

交通部中央氣象局
委託研究計畫(期末)成果報告

臺灣地區中度地震致災因素之探討(II)

計畫類別：氣象 海象 地震

計畫編號：MOTC-CWB-101-E-10

執行期間：101年01月01日至101年12月31日

計畫主持人：葉永田

執行機構：中華民國地球物理學會

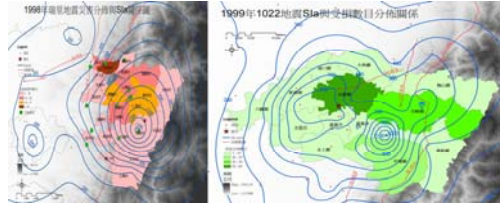
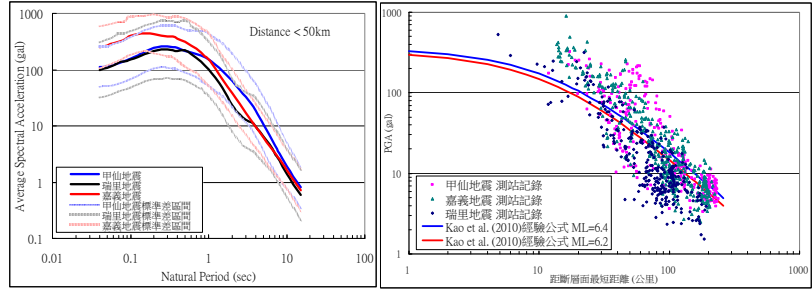
本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

- 赴國外出差或研習心得報告1份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告1份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各1份

中華民國 101 年 11 月 20 日

政府研究計畫(期末)報告摘要資料表

計畫中文名稱	臺灣地區中度地震致災因素之探討(II)		
計畫編號	MOTC-CWB-101-E-10		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	中華民國地球物理學會		
年度	101	執行期間	101.1.1~101.12.31
本期經費 (單位：千元)	450		
執行進度	預定(%)	實際(%)	比較(%)
	100	100	100
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)
	450	450	100
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	葉永田		彭文飛
			羅意加及黃勇添
報告頁數	55	使用語言	中文
中英文關鍵詞	譜震度，強地動衰減，地理資訊系統，地震災害；Spectral Intensity, Strong Motion Attenuation, GIS, Earthquake Disaster		
研究目的	本研究擬蒐集 1997 年 7 月 17 日瑞里地震、1999 年 10 月 22 日嘉義地震、與 2010 年 3 月 4 日甲仙地震等相關的地震、地物、地質及震災資料並建置 GIS-based 地震目錄與震災資料庫，同時探討震災與強地動特性與分布的關係，研究這三個規模相近的中度地震的致災因素。本計畫去年主要以甲仙地震為研究標的，今年則分析瑞里地震與嘉義地震的資料，併同前一年度甲仙地震的結果一起來討論。		
研究成果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 發現受損建築物大致位於地動參數 SI_a、SI_v、與 SI_d 大於 400gal、30cm/sec 與 4cm 之區域範圍內。 2. 發現了若干地震波傳遞過程被斷層所屏蔽阻擋之現象，與地震波能量經由兩斷層間間隙溢出之特徵。 3. 初步得到如下的概念：衡量 SI_d 的衰減比較適合用 M_w，而衡量 PGA 與 SI_a 的衰減比較適合用 M_L。 4. 甲仙地震因具有大斷層面與複雜的破裂過程，導致較複雜的強地動參數分布。 		

	<p>5. 發現嘉義地震的M_L雖然與甲仙地震相同，但其短週期強地動比卻比甲仙地震者大，其原因可能是嘉義市及其鄰近地區對短週期強地動有放大的現象。</p> <p>6. 瑞里、嘉義、和甲仙等三個地震的PGA(水平向幾何平均值)觀測值，在短距離時大於使用Kao et al.(2010)經驗式的估計值，在長距離時則小於估計值。這可能是在推導經驗式時，小規模地震的強地動資料偏多的關係。</p> <p>7. 已蒐集到為數相當多的瑞里地震震災圖片、相關位置、及災害說明，並建立成電子檔。</p>  
具體落實應用情形	本研究已完成。
計畫變更說明	(若有)
落後原因	(若有)
檢討與建議	

(以下接全文報告)

臺灣地區中度地震致災因素之探討(II)

葉永田 彭文飛
成功大學大地資源研究中心

摘 要

本研究蒐集1997年7月17日瑞里地震、1999年10月22日嘉義地震、與2010年3月4日甲仙地震等相關的資料，並建置GIS-based地震目錄與震災資料庫，同時研究這三個中度地震的致災因素。本計畫去年主要以甲仙地震為研究標的，今年則分析瑞里地震與嘉義地震的資料，討論強地動特性與地震規模和震源幾何形貌以及震災分布的關係，並分析強地動衰減以不同規模尺度衡量的適用性，強震分佈特徵與臺灣西部及西南部複雜斷層線位置之相關性；本研究也發現，嘉義市及其鄰近地區，對短週期強地動具有明顯的放大效應，因而，以該地區強地動歷時，反演的嘉義地震斷層參數可能失真。

The strong motion recordings and geological, geophysical, and disaster data of 1998/07/17 Juili, 1999/10/22 Chiayi, and 2010/03/04 Jiasian earthquakes were collected in the progress of this two years' project. First of all, a GIS-based database of earthquake catalogue and disaster information and photos was established and the strong ground motion characteristics and their effects on damages were studied in 2011. This year (2012), the strong motion recordings and relevant data of Juili and Chiayi earthquakes were analyzed. The strong motion characteristics of these three earthquakes, with similar M_L , are discussed. The results obtained from these three earthquakes shall be combined to discuss the differences and causes of damages.

壹、前 言

自1900年以來，臺灣地區約有100個地震引發不同程度的災害(中央氣象局網站)，其中規模 $M_L \geq 6.0$ 約有73個，圖一顯示的是它們的震央分布，表一則是這73地震的詳細震源資料和引致的災害情況(鄭世楠等人，2011)。從表一我們可以找到這73個地震中，約有57個地震至少造成一個以上的人員傷亡，其中災情較嚴重(造成10個以上人員傷亡)的地震約有32個，這32個災害性地震中規模 $M_L \geq 7$ 的僅有12個(包括1906梅山地震和1935新竹-台中地震；這二個地震的規模個人認為應該進一步討論，因此仍然保留它們在 $M_L \geq 7$ 之列)，而有20個其規模是介於6~7($6 \leq M_L < 7$)之間，大約5-6年發生一次。根據目前的地震目錄(鄭世楠等人，2011)，自1973年以來臺灣地區每年約發生1.6個規模介於6~7($6 \leq M_L < 7$)的地震，也就是說規模介於6~7的地震至少有1/10以上的機會導致相當程度的

災害。這個情形顯示除了探討 $M_L \geq 7$ 的地震的致災因素之外，詳細研究 $6 \leq M_L < 7$ 的地震（特別是位在臺灣島內或近海區域的地震）之致災原因是必須的。

1998/07/17 瑞里地震($M_L=6.2$)、1999/10/22 嘉義地震($M_L=6.4$)、以及 2010/03/04 甲仙地震($M_L=6.4$)，為近年來發生於臺灣南部地區的重要中度地震事件，且皆造成建築物倒塌與人員傷亡，設置於臺灣各地之強震觀測站大多數記錄到這三個地震之地動歷時訊號；由於這三個中度地震擁有相對完整的強震紀錄和震災資料，本研究即以它們為對象從事二年期（2011-2012）的研究計畫。第一年(2011)蒐集 20100304 甲仙地震($M_L=6.4$)之相關的地震、地物、地質及震災資料並建置 GIS-based 研究資料庫，同時探討震災與強地動分布的關係。本年度(2012)計畫則鎖定 19980717 瑞里地震($M_L=6.2$)以及 19991022 嘉義地震($M_L=6.4$)，先蒐集其相關資料，並探討震災與強地動分布的關係。同時，將由發震地區的地質構造環境、震源機制與過程、強地動的分佈與特性、受災地區的地質與人為環境等方面，來研究這三個規模相近的中度地震的致災因素，並作一些比較與探討。本報告，將先呈現強地動分布與地震規模及震源幾何形貌以及震災分佈之相關性，接著探討近地表斷層位置影響強地動分布之現象，最後則討論各種強地動參數衰減以 M_L 和 M_w 衡量的合適性，以及斷層形貌和錯移參數對 50km 近距離內地動參數及平均反應譜變化的影響。

貳、強地動參數

本研究使用最大地動尖峰加速度(PGA)，與加速度、速度、以及位移反應譜和對應的三個譜震度(Spectral Intensities)來代表地動強度。最大地動尖峰加速度的意義明顯，不須贅述，下列段落則對反應譜與譜震度作一個簡單的描述。

反應譜與譜震度

單自由度(Single Degree of Freedom)的結構物受到地震動的影響時，其運動方程式可以寫成下式：

$$\ddot{u}(t) + 2\xi\omega\dot{u}(t) + \omega^2u(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (1)$$

上式中， $u(t)$ 是結構物與地面的相對位移， ω 為結構物的自然振動頻率； $\ddot{u}_g(t)$ 是地動加速度歷時； ξ 為結構物的阻尼比，一般結構物的阻尼比 ξ 均甚小。通常，(1)式可由數值方法求其解 $u(t)$ ，令：

$$S_d(\xi, \omega) = |u(t)|_{\max} \quad (\text{最大相對位移；譜位移}) \quad (2)$$

$$S_v(\xi, \omega) = \omega S_d(\xi, \omega) \quad (\text{最大擬相對速度；譜速度}) \quad (3)$$

$$S_a(\xi, \omega) = \omega S_v(\xi, \omega) = \omega^2 S_d(\xi, \omega) \quad (\text{最大擬相對加速度；譜加速度}) \quad (4)$$

應用上，對於某一特定的結構物（即 ξ 和 ω 固定）， $u(t)$ 的最大值 $S_d(\xi, \omega)$ 被定義為譜位移。若阻尼比 ξ 的值不變，譜位移隨結構物的自然頻率而變。結合不同自然頻率的結構物之譜位移，即可繪成阻尼比為 ξ 時的(結構物)位移反應譜($S_d(\xi, \omega)$ vs

ω)。同時，也可分別以(3)與(4)式，求得速度反應譜($S_v(\xi, \omega)$ vs ω)和加速度反應譜($S_a(\xi, \omega)$ vs ω)。

Housner(1952)建議，以 0.1 到 2.5 秒間的譜速度積分值

$$SI_H(\xi) = \int_{0.1}^{2.5} S_v(\xi, T) dT \quad (5)$$

來表示地震危害度(Earthquake Hazard)，稱為譜震度(Spectral Intensity)。Housner 的譜震度也可改寫成：

$$\overline{SI}_H(\xi) = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} S_v(\xi, T) dT \quad (6)$$

\overline{SI}_H 的意義為週期 0.1 至 2.5 秒間的譜速度平均值，並維持速度的單位。(6)式的積分範圍幾乎涵蓋了全部建築結構物的週期範圍。

Matsumura(1992)的研究結果顯示，作為地震動強度的量度，譜震度比 PGA (最大尖峰加速度；適用於固有週期較短的結構物)和 PGV (最大尖峰速度；適用於固有週期較長的結構物)有較大的(週期)適用範圍。Nau and Hall(1984)建議將譜震度參數分為加速度控制區段、速度控制區段及位移控制區段等三個。簡文郁等(2002)以臺灣地區的強震紀錄研究震度衰減律和強地動的地盤效應，其結果顯示譜震度比最大地表加速度有較好的震災指標性。不過簡文郁等(2002)使用的譜震度為譜加速度平均值，與前人的定義譜速度平均值不同，且僅應用在探討 0331 地震在台北盆地引起的災害。葉永田(2007)修飾簡文郁等(2002)提出的概念，將平均譜震度參數定義如下：

$$\overline{S}(\xi) = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} S(\xi, T) dT \quad (7)$$

其中，

$$\begin{aligned} S(\xi, T) &= S_a(\xi, T) && \text{(短週期)加速度控制區} \\ &= S_v(\xi, T) && \text{(中週期)速度控制區} \\ &= S_d(\xi, T) && \text{(長週期)位移控制區} \end{aligned} \quad (8)$$

譜震度的截切週期(Cut-Off Period) T_1 和 T_2 屬於區域特性，可從研究區域內大量的強震資料求取平均。高清雲和葉永田(2010)建議使用下述的方法推求截切週期 T_1 和 T_2 ：由於臺灣地區的建築物大都介於 1 到 56 層之間，其對應的自然周期依序為 0.1 至 3 秒，因此 $T_1(S_d)$ 和 $T_2(S_d)$ 可分別定為 0.1 秒和 3 秒，而 $T_2(S_a)$ 和 $T_1(S_v)$ 共同使用 $T_1(S_v)$ 的值， $T_1(S_d)$ 和 $T_2(S_v)$ 共同使用 $T_1(S_d)$ 的值。每個地震的各測站之強震歷時記錄，可依圖二所示的方法推求 $T_1(S_v)$ 和 $T_1(S_d)$ 的值，而個別地震的 $T_1(S_v)$ 和 $T_1(S_d)$ 的平均值可由下式求得：

$$\overline{T}_1(S_v) = \sum_i T_1(S_v)_i / N \quad (9)$$

$$\overline{T}_1(S_d) = \sum_i T_1(S_d)_i / N \quad (10)$$

上式中 N 是強震記錄的個數，也就是對應的強震測站個數。如此，平均譜震度參

數的定義可以改寫成：

$$SI_a(\xi) = \frac{1}{\bar{T}_1(S_v) - 0.1} \int_{0.1}^{\bar{T}_1(S_v)} S_a(\xi, T) dT \quad (\text{短週期})\text{加速度控制區} \quad (11)$$

$$SI_v(\xi) = \frac{1}{\bar{T}_1(S_d) - \bar{T}_1(S_v)} \int_{\bar{T}_1(S_v)}^{\bar{T}_1(S_d)} S_v(\xi, T) dT \quad (\text{中週期})\text{速度控制區} \quad (12)$$

$$SI_d(\xi) = \frac{1}{3 - \bar{T}_1(S_d)} \int_{\bar{T}_1(S_d)}^3 S_d(\xi, T) dT \quad (\text{長週期})\text{位移控制區} \quad (13)$$

這個方法（以程式計算）的優點是：方便、快速、準確、免除人為主觀因素。這樣定義的譜震度可以作為評估地震災害的有效指標(葉永田，2007；高清雲和葉永田，2010)。由於與譜震度相關的地震波之週期範圍明確，將來在探討譜震度的衰減時也可將物理衰減與幾何衰減分開處理。

GIS-based 地震資料庫

本研究於上一年度(葉永田等人，2011)已發展與製作一套基於 GIS 的資料庫管理系統，作為儲存、管理、和展示地震活動與地震災害分布資料以及相關的研究文獻之工具；同時也建置了與 20100304 甲仙地震相關的資料庫。本年度則蒐集 19980717 瑞里地震相關資料，並建置資料庫。由於 19991022 嘉義地震與 921 集集地震的發生時間相近，其災害資料大多合併難以分列，本報告將其省略。

瑞里地震

1998 年 7 月 17 日 12 時 51 分，嘉義地區發生芮氏規模 6.2 的地震，震央位置在阿里山西方約 14.2 公里的瑞里地區(23.51N, 120.66E)，震源深度 6 公里(表一)，中央研究院位於竹崎鄉培英國小測站(CHY011)所收錄到的 PGA 為 721gal(震央距 2.2 公里)，為所有測站中之最大者。造成山崩之分佈範圍約 600 平方公里(張徽正等人，1999)，共有 847 個，大部分位於水平最大加速度 250gals 以上的區域(距震央約 15 公里的範圍；黃臺豐，1999)，道路及橋樑亦受到山崩影響而產生地裂與破壞，此次地震造成民眾 5 死 27 傷，並造成危險建築物 248 處，損毀之建築物集中於竹崎鄉、梅山鄉與番路鄉等三個行政區中，各村里之危險建物統計列於表二中(國立臺灣大學地理學系臺灣地形研究室，1999)。

嘉義地震

1999 年 10 月 22 日上午 10 時 19 分，集集地震發生後一個月，嘉義地區發生芮氏規模 6.4 之災害性地震，震央位置在嘉義西北方 2.5 公里處(23.517N, 120.423E)，震源深度 16.6 公里，嘉義與南投縣民間鄉震度達六級。此地震造成 230 人受傷，無人死亡，房屋半倒與全倒之戶數分佈列於表三中(林金田，2000)。

參、結果與討論

最大尖峰加速度

最大地表尖峰加速度(PGA)隨地震規模增加而增大，但隨距離增加而減小，即為加速度衰減律(Attenuation Law)。過去在加速度衰減律中常使用的地震規模為芮氏規模(M_L)，近年來則多使用震矩規模(M_W)。為了檢視 M_L 與 M_W 呈現在加速度衰減律的合適性，本報告將這三個地震的 PGA(二個水平向的最大值)衰減情形繪於圖三；圖三的橫座標是觀測場址與斷層面(吳相儀，2000；Lee, et. al., 2012)的最短距離。這三個地震的 M_L 值相當接近或相等(瑞里地震 6.2，嘉義地震 6.4，甲仙地震 6.4)，由圖三可看到三者的 PGA 衰減狀況近乎相同；雖然甲仙地震的 PGA 平均值可能高一些。然而這三個地震的 M_W 分別為 5.7、5.8、和 6.5，前二者的 M_W 比甲仙地震幾乎小了一級，由這個例子看來 PGA 衰減律可能是採用 M_L 較為合適，這是因為 PGA 和 M_L 都是呈現短周期地震波的效應，而 M_W 表示的是長周期波或斷層的平均滑移量效應。當然，這個議題還需要更多的資料來支持。

圖四至圖六分別為瑞里地震、嘉義地震、甲仙地震的(二個水平向最大)PGA 值分布圖。圖中星號代表震央位置，紅色小方塊是有加速度紀錄的強震觀測站。初步觀察可發現：瑞里地震之 PGA 分佈，大致以震央位置為圓心向四周遞減，其中以往東山區方向之遞減速度較快，向臺灣西部與西南部平原區衰減較慢，此應與平原區之土壤放大效應有關；嘉義地震之 PGA 分佈概況，除有與前述瑞里地震相同之特徵外，另外值得注意的是，除了震央位置處有高峰值出現外，震央位置東南方 15 公里處亦出現一個高區，且另外有一明顯之能量向東北延伸至南投地區(與震源相距約 70 公里)；甲仙地震之 PGA 分佈，比起其他兩個地震較不具規則性，其震央西北部之嘉義縣市與台南(縣)市地區，出現數個高區；綜觀此三個規模相近之地震，其 PGA 分佈之不規則程度，與震源深度成正相關(瑞里地震、嘉義地震與甲仙地震之震源深度分別為 6km、16.6km 與 22.6km)，震源深度越深的地震，因震波由震源位置輻射至地表所經之路徑較長，故越有機會因地下構造之干擾，使得傳遞至地表之能量分佈有較高之變異性。此外，甲仙地震斷層破裂過程的複雜性(Lee et. al., 2012)，在強地動的分布上可能扮演更重要的角色。

PGA 值的分布形式和範圍大小，大體可以反應震源的幾何形貌與 M_W ；瑞里地震和嘉義地震比較近似點震源，甲仙地震比較具有斷層震源的型貌，但嘉義地震的斷層面也許應該比吳相儀(2000)反演的結果大一些；因此，瑞里地震和嘉義地震的 M_W 分別為 5.7 和 5.8，而甲仙地震的 $M_W(=6.5)$ 較大是合理的。若由 PGA 大於 250gal 的地區面積看來，瑞里地震的 M_L 較為小一些亦是也是合理的結果。另外值得一提的是：這三個地震在嘉義市附近均形成一個強地動高區，其原因除了淺部地層的效應之外，附近的近地表斷層分布是否也扮演著一定的腳色，值得進一步研究。

譜震度分析

本研究使用中央氣象局與中央研究院地球科學研究所，於臺灣各地建置之強震觀測站蒐錄之地震記錄，以高清雲和葉永田(2010)所建議之方法推求截切週期 T_1 和 T_2 ，求得瑞里地震的加速度、速度和位移控制區之範圍分別為：0.1s~0.31s、0.31s~2.5s 和 2.5s~3s；嘉義地震的加速度、速度和位移控制區之範圍分別為：0.1s~0.27s、0.27s~1.96s 和 1.96s~3s；而甲仙地震的加速度、速度和位移控制區之範圍則分別為：0.1s~0.4s、0.4s~0.85s 和 0.85s~3s (葉永田等人，2011)。根據內政部建築物耐震設計規範及解說(2011)，建築物之基本振動週期 T ，單位為秒，可依

下列經驗公式計算之：

$$T = c \times h_n^{3/4} \quad (15)$$

式中之 c 為常數，其值為 0.085(鋼構建物)、0.070(RC 或 SRC 建物)、或 0.050(其他建物)。臺灣南部地區大部分的建築物應該屬 RC 或其他建物類型，因此，上述三個地震的加速度控制區大致是影響 4~5 樓(樓高假設為 2.5~3.0m)以下的建築物，較高樓層的建築物則受到速度或位移控制區震波的影響。

圖七~圖九分別為瑞里地震之兩水平向 SI_a 最大值、兩水平向 SI_v 最大值、兩與水平向 SI_d 最大值於臺灣全區的分佈圖(內插方式為克利金法(Kriging method))，圖十~圖十二分別為嘉義地震所對應之兩水平向 SI_a 、 SI_v 、與 SI_d 最大值於臺灣全區的分佈圖，另外，也將甲仙地震之兩水平向 SI_a 、 SI_v 、與 SI_d 最大值的分佈圖，呈現於圖十三~圖十五中以供比較。

分別將 PGA 與 SI_a 分布成對做比較(圖四與圖七，圖五與圖十，圖六與十三)，可以發現 PGA 與 SI_a 分布型式(pattern)相似性極高，特別是在數值較高的區域，這說明了 PGA 主要是反應的是短週期震波的能量。特別需要提的是：瑞里地震和嘉義地震的最大 PGA，除了少數幾個測站 (>500gal)高過甲仙地震的最大 PGA(約 400gal)之外，其餘的大體是很接近的(見圖三)，但是甲仙地震的 SI_a 峰值則比瑞里地震和嘉義地震的 SI_a 峰值大得多，同時峰值所圍的區域也較大；而嘉義地震的 SI_a 峰值及其所圍的區域也較瑞里地震的大。事實上， SI_a 的值反應是地動加速度的大小與地動總震動時間，而地動總震動時間又與震源破裂面積相關，這正可以解釋上述現象。

強震參數與近地表斷層分布的關係

地震能量於地層中傳遞的過程，能量若遇到力學參數不連續之介面，有部分之能量將有反射之現象，其餘之能量將穿越此不連續面繼續向前傳遞，而地層之層面、構造面或斷層面皆可視為此力學參數之不連續面。為觀察強震分佈區域與斷層位置之關係，現將瑞里地震兩水平向 SI_a 、 SI_v 、 SI_d 與 PGA 最大值分布與斷層位置比較示於圖十六~圖十九，而嘉義地震與甲仙地震之兩水平向 SI_a 、 SI_v 、 SI_d 與 PGA 最大值分布與斷層位置比較，則分別示於圖二十~圖二十三與圖二十四至圖二十七。

觀察瑞里地震於地表之能量分佈，除地震能量大致符合由震央處向四周遞減之預期外，另一值得注意的現象是，地震能量似乎有經由彰化斷層、梅山斷層(九芎坑斷層)間，與梅山斷層(九芎坑斷層)、木屐寮斷層間，兩道缺口向西北與西方「漏出」的現象，使得此兩道缺口西方位之地震波能量，大於其他相同震源距離位置之能量，此現象或可解釋為地震波由震央向西方傳遞的過程中，部分能量受到此斷層之不連續面作用而反射，而相對的，經過此兩道斷層間缺口的地震波，沒有受到斷層面之屏蔽反射而通過較大的能量。

觀察 1022 嘉義地震於地表之能量分佈，可發現除震央處之能量高區外，震央東南方約 15 公里處亦出現另一個能量高區，此高區之北東南側分別被梅山斷層、九芎坑斷層、觸口斷層與木屐寮斷層所包圍，推測形成此能量聚集現象的部分原因可能為地震能量由震源向東傳遞的過程，部分地震能量被上述斷層(不連續面)反射，而於該位置產生能量的聚集；另一值得注意的特徵是， SI_a 、 SI_v 與 SI_d 等

值圖中，木屐寮斷層與六甲斷層的斷層線型，與附近的強震參數等值圖之線型有平行之趨勢，相同的，此現象形成的原因亦有可能為地震能量向南傳遞過程中，遇到此兩斷層不連續面之反射所產生。

觀察甲仙地震地表能量分佈狀況，可瞭解此地震衰減特性極不規則，地震能量最大值皆未出現於震央附近，而於台南出現數個能量高區，觀察震央位置與位於台南能量高區之路徑，可發現一個現象：地震能量由震央位置向外傳遞過程中，有較大的能量通過旗山斷層、左鎮斷層與六甲斷層等三條斷層間之兩道缺口，尤其是旗山斷層與左鎮斷層間之缺口，有大量能量向西溢出，且阻擋於新化斷層前，另外一個值得注意之特徵是，旗山斷層對地震能量之屏蔽效果頗為明顯，此斷層之線型與其東西兩側地震能量等值線有些許平行之趨勢。

強震參數與震災分布

將所收集到的建築物受災資料與強震參數分布套疊：瑞里地震與嘉義地震之資料分別呈現於圖二十八~圖三十一與圖三十二至圖三十五，甲仙地震的震災與強震參數分佈關係則繪於圖二十四至圖二十七中。

瑞里地震共造成位於竹崎鄉、梅山鄉與番路鄉等三個行政區內的 248 處建築物受損，另外並造成 11 處國中小校舍受損。嘉義地震受損的建物分佈則較廣，分佈於 18 個鄉鎮行政區中，共計造成 133 戶房屋全倒，352 戶半倒，觀察受損建築物位置與強地動參數分佈，此連同甲仙地震在內之三個地震，所引起之受損建築物大致位於 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 大於 400gal、30cm/sec 與 4cm 之區域範圍內。

