

逢 甲 大 學
土 地 管 理 學 系 碩 士 班
碩 士 論 文

震後火災救援能力探討研究
-以台中市為例

**The Study of Fire Fighting Rescue For The Fire
Following Earthquake –The Taichung’s Case**

指 導 教 授：楊龍士

研 究 生：黃憲章

中 華 民 國 九 十 六 年 元 月

摘要

根據美、日兩國及我國所發生地震災害之經驗中，可以知道震後火災所造成的損失是相當嚴重的，震後之消防搶救亦比平常之消防搶救困難許多。西元 1999 年台灣發生 921 集集大地震所造成之災害最為嚴重，由於本次災害損失紀錄較為詳細，可供未來建立震後火災起火預測模式之參考依據。

本研究以 921 地震火災資料為震後火災分析樣本，首先以集群分析分類出不同都市層級之行政區，在以各行政區內之樓地板面積、土地使用面積及最大地表加速度為變數，利用統計迴歸方法研擬起火次數評估模式，並加入地震強度修正係數於此公式中，據以建立一震後火災預測模式，其中本模式可預測不同地震規模下可能發生之起火次數。本研究利用震後火災起火模式，推估台中市各行政區域內可能發生之火災次數，並計算出街廓內之起火次數呈現於地理空間中，象徵震後火災發生潛勢高低，以供土地使用及防災規劃時之參考，經由本研究發現台中市震後火災發生次數較高之街廓分佈多集中於近市中心之舊市區、工業區及沿主要道路兩側等區域為主。

由於消防救災能力是捍衛一地區之安全重要保障，最後本研究針對各行政區內消防力加以探討，以路徑觀念分析各消防分隊服務範圍，套疊震後火災起火潛勢圖，討論其消防力是否足夠應付；其次針對台中市各消防分隊之消防車數量與消防人員做一檢討，提供消防單位於消防力配置之參考或擬定各分隊互相支援機制，以提高救災效益與時效性。

關鍵字：震後火災、震後火災預測評估、消防力

Abstract

According to disaster records on many countries, fires took place following after earthquakes and caused serious damages. Studies on the post-earthquake fires and related damages were seldom addressed for a few decades. This study, using 921 Chichi earthquake and damage records collected from 1999 to 2005, focuses on post-earthquake fires and tends to build a model in order to predict fires after earthquakes. The study is processed under the following steps. First, the study areas are classified by eight zones by using cluster analysis. There are three variables chosen in each zone, including total floor areas, land use areas, and PGA. Secondly, an evaluation model is built based on fire numbers run by statistical regression. Earthquake intensity modified coefficient is added into the model to build a fire prediction model, which would predict fire numbers in different scales of earthquakes.

By using the prediction model, this study may estimate fires in different zones in the Taichung City. Furthermore, fires can be estimated into block cells. In other words, fire probability can be measured in each zone by calculating fires in each block. The outcomes could be helpful while city planners and disaster managers work on spatial plans and policies. In addition, this study has used path analysis and network analysis of GIS to analyze service areas for firefighting teams. Using fire prediction map generated by prediction model, the firefighting rescue can be evaluated. This will bring new strategies to firefighting teams while allocating rescue resources and planning supporting system. The model built in the study can be an aid and useful reference to disaster planning and rescue tasks.

Keywords: fires, post-earthquake fire, fire prediction, urban firefighting, firefighting rescue

目 錄

第一章 緒論.....	1
第一節 問題陳述與分析.....	1
第二節 研究目的.....	3
第三節 研究範圍與限制.....	4
第四節 研究內容與流程.....	5
第二章 文獻回顧.....	7
第一節 震後火災案例回顧.....	7
第二節 國內、外震後火災評估研究.....	18
第三節 地表震動強度衰減分析.....	32
第四節 消防力探討.....	34
第三章 研究設計.....	37
第一節 救災能力範圍選取.....	38
第二節 震後火災起火推估.....	40
第三節 消防救災分析.....	42
第四章 震後火災起火模式建立.....	44
第一節 震後火災起火公式驗證與分析.....	44
第二節 地震值評估.....	47
第三節 震後火災次數預測研擬.....	50
第五章 實證分析.....	55
第一節 研究區域資料彙整.....	55
第二節 震後火災起火評估.....	61
第三節 消防力服務範圍劃設與分析.....	68
第四節 震後火災消防戰力分析與檢討.....	76
第六章 結論與建議.....	84
第一節 結論.....	84
第二節 建議與後續研究.....	85
參考文獻.....	86

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	6
圖 2-1 日本阪神地震後火災時間分布圖.....	8
圖 2-2 美國北嶺地震後火災時間分布圖.....	11
圖 2-3 921 地震後火災日期別件數圖.....	12
圖 2-4 日本東京都地震災害危險度評估項目示意圖.....	18
圖 2-5 東京灣北部火災燒失棟數分布圖.....	21
圖 2-6 美國震後火災起火數與 PGA 的關係.....	24
圖 2-7 二次迴歸曲線.....	27
圖 2-8 每百萬平方公尺樓地板面積與地表加速度的一次迴歸分析圖.....	28
圖 2-9 震後通電後起火二次迴歸曲線分析.....	29
圖 2-10 TELES 系統架構與分析流程.....	30
圖 3-1 研究分析流程圖.....	37
圖 3-2 台中市 250m 網格圖.....	38
圖 3-3 台中市街廓圖.....	39
圖 4-1 (A) 實際水平 PGA 值與計算水平 PGA 值比較圖.....	48
圖 4-1 (B) 實際水平 PGA 值與計算水平 PGA 值比較圖.....	48
圖 4-2 各街廓中心與震源距離關係圖.....	49
圖 4-3 散佈圖.....	53
圖 4-4 常態機率圖.....	53
圖 5-1 實證分析區內建物.....	56
圖 5-2 台中市街廓建物密集度分布圖.....	56
圖 5-3 台中市建物樓層分布圖.....	57
圖 5-4 台中市消防隊服務範圍圖.....	59

圖 5-5	台中市震後火災次數預測圖.....	64
圖 5-6	中區震後火災次數預測圖.....	65
圖 5-7	東區震後火災次數預測圖.....	65
圖 5-8	北區震後火災次數預測圖.....	66
圖 5-9	北屯區震後火災次數預測圖.....	66
圖 5-10	西區震後火災次數預測圖.....	67
圖 5-11	西屯區震後火災次數預測圖.....	67
圖 5-12	南區震後火災次數預測圖.....	68
圖 5-13	南屯區震後火災次數預測圖.....	68
圖 5-14	台中市消防隊 3.5 分鐘有效服務範圍.....	69
圖 5-15	台中市消防隊 5 分鐘有效服務範圍.....	70
圖 5-16	消防隊服務範圍面積比較圖.....	71
圖 5-17	台中市消防分隊震後火災最低服務範圍.....	79
圖 5-18	消防分隊未涵蓋之服務範圍（一）.....	80
圖 5-19	消防分隊未涵蓋之服務範圍（二）.....	81
圖 5-20	消防分隊未涵蓋之服務範圍（三）.....	82
圖 5-21	高層集合住宅與消防分隊服務範圍分析圖.....	84

表 目 錄

表 2-1	阪神大地震府縣別之火災概況	8
表 2-2	阪神大地震建築物火災用火用途別之起火件數	9
表 2-3	阪神大地震起火原因別	9
表 2-4	神戶市阪神地震震後 10 日內起火原因	9
表 2-5	關東大地震以後之主要地震出火件數表	10
表 2-6	地震後 7 縣市火災件數	12
表 2-7	921 地震 7 日內火災起火原因統計表	13
表 2-8	台中市民國 90 年至 94 年火災發生統計表	15
表 2-9	台中市民國 90 年至 94 年火災發生場所統計表	15
表 2-10	台中市民國 90 年至 94 年火災起火原因統計表	16
表 2-11	921 集集地震 7 日內重點縣市起火原因分析表	17
表 2-12	Campbell 衰減律迴歸分析之常係數	19
表 2-13	消防車行走時間	20
表 3-1	震後火災起火率單位比較表	40
表 4-1	我國不同震度下 (MMI) 的起火率	44
表 4-2	台中市不同震度下 (MMI) 的起火數	45
表 4-3	台中市人口統計表	45
表 4-4	實際水平 PGA 值與計算水平 PGA 值比較表	47
表 4-5	分群結果 I	51
表 4-6	分群結果 II	52
表 4-7	使用逐步迴歸分析之細數估計值	53
表 5-1	台中市消防隊設備統計表	58
表 5-2	台中市各消防分隊之轄區	59

表5-3 台中市火災統計表.....	60
表 5-4 台中市主次要幹道平均行駛速率統計表.....	61
表 5-5 震後火災次數評估結果.....	62
表 5-6 台中市 16 個消防分隊服務影響區域面積表.....	70
表 5-7 台中市各消防分隊轄區人口數與消防人員數.....	73
表 5-8 台中市各消防分隊最低服務範圍內之人口數與戶數.....	74
表 5-9 台中市各分隊之消防員額分配表.....	75
表 5-10 台中市各消防分隊最低服務範圍內震後火災起火數.....	77
表 5-11 消防分隊服務範圍內高層住宅數量.....	83

第一章 緒論

第一節 問題陳述與分析

1994年1月17日發生在加州洛杉磯北嶺(Northridge)規模6.7地震,對該地區居民、建築物、各項維生管線、和道路交通造成無可彌補之損失,為美國有史以來財物損失最大的天然災害。而地震所引發之典型二次災害—火災,也是造成本次地震人員傷亡、財物損失的主要原因之一。從當天凌晨4時31分主震發生後到當日午夜為止,共發生110件地震有關火災,且事後調查在地震後造成151,000起瓦斯外洩事件,較平常同時段洛杉磯地區火災發生率高出許多¹。其中超過70%以上的震後火災是發生在單戶或多戶的住宅中,而起火原因則以電線短路造成的電器火花及瓦斯外洩之瓦斯火焰為主。

1995年1月17日清晨5點47分發生於日本阪神地區規模7.2地震,從1月17日至20日兵庫縣震央附近的神戶、蘆屋、西宮、尼崎市,三日內共發生164起震後火災,造成燒毀面積達660,000平方公尺,受火災波及之建築物多達7,300餘戶,並造成近400人死於火災²。

1999年9月21日凌晨1時47分在台灣日月潭西南方12.5公里處,發生芮氏規模7.3集集大地震,強烈的地震帶來重大生命財產的損失,也造成震後火災的發生。據國內學者黃伯全的研究,本次集集地震的震後火災並不像美、日等國嚴重,但是在受創較嚴重的七個縣市的調查中,9月21日地震後陸續發生高達90餘件的震後火災,以及上百起的瓦斯外洩事故;以震後7日內之起火數而言,共計發生161件火災³。例如台北市的東興大樓火警、南投縣南投酒廠大火以及台中市中興大學化學實驗室的火災,都是在地震發生後,立即引發的震後火災事件。

2001年3月31日震央在花蓮秀林地震站東方44.3公里處,芮氏規模6.8的331地震,造成台灣東部及北部地區嚴重傷害,以台北市而言,地震當日共發生震後火災42件,震後24小時內計算,共發生67件震後火災⁴,主要原因是瓦斯管線外洩引發火警。所幸本次台北市震度不大,並未因震後火災釀成重大傷亡事故。

從美、日兩國發生的地震災害和我國集集地震的經驗中,可以知道震後火災所造成的損失是相當嚴重的,震後的消防搶救上也比平常的消防搶救來的困難;尤其是面對地震發生後,救難交通路線受阻、地下維生管線遭受嚴重的破壞,造成消防搶救所倚賴的消防栓系統停擺,消防人員沒有足夠的消防水源來從事滅火

¹ A.D.Cowell & F.Borden, Fire-Related Aspects of the Northridge Earthquake, NIST-GCR-98-743, National Institute of Standards and Technology,1998.

² 行政院,阪神淡路大震災行政院防問考察團報告,民國84年。

³ 黃伯全,「都市大規模地震後火災研究—子計畫:震後起火源之預測與防範對策之研究(I)」,行政院國科會專題研究計畫成果報告,民國89年7月。

⁴ 資料來源,台北市消防局,89年年度火災統計表。

的工作；因此震後火災的搶救比一般平常火災搶救更增加困難性。

在諸多消防單位震後 48 小時至 72 小時之搶救報告中，均提到大量瓦斯外洩及消防水源受到嚴重損毀之情形，依據美、日兩國地震經驗顯示，震後火災為最常見之地震發生後之二次災害，對震災災情之擴大、人民生命財產損失之增加，均造成無比之衝擊。可能會在震後發生數分鐘至數日內發生各種火災，又因地震後維生管線（電力、自來水、瓦斯管線等）均遭破壞，一方面形成火災之易發性、易擴大性；另一方面更會使消防單位之搶救能力大大折扣，除了日常供水系統遭受嚴重破壞外，使得原有建築物自有消防滅火系統（自動灑水、水霧設備、室內消防栓）所需水源及外來消防水源遭受破壞中斷，加上道路、橋樑、涵溝、建築物等損壞倒塌，導致消防單位對災區搶救時間的延遲影響救災之效率。

台中市為一高都市化之城市，由於都市建築物規模大且密集，再加上人口密度高，一旦發生大規模地震，其所造成的傷亡與損失將相當嚴重，對都市整體發展之影響將非常深遠。因此若能在每次災害過後，對於災害的特性及災害的影響性能有效掌握，則提供了未來在災害發生時之相當重要且寶貴的資訊。

而消防救災能力是捍衛一地區之安全重要保障，因此本研究將以 921 集集地震為例，收集當時地震火災資料，據以建立震後火災預測模式，作為未來災害預防與後續震後火災預測模式之研究參考，並以震後火災預測模式之結果，提供消防單位分配消防資源與人力之參考。

第二節 研究目的

台灣近百年發生地震次數頻仍，但是以西元 1999 年所發生的 921 大地震所造成的災害損失，卻是最為嚴重的，由於本次災害紀錄較為詳細，可以作為我國建立震後火災起火危險度的參考依據。基於未雨綢繆之考量，為防範可能在都市區發生重大震後火災之情形下，集思廣益蒐集各項相關資訊，並參酌美、日兩國震後火災經驗，期建立震後火災起火次數評估模式；並依據消防隊服務範圍，分析震後火災高危險之地區，檢討其消防戰力是否足以應付實地情況。

本研究的目的列述如下：

- 1、建立一震後火災起火次數評估模式，將用於預測一地區因地震強度影響下發生火災次數與分布情形。
- 2、可提供消防單位作為未來震後火災起火數之預估，並將起火次數之分布情形，提供消防單位於消防力配置之參考。
- 3、將震後火災發生次數呈現於地理空間中，象徵震後火災發生潛勢高低，以供土地使用及防災規劃之參考。

第三節 研究範圍與限制

壹、研究範圍

台中市位於台灣中部的台中盆地中央，地理位置適中、氣候條件佳，越來越多的人口居住，且規劃了數期重劃區造就優質的都市發展績效，但在舊市區及早期發展區，其發展時序並未考量建蔽率、容積率等限制，建築密集度高，巷弄狹窄，戶與戶之間緊密相連，土地混合使用情形嚴重，都市空間遍佈危險設施等。如發生地震則對建築物造成破壞，進而引發火災造成都市大火延燒，其後果的損害不僅僅是建物倒塌的傷害；而火災的燃燒對建物結構整體影響，更是危害到人民生命財產。由於本次集集大地震主要受害嚴重在中部縣市，而台中市為中部各縣市中人口數最多之都市，集集大地震對台中市共造成 618 棟建築物全倒、半倒 488 棟，全市死亡人數達 112 人（台中市消防局，1999）；連帶石岡水壩壩堤崩塌、豐勢路三條大管線受損、豐原給水廠設備損壞，全市停電、停話及瓦斯管線破損等重大災情。

尤其台中市在基本地形圖資料（GIS 資料）建置較為完善，在北屯區又有車籠埔斷層的經過，係屬於地震災害敏感區（歐秀玲，2000），因此本研究將以台中市進行震後火災模擬區並進行實證分析。

貳、研究限制

震後火災的相關模式從引發至熄滅，可以分為起火、延燒、撲滅等三個過程。由於地震發生後火源、起火物的掉落與接觸，引發火災起火（一次災害），又因為建築物倒塌造成消防單位前往火災現場的困難，使得初期滅火的工作受阻；而另一方面交通、通訊的中斷與消防栓系統的破壞，也造成消防搶救上的障礙。因此最初因地震引發的震後火災向鄰近建築物延燒（二次災害），最後可能形成都市大火（三次災害）。本研究僅以地震發生後預測可能產生的震後火災起火次數，呈現震後火災發生潛勢區，以台中市目前消防戰力分析探討。有關震後火災防制措施之對策，礙於研究主題、期限等因素，亦不在本研究的研究範圍內。

而本研究範圍雖以台中市為主，但為考量建築物多集中於都市計畫區內，因此以台中市都市計畫土地使用分區為原則，以住宅區、商業區、工業區為實證研究區域。

第四節 研究內容與流程

壹、研究內容

本研究之研究內容主要以地震災害問題為出發點，界定本研究之研究問題與動機目的，其次經由文獻回顧，確立本研究之定位與相關理論基礎；研究設計主要說明本研究在震後火災評估模式的建立，並以台中市都市土地使用分區進行實證分析，評估街廓可能產生之起火次數，討論其消防救災能力，最後針對本研究之成果進行討論。故本研究主要可以分為六個章節，各部分之內容主要說明如下：

- 第一章 緒論。首先陳述震後火災發生時所產生的影響等相關背景，其次說明本研究之動機與目的，並界定本研究之研究範圍與課題。
- 第二章 文獻回顧。文獻回顧主要分為四個部分，首先回顧各國震後火災案例，探討起火原因與災害之嚴重性；其次為國內外震後火災研究，介紹各國研究方法與公式，第三部份則針對地表震動衰減公式分析進行討論，取適用於本研究之衰減律公式，作為震後火災起火評估模式重要依據；最後探討消防戰鬥力，作為本研究在評估震後火災起火次數後，討論台中市消防分隊之消防救災力。
- 第三章 研究設計。以路徑、土地使用觀念確定救災能力範圍，並討論震後火災推估模式之因子，及消防能力檢討。
- 第四章 震後火災起火模式建立。以 921 地震火災資料做震後火災分析之樣本，並以統計迴歸方式研擬一起火次數評估模式，將修正地震強度係數代入公式中，得到完整評估模式。
- 第五章 實證分析與討論。首先介紹研究範圍與整理實證區資料，並以震後火災起火模式推估台中市各屯區發生火災次數，並針對各屯區危險區討論，進而分析各消防分隊之服務範圍外之危險區，討論其消防力是否足夠應付，其次針對台中市各消防分隊之消防車數量與消防人員做一檢討，並以高層集合住宅之分布套疊消防分隊服務範圍，檢討消防設備不足之區。
- 第六章 結論與建議。經過本研究之成果整理，歸納本研究之研究結論與貢獻，並提出後續研究之方向與建議。

貳、研究流程

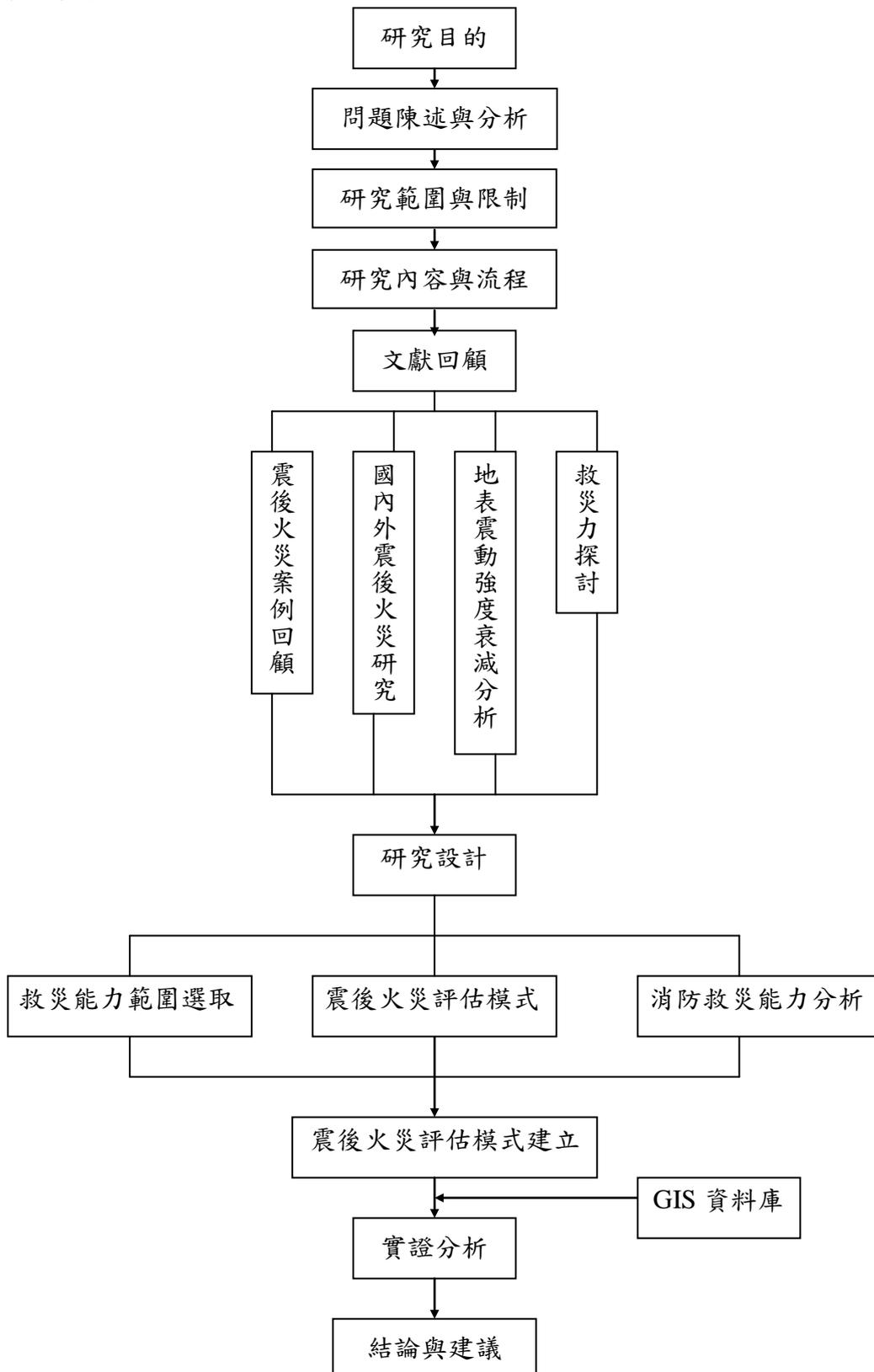


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

第一節 震後火災案例回顧

隨著震後而來的二次災害中，以火災問題最易造成嚴重的損失，這些損失有時候甚至比地震所造成的直接災害，如建築物的倒塌、維生管線破裂等更為嚴重。而火勢的猛烈程度亦受到許多因素影響，包括氣象、建築物型態、起火源、燃料的型式與密度等。因都市化的高度發展，引發震後火災的不確定性因素也越來越來多，由於美國及日本發生多起的重大的地震災害，有著豐富的震後火災經驗，以下簡單介紹國內外數起地震火災案例，因此結合美、日兩國經驗，以供位處地震帶上的台灣做為借鏡，進而提供相關防制對策。

壹、日本震後火災

日本人口密集，都市化程度高，建築物密集的程度與台灣相似，至關東大地震發生後一直到現在，對於震後火災的重視與研究，皆可做為台灣對於震後火災預防之借鏡。

一、關東地震

西元 1923 年發生關東大地震，地震規模達 7.9，是日本現代史上傷亡損失最嚴重的大地震，造成約 10 萬人死亡，其中 95% 是被大火燒死。據統計，以東京就 15 區內而言，就發生 130 多件火災，其中 60 起大火流於震後 3 日內連續燃燒，燒毀 35 平方公里面積範圍內建物，房屋被火災燒毀戶數多達 45 萬戶，按此比例推估，居民遭火災燒死者，為建築物壓死者之 70 餘倍（全國加除法令出版株式會社，1971；轉引自熊光華，2001）。此次地震發生時近正午，正是人們為準備午餐而使用火器，為震災起火的主因，又以爐灶與炭火爐使用最多（日本火災學會編，1997）。

在此次地震前，對震後火災的防範幾乎未做準備，除了火災外，磚（木）造建築亦受相當破壞，因此開始實施了建築耐震設計，而地震的受害統計資料成為各種受害預測法的基礎數據。

二、阪神大地震

西元 1995 年 1 月 17 日日本清晨 5 點 47 分發生阪神大地震，造成了路面開裂，地基變形，鐵道彎曲，港口破壞，大樓倒塌隔絕了道路，頃刻間一切變的面目全非，地震引起的火災將神戶市上空映得一片通紅，堪稱為日本戰後最嚴重的災害。在震後幾分鐘內幾乎有 100 件火警發生，特別集中在市區中心建築結構密集區域、木造結構之房屋範圍內發生，震後 1 到 2 小時已有許多大規模火災形成與發展，高輻射熱量影響鄰近高密度建築物並延燒擴大，其中在火勢燒損範圍就達到 100 萬平方公尺面積。

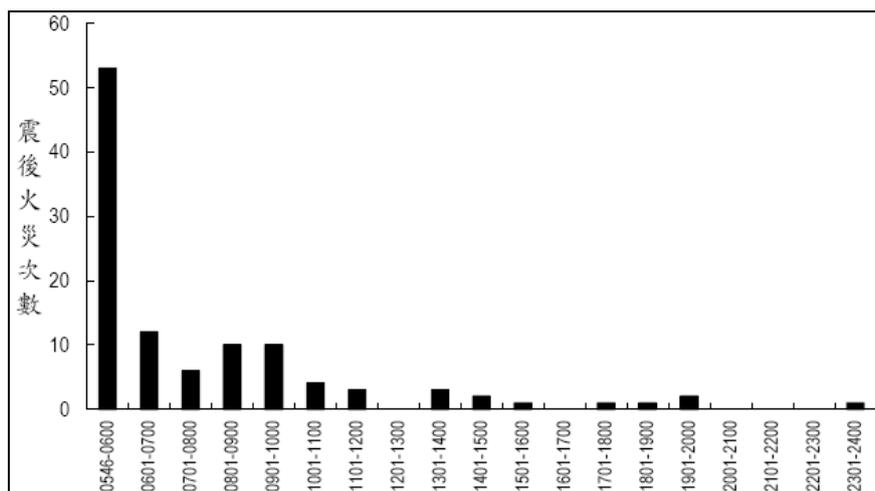


圖 2-1 日本阪神地震後火災時間分布圖

這次地震造成的損失，除房屋倒塌造成大量人員傷亡外，最嚴重的災害則是地震火災。對於震後火災方面依據消防廳調查計有 285 件（統計至平成 7 年 11 月 18 日止），主要原因是地震造成煤氣管道破裂致使煤氣洩露，一遇火源即引起熊熊火源，由於建築物倒塌阻礙道路，同時地震造成水、電中斷，即使救火車趕到，因沒有水源，也只能讓大火將房屋燒成灰燼（日本消防廳，1996；轉引自熊光華，2001a）。此次日本整個災區燒毀建築物計有 7483 棟，燒損面積共有 83 萬 4,663 平方公尺，起火件數大部分集中在兵庫縣，又以建築物火災最多。

表 2-1 阪神大地震府縣別之火災概況（日本消防廳，1996）

區分	兵庫縣	大阪府	京都府	奈良縣	合計
起火件數	251	32	1	1	285
建物火災	228	31	1	1	261
車輛火災	9	—	—	—	9
其他火災	14	1	—	—	15
燒毀棟數	7,443	37	2	1	7,483
全燒	6,981	1	—	—	6,982
半燒	82	7	—	—	89
部份燒	279	19	1	—	299
小火	101	10	1	—	113
燒毀面積(m^2)	832,151	2,492	20	0	834,663

註：件數統計至平成 7 年 1 月 18 日

此次地震依日本消防廳之調查，在火災發生場所方面，有使用火器場所之建築物火災共有 261 件（日本消防廳，1996），而其中又以住宅、共同住宅佔全體半數，如表 2-2 所示。在起火原因方面，大多數為不明或尚待調查中，而電器有關之起火件數共有 57 件，此外因地震發生在冬季且為清晨早飯時間，故有較多瓦斯爐起火件數（26 件），如下表 2-3。

表 2-2 阪神大地震建築物火災用火用途別之起火件數（日本消防廳，1996）

建物用途	件數	建物用途	件數
住宅	63 (24.1%)	學校	10 (3.8%)
併用住宅	3 (1.2%)	工廠、作業廠	15 (5.7%)
共同住宅	70 (26.8%)	倉庫	3 (1.2%)
料理店	1 (0.4%)	事務所	8 (3.1%)
飲食店	4 (1.5%)	複合用途（特定）	35 (13.4%)
物品販賣店	3 (1.2%)	複合用途（非特定）	12 (4.6%)
旅館、汽車旅館	1 (0.4%)	其他	33 (12.6%)
合計：261 件（100%）			

註：件數統計至平成 7 年 1 月 18 日

表 2-3 阪神大地震起火原因別（日本消防廳，1996）

區分	件數	區分	件數
瓦斯爐	26	爐灶掉出之炭爐	2
電燈電話等配線	17	熱水器	1
電器機器	10	焚化器	1
小爐子	7	烹煮器	1
配線機具	6	特殊電氣裝置	1
燈火	5	火柴、打火機	1
小爐	2	其他	47
被爐	2	不明、調查中	143
溶接機	1	切斷機	1

合計：261 件（100%）

根據神戶市消防局的統計資料如表 2-4，將神戶市震後 10 日內的震後火災起火原因分為四大類，扣除不明原因的起火件數外，震後 10 日內以電器設施所引起的震後火災為最多 47 件、燃氣設備 10 件、以及其他 27 件。

表 2-4 神戶市阪神地震震後 10 日內起火原因

類別	17 日	18 日	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日	25 日	26 日	合計
電器設施	26	3	2	3	3	1	5	1	3	—	47
燃氣設備	9	—	—	—	—	—	—	1	—	—	10
其他	12	3	4	2	—	1	—	—	5	—	27
不明	62	8	9	3	2	1	1	1	1	3	91
合計	109	14	15	8	5	3	6	3	9	3	175

