

結合新型隱沒帶加速度衰減公式應用於地區災害防救計畫地震災害規模設定

鄭錦桐¹ 潘照芳² 鄭文賢³ 黃宗良⁴ 雷泰雄⁵ 張民昆⁵ 陶志偉⁶

¹中興工程顧問社研究員兼組長

²臺北市災害防救中心助理規劃師

³臺北市災害防救中心技正

⁴臺北市災害防救中心高級規劃師

⁵臺北市災害防救中心技士

⁶臺北市災害防救中心技佐

摘要

台灣位於菲律賓海板塊(Philippine sea plate)與歐亞大陸板塊(Eurasian continental plate)之碰撞帶上，菲律賓海板塊正以每年大約 74 公釐/年(mm/year)之速率，向西北西方向對著歐亞大陸板塊移動。在台灣東北部菲律賓海板塊隱沒到歐亞大陸板塊之下，但是在台灣南部歐亞大陸板塊卻俯衝到菲律賓海板塊下方，而在海洋板塊與大陸板塊的互相擠壓碰觸之下，使得台灣成為一個板塊構造異常複雜之地區。

近期的相關研究皆指出，活動斷層及隱沒帶引發之地震在學理上並不甚相同，例如強地動衰減理論便有其極大的差異性，如不以隱沒帶專屬之加速度衰減公式加以分析，則可能會有低估指定場址最大地表加速度之虞。新型隱沒帶(subduction zone)地震之加速度衰減公式考慮板塊介面型地震(interface earthquake)及板塊內部型地震(intraslab earthquake)等新型參數，亦有別於傳統舊式之加速度衰減公式，並未完全依照隱沒帶地震特性量身打造之特性。研究中亦使用適合地方政府地區災害防救計畫地震災害規模設定之迴歸期(return period)設計地震(design earthquake)假設，其理論基礎建築於靜態卜松過程(stationary Poisson process)之上，有別於最大可能地震(maximum credible earthquake)。

新版台北市政府地區災害防救計畫地震災害規模設定，跟隨地震學之最新進展採用新型隱沒帶(subduction zone)地震之加速度衰減公式，唯有藉著合理的地震危害度分析，如此才能夠達到因地制宜，避免有高估或低估地震危害度之情形。且真正評估符合各地之合理地震危害度，以達到經濟及安全兩者兼顧的目的，以利政府風險管理(risk management)及風險評估(risk assessment)。

關鍵詞：板塊介面型地震(interface earthquake)、板塊內部型地震(intraslab earthquake)、最大可能地震(maximum credible earthquake)、隱沒帶(subduction zone)、靜態卜松過程(stationary Poisson process)

一、前言

台灣位於菲律賓海板塊(Philippine sea plate)與歐亞大陸板塊(Eurasian continental plate)之碰撞帶上，菲律賓海板塊正以每年大約 74 公釐/年(mm/year)之速率，向西北西方向對著歐亞大陸板塊移動。在台灣東北部菲律賓海板塊隱沒到歐亞大陸板塊之下，但是在台灣南部歐亞大陸板塊

卻俯衝到菲律賓海板塊下方，而在海洋板塊與大陸板塊的互相擠壓碰觸之下，使得台灣成為一個板塊構造異常複雜之地區(Shih, 1978; 卜, 1973; 高, 1992; 許等人, 2000; 周, 1992)。

菲律賓海板塊自北緯23.5度開始隱沒至歐亞大陸板塊下方，板塊間相互之推擠碰撞也造成台灣本島之抬昇作用，而台灣地區地震之所以如此活躍，主要也是受到這兩個板塊間相互之碰撞運動所控制(潘, 2000)，尤其東北部菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之界面屬弱耦合(weakly coupled)，研究指出該區域易發生大規模地震(Cheng et al., 2010)，對台北市都市地震防災而言，是必須要重點考慮的震源。

近期的相關研究皆指出，活動斷層及隱沒帶引發之地震在學理上並不甚相同，例如強地動衰減理論便有其極大的差異性，如不以隱沒帶專屬之加速度衰減公式加以分析，則可能會有低估指定場址最大地表加速度之虞。唯有藉著合理的地震危害度分析，如此才能夠達到因地制宜，避免有高估或低估地震危害度之情形。且真正評估符合各地之合理地震危害度，以達到經濟及安全兩者兼顧的目的(茅, 1978; 陳等人, 1982)。

而隱沒帶地震其震源深度有時很深，常在莫荷不連續面(Moho discontinuity)下方，也就是震源位置常位於上部地函 (upper mantle)內，其性質完全迥異於活動斷層錯動引發之地震。加速度衰減公式在進行地震災害規模設定時，扮演相當重要的地位，而新型隱沒帶加速度衰減公式亦分別考慮板塊介面型地震(interface earthquake)及板塊內部型地震(intraslab earthquake)，亦可增加推估最大地表加速度之仿真度，而針對台北盆地下方隱沒帶之地震相關特性進行分析亦有其必要性(鄭, 2002)。

本文首先介紹加速度衰減公式之理論，並比較傳統與新型隱沒帶衰減公式之差異性，以及改進要項。因國際上多已統一採用 M_w 規模進行地震防災相關分析，故本文特別探討之。最後依據內政部建築物耐震設計規範之地震水準相關規定，進行地震災害規模相關設定，完成台灣北部地震危害度圖以及台北市之隱沒帶震源境況模擬初步成果。

二、加速度衰減公式介紹

地震產生時，地震波從震源(hypocenter)向四面八方傳遞，而地震波(seismic waves)從震源傳送到工址(site)的過程中，必然發生衰減的現象，一般大多以加速度衰減公式來描述此一自然現象，但是造成地表運動衰減的原因非常複雜，且影響某一工址的最大地表加速度(peak ground acceleration, PGA)之參數非常的多。例如震源效應就有斷層的傾斜角、開裂速度、開裂方向、斷層走向等等因素，並非只有地震規模這一個變數就能代表。而震波從震源傳遞到工址的過程中，可能穿過許多種類的土層，形成許多折射波及反射波，只使用震源距離這一個變數並不足以傳達震波在實際傳播路徑中的多樣性。例如

- (1)地震規模(magnitude)
- (2)工址距震源之距離(hypocentral distance)
- (3)地區工址地質(local site geology)
- (4)震源機制(focal mechanism)
- (5)場址效應(site effect)等等。

加速度衰減公式，可以用下面的通式表示為

$$Y=yE =b_1 f_1 (M) f_2(R)f_3(M、R) f_4 (K)E$$

Y：真實之地表加速度，

y：推估之地表加速度

E：隨機變數(random variable)

$f_1(M)$ 是規模的增函數(increasing function)

$f_2(R)$ 是距離的減函數(decreasing function)