觀察瑞里地震之 PGA、 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 強度分佈與所造成之危險建物數目間的關係，瑞里地震所造成的受損建物大致位於高強度之同心圓中，但須注意的是，危險建物最多的圳南村(41 處)並非位於地震強度最高的位置；觀察嘉義地震之 PGA 與 SI_a 分佈圖，可發現震央位置東南方約 15 公里處有一高區，此高區能說明竹崎鄉與中埔鄉之房屋全倒 20 至 40 戶之結果，而進一步觀察 SI_v 與 SI_d 分佈圖可發現，除前述震央位置東南方之高區外，震央附近亦出現一個高區，此震央附近之高區，能進一步說明民雄鄉之 58 戶房屋倒塌之結果。

雖然甲仙地震的規模與可能導致災害的強地動範圍也較大，但是嘉義與瑞里地震卻發生在人口與建設較密集的地區，因此，地震災害的程度由大至小的順序是嘉義地震、瑞里地震、甲仙地震。

強震參數分布與衰減

圖三十六至三十八分別呈現瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 的衰減情形。將 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 的衰減情形與 PGA 的衰減情形(圖三)比較，整體而言，可以發現甲仙地震的 PGA、 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 很明顯的分別大於瑞里地震和嘉義地震的對應參數，也就是說，在相同距離(距斷層面最短距離)的場址，甲仙地震導致的譜震度較大，而瑞里地震和嘉義地震的 PGA、 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 的對應值相當接近。

為方便比較此這三個地震之強地動衰減特性，故將其 PGA、 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 分別對距離進行回歸。常用的衰減模式有很多種，本研究採用 Campbell (1981) 所提出的衰減模式：

$$Y_r = f(M, R) = C_1 e^{C_2 M} [R + C_4 \exp(C_5 M)]^{-C_3} \quad (16)$$

其中 Y_r 代表實際之強地動觀測值，即本研究中之 PGA、 SI_a 、 SI_v 與 SI_d ， $C_1 \sim C_5$ 為常係數可由回歸分析求得。若對單一地震之強地動資料進行回歸，則因規模 M 為定值，故(16)式可簡化成：

$$Y_r = f(M, R) = C_1' [R + C_2']^{-C_3'} \quad (17)$$

其中常係數簡化為 $C_1' \sim C_3'$ 三項。衰減律回歸分析是將強地動觀測值與(17)式的預測值的誤差 Err 的平方和最小化：

$$\text{Min.} \left(\sum_i \text{Err}_i^2 \right) = \text{Min.} \left(\sum_i (\ln Y_r - \ln \bar{Y}_r)^2 \right) \quad (18)$$

上式中， Y_r 為實際強地動觀測值， \bar{Y}_r 為衰減律的估計值。本研究以基因演算法推估 $C_1' \sim C_3'$ 。

三個地震之 PGA、 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 的回歸結果分別示於圖三十九至圖四十二中；另外，用同樣方法對個地震之譜加速度(自然頻率 0.3 秒)、譜速度(自然頻率 1.0 秒)與譜位移(自然頻率 3.0 秒)之回歸結果則繪於圖四十三至圖四十五。

由圖三十九至圖四十五可瞭解，總體來說，於相同距離下，三個地震之各種強地動參數大小，依序皆與甲仙地震($M_L 6.4$; $M_w 6.5$)、嘉義地震($M_L 6.4$; $M_w 5.8$)與瑞里地震($M_L 6.2$; $M_w 5.7$)的規模大小相吻合；接著觀察 PGA、 SI_a 與譜加速度(自然頻率 0.3 秒)之衰減情況，這三個參數皆呈現短週期波之效應，其中甲仙地震($M_L 6.4$)之 PGA、 SI_a 與 0.3 秒譜加速度之強度，皆較接近於嘉義地震($M_L 6.4$)所對應之值，且相當程度大於瑞里地震($M_L 6.2$)之強度，此相關性比較能與其 M_L 之大小相呼應，由此可看出 M_L 反應 PGA 與 SI_a 之適用性；再觀察受長週期波能量控制的 SI_d 與 3.0 秒譜位移強度之衰減情況，甲仙地震($M_w 6.5$)之強度明顯高於嘉義地震($M_w 5.8$)與瑞里地震($M_w 5.7$)所對應之值，因 M_w 表示的是長週期波或斷層的面積與平均滑移量的綜合效應，故由此可看出 M_w 反應 SI_d 強度之適用性；而三個地震之 SI_v 與 1.0 秒譜速度衰減情況的差異性則約略相當，很難判斷與那一個規模尺度的相關性較好。另外需注意一點的是：距離 50km 範圍內，PGA、 SI_a 、 SI_v 和 SI_d 等強震參數衰減式預測值與實測值間之平均誤差(表四)，很一致的顯現屬於甲仙地震者的最大，且與屬於嘉義地震與瑞里地震二者的有很顯著的差異。這說明大的斷層面與複雜的破裂過程，可導致複雜的強地動分布並伴隨較大的強震參數估計誤差。

圖四十六至圖四十八分別為，距離 50km 範圍內測站之平均加速度反應譜、平均速度反應譜與平均位移反應譜；其中虛線表示一個標準差區間。由圖可發現，嘉義地震之各反應譜在短周期區間(約小於 1.0 秒)均大於甲仙地震與瑞里地震，而甲仙地震與瑞里地震者則差異很小，這是否意味著嘉義地區對短週期波有放大的效應，值得進一步研究；在大於 1.0 秒的部份則甲仙地震、嘉義地震、瑞里地震，呈現由大至小的現象，這也反應在震矩規模的大小順序上。

吳相儀(2000)和 Lee et. al. (2012)分別經由反演，求得瑞里地震和嘉義地震以及甲仙地震的斷層參數如下：

- 瑞里地震：斷層面長約 12.5 公里、寬 14.5 公里，平均錯移量約為 13.54 公分，應力降為 7.34 bars。

- 嘉義地震：斷層面長約 10.5 公里、寬 11.5 公里，平均錯移量約為 46.97 公分，應力降為 27.82 bars。
- 甲仙地震：斷層面長約 40 公里、寬 25 公里、最大錯移量約為 35 公分。

若參考上面描述的強地動參數的特性與分布狀況，以及這三個地震的 M_L (6.2, 6.4, 6.4) 和 M_W (5.7, 5.8, 6.5)，也許嘉義地震的斷層參數解值得進一步研究。由 M_L 看，甲仙地震與嘉義地震的短週期強地動的特性應該相當，但我們發現嘉義地震的短週期強地動比甲仙地震者大；由 M_W 看，瑞里地震與嘉義地震的長週期強地動的特性應該相當，且比甲仙地震者小，我們的確看到如是現象，同時，我們也可以看到這三個地震的短週期強地動參數(PGA、 SI_a 、 SI_d)，在嘉義市及其鄰近地區(嘉義地震震央區周圍)均顯現高區的現象，這可能表示這個地區對短週期強地動有放大的效應，因此，以未經調整的強震歷時，反演得出來的斷層參數解可能失真。

圖四十九比較甲仙、嘉義與瑞里地震的 PGA 觀測值(兩水平向的幾何平均)與 Kao et al.(2010)經驗公式的估計值。雖然，Kao et al.(2010)在推導該衰減式時，已經使用包括嘉義與瑞里地震的 PGA 觀測值，但大體而言，該衰減式的估計值在短距離時較小，在遠距離時稍大。可能的原因也許是推導該衰減式時，使用的 PGA 觀測值大部分是屬於 M_L 小於 6 的地震，這個問題有待進一步的研究解決。

GIS-based 地震資料庫

已蒐集到絕大多數瑞里地震的震災圖片、相關位置、及災害說明，並建立成電子檔。

肆、結論

本研究分析 1998 年 7 月 17 日之瑞里地震，與 1999 年 10 月 22 日之嘉義地的強震紀錄，連同上一年度甲仙地震之分析結果，一併來探討強地動參數與震災之間的關係，發現受損建築物大致位於地動參數 SI_a 、 SI_v 與 SI_d 大於 400gal、30cm/sec 與 4cm 之區域範圍內。

由觀察這三個地震的強地動分佈狀況，並與臺灣西部及西南部複雜的近地表斷層位置分布做比較，發現了若干地震波傳遞過程被斷層所屏蔽阻擋之現象，與地震波能量經由兩斷層間の間隙溢出之特徵。

再經由比較各個強地動參數的衰減狀況，初步得到如下的概念：衡量 SI_d 的衰減比較適合用 M_W ，而衡量 PGA 和 SI_a 的衰減也許比較適合用 M_L ，而 SI_v 的衰減則尚難判定用那一個規模尺度來衡量比較好。

PGA、 SI_a 、 SI_v 和 SI_d 等強震參數衰減式預測值與實測值間之平均誤差，很一致的顯現大的斷層面與複雜的破裂過程，可導致複雜的強地動分布並伴隨較大的強震參數估計誤差。

又經由比較距離斷層 50km 範圍內測站之平均加速度、速度、與位移反應譜，發現嘉義地震的 M_L 雖然與甲仙地震相同，但其短週期強地動比卻比甲仙地震者大，其原因可能是嘉義市及其鄰近地區對短週期強地動有放大的現象。據此，本

研究指出：吳相儀(2000)以未經調整的近距離強地動歷時，反演得出的嘉義地震斷層參數可能失真。

瑞里、嘉義、和甲仙等三個地震的PGA(水平向幾何平均值)觀測值，在短距離時大於使用Kao et al.(2010)經驗式的估計值，在長距離時則小於估計值。這可能是在推導經驗式時，小規模地震的強地動資料偏多的關係。

此外，本研究也已蒐集到為數相當多的瑞里地震震災圖片、相關位置、及災害說明，並建立成電子檔。

參考文獻

- Campbell, K. W. , 1981. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 2039-2070.
- Housner, G. W., 1952. Spectrum intensity of strong-motion earthquakes", *Proc. Sym. Earthq. Blast Eeff. on Stru.*, EERI, U.C.L.A..
- Kao, C. Y., J. K Chung, and Y. T. Yeh, 2010. A comparative study of the least squares method and the genetic algorithm in deducing peak ground acceleration attenuation relationships. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* 21(6), 869–878.
- Lee, S. J., W. T. Liang, L. Mozziconcci, Y. J. Hsu, C. Y. Lu, W. G. Huang, and B. S. Huang, 2012. Source complexity of the 4 March 2010 Jiashian, Taiwan, Earthquake determined by joint inversion of teleseismic and near field data, in review.
- Matsumura, K., 1992. On the intensity measure of strong motions related to structural failures, *Proceeding of 10 WCEE*, 1, 375-380.
- Nau, J. M. and W. J. Hall, 1984. Scaling methods for earthquake response spectra, *Journal of Structure Engineering*, ASCE, 110, 7, 1533-1548.
- 張徽正、李元希、林啟文、盧詩丁、石同生、陳宏仁，1999. 臺灣嘉義瑞里地震之地質災害，*地質*，第 19 卷第 1 期 1-28 頁。
- 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*，第 17 卷第 3 期 3-17 頁。
- 中央地質調查所，2010：“20100304 地震地質調查報告”，經濟部中央地質調查所。
- 鄭世楠等人，2011. 未發表。
- 國立臺灣大學地理學系臺灣地形研究室，1999，“臺灣地區民國八十七年瑞里地震災害分布圖”，國立臺灣大學地理學系臺灣地形研究室、中央地質調查所、行政院農委會聯合編印。
- 國家地震工程研究中心，2010.“2010 年 0304 高雄甲仙地震事件勘災報告”，國家地震工程研究中心。
- 高雲和葉永田，2010. 尚未發表。
- 林金田，2000，九二一集集大地震救災紀實(上)，臺灣省文獻委員會編印。南投：

省文獻會。

內政部，2011. 建築物耐震設計規範及解說。

余聰明，2004. 斷層錯動、地殼變位及強地動與地震災害相關性之研究：以 1935 年及 1999 年臺灣中部兩次地震為例。國立中央大學博士論文。

葉永田，2007. 譜震度預估模式的發展及其應用(II)，國科會專題研究計劃成果報告(NSC 95-2119-M -041-001)。

葉永田、高清雲、陳承俊、高境良，2011. 本計畫 2011 年期末報告。

黃臺豐，1999. 瑞里地震誘發之山崩，中央大學應地所碩士論文，79p。

吳相儀，2000. 臺灣地區中大型地震震源參數分析，中央大學地物所碩士論文，129p。

表一、臺灣地區自 1900 以來 $M_L \geq 6.0$ 的有災害地震

編號	時間	地區	緯度	經度	深度(公里)	M_L	MW	死(人)	傷(人)	全倒(戶)	破損(戶)	
1	190106070805	宜蘭市附近	24.700	121.700	20.0	6.2	6.2			1	57	
2	190404241439	嘉義市附近	23.375	120.475	2.0	6.1	6.1	3	10	66	840	
3	190411060425	嘉義朴子附近	23.575	120.250	7.0	6.1	6.1	145	158	661	3170	
4	190603170642	嘉義梅山附近	23.550	120.450	6.0	6.7	6.9	1258	2385	6772	14218	
5	190604140318	台南白河附近	23.400	120.400	20.0	6.4	6.4	15	84	1794	10037	
6	190801111135	花蓮光復附近	23.700	121.400	10.0	6.7	6.9	2		3	5	
7	190904150354	台北中和市附近	25.100	121.475	72.0	7.0	7.4	9	51	123	1050	
8	190905231844	埔里附近	24.075	120.950	5.0	6.1	6.1		6	10	32	
9	190911211536	南澳南方	24.400	121.800	20.0	7.0	7.4		4	14	39	
10	191004120822	基隆東方外海	25.100	122.900	200.0	7.3	7.8			13	59	
11	191006171328	巴士海峽	21.000	121.000	0.0	6.9	7.1				小損害	
12	191011141534	花蓮東北東方外海	24.200	122.000	20.0	6.5	6.6				1	
13	191212250207	花蓮市附近	24.000	121.600	0.0	6.4	6.4				1	
14	191301080650	花蓮市附近	24.000	121.600	0.0	6.2	6.2			2		
15	191608281527	日月潭附近	24.000	120.025	20.0	6.8	7.0	16	159	628	4885	
16	191701050050	埔里附近	24.000	120.975	2.0	6.2	6.2	54	85	130	625	
17	191803271152	蘇澳東方海上	24.600	121.900	7.0	6.0	6.0		3		6	
18	192006051221	花蓮東方外海	23.925	122.125	6.0	7.5	8.0	5	20	273	1257	
19	192209020316	蘇澳東方外海	24.575	122.350	20.0	7.2	7.7	11	23	17	196	
20	192209150331	蘇澳東方外海	24.600	122.300	10.0	7.0	7.3		5	24	389	
21	192506141338	花蓮東方外海	23.900	121.900	20.0	6.1	6.1		1		339	
22	192708250209	台南新營附近	23.300	120.500	20.0	6.5	6.6	11	63	214	1209	
23	193012081610	台南新營附近	23.300	120.400	20.0	6.3	6.3	4	25	214	449	
24	193012220752	台南新營附近	23.300	120.400		6.0	6.0					
	193012220808					10.0	6.1	6.1		14	121	2719
	193012221220						6.2	6.2				
25	193408111618	宜蘭市附近	24.833	121.833	20.0	6.3	6.3		3	7	11	
26	193502100320	龜山島東方	24.900	122.100	60.0	6.1	6.1				小損害	
27	193504210602	苗栗卓蘭附近	24.350	120.820	5.0	6.9	7.2	3276	12053	17907	36781	
28	193507170019	後龍溪口附近	24.600	120.700	30.0	6.0	6.0	44	391	1734	5887	
29	193509040937	綠島南方海底	22.500	121.550	20.0	7.0	7.3				114	
30	193608221451	恆春東方海底	22.000	121.200	30.0	7.0	7.4		3			
31	193712081632	成功東方海底	23.100	121.400	20.0	6.9	7.1				小損害	
32	193809071203	花蓮東南方海底	23.800	121.800	0.0	6.9	7.1				小損害	
33	194112170319	嘉義中埔附近	23.400	120.475	12.0	7.0	7.3	358	733	4520	11086	
34	194310230001	花蓮壽豐附近	23.800	121.500	5.0	6.0	6.0	1	1	1	148	
35	194402060120	花蓮鳳林附近	23.800	121.400	5.0	6.2	6.2			2	388	
36	194612050647	台南新化附近	23.070	120.330	5.0	6.1	6.1	74	482	1954	2084	
37	195110220534	花蓮東南10公里	23.875	121.725	4.0	7.1	7.5					
	195110221129	花蓮東北15公里	24.075	121.725	1.0	7.0	7.3	68	856	0	2382	
	195110221343	花蓮東南30公里	23.825	121.950	18.0	6.9	7.1					
38	195111250247	台東池上附近	23.100	121.225	16.0	6.5	6.6					
	195111250250	花蓮玉里附近	23.275	121.350	36.0	7.0	7.4	17	326	1016	582	
39	195504041912	鵝鑾鼻南方海底	21.775	120.975	0.0	6.5	6.6		7	22	171	
40	195702240426	花蓮東方海上	23.900	121.850	17.0	6.9	7.2	11	33	64	115	
41	195710200229	花蓮鳳林附近	23.600	121.550	15.0	6.3	6.3	4				
42	195904270440	三貂角東方外海	24.725	122.475	135.0	7.2	7.6	1		9	4	
43	195908151657	鵝鑾鼻東南方	21.825	121.400	20.0	6.9	7.2	17	68	1214	1357	
44	195909251036	蘭嶼西方海底	21.950	121.200	10.0	6.1	6.1		3	3	65	
45	196302131651	南澳東方海底	24.475	122.225	26.0	7.1	7.3	15	3	6	6	
46	196401182004	曾文水庫附近	23.150	120.575	13.0	6.3	6.3	106	650	10520	25818	
47	196505180119	蘭嶼東方	22.525	121.150	0.0	6.1	6.9		1	21	70	
48	196603130031	花蓮東方海底	24.050	123.000	42.0	7.3	7.7	4	11	24	30	
49	197201251006	綠島東方50公里	22.550	122.100	61.0	7.1	7.4					
	197201251141	綠島東北50公里	23.050	122.325	16.0	6.9	7.1	1	1	5	4	
50	197204241757	花蓮瑞穗附近	23.475	121.475	0.0	6.7	6.8	5	17	50	98	
51	197807232242	大武東方海底	22.352	121.329	6.1	7.1	7.2				小損害	
52	197812231923	台東長濱東方	23.297	122.005	4.1	6.9	7.0	2	3	0	2	
53	198305100815	宜蘭太平山	24.458	121.507	1.2	6.0	5.7				小損害	
54	198601162104	宜蘭東方海底	24.763	121.961	10.2	6.1	6.0				小損害	
55	198605201325	花蓮附近	24.082	121.592	15.8	6.1	6.2	1	5			
56	198611150520	花蓮東方海底	23.992	121.833	15.0	6.8	7.4	15	62	35	32	
57	199012140350	花蓮水澗附近	23.766	121.627	1.3	6.0	6.3	2	3	4	11	
58	199405241200	花蓮東方外海	23.827	122.603	4.4	6.6	6.5				小損害	
59	199406050909	南澳附近	24.462	121.838	5.3	6.5	6.3	1	5		3	
60	199506251459	南澳附近	24.606	121.669	39.9	6.5	5.9	2	4	6	1	
61	199807171251	阿里山西方14.2公里	23.510	120.660	6.0	6.2	5.7	5	27	18	248	
62	199909210147	集集附近	23.853	120.816	8.0	7.3	7.6	2415	11334	51722	53831	
63	199910221019	嘉義市附近	23.517	120.423	16.6	6.4	5.8		262	7		
64	200006110223	玉山北方	23.901	121.109	16.2	6.7	6.4	2				
65	200203311452	花蓮東方海底	24.140	122.192	13.8	6.8	7.1	5	269		160	
66	200205151146	宜蘭蘇澳附近	24.651	121.872	8.5	6.2	6.1	1				
67	200312101238	台東成功附近	23.067	121.398	17.7	6.4	6.8		14			
68	200604011802	台東卑南附近	22.884	121.081	7.2	6.2	6.1		37	14	7	
69	200612262026	墾丁西南方海底	21.687	120.555	44.1	7.0	7.0	2	42	3	4	
70	200612262034	墾丁西方海底	21.970	120.420	50.2	7.0	6.9					
71	200911051732	南投民間附近	23.789	120.719	24.1	6.2	5.6		2			
72	200912192102	花蓮東南方海底	23.788	121.663	43.8	6.9	6.4		1			
73	201003040408	甲仙附近	22.970	120.710	22.6	6.4	6.5		96			

表二 瑞里地震房屋損毀災害統計表(國立臺灣大學地理學系臺灣地形研究室，
1999)

村別	危險件數	需注意安全之件數	村別	危險件數	需注意安全之件數
仁壽村	21	13	圳北村	13	5
文峰村	17	13	安靖村	6	0
白杞村	0	1	半天村	5	0
光華村	7	4	太興村	10	5
昇平村	3	2	龍眼村	2	7
桃源村	6	3	碧湖村	15	4
塘興村	1	1	瑞峰村	12	20
緞繻村	27	16	瑞里村	22	9
金獅村	10	1	太和村	2	1
復金村	3	0	觸口村	1	8
中和村	3	11	大湖村	3	2
灣橋村	0	1	公興村	9	5
圳南村	41	24	公田村	9	4

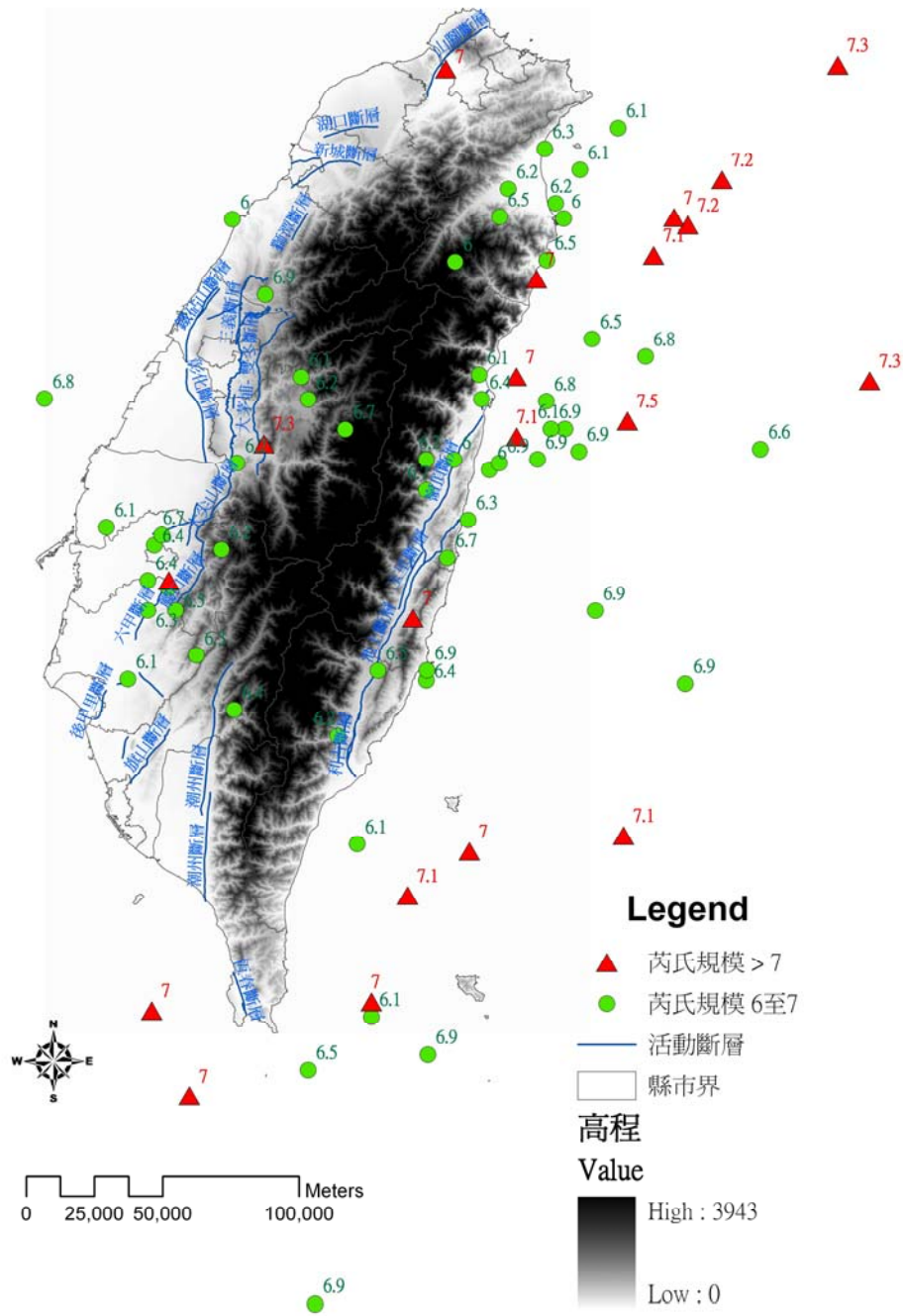
表三 1022 嘉義地震房屋損毀災害統計表(林金田，2000)

行政區域	房屋全倒(戶)	房屋半倒(戶)
阿里山鄉	0	1
竹崎鄉	30	114
梅山鄉	1	30
番路鄉	9	14
中埔鄉	23	64
大埔鄉	0	0
民雄鄉	58	52
大林鄉	2	11
溪口鄉	1	15
水上鄉	1	13
鹿草鄉	0	1
新港鄉	2	5
六腳鄉	2	0
太保鄉	1	4
東石鄉	0	1
布袋鎮	0	1
義竹鄉	0	1

