

NCDR 101-T20

大臺北地區大規模地震災害防治計畫

Hazard Mitigation Planning of Large-Scale Earthquakes in Taipei
Metropolitan Area



國家災害防救科技中心

中華民國 102 年 04 月

NCDR 101-T20

大臺北地區大規模地震災害防治計畫

Hazard Mitigation Planning of Large-Scale Earthquakes in Taipei
Metropolitan Area

柯孝勳、吳子修、吳秉儒、劉淑燕、張國鎮



國家災害防救科技中心

中華民國 102 年 04 月

目 錄

表 錄.....	iii
圖 錄.....	v
第一章 前言.....	1
第二章 大臺北地區地震潛勢評估.....	3
2.1 大臺北地區震源機制設定.....	3
2.2 大臺北地區之強地動預估.....	5
第三章 大臺北地區震災衝擊評估.....	11
3.1 都會區特性情境探討.....	11
3.2 大臺北地區震後可能情境分析.....	12
第四章 大臺北地區大規模地震防治計畫推動.....	19
4.1 強震即時警報落實推動核心部會協商.....	19
4.2 海嘯溢淹影響圖防災應用規劃.....	21
4.2.1 海嘯溢淹影響分析及海嘯溢淹影響圖範例製作.....	21
4.2.2 海嘯避難疏散規劃考慮要項及操作方法.....	22
4.3 國內外都會區之重大地震災害型態與衝擊影響整理.....	33
4.4 國內外災害防治架構與評估方法整理.....	33
4.5 優先震災衝擊分析議題與技術研發需求.....	33
第五章 結論與建議.....	47
參考文獻.....	49

表 錄

表 2-1、大臺北地區的歷史災害地震	6
表 2-2、第一類活動斷層未來 50 年的發生機率（部份斷層）	6
表 4-1、東京都/京都/臺灣現階段已有災損評估項目與方法比較	35

圖 錄

圖 2-1、大臺北地區歷史災害地震分佈	7
圖 2-2、大臺北地區可能潛在的斷層震源	7
圖 2-3、區域淺震源地震規模大於等於 6.0，6.7，7.0 在未來 50 年發生 機率圖.....	8
圖 2-4、實際地震觀測與第一階段、第二階段加速度預測值之比較	9
圖 2-5、大臺北地區各類型可能潛在震源之境況模擬 Shakemap (a)遠距 離斷層震源 (b)遠距離點震源 (c)直下型地震	10
圖 3-1、都會區地震災害因果關係與時序	15
圖 3-2、各震源於大臺北地區之 PGA 分布.....	16
圖 3-3、TP1 之大臺北地區 PGA 分布結合各人文特性圖層：(a)七級震 度區內人口分布情形 (b)強震區（震度六級以上）內建築物分 布情形 (c)強震區內交通路網分布情形.....	17
圖 3-4、大臺北地區交通中斷影響分析	18
圖 4-1、強震即時警報傳遞機制規劃	36
圖 4-2、強震即時警報於校園地震防災應用流程	36
圖 4-3、本研究所採用海嘯模擬之海嘯源位置及地震規模(吳祚任,2011)	37
圖 4-4、海嘯溢淹影響地區	38
圖 4-5、海嘯溢淹影響地圖範例	39
圖 4-6、花蓮市海嘯溢淹警戒區範例	40
圖 4-7、花蓮市受海嘯溢淹影響之人口分布	40
圖 4-8、花蓮市縣海嘯收容場所規劃範例	41
圖 4-9、花蓮市海嘯避難路線規劃範例	42
圖 4-10、花蓮市海嘯避難高地規劃範例	42
圖 4-11、國內外重大震災對都會區造成之衝擊影響分析	43
圖 4-12、日本首都直下地震流程與架構	43
圖 4-13、美國加州地震災害防治之流程與架構	44
圖 4-14、大臺北地區大規模地震災害防治計畫各研究群組規劃	44

圖 4-15、近期優先進行之震災衝擊分析議題與技術研發需求 45

圖 5-1、都會區大規模地震災害防治計畫發展面向 47

第一章 前言

近年來全球重大地震災害發生不斷，2004年12月26日發生在印尼蘇門答臘西北外海之地震，由於地震引起海嘯，後因環境、傳染病等因素，總共造成了約三十萬人死亡；2005年10月8日南亞地區喀什米爾地震引致死亡人數至少九萬人；2008年5月12日中國汶川地震造成約七萬人死亡，緊急遷移與安置人數逾一千五百萬人；2010年1月12日海地地震死亡人數逾二十萬人；2011年3月11日發生舉世震驚的東日本大震災(或稱日本311地震)，強震並引發猛烈海嘯，不僅導致約二萬人喪生，並重創福島第一核電廠，福島第一核電廠進而熔毀、爆炸，為當代最嚴重核災。

臺灣處於歐亞板塊與菲律賓海板塊之交界面上，地震活動十分頻繁；1999年9月21日發生的集集大地震，全臺高達2,455人罹難，彰化以北全部停電達2天，地震造成的災損估計4,490億元，佔國民生產總值(GDP)5%。由此可見，大規模地震所造成之衝擊及傷害極其深廣，尤其隨著人口及產業紛向都市集中，櫛比鱗次的超高層大樓與交橫錯縱的地下街大量興建，一旦在都會區發生大規模的災害性地震，其所造成的人命、財產損失勢必比以往更為嚴重。

對臺灣而言，既然不可避免地震的發生，在無法控制及準確預測地震的情況下，為了減少地震所帶來的災害，實在有必要積極規劃並研擬大規模地震災害防治相關課題，以減少大規模地震造成之各項損失。受限於有限的時間及資源，在規劃大規模地震災害防治工作時，應優先考慮政、經重要區域及震災潛勢較高區

域，以減少因可能發生之大規模地震而導致嚴重之災損。

大臺北地區（或稱臺北都會區）包括臺北市、新北市與基隆市，為政治、行政、經濟的中心，總人口達 680 萬人，為臺灣的首要都會區，人口和建築物高密度集中，且建有核一廠、核二廠、松山機場等眾多重要設施於其中。若在大臺北地區發生大規模地震，災害發生後巨大的人員傷亡和物質損失及比其他地區更高的經濟損失將是關係到國家生存的核心課題。

本文擬透過大臺北地區震源機制設定、地表振動模擬與地震潛勢評估，結合受災衝擊分析技術之開發，進行大臺北地區震後境況之分析，據以規劃大臺北地區大規模地震災害防治計畫之支援技術研發架構與建議政策內容。主要研究內容大致如下：

1. 大臺北地區地震潛勢評估
 - (1) 大臺北地區震源機制設定
 - (2) 大臺北地區之強地動預估
2. 大臺北地區震災衝擊評估
 - (1) 都會區特性情境探討
 - (2) 大臺北地區震後可能情境分析
3. 大臺北地區大規模地震防治計畫推動
 - (1) 強震即時警報落實推動核心部會協商
 - (2) 海嘯溢淹影響圖防災應用規劃
 - (3) 國內外都會區之重大地震災害型態與衝擊影響整理
 - (4) 國內外災害防治架構與評估方法整理
 - (5) 優先震災衝擊分析議題與技術研發需求

第二章 大臺北地區地震潛勢評估

在規劃地震災害防治工作時，首先應設定各種可能潛在震源。本研究首先調查大臺北地區的歷史災害地震、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源的未來發生機率，探討大臺北地區的可能潛在震源。其次依據大臺北地區的可能潛在震源，並考慮大臺北都會區大多都為沖積層或盆地地形，採用二階段的強地動預估方法，進行推估大臺北地區的最大地表加速度值的分佈圖。

2.1 大臺北地區震源機制設定

本研究首先調查大臺北地區的歷史災害地震、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源的未來發生機率，探討大臺北地區的可能潛在震源：

1. 大臺北地區的歷史災害地震：本研究首先蒐集整理以往臺灣的歷史古文獻及歷年地震觀測記錄，探討大臺北地區以往的歷史災害震源。大臺北地區的歷史災害地震彙整如表 2-1 所示，表中的地震事件 1~6 是參考臺灣的歷史古文獻，地震事件 7~13 是參考臺灣的歷年地震觀測記錄。至於歷史災害地震的分佈位置如圖 2-1 所示。
2. 中央地質調查所的活動斷層調查：一般而言，地震震源概分為斷層震源及區域震源，斷層震源指活動斷層破裂至地表，亦即斷層線。另外所有不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源。本研究應用中央地質調查所的臺灣第一類活動斷層參數

(2010 年版)，並參考吳子修 (2012) 的活動斷層未來發生機率 (如表 2-2)，以探討大臺北地區的可能潛在斷層震源 (如圖 2-2)。

3. 臺灣區域震源的未來發生機率：由於地震的準確預測研究困難度相當高，因此國內外學者嘗試以機率的觀點評估地震發生機率，雖無法指出發生地震的時間及位置，僅能提供可能致災地震規模之發生機率，但可以作為地震防災長期規劃的參考依據。本研究參考許京穎 (2008) 的研究以及國家災害防救科技中心的臺灣地震發生機率潛勢圖 (圖 2-3, 2012)，探討大臺北地區未來的潛在震源。

綜合以上，大臺北地區的可能潛在震源有以下類型：

1. 遠距離的淺源地震：
 - 如 1986/11/15 規模 6.7 花蓮外海地震造成中和華陽市場倒塌。
 - 如 2002/3/31 規模 6.8 花蓮外海地震造成 101 大樓吊車倒塌。
 - 如 1999/9/21 規模 7.3 集集地震造成大量人員傷亡。
 - 如 1935 年的新竹—臺中烈震，獅潭、神卓山、屯子腳斷層同時錯移。
 - 如新城斷層在未來如果發生錯動。
2. 直下型的深源地震：
 - 如 1909/4/15 規模 7.3 及深度 80 公里的臺北地震。
3. 直下型的淺源地震：
 - 如山腳斷層在未來如果發生錯動。

2.2 大臺北地區之強地動預估

一般的衰減模式都將場址特性分為軟弱土層跟岩盤兩種，分別建立堅硬地盤及軟弱地盤不同的最大地表加速度衰減模式。然而由前人的研究得知沖積層或盆地地形會產生震波放大現象，由於臺灣的都會區大多都為沖積層或盆地地形，分析時必須考慮到場址放大效應之影響。

因此本研究採用兩階段的強地動預估步驟，第一階段進行利用簡文郁（2001）不考慮場址因素的加速度衰減模式來進行最大地表加速度（PGA）的預測。第二階段參考張毓文（2002）、詹皓凱（2008）所提出的場址特性的修正函數。最後利用第二階段的場址特性的修正函數進行修正第一階段的最大地表加速度（PGA）的預測值，以求得較佳地表加速度的預測值（如圖 2-4 說明）。

最後依據大臺北地區的可能潛在震源，配合相關場址特性，實際演算大臺北地區於各震源條件下之地表振動模擬成果如圖 2-5 所示，(a)為推估花蓮外海規模 6.8 淺震源的最大地表加速度預測值。(b)為推估臺北直下型深震源的最大地表加速度預測值。一般花蓮外海淺震源或臺北直下型深震源（80 公里）發生規模 6 至規模 7 左右的地震，臺北地區地表加速度大致在 0.25g 以下。只要建物設計能按照建築技術規則的相關規定，建物應不致遭受破壞。(c)為獅潭斷層在未來如果發生錯動的最大地表加速度預測值，此時需注意中央地質調查所公布活動斷層 2010 年版中，獅潭斷層長度只有 11 公里，然而 1935 年的新竹—臺中烈震，造成獅潭、神卓山、屯子腳斷層同時錯移。

表 2-1、大臺北地區的歷史災害地震

事件	發震時間	震災地區	北緯	東經	規模	深度 (km)	(資料來源：中央氣象局) 備註
1	1694/4~5	臺北地區	25.0	121.5	7.0	-	地陷、形成康熙臺北湖
2	1811/3/17	嘉義以北地區	23.8	121.8	7.5	-	人死 21、傷 6、房倒 41
3	1815/7/11	臺北、宜蘭	24.7	121.8	6.5	-	龍山寺傾倒
4	1815/10/13	嘉義以北地區	24.0	121.7	7.7	-	人死 113、傷 2、房倒 243
5	1865/11/6	臺北、基隆	24.9	121.6	6.0	-	壽山巖崩壞、死亡頗多。
6	1867/12/18	臺北、基隆、新竹	25.3	121.7	7.0	-	海嘯、地裂、人死數百。
7	1909/4/15	臺北附近	25.0	121.5	7.3	80	9 人死亡
8	1920/6/5	全臺	24.0	122.0	8.3	20	5 人死亡
9	1935/4/21	新竹、臺中烈震	24.4	120.8	7.1	5	3276 人死亡
10	1986/5/20	花蓮、臺北	24.1	121.6	6.2	16	1 人死亡
11	1986/11/15	花蓮、臺北	24.0	121.8	6.8	15	中和華陽市場倒塌
12	1999/9/21	南投、臺中、臺北	23.9	120.8	7.3	8	東星大樓、博士的家倒塌
13	2002/3/31	花蓮、臺北	24.2	122.1	6.8	9.6	101 大樓吊車倒塌

表 2-2、第一類活動斷層未來 50 年的發生機率 (部份斷層)

中央地質調查所第一類活動斷層未來 50 年發生機率(%)				
COV=0.5	Lognormal	Exponential	Gamma	Weibull
新城斷層	0.02	2.46	0.24	0.90
屯子腳斷層	41.99	29.85	37.42	32.74
車籠埔斷層	1.35 ~0.00	22.11 ~6.89	3.90 ~0.05	9.63 ~1.12
大茅埔—雙冬斷層	0.00	1.71	0.00	0.09
梅山斷層	41.29	26.55	36.77	31.31
新化斷層	19.67	23.35	19.18	19.74
瑞穗斷層	23.22 ~12.51	25.48 ~21.18	22.15 ~13.77	22.23 ~15.94
玉里斷層	23.22 ~12.51	25.48 ~21.18	22.15 ~13.77	22.23 ~15.94
池上斷層	72.11 ~8.80	63.21 ~32.96	69.14 ~12.30	65.01 ~19.04

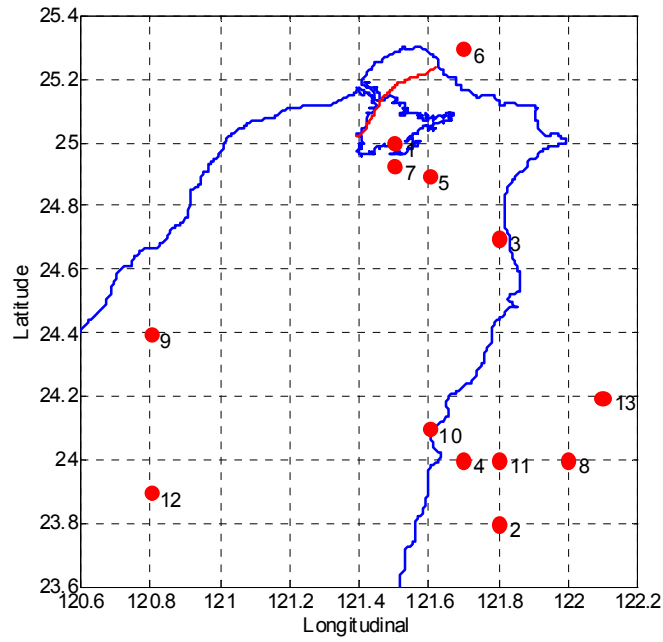


圖 2-1、大臺北地區歷史災害地震分佈

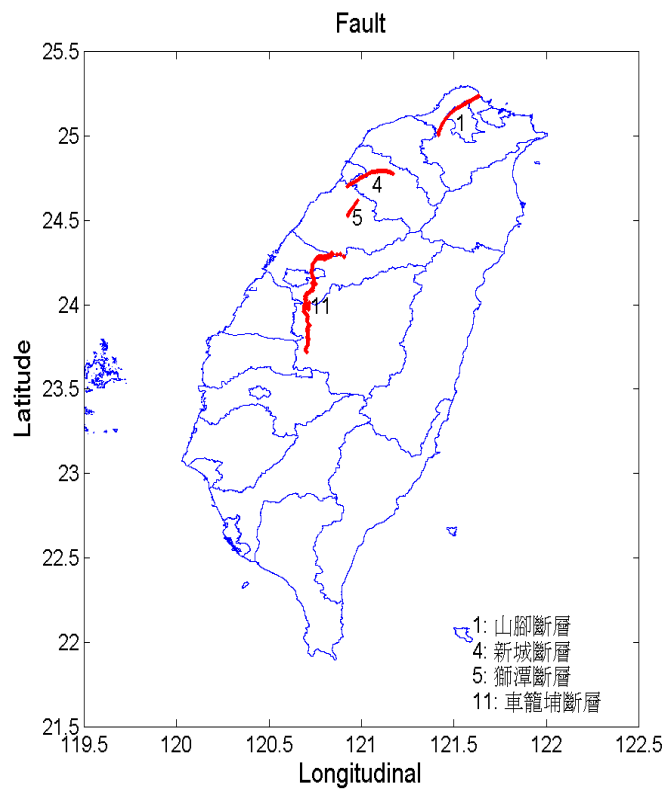


圖 2-2、大臺北地區可能潛在的斷層震源

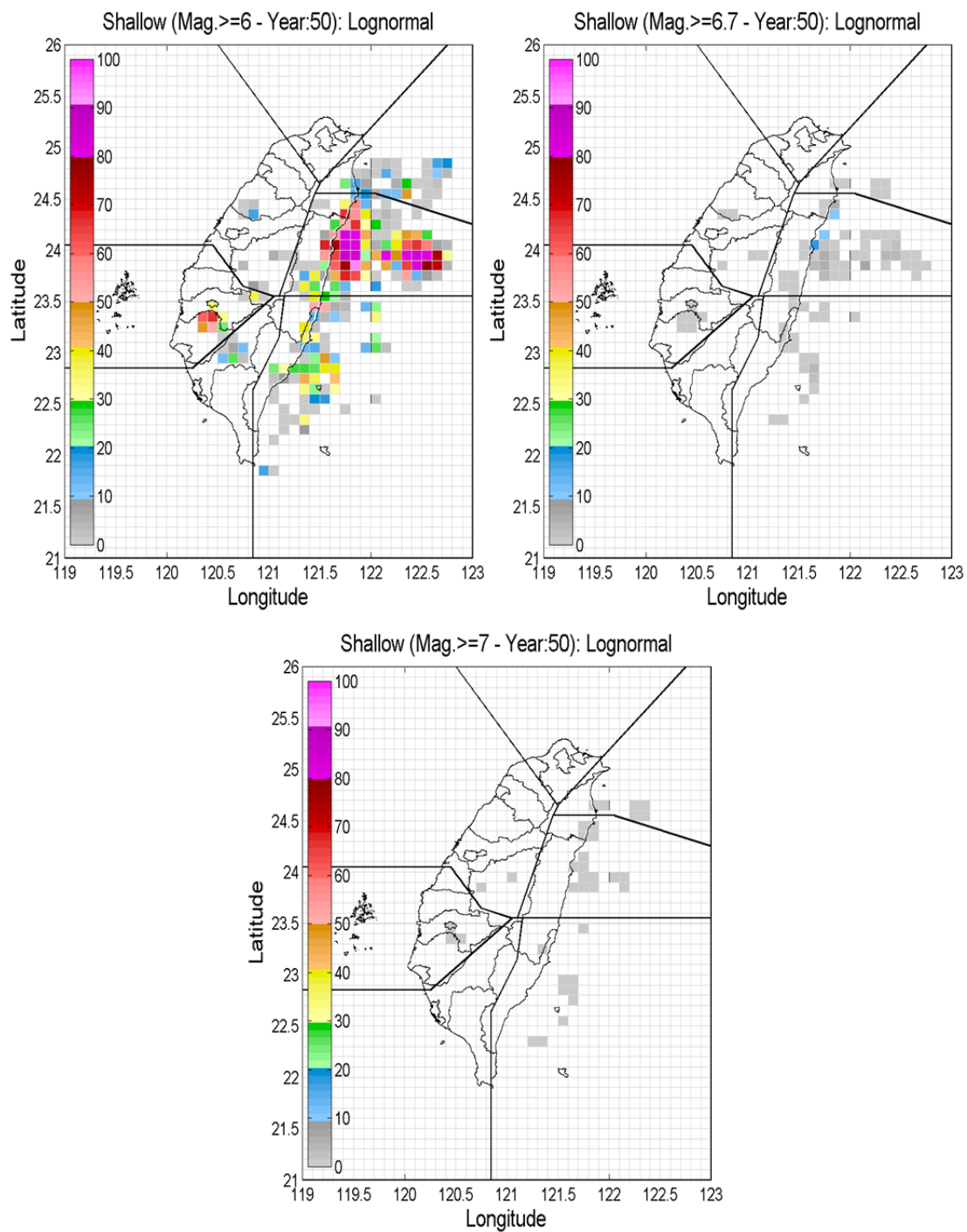


圖 2-3、區域淺震源地震規模大於等於 6.0，6.7，7.0 在未來 50 年發生機率圖

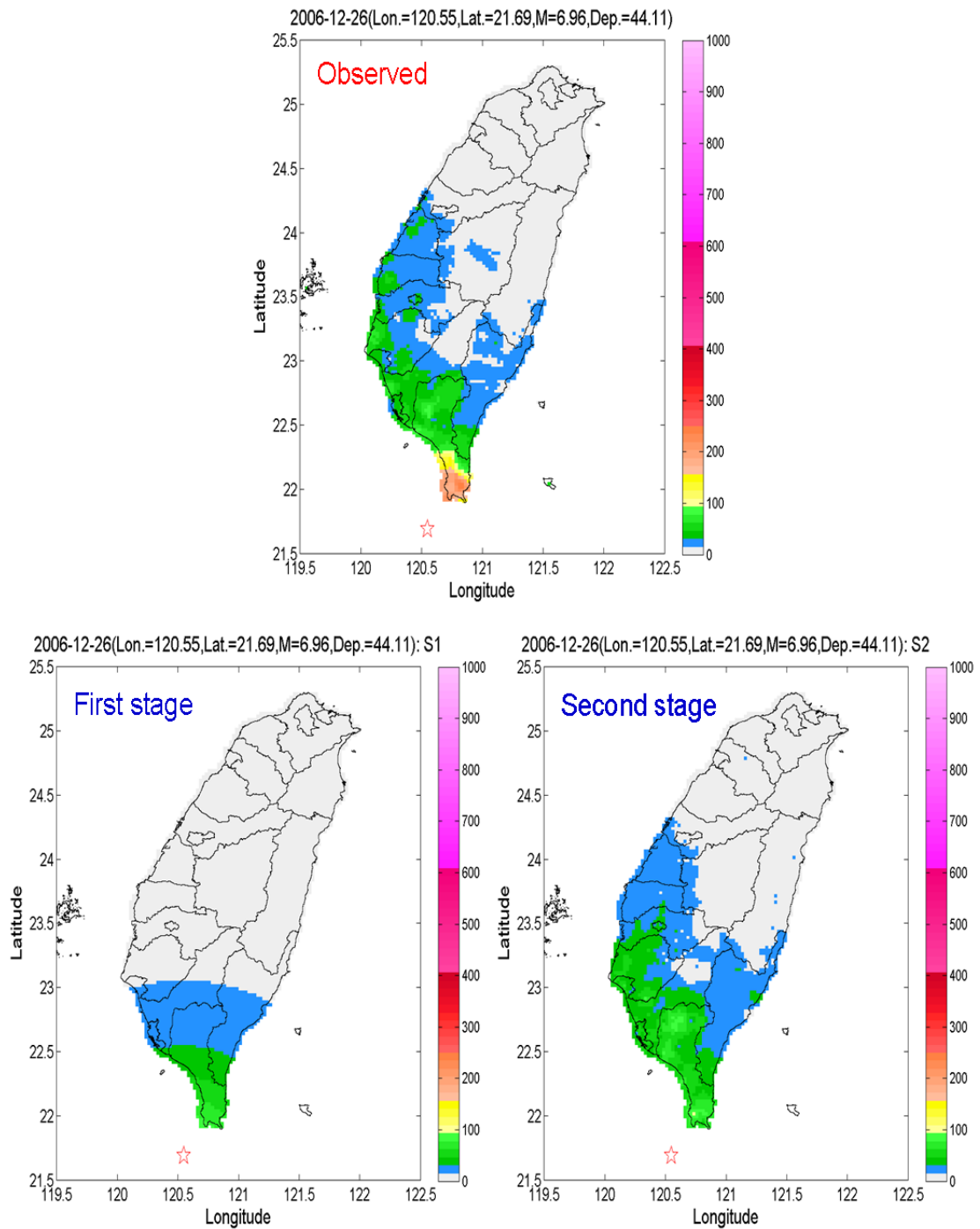


圖 2-4、實際地震觀測與第一階段、第二階段加速度預測值之比較

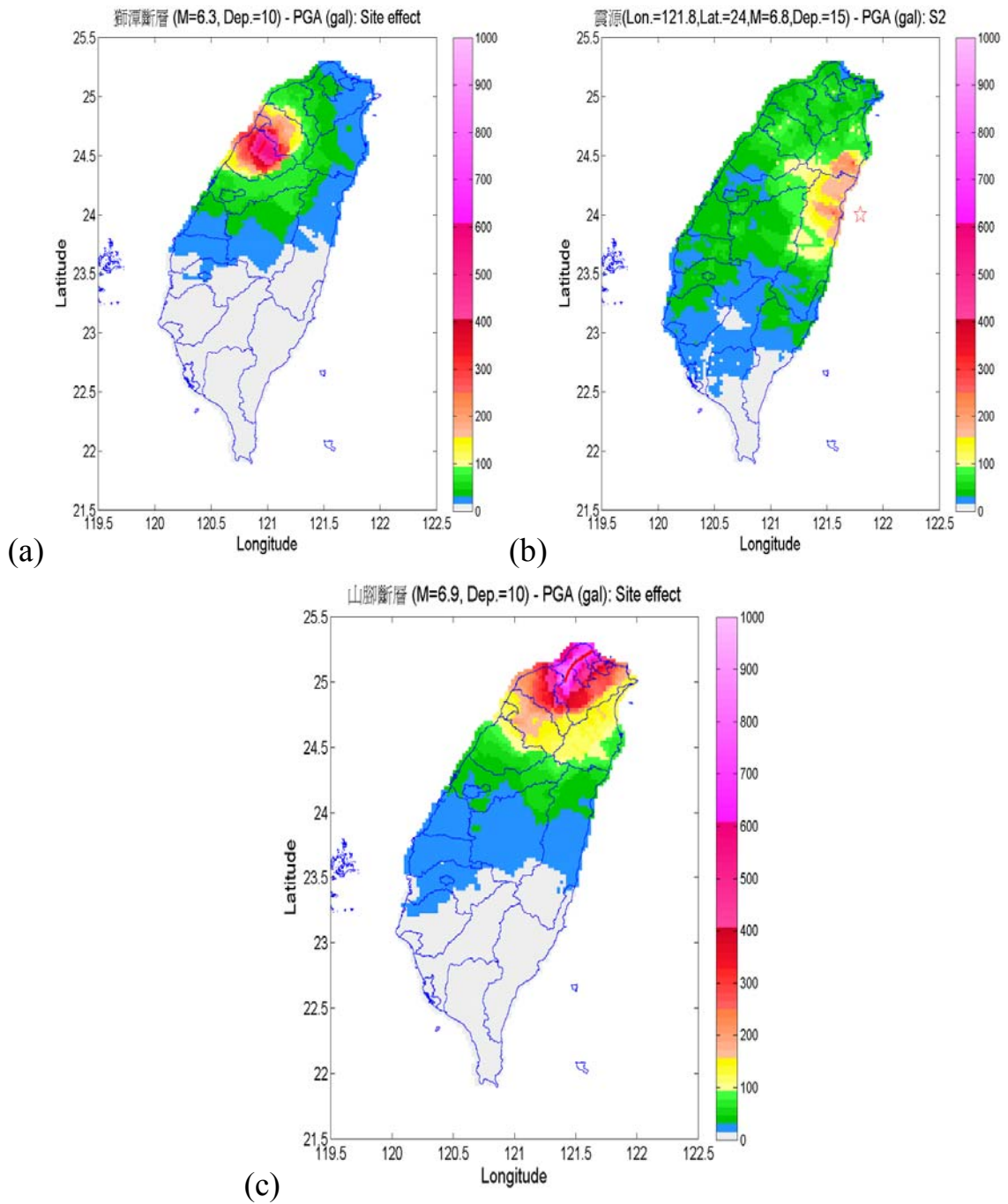


圖 2-5、大臺北地區各類型可能潛在震源之境況模擬 Shakemap (a)遠距離斷層震源 (b)遠距離點震源 (c)直下型地震

第三章 大臺北地區震災衝擊評估

臺灣地理環境位處自然災害易發生區域，遭受地震災害衝擊機會相當高，加上國土地質環境敏感區域過度開發、都市人口集中、都市化地區不斷擴大以及高齡少子化社會快速形成，更將激化若大規模地震災害發生，其規模與衝擊更加擴大。

