

主講人簡歷

姓 名：洪鴻智

職 稱：副教授

單 位：國立台北大學不動產與城鄉環境學系

地 址：104 台北市中山區民生東路 3 段 67 號

電 話：02-25024654 轉 8161

傳 真：02-25074266

出 生：民國 55 年 3 月 4 日

學 歷：國立成功大學都市計劃碩士、國立台灣大學建築與城鄉博士

經 歷：國立中興大學地政學系講師、國立中興大學地政學系副教授

主要著作：

洪鴻智（2000），公共選擇與環境風險設施管制政策工具之選擇，都市與計劃，第 27 卷，第 1 期，pp.47-63。(TSSCI)

洪鴻智、詹士樑（2001），都市地區避難救災路徑有效性評估方法之研究（三）－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。

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。

洪鴻智（2002），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，第 29 卷，第 4 期，第 579-597 頁。(TSSCI)

陳建忠、洪鴻智（2003），應用 HAZ-Taiwan 系統進行都市計畫防災規劃方法與方式探討(II)：都市防災規劃之應用，內政部建築研究所研究計畫成果報告。

陳亮全、洪鴻智、詹士樑、簡長毅（2003），「地震災害風險-效益分析於土地使用規劃之應用：應用 HAZ-Taiwan 系統」，都市與計劃，第 30 卷，第 4 期，pp.281-299。(TSSCI)

陳亮全、詹士樑、洪鴻智（2004），「都市地區震災緊急路網評估方法之研究」，都市與計劃，第 31 卷，第 1 期，pp.47-64。(TSSCI)

都市地震防災空間系統規劃與 HAZ-Taiwan (TELES) 系統應用整合之研究：子計畫二 - 新竹市之防災空間系統規劃

何明錦* 洪鴻智** 葉錦勳*** 陳素櫻**** 簡長毅*****

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

* 內政部建築研究所副所長

** 國立台北大學不動產與城鄉環境學系副教授

*** 國立台北大學地政學系副教授

**** 國立台北大學都市計劃研究所碩士

***** 國立台北大學地政研究所碩士

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

Jian-Zhong Cheng, Hung-Chih Hung, Shih-Liang Chan, Cho-Fang Tsai, Su-In Chen

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

一、前 言

都市外圍環境敏感地與高危險地區的迅速開發，使都市的災害損失與災感度（vulnerability）皆大幅提昇（蕭代基，2002）。以工程手段為主的防救災策略績效，在日本阪神與 921 地震的災難性摧毀中，已有許多檢討的文獻（大震災と地方自治研究会，1996；洪鴻智，2002）。然從非工程災害防救策略的角度，應用土地使用規劃手段降低天然災害損失的議題，在一般防救災研究領域，並未受到應有的重視（何明錦、洪鴻智，2002；李威儀、丁育群，2003）。

引用土地使用計劃推動地震防減災，主要困難在於缺乏評估風險、災感度與危險潛勢¹的適當方法與工具。因而導致土地使用規劃過程缺乏防減災觀點，規劃成果常潛藏不可知的地震風險，無法依風險評估（risk assessment）成果，配合地方風險特徵與需求提出適宜的防減災策略（Olshansky and Wu, 2001; Nelson and French, 2002）。此困境造成許多實務上的地震防災計畫擬定過程，多只能從圖面作業，提出如庇護所、避難路徑、防災避難圈劃設等供給導向的空間系統配置規劃（李威儀等，1997；洪鴻智、詹士樑，2001；洪鴻智等，2001）。其他如都市更新選址、新市鎮開發、土地使用管制、通盤檢討等，皆無法契合地震風險特性，進行適切的土地使用規劃（何明錦、洪鴻智，2002）。

地震災害圖（seismic hazard map）或風險圖（risk map），除可提供土地使用或防減災規劃過程的重要資訊外（Mader, 1997），尚可提供不同土地使用或都市發展決策可能產生的地震風險衝擊訊息（Olshansky and Wu, 2001；陳亮全等，2001），以作為土地使用規劃、管制、通盤檢討或審議的決策支援（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、設施等社經特性（Burby and Dalton, 1994）。故土地使用計畫的擬定，除供給面外，尚需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。

本計畫乃延續前一年度（2002 年）的成果，主要目的在提供都市防災規劃，從事地震災害風險分析與策略評估之方法。亦即應用 HAZ-Taiwan 系統，提供一套地震風險-效益（risk-benefit analysis）分析程序，作為土地使用規劃之地震風險分析與策略評估的

¹ 本文所稱「地震風險分析」指針對特定地區潛在地震損害與損失分布特性的估計與分析，包含不同地震規模與震源區位，可能產生之損失（或損害）程度與機率分布之估計。「地震災感度」指從受體的角度，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、建物或設施的潛在損失或傷害程度；「地震潛勢或危險度」指特定地區遭受地震侵襲的可能強度（或規模）與機率（參見 Olshansky and Wu, 2001）。

參考。計畫中以台北市士林區為例，評估其地震危險潛勢、災感度與風險分布，並透過風險-效益分析，估計不同土地使用方案轉變及建物補強措施執行，潛藏的地震風險-效益變動與分布，及不同都市防災規劃策略的地震災害風險降低效應。以下第二節將說明地震風險分析與土地使用計劃之關係；第三節說明風險-效益分析方法的建立內容；第四節說明 HAZ-Taiwan 的組成與功能；第五節則以士林區為例，模擬土地使用現況之地震危險潛勢與風險分布；第六節則以士林現有都市計畫與通盤檢討案的土地使用轉變為例，分析地震風險-效益的變動；第七節乃比較現況及建物結構補強措施執行，於地震災害風險的差異；最後一節為結論與討論。

二、地震風險分析與土地使用計劃

土地使用計劃是多向度與多目標的決策過程，不但在追求一個安全環境，亦須在滿足地方社會經濟條件下進行規劃。美國在 1971 年舊金山大地震後，認為土地使用計劃至少要扮演：(1)災害資訊提供者；(2)有效應用災害風險資訊者；(3)建築安全設計標準提供者。1990 年後則更擴展至：(1)土地使用管制應依地震災害潛勢特性，提出開發程序與管制標準；(2)鼓勵提出政策誘因，使開發者或住戶願意執行減災措施；(3)對災害潛勢較高地區，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較嚴格的管制與安全措施 (Mader, 1997)。

