

新一代強地動衰減式對工址地震 危害度分析之影響

鄭錦桐* 林柏伸** 謝寶珊** 李錫堤***

摘 要

本文以美國 Next Generation Attenuation of Ground Motions (NGA) 計畫完成之強地動衰減模型為基礎，採用台灣本土的強震資料迴歸完成台灣地區適用之強地動衰減式，稱新一代強地動衰減式。由於強地動衰減式與其殘餘值標準差為進行機率式地震危害度分析 (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) 之重要控制，故新一代強地動衰減式對於 PSHA 分析結果影響甚鉅。本文首先依據 NGA 觀念發展出台灣地區新一代強地動衰減式，並與目前台灣地區工程界常採用之強地動衰減式比較其差異，另一方面，由於新一代強地動衰減模型已考量規模飽合效應、距離效應、場址效應、震源效應、斷層上下盤效應、地殼與隱沒帶震源的差異…等特性，本文亦說明新一代強地動衰減式對工址地震危害度分析之影響，並進一步指出於其後續地震工程應用與相關耐震規範之影響與衝擊。

關鍵字：NGA、PSHA、地震危害度分析、強地動衰減式

一、前 言

強地動衰減式 (Ground-motion Attenuation) 乃是推求地振動大小與震源、距離及場址特性間的經驗關係式，其中最基本的參數為震源距離 (R) 及地震規模 (M)。工程用途主要用於預估發生規模 M 之地震後，震源能量經過一段距離 R 傳播後，於特定場址條件下之地動值 Y (較常見者一般是 Peak Ground Acceleration, PGA)。

過去台灣地區的強地動衰減式多僅推估 PGA，且所考慮的震源、路徑及場址參數特性也

不夠詳盡。近年來，位於加州柏克萊大學 (UC Berkeley) 的太平洋地震工程研究中心 (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) 建立了一個包含全球位於活動構造帶的地殼地震強震資料庫系統，主要的震源包括：美國加州、台灣、日本、土耳其、中南美……等。依據該等全世界位於活動構造帶的地震所收錄到之強震資料，於 2008 年度完成了新一代的強地動衰減式計畫 (Next Generation Attenuation of Ground Motions Project，以下簡稱 NGA)。經過 PEER 之 NGA 計畫研究之後，其強地動值已不僅可預

* 中興工程顧問社大地工程研究中心防災科技組組長

** 中興工程顧問社大地工程研究中心研究員

*** 中央大學應用地質研究所教授兼所長

測 PGA，更可預估 5% 阻尼下各結構物週期之加速度反應譜值 (Spectral Acceleration, S_a)。因 NGA 成果其較具有地震學之物理意義，可較過去之強地動衰減式有明顯突破，更適合地震工程領域使用。

鑑於國內歷經集集大地震及其餘震，已實際收錄許多寶貴的近場強震資料。惟亦發現既有強地動衰減式，無法合理反應斷層破裂引發地震之強地動特性，故國內既有之強地動衰減式必須積極進行檢討其適用性。本研究參考 NGA 之研究成果，且利用台灣地區地殼震源強震資料，初步完成台灣地區的新一代強地動衰減式，建立符合台灣地區工程界地震評估需求之 PGA 與各週期反應譜加速度值之強地動衰減式。此研究成果將有助於國內持續改進地震危害度分析相關技術。

二、新一代強地動衰減式特色簡介

NGA 計畫已完成地殼震源的新一代強地動衰減式，共有五個研究團隊同步獨立進行研究，分別為：Abrahamson and Silva, 2008 (AS08)；Boore and Atkinson, 2008 (BA08)；Campbell and Bozorgnia, 2008 (CB08)；Chiou and Youngs, 2008 (CY08)；and Idriss, 2008 (I08)。該五團隊所完成的強地動衰減式均不相同，但皆採用同一組全球地殼震源的強震資料庫。

NGA 計畫中的新一代強地動衰減式在規模參數上一律採用地震矩規模 (Seismic Moment Magnitude, M_w)，因為地震矩規模可以反應活動斷層破裂大小與地震能量釋放之關係，且無規模飽和現象，適用於地震危害度評估中。例如：集集地震芮氏地震規模為 $M_L 7.3$ ，而國際上公布之 M_w 為 7.6 或 7.7 (美國地質調查所，USGS)，顯示目前台灣氣象局公布之芮氏地震規模 M_L 較無法反應大規模地震所釋放之能量情

形。在距離參數上，NGA 採用距斷層破裂面最短距離 (r_{rup})、斷層面地表投影距離 (r_{jb})、孕震帶最短距離 (r_{seis})，其中距斷層破裂面最短距離 (r_{rup}) 最為普遍 (各種距離定義見圖 1)。若是中小規模 ($M_w 6$ 以下) 的地震因為其斷層破裂面積小，可視為點震源；但是對於大規模地震，如集集大地震的經驗顯示，車籠埔斷層東側的強地動明顯較高，此與距離斷層面最短距離 (r_{rup})、斷層面幾何、斷層傾角影響強地動大小與空間分布有密切關係。