$f_3(M、R)$ 是規模和距離的函數

$f_4(K)$ 是場址效應(site effect)的修正係數

而如果是硬質土區的測站資料進行迴歸分析，則 $f_4(K)$ 等於 1。這一些函數形式在描述地震時地表運動之衰減，提供了頗為合理的變化，可被應用到各種型式的震源模型。

2.1 傳統之加速度衰減公式

舊版台北市政府地區災害防救計畫地震災害規模設定採用傳統之加速度衰減公式坎貝爾型式(Campbell form) (Campbell,1981,1986,1989,1991)

$$y = b_1 e^{(b_2 M)} (R + b_4 e^{(b_5 M)})^{-b_3}$$

$$f_2(R) = 1$$

$$f_3(M、R) = (R + b_4 e^{(b_5 M)})^{-b_3}$$

卡奈型式(Kanai form) (Kanai,1961)雖有考慮距離飽合(distance saturation)，坎貝爾型式亦有考慮規模飽和(magnitude saturation)之特性，但使用於隱沒帶地震，實顯簡略而失推估之精確性。

2.2 新型隱沒帶(subduction zone)地震之加速度衰減公式

本研究選擇以新型隱沒帶(subduction zone)地震之加速度衰減公式推估

$$\ln(\text{PGA}) = -2.5 + 1.205M - 1.905 \ln(R + 0.516e^{0.6325}) + 0.0075H + 0.275Z_t$$

M是地震矩規模，PGA是水平向最大地表加速度，R是距離斷層之最短距離，H是震源深度， Z_t 為地震種類(板塊介面型地震或板塊內部型地震 ($Z_t=0$, Interface; $Z_t=1$, Intraslab)， $\ln e$ 為隨機誤差。

近期的相關研究皆指出，活動斷層及隱沒帶引發之地震在學理上並不甚相同，例如強地動衰減理論便有其極大的差異性，如不以隱沒帶專屬之加速度衰減公式加以分析，則可能會有低估指定場址最大地表加速度之虞。新型隱沒帶(subduction zone)地震之加速度衰減公式考慮板塊介面型地震(interface earthquake)及板塊內部型地震(intraslab earthquake)等新型參數，亦有別於傳統舊式之加速度衰減公式，並未完全依隱沒帶地震特性量身打造之特性(林,2002;謝等人,2008)。

2.3 國際上加速度衰減公式研究趨勢

強地動衰減式在機率式地震危害度分析(PSHA)分析中扮演極重要的角色，主要是因為其影響場址的強地動以及反應譜特性的推估。以往國內採用之衰減公式無近場資料，由集集大地震經驗顯示必須考慮斷層上盤與下盤效應的差異(hanging wall and footwall effect) (如圖1所示)，才能反應等距離下強地動的差異情形，如圖1顯示不論是國內集集大地震，或是國外數個大地震的上下盤強震資料，皆顯示距斷層相同距離下，上盤側強地動明顯較高(如圖2所示)。另外，過去場址地盤分類資料不足，且距離定義上並非距斷層面最短距離，加上地震規模單位仍以芮式地震規模(Richter magnitude) M_L 為主，故常造成分析上的不合理。關於地震危害度分析必須採用地震矩

規模(seismic moment magnitude)之必要性於下節說明之。

國內機率式地震危害度分析(PSHA)必須採用集集大地震與國外重要大地震的近場強震資料進行強地動衰減關係式迴歸工作。美國機率式地震危害度分析(PSHA)近期採用之強地動衰減公式特點包含：斷層上盤與下盤差異、地盤類別進行硬址(rock site)與軟址(soil site)的區分、工址土層深度30m內的平均剪力波速VS30、震源機制、隱沒帶震源與活動斷層震源分屬不同的衰減模式(隱沒帶震源強地動衰減慢，如圖3所示)(Campbell, 1997; Boor et al., 1997; Sadigh et al., 1997; Somerville et al., 1997; Youngs et al., 1997; cheng et al., 2007; Lin and Lee, 2008)。另外，在近斷層的效應中，考慮斷層的破裂方向效應(directivity effect)將影響長週期的反應譜(Abrahamson and Silva, 1997)。目前美國太平洋地震工程研究中心(Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER)剛完成的下世代地動衰減計畫 (Next Generation Attenuation of ground motions project, NGA)蒐集全世界的強震資料，已完成建立全球新一代符合地震工程分析需求的強地動衰減式，將是國內未來機率式地震危害度分析(PSHA)中強地動衰減關係式研究重點。

三、地震規模種類之探討

早期臺灣地區進行地震危害度分析時，使用於文獻之地震紀錄，其規模單位常見徐氏規模(Hsu's magnitude)以及芮氏地震規模(Richter magnitude)，近期由於地震學研究之進展，國際上認為地震災害之相關評估應該採用地震矩規模(seismic moment magnitude)較為合理。以下分別說明徐氏規模、芮氏地震規模、地震矩規模之定義。

3.1 徐氏地震規模

徐氏規模由日本人坪井忠二(1956)發表日本氣象廳地震規模沿襲而來

$$M_H = \log A + 1.09 \log \Delta + 0.5$$

A: 地表最大震幅

Δ : 震央距離

由徐明同用於分析台灣早期的地震(徐, 1979)。

3.2 芮氏地震規模

芮氏地震規模由美國科學家芮克特(Richter)於1935年所提出

$$M_L = \log A - \log A_0(\Delta)$$

式中A為地震記錄之最大振幅， Δ 為震央距離， $\log A_0(\Delta)$ 為地動標準衰減函數

此地震規模的度量必然使用伍德-安德森地震儀，但伍德-安德森地震儀早已停產。所以在計算芮氏地震規模時，會先將地震波紀錄模擬成伍德-安德森地震儀的紀錄，再由最大振幅與距離決定芮氏地震規模。

芮氏地震規模是一個以10為底的常用對數。缺點是它和震源(focus)的物理特性，並沒有任何關連，僅由地震波之震幅(amplitude)推算而得，而一些明顯較大的地震，利用它和它的地震規模度量方式求取時就常有明顯的偏差，例如表面波規模(surface wave magnitude) M_S 。

3.3 地震矩規模

地震矩規模(seismic moment magnitude)為由地震矩(seismic moment)演算而來的地震規模量度

$$M_0 = \mu \times \bar{D} \times S$$

μ =剪力模數 (shear modulus) 32 GPa in crust, 75 GPa in mantle

\bar{D} =為斷層之平均滑移量

S=為斷層面積

3.4 地震災害評估採用地震矩規模之理由

地震矩規模為 1977 年由金森博雄(Kanorami)提出之地震規模量度，地震矩規模的一個最大優點是不會像芮氏地震規模在超過 6.8 時，即會產生規模飽和現象(magnitude saturation)。所以地震矩規模早已成為替代芮氏地震規模成為計算較大規模地震時，最常用使用的地震規模量度，而且有勝過芮氏地震規模的不可取代性。