美國從 1970 至 1990 年代的土地使用計劃，已從消極的資訊與建築安全標準提供者，轉變為更緊密結合地震災害風險特質與災害防救需求的風險管理模式 (Kunreuther, 2000; Olshansky, 2001; 何明錦、洪鴻智, 2002)。依 Meulbroek (2002) 提出的統合性風險管理 (integrated risk management) 觀點，認為災害風險管理，已脫離風險控制模式，且是否精確預測災害風險與損失亦非關鍵，重要的是如何釐清規劃標的之風險特性，彈性採取合適的策略，方是有效的災害防救模式。

如上述土地使用計劃在地震防救災扮演的功能、發展趨勢及風險管理需求，可知從事土地使用規劃，除需顧及土地開發的效益外，尚需瞭解土地使用規劃的災害風險特徵與分布，其中地震災害與風險圖製作與風險分析方法的建立，為重要的基礎工作 (Olshansky, 1997)。其成果不但可提供規劃區之風險資訊，亦可協助規劃者或地方政府評估土地使用計畫（或圖）的風險-效益，以提昇規劃品質與降低土地使用規劃潛藏的災害風險 (Burby et al., 1998; Olshansky, 2001)。

地震損害或風險評估工具的發展，目前較常用的系統，如日本東京都地震災害評估

系統，東京都廳曾引為評估地震建物倒塌風險、火災風險、人體風險與避難風險之風險評估工具(Uitto, 1998; 陳建忠、詹士樑, 1999)。義大利國家研究委員會(National Council of Research)亦曾與國家地震防範中心(National Group for Defense against Earthquake)合作開發地震災害潛勢評估系統，作為劃設地震潛勢區的基礎(Meletti *et al.*, 2000)。美國之 HAZUS 系統，為另一重要地震損害評估系統。HAZUS 主要的應用範疇，除地震之災害潛勢與風險分析外，亦應用在土地使用措施的評估與開發審議的決策支援(Whitman *et al.*, 1997)。

上述各國地震災害風險分析工具的建立，在土地使用規劃過程，主要應用向度為：(1)地震風險與災感度分析；(2)地震減災措施的風險-效益評估；(3)提供土地使用分區管制、規劃、建築管制標準研判之資訊；(4)提供災害防救、應變與重建計畫擬定之基礎。應用這些工具於土地使用規劃之支援，於美國洛杉磯地區(Kircher *et al.*, 1997; Olshansky and Wu, 2001)，舊金山、東京皆有比較性地震災害風險分析與土地使用措施評估的應用經驗(Bendimerrad, 2001)。

三、風險-效益分析

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, 1998)。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：

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

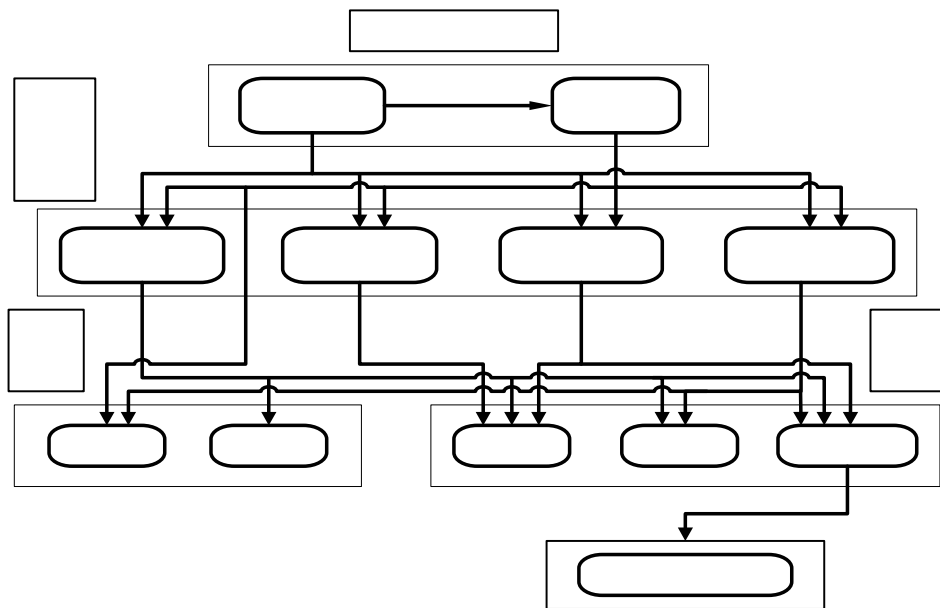
式(1) L 為地震損失（或損害），其為地震災害潛勢 E （決定在地球科學條件、地震規模（與震源區位）、地震發生機率），建物與設施結構特性 B_i （ i 為結構型態， $i = 1, 2, \dots, m$ ），建物或土地使用型態 D_j （ j 為使用種類， $j = 1, 2, \dots, n$ ），及其他社會與設施特性 S （如人口、重要設施特性等）的函數。式(1)所估計的地震損失 L ，其實是特定機率分配之地震事件下的損失，故可視為「地震風險」。然損失函數的估計為困難且複雜的課題，需結合地球科學、地震工程、統計與經濟模式，故需引用綜合性地震損失與風險估計模組進行估計。

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²。 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。

四、HAZ-Taiwan 系統

HAZ-Taiwan 係於 1998 年由國科會與經濟部技術處，合作引進美國 HAZUS 系統，並委託 Risk Management Solutions (RMS) 公司開發而成（羅俊雄等，2002）。由於地震造成的損害與損失層面非常廣泛，包含物理性的建物與設施損害、經濟損失、人員傷亡與社會衝擊。為因應此地震損害估計需求，HAZ-Taiwan 的估計模組亦設計成多元的評估組合，其包含圖一的評估模組架構。

