

# 台灣地區場址效應微分區之研究與應用

## A Study On Site Effect and Microzonation in Taiwan

主管單位：中央氣象局

溫國樑<sup>1,2</sup>

張毓文<sup>2</sup>

Wen, Kuo-Ling

Chang, Yu-Wen

<sup>1</sup> 中央大學地球物理研究所

<sup>2</sup> 國家地震工程研究中心

### 摘要

目前強震測站的鑽探資料雖可初步瞭解該測站下的場址特性，但對於區域性的場址效應仍無法有效掌握。在諸多有關地震工程的學術研究與工程技術上皆需考量地震發生時各地真實之受震反應情形，而強震測站下僅為提供其所在位置之地表受震反應，測站以外其他位置之地震力往往難以準確推算。過去研究中發現區域性場址效應對於地震力分佈之影響顯著，如何能進一步針對小區域，在考慮區域場址特性下，有效的推估地震發生時的地震潛勢作緊急應變，實為一重要研究課題。

本研究以宜蘭平原區域為目標，利用實際地震紀錄配合堅硬場址衰減律，針對不同場址計算其放大倍率，作為地震微分區之參考。同時與台灣強震測站鑽探資料庫所提供之地質參數(SPT-N 值、Vs30 值)，探討其關聯性，並與目前耐震設計規範中場址效應因子 Fa 及 Fv 進行比較，找出適用於宜蘭平原場址放大倍率與場址特性相關係數，以作為宜蘭平原區域地區場址特性之推估參考，以進行耐震設計。

關鍵詞：場址放大係數、場址效應、微分區、緊急應變

### Abstract

Generally the site amplification has high correlation with the strata parameter when earthquake occurred. For example, the soft soil sites have the characteristics of amplitude amplification. In Taiwan, the frame of site classification criteria isn't suitable for small area. The purpose of this research is to investigate the site classification criteria based on the site effects and the comparison with the borehole data (N, Vs) for each site. The geological database and the ground-motion database of the TSMIP network are used to verify the site classification criteria and the site amplification factors for the Taiwan Seismic Design Code. For the microzonation, we compared the dominate resonance frequencies obtained from ground-motion database and microtremor survey to find the site corrector. All results will be provided for microzonation of site effect and improve the methodology for a better earthquake hazard mitigation purpose.

Keywords : site amplification factor、site effect、Microzonation

## 一、前言

在台灣，除台北盆地外，宜蘭平原為一楔型半盆地之地形，為菲律賓板塊與歐亞大陸板塊的交界隱沒區域，基盤較台北盆地深，開口朝向東方海邊。溫國樑等人(2002)以 921 地震之地震資料分析宜蘭平原地震動分佈，結果顯示 PGA 值最大的地方在宜蘭平原的南部，並非在沖積平原最深的地方，而低頻反應在沖積層最厚的平原中央，顯示宜蘭平原之地震動有受盆地效應之影響。當時宜蘭平原雖在 921 及 331 地震中無重大傷亡傳出，但現今環境變遷，宜蘭地區已有許多具有較長週期的高層建築陸續產出。在目前台灣地區耐震設計規範中，屬於單一設計參數，所使用之調整放大倍率乃參考一般場址特性。對受盆地效應影響之宜蘭平原，在高樓林立的現今，實需針對該區域場址放大倍率有進一步檢討之必要。

過去對於影響場址放大倍率誤差來源之去除，多採用岩盤參考站之方式，以篩除地形等效應，但其條件必須為特性清楚之岩盤。部分學者卻提出一些不同的看法，認為強地動放大因子與區域間地質的相關性並不好，想要找到場址特性與區域地質參數間相關性的證據並不容易(Hudson, 1972)。Tsai(1992)指出，1989 年美國加州洛馬普利塔地震，場址分類為第一類的岩盤強地動觀測站，強地動觀測資料卻表現出第二類至第三類的特性，所以要依場址地質分類將某工址的土壤狀況加以適當的分類仍屬不易。Field(2000)認為以加速度譜的放大效應來看，可能基盤深度的影響遠大於場址分類地質軟硬程度的影響。顯然在工程實務上處理耐震問題時，以場址分類為參考依據是不夠的，因為它可能不足以完整的表現區域場址特性。

