

# 科學圖書大庫

## 小型鋼筋混凝土建築物之耐震設計

譯者 侯邦義

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

小型鋼筋混凝土建築物之耐震設計

譯者 侯邦義

徐氏基金會出版

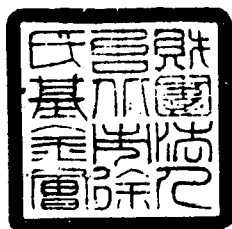
徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信

發行人 石開朗

# 科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國七十年十一月十六日初版

## 小型鋼筋混凝土建築物之耐震設計

基本定價 1.40

譯者 侯邦義 明新工專土木工程科副教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。 謝謝惠顧

局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱 13-306 號

電話 9221763  
9271575  
9271576

發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥帳戶第 15795 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號

電話 9719738

## 譯 序

地震與颱風同為台灣之重大天然災害，而地震之發生，迄今尚無法獲得類似颱風之早期預報以作事先之防範，所以震災之為害猶甚於颱風。至目前為止，減輕地震災情之唯一良策，厥為充分認識並正確應用建築物耐震設計之基本理論與設計方法。

根據 1971 年美國洛杉磯與 1968 年日本十勝沖地區所發生大地震（為美國與日本近年來所發生之最大者）之災情報告，發現總高度超過三十五公尺以上之高層建築仍屹立完好，但是三層至七層樓之中低層建築却發生慘重災情。是以建築物之規模雖小，但是其耐震設計之重要性，絕不在大型建築物之下。

本書為美國波特蘭水泥學會（Portland Cement Association, P C A）所出版，由 Arnaldo T. Derecho、Donald M. Schultz、與 Mark Fintel 三位先生所合著之 Analysis And Design Of Small Reinforced Concrete Buildings For Earthquake Forces。波特蘭水泥學會，和美國其他幾個與混凝土結構工程有關之主要學會——諸如美國混凝土學會（A C I）、預力混凝土學會（P C I）、混凝土鋼筋學會（C R S I）等，在學術研究方面皆具有相當之地位；所發表之各項論著，常被工程業界視為設計或施工之準則。

本書之三位原著先生，以精鍊之文筆，配合十餘則具代表性之計算實例，將小型鋼筋混凝土建築物之耐震設計理論與方法，作有系統之說明。著者更在各階段之論述中，一一引述建築設計規範中相關之規定，此點尤其符合設計工作者之實際需要。地震工程學所涉及之相關學門甚廣，固非一蹴即可窺其堂奧；但是以小型建築物耐震設計之基本原理而

言，本書確可稱為引導入門之最佳典籍，極宜作為大專同學與建築設計從業人員之參考書籍。

譯文中所引述建築規範之內容，雖仍沿用原書中所引用之美式規範，但筆者另將我國建築技術規則中相同主題條款之章節項次加註於後，以便讀者相互對照。同時，在附錄 C 中，特摘錄我國建築技術規則中有關耐震設計之條文，以供讀者印證參考。

筆者才疏學淺，雖悉力以赴未敢怠忽，惟掛漏錯誤恐所難免，深望先進高雅不吝賜教指正。

侯邦義 七十年三月

# 原 序

小型建築物在地震中所發生之生命與財產之損害程度，雖然較高大建築物所發生之損害程度為低；但是在一場地震所造成之總災情中，大部份却發生在小型建築物之上。所以，小型建築物之耐震設計，其重要性絕不在大型建築物之下。

經過正確設計之學校、公寓、辦公室、及其他各類型之鋼筋混凝土結構物，在近年發生之歷次地震中，都能經得起考驗。建築師和工程師們，長期以來始終對於建築物之耐震設計十分關切；尤其在最近二十年來，在耐震設計方面更有蓬勃之進展。地震反應之動力分析、在實驗室中進行試驗以觀測結構體在週期性非彈性變形情況下之行爲、以及在實際地震過程中觀察建築物之各種狀態等，諸如此類之研究工作，皆有助於我們對於與耐震設計相關之各項問題，能有進一步之認識與瞭解。

一般而言，大型建築物之耐震設計原則與耐震築造原則，均適用於小型之商店、修車廠、或住宅等之建築物。在小型建築物之耐震設計中，經常可採取某些安全之假設情況以替代精準之分析，而將設計過程予以簡化。