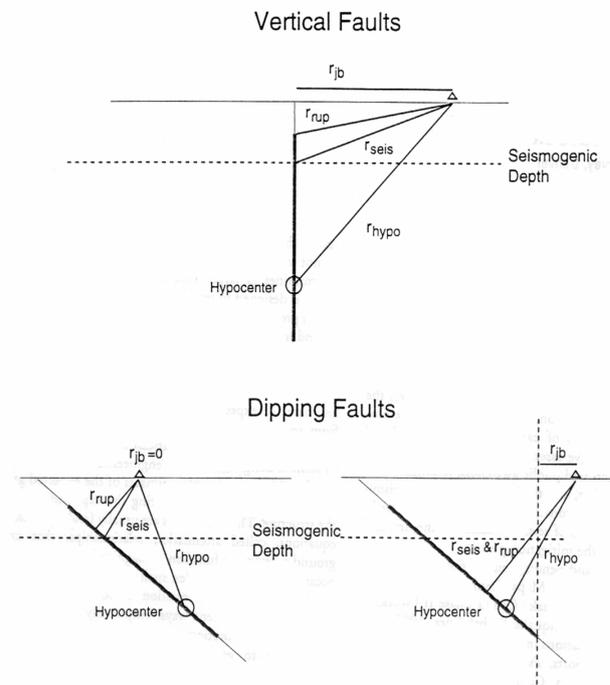


圖 1 過去各種衰減模型距離定義示意圖。
(Abrahamson and Shedlock, 1997)

另外，NGA 計畫有兩大主要突破點，第一個突破點為衰減模型中增加許多具地震學物理意義的參數效應；第二個突破點為資料的統計分析方法改進。針對第一突破點可歸納包含有以下九次項：

1. 中至大規模地震在近距離之效應
2. 在近距離與遠距離之效應
3. 破裂方向性之效應

4. 上下盤效應
5. 於斷層型式不同之效應
6. 於斷層面頂部至地表最短距離之效應
7. 靜態應力降的效應
8. 以岩盤為基準探討不同場址效應
9. 討論 3D 盆地形狀之效應

針對第一個突破點，NGA 五組團隊分別選擇不同的參數去建立五組不同之衰減式，其中各組衰減式中有探討之參數列於表 1。

表 1 NGA 計畫中各衰減模型中使用之參數比較

參數特性	NGA 衰減式名稱				
	AS08	BA08	CB08	CY08	I08
地震矩規模 M_w	V	V	V	V	V
斷層破裂距離地表深度	V		V	V	
斷層機制型式考慮	V	V	V	V	V
餘震與主震區分	V			V	
斷層傾斜角度	V		V	V	
斷層破裂深度(寬度)	V				
距離斷層面最短水平距離	V		V	V	V
垂直斷層破裂面走向之頂部的距離	V	V	V	V	
位於上盤的修正項	V			V	
地表 30m 的平均剪力波速度 (V_{s30})	V	V	V	V	
S 波速度 (V_s) 為 1.0 or 2.5 km/sec 的地盤深度	V		V	V	
土壤非線性反應修正	V	V	V	V	V

由於第二個突破點，主要在於衰減式之迴歸方法上有具體之發展，故可進行以下兩點之討論：

- 衰減式中的參數，率定其信任區間(加減一個標準差)
- 衰減式的統計迴歸結果，其標準差隨規模、距離、場址有所不同。

過去常見的衰減式迴歸分析方法中，主要有最小平方方法(Non-linear Least Square Method)、二階段迴歸方法(Two Step Regression Method)

及混合效應方法(Mixed Effect)，其中以混合效應模型(Mixed-effect Model)最為 NGA 計畫所推崇，其迴歸中可將誤差項分為地震與地震之間的 Inter-event 誤差，即相同規模下，強地動值的衰減趨勢上下差異；另外，單一地震事件下，測站與測站間的 Intra-event 誤差，即各距離下之測站在衰減趨勢上的差異(圖 2)，這將有助於衰減式建立時的細部分析工作。

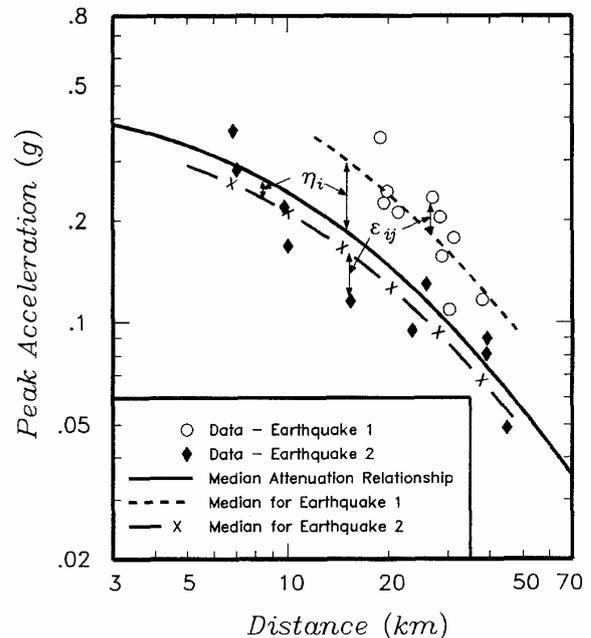


圖 2 以 Mixed-effects Model 進行衰減式迴歸分析時，地震與地震間的(Inter)誤差與資料與資料間(Intra)誤差的示意圖。(摘自 Youngs et al., 1995)

