

既有建物耐震評估與補強

Seismic Evaluation and Retrofitting on Existing Buildings in Taiwan

主管單位：國家地震工程研究中心

沈文成 邱聰智 葉勇凱 蕭輔沛 簡文郁 鍾立來 黃世建
Shen, Chiou, Yeh, Hsiao, Chien, Chung, Huang,
Wen-Cheng Tsung-Chih Yeong-Kae Fu-Pei Wen-Yu Lap-Loi Shyh-Jiann
國家地震工程研究中心

摘要

建築物提供人類居住、活動甚至防禦等機能需求，如何維護管理建築物的健康，進而提升更好的生活環境，是十分重要的課題。九二一集集大地震造成臺灣中部地區許多建築物嚴重受損，讓臺灣的居民瞭解地震的威力，引發社會大眾開始重視建築物的結構安全，政府頒布建築物實施耐震能力評估及補強方案，要求全面檢視建築物耐震能力，以落實震災預防工作，減輕財物損失或人員傷亡。

本文將說明既有建築物如何透過評估程序篩選出急需進行補強的建築物，並給予經濟且有效之補強，藉由多年來公有建築物施行之成功經驗，將標的物推展至私有建築物，嘗試研擬適合私有建築物之評估方法，擴大其適用範圍。最後，以近年來國際上積極展開建築物耐震評估與補強之國家進行比較，以呈現臺灣於既有建築物耐震評估與補強之努力與未來展望。

關鍵詞：執行策略、耐震評估、補強工程

Abstract

Buildings provide functional needs of habitation, activity and defense. Maintaining and management is an important issue for the safety of buildings. The Chi-Chi earthquake caused serious damages to many buildings in central Taiwan and Taiwanese really felt the power of earthquake. The society starts to pay more and more attentions on the structural safety of buildings. Therefore, the government promulgated a scheme named “scheme for seismic evaluation and retrofitting of buildings” to comprehensive review of the capacity of buildings. The purpose of the scheme is to implement the earthquake disaster prevention work and reduce the property damage and casualties.

In this paper, the strategies for upgrading the capacity of buildings will be introduced. In the other hand, NCREE try to develop the assessment for private buildings due to the successful experience of public buildings. Finally, the comparison of seismic evaluation and retrofitting project between country and country was carried out to demonstrate the effort of Taiwan in the recent years.

Keywords : Strategy, Seismic Evaluation, Retrofitting Construction

一、前言

十多年前的九二一集集大地震，使得全國數萬餘棟建築物倒塌或嚴重受損，讓臺灣居民瞭解地震的威力，並開始深思防震的重要性，開始檢討建築物的防震措施。為了避免將來地震造成建築物嚴重損傷，危及民眾之生命財產安全，需發展一套合理且能夠量化真實結構物耐震能力之評估程序，篩選出耐震能力不足之建築物，給予適當補強或拆除重建，以提升全國建築物的耐震能力。

有鑑於此，政府擬訂建築物耐震能力評估與補強方案[1]，要求主管機關與各級政府以逐年編列經費方式全面進行耐震能力之檢查，又考量地震災害發生後，公有建築物需提供避難及安置災民等應變工作，以維持救災機能運作，因而將適用對象由公私有建築物修正為公有建築物，以公有建築物先行執行，期能作為民間表率並蔚成風氣；至於私有建築物則以宣導方式推動，使耐震評估及補強制度之實施阻力降為最低，達到保護人民生命財產，提升公共福祉之成效。

二、執行策略

考量臺灣建築物數量龐大，且為兼顧經濟效益，國家地震工程研究中心(以下簡稱國震中心)提出一套解決方案，其提升策略程序包含篩選、評估、設計與施工等階段。開始執行耐震評估前，應針對建築物進行現地調查，以確實掌握問題之規模。提升策略之第一階段為初步評估，由專業人員(土木技師、結構技師或建築師)根據現況調查而得到其耐震能力，可有效地將老舊建築物之耐震能力排序，以縮小問題之規模。再來針對耐震能力有疑慮之建築物，依嚴重程度由專業人員進行詳細評估，倘若判定耐震能力確有不足，且尚符合補強之經濟效益時，經專業人員與使用單位充分溝通補強構想後，即進行細部設計，最後再予以補強施工；若不符補強之經濟效益，則將其納入拆除重建之序列，執程序可詳見圖 1。以下針對各階段內容詳述於後：