規模是度量地震散發的能量(energy)的大小，以振幅 (amplitude) 推估地震規模之方式，例如芮氏地震規模(Richter magnitude)體波規模(body wave magnitude)或表面波規模(surface wave magnitude)，皆會有規模飽和 (magnitude saturation) 的現象，例如芮氏地震規模超過 6.8 時，即完全無法表達這次地震能量釋放之大小，也就是無法推估當次地震規模值。現今不會規模飽和的有地震矩規模 (seismic moment magnitude) 及能量規模 (energy magnitude) 兩種，故本研究選擇地震矩規模取代芮氏地震規模，地震矩規模之使用具備度量之合理性，因芮氏地震規模超過 6.8 時即面臨規模飽和，以突破地震界面臨規模飽和的發展瓶頸(Karadzic, 2006)。

四、地震災害規模設定

4.1 內政部建築物耐震設計規範及解說三種地震水準

以內政部頒訂的建築物耐震設計規範及解說為基準考量的三種地震水準為：

- (1) 台灣建築物耐震設計規範地震危害等級第 3 級-中小度地震：迴歸期(return period)30 年之地震，50 年內超越機率為 80%，每個年度內發生的機率為 3.33%，在中小度地震的假設下，在 50 年內發生超越特定最大地表加速度(PGA)的機率較高。
- (2) 台灣建築物耐震設計規範地震危害等級第 2 級-設計地震：迴歸期(return period)475 年之地震，50 年內超越機率為 10%，每個年度內發生的機率為 0.21%，在設計地震的假設下，在 50 年內發生超越特定最大地表加速度(PGA)的機率較低。
- (3) 台灣建築物耐震設計規範地震危害等級第 1 級-最大考量地震：迴歸期(return period)2475 年之地震，50 年內超越機率為 2%，每個年度內發生的機率為 0.04%，在此設計地震的假設下，在 50 年內發生超越特定最大地表加速度(PGA)的機率非常低。

參考台灣建築物耐震設計規範台灣地區震區劃分為地震甲區及地震乙區，設計地震力分別為 0.33g 及 0.23g。台北市位於地震乙區，災害規模設定取迴歸期 475 年 0.23g 應屬合理。以規範版

之分析迴歸期 475 年為 0.23g，也就是震度 5 級。臺北盆地 50 年最大水平地表加速度超越機率 (exceeding probability) 不超過 10%，年超越機率 0.2%。

本研究採用設計地震 (design earthquake) 之概念，有別於最大可能地震 (maximum credible earthquake) 及最大考量地震 (maximum considered earthquake)，也就是年超越機率 1/475，設定年期為 50 年，超越機率 10%，因為最大可能地震及最大考量地震就機率之角度來思考，皆為罕見事件 (rare event)，發生機率偏低，以最大考量地震而言為年超越機率 1/2475，設定年期為 50 年，超越機率 2%，為發生機率甚低的罕見事件，發生機率甚低的罕見事件 (rare event) 僅適合學術研究討論，並不適合地區災害防救計畫地震災害規模設定使用 (胡, 1992)。

4.2 靜態卜松過程 (stationary Poisson process)

以靜態卜松過程 (stationary Poisson process) 為地震之發生模式假設 (Cornell, 1968; Cornell, 1988)

$P(k|t)$

$$= \frac{\exp(-\lambda t) (\lambda t)^k}{k!}$$

在 t 時間內、沒有任何地震事件發生，即 $k=0$

$P(0|t) =$

$$\frac{\exp(-\lambda t) (\lambda t)^0}{0!}$$

在 t 年內至少有一次地震事件發生的機率

$$P(k \geq 1|t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

一年內無任何地震發生的機率

$$P = \exp(-\lambda)$$

一年內至少有一次地震發生的機率

$$P = 1 - \exp(-\lambda)$$

迴歸期 (return period)

$$RP = 1/\lambda$$

假定某一個結構物的預定使用時間為 50 年，則此結構物在使用期間內，其工址所在地之最大地表加速度 (Y)，超過某一指定加速度 (y)，亦即 $Y > y$ ，則至少有一次發生的機率如果不超過百分之十，則由

$$P(k \geq 1|t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

$$1 - \exp(-\lambda t) = 0.1$$

$$\exp(-\lambda t) = 0.9$$

$$\ln(\exp(-\lambda t)) = \ln(0.9)$$

$$\lambda t = 0.105$$

$$t = 50 \text{ 年}$$

$$\lambda(50) = 0.105$$

$$\lambda = 0.0021$$

$$\begin{aligned} RP &= 1/\lambda \\ &= 1 \div 0.0021 \\ &\approx 476(\text{年}) \end{aligned}$$

同理可得使用 75 年之結構物，其 RP 為 714 年。

地震危害度分析的一個重要目的，就是在針對某一個特定的區域進行分析，以推估該區域在未來的某一年限下，遭遇某種地表震動的超越機率。而靜態卜松過程在發生率假設為一個常數之前提下，計算出每年的地震之平均發生率。簡單的說地震危害度在每一個年度中均完全相同乃是靜態卜松過程的假設，如此迴歸期數百年的設計值自然就可以由年超越機率的 earthquake 危害度曲線來推估。許多的學者在進行地震危害度分析時，都是使用靜態卜松模式，因為靜態卜松模式具有簡單的數學型式，使用起來簡易方便，故成為地震危害度分析中最受歡迎的地震發生模式(Hu, 1995; Reiter, 1990; 蘇, 1989)。

五、台灣北部地震危害度圖

根據 Cheng et al.(2010)台灣北部震源分區圖(如圖 4 所示)，進行台灣北部地震危害度分析，顯示圖 5 為台灣北部地區(a) 475 年迴歸期(50 年內有 10%超越機率)以及(b)2475 年迴歸期(50 年內有 2%超越機率)在堅硬地盤場址的最大地表加速度(PGA)危害度等值圖。整體而言，北部的危害度由宜蘭外海向西北遞減，至桃園西北部外海一帶最小，在台灣島內的最大地表加速度(PGA)地震危害度結果，中央山脈分隔東部縱谷與西部麓山帶兩大高危害度區域，危害度突出的位置恰都位於緊鄰數條滑移速率高的斷層附近(Cheng et al., 2007)，而且高區出現在上盤處，即斷層面在地表投影面的幾何中心。圖 5(a)中 475 年迴歸期顯示最大地表加速度(PGA)最高處在花蓮外海以及新竹一帶，可達 0.5g 以上；圖 5(b)中 2475 年迴歸期條件下，花蓮外海以及新竹一帶的最大地表加速度(PGA)已出現大於 0.7g 以上的情形。在 2475 年迴歸期條件下，活動斷層的空間分布會影響突顯出高危害度，其斷層傾向亦影響危害度之分布，如北部山腳斷層及新竹一帶。