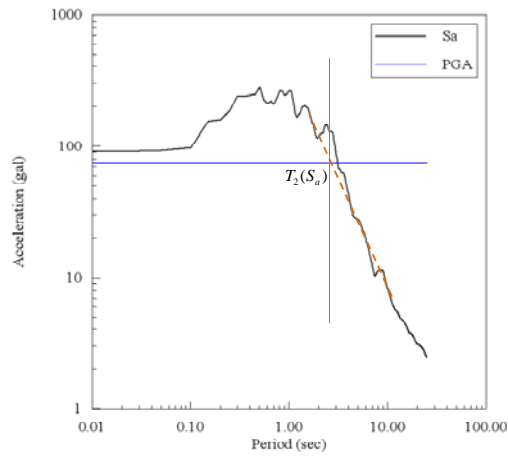
表四 距離 50km 範圍內強地動參數衰減式預測值與實測值間之平均誤差

	甲仙地震	嘉義地震	瑞里地震
SI_a	0.103	0.053	0.071
SI_v	0.130	0.076	0.089
SI_d	0.208	0.080	0.093
PGA	0.119	0.069	0.064

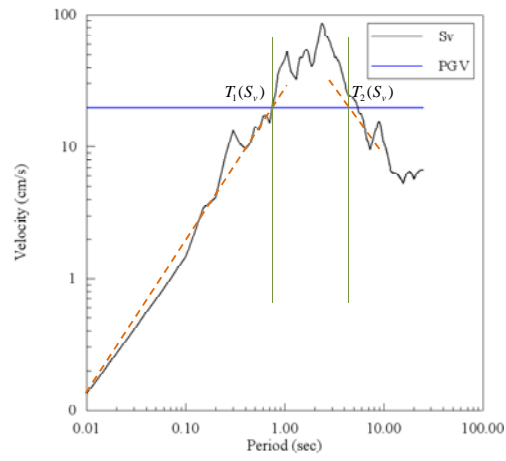
臺灣自1900年以來災害性地震分布



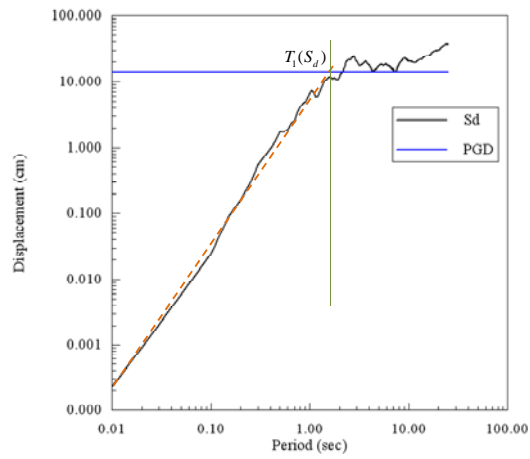
圖一 臺灣地區 1900 至 2010 年 $M_L \geq 6.0$ 的有災害地震震央分布



(a)

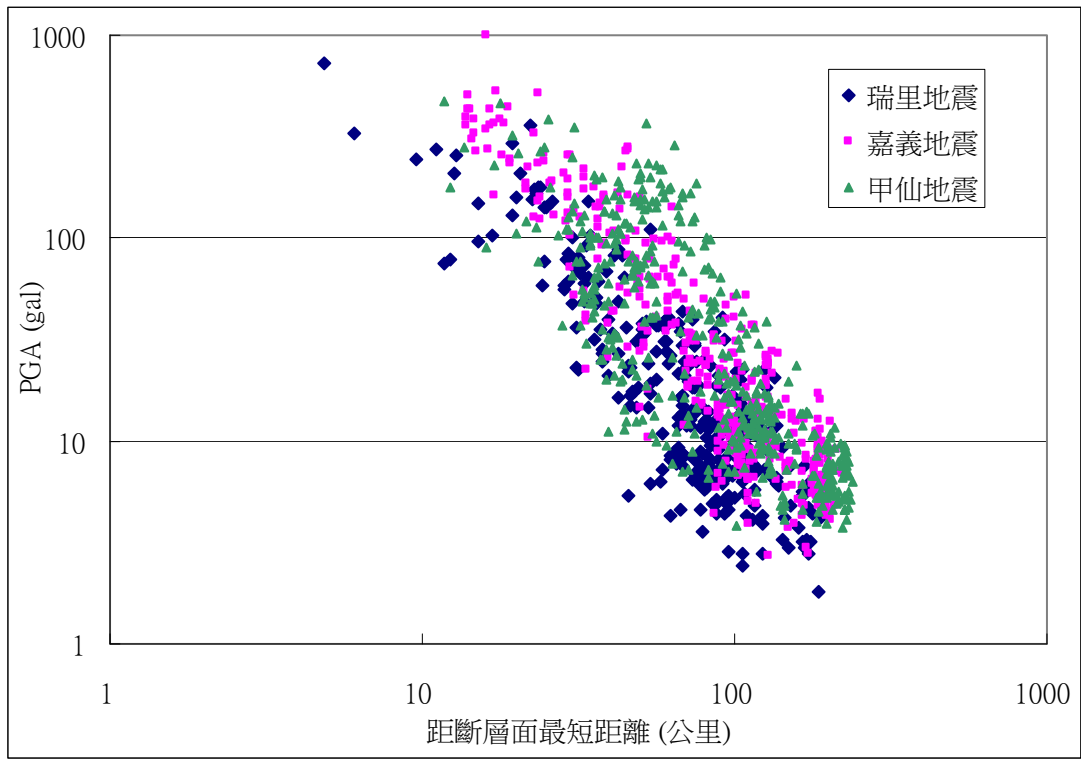


(b)



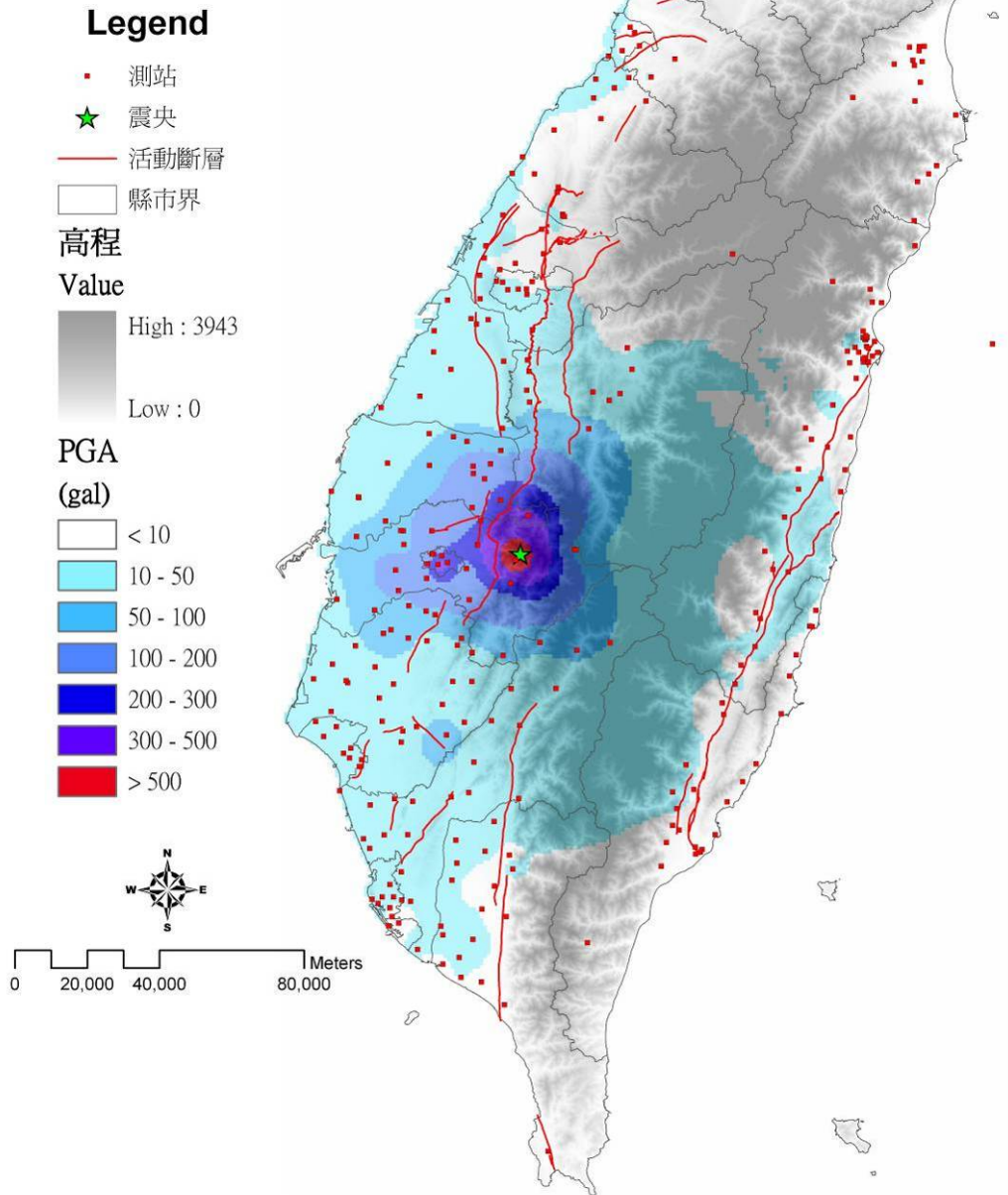
(c)

圖二 截切週期 T_1 和 T_2 的決定方法示意圖 (a) S_a (b) S_v (c) S_d



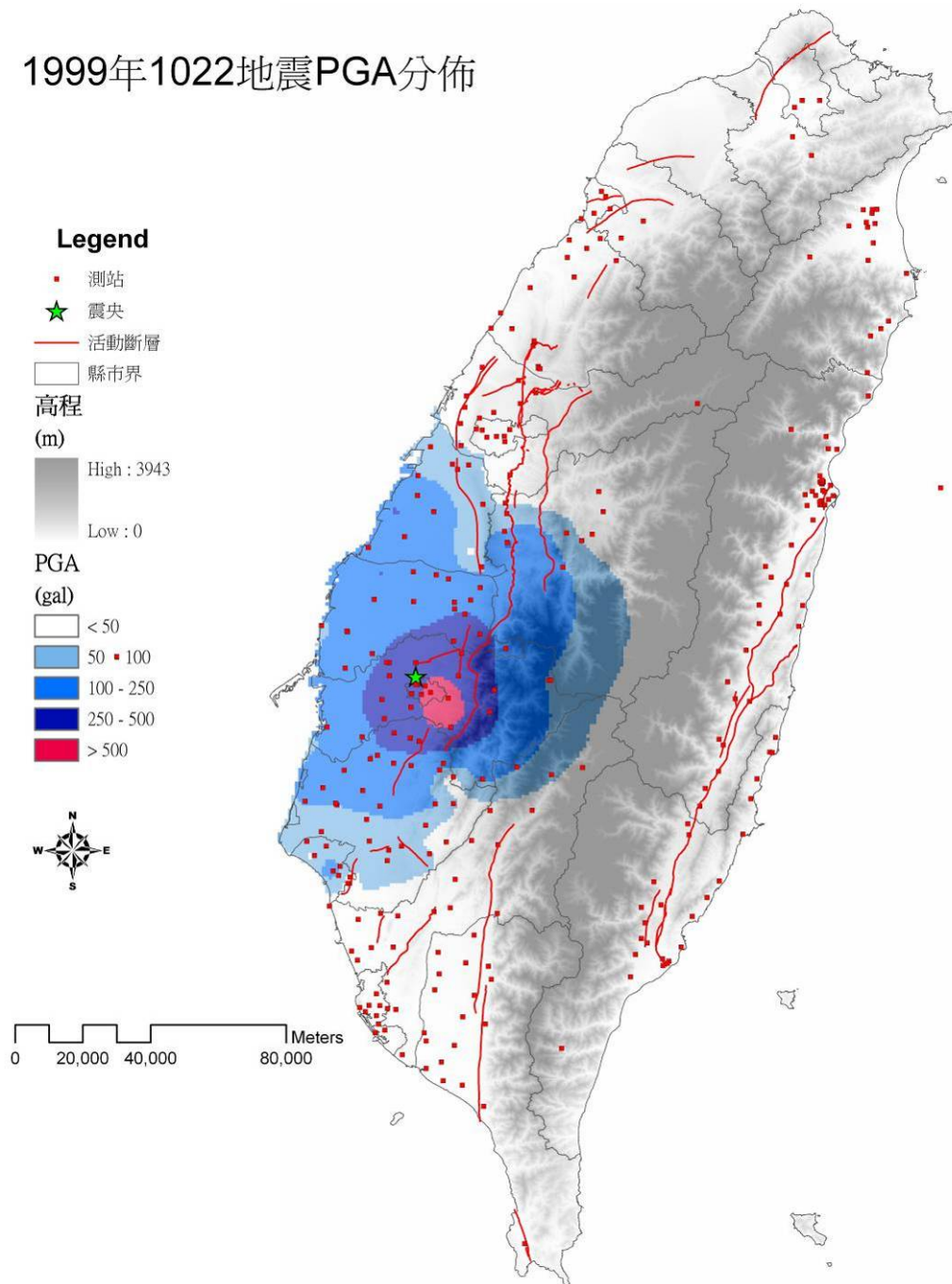
圖三 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 PGA(水平向最大值)衰減情形