地震微分區主要研究區域發生強地震的損害性震動及其破壞性地震的性能。依據目標地震，衰減，地下結構性質(如地質構造)和地表震動等方面進行探討，通過豐富的資料及參考模型，針對場址特性於不同地震強度下地表地震動強度的變化，提出了合理的地震分區，為評估和減輕未來地震災害提供參考依據。本研究結合中央氣象局強震網測站鑽探資料庫及自由場強震網之地震紀錄兩大資料庫，對常用的地震參數進行廣泛的資料分析與關聯性研究，今年以宜蘭平原之強震測站之地震資料與鑽探資料為主，配合地震動衰減律探討場址放大倍率與場址特性之關係，進一步檢討目前耐震設計反應譜中短( $T=0.333$  秒)、長週期( $T=1.0$  秒)之譜加速度中地盤放大係數於宜蘭平原之適用性。

## 二、地震及鑽探資料庫

本研究使用中央氣象局自由場強地動觀測網(TSMIP)及速報系統(TREIRS)之地震紀錄，測站平均分散於台灣宜蘭平原，共 61 個地震測站。進行場址放大倍率分析所篩選之地震資料為 1991 年至 2007 年規模大於 6.5 以上，並於宜蘭平原有一半測站數以上有紀錄之地震，所篩選之地震資料如表 1 所列，震央分佈如圖 1 所示，多數地震來自於隱沒帶。其中包含 1999 年 921 集集地震及 2002 年 331 花蓮地震，計有 9 筆地震，共 303 筆地震紀錄被使用。

除地震資料庫外，中央氣象局與國家地震工程研究中心合作之「全國強震測站場

址工程地質資料庫」，至 2006 年為止在全台灣共有 333 個測站進行鑽探，擁有地質剖面及剪力波速調查結果。根據此結果，即可以目前的耐震設計規範分類準則進行場址分類。我國 2005 年耐震設計規範將場址分為三類，由堅硬至軟弱分別為 S1、S2 及 S3，主要參考 ATC-32(1996)、IBC2000(2000)及陳正興等(1997)之研究成果，藉由地表面下 30 公尺之土層的平均 SPT-N 值或剪力波速決定場址分類。30 公尺土層之平均剪力波速  $V_{S30}$  之分界點分別設為  $V_{S30} = 360 \text{ m/sec}$  及  $V_{S30} = 180 \text{ m/sec}$ ；平均標準貫入試驗  $N_{30}$  之分界點分別設為  $N_{30} = 50$  及  $N_{30} = 15$ 。設計時，根據設計地震之強度，依場址分類決定一個設計地震需求的放大倍率。分類標準略有差異，但其基本原理仍遵循波傳理論以場址固有周期作為場址分類之基本考量。

### 三、場址放大倍率

當地震波傳經盆地內部時，大部分的能量會因盆地地貌、地形與低速區而被侷限在盆地內，其中某些特徵頻率的震波會因產生共振而造成場址放大效應，進而危害建築物。地表震動通常以加速度歷時的型式表現，地震波由震源往外輻射傳播時，一定會發生衰減現象。將地表震度參數，例如以最大地表加速度 PGA，以 A 表示，其定受到震源特性(規模、震源深度、破裂型式、區域岩盤或板塊構造等因素)S、波傳路徑 P、局部場址特性 I 等主要因素之影響，可以式(1)表示其關係

$$A_{ij}(f) = I_j(f) \cdot P_{ij}(f) \cdot S_j(f) \quad (1)$$

其中  $A_{ij}$  為第  $j$  個地震紀錄於第  $i$  個測站之地震動值。場址分類與場址放大效應的研究多由 HVSR 分析法獲得(Nakamura, 1989)，由於不需要使用參考站，且具有簡單經濟的優點。若以微震量測資料分析，以頻譜比值來決定場址的固有周期或頻率，通常可以獲得良好之結果，少數特定狀況下亦可對地震動放大效應做出定性的趨勢描述。為清楚釐清各類場址之場址放大倍率，本研究以地震動衰減律為參考，探討宜蘭平原之場址放大倍率。場址放大倍率之分析步驟如下所述：

