

國 立 交 通 大 學

土木工程學系

碩士論文

應用模擬模型推算地震險之住宅建物損害率

A Simulation Model to Predict Harm Rate in Earthquake Insurance

研 究 生：周起輝

指 導 教 授：黃玉霖 博 士

中 華 民 國 九 十 五 年 九 月

應用模擬模型推算地震險之住宅建物損害率

A Simulation Model to Predict Harm Rate in Earthquake Insurance

研究 生：周起輝

Student : Chi-Hui Chou

指導教授：黃玉霖

Advisor : Yu-Lin Huang

國 立 交 通 大 學

土木工程學系

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Civil Engineering

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年九月

國立交通大學  
論文口試委員會審定書

本校 土木工程 學系碩士班 周起輝 君  
所提論文：應用模擬模型推算地震險之住宅建物損害率

A Simulation Model To Predict Harm Rate  
In Earthquake Insurance

合於碩士資格標準、業經本委員會評審認可。

口試委員：\_\_\_\_\_

孫仁豪  
王維志  
王淑芳  
黃玉鈞

指導教授：\_\_\_\_\_

系主任： 張良正 教授

中華民國 九十五 年 七月 十二 日

# 應用模擬模型推算地震險之住宅建物損害率

研究 生：周起輝

指 導 教 授：黃玉霖 博 士

國立交通大學土木工程學系（研究所）碩士班

## 摘要

地震災屬於發生頻率低但損失幅度大的災害，據中央氣象局統計，自西元 1900 年至 2002 年，台灣地區發生之災害性地震共有 94 件，其中以民國八十八年九月二十一號發生芮氏規模達 7.3 之集集大地震為近百年來損害最嚴重的地震，其對全台造成 51925 戶房屋全毀、54442 戶半毀，由此可見地震災害一旦發生不僅對個人在財產造成重大的損失亦對國家造成龐大的成本支出。

由於住宅是國民生活重心，若是遭受損毀將會對人民生活帶來影響，然而政府若是過度介入補救工程，會使國家稅收由非災區轉移到災區、非風險承擔者轉移到風險承擔者身上，造成其間的不公平發展，因此有效保障國民財產安全方法便是採用保險制度來分擔風險，雖然我國早在民國 61 年起便已開辦地震保險，但根據資料指出在集集地震災害中受保障的民眾仍不多，民國八十七年前投保地震保險戶數實際僅占約國內戶數的 0.2%，我國在集集地震後重新制訂住宅地震保險制度，其保險費用採用單一保費，有違背保險之公平原則，由此可以看出新制地震險在建築物損害率方面缺乏明確的合理化且透明化的過程。

本研究擬以採用集集地震建築物實際受損資料，透過線性回歸分析方式建立各分類建築物在不同地震強度下的易損曲線，此外再由地震危害度分析之各震區參數，模擬地震事件發生，藉由模擬產生的地震事件配合各類建築物之易損曲線推算出未來我國住宅類建築物面臨地震之損害率，以提供保險業者計算地震費率之參考，亦可提供我國國民評估自身住宅在面臨地震災害之風險程度作為換屋之參考。

關鍵詞：建築物損害率、建築物易損曲線、地震危害度分析

# **A Simulation Model to Predict Harm Rate in Earthquake Insurance**

Student : Chi-Hui Chou

Advisor : Yu-Lin Huang

Department of Civil Engineering  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

The frequency of earthquakes is low, but if earthquakes happen, it'll cause great damage. The most disastrous earthquake happening was on September 21, 1999 of which the scale was 7.3 degree in Richter magnitude. It made 51,925 houses totally collapse, and 54,442 houses half collapse. As a result, when the earthquake happens, it will do great damage not only on individual property but on national disbursement.

Buildings are the focuses of people's life, the destroy of those will have great influence on people's life. However, if the government interferes in reconstruction deeply, it will transfer the taxation of non-disaster area to disaster area, and so does the relationship between those who don't bear risks and those who bear risks. The result is unfair, so the effective way to protect people's property is to use insurance to bear risks. Although Taiwan has had earthquake insurance since 1972, the number of people who got amende wasn't large. Taiwan repaired the earthquake insurance of buildings, but the price of it was regular, which was unfair. The lack of accurate legitimacy and clearness reveals from this process.

This research collects the actual data from Chi-Chi earthquake, and build up the fragility curve of buildings in different earthquake intension by multiple regression analysis. Besides, simulate the happening of the earthquake from the parameter of Seismic Hazard Analysis of each earthquake section. By combining the simulation of earthquake with the fragility curve of all kinds of buildings, we can get the percent of damage when facing earthquakes to provide insurance companies to calculate the price of earthquake insurance. Also, it gives people the reference resources of changing houses when facing earthquakes.

Key Words : Building Harm Rate, Fragility Curve, Seismic Hazard Analysis

## 致謝

直至論文完成的這一刻，讓我感到讀研究所的時光就要過去了，在這段日子求學的日子裡，有太多人的幫助，才讓我順利完成學業，首先得感謝我的家人，感謝你們在我困頓時給與我精神上的支持，更感謝你們無私的付出，讓一個這樣年歲的成年人還能夠不顧家計地在外地求學，謝謝你們給我與學習與成長的機會，沒有你們的栽培，不會有今日的我。

在這兩年碩士生涯的求學時光裡，指導教授 黃玉霖老師以及王維志老師的用心指導，不僅讓我學習到作研究應有的態度與方法，也教導我為人處事的態度與原則，謝謝老師們的教導，在此至上深深的謝意。另外得感謝博士班的明聰學長與建名學長，謝謝你們的幫助與指導，使我能更順利的完成此論文。

這兩年來陪我一起生活的同窗好友們，謝謝你們的陪伴，讓這段日子原本應該苦悶的日子過得十分精彩且快樂，首先是與我同組的俊男與學弟們，感謝你們幫我處理許多大大小小的事情，讓我能更用心於學業上；接著是水田幫的六人組，老皮、姜辰、阿交、霉菌、老王和你們在一起的日子很快樂，從你們身上我也學習到很多，謝謝你們，最後得感謝的是同窗好友，阿抓、景翔、煥雲、志仁、汎儀、華偉、士評，謝謝大家。

這份論文能完成，最得感謝的是內政部建研所的陳先生，在我的研究生涯碰到最大的難關時，感謝你肯費神了解一位素未謀面的學子所面臨的問題，建議他可能的研究方向與提供他所需要的資料，當我要放棄這個領域的研究時，是你的扶持讓我再站起來，謝謝你。

## 目錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
圖目錄	VII
第1章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究問題	1
1.3 研究目的	2
1.4 研究方法	2
1.5 研究流程	3
1.6 研究架構	4
第2章 回顧地震保險現況	5
2.1 風險管理之意義	5
2.2 地震保險費用釐定	6
2.3 地震保險制度介紹	7
2.3.1 我國地震保險制度	7
2.3.2 日本地震保險制度 (JER)	10
2.3.3 美國加洲地震保險制度 (CEA)	12
2.4 地震保險制度相關文獻整理	13
第3章 地震災害風險評估	14
3.1 建築物易損曲線	14
3.1.1 非線性靜力分析法	14
3.1.2 非線性動力分析法	16
3.1.3 經驗分析法	18
3.1.4 易損曲線建立方法比較	18
3.2 地震危害度分析	18
3.2.1 PGA 等危害度曲線	23

3.3	國內地震災害評估相關文獻整理	26
3.4	小結	26
<b>第4章 易損曲線及地震模擬方法</b>		27
4.1	建物易損曲線建立方法	27
4.1.1	易損曲線建立流程	27
4.1.2	震災資料分類	28
4.1.3	各分區強地動參數推估	31
4.1.4	易損曲線型式	32
4.2	地震事件模擬	35
4.2.1	地震事件模擬限制	35
4.2.2	地震事件模擬流程圖	36
<b>第5章 各行政區建物損害率推算</b>		39
5.1	各類建築物線性回歸分析及易損曲線	39
5.1.1	線性回歸分析	39
5.1.2	易損曲線	47
5.2	地震事件模擬	52
5.3	建物損害率	54
5.3.1	建築物損害率推估式	54
<b>第6章 結論與建議</b>		62
6.1	結論	62
6.2	後續研究之建議	63
<b>參考文獻</b>		65
<b>附錄A-鄉鎮市形心經緯位置</b>		67
<b>附錄B-各震區參數表</b>		72
<b>附錄C-各主要測站強地動參數值</b>		73
<b>附錄D-南投縣、台中縣、台中市強地動參數值</b>		74

## 表目錄

表 2-1：我國舊制地震保險費率(以千元計) _____	8
表 2-2：樓高費率調整係數 _____	9
表 2-3：日本地震保險損害分類 _____	11
表 2-4：日本住宅地震保險分區費率(以千元計) _____	11
表 2-5：國內地震災害相關文獻整理表 _____	13
表 3-1 地震事件損失表 _____	23
表 3-2 國內地震災害評估相關文獻整理表 _____	26
表 4-1 各縣市全半倒統計表 _____	29
表 4-2：各區建物損害率 (RC 類建築物) _____	31
表 4-3：各區建物損害率 (RC 類建築物) _____	38
表 4-4：模擬地震參數表 _____	38
表 5-1：土造類建築物回歸分析表 _____	39
表 5-2：磚造類建築物回歸分析表 _____	40
表 5-3：RC 類建築物回歸分析表 _____	40
表 5-4：木造類建築物回歸分析表 _____	41
表 5-5：木造以外類建築物回歸分析表 _____	41
表 5-6：土造類 1975 年-1982 年及 1997 年-2000 年受損資料 _____	42
表 5-7：各類建築物平均值 ( $\mu$ ) 、標準差 ( $\sigma$ ) 表 _____	48
表 5-8：模擬地震詳細表 _____	52
表 5-9：地震事件損失表 _____	53
表 5-10：縣市代碼對照表 _____	54

## 圖目錄

圖 1-1 研究流程	3
圖 2-1：風險管理流程圖	5
圖 2-2：風險管理措施圖	6
圖 3-1：標準建築物能耐曲線示意圖	15
圖 3-2：標準需求反應譜示意圖	16
圖 3-3：非線性動力分析法流程圖	17
圖 3-4：鄉鎮形心分區圖	19
圖 3-5：台灣地區等 PGA 圖(Campbell'衰減公式)	25
圖 3-6：台灣地區等 PGA 圖(Kanai'衰減公式)	25
圖 4-1：易損曲線建立流程	28
圖 4-2：各類構造類別建築物全倒率	30
圖 4-3：Z- $\ln$ PGA 回歸分析示意圖	34
圖 4-4：易損曲線示意圖	35
圖 5-1：各類建築物回歸分析圖	43
圖 5-1 (續 1)	44
圖 5-1 (續 2)	45
圖 5-1 (續 3)	46
圖 5-1 (續 4)	47
圖 5-2：土造類建築物易損曲線（半倒）圖	49
圖 5-3：土造類建築物易損曲線（全倒）圖	49
圖 5-4：磚造類建築物易損曲線（半倒）圖	50
圖 5-5：磚造類建築物易損曲線（全倒）圖	50
圖 5-6：RC 造類建築物易損曲線（半倒）圖	51
圖 5-7：RC 造類建築物易損曲線（全倒）圖	51
圖 5-8：各縣市土造類建築物年平均損害圖	55
圖 5-8 (續 1)	55
圖 5-8 (續 2)	56
圖 5-9：各縣市磚造類建築物年平均損害圖	56
圖 5-9 (續 1)	57
圖 5-9 (續 2)	57
圖 5-9 (續 3)	58
圖 5-9 (續 4)	58
圖 5-10：各縣市 RC 類建築物年平均損害圖	59
圖 5-10 (續 1)	59
圖 5-10 (續 2)	60
圖 5-10 (續 3)	60



# 第1章 緒論

## 1.1 研究動機

民國 88 年 9 月 21 日發生規模 7.3 的集集大地震，對台灣地區人民之生命與財產造成重大損失，依據行政院經濟建設委員會災後重建與經濟發展之報告中指出，有 2,479 位民眾罹難，房屋全倒 51925 戶 半倒 5442 戶。我國地震保險在民國 61 年 1 月 1 日便以開辦，其費率是依照地區別、建物構造別及樓層不同制定，921 地震發生前，國民對地震保險的認識與投保率相較其他國家而言較為偏低，921 集集大地震發生後，政府委託美國風險管理顧問公司，重新評估與建立我國住宅地震風險模型，並規劃住宅地震保險制度於民國 91 年 4 月 1 日正式公告實施，保費為全國單一保費每年 1459 元，最高不得超過新台幣 120 萬元，雖然民眾可對建物超過保險範圍之金額與動產部份，向產物保險公司投保擴大型地震險，但費率比舊制地震保險費率來得高。地震保險理賠是當房屋判定全倒時可獲得理賠，而我國在 921 大地震有 42,934 半倒戶，由此可看出仍有許多在地震災下受到損失的民眾，無法在新制住宅地震保險制度的損害評估中無法受到保障。

地震風險的評估方式相較其他產險略為複雜，需整合的相關領域也較廣泛，我國國內在雖然在地震相關領域早有研究（如：地震危害度分析與建物易損曲線之建立），但實際因 921 地震所造成的損害分析卻鮮少有作深入的探討，然而上述的新制地震險是因 921 地震發生而重新制訂，但其在損害率建立上不明確，不論單一保費或擴大型地震費率其合理性便容易受到質疑，由此可見住宅地震保險費率是否合理，除了在保險精算方面與財務模型上需完整外，建物的損害率分析也是重要的因素之一。

## 1.2 研究問題

地震保險模型建構主要由地震危害度模組（Hazard Module）、地震事件推測模組（Stochastic Event Module）、損害模組（Vulnerability）與財務模組（Financial Module）等四大模組建立而成，在損害模組方面，雖透過機率分析方法求得在回歸期內，建物可能遭受到相關地動參數的超越機率，配合損害機率計算出總損害率，但卻沒有考量模擬某時段內各地區可能發生的地震規模與位置是否合理，另外由於實際受災資料不易取得，且受災單位會依各研究目的而有所差異，因此在推算損害率往往會產生以下問題：

- 無法反應地震發生的隨機性

雖然危害度分析可以求得回歸期內，建物可能遭受到相關地動參數的超越機率，用以作為建築物在耐震設計上的考量，以此超越機率為前提下來計算損害率，則無法反應地震的隨機性。

- 無法量化之行為以力學分析方式無法表達出

實務上而言同一類型之建築會受到施工品質的影響，若採力學分析方式則無法將此行為量化分析，僅能定義某同一類型的建物，當位移達到某一定量時，所對應之損害程度，以此理論值推估損害率則會與現實建物發生損害有所差異。

### 1.3 研究目的

為了解決前段所述之問題，本研究之研究目的，主要有下列兩點：

- 一、 在損害分析方面，本研究試圖透過 921 大地震實際受災戶之資料，以戶作單位作分析，探討不同類型與年別之住宅類建築物在 921 大地震地震時發生之損害率，建立建物易損曲線。
- 二、 為了考量地震隨機性的情形，本研究試想以電腦模擬的方式來產生數個地震代替以往在危害度分析上所使用的超越或然率方式，並配合上述之建物易損曲線推估各地區不同類型建物之損害率。

### 1.4 研究方法

本研究將透過以下的方法與步驟，來達到上述之研究目的：

1. 資料蒐集與整理

根據上述所需之評估方式，蒐集 921 地震受災住戶之建築物相關資料，並依本研究之分類將各類型建築物區分，

2. 統計分析

透過線性回歸分析方式，將各類建築物之損害率為依變數並以地動參數（最

大地表加速度 PGA) 為自變數，尋找其間之關聯性，此外再依據各地區不同規模之地震發生頻率，模擬地震之發生。

### 3. 模擬地震事件

根據模擬產生的地震配合地震衰減相關式推測某一地震事件之發生對其他各地區所產生之影響，如此便可以配合建物易損曲線求得各類型建物在不同地區之損害率。

## 1.5 研究流程

本研究之研究流程將以圖 1-1 所示進行。在了解研究方向為「損害率」之後，便開始整理有關地震保險方面與地震危害度分析的相關文獻，以瞭解國內地震保險目前在實施的概況，接著針對目前地震保險所缺乏及不足之處，將研究目的及範圍鎖定在用實際受災資料來建立各類建物易損曲線來加強計算建築物損害與地動強度間的相關性，與透過模擬地震事件的方式來表達地震危害度分析時地震發生的隨機性，以建立分區各類住宅型地震之損害率。

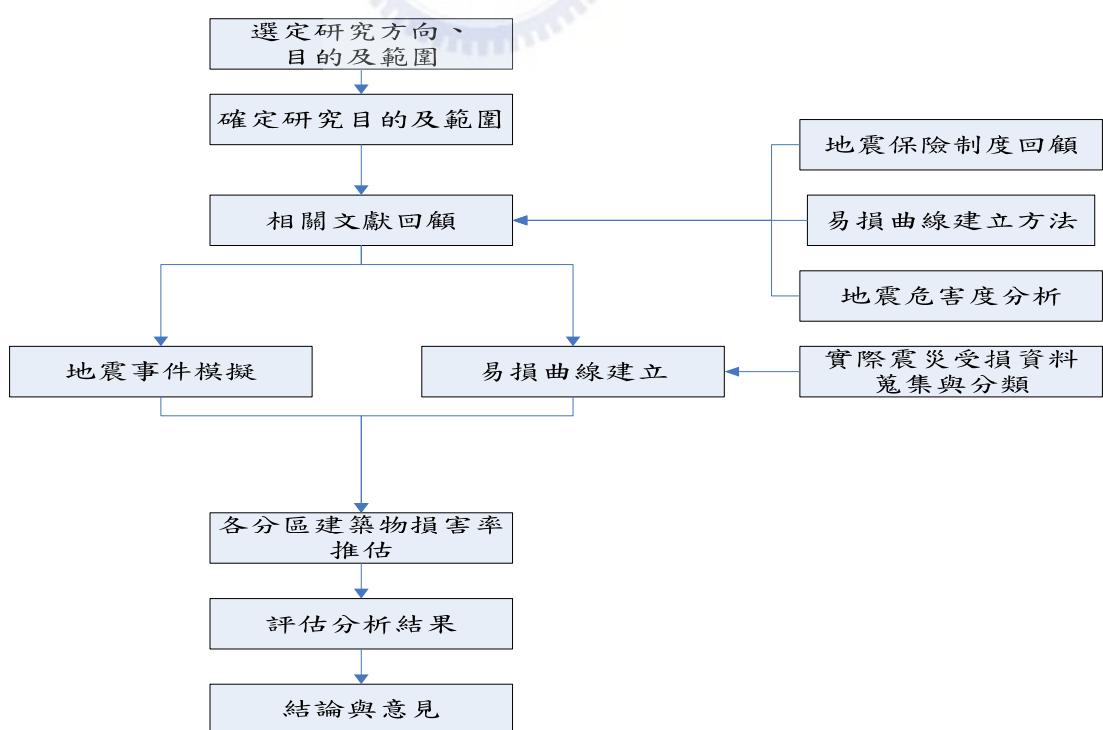


圖 1-1 研究流程

## 1.6 研究架構

本研究論文共分為章，各章內容敘述如下：

### 第一章 緒論

說明本研究之研究動機、目的、方法與流程。

### 第二章 回顧地震保險制定與現況

回顧風險與保險相關之文獻以了解其意義並介紹國內外住宅地震險現況，比較我國地震保險制度與國外國家之差異。

### 第三章 地震災害風險評估

回顧地震災害於風險評估所需採用的方法，主要有建物易損曲線與地震危害度分析，說明往後本研究在建立住宅地震損害率，所需考量之模式與其中相關參數。

### 第四章 易損曲線及地震模擬方法

本章分為兩大部份，首先說明研究中易損曲線建立之方法，並採用 921 地震住宅類建築物受損資料，將其分類計算其損害率以配合各分區單位之強地動參數值建立後續之建築物易損曲線，此外再依據前人之地震危害度分析方面研究，考量所需之相關參數，建立地震模擬流程，以產生後續研究中所需之地震模擬事件。

### 第五章 各行政區建物損害率推算

首先建立出各類住宅建築物易損曲線與模擬地震事件，運用統計方式求得台灣各行政分區之類住宅地震損害率。

### 第六章 結論與建議

本章針對本研究之結果作一總結，並提出在本研究後續可發展的研究方向以供後續研究做參考。

## 第2章 回顧地震保險現況

本章主要回顧的文獻有兩大方面之分：1.風險管理與保險的意義、2.國內外地震保險現況，首先由風險管理與保險的意義導入，說明面臨不可預測之危害時所採用的處理方法，接著介紹國內外在地震保險方面的現況，並了解國外一些主要國家在地震災保險所採用的費率及制度等，來比較我國在地震保險方面與其他國家不同之處。

### 2.1 風險管理之意義

風險管理是指當面臨風險時，能夠運用管理技術所為的處理方法。狹義的風險管理乃是運用各種常識性或創意性的各種系統化措施，來達到預防損失、減輕損失及彌補損失的目的。因此，狹義的風險管理之定義為「藉著事前對風險的鑑定、分析、控制、理財等措施，以最有效率的成本，將各種風險事故發生前、發生時及發生後所產生的經濟上及非經濟上不良影響，降低到最低的程度」。

風險管理最重要的目標，是在面對任何風險發生時，能事先透過各種方式，以最低的代價來達成控制風險最大的效益，藉此減輕來自直接及間接性的損失負擔。同時，亦可透過事後彌補的各種方式，將財務或經濟損失的影響，降低到最低程度。風險之分析即在評估各種風險事故一旦發生時，其可能遭受的損失範圍，其主要衡量有兩個要素中，其一就是要先考慮地震可能造成的損失，以地震而言所造成的財產損失可分為直接損失（如：地震中建物倒蹋或家財損毀的總值）或與間接損失（如：因工廠建物倒塌使此一時間內無法營運的損失），在本文中僅探討住宅方面之直接損失。其二要確認該災害發生的頻率與損失的程度，作為風險評估的基礎，如圖 2-1 所示：



圖 2-1：風險管理流程圖

在風險評估完後再選擇單一或同時採用多種風險管理措施。風險管理之措施，依其方式之不同，可分為兩大類：一是風險控制；二是風險理財。依其目的之不同，其應對的方法也有差異。如圖 2-2 所示：



## 2.2 地震保險費用釐定

一般而言，影響保險費用的因素在於保險金額與保險費率，保險的金額越高所需的保費也越高，而保險費率的結構中主要包括純保險費率與附加保費，以地震保險而言純保險費率也就是其所受到的風險程度，附加保險費率則是該保險公司的行政成本、稅捐與預期的利潤，簡易的保險費用公式如下式【2-1.1】及【2-1.2】所示：

$$\text{保費} = \text{損失成本} + \text{行政成本} + \text{預期利潤} \quad [2-1.1]$$

$$\text{保費} = \frac{\text{年平均損失}}{1 - \text{保險業務費用率} - \text{投資報酬率}} \quad [2-1.2]$$

由於各保險公司所要求之利潤與行政成本不盡相同，因此本文僅就而純保費亦即損失成本的部份作說明。[黃承斌，2003]一文中，透過地震災害損失風險模型計算出地震

災害對建築物造成的損失，在考慮保險公司保單條件後，推算出單一地震事件對保險公司造成的損失如下式【2-2】所示：

$$L_j = \sum_{allbuilding} \left\{ \frac{\int_{dedLoss}^{dedLoss+LMTI} (BLoss_i - dedLoss_i) f_i(Bloss_i) dBloss_i +}{LMTI[1 - F_i(DedLoss_i + LMTI)]} \right\} \quad 【2-2】$$

$L_j$	地震事件造成對建築物造成之總損失
$dedLoss_i$	自負額
$LMTI$	賠償之限額
$BLoss_i$	$i$ 建築物之損失
$f_i(BLoss_i)$	$i$ 建築物發生損失之機率
$F_i(dedLoss+LMTI)$	$i$ 建築物總損失小於 $(dedLoss+LMTI)$ 之機率

透過可以計算出每一個地震事件對保險公司造成的損失，再考慮每一地震事件發生的機率將所有損失進行加總，便可計算出純保費，如下式【2-3】所示：

$$\text{純保費} = \sum_n \lambda_n \times L_n \quad 【2-3】$$

地震災害發生與其他天然災害（如：風災、水災、旱災）的差異在於，地震災沒有特定的季節或時間點，因此專家學者在計算地震災害損失上是以地震發生的規模與頻率等特性作分區，計算上式地震所造成的損失時，需考量每個分區其最大可能發生的地震。

## 2.3 地震保險制度介紹

### 2.3.1 我國地震保險制度

#### 一、制度起源

我國地震保險自民國 61 年起開辦，以附加險方式附加在各種不同的保險商品（例如火災保險、工程保險、汽車保險等）中。由於火災保險對地震所引起之財物損失並不予以理賠，必須另外投保地震險，震災發生時財產始有保障。但因國內保險消費者大都為配合貸款銀行之要求，而投保長期火災保險保單，往往少有主動要求附加投保地震保險，根據產險公會統計資料指出民國八十七年全年投保火險件數達 120 萬 7,322 件但附加地震保險僅 13,022 件，而國內投保火險大多是銀行房貸客戶，約占國內住宅戶數 1/5，

換言之，投保地震保險戶數實際僅占國內戶數的 0.2%。以 921 大地震為例，其住宅損失約為新台幣 1,284 億元中，僅有 3,940 萬元獲得產險理賠。

自 921 大地震發生後，政府重新修訂我國地震保險制度，並委託美國風險管理顧問公司 EQECAT 評估建立我國住宅風險模型，同時並廢除實行三十餘年之住宅長期火險保單以配合新制度實施，台灣新制住宅地震保險制度於民國九十一年四月一日正式公告實施。

## 二、新舊制地震保險內容

### (一) 舊制住宅地震保險概述

- 1.承保標的：與火災保險相同，未區分住宅或商業用途之用
- 2.承保方式：以批單方式附加在火災保險單上。
- 3.承保範圍：地震保險係以附加批單方式承保，不可單獨出單。承保風險因地震震動與其引起之火災損失者，但不包括其他型態的風險事故。(如海嘯、洪水、爆炸等)。
- 4.保險費率：費率釐訂依據地區與住宅等級作為分級標準，在地區方面依其可能遭受地震侵害的情況分為四級，建築等級則依耐震程度分為三級，總計 12 等級，再依據建築物樓高別調整其費率係數。如下表 2-1 及表 2-2 所示

表 2-1：我國舊制地震保險費率(以千元計)

分區	地區	等級		
		A	B	C
第一區	新竹市、台中市、高雄市、桃園縣、新竹縣、台中縣、南投縣、彰化縣、高雄縣、屏東縣、澎湖縣、金門馬祖地區。	0.77	1.28	2.05
第二區	台北市、基隆市、台北縣、宜蘭縣、苗栗縣、雲林縣。	1.13	1.88	3.01
第三區	臺南市、台南縣、台東縣	1.67	2.69	4.10
第四區	嘉義市、嘉義縣、花蓮縣。	2.98	5.38	8.07

建物等級：

A 級：鋼架、外牆為金屬或石綿板造或磚造者，應自地面起以不超過一公尺為限。鋼

骨水泥或鋼筋水泥造，外牆為玻璃帷幕、無磚或石牆者。木造平房。

B 級：鋼骨水泥造或鋼筋水泥造，外牆全部或部份為磚、空心磚或石造。

C 級：除 A、B 級以外的其他建築物。

表 2-2：樓高費率調整係數

樓層別	5 樓以下	6 樓至 12 樓	13 樓以上
係數	1.0	1.1	1.2

## (二) 新制住宅地震保險概述

### 1. 現行制度概述：

現行制度將風險承擔機制規劃成為四個層次：第一層由產險業與中央再保險公司所組成共保組織，責任限額為新台幣二十億元；第二層由財團法人住宅地震保險基金承擔，責任限額為新台幣一百八十億元；第三層由中央再保險公司安排於國內再保險市場或資本市場分散，責任限額為新台幣二百億元；第四層由政府負擔，責任限額為新台幣一百億元，損失發生時由主管機關編列經費需求報請行政院循預算程序辦理。

### 2. 住宅地震保險共保組織：

「住宅地震保險共保及風險承擔機制實施辦法」第二條規定，由中央再保險公司設立地震再保險部門，專責辦理地震共保事宜並由財政部保險司、保險業及中再公司代表組織監理委員會監督執行，每年所需經費由保費中徵收固定百分比支應。地震保費收入，應全數納入共保組織，純保險費部份由中再公司依地震風險轉嫁機制個層次應分配之金額分配之，附加費用部份則依費率結構所定項目及比率分配。

### 3. 承保方式：

新式住宅火災及地震基本保險承保方式有兩種。一是基本保險方式承保：凡投保住宅火災保險者及自動含蓋地震保險，保險期為一年期。除現行的住宅火災及地震基本保險外，產險業者經核準修正或嗣後新開發之各種住宅綜合保險均應涵蓋地震基本保險；另一為以附加地震基本保險批單方式承保，凡原本已投保長期住宅火災保險者，得以批單方式加保地震基本保險，惟需逐年辦理之。

### 4. 承保金額及承保範圍：

新制住宅地震保險之保險金額以房屋重置成本（重置成本＝建築物本體總造價+裝潢總價）為計算基礎（坪數×單位坪數造價），每戶房屋最高保額以新台幣一百二十萬元為限，無自負額。被保房屋因地震造成全損時，額外支付臨時住宅費用，每戶新台幣十八萬元，只承保被保險房屋之全損，不承保動產。

### 三、新舊制地震保險差異比較

由以上內容可以看出，我國舊制的住宅地震保險是以批單方式附加在其他產險中，而新制的住宅地震保險是以住宅地震火險與地震基本保險一起出單；就保費而言，舊制是採 12 級不同費率且不分建物性質（如住宅用、商用等）且可保動產，新制採全國單一費率每年新台幣 1459 元且限建築物為住宅類，動產部分需投保擴大型地震險；就保險金額之計算方式而言，舊制是以建築物的實際金額作計算，新制則是以建築物的重置成本作計算。