另外特別強調，如圖 6 顯示，若未考慮隱沒帶強地動衰減公式之特性，則台灣北部地震危害度分析成果將明顯被低估。台北市地震災害相關規劃不能忽視之。

六、台北市地震危害度分析參數拆解範例

台北市場址之機率式地震危害度分析(PSHA)經參數解構後，由圖 7 可以發現在 50 年迴歸期時，隱沒帶板塊內部型與界面型震源主導危害度，以距離 60 公里、地震矩規模 M_w 7.6 的震源為主；其次是台北市本身所處的區域震源 S04 區，以地震矩規模 M_w 5.6 左右最主要；再則為東北部的區域震源 S14B 區，以距離 30 公里、地震矩規模 M_w 7.4 左右為主。當迴歸期增加至 475 年時，危害度則改由鄰近的山腳斷層主導，其最可能為地震矩規模 M_w 6.8 左右，而由標準差個數(或稱標準正規化變異，standard normal variate) ϵ 介於 -1~0 之間可知斷層本身發生率並不高，而是強地動容易超越 0.3g；另外，隱沒帶板塊內部震源距離台北市最短距離僅約 60 公里左右，威脅性仍不可忽視，其最可能發生的地震矩規模是 M_w 7.6~7.8，都是以 $\epsilon > 1$ 的情形影響危害度，其超越 0.3g 機率不高，而是此震源的地震發生率頻繁。當迴歸期為 2475 年時，山腳斷層已成為主要的震源，其 ϵ 是 0~1；對於區域震源、隱沒帶板塊界面震源及內部震源而言，超越 0.49g 的機率並

不大，因為 $\epsilon > 2$ 以上，故無危害度貢獻。

七、結論

依災害防救法第 22 條：「為減少災害發生或防止災害擴大，各級政府平時應依權責實施下列減災事項：...七、災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估之調查分析及適時公布其結果。」

另災害防救法施行細則第 9 條「直轄市、縣（市）政府及鄉（鎮、市）公所每二年應依相關災害防救計畫與地區災害發生狀況及災害潛勢特性等進行勘查、評估，檢討地區災害防救計畫；必要時，得隨時辦理之。」

台北市政府地區災害防救計畫曾初步訂定震災模擬事件之規模、震源深度和震央位置。然而，近期隨著 921 集集地震相關研究成果，以及國內外地震科學與地震工程研究之持續進展，實有重新評估台北市區域地震災害潛勢之必要性。學理上，工址距震源相同距離下，大規模地震除通常造成工址較大之地震動外，同時也因震波延時(duration)較長，其破壞性也較大；而且大地震其低頻率(長週期)之能量較強，因共振而影響高樓結構安全。故震災模擬之震源選定結果，除影響水平向最大地動加速度之推估外，其他相關參數(震波延時、頻率內涵)對於地震引致之次生災害的評估工作，如土壤液化、山崩...等，以及工程耐震評估皆具十分關鍵之影響，所以震災模擬事件之評估不得不慎。本文在地震災害潛勢評估中，最為重要的兩項課題分別是重新檢視台北市區域之地體構造的震源特性，以及探討近期國內外研發之強地動衰減式。經參考近期地體構造研究成果後，重新設定評估影響台北盆地之地震震源，為台北盆地正下方深部震源，屬東北部隱沒帶板塊內部型地震，地震矩規模(seismic moment magnitude)7.2，震源深度 80 公里，震央位置(E121.5, N25) (圖 8)。宜蘭外海震源，屬東北部隱沒帶板塊界面型地震，地震矩規模 7.9，震源深度 15 公里，震央位置(E121.89, N24.45) (圖 9)。目前建築物耐震設計規範中臺北盆地的設計工址水平加速度係數為 0.23g，故本文假定台北盆地承受 0.23g 之水平加速度情形下，採用考慮隱沒帶之新一代強地動衰減式，獲得台北市各區域之最大地表加速度(PGA)分布情形。本文之成果可提供台北市政府作為重新修訂境況模擬震源之參考，俾使台北盆地之地震災害潛勢評估更為合理，期能有助於台北市政府後續相關地震防救災之工作推動。

隱沒帶地震一直深受地震學界所注意關心，但是長久以來相較於活動斷層，地震界對隱沒帶的研究仍屬嚴重停滯不前，並沒有正確且有說服力的分析結果，可正確的推估隱沒帶地震的各種性質參數，例如推估隱沒帶地震之最大可能地震(maximum credible earthquake)分析及迴歸期(return period)之計算。雖然準確地震預測之日子仍很遙遠，但我們仍須思考如何減少隱沒帶地震的災害。可以強化兩種路線，一種方法就是研究預判在鄰近隱沒帶地區於未來一定時間內產生地震的機率，另一個重要的方式是強地動(strong ground motion)的分析。台北市各地區的隱沒帶構造仍有許多不明之處，宜加強板塊隱沒帶的調查，以提供危害度分析之參考。並建立詳盡的板塊隱沒帶地震潛勢及迴歸期分析資料庫。以有效因應地震災害之侵襲，並評估台北市地震災害潛勢，以建設具備避災、減災、耐災能力之全方位防災臺北城(許, 2001;張, 1999;鄭, 2005)。

八、致謝

本研究計畫承蒙臺北市災害防救中心蔡主任茂岳及黃技正建仁提供諸多精闢防災建言及針對論文多處惠予指正，特此致謝。同時也感謝中央大學應用地質研究所李錫堤所長鼎力相助，並