1. **不同地震動衰減律**：工程上地震動值  $A_r$  之衰減律可表為地震規模  $M$  及震源距離  $R$  的函數。根據 1993-2003 年的地震資料(包括 921 主震及餘震資料)中，以 59 個地震規模  $ML=5.0\sim 7.5$  的淺源地震(震源深度=0~35 公里)的堅硬場址紀錄進行分析，得到衰減律之經驗式，地震動參數包含 PGA、 $S_{as}$  及  $S_{a1}$  等，該分析結果為震源及路徑效應之平均結果(Jean et al., 2006)。
2. **場址放大倍率  $F_{ij}$** ：為清楚瞭解區域的場址特性，本研究利用以考慮岩盤的衰減律作為基礎，根據式(2)計算得到區域場址特性對於該地震之反應。以宜蘭平原為例，將測站實際觀測值  $A_{ij}$  與修正後地震動計算值  $A_{rj}$  之比值，定義為場址放大倍率，即宜蘭平原各測站場址特性對不同地震之放大特性  $F_{ij}$

$$F_{ij}(f) = \frac{A_{ij}(f)}{A_{rj}(f)} \cong I_{ij}(f) \quad (2)$$

由表 1 所列之 9 筆規模大於 6.5 之地震，根據上述步驟計算宜蘭平原場址特性反應不同震源之放大特性，將宜蘭平原之放大倍率統計計算並繪於圖 2 中，顯示 PGA 之放大倍率微分區與短週期譜加速度  $S_{as}$  的結果相近，長週期譜加速度  $S_{al}$  的結果(T=1.0 秒)與黃有志(2002)以 HVSR 分析法獲得宜蘭平原場址主頻分佈(圖 3)結果相似，顯示宜蘭平原主要放大區域位於平原中央，有集中放大的現象，相對北部及南部盆地邊緣有一高頻區域，屬於堅硬場址，特定的震源會引發該區域的盆地效應，且長週期之譜加速度值的放大倍率會高於短週期的譜加速度值。由比較結果顯示區域性之場址效應有其獨特性，且不同震度值則有不同放大倍率之變化，地震微分區有其必要性，以提高地震發生時，地方政府緊急應變之速度及參考。

#### 四、鑽探資料與場址放大倍率之關聯性分析

針對分佈於宜蘭平原之 32 個強震測站鑽探資料中，地表下 30 公尺下的平均剪力波速值  $V_{s30}$ ，與實際平均場址放大倍率，以式(3)回歸分析兩者之關聯性：

$$\ln(F_i) = a + b \ln(V_{s30i}) \quad (3)$$

其中  $a$ ,  $b$  為放大倍率與平均剪力波速之回歸係數，分析結果列於表 2。比較結果如圖 4 所示，各震度與平均剪力波速之標準偏差約在 0.35~0.37 左右。為能考量實際結構反應，長、短週期之譜加速度值之放大特性，為耐震設計規範考量之標準。由圖 4 中，當剪力波速越高，場址放大倍率皆會接近於 1.0，即岩盤站之放大倍率會趨於定值，隨著場址越軟弱而變大，呈現反比的現象。圖 4 中亦與 2005 年耐震設計規範之場址修正因子做比較，宜蘭平原短週期譜加速度之場址修正因子  $F_a$ ，在 S1 場址至 S3 場址皆為 1.0，中、長週期之放大倍率  $F_v$ ，則分別為 1.0、1.2 及 1.5。本研究根據宜蘭平原測站之實際地震紀錄，經震源修正之地震動衰減律所得反應宜蘭平原場址效應之放大倍率，短週期譜加速度值之放大倍率平均皆高達 2.35，約為規範值的 2 倍，中、長週期則差異較大，各場址修正因子約為 4.36，為規範之  $F_v$  的 2.6 倍左右。

#### 五、結果分析與討論

根據上述研究成果與比較，本研究針對幾點進行討論：

##### 5.1 不同震源對盆地效應之影響

表 1 所使用之 9 筆地震資料中，包含不同方向之地震，主要來自於台灣隱沒帶。為進一步瞭解宜蘭平原內之強震測站對應不同震源之放大倍率變化情形，取宜蘭平原南北剖面之測站比較其趨勢。由結果發現震央位置來自於外海的地震容易引發宜蘭平原較高的放大現象，相對於台灣本島之地震則放大倍率則較低，如圖 5 所示。隱沒帶地震對於宜蘭平原有特殊之影響性，而高樓林立的宜蘭市及羅東鎮則需格外注意，地震微分區的建立顯得格外重要。

