

# 耐震設計講義

第一回

504751-1



社團法 人 考友社 出版發行

# 第一講 地震原因與危害度分析

## ◎ 命題重點 ◎

### 壹、地震原因與彈性反跳理論

#### 一、地震原因

結構系統承受靜態及動態兩種載重作用，靜態載重如靜載重，活載重等長期載重，其大小易於掌握；動態載重則因其來源不同，且屬於短期激發而來；如風力，波動，車輛振動及地震等。台灣位處環太平洋地震帶之環節，因此地震力最為結構工程師所關注，但地球內部所發生地震的基本機構迄今仍未能完全了解，這些機構的理論甚至有互相牴觸的現象。一般而言，地震發生的原因可歸納如下五種。

##### 1.火山活動 ( Volcanic Activity )

目前，世界各地已知的活火山及死火山的位置和所測得地震活動頻繁區域有明顯相互重疊現象，而火山爆發引起地面的振動成為地震發生原因之一，但其規模及影響範圍相對於板塊運動所引發之地震要小得多。

##### 2.板塊運動 ( Tectonic Movement )

地球係由大小不等的板塊所組成，地球不停地運轉，在板塊交接處儲存了巨大的應力，當其超越界面摩擦阻力時，板塊互相錯動而引發了地震。其發生的機制和地殼的構造有關，全球絕大多數的地震都是由此種板塊錯動所造成。

##### 3.核子試爆 ( Nuclear Explosions )

核子試爆會產生地表振動，比如美國Benham核子試爆時，產生一相當於 $M=6.5$ 的地震，但核子試爆引起之地面振動特性和天然地震引起者不同。

##### 4.注射流體 ( Liquid Injection )

將液體注入地下會加速地震之發生。例如，1962年美國國防部在科羅拉多州丹佛市附近進行祕密武器研究時，產生許多廢水，因不敢隨意排放而偷偷地打了深井，用高壓將廢水打到地底深處。這一來，過去從未發生

地震的丹佛市，便時常受到微小地震的侵襲，而造成災害。

## 5. 水庫興建 (Large Reservoir)

興建大型水庫會增加該地區發生地震之可能性，例如在印度Koyna興建水庫，引起1967年12月10日的Koyna地震 ( $M=7.5$ )。通常隨水庫水位的升高，地震發生的頻率及規模也隨著加大，主要成因係水庫的水滲到地底岩盤裂縫中產生了潤滑作用，再加上蓄水的重壓，造成岩盤滑動引發地震。

## 二、彈性反跳理論

### (一) 李德彈性反跳理論

1906李德 (H.F. Reid) 在舊金山大震後所進行的研究中發現，加州聖安地列斯斷層 (San Andreas Fault) 所通過的數百公里路線上，無數圍籬、道路只要橫跨該斷層，皆發生與斷層線平行的錯動，距離大者達6公尺之多。此外，從地震前後所作的大地測量資料也發現斷層兩側的地面，有沿斷層線方向變形和切斷的現象。李德根據這些觀測而提出「彈性反跳理論」 (Elastic Rebound Theory)，說明地震的成因 (圖 1-1)。依該項理論，當斷層兩側岩體發生平行反向微量移動時，接近斷

