

臺北市颱風洪與坡地災害潛勢界定與風險分析

楊國鑫

國立臺灣科技大學 營建工程學系 助理教授

周瑞生*

國立臺灣科技大學 營建工程學系 副教授

鄭明淵

國立臺灣科技大學 營建工程學系 教授

涂堯庭

國立臺灣科技大學 營建工程學系 研究助理

雷泰雄

臺北市政府災害防救中心 高級規劃師

蔡茂岳

臺北市政府災害防救中心 主任

摘要

臺灣都會地區由於受氣候及地形之影響，易因颱風或豪雨而造成災害，進而威脅人民生命及財產，故了解災害可能發生的潛勢為所有災害預防與應變之首要工作，並可作為日後防災地圖、逃生避難路線、收容安置物資與空間規劃之依據。本研究考量災害發生之頻率及其對臺北市整體影響之重要性與威脅性，擬定颱風及坡地災害潛勢為主要分析對象。本文首先介紹現行臺北市各地區淹水潛勢、土石流潛勢溪流與老舊聚落內坡地崩動潛勢之學理界定準則。利用此準則，以臺北市士林區為例，分別針對 24 小時延時下不同降雨量之情況，進行颱風及坡地災害之定量風險分析(deterministic hazard analysis) 與機率風險分析(probabilistic hazard analysis)。在定量風險分析中，本研究探討該區於不同降雨量下受影響之人口數；在機率風險分析中，建立受影響人口數與可能發生的重現期距(return period)或年超越機率的關係(probability of exceedance)，依此關係繪製成之危害度曲線圖(hazard curve)。研究的結果可作為都會區防災整備(disaster preparedness)與救援規劃(rescue planning)的決策資訊。最後，本文將模擬結果針對該區之救災物資與收容空間進行比較與討論。

關鍵字：都會區複合災害、災害潛勢界定、風險分析、淹水潛勢、土石流潛勢溪流、老舊聚落內坡地崩動潛勢

DETERMINISTIC AND PROBABILISTIC HAZARD ANALYSES OF TYPHOON-INDUCED DISASTERS IN TAIPEI CITY

Kuo-Hsin Yang

Assistant Professor, Geotechnical Engineering, Department of Construction Engineering, National Taiwan University
of Science and Technology (Taiwan Tech), Taipei, Taiwan

Jui-Sheng Chou*

* 通訊作者(Corresponding author) : jschou@mail.ntust.edu.tw

Associate Professor, Construction Management, Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology (Taiwan Tech), Taipei, Taiwan

Min-Yuan Cheng

Professor, Construction Management, Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology (Taiwan Tech), Taipei, Taiwan

Wan-Ting Tu

Graduate Research Assistant, Construction Management, Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology (Taiwan Tech), Taipei, Taiwan

Tai-Xiong Lei

Senior Planner, Emergency Operations Center of Taipei City, Taipei City Government, Taipei, Taiwan

Mau-Yue Tsai

Director, Emergency Operations Center of Taipei City, Taipei City Government, Taipei, Taiwan

ABSTRACT

Due to the extremely global climate change, many natural disasters cause damage and threaten people's lives and properties. Therefore, the works to prevent and response disaster are very important and, among which, the prediction of the disaster potentials is challenging. Identifying the potential disasters in the surrounding environment early on can serve to make disaster mitigation maps, arrange resident evacuation routes, and plan supplies and shelters. This study firstly presents the conventional methods used to determine the typhoon-induced disaster potentials in Taipei City, including flood, debris flow and landslide in the aged communities. A deterministic hazard analysis is thus performed based on the disaster potentials. The impact of heavy rainfall with various precipitation intensities on the affected population in the Shihlin District is illustrated as a case study. Further, a probabilistic hazard analysis is conducted to establish hazard curves which are the relationships between the affected population and the return period or the probability of exceedance. Lastly, the analytical results are compared to the current capacity of rescue supplies and civilian shelters in the Shihlin District. This study offers decisive information for the disaster preparedness and rescue planning. The findings from the deterministic and probabilistic hazard analyses are then discussed to bring this paper to an end.

Keywords: Disaster potentials, Hazard analysis, Deterministic and probabilistic approach, Urban flood, Debris flow, Landslide in the aged community.

一、臺北市災害潛勢簡介

臺灣位處西太平洋颱風路徑區域及季風帶交會區，每年遭受颱風豪雨侵襲的機率相當大，加上地勢坡陡、水流湍急及 921 集集大地震的蹂躪，使得地質更加鬆軟脆弱，因此河川集水區上游常發生坡地崩塌土石流災情，而中下游地區嚴重淹水災情也時有所聞。本文考量災害發生之頻率及其對臺北市整體影響

之重要性與威脅性，擬定颱風及坡地崩塌為主要災害潛勢研究之對象。

所謂「災害潛勢分析」，是指在氣象、水文等外在條件下，分析模擬區域內各處發生災害的機率或規模，劃分成不同等級(如高、中、低潛勢)，利用地理空間方式呈現模擬地區的潛勢分佈。瞭解災害可能發生的潛勢為所有災害預防與應變之首要工作，並可作

為往後防災地圖、逃生避難路線、收容安置物資與空間規劃之依據。

本文所研究之颱風及坡地災害潛勢包括淹水潛勢、土石流潛勢溪流、老舊聚落內坡地崩動潛勢。災害潛勢之界定學理係依據臺北市各項颱風災害相關研究報告(林國峰等, 2010; 臺北市大地工程處, 2010)。當前臺北市各項颱風及坡地災害潛勢各局處相關作業情形簡述如下:

在淹水潛勢部分, 臺北市 99 年度最新公佈之市區易發生積水地點(臺北市工務局水利工程處, 2010)共有 5 處, 2 處屬士林區, 1 處為社子島附近, 另一處為雙溪街與中山北路附近; 另 2 處屬文山區, 1 處位於木新路及保儀路一帶, 另一處則於興德路及福興路區域; 另還有 1 處屬北投區, 地點為洲美及關渡平原地區。地區易積水之原因, 其中一部分係因都市計畫未定案, 而無法據以佈設完整之防洪排水系統; 另有部分係因局部地勢低窪或抽水站容量不足。

在土石流潛勢部分, 依據行政院農委會水土保持局(水保局)民國 99 年 4 月公佈之調查資料(臺北市大地工程處, 2010)顯示, 臺北市境內土石流潛勢溪流計有 50 條, 迄今已辦理完成 42 條溪流之整治工程。此外, 針對本市境內具土石流發生潛勢之溪流, 水保局每年皆委託專業技術單位於防汛期間(5~11 月)定期辦理巡勘。另一方面, 颱風豪雨期間臺北市政府亦視情況辦理機動性之巡勘作業, 以掌握各溪流之最新現況, 並依據每次巡勘通報結果作應對處理, 如有潛在災害風險, 則立即由水保局開口合約工程辦理清疏與零星之災情處理及維護, 降低災害發生的可能性。依據本研究調查結果, 本市具有保全住戶之土石流潛勢溪流計有 10 條, 水保局業已於民國 99 年 4 月 30 日完成保全住戶資料之調查與建置(總計有 86 戶、364 人), 並已通知轄區公所將保全住戶清冊納入「臺北市天然災害緊急疏散及收容安置計畫」辦理。

