



研思如何改善現有法規與制度，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

# 從震災的教訓中 探討震害的樣態 依據致災的風險 決定補強的順序

張荻薇／中華民國結構工程技師公會全國聯合會 理事長

台灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊邊界，橫跨呂宋島弧和琉球島弧，地震活動相當頻繁。從 1906 年梅山地震起，經 1935 年台中烈震、1999 年集集地震、2016 年高雄美濃地震、以迄 2018 年的花蓮地震止，在百年之間發生了 10 次以上的災害性地震，平均不到 10 年就有 1 次社會矚目的重大地震害發生。尤其 2016.0206 美濃地震恰好滿 2 年，又發生了 2018.0206 的花蓮地震，造成了大樓崩塌、房屋受損與人員傷亡的重大災害。而且地震後餘震不斷，不僅人心惶惶居家難安，更重創了花蓮的觀光產業，又讓社會激起了強烈的防災意識。本文試從國內外地震災害的樣態，探討重大震害的主因，並擬對高危險群建築物之改建或補強策略等課題提出看法，供諸位先進參考。

## 前言

2018.02.06 的花蓮地震，因產生了震度階最高等級的 7 級地震，造成了花蓮市「雲門翠提」、「統帥大飯店」等四棟大樓崩塌，以及 17 人死亡、近 300 人受傷的重大災害，再度喚醒了大眾的災害意識。大家已領悟到在地震中要有存活的机会，最直接的作法就是建構強韌的耐震結構物。因此，居住在地震頻繁地帶的台灣，了解建築物的耐震性能並作必要的耐震補強，是減少地震災害的首要工作。建構安全、安心的居家環境，更是迫切的重要課題。

## 從地震巨災的教訓中，探討建築物之災害樣態

現行的耐震設計是以過去的震害經驗及調查研究為依據，但是即便以過去最大地震作為設計標準，亦無法否定未來超過之可能性。由於天災難料，唯有從災害的教訓中學習，才能尋找出有效的防災方法，來減少災害的損失。

筆者近三十年來，曾經多次赴國內外參與重大地震災害之現場勘災訪查，國外地震如：1989 年美國 Loma Prieta 地震 ( $M = 7.1$ )、1990 年菲律賓呂宋島地震 ( $M = 7.7$ )、1994 年美國 Northridge 地震 ( $M = 6.6$ )、1995 年日本阪神地震 ( $M = 7.3$ )、2011 年東日本大地震 ( $M = 9.0$ ) 及 2016 年日本熊本地震 ( $M = 7.3$ ) 等；國內地震如：1986 年 11 月花蓮地震 ( $M = 6.8$ )、1999 年集集大地震 ( $M = 7.3$ )、2002 年 331 地震 ( $M = 6.8$ )、2016 年高雄美濃地震 ( $M = 6.6$ ) 及最近發生 2018 年的花蓮地震 ( $M = 6.0$ ) 等。經彙整分析，雖然各次地震災害的樣態及嚴重的程度，常常令人料想不到，但我們仍可發現建築物地震災害的主要破壞模式及其成因，皆有一定的脈絡可循。

從歷次地震中，可以彙整建築物震害之主要樣態如圖 1-8 所示。其中，造成人員傷亡的破壞模式主要為軟弱層的崩塌，若為 Pilotis 柱之構造形式 (Pilotis 為法語，意謂一樓為獨立柱，與鄰柱無牆壁或斜撐作有效的連結，形成開放大空間。日語亦以此外來語稱它為

「ピロティ柱」之構造形式<sup>11</sup>所形成之軟弱底層，將因底層勁度不足（軟），柱產生大位移，又因強度不足（弱），柱無法支撐上部樓層之重量，導致底層柱被壓垮崩塌（圖1）。若為高窄型的高層建物，將因傾覆力矩大，造成柱一端被壓潰、另一端柱被拉拔，大樓將會傾斜倒向壓方，甚至整棟大樓崩塌橫倒地面（圖2）；若全棟為軟弱層，更會形成三明治式的層層堆疊崩塌（圖3）；此外，Pilotis 柱之構造形式，也容易造成建物1樓柱之剪力破壞或壓壞、傾斜等之破壞型態（圖4和圖5）。建築物如樓層中有弱層存在，也會產