感謝中興工程顧問社及臺北市災害防救中心諸多同仁協助資料收集與處理在此一併誌謝。

九、參考文獻

- Abrahamson, N. A. and W. J. Silva (2008) Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations, *Earthquake Spectra* 24, pp.67-97
- Boore, D. M. and G. M. Atkinson (2008) Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s, *Earthquake Spectra* 24, pp.99-138
- Campbell, K. W. (1981) Near-source attenuation of peak horizontal acceleration, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 2039-2070
- Campbell, K. W. (1986) An empirical estimate of near source ground motion for a major, $M=6.8$ earthquake in the eastern United States, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 1-17.
- Campbell, K. W. (1989) The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude distance, and site effects for small-magnitude earthquakes in California and eastern America, *Bull. Seism. Soc. Am.* 79, 1311-1346.
- Campbell, K. W. (1991) An empirical analysis of peak horizontal acceleration for the Loma Prieta, California, earthquake of 18, October 1989, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 1838-1858.
- Campbell, K. W. and Y. Bozorgnia (2008) NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra* 24, pp.139-171.
- Cheng, C. T., S. J. Chiou, C. T. Lee, and Y. B. Tsai (2007) Study on probabilistic seismic hazard maps of Taiwan, *Journal of Geo. Engineering*, 2, pp.19-28.
- Cheng, Chin-Tung, Chyi-Tyi Lee, Po-Shen Lin, Bor-Shiun Lin, Yi-Ben Tsai, and Syi-Jang Chiou (2010) Probabilistic Earthquake Hazard in Metropolitan Taipei and Its Surrounding Regions, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*, 21, 3, pp.429~446.
- Chiou, B. S.-J. and R. R. Youngs (2008) Chiou-Youngs NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters, *Earthquake Spectra* 24, pp.173-215
- Cornell, C. A. (1968) Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1586-1600
- Cheng, Chin-Tung, Chyi-Tyi Lee, Po-Shen Lin, Bor-Shiun Lin, Yi-Ben Tsai, and Syi-Jang Chiou (2010) Probabilistic Earthquake Hazard in Metropolitan Taipei and Its Surrounding Regions, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*, 21, 3, pp.429~446.
- Cornell, C. A. and S. R. Winterstein (1988) Magnitude dependence in earthquake occurrence models, *BSSA*, 78, 1522-1537.
- Hu, Y. X. (1995) *Earthquake engineering*, E and FN SPON, p5-29.
- Idriss, I. M. (2008) An NGA empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes, *Earthquake Spectra* 24, pp.217-242.
- Kanai, K. (1961) An empirical formula for the spectrum of strong earthquake, *Bull. motions Earthquak*

- Research Institute, Tokyo, 39,85-95.
- Karadzic, R. (2006) Richter magnitude and 6.8-magnitude saturation, Srpska company
- Lin, P. S. and C. T. Lee (2008) Ground-motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in northeastern Taiwan, Bull. Seism. Soc. Am. 98, pp.220-240
- Reiter,L(1990)Earthquake hazard analysis,Columbia University Press.p62-102.
- Shih,T.Y(1978)Seismic risk analysis of Taiwan,Central American Conference on earthquake engineering , p12-21.
- 卜孔書(1973)台灣地震之研究,地震工程研究專刊,第 125-130 頁
- 潘照芳(2000)台灣地區地震危害度分析,臺灣大學海洋研究所海洋地質及地球物理組碩士論文
- 茅聲濤(1978)地震之工程危害度研究及其應用,土木水利季刊第五卷第一期,第 26-29 頁
- 林柏伸(2002)台灣東北部地區隱沒帶地震強地動衰減式之研究,中央大學應用地質研究所碩士論文
- 高孟潭(1992)基於均勻空間強度隨機場的地震區劃方法,兩岸地震學術討論論文集,第 324-337 頁
- 羅俊雄、溫國樑、簡文郁、柴駿甫、鄧崇任、饒瑞鈞(2000)考慮區域近斷層效應及均佈危害度之設計地震力需求,內政部建築研究所專題研究計畫成果報告,MOIS-891016-2
- 李麗貞(1992)商用統計學,曉園出版社,第 49-375 頁
- 謝寶珊,李錫堤(2008)臺灣地區愛氏震度衰減式之研究,中華民國地質學會及中國地球物理學會九十七年年會暨學術研討會,S1-B-2,共 5 頁
- 胡津賢(1990)地震危險性分析中的綜合概率方法,地震出版社,共 286 頁
- 胡津賢(1992)地震危險性估計中的綜合概率分析方法,兩岸地震學術討論論文集,第 316-323 頁
- 許力仁(2001)超高層複合使用建築物防火安全對策之研究,台北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文
- 許建東、張裕民、董瑞樹(2000)強震發生的地震地質標誌綜合研究,集集大地震後台灣未來地震潛勢分析研討會論文集,第 64-73 頁
- 徐明同(1979)地震學,黎明事業文化公司,第 1-35 頁
- 鄭錦桐(2002)台灣地區地震危害度的不確定性分析與參數拆解,中央大學地球物理研究所博士論文
- 鄭文賢(2005)水災對養殖魚塭災害損失之評估-以雲林縣為例,臺灣海洋大學應用經濟研究所碩士論文
- 張博卿(1999),921 大地震東星大樓搶救實錄,台北市消防局,共 162 頁
- 章在墉(1991)地震危險性分析及其應用的新發展,全國地震工程會議論文集,第 291-299 頁
- 周克森(1992)重要工程場地的地震小區劃問題,兩岸地震學術討論論文集,第 300-315 頁
- 陳清泉、徐明同、茅聲濤(1982)台北榮民總醫院更新工程基地地震資料之分析,台大地震中心,全 88 頁
- 蘇金佳(1989)高等工程數學,東華書局,第 789-865