² 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。



資料來源：洪鴻智等，2003

圖一顯示 HAZ-Taiwan 係藉由地表振動與大地破壞的模擬，將地震損害分成三類：

(1)直接實質損害：包含建物、重要設施、維生管線-運輸等系統損壞程度與機率之估計；

(2)引發性實質損害：包含引發之洪水、火災等之估計；(3)直接與間接社會經濟損害：包括人員傷亡、庇護所需求，及直接與間接經濟損失估計（National Institute of Building Science, 1999；何明錦、洪鴻智，2002）。地震損害或風險評估工具雖有許多系統，但 HAZ-Taiwan 具有 HAZUS 的優點，並結合地理資訊系統及台灣本土開發的地震潛勢估計模組，可利於製作不同種類的地震災害與風險圖，適於作為都會型機率模式地震一般建築物評估。

HAZ-Taiwan 建置與應用之相關文獻與經驗，偏重在三個層面：(1)資料與參數庫建立；(2)模組與地震損失估計方法引介；(3)地震損害、風險、損失估計與都市規劃應用（陳亮全等，2001；葉錦勳、羅俊雄，2000；何明錦、洪鴻智，2002；蕭代基，2002；羅俊雄等，2002；洪鴻智等，2003）。HAZ-Taiwan 的測試，主由國科會與國家地震工程研究中心執行，雖發現 HAZ-Taiwan 會低估地震規模大之地震危險度，而高估規模小之地震危險度，然已將台北市的地震特性與特有的「盆地效應」納入 HAZ-Taiwan 修正，對於估計不同地區之相對地震危險度，有良好的估計成效（葉錦勳、羅俊雄，2000；羅俊雄等，2002）。

五、士林區之地震危險與風險分析

本節之境況模擬將以台北市士林區為案例，以下針對：(1)資料內容與取得方式；(2)地震事件設定；(3)地震危險與風險境況模擬成果分別說明之。

(一) 資料內容與取得

HAZ-Taiwan 境況模擬之資料輸入，需依使用模組需求，輸入相關資料與參數。境況模擬之模組與資料需求包含：(1)災害潛勢估計模組群：所需資料包含斷層圖、土壤圖、山崩潛感圖、地下水深圖等；(2)直接實質損壞模組群：所需資料包含建物與相關設施之使用型態、結構、區位、數量；(3)直接社會經濟損失模組群：所需資料包含建物結構體、非結構體重置成本、人口統計等。

上述三個模組群所需的主要資料來源為：(1)災害潛勢模組群：國家地震工程研究中心；(2)直接實質損壞模組群：防災國家型科技計畫辦公室（現為國家災害防救科技中心）、國家地震工程研究中心與土地使用調查；(3)直接社會經濟損失模組群：建物重置成本資料主要來源為營造廠、房屋仲介公司與建築師的訪談、工商普查及防災國家型科技計畫辦公室，人口統計資料則由台北市政府與防災國家型科技計畫辦公室提供。

(二) 地震事件設定

地震危險度或潛勢模擬方法，有兩種主要型態：(1)機率模式：依特定地區在單位時間內，發生不同地震規模的期望累積機率分配進行模擬（不管震源為何）；(2)單一地震事件模式：直接設定地震位置、震源深度與規模進行模擬（Olshansky and Wu, 2001）。

HAZ-Taiwan 的地震境況模擬方法，採單一地震事件模式，其須有三項假設：(1)對單一斷層或地震分區，只選擇單一震央、深度與規模。實際上，斷層（或地震分區）上每一點皆可能發生地震，但限於 HAZ-Taiwan 特性，只選擇斷層（或地震分區）的中心點為震央；(2)HAZ-Taiwan 的資料格式係以村里為基本單位，故須假設同里之土壤、地質條件等為一致；(3)對於地震事件的規模與深度，採較悲觀的角度，設定為淺層且以該斷層（或地震分區）可能發生最大規模的地震事件進行模擬。另因每一斷層或震源發生特定規模地震的再現機率，無法從 HAZ-Taiwan 估計，須另利用機率模式，以蒙地卡羅分析，模擬每 1,000 年發生的機率（簡文郁，1996）。最後可將欲模擬的三個地震事件特性³，列於表一。

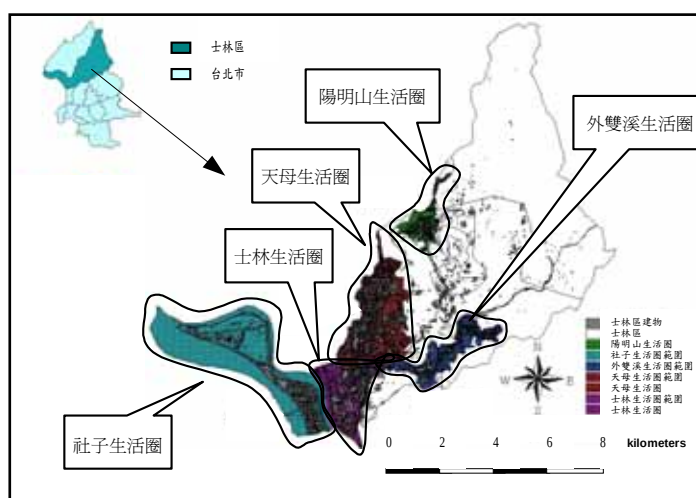
³ 三個地震事件的選擇與設定，係參考國家地震工程研究中心的建議、地震歷史事件的歸納與台北市地區

表一 三個地震震源事件

地震事件	規模	斷層型態	震央位置（二度分帶）	震源深度	每 1000 年發生機率
新城斷層	7.5	逆衝斷層	269000, 2742000	10 km	0.42
宜蘭外海	7.9	—	332899, 2694039	10 km	1.14
獅潭斷層	7.1	逆衝斷層	245917, 2721782	10 km	0.42

（三）士林區地震危險與風險分析

士林區位於台北市之北部與東北部區域，人口約 292,096 人，人口密度約 47 人/公頃，皆佔台北市第二位。士林區之總面積約 6,237 公頃，土地使用型態非常多元，同時包含都市發展（約佔 23%）、非都市發展（53%）與陽明山國家公園（24%），適於作為地震災害境況模擬地區。士林發展較密集之都市發展用地，住宅用地最多（佔 13.7%），其次為公共設施用地（佔 12.5%），而開發強度較高之工業與商業用地，分別只佔 0.4%與 1.2%。惟從圖二之士林土地使用分區與建物套疊圖，可發現士林開發強度較高之地區集中在西南、西與南部區域，亦即為天母、士林與社子生活圈，隱含這些地區亦是震災受體較集中的區域。以下乃依士林地震風險之境況模擬結果說明之。