#### 2.3.2 日本地震保險制度（JER）

##### 一、日本保險制度概述

日本於西元 1996 年 6 月 1 日公佈實施「地震保險法」，其特色在於再保險制度的建立，日本全體產物保險業者合組「日本地震再保險株式會社（簡稱 JER）」，保險公司承保地震險業務後，向 JER 購買再保險，再由 JER 向日本政府購買超額損失再保險，而地震保險責任準備金則由各保險公司於每一會計年度結束時，從自留保險費扣除業務費後，累積作為地震保險賠款準備金。

##### 二、日本地震保險主要內容

- (一) 承保範圍：包括地震所致直接損失及地震引起之火災、海嘯掩沒或流失的損害等。
- (二) 承保對象：限於火災保險主要契約中，作為居住用之建築及其置存動產部份。
- (三) 承保方式：住宅火災保險、住宅綜合保險等附加承保方式，原則上自動附加，若不願投保者，應於要保書上「地震保險確認欄」蓋章，表示不投保地震險。
- (四) 保險金額：以主契約保額之 30% 至 40% 範圍內任意選擇。但建築物部份其限額為 5 仟萬日圓；家財部份限額為 1 仟萬日圓。

(五) 保險金給付方式：可分為全損、半損及部份損失三種，如下表 2-3 所示：

表 2-3：日本地震保險損害分類

全損、半損及部份損失定義			賠款支付方式
建築物	全損	主建築物其損失金額超過保險價額 50%、流失之土地面積超過全部之 70%	建築物之保險全損賠償（但不超過保險標的物的價值）
	半損	主建築物其損失金額超過保險價額 20%~50%、流失之土地面積超過全部之 20%~70%	保額之 50% 賠付（但不超過保險標的物的價值的 50%）
	部份損失	主建築物其損失金額超過保險價額 3%~20%	保額之 5% 賠付（但不超過保險標的物的價值的 5%）
家財	全損	損失金額超過保險價額 80% 以上	全額賠付（但不超過保險標的物的價值）
	全損以外	其建築物半損以上	保額之 10% 賠付
	以外	其建築物部份損失	保額之 5% 賠付

資料來源：王光煜（2000）

(六) 保費費率：費率釐訂依據地區與住宅等級作為分級標準。如下表 2-4 所示

表 2-4：日本住宅地震保險分區費率(以千元計)

分區	地區	非木造	木造
		住宅物件： A、B 構造	住宅物件： C、D 構造
		一般物件： 1、2 級構造	一般物件： 3、4 級構造
1等地	北海道、福島、島根、岡山、廣島、山口、香川、福岡、佐賀、鹿兒島、沖繩	0.5	1.45
2等地	青森、岩手、宮城、秋田、山形、砍城、朽木、群馬、新潟、富山、石川、山黎、鳥取、德島、愛媛、高知、長崎、熊本、大分、宮崎	0.7	2.00
3等地	埼玉、千葉、福井、長野、岐阜、愛知、三重、滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和哥山	1.35	2.80
4等地	東京、神奈川、靜岡	1.75	4.30

資料來源：王光煜（2000）

### 2.3.3 美國加洲地震保險制度（CEA）

#### 一、制度起源

美國加州議會於 1995 年 10 月 16 日通過 AB13(Assembly Bill 13Earthquake Insurance)地震保險法之立法，依據該法授權設立加州地震保險局(California Earthquake Authority, CEA)，其計劃內容是由十四家保險公司加入加州地震局所主辦的地震保險業務，並且結合在加州營業的 170 家保險業者與政府部門，為大眾提供合理的地震保險，藉以解決保險業者承保能量不足的問題，然而依據 AB2086(Assembly Bill 2086 Earthquake Insurance)地震保險法之規定，加州地震保險局主辦的保險業務佔整個加州地震保險市場須為 70%以上。

加州地震保險局其承保之保單是屬於非強制性之保險制度，且制度之實施著重在承保能量設計與財務計劃基礎的規劃上，使得加州民眾能繼續由市場中來購買基本的住宅地震保險單，並且能夠去兼顧損益兩平之合理保險費率與保險公司之承保能力與意願，促使國庫或整體金融機構免除承受巨災損失之疑慮。

#### 二、美加地震保險主要內容

(一) 承保範圍：個人住宅的地震災害。

(二) 承保對象：以個人住宅為主，並僅承保住屋部分，不包括游泳池及車庫等建物。

(三) 保險費率計算依據：

1. 被保財產位置及其他影響地震危險由地震所致破壞之地質因素之距離
2. 被保險住宅之地基土質類型
3. 被保險住宅之屋齡
4. 地震風險降低因素

(四) 保險金額：建築物不設限額，動產限額為 5,000 美元，緊急生活費用以 1,500 美元為上限。

(五) 自負額：以住宅及動產約定之保險金額的 15%為自負額規定，適用於全部損失，但個別保障須合併計算。

(六) 保費費率：下限為 1.1‰，上限為 5.25‰，平均為 3.91‰。

## 2.4 地震保險制度相關文獻整理

回顧我國對於地震保險方面的研究文獻整理後，其整理如表 2-5：

表 2-5:國內地震災害相關文獻整理表

類別	研究題目	作者/年代	研究內容
地 震 災 害 保 險 制 度	日本地震保險制度及近況	王光煜 /2000	介紹日本地震保險制度之歷史及現況，其特色有： 1. 設立地震保險之再保險專業公司 2. 根據過去長期資料為基礎計算保險費率 3. 附加於住綜合保險 4. 設定每次地震之保險金支付總額。
	美國加洲地震保險制度	趙秋燕 /2000	藉由加州地震保險四法，彙整出美加地震保險制度與財務計劃。美國加州地震保險制度，運用風險移轉技術，將無法消納之風險予以轉讓，如巨災保險證券化、超額賠款再保險以及共保集團技術等。
	從紐西蘭地震委員會之經驗一論我國地震保險制度之建立與管理	陳森松 /2000	該文建議先以推動強制地震保險法之立法並設立天然災害基金，成立地震委員會、強制限額保險對象、採公辦公營方式經營、廣大保險事故範圍、保險費採單一費率制以及強制附加方式在住宅火災保險內承保，運用巨災風險證券化方式處理，分散巨災事件之財務風險。
	各主要國家天然災害保險制度介紹	林娟等人譯 /2000	介紹英國、加拿大、澳大利亞、法國等 15 國之巨災再保險市場現況，與紹暴露於巨災風險中之危險單位，再檢視從各國私部門或政府部門中所能取得之巨災損失保險的保障。
	從 921 大地震探討台灣地震保險制度	廖淑惠 /2000	該文介紹我國舊制地震保險制度的概況，表列出我國舊制地震保險費率分級表，並以數據資料指出舊制地震保險制度投保率不足，最後提出修改地震保險制度之必要性。
	地震災害風險管理與保險費率釐定-以台北市為例	陳信宏 /2002	藉由上述之 IMOSHA 系統藉由保險公司所能承受的額外風險能量，Capacity-Based 方式分析台北地區建築物之保險費率，比較其與我國現行強制地震險費率之差異。
	地震保險制度之建立	財政部計畫 /2003	計畫分委託美商達信公司，透過地震事件推測模組、危害度分析模組、損害分析模組及財務分析模組，建立地震風險評估模型與保險精算模型之架構。

## 第3章 地震災害風險評估

以南投縣鋼筋混凝土造類住宅為例，在921地震中該類住宅的損害率達5.83%，但是規模7以上之地震發生頻率相較其他規模（如：規模4.5之地震）來得低，且不同地區的震度與地表加速度也有所不同，因此評估台灣地區未來地震災害對住宅建物所造成的損害率時，除了要得知各類型之建築物在不同地動因子（如：PGA、PGV）可能發生的損害率，亦需得知不同規模之地震發生在各地區的頻率，換言之，地震災害風險評估主要是在求得建物易損曲線與配合地震的危害度分析才能建立有效的建物損害率，因此在本章回顧部份著重在建物易損曲線與地震危害度分析，說明往後本研究在建立住宅地震損害率，所需考量之模式與其中相關參數。

### 3.1 建築物易損曲線

建物易損曲線是建築物在不同地震參數下，產生不同損害狀況的機率曲線。首先要求得各區域內地震發生時的地動參數，理論上所有的地動參數都可以使用，但較常使用最大地表加速度（PGA）或最大地表速度（PGV），其原因在於最大地表加速度是在設計建築物時以有加入考慮，因此在解釋損壞曲線時，以最大地表加速度為參數的損壞曲線擁有比較直接能瞭解的意義。一般在建立建物易損曲線分為力學分析法與經驗分析法兩大類，在力學分析法中主要又分為非線性靜力分析法與非線性動力分析法，其分析方法如下：

#### 3.1.1 非線性靜力分析法

非線性靜力分析法屬力學分析法之一，主要是利用建物之容量曲線（如圖3-1）與耐震需求頻譜（如下圖3-2）之交點，來描述在地震下建物最大的反應，依據定義達到某種程度之位移相對應的破壞程度來判斷建物在面臨地震時的損害程度，其中建築物能耐曲線是描述基底剪力與最大位移之非線性行為，由建築物能耐曲線可說明某一類型建築物在不同地震外力下之系統最大反應，即為此類建築物之耐震能力；耐震需求頻譜則由加速度反應譜轉化而得，是用來模擬建築物所受到之地震力。同時考量能耐曲線與反應頻譜與損害程度之不確定性後，可獲得建築物最大位移反應之分佈機率，再透過換算便可求得各類建築物超過損壞程度之機率，在此為了具體量化損壞狀態，必須將損壞狀

態與結構反應互相關連。其中一種方式是將結構物之損壞狀態以位移描述，可假設輕微損壞發生於結構初始降伏時，而完全損壞發生在極限狀態時，中度損壞與嚴重損壞則等差介於完全損壞與輕微損壞之間，得知建築物之超越損害程度之機率後，再考量不同之地震規模便可求出建築物易損曲線。實際在應用上，Haz-Taiwan 地震災害損失評估系統就曾透過非線性靜力分析法建立我國各類建物之易損曲線並以其估計地震直接經濟損失，[陳信宏，2002]也透過此法嘗試釐定台北市地震保險費率。

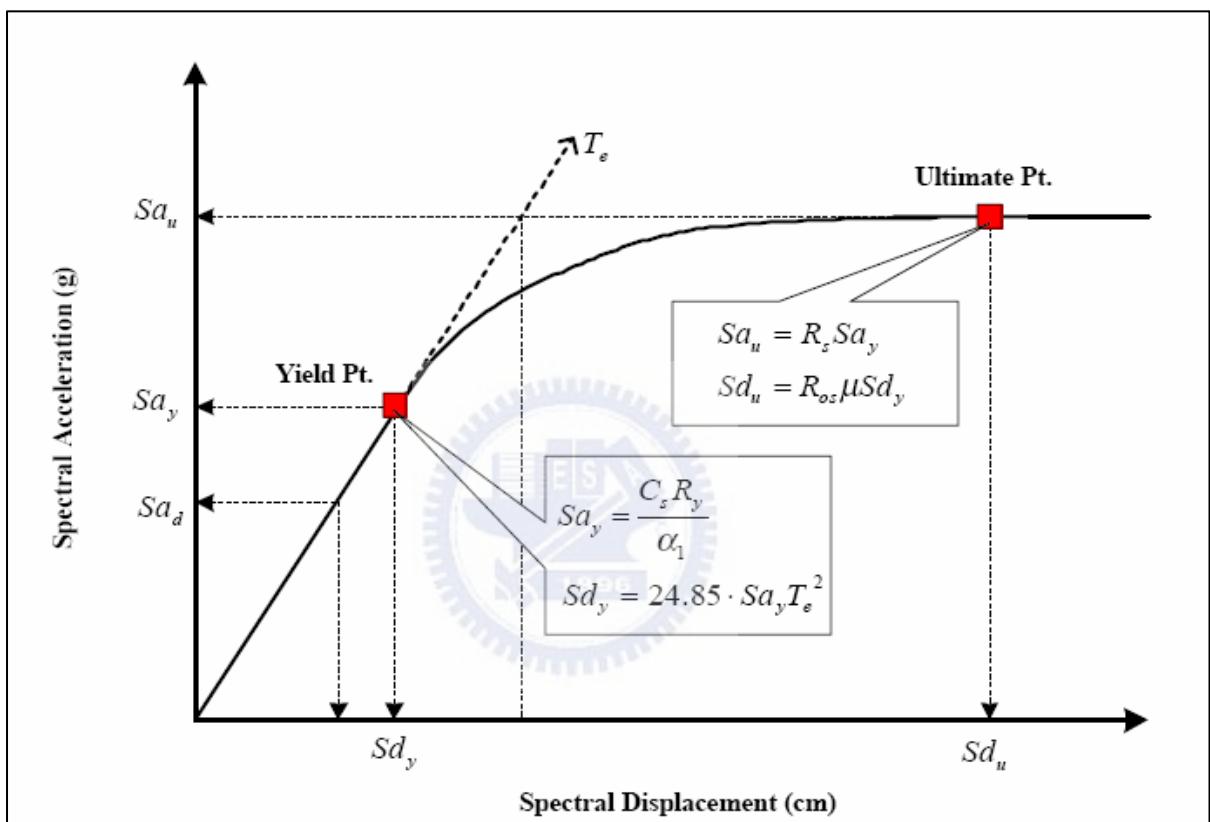


圖 3-1：標準建築物能耐曲線示意圖

圖表來源：陳信宏（2002）

$C_s$	設計基底剪力係數
$T_e$	實際震動週期
$R_y$	降伏放大因子
$R_{os}$	超額強度因子
$\mu$	韌性因子
$a_1$	有效質量係數

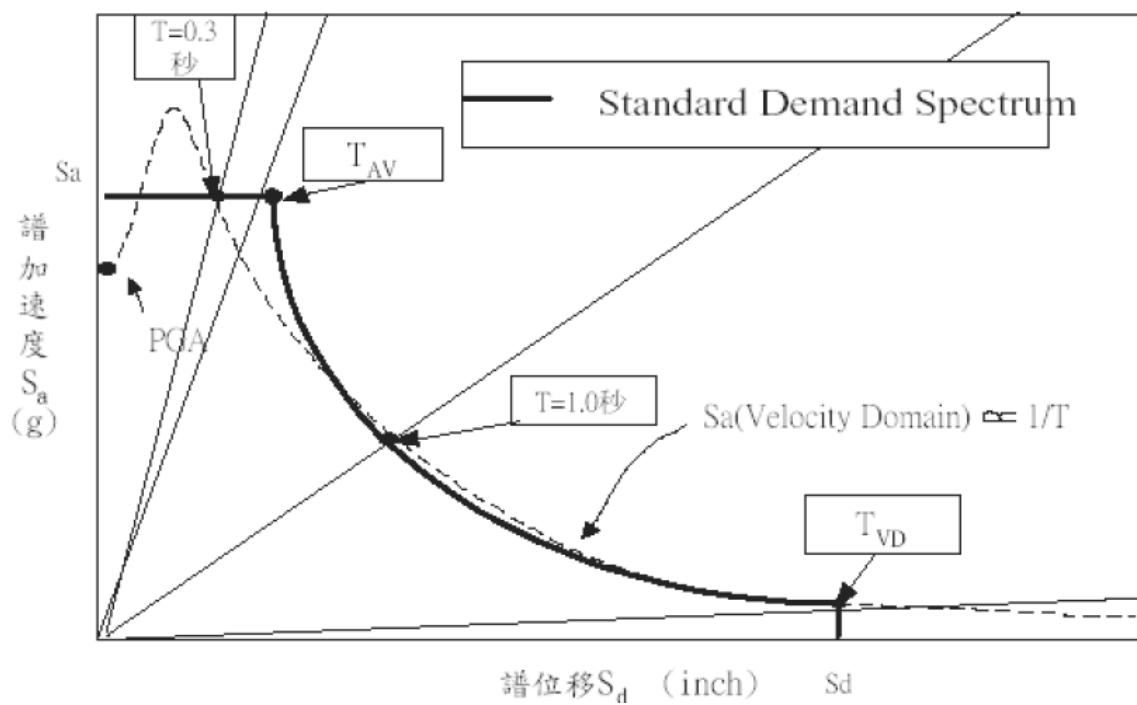


圖 3-2：標準需求反應譜示意圖

圖表來源：陳信宏（2002）

### 3.1.2 非線性動力分析法

非線性動力分析方法又稱為歷時分析法，首先決定建築物損壞指標（如：最大位移、總損害指標）進行建築物受損評估，再結合構件之實驗資料與地震損害調查資料，並觀察建築物構件之行為與可能損壞之模式，來決定合適的損壞指標形式。利用非線性動力分析之歷時反應資料，作為計算建築物構件之損壞指標值，最後可獲得建築物總損壞指標值。進而考慮建築物與地震外力的不確定性，即可求得建築物總損壞指標的機率分佈，接著再定義損壞狀態，也就是將損壞狀態量化表示，即定義各損壞狀態於損壞指標中的臨界值，即可將建築物總損壞指標的分佈機率轉換為建築物損壞狀態之分佈機率，求出建築物超過各損害狀況之機率，當變化不同之地震力強度，即可求得建築物易損曲線。其建立流程圖如下圖 3-3 所示：

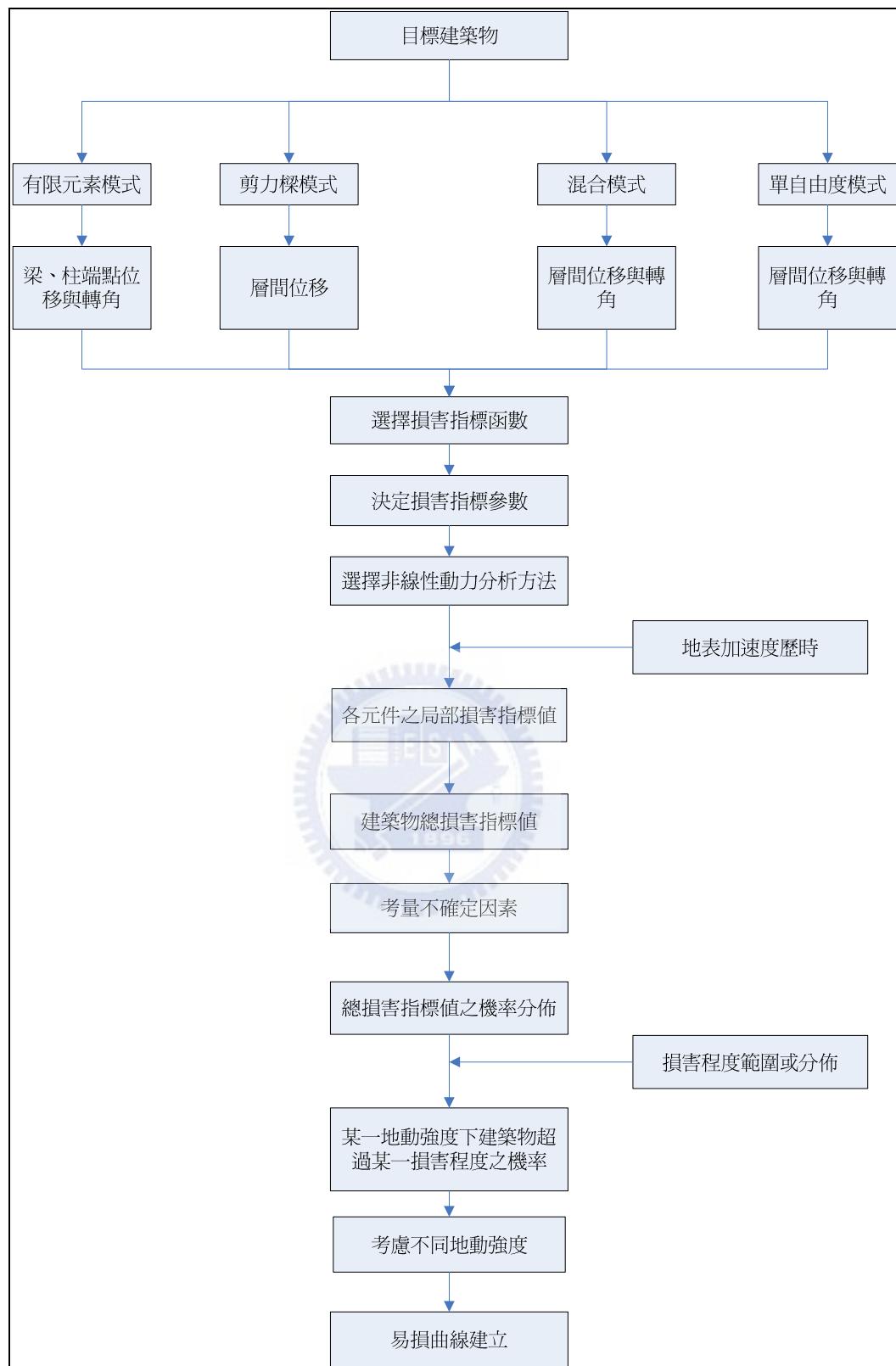


圖 3-3：非線性動力分析法流程圖

圖表重繪自：施俊泰（1999）

### 3.1.3 經驗分析法

根據調查所得知實際災害發生所造成的損害率與強地動參數相對應來建立建物易損曲線，又稱為實際震災調查法，首先將受災區域分成各小區塊，再依據所分類之建築物類別計算出各區損害率，以損害率當依變數，配合地震當時之強地動參數，以此為自變數，即可求出實際建物損害率與地動參數之關係曲線，[李秉乾，2003]曾透過此法評估近車籠埔斷層帶建築物損害與地盤之關係，定義車籠埔斷層線通過的鄉鎮為近斷層，在斷層線左側為下盤；右側為上盤，發現上盤地區發生破壞較為嚴重，此外，[黃高駿，2002]也曾使用經驗分析法，分析鋼筋混凝土類與磚造類建築物之易損曲線，發現當強地動參數 PGA 約介於 360gal 至 600gal 之間所預測的損害率較為可靠，其所受限有關當初該文在分析時所採用的資料，有關經驗分析法之詳細說明，將在第四章時作詳細的介紹。

### 3.1.4 易損曲線建立方法比較

上述兩方法在使用上各有其優缺點，其理論分析法的優點在於可透過實驗數據建立易損曲線，由於大規模災害性地震不易發生，且資料也不易取得，因此可透過理論分析法建立易損曲線，得知各類建築物在面臨地震時可能發生之損害情形，但其理論分析的弱勢也在於由於不是採用實際震害資料，便也較無法反應出真實損害狀況，因為其無法表現出某些無法量化分析的因素所帶來的影響；而經驗分析法其優點在於可以反應出真實現象，例如施工品質、結構特性等無法量化分析的因素對建物所帶來的損害，皆可涵蓋於曲線中，但其缺點在於需有完整的震災損害資料，否則難以建立出該易損曲線。

## 3.2 地震危害度分析

地震危害度分析(Seismic Hazard Analysis)是考慮各個震區在未來 N 年內所可能發生不同規模之地震，在根據所要評估的計地動參數值下，計算出該工址超越此值的機率，換言之，地震危害度分析模式是以地震影響結構物的重要變數進行評估、分析與組合，在評估中需要考量的方面的要素，其分別為：

## 一、震區的劃分：

雖然地震發生其規模與位置不會與歷史資料完全相同，但我們可以透過統計分析的方式，將具有相同特性的地區分類為同一震區來取得其相關參數，便可以推測未來地震若發生在不同震區時其可能的規模與頻率。而在震區劃分時可先依據震源的深度將其劃分為震源深度在 35 公里內稱為淺層地震，震源深度超過 35 公里則稱為深層地震，再依據地體構造、地質構造與地震分佈等因素，便可將台灣本島劃分成若干各具有相同性質的區域，再配合各鄉鎮市形心位置圖，便可以得知地震若發生在某一地點其特性，台灣本島各鄉鎮形心之經緯度位置將附於附件 A 中，其震區劃分與鄉鎮市形心位置圖如下圖 3-4 所示：

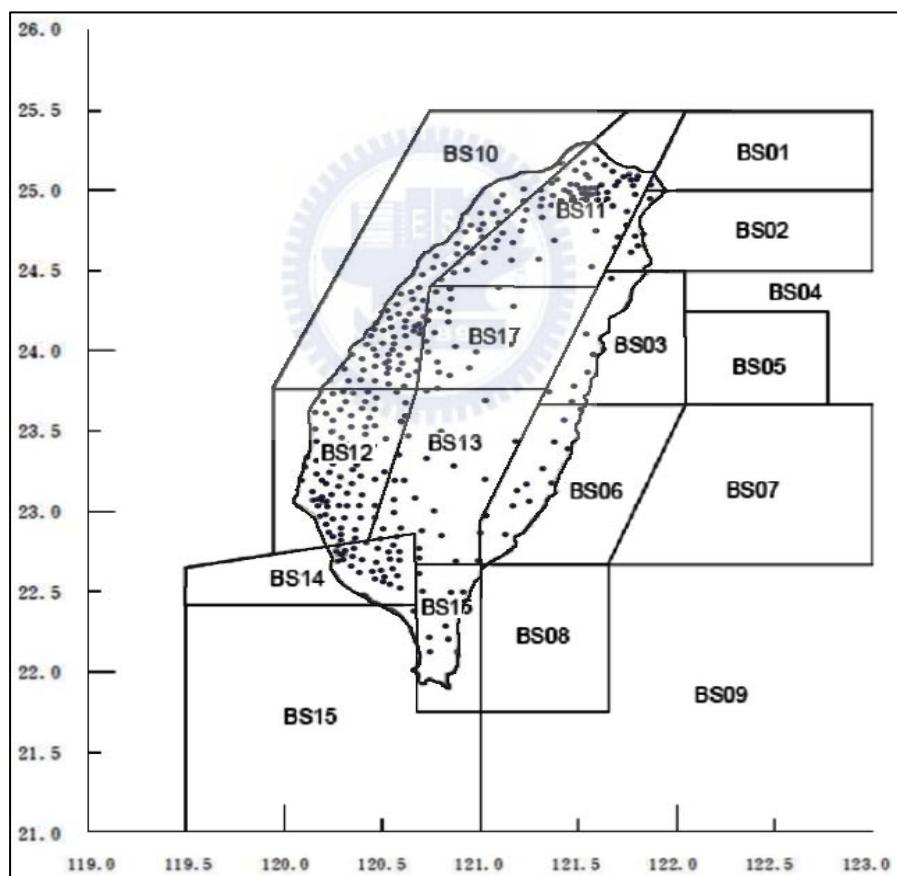


圖 3-4：鄉鎮形心分區圖

圖表來源：黃怡誠（2003）

## 二、震源模型

在地震危害度分析所用之震源模型可分為面震源與線震源兩種，其中線震源為一具有明確走向的震源，即所謂之斷層；而當地震發生散佈在一區域，而無法明確定出一線震源時，即以面震源模擬之。根據對各區域內震源資訊的充足與否，可將模擬的震源分為下述三類：

- (1) 第一類震源：模擬具明確定義之活動斷層，適用於對斷層之位置、走向及長度均充分瞭解之區域。
- (2) 第二類震源：模擬斷層位置不明確，但可經由地質構造判斷其斷層走向之區域之震源。
- (3) 第三類震源：模擬斷層位置及走向均不明確之區域之震源，此震源模型假設震源區域內之地震特性為均質，即在一震源區中各部分發生地震的機會均相同，同時並假設若該震源屬於斷層破裂模式，其斷層開裂方向在 360 度範圍內為均勻分佈。

由於國內有關於斷層活動、斷層分段及斷層長度等相關細部資訊仍不足，因此故目前之地震危害度分析震源分區仍多以第三類震源模式為主。

## 三、地震能量釋放式

在地震危害度分析中，地震能量釋放模式選擇之目的主要為決定地表運動衰減公式中地震波傳遞衰減距離  $R$  之計算方式，其可分為下列三種：

- (1) 點震源模式：

點源模式是假設當地震發生時，地殼或上部地函所蓄積的能量是由震源處以輻射狀釋出，故震源至工址間距離即為地震波傳遞衰減距離。

- (2) 線震源模式：

線震源模式亦為一般所謂斷層破裂模式，其假設當地震發生時，地殼或上部地函所蓄積的能量釋放是沿斷層破裂面逐步釋出，故工址至破裂面之最短距離將為地震波傳遞衰減距離，並用以推估地表運動強度。

- (3) 面震源模式：

當一地區地震的發生，地殼或上部地函所蓄積的能量釋放均勻散佈在整個區域，無

法很明確指出一線震源時或一點震源時，即將其視為一面震源。

#### 四、地震平均發生率：

在預測地震發生的模式中，雖然地震的發生與時間、空間、規模有關，但受限於地震資料與地質情形，使得將其應用在預測地震時上有困難，因此在危害度分析中，常採用穩定 Poisson 模式，其基本假設是將地震的發生視為一隨機過程，並假設地震發生為具有時間與空間的獨立性，在此假設下求取地震平均發生率  $\lambda$ ，其作法為求取統計時間內，發生地震規模大於  $M_L$  的次數，再除以其統計時間長度  $T$ ，即可得知地震的年平均發生率  $\lambda$ 。其表示方式如下式【3-1】：

$$P(n) = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^n}{n!} \quad 【3-1】$$

藉由地震事件的歷史資料，便可求出各震區之平均地震發生率  $\lambda_i$ ，在本研究中所採用之參數是以[黃怡誠,2003]所推估之參數，該文中是以 1936 年至 2003 年 3 月時間內發生規模 4.5 以上的地震次數推算，其參數值附於附件 B。

#### 五、地震規模與頻率：

在地震規模與發生次數間的關係中，可以用 Gutenberg -Richter 的經驗式【3-2】來表達，其作法為取某一地震規模為下限，每隔一區間取一個規模值，統計各震區在統計時間內大於或等於該規模值的地震發生次數，以線性迴歸分析求出芮氏參數值。

$$\log_{10} N(m) = a - bm \quad 【3-2】$$

$N(m)$	統計時間內地震規模大於或等於 $m$ 的地震次數
a、b	回歸係數

#### 六、地震衰減模式：

地震可視為地殼或上部地函的某部份突然發生劇烈變動，將其所蓄積的能量釋放出來，由此產生的彈性波往各方傳遞而造成地表的運動。在震波在傳遞的過程中，會隨著距離震源的遠近發生衰減的現象，而影響地表運動強度的原因眾多且複雜，例如斷層型式、地質條件、震源走向、地震規模、傳遞距離等因素，然而目前國內對震源特性及測站周圍地質條件等相關資訊並不十分充足，因此所採用預測地震地表運動強度之衰減公式大多只考慮地震規模與傳遞距離等兩個參數，一般常用地表加速度（PGA）來描述地震衰減此一行為，目前台灣常用的 PGA 衰減公式有 Campbell、Kanai、Joyner and Boore、