本書之目的，在作為小型鋼筋混凝土建築物耐震設計相關課題之入門書籍。書中概述與耐震設計有關之各項基本考慮因素、建議事項、以及建築物築造之施工規範等；期能設計並築造完成既安全且經濟之小型建築物。書中並列舉具代表性之各類實例，以詳細說明耐震設計之原則與步驟。

本書中所舉之各項論述與計算例，大部份是以美國劃一建築規範（1973 年）、與美國混凝土學會所訂之鋼筋混凝土建築規範（ACI 318-71）為基準。隨著地震工程學領域之日益開廣、學理之日益精

1/11/83/9

進，有關耐震設計之規範，預期亦將有若干之修訂。就上述二種設計規範而言，在本書付梓之際，已計劃進行部份之修訂。因此，各位讀者在應用本書所列舉之設計步驟時，請查考當時最新之設計規範，以採用各項適當之係數及其他各種細部之規定。

**ARNALDO T. DERECHO**  
**DONALD M. SCHULTZ**  
**MARK FINTEL**

# 目 錄

## 譯 序

## 原 序

## 第一章 地震與地震應力

- 1-1 概 述 ..... 1
- 1-2 結構體之延性 ..... 3
- 1-3 耐震設計 ..... 3

## 第二章 設計荷重與設計規範

- 2-1 概 述 ..... 8
- 2-2 底層剪力 ..... 8
- 2-3 底層剪力之分配 ..... 9
- 2-4 建築物中附屬局部建物所受之橫力 ..... 14
- 2-5 最小橫扭力矩 ..... 15
- 2-6 構材受力之分析 ..... 15
- 2-7 強度設計法所採用之載重係數與各類載重之組合 ..... 16

## 第三章 水平荷重之分配

- 3-1 概 述 ..... 18
- 3-2 變 形 ..... 18
- 3-3 由數個牆墩所組成牆身之變形 ..... 19

|     |                |    |
|-----|----------------|----|
| 3-4 | 相連接各牆之相對勁度     | 20 |
| 3-5 | 剛性中心與質量中心間之偏心距 | 22 |
| 3-6 | 例題一：水平荷重之分配    | 24 |

## 第四章 承重牆

|     |                 |    |
|-----|-----------------|----|
| 4-1 | 概 述             | 33 |
| 4-2 | 例題二：承受橫力之承重牆    | 34 |
| 4-3 | 例題三：具有開口之承重牆    | 37 |
| 4-4 | 偏心荷重之作用         | 38 |
| 4-5 | 例題四：偏心荷重作用下之承重牆 | 39 |

## 第五章 剪力牆

|     |            |    |
|-----|------------|----|
| 5-1 | 概 述        | 44 |
| 5-2 | 例題五：剪力牆之設計 | 44 |
| 5-3 | 牆墩 C 之設計   | 49 |

## 第六章 牆之細部規則

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 6-1 | 概 述          | 53 |
| 6-2 | 轉角與交接處之牆鋼筋配置 | 54 |
| 6-3 | 牆開口周圍之鋼筋補強   | 54 |
| 6-4 | 牆鋼筋之續接       | 55 |
| 6-5 | 牆身之施工縫       | 55 |

## 第七章 樓 版

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 7-1 | 概 述              | 57 |
| 7-2 | 例題六：無梁版作用為橫隔物    | 57 |
| 7-3 | 例題七：混凝土欄柵版作用為橫隔物 | 60 |
| 7-4 | 樓版鋼筋配置之細部規則      | 61 |

## 第八章 樓 梯

|                     |    |
|---------------------|----|
| 8-1 概 述 .....       | 64 |
| 8-2 剪力牆式之樓梯間 .....  | 64 |
| 8-3 韌性構架式之樓梯間 ..... | 65 |

## 第九章 基 礎

|                        |    |
|------------------------|----|
| 9-1. 概 述 .....         | 66 |
| 9-2 例題八：基礎壓力 .....     | 67 |
| 9-3 土壤之容許承壓力 .....     | 71 |
| 9-4 基礎之連繫 .....        | 71 |
| 9-5 例題九：利用底版連繫基礎 ..... | 71 |
| 9-6 例題十：利用地梁連繫基礎 ..... | 72 |

