

## 第三章 強地動特性

### 3.1 前言

中央氣象局於 1990 年 7 月起積極執行為期六年之「強地動觀測計畫」，至今已先後於臺灣地區設置了 631 個自由場強地動觀測站。在此次 921 集集地震中，經由中央氣象局所設置的自由場強地動觀測站共收集到 392 筆地震紀錄。尤其是在斷層破裂區域甚至沿斷層線收錄到十數筆近斷層地震資料，使得全世界之近斷層強地動紀錄增加數倍，更是彌足珍貴。中央氣象局自由場強地動觀測網於此次地震所收錄的加速度波形，將由中央氣象局燒錄成光碟分送各地。

國科會於震後成立 921 地震勘災小組，由國家地震工程研究中心統籌整個勘災作業，其中強地動調查小組負責收集自由場強地動紀錄，並進行初步分析處理，包含各測站之地動加速度歷時圖、富氏頻譜與結構反應譜。有關此次地震於台灣中部近斷層地區、台北盆地與宜蘭盆地引致的地動特性描述，可參閱 921 地震勘災「強地動調查小組」的調查報告[2.1]。

本文則針對此次地震所收錄之強地動資料，進行地震危害度與近斷層地震力需求的研究分析，並落實於耐震設計規範中有關地震力的修訂。

### 3.2 台灣地區震區劃分與台北盆地正規化反應譜

考慮台灣地區西部麓山帶第一類主要活動斷層之影響，將斷層兩側 50 公里範圍內之地震均視為斷層關連地震，而車籠埔斷層則參考此次集集地震之規模估算其發生率，重新進行台灣地區全島地震危害度分析。

目前台灣使用之地表最大加速度衰減律公式為

$$PGA(g) = 0.02968 \times e^{1.20M} \left( R + 0.1464 \times e^{0.6981M} \right)^{-1.7348} \quad (2.1)$$

其中  $R$  為工址至斷層面之最短距離，而  $M$  為地震規模。衰減律公式與此次 921 集集地震( $M=7.3$ )強地動資料之比較結果如圖 2.1 所示，發現(2.1)式仍可保守估算如此大規模地震之近斷層衰減趨勢，故建議繼續沿用而不需作任何修正。

危害度分析沿用現有之衰減律公式,分析結果繪出 475 年迴歸期之 PGA 等震度圖如圖 2.2 所示。基於此等震度圖,並考量潮州斷層之存在事實,台灣地區震區劃分之修訂建議如圖 2.3 所示。其中地震甲區為紅色區域,其震區水平加速度係數為  $Z=0.33g$ ;而地震乙區則為黃色區域,其震區水平加速度係數為  $Z=0.23g$ 。

