

日本神戶地震中非結構體之破壞資料

Damage Data of Nonstructural elements from the Kobe Earthquake in Japan

姚昭智，成大建築系副教授

摘要

1995年1月17日發生在日本兵庫縣南部的地震，為本世紀第一個在都會區有詳細災情記錄的大型地震，因此所造成的各項破壞情形，可提供國內相關人員非常寶貴的經驗，作為防災工程的範例。本文收集國外各個單位對於在神戶地區的勘災報導，以及自行在災區所收集的資料，針對建築物內各項非結構物的破壞情形，予以整理而成。

一、前言

本文作者參與中華民國建築學會於1996年暑假期間所辦神戶震災考察團後，針對非結構物部份的調查結果，以各個項目為單元，綜合各方面收集到的資料予以整合而成本文。其中有與竹中工務店工程師面對面討論中知道的，有從雜誌中看到的，亦有從紐西蘭的勘災報告中找到的。在各種資訊來源中把國內可能較有興趣的資料整理出來，供大家參考。

二、破壞狀況

(一) 辦公室內部

在紐西蘭地震協會檢查過神戶市政府2號館(8樓建築的第6樓發生倒塌者)後，發現了下列現象 [Park, 1995]：

1. 懸吊式天花板

雖然建築結構體有嚴重的破壞，但是室內的懸吊式天花板卻未見破壞，只有少數嵌板掉落，大致而言，骨架並未受到破壞。此一現象在許多受損的建築物內亦可觀察得到，原因可能與日本對於懸吊式天花的建議規範中，不准使用鋼絲只可使用吊桿，且對吊深亦有限制有關。

2. 隔間牆

一般而言，有固定端部的隔間牆都未見破壞，但是可移動式或半高的隔間牆在地震中卻有很大的破壞或移位。

3. 內部陳設

大體上室內的各項物品均遭到嚴重的破壞，例如：文件櫃翻倒以致文件四處飛灑，販賣機倒塌造成飲料外流，圖櫃亦被翻轉過來使裡面的文件四散。總之，辦公室內一片混亂，假如地震發生在上班時段內，必會造成嚴重的傷亡。

4. 電腦

電腦就如同其他物品一般掉落在地板上而遭到破壞。在其他建築物內雖然有的電腦並未立即破壞，但是因天花板破壞產生的大量灰塵，卻可能會造成日後的當機。因此在此地

震中所學到的最大教訓，是應該要定期的將重要資料做成備份，並且要存放在另一都市裡以策安全。

(二) 住宅內部

1. 傢俱倒塌

室內傢俱在地震中的行為頗為複雜，可能受到建築物型態、擺設樓層及傢俱使用狀況的影響，因此很難用一個簡單的公式去解釋它的安全性。日本在1978年宮城縣近海地震後，統計傢俱倒塌資料曾提出一個數學公式，見公式(1)，可藉以評估在相同規模地震下傢俱是否會有倒塌的可能性。

$$\frac{D}{\sqrt{H}} > 4 \quad (1)$$

此公式假設傢俱為長方體，H為高，D為可能傾倒方向之長度。若是傢俱的外圍尺寸能滿足(1)式，則可認定在大地震下的安全性會較高。

在阪神地震後，日本建築學會針對災區內不同高度及型態的建築物內部傢俱倒塌現象展開調查 [日本建築學會, 1996]。最後發現，傢俱在震度7的區域或位於建築物頂樓者，雖然外觀尺寸能滿足(1)式，但仍然有很多倒塌的情形。若是不在上述二個狀況下，只要尺寸會滿足(1)式者，大抵都沒有倒塌的現象。一般而言，高樓中，上層部份的倒塌狀況相差無幾，都很嚴重；但位於下層住家的傢俱，則較無移動或倒塌的現象。其他影響傢俱穩定性的原因還有「有無固定」、「地板材料種類」、「有無相互重疊」等等。這些倒塌的傢俱除了會使人員受傷之外，往往也是人們往戶外逃生的主要障礙。

至於室內各種裝潢的破壞情形，反而以下層住戶較為嚴重，據推測是因其構造與結構體緊密相接，故與結構物一起承受上部傳下來的巨大作用力，因此而產生嚴重破壞。

家電用品似乎也可採(1)式的方法加以評估，但實際調查的結果顯示，(1)式是非常不安全的估計，亦即有很多破壞是在周邊尺寸比大於

4的狀況下發生。此一現象在電視、冰箱等大部份家庭都有的家電用品上特別明顯。

2. 人員受傷[日本建築學會, 1995]

人在地震中及震後的避震行為，會決定其受傷的可能性。據瞭解，避震過程中最大的障礙是倒塌的傢俱及家電製品，另外玻璃與陶瓷品的碎片也會影響到避震的安全性。據自某一住家調查中發現，相框內的玻璃在相框發生撞擊時很易破碎，但若在邊框加有樹脂者，則較不易損壞。