資料來源：神戶市消防局，平成 8 年

除上述外，以下探討關東大地震以後日本整個主要地震出火件數表，如下表，在日本地震時起火事件表中，以關東大地震、北丹後地震與兵庫縣南部地震為最多，其中關東與兵庫縣南部地震時又發生非常多起同時起火之火災，造成財

物人命損失亦非常嚴重。

表 2-5 關東大地震以後之主要地震出火件數表

發生年月日	地震名稱	規模 (M)	出火件數
大正 12.09.01	關東大地震	7.9	628
大正 14.04.23	北但馬地震	6.8	22
昭和 02.03.07	北丹後地震	7.3	475
昭和 18.09.10	鳥取地震	7.2	17
昭和 19.12.07	東南海地震	7.9	14
昭和 21.12.21	南海地震	8.0	16
昭和 23.06.28	福井地震	7.1	57
昭和 27.03.04	十勝沖地震	8.2	7
昭和 39.06.16	新瀉地震	7.5	13
昭和 43.05.16	十勝沖地震	7.9	52
昭和 53.06.12	宮城縣沖地震	7.4	11 (仙台市)
平成 05.07.12	北海道南西沖地震	7.8	9
平成 06.12.28	三陸沖地震	7.5	7
平成 07.01.17	兵庫縣南部地震	7.2	262 (兵庫縣與大阪府)

資料來源：室崎益輝，1996

貳、美國震後火災

美國受到震後火災的影響亦大，如 1906 年的舊金山大地震損害中有 80% 是由火災造成，1989 年的 Loma Prieta 地震由火災造成的損失竟達 100 億美金，在在顯示震後火災之破壞力。

一、舊金山大地震

舊金山在 1906 年 4 月 18 日清晨 5 點 20 分發生地震規模達 7.8 的強烈地震，由於當時舊金山曾興建 20 至 30 層的大樓，木造建築物亦多，在易燃的建材和狹小的巷道上，使此地震之火災造成嚴重的傷害，火勢整整燒了三天三夜；此次地震讓舊金山市區發生至少 50 處以上的火災，而自來水管的破裂造成嚴重的缺乏消防水源的供給。由此次地震所造成的損害有 80% 是由火災所造成，燃燒面積包含 2,800 棟建物在內的 12.2 平方公里範圍，共起火件數達 52 件，在每 1,000,000 平方英尺面積內起火率為 0.26 次 (Charles, 1978；轉引自黃伯全，2000)。

二、南加州北嶺地震

西元 1994 年 1 月 17 日清晨，在洛杉磯市西北部的北嶺區，發生規模 6.8 的地震，在地震發生 (1 月 17 日 04:30 至 1 月 18 日 08 時) 這段期間內，洛杉磯消防局共接獲 2,332 次災害電話求助，其中 760 件 (33.3%) 屬於火災事件。火災事件中有 660 件為建築物火災，汽車類火災 14 件、電線桿火災 17 件、垃圾堆火災 17 件、灌木從火災 38 件，其他類如化學物品起火等；經消防局實地逐一調查，實際火災於震後 27.5 小時內共有 158 件。在建築物型態方面，66% 震後火災發生

於單棟雙併式住宅，而此構造物起火主因為電氣迴路短路所致。

由美國加州學者 Scawthron 對此地震做調查，地震當日火災發生報告有 110 件，其中洛杉磯市有 77 件數於震後火災；如以災區 125 萬人口來計算，則地震當日起火率為每 14,719 人有 1 件 (Evans, 1996)。圖 2-2 顯示洛杉磯消防局轄區內火災發生數時間經過，火災發生時間型式曲線類似於日本阪神地震 (Sekizawa, 1996)。由圖可見火災發生有集中在某一時段，第一高峰期是地震發生後都市瓦斯外洩燃燒所引起，而第二高峰期大部分由電氣因素所造成之火災，其原因為災區復電造成。

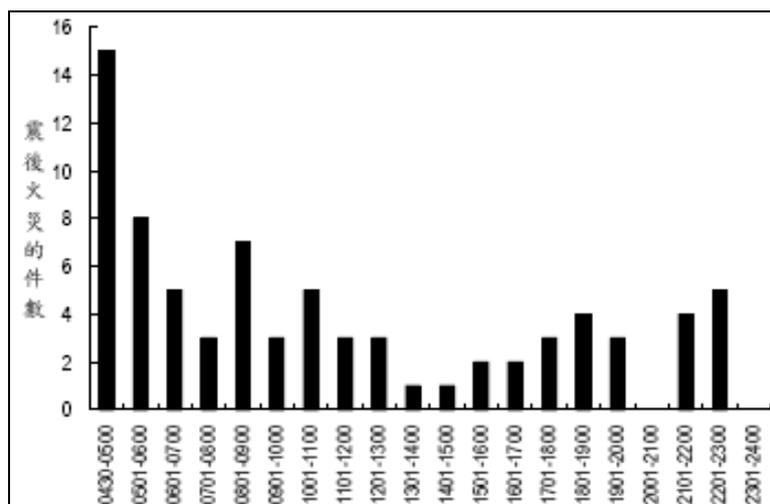


圖 2-2 美國北嶺地震後火災時間分布圖

在地震火災件數計算上會與消防單位調查上略有出入，主要原因在於房屋同時起火之數量繁多，由個別起火事件延燒而連貫成一大規模火災，在某些文獻之件數統計僅列為單一件數，故在調查統計上會出現不一致的差異。

參、台灣震後火災

在全球地震火災問題探討上，較有體系來記載則屬美國、日本等國，而國內尚屬少見，其原因是美、日兩國多年來震後火災較嚴重之故。台灣歷年來也發生過大小的地震多次，但以震後火災而言，除民國 53 年白河地震在嘉義造成多起震後火災外，其餘皆未發生重大震後火災案例，以近年來發生的 921 集集大地震最為嚴重。

民國 88 年 9 月 21 日凌晨 1 點 47 分，在日月潭西南方 12.5 公里處，發生了芮氏規模 7.3 大地震。這個百年來規模最大的地震，到 10 月 12 日為止，共造成了 2,329 人死亡，8,722 人輕重傷，數萬棟房屋倒塌 (內政部消防署，1999 年 10 月)，災情相當嚴重。從此次地震的經驗指出，震後火災之發生並不像美、日等國般嚴重，可能是因為建築結構上之差異及地震發生時間不同所造成，如日本阪神地震當時之房屋多數為木造房屋，造成震後火災快速延燒，達到大規模火災 (黃伯全，2000)。

本次地震後的火災統計，依據國內學者黃伯全對地震重點區域縣市 7 日內震後相關火災調查，計有 161 件起火事件 (表 2-6)，如果以地震當日而言，七個災

害重點縣市內起火數計有 90 餘件（黃伯全，2000）。

表 2-6 地震後 7 縣市火災件數（黃伯全，2000）

縣市	當天火災件數	7 日內火災件數
台中縣	34 (38%)	62 (39%)
南投縣	24 (27%)	48 (29%)
台北市	14 (16%)	30 (19%)
彰化縣	5 (6%)	8 (5%)
台北縣	5 (6%)	5 (3%)
台中市	4 (4%)	4 (2%)
雲林縣	4 (4%)	4 (2%)
統計	90 (56%)	161 (100%)

此次震後火災發生時間與美國北嶺、日本阪神地震一樣，即震後立即發生至數小時甚至數日後，仍有火災發生。由圖 2-3 顯示以起火件數日期來做分類，可明顯看出震後 7 日內起火件數依時間遞減，所有起火數半數集中於 921 地震當天（56%），而集集大地震 7 日內起火件數有 80% 出現於震後 4 日內。

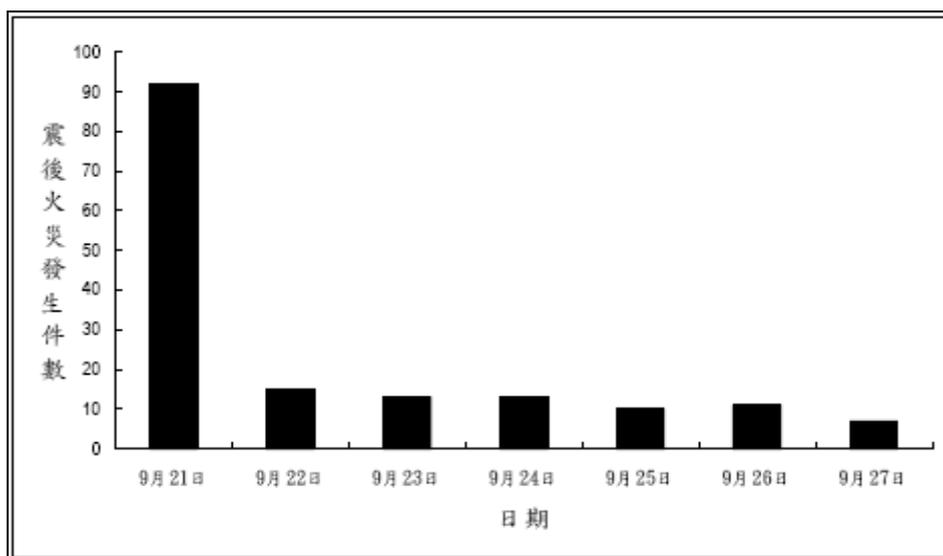


圖 2-3 921 地震後火災日期別件數圖（黃伯全，2000）

經調查後建築結構火災在所有震後火災所佔比率為 95%，經查計有 18 件是屬於非建築結構火災，而在美國 1994 年北嶺地震建築結構火災為 86%，日本 1995 年阪神地震為 97%。在 921 地震當日內建築型態起火統計，大部分集中在一般住宅（含集合住宅），計發生有 55 件（61%），其次依序為商業用住宅 11 件（12%）、其他類 10 件（11%）、工廠 8 件（9%）、停車場 5 件（6%）、辦公室僅 1 件（1%）。而 921 地震 7 日內建築型態起火，大部分集中在一般住宅（含集合住宅），計發生有 96 件（60%），不論是地震後當日或是地震後 7 日內之火災發生比率，一般住宅皆佔有高比率，可能是一般住宅之建築比率在所有建築結構上是最多之故；其次為其他類有 24 件（15%）（黃伯全，2000）。

以震後火災的起火原因統計如表 2-7 所示，震後 7 日內震後火災的起火原因

以復電起火 45 件 (27.78%) 為最多，其次為用火照明 22 件 (13.58%)、瓦斯外洩 18 件 (11.11%)、電氣因素 14 件 (8.64%) 等。

表 2-7 921 地震 7 日內火災起火原因統計表

起火原因	起火件數	百分比%
復電後起火	45	27.78
不明原因	38	23.46
用火照明	22	13.58
電器因素	18	11.11
汽機車	14	8.64
其他	9	5.56

然而為了調查統計便利，將地震 7 日內 (9 月 21 日至 27 日止) 發生之火災依主觀知識作篩選，篩選後皆為「與地震關聯的火災」來處理火災件數 (黃伯全，2000)，因此會與地震後各縣市消防局所實際整理後之災例有些許誤差。以本研究區域台中市為例，黃伯全在台中市消防局訪查之震後火災案例為 4 件，但實際透過台中市消防局整理 921 地震後 7 日內之因地震而產生火災之災例則為 16 件 (包含黃伯全調查)，有 12 件發生於住宅使用，因電氣因素起火則高達 10 件，(台中市消防局，1999 年 9 月)。

如依樣本空間之通電後起火中之起火物做分析可以得到，大多都是復電後因建築結構損毀，在建置於牆壁內或屋樑下配線往往也相對因而斷裂或線路外覆絕緣破皮，所以在復電後不是配線短路就是漏電，或縱然使線路可完成迴路通電，如此也會使電氣器具 (如水族箱馬達) 或其他電氣商品仍會在無人居住建物繼續運轉而過熱，促使周遭旁可燃物品，持續溫度蓄熱以致起火 (黃伯全，2000)。

肆、震後火災起火要因分析

一、各國震後火災起火原因比較

依據前述美國、日本與台灣的各次地震震後火災案例分析，可以發現震後火災所帶來的災害與損失是難以估算的，而在各國震後火災的經驗中，以美國的北嶺地震、日本的阪神地震及台灣的 921 地震最為嚴重，且震後火災的歷史資料紀錄最為詳細，因此針對此三次震後火災經驗比較，以震後火災起火原因為主，擬整理出震後火災起火原因之共同因素。

(一) 美國北嶺地震與 921 集集地震震後火災經驗比較

以 921 集集地震當日的震後火災統計，排除不明的起火原因外，震後最主要的起火原因為：

- 1、復電後起火。
- 2、用火照明。
- 3、瓦斯外洩。
- 4、電器因素。

而美國北嶺地震的震後火災的主要起火原因提到電器短路及瓦斯外洩兩項，因此可以將美國北嶺地震與 921 集集地震震後火災的主要共同原因歸納為：

- 1、因復電造成的起火或電器短路起火。
- 2、瓦斯外洩。

(二) 日本阪神地震與 921 集集地震震後火災經驗比較

根據神戶市消防局的調查，忽略不明的起火原因，有關當日與 10 日內的震後火災主要的起火原因依序為（日本消防廳，1996）：

- 1、電氣設施：包括電氣器具、電源、配線等起火要因。
- 2、其他：瓦斯外洩、藥品化學反應等。
- 3、燃氣設備：瓦斯爐、瓦斯管線等

經由與我國 921 集集地震的起火原因比較，可以歸納出共同點為：

- 1、因電氣設施造成的起火。
- 2、因瓦斯器具所造成的起火。

在前述回顧中分析國外地震案例，美國於 1994 年發生之北嶺地震，其實際火災於震後 27.5 小時內共有 158 件，66% 震後火災發生於單棟雙併式住宅，而此構造物起火主因為電氣迴路短路所致（Sekizawa，1996）。而日本 1995 年之阪神大地震，就起火原因於地震後 10 日內而言，以不明原因佔總起火數 52% 最多，而電氣設備起火則佔 27%（日本消防廳，1996）。由上述推論，火警原因之事後調查，其肇因可能已經遭破壞，無法詳細追查，但由已知的原因中，以電氣設備佔多數，因此不明原因之火警數，可能有相當的比例歸因於電氣設施（廖為昌，1997）。為擬出最終的起火原因，透過上述的結果顯示集集地震與北嶺地震、阪神地震的震後火災起火原因有共同的趨勢，最主要的震後火災起火原因為電氣設施造成的起火，即是復電後起火。

二、921 集集地震震後火災與平時火災的關係

由於火災的起火原平常就分佈在每一個角落，即時不發生地震，火災仍然會持續發生，這些平時就存在的起火源經過地震發生時的種種因素影響，會使多數的起火源同時起火，形成震後火災，為了解震後火災與平時火災的起火原因關係，本研究以研究區域台中市為例，探討平時火災與震後火災之關係。

(一) 火災次數分析：

表 2-8 是民國 90 年至 94 年台中市火災的統計，台中市每年平均 216 件，平均每天發生火災數是 0.6 件，平均 7 天的火災數是 4.2 件；根據集集地震震後火災的資料統計（台中市消防局，1999 年 9 月），台中市在 921 地震當天共發生 4 件，震後 7 日內震後火災數是 16 件。

表 2-8 台中市民國 90 年至 94 年火災發生統計表

項目 年度	發生數	成災數	死亡人數	受傷人數	損失金額 (萬元)
90 年	303	31	20	23	7280.65
91 年	272	15	6	34	4995.10
92 年	197	16	18	53	3843.60
93 年	137	13	8	32	2769.10
94 年	175	11	18	62	4882.65
平均數	217	17	14	41	4754.22

資料來源：台中市消防局

(二) 火災發生場所：

表 2-9 為台中市近年來，火災發生場所統計表，由表可知火災發生多屬於建築物火災，其中以獨立住宅與集合住宅為高；而車輛火災則多屬於人為縱火所造成。而在 921 集集地震 7 日內所發生的震後火災場所皆屬於建築物火災，而以住宅火災佔多數。

表 2-9 台中市民國 90 年至 94 年火災發生場所統計表

	90 年	91 年	92 年	93 年	94 年	合計
獨立住宅	72	50	42	26	32	222
集合住宅	49	40	25	17	36	167
辦公建築	4	3	2	1	1	11
商業建築	19	21	19	18	30	107
複合建築	0	9	2	2	2	15
倉庫	8	7	5	5	1	26
工廠	17	14	11	10	9	61
其他建物	12	15	7	3	3	40
車輛	114	99	69	50	46	378
其他	8	14	15	5	15	57
總計	303	272	197	137	175	1085

資料來源：台中市消防局

(三) 火災發生原因：

由表 2-10 台中市 90 年至 94 年火災發生原因統計，可知扣除其他不明起火原因後，台中市平時的主要火災發生原因為：

- (1) 電器設備起火
- (2) 人為縱火
- (3) 其他
- (4) 爐火烹調
- (5) 祭祖敬神掃墓

以台中市實際發生的案例而言，火災發生的原因以用電不慎的比例最高，其次為人為縱火；由於電器用品的使用率越來越高，統計資料也顯示其發生火災機率較其他原因高，因此對於此類火災發生原因應更加注意。

表 2-10 台中市民國 90 年至 94 年火災起火原因統計表

年份 起火原因	90 年	91 年	92 年	93 年	94 年	合計
人為縱火	83	86	60	35	44	308
自殺	3	2	3	6	4	18
玩火	2	1	2	1	1	7
電器設備	123	106	70	57	74	430
祭祖敬神掃墓	3	2	13	0	15	33
燈燭	0	2	0	1	4	7
菸蒂	3	5	7	1	1	17
烤火	0	0	0	0	1	1
爆炸瓦斯漏氣	3	0	4	1	2	10
爐火烹調	13	8	7	6	6	40
燃放爆竹	2	0	0	0	0	2
施工不慎	9	6	3	7	4	29
機械設備	16	11	1	0	1	29
原因不明	2	9	3	5	4	23
交通事故	8	6	5	4	2	25
其他	34	28	19	13	12	106
總計	303	272	197	137	175	1085

資料來源：台中市消防局

有關 921 集集地震後 7 日內台中市的震後火災共發生 14 件震後火災，依據黃伯全氏的震後火災起火的分析及台中市消防局 7 日內火災紀錄，其震後火災主要起火原因為：

- (1) 電氣設備與電力系統通電後發火
- (2) 其他起火源
- (3) 化學危險物品災害起火
- (4) 燈燭起火

表 2-11 921 集集地震 7 日內重點縣市起火原因分析表

地區 發火源	台中 縣	南投 縣	台北 市	彰化 縣	台北 縣	雲林 縣	台中 市	合計
電氣因素與 通電後發火	28	16	10	5	1	1	0	61
其他起火源	18	23	8	1	0	3	3	57
危險物品與 易可燃物質	10	1	8	0	4	0	1	24
易燃供氣系 統	7	7	4	2	0	0	0	20
總計	63	47	30	8	5	4	4	162

資料來源：黃伯全，2000

三、小結

經由上述比較探討，此次 921 集集大地震之震後火災方面與美、日兩國所發生的重大地震災害經驗有所不同，震後火災的災損情況不如美、日兩國來的嚴重，經初步評估結果得知，造成差異的可能原因有：

- (1) 我國 921 地震震央位於人口疏散之鄉間區（日月潭東南方），同時發生地震為凌晨時分，較之美、日兩次地震發生於清晨準備早餐時間不同。
- (2) 我國復電時間較美、日兩國震災區復電時間晚了許多。
- (3) 我國災區之建築物使用材料以鋼筋混凝土及磚塊為大宗，故縱有起火機會，但不至擴大成大規模都市火災。日本阪神大地震之震後火災，乃因木造結構住宅密集，而引發大規模都市火災延燒，造成更多人員傷亡。

經由平時火災與震後火災主要起火原因的比較，可以對台中市震後火災與平時火災起火原因的做出以下結論：

- (1) 電氣火災是平時火災與震後火災起火的主要原因，惟震後火災的電氣原因牽涉到斷電後復電的問題，與平常火災不同。
- (2) 化學物品（危險物品）與易（可）燃物質的火災在平時火災並不常見，但地震後強烈的地震動，往往造成危險物品的翻覆與起火，更加容易引發火災。
- (3) 瓦斯器具引起的瓦斯外洩是震後火災的主要原因之一，但是在平常的火災中，僅佔一小部份。
- (4) 平時火災發生場所以獨立住宅與集合住宅為多數，而震後火災發生場所也以住宅建築物為多數，主要為電器設備多且人為使用量大。

第二節 國內、外震後火災評估研究

地震後伴隨形成海嘯、山崩、火災等二次災害，其中火災問題更是各國相當關注的事件。美、日兩國屬防災體制較完整之國家，在地震發生之後，從地震災例中建置基本資料，經過多年的累積經驗，建立其相關的火災潛勢分析研究。

壹、日本震後火災相關研究

一、日本東京都

日本東京都地區危險度測定，是以 1923 年關東大地震為假想對象，在整合阪神淡路地震經驗，推估東京都一旦發生地震後可能造成的各種災情，依照「東京都震災預防條例」之規定具體預測可能受害情況並提出具體對策。主要的評估項目可以分為以下四個項目為內容，如圖 2-4 表示：

- 1、建築物的危險度
- 2、人的危險度
- 3、火災的危險度
- 4、避難的危險度

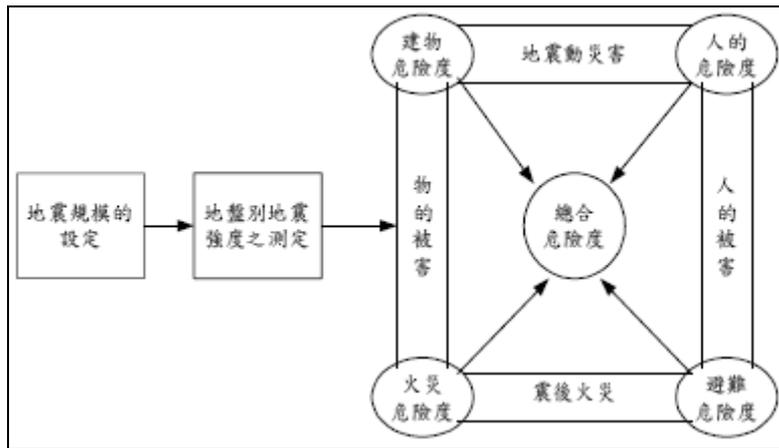


圖 2-4 日本東京都地震災害危險度評估項目示意圖

資料來源：內政部建築研究所，1994

其中有關震後火災的危險度評估模式，是由「東京消防廳」所研究開發的，並將震後火災又分成更細的評估指標，分別為：起火危險度的測定、延燒危險度的測定。東京消防廳主要使用地震發生時的用火器具、化學藥品、工業爐、危險物設施及其他等五項起火率，來計算其起火的件數，其想定項目如下表：

表 2-12 日本震後火災想定簡表

想定項目	想定內容
出火	木造、非木造の出火件數
消火、延燒	消火件數
	延燒不擴大數
	延燒擴大數
	燒失面積
	燒失棟數
其它的被害	危險性物質、自動車火災

資料來源：東京都防災會議，平成 7 年

貳、日本震後火災相關公式之研究

就日本而言，西元 1923 年發生關東大地震，是地震災害史上之震後火災最大災害，從此日本就一直不斷的開發、研究震後火災的預測模式，隨著地震案例的發生，逐次檢討震後火災預測模式的適用性，而加以修正。以下列出日本震後火災起火模式之相關研究：

一、河角法

以 1923 年關東大地震實際起火的市町村為樣本，推算起火率與建築物倒壞的關係式，復以關東大地震後社會、生活變化狀況及地震發生時之季節、時間等條件加以修正後，所提出來之木造建築物起火率與倒壞率的關係式。

$$n=y \times \beta \times \gamma \times k \quad (2-1)$$

符號說明：

n：起火數

y：關東大地震起火率

 β ：社會變動參數 γ ：季節、時間變數

k：木造建築物棟數

關東大地震起火率 y 的迴歸係數如下：

$$\log_{10} y = a \log_{10} X + b$$

符號說明：

y：關東大地震起火率

X：木造建築物棟數

$$a = \frac{\log_{10} \left[\frac{0.5}{0.007} \right]}{\log_{10}(250)} = 0.773$$

$$b = \frac{\log_{10}(0.5) - 2 \log_{10} \left[\frac{0.5}{0.007} \right]}{\log_{10}(250)} = -1.847$$

二、水野法

以 1923 年關東大地震到 1974 年伊豆半島等 13 個發生震後火災的地震為對象，推算起火與成災的預測模式。本法特色是將發生時間與季節列入評估，對後續起火預測模式影響甚大。

$$Y = \alpha \cdot \beta \cdot B \cdot N \cdot \left[\frac{X}{N} \right]^a \quad (2-2)$$

符號說明：

Y：起火件數

α ：地震發生時刻的參數（由既有資料推算而得）

β ：地震發生季節的參數（由既有資料推算而得）

N：總戶數

X：全倒的戶數

B：參數（如為總起火數：則取 0.004125；如為炎上火災數：則取 0.00315）

a：參數（如為總起火數：則取 0.5696；如為炎上火災數：則取 0.6041）

* 炎上火災為日本引入原有名詞，其意義是指當火災進入全盛時期時，純木造建築全棟均陷於火焰中且屋頂燒穿，故形成俗稱之「炎上」(林慶元、鄭紹材，2001)。

三、都市防火法

本法是由日本建設省建築研究所於 1977-1981 年實施總合技術開發計劃，針對都市防火對策進行研究。地震起火的預測方面，基本上採河角法及水野法，但此兩法，均無考慮起火率 0 的狀況；因此，將過去地震起火的資料重新整理，將火災所造成建築物的全壞率取對數並分為九個階段，每一階段過程均算出平均起火率及火災全壞率（包含起火率 0 的樣本），在此法中僅考慮冬、夏兩季節之起火率。

$$\text{夏} : \log_{10} y = 0.814 \times \log_{10} x - 2.82 \quad (2-3)$$

$$\text{冬} : \log_{10} y = 0.728 \times \log_{10} x - 2.09 \quad (2-4)$$

符號說明：

y：起火率（起火件數/家庭數）

x：住宅全壞率（全壞家庭數/家庭數）

四、神奈川縣方法

從關東大地震的資料中，選取戶數 1000 戶以上，住宅全壞率 0.1% 以上之鄉鎮市為對象，假設起火件數呈波松分佈（Poisson Distribution），可推算各鄉鎮之起火期望值，將各階段之平均住宅全壞率與起火率取對數後，進行迴歸分析。

$$y = \alpha \times \beta \times \gamma_1 \times \gamma_2 \quad (2-5)$$

符號說明：

y：推估地震時的起火率

α ：關東大地震時的起火率

β ：時代係數（依據關動大地震與預測時的平均起火率來推估）

γ_1 ：季節係數

γ_2 ：時間係數（根據瓦斯使用量的資料來推估）

Z：住宅全壞率（全壞家庭數/家庭數）

五、愛知縣方法

本法乃使用建築物全壞率及起火率的對數關係，結合不同時代的建築構造之起火率來計算起火件數，此法中僅考慮冬、夏兩季節起火率。

$$y_1 = \alpha \times P \times n \times \frac{N_1}{[N_1 - N_2]} \quad (2-6)$$

$$y_2 = y_1 \times \frac{N_2}{N_1} \quad (2-7)$$

夏：P=0.00815×Z^{0.78}

冬：P=0.00152×Z^{0.81}

符號說明：

α ：時間係數

P：延燒起火率

(y₂) y₁：(非)木造建築物的起火件數

n：該地區的戶數

(N₂) N₁：該地區的(非)木造建築物棟數

Z：住宅全壞率（全壞家庭數/家庭數）

除上述地震發生後，起火數的預測外，日本尚有出火危險度計算方法，火災延燒件數與面積的預測、市街地火災延燒的理論，如延燒遮斷帶的判定及延燒遮斷帶的構築等相關方法與模式。目前日本以東京都防災會議地震部會於平成 18 年公佈的首都直下地震的被害想定報告，為最新最完善之地震災害損失預測報告內容，模擬強震侵襲下所帶來生命財產的損失。（東京都防災會議，平成 18 年）

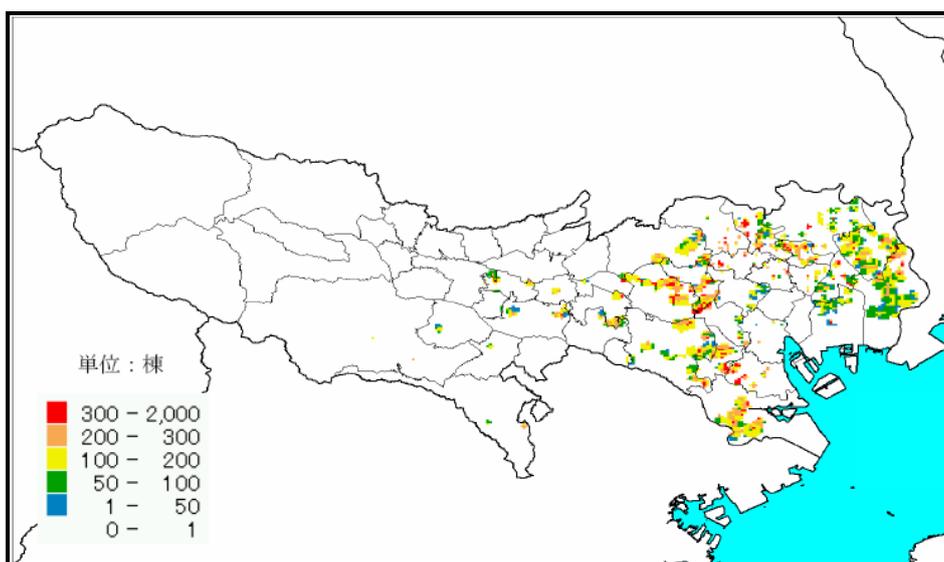


圖 2-5 東京灣北部火災燒失棟數分布圖（東京都防災會議，平成 18 年）

貳、美國震後火災研究

一、美國早期保險業採行的方法

本法採行的方法是評估受地震影響的都市區域，經由震度及產生的晃動，對建築及其他結構所造成的傷害，來計算起火數。其晃動產生的損害，係以地震強度及建築類別的公式為基礎，僅偏重於建築在火災時的損害，亦有就地震強度及液化地區對水源供應的影響，然後以建築物的面積及地震強度的公式，估計可能的火災數。