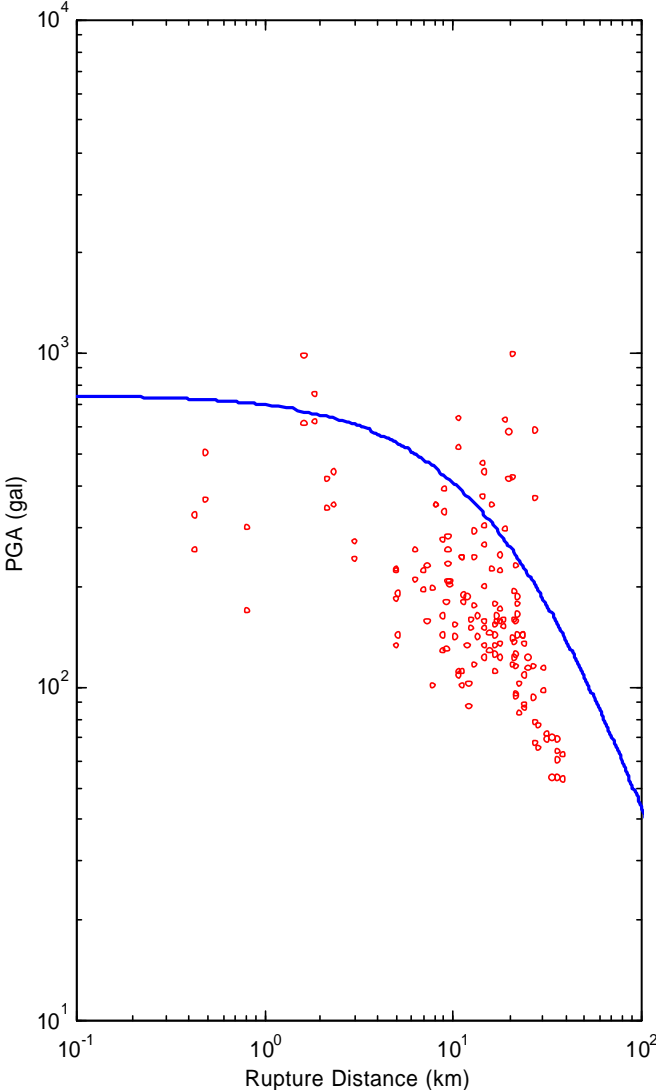


圖 2.1：近斷層 PGA 衰減趨勢與現有衰減律公式之比較

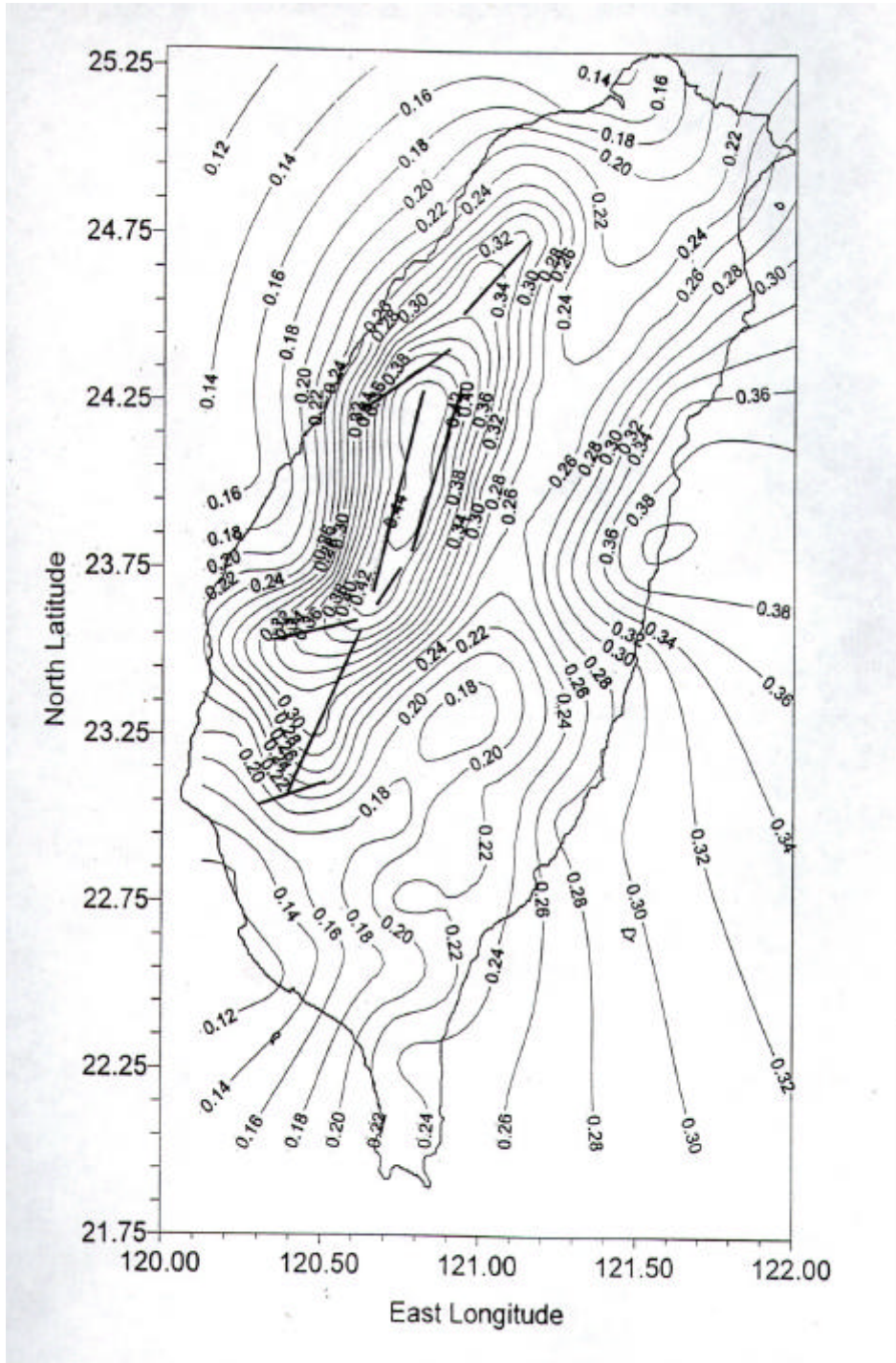


圖 2.2： 475 年迴歸期之 PGA 等震度圖

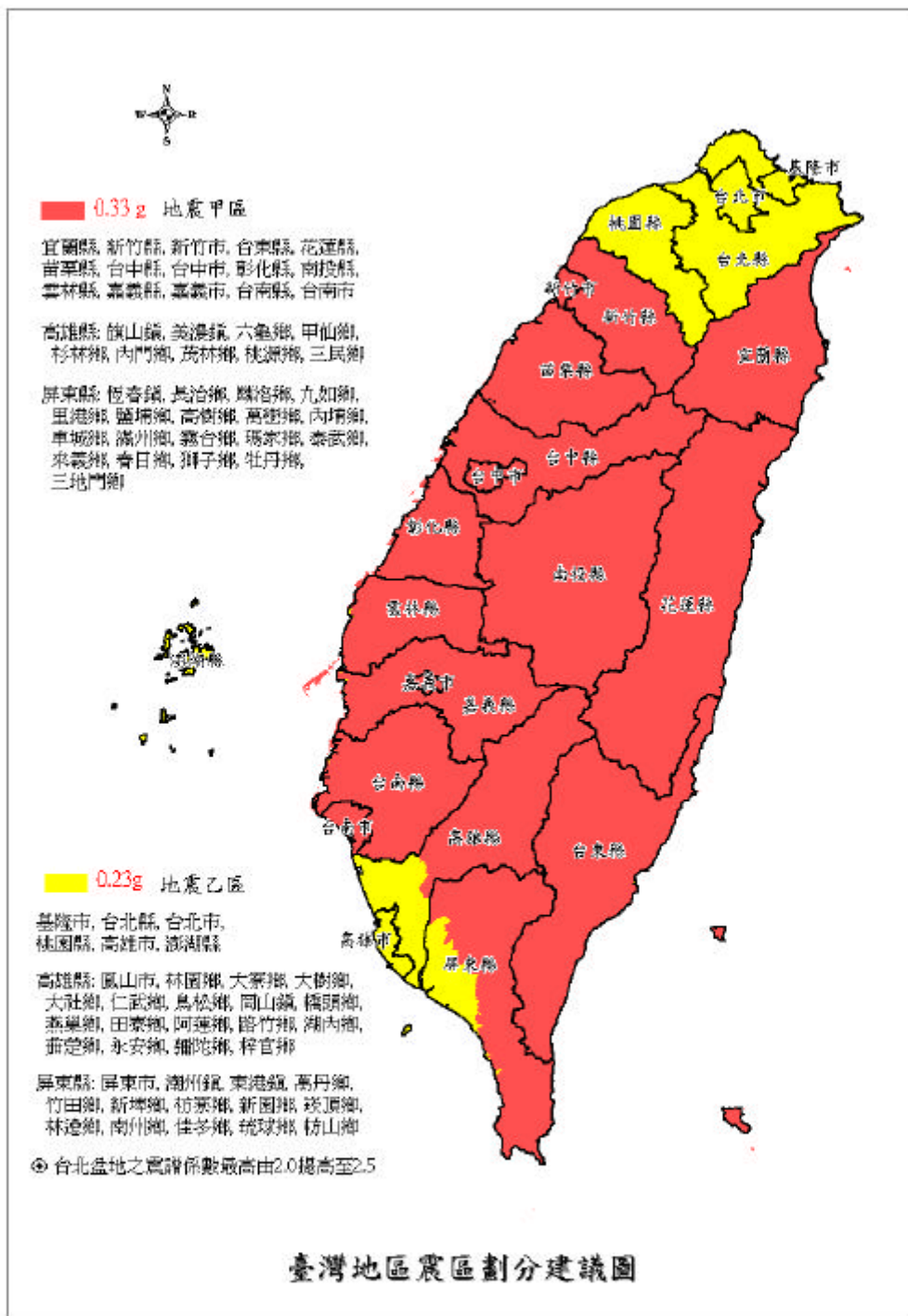


圖 2.3：台灣地區震區劃分建議圖

另一方面，根據台北盆地內各強震網站於此次 921 集集地震收錄的強地動資料，計算各測站之正規化反應譜並加以平均，平均值與一個標準差如圖 2.4 之藍色實線所示。圖 2.4 中亦以紅色虛線描繪出現有建築耐震設計規範之正規化反應譜，兩相比較發現，台北盆地短週期反應譜係數(等加速度平台)之規範值( $C=2.0$ )無法達到結構耐震的需求，而在中週期部分卻可適當反應實際結構反應。故建議將台北盆地正規化結構設計反應譜中之短週期平台由現有之  $C=2.0$  提昇至  $C=2.5$ ，使至少滿足實際結構反應之平均需求，並與其他地盤種類之短週期平台一致；而中週期部分則維持為  $C=3.3/T$ ，保有結構週期 1.65 秒時正規化反應譜係數  $C=2$  之現況。修正後之台北盆地正規化反應譜如圖 2.4 之黑實線所示，其中短週期與中週期之分界為  $T=1.32$  秒，而較短週期 ( $0.03 \text{ 秒} \leq T \leq 0.2 \text{ 秒}$ ) 之線性變化公式為  $C=8.823T+0.735$ 。