生中間層崩塌（圖6）；而學校校舍則常因窗台矮牆的存在，產生短柱效應，引起柱之剪力破壞（圖7）；土壤液化也會導致建物傾斜沉陷（圖8）。建築物的其他震害尚有：海嘯災害及地震火災，至於斷層破裂帶建築物之地震災害，更是呈現多元的樣態。

2018.02.06 花蓮震所造成四棟大樓崩塌（圖9），其中「雲門翠提大樓（底層為漂亮生活旅店與火鍋店）」及「統帥大飯店」為旅館，國盛六街的兩棟大樓的一層皆為停車場，全都是牆量少的大空間建築，成為 pilotis 獨立柱之構造形式，底層是抵抗地震橫力之最弱層。

Pilotis 柱構造形式  
建物之1樓柱壓潰崩塌



圖1 建築物震害之主要樣態 (a) — 底層柱壓垮崩塌

Pilotis 柱構造形式  
整棟大樓崩塌橫倒地面



圖2 建築物震害之主要樣態 (b) — 整棟大樓崩塌橫倒地面

全棟為軟弱層，形成三明治式的層層堆疊崩塌堆疊



1990年菲律賓呂宋島地震 (M=7.7)

圖3 建築物震害之主要樣態 (c) — 三明治式的層層堆疊崩塌

Pilotis 柱構造形式  
1 樓柱剪力破壞或壓潰



2016年日本熊本地震<sup>[1]</sup>

1995年日本阪神地震<sup>[2]</sup>

圖4 建築物震害之主要樣態 (d) — 底層柱剪力破壞、壓潰

Pilotis 柱構造形式  
建物之 1 樓柱壓壞、傾斜



1990 年菲律賓呂宋島地震



1999 年集集大地震



2016 年日本熊本地震<sup>[1]</sup>

圖 5 建築物震害之主要樣態 (e) — 底層柱壓壞、傾斜

中間層崩塌



1995 年日本阪神地震<sup>[2]</sup>



圖 6 建築物震害之主要樣態 (f) — 中間層崩塌

柱剪力破壞



2016年高雄美濃地震

圖 7 建築物震害之主要樣態 (g) — 短柱效應之剪力破壞

土壤液化建物傾斜沉陷



1990年菲律賓呂宋島地震

圖 8 建築物震害之主要樣態 (h) — 土壤液化導致建物傾斜沉陷



雲門翠提大樓



統帥大飯店

國盛六街二棟

圖 9 2018.02.06 花蓮地震 (M=6.0) 造成四棟大樓崩塌

因此，具軟弱層之建築物，尤其是一樓為 pilotis 柱軟弱底層之高層建築，地震時最容易造成重大災害，傷亡人數也是最多，必須儘速辦理耐震能力詳細評估及耐震補強工作。

## 提高建築物的耐震化率，為地震防災的重要工作

強化耐震結構設計與耐震補強，的確能提升建築物的抗震的能力，從國內外的震害經驗已獲得證實，尤其耐震補強對於減免既有建築物的地震災害確實有效。依日本國土交通省的統計，耐震化率每提高 10%，在規模 7、震度 6 級的地震下，東京都的建物倒塌數及死亡人數，推估都可減少六成以上。因此，日本政府數十年來一直推動建築物的耐震化。日本建築物的耐震化率（滿足 1981 年之「新耐震設計」基準）在 2008 年為 79%，較 5 年前增加 4%；2013 年為 82%，較 5 年前增加 3%，每年的增加率都不到 1%。另日本政府為促進耐震能力不足的建築物，積極進行補強、改建，於 2010 年內閣決議將 2020 年耐震化的目標值訂為 95%<sup>[3]</sup>。