## 5.2 土壤非線性

土壤非線性現象，一般出現在軟弱場址，本研究利用堅硬場址之衰減律為參考，所得到之宜蘭平原測站平均放大倍率結果，短週期譜加速度值之放大倍率平均皆高達2.35，約為規範值的2倍，中、長週期則差異較大，各場址修正因子約為4.36，為規範之 $F_V$ 的2.6倍左右。本研究所使用之PGA值大小範圍在12gal~418gal，以實際地震紀錄隨距離及規模反應對衰減律之倍率值，該結果包含軟弱土層之非線性行為。根據謝宏灝(2001)以HVSr分析法對宜蘭羅東LSST井下地震儀陣列地震紀錄分析宜蘭平原非線性行為時，發現在PGA大於80gal時，在此地區會產生非線性效應，即PGA會呈現一定值，放大倍率則會抑制而降低。該現象在圖4中平均剪力波速小於180m/sec時，可以發現其放大倍率有降低的趨勢，顯示本研究之方法可有效釐清各震源效應及路徑效應，真正反映出土壤之場址特性。莊文福(1991)以臨時地震觀測網之資料得到宜蘭平原沖積層與岩盤之比較約為2.28(PGA值)。綜合各成果，顯示本研究對於長、短週期譜加速度值之放大倍率，能充分表現宜蘭平原場址之放大特性，但由於宜蘭平原之土層為軟弱沖積層，對土壤所造成之非線性效應需加以考慮。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，由Idriss(1990)根據1985年“Mexico City”及1989年Loma Prieta地震時軟弱地盤及鄰近岩盤上加速度資料，分析所得之對比關係曲線中，當土壤之非線性行為產生時，土層之PGA值約為岩盤PGA值折減八成左右。故在考慮各軟弱土層之放大倍率時，應考慮場址之非線性行為，本研究成果在軟弱場址之放大倍率需予以折減。本結果亦顯示我國耐震規範沿習美國UBC規範，在區域地質軟硬程度之定義及修正因子需進一步檢討。

## 5.3 結論

本研究以堅硬場址衰減律為參考，分析宜蘭平原之場址放大倍率，探討場址對於震源之獨特性，並建立場址特性與放大倍率之經驗關係式，本研究成果有以下結論：

1. 在特定地震來源作用下，宜蘭平原之盆地效應會被激發，場址之放大倍率除平原中央軟弱場址外，盆地北部及南部則會成為放大倍率的高區。本研究所得之放大倍率平均結果可做為宜蘭平原耐震設計之地震微分區之參考，未來藉由微地動量測所得到之主要頻率分佈，進一步針對宜蘭平原地震微分區給於定性及定量之結果。
2. 以宜蘭平原強震測站之實際地表下30公尺之平均剪力波速值，與實際地震資料所分析之場址放大倍率，兩者之間具有對數關係。宜蘭平原測站平均之放大倍率，在短週期譜加速度值之放大倍率平均皆高達2.35，約為規範值的2倍，中、長週期則差異較大，各場址修正因子約為4.36，為規範之 $F_V$ 的2.6倍左右。該結果在PGA及 $S_{as}$ 與莊文福(1991)以臨時地震觀測網之資料得到宜蘭平原沖積層與岩盤之比相近。本研究所得之經驗關係式，可做為宜蘭平原耐震設計時場址放大倍率之參考，但因分析結果包含軟弱土層之非線性行為，依據Idriss(1990)之結果需予以折減。
3. 我國耐震規範沿習美國UBC規範，宜蘭平原視為單一震區，在短譜加速度值採用同一 $F_a$ 值，由本研究分析結果顯示尚不足以反應宜蘭平原特殊之區域性場址效應，目前規範對於區域的地盤修正因子需進一步檢討。

