

苗栗台中地區強震地動加速度與速度衰減模式之研究

劉坤松

高苑科技大學通識教育中心暨防災研究中心

摘要

本研究目的在於應用中央氣象局強地動觀測網之強震地動資料，選用 37 個淺源地殼地震($M_w=4.4$ 到 7.6)，建立苗栗台中地區之強震地動加速度與速度衰減模式，並與台灣不同地區之衰減模式作一比較。本研究建立衰減模式的經驗公式型態如下式：

$$\ln Y = a \ln(X + h) + bX + cM_w + d \pm \sigma$$

式中，Y 為地動值， M_w 為震矩規模，X 為震源距離，a 為幾何衰減係數，b 為非彈性衰減係數，c 為規模係數，h 為近距離飽和項， σ 為標準偏差。結果顯示，苗栗台中地區垂直向的回歸係數 a 的絕對值較水平向的值要高，意味著垂直向的地表加速度較水平向衰減的快，可能是因垂直向紀錄的主頻較高有關，此可由 Bolt 等人(2004)的研究結果來佐證。另外，垂直向較水平向有較高的 c 值，因此，垂直向的地表加速度會隨著地震規模的增加而有較大的貢獻量。此外，將本文研究地區與台灣其他地區研究的結果比較，顯示苗栗台中地區的地表加速度與速度值較台灣整體地區的值稍低，而與南投地區的值接近，可能是苗栗及台中地區部分位於麓山帶有關，此不同地區的地動衰減模式結果，反應出局部場址效應影響著該地區強震地動的特性。最後，我們進一步計算苗栗台中地區 61 個測站地動參數的剩餘值，最大地表加速度(PGA)剩餘值的最大值與最小值分別為 0.80 與 -0.34，對應場址放大係數分別為 2.23 與 0.71。最大地表速度(PGV)剩餘值的最大值與最小值分別為 0.90 與 -0.84，對應場址放大係數分別為 2.45 與 0.43。

關鍵詞：衰減模式、強地動加速度、強地動速度、場址剩餘值、苗栗台中

一、前言

歷年來地震造成臺灣地區的災害難以估計，例如西元1999年集集大地震、1906年嘉義梅山地震、1935年臺中、新竹烈震、1941年中埔地震、1946年新化地震、1964年白河地震、1986年花蓮地震及1998年瑞里地震等皆造成生命財產重大的損失。近年來我們的經濟持續高度成長，大型結構物如水壩、電廠、高樓日漸

增多，捷運系統、高速鐵路等建設相繼在地層較軟弱之平原盆地進行，因此地震災害的威脅亦相對提高；為有效減低和預防災害，必須加強地震研究，以可靠和適切的強震資料，作為制定經濟又安全的防震設計規範之依據。

在強地動地震學方面的研究，其目的是要結合地質學者有關震源(斷層)位置的決定以計算出工程結構場址的地震振動(Aki, 1980)，要計算出一場址的地震振動，其前提便是要了解該

地區的衰減特性，以達到預估強地動最大加速度值與速度值的目的，此結果除可作為地震災害之救災範圍的掌握與規劃外，並且可作為地震危害度分析之重要參數。

鑑於全臺地區強震資料不夠完整，中央氣象局於1991年7月起積極執行「強地動觀測計畫」(TSMIP)，建立台灣地區自由場強地動觀測網(辛在勤,1993；Liu et.al.,1999)，中央氣象局截至95年底已完成688個自由場強地動觀測站之設置，此不僅提高了強震資料之品質，增多了強震資料的數目，更是分析地動特性及建立衰減模式的重要資料來源。

由文獻回顧，根據不同資料，使用不同參數，研究不同地區所建立的地動衰減公式，往往有相當大的差異(劉坤松,1999)。前人的研究在參數的使用方面，大都採用芮氏規模ML來建立衰減公式，但為考慮對於較大地震($M>6.5$)，芮氏規模會有飽和(Saturation)問題產生(Campbell,1997)，所以本研究將以震矩規模作為地震參數。至於資料的選用方面，為考慮工程上著重於對地表影響較大的震動，如在高頻，PGA隨地震深度的衰減，或在較長週期，PGV受到表面波成分介入的影響，本文採用地殼地震，其震源深度皆小於35公里。此外，PGA與PGV分別代表在高頻率段與中頻率段範圍的衰減特性，因此，本研究除了建立PGA的衰減模式，可檢視短週期主頻所在之結構物的影響，並再建立PGV的衰減公式，並分析PGA與PGV之場址剩餘值的分布型態。

綜上所述，本研究的目的乃應用中央氣象局自由場強地動觀測網所蒐集之豐富的強震地動資料，使用震矩規模當作地震參數，選用37個地殼地震，建立苗栗台中地區之強震地動加速度與速度衰減模式，探討強震地動與地震規模、震源距離、站址效應之相關性，並與台灣不同地區之加速度與速度衰減模式作一比較。