## 第十章 女兒牆與其他突出物

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 10-1 概 述 .....            | 74 |
| 10-2 例題十一：承受水平力之女兒牆 ..... | 75 |
| 10-3 例題十二：承受水平力之陽台 .....  | 77 |

## 附錄 A 承受撓曲與軸向荷重共同作用下斷面之相互作用 圖

|               |    |
|---------------|----|
| A-1 概 述 ..... | 81 |
| A-2 簡化法 ..... | 82 |
| A-3 例 題 ..... | 84 |

## 附錄 B 參考文獻 .....

90

## 附錄 C 中華民國建築技術規則中有關耐震設計之條文 .....

92

## 中英文名詞對照索引 .....

120

## 英中文名詞對照索引 .....

122

# 第一章 地震與地震應力

## 1-1 概 述

一場劇烈的地震，經常造成許多建築物之倒塌以及大量結構體之破壞。但是，根據地震災情報告所顯示，凡是依照適當之耐震設計標準所設計之結構體，均足以承受劇烈之地層運動而不致發生重大之破壞。對於鋼筋混凝土建築物而言，尤其是小型鋼筋混凝土建築物，只需增加極少量（甚至無需增加）額外之建築費用，即可達到上述耐震之要求。

地震的發生，是由於地層的水平向運動與垂直向運動所造成。在某些地震之記錄中顯示，二者運動之規模大約相同；但是以大多數之地震而言，其地層之水平向運動較垂直向運動要劇烈得多。同時，由於建築物在垂直方向具有極高之勁度，所以在耐震設計中通常並不考慮垂直向地層運動之影響。

最具有破壞性之地震力，是由地層運動中之水平向分量所造成。當一座建築物下方之地層突然向一側移動時，建築物本身則由於慣性作用而產生停留在其原始位置之趨勢。當然，這座建築物不可能停留在其原始之位置，以致發生扭曲。一座建築物在遭到地層運動時所產生之動態反應，具有一連串錯綜複雜之震動特徵；在近代之電子計算機發明使用以前，簡直沒有辦法進行此等反應之分析工作。

地震區域之地層運動強度，通常是以地層加速度（ground acceleration）做為測度之標準。當然，地層運動所具之潛在性破壞力，其決定因素並非僅有地層加速度一項；其他之決定因素包括：大振幅加速脈動之持續期間，地層運動之頻率特徵，以及建築物本身所具有之動力特性等。

