



應用 HAZ-Taiwan 系統進行都市計畫防災規劃
方法與方式探討（二）-都市防災計畫之應用

計畫主持人：陳建忠

協同主持人：洪鴻智

研究單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS921013

執行期程：九十二年三月至九十二年十二月

中華民國九十二年十二月

內政部建築研究所研究計畫成果報告

應用 HAZ-Taiwan 系統進行都市計畫防災規劃 方法與方式探討（二）-都市防災計畫之應用

計畫主持人：陳建忠

協同主持人：洪鴻智

研究人員：詹士樑

蔡綽芳

研究助理：陳素櫻

李嘉慧

研究單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS921013

執行期程：九十二年三月至九十二年十二月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE

MINISTRY OF INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

**A Methodology of Using HAZ-Taiwan on the
Planning for Urban Seismic Risk Mitigating (II): An
Application in Urban Disaster Prevention Planning**

By

Jian-Zhong Cheng

Hung-Chih Hung

Shih-Liang Chan

Cho-Fang Tsai

Su-In Chen

Chia-Hui Li

December 2003

摘 要

本文主要目的即在應用 HAZ-Taiwan，提出一套分析地震災害危險度與風險的工具與方法，提供規劃者評估地區災害風險現況與不同土地使用方案潛在的風險-效益。文中應用國科會與經濟部合作開發的 HAZ-Taiwan 系統，以土地使用計畫圖與地震風險機率模型，進行台北市士林區的地震潛勢、危險度與風險分析。從設定之三個地震事件中，發現士林區之西南、西與南部區域為地震危險度與風險較高之區域，三個地震事件平均總經濟損失約為 732.87 億元，年預期平均損失約為 0.55 億元。估計不同土地使用方案（圖）的地震風險-效益，成果顯示通盤檢討案較原方案，可平均降低損失風險 74 億元-95 億元。另亦評估建物補強方案之地震風險降低，發現此方案可降低直接經濟損失、傷亡與建物倒塌危險，且對於地震損害規模愈小者，成效愈佳。透過 HAZ-Taiwan，可有效建立地震災害風險圖及風險-效益評估方法，提供規劃者評估土地使用規劃策略與社區地震風險，以避免不妥適的規劃行為。

關鍵詞：HAZ-Taiwan 系統，土地使用，地震風險，風險-效益分析，都市防災，建物結構補強

ABSTRACT

Local authorities rarely use risk analysis instruments, the most appropriate level of seismic hazard and risk assessment, to employ as a decision-making support system in their planning and development procedures. The main purpose of this article is to provide an available instrument and methodology for planners to accomplish such analysis. We illustrated an example of seismic risk analysis for Shulin district, using available land-use map, and a probabilistic earthquake hazard model developed by National Science Council's HAZ-Taiwan earthquake loss estimation software. We estimated the total and annual expected loss owing to three earthquakes and the spatial distributions of risk. The analysis presented that the average total loss in Shulin was 73.8 billion NT\$ and the expected annual earthquake loss was 55 million NT\$ per year. The risk was more accumulated in the southwest, south and west regions of Shulin. We also investigated the extent to which planned land-use growth would change this risk. It showed that the planned growth reduce of 1.18% would cause a decreasing in risk to 7.4 – 9.5 billion NT\$. According to the evaluation for building code enforcement measure is employed, the results represent that the damage and risk reduction in earthquake is significant. This paper suggests the ways in which to perform the earthquake hazard and risk evaluations. It is important for planners to evaluate if their planning is appropriate.

Keywords: Earthquake risk, HAZ-Taiwan, Land use, Risk-benefit analysis, Urban disaster prevention, building code enforcement

目 錄

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與目的.....	01
第二節 研究內容與方法.....	04

第二章 都市地震防災規劃與 HAZ-Taiwan 系統

第一節 HAZ-Taiwan 系統之簡介與應用.....	08
第二節 都市計畫有關防災規劃作業現況與課題.....	26
第三節 都市規劃與都市地震災害防救.....	34

第三章 資料蒐集與系統設定

第一節 實證區之發展概況.....	43
第二節 系統與地震境況模擬情境設定.....	57

第四章 實證區地震風險分析

第一節 模擬步驟與方法.....	67
第二節 地震風險分析.....	69

第五章 都市規劃檢討與策略評估

第一節 士林區都市發展與防災規劃之檢討.....	94
第二節 地震風險－效益分析.....	106
第三節 土地使用變更的地震風險－效益分析.....	108
第四節 建物結構補強之地震風險變動分析.....	114

第六章 HAZ-Taiwan 系統應用方式與程序

第一節 應用方式與層面.....	126
------------------	-----

第二節 應用步驟與系統操作.....	131
第七章 結論與建議	
第一節 結論.....	148
第二節 建議.....	151
參考文獻.....	153
附錄一.....	159
附錄二.....	161
附錄三.....	163
附錄四.....	164

圖目錄

圖 1-1	研究流程與步驟.....	07
圖 2-1	HAZ-Taiwan 系統架構.....	10
圖 2-2	HAZ-Taiwan 系統的地震災害評估與減災策略擬定程序.....	11
圖 2-3	都市與地區防災計畫體系規劃圖.....	27
圖 2-4	安全都市建立之規劃架構圖.....	27
圖 2-5	都市計畫防災層級構成圖.....	29
圖 2-6	防災生活圈計劃內容.....	31
圖 2-7	防災生活圈之規劃程序.....	31
圖 2-8	防災據點之規劃程序.....	32
圖 2-9	災害風險發生與暴露地區環境系統的互動機制.....	35
圖 2-10	東京都地震災害評估系統.....	38
圖 2-11	義大利地震災害評估系統.....	39
圖 3-1	臺北市士林區之區位.....	43
圖 3-2	士林區地形圖.....	44
圖 3-3	士林區地質圖.....	44
圖 3-4	士林區水文圖.....	44
圖 3-5	士林區土壤圖.....	44
圖 3-6	士林區 91 年各里人口分佈.....	45
圖 3-7	士林區各里 82-91 年人口分佈圖.....	45
圖 3-8	士林區各里 82-91 年度平均人口遞減率(%).....	46
圖 3-9	臺北市士林區各里 82-91 年人口遞減率(%).....	46
圖 3-10	士林區 91 年各里人口密度分佈圖.....	47
圖 3-11	臺北市士林區生活圈劃分與建物分佈情形.....	48
圖 3-12	陽明山生活圈土地使用分區暨設施分佈.....	49
圖 3-13	社子生活圈土地使用分區暨設施分佈圖.....	50

圖 3-14	士林生活圈土地使用分區暨設施分佈.....	51
圖 3-15	天母生活圈土地使用分區暨設施分佈.....	52
圖 3-16	外雙溪生活圈土地使用分區暨設施分佈.....	53
圖 3-17	臺北市士林區 85、90 年各行業類別之家數佔總家數比.....	56
圖 3-18	淺層地震震源分區圖.....	59
圖 4-1	HAZ-Taiwan 系統損失估計方法.....	68
圖 4-2	臺北市士林區最大地表加速度分佈（事件 A）.....	70
圖 4-3	臺北市士林區最大地表加速度分佈（事件 B）.....	70
圖 4-4	臺北市士林區最大地表加速度分佈（事件 C）.....	70
圖 4-5	臺北市士林區建物直接經濟損失分佈（事件 A）.....	77
圖 4-6	臺北市士林區建物直接經濟損失分佈（事件 B）.....	77
圖 4-7	臺北市士林區建物直接經濟損失分佈（事件 C）.....	77
圖 4-8	臺北市士林區建物直接經濟損失-成本比（事件 A）.....	78
圖 4-9	臺北市士林區建物直接經濟損失-成本比（事件 B）.....	78
圖 4-10	臺北市士林區建物直接經濟損失-成本比（事件 C）.....	78
圖 4-11	凌晨二時各里人員總傷亡分佈（事件 A）.....	81
圖 4-12	凌晨二時各里人員總傷亡分佈（事件 B）.....	81
圖 4-13	凌晨二時各里人員總傷亡分佈（事件 C）.....	81
圖 4-14	凌晨二時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 A）...	82
圖 4-15	凌晨二時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 B）...	82
圖 4-16	凌晨二時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 C）...	82
圖 4-17	上午八時各里人員總傷亡分佈圖（事件 A）.....	84
圖 4-18	上午八時各里人員總傷亡分佈圖（事件 B）.....	84
圖 4-19	上午八時各里人員總傷亡分佈圖（事件 C）.....	84
圖 4-20	上午八時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 A）...	85
圖 4-21	上午八時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 B）...	85
圖 4-22	上午八時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 C）...	85

圖 4-23	下午三時各里人員總傷亡分佈 (事件 A)	86
圖 4-24	下午三時各里人員總傷亡分佈 (事件 B)	86
圖 4-25	下午三時各里人員總傷亡分佈 (事件 C)	86
圖 4-26	下午三時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈 (事件 A) ...	87
圖 4-27	下午三時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈 (事件 B) ...	87
圖 4-28	下午三時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈 (事件 C) ...	87
圖 4-29	無家可歸家庭數分佈 (事件 A)	89
圖 4-30	無家可歸家庭數分佈 (事件 B)	89
圖 4-31	無家可歸家庭數分佈 (事件 C)	89
圖 4-32	短期庇護需求人數分佈 (事件 A)	90
圖 4-33	短期庇護需求人數分佈 (事件 B)	90
圖 4-34	短期庇護需求人數分佈 (事件 C)	90
圖 4-35	無家可歸家庭數 - 總家庭數比 (事件 A)	92
圖 4-36	無家可歸家庭數 - 總家庭數比 (事件 B)	92
圖 4-37	無家可歸家庭數 - 總家庭數比 (事件 C)	92
圖 4-38	短期庇護所需求-總人口數比分佈 (事件 A)	93
圖 4-39	短期庇護所需求-總人口數比分佈 (事件 B)	93
圖 4-40	短期庇護所需求-總人口數比分佈 (事件 C)	93
圖 5-1	士林區土地使用分區圖.....	95
圖 5-2	士林區捷運站分佈圖.....	100
圖 5-3	士林區防災避難圈分布圖.....	101
圖 5-4	士林區廣場、公園、綠地分佈圖.....	103
圖 5-5	士林區國中、國小分佈圖.....	104
圖 5-6	現況與補強方案之建物嚴重損害以上累計機率比較.....	114
圖 5-7	補強方案降低之地震直接經濟損失風險之比率.....	117
圖 5-8	士林區建物直接經濟損失分佈 (補強方案) (事件 A)	118
圖 5-9	士林區建物直接經濟損失分佈 (補強方案) (事件 B)	118

圖 5-10	士林區建物直接經濟損失分佈（補強方案）（事件 C）	118
圖 5-11	士林區建物直接經濟損失-成本比（補強方案）（事件 A） ..	120
圖 5-12	士林區建物直接經濟損失-成本比（補強方案）（事件 B） ..	120
圖 5-13	士林區建物直接經濟損失-成本比（補強方案）（事件 C） ..	120
圖 5-14	凌晨二時各里人員總傷亡分佈（補強方案）（事件 A）	122
圖 5-15	凌晨二時各里人員總傷亡分佈（補強方案）（事件 B）	122
圖 5-16	凌晨二時各里人員總傷亡分佈（補強方案）（事件 C）	122
圖 5-17	短期庇護需求人數分佈（補強方案）（事件 A）	124
圖 5-18	短期庇護需求人數分佈（補強方案）（事件 B）	124
圖 5-19	短期庇護需求人數分佈（補強方案）（事件 C）	124
圖 6-1	HAZ-Taiwan 應用之程序.....	130
圖 6-2	都市防災計畫作業與 HAZ-Taiwan 應用流程.....	137
圖 6-3	建立研究區域流程圖.....	138
圖 6-4	由歷史震央資料庫選定地震事件流程圖.....	140
圖 6-5	由震源資料庫中選定地震事件流程圖.....	140
圖 6-6	任意選取地震事件流程圖.....	141
圖 6-7	分析進程序.....	142
圖 6-8	臺北市士林區最大地表加速度(PGA)分佈估計步驟.....	144
圖 6-9	臺北市士林區各損害程度建物損害機率估計步驟.....	145
圖 6-10	臺北市士林區建物損害直接經濟損失估計步驟.....	146
圖 6-11	察看估計總結報告步驟.....	147

表目錄

表 2-1	HAZ-Taiwan 系統之地震災害損失估計輸出成果.....	12
表 2-2	都市計畫防災計畫層級關係.....	29
表 2-3	天然災害防救的土地使用規劃策略與工具.....	41
表 3-1	臺北市士林區都市計畫各類土地使用分區面積.....	48
表 3-2	陽明山生活圈土地使用分區面積.....	49
表 3-3	社子生活圈土地使用分區面積.....	50
表 3-4	士林生活圈土地使用分區面積表.....	51
表 3-5	天母生活圈土地使用分區面積.....	52
表 3-6	外雙溪生活圈土地使用分區面積表.....	53
表 3-7	臺北市士林區公共設施可供避難開放空間數量與面積.....	54
表 3-8	臺北市士林區醫院診所家數.....	55
表 3-9	臺北市士林區 89 年度農牧戶數.....	56
表 3-10	系統設定之地震事件.....	58
表 3-11	直接經濟損失資料與參數庫處理方式.....	65
表 3-11	直接經濟損失資料與參數庫處理方式（續）.....	66
表 4-1	地震震度分級（八十九年八月一日公告）.....	71
表 4-2	一般建物損害之估計.....	72
表 4-3	醫院功能恢復估計結果.....	73
表 4-4	緊急應變設施、學校功能估計成果.....	73
表 4-5	公路橋樑、通訊與電力設施功能性分析結果.....	74
表 4-6	飲用水系統管線損害分析結果.....	74
表 4-7	一般建築物直接經濟損失分析結果.....	75
表 4-8	交通運輸與維生系統直接經濟損失.....	79
表 4-9	人員傷亡估計.....	80
表 4-10	庇護所需求估計.....	88

表 5-1 士林區地方發展計畫一覽表.....	98
表 5-2 士林區防災避難圈之行政單元構成.....	102
表 5-3 安全避難面積檢討.....	105
表 5-4 不同土地使用之樓地板面積變動比較.....	108
表 5-5 RBUM 與 BBUM 之估計(半對數型).....	110
表 5-6 RBUM 與 BBUM 之估計(線性).....	111
表 5-7 不同土地使用方案平均地震風險-效益比較(半對數型).....	111
表 5-8 不同土地使用方案平均地震風險-效益比較(線性).....	112
表 5-9 不同土地使用方案年預期損失之比較.....	112
表 5-10 通盤檢討案與原方案各里各種使用樓地板面積與損失風險變動	113
表 5-11 一般建物損害機率之估計(現況).....	115
表 5-12 一般建物損害機率之估計(補強方案).....	116
表 5-13 建物直接經濟損失(現況).....	116
表 5-14 建築物直接經濟損失(補強方案).....	117
表 5-15 補強方案人員傷亡估計.....	121
表 5-16 兩方案傷亡人員估計比較.....	123
表 5-17 庇護所需求估計(補強方案).....	125

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與目的

近年因全球環境變遷造成的氣候異常及高災害潛勢地區的過度開發，不但造成全球遭受自然災害侵害的機率大增（Anderson, 2000; Bayer and Amendola, 2000；蕭代基，2002），且隨都市的無限制擴展與環境敏感地的過度開發，亦使都市暴露在不同天然災害下的災感度（vulnerability）大幅提昇。台灣主要的天然災害，依氣象局統計資料顯示，主為地震、颱風與洪水，災難性的地震雖不多見，但光 921 地震帶來的重創，即奪走 2,405 條生命，使 10,718 人受傷，且有 8,773 棟房屋損壞（內政部建築研究所，1999）。921 地震的社會經濟損失依陳亮全等（2001a）的概估，光建物倒塌引發的直接經濟損失即約在 1,003 億-2,425 億元間，尚不包含引發的營業損失、間接經濟損失與投入的龐大災後重建資源（蕭代基，2002；陳亮全等，2001a；陳亮全等，2002）。此等問題，不但迫使我們需更重視防災政策所面臨的挑戰，且驅使防救災規劃手段須在防災損失與成本遽升的衝擊下，引入有效的災害風險管理手段，以面對風險社會的來臨。

從地方災害防救工作的角度觀察，不管進行都市防災工作推動之土地使用規劃、建築標準訂定、都市成長管理或開發管制的決策需求，皆須引入合適的災害風險評估工具，作為防災規劃的決策支援（Olshansky and Wu, 2001）。政府在面對上述情境，除在國家型防災科技計畫中，針對地震災害，提出災害潛勢分析、資料庫建立、損害估計與防救災計畫推動的相關構想外，亦指出這些工作之推動，須以災害風險與災感度分析為基礎，作為防救災計畫推動、減災與災害預防之決策擬定，甚至是空間實質規劃研擬的重要依據（顏清連等，1997）。

就地震災害之都市防救規劃角度而言，都市地震災害危險圖（seismic hazard map）或風險圖（risk map）的製作，為提供土地使用規劃或防減災計劃的基礎（Mader, 1997）。地震災害圖或風險圖除可提供地震災害潛勢、危險度分布之基本訊外，尚提供不同土地使用或都市發展決策，可能產生的社會經濟損失風險訊息（Olshansky and Wu, 2001；陳亮全等，2001a），以滿足土地使用計畫擬定、評估、通盤檢討或規劃審議的決策支援所需（Shinozuka, 1996）。另因地震風險的決定，除地理空間實質的災害潛勢外，尚決定在暴露於不同地震潛勢區內的人口分

布、建物開發強度、設施與社經特性 (Burby and Dalton, 1994)。故土地使用計畫的擬定，除供給面的規劃外，尚須從需求與整合性角度，分析不同土地使用規劃的潛在決策風險，以更審慎的程序評估都市發展政策。

因都市規劃地震風險分析工具的缺乏，故於 1998 年由國科會與經濟部技術處，合作引進 HAZUS 系統，並委託 Risk Management Solution (RMS) 公司，針對台灣本土分析模式與資料庫，開發 HAZ-Taiwan 系統，以建立適於台灣地區使用之地震災害損害與損失評估系統 (江澤欽、洪鴻智，1999；羅俊雄等，2002)。目前國科會已完成 HAZ-Taiwan 系統主要模組與資料庫系統建置工作，亦完成初步測試與本土化工作，後續之工作重心，即在地方政府都市規劃之防救災計畫研擬與應用之推廣。

內政部建築研究所從民國 88 年始，投注於 HAZ-Taiwan 系統本土化與地區防救災周邊計劃的研究，成果相當斐然，特別是對日間人口估算、防救災避難路徑評估與避難行為模式的研究，皆對 HAZ-Taiwan 的本土化與推廣應用有重要意義。然 HAZ-Taiwan 的後續發展，應從系統模組的有效性利用、整合既有本土化的周邊研究成果、實際案例的防災策略評估、及應用於地區防災計畫研擬的完整程序與步驟研擬著手，以落實防災科技計畫的目標及提昇都市規劃與土地使用防災計畫應用之效能。

本計畫第一年 (民國 91 年度) 主要目的，在進行 HAZ-Taiwan 系統應用於都市規劃防災計畫的可行方式、內涵與課題的討論。主要藉由 HAZ-Taiwan 系統，依台北市士林區之境況模擬成果，提出 HAZ-Taiwan 於都市規劃之地震災害防救計劃應用之可行方式 (何明錦、洪鴻智，2002)。然該年度計畫，仍缺乏透過實質的都市防災規劃程序，擬出完整的應用程序與策略評估步驟。此部份在強化 HAZ-Taiwan 應用與落實非常重要，亦為本年度工作之重心。

綜合上述，本研究計畫之目的，即在延續前一年度計畫，而可將研究目的歸納為下列六項：

- 一、 更新 HAZ-Taiwan 之資料庫與圖庫系統，及相關應用經驗之文獻回顧；
- 二、 回顧與檢討目前都市地震災害防救計劃擬定的現況與課題；
- 三、 繪製與評估不同土地使用規劃策略或模式之地震災害危險分布與風險圖；

- 四、 進行不同土地使用規劃策略的地震風險-效益分析 (risk-benefit analysis)；
- 五、 檢討士林區都市防災規劃，提供士林區都市防災規劃執行之建議；
- 六、 依士林區境況模擬與土地使用策略分析與評估成果，擬定完整之 HAZ-Taiwan 應用步驟、策略與操作建議。

第二節 研究內容與方法

一、研究內容

依本年度計劃之目的，可將本研究預計進行之內容，分成下列七個層面：

- (一) **文獻回顧**：回顧我國都市計畫防災規劃現況與課題、災害風險分析、災害風險管理、HAZ-Taiwan 系統建置與相關系統應用經驗，及地震災害風險評估應用於都市與土地使用規劃之相關文獻。
- (二) **資料蒐集與更新**：以台北市士林區為例，蒐集與更新 HAZ-Taiwan 系統境況模擬所需的資料庫與圖層，作為地震災害危險度、風險與災感度分析之基礎。
- (三) **HAZ-Taiwan 系統境況模擬**：透過不同之地震情境設定，針對實證區現況及不同都市計畫與土地使用規劃策略實施狀況，進行地震風險境況模擬。
- (四) **地震災害潛勢、風險與災感度分析**：根據境況模擬成果，分析士林區災害潛勢、危險度與潛在地震風險，並製作地震災害危險圖與風險圖。
- (五) **進行地震災害風-效益分析與防災策略評估**：針對不同土地使用規劃模式與減災策略，分析其地震災害之風險-效益變動效應。
- (六) **提供應用於都市地震防災規劃、策略檢討與評估程序之建議**：藉由實證區的境況模擬成果，檢討士林區都市地震防災規劃之現況，並提出都市與土地使用規劃之防災計劃應用、策略評估方法與程序之建議。
- (七) **撰寫 HAZ-Taiwan 系統應用的完整步驟、策略與操作建議**：根據第(四)、第(五)與第(六)部分的研究內容，分就 HAZ-Taiwan：1. 應用於土地使用規劃之危險度、風險分析及空間規劃之程序與方式；與 2. 防災策略評估程序兩個層面，研擬完整的應用方法、操作步驟與內容。

二、研究方法與程序

本研究進行之方法與步驟，可依圖 1-1 的流程，分別說明研究進行之步驟與內容。

(一) 第一步驟：文獻回顧與建立研究架構

此步驟主要欲回顧：1. 我國都市規劃防災計畫擬定、研究現況與相關課題；

2. HAZ-Taiwan 系統建置相關之技術手冊、資料庫使用手冊；3. 災害風險分析與風險管理；4. HAZ-Taiwan 相關系統應用經驗與課題；5. 都市規劃與土地使用計劃應於都市地震災害防救等五個層面之相關文獻，以建立研究基本架構、檢視可能面臨的課題及助於設定計畫進行架構。

（二）第二步驟：設定 HAZ-Taiwan 系統模組模擬基本情境

本步驟工作內容，乃根據前一步驟建立的架構，釐清 HAZ-Taiwan 系統進行境況模擬的條件與限制，作為後續境況模擬之基礎。第一年的計畫，乃依國家地震工程中心建議，共假設兩種地震情境進行模擬（地震震央一為宜蘭外海，規模為 7.5；另一為新層斷層，規模為 7），本年度將綜合地震中心的意見與文獻回顧，重新檢討此情境假設的適合性，除重新考慮此兩個地震事件外，尚加入獅潭斷層地震事件，以擴展地震事件的考慮面向。

（三）第三步驟：蒐集與更新境況模擬所需之資料庫與圖層

本研究將以台北市士林區為實證區，故將以士林區為基礎，建立與更新相關的資料庫與圖層，並整合建築研究所、防災國家型科技計畫辦公室與國科會完成的相關研究與資料建置成果，進行境況模擬。此步驟亦擬進行問卷訪談工作，以蒐集地震損失成本、建物重置成本、社會經濟風險影響因素等相關資料，並將調查成果整合入 HAZ-Taiwan 系統境況模擬中，以提供防災政策評估、工具選擇與決策參數設定之參考。由於第一年的境況模擬已建立初步之資料庫與圖庫系統，故今年的主要工作為補充與更新，以提高境況模擬之精確度。

（四）第四步驟：進行不同地震情境與都市規劃模式之境況模擬

透過前一步驟的情境設定，HAZ-Taiwan 系統境況模擬進行方式，將依士林區的都市發展現況，及依不同的地震情境設定與都市規劃模式，分別模擬不同的控制參數（例如土地使用管制內容調整對土地使用模式的轉變），以觀測參數變動。對於地震風險特性與空間分布的影響，作為後續規劃應用與評估的依據。

（五）第五步驟：地震災害潛勢分析與災害風險圖製作

依據境況模擬分析成果，可瞭解不同地震情境與都市規劃執行狀況，所呈現之災害危險度（或潛勢）、災感度與風險，並將模擬結果製作成地震災害風險圖，助於瞭解實證區地震災害潛勢與風險空間分布的特質，甚至可瞭解不同都市規劃模式或策略的預期震災風險分布特性。

（六）第六步驟：都市規劃模式與防災策略風險-效益分析與檢討

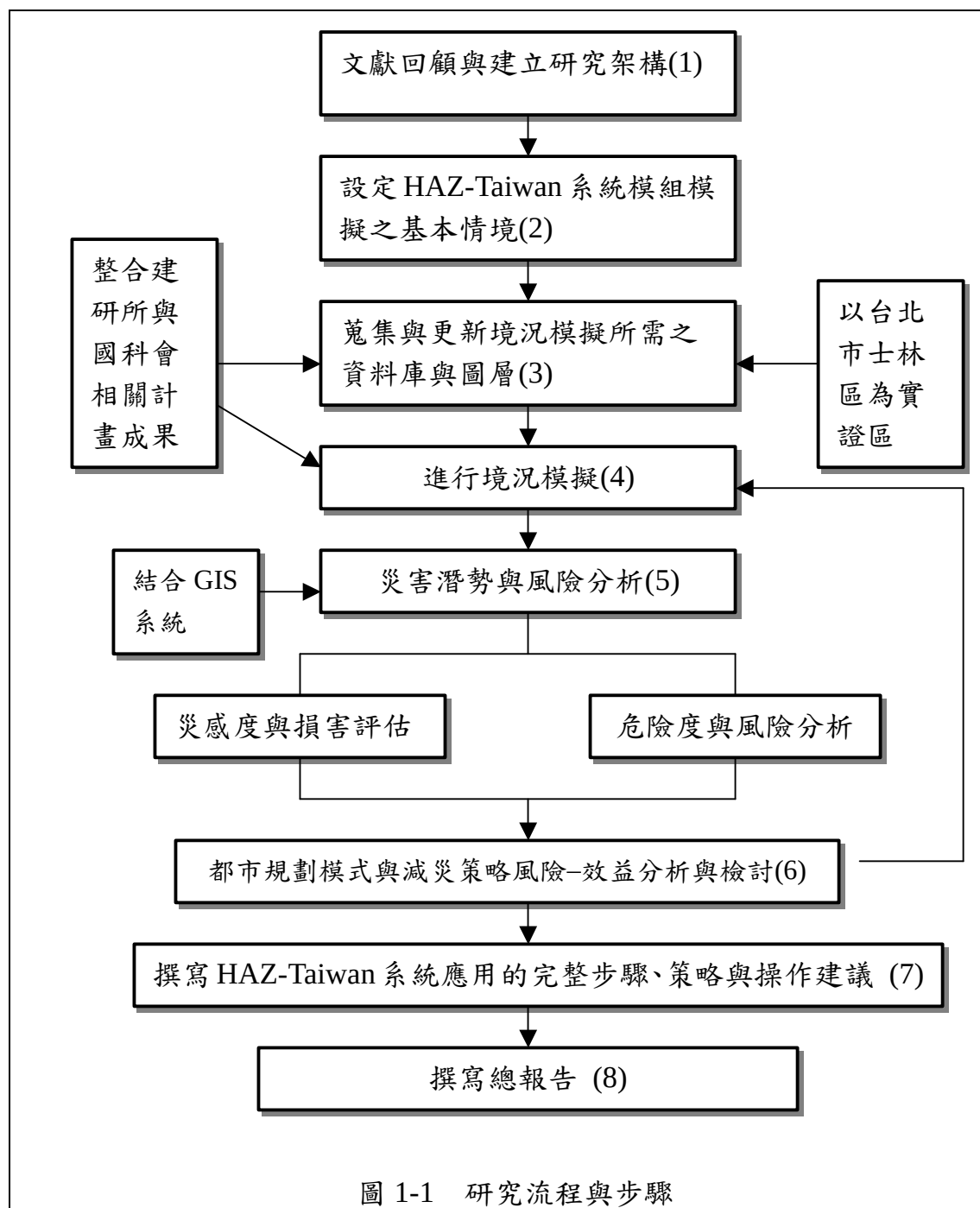
透過第五步驟實證區的地震災害潛勢、風險與災感度分析，即可用以評估與檢討目前實證區預期的都市規劃地震風險。亦即可透過 HAZ-Taiwan 的輸出，直接應用在該區的都市防救災系統之規劃與設計，及相關課題之檢討。本步驟除評估與檢討不同都市規劃模式可能引發的地震風險外，亦將評估其風險-效益變動特性。另亦評估引入建物結構補強策略，對於地震災害風險變動的衝擊。透過風險-效益分析過程，可瞭解不同都市規劃與土地使用策略，引發的地震風險與土地暴露價值（效益）變動之邊際效應，對於政策評估有重要意義。此部份亦將與台北市政府防災計畫辦公室合作，合作內容除進行資料交換與技術合作外，亦將針對台北政府地震防災計畫擬定的現況、策略評估與都市防災規劃的需求，提供互動與執行經驗的意見交換。

（七）第七步驟：撰寫應用的完整步驟、策略與操作建議

透過第四、五步驟的境況模擬，及第六步驟的分析程序，可針對 HAZ-Taiwan 境況模擬、應用程序與都市規劃模式的策略檢討與評估，本步驟可依境況模擬與分析之成果，擬定完整的 HAZ-Taiwan 應用程序與步驟。應用程序的撰寫，可依應用操作程序及都市規劃模式評估兩個向度，分別撰寫操作與評估工作進行的步驟及工作內涵。

（八）第八步驟：報告撰寫

本步驟將綜合研究的分析過程、研究發現與建議，撰寫成果報告、結論與政策應用建議。



第二章 都市地震防災規劃與 HAZ-Taiwan 系統

本章主要目的在進行文獻回顧的彙整，說明內容包含：(1)HAZ-Taiwan 系統的簡介與應用；(2)都市計畫防災規劃之現況與相關之課題；(3)都市土地使用規劃與地震災害防救三個層面。

第一節 HAZ-Taiwan 系統之簡介與應用

一、HAZ-Taiwan 系統之模組架構

HAZ-Taiwan 系統係由行政院國家科學委員會與經濟部技術處合作引進，由 Risk Management Solutions(以下簡稱 RMS)修改原有之 HAZUS 97 與 HAZUS 99¹ (以下簡稱 HAZUS)系統，成為適合台灣使用之 HAZ-Taiwan 系統。HAZ-Taiwan 系統除維持原有 HAZUS 系統之優點外，並應用電腦科技、人工智慧，及結合地理資訊系統與多種天然災害評估系統，作為地震災害潛勢分析、危險度評估與災感度(或易損性)(vulnerability)評估之有效工具。故 HAZ-Taiwan 系統之建立，除可作為國內地震災害防救決策支援外，對於公私相關部門各項防救災計畫研擬與相關工作推動，亦具有重要輔助價值(江渾欽、洪鴻智，1999；葉錦勳，1999；何明錦、洪鴻智，2002)。

HAZUS 系統之建置，主為美國國家建築科學研究所(National Institute of Building Science)與聯邦緊急事務管理總署(Federal Emergency Management Agency；以下簡稱 FEMA)合作，委託美國 RMS 公司所開發。HAZ-Taiwan 系統之建立，則是政府希望在最有效率之前提下，建立適用於台灣之地震災害評估系統，於是在防災國家型科技計畫規劃小組專家學者之建議下，由行政院國家科學委員會與經濟部技術處合力引進 HAZUS 系統，並委託美國 RMS 公司修改 HAZUS，成為適用於台灣之地震災損失評估系統。

HAZ-Taiwan 系統之系統架構，係提供各級政府與機關之地震災害損失估計模式為主要之開發目的。故具有易操作與綜合性之特性。HAZ-Taiwan 系統乃基

¹ HAZUS 97 目前已有 HAZUS 99 之更新版，HAZ-Taiwan 已將 HAZUS 99 新增的功能納入。

於 HAZUS 之系統軟體所修正與擴充，系統採模組化設計，每一子模組均獨立存在，但子模組間具有密切關連，而構建成一個完整之地震災害評估系統。HAZ-Taiwan 系統之模組關係，可以圖 2-1 之架構說明之。

圖 2-1 為完整之 HAZ-Taiwan 地震災害評估系統的模組架構，估計方式係從地震發生可能引發之災害與損失的系統架構，估計地震的災害潛勢與損失（或損害）風險。系統將地震所可能引發之災害，藉由地表震動與大地危害（潛在地球科學災害（potential earth science hazards））的估計成果，將可能引發之災害損害分成三類；第一類為地震所引發之直接實質損害，包含結構物損壞、重要設施損壞、維生管線-交通運輸系統損壞與維生管線-公共管線設施損壞。第二類之損害為引發性之實質損害，包括地震可能引發之洪水、火災、有害物質、土石廢棄物等可能造成之損害；第三類之損害為直接與間接社會經濟損害，包括：地震發生造成之人員傷亡、庇護所需求，及所引發之直接經濟損失與間接經濟損失。

HAZ-Taiwan 系統之引入對於地震災害相關之防救部門從事災害之預防、救助與計畫之推動，有相當大之幫助。FEMA 為提高 HAZUS 對於一般天然災害評估之能力與應用之範圍，近來研究加入颱風、洪水等災害評估系統子模組，期使 HAZUS 能成為應用更廣泛與更周延之天然災害評估決策支援系統。此等後續研發工作完成後，亦將納入 HAZ-Taiwan 系統中。

二、HAZ-Taiwan 系統之操作程序與輸出

HAZ-Taiwan 系統的操作模式與程序，主由四個步驟所組成：(1)第一步驟：資料蒐集、資料庫建立與地震災害之界定：此步驟的重心為基礎資料與參數庫建立，與災損評估地理、內容範圍的界定；(2)第二步驟：地震災害潛勢評估：主要工作為地震災害引發之地表震動與大地破壞影響評估；(3)第三步驟：危險度評估與風險評估：主為地震災害損害程度發生機率、社會經濟損失及相關實質損害之估計；(4)第四步驟：根據前述各步驟所建立之資料庫系統與模型評估結果，擬定減災計畫（參見圖 2-2）。

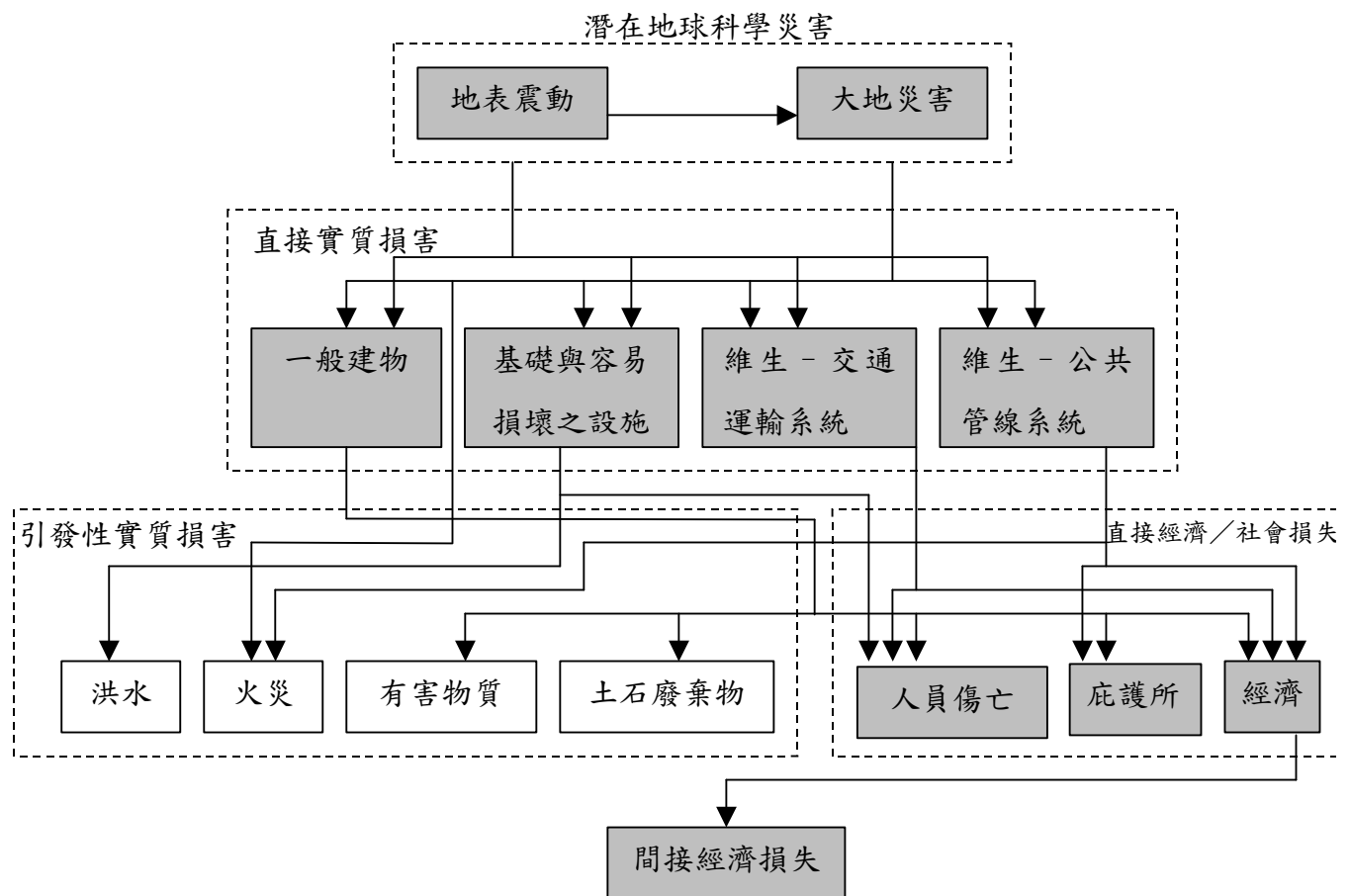


圖 2-1 HAZ-Taiwan 系統架構

在技術操作層面，可將 HAZ-Taiwan 系統的實際操作程序與步驟，細分成六個步驟，而可說明如下 (Federal Emergency Management Agency, 1997, p.1-4)。

(一) 第一步驟：選擇評估區域

依使用者需求，選擇欲評估之區域，區域之範圍可自定，但為便於資料蒐集，可配合行政區，選擇一縣市、區、鄉鎮或村里進行評估。

(二) 第二步驟：輸入地震模擬之設定條件

選定欲評估之地區後，輸入欲模擬之地震強度、震央位置與評估地區，輸入地區如有高度危險之斷層帶，亦須輸入以增進評估之精確度。

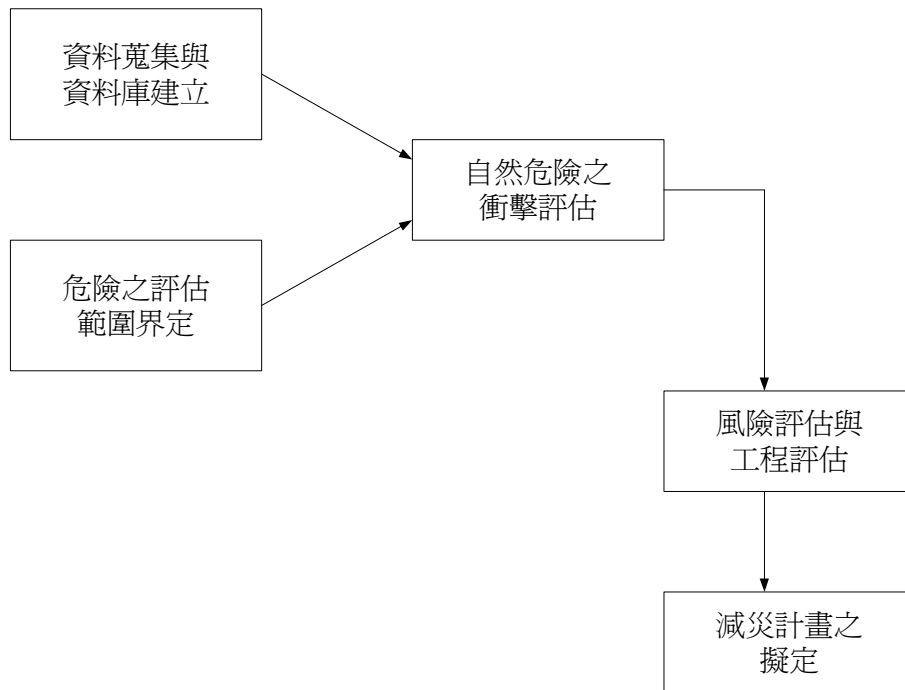


圖 2-2 HAZ-Taiwan 系統的地震災害評估與減災策略擬定程序

資料來源：Federal Emergency Management Agency, 1997, Fig. 1.1

（三）第三步驟：輸入土壤與地質之資料

為提昇地震災害評估之準確度，盡可能輸入評估地區之土壤與地質之詳盡資料與圖層。

（四）第四步驟：評估建物損害、重要設施與維生管線之損壞機率

HAZ-Taiwan 系統在此步驟可估計出建物損害、設施與維生管線之損壞機率分布圖，作為地震危險度與風險分析之基礎。

（五）第五步驟：估計社會經濟損失

根據危險度估計成果，利用社會經濟損失評估模組，估計人員傷亡、庇護所需求與因建物與設施損壞之直接與間接經濟損失。

（六）第六步驟：火災延燒、洪水與土石廢棄物之估計

地震後所引發之火災、洪水等，乃造成損失擴大之重要因素，故此步驟利用系統模組，估計地震後之火災延燒與洪水發生機率，以及估計可能產生之土石廢

棄物數量。

表 2-1 HAZ-Taiwan 系統之地震災害損失估計輸出成果

地震危害潛勢圖 1. 評估區之地震強度指標 2. 等地表震度線圖 3. 各評估區之地震永久位移 4. 等地表永久位移線圖 5. 土壤液化分布圖 6. 邊坡地滑機率	洪水氾濫 1. 受洪水侵害之居民數與暴露之建物
一般建物之損害特性 1. 各種類別與結構建物之結構與非結構元件損壞之率	危險物質之區位分布 1. 具有危險物質之設施分布區位
交通與維生管線 1. 13 種維生管線之損壞機率、維修與換置之成本與修護時間 2. 水管之漏水與折斷之個數與分布 3. 電力與引用水系統損壞之分布圖	地震後之碎屑與瓦礫 1. 所有碎屑與瓦礫之重量、型態、分布與特質
基礎設施 1. 損壞機率 2. 可運作之機率 3. 病床之損失	社會損失 1. 無家可歸之戶數 2. 需要臨時庇護所之人數 3. 一天中不同時段的人員傷亡數
高潛在毀損(High potential loss，簡稱 HPL)之設施 1. 水壩之區位 2. 核電廠之區位 3. 軍事設施毀損機率與修護成本 4. 其他 HPL 設施之區位	建物損壞之直接經濟損失 1. 建物結構與非結構元件損壞之維修成本 2. 內部財產損失 3. 商業財物損失 4. 重置與搬遷成本 5. 營業損失 6. 工作薪資損失 7. 租金損失
地震之火災延燒 1. 起火點之數目 2. 發生火災位置之比率	間接經濟損失 1. 長期性對區域與總體經濟之影響 2. 對區域之長期性經濟影響

資料來源：Federal Emergency Management Agency, 1997, Table 1.1

透過上述六個步驟的分析與境況模擬，可將 HAZ-Taiwan 系統相關子模組的輸出成果歸納如表 2-1 所示。表中之輸出成過共涵蓋 12 個層面，內容包括地震危害潛勢圖、一般建物的損害特性、交通與公共維生管線發生之損壞危險度、基礎

設施之損壞風險、易損壞之設施、地震後之火災延燒、洪水泛濫區、危險物質分布區、碎屑與瓦礫之分布、社會損失、直接之經濟損失與間接經濟衝擊。

三、損害與損失估計方法

本計畫主要使用的 HAZ-Taiwan 地震損害與損失風險估計模組，主要為直接經濟/社會損失估計的三個子模組：(1)直接經濟損失；(2)庇護所；(3)人員傷亡（參見圖 2-1）。以下即針對三個模組的需求與地震損害估計方法說明之。

（一）直接經濟損失估計模組

1.建物直接經濟損失估計

地震造成建物損壞的貨幣損失估計，主要包括下列五項：(1)建物結構體與非結構體的重建成本損失；(2)部財產損失；(3)庫存損失；(4)遷移成本 (relocation costs)或損失；(5)收入損失。

（1）建物重建成本損失之估計

a.建物結構體元件損失成本估計

修復重建成本損失之估計，乃依各使用類別之建物在各種損害程度之機率下，分就建物結構與非結構體部分之損失計算之。在損失估計中，利用修復或重建成本估計，可較直接且容易估計建物之損失，避免利用市價估計，可能引發之資料搜集困難與爭議。以下可將結構部分之修復重建成本估計表為下式：

$$CS_{ds,i} = CI \times \sum_{j=1}^n FA_{ij} \times PMBTSTR_{ds,j} \times RCS_{ds,ij} \quad (2-1)$$

$$CS_i = \sum_{ds=2}^5 CS_{ds,i} \quad (2-2)$$

$CS_{ds,i}$ ：第 i 種類別建物在第 ds 級地震損壞程度之單位 (m^2) 結構體重建成本

CS_i ：第 i 種類別建物之結構體損失總成本

CI ：區域成本調整指數

FA_{ij} ：第 i 種類別建物，第 j 種類型建物結構在評估區域之總樓地板面積

$PMBTSTR_{ds,j}$ ：第 j 種建物結構，產生第 ds 級地震損壞程度之機率

$RCS_{ds,i,j}$ ：第 i 種類別建物，第 j 種建物結構之單位 (m^2) 重建成本

上式之 $ds = 1$ 代表無損壞之狀態，不計入損壞成本之估計； $ds = 2$ 代表輕微損壞， $ds = 3$ 代表中等損壞， $ds = 4$ 代表嚴重損壞， $ds = 5$ 代表完全損壞。建物之使用類別為 i ($i = 1, 2, \dots, 31$)，建物結構別為 j ($j = 1, 2, \dots, 13$)。

b. 建物非結構體元件損失成本估計

非結構體損壞成本估計方法與結構體損失估計方法類似，惟區分成加速敏感型元件損壞 (Acceleration sensitive damage) (指天花板、機房與電力設備、管線與樓梯) 與移動-敏感型元件損壞 (Drift-sensitive damage) (指隔牆、外牆、裝飾品與玻璃) 兩部分。可將其損失估計法示之如下：

$$CNSA_{ds,i} = CI \times FA_i \times PONS A_{ds,i} \times RCA_{ds} \quad (2-3)$$

$$CNSA_i = \sum_{ds=2}^5 CNSA_{ds,i} \quad (2-4)$$

$$CNSD_{ds,i} = CI \times FA_i \times PONS D_{ds,i} \times RCD_{ds} \quad (2-5)$$

$$CNSD_i = \sum_{ds=2}^5 CNSD_{ds,i} \quad (2-6)$$

$CNSA_{ds,i}$ ：在損害程度 ds 下，第 i 種建物，加速敏感型非結構體元件之損壞成本

$CNSA_i$ ：第 i 種建物，加速敏感型非結構體元件之損壞總成本

$CNSD_{ds,i}$ ：在損害程度 ds 下，第 i 種建物類型，移動敏感型非結構體元件之損壞成本

$CNSD_i$ ：第 i 種建物，移動敏感非結構體元件之損壞總成本

FA_i ：第 i 種建物之總樓地板面積

$PONS A_{ds,i}$ ：第 i 種建物之加速敏感型非結構體損壞程度達 ds 之機率

$PONS D_{ds,i}$ ：第 i 種建物之移動敏感型非結構體損壞程度達 ds 之機率

$RCA_{ds,i}$ ：在損害程度 ds 下，第 i 種建物，加速敏感型非結構體之重建成本

$RCD_{ds,i}$ ：在損害程度 ds 下，第 i 種建物，移動敏感型非結構體之重建成本

CI ：區域成本調整指數

藉由式(2-1)~(2-6)式，可估計建物非結構體元件之地震災害損失，惟欲估計所有 i 類建物非結構體元件之損失，須將(3-4)與(3-6)式相加，而可表之如下：

$$CNS_i = CNSA_i + CNSD_i \quad (2-7)$$

估計所有 i 類建物之量體地震損失，可將建物之結構與非結構體之損失成本相加，而可以下式表之：

$$CBD_i = CS_i + CNS_i \quad (2-8)$$

所有種類的建物量體之總地震損失，須將所有 n 種使用別建物之損失加總，而可以下式估計之：

$$CBD = \sum_{i=1}^n CBD_i \quad (2-9)$$

如欲計算建物量體完全損壞之重建成本，須將建物完全損壞時之結構與非結構體損害成本相加，而可以下式表之：

$$RC_i = CI \times (RCA_{5,i} + RCD_{5,i} + RCS_{5,i}) \quad (2-10)$$

$$RCS_{5,i} = \sum_j^m RCMBT_{5,i,j} \times FA_{i,j} / FA_i$$

RC_i ：第 i 種建物之重建成本

$RCA_{5,i}$ ：第 i 種建物，當 $ds = 5$ ，加速敏感型非結構體元件每平方公尺之重建成本

$RCD_{5,i}$ ：第 i 種建物，當 $ds = 5$ ，移動敏感型非結構體元件每平方公尺之重建成本

$RCS_{5,i}$ ：第 i 種建物， $ds = 5$ ，建物結構體每平方公尺之重建成本

$RCMBT_{5,i,j}$ ：第 i 種建物，第 j 種建物結構， $ds = 5$ ，建物結構每平方公尺之重建成本

$FA_{i,j}$ ：第 i 種建物，第 j 種建物結構之樓地板面積

FA_i ：第 i 種建物之樓地板面積

(2) 建物內部財產損失估計

建物內部財產地震災害損失估計之項目，主指不包含在建物結構體之傢俱、設備等物件的損失，估計之內容亦不包含營業庫存或前述之建物非結構體元件之內容。一般之建物內部財物損失，多係地震造成之加速敏感型非結構體元件倒塌或掉落所造成，因而加速敏感型非結構體元件之損壞，成為估計內部財產損失之重要指標。以下可將建物內部財產損失之成本，以下式估計之：

$$CCD_i = CI \times CV_i \times \sum_{ds=2}^5 CD_{ds,i} \times RC_{ds,i} \quad (2-11)$$

$$RC_{ds,i} = \sum_{j=1}^m PMBTNSA_{ds,i} \times FA_{ds,j} \times (RCA_{5,i} + RCD_{5,i} + RCMBT_{5,i,j})$$

CCD_i ：第 i 類建物之內部財物損失成本

CV_i ：第 i 類建物之內部財物價值 (HAZ-Taiwan 系統係以建物重建價格之比率表之)

$CD_{ds,i}$ ：第 i 類建物，在 ds 之損害程度，內部財物價值損害比率

$RC_{ds,i}$ ：第 i 類建物，在 ds 之損害程度下之重建成本

$PMBTNSA_{ds,j}$ ：第 j 種建物結構，加速敏感型非結構體元件的損壞達 ds 程度之機率

CI ：區域成本調整指數

$RCA_{5,i}$ ：第 i 種建物， $ds = 5$ ，加速敏感型建物結構體元件每平方公尺之重建成本

$RCD_{5,i}$ ：第 i 種建物， $ds = 5$ ，移動敏感型建物結構體元件每平方公尺之重建成本

$RCMBT_{5,i,j}$ ：第 i 種建物，第 j 種建物結構， $ds = 5$ ，建物結構體元件單位 (m^2) 重建成本

(3) 庫存損失估計

營業庫存損失之多寡或特性，會隨建物類別之不同，而有差異。故估計地震造成的建物營業庫存損失，不同建物類別 (或使用別) 之營業額便成為極佳之估計指標。另地震造成庫存產生損失之主要原因，可能在於地震造成之貨品翻落、

建物倒塌壓損或水管破裂造成之損壞，故建物加速敏感型非結構體元件的損害狀況，成為估計營業庫存損失之重要依據。營業庫存損失估計之方式，即可依上述兩項指標估計，而可將其表之如下式：

$$INV_i = FA_i \times SALES_i \times BI_i \times \sum_{ds=2}^5 PONS A_{ds,i} \times INV D_{ds,i} \quad (2-12)$$

$$INV = \sum_{i=1}^n INV_i \quad (2-13)$$

INV_i ：第 i 類建物之營業庫存損失價值

INV ：所有建物之營業庫存損失價值

$SALES_i$ ：第 i 類建物，每平方公尺之每年毛營業額

BI_i ：第 i 類建物營業庫存損失佔每年毛營業額之比率

$PONS A_{ds,i}$ ：第 i 種建物之加速-敏感型非結構體元件損壞程度達 ds 之機率

$INV D_{ds,i}$ ：第 i 類建物營業庫存，在損害程度 ds 下的損壞比率

(4) 遷移損失成本估計

a. 建物功能喪失時間估計

在地震損壞之情境中，須瞭解建物功能喪失與修復所需時間，方可估計營業與相關之收入損失。所謂的「功能喪失」，指某設施無法營業或發揮應有功能之情況稱之。此期間通常比「建物修復時間」短，因在建物修復期間，所有人仍可另覓他處或藉由其他變通方式營業，直到建物功能恢復為止。

建物修復所需時間，可包含兩部分：(1)建物本身之建造與清潔時間，(2)取得經費、完成設計與取得許可營業之時間。尤其在建物嚴重損壞時，修復時間更難掌握。修復時間長短，因建物之特性與使用別之不同，而有極大差異。許多產業之營業中斷時間與建物修繕所需時間並無明顯關係，因這些產業可以有彈性的另覓地點或藉有其他變通方式繼續營業。這些影響因素，在 HAZ-Taiwan 系統乃利用經驗調查結果，建立一套參數系統以調整所估計之建物修復時間（即式(2-14)之 MOD_{ds} ）。以下可將建物失去功能之時間，以下式估計之：

$$LOF_{ds} = BCT_{ds} \times MOD_{ds} \quad (2-14)$$

LOF_{ds} ：在損害程度 ds 下，功能喪失時間

BCT_{ds} ：在損害程度 ds 下，建物修復所需時間

MOD_{ds} ：在損害程度 ds 下，建物建物功能中斷乘數

b. 遷移損失成本

地震後，廠商或建物使用者的遷移損失成本，主要產生在建物於地震損壞後，需要進行維修時，使用者須另覓他處進行營業或居住行為所需之支出。遷移損失成本包括：(1)中斷成本 (Disruption costs)：指建物使用者因建物損壞，所需之遷移與搬運成本；(2)租金成本 (Rental costs)：指租用臨時建物或其他營業處，所需之租金支出。這兩種成本，對於建物自有者而言，皆須支付。但對於建物承租者而言，租金只是支付給新房東，對於整體之租金成本並無增加，因而其損失只計算中斷成本，不計算租金成本。

建物因地震損壞後的遷移支出計算，在 HAZ-Taiwan 系統中，並不計入無損害與輕微損害兩種 ($ds = 1, 2$) 狀態下之支出，因為兩種損壞情況，對於建物原有功能之妨害不大，故使用者之遷移支出並不明顯。最後可歸納估計遷移支出成本，考慮之影響變數包括：樓地板面積、租金成本、中斷成本與功能喪失時間等，而可將計算方式表之如下式：

$$REL_i = FA_i \times [(1 - \%OO_i) \times \sum_{ds=3}^5 (POSTR_{ds,i} \times DC_i) + \%OO_i \times \sum_{ds=3}^5 (POSTR_{ds,i} \times (DC_i + RENT_i \times RT_{ds}))] \quad (2-15)$$

REL_i ：第 i 類建物之遷移成本損失

DC_i ：第 i 類建物之中斷成本 (元/平方公尺)

RT_{ds} ：在地震損壞程度 ds 下，建物所需之維修時間

$\%OO_i$ ：第 i 類建物之房屋自有率

$RENT_i$ ：第 i 類建物之租金成本 (平方公尺/天)

$POSTR_{ds,i}$ ：第 i 類建物，發生地震結構損壞程度 ds 的機率

(5) 收入損失

a. 營業收入損失

地震造成各種類別產業或建物所有人之所得損失估計，須包含資本、財產損失與勞力所得等損失。因此欲估計地震造成之所得損失，除需考慮產業之營業損失外，尚須計入因停止營業所產生之其他收入損失。產業收入的分配，一部份可列入公司盈餘外，尚需用來支付勞工薪資、房屋與設備之租金、銀行貸款利息等。所以產業之收入結構，除利潤外，尚包含所支付薪資、未支付之勞務支出及資產收入等。理論上，這些損失皆應計入所得損失，方能完整估計地震所造成之直接所得損失。

從以上之說明可知，各類別 i 之建物地震損失估計，須包含產值、營業所得損失、薪資與員工數，其中資產所有人之損失，可以下式估計之：

$$YLOS_i = (1-RF_i) \times FA_i \times INC_i \times \sum_{ds=1}^5 POSTR_{ds,i} \times LOF_{ds} \quad (2-16)$$

$YLOS_i$ ：第 i 類建物之收入損失

INC_i ：第 i 類建物，每天之收入損失(每平方公尺)

LOF_{ds} ：在損壞程度 ds 下，建物功能喪失之時間

RF_i ：第 i 類建物之回復因子 (recapture factor)

$POSTR_{ds,i}$ ：第 i 類建物，發生地震結構損壞程度 ds 的機率

b. 租金損失

各類建物之租金損失估計，主指各類建物之因地震造成的實質租金損失。估計損失涉及之變數，包括每平方公尺之租金、建物樓地板面積與建物功能喪失時間。在 HAZ-Taiwan 系統中，對於 $ds = 1$ 與 $ds = 2$ 之情況不列入估計，因在損壞程度為無或輕微時，建物功能喪失時間極短，故租金損失可不計入。另估計租金損失，尚須瞭解建物之自有率，在估計時須扣除建物自有者，以估計租金實質損失。以下可將租金損失之估計方式，以下式表之：

$$RY_i = (1-\%OO_i) \times FA_i \times RENT_i \times \sum_{ds=3}^5 POSTR_{ds,i} \times RT_{ds} \quad (2-17)$$