圖二 臺北市士林區土地使用分區與建物分布

資料來源：行政院內政部營建署全臺區域計畫

1. 地震災害潛勢

三個地震事件模擬地震災害潛勢，新城斷層與宜蘭外海事件類似，PGA (peak ground acceleration) 值介於 0.10 g 與 0.34 g 間⁴，獅潭斷層事件危險度較輕微。產生 PGA 值差

災害防救計畫。

⁴ PGA (g) 值可轉成震度衡量單位，亦即 1 gal = 1 cm/sec²，1g = 980 gal，其中 gal 表地動加速度，PGA 值愈高，隱含地動加速度愈大。另震度可以 gal 值為分級標準，分級內容可參考中央氣象局全球資訊網

異的原因，除因土壤、地質等條件之差異外，主源於震源的區位及地震規模。此三個事件發現地震災害潛勢，以西南、南與西部地區之災害潛勢度較高，隱含此等地區可能具較高之地震災害危險度，然此等地區亦是士林都市發展較密集之地區。

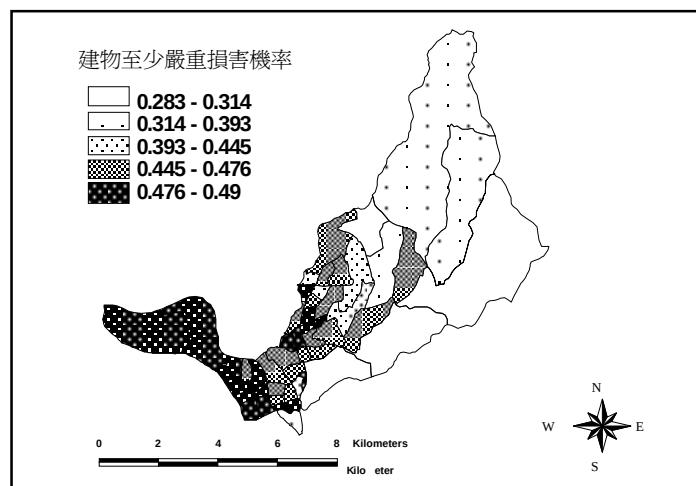
2.直接實質損害

(1) 建物損害估計

三個地震事件模擬之建物損害狀況，宜蘭外海與新城斷層事件差異不大，獅潭斷層事件則較為輕微。從表二的歸納，建物發生嚴重損壞以上之機率，新城斷層與宜蘭外海事件，機率合計分別為 37.75%與 39.11%。如以新城斷層事件為例，從圖三之地震危險圖，可發現建物發生至少嚴重損害之機率較高地區偏重在西南部、中部與西部地區，約在社子、天母一帶，恰為估計之 PGA 較大及都市發展較密集地區。

表二 建物損害機率估計

地震事件	樓地板面積 (1000m ²)	各種建物使用別平均損害機率(%)				
		沒有損害	輕度損害	中度損害	嚴重損害	完全損害
新城斷層	8,076	50.28	2.68	9.33	13.45	24.30
宜蘭外海	8,076	50.10	2.20	8.63	14.00	25.11
獅潭斷層	8,076	60.04	11.59	20.14	5.83	2.34



圖三 新城斷層事件建物至少嚴重損害機率危險圖

(2) 重要設施與交通-維生系統損害估計

重要設施之地震損害估計，包含醫院病床數、消防設施、飲用水管線、通訊、橋樑、電力供應設備的功能維持率，從表三可歸納三個地震事件發生當天之功能維持率，多可在 50% 以上，甚至飲水管線、公路橋樑、通訊設施與電力供應設施，皆能維持 70% 以上之功能。這些設施功能維持率的估計，對於震災防救與避難有重要的作用。在防災避難與應變規劃擬定過程，可參酌此等設施與系統功能維持率資訊，及當地（或防災避難圈）防救災的需求，提出應變規劃與支援策略。

表三 重要設施與交通、維生系統地震當天功能維持率

地震事件	醫院病床		消防隊		學校		飲用水管線		公路橋樑		通訊設施		電力供應設施	
	數量	維持率	數量	維持率	數量	維持率	數量	維持率	數量	維持率	數量	維持率	數量	維持率
新城斷層	1168 個	49%	4 個	56%	39 個	58%	61km	75%	35 個	73%	8 個	74%	1 個	72%
宜蘭外海	1168 個	49%	4 個	55%	39 個	57%	61km	74%	35 個	73%	8 個	74%	1 個	72%
獅潭斷層	1168 個	53%	4 個	67%	39 個	76%	61km	94%	35 個	85%	8 個	75%	1 個	74%

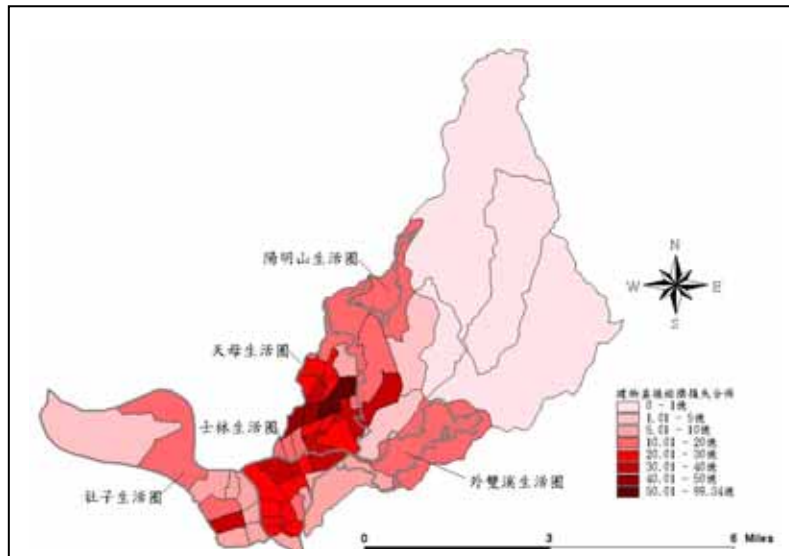
(3) 建物直接經濟損失估計

HAZ-Taiwan 估計之建物直接經濟損失內容包括：a. 資產損失：建物結構體、非結構體、內部財產與庫存損失；與 b. 收入損失：因建物功能中斷造成的營業與租金收入損失。