Janpan Rock Site 四種，其式如下：

1、Campbell 模式：

$$PGA = c_1 e^{c_2 m} (R + c_4 e^{c_5 m})^{-c_3} \quad 【3-4.1】$$

2、Kanai 模式：

$$PGA = c_1 e^{c_2 m} (R + c_4)^{-c_3} \quad 【3-4.2】$$

3、Joyner and Boore 模式：

$$\log(PGA) = c_1 + c_2 m + c_3 \log\left(\left(R^2 + c_5^2\right)^{c_4}\right) \quad 【3-4.3】$$

4、Janpan Rock Site 模式：

$$\log(0.981PGA) = \left(\frac{R + c_4}{c_5}\right) \left(-c_1 + c_2 m - c_3 m^2\right) \quad 【3-4.4】$$

$PGA$	地表加速度，單位為 $g$ ( $m/sec^2$ ) 或 $gal$ ( $cm/sec^2$ )
$m$	芮氏地震規模 $M_L$
$R$	工址距震央距離，單位 $Km$
$C_i$	衰減公式係數

衰減係數會隨著該模式所選取分析之地震事件與測站資料，略有不同，以 Campbell 衰減式而言，[簡文郁，1996]以近來台灣地區四個強震記錄資料進行斷層面解所得之斷層面最短距離迴歸分析所得之 PGA 衰減公式係數，其式如【3-5.1】所示。

$$PGA = 0.0278e^{1.2m} (R + 0.1413e^{0.6918m})^{-1.7347} \quad 【3-5.1】$$

在 HAZ-Taiwan 系統中，羅俊雄等人主要使用中央氣象局所紀錄的台灣地區地震資料，地震資料庫選用地震規模  $ML = 5.0 \sim 7.5$  共 59 個地震。在測站資料選取上，該文主要是使用中央氣象局速報站之資料，其原因為為中央氣象局速報站設置在地理上較均勻，且強震網站設置在地理上有集中於人口較多的都會區的趨勢，會導致某些設站密集的地區有相當多的資料測站上，以避免資料的權重造成影響，其式如【3-5.2】所示，可作為一般性地盤之衰減律使用。

$$PGA = 0.0036944e^{1.7537666m} \left( R + 0.1221955e^{0.7831508m} \right)^{-2.0564446} \quad 【3-5.2】$$

[黃怡誠，2003]文中所提到，由於造成災害之地震多為淺震源之地震事件，而據該文之推算，震央之深度對最大地表加速度（PGA）的衰減所造成的影響微乎其微，因此對點震源之地震事件衰減行為上，在工址距震央距離的部份可簡化為工址距震源之最短距離。

### 3.2.1 PGA 等危害度曲線

地震危害度分析最主要的用途之一是工址的設計 PGA，在某一個給定的年限內指定一個超越機率的前提下，可找出一個設計 PGA，以此做為結構設計的參考值，甚至列入規範。在穩態卜桑過程的假設下， $t$  年內工址的 PGA 超過設計值的機率為  $p$ ，其式如【3-6】所示：

$$p = 1 - e^{\left(-\frac{t}{T_R}\right)} \quad 【3-6】$$

上式計算是源自於歷史記錄之地震事件，首先將每個地震事件依其可能造成的損失由小至大作排序，計算出每個地震事件的年發生率，便可繪製出地震事件損失表，如下表 3-1 所示：

表 3-1 地震事件損失表

地震事件編號	年發生率	事件造成之損失
1	$\lambda_1$	$L_1$
2	$\lambda_2$	$L_2$
3	$\lambda_3$	$L_3$
N	$\lambda_n$	$L_n$

由上表所排序之地震事件損失及年發生率，透過下式【3-6.1】則可計算出地震損失發生累積機率分佈，可得知單一地震事件發生損失小於  $L_j$  之機率。

$$F(L < L_j) = \frac{\sum_{i<j} \lambda_i}{\sum_i \lambda_i} = \frac{\sum_{i<j} \lambda_i}{\lambda} \quad 【3-6.1】$$

由於地震發生之機率分佈服從 Poission，因此透過上式與 Poission 分佈可得知年發生任何地震事件損失皆小於  $L_j$  之機率如下式所示：

$$\begin{aligned} P(L < L_j) &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^n}{n!} \times F^n(L < L_j) \\ &= e^{-\lambda} \times \left[ 1 + \frac{1}{1!} \lambda \times F^1(L < L_j) + \frac{1}{2!} \times F^2(L < L_j) + \dots + \frac{1}{n!} \lambda \times F^n(L < L_j) \right] \\ &= e^{-\lambda} \times e^{\lambda F(L < L_j)} \\ &= e^{-\sum_{i>j} \lambda_i} \quad 【3-6.2】 \end{aligned}$$

由上式得知年發生任何地震事件損失小於  $L_j$  之機率後即可得知年發生地震事件損失大於  $L_j$  之機率為

$$P(L \geq L_j) = 1 - e^{-\sum_{i>j} \lambda_i} \quad 【3-6.3】$$

而  $N$  年內損害機率大於  $L_j$  之機率為

$$P_N(L \geq L_j) = 1 - e^{-N \times \sum_{i>j} \lambda_i} \quad 【3-6】$$

一般建築物常以使用 50 年內，超越機率為 10% 來制定設計 PGA，由【3-6】式可得知達到此一超越機率之 PGA 值之地震事件回歸期為 475 年，故臺灣地區的地震危害度分析中，取回歸期為 475 年。危害度分析結果常以不同 PGA 所對應的年超越機率來表達，繪成危害度曲線，因此將  $t=1$  年，  $T_R=475$  年代入【3-6】式中，可計算出年超越機率為 0.21%，並依此年超越機率由各鄉鎮市之危害度曲線找出設計 PGA，以繪出臺灣地區的 PGA 等危害度曲線，由圖 3-5、圖 3-6 可以看出台灣地區回歸期為 475 年之等地表加速度圖：

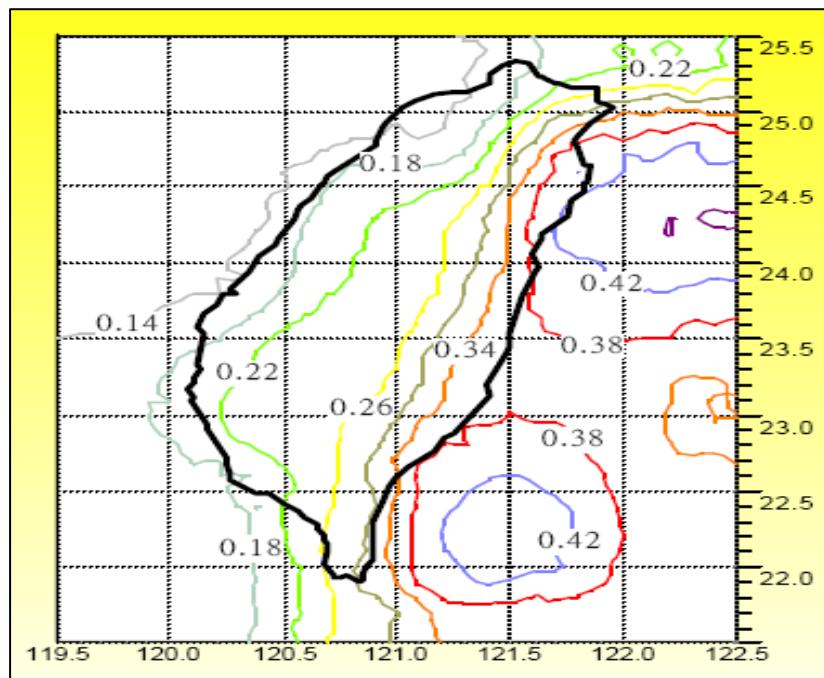


圖 3-5：台灣地區等 PGA 圖(Campbell'衰減公式)

資料來源：許文科（2000）

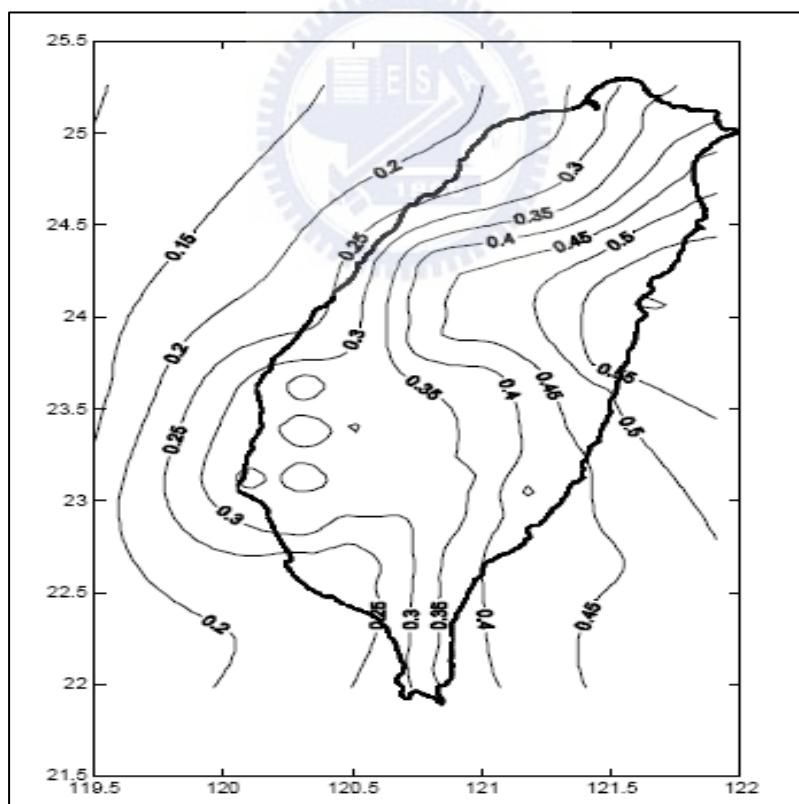


圖 3-6：台灣地區等 PGA 圖(Kanai'衰減公式)

資料來源：黃怡誠（2003）

### 3.3 國內地震災害評估相關文獻整理

表 3-2 國內地震災害評估相關文獻整理表

類別	研究題目	作者/年代	研究內容
地 震 災 害 風 險 評 估 建 築 物 損 害 率 推 估	HAZ-Taiwan 地震災害損失評估系統	羅俊雄等人 /2002	藉由美國所研發之地震災害損失評估系統 HAZUS，並配合台灣地震、地質特性開，建立估計建物直接經濟損失方法。
	建築結構受震之損壞曲線	黃高駿 /2002	藉由實際經驗法與測站之強地動參數資料建立磚造、鋼筋混凝土造建物易損曲線。
	地震危害度更新模式之研究	黃怡誠 /2003	該文比對兩組地震事件資料，以 475 年為回歸期，分析 921 地震前與震後台灣地區危害度曲線。
	整合性多目標地震風險評估系統之建立	許文科 /2000	在考慮地震分險特性下，該文結合地震危害度分析、非線性靜力分析、保險財務模式開發出整合性多目標地震風險評估系統提供地震風險管理策略之應用。
	建築結構地震易損曲線之初步研究	施俊泰 /1999	藉由力學分析模式中之非線性靜力分析法，採等值靜力分析模式見求曲台北市鋼造結構物之易損曲線。

### 3.4 小結

由地震危害度分析可以看出，台灣本島內隨著震區不同，地震的發生頻率與規模大小亦會有所差異，再從等 PGA 圖中可以看出不同區域在 475 回歸期下，PGA 值的差異，由實際受災經驗可以看出，不同地區與類型的建築物在面臨地震災時，會有不同的損害程度，因此台灣住宅地震保險的費率應與日本住宅保險制度相似，採分區分級費率，而非現行之單一保費制度，現行制度雖然便於保險作業但卻有悖於保險的公平性為原則，而在我國面臨 921 地震後使得保險制度有了變動，國內也由此次地震中獲得寶貴的資料，各縣市受損率也有所不同，若可藉由此實際受災資料，應可計算出各地區不同類型之建築物損害率，而透過實際受災資料建製易損曲線也可以解釋力學分析中所無法量化的因素，在評估未來建築物受損情形時應較能符合其實際情形。

## 第4章 易損曲線及地震模擬方法

本章中首先將介紹建立易損曲線之方法，並依照其建製步驟將所需資料逐一代入，並檢定其是否符合線性關係，文中是採用之資料是以 921 地震住宅類建築物受損資料為依據，其受損分類為全倒與半倒是根據行政院院會於民國 88 年 9 月 30 日所通過之 921 地震房屋倒塌認定標準所訂定。此標準將建物倒塌的形式將房屋全倒定義為受災戶住屋裂痕深重或傾斜過甚，非經拆除或重建不能居住者及受災戶住屋因遭砂石掩埋、積砂泥，以致不能修復者判為全倒，在房屋半倒的定義則為受災戶住屋屋頂瓦片連同椽木塌毀面積超過三分之一，或鋼筋混凝土造成住屋屋頂的樓板、橫樑因災龜裂毀損，非經修建不能居住者，或住屋修建費用為重建費用的百分之五十以上者及受災戶住屋因遭砂石掩埋或積砂泥，面積深度達簷高二分之一者。由於台灣地動觀測站的地理位置分佈因素並未遍佈所有待求之鄉鎮市，因此在各分區單位之強地動參數值，在本研究中是採用地震衰減式推測地震當時各地之強地動參數值。建立完易損曲線後，本章將依據前人之地震危害度分析方面研究，建立地震模擬事件用以作為計算地震損害率之基礎。

### 4.1 建物易損曲線建立方法

#### 4.1.1 易損曲線建立流程

研究中建立建物易損曲線之方式，首先需決定研究分析之受損單位，由於我國在 921 地震後有許多政府單位依其需求不同，進行不同調查報告，雖然各份報告中皆有對受災情形作詳盡之調查，但由於部份分析報告之受損單位，其總數資料無從取得，因此無法進一步計算出本研究所需之建築物損壞率，因此本研究需決定具有總數資料明確且與受損資料相同之調查資料。決定受損單位後之便著手蒐集同性質之住宅類型建築物災後損害資料，再將受損資料按照本研究所需探討之因素加以分類，並根據其所在之分區計算其損害率，以作為往後建立各類建築物損壞曲線依據；另一方面，根據 921 地震發生之經緯度位置與當時之規模，透過各測站之觀察值，推測出地震當時出各分區之強地動參數，在得知各分區內各類型建築物損壞機率與強地動參數值後，透過回歸分析將各類建築物損壞機率與強地動參數代入決定之易損曲線內，便可求出各類建築物之易損曲線，其建製流程如下圖 4-1 所示：

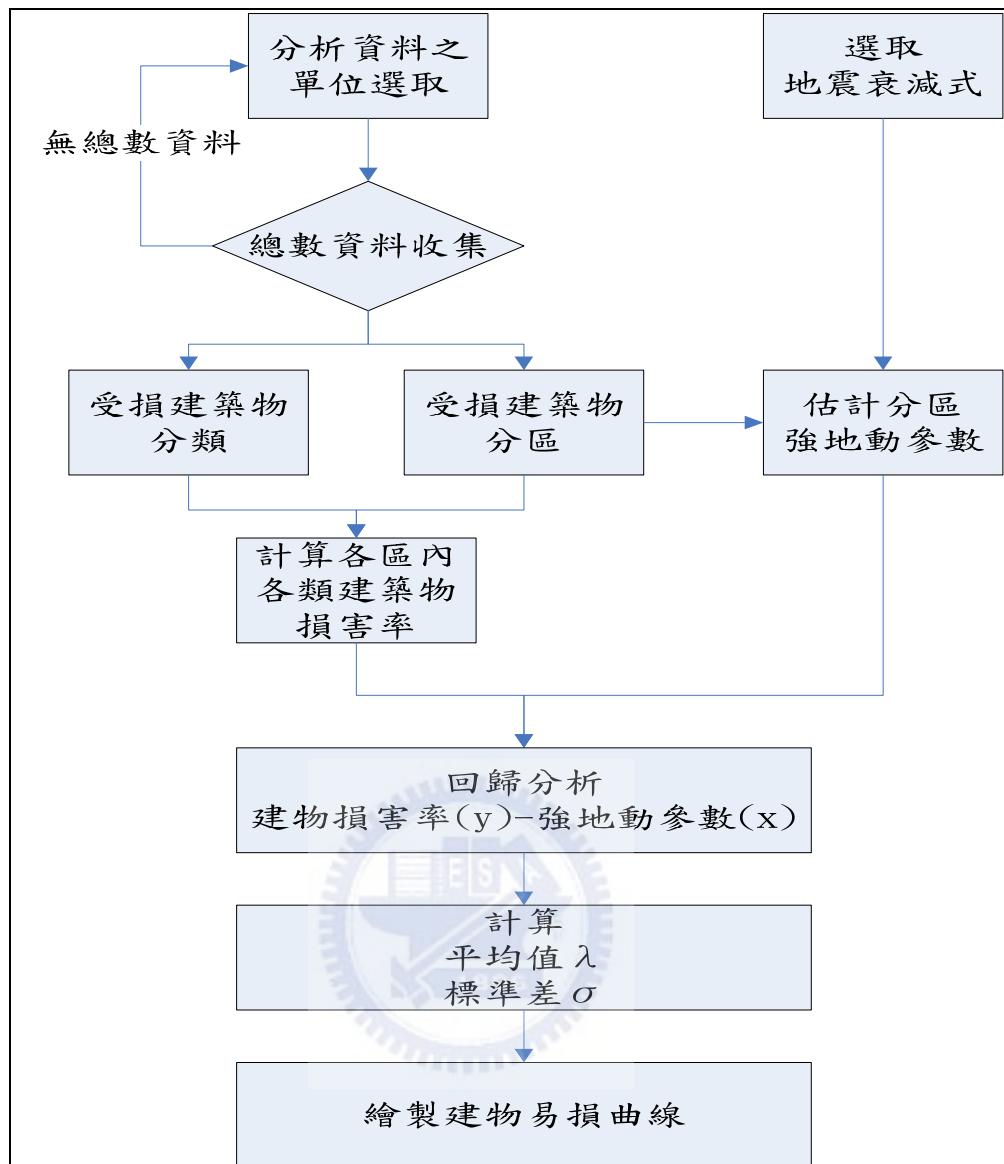


圖 4-1：易損曲線建立流程

#### 4.1.2 震災資料分類

我國在 921 地震後，曾將受災戶以全倒戶、半倒戶分類並對住宅全倒戶發放慰助金，並對受災戶居住之建物進行完整的調查，例如國家地震研究中心的「921 集集地震分析與災情資訊管理系統（簡稱：CEDAMS）」，該系統將損壞建築物以棟為單位，調查各縣市損害建築物，將其損害程度分為輕度損壞、中度損壞、嚴重損壞、完全損壞，此外內政部建研所蕭江碧等人，也曾對 921 地震罹難者居住建築物進行統計分析，以戶數為單位，而在建製易損曲線前，首先得調查各類建築物之損害率，其如【4-1.1】、【4-1.2】

式所示：

$$\text{建物損害率} = \frac{\text{該類受損建物戶數}}{\text{該類建物全區之戶數}} \quad 【4-1.1】$$

$$\text{建物損害率} = \frac{\text{該類受損建物棟數}}{\text{該類建物全區之棟數}} \quad 【4-1.2】$$

由上式中可看出，計算建物損害率所需要之資料有受損資料與總數資料，由於我國營建署在發放使用執照或建築執照方面並未對住宅類型建物以棟為單位作細部的分類，若以此資料推算總戶數會產生很大的誤差，因此雖然 CEDAMS 對建築物損害程度有詳盡的調查，但是總數資料無法取得，且 CEDAMS 的調查乃委託各大學對損害較為嚴重的鄉鎮市與特定建築物作分析，而非對該鄉鎮市所有受損單位作全面調查，造成低估受災單位數，因此本研究在建立建物損害率決定使用【4-1.1】式，以戶數為單位作計算，其原因主要在於各鄉鎮市總戶數資料可以取得，此外住宅地震保險受理亦依據戶為單位，由戶數所建立出之易損曲線亦方便往後之應用。在取得受損資料後，如下表 4-1 所示，本研究採用受損較嚴重之縣市，並以鄉鎮市為分區，以計算其建物損害率。

表 4-1 各縣市全半倒統計表（整理自蕭江碧，2002）

行政區劃	半倒戶數	全倒戶數	總受損戶數
基隆市	1	1	2
台北市	57	103	160
台北縣	738	238	976
桃園縣	0	130	130
新竹縣	12	6	18
苗栗縣	359	361	720
南投縣	21120	23760	44880
台中縣	15695	13799	29494
台中市	3438	2218	5656
彰化縣	645	417	1062
雲林縣	445	513	958
嘉義縣	121	27	148
嘉義市	21	25	46
台南縣	3	2	5
總計	42655	41600	84255

資料來源：蕭江碧（2002）

所選取的縣市有：

1. 南投縣：中寮鄉、仁愛鄉、水里鄉、名間鄉、竹山鎮、信義鄉、南投市、埔里鎮、草屯鎮、國姓鄉、魚池鄉、鹿谷鄉、集集鎮
2. 台中縣：霧峰鄉、大里市、太平市、東勢鎮、新社鄉、石岡鄉、和平鄉、和平鄉、豐原市、大甲鎮、清水鎮、沙鹿鎮、梧棲鎮、神岡鄉、潭子鄉、大雅鄉、外埔鄉、大安鄉、烏日鄉、大肚鄉、龍井鄉
3. 台中市

根據所得資料作分析，在 921 地震中各類構造之建築物皆有受損，其全倒率如下圖 4-2 所示：

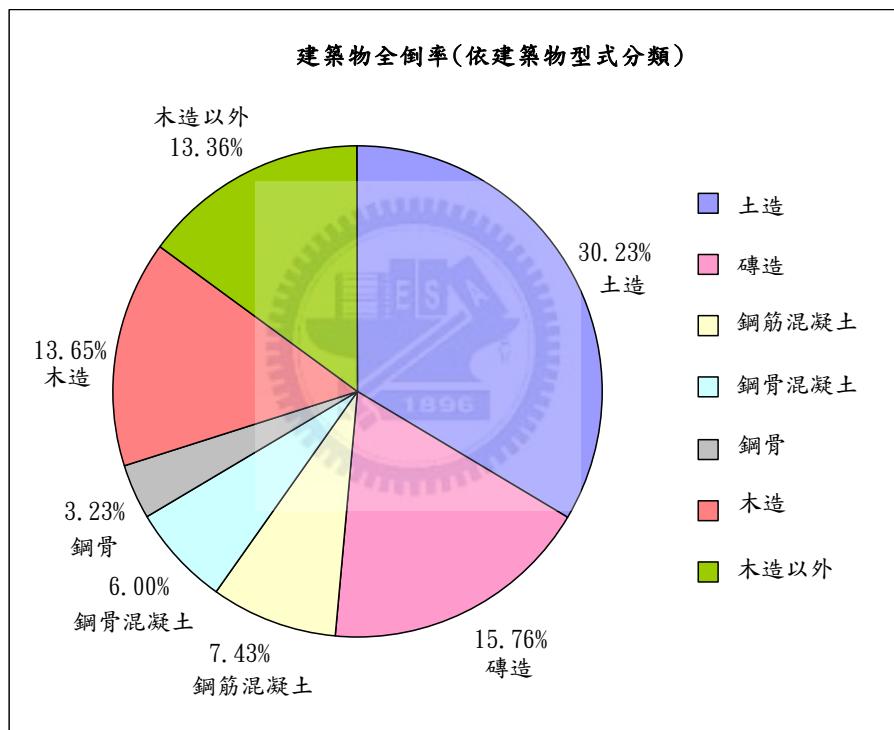


圖 4-2：各類構造類別建築物全倒率

由上圖可看出，其中全損率較嚴重的為土造、磚造與鋼筋混凝土類建築物，在鋼骨混凝土類方面的損害相對而言較少，因此本研究假設建築物損害會依類型不同在面臨相同地動強度下會有不同之損害情形，然而我國在建築物分類上種類繁多，為求簡化及避免少部份資料對整體分析造成影響，因此本研究在建築物構造分類上僅分為：1. 土造類、2. 磚造類、3. 鋼筋混凝土類、4. 木造類、5. 木造以外，其中加強磚造類建築物結構性質偏向鋼筋混凝土類，因此未來再分析時是與鋼筋混凝土類一起作計算，此外由於上圖可看出鋼骨混凝土及鋼骨類型之住宅建築物損壞情形不明顯，因此本研究便不對其再進行後

續分析。

以往我國在建築物耐震設計方面，都參考美國規範並考慮國內實際狀況修正而得。民國六十三年修正建築技術規則時，曾參考 UBC1966 年之規範，將地震力相關條文納入，於民國七十一年參考 UBC1976 年之規範進行修正，民國七十八年考量盆地地質特性修正建築物耐震，而目前國內所採用的最新的耐震設計規範則為於民國八十六年公佈實施，因此本研究假設建築物在面臨地震時其損害情形將會受到耐震設計的影響，而耐震設計的變動主要有上述三 3 個分野，所以本研究除了考慮建築物構造類別以外，再將各區建築物依年別作分類，其分類年別有：1. 1974 年以前、2. 1975 年至 1982 年、3. 1983 年至 1989 年、4. 1990 年至 1996 年、5. 1997 年-2000 年。根據上述之建築物構造分類及年別分類，便可計算出各分區之損害率，如下表 4-2 所示：

表 4-2：各區建物損害率（RC 類建築物）

年代別	1974以前			1975-1982			1983-1989			1990-1996			1997-2000		
	鄉鎮別	總戶	半倒率	全倒率	總戶	半倒率									
1	783	13.67%	32.57%	97	18.56%	22.68%	72	25.00%	33.33%	28	28.57%	14.29%	19	10.53%	5.26%
2	380	18.42%	13.42%	295	12.20%	6.78%	170	15.88%	9.41%	237	3.80%	0.84%	48	43.75%	56.25%
3	615	10.57%	9.43%	43	4.65%	0.00%	95	14.74%	6.32%	27	14.81%	0.00%	22	9.09%	9.09%
...	685	1.90%	2.19%	69	5.80%	2.90%	212	0.00%	0.47%	46	0.00%	2.17%	18	61.11%	22.22%
n	1663	11.12%	12.03%	398	11.56%	10.05%	84	5.95%	7.14%	90	5.56%	1.11%	22	9.09%	4.55%

#### 4.1.3 各分區強地動參數推估

根據中央氣象局各主要測站的觀測資料可以獲得台中縣市與南投縣，各主要測站在 921 地震所測之最大地表加速度值，如附件 C 所示，但仍有許多本研究所需分析之區域無測站資料，因此本研究在計算各區之強地動參數是透過地表距離轉換式【4-2】，計算各區與各主要測站距離，選取最靠近目標區域之兩測站，再依距離為權重推估各區之東西向水平最大加速度、南北向水平最大加速度，如下式【4-3】，推得兩水平向之最大加速度後再根據幾何平均法，如下式【4-4】，計算當時各區域當時最大地表加速度值，其推算所得之南投縣、台中縣、台中市之強地動參數將附於附件 D 中。

$$D(A, B) = R \times a \cos(\sin(x_a) \times \sin(x_b) + \cos(x_a) \times \cos(x_b) \times \cos(y_a - y_b)) \quad 【4-2】$$

$D$	$A$ 、 $B$ 兩點之地表距離
$R$	地球赤道半徑 6378.39KM
$A(x_a, y_a)$	地震發生點之座標，以弧度為單位
$B(x_b, y_b)$	鄉鎮市形心座標，以弧度為單位

$$\left\{ \begin{array}{l} PGA_{(EW)} = A_{(EW)} \frac{H_b}{H_{ab}} + B_{(EW)} \frac{H_a}{H_{ab}} \\ PGA_{(NS)} = A_{(NS)} \frac{V_b}{V_{ab}} + B_{(NS)} \frac{V_a}{V_{ab}} \end{array} \right. \quad 【4-3】$$

$PGA_{(EW)}$	目標區東西向最大地表加速度
$PGA_{(NS)}$	目標區南北向最大地表加速度
$A_{(EW)}, A_{(NS)}$	最近測站東西向與南北向最大地表加速度
$B_{(EW)}, B_{(NS)}$	次近測站東西向與南北向最大地表加速度
$H_a, H_b$	目標區距最近測站、次近測站東西向距離
$V_a, V_b$	目標區距最近測站、次近測站南北向距離
$H_{ab}, V_{ab}$	最近測站與次近測站之東西向距離、最近測站與次近測站之南北向距離

$$PGA_{max} = \sqrt{PGA_{(EW)}^2 + PGA_{(NS)}^2} \quad 【4-4】$$

$PGA_{max}$	目標區域最大地表加速度值
$PGA_{(EW)}$	目標區東西向最大地表加速度
$PGA_{(NS)}$	目標區南北向最大地表加速度

#### 4.1.4 易損曲線型式

建物易損曲線是建築物在不同地震參數下，所產生不同損害狀況的機率曲線。首先求得各區域內地震發生後的建築物損害率後，再配合地震發生時的建築物地動參數，即可獲得建築物在某一地表最大加速度或地表最大速度下超越某一損壞狀態的機率。其建立方式是以強地動參數  $x$  為隨機變數，假設建築物大於某一損壞程度  $R$  的累積機率  $P_R(x)$  為對數常態累積分佈或為常態累積分佈，綜合前人之研究，其易損曲線數學式可表示如下：

$$P_R(PGA) = \Phi\left(\frac{\ln PGA - \mu}{\sigma}\right) \quad 【4-5.1】$$

$$P_R(PGA) = \Phi\left(\frac{\ln PGV - \mu}{\sigma}\right) \quad 【4-5.2】$$

$$P_R(PGA) = \Phi\left(\frac{\ln SI - \mu}{\sigma}\right) \quad 【4-5.3】$$

$P_R(x)$	超越損害程度 $R$ 之機率
$\Phi$	標準常態累積分佈
$\mu$	$\ln PGA$ 、 $\ln PGV$ 、 $\ln SI$ 之平均數
$\sigma$	$\ln PGA$ 、 $\ln PGV$ 、 $\ln SI$ 之標準差