2.1 現地普查

依行政院「建築物實施耐震能力評估及補強方案」之規定，凡未依 86 年 5 月 1 日修正發布施行之建築技術規則設計建造之公有建築物，應全面檢視其耐震能力，將不符合現行耐震設計規範之建築物，儘速進行結構耐震補強，以維護民眾安全。為避免發生建築物未納入評估程序，應逐一清查所有建築物之狀況，透過現地調查工作蒐集相關之耐震基本資料，並建置資料庫統一管理，確認欲處理之規模範圍，更可讓主管機關確實掌握所轄建築物之執行現況。

2.2 初步評估

由九二一集集大地震後震損校舍建築物顯示，大多屬一樓垂直構件破壞，導致校舍建築物沿走廊方向倒塌，因此，初步評估係以一樓垂直構件提供強度與耐震需求之比值，作為判定建築物是否有耐震疑慮之依據，其定義如下：

$$\frac{\text{強度}}{\text{需求}} = \frac{\tau_c A_c + \tau_{BW} A_{BW} + \tau_{RCW} A_{RCW}}{a_g \times w \times \sum A_f} \quad (1)$$

上式中， τ_c 為一樓柱單位面積平均極限剪力強度； A_c 為柱總截面積； τ_{BW} 為一樓沿走廊方向磚牆之平均極限剪力強度； A_{BW} 為磚牆總截面積； τ_{RCW} 為一樓沿走廊方向 RC 牆之平均極限剪力強度； A_{RCW} 為 RC 牆總截面積； a_g 為工址之設計地表加速度； w 為單位面積之平均樓板重； $\sum A_f$ 為建築物總樓地板面積。

國震中心依據式(1)訂定建築物之耐震初步評估表供具有土木結構專業背景之人員使用，由專業人員至現場調查建築物之狀況，並記錄一樓之垂直構材數量與尺寸，即可利用該表格計算出耐震指標 I_s 值，其工作時程大約需半天時間即可完成。初步評估結果則透過網路回傳系統予以保存，主管機關可將耐震指標由低至高排序後，據以排定補助詳細評估經費之先後順序。

2.3 詳細評估

詳細評估係針對前一階段之初步評估篩選出耐震能力可能有疑慮之建築物，透過結構分析軟體進行評估，確認其耐震能力是否足夠，若不符合現行耐震法規之要求，則需徵詢使用需求意見後，提出至少兩個結構耐震補強方案供使用單位選定，以爭取經費儘速給予補強。國震中心建議採用性能設計概念來進行詳細評估，其步驟為先以非線性側推分析得到建築物之容量曲線後，再搭配容量震譜法，藉由選定性能點即可決定建築物可抵抗地震力之程度，稱之為性能目標地表加速度，如圖 2 所示。國震中心參酌國內外研究理論以及實驗數據後，發展適用臺灣既有建築物之側推分析方法，為驗證該方法之準確度，將分析結果與現地實驗之數據進行比較，由圖 3 顯示，分析結果與現地實驗數值非常接近，提高該評估方法之可信度。

評估分析結果須經過專業審查機制加以把關，期初審查著重於承攬單位是否已針對建築物進行現況調查，釐清可能影響建築物耐震能力之因素，方能將實際狀況反映於分析模型中，得到最合理的分析結果，除此之外，承攬單位亦須將規劃採用之補強修復建議方案與使用單位充分溝通後，再提出最合適之補強方案。至於期末審查內容，則是審核建築物之現況耐震能力評估分析結果是否合理，以及所提之補強修復建議方案是否經濟有效等，確保詳細評估該階段作業之品質。

2.4 補強設計

補強設計主要工作可以分為基本規劃以及細部設計等二部分，於基本規劃階段時，由使用單位表達其使用需求，而設計者依使用單位之需求，結合建築美學之觀點，提出整體補強構想，且應考慮採光、通風等因素之影響；當所提之補強構想經過使用單位同意採用後，設計者即按照選用之補強工法與位置，開始進行細部設計，以及評估補強後耐震能力是否符合現行耐震設計規範。

補強設計階段亦須接受審查，其程序為完成基本規劃後，邀集使用單位、專家學者以及設計者召開期初審查會議，共同討論結構補強之構想及意見交換，確認補強構想為使用單位所接受，再將補強設計相關細節內容予以確定。期初審查完成後，設計者依據選定之補強工法與位置進行細部設計，並針對補強後建築物進行結構分析，確認耐震能