位於臺灣本島北部臺北盆地的臺北市，為我國首都、中央政府所在地，人口密度高居全臺灣第一；其與周邊衛星市鎮所連結而成的臺北都會區是臺灣人口最多的都會區，交通流量十分龐大，除了建有多條快速道路與聯外橋樑，也是臺灣大眾捷運最發達的都市。對外交通有多條國道與省道通往全臺各地之外，三鐵共構的臺北車站與板橋車站為首要的交通樞紐，空運與海運分別以桃園國際機場、松山機場與基隆港、臺北港為主要據點。

若在人口產業集中、高樓大廈林立、交通設施發達、政商經濟樞紐的大臺北地區發生大規模地震，災害發生後巨大的人員傷亡和物質損失及比其他地區更廣泛的社會經濟衝擊將是關係到國家生存的核心課題。

為進行大臺北地區的大規模震災衝擊評估，首先透過國內外重大地震災例探討都會區震災特性，其次結合大臺北地區的人文地理特性進行震後可能情境分析。

3.1 都會區特性情境探討

彙整國內外大規模震災防治相關資料，比較阪神大地震/921地震/汶川大地震/東日本大震災等重大震災災例應變時序，針對都

會區特性進行情境分析，並參考日本首都直下型地震防治相關對策，建立都會區地震災害因果關係與時序（如圖 3-1）。

3.2 大臺北地區震後可能情境分析

應用前一章所設定大臺北地區可能地震震源（直下型的淺源地震、深源地震及遠距離的地震等不同類型震源）、震源位置、地震規模等相關參數如下所示：

1. TP1（直下型淺源地震）：山腳斷層，規模 6.9，震源深度 10 公里。
2. TP2（遠距離地震）：花蓮近海，震源位置為東經 121.7 度、北緯 24 度，規模 7.5，震源深度 10 公里。
3. TP3（遠距離地震）：新城斷層，規模 6.8，震源深度 10 公里。

各震源之 PGA 分布如圖 3-2 所示。其中以 TP1，即山腳斷層引致之規模 6.9 直下型淺源地震於大臺北地區產生之 PGA 為最大，整個臺北市、基隆市與新北市大多數鄉鎮都位於震度六級以上（ $PGA \geq 250gal$ ）之強震區；而兩個遠距離地震，即花蓮近海規模 7.5 的 TP2 與新城斷層規模 6.8 的 TP3，在大臺北地區引致的 PGA 多小於 200gal，僅 TP3 造成一部分新北市鄉鎮震度達六級。

故選擇 TP1 為最大可能對大臺北地區造成大規模震災衝擊影響之震源，將其 PGA 分布分別套疊人口、建築物分布情形，交通路網圖層如圖 3-3，結合大臺北地區人文地理特性，進行震後可能情形分析如下：

1. 建物與人員

臺北市西區屬於軟弱土層，土壤液化機率高、易造成建物

與高架橋樑毀損。

臺北市西區、新北市板橋區、三重區、中和區及永和區，人口密度高且多老舊社區，應注意高齡弱勢族群與狹小巷道救援。

臺北市中正區、信義區、大安區、南港軟體工業園區、內湖科技園區等辦公集中區域之大量人潮疏散與高樓層緊急救援。

2. 重要政府機關與設施

重要政府機關（行政院、立法院、司法院、監察院、總統府、交通部、經濟部、外交部、教育部、國防部、中央聯合辦公大樓……等）多集中於博愛特區，位於震度七以上的強震區，需注意能否維持應變機能。

士林區、文山區、內湖區內分別設有地上球型與地下埋管瓦斯槽，需注意瓦斯外洩引致爆炸及二次火災。

3. 運輸系統

聯外橋梁：臺北—新北市間大量通勤民眾返家困難問題；橋上人車掉入河中造成傷亡；救災人員、機具及車輛與民生物資進入／傷患後送困難；孤島效應。

市區高架橋：主要高架路段發生落橋釀成人員傷亡、連環車禍及導致其下平面道路交通阻塞；高架橋下停車場空間震後火災問題；橋上滯留人車疏散問題；橋梁附掛管線破裂，導致部分地區斷水、斷電、瓦斯外洩。

捷運：三鐵共構站（臺北、板橋）與捷運換線轉乘站（忠孝復興、忠孝新生、西門、民權西路、古亭、中正紀念堂）大

量人潮疏散安全問題；地下隧道受損、引致火災擴大災害範圍；
捷運沿線列車乘客疏散安全、滯留民眾徒步返家安全。

臺鐵、高鐵：隧道（地下空間）安全問題；電力及通訊中斷；往北基隆，往南新北接桃園，聯外運輸、救援問題；滯留民眾徒步返家安全問題。

以大臺北地區交通中斷為例，其影響分析如圖 3-4 所示。

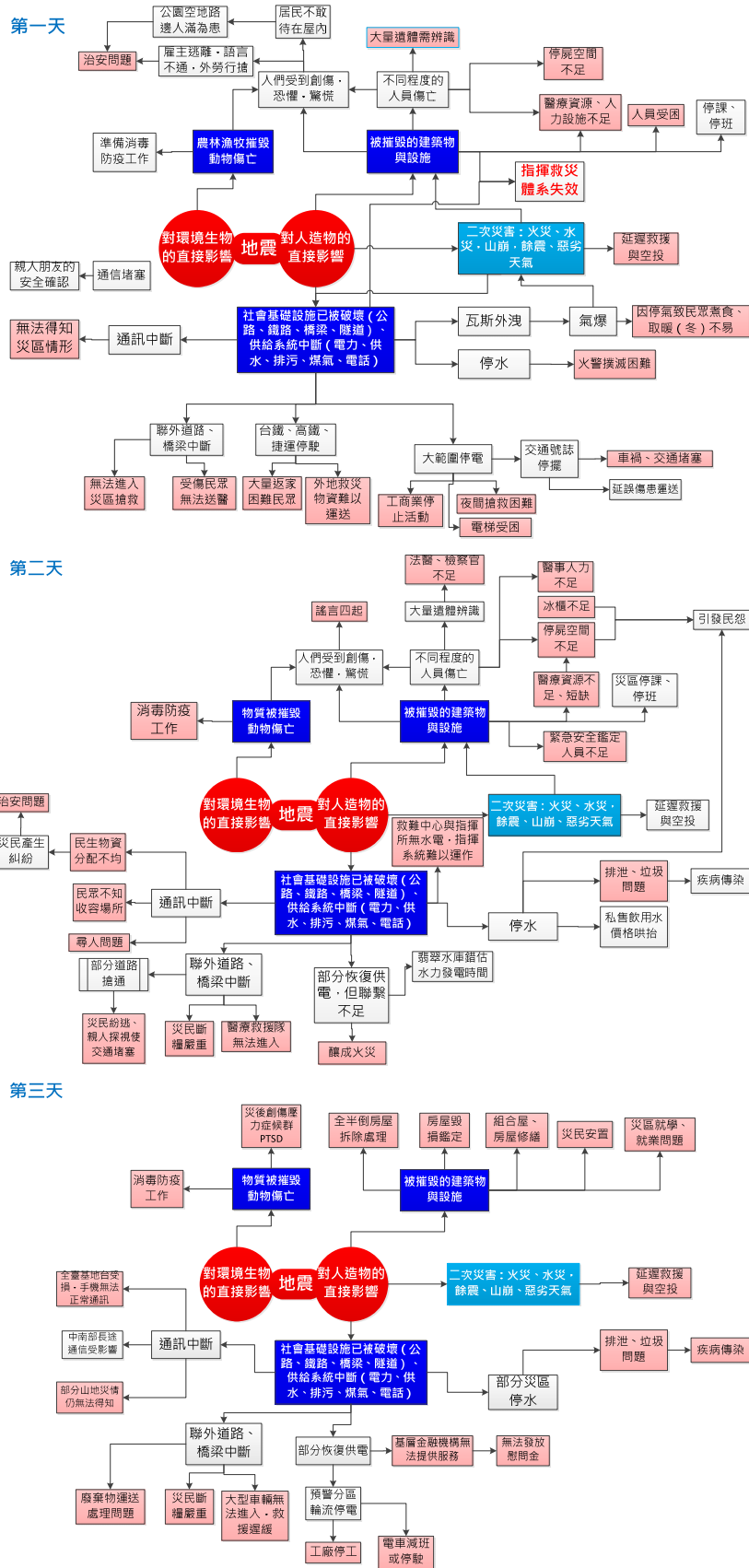


圖 3-1、都會區地震災害因果關係與時序

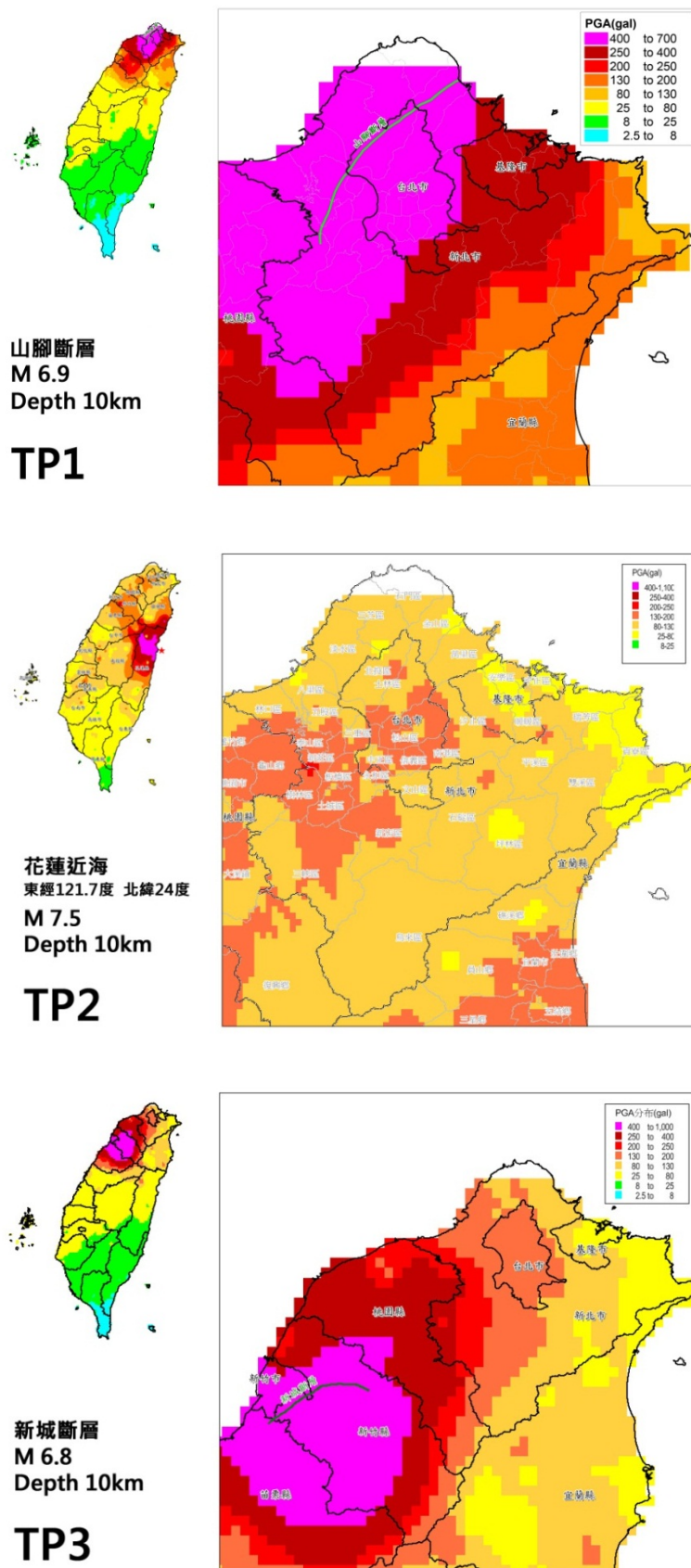


圖 3-2、各震源於大臺北地區之 PGA 分布

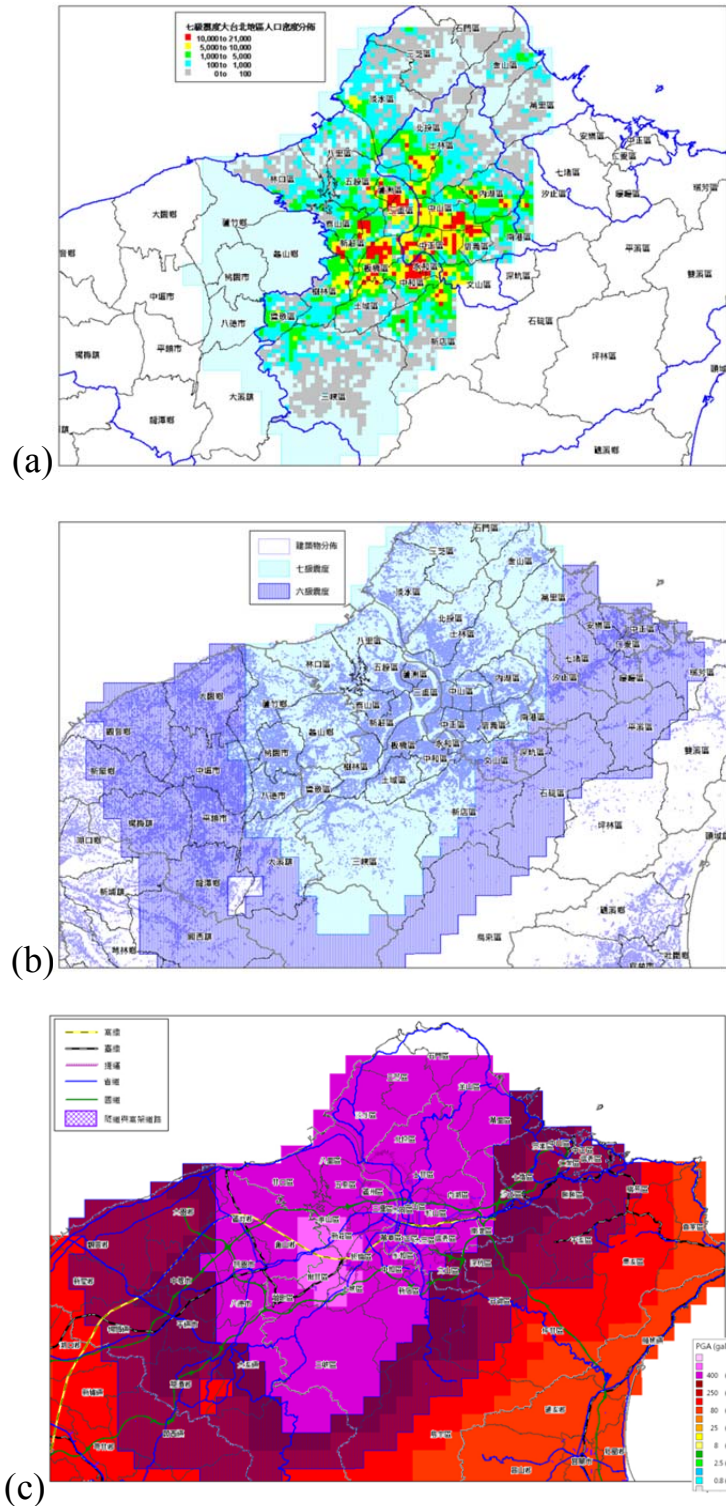


圖 3-3、TP1 之大臺北地區 PGA 分布結合各人文特性圖層：(a)七級震度區內人口分布情形 (b)強震區（震度六級以上）內建築物分布情形 (c)強震區內交通路網分布情形

運輸系統



圖 3-4、大臺北地區交通中斷影響分析

第四章 大臺北地區大規模地震防治計畫推動

在地質構造上，大臺北地區內的臺北盆地為具有放大效應的軟弱土層，附近有山腳斷層經過。在人文環境上，大臺北都會區地狹人稠，都市化高度發展，災害脆弱性高。超高層大樓、重要維生線系統、重大交通設施、高科技產業等若遭受像集集地震這樣的大規模地震，所造成之經濟損失與社會衝擊恐有動搖國本之虞。因此我國有必要積極推動大臺北地區大規模地震防治計畫，並制定相關法令及配套措施，落實應用至地震防災實務工作上，以減少大規模地震可能造成之人民生命財產損失。

4.1 強震即時警報落實推動核心部會協商

現今科技仍難以有效預測地震的發生，但強震即時警報系統能在地震剛發生時，運用地震觀測網偵測較為快速的 P 波，並在較為慢速但破壞力大的 S 波到達前通知使用者，爭取數秒至數十秒的預警時間，預先採取應變因應措施，減少大規模地震所造成之人民生命財產損失。我國在地震觀測及警報技術已有豐碩成果，尚待進一步推動其落實應用。

因此，本中心與國家地震工程研究中心、國家高速網路與計算中心組成研究團隊，並與中央氣象局及相關單位合作，規劃整體運作體制並進行技術研發與整合，推動強震即時警報在地震防災之應用。已與主管機關中央氣象局達成推動共識，並討論確認強震即時警報傳遞機制之規劃（如圖 4-1），並完成強震即時警報系統於公部門防救災落實運作之工作要項規劃，包含研訂警報發

布與操作之法規辦法、警報技術提升與整合、通訊管道應用與接收產品開發、應用系統建置與操作等面向，以及需要相關單位協助處理事項：

1. 警報整合機制之討論與成效檢核：目前氣象局區域型警報盲區約 60 公里，對於距震央 60 公里以內地區，建議輔以現地型警報系統，以發揮警報系統最大成效。建議由氣象局邀集研究單位及學者專家研議區域型及現地型警報系統之整合機制及操作方式，並定期召開會議檢核警報成效及研擬改進對策。
2. 強震即時警報於各級學校之傳遞與應用：學校因為數量較多，建議由氣象局透過網際網路傳遞至教育部（電算中心），於教育部（電算中心）建置轉發伺服器，再以學術網路轉傳至全國各級學校（如圖 4-2）。落實運作上，建議與教育部（環保小組）協商，將強震即時警報落實於學校地震防災演練操作及防災教育宣導。
3. 強震即時警報於救災應變之傳遞與應用等課題：建議協助消防署於中央災害應變中心建置符合應變作業需求之地震即時資訊內容及展示介面，與應變作業結合應用。並將強震即時警報訊息與防災雲端計畫之資訊服務平臺介接，以利防救災應用。
4. 災害防救專網與頻譜規劃：建議國家通訊傳播委員會考量防災單位之需求，規劃專用災害防救專用頻譜，俾利警報順利傳遞。
5. 手機簡訊傳遞規劃討論與建議：建議請國家通訊傳播委員會邀集學者專家訂定手機區域廣播簡訊之通訊規格，協調通信業者建置手機簡訊發送設備，並與消防署防災雲端計畫資訊服務平

臺結合應用。

6. 廣播電視警報優先播送機制規劃與建議：建議請國家通訊傳播委員會邀集學者專家及廣播電視業者共同研擬警報優先播送機制，並訂定警報通訊格式。

4.2 海嘯溢淹影響圖防災應用規劃

東日本大震災引發巨大海嘯，造成近兩萬人死亡及失蹤。日本在地震後重新檢討海嘯防災對策及更新海嘯模擬結果，其經驗值得我國學習與參考。

國內已有學者提出海嘯模擬研究成果，震災業務計畫雖已對海嘯防災重點工作之部會分工予以綱要性規範，但大部分縣市尚未考慮海嘯災害潛勢地區研擬海嘯防災計畫。

本研究依據國科會提供之海嘯模擬研究成果，製作海嘯溢淹影響圖範本，並提出海嘯避難疏散規劃考慮要項及操作方法，做為地方政府研擬海嘯疏散避難計畫之參考。

4.2.1 海嘯溢淹影響分析及海嘯溢淹影響圖範例製作

根據國科會委託計畫（吳祚任，2011）之海嘯模擬結果，進行海嘯溢淹影響範圍分析。海嘯源為菲律賓海板塊周圍 18 個海溝，地震規模以各海溝可能發生地震之最大值設定，海嘯源位置及地震規模如圖 4-3。將海嘯模擬所得之海嘯預估波高，扣除當地數值地形高程，得到海嘯溢淹水深。綜合 18 個海嘯模擬案例，取最大溢淹影響範圍及最大溢淹水深。將海嘯模擬結果彙入地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）軟體，並標示溢淹影響

範圍及溢淹水深級距，如圖 4-4，受影響地區主要為：

1. 東部沿海地區：東部地區受海嘯溢淹影響較大的地區包括宜蘭縣頭城鎮、五結鄉及蘇澳鎮、花蓮縣花蓮市、臺東縣臺東市、屏東縣車城鄉等，其中花蓮市沿海地區及花蓮港附近最大溢淹水深超過 7 公尺，宜蘭縣五結鄉及蘇澳鎮部分沿海地區最大溢淹水深超過 3 公尺，臺東市沿海局部地區最大溢淹水深超過 6 公尺，如圖 4-4(a)。
2. 西南部沿海地區：西南部沿海地區受海嘯影響地區主要為高雄市旗津區、小港區、茄萣區、及永安區、臺南市安南區及南區、屏東縣東港鎮及林邊鄉，最大溢淹水深大約在 1 至 3 公尺之間，其餘地方溢淹水深大約在 1 公尺以下，如圖 4-4(b)。
3. 西北部沿海地區：西北部沿海地區受海嘯影響皆不大，新北市、桃園縣、新竹縣、臺中市、彰化縣、雲林縣之海嘯溢淹水深都在 1 公尺以下，如圖 4-4(c)。

以花蓮市為例，完成海嘯溢淹影響地圖範例如圖 4-5，內容包含海嘯溢淹範圍及淹水深度，並標示收容場所、社會福利機構（老人、身心障礙福利機構）、縣市政府、鄉鎮市區公所、漁港等位置，以及加註使用說明及限制。

4.2.2 海嘯避難疏散規劃考慮要項及操作方法

海嘯避難疏散規劃時，建議應包括劃定海嘯警戒區、影響人口分析、收容場所規劃、避難路線規劃、避難高樓及高地規劃等。已完成各工作項目之考慮要項、使用圖資、操作方法之建議，並以一個縣市為示範說明分析結果，主要內容如下：

1. 劃定海嘯警戒區

- (1) 考慮要項：考量各種海嘯模擬情境，建議採用影響最大之模擬結果，劃定海嘯警戒區，研擬因應之海嘯防災對策。以宜蘭縣為例，影響宜蘭地區最大之海嘯為亞普海溝所造成。
- (2) 使用圖資：海嘯溢淹影響圖、街道圖。
- (3) 操作方法建議
 - A. 取得海嘯溢淹影響圖：根據各海嘯模擬結果，取影響範圍及溢淹水深最大者彙入 GIS 軟體製圖。
 - B. 套疊海嘯溢淹影響圖與街道圖，調整比例尺至可清楚顯示轄內主要溢淹範圍。
 - C. 將溢淹影響範圍加上部分緩衝區，以街廓為界劃設海嘯警戒區。
 - D. 地方政府應公告海嘯警戒區，並以此範圍做為海嘯應變時疏散撤離及警戒管制之依據。
- (4) 範例說明：以花蓮市為例，根據海嘯溢淹影響圖，以當地道路及街廓為界，將海嘯溢淹影響範圍加上部分緩衝區，劃設海嘯警戒區如圖 4-6 紅線範圍內區域。

2. 影響人口分析

- (1) 考慮要項：應調查日間及夜間在地人口分布及年齡組成，以及沿海觀光地區因假日或大型活動舉辦期間所聚集之人口，以及人潮聚集的公共場所之人口，應特別注意調查嬰幼兒、老年人、身體障礙者、病人等災害避難弱勢族群之數量及分布。

(2) 使用圖資：海嘯溢淹影響圖、人口數量及年齡分布統計資料、建物基地輪廓圖。

(3) 操作方法建議：為了更精細地了解人口於鄉鎮市區內之空間分布情形，建議以網格化處理人口資料。假設人口集中於建物分布地區，將人口數量均布於建物存在地區，了解人口於轄內之空間分布情形。

A. 由內政部戶政司網頁取得各縣市以鄉鎮市區為單位之人口統計資料。

B. 根據建物基地輪廓圖，建議以較小網格為單位(例如 500 公尺x500 公尺)，計算各網格內之建物基地面積，並統計轄內各鄉鎮市區建物基地面積總數。

C. 假設人口主要分布於建築物存在地區，將鄉鎮市區人口數除以該鄉鎮市區之建物基地面積總數，得到單位建物基地面積之人口比率。

D. 將前述人口比率乘上在該網格內之建物基地面積，得到該網格內之人口數。若該網格橫跨兩個以上的鄉鎮市區，則分別計算後加總之。

E. 以網格方式呈現轄內人口數量分布，製作 GIS 圖層。

F. 套疊海嘯溢淹影響圖及網格化人口分布圖，計算海嘯溢淹範圍內之人口數量。

(4) 範例說明

A. 以花蓮市為例，根據前述方法，製作網格化人口分布圖。

B. 套疊海嘯溢淹影響圖與網格化人口分布圖如圖 4-7，經統計花蓮市受海嘯影響人口主要集中於花蓮市區距離海岸邊 2 公里範圍內，合計約 10,000 人左右。

3. 收容場所規劃

海嘯收容場所建議可由地震災害收容場所中，挑選符合下列安全性基準及機能性基準者。

(1) 考慮要項

A. 安全性基準建議

- a. 收容場所應在海嘯影響範圍外。
- b. 建築物應具備足夠之耐震性能，需符合耐震設計規範要求或已實施耐震補強。
- c. 周圍無山崩、危險物品儲存等危險性。

B. 機能性基準建議

- a. 每人需有 1 平方公尺以上空間，收容場所空間需大於預定收容人數所需之空間。
- b. 具備夜間照明、警報接收設備、緊急發電設備、衛生及盥洗設備、滅火設備。
- c. 足夠毛毯、食物、飲用水、藥品等民生物資，建立供應機制。
- d. 收容場所標示明確且易見。
- e. 考量可能有大量避難人員進出收容場所之需要，收容場所樓梯寬度需符合建築設計規範集會場所之規定。