在老舊聚落內坡地崩動潛勢部分, 本市山坡地老舊聚落因緊鄰邊坡及排水系統不良等因素, 具有潛在坡地崩動導致聚落內人員房屋傷損之風險。為此, 產業發展局(現臺北市大地工程處)自民國 90 年起對於

老舊聚落之管理, 採取協助居民拆遷安置之做法, 截至目前已完成 4 處聚落拆遷, 尚餘 24 處聚落; 由於近年來巡勘監測及專業技師現場勘查結果顯示, 此 24 處聚落之環境並無明顯變化及立即危險性, 且於協調過程遭逢居民強烈反對, 故針對拆遷政策通盤檢討後, 決定暫無強制拆遷之必要。

二、災害潛勢之界定學理

2-1 淹水潛勢

淹水潛勢區之界定方法可分為數值模擬與現地踏勘兩類; 然而因數值模擬並無法完全考慮模擬地區所有實際情況, 如淹水潛勢區之最新資訊(附近之土地利用、地形地貌之改變與人文活動等)、保全住戶現況及其他可能之人為致災原因等, 仍須配合現地踏勘以彌補數值模擬之不足, 故對淹水潛勢調查與分析應採用數值模擬與現地踏勘雙管齊下的方式。

1. 數值模擬

淹水潛勢的數值模擬主要利用水文分析與淹水模式, 建立降雨(包括降雨雨型與頻率)與各地淹水深度之關係(林國峰等, 2010)。水文分析部份包括(1)降雨頻率分析; (2)降雨雨型分析; (3)雨量站網空間分析; 與(4)潮位分析。淹水模式部分又包括(1)降雨—逕流模式; (2)河川水理模式; 與(3)二維淹水模式。

水文分析中由降雨頻率與雨型的分析結果, 可求得雨量之時間與空間的分佈, 此計算後之雨量分佈資料, 可提供後續淹水模式作為輸入值之用。淹水模式係用以計算空間之雨量降至地面後之運動行為; 其中, 降雨—逕流模式主要模擬人口稀少之山地區域; 而河川水理模式主要用來模擬河川的流況與水位; 二維淹水模式主要則用於人口稠密之平緩地區。淹水深度計算過程係先由降雨—逕流模式算出山區因降雨所產生之逕流量, 再將此逕流量於相對應之空間關係下, 輸入至河川水理模式(流入河川)或二維淹水模式(流入平原)中。此外, 河川水理模式與二維淹水模式之間亦需考慮河川溢堤進入堤內區域, 或是堤內區域的水經過重力方式或人工方式(抽水站)排入河川中。最後, 當模擬達到平衡時, 則取二維淹水模式模擬範

圍內之淹(積)水深度。

水文分析時所需的資訊為降雨資料，此資料可從中央氣象局或是水利署各地歷年紀錄獲得。淹水模式模擬時所需的資訊為土地利用資訊、地形資料、河川渠道資訊、堤防高程資料、以及水利設施資料。此處之土地利用資訊係指將土地利用區分為農業、交通、水利、建築、工業、遊憩、養殖、礦業、軍事及其他用地等。不同的土地利用型式對地表粗糙度與地表入滲率將產生不同影響，同時也會造成不同的地表逕流量，此土地利用型式可從內政部國土利用調查資料取得。地形資料係用以計算集水區之面積與坡度，並配合淹水模式進而推算地表或河川流量，此資訊可由內政部之數值高程資料獲得。河川渠道資訊(如河川斷面與長度)係指在提供河川水理模式計算時之河川形貌輸入值，而堤防高程資料與水利設施資料則是以計算或判斷堤內外之水的流動。

一般而言，當上述資料蒐集得愈新愈詳細、資料的精度越高、模擬過程中所使用的計算格網越小、模式考慮的因子適當時，所獲得之淹水模擬結果則會

愈趨實境。以本文採用之淹水數值模擬資料為例(林國峰等，2010)地形資料在都會區係以 1/1000~1/5000 以上之精度為依據，非都會區則以 1/5000~1/25000 以上之精度為佳；而在計算格網方面，都會地區係採用 20m×20m 之格網，一般地區則採用 40m×40m 格網。

2. 現地踏勘

現地踏勘主要是調查最真實且最新之潛勢資料，以彌補數值模擬分析之不足。由於各淹水模式有其不同之理論背景與假設條件，故災害條件之假設與實際災害情況未必全然吻合，唯有透過現地踏勘方式，才可真正落實潛勢資料之分析。如表 1 所示，踏勘調查結果所蒐集之資料大致上可分為水文、地文與人文等三大類。水文資料包含河川流量、河川水位、河川含砂量、地下水位、下水道；地文資料包含集水區、河川周遭資訊；人文資料包含人口、經濟、歷史、民意動向。透過現地勘查蒐集之資料與前述之數值模擬結果，可進一步繪製淹水潛勢圖資，並應用於分析及相關救災規劃。

表 1、現地踏勘資訊蒐集分類

類別	資料項目
水文	河川流量、河川水位、河川含砂量、地下水位、下水道、水利設備
地文	集水區、河川周遭資訊
人文	人口、經濟、歷史、民意動向

2-2 土石流潛勢溪流

臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊兩大板塊之交界帶，隨著板塊運動，導致臺灣地區地質環境岩性破碎且構造又複雜，故每逢颱風豪雨時，坍塌、地滑、土石流等災害非常頻繁。其中之土石流屬於區域性破壞，雖於土石流災害之定義，學者專家已有共識，但仔細觀察都會區域均有不同之水文與地文特性，其發生土石流之因素亦有些許不同，故土石流潛勢若以數值模擬進行，其結果將較不準確，因此，針對土石流潛勢之分析判斷，目前大多以經驗公式為主。然而，各地區應用之土石流經驗公式，多半僅適用於其所觀察之區域，並無法廣為一般式所用，意即套用到其他區域便有誤差產生，故為更精確地了解各地區之土石流潛勢與特性，進行實地踏勘是不可輕忽之步

驟。此外，土石流之破壞力極大且突發不易觀察與預測，因此實地踏勘更能充分了解土石流之特性。

土石流之觸發機制基本上有三大要件：大量且鬆散之碎屑土石、陡峻之坡度與充沛之水分。大量且鬆散之碎屑土石為土石流災害之主體，充沛之水分可降低土石流內部碎屑土石間之摩擦力與凝聚力，陡峻的坡度則供給土石流物質流動所需之動力。換言之，地文因子為土石流發生之潛在誘發因子，而水文因子則為土石流發生之激發因子。土石流特性應考慮水文及地文之關聯，才可更透徹且熟悉土石流之特性。(賴志強，2007)於臺灣地區降雨及地震誘發崩塌之特性研究中整理土石流與山崩潛勢因子，由其統計中可知前人研究最常選取之地文因子為：坡度、岩性、土地利用、集水區與植生關係(周憲德，2002; 行政院農委

會水土保持局，2010)；而水文因子為：水系、降雨與地下水相關資訊。

土石流潛勢溪流之界定係指經過調查，過去曾經發生土石流災害且未來仍有再次發生之可能，或雖無災害歷史卻有可能發生土石流災害之溪流。如溪床坡度大於 10 度，且上游的集水面積大於 3 公頃，即可視為土石流潛在地點。如圖 1 所示土石流潛勢溪流影響範圍之劃定係先決定危險區之頂點 A，如山谷之出口、扇狀地之頂點，或坡度十度為頂點)，其次由 A 點依據土石流最大擴展角度(105 度)延下游繪製一扇狀區域；最後以扇狀區內坡度二度之等坡度線 B 作為