1998年瑞里地震PGA分佈



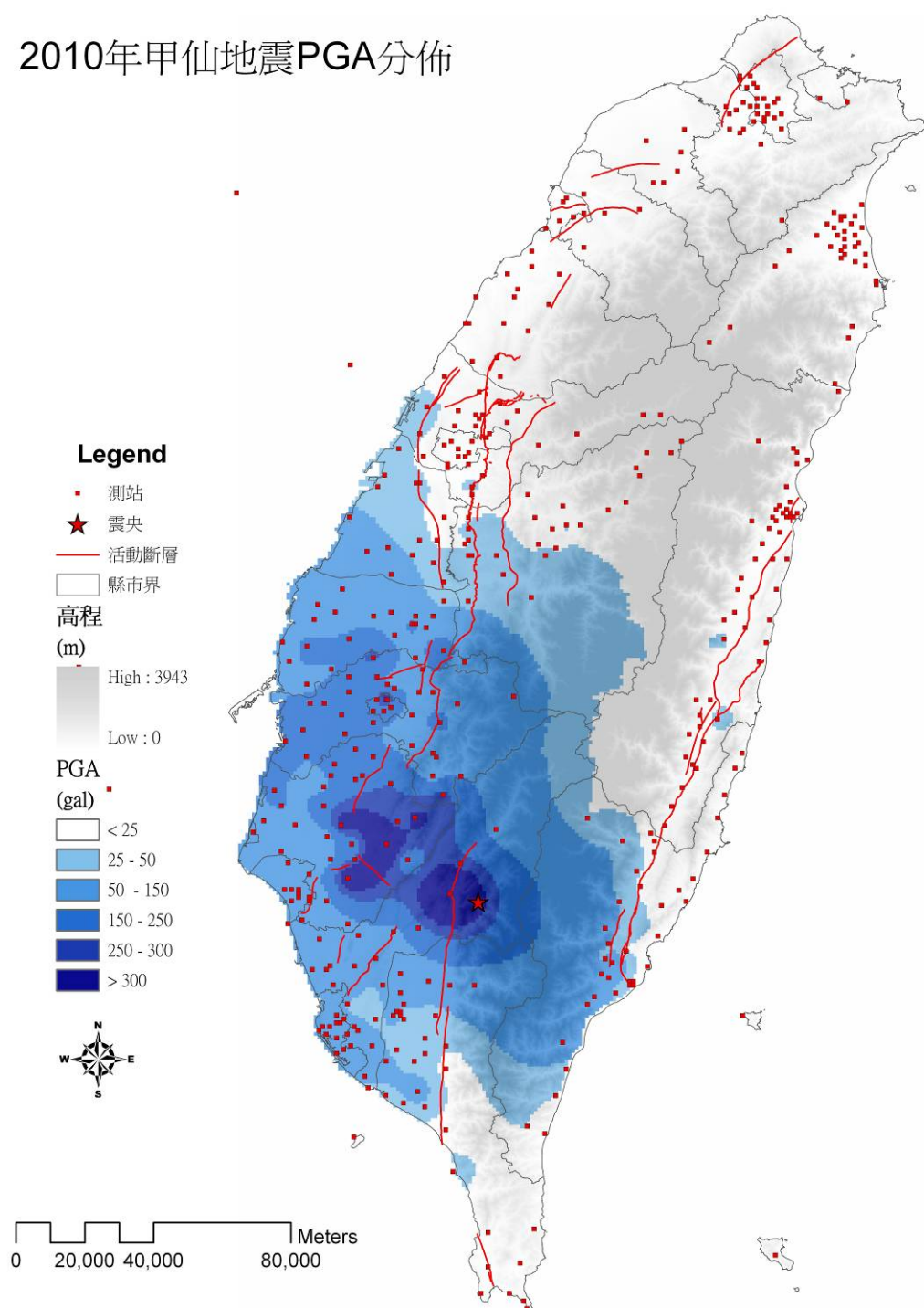
圖四 19980717 瑞里地震臺灣全區兩水平向 PGA 最大值分布

1999年1022地震PGA分佈



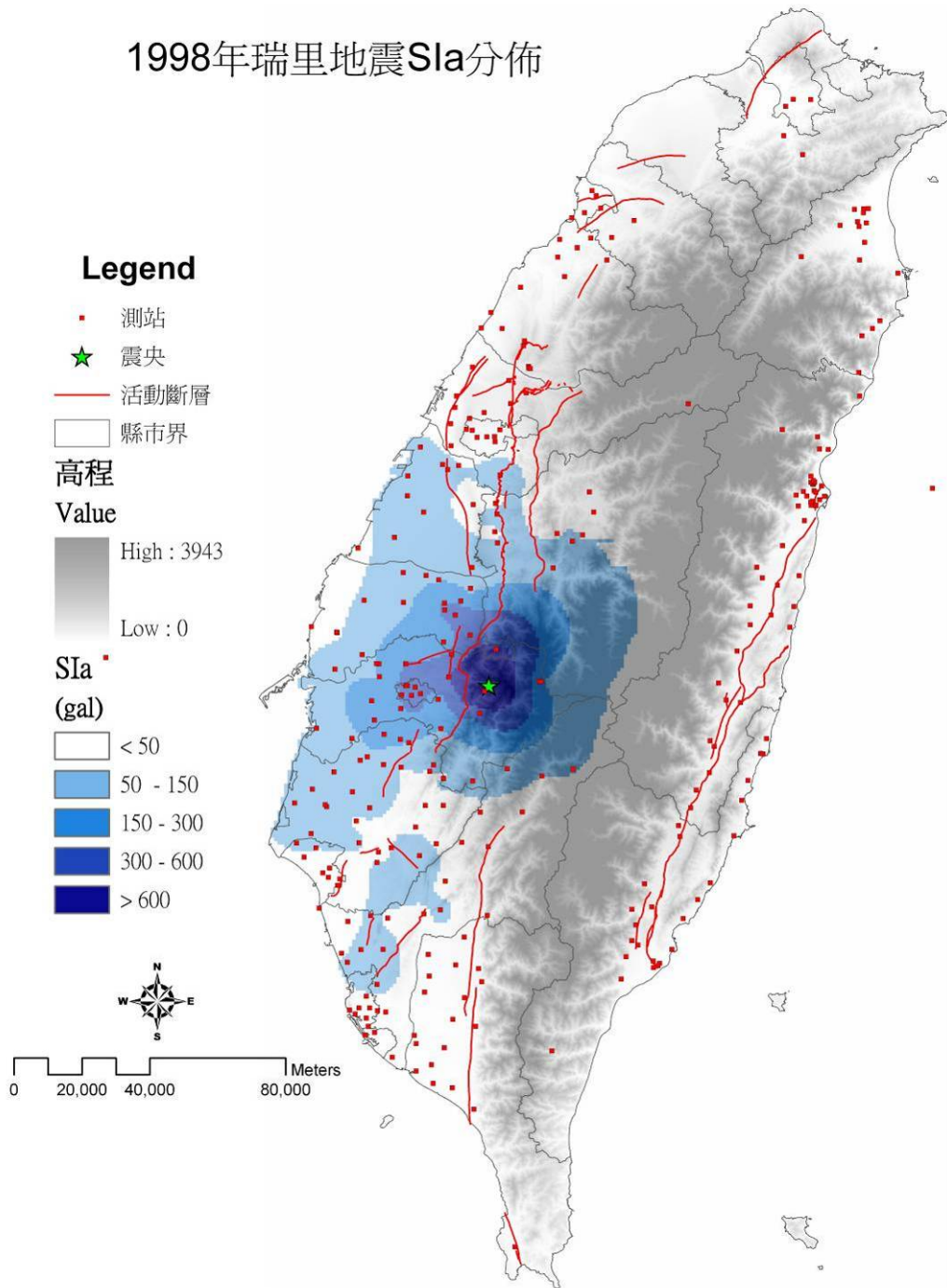
圖五 19991022 嘉義地震臺灣全區兩水平向 PGA 最大值分布

2010年甲仙地震PGA分佈



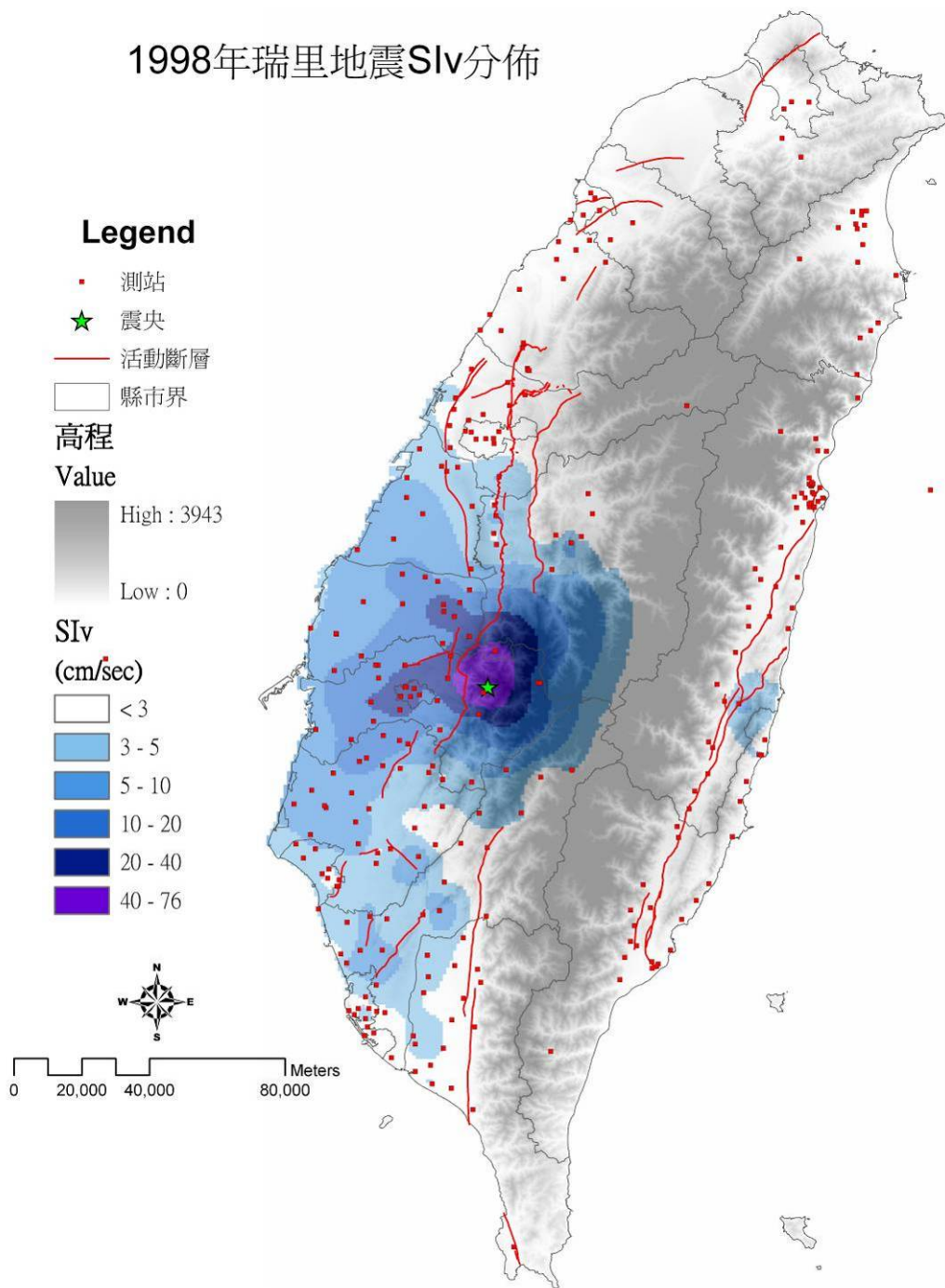
圖六 20100304 甲仙地震臺灣全區兩水平向 PGA 最大值分布

1998年瑞里地震 SI_a 分佈



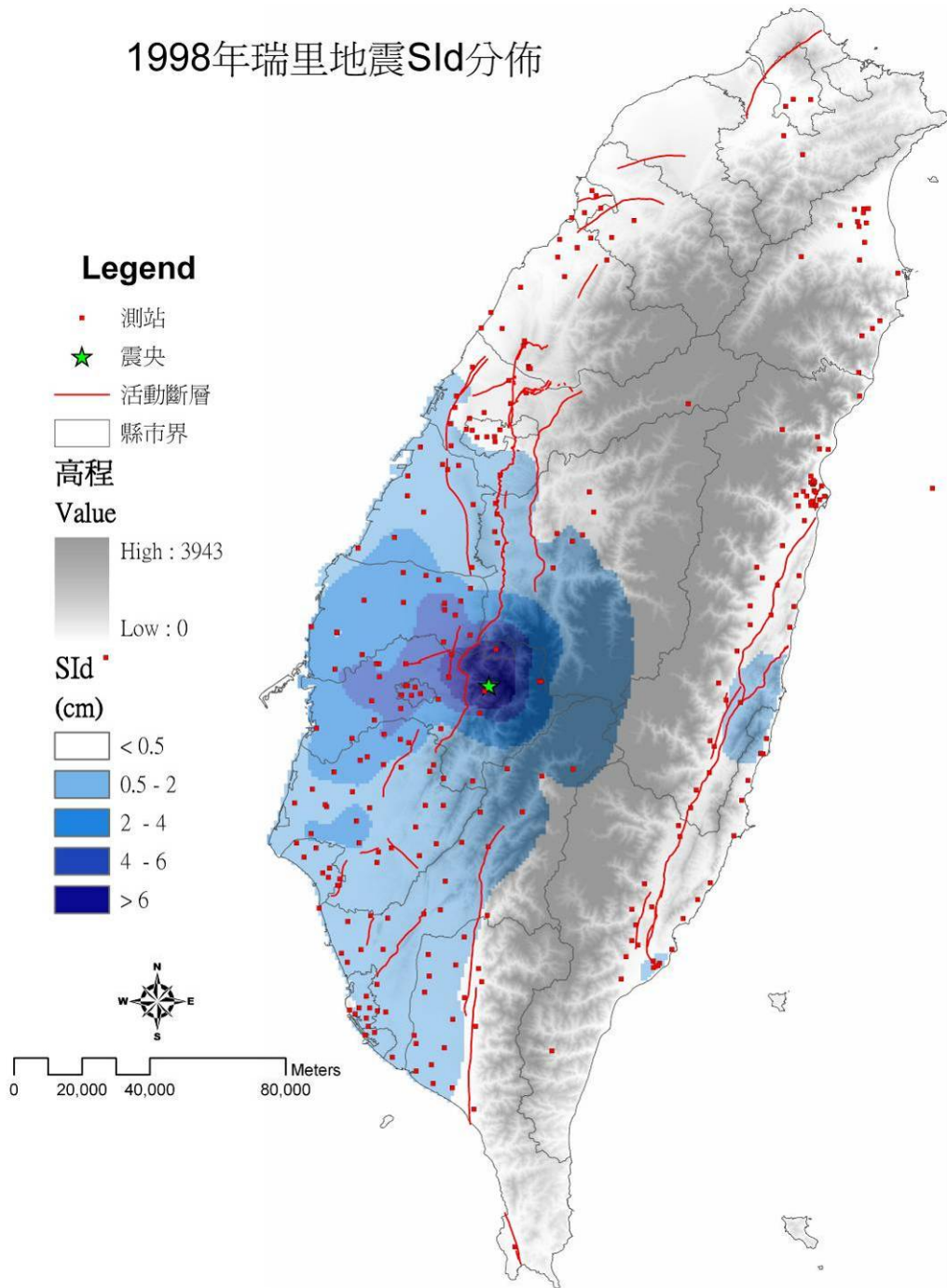
圖七 19980717 瑞里地震臺灣全區兩水平向 SI_a 最大值的分布

1998年瑞里地震 SI_v 分佈



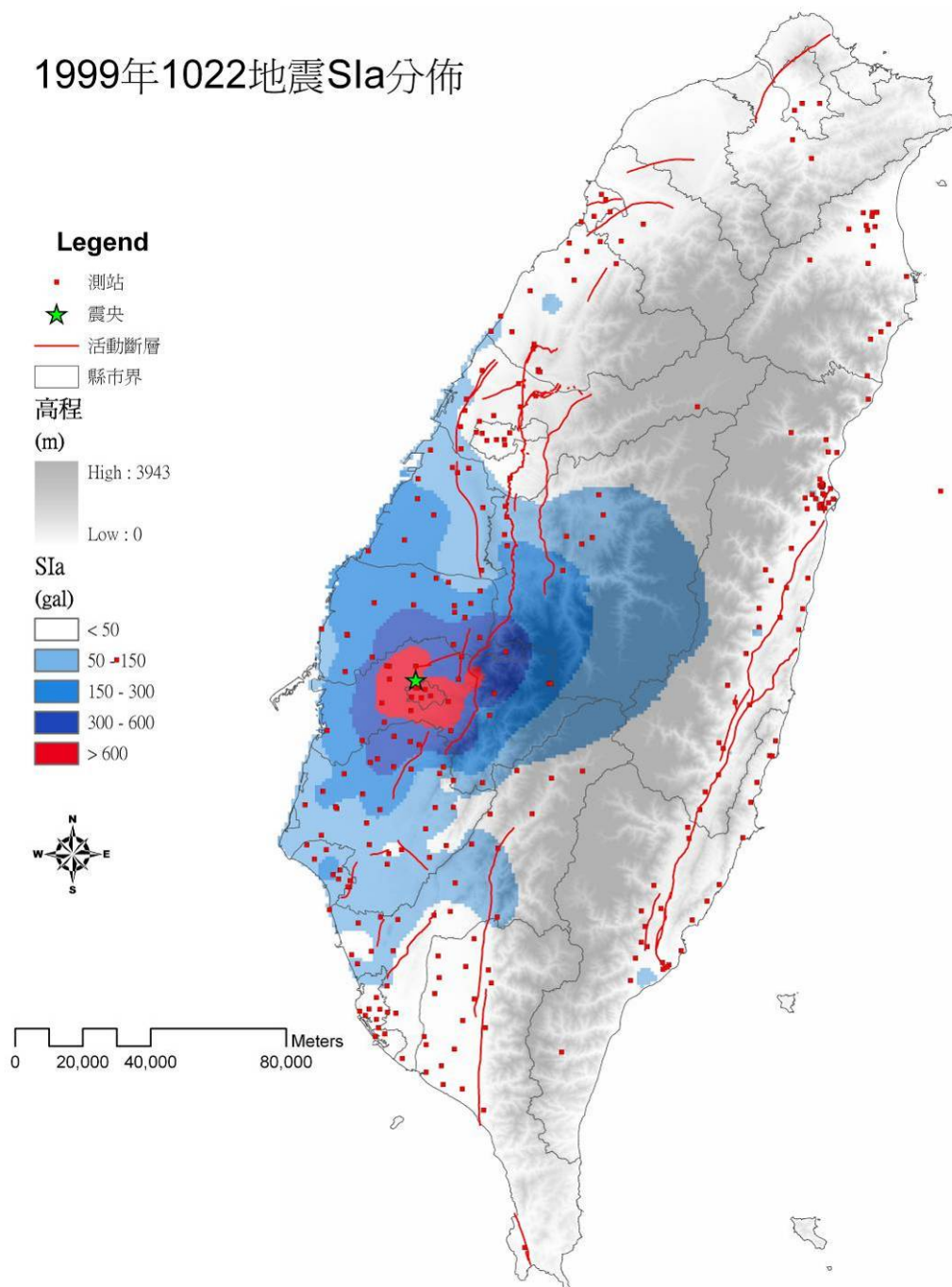
圖八 19980717 瑞里地震臺灣全區兩水平向 SI_v 最大值的分布

1998年瑞里地震SI_d分佈



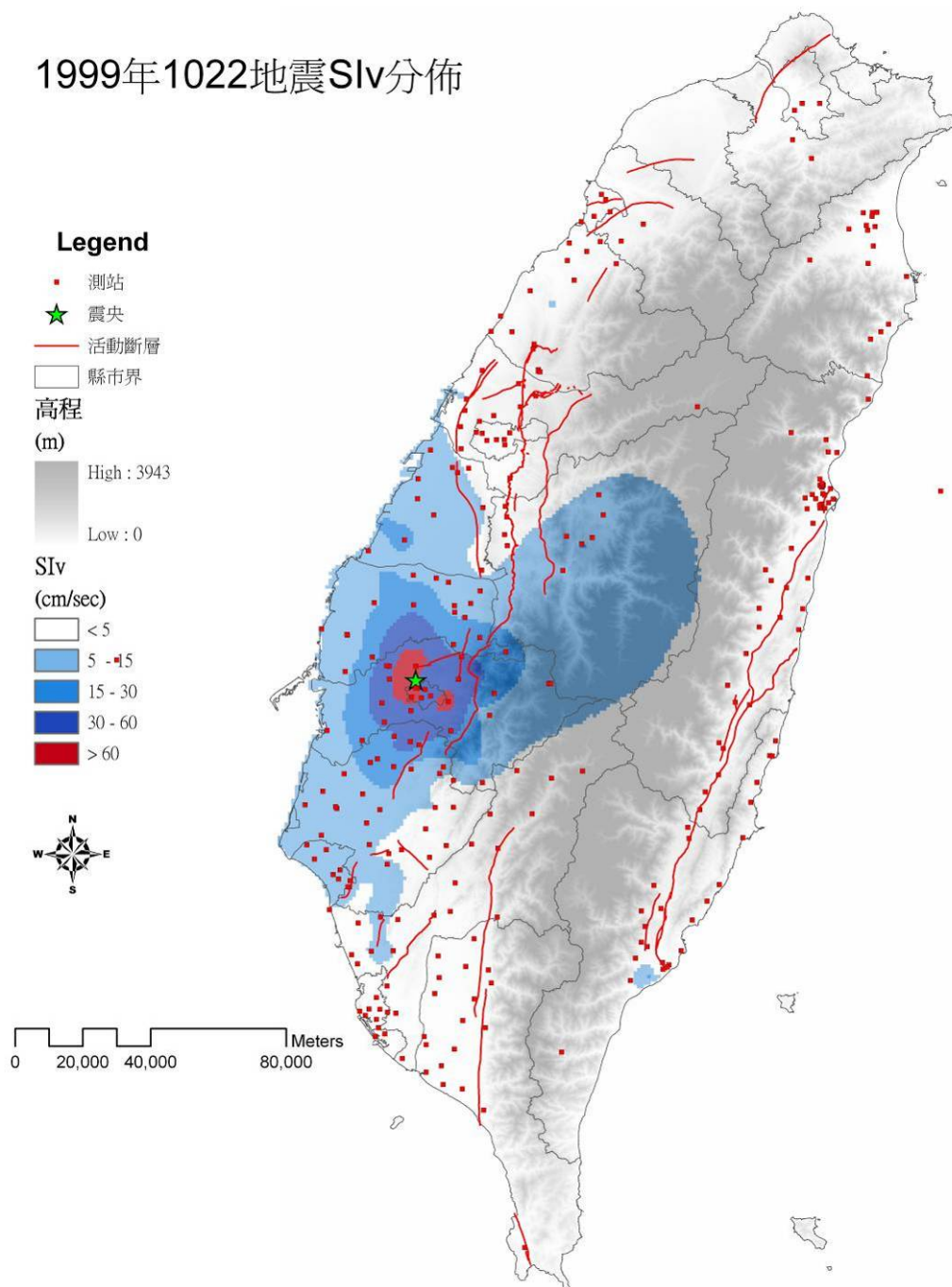
圖九 19980717 瑞里地震臺灣全區兩水平向 SI_d 最大值的分布

1999年1022地震 SI_a 分佈



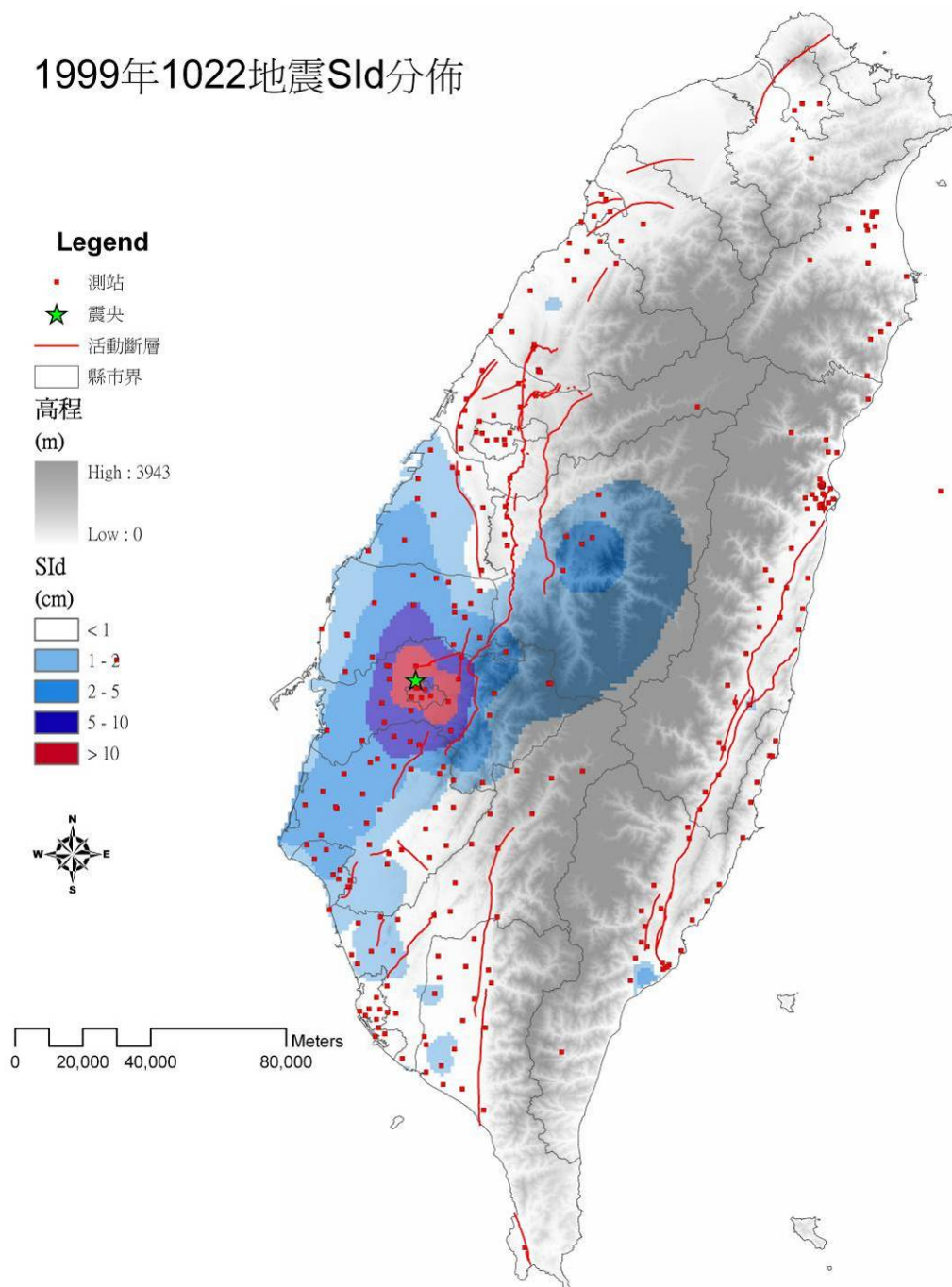
圖十 19991022 嘉義地震臺灣全區兩水平向 SI_a 最大值的分布

1999年1022地震SI_v分佈