(2) 使用圖資：海嘯溢淹影響圖、數值地形模型資料、收容場所分布圖、山崩潛感圖、街道圖、收容場所結構設計資料。

(3) 操作方法建議

- A. 套疊海嘯溢淹影響圖與收容場所分布圖，在海嘯溢淹範圍外，挑選數個可能的收容場所。
- B. 套疊數值地形圖與收容場所分布圖，篩選出海拔較高之

收容場所。

- C. 套疊山崩潛感圖與收容場所分布圖，若有收容場所應位於山崩潛勢較高之地區，或鄰近有危險物品儲存場，則應去除。
- D. 套疊街道圖與收容場所分布圖，以避難距離較短之收容場所優先選用。
- E. 考量收容場所安全性基準、機能性基準等因素，經現場勘查後挑選合適之收容場所。
- F. 收容場所初步選定後，建議地方政府委託相關領域學者專家進行收容場所結構安全詳細評估，確認收容場所符合前述安全性基準及機能性基準。

(4) 範例說明

- A. 以花蓮市為例，挑選數個在海嘯溢淹範圍外可能之收容場所，包括富里鄉公所、明義國小、中正國小、主農社區活動中心、東昌活動中心等。如圖 4-8(a)。
- B. 套疊數值地形圖與收容場所分布圖，如圖 4-8(b)，前項挑選出之收容場所其海拔皆在 15 公尺以上，且不受海嘯溢淹影響，建議優先選用。
- C. 套疊山崩潛勢圖與收容場所分布圖，如圖 4-8(c)，第 A 項挑選出之收容場所皆不在中高山崩潛勢區內，不受地震引致山崩之影響。
- D. 套疊街道圖與收容場所分布圖，如圖 4-8(d)，第 A 項挑選出之收容場所皆為避難距離較短者。
- E. 經過上述考慮要項篩選後，建議地方政府會同相關人員至現場勘查，並委託相關領域學者專家或技師進行收容

場所結構安全詳細評估，確認符合前述安全性及機能性基準。

4. 避難路線規劃

海嘯避難路線之規劃，應依道路實際狀態，選擇到達安全區域的最短路線，並考量人員步行至收容場所之可能距離，及避難途中之狹隘道路與可能阻斷交通之狀況。參考日本及國內相關資料，建議避難路線應符合下列基準與條件。

(1) 考慮要項

A. 安全性基準

- a. 避難路線應盡求平坦寬敞，特別是觀光客多之處，需確保路幅足夠。根據中華民國都市計畫學會（1997）之建議，防災道路系統分為緊急道路、救援輸送道路、避難輔助道路三級；其中救援輸送道路以 15 公尺以上為對象，主要為消防、物資及人員運送機能，亦可做為人員通往收容場所之路徑。因此建議避難道路應以路幅 15 公尺以上為宜。
- b. 有橋梁之避難道路，須確保橋梁耐震性能及耐海嘯衝擊性能。
- c. 避難方向以遠離海岸、往內陸高處移動為宜。
- d. 不要使用平行於海岸、河川的道路。
- e. 研擬越過堤防等障礙物之對策，例如設置樓梯。
- f. 避難路線須避開容易受山崩、建物傾倒、墜落物阻斷之路段；考慮若發生建物傾倒、火災、橋梁落下而阻斷避難道路，應事先指定及確保鄰近替代道路。

B. 機能性基準

- a. 設置完善的避難引導標示、無線電廣播、夜間照明設備。
- b. 樓梯及陡坡設置手扶設施。

C. 步行避難可能距離

根據歷史海嘯災害經驗，民眾使用汽車進行避難疏散，結果造成交通嚴重阻塞；民眾受困於停滯的車陣中，遭到入侵的海嘯抬起沖走，因此建議海嘯避難疏散時以步行為宜。考量海嘯預計到達時間、群眾步行速度，計算在海嘯到達前能夠步行抵達收容場所之可能距離。參考日本之研究，步行避難可能距離估算方式建議如下，考量避難弱勢族群之體力，建議以不超過 1 公里為原則（日本千葉縣政府，2010 年）。

步行避難可能距離 = (步行速度) × (海嘯預計到達時間 - 避難準備時間)

其中，參考日本文獻（日本千葉縣政府，2010 年），老人、群集步行、對當地環境不熟者步行速度為 0.8m/sec 至 1.3m/sec 之間，步行困難者、身體障礙者、幼兒、重病者等避難弱勢族群之步行速度建議為 0.5m/sec 左右。海嘯預計到達時間由海嘯模擬而得，實際應變時由中央氣象局發布之海嘯警報而得。避難準備時間為民眾聽到海嘯警報後，取得緊急避難背包及收拾重要物品所需時間，參考日本文獻（日本千葉縣政府，2010 年），建議避難準備時間約為 2 分鐘至 5 分鐘，扣除避難準備時間後得到剩餘可行動時間。

(2) 使用圖資：海嘯溢淹影響圖、街道圖、山崩潛感圖、橋梁

設計資料。

(3) 操作方法建議

- A. 套疊海嘯溢淹影響圖、街道圖、前節所挑選出之收容場所分布圖，挑選到達海嘯影響範圍外收容場所之可能路線。
- B. 套疊山崩潛感圖與街道圖，避免使用具有山崩潛勢之避難路線。
- C. 計算避難距離：計算從海嘯影響區域最遠處至收容場所的距離，挑選距離較短的避難路線，避難距離以不超過前述之步行避難可能距離為宜。
- D. 避難方向以遠離海岸，前往內陸高地為主。
- E. 避難路線若有經過橋梁，應考量橋梁耐震及耐海嘯衝擊之性能，建議縣市政府委請專業技師進行耐震及耐海嘯衝擊之評估。若有耐震及耐海嘯衝擊性能不足之橋梁，則應避免使用。
- F. 建議縣市政府會同相關人員至現場勘查後，指定合適的海嘯避難路線，並設置引導標示及相關設備。

(4) 範例說明

- A. 套疊海嘯溢淹影響圖、街道圖、前節所挑選出之收容場所分布圖，選擇到達海嘯影響範圍外收容場所之最短路線。以花蓮市為例，避難路線挑選如圖 4-9(a)。
- B. 套疊海嘯避難路線圖與山崩潛感圖，花蓮市區地勢較為平坦，避難路線規劃區域皆遠離中高山崩潛勢地區，避難路線不受地震引致山崩之影響，如圖 4-9(b)。

- C. 計算避難距離：計算從海嘯影響區域最遠處至收容場所的距離，根據日本文獻（日本千葉縣政府，2010 年）建議，避難距離以不超過 1 公里為宜。前節所挑選之收容場所，其避難距離大多在 1 公里以下；部分沿海地區之避難距離大於 1 公里，建議採用下節之方法挑選合適之緊急避難高樓及高地。
- D. 第 A 項所挑選之避難路線皆未經過橋梁，其他地區之避難路線若有經過橋梁，建議委託學者專家進行耐震及耐海嘯衝擊之評估。經現場勘查後，指定合適的海嘯避難路線。

5. 避難高樓及避難高地之規劃

對於避難距離較長，來不及在海嘯到達前抵達海嘯溢淹範圍外的收容場所的地區，於當地尋找可提供緊急垂直避難的高樓，或地勢較高的避難高地。

(1) 考慮要項

- A. 考量步行至海嘯溢淹範圍外之收容場所時，步行距離較長：對於海嘯溢淹影響範圍較大之地區，若避難步行距離較長(建議超過 1 公里者)，則於海嘯溢淹影響範圍內尋找合適之避難高樓及避難高地。
- B. 對於近域地震海嘯，海嘯預計到達時間可能只有數分鐘至數十分鐘，應於海嘯溢淹影響範圍內尋找合適之避難高樓，引導民眾垂直避難以爭取時效。
- C. 倘若沿海地區無法找到合適之避難高樓，建議興建緊急避難高塔。

- D. 避難高樓、緊急避難高塔、避難高地之安全性基準建議
- a. 避難高樓、緊急避難高塔建議以鋼筋混凝土或鋼骨鋼筋混凝土建築為主，根據日本文獻(日本千葉縣政府，2010年)，預估溢淹水深度3公尺需4層樓以上、淹水深2公尺需3層樓以上、1公尺以下需2層樓。
 - b. 避難高樓、緊急避難高塔應具備足夠之耐震性能，需符合耐震設計規範要求或已實施耐震補強。
 - c. 避難高樓、緊急避難高塔應具有樁基礎或具有地下室之筏式基礎，以抵抗海嘯衝擊力。
 - d. 避難高樓、緊急避難高塔須能承受海嘯衝擊力而不致傾倒，且考慮頂樓站滿避難民眾之最大荷重狀態。
 - e. 避難高樓、緊急避難高塔及避難高地周圍無危險物品儲存等危險性。
 - f. 避難高地建議以不受海嘯溢淹影響的臺地，或參考國內文獻(行政院災害防救委員會，2005年)，安全避難處所應以海拔至少10公尺以上之丘陵地為考量。
- E. 避難高樓、緊急避難高塔之機能性基準建議
- a. 每人需有1平方公尺以上空間，避難高樓、緊急避難高塔頂樓應具有較大面積之平臺，空間需大於預定收容人數所需之空間。
 - b. 具備夜間照明、警報接收設備、緊急發電設備、衛生及盥洗設備、滅火設備。
 - c. 避難高樓、緊急避難高塔標示明確且易見。
 - d. 考量可能有大量避難人員進出收容場所之需要，收容場所樓梯寬度需符合建築設計規範集會場所之規定。

(2) 使用圖資：海嘯溢淹影響圖、收容場所分布圖、數值地形模型資料、街道圖。

(3) 操作方法建議

- A. 套疊海嘯溢淹影響圖、收容場所分布圖、街道圖，考慮預估淹水深度，挑選數個可能之避難高樓。
- B. 考量上述安全性基準及機能性基準，經現場勘查後挑選合適之建築物做為海嘯避難高樓，建議以政府機關或公共場所為主；必要時可徵用民間建物或設施，但須輔以配套措施(相關辦法或合約)。
- C. 海嘯避難高樓初步挑選後，建議縣市政府委託相關領域學者專家進行避難高樓耐海嘯詳細評估，再做最後確認。
- D. 套疊數值地形圖與海嘯溢淹影響圖，篩選出海拔較高的地方(建議至少海拔 10 公尺以上)或不受海嘯溢淹影響的地區做為避難高地。
- E. 海嘯溢淹影響範圍內若無合適之避難高樓及避難高地，建議可於沿海地區建造海嘯避難塔。

(4) 範例說明

- A. 以花蓮市為例，根據海嘯溢淹影響圖，花崗山運動公園附近不受海嘯溢淹影響，如圖 4-10(a)。
- B. 套疊數值地形圖，花崗山運動公園為海拔 15 公尺以上之高地，可規劃為避難高地，引導鄰近沿海地區民眾至此處緊急避難，如圖 4-10(b)。

4.3 國內外都會區之重大地震災害型態與衝擊影響整理

蒐集整理國內外重大地震災害（阪神大地震/921 地震/基督城地震/東日本大震災）對都會區造成之災害型態與衝擊影響如圖 4-11，歸納如下：

1. 大規模的人員傷亡與廢棄物，衍生遺體處理與環境清潔問題。
2. 供水、電力、電信與交通中斷，導致都市機能喪失。
3. 大規模數量之返家困難民眾，衍生收容疏散與衛生治安問題。
4. 人力與財務的嚴重損失使得經濟成長衰退，導致重建時間長、財政負擔重。
5. 政治、經濟機能運作困難。

4.4 國內外災害防治架構與評估方法整理

分別整理日本首都直下地震與美國加州地震災害防治之流程與架構（圖 4-12、圖 4-13），並彙整日本東京都、京都震災防治之災損評估項目與方法，與臺灣現階段已有災損評估方法比較（表 4-1）。

4.5 優先震災衝擊分析議題與技術研發需求

依據國內過往相關研發成果，並參考美、日相關計畫內容，擬定三個研究群組，如圖 4-14：

1. 地表震動模擬與地震潛勢分析技術：其目的在於研究大臺北地區最可能地震之強地動與災害潛勢分佈模擬
2. 災情評估技術：其目的在於發展具數量化、空間化、可視化之

災情評估技術

3. 對策/教育訓練&演練計畫之研擬：其目的在於研擬以災害情境為依據之防災對策與教育訓練計畫。

依據國內、外重要災例，並參考美、日相關計畫內容，完成優先進行之震災衝擊分析議題與技術研發需求，如圖 4-15：

1. 人員救援與避難衝擊分析
2. 都會區服務機能衝擊分析
3. 政府運作能力衝擊分析

表 4-1、東京都/京都/臺灣現階段已有災損評估項目與方法比較

區域 災害類型		東京都 (經驗公式)	京都 (強地動模擬 結果分析)	臺灣現階段地震災害分析	
				經驗公式	強地動模擬 結果分析
大地破壞	強地動分析	★	※	●	◎
	山崩潛勢	★		●	◎
	土壤液化	★	※	●	
	海嘯	★			◎
建築物損壞	校舍				◎
	一般建物	★	※	●	
	特殊建物		※		
交通設施	一般道路	★		●	◎
	橋梁	★	※	●	◎
	鐵道	★			
	隧道				◎
	港灣	★		●	
維生系統	自來水	★	※	●	◎
	電力	★	※	●	
	通訊	★	※		
	天然氣	★	※	●	
人員受災影響	傷亡	★	※	●	◎
	特殊場所	★			
	弱勢族群	★			
	交通事件	★			
震後火災		★	※	●	
毒化設施損壞					◎
避難場所、人員		★	※	●	
災後物資需求				●	
廢棄物量評估		★		●	



圖 4-1、強震即時警報傳遞機制規劃

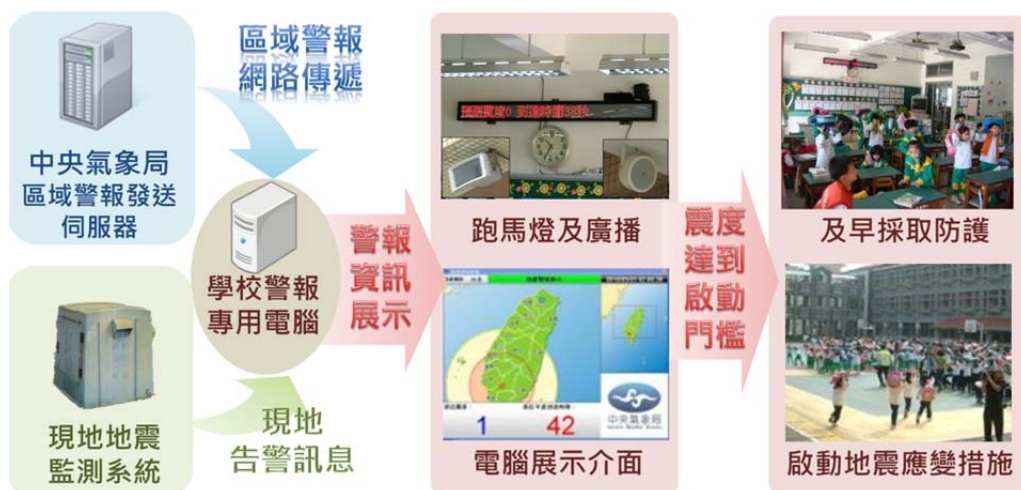


圖 4-2、強震即時警報於校園地震防災應用流程

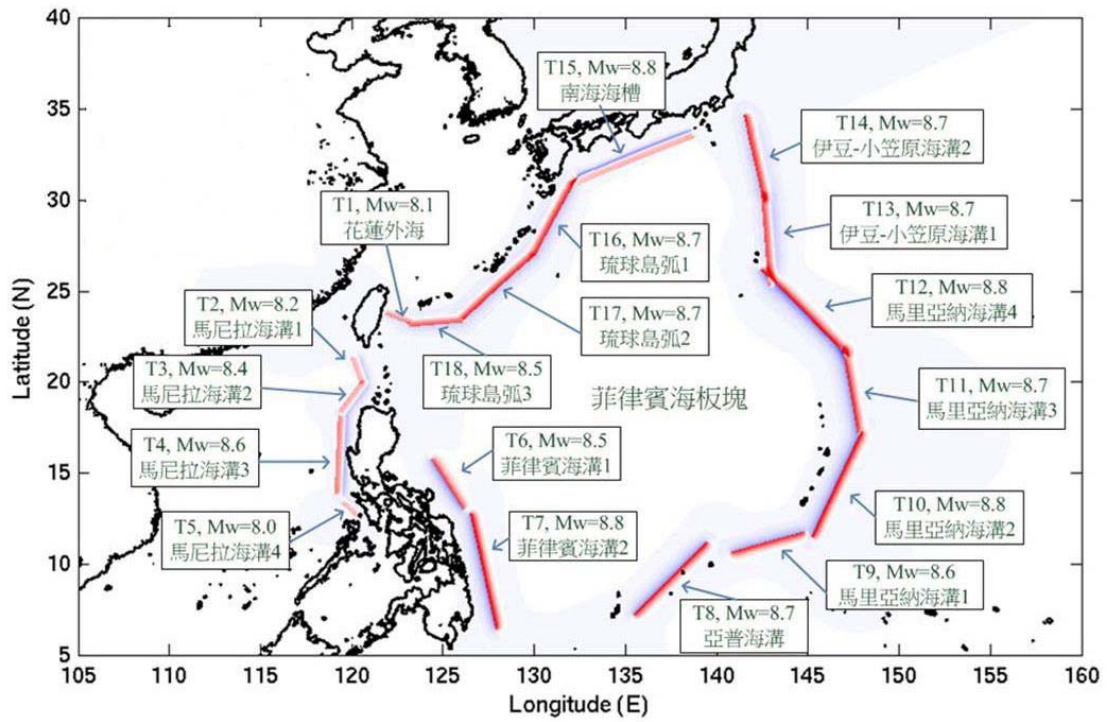
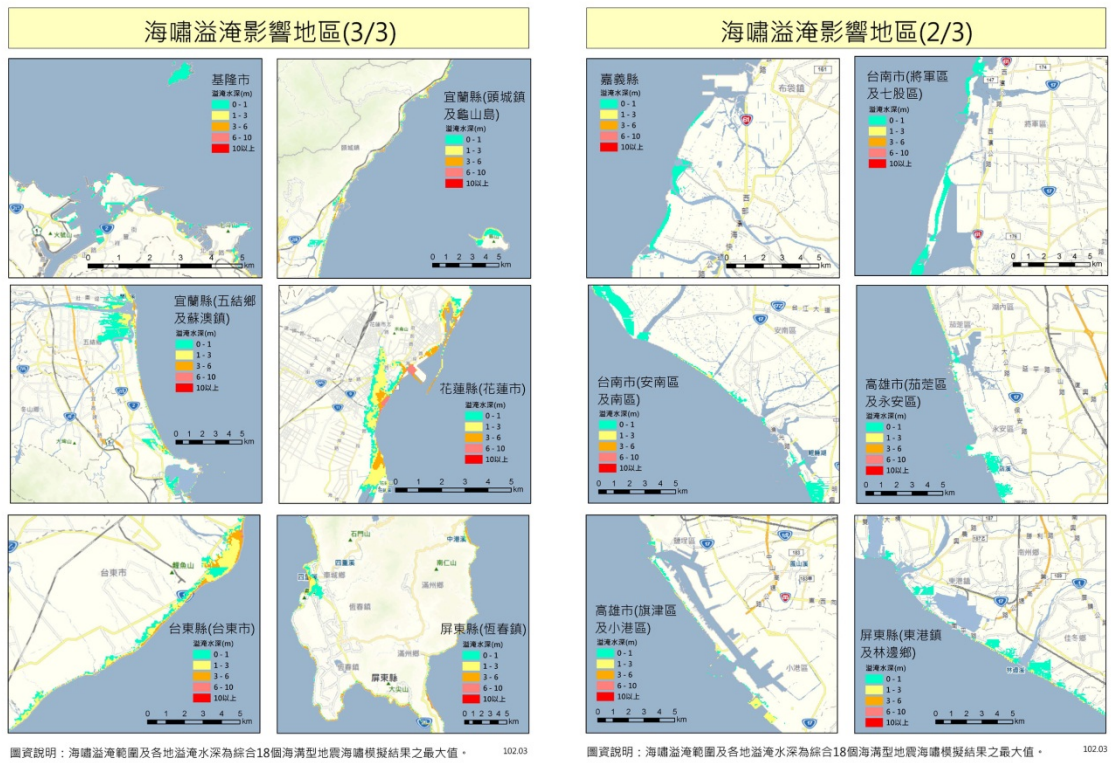


圖 4-3、本研究所採用海嘯模擬之海嘯源位置及地震規模(吳祚任, 2011)



(a) 東部沿海地區

(b) 西南部沿海地區



(c) 西北部沿海地區

圖 4-4、海嘯溢淹影響地區

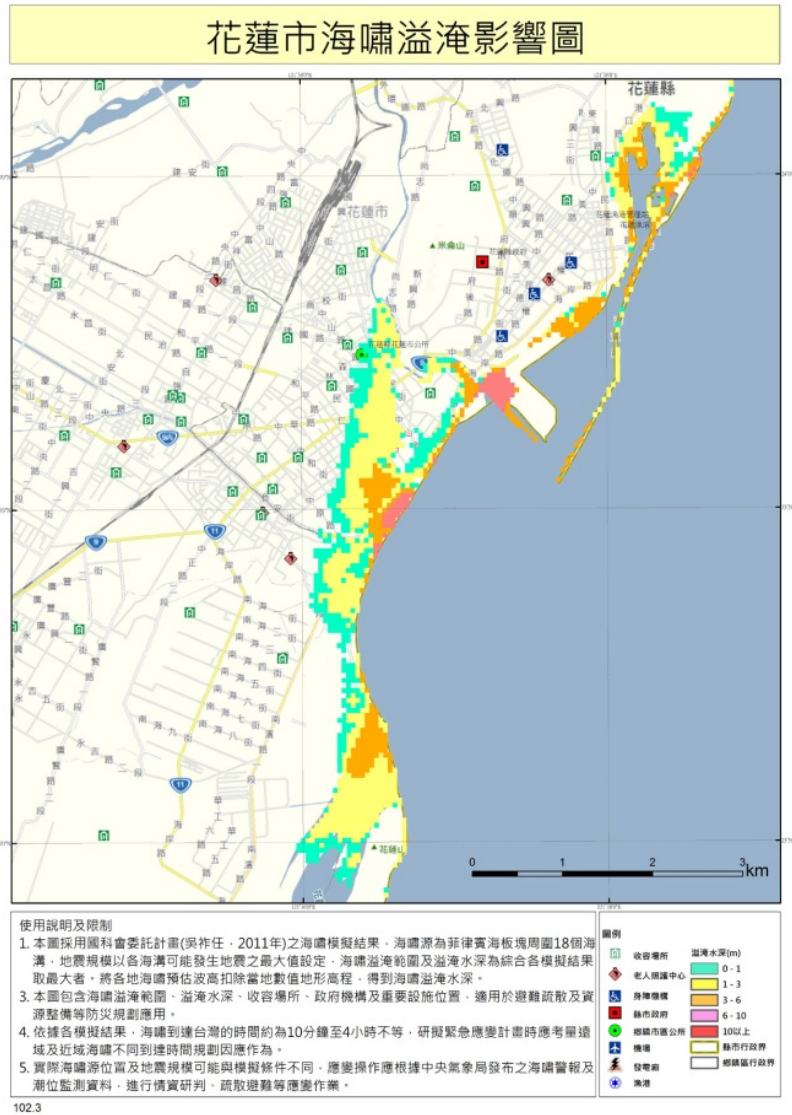


圖 4-5、海嘯溢淹影響地圖範例



圖 4-6、花蓮市海嘯溢淹警戒區範例

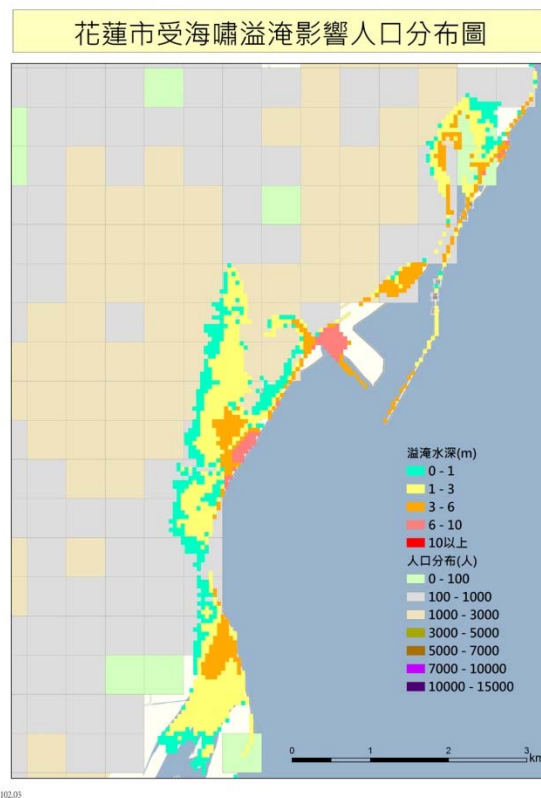
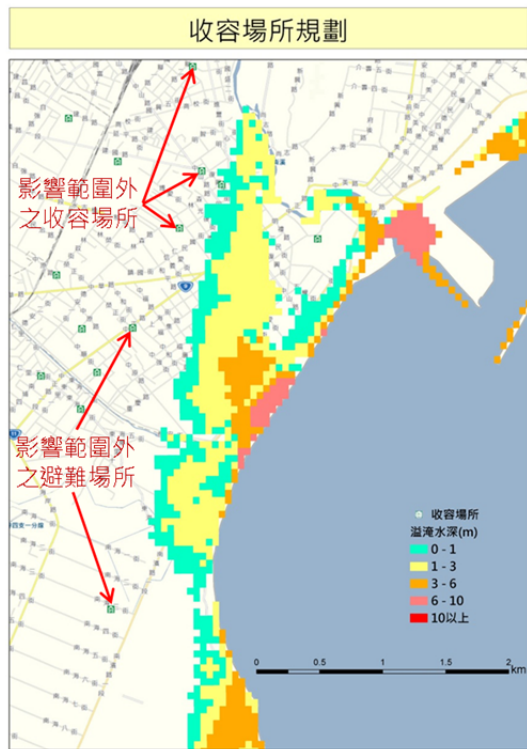
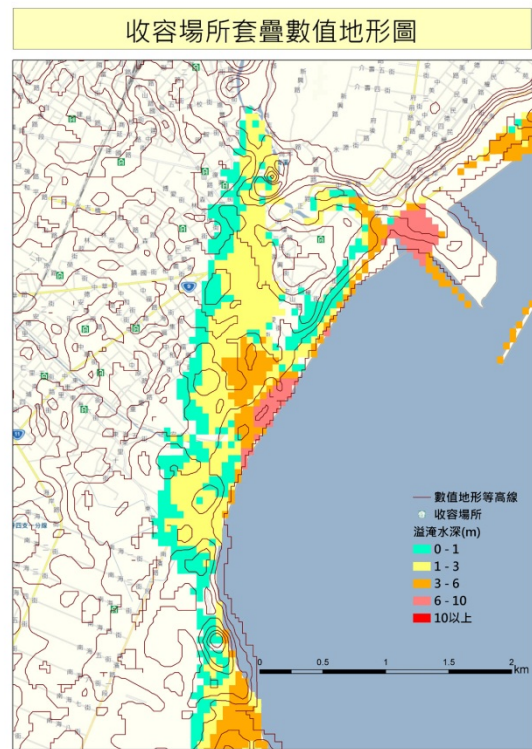