日本於 1981 年導入「新耐震基準」，進行耐震二次設計，對於建築物的耐震性能，已較「舊耐震基準」更能有效的掌握。依阪神地震之震害調查顯示，1981 年以前完成之建築物，屬於「大壞以上」或「中、大壞」之震害等級者超過 60%，1982 年以後完成之建築物則約 20%，兩者差異甚大，也證實了依「新耐震基準」所設計的建築物之耐震能力是可以信賴的<sup>[2]</sup>。

身處地震災害風險極高的台灣，要建構安全、安心的居家環境，必須先有強韌的耐震建築物，這是全民應有的共識。行政院於民國 89 年核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，但實際推動辦理的僅為近年來實施的「校舍耐震補強計畫」及「公有建築物耐震能力評估及補強」等，成效雖然良好，但它佔整體建築物的數量上仍為極少數。故積極推動「既有建築物耐震能力評估及補強」，提高建築物的耐震化率，實為台灣地震防災的重要工作，也是刻不容緩的國家大事。

## 儘速立法是推動耐震補強的首要工作

要提升既存建築物耐震能力，首先要建制「完備的法律規章」，作為執行的依據。在 1999 年（民國 88 年）921 集集大地震後，行政院於民國 89 年核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，並於民國 98 年起開始辦理校舍建築之耐震補強。民國 94 年 12 月內政部提出「既有建築物耐震能力評估及補強促進條例（草案）」，因故尚未完成立法。民國 106 年 5 月公布實施的「都市危險及老舊建築物加速重建條例」，它是包括綠建築、智慧建築與無障礙環境等在內的多面向之考慮，並非用來作為耐震補強的法律依據。因此，要加速「既有建築物耐震能力評估及補強」，必須另訂專法才能夠有效的推動，且因涉及人民之權益，故應以法律定之。

日本具有先進的防災科技、完備的法律規章與防災對策，但在 1995 年的阪神地震中，「新耐震基準」施行以前所完成之建築物，震害相當嚴重。故於 1995 年 12 月施行「耐震改修促進法」，對未能滿足「新耐震基準」之建築物，被要求耐震診斷及耐震改修。此外，日本政府鑑於住宅及多數人利用之建築物，發生地震害時，傷亡將特別嚴重，繼於 2006 年施行「改正耐震改修促進法」，規定都道府縣政府，有義務促進學校與醫院等建築物之耐震化，對住宅建築之耐震化，也要提出對策，且必須儘速作成有“數值目標”的具體計畫<sup>[1]</sup>。

2011 年 3.11 大地震 (M9.0)，招致史無前例的大災難<sup>[4-8]</sup>，地震過後 6 年，仍有 12 萬人過著避難生活。日本因不斷的遭受天災的威脅，再度喚醒了大眾的災害意識，日本政府遂於 2013 年頒布了「國土強韌化基本法」，並於 2014 年通過了「國土強韌化基本計畫」，以「保護人命、國家社會的重要機能可以繼續維持，人民財產及基礎建設災害最小化，災後能迅速復舊與復興」等為計畫目標<sup>[9]</sup>。2016 年「國土強韌化行動綱領」，再度揭示建築物之耐震化率在 2020 年要達成 95% 的目標<sup>[1]</sup>。

尤其近期盛傳極可能發生的南海海槽巨大地震 (M = 9.1)，更讓社會激起了強烈的防災意識。國土交

通省於 2014 年：設立「南海海槽巨大地震、首都直下地震對策本部」，2015 年：制定「南海海槽巨大地震對策計畫」・「首都直下地震對策計畫」2016 年：策定「首都直下地震道路開啟計畫」・「緊急時河川活用計畫」・「即應型災害支援物質輸送計畫」・「緊急替代空港運航支援系統」等，與維生系統相關之整合策略<sup>[10]</sup>。