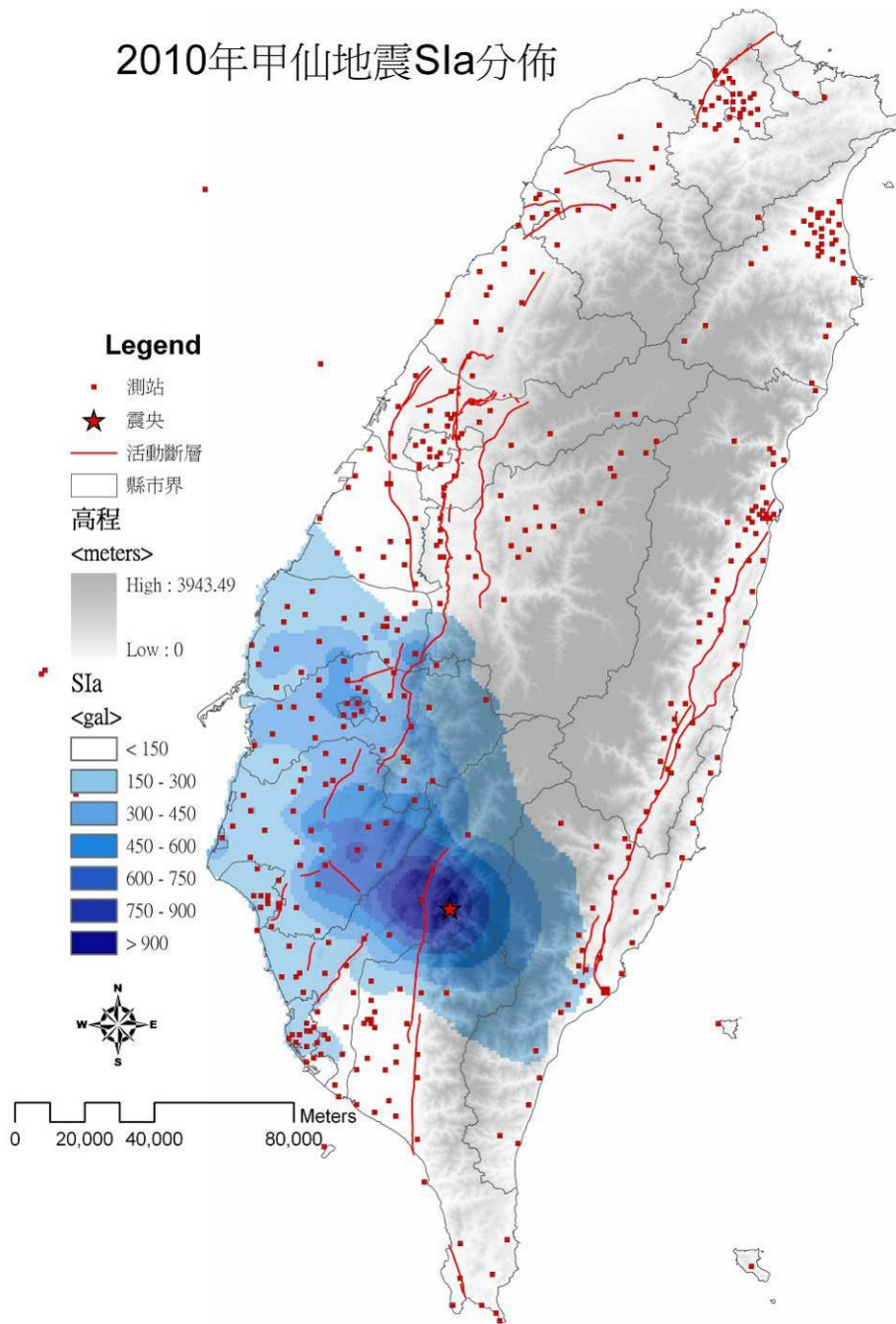
圖十一 19991022 嘉義地震臺灣全區兩水平向 SI_v 最大值的分佈

1999年1022地震 SI_d 分佈



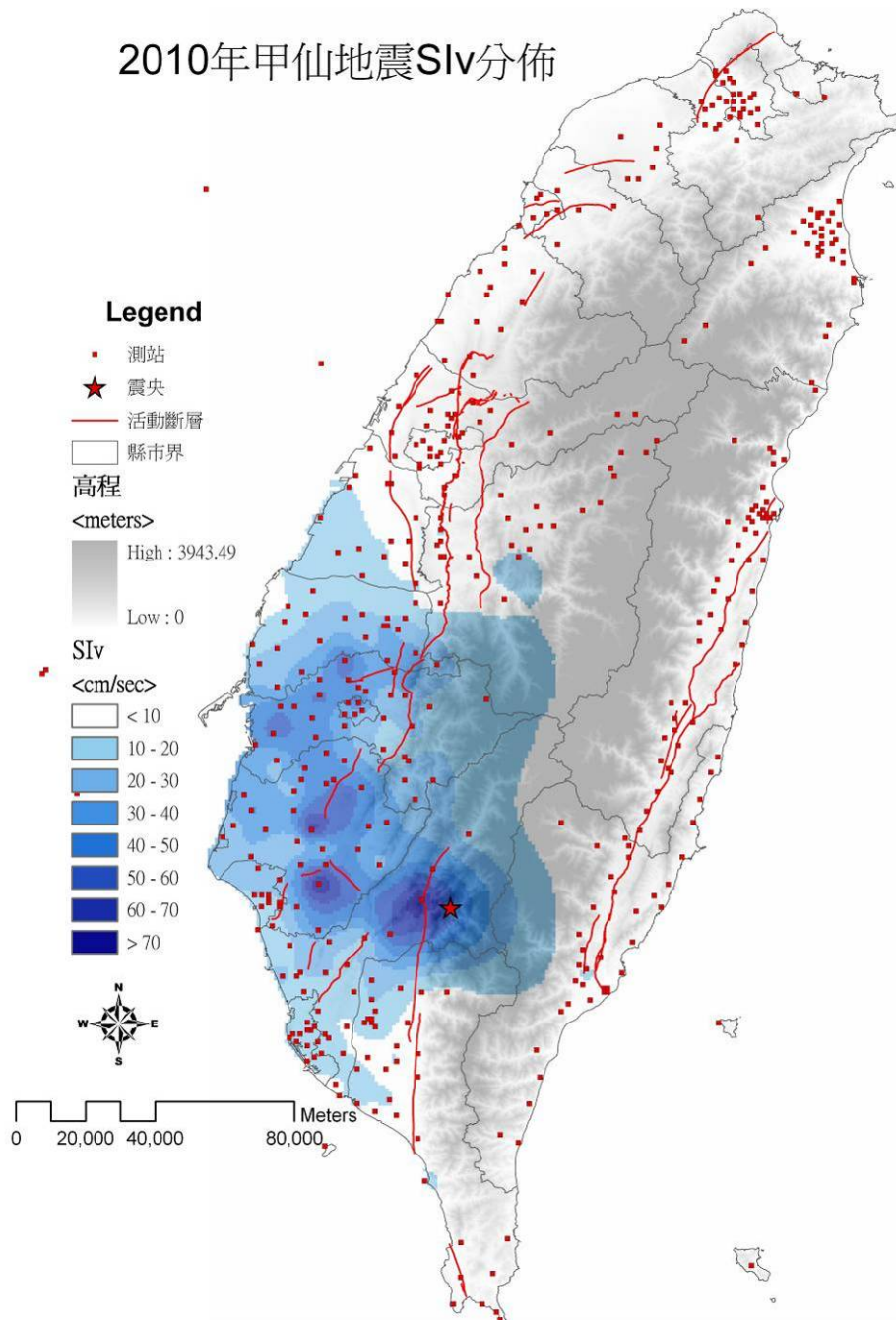
圖十二 19991022 嘉義地震臺灣全區兩水平向 SI_d 最大值的分佈

2010年甲仙地震 SI_a 分佈



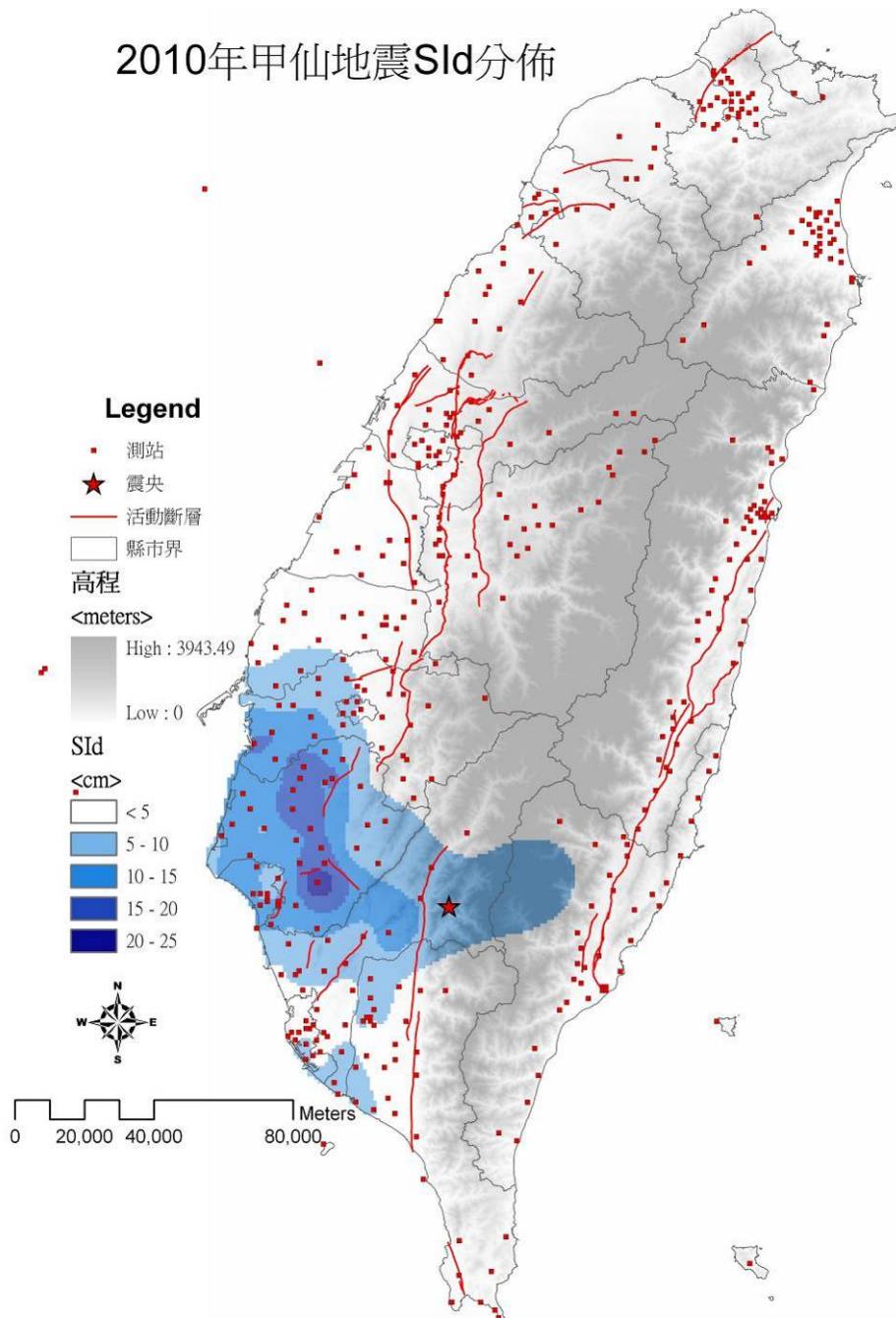
圖十三 20100304 甲仙地震臺灣全區兩水平向 SI_a 最大值的分布

2010年甲仙地震 SI_v 分佈

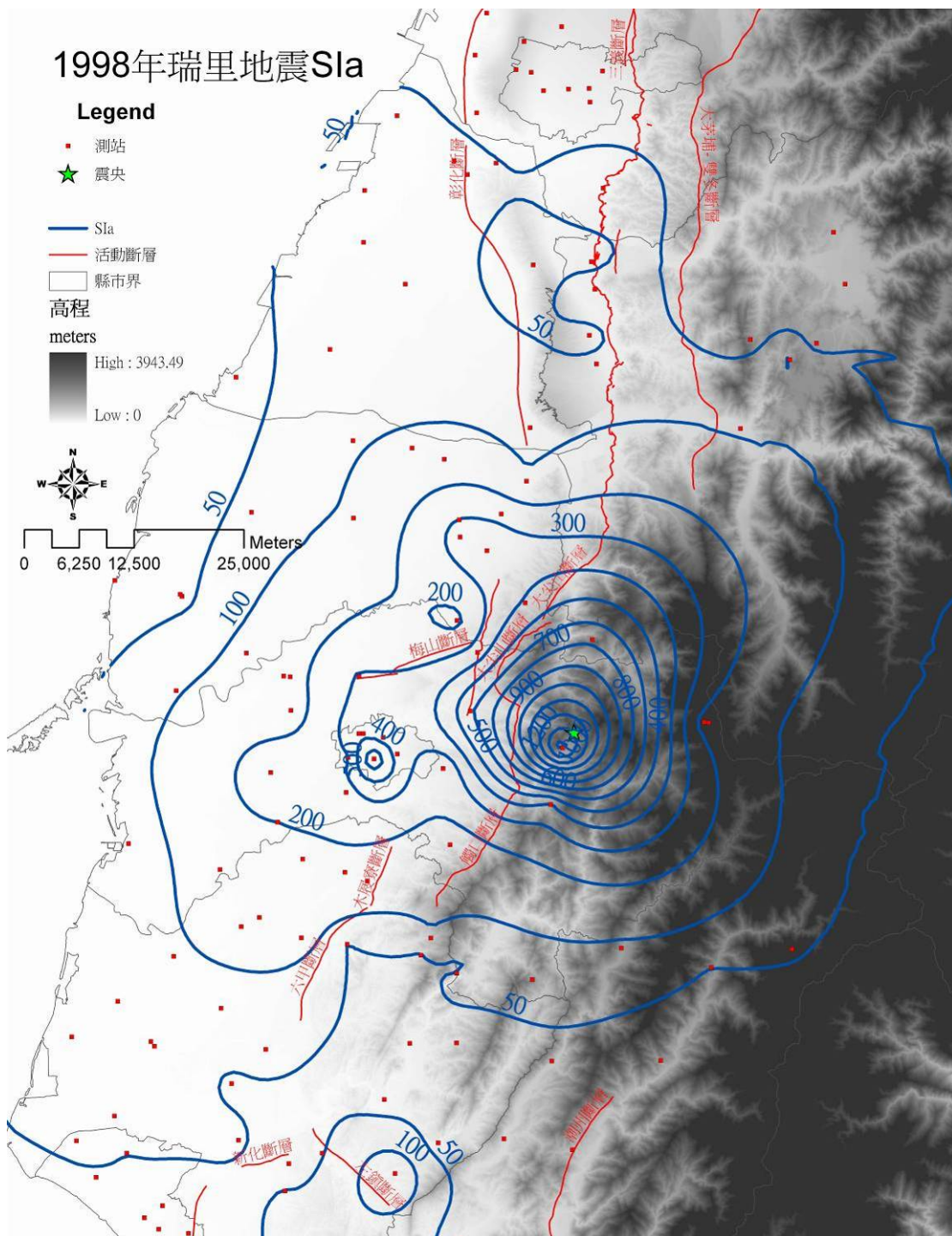


圖十四 20100304 甲仙地震臺灣全區兩水平向 SI_v 最大值的分布

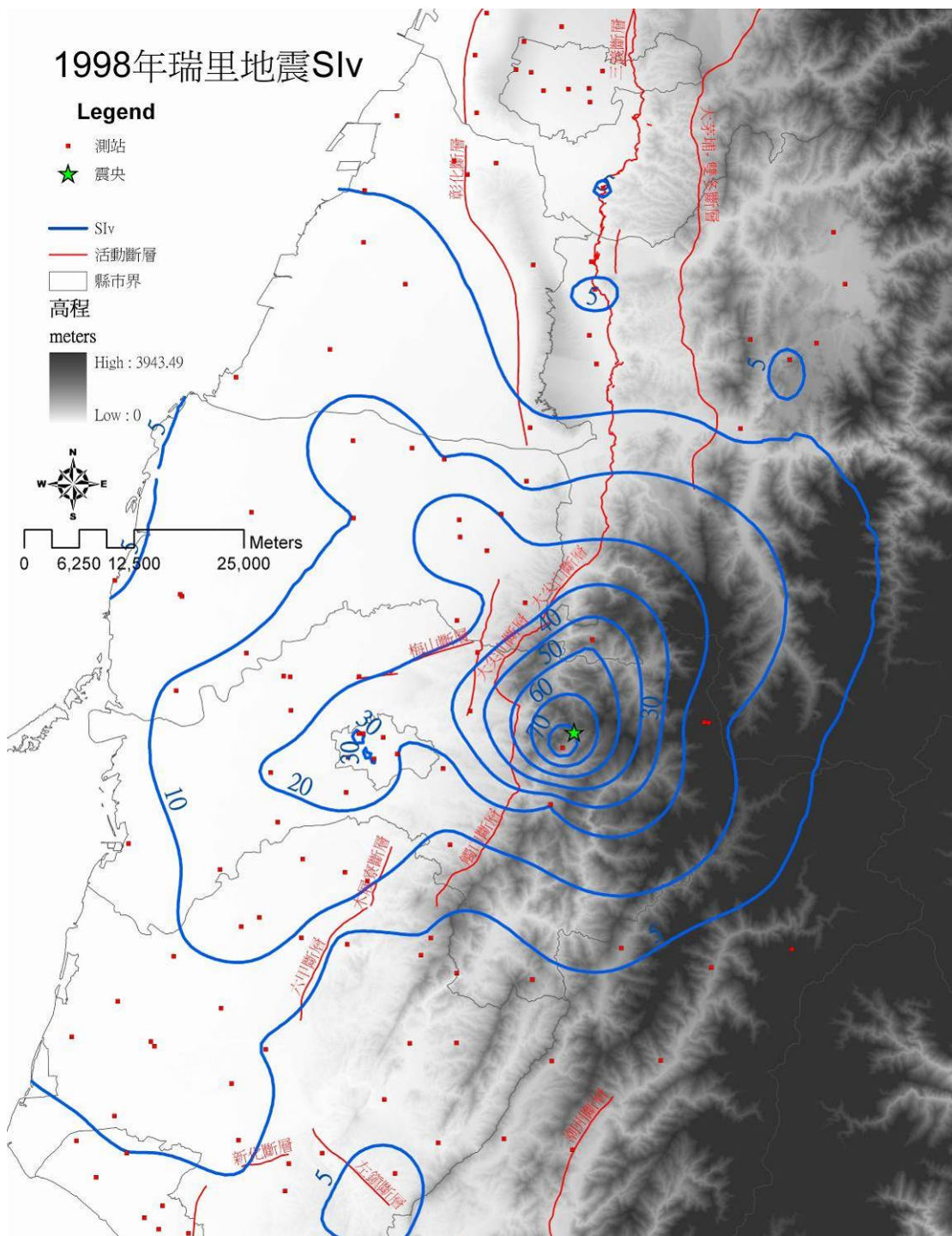
2010年甲仙地震SId分佈



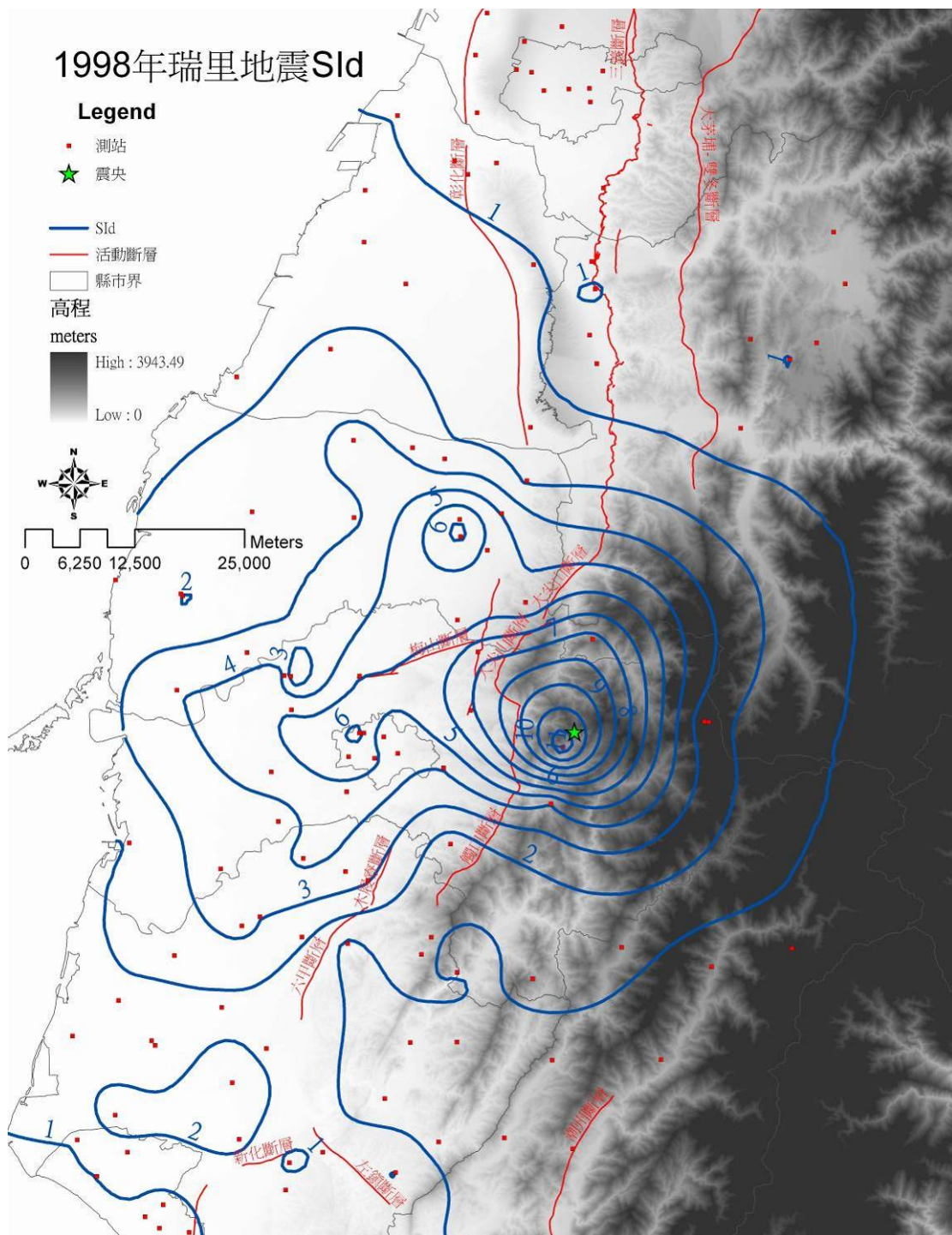
圖十五 20100304 甲仙地震臺灣全區兩水平向 SI_d 最大值的分布



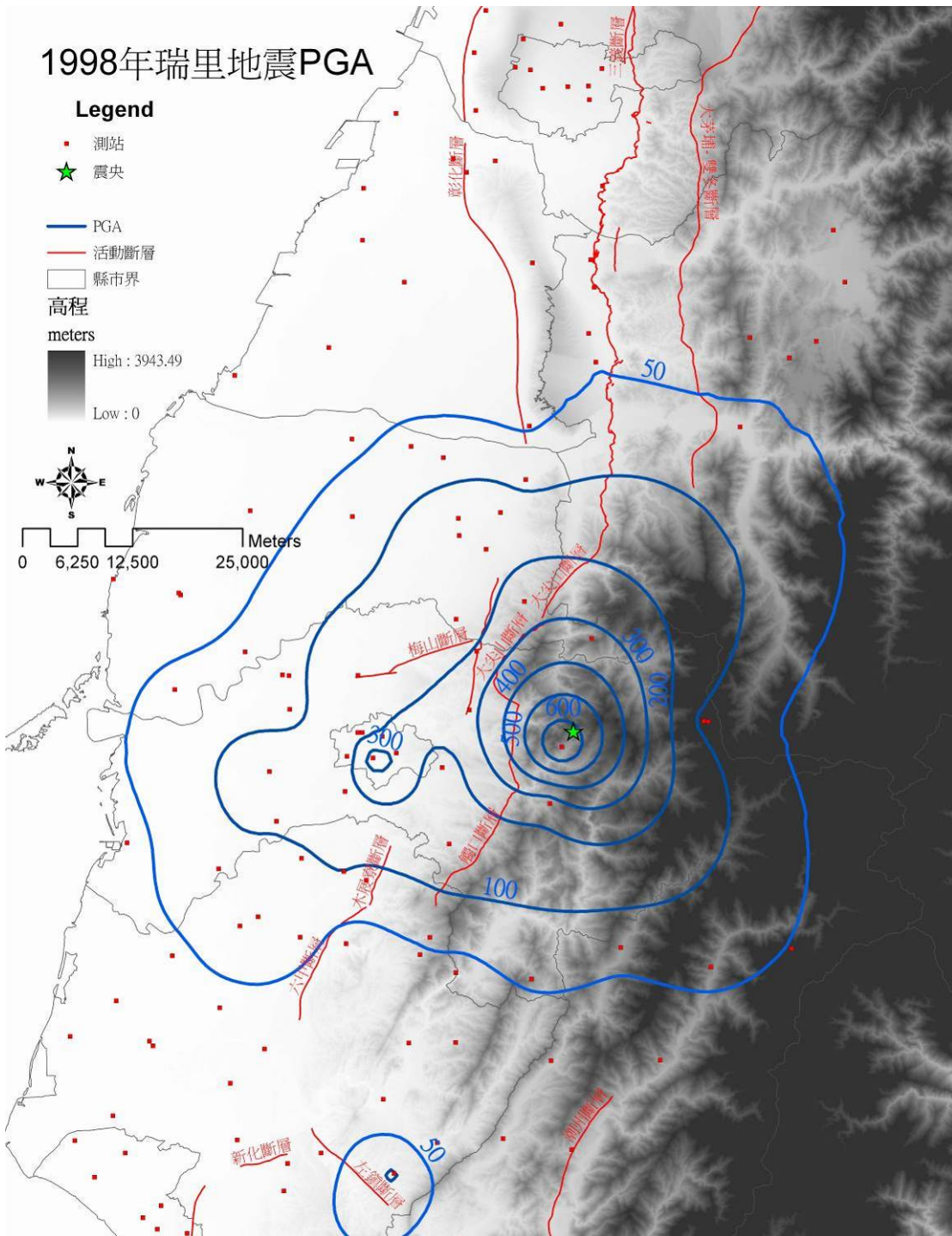
圖十六 19980717 瑞里地震兩水平向 SI_a 最大值分布與斷層位置比較



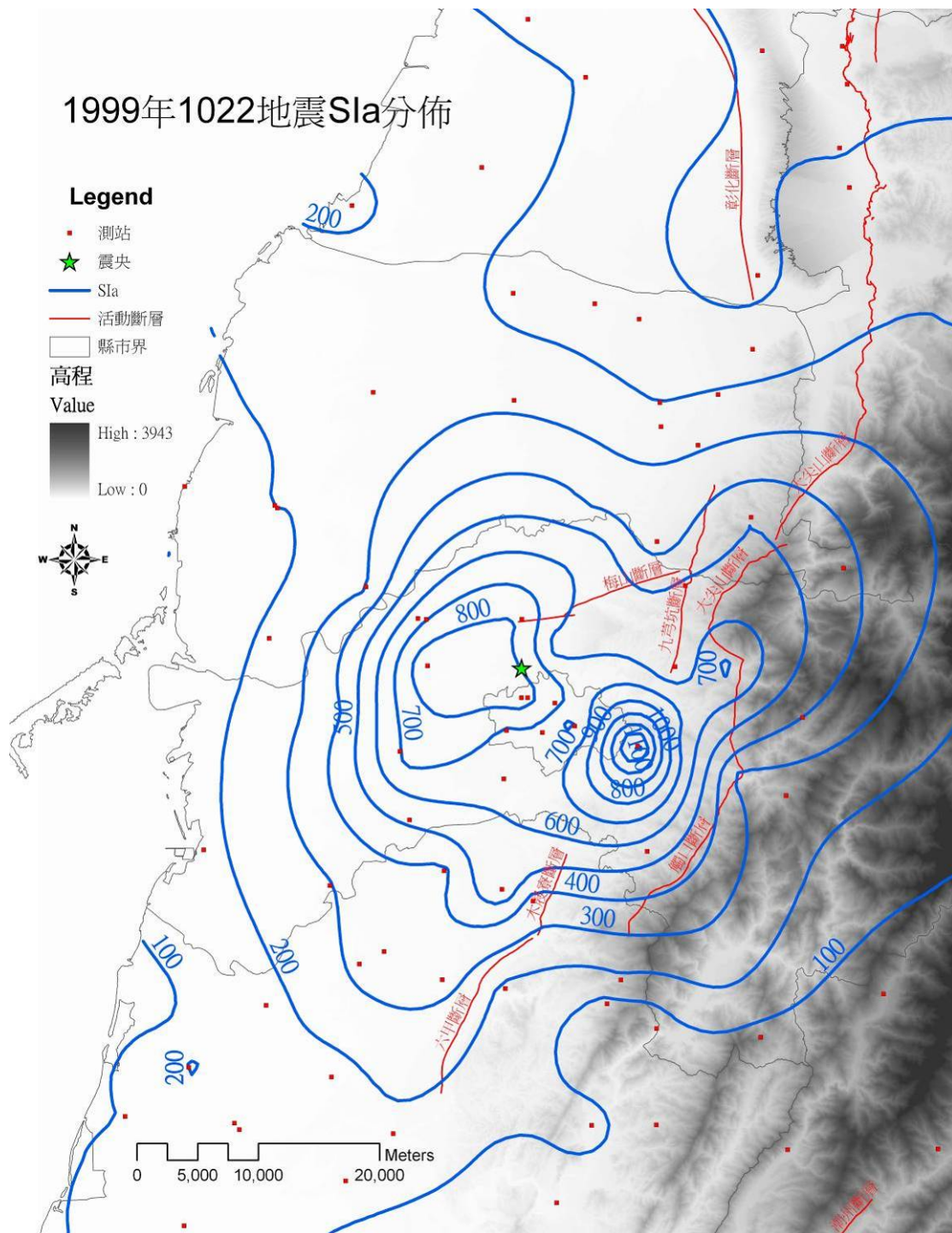
圖十七 19980717 瑞里地震兩水平向 SI_v 最大值分布與斷層位置比較



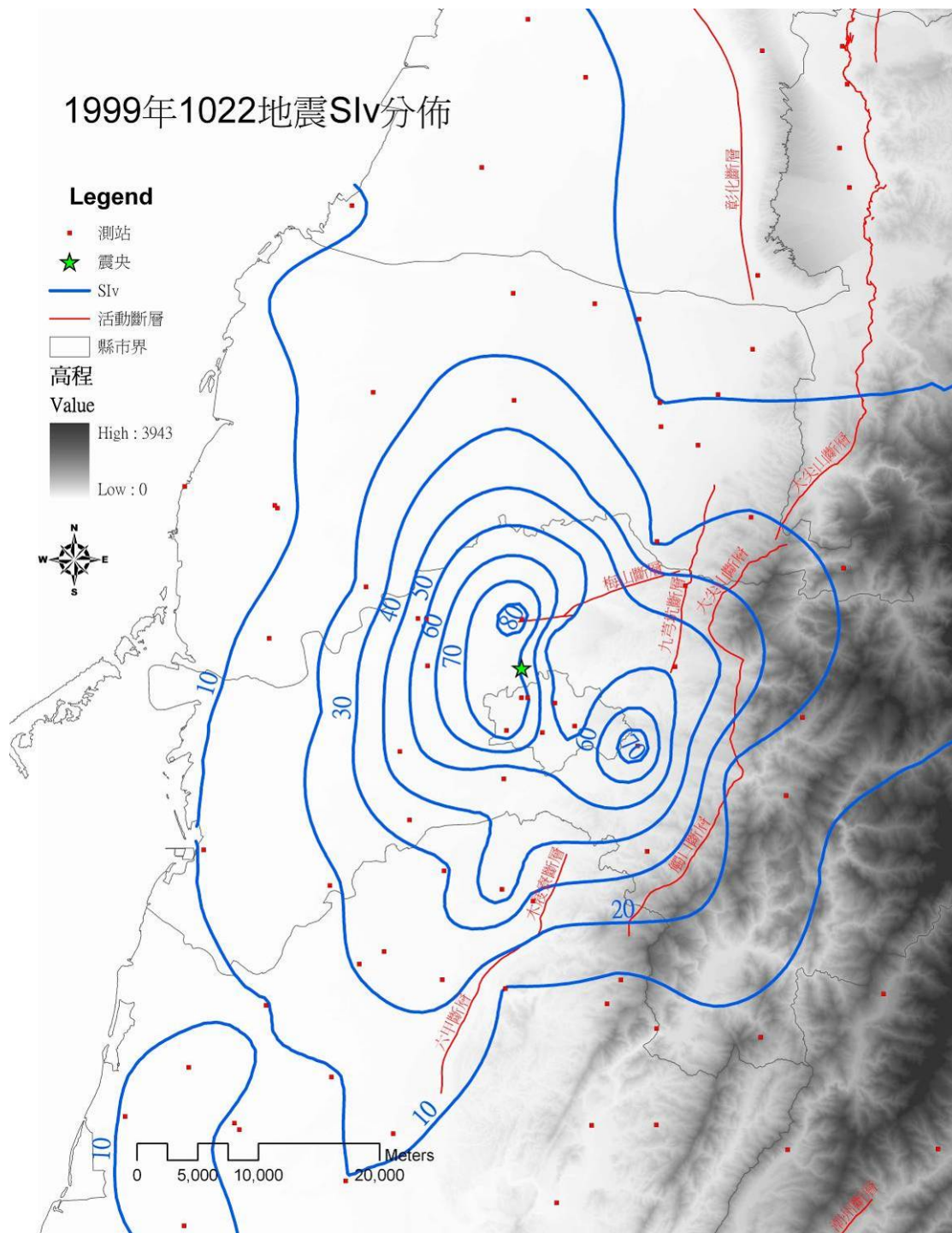