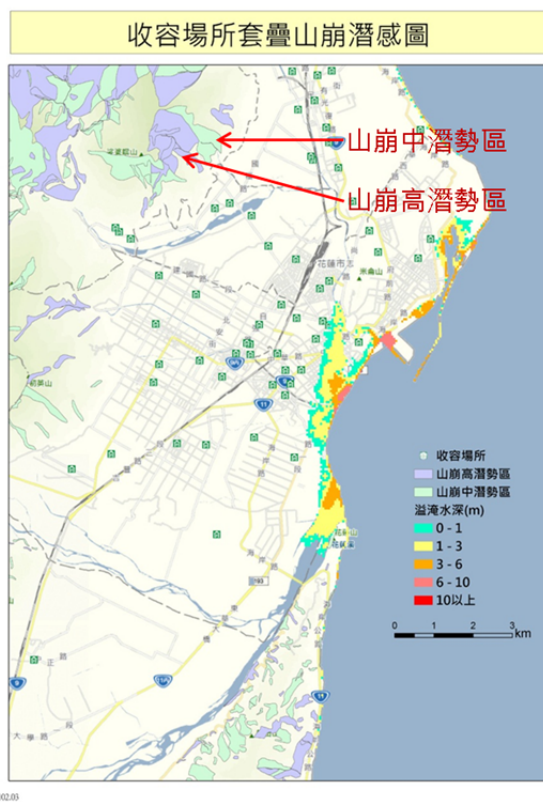
圖 4-7、花蓮市受海嘯溢淹影響之人口分布



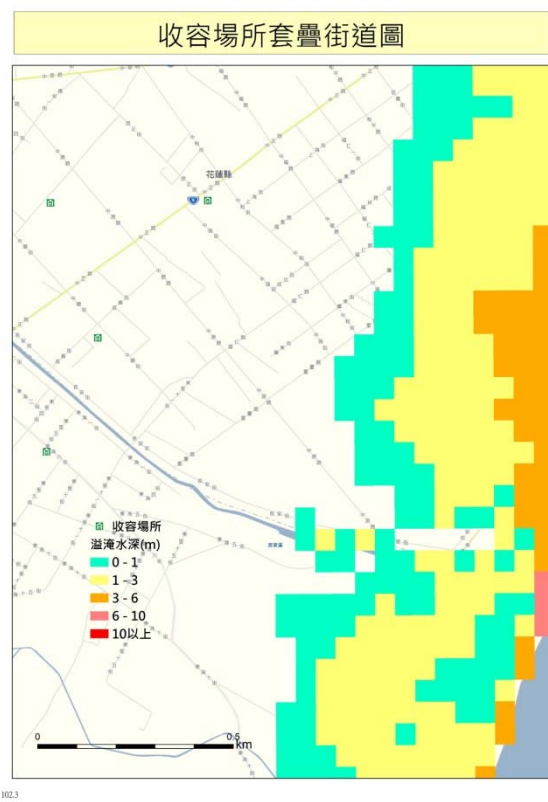
(a)海嘯溢淹影響範圍外之收容場所



(b)收容場所套疊數值地形圖

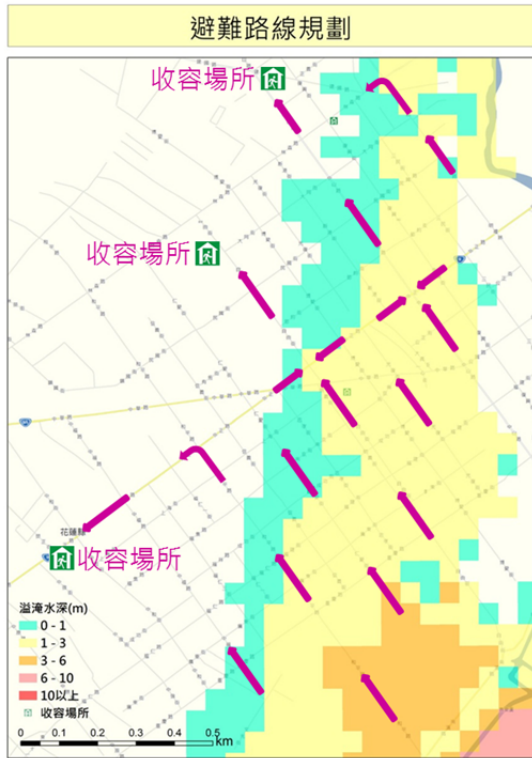


(c)收容場所套疊山崩潛感圖

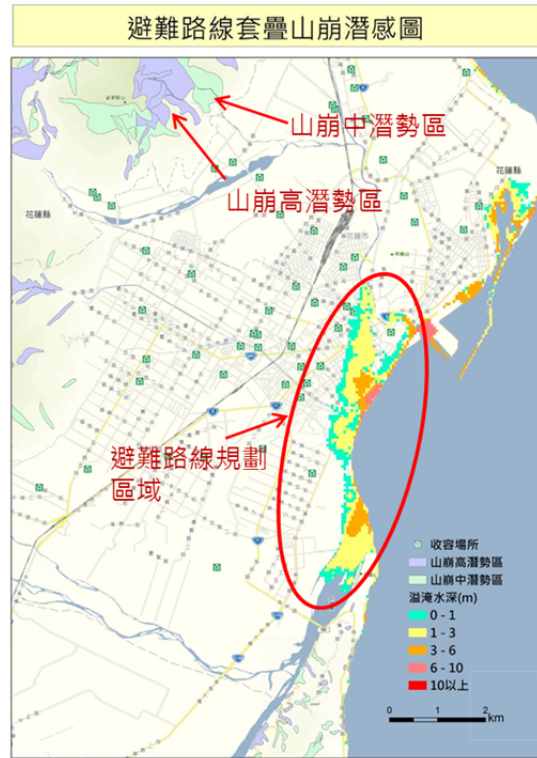


(d)收容場所套疊街道圖

圖 4-8、花蓮市縣海嘯收容場所規劃範例



100.3

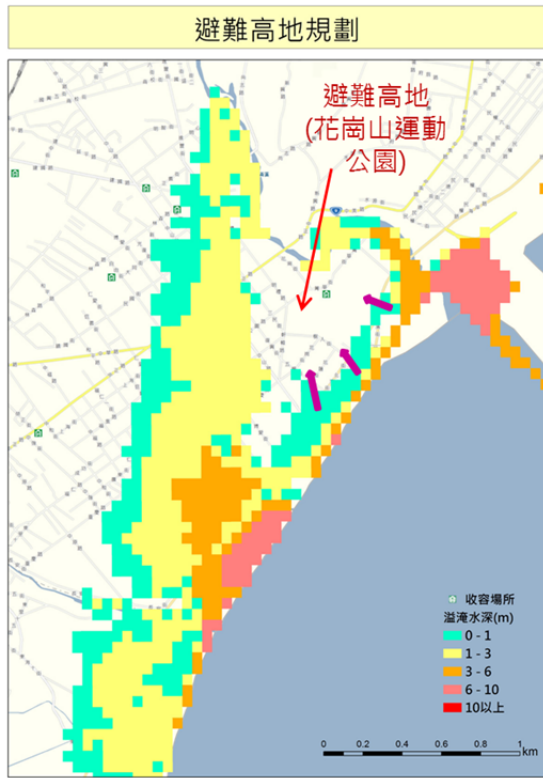


100.3

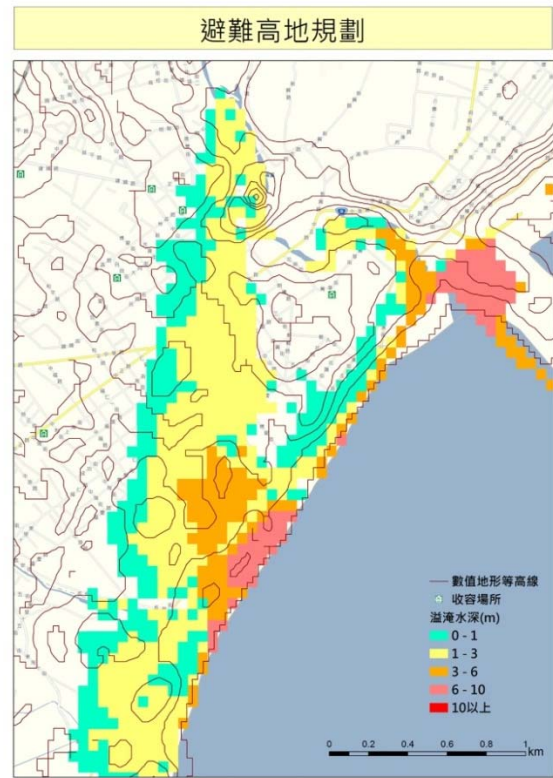
(a)海嘯避難路線規劃範例

(b)海嘯避難路線套疊山崩潛感圖

圖 4-9、花蓮市海嘯避難路線規劃範例



100.3



100.3

(a)避難高地規劃範例

(b)避難高地套疊數值地形等高線

圖 4-10、花蓮市海嘯避難高地規劃範例



圖 4-11、國內外重大震災對都會區造成之衝擊影響分析

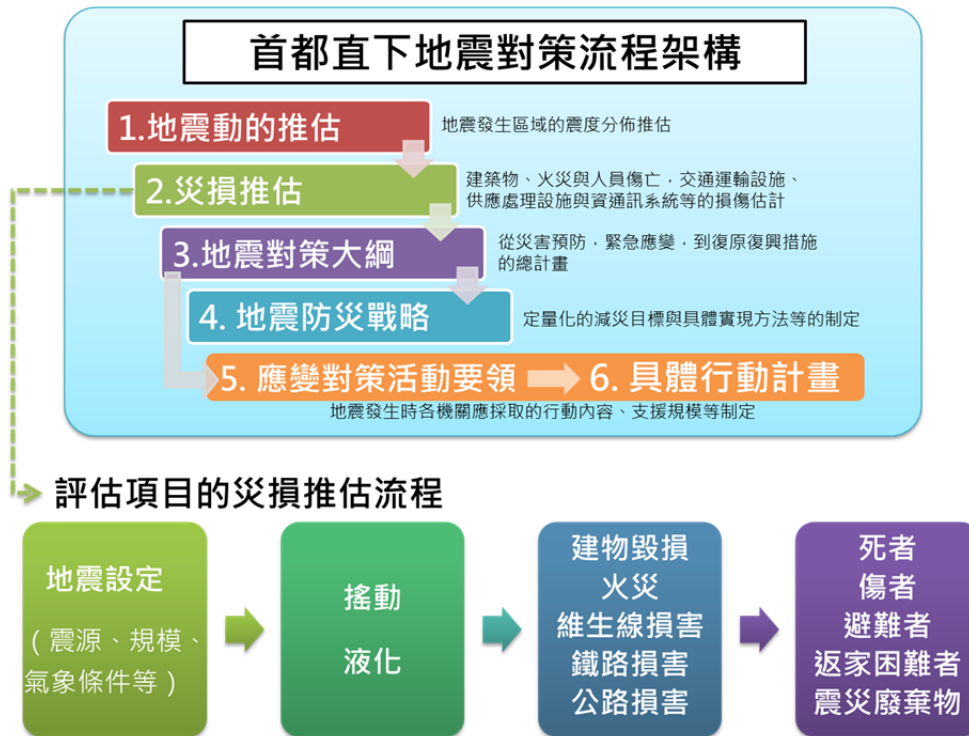


圖 4-12、日本首都直下地震流程與架構



圖 4-13、美國加州地震災害防治之流程與架構



圖 4-14、大臺北地區大規模地震災害防治計畫各研究群組規劃

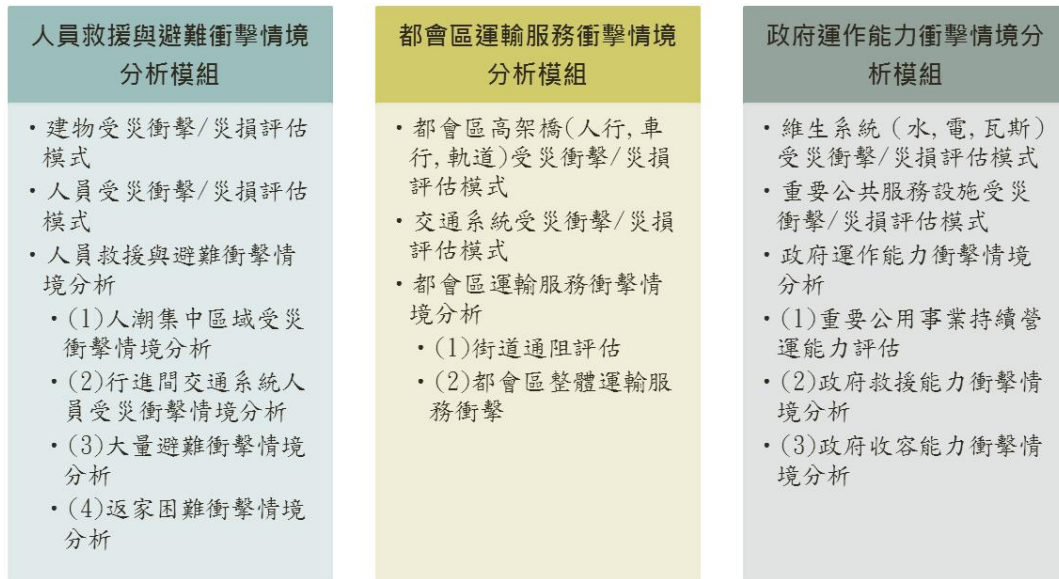


圖 4-15、近期優先進行之震災衝擊分析議題與技術研發需求

第五章 結論與建議

未來希望結合災防中心自行研究成果與加值國內學界與研究機構之相關研究，落實相關科研成果於都會區大規模地震災害防治計畫之研擬（初期以大臺北地區為研究標的），擬以「地震潛勢評估」、「災損評估/風險評估」、「對策研擬」、「教育訓練」等四面向為主軸，發展研擬所需之評估與分析工具，如圖 5-1 所示。

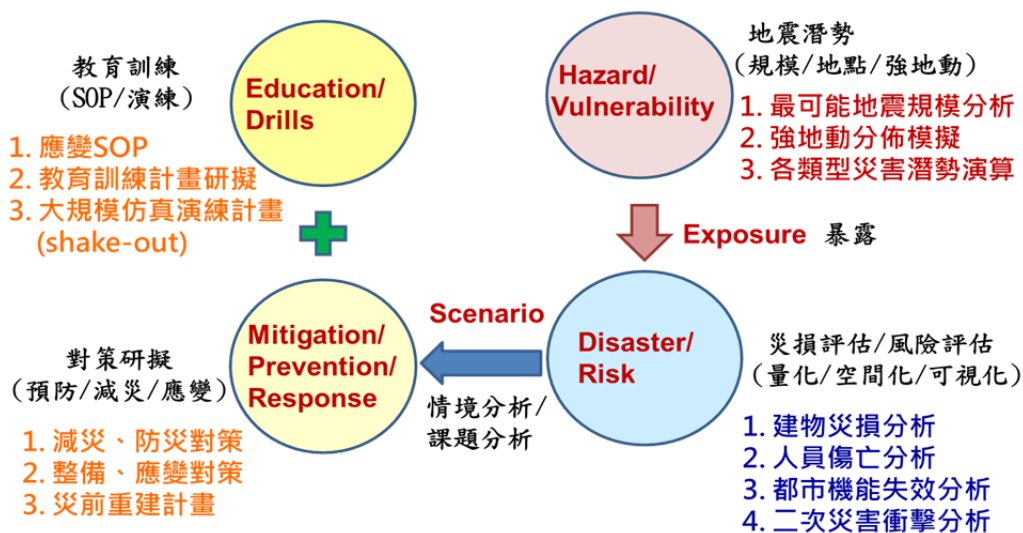


圖 5-1、都會區大規模地震災害防治計畫發展面向

參考文獻

- [1] The California Emergency Management Agency (2010), 2010 State of California Miti-Hazard Mitigation Plan.
- [2] 日本中央防災會議「首都直下地震対策専門調査会」，2005，首都直下地震対策専門調査会報告。
- [3] 日本中央防災會議，2010，首都直下地震対策大綱。
- [4] 日本千葉縣政府，2010。千葉県津波避難計畫策定指針。
- [5] 簡文郁，2001。考慮特徵地震與場址效應的地震危害度分析，國家地震工程研究中心報告，NCREE-01-036。
- [6] 張毓文，2002。場址特性分析及最大加速度衰減模式校正，中央大學碩士論文。
- [7] 溫國樑、簡文郁、張毓文，2005。最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，國家地震工程研究中心，NCREE-05-032。
- [8] 許京穎，2008。臺灣潛勢地震之發生機率評估，中央大學碩士論文。
- [9] 詹皓凱，2008。加速度地動潛勢預估，中央大學碩士論文。
- [10] 吳祚任，2011。臺灣潛在高於預期之海嘯模擬與研究—地震海嘯模擬結果，行政院災害防救應用科技方案。
- [11] 吳子修，2012。大臺北地區之強地動預估，臺灣災害管理研討會。
- [12] 臺灣地震發生機率潛勢圖，2012。國家災害防救科技中心，NCDR 100-T30。
- [13] 內政部，2012。震災災害防救業務計畫。

書名：大臺北地區大規模地震災害防治計畫

發行人：陳亮全

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

出版年月：中華民國 102 年 4 月

版 次：第一版

非賣品

ISBN:

大臺北地區之強地動預估



大臺北地區之強地動預估

溫國樑、吳子修、黃明偉、張芝苓、劉淑燕



目錄

目錄.....	i
表錄.....	iii
圖錄.....	v
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究流程與範疇.....	2
第二章 臺灣地區地震活動觀測與斷層調查.....	7
2.1 臺灣地體構造.....	7
2.2 臺灣地區地震活動觀測.....	9
2.3 臺灣地區斷層調查.....	11
第三章 斷層震源發生機率.....	15
3.1 斷層發生機率分析流程與模式.....	15
3.2 斷層震源發生機率之評估.....	19
第四章 加速度衰減模式之強地動預估.....	25
4.1 參考的最大地表加速度衰減模式.....	25
4.2 場址特性的修正函數.....	27
4.3 兩階段的強地動預估方法.....	30
第五章 大臺北示範區的強地動預估.....	36
5.1 大臺北地區的可能潛在震源.....	36
5.2 大臺北地區之強地動預估.....	38
第六章 結論與建議.....	49
參考文獻.....	51

表錄

表 3.1 第一類活動斷層參數(部分活動斷層).....	21
表 3.2 第一類活動斷層(假設 COV=0.3)在未來 30 年發生機率.....	22
表 3.3 第一類活動斷層(假設 COV=0.3)在未來 50 年發生機率.....	22
表 3.4 第一類活動斷層(假設 COV=0.5)在未來 30 年發生機率.....	23
表 3.5 第一類活動斷層(假設 COV=0.5)在未來 50 年發生機率.....	23
表 4.1 簡文郁 (2001) 衰減模式係數與誤差之標準偏差分析結果.....	31
表 5.1 大臺北地區的歷史災害地震.....	40

圖錄

圖 1.1 臺灣地體構造圖	5
圖 1.2 臺灣地區三維地體構造及震源分佈圖	5
圖 1.3 臺灣百年來之災害地震震央分佈圖(1901~2000).....	6
圖 2.1 氣象局 TSMIP 自由場強震站及結構物強震監測系統	13
圖 2.2 臺灣地區主要地震目錄涵蓋時間與地震規模.....	13
圖 2.3 中央地質調查所發佈之臺灣活動斷層圖	14
圖 3.1 斷層震源的發生機率分析流程及步驟.....	24
圖 3.2 未來發生機率計算模型	24
圖 4.1 中央氣象局自由場強震站及中央研究院山區強震站位置圖	31
圖 4.2 測站正規化誤差殘值分別對地震規模與震源距離之比較.....	32
圖 4.3 測站誤差統計分析之正規化誤差殘值對 PGA 值之關係.....	32
圖 4.4 即時站實測值與第一階段計算結果比較及其修正函數.....	32
圖 4.5 過去災害地震與第一階段、第二階段加速度預測值之比較.....	33
圖 5.1 大臺北地區的歷史災害地震分佈圖	40
圖 5.2 區域震源可能致災規模之未來發生機率	41
圖 5.3 大臺北地區可能潛在的活動斷層震源	46
圖 5.4 遠距離點震源的境況模擬 Shakemap	47
圖 5.5 直下型點震源的境況模擬 Shakemap	47
圖 5.6 遠距離斷層震源的境況模擬 Shakemap	48
圖 5.7 直下型斷層震源的境況模擬 Shakemap	48

第一章 前言

臺灣的地理位置處於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互碰撞之交界帶，是一典型板塊碰撞下所產生之大陸邊緣島嶼（圖 1.1），每年平均發生的地震超過 15000 次；地震頻繁。從三維的角度來看，由臺灣地區的地震震源分佈可明顯看出地殼板塊間相互的關係（圖 1.2）。根據過去歷史的記載，臺灣在近百年來曾經發生過多次災害性大地震，造成大量人員傷亡以及財產損失，例如 1906 年梅山地震、1935 年新竹—臺中地震、1941 年中埔地震、1951 年花東縱谷地震、1964 年白河地震、1986 年花蓮地震以及令人印象深刻的 1999 年集集地震等（圖 1.3）。如此多的災害性地震重複發生，顯示臺灣這個島嶼實為地殼活動非常劇烈的一個區域，而且隨著經濟建設的迅速發展，高樓大廈林立，各大都會區人口密度不斷提高，更大幅增加地震對於人民生命財產的威脅，在臺灣地區從事地震觀測和地震研究是非常重要的事。

1.1 研究動機

地震精準預測研究的困難度與挑戰性相當高。因此持續進行地震精準預測研究的同時，各界也嘗試以地震工程的觀點進行地震潛勢預測，以機率來顯示地震災害潛勢，並做為地震防災規劃之參考。例如，日本地震調查委員會（2002）制作「綜觀全國地震預測地圖」，其針

對日本 98 條主要活動斷層中的 37 條及 20 個海溝地帶評估可能之地震規模與發生率，其分佈提供該國國土規劃與地震防災規劃之參考。而美國地質調查所 (USGS, 2003) 也完成加州地區的地震潛勢圖，調查加州地區的地震發生率，對都會區地震防災有重要之參考價值。而國內學者 (溫國樑等, 2005) 亦研究臺灣地區的地震發生機率及強地動模擬，許京穎 (2008) 與詹皓凱 (2008) 亦進行相關研究。本研究之目的即希望藉由目前中央地質調查所第一類活動斷層之調查成果，建立斷層震源之地震機率模型，並計算活動斷層於未來的發生機率 (篩選部份參數比較完整的斷層)。最後，並以最大地表加速度衰減模式 (Attenuation Law) 做為強地動的評估模式，並以大臺北示範區為例，說明如何推估大臺北地區可能潛在震源及其強地動分佈圖。研究成果將可以用來瞭解臺灣地區的地震潛勢威脅，更可以做為未來進行地震防災及救災規劃時的參考。

1.2 研究流程與範疇

一般而言，造成地表錯動或破裂的活動斷層地震所呈現出地震規模與再現期可視為可預期的現象，被稱為特徵地震 (Characteristic Earthquake)，而除活動斷層破裂至地表所引發之地震外，區域震源型態乃包括規模較大但深度較深或規模小之地震，使得地層斷裂面隱於

地下無法延伸至地表，亦即一般所稱的盲斷層，所有不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源（Regional Source）。本研究有兩個主要工作：首先，針對中央地質調查所公布的第一類活動斷層資料，計算臺灣活動斷層的未來的發生機率。有關分析斷層震源的未來發生機率部份，其研究方法及進行步驟如下：

1. 蒐集經濟部中央地質調查所公布的第一類活動斷層資料，篩選斷層參數比較完整的斷層進行分析。
2. 評估各斷層的參數，如斷層的可能的最大規模、再現週期（Return Period）及最近一次活動時間。
3. 建立斷層發生機率模型，配合斷層的再現週期，並考慮地震之靜待期（現在距離上一次斷層活動的時間），建立條件機率的發生模型。
4. 計算活動斷層在未來的發生機率。

其次，本研究利用最大地表加速度（PGA）衰減模式進行強地動預估，由前人的研究得知沖積層或盆地地形會產生震波放大現象，由於臺灣的都會區大多都為沖積層或盆地地形，分析時必須考慮到場址放大效應之影響。因此本研究採用二階段的強地動預估，其研究方法及進行步驟：

1. 第一階段採用參考的衰減模式（Attenuation Law）來進行最大地表加速度的預測，得到各測站初步的最大地表加速度預測值。

2. 第二階段利用場址函數 (Site Effect) 修正第一階段的最大地表加速度預測值，以求得較佳的最大地表加速度預測值。
3. 推估強地動分佈圖 (Shake Map)。

本研究所建立的強地動預估分析流程，將可以提供防救災相關單位在進行規劃地震災害防治工作時做為參考。

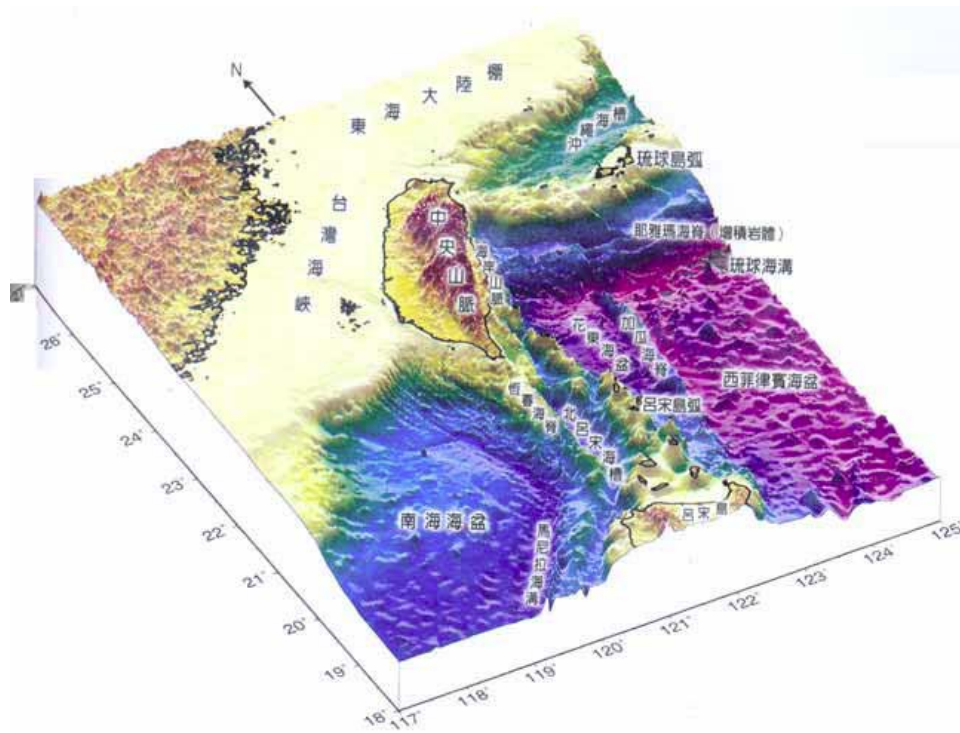


圖 1.1 臺灣地體構造圖 (資料來源：國家海洋科學研究中心)