土石流之到達邊界，該扇形區與線 B 所包括之範圍，即為土石流之潛在影響範圍(行政院農委會水土保持局，2010)。

另如溪流下游出口或溢流點有住戶三戶以上或有重要橋梁、道路需保護者，則需列為調查範圍與保全對象。調查時可依現地有效集水面積、集水區內岩體的岩性、通過集水區內的斷層長度及溪流上游的崩塌面積等因素，做為誘發土石流發生度的指標，同時應對保全對象危害風險，區分土石流潛勢溪流的危險等級。

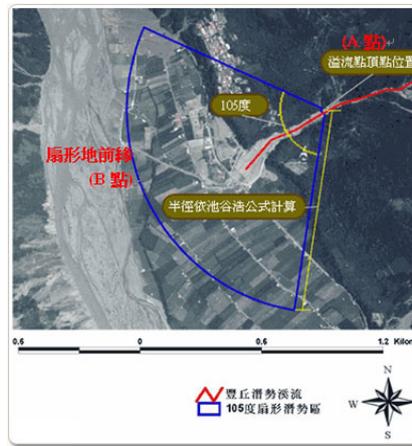


圖 1、土石流潛勢溪流影響範圍之界定

資料來源：(行政院農委會水土保持局與本研究整理)

目前臺北市對土石流潛勢溪流分級訂定模式係依行政院農委會水保局對潛勢溪流的分級原則，以「自然環境潛在因子」及「保全對象危害度因子」分別進行評估，並將評分結果導入風險分析矩陣概念，得到土石流潛勢溪流的危險等級，作為防災決策與優先處理順序之依據。高潛勢溪流相較於其他潛勢溪流，發生土石流的機率較高，若其影響範圍內的保全個數亦多時，在進行土石流整治或民眾宣導教育時，此類高潛勢溪流將會是首要工作重點。

如表 2 所示「自然環境潛在因子」(發生潛勢因子)係挑選影響土石流發生之條件做為評分因子，包含崩塌規模、地形因子、材料破碎情形、岩性因子(地質因子)以及植生因子等五項，並考慮各個因子與溪流發生潛勢之顯著影響關係加以配分，最高累計得分為 100 分。評分的結果代表此潛勢溪流發生土石流的

「潛勢」，依其量化評估對應潛勢發生之可能性(likelihood)；分數愈高者，當洪水來襲時發生土石流的潛勢愈大，且對其影響範圍內的保全戶所造成的災害也較大。由評分的結果可進一步區分為「高」(62 分以上)、「中」(46~62 分)及「低」(46 分以下)潛勢等級，易於迅速判斷其危險程度。

表 3 為「保全對象危害度因子」，主要在考量土石流潛勢溪流影響範圍內之建築物及交通設施可能受到土石流衝擊危害之保全對象評估。在建築物部分因公共建築一般使用人數較多，故危害等級最高，參考日本土石流危險溪流分級作法，可將建物數之類別項以 5 戶民宅以上危害度最高。其次為 1 至 4 戶民宅，其保全危害度因子配分方式如表 3 所示，最高得分為 100 分。由評分的結果可進一步區分為「高」(60 分以上)、「中」(40~60 分)及「低」(40 分以下)保全危

害度等級。此外，土石流潛勢溪流的危險等級可由「自然環境潛在因子」及「保全對象危害度因子」之評分結果，藉由風險分析矩陣(表 4)獲得。舉例來說，高發生機率(潛勢)之土石流，其影響範圍內之保全對象又多時(高危害度)，則其風險亦較高；然而若發生機率高，但在影響範圍內保全對象少，且不至於造成災

損(非常低危害)時，其風險則相較為低。目前臺北市境內土石流潛勢溪流計有 50 條(臺北市大地工程處，2010)，依前述風險矩陣區分，共計有 2 條屬「高」風險、7 條屬「中」風險、12 條屬「低」風險與 29 條屬「持續觀察」，而所有溪流之警戒降雨量值皆介於 500 ~ 600 mm /24hr。

表 2、自然環境潛在因子評分標準

因子	內容	評分
崩塌規模 (25)	明顯大面積崩塌	25
	小規模崩塌	15
	無明顯崩塌	5
坡度因子 (25)	上游區坡度大於 50°	25
	上游區坡度介於 30°~50°	15
	上游區坡度小於 30°	5
材料破碎 (20)	平均粒徑大於 12"	20
	平均粒徑介於 12"~3"	13
	平均粒徑小於 3"	2
	無明顯堆積材料	2
岩性因子 (15)	第一類 (A、D、F 地質區)	15
	第二類 (C、E 地質區)	15
	第三類 (B、G 地質區)	5
植生因子 (15)	裸岩、落石堆積	15
	植被稀疏	15
	植被中等稀疏	6
	植被密集	3
最高評分合計		100

表 3、保全對象因子評分標準

因子	分類	評分
建物 (50)	與防災措施相關之公共場所 (學校、醫療設施及避難公共場所等)	50
	5 戶民宅以上	45
	1 戶至 4 戶間之民宅	20
	無住戶	0
交通 (20)	橋梁	20
	道路	10
	無	0
現地整治成效 (30)	待改進或無整治設施	30
	尚可	15
	良好或不需整治	0
最高評分合計		100

表 4、土石流潛勢溪流危險等級之風險分析矩陣

優先處理順序等級	發生潛勢因子等級		
	低	中	高
保全危害度因子等級	低(持續觀察)	低	中
	中	中	高
	高	高	高

2-3 老舊聚落內坡地崩動潛勢

臺北市政府為有效控管臺北市山坡地開發利用及減少山坡地災害，於民國 88 年 9 月實施「臺北市加強山坡地安全管理方案」(鍾弘遠、陳高德，2003)。其中「坡地全面體檢」為該方案中重要項目之一，內容及方法包含以下 3 點：

- 前置作業包含蒐集聚落範圍及可能影響週邊之人文及社經資料，確立保全對象。
- 於颱風豪雨期間(5 月至 11 月)由專業技師帶領工作人員赴各聚落現場勘查，評估各聚落可能發生災害地點、影響範圍及可能造成之後果損失，並將聚落內個別危險徵兆地點予以編號及拍照列管(臺北市大地工程處，2009)。

■ 完成前兩項作業後，由專業人員填寫臺北市政府產業發展局「老舊聚落風險評估表」(見表 5)，評估老舊聚落內建物等級，並提供後續處理對策之參考。

老舊聚落之分級風險評估表(楊智銳，2006)之評估項目作為依據，分別為邊坡地形特徵、工程地質、沖蝕植生、水文排水、擋土設施及建物結構等 6 大類，再細分 33 項，其中評估細項之嚴重性分類為無、低、中、高。進行老舊聚落範圍內建物之體檢時，若在表 5 中特定 18 項評估項目中有任一項勾選其嚴重性為高者，則判定為需強制疏散之 A 級(高危險徵兆)，而當 33 項評估項目中有任一項勾選其嚴重性為中等者，則判定為需勸導疏散之 B 級(中危險徵兆)，無上述情形時則判定為建議疏散之 C 級(低/無危險徵兆)。