台灣的自然環境及工程建設型態與日本相近，也同樣的遭受地震等天災的侵襲，故日本所歷經的災害經驗及防救災的策略，皆可作為我們的參考與借鏡。

### 依據致災的風險，決定補強的順序

要提升既存建築物之耐震能力，必須對該建築物進行評估，是否符合應具有的耐震性能需求，若有不足則需進行改建或補強。日本 1981 年實行「新耐震設計基準」迄今有 37 年，1995 年 12 月施行「耐震改修促進法」也有 22 年。我國有關耐震性能之技術規則或耐震規範，於 1997 年大修後對耐震有較周延的規定，1999 年「集集地震」後震區作了部分調整改變，2005 年增加考慮近斷層效應。1997 年之新耐震規範或 1999 年之震區調整或 2005 年的考慮近斷層效應等，迄今皆不到 20 年，因此，耐震能力評估及補強對象，宜為 1999 年（民國 88 年）以前完工之建築物，若為近斷層則宜以 2005 年（民國 94 年）以前完工者為對象較為合宜。

目前台灣建築物耐震化率仍舊很低，若要全面推動「既有建築物耐震能力評估及補強」，數量極為龐大，並不容易達成；且因涉及人民之權益及政府的人力、財力、物力等複雜的問題，難度甚高。但台灣面臨嚴苛的地震天災環境，近年來災害發生頻率與強度均有增加的趨勢，而防救災的環境條件卻愈來愈艱困。任何個人或群體都經不起一場大的災難，天然巨災的發生對於人民的身家安全及產業經濟發展，將造成極大的傷害與影響。地震防災在台灣是不得不為的重要工作。因此建議考慮依據地震的致災風險，決定補強的順序，對高危險群之建築物應儘速辦理。

建築物地震災害的風險大小與「危害度」、「脆弱度」及「重要度」等因子相關，如圖 10 所示<sup>[11]</sup>。

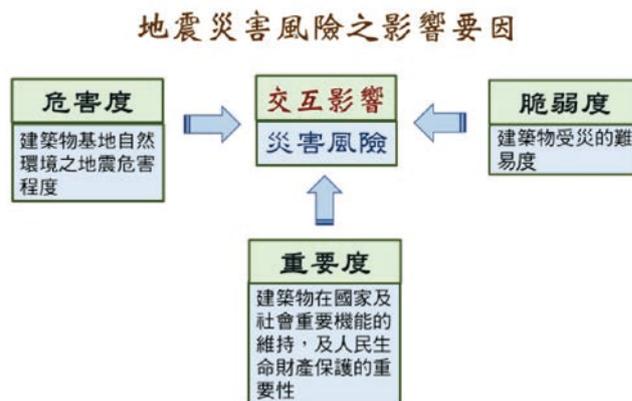


圖 10 地震災害風險之影響要因

- 「危害度」：建築物基地自然環境之地震危害程度，包括地震發生頻率、地震強弱、斷層活動、地盤類別等。
- 「脆弱度」：建築物受災的難易度，包括結構系統、平立面之規則性、材料強度與品質、構造細節、施工品質等。
- 「重要度」：地震後需繼續維持機能之建築物、崩塌受災將造成眾多人員傷亡之建築物、使用者或居住人口眾多之建築物及重要交通幹道沿線之建築物等，這些種類的建築物在地震災害風險上，皆應視為重要度高之建築物。

### 防災意識的覺醒，是推動耐震補強的動力

俗話說「一盎司的預防藥，勝過一磅的治療藥」，也就是說「預防勝於治療」。由於天災風險不會是零，地震已經讓許多國家遭受重大災難與經濟損失，我們必須竭盡所能來減緩地震的威脅，才能夠有安全的環境，過著安心的生活。自然力的強度無限，而人類的能力有限，我們可以應用科學與工學的方法來建設硬體的耐震構造，但更重要的是要記取地震災害的威脅與教訓，加強防災意識。

近年來地震災害愈趨頻繁激烈，耐震防災已成為一個國家最重要的社會議題。要加速推動「既有建築物耐震能力評估及補強」，必需要讓民眾了解在巨災中要有存活的機會，最直接的作法就是建構強韌的耐震結構物。災害總在遺忘的時候來臨，必須喚醒耐震的防災意識，要讓社會大眾了解先要「自助」、再「互助」而後求「公助」<sup>[11]</sup>。強化自家房屋的耐震能力，是