圖十八 19980717 瑞里地震兩水平向 SI_d 最大值分布與斷層位置比較



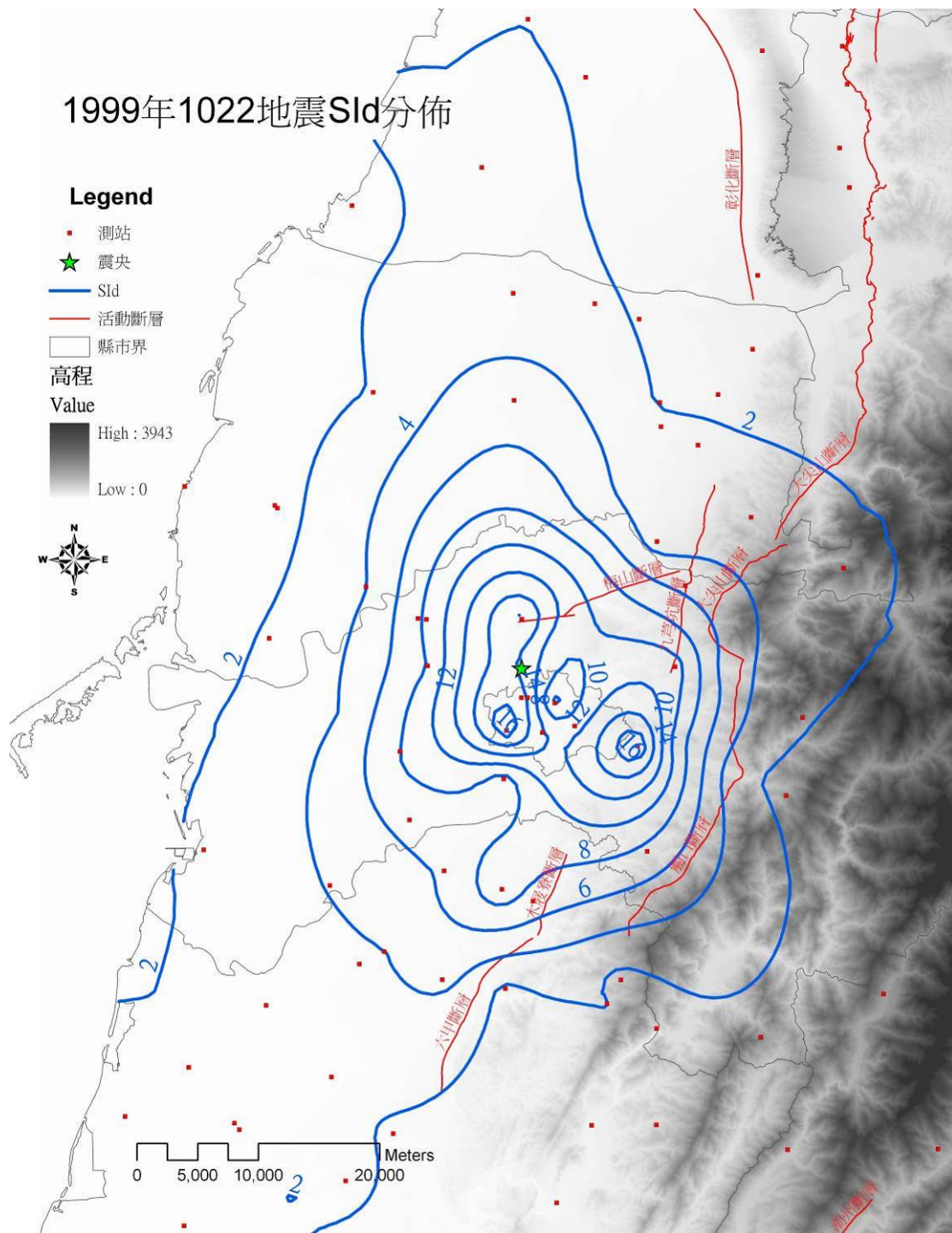
圖十九 19980717 瑞里地震兩水平向 PGA 最大值分布與斷層位置比較



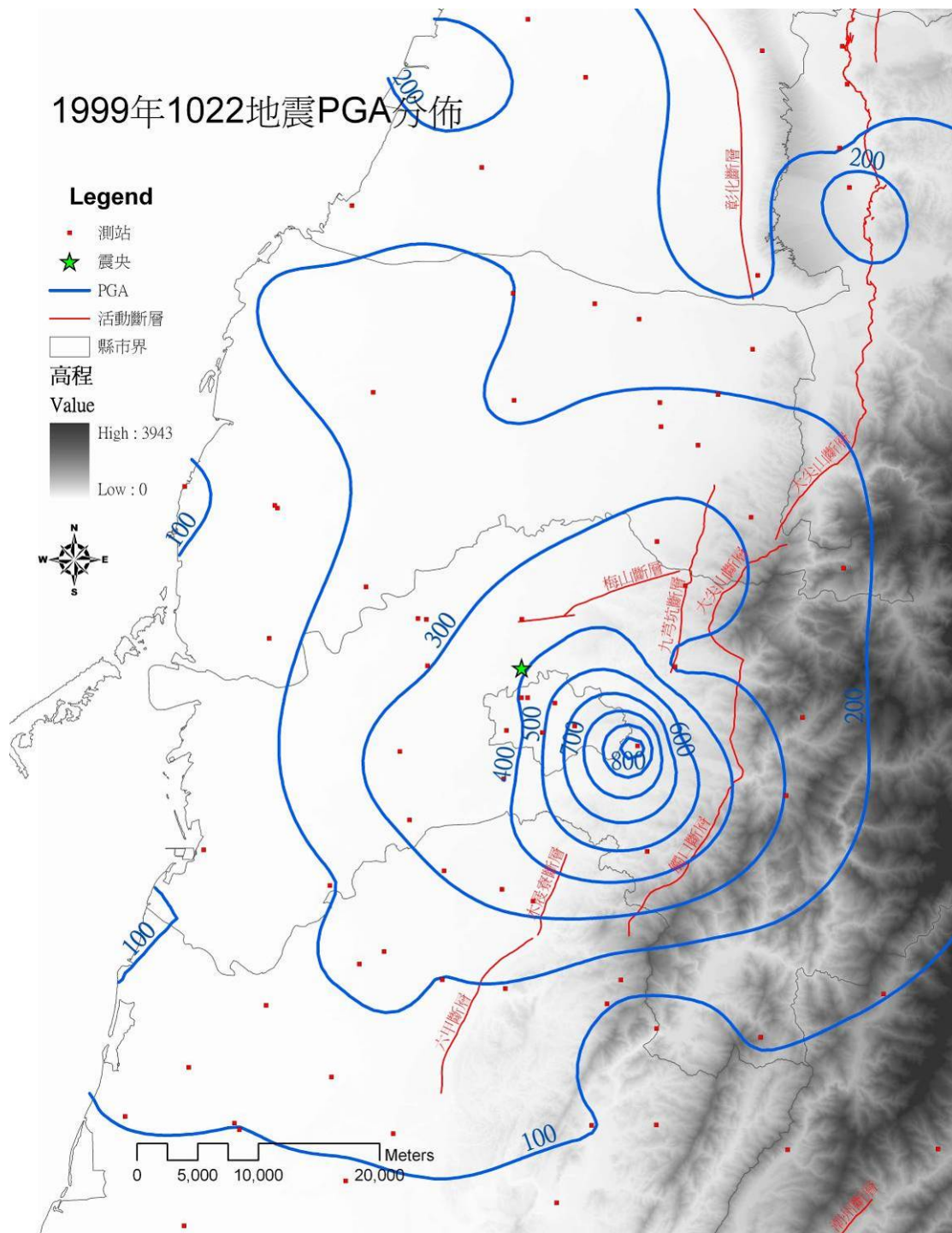
圖二十 19991022 嘉義地震兩水平向 SI_a 最大值分佈與斷層位置比較



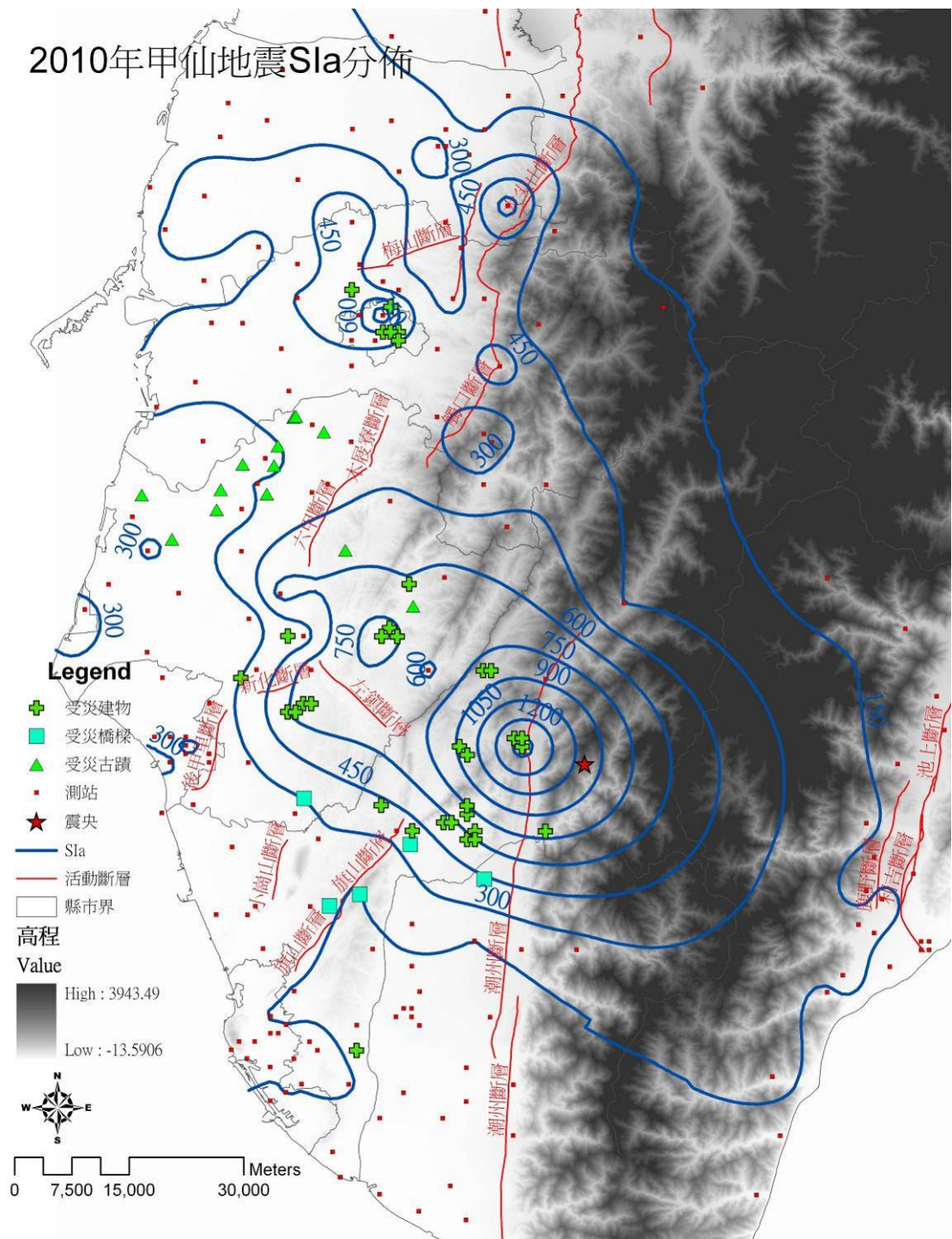
圖二十一 19991022 嘉義地震兩水平向 SI_v 最大值分布與斷層位置比較



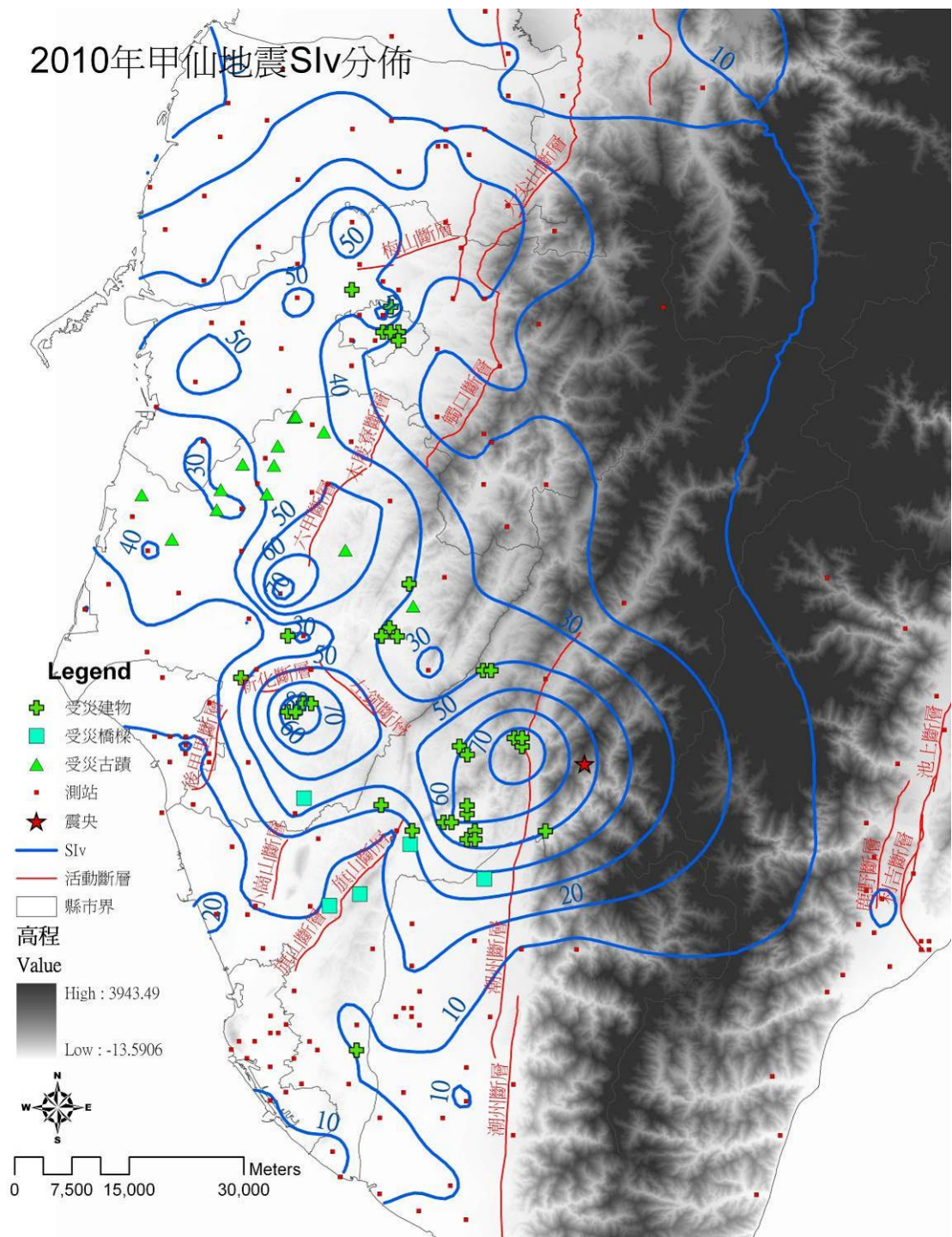
圖二十二 19991022 嘉義地震兩水平向 SI_d 最大值分布與斷層位置比較



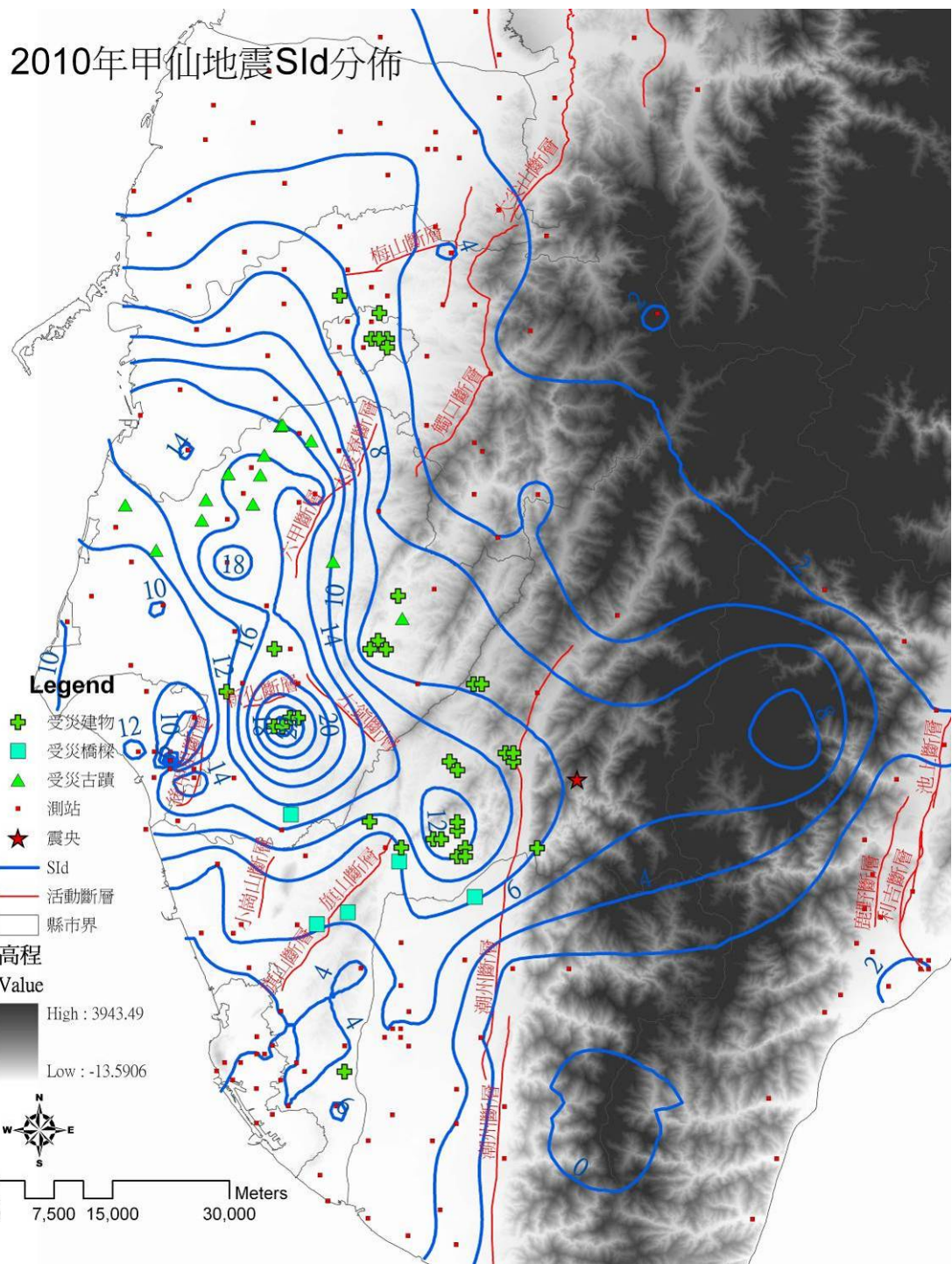
圖二十三 19991022 嘉義地震兩水平向 PGA 最大值分布與斷層位置比較



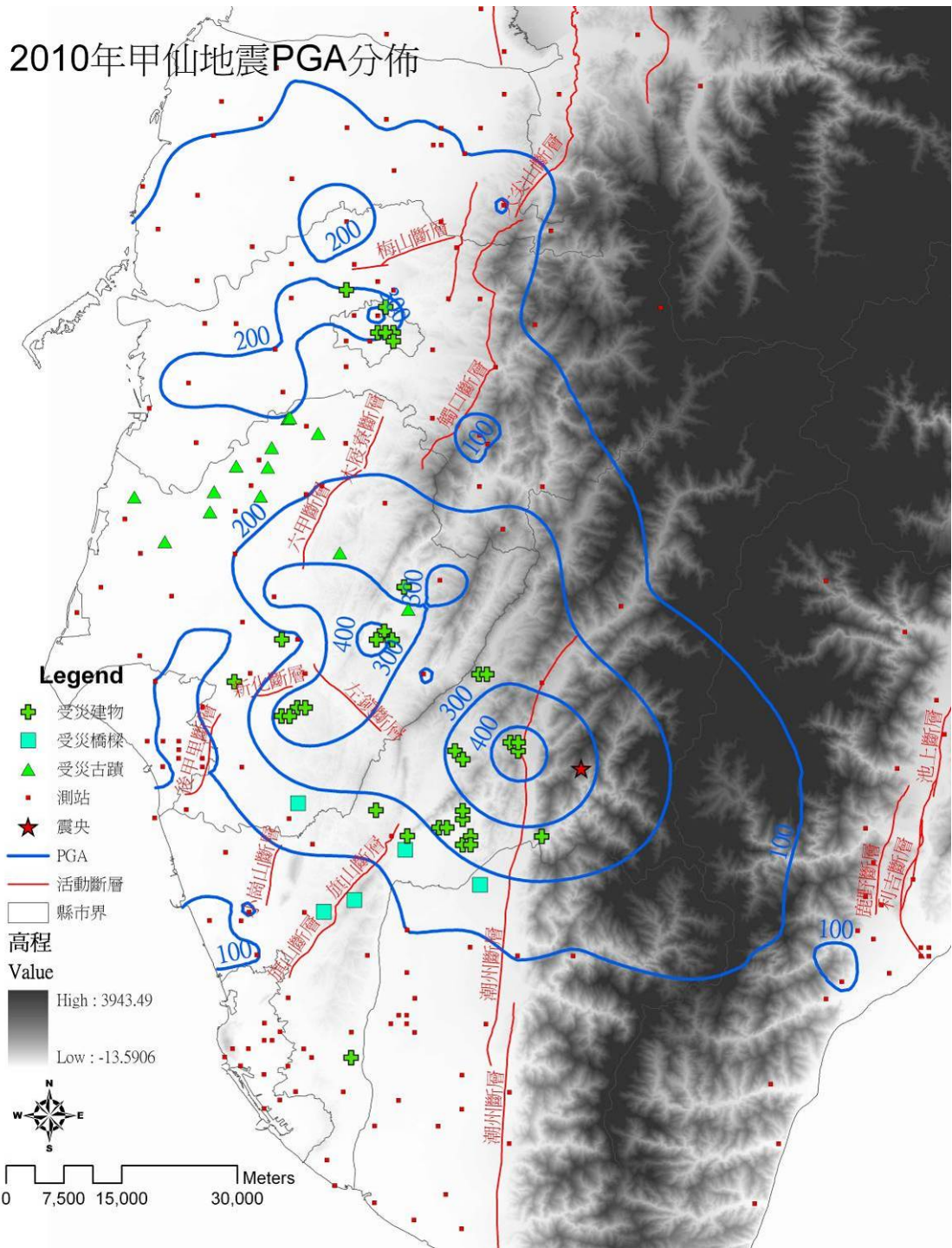
圖二十四 20100304 甲仙地震兩水平向 SI_a 最大值與斷層位置及災害分布比較



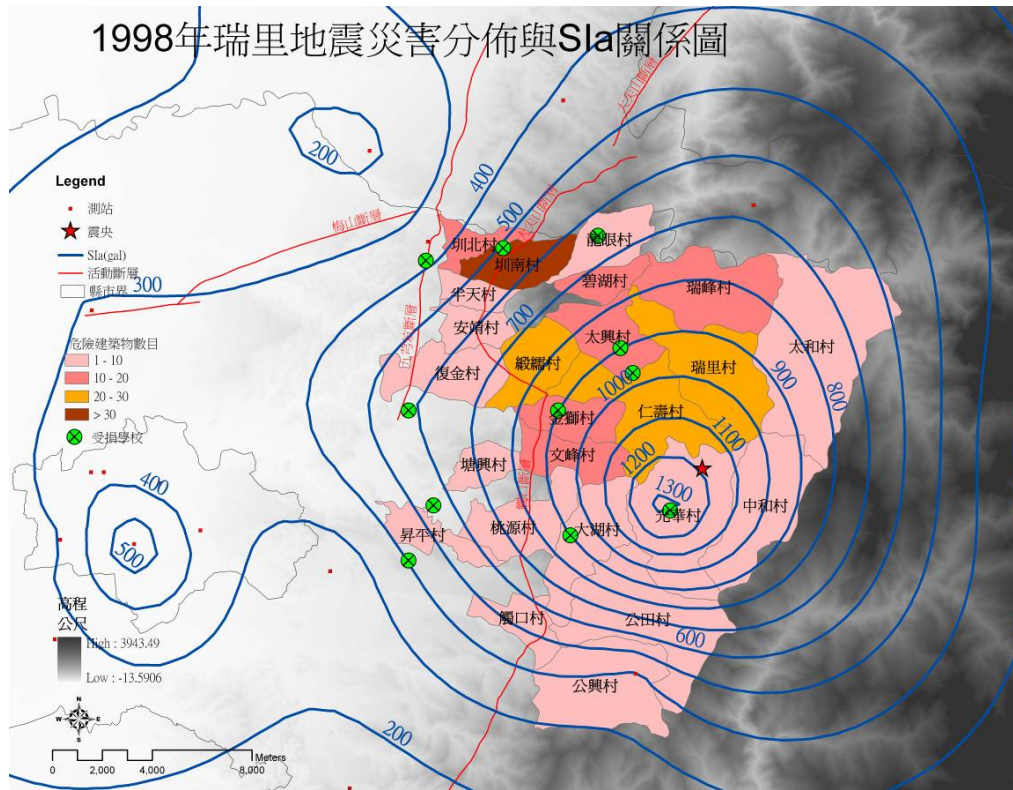
圖二十五 20100304 甲仙地震兩水平向 SI_v 最大值與斷層位置及災害分布比較



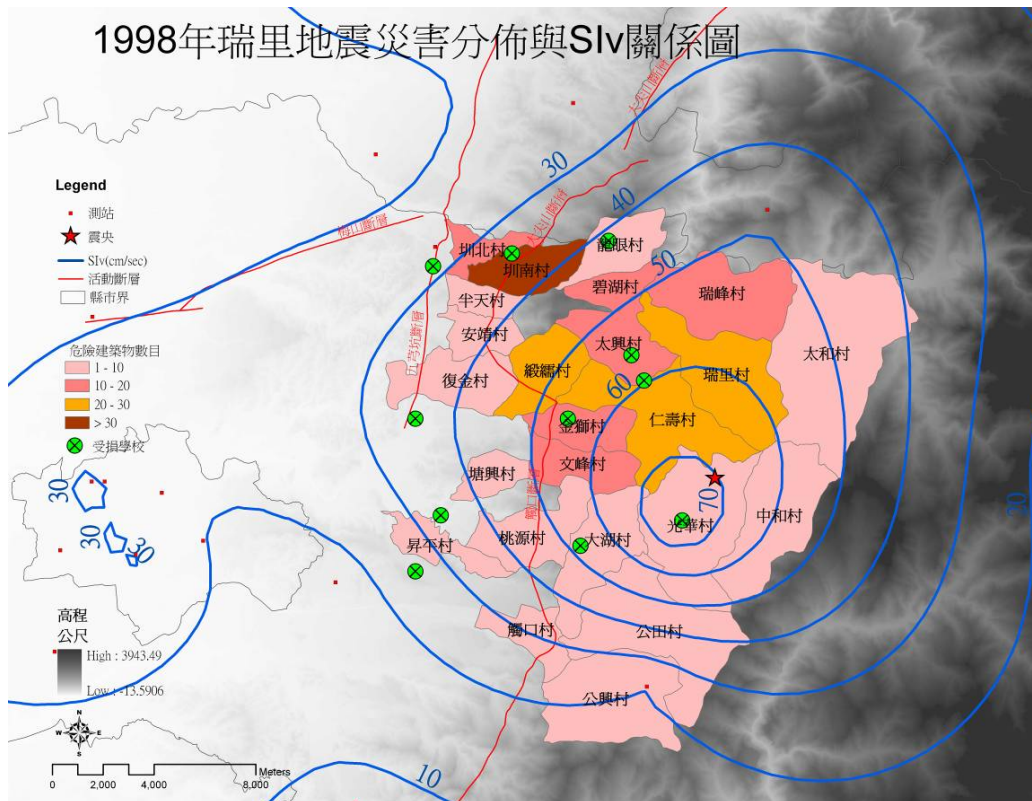
圖二十六 20100304 甲仙地震兩水平向 S_d 最大值與斷層位置及災害分布比較



