

臺灣地區愛氏震度衰減式之研究

Attenuation Relationship of Arias Intensity for Taiwan

謝寶珊（國立中央大學應用地質研究所）；李錫堤（國立中央大學應用地質研究所）

Hsieh Pao-Shan (Institute of Applied Geology, National Central University,)

Lee Chyi-Tyi (Institute of Applied Geology, National Central University,)

關鍵詞：愛氏震度、混合效應模型、地表下 30 公尺平均剪力波速度

Key words: Arias intensity, Mixed effects model, Vs30

愛氏震度為地震歷時記錄之加速度平方後積分所得到的地動參數，是一個可以包含地震波之振幅、頻率內涵和持續周期之地動參數。愛氏震度與許多地震災害有相關性，如建築物之破壞、液化及地震引致之山崩災害等。本研究以愛氏震度作為地振動指標，針對此進行衰減式之研究。合適的衰減式不僅可以瞭解一地區之地動衰減特性，並可以用來預估特定場址之地動值，提供工程耐震設計之用。

本研究以中央氣象局自由場強地動觀測網計畫（TSMIP）及中央研究院地球科學研究所 SMART-1 陣列之豐富強震資料，考慮場址特性、震源機制以及地體構造特性差異，以理論推導為基礎的衰減模型，增加場址變數 Vs30 之考慮，並以混合效應模型及最大概似度法進行非線性迴歸分析，完成適合台灣地區之地殼地震及隱沒帶地震愛氏震度衰減式。

研究成果顯示，混和效應模型搭配最大概似法能解決地震規模不確定性及迴歸資料分布不均之問題，衰減模型中加入 Vs30 及震源機制兩項參數可有效降低迴歸結果之標準差。地殼地震愛氏震度衰減式所推估之地動值在近距離較前人研究成果為高、遠距離則略低，可能反映了台灣淺部地殼衰減較快之特性。隱沒帶地震之愛氏震度衰減式無前人研究結果可進行比較，而與地殼地震衰減式相比，所推估之地動值明顯地較高，顯示地殼地震與隱沒帶地震之愛氏震度衰減情況並不相同。

前言

在地震工程上，一般常用最大地動加速度 (PGA, peak ground acceleration) 作為描述建築物損害程度的地動參數，唯 PGA 只能描述最大振幅，Jibson (1993) 認為 PGA 不能有效反應地震帶來的災害，因此發展了以愛氏震度 (Arias Intensity, AI) 作為地振動指標的理論，故本研究擬針對此可描述地震波之振幅、頻率內涵和持續周期之地動參數進行衰減式之研究，以期更進一步評估地震引致之災害程度。

資料蒐集與分析

本研究地殼地震衰減式以 TNGA 資料庫中 1993~2003 年間之強震資料進行分析。所採用地殼地震共 62 個地震，總計為 6570 筆強震資料。資料的規模與距離之分布情形如圖 1a 所示。台灣東北部的隱沒構造明顯，且強震資料較為豐富，故本研究隱沒帶地震衰減式延用 Lin and Lee (2008) 所選取 1992~2000 年間 TSMIP 強震資料，及 1983~1986 年間的 SMART1 強震資料進行分析，另加入 2002 年 331 地震強震資料。所採用隱沒帶地震共有 45 個地震 (板塊介面型地震計 13 個，板塊內部型地震計 32 個)，總計為 4635 筆強震資料。資料的規模與震源距離分布情形如圖 1b 所示。

研究方法

本研究將採用地震矩規模及距斷層面最短距離 (R_{rup}) 作為地震與距離參數，採用 Travararou *et al.* (2003) 建議的理論衰減模式、Lee and Tsai (2007) Vs30 地盤分類結果及 Wu *et al.* (2008) 震源機制結果，進行台灣地區地殼地震及隱沒帶地震之愛氏震度衰減式之研究。衰減模式將場址分類參數由不連續改進為連續型參數 (Chiou and Youngs, 2006)，地殼地震衰減模式如下式：

$$\ln(I_a) = c_1 + c_2(M - 6) + c_3 \ln(M / 6) + c_4 \ln(\sqrt{R^2 + h^2}) + c_5 \ln(V_{s30}/1130) + c_6 F_N + c_7 F_R$$

隱沒帶地震衰減模式如下式：

$$\ln(I_a) = c_1 + c_2(M - 6) + c_3 \ln(M / 6) + c_4 \ln(\sqrt{R^2 + h^2}) + c_5 \ln(V_{s30}/1130) + c_6 F_N + c_7 F_R + c_8 Zt$$

其中連續型場址項中，假設場址在沒有放大效應之堅硬基盤，其 V_{s30} 為 1130 (m/s)；距離項中之 h 為近距離飽和係數，限制當距離為零時，AI 值不會無限大，本研究中 h 設為常數。

