鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估系統（PSERCB）之簡介與應用

蔡益超／國立臺灣大學名譽教授
宋裕祺／國立臺北科技大學教授
陳建忠／內政部建築研究所工程技術組組長
賴明俊／國立臺北科技大學博士
邱毅宗／國立臺北科技大學博士生
陳俊榕／國立臺北科技大學碩士生
陳長佑／內政部建築研究所工程技術組助理研究員

摘要

目前各地方政府有關建築物耐震能力初步評估部份，甚至「住宅性能評估實施辦法」之既有住宅結構安全性能之評估基準及評估表，仍沿用名譽教授蔡益超於民國 88 年 6 月所提出之建築物耐震能力初步評估表（以下簡稱舊表），舊表以建築物之定性為基準，進行建築物耐震能力初步評估。基於時空因素，已不太能夠符合目前實際所需，也無法較為快速準確評估出建築物之耐震能力。

有鑑於此，內政部建築研究所於 2014 年委託蔡益超教授與宋裕祺教授，研擬新版鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估表（以下簡稱新表），同時就定性與定量兩大基礎進行耐震初評，並能將評估結果之耐震能力安全程度以分數表示，所得結果較為準確。除此之外，新表結合現代科技與資料分析技術開發出雲端分析平台，透過平台儲存評估結果，集中管理各區 / 單位所進行之初步評估結果及基本資料，各級政府建管單位可透過大數據（Big Data）資料處理技術，供為防災相關政策擬訂或推廣之依據。

前言

2016 年 2 月 6 日上午 3 時 57 分，規模 6.4 的高雄美濃地震重創台南，永康區維冠金龍大樓倒塌，釀成重大災情。維冠金龍大樓一樓為開放式店面，牆量甚少，建築物一樓僅由柱體抵抗地震力，抗震能力較其他樓層為低，因此在一樓形成軟弱層，在地震作用下，容易產生破壞進而造成整棟大樓倒塌。國內目前類似維冠大樓具有一樓軟弱層之建築物仍不在少數，因其具有較高的人命傷亡風險，如何迅速進行耐震能力初步評估，篩選出此類高震害風險的建築物實為當務之急。

本文介紹新表以及鋼筋混凝土建築物耐震初評系統（Preliminary Seismic Evaluation of RC Building, PSERCB）可藉由建築物一樓有效牆量與二樓（或以上）有效牆量的比值修正整棟建築物之韌性容量，配合一樓之極限剪力強度求出大樓之耐震能力，協助專業技師或建築師初步篩選出具弱層建築物，供後續耐震詳評與補強之依據。除此之外，PSERCB 提供雲端工作平台，不僅讓技師與建築師進行評估時可更加快速，且有助於降低人為錯誤，評估結果可以直接列表印出，也可透過平台上傳資料儲存於雲端資料庫上，政府建管單位可透過此平台達到資料檢視、分析、統計與管理之功能，作為後續大數據（Big Data）分析之依據，達到災害管理的目的。

0206 美濃地震造成建築物震損現況

民國一〇五年二月六日星期六凌晨 3 時 57 分於高雄市美濃區發生芮氏規模 6.4 之地震，震央位置在北緯 22.93 度、東經 120.54 度，震源深度為 16.7 公里。依據氣象局資料顯示，全台灣最大加速度為台南市新化測站（CHN3）觀測到 401 cm/s^2，最大震度為七級。本次地震造成多棟建築物倒塌或震損，其中以建築物用途為住商混合損害最為嚴重，此類建築物一二樓多為商業用途，牆體數量較少，容易形成軟弱層，使得地震發生造成底層破壞而倒塌。此次地震造成建築物震損狀況較嚴重者彙整如下[1]：

維冠金龍大樓

維冠金龍大樓約於民國 83 年興建於台南市永康區永大路二段與國光五街交叉口，為地上 16 層、地下 1 層之 RC 建築物，主要用途為住商混合之社區住宅。維冠金龍大樓於本次地震不幸倒塌，造成共 115 人罹難，96 人受傷，為台灣史上因單一建築物倒塌事件中罹難人數最多之災難事件。造成維冠金龍大樓倒塌的因素相當多，主要原因於在低樓層（尤其一樓）因商場用途關係，使得結構系統形成軟弱層，造成建築物倒塌。

京城銀行

京城銀行約於民國 85 年興建於台南市新化區中山路 586 號，為地上 10 層、地下 1 層之 RC 建築物，主要用途為住商混合之出租住宅。因一二樓挑空與挑高，使得地震發生造成底層破壞而倒塌。

大智里菜市場

大智里菜市場位於台南市東區長東街 103 巷，為地上 4 層、地下 1 層之 RC 建築物，此建築物為連棟公寓，因菜市場需求一樓幾乎無隔間牆，使得地震發生造成底層破壞而倒塌。

台南市歸仁區信義北路與大仁街口公寓

此建築物興建約於民國 89 年，為 7 層樓公寓。因一二樓作為商業用途，牆體數量較少而形成軟弱層，使得地震發生造成底層破壞而倒塌。

鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估表

民國八十八年六月建築研究所研究報告『鋼筋混凝土建築物耐震能力評估法及推廣』中，主要係提出一套耐震能力詳細評估法及其程式，但在第二章也研擬一份耐震能力初步評估表，即為蔡益超教授所擬定之初步評估表，亦略同目前「住宅性能評估實施辦法」附件採用之表格。

耐震能力詳細評估主要是評估鋼筋混凝土建築物的強度與韌性，當強度與韌性用盡而即將崩塌時，求出其對應的地表加速度，即所謂的耐震能力 A_C。初步評估表也應該針對強度、韌性來評估，其結果才可能與詳細評估法具有較高的相關性。然而『鋼筋混凝土建築物耐震能力評估法及推廣』報告所提的初步評估表屬於定性部分，尚缺乏定量評估，因此新表修正定性分析與新增定量分析，使初步評估表可同時包含定量與定性更具客觀之評估。

表 1　RC 建築物耐震能力初步評估表

項次		項目	配分	評估內容	權重	評分
B101	結構系統	靜不定程度	5	□單跨(1.0) □雙跨(0.67) □三跨(0.33) □四跨以上(0)		
B102		地下室面積比，r_a	2	$0 \le (1.5-r_a)/1.5 \le 1.0$；$r_a$:地下室面積與建築面積之比		
B103		平面對稱性	3	□不良(1.0) □尚可(0.5) □良(0)		
B104		立面對稱性	3	□不良(1.0) □尚可(0.5) □良(0)		
B105		梁之跨深比b	3	當$b<3$，$w=1.0$；當$3 \le b<8$，$w=(8-b)/5$；當$b \ge 8$，$w=0$		
B106		柱之高深比c	3	當$c<2$，$w=1.0$；當$2 \le c<6$，$w=(6-c)/4$；當$c \ge 6$，$w=0$		
B107		軟弱層顯著性	3	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
B208	結構細部	塑鉸區箍筋細部(由設計年度評估)	5	□63年2月以前(1.0) □63年2月至71年6月(0.67) □71年6月至86年5月(0.33) □86年5月以後(0)		
B209		窗台、氣窗造成短柱嚴重性	3	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
B210		牆體造成短梁嚴重性	3	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
B311	結構現況	柱之損害程度	2	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
B312		牆之損害程度	2	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
B313		裂縫鏽蝕滲水等程度	3	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
B414	定量分析	475年耐震能力初步評估	30	當$\frac{A_{r1}}{I A_{475}} \le 0.25$，$w=1$；當$0.25 \le \frac{A_{r1}}{I A_{475}} \le 1$，$w=\frac{4}{3}\left(1-\frac{A_{r1}}{I A_{475}}\right)$；當$\frac{A_{r1}}{I A_{475}}>1$，$w=0$ (詳參、定量評估表) $A_{r1}=\min[A_{r1,x}, A_{r1,y}]$		
B415		2500年耐震能力初步評估	30	當$\frac{A_{r2}}{I A_{2500}} \le 0.25$，$w=1$；當$0.25 \le \frac{A_{r2}}{I A_{2500}} \le 1$，$w=\frac{4}{3}\left(1-\frac{A_{r2}}{I A_{2500}}\right)$；當$\frac{A_{r2}}{I A_{2500}}>1$，$w=0$ (詳參、定量評估表) $A_{r2}=\min[A_{r2,x}, A_{r2,y}]$		
分數總計			100	評分總計(P)：		

新表共分五大表單：「壹、建築物基本資料」，「貳、建築物耐震能力初步評估表」，「參、定量評估」，「肆、建築物平立面圖」，「伍、現況照片」等，相關內容解說可參閱內政部建築研究所 103 年度成果報告『鋼筋混凝土建築物耐震評估程式增修與應用研究』[2]（目前新表經各公會舉辦講習會之建議略作修正）。RC 建築物耐震能力初步評估表依據結構系統、結構細部、結構現況與定量分析共為 15 個項次如表 1 所示（反白處為 PSERCB 系統自動填入），本表共有 15 個項目，根據結構系統、結構細部、結構現況與定量分析分為四個區塊。其中，與結構系統有關者計有 7 項，與結構細部有關者計有 3 項，與結構現況有關者計有 3 項以及定量分析 2 項。各項目並依其重要性給予不同的配分，配分之總和為 100 分。各項目根據評估內容，就可以決定權重，將權重與配分相乘，可得該項目之評分，15 個項目的評分相加得分數總計。

分數若大於 60 分，則表示該建築物的耐震能力確有疑慮，逕自進行補強或拆除；若介於 45 分至 60 分之間，則表示該建築物的耐震能力有疑慮，優先進行詳評；若介於 30 分至 45 分之間，則表示該建築物的耐震能力稍有疑慮，宜進行詳評，若低於 30 分，則表示該建築物的耐震能力尚無疑慮。

PSERCB 雲端平台介紹

鑒於目前評估結果多以紙本方式呈現，不易保存，且資料散落各處，無統一單位彙整儲存，倘若這些資料能夠儲存集結起來，未來能夠進行其他數據分析及統計，將能使資料的使用效益更大。為達到此目的，進而開發此耐震能力初步評估平台 PSERCB，希冀能將有限的資源達到最大的運用程度。

本評估系統主要依據定性及定量兩大基礎進行耐震初評，並能將評估結果之耐震能力安全程度以分數表示。定性部分（圖 1）主要針對結構系統、結構細部及結構現況三大部分進行評估，使用者僅需在平台上根據各細項進行勾選，程式將自動偵測是否完全勾選完畢，並計算定性分數。

定量評估部分（圖 2），使用者僅需將表格填寫完畢，系統將自動以國內「混凝土工程設計規範與解說」，計算一般柱、短柱、RC 牆、四邊圍束磚牆、三邊圍束磚牆及無側邊圍束磚牆之剪力強度，且能夠由一樓牆量及急遽變化樓層之牆量計算牆量比，進而判斷此建築物是否屬於軟弱層，若此建築物經程式判斷為軟弱層，將會對此建築物之韌性容量進行折減。最後平台自動考量建築物 X、Y 兩方向依照建築物工址

圖 1　定性評估網頁

圖 2　定量評估網頁

圖 3　評估結果

項次	項目		配分	評估內容	權重	評分
B101	結構系統	靜不定程度	5	■單跨(1.0) □雙跨(0.67) □三跨(0.33) □四跨以上(0)	1.00	5.00
B102		地下室面積比，r_a	2	$0 \le (1.5-r_a)/1.5 \le 1.0$；$r_a$:地下室面積與建築面積之比　$r_a=0$	1.00	2.00
B103		平面對稱性	3	□不良(1.0) ■尚可(0.5) □良(0)	0.50	1.50
B104		立面對稱性	3	□不良(1.0) ■尚可(0.5) □良(0)	0.50	1.50
B105		梁之跨深比b	3	當$b<3$，$w=1.0$；當$3 \le b<8$，$w=(8-b)/5$；當$b \ge 8$，$w=0$　$b=6$	0.40	1.20
B106		柱之高深比c	3	當$c<2$，$w=1.0$；當$2 \le c<6$，$w=(6-c)/4$；當$c \ge 6$，$w=0$　$c=5$	0.25	0.75
B107		軟弱層顯著性	3	□高(1.0) ■中(0.67) □低(0.33) □無(0)	0.67	2.01
B208	結構細部	塑鉸區箍筋細部(由設計年度評估)	5	□63年2月以前(1.0) □63年2月至71年6月(0.67) ■71年6月至86年5月(0.33) □86年5月以後(0)	0.33	1.65
B209		窗台、氣窗造成短柱嚴重性	3	□高(1.0) □中(0.67) ■低(0.33) □無(0)	0.33	0.99
B210		牆體造成短梁嚴重性	3	□高(1.0) □中(0.67) ■低(0.33) □無(0)	0.33	0.99
B311	結構現況	柱之損害程度	2	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) ■無(0)	0.00	0.00
B312		牆之損害程度	2	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) ■無(0)	0.00	0.00
B313		裂縫鏽蝕滲水等程度	3	□高(1.0) ■中(0.67) □低(0.33) □無(0)	0.67	2.01
B414	定量分析	475年耐震能力初步評估	30	當$\frac{A_{e1}}{IA_{475}} \le 0.25$，$w=1$；當$0.25 \le \frac{A_{e1}}{IA_{475}} \le 1$，$w=\frac{4}{3}\left(1-\frac{A_{e1}}{IA_{475}}\right)$；當$\frac{A_{e1}}{IA_{475}}>1$，$w=0$ (詳參、定量評估表) $A_{e1}=\min[A_{e1,x}, A_{e1,y}]$　$A_{e1,x}=0.16$　$A_{e1,y}=0.41$　$A_{e1}=0.16$	0.56	16.8
B415		2500年耐震能力初步評估	30	當$\frac{A_{e2}}{IA_{2500}} \le 0.25$，$w=1$；當$0.25 \le \frac{A_{e2}}{IA_{2500}} \le 1$，$w=\frac{4}{3}\left(1-\frac{A_{e2}}{IA_{2500}}\right)$；當$\frac{A_{e2}}{IA_{2500}}>1$，$w=0$ (詳參、定量評估表) $A_{e2}=\min[A_{e2,x}, A_{e2,y}]$　$A_{e2,x}=0.25$　$A_{e2,y}=0.64$　$A_{e2}=0.25$	0.38	11.4
分數總計			100	評分總計(P)：		47.80

圖 4　輸出報告書

以「建築物耐震設計規範及解說」，對回歸期 475 年及 2500 年之地震進行評估，計算定量評估分數。

PSERCB 雲端平台自動將定性及定量評估分數進行加總，依據最後總分判斷此建築物耐震能力之安全性，使用者可依據分數高低判斷建築物之耐震能力高低，篩選出應優先進行耐震能力詳細評估與補強或者直接拆除者，對於有大量建築物需要進行檢驗耐震能力時，將更有效益。

初步評估系統提供工作平台，不僅讓技師與建築師進行評估時可更加快速，且有助於降低人為錯誤，評估結果可以直接列表印出，也可透過平台上傳資料儲存於雲端資料庫上。政府建管單位可透過此平台達到資料檢視、分析、統計與管理之功能，作為後續大數據（Big Data）分析之依據，達到災害管理的目的。

PSERCB 講習會

內政部建築研究所於民國 103 年度分別於高雄、臺中與臺北主辦共三場講習會（圖 5），並且由國立臺

圖 5　三場講習會時程與地點

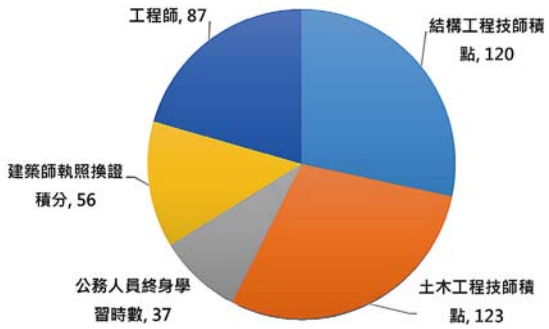

圖 6　三場講習會參與人員分布圖

民國103年8月22日高雄場

民國103年9月5日臺中場

民國103年9月19日臺北場

圖 7　內政部建築研究所舉辦之講習會

北科技大學土木工程系執行，協辦單位包含中華民國結構工程學會、高雄市結構工程工業技師公會、高雄市土木技師公會、台灣省結構工程技師公會、臺中市結構工程技師公會、臺中市土木技師公會、國立中興大學土木工程系、台北市結構工程工業技師公會、台北市土木技師公會等協助，於 103 年度計畫預算內共有 423 人報名參與如圖 6 與圖 7 所示。藉由國內具工程實務與研究應用的專家和學者，介紹建築物耐震能力初步評估、詳細評估與補強理論，並針對評估程式之操作與驗證進行說明，藉此回饋使用者經驗。

此次 0206 地震造成台南及高雄地區 60 餘棟建築物結構受損，地震後民眾對於住宅大樓的安全極為關切。內政部表示，因應 0206 地震後民眾對於住宅大樓的安全極為關切，除將儘速研擬「臺灣地區老舊住宅及建築物全面推動耐震性能評估實施計畫」報院核定外，對於耐震能力不足且安全疑慮較高的建築物，將輔導循都市更新等程序，補助民眾辦理建築物整建維護耐震補強或拆除重建，同時也將持續檢討都市更新法令並督促地方政府加速辦理都市更新（資料來源：行政院新聞傳播處）。對象為民國 88 年 12 月 31 日前設計建造之建築物，住宅類建築物取得使用執照件數約 56 萬件，若全面推動耐震能力初步評估，以舊表與紙本作業已無法較為快速準確評估出建築物之耐震能力，勢必須以新表結合現代科技與資料分析技術。

民國 105 年 3 月 5 日現場

民國 105 年 3 月 12 日現場

圖 8　技師公會舉辦之講習會

有鑑於此，新北市、台北市、台灣省結構工程技師公會於民國 105 年 3 月 5 日（星期六）舉辦鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估（PSERCB）作業系統與操作簡介講習會（圖 8），上、下午兩場共 240 位結構技師參加。

除此之外，新北市、台北市、台灣省土木技師公會、國立台北科技大學研發處及中華台北國際及亞太工程師監督委員會於民國 105 年 3 月 12 日（星期六）舉辦鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估（PSERCB）作業系統與操作簡介講習會（圖 8），受限會場容量台北市土木技師公會及省土木中、南、高、嘉義、花蓮、澎湖等區採用視訊遠距教學，上、下午兩場共 702 位土木技師參加。

結論與建議

新表結合定性與定量分析，並以 PSERCB 系統協助工程師快速評估，可有效篩選類似維冠大樓具有一樓軟弱層之建築物。茲將結論羅列如下：

- 新表依據舊表之定性評估項目略作修正，再以國內「混凝土工程設計規範與解說」與「建築物耐震設計規範及解說」為理論基礎擬定定量評估流程，與詳細評估法原則相符，可有效篩選耐震能力不足之建築物。本初步評估法適用於一般公寓、集合住宅、加強磚造（透天厝）、辦公室及具弱層建物等之評估。
- PSERCB 系統提供完整輸入表格，以專案管理方式管控評估流程，有效防止從業人員漏填評估項目，採用網路雲端輸入方式，方便操作，節省作業時間。對於執行大量建築物耐震能力初步評估將更有效益。
- 透過平台儲存評估結果，集中管理各區 / 單位所進行之初步評估結果及基本資料，各級政府建管單位可透過大數據（Big Data）資料處理技術，供為防災相關政策擬訂或推廣之依據。

目前經由建研所與各公會舉辦之講習會（超過 1,365 人次）解說 PSERCB 理論與系統操作，與會人員普遍認同研究成果可應用於實務上。

參考文獻

1. 葉芳耀、吳俊霖、林哲民、邱聰智、陳俊仲、許尚逸、翁元滔、宋裕祺、鐘立來、黃世建、許健智、張國鎮（2016），「國震中心地震災害應變作業報告」，土木水利，第四十三卷，第一期，第 4-15 頁。
2. 內政部建築研究所，鋼筋混凝土建築物耐震評估程式增修與應用研究，民國 103 年 12 月。