## 參考文獻

1. 莊文福，1991。蘭陽平原場址效應調查研究，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
2. 黃有志，2003。蘭陽平原場址效應及淺層 S 波速度構造，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
3. 溫國樑、江賢仁、張芝苓、張道明(2002)。臺灣地區之強地動觀測與地動特性，臺灣之活動斷層與地震災害研討會論文集，10~29，九月，臺中。
4. 謝宏灝，2001。利用井下地震儀陣列探討單站頻譜比法之應用，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
5. 「建築物耐震設計規範及解說」，2005，內政部建築技術審議委員會。
6. Field, E. H. and the SCEC Phase III Working Group (2000). Accounting for site effects in probabilistic seismic hazard analyses of southern California: Overview of the SCEC Phase III Report, Bull. Seism. Soc. Am., 90, 6B, S1-S31.
7. Hudson, D. E. (1972). Local distribution of strong earthquake ground motions, Bull. Seism. Soc. Am., 62, 1765-1786.
8. Idriss, I.M.(1990). Response of Soft Soil Sites During Earthquakes, Volume 2, Proceedings: H. Bolton Seed Memorial Symposium, (J.M. Duncan, ed.), University of California, Berkeley, May 1990. 273-289.
9. Jean, Wen-Yu, Yu-Wen Chang, Kuo-Liang Wen, Chin-Hsiung Loh, (2006), Early Estimation of Seismic Hazard for Strong Earthquakes in Taiwan, Natural Hazards, 37(1-2), 39-53.
10. Nakamura, Y. (1989), "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", QR of RTRI, 30, 25-33.
11. Tsai, C.-C. P. (1992). Engineering implications of asperity-induced ground motion, Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil Eng., Stanford Univ., Stanford, California, USA, 245 pp.

表 1、本研究所使用之地震資料

Time	E	N	depth(km)	magnitude	records
199406050109	121.84	24.46	5.3	6.5	34
199506250659	121.67	24.61	39.9	6.5	45
199909201747	120.82	23.85	8.0	7.3	34
199909201811	121.07	23.87	12.5	6.7	33
199911011753	121.73	23.36	31.3	6.9	30
200112180403	122.65	23.87	12.0	6.7	37
200203310652	122.19	24.14	13.8	6.8	34
200410150408	122.85	24.46	91.0	7.1	38
200411081554	122.76	23.80	10.0	6.6	36

表 2、宜蘭平原之平均剪力波速與場址放大倍率

Intensity	$a$	$b$	$\sigma$
PGA	1.8482	-0.2579	0.3461
Sas	2.3491	-0.3256	0.3777
Sa1	4.3625	-0.6060	0.3418

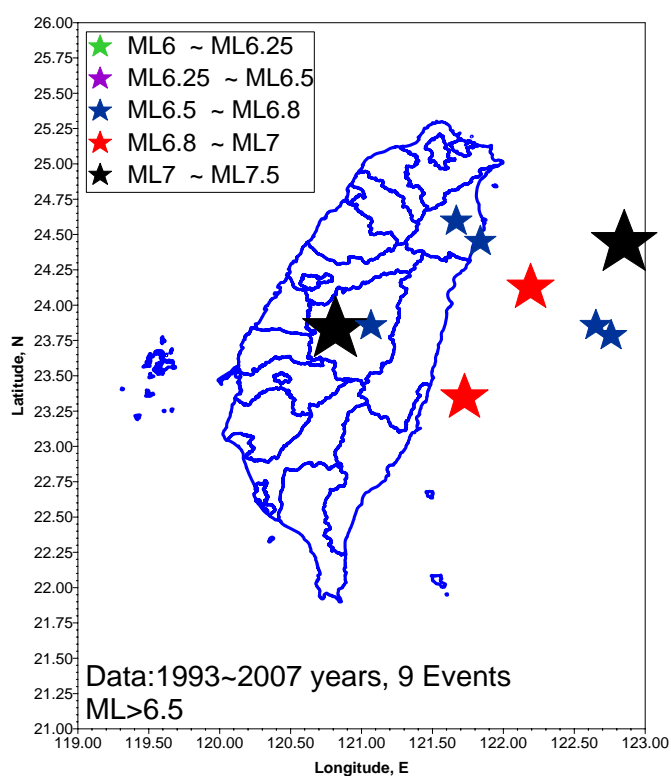
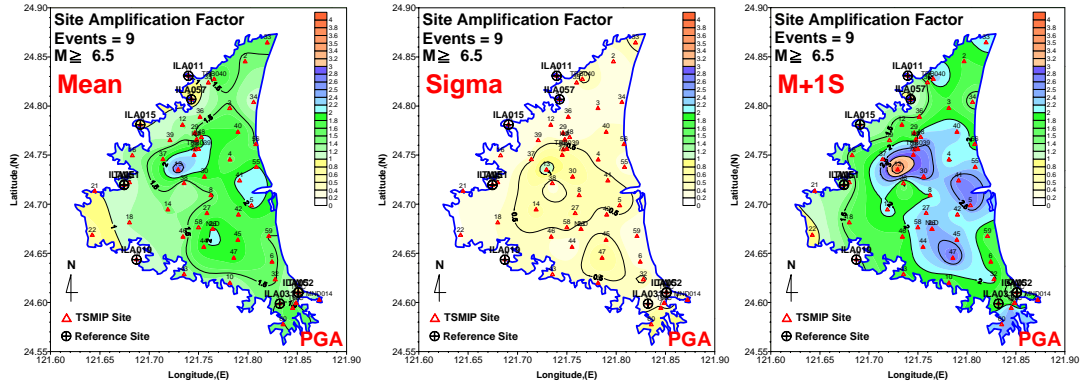
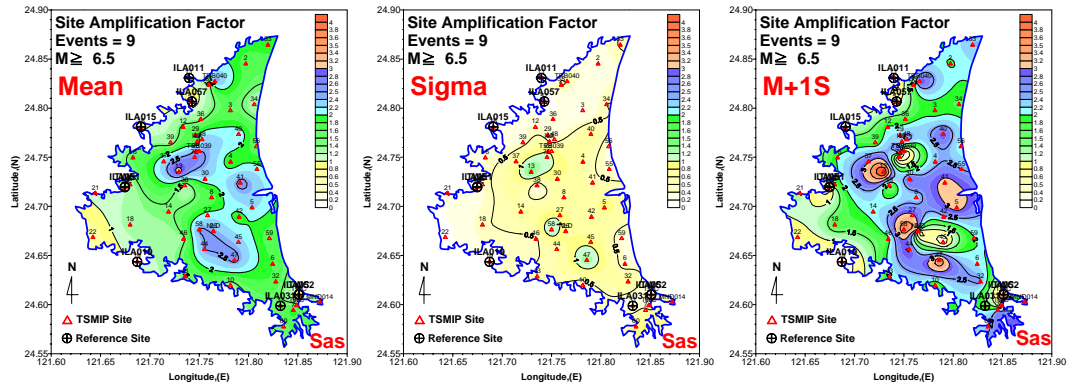


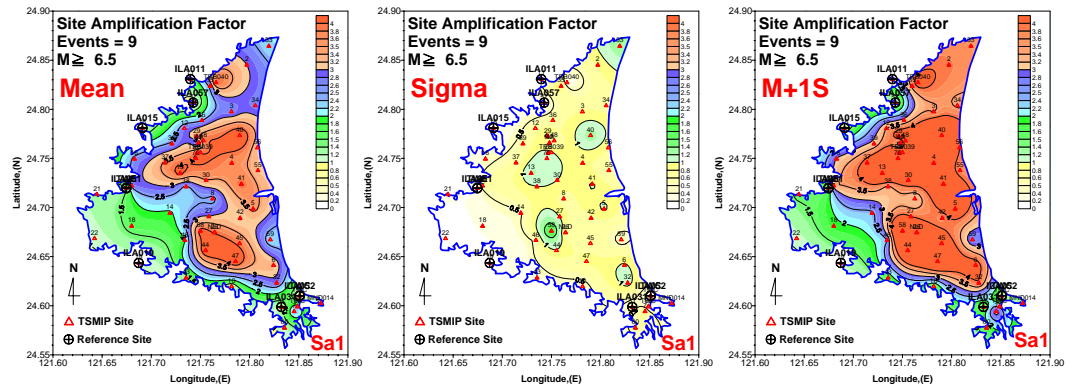
圖 1、本研究所使用之地震資料震央分佈



(a) PGA



(b)  $S_{as}$



(c)  $S_{a1}$

圖 2、宜蘭平原之放大倍率微分區圖，包含 PGA、 $S_{as}$ 、 $S_{a1}$



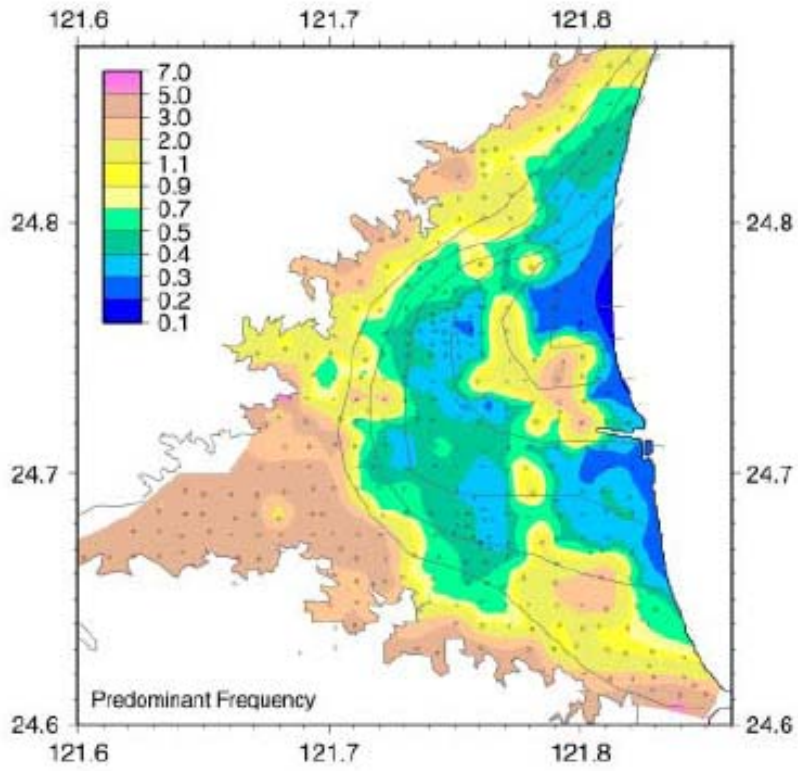


圖 3、宜蘭平原微地動量測所得之主頻分佈圖(黃有志，2003)

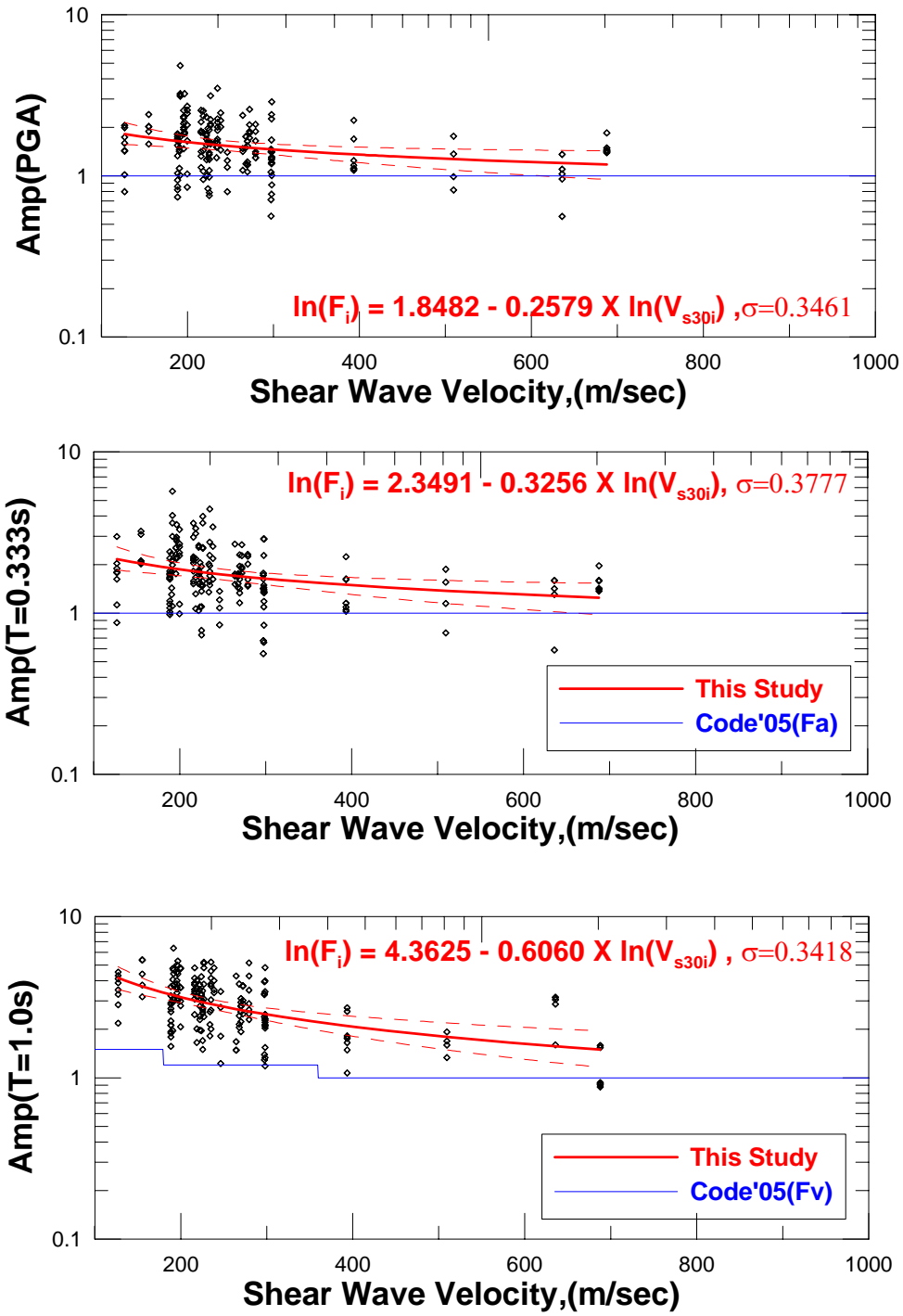


圖 4、宜蘭平原測站平均剪力波速(m/sec)與場址放大倍率之比較

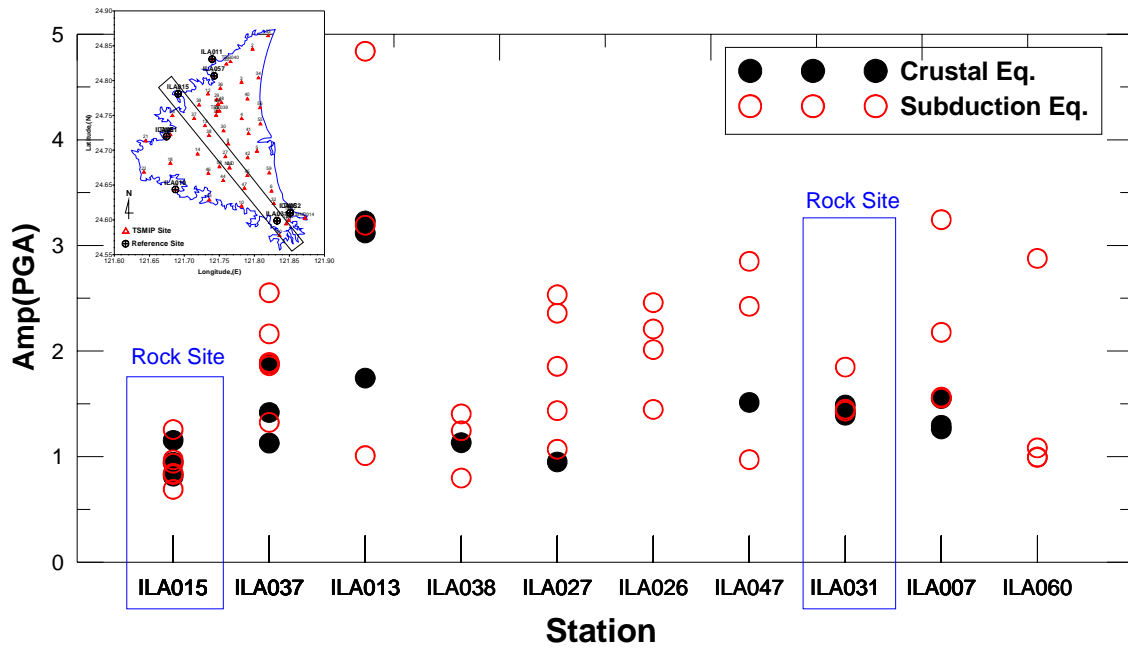


圖 5、宜蘭平原南北剖面測站對應不同震源之放大倍率比較