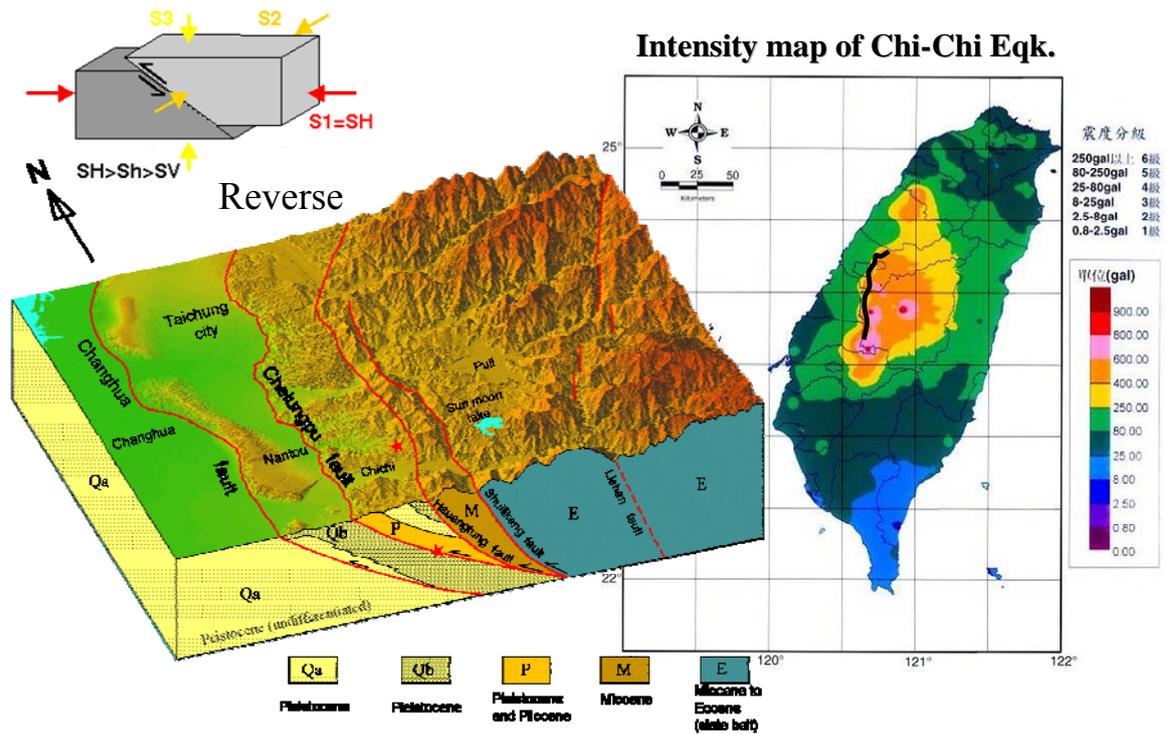


圖 1 集集大地震車籠埔斷層錯動示意圖(左)，以及等震度圖顯示斷層右側上盤強地動較高

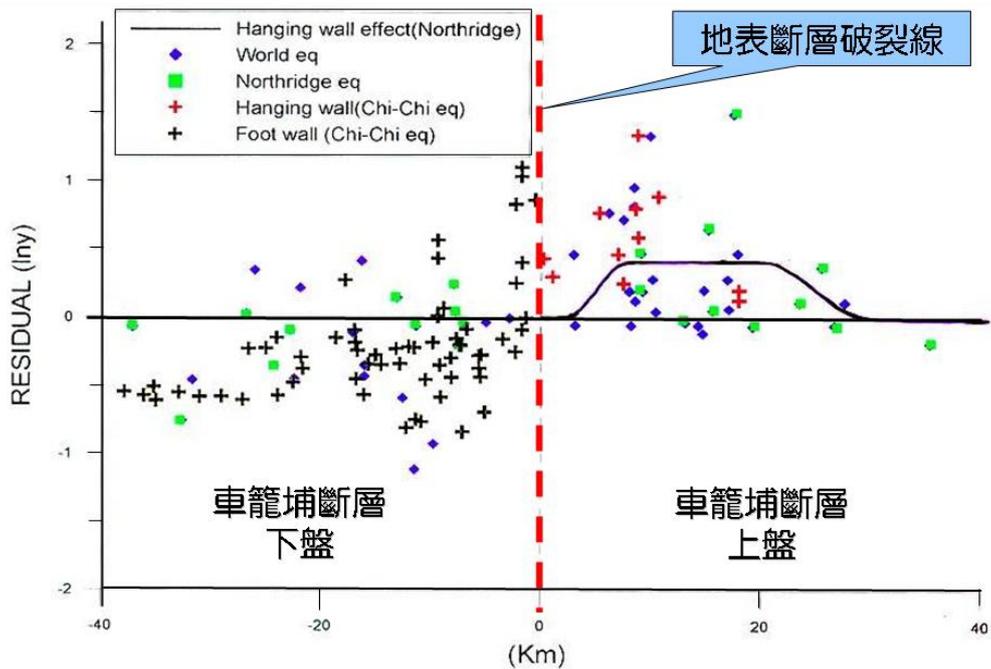


圖 2 集集大地震與 1994 年北嶺(Northridge)地震及世界其他大地震比較於上盤處強地動值較高

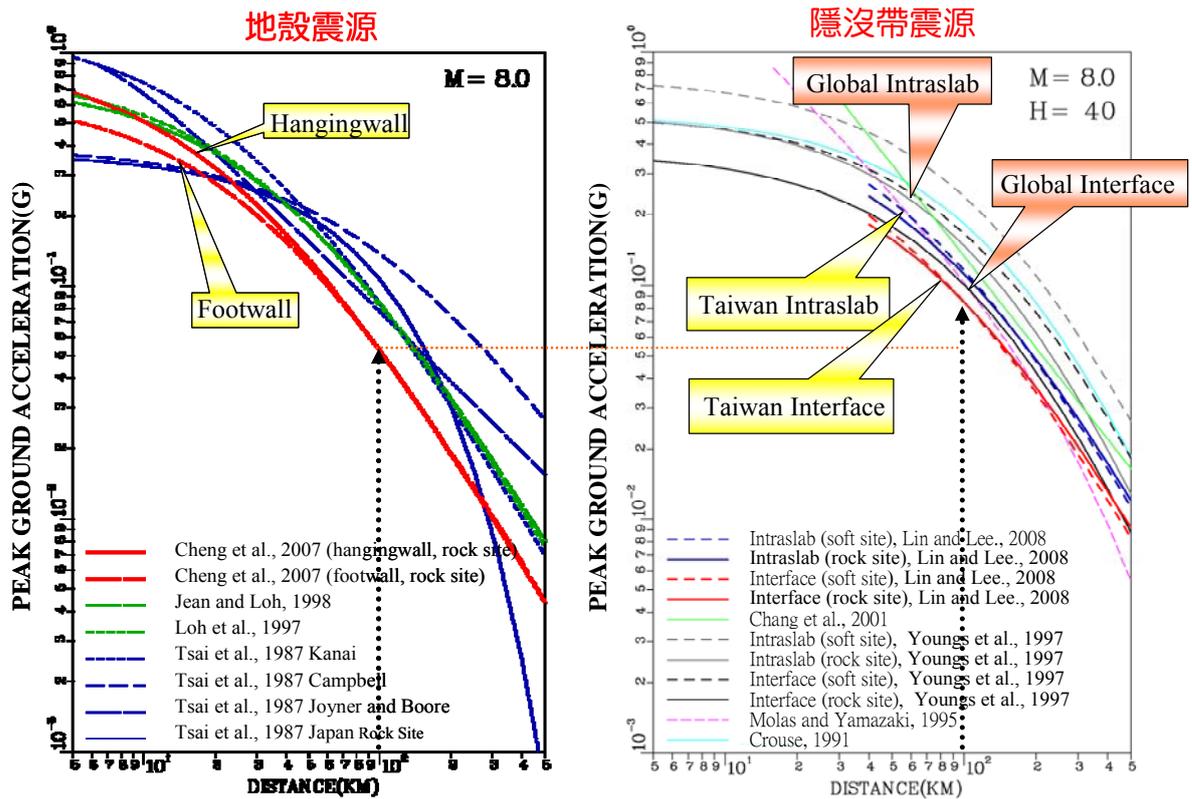


圖 3 國內外常用之最大地表加速度(PGA)強地動衰減關係式比較圖

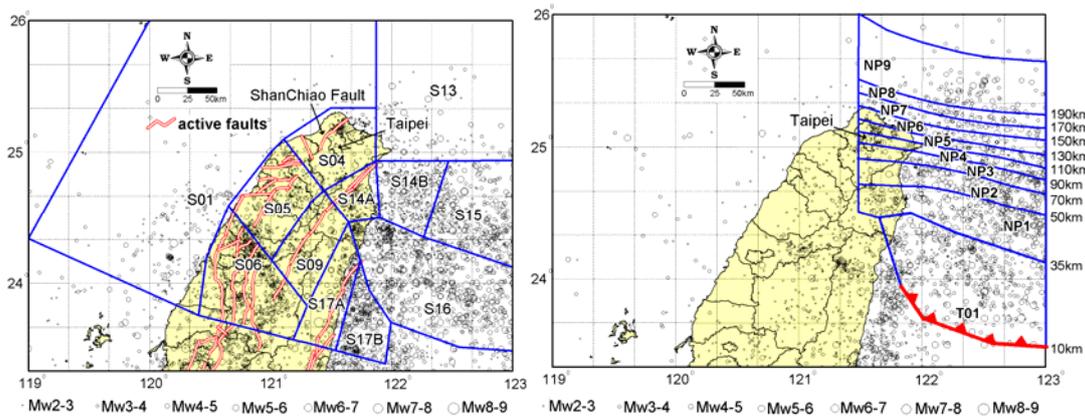