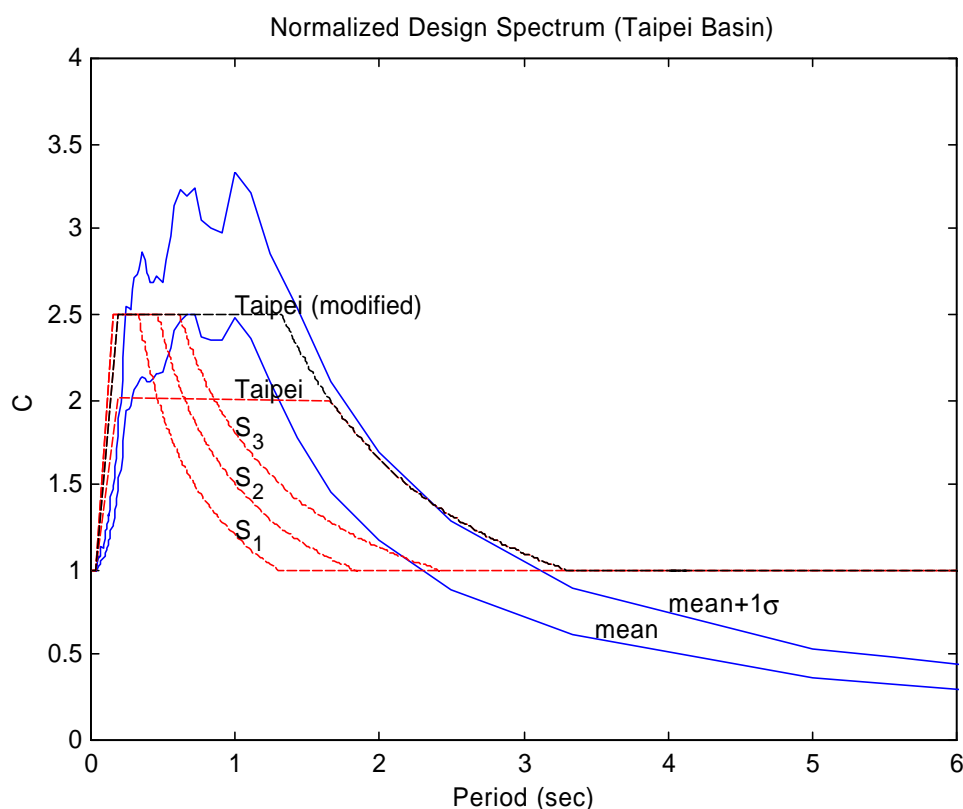


圖 2.4：台北盆地正規化反應譜需求與規範修訂建議

### 3.3 近斷層設計地震力

考量近斷層對短週期與中、長週期結構的威脅性，可比照美國 UBC97 之對策，針對車籠埔斷層附近之地震甲區( $Z=0.33g$ )，定義近斷層因子  $N_A$  與  $N_V$ ，修正第一類地盤的水平向加速度正規化設計反應譜。

首先根據 921 集集地震各測站測得之強地動資料計算結構反應譜，平均求得結構週期在 0.3 秒附近之譜加速度平台(以  $S_{A,0.3}$  表示)，並針對中週期區段藉由  $S_A(T)=S_{A,1.0}/T^{2/3}$  之譜加速度公式，平均求得  $S_{A,1.0}$ 。接著，再根據各測站與地表斷層破裂線的最短距離( $r$ )，回歸求得規模為 7.3 之斷層破裂引致之最大地表加速度與短、中週期結構譜加速度之衰減公式，滿足

$$\begin{aligned} PGA \text{ (gal)} &= 7.7986 - 0.9526 \ln(r^2 + 6.0^2)^{0.5} \\ S_{A,0.3} \text{ (gal)} &= 8.4867 - 0.8249 \ln(r^2 + 6.0^2)^{0.5} \\ S_{A,1.0} \text{ (gal)} &= 7.9617 - 0.8077 \ln(r^2 + 6.0^2)^{0.5} \end{aligned} \quad (2.2)$$

其衰減趨勢則如圖 2.5 所示。

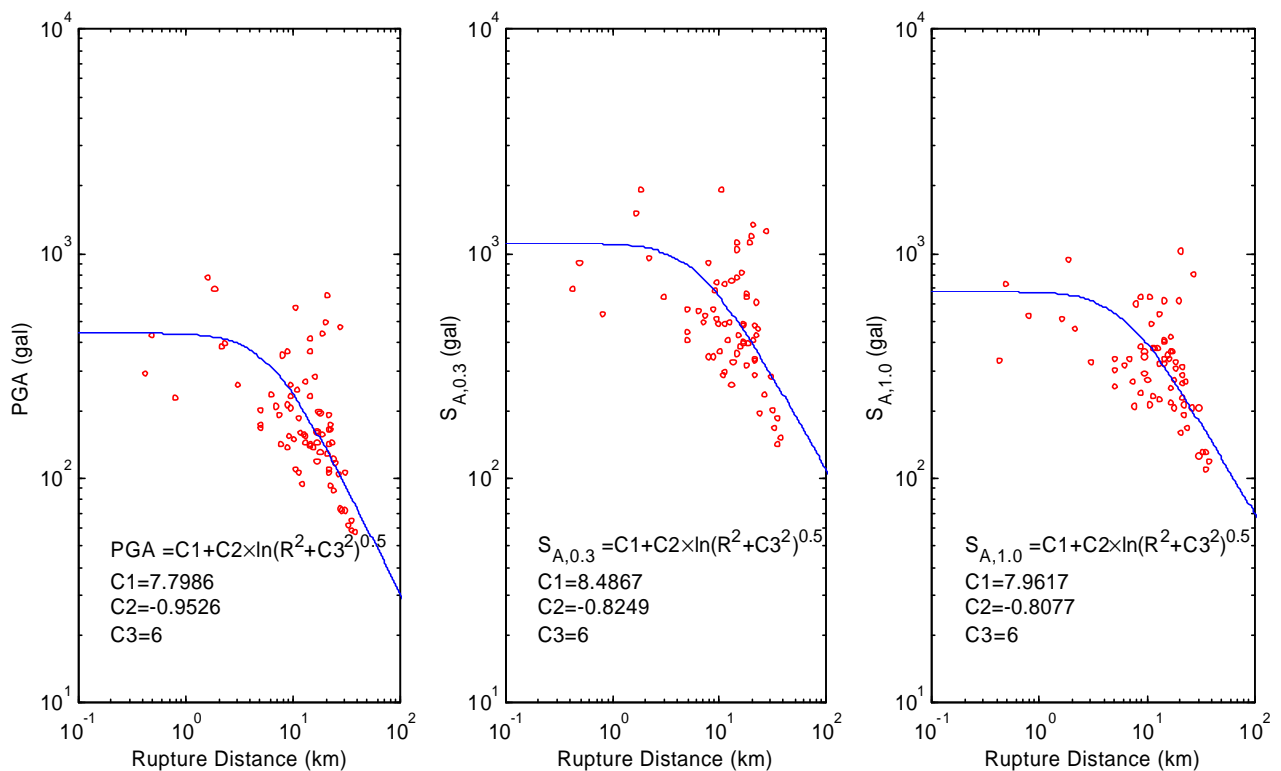


圖 2.5：PGA 與譜加速度  $S_{A,0.3}$ 、 $S_{A,1.0}$  之衰減趨勢

配合現行耐震設計規範的震區係數(地震甲區： $Z=0.33g$ )，與正規化反應譜係數( $C_{T=0.3}=2.5$ 、 $C_{T=1.0}=1.2$ )，位於近斷層第一類地盤的結構耐震設計需求應滿足

$$\begin{aligned}
 PGA(r) &= \max[PGA(r), Z = 0.33g] \\
 S_{A,0.3}(r) &= \max[S_{A,0.3}(r), 2.5Z] \\
 S_{A,1.0}(r) &= \max[S_{A,1.0}(r), 1.2Z]
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

如圖 2.6(a)所示。因此，可針對近斷層區域，藉由(2.3)式分別定義 PGA、短週期與中週期譜加速度的近斷層因子( $\geq 1$ )，滿足

$$\begin{aligned}
 N_g(r) &= PGA(r)/Z \quad (\text{with } Z = 0.33g) \\
 N_a(r) &= S_{A,0.3}(r)/2.5Z \\
 N_v(r) &= S_{A,1.0}(r)/1.2Z
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

如圖 2.6(b)所示。由圖 2.6(b)發現，在距斷層 6 公里內，耐震設計規範不足以提供極短週期與短週期結構之耐震需求，必須分別藉由  $N_g(r)$  與  $N_a(r)$  兩近斷層因子予以提昇；而在距斷層 10 公里內，耐震設計規範不足以提供中週期結構之耐震需求，必須藉由近斷層因子  $N_v(r)$  予以提昇。同時，藉由  $N_v(r)$  與  $N_a(r)$  之影響範圍與提昇倍率，可驗證近斷層地震對中週期結構之衝擊遠大於短週期結構。

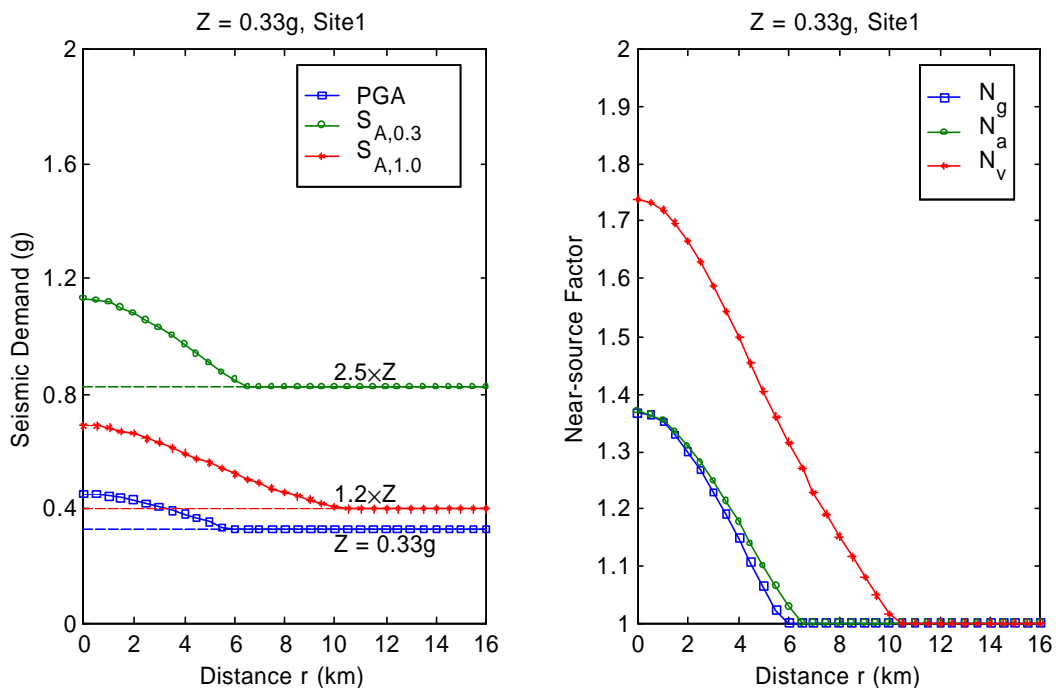


圖 2.6：(a)近斷層結構耐震需求與 (b)近斷層因子

因此，藉由耐震設計規範(地震甲區  $Z=0.33$ 、第一類地盤)與近斷層因子，距斷層不同距離之結構譜加速度需求可表示為

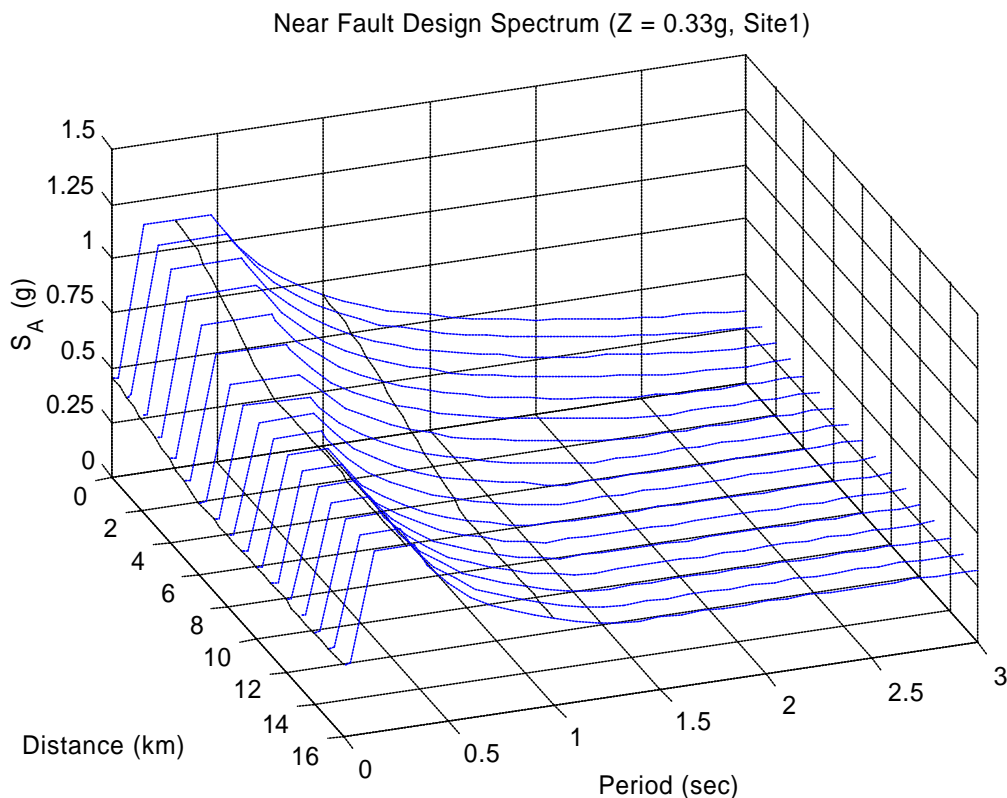
極短週期：	$T \leq 0.03$ 秒	$S_A(r,T)=ZN_g(r)$	
較短週期：	$0.03 \text{ 秒} \leq T \leq 0.15$ 秒	線性變化	
短週期：	$0.15 \text{ 秒} \leq T \leq T_1$	$S_A(r,T)=2.5ZN_a(r)$	(2.5)
中週期：	$T_1 \leq T \leq T_2$	$S_A(r,T)=1.2ZN_v(r)/T^{2/3}$	
長週期：	$T_2 \leq T$	$S_A(r,T)=Z$	

其中，短週期與中週期以及中週期與長週期的分界  $T_1$  與  $T_2$  滿足

$$T_1 = [1.2N_v(r)/2.5N_a(r)]^{3/2} \quad (2.6)$$

$$T_2 = [1.2N_v(r)]^{3/2}$$

藉由(2.5)、(2.6)兩式定義之近斷層結構譜加速度需求如圖 2.7 所示。



為便於規範定義與工程師查閱，特將圖 2.6(b)之近斷層因子每隔 2 公里予以定量，並將具有相同提昇倍率的  $N_g(r)$  與  $N_a(r)$  兩近斷層因子合併考量(圖 2.8)，使距斷層不同距離的近斷層因子建議值如表 2.1 所示：

距離(km)	$r \leq 2$	$r=4$	$r \geq 6$	距離(km)	$r \leq 2$	$r=4$	$r=6$	$r=8$	$r \geq 10$
$N_A$	1.34	1.16	1.0	$N_V$	1.70	1.50	1.30	1.15	1.0

表 2.1：近斷層因子建議值(線性內插求值)

UBC97 針對 A 類斷層定義之近斷層因子列於表 2.2，與表 2.1 比對發現，本報告之建議值與影響範圍均略小於 UBC97 之規範，故應可被台灣之工程師所接受。

距離(km)	$r \leq 2$	$r=5$	$r \geq 10$
$N_A$	1.5	1.2	1.0

距離(km)	$r \leq 2$	$r=5$	$r=10$	$r \geq 15$
$N_V$	2.0	1.6	1.2	1.0

表 2.2：UBC97 (A 類斷層) 之近斷層因子(線性內插求值)

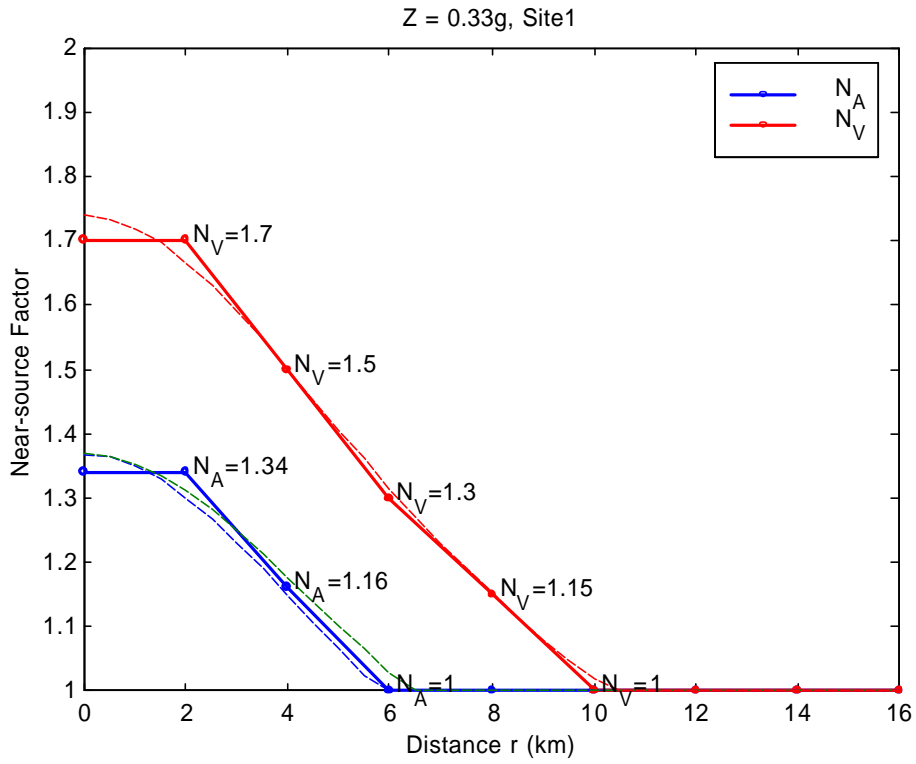


圖 2.8：近斷層因子建議值

因此，藉由表 2.1 之近斷層因子建議值，距斷層每 2 公里之近斷層正規化設計反應譜可定義為

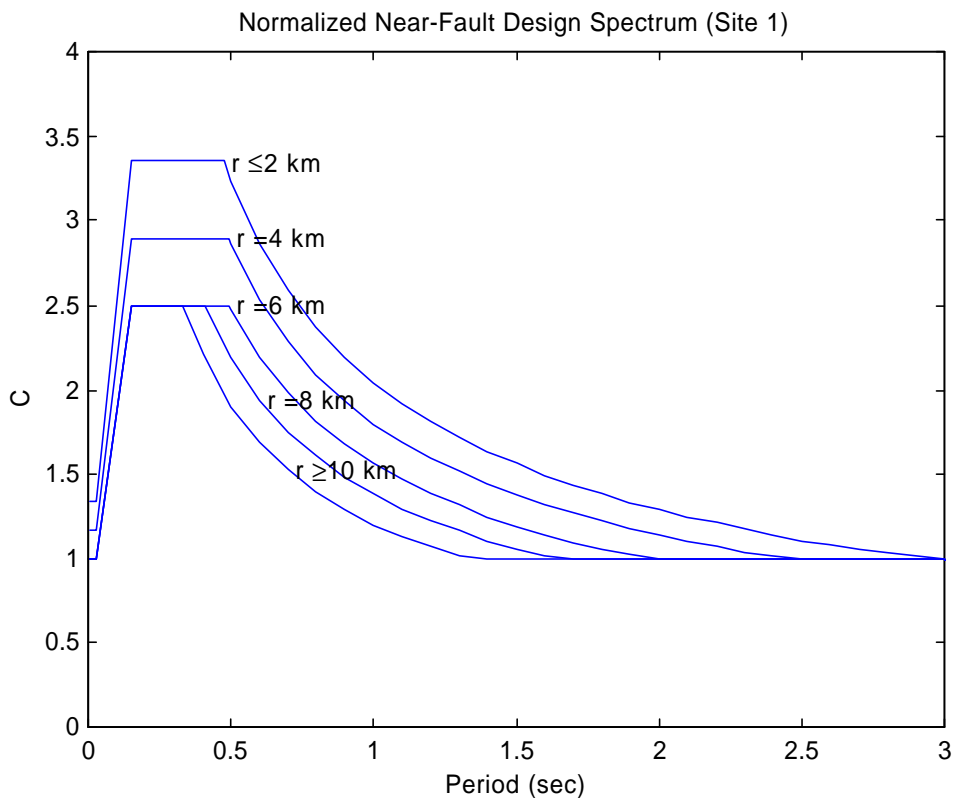
極短週期：	$T \leq 0.03$ 秒	$C(r,T)=N_A(r)$	
較短週期：	$0.03 \text{ 秒} \leq T \leq 0.15$ 秒	線性變化	
短週期：	$0.15 \text{ 秒} \leq T \leq T_1$	$C(r,T)=2.5N_A(r)$	(2.7)
中週期：	$T_1 \leq T \leq T_2$	$C(r,T)=1.2N_V(r)/T^{2/3}$	
長週期：	$T_2 \leq T$	$C(r,T)=1.0$	

其中，短週期與中週期以及中週期與長週期的分界  $T_1$  與  $T_2$  滿足

$$T_1 = [1.2N_V(r)/2.5N_A(r)]^{3/2} \quad (2.8)$$

$$T_2 = [1.2N_V(r)]^{3/2}$$

藉由表 2.1 與 (2.7)、(2.8)兩式定義，距斷層每 2 公里之近斷層正規化設計反應譜如圖 2.9 所式，當斷層距大於 10 公里時，則回復至現行規範標準，不再需要考量近斷層因素。



最後，考量基底剪力係數  $C/F_u$  ( $F_u$  為結構系統地震力折減係數，與系統韌性容量  $R$ 、結構週期  $T$  與地盤種類有關)。根據現行耐震設計規範，基底剪力係數依韌性容量  $R$  值等於 1.6、3.2 與 4.8 分別給予適當上限值  $\left(\frac{C}{F_u}\right)_m$  為 1.2、1.1 與 1.0， $R$  值不等於 1.6、3.2 與 4.8 的建築物，可內插求得  $C/F_u$  的上限值。因此，假設地震力折減係數  $F_u$  為結構固有特性而與斷層無關，則可在考慮近斷層效應時針對短週期結構，在距斷層 6 公里的範圍內，藉由近斷層因子  $N_A$  提昇基底剪力係數上限為

$$\left(\frac{C}{F_u}\right)_m = N_A \left(\frac{C}{F_u}\right)_{m,current} \quad (2.9)$$

針對不同韌性容量與距斷層距離，基底剪力係數上限定義如表 2.3 所示。

	$r \leq 2$ km	$r = 4$ km	$r \geq 6$ km
$R=1.6$	1.608	1.392	1.2
$R=3.2$	1.474	1.276	1.1
$R=4.8$	1.34	1.16	1.0

線性內插求值

表 2.3：近斷層基底剪力係數上限

針對地震甲區( $Z=0.33g$ )內之近斷層第一類地盤，可藉由表 2.1 與(2.7)、(2.8)兩式計算近斷層正規化設計反應譜係數  $C(r,T)$ ，再依據現行規範計算第一類地盤之地震力折減係數  $F_u(R,T)$ ，求得近斷層基底剪力係數，並依表 2.3 考慮其上限，計算結果如圖 2.10 所示。圖中，紅實線為近斷層設計基底剪力係數(虛線未考慮上限值)，而藍實線為未考慮近斷層效應之規範值(虛線未考慮上限值)。