二、強震資料

本研究所使用之強震資料來自中央氣象局，中央氣象局自1991年7月起積極執行為期六年之「強地動觀測計畫」(TSMIP)，此計畫之目的在於蒐集高品質的強震記錄，除可作為耐震設計規範修訂之依據外，並可用來研究地震震源、波傳路徑與場址效應等重要課題；中央氣象局截至95年底已完成688個自由場強地動觀測站之設置；除中央山脈外，各站站距約為5公里(Liu, et al., 1999)。在強震地動加速度與速度衰減模式建立的測站資料選取方面，本文主要是針對苗栗、台中縣、市等地區進行研究，目前中央氣象局在苗栗、台中縣、市共分別設置了26、22與16個測站，排除安裝於結構物上之強震儀，如水壩或大樓以及重複地點之觀測站後，共分別選用了24、22及15個測站，總計61個強震站之資料進行分析。選用測站的站碼、緯度、經度、高程與場址分類如表1。其位置分布圖如圖1所示。在強震資料的選取，中央氣象局強地動觀測網自1991年以來，在苗栗、台中地區共有1148筆地震，6700個強震紀錄，在經過淘選後，共有37筆地震，1291個強震紀錄符合了地震規模大於4，震源深度小於35公里，且至少有20個測站記錄其震度超過三級(即 $PGA>8gal$)。地震分布如圖2。選用地震的時間、位置、震源深度、芮氏規模(ML)、震矩規模(M_w)以及記錄測站數如表2。選用地震的震矩規模(M_w)是參用Harvard資料庫。如資料庫無該地震之震矩規模，則由下列關係式換算而得(Wu et al. 2001)：

$$ML = 4.53 \ln(M_w) - 2.09 \quad (1)$$

經整理後，苗栗、台中地區選用地震之震源距離及震矩規模分布圖如圖3。

三、衰減模式與分析方法

3.1 衰減模式

當一個地震發生後，地震波在不同土層間傳播，其傳遞至工址的過程十分複雜，涉及諸多變數，亦即工址地表震動值與震源、波傳路

表 1. 本研究所使用測站之參數

Table 1. Stations whose records are used in this study.

No.	Sta. Code	Lat(N)	Lon(E)	Elev.(m)	Site
1	TCU029	24.56	120.749	33	C
2	TCU030	24.588	120.877	26	D
3	TCU031	24.561	120.701	30	C
4	TCU032	24.523	120.814	80	D
5	TCU033	24.685	120.862	5	D
6	TCU034	24.64	120.857	10	C
7	TCU035	24.616	120.789	10	D
8	TCU036	24.448	120.697	68	D
9	TCU037	24.493	120.675	13	D
10	TCU038	24.494	120.666	6	D
11	TCU039	24.492	120.783	149	C
12	TCU040	24.45	120.646	14	E
13	TCU041	24.392	120.687	91	D
14	TCU042	24.554	120.807	168	D
15	TCU043	24.688	120.952	92	C
16	TCU044	24.404	120.757	314	D
17	TCU045	24.542	120.912	210	C
18	TCU046	24.468	120.853	230	B
19	TCU047	24.619	120.938	23	C
20	TCU048	24.178	120.597	160	C
21	TCU049	24.179	120.691	123	D
22	TCU050	24.182	120.633	89	D
23	TCU051	24.16	120.651	68	D
24	TCU052	24.198	120.74	170	C
25	TCU053	24.194	120.669	127	D
26	TCU054	24.161	120.676	97	D
27	TCU055	24.14	120.665	90	D
28	TCU056	24.159	120.625	62	D
29	TCU057	24.172	120.612	49	C
30	TCU058	24.251	120.704	224	D
31	TCU059	24.269	120.564	7	D
32	TCU060	24.224	120.642	138	D
33	TCU061	24.136	120.549	30	D
34	TCU062	24.117	120.676	50	D
35	TCU063	24.11	120.616	39	D
36	TCU064	24.347	120.611	37	D
37	TCU065	24.058	120.692	48	D
38	TCU066	24.216	120.696	182	D
39	TCU067	24.092	120.72	73	D
40	TCU068	24.277	120.765	276	D
41	TCU069	24.26	120.822	357	D
42	TCU070	24.198	120.539	5	C
43	TCU082	24.148	120.676	84	D
44	TCU087	24.348	120.773	260	B
45	TCU088	24.253	121.176	1510	B
46	TCU099	24.138	120.691	75	D
47	TCU100	24.186	120.617	100	C
48	TCU101	24.241	120.709	200	D
49	TCU102	24.249	120.72	188	D
50	TCU103	24.309	120.707	222	C
51	TCU104	24.245	120.601	213	C
52	TCU105	24.239	120.56	20	C
53	TCU127	24.631	121	164	D
54	TCU128	24.416	120.761	311	C
55	TCU131	24.566	120.817	45	D
56	TCU132	24.575	120.821	41	D
57	TCU133	24.136	120.651	70	D
58	TCU134	24.124	120.62	39	D
59	TCU135	24.335	120.645	106	C
60	TCU136	24.26	120.651	173	C
61	TCU137	24.185	120.923	620	B

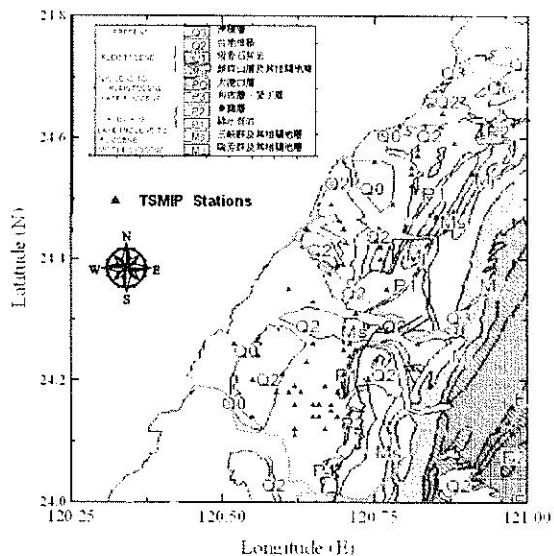


圖 1. 建立苗栗台中地區強震地動衰減模式所使用之強震測站分布圖。

Figure 1. Distribution of the TSMIP free-field stations in Taichung and Miaoli Area used in this study.