表 5、老舊聚落風險評估表之評估項目

項次	項目	嚴重性			項次	項目	嚴重性			
		無	低	中			高	無	低	中
(一)邊坡地形特徵因素					(四)水文排水因素					
1	以前曾經發生崩坍*				1	地下水湧出*				
2	坡腳隆起*				2	行水路受阻*				
3	不當填方*				3	縱橫向排水設施不足				
4	不當挖方*				4	排水設施淤積容量不足				
5	邊坡陡峭(土坡)*				5	排水溝有斷裂或基礎下陷情形				
6	坡頂出現明顯解壓裂縫或凹陷*				(五)擋土設施因素					
7	坡面上之樹木或電線桿有傾斜現象				1	擋土設施表面出現明顯外凸變形或龜裂*				
8	坡面出現裂縫或小坍方				2	擋土設施表面出現不正常出水現象				
9	鄰近道路路面出現裂縫或局部陷落*				3	擋土牆牆腳或邊坡坡趾出現崩土或土石堆				
(二)工程地質因素					4	擋土牆洩水口或水平排水管堵塞或排水不良				
1	順向坡*				5	地錨錨頭出現開裂、剝離或銹蝕*				
2	崩積層				(六)建物結構因素					
3	斷層破碎帶				1	退縮距離不足				
4	落石*				2	建物位於斷崖*				
5	可能發生泥石流*				3	建物基礎有安全之虞*				
(三)沖蝕植生因素					4	建物牆壁龜裂				
1	向源侵蝕*				5	建物坐落於水路上*				
2	坑溝傾蝕				(七)其他					
3	一般土壤沖蝕				N/A					
4	上邊坡植生被覆不良				N/A					
危險分級		□A 級(高危險徵兆)			□B 級(中危險徵兆)			□C 級(低危險徵兆)		

*表示特定 18 項評估項目，若其中有任一項勾選其嚴重性為高者，則判定為 A 級(高危險徵兆)

三、災害潛勢資料分析與應用

災害潛勢分析之應用主要為落實於災前減災、整備與災中應變等三個階段：於初期減災部分包括協助政府與民眾瞭解災害發生機率、影響範圍與提高防救災意識；在進一步整備部分，災害潛勢資料可做為政府研擬地區災害防救計畫之參考，如防災對策的規劃、社區防災之推動與演練；最後，災害潛勢分析的結果可以提供緊急預警與疏散應變之參考。以淹水潛勢為例，淹水潛勢資料最大功用是在颱風侵襲期間可做為淹水預警研析的決策資訊，對照中央氣象局發布之即時雨量值，判定可能的淹水地點，指揮應變中心便可依據淹水預判資料擬定優先處理順序與因應之緊急對策，另針對土石流與老舊聚落潛勢之運用亦與上述淹水潛勢分析類似。

除前述之應用外，本文以臺北市士林區為例，針對蒐集之災害潛勢資料進行定量風險分析(deterministic hazard analysis)與機率風險分析(probabilistic hazard analysis)，依此系統化流程繪製之危害度曲線(hazard curve)可供管理者即時作決策資訊之用。此外，風險分析的結果可與現行士林區之提供救災物資與避難空間人數作比較，決策者可依利害關係人風險偏好(risk preference)，選取定量或機率風險分析結果作為爾後救災物資整備與收容空間之規劃參考。

在風險分析相關研究方面，王如意等(2002)曾評估受淹水影響下，台北縣市個人以及工商業經濟損失的程度；其分析方法主要從國稅局中獲得受納莉颱風影響下經濟損失的統計資料，隨後進行機率風險分析並建立受淹水影響下經濟損失的風險曲線。劉季宇等(2005、2008)亦曾對電力系統受地震力進行風險分析並依據其研究成果提出減災策略；其分析方法係利用 TELES 進行地震模擬，最後建立受地震影響下電力系統損失的風險曲線。

然而，過去文獻極少針對都會區颱風洪與坡地災害時避難收容空間容量進行推估。此外，相關的歷史資料亦係以颱風豪雨侵襲下傷亡的人數為主，尚無受影響人數的風險評估研究。有鑑於此，本文將

對此議題進行深入探討。

定量風險分析主要為建立災害強度與受影響因子之間的關係，其基礎概念如圖 2 所示。Damage 表示災損或受影響因子，Magnitude 為災害強度，如 Reiter(1990)即應用此概念評估地震強度與地表最大加速度之間的關係。Source 1, 2, 3 分別代表淹水、土石流與坡地崩動等災害來源，All sources 則為複合型災害之機率風險曲線。以本文為例，縱軸災損為受影響之人口數，橫軸災害強度為降雨量。本文以颱風降雨量為主軸對應颱風洪及坡地災害潛勢，分析該都會區於不同降雨量下受影響之人口數。選擇降雨量為判定受影響人口數的主要原因為在颱風豪雨的資訊中，降雨量的預判資訊易於電視新聞廣播或是中央氣象局網站獲得。此外，臺北市政府各局處亦以降雨資訊訂定疏散避難相關的警戒與危險值。

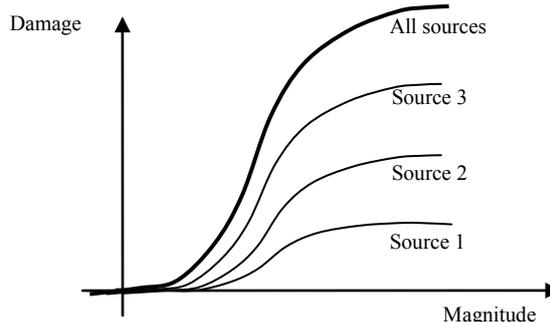


圖 2、定量風險分析示意圖

有別於定量風險分析，機率風險分析可以考慮災害系統隨時間與空間上的不確定性與變異性，並能評估災害發生的機率。機率風險分析主要為利用災害強度與受影響因子之間的機率分佈(probability density function)，建立受影響人口數與可能發生的重現期(return period)或年超越機率的關係(probability of exceedance)，並將此關係以危害度曲線圖(hazard curve)表示，有關機率風險分析的詳細理論與方法可參閱 Cornell (1968)與 Algermissen et al. (1982)。Reiter (1990)描述機率風險分析主要步驟如下：

1. 選定可能的災害來源與災害潛勢地區，假設災害潛勢地區內有同等的災害發生機率。
2. 由災害的時間分佈，建立災害強度與其年超越

機率之關係(recurrence relationship)。

3. 建立災害強度與受影響因子之間的機率分佈。
4. 建立受影響因子與可能發生機率/頻率關係。

以本文為例，於機率風險分析步驟 1：本研究選定淹水、土石流與老舊聚落內坡地崩動為主要的災害，並蒐集前述所需之災害潛勢資料；步驟 2：依據中央氣象局之統計資料，建立降雨量與年超越機率關係；步驟 3：建立因颱風降雨而受影響人數之機率分佈；步驟 4：建立受影響人口數與可能發生的重現期或年超越機率的關係。最後，將此關係繪製成危害度曲線圖，如下圖 3 所示，其中 λ_D 表示受影響人口數可能發生的年超越機率。