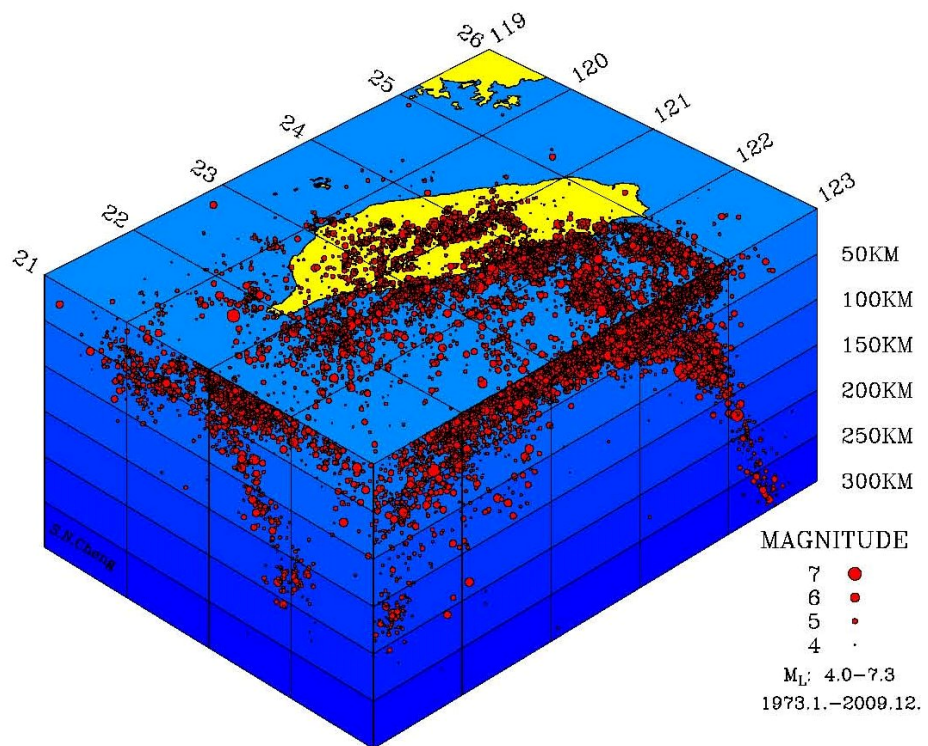


圖 1.2 臺灣地區三維地體構造及震源分佈圖 (資料來源：鄭世楠等, 2010)

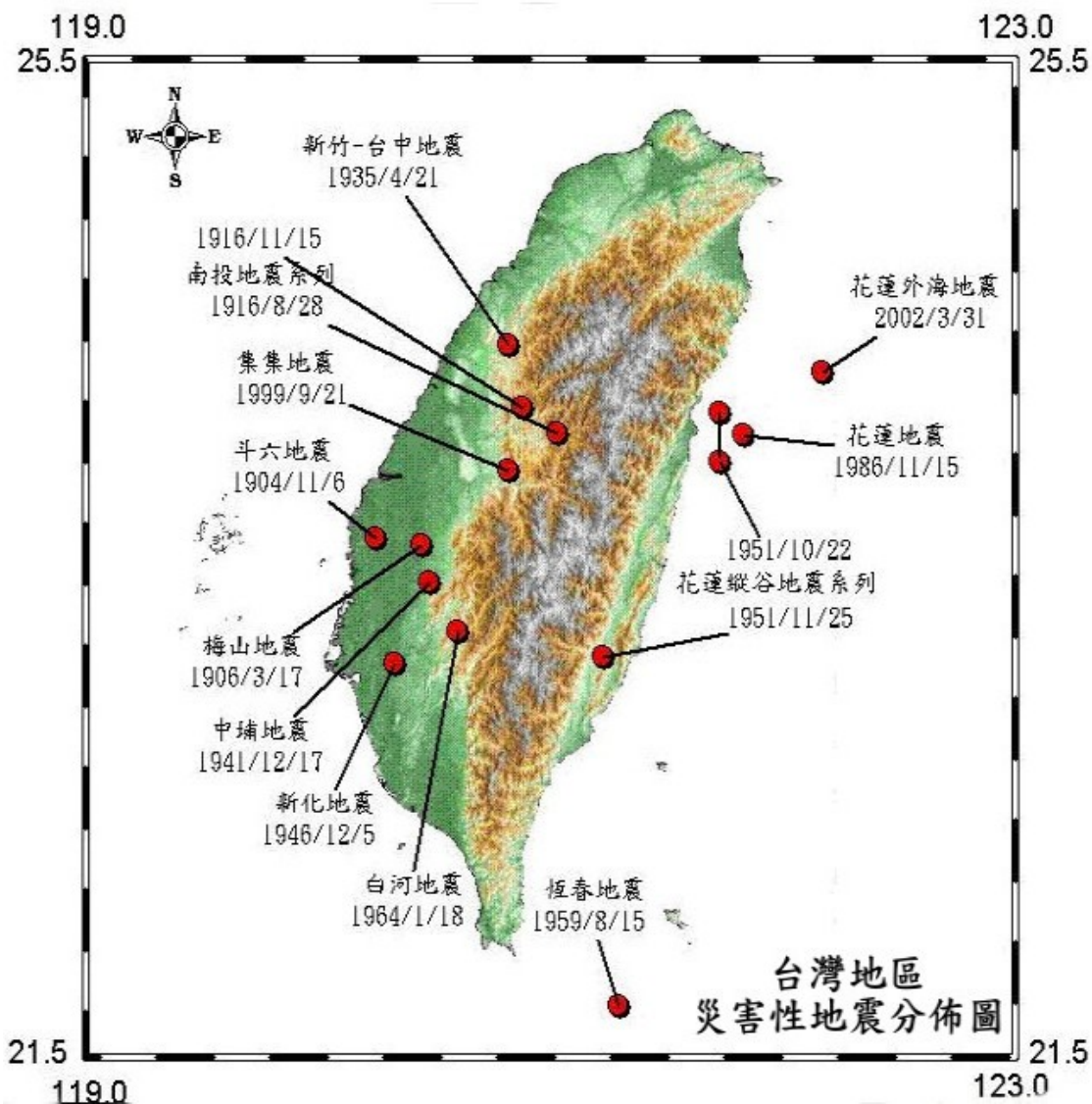


圖 1.3 臺灣百年來之災害地震震央分佈圖 (1900~2000 年以來,中央氣象局)

第二章 臺灣地區地震活動觀測與斷層調查

臺灣地區從事地震觀測和地震研究是非常重要的事。因此中央氣象局推動臺灣強地動觀測計劃（Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, TSMIP），中央地質調查所（Central Geological Survey, CGS）也積極針對臺灣活動斷層之地質、斷層特性進行一系列調查。臺灣每年發生上萬次地震，顯見板塊擠壓運動仍持續且活躍的進行中。每個地震帶內發生的地震有著不同的活動特性及發震型態，瞭解一個區域的地體構造、區域地震活動及斷層活動情形，將有助於評估此區域之地震潛能。

2.1 臺灣地體構造

臺灣坐落於太平洋西岸弧狀列嶼中，呂宋島弧與琉球島弧銜接之處，臺灣島是因呂宋島弧與亞洲大陸碰撞後擠壓隆起的一個年輕島嶼。臺灣島的中央山脈及中央山脈以西地區代表亞洲大陸邊緣被擠壓隆起的部份，臺灣東部的海岸山脈則代表呂宋島弧撞上臺灣島的部份，而臺東縱谷即是此種弧陸碰撞的縫合處在地面上的位置。由於弧陸碰撞的結果，臺灣地區地殼變動激烈，地震頻繁，在東北部，包含呂宋島弧在內之菲律賓海板塊隱沒到屬歐亞大陸板塊的琉球島弧底下。在東南部，南中國海亞板塊隱沒至菲律賓海板塊之下。在臺灣的

中心部位，呂宋島弧則直接與歐亞大陸發生碰撞。目前菲律賓海板塊仍以每年約8公分的速率向西北移動，其與歐亞板塊之間的隱沒、衝撞、擠壓，使得臺灣島形成縱向的逆衝斷層，花東縱谷大致位於板塊交界處。受到大地應力的擠壓，臺灣的地層容易產生逆衝性的斷裂，這些斷裂隨時都可能再度錯動，並引發地震活動，尤其臺灣西部麓山帶的斷層多為活動性較高的新生斷層，對於鄰近都會區的影響不容忽視。

臺灣地區每年發生之地震在空間上之分佈大致相同，地震主要係發生在板塊接觸地帶暨隱沒板塊之內部。總體來看，臺灣的地震帶主要分佈在三個區域：東北部地震帶、東部地震帶及西部地震帶。東北部地震帶自琉球群島向西南延伸，經宜蘭、蘭陽溪上游至花蓮附近，震源深度從淺層延伸到300公里深。東部地震帶北起宜蘭東北海底向南西延伸經過花蓮，新港至臺東，並可一直延伸到呂宋島，此帶北端自宜蘭與環太平洋地震帶延伸至西太平洋海底相連，南端幾乎與菲律賓地震帶相接，整體呈現近似弧形並面朝太平洋，亦和臺灣島相平行，此區的特徵為地震次數多，且通常震源較西部地震帶為深。西部地震帶自臺北南方經臺中、嘉義而至臺南，大致與島軸平行。地震發生頻率較低，且以深度約在20公里以內的淺源地震居多，容易造成地面劇烈錯動，因之地震災害較大，而且餘震次數也較多。根據近十年中央

氣象局對地震密集觀測的結果，顯見板塊擠壓運動仍持續的進行中。

瞭解臺灣區域之地體構造，將有助於評估臺灣區域之地震潛能。

2.2 臺灣地區地震活動觀測

有關臺灣地區的地震資料大體上可分為兩類：第一類是儀器觀測以前的文字敘述資料；第二類是利用儀器觀測所得的數據資料。關於第一類的地震資料，來自各種歷史書籍及文獻中有關的文字記載。例如在臺灣志略、諸羅縣志、淡水廳志等各種地方志，清代地震檔案史料、福建臺灣奏摺、同治甲戌日兵侵臺始末等各種檔案、實錄及奏摺，巴達維亞城日記、臺灣中部碑文集成等筆記、碑文及文集中均可找到大地震震災之記載。由於無儀器可供觀測紀錄之用，這些文獻對於大地震的記述均以個人的觀感及調查為憑，人為的主觀因素較重，缺乏客觀的統一標準。對於地震大小、強弱的判定，受人口分佈的影響很大，並且所做的記載大多是零星片段的文字敘述，只能作為定性上的參考，此類的歷史地震資料最早可追溯至明朝萬曆三十二年（西元1604年）（鄭世楠與葉永田, 1989）。

交通部中央氣象局自1897年12月在臺北裝設了第一部地震儀後，臺灣地區才開啟了地震紀錄科學化的時代。氣象局在臺灣安裝地震儀開始之初期，地震儀數量少且放大倍率低，因此只能記錄到會引致災

害的大地震 ($M_L \geq 5.5$)，故1935年以前小規模 ($M_L < 5.5$) 的地震紀錄並不夠完整。然而，從1936至1975年間 M_L 4.0的地震已可完整的被記錄到，但此時期之地震儀的精密度仍不足以記錄到所有小規模地震，因此僅有地震規模5.0以上之紀錄才是可靠而完整的。1976年以後由於臺灣地區強震網之佈設及儀器精度提昇，已可完整而可靠地記錄到規模4.0以上之地震紀錄。1990年以後，除了CWBSN即時遙記式地震觀測全面作業，嚴密監測全島之地震外；為了收集都會區的強地動資料，瞭解地震在不同人口密集地區或不同結構物內之振動特性，推動「臺灣強地動觀測計畫」(TSMIP)，建置600部以上的自由場地震儀器(圖2.1)，定位的準確性提升很多，而且大小地震都能收錄，已可完整而可靠地記錄到規模2.0之地震紀錄。由臺灣地區地震觀測網所收錄的資料而整理出的地震目錄相當多，但各個目錄所涵蓋的時間範圍不同，完成的時間背景亦不相同，故用來描述地震大小的標準亦不一致。由於以上各個地震目錄所涵蓋的時間不一，用來描述地震大小的尺度亦不盡相同，甚至使用同樣的近震規模亦有差異，圖2.2為臺灣地區主要地震目錄涵蓋時間與地震規模。中央氣象局(2010年12月)目前已重新校正地震目錄(重新校正震源位置、地震規模等)，臺灣地區重新校準後的地震目錄在地震規模的定義上已經一致，均改為近震規模 M_L ，其結果可以減少因地震目錄對規模定義的不一致所引入的誤差。

2.3 臺灣地區斷層調查

國內早期的活動斷層調查缺乏系統性、整合性的計畫，九二一地震之後，才使得國內政府單位及學者全力投入活動斷層調查研究的領域。經濟部中央地質調查所為了擴大活動斷層調查的廣度與深度，於91年起配合國家防災型科技計畫，推動為期五年的「地震地質調查及活動斷層資料庫建置」計畫，針對臺灣地區重要的活動斷層進行地質精查與觀測。此一計畫的目標涵蓋了地震危害度評估之相關參數的調查，例如斷層的長期滑移速率、短期滑移速率、最大可能地震規模、和斷層活動週期等。中央地質調查所考慮臺灣地區的地體構造環境，其將臺灣地區活動斷層依據距今曾經發生錯動的時間分為第一類、第二類及存疑性活動斷層。第一類活動斷層為全新世（距今 10,000 年內）以來曾經發生錯移之斷層；第二類活動斷層為更新世晚期（距今約 100,000 年內）以來曾經發生錯移之斷層，[圖 2.3](#) 為經濟部中央地質調查所於 2010 年發佈之臺灣活動斷層的位置分佈。

由於目前國內關於活動斷層方面之研究成果，在地震與活動斷層之關聯性、斷層活動度、定年資料、斷層長度、再現週期與古地震研究等方面，仍缺乏足夠的相關資料。因此本研究採用經濟部中央地質調查所的第一類活動斷層中（2010 年發佈），篩選部份參數比較完整

的活動斷層，計算活動斷層於未來的發生機率，將有助於評估臺灣區域第一類活動斷層之活動潛能。

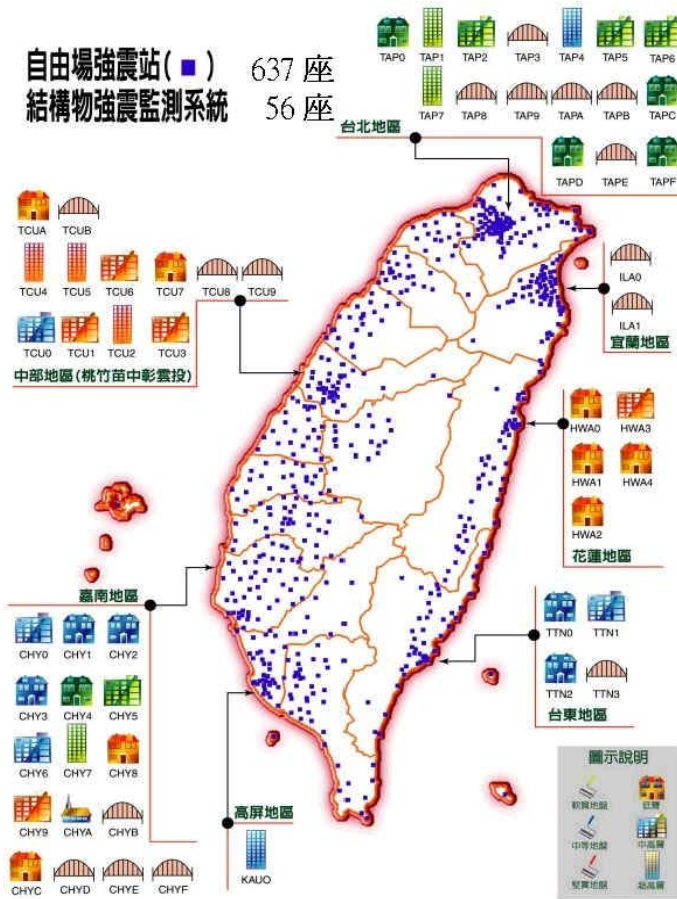


圖 2.1 氣象局 TSMIP 自由場強震站及結構物強震監測系統

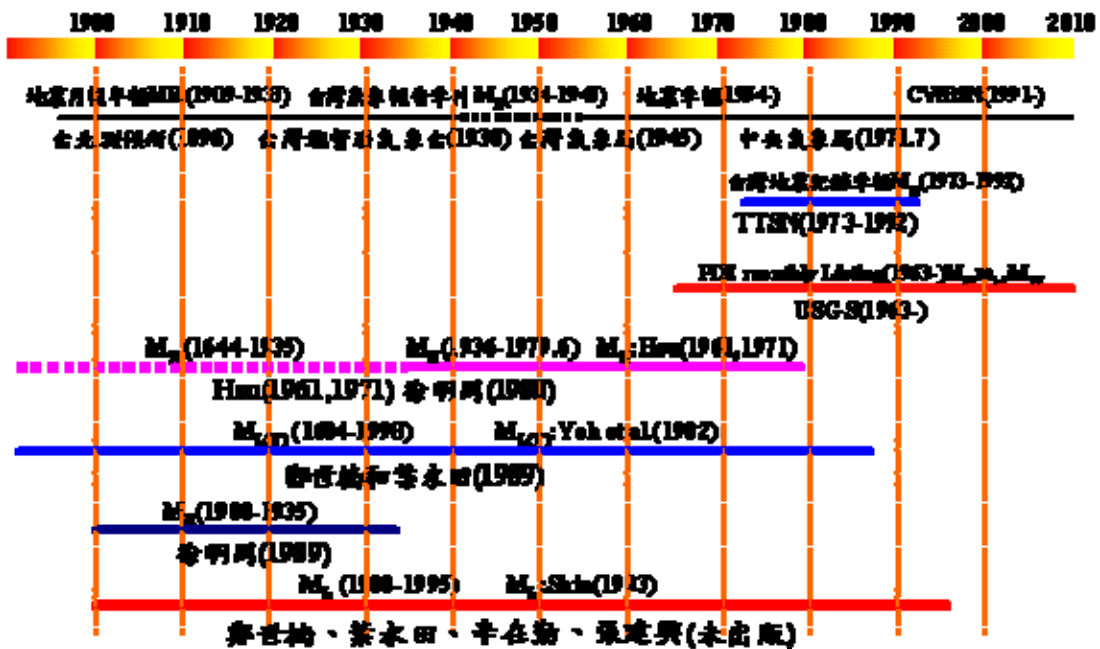


圖 2.3 臺灣地區主要臺灣地震目錄涵蓋時間與地震規模 (資料來源: 鄭世楠等)

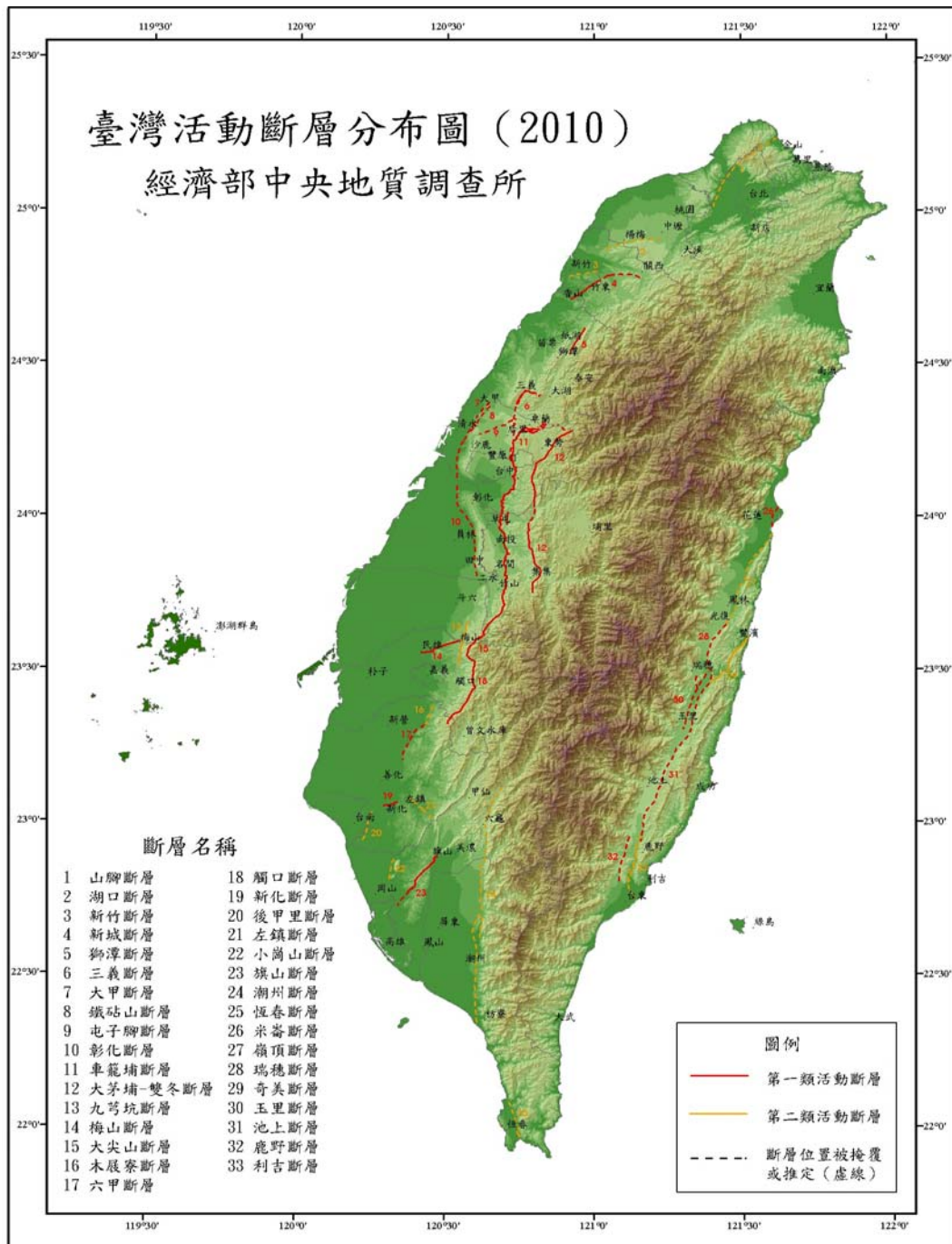


圖 2.3 中央地質調查所發佈之臺灣活動斷層圖

第三章 斷層震源發生機率

活動斷層一旦發生錯動，可能造成地盤的位移，或導致山崩，土壤液化，甚至對結構物造成嚴重的破壞。尤其近年來，國內工程建設的規模越來越大，居住密集的程度也日益集中，若發生斷層地震，所造成的損失將更嚴重。因此，對於地震防災，活動斷層研究的重要性顯得格外重要。由於目前國內關於活動斷層方面之研究成果，在地震與活動斷層之關聯性、斷層活動度、定年資料、斷層長度、再現週期與古地震研究等方面，仍缺乏足夠的相關資料。因此本研究採用中央地質調查所的第一類活動斷層中，其中參數比較完整的斷層，計算活動斷層未來的發生機率。

3.1 斷層發生機率分析流程與模式

地震震源概分為活動斷層震源及區域震源。前者是指地震時地層斷裂面延伸至地表而在地表留下錯動的痕跡，亦即斷層線；後者則是指地震時因為震源深度較深或地震規模較小，使得地層斷裂面隱於地下無法延伸至地表，亦即一般所稱的盲斷層，所有不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源。本研究蒐整美、日及國內學者的研究成果，針對臺灣第一類活動斷層，以數學統計的方式建立斷層震源發生機率分析流程及步驟（如圖3.1）。對於本研究決定模式參數的參考依據，

以及資料的使用及處理步驟，詳細說明如下：

1. 蒐集斷層資料

中央地質調查所考慮臺灣地區的地體構造環境，其將臺灣地區活動斷層依據距今曾經發生錯動的時間分為第一類、第二類及存疑性活動斷層。第一類活動斷層為全新世（距今10,000年內）以來曾經發生錯移之斷層；第二類活動斷層為更新世晚期（距今約100,000年內）以來曾經發生錯移之斷層。中央地質調查所定期更新斷層資料，本研究採用中央地質調查所2010年發佈之臺灣活動斷層資料。（如圖2.3）

2. 第一類活動斷層參數

由於目前國內關於活動斷層方面之研究成果，仍缺乏完整的足夠相關資料。因此本研究採用中央地質調查所的第一類活動斷層中，其中參數（如斷層再現週期、斷層最大地震規模、斷層上次錯動時間等）比較完整的斷層，進行計算活動斷層未來的發生機率。

3. 劃定斷層系統

由過去地震紀錄發現，數條斷層可能彼此互相關聯，如1935年的新竹—臺中烈震，造成獅潭、神卓山、屯子腳斷層同時錯移，其震央位於這些斷層之間，又可由沉積層的位態發現斷層於地底可能互相連接而成為盲斷層，有待中央地質調查所邀請學者專家討論是否將構造具相關性的數條斷層合併，視為同一斷層系統。

4. 假設再現週期之變異性

由於本研究針對第一類活動斷層中，其中參數比較完整的斷層，計算活動斷層未來的發生機率。本研究對於斷層的規模將根據歷史紀錄或斷層地質調查來決定，並考慮再現週期之變異性分別有0.3及0.5變化區間，進行計算第一類活動斷層未來發生機率。

5. 建立地震發生機率模型

所謂地震發生機率，意指在未來某段時間內發生下一次地震的難易程度。根據應力累積的觀念，認為大地震發生後應力累積時間會增長，因此前一次地震發生後，下一次災害性地震發生的機率會隨著時間增長而增加，因此以條件機率模型來計算未來地震發生機率：

$$P(T_p | E_m, T_e) = 1 - \frac{1 - P(T_e + T_p | E_m)}{1 - P(T_e | E_m)} \quad (3.1)$$

考慮到地震事件的再現週期及已發生的等待時間（ T_e ），將 $P(T|E_m)$ 定義為考慮大於等於地震規模 E_m 的再現週期 T_r 所建立的機率密度函數，而 T_e 則為上次地震發生時間至今的靜待時間（Elapse Time），因此在未來 T_r 年內發生地震規模大於等於 E_m 之發生機率為 $P(T_p | E_m, T_e)$ ，各參數相關的關係以圖3.2說明之。

依據過去的經驗，一般具有災害潛勢的地震在時間上為可預期事件，過去一般常採用指數分佈（Exponential Distribution）之統計分析來描述再現週期（ T_r ），另外有學者曾提出其他數種間隔時間在統計

上的可能分佈，如韋伯分佈（Weibull Distribution）、對數常態分佈（Log-Normal Distribution）、伽瑪分佈（Gamma Distribution）等。本研究為了測試何種分佈較為適合，首先假設再現週期（ $x = T_r$ ）在統計上依循對數常態分佈（Log-Normal Distribution）。其函數如下所示：

對數常態分佈（Log-Normal Distribution）

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.2)$$

$$m = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (3.3)$$

$$v = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2} \quad (3.4)$$

其中 T_r 為地震事件 E_m 的再現週期或再現間隔，進一步分析出某特定規模之平均再現週期 $\mu (T_r)$ 及標準偏差 σ ，且由此二參數算出的變異係數（Coefficient Of Variation, COV，為兩者的倍率關係 σ/μ ）可容易的看出資料分散程度。

除了對數常態分佈外，本研究亦將各個區域分別做指數分佈、韋伯分佈、伽瑪分佈的比較，其三種函數如下：

指數分佈（Exponential Distribution）

$$f(x; \beta) = \beta e^{-\beta x} \quad (3.5)$$

$$m = \frac{1}{\beta} \quad (3.6)$$

韋伯分佈（Weibull Distribution）

$$f(x; k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} \quad (3.7)$$

$$m = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3.8)$$

$$v = \lambda^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)^2 \right\} \quad (3.9)$$