以往的強地動衰減式迴歸分析中常用的衰減模型，只考慮一個固定的誤差項（ ε_{ij} ），現在被歸類為固定效應（fixed effects）的迴歸分析，也就是說衰減式中的每一個參數都有其固定的影響能力，也就是各係數的大小，其他無法預知的變數就全部歸於常數項來表達。本研究加入了隨機效應（random effects），代表每個不同的地震其不同的特性表現是隨機的，而且我們並不需要算出一個精確的值來代表這個效應，只要把它抽離出來就可以達到目的（Abrahamson and Youngs, 1992）。同時考慮隨機效應及固定效應的迴歸模型，即為本研究中所提到的混合效應模型（mixed effects model）。其中誤差項會被分為兩部分來討論：地震與地震間之誤差（inter-event term）及地震事件中各筆資料之誤差（intra-event term），迴歸模型如下：

$$\ln Y_{ij} = f(M, r, \theta) + \eta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

其中， η_i 為第 i 個地震事件的隨機效應，代表著事件間（inter-event）變異程度的大小； ε_{ij} 為第 i 個地震事件在第 j 個測站的固定效應，代表著事件內（intra-event）變異程度的大小。 η_i 與 ε_{ij} 皆假設為常態分布，其變異數分別為 σ_e^2 及 σ_r^2 。

研究成果

表 1 與表 2 是本研究完成之地殼地震 AI 衰減式與隱沒帶地震 AI 衰減式迴歸係數與迴歸誤差值，迴歸分析結果的標準差比起一般 PGA 衰減式的標準差值為大，顯示 AI 的變異程度與其餘地動參數有相當的差異，此一現象與前人研究相同。本研究所完成的地殼衰減式殘差值隨規模與距離的分布情形如圖 2 及圖 3，其符合常態分布且分布情形無異常趨勢，顯示迴歸模型與結果良好。隱沒帶地震衰減式與地殼地震衰減式相比（見圖 4），所推估之地動值明顯地較高，顯示地殼地震與隱沒帶地震之愛氏震度衰減情況並不相同。

參考文獻

- Abrahamson, N. A., and R. R. Youngs (1992) A Stable Algorithm for Regression Analyses Using the Random Effects Model, *Bull. Seism. Soc. Am.* **82**, 505-510.
- Arias, A. (1970) A measure of earthquake intensity, *Seismic Design for Nuclear Power Plant*, Hansen RJ .MIT Press: Cambridge, MA, 438-483.
- Lee, C. T., and B. R. Tsai (2007) Development of VS30 Map in Taiwan Using Multivariate Geostatistical Method, AGU 2007 fall Meeting Program.
- Travasarou, T., J. D. Bray, and N. A. Abrahamson (2003) Empirical attenuation relationship for Arias Intensity, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* **32**, 1133-1155.

Wu, Y. M., L. Zhao, C. H. Chang, and Y. J. Hsu (2008) Focal mechanism determination in Taiwan by genetic algorithm, Bull. Seism. Soc. Am. in press.

表 1 地殼地震 AI 衰減式係數暨迴歸誤差

c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	σ_e	σ_r	σ_T
4.671	-0.066	14.451	-2.404	-1.041	-0.290	0.285	0.57	0.896	1.062

表 2 隱沒帶地震 AI 衰減式係數一覽表

c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	σ_e	σ_r	σ_T
4.842	3.492	-5.014	-2.442	-0.660	0.028	0.238	1.134	0.49	0.865	0.994