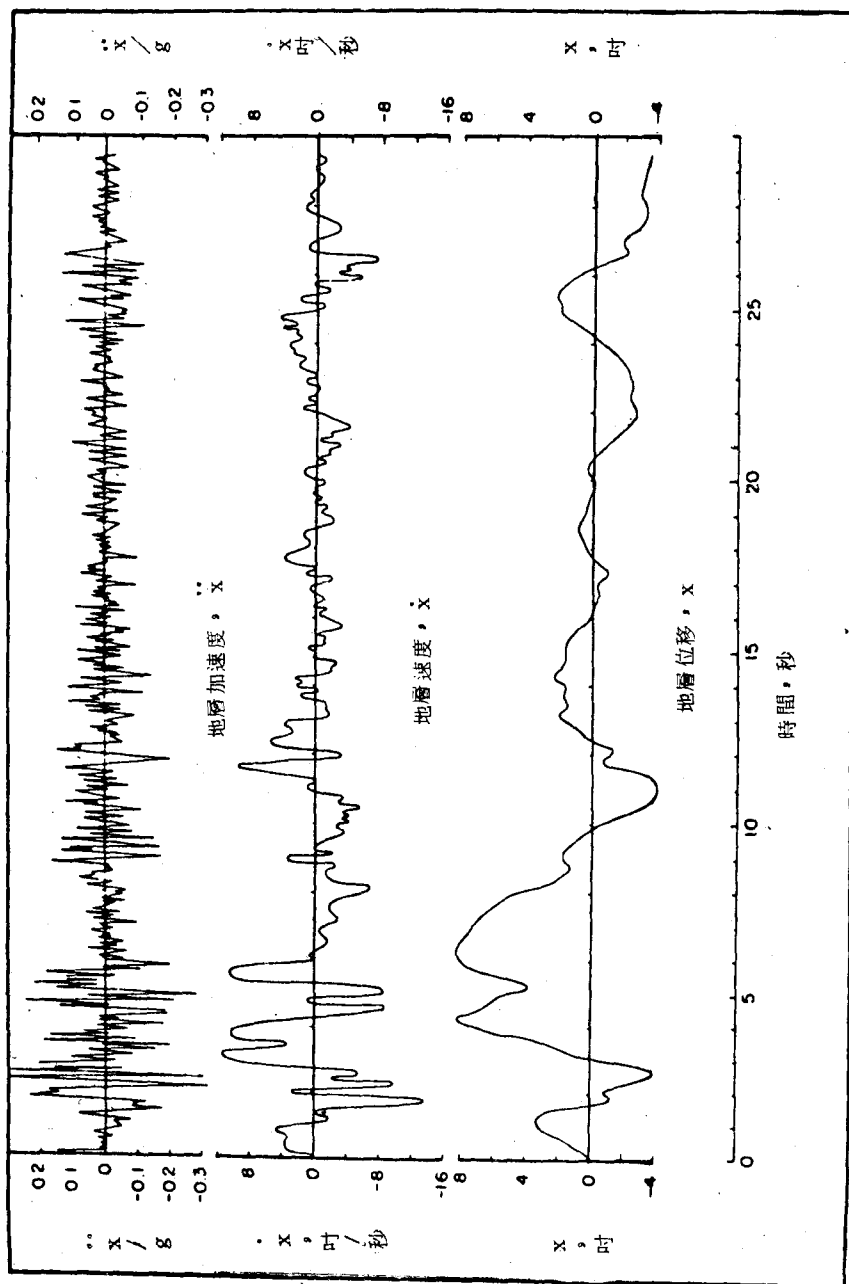


圖 1 1940 年 5 月 18 日美國加州文喬山卓地震加速度圖，南北向分量及相當推算出之速度與位移量。

## 1-2 結構體之延性

依據分析結果所示，一座建築物在遭到如同 1940 年 5 月 18 日在美國加州艾爾山卓 ( El Centro, Calif ) 所發生之地層運動時，將產生相當程度之非彈性變形。現行設計規範中所規定之設計地震力，約僅及建築物在上述艾爾山卓大地震中因彈性反應所發生者之四分之一。設計規範之所以僅規定如此低之設計地震力，其主要原因是由於：如果建築物具有足夠的能力在非彈性變形或減低振幅（或二者兼具）之過程中將地層運動所產生之能量予以吸收時，則仍足以承受如同 1940 年艾爾山卓所發生之強度地震而得以屹立不墜。所以設計規範規定，結構設計中僅准許採用最少量之延性，並假設結構體在遭到中度至強度之地震時已行降伏 ( yield )。所謂延性 ( ductility )，是指結構體歷經非彈性變形而其強度並未發生顯著減損之特性；通常利用延性率 ( ductility ratio ) 或延性係數 ( ductility factor )，表達結構體之延性，也就是結構體之最大變形量與其初期降伏變形量之比值，如圖 2 所示。

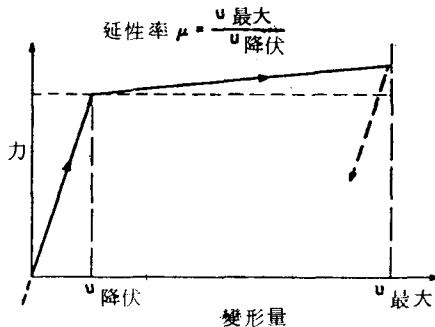


圖 2 延性率。

## 1-3 耐震設計

設計規範中所規定之地震力，是以靜力狀態作用於結構體，其形式

如同風力設計。設計橫力通常是以作用於結構體底層之總剪力  $V$  表示，該總剪力沿著結構體之垂直面予以分配。底層剪力之大小，決定於建築物所在地區之地震性質、建築物之型式、以及結構體之震動週期。有些設計規範中所規定之底層剪力計算方式，尚包括其他之係數，諸如視建築物使用目的而定之重要程度係數（importance factor，或稱用途係數）、視基地土壤性質而定之基礎係數（foundation factor）等。

在進行一般結構體之構件力系分析時，可採用各種衆所熟知之彈性構架分析法。但是如果結構體內包含具有相當深度之韌性構肢時，則應將剪力變形量計算在總變形量內。在進行高層構架式結構或構架與剪力牆合成式結構之分析時，可採用本書附錄 B 所列之第 6 項參考資料；如採用本書附錄 B 中第 7 至 12 項所列之電子計算機程式以進行高層結構之分析，當然更為便利。

由於地震過程中之地層運動可能沿着任何方向發生，因此所設計之建築物必須足以抵禦任何方向之地震橫力。由於地層運動中之水平向分量，可以分解為平行於建築物縱橫主軸線之二向分力；因此，慣常按照相互成正交之二個方向進行設計。大部份設計規範之規定，係假設沿着建築物縱橫兩向主軸線方向不可能同時發生地震之情況下，建築物應足以抵禦任何單向發生之地震力。

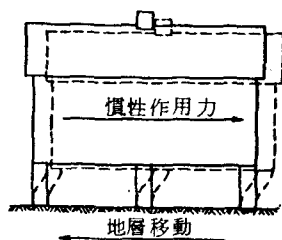


圖 3 地震對於座落在墩柱上方房屋所產生之作用狀況。

圖 3 所示，為地震對於座落在墩柱上方房屋所產生之作用狀況。墩柱底部必須隨著地震之移動而移動，並且將此移動之趨勢傳至其上方之建築物。由於從靜止狀態突然轉變為運動狀態，以致發生一股作用於上部主結構之慣性作用力，其方向與地層運動之方向相反。耐震設計之目的，即在於應付隨著此等慣性作用力而產生之變形。

如圖 3 所示之構造體，其於墩柱上方具有勁度甚高之牆，在此牆體

內可能發生大量之彎矩與剪力，因此在墩柱頂處必須具有高度之延性。在構造體之勁度、質量或幾何形狀發生不連續之處，若受及集中荷重之作用，則即使在靜力荷重作用下，亦將發生與上述相同之狀態。因此，此種類型之結構形態應儘可能予以避免。如果在主結構體之下部採用連續之基礎牆，則由於作用力並非集中作用於少數孤立之點，所以不致發生上述之狀態。

按照垂直荷重之比例計算而得之地震橫力，通常假設為集中荷重狀態作用於各樓層之樓面高度處，如圖 4 (a) 所示。

結構體內之牆與構架系統，必須足以抵禦地震橫力。與地震方向平行之內牆與外牆，其抵禦地震變形之強度與剛性程度，較與地震方向垂直之各牆高出甚多。就同樣與地震方向平行之各耐震構件而言；剪力牆所具有之剛性程度又較構架高出甚多，實際上前者甚至將全部地震橫力予以吸收。

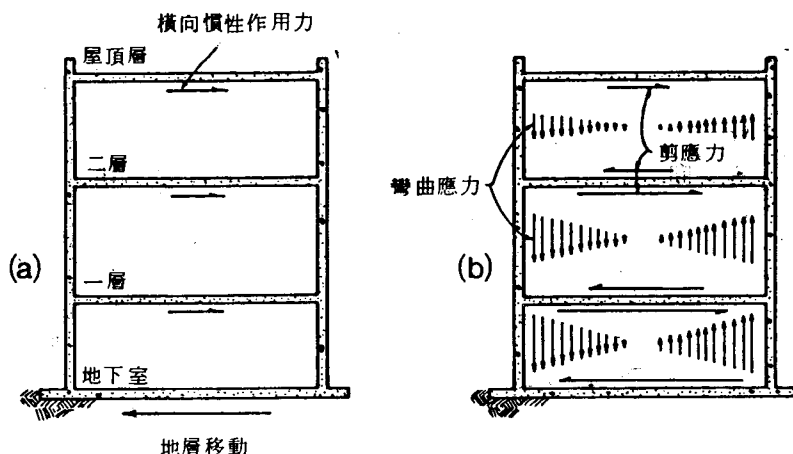


圖 4. 由於地層移動所產生之力與應力。

圖 4 (b) 所示，為剪力牆中地震應力之大小與分佈狀態之示意圖；此等應力之發生，是由逐層累積之地震橫力向垂直方向傳遞所造成。如果剪力牆之厚度保持不變，則牆內之剪應力與彎曲應力係隨著樓層之降