表四列出三個地震事件的模擬之建物直接經濟總損失與年預期損失，三個地震事件之年預期損失最大者為宜蘭外海事件（約為 1.13 億元），總損失約為 995.37 億元。年預期損失較高之原因除在於建物損害機率較高外，主在宜蘭外海地震事件之年發生機率較高。從圖四亦可發現宜蘭外海事件，年預期損失風險較高的里為三玉、蘭雅、蘭興等里（集中在天母生活圈）。表四最右欄顯示建物損失佔建物總重置成本（即「暴露建物總值」）之比率（或稱損失-成本比），可藉之觀測評估地區相對的災害嚴重程度。從圖五亦可發現各里損失-成本比風險分布，以西南區域（約為社子與士林生活圈）較為嚴重。

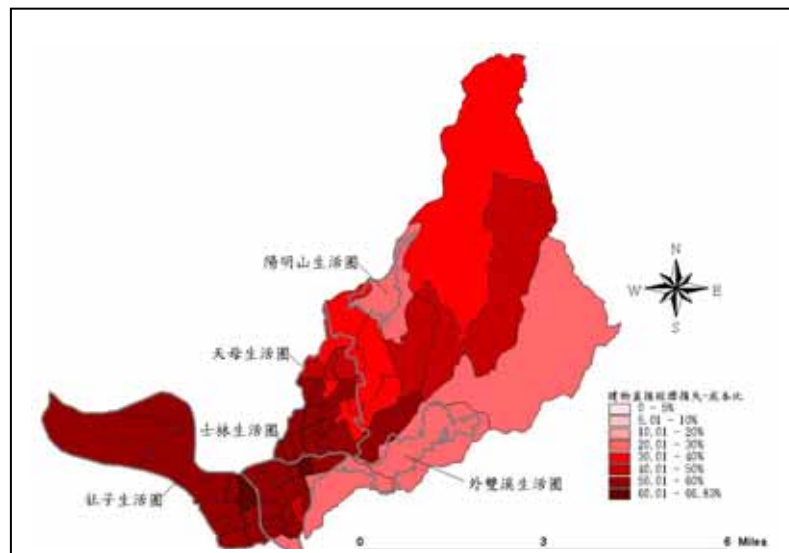
表四 建物直接經濟損失估計

地震事件	總損失（億元）	年發生機率	年預期損失（億元）	年預期損失-成本比
新城斷層	974.31	0.00042	0.41	0.019%
宜蘭外海	995.37	0.00114	1.13	0.054%
獅潭斷層	228.92	0.00042	0.10	0.001%



排序	里名	損失 (億)
1	三玉里	99.34
2	蘭雅里	44.66
3	蘭興里	41.16
4	天祿里	39.60
5	名山里	39.57
6	芝山里	32.86
:	:	:
46	富洲里	3.11
47	菁山里	0.94
48	溪山里	0.56
49	平等里	0.52
50	公館里	0.50

圖四 臺北市士林區建物直接經濟損失分佈 (宜蘭外海事件)



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%

圖五 臺北市士林區建物直接經濟損失-成本比 (宜蘭外海事件)

3.人員傷亡與庇護所需求估計

(1) 人員傷亡估計

HAZ-Taiwan 對於地震人員傷亡估計，可依不同時段，估計不同傷亡程度⁵的人員數。然因日間人口資料較不充足，故模擬之人員傷亡主要考慮凌晨二時的情境。表五顯示三個地震事件之四級傷亡人員估計成果，仍以宜蘭外海事件較為嚴重。三個地震事件人員傷亡較嚴重的分佈地區為後港、蘭雅、百齡里等，主要原因在此等地區之暴露人口較多，

⁵ HAZ-Taiwan 估計之人員傷亡程度可分為四級：(1)第一級：輕微受傷：僅需要基本醫療不需住院；(2)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；(3)第三級：嚴重傷害：若無適當且迅速的醫療處理，會有生命威脅；(4)第四級：當場死亡。

當然亦顯示此等地區之災時醫療支援網絡建立的重要性。

表五 傷亡人員估計

單位：人

地震事件	新城斷層			宜蘭外海			獅潭斷層		
	在家人口	工作人口	總計	在家人口	工作人口	總計	在家人口	工作人口	總計
一級傷害	10,951	66	11,017	1,1078	67	11,145	1681	9	1,690
二級傷害	2,156	13	2,169	2,182	13	2,195	302	2	304
三級傷害	276	2	278	279	2	281	36	0	36
四級傷害	276	2	278	279	2	281	36	0	36
總計	13,660	82	13,742	13819	83	13,902	2056	11	2,066