由於 NGA 迴歸模式中的參數增加，以及迴歸方法的長足改進，已能更有效掌握迴歸誤差的來源，並有效降低迴歸的標準差。此方面突破，可更合理的藉由強地動衰減式推估工址的強地動值，並掌握其變異性(Variability)。強地動衰減式之標準差是機率式地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)過程中必須考慮的不確定性，強地動衰減式標準差大，表示強地動資料變異性高，應用於 PSHA

中，其成果將於相同的再現週期（Return Period）下，獲得較大的強地動值，甚至過度保守。NGA 計畫發展完成的五組衰減式，其標準差可以反應不同參數條件下的差異（如圖 3 和圖 4），可以掌握工址強地動預測的不確定性與變異情形。

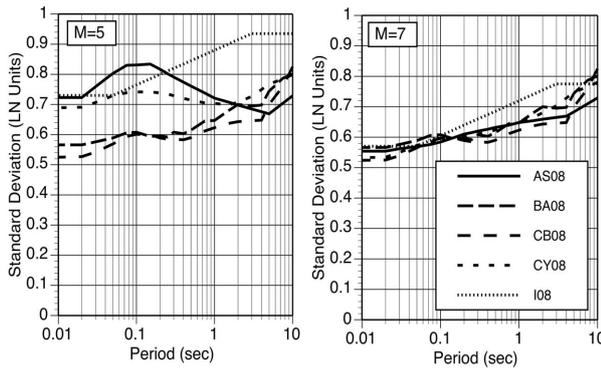


圖 3 五組衰減式之標準差與週期之關係，並討論標準差在地震規模 5（左圖）及規模 7（右圖）的不同，其中斷層型式為走向滑移斷層，距離為 30 公里的堅硬場址（ $V_{S30}=760$ m/s）。

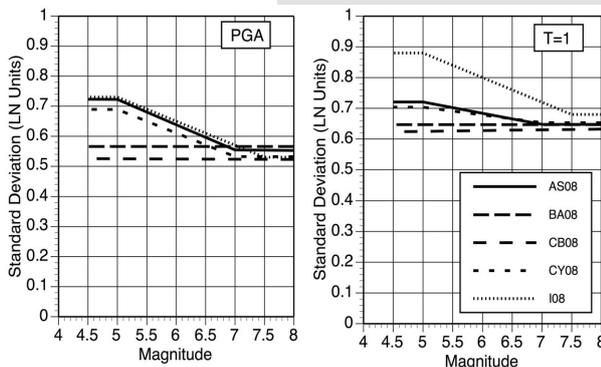


圖 4 五組衰減式之標準差與規模的關係，並討論標準差在 PGA（左圖）及 T=1.0 秒（右圖）的不同，其中斷層型式為走向滑移斷層，距離為 30 公里的堅硬場址（ $V_{S30}=760$ m/s）。

綜合以上關鍵，NGA 計畫的研究已獲致相當好的衰減式，但因其使用的全世界的資料，在

台灣地區的適用性並不明確，同時目前 NGA 成果尚無法進一步反應台灣地區獨特之地體構造與波傳路徑方向效應，所以本研究將依據 NGA 之研究方法，發展本土化之強地動衰減式。將以台灣地區的資料檢視 NGA 計畫五組的衰減模型，從而建立適用於台灣地區的衰減模型（Form Model）。其中探討標準差隨地震規模、距離和場址之不同而改變的趨勢，為未來台灣本土化強地動衰減式需要努力的方向。

三、台灣新一代強地動衰減式

目前台灣地區衰減式仍持續發展中，近期有 Cheng *et al.* (2007) 已考慮地殼地震的上下盤效應，於近斷層處可明顯獲得較高之上盤強地動；而 Lin and Lee (2008) 針對隱沒帶震源發展的衰減式，發現隱沒帶地震明顯與地殼地震的衰減特性有所差異。雖兩者採用之模式較 NGA 模式簡化，其已初步依據 NGA 的基礎概念發展（詳如表 2），未來仍有改進空間。

表 2 台灣新一代強地動衰減式發展（PGA）

特定震源	PGA 衰減式	迴歸標準差 $\sigma_{\ln y}$	作者
地殼震源、堅硬場址、上盤	$\ln y = -3.25 + 1.075 M_W - 1.723 \ln(R + 0.156 \exp(0.62391 M_W))$	0.577	Cheng <i>et al.</i> (2007)
地殼震源、軟弱場址、上盤	$\ln y = -2.80 + 0.955 M_W - 1.583 \ln(R + 0.176 \exp(0.603285 M_W))$	0.555	
地殼震源、堅硬場址、下盤	$\ln y = -3.05 + 1.085 M_W - 1.773 \ln(R + 0.216 \exp(0.611957 M_W))$	0.583	
地殼震源、軟弱場址、下盤	$\ln y = -2.85 + 0.975 M_W - 1.593 \ln(R + 0.206 \exp(0.612053 M_W))$	0.554	
隱沒帶震源、堅硬場址	$\ln y = -2.5 + 1.205 M_W - 1.905 \ln(R + 0.516 \exp(0.6325 M_W)) + 0.0075 H + 0.275 Z_r$	0.526	Lin and Lee(2008)
隱沒帶震源、軟弱場址	$\ln y = -0.9 + 1.00 M_W - 1.90 \ln(R + 0.9918 \exp(0.5263 M_W)) + 0.004 H + 0.31 Z_r$	0.627	
備註： 1. M_w = 地震矩規模；R = 距斷層面最短距離 (km)；H = 震源深度 (km)；y = PGA(g)。 2. 場址分類定義依照 Uniform Building Code (1997) 及 Lee <i>et al.</i> (2001)。監硬場址包括 B (Rock) 與 C (Soft Rock or Very Dense Soil)，軟弱場址包括 Class D (Stiff Soil) 與 E (Soft Soil) (Cheng, 2002)。			