力是否符合現行耐震設計規範，而期末審查會議時，審查委員針對補強設計後評估分析結果、經費預算及設計圖說等詳加審議。當期末審查如未能經由一次審查通過時，可於完成意見修正後再排定期末複審，由審查委員確認補強設計內容是否已完整無誤，始能進行後續補強工程之發包作業。

2.5 補強工程

建築物之耐震補強應選取經濟且有效之工法，而補強方式不外乎是擴大原有柱斷面或是於原有構件旁增設垂直構材以提升耐震能力，目前常見補強方式大多採擴大既有柱面積、於既有柱旁增設翼牆或於梁柱框架中增設 RC 牆等，具有施工容易、無專利等優點，且因與原有建築物使用之材料相同，新舊介面之結合效果較佳。國震中心自 94 年起利用待拆除之校舍建築物進行現地試驗，已成功驗證增設翼牆、擴大柱以及增設複合柱等補強工法確實有效，如圖 4 所示，其造價相較於重建工程之經費更顯現經濟性。

補強施工良窳影響耐震補強之成效甚大，故監造單位與施工單位之努力顯得重要，除了施工廠商必須進行自主檢查外，主辦單位則是委由監造單位協助以達到品質保證的程度，為此，國震中心則邀請專家學者共同擬訂適合於補強工程使用之自主檢查表、施工計畫書、品質計畫書、安全衛生管理計畫書等文件範本，提供施工廠商參考使用，並透過舉辦講習課程強調補強施工之注意事項。

三、目前執行成果

公有建築物種類眾多，舉凡醫院、警察局、消防局、校舍等均屬之，近年來各主管機關投入經費積極趕辦耐震能力評估工作，當中又以地震災害發生後必須提供避難使用以及安置災民之校舍建築物最為重要，且成效較佳，本章茲以校舍建築物做為說明公有建築物推行成效之對象，另一方面，待公有建築物推行成效顯著時，私有建築物勢必將成為下一波推動之標的物，國震中心正著手研發合適之評估方法供民眾使用。

3.1 公有建築物

98 年適逢全球面臨金融風暴造成經濟不景氣，政府為振興國內經濟而提出「振興經濟擴大公共建設特別預算案」，教育部順利爭取到特別預算支持，自 98 年 4 月起全面針對公立高中職以下各級學校，展開「加速高中職及國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」[2, 3]，凡於 88 年以前興建之建築物均應進行耐震能力評估，並就評估結果不符現行耐震設計標準之建築物優先予以補強，加速提升現有建築物之耐震能力，保障學校師生之生命財產安全。

國震中心將多年來於校舍結構耐震評估與補強技術之研究成果編擬成技術手冊[4]，供各界參考使用，並舉辦一系列技術講習課程供專業人員學習，課程內容包括評估分析理論之講解、分析流程與細節以及如何驗證結果之合理性，並藉由技術講習課程與專業人員進行交流討論，讓評估與補強技術更加貼近校舍結構物。而專業人員所習得之課程經驗，已列入學校單位遴選合適廠商之評分項目。

截至目前為止，經過前述執行政程序確認耐震能力無疑慮之校舍建築物計 6,591 棟，評估後判定有耐震疑慮且已補強竣工則有 1,880 棟，已有效保障逾 120 萬名師生之生命

安全。另應建置資料庫將建築物之耐震評估與補強成果做一完整之紀錄，除可供民眾查詢，更有助於管理建築物之結構是否安全。國震中心已蒐集 11,500 多筆初步評估資料、5,400 餘筆詳細評估資料、近 3,700 棟之補強設計資料，以及逾 1,800 棟之補強竣工資料，並透過網頁提供主管機關、縣市政府以及學校等單位隨時上網查詢，迄今該網頁總瀏覽人數達 25.5 萬人。

3.2 私有建築物

因街屋建築物之構件尺寸、平立面對稱性、底層挑高等與校舍、警察局或消防局等公有建築物之結構特性不完全相同，一般而言，較為常見之街屋建築物多為以下幾種類型：

(1) 三角窗建築物

通常在各地區被視為高價值的地段，由於空間需求，面臨兩街道的三角窗建築，缺乏抵抗地震力之牆壁與柱體，又或是牆壁配置不均勻，以致震害通常面向街角傾倒。

(2) 騎樓式建築物

騎樓式建築物多屬樓梯垂直街道方向，而大量的隔戶牆(RC 牆或磚牆)也垂直街道方向，造成平行街道方向的牆量明顯低於垂直街道方向的牆量，形成顯著的平面勁度不對稱結構，一旦遭遇平行街道方向的地震力時，便有如骨牌般地側向倒塌。反之，當樓梯平行街道方向時，因有梯間牆(RC 牆或磚牆)可提供沿街道方向的抗震能力，因此雙向抗震能力較佳。