(2) 庇護所需求估計

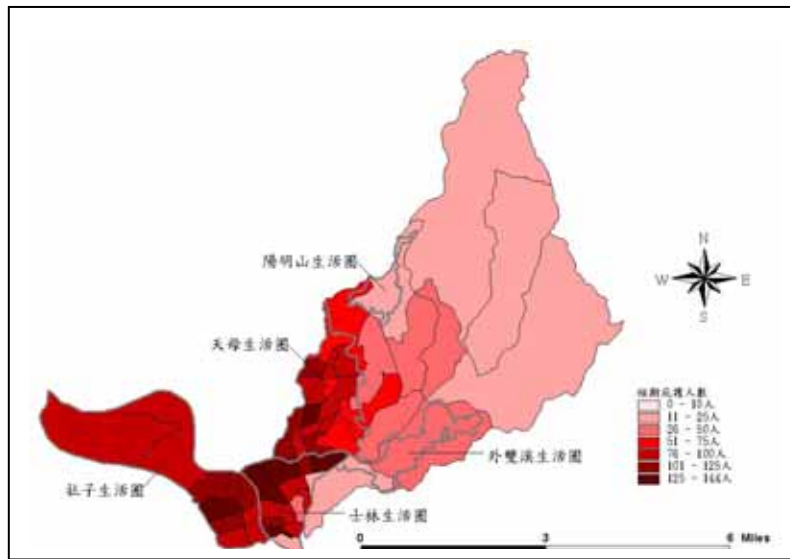
HAZ-Taiwan 之庇護所需求估計內容包括：無家可歸家戶數與短期庇護所需求人數。從表六的成果歸納，依然以宜蘭外海事件較為嚴重，其中無家可歸之戶數，約為 9,225 戶。其中短期庇護所需求，指在無家可歸家戶數中，扣除可自行找尋或從親友處獲得暫住處者所外，需相關單位提供短期庇護所之人數。三個地震事件之庇護所需求人數，約在 610 人—4,167 人間，約佔士林區總人口之 0.2%至 1.5%。從圖六可發現宜蘭外海事件，短期庇護所需求人數之分布，以社子、士林生活圈需求較集中，隱含此等地區之庇護所設置需求較高或較需提供支援。

表六 庇護所需求估計

地震事件	無家可歸家戶數	短期庇護所需求人數
新城斷層	9,050 戶	4,090 (1.4%) ^a
宜蘭外海	9,225 戶	4,167 (1.43%)
獅潭斷層	1,308 戶	610 (0.21%)

a：佔總人口比率

從士林土地使用現況之地震災害潛勢與風險圖模擬成果，發現士林都市發展較密集地區，亦為災害潛勢與風險較高之地區。此成果可提供規劃者，進行土地使用規劃或檢討的參考，亦可提供災害防救規劃有用之資訊。然在土地使用規劃過程，除需瞭解空間之地震風險資訊外，尚需有適當方法與工具，協助研判不同土地使用案是否會創造更多的地震風險。為處理此課題，以下即以 HAZ-Taiwan 的輸出為依據，進行土地使用的地震風險—效益變動分析。



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

圖六 短期庇護需求人數分佈（宜蘭外海事件）

六、土地使用變更的地震風險-效益變動分析

以下將分別估計士林現況、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。

（一）土地使用條件

應用 HAZ-Taiwan 於土地使用計劃評估較困難的問題，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七），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，假設在完全開發下，分別估計各里，各種使用別的建物樓地板面積。「通盤檢討案」：則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，各種使用別的建物樓地板面積。表七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），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。

表七 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，不僅表七所列之六種，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)，以衡量土地使用轉動隱含的損失風險-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：

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

式(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⁶，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 (m²)； 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：

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

式(3)之 $BENE$ 為應變數，為建物效益，係以建物暴露價值⁷ (元) 值代之； b_0 為截

⁶ 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」。

⁷ 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。

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(2)與式(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 $\ln BENE$ 。

(三) 估計成果

表八與表九為應用 SAS 統計軟體，以迴歸模型估計之 RBUM 與 BBUM。線性模型估計之 $\text{Adj } R^2$ 與 R^2 較半對數型高，然商業使用之 RBUM 估計值為負，雖然 t 檢定不顯著，但似不符預期。半對數模型則符號多符合預期，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；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。

表十乃應用 RBUM 與 BBUM，以半對數型模式，估計表八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。

表八 RBUM 與 BBUM 之估計（半對數型）

變數/模型	宜蘭外海 (<i>t</i> 值)	新層斷層 (<i>t</i> 值)	獅潭斷層 (<i>t</i> 值)	效益
截距項	19.59 (102.67)	19.56 (96.25)	18.27 (85.58)	20.32 (120.05)
<i>RE</i>	0.000011 (8.12)	0.00001 (7.72)	0.00001 (6.75)	0.00001 (9.28)
<i>CO</i>	0.0000011 (0.21)	0.000001 (0.17)	0.000001 (0.09)	0.0000022 (0.53)
<i>IN</i>	0.000013 (2.72)	0.000013 (2.60)	0.000012 (2.31)	0.000013 (3.14)
<i>AG</i>	-0.0000001 (-0.01)	-0.0000027 (-0.33)	-0.0000048 (-0.57)	0.0000079 (1.22)
<i>GO</i>	0.0000035 (1.06)	0.0000037 (1.05)	0.0000048 (1.32)	0.00000052(0.18)
<i>ED</i>	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

表九 RBUM 與 BBUM 之估計（線性）

變數/模型	宜蘭外海 (<i>t</i> 值)	新層斷層 (<i>t</i> 值)	獅潭斷層 (<i>t</i> 值)	效益
截距項	220871337 (1.7)	254788358 (1.83)	85907822 (1.60)	198095352 (1.74)
<i>RE</i>	12144.91 (14.05)	11797.33 (12.73)	2722.48 (7.64)	26225.67 (34.97)
<i>CO</i>	-2123.49 (-0.63)	-2554.29 (-0.70)	-1103.93 (-0.79)	8313.43 (2.82)
<i>IN</i>	12171.31 (3.81)	12008.70 (3.50)	2929.68 (2.22)	27574.99 (9.89)
<i>AG</i>	-5792.93 (-1.06)	-8310.66 (-1.50)	-1946.07 (-0.91)	20360.43 (4.53)
<i>GO</i>	22758.09 (10.19)	22445.68 (9.37)	4397.47 (4.77)	197.50 (1.10)
<i>ED</i>	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

表十一乃應用線性模式，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。

表十 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

表十一 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，綜合表十與表十二，亦可估計通盤檢討案對降低損失風險的效果。表十二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-效益比則皆為 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。

表十二 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，利用半對數型模型估計之 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。表十三顯示，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。

表十三 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

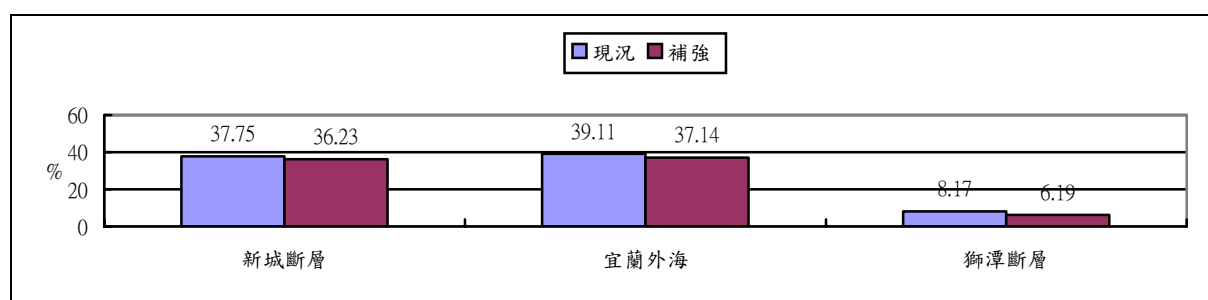
註：a：各種建物使用類型之單位為 m²；b：單位為億元

七、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。以下將針對士林區現況（以下簡稱現況）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的變動，以助於 HAZ-Taiwan 應用方法論的建立。

（一）建物損害機率

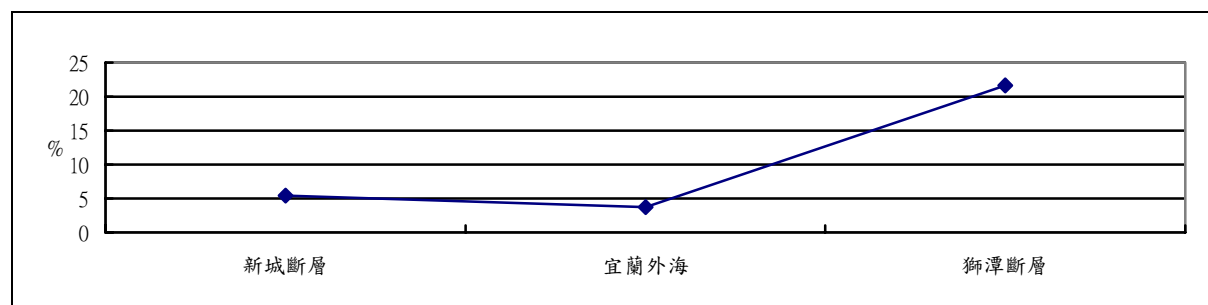
士林區土地（建物）使用現況，三個地震事件模擬結果，建物嚴重與完全損壞機率皆為住宅、商業與工業使用較高。如實施補強方案，可發現建物完全損壞之機率，在三個地震事件中皆降低。就完全損壞機率之平均值而言，三個地震事件分別降低 2.5%、1.8%與 1.43%。三個地震事件之建物嚴重損害以上的累計機率，分別下降 1.52%、0.97%與 1.98%（兩個方案比較可參見圖七），降低之程度與地震損害規模呈反比，亦即損害規模愈小者，降低之損害機率愈高。



圖七 現況與補強方案之建物嚴重損害以上累計機率比較

（二）建物直接經濟損失

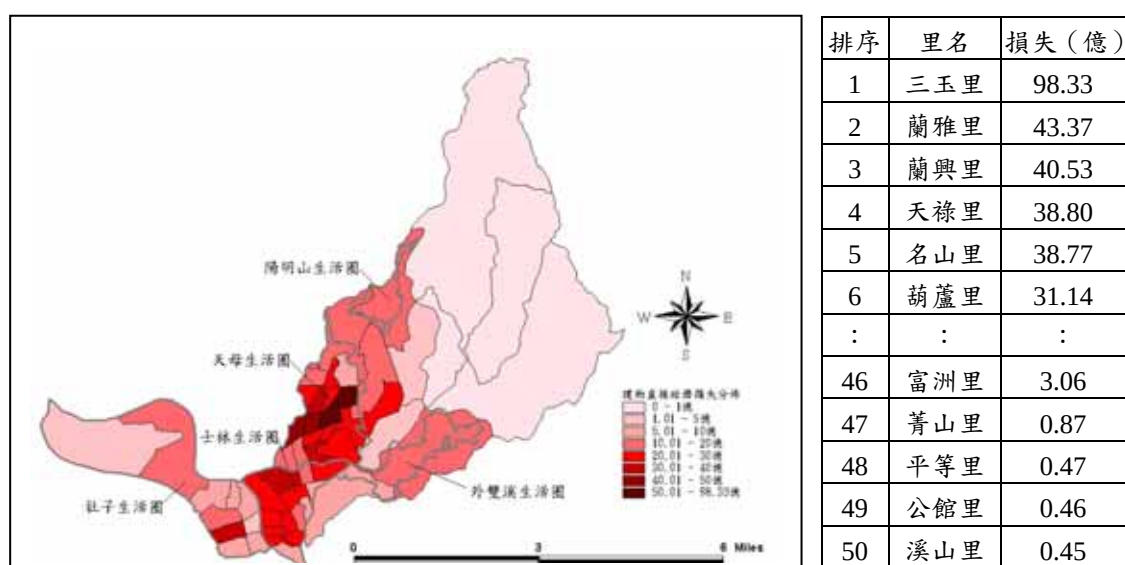
依三個地震事件，士林區現況總體之建物直接經濟損失，三個地震事件分別為：新城斷層事件：974.21 億元；宜蘭外海事件：995.37 億元；獅潭斷層事件：228.92 億元。如推動建物補強方案，降低的總直接經濟損失風險，三個地震事件分別為 52.8 億元、37.32 億元與 49.54 億元，降低的比率分別為 5.42%、3.75%與 21.64%。從此降低的幅度亦可歸納，損害規模愈小的地震，補強方案降低的地震損失風險愈明顯（參見圖八），且降低的幅度差異極大。



圖八 補強方案降低之地震直接經濟損失風險比率

兩個方案之建物直接經濟損失風險於各里的分布，損失風險最嚴重者皆為仍為三玉里、蘭雅里、蘭興里等，多集中在天母生活圈與士林生活圈（以宜蘭外海事件為例，可

參見圖十)。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。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。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。



圖十 士林區建物直接經濟損失分佈（補強方案）（宜蘭外海事件）

（三）人員傷亡估計

從表十四之補強方案模擬結果，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、1,416 人與 1,482 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。