RY_i ：第 i 類建物之租金收入損失

$RENT_i$ ：第 i 類建物之租金成本（平方公尺/天）

RT_{ds} ：在地震損壞程度 ds 下，建物所需之維修時間

2. 維生管線系統直接經濟損失估計

HAZ-Taiwan 系統中維生線系統分成兩類：1. 第一類是運輸系統；2. 民生系統。前者包含：(1) 公路系統；(2) 鐵路系統；(3) 公車系統；(4) 港埠系統；(5) 渡口系統；(6) 機場系統等六個子系統。第二類包含：(1) 飲用水系統；(2) 污水系統；(3) 油料系統；(4) 天然氣系統；(5) 電力系統；(6) 通信系統等六個子系統。

影響 HAZ-Taiwan 系統估計維生線系統的直接經濟損失之變數，包含：(1) 維生管線系統因地震發生特定損害程度之機率；(2) 維生管線系統子系統各構成元件的重置成本；(3) 維生管線系統在不同損害程度下之損害比率。故維生管線系統的直接經濟損失估計方法為：各子系統的複合損害率（compounded damage ratio）乘上重置成本，上述複合損害率的估計式為（Risk Management Solutions, 1999）：

$$DR_c = \sum_{i=2}^5 DR_i \times P[Ds_i] \quad (2-18)$$

式(2-18)之 DR_i 為維生線系統在不同損害程度 ds_i 下之損壞率； $P[ds_i]$ 為維生線系統發生損害程度達 ds 達 i 等級之機率（ $ds = 1, 2, \dots, 5$ ）。

維生管線系統會發生損害，主要決定在地震之地表振動強度，震度越強則其發生損害程度越嚴重且機率越高，故維生線系統發生不同程度損害之機率估計式如下：

$$P[Ds = ds_1 | PGA \text{ or } PGD] = 1 - P[Ds \geq ds_2 | PGA \text{ or } PGD] = P_1 \quad (2-19)$$

$$\begin{aligned} P[Ds = ds_2 | PGA \text{ or } PGD] &= P[Ds \geq ds_2 | PGA \text{ or } PGD] - P[Ds \geq ds_3 | PGA \text{ or } PGD] \\ &= P_2 \end{aligned} \quad (2-20)$$

$$\begin{aligned} P[Ds = ds_3 | PGA \text{ or } PGD] &= P[Ds \geq ds_3 | PGA \text{ or } PGD] - P[Ds \geq ds_4 | PGA \text{ or } PGD] \\ &= P_3 \end{aligned} \quad (2-21)$$

$$\begin{aligned} P[Ds = ds_4 | PGA \text{ or } PGD] &= P[Ds \geq ds_4 | PGA \text{ or } PGD] - P[Ds \geq ds_5 | PGA \text{ or } PGD] \\ &= P_4 \end{aligned} \quad (2-22)$$

$$P[Ds = ds_5 | PGA \text{ or } PGD] = P[Ds \geq ds_5 | PGA \text{ or } PGD] = P_5 \quad (2-23)$$

(二) 庇護所需求估計模組

HAZ-Taiwan 系統內庇護所需求估計的內容包括：1.無家可歸家庭數之估計；
2.短期庇護所需求人數之估計，其估計方法可說明如下(何明錦、洪鴻智，2002)：

1.無家可歸家庭數估計

此部份估計乃依地震引發建物損壞，建物居住功能因而喪失的住所(dwelling unit)數估計之。估計地震發生後無家可歸家庭數，係以下列兩項之總住所數之和估計：(1)建物結構元件損害導致居住功能喪失的住所總數；(2)建物水電功能喪失導致居住功能喪失的住所總數。

所謂「居住功能喪失」的住所，在相關文獻中多以建物結構完全損害之建物，才認定為居住功能喪失，但在 HAZ-Taiwan 系統中，係以較悲觀的方式估計無家可歸戶數，而採取較為廣泛的認定標準，以住戶認定無法居住的住所，便認定為居住功能喪失之住所，故建物結構損害程度達中等損害程度以上，皆視為居住功能喪失，其估計式為：

$$\%SF = w_{SFM} \times \%SFM + w_{SFE} \times \%SFE + w_{SFC} \times \%SFC \quad (2-24)$$

$$\#UNU_{SD} = \#SFU \times \%SF \quad (2-25)$$

式(2-24)、(2-25)中 $\%SF$ 為家戶住所受損之比率， w_{SFM} 、 w_{SFE} 、 w_{SFC} 分別代表住所發生中度、嚴重、完全損害機率的權重，此權重值可依照當地實際受災的情況及決策者的決策特性與需求加以調整； $\%SFM$ 、 $\%SFE$ 、 $\%SFC$ 分別代表住所的住宅類型建物中，建物結構發生中度、嚴重、完全損害之機率； $\#UNU_{SD}$ 代表因地震所造成建物結構損害而導致居住功能喪失的住所總數； $\#SFU$ 為住所單位總數。

另一種居住功能喪失的住所，主要是因為水、電功能喪失。估計水、電功能喪失的住所數與發生比率和範圍，是由維生線系統(民生系統)損害估計模組的估計成果所提供。其估計式為：

$$\#UNU_{UTL} = \%WAG \times [\#SUF(1 - \%SF)] \quad (2-26)$$

式(2-26)中的 $\#UNU_{UTL}$ 代表因地震造成水、電供應中斷所導致居住功能喪失之

住所總數。 $\%WAG$ 為水、電供應中斷造成居住功能喪失之機率。在一般的救援行動中，住所水、電功能喪失的住所，並不一定代表其居住功能喪失，而是要視當地氣候或相關生活條件而定，故估計此種居住功能喪失之住所數時，可根據評估地區的住所數取一定比率 ε 估計之， ε 的數值可依當地氣候、相關生活條件和決策條件的需求而定。故估計受地震災害影響導致住所功能喪失之無家可歸家庭戶數的估計式為：

$$\#DH = (\#UNU_{SD} + \varepsilon \times (\#UNU_{UTL})) \left(\frac{\#HH}{\#SFU} \right) \quad (2-27)$$

式(2-27)中 $\#DH$ 為需重新安置住所之無家可歸家庭總戶數； $\#SFU$ 為評估地區住所單位總數； $\#HH$ 為評估地區的總家庭戶數。

2.短期庇護所需求估計

受災戶在失去住所時，在短時間內需要有暫時棲身之處，他們可能會尋求不同的管道以找到暫時庇護所，包括親戚、朋友、公部門（包含慈善機構）等，作為暫時棲身之處，而本部份對短期庇護所需求人數的估計，係指需要公部門提供短期庇護所的受災居民數估計。

此部份的估計需藉由無家可歸家庭數的估計成果，與相關統計與參數資料進行推估。短期庇護所需求的估計有其困難度，加上各受災地區特性不同會有所差異，故在推估過程中對於統計與參數資料，可依估計需要適度修正。影響短期庇護所需求估計的考慮因素，包含下列因素：(1)總人口數；(2)總家庭戶數；(3)家庭收入分佈；(4)住宅自有率；(5)住宅承租比率；(6)年齡層分佈。短期庇護所需求人數估計式為：

$$\#STP = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 \sum_{m=1}^2 \left[\alpha_{ijm} \times \left(\frac{\#DH \times POP}{\#HH} \right) \times HI_i \times HA_j \times HO_m \right] \quad (2-28)$$

式(2-28)中 $\#STP$ 為短期庇護所需求總人數； α_{ijm} 為常數； POP 為評估地區的總人口數； HI_i 代表家庭收入為第 i 等級的居民之比率 ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)²； HA_j 代表居民年齡為第 j 等級之比率 ($j = 1, 2, 3$)³； HO_m 代表不同擁有方式的比率 ($m =$

² “1”為家庭年收入 40 萬元以下；“2”為家庭年收入 40 萬元至 100 萬元；“3”為家庭年收入 100 萬元至 200 萬元；“4”為家庭年收入 200 萬元至 350 萬元；“5”為家庭年收入 350 萬元以上。

³ “1”為 16 歲以下之年齡層；“2”為 16 歲至 65 歲以之年齡層；“3”為 65 歲以上之年齡層。

1, 2) ⁴。

(三) 人員傷亡估計模組

HAZ-Taiwan 系統在估計人員傷亡上，將人員依其受傷嚴重程度分成四個等級⁵。另考慮不同時段的地震災害事件造成的人員傷亡特性之差異，故估計人員傷亡的時間向度上，共估計凌晨二時就寢時間、早上八時通勤尖峰時間、下午三時一般日間時間等三個時段，各別可能造成的人口傷亡情形（何明錦、洪鴻智，2002）。

推估人口傷亡數所需要之資料，包含：(1)人口分佈；(2)建物結構形式與土地使用別之相對關係；(3)各種損害狀況之機率。人口分佈為估計地震所造成之人員傷亡最主要的資料，在 HAZ-Taiwan 系統中將人口分佈，依不同之建物使用別，分成居家、住宅、工業、通勤等四種人口分佈。在推估人員傷亡上，HAZ-Taiwan 僅評估因建物或橋樑損害可能造成的人員傷亡。建物結構型式與使用別之對應關係，乃同時考慮各種使用別建物之不同建物結構所佔的比率關係，透過加權平均方式估計各種建物使用別損壞比率。損害狀況機率，則是應用直接實質損害模組所估計之各種建物結構型式與橋樑，發生不同損害程度之機率，以推估建物與橋樑損害的機率。

此部份之估計方法，乃根據建物損壞與橋樑系統發生不同損害程度之機率與人口分佈關係，估計各級人員傷亡的分佈。其估計方式是藉由事件樹（event tree）模型，分別估計不同事件發生機率下的各級傷亡分佈，其機率估計式為：

$$P_{Casualties} = P_A \times P_E + P_B \times P_F + P_C \times P_G + P_D \times (P_H \times P_J + P_I \times P_K) \quad (2-29)$$

式(2-29)中 $P_{Casualties}$ 代表人員傷亡發生之機率； P_A 、 P_B 、 P_C 、 P_D 為四級傷亡之機率； P_H 與 P_I 為建物與橋樑發生倒塌的機率； P_E 、 P_F 、 P_G 、 P_J 、 P_K 為不同損害狀況下傷亡之機率。故人口傷亡數之估計式為：

$$EN = \sum_{i=1}^n P_{Casualties} \times N_i \quad (2-30)$$

式(2-30)中 EN 為評估地區預期傷亡人口總數； N_i 代表第 i 種土地使用類別之

⁴ “1”為住宅自有之家庭；“2”為承租住宅之家庭。

⁵ 第一級：輕微受傷，僅需要基本醫療不需住院；第二級：較嚴重之傷害，需要較多醫療程序且需住院，但無生命危險；第三級：嚴重傷害，若無適當且迅速的醫療會有生命威脅；第四級：當場死亡。

分佈人口數。

四、HAZ-Taiwan系統之相關應用

HAZ-Taiwan 的相關應用尚屬濫觴期，有系統之應用尚密切執行中。多數文獻多偏重在系統模組的介紹，與地震損失評估方法的說明（如羅俊雄、葉勇凱，2000；葉錦勳、羅俊雄，2000；羅俊雄等，2002）。HAZ-Taiwan 系統較初步的應用與分析，包括江渾欽、洪鴻智（1999），曾以台北市為例，引用 HAZ-Taiwan 系統建置地震建物損失評估方法與資料庫建立，該計劃重心在於應用台北市的資料，更新 HAZ-Taiwan 系統之建物損害估計資料庫與參數系統，並更新部分的損害估計方法，使 HAZ-Taiwan 系統能更適於本土應用，此過程與 HAZUS 系統在美國推廣過程類似。

另一應用 HAZ-Taiwan 之研究，為陳亮全、洪鴻智與賴美如（2001a）應用 HAZ-Taiwan 模組，以台北市士林區為例，評估地震災害發生可能造成的建物損失、災感度分布及其地理分布特性。研究發現土地使用模式與開發強度，乃影響地震災感度分布之重要因素，特別是住宅密度較高之設施，在面臨巨災情境下，可能造成災難性的地震損害。惟該研究僅以士林區四個里為地震損害估計範圍，且未有效結合 GIS 系統，展示地震損害的空間分布特質，如欲瞭解士林區整體的地震損害風險分布特性，除應再擴充研究地理範圍外，亦可整合 GIS 系統，較可獲得更具一般性的風險與災感度分析內涵。

其他模組的分析，尚有陳亮全等（2001b）應用 HAZ-Taiwan 系統，以台北市與嘉義市為例，估計大型公共設施與商業設施發生災害後的庇護所需求。兩者的研究成果皆發現，HAZ-Taiwan 在估計避難需求層面的不足及忽視台灣本土性避難行為的特性，而皆提出部分參數修正的建議。另馮正民、林偵家（2001）為補足 HAZ-Taiwan 系統對於日間人口估計模式的不足，乃以百貨公司、車站、郵局、餐飲、KTV、醫院及銀行八個行業為例，討論日間人口之估計方式，研究成果對於 HAZ-Taiwan 系統，估計地震傷亡風險的日間人口推估參數修正與本土化有重要意義。

洪鴻智、詹士樑（2001）以臺北市大安區為實證區，利用 HAZ-Taiwan 系統對維生-運輸系統損害程度與機率之估計成果，作為避難救災路徑有效性評估模型的境況模擬輸入，模擬結果發現透過效用函數建立，可結合避難救災路徑供給面

與需求面的評估模式，直接評估避難救災路徑的有效性，並透過 GIS 的展示，傳達路徑阻斷的機率、旅行成本分佈與避難救災效用之空間分配，此成果可直接作為都市或地區防災避難救災路規劃的參考。

較有系統的應用 HAZ-Taiwan 系統，為台北市政府（2002）於地區防災計畫的擬定，乃應用 HAZ-Taiwan 評估台北市的地震災害潛勢與危險度分布，作為擬定地震災害防救相關措施與土地使用計畫的基礎。另何明錦、洪鴻智（2002），以台北市士林區為例，以 HAZ-Taiwan 之境況模擬，分析士林區的地震風險與災感度分布，並針對地區防災計畫擬定，都市計畫通盤檢討，都市更新選址與規劃，都市開發與建設審議與土地使用規劃與管制六個層面，提出應用的方向與準則。

第二節 都市計畫有關防災規劃作業現況與課題

一、都市防災與都市計畫之關聯

(一) 都市防災架構

由於都市防災架構系統牽涉各專門領域，故若欲規劃一具效率之都市防災架構，首先必須針對與都市計畫相關之上位計畫分析整合，以釐清都市防災架構中各相關之執掌關係，其中與都市計畫防災相關聯者包括(李威儀、丁育群，2003)：

- 1、 防救災基本計畫層面—以消防法為中心而延伸出相關防災基本計畫、災害防救法等，以及社會秩序維護法，據以建構出中央至地方防災體系與災害防治計畫等內容。
- 2、 防災科技研究—包含災害之一般研究及對災害之對策研究等。
- 3、 都市防災基盤—含土木及建築以及工程設施等之防災及管制，並包括維生系統與設施之災害防治對策。
- 4、 都市防災管理—含災害防治之準備，救援復舊活動之充實等。

上述都市防災構成系統之內容架構，可區分為：防災科技、災害預防、國土保全、災害復舊等，如下圖所示。

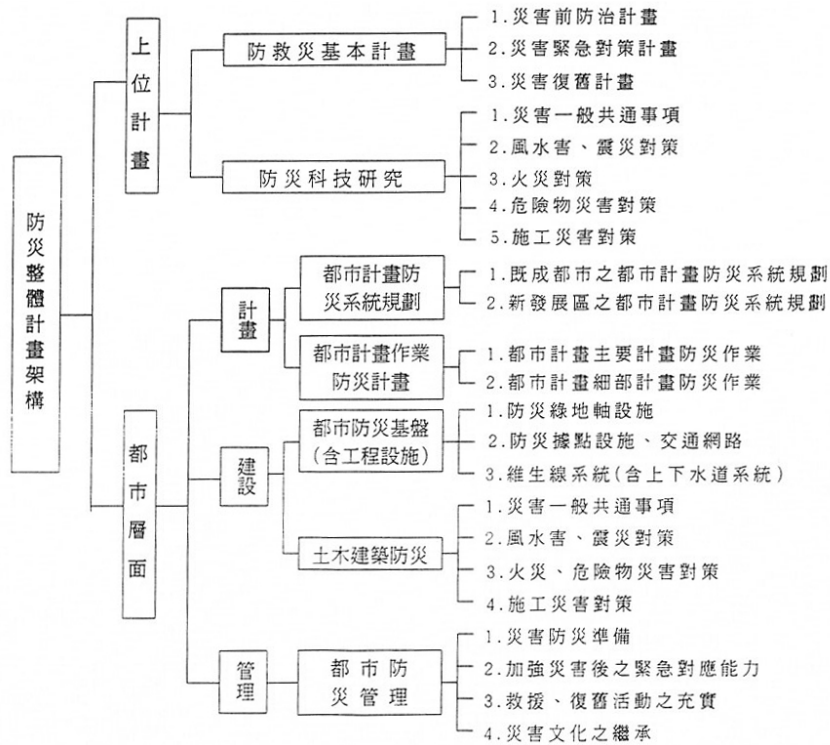


圖 2-3 都市與地區防災計畫體系規劃圖

資料來源：內政部建築研究所，1997

上述架構整合後之主要內容為都市防災基本計畫、防災生活圈、防災都市機盤、都市防災管理，其細節內容如圖 2-4 所示。

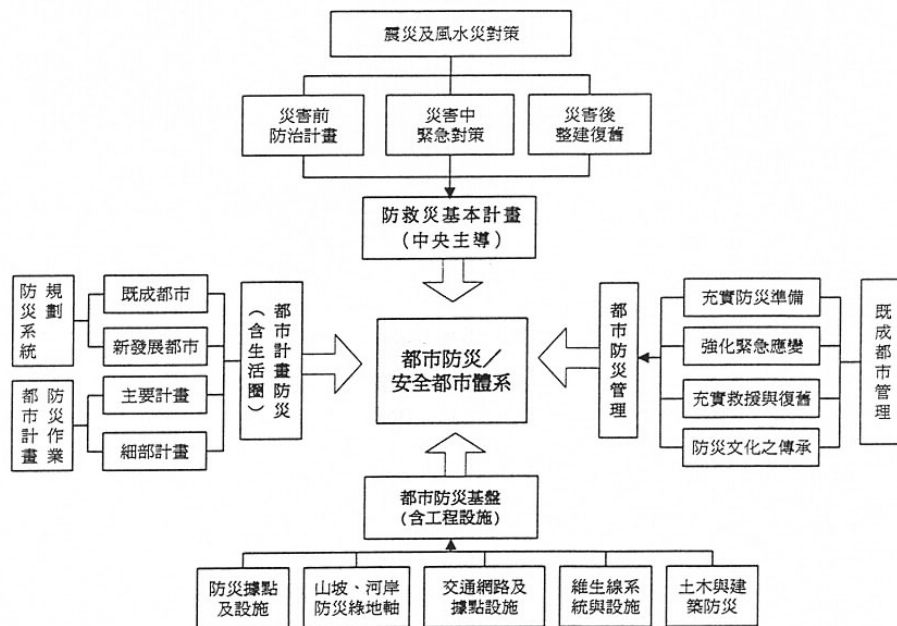


圖 2-4 安全都市建立之規劃架構圖

資料來源：內政部建築研究所，1997

（二）各項防災計畫之內容

針對圖 2-3 與圖 2-4 之內容，完整的防災計畫內容應包含下列項目，因此，都市計畫有關防災之規劃，亦應同時考慮這些項目。

1、防救災基本計畫

2、都市計畫防災計畫與防災作業

3、都市防災基盤

- a.山坡及河岸防災綠軸之規劃

- b.防災據點級設施之規劃

- c.交通路網及據點設施與防災都市空間之規劃

- d.維生線系統與相關設施

- e.土木與建築防災

4、都市防災管理

- a.充實防災準備

- b.加強災後之緊急應對能力

- c.救援、復舊活動之充實

- d.災害文化之繼承

（三）台灣地區都市計畫防災範圍與內容

台灣地區依據現行規劃體系，有關都市計畫防災系統之構成，可以區分為新發展區都市計畫與既成都市計畫兩部分，縣市綜合發展計畫尚未屬於法定計畫，因此主要扮演的角色為綜合性的引導功能。再此一體系下，都市防災的規劃完全要在新訂都市計畫與都市計畫通盤檢討時進行細部的作業，或者是在都市開發與設計的程序中處理，如圖 2-5 與表 2-1 所示。

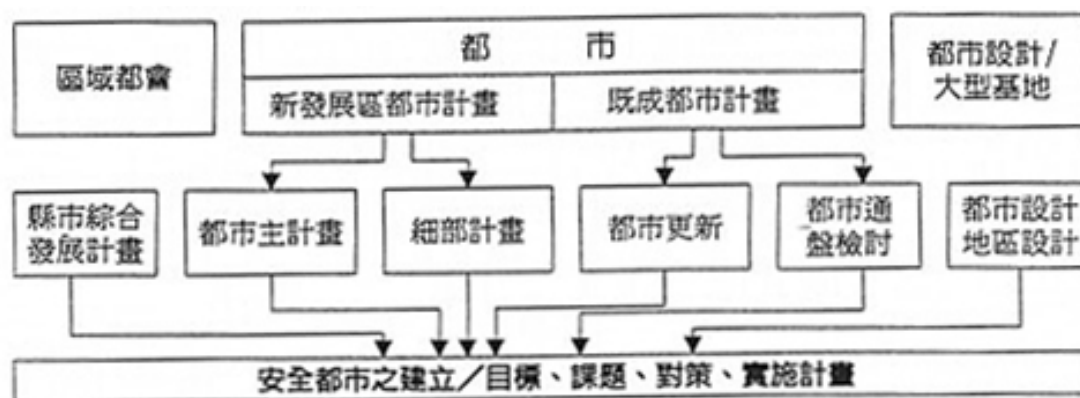


圖 2-5 都市計畫防災層級構成圖

資料來源：內政部建築研究所，1997

表 2-2 都市計畫防災計畫層級關係

都市計畫及都市設計行為	上位計畫	都市計畫層面	都市計畫主要內容	主要災害防止	研訂計畫
		都會區計畫 縣市綜合發展計畫 都市新發展區計畫	國土保全 (土地使用) 生存環境規劃及考量	潛在災害 海岸	都會區計畫防災系統規劃 縣市綜合發展計畫防災系統規劃 全市性都市計畫防災系統規劃
		全市性都市主要計畫 地區性都市計畫及細部計畫 都市設計/大型基地開發 都市計畫通盤檢討 都市更新		環境污染 豪雨成災 都市風害 都市火災 地盤災害 設施災害 產業災害 都市公害	都市計畫防災系統規劃 地區性都市計畫防災/細部設計 都市設計防災設計準則 都市更新防災設計準則 大型基地防災設計準則

資料來源：內政部建築研究所，1997

二、都市計畫定期通盤檢討與都市防災

都市防災計畫之概念，基本上係指在進行都市計畫擬定或通盤檢討時，融入防災觀念與策略，而於進行實質規劃設計時，考量各種可能之災害與防範措施，以避免或降低災害發生之機率，並對災害發生時之救難設施、避難空間及逃生路線等妥予規劃設計，納入都市計畫中，使防災策略能具體實踐於都市計畫與其執行體系中。

由於過去傳統之都市計畫未充分考量災害防救之可能性，加上公共設施或相關之避難設施不足，使得大多數都市之安全與救災面臨相當之窘境；是故在通盤

檢討都市計畫時，應引入防災理念，研訂都市防災計畫。都市計畫通盤檢討基礎調查及規劃技術手冊中，有關都市防災計畫之檢討，列出都市防災計畫之擬定(或檢討)重點包括（陳博雅，1999）：

1. 建立都市災害基本資料庫，瞭解該都市計畫區可能發生之災害及其分佈情形。
2. 調查各種都市防災項目，並計算避難總面積。
3. 依據計畫年期所預測之容納人口數，檢討每人避難面積、避難設施、防災路線是否足夠。
4. 如每人避難面積、避難設備及防災路線足夠，則不需檢討增加避難面積；如有不足，則依據實際需求檢討增加各項防災面積。
5. 除防災面積應足敷緊急避難外，亦應檢討各項防災項目是否均衡分佈，使計畫區內各區域皆能迅速避難。

有關都市計畫通檢防災作業之概念與內容，分述如下：

（一）都市空間防災生活圈

防災生活圈的計畫內容如圖 2-6 所示，圖中顯示防災生活圈計畫公包含六個基本規劃系統，亦即：1.防災區劃；2.火災延燒防止地帶；3.避難動線；4.避難場所；5.救災路線；6.防災據點六個次系統。每個次系統皆有基本之規劃項目與規劃原則。

（二）防災生活圈之規劃程序

對於防災生活圈之劃設，現行做法主要以避難據點與避難動線之設置為主要考量，其規劃程序如圖 2-7 所示，而其中之防災據點規劃，則依循圖 2-7 之程序進行。圖 2-7 所示的程序，共包含：1.第一步驟：依規劃層級進行生活圈之防災區劃；2.第二步驟：針對現存設施進行調查；3.第三步驟：估計設施之需求、設定設施之最小規模、計畫基準評估、防災據點選定等；4.第四步驟：避難動線指定與救災動線配合。



圖 2-6 防災生活圈計劃內容

資料來源：內政部建築研究所，1997

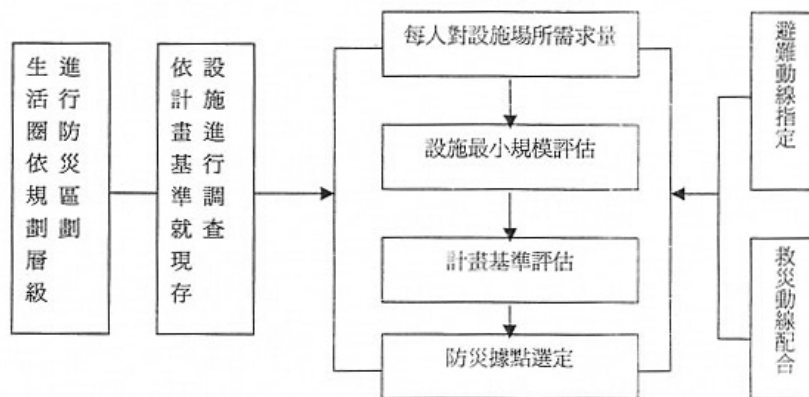


圖 2-7 防災生活圈之規劃程序

資料來源：內政部建築研究所，1997

（三）防災據點規劃

防災據點之規劃之內涵，可如圖 2-8 所示。圖中顯示防災據點之規劃，包含：
1. 防災據點體的規劃；2. 避難與接收物資據點規劃；3. 強化都市防災能力之規劃三

個子系統，再針對此三個子系統的詳細內涵，依地區特性進行防災規劃。

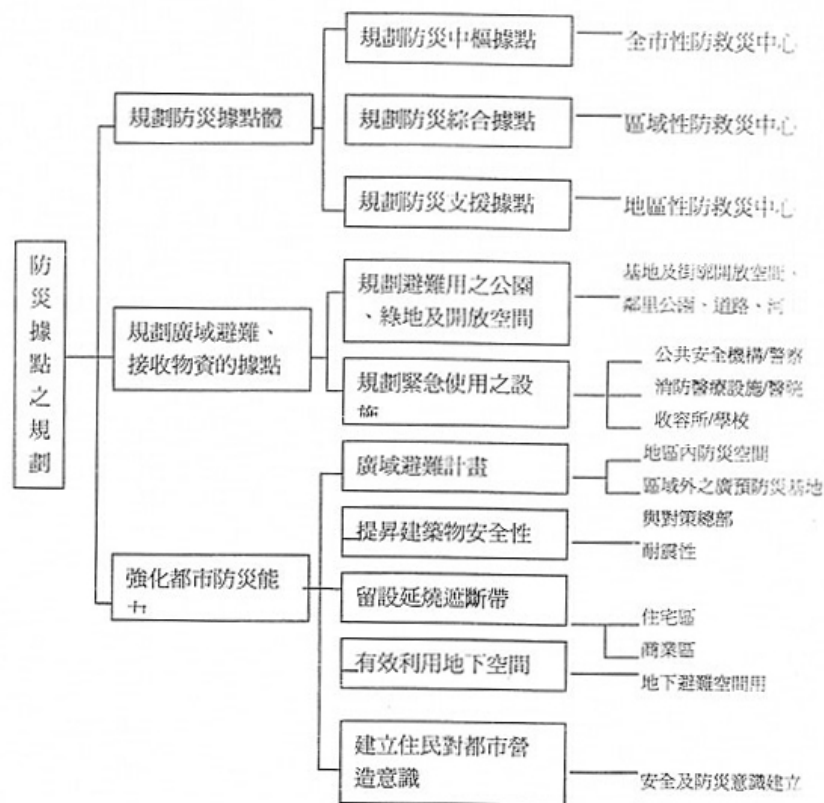


圖 2-8 防災據點之規劃程序

資料來源：內政部建築研究所，1997

（四）都計通盤防災計畫之內容

基於防災生活圈的理念，現行都市計劃定期通盤檢討在防災部分的主要內容包括以下項目：

- 1、防災區劃
- 2、火災延燒防止地帶
- 3、避難動線
- 4、救災路線
- 5、避難場所
- 6、防災據點

三、都市計畫有關防災規劃作業課題

- (一) 傳統的都市計畫中，土地使用計畫、公共設施計畫、交通運輸計畫是其中的三元素，今日若以建構一個安全都市為目標時，勢必要加入防災的觀念於其中。但都市災害的發生其嚴重性不在於單一的災害事件，而是其複合性的波及效果。所以不能將「防災計畫」視為和都市計畫中各個部門計畫相同，是一個獨立的部門計畫。必須以防災的觀念來推動整體性的都市計畫。但綜觀目前各個都市防災空間系統規劃，多是針對避難圈之劃設、防災動線系統劃設、防災據點的指定作規劃，以都市發展現況作為規劃的目標，每隔一段時間做檢討改進；對於建構一個安全都市並沒有一個規劃的藍圖，任由都市發展之後再針對窳陋之處做改進，治標但不治本。
- (二) 災害的潛勢分析（災感度分析）工具不足：都計進行通檢時，其作業之課題便是調查現況中實質之災害潛感因子，而環境敏感因子及災害種類之分析在了解敏感因子造成何種災害之潛感影響，並了解因子之成因及影響因素，並分析敏感因子之評估方法。目前在進行都市防災空間系統規劃時，多是以人口密度、建築物結構、土地用作等作為規劃時的依據，災害事前評估多半僅是概略分析，可能會造成防災資源的配置發生無效率的情況。
- (三) 目前與都市形式、景觀等較具有直接關聯者應屬都市計畫的細部計畫，但依實務經驗而言，其對於規範項目條文顯感不足，且計畫圖說不夠細緻，以致無法更適切表達都市設計目的。
- (四) 都市審議制度所存在的缺點：
1. 投資案件增加一道行政程序，耗費時間
 2. 諮詢性質的委員會議產生權責不明的現象
 3. 審議制度無法以議決方式處理防災、生態等技術可課題
- (五) 須整合都市防災管理及研究機構：未來整體通檢中防災規劃之作業內容應整合於整體都市計畫通檢之都市計畫圖說之中，形成空間體制中單一管制法規、單一主管機關、單一且整合的都市空間。
- (六) 都市更新為都市再生或都市再發展的重要手段，應考量與都市計畫防災功能的整合。

第三節 都市規劃與都市地震災害防救

本節主要目的在回顧，都市與土地使用計劃在地震災害防救的定位。此部份之文獻回顧，主要包含三個層面：1.天然災害風險管理；2.地震災害潛勢與風險分析；3. 地震災害防救與都市規劃，以下即分項說明之。

一、天然災害風險管理

天然災害風險產生的機制，主要是由危險源（風險源）或誘發災害產生的潛勢條件（如河流、活動斷層等），及暴露於該危險源影響範圍內可能造成損害的易損特性兩者所組成。因而災害風險管理的策略規劃，不是從危險源著手，降低或免除危險源產生的危害，即是從強化暴露於該危險源土地使用者的防救災條件，達成災害風險管理的目的（Ermoliev *et al.*, 2000）。

綜合性災害風險管理的主要理論基礎，源於災害危險源與災感度的控制論。可將災害風險管理的理念，以圖 2-9 之環境風險發生功能系統說明之。依圖 2-9 所示，引發災害風險發生之元素，為危險源、暴露地區之災感度與災害影響強度或效應三個因素組成。危險源的存在，不當然會對暴露地區環境造成負面影響，須透過危險源與暴露於影響範圍的使用行為間的互動，才會產生災害損失效應。故任何災害防救手段的構思，即須針對此兩個層面的特質，研擬風險管理及災害防救策略。其中主要災害風險管理策略包含：風險的免除、風險的降低、風險的轉移與風險的分攤（洪鴻智，1996；洪鴻智，2002a），任何災害防救需要綜合考慮此四種策略配套執行方能有效推動。從圖 2-9 的機制，亦可發現災害防救策略研擬的重心，即在於「災害作用」與「暴露」兩個過程。可從此兩個向度，進行災害作用的降低，及透過災感度的改善，使社區暴露於災害的風險降低，達成防災之目的（MacCrimmon and Wehrung, 1986; Lin and Hung, 1996）。

災害作用的瞭解，須從災害風險分析過程著手，其內涵包括：災害潛勢、危險度分析與災害風險評估⁶。災害潛勢與危險度分析，在界定與瞭解不同地區之災害危險源特性及其造成的危險潛勢分布特性；災害風險評估主在於估計災害發生的機率、影響程度與空間分布特性。災感度之分析，則主要在估計受影響地區的

⁶ 本研究所稱「地震風險分析」指提供地區完整的潛在災害分布訊息，包含不同程度損失或傷害的機率與影響之分布。「地震災感度」指在特定的地震事件下，特定地理區域內，曝露在地震影響範圍內的人口、建物或土地使用的損失或傷害程度；「地震危險潛勢或危險度」指特定地理區域遭受地震侵襲的可能強度（或規模）與機率（或可能性）；（參見 Olshansky and Wu, 2001）。

災損特性及分析影響災損程度的重要因素（如土地使用模式與強度、社會經濟與建物特性等）（Mader, 1997）。此兩部分工作的進行，有賴進一步災害風險分析或災害境況模擬工具的開發與應用（Bendimerad, 2001），方能提供此層面的資訊。

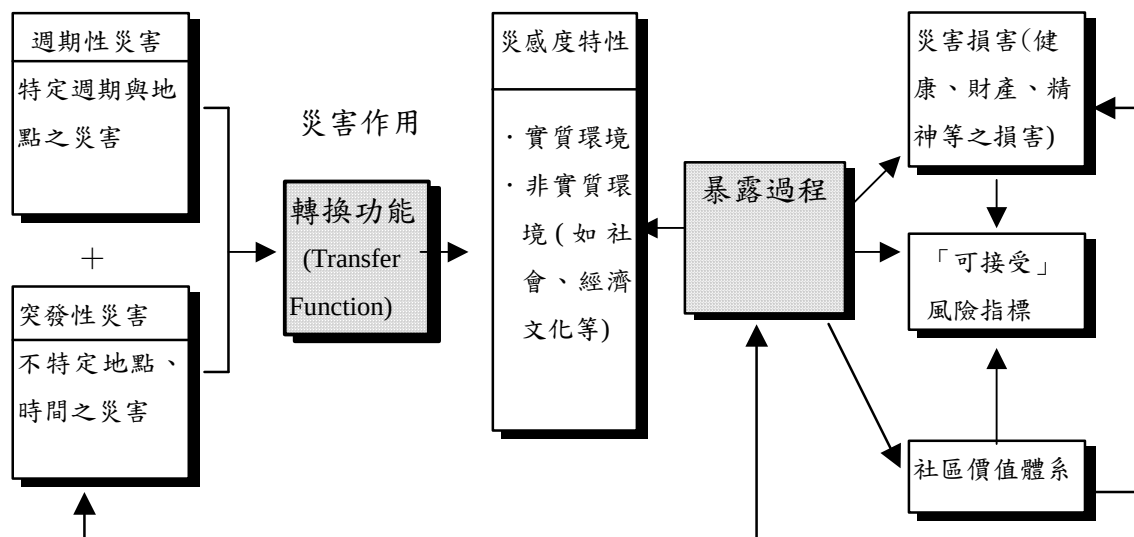


圖2-9 災害風險發生與暴露地區環境系統的互動機制

資料來源：洪鴻智，1996

暴露過程之分析，重點在於評估易受災地區的災感度特性及其影響因素（Seif and Voltaggio, 1990; Blaikie *et al*, 1994），包括這些地區的土地使用強度、建物特性、人口分布、社會經濟環境等，以利於評估不同地區災害發生時，可能產生的損害特性與分布。此部份對於評估防救災資源投入的重點與優先順序，及評估哪些地區需要哪些不同的災害防救配套策略，為重要的研判基準（Pritchard, 2000）。

災害風險管理過程，可將災害產生損害與損失的過程視為循環性與連續性的互動系統。故災害風險管控或災害防救措施的研擬，即是在瞭解危險源之風險特性及災感度特性後，所採取的管理或管制措施。不管採取何種措施，從圖 2-9 所顯示的系統，只要能降低災害作用產生的危險度或降低暴露地區的災感度，皆可達到減災目的。傳統防災工程的應用，主要在防堵災害作用的擴大，惟一旦防堵失敗，所產生的損害成本非常驚人，此可從日本阪神地震的經驗（Horwich, 2000），及納莉颱風的教訓窺知一二。另一種策略，則是從暴露過程的災感度降

低著手，主要是透過非工程手段或公私合作向度進行災害防救，提供土地使用管理及提高災害敏感地區土地開發成本（或負擔），從需求面降低潛在受災程度（Kunreuther, 2000；洪鴻智，2002a），同樣可達到災害防減的目標。

任何災害防救策略，在風險管理過程，皆需透過風險溝通工作，將災害風險特性與防救的概念帶給民眾，以提昇民眾對政府政策的信賴，及降低民眾對災害風險知覺⁷（risk perception）的扭曲（Walker *et al.*, 1999；洪鴻智，2002b）。尤其是加強與民眾溝通、災害資訊提供、教育及與推動相關民眾與社團的協調、參與等工作（Cutter, 1993）。此對於許多具爭議性防減災策略的推動與應用（如課征風險稅、強制投保災害險等），尤為重要。此方面工作推動的依據，除加強民眾與社區參與外，基礎的災害風險圖資訊的提供為溝通的重要執行基礎。

二、地震災害潛勢與風險分析

都市外圍環境敏感地與高危險地區的迅速開發，造就都市每年的災害損失與災感度（vulnerability）大幅提昇（蕭代基，2002）。從非工程災害防救策略的角度，如何應用土地使用規劃，以降低天然災害損失的議題，在傳統的防救災研究領域並未受到重視（何明錦、洪鴻智，2002）。然引用土地使用規劃手段推動防災規劃，主要的困難在於缺乏評估地區天然災害風險、災感度與危險潛勢的適當工具。此部份資訊的缺乏，使土地使用規劃無法依據風險評估（risk assessment）成果與災害防救的需求，提出適宜的配套策略，而降低計畫內涵的實用性與減低災害損失策略的有效性（Olshansky and Wu, 2001; Nelson and French, 2002）。

在災害防救法頒布後，地方政府或社區擬定地區防災計畫的過程，因缺乏地震風險評估與危險分布分析工具，以致難針對高風險或高災感度地區提出相對應的防減災策略。特別在進行避難生活圈的規劃構想，及與其相關的避難路徑規劃、庇護所設置、防災公園與防救災相關設施配置時，會偏向供給導向的「空間系統規劃」模式（李威儀等，1997；陳博雅，1999；洪鴻智、詹士樑，2001）。其他如土地使用管制、都市更新選址、新市鎮開發、都市計畫通盤檢討等，皆難契合地區的災害風險特性，提出適切的災損最小化土地使用規劃方案（何明錦、

⁷ 心理學對於知覺(perception)與認知(cognition)有定義上的區分，前者強調感官的刺激與知覺，後者強調將知覺的資訊轉換成知識、記憶等之過程。從都市研究的角度，風險知覺需摻入許多社經與文化因素，而而強調風險知覺的社會擴散與互動效應。故本文以下稱風險知覺或感知，強調心理量測的工具與尺度，稱風險認知則強調居民面對風險的知覺特性與決策選擇態度。

洪鴻智，2002)。

地區災害防救計畫擬定之內涵，從更完整的災害風險管理策略擬定角度而言，更強調 Meulbroek (2002) 所稱的統合性風險管理概念，其中綜合性釐清所有「風險風貌 (risk profile)」，採取最有利的策略，乃災害防救的最有效模式。因而土地使用規劃策略應用於災害防救，其實是需綜合與彈性使用各種都市規劃與土地使用規劃措施。至於不同地區適合使用哪些策略，並無一致性的解答，此除需視各地的實質與社經條件外，尚需進行不同政策方案的風險-效益評估，方能進行決策判斷 (洪鴻智，1998)。

由於分析所謂「風險風貌」的重要性，使都市地震災害地圖 (seismic hazard map) 或風險圖成為提供土地使用規劃或防減災計劃的重要資訊源 (Mader, 1997)。地震災害圖或風險圖的內涵，除提供地震災害潛勢與危險度分布外，尚需提供不同土地使用或都市發展決策可能產生的社會經濟損失風險訊息 (Olshansky and Wu, 2001；陳亮全等，2001a)，方能滿足土地使用計畫擬定、評估、通盤檢討或規劃審議的決策支援所需 (Shinozuka, 1996)。地震風險的決定，除地理空間實質的災害潛勢外，尚決定在暴露於地震潛勢區內的人口分布、建物開發強度、設施與社經特性 (Burby and Dalton, 1994)。故土地使用計畫的擬定，除在供給面的規劃外，應從需求與整合性角度，分析不同土地使用規劃的潛在決策風險，以更審慎的程序，擬定都市發展政策。

地震損害或風險評估工具的建立與應用非常普遍，如日本東京都應用地震災害評估系統，評估地震之建物風險、火災風險、人體傷亡風險與避難風險，作為災前預防、災害應變策略擬定 (如避難路徑規劃、避難所的設置等)、災後重建與災害社會經濟衝擊評估的工具 (模組架構可參見圖 2-10) (Uitto, 1998；陳建忠、詹士樑，1999)。義大利國家研究委員會 (National Council of Research) 亦與國家地震防災中心 (National Group for Defense against Earthquake) 合作，開發地震災害評估系統，作為地震潛勢區劃設與評估地震災害衝擊的支援工具，其透過系統模擬之成果，同樣可提供為土地使用計畫、防救災規劃與土地開發審議的基礎 (模組架構可參見圖 2-11) (Meletti *et al.*, 2000)。

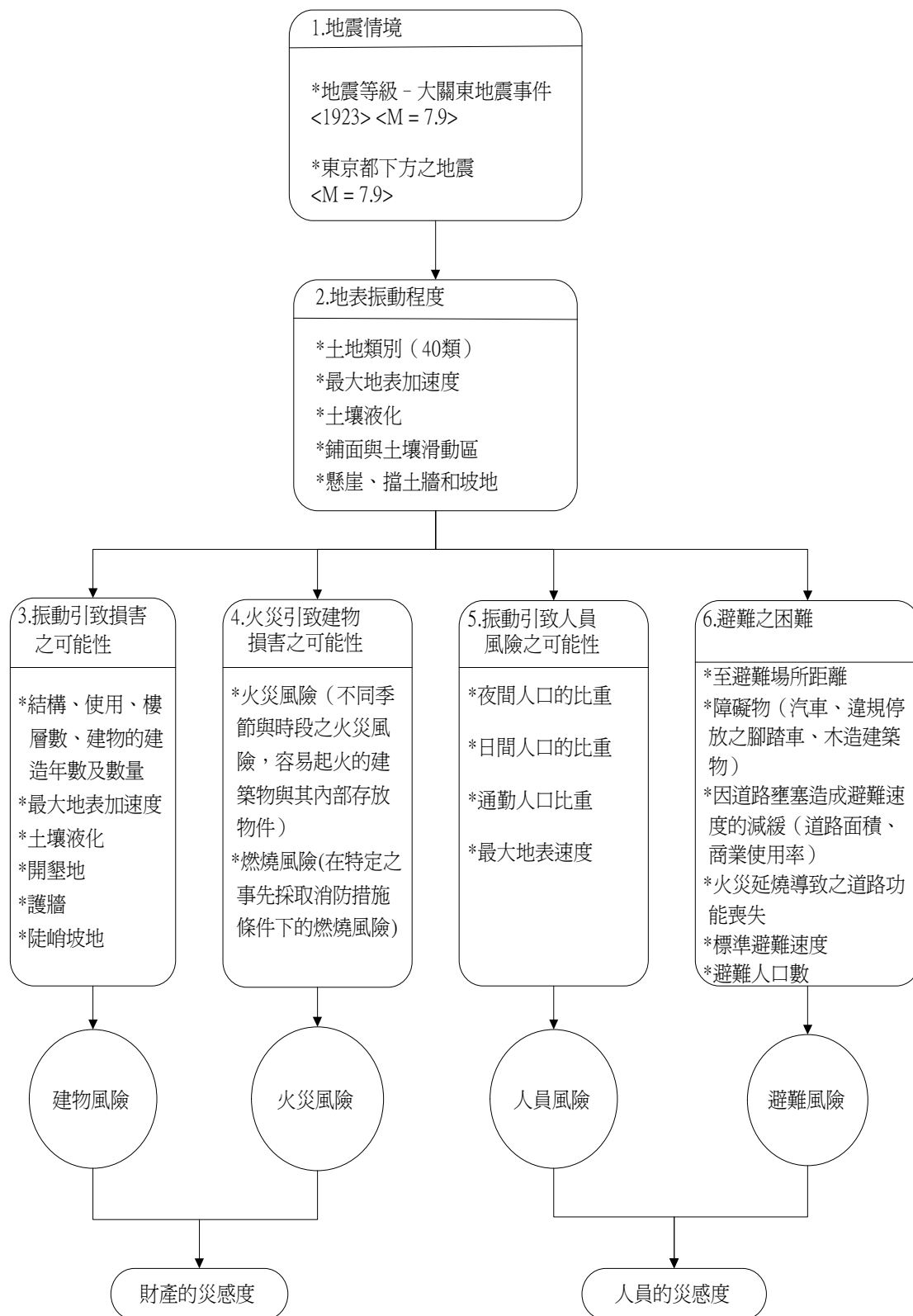


圖 2-10 東京都地震災害評估系統

資料來源：Uitto, 1998

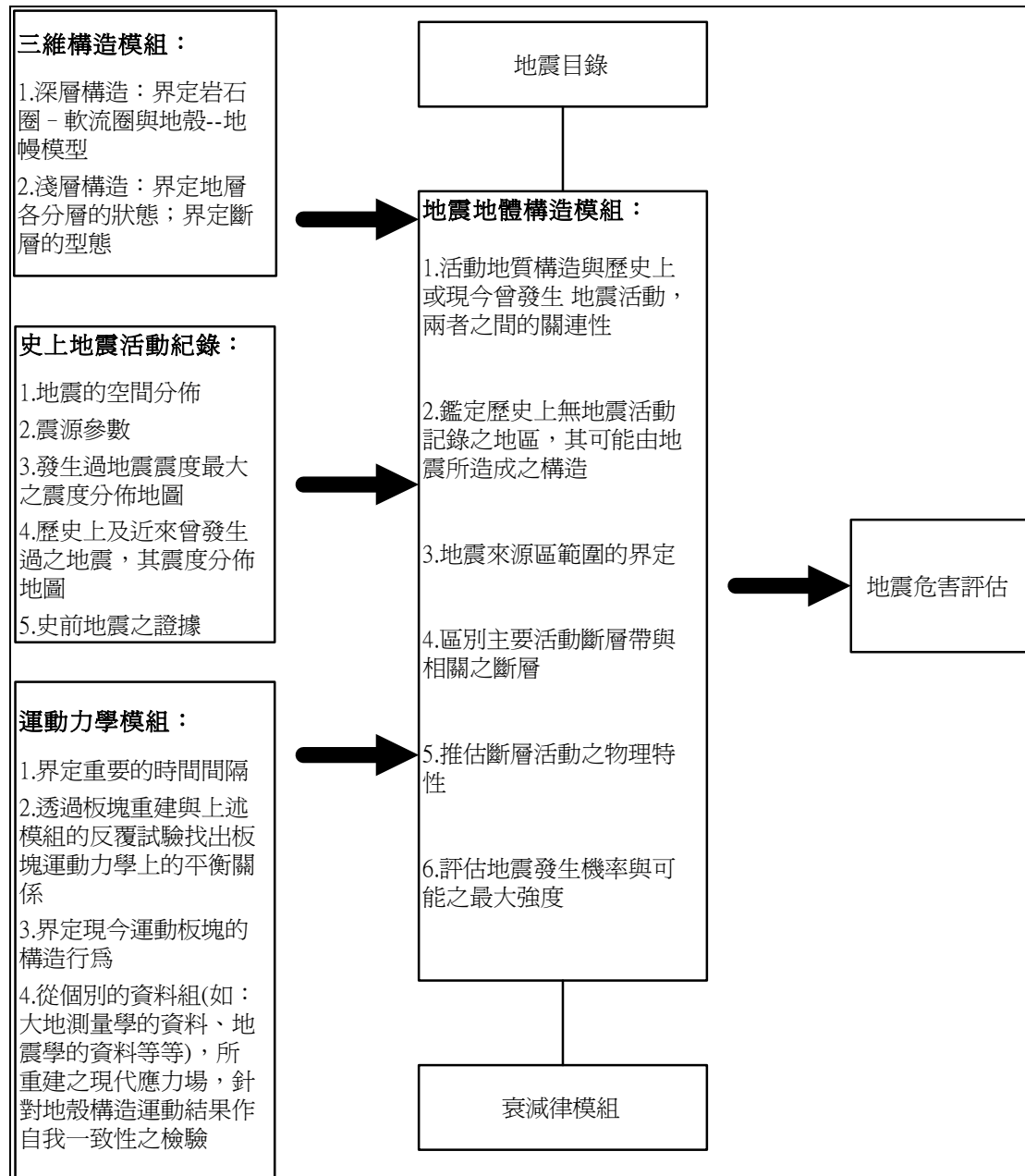


圖 2-11 義大利地震災害評估系統

資料來源：Meletti *et al.*, 2000

HAZUS 為另一重要地震損害評估系統，其為 HAZ-Taiwan 系統之前身。Whitman *et al.* (1997) 曾說明美國 FEMA 與國家建築科學研究所 (NIBS) 發展 HAZUS 地震損害估計方法模組的開發背景，其主要在提供地方、州與聯邦進行地震風險與災害潛勢分析的決策支援工具。HAZUS 主要的應用範疇包含：(1) 地震風險與災感度分析；(2) 地震減災策略的風險-效益評估；(3) 提供土地使用分區管制、規劃、建築管制標準之基本資訊；(4) 提供災害防救、應變與重建計畫

擬定之基礎。HAZUS 曾應用在美國洛杉磯郡的地震損害分布的境況模擬(Kircher *et al.*, 1997)，Bendimerrad (2001) 亦應用於模擬與估計美國舊金山、洛杉磯與東京的地震災害損失額度與分布的比較分析。較有系統的應用，則係以 Olshansky and Wu (2001) 藉由 HAZUS 的模擬，評估洛杉磯郡不同土地使用計畫政策的風險-效益。

三、地震災害防救與都市規劃

傳統的防救災研究與實務操作領域，偏重在災害發生的防堵，及災難發生時的應變與救災 (Berke and Beatley, 1992)。土地使用規劃手段的應用，則係透過土地使用管理方式，降低土地使用者的暴露過程與強度，以藉之降低災害的損害或損失。由於工程手段應用於防災的資源投入非常龐大，效果亦有限，故當代災害防救的理念，愈來愈強調災難發生前的「積極性」土地使用管理策略及都市成長管理，而非遭逢災難衝擊時的救災、應變或避難設計 (Berke, 1994)。

土地使用規劃常使用於災害防救手段，從表 2-3 所示，約可分成 7 類，其中除傳統之實質規劃策略外，尚包含財政手段、資訊提供、土地使用管理與資訊傳播手法，這些方法的綜合與彈性配套應用，為災害防救的新趨勢。另表 2-3 顯示土地規劃的手段，不再僅限於空間的實質設施配置規劃，財政政策的應用與資訊的公開（特別是風險資訊），已成為重要的策略應用方向。

土地使用計劃是多向度與多目標的決策過程，從地震災害防救而言，土地使用計劃不但須提供一個安全的環境，亦須在滿足地方社會經濟特性的條件下進行規劃 (Christou *et al.*, 1999)。美國在 1971 年舊金山大地震後，認為土地使用計畫至少要扮演：(1) 適宜的地質與災害資訊提供者；(2) 有效應用第(1)項資訊的使用者；(3) 地震安全建築設計標準的提供者 (Mader, 1997)。故資訊提供與建築安全設計標準，為 1970 年代土地使用計畫的重心。1990 年代之後，更擴展土地使用計畫的功能，提出：(1) 土地使用管制應依地區地震災害潛勢特性，提出開發的程序與標準；(2) 鼓勵提出政策誘因，使開發者執行減災措施；(3) 對於災害潛勢較高之地區實施更嚴格的土地使用管制；(4) 對公共設施與維生系統實施更嚴格的管制與安全措施 (Mader, 1997)。

從美國的發展趨勢，土地使用計劃在地震防救災過程扮演的功能，從早期的資訊提供者，已發展成更積極，透過土地使用的規劃與管理，從規劃、都市更新

選址、都市開發審議與通盤檢討，提出更具統合性的風險管理與政策誘因，進行地震防救災規劃（Olshansky, 2001；何明錦、洪鴻智，2002）。然從事土地使用規劃與管理，須有完整的決策支援工具，提供適當的地震災害風險分布資訊，方能依地區的災感度特性，擬定適切的災害防救與應變計畫。

表 2-3 天然災害防救的土地使用規劃策略與工具

規劃策略	規劃工具	應用方式
1. 規劃	(1) 綜合性土地使用計畫 (2) 綜合性防災計畫 (3) 恢復與重建計畫	界定災害潛勢區及提出防救災計畫，以指導災害潛勢區之開發與再開發計畫
2. 開發管制	(1) 土地使用管制規則 (2) 土地使用編訂 (3) 斷層區禁限建措施	災害潛勢區土地使用種類、區位與開發強度的控制
3. 建築標準	(1) 建築技術規則 (2) 特定之防災建築標準 (3) 既有建物補強標準	對於災害潛勢既有建物與新建建物結構抗災強度的強化
4. 土地與財產取得	(1) 將潛在開發移往他處 (2) 素地之取得或徵收 (3) 發展權移轉或取得 (4) 危險建物之取得或徵收	災害潛勢區既有開發的遷移或防止開發
5. 重要與公共設施提供政策	(1) 設施改善計畫 (2) 重要設施區位的選定 (3) 重要設施設置在災害潛勢較低之地區	引導新開發遠離高災害潛勢區
6. 租稅與財政政策	(1) 課徵影響費以籌措新增的公共成本 (2) 給予高災害潛勢區之低密度開發者或提供開放空間者租稅優惠	保持高災害潛勢區低度開發
7. 資訊傳播	(1) 公共資訊提供方案 (2) 災害資訊公開	提供高災害潛勢區居民或不動產交易者關於災害風險之資訊

資料來源：Berke and Beatley, 1992; Berke, 1994；Burby and Dalton, 1994

地區之地震災害防救計畫擬定之內涵，依「災害防救法」的精神，及更完整的地震災害風險管理策略評估的需求，除 Mader（1997）所歸納的土地使用計畫

應提供之內涵外，更強調非工程減災策略的引入、公私合作的災害防救策略及災後重建與恢復配套策略的綜合應用，特別是對土地使用規劃手段的重視（Kunreuther, 1996; Burby *et al.*, 1999; Kunreuther, 2000; Olshensky, 2001）。特別是需滿足 Meulbroek (2002) 的統合性風險管理理論，認為新式的災害風險管理概念，需脫離風險控制的傳統做法，且如何精確預測未來的災害風險與損失亦非關鍵，重要的是面對不同的「風險風貌」時，能採取兼具成本-有效性 (cost-effective) 與彈性的策略，乃災害防救工作推動的最有效模式。

第三章 資料蒐集與系統設定

本研究計畫選擇以臺北市士林區，作為 HAZ-Taiwan 系統模組在都市計畫防災規劃方法運用之實證地區。以下即針對士林區與 HAZ-Taiwan 系統模組相關之資料蒐集與該區發展現況說明之。

第一節 實證區之發展概況

一、自然環境

（一）地理位置

士林區位於臺北盆地之東北，東北俱為山嶽、丘陵相接，以七星山最高，東南有鄰界大崙山嶺及大直諸山，西為大直山區，西南一帶土地平坦。西連北投，西南臨淡水河與蘆洲為界，南臨內湖，北界金山，東北接汐止及萬里，幅員廣闊為臺北市十二行政區面積最大之區（參見圖 3-1），全區劃分 51 里，東西寬約 16 公里、南北長約 12 公里，面積 62.36 平方公里，約佔整個臺北市面積的 23%。

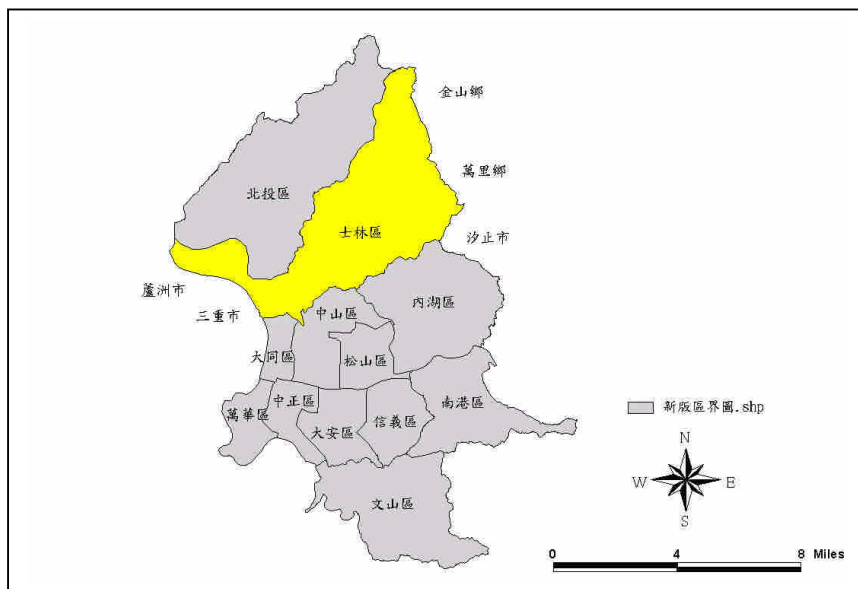


圖 3-1 臺北市士林區之區位

資料來源：行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（民國 88 年）

(二) 地勢、地質、水文、土壤

士林區東北部多屬山區，地勢自東北向西南趨緩，山區地質屬水成岩或火成岩而成之土性，平均坡度皆大於 30%，屬於不適合開發地區（依土地使用分區管制規則所規範）；西南部則多屬平地，屬沖積層土質，僅西南社子一帶屬砂質，為地質較鬆軟地區，對於地震所引致的地表振動效果有放大作用，易加劇地震災害的受創程度，區內有淡水河、基隆河、雙溪及磺溪等流經（參見圖 3-2 至 3-5）。