NGA 計畫中所採用的強震資料皆經過一定之資料處理程序（基線校正、濾波）（見圖 5），並且對於地震、測站的參數進行完整的蒐集與研究。本研究利用與 NGA 計畫相同的資料處理方式，建立台灣地區地殼地震的強震資料庫（李錫堤等人，2007），初步發展出新一代的衰減式，而其可反應最新的地震科學研究成果，並可反映出規模衰減效應（Magnitude Scaling）、距離衰減效應（Distance Scaling）及測站場址的放大效應（Site Amplification Effect）的特性，其可合理推估出不同週期（秒）的加速度反應譜值（Spectral Acceleration, S_a ）。一般台灣常用之強地動衰減式僅考慮地震規模及震源距離，若參考 NGA 之特性於衰減模型內增加其他具地震學物理意義參數（表 1 所示），可以有效的降低衰減式的迴歸標準差，並且提升預估地動值的精確度，同時亦讓地震危害度分析結果更合理。

本研究仿照 NGA 模式，初步先嘗試增加場址效應參數，改進成為連續型的 V_{s30} （為工址地表下 30 公尺的平均剪力波速），以反應工址地盤的軟弱情形，期能預測較合理的強地動值，另外也探討在不同週期下之 S_a 值變化。目前本研究初步完成的地殼震源衰減模型如下（初步迴歸係數列如表 3）：

$$\ln(y) = C_1 + F_1 + (C_4 + C_5(M_w - 6.3)) \times \ln(\sqrt{R^2 + e^{H^2}}) + \phi \times \ln\left(\frac{V_s 30}{1130}\right)$$

$$F_1 = \begin{cases} C_2(M_w - 6.3), & \text{if } M_w \leq 6.3 \\ (-H \times C_5)(M_w - 6.3), & \text{if } M_w > 6.3 \end{cases} \quad (\text{式 1})$$

其中， y 為 PGA（Peak Ground Acceleration）or S_a ， M_w 為地震矩規模， R 為距斷層面最短距離， V_{s30} 為測站的地表下 30 公尺的平均剪力波速。圖 6 為本研究初步成果與其他國內研究之地殼地震衰減式比較，在地震規模 $M_w 7$ 之狀況下，發現近距離（10~100KM）則較其他研究預

測值低，主要原因在於過去國內衰減式迴歸中缺乏近斷層的資料所致，部分衰減式於近場時有不合理的偏高情形，建議勿用於工程評估中。

Processing Procedure for PEER Strong Motion Database

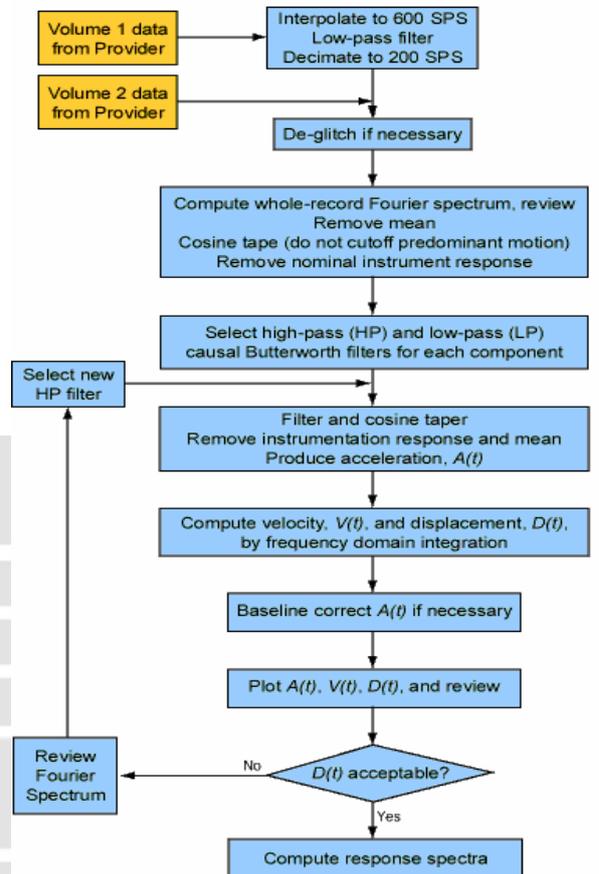


圖 5 PEER 的強震資料處理流程圖

(<http://peer.berkeley.edu/smcat/process.html>)