由上述公式的假設，必須求出每一條損壞曲線的平均值與標準差，可繪出損壞曲線繪出。求取平均值與標準差這兩個參數的方式，以每一分區為樣本點，將其建築物損害機率與強地動參數估計值，透過最小平方法做直線迴歸，便可求得近似直線。假設此直線為：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad 【4-6】$$

$y$	建築物超越某一損害程度 $R$ 的損壞機率 $P_R(x)$
$\beta_0$ 、 $\beta_1$	回歸係數

由線性回歸之假設可知，所有小母體分配之平均數  $E(y|x_i) = E(y) = \mu$  均會落在 Y 對 X 的母體回歸線上，因此將  $y=0.5$  帶入【4-6】式中，便可求出平均值  $\mu$ ；標準差即為  $\beta_1$  之倒數，其式為：

$$\mu = \frac{1 - 2\beta_0}{2\beta_1} \quad 【4-7.1】$$

$$\sigma = \frac{1}{\beta_1} \quad 【4-7.2】$$

雖然上述之強地動參數都可用以建立建物易損曲線，但較常使用是最大地表加速度 (PGA) 或最大地表速度 (PGV)，又因在設計建築物時以有將最大地表加速度納入考慮，因此在建立易損曲線時，以最大地表加速度為參數的易損曲線較具有代表性，因此本研究採用【4-5.1】式來建立易損曲線，由於易損曲線之基本假設是建築物大於某一損壞程度的累積機率為常態累積分佈，在此透過一近似式迴歸求出最佳常態累積分佈函數之平均值與標準差，其公式如下：

$$Z = \Phi(P)^{-1} = -t + \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \quad 【4-8.1】$$

$$Z = \begin{cases} \Phi(P)^{-1} & , P \leq 0.5 \\ -\Phi(1-P)^{-1} & , P > 0.5 \end{cases} \quad 【4-8.2】$$

$$Z = \beta_0 + \beta_1 \times \ln PGA \quad 【4-8.3】$$

$$\mu = -\frac{\beta_0}{\beta_1} \quad 【4-8.4】$$

$$\sigma = \frac{1}{\beta_1} \quad 【4-8.4】$$

$t$	$\sqrt{-\ln(P^2)}$
$c_0$	2.5155
$c_1$	0.8028
$c_2$	0.0103
$d_1$	1.4327
$d_2$	0.1892
$d_3$	0.0013

根據求得的 Z 值與  $\ln PGA$  作線性迴歸可得到每一分類之建築物的最適回歸線如下圖 4-3 所示，再由【4-8.4】、【4-8.4】得知平均值  $\mu$  與標準差  $\sigma$  後則可建立其易損曲線，如圖 4-4 所示，再將地動參數轉為 gal (cm/sec<sup>2</sup>)，便可對建立該類建築物在不同地動強度下與其損害率之關係曲線。

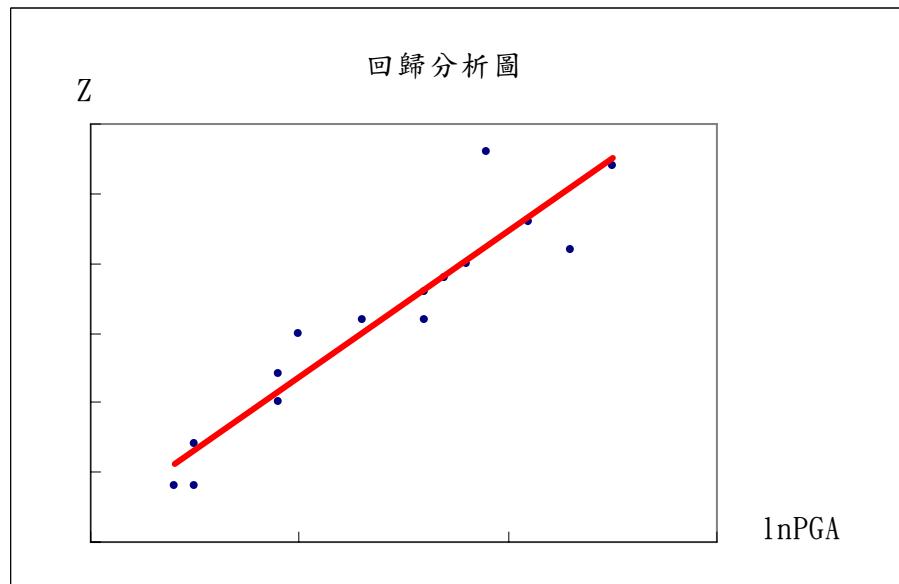


圖 4-3：Z- $\ln PGA$  回歸分析示意圖

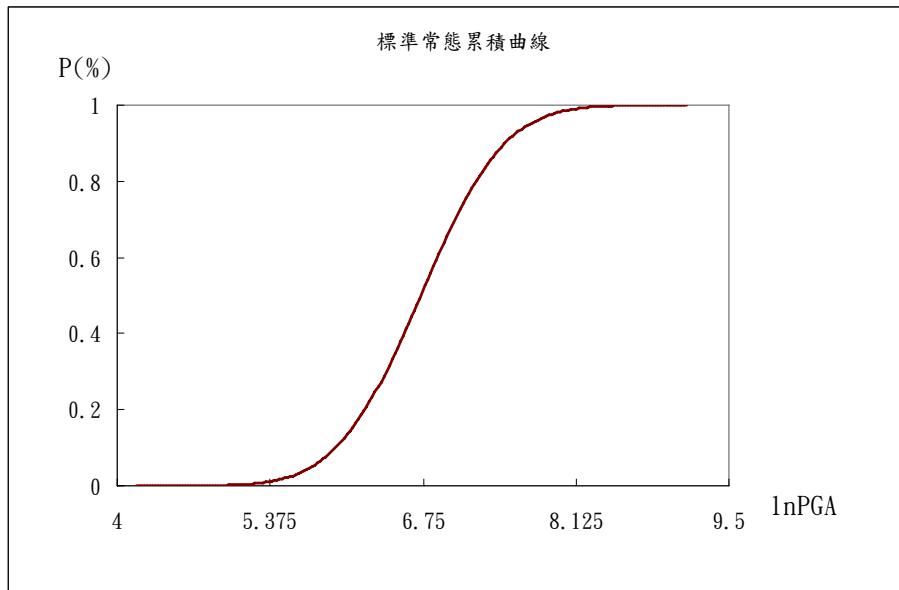


圖 4-4：易損曲線示意圖



## 4.2 地震事件模擬

### 4.2.1 地震事件模擬限制

文中所模擬的地震事件主要是透過設計之模擬器隨機產生亂數值，首先藉由各震區地震的發生率判斷該震源所在震區，而在地震之震源產生方面，本文模擬地震事件假設其發生在各鄉鎮市形心上，採用點震源方式進行模擬。在判定該震源發生之震區後，模擬器從判定震區中所有鄉鎮市隨機選取一發生地其判定此地震事件發生之確切經緯位置，當地震發生的所在地與規模值都確定後便可明確定義此地震事件並推算該地震影響其它鄉鎮市之強地動參數值。因此在研究中所模擬的地震事件與實際地震發生之情形與仍有些許差異，主要原因在於所模擬的地震受到以下因素所限制：

#### 一、地震分區

由前文 3.2 節中可以看出，地震分區主要分為淺震源區與深震源區，而根據歷年災害性地震資料得知，淺源地震是造成地震災害的主因，此外在淺源地震分區中，有些分區已不包含台灣本島，因此在研究中模擬地震分區時，鎖定在淺源地震且包含台灣本島

之地震分區，以利未來判定發生地點之震區劃分。

## 二、震源模型

在震源產生方面，本文模擬地震事件假設其發生在各鄉鎮市形心上，由於在災損資料上是以各鄉鎮市區作分區再進行損害率評估，若隨機選取地震發生點，在隨機點的損害率無法有效推估，因此在隨機選取過程是以各鄉鎮市區形心為單位作選取。此外由於各鄉鎮市形心是否位於斷層線上並無詳細資料可考，且目前地震觀測站無法觀測斷層破裂方向，因此本文在模擬地震事件假設地震發生是以點震源方式進行模擬，以消除對未來推定各鄉鎮市強地動參數上產生誤差的不確定因素，未來若有相關詳細資料可以改善此一地震模擬行為使其更符合實際地震發生情形。

## 三、地震規模

根據中央氣象局資料可以了解到，一般地震規模在 4 以上才會造居部性輕微損害，由此可知小規模小於 4 的地震不會產生災害發生，因此在地震危害度分析時通常採用規模 4 以上的地震做分析，而反應在地震年平均發生次數上，會比台灣地區一年來實際發生地震數量來的少許多，本研究中模擬地震的地震事件，模擬規模下限是規模大於 4.5 以上的地震，但此模擬事件並不影響到未來研究中推算損害率的結果，在規模上限限制值方面是採前學者們所推定之值。

## 四、鄉鎮市區隨機選取過程

由於各震區中所發生的地震事件擁有相同地震特性，因此在判定所在震區後便假設震區中所有鄉鎮市發生地震機率皆相同不另外再做調整，並隨機選取一發生地其判定此地震事件發生之確切經緯位置，判定為地震事件發生點。

### 4.2.2 地震事件模擬流程圖

本研究彙整前人所做之相關研究，選擇前人研究中合適之地震發生相關假設與限制以及地震危害度分析之參數與相關式，建立模擬地震事件發生的流程，如下圖 4-5 所示：

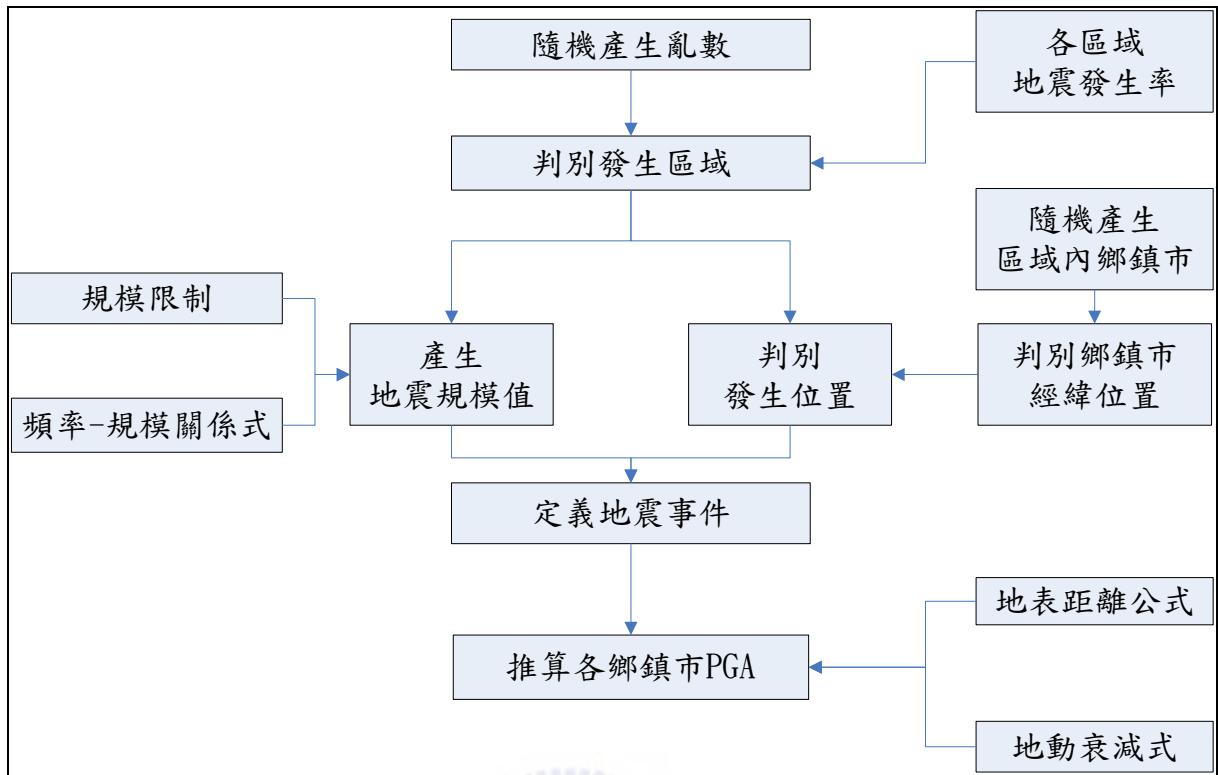


圖 4-5：地震事件模擬流程圖

由上流程圖中可以看出，本研究所模擬的地震事件為發生在某震區且在台灣本島上之地震，因此在隨機選取地震發生時，除了需考量的於各震區規模介於 4.5 至上限值的地震年平均發生量，亦需考量本島面積佔該震區的比例，在此可運用統計學中條件機率，如下式【4-9】與貝氏定理【4-10】計算出本島上各區地震的發生率，再透過一般常用的空間資訊軟體 ArcGIS 或繪圖軟體 AutoCad 算出本島與各震區交集部份的面積，便可求出要求條件下之地震事件發生機率，其交集面積所佔該震區的比例如下表 4-3 所示：

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad 【4-9】$$

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i) \cdot P(B|A_i)}{\sum P(A_i)P(B|A_i)} \quad 【4-10】$$

$P(A B)$	已知事件 B 發生，事件 A 發生的機率
$P(B)$	事件 B 發生的機率
$P(A \cap B)$	事件 A、B 同時發生的機率

表 4-3：各區建物損害率 (RC 類建築物)

震區	該區面積 (單位:平方公里)	本島所佔震區面積 (單位:平方公里)	本島所佔面積比例
BS02	7340	667	9.09%
BS03	5601	1946	34.75%
BS06	8499	3119	36.70%
BS10	14057	3474	24.72%
BS11	7312	5919	80.94%
BS12	6875	4456	64.81%
BS13	6889	6889	100.00%
BS14	4644	1778	38.28%
BS16	3428	2061	60.11%
BS17	5563	5563	100.00%

得知本島在各震區所佔的比例與前人所分析各震區地震年平均發生次數後，便可以推算本島上各震區地震的發生率，如下表 4-4 所示，以此當作模擬地震事件發生的參數依據。

表 4-4：模擬地震參數表

震區	震區參數					本島參數		
	規模 上限	a	b	年平均 發生次數	地震產量	本島佔分區 面積比例	年平均 發生次數	本島發生地震 在該震區機率
BS02	7.7	8.388	1.286	5.867	15.76%	9.09%	0.533	3.15%
BS03	8	7.599	1.022	14.655	39.37%	34.75%	5.093	30.12%
BS06	7.1	6.983	0.964	6.423	17.26%	36.70%	2.357	13.94%
BS10	6	5.390	0.892	0.336	0.90%	24.72%	0.083	0.49%
BS11	6.2	7.253	1.254	0.591	1.59%	80.94%	0.479	2.83%
BS12	7.1	6.031	0.884	1.655	4.45%	64.81%	1.072	6.34%
BS13	6.6	8.037	1.254	3.624	9.74%	100.00%	3.624	21.44%
BS14	5.4	9.117	1.716	0.355	0.96%	38.28%	0.136	0.80%
BS16	6.5	5.060	0.788	0.466	1.25%	60.11%	0.280	1.66%
BS17	7.3	6.184	0.853	3.249	8.73%	100.00%	3.249	19.22%

## 第5章 各行政區建物損害率推算

本章主要分為三大部分，首先根據第四章的方法，建立易損曲線與地震模擬後分析出各類建築物損害情形與強地動參數間之線性關係，並探討其分析結果並推算的各回歸線之平均值與標準差建立各類建築物易損曲線，接著利用模擬器產生數個地震事件，並計算其與各鄉鎮市之距離與強地震參數值，最後計算未來台灣本島內各類建築物之損害率。

### 5.1 各類建築物線性回歸分析及易損曲線

#### 5.1.1 線性回歸分析

透過最小平方法進行回歸分析並藉由統計軟體 SPSS 分析受災資料與地震發生當時之強地動參數（PGA），可以得到各類建築物的損害率與強地動之間的關係，可以看出各類建築物之斜率項  $\beta_1$  與截距項  $\beta_0$  之值，以及檢定結果，如下表 5-1 至表 5-4 中所示：

表 5-1：土造類建築物回歸分析表

類別	年代別	損害別	截距 ( $\beta_0$ )	迴歸係數 ( $\beta_1$ )	相關 係數	顯著性 ( $\beta_0$ )	顯著性 ( $\beta_1$ )
土 造 類	1974 以前	半倒	-12.775	1.881	0.87	0	0**
	1974 以前	全倒	-12.21	1.733	0.864	0	0**
	1975-1982	半倒	-7.432	0.822	0.314	0.16	0.098
	1975-1982	全倒	-4.817	0.337	0.149	0.74	0.439
	1983-1989	半倒	-12.638	1.799	0.457	0.012	0.025
	1983-1989	全倒	-11.995	1.683	0.437	0.015	0.033
	1990-1996	半倒	-20.729	3.273	0.63	0.001	0.002
	1990-1996	全倒	-13.772	1.955	0.523	0.005	0.012
	1997-2000	半倒	-13.149	1.893	0.388	0.065	0.091
	1997-2000	全倒	-10.827	1.458	0.391	0.047	0.088

註：\*表示 5% 顯著水準，\*\*表示 1% 顯著水準。

表 5-2：磚造類建築物回歸分析表

類別	年代別	損害別	截距 ( $\beta_0$ )	迴歸係數 ( $\beta_1$ )	相關 係數	P-Value ( $\beta_0$ )	P-Value ( $\beta_1$ )
磚 造 類	1974 以前	半倒	-12.264	1.752	0.844	0	0***
	1974 以前	全倒	-11.167	1.524	0.845	0	0***
	1975-1982	半倒	-11.129	1.529	0.854	0	0***
	1975-1982	全倒	-9.346	1.184	0.75	0	0***
	1983-1989	半倒	-11.364	1.572	0.793	0	0***
	1983-1989	全倒	-10.059	1.311	0.784	0	0***
	1990-1996	半倒	-11.409	1.579	0.792	0	0***
	1990-1996	全倒	-9.352	1.187	0.734	0	0***
	1997-2000	半倒	-14.258	2.093	0.687	0	0**
	1997-2000	全倒	-10.138	1.328	0.711	0	0***

註：\* 表示 5% 顯著水準，\*\* 表示 1% 顯著水準。

表 5-3：RC 類建築物回歸分析表

類別	年代別	損害別	截距 ( $\beta_0$ )	迴歸係數 ( $\beta_1$ )	相關 係數	P-Value ( $\beta_0$ )	P-Value ( $\beta_1$ )
RC 類	1974 以前	半倒	-12.546	1.804	0.769	0	0**
	1974 以前	全倒	-9.871	1.284	0.725	0	0**
	1975-1982	半倒	-12.999	1.877	0.827	0	0**
	1975-1982	全倒	-9.994	1.309	0.814	0	0**
	1983-1989	半倒	-12.238	1.718	0.823	0	0**
	1983-1989	全倒	-9.465	1.195	0.797	0	0**
	1990-1996	半倒	-10.288	1.398	0.782	0	0**
	1990-1996	全倒	-8.662	1.058	0.752	0	0**
	1997-2000	半倒	-9.013	1.126	0.816	0	0**
	1997-2000	全倒	-6.828	0.711	0.655	0	0**

註：\* 表示 5% 顯著水準，\*\* 表示 1% 顯著水準。

表 5-4：木造類建築物回歸分析表

類別	年代別	損害別	截距 ( $\beta_0$ )	迴歸係數 ( $\beta_1$ )	相關係數	P-Value ( $\beta_0$ )	P-Value ( $\beta_1$ )
木造類	不分年別	半倒	-9.501	1.389	0.193	0.511	0.528
		全倒	-5.476	0.676	0.177	0.476	0.562

註：\*表示 5%顯著水準，\*\*表示 1%顯著水準。

表 5-5：木造以外類建築物回歸分析表

類別	年代別	損害別	截距 ( $\beta_0$ )	迴歸係數 ( $\beta_1$ )	相關係數	P-Value ( $\beta_0$ )	P-Value ( $\beta_1$ )
木造以外	不分年別	半倒	-8.622	1.259	0.174	0.553	0.57
		全倒	-1.688	0.087	0.019	0.858	0.952

註：\*表示 5%顯著水準，\*\*表示 1%顯著水準。

由上表可以看出大多數類別之建築物在損害情形與強地動參數中呈良好線性關係，在磚造類建築物與 RC 類建築物較為明顯，木造類與木造以外之建築物無明顯線性關係，其原因在於實際受損資料無法證明損害率與強地動參數間有線性關係，雖然在分析上有採用南投縣、台中縣、台中市中各鄉鎮市的資料，以各鄉鎮市為樣本點，總計 34 個樣本點，但並非所有鄉鎮市都有此類建築物，若該鄉鎮市無此類建築物在分析上則會少於 34 個樣本點，以土造類建築物為例（如下表 5-6 所示），1975-1982 年土造類建築物有 5 個鄉鎮市無此類建築物，此外有 31 個鄉鎮無半倒戶數，32 個鄉鎮無全倒戶數，造成回歸分析無法證明類建築物損害情形與強地動參數間有線性關係存在，因此在損害資料較為充分的磚造類建築物與 RC 類建築物方面有較好的表現。各類別建築物損害率與強地動參數之回歸分析圖如下圖 5-1 中所示。

表 5-6：土造類 1975 年-1982 年及 1997 年-2000 年受損資料

縣市	年代別	1975-1982	1975-1982	1975-1982	1997-2000	1997-2000	1997-2000
	鄉鎮別	總戶	半倒戶	全倒戶	總戶	半倒戶	全倒戶
南投縣	中寮鄉	3	0	3	0	0	0
	仁愛鄉	3	1	0	3	0	3
	水里鄉	1	0	0	0	0	0
	名間鄉	2	0	0	40	20	20
	竹山鎮	0	0	0	0	0	0
	信義鄉	2	1	0	2	1	1
	南投市	1	0	0	2	0	0
	埔里鎮	6	0	0	4	0	2
	草屯鎮	3	1	0	1	0	0
	國姓鄉	2	0	0	4	1	2
	魚池鄉	3	0	0	2	0	1
	鹿谷鄉	0	0	0	0	0	0
	集集鎮	0	0	0	1	0	0
台中縣	霧峰鄉	0	0	0	2	0	0
	大里市	0	0	0	3	0	0
	太平市	1	0	0	2	0	0
	東勢鎮	6	0	0	3	0	2
	新社鄉	9	0	0	2	0	0
	石岡鄉	1	0	0	0	0	0
	和平鄉	11	0	1	0	0	0
	豐原市	10	0	0	4	0	1
	大甲鎮	4	0	0	0	0	0
	清水鎮	6	0	0	0	0	0
	沙鹿鎮	1	0	0	1	0	0
	梧棲鎮	8	0	0	0	0	0
	神崙鄉	5	0	0	1	0	0
	潭子鄉	8	0	0	2	0	0
	大雅鄉	2	0	0	6	0	0
	外埔鄉	2	0	0	0	0	0
	大安鄉	5	0	0	0	0	0
	烏日鄉	1	0	0	0	0	0
	大肚鄉	2	0	0	0	0	0
	龍井鄉	3	0	0	0	0	0
台中市	台中市	17	0	0	25	0	0

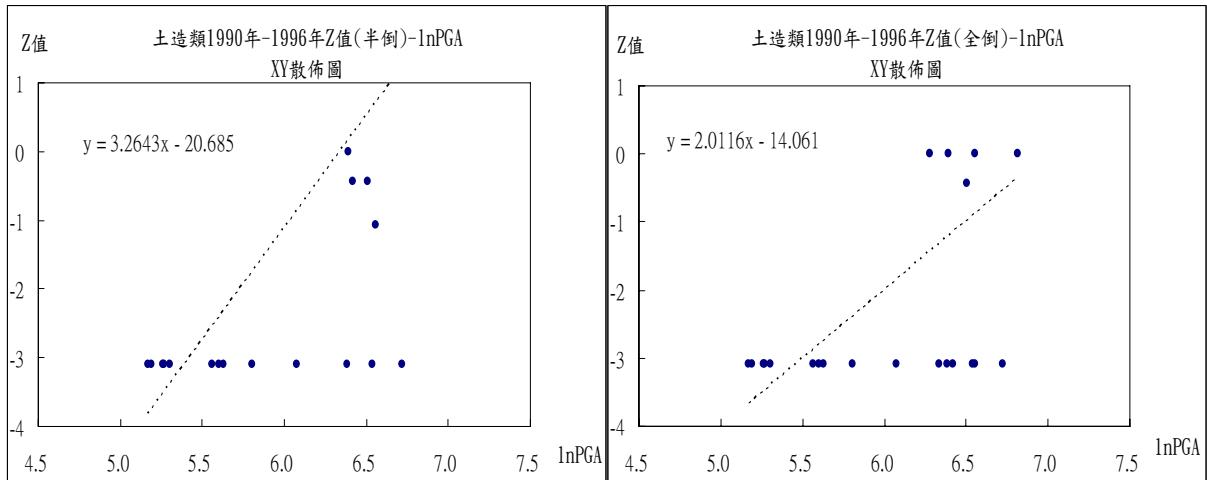
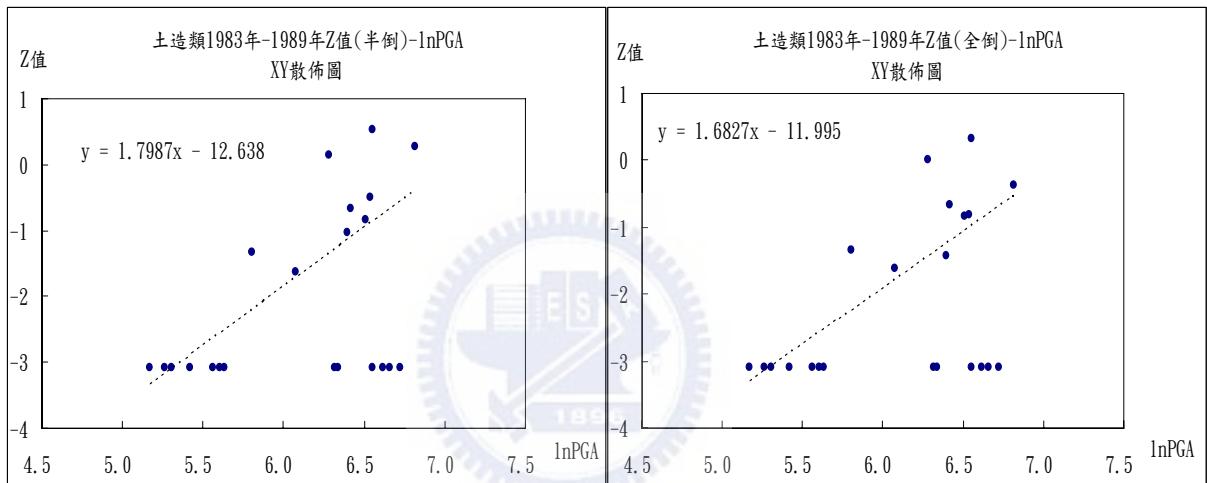
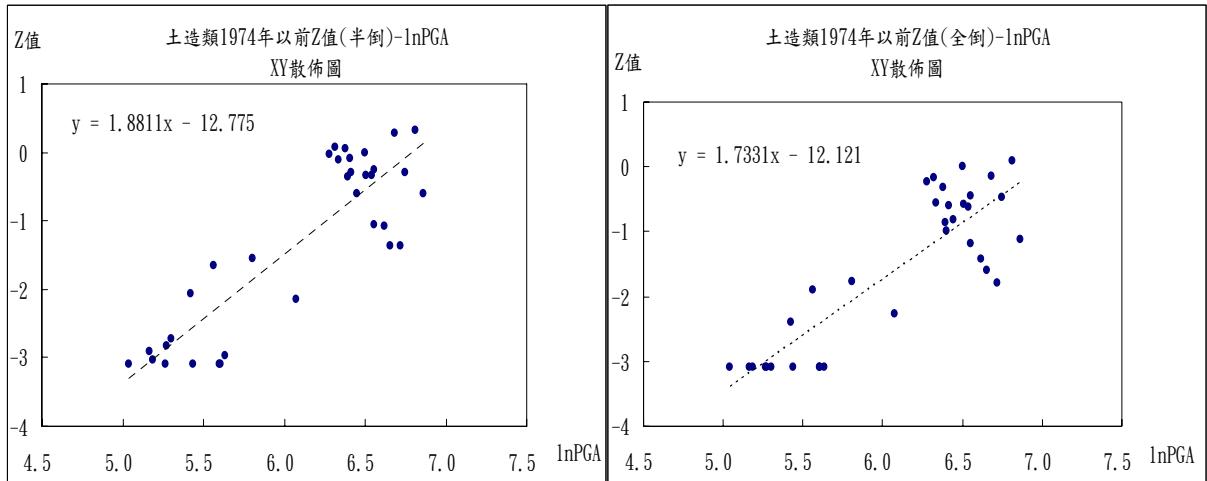