伽瑪分佈 (Gamma Distribution)

$$f(x; \alpha, \beta) = x^{\alpha-1} \frac{\beta^\alpha e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} \quad (3.10)$$

$$m = \frac{\alpha}{\beta} \quad (3.11)$$

$$v = \frac{\alpha}{\beta^2} \quad (3.12)$$

f 為各種分佈之機率密度函數， m 為平均值， v 為變異數。四種分佈之機率密度函數當中，除了指數分佈包含了一個參數 (β) 外，其他三種機率密度函數各包含了兩個參數，其中，韋伯分佈有 (k, λ)；對數常態分佈有 (μ, σ)；伽瑪分佈有 (α, β)。由實際資料之統計可得到間隔時間之平均值 m 與變異數 v ，經由上述各分佈的平均值與變異數兩項方程式，便可推算各分佈所包含的兩個參數。

靜待期 (Elapse Time) 意指上一次地震發生至今的時間，本研究假設特定規模以上地震已等待時間 T_e 的大小，靜待期是影響特定規模地震發生機率的重要因素之一，依據應力累積的觀點，靜待期越長，累積的能量越多，未來發生地震之機率則相對增加。

3.2 斷層震源發生機率之評估

本研究由斷層之再現週期可建立發生機率模型，採用指數分佈、

韋伯分佈、對數常態分佈、伽瑪分佈四種機率分佈，並考慮各規模地震之靜待期，以圖 3.2 的方式將機率密度函數以面積比例計算，便可計算斷層在未來的可能發生機率。臺灣位處板塊碰撞帶，在地表擁有許多活動斷層，由於目前國內關於活動斷層方面之研究成果，仍缺乏完整的足夠相關資料。因此本研究採用中央地質調查所的部份第一類活動斷層中，其中參數（如斷層再現週期、斷層最大地震規模、斷層上次錯動時間等）比較完整的斷層（如表 3.1），並考慮再現週期之變異性 COV 分別有 0.3 及 0.5 變化區間，進行計算第一類活動斷層未來發生機率。表 3.2 及表 3.3 為 COV=0.3 時，第一類活動斷層在未來 30 與 50 年的發生機率。表 3.4 及表 3.5 為 COV=0.5 時，第一類活動斷層在未來 30 與 50 年的發生機率。此外，表 3.1 中有些斷層的再現週期是落在一個區間內（例如瑞穗斷層的再現週期為 170~210 年），因此分別有兩個對應的發生機率（例如表 3.2 中的 2.33%~0.34%）。

表3.1 第一類活動斷層參數（部分活動斷層）

中央地質調查所第一類活動斷層					
斷層	分類	長度 (km)	再現週期 (year)	最近一次活動 (year)	最大規模
新城斷層	一	29	2000	<300	(6.8)
屯子腳斷層	一	14	141	1935	7.1 (6.4)
車籠埔斷層*	一	38(北) 38(南)	200~700	1999	7.3 (7.3)
大茅埔—雙冬 斷層	一	69	2894	1999	(7.2)
梅山斷層	一	15	162	1906	7.1 (6.4)
新化斷層	一	6	188	1946	6.1 (6.0)
瑞穗斷層*	一	24	170~210	1951	(6.8)
玉里斷層*	一	23	170~210	1951	7.3 (6.7)
池上斷層*	一	64	50~125	2003	6.6 (7.2)

註：可能最大地震規模：採用歷史地震記錄用(ML)，資料摘自臺灣十大災害地震圖集(1999)。及氣象局觀測資料，括號內為依本表各斷層長度由Wells and Coppersmith(1994)公式計算之地震規模(Mw)。

表 3.2 第一類活動斷層(假設 COV=0.3)在未來 30 年發生機率

中央地質調查所第一類活動斷層未來 30 年發生機率 (%)				
COV=0.3	Lognormal	Exponential	Gamma	Weibull
新城斷層	0.00	1.48	0.00	1.04
屯子腳斷層	19.13	19.16	18.42	19.65
車籠埔斷層*	0.00 ~0.00	13.92 ~4.19	0.00 ~0.00	9.59 ~2.03
大茅埔－雙冬斷層	0.00	1.03	0.00	0.33
梅山斷層	25.42	16.90	23.55	17.93
新化斷層	1.57	14.74	2.60	13.64
瑞穗斷層*	2.33 ~0.34	16.17 ~13.31	3.49 ~0.91	15.11 ~11.77
玉里斷層*	2.33 ~0.34	16.17 ~13.31	3.49 ~0.91	15.11 ~11.77
池上斷層*	24.20 ~0.00	45.11 ~21.33	24.41 ~0.08	42.90 ~16.05

表 3.3 第一類活動斷層(假設 COV=0.3)在未來 50 年發生機率

中央地質調查所第一類活動斷層未來 50 年發生機率 (%)				
COV=0.3	Lognormal	Exponential	Gamma	Weibull
新城斷層	0.00	2.46	0.00	1.75
屯子腳斷層	40.03	29.85	37.84	31.24
車籠埔斷層*	0.01	22.11 ~6.89	0.08 ~0.00	16.59 ~3.62
大茅埔－雙冬斷層	0.00	1.71	0.00	0.60
梅山斷層	45.42	26.55	42.60	28.55
新化斷層	6.67	23.35	8.09	22.27
瑞穗斷層*	9.55 ~2.14	25.48 ~21.18	10.84 ~3.41	24.56 ~19.38
玉里斷層*	9.55 ~2.14	25.48 ~21.18	10.84 ~3.41	24.56 ~19.38
池上斷層*	76.13 ~0.80	63.21 ~32.96	74.73 ~1.70	63.91 ~27.26

表 3.4 第一類活動斷層(假設 COV=0.5)在未來 30 年發生機率

中央地質調查所第一類活動斷層未來 30 年發生機率 (%)				
COV=0.5	Lognormal	Exponential	Gamma	Weibull
新城斷層	0.01	1.48	0.13	0.53
屯子腳斷層	25.33	19.16	22.26	19.79
車籠埔斷層*	0.12 ~0.00	13.92 ~4.19	1.14 ~0.01	4.74 ~0.54
大茅埔－雙冬斷層	0.00	1.03	0.00	0.04
梅山斷層	25.81	16.90	22.49	19.14
新化斷層	9.61	14.74	10.19	11.40
瑞穗斷層*	11.50 ~5.43	16.17 ~13.31	11.82 ~6.98	12.86 ~9.07
玉里斷層*	11.50 ~5.43	16.17 ~13.31	11.82 ~6.98	12.86 ~9.07
池上斷層*	38.57 ~1.28	45.11 ~21.33	37.56 ~3.78	38.61 ~9.35

表 3.5 第一類活動斷層(假設 COV=0.5)在未來 50 年發生機率

中央地質調查所第一類活動斷層未來 50 年發生機率 (%)				
COV=0.5	Lognormal	Exponential	Gamma	Weibull
新城斷層	0.02	2.46	0.24	0.90
屯子腳斷層	41.99	29.85	37.42	32.74
車籠埔斷層*	1.35 ~0.00	22.11 ~6.89	3.90 ~0.05	9.63 ~1.12
大茅埔－雙冬斷層	0.00	1.71	0.00	0.09
梅山斷層	41.29	26.55	36.77	31.31
新化斷層	19.67	23.35	19.18	19.74
瑞穗斷層*	23.22 ~12.51	25.48 ~21.18	22.15 ~13.77	22.23 ~15.94
玉里斷層*	23.22 ~12.51	25.48 ~21.18	22.15 ~13.77	22.23 ~15.94
池上斷層*	72.11 ~8.80	63.21 ~32.96	69.14 ~12.30	65.01 ~19.04

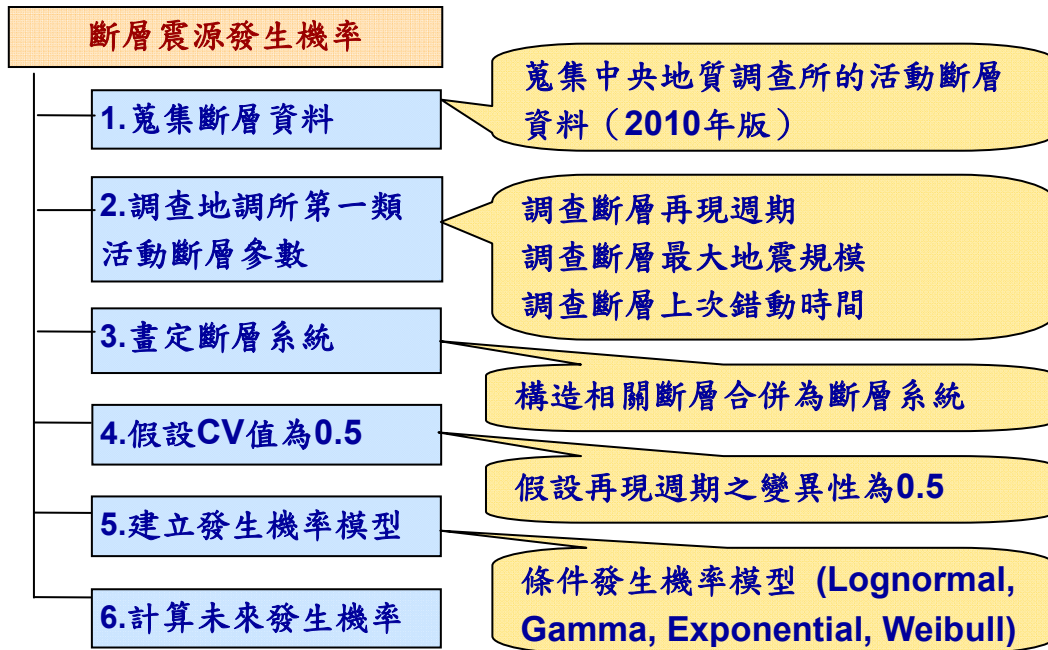


圖 3.1 斷層震源的發生機率分析流程及步驟

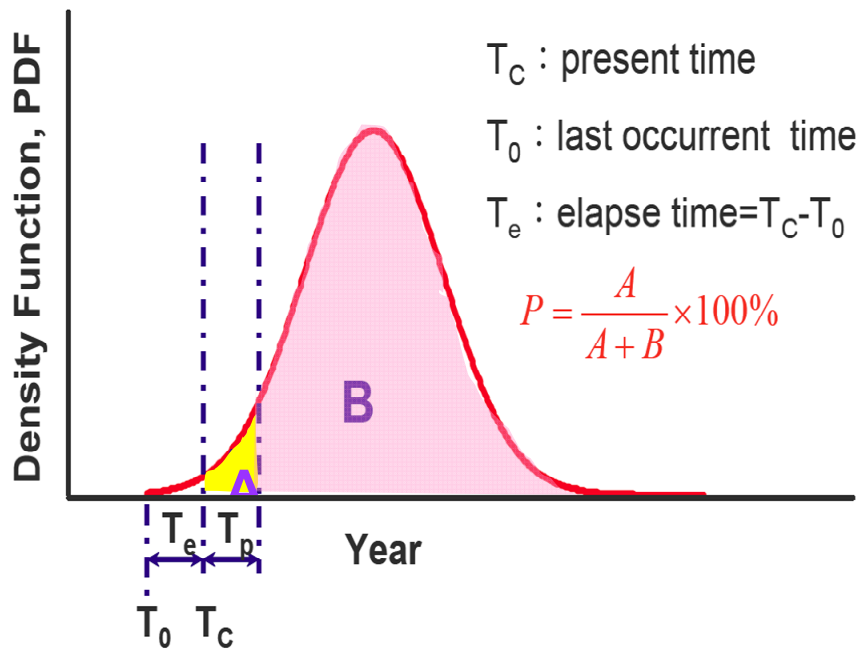


圖 3.2 未來發生機率計算模型

第四章 加速度衰減模式之強地動預估

一般的衰減模式多是使用震源形態，距離，測站場址等參數。而在分析測站場址的影響時，一般的衰減模式都將場址特性分為軟弱土層跟岩盤兩種，分別建立堅硬地盤及軟弱地盤不同的最大地表加速度衰減模式。由於臺灣目前對於測站場址並沒有完整的分類，所以本研究參考張毓文（2002）、詹皓凱（2008）兩階段的計算步驟，以求得較佳的最大地表加速度的預測值。第一階段利用參考的衰減模式進行分析，本研究使用簡文郁（2001）不考慮場址因素的衰減模式來進行最大地表加速度的預測，得到各測站初步的預測值。因為第一階段的計算並未考慮到場址特性的影響，第二階段為了要得到較可靠的預估結果，利用各測站的實際地震觀測值與第一階段參考的衰減模式所算得到的預測值，進行回歸分析的計算，而得到各測站本身對於參考的衰減模式之場址特性的修正函數。最後將第一階段計算的結果進行場址特性的修正計算，以求得較佳的最大地表加速度的預測

4.1 參考的最大地表加速度衰減模式

當地震發生後，地震波從震源傳遞到接收測站之間的過程十分複雜，涉及諸多變數，即接收測站所收到的地動值受到震源、路徑以及場址效應的影響。但若要逐一模擬每一參數，所使用的衰減模式將非

常複雜並且難以配合工程上的應用，故選擇型式簡單而相關性強的參數，有助於衰減模式的分析與應用。所以本研究第一階段的計算，使用簡文郁（2001）不考慮場址因素的衰減模式來進行最大地表加速度的預測。簡文郁利用Campbell（1981）所提出的衰減模式進行回歸分析：

$$y=PGA(g)=f(M,R)=C_1e^{C_2M}[R+C_4\exp(C_5M)]^{-C_3} \quad (4.1)$$

其中 PGA：地表最大加速度值，M：芮氏規模，R：距離， $C_1\sim C_5$ ：衰減模式之係數。簡文郁使用的地震資料主要是針對：

1. 芮氏規模5.0以上及震源深度35公里以內。
2. 包含全部即時站地震紀錄及25公里以內的自由場強震站地震紀錄。
3. 為避免回歸分析權重不一，排除臺北及宜蘭盆地有場址放大效應的測站紀錄。
4. 使用兩水平方向（EW，NS）地表最大加速度值的幾何平均值來進行回歸分析。

採用符合上述條件地震所觸發的測站紀錄，對式（4.1）進行回歸分析，求出 PGA、 $S_a(0.3 \text{ 秒})$ 及 $S_a(1 \text{ 秒})$ 衰減模式之 $C_1\sim C_5$ 係數（表 4.1），得到第一階段參考的衰減模式。而在進行分析時，由於衰減模式本身為非線性函數，屬於非線性回歸分析，故採用最小平方法對式（4.1）求得最適合的係數。考慮到地震動衰減所具有的不確定性，故以對數分佈來含括地表最大加速度峰值在衰減過程中所含有之不確定因素。

由第一階段參考之衰減模式得到的初步預測值，並未考慮到場址效應的因素，而中央氣象局所設置的測站大多皆位於都會區中，而都會區大多都為沖積層或盆地地形，而參考之衰減模式利用這些測站之地震紀錄，排除有明顯場址放大效應的臺北盆地與宜蘭盆地的測站紀錄，分析得到結果可視為各類測站之場址特性的平均結果，僅適用於臺灣地區一般場址做地震評估的參考。

4.2 場址特性的修正函數

由前人對臺灣測站的場址效應所做的研究，可得知在地質上位於沖積層測站所量測到的地動值皆會大於岩盤站測站所量測的地動值，由於臺灣的測站大部分都位於都會區內，而都會區大多都為沖積層或盆地地形，這類地形當地震波傳遞至此時，會產生震波放大現象。因此這些沖積層或盆地地形，在做地震災害潛勢分析時必須考慮到場址放大效應之影響。所以本研究利用第一階段所得到的衰減模式預測結果跟測站實測值兩者做回歸分析，用回歸分析所得到的係數為修正函數，做為第二階段修正測站的場址特性。本研究主要是利用中央氣象局強地動觀測網及速報系統的地震資料，為了補強各測站所得到之地震紀錄的資料量，增加中研院山區強震站的地震資料（圖4.1），本研究分析時使用的地震資料：

1. 芮式規模5.0以上，其中包含集集主震及其餘震。
2. 震源深度在50公里以內。
3. 包含全部即時站地震紀錄及自由場強震站地震紀錄。
4. 使用兩水平方向（EW，NS）PGA 峰值的幾何平均值來進行分析。

偏差分析（Bias）

為釐清各測站之實際觀測值對第一階段利用參考之衰減模式預估結果之間誤差的形成原因，則藉由此誤差殘值（Residual）作正規化計算後，進行誤差分析。進行分析時，定義實測值對參考衰減模式之系統誤差為：

$$Err_i = \ln(PGA_{obs})_i - \ln(Y_{att})_i \quad (4.2)$$

其中， PGA_{obs} 為測站實測值， Y_{att} 為對應之參考衰減模式預測值。利用各測站在不同地震下實測值對參考衰減模式之系統誤差，建立正規化誤差殘值 NR_i （Campbell, 1981），定義為

$$NR_i = \frac{(Err_i) - MR}{\sigma_{Err_i}} \quad (4.3)$$

其中 MR 為測站實測值對參考衰減模式之系統誤差的平均值， σ_{Err_i} 為參考衰減模式之標準偏差。利用正規化誤差殘值，針對每一個測站進行分析。計算出各測站之正規化誤差殘值，來得到該測站對於不同地震特性之 NR_S 值，定義為：

$$NR_S = NR_i, i \in S \quad (4.4)$$

其中 $i \in S$ ， i 表示第二階段所有地震紀錄 S 。而各測站對於不同地震特性

之正規化誤差殘差越接近零，表示該測站利用於第一階段參考之衰減模式得到的預測值越接近測站收到的實際觀測值。由於本研究所使用之參考衰減模式，在對地震紀錄進行分析時，並未對主要影響地動值的震源、路徑、場址等因素做處理，所得到各測站之系統偏差以平均的效果處理這三個因素。但在針對某一測站分析其標準偏差時，其處理之資料包含各種規模及距離的地震紀錄，故對於震源及路徑的因素會因平均的效應而被排除。為釐清此三種因素對正規化誤差殘值的影響，將各測站的正規化殘差在距離跟規模之間分佈情形做比較，於圖4.2繪出部分測站正規化殘差分佈結果。由結果得知各測站之正規化誤差殘值跟規模與距離之間的關聯性不高，代表參考之衰減模式分析時已將路徑及震源因素以平均的方法排除掉。另外由圖4.3顯示各測站之誤差殘值皆隨觀測PGA呈半對數關係，顯示此一系統偏差為觀測PGA大小之函數。故各測站之場址效應可經由各測站實測值對參考衰減模式預測值之間的系統偏差量加以校正。

場址特性之分析

由上述分析得知，顯示參考之衰減模式由震源及路徑因素所造成的誤差，可藉由採取平均的方式消除。而誤差主要的來源則反應了測站的場址特性。因此，為了排除測站之場址效應對地動值的影響，將該測站所實際測量的PGA值與參考衰減模式預估的PGA值取對數後做

回歸分析，建立兩者之間的線性關係式，利用線性關係式中得到的函數做為測站之場址特性修正函數。分別對各測站使用上述之方法，建立起各測站實測值與參考衰減模式預估值之間的線性關係式，得到各測站之場址特性修正函數，此關係式定義如下：

$$\ln(\text{PGA}_{\text{obs}})_S = C_0 + C_1 \times \ln(\text{Y}_{\text{att}})_S \quad (4.5)$$

其中 PGA_{obs} 為測站所收到實際觀測值， Y_{att} 為測站利用參考之衰減模式的預測值。使用最小平方法回歸分析來得到測站之場址修正函數 C_0 、 C_1 值。由於部分測站收到的地震紀錄過少，回歸分析後的結果可能不具代表性，故在進行分析時不對這些測站做回歸分析之步驟。圖4.4繪出部分測站的實測值與參考之衰減模式初步預測值，與 C_0 、 C_1 值修正之趨勢。經場址特性函數修正後，得到較佳之預測值 PGA_{sic} 。

4.3 兩階段的強地動預估方法

衰減公式代表在不同規模的地震下地表地動值隨距離產生的衰減關係式。而影響衰減公式的主要參數為規模、距離跟場址係數，利用這些參數建立的衰減公式可以預測各測站的地表地動值。因此只要指定某一震源位置與特定地震規模，將可以推估各地的強地動情形。例如，圖4.5為過去災害地震與第一階段、第二階段最大地表加速度預測值之比較，可以發現經場址特性函數修正後，將可以求得較佳的最大地表加速度的預測值。

表 4.1 簡文郁 (2001) 衰減模式係數與誤差之標準偏差分析結果

Case	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	$\sigma_{\ln Err}$
PGA	0.00369	1.75377	2.05644	0.12220	0.78315	0.7564
Sas	0.00974	1.73484	2.08572	0.11365	0.80032	0.7468
Sal	0.00279	1.77305	2.04190	0.11542	0.77139	0.8560