低而增高。

一座建築物之所有部份，其相互間均應具有足夠之繫結與支撐設施，使整座建築物能夠以一體之狀態發生運動。樓版與剪力牆應連通貫穿整座建築物，建築物中之開口應儘可能避免發生在外緣之轉角處。在配置建築物中之抗震構件時，如能令各剪力牆按對稱位置配置，或令建築物之質量中心 (center of mass, 亦即總橫力作用穿過之點) 與其剛性中心 (center of rigidity) 接近於重合，則最為理想；否則，必須將由於橫扭力矩 (horizontal torsional moment) 所產生之剪力併入考慮。

依據美國加州結構工程師學會 (Structural Engineers Association Of California, SEAOC) 所建議，以及美國劃一建築規範 (Uniform Building Code, UBC) 中有關抗震設計之規定：如剪力係經由構造體中之橫隔物傳至豎向支持物者，則此豎向支持物必須足以承受扭力矩，該扭力矩應為樓層剪力與該層最大尺度之百分之五之乘積。此項規定係為預防動態作用力作用於對稱形式之構造體時，所可能發生之意外偏心。在非對稱形式構造體之設計中，應實際計算構造體之質量中心與剛性中心間之偏心距。

圖 5 (a) 所示，為一座質量中心與剛性中心重合之建築物，於地震

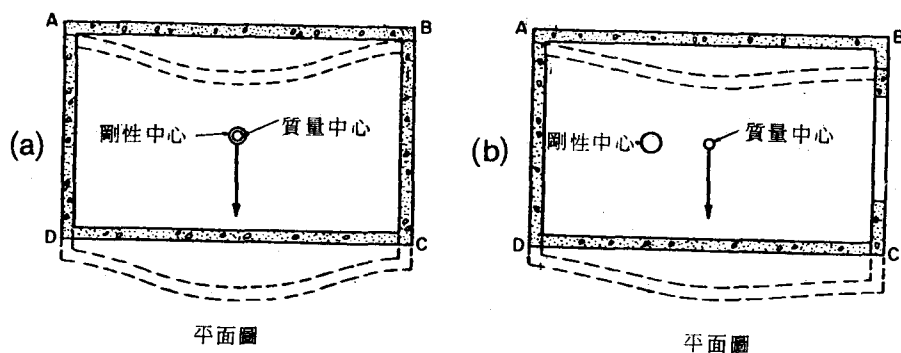


圖 5 建築物之橫向變形。

橫力作用時所產生變形之示意圖，其兩側外牆之變形量相等。如果令 AD 牆保持不變，而在 BC 牆中開口，則其剛性中心將向 AD 側移動；其質量中心雖然亦向同側移動，但其移動量小於剛性中心之移動量。則此建築物之兩側外牆將產生不等量之變形，如圖 5 (b) 所示，以致使 BC 牆中所產生之應力較 AD 牆中所產生者為高。

以建築物之立面配置而言，以使整座建築物保持同樣之高度為宜；儘可能避免造成高層建築物頂部退縮之形式，以免造成幾何形狀與勁度之不連續。以建築物之平面配置而言，以設計成四方形或接近於四方形之封閉形式為最佳，因其最易於形成對稱之支撐系統。當然，只要在正確之耐震設計下，非對稱形式之建築物亦同樣足以抵禦地震。

相鄰之二座建築物，或同座建築物中相鄰之二部份，如具有顯著不同之質量或勁度時，則彼此之間應保持足夠之隔離縫，使相鄰二者各自得以自由運動，以免在地震時發生相互碰撞之危險。隔離縫之寬度，應為按照規範規定之地震橫力所計算而得之最大水平位移量之 4 至 6 倍。隔離縫內可採用灰泥等易碎之材料。圖 6 所示，為此等隔離縫之設置方式；其設置位置應遍及整個相鄰之界線，並應從基礎直至屋頂。

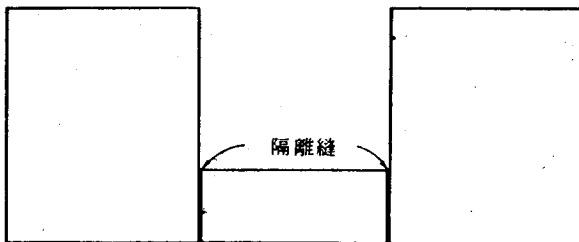


圖 6 相鄰建築物間之隔離縫。

地震之後時常跟著發生火災，而火災所造成之災情甚至較地震所造成者更為慘重。以此而論，具有高度耐火性之鋼筋混凝土，自然成為耐震建築物所適於採用之理想材料。