圖 5-1：各類建築物回歸分析圖

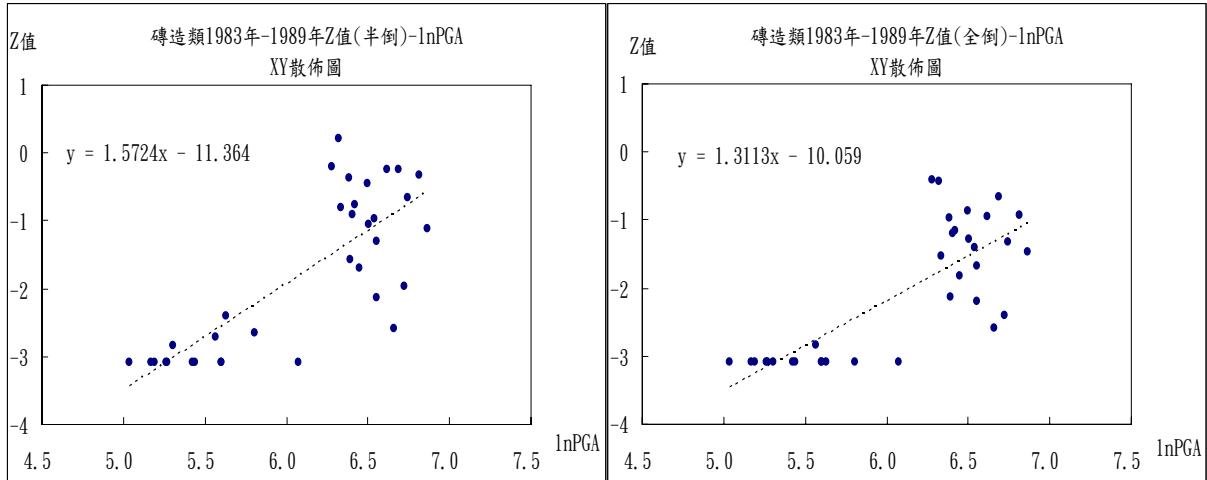
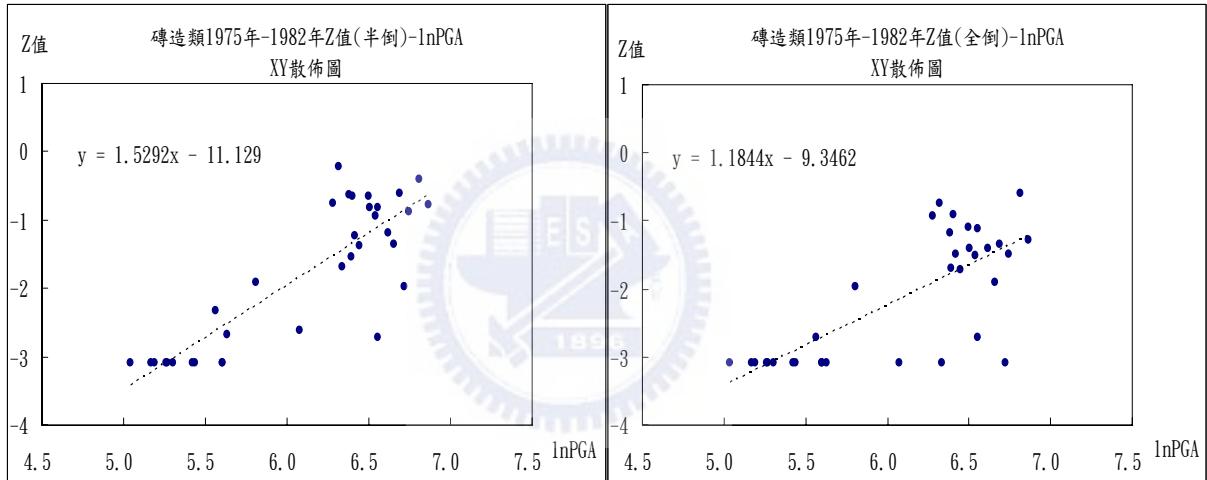
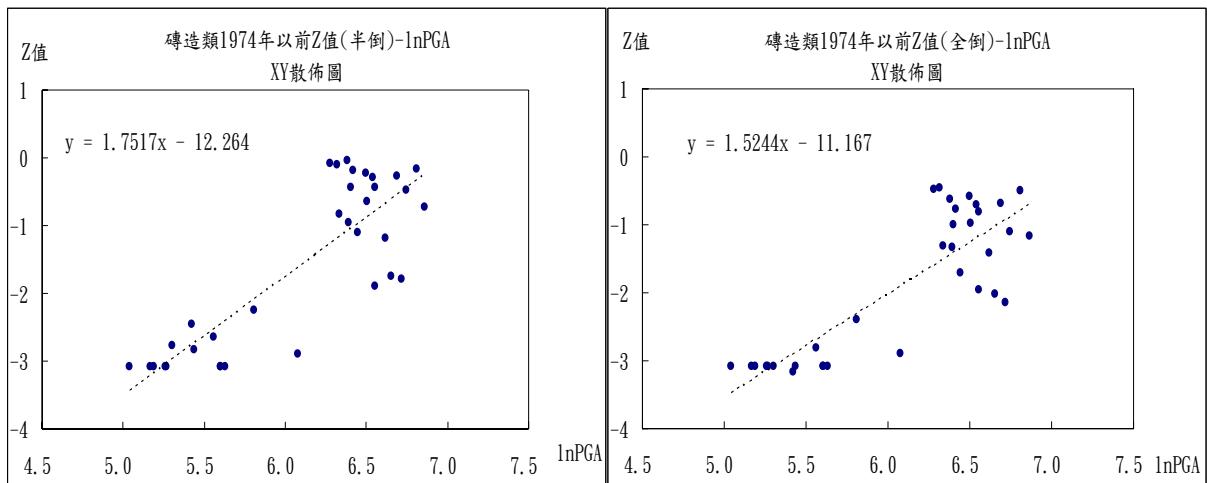


圖 5-1 (續 1)

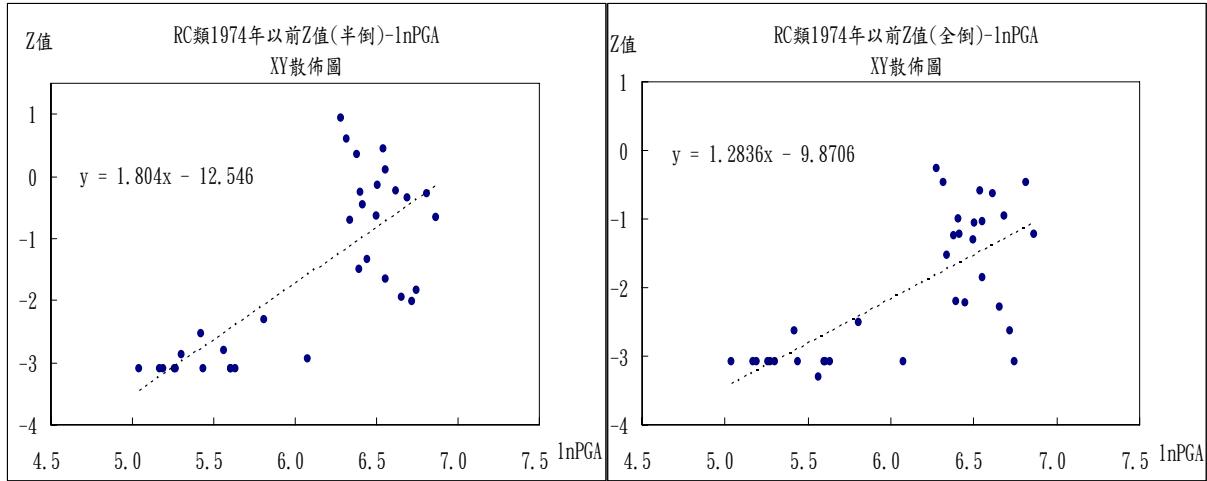
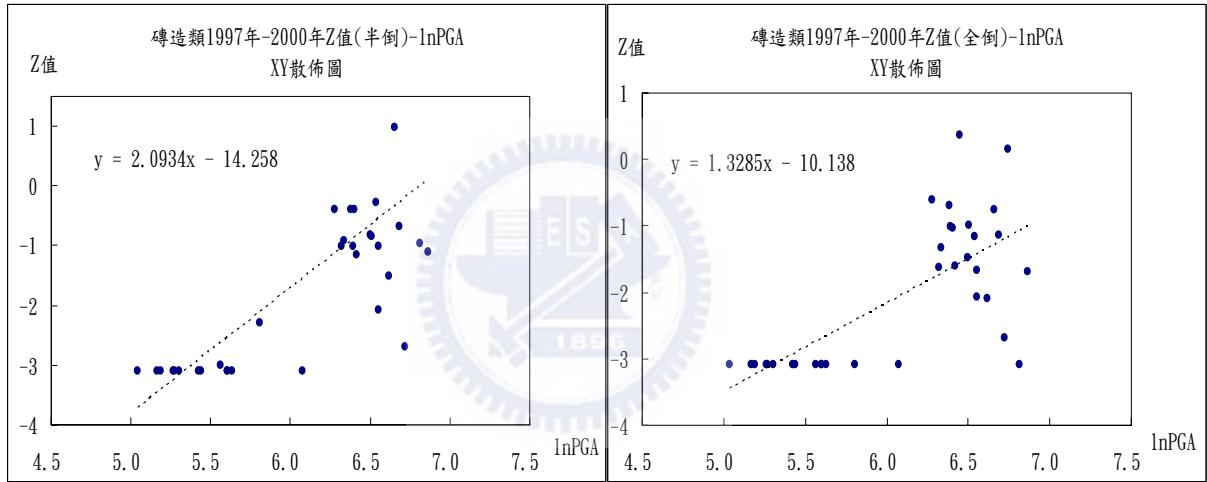
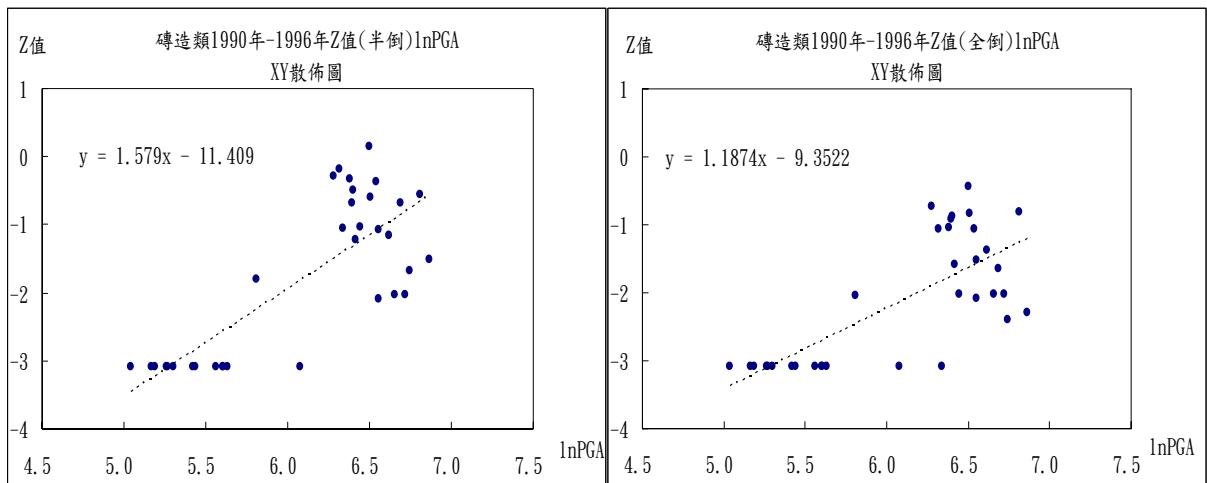


圖 5-1 (續 2)

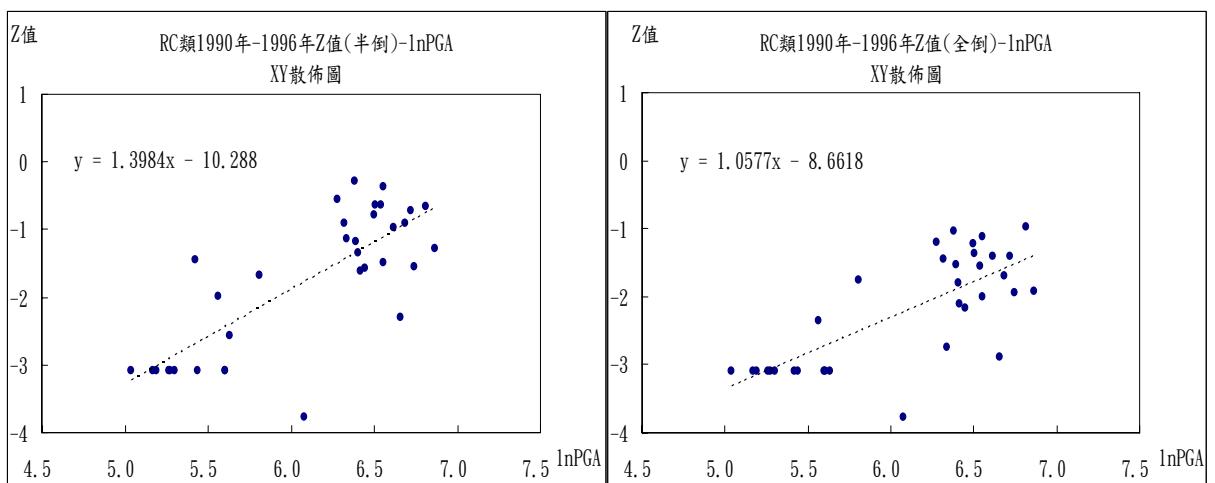
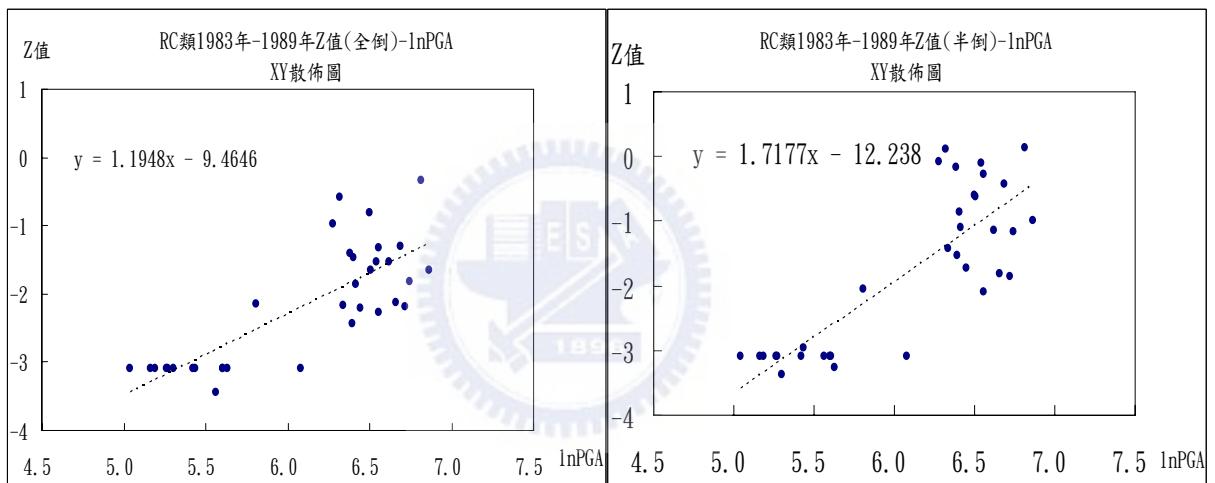
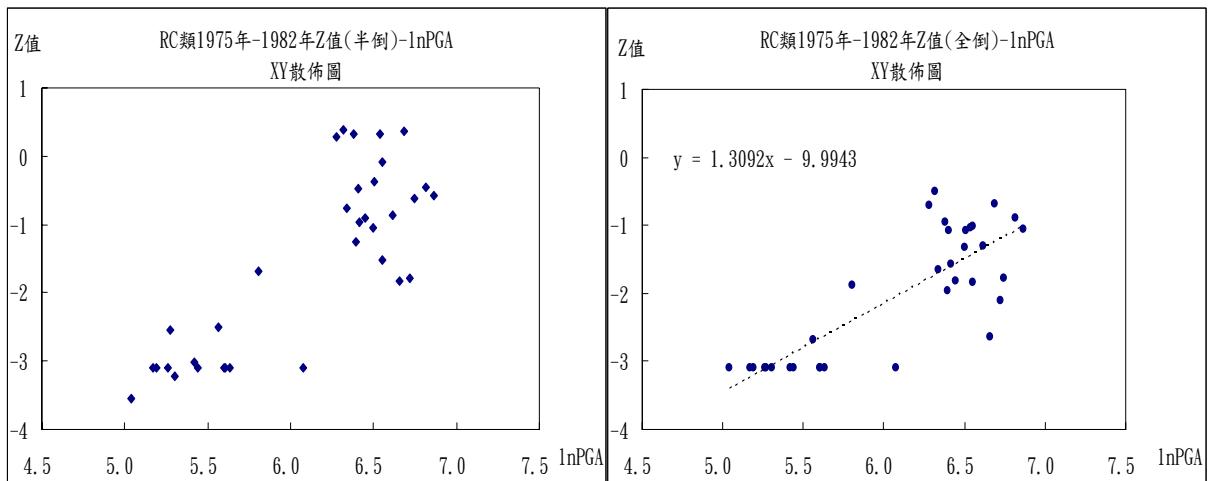


圖 5-1 (續 3)

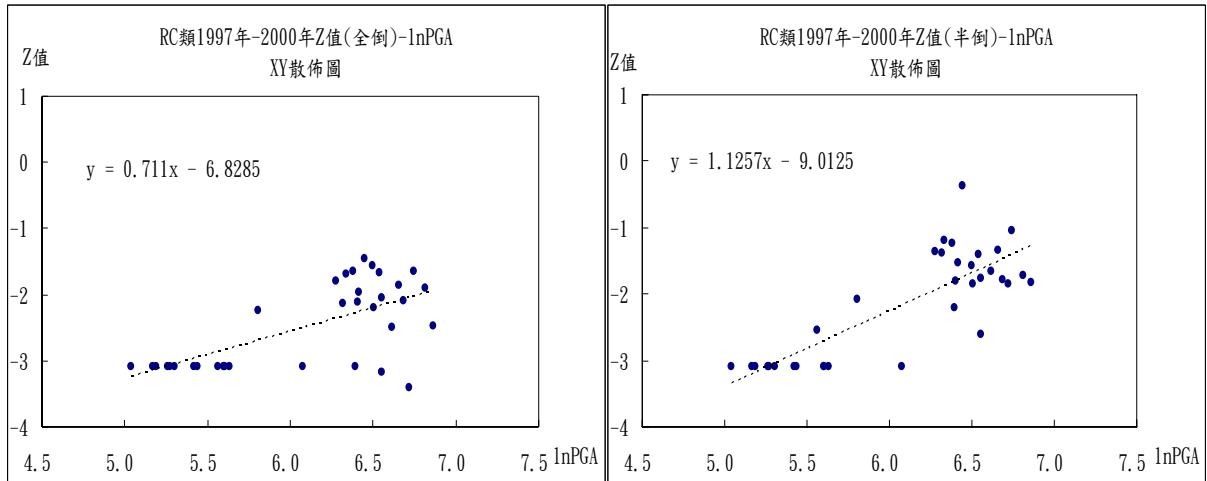


圖 5-1 (續 4)

上圖中可看出許多類別的建築物在強地動參數  $\ln PGA$  為 7.5 等高強地動值時所對應的損害率  $Z$  值卻為負三左右，此類極端的觀測值資料敝人無忽略不計的原因在於回歸分析中的離群值，除非有直接證據證明該值是因紀錄錯誤、計算錯誤、設備故障會其他類似情形下，才可將此資料放棄，敝人重新檢查後發現沒有計算錯誤的資料，一切資料皆與原始紀錄資料相符，因此無直接證據指出該資料是錯誤資料，所以仍以採用此類資料。

### 5.1.2 易損曲線

藉由回歸分析得知的參數  $\beta_0$ 、 $\beta_1$ ，可計算出各類建築物易損曲線之平均值 ( $\mu$ ) 與標準差 ( $\sigma$ )，如表 5-7 所示，進而繪出其易損曲線，如圖 5-2 至 5-7 所示，，其中土造類建築物與磚造類建築物損害情形沒有隨著建築規範的改變而使損害減少的現象，也就是隨著年代越靠近現代，土造、磚造類建築物耐震能力沒有較佳的表現，但在 RC 類建築物可明顯看出隨著年代越靠近現代，損害情形有降低的趨勢，但 RC 類 1975 年-1982 年的建築物損害情形超過 1974 年以前之建築物，由於我國在民國六十三年開始正式將耐震設計條文納入建築設計，因此無法比較 1974 年之建築耐震設計，從圖表中所得到的訊息表示出剛開始的耐震設計反而讓 RC 類建築物耐震能力降低，直至民國七十一年後的規範改變使 RC 類建築物有更好的耐震能力。

表 5-7：各類建築物平均值 ( $\mu$ )、標準差 ( $\sigma$ ) 表

建物 類別	年代別	1974 年以前		1975 年-1982 年		1983 年-1989 年		1990 年-1996 年		1997 年-2000 年	
		損害別	半倒	全倒	半倒	全倒	半倒	全倒	半倒	全倒	半倒
土 造 類	$\mu$ (lnPGA)	6.7916	7.0456	-	-	7.0250	7.1272	6.3333	7.0445	-	-
	$\sigma$	0.5316	0.5770	-	-	0.5559	0.5942	0.3055	0.5115	-	-
磚 造 類	$\mu$ (lnPGA)	7.0000	7.3274	7.2786	7.8936	7.2290	7.6728	7.2255	7.8787	6.8122	7.6340
	$\sigma$	0.5708	0.6562	0.6540	0.8446	0.6361	0.7628	0.6333	0.8425	0.4778	0.7530
RC 類	$\mu$ (lnPGA)	6.9545	7.6877	6.9254	7.6348	7.1234	7.9205	7.3591	8.1871	8.0044	9.6034
	$\sigma$	0.5543	0.7788	0.5328	0.7639	0.5821	0.8368	0.7153	0.9452	0.8881	1.4065
木 造 類	年代別	不分年別									
	損害別	半倒				全倒					
	$\mu$ (lnPGA)	-				-					
	$\sigma$	-				-					
木造 以外	$\mu$ (lnPGA)	-				-					
	$\sigma$	-				-					