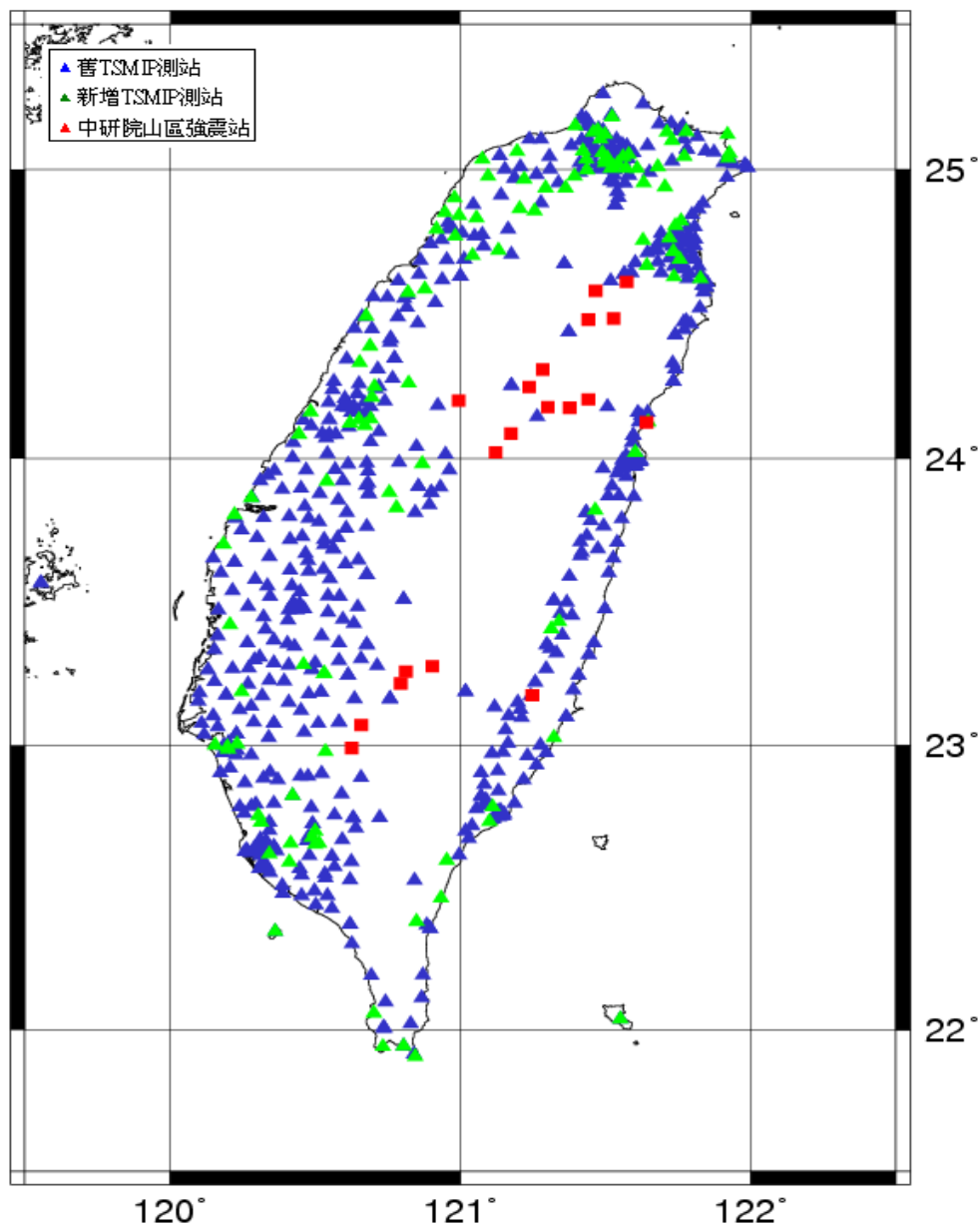


圖 4.1 中央氣象局自由場強震站及中央研究院山區強震站位置圖

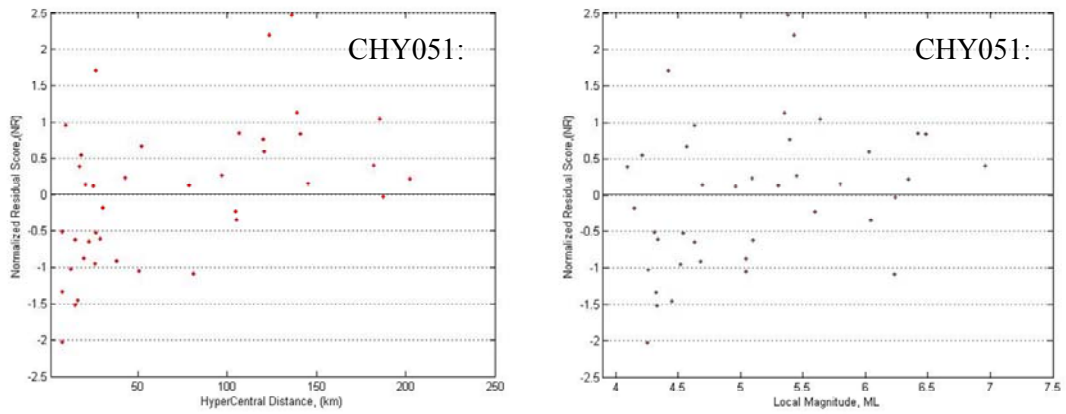


圖 4.2 測站正規化誤差殘值分別對地震規模與震源距離之比較

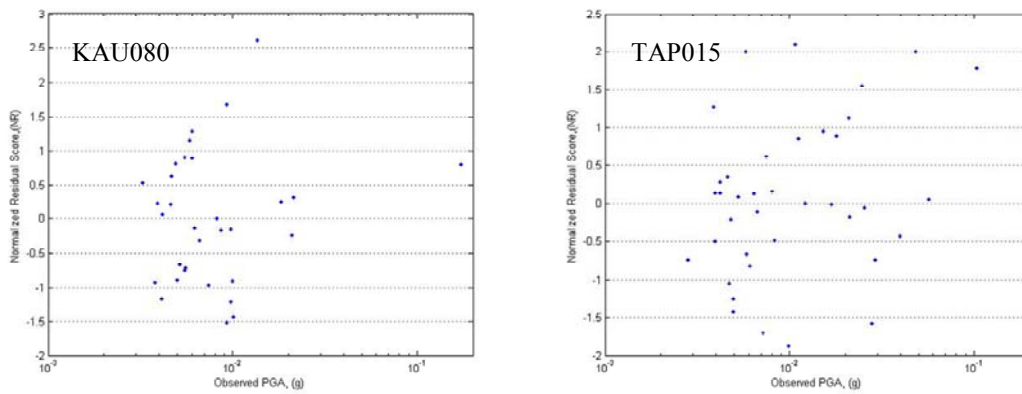


圖 4.3 測站誤差統計分析之正規化誤差殘值對 PGA 值之關係

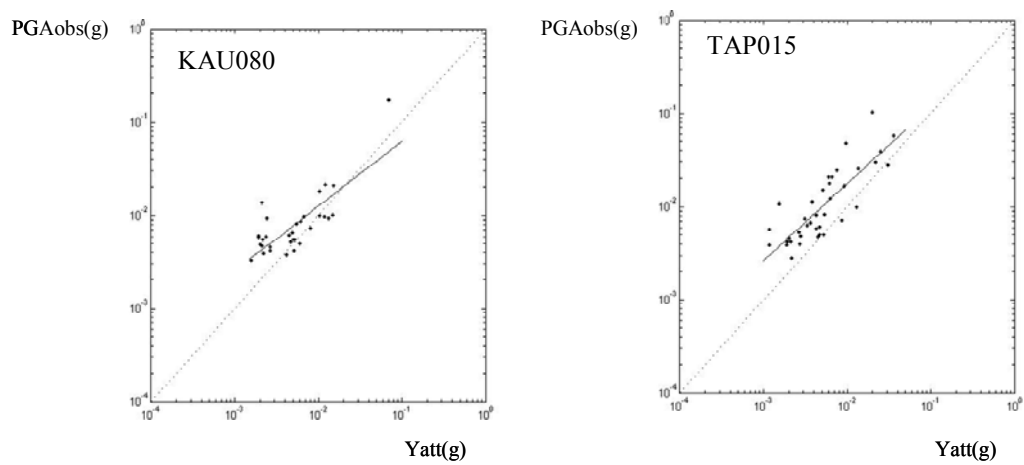


圖 4.4 即時站實測值與第一階段計算結果比較及其修正函數

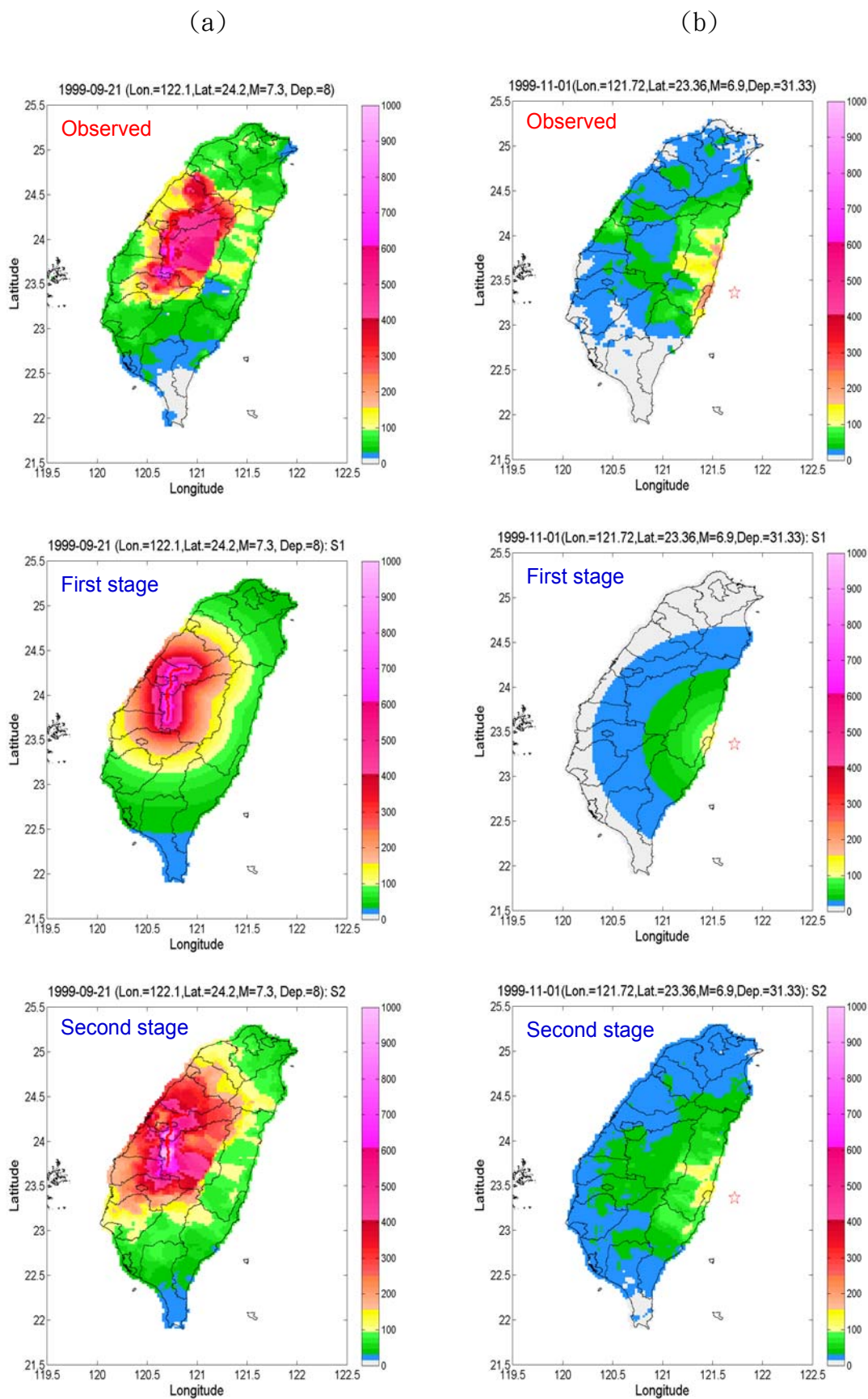


圖 4.5 過去災害地震與第一階段、第二階段加速度預測值之比較

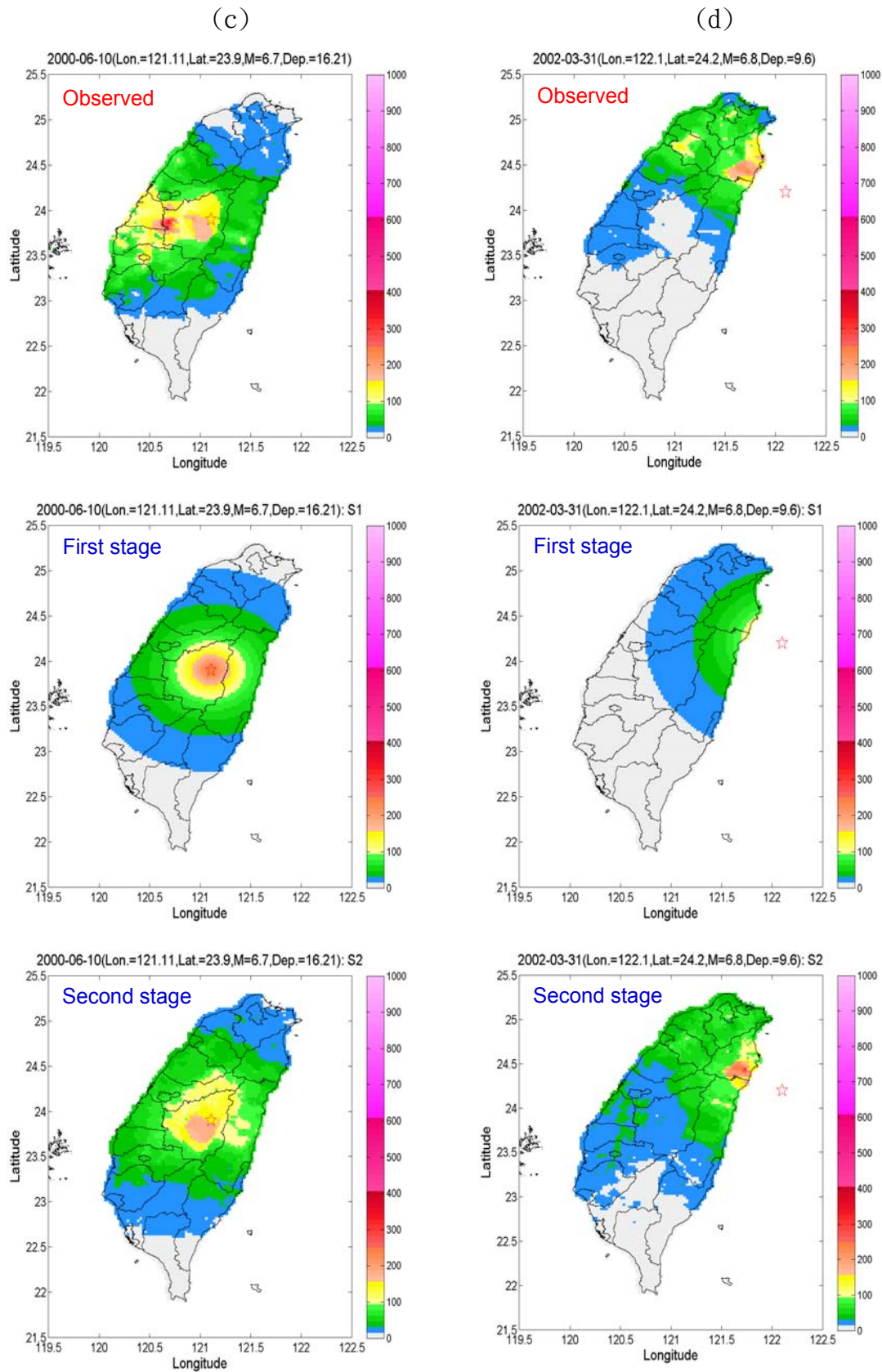


圖 4.5 (續) 過去災害地震與第一階段、第二階段加速度預測值之比較

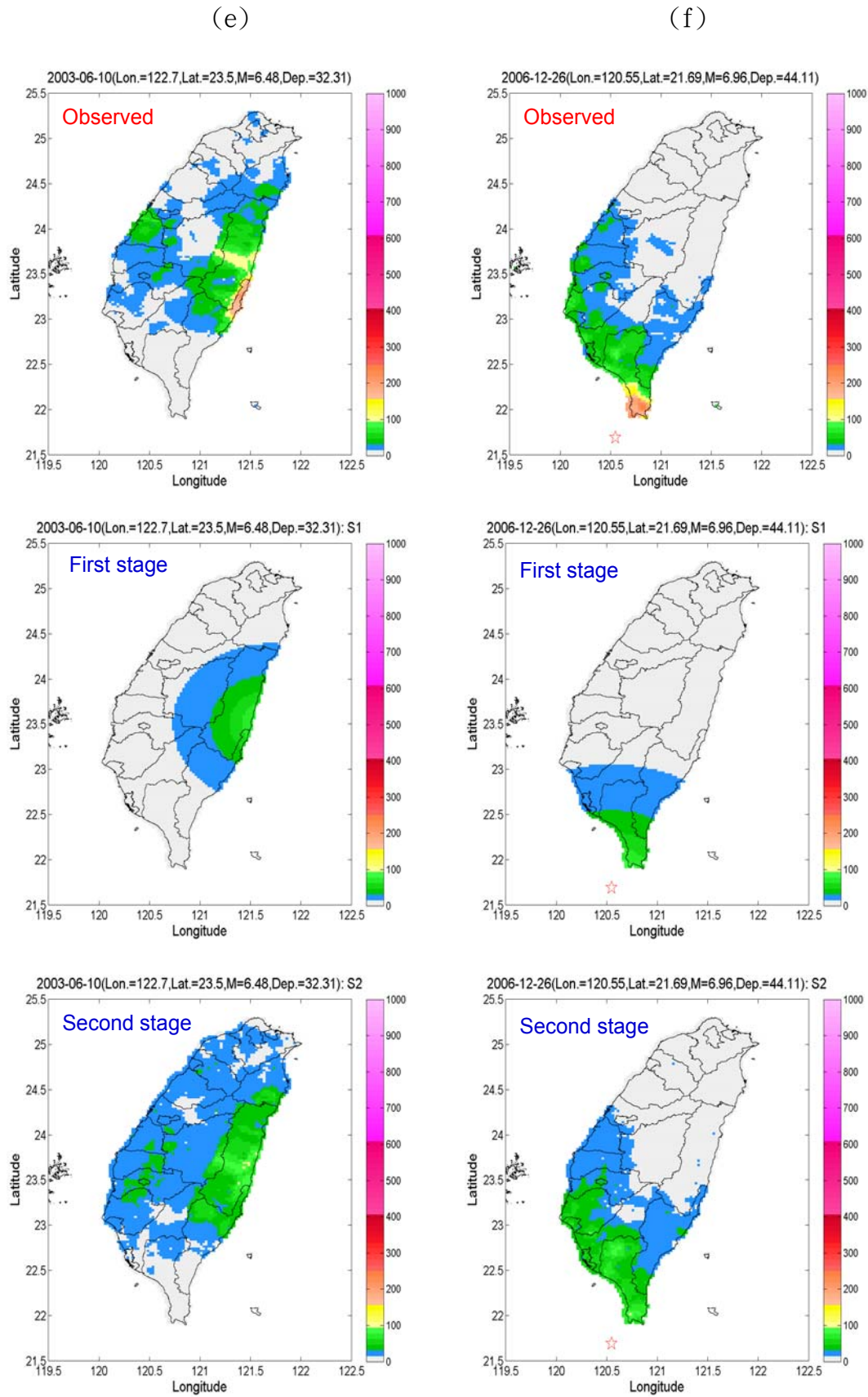


圖 4.5 (續) 過去災害地震與第一階段、第二階段加速度預測值之比較

第五章 大臺北示範區的強地動預估

本研究以大臺北地區為例，說明強地動預估的分析流程。本研究首先調查大臺北地區以往的歷史災害地震記錄、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源（Regional Source）的未來發生機率，以決定大臺北地區的可能潛在震源。其次利用加速度衰減模式進行強地動預估，由前人的研究得知沖積層或盆地地形會產生震波放大現象，由於臺灣的都會區大多都為沖積層或盆地地形，分析時必須考慮到場址放大效應之影響。因此本研究採用兩階段的強地動預估步驟，第一階段利用簡文郁（2001）不考慮場址的衰減模式來進行最大地表加速度（PGA）的預測，第二階段參考張毓文（2002）、詹皓凱（2008）所提出的場址特性的修正函數，修正第一階段的預估值，以求得較佳地表加速度的預測值。

5.1 大臺北地區的可能潛在震源

在規劃地震災害防治工作時，首先應設定各種可能潛在震源，以便得到合理的災損評估結果，才可以提出地區適當的「地震減災對策」。本研究首先調查大臺北地區的歷史災害地震、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源的未來發生機率，以探討大臺北地區的可能潛在震源。

大臺北地區的歷史災害地震

本研究首先蒐集整理以往臺灣的歷史古文獻及歷年地震觀測記錄，探討大臺北地區以往的歷史災害震源。大臺北地區的歷史災害地震彙整如表 5.1 所示，表中的地震事件 1~6 是參考臺灣的歷史古文獻，地震事件 7~13 是參考臺灣的歷年地震觀測記錄。圖 5.1 是大臺北地區的歷史災害地震分佈圖。

臺灣區域震源的未來發生機率

本研究參考許京穎（2008）的研究以及國家災害防救科技中心的臺灣區域震源發生機率潛勢圖，探討大臺北地區未來的潛在震源。本文限於篇幅僅呈現臺灣區域震源發生機率潛勢圖的部份成果，如圖 5.2 為區域震源可能致災規模之未來發生機率。

中央地質調查所的活動斷層調查

活動斷層一旦發生錯動，可能造成地盤的位移，或導致山崩、土壤液化，甚至對結構物造成嚴重的破壞，因此斷層活動為地震災害防治工作不容忽視因素之一。在規劃地震災害防治工作時，應設定各種可能潛在震源，以便得到合理的災損評估結果，所以本研究在探討大臺北地區的可能潛在震源時，亦考慮活動斷層之因素（如圖 5.3）。

綜合以上大臺北地區的歷史災害地震、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源的未來發生機率的調查，大臺北地區的潛在震

源，可能有以下類型：

(1) 遠距離的點震源（淺源地震）：

如1986/11/15規模6.7的花蓮外海地震造成中和華陽市場倒塌。

如2002/3/31規模6.8的花蓮外海地震造成101大樓吊車倒塌。

(2) 直下型的點震源（深源地震）：

如1909/4/15規模7.3及深度80 km的臺北地震。

(3) 遠距離的斷層震源：

如1999/9/21規模7.3的集集地震造成房屋倒塌及人員傷亡。

如1935年的新竹—臺中烈震，獅潭、神卓山、屯子腳斷層同時錯移。

(4) 直下型的斷層震源：

如山腳斷層在未來如果發生錯動。

5.2 大臺北地區之強地動預估

本研究依據大臺北地區的可能潛在震源，並考慮大臺北都會區大多為沖積層或盆地地形，分析時必須考慮到場址放大效應之影響，因此本研究採用前面所介紹的二階段的強地動預估方法，進行推估大臺北地區的最大地表加速度值的分佈圖。如圖 5.4 為遠距離點震源的境況模擬 Shakemap，如果花蓮外海遠距離淺震源發生規模 6.0 至規模 7.0 左右的地震，臺北地區地振動大致可達到震度 4 至 5 級，也就是地動

加速度在 0.25g 以下。一般建物設計只要能按照建築技術規則的相關規定，建物應不致遭受破壞。此時反而需注意宜蘭、花蓮地區可能會有災情傳出。圖 5.5 為直下型點震源的境況模擬 Shakemap，如果臺北地區直下型點震源（80 km）發生規模規模 7.3 左右的地震，相同的在臺北地區中，一般建物設計只要能按照建築技術規則的相關規定，建物應不致遭受破壞。圖 5.6 為遠距離斷層震源的境況模擬 Shakemap，本研究採用中央地質調查所公布活動斷層 2010 年版中，獅潭斷層長度只有 11 km，然而 1935 年的新竹—臺中烈震，造成獅潭、神卓山、屯子腳斷層同時錯移，有待中央地質調查所是否將這數條斷層合併，視為同一斷層系統。圖 5.7 為直下型斷層震源的境況模擬 Shakemap，本研究採用中央地質調查所公布活動斷層 2010 年版中，山腳斷層列為第二類活動斷層，目前尚無公布再現週期資料。此外，山腳斷層再現週期，學者專家說法也尚未有一致的看法。

表 5.1 大臺北地區的歷史災害地震

事件	發震時間	震災地區	北緯	東經	規模	深度 (km)	備註： 資料來源：氣象局網站
1	1694/4~5	臺北地區	25.0	121.5	7.0	-	地陷、形成康熙臺北湖
2	1811/3/17	嘉義以北地區	23.8	121.8	7.5	-	人死21、傷6、房倒41
3	1815/7/11	臺北、宜蘭	24.7	121.8	6.5	-	龍山寺傾倒
4	1815/10/13	嘉義以北地區	24.0	121.7	7.7	-	人死113、傷2、房倒243
5	1865/11/6	臺北、基隆	24.9	121.6	6.0	-	壽山巖崩壞、死亡頗多。
6	1867/12/18	臺北、基隆、新竹	25.3	121.7	7.0	-	海嘯、地裂、人死數百。
7	1909/4/15	臺北附近	25.0	121.5	7.3	80	9人死亡
8	1920/6/5	全臺	24.0	122.0	8.3	20	5人死亡
9	1935/4/21	新竹、臺中烈震	24.4	120.8	7.1	5	3276人死亡
10	1986/5/20	花蓮、臺北	24.1	121.6	6.2	16	1人死亡
11	1986/11/15	花蓮、臺北	24.0	121.8	6.8	15	中和華陽市場倒塌
12	1999/9/21	南投、臺中	23.9	120.8	7.3	8	東星大樓、博士的家倒塌
13	2002/3/31	花蓮、臺北	24.2	122.1	6.8	9.6	101大樓吊車倒塌