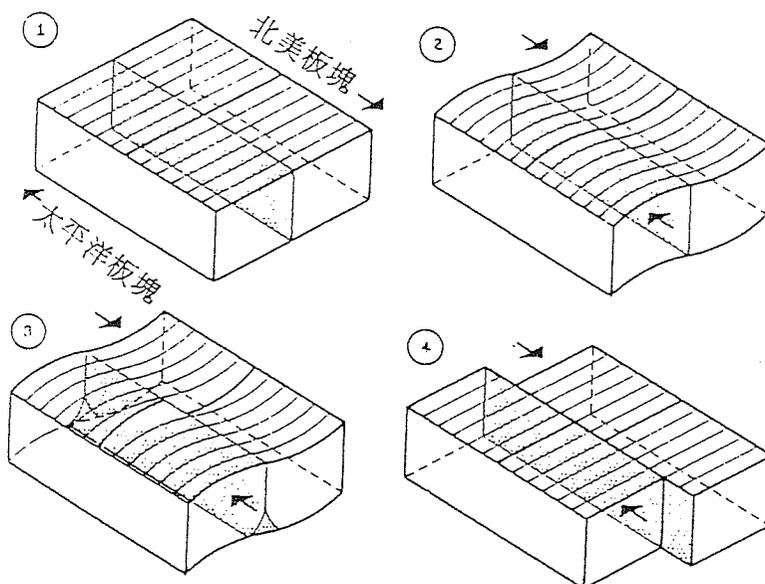


圖1-1 描述地震發生過程之彈性反跳理論

層岩石處產生應變，儲存彈性能，一旦應力超過斷層的摩擦阻力，斷層即由最脆弱處崩潰而開始滑動，此點即稱為震源（Hypocenter）。震源可能接近地表，也可能在地下深處。從震源開始斷層的斷裂滑動迅速的擴大至斷層面上其他部份，在斷層滑動之前兩側岩體互相施加於對方之應力就在此時突然猛烈的釋放，斷層兩側的岩體趁此反彈至平衡位置，此種地殼運動前後只需數秒的時間。「彈性反跳理論」自提出後已被普遍用來解釋各種地震的成因，結果與實際觀測相當吻合。

## (二)板塊構造與地震帶

### 1.板塊構造

依據板塊構造理論，地球表面之地殼係由太平洋、歐亞、印度、澳洲、北美洲、南美洲、非洲及南極洲等七大板塊所組成。另外尚有一些較小的板塊，如菲律賓海板塊、可可板塊…等。台灣即位於歐亞板塊與菲律賓海板塊相互擠撞的地方，因而地震不斷。圖1—2說明地球上主要板塊的相對位置，其中箭頭表示各板塊移動方向。