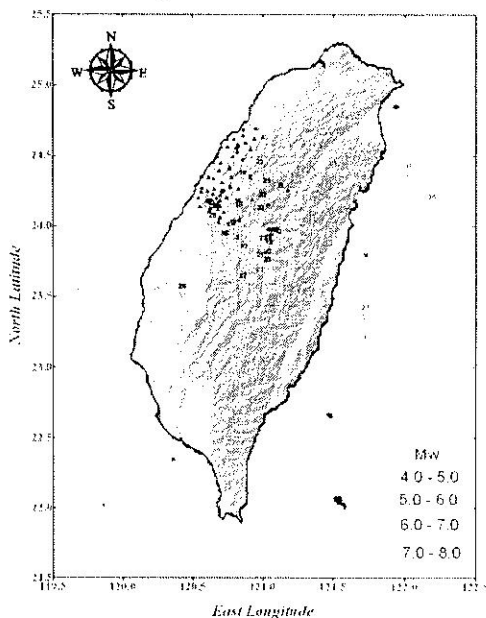


圖 2 本研究所選用地震之震央分布圖。

Figure 2. The epicenter locations of earthquakes used in this study.

表 2. 本研究所使用地震之參數

Table 2. Earthquakes whose records are used in the regression analysis

No.	Date yy/mm/dd	Time	Lat. (N)	Lon. (E)	Depth km	ML	Mw	Rec.No.
1	94/10/05	01:13:24.47	23.156	121.720	31.28	5.83	5.75	27
2	95/02/23	05:19:02.78	24.204	121.687	21.69	5.77	6.20*	46
3	99/09/20	17:47:15.85	23.853	120.816	08.00	7.30	7.60*	48
4	99/09/20	17:49:40.07	23.977	120.830	19.74	6.07	6.06	30
5	99/09/20	17:51:35.38	24.093	121.040	06.16	5.97	5.93	44
6	99/09/20	17:57:15.58	23.912	121.044	07.68	6.44	6.57	44
7	99/09/20	17:58:55.13	23.907	121.063	06.97	5.71	5.59	36
8	99/09/20	17:59:28.81	24.289	120.911	24.74	5.48	5.32	26
9	99/09/20	18:02:19.81	24.234	121.133	07.10	5.41	5.24	30
10	99/09/20	18:03:41.57	23.797	120.861	09.75	6.60	6.81	46
11	99/09/20	18:05:54.01	23.952	120.767	13.04	5.24	5.04	43
12	99/09/20	18:11:54.21	23.865	121.067	12.49	6.70	6.96	42
13	99/09/20	18:16:17.95	23.862	121.041	12.53	6.66	6.90	43
14	99/09/20	18:57:04.95	24.132	120.821	06.73	4.88	4.66	24
15	99/09/20	20:02:16.30	23.972	120.784	05.25	5.35	5.17	26
16	99/09/20	21:29:31.24	24.100	120.827	03.86	4.71	4.49	25
17	99/09/20	21:46:38.11	23.585	120.857	08.57	6.59	6.40*	35
18	99/09/21	14:40:04.39	24.329	120.857	05.53	4.99	4.77	34
19	99/09/22	00:14:40.77	23.826	121.047	15.59	6.80	6.40*	38
20	99/09/22	00:49:43.45	23.765	121.031	17.38	6.20	5.80*	39
21	99/09/22	12:17:20.96	23.739	120.981	24.02	6.00	5.20*	36
22	99/09/24	03:38:25.87	24.173	121.004	04.07	5.11	4.90	26
23	99/09/25	23:52:49.63	23.854	121.002	12.06	6.80	6.50*	38
24	99/09/28	05:53:49.56	23.980	120.671	10.88	5.08	4.87	24
25	99/10/18	16:00:45.89	23.705	121.035	23.77	5.15	5.30*	36
26	99/10/22	02:18:56.90	23.517	120.423	16.59	6.40	5.80*	37
27	99/11/01	17:53:02.25	23.362	121.726	31.33	6.90	6.30*	36
28	99/11/17	07:35:09.95	24.019	120.643	09.55	5.29	5.10	25
29	00/04/19	14:04:18.91	24.275	121.032	12.78	5.15	4.94	31
30	00/06/10	18:23:29.45	23.901	121.109	16.21	6.70	6.40*	42
31	00/06/19	21:56:24.76	23.920	121.092	27.02	5.18	5.20*	43
32	01/01/11	08:36:59.23	24.081	120.987	25.22	4.82	4.60	32
33	02/01/14	18:10:30.42	24.404	120.980	07.01	4.61	4.39	26
34	02/02/12	03:27:25.00	23.741	121.723	29.98	6.20	5.70*	36
35	02/03/31	06:52:49.95	24.140	122.192	13.81	6.80	7.10*	39
36	02/09/06	11:02:01.99	23.890	120.729	28.82	5.30	5.11	30
37	03/06/09	01:52:50.57	24.370	122.023	23.22	5.72	5.80*	28

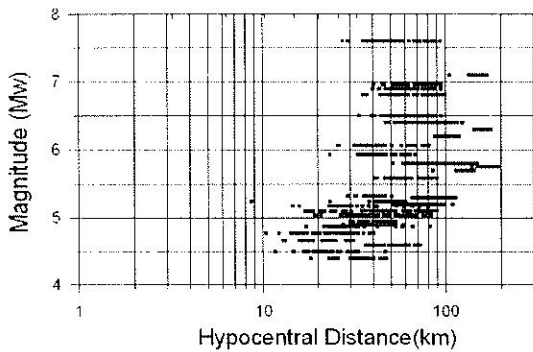


圖 3 本研究所選用地震之震源距離及震矩規模分布圖。

Figure 3. Distribution of strong-motion data used in this study to develop the attenuation relationships.

