

## 第八章 既有建築物之耐震能力評估與耐震補強

### 8.1 通則

既有建築物須辦理耐震能力評估者，經評估後認為有必要提昇其耐震能力時，應運用耐震補強技術，採取適當改善措施，以提昇建築物之安全性。

既有建築物之耐震能力補強以符合 8.3 節之整體結構補強為原則，但如建築物因工程技術以外之因素而無法完成整體結構補強作業，且經評估認為有弱層之虞者，則可採取 8.5 節之排除弱層破壞補強方式，降低在地震下因軟弱層集中式破壞而崩塌的風險。

#### 解說：

1995 年 1 月日本阪神地震中，建築物損害頗為嚴重，震害範圍包括了中高層建築在內，經推測日本全國有 9400 萬棟耐震能力不符需求者。隨著建築技術的進步與社會經濟的變遷，建築法規時有修正，依舊法規設計之建築物常有不符新法規之情形。為減輕地震災害，日本在 1995 年 10 月公布了「建築物耐震改修促進法」<sup>[1]</sup>，以利推動建築物之耐震評估與補強，並因應實際現況，歷經多次修改（1996、1997、1999、2005、2006、2011、2013 年），如今已有了相當良好的成效。

美國在既有建築物的耐震評估上，應用技術協會（Applied Technology Council）早期出版之 ATC-28（1991）及 ATC-40[2]（1996），提供建築物耐震性能評估指針。爾後聯邦緊急事務管理署（FEMA）出版之 FEMA-273（1997）、FEMA-356[3]（2000）以及美國土木工程師學會（American Society of Civil Engineers）出版之 ASCE 41-06（2006）及 ASCE 41-13[4]（2013）一系列針對建築物耐震評估與補強技術指針，為建築物耐震補強制定一套在技術上合理且適用於美國的指南，提供設計專業人員、教育工作者、示範法規、標準制定組織以及各州及地方建築監管人員使用。其中建築物非線性靜力分析程序主要以容量震譜法與位移係數法為主，並提供非線性動力分析程序的使用時機與原則，以及各種構造系統的補強設計相關規定，至今仍持續發展中。

我國建築技術規則在中華民國 63 年修正後，才有較詳細的耐震設計規定，其後經民國 71 年、78 年、86 年、88 年、94 年及 100 年多次修正，因此確實有不少老舊建築物之耐震能力不符最新規範之耐震需求。綜觀近年來發生之災害地震，發生破壞之案例多屬此類耐震性較差之建築，因此針對數量龐大且未經耐震評估之老舊建築，將其篩選出並及時補強，為現今刻不容緩之重要課題。

行政院於中華民國 89 年 6 月 16 日核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，並於 97 年及 103 年修正部分內容，以公有建築物先行實施，進而推動私有建築物之方式，期能達成全面提升國內建築物耐震安全性，實施至今已逐步提升公有建築物之耐震能力。此外，105 年 2 月 6 日高雄美濃地震之後，行政院於 105 年 4 月核定「安家固園計畫」，推動辦理私有住宅及私有供公眾使用建築物之耐震評估及補強相關工作。106 年修正「建築物實施耐震能力評估及補強方案」部分規定，納入公有零售市場類建築物，以強化公有建築物耐震能力評估及補強之

推動。107 年 2 月 6 日花蓮地震後，鑒於私有之既有建築物耐震評估與補強工作短期之內推動不易，爰於本章訂定「排除弱層破壞」之補強規定<sup>[5,6]</sup>，藉以提升弱層剪力強度，降低在地震下因軟弱層集中式破壞而崩塌的風險。

建築物補強之設計者，應先與建築物所有權人就建築物實際情況詳細分析採整體結構補強或排除弱層破壞之補強差異與優缺點，再與其簽訂契約後實施，實施前應向所有權人充分說明所採行方法、經費及相關注意事項等。

