2016年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號 180008
- 参展科別 地球與環境科學科
- 作品名稱 利用三階段迴歸修正法修正建築物場址效 應對地震預警之影響
- 得獎獎項 大會獎:三等獎

- 就讀學校 國立科學工業園區實驗高級中學(附設國中)
- 指導教師 李欣珮
- 作者姓名 楊凱恩、陳亭築
- 關鍵字 場址效應、地震預警系統、三階段迴歸修正法

作者簡介



Hello! My name is Nicole Chen and I' m currently a freshmen at International Bilingual School at Hsinchu Science Park (IBSH). I' ve always been really interested in Science, especially Biology and Earth Science. Even though the first and only time I' ve been introduced to Earth Science was in elementary, I' ve always thought learning about the environment, the world, the planet that we live in is something that everyone should be aware of and caring about.

There are many things in which I enjoy doing during my free time, such as playing musical instruments, doing studies on the things I' m interested in, and baking sweets, etc. One of my talents is being able to socialize with others and make friends easily. I really enjoy making new friends through participating in events such as Model United Nations (MUN) because it allows me to understand the different cultures that different people have.

Hello, my name is Kyan Yang. I' m studying at National Experimental High School(NEHS). I have been doing science fair since I was in fifth grade, and till now I still have the passion to do science fair. I want to continue to do this in the future; I believe that even though our knowledge might not be enough to change the world, we still can improve our lives by using scientific methods as well as finding new discoveries. Taiwan is located where many earthquakes occur, so the study of earthquakes is extremely important for our country, and that is why we are doing this research on earthquake; we want to apply our abilities into this to help our home.

I like to see phenomenons from the perspective of science because that is the only reliable reason to explain things in my opinion. Besides studying science, I also enjoy hiking to challenge my limitations and jogging to maintain fit and healthy.

摘要

近年來場址效應(Site Effect)的研究主要為探討地質造成之場址效應,不過現 代,人類大多在建築物內活動,而建築物之場址效應也應該被受重視,本研究利 用模擬波形探討建築物場址效應造成之放大效應,發現放大倍率會隨著不同樓層 而跟著放大1到2倍。

中央氣象局致力研究地震預警系統,希望藉由預報來減少地震造成之損失, 而其用於預估最大加速度之衰減式(Attenuation Relationship)考慮震源效應 (Source Effect)與路徑效應(Path Effect),而場址效應只利用經驗觀測值與預估值之 比值表示。本研究以學校建築物做為研究區域,利用二階段衰減式作為模型提出 三階段迴歸衰減式,加以考慮建築物造成之場址效應,在第三階段乘入利用模擬 波形所得到之經驗場址效應放大倍率,最後利用線性迴歸修正,期望可有效預估 建築物內之最大加速度,未來可用以建立建築物地震預警系統。

Abstract

Studying Seismic Site Effects has recently surrounded the Site Effect caused by local geology. However, nowadays, people spend most of their time in buildings, so Site Effects caused by buildings should also be studied. This research utilizes the Stochastic-Method Simulation (SMSIM) to examine the cause of the amplified Peak Ground Acceleration (PGA) of the building Site Effects. We found out that as the floor becomes higher, the amplification is one or two times.

The Central Weather Bureau (CWB) is focusing on the study of earthquake early warning (EEW), hoping to minimize the damages caused by earthquakes. However, it only considered Source Effect and Path Effect to estimate the PGA, excluding site effects. The members used the ratio of observed PGA to predict PGA as amplification of the Site Effect, causing the PGA to be inaccurate.

This study sets the school buildings as research areas, using the Two-Stage Regression Attenuation as a model for applying the third stage, an additional stage in which the Site Effect caused by buildings is considered. During the third stage, we multiply the amplification of the site effect, and then use the linear regression to amend the predicted PGA, hoping that this method can estimate the PGA in buildings as well as able to apply to the EEW.

壹、研究動機

全世界 90%地震與 80%強震,發生在太平洋地震帶,而在太平洋火環上的臺 灣,是由歐亞板塊與菲律賓海板塊擠壓而形成之島嶼,目前仍以每年 7 公分之速 度向西北方向相對運動,並不斷進行造山運動,且位於兩板塊之聚合處,地震發 生頻繁,例如 1906 梅山地震、1935 新竹-台中地震、1941 中埔地震、1999 集集 地震,以上皆為歷史上造成死傷人數最多之地震。

2002 年 3 月 31 日在花蓮外海發生芮氏規模 6.8 的強震,而影響最大與地震 歷時最長地點卻是離震央 100 多公里的臺北市,此地震造成了當時正在興建 101 大樓之吊臂從五十六樓掉落,最後造成五人死亡,二十餘人受傷。後人研究發現 造成臺北市震度較大之原因在於臺北位於土質較鬆軟之盆地地形,當地震波進入 速度構造較慢之松山層時,地震波振幅會有明顯之放大現象,又因盆地邊緣之地 盤較硬,使地震波不斷反射,造成地震歷時較長。因為當地之特殊地質,造成地 震波能量放大之效應稱為場址效應(Site effect),是影響地震震度大小之三個因素 之一,另外還有因地震波波傳路徑造成之幾何衰減,稱為路徑效應(Path effect), 與因震源破裂形式造成之震源效應(Source effect),其中場址效應對震度之影響可 說是最大的。

每逢九月,學校總會配合教育部實施地震防災演習,讓師生熟悉逃生路線, 在地震來臨時將損失降到最低。去年演練時,學校結合中央氣象局之地震預警系 統(Earthquake Early Warning, EEW),假設在地震波尚未傳到學校前,發出地震之 警訊,師生得知消息後,立即進行避難,使我們好奇此系統之運作方式。經由中 央氣象局網站與相關文獻中認識地震預警系統,此系統之目的在地震波傳至該地 前,預先通知地震之訊息,但系統實際用於預估震度之衰減式是由迴歸分析所得, 自變量分別為表示震源效應之規模,與表示路徑效應之震源距,其中描述場址效 應之方式是將臺灣以經緯度每 0.05 度劃分為一個格點,並計算其場址因子(蕭乃 祺,2010)[4],不過經緯度在緯度大約 20 度之地方,一度大約是 100 公里,而 0.05

度則是5公里,此方法將在大約25平方公里之範圍內視為同一場址特性,而臺 灣之地形較為多元的環境下,區域場址效應之差異更是大,可能因此使地震預警 系統發布之警報產生誤差,並且現今地震預警系統提供之警訊多以震度為單位, 無法準確描述地動之大小,例如震度五級之加速度範圍為80到250Gal,但人體 對80Gal 與對250Gal 之加速度的感受其實差異很大。

中央研究院地球科學研究員李憲忠發現地震波傳遞到山頂或山脊後,波會被 放大一倍以上,而我們推測,此種放大效應也可能會發生在建築物上,而學校有 幾棟高樓,是否像山地一樣,會產生放大效應?因此我們希望透過此研究,瞭解 建築物場址效應對地震預警造成之影響,並提出三階段迴歸修正法,期望可有效 預估建築物內之最大加速度,未來可用以建立建築物地震預警系統,並提供以 Gal 為單位之預報。



圖一 2002 年 331 地震在太魯閣(a)與臺北市(b)測站測到之加速度波形,太魯閣測 站離震央 57.81 公里,臺北市測站離震央 120.79 公里,依照一般幾何衰減理論來 說,震央距越大,地震能量衰減越多,不過此次地震,震央距較大之臺北測站卻 測到較大之最大加速度,原因在於臺北市有盆地效應之關係,最大加速度比震央 距較小之測站還要大,由此可知場址效應為影響震度很重要之因素之一。

貳、研究目的

從前人之研究文獻中得知場址效應為影響地震震度相當大之因素,而現今之 研究大多著墨於區域地質之場址效應,且全臺灣之場址資料也已蒐集完成,也因 越來越多研究之需求,此數據之解析度也越來越高,但今日之人類大多活動於建 築物內,反倒是建築物之放大效應卻較少人研究,而大多研究房屋防震之方法都 是利用電腦數值模擬房屋之結構,並未考慮到地層造成之放大。現行地震預警系 統用於預估最大加速度之衰減式因考量場址效應之方法較為簡略,因此本研究蒐 集學校建築不同樓層之場址微地動資料進行分析其場址效應,以探討:

一、學校建築物內不同實驗點之微地動頻譜差異

二、利用學校自由場強震站之歷史地震模擬波形以探討建築場址效應

三、場址效應對地震預警系統造成之誤差

並提出三階段迴歸修正法,修正建築物場址效應對地震預警之影響,期待未來能 用以建立建築物地震預警系統。

參、研究設備及器材

本研究利用日本東京測振株式會社的六頻道攜帶式地震儀 VSE-311C 感應器 (如圖二a)、SAMTAC-801B 記錄器(如圖二b)此儀器可測量東西向、南北向、垂直 向之速度與加速度數據。量測範圍為 0.7Hz 到 100Hz,並可利用 GPS 接收器校正 時間。每次紀錄檔案之時間長度皆為 18 分鐘,因此每個測站皆施測 18 分鐘,每 秒取樣 200 點。為了測量出準確之數據,本研究挑選在假日無人經過之時間進行 測量,而測量步驟如下:

一、利用 GPS 接收器校正時間,有些測站因在房屋內以至於無法接收 GPS,可選 擇以手動校時

二、設定測量參數,例如取樣率

三、校正儀器,避免搬運時之碰撞,造成儀器測量誤差

- 四、地震儀方位調整,水平分量須對準南北
- 五、地震儀水平調整
- 六、儀器測試
- 七、開始測量





圖二 (a)感應器 (b)紀錄器 (c)實際進實施測之現場,感應器(左下),與紀錄器(右 上角)

肆、研究過程及方法

為了探討場址效應對地震預警系統造成之差異,並提出三階段迴歸修正法。 研究流程圖如圖三。

首先利用地震儀針對校內建築物實驗點進行微地動(Microtremor)數據之量測, 並利用單站頻譜比法(H/V method),分析其頻率與放大倍率(H/V)。

另利用隨機式點震源模擬波形法(Stochastic-Method Simulation, SMSIM)模擬 地震波形,將地震模擬至半空間(Half space),以便於研究場址效應對地震造成之 放大效應,最後利用快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)將地震波形由時 間域(Time domain)轉為頻率域(Frequency domain),分別將各實驗點之微地動數據 與半空間頻譜,同頻率之振幅相乘,再利用反快速傅立葉轉換(Inverse Fast Fourier Transform, IFFT),將頻率域之頻譜轉換為時間軸之波形,並比較前後波形之最大 加速度(Peak Ground Acceleration, PGA),相除後即可得到該場址對地震之放大效 應之倍率。

推測場址放大效應會對地震預警系統造成差異,因此利用蕭乃祺(2007)[3]提 出之衰減式(Attenuation Relationship),計算預估值與觀測值之倍率關係,了解造 成系統誤差之原因。

利用中央氣象局衰減式,考慮震源效應與路徑效應,作為第一階段估算,再 利用線形迴歸分析(Linear Regression)修正至學校自由場地震站,作為第二階段估 算,最後乘上經驗場址效應放大倍率,與計算第三階段線性迴歸式,即完成估算 最大加速度。以下分段介紹。



圖三 本研究之流程圖

一、研究原理

(一)選擇實驗點

選擇四棟校舍做為研究地區(如圖四),其中1與2號建築為一年內新建 建築,3與4號建築為較舊之建築,以探討不同時空下建造之間之差異。1號 建築有三個教室內實驗點(L,K,J),。2號建築有五個教室內實驗點(A,B,C,E,F),

三 個 樓 梯 實 驗 點 (SP,SM,SB),與三個天橋實 驗點(DM,DN,DS), DN 與 DS 分別位於天橋之兩側, DM 位在天橋正中間,以探 討天橋不同位置之差異。3 號建築有兩個教室內實驗 點(M,N),兩個樓梯實驗點 (E,W)。4 號建築有一個教 室內實驗點(O)。各實驗點 有不同樓層之測站。



圖四 本研究所挑選之測站實驗點,黑色數字帶代 表該建築之編號、紅色三角形代表教室內測站、 藍色菱形代表樓梯測站、綠色五角形代表天橋測 站

(二)微地動

微地動,又稱地球雜訊(earth noise),主要為自然界生物活動或大氣、海 浪及地層表面之擾動,造成近地表地層類似震波之訊號。本研究測量微地動 的方法很簡單且快速,因微地動無所不在,使用攜帶式地震儀記錄場址之微 地動,每個場址施測18分鐘,即可完成一次實驗。 (三)單站頻譜比法

Yutaka Nakamura(1989)[7]提出了單站頻譜比法,計算水平向(Horizontal)東 西、南北二分量頻譜之均方根,除以垂直向(Vertical)頻譜,以測得該場址之 場址效應,他簡化了雙站頻譜比法的公式,改善了雙站頻譜比法需要參考站 之問題,使用一個測站研究場址效應。因為微地動之震源在地表的關係,會 受到雷利波(Rayleigh wave)之影響,在沖積測站測到之垂直向頻譜會比參考測 站的垂直向頻譜還要大,因此垂直向之頻譜比A_V如式一,而場址效應在水平 向頻譜比A_H如式二:

$$A_V(f) = \frac{S_{isV}(f)}{S_{irV}(f)} \tag{$\sharp-$}$$

$$A_H(f) = \frac{S_{iSH}(f)}{S_{irH(f)}} \tag{$\vec{x}=$}$$

S_{isv}表示沖積測站之垂直向場址效應、S_{irv}表示參考測站之垂直向場址效應、 S_{isH}表示沖積測站之水平向場址效應、S_{irH}表示參考測站之水平向場址效應。 為了去除震源因素導致之放大效應,修正式二(如式三):

$$A_m(f) = \frac{A_H(f)}{A_V(f)} \tag{$\vec{\textbf{x}} = 1$}$$

簡化及移項式三後可表示為式四:

$$A_{m}'(f) = \frac{\left[\frac{S_{isH}(f)}{S_{irH}(f)}\right]}{\left[\frac{S_{isV}(f)}{S_{irV}(f)}\right]} = \frac{\left[\frac{S_{isH}(f)}{S_{isV}(f)}\right]}{\left[\frac{S_{irH}(f)}{S_{irV}(f)}\right] \approx 1} \tag{\vec{x} (2)}$$

Nakamura 利用井下地震儀資料得知,參考站之 $S_{irH}(f)/S_{irV}(f)$ 之值趨近於 1 (如圖五),所以可忽略不計算,而由此可簡化為單站頻譜比法,只利用



沖積測站之水平頻譜除以垂直頻譜,即可得到該地之場址效應。

圖五 Nakamura 利用井下地震儀測取參考站之放大倍率,發現參考站水平除 以垂直之值大約為一。

(四)場址效應

因區域地質特性對特定頻段之地震波產生放大作用的現象(溫國樑、郭俊 翔等,2013)[2]稱做場址效應,例如堅硬的岩石(hard rock)會完全傳遞地震波, 幾乎不放大也不衰減,不過當地震波進入土質鬆軟(soft soil)之沖積層時,地 震波之能量會被放大,且可能使地震歷時增長。此效應可用地震儀進行測量, 並進行分析其數據,並可描繪出該地在不同頻段下之放大倍率。 (五)隨機式點震源模擬法

1.研究原理

隨機式點震源法在時間軸上建立平均值接近 0 之白雜訊(white noise) 或高斯雜訊(Gaussian noise),並以函數表示加速度波包(acceleration envelope),將雜訊轉換成地震波波形,利用快速傳立葉轉換將時間軸之 波形轉換成頻率域之頻譜與相位譜,將頻譜中振幅正規化至 1,乘上各 項影響因素後(式五),再利用反快速傳立葉轉換,轉回時間域,即可得到 受各項效應影響之地震波形。不過因本研究要特別探討場址效應,因而 將場址效應G(f)設為1,即模擬至半空間。

 $Y(M_0, R, f) = E(M_0, f)P(R, f)G(f)I(f)$ (式五) M_0 為地震矩, R為震源距, f為頻率, $E(M_0, f)$ 為震源效應(即為點震源模型), P(R, f)為路徑效應, G(f)為場址效應, I(f)為儀器響應。

點震源模型假設地震之震源為由中心向外圓形的破裂模式,此方法 適用於規模較小、無大型震源機制、未知斷層之地震上,本研究並非研 究震源效應,只須地震波形用於研究場址效應,因此方法較為適合。本

研究利用以上方法模 擬出半空間之波形為 地震原始波形,並利 用傅立葉轉換將時間 軸之波形,轉換成頻 牽 職,再分別將不同 實 帶 入運 算 摺 積 (convolution),再利用 同域,即可得到受場 址效應影響後之地震 波形。



圖六 Boore(2003)[5]提出之隨機式點震源模擬法

2.隨機式點震源模擬法流程(如圖六)

a)建立平均值為0之白訊號或高斯雜訊

流程圖

b)利用一個加速度波包將雜訊轉換成波形

c)利用快速傅立葉轉換將時間域之隨機波形轉換成頻率域

d)標準化此頻譜

e)將此頻譜乘上各效應Y(M₀, R, f)

f)利用反快速傅立葉轉換將模擬之頻譜轉回時間域,即完成模擬波形。3.研究方法

此模擬方法須加入震源效應、路徑效應等參數,因這部分資料較難 取得,因此本研究參考周昆盈(2007)[1]中使用的參數(如表一),另模擬不 同之地震時,可輸入該地震之震矩規模(M_W)及震源距(Focal distance),即 可模擬出波形。但中央氣象局發布之單位為芮氏規模,故可利用式六轉 換,震源距之定義如圖七(a)。此研究在探討不同規模對地震之影響時, 只會改變規模,固定其他參數。

$$M_{\rm L} = \frac{2}{3} \log M_{\rm W} - 10.7$$
 (式六)

ML為芮氏規模、Mw為震矩規模

$$R = \sqrt{r^2 + d^2} \tag{(±1)}$$

R為震源距、r為震央距、d為深度。



圖七 (a)震源距(R)、震央距(r)、深度(d)之示意圖 (b)學校自由場測站在 1999/09/21 地震之波形(Raw Wave 為地震原波形, Free Field 為模擬自由 場強震站之波形)

表一 本	、研究参	考周昆	.盈(2007)使用	之模型	參數
------	------	-----	---------	-----	-----	----

參數名稱	參數值
應力參數(bar)	50
剪力波速(km/s)	3.2
地殼密度(g/cm ³)	2.7
非彈性衰減因子	$Q(f) = 98f^{1.00}$
	(Chang and Yeh, 1983) _[8]
Kappa (sec)	0.07
幾何衰減模型	1/R for R < 50km
	$1/R^0$ for 50 km $\le R < 150$ km
	$1/R^{0.5}$ for $R \ge 150$ km
	(Sokolov, 2000) _[6]
模型預設之 Site class B 測	Taiwan Generalize B
站平均場址放大響應	(Sokolov, 2000) _[6]

4.歷史地震選擇

本研究挑選學校自由場強地動站之歷史資料,首先挑選學校地震預 警系統內有的歷史地震回顧,再對自由場強地動紀錄中選擇最大加速度 較大之地震作為研究地震。由於經過模擬校內自由場強震站之場址效應 後發現,其場址放大倍率趨近於1(圖七b),可將此強震站視為半空間下 之地震,並在中央氣象局地震測報之網站中取得該次地震參數,模擬相 同參數之波形,以探討場址效應之放大效應。

二、數據分析

(一)不同實驗點之微地動頻譜比較

主頻即為第一次出現放大倍率最大之對應頻率,而對一般對地震來 說主頻大多落在 0.2~15Hz 之間,因此本研究只分析此頻段以尋找主頻。 一般可在頻譜圖上觀察到明顯的主頻位置(如圖八a),而有些測站放大倍率較大之頻段較多,而此效應反應出該站之地質構造或房屋結構不同。 將同實驗點、不同樓層之頻譜圖繪製於同一張圖,可從其圖中觀察到同 實驗點、不同樓層之主頻位置之差異,與放大倍率隨樓高之變化(如圖八 b)。

(二)利用模擬波形探討建築場址效應

利用模擬波形方法,將模擬半空間(如圖八 C)與加入場址效應後之 最大加速度值相除(如式八),以得到該地場址效應所造成之放大倍率 (R_m)此數值越大,等同於此處之場址放大倍率越大,模擬後可將模擬結 果畫成時間軸之波形與頻率域之頻譜圖,將同實驗點、不同樓層之波形 描繪在同一張圖(如圖八 d)上,即可觀察出最大加速度之振幅大小之變化。

$$R_m = \frac{PGA_a}{PGA_b} \tag{\mathcal{I}}$$

PGA_b為模擬半空間之最大加速度、PGA_a為加入場址效應後之最大加速度值。

(三)探討場址效應對地震預警系統造成之誤差

地震預警系統是利用 S、P 波之波速速度差來運作之系統,P 波波速 大約為 6.5km/hr,S 波波速大約為 3.5km/hr,S 波之振幅比 P 波大,且 S 波(即為水平向震波)之破壞力比 P 波大,因此利用此速度平均可爭取大 約 20 秒之時間,其中,分析及預估地震波規模、深度、震央、到達時間 之方法有兩種,現地型與區域型;現地型利用一台地震儀,收取 P 波前 三秒之資訊,推估地震規模,預估 S 波可能之能量大小。區域型地震利 用多個地震測站,測量 P 波、S 波之速度差與來源方向,定位震央與深 度。現地型之好處在於可快速發布預警,區域型之好處在於可分析出較 準確之震源位置與各地震資訊。

中央氣象局用於描述場址效應之方法為將臺灣地區以經緯度 0.05 度

劃分為一格點,並計算該區域之實際觀測值與預估值的比值(如式九),作 為該地區之場址效應放大倍率(R_M),此數值若大 1,意思是此衰減式低 估最大加速度,此數值若小於 1,意思是此衰減式高估最大加速度,不過 此方法可能因為預估值本身之殘差造成此倍率之不準確,本研究利用蕭 乃祺提出之衰減式,計算學校自由場測站的 26 個歷史地震之觀測值與預 估值之間的倍率關係,了解場址效應對地震預警系統產生之系統誤差。

$$R_M = \frac{PGA_{obv}}{PGA_{pre}} \tag{(3.1)}$$

PGA_{obv}為學校自由場強震站實際測到之最大加速度、PGA_{pre}為利用衰減 式預估之最大加速度。

(四)利用三階段迴歸修正法修正最大加速度

由中央氣象局取得 26 個歷史地震芮氏規模ML與震源距R,帶入蕭乃 祺(2007)提出之衰減式(式十)作為第一階段預估公式,計算出 26 個第一 階段結果PGA_{Xiao}。

 $PGA_{Xiao} = 1.657e^{(1.533M_L)} \times R^{-1.607} \times S_{Xiao}$ (式十) 此衰減式之單位為Gal (cm/s^2) 、 M_L 為芮氏規模、R為震源距(單位:km)、 S_{Xiao} 為場址放大倍率常數(依該論文使用之放大倍率設定為10^{0.1})

第二階為利用線性迴歸修正第一階段預估值,目的為修正區域地質 場址效應之預估誤差,將求得之第一階段的預估值與學校自由場地震站 實際測到之26個歷史地震觀測值,分別帶入式十一中之PGA_{Xiaoi}與Y_i, 再將式十一中a₁,a₂分別對式十一做偏微分(Partial differential),且各令偏 微分為0,如式十二,可求得a₁,a₂(最小平方法,Least Square)。將求得的 a₁,a₂帶入第二階段迴歸公式如式十三,可得第二階段之預估值(PGA_{two})。

$$f(a_1, a_2) = \sum_{i=1}^{n} [Y_i - (a_1 + a_2 P G A_{Xiao_i})]^2 \qquad (\ddagger + -)$$

i 為地震之編號、Y_i 為實際觀測值、PGA_{Xiaoi}為第一階段預估值、

a1 a2為迴歸係數

$$\frac{\partial f}{\partial a_1} = 0 \qquad \frac{\partial f}{\partial a_2} = 0 \qquad (\pm \pm)$$

$$PGA_{two} = a_1 + a_2 PGA_{Xiao} \qquad (\pm \pm)$$

第三階段利用前述之隨機式點震源模擬法針對 100 個建築物測站進 行模擬,每個測站皆模擬 14 個歷史地震,計算出每個測站對各地震之建 築物場址效應放大倍率,並將其平均得到經驗放大倍率(C_k),將各建築物 場址之C_k乘以第二階段預估值(PGA_{two})後,與針對 100 個建築物場址之 模擬波形結果PGA_{SMSIMk}進行迴歸修正(如式十四),迴歸作法如第二階段 所述。此階段修正為利用模擬技巧,用以修正建築物場址效應之預估誤 差,最後可得第三階段預估式(如式十五),只要帶入第二階段預估值 PGA_{two}及欲分析之場址k的平均放大倍率C_k即可求得場址k之第三階段 預估值PGA_{threek}。

不過因沒有實際地震發生時在學校建築內實際進行地震測量,因此 僅能以模擬波形之結果加以比較。

$$g(b_1, b_2) = \sum_{j=1}^{l} \sum_{k=1}^{n} \{ PGA_{SMSIM_{k_j}} - [b_1 + b_2(PGA_{two_j} \times C_k)] \}^2 \quad (\texttt{x} + \texttt{m})$$

k為各場址之編號、本次迴歸分析,n = 100、 $PGA_{SMSIM_{k_j}}$ 為模擬波形後得到之最大加速度值、 PGA_{two_j} 為第二階段預估值、 $b_1 b_2$ 為迴歸係數、j=為地震數量

$$PGA_{three_k} = b_1 + b_2(PGA_{two} \times C_k) \qquad (\pm \pm \pm)$$



圖八 本研究利用於分析之方法 (a)主頻位置 (b)同實驗點、不同樓層之頻譜圖 (c)模擬至半空間之波形 (d)同實驗點、不同樓層之波形

伍、研究結果及討論

一、不同實驗點之微地動頻譜比較

本研究在校內建築物內共施測 100 個測站,研究各實驗點之間結構與場址效應之關係,經過數據分析後發現同建築內結構相近之實驗點的結果相近,因此選取新建築教室實驗點 E、樓梯實驗點 SB、天橋實驗點 DN、DM,舊建築教室測站N、樓梯測站 W,探討其量測結果。

(一)從2號建築(新建築)教室實驗點E頻譜圖圖九(a)中可知一至五樓(E1~E5)
之主頻分別為1.22、4.9、4.54、4.44與4.56Hz,除了一樓測站外,其他樓層
之主頻相近,因此無共振效應之疑慮。一至五樓之放大倍率分別為1.74、4.6、
7.95、13.93與17.18,放大倍率隨著樓層增加而放大。

(二)從3號建築(舊建築)教室實驗點N頻譜圖圖九(b)中可知一到四樓(N1~N4) 之主頻分別為1.14、3.73、3.76、3.73Hz,除了一樓測站外,其他樓層之主頻 相近,因此亦無共振效應之問題。一到四樓之放大倍率分別為1.76、4.76、 6.57、7.31,放大倍率隨著樓層增高而變大。此實驗點主頻附近放大倍率較高 之頻段較多,推測此實驗點受到多種效應之影響。

(三)從2號建築(新大樓)樓梯實驗點SB頻譜圖如圖九(c),本實驗點測站皆放 至於樓層之間中,如一至二樓間(SB12)、二至三樓(SB23),由低到高樓 (SB12~SB45)之主頻分別為6.61、6.61、6.51與6.22Hz,從主頻數據中得知同 樓梯實驗點之主頻相近,且此實驗點放大倍率較高之頻段較多,推測此實驗 點受到多種效應之影響。因為此樓梯之構成為鋼骨與鋼板組成結構,並再階 梯處鋪上水泥,與其他建築較為不同。由低到高樓(SB12~SB45)之放大倍率分 別為3.28、16.61、17.76、18.85,發現除了一至二樓測站外,其他測站隨樓 層增加之放大效應較不明顯。

(四)從3號建築(舊大樓)樓梯實驗點W頻譜圖如圖九(d),本實驗點測站皆放 至於樓層之間中,如一至二樓間(W12)、二至三樓(W23),由低到高樓

(W12~W45)之主頻分別為 3.95、4.46、4.46 與 3.8Hz,發現樓梯測站之主頻稍 有差異。由低到高樓(W12~W45)之放大倍率分別為 2.05、4.55、7.68、5.96, 其放大倍率不一定像教室測站一樣隨著樓層增高而增加。此為傳統鋼筋混泥 土樓梯。可由新建築樓梯實驗點 SB 與本實驗點 W 之頻譜的差異看出兩者結 構之不同。

(五)從 2 號建築(新建築)天橋中央實驗點 DM 頻譜圖圖九(e)中可知一至四樓 (DM1~DM4)之主頻分別為 1.22、5.95、6.34 與 5.93 Hz,除了一樓測站外,其 他樓層之主頻相近。一至四樓之放大倍率分別為 1.63、5.93、12.65 與 13.66, 放大倍率隨著樓層增加而放大。從二至四樓之測站中發現其主頻與附近教室 實驗點 C 相近(如附錄),但天橋中央之放大倍率比較教室實驗點還要高很多。 (六)從 2 號建築(新建築)天橋末端實驗點 DN 頻譜圖圖九(f)中可知一至四樓 (DN1~DN4)之主頻分別為 1.0、5.24、5.27 與 5.39Hz,除了一樓測站外,其他 樓層之主頻相近。一至四樓之放大倍率分別為 1.72、3.44、6.17 與 7.41,放 大倍率隨著樓層增加而放大。此實驗點除一樓外之放大倍率皆較天橋中央實 驗點 DM 大,推測天橋中央測站無較穩固之柱子或牆壁,因此較天橋末端實 驗點不穩固。從二至四樓之測站中發現其主頻與附近教室實驗點 C 相近(如 附錄),而天橋末端之放大倍率與教室實驗點差異不大。



圖九 各實驗點之頻譜圖(主頻,放大倍率)(a)新建築教室實驗點(b)舊建築教室 實驗點(c)新建築樓梯實驗點(d)舊建築樓梯實驗點(e)新建築連天橋實驗點 (中央)(f)新建築天橋實驗點(末端)

二、利用點震源模擬波形探討建築場址效應

測站所量測到之頻譜經由地震模擬波形模擬後,可觀察到最大加速度的放大 現象。100 個測站所量測到之頻譜皆經由 15 個不同地震模擬波形模擬後發現, 同一測站對 15 個地震之最大加速度放大倍率結果接近。故以下僅列舉集集地震 主震對不同實驗點之放大現象觀察。

(一)從2號建築(新建築)教室實驗點E波形圖圖十(a)中可知一至五樓(E1~E5) 之最大加速度放大倍率分別為1.01、1.13、1.34、1.59與1.80,樓層越高, 放大倍率越大。

(二)從3號建築(舊建築)教室實驗點N波形圖圖+(b)中可知一至四樓(N1~N4) 之最大加速度放大倍率分別為1.10、1.35、1.77與1.81,樓層越高,放大倍 率越大。

(三)從 2 號建築(新建築)樓梯實驗點 SB 波形圖圖十(c)中可知由低到高樓 (SB12~SB45)之最大加速度放大倍率分別為 1.55、1.95、1.86、與 3.19,其放 大倍率不一定像教室測站一樣隨著樓層增高而增加。

(四)從 3 號建築(舊建築)樓梯實驗點 W 波形圖圖十(d)中可知由低到高樓 (W12~W45)之最大加速度放大倍率分別為 1.14、1.12、1.29 與 1.37,其放大 倍率不一定隨著樓層增高而增加。

(五)從 2 號建築(新建築)天橋中央實驗點 DM 波形圖圖十(e)中可知由低到高 樓(DM1~DM4)之最大加速度放大倍率分別為 1.09、1.63、2.34 與 2.18,其放 大倍率不一定隨著樓層增高而增加。

(六)從2號建築(新建築)天橋末端實驗點DN波形圖圖十(f)中可知由低到高樓 (DN1~DN4)之最大加速度放大倍率分別為1.03、1.05、1.33與1.55,樓層越 高,放大倍率越大。

(七)總結以上之結果可觀察到:

 新大樓教室實驗點E主頻之H/V放大倍率皆較舊大樓教室實驗點N大, 但經點震源模擬後發現舊大樓教室最大加速度放大倍率反而皆較新大樓 大(如圖十一a、b),因此推測除主頻外,其他頻段之 H/V 放大倍率也與 實際地震最大加速度放大倍率有關,所以不能直接以主頻之放大倍率推 測實際最大加速度放大倍率。可由實驗點 N 所觀察到的主頻附近放大倍 率較高之頻段較多,看出此現象。

2.不論新舊大樓,教室實驗點樓層越高,最大加速度放大倍率越大,但天橋與樓梯實驗點,樓層越高,放大倍率不一定遞增。
 3.天橋中央之最大加速度放大倍率比天橋末端大。

4.新大樓樓梯實驗點之放大倍率比舊大樓樓梯實驗點大。



圖十一 (a)各實驗點、不同樓層之 H/V 放大倍率 (b) 各實驗點、不同樓層之 最大加速度放大倍率



圖十 不同實驗點經過模擬 1999/09/21 地震後之波形圖 (a)新建築教室實驗 點 (b)舊建築教室實驗點 (c)新建築樓梯實驗點 (d)舊建築樓梯實驗點 (e)新 建築連天橋實驗點(中央)(f)新建築天橋實驗點(末端)

三、探討場址效應對地震預警系統造成之誤差

中央氣象局利用 P 波分析出該地震之芮氏規模及震源距後,帶入最大加速 度衰減式,用以提供地震預警。

因此我們利用從中央氣象局取得之芮氏規模與震源距帶入 Xiao 衰減式,以 預估 26 個地震之最大加速度,並與自由場強震站觀測到之最大加速度相比較如 圖十二(a)所示,經計算後發現 Xiao 衰減式會與觀測值有 2.03(平均)倍之差異,而 其中兩個地震差異更大,查詢此二地震資料後發現,其震度分布皆與 331 地震相 似,震央距較遠之測站反而測到較大之最大加速度,如圖十二(b),第 84007 號地 震震度分布圖所示。此現象應由場址效應造成,並對地震預警系統造成較大之誤 差。

雖然中央氣象局已考慮場址效應對震度預估之影響,不過其計算場址倍率 之方法為將觀測值除以預估值,此方法利於大範圍推估震度,不過對於局部地質 或建築物造成之場址效應並無法精確預估。



圖十二 (a)利用 Xiao 衰減式預估 26 個地震之最大加速度與實際觀測值之比較(紅色圓形為實際觀測值、藍色三角形為利用 Xiao 衰減式之預估值)(b)第 84007 號地 震之震度分布圖

四、利用三階段迴歸公式修正最大加速度衰减式

第一階段:

$$PGA_{Xiao} = 1.657e^{(1.533M_L)} \times R^{-1.607} \times S_{Xiao} \qquad (\pm + 5)$$

第二階段:

$$PGA_{two} = -0.43187 + 1.457159 \times PGA_{Xiao}$$
 (式十七)
第三階段:

$$PGA_{three_k} = 4.794317 + 1.140492 \times (PGA_{two} \times C_k)$$
 (式十八)
 C_k 為利用模擬波形所得到知經驗場址經驗放大倍率、 k 為場址編號

本研究利用三階段迴歸修正法預估最大加速度,並計算三階段估計值與學校 測站隨機式點震源模擬波形法之結果的倍率關係,發現第一階段迴歸(式十六)僅 考慮震源效應與路徑效應,平均造成 2.85 倍之倍率差異,第二階段(式十七)加入 區域地質造成之場址效應,平均造成 1.79 倍之倍率差異,第三階段加入經驗場 址倍率後,平均造成 1.31 倍之倍率差異,而在經過線形迴歸之修正(式十八),平 均造成 0.98 倍之倍率差異。由此可知,第三階段加入場址倍率後再經過線形迴 歸修正之預估值會較準確,此現象亦可從圖十三中觀察到。

另外在各階段之數據中,發現預估 2 號建築之最大加速度時,發現越高樓 層之誤差越大。一般來說越高樓層之場址效應越明顯,也就是說其放大倍率越大, 雖然在第三階段前半部已有乘入場址效應之經驗倍率值,不過場址放大倍率值之 大小,取決於該場址與地震之頻率,如果地震振幅最大之頻率剛好與放大倍率最 大之頻率相乘,放大倍率即會有較大的值,而經驗場址放大倍率之意義在於利用 歷史地震來觀察大約放大倍率之值,因此隨著地震樣本增多,此經驗放大倍率之 值亦會變得值準確。

本研究利用學校建築探討如何減少場址效應對地震預警系統造成之差異, 從實驗結果中發現本研究提出之三階段迴歸公式可有效減少建築物造成之場址 效應誤差,本方法只需在該建築物內施測18分鐘以取得該地之微地動資料,利

用模擬波形之方法即可得到該地之經驗場址效應倍率,並利用附近之自由場強震 站之地震紀錄,並分別計算其迴歸關係式,即可完成,方法簡單且有效。不過第 三階段之倍率差異還有待實際在學校建築內測量強地動才能實際確認其準確性。

由以上結論可知,本方法可有效預估建築物內之最大加速度值,未來在建 立建築物地震預警系統之流程為:

(一)針對建築物所在區域,利用歷史地震資料輸入第一階段衰減式,並以其 預估值與觀測值建立第二階段迴歸修正式。

(二)在該建築物場址進行微地動測量,並利用隨機式點震源模擬波形方法計算此建築物場址經驗放大倍率。

(三)將第二階段之預估值與建築物場址經驗放大倍率相乘後,並以此值與模擬波形之結果(因大部分建築物內並無地震測站)建立第三階段衰減式。

(四)當未來有地震發生時,可利用中央氣象局預報之芮氏規模及震源距,輸入第一階段迴歸式(如式十六),再將第一階段之結果(PGA_{xiao})輸入第二階段 修正式(如式十七),最後將第二階段之結果(PGA_{two})輸入第三階段修正式(如 式十八),得到建築物內最大加速度之預估值(PGA_{threek}),並以此預估值作為 建築物地震預警系統之預警值。



圖十三 衰減式利用兩種方法估算之預 估值與觀測值之倍率關係圖(After 為經過 線性迴歸後之倍率差異、Before 為未經迴 歸修正之倍率差異) 一、不同實驗點之微地動頻譜差異

(一)從頻譜圖中可得知大約主頻位置,也可從主頻的數量分析該測站所受之地層材質、建築物結構之差異。

(二)教室測站之放大倍率隨著樓層增加而遞增,而一樓之主頻與其他樓層不相近,因此較無共振效應之問題。

(三)舊大樓教室實驗點主頻附近放大倍率較高之頻段較多,此現象可能會對 最大加速度放大倍率造成影響。

(四)從非主頻頻段中發現新大樓樓梯實驗點受到較多效應之影響。

(五)天橋測站之結果中發現,位於天橋正中央測站之主頻與較靠近建築測站 之主頻相近。

(六)新建築樓梯結構為鋼骨與鋼板組成,再鋪上水泥,而舊建築為傳統鋼筋 混泥土樓梯,兩者材質與結構上之異同,可從頻譜中看出差異。

二、利用模擬波形探討建築場址效應

(一)新大樓教室主頻之 H/V 放大倍率較舊大樓教室大,但經點震源模擬後發 現舊大樓教室最大加速度放大倍率反而較新大樓大,因此推測除主頻外,其 他頻段之 H/V 放大倍率也與實際地震最大加速度放大倍率有關,所以不能直 接以主頻之放大倍率推測實際最大加速度放大倍率。可由實驗點 N 所觀察到 的主頻附近放大倍率較高之頻段較多,看出此現象。

(二)不論新舊大樓,教室實驗點樓層越高,最大加速度放大倍率越大,但天 橋與樓梯實驗點,樓層越高,放大倍率不一定遞增。

(三)天橋中央之最大加速度放大倍率比天橋末端大。

(四)新大樓樓梯實驗點之放大倍率比舊大樓樓梯實驗點大。

三、學校建築物對地震預警系統造成之差異

利用中央氣象局衰減式預估最大加速度時,發現此衰減式對其中兩個地震之 誤差特別大,而發現其震度分布圖與2002年331地震相同,震央距較遠測站最 大加速度比震央距較小之測站大,由此推測場址效應會造成地震預警系統在預估 最大加速度時造成誤差。

四、利用三階段迴歸修正法修正最大加速度

(一)第一階段利用中央氣象局之衰減式,考慮震源效應與路徑效應,第二階段利用第一階段預估值與學校自由場強震站之實際歷史觀測值做迴歸修正, 考慮區域地質造成之場址效應,可比第一階段預估值準確,第三階段先加入場址經驗倍率後,再利用隨機式點震源模擬波形法模擬之結果做線性迴歸, 修正建築物場址效應造成之影響,可更準確預估建築物最大加速度。(二)三階段迴歸修正法之好處在於只需在該場址施測 18 分鐘即可完成,且可有效的預估建築最大加速度。期待未來可以用於建立建築物地震預警系統。

柒、未來展望與應用

本研究利用三階段迴歸修正法修正最大加速度衰式,而其迴歸分析為統計方 法,意指樣本數越多,代表性越好,不過因本校位於地震較少之地區,因此歷史 地震較小,自由場強震站測到之地震通常都為震度2到3級,對迴歸分析來說會 造成較大之誤差。三階段迴歸修正法可預估建築物內之場址放大效應,配合地震 預警系統之地震資訊,可有效的預估建築物內之最大加速度,用以建立建築物之 地震預警系統,可應用於廠房或學校,廠房可在接收到預警後,判斷此震度是否 符合停止生產之標準,減少生產時之損失。學校接收到預警後,可以以不同樓層 之最大加速度與各地區,例如天橋、樓梯之最大加速度預估值來擬訂逃生計畫, 同時師長可依預警內容來宣導逃生注意事項,減少地震帶來之傷害。

捌、參考資料

- 周昆瑩,2007,利用隨機式震源模型探討蘭陽平原之場址效應,國立中央大 學地球物理研究所碩士論文。
- 謝宏灝、郭俊翔、林哲民、溫國樑,2013。微地動場址特性分析與地層波速 調查,國家實驗研究院國家地震工程研究中心地震動潛勢評估計畫報告。
- 蕭乃祺,2007。臺灣即時強地動觀測於地震預警之應用,國立中央大學地球 物理研究所博士論文。
- 4. 蕭乃祺、陳承俊、蕭文啟,2010。臺灣即時地震觀測地動峰值圖層之快速製
 作,行政院國家科學委員會補助專題研究計畫其中進度報告。
- 5 . David M. Boore,2003. Simulation of Ground Motion using the Stochastic Method, Pure.Appl.Geophys.,160(3-4),635-676.
- 6 . Sokolov, V. Yu, 2000. Spectral parameters of ground motion in different region: comparison of empirical models, Soil Dyn. Earthquake Eng., 19,173-181,
- 7 .Yutaka Nakamura, 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, QR of RTRI, 30, 1, 25-33.

附錄1	各测站主频	•	放大倍	率	與標	準	差	表
-----	-------	---	-----	---	----	---	---	---

Location	Frequency(Hz)	H/V ratio	σ	Location	Frequency(Hz)	H/V ratio	σ
A1	1.4894	1.6117	0.3475	J1	1.1720	1.8141	0.5614
A2	5.3719	5.8751	1.2661	J2	5.2497	4.6627	1.1571
A3	5.5671	9.1924	2.9960	J3	5.2747	8.8136	2.1048
A4	5.4694	15.2710	3.7089	J4	4.9322	13.3790	2.5660
B1	1.1964	1.7713	0.4653	K1	1.2453	1.8660	0.5054
B2	5.3473	5.7904	1.0250	K2	4.9817	5.0483	1.0846
B3	5.2497	6.1401	1.9566	K3	4.7863	6.5986	1.5520
B4	5.3473	13.9470	5.6428	K4	4.9078	11.0070	2.9234
C1	1.2209	1.4457	0.4132	SM12	5.3962	2.1492	0.6278
C2	5.1520	3.8880	0.9002	SM23	5.3717	5.4604	1.0807
C3	5.4212	3.9043	0.8169	SM34	5.3962	7.3767	2.2078
C4	5.2373	12.4020	3.0546	M1	1.2453	1.6870	0.3882
DN1	1.0011	1.7284	0.4401	M2	3.9067	3.1643	0.7234
DN2	5.2497	3.4442	0.8710	M3	3.8579	7.4104	0.5204
DN3	5.2741	6.1706	1.9320	M4	3.9556	6.5813	0.7650
DN4	5.3962	7.4164	1.5619	N1	1.1476	1.9330	0.4970
DM1	1.1232	1.6343	0.4155	N2	3.7358	4.7667	1.2651
DM2	5.9578	5.9322	1.1138	N3	3.7602	6.5701	1.2693
DM3	6.3484	12.6540	3.6440	N4	3.7358	7.3155	0.7843
DM4	5.9333	13.6600	3.1535	01	1.0499	2.0548	0.5903
DS1	1.5383	1.7651	0.6073	O2	4.7863	3.3798	0.8914
DS2	5.8357	5.5424	1.2632	O3	6.8368	5.3138	1.8828
DS3	6.4217	10.8400	3.3706	SB12	6.6170	3.2869	0.7212
DS4	5.3962	12.2950	2.3522	SB23	6.6170	16.6120	5.1168
E1	1.2209	1.7481	0.3867	SB34	6.5194	17.7630	5.4733
E2	4.9078	4.6074	1.3133	SB45	6.2263	18.8540	3.4263
E3	4.5416	7.9534	1.4643	SP1/3	4.8346	2.2476	0.3899
E4	4.4439	13.9340	3.2675	SP2/3	4.7857	2.4788	0.6352
E5	4.5660	17.1820	4.9469	SP3/3	4.8346	2.0702	0.5241
F1	1.3674	1.6106	0.2888	E12	3.3696	1.5601	0.3931
F2	4.5172	5.6385	1.1649	E23	3.5893	4.3075	1.0035
F3	4.4439	10.0020	3.3626	E34	3.6381	8.3474	1.5635
F4	4.4683	19.0920	4.9390	E45	3.6137	10.1240	1.9447
L1	1.5627	1.8253	0.2690	W12	3.9556	2.0594	0.3791
L2	5.6403	5.6696	1.6303	W23	4.4683	4.5551	0.8739
L3	5.5427	9.7149	1.8288	W34	4.4683	7.6802	2.2985
L4	5.6403	10.0790	3.1112	W45	3.8091	5.9680	0.8779

附錄 2 本研究利用 1935 到 2014 年之間,規模 5.0 以上之地震,作為模擬波形

Occurrence Time (UTC)	M_L	Depth	Latitude	Longitude	PGA
1999-09-20 17:47:00	7.3	8	23.85	120.82	124.34
1999-11-01 17:53:00	6.9	31.3	23.26	121.73	28.445
2002-03-31 06:52:00	6.8	13.8	24.14	122.19	64.47
2013-10-31 12:02:09	6.4	15	23.57	121.35	24.137
2014-05-21 00:21:13	5.9	16.5	23.74	121.43	9.248
1995-02-23 05:19:02	5.8	21.7	24.2	121.69	25.775
1995-06-25 06:59:07	6.5	39.9	24.61	121.67	33.548
2009-12-19 13:02:16	6.9	43.8	23.79	121.66	24.926
1999-09-20 18:11:54	6.7	12.5	23.86	121.04	38.31
3333333*	5.4	30	24.01	121.01	25.325
11111111*	4.8	30	24.01	121.01	13.78
4444444*	7	30	24.01	121.01	97.512
88888888*	6.4	30	24.01	121.01	69.535
5555555*	5.8	30	24.01	121.01	38.784

之地震樣本。*為虛構地震

附錄 3 本研究挑選 1994 年到 2014 年間, 芮氏規模大於 5.0, 最大加速度(PGA)

Occurrence Time (UTC)	M_L	Depth(km)	Latitude	Longitude	PGA(Gal)
2014-02-21 20:25:00	5.6	60.9	24.7	121.6	10.197
2013-10-31 12:02:00	6.42	14.98	23.57	121.35	23.194
2013-06-02 05:43:00	6.48	14.54	23.86	120.97	14.258
2013-03-27 02:03:00	6.24	19.43	23.9	121.05	13.594
2009-12-19 13:02:00	6.92	43.78	23.79	121.66	24.616
200910-03 17:36:00	6.09	29.15	23.65	121.58	11.627
2009-07-13 18:05:00	6.0	18.08	24.02	122.22	10.495
2004-10-15 04:08:00	7.1	91.03	24.46	122.85	15.984
2003-06-09 01:52:00	5.72	23.22	24.37	122.02	20.277
2002-09-29 20:05:00	5.19	82.93	24.8	121.81	10.377
2002-05-15 03:46:00	6.2	8.52	24.65	121.87	12.507
2002-03-31 06:52:00	6.8	13.81	24.14	122.19	64.971
2002-02-12 03:27:00	6.2	29.98	23.74	121.72	10.72
2001-06-14 02:35:00	6.3	17.29	24.42	121.93	15.105
2000 -06-1018:23:00	6.7	16.21	23.9	121.11	19.296
1999-11-01 17:53:00	6.9	31.33	23.36	121.73	28.501
1999-09-20 21:46:00	6.59	8.57	23.58	120.86	12.155
1999-09-20 18:16:00	6.66	12.53	23.86	121.04	36.29
1999-09-20 18:11:00	6.7	12.49	23.86	121.07	39.016
1999-09-20 17:47:00	7.3	8.0	23.85	120.82	123.262
1996-03-05 14:52:00	6.4	6.0	23.93	122.36	11.509
1995-12-10 03:17:00	5.72	45.07	24.61	121.64	10.223
1995-06-25 06:59:00	6.5	39.88	24.61	121.67	34.089
1995-02-23 05:19:00	5.77	21.69	24.2	121.69	26.13
1994-10-05 01:13:00	5.83	31.28	23.16	121.72	14.806
1994-06-05 01:09:00	6.5	5.3	24.46	121.84	15.401

值大於 10Gal 之地震作為計算迴歸係數之地震樣本

率	之	平	均	值
---	---	---	---	---

Location	Site Ratio						
A1	1.1127	J1	1.1048	O1	1.0464	DS1	1.0999
A2	1.2698	J2	1.2322	O2	1.2402	DS2	1.6095
A3	1.6419	J3	1.6049	O3	1.4093	DS3	2.1537
A4	2.1708	J4	1.9851	SB12	1.1298	DS4	2.2825
B1	1.1515	K1	1.0825	SB23	2.3701	E1	1.0792
B2	1.3134	K2	1.2505	SB34	2.9177	E2	1.1470
B3	1.4273	K3	1.4161	SB45	3.0130	E3	1.3660
B4	1.9290	K4	1.8398	SP1/3	1.1571	E4	1.5370
C1	1.1204	SM12	1.1226	SP2/3	1.1750	E5	1.7880
C2	1.2253	SM23	1.3298	SP3/3	1.0894	F1	1.0874
C3	1.2618	SM34	1.5864	E12	1.1308	F2	1.1647
C4	1.8302	M1	1.2446	E23	1.4652	F3	1.3072
DN1	1.0649	M2	1.2487	E34	1.8199	F4	1.6239
DN2	1.1597	М3	1.3747	E45	1.8296	L1	1.1313
DN3	1.3800	M4	1.5673	W12	1.2299	L2	1.3040
DN4	1.6455	N1	1.1967	W23	1.2009	L3	1.5356
DM1	1.1243	N2	1.3666	W34	1.2940	L4	1.7213
DM2	1.7678	N3	1.5852	W45	1.3913		
DM3	2.2847	N4	1.7422			-	
DM4	2.2144			-			

【評語】180008

利用三階段迴歸修正法修正建築物場址效應,對地震預警具有 應用參考之價值,對如何測量及推導建築物場址效應也有完整之說 明。結合震源效應與路徑效應,場址效應(包括地形及建築物)可以 改善地震預警之最大加速度之衰減預估。