

文·圖 / 王哲夫

前言

人類造物，並非無中生有，而是重組材料、重新塑型，創造新樣貌而已。世界上有很堅固的物體，但再硬的物體也能被摧毀。建築工程物亦是如此，它可以很強壯，但不可能永遠屹立不搖，諸如埃及金字塔這樣存在地球已超過四千年的龐大建築，未來應很難再看見。現代建築講求的是蓋得安全，又蓋得不浪費，這也考驗著人類在面對不可預測的地震時，該作什麼樣的取舍。

引發建築地震力的來源：地動加速度

建築結構的問題大多和力的「施與受」有關，施力者不外乎重力、風力等等，有力量的施加，結構才會以變形來回應。但是一棟建築結構固定於地面上，地震時，地面雖然在晃動，實際上並沒有「東西」推著房屋，不像「風行草偃」時，確實有風吹著草，草才會倒下，那麼地震中房屋會變形是怎麼回事？

原來靜止的地面突然加速或減速時，建築物的「頭」因為慣性而傾向不動，但「腳」則跟著地面運動，如此頭不動腳動，就造成了房屋被「甩來甩去」的狀態，這好比有一股虛無的力量施加在房屋上，稱為慣性力。靜止的列車突然加速，上面乘客被迫後仰，就是慣性力的作用。所以地震和其他力量不同的地方之一，就是它是通過地面速度的改變，或稱「地動加速度」，把力量帶到結構體上。

地動加速度的方向是三度空間的，但對建築物最為敏感的，是水平方向的地動，因為它所引來的水平地震力，會讓柱頭與柱腳橫向錯開、柱身傾斜。柱子直立時雖然有如「千斤頂」，可以支撐很重的結構體，但一傾斜，負擔就會加重，如果失去平衡又拉不回來，就會進一步崩壞（圖1）。



圖1. 建築物的柱在水平地震中歪斜受損的現象(拍攝於四川省北川老縣城汶川地震遺址)。

所以地動加速度的大小和房屋倒塌與否息息相關，這也是為什麼地震「震度」會以地動加速度的範圍來分級（表1）。地動加速度常常用「多少個g（重力加速度）」來表示，也常以gal（即cm/sec²）為單位（1g = 981gal）。

表1. 臺灣地震震度分級與對應地動加速度範圍

震度	地動加速度	
	單位：cm/s ² 或 gal	單位：g
0級	0.8以下	0.0008以下
1級	0.8 ~ 2.5	0.0008 ~ 0.0025
2級	2.5 ~ 8.0	0.0025 ~ 0.008
3級	8 ~ 25	0.008 ~ 0.025
4級	25 ~ 80	0.025 ~ 0.08
5級	80 ~ 250	0.08 ~ 0.25
6級	250 ~ 400	0.25 ~ 0.4
7級	400以上	0.4以上

屹立不搖已是神話？——漫談建築物耐震設計

耐震設計的概念：「小震不壞、大震可修、烈震不倒」

那麼一棟房屋該設計讓它能抵抗多大的地動加速度呢？於情，我們當然希望自家房屋任多大地震怎麼搖晃也不會倒；於理，它是一種買賣，付出多少成本，就得到多少代價；於法，建築是國家發展的基礎建設，必須規範一個起碼的耐震標準，給社會穩定的力量。而「耐震設計規範」就是基於這樣一個目的而生。臺灣耐震設計規範的精神和世界各國大同小異，並非製造「屹立不搖」的神話，而是秉持「小震不壞、大震可修、烈震不倒」的原則。

至於什麼是小震，什麼是大震，規範是以統計上的地震回歸周期來表示。對於使用年限為50年的建築物，「小震」是指回歸周期為30年或稱「30年一遇」的中小度地震，建築物有生之年八成會遇到，結構體必須能在這樣的地震中毫髮無傷；「大震」是指「475年一遇」的大地震，建築物一生中遭遇機會不高，如果真的遇到，損傷必須是無關緊要，而且震後可以修復；「烈震」是「2500年一遇」的罕見烈震，建築物一生中難得一遇，若不幸碰上，也希望建築物能「堅忍不拔」，就算嚴重損壞也不能倒塌。姑且將「475年一遇」的大地震視為建築物的耐震底線；對臺灣而言，它約略代表規模6.7至7.3的地震。

不同震區、不同的耐震需要

事實上，臺灣分為南北東西，地震規模對建築工程的意義不大，當地震感如何才是設計重點。

921集集地震發生前，臺灣在86年做了一次規範的革新，將全島劃分為地震一甲區、地震一乙區、地震二區及地震三區（圖2）。這4個區域對回歸周期475年的地震，考慮的地動加速度分別為0.33g、0.28g、0.23g與0.18g，規範稱為「震區係數」，媒體常以「耐震係數」稱之。前兩者對應的是震度6級，後兩者為5級。從圖2可看出，最高震區0.33g主要位於花蓮、嘉南一帶，這兩個地帶也是921地震前，各界認為較有可能會發生大地震的「一級戰區」。