## 8.2 耐震能力評估方法

1. 建築物進行耐震能力評估前，應對結構部分(如梁、柱、牆與斜撐系統等)作實地調查。並應充分了解建築物之現況、震害經驗與修復補強情形等影響耐震能力之各項因素。
2. 耐震能力評估方法應為公認之學理或採用經中央主管建築機關或其他目的事業主管機關同意之方法。耐震能力評估程序分為初步評估與詳細評估，經由初步評估判定為無疑慮者，得不必進行詳細評估。
3. 進行結構耐震能力評估與補強設計時，應考慮非結構牆之效應，於分析模型中納入考量。

### 解說：

為數龐大的老舊建築物若逐一進行詳細耐震能力評估，將需要相當的經費與時間，因此可先進行較快速之初步耐震評估予以初步篩選，經由初步評估判定為無疑慮者，得不必進行詳細評估。評估者應視標的建築物之結構特性及建築材質如木構造、磚構造、鋼構造、鋼筋混凝土構造、鋼骨鋼筋混凝土構造等，採用公認之學理或經中央主管建築機關或其他目的事業主管機關同意之評估方法<sup>[4]</sup>。

建築物經初步評估後判定為有疑慮或確有疑慮者，除拆除重建外，應進行詳細評估或耐震補強設計。詳細評估需調查建築物目前現況及損害情形，並且考量是否符合目前法規規定之地震抵抗能力及地震來時是否有立即倒塌之危險，以作為建築物如何補強之依據。主要分析內容包含現況耐震能力評估、評估結果綜合判斷及建築物繼續使用其應注意事項。

國內外已發展數種建築物耐震能力詳細評估法，利用建築物載重狀況、結構材料強度、斷面配筋、構件非線性行為模擬等，搭配結構的損傷控制或性能目標來獲得建築物之耐震能力<sup>[8,9,10]</sup>。

在此須注意以靜力側推分析為基礎所發展之評估方式，在運用非線性靜力側推分析求得容量曲線之限制，因其較難準確地估計在動態反應中結構勁度軟化的效應，以及模擬多自由度系統高模態的行為，因此在中高樓層建築因其高模態反應占比較高，僅以非線性靜力側推分析會產生較大誤差。若目標建築物屬本規範 3.1 節所規定之類型，並且其地面以上樓層之第一模態有效振態質量比小於 60%

者，宜以非線性動力歷時分析或其它經認可之方法，作為結構詳細評估方式，時間歷時挑選應參照 3.6 節規定，非線性鉸之設定應能確實反映補強前及補強後構件之動態特性。

進行結構耐震能力評估與補強設計時，應考慮非結構牆之效應，非結構牆係指結構性剪力牆之外的完整磚牆、完整 RC 牆或窗台所引致之短柱、短梁效應，但具開口之非結構牆部分，應由評估者考量。

### 8.3 耐震能力評估及整體結構補強之基準

實施耐震能力詳細評估之建築物，其不需補強或整體結構補強後之耐震能力應達下列基準之一：

- (一) 建築物之耐震能力以其能發揮之最大地表加速度峰值表示，其耐震能力應達本規範規定工址 475 年回歸期之設計地震的等效地表加速度峰值乘以用途係數  $I$ 。
- (二) 建築物亦得以性能目標作為耐震能力之檢核標準，確保該建築物在工址 475 年回歸期之設計地震作用下所需達到之性能水準。

#### 解說：

在檢核既有建築之耐震能力時，為簡化評估程序，以 475 年回歸期之設計地震作為檢核依據。本規範定義 475 年回歸期之設計地震的等效地表加速度峰值為  $0.4S_{DS} \times g$ ，其中， $S_{DS}$  為工址短週期設計譜加速度係數。

建築物整體結構補強之耐震能力可以其能發揮之最大地表加速度峰值表示，在建築物之韌性發展到韌性容量  $R$  值時，其相對應之最大地表加速度峰值應達等效地表加速度峰值  $0.4S_{DS} I \times g^{[8]}$ 。

建築物整體結構補強之耐震能力亦得以性能目標作為耐震能力之檢核標準，確保不同用途係數之既有建築物在 475 年回歸期之設計地震作用下應達到其所要求之性能水準，對於不同用途係數之建築物，其性能目標可包含基底剪力、層間變位角及垂直承載等要求，在達到此性能目標時所相對應之性能地表加速度值，不得小於 475 年回歸期之設計地震的等效地表加速度峰值（ $EPA=0.4S_{DS} \times g$ ）<sup>[9]</sup>。