註：-表示檢定結果不顯著

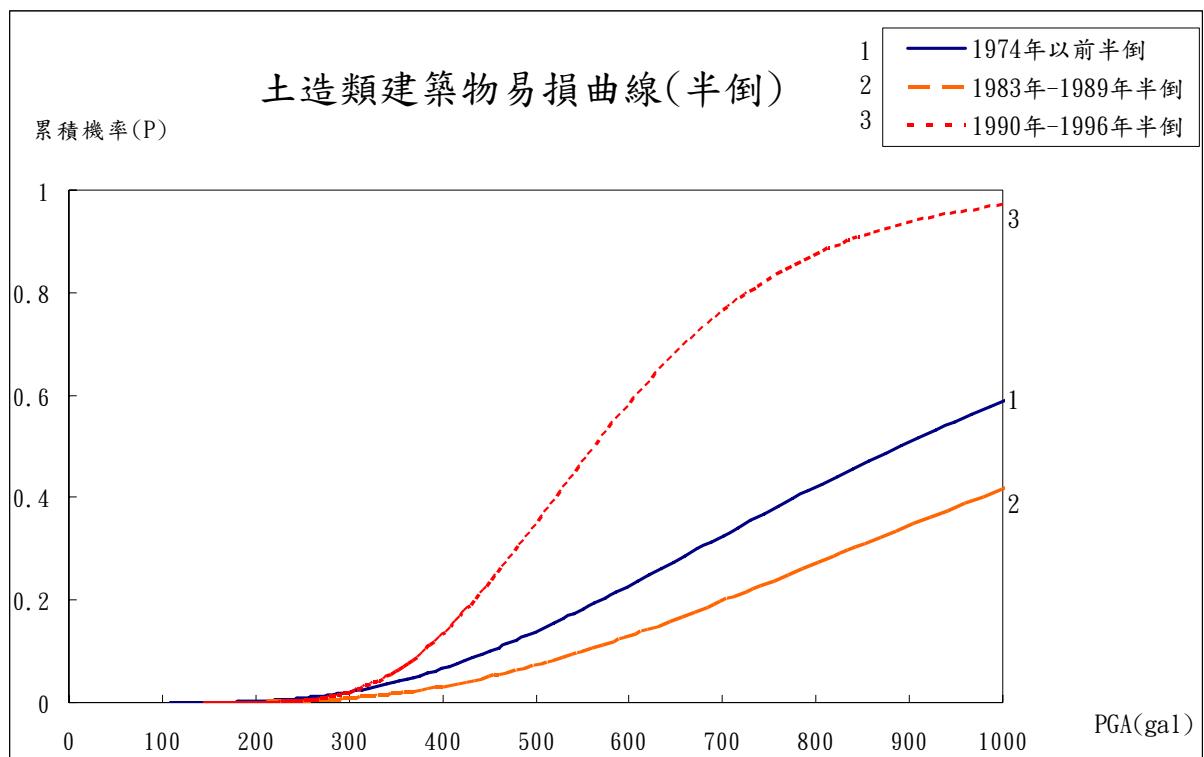


圖 5-2：土造類建築物易損曲線（半倒）圖

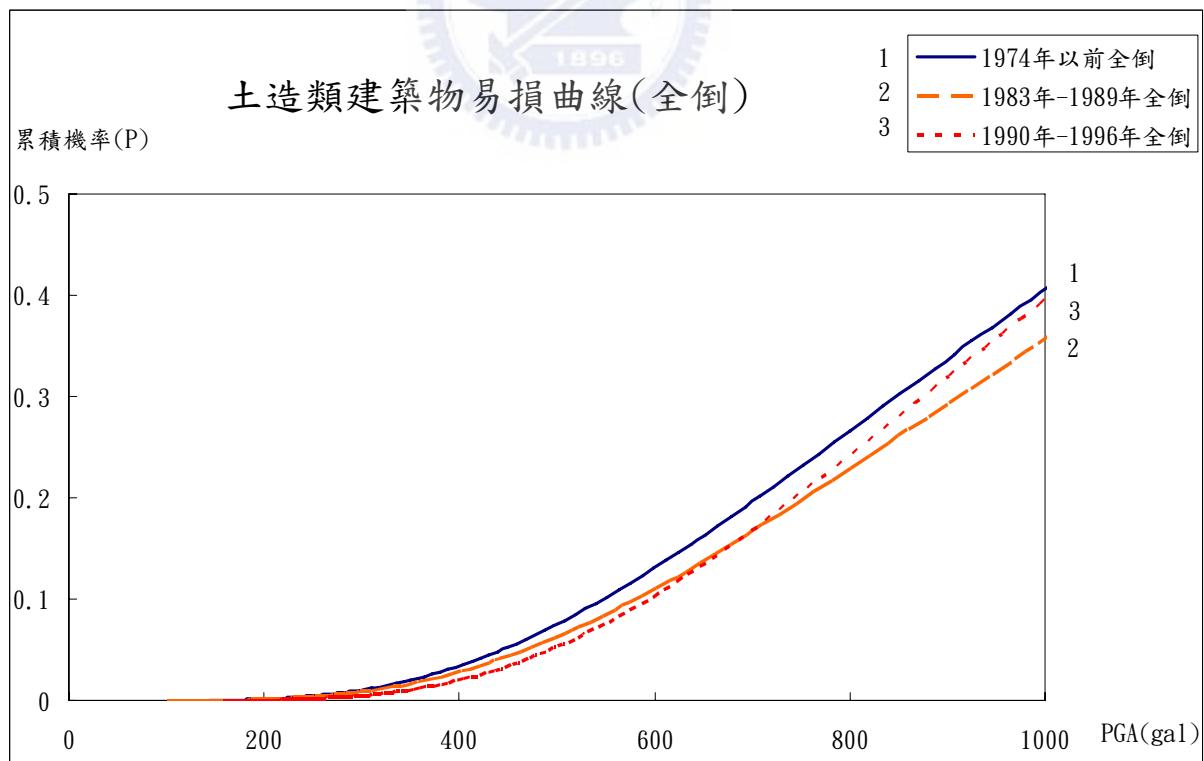


圖 5-3：土造類建築物易損曲線（全倒）圖

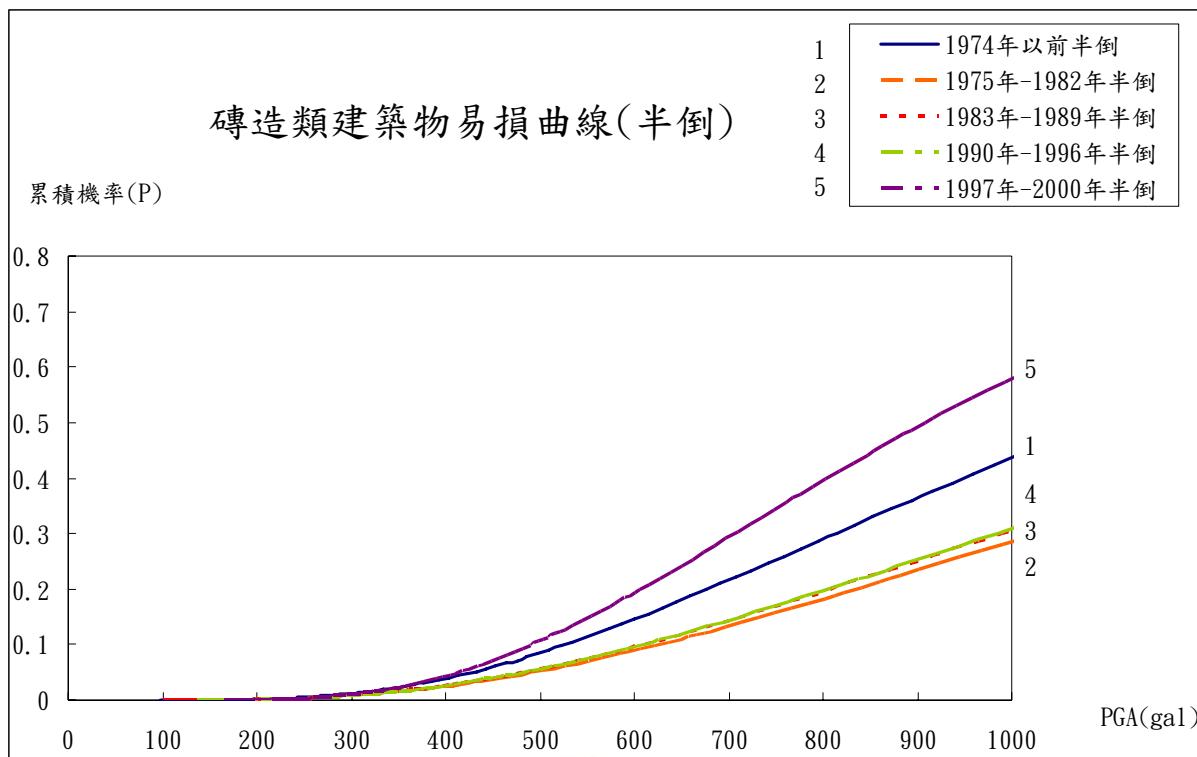


圖 5-4：磚造類建築物易損曲線（半倒）圖

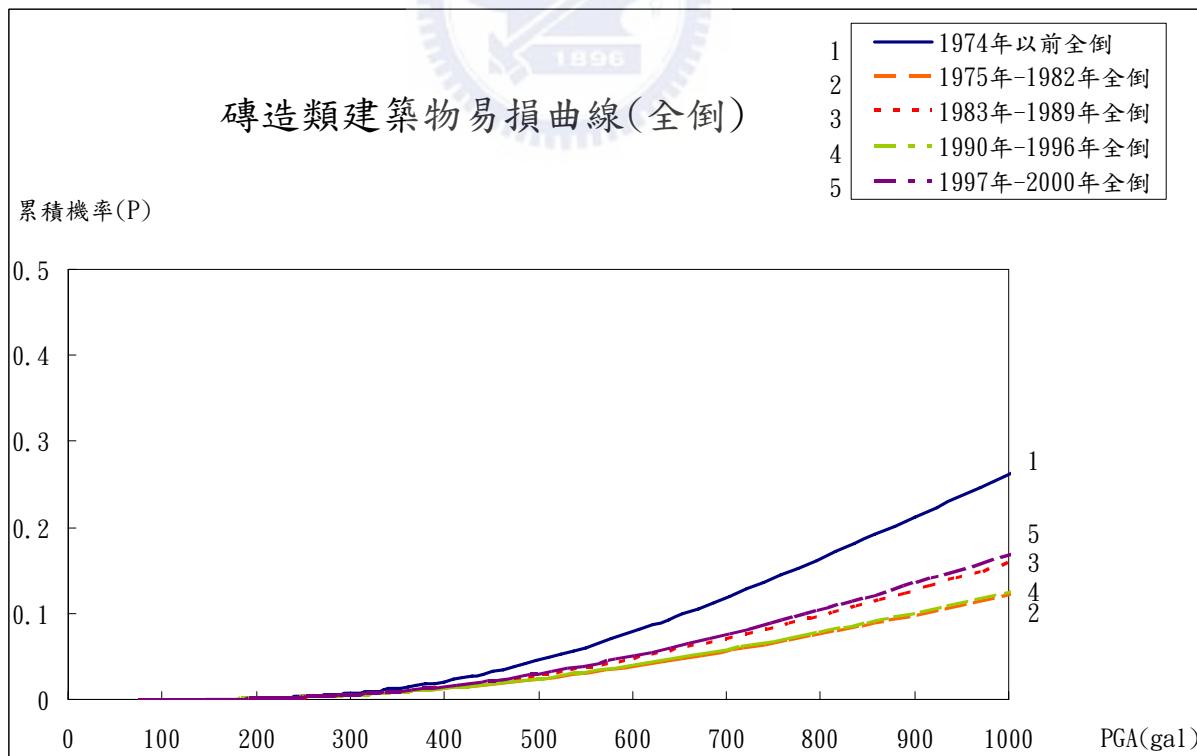


圖 5-5：磚造類建築物易損曲線（全倒）圖

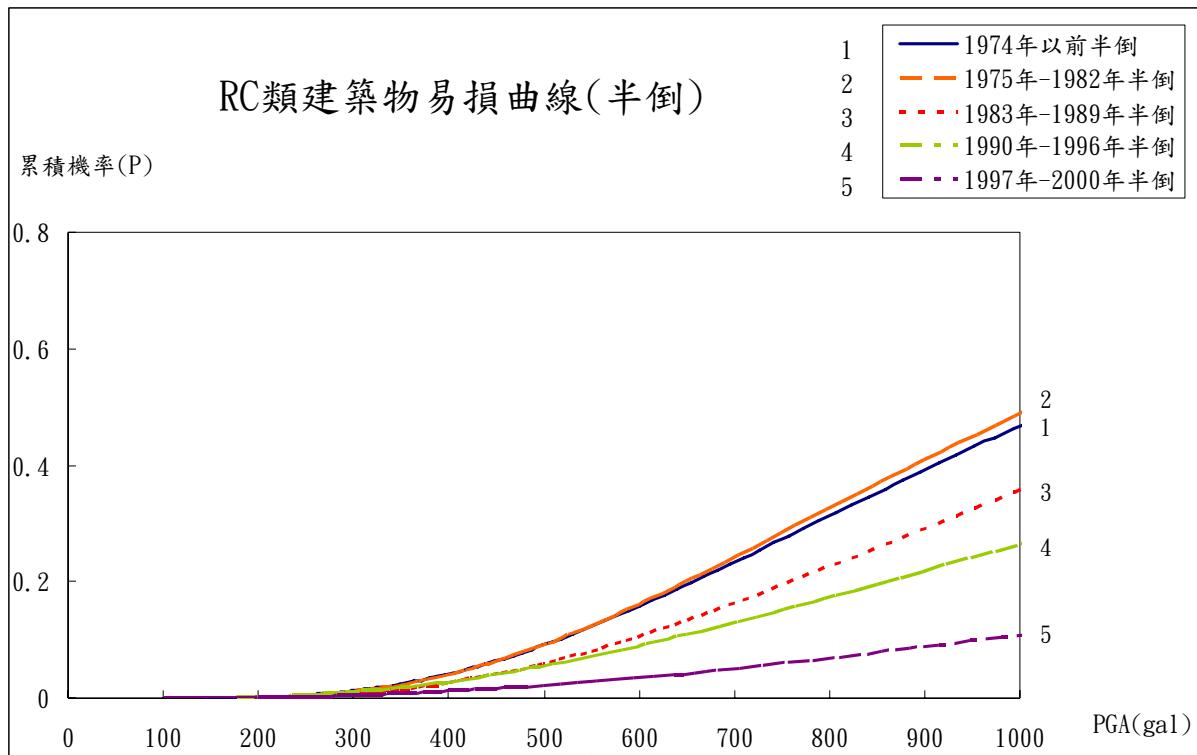


圖 5-6：RC 造類建築物易損曲線（半倒）圖

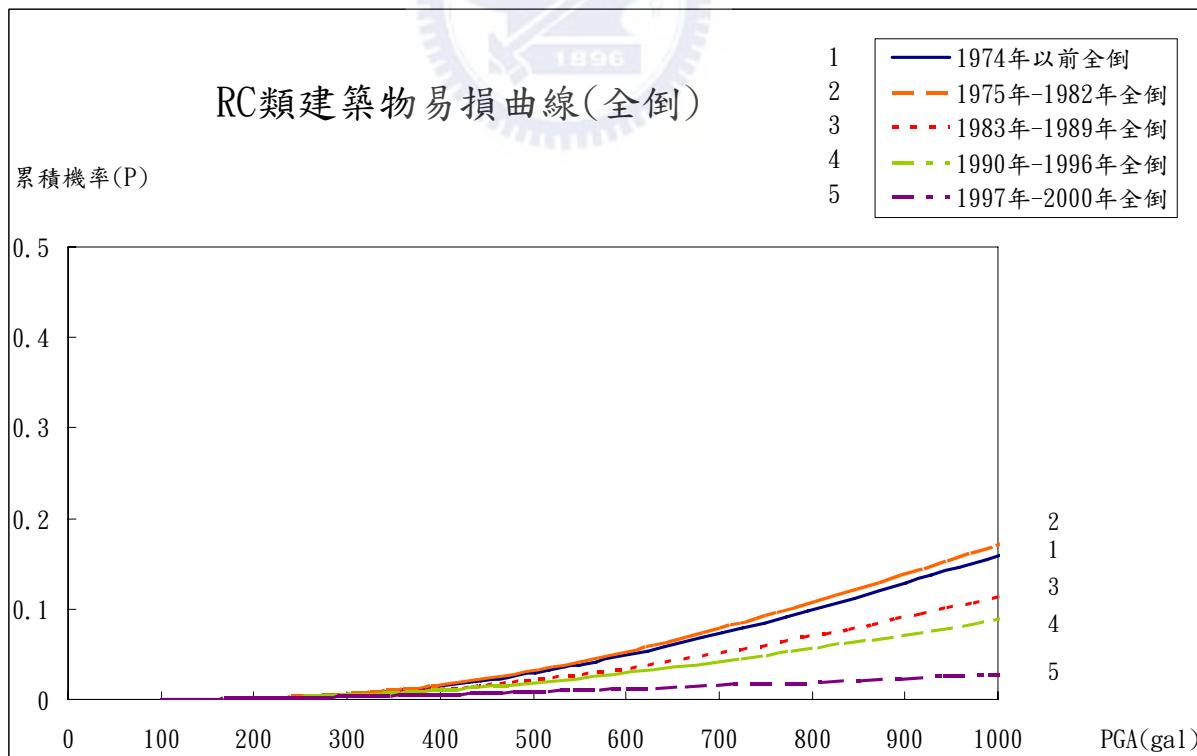


圖 5-7：RC 造類建築物易損曲線（全倒）圖

## 5.2 地震事件模擬

由於地震年平均發生率，根據穩定 poisson 分佈， $\mu=\lambda t$  所推算，某年有可能完全不發生地震或發生多次地震，因此當模擬地震數量越大時，則平均每年發生的地震數量才會越趨近於各區地震年平均發生值，研究中模擬近 3 萬個地震事件，目的就是為了借由大量的地震事件來推得平均發生年，再以此為基礎，計算後續之年平均損害率，下表 5-8 列出模擬產生 29923 個地震事件發生的震區與規模等相關資料：

表 5-8：模擬地震詳細表

地震發生震區所在										
單位:區	BS2	BS 3	BS 6	BS 10	BS 11	BS 12	BS 13	BS 14	BS 16	BS 17
震區內所有鄉鎮市個數										
單位:個	2	7	16	85	67	79	18	40	12	24
震區內發生地震次數										
單位:次	956	8932	4174	146	850	1888	6415	219	494	5845
各規模地震發生次數										
4.5	242	1899	858	33	220	364	1617	68	85	1049
4.6	182	1492	685	19	166	273	1160	57	62	833
4.7	158	1140	484	24	119	221	898	33	47	717
4.8	98	900	484	15	89	193	693	22	52	561
4.9	53	760	361	11	60	175	552	11	43	501
5	57	575	246	9	57	104	392	8	41	390
5.1	42	466	226	3	33	105	275	12	26	321
5.2	34	343	172	7	29	112	215	6	23	259
5.3	23	292	129	3	19	65	174	0	25	217
5.4	20	209	122	3	15	44	107	2	18	187
5.5	10	174	93	4	12	38	89	0	14	170
5.6	10	153	68	5	11	41	70	0	10	112
5.7	6	112	48	4	3	26	48	0	10	88
5.8	7	77	44	2	4	33	36	0	6	86
5.9	2	77	34	2	4	15	23	0	6	58
6	3	50	27	2	4	20	24	0	4	56
6.1	3	40	20	0	4	13	18	0	4	47
6.2	0	43	16	0	1	6	8	0	3	37
6.3	2	25	11	0	0	8	6	0	6	28
6.4	1	17	13	0	0	5	7	0	5	29
6.5	0	20	8	0	0	11	2	0	4	19
6.6	1	14	5	0	0	4	1	0	0	19

6.7	1	12	4	0	0	7	0	0	0	21
6.8	0	10	4	0	0	2	0	0	0	8
6.9	0	7	7	0	0	1	0	0	0	10
7	0	6	4	0	0	1	0	0	0	7
7.1	0	4	1	0	0	1	0	0	0	9
7.2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4
7.3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
7.4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
7.6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
7.7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

根據模擬產生的地震事件，透過前章節之地震衰減式計算出目標地點的強地動參數值後，再透過各類建築物的易損曲線即可求出該地震對目標地點之各類建築物之損害率，以建立所有目標地點之地震事件損失表進而推算出各縣市之各類別建築物之地震損害率，其地震事件損失表如下表 5-9 所示：

表 5-9：地震事件損失表

地震事件	發生地點	經緯位置 (X <sub>i</sub> ,Y <sub>i</sub> )	規模 (芮氏)	年發生率	對目標地點(鄉鎮市)造成之損失			
					LOC <sub>1</sub>	LOC <sub>2</sub>	LOC <sub>...</sub>	LOC <sub>350</sub>
1	LOC <sub>i</sub>	(X <sub>1</sub> ,Y <sub>1</sub> )	M <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>...</sub>	D <sub>350</sub>
2								
3								
4								
.....								
N								

## 5.3 建物損害率

### 5.3.1 建築物損害率推估式

藉由上表 5-9 便可得知台灣本島上所有鄉鎮市在面臨地震災害時所相對的建築物損害率，而根據 poisson 分配原則，某特定事件發生的次數期望值  $\mu$  與所選擇的時間成正比關係，即  $\mu=\lambda t$ ，因此在地震的年平均發生率已知情況下，可以估算出台灣本島地區要發生 29923 個地震事件約要 1769.6 年的時間，則可算出該類建築物在各鄉鎮市之年平均損害率，進而推算出該類建築物在各縣市之年平均損害率，如下【5-1】式所示

$$P = \frac{\sum_{j=1}^z \sum_{i=1}^n p_{ij}}{T \times Z} \quad 【5-1】$$

$P$	各縣市年平均損害率
$T$	分析年限
$p_{ij}$	地震事件損害率
$i$	地震事件
$z$	各縣市所含之鄉鎮市數

上式所推算出各類建築物在各縣市之年平均損害率將由下圖 5-8 至圖 5-10 所呈獻之，圖中主依各縣市建築物損害率高低做排序，為求製圖方便，各縣市名稱以代碼表示，對應表如表 5-10 所示：

表 5-10：縣市代碼對照表

代碼	縣市	代碼	縣市
C1	台北縣	C12	高雄縣
C2	宜蘭縣	C13	屏東縣
C3	桃園縣	C14	台東縣
C4	新竹縣	C15	花蓮縣
C5	苗栗縣	CT1	基隆市
C6	台中縣	CT2	新竹市
C7	彰化縣	CT3	台中市
C8	南投縣	CT4	嘉義市
C9	雲林縣	CT5	臺南市
C10	嘉義縣	M1	台北市
C11	台南縣	M2	高雄市

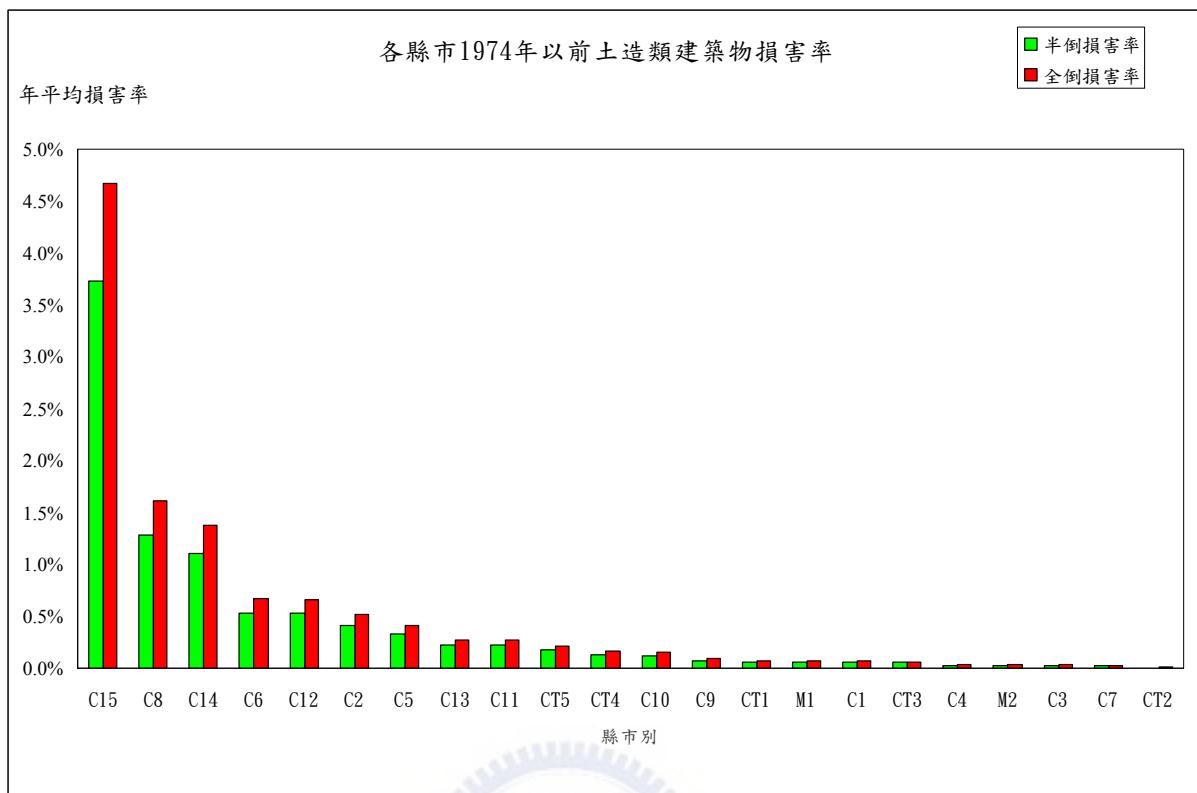


圖 5-8：各縣市土造類建築物年平均損害圖

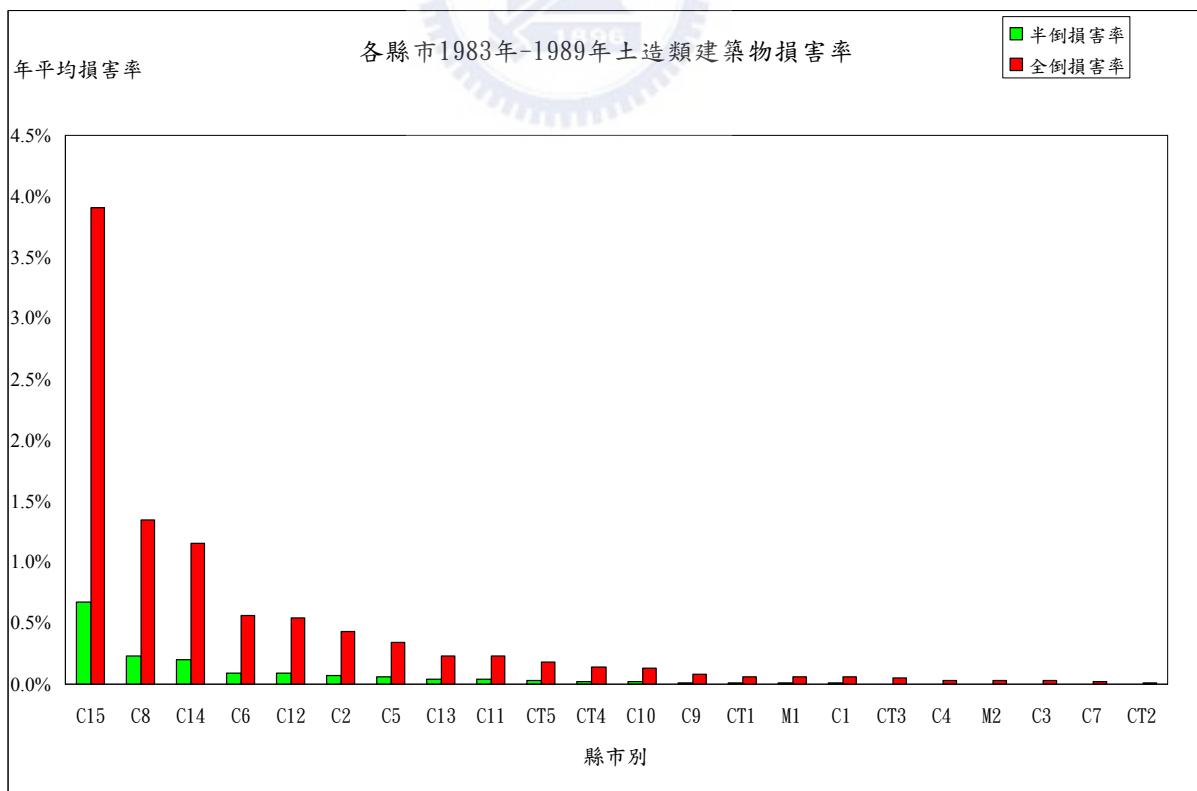


圖 5-8（續 1）

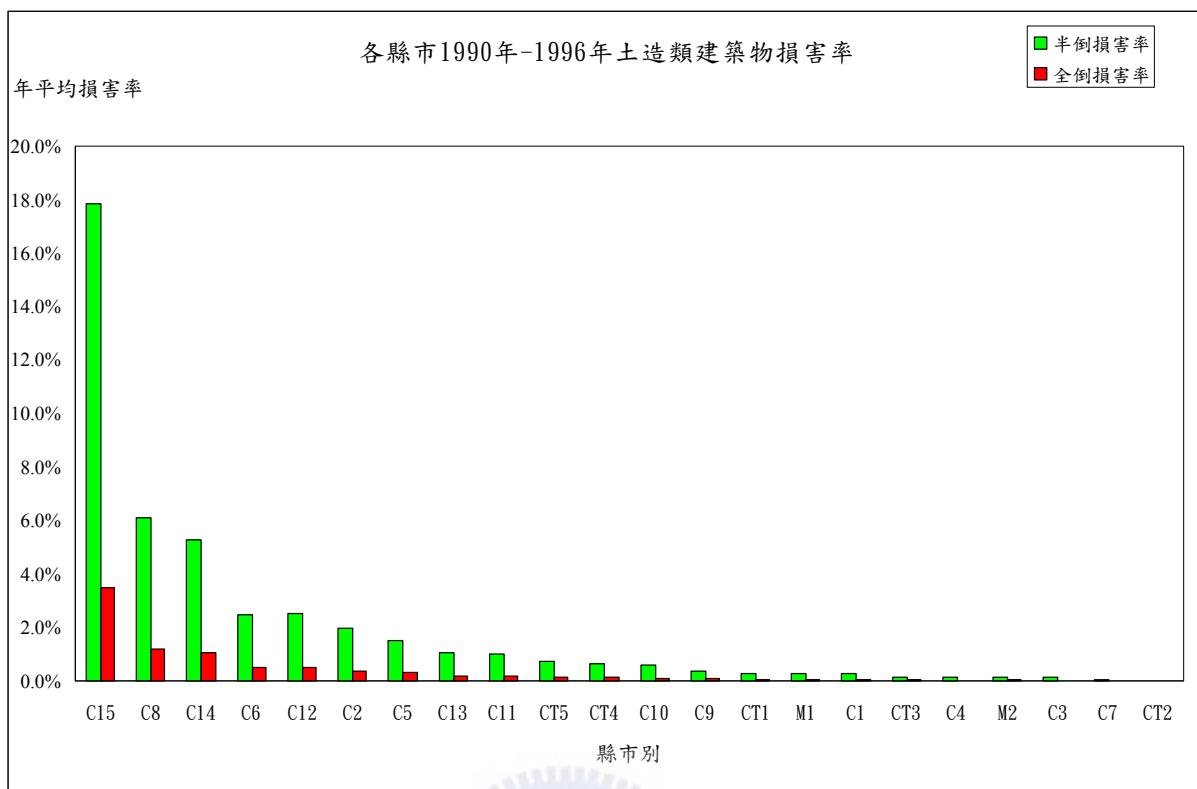


圖 5-8 (續 2)

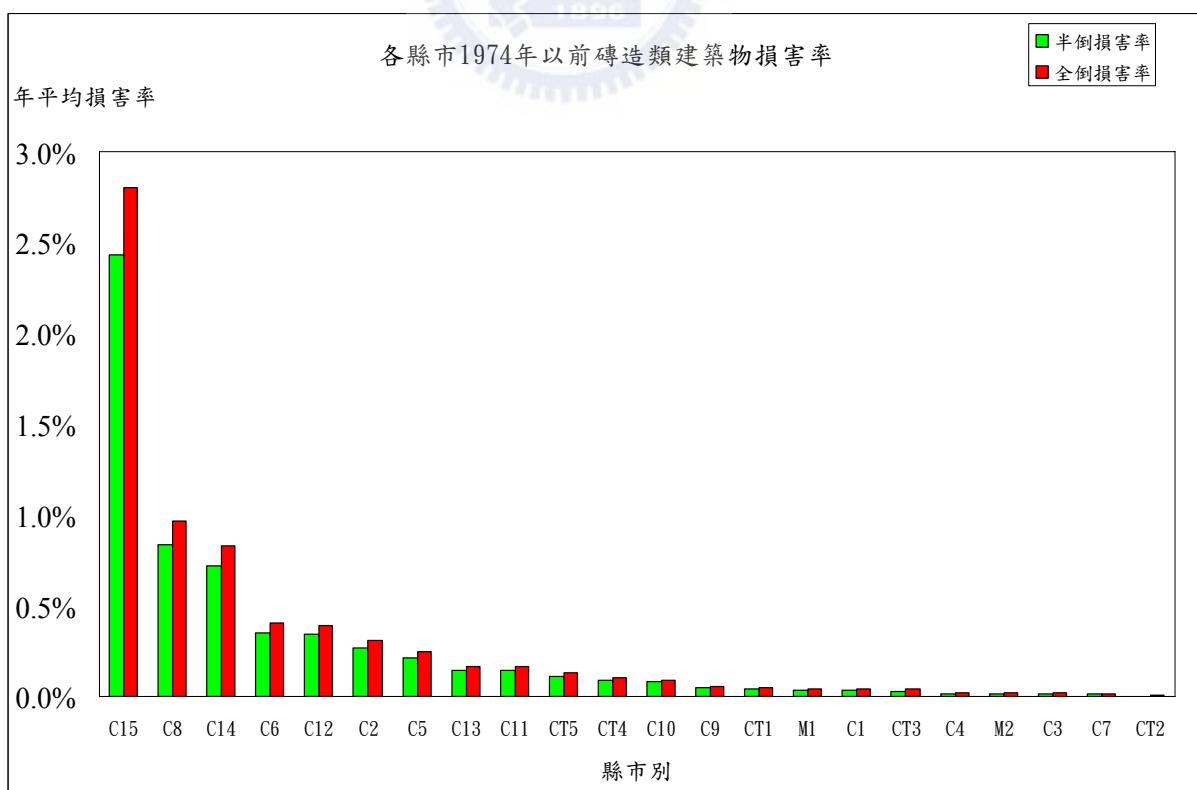


圖 5-9：各縣市磚造類建築物年平均損害圖

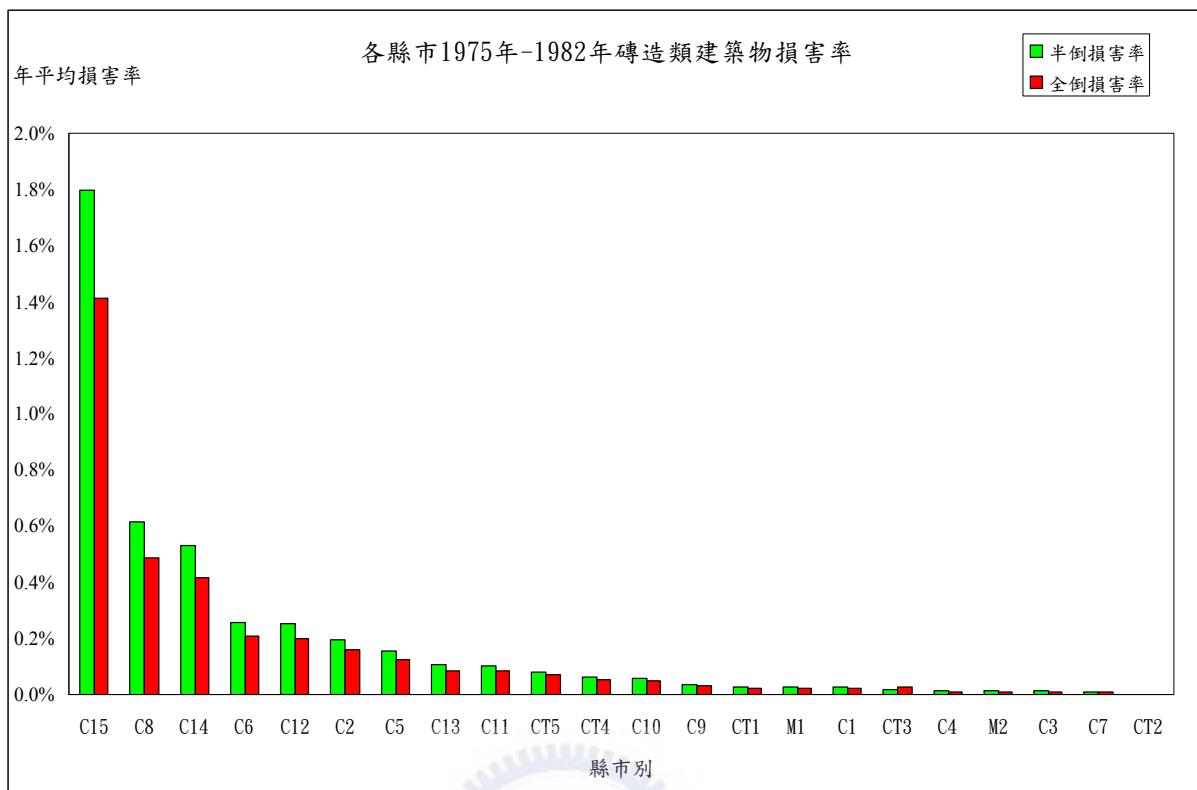


圖 5-9 (續 1)

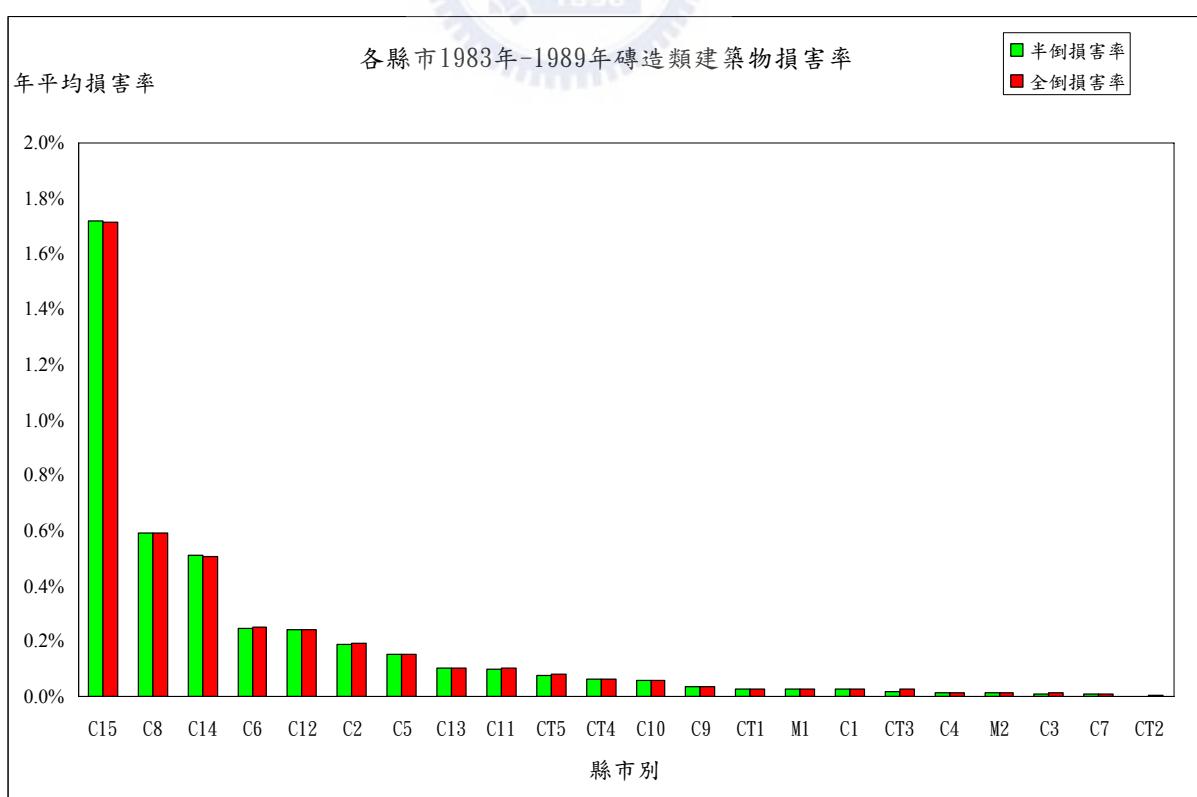


圖 5-9 (續 2)

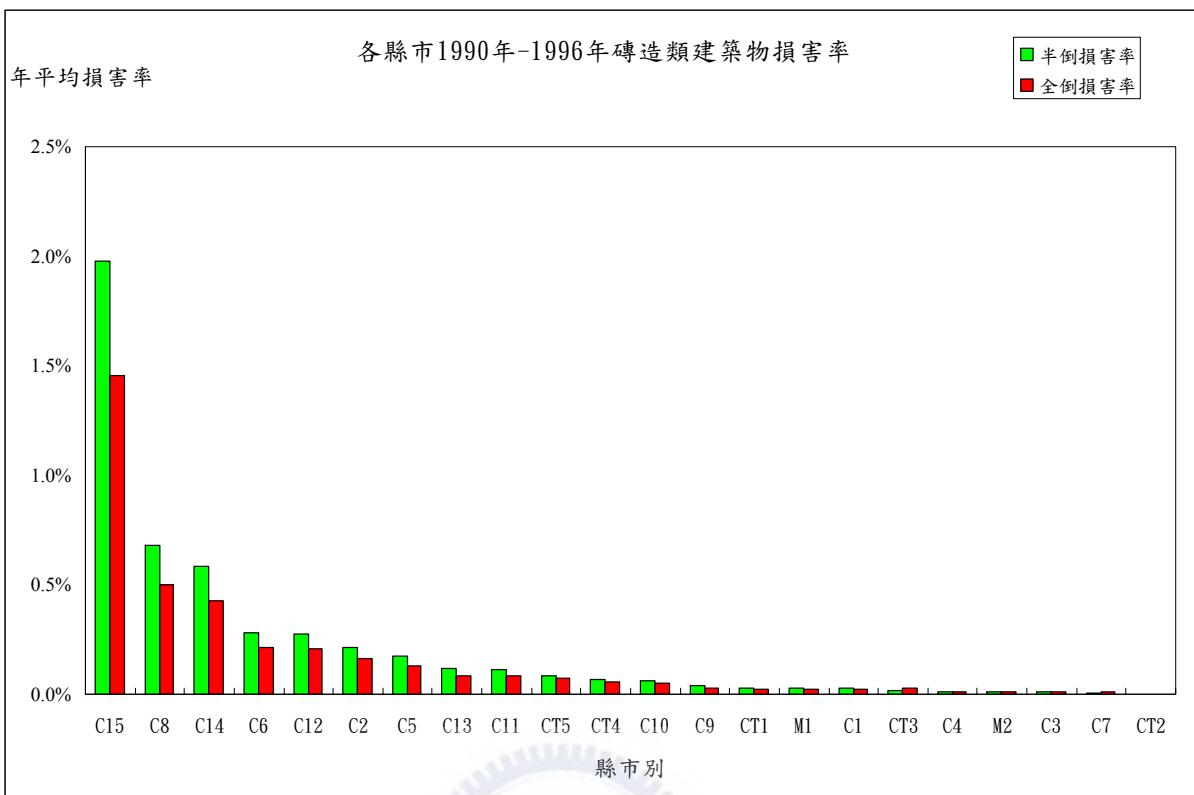


圖 5-9 (續 3)

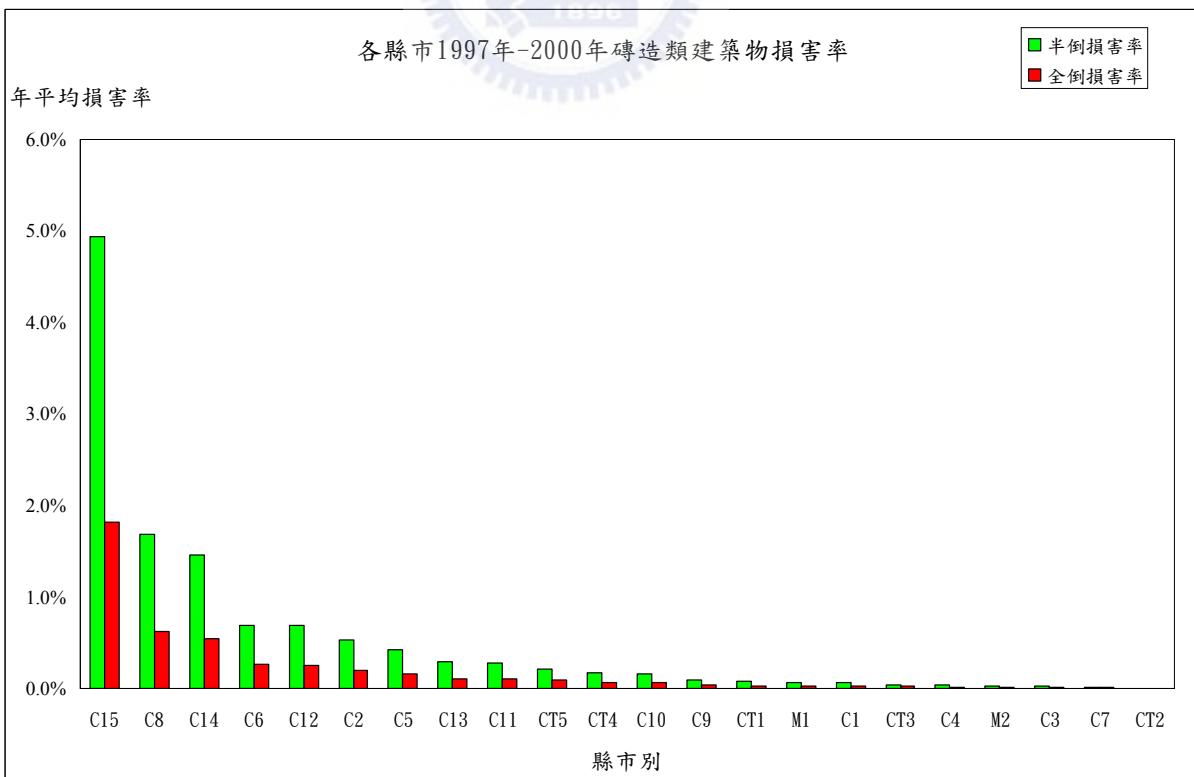


圖 5-9 (續 4)

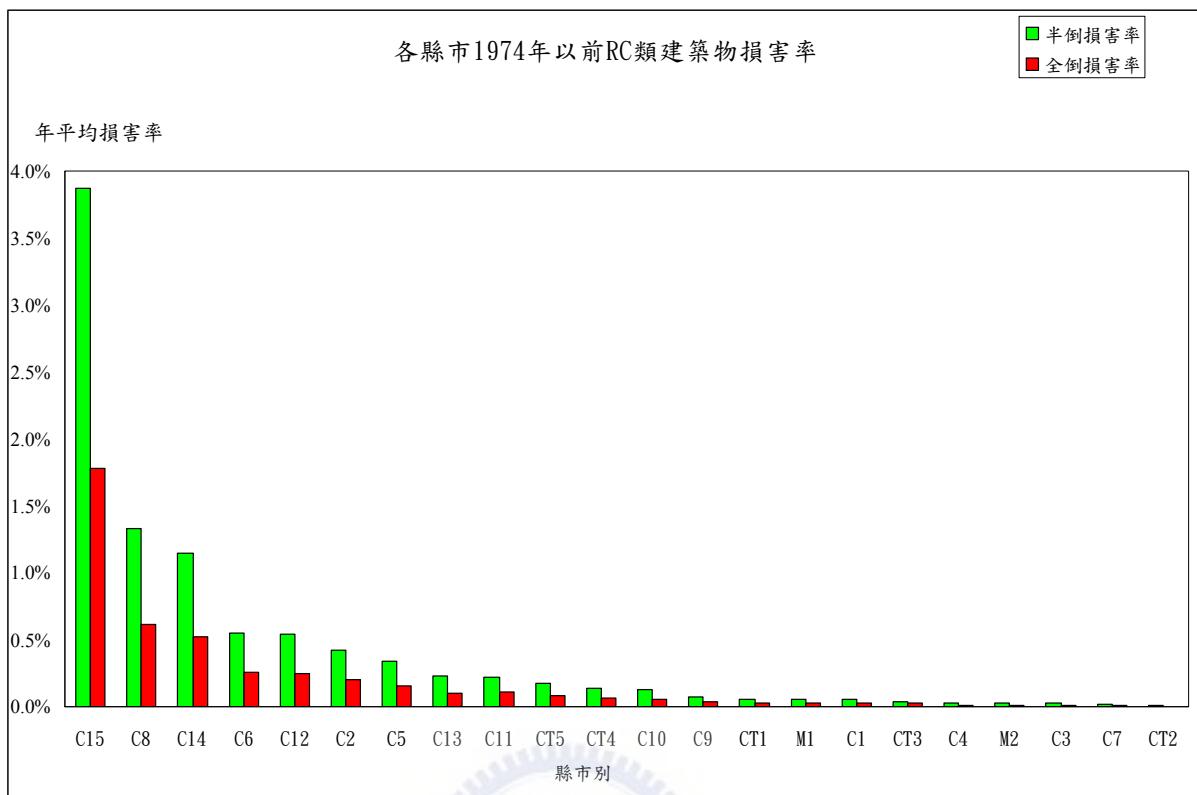


圖 5-10：各縣市 RC 類建築物年平均損害圖

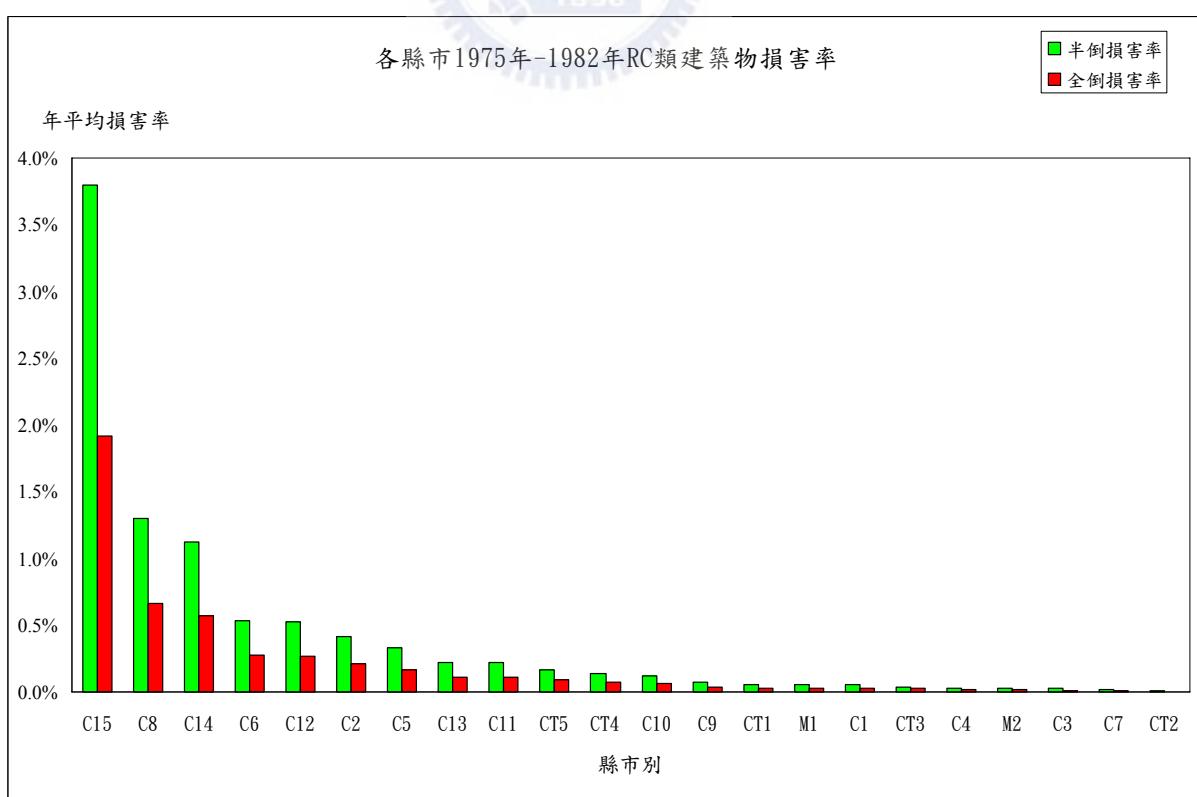


圖 5-10 (續 1)

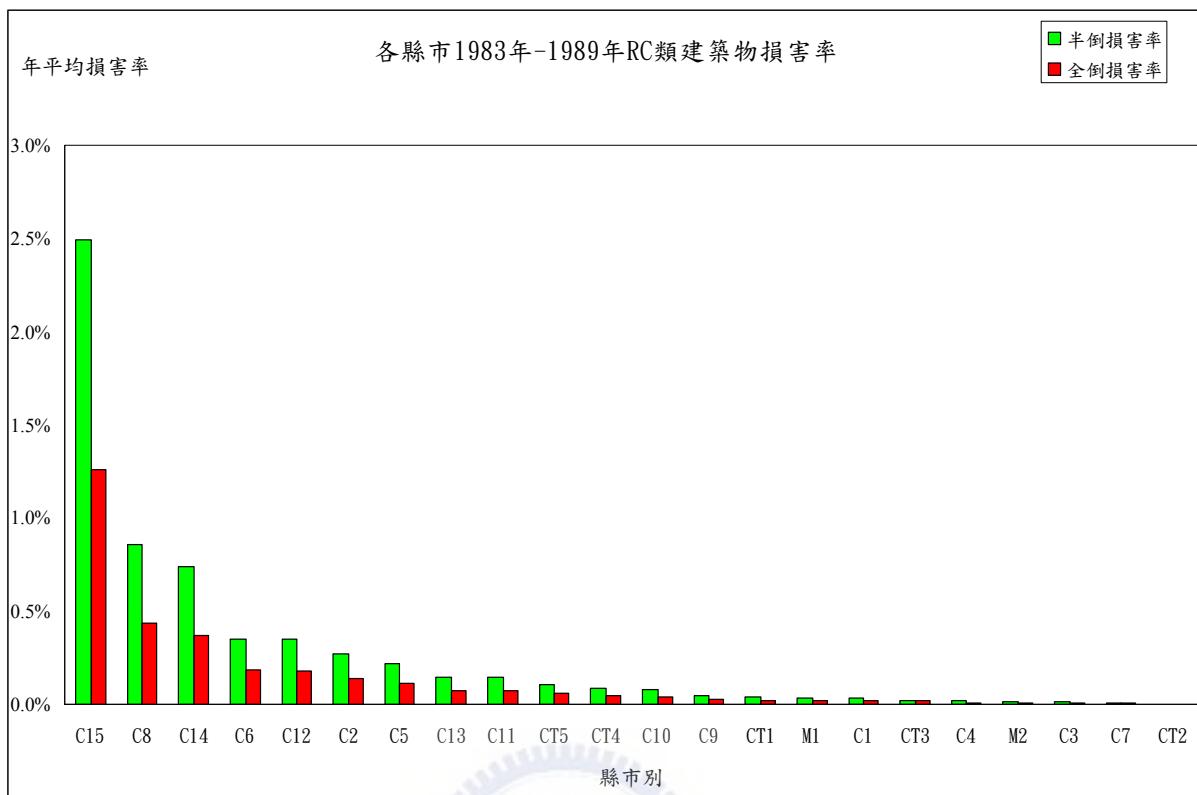


圖 5-10 (續 2)

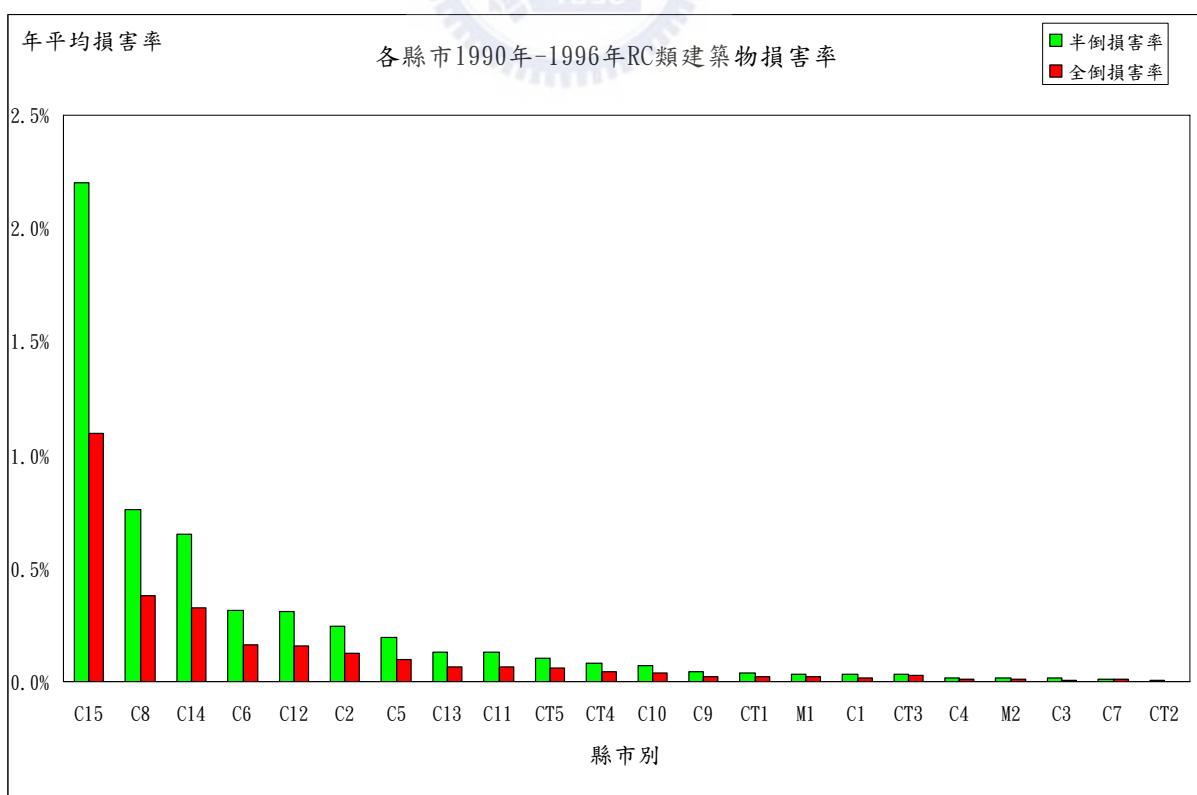


圖 5-10 (續 3)

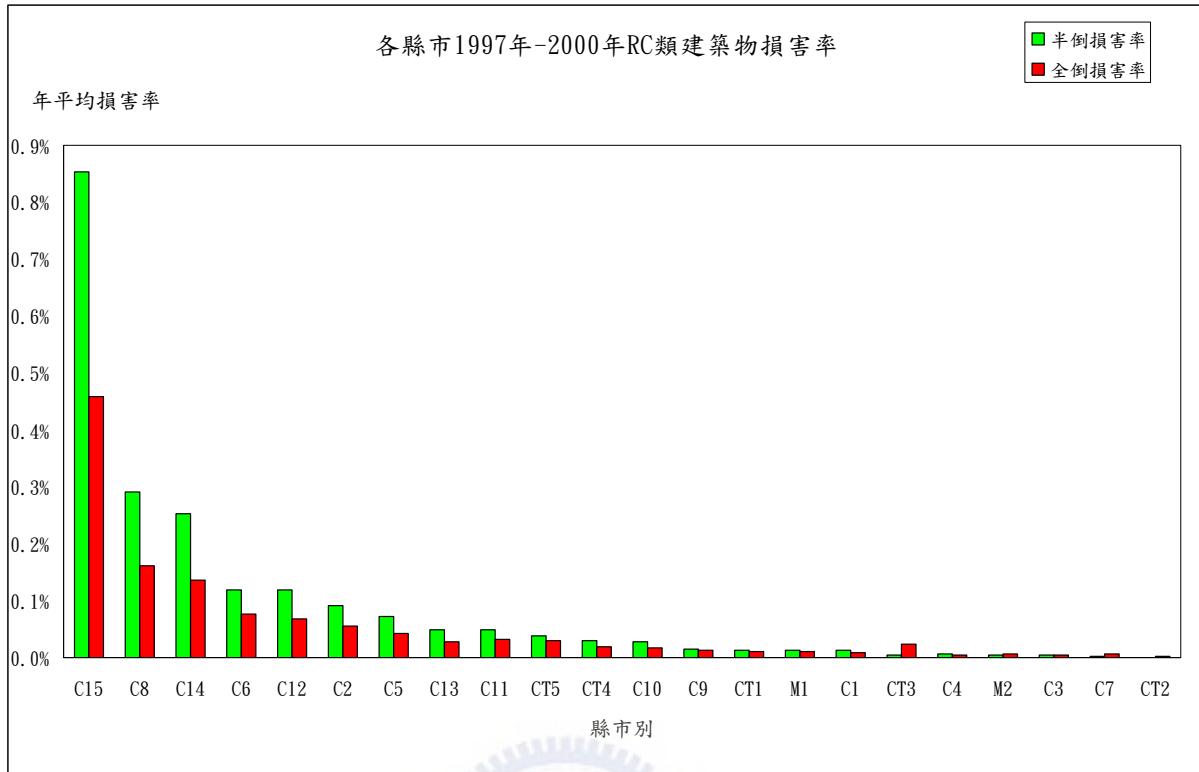


圖 5-10 (續 4)

圖中看出各行政區建物面臨之地震損害率，以 RC 類 1997 年-2000 年之建築物全倒而言，損害最高者為花蓮市每年約有 0.46% 全倒率，最低者為新竹市每年全倒率約 0.001%，相差有 460 倍之多，而在 921 地震中受損較為嚴重的南投縣與台中縣分析後可得知其亦屬面臨的地震損害率較高的縣市，值得留意的是，土造類型之建築物在面臨地震災害時，容易造成全倒損害，雖然近代土造類建物的興建數量已少，但早期興建的土造建築物若還存在，當地震發生時將會造成嚴重的損害，甚至影響居民生命安全。

## 第6章 結論與建議

### 6.1 結論

921 集集大地震發生距今已有近七年之久，但國內仍鮮有在建築物面臨地震災害之損害率方面之研究，另一方面，國內住宅地震保險制度雖然因此次地震事件作調整，卻是在保費方面改為全國單一費率，讓不同風險程度的地區負擔相同的保費，有違保險的公平原則，因此本研究透過 921 集集大地震實際的住宅類建築物受損資料，分析台灣本島各地區住宅類建築物未來每年可能面臨的地震損害率。

本研究所要探討的範圍主要為由 921 集集大地震實際的住宅類建築物受損資料探討其不同類別之建築物在面臨不同地表加速度所反應之損害情形，另一方面透過前人所研究之地震危害度分析，模擬出台灣本島可能發生之地震，進而推算台灣本島各行政區之各類建築物每年平均在面臨地震災害時可能發生的損害率。

在研究受到某些限制下，本文僅以地震頻率與規模對不同地區之建築物所造成的影响，最後可看出不同年別、建材的建築物，即便是面臨相同的地震災，損害率亦會有所差異，而不同行政區的建物則因受到地震衰減的影響，進而影響到其損害率，但現行保險制度讓不同風險程度建物承擔相同費用，確有不合理存在。在地震損害率方面，新竹市 1997 年至 2000 年建造的 RC 建物面臨最低地震損害率之住宅建築物，此外，在各類別建築物損害率方面，只有 RC 類建築物隨著建物規範改變，越靠近現代之建築物面臨地震災害時損害情形有減少的現象，其餘建材之建築物則無明顯差異，民眾若是有換屋上的考量，可依循文中分析之結果作參考。

本研究完成之具體成果有以下三點

#### 1. 各類建築物易損曲線之建立

- 透過實際住宅類建築物受損資料以戶為單位，將其依據建材形式（土造類、磚造類、RC 類、木造類、木造以外類別）分為五大類，再依據建築規範的改變將上述建築物依年別（西元 1974 年以前、1975 年-1982 年、1983 年-1989 年、1990 年-1996 年、1997 年-2000 年）再細分 5 類，以此損害資料為依變數，配合集集大地震發生時各主要測站所紀錄的最大地表加速度推算所需之鄉鎮市強地動參數值以此為自變數，利用線性回歸分析判斷其間相關性存在。
- 在損害情形的部份不僅只探討建築物判斷全倒的部份，更進一步分析建築物面臨地震災害時可能發生的半倒損害情形。

#### 2. 台灣本島地震事件模擬

- 由於大型災害性地震發生頻率低，因此本研究根據以往學者之地震危害度

分析方面之研究，得知各地震分區之地震發生特性後，配合貝氏定理透過模擬流程，模擬出 N 個發生在台灣本島之地震事件，以此作為往後推算各行政區之建築物面臨地震之年平均損害率，以彌補歷史資料之因為時間軸長不足導致所記錄的災害性地震事件不足。

### 3. 各行政區之各類別建築物年平均損害率推算

- 以往地震損害率是直接透過地震之年平均發生率推算其造成的損害，但對各區造成最嚴重損害的地震可能是發生在別的震區，因此研究中先以震區作劃分產生地震以符合地震的特性，再以台灣行政區的劃分推算建築物損害率，讓未來使用者在判斷所在地面臨建築物損害率時更為簡便。

## 6.2 後續研究之建議

在研究過程之中，仍有未臻完善之處，在此針對本研究進行過程中因時間及能力不足而遭遇之困難及無法解決之問題做一整理，建議後續相關之研究可以朝下列幾個方向著手，俾使建築物面臨地震損害率之推算更加完善及客觀：建議如下

### 一、建築物易損曲線分析

- 本研究在住宅建築物屬性方面之分類，僅以建材與年別兩大類別作分類依據。建議未來研究可以進一步討論樓層或建築物高度、樓層、形狀對損害率之影響。
- 本研究之易損曲線建立僅以住宅類建築物作分析，建議未來研究可探討不同用途之建築物損害情形與強地動參數之間的關係。
- 本研究在建立易損曲線時所採用的資料為 921 地震單一次之事件損害資料，因此在驗證方面需有其他地震事件造成之損害資料作對照分析，建議未來可依其他巨災地震事件比對分析其損害與地動強度之相關性。

### 二、地震事件模擬

- 本研究僅以點震源之地震事件作分析探討，其原因在於現今之地震觀測站所提供之資料無法提供線震源地震開裂的長度與開裂方向，以及台灣各地區與各斷層之距離資料尚無明確向量資料可考，因此建議未來研究若可取得上述資料，可探討線震源地震與面震源地震對台灣各地區建築物損害率之影響。
- 研究中鎖定之地震為發生在本島上之地震作探討，建議未來研究可以分析經緯位置在非本島之地震，探討發生在外海的地震對地震衰減是否會造成影響。

### 三、損害率推算

- 本研究在應用地震強度衰減行為上，僅以目標地與震源距離及地震本身之芮氏規模作探討，建議未來研究可以進一步討論各行政區之地質特性對地震強度衰減的行為。
- 本研究在應用地震強度衰減行為上，推算強地動參數方面是以目標地與震源之經緯位置作推算，建議未來研究可用二分帶座標計算兩點之間距離，推算強地震參數衰減值。
- 本研究在推算各行政區之各類建築物年平均損害是依據該區所含鄉鎮市個數做為權重計算而得之，建議未來研究可依據該區所含鄉鎮市之該類建築物總數為權重計算之。



## 參考文獻

凌氳寶，康裕民，陳森松，保險學理論與實務，四版，台北，華泰出版，民 92。

陳順宇，統計學，初版，台北，著者發行，民 85。

Michael H.Kunter，Christopher J.Nachtsheim，John Neter，應用線性回歸模型，第四版，McGraw Hill，民 94。

徐明同，地震學，台北，黎明出版，民 64。

吳瑞賢，工程水文學，初版，台北，科技圖書出版，民 90。

蕭江碧，李秉乾，周天穎，「921 大地震建築震害特性分析與統計」，內政部建研所研究計畫成果報告，民 91。

蕭江碧，田永銘，陳建忠，莊德興，「集集大地震罹難者居住建築物特性調查及統計分析(1)、(2)」，內政部建築研究所研究計畫成果報告，民 90。

美商達信，“地震保險制度之建立第二篇-地震風險評估與保險精算模型”，財政部保險司，民 92。

羅俊雄，葉錦勳，陳亮全，洪鴻智，簡文郁，廖文義，「HAZ-Taiwan 地震災害損失評估系統」，台大工程學刊，第 85 期，民 91。

王光煜，「日本地震保險制度及近況」，風險管理雜誌，第 10 期，pp.13-22，民 89。

廖淑惠，「從 921 大地震探討台灣地震保險制度」，保險資訊，第 171 期，pp.20-26，民 88。

趙秋燕，「美國加州地震保險制度」，保險專刊，第 59 輯，pp.116-142，民 89。

黃怡誠，「地震危害度更新模式之研究」，國立成功大學，碩士論文，民 92。

鄭錦桐，「台灣地區地震危害度分析-使用新的震源分區」，國立中央大學，碩士論文，民 86。

蔡昇達，「地震災害風險評估及地震保險之風險管理」，國立中央大學，碩士論文，民 89。

許文科，「整合性多目標地震風險評估系統之建立」，國立中央大學，博士論文，民 89。

陳信宏，「地震風險管理與保險費率釐定以台北市為例」，國立中央大學，碩士論文，民 91。

黃高駿，「建築結構受震之損害曲線」，國立台灣大學，碩士論文，民 92。

施俊泰，「建築結構地震易損性曲線之初步研究」，國立台灣科技大學，碩士論文，民

88 °

Gordon Woo,"Natural Catastrophe Probable Maximum Loss",British Actuarial Journal,Vol8,PartV,2002.