表 3 本研究之衰減式係數表

Period	C1	c2	c4	c5	H	phi
PGA	1.1191	0.2221	-1.1379	0.2356	1.3536	-0.4608
0.100S	2.4757	0.1535	-1.3560	0.2076	1.8880	-0.4592
0.300S	1.7879	0.8515	-1.0479	0.1411	1.4636	-0.4085
0.500S	1.1005	1.0575	-0.9267	0.1701	1.0636	-0.4789
1.000S	0.1662	1.3396	-0.8588	0.2231	0.6994	-0.6558
3.000S	-1.5277	1.8815	-0.8577	0.1988	0.8933	-0.8102
5.000S	-2.3706	2.0050	-0.8635	0.1880	1.0065	-0.7680

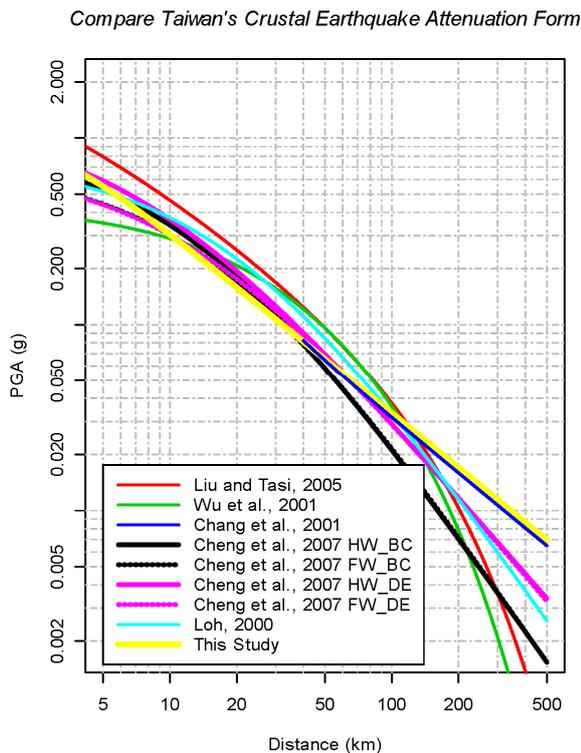


圖 6 台灣地區地殼衰減式之比較圖 ($M_w=7$)

四、對工址地震危害度之影響

由於強地動衰減式與其迴歸標準差為進行 PSHA 之重要參數之一 (鄭錦桐, 2002), 由於新一代之強地動衰減式有所改進, 預期將對於 PSHA 分析結果有所影響。以下將依序探討於強地動衰減模型中, 主要影響強地動值推估之重要參數, 包含有震源距離、地震規模、工址地盤的 V_{s30} 、斷層上下盤及震源之地體構造...等, 各效應影響強地動值推估的差異。另一方面, 此些效應正可反應一般地震工程界所認知的強地動衰減會受震源、路徑與場址等三主要項目之影響, 上述各效應詳述如下。

(一) 震源距離的效應

震源距離工址的遠近會影響工址的強地動特性, 除 PGA 隨距離的衰減效應 (Distance Scaling) 外, 同樣需考慮各週期的加速度反應譜隨距離衰

減效應上的不同。尤其是長距離的部分 (大於 100 公里), 由於會受到地體構造上的影響 (Q Term), 不同區域會有不同的衰減情形, 會造成震波能量衰減差異, 進而影響反應譜形狀。另外, 進一步亦可探討路徑效應, 如台灣地區地體構造呈現南北走向, 震波穿越中央山脈垂直構造東北向傳遞, 以及平行構造南北向傳遞, 各有所不同, 這是屬於台灣地區路徑效應上的特性, 對於強地動衰減亦有所不同, 未來可以進一步研究。然而, 目前本文尚未完成路徑效應的探討, 僅針對震源距離遠近進行探討。圖 7 為正規化反應譜, 圖中以規模 $M_w7.0$ 為例, 帶入 Cheng *et al.* (2007) 的地殼震源強地動反應譜衰減式, 於不同距離下可獲得各週期的加速度反應譜值, 為探討反應譜形狀上的差異, 將 S_a 除以 PGA 後, 可獲得正規化的反應譜形 (Spectral Shape), 圖 7 中可以明顯發現震源距離愈遠時, 在同樣的 PGA 震度之下, 長週期的地震能量衰減明顯較慢。這說明當遠距離大規模地震能量愈強時, 長週期震波能量對於工址有高層樓結構或長跨距橋梁時, 其耐震設計評估必須審慎。

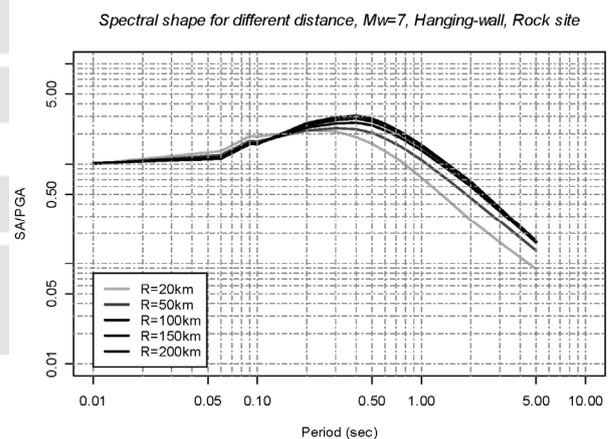


圖 7 在地震規模 M_w7 下不同震源距離的正規化反應譜比較圖

(二) 震源規模的效應

地震震源規模的大小尺度與 PGA 及各週期的加速度反應譜值, 存在有不同的規模尺度變

化情形。描述震源的參數包括斷層破裂型態（正斷層、逆斷層、走向滑移斷層）（Style of Faulting）、應力降（Stress Drop）、斷層破裂長寬比（Aspect Ratio）、斷層破裂面頂距地表最短距離（Depth to Top of Fault Rupture）…等。本文先僅對規模能量大小，探討頻率內涵組成對反應譜形的影響。由圖 8 顯示，地震規模大小在頻率內涵上的差異，造成反應譜形上有十分明顯的差異，大規模地震明顯有較多長週期的能量。