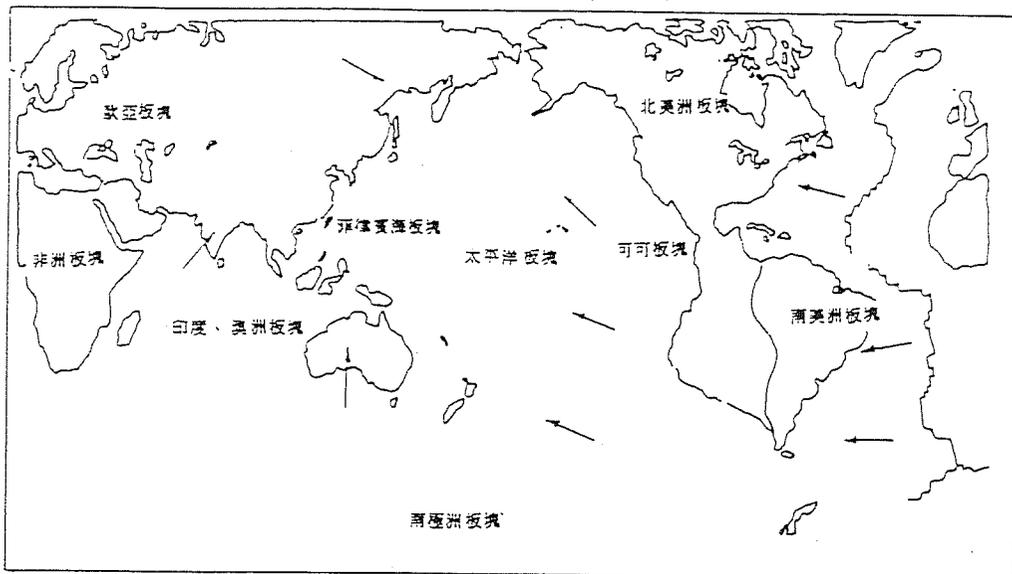
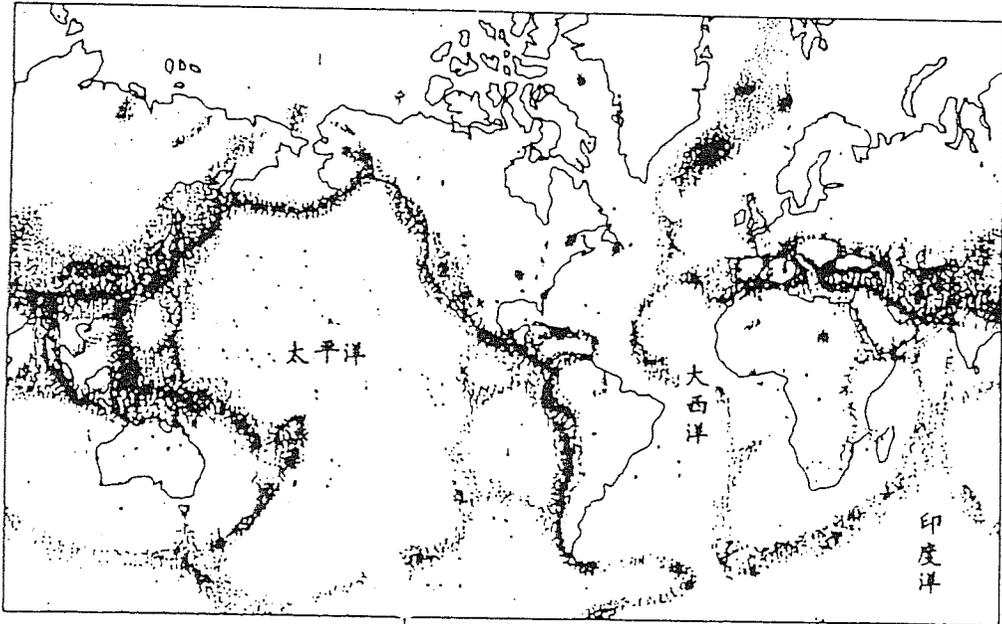


圖1-2 地球主要板塊的相對位置及其移動方向

## 2.地震帶

如前所述由於地球不停運轉，板塊之間會相互地運動。因此，板塊交接處是地震活動最頻繁的地區，呈帶狀分佈，稱為地震帶。根據過去地震的活動紀錄，印證了此一觀點的正確性。就地震學的觀點而言，地球表面可分為下列三個主要地震帶如圖1-3：



\* 本圖取材自：A. Holmes, Principles of Physical Geology,  
3rd Edn, Van Nostrand Reinhold, 1978.

圖1-3 全球發生過之地震分佈圖

### (1)環太平洋地震帶

「環太平洋地震帶」所發生之地震次數約佔全球地震總數的68%以上，它的範圍，包括太平洋四周的南、北美洲西岸、阿留申群島、千島群島、日本列島、琉球群島、台灣、菲律賓群島、馬里亞納群島、新幾內亞、美拉尼西亞、紐西蘭等地區、台灣就是位於這個地震帶上，地震至為頻繁。

### (2)歐亞地震帶

「歐亞地震帶」所發生之地震次數約佔全球地震總數的21%左右，它

的範圍包括歐亞兩大洲的南緣地帶，西起葡萄牙，向東經義大利、南斯拉夫、羅馬尼亞、希臘、土耳其、伊朗、巴基斯坦、俄屬中亞至我國的新疆、西藏、雲南再延伸至緬甸、蘇門答臘、爪哇，最後與環太平洋地震帶相會於新幾內亞。

### (3)海洋洋脊地震帶

如大西洋、北極海、印度洋及東太平洋之洋脊或海嶺地區，都有比較狹窄的地震帶；這些地區所發生的地震次數約佔全球地震總數的11%。

## 貳、地震危害度分析

### 一、前言

地震的發生迄今尚無法準確地作長期預測。然而，對結構物而言，在預期的使用年限內，究竟會遭受到多大的地震作用？則需就結構物所在地及其相關區域內地震活動的情形，依據震源規模的大小及發生頻率等因素作危害度分析。亦即需探究與工址相關區域內斷層的活動程度及頻率。據以估算在結構物使用年限內可能發生某一等級地震之機率，並根據該結構物之重要性，訂定可接受超過該等級地震之危害度，作為耐震設計的考慮。在設計規範中一般是以震區係數 $Z$ 來考慮危害度。

傳統的地震活動調查，主要是了解工址及其附近區域曾發生過的地震情形，將過去發生過最強烈的地震（或更保守的預測）作為設計地震。這個方法最大的缺點是完全不考慮地震發生率的差異。比如對同一地點而言，如兩個相同結構物有不同使用年限，顯然使用年限長者較短者遭受地震危害的可能性要高。另外，對不同地點而言，如果甲、乙兩地曾發生的最大地震規模相同，但甲地較乙地發生的更頻繁，則兩地設計地震力應有所不同。這兩種情形以傳統方法作地震活動調查時都無法直接考慮，最多只能直覺地作經驗式的提高或降低設計地震力。因此在工程設計上考慮地震發生率的差異，而以機率觀念為基礎的地震危害度分析，有絕對的必要性。

### 二、危害度風險評估之步驟

一般危害度風險評估主要步驟如下：

- (1)地震分區：根據過去的地震活動資料，地質的構造與板塊運動的特性將工址附近的一定範圍內（視結構物重要性而定，一般約200km內）分成數個震源區以利分析，各分區之地震活動須性質相近。台灣過去

之研究，係以發生過規模5.0以上之震源作為將來可能對工址有影響之震源，總數約有570個。

- (2)建立危害度分析模式：研究地震規模與再現頻率的關係。
- (3)訂定該地區的衰減律（Attenuation Law）
- (4)計算危害度曲線。
- (5)決定最終的危害度曲線：依可靠程度給(4)所得之各曲線不同的合理權值，平均後得到最終之危害曲線。
- (6)決定設計最大地表加速度值（PGA）。

以上各項均須由具經驗之專家參與研討決定，其中(2)(3)(4)(6)項參閱以下敘述。

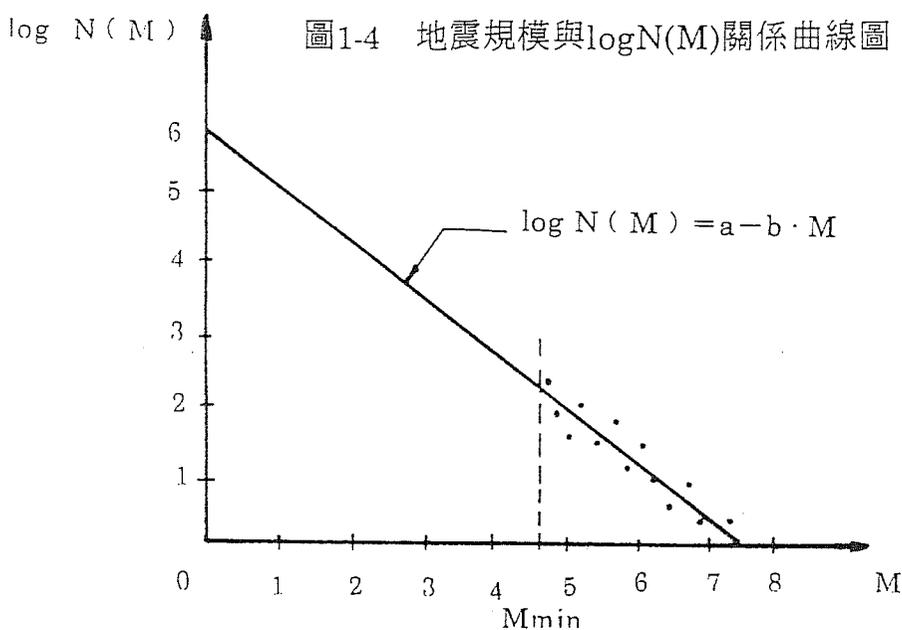
### 三、危害度分析模式的建立

#### 1.迴歸分析法

如果某一地區對於規模 $\geq M_{min}$ 之地震有完整的紀錄。將其逐年記錄之地震規模 $M$ 依小而大之順序排列，並以 $N(M)$ 表示，地震規模大於或等於 $M$ 之次數，則依Gutenberg-Richter所建議， $M$ 和 $N(M)$ 可表示成如下之關係式