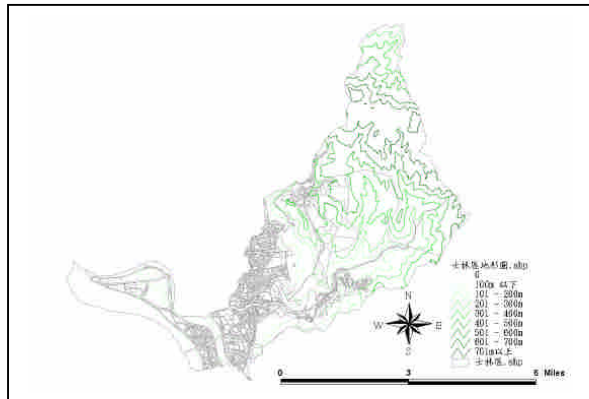


圖 3-2 士林區地形圖

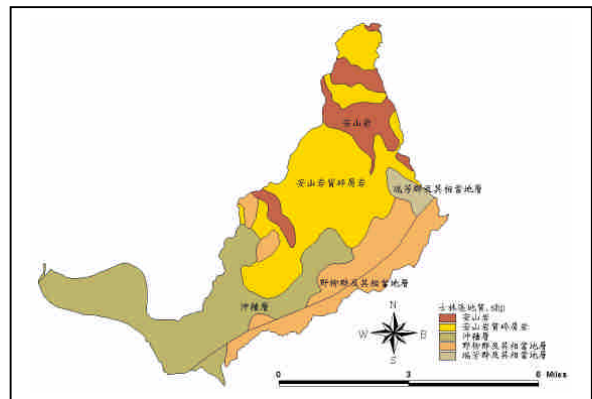


圖 3-3 士林區地質圖

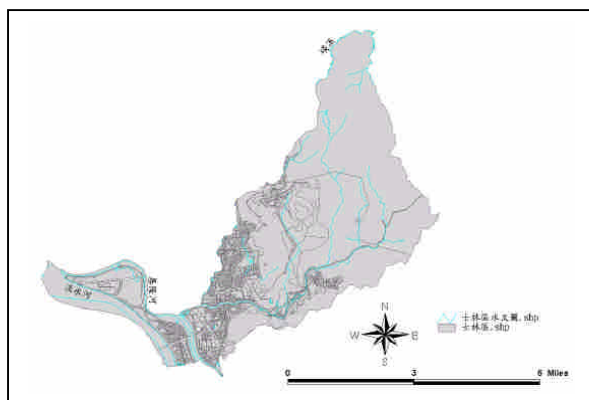


圖 3-4 士林區水文圖

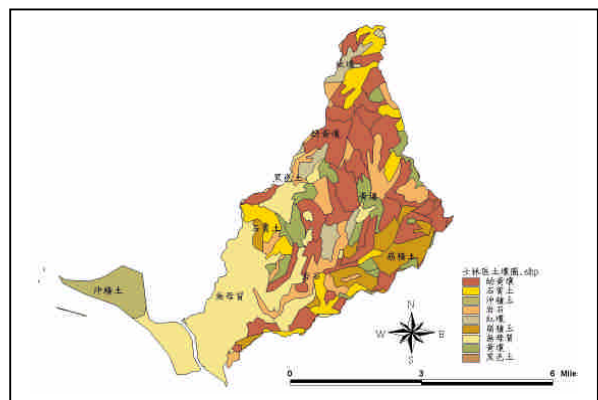


圖 3-5 士林區土壤圖

資料來源：行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（含圖 3-2~3-5）（民國 88 年）

二、人口

(一) 人口分佈、成長

士林區九十一年十二月統計全區人口共 291,493 人，在台北市十二行政區中居第二位，僅次於大安區。平均每里人口 5,765 人，以天玉里(9,329 人)最高、永

福里(1,415)居後(請參見圖 3-6、3-7)。士林區之人口分別在 85、87 年大幅下降(-12.91%)與上升(10.48%)外，近 10 年平均變動率介於 2 至-5%間。從各里來看，翠山里(-62.42%)、岩山里(-21.20%)、福林里(-20.58%)近 10 年平均人口遞減最嚴重，而承德里(26.08%)、公館里(11.49%)、福德里(9.52%)則呈正成長，其中翠山里遞減嚴重原因乃區界調整所致(請參見圖 3-8、3-9)。

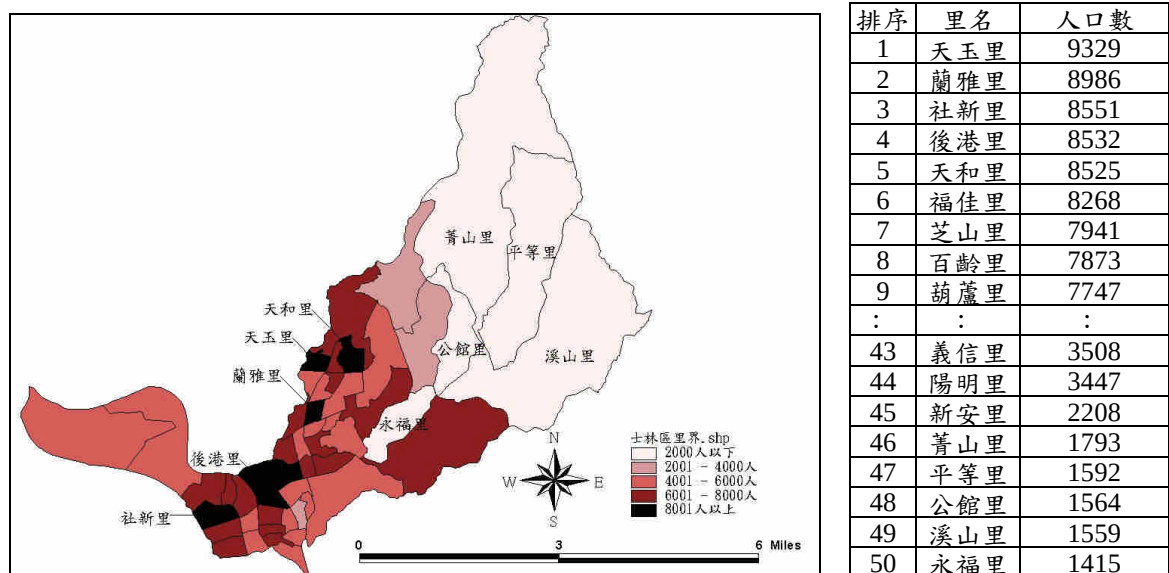


圖 3-6 士林區 91 年各里人口分佈

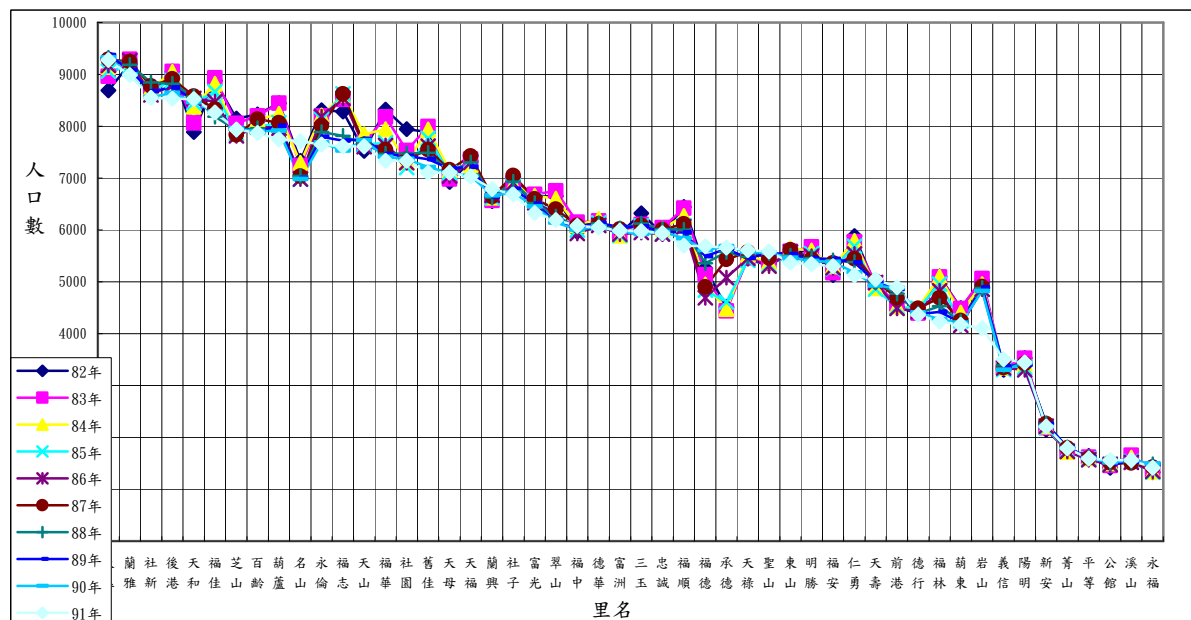


圖 3-7 士林區各里 82-91 年人口分佈圖

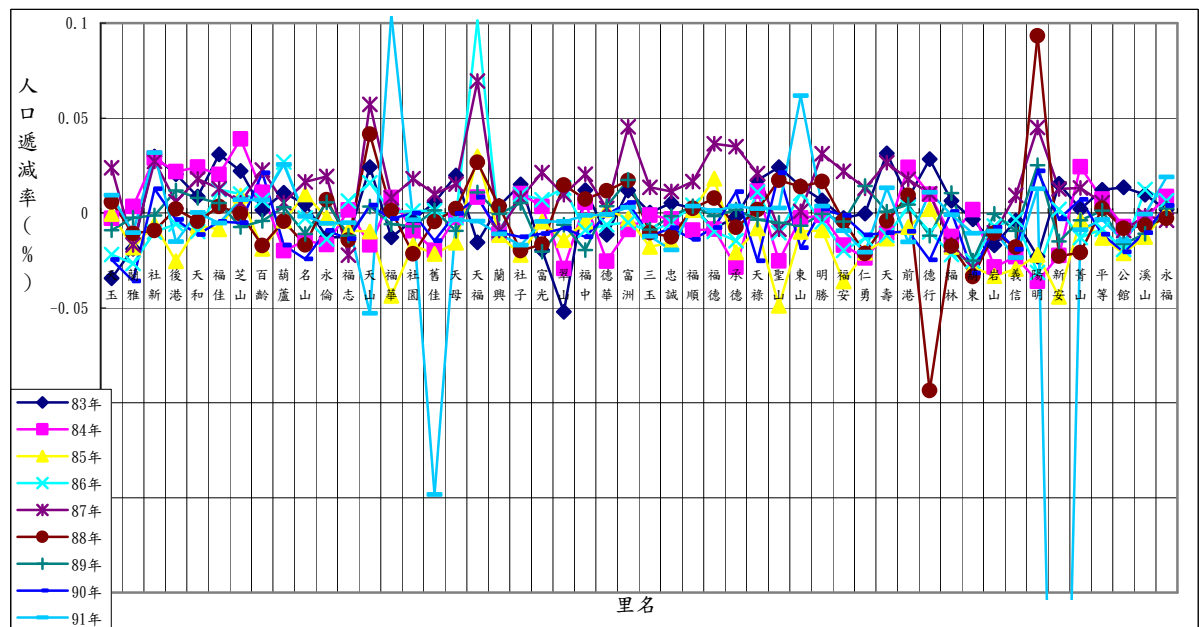


圖 3-8 士林區各里 82-91 年度平均人口遞減率(%)

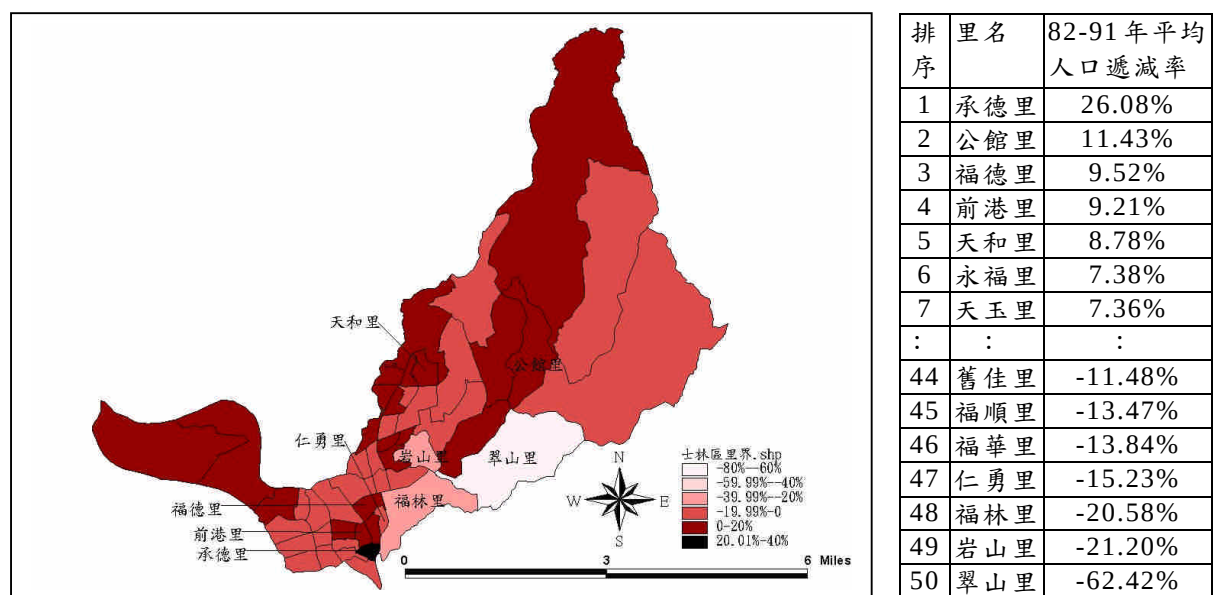


圖 3-9 臺北市士林區各里 82-91 年人口遞減率(%)

(二) 人口密度

士林區 91 年平均人口密度為 4,674 人/平方公里，居臺北市十二行政區第二位。各里密度以百齡里(53,295 人/平方公里)最高，菁山里(143 人)最少。綜觀之，發現各里間人口密度差距頗大，除受自然條件限制使發展集中於西半部外，區界

劃分方式導致東半部各里面積廣，而西半部各里面積小，加上人口皆集中於此，使相對人口密度高，災感度亦高（請參見圖 3-10）。

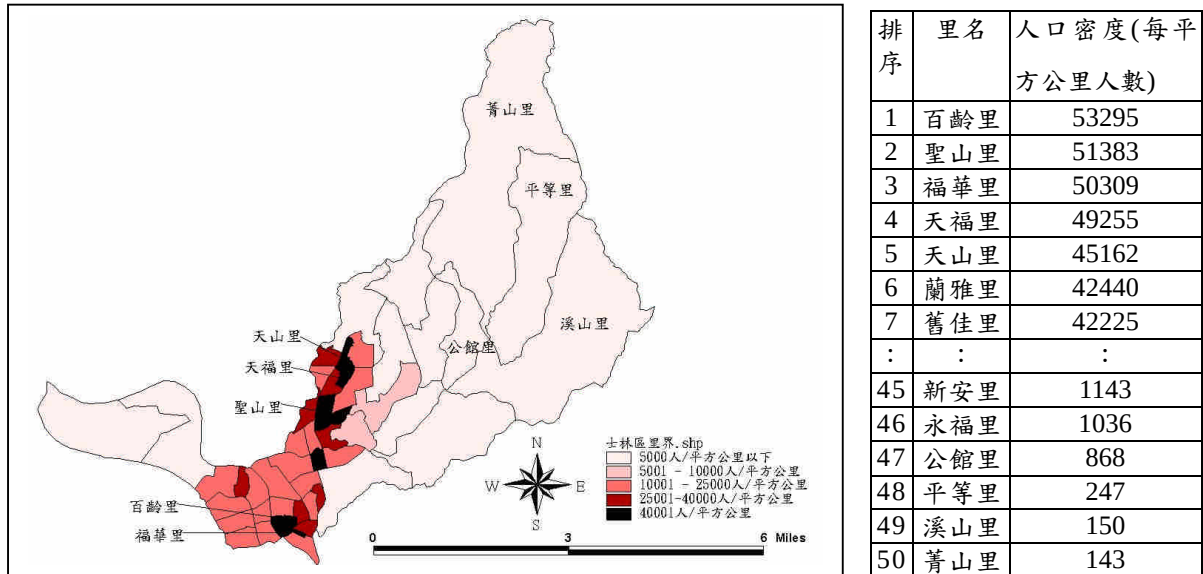


圖 3-10 士林區 91 年各里人口密度分佈圖

三、土地使用

士林區土地使用分區情形，可示之於表 3-1 及圖 3-11~3-16。從表 3-1 可知士林區全區土地使用劃分三部份：都市發展用地、非都市發展用地與陽明山國家公園，各佔全區土地面積 24%、43%、33%，其中保護區佔都市計畫地區土地面積之 55%，多位於本區東、北側之山坡地，為陽明山國家公園與都市發展用地之緩衝區。災感度較高之土地使用（住、商、工）僅佔都市計畫地區 21%，其中又以住宅使用佔多數（19%）。

從圖 3-11 瞭解都市計畫將士林區劃分為五個生活圈，依序為：陽明山生活圈、社子生活圈、士林生活圈、天母生活圈及外雙溪生活圈。因建築物分佈攸關地區地震災感度與風險分布之特性，從圖中可發現建物密集地區皆處於這五個生活圈之內。士林區土地使用現況，以各生活圈方式介紹如下：

第三章 資料蒐集與系統設定

表 3-1 臺北市士林區都市計畫各類土地使用分區面積

項目			面積（公頃）	佔都市計畫地區比例(%)	佔全區比例(%)
都市計畫地區	都市發展用地	住宅區	839.14	19.18	24
		商業區	66.09	1.51	
		文教區	28.14	0.64	
		工業區	26.35	0.60	
		保存區	0.74	0.02	
		風景區	6.05	0.14	
		公共設施用地	484.29	11.07	
		小計	1450.8	33.00	
	非都市發展用地	保護區	2387.15	54.56	43
		行水區	286.97	6.56	
		農業區	4.98	0.11	
		小計	2679.1	67.00	
合計		4375.50	100.00		
國家公園	陽明山國家公園		2019.0	-	33
總計			6394.5	-	100

資料來源：台北市都發局；此資料乃士林區 91 年 8 月通過之都市計畫定期通盤檢討（主要計畫）。

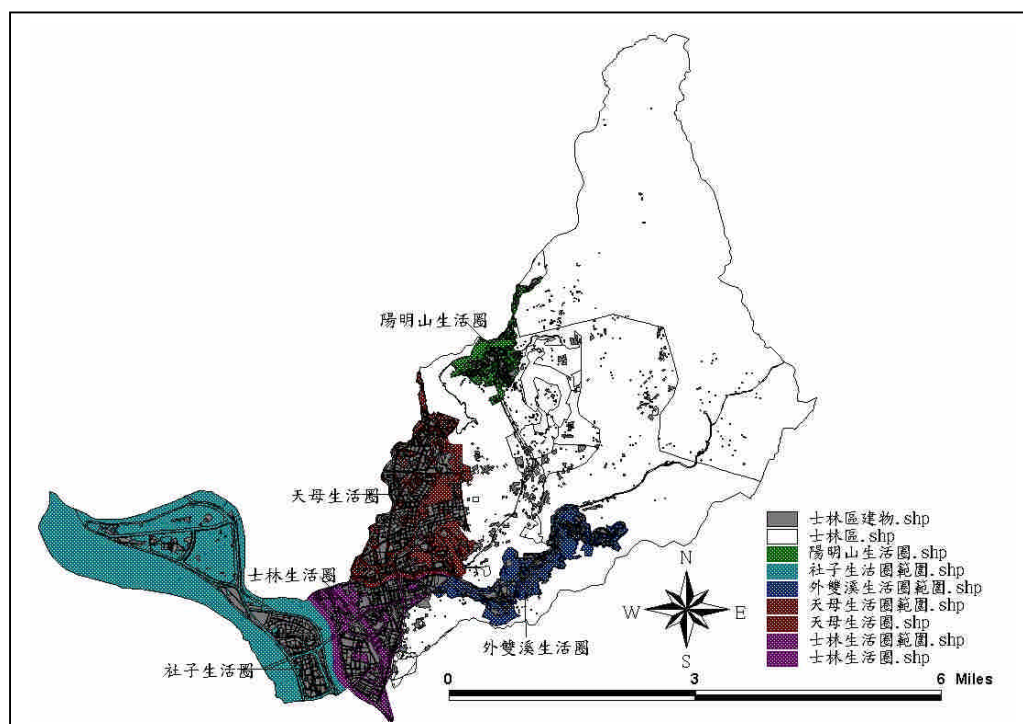


圖 3-11 臺北市士林區生活圈劃分與建物分佈情形

(一) 陽明山生活圈

陽明山生活圈包含：陽明里與部份天母里，圈內以住宅使用為主(50%)，主要為第二種住宅區(建蔽率 40%、容積率 120%)，佔住宅使用 79%。靠近本區保護區一帶，部份為第一種住宅區(建蔽率 40%、容積率 120%)屬高級別墅區。商業區的規劃主為一般性鄰里商業活動。圈內有陽明山國家公園屬全市性至全國性資源，造成平日及假日嚴重交通問題(請參見表 3-2、圖 3-12)。

表 3-2 陽明山生活圈土地使用分區面積

項目			面積(公頃)	佔都市計畫地區比例(%)	佔全區土地面積比例(%)
都市計畫地區	都市發展用地	住	52.68	53	49.98
		商	0.61	1	0.57
		農	5.14	5	4.86
		公共設施用地	26.93	27	25.46
		小計	85.53	87	80.83
	非都市發展用地	保護區	13.28	13	12.55
		合計	98.81	100	93.42
國家公園	陽明山國家公園		6.96		6.58
總計			105.77		100

資料來源：修改自行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（民國 88 年）

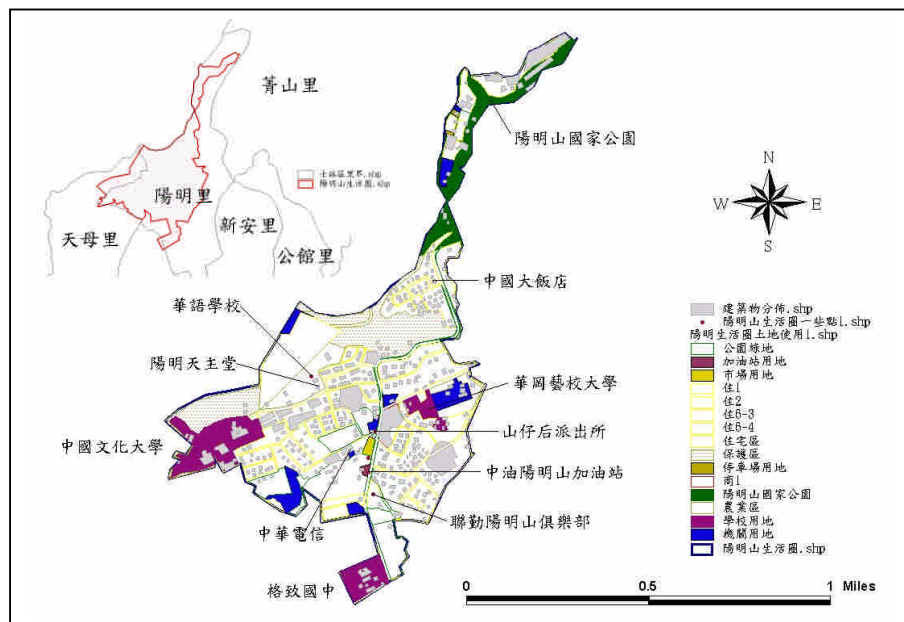


圖 3-12 陽明山生活圈土地使用分區暨設施分佈

(二) 社子生活圈

社子生活圈包括：富洲里、福安里、永倫里、社團里、社新里、社子里、葫蘆里、葫東里、富光里與福順里。商業區分佈於社正路與社子街所形成之圓環，及延平北路五-六段所圍成之範圍（請參見表 3-3、圖 3-13）。

表 3-3 社子生活圈土地使用分區面積

項目			面積(公頃)	佔都市計畫地區比例(%)
都市計畫地區	都市發展用地	住	117.62	14
		商	8.87	1
		工	7.19	0.8
		風景區	140.69	16
		公共設施用地	91.44	11
		小計	365.81	43
	非都市發展用地	保護區	488.01	57
合計			853.82	100

資料來源：修改自行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（民國 88 年）

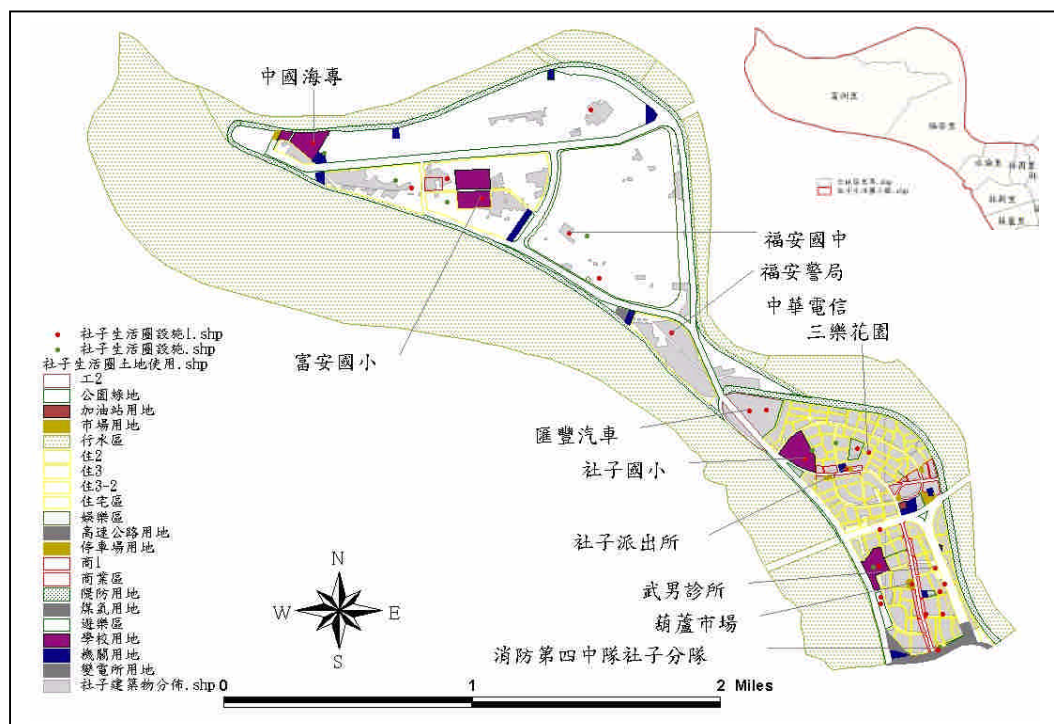


圖 3-13 社子生活圈土地使用分區暨設施分佈圖

(三) 士林生活圈

士林生活圈包括：後港里、福中里、百齡里、福華里、明勝里、福佳里、福德里、前港里、承德里、義信里、仁勇里、舊佳里與福志里。住宅區主要為第三種住宅區，其中位於主要道路沿線者，多指定為第 3-1 或 3-2 種住宅區（建蔽率 50%、容積率 225%）。商業區主要集中在劍潭一帶，以士林夜市為主軸，屬第三種商業（特）區。工業區則主要位於中正路以南、承德路以西可分成兩個地方，後港工業區以廠辦大樓和小型工廠為主，前港里之工業區則是大規模廠辦方式開闢（請參見表 3-4、圖 3-14）。

表 3-4 士林生活圈土地使用分區面積表

項目			面積(公頃)	佔都市計畫地區比例(%)
都市計畫地區	都市發展用地	住	95.78	24
		商	34.37	9
		工	15.43	4
		風景區	5.67	1
		公共設施用地	84.28	21
		小計	235.53	59
	非都市發展用地	行水區	160.64	41
合計			396.17	100

資料來源：修改自行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（民國 88 年）

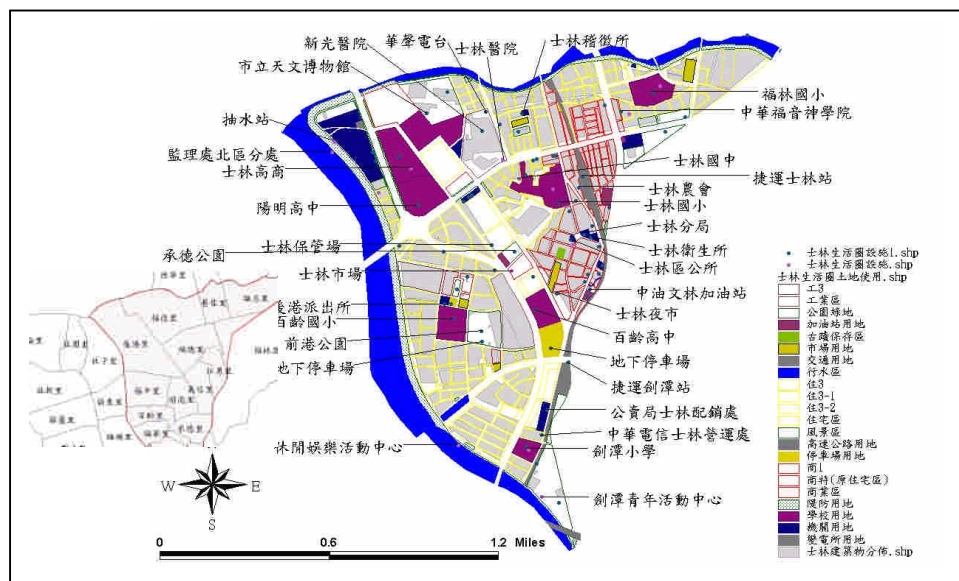


圖 3-14 士林生活圈土地使用分區暨設施分佈

(四) 天母生活圈

天母生活圈包括：德華里、德行里、名山里、岩山里、忠誠里、聖山里、蘭興里、蘭雅里、三玉里、天祿里、天福里、天壽里、天玉里、天山里與天和里，含部份天母里、東山里、芝山里。住宅區以第三種住宅區為主（含住3、3-1、3-2，達85%，建蔽率50%、容積率225%）。商業區主要集中在天母一帶，屬第三種商業（特）區。原士林電機北側之工業區屬第三種工業區，趨向修理服務與展售服務等複合使用（請參考表3-5、圖3-15）。

表 3-5 天母生活圈土地使用分區面積

項目			面積(公頃)	佔都市計畫地區比例(%)
都市計畫地區	都市發展用地	住	204.69	49
		商	12.91	3
		工	5.97	1
		公共設施用地	129.22	31
		小計	352.79	85
	非都市發展用地	行水區	19.58	5
		保護區	43.43	10
		小計	63.01	15
	合計		415.81	100

資料來源：修改自行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（民國88年）

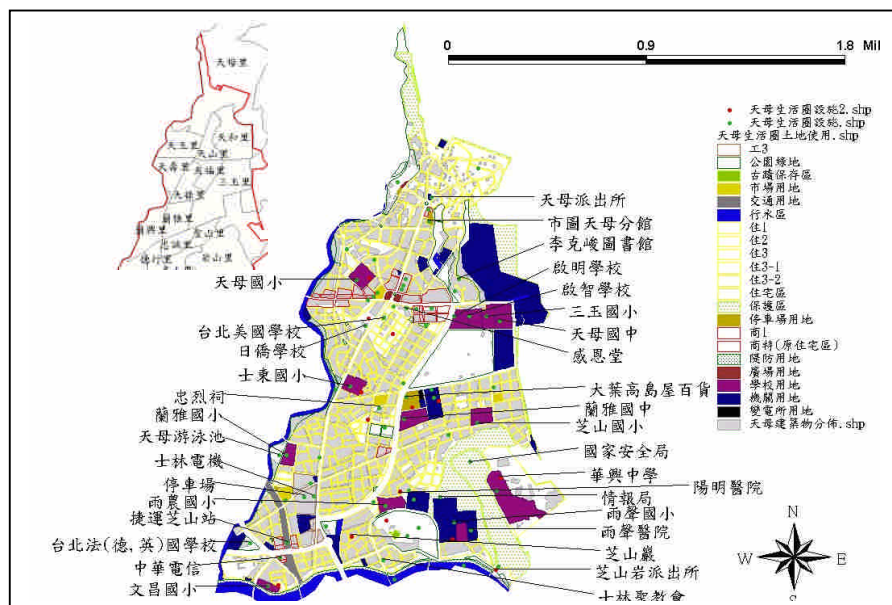


圖 3-15 天母生活圈土地使用分區暨設施分佈

(五) 外雙溪生活圈

外雙溪生活圈包含：翠山里及部份福林里。中央社區山坡地屬第一種住宅區，開發強度較低（建蔽率 30%、容積率 60%），另部份屬第二種住宅區，靠近保護區一帶（請參考表 3-6、圖 3-16）。

表 3-6 外雙溪生活圈土地使用分區面積表

項目			面積(公頃)	佔都市計畫地區比例(%)
都市計畫地區	都市發展用地	住	65.03	30
		商	2.53	1
		農	0.26	0.1
		公共設施用地	116.10	53
		小計	183.92	84
	非都市發展用地	行水區	15.48	7
		保護區	19.52	9
		小計	34.99	16
	合計		218.92	100

資料來源：修改自行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（民國 88 年）

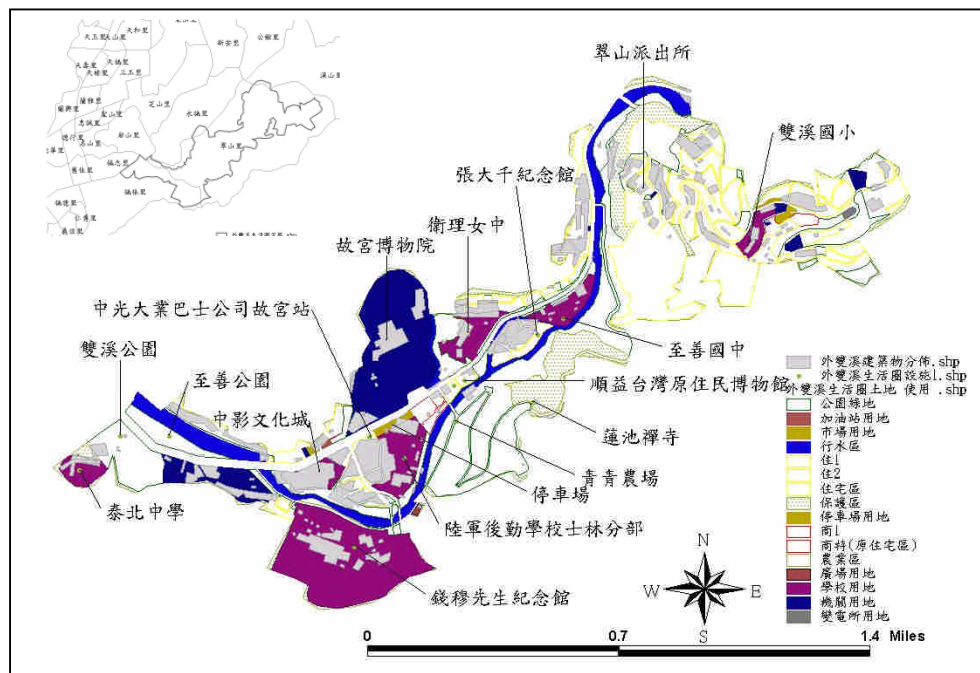


圖 3-16 外雙溪生活圈土地使用分區暨設施分佈

四、公共設施

公共設施對防救災工作相當重要，在災難發生時不僅提供救助，且具臨時避難或作為暫時庇護收容地點。從表 3-7 可發現目前各生活圈公共設施可供避難開放空間面積（計畫）排序，由高至低依序為：外雙溪生活圈（約 90 公頃）、天母生活圈（83 公頃）、社子生活圈（81 公頃）、士林生活圈（64 公頃）、陽明山生活圈（21 公頃）。每人可分配面積由高至低依序為：外雙溪生活圈（146 m²/人）、陽明山生活圈（63 m²/人）、社子生活圈（12 m²/人）、天母生活圈（7.8 m²/人）、士林生活圈（7.7 m²/人）。

表 3-7 臺北市士林區公共設施可供避難開放空間數量與面積 單位：公頃

	陽明山生活圈		社子生活圈		士林生活圈		天母生活圈		外雙溪生活圈	
	計畫	已開闢	計畫	已開闢	計畫	已開闢	計畫	已開闢	計畫	已開闢
公園綠地廣場	25(11.46)*	4(6.84)	19(30.47)	13(4.91)	31(20.04)	22(19.22)	43(52.17)	34(46.98)	52(51.65)	17(16.86)
國小用地	5(10.14)	-	6(14.23)	3(11.07)	9(28.8)	4(10.81)	13(25.55)	10(15.71)	8(37.64)	1(1.64)
國中用地		1(2.72)		-		3(8.80)		2(4.47)		-
高中(職)用地		-		-		1(4.82)		1(6.5)		2(5.42)
大學院校用地		2(9.64)		1(2.72)		1(4.60)		-		-
其他		-		-		-		-		3(27.89)
停車場用地	2(0.17)		5(0.99)		3(2.30)		4(1.91)		3(0.86)	
堤防用地	-	-	10(35.57)	-	10(13.23)	-	6(3.97)	-	-	-
小計	32(21.77)	7(19.2)	40(81.26)	17(18.7)	53(64.37)	31(8.25)	66(83.6)	47(73.66)	63(90.15)	23(51.81)

資料來源：修改自行政院內政部營建署全臺區域計劃圖（民國 88 年）與台北市政府工務局公園路燈工程管理處。

註：1.士林生活圈內之大專院校用地乃天文博物館；天母生活圈內之學校不包含台北美國學校、日僑學校與台北法（德、英）國學校。外雙溪生活圈其他項目，包括：陸軍後勤學校、中影文化城與錢穆先生紀念館

2.* 括弧中為面積

公園開闢率由高至低依序為：士林生活圈(96%)、天母生活圈（90%）、陽明山生活圈（60%）、外雙溪生活圈（33%）、社子生活圈(16%)，由於學校開闢完成，其餘項目以公園綠地佔大宗，所以目前每人實際可使用面積由高至低依序為：外雙溪生活圈（89 m²/人）、陽明山生活圈（49 m²/人）、社子生活圈（8.5 m²/人）、士林生活圈（7.6 m²/人）、天母生活圈（7.3 m²/人）。從上述結果可發現，由於士林

與天母生活圈乃早期發展地區，公共設施開闢率雖最高，但由於當初規劃方式造成公設面積過小與不足，而目前已高度發展造成土地取得不易，僅能從更新手段著手，以期降低地震發生時對人員與經濟的衝擊（請參見表 3-7）。醫療院所更是災害救援、醫護時所不可獲缺，醫療設施資源可參見表 3-8。

表 3-8 臺北市士林區醫院診所家數

年度	總計				醫院				診所			
	合計	市立	公立	私立	合計	市立	公立	私立	合計	市立	公立	私立
民國 81 年	221	2	--	219	3	1	--	2	218	1	--	217
民國 82 年	230	2	--	228	3	1	--	2	227	1	--	226
民國 83 年	245	2	--	243	3	1	--	2	242	1	--	241
民國 84 年	254	2	--	252	3	1	--	2	251	1	--	250
民國 85 年	250	2	--	248	3	1	--	2	247	1	--	246
民國 86 年	263	3	1	259	3	1	--	2	260	2	1	257
民國 87 年	256	3	1	252	3	1	--	2	253	2	1	250
民國 88 年	256	3	1	252	3	1	--	2	253	2	1	250
民國 89 年	263	2	2	259	2	1	--	1	261	1	2	258
民國 89 年	263	2	2	259	2	1	--	1	261	1	2	258

資料來源：臺北市統計要覽（民國 82-91 年）

五、產業經濟

士林區在功能上主要是從農業區轉變為住宅兼文教區，非工業或商業區，不過為適應當地居民日常生活需要，許多小規模的商店和小型工廠便依地利應運而生。比較重要的是商業活動主要集中在士林夜市、天母商圈及延平北路一帶，工業活動則主集中在社子與後港一帶，從圖 3-17 可知士林區行業以零售業與批發業為主。此外，因本區土地大部份為都市計畫之保護區與農業區，所以農牧產業在本區亦具有相當重要之地位¹，從表 3-9 可知以農牧業中的蔬菜與花卉栽培為主，從媒體普遍報導當地的山藥與海芋田等高經濟作物種植與推廣，可略知蔬菜與花卉在士林區的重要性。

¹資料援引自臺北市士林公所資訊網<http://www.sld.gov.tw/>。

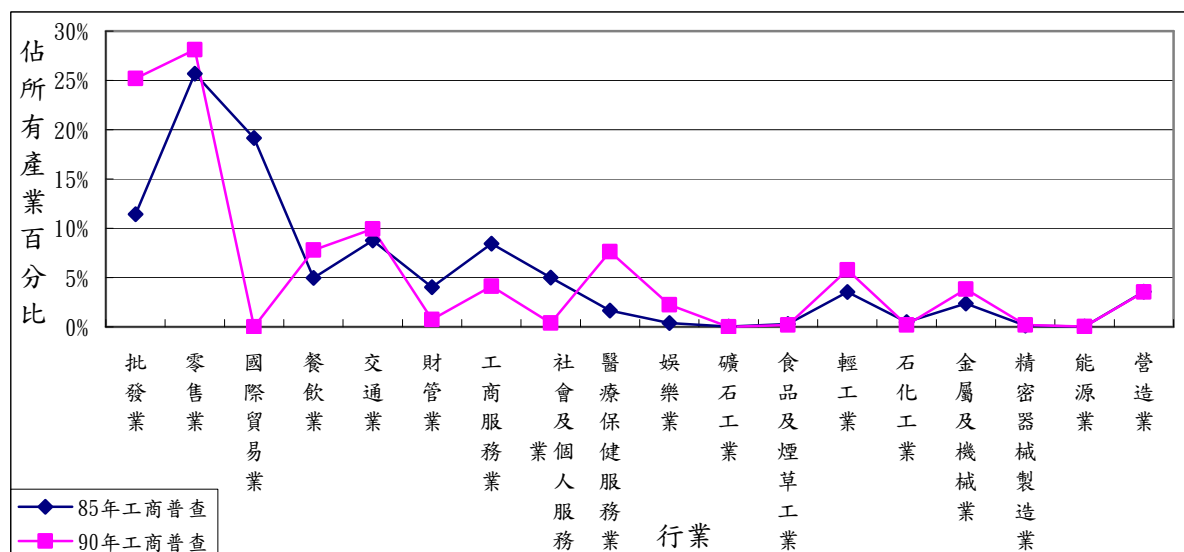


圖 3-17 臺北市士林區 85、90 年各行業類別之家數佔總家數比

資料來源：85、90 年主計處工商及服務業普查資料。

註：90 年工商普查資料無國際貿易業之業別。

表 3-9 臺北市士林區 89 年度農牧戶數

農牧業（家數）		畜物業（家數）	
稻作	50	豬	2
雜糧	9	其他家畜	1
特用作物	119	雞	4
蔬菜	1200	觀光休閒農業	2
果樹	141		
食用菇菌	1		
甘蔗	1		
花卉	247		
其他作物	27		

資料來源：行政院主計處農林漁牧普查<http://www.dgbas.gov.tw/>。

第二節 系統與地震境況模擬情境設定

本文主要透過 HAZ-Taiwan 系統探討不同都市規劃策略與手段在不同地震情境條件設定下，可能造成的地震風險分佈特質。故本節將先探討境況模擬地震事件的選定背景及其設定條件；其次說明 HAZ-Taiwan 系統執行地震情境模擬時，系統所需的資料與來源；最後將本研究執行模擬時資料的限制條件做一說明：

一、境況設定

HAZ-Taiwan 系統地震事件選擇方式有三：1.由歷史震央資料庫選定地震事件；2.由震源資料庫中選定地震事件；3.任意選取地震事件。依簡文郁（1996）表示境況模擬地震事件，通常以震央位置、震源深度與地震規模來定義，並配合震度衰減率，以估計分析場址所在地點之相關地震參數。基於此，本研究之地震境況模擬採任意選取地震事件模式，進行境況模擬地震事件之設定，下面依序將衰減率、震央位置、地震規模、震源深度之設定方式分述如下：

（一）地震衰減率

HAZ-Taiwan 系統震度衰減模式計四種：1.台灣科學團隊衰減式；2.Boore 衰減式；3.Sadigh 衰減式，與 4.Campbell 衰減式，本研究採用簡文郁（2001）發表之研究成果與建議，以 Campbell 衰減式作為境況模擬衰減公式。

（二）震央位置

對於地震震央位置的設定，乃參酌「臺北市地區災害防救計畫」及相關文獻之建議設定三震災事件：

1. 宜蘭外海：其為地震活動頻繁、發生機率高的區域，歷史震央資料之震源大多位於此處；
2. 新城斷層：根據劉玉龍（1995）發現災害性地震統計中，西部地區人員傷亡與建物毀損遠超過東部，故考慮較近士林區且為西部地區地震活動較頻繁之新城斷層；

3. 獅潭斷層：依據經濟部中央地質調查所調查結果顯示，其為第一類活動斷層，發生地層活動機率較高，確實度亦較高，且距離臺北市近（在苗栗附近），對臺北潛在危害高，而列為模擬地震危害事件之震央位置。

（三）地震規模

國家地震工程研究中心依據各震源分區之蒙地卡羅模擬（Monte Carlo simulation）成果，建立之一系列地震之震源位置、規模發生率。其為簡化分析以離散震源反映地震空間分佈特性，將地震發生可能之震源，劃設成分區 S_i 區（ $i=1, \dots, 13$ ）（如圖 3-18 所示）。依據該成果，上述三個地震模擬地震事件最大可能地震之代表規模為：1.新城斷層 $M=7.5$ ；2.宜蘭外海 $M=7.9$ ；3.獅潭斷層 $M=7.1$ 。

（四）震源深度

深層地震的震源深，地震釋放的能量傳播到分析場址時，因地震波的衰減與幾何擴散特性（羅俊雄，2001），使得能量減少，對於場址的威脅降低；而淺層地震震源距離分析場址近，故危害較大。依據國家地震工程研究中心建議及沿用蕭代基（2001）研究報告之模擬震源深度，採用為 10 公里。

表 3-10 系統設定之地震事件

震源	規模 (M)	震央 (二度分帶座標)	每千年再現頻率	深度 (km)
新城斷層 (A 事件)	7.5	269000, 2742000	0.0004191689	10
宜蘭外海 (B 事件)	7.9	332899, 2694039	0.001135159	10
獅潭斷層 (C 事件)	7.1	240201, 2709908	0.0004191689	10

綜合上述，本研究地震情境設定依序為：事件 A - 新城斷層，震央位置為二度分帶座標 269000, 2742000 (121.188E, 24.79N)、地震規模假設為 $M=7.5$ 、震央深度假設為 10 公里；事件 B - 宜蘭外海，震央位置為二度分帶座標 332899, 2694039 (121.817E, 24.35N)，地震規模假設為 $M=7.9$ ，震央深度 10 公里；事件 C - 獅潭斷層，震央位置為二度分帶座標 240201, 2709908 (120.903E, 24.49N)，地震規模假設為 $M=7.1$ ，震央深度 10 公里。茲將設定之地震事件相關資訊，彙

整於表 3-10。

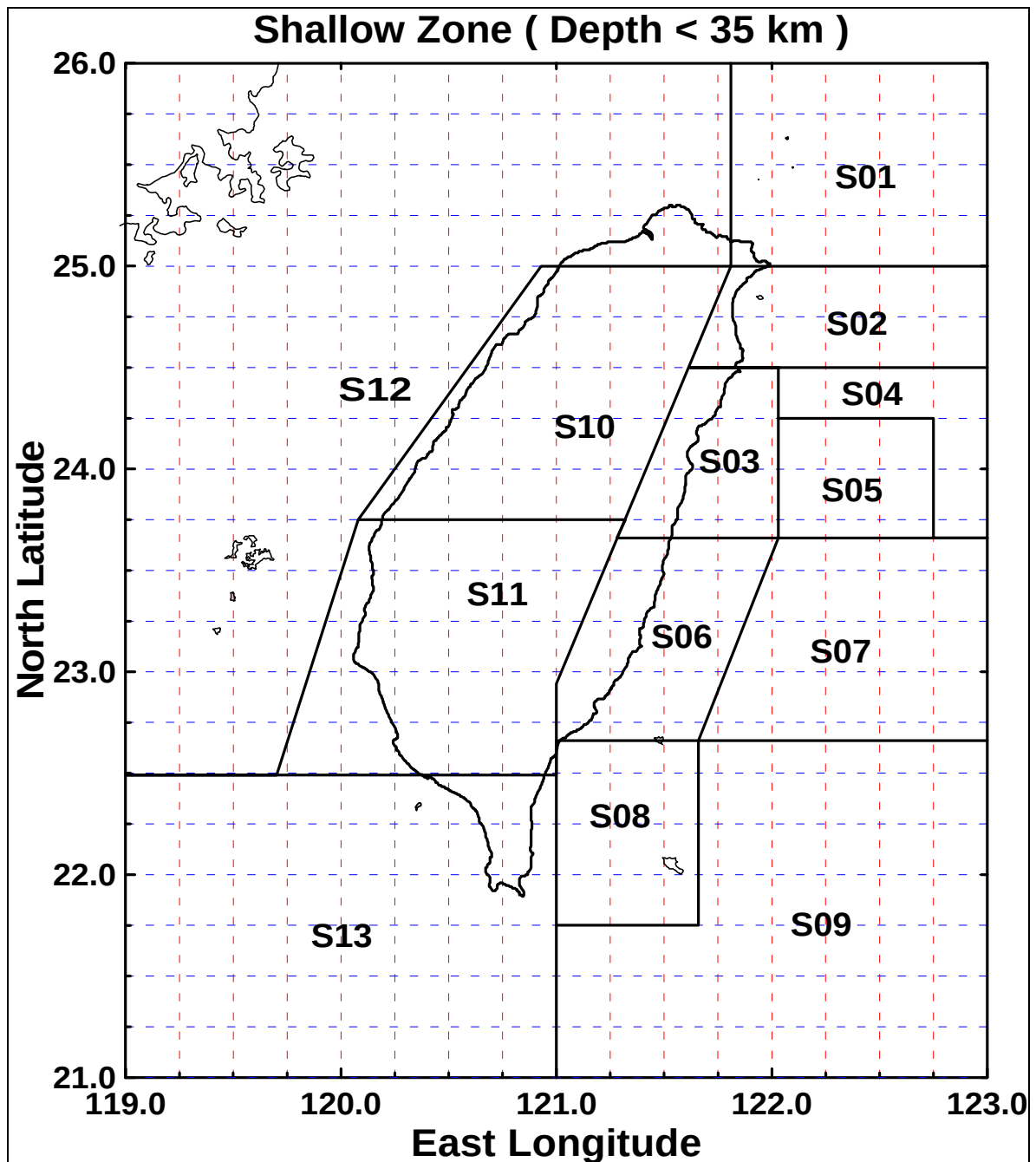


圖 3-18 淺層地震震源分區圖

資料來源：國家地震工程研究中心提供

二、資料需求與來源

(一) 大地災害潛勢模組

地震會引致大地災害，評估其災害潛勢，所需的資料，包含：地震震源、活斷層位置圖、場址土壤分類圖、地層滑動潛感分級圖、地下水位分佈圖等，資料特性與來源可說明如下（蔡義本等，1999）：

1. 地震震源

地震震源的特性決定了工址所在之地表振動的強度，進而影響了大地災害的程度，故需要地震震源的位置、深度和規模等資料。系統資料來源是以交通部中央氣象局 1900 年至 1996 年間，有紀錄之規模 5 以上地震資料所設定，並以前述三個地震事件為基礎，輸入相關參數資料。

2. 活斷層圖

活斷層資料庫所需的資料則包含：各活斷層之長度、斷層活動形式、a 及 b 值、滑移速率、地震距率、特徵地震規模及回歸期等，而活斷層圖層為比例尺約兩萬五千分之一的圖層。資料來源為中央大學工程地質與防災科技研究室提供之活斷層資料。

3. 場址土壤分類圖

地震波的某些頻率會經由土壤的力學條件被放大或減弱，故地盤特性會影響大地振動的強度，需要的資料則包括：地盤之剪應力強度、N 值或剪力波速等。資料來源包括：經濟部地質調查所 25 萬分之一比例尺地質圖幅，及由國道工程局、中興工程顧問社、亞新工程顧問公司等提供之道路沿線鑽井在 30 公尺內 N 值資料與數值地形彩繪明暗圖。

4. 地層滑動潛感分級圖

地震所引致的地層滑動，乃因滑動地層的重力與慣性之合力超過地層本身與周圍土壤的摩擦力所造成。故對於山崩潛感知識的掌握有助於減少災害損失，而

地層滑動潛感分析則需要土壤分類與坡度分類資料合併來分級。此資料來源為農林航空測量所 40 公尺往格數值地形資料 (DTM) 與經濟部地質調查所 25 萬分之一比例尺地質圖幅。

5. 地下水深分佈圖

地下水水位面深度會影響土壤液化的可能性，而土壤液化對建築結構物在地表震動時的穩固帶來嚴重威脅，故要估計地震引致的大地災害，需有土壤液化的潛能資訊，評估土壤液化的潛能則需先有地下水水位資料。此資料來源為農林航空測量所 40 公尺網格數值地形資料 (DTM) 與數值地形彩繪明暗圖 (地形變化)。

(二) 直接實質損害模組

直接實質損害模組的內容，包括：一般建物、重要設施、維生-運輸系統、維生-民生系統等四個子模組。各子模組說明如下 (Risk Management Solutions, 1999b)：

1. 一般建物

HAZ-Taiwan 系統對於一般建物的分類標準有二：(1)依建物的用途分類；(2)依建物的結構型式分類；前者用以估計社經損失，後者則是用來估計建物受損程度及其發生機率。建物的結構形式區分成木造、鋼骨造、鋼筋混凝土造、預鑄鋼筋鋼筋混凝土造、磚造、鋼骨鋼筋混凝土造等 6 種一般分類，且可再細分成 37 種細項構造類別。一般建物資料庫需要的資料與參數，包括：建物結構形式分類、樓地板面積、數量、能耐曲線、易損曲線、用途與形式對應關係等。此資料來源主要由國家災害防救科技中心（前防災國家型科技計畫辦公室）、國家地震工程研究中心及實地調查。

2. 重要設施

重要設施是指提供一般民眾服務之設施，並且能在地震發生後發揮災害救助功能之重要設施，如：醫療院所、緊急應變中心、學校等。所需的資料與系統參數包含：醫療院所病床數、緊急應變中心與學校的數量，以及上述各設施在輕度、

中度、嚴重與完全損害下的功能恢復函數等。此資料來源主要由國家災害防救科技中心與臺北市防災計畫辦公室提供。

3. 維生-運輸系統²

(1) 公路系統：包含公路路段、橋樑、隧道等，資料內容為此等設施之區位分佈、分類、長度、寬度等。

(2) 公車系統：包含公車市區車站、加油設施、維修保養設施等，資料內容包含此等設施之分類、功能、耐震設計要求、交通量、設施地點等。

運輸系統除上述基本資料的需求之外，尚有系統參數需求，包括在輕度、中度、嚴重、完全損害等四種損害程度下的功能恢復函數與損害函數等。此資料來源主要由國家災害防救科技中心、國家地震工程研究中心與臺北市政府防災計畫辦公室提供。

4. 維生-民生系統³

(1) 飲用水系統：包含飲用水管線、自來水廠、水井、儲水槽、抽水加壓站等；需要的資料包括分佈地點、設施的耐震設計與容量、管線的分類、長度、管徑與材質等。

(2) 電力系統：包含變電所、配電線路、發電廠等；需求的資料有分類、功能、耐震設計、建造成本、設施或線路之地點分佈等。

(3) 通信系統：包含中央辦公室與站台或傳送器兩個項目，需求的資料包含設施耐震設計、建造成本、地理位置等。

2 運輸系統內有 6 個子系統，包括：(1)公路系統；(2)鐵路系統；(3)公車系統；(4)港埠系統；(5)渡口系統；(6)機場系統等。然因本研究選擇進行模擬之實證區為臺北市士林區，在士林區的行政轄區內並非所有子系統設施均存在或是因資料欠缺，故在此說明資料需求時，僅針對本研究在模擬分析時所擁有的系統項目作一說明。

3 民生系統內亦同樣有 6 個子系統，包括：(1)飲用水系統；(2)污水系統；(3)油料系統；(4)天然氣系統；(5)電力系統；(6)通信系統等。同樣因士林區的行政轄區內並非所有子系統設施均存在或是因資料欠缺，故在此說明資料需求時，僅針對本研究在模擬分析時所擁有的系統項目作一說明。

除上述之基本資料庫的資料外，民生系統亦同樣需要部份系統參數資料，包含在設施與管線在輕度、中度、嚴重與完全損害下的功能恢復函數與損害函數等，此等資料來源主要為國家災害防救科技中心。

(三) 直接社會/經濟損失模組

直接社會/經濟損失模組包含 3 個子模組：直接經濟損失、人員傷亡、庇護所需求等三個子模組，各子模組之資料取得說明如下 (Risk Management Solutions, 1999d)：

1. 直接經濟損失

HAZ-Taiwan 系統估計直接經濟損失的內容，包含一般建物與維生線系統等兩項直接經濟損失，上述兩類經濟損失的推計，對於資料與系統參數的需求內容，可分別說明如下：

(1) 一般建物直接經濟損失

估計建物直接經濟損失需要的資料與系統參數，包括：a.建物用途類型分類；b.建物樓地板面積建物自有比率；c.建物之租金；d.建物在不同損害狀態下之結構修復成本；e.加速-敏感性非結構體元件修復成本；f.位移-敏感性非結構體元件修復成本；g.內部重建成本比；h.內部財產損害比；i.平均總產值；k.庫存產值；l.庫存損失產值表；m.再營業之修復時間等。此等資料來源主要為國家災害防救科技中心、國家地震工程研究中心、臺北市政府防災計畫辦公室、訪談、問卷調查與工商普查資料。

(2) 維生線系統直接經濟損失

維生線直接經濟損失估計需要的資料與參數，包括：a.各種設施或管線的單位重置成本；b.在不同損害狀態下設施或管線的損害比；c.設施或管線的類別等。資料來源主要為國家災害防救科技中心。