徑及場址效應有關(Reiter,1991),因此地動衰減模式的參數,可歸類成地震動參數(Ground Motion Parameter)、地震參數(Earthquake Parameter)、傳遞參數(Propagation Parameter)、與場址參數(Site Parameter)等。但若要逐一模擬每一參數,其方法將非常複雜且難以配合工程上的應用,因此選擇型式簡單而相關性強的參數,有助於對衰減模式的分析(洪李陵與許,1993)。一般常用的衰減模式皆是由震源項、幾何擴散項(Geometry Spreading)以及非彈性衰減項(Anelastic Attenuation)等三項組成。

本文以震矩規模 M_w 當作地震參數,震源距離當作波傳遞參數。另外在測站地質條件考慮方面,本研究區域之中央氣象局苗栗台中 61 個自由場強地動觀測站,依李錫堤(Lee, 2001)的地質分類在 B、C、D、E 四類中,屬岩盤的 B 類有 4 站,屬鬆軟土層的 E 類有 1 站,其它為中等地層之 C、D 兩類有 56 個測站。因此研究結果可將測站地質條件視為中等地層的衰減模式。在地震動參數方面,除了以垂直向及兩個水平分量最大地動振幅平均值,如最大加速度值當作地震動參數外,也考慮了最大速度值,以探討地震動衰減與較長週期的關係。

3.2 分析方法

通常決定地動衰減模式的方法有三種,一為使用以前強震記錄的經驗(empirically)方法,另一種為使用地震模型去合成理論的地動值,或二種方法並用,由理論建議函數型態,再以經驗公式適合觀測資料。同時不同的構造環境亦有不同分析方法的衰減模式,包括淺層地殼地震的活動構造區域、淺層地殼地震的大陸穩定區域及隱沒帶區域(Abrahamson and Shedlock,1997)。因淺層地殼地震的大陸穩定區域的強震記錄較少,通常使用地震模型去合成理論地動值的方法,而其他二種構造環境的強震記錄較多,可採經驗公式去回歸衰減模式。

在分析方法上,除了地震較少的區域使用統計的點震源模型去推求衰減公式外,其他由經驗公式去推求衰減模式的方法可歸納成二類,一為 Joyner and Boore 的回歸模式,另一個為 Campbell 型態的回歸模式。比較二種回歸模式, Campbell 型態主要以近距離範圍,世界各地活動構造區域的淺層地殼地震為主(距離在 60 公里內),因此衰減公式並無非彈性衰減項的考量,而本研究範圍為台灣地區,距離可達 200 公里以上,在距離因子方面,除了考量幾何擴散項外,必須考慮非彈性衰減項(劉坤松,1999)。

使用 Joyner and Boore 二階段回歸分析方法的好處是可將與地動參數有關的距離與規模項分離出,避免同時回歸距離與規模項時,計算規模的誤差會影響距離項的係數,而且二階段回歸分析方法的另一好處是在決定規模項時,各個地震有相同的權重,在計算距離項時,每個強震記錄有相同的權重,而不致於強震記錄多的地震佔了太大的權重(Joyner and Boore,1981)。

綜合以上所述,本研究建立衰減模式的經驗公式型態如下式:

$$\ln Y = a \ln(X + h) + bX + cM_w + d \pm \sigma \quad (2)$$

式中, Y 為地動值, M_w 為震矩規模, X

為震源距離， a 為幾何衰減係數， b 為非彈性衰減係數， c 為規模係數， h 為近距離飽和項， σ 為標準偏差。由於強震紀錄之加速度歷時為三軸向，因此在選取水平向參數時，可以選用東西向、南北向、二水平向算術平均值、二水平向最大值、幾何平均值等。從以往之研究可知以取幾何平均值的結果最穩定，亦即代表其回歸分析之誤差（或資料之分散性）最小（簡文郁等，2002）。因此，本研究於各階段分析時均採用二水平向記錄之幾何平均值，其定義為二水平向值之乘積開平方根。

在最大地表加速度及速度衰減模式之回歸分析的步驟如下：

1. 計算各個地震之距離相關函數，即地動對數值對震源距離的回歸，得 $\ln Y = A \ln(X) + B X + C$ 的係數 A 、 B 及 C 。
2. 將各個地震之最大加速度及速度在震源距離 30 公里處分別正規化至一定值，此時為 100gals 及 5cm/sec。
3. 計算台灣及各地區正規化後之地動對數值對震源距離的回歸係數，即(2 式)之 a 與 b 。
4. 計算地動值與規模的回歸係數。
5. 計算近距離飽和項 h 。

四、結果與討論

由日本 1995 年 1 月 17 日阪神地震所得的強震紀錄顯示，垂直向與水平向 PGA 的比值接近於 1(羅俊雄與馬,1995；劉坤松與辛,1995)，此結果與以往認為垂直向的 PGA 約為水平向的 0.5 倍有所出入，因此，建立垂直向的 PGA 衰減公式有其必要，本研究除了以水平向的 PGA 當作地震動參數外，亦考慮了垂直向的計算。