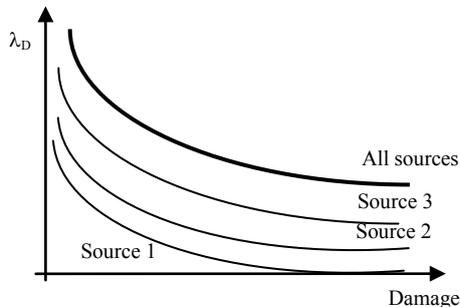


圖 3、機率風險分析示意圖

四、定量風險分析

4-1 研究對象與方法

士林全區面積 63.9 平方公里，幅員遼闊，為臺北市十二行政區中面積最大之區。依臺北市政府民政局於 2010 年 05 月 11 日所公布之資料顯示，區內現有 51 里，總人口數為 283,171 人，每平方公里約為 4,431 人。本區主要河川為淡水河經本區西側與臺北縣為界；基隆河穿越本區西部；磺溪經本區北部與北投區為界；雙溪橫貫本區中部，依上中下游，又分為外雙溪、內雙溪及雙溪。本區地質狀況於西部及雙溪沿岸為全新世沖積層，雙溪兩側為中新世沉積層，餘多為火成岩層。其中沉積層中的大寮層由易風化之砂岩與頁岩交互構成，易受雨水入滲與地下水位影響在順向坡處造成土石滑動，如林肯大郡(李咸亨, 1997)。

士林區之災害潛勢係根據臺北市政府工務局水利工程處 99 年度所公佈之 5 處「市區易發生積水地點」，其中即有 2 處屬士林區，一處為社子島附近，另一處為雙溪街與中山北路附近。此外，區內共有 7 條土石流潛勢溪流，分別為北市 DF018、DF019、DF020、DF021、DF022、DF023、DF024 溪流，警戒雨量值皆為 500 mm/24hr，其中 4 條屬「低」危險等級，3 條列為「持續觀察」等級，在土石流影響範圍內共有 7 戶(33 人)保全對象住戶。區內被列管之老舊聚落共有 2 處，一處為臨溪里的編號 13 號老舊聚落，計有危險等級 A 級(26 戶)、B 級(6 戶)與 C 級(0 戶)；另一處為福林里的編號 15 號老舊聚落，計有危險等級 A 級(36 戶)、B 級(6 戶)與 C 級(0 戶)。

本研究案例情境分析中，分別模擬 200mm/24hr、350mm/24hr、450mm/24hr 與 600mm/24hr 之降雨情形，探討士林區於不同降雨量下受影響人口數之變化。降雨量模擬除自行選定 200mm/24hr 與 600mm/24hr，主要係依據經濟部水利署於民國 99 年 5 月修正之「水災危險潛勢區域疏散避難標準作業程序」(經濟部水利署, 2010)，對於「水災危險潛勢地區」之定義為降雨量 450mm/24hr 之淹水潛勢圖淹水深度 50 公分以上地區，另依中央氣象局所定義之「超大豪雨」係指累積降雨量達 350mm/24hr 以上之降雨現象。

受影響人口推估係依淹水、土石流與老舊聚落內坡地崩動三種災害潛勢分別探討，影響人口的計算精度以里為單位，最後將各里受影響的人數加總則得士林區內受影響的總人口數。淹水受影響人口推估係由士林區內各里淹水面積與該地區人口密度之乘積的總合而求得，而淹水面積係依據淹水潛勢圖資(林國峰等, 2010)之數值模擬而得。士林區於淹水潛勢圖內係採 20 公尺×20 公尺之網格，故每一網格之淹水面積為 400 平方公尺。淹水面積即為淹水潛勢圖淹水深度 50 公分以上之網格數乘以每網格面積 400 平方公尺；該地區人口密度則由士林區中淹水 50 公分以上各里的人口數除以各里面積求得。

在土石流受影響人口推估方面，根據臺北市災害

作業手冊(臺北市消防局, 2010)針對颱風災害處理所訂定之程序, 當中央氣象局預報士林區雨量大於土石流潛勢溪流之警戒雨量值 500 mm/24hr 時, 臺北市災害應變中心則需對保全住戶進行勸導疏散, 而當實際雨量達警戒值時, 需進行撤離或強制疏散, 因此本研究模擬雨量達 450mm/24hr 時, 居民需做好撤離準備, 該區保全對象住戶的居民則假設已受影響。在老舊聚落坡地崩動方面, 士林區 2 處老舊聚落於中央氣象局發布預報雨量大於 300mm/24hr 時即進入警戒狀態, 需做好疏散避難之準備, 當預報雨量大於 400mm/24hr 時, 則將強制疏散保全住戶至避難處所, 換言之, 當實際雨量達 350mm/24hr, 老舊聚落保全住戶已受超豪大雨影響。在其受影響人口推估, 係由各老舊聚落保全住戶戶數乘以該地區平均每戶之人口密度總合求得; 而該地區平均每戶之人口密度可由士林區內對應於老舊聚落之各里的人口數除以各里戶數推估(詳細受影響人口計算過程以降雨量 450mm/24hr 為例請參閱附錄一)。

4-2 分析結果

士林區因不同降雨量受影響人口計算結果整理於圖 4; 圖中顯示當累積雨量達 200mm/24hr 時, 淹水面積達 50 公分以上計有 800 平方公尺, 受影響人

數 2 人, 此時因土石流潛勢溪流與老舊聚落內坡地崩動未達警戒雨量值, 故保全住戶不受影響, 總受影響人數為 2 人。當累積雨量達 350mm/24hr 時, 士林區淹水面積經計算為 125,200 平方公尺, 受影響人數 1,612 人, 此時尚未達土石流潛勢溪流警戒雨量值, 但另一方面, 對於士林區的 74 戶老舊聚落保全住戶而言, 保全住戶內人口總數由前述方法估算為 199 人, 因雨量已達勸導疏散之警戒雨量值 300mm/24hr, 雖未達強制撤離之警戒值 400mm/24hr, 但仍需做好撤離之準備。因此, 當累積雨量達 350mm/24hr 時, 士林區總受影響人數約 1,811 人。進而言之, 當累積雨量達 450mm/24hr 時, 士林區淹水面積達 528,400 平方公尺, 受影響人數增至 8,537 人, 此時土石流潛勢溪流已接近警戒雨量值 500mm/24hr, 故保全住戶已受影響且需準備進行撤離。對於老舊聚落保全住戶而言, 由於雨量超過需強制撤離之警戒雨量值 400mm/24hr, 故此時住戶 199 人應已全數強制撤離完畢, 總受影響人數將達 8770 人。當累積雨量達 600mm/24hr 時, 淹水面積為 1,606,000 平方公尺, 受影響人數 29,097 人, 此時土石流潛勢溪流區域與老舊聚落皆達強制撤離之警戒雨量值, 總受影響人數為 29,329 人。