2. 人員傷亡

對於人員傷亡的估計，可依地震發生時段的不同（凌晨二時、清晨八時、下午三時），分別估計遭受四級傷亡的人員數。人員傷亡估計所需要的資料包含：a.傷亡程度的分類；b.三個時段的人口分佈資料；c.人口分佈類別（居家、商業工作、工業工作、通勤工作）；d.地震發生的時間；e.設施結構物損害情況機率分布。

人員傷亡參數的需求，包含：a.不同構造型式建物，其結構遭受輕微、中度、嚴重、完全損害程度或完全損害每千人的傷亡率；b.各種類型橋樑的結構遭受輕微、中度、嚴重、完全損害程度或完全損害每千人的傷亡率。此等資料來源主由國家災害防救科技中心與臺北市防災計畫辦公室提供。

3. 庇護所需求

庇護所需求的估計的內容，包含無家可歸家庭戶數與短期庇護所需求人數兩種估計。所需的資料包含：(1)家庭總戶數；(2)人口總數；(3)家庭收入分佈；(4)所有權狀態（自有率）；(5)年齡分佈等。庇護所需求估計所需之系統參數，包含：(1)在不同損害狀態下搬出住所的居家單位比例；(2)收入分佈修正因子；(3)所有權狀態修正因子；(4)年齡分佈修正因子；(5)所得權重因子等。此等資料來源主要為臺北市防災計畫辦公室與國家災害防救科技中心提供。

三、資料的更新

發展及蒐集相關基本資料與參數庫，及資料的輸入，是最耗時且需大量經費的工作，尤其對於跨領域綜合多種分析模組的 HAZ-Taiwan 更是如此。HAZ-Taiwan 系統本身的預設資料是提供使用者在無足夠資源以建立詳細的基本資料或更新系統部份預設資料時，對研究區作基本的分析評估。然系統預設資料在某些方面是有其限制，故使用者應盡量於能力範圍內盡可能將資料庫與系統參數等資料予以更新或增補，方能提高系統災害損失評估的正確性⁴。故可將本研究，依上述資料來源的說明，及相關資料的更新與參數處理方式，可整理於表 3-11。

⁴ 資料援引自防災國家型科技計畫-資訊組網站，<http://140.112.235.110/results/final/Index.htm>。

表 3-11 直接經濟損失資料與參數庫處理方式

項目		細項	資料處理方式			資料建置內涵
			一手資料	二手資料	沿用 HAZ-Taiwan 內設值	
各種建物之總樓地板面積			✓	✓		90/10 台北市政府建管資料、士林區 8 個里現況調查資料
建物 維修與 重建成本	建物 結構 部份 損失	區域成本調整指數	✓			89/12 台北市 & 90/12 台中縣市和南投縣（921 主要災區）之比率
		各種使用類別與建物結構體之單位重建成本	✓		✓	依損失程度（完全、嚴重、中度、重度）分別乘上 100 %、50 %、10 %、2 %
	建物 非結構 部份 損失	不同損害程度，各種使用別建物，加速敏感非結構部分之修復或重建成本			✓	1. 完全損害成本=結構部份完全損害成本*佔結構部份完全損害成本之比例（加速→獨住 35 %；其住 50 %、商 65 %、工 85 %；流動→獨住 65 %；其住 50 %、商 40 %、工 15 %） 2. 依損失程度（完全、嚴重、中度、重度）分別乘上 100 %、50 %、10 %、2 %
		不同損害程度，各種使用別建物，位移敏感非結構部分之維修與重建成本			✓	
建物內部 財產損失		各種使用別建物之內部財物價值	✓	✓		建物內部財產價值佔總重建成本之比例
		各種使用別建物，在不同損害程度，內部財物價值損害			✓	-
庫存損失		各種使用別建物，每平方公尺之每年毛營業額		✓		90 年工商普查
		各種使用別建物營業庫存損失為每年毛營業額之比率		✓		90 年工商普查
		各種使用別建物營業庫存，在不同損害程度的損壞比率			✓	-
建物修護 與功能喪 失時間之 估計		不同損害程度，建物重建與維修所需時間	✓			90/12 調查 921 災區資料
		不同損害程度下，建物維修時間乘數	✓			90/12 調查 921 災區資料

表 3-11 直接經濟損失資料與參數庫處理方式（續）

項目	細項	資料處理方式			資料建置內涵
		一手資料	二手資料	沿用 HAZ-Taiwan 內設值	
建物修護 與功能喪 失時間之 估計	不同損害程度下，建物清除 與建造所需時間			√	-
遷移損失 成本	各種使用別建物之房屋自有 率	√			90/12 調查 921 災區資料
	各種使用別建物之中斷成本 (元/平方公尺)	√	√		88/12 資料
	各種使用別建物之租金成本 (平方公尺/天)	√	√		89/12 房屋仲介業訪查+85 年工商普查資料
收入損失	各種使用別建物之薪資回復 因子			√	-
	各種使用別建物之收入回復 因子			√	-
	各種使用別建物，每天之所 得損失(每平方公尺)		√		90 年工商普查資料

第四章 實證區地震風險分析

本章主要目的，乃引用 HAZ-Taiwan 系統，以臺北市士林區為例，進行境況模擬，以分析實證區之地震潛勢、危險度、災感度與風險，並作為後續都市計畫防災規劃評估與應用之基礎。以下第一節說明境況模擬步驟與方法；第二節則說明地震潛勢、危險度、災感度與風險之境況模擬與分析成果。

第一節 模擬步驟與方法

HAZ-Taiwan 地震災害損失評估系統境況模擬之操作步驟如下（請參考圖 4-1）：

一、第一步驟：建立研究區域

本計畫所選定之實證境況模擬區為臺北市士林區，以里為基本單位進行境況模擬。

二、第二步驟：輸入地震災害模擬事件

根據所選定之震災模擬事件，定義地震事件，將欲模擬地震事件之震央座標、地震規模、震央深度及斷層形式等資料輸入系統，即可執行災害損害與損失評估分析。

三、第三步驟：估計地表震動與大地破壞情形

依上述兩步驟，HAZ-Taiwan 系統會根據系統內已建立之山崩潛感、場址土壤、地下水位圖等資料，進行地震災害潛勢分析。此步驟之輸出可展示士林區地震之地動強度等值圖和地層破壞分佈圖。

四、第四步驟：評估建物、重要設施與維生管線損壞機率

HAZ-Taiwan 系統根據上一步驟所估計之地震潛勢成果進行模擬，進一步估計地震危險度，包含建物損害、重要設施與維生管線之損壞機率與地理

位置分佈圖，這些圖層可被用作災感度評估與風險分析之基礎。

五、第五步驟：估計直接經濟／社會損失

根據上一步驟所得出之危險度估計結果，可估計直接經濟損失與社會損害，估計內容包含：建物損壞所引發之直接經濟損失、重要設施與交通設施損害成本、人員傷亡與庇護所需求估計等。

藉由上述五個步驟，即可完成 HAZ-Taiwan 系統之境況模擬，並可依模擬成果分析士林區地震危險度或災感度之特性與分佈，作為都市災害防救計畫研擬與地震風險管理決策的支援工具。

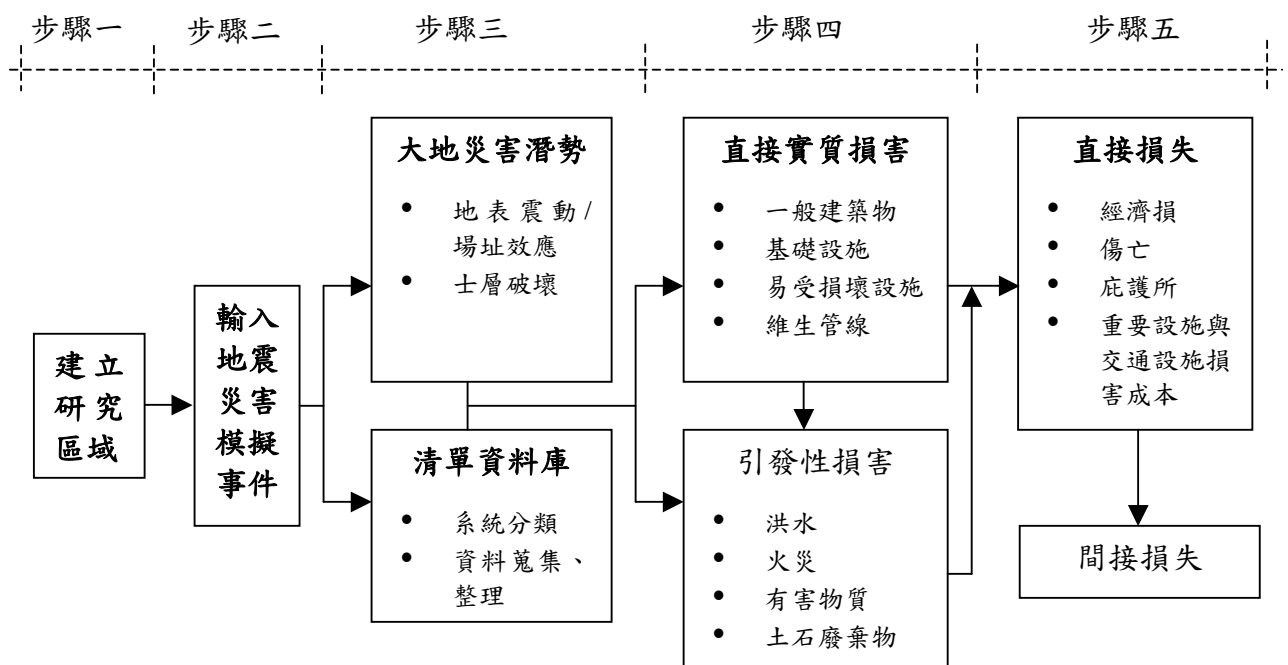


圖 4-1 HAZ-Taiwan 系統損失估計方法

資料來源：修改自 Whitman et al., 1997。

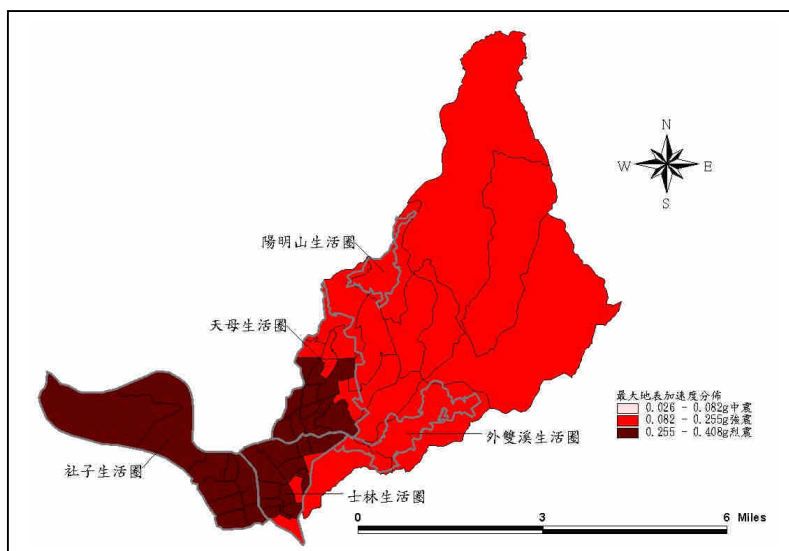
第二節 地震風險分析

本節之內容主要在進行系統境況模擬與比較分析，境況模擬係將地震災害模擬事件分成 A、B、C 三種情境，事件 A 為假設震源在新城斷層（地震規模 $M=7.5$ ）；事件 B 設定震源在宜蘭外海（地震規模 $M=7.9$ ）；事件 C 設定震源在獅潭斷層（地震規模 $M=7.1$ ），三個地震事件之震央深度皆設定為 10 公里。藉由不同地震事件模擬成果的比較，可從更多向度探討士林區在不同地震事件的可能地震危險度與風險分佈特性。本節損害模擬不進行所有 HAZ-Taiwan 損失子模組之模擬，僅針對直接實質損失與社會經濟損失模組中的建物直接經濟損失、重要設施損害、交通與維生管線損害、傷亡估計與庇護所需求模組進行境況模擬與分析。

一、大地災害潛勢

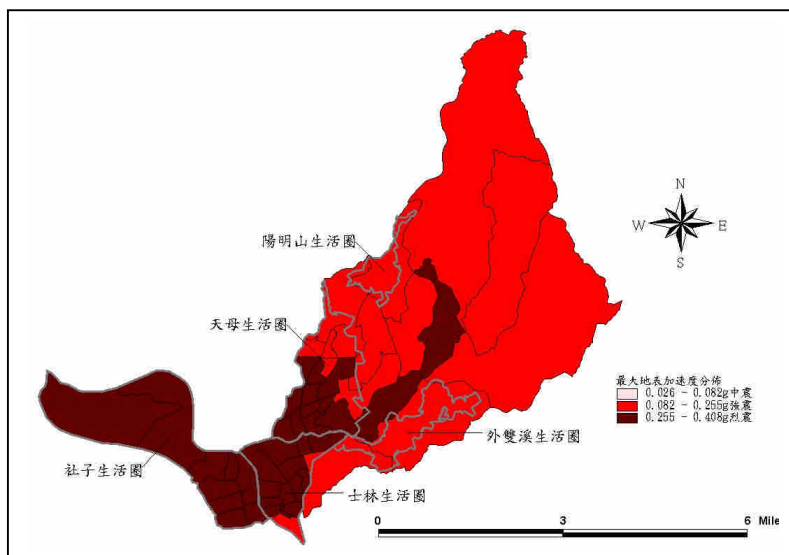
從圖 4-2、4-3、4-4 可知在不同情境設定條件下，士林區各里大地振動分佈情形，以震動係數 PGA 值表示。從圖中發現 PGA 分佈約在 $0.14g-0.34g$ 間(地震震度等級劃分乃依交通部中央氣象局所訂之劃分標準，其可參考表 4-1)，如發生 A、B 事件之情境設定時，對士林區造成的震度分布為強震至烈震、事件 C 震度減為中震至強震。三事件中較大 PGA 地點分佈，皆分布於士林區西南部，約為士林、天母與社子生活圈等人口稠密地區。

三事件之震源與地震規模雖有差異，但境況模擬結果，較嚴重 PGA 地理分布地區無太大差異，其中事件 C 之 PGA 小於其他二事件，而 B 事件的平均 PGA 略大於事件 A。事件 C 小於事件 A 與 B 的原因，除源於地震規模較小外，亦可能在於距離士林區較遠之故。模擬結果顯示 PGA 較大之地區，隱含地震發生時，可能產生較大之震度，而產生之損害可能較嚴重。



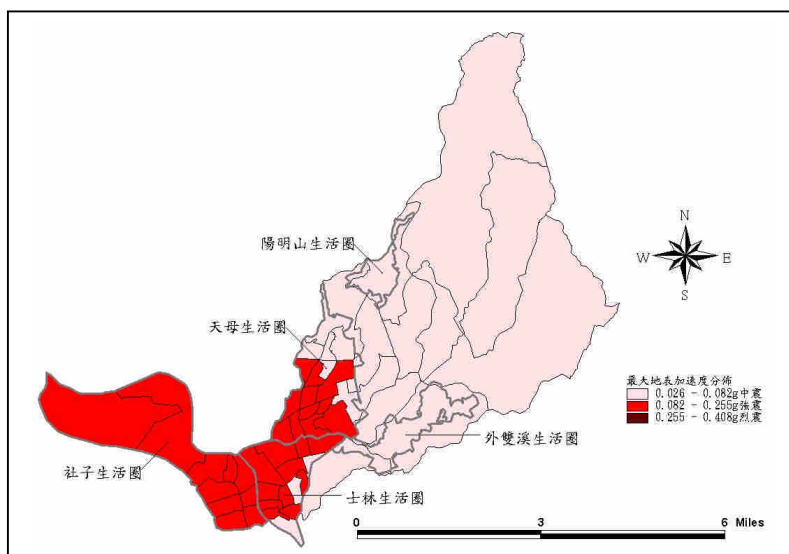
排序	里名	PGA(g)
1	富洲里	0.3407
2	福安里	0.3382
3	永倫里	0.3359
4	社新里	0.3351
5	葫蘆里	0.3347
6	社團里	0.3344
:	:	:
46	平等里	0.1699
47	福林里	0.1624
48	陽明里	0.1573
49	翠山里	0.1524
50	溪山里	0.1405

圖 4-2 臺北市士林區最大地表加速度分佈（事件 A）



排序	里名	PGA(g)
1	承德里	0.3348
2	福華里	0.3344
3	仁勇里	0.3343
4	前港里	0.3341
5	福志里	0.3339
6	百齡里	0.3337
:	:	:
46	翠山里	0.1851
47	溪山里	0.1828
48	福林里	0.1823
49	明勝里	0.1813
50	陽明里	0.1687

圖 4-3 臺北市士林區最大地表加速度分佈（事件 B）



排序	里名	PGA(g)
1	富洲里	0.1138
2	福安里	0.1112
3	富光里	0.1111
4	葫蘆里	0.1109
5	永倫里	0.1107
6	社新里	0.1107
:	:	:
46	明勝里	0.0437
47	福林里	0.0420
48	翠山里	0.0401
49	陽明里	0.0392
50	溪山里	0.0375

圖 4-4 臺北市士林區最大地表加速度分佈（事件 C）

表 4-1 地震震度分級（八十九年八月一日公告）

震度分級	地動加速度範圍	人的感受	屋內情形	屋外情形
0 無感	0.00008g 以下	無感覺	-	-
1 微震	0.00008-0.0003g	靜止時可感覺微小搖晃	-	-
2 輕震	0.0003-0.0008g	大多數的人可感到搖晃，有的人會有恐懼感	電燈等懸掛物有小搖晃	靜止的汽車輕輕微晃，類似卡車輕過，但歷時很短
3 弱震	0.0008-0.026g	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感	房屋震動，碗盤門窗發出聲音	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃
4 中震	0.026-0.082g	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃
5 強震	0.082-0.255g	大多數的人會感到警嚇恐慌	部份牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒
6 烈震	0.255-0.408g	搖晃劇烈以致站立困難	部分建築受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象
7 劇震	0.408g 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面	山崩地裂，鐵軌變曲，地下管線破裂

資料來源：交通部中央氣象局資訊服務網（<http://www.cwb.gov.tw/V3.0/index.htm>）

註：1gal=1cm/sec²，1g=980gal

二、直接實質損害

（一）一般建物損害

表 4-2 顯示三個設定之地震情境下，不同用途類別建物損壞機率分布的模擬結果。發現士林區三地震事件模擬結果，建物嚴重與完全損壞機率皆為住宅、商業與工業使用較高，其中事件 C 工業使用未超過平均損壞機率，反而農業使用完全損壞平均機率為最高。完全損壞平均機率分別為 A 事件：住(26.73%)、商(26.56%)、工(27.28%)，高於該區平均值(24.30%)；B 事件：住

(27.34%)、商(26.89%)、工(27.44%)，高於該區平均值(25.11%)；C 事件：住(2.52%)、商(2.34%)、農(4.42%)，高於該區平均值(2.34%)。比較而言，A、B 事件完全與嚴重損害之機率差異不大，C 事件小於 A、B 兩事件。另士林區都市發展用地中，住宅使用佔所有建物樓地板面積之 74%、商業使用佔 4%、工業使用佔 5%，三者合計接近 85%。三個地震事件的模擬結果，顯示一旦發生地震，此三種使用別之建物將成為直接經濟損失主要來源。

表 4-2 一般建物損害之估計

		樓地板面積 (仟平方公尺)	損壞機率(%)				
			沒有損壞	輕度損害	中度損害	嚴重損害	完全損害
事件 A	農業	323	50.45	2.49	9.38	14.68	23.07
	商業	332	50.17	2.39	8.04	12.86	26.56
	教育	576	50.14	2.42	10.4	13.82	23.11
	政府	497	50.96	4.35	12.68	12.96	19.03
	工業	436	50.13	2.44	7.46	13.20	27.28
	住宅	5912	49.84	2.00	8.03	13.18	26.73
	平均值	8076(總計)	50.28	2.68	9.33	13.45	24.30
事件 B	農業	323	50.08	2.03	8.10	14.73	24.96
	商業	332	50.09	2.07	7.69	13.46	26.89
	教育	576	50.04	2.13	9.37	14.29	24.04
	政府	497	50.62	3.21	11.98	14.09	19.96
	工業	436	50.00	1.93	7.28	13.91	27.44
	住宅	5912	49.78	1.80	7.34	13.50	27.34
	平均值	8076(總計)	50.10	2.20	8.63	14.00	25.11
事件 C	農業	323	60.64	10.11	14.26	10.64	4.42
	商業	332	59.50	11.97	21.41	4.60	2.34
	教育	576	59.24	10.75	21.18	6.71	1.95
	政府	497	65.00	12.68	18.76	3.17	0.52
	工業	436	58.31	12.86	22.57	3.95	2.31
	住宅	5912	57.50	11.27	22.66	5.90	2.52
	平均值	8076(總計)	60.04	11.59	20.14	5.83	2.34

(二) 重要設施損害

HAZ-Taiwan 系統重要設施損害估計項目包含：醫療院所(緊急救治)、緊急應變中心－消防隊(負責災害搶救)與學校(短期庇護)。表 4-3 為醫院地震損害之境況模擬結果，呈現出地震後三天內，事件 A、B、C 分別為 51%、51%、47%的醫院病床將喪失功能，惟地震後三個月，分別有 73%、73%、78%的病床可恢復功能。事件 A、B 對於醫療設施的衝擊差異不大，三個月

內恢復狀況亦大致相同，而事件 C 之損壞輕於事件 A 與 B，在第 7-30 天的功能恢復快速且遠超過其他二事件。

表 4-4 消防隊與學校的功能損壞模擬結果，第一天分別為事件 A：43%-45%；事件 B：43%-45%；事件 C：33%-43%喪失功能。台灣目前消防為主要之救災體系，消防隊於地震發生當天近 45%無法運作，這樣的結果將對救災工作進行有嚴重影響。綜觀表 4-3 與 4-4，事件 A、B 重要設施損害率高達 50%，值得相關單位檢視目前各重要設施的結構耐震設計、調查與整合救災資源並提出相關配套措施，以應付如此地震巨災。

表 4-3 醫院功能恢復估計結果

		總病床數	第一天		第三天		第七天		第三十天		第九十天	
			病床	%	病床	%	病床	%	病床	%	病床	%
事件 A	大型醫院	1148	568	49.5	573	49.9	581	50.6	635	55.3	841	73.3
	小型醫院	20	10	50.0	10	50.0	10	50.0	12	60.0	15	75.0
	總計	1168	578	50	583	50	591	51	647	55	856	73
事件 B	大型醫院	1148	568	49.5	572	49.8	579	50.4	633	55.1	842	73.3
	小型醫院	20	10	50.0	10	50.0	10	50.0	12	60.0	15	75.0
	總計	1168	578	50	582	50	589	50	645	55	857	73
事件 C	大型醫院	1148	608	53.0	647	56.4	705	61.4	808	70.4	895	78.0
	小型醫院	20	13	65.0	13	65.0	15	75.0	76	80.0	17	85.0
	總計	1168	621	53	660	57	720	62	824	71	912	78

表 4-4 緊急應變設施、學校功能估計成果

		數量	功能性(%) (第一天)
事件 A	消防隊	4	55.50
	學校	39	57.95
事件 B	消防隊	4	55.25
	學校	39	57.21
事件 C	消防隊	4	67.00
	學校	39	75.97

(三) 維生線系統損害

維生線系統包含運輸系統與民生維生管線系統，根據境況模擬結果可瞭解損害機率與功能受損率。表 4-5 為公路橋樑(對外連絡結點 - 關係到物資運

送與救災車輛通行)、通訊設施(災情通報、指揮與救災資源配置)、電力設施(影響救災工作進行與維持民眾生活必須)與飲用水系統功能損壞之境況模擬結果。三個地震事件的模擬成果，顯示各事件中公路橋樑、通訊、電力設施與飲用水系統於地震當天皆可維持 70%以上的功能，而功能恢復時間和硬體設備建造時間成正比，因為公路橋樑需要較長時間修復，三個月後其功能僅提升 4%-6%。所以功能恢復性：電力設施>通信設施>飲用水系統>公路橋樑，對照三事件，另可發現如一開始破壞程度高，相對功能恢復性低，而更加深受災地區的社會與經濟衝擊。

表 4-6 為飲用水系統功能損害之模擬結果，結果發現當地震規模越大時 PGV 會造成損壞且情況越嚴重，因飲用水系統對災後民眾維生用水與公共衛生極其重要，結果發現地震當天 PGV 造成之需修復損害數 A、B 事件均達 60%，值得相關單位注意。

表 4-5 公路橋樑、通訊與電力設施功能性分析結果

		數量	功能性(%)					
			當天	第一天	第三天	第七天	第三十天	第九十天
事件 A	公路橋樑	35	73.14	73.17	74.11	74.34	76.49	77.17
	通信設施	8	73.50	73.75	74.50	75.88	77.75	80.13
	電力設施	1	72.00	72.00	73.00	74.00	78.00	96.00
	飲用水系	1	75.00	75.00	-	-	77.00	78.00
事件 B	公路橋樑	35	72.66	72.66	73.66	73.66	75.34	76.23
	通訊設施	8	73.50	73.63	74.50	75.88	77.38	79.75
	電力設施	1	72.00	72.00	73.00	74.00	78.00	96.00
	飲用水系	1	74.00	74.00	-	-	76.00	77.00
事件 C	公路橋樑	35	84.69	84.94	90.34	92.00	95.06	95.20
	通訊設施	8	75.38	76.63	80.13	86.88	91.38	95.63
	電力設施	1	73.00	74.00	76.00	79.00	100.00	100.00
	飲用水系	1	94.00	94.00	-	-	96.00	96.00

表 4-6 飲用水系統管線損害分析結果

	管線長度 (公里)	PGV 造成之需修復損害數 (當天)	PGD 造成之需修復損害數 (當天)
事件 A	61.01	0.63	0.00
事件 B	61.01	0.68	0.00
事件 C	61.01	0.03	0.00

三、直接經濟損失

(一) 一般建物

表 4-7 為一般建物損壞引發之直接經濟損失的估計成果，估計內容包含實質資產損失與收入損失，其損失係以貨幣額表示。士林區各事件模擬建物資產損失之結果分別為事件 A：842 億元；事件 B：861 億元；事件 C：189 億元，佔該區全部建物資產的價值，三個地震事件分別為：34.27%、35.00%、8.05%。收入相關損失則有事件 A：131 億元；事件 B：134 億元；事件 C：39 億元，總體建物直接經濟損失，三個地震事件分別為：974 億元、995 億元、228 億元，而實質資產損失佔總損失額，三個地震事件之比率分別為：88.39%、86.53%、82.89%。上述損失尚不包含建物損壞引發的間接經濟損失，如計入則損失額將大幅擴張。

表 4-7 一般建築物直接經濟損失分析結果

單位：億元

	資產損失				損失 比率 (%)	收入損失				全部損 失
	結構損 害成本	非結構 損害成 本	內部財 產損害	庫存損 失		重置 損失	資本相 關收入 損失	薪資 收入 損失	租金 收入 損失	
事件 A	308.17	387.17	147.52	0.00030	34.27	97.46	4.45	6.56	22.98	974.31
事件 B	315.23	394.94	150.83	0.00032	35.00	99.49	4.64	6.76	23.47	995.37
事件 C	76.47	86.87	26.60	0.00001	8.05	29.73	1.08	1.22	6.97	228.92

圖 4-5、4-6、4-7 為士林區三個地震事件之境況模擬，各里一般建物直接經濟損失風險模擬之空間分佈，三個事件損失最嚴重皆為三玉里，其在三個事件的總損失金額依序為事件 A：97.10 億元；事件 B：99.34；事件 C：19.81 億元，損失較嚴重前幾名中，三事件皆為：三玉里、蘭雅里、蘭興里、天祿里與名山里（僅 C 事件 3 至 5 名順序異於其他二事件），這些損失較嚴重地區皆位於天母生活圈內，從建物直接經濟損失觀點來看，這些村里是士林區地震風險較高之地區。

在 HAZ-Taiwan 系統中建物直接經濟損失是以貨幣值表示，而此種以經濟損失為風險計量單位，可有效呈現出地震風險之空間分布特性，使不同地區或境況下的風險較易於比較分析；但是單以貨幣值為風險計量單位也有缺

陷，其會受到地區經濟特性或規模的影響，而可能高估建物價值較高地區的風險，造成分析上的偏誤（Olshansky and Wu, 2001）。為解決此缺陷，可以「損失－成本比」代之。HAZ-Taiwan 系統係以重置成本估計經濟損失，建物重置成本可代表地區建物的總體資產價值，稱為「建物暴露總值」，亦即可用系統所估計之建物直接經濟損失與各地區建物暴露總值之比率，描述地震風險之空間分布情形，較不會受境況模擬地區經濟特性或規模大小之影響，而可作為經濟損失衡量之較佳指標。

從損失－成本比的觀點檢視建物損失風險分佈(請參考圖 4-8、4-9、4-10)，發現建物直接經濟損失最嚴重的三玉里，並非為士林區各里中最高者。相對風險度較高者三事件依序為：事件 A：舊佳里(66.09%)、社子里(62.12%)、福佳里(58.07%)；事件 B：舊佳里(66.83%)、社子里(61.92%)、福佳里(57.97%)；事件 C：舊佳里(17.75%)、社子里(17.39%)、葫蘆里(16.63%)，事件 A 之相對風險較高者主要集中於社子生活圈、部份落在士林生活圈，事件 B 則分散於社子、天母與士林生活圈內，事件 C 亦集中在社子生活圈內。產生此上述情形之原因，可能在於三玉里之土地使用強度較高，建物暴露總值亦相對較高，故直接經濟損失資產貨幣額亦最高，但不表示其相對災害風險就一定最高。反觀損失－成本比較高的幾個里，直接經濟總損失貨幣額卻相對較低，隱含這些里儘管總損失額不高，但損壞比率卻相當高。

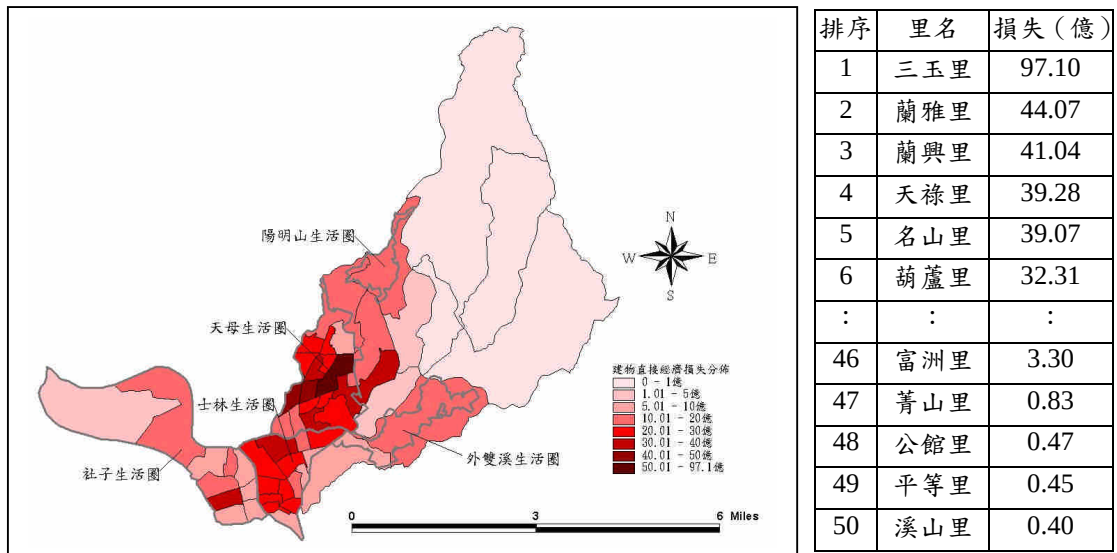


圖 4-5 臺北市士林區建物直接經濟損失分佈 (事件 A)

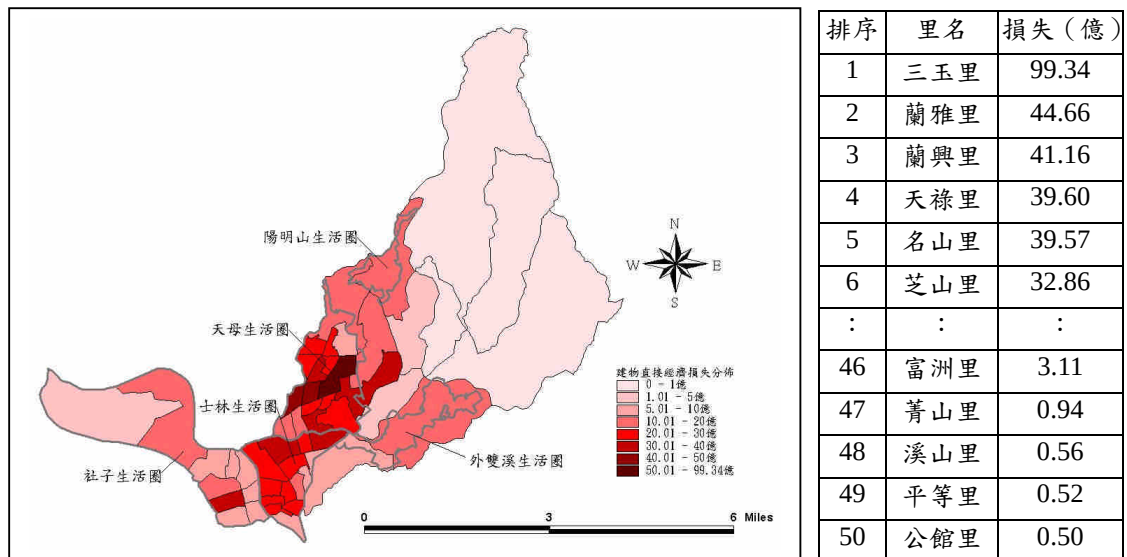


圖 4-6 臺北市士林區建物直接經濟損失分佈 (事件 B)

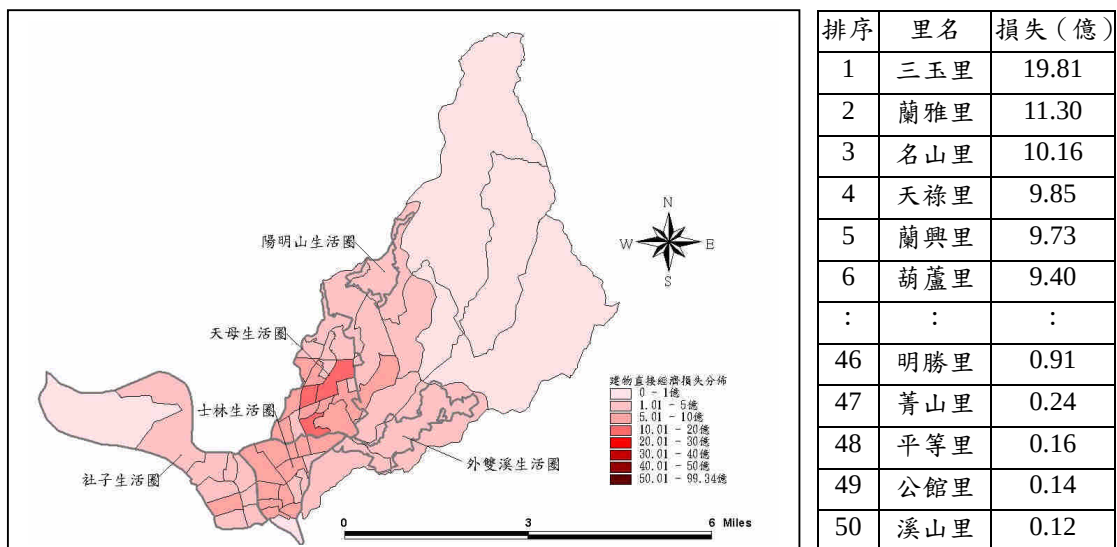
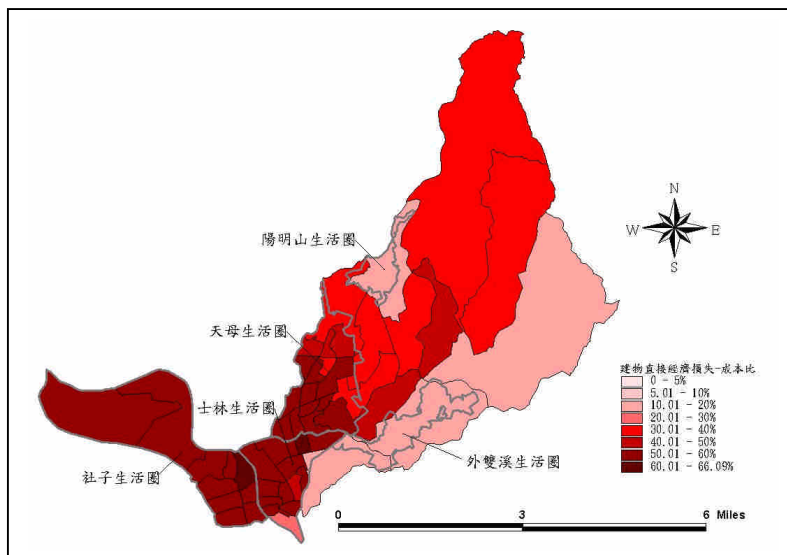
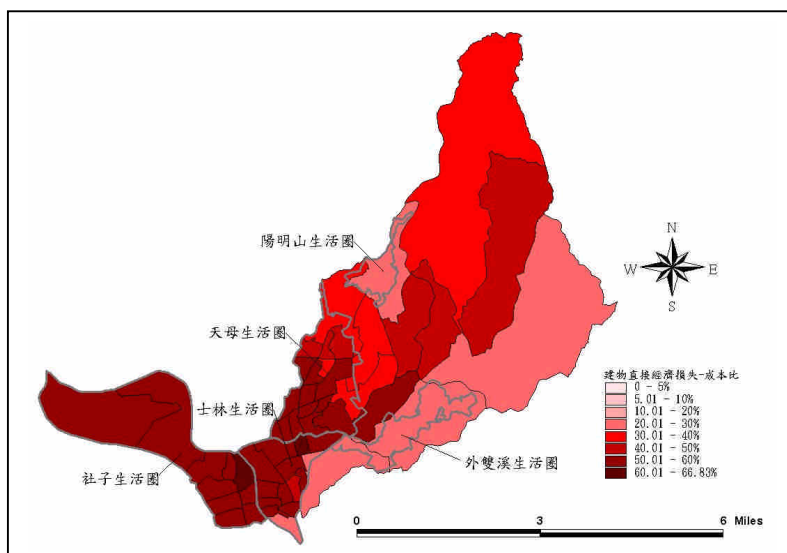


圖 4-7 臺北市士林區建物直接經濟損失分佈 (事件 C)



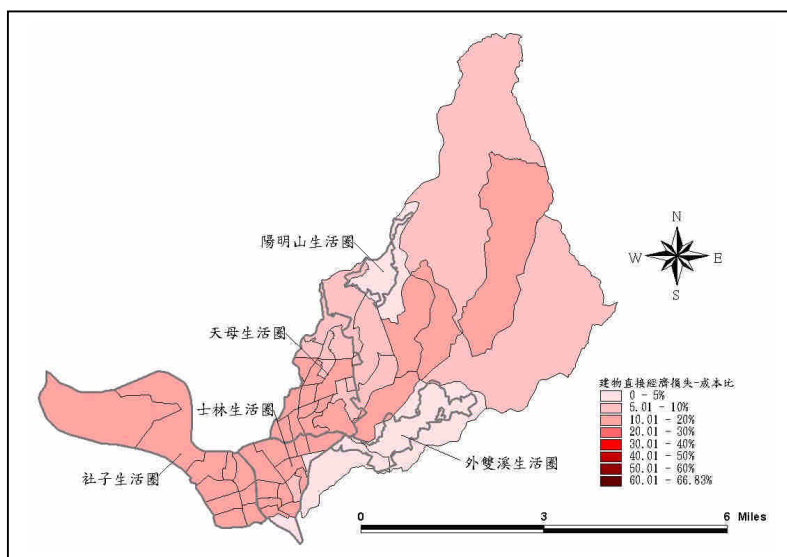
排序	里名	損失成本比
1	舊佳里	66.09%
2	社子里	62.12%
3	福佳里	58.07%
4	富洲里	57.99%
5	福順里	57.50%
6	富光里	57.19%
:	:	:
46	明勝里	20.32%
47	福林里	19.52%
48	溪山里	19.14%
49	陽明里	18.25%
50	翠山里	18.08%

圖 4-8 臺北市士林區建物直接經濟損失-成本比（事件 A）



排序	里名	損失成本比
1	舊佳里	66.83%
2	社子里	61.92%
3	福佳里	57.97%
4	三玉里	57.63%
5	福順里	57.35%
6	富光里	56.77%
:	:	:
46	溪山里	26.92%
47	翠山里	24.24%
48	福林里	23.23%
49	明勝里	22.37%
50	陽明里	20.64%

圖 4-9 臺北市士林區建物直接經濟損失-成本比（事件 B）



排序	里名	損失成本比
1	舊佳里	17.75%
2	社子里	17.39%
3	葫蘆里	16.63%
4	富洲里	16.60%
5	福順里	16.18%
6	富光里	15.73%
:	:	:
46	東山里	5.06%
47	翠山里	3.50%
48	福林里	2.91%
49	明勝里	2.70%
50	陽明里	2.49%

圖 4-10 臺北市士林區建物直接經濟損失-成本比（事件 C）

（二）交通運輸-維生管線系統

表 4-8 為交通運輸與維生系統損害之直接經濟損失估計結果，交通運輸設施因地震所造成的總損失三事件依序為：事件 A：5,335 億元；事件 B：5,402 億元；事件 C：1,745 億元；民生維生管線系統損失金額雖較低，但也達事件 A：173 億元；事件 B：175 億元；事件 C：110 億元，整個維生線系統總損失金額計事件 A：5,509 億元；事件 B：5,577 億元；事件 C：1,855 億元。大部份的損失來自公路與橋樑系統之損失，佔整個交通運輸-維生線系統損失的 90%以上。

表 4-8 交通運輸與維生系統直接經濟損失

單位：億元

		事件 A	事件 B	事件 C
交通運輸系統	公路系統	5335.47	5402.76	1745.05
	公車系統	0.019	0.020	0.01
	小計	5335.49	5402.78	1745.06
維生系統	飲用水系統	4.51	4.75	0.78
	電力系統	1.42	1.42	0.65
	通信系統	167.79	168.33	108.98
	小計	173.85	174.50	110.41

四、人員傷亡估計

HAZ-Taiwan 系統推估地震造成之人員傷亡時，將地震發生於不同時段引致不同的傷亡程度因素列入考量，故系統在估計人員傷亡時，將地震發生的時間分成凌晨二時的就寢時間、清晨八時的通勤尖峰時間與下午三時的一般日間時間三個時段；系統並估計因一般建物、重要設施與運輸系統等工程結構物損害所導致人員的各種傷亡程度，將人員傷亡依嚴重程度分成四級。

表 4-9 為模擬結果，表中顯示在凌晨二時發生地震所導致傷亡人數為各時段中最嚴重，因為此時為就寢時刻，大多數人處於室內且此狀態下人體反應能力最弱，傷亡類別主要來自於在家人口，總計各事件造成不同程度之傷亡為：事件 A：13,742 人；事件 B：13,902 人；事件 C：2,067 人，佔人口總數依次為：4.72%、4.77%、0.71%；地震若發生在清晨八時則將造成事件 A：2,833 人；事件 B：2,866 人；事件 C：424 人的傷亡，佔人口總數之

0.15%-0.98%。地震若發生在下午三時則工作中之人員傷亡較其他時段顯著增加，全部人員傷亡數總計有事件 A：3,150 人；事件 B：3,189 人；事件 C：461 人，相當於總人口的 0.16%-1.09%。

表 4-9 人員傷亡估計

		總傷亡數－凌晨二時				總傷亡數－清晨八時				總傷亡數－下午三時			
		在家	工作	通勤	總計	在家	工作	通勤	總計	在家	工作	通勤	總計
		人口	人口	人口		人口	人口	人口		人口	人口	人口	
事件 A	一級傷害	10951	66	0	11017	2102	170	0	2272	1770	757	0	2526
	二級傷害	2156	13	0	2169	414	33	0	447	348	148	0	497
	三級傷害	276	2	0	278	53	4	0	57	45	19	0	63
	四級傷害	276	2	0	278	53	4	0	57	45	19	0	63
	總計	13660	82	0	13742	2622	212	0	2833	2207	942	0	3150
事件 B	一級傷害	11078	67	0	11145	2126	172	0	2298	1790	767	0	2557
	二級傷害	2182	13	0	2195	419	34	0	452	353	150	0	503
	三級傷害	279	2	0	281	54	4	0	58	45	19	0	64
	四級傷害	279	2	0	281	54	4	0	58	45	19	0	64
	總計	13819	83	0	13902	2652	214	0	2866	2233	955	0	3189
事件 C	一級傷害	1681	9	0	1690	323	24	0	347	272	106	0	377
	二級傷害	302	2	0	304	58	4	0	63	49	18	0	67
	三級傷害	36	0	0	36	7	0	0	7	6	2	0	8
	四級傷害	36	0	0	36	7	0	0	7	6	2	0	8
	總計	2056	11	0	2067	395	29	0	424	332	128	0	461

HAZ-Taiwan 系統估計地震模擬事件造成的人口傷亡數，可有效呈現地震傷亡風險之空間分布特性，但與經濟損失相同，傷亡數亦會受到地區人口特性的影響，故在此同樣可利用先前建物直接經濟損失-成本比的概念，以人口傷亡數與總人口數之比率來呈現士林區各里之間的相對風險分佈概況。

圖 4-11~圖 4-28 分別呈現模擬地震發生在三個時段可能造成人員傷亡估計與人員傷亡－總人口數比之空間分佈情形，進而窺知傷亡風險的分佈。如地震發生在凌晨二時，從傷亡總數觀點來看（參考圖 4-11~圖 4-13），三個地震事件皆為後港里傷亡風險最高，分別為 3,659 人、3,659 人、591 人。從傷亡比的觀點來看（參考圖 4-14~圖 4-16），三事件最高者亦為後港里，顯示後港里因地震引發傷亡風險程度最高，值得相關單位重視與改善；其餘相對傷亡風險較高者中，A 事件依序為：後港里、仁勇里、福華里；B 事件依序為：後港里、仁勇里、福華里；C 事件依序為：後港里、蘭雅里、百齡里。

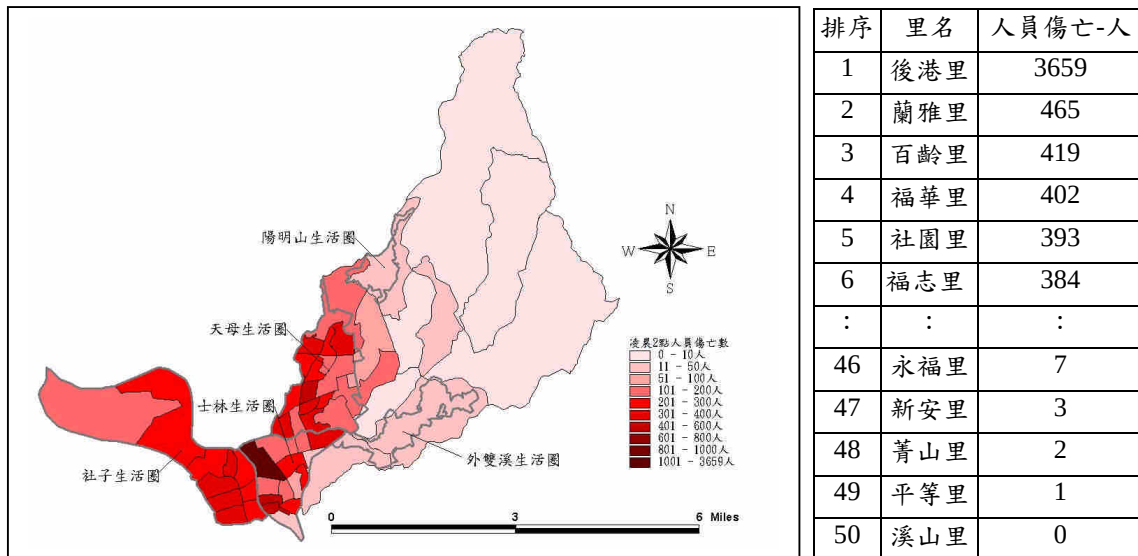


圖 4-11 凌晨二時各里人員總傷亡分佈 (事件 A)

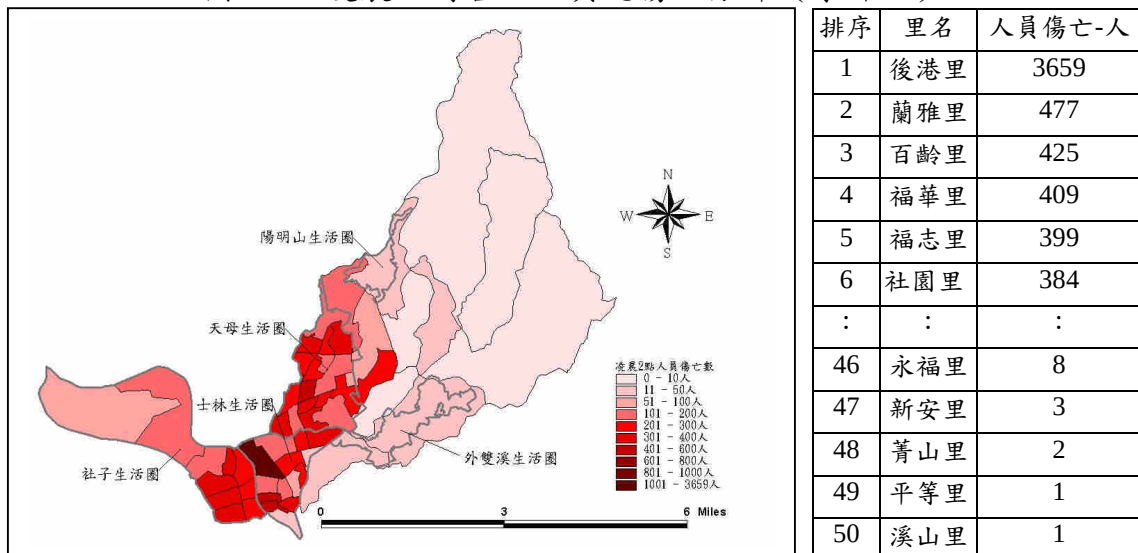


圖 4-12 凌晨二時各里人員總傷亡分佈 (事件 B)

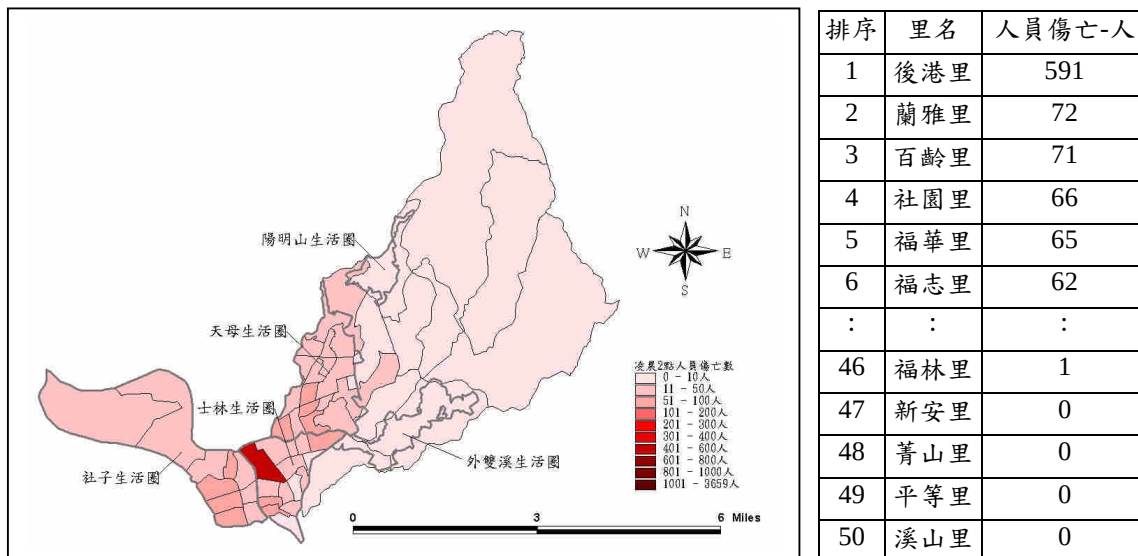


圖 4-13 凌晨二時各里人員總傷亡分佈 (事件 C)

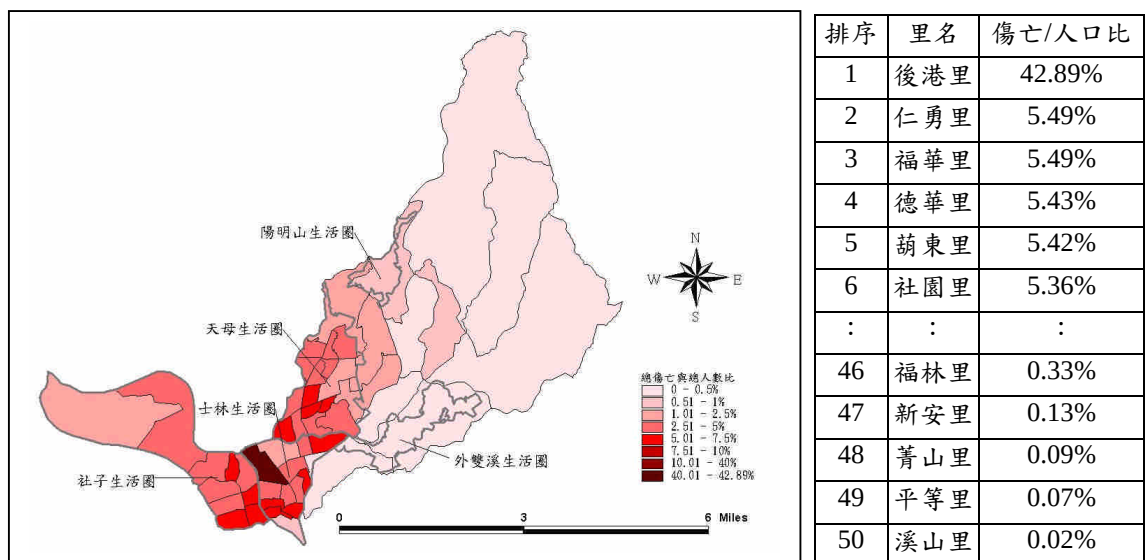


圖 4-14 凌晨二時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 A）

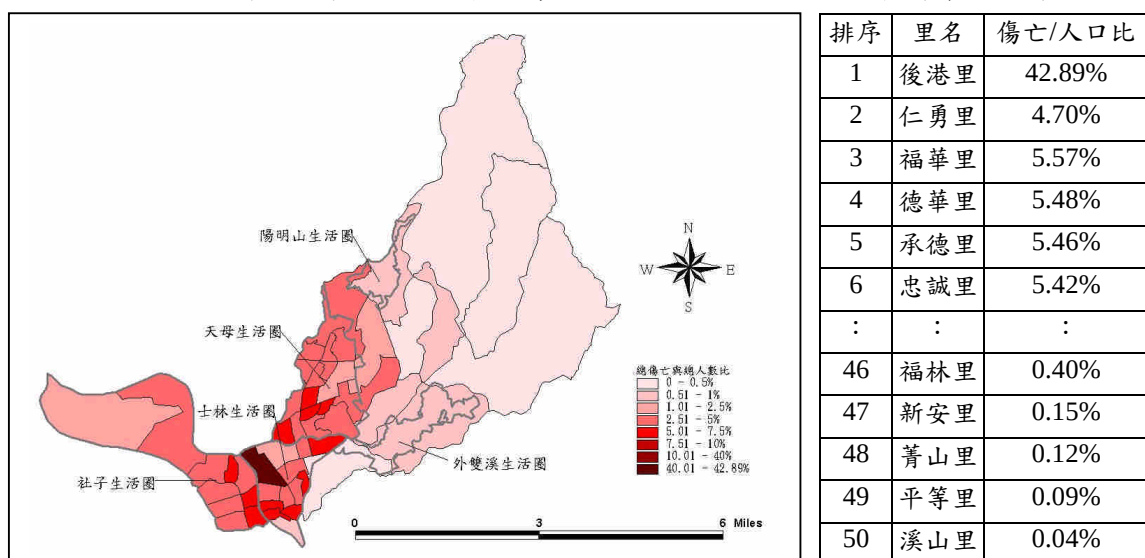


圖 4-15 凌晨二時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 B）

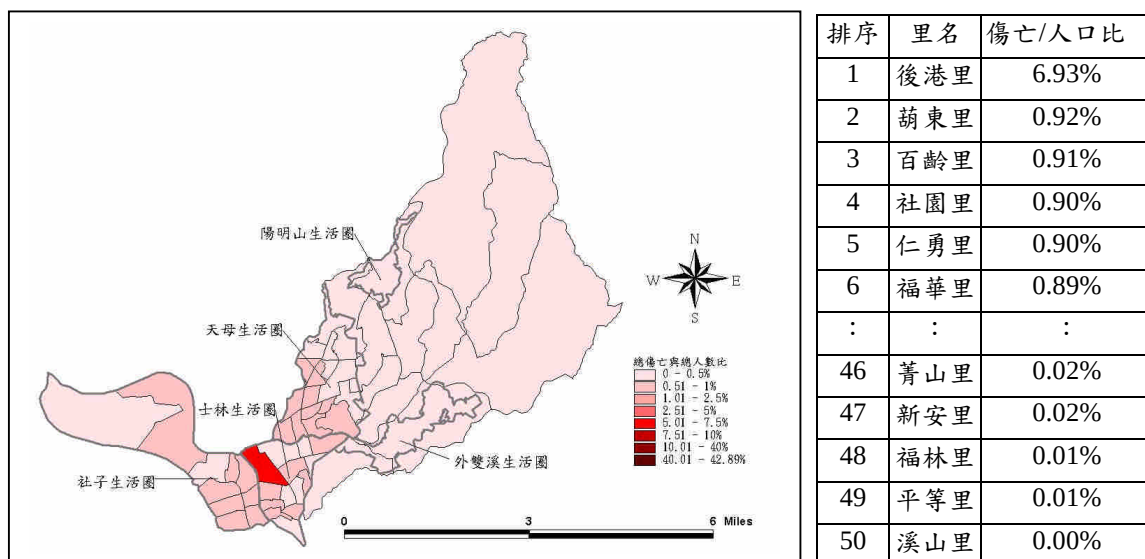


圖 4-16 凌晨二時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈（事件 C）

若地震發生於上午八時，從傷亡總數來看（請參考圖 4-17~圖 4-19），後港里依舊是傷亡風險最高者，三事件依序為：758 人、758 人、121 人，風險較高的里和凌晨二時相同，傷亡數較多者仍集中再後港里、蘭雅里與百齡里。就傷亡比觀點而言（請參考圖 4-20~4-22），三事件同樣以後港里最高，A、B 事件為 8.88%，C 事件為 1.53%，傷亡比較高之里亦與凌晨二時相同。