## 8.4 耐震補強之設計及施工

1. 耐震補強應依據耐震能力評估之結果，作通盤檢討後確認建築物之耐震安全性。如有必要作補強以提昇其耐震能力時，應依主管建築機關規定之程序辦理。
2. 耐震補強設計應依其補強的目標，採用改善結構系統、增加結構體韌性與強度等方式進行，惟應注意各項抗震構材之均衡配置，以使建築物整體結構系統耐震能力之均衡提昇，補強設計應同時考量施工的可行性。
3. 上部結構耐震補強或改修不得產生有害基礎安全之情形(如沈陷、變形等)；如有必要時，應辦理基礎補強。
4. 耐震補強應注意施工中之安全。尤其建築物在繼續使用中進行耐震補強時，應輔以必要之臨時安全支撐，以避免施工過程結構系統產生弱點。
5. 耐震補強應有確實的施工及嚴格的品管等，以達到預期的目標。施工時應防止噪音、振動及其他有害環境衛生之情形產生。

### 解說：

耐震補強為針對耐震能力不足的建築物，做最適當的整體加勁或構件修補，以提高結構體的強度、韌性並防止過大變形，使之符合現行最新的規範。目前既有建築物耐震補強採取的方式大致可分為：(1)結構構件補強、(2)結構系統調整與改善、(3)減低地震力需求等三大類。國內常見的耐震補強工法<sup>[8,9]</sup>大致有：(1)擴大既有柱體之斷面積、(2)於既有柱旁增設 RC 翼牆、(3)增設 RC 牆體或斜撐、(4)於梁柱構件包覆鋼板、(5)於梁柱構件包覆碳纖維貼片 (CFRP) (6)其他。各種補強方法有其特色，須充分考量耐震補強建築物之使用需求，於提升耐震能力之同時，兼顧經濟性與施工性，在此需注意補強工法為在既有之建築物內施作，與一般新建建築物之施工方式不同，因此在補強設計時應考慮施工的可行性。補強設計亦應考量樓層質心與剛心的偏心扭矩，增加抗側力構件的設計應均勻配置，以避免補強後建築發生扭轉之情況。

若以增設隔震元件或被動消能元件等方式進行補強，其設計應依據第九章及第十章有關新建建築物之規定辦理，同時其實體測試以及性能保證之測試亦應依相關之規定進行以確認補強設計之效果。如採用新材料或新工法作為耐震補強方式，應確認其適用性。

建築物進行耐震補強施工時，常有敲除、改造部分構材之情形，施工階段或有產生局部性或系統性弱點的時候。因此耐震補強施工應妥為規劃，在各施工階段不得有影響建築物安全之情形，必要時應加設足夠之臨時安全措施。

## 8.5 排除弱層破壞之補強

若建築物因工程技術以外之因素而無法完成整體結構補強，以滿足 8.3 節之要求，經適當評估作業後，認為有弱層之虞者，則可先採取排除弱層破壞之補強的方式，以提升具有此類特性之建築物的耐震性能，降低在地震下因軟弱層集中式破壞而崩塌的風險。

排除弱層破壞之定義為目標樓層滿足 2.17 節極限層剪力強度與設計層剪力的比值規定，目標樓層強度與其設計層剪力的比值不得低於其上層所得比值 80%。計算極限層剪力強度時須計及非結構牆所提供之強度。

### 解說：

中華民國 88 年集集地震，全台建築物全倒及半倒超過十萬戶，許多建築底層倒塌，上半部相對完整，反映出上下樓層間強度差距過大，地震損害過分集中的情形。同樣情況亦發生在 105 年美濃地震之維冠大樓、京城銀行等以及 107 年花蓮地震之統帥飯店、雲門翠堤大樓等的倒塌案例中。造成此一現象有其背景因素，從政策面來看，由於都會區公共空間不足，政府獎勵建築物之低樓層為開放空間供公眾使用，因此結構及非結構牆量較少，若設計者於設計時未將上層之非結構牆納入計算，則底層易有弱層情況發生，加上傳統騎樓式設計，亦加劇此一效應。地震時損害過分集中於弱層，結構整體無法發揮應有之韌性，破壞為集中式破壞，使建築物耐震能力大幅降低。此一情形若不儘速改善，下次地震此類建築仍會是最大地震風險來源。對於此類建築物，儘速進行詳細評估與整體結構補強是最好的改善方式。