(3) 獨立店舖住宅

獨立店舖住宅為單跨構架配置，為配合店舖空間使用，常見於一樓短向未設置足夠的牆壁量，而二樓以上之住宅配置須多隔間牆，形成顯著的軟弱底層，受到地震力作用時，一樓柱因而嚴重損壞甚至造成整棟建築物崩塌。

國震中心先就臺灣近代的街屋建築物，依其常見的結構型態與破壞模式(如圖 5 所示)，整理歸納出街屋建築物的結構特性，並利用現有之公有建築物耐震初步評估表，套用於私有建築物，用以修正相關統計參數，發展適合於街屋耐震初步評估表。

四、結果分析與討論

土耳其在 2006 年至 2010 年間向世界銀行及歐洲投資銀行貸款，針對伊斯坦堡地區之既有建築物進行補強計畫[5]，包含學校、醫院診所以及政府機關等，當耐震補強經費佔拆除重建經費之比例在 40% 以下時，即決定採取耐震補強方式處理，而補強施工主要以擴大柱斷面與增設剪力牆方式進行補強。另一方面，自 2008 年中國汶川地震發生後，日本眾、參議院通過「地震防災對策特別措施法」修正案，全面加強校舍建築物之耐震能力，根據日本文部科學省調查報告指出，7 級地震作用下可能倒塌公立中小學校舍佔總數 7.3%，決定自 2008 年至 2010 年間投入約 2,900 億臺幣，加速提升前述可能倒塌校舍(約 1 萬棟)之耐震能力，更提高國庫補助率，其中補強工程之國庫補助率由 1/2 提高至 2/3，重建工程則由 1/3 提高至 1/2，此外，並要求政府相關部門公佈校舍耐震審核結果。由表 1 顯示，綜觀土耳其、日本與臺灣校舍耐震補強計畫，可知臺灣在問題規模、

經濟來源與執行能力上均具有相對性優勢，有利於全面推動校舍耐震補強工作。

小谷俊介教授(Otani, Shunsuke)針對近年全球鋼筋混凝土建築強震受損之統計研究可知[6]，在強震中崩壞建築物之比例約佔 10%，若合併考慮大害等級之受損建築物則為 20% 至 30%，如圖 6 所示。臺灣與日本建築物結構型式雷同，又同屬環太平洋地震帶，強烈地震發生後，鋼筋混凝土建築物之受損情形極可能相似於日本，因此，對於評估後認為具高震損潛勢之建築物更應優先處理，積極趕辦耐震評估及補強工作。目前已補強近 1,900 棟校舍建築物，約佔總數 9.4%，國震中心將持續與教育部進行合作，爭取更多經費挹注，期能完成補強前 10% 高地震危害度校舍，甚至補強所有在強震下可能達到大害等級之校舍，提升補強率至 30% 以上，降低師生未來在劇災型地震中傷亡之風險。

參考文獻

1. 行政院(2009)，「建築物實施耐震能力評估及補強方案修正案」。
2. 教育部(2009)，「加速高中職老舊校舍及相關設備補強整建計畫」。
3. 教育部(2009)，「加速國中小老舊校舍及相關設備補強整建計畫」。
4. 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(2010)，「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，編號 NCREE-09-023。
5. Tuzun, C., Zulfikar, C., Yenidogan, C., et al.(2009), “Parametric Evaluation of Seismic Retrofitting Techniques Applied to the Public School Buildings in Istanbul”, ATC & SEI 2009 Conference on Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures, 307-318, San Francisco, USA.
6. Otani S.(1999), “RC Building Damage Statistics and SDF Response with Design Seismic Forces”, Earthquake Spectra, 15(3), 485-501.