下午三時，發生傷亡之總數（請參考圖 4-23~圖 4-25），仍是後港里最高，三事件依序為：852 人、852 人、131 人，總傷亡數較高排名異於凌晨二時與上午八時之時段，A 事件依序為：後港里、福佳里、社新里；B 事件：後港里、福佳里、社新里；C 事件：後港里、葫蘆里、社新里。從傷亡比的來觀而言（請參考圖 4-26~圖 4-28），後港里仍為最高，三個事件依序為 9.99%、9.99%、1.53%。傷亡比較高之里，A 事件依序為：後港里、富洲里、福中里；B 事件為後港里、福中里、岩山里；C 事件：後港里、葫蘆里、福中里。

綜合上述三事件分析，無論傷亡總數與傷亡比較高之里，主要位於士林區西南地區，即天母、士林、社子生活圈，此情形與大地振動分佈情形大致吻合。依不同地震情境模擬中，可得知不同發生時段各里總傷亡數與傷亡比分佈，凌晨二時與上午八時其總傷亡數與傷亡比較高之地區皆相同，多集中在住宅使用較集中之士林、天母與社子生活圈。惟下午三時則換至商業、工業使用或活動較集中之士林生活圈，確實可反應土地使用活動的時間特性，此對於政府的地震災害防救應變計畫擬定，有重要之啟示。

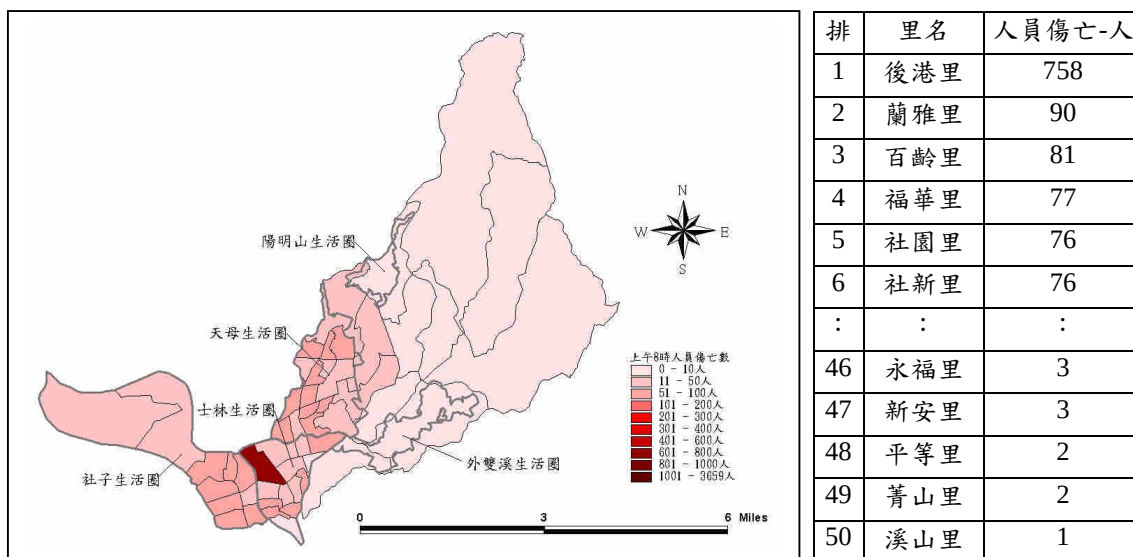


圖 4-17 上午八時各里人員總傷亡分佈圖 (事件 A)

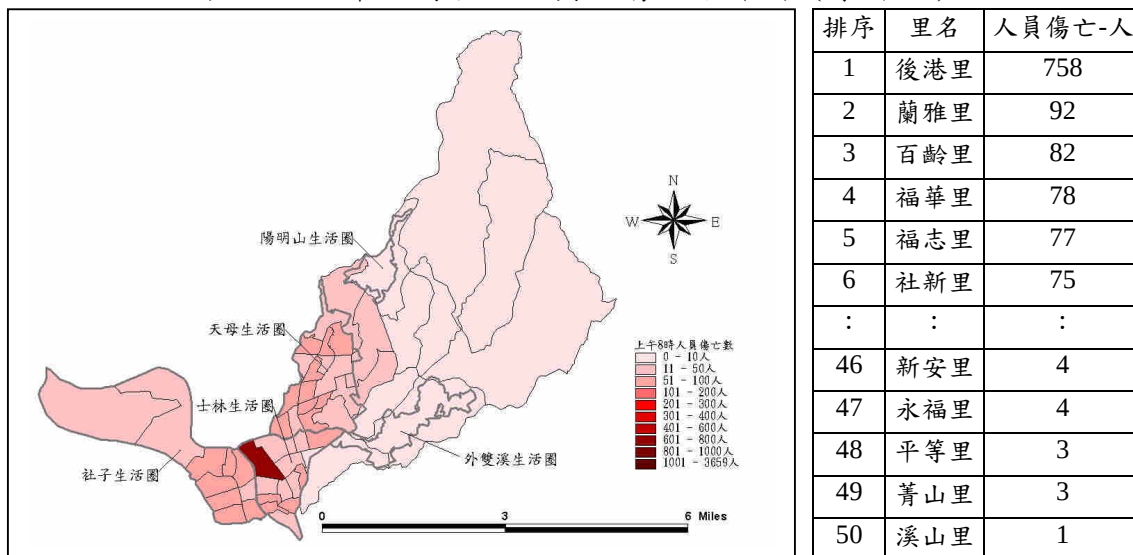


圖 4-18 上午八時各里人員總傷亡分佈圖 (事件 B)

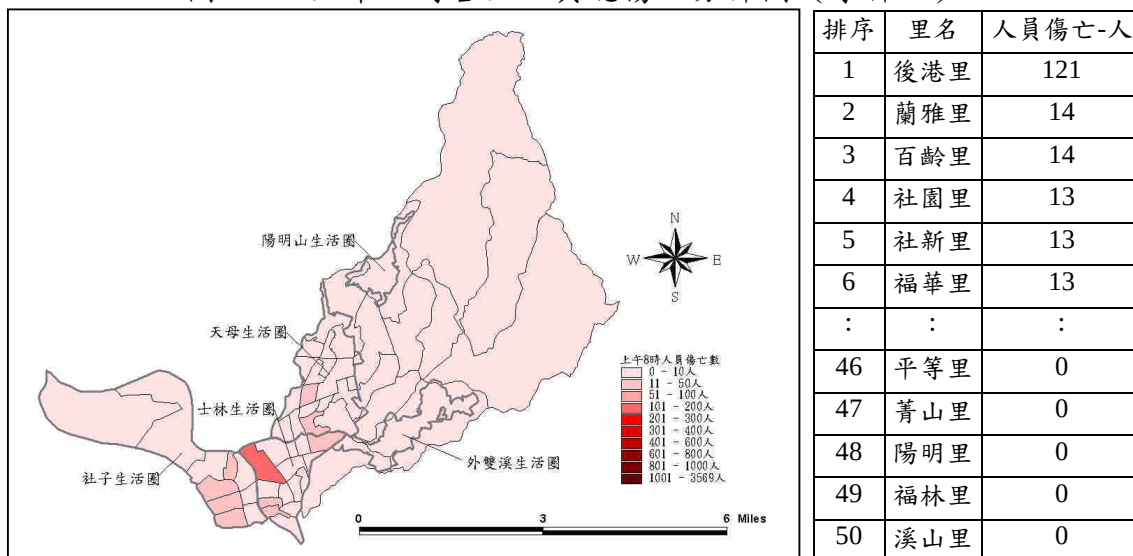


圖 4-19 上午八時各里人員總傷亡分佈圖 (事件 C)

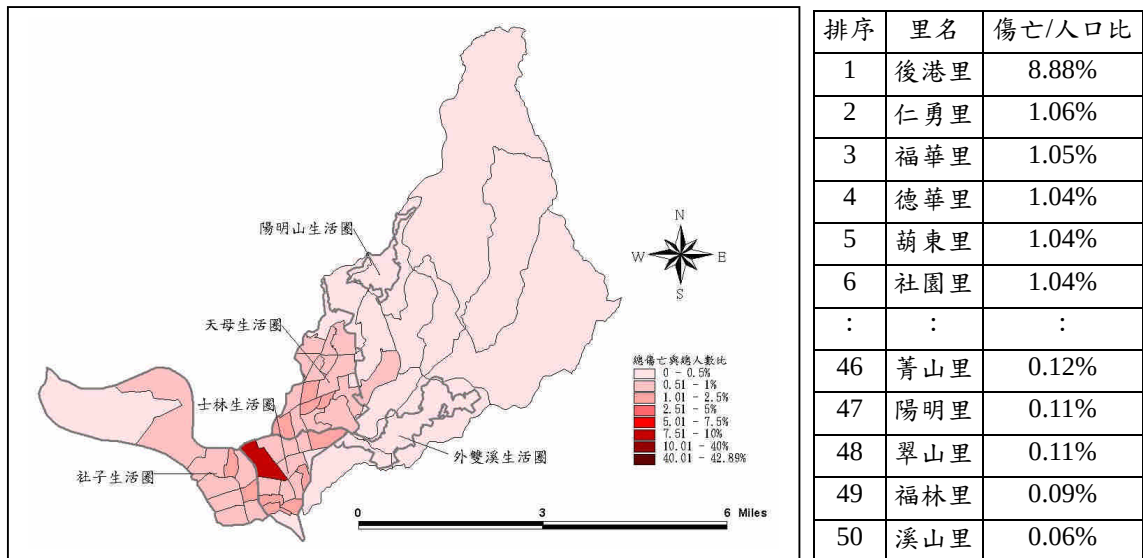


圖 4-20 上午八時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈圖（事件 A）

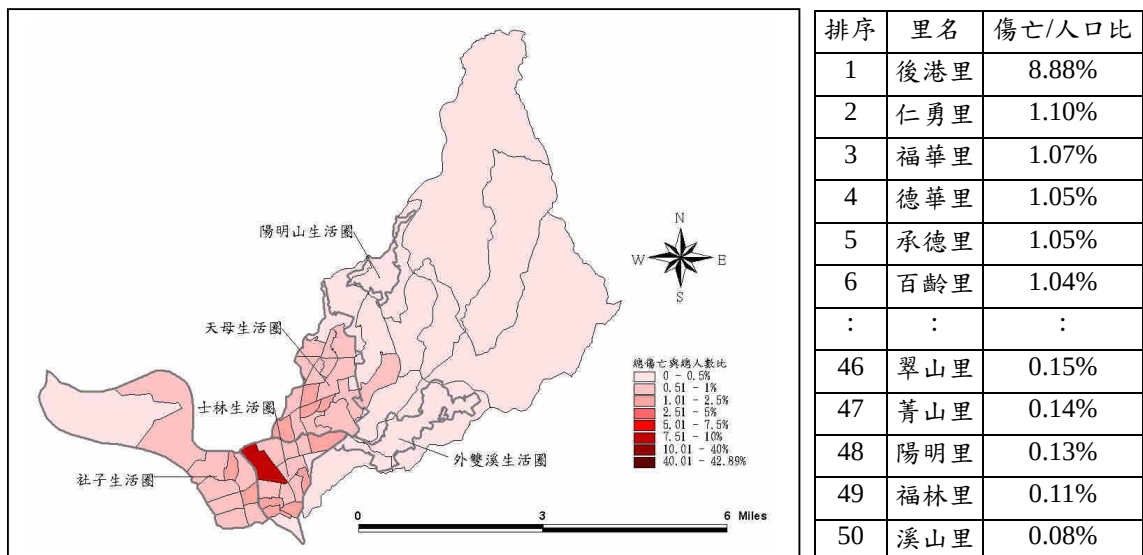


圖 4-21 上午八時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈圖（事件 B）

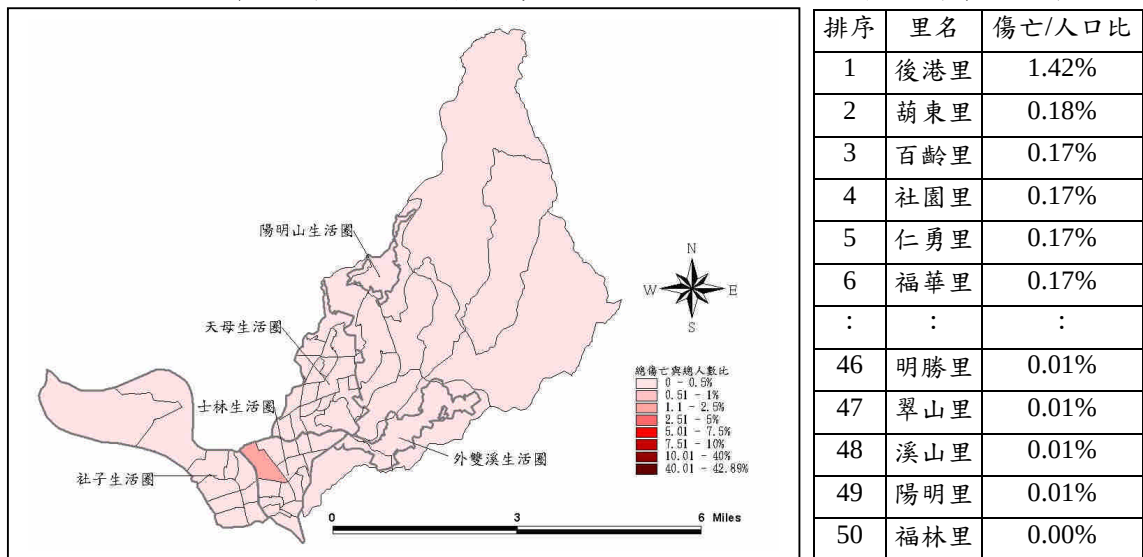
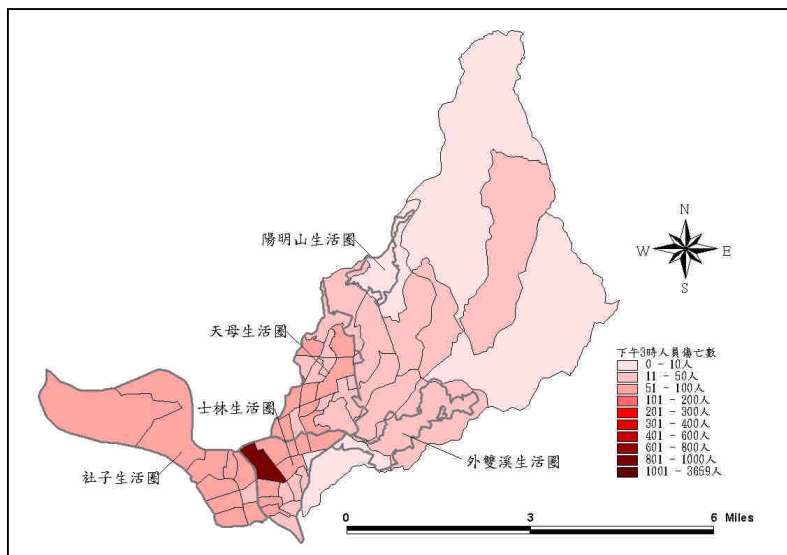
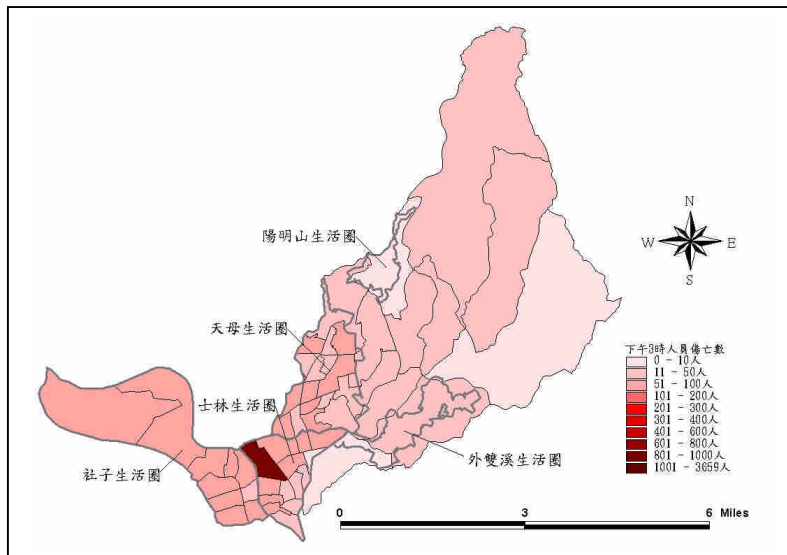


圖 4-22 上午八時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈圖（事件 C）



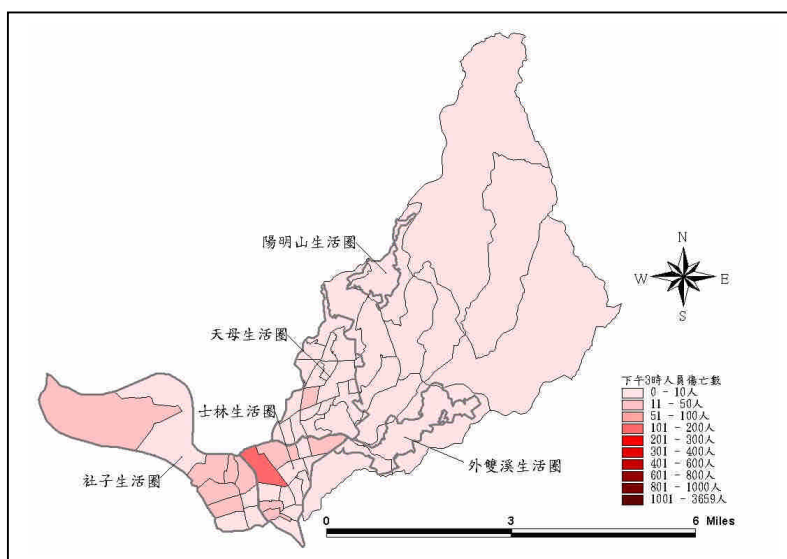
排序	里名	人員傷亡-人
1	後港里	852
2	福佳里	90
3	社新里	86
4	永倫里	85
5	葫蘆里	82
6	蘭雅里	78
:	:	:
46	平等里	12
47	菁山里	10
48	福林里	8
49	陽明里	5
50	溪山里	4

圖 4-23 下午三時各里人員總傷亡分佈 (事件 A)



排序	里名	人員傷亡-人
1	後港里	852
2	福佳里	90
3	社新里	85
4	葫蘆里	81
5	永倫里	80
6	蘭雅里	80
:	:	:
46	永福里	14
47	菁山里	12
48	福林里	10
49	溪山里	6
50	陽明里	5

圖 4-24 下午三時各里人員總傷亡分佈 (事件 B)



排序	里名	人員傷亡-人
1	後港里	131
2	葫蘆里	15
3	社新里	14
4	永倫里	13
5	福佳里	13
6	蘭雅里	12
:	:	:
46	翠山里	1
47	明勝里	1
48	福林里	1
49	溪山里	0
50	陽明里	0

圖 4-25 下午三時各里人員總傷亡分佈 (事件 C)

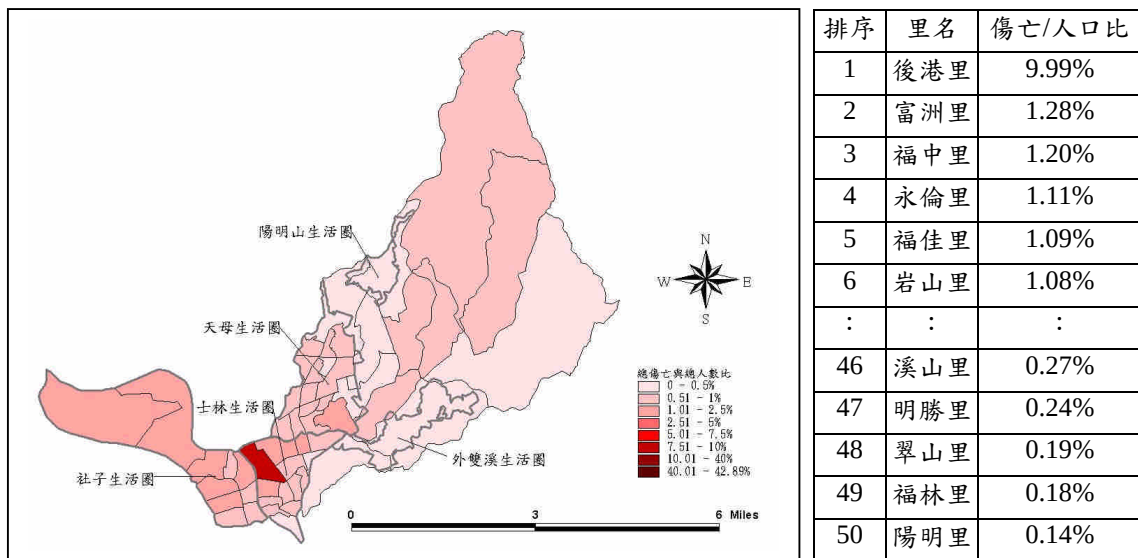


圖 4-26 下午三時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈 (事件 A)

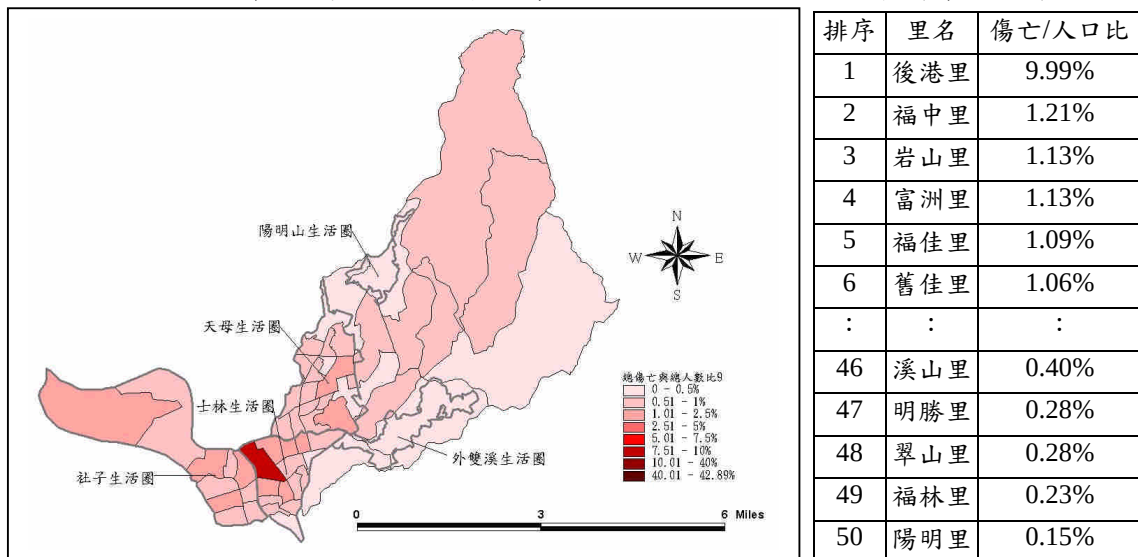


圖 4-27 下午三時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈 (事件 B)

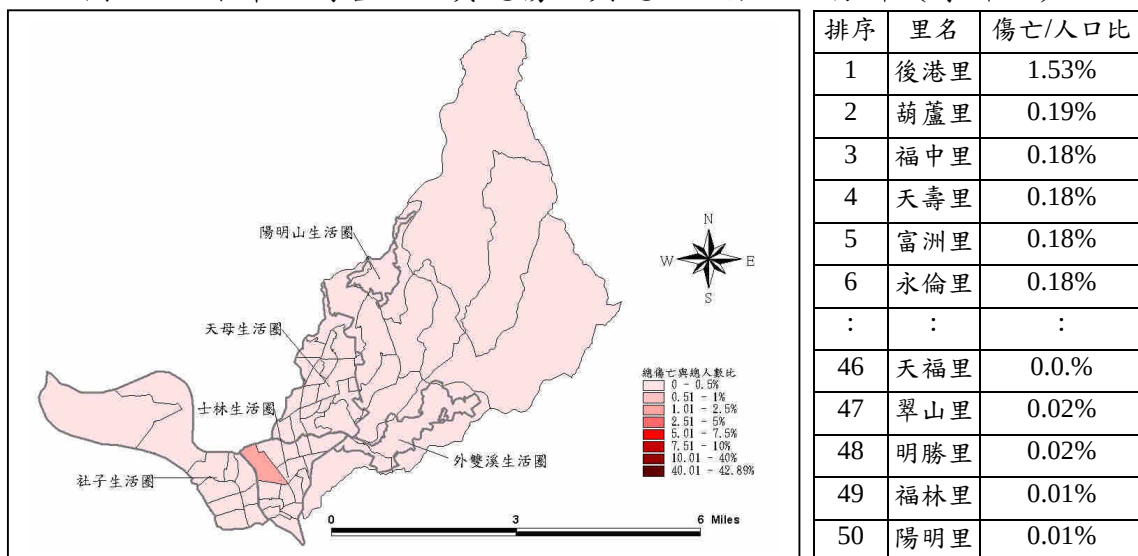


圖 4-28 下午三時各里人員總傷亡與總人口數比之分佈 (事件 C)

五、庇護所需求

表 4-10 為庇護所需求之境況模擬估計結果，估計主要係依建物倒塌與功能喪失之機率模擬而得，包括：無家可歸家庭數與短期庇護所需求人數。估計結果顯示無家可歸戶數，三事件分別為事件 A：9,050 戶；事件 B：9,225 戶；事件 C：1,308 戶，分佔士林區總家庭數分別為：9.79%、9.98%、1.42%。短期庇護所需求人數，三個地震事件分別為 4,090 人、4,176 人、610 人，分佔該區總人口數 1.40%、1.43%、0.21%。

表 4-10 庇護所需求估計

	無家可歸家庭戶數	短期庇護所需求人數
事件 A	9,050	4,090
事件 B	9,225	4,176
事件 C	1,308	610

圖 4-29~圖 4-34 可呈現士林區各里無家可歸家庭數與短期庇護所需求之空間分佈情形，無家可歸家庭數需求最多者，三個地震事件依序為：社新里（328 戶）、蘭雅里（335 戶）、社新里（53 戶），無家可歸之戶數較多之地區集中在社子、士林與天母生活圈。短期庇護所需求最高者，三個地震事件皆為社新里依序為：147 人、144 人、24 人，需求較多之地區仍集中在社子、士林與天母生活圈。從無家可歸與庇護所需求分佈，可發現主要集中於士林區西南與南區，此與 PGA 較強且人口較集中地區具高度相關，隱含此等地區之建物損壞或倒塌亦較嚴重。故此等地區的防救災支援系統與設施，除需投資較多資源外，防救災對策的提出較其他區域急迫，特別是地區防救災計畫如：土地使用計畫、避難圈劃設、避難路徑規劃等，須有相對的配套策略。

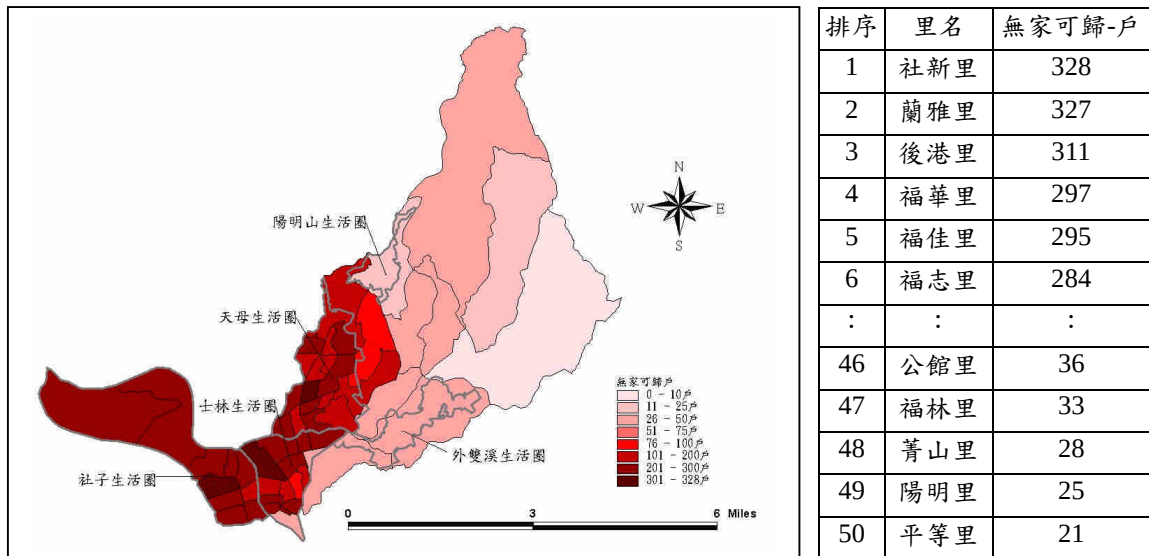


圖 4-29 無家可歸家庭數分佈 (事件 A)

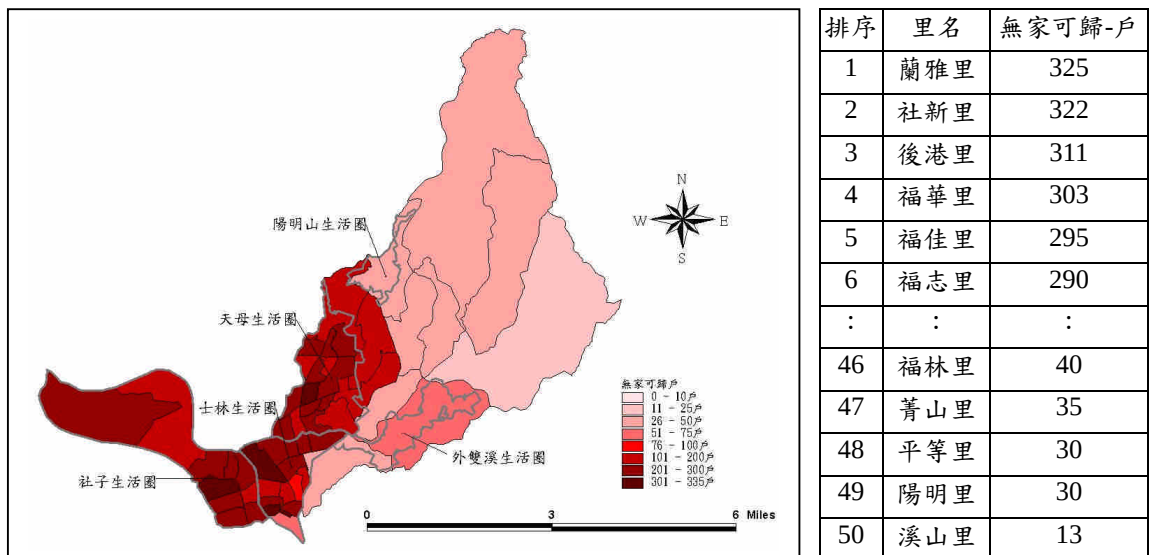


圖 4-30 無家可歸家庭數分佈 (事件 B)

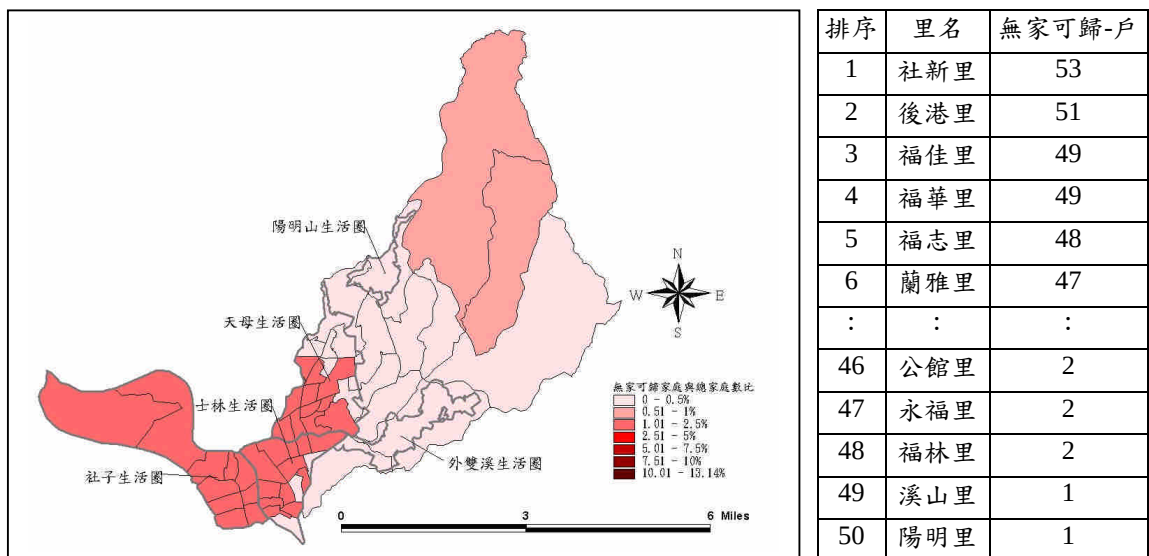
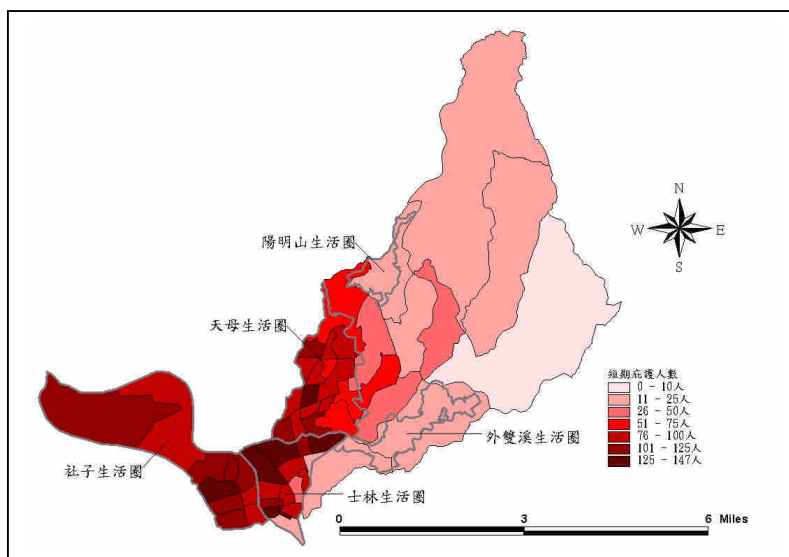
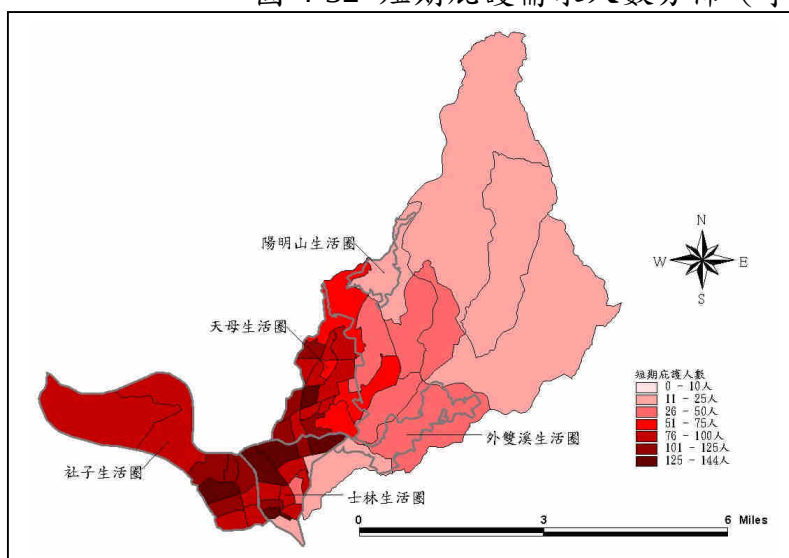


圖 4-31 無家可歸家庭數分佈 (事件 C)



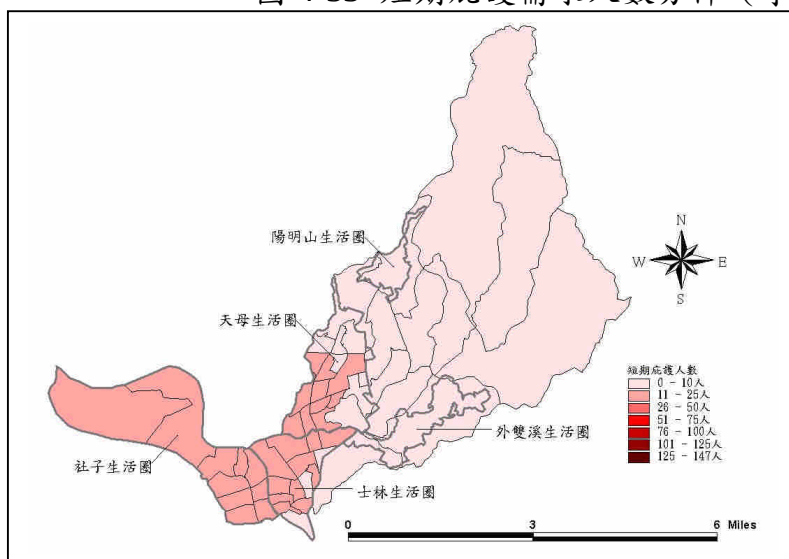
排序	里名	短期庇護-人
1	社新里	147
2	蘭雅里	136
3	福佳里	136
4	福華里	134
5	後港里	132
6	福志里	127
:	:	:
46	平等里	16
47	福林里	15
48	陽明里	14
49	菁山里	13
50	溪山里	6

圖 4-32 短期庇護需求人數分佈（事件 A）



排序	里名	短期庇護-人
1	社新里	144
2	蘭雅里	139
3	福華里	137
4	福佳里	136
5	後港里	132
6	福志里	129
:	:	:
46	明勝里	23
47	福林里	18
48	菁山里	16
49	陽明里	16
50	溪山里	11

圖 4-33 短期庇護需求人數分佈（事件 B）



排序	里名	短期庇護-人
1	社新里	24
2	福佳里	23
3	福華里	23
4	福志里	22
5	後港里	22
6	名山里	21
:	:	:
46	翠山里	2
47	明勝里	2
48	溪山里	1
49	陽明里	1
50	福林里	1

圖 4-34 短期庇護需求人數分佈（事件 C）

此處亦可利用前述一般建物直接經濟損失－成本比的概念，檢視士林區各里相對風險分佈情形。從無家可歸家庭數與總家庭數比的觀念來看（請參考圖 4-35~圖 4-37），三個地震事件無家可歸戶數最多者，依序為岩山里（13.14%）、岩山里（13.74%）、仁勇里（2.03%）。另從需短期庇護所人數與總人口數比之觀點來看（請參考圖 4-38~圖 4-40），三事件最高者分別為永福里（1.98%）、永福里（2.19%）、永福里（0.32%）。整體而言，相對風險較高的區域主要分佈於天母、士林、社子生活圈。

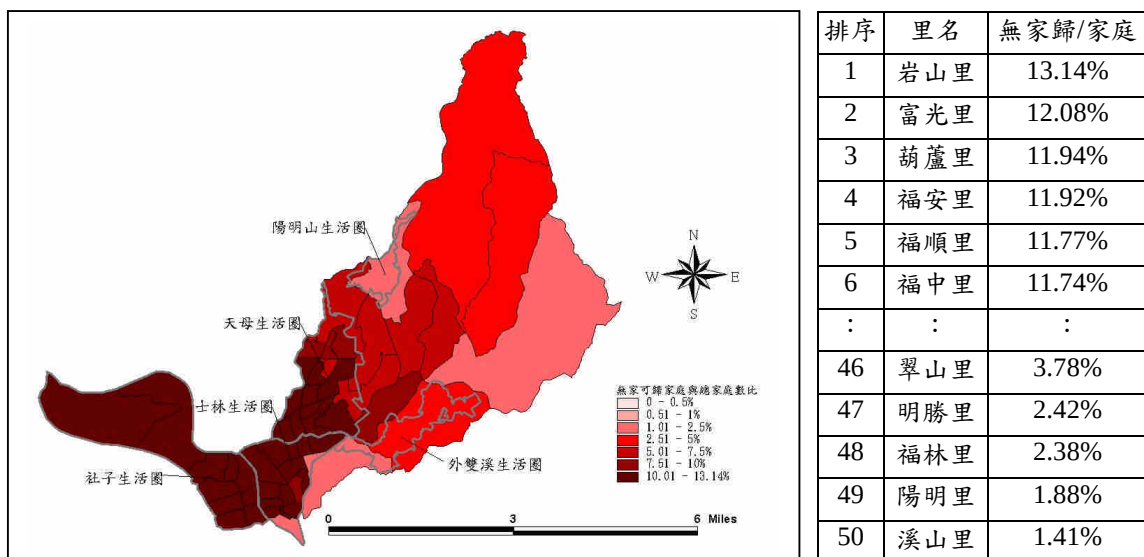


圖 4-35 無家可歸家庭數 - 總家庭數比 (事件 A)

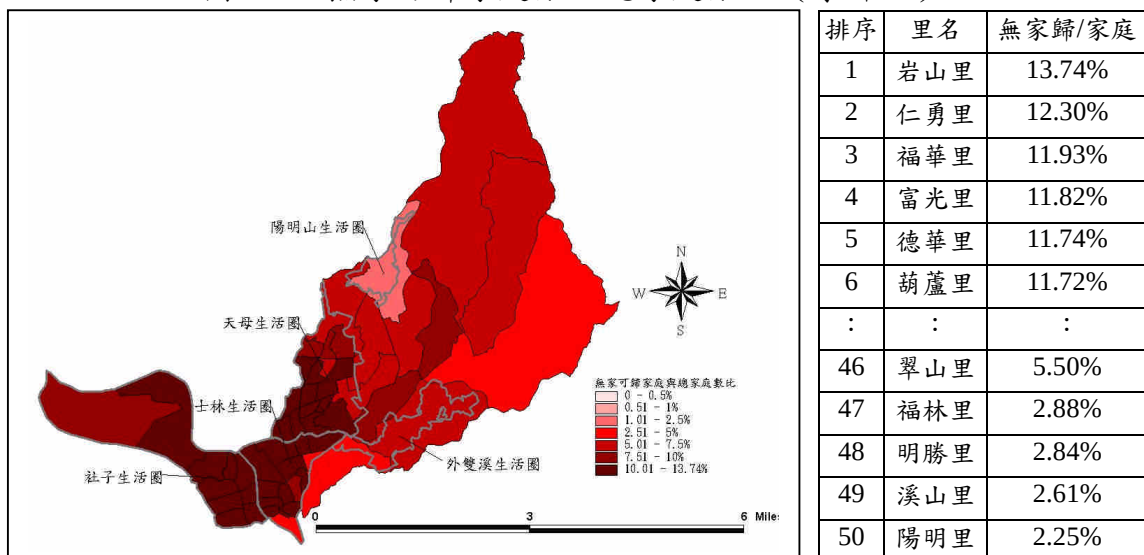


圖 4-36 無家可歸家庭數 - 總家庭數比 (事件 B)

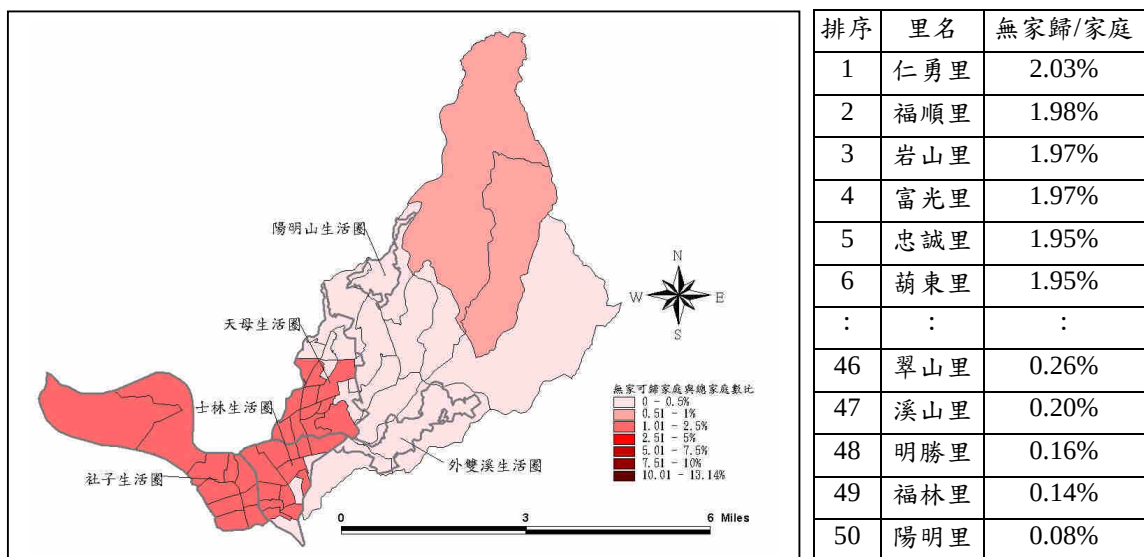
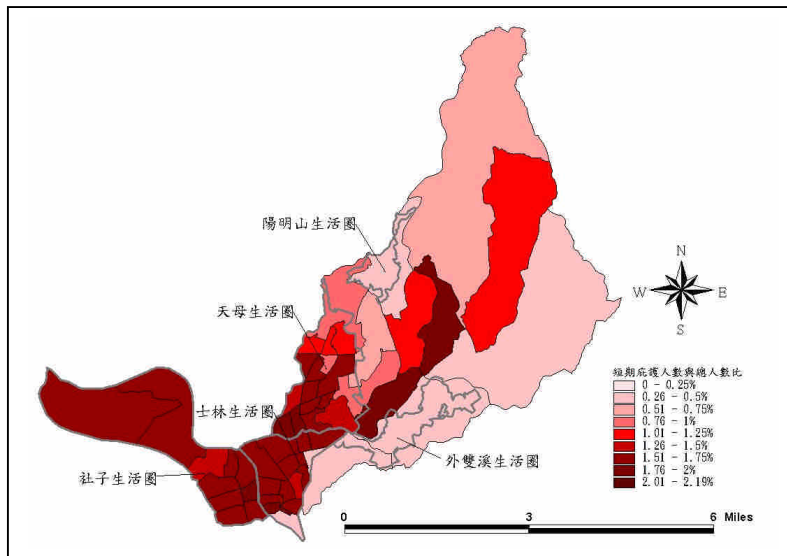
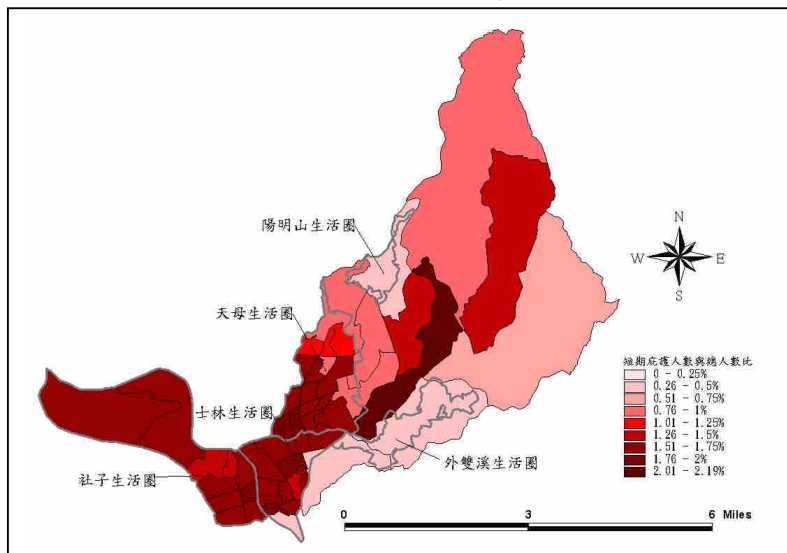


圖 4-37 無家可歸家庭數 - 總家庭數比 (事件 C)



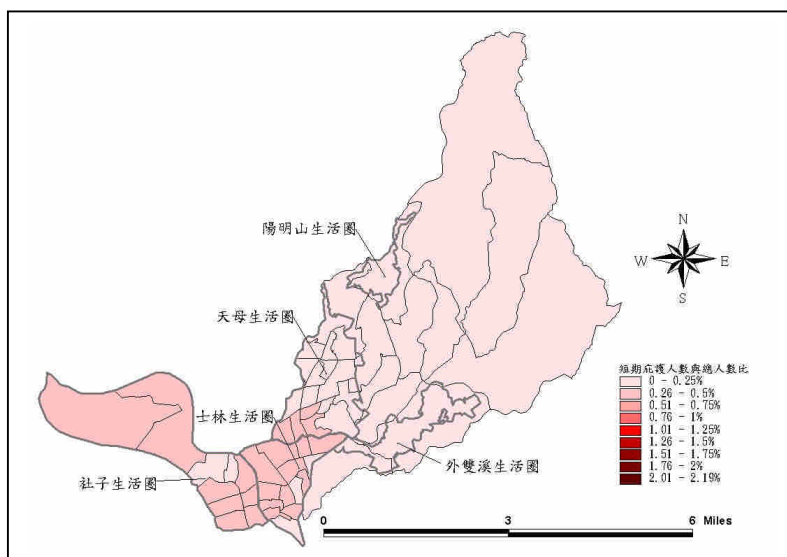
排序	里名	短護/人口-%
1	永福里	1.98%
2	公館里	1.85%
3	福華里	1.83%
4	葫東里	1.82%
5	德行里	1.79%
6	德華里	1.79%
:	:	:
46	陽明里	0.41%
47	溪山里	0.38%
48	明勝里	0.37%
49	福林里	0.35%
50	翠山里	0.32%

圖 4-38 短期庇護所需求-總人口數比分佈 (事件 A)



排序	里名	短護/人口-%
1	永福里	2.19%
2	公館里	2.11%
3	福華里	1.87%
4	德行里	1.83%
5	葫東里	1.82%
6	德華里	1.79%
:	:	:
46	溪山里	0.71%
47	翠山里	0.48%
48	陽明里	0.46%
49	明勝里	0.43%
50	福林里	0.43%

圖 4-39 短期庇護所需求-總人口數比分佈 (事件 B)



排序	里名	短護/人口-%
1	德行里	0.32%
2	福華里	0.31%
3	葫東里	0.31%
4	福德里	0.30%
5	福順里	0.30%
6	德華里	0.30%
:	:	:
46	芝山里	0.05%
47	明勝里	0.04%
48	翠山里	0.03%
49	陽明里	0.03%
50	福林里	0.02%

圖 4-40 短期庇護所需求-總人口數比分佈 (事件 C)

第五章 都市規劃檢討與策略評估

第一節 士林區都市發展與防災規劃之檢討

一、士林區都市計劃現況與未來展望

士林區面積 6237 公頃(占全台北市 22.95%)，其中都市發展用地 2071 公頃、非都市發展地 2149 公頃、國家公園用地 2017 公頃。人口數 293731 人，為全市第二，密度 45 人／公頃(全市平均 96 人／公頃)。公共設施部分，公園綠地面積 76.07 公頃(全市排名第四)，服務水準 2.59 m^2 ／人，略低於全市平均 2.83 m^2 ／人，國小面積 34.10 公頃，服務水準 1.16 m^2 ／人，高於全市平均 0.96 m^2 ／人，國中面積 16.38 公頃，服務水準 0.56 m^2 ／人(全市平均 0.55 m^2 ／人)，高中(職)面積 4.53 公頃，服務水準 0.15 m^2 ／人(全市平均 0.24 m^2 ／人)，停車場面積 3.30 公頃(全市排名第一)，服務水準 0.11 m^2 ／人(全市平均 0.03 m^2 ／人)，行政區內文化資源古蹟六處，區內交通運輸動線包括 1.捷運——淡水線(紅線)車站三處、2.快速道路——母雞快速道路(規劃中)、洲美快速道路(已完工)、3. 聯外橋樑、隧道、交流道——重陽橋(往蘆洲)、中山橋(往市區)、承德橋(往市區)、自強隧道(往大直、內湖)、重慶北路交流道(往中山高速公路)。本區都市發展主要集中在西側，東側為陽明山國家公園，區內土地使用分區內容如圖 5-1 所示。

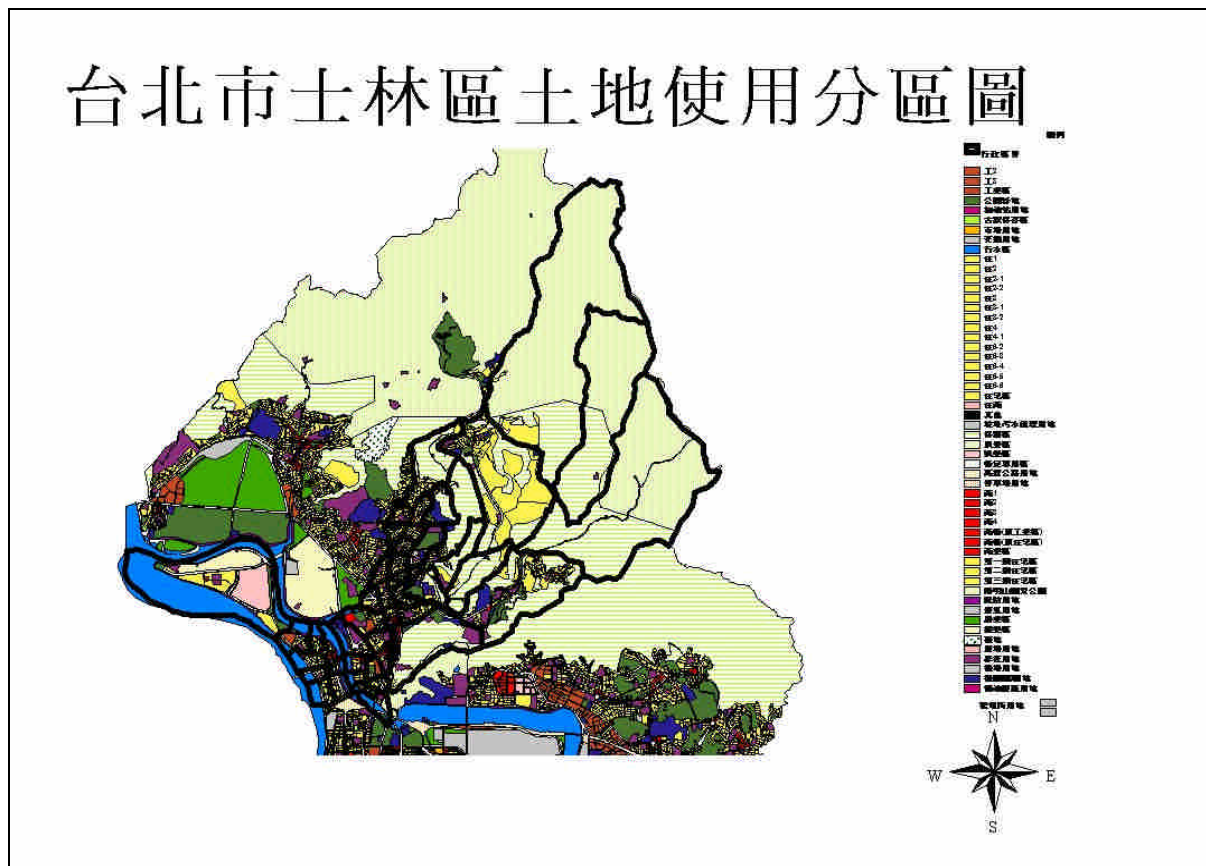


圖 5-1 士林區土地使用分區圖

根據都市計畫通盤檢討之構想，本區未來展望及初步變更構想的重點如下：

1. 建構捷運（大眾運輸）周邊及策略性發展為主要商業劃設發展模式
 - (1) 百齡國中、捷運劍潭站旁文教用地為車站用地，面積 2.16 公頃；
 - (2) 中正路延平北路口機關用地及加油站為車站，面積 0.63 公頃；
 - (3) 福國路捷運芝山附近住三為商三〔特〕。
2. 山坡地坡度超過百分之卅、地質環境條件不佳者宜維持自然地貌不開發
 - (1) 中央社區坡度超過百分之卅之住一變更為保護區共 23 處，面積 5.9 公頃；
 - (2) 中央社區坡度超過百分之卅之道路、公園用地變更為保護區 15 處，面積 8.85 公頃；
 - (3) 中央社區坡度超過百分之卅之停車場、機關用地變更為保護區共 3 處，面積

0.65 公頃；

- (4) 東吳大學北側坡度超過百分之卅之公園用地變更為保護區，面積 3.74 公頃；
- (5) 士林 86 號道路及 87 號用地變更為保護區，面積 1.08 公頃；
- (6) 故宮博物院北側坡度過百分之三十之機關用地為保護區一處面積 5.6770 公頃；
- (7) 士林 11、12 號公園用地變更為保護區，面積 13.62 公頃。

3. 配合生活休憩活動及開放空間體系完整並調整公共設施定位

- (1) 家樂福北側批發市場道路停車場為公園用地，面積 0.93 公頃；
- (2) 基河公園西側加油站為機關用地，面積 0.24 公頃；
- (3) 劍潭青年活動中心風景區變更為文教區面積 5.27 公頃；
- (4) 百齡段五小段 458 地號等住二變更為公園用地面積 0.188 公頃；
- (5) 至善段五小段 117 地號等加油站用地為公園用地

4. 現況與使用不符影響計畫人口與公共設施配置

- (1) 台北美國學校住三變更為文教區，面積 6.45 公頃；
- (2) 日僑學校住三變更為文教區，面積 2.92 公頃；
- (3) 中山北路五段 378 巷南側保護區變更為消防隊用地；