只是人算不如天算。88年9月21日，車籠埔斷層引發規模7.3的集集地震，跌破了許多專家的眼鏡，也讓才實施2年的新規範有如被賞了一巴掌。從921地震的震度分布圖（圖3）發現，原本屬地震二區(0.23g)的南投、臺中一帶，都觀測到超過0.4g的地動，局部地區地動幅度甚至高達1g，為臺灣地震觀測史最高紀錄，也讓臺灣震度分級破天荒再增加一個級數（震度7級）。中部地區10萬戶房屋全倒與半倒，也引發各界對法定耐震度的疑慮。921地震的3個月後，為進行補救，耐震設計規範作了緊急修正，使臺灣幾乎所有地區的震區係數都調高了，近7成縣市都調為0.33g的最高震區（圖2）。

臺灣耐震設計規範在921地震後花了不少時間檢討，直到94年才拍板定案。在新版的規範中，大震區取消了，取而代之的是各個鄉鎮市自成一區；另一個重大變革，是考慮了軟弱地盤與近斷層對於地動的放大效應。也就是土壤軟弱的、接近法定活動斷層的建築，需要考慮的地動加速度也跟著提高。例如，在距離車籠埔斷層12公里外的硬地盤上蓋房子，需要考慮的地動最高達0.32g，這和緊急修正的地震甲區0.33g差不了多少，但如果建築蓋在距離斷層2公里內的軟弱地盤上，需要考慮的地動加速度就提升到0.47g。

總而言之，法定的建築物耐震能力，因地而異，並非「一視同仁」，而是「因材施教」，愈危險的地方，標準也就愈高。所以建築物雖然都是為「475年一遇」的地震而設計，但不同地區的建築物，法規也賦予不同的耐震能力。

規範只是低標，耐震需要自覺

很多人都把耐震設計規範當作是建築安全的護身符，但多數人或許不明白，規範有如「強制險」，所訂的是最低標準，只是個基本的保障。耐震標準如果「調高一度」，影響到的是整體社會龐大的建築成本，因此，如果沒有科學證據或災害地震的發生來證明規範不足，它不會被貿然修改。然而，我們大可自動自發，自掏腰包來「提高保障」，只是當更加的安全代表著更高的價格與更少的生活空間時，你會如何選擇？

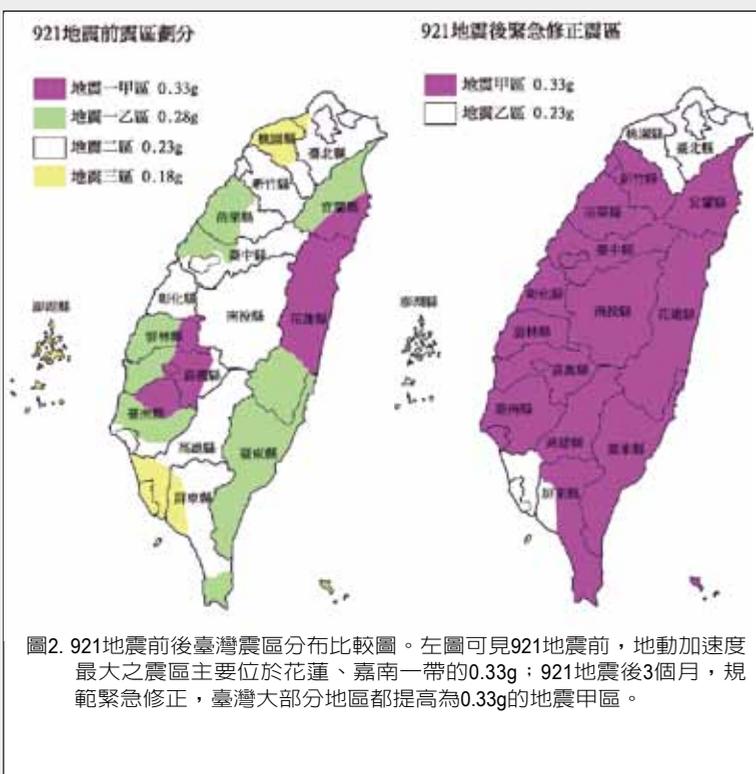


圖2. 921地震前後臺灣震區分布比較圖。左圖可見921地震前，地動加速度最大之震區主要位於花蓮、嘉南一帶的0.33g；921地震後3個月，規範緊急修正，臺灣大部分地區都提高為0.33g的地震甲區。

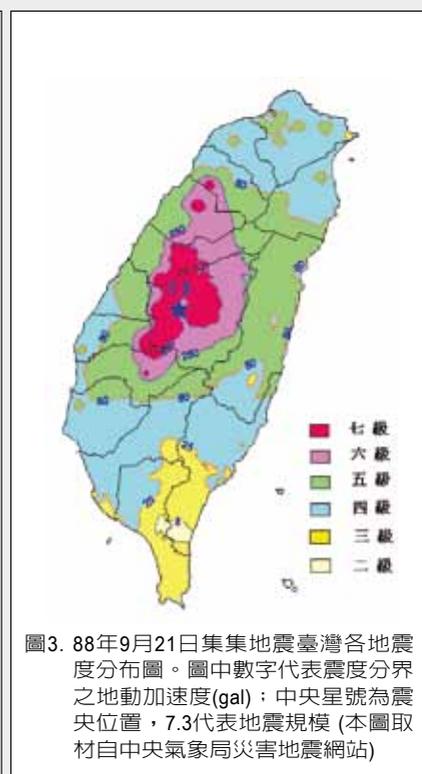


圖3. 88年9月21日集集地震臺灣各地震度分布圖。圖中數字代表震度分界之地動加速度(gal)；中央星號為震央位置，7.3代表地震規模(本圖取材自中央氣象局災害地震網站)