圖 4 台灣北部淺層震源(0~35km)以及深層震源(35~200km)震源分區圖

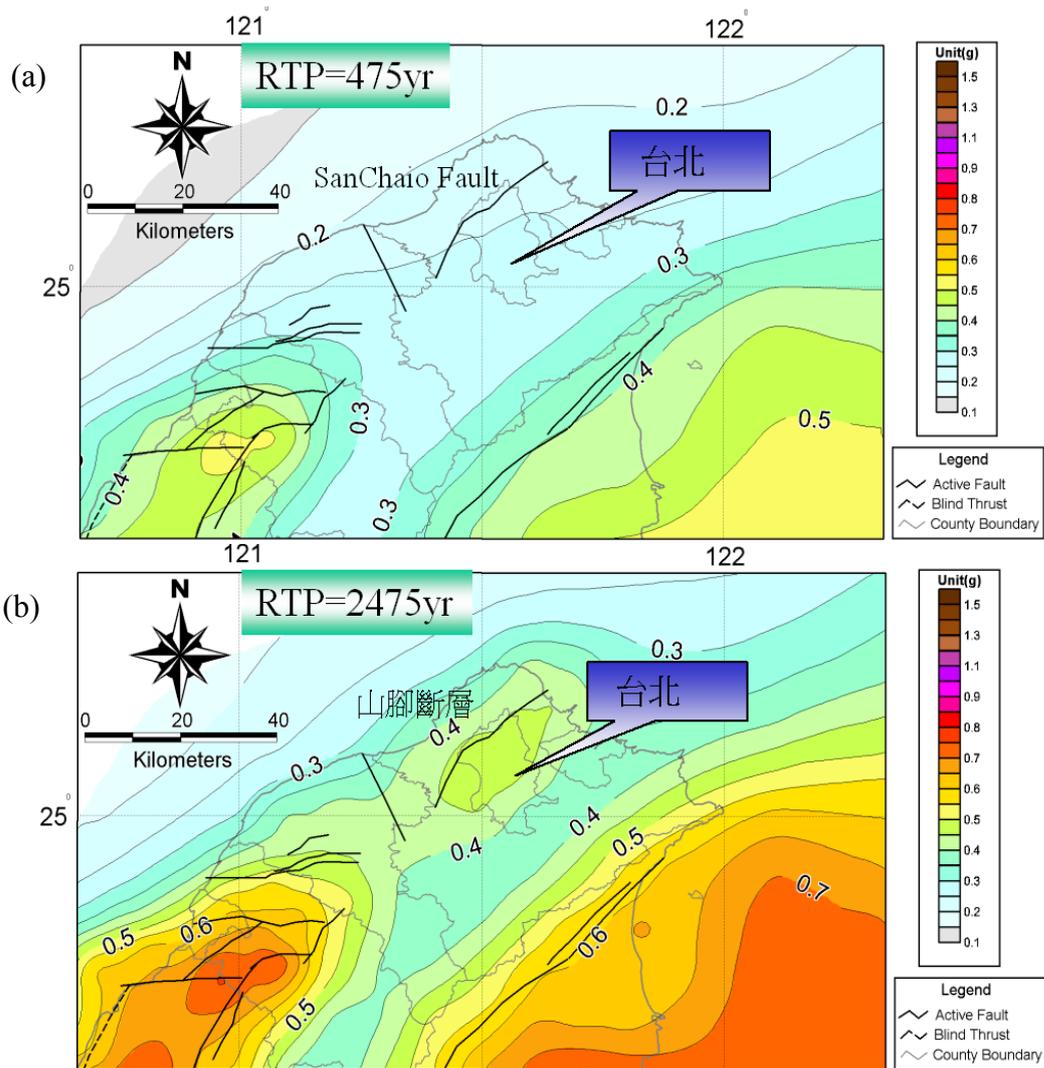


圖 5 台灣北部機率式地震危害度分析(PSHA)成果(a)475 年迴歸期 (b)2475 年迴歸期 (摘自 Cheng et al., 2010)

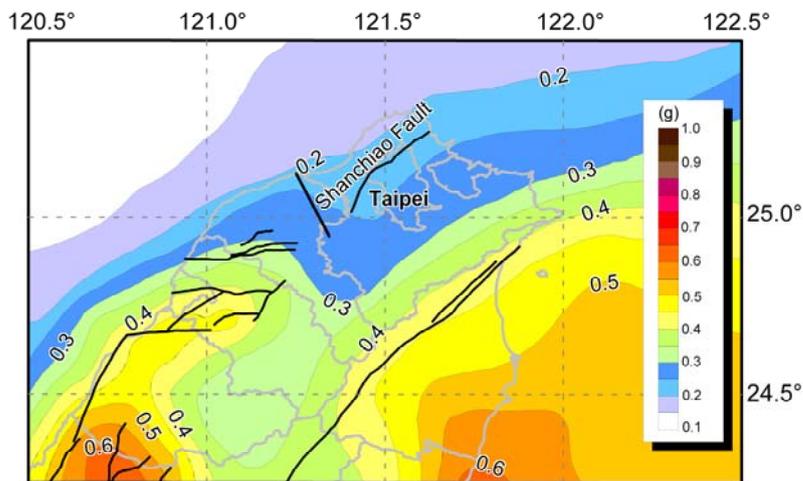


圖 6 若不採用隱沒帶衰減公式，台灣北部機率式地震危害度分析(PSHA)成果將明顯低估。可相較於圖 5(a) 475 年迴歸期台灣北部機率式地震危害度分析(PSHA)成果(摘自 Cheng et al., 2010)

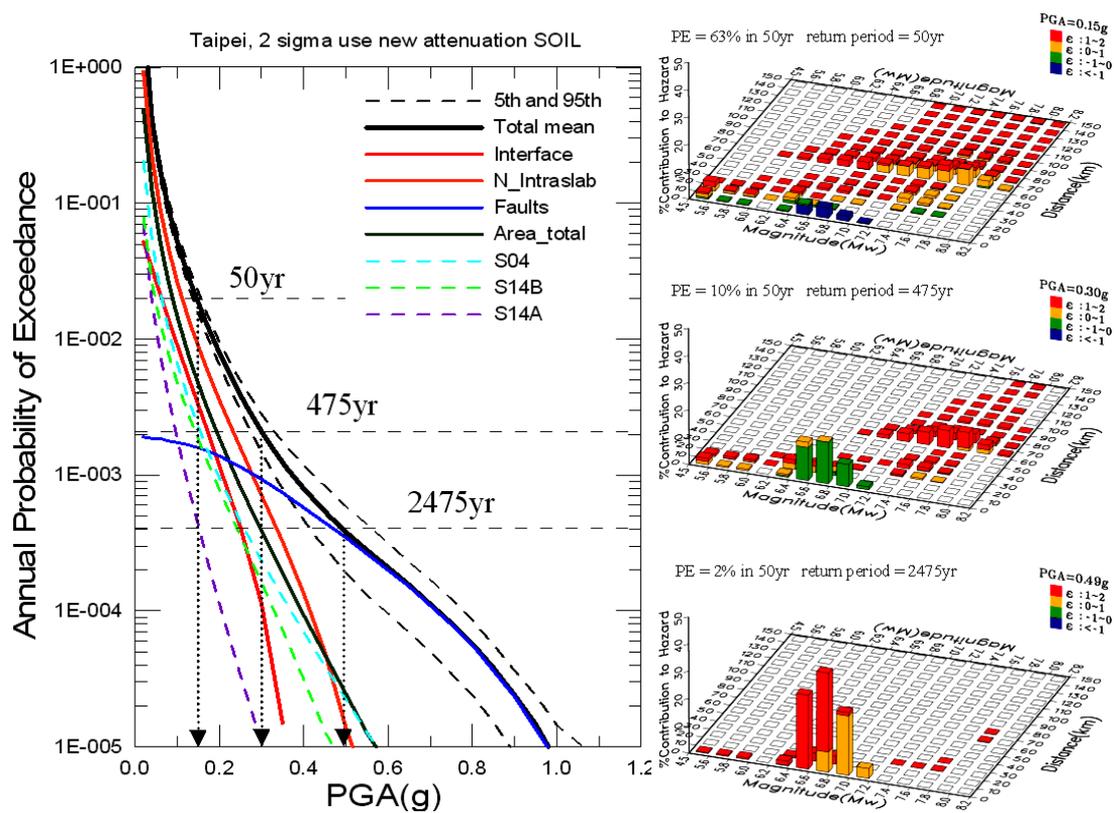


圖 7 台北市地震危害度曲線與參數解構成果(摘自 Cheng et al., 2010)

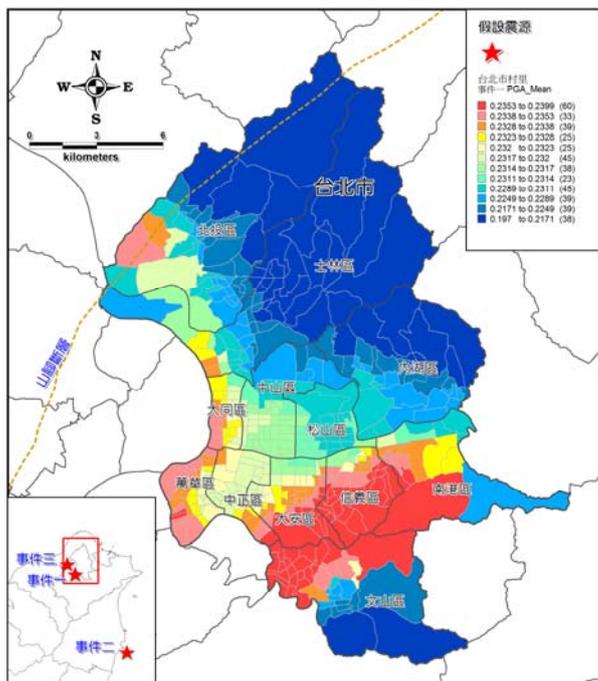


圖 8 事件一震源境況模擬台北市各處最大地表加速度(PGA)分布圖

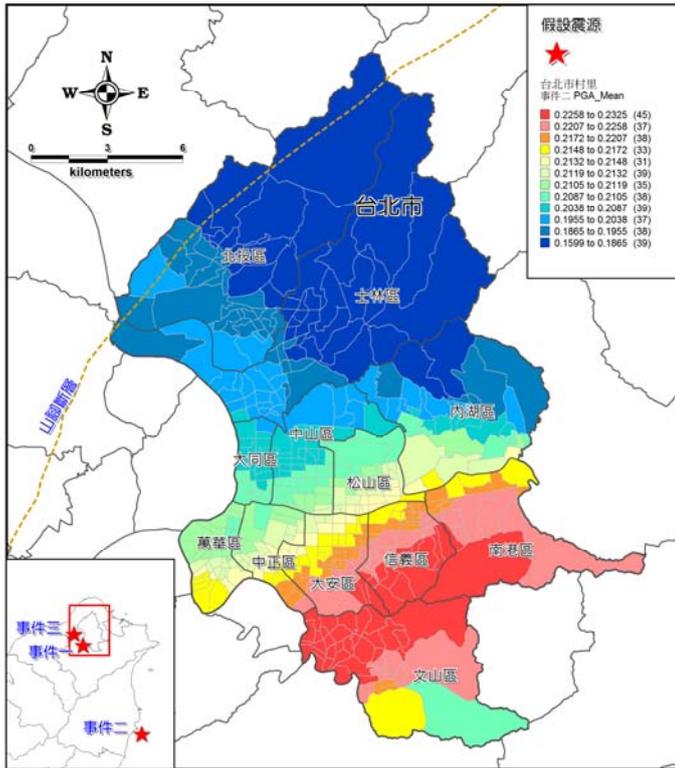


圖 9 事件二震源境況模擬台北市各處最大地表加速度(PGA)分布圖