對只受到輕微破壞的住屋戶調查時，共取樣本1032人的健康狀況進行分析，發現其中因室內傢俱倒塌、破壞而受傷的人數約佔全體的13%，大部份為輕傷，約有3%為骨折。受傷的人以30多歲的男性及40多歲的女性為主，因為他們要負責家中主要的救災復原工作，故比老年人更易受傷。受傷時段的統計顯示，以在地震搖晃中受傷的比率最高，為55%。受傷的原因半數是因為傢俱掉落，其次為玻璃割傷，約佔30%。

從此次地震中，人們發現平時居家時倘若對於傢俱及各項家電製品沒有做好耐震措施，它們便很容易在地震中倒塌而損壞內置物品或傷及住戶。因此如何設計傢俱的集中安置及耐震固定，便應是設計師們今後要考慮的一個新方向。

(三)外牆玻璃

在神戶市鬧區並未見到大規模的玻璃損壞狀況，即或有些建築物的結構體遭到嚴重破壞，但其外裝玻璃仍屬完好。有一棟肆拾餘層高樓，外圍的玻璃帷幕牆完全沒有受損，但是內部的結構體卻有嚴重的破壞。由此可見若欲藉玻璃外牆破壞的狀況判斷結構體之好壞，可能會造成誤判。

據竹中工務店所稱，在比較過相鄰兩棟類似建築物的帷幕牆後，發現窗框有考慮耐震設計者，比沒有做耐震考慮者的表現要來得好很多，因此可知只要有考慮到這方面的耐震安全，便會有較佳的抗震行為。

(四)水塔

高架水塔的破壞也很普遍，有的是水塔自架上掉落，有的是整個高架的破壞。有一棟12層樓的公寓屋頂，因高架水塔倒塌，壓垮了閣樓的電梯間，以致該建築的居民無水又無電梯可用。雖然設計該公寓的單位自東京飛來檢查後，告訴居民該建築的結構體無礙，可安心居住。但住在裡面的居民必須每天自街上提水走路上樓，生活很不方便。

有一些採用FRP材料製造的水塔，在這次地震中遭到很嚴重的破壞，有的是頂版被水衝破，有的是側版被水或管線破壞。因此，日本的水槽工會現在正在研究如何提高現行強度為1.5G產品的耐震力，開發能夠承受到2.0G加速度的水槽，並進行實尺寸的震動台試驗，以確認它們的耐震性能[NIKKEI ARCHITECTURE, 1996]。

(五)外裝建材

外裝建材的脫落和破損隨處可見，這包括有石材、PC帷幕牆、ALC板等等。據分析，這些破壞的產生多半是由於它們的變形能力無法承受建築物的大變位來造成（尤其是鋼結構最嚴重）。日本一般外裝建材的容許變形量都依1/200的層間變形來設計，目前則有人建議應依照衣服的等級S, M, L一般將各種外裝材分類，以滿足某些建築可能會需要較大變形量的需求。竹中工務店則擬將原來通用的1/150變形量標準，改成1/100做為新的設計標準。

(六)珍貴文物[全國美術館會議, 1995]

此次地震造成神戶市內諸多文化財產的巨大損失。在建築物方面有19棟國家指定之古蹟遭到破壞，縣指定古蹟有16棟遭到破壞，市指定古蹟有34棟遭到破壞。13件紀念物（含史跡、名勝及天然物）遭到破壞。

在許多博物館內，亦因未有足夠的防震措施，導至有127件美術工藝品在地震中破壞。這些破壞產生的原因大約可分成以下幾個原因：

- 1) 展示物或展示櫃滑動量過大而致破壞（展示物掉落地面或撞擊他物），
- 2) 儲架內物品跌落地面致壞，
- 3) 吊掛圖畫之S鉤破壞，
- 4) 細長型展示品因重心不穩而傾倒，
- 5) 天花板上之燈具或空調出風口落下撞及展示品，
- 6) 大吊燈鬆脫掉落，
- 7) 儲藏架倒塌。

震後一年去參觀了神戶的二所博物館，可以見到小型展示物均已採用透明線加以固定的防震措施，但對於體積較大的展示品則仍然缺乏適當的防震保護作法。

(七)機器及設備

許多機器因基腳的固定不良，在地震中遭到破壞。據大阪大學的調查發現在444件機器破壞的案例中，有52件是翻倒的情形，142件是移動的情形，57件則為破損的情形，其他的則大都為管線拉斷或變形過大所造成的問題。由於日本建築中心公佈的「建築設備耐震設計、施工指南」對於固定機器已有充份的說明，而且一般現象也顯示出其確實有效，因此在這方面並未有太多的爭論。不過對於管線耐震性能方面的設計方法，大都傾向將以前所用的1/150層間變位量改為1/100，以提高安全性。