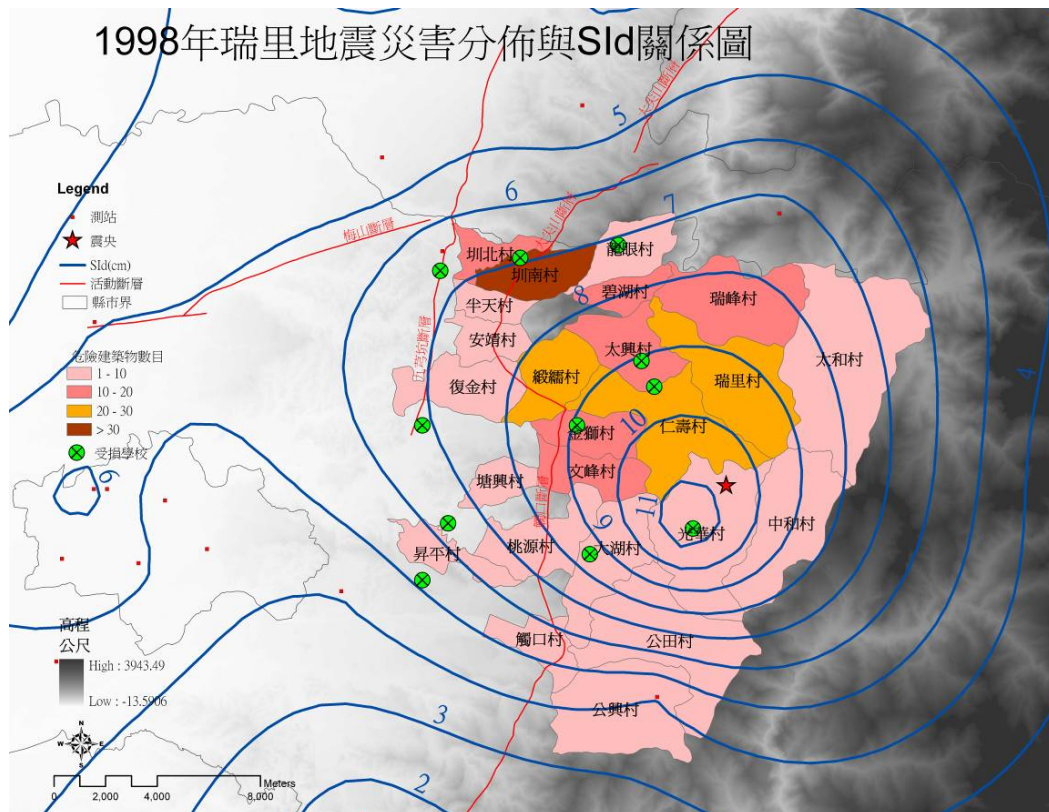
圖二十七 20100304 甲仙地震兩水平向 PGA 最大值與斷層位置及災害分布比較



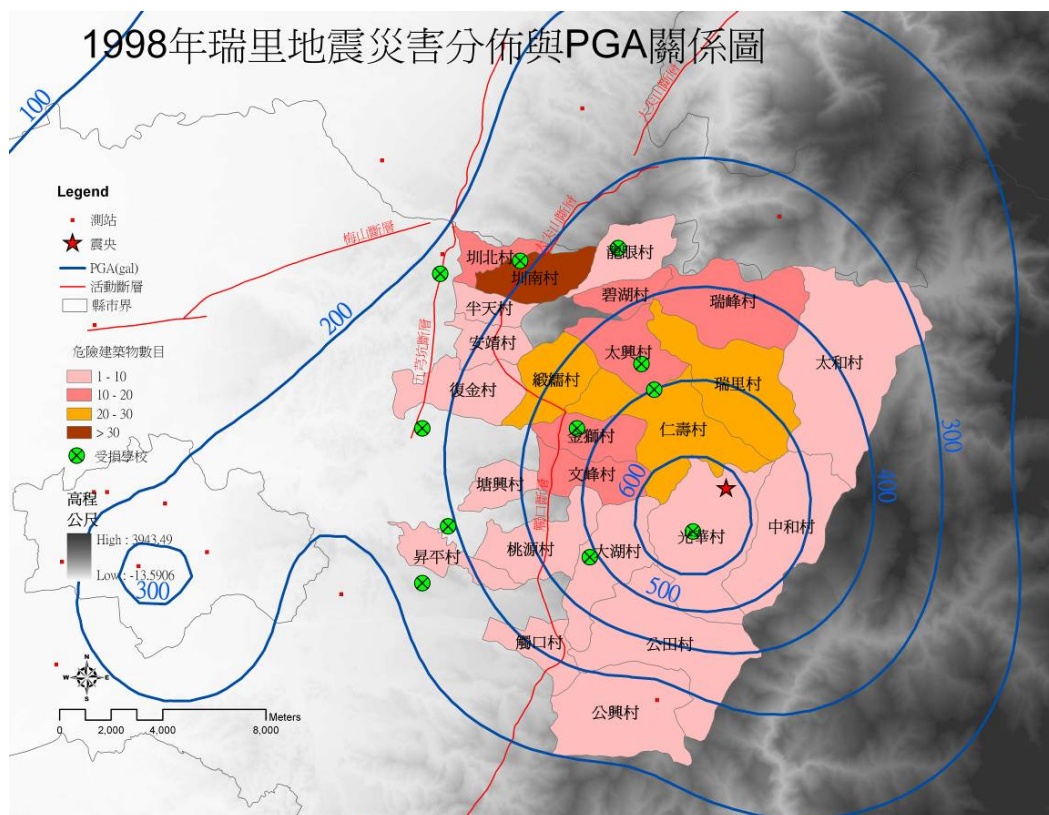
圖二十八 19980717 瑞里地震兩水平向 SI_a 最大值與災害分布比較



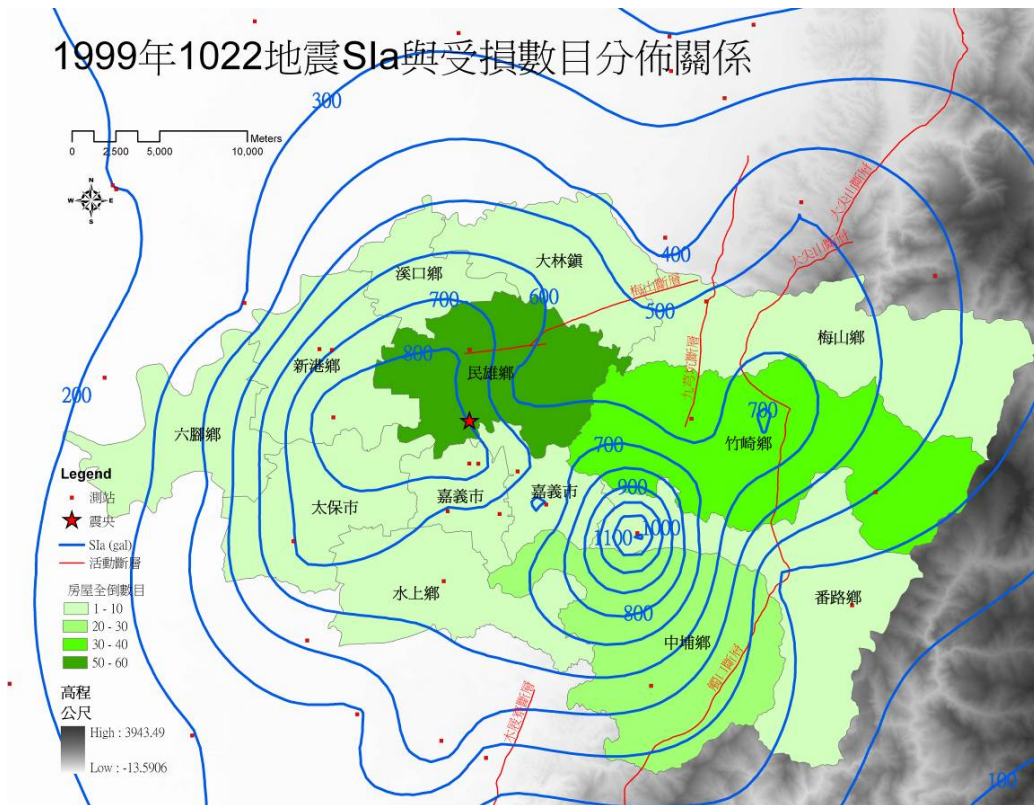
圖二十九 19980717 瑞里地震兩水平向 SI_v 最大值與災害分布比較



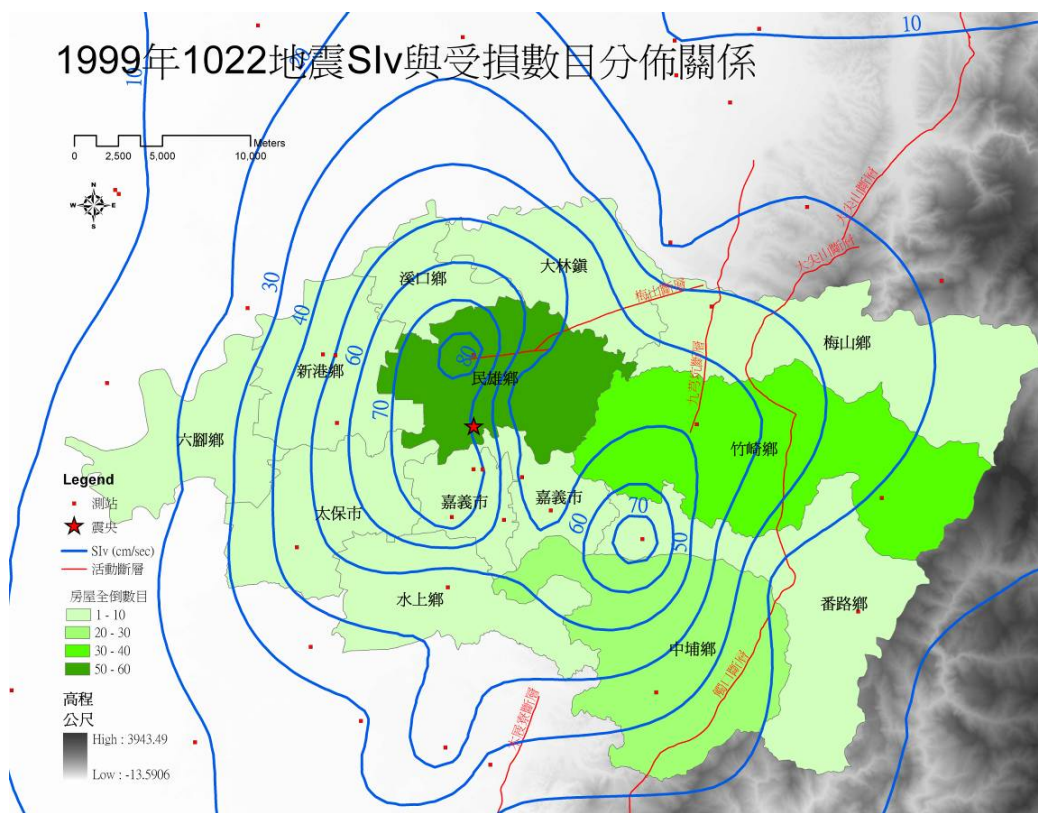
圖三十 19980717 瑞里地震兩水平向 SI_d 最大值與災害分布比較



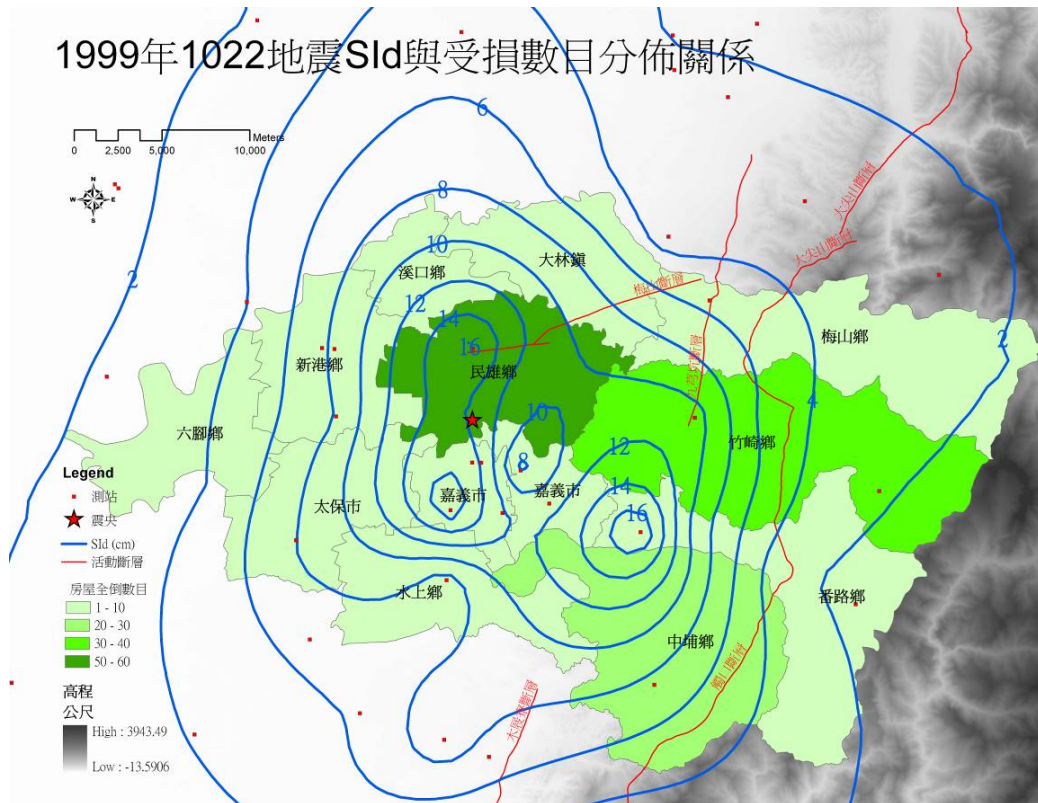
圖三十一 19980717 瑞里地震兩水平向 PGA 最大值與災害分布比較



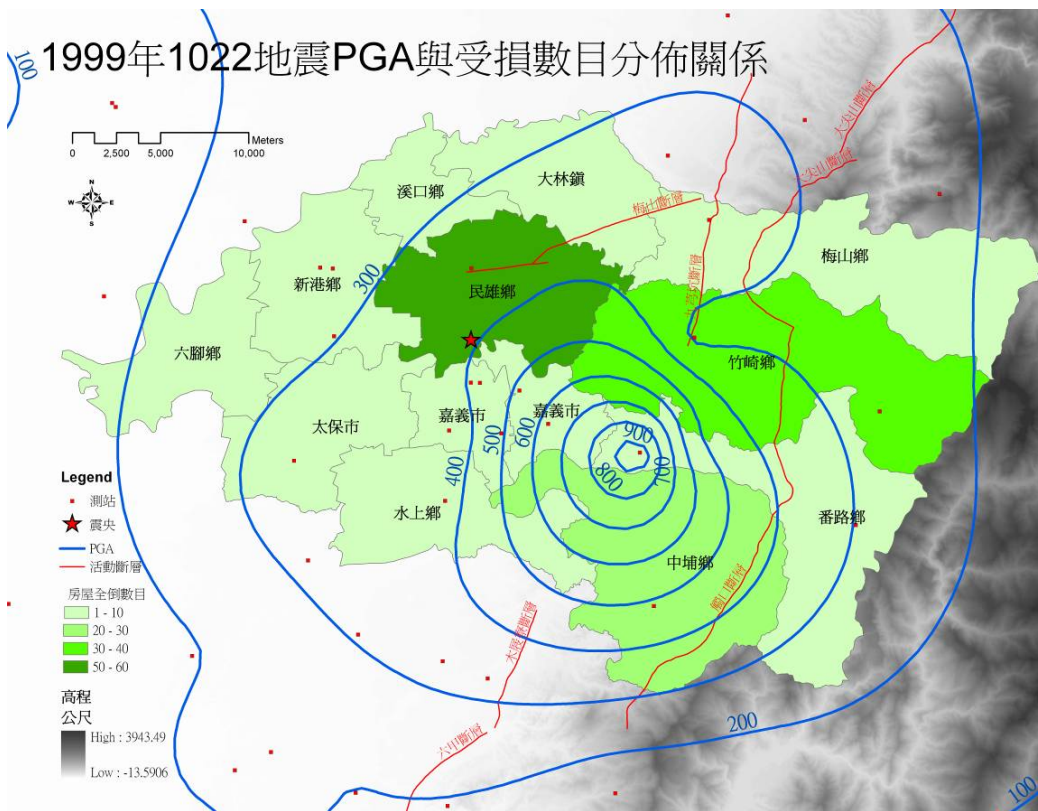
圖三十二 19991022 嘉義地震兩水平向 SI_a 最大值與災害分布比較



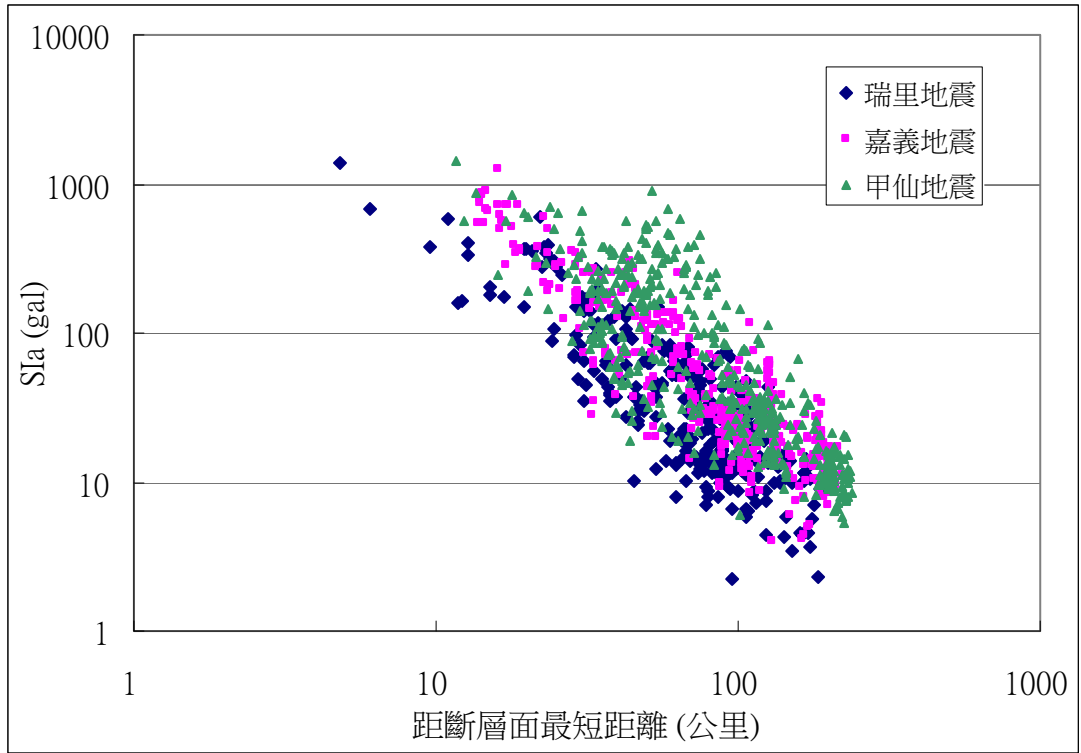
圖三十三 19991022 嘉義地震兩水平向 SI_v 最大值與災害分布比較



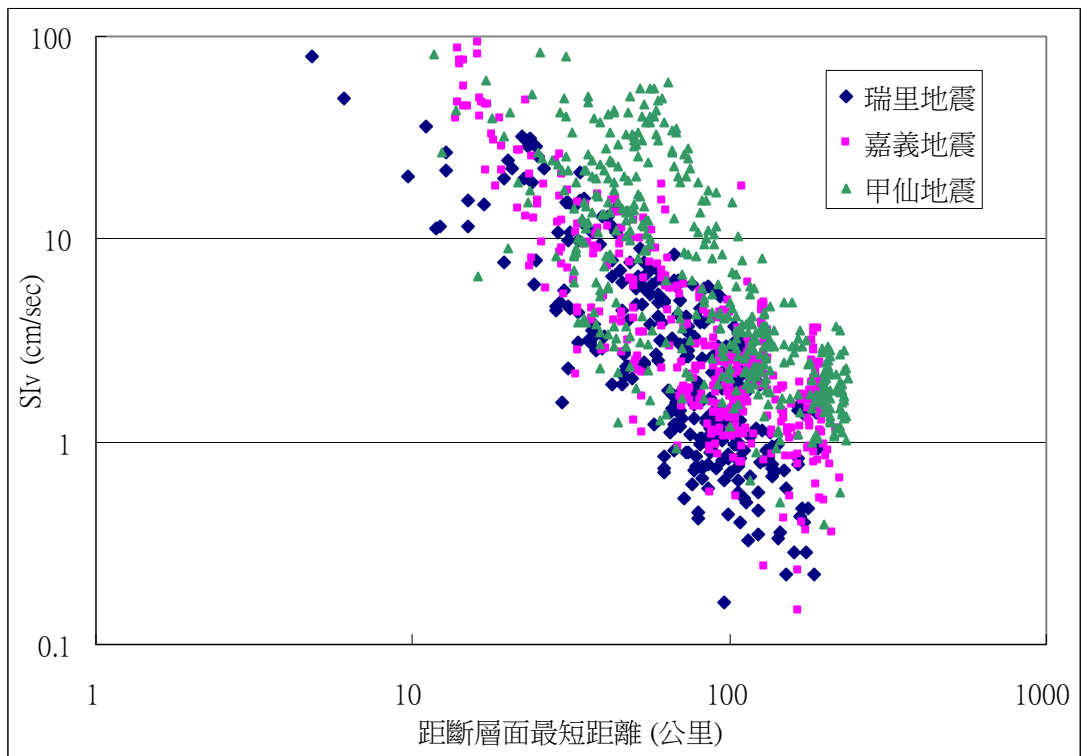
圖三十四 19991022 嘉義地震兩水平向 S_{ld} 最大值與災害分布比較



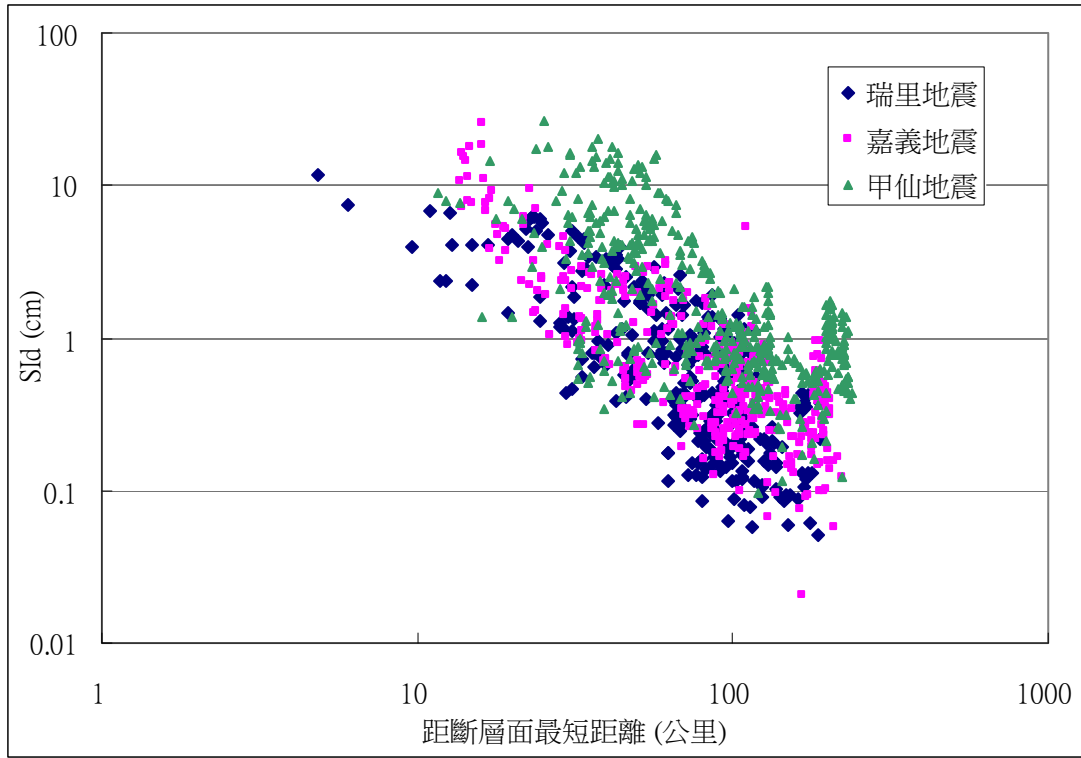
圖三十五 19991022 嘉義地震兩水平向 PGA 最大值與災害分布比較



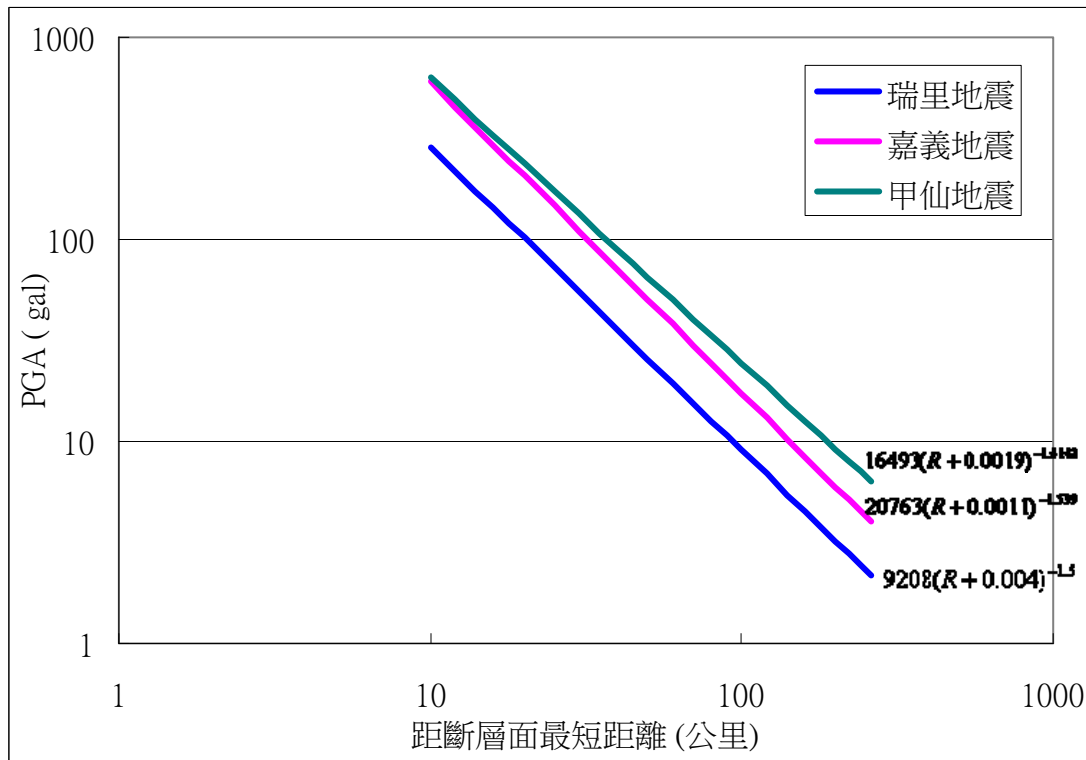
圖三十六 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 SI_a 衰減情形