5. 擬定專案都市計畫地區

- (1) 台北知識經濟產業園區計畫案；
- (2) 士林官邸北側住宅區計畫案；
- (3) 社子島開發計畫案；
- (4) 軍事用地通檢案

6. 都市空間結構具特殊意義重點地區

- (1) 捷運芝山站周地區；
- (2) 故宮博物院文教休閒特定區；
- (3) 捷運士林站暨舊市區附近地區；

(4) 陽明山山仔后文化大學附近地區；

7. 初步檢討成果

(1) 確立全區 2025 年整體發展架構藍圖；

(2) 計畫容納人口自 406816 減為 394087 人；

(3) 增設轉運機能用地 3 處，計 3.07 公頃，整合大眾運輸提昇效率（服務水準由 $0.00 \text{ m}^2/\text{人}$ ，提昇至 $0.10 \text{ m}^2/\text{人}$ ）；

(4) 增設外僑學校 2 處，計 8.88 公頃（服務水準由原計畫之 $0.00 \text{ m}^2/\text{人}$ ，提昇至 $0.32 \text{ m}^2/\text{人}$ ）；

(5) 增設市區公園綠地 6 處，計 1.38 公頃；

(6) 維護生態環境敏感地區劃定 23.21 公頃；

(7) 士林區「適用本市山坡地開發要點」地區調整；

(8) 士林區都市計畫特殊規定辦理；

(9) 劃設容積接受區；

(10) 規範全區性都市設計管制原則。

此外，配合『地區發展計畫』，由地區居民結合相關（空間專業）人士針對地區發展所面臨的內部、外部情境進行檢視與討論，藉由共同凝聚共識並勾勒地區發展願景，進而研擬出相關具體之行動策略與方案而據以推動執行，藉以達成地區生活環境品質之提昇。「地區發展計畫」可說是針對地方事務、整合各方資源、改善地區環境、增進地區發展與民眾福祉 所擬定的短中長程之行動、計畫與願景。簡言之，「地區發展計畫」可以「里」為單元或以日常之生活圈為範圍，透過「策略規劃」(Strategic Planning) 之方法，來持續進行「社區經營」與「環境改造」之工作。士林區自民國 89 年迄今所進行之地方發展計劃如表 5-1 所示。

表 5-1 士林區地方發展計畫一覽表

年度	行政區	計畫名稱	規劃單位	提案單位	改造範圍
92	士林區	士林區基河路地區發展計畫			士林區
90	士林區	士林區基河路地區環境發展計畫	國立台北科技大學建築與都市設計研究所	國立台北科技大學建築與都市設計研究所	士林區
90	士林區	台北市九十年度的士林區劍後五里發展計畫	新綠工程規劃設計有限公司	新綠工程規劃設計有限公司	士林區為士林區跨明勝里、福華里、承德里、百齡里、前港里五里，帶狀的基隆河沖洗道加蓋綠地。
90	士林區	台北市士林區福林地區發展計畫	台灣大學建築與城鄉研究所	台灣大學建築與城鄉研究所	士林區
90	士林區	士林區劍後地區發展計畫-巨龍點睛——為生活、休閒、林蔭走廊開光	新綠工程規劃設計有限公司	新綠工程規劃設計有限公司	士林區
90	士林區	士林區福林地區發展計畫			士林區福林里，
90	士林區	臺北市士林區基河路地區發展計畫	國立台北科技大學永續都市研究室		士林區
89	士林區	福林地區發展計畫			士林區

資料來源：台北市都市發展局網站

二、士林區防災道路系統

道路系統在震災後之避難與救災行為上，具備了最基本的機能，換言之，道路系統的功能發揮正常與否，直接影響到避難與救災的成效，相對的也就減低了災害傷亡的可能。道路系統在整個災害發生的時序上，是第一個開始運作的防災空間系統，再者，道路系統與其他的防災空間系統也息息相關，各空間系統的功能發揮，都需要借助道路的正常運作方可達成，因此，道路在整體的規劃作業上是首先必須要架構完整的。避難救災道路可以區分為下列層級，士林區道路系統的分級如各類中所述：

（一）緊急道路：

指定台北市現有路寬 20 米以上之主要聯外道路，並考慮可延續通達全市各區域之主要輔助性道路（路寬亦須 20 米以上）為第一層級之緊急道路，此道路為震災發生後首先必須保持通暢之路徑，同時在救災必要時得進行交通管制，以

利救災行為的順利。本區符合條件，適合指定為緊急道路的包括：忠誠路一段、忠誠路二段、士東路、士商路、天母東路、芝玉路、中山北路四段、中山北路五段、中山北路六段、中山北路七段、延平北路七段、延平北路八段、延平北路九段、承德路四段、承德路五段、文林北路、百齡橋、基河路、北安路、福國路、文昌路、至誠路一段、至誠路二段、中正路、福林路、至善路、雙溪街、雨農路、劍福路、社中街等。

（二）救援運輸道路

以台北市現有 15 米以上道路為對象，配合緊急道路架構成為完整之路網，此層級道路主要作為消防及擔負便利車輛運送物資至各防災據點之機能為主，同時亦作為避難人員通往避難地區路徑之用，因此除必須保有消防機具與車輛操作之最小空間需求外，路與路間所架構之網絡還必須滿足有效消防半徑 280 米的要求，也就是說所圍蔽的接廓應避免發生有消防死角的產生。北安路、德行西路、德行東路、至誠路 152 巷、延平北路六段、天母北路、天母西路、天母西路 38 巷、天母西路 39 巷、天母北路 87 巷、中山北路六段 441 巷、中山北路七段 141 巷、中山北路七段 191 巷、士東路 286 巷。

（三）避難輔助道路

此道路層級的劃設，主要作為在各個指定作為避難場所、防災據點之設施無法臨接前兩層級之道路網時，必須劃設一輔助性質的路徑聯絡其他避難空間、據點或連接前兩個層級道路，如此方能架構個防災空間與道路網完整之體系。

捷運高架道在震災中若有毀損情形，可能造成避難救災的嚴重阻隔，因此，必須考慮其補救措施，本區有淡水捷運線經過，沿線屬高度發展地區，如圖 5-2 所示，在地區防災計畫擬定時，應列為重要影響因素考量。



圖 5-2 士林區捷運站分佈圖

三、士林區防災避難圈

防災避難圈的劃設，除了作為避難救災的行政管理依據外，對於都市居民的避難導引與避難行為模式也有一定的助益，各圈域內可根據本身的地理區位及空間設施條件，分別訂定適合的避難行動，並做為相互支援的最小單元（李威儀，1998）。

防災避難圈的劃設，同時也是警察、消防、醫療、物資等其他救災空間系統的基本單元，根據此劃設的基礎，在台北市未來規劃防災生活圈時，以避難圈為都市防災相關設施的檢討依據，並且進行相關之防災建設事業，如此方能合理且按部就班地達到安全的防災都市理想。

現階段士林區防災避難圈之劃設，可以區分為直接避難圈以及階段避難圈兩類（李威儀，1998），其設置依據標準如下：

(一) 直接避難圈 (B13~B25)

以台北市現有公園面積 10000 平方米以上之公園為指定之可安全停留避難地，在其周邊步行距離 1 公里的範圍內所涵蓋的街廓為直接避難區的劃設範圍，意即在此範圍內所有劃設之防災避難圈之活動人員可在 1 公里的步行距離內到達至少一處指定之安全避難地，因此區域內人員可直接進入該避難圈或鄰近避難圈之指定避難地來完成避難行為。

(二) 階段避難區域

除直接避難區域外，台北市其他區域則必須以超過 1 公里範圍的步行距離方可抵達指定之安全避難地，因此為求避難的時效性，此區域人員需進行二階段的避難方式來進行避難行為，而在進入安全之指定避難地之第二階段避難前，該區域內之每一避難圈必須提供臨時之避難場所，待救援人員抵達或餘震結束後，再由引導進入之避難地。

依據上述標準所劃設之防災分區分布如圖 5-3 與表 5-2 所示。

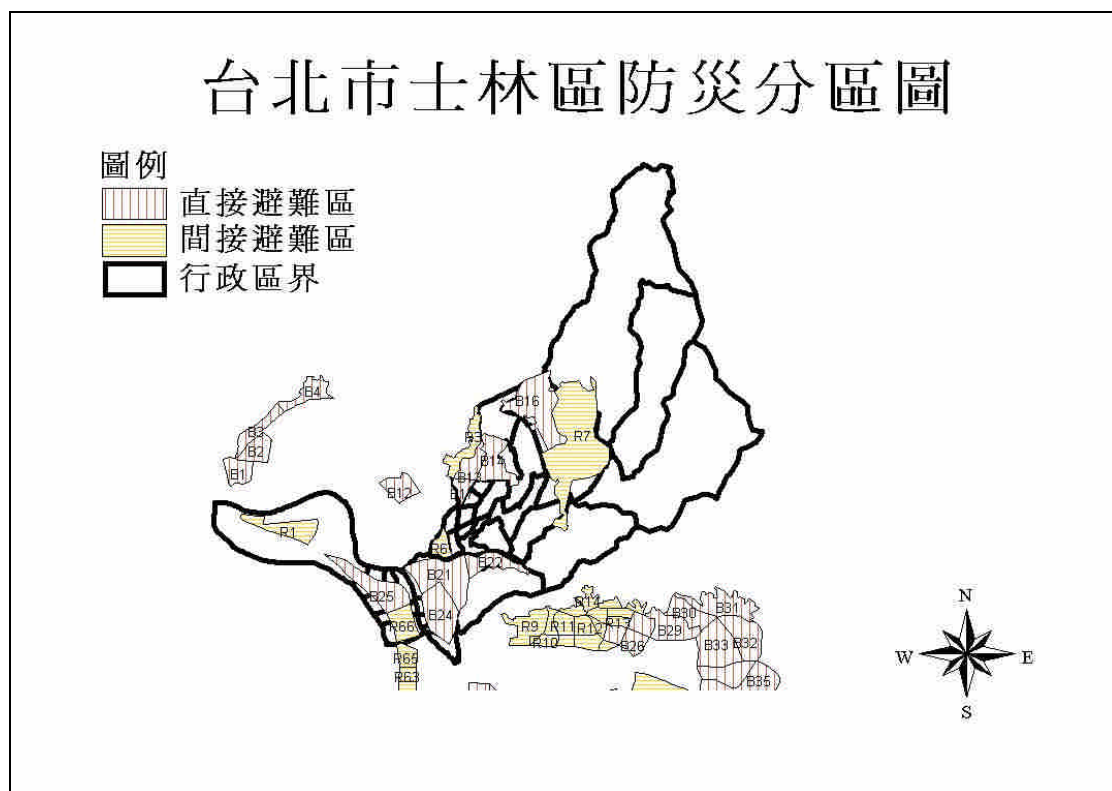


圖 5-3 士林區防災避難圈分布圖

表 5-2 士林區防災避難圈之行政單元構成

避難圈	行政里組成 (★表僅含部分區域)
B13	天玉、天母 (★)
B14	天母 (★) 天山、天和、東山 (★)
B15	湖山、菁山
B16	新安 (士林) (★)、陽明 (★)
B17	天壽、天福、天祿
B18	東山 (★)、三玉 (★)
B19	蘭興 (★)、蘭雅、忠誠、三玉 (★)、德行
B20	聖山、名山、岩山、芝山、永福 (★)
B21	舊佳 (★)、福佳、後港 (★)、福德 (★)、仁勇、義信 (★)
B22	福志、舊佳 (★)、福林
B23	翠山 (★)、永福 (★)
B24	後港 (★)、福德 (★)、義信 (★)、前港、福中、百齡、福華、明德、承德
B25	福安 (★)、永倫、社園、社子、社新
避難圈	指定地點 (公園名稱)
R1	富洲、福安 (★)
R7	新安 (士林) (★)、陽明 (★)、公館
R8	翠山 (★)

四、士林區避難據點分布

對於避難所之指定，應依種類分別考量，李威儀（1998）建議，對於臨時避難、收容以及中長期收容，可以下列考量為依據：

（一）臨時避難收容所

此一層級之據點是以收容暫時無法直接進入安全避難場所（臨時收容場所、中長期收容場所）的避難人員為主，而以待援的方式，經由導引進入層級較高的收容場所，待餘震結束後，視情況決定下一步行動之場所，指定的對象以現有鄰里公園、綠地為對象。

（二）臨時收容場所

此一層即將以台北面積大於 10000 平方公尺之區域性公園或全市性公園為指定對象，目的為提供大面積的開放空間做為安全停留得處所，待災害穩定至某一程度後，在進行必要之避難空間。以日本都市的標準來看，理想的都市避難計畫是以單位圈域內每人平均擁有 1~2 平方公尺的避難面積為原則，台北市雖不及日本東京等大都市之人口密度，但也可引為台北市初步檢討避難公園的依據。

（二）中長期收容場所

此一據點的設置目的在於提供能夠進行災後都市復健完成前進行避難生活所需設施，並且是當地避難人員獲得各種情報資訊的場所，因此必須擁有較完善的設施及可供庇護的場所，以台北市現有的資源來看，中小學的分佈區域較廣，且擁有進行災後對應活動之廣場設施，是較為理想的對象。

依據以上標準，士林區目前適合指定為避難收容之地點，分別如圖 5-4 與圖 5-5 所示，而對於上述避難圈與設施間之標準討，如表 5-3 所示。



圖 5-4 士林區廣場、公園、綠地分佈圖

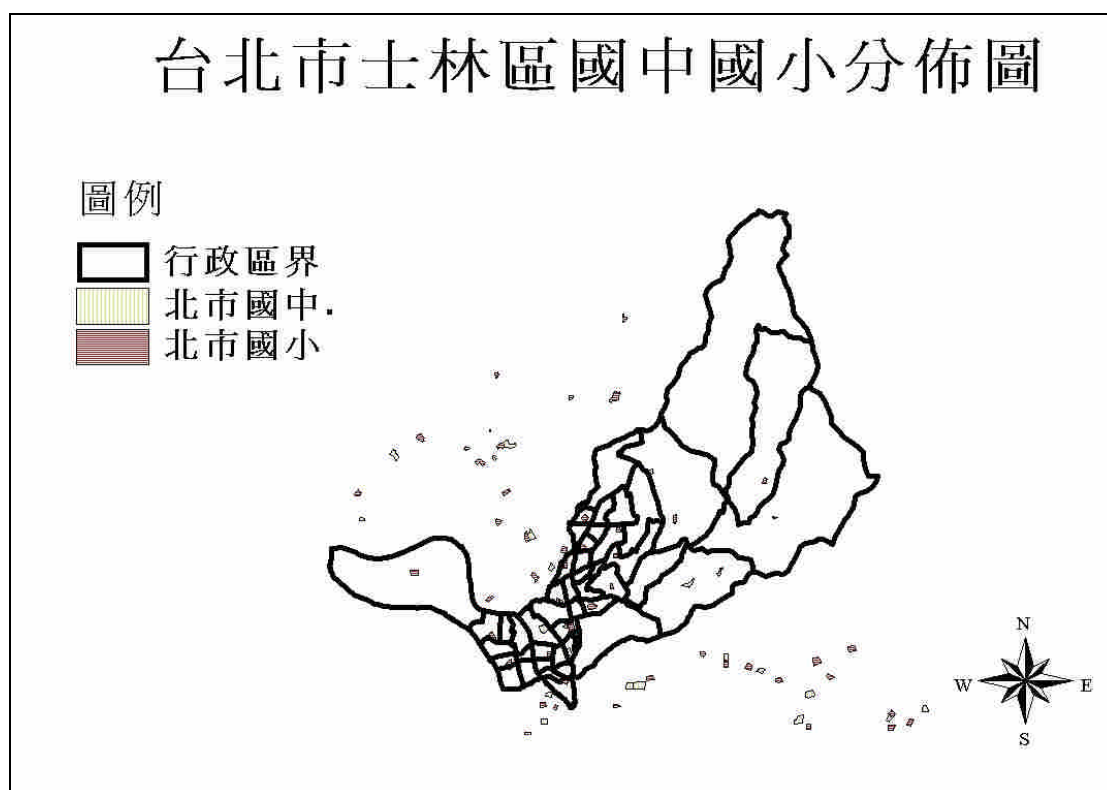


圖 5-5 士林區國中、國小分佈圖

表 5-3 安全避難面積檢討

檢討區域 （指定防災公園服務區域）	構成單元 （防災避難圈）		安全避難空間		公元 2000 年 計畫人口值 （人）	安全避難 面積檢討 （M ² ／人）
	編號	計畫人口	公園名稱	面積 M ²		
天母運動公園 （關渡、士林、北投、雙溪地區）	B1	12,671	北 196 號 天母運動公園 士 11、12	360,226	678,598	1.06
	B2	0		168,664		
	B3	9,672		197,161		
	B4	20,246		計 726,051		
	B5	13,303				
	B6	19,027				
	B7	26,729				
	B8	13,725				
	B9	13,770				
	B10	30,044				
	B11	17,138				
	B12	52,054				
	B13	20,516				
	B14	21,285				
	B15	249				
	B16	23,094				
	B17	32,943				
	B18	15,497				
	B19	40,521				
	B20	27,416				
	B21	39,465				
	B22	24,431				
	B23	6,677				
	B24	50,041				
	R2	10,729				
	R3	21,377				
	R4	36,853				
	R5	20,120				
	R6	11,901				
	R7	39,568				
	R8	7,536				

資料來源：台北市都市計畫防災系統之規劃

第二節 地震風險-效益分析

本節主要目的在說明地震風險-效益分析的理論基礎，以做為第三節與第四節都市規劃策略評估方法論建立的依據。地震災害風險的組成，主要有兩部分：(1)災害影響(損害或損失)的可能範圍與程度；(2)不同災害影響程度的機率分配。防減災或土地使用措施執行的目的，即在設法降低災害影響的程度或機率（或兩者同時降低），而估計此類措施執行可能降低之風險的效益，可稱為風險-效益分析（Freeman, 1993）。

風險-效益分析方法的選擇，可分成兩個向度：(1)個體效用分析；(2)公共政策總體評估。第一種分析向度乃應用效用函數量測防減災措施的效益，藉之評估風險改善的個體價值，再透過加總方式估計整體社會之福利增進（Smith and Desvousges, 1987; Freeman, 1993；洪鴻智，1998b）。另一種分析向度，則較偏重總體與計畫衝擊，對效益採較狹義解，視效益為資本財的投資或政策的正面衝擊（可視為一種影子價格(shadow price)），直接建立風險（或效益）模式估計經濟行為、災害與改善措施的風險與效益（Wilson and Crouch, 2001; 陳明健，2003）。

上述兩種方法皆是廣義的成本-效益分析，風險-效益分析則係在成本-效益分析中，納入風險與不確定性的內涵（陳明健，2003）。風險-效益分析於土地使用規劃應用，並非單純的經濟效益估計，而需同時檢視規劃區的風險特性，及不同土地使用模式的風險變動衝擊，故較適於使用上述第二種分析方法。此種分析方法的應用，較偏重在地震風險分布與土地使用關係之分析（如 Burby et al., 1998; Olshansky, 1997; 2001），惟近來亦擴展至地震風險(成本)估計與風險分攤策略評估的領域（Burby et al., 1991; Olshansky and Wu, 2001）。

地震災害損失可視為土地使用模式與地震災害潛勢的函數，而估計地震損失可應用損失（或損害）函數法（Freeman, 1993），建立損失函數：

$$L = (E, B_i, D_j, S) \quad (5-1)$$

式(5-1) L 為地震損失（或損害），其為地震災害潛勢 E （決定在地球科學條件、地震規模（與震源區位）、地震發生機率），建物與設施結構特性 B_i （ i 為結構型態， $i = 1, 2, \dots, m$ ），建物或土地使用型態 D_j （ j 為使用種類， $j = 1, 2, \dots, n$ ），及其他社會與設施特性 S （如人口、重要設施特性等）的函數。式(5-1)所估計的地震損

失 L ，其實是特定機率分配之地震事件下的損失，故可視為「地震風險」。然損失函數的估計為困難且複雜的課題，需結合地球科學、地震工程、統計與經濟模式，故需引用綜合性地震損失與風險估計模組進行估計。

因無法預知地震發生的時間、區位與規模， E 的估計需在假設的地震情境下進行估計，且需假設 L 與地震規模成正比。另 B 與 L 的關係，乃建立在震度與建物損壞易損曲線（fragility curve）之關係上，易損曲線指在特定震度下，建物各種損壞程度的累積機率分配¹。 D 影響 L 的程度，乃決定在土地開發強度（如容積率）及建物重置成本（價值），開發程度愈高或重置成本愈高的土地使用，地震損失（或風險）愈大。

¹ HAZ-Taiwan 將建物損害程度分成：「沒有」、「輕度」、「中度」、「嚴重」與「完全」損害五個等級，每一個損害等級皆由一個 lognormal 易損累積機率分配所組成。各種損害程度界定門檻的決定（例如界定何者為「嚴重」或「中度」損害），主要由地震地球科學災害參數（如 PGA 值）及建物損害的 lognormal 隨機分配參數共同決定，詳細的估計與界定方法可參見 National Institute of Building Science (1999), Ch.5。

第三節 土地使用變更的地震風險-效益分析

本節主要目的，將以不同的土地使用計畫方案，分別估計士林現況、現有都市計畫（以下簡稱原方案）與通盤檢討（最後一次修正為 2002 年 9 月）之不同土地使用方案間，因使用轉變造成之地震損失風險-效益變動。惟為簡化分析內容，只考慮貨幣化之建物損失風險與效益。以下第一部份說明評估分析之土地使用條件方案設定之內涵；第二部份說明地震風險-效益乘數估計之方法與內容；第三部分說明地震風險-效益分析之成果。

一、土地使用條件

應用 HAZ-Taiwan 於土地使用計畫評估較困難的問題，在於需將不同土地使用方案，轉換成各種建物使用別之樓地板面積方能進行估計。故以下考慮之土地使用方案：現況、原方案與通盤檢討案（三個方案的內容與差異列於表 5-4），需轉換成樓地板面積。其中「原方案」：指將各種土地使用別面積，依「臺北市土地使用分區管制規則」所訂標準，假設在完全開發的條件下，分別估計各里，各種土地使用別的建物樓地板面積。「通盤檢討案」：依台北市政府都市發展局提供之資料，亦假設在完全開發下，各種土地使用別的建物樓地板面積。表 5-4 顯示通盤檢討案與原方案的差異（變動 1），主增加商業與教育使用，而降低住宅、工業與機關之樓地板面積，總計降低約 228,000 m²。通盤檢討案較之現況（變動 2），則所有土地使用建物樓地板面積皆會增加，總計增加約 10,852,000m²。

表 5-4 不同土地使用之樓地板面積變動比較 單位：1000m²

	農業	住宅	商業	教育	工業	機關	總計
現況	323	5,992	513	575	436	500	8,339
原方案	323	12,021	2,824	575	835	2,840	19,418
通盤檢討	323	11,648	3,090	778	662	2,689	19,191
變動 1 ^a	0	-373	266	203	-173	-151	-228
變動 2 ^b	0	5,656	2,577	203	226	2,189	10,852

註：a.變動 1：通盤檢討案樓地板面積-原方案樓地板面積；b.變動 2：通盤檢討案樓地板面積-現況樓地板面積

士林的土地使用類別編訂，不僅表 5-4 所列之六種，然為簡化分析及配合 HAZ-Taiwan 資料格式，簡併為六類。另農業與教育使用之樓地板面積，難透過土地使用分區管制規則估計其樓地板面積，故在原方案中係沿用現況資料。

二、地震風險-效益乘數估計

評估土地使用規劃方案，可透過不同土地使用模式變動之地震損失風險，及各種土地使用轉變可能創造之效益進行比較，而土地使用變動的地震風險-效益，可引用建物使用乘數 (building-use multiplier；以下簡稱 BUM)，以衡量土地使用轉變隱含的損失風險-效益變動。地震損失風險的 BUM (簡稱 RBUM) 可藉由下列迴歸模型估計：

$$RISK = a_0 + a_1RE + a_2CO + a_3IN + a_4AG + a_5GO + a_6ED + \varepsilon_1 \quad (5-2)$$

式(5-2)之 *RISK* 為應變數，代表地震 (損失) 風險，乃以地震總損失 (元) 值代之²，其為 HAZ-Taiwan 輸出值。另 *RE*：住宅使用，*CO*：商業使用，*IN*：工業使用；*AG*：農業使用；*GO*：機關使用，與 *ED*：教育使用之樓地板面積 (m^2)； a_0 為截距項； $a_j (j = 1, 2, \dots, 6)$ 為迴歸係數，可視為地震損失風險的 RBUM (增加一單位建物樓地板面積增加的邊際損失風險)， ε_1 為隨機誤差項。土地使用效益的 BUM (簡稱 BBUM)，亦可利用下式估計：

$$BENE = b_0 + b_1RE + b_2CO + b_3IN + b_4AG + b_5GO + b_6ED + \varepsilon_2 \quad (5-3)$$

式(5-3)之 *BENE* 為應變數，為建物效益，係以建物暴露價值³ (元) 代之； b_0 為截距項， $b_j (j = 1, 2, \dots, 6)$ 為迴歸係數可視為 BBUM， ε_2 為隨機誤差項。建物效益的估計可視為建物暴露總值的估計，換另一個角度而言，即為土地開發的災感度估計。

對於式(5-2)與式(5-3)的函數型態，因難以判斷或預知。故進行迴歸模型參數之估計，乃採較常用的半對數型與線性模型。半對數模型之 *RISK* 與 *BENE*，分別取對數值 $\ln RISK$ 與 $\ln BENE$ ，線性模型則直接以原始資料代入。

三、估計成果分析

表 5-5 與表 5-6 為應用 SAS 統計軟體，以迴歸模型估計之 RBUM 與 BBUM。從估計結果發現，線性模型之 $\text{Adj } R^2$ 與 R^2 較高，然商業使用之 RBUM 估計成果符號為負，雖然 *t* 檢定不顯著，但較不符合預期。半對數模型則符號多符合預期，

² 此處所謂之地震總損失，是在特定地震發生機率下的總損失，故只要乘上發生機率，即為地震風險或地震損失風險，以下為突顯所估計的損失係在特定機率下的損失，而稱為「損失風險」或簡稱「風險」。

³ 暴露總值係以建物重建價格估計，乃以不動產估價之「原價法」估計不動產價值 (林英彥, 1988)，而不考慮土地價值與預期投資價值。

亦與 Olshansky and Wu (2001) 的成果相仿。不管線性或半對數模型，皆可發現三個地震事件皆是住宅與工業使用的 RBUM 最高，代表增加此兩類建物使用之邊際地震損失風險較高；RBUM 值較小者為商業與農業使用，甚至在線性模型中為負值，隱含增加此兩類之建物使用可降低地震損失風險。在獅潭事件中，於半對數型模型中，除農業使用外，則以教育使用之 RBUM 較低。

以宜蘭外海事件為例，以半對數型模型的估計結果，透過 RBUM 的估計值，增加一 m^2 的住宅樓地板，平均可能增加 17,845 元的潛在損失風險，而以線性模型的估計結果，則約增加 12,144 元。綜合三個地震事件與兩個模型的估計結果，商業使用的邊際損失風險較低可能不符合預期，其形成的主因，可能在於士林住商混合使用情況嚴重，且 HAZ-Taiwan 的資料係以村里為基本單位，在住商混合嚴重且商業使用比率較低，或在建物總樓地板面積較低（總損失亦較低）的里，恰為商業使用較集中之里，皆可能造成商業使用的邊際損失風險難以突顯。另在 BBUM 估計，亦以住宅與工業使用之 BBUM 較大，隱含增加此兩類土地使用之邊際效益（暴露價值或災感度）較高，而增加機關使用之 BBUM 最低。

表 5-5 RBUM 與 BBUM 之估計（半對數型）

變數/模型	宜蘭外海 (t 值)	新層斷層 (t 值)	獅潭斷層 (t 值)	效益
截距項	19.59 (102.67)	19.56 (96.25)	18.27 (85.58)	20.32 (120.05)
RE	0.000011 (8.12)	0.00001 (7.72)	0.00001 (6.75)	0.00001 (9.28)
CO	0.0000011 (0.21)	0.000001 (0.17)	0.000001 (0.09)	0.0000022 (0.53)
IN	0.000013 (2.72)	0.000013 (2.60)	0.000012 (2.31)	0.000013 (3.14)
AG	-0.0000001 (-0.01)	-0.0000027 (-0.33)	-0.0000048 (-0.57)	0.0000079 (1.22)
GO	0.0000035 (1.06)	0.0000037 (1.05)	0.0000048 (1.32)	0.00000052 (0.18)
ED	0.0000017 (0.28)	0.0000012 (0.18)	-0.0000030 (-0.44)	0.0000077 (1.48)
R^2	0.69	0.67	0.61	0.75
Adj R^2	0.64	0.62	0.55	0.71
F 值	15.84	14.43	11.09	21.21
樣本數	50 里	50 里	50 里	50 里

表 5-6 RBUM 與 BBUM 之估計（線性）

變數/模型	宜蘭外海 (t 值)	新層斷層 (t 值)	獅潭斷層 (t 值)	效益
截距項	220871337 (1.7)	254788358 (1.83)	85907822 (1.60)	198095352 (1.74)
RE	12144.91 (14.05)	11797.33 (12.73)	2722.48 (7.64)	26225.67 (34.97)
CO	-2123.49 (-0.63)	-2554.29 (-0.70)	-1103.93 (-0.79)	8313.43 (2.82)
IN	12171.31 (3.81)	12008.70 (3.50)	2929.68 (2.22)	27574.99 (9.89)
AG	-5792.93 (-1.06)	-8310.66 (-1.50)	-1946.07 (-0.91)	20360.43 (4.53)
GO	22758.09 (10.19)	22445.68 (9.37)	4397.47 (4.77)	197.50 (1.10)
ED	3325.87 (0.80)	2696.63 (0.61)	8.40 (0.004)	22528.55 (6.23)
R ²	0.93	0.92	0.77	0.97
Adj R ²	0.92	0.90	0.73	0.97
F 值	93.85	78.09	23.54	271.76
樣本數	50 里	50 里	50 里	50 里

表 5-7 乃應用 RBUM 與 BBUM，以半對數型模式，估計表 5-4 不同土地使用樓地板面積變動產生的地震損失風險-效益衝擊。表中顯示通盤檢討案較之原方案，因開發強度的降低，會降低損失風險，三個地震事件降低的損失風險約在 85 億元-101 億元間，約可降低建物總暴露價值之 4.07% - 4.79% 間。另通盤檢討案較之現況，隱含如依通盤檢討的土地使用強度完全開發，將增加約 896 億元 - 1,233 億元間之損失風險。

表 5-7 不同土地使用方案平均地震風險-效益比較（半對數型） 單位：億元

地震事件	損失風險/效益	農業	住宅	商業	教育	工業	機關	總計
宜蘭外海	變動 1 增加之損失	0	-66.56	4.75	5.60	-36.48	-8.12	-101.27
	變動 2 增加之損失	0	1,009.30	45.99	5.60	47.66	124.29	1,232.84
新城斷層	變動 1 增加之損失	0	-62.94	4.49	4.11	-35.03	-9.42	-98.81
	變動 2 增加之損失	0	954.49	43.49	4.11	45.77	136.69	1,184.54
獅潭斷層	變動 1 增加之損失	0	-46.61	3.32	-7.61	-25.94	-9.06	-85.89
	變動 2 增加之損失	0	706.75	32.20	-7.61	33.89	131.29	896.53
變動 1 增加之效益		0	-157.58	24.72	66.04	-95.01	-3.32	-165.15
變動 2 增加之效益		0	2,389.51	239.52	66.04	124.12	48.09	2,867.27

表 5-8 乃應用線性模式，估計不同土地使用方案變動，造成的的地震損失風險-效益轉變。模型估計結果，通盤檢討較之原方案降低的風險（變動 1），三個地震事件之平均為 74.80 億元，而降低的建物暴露總值為 77.98 億元（效益）。惟

如將現況之土地使用提高至依都市計畫完全開發，三個地震事件將平均增加 839.48 億元之損失風險，增加之建物暴露總值為 1,809.94 億元。比較線性與半對數模型之估計成果，不管地震損失風險或效益，線性模型的估計值與地震損害程度成正，在地震損害規模較大之地震事件之估計值較高，但隨地震損害規模之降低，估計值會迅速下降。

表 5-8 不同土地使用方案平均地震風險-效益比較（線性） 單位：億元

地震事件	損失風險/效益	農業	住宅	商業	教育	工業	機關	總計
宜蘭外海	變動 1 增加之損失	0	-45.30	-5.64	6.75	-21.06	-34.36	-99.62
	變動 2 增加之損失	0	686.91	-54.72	6.75	27.51	498.17	1,164.63
新城斷層	變動 1 增加之損失	0	-44.00	-6.79	5.47	-20.78	-33.89	-99.99
	變動 2 增加之損失	0	667.26	-65.82	5.47	27.14	491.33	1,125.38
獅潭斷層	變動 1 增加之損失	0	-10.15	-2.94	0.02	-5.07	-6.64	-24.78
	變動 2 增加之損失	0	153.98	-28.45	0.02	6.62	96.26	228.43
變動 1 增加之效益		0	-97.82	22.11	45.73	-47.70	-0.30	-77.98
變動 2 增加之效益		0	1,483.32	214.24	45.73	62.31	4.32	1,809.94

如以半對數模型估計的成果觀察，綜合表 5-7 與 5-9，亦可估計通盤檢討案對降低損失風險的效果。表 5-7 呈現通盤檢討案在三個地震事件，較原方案雖可平均降低約 95.32 億元的風險損失（約降低建物總暴露價值之 4.51%），但總損失之風險-效益比率卻只降低 0.6%，年預期損失風險-效益比皆為 0.001%，此對於降低地震風險佔整體建物總暴露價值比率無顯著幫助。

表 5-9 不同土地使用方案年預期損失之比較 單位：億元

	平均總損失	各里平均	標準誤	平均年預期風險	效益	年風險/效益比
現況	732.86	14.66	11.93	0.48	2,112.36	0.023%
原方案	1,932.82	38.66	12.54	1.28	5,144.78	0.025%
通盤檢討	1,837.49	36.75	12.54	1.21	4,979.63	0.024%

士林通盤檢討案共有 18 個里的土地使用產生轉變，利用 RBUM，可估計 18 個里於通盤檢討後之總損失與年預期損失變動，其中年預期損失變動為三個地震平均發生機率乘上平均損失，可直接視為風險變動。表 5-10 顯示，多數里的風險皆會降低，主因住宅使用樓地板面積的降低。地震損失風險提昇者為明勝、福林與蘭興里，其中蘭興里位於地震災害危險度較高之地區。表中雖顯示多數里之損

失風險會降低，但許多住宅變商業使用之地區，皆集中在士林西南與南部地區，此等地區為災害潛勢較高之地區，故仍需審慎評估其潛在地震風險。

綜合三個方案的地震風險-效益分析，發現如依都市規劃完全開發，將大幅提昇地震風險。通盤檢討案因土地使用強度的降低，呈現較原方案低的風險，然在考慮土地使用變動或調整土地使用強度，仍可進一步考慮地震災害潛勢與危險度分布，將更能確保減災的效應及避免不適宜的土地使用規劃。

表 5-10 通盤檢討案與原方案各里各種使用樓地板面積與損失風險變動

村里	住宅 ^a	商業	工業	農業	機關	教育	損失變動 ^b	年預期風險變動
溪山里	1007	0	-3358	0	0	0	-0.46	-0.00030
天壽里	-64566	0	0	0	0	64566	-8.36	-0.0055
天福里	-135362	0	0	0	0	135362	-17.25	-0.011
蘭興里	0	-7979	0	0	10233	0	0.44	0.00029
翠山里	-35827	-54292	-7781	0	-148052	0	-15.82	-0.010
德行里	-9142	70549	-81810	0	0	0	-15.25	-0.010
福林里	0	1602	0	0	26600	0	0.15	0.0001
舊佳里	-19422	19422	0	0	0	0	-2.68	-0.0018
永倫里	0	0	630	0	0	0	0.11	0.0001
社子里	0	-3996	0	0	-25420	0	-1.45	-0.00096
福德里	-4544	72089	-80651	0	0	3314	-14.23	-0.0094
仁勇里	-10151	16824	0	0	0	0	-1.30	-0.00086
義信里	-10515	20824	0	0	0	0	-1.29	-0.00085
社新里	-46168	46168	0	0	0	0	-6.37	-0.0042
葫蘆里	-25677	25677	0	0	0	0	-3.54	-0.0023
承德里	-43560	97928	0	0	0	0	-5.17	-0.0034
富光里	0	0	0	0	-14381	0	-0.78	-0.00051
明勝里	33649	-33649	0	0	0	0	4.64	0.0031

註：a：各種建物使用類型之單位為 m²；b：單位為億元

第四節 建物結構補強之地震風險變動分析

在都市規劃中，常使用的地震減災方案為補強建物結構，提高耐震強度，以降低地震之建物倒塌或損壞的風險。故本節之目的，亦以士林區為例，針對士林區現況（以下簡稱現況）（主要模擬結果說明於第四章）及提高士林區所有建物為高強度防震結構（以下簡稱補強方案）兩個方案，評估其地震災害風險變動，以助於 HAZ-Taiwan 應用方法論的建立。關於評估結果，可從建物損壞機率估計與建物直接經濟損失兩方面說明之。

一、建物損壞機率

同樣在第四章設定之三個地震事件的條件下，進行境況模擬。士林區土地（建物）使用現況，在三個事件造成的建物損壞機率可示之於表 5-11。三地震事件模擬結果，建物嚴重與完全損壞機率皆為住宅、商業與工業使用較高。嚴重損壞以上之累計機率分別為新城斷層事件：住(39.91%)、商(39.42%)、工(40.48%)，高於該區平均值(37.75%)；宜蘭外海事件：住(40.50%)、商(40.35%)、工(41.35%)，高於該區平均值(39.11%)；獅潭斷層事件：住(8.42%)、教育(8.66%)、農(15.06%)，高於該區平均值(8.17%)。

在所有建物皆提高為高強度防震結構時，從表 5-12 的估計結果，可顯現三個地震事件造成之建物損害機率分布。如實施補強方案，可發現建物完全損壞之機率，在三個地震事件中皆降低。就完全損壞機率之平均值而言，三個地震事件分別降低 2.5%、1.8%與 1.43%。三個地震事件之建物嚴重損害以上的累計機率平均值，分別為：新城斷層事件：36.23%、宜蘭外海事件：37.14%與獅潭斷層事件：6.19%，分別下降 1.52%、0.97%與 1.98%（兩個方案比較可參見圖 5-6），降低之程度與地震損害規模呈反比，亦即損害規模愈小者，降低之損害機率愈高。

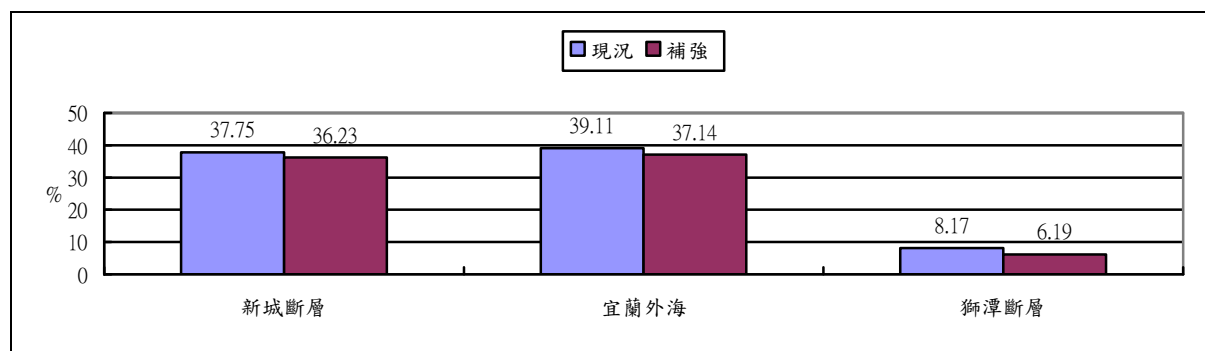


圖 5-6 現況與補強方案之建物嚴重損害以上累計機率比較

表 5-11 一般建物損害機率之估計（現況）

		樓地板面積 (仟平方公尺)	損壞機率(%)				
			沒有損壞	輕度損害	中度損害	嚴重損害	完全損害
新 層 斷 層	農業	323	50.45	2.49	9.38	14.68	23.07
	商業	332	50.17	2.39	8.04	12.86	26.56
	教育	576	50.14	2.42	10.4	13.82	23.11
	政府	497	50.96	4.35	12.68	12.96	19.03
	工業	436	50.13	2.44	7.46	13.20	27.28
	住宅	5912	49.84	2.00	8.03	13.18	26.73
	平均值	8076(總計)	50.28	2.68	9.33	13.45	24.30
宜 蘭 外 海	農業	323	50.08	2.03	8.10	14.73	24.96
	商業	332	50.09	2.07	7.69	13.46	26.89
	教育	576	50.04	2.13	9.37	14.29	24.04
	政府	497	50.62	3.21	11.98	14.09	19.96
	工業	436	50.00	1.93	7.28	13.91	27.44
	住宅	5912	49.78	1.80	7.34	13.50	27.34
	平均值	8076(總計)	50.10	2.20	8.63	14.00	25.11
獅 潭 斷 層	農業	323	60.64	10.11	14.26	10.64	4.42
	商業	332	59.50	11.97	21.41	4.60	2.34
	教育	576	59.24	10.75	21.18	6.71	1.95
	政府	497	65.00	12.68	18.76	3.17	0.52
	工業	436	58.31	12.86	22.57	3.95	2.31
	住宅	5912	57.50	11.27	22.66	5.90	2.52
	平均值	8076(總計)	60.04	11.59	20.14	5.83	2.34

從兩個方案在三個地震事件模擬結果的比較，建物嚴重與完全損壞以上的累計平均機率，補強方案皆略為降低（雖然在嚴重損害機率反而略有上升），此結果會影響建物損害之直接經濟損失及人員傷亡。然欲評估降低此建物損壞風險的經濟效益，是否符合成本有效性(cost-effective)原則，尚需要建物補強的成本資料，與降低一單位建物損害機率的效益評估資訊，如能建立此資料庫或建立評估方法，對於防災策略評估與都市防災規劃，將具有明顯之幫助。

表 5-12 一般建物損害機率之估計（補強方案）

		樓地板面積 (仟平方公尺)	損壞機率(%)				
			沒有損壞	輕度損害	中度損害	嚴重損害	完全損害
新城斷層	農業	323	50.57	3.03	12.66	15.96	17.82
	商業	332	50.14	2.63	9.22	14.00	24.07
	教育	576	50.15	2.55	11.21	14.59	21.22
	政府	497	50.98	4.41	12.90	12.98	18.58
	工業	436	50.17	2.48	8.08	14.33	25.20
	住宅	5912	49.87	2.11	9.11	14.63	23.94
	平均值	8076(總計)	50.31	2.87	10.53	14.42	21.81
宜蘭外海	農業	323	50.28	2.31	10.71	16.35	20.28
	商業	332	49.86	2.29	8.48	14.39	25.06
	教育	576	50.00	2.13	9.78	14.97	22.82
	政府	497	50.58	3.25	11.92	14.07	20.27
	工業	436	50.02	1.97	7.48	14.60	26.10
	住宅	5912	49.77	1.81	8.13	14.68	25.25
	平均值	8076(總計)	50.09	2.29	9.42	14.84	23.30
獅潭斷層	農業	323	59.38	10.89	18.10	8.51	3.03
	商業	332	59.69	13.08	22.92	3.85	0.32
	教育	576	59.01	10.94	22.08	6.87	0.87
	政府	497	65.07	12.78	18.82	3.07	0.52
	工業	436	58.20	13.48	24.64	3.75	0.31
	住宅	5912	57.31	11.89	24.53	5.63	0.38
	平均值	8076(總計)	59.78	12.18	21.85	5.28	0.91

二、建物直接經濟損失

依三個地震事件，士林區現況模擬之建物資產損失，新城斷層事件（事件 A）：842.86 億元；宜蘭外海事件（事件 B）：861.00 億元；獅潭斷層事件（事件 C）：189.94 億元。總體建物直接經濟損失，三個地震事件分別為：974.21 億元、995.37 億元、228.92 億元（參見表 5-13）。

表 5-13 建物直接經濟損失（現況）

單位：億元

	資產損失				損失 比率 (%)	收入損失				全部損 失
	結構損 害成本	非結構 損害成 本	內部財 產損害	庫存損 失		重置損 失	資本相 關收入 損失	薪資 收入 損失	租金 收入 損失	
事件 A	308.17	387.17	147.52	0.00030	34.27	97.46	4.45	6.56	22.98	974.31
事件 B	315.23	394.94	150.83	0.00032	35.00	99.49	4.64	6.76	23.47	995.37
事件 C	76.47	86.87	26.60	0.00001	8.05	29.73	1.08	1.22	6.97	228.92

如推動建物補強方案，依表 5-14 所示，建物之資產損失，三個地震事件分別為：新城斷層事件（事件 A）：798.20 億元；宜蘭外海事件（事件 B）：830.01 億元；獅潭斷層事件（事件 C）：147.48 億元。較之現況，可分別降低 44.66 億元、30.99 億元與 81.44 億元之損失風險。建物的總體直接經濟損失，三個地震造成的損失風險為：事件 A：921.51 億元，事件 B：958.05 億元，事件 C：179.38 億元。補強方案降低的總直接經濟損失風險，三個地震事件分別為 52.8 億元、37.32 億元與 49.54 億元，降低的比率分別為 5.42%、3.75%與 21.64%。從此降低的幅度亦可歸納，損害規模愈小的地震，補強方案降低的地震損失風險愈明顯（參見圖 5-7），且降低的幅度差異極大。

表 5-14 建築物直接經濟損失（補強方案）

單位：億元

	資產損失				損失 比率 (%)	收入損失				全部損 失
	結構損 害成本	非結構 損害成 本	內部財 產損害	庫存損 失		重置損 失	資本相 關收入 損失	薪資 收入 損失	租金 收入 損失	
事件 A	284.16	370.22	143.82	0.00026	32.25	91.24	3.94	6.26	21.87	921.51
事件 B	295.96	385.08	148.97	0.00029	33.57	94.64	4.19	6.63	22.59	958.05
事件 C	55.57	68.42	23.49	0.00000	6.11	24.52	0.74	1.08	5.56	179.38

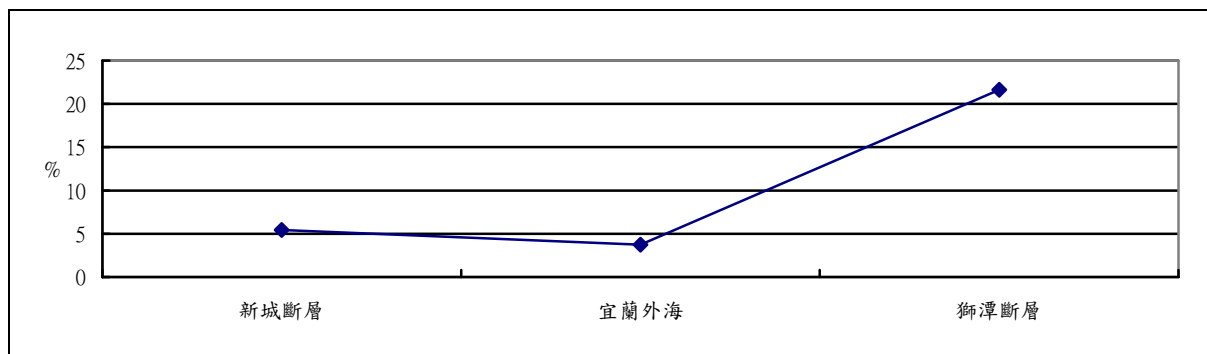


圖 5-7 補強方案降低之地震直接經濟損失風險之比率

現況之各里建物直接經濟損失風險模擬之空間分佈，三個事件損失最嚴重皆為三玉里，損失較嚴重前幾名中，三事件皆為：三玉里、蘭雅里、蘭興里、天祿里與名山里（僅 C 事件 3 至 5 名順序異於其他二事件），這些損失較嚴重地區皆位於天母生活圈與士林生活圈內。

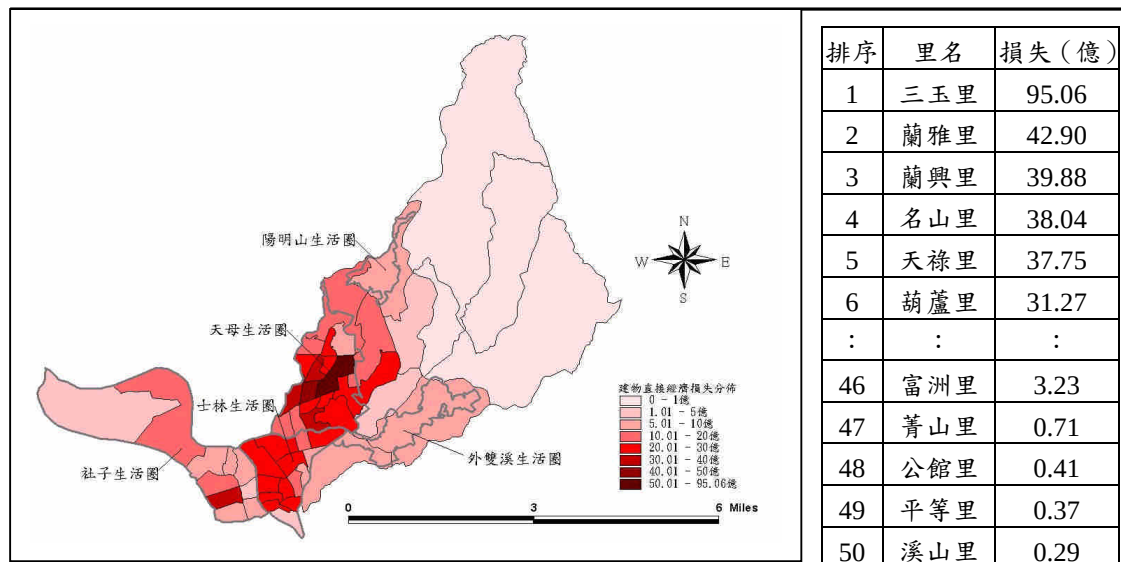


圖 5-8 士林區建物直接經濟損失分佈（補強方案）（事件 A）

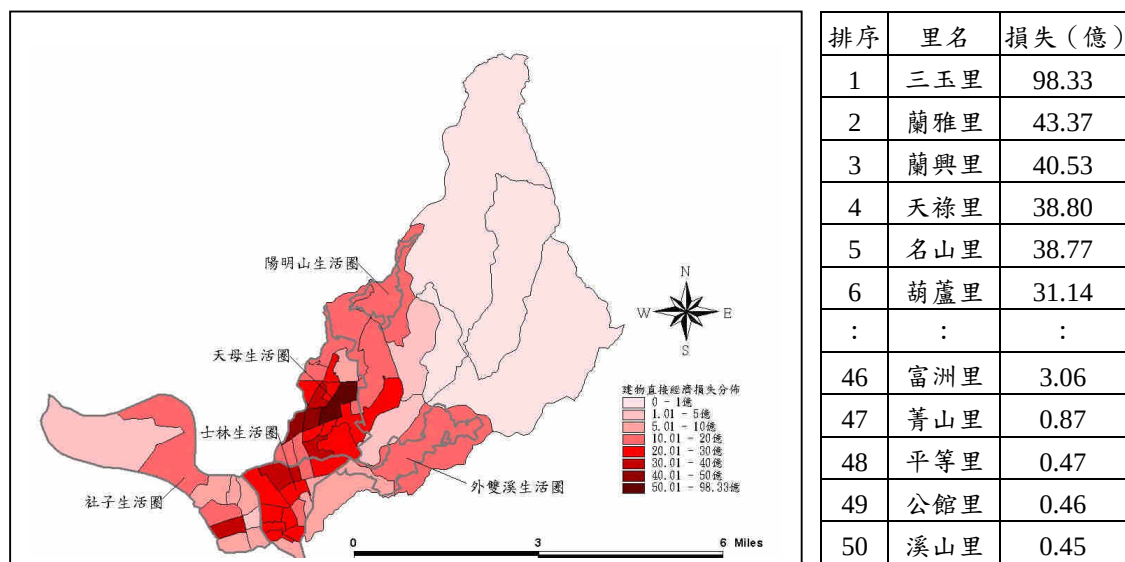


圖 5-9 士林區建物直接經濟損失分佈（補強方案）（事件 B）

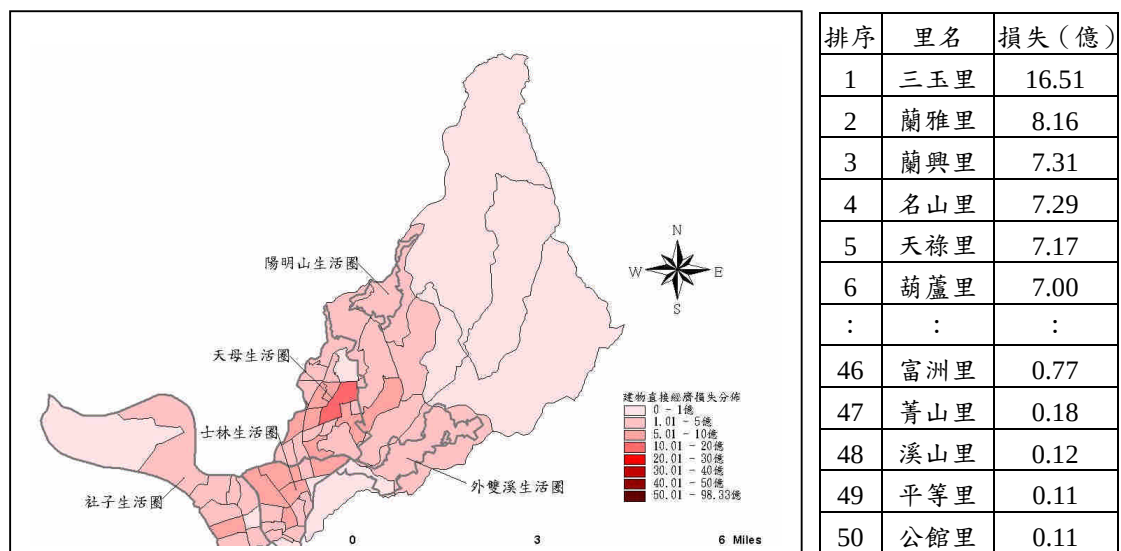


圖 5-10 臺北市士林區建物直接經濟損失分佈（事件 C）

如實施補強方案，三個事件之地震經濟損失最嚴重者，依舊為三玉里；損失較嚴重之里，仍為三玉里、蘭雅里、蘭興里等。從圖 5-8－圖 5-10 之觀察，發現損失風險較高之里，仍然多集中在天母生活圈與士林生活圈。然從損失風險降低的觀點，士林 50 個里於新城斷層事件中，每個里可平均降低 1.06 億元之損失風險，宜蘭外海與獅潭斷層則分別降低 0.75 億元與 0.99 億元。其中風險損失降低較多之里，在宜蘭外海事件為芝山里（3.3 億元）、翠山里（2.68 億元）、天福里（2.32 億元）；新城斷層事件為芝山里（4.81 億元）、天福里（3.45 億元）、翠山里（2.76 億元）；獅潭斷層事件為三玉里（3.30 億元）、蘭雅里（3.13 億元），這些里多集中在天母、士林與外雙溪生活圈。然在損害規模較小之地震（如獅潭斷層事件），補強方案對於天母生活圈（如三玉、蘭雅等里）的損失風險降低，具有非常明顯之幫助。

在士林區發展現況之境況模擬，如從損失－成本比的觀點檢視建物損失風險分佈，三個地震事件之相對風險度較高者三事件依序為：新城斷層：舊佳里（66.09%）、社子里（62.12%）、福佳里（58.07%）；宜蘭外海：舊佳里（66.83%）、社子里（61.92%）、福佳里（57.97%）；獅潭斷層：舊佳里（17.75%）、社子里（17.39%）、葫蘆里（16.63%），多落在社子、士林與天母生活圈。

補強方案之地震損失－成本比境況模擬結果，可從圖 5-11－圖 5-13 發現，三個地震事件相對風險較高之里為：新城斷層：舊佳里（64.36%）、社子里（60.78%）、富洲里（56.99%）；宜蘭外海：舊佳里（65.76%）、社子里（60.41%）、福佳里（57.07%）；獅潭斷層：富洲里（13.60%）、舊佳里（13.41%）、社子里（12.74%），亦多落在社子與士林生活圈。

比較地震損失－成本比的兩個方案模擬結果，補強方案可降低損失佔全里建物總暴露價值的損失－成本比率。補強方案降低個里損失風險的比率，在新城斷層事件中，最多者為明勝里（21.17%）、溪山里（19.48%）、翠山里（17.86%）；宜蘭外海事件為明勝里（27.42%）、溪山里（27.04%）、翠山里（24.61%）；獅潭斷層事件為仁勇里（30.54%）、德華里（30.47%）、忠誠里（29.32%）。模擬結果發現，地震損失規模較大之事件，損失風險降低比率較高之里，反而集中在損失較不嚴重的生活圈（如外雙溪生活圈），只有損失規模較小之地震，損失風險降低較顯著者會集中在人口較稠密（或開發強度較高）之士林與天母生活圈。