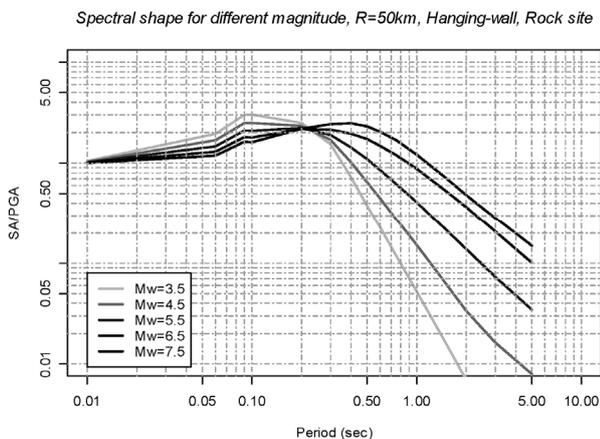


圖 8 在震源距離 50km 下，不同規模的正規化反應譜

同時，由圖 7 與圖 8 比較顯示，規模大小對於反應譜形的影響較上述距離效應的影響明顯。在設計反應譜製作方面，過去常採用場址附近地震所收錄到的強地動資料，採用 Newmark 方法完成設計反應譜製作，若挑選之地震規模太小，容易造成反應譜於長週期部分低估其地震動強度，因此未來進行長振動週期結構物評估時，必須注意此方面的影響。

（三）工址地盤的 V_{S30}

在場址效應方面，一般考慮不同地盤軟弱特性下，探討強地動的放大效應，尤其是對於不同週期的加速度反應譜放大效應。在強地動衰減式研究上，過去僅將場址效應簡單分為堅硬地盤（Rock Site）與軟弱地盤（Soil Site），較缺少量

化的數值來描述地盤軟弱特性，無法反映地動值的差異情形。近來工程鑽探累積龐大數量，深度皆大部分可以達地表下 30 公尺以上，故 NGA 建議採用地表下 30 公尺以上之平均剪力波速（ V_{S30} ）作為描述地盤特性之參數，台灣也據此提出了全國 V_{S30} 分布圖（Lee and Tsai, 2008）。此外，盆地深度（Basin Depth）也是對於強地動推估影響相當大的參數。本文採用（式 1）之強地動衰減式，以規模 M_w6 ，距離 50km 狀況下的震源為參數，由圖 9 可以發現反應譜形會隨地盤的差異有所不同，而越軟弱的地盤（ V_{S30} 值越小者），除預期有較大 PGA 外，其長週期的 S_a 亦較高，此可反應一般地震學理解的地盤放大效應，進一步分析可以發現，不同地盤 V_{S30} 下 PGA 的放大倍率，與各週期的 S_a 值放大倍率亦有所不同。另外，由於軟弱地盤存在土壤的非線性效應，大規模的地震下 PGA 應有縮小震幅之可能。進一步而言，土壤非線性行為會使得地震主頻降低，頻譜比值降低，振幅放大倍率降低，以 Idriss (1990) 根據 1985 年 Mexico 市及 1989 年 Loma Prieta 地震時軟弱地盤及鄰近岩盤上加速度資料，當土壤之非線性行為產生時，土層之 PGA 值約為岩盤 PGA 將折減約 8 成左右。此方面新一代強地動衰減式發展時，NGA 計畫已有考慮，國內之衰減式發展應該注意此特性。

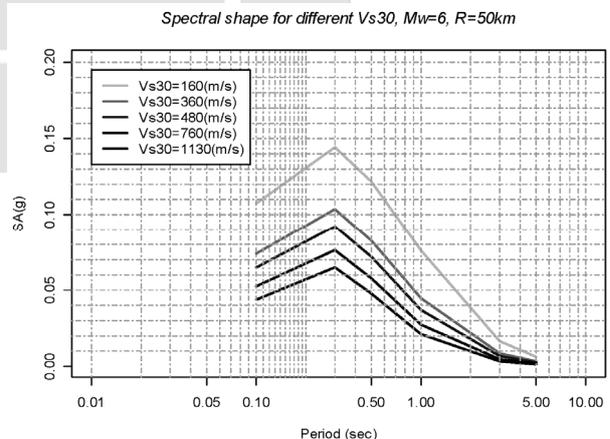


圖 9 地震 $M_w6.0$ 在距工址 50km 處，在不同工址地盤 V_{S30} 條件下的反應譜

(四) 工址位於斷層上下盤的影響

在集集地震的經驗顯示工址在距斷層面相同距離下，位於斷層上盤的地振動幅度較下盤為高，這一點在 NGA 計畫中亦有所討論。以實際集集地震舉例說明之，圖 10 將集集地震、Northridge 地震及其他世界主要大地震之工址實際記錄的 PGA 值，其相對於強地動衰減式所預測中間值 (Median) 的殘差值，分為工址位於斷層錯動上盤與下盤進行探討，圖 10 發現在斷層的上盤 (X 軸正向，斷層線右半段) 其殘差值 (lny) 都為正值，即表示上盤測站都有低估的現象；反之下盤測站則有高估之情形。圖 10 可明顯佐證，強地動衰減式應該考慮上下盤不同，並在強地動衰減式中加入此項參數來進行迴歸，使分析的結果更能符合實際的狀況。地震危害評估時，面對大規模地震的強地動推估時，必須先評估斷層面的幾何形貌與斷層傾角，用以確定斷層面最短距離以及工址位於斷層之上盤或下盤，始能合理評估強地動特性。另外，其他因為工址鄰近斷層破裂而有明顯之強地動特性，包括斷層破裂方向性特性以及地震波於長週期的速度脈衝影響等，此等也是近期在設計地震上必須考慮的重要課題。

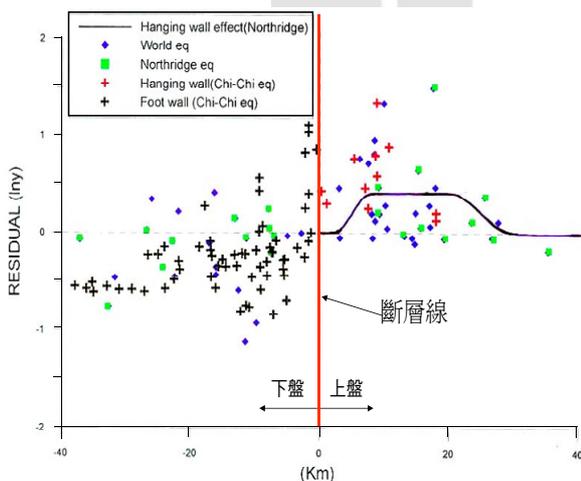


圖 10 集集大地震與 Northridge 地震及世界其他大地震比較上盤效應

(五) 隱沒帶與地殼震源之差異

自 Young *et al.* (1997) 年發表隱沒帶強地動衰減式以來，世界各區域的強地動衰減式亦發現地殼與隱沒帶有所差異。由觀測資料顯示，在相同規模與震源距離下，隱沒帶震源地震所造成的地動值會比地殼震源地震所帶來的地振動更大，且反應譜特性亦有所差異，故隱沒帶與地殼震源必須獨立發展衰減式。由圖 11 可發現台灣地區的隱沒帶地震衰減式所推估的強地動的確比地殼地震衰減式來得高，且板塊內部型 (Intraslab)

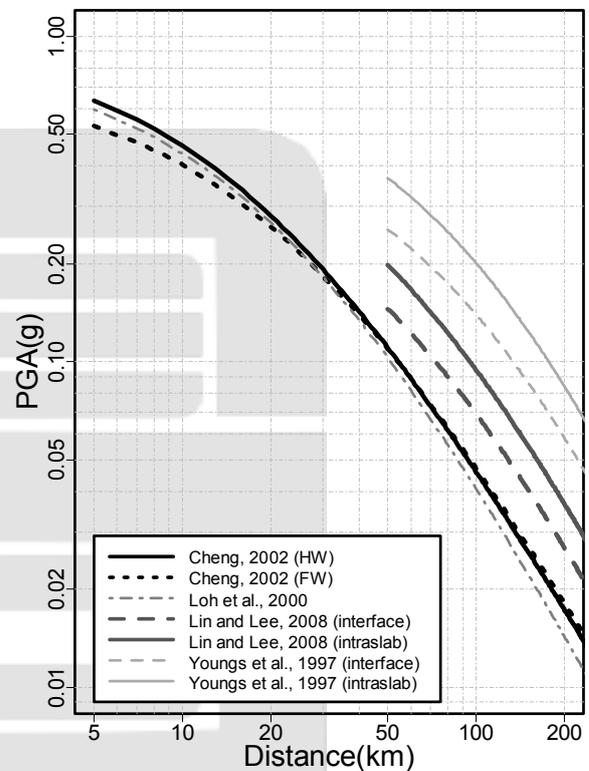


圖 11 四種不同衰減式在軟弱場址、地震矩規模 7.6、震源深度 50 公里之 PGA 比較圖。其中 Cheng *et al.* (2007) 提到鄭錦桐 (2002) (HW/FW) 及 Lin and Lee (2008) (Interface/Intraslab) 之衰減式較佳，因為其分別考慮了地殼與隱沒帶震源，前者更考慮了上下盤所帶來的效應。很明顯可以看出隱沒帶震源之衰減式較地殼震源之衰減式高。

地震亦比板塊介面型 (Interface) 地震來的強大。而隱沒帶與地殼震源之強地動推估差異，本文實際以台灣北部區域進行 PSHA 來探討 (Cheng *et al.*, 2009)，圖 12 顯示台北盆地在未使用隱沒帶衰減式狀況下，475 年再現週期 (50 年 10% 的年超越機率) 之 PGA 值明顯低估約 25% 左右。此結果對於台北盆地相關耐震設計與地震防災課題而言，十分值得注意。

五、結論與建議

本文參考目前 NGA 計畫之成果特點，初步完成新一代強地動衰減式，並探討近期國內主要的強地動衰減式，指出震源距離、地震規模、工址地盤的 V_{S30} 、斷層上下盤及震源之地體構造... 等特性，經影響工址之強地動值推估，建議在未來地震危害度分析相關議題上，應該注意此些參數。

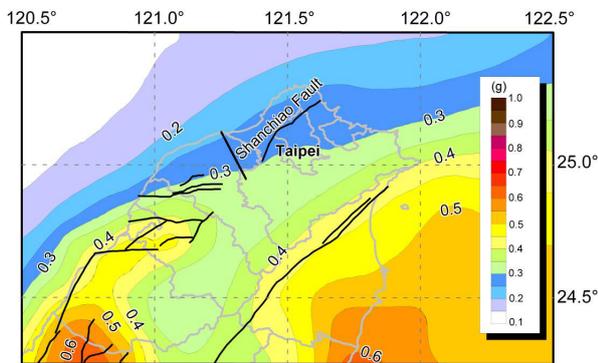
然而，仍有許多參數於台灣地區新一代強地動衰減式中尚未進行探討，未來有待相關參數的資訊整理完成後，可進一步在強地動衰減式中增加參數，期能有效降低強地動衰減式迴歸的標準差，並提升強地動衰減式的預估能力。

預期參數的增加勢必增加迴歸分析時的困難度與複雜度，過程中需要檢視與探討各個參數之間的關係，以及個別參數對於 PGA 與各週期 S_a 強地動值的影響。

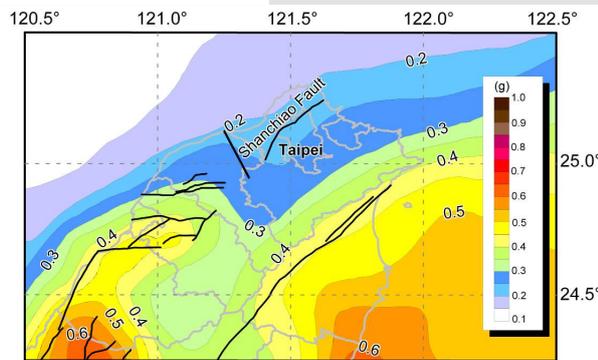
另外，台灣地區擁有獨特的地體環境構造與高密度的強震站，強震資料量相當豐富，應可建立起全球其他地震頻仍地區所無法進行分析的參數，預期將帶來新一代強地動衰減式研究上的新發現。

參考文獻

- Abrahamson, N. A. and K. M. Shedlock (1997) Overview, *Seism. Res. Lett.*, 68, 1, pp.9-23
- 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. 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



(a) 台灣北部考慮隱沒帶衰減式之 475 年再現週期下之 PGA 等值圖 (50 年 10% 的年超越機率)



(b) 台灣北部未考慮隱沒帶衰減式之 475 年再現週期下之 PGA 等值圖 (50 年 10% 的年超越機率)

圖 12 台灣北部軟弱場址之 PGA 地震危害圖。50 年 10% 的年超越機率下 (a) 使用隱沒帶衰減式及 (b) 不使用隱沒帶衰減式之 PGA 分布圖 (單位為 g)。圖中黑線為活動斷層

- to 10 s, *Earthquake Spectra*, 24, pp.139-171
- Chang, T. Y., F. Cotton, and J. Angelier (2001) Seismic Attenuation and Peak Ground Acceleration in Taiwan. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91 (5), pp.1229-1246
- 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, C. T., C. T. Lee, P. S. Lin, B. S. Lin, Y. B. Tsai and S. J. Chiou (2010) Probabilistic Earthquake Hazard in Taipei Metropolis and Its Surrounding Regions, *TAO*, Vol. 21, No. 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
- Idriss, I. M. (1990) Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, *Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium*, 17, 1, pp.58-67
- 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
- International Conference of Building Officials (1997) *Uniform Building Code*, Whittier, California
- Lee, C. T., C. T. Cheng, C. W. Liao, and Y. B. Tsai (2001) Site Classification of Taiwan Free-field Strong-motion Stations, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, pp.1283-1297
- Lee, C. T., and B. R. Tsai (2008) Mapping Vs30 in Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 19 (6), pp.671-682
- 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
- Liu, K. S., and Y. B. Tsai (2005) Attenuation Relationships of Peak Ground Acceleration and Velocity for Crustal Earthquake in Taiwan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, pp.1045-1058
- Wu, Y. M., T. C. Shin, and C. H. Chang (2001) Near Real-time Mapping of Peak Ground Acceleration and Peak Ground Velocity Following a Strong Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, pp.1218-1228
- Youngs, R. R., N. A. Abrahamson, F. I. Makdisi, and K. Sadigh (1995) Magnitude-dependent Variance of Peak Ground Acceleration, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, pp.1161-1176
- Youngs, R. R., S. J. Chiou, W. J. Silva, and J. R. Humphrey (1997) Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes, *Seism. Res. Lett.*, 68, pp.58-73
- 李錫堤、邱宏智、林柏伸、鄭錦桐 (2007) 強震資料庫建置與維護及使用者平台開發 (一) 成果報告, 中興工程顧問社
- 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, 博士論文, 國立中央大學地球物理研究所
- 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