表 1 土耳其、日本與臺灣耐震補強計畫之比較 (以校舍建築物為例)

	土耳其	日本	臺灣
經費來源	國際貸款	中央補助款與 地方稅收	中央籌款
執行單位	國家委員會	地方政府	中央政府主導 地方政府配合
實施範圍	伊斯坦堡區域	全國	全國
補強目標	20%校舍	35%校舍 (中央補助款支付 7.3% 可能倒塌校舍)	優先補強 高震損潛勢校舍
平均每人國民 生產毛額	約 10,000 美元	43,974 美元	19,188 美元

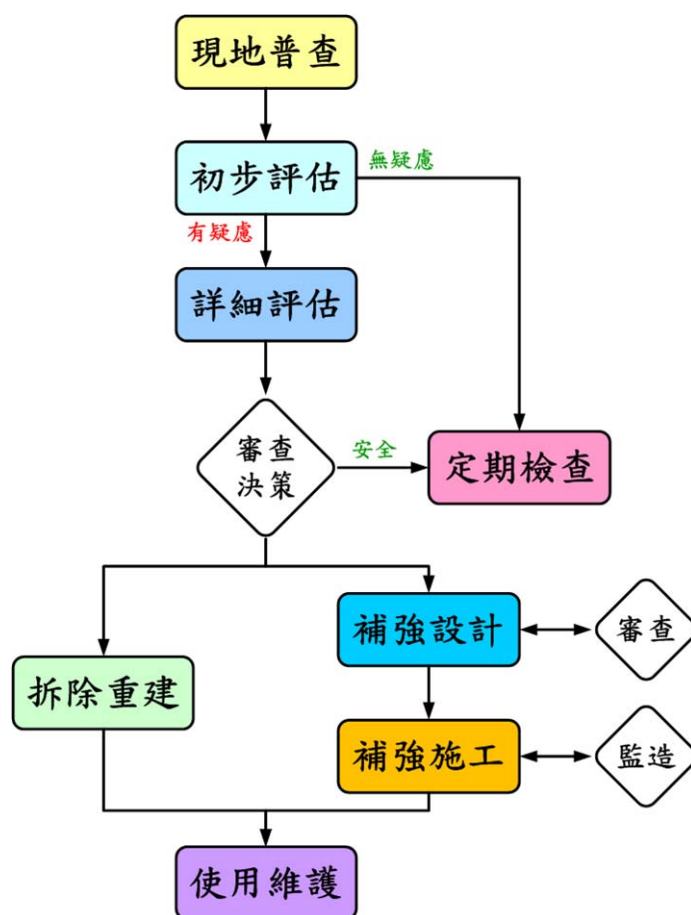
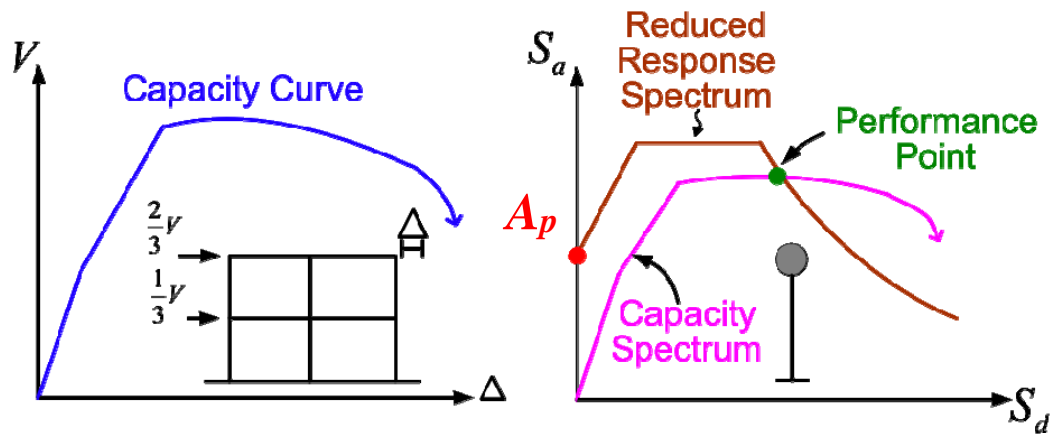