對於火災的影響因素，建築密度、內部物質、震後情境、風速、防火間隔的寬度、水源的供應、可運用的消防資源等，均被考量在內。而在此過程中認為火災是一項隨機的事件，存在著過多的起火原因或建築內部因素，而導致評估不易。例如，建築物的偏移或損壞、斷電後復電、實驗室因地震導致化學藥品的反應等，均對起火數產生影響，但這些因素都因現有資料的不足而無法進行有意義的分析。但是不可否認的，震後火災的相關資料，或許可藉由判斷或平時火災資料分析，作為震後火災起火數的研判參考。另外，藉由地震晃動或動力學上的理論，結合統計的關係，也許能提供地震與起火的關係（Scawthorn & Moore，1987；轉引自李達志，2001）。

下列表 2-13 是藉由每戶等值居住面積（Number of Ignitions per Thousand Single Family Equivalent Dwellings，簡稱 SFEDs）來標準化震後火災及以地震強度（MMI）來迴歸相關資料後，整理出來的地震強度與火災起火率：

表 2-13 地震強度與火災起火率（Scawthorn & Moore，1987）

MMI	起火數（1 次）	符號說明
VI	可忽略	1、SFED=每戶等值居住面積，每 1500 平方英尺之樓地板面積。 2、MMI=修正麥卡里震度階級（Modified Mercalli Intensity Scale）。
VII	每 7500 SFED	
VIII	每 3500 SFED	
IX	每 2500 SFED	

二、美國地震災害損失決策支援系統 HAZ-US

美國 HAZ-US 的開發可追溯至 1971 年舊金山大地震，美國聯邦政府為滿足地方政府擬定地震災害復原與減災計劃之需求，乃著手許多基礎研究，以提供各個地方政府擬定防救災計劃的基本支援。這些基礎研究，特別強調地震所可能帶來之人員傷亡，並將地震可能衍生之交通設施、通訊與維生管線損壞，列入地震災害評估範圍，且引入地理資訊系統進入地震災害防範與減災計劃研究之內，以增強防災研究的空間解析能力。

HAZ-US 系統由美國聯邦急難管理總署（Federal Emergency Management Agency，簡稱 FEMA）與國家建築科學研究院（National Institute of Building Science，簡稱 NIBS）共同彙整美國有關地震防災、災損評估等研究成果與資料庫，委託 Risk Management Solutions 公司（簡稱 RMS）從事地震災害損失決策支援系統的開發。此系統開發主要目的是作為評估區域性地震損失之估計，以提供各級政府單位擬定地區性地震減災與緊急救災計劃之參考（林慶元，1999）。

三、HAZ-US 系統震後火災評估方法

美國 HAZ-US 震後火災模式 (Fire Following Earthquake, 簡稱 FFE) 包含了火災三個階段, 也就是起火、延燒、滅火等。整合了美國 1906-1989 年地震資料進行分析, 參考早期保險業的評估方法後, HAZ-US 將原 SFED 值由 1500 改為 1000, 並以地震當時所測得之地震強度 (麥卡里震度階級, MMI), 將 MMI 尺規 (scale) 改為 PGA 尺規, 得到相對 PGA 值 (表 2-14)。

表 2-14 MMI 與 PGA 轉換對照表 (FEMA, 1997)

MMI	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
PGA	0.12	0.21	0.36	0.53	0.71	0.86	1.15

一、HAZ-US 方法可用來評估以下三個數值：

- 1、起火數
- 2、總燃燒面積
- 3、暴露在火災危險度的居民人數與建築物數量

可以來估計震度與震後火災的關係, 所得的結果可被使用在當地消防搶救資源的規劃與需求評估參考。

二、震後火災的損害評估模式包含以下幾點：

- 1、嚴格的評估假設地震後消防機關可能面對的起火數量。
- 2、總燃燒面積的評估。
- 3、暴露在火災危險的人口與建築物的評估。

藉由一些震後火災的模組情境應用, 使用者在假設的地震發生前, 檢視可能發生的狀況, 擬定對策降低未來地震發生的潛在損害。

三、使用預設值或使用者必須輸入相關參數包含：

- 1、提供建築物詳細資料
 - (1) 獨棟住宅的面積
 - (2) 獨棟住宅以外的住宅面積
 - (3) 商業用建築物的面積
 - (4) 工業用建築用的面積
- 2、最大地表加速度 (PGA) 值
- 3、消防分隊單位數量、設備數量以及地理位置
- 4、輸入的分析選項：
 - (1) 風速與風向
 - (2) 震後消防車行車速度
 - (3) 模擬的數目與最大模擬時間

利用上述輸入之參數, 再將美國 1906-1989 年的地震強度經由 MMI 與 PGA 修正後, 與每百萬平方英尺樓地板面積起火率進行迴歸分析, 求得圖 3-2 之結果與最佳二次迴歸方程式。

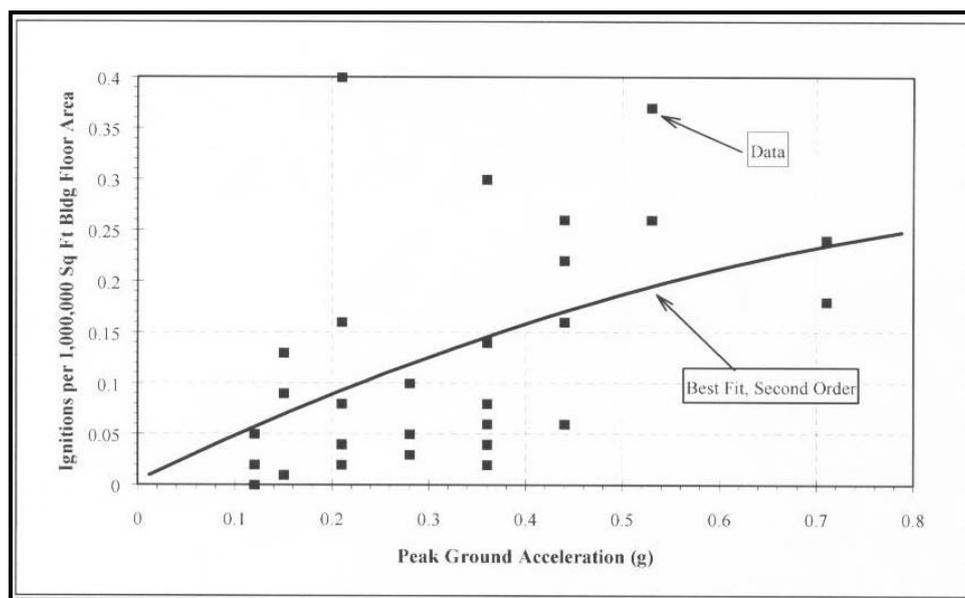


圖 2-6 美國震後火災起火數與 PGA 的關係 (FEMA, 2004)

二次迴歸曲線為：

$$Y = -0.025 + (0.592 \times \text{PGA}) - (0.289 \times \text{PGA}^2) \quad (2-8)$$

其中 $r^2 = 0.34$

Y = 每百萬平方英尺樓地板面積起火率

但一般來說相關係數 r 值須大於 0.6 才就為合理，即為 $r^2 > 0.36$ ，所以 HAZ-US 所評估之公式並不盡理想；另外，Eidinger (1994) 曾對這各預測結果提出相關建議與說明：

- 1、PGA 並非震後火災起火數評估的唯一目標，因為起火數並不全然與單一參數有關。
- 2、由上述公式所得到的震後火災的起火數，與實際的震後火災發生起火數相比，其變動程度在 50% 以內，是較為合理的估算。
- 3、根據美國震後火災的災例記錄來判斷，約有 65-75% 的震後火災會「立即發生」，是指地震發生後的幾分鐘內；而地震後可能產生一些零星的火災並非由地震因素直接造成，可能發生於震後一小時或一天左右，其中最典型的原因，就是因為電力中斷後復電後導致短路而引起火災。

參、台灣震後火災相關研究

台灣位於菲律賓海板塊和歐亞大陸板塊的交界上，屬於環太平洋地震帶，地震活動頻繁，民眾的生命及財產經常受到地震災害的威脅。雖然台灣歷年來發生許多地震，但是並沒有造成重大震後火災的損失，對於震後火災的資料蒐集並不完整，而大地震後也沒有留下詳細的紀錄，因此，受限於這些因素，無法依據震後火災災例進行更深入的研究。

震後火災的研究從內政部建築研究所籌備處成立之後，就多有涉略，參考日本的震後經驗制定台灣的地震災害評估研究。直至民國 88 年發生 921 大地震，地震的震後火災資料才有較詳細的紀錄，相關的研究也漸漸受到重視與發展。

一、都市易致震災之評估

內政部建築研究所於民國 83 年委託台大學者進行都市地震災害之基礎研究，並將其研究成果彙整成「都市易致震災之評估」。其研究整理國內既有火災危險性評估之相關研究，並配合日本對地震火災的評估方法，實施訪談與問卷調查的結果，對震後火災危險度簡易評估法提出下列各項(陳亮全、邱昌平,1994):

(一) 震後火災危險度之評估項目

該研究將震後火災危險度之評估分為以下三個項目進行：

- 1、起火危險度
- 2、延燒危險度
- 3、消防安全

(二) 震後火災起火危險度評估指標之擬定

整理可以量化或觀察之起火危險的評估指標可概分為：

1、火源種類或數量：

包含火源的種類、火器的數量、危險物的種類、危險物的數量等。

2、設置或持有火源的空間條件：

使用火器建築物的用途、貯藏或使用危險物設施的種類等。

3、地震強度：

震害危險係數、地表加速度等。

但基於目前國內的都市內不同地區之地表加速度與統計資料(火器、危險物的實際分布狀況與數量)尚未完善。因此考慮以可行的代替因素：

- (1) 使用火器的建築物用途別數量，
- (2) 使用或貯藏有危險物品之設施別數量。

(三) 震後火災起火危險度評點基準之設定

起火危險度由使用火器的起火危險度與危險物起火危險度兩方面求得。亦即起火危險度之評點乃綜合計算火器與危險物兩方面的起火危險度評點而得。至於此兩方面的評點基準分別如下表(陳亮全,1994)。

表 2-15 火器起火危險度評估基準及評點表

項目	評估基準	使用火器建築用途名稱	評點
1	經常用火，且使用大量油鍋或火器，有甚大起火可能性。	中式餐廳、大飯店、綜合餐飲設施（多數攤位聚集）大量使用油鍋之餐飲店，傳統市場或夜市。	4
2	用火量亦大，但較第一級之用途在使用時間短及用油量較少。	大型西餐廳、中型飯店、夜總會（含供應餐食）、大量使用火器餐飲店、大學或大規模機構之餐廳、供應午餐之中小學、三溫暖、公共浴室、大規模綜合醫院、百貨公司附設餐飲業。	3
3	用火機率不多，但用火機率比一般家庭使用機率高。	小吃店（非大量使用油鍋者）、酒廊、小規模旅館、超級市場、不供應午餐之中小學、幼稚園、醫院、使用火器或鍋爐之工廠、洗衣店、美容理髮業。	2
4	一般之住宅或其相等之用途	住宅、宿舍、一般工廠、診所。	1
5	不經常用火甚至不用火	辦公室、一般零售商店、小診所、不使用火器之攤販。	0

資料來源：內政部建築研究所，1994

表 2-16 危險物起火危險度評估基準及評點表

項目	評估基準	設施名稱	評點
1	大規模實驗室或存放多種不同化學藥品處	大學或自然科學（理工學科）研究機構 醫藥品製造公司 大規模化學藥品儲藏或販賣店等	4
2	中規模實驗室或存放多種不同化學藥品處 有機化學工廠 大量使用工業爐之工廠	醫藥品分析、檢查所 中規模化學藥品儲藏或販賣店 有機化學工業製品工廠等	3
3	中規模實驗室或存放多種不同化學藥品處 無機化學工廠 小量使用工業爐之工廠	高中 小規模化學藥品儲藏或販賣店 無機化學藥品工業製品工廠 動植物油脂製造業或其他化學工業等	2
4	其它持有化學藥品之設施	有實驗室之醫院 小學、國中 紙張或紙加工製造業等	1
5	不存化學藥品等危險物之設施	辦公室等	0

資料來源：內政部建築研究所，1994

二、震後火災起火預測式的研擬

熊光華（2001）將中央氣象局測得之地表加速度值（gal）換算成美國震度標準之相對 PGA 值，再利用美國 HAZ-US 震後火災推導公式，驗證集集地震台灣各縣市之震後火災起火數，其經驗公式仍超過百件誤差。顯示出美國的經驗公式雖是近百年的地震災例求得，但因為國情的不同，發現美國 HAZ-US 推導公式無法直接適用於我國震後火災上，因此建議開發屬於我國震後火災的預測公式。

熊光華（2001）以集集地震的震後火災經驗，進一步以鄉、鎮、市、區等基本行政區震後起火率與當地 PGA 的關係加以分析，希望在各地震度不同的條件下，反應出不同的 PGA 與每萬戶起火率，以期能更接近集集地震發生當時的境況，並加以迴歸分析，研擬我國的震後火災起火預測公式（李達志，2001）。

公式參考我國集集地震中發生震後火災的鄉、鎮、市、區的震後數據，其中震後火災以黃伯全（2000）的研究為參考，有關戶數參考內政部戶政司於民國 88 年 9 月份資料（計算至 8 月份），應為最接近地震發生前的統計數字、地表加速度觀測值（gal）參考中央氣象局的資料。

將有關於「每萬戶起火率」與「相對的 PGA 值」的關係，做線性迴歸，可以得到最佳二次曲線迴歸方程式，如圖 2-7（熊光華，2001）：

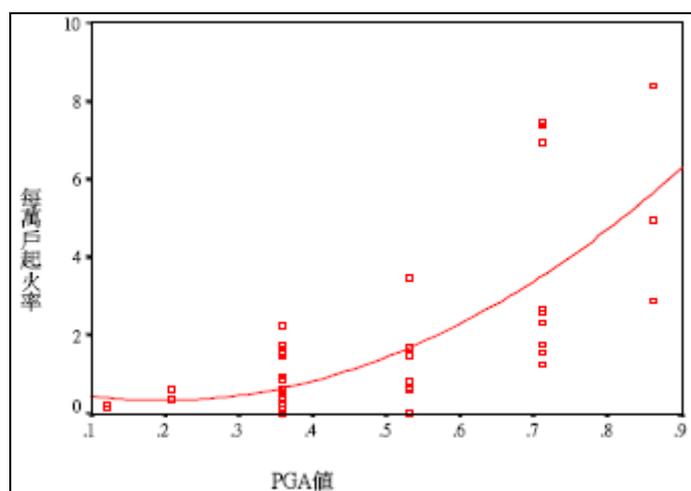


圖 2-7 二次迴歸曲線（熊光華，2001）

二次震後火災起火預測公式：

$$y=0.7854-4.7137\times(\text{PGA})+12.0275\times(\text{PGA})^2 \quad (2-9)$$

$$r^2=0.538$$

y：每萬戶起火率

由線性迴歸的結果可得到一次與二次的公式，經比較 r^2 值之後發現，以二次震後火災起火預測公式為佳，因此有關我國震後火災起火預測公式，建議使用二次公式。

三、震後火災起火危險度評估之研究

李達志（2001）則分析我國與美國、日本震後火災經驗之比較，並利用國內

震後火災統計資料，以各縣市每萬戶起火率、每百萬平方公尺樓地板面積起火率分別與相對 PGA 值、地表加速度值 (gal) 進行迴歸分析，進一步探討我國建築樓地板面積起火率與 PGA 的關係。其中有關各縣市 (鄉鎮市區) 樓地板面積的取得，係經由南投縣、台中縣、台北市稅捐稽徵處的協助取得民國 88 年 6 月份統計之房屋稅課稅面積，此數據是最接近集集地震發生當時的統計資料，應表現集集地震實際的建築面積，地表加速度 (gal) 是由中央氣象局在各地觀測站所測的最大地表加速度，而震後火災的起火資料是根據黃伯全氏在集集地震震後七日內震後火災統計資料歸納而來。

李達志研究結果以「每百萬平方公尺樓地板面積起火率」與「加速度觀測值」迴歸分析所得之一次迴歸直線方程式為佳，因此建議我國震後火災起火數預測公式之參考 (圖 2-8)。

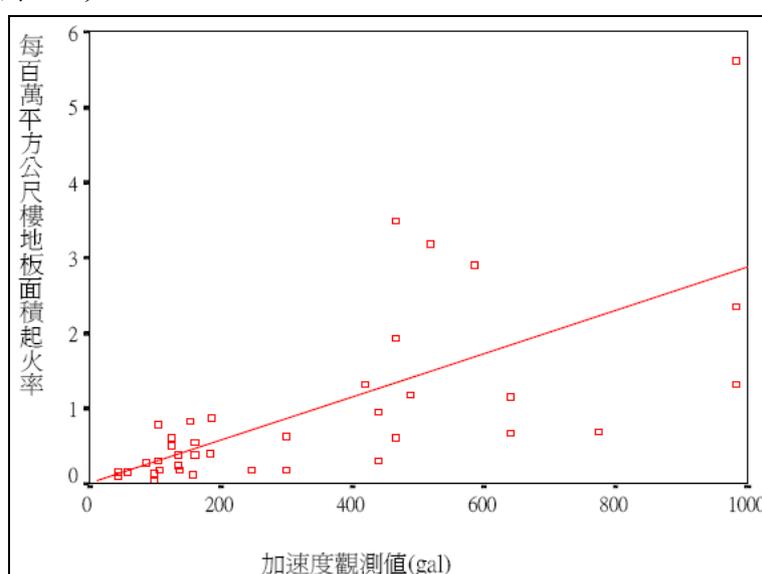


圖 2-8 每百萬平方公尺樓地板面積與地表加速度的一次迴歸分析圖

所得到的一次迴歸直線方程式為：

$$y=0.0029(\text{gal})-0.0047 \quad (2-10)$$

$$r^2=0.462$$

y：每百萬平方公尺樓地板面積起火率

由於基本資料的限制，研究中對於 gal 值代入的預測範圍，為 42.24gal-983gal 的範圍內。由此公式可看出震後起火率與地震之加速度有一相依性存在關係，使用樓地板面積為單位能夠反應建築物的使用狀況；公式所求的震後火災預測數，並未涉及到起火原因的預測，且是依據總建築物樓地板面積計算，並尚未考量到建築結構分類。

四、震後火災次數預測模式之評估研究

李蓓美 (2004) 針對集集地震震後火災起火原因，建立震後火災次數之預測模式，並比較美國與我國震後火災起火數之預測方程式之間的差異性。發現利用震後起火原因之每百萬平方公尺樓地板面積起火率與地表加速度值 (gal) 二次迴歸分析結果，能突顯震後單一起火原因所造成火災的趨勢，其中並以通電後火

災之預測模式較為準確 ($r^2=0.635$)，建議以此二次迴歸方程式作為我國震後因通電引起火災之起火預測模式 (圖 2-9)。

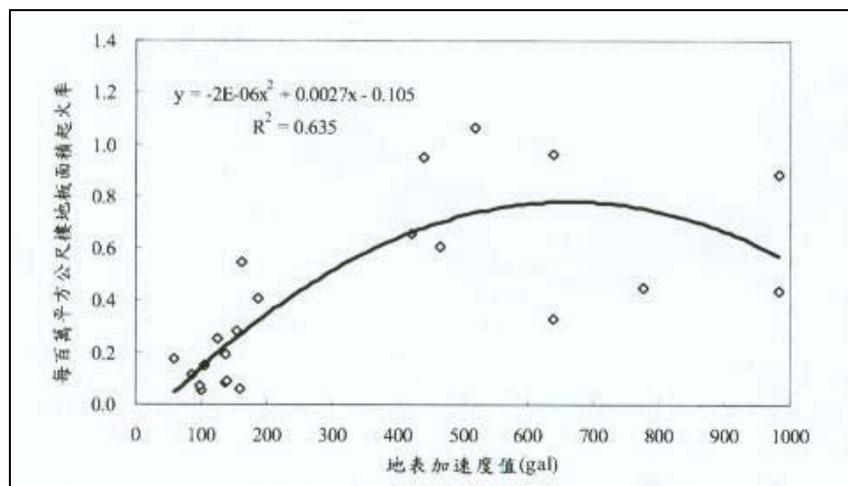


圖 2-9 震後通電後起火二次迴歸曲線分析

所得到二次方程式為：

$$y = -2E - 0.6X^2 + 0.0027X - 0.105 \quad (2-11)$$

$$r^2 = 0.635$$

X=地表加速度觀測值 (gal)

y=每百萬平方公尺樓地板面積起火率

當 X 軸地表加速度值約超過 650gal 以上，每百萬平方公尺樓地板面積起火率略為下降，推測原因在於地震發生時，離震央越近的地點及觀測站所測得的地表加速度越大，相對地震對該區所造成的破壞程度越嚴重，而造成該區房屋全倒與半倒的數量增多，因而電力系統遭受嚴重破壞而中斷通電，故無法因通電後造成震後火災事故發生，使得起火率降低。

五、TELES 台灣地震損失評估系統

台灣地震損失評估系統，簡稱 TELES，英文全名為 Taiwan Earthquake Loss Estimation System，乃國家地震工程研究中心近年來致力開發的一套「震災境況模擬軟體」，可有效評估地震潛在的危險程度與可能引致的災難和損失，應用在政府的防救災業務和民間企業的風險評估與管理上。該系統的分析架構和評估對象參考 RMS 公司在民國 89 年所撰寫的 HAZ-Taiwan 系統及美國所研發的 HAZ-US，但該系統與 HAZ-Taiwan 有極大差異，為避免軟體名稱混淆，因此特予以正名 (葉錦勳，2005)。

TELES 研究是一項以實用為導向、跨領域的科技研究案，主要目的是提供標準且一致的地震災害損失評估方法，且須適應不同使用者的需求與不同精確度的資料來源，以作為地區性或全國性的地震災害損失評估之用，研發目標包含下列三項功能：

- 1、震災境況模擬
- 2、震災早期評估

3、地震風險評估

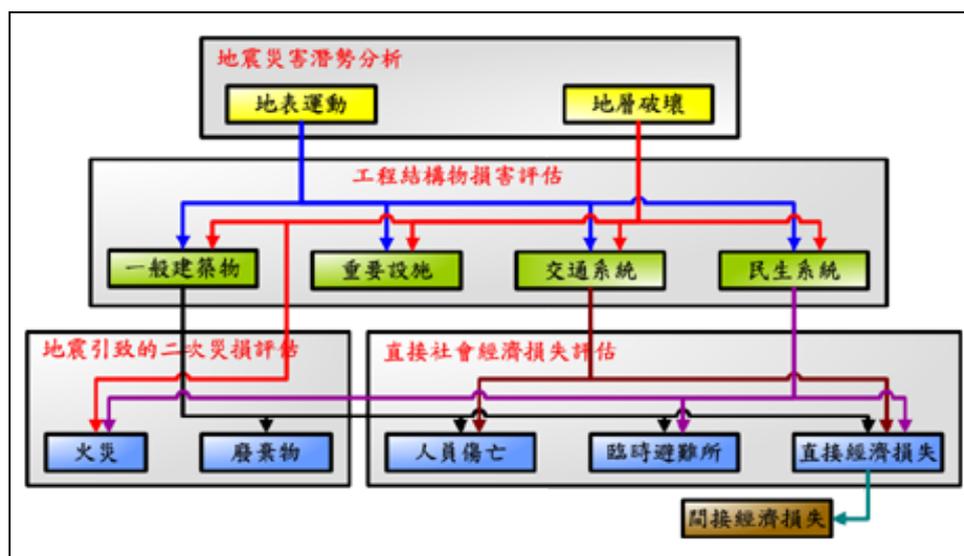


圖 2-10 TELES 系統架構與分析流程

TELES 雖參考美國所研發的 HAZ-US，但經過近年來的努力，已經其中有關地震災害潛勢分析、一般建築物與公路橋樑損害評估、人員傷亡評估和直接經濟損失評估等分析模式或參數值予以本土化。尤其本土化分析參數與資料庫建置已獲得具體成果，其他尚未加入系統的分析模組（震後火災數量評估、震後避難需求評估、地震早期評估等），未來也將是迫切性和資料庫蒐集建置進度逐一納入 TELES，期能達到完善的本土化地震損失評估系統。

六、震後火災起火數推估模式之研發與應用

葉錦勳（2006）探討因斷層錯動所引起永久地表變位的推估模式，並利用集集地震的震後火災統計資料，探討 PGA 和 PGD 兩參數對起火率的影響及推估起火率時的經驗公式。根據 921 地震的境況模擬結果，比較所研擬之兩種震後火災推估值，與實際起火數比對後顯示，所推估的震後火災數量皆比 7 日內實際發生火災的總數少，但比地震當日的火災數量多，但由於介於容許誤差範圍內。因此，本研所得震後火災起火數推估公式具實務應用與參考價值，震後火災起火率推估式為：

$$F=0.3131X_{PGA}+0.0159X_{PGD} \quad (2-12)$$

其中 X_{PGD} 所乘的參數值為不扣除 PGA 影響時的迴歸結果

肆、小結

由以上對於美、日兩國震後火災潛勢分析發展及相關公式的介紹中，發現美、日兩國發展出來的各種評估方法是隨著地震災例的不斷發生而更正，美國是將近百年的地震災例來求得起火數的預測式；日本為因應時代的變遷，其震後起火數的預測牽涉到眾多與社會不同的參數及木造建築分布因素等。

在前述國內外震後火災研究，發現美國對於震後火災起火數的預測是以震度（MMI）為唯一影響參數，包括 HAZ-US 系統所提到利用樓地板面積與 PGA 之關係所推估之公式，也是由震度（MMI）所轉換而來的；與日本的水野法，以

住宅戶數和季節時刻等因素推導之公式，此兩方法選用之參數較易取得，較為適合發展我國的震後火災潛勢分析之參考方向。目前國內國家地震中心發展的 TELES（台灣地震損失評估系統），即依據美國 HAZ-US 模式建立由於影響震後火災起火的因素眾多。尤其在國情不同下，應該善用我國震後火災紀錄較為完整的 921 集集地震災例加以分析，因此本研究將分析國內學者研究之公式驗證之，並以文獻中所提影響震後火災之變數為分析對象，以進行震後火災評估模式。

第三節 地表震動強度衰減分析

地表衰減方程式是描述地震強度的一種簡化模式，由於地表震動將會隨著斷層距離之遠近而衰減，基本假設為地震強度僅受幾個變數影響，如地震規模、震波傳播距離、震源深度等，當震源發生一地震時，所釋放出之能量以地震波之形式傳遞出去，而地震波經由複雜之地質路徑傳遞至工址（Site）後，其所能感受到地震荷載強度亦較小。其中地盤震動的強度可用 PGA 與 PGV 方式描述，PGV 常見使用於分析地下結構物，當考慮地表上的結構物時，則以 PGA 來分析，且 PGA 值為中央氣象局震度分級之強地動參數，也是最常用來描述地震大小物理量，因此一般均以 PGA 衰減公式來描述地震波衰減之現象。故本研究以最大地表加速度值 PGA (Peak Ground Acceleration)，做為震後火災起火模式參數之一。目前國內外有許多學者依據不同的地震資料，參考不同的地質條件，提出許多不同形式之衰減公式，其中較著名的地表震動強度衰減公式分別介紹如下：

一、國外地表震動強度衰減公式：

1、Campbell form (1981)

Campbell 蒐集世界各地芮氏地震規模達 5.0~7.7 之間，震源深度在 25 公里以內之地震事件，來進行研究水平方向 PGA 的衰減情形。依據震源距離 20、30、及 50 公里之內，並分為三個規模區段，共 27 個地震事件，229 筆水平向最大地表加速度紀錄，求得平均水平向最大加速度衰減公式為：

$$PGA = 0.0185e^{1.28M} (R + 0.147e^{0.732M})^{-1.75} \quad (2-13)$$

其中，PGA 為水平最大地表加速之平均值，M 為芮氏地震規模，R 為測站與震源之距離 (km)。

2、Joyner & Boore form (1981)

兩位學者利用美國加州地區強地動資料建立 PGA、PGV 之衰減模式：

$$\log A = -1.02 + 0.249 - \log r - 0.00255r + 0.26P \quad (2-14)$$

$$\log V = -0.67 + 0.489 - \log r - 0.00256r + 0.17S + 0.22P \quad (2-15)$$

$$r = \sqrt{(d^2 + 4.0^2)} \quad 5.3 \leq M \leq 7.4$$

其中 A 為水平向中最大地表加速值，V 為水平向最大地表速度值，M 為地震規模，P=0 為求取衰減式之平均值，P=1 為求取衰減式之平均值加上一個標準差的值 (郭凱文，2003)。

二、國內地表震動強度衰減公式：

台灣地區自 1990 年起由中央氣象局執行強地動資料的觀測計畫，至今已在本島各地設置超過 630 個自由場強地動觀測站，紀錄到極為豐富且高品質的地震資料，對於研究台灣地區的地震衰減模式有很大的幫助。而在本次 921 大地震中，強地動觀測站記錄到 392 筆資料，當中就有數十筆的資料是位於近斷層，使得全世界近斷層資料增多 (溫國樑等人，1999)。以下介紹國內公式：

- 1、黃政耀（1995）於中央氣象局設置自由場強震站後，由地震測測報中心強地動觀測網選取 526 個測站記錄，以兩水平最大加速度值的平均值對測站到斷層破裂面之最短距離，採用 Campbell 的迴歸方式，並以芮氏規模（ML）為震源參數，距離（R）採用震源距離，得到台灣地區最大地表加速度衰減公式：

$$PGA = 0.02968e^{1.20M} (R + 0.1464e^{0.6981M})^{-1.7348} \quad (2-16)$$

- 2、羅俊雄（1996）以中央氣象局 1992 年後的強震紀錄建立軟弱地盤的最大地表加速度衰減公式，同樣以芮氏規模為震源參數，但距離（R）採用測站到斷層破裂面之最短距離（引述自郭凱文，2003）。

$$PGA = 0.0273e^{1.1158M} (R + 0.141e^{0.656M})^{-1.6472} \quad (2-17)$$

- 3、由於 Campbell form 衰減律本身為非線性函數，為非線性之迴歸分析，需藉由不斷調整公式中的常係數，調整到使得誤差值為最小。因此，簡文郁（2001）分析 1993 年到 2000 年，台灣地區芮氏規模 5 以上的地震共 242 個地震事件資料，將其常係數調整後之結果如下表。

$$Y_r = PGA (g) = f(M, R) = b_1 e^{b_2 M} [R + b_4 \exp(b_5 M)]^{-b_3} \quad (2-18)$$