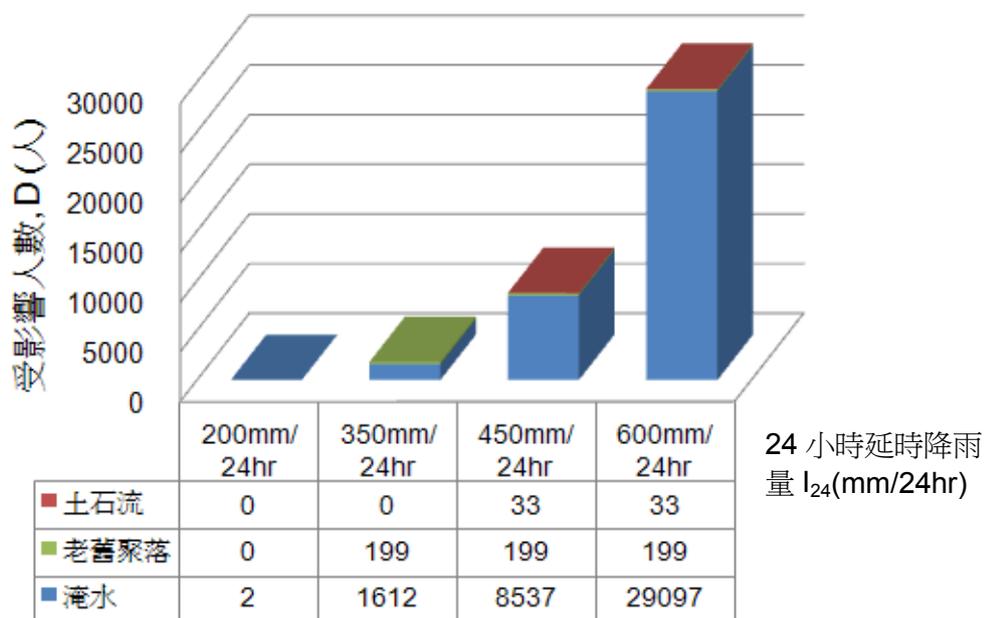


圖 4、臺北市士林區因不同降雨量而受影響人數圖

五、機率風險分析

5-1 分析方法

根據前述之機率風險分析步驟，結合中央氣象局之統計資料，本文統整不同研究時期之臺北市 24 小時延時降雨量與其年超越機率關係(林國峰等，2010、鄭克聲等，2001、臺灣省水利局，1988)，如圖 5 所示。

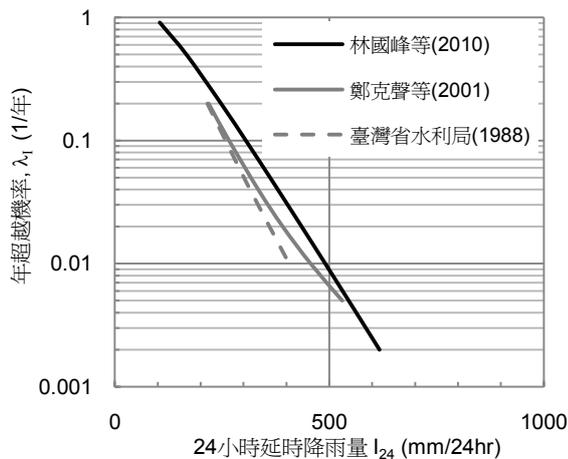


圖 5、臺北市 24 小時延時降雨量與年超越機率關係

圖內曲線為依據中央氣象局臺北氣象站(CWB 編號:466920)之歷年雨量統計資料分析而得，如林國峰等(2010)蒐集 1987 年至 2008 年臺北氣象站資料共計有效紀錄年限為 107 年。從圖 5 也可以觀察到因受全球氣候變遷的影響，24 小時延時降雨量在相同年超越機率下隨年代逐漸增加之趨勢，如在年超越機率為 0.01 的情況下(重現期距為 100 年)，在 1988 年的統計資料(臺灣省水利局，1988) I_{24} 約為 400mm/24hr，而於 2010 年的研究顯示 I_{24} (林國峰等，2010) 增加至約 500mm/24hr。為配合本研究所採用之淹水災害潛勢圖資(林國峰等，2010)與反應近年之降雨型態，本文採用圖 5 中(林國峰等，2010)所提出之模型關係式進行後續機率風險分析，該研究所提出之 24 小時延時降雨量與其年超越機率關係之迴歸式如下：

$$\ln \lambda_1 = 1.32 - 0.012 I_{24} \quad (1)$$

其中： λ_1 為年超越機率(為重現期距的倒數)， I_{24} 為 24 小時延時降雨量，單位為 mm/24hr；公式(1)即為標準的 Gutenberg-Richter 重現法則 (Standard Gutenberg-Richter Recurrence Law)。

為建立因颱風降雨而受影響人數之機率分佈需利用歷史統計資料，然而目前可得之歷史資料皆為因颱風暴雨傷亡的人數，與本文所探討受影響人數的定義不符，較不適用後續避難空間可收容人數評估。因此本研究假設受颱風降雨影響之人數機率密度函數呈自然對數分佈(lognormal distribution)，機率分佈的均值 μ_D 可由前述定量分析中計算出不同降雨量下總受影響人數(包括淹水、土石流與老舊聚落)獲得，如圖 6 所示。

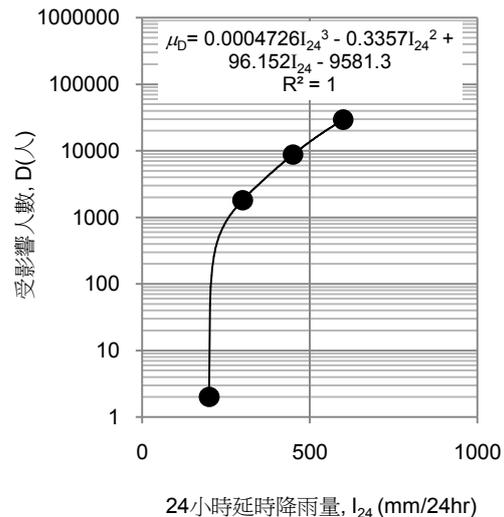


圖 6、臺北市士林區降雨量與受影響人數之關係

其迴歸式為：

$$\mu_D = 0.0004726 I_{24}^3 - 0.3357 I_{24}^2 + 96.152 I_{24} - 9581.3 \quad (2)$$

其中 μ_D 為受影響人數的均值。

本研究進一步假設機率分佈的變異係數 (coefficient of variation ; COV) 分別為 30% 與 50%，探討變異係數在一般與較大狀況下對機率分佈的影響。最後，所建立因颱風降雨而受影響人數之機率分佈如下圖 7 所示。