4.1 垂直向與水平向最大地表加速度(PGA)及速度(PGV)衰減模式之建立

在分析了上述 37 個震矩規模介於 4.4 至 7.6 之間，其三分量強震紀錄總數超過 1291 個之淺層地殼地震後，以震矩規模 M_w 當作地震

參數，震源距離當作波傳遞參數，使用經驗公式型態(2)之衰減公式，利用最小方差法回歸分析，建立了垂直向與水平向的地動參數與規模與距離之衰減關係式，衰減模式之回歸係數整理如表 3。垂直向與水平向最大地表加速度(PGA)與最大地表速度(PGV)的衰減模式，分別如圖 4 與圖 5。

表 3. 苗栗台中地區 PGA 與 PGV 衰減模式之回歸係數

Table 3. Regression coefficients for PGA and PGV

PGA						
Comp	a	b	c	d	h	σ
V	-0.964	-0.0036	1.002	0.717	0.70	0.648
H	-0.693	-0.0071	0.890	1.253	0.66	0.680
PGV						
Comp	a	b	c	d	h	σ
V	-0.859	-0.0012	1.475	-5.221	0.54	0.628
H	-0.676	-0.0023	1.304	-4.137	0.10	0.663

Remark: $\ln(PGA, PGV) = a \cdot \ln(X+h) + b \cdot X + c \cdot M_w + d \pm \sigma$

由圖 4 及表 3，比較苗栗台中地區垂直向與水平向最大地表加速度衰減公式的係數，係數 a 為幾何衰減係數，其值為負值，表示地動值隨著距離增加而衰減，其絕對值愈大則衰減愈快。結果顯示垂直向的回歸係數 a 的絕對值較水平向的值要大，意味著垂直向的地表加速度較水平向衰減的快，可能是因垂直向紀錄的主頻較高有關，此可由 Bolt 等人(2004)的研究結果來佐證。Bolt 等人(2004)指出水平向最大地表加速度的主頻一般是在 3 至 8Hz 之間，而垂直向最大地表加速度的主頻則在 5 至 20Hz 之間。另外，垂直向較水平向有較高的 c 值，因係數 c 為規模的相關係數，因此，垂直向的地表加速度會隨著地震規模的增加而有較大的

貢獻量。此外，由圖 5 及表 3，比較苗栗台中地區垂直向與水平向最大地表速度衰減公式的係數，亦顯示出垂直向的回歸係數 a 的絕對值

較水平向的值要大，以及垂直向較水平向有較高的 c 值。

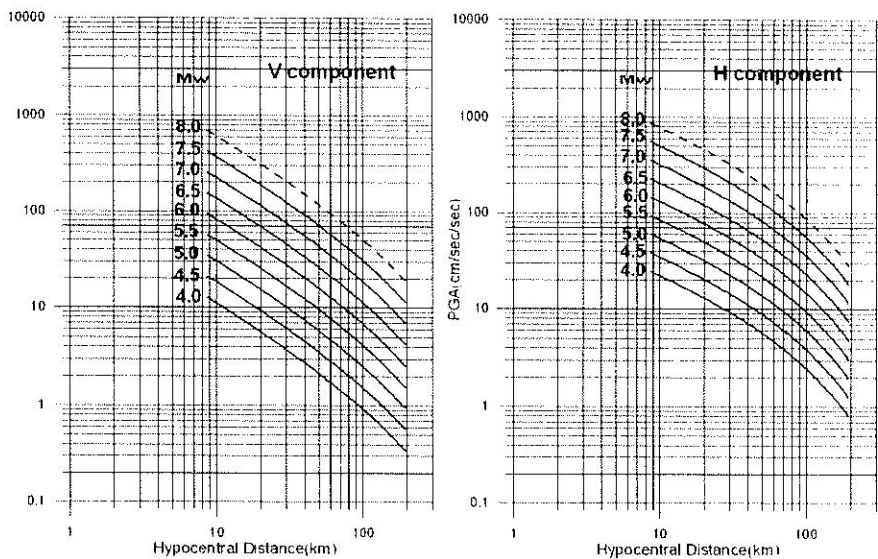


圖4 苗栗台中地區垂直向與水平向最大地表加速度之衰減公式

Figure 4. Median model predictions for the vertical and horizontal PGA.

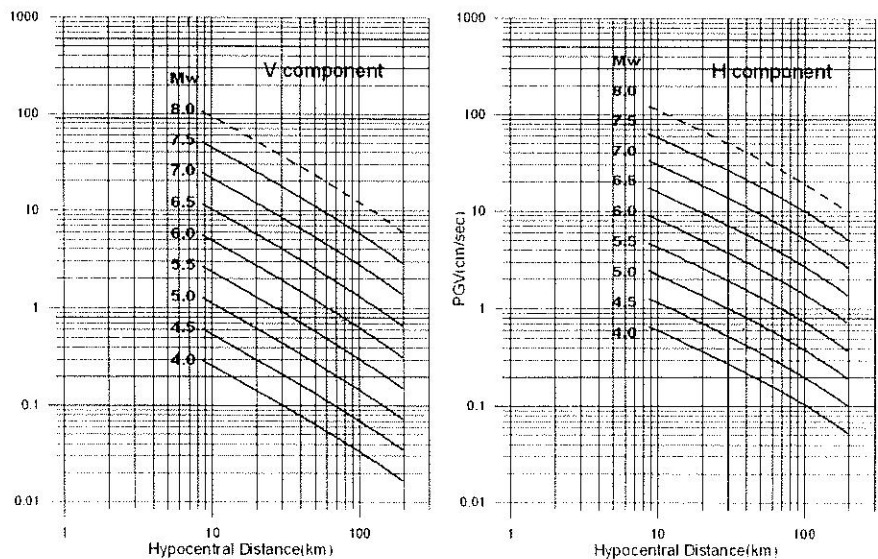


圖5 苗栗台中地區垂直向與水平向最大地表速度之衰減公式

Figure 5. Median model predictions for the vertical and horizontal PGV.