$b_1 \sim b_5$ 為常係數，由迴歸分析求得，M 為地震規模，R 為測站至震源距離。

表 2-17 Campbell 衰減律迴歸分析之常係數

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
PGA	0.0036944	1.7537666	2.0564446	0.1221955	0.7831508

資料來源：簡文郁，2001

三、小結

上述為國內、外學者針對地表衰減程度所做的公式，皆以地震規模（M）與震源距離（R）來進行分析，其中以 Campbell form 最為常用，根據鮑福星（1992）在台灣地區針對強地動因子 PGA，應用 Campbell form 將可獲得較佳的結果，且經過簡文郁於 2001 年以台灣地震歷史事件做常係數修正，因此本研究將使用 Campbell 衰減律迴歸公式（簡文郁，2001），作為地震衰減律公式之選擇。

第四節 救災力探討

消防救災能力範圍廣泛包含救災路線、避難路徑以及消防救災裝備與人員等等，而本研究並未討論救災路線與民眾避難路徑，因此僅針對救災能力內之消防力做相關文獻探討。

壹、消防力的相關研究

一、消防力之內涵與意義

當一場緊急災難事件發生後，公設之消防救災單位運用各種人力與機械等設施去防禦的工作與效率是相當重要，此一救災單位所具備之消防力，是決定這一緊急事故是否能迅速被救援的重要關鍵，這裡所謂之消防力是指在搶救災害時，消防單位為了完成救災任務所必須具有的作戰能力，也就是「消防戰力」。依據日本學者坂本正認為狹義之消防力係指人員、裝備與水利等三要素。所以消防力的配置需依實際的都市人口、土地使用狀況與自然條件加以決定消防力的多寡。

二、消防力之設置標準

都市火災發生時的延燒現象與建物的建蔽率之間的關係與消防力的編制有關係，消防力的編制係由地區之建蔽率、建築物構造及規模、以及風速與延燒速度等因素而定。尤其某一地區之平均建蔽率及年間平均風速，更是該區消防力配置之基礎。

建蔽率與火災延燒之現象，不外由輻射、接焰、飛火等原因。其中飛火之延燒距離，可達數公里之遠，其延燒距離呈不規則現象。所以都市內的公園、學校與市街地等具有都市緊急避難設空間的功能，可促使火災的延燒範圍降低與提供消防救災的空間。

三、滅火所需時間

火災發生後，迄消防隊到達現場開始射水，所需多少時間，分為以下幾個幾段來計算：

1、通報時間

指火災發生至察覺以迄通報消防機關所需之時間。119 報案專線所費時間為 2-2.5 分鐘，其他電話所費時間 2.5-3 分鐘。

2、出勤時間

指消防機關接到火警信息以迄出勤所需時間。消防車出勤之迅捷與否，有賴平時之訓練。由發出警報以迄上車、發車、起步、全部過程不得超過一分鐘，晝夜雖有差異，但標準為白天 20-40 秒、夜間 30-60 秒。

3、射水準備時間

此項時間應縮短到最小限度，大約為 1.5-2.0 分。

四、行走時間

由消防隊出發抵達火災現場，消防車行走所需時間。經由通報、出勤至射水準備所費時間如下：

表 2-18 消防車行走時間

時段別	所需時間
通報時間（以 119 火警電話為最普通）	2~2.5 分
出動時間（白天 20-40 秒，晚上 30-60 秒）	0.5 分
放水準備時間（日本消防大學矢島安雄之統計）	1.5~2.0 分
合計（平均）	4.5 分

資料來源：本資料整理

我國依據日本濱田博士之實驗模式為基礎，計算出延燒至鄰棟所需要的時間，扣除消防隊通報時間和出動時間及放水準備時間，即為容許消防隊行走時間，換算為距離，求出面積，即為消防隊服務之範圍。為防止延燒鄰棟建築之危險性，消防隊必須在 8 分鐘內展開滅火行動，始為有效。因此全部時間（即有效防止延燒時間）減去 4.5 分鐘，剩餘的 3.5 分鐘即是車輛通行時間。因考慮交通，道路狀況等因素，消防車平均之行走速度為每小時 24 公里（意即每分鐘 400 公尺）。

五、消防隊擔當面積之標準

依上述消防車行進之速度，在 3.5 分鐘內可行走之距離為 $400 \times 3.5 = 1400$ 公尺。由於市區之道路網非均呈棋盤式之規則形狀，因此假定 1400 公尺為其極限。依據此項標準，每一隊之擔當面積約以 2 平方公里為理想，故當都市內面積越大則屬之消防隊越多。至於人口散佈之地區，視其建築物及道路狀況，其半徑可酌量擴大，但仍不宜大於 2 公里。相反的，年平均風速在 4 公尺以上之地區，每一負責之面積則相對減小，約為 1.5 平方公里。

貳、消防車輛及人員配置標準

台灣與日本對於消防車輛的配置有極相似的地方，除了國內一樣考慮到人口的因素之外，日本亦考量平均風速與建蔽率的影響。消防救災人員方面，都是以消防車的種類及數量計算出所需的消防救災人員。以下介紹我國編配標準：

一、消防車輛之配置標準

我國之消防車配置標準一向是以人口作為依據。民國八十五年六月五日新頒布之「直轄市縣市消防車輛裝備及人力配置標準」第四條規定：

消防機關車輛、裝備配置如下：

1、消防車：

(1) 直轄市、省轄市、縣轄市及五萬人以上之鄉、鎮每一萬人配置消防車一輛；三萬人以上之鄉、鎮每一萬五千人配置消防車一輛；不滿三萬人之鄉、鎮配置消防車兩輛。

(2) 消防車之種類，由各直轄市、縣（市）視該地區實際需要狀況配置。

2、救災車、消防勤務車、消防船、艇、直昇機：

(1) 救災指揮車：直轄市政府消防局局本部配置二輛至三輛，大（中）隊配置一輛至二輛，縣（市）政府消防局局本部配置二輛至三輛，大（中）隊配置一輛至二輛。

3、消防裝備配置，由中央消防機關按業（勤）務需要定之。

二、消防人員之配置標準

依據民國八十五年六月五日新頒布之「直轄市縣市消防車輛裝備及人力配置標準」第五條規定：

直轄市、縣（市）消防機關配置之各型車輛應配置之消防隊員員額如下：

- 1、雲梯消防車每車配置八人至十人。
- 2、水塔消防車每車配置六人至八人。
- 3、化學消防車、水箱消防車、水庫消防車、高低壓消防車、幫浦消防車，每車配置五人至六人。
- 4、救助器材車、排煙車、照明車、空氣壓縮車、災害調查車、緊急修護車、特種通訊車、化學災害處理車、災情勘查車、泡沫原液車、火場勘識車每車配置二人。

參、小結

本研究以探討震後火災消防救援能力為題，因此先建立震後火災模式以評估都市土地分區內之街廓起火數，然後再針對台中市消防分隊之消防力探討。以前述文獻，本研究將採日本濱田博士之實驗模式為基礎，設定消防最短行車時間為3.5分鐘，以此行車時間所抵達之距離作為消防分隊最低服務範圍之定義，討論消防力涵蓋服務面積；本研究為符合台中市之實際狀況，將依本國頒訂之消防車輛與人員配置標準，作為探討消防車輛與人員數量之依據，再配合人口、建物分布及可能震後起火等因素，討論各分隊之消防力是否足夠以應付災害發生。

第三章 研究設計

本研究依據上述問題陳述與分析，即文獻回顧中針對國內、外震後火災案例、及震後火災相關研究，了解震後火災之危險性，及預測震後火災發生之重要性，因此本研究首先以路徑、街廓觀念確定救災範圍選取，進而探討震後火災起火模式，最後分析消防救災路網及消防戰力，本研究分析流程圖如下：

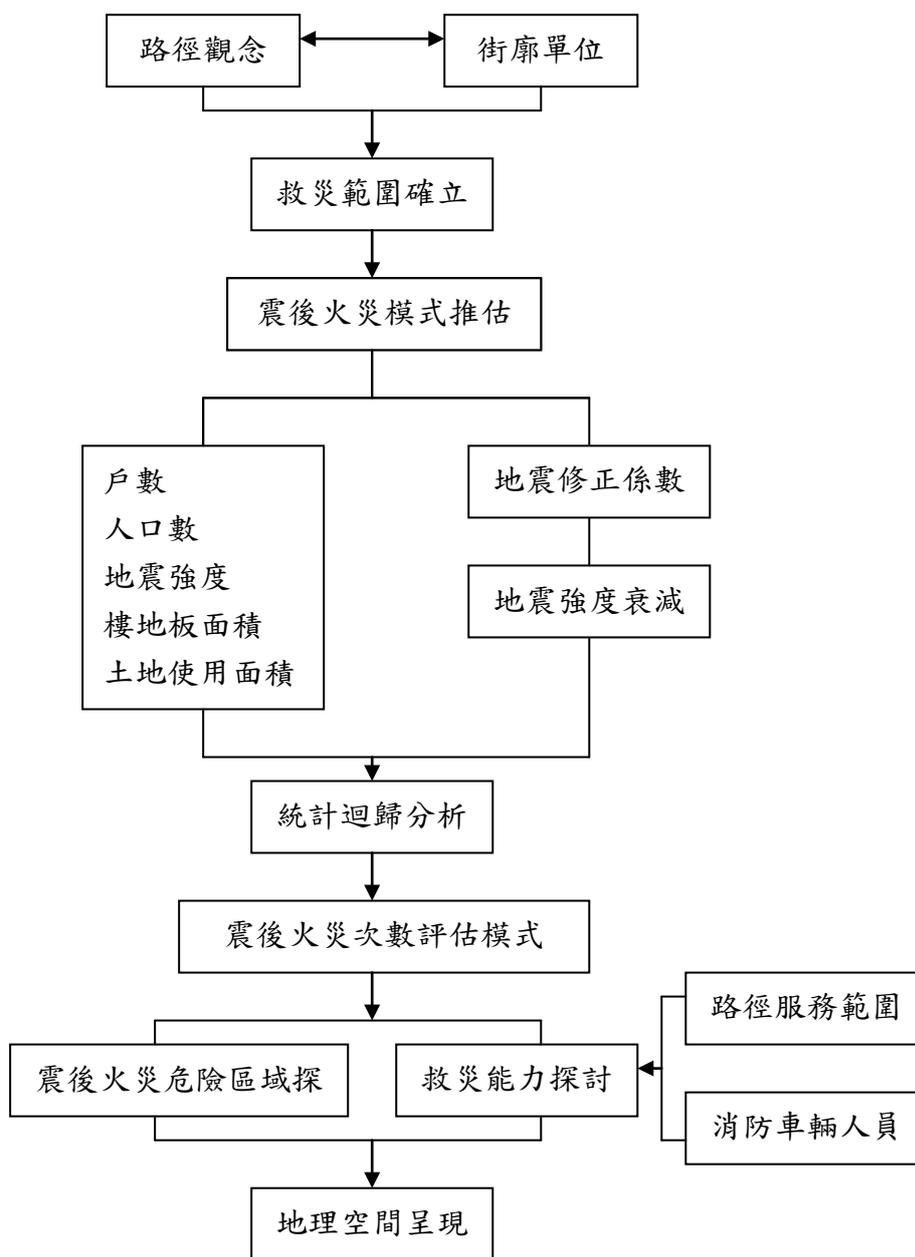


圖 3-1 研究分析流程圖

第一節 救災能力範圍選取

本研究為探討台中市於震後可能發生火災之次數與影響範圍，擬依據日本東京都以 500m 網格為評估測定單位。就地區之聯誼組織（町會等，類似台灣之里民大會），或是都市計畫之單位地區而言，町丁目（類似台灣之里鄰）為單位的資料更易明瞭。因此，東京都消防局於 1998 年第四次公布的資料，即以町丁目為單位（250m 之網格或町丁目等小單位推估），再以災害對策主體之區市町村（類似台灣鄉鎮）為單位，整合計算受災程度，屬於單位地區之整體性預測。

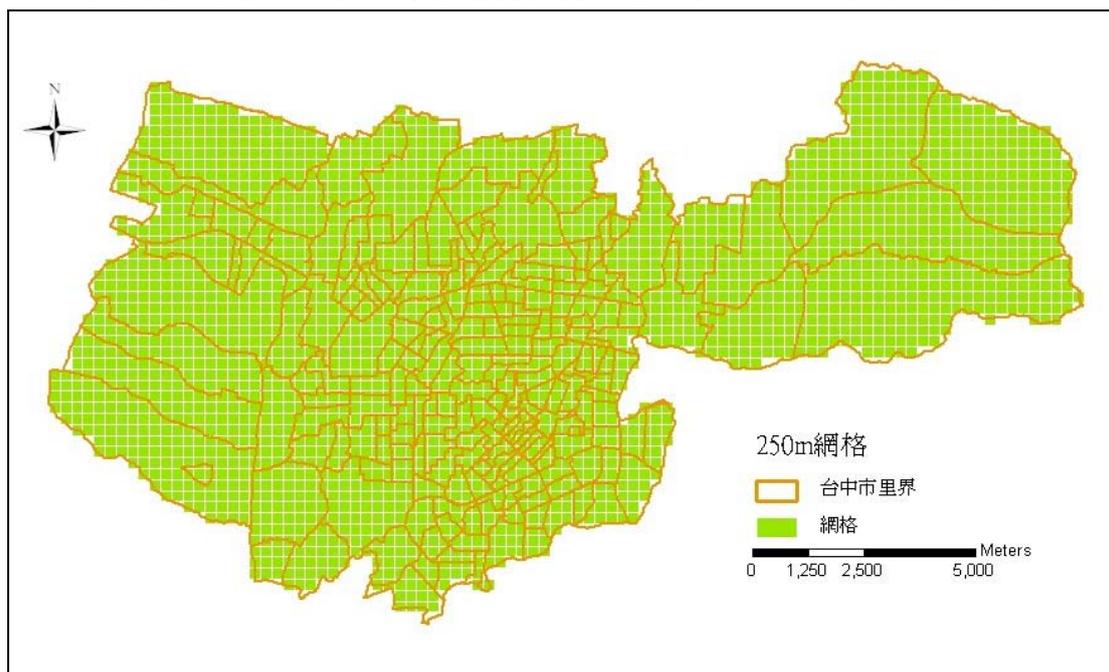


圖 3-2 台中市 250m 網格圖

但對於台中市而言，都市發展並非像日本完整棋盤式規劃發展，因為台中市早期都市發展大致以同心圓方式逐漸向外擴展，因此以網格（250m×250m）為範圍選取單位，並不能突顯各行政區實際災害特性。此外，以消防救災能力考量，消防力之配置與救災路徑則容易受網格單位影響，而造成分配不均之情況；雖然以網格做為選區單位能完整呈現方塊狀之危險程度，但現實中網格與道路並非呈現一致性，且以路徑觀念而言，消防車是行走於道路上，是受道路規範影響救災範圍；以土地使用、都市發展觀念而言，街廓更能突顯一地區之都市化發展程度，因此基於消防救災路徑及土地使用觀念，本研究將以道路圍成之街廓為範圍，作為救災分析單位的選取。

往昔文獻對救災能力範圍的檢討多以同心圓方式進行救災服務時效分析，本研究為考量路徑的實際運行時程，以各消防分隊駐地為中心，運用 GIS 路網分析功能，進行各分隊的救災能力範圍的確認，並以街廓單元內人口及土地使用狀況進行範圍內危險潛勢地區探討。

所謂「街廓」在中國古代稱為「里」又名「閭里」、或「城坊」，是古代城市規劃中居民聚居之處，也是居住區規劃的基本單位。依據都市計畫法台灣省施行

細則第十一條第二項規定：係指都市計畫範圍內四周被都市計畫道路圍成之土地，可能由兩條相交二次的道路圍成，或由三條道路圍成一個三角形，於是街廓成為都市中容易辨別和分割的地理單元。由於都市在生成的過程中，受到經濟、政治、社會、文化及都市計畫等各種因子影響，形成各式各樣的都市街廓與建築型態。

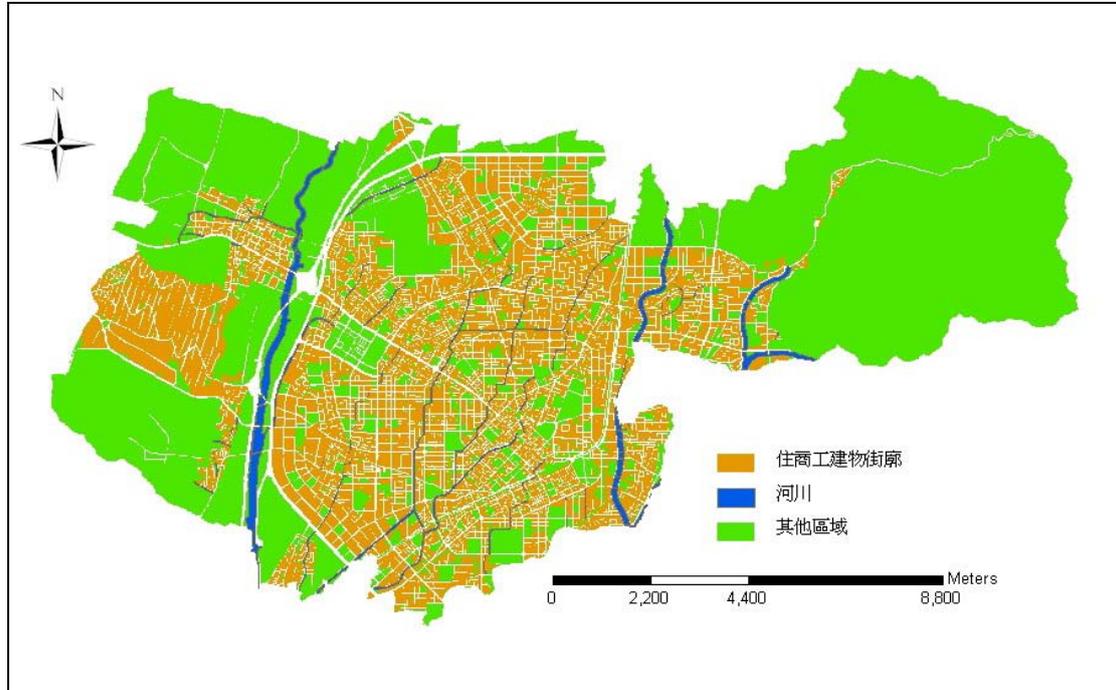


圖 3-3 台中市街廓圖

第二節 震後火災起火推估

根據文獻回顧，過去國內研究震後火災起火預測諸多公式中，多以黃伯全所調查之震後火災起火數資料為樣本，以及取得各地之 PGA 值與當時現況之樓地板面積做為分析之依據。透過迴歸分析所得之公式預測結果，是可以在災前快速的評估，掌握各地區在地震災害時可能產生火災的預測數。由於影響火災因素相當複雜，例如建築物結構、密度與材質、建物內部物質材料、建築物使用性質、防火巷寬度、風速、環境情境皆需被考量進去，而過多的起火因素，將增加評估模式之困難度，而每一種起火因素造成震後火災的嚴重程度不一，鑑於資料收集之困難性，因此預測模式即不考慮起火原因與發火源。

本研究為探討台中市震後火災起火次數，根據國內學者黃伯全（2000）在震後火災的研究，曾就多方面的統計值來比較震後火災起火率，經由本研究整理，其統計項目如下表 3-1。

表 3-1 震後火災起火率單位比較表

項目 單位	優點	缺點
每一萬戶的起火 件數	1、戶籍資料易取得 2、能夠反應地震時居民的居住狀況	1、居民的人數並無法精確的掌握，且戶籍流動率頗高。 2、無法掌握實際的建築分布狀況。
每一件起火數的 相當人口數	1、數據容易取得 2、能夠反應地震時人口的分布狀況	1、根據震後火災的分析，人為的因素並不是震後火災起火的主要原因。 2、各地地方的人口密度不同，聚集地方也不同，無法客觀的描述各地方的震後火災發生情況
建築物樓地板面 積	1、能夠反應實際建築物使用狀況 2、根據震後火災分析，大多數發生在住宅火災 3、適當表現火源分佈情形	1、建築面積資料適時更新，以符合需求。 2、未考慮到建築物結構。
每百萬平方英尺 土地面積	1、數據容易取得 2、能夠反應地震時各地區的土地使用狀況	1、無法反應影響震後火災起火的重要因素。如起火源、建物狀況

資料來源：黃伯全（2000）&本研究整理

由上表得知，從過去文獻公式中，針對戶數、人口數、樓地板面積為探討震後火災起火預測式之重要因素。由於建築物的興建密度與使用性質跟土地使用分區有絕對的關係，而本研究以街廓為研究範圍，即考量街廓之都市土地使用與面

積大小，因此對於本研究之震後火災起火模式，則加入都市計畫地土地使用面積（都市發展用地），做為起火模式之影響變數。

本研究根據前人文獻的研究發現，起火率預測式中，皆以地震強度為一重要變數，起火率的高低與地震強度有絕對關係；歸納文獻，發現地震強度的表現是以最大地表加速度值（PGA）呈現。一般而言描述建物受震災而造成損害的因子大概有三個因素：建物的構造類別、建物的建築年代、距離斷層遠近等，此三項因素，皆可能因建物災損而造成起火發生，因此建物與地震來源在空間分布上的關連，即與距離特性有關。所以在本研究在這項因素當中，將透過衰減律公式計算各街廓之地表加速度值，並提出修正係數，進而建立本研究之震後起火評估模式。

第三節 消防救災能力分析

壹、消防救災路網分析

戴久永(1991)研究都市住宅火災的損失與該建築物和最近消防隊之間距離的關係,發現火災現場與消防隊的距離跟火災損失有密切的線性關係,因此消防隊於救災時必定考量其救災路徑,而距離的遠近也關係到消防隊抵達的時間。依據文獻整理得知火災一旦發生,消防車到達現場所需的救災時間可以分為以下三個階段來計算:消防隊接到通報時間、行車時間、到達現場射水準備時間。依據日本「消防力的基準」,以防止火災延燒至鄰棟建築為基本設計理念。有效防止延燒的時間為 8 分鐘,減去通報時間、出動時間與射水準備時間(合計平均為 4.5 分鐘)。剩餘的時間為行車時間只有 3.5 分鐘。因此容許消防隊行走的時間為 $8 - 4.5 = 3.5$ 分。雖說在都市內消防車有行駛之優先權,但因都市內交通流量問題、路邊停車問題與道路狀況不一等因素下,消防車平均之行走速度為每小時 24 公里(400 公尺/分)。以此數據為消防隊的服務範圍準則,並以有效救災時間為 3.5 分鐘為依據,來決定消防車可即時到達之最遠服務範圍,則每一消防隊的擔當面積約 2 平方公里。為符合實際研究區域狀況,本研究套用台中市交通局交通調查資料庫(民國 94 年)針對台中市主次要道路做幹道行駛速率資料,平均行駛速度為每小時為 29.5 公里,即每分鐘消防車可走 490 公尺。

根據『直轄市縣(市)政府消防機關組織編制及車輛配置標準』中規定消防隊的最大服務範圍為 5 分鐘內能到達的範圍與面積 9 平方公里。因此依據上述討論,以消防隊的服務範圍區域劃設是依消防車的行車時間 3.5 分鐘與 5 分鐘兩種標準,並以行車速度 29.5 公里為消防車行走速度,來決定消防車可即時到達的最遠範圍為消防隊的責任服務範圍。

本研究藉由 ESRI 公司所研發的地理資訊系統軟體 ArcView3.3 的路網分析模組,計算各消防分隊的最大服務範圍,而路網分析的計算方式是以道路長度與行車速度決定路網所能行駛的距離,由距離最遠服務範圍的點所連成的面積來決定消防分隊所能服務之最大有效範圍。

貳、消防戰力分析

在消防設施方面,以整體都市空間為考量,以消防隊法定有效服務範圍作為基準,在服務範圍內所屬的消防隊可以在最短時間內有效救災,相對而言較安全,越是遠離消防隊的有效服務範圍,發生災害時救災人員及消防機具到達時間耗時越長,越無法掌握搶救有效時機,災害所造成之損害將會越大。黃建華(2001)之研究發現搶救人力充足與否對火災所造成之財務損失有顯著的差別,黃氏認為此變項在影響火災時建築物財務損失上相當重要,因此本研究依台中市各消防分隊及分隊負責之業務範圍,以該消防分隊之警消人力與設備作為其消防力之大小。

依據第二章文獻回顧中所提的消防車輛與人員配置標準中之規定,計算台中

市應有之消防車輛數以及各分隊應有之消防人員數，並依計算結果與台中市現有之消防車輛與人員進行比較，以分析其資源配置是否妥適。此外，並依據「直轄市縣市消防機關火場指揮及搶救要點」中所示，關於車輛之派遣，應以「車組」^註為原則，再與震後火災起火模式之震後火災潛勢區套疊，將對消防分隊服務範圍所涵蓋之危險區進行探討，檢討消防力是能否應付現況。

^註 「車組」係以兩輛消防車組成具獨立救災作戰之基本單位，一為攻擊車、另一為水源車，一般常見的車組為水箱車加水箱車、水箱車加水庫車、雲梯車加水箱（庫）車、化學車加水箱（庫）車等。

第四章 震後火災起火模式建立

本研究擬建立一震後火災起火模式，依據前述震後火災起火評估討論中，發現國內、外公式中，多以火災統計資料為研究之著眼點，並以統計迴歸方式產生預測公式。因此本章先針對國內學者之研究做一驗證討論，再以本研究設計中所提變數列入考慮，結合都市層級分群來計算火災起火次數，這樣的方式雖不易達到精確的預測程度，但已能了解地震所帶來的起火數，達到災害損失評估與消防力緊急應變能力之目的。

第一節 震後火災起火公式驗證與分析

本研究以 921 集集地震災例為研究依據，依據前述之國內相關研究介紹，亦以當時地震資料為研究來源，因此針對震後火災起火預測式，做一驗證分析。

一、震後火災起火預測式：

熊光華（2000）整合美國 HAZ-US 系統的震後火災起火預測模式與日本推測震後火災起火預測式的推論過程與重要參數，提出以二維迴歸式為我國震後火災預測式的建議，其公式（2-9）為：

$$\text{每萬戶起火率} = 0.7854 - 4.7137\text{PGA} + 12.0275\text{PGA}^2$$

其中 $r^2 = 0.538$

如將修正麥卡里震度階級 MMI 與 PGA 轉換表的相關數值，代入二維震後火災起火預測公式中，即可預知我國在以 MMI 為地震震度的標準情況下，發生地震後每萬戶數的起火件數，估算結果可歸納如表 4-1 所示：

表 4-1 我國不同震度下（MMI）的起火率

震度階級（MMI）	PGA 值	每萬戶數的起火件數
VII	0.21	0.326
VIII	0.36	0.647
IX	0.53	1.657
X	0.71	3.502
XI	0.86	5.627
XII	1.15	11.271

資料來源：本研究整理

（一）台中市震後火災起火數的預測：

根據上述所提出的二維震後火災預測式估算，可以算出我國在 MMI 震度階級下的每萬戶數的起火件數（表 4-2），再將台中市的戶口數資料，乘以該起火率，則可以得到台中市在遭受不同 MMI 震度的地震下，可能的震後火災起火數，其估算結果彙整如表 4-2 所示：

表 4-2 台中市不同震度下 (MMI) 的起火數

震度階級 (MMI)	PGA 值	每萬戶數的起火件數	台中市起火件數
VII	0.21	0.326	12
VIII	0.36	0.647	28
IX	0.53	1.657	59
X	0.71	3.502	124
XI	0.86	5.627	199
XII	1.15	11.271	399

資料來源：本研究整理

(二) 震後火災預測結果分析：

上述是利用熊光華(2000)所提出的震後火災預測公式，用來預測台中市每萬戶起火件數，發現震度越強，起火件數越多。但由於台中市有八個行政區，其中戶數最多的為北屯區與西屯區，但人口密度集中最高的為中區(表 4-3)，因此無法有效判斷出各屯區所可能發生的火災件數。由於人口流動量高，各戶的人數無法精確掌握，亦會影響戶籍的統計數；藉由此分析亦可發現，火災發生的牽涉到火載量的多寡(指單位面積可燃物的重量)，以每萬戶的起火件數為起火率單位無法掌握實際的建築物分布狀況。

由於前述起火率的預測，主要是以美國所採取的震度 MMI 轉換的 PGA 值，與我國的震度標準不一，MMI 依照地震所測量到 gal 值分為 12 級，中央氣象局則分為 8 級，兩者對地震震度的敘述有很大的不同，如果以 gal 值當自變數與震後火災起火率做迴歸分析，應會得到比較合理及客觀的結果。

表 4-3 台中市人口統計表

類別 行政區	戶數	土地面積 (平方公里)	人口數 (人)	人口密度 (人/k m ²)
中 區	8343	0.9276	23767	25621.68
東 區	24343	6.6858	72806	10889.58
西 區	40679	6.3503	116146	18289.80
南 區	38370	7.8156	109020	13949.06
北 區	52772	7.5329	146677	19471.41
西屯區	65218	39.9455	195147	4885.33
南屯區	47321	30.4563	142993	4695.02
北屯區	76529	61.6101	235971	3830.07

資料來源：台中市戶政局(統計至民國 95 年 10 月)