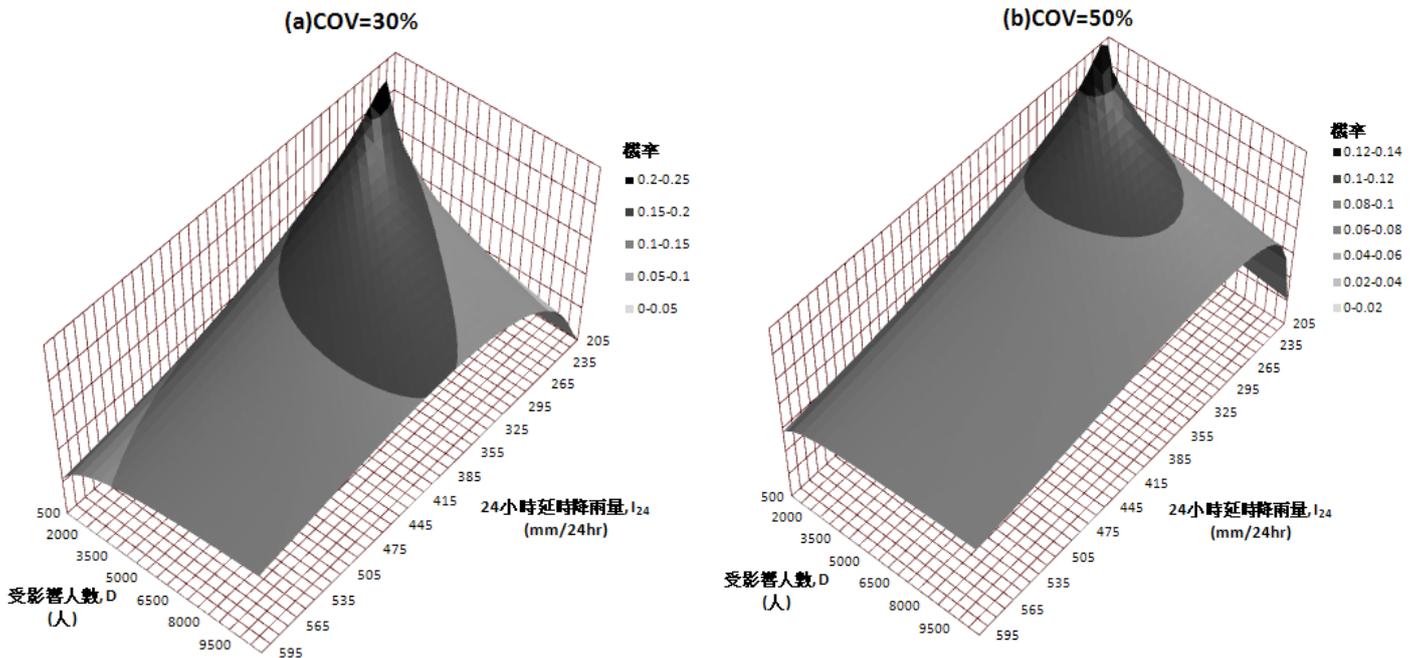


圖 7、降雨量與受影響人數之機率分佈: (a) 變異係數為 30%; (b) 變異係數為 50%

5-2 分析結果-危害度曲線圖

公式(3)為用以評估受影響人口數與可能發生的年超越機率(或重現期)的關係:

$$\lambda_D = \nu \int P[D > D^* | m] \cdot f_M(m) dm \quad (3)$$

其中 λ_D 表示可能發生的年超越機率; $P[D > D^* | m]$ 為在災害強度 m (即降雨量 I_{24})的條件下, 受影響人數 D 超過某特定人數 D^* 的機率; $f_M(m)$ 為災害強度 m 所發生的機率, 可由步驟 2 獲得; ν 為一係數, 假設降雨量 200mm/24hr 為造成受影響人數的最小災害強度 m_0 , 如圖 6 所示。根據 McGuire and Arabasz (1990)的方法可以用來計算 ν 如下:

$$\nu = \exp(\alpha - \beta m_0) \quad (4)$$

其中 α 與 β 分別為公式(1)內的常數項與係數項 (i.e., $\alpha=1.32$, $\beta=0.012$), 最小災害強度如前述 $m_0=200\text{mm}/24\text{hr}$ 。

圖 8 為依前述條件繪製成危害度曲線圖, 由圖中顯示年超越機率隨受影響人數增加而減少。此外,

在同一受影響人數下, COV 越大年超越機率越大, 所對應的重現期距越短。以受影響人數 $D=10000$ 人為例, 查圖 8 可知在假設 $\text{COV}=30\%$ 的情況下, 可能發生的年超越機率 $\lambda_D=0.054$, 約等於 18.5 年重現期距。若假設 $\text{COV}=50\%$ 的情況下, 可能發生的年超越機率 $\lambda_D=0.081$, 約為 12.3 年重現期距。

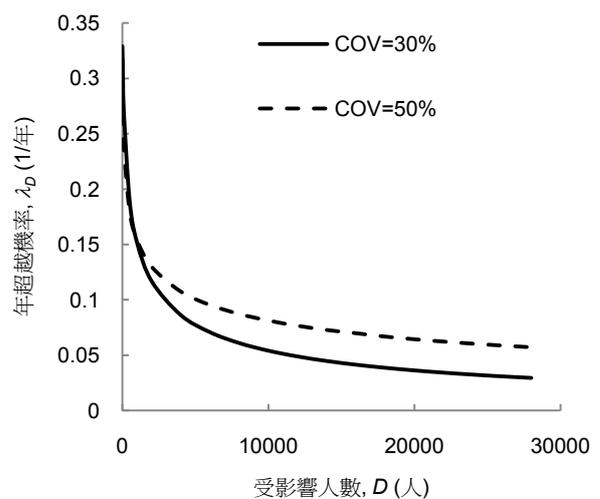


圖 8、因颱風降雨而受影響人數之危害度曲線圖

六、收容避難能量評估

本研究調查目前臺北市士林區既定避難場所與其最大收容能量，調查資料統整於表 6(周瑞生，2010)。既定避難場所包括公園、區民活動中心、學校與士林區運動中心，總可收容人數約為 9,103 人。若與定量風險分析的結果比較(如圖 4)，士林區既定收容能量可應付當颱風引致小於 500mm/24hr 的降雨量。又與機率風險分析的結果

作比較(如圖 8)，士林區既定收容能量的年超越機率 λ_D 介於 0.057~0.083(COV 從 30%到 50%)，所對應的重現期距大約為 12~18 年。此外，在機率風險分析中，若受影響人數中機率分佈的變異係數降低至 COV=10%，士林區既定收容能量的年超越機率則降為 $\lambda_D = 0.02$ ，所對應的重現期距為 50 年。此結果顯示準確評估變異係數的重要性，亦為未來重要的研究課題。

表 6、臺北市士林區既定避難場所最大收容能量

行政區	公園	區民活動中心		個數	學校		運動中心	
		面積(m ²)	預估可收容人數(人)		面積(m ²)	預估可收容人數(人)	面積(m ²)	預估可收容人數(人)
士林區	士林官邸	7,313	1,823	26	29,100	4,999	-	2,281

七、結論

本研究探討臺北市都會區現行之淹水潛勢、土石流潛勢溪流與老舊聚落災害潛勢界定準則，進而模擬與評估地區災害潛勢風險分析。在定量風險分析中，本研究以臺北市士林行政區為例，以降雨量為主軸對應颱風洪及坡地災害潛勢，計算該區於不同降雨量下，受影響之人口數；在機率風險分析中，探討受影響人口數與可能發生的重現期距或年超越機率的關係，依此關係繪製危害度曲線圖，綜合分析結果可進一步用以評估地區既定之收容避難能量。本研究顯示士林區既定收容能量足夠應付當颱風引致小於 500mm/24hr 的降雨量，其年超越機率 λ_D 介於 0.057~0.083(COV 從 30%到 50%)，對應之重現期距為 12~18 年。此外，若將受影響人數機率分佈中的變異係數降低至 COV=10%，士林區既定收容能量的年超越機率降至 $\lambda_D = 0.02$ ，所對應的重現期距則增加至 50 年，顯示準確評估變異係數的重要性。

本文所介紹之風險分析方法與災害潛勢資料應用可落實於防救災週期：減災、整備與災中應變等階段，除協助政府主管機關與民眾瞭解災害發生機率、影響範圍與提高防救災意識外，更可進一步做為相關單位研擬地區災害防救計畫之參考，實務應用於日後救災物資與收容空間規劃、社區防災推