Helene Cossette,Thireey Duchesne,Etienne Marceau,"Modeling Catastrophe And Their Impact On Insurance Portfolios",North American Actuarial Journal,2002.

FEMA,"Earthquake Insurance: A Public Policy Dilemma",FEMA-68,1985.

C.Allin Corell,"Engineering Seismic Risk Analysis",Bull. Seism. Soc. ,Vol.58,p1583-1606,1968.

Tianqing Cao,Mark D. Petersen,"Uncertainty of Earthquake Losses Due to Model Uncertainty of Input Ground Motions In The Los Angeles Area",Vol.96 , p.365-376,2006.

Gutenberg,Richter,"Frequency Of Earthquake In California",Bull.Seism.Soc. Vol.34,p.185-188,1991.

R. Narayana Iyengar,K. T. Sundara Raja Iyengar," A nonstationary Random Process Model For Earthquake Accelerograms",Bull.Seism.Soc.,Vol.70,1970.



### 附錄 A-鄉鎮市形心經緯位置

代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置		代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置	
			緯度	經度				緯度	經度
1	宜蘭縣冬山鄉	BS2	24.646	121.735	36	新竹縣竹東鎮	BS10	24.721	121.067
2	宜蘭縣五結鄉	BS2	24.683	121.794	37	新竹縣新埔鎮	BS10	24.839	121.079
3	花蓮縣花蓮市	BS3	23.997	121.594	38	新竹縣湖口鄉	BS10	24.898	121.049
4	花蓮縣鳳林鎮	BS3	23.750	121.452	39	新竹縣新豐鄉	BS10	24.906	120.991
5	花蓮縣新城鄉	BS3	24.073	121.604	40	新竹縣芎林鄉	BS10	24.770	121.095
6	花蓮縣吉安鄉	BS3	23.959	121.554	41	新竹縣橫山鄉	BS10	24.707	121.145
7	花蓮縣壽豐鄉	BS3	23.843	121.520	42	新竹縣北埔鄉	BS10	24.674	121.057
8	花蓮縣秀林鄉	BS3	24.096	121.508	43	新竹縣寶山鄉	BS10	24.744	120.995
9	花蓮縣萬榮鄉	BS3	23.713	121.321	44	新竹縣峨眉鄉	BS10	24.674	120.999
10	台東縣台東市	BS6	22.756	121.105	45	苗栗縣苗栗市	BS10	24.561	120.803
11	台東縣成功鎮	BS6	23.107	121.342	46	苗栗縣苑裡鎮	BS10	24.410	120.678
12	台東縣關山鎮	BS6	23.054	121.168	47	苗栗縣通霄鎮	BS10	24.491	120.700
13	台東縣卑南鄉	BS6	22.775	120.982	48	苗栗縣竹南鎮	BS10	24.696	120.874
14	台東縣鹿野鄉	BS6	22.953	121.144	49	苗栗縣頭份鎮	BS10	24.671	120.918
15	台東縣池上鄉	BS6	23.094	121.212	50	苗栗縣後龍鎮	BS10	24.617	120.768
16	台東縣東河鄉	BS6	22.982	121.231	51	苗栗縣銅鑼鄉	BS10	24.463	120.790
17	台東縣長濱鄉	BS6	23.331	121.418	52	苗栗縣頭屋鄉	BS10	24.573	120.877
18	台東縣延平鄉	BS6	22.889	121.000	53	苗栗縣西湖鄉	BS10	24.536	120.750
19	台東縣達仁鄉	BS6	22.372	120.836	54	苗栗縣造橋鄉	BS10	24.630	120.874
20	花蓮縣玉里鎮	BS6	23.380	121.349	55	苗栗縣三灣鄉	BS10	24.636	120.946
21	花蓮縣光復鄉	BS6	23.649	121.432	56	台中縣豐原市	BS10	24.252	120.727
22	花蓮縣豐濱鄉	BS6	23.592	121.484	57	台中縣大甲鎮	BS10	24.380	120.639
23	花蓮縣瑞穗鄉	BS6	23.523	121.400	58	台中縣清水鎮	BS10	24.298	120.570
24	花蓮縣富里鄉	BS6	23.201	121.288	59	台中縣沙鹿鎮	BS10	24.233	120.582
25	花蓮縣卓溪鄉	BS6	23.381	121.160	60	台中縣梧棲鎮	BS10	24.253	120.520
26	桃園縣中壢市	BS10	24.978	121.201	61	台中縣潭子鄉	BS10	24.213	120.704
27	桃園縣楊梅鎮	BS10	24.917	121.115	62	台中縣大雅鄉	BS10	24.232	120.631
28	桃園縣蘆竹鄉	BS10	25.056	121.286	63	台中縣外埔鄉	BS10	24.333	120.656
29	桃園縣大園鄉	BS10	25.063	121.203	64	台中縣大安鄉	BS10	24.367	120.586
30	桃園縣龜山鄉	BS10	25.024	121.345	65	台中縣烏日鄉	BS10	24.084	120.614
31	桃園縣八德鄉	BS10	24.950	121.283	66	台中縣大肚鄉	BS10	24.144	120.542
32	桃園縣新屋鄉	BS10	24.978	121.068	67	台中縣龍井鄉	BS10	24.202	120.535
33	桃園縣觀音鄉	BS10	25.024	121.092	68	彰化縣彰化市	BS10	24.077	120.555
34	桃園縣復興鄉	BS10	24.718	121.353	69	彰化縣鹿港鎮	BS10	24.085	120.442
35	新竹縣竹北市	BS10	24.835	120.993	70	彰化縣和美鎮	BS10	24.121	120.506

代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置		代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置	
			緯度	經度				緯度	經度
71	彰化縣線西鄉	BS10	24.126	120.454	106	台中市西區	BS10	24.148	120.658
72	彰化縣伸港鄉	BS10	24.168	120.471	107	台中市北區	BS10	24.160	120.675
73	彰化縣福興鄉	BS10	24.029	120.427	108	台中市西屯區	BS10	24.187	120.618
74	彰化縣秀水鄉	BS10	24.036	120.499	109	台中市南屯區	BS10	24.143	120.606
75	彰化縣花壇鄉	BS10	24.031	120.553	110	台中市北屯區	BS10	24.190	120.722
76	彰化縣芬園鄉	BS10	24.002	120.627	111	台北縣板橋市	BS11	25.007	121.448
77	彰化縣員林鎮	BS10	23.959	120.582	112	台北縣三重市	BS11	25.069	121.478
78	彰化縣溪湖鎮	BS10	23.953	120.472	113	台北縣中和市	BS11	24.991	121.490
79	彰化縣田中鎮	BS10	23.859	120.581	114	台北縣永和市	BS11	25.009	121.507
80	彰化縣大村鄉	BS10	23.994	120.551	115	台北縣新莊市	BS11	25.036	121.423
81	彰化縣埔鹽鄉	BS10	23.995	120.454	116	台北縣新店市	BS11	24.931	121.525
82	彰化縣埔心鄉	BS10	23.958	120.528	117	台北縣樹林鎮	BS11	24.983	121.388
83	彰化縣永靖鄉	BS10	23.920	120.527	118	台北縣鶯歌鎮	BS11	24.956	121.340
84	彰化縣社頭鄉	BS10	23.907	120.592	119	台北縣三峽鎮	BS11	24.873	121.400
85	彰化縣二水鄉	BS10	23.816	120.625	120	台北縣淡水鎮	BS11	25.186	121.456
86	彰化縣北斗鎮	BS10	23.870	120.527	121	台北縣汐止鎮	BS11	25.085	121.655
87	彰化縣二林鎮	BS10	23.928	120.396	122	台北縣瑞芳鎮	BS11	25.091	121.831
88	彰化縣田尾鄉	BS10	23.900	120.514	123	台北縣土城鄉	BS11	24.969	121.436
89	彰化縣埤頭鄉	BS10	23.880	120.466	124	台北縣蘆洲鄉	BS11	25.089	121.465
90	彰化縣芳苑鄉	BS10	23.960	120.345	125	台北縣五股鄉	BS11	25.098	121.428
91	彰化縣大城鄉	BS10	23.860	120.310	126	台北縣泰山鄉	BS11	25.055	121.404
92	彰化縣竹塘鄉	BS10	23.856	120.404	127	台北縣林口鄉	BS11	25.102	121.339
93	彰化縣溪州鄉	BS10	23.834	120.521	128	台北縣深坑鄉	BS11	24.999	121.612
94	雲林縣西螺鎮	BS10	23.781	120.457	129	台北縣石碇鄉	BS11	24.952	121.639
95	雲林縣林內鄉	BS10	23.754	120.605	130	台北縣坪林鄉	BS11	24.914	121.711
96	雲林縣二崙鄉	BS10	23.789	120.390	131	台北縣三芝鄉	BS11	25.232	121.498
97	雲林縣崙背鄉	BS10	23.784	120.333	132	台北縣石門鄉	BS11	25.259	121.556
98	雲林縣麥寮鄉	BS10	23.787	120.237	133	台北縣八里鄉	BS11	25.127	121.365
99	雲林縣東勢鄉	BS10	23.701	120.254	134	台北縣平溪鄉	BS11	25.028	121.751
100	新竹市東區	BS10	24.789	120.985	135	台北縣雙溪鄉	BS11	24.999	121.822
101	新竹市北區	BS10	24.820	120.941	136	台北縣貢寮鄉	BS11	25.042	121.905
102	新竹市香山區	BS10	24.771	120.913	137	台北縣金山鄉	BS11	25.221	121.599
103	台中市中區	BS10	24.144	120.673	138	台北縣萬里鄉	BS11	25.179	121.641
104	台中市東區	BS10	24.139	120.690	139	台北縣烏來鄉	BS11	24.785	121.557
105	台中市南區	BS10	24.122	120.656	140	宜蘭縣宜蘭市	BS11	24.753	121.751

代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置		代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置	
			緯度	經度				緯度	經度
141	宜蘭縣羅東鎮	BS11	24.687	121.768	176	台北市士林區	BS11	25.136	121.525
142	宜蘭縣蘇澳鎮	BS11	24.545	121.849	177	台北市北投區	BS11	25.155	121.508
143	宜蘭縣頭城鎮	BS11	24.900	121.820	178	雲林縣斗六市	BS12	23.707	120.564
144	宜蘭縣礁溪鄉	BS11	24.816	121.714	179	雲林縣斗南鎮	BS12	23.679	120.470
145	宜蘭縣壯圍鄉	BS11	24.762	121.796	180	雲林縣虎尾鎮	BS12	23.710	120.428
146	宜蘭縣員山鄉	BS11	24.743	121.666	181	雲林縣土庫鎮	BS12	23.698	120.360
147	宜蘭縣三星鄉	BS11	24.671	121.658	182	雲林縣北港鎮	BS12	23.591	120.291
148	宜蘭縣大同鄉	BS11	24.546	121.533	183	雲林縣古坑鄉	BS12	23.635	120.613
149	宜蘭縣南澳鄉	BS11	24.466	121.635	184	雲林縣大埤鄉	BS12	23.646	120.413
150	桃園縣桃園市	BS11	24.998	121.288	185	雲林縣莿桐鄉	BS12	23.767	120.527
151	桃園縣大溪鎮	BS11	24.874	121.292	186	雲林縣褒忠鄉	BS12	23.717	120.303
152	桃園縣龍潭鄉	BS11	24.849	121.200	187	雲林縣台西鄉	BS12	23.712	120.194
153	桃園縣平鎮鄉	BS11	24.924	121.210	188	雲林縣元長鄉	BS12	23.646	120.323
154	新竹縣關西鎮	BS11	24.787	121.190	189	雲林縣四湖鄉	BS12	23.646	120.202
155	新竹縣尖石鄉	BS11	24.598	121.274	190	雲林縣口湖鄉	BS12	23.575	120.162
156	新竹縣五峰鄉	BS11	24.586	121.141	191	雲林縣水林鄉	BS12	23.571	120.222
157	苗栗縣公館鄉	BS11	24.500	120.851	192	嘉義縣太保市	BS12	23.475	120.341
158	苗栗縣獅潭鄉	BS11	24.525	120.914	193	嘉義縣朴子鎮	BS12	23.445	120.242
159	基隆市中正區	BS11	25.145	121.767	194	嘉義縣布袋鎮	BS12	23.383	120.173
160	基隆市七堵區	BS11	25.108	121.671	195	嘉義縣大林鎮	BS12	23.595	120.462
161	基隆市暖暖區	BS11	25.085	121.739	196	嘉義縣民雄鄉	BS12	23.544	120.439
162	基隆市仁愛區	BS11	25.121	121.736	197	嘉義縣溪口鄉	BS12	23.599	120.400
163	基隆市中山區	BS11	25.150	121.721	198	嘉義縣新港鄉	BS12	23.551	120.344
164	基隆市安樂區	BS11	25.146	121.698	199	嘉義縣六腳鄉	BS12	23.517	120.255
165	基隆市信義區	BS11	25.129	121.764	200	嘉義縣東石鄉	BS12	23.462	120.164
166	台北市松山區	BS11	25.067	121.556	201	嘉義縣義竹鄉	BS12	23.351	120.217
167	台北市信義區	BS11	25.031	121.564	202	嘉義縣鹿草鄉	BS12	23.409	120.300
168	台北市大安區	BS11	25.028	121.536	203	嘉義縣水上鄉	BS12	23.429	120.416
169	台北市中山區	BS11	25.070	121.530	204	嘉義縣中埔鄉	BS12	23.397	120.513
170	台北市中正區	BS11	25.031	121.512	205	嘉義縣竹崎鄉	BS12	23.503	120.591
171	台北市大同區	BS11	25.066	121.504	206	嘉義縣梅山鄉	BS12	23.549	120.623
172	台北市萬華區	BS11	25.031	121.490	207	嘉義縣番路鄉	BS12	23.420	120.626
173	台北市文山區	BS11	24.990	121.567	208	嘉義縣大埔鄉	BS12	23.293	120.583
174	台北市南港區	BS11	25.040	121.613	209	嘉義縣阿里山	BS12	23.451	120.791
175	台北市內湖區	BS11	25.085	121.583	210	台南縣新營市	BS12	23.301	120.293

代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置		代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置	
			緯度	經度				緯度	經度
211	台南縣鹽水鎮	BS12	23.303	120.237	246	高雄縣永安鄉	BS12	22.827	120.222
212	台南縣白河鎮	BS12	23.356	120.453	247	高雄縣彌陀鄉	BS12	22.777	120.231
213	台南縣柳營鄉	BS12	23.270	120.344	248	嘉義市東區	BS12	23.483	120.461
214	台南縣後壁鄉	BS12	23.361	120.337	249	嘉義市西區	BS12	23.476	120.413
215	台南縣東山鄉	BS12	23.283	120.424	250	臺南市東區	BS12	22.982	120.222
216	臺南縣麻豆鎮	BS12	23.183	120.234	251	臺南市南區	BS12	22.951	120.183
217	臺南縣下營鄉	BS12	23.235	120.252	252	臺南市西區	BS12	23.000	120.187
218	臺南縣六甲鄉	BS12	23.230	120.373	253	臺南市北區	BS12	23.012	120.198
219	臺南縣官田鄉	BS12	23.192	120.351	254	臺南市中區	BS12	22.992	120.197
220	臺南縣大內鄉	BS12	23.152	120.390	255	臺南市安南區	BS12	23.047	120.151
221	臺南縣佳里鎮	BS12	23.167	120.172	256	臺南市安平區	BS12	22.990	120.156
222	臺南縣學甲鎮	BS12	23.256	120.177	257	南投縣竹山鎮	BS13	23.717	120.720
223	臺南縣西港鄉	BS12	23.122	120.199	258	南投縣鹿谷鄉	BS13	23.736	120.769
224	臺南縣七股鄉	BS12	23.121	120.099	259	南投縣信義鄉	BS13	23.653	121.013
225	臺南縣將軍鄉	BS12	23.212	120.115	260	臺南縣玉井鄉	BS13	23.130	120.458
226	臺南縣北門鄉	BS12	23.277	120.128	261	臺南縣南化鄉	BS13	23.124	120.561
227	臺南縣新化鎮	BS12	23.038	120.326	262	高雄縣旗山鎮	BS13	22.878	120.464
228	臺南縣善化鎮	BS12	23.142	120.291	263	高雄縣美濃鎮	BS13	22.906	120.554
229	臺南縣新市鄉	BS12	23.084	120.280	264	高雄縣六龜鄉	BS13	23.003	120.660
230	臺南縣安定鄉	BS12	23.103	120.220	265	高雄縣甲仙鄉	BS13	23.125	120.608
231	臺南縣山上鄉	BS12	23.106	120.340	266	高雄縣杉林鄉	BS13	22.989	120.554
232	臺南縣楠西鄉	BS12	23.179	120.510	267	高雄縣內門鄉	BS13	22.958	120.465
233	臺南縣左鎮鄉	BS12	23.025	120.401	268	高雄縣茂林鄉	BS13	22.921	120.751
234	臺南縣仁德鄉	BS12	22.947	120.224	269	高雄縣桃源鄉	BS13	23.226	120.850
235	臺南縣歸仁鄉	BS12	22.956	120.286	270	高雄縣三民鄉	BS13	23.271	120.723
236	臺南縣關廟鄉	BS12	22.953	120.326	271	屏東縣三地鄉	BS13	22.789	120.693
237	臺南縣龍崎鄉	BS12	22.959	120.383	272	屏東縣霧台鄉	BS13	22.750	120.794
238	臺南縣永康鄉	BS12	23.031	120.243	273	屏東縣瑪家鄉	BS13	22.671	120.680
239	高雄縣岡山鎮	BS12	22.807	120.293	274	台東縣海端鄉	BS13	23.129	121.013
240	高雄縣橋頭鄉	BS12	22.755	120.292	275	高雄縣鳳山市	BS14	22.618	120.346
241	高雄縣田寮鄉	BS12	22.867	120.388	276	高雄縣林園鄉	BS14	22.509	120.381
242	高雄縣阿蓮鄉	BS12	22.871	120.309	277	高雄縣大寮鄉	BS14	22.594	120.400
243	高雄縣路竹鄉	BS12	22.861	120.252	278	高雄縣大樹鄉	BS14	22.712	120.415
244	高雄縣湖內鄉	BS12	22.896	120.217	279	高雄縣大社鄉	BS14	22.740	120.365
245	高雄縣茄萣鄉	BS12	22.888	120.190	280	高雄縣仁武鄉	BS14	22.707	120.351

代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置		代碼	鄉鎮市	震區	鄉鎮市形心位置	
			緯度	經度				緯度	經度
281	高雄縣鳥松鄉	BS14	22.669	120.358	316	屏東縣車城鄉	BS16	22.079	120.733
282	高雄縣燕巢鄉	BS14	22.792	120.364	317	屏東縣滿州鄉	BS16	22.059	120.828
283	高雄縣梓官鄉	BS14	22.746	120.251	318	屏東縣枋山鄉	BS16	22.251	120.654
284	屏東縣屏東市	BS14	22.668	120.474	319	屏東縣泰武鄉	BS16	22.608	120.684
285	屏東縣潮州鎮	BS14	22.537	120.549	320	屏東縣來義鄉	BS16	22.504	120.679
286	屏東縣東港鎮	BS14	22.467	120.462	321	屏東縣春日鄉	BS16	22.386	120.698
287	屏東縣萬丹鄉	BS14	22.580	120.470	322	屏東縣獅子鄉	BS16	22.236	120.739
288	屏東縣長治鄉	BS14	22.693	120.552	323	屏東縣牡丹鄉	BS16	22.154	120.808
289	屏東縣麟洛鄉	BS14	22.648	120.526	324	台東縣太麻里	BS16	22.583	120.980
290	屏東縣九如鄉	BS14	22.732	120.486	325	台東縣大武鄉	BS16	22.381	120.895
291	屏東縣里港鄉	BS14	22.799	120.502	326	台東縣金峰鄉	BS16	22.587	120.864
292	屏東縣鹽埔鄉	BS14	22.743	120.563	327	苗栗縣卓蘭鎮	BS17	24.331	120.839
293	屏東縣高樹鄉	BS14	22.803	120.586	328	苗栗縣大湖鄉	BS17	24.402	120.839
294	屏東縣萬巒鄉	BS14	22.590	120.582	329	苗栗縣南庄鄉	BS17	24.571	121.008
295	屏東縣內埔鄉	BS14	22.648	120.583	330	苗栗縣三義鄉	BS17	24.381	120.766
296	屏東縣竹田鄉	BS14	22.596	120.530	331	苗栗縣泰安鄉	BS17	24.407	121.076
297	屏東縣新埤鄉	BS14	22.488	120.574	332	台中縣東勢鎮	BS17	24.244	120.819
298	屏東縣枋寮鄉	BS14	22.401	120.586	333	台中縣后里鄉	BS17	24.320	120.698
299	屏東縣新園鄉	BS14	22.516	120.447	334	台中縣神岡鄉	BS17	24.266	120.664
300	屏東縣崁頂鄉	BS14	22.520	120.490	335	台中縣新社鄉	BS17	24.179	120.824
301	屏東縣林邊鄉	BS14	22.444	120.504	336	台中縣石岡鄉	BS17	24.264	120.784
302	屏東縣南州鄉	BS14	22.483	120.509	337	台中縣霧峰鄉	BS17	24.047	120.714
303	屏東縣佳冬鄉	BS14	22.432	120.539	338	台中縣太平鄉	BS17	24.107	120.761
304	高雄市鹽埕區	BS14	22.627	120.276	339	台中縣大里鄉	BS17	24.099	120.688
305	高雄市鼓山區	BS14	22.644	120.271	340	台中縣和平鄉	BS17	24.276	121.150
306	高雄市左營區	BS14	22.684	120.282	341	南投縣南投市	BS17	23.924	120.673
307	高雄市楠梓區	BS14	22.727	120.290	342	南投縣埔里鎮	BS17	23.983	120.961
308	高雄市三民區	BS14	22.658	120.307	343	南投縣草屯鎮	BS17	23.984	120.726
309	高雄市新興區	BS14	22.630	120.299	344	南投縣集集鎮	BS17	23.840	120.775
310	高雄市前金區	BS14	22.629	120.286	345	南投縣名間鄉	BS17	23.848	120.668
311	高雄市苓雅區	BS14	22.626	120.309	346	南投縣中寮鄉	BS17	23.911	120.772
312	高雄市前鎮區	BS14	22.590	120.301	347	南投縣魚池鄉	BS17	23.873	120.925
313	高雄市旗津區	BS14	22.586	120.280	348	南投縣國姓鄉	BS17	24.013	120.861
314	高雄市小港區	BS14	22.550	120.341	349	南投縣水里鄉	BS17	23.817	120.833
315	屏東縣恆春鎮	BS16	21.982	120.734	350	南投縣仁愛鄉	BS17	24.030	121.135

### 附錄 B-各震區參數表

芮式規模定則:LogN (m) =a-bm				
震區	年平均發生率	規模上限	a	b
BS02	5.34799	7.7	8.3884	1.2857
BS03	14.00733	8	7.59935	1.022
BS06	7.32601	7.1	6.98293	0.9644
BS10	0.3663	6	5.39008	0.8918
BS11	0.64469	6.2	7.25321	1.2544
BS12	1.91941	7.1	6.03073	0.8836
BS13	3.64835	6.6	8.03698	1.254
BS14	0.27839	5.4	9.11673	1.7163
BS16	0.58608	6.5	5.05954	0.7884
BS17	3.88278	7.3	6.1838	0.8525



### 附錄 C-各主要測站強地動參數值

測站代碼	緯度	經度	南北 PGA	東西 PGA
tcu048	24.179	120.594	175.68	116.7
tcu049	24.179	120.69	241.65	273.29
tcu050	24.181	120.634	128.24	142.96
tcu051	24.16	120.652	231	157.13
tcu052	24.198	120.739	438.98	349.02
tcu053	24.194	120.669	132.31	224.66
tcu054	24.161	120.675	190.51	142.84
tcu055	24.139	120.664	208.09	256.66
tcu056	24.159	120.624	140.27	153.78
tcu059	24.269	120.564	162.22	157.19
tcu060	24.225	120.644	101.09	196.73
tcu061	24.135	120.549	154.14	133.45
tcu063	24.108	120.616	130.46	179.56
tcu065	24.059	120.691	563.27	774.48
tcu067	24.091	120.72	312.77	488.62
tcu068	24.277	120.766	361.82	501.84
tcu070	24.196	120.54	157.55	248.17
tcu071	23.986	120.788	638.88	517.57
tcu072	24.041	120.849	370.37	465.36
tcu073	23.962	120.962	368.34	586.3
tcu074	23.983	120.678	257.38	325.15
tcu075	23.908	120.676	420.02	339.99
tcu076	23.812	120.845	302.42	439.46
tcu078	23.84	120.894	416.91	579.42
tcu079	24.147	120.676	182.61	220.96
tcu082	23.883	120.9	422.77	989.09
tcu084	23.904	120.856	225.2	347.64
tcu089	25.012	121.279	62.15	86.97
tcu092	24.77	121.049	88.35	70.88
tcu094	24.692	121.013	684.58	366.3
tcu095	24.24	120.709	252.96	208.93
tcu101	24.249	120.721	169.22	298.24
tcu102	24.246	120.602	86.97	101.51
tcu105	24.239	120.559	124.53	111.08
tcu107	24.073	120.54	143.91	127.7
tcu129	23.878	120.684	610.65	982.81

附錄 D-南投縣、台中縣、台中市強地動參數值

縣市別	鄉鎮別	緯度	經度	距震源	PGA(gal)	LN(PGA)
南投縣	中寮鄉	23.911	120.772	6.828	555.048	6.319
	仁愛鄉	24.030	121.135	41.285	849.594	6.745
	水里鄉	23.817	120.833	6.510	564.722	6.336
	名間鄉	23.848	120.668	11.407	778.606	6.658
	竹山鎮	23.717	120.720	15.987	956.823	6.864
	信義鄉	23.653	121.013	32.343	630.792	6.447
	南投市	23.924	120.673	13.643	669.413	6.506
	埔里鎮	23.983	120.961	23.605	702.881	6.555
	草屯鎮	23.984	120.726	15.939	597.461	6.393
	國姓鄉	24.013	120.861	19.950	692.532	6.540
	魚池鄉	23.873	120.925	14.990	909.720	6.813
	鹿谷鄉	23.736	120.769	12.774	604.559	6.404
	集集鎮	23.840	120.775	1.265	801.625	6.687
台中縣	霧峰鄉	24.047	120.714	22.968	748.678	6.618
	大里市	24.099	120.688	29.215	828.945	6.720
	太平市	24.107	120.761	28.687	702.959	6.555
	東勢鎮	24.244	120.819	44.029	591.425	6.383
	新社鄉	24.179	120.824	36.887	612.614	6.418
	石岡鄉	24.264	120.784	46.134	533.092	6.279
	和平鄉	24.276	121.150	60.562	665.500	6.501
	豐原市	24.252	120.727	45.075	332.734	5.807
	大甲鎮	24.380	120.639	60.759	175.473	5.167
	清水鎮	24.298	120.570	54.249	200.804	5.302
	沙鹿鎮	24.233	120.582	47.110	154.464	5.040
	梧棲鎮	24.253	120.520	52.080	194.564	5.271
	神岡鄉	24.266	120.664	47.767	279.069	5.631
	潭子鄉	24.213	120.704	41.143	435.964	6.078
	大雅鄉	24.232	120.631	45.143	193.041	5.263
	外埔鄉	24.333	120.656	55.194	230.201	5.439
	大安鄉	24.367	120.586	60.784	179.283	5.189
	烏日鄉	24.084	120.614	31.016	226.489	5.423
	大肚鄉	24.144	120.542	40.689	271.101	5.602
	龍井鄉	24.202	120.535	46.453	271.588	5.604
台中市	台中市	24.154	120.662	35.907	260.485	5.563