據鹿島建設的調查指出[鹿島建設, 1995]，在所調查的337個設備物破壞案例中，依類別區分約如表一：

表一 鹿島建設調查之設備破壞狀況（共337件）

設備	管線類	器具類	電梯類	其他
35.9%	24.9%	15.1%	14.0%	10.1%

設備類以水槽破壞（高架水槽、儲水槽、消防水槽等），佔了60個案例為最多，其次為空調的室外機佔了9件。管線類的破壞則以給水管的21件為最多，其次為排水管的8件。研究管線類的破壞狀況，發現有的是應該設計成軟管處沒有做到而致破壞外，也有的是消防灑水頭被天花板破壞導致大量灑水。（依據1994年美國北嶺地震的破壞資料，消防灑水管的破壞狀況亦非常嚴重，有一購物中心曾有400個自動灑水頭因震動過大遭到破壞，以致大量灑水的案例。）器具類則以照明器具的22件為首，其次為因天花板等非結構之破壞而掉落的有8件。

電梯類的數量則包括了機械停車器具的破壞在內；其中的39件為電梯故障，經過檢修後，發現有問題不能馬上使用者有22件，而發生脫軌的則有4件在內。據調查災區醫院的電梯使用狀況發現，大部份的電梯在地震後都不能使用，大多需要3至4天的檢修等待期後才能使用，此一現象對醫療救護工作的打擊非常之大〔小堀鐸二，1995〕。

醫院內的醫療設備在災後是否能夠發揮功能一直是大家很重視的一項研究工作，經調查各醫院設備的狀況後〔小堀鐸二，1995〕，可觀察到下列各點現象：

1) 放射性機器

大型機器並未有碰撞，翻覆等情形發生，但有因停電而導致變壓器破壞的現象。另有部份活動式X光機的腳輪，因在強震下會產生轉動而抵消了部份的震動力，但也因此有碰撞的現象。有些CT的配線因受壓迫而損壞，有些則因電腦的搖晃過大，需要重新調整後才能使用。在神戶市72台的CT中，地震之後到1月22日只有4台可用，此一現象在美國北嶺地震中亦有類似的狀況發生。

2) 其他機器

許多機器為了使用上的需求，均裝有腳輪以便移動至各病房。這些腳輪在地震下倘會滑動或轉動，則機器便不會因振動過大而損壞，但它可能因撞擊他物而翻覆或破壞。

在大地震後，對洗腎機的要求量會上升，但在此次地震中發生許多需要洗腎的患者必需外送遠地治療的現象，經分析洗腎機的最大問題，不在機器本身因破壞不能使用，反而是由於供水不足而無法操作，因此如何保有足夠水源以供醫院使用也是一項重要的課題。

三、結語

除了幾樣較特殊的問題，如：高架水槽及FRP水槽的耐震性能和消防灑水頭之破壞外，其他的破壞現象在別國之強震勘災報告中亦可觀察得到，如：天花板掉落、隔間牆倒塌、電梯之平衡錘脫軌等等。安裝這些非結構物的結構體並未發生嚴重破壞，仍可使用，但是這些非結構物的破壞已足以造成人們經濟上巨大的損失、生活的不

便、甚至生命的危險。所以近年來的防震工程趨勢已將耐震設計的領域從結構物擴展到非結構物的範圍，以期建造一個更安全的居住環境。自另一角度觀之，雖然已經知道許多非結構物已有的安全問題，但由於製造者、建物設計者、及使用者缺乏共識與決心，以致一直未能有效改善目前的狀況。這一點也應是國內相關單位及人員應該瞭解及努力的方向。

四、致謝

感謝建築學會許坤南秘書長和廖慧明建築師等各位先進及竹中工務店在此次考察行程中的多項安排，讓國內工業界可以學習到許多在強地震中可能發生的問題，進而思考如何採取適當的預防措施。特別要感謝吳明修建築師在此次參觀過程中所扮演的關鍵角色，吳建築師不只出錢出力，而且與游顯德教授聯手為我們這些不懂日文的學習者擔任翻譯工作及翻印資料。諸位先進造福後輩之心令人欽崇，特此致敬。

五、參考文獻

小堀鐸二研究所，1995，醫療機關と其の救急醫療活動に関する調査報告。

日本建築學會，1995，住宅内部被害調査，中間報告，阪神大震災住宅内部被害調査研究會。

日本建築學會，1996，阪神淡路大震災住宅内部被害調査報告書。

全國美術館會議，1995，阪神大震災美術館博物館總合調査。

鹿島建設，1995，平成7年兵庫縣南部地震被害調査報告書。

NIKKEI ARCHITECTURE，1996，非構造部材，pp. 116-127。

Park, R. et alii, 1995, The Hygo-ken Nanbu Earthquake of 17 January 1995, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 28, No. 1, pp. 1-98.