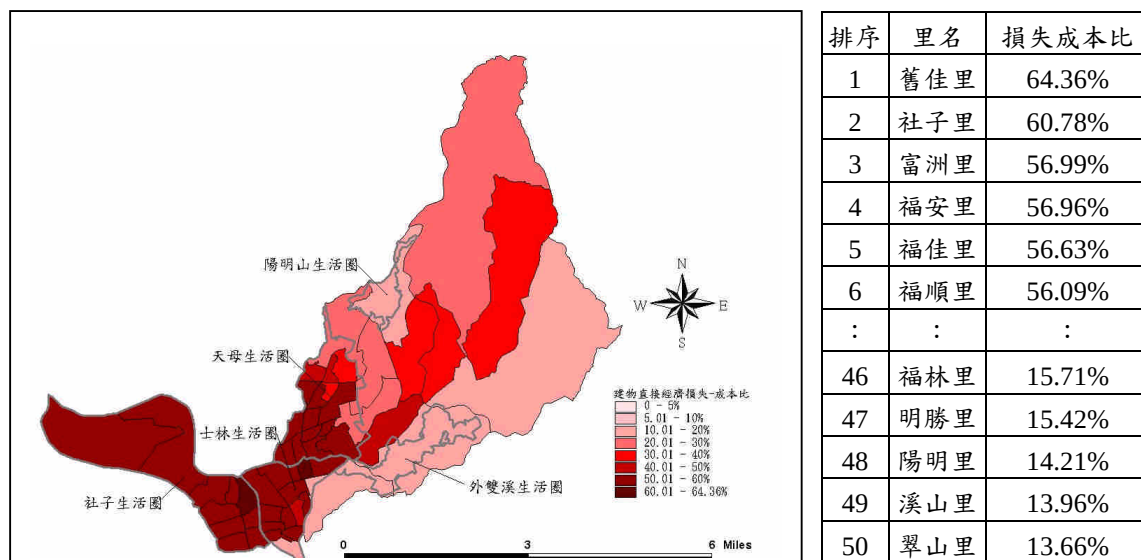


圖 5-11 士林區建物直接經濟損失-成本比（補強方案）（事件 A）

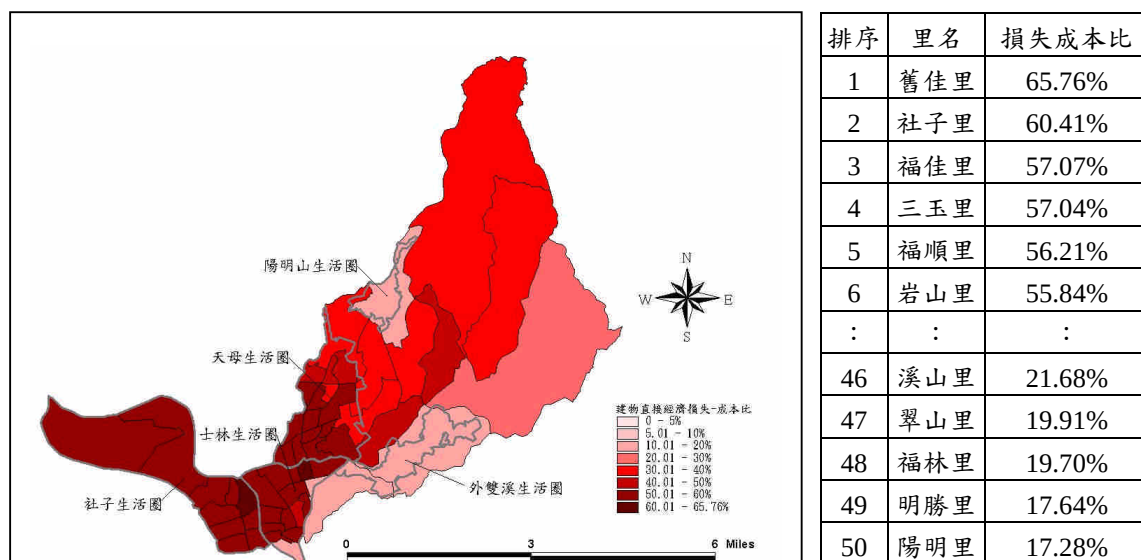


圖 5-12 士林區建物直接經濟損失-成本比（補強方案）（事件 B）

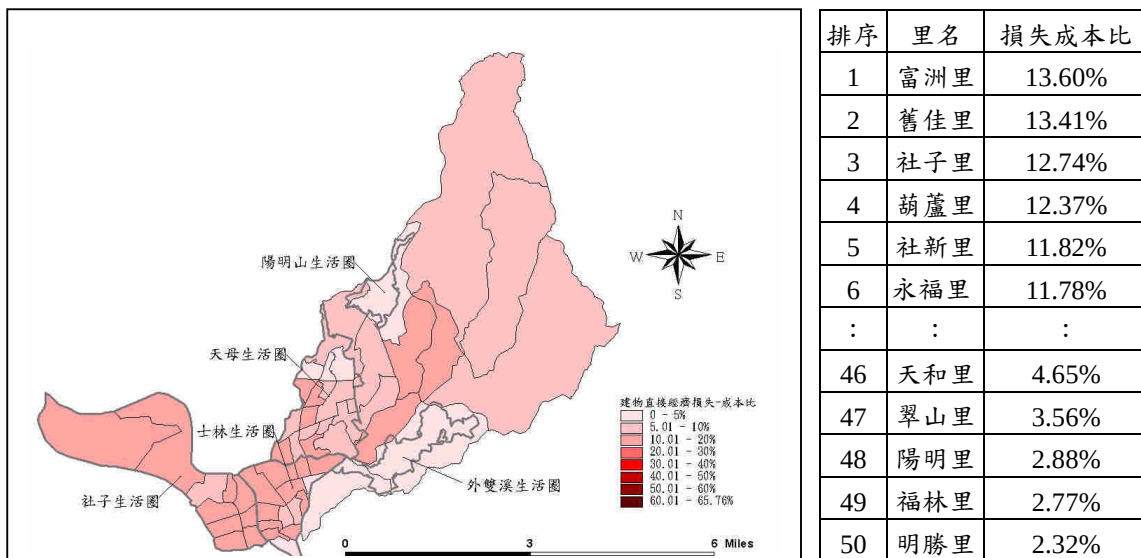


圖 5-13 士林區建物直接經濟損失-成本比（補強方案）（事件 C）

三、人員傷亡估計

現況與補償方案實施在地震人員傷亡的差異，依第四章的估計結果，在現況係以凌晨兩點的傷亡最嚴重，故兩個方案的比較，亦只以凌晨兩點做為比較基準。現況之三個地震事件可能造成人員傷亡，分別為：新城斷層事件：13,742 人；宜蘭外海事件：13,902 人；獅潭斷層事件：2,067 人，佔士林區人口總數依次為：4.72%、4.77%、0.71%。

從表 5-15 之補強方案模擬結果與表 5-16 之兩方案比較，發現三個地震事件之傷亡，分別為新城斷層事件：11,934 人；宜蘭外海事件：12,484 人；獅潭斷層事件：583 人。三個地震事件降低的傷亡總人口，分別為 1,808 人、1,418 人與 1,484 人，而降低傷亡人口之比率，則分別為 13.16%、10.20%與 71.79%。由此成果可見，補強方案如實施，對於地震損害規模愈小之地震，降低之傷亡比率愈顯著。

表 5-15 補強方案人員傷亡估計

		總傷亡數 - 凌晨二時				總傷亡數 - 清晨八時				總傷亡數 - 下午三時			
		在家人口	工作人口	通勤人口	總計	在家人口	工作人口	通勤人口	總計	在家人口	工作人口	通勤人口	總計
新城斷層	一級傷害	9527	58	0	9585	1828	151	0	1979	1540	669	0	2208
	二級傷害	1862	11	0	1873	357	29	0	387	301	130	0	431
	三級傷害	236	1	0	238	45	4	0	49	38	16	0	54
	四級傷害	236	1	0	238	45	4	0	49	38	16	0	54
	總計	11862	72	0	11934	2276	187	0	2464	1917	832	0	2748
宜蘭外海	一級傷害	9962	61	0	10023	1912	157	0	2069	1610	700	0	2310
	二級傷害	1951	12	0	1963	374	31	0	405	315	137	0	452
	三級傷害	248	1	0	250	48	4	0	51	40	17	0	57
	四級傷害	248	1	0	250	48	4	0	51	40	17	0	57
	總計	12409	76	0	12486	2381	196	0	2577	2005	871	0	2876
獅潭斷層	一級傷害	506	3	0	509	97	7	0	105	82	34	0	116
	二級傷害	65	0	0	65	12	1	0	13	10	4	0	14
	三級傷害	5	0	0	5	1	0	0	1	1	0	0	1
	四級傷害	5	0	0	5	1	0	0	1	1	0	0	1
	總計	580	3	0	584	111	8	0	120	94	38	0	132

另就傷亡人口之分布而言，三個地震事件在凌晨兩點，以現況之傷亡模擬較嚴重者，皆為後港、蘭雅、百齡里，多集中在士林與天母生活圈。如實施補強方案，從圖 5-14—圖 5-16，發現凌晨兩點傷亡較嚴重之里，依然以後港里最嚴重，然在獅潭斷層事件中，後港里的傷亡可降低 73.77%，而可發揮極大之效能。

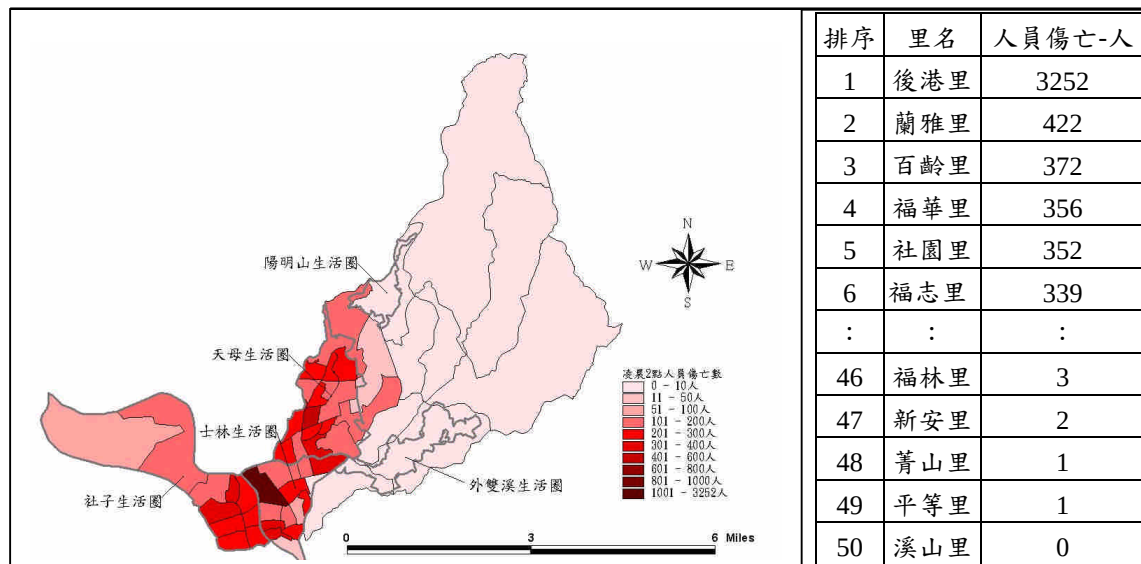


圖 5-14 凌晨二時各里人員總傷亡分佈（補強方案）（事件 A）

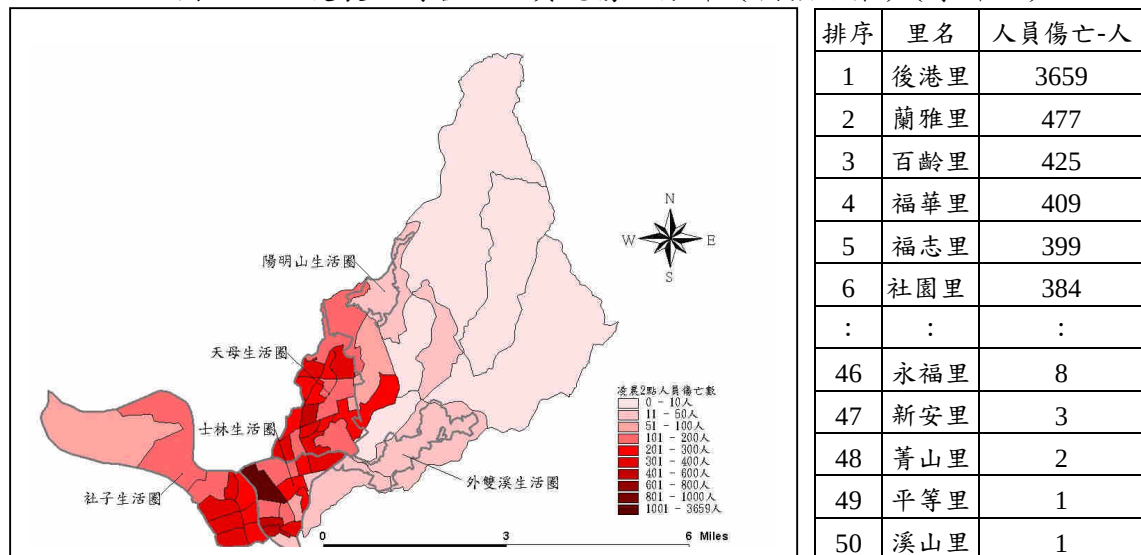


圖 5-15 凌晨二時各里人員總傷亡分佈（補強方案）（事件 B）

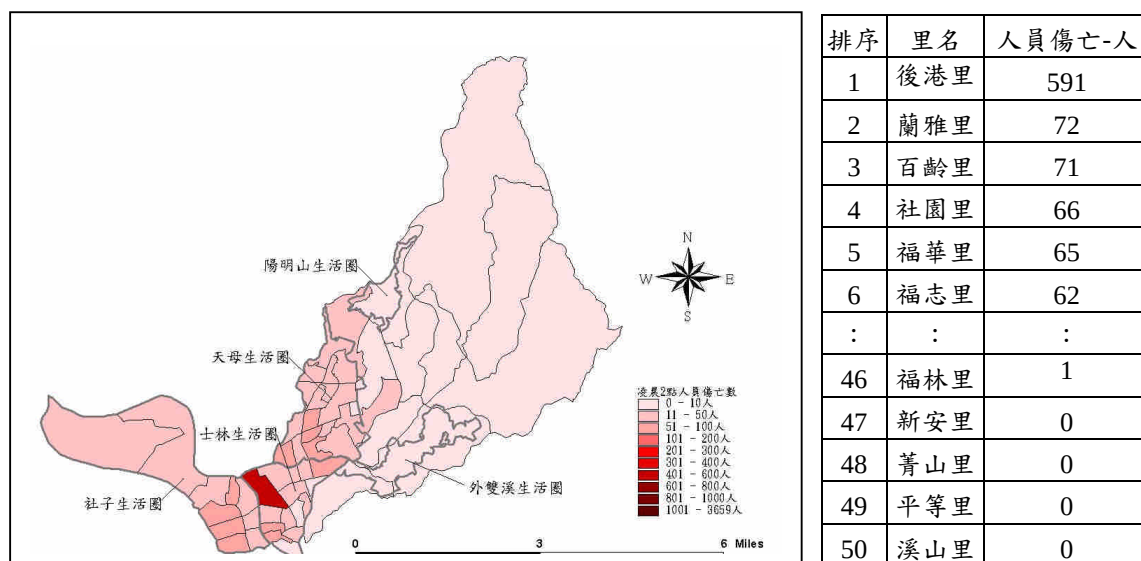


圖 5-16 凌晨二時各里人員總傷亡分佈（補強方案）（事件 C）

表 5-16 兩方案傷亡人員估計比較

單位：人

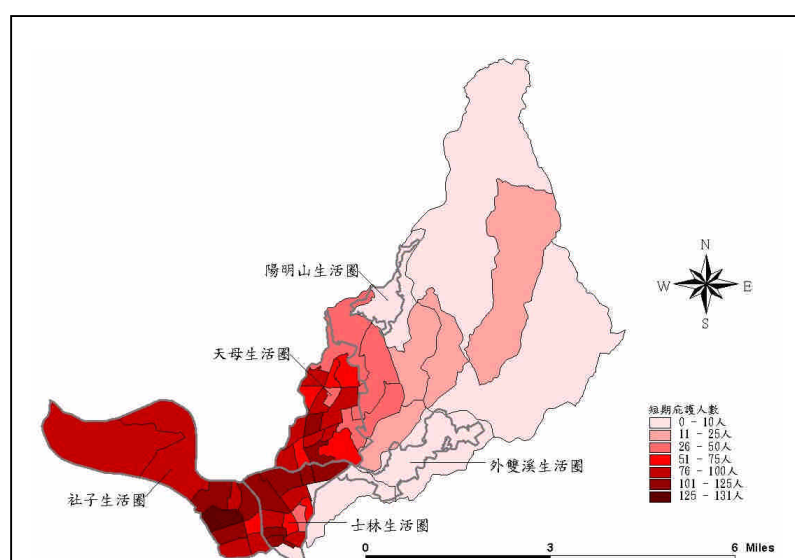
地震事件	新城斷層總傷亡			宜蘭外海總傷亡			獅潭斷層		
	補強方案	現況	降低	補強方案	現況	降低	補強方案	現況	降低
一級傷害	9,585	11,017	1,432	10,023	11,145	1,122	509	1,690	1,181
二級傷害	1,873	2,169	296	1,963	2,195	232	65	304	239
三級傷害	238	278	40	250	281	31	5	36	31
四級傷害	238	278	40	250	281	31	5	36	31
總計	11,934	13,742	1,808	12,486	13,902	1,416	584	2,066	1,482

四、庇護所需求

如依現況進行模擬，士林區無家可歸家庭數與短期庇護所需求人數。其中無家可歸戶數，三事件分別為新城斷層事件：9,050 戶；宜蘭外海事件：9,225 戶；獅潭斷層事件：1,308 戶，分佔士林區總家庭數分別為：9.79%、9.98%、1.42%。短期庇護所需求人數，三個地震事件分別為 4,090 人、4,167 人、610 人，分佔該區總人口數 1.40%、1.43%、0.21%。

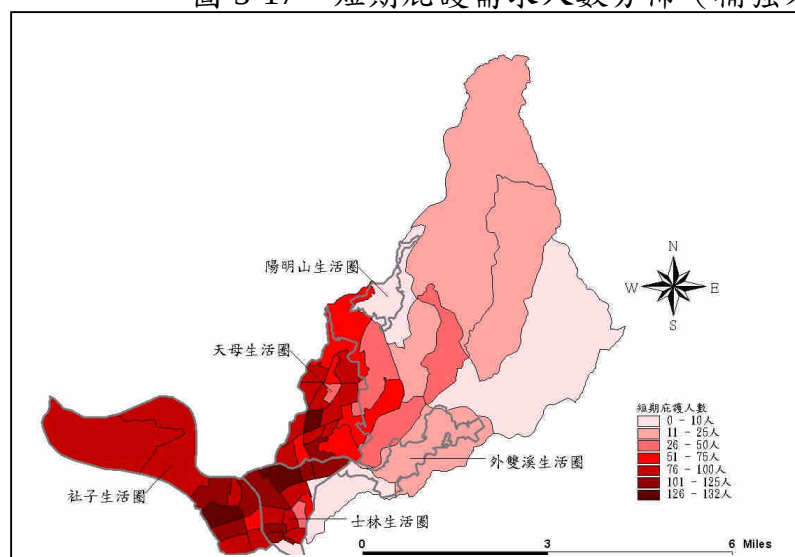
如依補強方案實施進行模擬，從表 5-17 的歸納，可發現三個地震事件之無家可歸戶數分別降低：新城斷層事件：1,163 戶(降低 12.85%)；宜蘭外海事件：996 戶(降低 10.80%)；獅潭斷層事件：945 戶（72.25%）。可見對於地震損害規模較低之獅潭斷層事件，亦具有非常顯著的無家可歸戶數降低效應。另在短期庇護所需求人數，補強方案在三個地震事件模擬結果，可分別降低：新城斷層事件：528 人(降低 12.90%)；宜蘭外海事件：451 人(降低 10.61%)；獅潭斷層事件：423 人（69.34%）。

短期庇護所需求於各里之分布，在現況的模擬結果，需求較高之里，於三個地震事件中，皆為社新里、蘭雅里、福華里、福佳里等，仍多集中在社子、士林與天母生活圈。補強方案如實施，三個地震事件在各里之短期庇護所需求，亦多集中在社新里、蘭雅里、福佳里、後港里等（參見圖 5-17 –圖 5-19），區位變化不大，然補強方案可降低這些里的短期庇護所需求從 60% - 85%，對於庇護所需求的降低有明顯的功效。



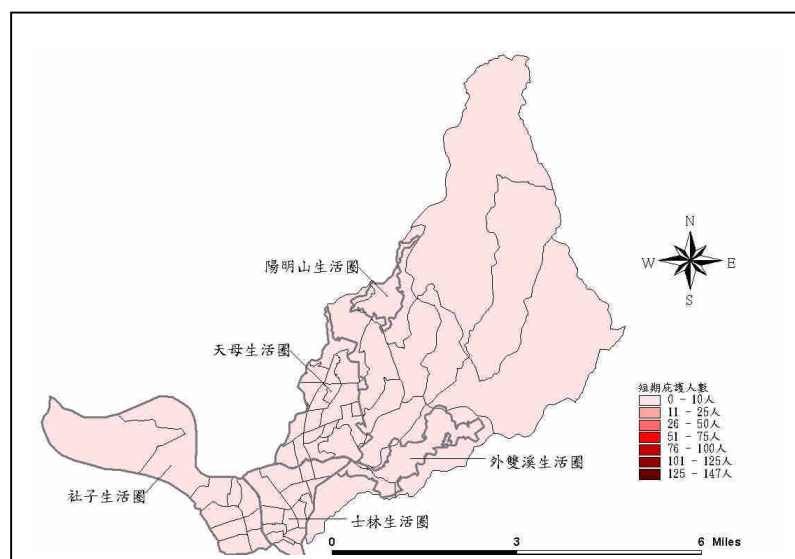
排序	里名	短期庇護-人
1	社新里	131
2	蘭雅里	124
3	後港里	121
4	福佳里	120
5	福華里	119
6	福志里	113
:	:	:
46	明勝里	6
47	翠山里	5
48	陽明里	4
49	福林里	4
50	溪山里	1

圖 5-17 短期庇護需求人數分佈 (補強方案) (事件 A)



排序	里名	短期庇護-人
1	社新里	132
2	蘭雅里	127
3	福佳里	127
4	福華里	125
5	後港里	123
6	福志里	121
:	:	:
46	翠山里	12
47	明勝里	9
48	福林里	8
49	溪山里	5
50	陽明里	5

圖 5-18 短期庇護需求人數分佈 (補強方案) (事件 B)



排序	里名	短期庇護-人
1	社新里	7
2	蘭雅里	6
3	福佳里	6
4	後港里	6
5	葫蘆里	6
6	百齡里	6
:	:	:
46	公館里	1
47	永福里	1
48	翠山里	1
49	福林里	1
50	明勝里	1

圖 5-19 短期庇護需求人數分佈 (補強方案) (事件 C)

表 5-17 庇護所需求估計（補強方案）

	無家可歸家庭戶數			短期庇護所需求人數		
	補強方案	現況	降低	補強方案	現況	降低
新城斷層	7,887 戶	9,050 戶	1,163 (12.85%)	3,562	4,090	528 (12.90%)
宜蘭外海	8,229 戶	9,225 戶	996 (10.80%)	3,725	4,167	442 (10.61%)
獅潭斷層	3,63 戶	1,308 戶	945 (72.25%)	187	610	423 (69.34%)

透過現況與建物補強方案，於建物損害機率、建物直接經濟損失風險、傷亡人口與庇護所需求的差異比較。發現補強方案，不但可降低三個地震事件之建物損害危險度與風險，且可有效降低傷亡與短期庇護所需求。就降低的效能而言，則與地震損害規模呈反比，亦即地震損害規模愈小者（如獅潭斷層事件），所發揮的地震危險與風險損害功能愈顯著。

根據第一節所彙整之士林地區防災規劃內容，以及表 5-1 士林地區近年重要發展計畫，若對照本節所模擬之地震可能損失之區位分佈，吾人可以發現，士林區近年來得發展重心，大多分佈在可能災損較高的地區，包括福華里、後港里、百齡里等，同時對照第四章之地震風險分析，士林區在社新里、蘭雅里、福佳里、福華里、後港里、福志里等範圍內因災損較嚴重，相對地在救災資源的需求上，亦較其他地區為多，因此在雙重作用下，未來對於此範圍內有關避難救災資源的提供與規劃上，應有較妥善之設計。

圖 5-17 至圖 5-19 所模擬之短期庇護人數多集中在社新里、蘭雅里、福華里、福佳里等地區，而圖 5-4 所顯示在此等地區之公園綠地數量與面積較少，以短期庇護的需求特性而言，公園綠地或廣場等為較適合之場所，因此，在此等地區之庇護空間規劃上，應有進一步的規劃。

整體而言，在地震風險分析的三個事件模擬結果，均呈現士林區西南部分是損失程度最為嚴重的地區，即天母、士林、社子三個地區，惟目前之士林地區防災空間計畫內容，並未針對此一高損失與高風險地區進行強化的減災措施，僅以一般性的準則進行防災規劃，同時，在新的開發計畫中，亦未特別強調或預先對因新的發展，可能加重地區災害損失的部分，預先規劃防範，此為士林區在發展上可能面臨的潛在風險。

第六章 HAZ-Taiwan 系統應用方式與程序

第一節 應用方式與層面

以上經由 HAZ-Taiwan 模擬產生的成果，包含地區建物與人員的損失規模，以及空間分佈，我們可以藉以重新省視在規劃部門，各種不同模式的應用方式，並提供不同的參考建議，補足過去傳統計畫部門思考上之不足點，並透過這樣的方式，讓規劃部門在防災方面提供一個更有利的參考模式。以下分述其應用方式。

一、地區防災計劃方面

地區防災計畫主要以防災圈為主體，透過其運作，在災害產生的同時，有不同的應變措施。

（一）HAZ-Taiwan 與防災圈特質

防災圈是透過近鄰生活圈、生活文化圈、區生活圈之網絡所構成。近鄰生活圈為鄰里生活中心，小學為主要活動中心。生活文化圈是在各地區設置防災據點，作為支援活動之據點，並扮演區生活圈與鄰里生活圈中介者。區生活圈是以市府為主體的廣泛性救援中心。在 HAZ-Taiwan 系統中，以里為單位的評估模式，在空間範圍上，性質近似近鄰生活圈。因此將 HAZ-Taiwan 的評估結果視為近鄰生活圈的狀況時，可以針對各種需求設施提供不同的區位建議。

（二）公共及防災設施設置之應用

在各種必要公共及防災設施的考量上，透過 HAZ-Taiwan 模型的評估結果，可以推估幾項重要設施設置的條件與需求。

1. 近鄰生活圈之地震損害分佈：包括人員及建物方面，可以以此為基礎，推估生活文化圈互助聯繫的範圍，並找尋支援活動點的最適區位與地點。
2. 可以利用人員災害損害模式的分佈，對區生活圈的範圍進行調整。

3. 對於避難所的位置，藉由各地區避難家庭數量的需求，提供一個具體性的區位建議。
4. 對於損失較為集中的地區，應該要有足夠合宜的避難設施，或藉由都市更新手法提供新的公共空間或藉由區與區之間容積移轉方法，使其他商業或工業區提供新的公共空間，以解決公共空間不足之問題。
5. 估計與檢討現有維生管線，如電力、飲水、通訊設施等之防災容量，如估計成果發現無法滿足防救災需求或可能在地震時產生嚴重損害，則需提出對應之危機處理配套措施，以降低地震災害損失。
6. 估計現有救災與醫療設施於災後提供的功能與容量，透過估計成果，可幫助規劃者必要的資訊，擬定相關的支援計畫與風險管理應變計畫，以提昇防救災的效率。

二、通盤檢討

根據都市計畫定期通盤檢討實施辦法第七條『都市計畫通盤檢討時，應就都市防災避難場所、設施、消防救災路線、火災延燒防止地帶等事項進行規劃及檢討』。傳統在規劃方面的通盤檢討主要是檢測原計畫方面的推估與實際上有重大出入時或地區窳陋，才會進行修正。透過 HAZ-Taiwan 運作，可以檢討計畫上，土地利用方式的適宜性（陳博雅，1999）。

（一）土地使用分區管制

依據 HAZ-Taiwan 在一般直接經濟損失的評估中，可發現不同里在各種不同建築形式上的建築損失，除顯示出各地區的各種使用型態的用途類別特性外，亦代表這地區主要的經濟型態，及面對災害時不同的需求。透過建物型態損失的評估，以及人員傷亡程度的分佈，可以作為土地使用分區是否應做調整的一個考慮因子。另一方面，可以針對這些地區做其建築密度的監控，減少未來發生災害可能產生的問題。同時也可根據不同損害狀況的地區，依據其經濟型態，可以提供不同的獎勵方式，例如明訂容積率與建蔽率（做為開放空間獎勵），據以規劃充足的公共及防災設施。

（二）庇護所或避難中心設置

人員傷亡及庇護所需求數的推估結果，可以在通盤檢討上，重新檢討各地區在公共設施需求及分佈的適當性，作為臨時庇護所或避難中心的主要地點，另一方面對災難發生時，可以會同其他區域對庇護所的地點及時提供必要的設置場所、區位大小與數量，爭取救援的時間與空間。

另一方面避難路線的規劃，也同時影響庇護所或避難中心運用的效能，在選擇庇護所或避難中心設置的地點，應該配合各庇護所位置提供相對性需求的避難路線，包括綠帶、道路線等，作為及時救援的一個主要通道。

（三）調整公共設施需求

過去在公共設施的通盤檢討，一般是考慮大區域範圍內，公共設施面積的最小面積，亦即人與公共面積的比值。透過 HAZ-Taiwan 的評估結果，在公共及防災設施的面積及區位，應有不同性質的考量。如針對人員傷亡較大的地區，提供較多的防災設施、便利或適宜的防災通道及路線，可以減少傷亡的產生。因此在地點與路線的考量，比面積的比例更加重要。

（四）地區建築密度修正與限制

根據建物損失與人員傷亡相互比對，可發現各里在地區的人口密集度集中狀況，以及被破壞的情形分佈。因此可藉由建築密度的修正與限制，減少傷亡的發生比例。例如在人員及建物災害損失分佈比較高的地帶，限制其容積率或調整容積率，將容積轉移到其他災害比例較少地區；或者利用建蔽率的控制，提供適宜的防災走道或路線，減少災害傷亡比。

三、都市更新選址方面

透過 HAZ-Taiwan 在人員及建物損失評估，可事先預測可能發生災害的主要地區與建物型態及其人員分佈。並以此為基礎，檢測需要都市更新的地區分佈。根據已有之人口及未來需求預測，提供適宜的公共設施配置與服務。另可透過一般直接經濟損失部分，初步得到重建一地區所需的資本，可以因應年度預算的需求，擬定各地區優先發展或都市更新之順序，有效率的推動都市更新，改善居住

環境品質以及提供優良的防災環境。

四、都市建設規範

根據人員及建物損害分佈狀況及分佈比例，可以做為都市建設規範參考的一部份。為減少這些傷亡型態的產生，可以藉由建設過程中都市設計的功能予以提供部分都市公共空間或防災動線，作為整體防災計畫中的一部份。

（一）對於各種不同的土地使用分區之建築規範

在受損災害較嚴重地區的地方，依其不同地區受創狀況的分佈，對於住宅與商業區應予明訂防災圈內的建築密度與容積率，以確保足夠的公共空間。在工業區方面，應配合周邊地區的使用狀況，提供相關的防災設施規劃內容，如防災綠帶、動線、避難場所、安全管理維護系統等。

（二）考量計畫人口與實際人口的平衡，使公共設施規劃合理。

（三）對於各地區的公園、綠地、廣場，除規劃為遊憩、運動及集會之外，需考量防災之功能，建立防災公園與防災據點。

（四）對於國民中小學規劃應同時考量做為防救災據點。而衛生保健及警察消防為都市防災重要設施，需配合防災圈規劃。

（五）對於高危險地區的建築需擬定較高的耐震係數，減少建物破壞的程度。

從上述 HAZ-Taiwan 可應用的四個層面與應用方式，可將 HAZ-Taiwan 輸出的地震損害資訊，與各應用層面的互動關係與應用之內容，整理示之於圖 6-1。從圖中不但可瞭解 HAZ-Taiwan 可行的應用層面，亦可顯示 HAZ-Taiwan 應用於都市規劃防災計畫之程序(何明錦、洪鴻智，2002)。

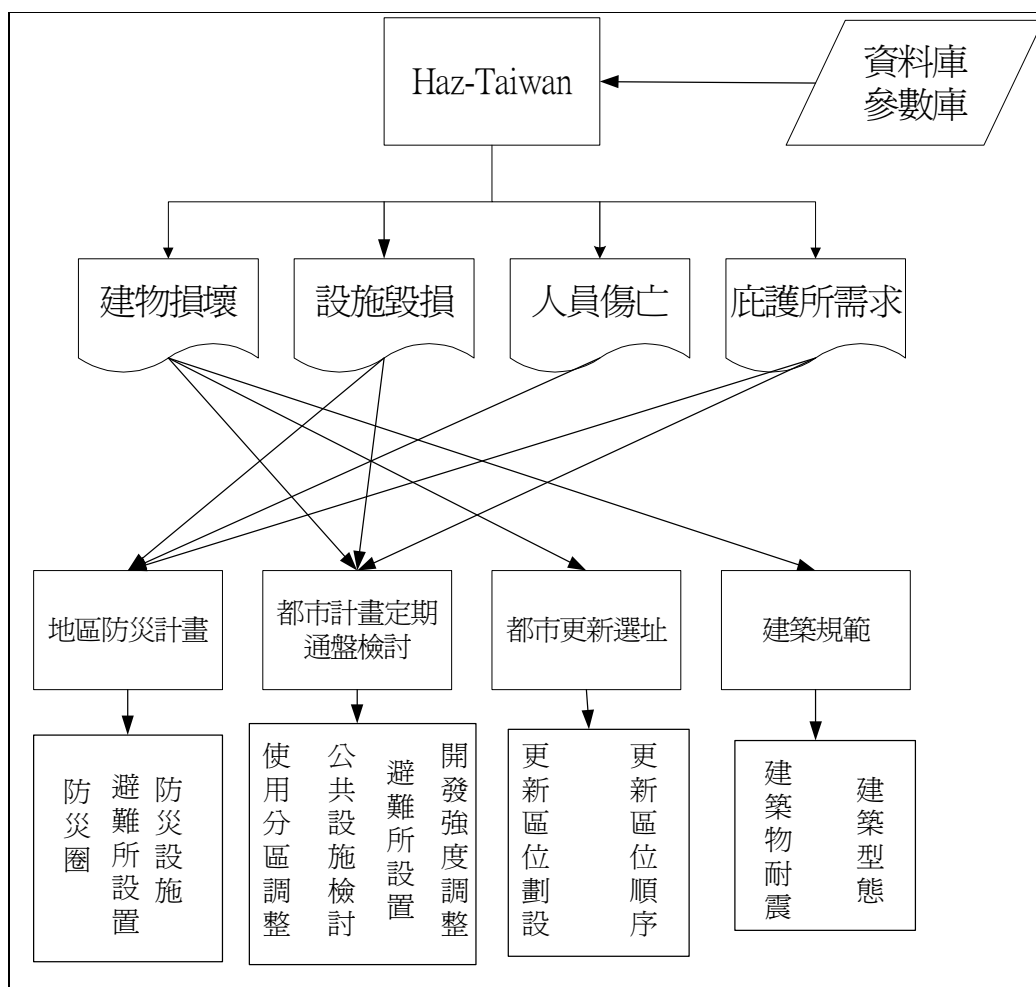


圖 6-1 HAZ-Taiwan 應用之程序

第二節 應用步驟與系統操作

綜合前述各章的歸納，可將 HAZ-Taiwan 之應用程序與步驟，針對三部份進行說明，其一為應用步驟、其二為系統操作，最後說明目前系統推廣所遭遇的困難。

一、應用步驟

探討 HAZ-Taiwan 之應用，除可從都市計畫定期通盤檢討的程序著手外，此外亦配合內政部建築研究所研修之都市防災規劃手冊建議之程序（李威儀、丁育群，2003），依圖 6-2 都市防災計畫檢討作業流程之架構，說明 HAZ-Taiwan 系統在資料蒐集、調查與現況分析及發展預測與檢討分析過程，HAZ-Taiwan 如何加強、配合與應用，以下即針對各步驟說明之：

（一）資料蒐集、調查與現況分析

1. 地震災害危險度與風險圖建置與分析

地區地震災害潛勢或損失風險分析，為都市防災規劃的基礎。此可從過去歷史災例整理分析，瞭解該區可能發生之災害及其分佈情形，並繪製災害危險圖與風險圖。惟因災難型地震案例極少，故在傳統都市防災規劃，難進行此等分析，而偏重在供給面之配置規劃。

HAZ-Taiwan 可加強地震災害潛勢與風險分析，目前 HAZ-Taiwan 為提昇地震災害評估之準確度，盡可能輸入評估地區之土壤與地質之詳盡資料與圖層，在不同災害規模條件設定下，進行地震災害引發之地表震動與大地破壞評估，輸出結果可以圖示或表格方式呈現。HAZ-Taiwan 除可提供地震災害危險度與風險相關資訊外，尚可從事災害危險度估計，及對研究區內危險設施進行震後功能分析，以評估地震對重要設施的潛在衝擊。

2. 防災避難、收容場所與設施設置

(1) 避難處所

防災避難圈為防救災空間系統的基本單元，包含：警察、消防、醫療、物資等，分為直接與階段性避難處所。直接避難處所指定現有面積達 1,000 m²以上之公園為安全停留避難地，其周邊步行距離 1 公里的範圍內所涵蓋的街廓為其服務範圍（士林區計 18 處劃設為防災避難場地），直接避難場地具臨時收容場所功能，平均每人 2 m²為其安全面積。臨時避難場地則為暫時收容無法直接進入直接避難場地之人員，以現有鄰里公園、綠地為主。

HAZ-Taiwan 於防災避難場所劃設的輔助應用，除可提供設置處所的地震危險度資訊外，亦可從需求面，估計潛在之避難需求，此不但對避難處所的區位選擇有幫助，亦可助於防災避難圈劃設範圍的決定。

(2) 收容場所：中長期收容場所

通盤檢討程序中，收容場所的設置項目包含：學校（國小、國中、中、大學等）、社教機關、醫療場所。在通檢過程，除可支援相關資訊之蒐集外，HAZ-Taiwan 可加強學校與醫療場所等之風險分析與震後功能維持率的評估，而可助於收容場所應變計畫擬定與區位選擇。

(3) 防災設施

在通檢實施項目中，防災設施包含：消防指揮所、警察指揮中心、火災延燒防止地帶（寬度 8 公尺以上道路兩旁為不燃建築或植栽綠化）。上述項目 HAZ-Taiwan 在重要設施資料庫與運輸系統資料庫，除可提供相關資訊外，同樣亦可進行設置區位適宜性評估（損害風險分析），而可助於應變計畫擬定與區位選擇。

由於防災避難、收容場所與設施乃災害發生時之第一線，亦為最重要之一環。HAZ-Taiwan 最大功用在於預先提供設施可能損壞機率，避免因災害發生時無法即時發揮救災功能，而降低通盤檢討在減災、整備階段之效能。

3. 防救災與避難路線

一般通盤檢討僅針對公路線段部份進行現況與計畫道路調查，一般將防救災路線分緊急道路 20m、救援輸送道路 15m 與避難輔助道路 8m 等三種，而以原都市計畫圖為底圖，依據調查結果，繪製防災路線分佈圖，偏重在供給面的規劃與配置。在避難路徑的規劃，則主要以避難或庇護處所為中心，直接進行配置與設計，較少考慮避難行為特性與路徑的風險特質。

HAZ-Taiwan 之交通模組，可進行下列次系統：公路、鐵路、輕軌、巴士、港口、渡口、機場等之危險度與直接經濟損失評估。評估內容包括路線、節點、橋樑、隧道等易發生阻斷的機率與功能維持率的估計，並可進行損害的經濟損失估計，乃可做為救災與避難路徑的設計與選擇的決策支援，將路徑隱含的地震損害風險特性納入規劃過程。

（二）發展預測與分析

通盤檢討進程序，對於都市發展與防災設施需求之預測，主要的流程為：(1) 透過計畫年期預測規劃區之人口數；(2) 訂定每人享有之基本設施標準，再推估應有防災項目總面積；(3) 檢討現況；(4) 設計與配置。此程序如融入 HAZ-Taiwan 之工具，損失估計與決策支援方法與運用內容如下：

1. 都市防災計劃風險－效益分析與策略評估

HAZ-Taiwan 可評估在不同地震規模設定下：(1)地區建物損壞機率與直接經濟損失風險；(2)重要設施、維生管線之損壞機率、直接經濟損失及功能恢復狀態。針對建物之地震災害風險，使用者可透過土地開發強度設定（如容積率）或耐震設計規範兩個向度進行風險分析，瞭解土地使用強度、耐震設計規範之降低或提昇，在不同土地使用或減災方案下，產生的地震風險－效益變動效益，做為都市計畫方案風險評估與策略評估的決策支援。

操作步驟為：(1)設定規劃區之不同土地使用、減災策略與災害情境方案；(2)應用 HAZ-Taiwan 相關模組，進行地震災害潛勢、危險度與風險估計；(3)比較不同土地使用情境與減災方案之風險情境變化；(4)進行地震風險－效益分析或相關之評估分析；(5)評估土地使用規劃策略與選擇適當之方案。

2. 人員傷亡估計

HAZ-Taiwan 人員傷亡估計考慮之因素，包含：(1)人口分佈；(2)建物結構型式與土地使用別對應關係；(3)損害機率；(4)災害發生之時間等因素(何明錦、洪鴻智，2002)，故 HAZ-Taiwan 應用於人員傷亡估計之層面可包含：

(1)不同地震災害發生時段的傷亡估計

預估各估計單位（里或單位面積）不同時段地震傷亡人數。此結果納入通盤檢討項目如下：a.依據服務範圍與能力檢討消防、救災、醫療救助據點配置適宜性，及檢討可行的周邊支援方案；b.檢討消防、救災與醫療據點之服務範圍與容量是否足夠。

(2) 傷亡類別估計

HAZ-Taiwan 估計傷亡之項目包含在家、工作與通勤人口的傷亡估計，故可透過規劃區不同傷亡類別的特性，檢討土地使用類別、開發強度、避難空間之面積、消防醫療據點與防救災路網規劃等，以滿足傷亡救助的需求。

(3) 傷亡程度

HAZ-Taiwan 估計之傷亡程度共分成四級，透過規劃區之傷亡程度估計成果，為降低傷亡程度或較嚴重之傷亡，可檢討規劃區建物結構、提高新建建物的耐震設計強度或老舊建物補強的可能性。

(4) 庇護所需求

HAZ-Taiwan 系統庇護所需求估計內容包括：a.無家可歸家庭數之估計；b.短期庇護所需求人數之估計，其可應用層面說明如下(何明錦、洪鴻智，2002)：

a.無家可歸家庭數估計

此項目之估計內涵包含：(1)建物結構元件損害導致居住功能喪失的住所總數；(2)建物水電功能喪失導致居住功能喪失的住所總數。估計結果可做為規劃庇護所、避難處所、醫療與物資支援的需求基礎，而可更有效的進行供給與救災資源配置設計。

b.短期庇護所需求人數估計

HAZ-Taiwan 估計短期庇護所需求人數，主要係針對可能尋求公部門提供庇護所，作為短期避難處所之居民為估計對象。此部份估計需藉由無家可歸家庭數的估計成果、相關統計資料與參數資料進行推估（詳可參閱第二章第一節）。

此部份估計結果之應用，可檢討現有收容場所、避難場所之可容納人數、空間配置與周邊縣市可利用相關資源與容量。如容量不足、過多或無家可歸者需提供長期庇護地點，除須進行調整與提出配套措施外，亦可考慮建置長期庇護地點資料庫，並考量地區人口組成特性等（如：老年人口居多），配置與規劃適宜的庇護場所。

(5) 防救災動線系統風險估計

HAZ-Taiwan 交通模組，即從事都市動線或路網於不同地震規模中之阻斷風險分析（估計不同動線損壞之程度與機率），估計災害發生各路段可能發生阻斷之機率。此資訊可提估救災規劃之相關資訊，亦可透過路網分析與模擬，以配適較可行之防救災替選路徑，以提高救援效率（洪鴻智、詹士樑，2001）。

（三）檢討

綜合上述，瞭解通盤檢討與 HAZ-Taiwan 的應用程序，可歸納目前通盤檢討與 HAZ-Taiwan 結合之相關課題說明之：

1. 風險基礎的都市防災規劃模式

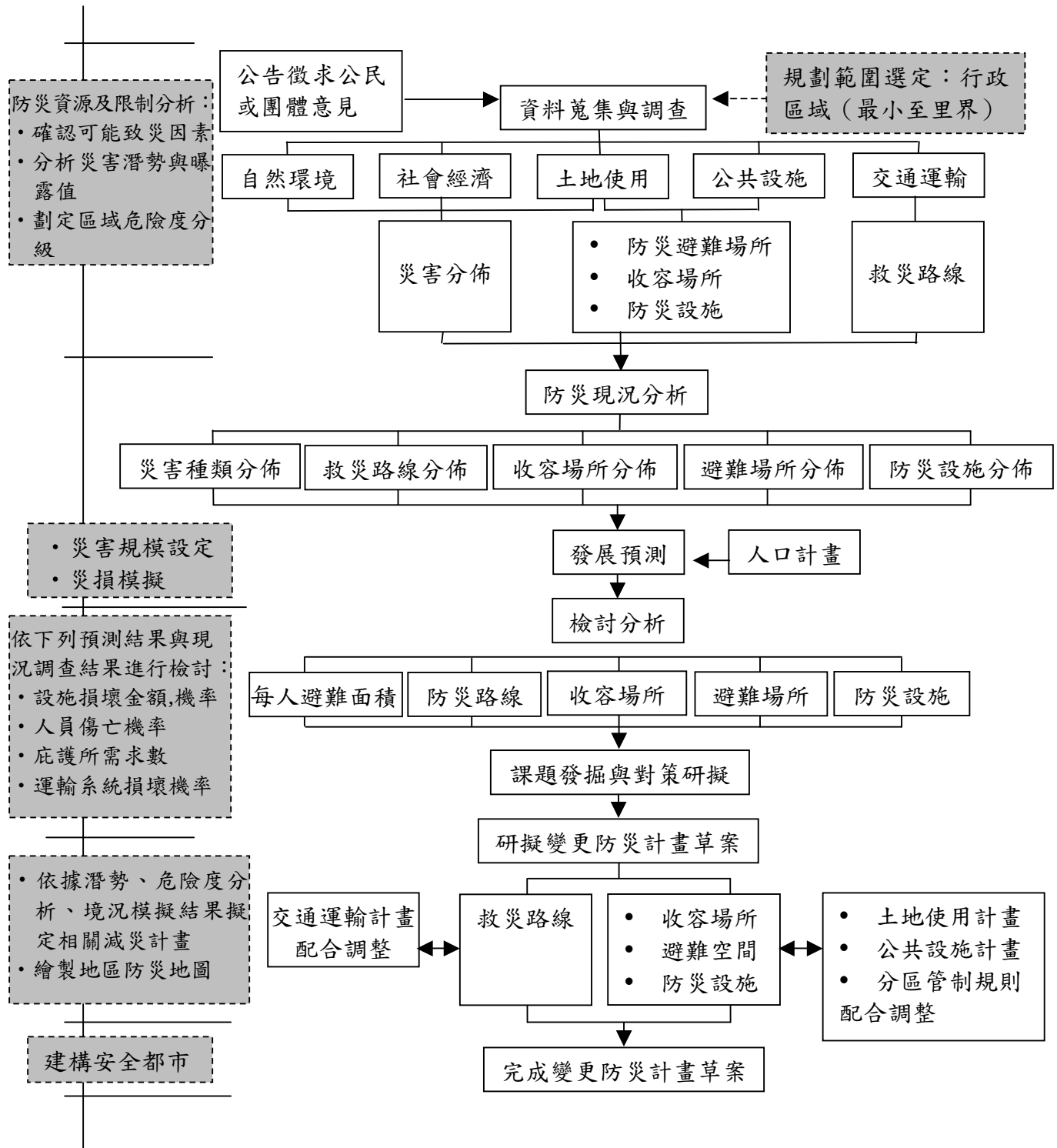
目前都市建設腳步快速，任何一個開發案都可能引含不同程度的地震危險與風險，單純以人口推估或供給面的配置，決定防災設施的配置、設計與規劃，無法有效降低危險或風險。故應更積極的以災害潛勢、危險度與風險的角度，透過風險基礎（risk-based）的規劃模式，進行都市規劃與土地使用計畫決策判斷。

2. 資料蒐集與資料庫建立

- (1) 建置工作：由於 HAZ-Taiwan 估計過程，需有龐大且精細的資料(圖)庫支應。在經費、資源有限前提下，短期而言，各地方政府應就現有能力和配合現有都市規劃程序(如通盤檢討)建立防救災資料庫與圖庫。中、長期而言，中央政府應協助地方政府，並配合現有全國性之資料庫建置計畫(如行政院災防會之 e-Taiwan 防救災資訊系統建置計畫)，分期分區建立防救災支援與規劃相關資料庫與圖庫。
- (2) 資料庫內容：資料庫建置需花費龐大之成本與人力，故較可行的策略是透過現有資料庫的轉換。另資料庫的精細程度，是難以取捨的問題。目前 HAZ-Taiwan 乃以村里為基本單位，在應用與估計上確實過於粗略，但要建立方格系統資料庫，則相對需要更多資源與更長時間投入資料庫建立，因此資料庫內容的精細度取捨，確實為兩難困境。故短期而言，或許先建立較粗略的資料庫及只要選擇重要之模組建立，中、長期再細化資料內容與拓展資料項目，可能是較可行的策略。
- (4) 參數庫建立：HAZ-Taiwan 針對各個模組設立許多參數庫，此參數庫除可反應現況外，更可區分不同地區之特性。然為解決資料庫建立的困難，另一可行方式，可將台灣各縣市分類，再從各類別縣市中抽取適量縣市進行資料庫建立，綜合災害經驗，最後將資料庫建立與分析結果建立參數庫。日後應用時，只要針對應用的縣市，選擇該縣市類別之適合參數與資料庫，即可進行地震危險與風險估計，而可舒緩資料庫建立的困境。

3. 操作與技術支援

HAZ-Taiwan 之技術操作與應用支援，可依現行國科會建立協力或技術支援機構的方式，協助地方政府進行操作與相關技術支援，甚至進行相關資料庫與圖庫建立。



□ 現行都市防災計畫檢討作業流程-供給面

■ HAZ-Taiwan 具備功能與扮演角色-需求面

圖 6-2 都市防災計畫作業與 HAZ-Taiwan 應用流程

二、系統操作

(一) 選擇評估區域

依使用者需求選擇欲評估之研究區域 (study region)，但現行資料蒐集係採行政區劃分 (如縣市、鄉鎮、村里等)，故建議以此為選擇依據。HAZ-Taiwan 處理的研究範圍，可以整個縣市、鄉鎮或村里為範圍，而建立研究區的操作步驟為：

1. 選擇縣市；2. 選取鄉鎮；3. 選取村里；4. 命名。

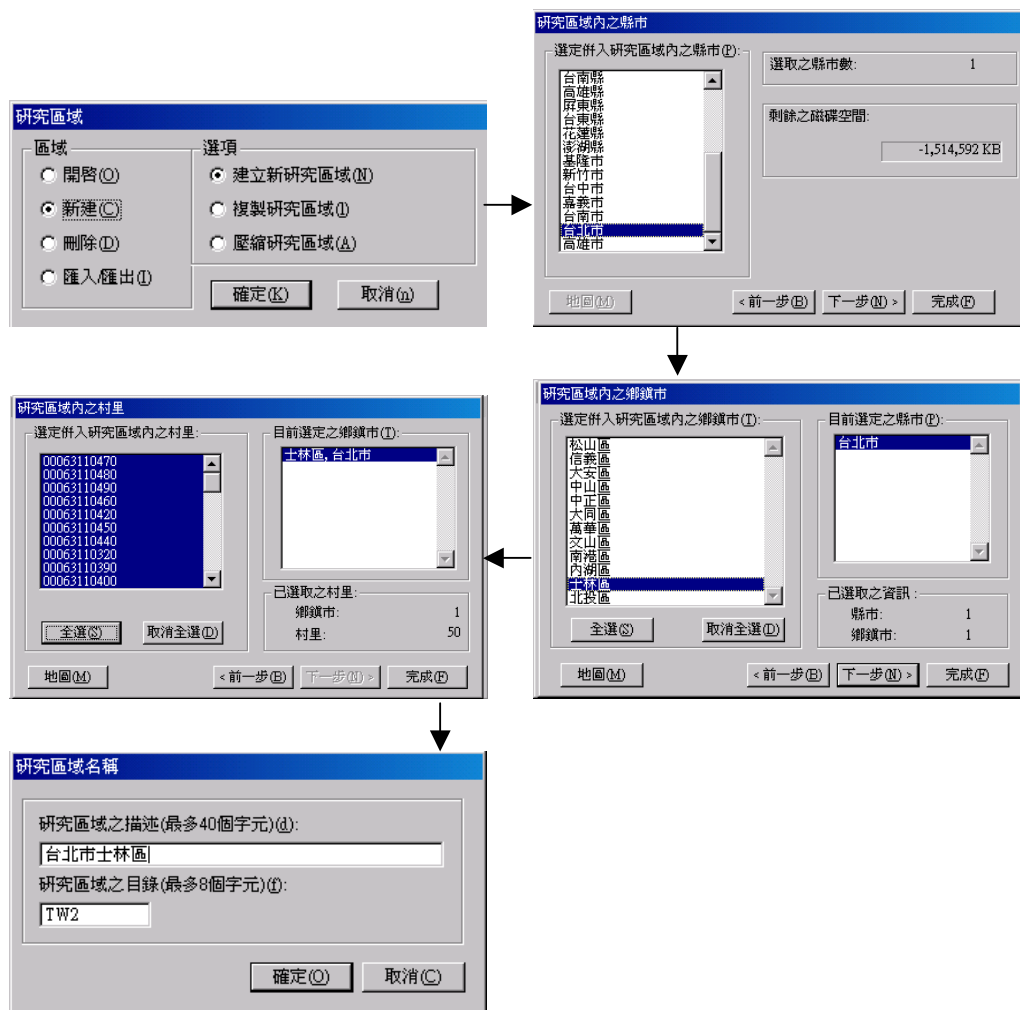


圖 6-3 建立研究區域流程圖

從圖 6-3 的建立程序，第一步驟為在[研究區域]對話盒中選取[新建]與[建立新研究區域]，然後按確定，其後會出現[研究區域內之縣市]對話盒，使用者只要選取欲評估的縣市即可。第二步驟則會出現[研究區域內之鄉鎮]的對話盒，可依

需要選擇欲評估的鄉鎮市區。第三步驟會出現[研究區域內之村里]，同樣可依使用者之需求選取欲評估的村里。最後步驟。則可根據所選取的研究區域進行命名，按[確定]後，即完成評估區域的選擇。

(二) 定義地震事件與輸入地震危險度模擬模式

使用者可選取選單之[分析|地震事件|定義地震事件]，以完成地震事件的定義，此工作會出現如圖 4-21 之對話盒。HAZ-Taiwan 提供三種定義地震事件的方式：1. 歷史震央資料庫選定地震事件；2. 震源資料庫中選定地震事件；3. 任意選取地震事件。可選用的地震衰減公式則有：1. Boore 衰減公式；2. Sadish 衰減公式；3. Compbell 衰減公式；台灣科學團隊衰減公式四種。以下即依三種不同地震定義方式說明之：

1. 歷史震央資料庫選定地震事件

依圖 6-4，第一步驟會出現[震央事件資料庫]對話盒；第二步驟則使用者可選取任何一項歷史事件作為所定義的地震事件；第三步驟會出現[震央事件參數]對話盒，使用者可依需要設定地震規模、深度等參數，再按[確定]鍵。

2. 震源資料庫中選定地震事件

依圖 6-5，第一步驟會出現[地震事件之定義]對話盒，選取[由震源資料庫中選定地震事件]；第二步驟會出現[震源事件資料庫]對話盒，可選取任一斷層（震源），也可按[地圖]按鈕進行選取，然後按確定；第三步驟則需設定[震源參數事件]對話盒，如震央、規模...等，最後按[確定]鈕。

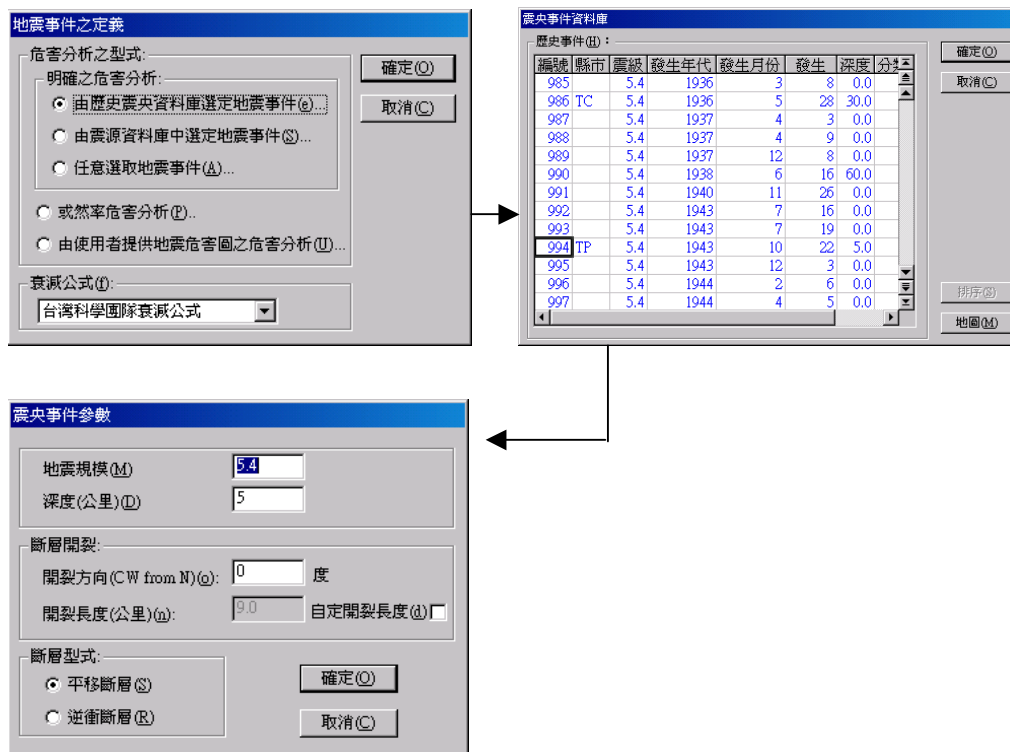


圖 6-4 由歷史震央資料庫選定地震事件流程圖

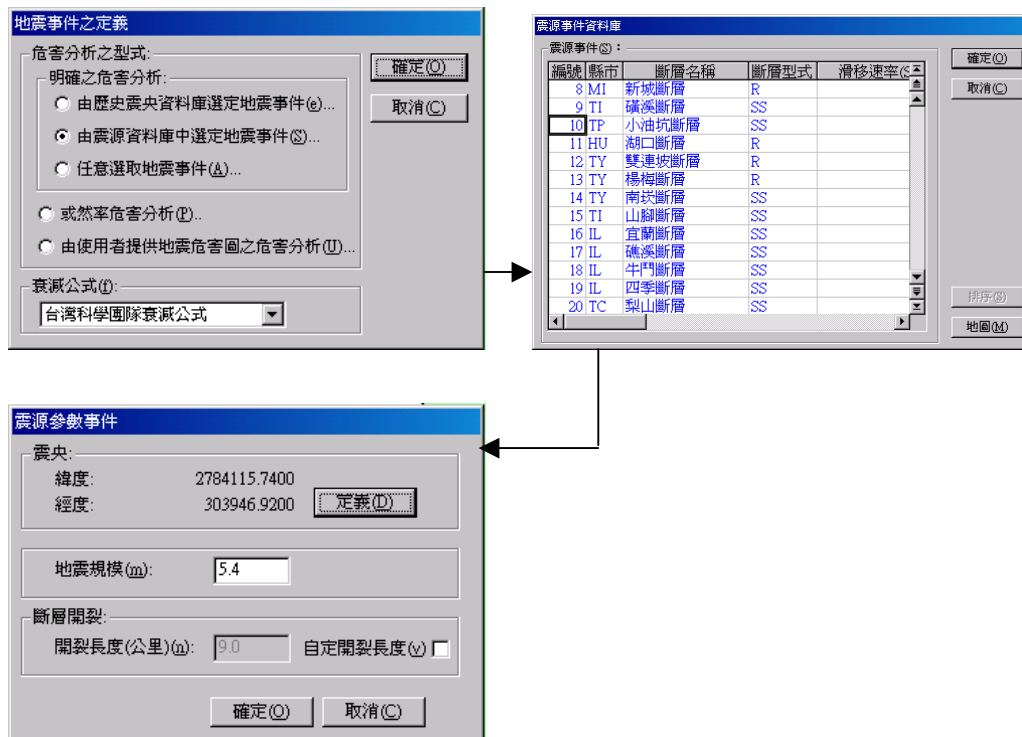


圖 6-5 由震源資料庫中選定地震事件流程圖

3. 任意選取地震事件

依圖 6-6，第一步驟會出現[地震事件之定義]對話盒，選取[任意選取地震事件]，按[確定]鈕；第二步驟會出現[任選地震事件參數]對話盒，可讓使用者任意設定各地震事件之參數，如震央、規模、深度...等，設定結束後，按[確定]鈕；第三步驟會出現[危害事件名稱]對話盒，可讓使用者對模擬事件命名，然後按[確定]鈕。