$$\log N(M) = a - bM \quad (1-1)$$

其中 $a$ 、 $b$ 為迴歸係數（Regression Coefficients），因地區地震特性而異。參閱圖1-4



如果我們假設該地區之地震均勻地活動 ( Uniform Seismic Activity in Time )，亦即

$$T_1 / T_2 = N_1 / N_2 \quad (1-2)$$

其中 $T_1$ 為有地震紀錄期間， $N_1$ 為該期間內地震規模 $\geq M$ 之發生次數，則吾人可推測任何一研究時段 ( Study Period )  $T_2$ 內地震活動之狀況。經由公式 ( 1-1 )、( 1-2 ) 我們可推得

$$\begin{aligned} \log N_2 &= \log N_1 + \log ( T_2 / T_1 ) \\ &= a_1 - b_1 M + \log ( T_2 / T_1 ) \end{aligned} \quad (1-3)$$

假若令 $N_2=1$ ，則 $T_2$ 稱為對應於地震規模 $M$ 之平均回歸期 $T_r$  ( Mean Return Period )

$$\log T_r = \log T_1 - ( a_1 - b_1 M ) \quad (1-4)$$

## 2. 年度最大值法 ( Method of Yearly Maxima )

對某些地區而言，過去的紀錄往往只記載每年最大的地震。因此，如採用每年最大地震值去作統計分析，資料來源較為可靠，分析結果可信度亦較高。此法之統計模式及分析步驟敘述如下：

統計模式：年度最大地震規模可表示成Gumbel機率分佈

$$G(M) = \text{Prob} \{ \text{地震規模} \leq M \} = \exp \{ -\alpha e^{-\beta M} \} \quad (1-5)$$

其中， $\alpha$ 、 $\beta$  = 迴歸係數 ( 和地區地震活動有關 )

$M$  = 地震規模

如此，則地震規模超越 $M$ 之機率 $R(M)$ ，或稱危害度 ( Risk ) 為

$$R(M) = 1 - G(M) \quad (1-6)$$

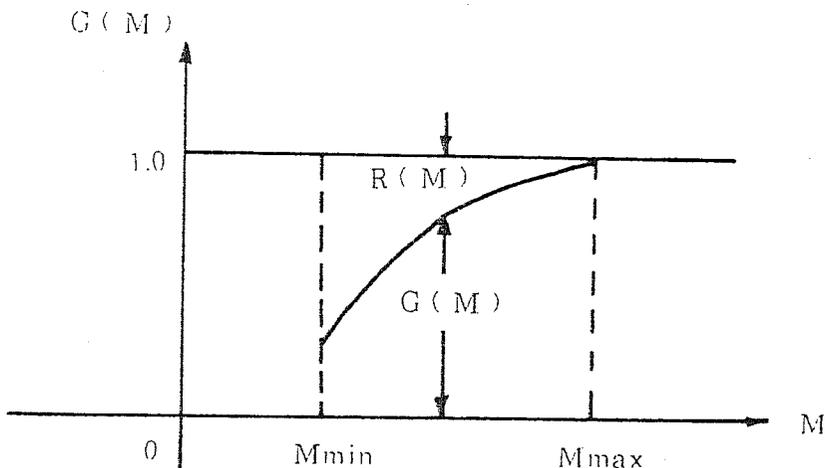


圖1-5 地震規模與 $G(M)$ 關係曲線圖