動與演練以及緊急預警與疏散避難之基準。

八、參考文獻

1. Algermissen, S.T. and D.M. Perkins, *Probabilistic Estimates of Maximum Acceleration and Velocity in Rock in the Contiguous United States*. Open-File Report Open-File Report, 1982: p. 82-1033.
2. Cornell, C.A., *Engineering Seismic Risk Analysis*. Bulletin of the Seismological Society of America, 1968. 58: p. 1583-1606.
3. Reiter, L., *Earthquake Hazard Analysis-Issues and Insights*. Columbia University Press, 1990. 254.
4. 石棟鑫，臺灣地區颱風降雨型態之分析研究，2001。
5. 行政院農委會水土保持局，土石流防災資訊網站，2010。
6. 李咸亨，臺灣地區颱風降雨型態之分析研究，現代營建季刊，1997. 214: p. 11-18。
7. 周瑞生，台北市災害防救深耕計畫(第 1 期)總結報告，國立台灣科技大學生態與防災工程研究中心，2010。
8. 周憲德，土石流發生警戒值模式之研究，2002，行政院農業委員會水土保持局。

9. 林國峰等，淡水河流域及臺北市、臺北縣、桃園縣與基隆市淹水潛勢圖更新計畫，2010。
10. 楊智銳，山坡地危險聚落之快速評估方法研究，2006，國立台灣科技大學營建工程所碩士論文。
11. 經濟部水利署，水災危險潛勢區域疏散避難標準作業程序，2010。
12. 臺北市大地工程處，98 年臺北市老舊聚落第七次巡勘暨總結報告書，2009。
13. 臺北市大地工程處，臺北市 50 條土石流潛勢溪流基本資料與土石流警戒雨量值一覽表，2010。
14. 臺北市政府工務局水利工程處，99 年度市區易發生積水地點之參考，2010。
15. 臺北市政府消防局，臺北市防災作業手冊，2010。
16. 臺灣省水利局，臺灣水文資料電腦檔應用之研究，1988。
17. 鄭克聲等，水文設計應用手冊，2001。
18. 賴志強，臺灣地區降雨及地震誘發崩塌之特性研究，2007，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
19. 鍾弘遠、陳高德，臺北市邊坡管理經驗，2003，台北市建設局。
20. 王如意等，水災損失評估系統模式之建立，2002，經濟部水利署。
21. 劉季宇等，電力系統震害之境況模擬與風險評估，2005，國家地震工程研究中心。
22. 劉季宇等，電力系統震害風險分析與減災策略工具之研究，2008，國家地震工程研究中心。

投稿日期：2011/04/26。

送審日期：2011/04/29。

修改日期：2011/05/31。

接受日期：2011/06/01。

附錄一、士林區降雨量 450mm/24hr 之影響人口推估表

災害類別	淹水		土石流潛勢溪流		老舊聚落		受影響人口數			
	里名	里面積	里人口數	人口密度	保全住戶人口	保全住戶數		影響人口		
				450mm/24hr						
				格數	格數					
				(每格 400m ²)	(m ²)	(人)	(人)	(戶)	(人)	(人)
蘭興	315500	6612	0.0210	102	40800	855.05	0	0	0	855.05
福安	1875000	4914	0.0026	245	98000	256.84	0	0	0	256.84
福佳	586400	8107	0.0138	111	44400	613.83	0	0	0	613.83
富洲	1120000	5666	0.0051	109	43600	220.57	0	0	0	220.57
翠山	1708200	2849	0.0017	96	38400	64.04	0	0	0	64.04
承德	141000	5681	0.0403	86	34400	1386.00	0	0	0	1386.00
社園	308000	7640	0.0248	83	33200	823.53	0	0	0	823.53
永倫	345000	7224	0.0209	60	24000	502.54	0	0	0	502.54
福順	310000	5289	0.0171	54	21600	368.52	0	0	0	368.52
福中	250000	6789	0.0272	54	21600	586.57	0	0	0	586.57
岩山	280400	3876	0.0138	53	21200	293.05	0	0	0	293.05
福華	300900	6930	0.0230	50	20000	460.62	0	0	0	460.62
天祿	136000	5306	0.0390	43	17200	671.05	0	0	0	671.05
名山	380100	7433	0.0196	34	13600	265.95	0	0	0	265.95
明勝	216300	5042	0.0233	32	12800	298.37	0	0	0	298.37
天壽	153500	5144	0.0335	24	9600	321.71	0	0	0	321.71

附錄一：士林區降雨量 450mm/24hr 之影響人口推估表(續)

災害類別	淹水						土石流 潛勢溪流	老舊聚落		受影響人口數
	里名	里面積 (m ²)	里人口數 (人)	人口密度 (人/m ²)	450mm/24hr		保全住戶人口 (人)	保全住戶數		
格數 (每格 400m ²)					淹水面積 (m ²)	影響人口 (人)		影響戶數 (戶)	影響人口 (人)	
福林	1950000	3217	0.0016	24	9600	15.84	0	42	115.08	130.92
蘭雅	258500	8856	0.0343	10	4000	137.04	0	0	0	137.04
天山	237000	7516	0.0317	10	4000	126.85	0	0	0	126.85
後港	469900	8290	0.0176	10	4000	70.57	0	0	0	70.57
三玉	652100	5785	0.0089	6	2400	21.29	0	0	0	21.29
德華	263000	6012	0.0229	4	1600	36.57	0	0	0	36.57
永福	1063000	1389	0.0013	4	1600	2.09	0	0	0	2.09
福德	251000	6110	0.0243	3	1200	29.21	0	0	0	29.21
富光	187000	6191	0.0331	3	1200	39.73	0	0	0	39.73
福志	407000	7845	0.0193	3	1200	23.13	0	0	0	23.13
天母	1360000	7034	0.0052	3	1200	6.21	0	0	0	6.21
東山	1006500	5636	0.0056	3	1200	6.72	0	0	0	6.72
聖山	99000	5169	0.0522	1	400	20.88	0	0	0	20.88
葫蘆	238000	7758	0.0326	1	400	13.04	0	0	0	13.04
百齡	219500	7638	0.0348	0	0	0.00	0	0	0	0.00
社子	324000	6530	0.0202	0	0	0.00	0	0	0	0.00
前港	205500	4671	0.0227	0	0	0.00	0	0	0	0.00
天和	1102900	8253	0.0075	0	0	0.00	0	0	0	0.00
社新	234000	8525	0.0364	0	0	0.00	0	0	0	0.00
忠誠	209000	5651	0.0270	0	0	0.00	0	0	0	0.00
德行	176000	4442	0.0252	0	0	0.00	0	0	0	0.00
芝山	1645000	7750	0.0047	0	0	0.00	0	0	0	0.00
公館	1375000	1456	0.0011	0	0	0.00	0	0	0	0.00
新安	1375000	2185	0.0016	0	0	0.00	13	0	0	13.00
陽明	1565000	3104	0.0020	0	0	0.00	0	0	0	0.00
菁山	16743000	1727	0.0001	0	0	0.00	0	0	0	0.00
平等	6120000	1508	0.0002	0	0	0.00	0	0	0	0.00
溪山	11650000	1496	0.0001	0	0	0.00	20	0	0	20.00
天玉	269500	9149	0.0339	0	0	0.00	0	0	0	0.00
天福	146600	6672	0.0455	0	0	0.00	0	0	0	0.00
葫東	271000	3959	0.0146	0	0	0.00	0	0	0	0.00
舊佳	175700	6465	0.0368	0	0	0.00	0	0	0	0.00
義信	109500	3673	0.0335	0	0	0.00	0	0	0	0.00
仁勇	143000	4423	0.0309	0	0	0.00	0	0	0	0.00
臨溪	2299800	3096	0.0013	0	0	0.00	0	32	84.16	84.16
士林全區受影響人口						8537	33		199	8770