然而，建築物若產權複雜，各所有權人間不易達成共識完成整體結構補強作業以符合 8.3 節之標準，避免強震來襲造成瞬間結構破壞風險，可採排除弱層破壞之補強方式，提升其部分乃至於建築物整體之耐震能力，以大幅降低弱層集中式破壞導致建築物在地震下發生崩塌的機率。

行政院 106 年 2 月 2 日院臺建字第 1060003276 號函核定「安家固園計畫－106 年執行計畫」之推動老舊建築物耐震評估補強措施，內政部營建署據此委託國家地震工程研究中心辦理 106 年度「單棟大樓階段性補強技術手冊及示範案例規劃設計監造」委託技術服務，研議單棟大樓階段性補強之設計與施工方法以及示範案例，可提供工程實務操作參考<sup>[5,6]</sup>。此外，內政部建築研究所之「既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬」<sup>[11]</sup>，亦可作為排除弱層破壞之補強設計方法參考範例。

排除弱層破壞之補強設計在增加抗側力構件時亦應考量樓層質心與剛心的偏心扭矩，避免扭轉之情況發生；對於公共區域或是樓梯間，應確保橫隔板傳遞水平力的完整性。目標樓層非為結構物之底層時，若其下樓層亦有軟弱層情況發生，應一併檢討是否有補強的需要。

建築物進行排除弱層破壞之補強後，破壞應可分散於其它樓層而不至於發生集中式破壞，但建議後續仍應儘速完成整體結構補強。

排除弱層破壞之補強，其設計及施工原則上應符合 8.4 節相關規定。

參考文獻：

1. 日本政府，1995，「建築物耐震改修促進法」，平成 7 年 10 月法律第 123 號。
2. ATC-40. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Applied Technology Council, Redwood city, California, 1996.
3. FEMA 356. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C., 2000.
4. ASCE/SEI 41-13. American Society of Civil Engineers, *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. American Society of Civil Engineers: Reston, Virginia, 2013.
5. 鍾立來、邱聰智、涂耀賢、林煜衡、陳幸均、何郁嫻、翁樸文、李翼安、沈文成、蕭輔沛、江文卿、楊耀昇、許庭偉、楊智斌、黃世建，2019，「單棟大樓階段性補強技術手冊(評估與設計技術篇)」，內政部營建署。
6. 鍾立來、邱聰智、涂耀賢、張耕豪、陳恩霆、張樂均、翁樸文、蕭輔沛、江文卿、楊智斌、許庭偉、林宜靜、楊耀昇、黃世建，2021，「單棟大樓階段性補強技術手冊(施工及監造篇)」，內政部營建署。
7. 宋裕祺、蔡益超，2018，「鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估 PSERCB—理論背景與系統操作」(第二版)，社團法人中國土木水利工程學會。
8. 宋裕祺、蔡益超，2017，「鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估 SERCB—理論背景與系統操作」，社團法人中國土木水利工程學會。
9. 邱聰智、鍾立來、涂耀賢、賴昱志、曾建創、翁樸文、莊明介、葉勇凱、李其航、林敏郎、王佳憲、沈文成、蕭輔沛、薛強、黃世建，2020，「臺灣結構耐震評估與補強技術手冊(TEASPA V4.0)」，國家地震工程研究中心，NCREE-20-005。
10. 中華民國地震工程學會耐震補強委員會，2016，「鋼筋混凝土建築物補強及修復參考圖說及解說」，科技圖書股份有限公司，ISBN 978-957-655-529-9。
11. 王榮進、廖文義、邱建國、周楷峻、陳宜翔、李台光、宋欣芳、王佳憲，2018，「既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬」，內政部建築研究所。