圖 1 建築物耐震能力提升策略之執行流程

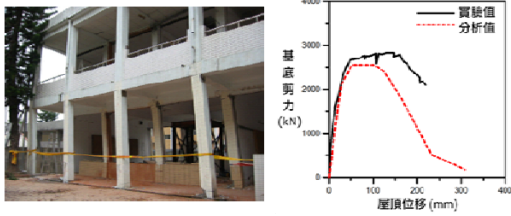


(a)非線性側推分析

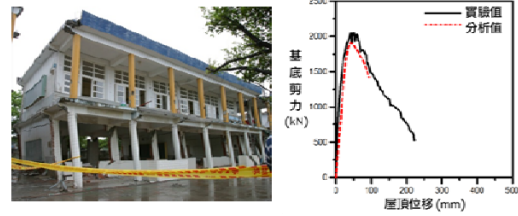
(b)容量震譜法

圖 2 建築物耐震詳細評估方法

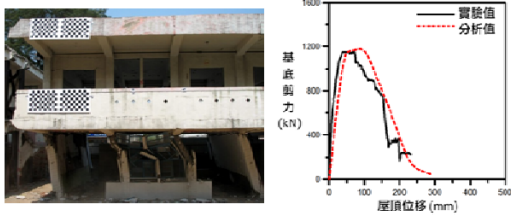
花蓮縣新城國中 (2005)



雲林縣口湖國小 (2005)



桃園縣瑞埔國小 (2006)



臺南縣關廟國小 (2007)

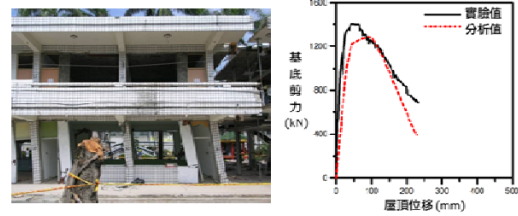
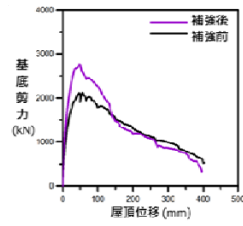
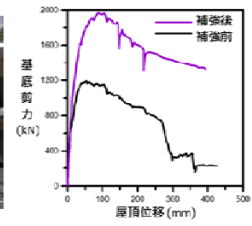


圖 3 側推分析方法之現地實驗驗證

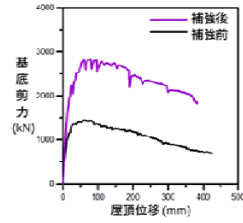
RC 異牆補強 (2005)



隔間牆增設複合柱補強 (2006)



RC 擴柱補強 (2007)



鋼板包覆補強 (2007)

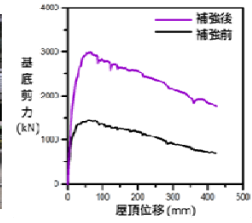


圖 4 耐震補強工法之現地實驗驗證

三角窗建築向街角傾倒



樓梯平行街道方向之建築倒塌



樓梯垂直街道方向之建築倒塌



軟弱底層破壞



圖 5 街屋建築物之破壞模式

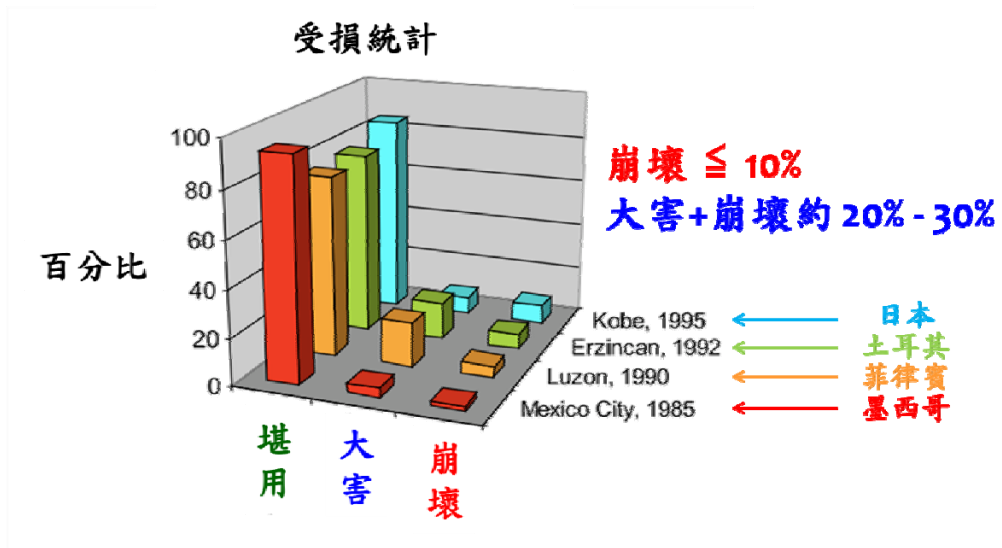


圖 6 鋼筋混凝土建築於強震下受損統計圖