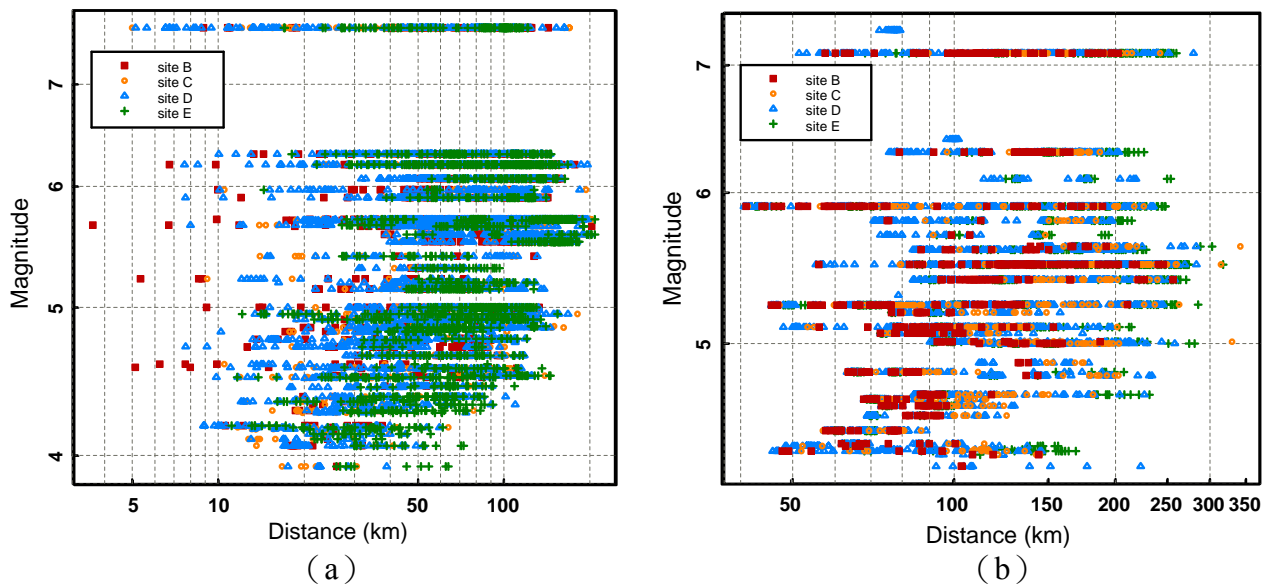


圖 1 本研究選用台灣地區地震強震資料規模與距離分布情形 (a) 地殼地震、(b) 隱沒帶地震

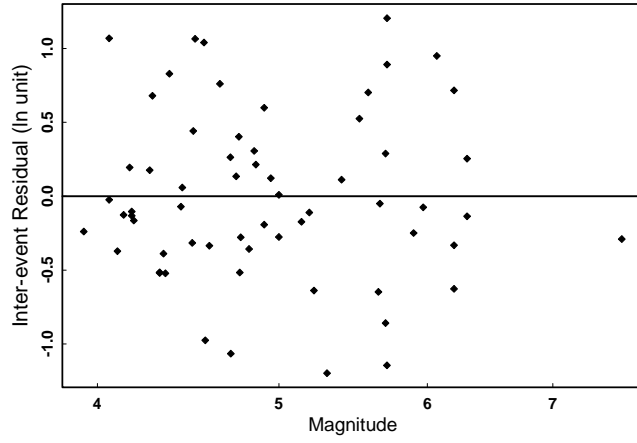


圖2 地殼地震衰減式地震事件間殘差 (inter- residual) 與規模關係分布圖

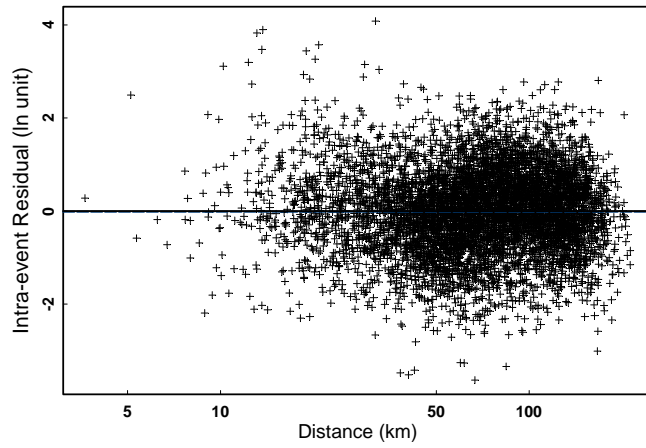


圖3 地殼地震衰減式地震事件內殘差 (intra- residual) 與距離關係分布圖

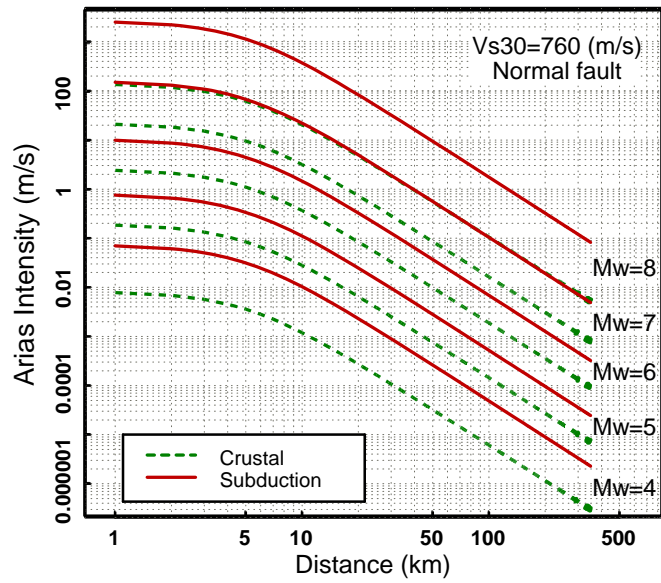


圖4 板塊內部型 (intraslab) 隱沒帶地震 AI 衰減式與地殼地震 AI 衰減式之比較，