二、震後火災起火危險度

本研究於前述所提到之公式(2-10)中建議為我國震後火災起火數之公式，因此為了解 921 集集地震後，各地實際發生火災次數，將此公式以台中市北屯區做一驗證。

(一) 相關參數設定

- 1、根據中央氣象局資料顯示，台中市北屯區在 921 地震當時之震度為 6 級，觀測站所測得最大地表加速度為 438.68gal（北屯區光正國小觀測站）。
- 2、依據台中市稅捐稽徵處於民國 88 年 6 月統計的房屋課稅總面積資料顯示，北屯區的房屋稅課稅面積為 10,702,376 平方公尺。
- 3、據國內學者黃伯全研究，以 921 地震發生後的 7 日內為震後火災的定義，在受創較嚴重的七個縣市的調查中，地震發生即陸續發生高達 90 餘件的震後火災。佔 7 日內火災發生總數的 57%。因此若算地震當日的震後火災數，則必須以預測數再乘以 57%，即為震後第 1 日的震後火災預測數。根據本研究歸納災例，北屯區於 921 地震當天即發生 3 起震後火災。

(二) 震後火災預測結果分析

- 1、將地表加速度值 438.68gal 帶入公式 (2-10)：
每百萬平方公尺樓地板面積起火率 = $0.0029 \times gal - 0.0047$
則，每百萬平方公尺樓地板面積起火率 = 1.267472
- 2、總樓地板面積 × 每百萬平方公尺樓地板面積起火率 = 起火數
則，預測的起火數 = 13 件
- 4、以震後第 1 日的震後火災預測數而言，預測起火件數： $13 \times 57\% = 8$ 件
與地震當日發生 3 件，誤差 5 件。
- 5、依據美國學者 John Eidinger 研究指出，震後火災起火預測值在 50% 變動程度內屬合理的判斷，本次 921 地震北屯區當日震後火災的預測件數為 8 件，合理的起火件數預測範圍應是 4—12 件，但實際發生數卻只有 3 件，變動程度僅超過 25%，應在合理的起火件數預測範圍內。
- 6、分析此一結果，主要原因為此公式以一縣（市）的樓地板面積為主，當日起火數的預測亦以一縣（市）為依據，因此並不適用於各鄉鎮之起火預測；由於以一縣（市）為範圍，因此觀測站之選擇將影響地表加速度值之強弱，若以該地最大地表加速度值為判定標準，則可符合當時的地震情形，起火數之預測件數則可能提高。

參、小結

經由前述兩個公式驗證台中市起火數，都可以預測出起火的次數，主要的相關的參數分別是 PGA 值、戶數、百萬樓地板面積、起火數等，這些都是可以透過政府單位得到資料，在預測上有一定的準確度。在此兩公式中，雖然嘗試以 921 集集地震 7 個縣市的每百萬平方公尺樓地板面積起火率與最大地表加速度的關係，以及每萬戶起火率與 PGA 值之關係，得到約略的震後火災起火預測式；然而，為了更明確得到一區域範圍的火災次數預測，此兩者公式則無法有效達到更精確的要求。因此本研究將以震後火災於鄉、鎮、市、區等基本行政區與並加入土地使用分區面積及各項變數分析，期能發展一套發生地震時的起火預測公式。

第二節 地震值評估

地震波在傳遞的過程必然發生衰減的現象，本研究以地表運動衰減公式做為地震值的推估，當地震發生時，便可由中央氣象局得到地震情報(含震源、規模)，在套入選用公式後，便可得到各區之地震值。再經由前述推導之震後火災公式，乘入 gal 值，即可得到實際的每百萬平方公尺樓地板面積起火率。

一、水平 PGA 衰減預估結果

由於中央氣象局所觀測的強地動資料分為三個方向(東西向、南北向、垂直向)，一般在探討強地動因子時，多將水平方向之資料進行處理，經常採用的有幾何平均(Geomean)、最大值(Maximum value)以及加總平均值(Average)。而本研究將採用幾何平均值，計算中央氣象局強地動觀測站於 921 地震所測得的強地動觀測值，由於本研究區域以台中市為例，因此針對實證地區內所設立的強地動觀測站(17 站)進行資料處理，由中央氣象局僅得 13 個測站資料。

中央氣象局的地震速報系統十分快速，通常可在地震發生後 120 秒內獲知地震規模、震央位置和震源深度等資訊，因此藉由文獻提到之 Campbell 衰減律公式計算，推估台中市各測站之結果如下：

表 4-4 實際水平 PGA 值與計算水平 PGA 值比較表

測站	南北向	東西向	實際平均 PGA	公式計算 PGA
台中市	187.10	201.46	194.15	211.384
東海大學	175.62	116.94	143.31	180.398
僑孝國小	241.94	273.42	257.20	194.941
西屯國小	128.12	142.72	135.22	187.613
忠明國小	230.70	156.84	190.22	202.160
光正國小	438.68	348.66	391.09	285.409
四張黎國小	132.08	224.78	172.30	186.338
忠孝國小	208.16	256.9	231.25	214.700
黎明國小	140.32	153.90	146.95	196.821
協和國小	100.12	111.32	105.57	189.403
台中(TCU)	182.50	221.08	200.87	211.384
永安國小	111.38	107.96	109.66	185.957
大勇國小	260.44	281.96	270.99	221.356

另外再由公式推算之數值與實際測站所測得之數值，兩者加以比較後之結果可歸納如圖 4-1 (A、B)。

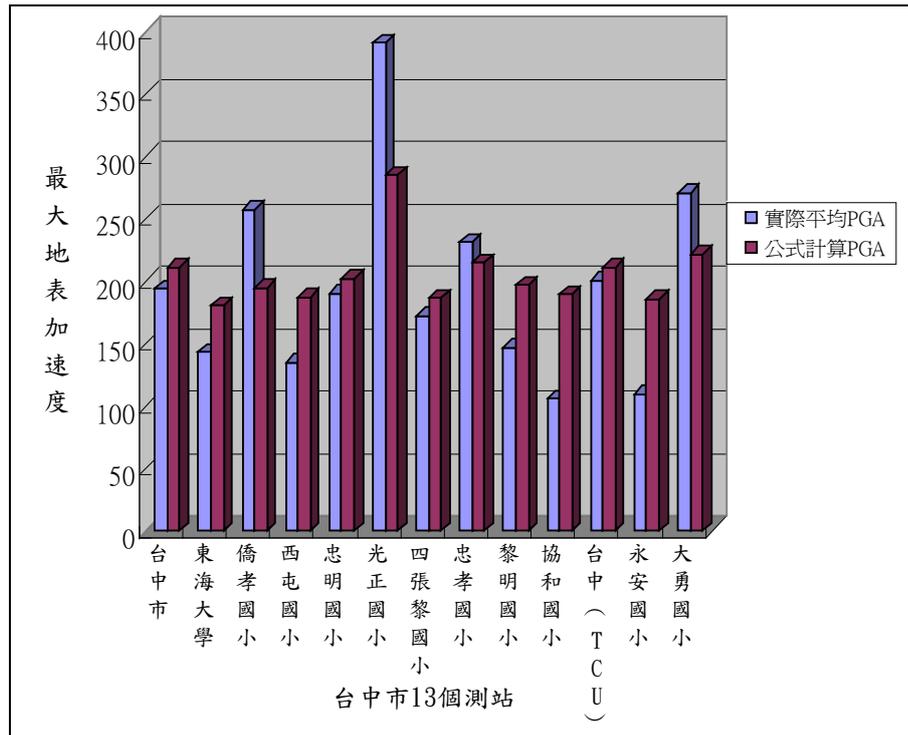


圖 4-1 (A) 實際水平 PGA 值與計算水平 PGA 值比較圖

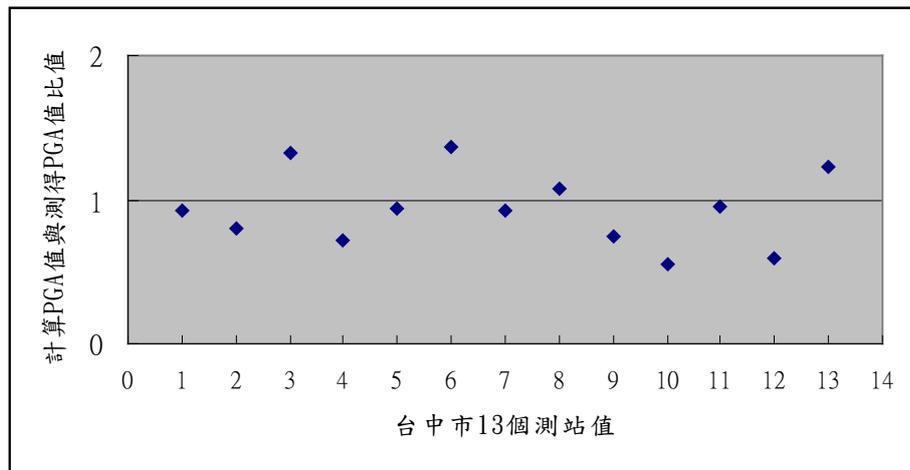


圖 4-1 (B) 實際水平 PGA 值與計算水平 PGA 值比較圖

可以得到實際測得 PGA 與公式計算 PGA 兩者之比值落在 0.5 與 1.4 之間，平均值 $Y=0.9339$ 。經由這樣推導的過程中可以發現，以 Campbell 衰減律公式來模擬 921 集集地震之 PGA 衰減現象，結果可說準確，因此以此公式作為本研究推估台灣簡易型地震之 PGA 值為可信之數據。

二、強地動因子係數修正

Campbell form (簡文郁, 2001) 乃是分析國內 1993 年到 2000 年地震資料，已經加入集集大地震當時實測資料，且以各地測站之觀測值作係數修正，足以反映當時集集大地震紀錄。在集集大地震中，強地動觀測站記錄到 392 筆資料，但由於實證區台中市其測站數為 17 站，且本研究將以集集大地震之震度做為模擬

之數據，因此需對地表震動加速度衰減公式進行修正。

修正的方法，首先是設定發生時之震源參數，由於本研究採用點震源方式求得水平 PGA 值，亦即利用 Campbell 衰減律公式來概估地表最大加速度在堅硬岩盤下的大小，對於區域效應與斷層效應皆不考慮，所需之震源參數只需要地震規模、震央位置、震源深度即可。因此將地震規模 (M) 與觀測站至斷層面之最短距離 (R) 帶入 Campbell 公式，可以得到 PGA 之推估資料，由於觀測站和震源的距離為點到點的距離，震度成同心圓環狀分佈，推得之結果由震源向外逐漸減弱。

將推估結果再乘上一修正係數 (α)，令所有實測值與修正後推估值間之誤差絕對和為最小，就可獲得修正係數，其修正模型如下 (李秉乾等人，2005)：

$$\min \Delta = \sum_{i=1}^n |PGA_T - \alpha PGA_E| \quad (4-1)$$

PGA_T 乃是以集集大地震中台中市內各測站所記錄之 PGA， PGA_E 為利用 Campbell 衰減律迴歸公式所計算之結果， α 為係數， n 為測站個數。經由台中市 17 個測站進行強地動因子修正，PGA 之修正係數值 $\alpha=1.4241$ 。衰減律公式的 R 值是測點距震源之距離，因此本研究利用 GIS 空間關係計算功能，以各街廓幾何中心計算距震央之距離，在依「畢氏定理」將此距離加上震源深度算出真正的街廓中心於震源距離 (R)。

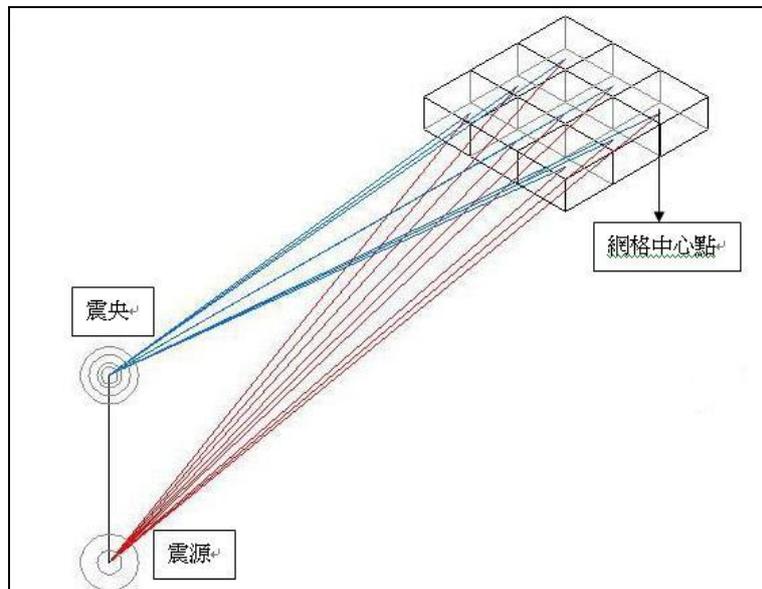


圖 4-2 各街廓中心與震源距離關係圖

第三節 震後火災次數預測模式

針對震後火災預測部分，本研究依據黃伯全調查 921 集集地震主次要重點災區 7 日內震後火災起火數為研究案例，共有 7 縣市，並增加台中市消防局當時調查之起火數，總起火案例共有 173 件。本研究依據當時調查項目（地點、起火時間、起火原因、起火源、建物使用型態等），把各縣市之起火案例建置災損資料，並依照都市層級觀念把各縣市之起火地區，分別以鄉、鎮、市、區分類出來，則歸納出各縣市內之鄉、鎮、市、區地震後 7 日內所發生的火災次數。

由於本次 921 集集大地震災區多位於市郊鄉鎮地區，我國建築物雖多半為鋼筋混凝土構造，且地震發生時間為凌晨時分無用火行為，並未發生都市大火及延燒現象，而本研究以都市層級歸納出各行政區後，發現火災發生次數並非多集中於市郊鄉鎮地區，反而都市化發展程度高之市、區有火災發生次數高之現象。因此為區分火災發生之都市層級差異，本研究擬以各行政區之戶數、人口數、樓地板面積、土地使用分區面積等因素為分類依據，將火災發生地區以分群方式，分類出都市型態、鄉鎮型態兩類。

一、都市層級分群

經本研究整理 921 地震相關研究文獻，依據震後火災發生之 7 縣市，參考該縣市政府公佈之統計要覽，得到各縣市政府所公佈的鄉、鎮、市、區之總戶數、總人口數，並經由各縣市政府稅捐稽徵處取得其房屋課稅面積資料，為符合 921 地震發生當時情況，因此本研究資料蒐集以民國 88 年 6 月份為依據；而都市土地使用分區面積，則參考各縣市政府綜合發展計畫公佈之都市計畫面積，做為土地分區之依據，並乘上各縣市土地發展比率，做為該地區之土地現況面積，故看出一地區之土地使用發展程度。

本研究以統計分析工具 SPSS，對於所有起火地區進行集群分析，由於仍缺乏台北縣、雲林縣房屋課稅面積，透過 SPSS 統計運算，將會忽略扣除缺漏的部份，分類出群組如下表 4-5、4-6。

集群分析(Cluster Analysis)在許多的多變量分析方法中，是比較簡單的一種。利用集群分析法來對資料作簡化的工作與分類，也就是把相似的個體（觀察物）歸於一群。集群分析是一種邏輯程序，探討如何將欲測對象分為類似的群體。其最主要目的，乃是利用客觀的計量方法，將事物根據某些屬性歸集在各個群體之中，使得在同一個集群內的事物都具有相同的特性(homogeneity)，而在不同的集群之間卻有顯著的差異性。如果以幾何圖形來看。同一集群內的分子應聚集在一起，而不同集群的分子應該彼此遠離。集群分析與傳統分類法不同之處，在於傳統分類法較為主觀，因其分類準則乃事先決定的，而集群分析是一種數值分類法，依照自然分組將分佈於某一測量空間的點予以歸類，使歸類後的集群具有最大的相似性（陳正昌等人，2001）。

透過集群分析，可得到兩分群，由於是以戶數、人口數、樓地板面積及土地使用面積為分類變數，可發現剔除缺漏項目之後，少了台北縣、雲林縣內之鄉鎮

市。如以都市層級觀察，發現台中市中區、台北市大同區南港區、被歸列為鄉鎮為主之分群內。經由分析得知，台中市中區為早期都市發展地區，在開發時並未加以限制，且呈現高度化發展，土地住商混合使用嚴重，多為老舊集合住宅，仍有 23000 餘人居住於此，但戶數與土地面積較小。而台北市大同區、南港區，雖然戶數、人口數、樓地板面積在此一分類中是最多的，但受限於土地使用面積影響而歸納於此，如南港區因有工業區分布，人口多集中於住宅區，而大同區為台北市早期開發之區，土地開發程度高，但都市分區面積不大，比較其他台北市行政區則略顯不足而歸類於此。

表 4-5 分群 I

鄉鎮市	起火數	戶數	人口數	樓地板面積	gal	PGA	住	商	工	總面積
台中市中區	1	7680	23557	4,875,835	221	0.22	93939	446876	11022	93939
台中縣大甲鎮	3	18730	78059	5,499,084	161.92	0.17	1413600	122000	905700	2441300
台中縣大肚鄉	3	13461	54389	3,566,852	154.08	0.16	882700	87300	539300	1509300
台中縣石岡鄉	3	4040	15382	939,945	519.42	0.53	360400	31100	60700	452200
台中縣和平鄉	1	4300	11172	516,923	465	0.47	257600	24400	0	282000
台中縣東勢鎮	2	16104	58559	3,283,958	465	0.47	1857100	201700	698200	2757000
台中縣神岡鄉	1	4040	15382	939,945	519.42	0.53	482400	48500	253000	783900
台中縣新社鄉	5	6793	26915	1,431,713	465	0.47	233700	18300	139000	391000
台中縣潭子鄉	2	24692	87405	6,607,369	438.68	0.45	1314300	76300	1159000	2549600
台中縣霧峰鄉	3	17245	67648	4,423,513	774.42	0.79	972200	253100	231100	1456400
台中縣沙鹿鎮	3	17082	71781	5,030,686	124.3	0.12	7489700	154500	18400	7662600
台中縣梧棲鎮	3	13105	49572	4,004,988	124.3	0.12	4834700	797100	2306900	7938700
台中縣龍井鄉	1	16360	65092	5,201,564	248.58	0.25	3408600	91700	1612260	16122600
台北市大同區	2	43272	133503	6,568,934	104.8	0.11	887000	991300	8400	1886700
台北市南港區	2	36656	113070	5,174,544	135.96	0.14	1529800	304600	999300	2833700
南投縣中寮鄉	4	4780	17925	712,879	983	1.00	176400	22200	18400	217000
南投縣水里鄉	1	6757	22996	1,055,232	439	0.45	372000	102500	120000	594500
南投縣民間鄉	3	10503	42768	2,278,128	983	1.00	479700	47000	0	526700
南投縣竹山鎮	8	16209	61811	3,387,713	983	1.00	1890600	255900	193900	2340400
南投縣南投市	10	28950	104723	7,602,566	420	0.43	2143800	260800	93600	2498200
南投縣埔里鎮	17	24561	87933	5,869,638	585	0.60	1867600	321800	267100	2456500
南投縣草屯鎮	4	25515	97280	6,016,091	639	0.65	2254600	240600	689300	3184500
彰化縣員林鎮	2	32093	126402	2,293,657	187.52	0.19	3925700	439300	208800	4573800
彰化縣田中鎮	1	11376	46982	2,458,593	185.3	0.19	1341800	205300	217800	1764900

註：樓地板面積、土地使用面積單位：平方公尺

資料來源：本研究整理

表 4-6 分群 II

鄉鎮市	起火數	戶數	人口數	樓地板面積	gal	PGA	住	商	工	總面積
台中市北屯區	5	63944	210441	10,702,376	439	0.45	2738087	609002	305108	3652197
台中市西屯區	2	51511	166736	12,488,957	175	0.18	2021831	561505	1104739	3688075
台中市西區	1	36255	111197	8,756,743	257	0.26	1597311	2470906	157480	4225697
台中市南屯區	4	36377	116666	9,895,537	153	0.16	1521571	191507	774458	2487536
台中市南區	3	30916	95450	6,233,362	256	0.26	1039336	795660	328937	2163933
台中縣大里市	12	48221	171940	11,120,788	488.86	0.50	3092600	204200	486300	3783100
台中縣太平市	12	46930	165524	10,384,873	639	0.65	896900	49900	894700	1841500
台中縣豐原市	7	41756	161032	11,193,911	298.36	0.30	5117300	738000	1553200	7408500
台北市士林區	2	91748	295209	13,754,210	98.94	0.10	8462200	689500	269000	9420700
台北市大安區	1	110355	317110	18,521,034	99.24	0.10	3021200	1176000	0	4197200
台北市中山區	5	80603	214652	17,661,670	86.62	0.09	2186100	1828500	220900	4235500
台北市中正區	2	58063	165324	11,673,007	58.86	0.06	1779500	790800	0	2570300
台北市內湖區	3	82999	249588	12,244,201	135.96	0.14	4020400	358000	2239700	6618100
台北市文山區	1	86748	248602	10,378,665	42.28	0.04	5581100	432600	0	6013700
台北市北投區	2	79282	246779	10,810,161	138.24	0.14	4770400	511000	472400	5753800
台北市松山區	2	70905	207615	11,454,358	106.82	0.10	2131600	766000	14600	2912200
台北市信義區	2	82748	241917	11,525,559	42.24	0.04	2840400	689400	394900	3924700
台北市萬華區	6	70289	207943	7,548,954	104.8	0.11	1632700	707800	77900	2418400
彰化縣彰化市	2	59411	227715	16,730,071	159.16	0.16	5745500	708300	750300	7204100

註：樓地板面積、土地使用面積單位：平方公尺

資料來源：本研究整理

二、預測公式

經由集群分析得到兩組分群後，本研究為得到一起火預測公式，將針對此兩群分別做迴歸分析，以起火率單位比較發現(表 3-1)，以樓地板面積起火率為佳，因此本研究以每百萬平方公尺樓地板面積起火率為依變數，與戶數、人口數、土地使用面積、gal 等為自變數，利用 SPSS 軟體進行迴歸分析。由於預測變數達到 4 個，因此選擇多元迴歸方式分析，經由分析後，可得到一維迴歸直線方程式。本研究先以分群 I 做迴歸分析，因未達顯著水準，所以將以分群 II 進行分析。分別以多元迴歸式中的強迫進入變數法及逐步迴歸分析法分析，發現以逐步迴歸分析可得到較高之決定系數，因此採用此迴歸方程式所得之公式做為火災次數預測公式，其分析結果如下：

表 4-7 使用逐步迴歸分析之細數估計值

變相	原始係數	標準誤差	標準化係數	t 值	F 改變值	R ² 改變值
常數	0.137	0.657		1.330		
gal	1.563E-03	0.000	0.791	5.889	27.878	0.635
土地面積	-2.745E-08	0.000	-0.371	-2.290	5.246	0.730
R=0.854 R ² =0.730 Adj R ² =0.694 *p<.05						

a 預測變數：(常數),gal

資料來源：本研究整理

b 預測變數：(常數), gal, 土地面積

(一) 直方圖

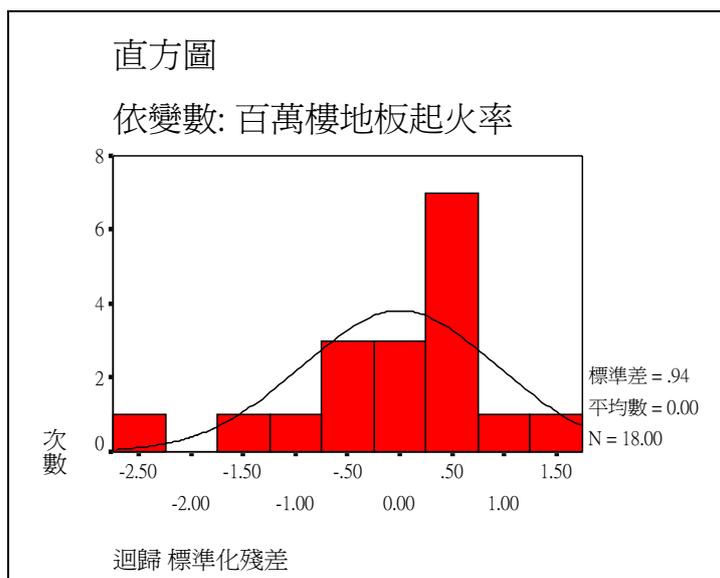


圖 4-3 散佈圖

標準化殘差之直方圖，曲線部份為常態分配線，由圖可知樣本觀察值大致接近常態分配。

(二) 常態機率圖

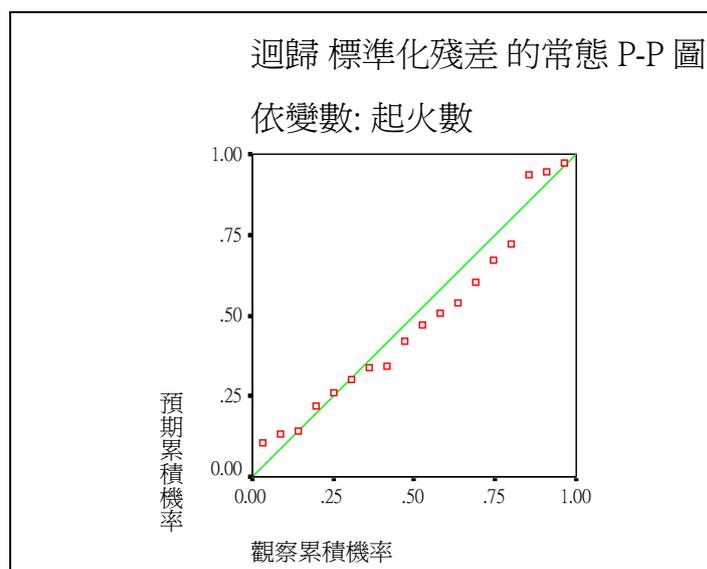


圖 4-4 常態機率圖

標準化殘差之常態機率分布圖，如果樣本為常態分析，則所有點均要在 45 度線上，有圖可知樣本觀察值接近常態分布。

(三) 結果分析

一維迴歸直線方程式：

$$\text{每百萬平方公尺樓地板面積起火率} = 0.137 + 1.563\text{E-}03 \times \text{gal} - 2.745\text{E-}08 \times \text{土地使用面積} \quad (4-2)$$

$$R^2 = 0.694$$

參、震後火災起火模式

綜合上述「震後火災次數預測」與「地震值評估」兩個部份之評估，故本研究之震後火災起火模式是以起火數與樓地板面積和地震強度做迴歸分析，得到一起火次數預測式，再將地震值評估所求得的 PGA 值帶回預測式，則能突顯現實中每一街廓之地震強度，可能造成之起火數。

第五章 實證分析

台中市為中部區域內集居規模最大，成長最迅速之都市，都市化發展程度高，形成之都會區也是人口與經濟活動聚集所在之地，一旦發生災害常造成生命與財產的嚴重損失，因此消防與救災準備工作極為重要。本章將針對實證區套用震後火災起火模式，探討各區震後火災發生與消防戰力之關係。

第一節 研究區域資料彙整

台中市為中部區域內集居規模最大、成長最迅速之都市，東西長 14.2 公里，南北寬 11.3 公里，總面積約 163.4 平方公里，台中市共分為八個行政區：北區、北屯區、中區、東區、西區、西屯區、南區及南屯區等八區，為一人口數超過百萬人的縣市。然而隨著經濟產業的發達，社會結構的變遷及都市化、複雜化、多樣化之發展趨勢，都市災害的發生與社會活動有密切關係，且由於人口的集中、都市結構及建築物的建造方式的不適或使用不當，使得災害迅速擴大，而地震與火災為影響都市發生最大的災害。

壹、研究區域概況

隨著工商交通發展及都市計劃的實施，台中市由點、帶狀的發展轉變成面狀的擴張，這也成為全台中市數十年來的發展模式。於民國 93 年 5 月公佈之變更台中市都市計畫主要計畫（台中市第三次通盤檢討），以現有台中市行政轄區為範圍，其規劃住宅區 3931.09 公頃，佔都市發展用地面積 41.54%，住宅區多集中在東區、北區及西區接近屯區的邊緣地區。商業區面積為 501.03 公頃，其發展型態呈面狀、帶狀及點狀三種分佈模式，面狀分佈之商業區位於市中心，帶狀分佈之商業區位於主要道路兩側，點狀分佈之商業區則零星分散在全市各住宅區。工業區面積為 660.69 公頃主要分佈於台中工業區、水湳機場南側，此外還有部分大型工廠沿台中港路兩旁分立，市政府極力也輔導都市計劃內部不合分區使用之合法及違建工廠遷建後，市區中工廠混雜於住宅區、商業區之情況已漸改善。

因本研究以台中市道路圍成之街廓作為建築物選取範圍的基本單位，以台中市第三次通盤檢討的都市計畫全區內之建築物為主，本研究為取得完善建築物型態、建物結構、樓層數、樓地板面積等資料，透過 GIS 將建物圖層與都市計畫圖套疊，以有包含建築物之都市計畫區為主，並扣除興建及無建物使用調查資料之建物。其次整理黃伯全 921 地震火災調查資料，發現建築物使用型態起火分別以住宅為最多件、而工廠、商業使用居二、三位。因此本研究依照都市計畫土地使用分區為原則，選取附屬於住宅區、商業區、工業區等建築物為實證對象，並將結果以地理資訊空間方式呈現（圖 5-1）。

