9): Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures," Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.
3. Applied Technology Council (ATC) (1996), 'Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings,' Vol. 1, ATC-40, Redwood City, CA.
4. Mahaney, J. A., T. F. Paret, B. E. Kehoe, and S. A. Freeman (1993), "The Capacity Spectrum Method for Evaluating Structural Response During the Loma Prieta Earthquake," National Earthquake Conference, Memphis.
5. 鍾立來、葉勇凱、簡文郁、蕭輔沛、沈文成、邱聰智、周德光、趙宜峰、楊耀昇、涂耀賢、柴駿甫、黃世建、孫啟祥，「校舍結構耐震評估與補強技術手冊第二版」，國家地震工程研究中心技術報告，NCREE-09-023，台北，2009。