4.2 與台灣其他地區研究結果的比較

在建立了苗栗台中地區的衰減模式後，我們將本文研究地區之水平向最大地表加速度(PGA)的衰減模式與台灣其他地區研究的結果(Liu and Tsai 2005)比較如圖 6，圖中代號 1、2、3、4、5 分別為嘉南地區(CHY)、台灣地區(TWN)、宜蘭花蓮地區(IWA)、本研究苗栗台中地區(TCU) 及南投地區(NTD)的衰減公式，由上之比較顯示嘉南地區的地表加速度值最高，可能是因該地區為沖積平原有關，而本研究苗栗台中地區在震源距離 50km 內的 PGA 值較台灣整體地區的值要小，而與南投地區的值接近，可能是苗栗及部分台中地區位於麓山帶有

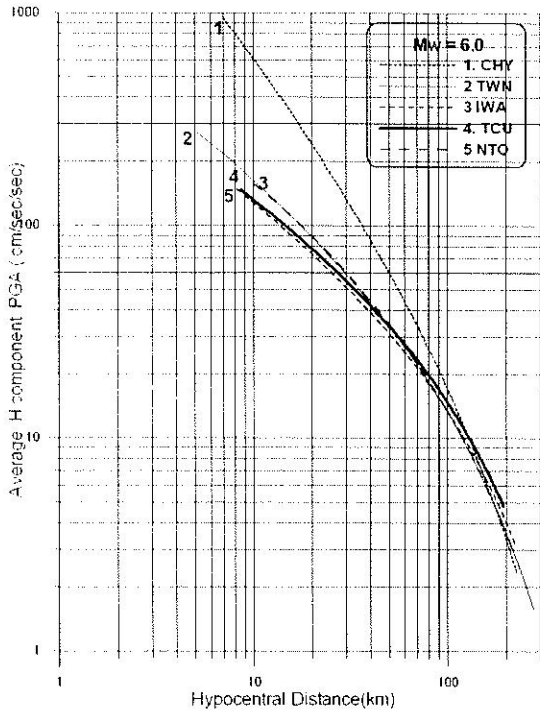


圖 6 台灣各地區最大地表加速度衰減公式的比較

Figure 6. Median model predictions for the peak horizontal ground acceleration as a function of hypocentral distance for moment magnitude 6 in Taiwan and four subareas (CHY, IWA, NTO, AND TCU).

關。此外，我們將本文研究地區之水平向最大地表速度(PGV)的衰減模式與台灣其他地區研究的結果(Liu and Tsai 2005)比較如圖 7，圖中代號 1、2、3、4、5 與圖 6 同，由上之比較亦顯示嘉南地區的地表速度值最高，而本研究苗栗台中地區在震源距離 50km 內的 PGV 值較台灣整體地區的值要小，而與南投地區及宜蘭花蓮地區的值接近。上述不同地區的地動衰減模式結果，反應出局部場地效應影響著該地區強震地動的特性，嘉南地區有較高的地動值，其原因可能是嘉南地區地層密度較台灣東部為小，有較多鬆軟的沉積層所致(鄭文彬,1998;陳燕玲,1995;何春蓀,1994)。

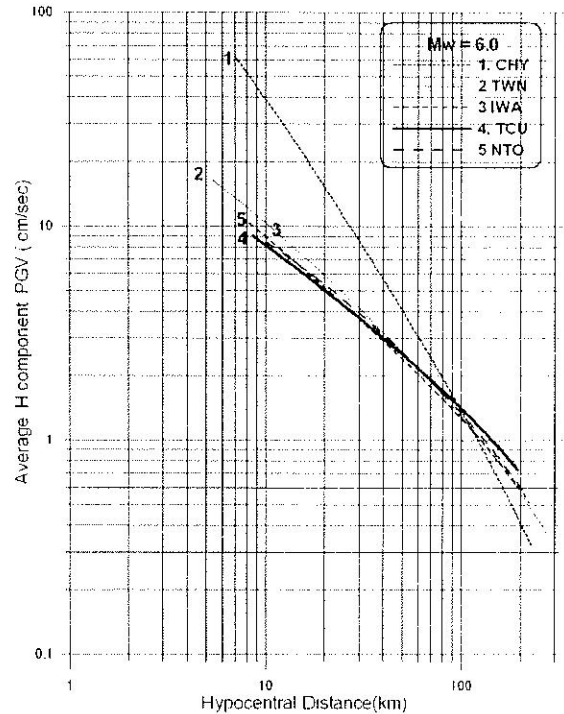


圖 7 台灣各地區最大地表速度衰減公式的比較

Figure 7. Median model predictions for the peak horizontal ground velocity as a function of hypocentral distance for moment magnitude 6 in Taiwan and four subareas (CHY, IWA, NTO, AND TCU).

4.3 場址剩餘值的分析

在比較本研究－苗栗台中地區與台灣其他地區之水平向最大地表加速度(PGA)及速度(PGV)的衰減模式後，我們進一步計算苗栗台中地區 61 個測站地動參數的剩餘值，地動剩餘值(Res)定義為觀測值的對數值減去模式預估值值的對數值，

$$\text{即 } Res = \ln Y_s - \ln Y_r \quad (3)$$

其中 Y_s 為測站 PGA 觀測值， Y_r 為測站 PGA 預估值。此外，而再由上計算式所得之剩餘值(Res)，進一步計算場址效應，各測站之場址放大係數即可由 $\exp(Res)$ 求得。

經計算得到 61 個測站的地動剩餘值後，我們分別將水平向最大地表加速度(PGA)及速度(PGV)之剩餘值的等值曲線繪出如圖 8 與圖 9。在圖 8 中使用資料的最大地表加速度(PGA)剩餘值的最大值與最小值分別為 0.80 與 -0.34，對應場址放大係數分別為 2.23 與 0.71。而在圖 9 中使用資料的最大地表速度(PGV)剩餘值的最大值與最小值分別為 0.90 與 -0.84，對應場址放大係數分別為 2.45 與 0.43。

五、結論

本文根據中央氣象局自由場強地動觀測網所蒐集之強震資料，以震矩規模 M_w 當作地震參數，震源距離當作波傳遞參數，以垂直向及水平向最大地動加速度與速度值當作地震動參數，建立苗栗台中地區之地動衰減模式；得到下列結論：

1. 本研究所建立之地動衰減模式為 $\ln Y = a \ln(X + h) + bX + cM_w + d \pm \sigma$ ，式中 Y 為地震動參數， X 為震源距離， M_w 為震矩規模； a 為幾何衰減係數， b 為非彈性衰減係數， c 為規模係數， d 為常數項， h 為近距離飽和項。各係數經回歸分析相關數據而決定，結果如表 3 所列。
2. 比較苗栗台中地區垂直向與水平向最大地

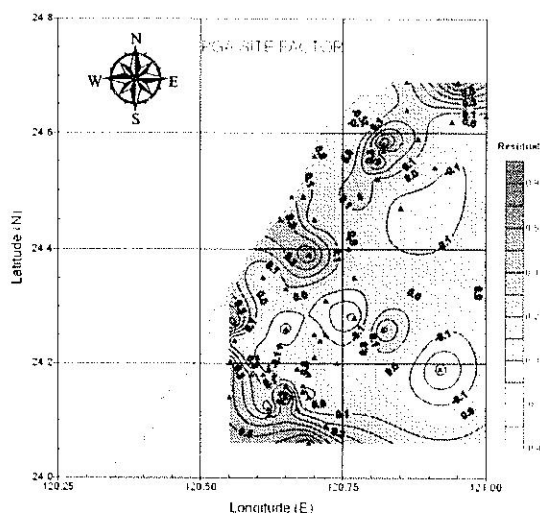


圖 8 苗栗台中地區水平向 PGA 場址剩餘值的等值曲線圖

Figure 8. Distribution of the PGA residual values (difference between logarithms of observed and predicted accelerations) for the earthquakes of Table 2 by the color scale shown on figure.

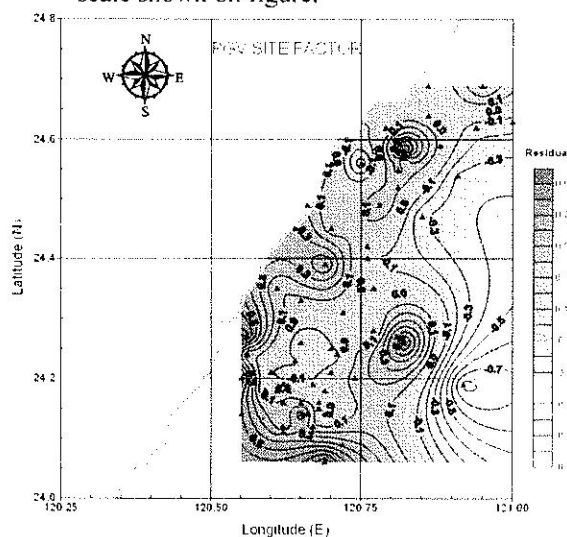


圖 9 苗栗台中地區水平向 PGV 場址剩餘值的等值曲線圖

Figure 9. Distribution of the PGV residual values (difference between logarithms of observed and predicted velocities) for the earthquakes of Table 2 by the color scale shown on figure.

表加速度與速度衰減公式的係數，顯示垂直向的回歸係數 a 的絕對值較水平向的值要大，意味著垂直向的地表加速度較水平向衰減的快，可能是因垂直向紀錄的主頻較高有關，此可由Bolt等人(2004)的研究結果來佐證。另外，垂直向較水平向有較高的 c 值，因此，垂直向的地表加速度與速度會隨著地震規模的增加而有較大的貢獻量。

3. 我們將本文研究地區與台灣其他地區研究的結果比較，顯示本研究苗栗台中地區在震源距離50km內的PGA與PGV值均較台灣整體地區的值要小，而與南投地區的值接近，可能是苗栗及部分台中地區位於麓山帶有關。此不同地區的地動衰減模式結果，反應出局部場址效應影響著該地區強震地動的特性。
4. 我們進一步計算苗栗台中地區61個測站地動參數的剩餘值，最大地表加速度(PGA)剩餘值的最大值與最小值分別為0.80與-0.34，對應場址放大係數分別為2.23與0.71。最大地表速度(PGV)剩餘值的最大值與最小值分別為0.90與-0.84，對應場址放大係數分別為2.45與0.43。

誌謝

本研究感謝兩位審查委員的寶貴意見，讓本文內容更加充實。感謝中央氣象局所提供品質優越的強震資料，本研究經費由國科會贊助，計畫編號 NSC95-2625-Z-244-001，特表謝忱。

參考文獻

- Abrahamson, N. A. and K. M. Shedlock, 1997, Overview, *Seism. Res. Lett.* 68, 1, 9-23.
- Aki, K., 1980, Possibilities of Seismology in the 1980' (Presidential Address), *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, 1969-1976.
- Bolt B. A. and N. A. Abrahamson, 2004,

Estimation of strong seismic ground motions, in *International handbook of earthquake and engineering seismology*, William Lee (ed.) Academic Press, pp. 983- 1001.