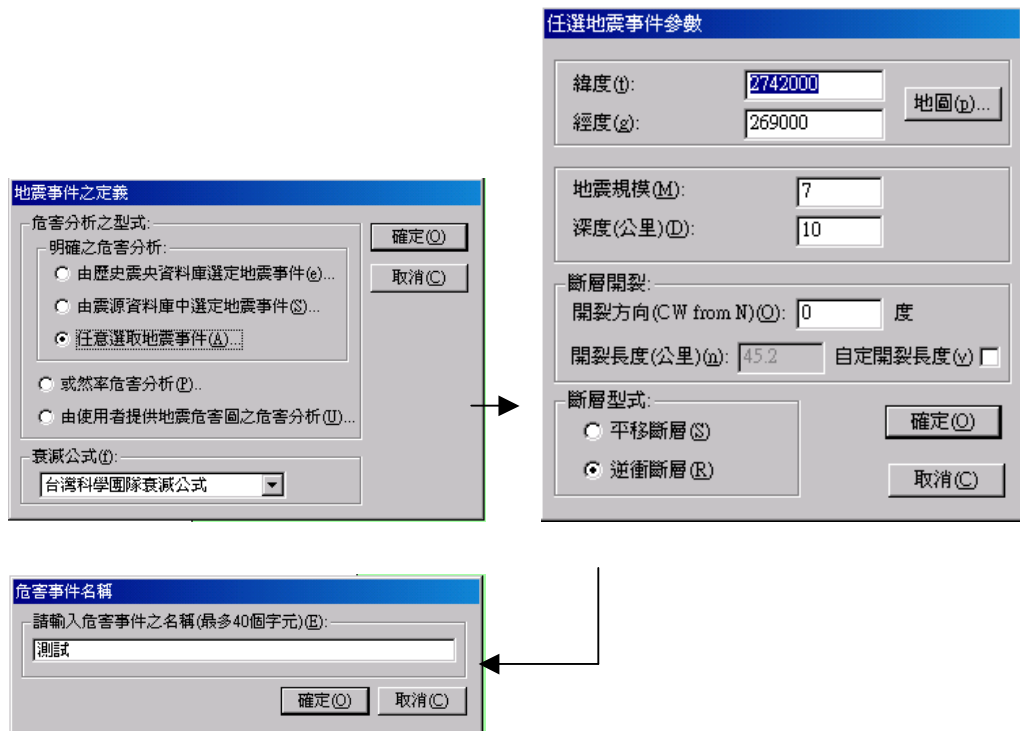


圖 6-6 任意選取地震事件流程圖

(三) 執行分析

研究區域及地震事件定義後，即可開始進行分析，可點選選單之[分析 | 執行分析]，選取欲分析項目（由於子模組間具有關連性與先後次序性，故欲分析某項資料前，需先分析其他選項完後才能夠進行欲分析的項目，然使用者無需擔心此估計的操作邏輯，系統會自動點選與檢驗）。HAZ-Taiwan 共提供：(1)大地災害顯示評估；(2)損害分析；(3)直接社會損失；(4)直接經濟損失；(5)引發損失分析五個模組之[分析選項]。

由圖 6-7，第一步驟需先選擇欲分析的項目，第二步驟則會出現[分析選項]

對話盒，使用者需勾選欲分析的項目，然後按[確定]鈕；第三步驟系統會產生[等值線圖產製選擇]對話盒，使用者可選擇是否進行此分析，如選擇[是]，分析時間會大幅加長，惟選擇[否]並不會影響評估結果，此可視需要選擇是否進行此分析。此步驟完成後開始進行運算與評估，過程中會出現[Message]視窗，以顯示分析進行的內容與進度。



圖 6-7 分析進行程序

(四) 結果展示

分析與評估完成後，使用者可於選單中，選取[結果]下的各個選項，觀看成析之結果。以下可以台北市士林區為例，假設地震事件發生在新城斷層，且震源位置發生的二度分帶座標為(269000, 2742000)，經緯度為(121.188E, 24.79N)，地震規模 $M=7$ ，震源深度 10 公里)，說明分析之結果。說明之項目包含下列三類：

1.地表震動與大地破壞情形

上述步驟完成後，HAZ-Taiwan 系統會根據系統內已建立之 4 種災害資料地圖：(1) 土壤圖、(2) 地層滑動潛感圖、(3) 土壤液化潛感圖、(4) 地下水位圖等資料，(顯示方式可選取[地圖 | 土壤圖、地層滑動潛感圖、土壤液化潛感圖、地下水位圖]) 進行地震災害潛勢分析。此步驟之輸出，可展示研究區域地震之地動強度等值圖和地層破壞分佈圖。如圖 6-8，操作步驟為：第一步驟選取[結果]之[地表運動破壞]選項中之[地表運動-各村里]，即會出現第二步驟之[地表運動分析結果]視窗。第三步驟則可選取[地表運動分析結果]視窗之 PGA 整欄分析成果，然後按[地圖]按鈕，即可出現 PGA 分布的成果主題圖視窗。

2.評估建物損害、設施與維生管線之損壞機率

HAZ-Taiwan 系統會根據上一步驟所估計之地震潛勢成果進行模擬，以進一步估計地震危險度，估計內容包含：建物損害、重要設施與維生管線之損壞機率評估與地理區位位置分佈圖，作為災感度評估基礎。

從圖 6-9，可點取選單[結果|一般建築物損害|依用途分類]，即可出現[損害狀態值-依用途分類]之對話盒，任選一行（如沒有損害），然後按[地圖]鈕，即可出現不同損害程度，建物損害機率的空間分佈災害危險圖。

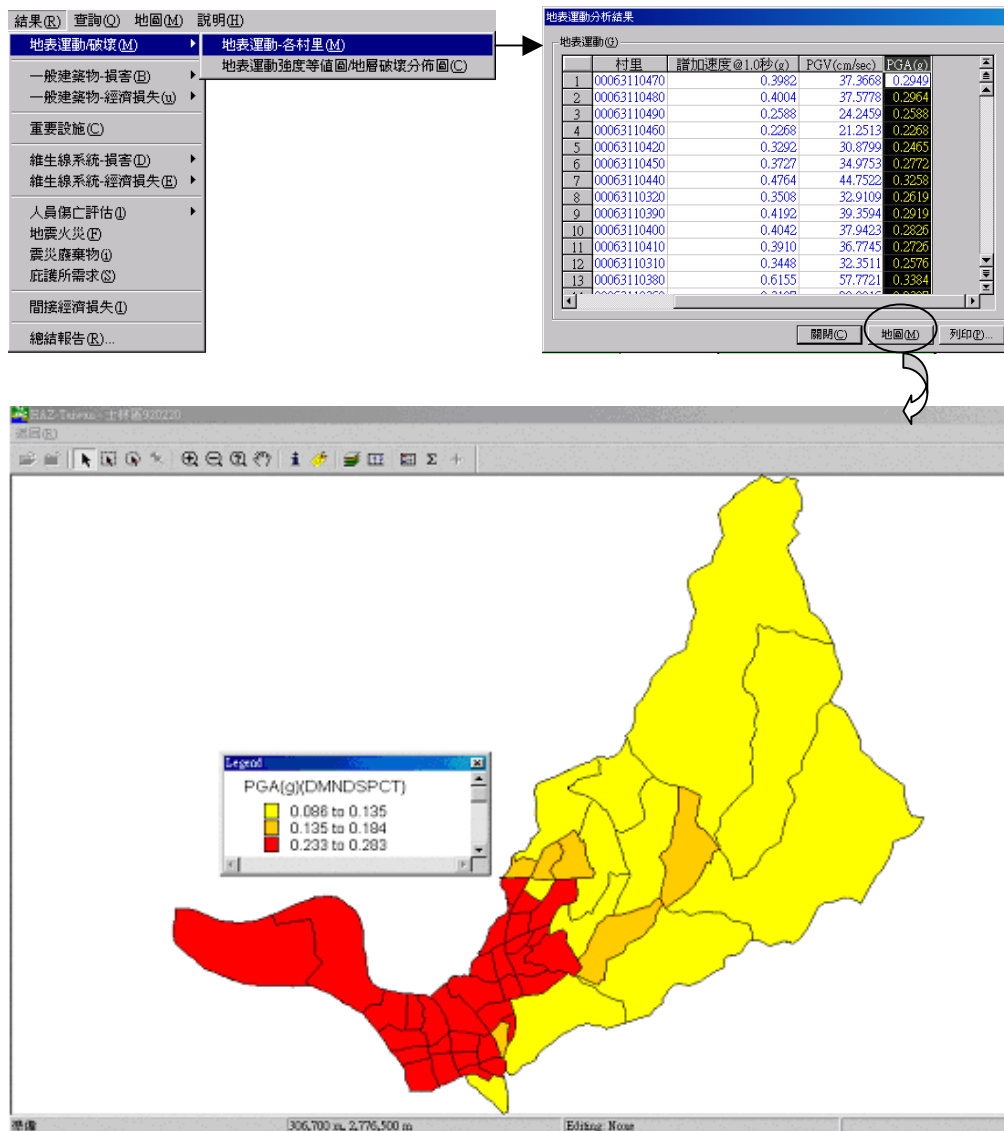


圖 6-8 臺北市士林區最大地表加速度 (PGA) 分佈估計步驟

3. 直接經濟損失之估計

根據前步驟之危險度與建物損害機率估計成果，利用經濟損失評估模組，進行直接經濟損失估計。操作步驟可依圖 6-10 所示，第一步驟：點取選單[結果|一般建築物經濟|依一般用途分類]；第二步驟：將出現[一般建築物直接經濟損失-依一般用途分類]之對話盒；第三步驟：可選取[住宅]整欄，點選[地圖]，即可出現直接經濟損失之空間分佈風險圖。

透過圖 6-11 所示，可查看總結報告。第一步驟：點取選單[結果|總結報告]；第二步驟：將出現[總結報告]對話盒，可選取[清單資料|一般建築物價值-依建

築物形式]鈕；第三步驟：將出現 HAZ-Taiwan 估計結果之總結報告。

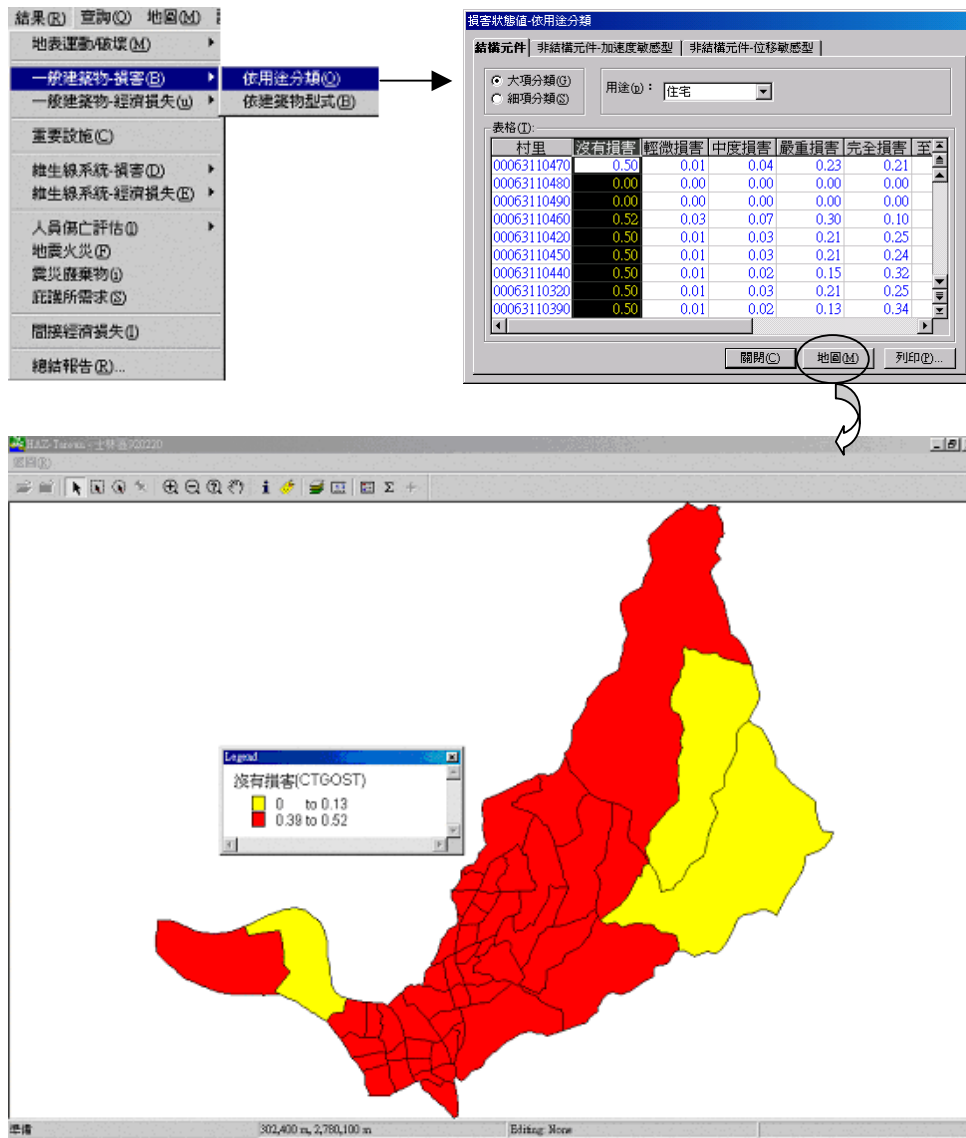


圖 6-9 臺北市士林區各損害程度建物損害機率估計步驟

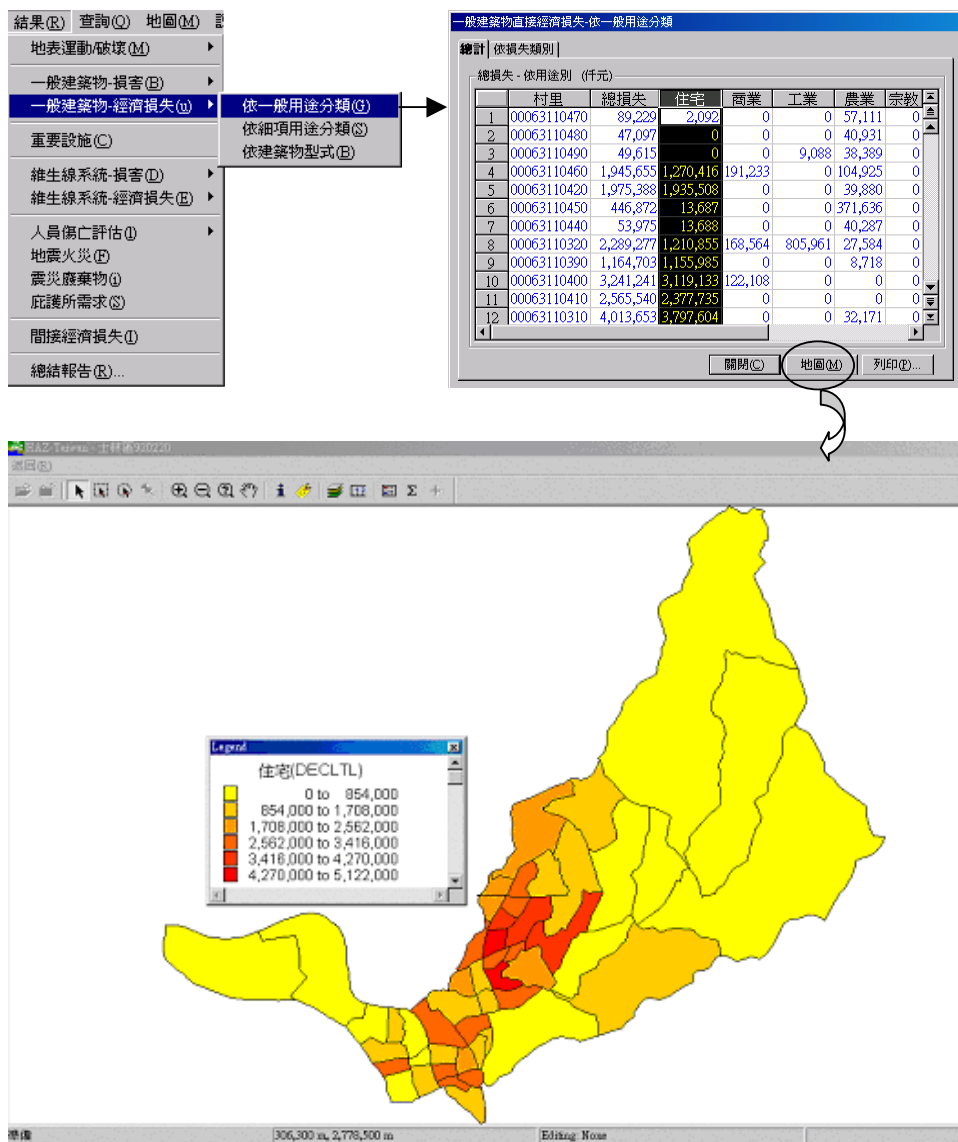


圖 6-10 臺北市士林區建物損害直接經濟損失估計步驟

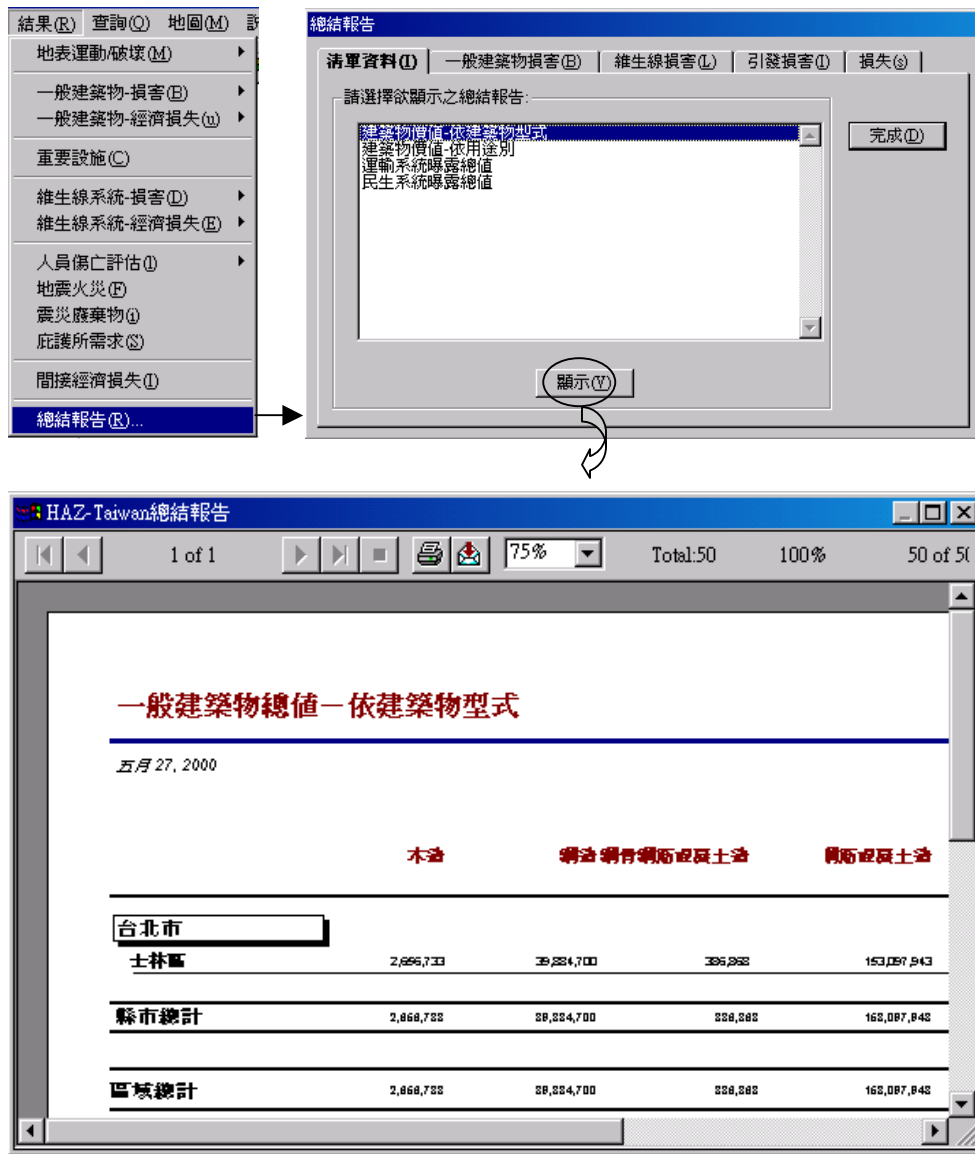


圖 6-11 察看估計總結報告步驟

第七章 結論與建議

進行都市防災規劃與地震風險管理，需要規劃地區地震災害潛勢特性與風險分佈的相關資訊，方能進行都市或土地使用防救災規劃與策略評估之相關工作。本研究的目的，乃延續九十一年度（第一期）的計畫，引介 HAZ-Taiwan 地震系統作為地震災害風險管理的輔助工具，進行地震風險分析、建立評估都市規劃策略評估方法論，及研擬完整的 HAZ-Taiwan 應用程序，以利於 HAZ-Taiwan 於都市地震防災計劃。以下乃分就結論與建議分別說明如下。

第一節 結論

土地使用或防災規劃過程中，地方政府或規劃者甚少應用災害風險分析工具輔助防災規劃，而因較少從防減災角度，思考土地使用規劃的災害風險內涵，致使防災規劃的重心在於供給面的空間資源配置規劃，缺乏從規劃區災害潛勢、災感度與風險分佈的相關資訊，研擬適於地方災害風險特性的土地使用計畫，而無法滿足各地區的災害特性所需，使空間資源配置規劃的效能大打折扣。透過 HAZ-Taiwan 系統的境況模擬與應用，可提供規劃區地震災害潛勢、災感度與風險分佈資訊，以做為都市防災規劃之決策支援。以下乃分項說明主要之研究成果。

一、境況模擬與地震災害風險圖製作

本研究之地震境況模擬係將地震災害模擬事件分成 A、B、C 三種情境，事件 A 乃設定震源在新城斷層（地震規模 $M=7.5$ ）；事件 B 設定震源在宜蘭外海（地震規模 $M=7.9$ ）；事件 C 設定震源在獅潭斷層（地震規模 $M=7.1$ ），三個地震事件之震央深度皆設定為 10 公里。

三事件之大地災害潛勢模擬結果，較大 PGA 地點分佈，多分布於士林區西南部，約為士林、天母與社子生活圈等人口稠密地區。三個事件所造成之損害與損失可歸納如下：

- （一）建物損壞：三地震事件模擬結果，建物嚴重與完全損壞機率皆以住宅、商業與工業使用較高，可能成為重要的地震損失源。
- （二）重要設施損害：HAZ-Taiwan 系統重要設施損害估計項目包含：醫療院所（緊

急救治)、緊急應變中心-消防隊(負責災害搶救)與學校(短期庇護),從境況模擬成果,地震當天尚能維持 50% - 55%的功能

- (三) 維生線系統損害:三地震事件的模擬成果,顯示各事件中公路橋樑、通訊、電力設施與飲用水系統於地震當天皆可維持 70%以上的功能。
- (四) 建物直接經濟損失:建物之直接經濟損失,估計內容包含實質資產損失(包含結構與非結構體損失)與收入損失,三個事件之資產損失分別為:事件 A:842 億元,事件 B:861 億元,事件 C:189 億元;總損失則為:事件 A:974 億元,事件 B:995 億元,事件 C:228 億元,以宜蘭外海事件較為嚴重。
- (五) 人員傷亡估計:模擬結果顯示在凌晨二時發生地震所導致傷亡人數為各時段中最嚴重,總計各事件造成不同程度之傷亡為:事件 A:13,742 人;事件 B:13,902 人;事件 C:2,067 人,佔人口總數依次為:4.72%、4.77%、0.71%。
- (六) 庇護所需求估計:模組估計內容包括無家可歸家庭數與短期庇護所需求人數。估計結果顯示無家可歸戶數,三事件分別為事件 A:9,050 戶;事件 B:9,225 戶;事件 C:1,308 戶;短期庇護所需求人數,三事件分別為 4,090 人、4,176 人、610 人,分佔該區總人口數 1.40%、1.43%、0.21%。

二、都市規劃檢討與策略評估

(一) 士林區都市發展與防災規劃檢討

透過士林區發展現況與防災規劃的檢討,瞭解士林區防災道路規劃、防災避難圈劃設、避難據點劃設與分布之現況及隱含的課題。

(二) 土地使用變更的地震風險-效益分析

針對 HAZ-Taiwan 應用於都市防災規劃的課題,本研究乃分別從士林區防災規劃現況的檢討,及依不同土地使用模式、補強建物結構體等都市(防災)規劃方案,從地震災害風險-效益分析的角度,建立評估方法。

文中另應用 BUM (building-use multiplier),估計不同土地使用方案(或土地使用分區圖)的地震風險-效益。成果顯示通盤檢討案較原方案,因使用強度的

降低，應用線性模型，估計可平均降低損失風險約 74.80 億元（約降低建物總暴露價值之 3.5%）；應用半對數模型，則估計可平均降低約 95.32 億元的風險損失（約降低建物總暴露價值之 4.51%）。然通盤檢討案，變更為高強度之土地使用區位（特別是住宅變更為商業使用），許多位於高災害潛勢區域，可能會因而增加潛在地震風險。另從土地使用的地震風險-效益比率研判，不管是原方案或通盤檢討之年預期損失風險-效益比皆為 0.001%，隱含通盤檢討案雖降低開發強度，但對於降低地震風險佔整體建物總暴露價值或災感度的比率，無具體幫助。

（三）建物結構補強之地震風險變動分析

透過現況與建物補強方案，於建物損害機率、建物直接經濟損失、傷亡人口與庇護所需求的差異比較。發現補強方案，不但可降低三個地震事件之建物損害危險度與風險，且可有效降低傷亡與短期庇護所需求。就降低的效能而言，則與地震損害規模呈反比，亦即地震損害規模愈小者（如獅潭斷層事件），所發揮的地震危險與風險損害功能愈顯著。

三、HAZ-Taiwan 應用方式與程序

本研究提供 HAZ-Taiwan 系統於都市防災規劃應用的可能面向、應用方法與應用程序。在應用層面可提供地區防災計劃擬定：關於防災圈劃設、公共與防災設施提供與規劃檢討之可行應用方向，包含：(1)都市計畫通盤檢討；(2)都市更新選址與規劃；(3)都市開發與建設之審議；(4)土地使用規劃與管制；(5)地區防災計劃擬定等五個層面。

另在應用程序方面，乃都市規劃較完整的通盤檢討程序，並配合內政部建築研究所近年推動的都市防災規劃手冊的研修工作（李威儀、丁育群，2003），提出應用的步驟、程序、方式與內容（詳見第六章第二節）。應用之步驟乃依都市規劃程序，進行之步驟：(1)資料蒐集與調查；(2)防災現況分析；(3)發展預測；(4)檢討；(5)擬定計畫等五個步驟之工作內容，及 HAZ-Taiwan 可扮演之角色與功能提出說明（參見圖 6-2）。

第二節 建議

HAZ-Taiwan 應用於都市防災規劃的過程、方式與方法的建立，仍有些許需改進或後續研究的方向，以下即分項說明之：

一、資料庫與參數系統建立

（一）資料蒐集與資料庫建立

1. 資料庫建立：短期各地方政府應就現有能力和配合現有都市規劃程序（如通盤檢討）建立防救災資料庫與圖庫。中、長期而言，中央政府應協助地方政府，並配合現有全國性之資料庫建置計畫（如行政院災防會之 e-Taiwan 防救災資訊系統建置計畫），分期分區建立防救災支援與規劃相關資料庫與圖庫。
2. 資料庫內容：HAZ-Taiwan 乃以村里為基本資料單位，在應用與估計上確實過於粗略，但要建立方格系統資料庫，則相對需要更多資源與更長時間投入資料庫建立，因此資料庫內容的精細度取捨，確實為兩難困境。故短期而言，或許先建立較粗略或全國平均狀況的資料庫，且可只選擇重要之模組建立，中、長期再細化資料內容與拓展資料項目，可能是較可行的策略。

（二）參數庫建立

可將台灣各縣市分類，再從各類別縣市中抽取適量縣市進行資料庫建立，綜合災害經驗，最後將資料庫建立與分析結果建立參數庫。日後應用時，只要針對應用的縣市，選擇該縣市類別之適合參數與資料庫，即可進行地震危險與風險估計，而可舒緩資料庫建立的困境。

另為使 HAZ-Taiwan 系統的估計成果「更準確」，更具一般性參數庫系統的建立，乃刻不容緩的後續工作。尤其是參考過去歷史地震經驗的參數值（如 921 地震經驗），此對於估計直接經濟損失、庇護所需求、人員傷亡等非常重要。然經驗值的蒐集需考慮統計原則，而非偏重在單一地震經驗（單一經驗值只是無數地震損害事件中的隨機經驗值之一），而需綜合更多的歷史經驗與統計資訊，方能建立可信度更高的參數系統，此為重要的後續研究方向。

二、應用與推廣

- （一）資料基本單位的討論：HAZ-Taiwan 之資料係以村里為基本單位，分析過

程會喪失許多資訊，特別在村里範圍過大或村里內土地使用模式同質性不高時，皆可能產生估計的偏誤，故在應用層面需納入資料格式的限制，或改善資料格式（如更細緻之方格系統資料），以降低資料格式課題對 HAZ-Taiwan 應用的影響。

- （二）都市防災與土地使用規劃應用：HAZ-Taiwan 估計建物損失係奠基在建物樓地板面積，不但需要龐大的資料庫及詳盡的土地使用調查支援，且欲直接應用在「平面式」之土地使用規劃尚有落差，故如何建立簡化的應用與資料轉換方法，為值得開發的後續研究方向
- （三）操作與技術支援：可依現行國科會建立協力或技術支援機構的方式，協助地方政府進行操作與相關技術支援，甚至進行相關資料庫與圖庫建立。
- （四）選擇案例推廣：本研究已建立 HAZ-Taiwan 可行的應用程序、步驟、內容與方法，故可選擇一示範地區進行實際應用推廣。此不但實際演練 HAZ-Taiwan 操作之技術、應用方式與應用內容，且可從實務面檢驗 HAZ-Taiwan 潛藏的課題。

三、HAZ-Taiwan 應用的課題

- （一）大地災害潛勢模組的驗證：目前 HAZ-Taiwan 大地災害潛勢模組的估計內容與精確度，仍有一些爭議。故建議國科會與相關單位，能推動其估計模組與相關參數的驗證工作，以提高 HAZ-Taiwan 的公信力。
- （二）參數值的修正：HAZ-Taiwan 相關模組的參數，仍可再參酌國內相關地震經驗資訊（如 921、331 地震等）進一步檢驗與修正，如庇護所需求、傷亡人口、建物使用形態比率設定等，以提高估計的精確度。
- （三）應用區與政策層面的擴展：本研究的實證區，主要偏重在小型區域，目的在嘗試 HAZ-Taiwan 於小型區域的規劃支援。然在後續研究，或可擴展至一個都市或區域的模擬與規劃應用，以擴展應用之地理範圍。另應用策略評估的層面，本研究只提出兩項，惟後續研究可擴充至其他可應用之策略（如避難路徑、庇護所規劃等），以擴展應用層面的評估。

參考文獻

1. 內政部建築研究所 (1997), 都市計畫防災規劃作業之研究, 台北。
2. 內政部建築研究所 (1999), 921 集集大地震建築物震害調查初步報告, 台北。
3. 台北市政府 (2002), 台北市地區災害防救計畫, 台北。
4. 江渾欽、洪鴻智 (1999), HAZ-Taiwan 地震災害損失成本及其比率推估—以建築結構物破壞引起之直接間接損失為探討對象 (台北市示範地區第一期計畫), 內政部營建署委託, 台北。
5. 何明錦、洪鴻智 (2002), 應用 HAZ-Taiwan 系統進行都市計畫防災規劃方法與方式探討, 內政部建築研究所研究計畫成果報告, 台北。
6. 何明錦、李威儀、楊龍士 (2002), 台中市都市防災空間系統規劃, 內政部建築研究所研究計畫成果報告, 台北。
7. 李威儀、錢學陶、李咸亨 (1997), 台北市都市計畫防災系統之規劃, 台北市政府都市發展局委託, 台北。
8. 李威儀、丁育群 (2003), 都市防災規劃手冊之研修, 內政部建築研究所研究計畫成果報告, 台北。
9. 洪鴻智 (1996), 「工業區環境風險管理: REACT 模型應用」, 中興法商學報, 32: 301-328。
10. 洪鴻智 (1998a), 「不確定性, 規劃與環境風險」, 發表於 1998 年中華民國住宅學會第七屆年會論文研討會, 逢甲大學主辦, 台中。
11. 洪鴻智 (1998b), 「模糊數學於環境風險-效益條件評價法之應用」, 發表於中華民國區域科學學會 1998 年學術研討會, 台北。
12. 洪鴻智、詹士樑 (2001), 都市地區有效避難路線與救災路徑評估方法之研究 (III): 與 HAZ-Taiwan 整合應用, 內政部建築研究所研究計畫成果報告, 台北。
13. 洪鴻智 (2002a), 公私合作的都市防災財務機制: 環境災害保險的供、需評估 (I), 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (NSC 90-2415-H-305-008-SSS)。
14. 洪鴻智 (2002b), 「科技風險知覺與風險消費態度的決定: 灰色訊息關聯分析之應用」, 都市與計劃, 29: 579-597。

參考文獻

15. 陳建忠、詹士樑 (1999), 都市地區避難救災路徑有系性評估之研究 (I), 內政部建築研究所專題研究計劃成果報告, 台北。
16. 陳建忠、黃定國 (1999), 都市計畫通盤檢討有關防災規劃作業程序及設計準則之研究, 內政部建築研究所研究計畫成果報告, 台北。
17. 陳建忠、文一智 (2002), 斗六市都市防災空間系統規劃之研究, 內政部建築研究所研究計畫成果報告, 台北。
18. 陳亮全、洪鴻智、賴美如 (2001a), 「應用 HAZ-Taiwan 系統進行地震建物直接經濟損失之估計: 以台北市士林區為例」, 發表於 2001 年地震災害境況模擬研討會, 國家地震工程中心主辦, 台北。
19. 陳亮全、簡賢文、張歆儀、朱慶琳、邱景祥、潘國雄 (2001b), 「大規模地震災害短期避難所需求性與居民避難行為研究」, 發表於 2001 年地震災害境況模擬研討會, 國家地震中心主辦, 台北。
20. 陳亮全、洪鴻智、陳素櫻、賴美如 (2002), 「921 地震的社會經濟衝擊與災後重建: 以台中縣與南投縣為例」, 土木水利, 29: 8-20。
21. 陳明健 (主編) (2003), 自然資源與環境經濟學: 理論基礎與本土案例分析, 雙葉書廊, 台北。
22. 陳博雅 (1999), 都市計畫通盤檢討基礎調查及規劃技術手冊, 內政部營建署, 台北。
23. 馮正民、林偵家 (2001), 日間人口估算模式之調查建置 (三): 國內日間人口之後續調查及估算操作手冊之編撰, 內政部建築研究所專題研究計劃成果報告, 台北。
24. 葉錦勳, 1999, 「地震災害損失評估方法」, 土木技術, 2 (4): 73-80。
25. 葉錦勳、羅俊雄 (2000), 「HAZ-Taiwan 的建築物損失評估方法」, 土木技術, 3: 73-82。
26. 顏清連、蔡義本、陳亮全、李清勝、許銘熙、林美聆、羅俊雄 (1997), 防災國家型計畫: 規劃報告, 行政院國家科學委員會。
27. 羅俊雄、葉勇凱 (2000), 「九二一集集大地震對於工程建設的破壞」, 理論與政策, 14: 65-85。
28. 羅俊雄、葉錦勳、陳亮全、洪鴻智、簡文郁、廖文義 (2002), 「HAZ-Taiwan 地震災害損失評估系統」, 台大工程學刊, 85: 13-32。
29. 蕭江碧、李泳龍、葉光毅 (2002), 南投市都市防災空間系統規劃, 內政部建

-
- 築研究所專題研究計劃成果報告，台北。
30. 蕭江碧、張益三 (2002)，地方層級都市防災規劃與改善管理計畫之研擬：嘉義市都市防災規劃示範計畫，內政部建築研究所研究計畫成果報告，台北。
 31. 蕭代基 (2002)，聖嬰—南方振盪現象氣候預測的潛在經濟效益分析：異常自然現象預防與損失減輕政策工具研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (NSC 90-2621-Z-001-002)。
 32. Anderson, D. R. (2000), "Catastrophe insurance and compensation: Remembering basic principles," *CPCU Journal*, **53**: 76-89.
 33. Bayer, L. J. and Amendola, A. (2000), "Global change, natural disaster and loss-sharing: Issues of efficiency and equity," *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, **25**: 203-219.
 34. Bendimerad, F. (2001), "Loss estimation: A powerful tool for risk assessment and mitigation," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**: 467-472.
 35. Berke, P. and Beatley, T. (1992), *Planning for Earthquakes: Risk, Policy and Politics*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
 36. Berke, P. (1994), Reducing nature hazard risks through land use planning and growth management: Federal and state policy experience, A paper presented at the *Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Chicago, Illinois.
 37. Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. and Wisner, B. (1994), *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*, London: Routledge.
 38. Burby, R. J., Cigler, B. A., French, S. P., Kaiser, E. J., Kartez, J., Roenigk, D., Weist, D. and Whittington, D. (1991), *Sharing Environmental Risks: How to Control Governments' Losses in Natural Disasters*, Oxford: Westview Press.
 39. Burby, R. J. and Dalton, L. C. (1994), Plan can matter! The role of land use plans and state planning mandates in limiting the development of hazardous areas, *Public Administration Review*, **54**: 229-238.
 40. Burby, R. J. French, S. P. and Nelson, A. C. (1998), "Plans, code enforcement, and
-

- damage reduction: Evidence from the Northridge earthquake,” *Earthquake Spectra*, **14**: 59-74.
41. Burby, R. J., Beatley, T., Berke, P. R., Deyle, R. E., French, S. P., Godschalk, D. R., Kaiser, E. J., Kartez, J. D., May, P. J., Olshansky, R., Peterson, R. G. and Platt, R. H. (1999), “Unleashing the power of planning to create disaster-resistant community,” *Journal of the American Planning Association*, **65**: 247-258.
42. Christou, M. D., Amendola, A. and Smeder, M. (1999), The control of major accident hazards: The land-use planning issue, *Journal of Hazardous Materials*, **65**: 151-178.
43. Cutter, S. (1993), *Living with Risk*, London: Edward Arnold.
44. Ermoliev, Y. M., Ermolieva, T. Y., MacDonald, J. J., Norkin, V. I. and Amendola, A. (2000), “A system approach to management of catastrophic risks,” *European Journal of Operational Research*, **122**: 452-460.
45. Federal Emergency Management Agency (1997), *Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS: Technical Manual (Vol.III)*, Washington DC.
46. Freeman III, A. M. (1993), *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, Washington DC: Resources for the Future.
47. Horwich, G. (2000), “Economic lessons of the Kobe earthquake,” *Economic Development and Cultural Change*, **48**: 521-542.
48. Kircher, C. A., Reitherman, R. K., Whitman, F. V. and Arnold, C. (1997), “Estimation earthquake losses to buildings,” *Earthquake Spectra*, **13**: 703-720.
49. Kunreuther, H. (1996), “Mitigating disaster losses through insurance,” *Journal of Risk and Uncertainty*, **12**: 171-187.
50. Kunreuther, H. (2000), “Public-private partnerships for reducing seismic risk losses,” *Proceedings of the Second EuroConference on Global Change and Catastrophe Risk Management: Earthquake Risks in Europe*, IIASA, Laxenburg, Austria.
-

51. Lin, C.-Y. and Hung, H.-C. (1996), "Conflict management of environmental risk: A strategic planning approach," *Proceeding of the International Symposium on City Planning*, Ogaki, Japen.
52. MacCrimmon, K. R. and Wehrung, D. A. (1986), *Taking Risk: The Management of Uncertainty*, New York: The Free Press.
53. Mader, G. G. (1997), "Enduring land-use planning lessons from the 1971 San Fernando earthquake," *Earthquake Spectra*, **13**: 45-54.
54. Meletti, C., Patacca, E. and Scandone, P. (2000), "Construction of a seismotectonic model: The case of Italy," *Pure and Applied Geophysics*, **157**: 11-35.
55. Meulbroek, L. (2002), "The promise and challenge of integrated risk management," *Risk Management and Insurance Review*, **5**: 55-66.
56. Nelson, A. C. and French, S. P. (2002), "Plan quality and mitigating damage from natural disasters: A case study of the Northridge earthquake with planning policy considerations," *Journal of the American Planning Association*, **68**: 194-207.
57. Olshansky, R. B. (1997), "The role of earthquake hazard maps in loss estimation: A study of the Northridge earthquake," *Earthquake Spectra*, **13**: 721-737.
58. Olshansky, R. B. and Wu, Y. (2001), "Earthquake risk analysis for Los Angeles County under present and planned land uses," *Environment and Planning B*, **28**: 419-432.
59. Olshansky, R. B. (2001), "Land use planning for seismic safety: The Los Angeles County experience, 1971-1994," *Journal of the American Planning Association*, **67**: 173-185.
60. Pritchard, P. (2000), *Environmental Risk Management*, London: Earthscan.
61. Smith, V. K. and Desvougues, W. H. (1987), "An empirical analysis of the economic value of risk changes," *Journal of Political Economy*, **95**: 89-114.
62. Risk Management Solutions (1999), *Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS97: Technical Manual Volume III*, National Institute of Building Sciences,

Washington, D.C.

63. Seif, J. and Voltaggio, T. (1990), "Risk management issues associated with cleaning up inactive hazardous waste sites," in: H. Kunreuther and M.V. Gowda (eds.), *Integrating insurance and Risk Management for Hazardous Waste*, Boston: Kluwer, pp.83-102.
64. Shinozuka, M. (1996), "Lifeline seismic disaster mitigation: research and implementation," *Regional Development Dialogue*, **15**: 195-205.
65. Uitto, J. I. (1998), "The geography of disaster vulnerability in megacities: A theoretical framework," *Applied Geography*, **18**: 7-16.
66. Walker, G., Simmons, P. Irwin, A. and Wynne, B. (1999), "Risk communication, public participation and the Seveso II directive," *Journal of Hazardous Materials*, **65**: 179-190.
67. Whitman, F. V., Anagnos, T., Kircher, C. A., Lagorio, H. J., Lawson, R. S. and Schneider, P. (1997), "Development of a national earthquake loss estimation methodology," *Earthquake Spectra*, **13**: 643-661.
68. Wilson, R. and Crouch, E. A. (2001), *Risk-Benefit Analysis (2ed ed.)*, Cambridge MA: Harvard University Press.

附錄一 期初審查會議意見處理表

討論與建議事項	研究單位處理情形
1 地震災害風險分析有兩大重點，一為災害受損的機率，另一為災損的大小，災害受損的機率之計算會考慮到地震強度、地震區位及其相關建築物強度、基盤維生設施強度等；災損大小之計算會考慮到日間活動人口、建物價值等。為了讓未來使用者能應用此研究成果，建議能將如何產生這些的 Input 清楚交代。	對於 HAZ-Taiwan 系統境況模擬操作的程序及每個模組所需的資料與圖庫系統，皆會於期中與期末報告清楚交代其內容與來源。
2 至於模擬模式方面，若能找一個地方(如九二一地區)驗證此模式之可行方式，則屬較佳。	此部份之工作，防災辦公室已在進行，本計畫會依其最新的檢證成果，修改與調整模組的估計方法與參數系統，以提高模擬的精確度。
3 研究成果之「應用準則」一詞尚不清楚，宜再予釐清。	已修改為「應用程序」之用語，並清楚說明其內涵（詳請期中報告第一章第二節 p.6 之說明）。
4 HAZ-Taiwan 所面對的困難有哪些，在相容性與介面間有何問題，如何解決？期望經由本研究士林區之示範過程加以釐清，並希望建研所與本會能夠充分合作探討。	此部分在第一年的報告中已部分說明，本年度之研究成果亦會加強此層面的討論。
5 建議本研究進行境況模擬時，應結合過去建研所有關 HAZ-Taiwan 系統之相關研究成果，如日間、夜間人口推估資料、避難人口與庇護所需求推估、避難路徑與空間分布等，進行不同情境之模擬，並依據模擬結果提出 HAZ-Taiwan 系統於都市防災規劃之應用方式與推動策略，以符合原訂於國家型計畫的規劃內容與工作進度。	計畫執行過程，會加強建研所與國科會既有研究成果的整合（期中報告第一章第二節 p.5 之說明）。
6 地區防災計畫與都市防災計畫所探討的內容與課題應不相同，本研究之重點應為重視實質環境面向的都市計畫防災規劃，因此有關本研究主題的副標建議改為小區域都市防災規劃的應用。	已修正。

期初審查會議意見處理表（續）

討論與建議事項		研究單位處理情形
7	本研究以士林區為示範區，應屬小區域示範區之模擬，建議應先釐清在小區域範圍之都市計畫防災規劃的內涵與形式為何，以有別於整個都市等大範圍的規劃。	將在撰寫應用程序、步驟及 HAZ-Taiwan 系統應用課題中納入討論。
8	本研究計畫之經費額度及其項目為何？請註明，以利了解本計畫內容適切與否，以及進行國家型科技計畫年度成果評鑑之審查。	已列明。
9	請先界定地區防災計畫與都市防災計畫之不同，本質上都市計畫係以土地利用為要，而地區計畫更擴及組織動員、資源之應用，宜收集各地區防災計畫分析之。	已修改本計畫之名稱，以避免混淆。
10	目前 HAZ-Taiwan 已經應用的地區、計畫、資料為何？是否有台北、嘉義應用的實例？	此部份已於期中報告第一章第二節說明，日後計畫進行期間亦會加強蒐集。
11	HAZ-Taiwan 似有意朝向詳細尺度，簡易操作之模型，宜請察明及做必要之配合。	已納入計畫進行之參考。
12	請瞭解地區防災計畫需要什麼。	已查閱，並修改本計畫之名稱，以更名實相符。
13	本計畫第 6 頁第 3 行之都市窳「漏」地區，應修正為「陋」。	已修正。

附錄二 期中審查會議意見回覆表

討論與建議事項	研究單位處理情形
1 本研究以士林區為例，結果顯示建築物密集區（係屬較都市化地區）之建築物損毀情形及人員傷亡情形均較高，此情形與簡報二「台灣集集地震與日本反神地震之住宅重建政策之比較與評價」中九二一震災經驗有所不同，台中縣建物損毀佔全國 30%、死亡人數佔全國 50%，南投縣建物損毀佔全國 50%、死亡人數確只佔全國 30%，其間差異甚大，建議參考實況修正模式。	921 經驗值，確實可做為 HAZ-Taiwan 參數系統修正的有利參考，此部份已提供國科會進行 HAZ-Taiwan 修正的參考，並納入改善 HAZ-Taiwan 之建議（請參見第七章第二節，p.151）。然欲建立更具一般性的參數系統，不能只參考 921 地震的經驗值（921 的經驗值只是無數地震損害事件中的隨機經驗值之一），而需綜合更多的歷史經驗與統計資訊，方能建立可信度更高的參數系統，此為重要的後續研究努力方向（請參見第七章第二節，p.151）。
2 士林地區包括都市地區及保護區，不同型態的土地使用其防災策略也有不同，尤其都市計畫變更時常遭到民眾反對而不可行，因此必須要有其他策略配合才有辦法落實。	HAZ-Taiwan 的估計只是起點，後續的地震災害風險管理與規劃策略方是重心。重要的是，風險管理與規劃手段，需彈性化與配合地方特質（包括民眾參與），都市計畫變更並非唯一方法，故欲推動防減災需有完整的配套措施，彈性應用，方能有效的推動，且可降低居民的抗爭（請參見第二章第三節的討論與文獻回顧，請參見 pp.40-42）。
3 士林地區交通以公路為主，但大台北地區捷運也扮演重要角色，這部分要如何評估是否能在研究中考量。	由於捷運設施的資料難以獲得，故無納入現況的風險分析中，然已建議後續 HAZ-Taiwan 資料庫建立納入捷運系統之資料。
4 模型的建立要有許多資料，台北市資料較充足對防災也有體認，一般台灣地區要全面實施可能有困難，建議於研究中研議執行方式或替代方案。	已於第七章第二節，建議可行的方式與替代方案（請參見 p.151）。
5 由於我國有九二一震災經驗，是否能選定一個地方進行兩者的比較驗證，提出小規模的應用	由於 HAZ-Taiwan 系統修正非本研究之重心，故此部份乃建議為後續研究與參數庫建立的參考（請參見第七章第二節，p.151）。
6 本研究最後要回歸都市防災落實應用，研究成果可針對都市計畫土地使用及建管策略提出建議。	第六章第一節與第二節，已針對此部份提出應用之程序、步驟與內容，請參閱。
7 以礁溪都市防災規劃經驗，由於地方基本資料不足，應用 HAZ-Taiwan 系統評估很困難，只得大規模進行現地調查，因此建立全國資料庫很重要。	已於第七章第二節（p.151），針對全國性資料庫系統建立的方式與方案提出建議，請參閱。

期中審查會議意見回覆表（續）

討論與建議事項		研究單位處理情形
8	HAZ-Taiwan 的應用最大的困難可能在於地方基本資料的取得，請了解地方現有資料狀況並提出因應對策，以使本研究成果能有效推動。	已於第七章第二節提出策略建議（p.151）。
9	HAZ-Taiwan 的資料格式和應用方式與都市計畫防災規劃需求存在差異，如 HAZ-Taiwan 係以村里為最小單位，但防災規劃可能不僅止於土地使用策略，空間規劃必須要更小單位的資料，因此建議研究過程能就資料格式和實用性予以檢討提出修正建議。	已於第七章第二節說明此課題的影響，及後續處理方法的建議（請參閱 p.151）。
10	本所推動多個都市防災規劃示範計畫，其中多方參考「都市防災規劃手冊」，建議本研究文獻探討部分也能將其內容列入，且本年度正進行該手冊更修工作，由於兩案關係密切，敬請於研究過程能多聯繫溝通。	已納入參考，請參閱第二章第二節（p.26）及第六章第二節（pp.131-136）的應用說明。
11	經由本研究之避難人數推估為夜間人數約為 40%，與九二一及日本阪神經驗非常相近；但進入避難所避難的人數，由九二一經驗及日本東京都根據阪神經驗修正的評估模式約為避難人數的 60-65% 之間，與本研究推估為夜間人數之 6% 有較大的差異，提供研究參考。	請參見第 1 個「討論與建議事項」之處理說明，並已納入後續研究與努力方向（請參見第七章第二節之說明，p.151）。

附錄三 期末審查會議意見回覆表

討論與建議事項	研究單位處理情形
1 以有限經費從事這樣的模擬研究確有意義，但因為地震規模通常不會像士林區這樣小的面積範圍，（以日本阪神、台灣集集及印度古吉拉特州之地震經驗而言，影響範圍遠超過數十倍或數百倍），如評估此一模擬技術確值得台灣應用（可與日本東京都防災中心及兵庫縣防災中心的模擬技術做比較），則應擴大研究範圍（建議可以台北市為對象範圍），並結合更多的研究團隊完成資料庫與系統模擬架構之建置。	本研究主要目的，在於 HAZ-Taiwan 應用於都市防災規劃的方法論討論，故模擬的地理區域大小，對於應用方法影響不大，主要差異應在於分析內容與應用層面的不同。非常同意關於擴大應用地理範圍的建議，並於第七章中，納入後續研究的建議（請參見第七章第二節之建議）。
2 建議能再就不同的地震規模（如規模 6、7、8 級地震）所造成不同災損程度進行測試模擬，則更具實用參考價值。	在研究過程中，曾針對不同地震規模進行境況模擬，惟限於篇幅，採最保守的態度，而只討論三個地震事件，可能最大地震規模（「最悲觀」）的模擬成果。
3 本研究模擬地震對都市防災的應用時，如能就「道路及開放空間」等都市防災、防火區隔功能再延伸至土地使用規劃層面分析，或許比目前以「建物補強」的分析方式更切題。	本研究選擇評估之地震防減災策略，乃基於兩項原則：1.與土地使用管理相關性較大的策略；2.較常使用的策略。然不以文中所提之兩項策略為限，故在後續研究中，已建議擴展策略選擇與評估的向度，以提高 HAZ-Taiwan 的政策評估面向。
4 本案推估結果，請與第二案日間人口推估模式適度調整。	由於日間人口案與本研究為平行進行，故進行期間難將之納入境況模擬的資料庫。待日間人口案完成後，非常樂於將其估計成果納入 HAZ-Taiwan 資料庫與參數庫，以提高估計的精度，此建議亦已納入後續研究建議（請參見第七章第二節之說明）。
5 本案推估結果與九二一經驗比對，在人員傷亡方面似有高估現象，而避難人數有低估的現象，建議其差異或可在 HAZ-Taiwan 後續研究中，加以分析調整。	HAZ-Taiwan 的相關參數庫與估計方法，確實仍有待進一步檢證與更新，此為非常重要的課題。故於第七章已列入 HAZ-Taiwan 後續重要的改進建議（請參見第七章第二節之說明）。
6 建議本案成果報告書中，以都市計畫執行者的角度說明本研究案成果之應用方式。	已改進第六章的撰寫模式與角度。

附錄四 九十二年度「應用HAZ-Taiwan系統進行都市計畫防災規劃方法與方式探討(二)——都市防災計畫之應用」
專家座談會會議記錄

一、時間：九十二年十二月十五日(星期一)下午二時

二、地點：臺北大學地政系會議室(教學大樓七樓)(地址：台北市民生東路三段六十七號)

三、主持人：陳建忠組長、洪鴻智教授

記錄：李嘉慧

四、出席者：

白仁德教授

台北市防災辦公室

邵珮君教授

柯于璋教授

陳建忠組長

許志瑞先生

詹士樑教授

陳素櫻小姐

蔡綽芳小姐

五、主席致詞：略

六、綜合討論及建議：

(一) 柯于璋教授：

1. HAZ-Taiwan 資料庫之蒐集及建置是龐大的工作，美國發展 HAZUS 所用的資料是全國性的一般資料，若要估計細部或地區性的災害潛勢，需從事地區性調查來補足，而台灣目前大多數的縣市都未建置 HAZ-Taiwan 系統所需的資料庫，如要進行資料庫與參數庫建立，可暫時將屬性類似的地區或縣市併為一類，再依據不同類別分別進行調查與建置資料庫，可節省調查時間與成本。

2. 美國發展的 HAZUS 在土地使用方面的應用相當廣泛，包括綜合發展計畫、土地徵收、縣市發展、資訊告知等方面，可作為台灣將來在應用推廣上的參考。

3. 因地震是無法預測的，若要以減輕災害為目的來限制土地使用，在推行上會有困難度。故建議可依不同的災害潛勢程度，進行不同程度的管制措施。

(二) 邵珮君教授：

1. 日本在防災政策上，是依據災感度公佈地震斷層帶，加以限制或禁止土地的開發，並以減稅的措施鼓勵民間自行作補強的工作。

2. HAZ-Taiwan 系統的資料庫與參數庫建立，可仿美國 HAZUS 模式，建立階層式的資料庫，可分全國平均、一般性與區域性資料庫，地方政府的應用可以此為基礎，再進行補充或修正。

(三) 許志瑞先生：

1. 新竹市都發局目前完成全市所有建物樓層數、結構及使用類別的調查，可作為未來研究案以新竹市當

示範區的參考依據。

2. 以九二一地震經驗為例，中央提出針對地震帶周圍劃設限制發展區，因涉及到人民權益的變更，以致推行不易，因此HAZ-Taiwan系統應用到都市計畫的規劃上，須在政策及民眾利益之間取得平衡。

(四) 巫新煌先生：

1. 目前各局處建立資料庫所使用的格式主要針對於業務上的需求，與HAZ-Taiwan所需的格式有些出入，如要配合HAZ-Taiwan的應用，須將HAZ-Taiwan的格式欄位確定並提供格式，以便各局處提供相關協助與建立資料庫之參考。

2. 台北市防災辦公室今年初進行的全市公共設施調查，預計年底會有初步成果。

(五) 蔡綽芳小姐：

1. 確定HAZ-Taiwan系統的相關輔助單位，將來在作資料庫更新及後續的維護與開發上，能有更多的經費與人力投入，支援HAZ-Taiwan系統的推廣與應用。

2. 國科會或相關機關，可應用種子教室，協助地方技術推廣與人才培育。

3. 可透過法案擬定，推廣HAZ-Taiwan系統。

七、散會：下午四時

GPN : 1009205086
ISBN : 957-01-6209-0

應用 HAZ-Taiwan 系統進行都市計畫防災規劃方法與方式探討

(二) ---都市防災計畫之應用

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://abri.gov.tw>

出版年月：92 年 12 月

版（刷）次：第一版

工本費：250 元

GPN：1009205086

ISBN：957-01-6209-0