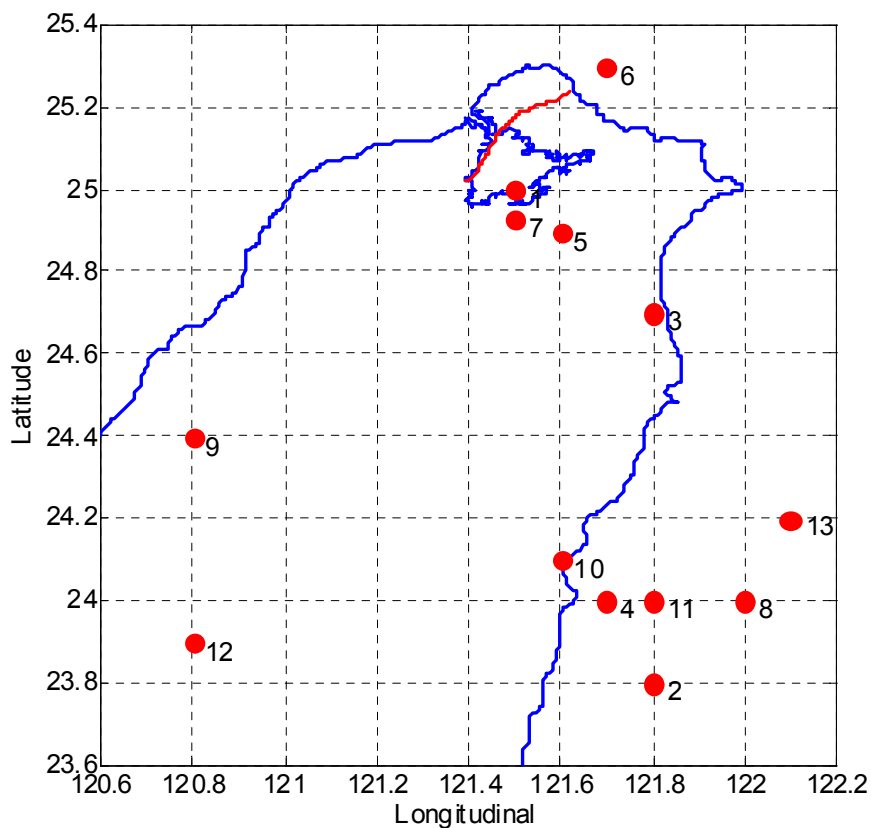


圖 5.1 大臺北地區的歷史災害地震分佈圖

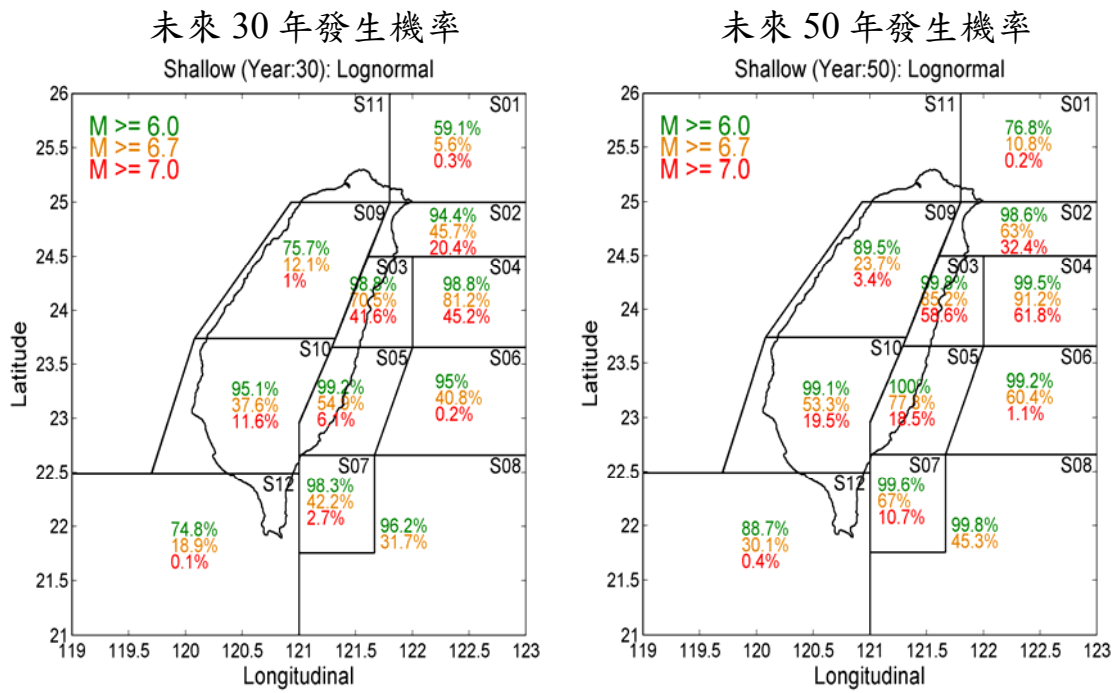


圖 5.2 區域震源可能致災規模之未來發生機率 (a)大分區淺震源

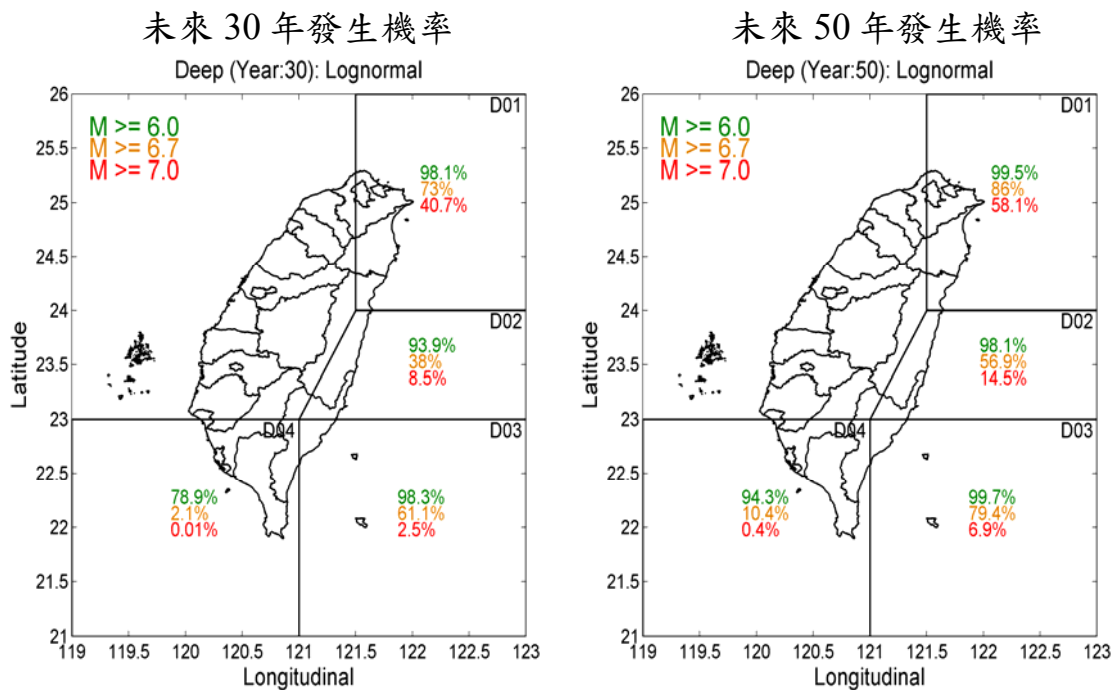


圖 5.2 (續) 區域震源可能致災規模之未來發生機率 (b)大分區深震源

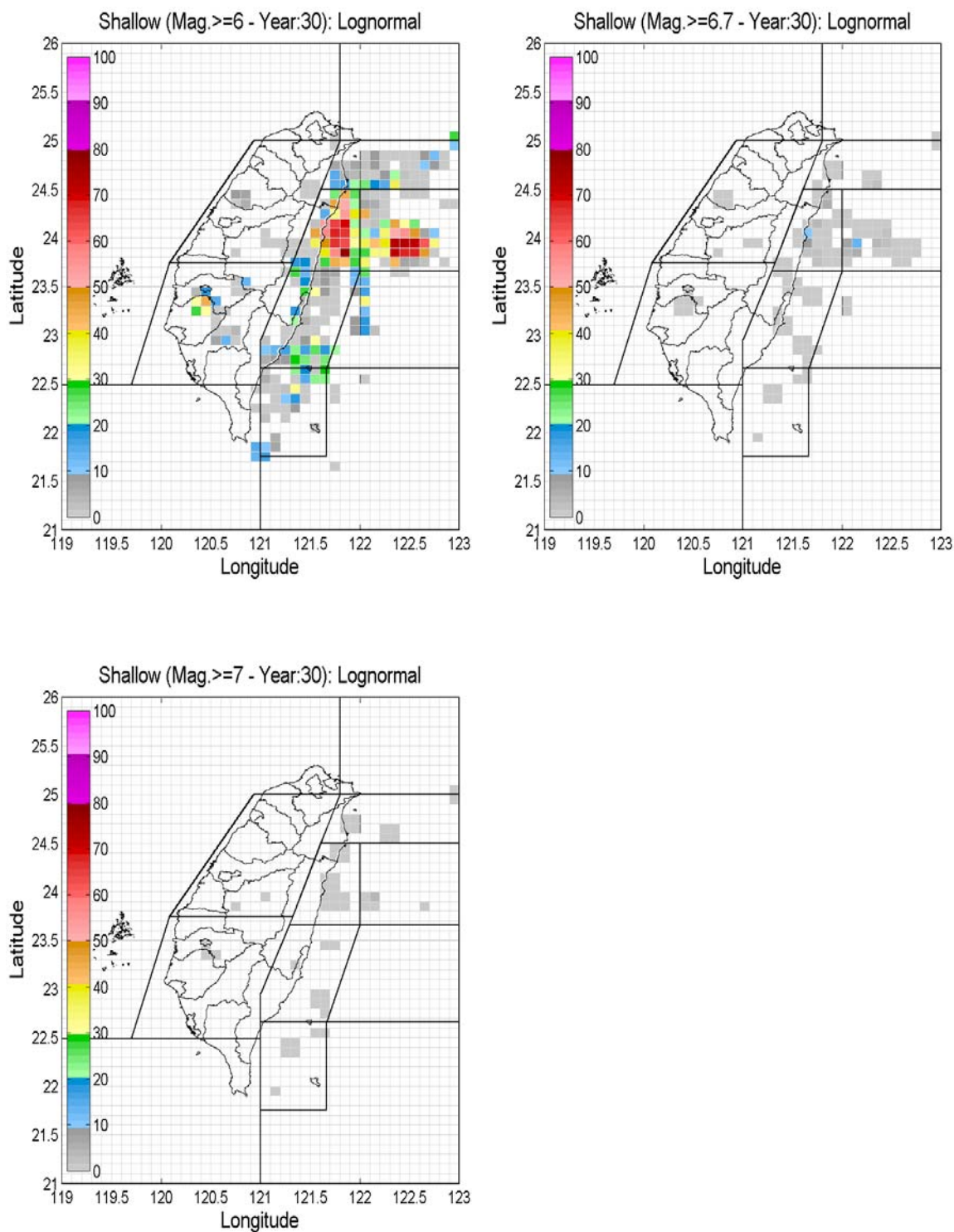


圖 5.2 (續) 區域震源可能致災規模之未來發生機率 (c) 網格化淺震源未來 30 年發生機率

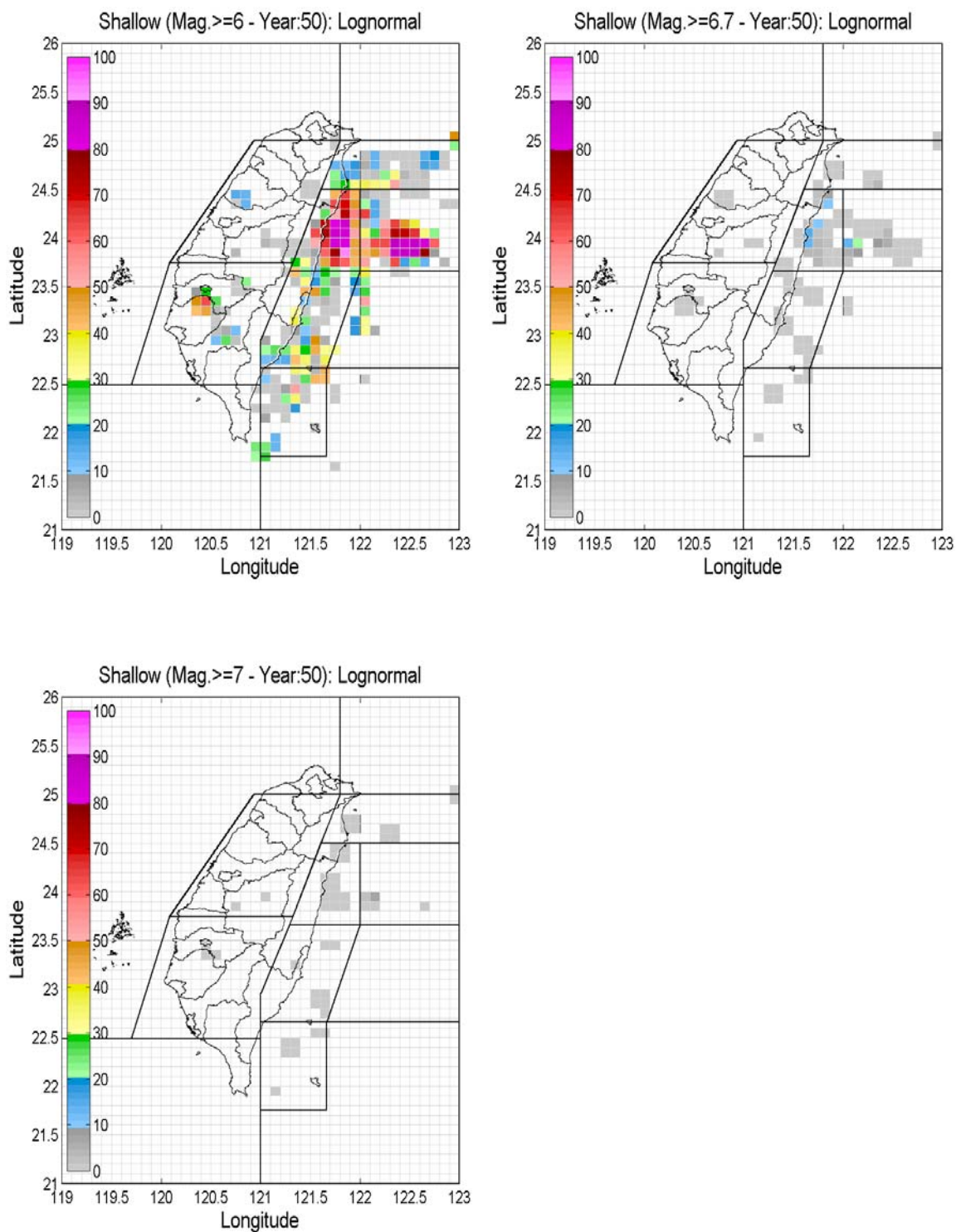


圖 5.2 (續) 區域震源可能致災規模之未來發生機率 (d) 網格化淺震源未來 50 年發生機率

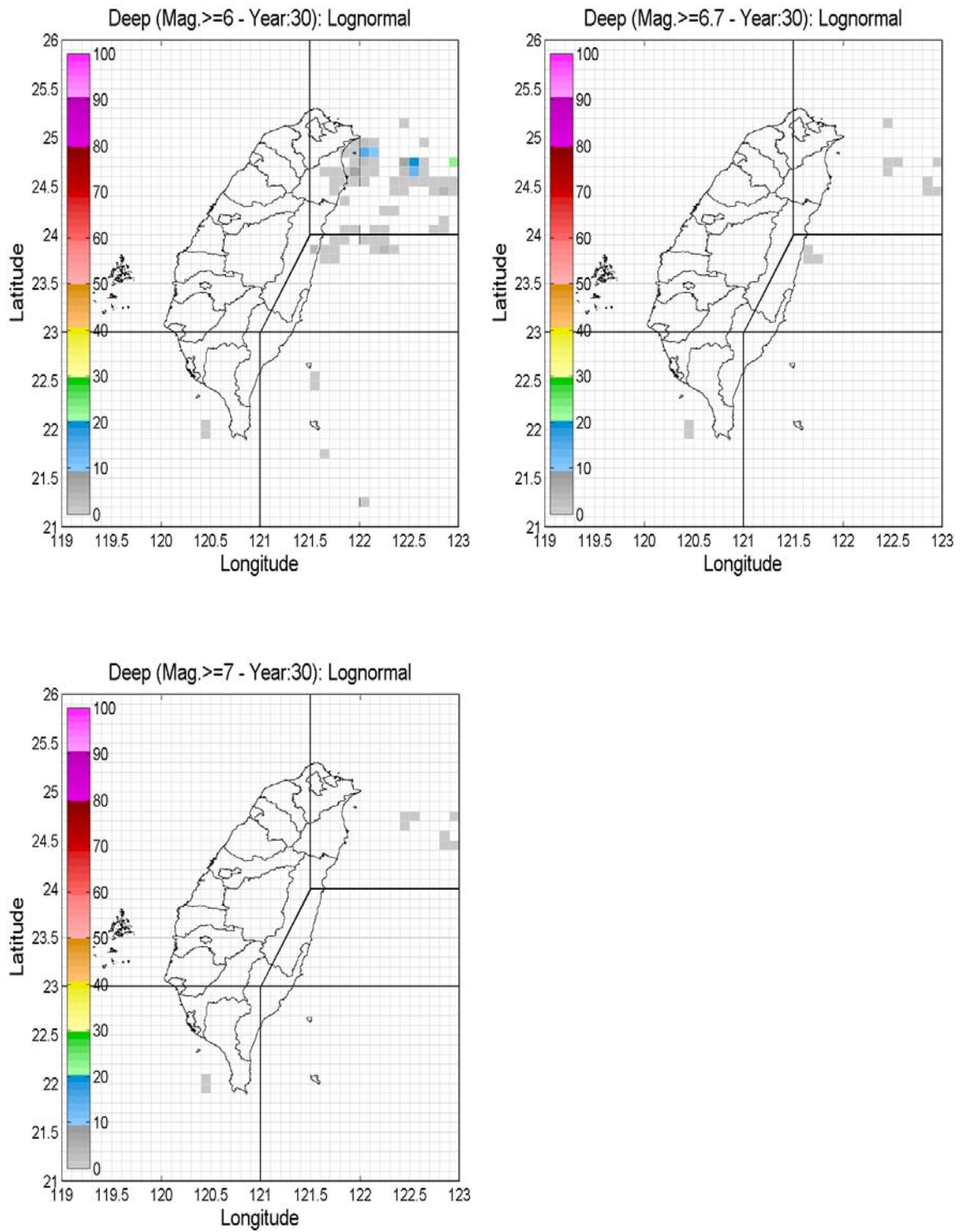


圖 5.2 (續) 區域震源可能致災規模之未來發生機率 (e) 網格化深震源未來 30 年發生機率

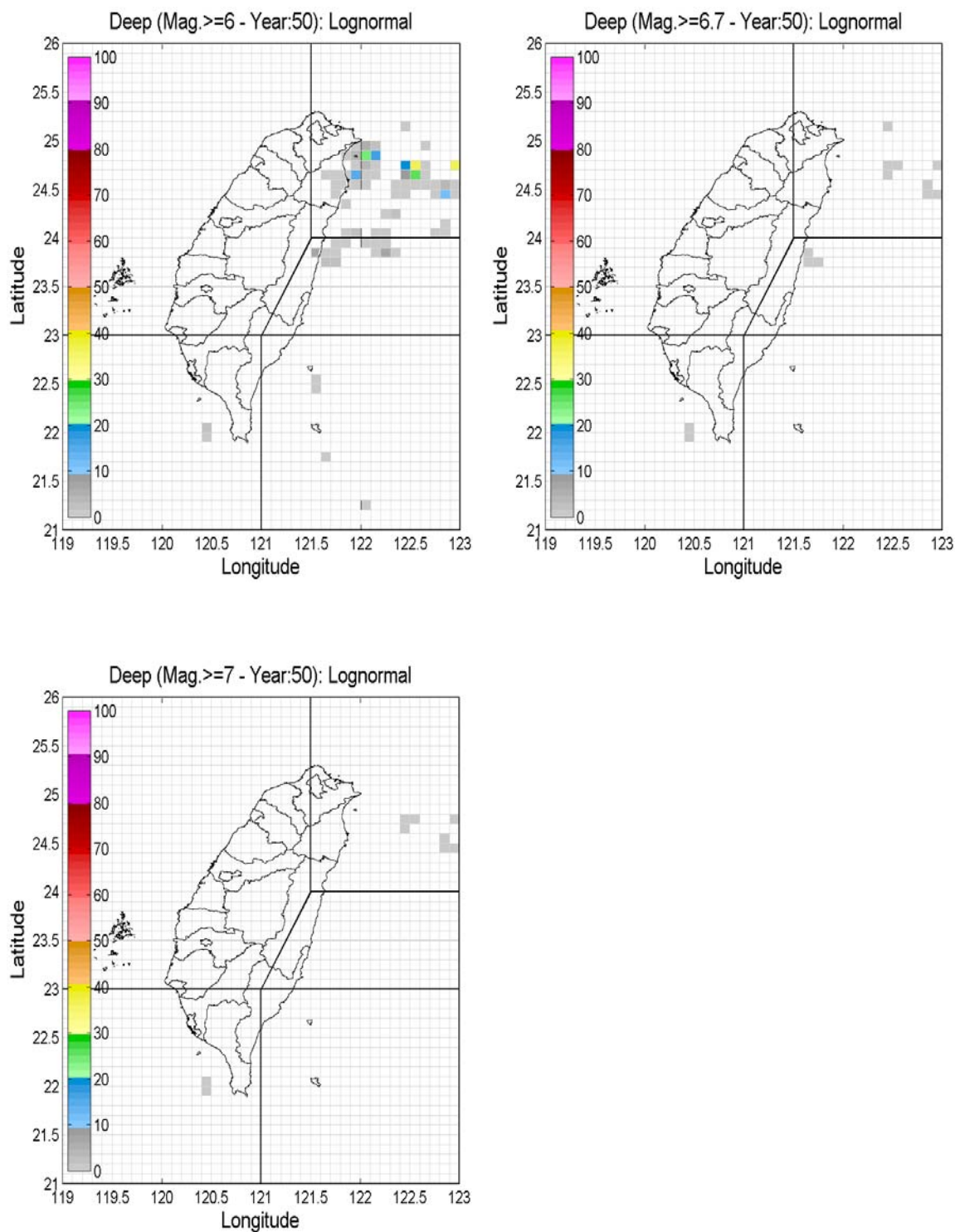


圖 5.2 (續) 區域震源可能致災規模之未來發生機率 (f) 網格化深震源未來 50 年發生機率

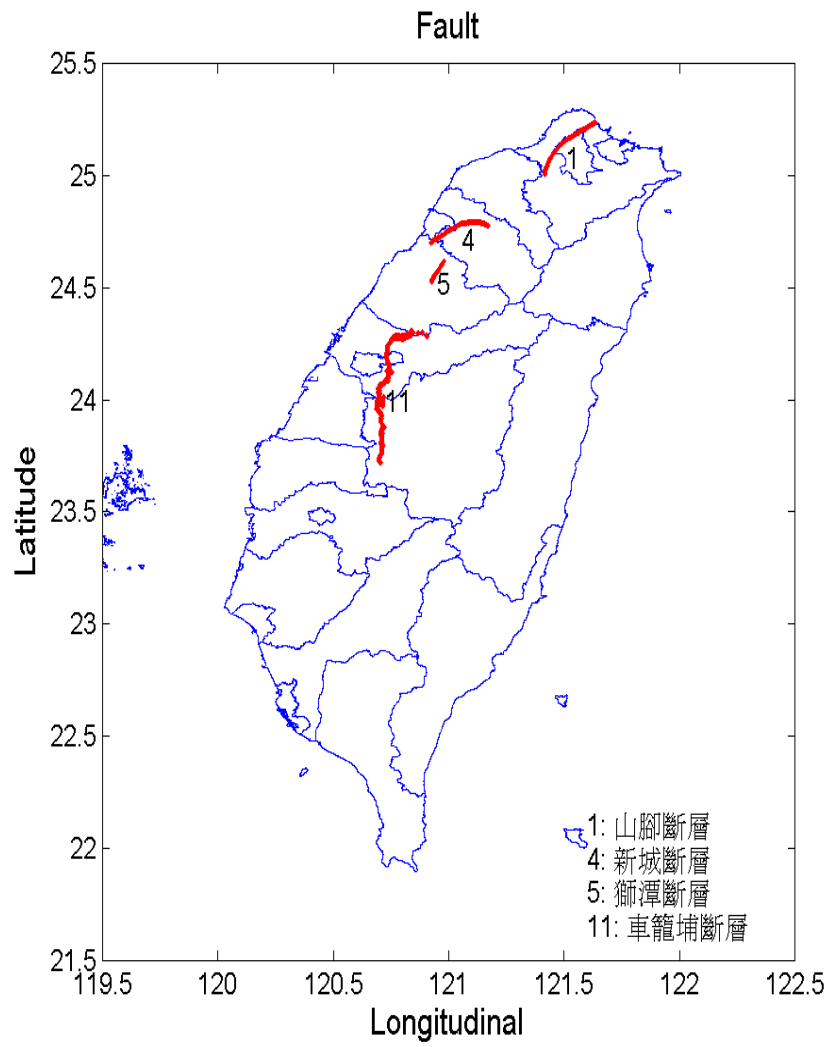


圖 5.3 大臺北地區可能潛在的活動斷層震源

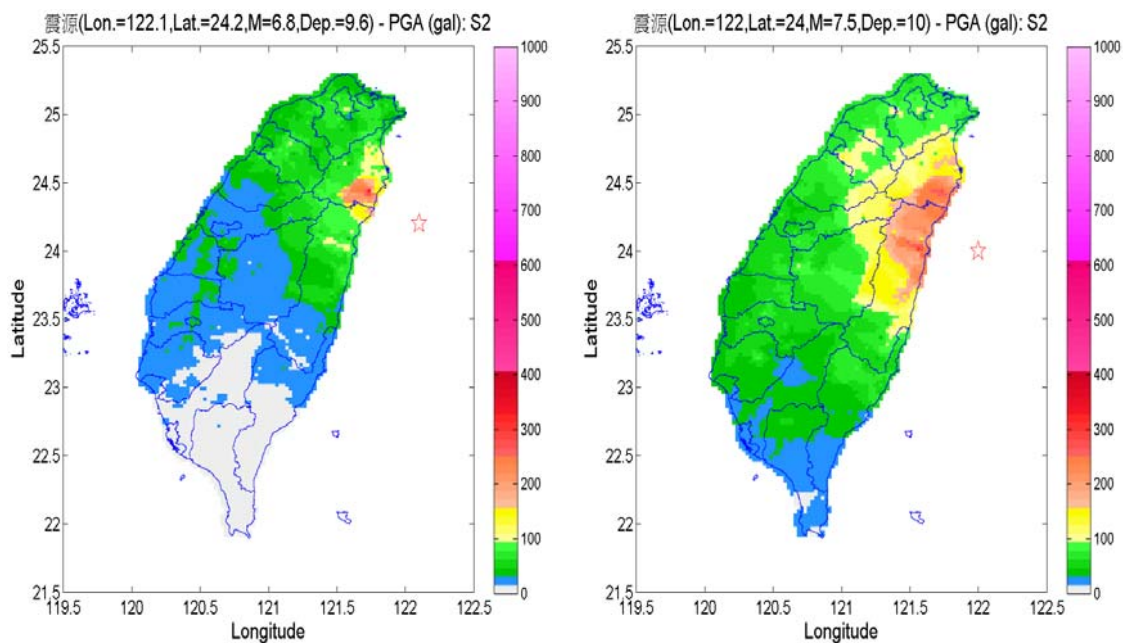


圖 5.4 遠距離點震源的境況模擬 Shakemap

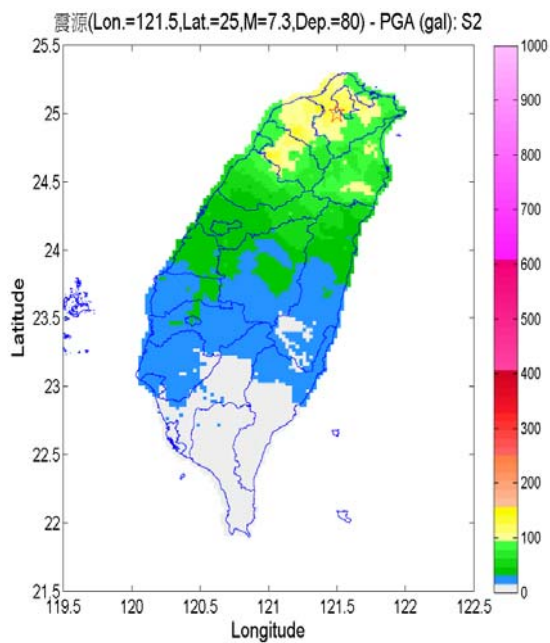


圖 5.5 直下型點震源的境況模擬 Shakemap

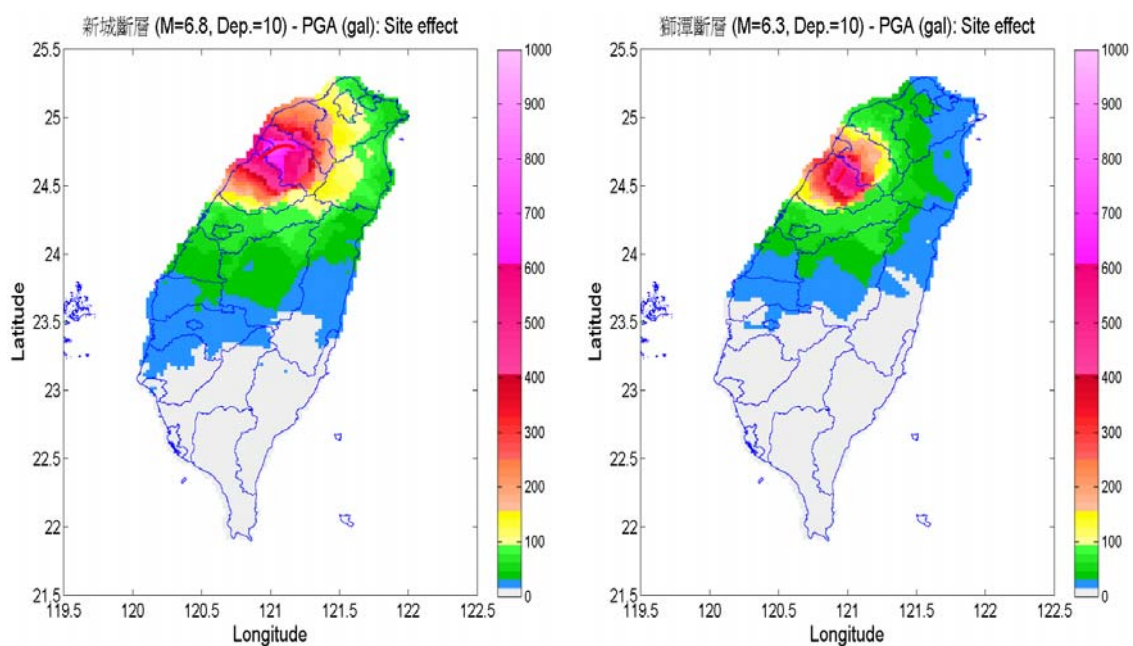


圖 5.6 遠距離斷層震源的境況模擬 Shakemap

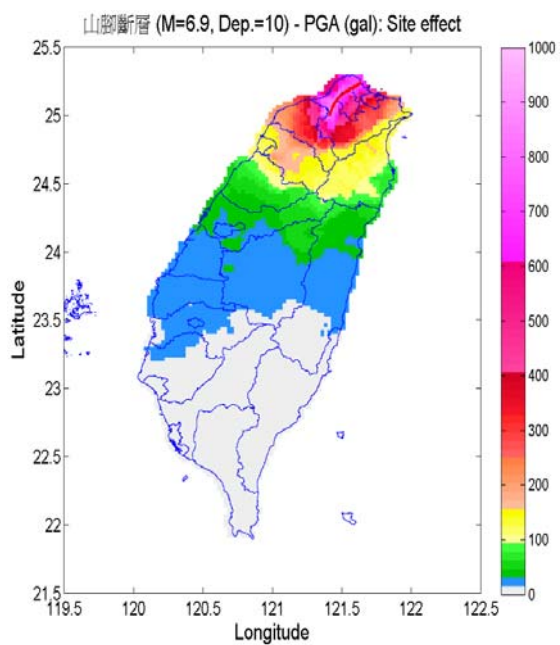


圖 5.7 直下型斷層震源的境況模擬 Shakemap

第六章 結論與建議

隨著經濟建設的迅速發展，高樓大廈林立，各大都會區人口密度不斷提高，更大幅增加地震對於人民生命財產的威脅，在臺灣地區從事地震觀測和地震研究是非常重要的事。本研究有兩項主要工作，首先，本研究針對中央地質調查所公布的第一類活動斷層資料，篩選部份斷層參數（如斷層再現週期、斷層最大地震規模、斷層上次錯動時間等）比較完整的斷層，進行計算未來發生機率。其次，本研究亦採用兩階段的最大地表加速度的預測方法，第一階段採用參考的衰減模式來進行最大地表加速度的預測，得到各測站初步的預測值。第二階段利用場址函數進行修正計算，以求得較佳測站最大地表加速度的預測值。

本研究以大臺北地區為例，說明強地動預估的分析流程。本研究首先調查大臺北地區以往的歷史災害地震記錄、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源（Regional Source）的未來發生機率，以決定大臺北地區的可能潛在震源。其次依據大臺北地區的可能潛在震源，並考慮大臺北都會區大多都為沖積層或盆地地形，分析時必須考慮到場址放大效應之影響，因此採用兩階段的強地動預估方法，以求得較佳地表加速度的預測值，最後推估大臺北地區的最大地表加速度值的分佈圖。本研究所建立的強地動預估分析流程，將可以提供防救災相

關單位在進行規劃地震災害防治工作時做為參考。

參考文獻

Campbell, K. W., (1981), Near-source attenuation of peak horizontal acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 7, pp.2039-2070.

USGS, (2003), Earthquake probabilities in the San Francisco Bay region: 2002–2031, U.S. Geological Survey Open-File Report 03-214.

Wells, D. L. and K. J. Coppersmith, (1994), New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bull. Seism. Soc. Am., 84, 4, pp.974–1002.

日本地震調查委員會，(2002)，綜觀全國地震預測地圖。

許京穎，(2008)，臺灣潛勢地震之發生機率評估，國立中央大學碩士論文。

溫國樑、簡文郁、張毓文，(2005)，最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬，國家地震工程研究中心，NCREE-05-032。

張毓文，(2002)，場址特性分析及最大加速度衰減模式校正，國立中央大學碩士論文。

詹皓凱，(2008)，加速度地動潛勢預估，國立中央大學碩士論文。

鄭世楠和葉永田，(1989)，西元 1604 年至 1988 年臺灣地區地震目錄，中央研究院地球科學研究所，IES-R-661，255 頁。

鄭世楠、葉永田、徐明同、辛在勤，(1999)，台灣十大災害地震圖集，中央氣象局和中央研究院地球科學研究所，290 頁。

鄭世楠、張建興、何美儀、葉永田、辛在勤，(2009)，1900-2009年台灣地區地震目錄，地震潛勢圖製作方法討論會第十二次會議專題演講。

鄭世楠、王子賓、林祖慰、江嘉豪，(2010)，臺灣地區地震目錄的建置，中央氣象局地震技術報告彙編，第54卷，575-606。

簡文郁，(2001)，考慮特徵地震與場址效應的地震危害度分析，國家地震工程研究中心報告，NCREE-01-036。

書名：大臺北地區之強地動預估

發行人：陳亮全

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

出版年月：中華民國 102 年 4 月

版 次：第一版

非賣品

ISBN: