

大臺北地區大規模地震衝擊情境之災害潛勢與建物人員災損分析

Disaster Potential, Building Damages and Casualties under Large-scale Earthquake Scenario in Greater Taipei Area

主管單位：科技部

黃明偉¹ 吳秉儒¹ 吳子修¹ 陳秋雲¹
Huang, Ming-Wey¹ Bing-Ru Wu¹ Wu, Tzu-Hsiu¹ Chen, Chiou-Yun¹

蘇昭郎¹ 李中生¹ 柯孝勳¹
Su, Jau-Lang¹ Lee, Chung-Sheng¹ Ke, Siao-Syun¹

¹ 國家災害防救科技中心

摘要

本研究以大臺北地區為示範例，針對大規模地震之災害衝擊，依防災應用之實際需求與規格，優先盤點現有技術進行整合，並依據現有技術不足處，開發相關評估技術，藉以具體量化分析大臺北地區大規模地震衝擊情境。期藉由本研究之執行，彙整相關分析方法及技術形成具體之操作流程，提供未來國內其他都會區研擬防災計畫與對策之參考。

研究內容包含兩部分，第一部分為建立大臺北地區之高潛勢地震源與地動預估方法，以及土壤液化評估流程，已完成之成果包括：(1)設定三組大臺北地區地震衝擊模擬震源；(2)建立網格化地動分布圖層；(3)建置網格化土壤液化潛勢圖與液化引致沉陷分布圖。

本研究第二部分則為分析在特定震源作用下之建物破壞及其引致人員傷亡分布情形，主要成果為：(1)建立網格化震後建物破壞分析流程與評估結果；(2)完成大臺北地區動態人口分佈分析方法；(3)建立網格化震後建物破壞引致人員傷亡分析流程與評估結果。

關鍵詞：大規模地震、大臺北地區、災害衝擊

Abstract

This study mainly focuses on integrating existing technologies to analyze disaster impact under large-scale earthquake scenarios, taking an example as the greater Taipei area by considering actual needs and specifications for disaster prevention. By integrating analysis methods and technologies, we establish solid operation procedures which could be references for other metropolitan governments to establish disaster prevention plan and policy.

This study contains two parts. The first part is to analyze high potential seismic sources in greater Taipei area and establish ground motion simulation methods. We also submit the analysis methodology of soil liquefaction potential. Some results were completed including: (1)Set up three earthquake simulation sources for greater Taipei area; (2)Establish gridded ground motion distribution maps; (3)Complete gridded soil liquefaction potential maps and liquefaction induced settlement maps.

The second part is to analyze building damages under specified earthquake sources and casualties caused by building damages. Some main achievements include: (1) Establish assessment process and results of building damages under earthquake sources; (2)Construct dynamic demographic analysis methods in the greater Taipei area; (3)Complete assessment process and results of casualties caused by building damages.

Keywords : large-scale earthquake, greater Taipei area, disaster impact.

一、前言

臺灣的地理位置處於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互碰撞之交界帶，災害性地震頻傳。近年來隨著經濟建設的迅速發展，各大都會區人口密度不斷提高，大幅增加地震對於人民生命財產的威脅，因此地震研究在災害防治上的應用益顯重要，應積極推動大規模地震災害防治工作，以減少大規模地震帶來的損失。

本研究透過專家諮詢會議方式討論大臺北地區之高潛勢地震源與合宜之地動預估方法，並建立大臺北地區高潛勢地震源之地動分布圖資，分析在特定震源作用下之土壤液化潛勢及液化引致沉陷分布情形。對於災害之衝擊分析，優先對於建物破壞及人員傷亡進行評估，建立網格化震後建物破壞分析流程、大臺北地區動態人口分佈分析方法、建物破壞引致人員傷亡分析流程，並產製相關圖資。

二、大規模地震地動情境模擬

本研究透過專家諮詢會議方式討論大臺北地區之高潛勢地震源與合宜之地動預估方法，並建立大臺北地區高潛勢地震源之地動分布圖資與產製網格化圖資供後續災害潛勢評估。

2.1 影響大臺北地區之災害性地震

回顧歷史地震發生後造成大臺北地區的事件，依據地震距離大臺北地區的遠近及震源深度，可以分類為三種不同的地震震源：

1. 遠處的大規模地震：如 1986 年 11 月 15 日規模 6.7 的花蓮地震，造成中和市華陽市場倒塌災害；1999 年 9 月 21 日規模 7.3 的集集地震，造成東星大樓、博士的家倒塌災害；2002 年 3 月 31 日規模 6.8 的花蓮地震，造成 101 大樓吊車墜落砸死四人。
2. 盆地直下的深源地震：如 1909 年 4 月 15 日規模 7.3，深度 80 公里的臺北地震，造成 9 死 51 傷及房屋全倒 122 棟、半倒 1050 棟。
3. 盆地直下的淺源地震：歷史記載顯示康熙 33 年(1694 年) 4 月台北地區曾發生大規模地震，造成盆地下陷成大湖(林朝榮，1957)；地震學者估計其規模為 7.0 (Hsu, 1983)，地質學者認為其與山腳斷層的正斷層活動有關(李錫堤，1995)。

依據歷史災害紀錄，遠處的大規模地震或是盆地直下的深源地震，皆僅造成局部災情；但是倘若發生盆地直下的淺源地震，則可能造成全面性地破壞，對大臺北地區之衝擊最大。因此本年度之震源設定，初步以盆地淺部直下型地震事件為地震動情境模擬為主，未來再深入探討其它可能模擬震源。

2.2 地動分析模式

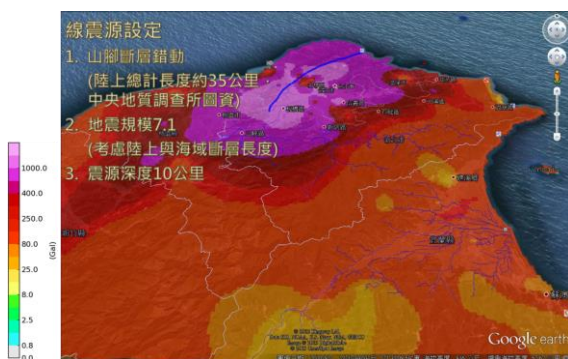
本研究地動預估使用之網格為 500x500 公尺，可明顯呈現大臺北地區(涵蓋台北市、新北市、基隆市地區)之地動各場址之間差異，空間解析相較於鄉鎮區更細緻且易於資料彙整與提升評估效能，以及能夠涵蓋較多地動值預估。本項工作挑選合適之地動預估模式進行特定震源之地動模擬，初步以 PGA、PGV 以及 PGD 為主要情境模擬重點；PGA 地動模擬選取 Jean and Loh (2001)、張毓文 (2002)與 Jean et al. (2006)之研

究成果，PGV 地動模擬選取章順強 (2009)之研究成果，PGD 地動模擬選取劉坤松 (1999)、Liu and Tsai (2005)之研究成果。

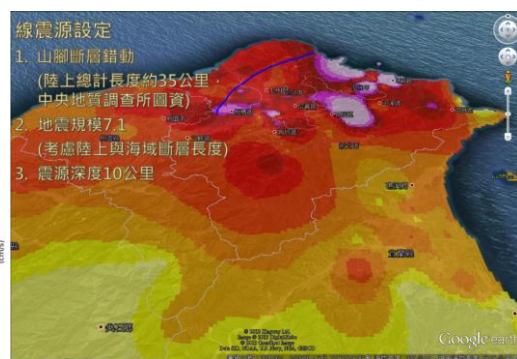
2.3 特定震源地動情境模擬

大臺北地區威脅最大的可能震源為山腳斷層，因此，地動情境設定為山腳斷層三種不同錯動導致的地震規模，第一類地動情境為全段錯動導致地震矩規模 7.1(=芮氏規模 6.8)的地震，第二類地動情境為山腳斷層北段錯動導致地震矩規模 6.9(=芮氏規模 6.7)的地震，以及第三類地動情境為山腳斷層南段錯動導致地震矩規模 6.3(=芮氏規模 6.2)的地震，為簡化地震源的幾何分布，本項工作初步以線斷層型態為地震源的幾何形狀，且設定震源深度為 10 公里。

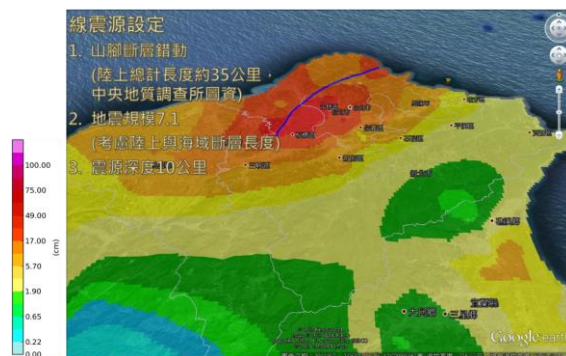
本次報告摘錄山腳斷層全段錯動模擬結果加以說明，圖 1(a)為 PGA 地動模擬結果，大臺北地區鄰近斷層之 PGA 值超過 400gal (=cm/sec²)，超過中央氣象局定義之七級震度，即人的感受達到搖晃劇烈以致無法依意志行動，部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面，山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞等情形；遠離斷層線區域亦有六級震度區域(250~400 gal)。圖 1(b)為 PGV 地動模擬結果，最大值出現在大臺北地區西南、東南及東北區域，即板橋、石碇、基隆等區域。圖 1(c)為 PGD 地動模擬結果，顯示斷層沿線區域之 PGD 出現較大值，其中以板橋、樹林等區域之 PGD 為最大。



(a)PGA分布圖



(b)PGV分布圖



(c)PGD分布圖

圖 1、山腳斷層全段錯動模擬結果

三、大臺北地區土壤液化潛能分析

3.1 大臺北地區人文及地質環境概述

大臺北地區包含臺北市、新北市、基隆市三個行政區，人口達 700 萬人，約佔我國人口 30%，人口聚集區域以臺北盆地為主，並擴及周邊山區及臺地。臺北盆地主要的河流為淡水河水系，淡水河由基隆河、新店溪、大漢溪等支流匯集成，具有透水性良好的含水層，地下水蘊藏豐富。地質條件以第三紀沉積岩為基盤，上覆第四紀(Quaternary)沉積層。第四紀沉積層由地表而下依序為松山層、景美層及新莊層，松山層表土層為黃棕色黏土，其下分為 6 個次層，由砂土層及黏土層交互形成(洪如江，1966)，厚度約 20m 至 100m；不過由於沉積過程不同，土層分布隨著流域不同有些差異，各次層並非均勻分布於整個盆地。景美層主要由黃棕色礫石層所組成，厚度約為 20m 至 50m。新莊層主要由青灰色礫石層、砂與泥之互層所組成，厚度在 100m 以上(李志剛及秦中天，1998)。

3.2 大臺北地區土壤液化分析

經由國內外相關研究之回顧與盤點，考量分析尺度及基本資料細緻程度，建立土壤液化之初步分析與詳細分析兩種評估方法：

1. 土壤液化敏感性初步分析法：對於大臺北地區(臺北市、新北市及基隆市)廣大地區，在尚未取得工程鑽孔資料之前，參考 HAZUS 方法，使用地質圖、數值地形資料、水系分布資料，初步評估土壤液化敏感性。
2. 土壤液化潛能詳細分析法：對於液化敏感性較高的臺北盆地，採用我國耐震設計規範之建議方法，及中央地質調查所提供之臺北都會區三維工程鑽孔資料，結合特定震源之地表最大加速度(PGA)分布值，詳細分析之土壤液化潛能。

3.3.1 大臺北地區土壤液化敏感性分析

參考 HAZUS 建議之方法，分析大臺北土壤液化敏感性：

1. 蒐集大臺北地區之地質圖(25 萬分之一)及水系圖，將圖層彙入地理資訊系統；為利於後續分析及展示，將分析區域以 500m×500m 網格呈現。
2. 根據表 3.1 之液化敏感性分類表(Youd and Perkins, 1978)，河道經過地區之現代地盤屬於極高土壤液化敏感性；因此將淡水河、基隆河、新店溪、大漢溪主河道區域所經過之網格設定為極高液化敏感區。
3. 臺北盆地大部分地區為沖積平原(Alluvial Plain)，屬土壤液化中度敏感性，因此將地質圖之沖積層所在網格設定為土壤中度液化敏感區。
4. 其他地區則為山坡地或岩盤，液化可能性低，將其設定為低液化敏感區，並據此產製大臺北地區土壤液化敏感圖如圖 2。



圖 2、大臺北地區土壤液化敏感圖

3.3.2 臺北盆地土壤液化潛能分析

本研究以三種特定震源(山腳斷層全段、北段、南段錯動)，地震規模分別為 7.1、6.9、6.3 之震源參數進行地動模擬，並以 500m×500m 之網格呈現 PGA 分布情形。圖 3(a)為規模 7.1 地震之 PGA 分布圖，圖中灰色格狀區域為臺北盆地範圍，可看出盆地幾乎所有地區之 PGA 皆在 400gal(如圖棕色區域) 以上，即達七級震度以上，大約一半區域之 PGA 達 600gal 至 800gal (如圖粉紅色區域)，甚至局部地區之 PGA 超過 800gal(如圖紅色區域)，為非常極端之地震情境。

土壤液化分析採用我國建築耐震設計規範建議之土壤液化潛能評估方法(如圖 3.5)，以 100m×100m 網格為單元，結合對應格點之網格化土壤參數與 PGA 分布值，計算各格點上之液化潛能指數 P_L 值，如(1)式。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(z) dz \quad (1)$$

其中， $F = 1 - F_L$ ，當 $F_L \leq 1.0$

$F = 0$ ，當 $F_L > 1.0$

$W(z) = 10 - 0.5z$

F_L 為抗液化安全係數

z 為距地表之深度，單位為公尺。

Iwasaki 等人(1982)分析過去6次地震案例，綜合64個液化區域和23個非液化區域的資料，發現 $P_L=15$ 為大部分液化與非液化工址的主要分界線，並提出液化嚴重程度之分級方式：

$P_L = 0$ ：沒有液化或極少液化；液化風險(Liquefaction Risk)非常低。

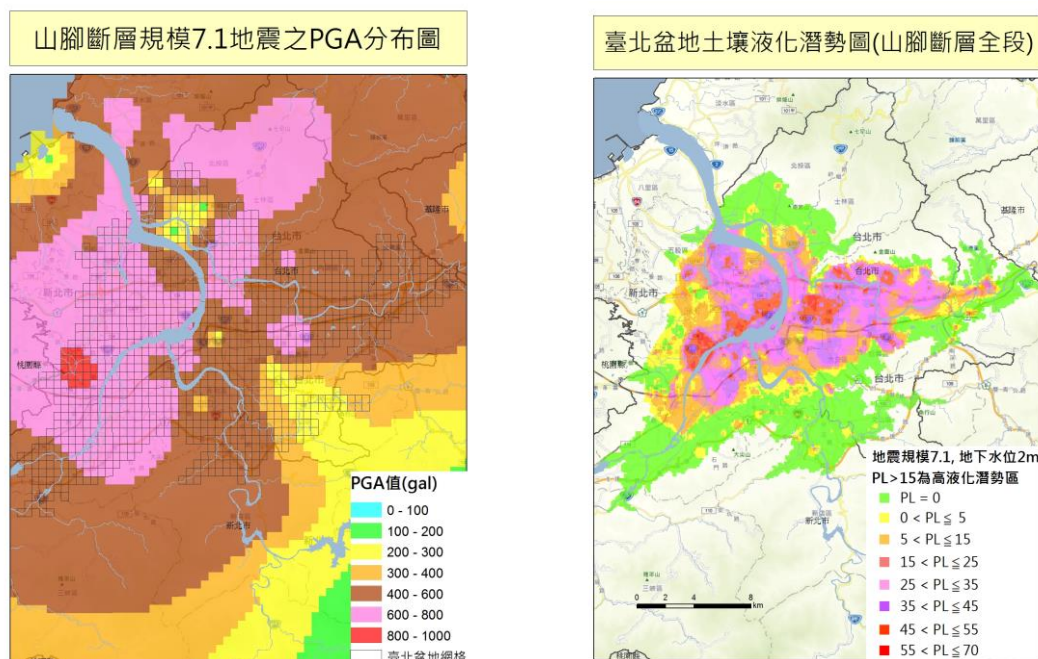
$0 < P_L < 5$ ：輕微液化；液化風險低。

$5 \leq P_L < 15$ ：中等液化；液化風險高。深層可能液化，但地表沉陷不明顯。

$P_L > 15$ ：嚴重液化；液化風險非常高。地表可能出現明顯液化表徵，如噴砂或顯著沉陷。

此外，根據水利署民國 98 年之地下水位觀測資料(中央地質調查所，2011)，臺北盆地中心區域之地下水位大致在地下 2m 至 3m 之間，因此分析地下水位 0m、1m、2m、3m 之情況，探討地下水位高低對土壤液化潛能之影響。

圖 3 為地震規模 7.1、地下水位 2m 之土壤液化潛勢圖，由於整個臺北盆地之 PGA 幾乎都大於 400gal，在如此大的地震力作用下，盆地中心區域約 40% 面積皆為高液化潛勢區(P_L 值大於 15)，包含台北市士林區、大同區、萬華區、中山區、中正區、大安區、松山區、信義區、內湖區、南港區及新北市三重區、蘆洲區、新莊區、板橋區、永和區共 15 個行政區，必須特別注意土壤液化對於結構物及重要設施之影響。



(a) PGA 分布圖

(b)地下水位 2m 之土壤液化潛勢圖

圖 3、地震規模 7.1 之 PGA 分布圖及土壤液化潛勢圖

四、建物損壞評估

依據大臺北地區大規模地震地動情境，推估各結構型態建物的損害數量，建立大臺北地區之網格化建物災損分布圖。

4.1 建物基本資料及災損評估流程建置

依據大臺北地區山腳斷層全段錯動(規模 7.1)模擬結果，並選取最大加速度(PGA)模式預估值為地動分布圖層，推估一般建物的損害數量，產製大臺北地區網格化建物災損分布圖層。

4.1.1 建物基本資料庫建置

目前已取得台北市、新北市及基隆市的房屋稅籍資料，並整合為同一格式，依建物構造類別、樓層數，概分 15 種模型建物，並依建物建造年代、耐震設計等級，分為高耐震設計(H)、中耐震設計(M)、低耐震設計(L)、無耐震設計(P)四個等級。一旦建物的模型建物及耐震設計等級確定後，即可建立各類建物的能耐曲線。此外為配合地動分布圖層，採用相同的網格(500m x 500m)建立網格化建物分布圖層。

4.1.2 建物災損評估流程

ATC-40 將結構物的耐震需求視為輸入，進而求得結構物耐震性能為其輸出。此方法較適合用於新建結構物之耐震設計，較不適用於既有老舊建築物的耐震能力評估。為避免 ATC-40 評估法中所需反覆迭代的複雜運算，本研究建立較為直接且易於接受的建物災損評估流程。說明如下：

1. 由地動分布圖層決定網格的 PGA 值，由耐震設計規範查出網格的工址短週期與一秒週期設計水平譜加速度係數 S_{DS} 與 S_{D1} 。
2. 建築物阻尼比為 5%，短週期與長週期結構之阻尼修正係數 $B_s=1$ ， $B_1=1$ 。阻尼比異於 5% 阻尼，由耐震設計規範查出 B_s 與 B_1 值。
3. 耐震設計規範中，

$$\text{一般工址之短週期與中週期的分界 } T_0 = \frac{S_{D1} B_s}{S_{DS} B1} \quad (2)$$

$$\text{臺北盆地之短週期與中週期的分界 } T_0 = \frac{T_0^D B_s}{B1} \quad (3)$$

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{D_y}{A_y g}} \quad (4)$$

4. 將 PGA、 S_{DS} 、 S_{D1} 、 B_s 、 B_1 、 T_0 、 T_e 值代入容量譜之譜加速度(a_{pi})對應的 PGA 關係，決定出譜加速度(a_{pi})值
5. 利用譜加速度(a_{pi})與降服能耐 A_y 決定地震力折減係數 $F_u(R)$

$$F_u(R) = \frac{a_{pi}}{A_y} \quad (5)$$

再由地震力折減係數 $F_u(R)$ 決定韌性比 R_i

$$F_u(R) = \begin{cases} R_i & ; T_e \geq T_0 \\ A + (R_i - A) \times \frac{T_e - 0.6T_0}{0.4T_0} & ; 0.6T_0 \leq T_e < T_0 \\ A & ; 0.2T_0 \leq T_e < 0.6T_0 \\ A + (A - 1) \times \frac{T_e - 0.2T_0}{0.2T_0} & ; T_e \leq 0.2T_0 \end{cases} \rightarrow F_u(R) = R_i \quad (6)$$

$$\text{其中 } A = \sqrt{[1 + \alpha(R_i - 1)][2R_i - 1 - \alpha(R_i - 1)]} \quad (7)$$

6. 由韌性比 R_i 決定出譜位移 (d_{pi}) 值

$$R_i = \frac{d_{pi}}{D_y} \quad (8)$$

7. 參考 TELES 之做法，將結構之損壞狀態訂為四階段，分別為輕微損壞、中度損壞、嚴重損壞與完全損壞，可以決定結構物發生某種損害程度的機率。

4.2 大臺北地區建物災損評估

1. 大臺北地區

本研究依據大臺北地區的山腳斷層震源模擬結果，並選取最大加速度(PGA)模式預估值為地動分布圖層，建立大臺北地區網格化建物災損分布圖(如圖 4)，完全損壞有 27,329 棟、嚴重損壞有 41,409 棟、中度損壞有 77,999 棟、輕微損壞有 95,079 棟。從次圖(a)完全損壞分布圖中，基隆市災損並不嚴重，其原因是基隆市地區的地動分布並不強烈；而從次圖(d)輕微損壞分布圖中，建物輕微損壞分布圖與網格化人口分布圖的分布趨勢，則有相當的一致性。

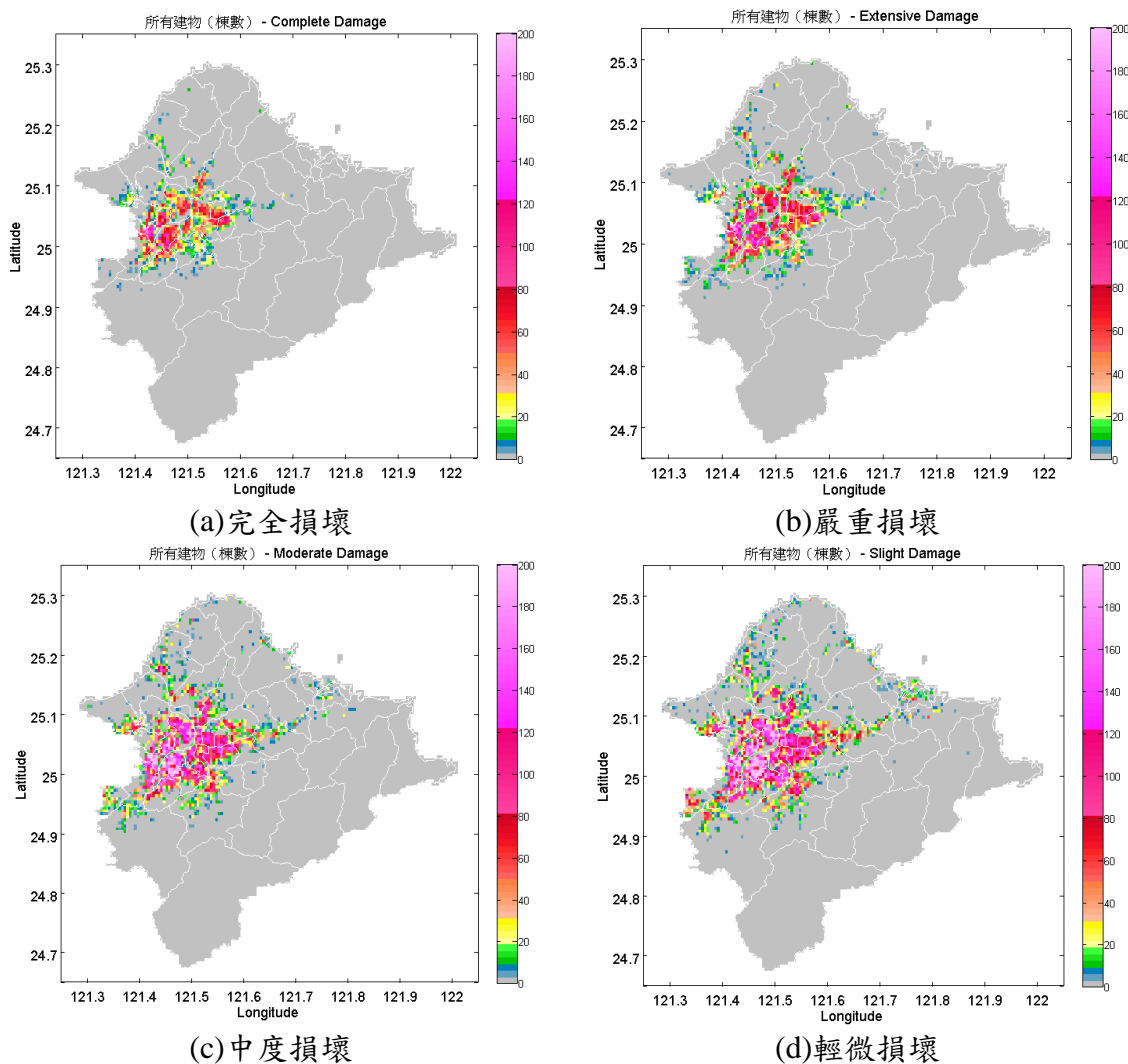


圖 4、大臺北地區建物損壞分布圖

2. 板橋示範區

以板橋區為示範區，進一步說明建物災損評估。板橋示範區位於強地動區內，因此災情嚴重，根據分析結果，板橋區所有建物完全損壞有 3894 棟，約占大臺北地區完全損壞棟數的 14%。此外，民國 62 年以前建造的無耐震設計建物，在強烈地震作用下相對較為脆弱，圖 5 是板橋示範區無耐震設計建物災損分布圖，完全損壞有 768 棟、嚴重損壞有 969 棟、中度損壞有 1627 棟、輕微損壞有 1793 棟。可以看出無耐震設計建物其耐震能力不足，一旦發生大地震，可能造成大量損壞，並導致大量的人員傷亡。

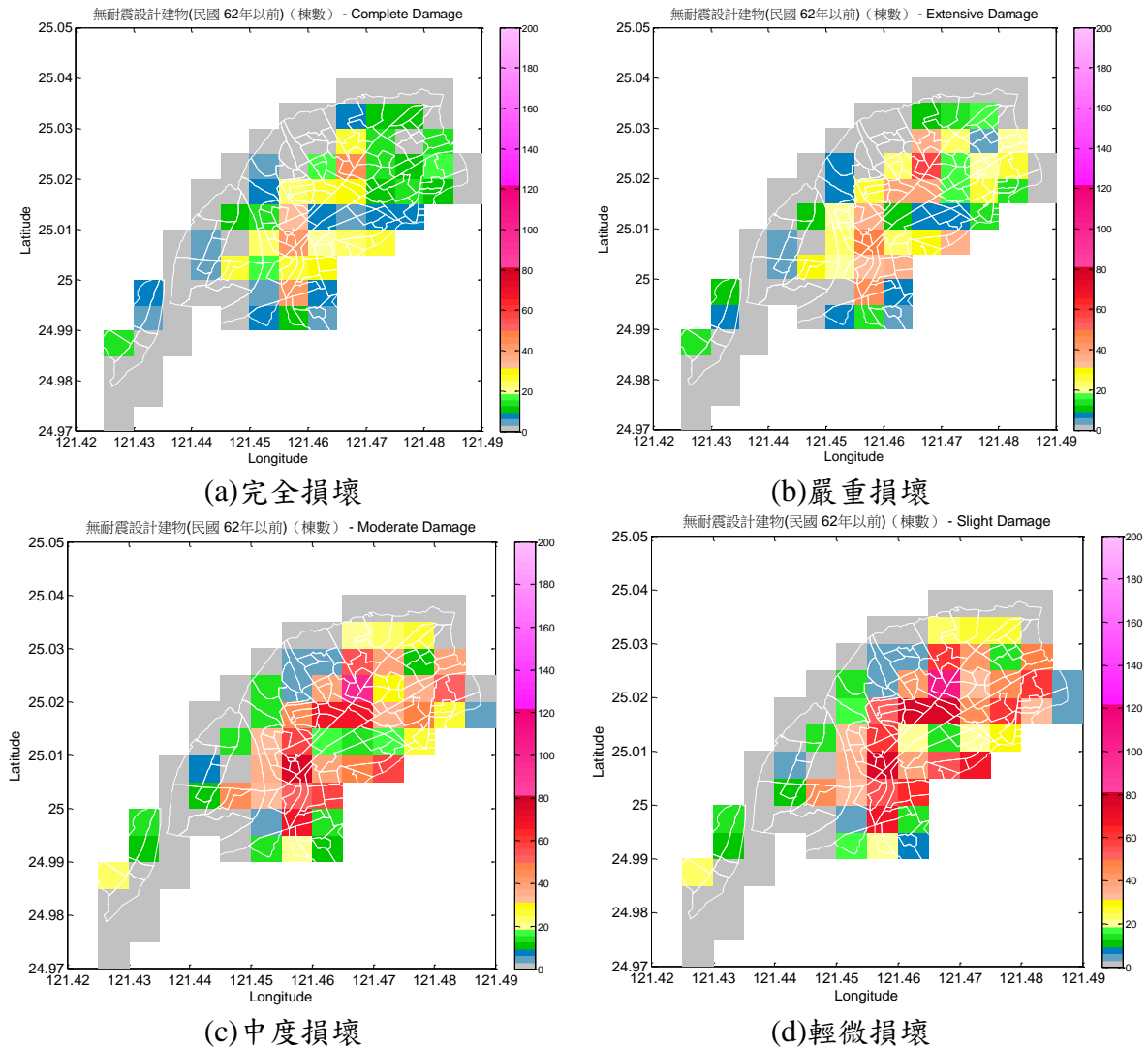


圖5、大臺北地區建物損壞分布圖

五、人員受災情境分析

人們平時上班、上學或夜間休息，常停留在建物內；當大規模地震來襲時，建物破壞往往是人員傷亡的主要原因，因此本研究主要進行人口數量在空間上的分布處理，透過地理資訊系統以圖層的方式呈現人口在分析區域內的分布情形。處理方式分別考慮建物基地面積及樓地板面積，將行政區內之人口平均分配至建物存在地區，二者之差異在於透過基地面積處理，可初步判別室內及戶外的人口活動情形，但對高樓

建築而言，同一基地面積有許多樓層，因而無法反映出人口於多樓層分布之特性；以樓地板面積處理，則可反映出人口於多樓層分布之特性，本次報告以樓地板面積人口密度處理方法進行說明。

5.1 網格化人口分布資料處理

本研究透過樓地板面積資訊，加入多樓層之空間概念，將常住人口資料進行處理。並且考慮不同時段之人口流動，建立人口動態簡易評估模式。此外將室內人口依據建物用途進行細分，提供人口活動在不同環境屬性的篩選呈現。資料處理精度上，採用 500m x 500m 網格方式呈現人口分布情形，研究程序說明如下。

1. 動態人口資料處理

- (1)將行政院主計處 99 年人口及住宅普查之常住人口資料處理為鄉鎮市區單元的活動人口資料。
 - (2)依據本研究建置的人口動態簡易評估模式，評估出居家、上班通勤、上班及下班通勤時段下的室內人口數。
 - (3)依據本研究建置的人口動態簡易評估模式，將 4 個不同時段的室內人口依建物用途區分出一般住宅人口及其他建物人口，總計需完成 12 種人口分析。
2. 行政單元人口密度：分別推算出每個行政區的人口密度，包含 4 個不同時段下的室內人口密度、一般住宅人口密度以及其他建物人口密度。
 3. 網格樓地板面積分析：結合內政部房屋稅籍資料庫，篩選出網格單元內，各行政區界的建物樓地板面積，並分類出一般住宅樓地板面積及其他建物樓地板面積。
 4. 網格人口評估：將每個網格中，同一行政區界裡的人口密度及樓地板面積對應後加總，即可得每個網格的人口數。最後可得到一日 24 小時內 4 個不同時段，每各時段的室內人口分布圖，或是依據建物用途，可得到一日 4 個不同時段，每個時段的一般住宅人口分布圖及其他建物人口分布圖。

以大臺北地區做為研究成果示範區域，進行樓地板面積人口密度分區處理，在一天之內，居家時段、上班通勤時段、上班時段、下班通勤時段之人口動態的地理空間分布情形如圖 6。可看出居家時段之室內人口總數約為 709 萬為最多，上班時段之室內人口總數約為 670 萬次之，上班通勤及下班通勤之室內人口數則較少，各約為 603 萬及 565 萬；可見上班及下班通勤時段，人們正在戶外使用交通運輸工具，待在室內的人口較少。

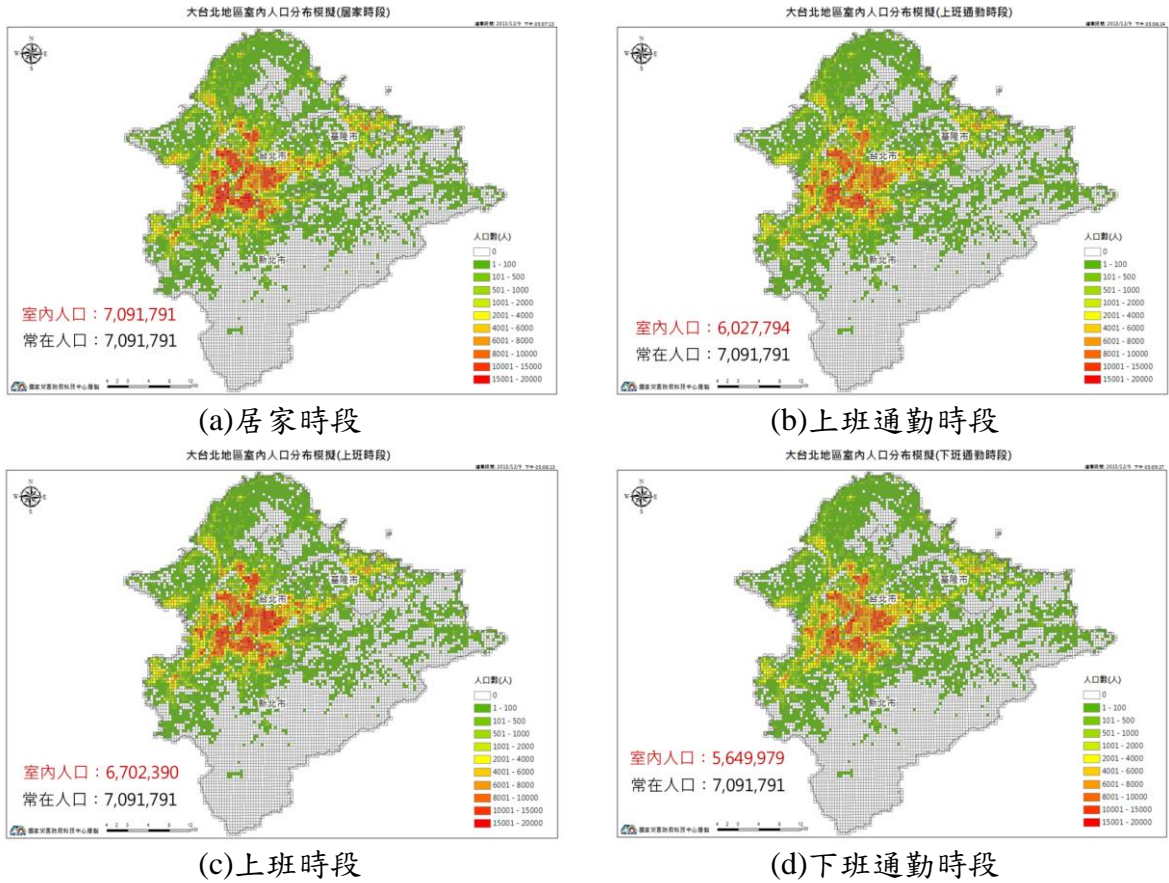


圖 6、大臺北地區不同時段室內人口分布(樓地板面積密度分區)

5.2 建物破壞引致人員受災分布評估

從九二一大地震的人員傷亡統計分析資料發現，有近八成的致死率發生在居家，而造成人員死亡的主要因為房屋建築的倒塌破壞，因此建物毀損引致人員傷亡，為震後人口受災影響首要考量的要項。

本研究主要分析因建物損害所引致的受災人口分布。其分析方法基於人口動態分布評估結果，結合第四章之建物損害評估結果與應用台灣地震損失評估系統(TELES)的傷亡率參數，建置震後人口的受災評估模式。資料處理則以內政部房屋稅籍資料庫建立自動化分析產出，評估項目包含人口密度評估及震後受災人口術評估，最後再進行網格化處理。

透過網格圖層呈現一日各時段下，人員因建物毀損致死的分布圖如圖 7。從模擬結果顯示，建物引致人員死亡的區域主要集中在台北市及新北市。綜整一日 4 個時段單一網格的模擬結果顯示，台北市信義區皆出現較高的人員死亡數，人員死亡模擬最大值則發生在上班時段(9 時~17 時)，符合該區域屬人潮集中區的商辦特性；而新北市中出現較高的人員死亡數則在板橋區，人員死亡模擬最大值則發生居家時段(22 時~6 時)，同樣符合新北市中人口居住密集區的特性。

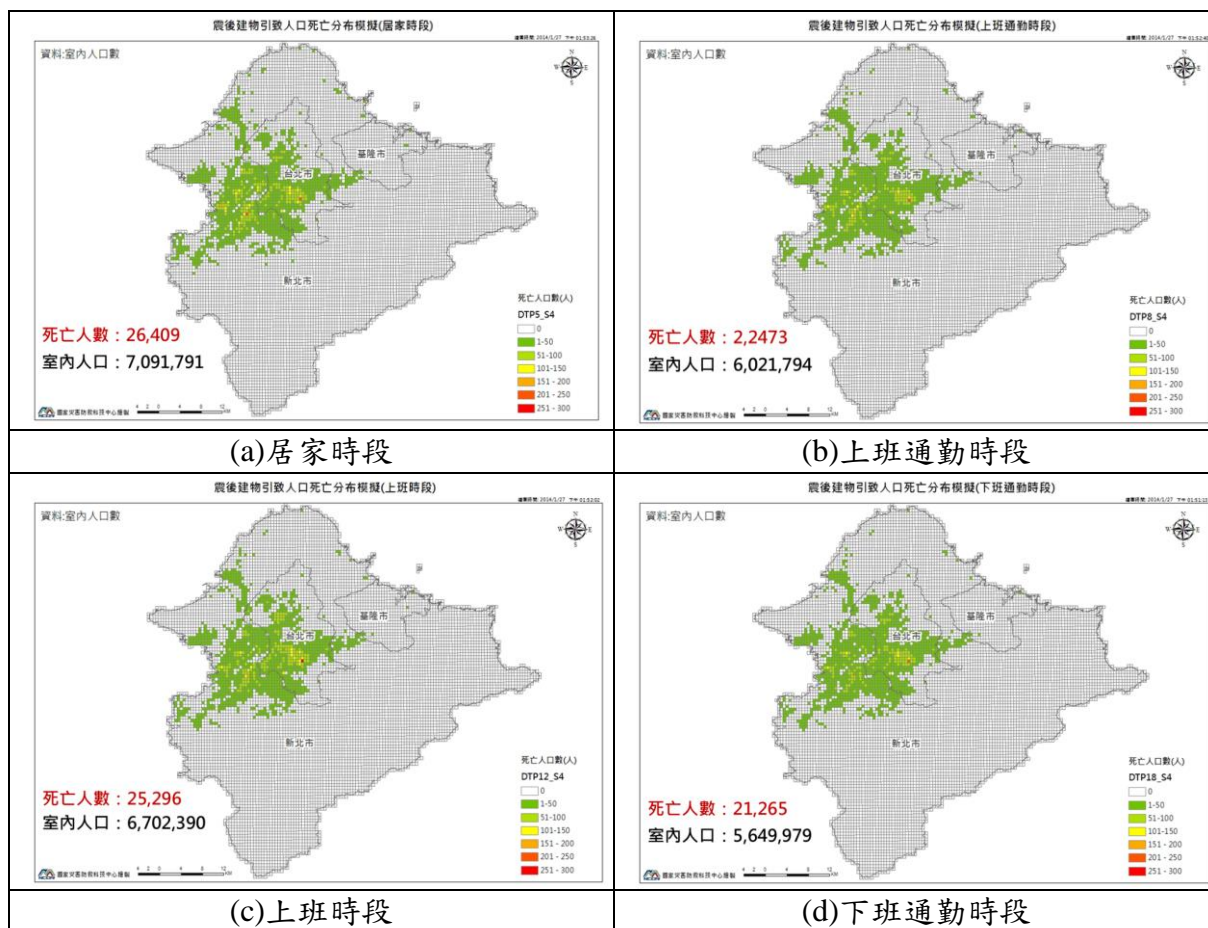


圖 7、震後建物毀損引致人員死亡分布模擬

四、結論與建議

本報告主要評估大臺北地區之高潛勢地震源與挑選合宜之地動預估方法，並計算大臺北地區高潛勢地震源之地動分布圖資，結合網格化工程鑽孔資料進行土壤液化評估；並且建立建物與人員的災損評估模式，整合地動模擬與災害潛勢評估技術與成果。目前本研究利用模型建物作建物損壞機率的分析，其中應用TELES的部份建物模式與參數，未來希望能夠召開學者專家座談會進行討論與交換意見，尋求外部協商合作的機會，提升建物損害評估技術、模式參數的精確度。此外，未來各地區人口資訊若能因應時間、所在環境來給予細緻的人口數據資訊，並且透過人口分布圖提供空間性資訊，同時在資料格式上可配合不同分區邊界來建置人口資料，是為較符合現今人口資料運用的期待。

參考文獻

1. 中央防災會議事務局(2007)，中央防災會議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第31回)，中部圏・近畿圏の内地地震に係る被害想定結果について(案)～基本被害～，P.50。
2. 內政部營建署(2011)，建築物耐震設計規範及解說。
3. 日本道路協會(1996)，道路橋示方書・同解説—V耐震設計編。
4. 行政院主計處(2012)，99年人口及住宅普查總報告提要分析，台北市。

5. 李崇正、熊大綱(2001) ,「台北盆地土壤液化潛能圖之製作研究(II)」, 國家地震工程研究中心報告, NCREE-01-007。
6. 林啟文、盧詩丁、石同生、陳致言、林燕慧 (2007), 臺灣北部的活動斷層-兩萬五千分之一活動斷層條帶說明書, 經濟部中央地質調查所。
7. 林朝榮 (1957) , 台灣地形, 台灣省文獻委員會, 共 424 頁。
8. 張順強 (2009) ,「場址特性分析及最大速度衰減模式校正」, 國立中央大學碩士論文。
9. 張毓文 (2002) ,「場址特性分析及最大加速度衰減模式校正」, 國立中央大學碩士論文。
10. 黃俊鴻(2003), 「土壤液化風險評估之研究」, 國科會專題研究計畫報告, NSC91-2625-Z-008-010。
11. 新北市政府消防局 (2012), 「新北市地震災損評估系統期末報告」, 新北市政府 101 年度委託專業服務案。
12. 經濟部中央地質調查所(2011), 「三維都市防災地質資訊整合分析與建置(2/4) 」, 經濟部中央地質調查所 100 年度委辦計畫。
13. 葉錦勳(2003), 「台灣地震損失評估系統-TELES」, 國家地震工程研究中心, NCREE-03-002。
14. 葉錦勳(2006), 「地震危害度分析與震災境況模擬技術整合研究 (I)」, 國家地震工程研究中心, NCREE-06-015。
15. 葉錦勳(2007), 「地震危害度分析與震災境況模擬技術整合研究 (II)」, 國家地震工程研究中心, NCREE-07-040。
16. 劉坤松(1999), 「台灣地區強震地動衰減模式之研究」, 國立中央大學博士論文。
17. 蔡昇達(1999), 「地震災害風險評估及地震保險之風險管理」, 未出版之碩士論文, 國立中央大學。
18. Applied Technology Council (1996), “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings,” Vol. 1, Report No. SSC 96-01, Redwood city, CA, U.S.A.
19. Federal Emergency Management Agency (2013), Earthquake Model, Hazus–MH2.1 Technical Manual, Department of Homeland Security, USA.
20. Hsu, M. T. (1983), “Estimation of Earthquake Magnitudes and Seismic Intensities of Destructive Earthquakes in Ming and Ching eras,” Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 29, p. 1-18.
21. Iwasaki, T., Arakawa, T. and Tokida, K. (1982), “Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction during Earthquakes,” Proceedings of the Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Southampton, p. 925-939.
22. Jean, W. Y. and Loh C. H. (2001), “A Study on the Classification of Site Effects and its Application to the Seismic Hazard and Microzonation,” 10th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, SDEE’2001, Volume of Extended Abstracts, p. 82.

23. Jean, W. Y., Chang, Y. W., Wen, K. L. and Loh, C. H. (2006), "Early Estimation of Seismic Hazard for Strong Earthquakes in Taiwan," *Natural Hazards*, Vol. 37, p. 39-53.
24. Lee, C. T., Cheng, C. T., Liao, C. W. and Tsai, Y. B. (2001), "Site Classification of Taiwan Free-field Strong-Motion Stations," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 91, p. 1283-1297.
25. Lin, P. S. and Lee, C. T. (2008), "Ground-Motion Attenuation Relationships for Subduction-Zone Earthquakes in Northeastern Taiwan," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, p. 220-240.
26. Lin, P. S., Lee, C. T., Cheng, C. T. and Sung, C. H. (2011), "Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes in Taiwan," *Engineering Geology*, Vol. 121, p. 150-164.
27. Liu, K. S. and Tsai, Y. B. (2005), "Attenuation Relationships of Peak Ground Acceleration and Velocity for Crustal Earthquakes in Taiwan," *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 95, p. 1045-1058.
28. Risk Management Solution, Inc., (1997), *Earthquake Loss Estimation Method - HAZUS97 Technical Manual*, National Institute of Building Science, Washington, D. C.
29. Well, D. L. and Coppersmith, K. J. (1994), "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Area, and Surface Displacement," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 84, p. 974-1002.
30. Wu, Y. M., Shin, T. C. and Chang, C. H. (2001), "Near Real-Time Mapping of Peak Ground Acceleration and Peak Ground Velocity Following a Strong Earthquake," *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 91, p. 1218-1228.