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，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。

表十四 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

表十五的歸納，可發現三個地震事件，補強方案較之現況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(降低 72.25%)。可見對於地震損害規模較低之獅潭斷層事件，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：442 人(降低 10.61%)；獅潭斷層事件：423 人(69.34%)。

表十五 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%)

補強方案如實施，三個地震事件在各里之短期庇護所需求，較之現況亦多集中在社新里、蘭雅里、福佳里、後港里等。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。

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。

七、結論與討論

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。本文以士林區為例，利用 HAZ-Taiwan 之地震危險度機率模式，模擬士林的潛在地震災感度、危險度、風險、傷亡、庇護所需求分布等特性。發現士林之南、西與西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，年平均總預期損失風險為 0.55 億元。

文中另應用 BUM，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，而可平均降低損失風險約 74 億元-95 億元。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。

文中亦檢驗建物結構補強方案，應用於地震災害與風險降低的效能。發現此策略，可降低建物損害機率、建物直接經濟損失風險、傷亡人口與庇護所的需求。另亦發現建物結構補強策略，就降低的效能而言，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。

本文提出一套，應用 HAZ-Taiwan 分析地震災害危險度與風險的工具與方法，提供規劃者評估災害風險與不同土地使用方案潛在的風險-效益變動。理想的土地使用防災規劃，應藉由風險分析與防減災需求估計，配合地區特性，擬定配套的空間與設施計畫。故風險分析與需求估計的方法論與工具，為土地使用與都市防災規劃的重要決策支援。透過 HAZ-Taiwan 的引入，可提供此類分析工具應用的可能方式，並可藉之建立不同的震災風險-效益評估方法。

地震風險分析，並非僅限於貨幣化的土地開發風險-效益評估，尚可應用傷亡、庇護所需求與其他質化風險（如風險知覺）分析，作為計畫評估與土地使用規劃的決策支援。評估方法的建立，除可透過 HAZ-Taiwan 的境況模擬，以檢視補強建物抗震強度、調整容積管制標準等策略對地震風險-效益的衝擊外，尚可結合多屬性決策或多目標規劃，綜合評估地震防減災措施的有效性。

HAZ-Taiwan 在地震風險與策略評估，為嶄新的決策支援工具，在推廣 HAZ-Taiwan 於都市或土地使用計畫應用，尚有三項主要課題需克服：(1)資料蒐集與資料庫建立：尤

其是建立全台的資料庫，仍需相關團體的合作；(2)資料格式與基本單位：特別是引入更精細的資料庫，以滿足更細部或不同空間規模的規劃需求。因 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，此可能是形成前述估計土地使用轉變對地震風險-效益比率的衝擊，以及商業使用開發的風險無法彰顯的原因之一；(3)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。

參考文獻

- 1.大震災と地方自治研究会（1996），「大震災と地方自治：復興への提言」，自治体研究社，東京都。
- 2.台北市政府（2002），「台北市地區災害防救計畫」，台北。
- 3.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。
- 4.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。
- 5.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。
- 6.林英彥，「不動產估價（五版）」，文笙書局，台北。
- 7.洪鴻智（1998），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。
- 8.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。
- 9.洪鴻智、詹士樑、陳柏廷、廖仲仁（2001），都市地區避難救災路徑有效性評估方法之研究：與 HAZ-Taiwan 整合應用，發表於民國 90 年度建築計畫聯合研討會，台北。
- 10.洪鴻智（2002），「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）。
- 11.洪鴻智、詹士樑、簡長毅（2003），運用 HAZ-Taiwan 系統於土地使用規劃之地震風險-效益評估：以台北市士林區為例，發表於 2003 年全國土地管理與開發學術研討會，長榮管理學院，台南。

12. 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」,內政部建築研究所專題研究計劃成果報告,台北。
13. 陳亮全、洪鴻智、賴美如 (2001),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,台北。
14. 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。
15. 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。
16. 簡文郁 (1996),「設計地震力參數與結構可靠度分析」,國立台灣大學土木工程學系博士論文,台北。
17. 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。
18. 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)。
19. Bendimerad, F. (2001). Loss estimation: A powerful tool for risk assessment and mitigation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21: 467-472.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Freeman III, A. M. (1993). *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, Washington DC: Resources for the Future.
24. Kircher, C. A., Reitherman, R. K., Whitman, F. V. and Arnold, C. (1997). Estimation earthquake losses to buildings, *Earthquake Spectra*, 13: 703-720.
25. Kunreuther, H. (2000). Public-private partnership for reducing seismic risk losses, *Paper presented at Second EuroConference on Global Change and Catastrophe Risk Management: Earthquake Risks in Europe*, Laxenburg Austria.

26. Mader, G. G. (1997). Enduring land-use planning lessons from the 1971 San Fernando earthquake, *Earthquake Spectra*, 13: 45-54.
27. 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.
28. Meletti, C., Patacca, E. and Scandone, P. (2000). Construction of a seismotectonic model: The case of Italy, *Pure and Applied Geophysics*, 157: 11-35.
29. Meulbroek, L. (2002), The promise and challenge of integrated risk management, *Risk Management and Insurance Review*, 5: 55-66.
30. Olshansky, R. B. (1997). The role of earthquake hazard maps in loss estimation: A study of the Northridge earthquake, *Earthquake Spectra*, 13: 721-737.
31. 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.
32. 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.
33. Shinozuka, M. (1996). Lifeline seismic disaster mitigation: research and implementation, *Regional Development Dialogue*, 15: 195-205.
34. Smith, V. K. and Desvousges, W. H. (1987). An empirical analysis of the economic value of risk changes, *Journal of Political Economy*, 95: 89-114.
35. Uitto, J. I. (1998). The geography of disaster vulnerability in megacities: A theoretical framework, *Applied Geography*, 18: 7-16.
36. United States National Institute of Building Science (1999), *HAZUS 99: Technical Manual*, Washington DC.
37. 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.
38. Wilson, R. and Crouch, E. A. (2001). *Risk-Benefit Analysis (2ed ed.)*, Cambridge MA: Harvard University Press.