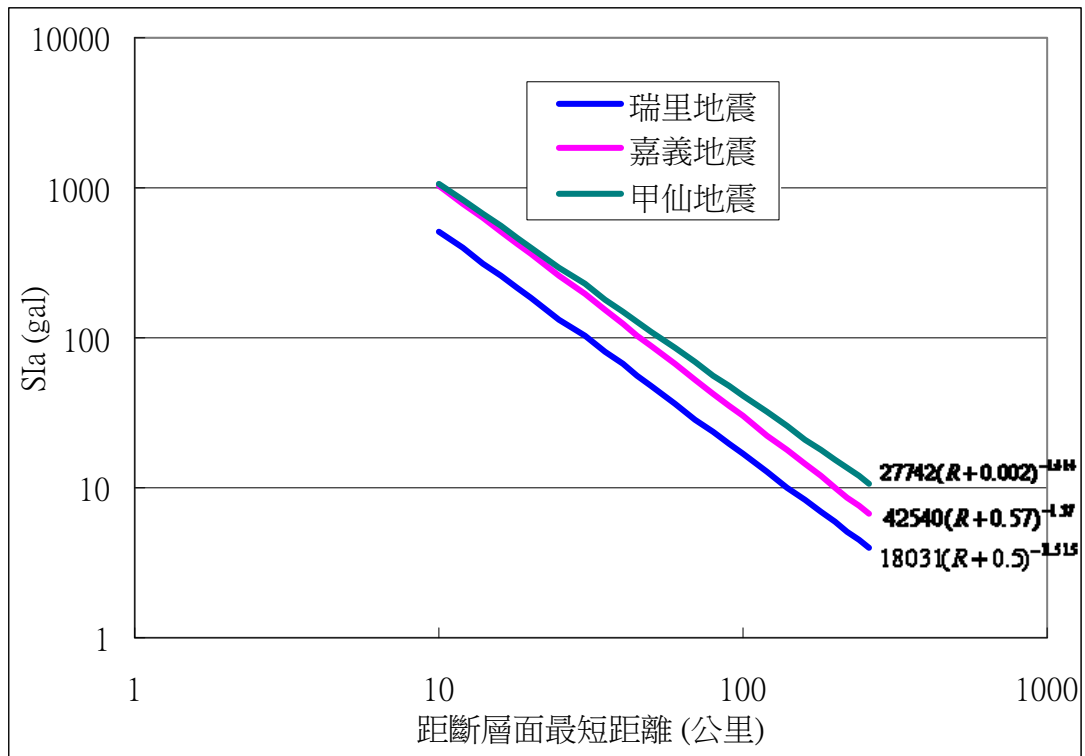
圖三十七 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 SI_v 衰減情形



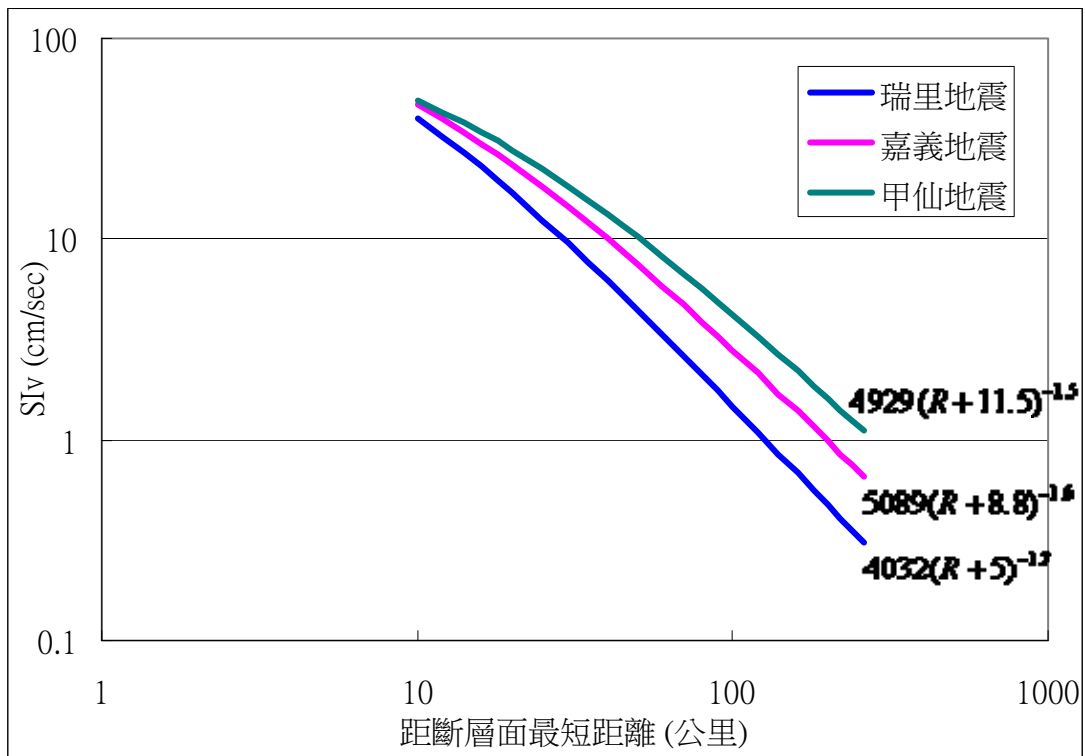
圖三十八 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 SI_d 衰減情形



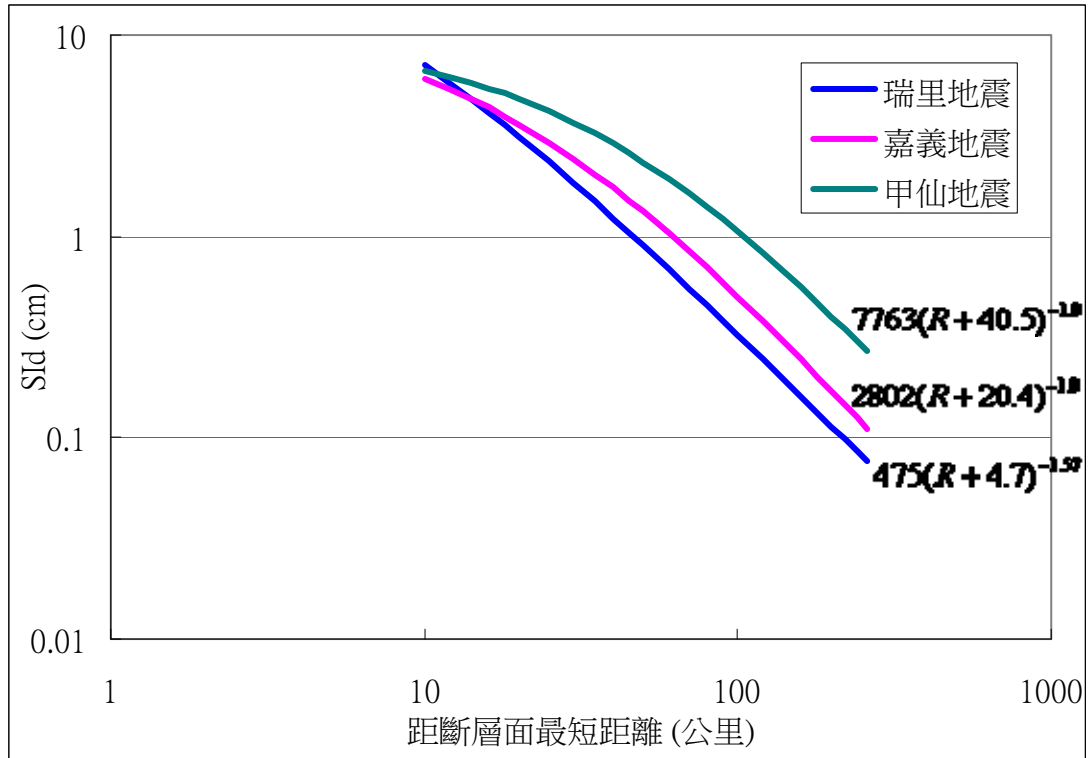
圖三十九 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 PGA 衰減方程式



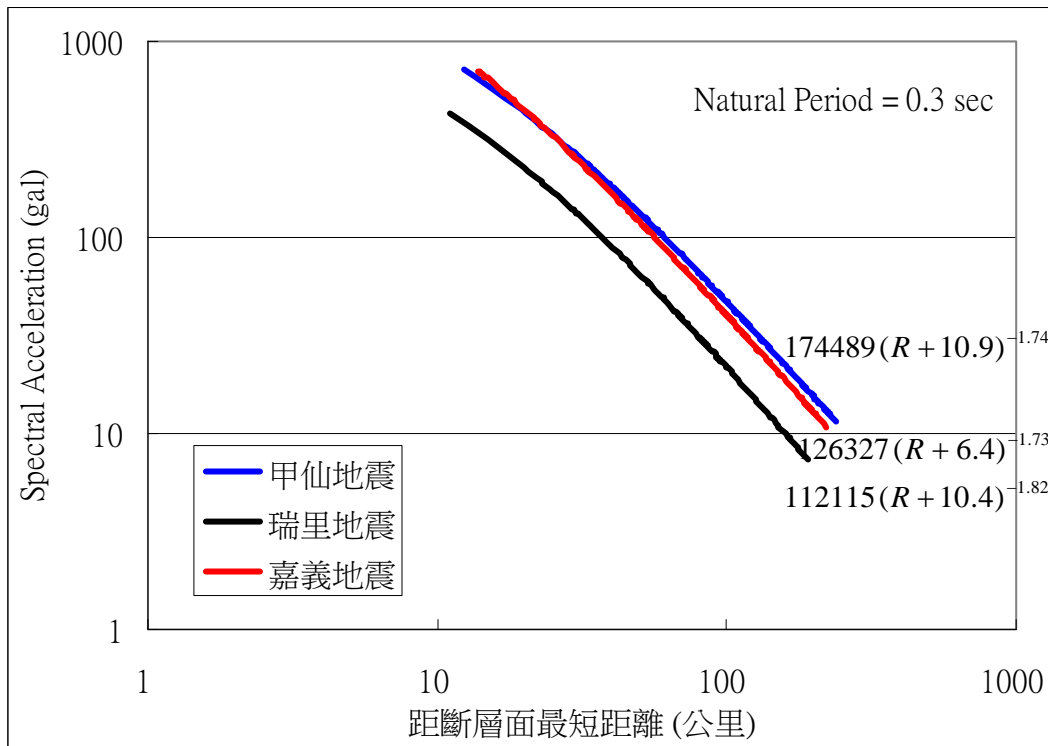
圖四十 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 SI_a 衰減方程式



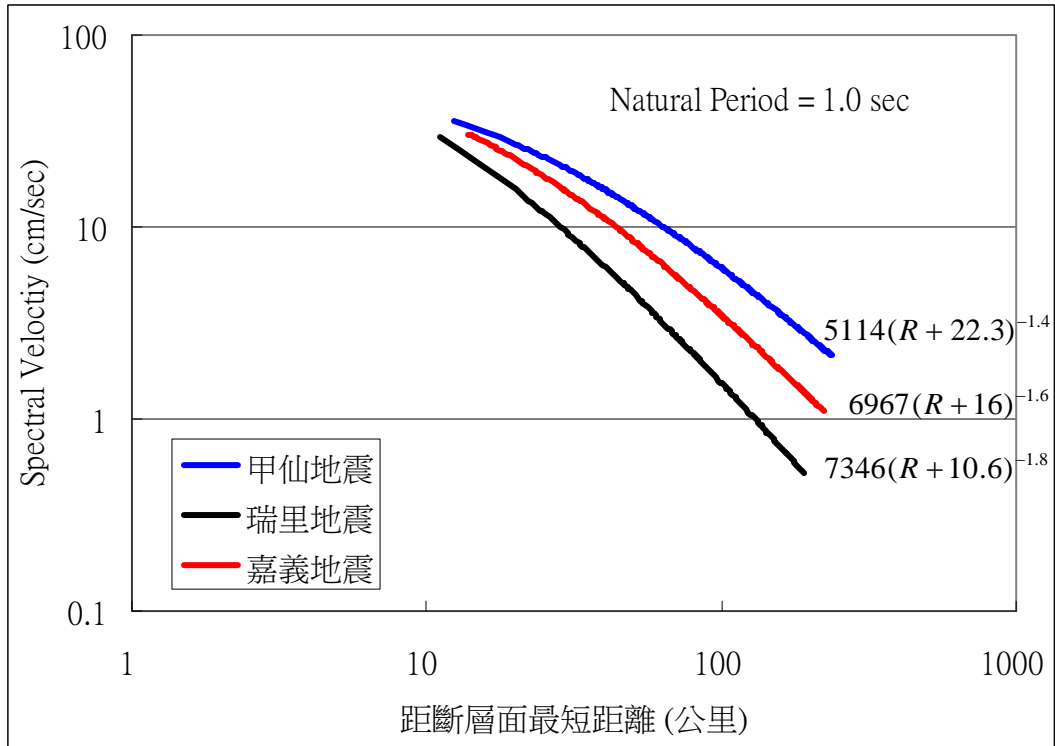
圖四十一 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 SI_v 衰減方程式



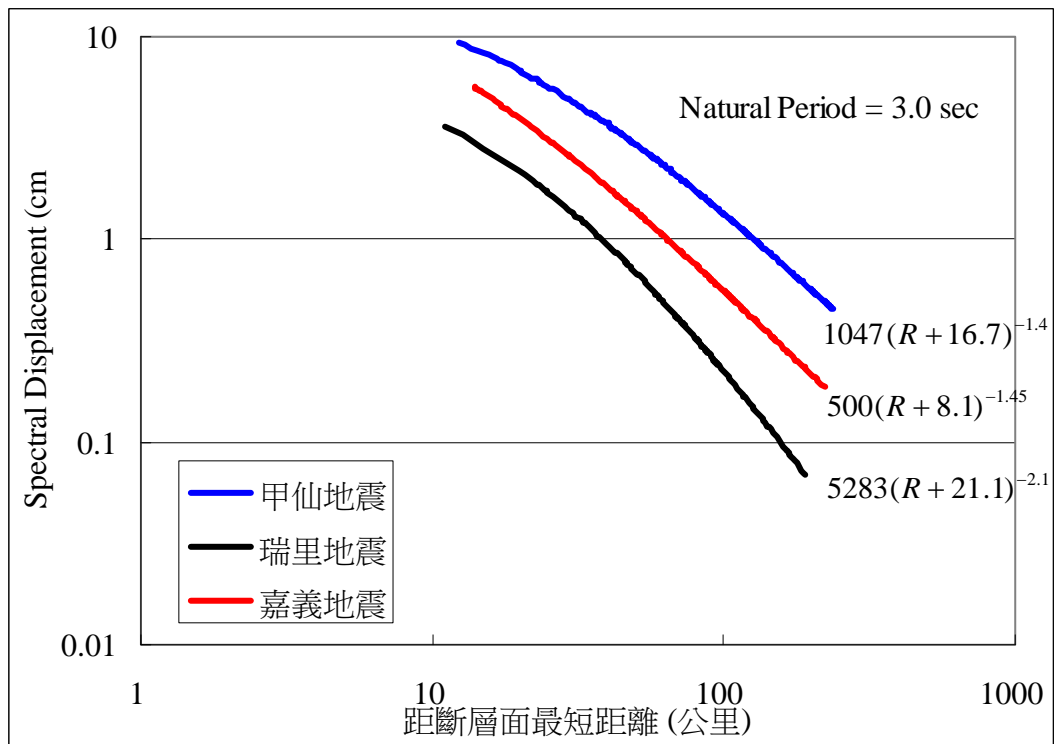
圖四十二 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震的 SI_d 衰減方程式



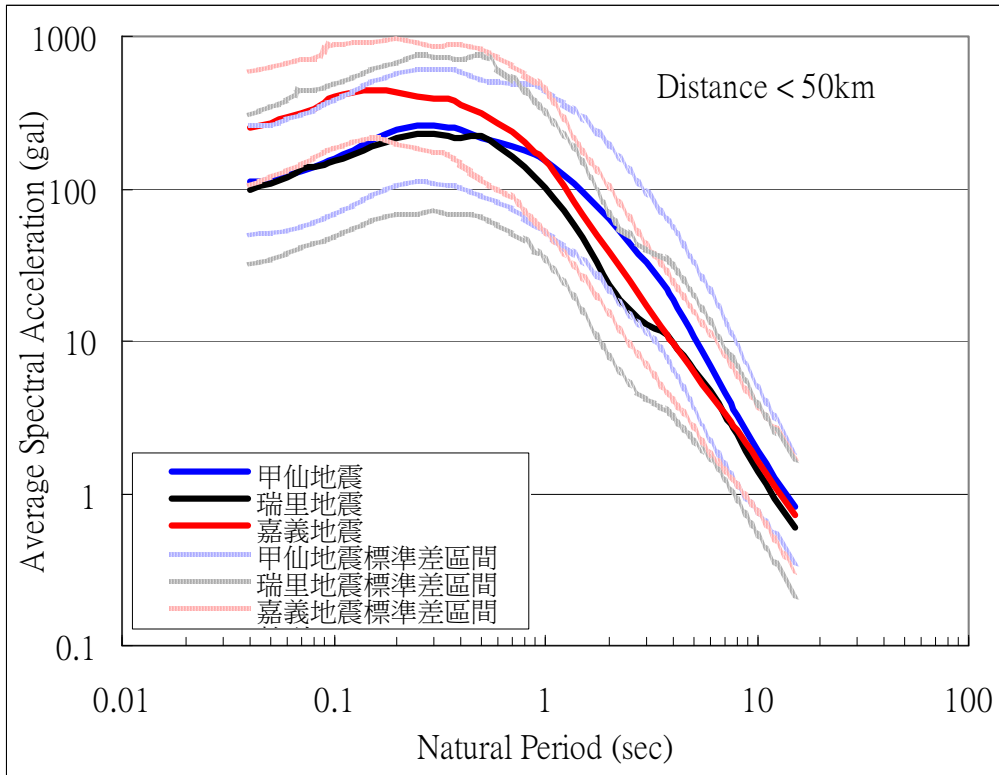
圖四十三 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震 $T=0.3$ 秒的譜加速度回歸曲線



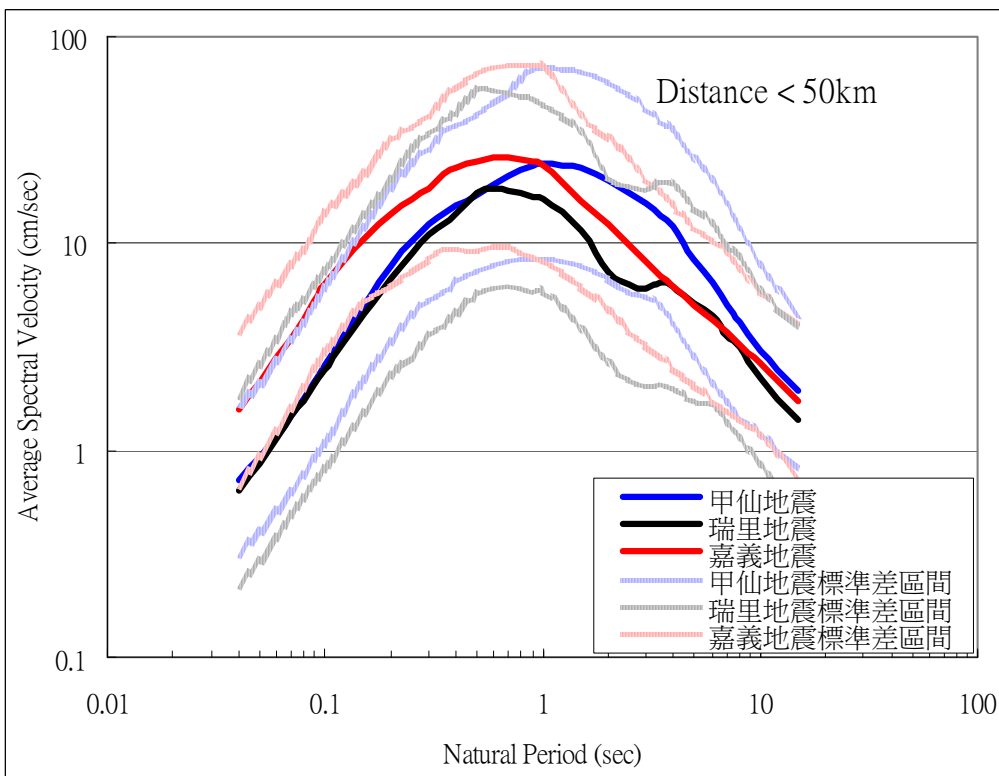
圖四十四 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震 $T=1.0$ 秒的譜速度回歸曲線



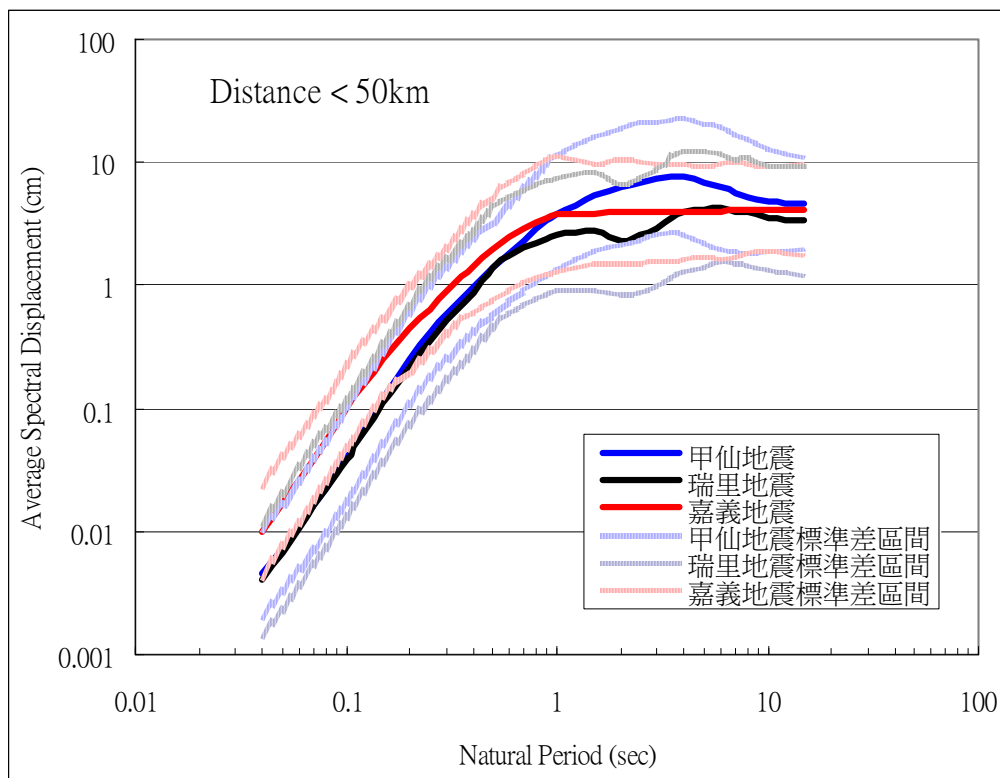
圖四十五 瑞里地震、嘉義地震、和甲仙地震 $T=3.0$ 秒的譜位移回歸曲線



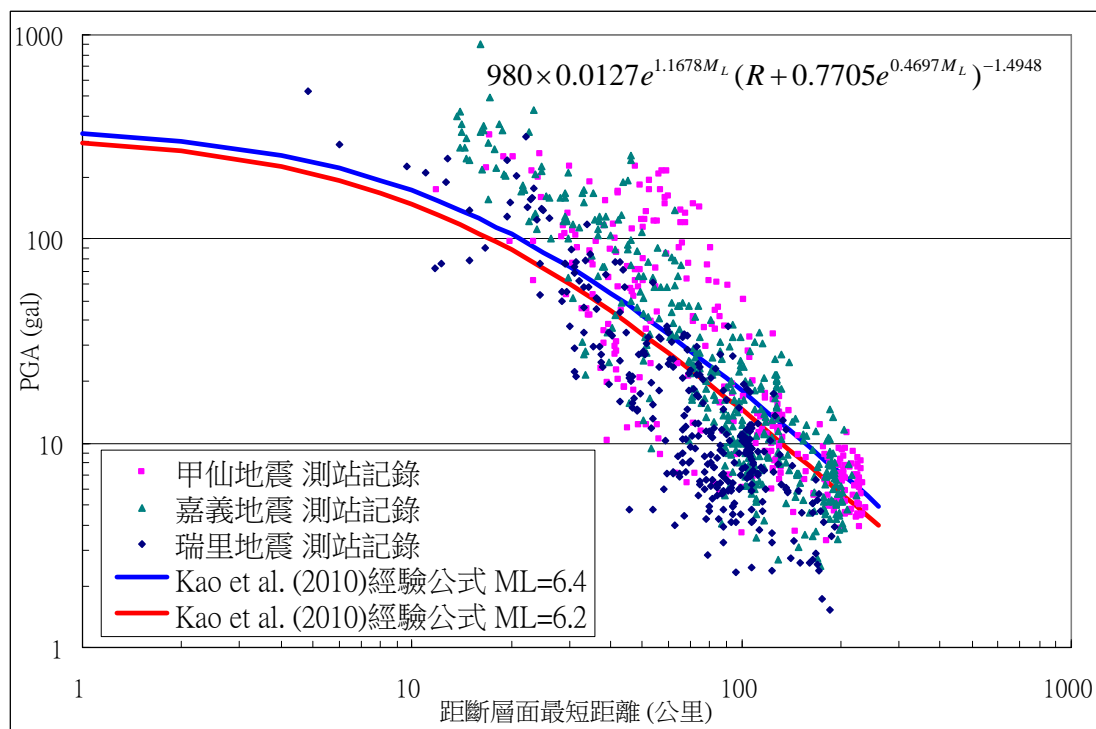
圖四十六 距離 50km 範圍內測站之平均加速度反應譜



圖四十七 距離 50km 範圍內測站之平均速度反應譜



圖四十八 距離 50km 範圍內測站之平均位移反應譜



圖四十九 甲仙、嘉義與瑞里地震 PGA 觀測值與 Kao et al.(2010)的經驗式估計值之比較。