為了自己的安全，也是自己的責任。唯有全民防災，才能建構安全、安心、永續的家園。

## 尊重專業、充足的人力物力，是落實耐震補強的關鍵

推動耐震補強工作，必須要有「充足的經費」，才能持之以恆，也需有「健全的組織與人力」，才能有效率的進行。但最重要的是尊重專業，找對的人來做才是關鍵所在，工程品質又是決定耐震能力良否的另一重點，而「耐震設計審查」與「施工特別監督」，則是獲得良好耐震性能的有效作法。

另由於私有建築物之耐震能力提升，包括耐震能力評估及耐震補強甚至重建，對所有權人而言，皆需一筆額外的經費，故需有相當的誘因鼓勵，大家才會樂於配合參與。其中，容積獎勵、經費補助、稅額減免等，皆為可以考慮的方法。以日本為例，政府為促進耐震能力不足的建築物積極進行補強、改建，於2010年內閣決議將2020年耐震化的目標值訂為95%，且為支援耐震改修費的補助，除修正這10年度的預算之外，並將耐震改修費用的一部分，實施所得稅扣除、改修住宅之固定資產稅減額等之促進稅制<sup>[1]</sup>。經費、人力、物力的問題必須解決，推動「既有建築物耐震能力評估及補強」的工作，才能持續的進行。

## 結語

提高建築物的耐震化率是國土強韌化的基石，而耐震補強則是提升耐震化率的根本工作。我們未來面對的是連鎖性複合型天然災害，災害的樣態及嚴重的

程度皆難預料，2018.02.06.的花蓮地震，讓我們再度檢視防災上的脆弱面，任何天然巨災都必須作為借鏡，從天災的教訓中謙卑學習。大家常說的「小震不壞、中震可修、大震不倒」是地震防災的基本目標。將來的防災思維，應從「保住人命、降低經濟損失」，進而追求基礎建設正常使用、產業供應鏈得以確保，並應以災後國家有快速且強盛的復原能力，作為防災的戰略目標<sup>[12]</sup>。

## 參考文獻

1. 日經 BP 社，「檢證熊本大地震 — なぜ倒壊したのか？プロ視点で被害を分析」，2016年7月。
2. 日經 BP 社，「阪神地震の教訓」，1995年3月。
3. 日經 BP 社，「覆る建築の常識」，東日本大震災教訓，都市・建築編，2011年6月。
4. 日本東北大學，「東北大學による東日本大震災1ヶ月後緊急報告會報告」，2011.04.13。
5. 張荻薇，「2011年東日本大震災 — 廣域性複合式災害」，2011年結構與地震工程研討會，中華民國結構工程學會，2011.12.10。
6. 張荻薇，「工程災害及復原」，東日本大震災重建勘察發表會，國家地震工程研究中心，2012.7.26。
7. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「2011年東日本大震災勘災報告」，2012.09。
8. 張荻薇、王昭烈、黃炳勳、曾榮川、蘇彥彰，「311東日本大震災災後重建考察報告」，台灣世曦工程顧問股份有限公司，2014.11。
9. 日本總理府，「國土強韌化基本計畫」，2014.06.03。
10. 2016國土交通白書（日本）。
11. 張荻薇，「天災環境下 — 防災意識的覺醒與防災新思維」，Vol. 44, No. 2, April 2017, 土木水利。
12. 張荻薇，「天災難料 唯有從巨災中學習 — 防災思維與防災戰略」，日本熊本地震勘災考察說明會，國家地震工程研究中心，2017.03.02。



中國土木水利工程學會  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

電話：(02) 2392-6325

傳真：(02) 2396-4260

e-mail: service@ciche.org.tw

一個凝聚產官學土木專業知識的團體  
一個土木人務必加入的專業學術團體  
一個國際土木組織最認同的代表團體  
一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體



<http://www.ciche.org.tw>  
請上網下載入會申請表

# 歡迎加入學會