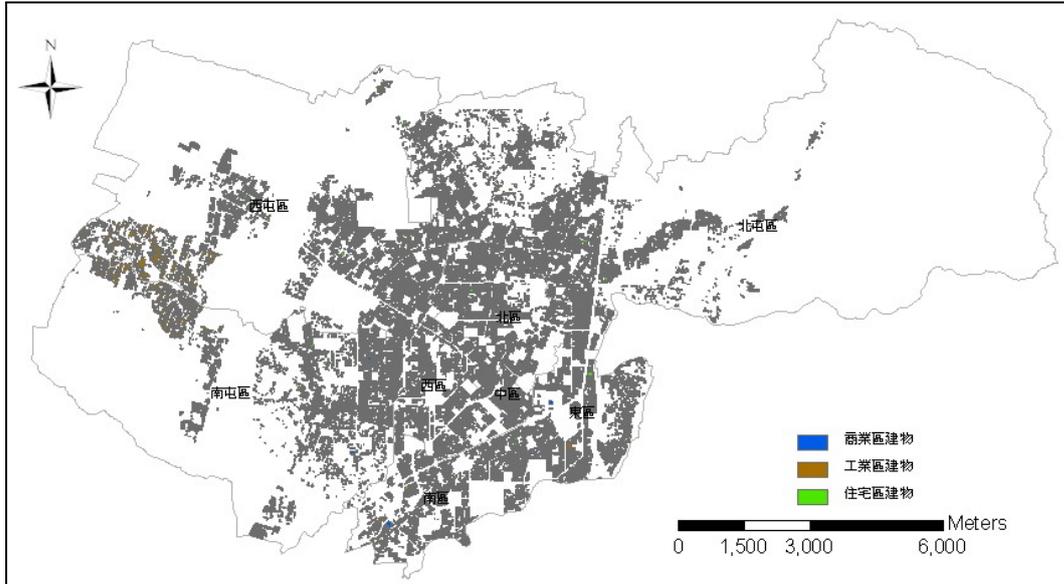


圖 5-1 實證分析區內建物

由於都市空間中建築物分佈密集，甚至過於擁擠，如於震後火災災害發生時，將因為建築物間缺乏防火巷設計或無足夠緩衝空地而使延燒加速，加重災害損失情形。台中市建築密集的問題大多集中在舊市區或早期發展區，因其都市發展時未妥善考量、加以限制，而人口集中後建築物隨之大量增加，呈現出高密度發展的情形，在發展飽和之後，逐漸有重劃區的開闢及都市向外擴張的現象。本研究並針對實證區域之住宅區、商業區、工業區之建築面積及街廓面積比之 60% 以下、60%-70%、70-80%、80% 以上作為區分等級（如圖 5-2），調查實證區域之建築面積及街廓面積，計算其建築密度，其中建築密度高於 80% 的地區約佔實證區域 60%，其次建築密度 70%-80% 約佔實證區域的 30%，由圖可知實證區內街廓大多為高密度發展區，而舊市區、早期發展區之建築密度明顯過高。

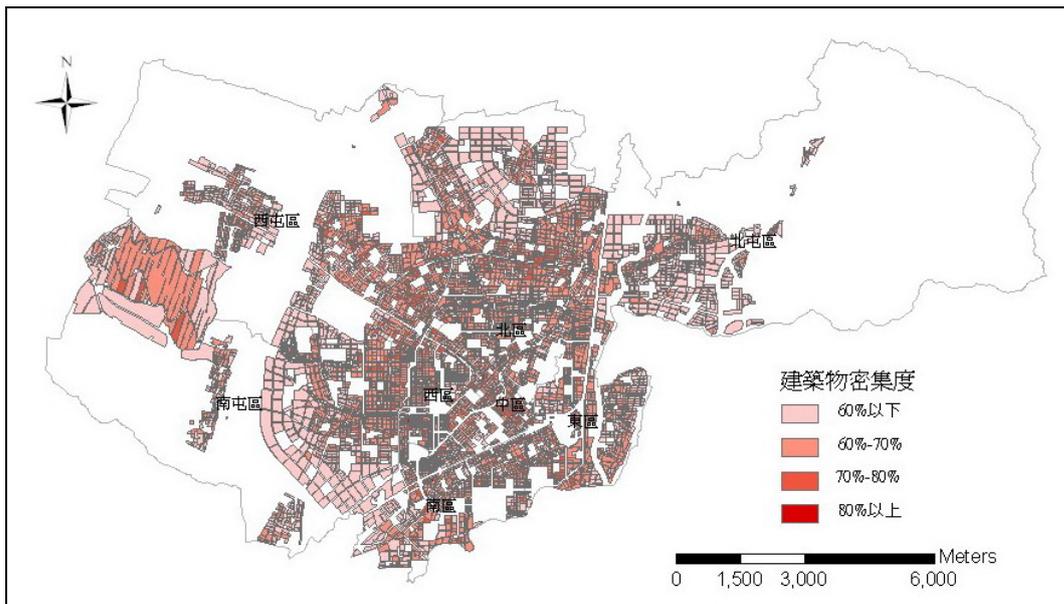


圖 5-2 台中市街廓建物密集度分布圖

另外，依據前人調查，震後火災發生處以住宅為多，因此本研究為考量其消防救災能力，樓高到一定高度消防力將無法到達，消防機具及雲梯車無法到指定樓層進行救災，於災時搶救工作進行困難其危險度將增加。因此本研究也針對建築物的垂直密集度探討，對於單棟建築物而言，戶數越多其引發災害之可能性及災害損失規模，相較於戶數少的建築物都會較高，其中樓層數越多其居住人口及戶數也越多，在同條件的土地上，樓層數越多其建築密集度相對較高。但以都市防災觀察建築物樓高條件，本研究根據台中市現有消防雲梯車其延伸高度最高可達 45 公尺的現況，因此以 14 層樓為界線，由圖 5-3 可以發現實證區域內 14 層樓以上集合住宅分布。

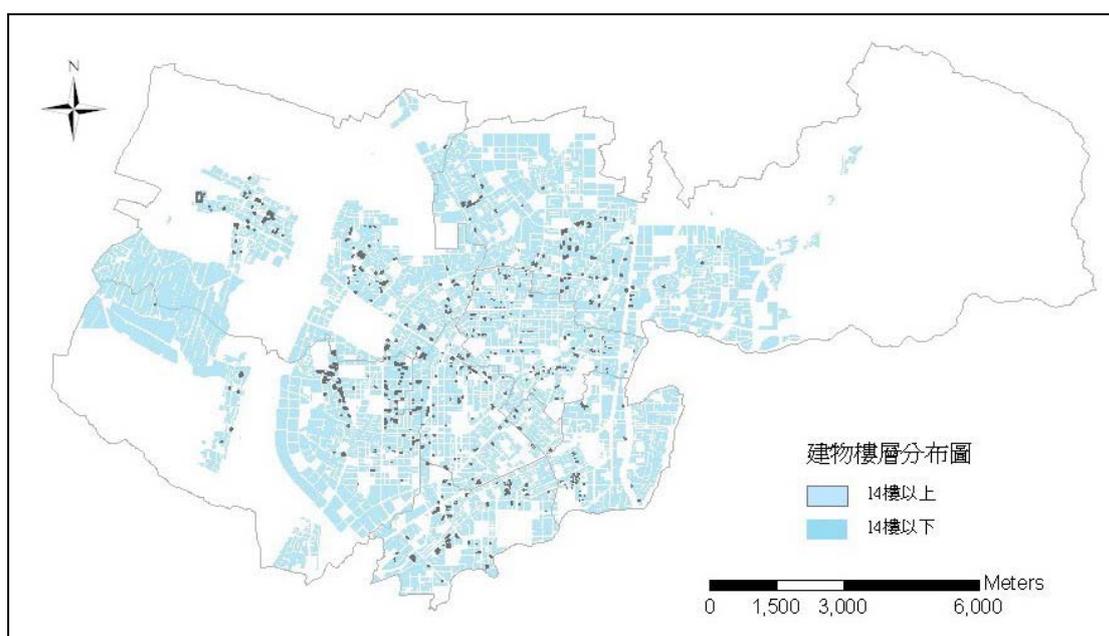


圖 5-3 台中市建物樓層分布圖

貳、台中市消防彙整

一、台中市消防戰力現況

消防隊的任務乃在對天然或人為的災害進行搶救，所以消防隊的設置需考量消防力的配置，即設置的地點、車輛的數量與人員配給數（陳弘毅，1996）。為瞭解台中市都市空間現有之消防分隊滅火作業能力，本研究統計出目前台中市消防體系的資源（如消防車輛、器具裝備及消防人員等如表 5-1），台中市消防站共計 16 個消防分隊，其轄區（以行政業務為主）基本上以行政界線為劃分依據（圖 5-4）。真正可以用來滅火的消防車輛僅 91 部要服務一百萬多台中市民。目前對於消防任務的指派由救災指揮中心共同指派，以最近的消防分隊、轄區內的消防分隊、及特種分隊為指派的原則。消防分隊的服務最大範圍指消防分隊在有效防止延燒與及時救助的最大服務範圍。如圖 5-4，乃台中市各消防隊分佈狀況及其各分隊之服務轄區，可以看出屯區消防分隊的服務轄區明顯較大。因現在都市土地使用與經濟活動的複雜性提高，消防車在都市內的行車速度常因交通堵塞、路邊停車或攤販造成行車速度的緩慢，延緩救災時間，造成人員與財產的嚴重損失。

表 5-1 台中市消防隊設備統計表

消防設備 隊名	直 線 雲 梯 車	屈 折 雲 梯 車	高 效 化 學 車	普 通 化 學 車	水 箱 消 防 車	水 庫 消 防 車	幫 浦 消 防 車	救 助 器 材 車	照 明 車	空 氣 壓 縮 車	救 災 指 揮 車	災 情 勘 查 車	火 場 勘 驗 車	消 防 後 勤 車	消 防 查 察 車	消 防 機 具 合 計	警 消 人 力	救 護 車	機 車
消防局										3		1	4	2	10				16
指揮中心											1				1				2
第一大隊																			
西屯救助隊		1			1	1		1			1			1		6	20	1	5
黎明分隊					1	1									2	15	1	3	
南屯分隊		1			2	1		1						1	7	19	2	4	
春社分隊			1		2		1								4	14	1	3	
協和分隊			2		1	1	1								5	14	1	3	
工業區分隊			2		1										3	13	1	3	
第二大隊																			
中港分隊		1		1	2	1	1	1	1							8	22	1	7
信義分隊	1				2	1	1	1							7	18	1	4	
中區分隊		1			2	1	1								5	20	2	5	
勤工分隊				1	1	1	1								4	14	1	3	
大誠救助隊					1	1	1	1		1	1			1	7	22	2	5	
第三大隊																			
北屯分隊		1			3			1								5	17	1	3
文昌分隊		1		1	2	2	1	1							6	20	1	5	
水湳分隊				1	1	1	1								4	17	1	3	
四平分隊					2	1								1	4	15	2	3	
東山分隊					1	1		1							3	12	1		
合計	1	6	5	4	25	15	9	8	1	1	5	1	1	8	2	91	272	20	77

資料來源：台中市消防局 95.12.10

表 5-2 台中市各消防分隊之轄區

轄區	消防分隊
全台中市（特種分隊）	大誠救助隊、西屯救助隊
中區	中區分隊
北區	文昌分隊
西區	中港分隊
東區	信義分隊
南區	信義分隊、勤工分隊
北屯區	北屯分隊、水湳分隊、四平分隊、東山分隊
西屯區	黎明分隊、協和分隊、春社分隊、工業區分隊
南屯區	南屯分隊、春社分隊、工業區分隊

資料來源：台中市消防局 95.12.10

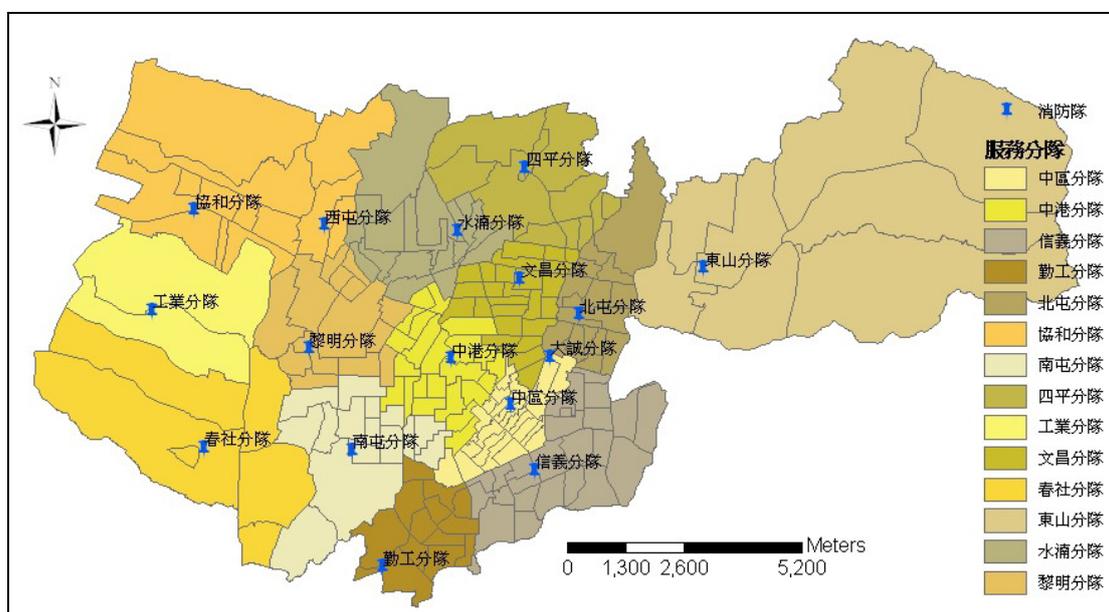


圖 5-4 台中市消防隊服務範圍圖

二、台中市火災整理

依據上一章文獻回顧所提的台中市平時火災特性與原因，配合台中市目前的消防戰力，整理如下表所示，台中市火災次數雖有降冪現象，但平均每年約 217 件火災發生；其累積所造成人員傷亡財物損失亦最大，平均每年約 14 人死亡，41 人受傷，損失金額高達 4754.22 萬元。

表5-3 台中市火災統計表

年度 項目	90年	91年	92年	93年	94年
火災發生次數(次)	303	272	197	137	175
發生率(次/萬人)	3.11	2.75	1.96	1.35	1.7
起火原因:(%)					
電器設備走火	40.59	38.97	35.53	41.61	42.29
人為縱火	27.06	31.62	31.47	25.55	25.14
爐火烹調	4.29	2.94	3.55	4.38	3.43
施工不慎	2.97	2.21	1.52	5.11	2.29
其他	10.56	8.46	9.14	9.49	6.86
死傷人數(人)	43	40	71	40	80
死亡人數(人)	20	6	18	8	18
每百萬人死亡人數(人/百萬人)	20.52	6.06	17.95	7.88	17.53
每次火災死傷人數(人/次)	0.14	0.15	0.36	0.29	0.46
財物損失(千元)	72,808	49,951	38,436	27,691	48,827
每十萬人消防人員數(人/十萬人)	27.96	31.80	32.49	33.19	33.31
每平方公里消防車數(輛/平方公里)	0.40	0.39	0.40	0.39	0.37
每平方公里消防栓數(座/平方公里)	27.76	29.82	31.08	30.93	31.26

資料來源：內政部消防署&本研究整理

參、台中市消防救災路網系統

消防救災路網分析時所考慮因素包括道路的實際條件，道路的實際狀況將影響到車輛的行車速度，不同的道路條件將影響路網的行車成本。一般所考慮的道路條件包括道路的行車速度、限制左轉、單行道、道路修護無法通行或是公車專用道等。尤其防災通道網絡系統於災害發生後，在人員避難與救災行為上，具備了最基本的機能，並依據道路防災分級，考慮消防車輛投入滅火的活動，以區域內路寬8公尺以上之道路為指定對象，並保持行進暢通與運作淨寬外，所架構的路網必須滿足有效消防半徑280公尺的要求，避免圍避的街廓產生消防死角。因此，有效的防災通道系統則相對降低傷亡的可能。

本研究為實際了解台中市道路行車品質，收集台中市交通局交通調查資料庫(94年)針對台中市主次要道路做幹道行駛速率與交通延滯情形調查。從表5-4中可看出台中市主要路段的上下班的雙向交通流量沒有很大的差異，在平均行駛

速度較高的約每小時 30 公里以上，而本研究為使所選的準則更接近實際情況，選擇平均行車速度為每小時 29.5 公里為消防車救災的行車速度。

表 5-4 台中市主次要幹道平均行駛速率統計表

道路名	速度 時間 方向	平均行駛速率 (公里/小時)			
		上午尖峰 07:00~09:30		下午尖峰 16:30~19:00	
		北→南 西→東	南→北 東→西	北→南 西→東	南→北 東→西
		中港路 (中正路)	5,550	23.4	24.7
中正路	1520	26.24	19.37	29.58	28.80
國光路	1730	41.8	39.9	28.5	28.3
復興路	5225	38.6	38.4	30.2	31.4
文心路	8210	23.9	26.2	18.6	21.3
五權路	3600	34.0	36.8	31.8	27.6
南屯路	10,370	24.9	20.2	21.4	23.1
大雅路、中清路	5665	38.0	34.8	28.1	29.6
雙十路、北屯路	4695	33.4	35.2	30.7	30.4
英才路、林森路	4270	35.9	33.4	30.1	25.9
進化北路、忠明南路	9955	38.1	38.2	27.8	32.7
平均速率		32.56727	31.56091	26.95273	27.28182

資料來源：本研究整理

第二節 震後火災起火評估

本研究經由文獻探討、起火公式研擬後建立震後火災起火評估模式，將可獲得每一街廓於地震強度與距離的影響下所可能產生的火災次數，因此本研究進一步評估在一地區中有哪些街廓因地震強度的關係而產生火災。透過本研究產生之震後火災起火模式，只要改變地震強度 PGA 值與土地使用面積，即可獲得一地區起火預測數。

因此本研究以 921 地震測得之 PGA 為依據，先透過地震衰減律公式(2-18)，將震源距離 (R)、地震規模 (M) 以及 Campbell form 常係數帶入公式，即取得各街廓相對的 PGA 值，並將本研究所得之強地動因子係數，乘入各街廓 PGA 值修正，經由修正後所得之值為各街廓受地震影響之最大地表加速度值，再代回震後火災預測公式(公式 4-2)，即可求得每一街廓百萬平方公尺樓地板面積起火機率，為求得各街廓起火次數則乘上街廓內之百萬樓地板面積則可得到發生次數。

本研究評估之預測公式，是蒐集 921 地震當時的樓地板面積為基準，而為符合預測實證地區現況，將以台中市政府公佈之建築物空間資料，包含樓地板面積，參照都市計畫土地使用分區，選取附屬於住宅區、商業區、工業區等建築物為實證對象，並將結果以地理資訊空間方式呈現。本研究依據震後火災起火模式評估，將台中市各行政區進行火災次數預測，並將各行政區內之起火次數以街廓方式呈現，以突顯土地使用分區上之建物可能因地震後造成起火之危險性，利用震後火災次數推估各行政區之起火次數，如下表所示。

表 5-5 震後火災次數評估結果

	921 實際起火次數	模式推估次數
中區	1	1.62
東區	0	2.76
西區	1	4.68
南區	3	4.03
北區	0	3.24
北屯區	5	6.01
西屯區	2	6.35
南屯區	4	6.83
總計	16	35.52

由於本研究以地震強度及土地使用面積為自變數，每百萬平方公尺樓地板面積起火率為依變數，因此起火率之結果，受各區街廓距離震源距離遠近之關係影響深遠，尤其以各屯區而言，因規劃土地使用面積廣大，因此也提高起火次數。以東區、北區說明，921 地震未發生震後火災案例，但經由評估模式推算共發生近 6 起火災，主要原因乃受震源遠近及土地使用面積大小所致。

探討各行政區內街廓發生震後火災次數分佈，發現在中區、東區、北區內之街廓震後火災發生次數較為明顯(如圖 5-6、5-7、5-8)，觀察北區及西區震後火

災發生次數較高之街廓，則多集中於接近市中心之區域，或沿主要道路兩側分佈（如圖 5-8、圖 5-10）。東區及南區震後火災發生次數較高之街廓，多集中於火車站後站附近商業區及沿主要道路兩側分佈（如圖 5-7、圖 5-12）。探究其原因為近市中心之舊市區部分，歸納其原因乃是市中心附近屬台中市早期發展區，在開發時並未加以限制，因而呈現高密度的發展情形，而都市計畫中住宅區多集中在東區、北區及西區接近屯區的邊緣地區，面狀分佈之商業區也位於此，造成住商混用嚴重情形，且區內多為集合式住宅，加上這些區內建物型態多為連棟式建築物及木造建築較多，若該地區內因地震發生震後火災，將提高起火機率，進而引發延燒大火；而火災次數發生高之街廓多集中於主要道路兩側之原因，在於土地使用分區之影響，因為沿道路兩側之住宅區與商業區，其分區型態屬高建築密度之分區。

西屯區及南屯區區內之火災發生次數較高之街廓多集中於台中工業區及住宅密集度高之區域，由於台中工業區之建築物多屬鐵架搭蓋之廠房且為土地使用面積較大之分區（如圖 5-11、圖 5-13）。而北屯區之街廓震後火災發生次數普遍集中於開發程度高之區域（如圖 5-9），而北屯區周圍街廓火災次數低，乃因為重劃區及屯區發展時序的關係，都市規劃已納入建蔽率、容積率的概念，呈現秩序化的發展，達到控制建築密度及提升生活品質的目的，而且開發建設程度並非完全飽和，因此火災發生主要受地震強度影響為重；由以上可發現台中市震後火災發生次數較高之街廓分佈多集中於近市中心之舊市區、工業區及沿主要道路兩側等區域。