另外，近斷層效應將引致極大之結構位移，故依本報告建議實施近斷層設計地震力完成結構設計後，應進行結構動力分析，檢核結構位移是否超過設計之韌性容量，以確保安全。

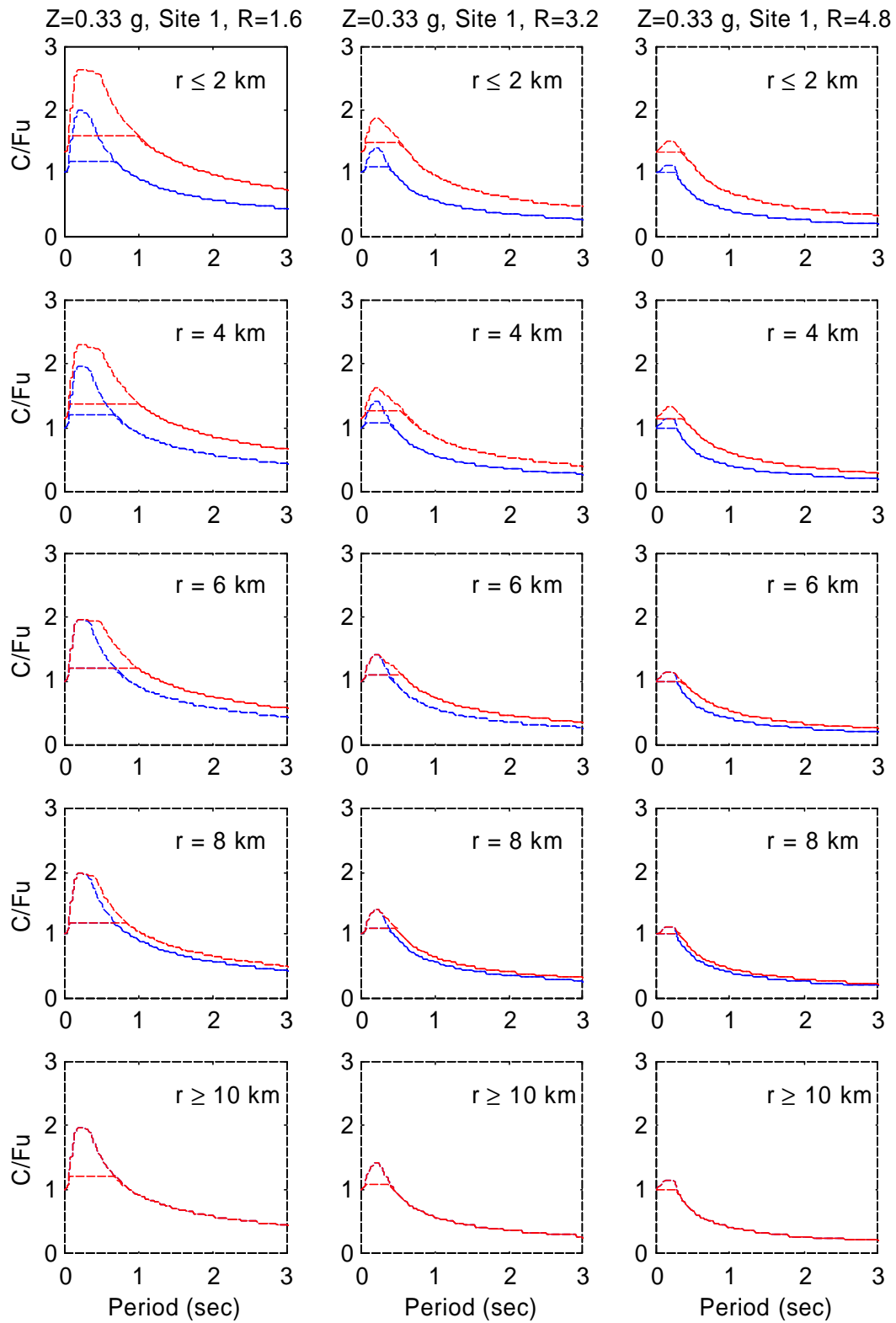


圖 2.10：近斷層基底剪力係數

### 3.4 討論與建議

#### 1. 沿用台灣現有之 PGA 衰減公式

$$PGA(g) = 0.02968 \times e^{1.20M} \left( R + 0.1464 \times e^{0.6981M} \right)^{-1.7348}$$

#### 2. 地震震度分級建議

目前中央氣象局依據強地動網站量測所得之 PGA 值，以等對數間距予以區分為六級，其中 PGA 值大於 250 gal 以上之地表搖晃程度全部歸屬於震度六級，然如此次集集地震般之大規模地震，其引致之地表加速度有許多地區已達 500 - 600 gal，甚至有高達 1g 以上者。因此，將 PGA 值大於 250 gal 以上之地表搖晃程度全部歸屬於震度六級，似乎過於粗略，也無法反應對建築結構的不同影響層級。因此，建議以 PGA 達 500 gal 為界線，增加震度七級，如下表所示。值得一提的是，此震度分級完全採用強震儀量測得之最大地表加速度為分級標準，至於結構物之破壞程度除了 PGA 值外還有其他因素必須考量，兩者間並無直接對應之關係。

現有震度分級		⇒	建議震度分級	
震度	PGA (gal)		震度	PGA (gal)
0	≤ 0.8		0	≤ 0.8
1	0.8 – 2.5		1	0.8 – 2.5
2	2.5 – 8.0		2	2.5 – 8.0
3	8.0 – 25.0		3	8.0 – 25.0
4	25.0 – 80.0		4	25.0 – 80.0
5	80.0 – 250.0		5	80.0 – 250.0
6	≥250.0		6	250.0 – 500.0
			7	≥500.0

#### 3. 加速進行中央氣象局強地動網站之土壤波傳性質量測計劃

由於中央氣象局自由場觀測站所處場址地盤之軟弱程度不一，致使震波在傳至基盤(或露頭)後，被深淺、軟弱不同之表土層放大，並改變其頻率內涵，再傳遞至地表被強震儀接收。若能正確扣除各測站之場址效應，則等震度線必能忠實反映出震源效應與路徑效應所應有之輻射圖案(radiation pattern)，以及測站與震源間之方位(directivity)效應。此不僅對正確推估該地震之震央、斷層機制、應力降與地震力矩等地震學上之相關課題有所助益外，亦有助於統計分析耐震工程上所需之硬地盤衰減律公式。藉由場址效應可判定地盤週期並提供為地盤分類之標準，同時，對境況模擬與震災損失評估亦有所貢獻。

#### 4. 台灣地區震區劃分建議

- 如圖 2.3 所示，將震區劃分為地震甲區( $Z=0.33g$ )與地震乙區( $Z=0.23g$ )
- 台北盆地之最大震譜係數(等加速度平台)由 2.0 提升至 2.5，而中週期部分則維持為  $C=3.3/T$ ，短週期與中週期之分界為  $T=1.32$  秒。

#### 5. 針對車籠埔斷層附近(地震甲區, $Z=0.33g$ )之第一類地盤實施近斷層設計

## 地震力

### □ 定義近斷層正規化設計反應譜

極短週期：	$T \leq 0.03$ 秒	$C=N_A$
較短週期：	$0.03 \text{ 秒} \leq T \leq 0.15 \text{ 秒}$	線性變化
短週期：	$0.15 \text{ 秒} \leq T \leq T_1$	$C=2.5N_A$
中週期：	$T_1 \leq T \leq T_2$	$C=1.2N_V/T^{2/3}$
長週期：	$T_2 \leq T$	$C=1.0$
$T_1=[1.2N_V / 2.5N_A]^{3/2}$ ; $T_2=[1.2N_V]^{3/2}$		

其中近斷層因子依距斷層距離定義為

距離(km)	r≤2	r=4	r≥6	距離(km)	r≤2	r=4	r=6	r=8	r≥10
$N_A$	1.34	1.16	1.0	$N_V$	1.70	1.50	1.30	1.15	1.0

線性內插求值

### □ 設定近斷層基底剪力係數上限： $\left(\frac{C}{F_u}\right)_m$

	$r \leq 2$ km	$r = 4$ km	$r \geq 6$ km
$R=1.6$	1.608	1.392	1.2
$R=3.2$	1.474	1.276	1.1
$R=4.8$	1.34	1.16	1.0

線性內插求值

### □ 結構動力分析檢核韌性容量

## 參考文獻

- 2.1 國家地震工程研究中心,「921 集集大地震強地動振動調查報告」, 1999 年 12 月。
- 2.2 葉超雄、洪思閩,「近斷層建築物設計地震力之研究」, 內政部建築研究所專題研究計劃成果報告, MOIS 881015, 1999 年 6 月。
- 2.3 SEAOC Blue Book, 'Recommended Lateral Force Requirements and Commentary' Sixth Edition, Structural Engineers Association of California, CA, 1996.
- 2.4 Uniform Building Code, ICBO, 1997.