- Campbell, K. W., 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra, *Seism. Res. Lett.*, 68, 1, 154-179.
- Joyner, W. B. and D. M. Boore, 1981. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including record from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 2011-2038.
- Lee, C. T., C. T. Cheng, C. W. Liao, and Y. B. Tsai., 2001. Site classification of Taiwan free-field strong-motion stations, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 91, 1283-1297.
- Liu, K. S., T. C. Shin and Y. B. Tsai, 1999. A free field strong motion network in Taiwan: TSMIP, TAO, Vol. 10, No 2, 377-396.
- Liu, K. S. and Y. B. Tsai, 2005, Attenuation Relationships of Peak Ground Acceleration and Velocity for Crustal Earthquakes in Taiwan., *B.S.S.A. Vol. 95, No3*, 1045-1058.
- Reiter, L., 1991, *Earthquake hazard analysis: issues and insights*, Columbia University Press, New York.
- Wu Y. M., T. C. Shin and, Y. B. Tsai, 2001, Near real-time mapping of peak ground acceleration and peak ground velocity following a strong earthquake, *B.S.S.A. Vol. 91, No5*, 1218-1228.
- 何春蓀, 1994, 台灣地質概論, 中華民國經濟部.

- 辛在勤, 1993, 台灣地區強地動觀測計畫, 台灣地區強地動觀測計畫研討會論文摘要, 1-10.
- 洪李陵、許明德, 1993, 隨機域應用於地震危害度之研究, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告 82-12 號, 91 頁.
- 陳燕玲, 1995, 台灣地區三維速度構造與隱沒構造之相關探討, 國立中央大學碩士論文.
- 鄭文彬, 1998, 台灣東部地殼 P 波速度構造及其在地體構造上之意義, 國立台灣大學博士論文.
- 劉坤松, 1999, 台灣地區強震地動衰減模式之研究, 國立中央大學地球物理研究所博士論文, 240 頁.
- 劉坤松、辛在勤, 1995, 1995 年 1 月 17 日日本兵庫縣南部地震, 結構工程第十卷第二期, 115-122.
- 簡文郁、張毓文、溫國樑、羅俊雄, 2002, 台北盆地地盤效應分析, 結構工程, 17, 3, 3-17.
- 羅俊雄、馬明紀, 1995, 日本兵庫縣南部地震與台灣地區強地動特性之比較及討論, 結構工程第十卷第二期, 83-92.

Attenuation Relationships of Peak Ground Acceleration and Velocity for Crustal Earthquakes in Taichung and Miaoli Area

Kun-Sung Liu

General Education Center & Hazard Mitigation Research Center,
Kao Yuan University, Kaohsiung, Taiwan, ROC

ABSTRACT

Strong seismic ground motion data obtained by the Taiwan Strong Motion Instrumentation Program (TSMIP) are employed to derive attenuation relationships for the vertical and horizontal peak ground acceleration (PGA) and velocity (PGV) for crustal earthquakes in Taichung and Miaoli Area. Over 1291 three-component accelerograms recorded from 37 crustal earthquakes in Taiwan, with M_w magnitudes ranging from 4.4 to 7.6, have been analyzed to study the dependence of peak ground motion parameters on magnitude, distance, regional and local site effects, through attenuation relationships. The following equation is used in this study:

$$\ln Y = a \ln(X + h) + bX + cM_w + d \pm \sigma$$

where Y is ground motion parameter, X is hypocentral distance, M_w is moment magnitude, a is geometrical spreading coefficient, b is anelastic attenuation coefficient, c is magnitude coefficient, d is a constant, h is close-in distance saturation coefficient, σ is standard deviation. We first found, for both

PGA and PGV, the attenuation relationships decay faster with distance for the vertical component than for the horizontal component. Also, the attenuation relationships decay faster with distance for the vertical PGA than vertical PGV. We further compared the attenuation relationships for four sub-regions, that is Taichung and Miaoli area (TCU), Chia-Nan area (CHY), Yilan-Hualien area (IWA) and Nantou area (NTO), and the whole Taiwan region (TWN). It is found that the CHY area has higher ground motion, either in PGA or PGV, than the other areas, especially at near-source distances. This is because the CHY area is located on a thick, recent alluvial plain. Finally, we analyzed the residuals to investigate variations of PGA and PGV with respect to site conditions. The results show that the logarithmic PGA site residuals range from 0.80 to -0.34 , corresponding to amplification factors ranging from 2.23 to 0.71. In addition, the logarithmic PGV site residuals range from 0.90 to -0.84 , corresponding to amplification factors ranging from 2.45 to 0.43.

Key words : Attenuation relationships, Peak ground acceleration, Peak ground velocity, Site residual, Taichung and Miaoli area