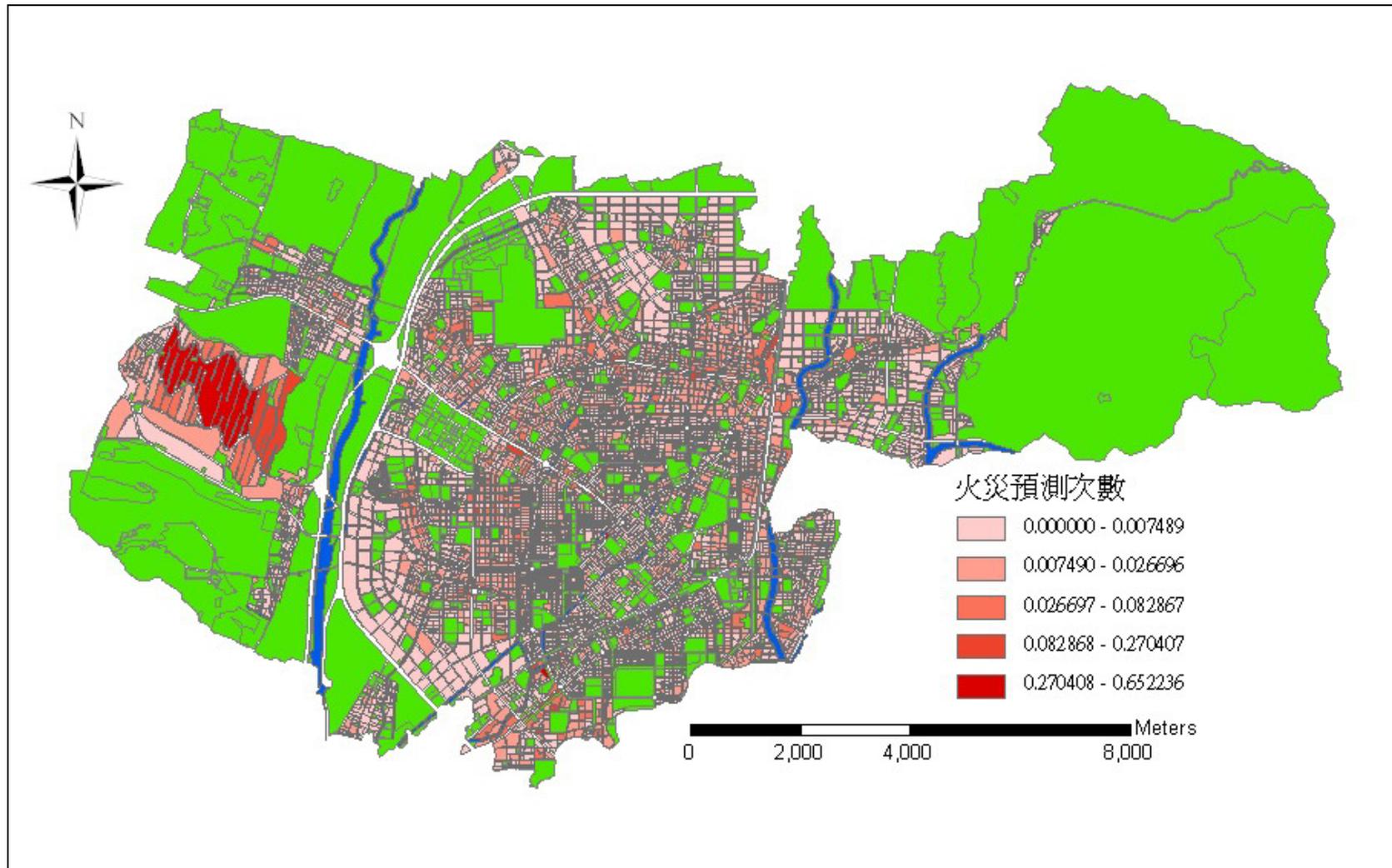


圖 5-5 台中市震後火災次數預測圖



圖 5-6 中區震後火災次數預測圖

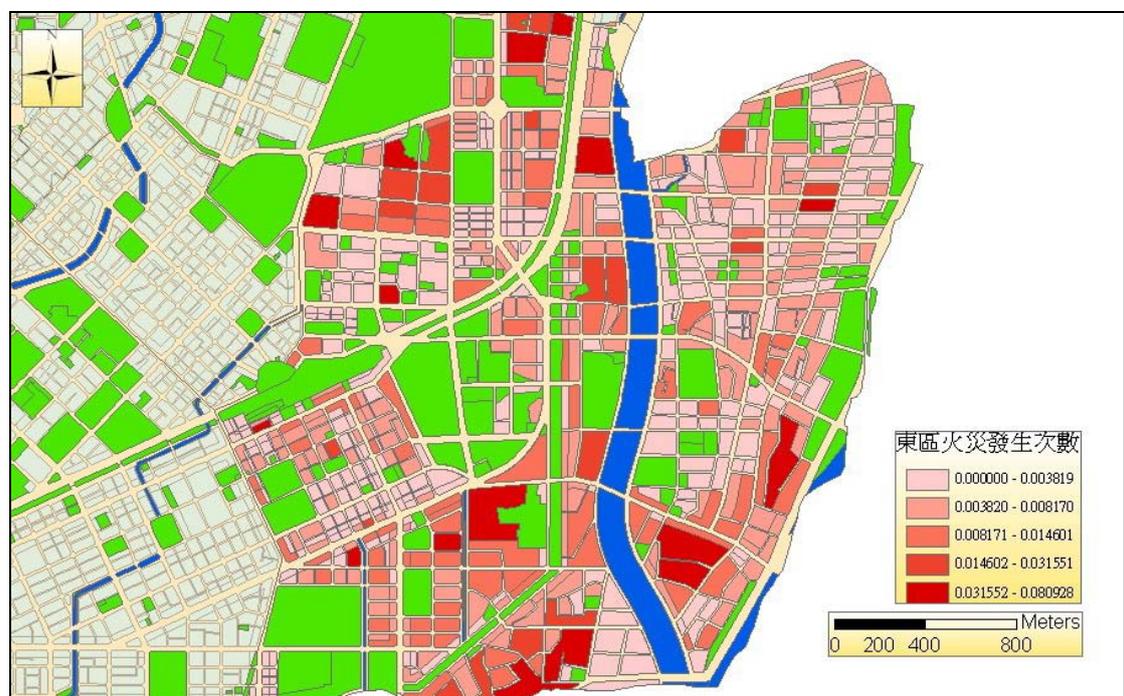


圖 5-7 東區震後火災次數預測圖

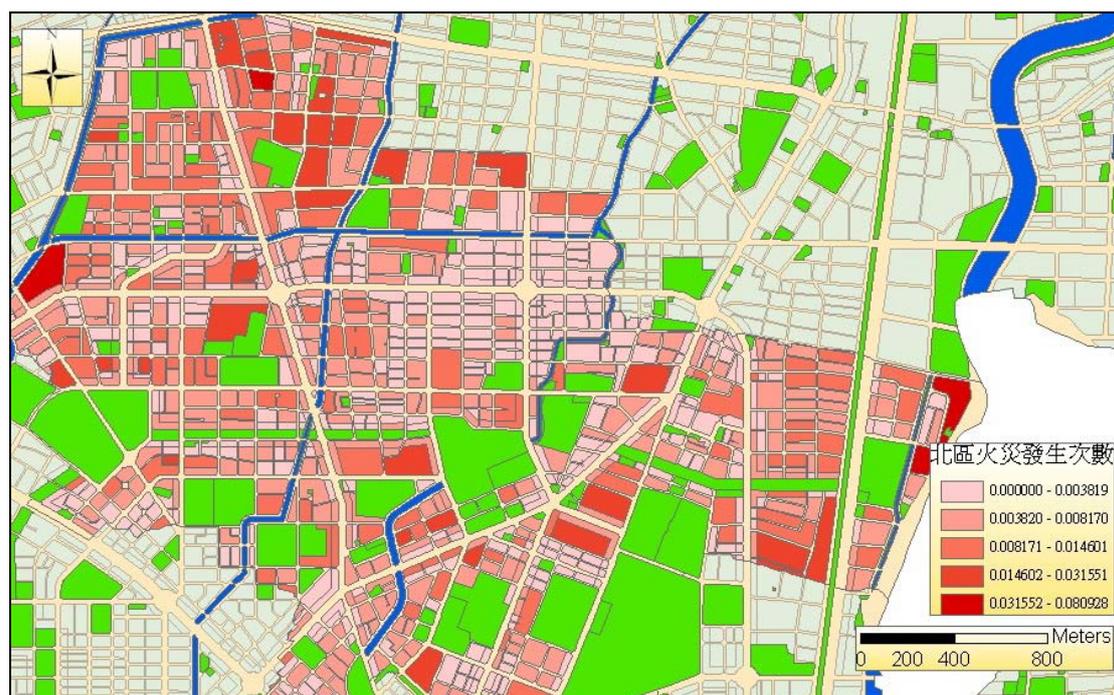


圖 5-8 北區震後火災次數預測圖

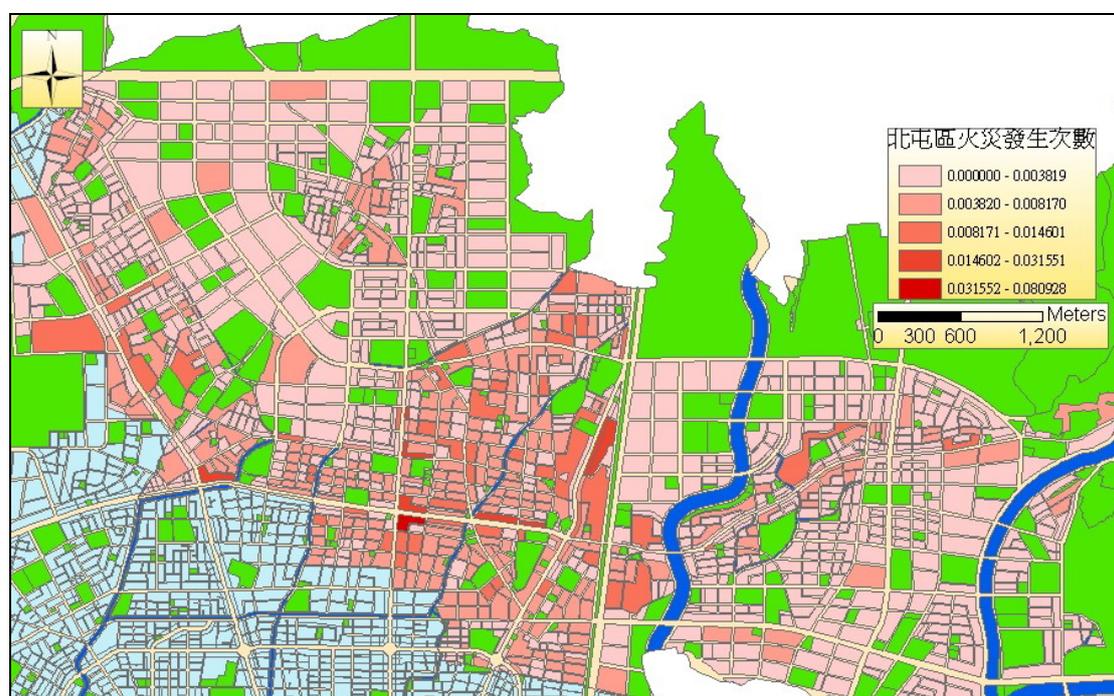


圖 5-9 北屯區震後火災次數預測圖



圖 5-10 西區震後火災次數預測圖

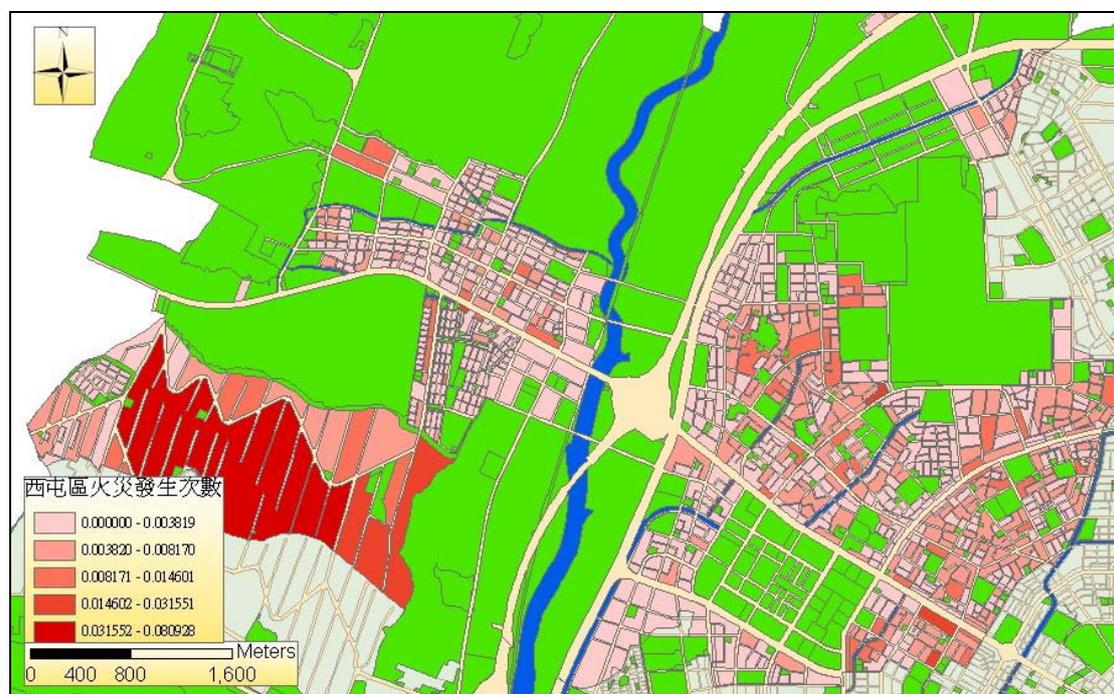


圖 5-11 西屯區震後火災次數預測圖

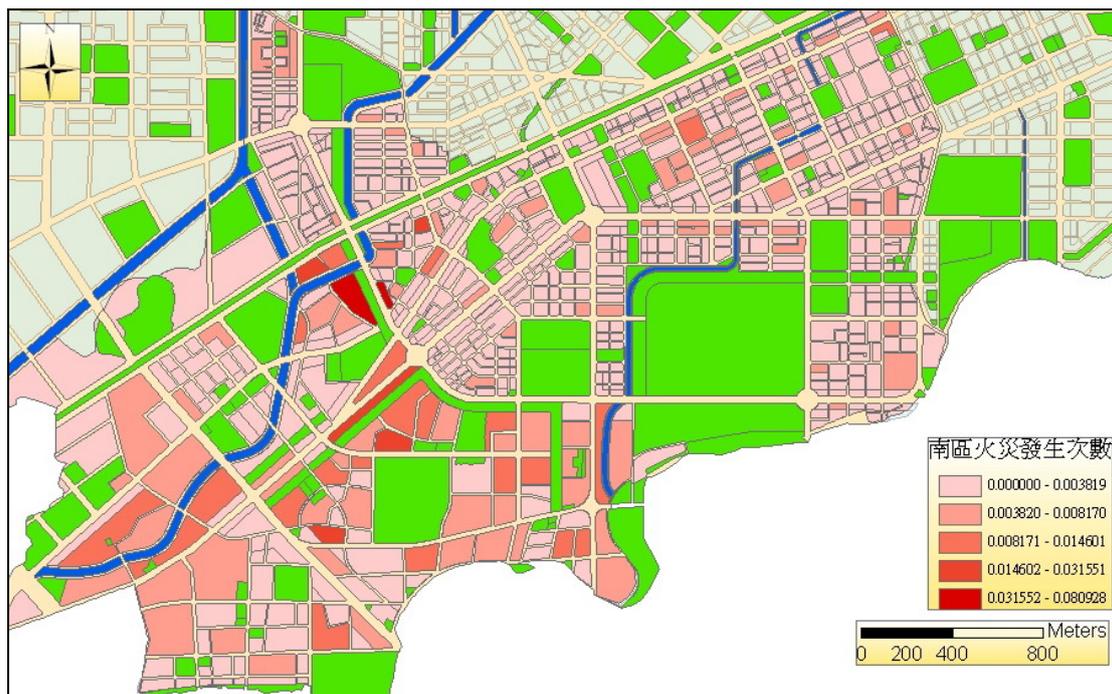


圖 5-12 南區震後火災次數預測圖

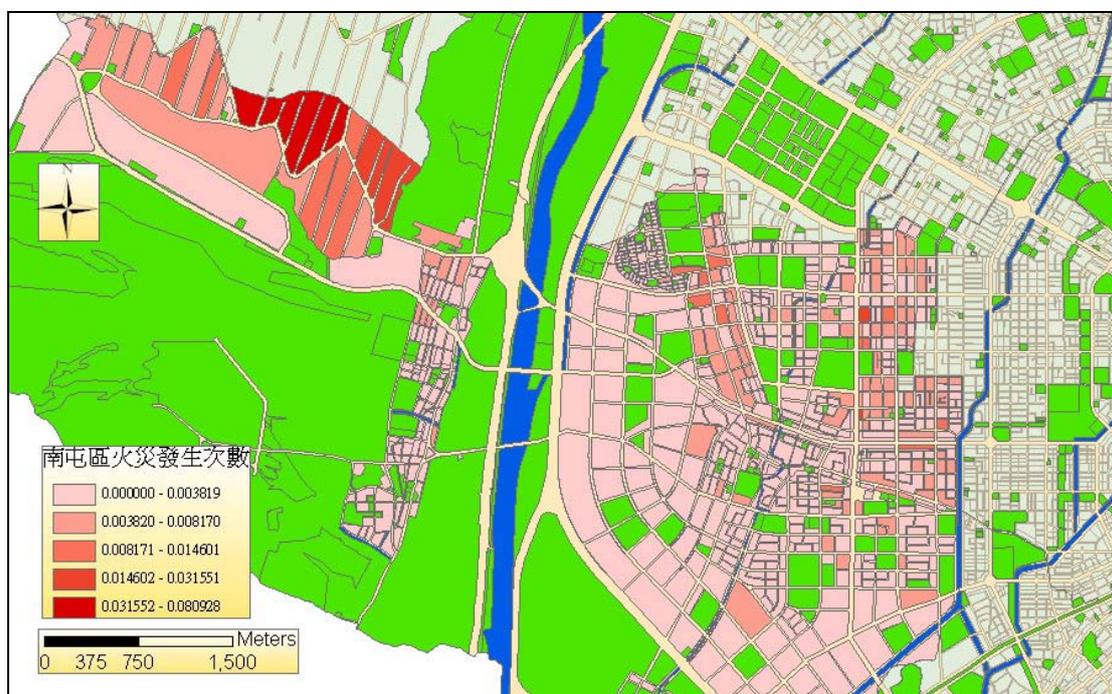


圖 5-13 南屯區震後火災次數預測圖

第三節 消防力服務範圍劃設與分析

壹、消防服務範圍

消防隊的服務範圍是消防隊在有效的防止延燒與及時救助的服務範圍。因現代都市土地使用與經濟活動的複雜性提高，所以編配消防隊時考慮的因素包括轄區內的自然環境與社會環境因素，而社會環境因素係指該都市建蔽率、建築物的構造與規模、都市計畫及人口條件等。本研究以台中市 16 個消防分隊為研究標的，透過 GIS 軟體的路網分析，劃設出 16 個消防分隊的合理服務範圍，目的在於了解台中市各消防分隊的空間分布與有效的救災時間內，所能提供的最大合理服務範圍是否能夠有效涵蓋台中市都市地區之面積，並針對震後火災模擬評估各街廓的起火危險程度，探討街廓內之人數、戶數與建築物是否在於有效的服務範圍內。

根據台中市消防救災路網系統，對於消防車的服務範圍準則確認：

- 一、台中市道路行駛平均時速為平均每小時 29.5 公里為基礎，作為路網分析中的行車速度。
- 二、消防隊的服務範圍區域劃設分別以 3.5 分鐘與 5 分鐘兩種行車標準為到達合理服務範圍的最大有效時間。

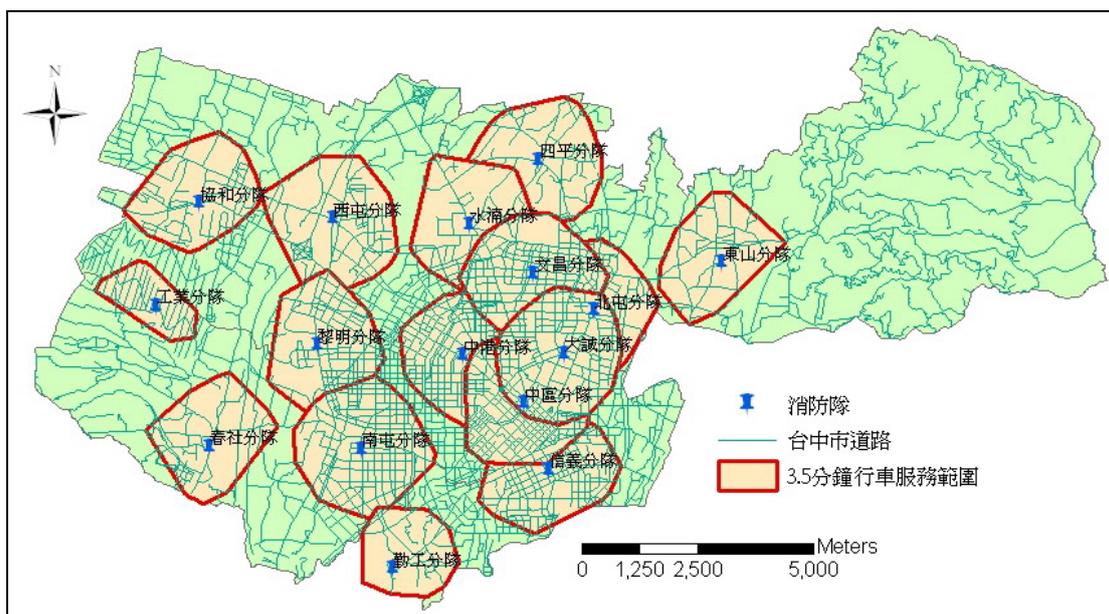


圖 5-14 台中市消防隊 3.5 分鐘有效服務範圍

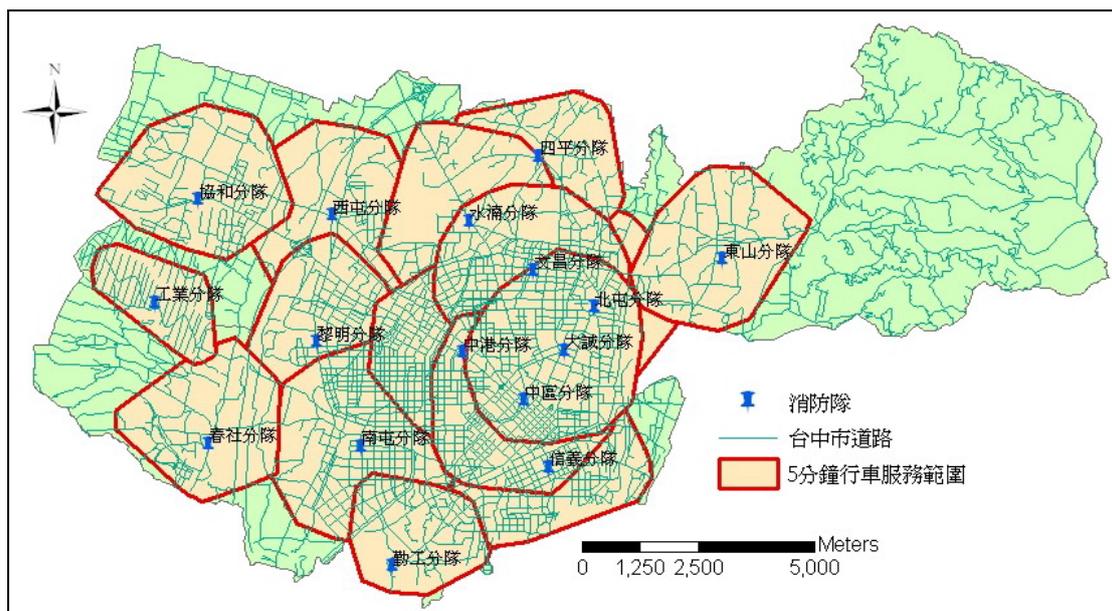


圖 5-15 台中市消防隊 5 分鐘有效服務範圍

根據台中市 16 個消防分隊在不同服務時間下所做的路網分析，在平面空間上所顯示的服務範圍可以看出，在 3.5 分鐘及 5 分鐘內消防車在時速 29.5 公里的條件下，每個消防分隊在台中市都市地區所能達到的最大合理服務面積如下表。

表 5-6 台中市 16 個消防分隊服務影響區域面積表

消防隊	行車速率 29.5 公里 行車時間 3.5 分鐘 服務面積 (平方公里)	行車速率 29.5 公里 行車時間 5 分鐘 服務面積 (平方公里)
西屯分隊	6.35	13.24
黎明分隊	5.636	11.82
南屯分隊	6.497	13.5
春社分隊	4.746	8.481
協和分隊	4.976	9.062
北屯分隊	6.219	12.49
四平分隊	6.238	10.72
水湳分隊	6.242	13.28
工業分隊	2.072	4.156
中港分隊	6.31	13.36
文昌分隊	6.117	12.69
信義分隊	5.871	11.54
中區分隊	6.352	13.4
勤工分隊	2.952	5.428
大誠分隊	6.211	12.2
東山分隊	4.585	9.293
總計	87.374	174.669

由上表發現，行車時間 3.5 分與 5 分鐘，皆大於消防車理想擔當面積 2 平方公里，主要是以台中市實際行車速度作為準則，相對的服務範圍則較廣。在相同的條件下，各消防分隊的服務範圍亦有很大的差異，例如以行車 3.5 分鐘的服務範圍說明，服務區最大的為南屯分隊 6.497 平方公里，最小的為工業分隊 2.072 平方公里，兩者的服務面積將近 3 倍的差異；探究其原因在於路網分析是以道路長度為計算基礎，所以當各區道路型態不同時，所計算的最遠點相互連接產生的面積將有所差異，而有空間阻隔之影響，導致有服務範圍未含蓋之地區。而依據上表所求得之消防分隊所能服務到的消防面積為 87.374 平方公里與 174.669 平方公里，但需扣除各分隊重覆服務面積，則實際服務面積分別為 69.8 與 103.8 平方公里。依據台中市都市計畫主要計畫（含都市發展與非都市發展用地），台中市土地使用總面積為 125.67 平方公里（不包含大坑風景區 33 平方公里）。因此，消防隊所能服務的最低合理有效範圍佔台中市都市地區面積的 55.54%。

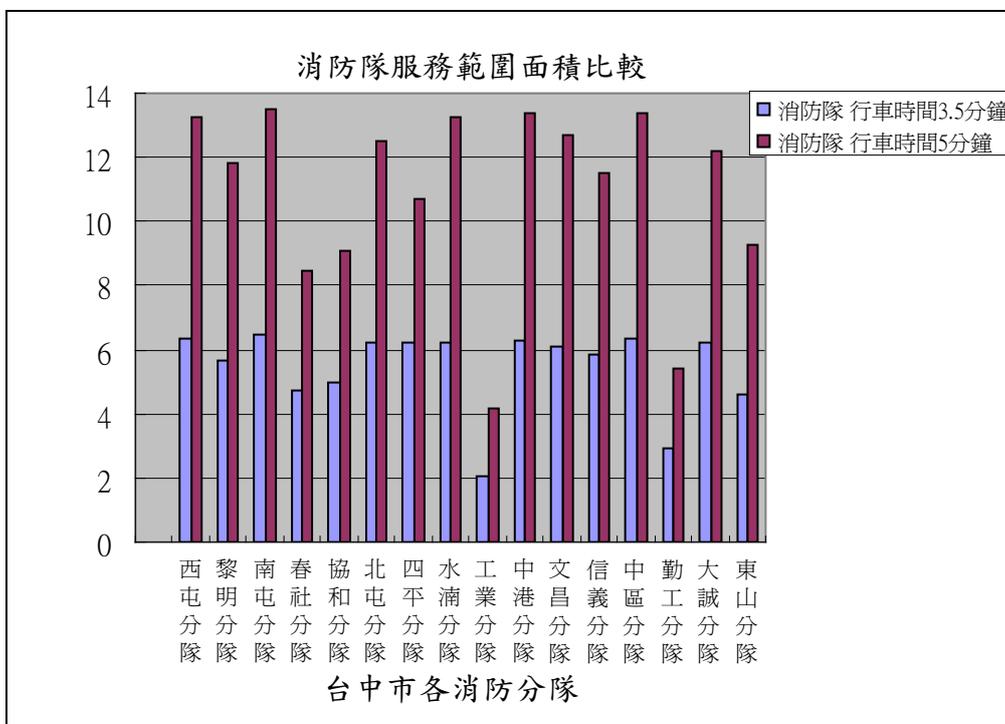


圖 5-16 消防隊服務範圍面積比較圖

以空間角度來分析消防隊的服務範圍，由圖 5-1 中可看出東區、南區接近市中心的邊緣地區未在 3.5 分鐘服務範圍內，而西屯區、南屯區多屬於新的重劃區，仍有大部分區域未包含在內，皆是消防隊無法於最低有效時間內抵達災害現場；尤其北屯區因為人口多集中於已開發區域，東半部區域皆屬大坑風景區，因此又增設了東山分隊以應付北屯分隊之能力範圍。從圖 5-11 上得知當行車時間增加至 5 分鐘，其所能服務範圍大多已涵蓋整個台中市都市發展地區。尤其在工業區內設置工業分隊，對於西屯區、南屯區內之工業區更提供了安全的保障，並減少了周遭消防分隊所負荷的工作量，提高消防戰鬥力。

由於每個消防分隊的救災裝備不同人員不一，尤其市區內消防分隊的服務區

域重疊性高，其救災的防禦能力將能彌補單一分隊不足之問題。若以最低行車時間來分析，水湳、西屯、中港、黎明分隊與中區、信義、南屯、勤工分隊的所圍成之服務範圍區，雖然接近市中心，仍然有未被消防分隊服務範圍涵蓋到的地方，但是附近高密度發展區域的大部分範圍，仍在消防分隊的合理服務範圍之內，若提高行車時間，則可服務全區範圍。由此可知，若消防車行走時間延宕，如交通阻塞、路邊停車、攤販、狹小巷弄等因素，則會造成消防隊救災時間延遲，而導致災害擴大，因此都市交通狀況，足以影響消防救災效率。

貳、消防力與人口關係

目前台中市戶籍統計資料(統計至 95 年 10 月)的人口數共計 1,042,527 人，共有 353,575 戶，依照消防車行車速度 29.5 公里且行走時間 3.5 分鐘，所能服務範圍內的人口數有 665,532 人、258,839 戶，約佔台中市總人口數 64%，可即時在合理的時間內被各消防分隊服務到。當相同車速消防車行走時間為 5 分鐘時，則所能服務範圍內的人口數有 863,290 人、332,304 戶，佔台中市總人口數 82.8%。當行車時間增加 1.5 分鐘時，服務範圍面積增加 34 平方公里，而人口數也增加 197,758 人。依照『直轄市縣(市)政府消防機關組織編制及車輛配置標準』第三條規定消防隊的最大服務範圍為 5 分鐘內能到達的範圍為法定標準，但依目前台中市道路交通流量資料與實際道路狀況，所計算出的服務區域仍無法涵蓋整個台中市。

表 5-7 台中市各消防分隊轄區人口數與消防人員數

消防分隊	服務面積(km)	轄區人口數(人)	消防人員數(人)	平均服務人數(人)
第一大隊				
西屯分隊	39.94	195147	20	9757
南屯分隊	9.31	96186	19	5062
協和分隊	19.54	63932	14	4567
黎明分隊	7.41	81911	15	5461
春社分隊	16.79	24958	14	1783
工業分隊	10.21	10054	13	773
第二大隊				
中港分隊	5.90	110264	22	5012
信義分隊	9.35	105680	18	5871
中區分隊	3.90	72031	20	3602
勤工分隊	5.24	73116	14	5223
大誠分隊	7.53	146677	22	6667
第三大隊				
北屯分隊	50.45	76329	17	4490
文昌分隊	5.71	102645	20	5132
水滴分隊	9.33	72026	17	4237
四平分隊	9.25	36123	15	2408
東山分隊	44.01	18591	12	1549

資料來源：本研究整理

從表 5-7 中看出台中市目前各消防隊員(含替代役)所面對的消防責任，是每位消防人員必須服務的人口數，最少的是工業分隊為 773 人，最多人的是西屯分隊每人面對轄區人口 9757 人，兩者近 9000 人差異。

表 5-8 台中市各消防分隊最低服務範圍內之人口數與戶數

消防分隊	服務面積 (km)	最低服務人口數	最低服務戶數	平均服務人數 (人)
第一大隊				
西屯分隊	6.35	53350	18012	2668
南屯分隊	6.497	71636	23906	3770
協和分隊	4.976	22928	7928	1638
黎明分隊	5.636	49092	16570	3273
春社分隊	4.746	6467	2249	462
工業分隊	2.072	2147	708	165
第二大隊				
中港分隊	6.31	114132	40359	5188
信義分隊	5.871	85625	29389	4757
中區分隊	6.352	105340	38257	5267
勤工分隊	2.952	33741	11765	2410
大誠分隊	6.211	108584	41728	4936
第三大隊				
北屯分隊	6.219	92059	44444	5415
文昌分隊	6.117	105521	48302	5276
水滴分隊	6.242	66873	30339	3934
四平分隊	6.238	17518	11328	1168
東山分隊	4.585	8419	4945	702

資料來源：本研究整理

表 5-8 為台中市各消防分隊所必須負責的最低服務範圍與人口數，可發現到工業分隊為服務面積最小，人口數亦最少的消防隊，由於工業區為工廠為主，其住戶亦較少之緣故；其設置目的在於萬一工業區發生火災時，能快速抵達災區，減少火災擴大延燒，尤其工業區為化學危險物品儲存量最高的地方，為火災發生高危險潛勢區。春社與東山兩分隊，雖服務人口數不多，但服務範圍卻甚為廣大，分別負責南屯區與北屯區部分，此兩隊負責之區域發展速度不及於市區，因此建築物多集中於主要道路（南屯區面臨忠勇路、北屯區面臨永春路），所以住戶型態多集中為群，但因路徑分析以道路長度來計算服務面積，因此出現服務範圍廣，但居住人口數不高之結果。

參、消防力配置

就消防設備與人員而言，目前台中市現有之總人口數共計 1,042,527 人，依據『直轄市縣市消防車輛裝備及人力配置標準』第四條規定，每一萬人配置消防車一輛之規定，應配置之消防車輛數約為 104 輛，但依據台中市消防局所提供之統計資料（表 5-1）顯示，台中市現有之消防車輛數僅有 91 輛（含消防局、指揮中心），尚不足 13 輛。以西屯分隊為例，其所負責之範圍為全區，轄區人口數為

19 萬人，但依目前消防設備顯示，其消防機具數量僅有 6 輛、消防人員 20 人，仍顯不足。依據『直轄市縣市消防車輛裝備及人力配置標準』第五條規定，縣(市)消防機關配置之各型車輛應配置之消防隊員員額為標準：

- 1、雲梯消防車每車配置八人至十人。
- 2、水塔消防車每車配置六人至八人。
- 3、化學消防車、水箱消防車、水庫消防車、高低壓消防車、幫浦消防車，每車配置五人至六人。
- 4、救助器材車、排煙車、照明車、空氣壓縮車、災害調查車、緊急修護車、特種通訊車、化學災害處理車、災情勘查車、泡沫原液車、火場勘識車每車配置二人。

得到各分隊應配置之消防隊員員額數如下表 5-5。

表 5-9 台中市各分隊之消防員額分配表

消防分隊	現有員額 (含替代役)	應有員額 (含替代役)
第一大隊		
西屯分隊	20	22~26
南屯分隊	19	29~34
協和分隊	14	25~30
黎明分隊	15	12~14
春社分隊	14	22~26
工業分隊	13	17~20
第二大隊		
中港分隊	22	39~46
信義分隊	18	32~38
中區分隊	20	32~38
勤工分隊	14	22~26
大誠分隊	22	21~24
第三大隊		
北屯分隊	17	27~32
文昌分隊	20	42~50
水湳分隊	17	22~26
四平分隊	15	19~22
東山分隊	12	14~16
總 計	272 人	399~470 人

資料來源：本研究整理

以台中市中港分隊為例，以最低有效時間 3.5 分鐘為服務範圍，轄區內服務人口達 11 萬人，消防機具 8 輛，消防人員 22 人，平均每位消防員服務人數高達 5 千人，若按照應有員額分配，最低消防員應有 39 人，則各消防員分配服務人數亦達 2926 人，此比例都是高居於其他世界大都市的消防人員服務比例。

比較台中市各分隊現有之消防隊員數與求得之應有消防隊員數(表 5-9),可以得知,各分隊在消防車輛與消防人員的配置上並不妥適,除了黎明分隊現有 15 人,相當於應有人數 12~14 人多,大誠分隊現有人數介於求得之應有人數範圍內,其餘 14 個分隊現有之人數皆低於求得之應有人數;尤其是中港分隊、南屯分隊、中區分隊、文昌分隊、信義分隊,其現有之消防隊員數比求得之最低人數差距 10 人以上,其中,位於市中心的中區分隊與信義分隊及南屯分隊,尚有最低服務範圍未涵蓋之區域,是特別需要注意的。

綜合車輛與人員來看,各分隊在消防車輛與消防人員的配置上並不妥當;以黎明分隊而言,其人員數量不但足夠,更可輪替參與救災工作,但人員數低於應有員額的 14 個分隊,卻形成了有車沒有人的情形,例如文昌分隊、南屯分隊、中港分隊,此三個分隊的消防車雖然足夠組成三個車組,但其人員數卻低於最少服務人員數,尤其是這些分隊鄰近未涵蓋之服務範圍,其消防力的分配是值得考量與省思的。

以目前消防分隊的人員數量、救災設備無法有效率的服務全台中市,若增加其行車速度則可增加服務範圍但消防設備不足以應付,縮小服務範圍雖可提高服務品質降低消防員服務人數,卻忽略未涵蓋之區域。不論是實際轄區內的消防設備或路網分析所得的服務範圍,其涵蓋的人口數與實際的消防設備都是不足的。因此消防隊的人數與消防救災設備應考量有效服務範圍而增加,以因應都市內人口不斷增加與複雜的經濟活動,尤其台中市目前土地住商混合使用普遍,更是容易發生都市災害的風險區。若以救災角度而言,消防分隊能在最短的時間內到達災害現場,將可防止火災的延燒與擴大,減少災害發生。

第四節 震後火災消防戰力分析與檢討

本研究將對都市空間內震後火災發生時與防災能力做一探討，經由第二節震後火災起火次數評估，得到各行政區內街廓起火次數分布後，配合第三節分析了解台中市消防能力，將相關資料相互套疊，可以得知消防局現有的救災能力，進而分析與檢討消防分隊服務範圍內如發生震後火災時，其消防戰力能否應付災害發生。

依據消防車最低服務範圍，本研究針對台中市 16 個消防分隊，其服務範圍內可能產生震後火災次數如下表，並檢討震後火災發生時，消防戰力配置問題。

表 5-10 台中市各消防分隊最低服務範圍內震後火災起火數

消防分隊	現有消防機具量(輛)	現有消防人員(人)	震後火災預測起火數(次)
第一大隊			
西屯分隊	6	20	1.81
南屯分隊	7	19	3.18
協和分隊	5	14	1.13
黎明分隊	2	15	1.78
春社分隊	4	14	0.33
工業分隊	3	13	4.83
第二大隊			
中港分隊	8	22	5.79
信義分隊	7	18	3.37
中區分隊	5	20	4.45
勤工分隊	4	14	1.85
大誠分隊	7	22	2.73
第三大隊			
北屯分隊	5	17	3.43
文昌分隊	6	20	4.02
水湳分隊	4	17	2.77
四平分隊	4	15	0.82
東山分隊	3	12	0.60
總計	80	272	42.89

註：另有消防局消防機具 10 輛、指揮中心 1 輛

資料來源：本研究整理

上表計算各消防分隊服務範圍內可能產生之起火數，總共計有 42.89 起火災發生，與各屯區總火災次數比較，多出 6 起，因為各消防分隊服務範圍因路網分析計算服務面積，會有重疊服務之街廓，因而有同一街廓被好幾個分隊服務到。本研究為探討消防力之配置，以每一分隊為一個救災單位而言，基本消防救災車組包含有一台水箱車，一台水庫車，或是兩台水庫車等，為一次救災的車組。於 921 地震規模 7.3 震度影響下，經由震後火災次數評估得知，黎明分隊的服務範

圍內，會有 1.78 起火災發生，但分隊內的消防車救災車組只有一組，由於當地震發生時，各地區皆可能產生災害，消防車不僅要救災、救人、滅火，如果多起災害同時發生時，則消防車將會不敷使用，而周圍的西屯分隊與南屯分隊將可在最短有效時間內參與支援搶救。

以中區分隊而言，此分隊服務範圍內計有 4.45 起，但分隊內的消防車救災車組有兩組，顯示消防救災能力上嚴重不足，周圍中港分隊與信義分隊其服務範圍內亦有 5 起與 3 起火災發生，雖然車組數多但轄區內火災次數多，若要支援中區分隊其消防力負荷過大，而大誠分隊火災次數低，且消防車數多，因此尚可支援鄰近之中區分隊內之災害。

工業區為震後火災之危險度高之地區，經由起火模式推估，工業區有 4.83 起火災發生，但其消防車輛僅有 3 部，僅能夠成一車組，且工業區之化學工廠數量多，消防設備車輛配置更應符合實地要求，若發生重大火災，必無法應付。因此鄰近之分隊扮演重要支援角色。

由上述可知，黎明分隊、中區分隊、工業分隊的消防車輛明顯不足，尤其是中區分隊，其所在的位置和其他兩個分隊相較之下，為震後火災高潛勢區域，再加上其周圍之分隊亦有火災發生偏高之機會，支援上更加困難，應為改善之重點。

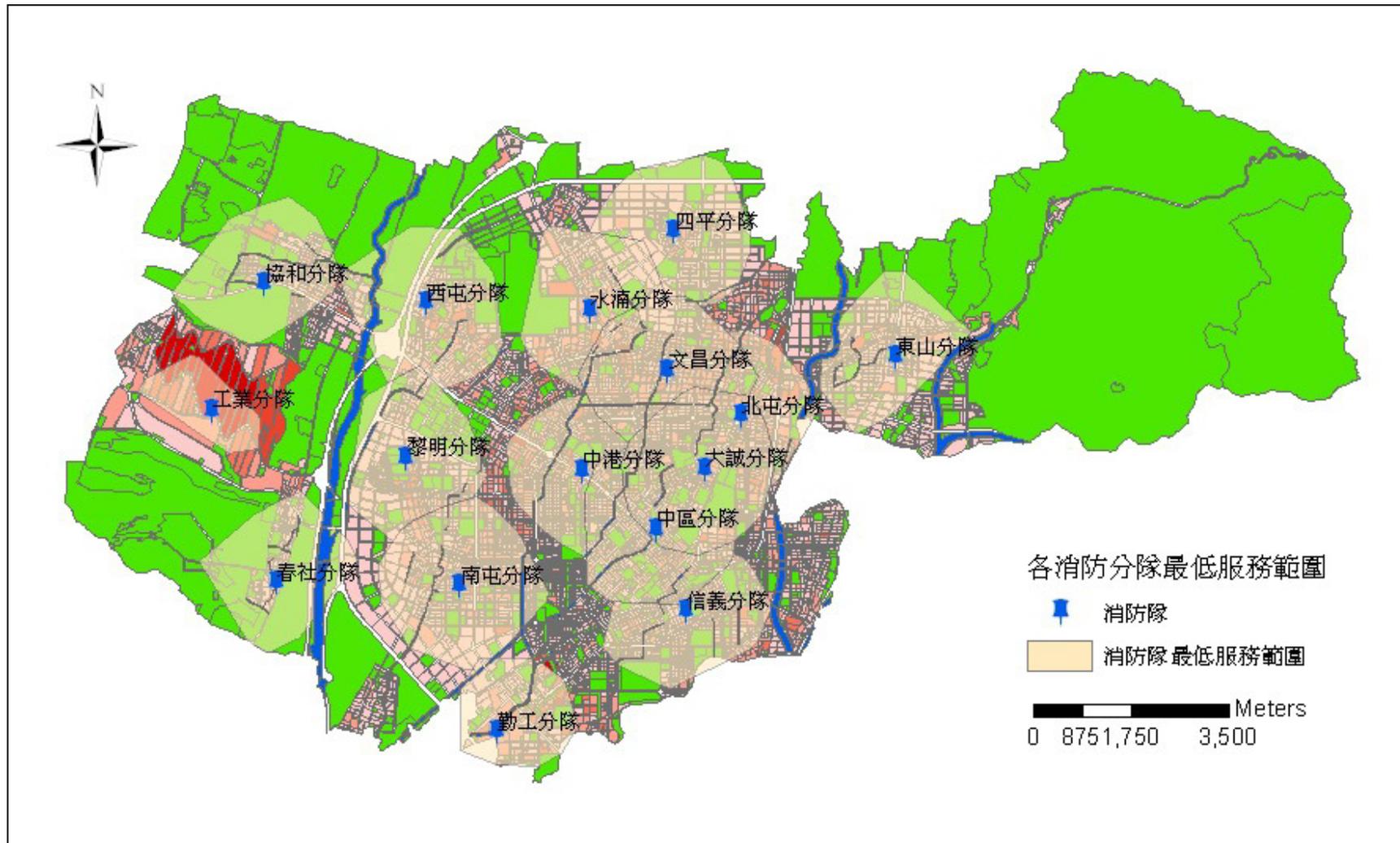


圖 5-17 台中市消防分隊震後火災最低服務範圍

壹、震後火災與消防服務範圍外檢討

本研究依據前節所述發生震後火災次數高地區以靠近市中心區域之舊市區部分為主。以消防力服務而言，這些區域皆有消防分隊重複服務區域，如大誠分隊、中港分隊、文昌分隊、北屯分隊、中區分隊，可以互相支援分配消防戰力，能於地震後發生火災時，可即時抵達災區進行滅火工作，減少災害之發生。若配合消防栓點位，以消防栓服務半徑水帶佈線 200 公尺而言，消防分隊的消防戰力則大大提升，但由於地震時，水源即可能因為地下管線破壞，使消防栓無法供應水源，因此若配合周遭自然水源（如河川、排水溝、池塘、水池等），亦能利用抽水車接駁水源進行撲救工作。

對於消防服務範圍未涵蓋之區，本研究將逐一檢討。以消防車行車時間 3.5 分鐘、行車速度 29.5 公里所產生的消防分隊服務範圍，與各街廓震後火災起火次數套疊發現，如圖 5-18，中港路二段與文心路三段周圍之街廓（西屯區）、大墩路與公益路二段之附近區塊（南屯區），並未在各分隊最低服務範圍內，雖周圍有西屯、中港、水湳、黎明分隊，但受限於最短行車時間，仍有未涵蓋之面積達 3.191 平方公里。此區沿道路兩旁之土地使用分區多屬於住宅區、且建築物密集度高，並有零星高層大樓分佈，所佔人口數約 44,500 多人、總戶數 14,000 多戶，依據起火次數評估推估之結果，此區之街廓總起火數約 3.25 起。



圖 5-18 消防分隊未涵蓋之服務範圍（一）

由圖 5-19 發現，靠近西區、南區與東區東邊有部分面積未在最低服務範圍內，介於南屯、勤工、信義、中區分隊服務範圍外之區塊集中於西區及南區。由於已靠近市中心區域，過去多屬舊市區發展之地，住商混合使用嚴重，建築物密度最高，其內之商業區沿道路兩側多屬帶狀分佈，而住宅區則集中於西區和南區邊界，未涵蓋面積達 3.835 平方公里，所佔人口數約 67,500 人、23,000 餘戶，震

後火災起火數約 2.33 起。東區東邊未在中區、信義分隊最低服務範圍內之面積約 3.221 平方公里，所佔人口數約 32,000 人、11,100 餘戶，震後火災發生火災數約 2.15 起。本研究比較東區起火數為 2.76，而此區幾乎位在東區內，卻只有 2.15 次，發現其原因為東區西邊為靠近火車站市中心區，土地使用分區高密度發展，而東邊過了旱溪屬市郊區，發展密度並不像市區高，並以住宅區為主，因此火災發生次數略低。且此區已接近台中縣太平市，因此在台中市消防力雖未能即時服務到，但可受到太平市鄰近消防局協助救援，以增加救援時效性。

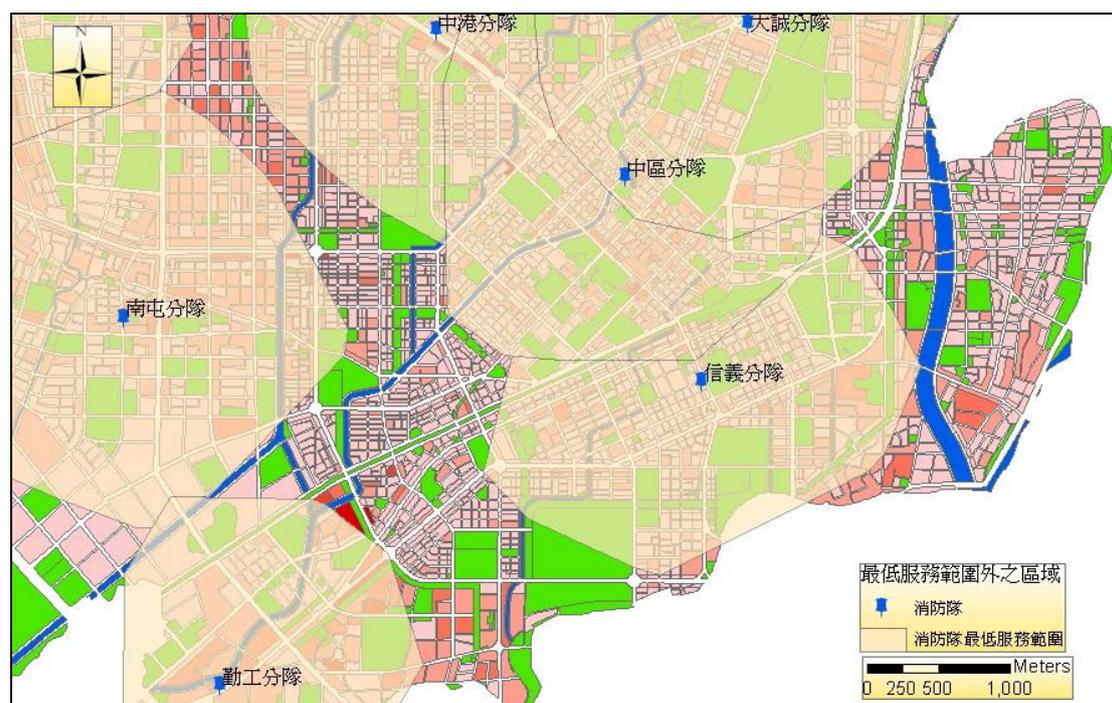


圖 5-19 消防分隊未涵蓋之服務範圍（二）

台中市工業區位西屯區與南屯區，其面積範圍廣大，工廠數量多，以工業分隊最低服務範圍並不能涵蓋全區，仍有一半面積並未在服務範圍內（圖 5-20），且區內多為製造業為主，使用大量化學原料，若引發火災則消防救援能力必受到嚴厲考驗。若以行車時間 5 分鐘計算，則工業分隊能涵蓋全區，且協和分隊與西屯分隊可以支援與此，為考量救災風險，工業區之消防力強化是一重要課題。

由於本研究起火模式評估並未考量起火原因，但依據文獻提到之各國震後火災災例，通電起火、瓦斯外洩為主要起火原因，因此任何一處街廓內建築物皆可能產生火災；尤其工業區內，可能因為化學物品倒翻產生化學效應而引發火災，也是值得注意地方。針對不確定起火原因與起火地點，更要有減災、整備意識，加強消防力之配置與服務範圍，以應變災害發生。

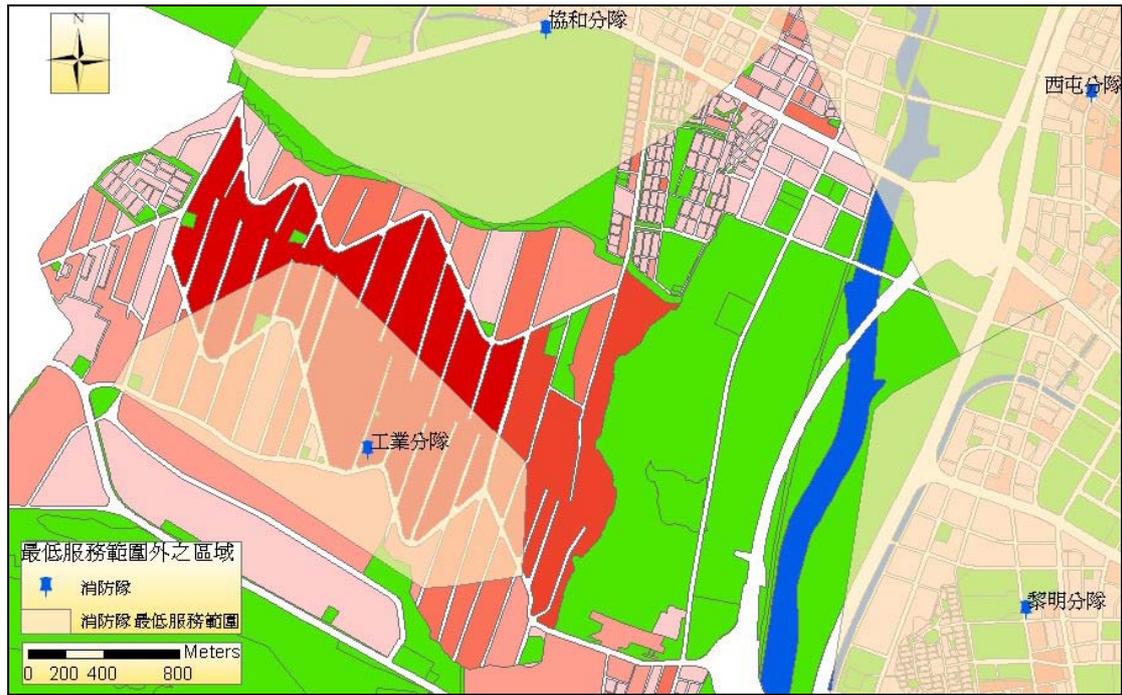


圖 5-20 消防分隊未涵蓋之服務範圍 (三)

貳、震後火災與高層集合住宅之消防力分析

依本研究建置之建物資料庫，台中市近年來興建的高層集合住宅（含以前）約 4300 棟左右（統計至民國 94 年），將消防分隊服務範圍與高層集合住宅套疊查詢分析求得每個消防分隊範圍內之高層集合住宅數量如表 5-11（以行車速率 29.5 公里、行車時間 3.5 分鐘準則）。

表 5-11 消防分隊服務範圍內高層住宅數量

消防隊	高層集合住宅數量(棟)
西屯分隊	225
黎明分隊	396
南屯分隊	652
春社分隊	64
協和分隊	508
北屯分隊	344
四平分隊	196
水滸分隊	390
工業分隊	0
中港分隊	685
文昌分隊	625
信義分隊	316
中區分隊	321
勤工分隊	128
大誠分隊	265
東山分隊	72

資料來源：本研究整理

由表 5-11 可知每個消防分隊的服務範圍區域內有許多棟的高層集合住宅，但由台中市消防設備統計表顯示，台中市目前雲梯車有 7 輛，分別隸屬於西屯分隊、南屯分隊、北屯分隊、中港分隊、文昌分隊、信義分隊、中區分隊，依據分隊服務區域，則台中市 8 個行政區內皆有雲梯車配置，但以協和分隊、黎明分隊、大誠分隊而言，其服務區內集合住宅數量多，但無配置雲梯車，仍需靠各分隊相互支援。

近年來高層集合住宅大量的開發且多分布於屯區，從圖 5-21 中可發現有設置雲梯車的消防分隊若以行車時間 5 分鐘準則下，雖大部分都能涵蓋有高層集合住宅之區域，但仍無法涵蓋整個台中市開發地區，其服務範圍依然有限。將高層集合住宅之位置套疊於震後火災次數評估之街廓，亦可發現有些高層集合住宅位於火災發生次數高之街廓，若配合週遭之消防水源與消防分隊服務範圍，消防戰力是可以應付得宜的。

因為雲梯車非防禦行動最早出發的車輛，所以第二次的防禦行動可以即時到達，由於雲梯車在救災過程中有其高度的限制，當樓高超過十八層樓，雲梯車並無法發生功效，所以超高樓層建築物消防救災不可單靠消防車來給予救助，而需以建築物本身的滅火設備、警報系統與逃生、消防自救設備給予自救。

由於台中市近年高層集合住宅開發多集中於西屯區、南屯區、北屯區，而雲梯車配置則集中於市區，在空間分布上，雲梯車的數量無法服務高層集合住宅的快速成長，且由於市區內高層集合住宅多屬年代較久之建物，為人口集中之區

域，所以早期規劃配置於此，但服務範圍重疊之區是可互相支援的，因此建議消防力的分配因考量周圍屯區的快速發展，以符合消防力與日益成長的都市擴張現象。

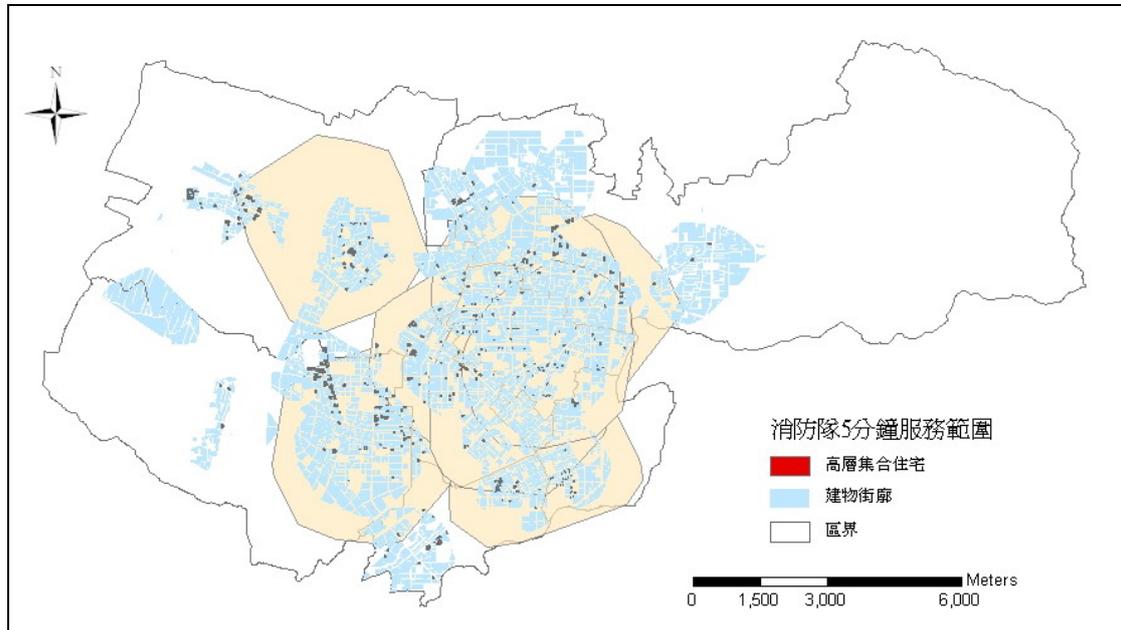


圖 5-21 高層集合住宅與消防分隊服務範圍分析圖

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究利用 921 地震震後火災資料，並蒐集各縣市樓地板面積與中央氣象局在各地觀測站所量測的最大地表加速度值，建立震後火災起火次數評估模式，透過本研究實證分析，所建立之模式符合都市化發展高之城市評估需求。其次利用台中市實際之道路旅行速度，尋找各消防分隊在有效救災時間內能夠到達的最大有效救災範圍，進行震後火災次數分布範圍與消防服務範圍之探討，故將本研究之結論整理如下：

- 1、本研究針對 921 震後火災起火地區，以集群分析分類，以都市化程度較高的城鎮群，做迴歸分析所得之震後火災起火次數預測公式，其 $R^2 = 0.694$ 較前人研究為高，建議以此公式可做為預測都市層級較高之城市震後火災次數之評估標準。其公式為：
每百萬平方公尺樓地板面積起火率 = $0.137 + 1.563E-03 \times gal - 2.745E-08 \times$ 土地使用面積。
- 2、目前美國及日本應用地理資訊系統進行震後火災地區危險度分析極為普遍，而本研究即透過 GIS 進行震後火災次數模式評估，規劃出地震後可能發生之起火數及起火區域，呈現於地理空間中，可做為震後火災地區危險性之評估參考，並利用 GIS 路網分析功能計算消防分隊服務範圍。
- 3、本研究以 921 地震規模 7.3 評估，發現台中市震後火災發生次數較高之街廓分佈多集中於近市中心之舊市區、工業區及沿主要道路兩側等區域；比照 921 地震實際發生數，以南區、北屯區、南屯區最為接近。
- 4、透過震後火災次數分布與消防分隊服務範圍套疊結果，可供各消防分隊之救災作業負荷及消防能力檢討。
- 5、本研究透過疊圖分析結果，可得知都市中部分地區未在各消防分隊最低服務範圍內之區域所在，因此可供檢討消防力分配或擬定各分隊互相支援機制，以提高救災效益與時效性。

第二節 建議與後續研究

一、建議

本研究主要目的是探討震後火災起火次數發生與消防分隊服務範圍之消防力探討，並把土地使用面積列為變數之一，得到一震後火災起火次數評估模式，做為消防能力探討，由於震後火災發生有太多不確定因素，在預測方面尚有許多問題需要克服解決，透過本研究整理研究結果，期能提供相關單位建議參考：

- 1、都市土地使用為本研究之變數，分區的使用能規範建築物的使用性質與開發程度，但市中心舊市區部分，因屬早期發展區，在開發時並未加以限制，呈現高密度發展情形，以超出建蔽率與容積率限制，提高震後火災危險性，建議應予以改善。
- 2、由文獻回顧得知，美、日兩國對於震後火災研究，都是經由過去的歷史經驗分析而來，國內之地震相關研究單位更應重視國內地震火災災例的蒐集與分析，建置資料庫，才能不斷修正公式，提高更準確的火災預測模式研究。
- 3、對於震後火災次數發生高之區域及街廓，應加強其消防戰力，針對未涵蓋在服務範圍內之區域，更要研擬配套措施，減少災害發生帶來的損失。尤其人員和車輛的配置不足之分隊，建議消防單位應增加車輛與人員數量，或加強空中救援能力，以提升救災效益，避免救災時發生消防機具不夠或消防人員不足等問題。
- 4、震後火災起火原因以人為因素為主，因此應加強全民防災教育，針對火災與地震之災害，強調安全用火與逃生避難以減少生命財產損失。

二、後續研究

於本研究進行之後，本研究受限於時間及資料限制，仍有許多方面未能詳細探討，提出下來建議供後續研究參考：

- 1、本研究雖以土地使用分區當作變數分析，但僅是以住宅、商業、工業區面積加總而來，無法突顯各使用分區內實際建物使用之特性，因此建議後續研究可針對各使用分區做更詳細分類探討，以符合各種土地使用之評估模式。
- 2、本研究於震後火災起火原因分析中，以通電後起火為主要起火因素，因此建議後續研究可針對通電起火之原因探討，或各種起火原因分析，以提高震後火災預測率。
- 3、本研究消防力探討僅以人員、設備配置及以路徑分析，分配各消防分隊之服務範圍，建議後續研究可朝救災應變能力探討，針對消防滅火能力、消防水源的充足性做更深入的研究，以避免火災延燒發生。

參考文獻

1. 內政部消防署，(2005)，震災搶救消防水源整備與運用之研究案，內政部消防署。
2. 何明錦、李威儀，(1998)，從都市防災系統檢討實質空間之防災功能(一)－防災交通動線系統及防災據點，內政部建築研究所。
3. 邱妍斐，(2003)，大規模地震區域建築物總損壞推測之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
4. 李珮甄，(2005)，都會區震災建物損害評估與路段阻塞模擬分析之研究，逢甲土管所碩士論文。
5. 李秉乾、周天穎、雷祖強、林哲彥、黃碧慧、吳政庭，(2005a)利用集集大地震資料建立建築震害危險度評估模式 I-地震建築損害資料庫建立，中國土木水利工程學刊，Vol. 17，No. 1，第 121-131 頁。
6. 李信慧，(1997)，都市消防救災功能之研究-以台中市為例，逢甲大學土管所碩士論文。
7. 李蓓美、蔡匡忠，(2003)，震後火災次數預測模式之評估研究，國家災害防救科技中心。
8. 李達志，(2001)，震後火災起火危險度評估之研究，中央警察大學消防科學所碩士論文。
9. 林慶元、鄭紹材，(2000)，都市地震火災被動延燒終止模式之研究(二)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
10. 東京都總務局災害對策部防救計畫課，東京都地域防災計畫 震災編，(2002)，東京都總務局災害對策部防就救 畫課，東京，日本。
11. 東京都防災會議地震部會，(2006)，首都直下地震東京被害想定，東京，日本。
12. 柯明淳、葉錦勳，(2006)，震後火災起火數推估模式之研發與應用，中華民國第八屆結構工程研討會，Paper No. G-024。
13. 施鴻志，(1990)，都市災害資訊系統建立之研究-地理資訊系統之應用，行政院國家科學委員會防災科技研究報告。
14. 國家地震工程研究中心，(1999)，九二一大地震震災調查總結報告。
15. 陳亮全、邱昌平，(1988)，有關台灣都市地震災害及其成因初步探討，內政部營建署建築研究籌備小組。
16. 陳亮全、邱昌平，(1989)，都市地震災害危險度簡易評估法之研擬，內政部營建署建築研究所籌備小組專題研究計畫成果報告。
17. 陳亮全、邱昌平，(1994)，都市易致震災之評估，內政部營建署建築研究所籌備小組專題研究計畫成果報告。
18. 陳正昌、程炳林、陳新豐、劉子鍵，(2001)，多變量分析方法-統計軟體應用，五南圖書出版股份有限公司。

19. 許銘嘉，(2005)，建築物火災危險度之研究-以台中市為例，逢甲大學環資所碩士論文。
20. 黃伯全、盧手謙，(2000a)，921 大地震起火情境之分析，中央警察大學災害防救學報，No. 1，第 181-211 頁。
21. 黃伯全，(2000)，都市大規模地震後火災研究-子計畫：震後起火源之預測與防範對策之研究 (I)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
22. 黃建華，(2001)，建築物火災財務損失影響因素及解釋模式之研究，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
23. 黃正耀，(1995)，台灣地區強地動特性及地震危害度參數之評估，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
24. 游家祝，(1997)，台灣都會區消防力規劃及消防分小隊配置之研究，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
25. 葉錦勳，(2005)，台灣地震損失評估系統-TELES，地震災害防救科技及技術移轉研習會，國家地震工程研究中心。
26. 廖為昌，(1998)，建築物及都市震後火災發生潛勢分析研究-以台北市為例，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
27. 溫國樑、柴駿甫，(1999)，強地動特性與耐震設計規範修正建議，國家地震工程研究中心簡訊，第 32 期，第 3-6 頁。
28. 歐秀玲，(2000)，台中市都市災害敏感地之研究-以火災及地震為例，逢甲大學土管所碩士論文。
29. 熊光華，(2001)，都會區地震後火災防制策略規劃研究，內政部建築研究所研究計畫成果報告，內政部建築研究所。
30. 熊光華，(2001)，震後火災消防單位救災能力及主動式滅火設備效能之研究 (二)：震後火災消防水源可靠性及替代性評估調查研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
31. 熊光華、黃伯全，(2002)，震後各類起火源與周遭環境間危險度評估之研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
32. 鮑福星，(1992)，地震危害度分析之不確定性研究，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
33. 戴久永，(1991)，統計概念與方法，三民書局，第 510-513 頁。
34. 簡賢文、林元祥，(2003)，大規模地震時台北是商業區、新興社區、老舊社區防災據點與救災路線關係之研究-台北市大規模地震時消防搶救能力之調查與評估，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
35. 簡文郁，(2001)，考慮特徵地震與場址效應的地震危害度分析，國家地震工程研究中心報告，NCREE-01-036。
36. 羅俊雄，(1996)，強地動特性及耐震評估有關之參數，電信與運輸系統之耐震安全評估與補強準則，第 2-3 頁。
37. A. D. Cowell & F. Borden, (1998), Fire-Related Aspects of the Northridge

- Earthquake, NIST-GCR-98-743.
38. Campbell, K. W., (1981), "Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration," Bull. Seism. Soc. Am.,71, 6, pp. 2039-2070.
 39. Charles, S. (1987), "Fire Following Earthquake," Fire Safety Science Proceeding of the First International Symposium, California, USA.
 40. Charles, S. D. and Moore. (1987), "Fire Following Earthquake-Estimate of the Conflagration Risk to Insure Propetry in Greater Los Angeles and San Francisco," Illinonis: AIRAC.
 41. Eidnger, J. M. (1994). "Earthquake Los Eatimation Methods Technical Manual Fire Following Earthquake," National Institute of Building Science.
 42. Fedreal Emergency Management Agency. (2004). Chapter 10, Induced Damage Models-Fire Following Earthquake.
 43. Ohnishi, K. (1996). "Causes of the Seismic Fires Following the Great Hanshin-Awaji Earthquake-Surevy," Thirteenth Meeting of UJNR Panel on Fire Research and Safety, NIST, Gaithersburg, MD.
 44. Scawthorn, C. (1985). "Fire Following Earthquake," Fire Engineering.