國立臺灣大學生物資源暨農學院生物環境系統工程學
研究所碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering
College of Bioresources and Agriculture
National Taiwan University
Master Thesis

台灣現有淹水潛勢圖在洪水保險之應用探討

The application of flood hazard maps in flood insurance in Taiwan

宋文文

Wen-Wen Song

指導教授：譚義績 博士

Advisor: Yih-Chi Tan ， Ph.D.

中華民國 104 年 2 月

Feb， 2015

誌謝

能完成這篇論文，我要特別感謝我的指導教授譚義績老師，感謝李鴻源老師提出的建議，更要感謝游景雲老師的指導。感謝口試委員陳憲宗老師的悉心指教，感謝張倉榮老師的幫助。還有楊智傑學長，陳柏嘉學長，林季樺學姐，沈哲偉學長，姚大均博士對我的支持與鼓勵，由衷的想珍惜在台灣遇到的每一個給予過我幫助與支持的人，在此向各位致意。

在台灣歡笑淚水交織的兩年半時間，是我人生中迄今為止最值得回憶的歲月。感謝父母，感謝水源小 7 提供的一頓頓熱騰騰的宵夜，感謝心輔中心的陳威宇老師，感謝賢德皇，感謝國立台灣大學，感謝美麗的台灣。

宋文文

於國立台灣大學

2015 年 2 月 5 日

中文摘要

台灣的特殊地理位置和地形導致了每年遭受颱風洪水困擾，再加上高密度的人口與經濟發展，頻繁的天氣災害給民眾造成了巨大的財務損失。為減少洪災造成政府的財政負擔，可對淹水的高風險地區推行洪水保險。許多國家都有推行洪水保險，現以美國，日本等國家發展相對完善，台灣現行的颱風洪水險為火災附加險，並無完整的洪災保險制度。為訂定完善的洪災保險制度，需進行淹水地區、災損的探討。現階段淹水潛勢圖，並沒有對降雨延時進行太多的討論，雖有不同的降雨延時造成的淹水潛勢，但並不了何種降雨延時會造成最大的淹水。另雖有公佈淹水潛勢圖，但並無量化的淹水損失資料，以致洪災保險的推行困難。為更準確地評估淹水情形，本研究先利用三角形歷線，SCS 歷線，和 PRF 三種出流歷線，製作了降雨延時-強度-淹水體積圖。探討不同延時造成之損失影響，另根據國家災害防救科技中心提供的新北市淹水圖（24h，48h）， ArcGIS 軟體、淹水損失-深度關係，以三重區為例計算了各個鄰里的淹水損失面積和損失金額。藉此分析，進一步了解台灣現有淹水潛勢圖在洪水保險之應用可行性，並提出建構淹水潛勢圖，如欲配合作為淹水保險之基礎時，所需考量之建議，以作為未來相關分析參考。

關鍵字：淹水損失、降雨延時-淹水體積、洪水保險

ABSTRACT

Taiwan's special geographical location and topography results caused to many typhoon flooding problems, with the high density of population and highly development of economics, and frequent weather disasters caused huge financial losses for the public to afford. To reduce the financial burden caused by the floods, flood insurance can be considered in high-risk areas. Among all countries implemented flood insurance, United States, Japan are relatively well developed. existing typhoon flood insurance in Taiwan is an additional insurance of the residential fire insurance, which is not a sound flood insurance, so that flood areas and flood losses need to be discussed. Figures of flood potentials is made without carefully thinking about rainfall duration, as the figures provide the flooding depth of 24h and 48h ,but lack of the information of which rainfall duration causes the maximum flooding volume. On the other hand, the figures provide the areas of the city, as there are no data to quantify flood damages, flood insurance is difficult to implement. To assess the flood situation more accurately, first this study produced a Rainfall duration– Intensity-Flood volume chart with three kinds of outflow calendar line, including the triangle calendar line, SCS calendar line, and the PRF calendar line. Then based on the flood potential maps (24h,48h) of the New Taipei City provided by NCDR, using Arcgis software and the relationship of flood damages and flood depth, calculate the amount of flood damages and losses of each neighborhood area, taking Sanchong District as an example. According to this practice, this study expects to suggest a framework to construct flood map, on the purpose of utilizing them for issuance application.

Key Words: flood damage, rainfall duration-flood volume, flood insurance

目錄

第一章　緒論 0

1.1 研究動機 0

1.2 研究目的 3

第二章　文獻回顧 5

第三章　理論分析與研究方法 10

3.1 淹水潛勢圖資介紹 10

3.2 降雨延時－強度－體積圖 11

3.3 運用 Arc GIS 推估計算年平均損失期望值 17

3.3.1 不同行政區各淹水深度面積計算 18

3.3.2 不同重現期下年損失計算 28

第四章　研究結果 36

4.1 三重區地理環境和災害環境背景 36

4.1.1 三重區地理環境 36

4.1.2 三重區的歷史災害背景 38

4.2 結合模擬淹水深度資料之三重區淹水損失結果 40

4.3 試算損失與保險 47

第五章　結論與建議 51

5.1 結論 51

5.2 建議 52

第六章　文獻回顧.....53

圖目錄

圖 1. 1 1950-2011 年全球天然巨災造成之經濟損失及保險損失之統計 3

圖 2. 1 Computation of average annual damage 8

圖 2. 2 Critical Duration Analysis 9

圖 3. 1 集水區中駐留水量計算示意圖 13

圖 3. 2 出流量－時間圖 15

圖 3. 3 累積出流量 s－時間圖 15

圖 3. 4 淹水體積 V－時間圖 16

圖 3. 5 三角形歷線雨型降雨延時－強度－淹水體積圖 16

圖 3. 7 NRCS（SCS）歷線雨型降雨延時－強度－淹水體積圖 17

圖 3. 8 年平均損失期望值計算流程 18

圖 3. 9 新北市淹水潛勢圖 19

圖 3. 10 Int 工具運算圖 20

圖 3. 11 淹水圖 Grid 檔 20

圖 3. 12 淹水圖 Polygon 檔 21

圖 3. 13 縮小 1000 倍過程 22

圖 3. 14 淹水深度運算結果 22

圖 3. 15 淹水深度分級結果 23

圖 3. 16 Dissolve 工具圖解 24

圖 3. 17 相同分級 Dissolve 結果 24

圖 3. 18 Intersect 工具運算圖解 25
圖 3. 19 三重區運算過程 26
圖 3. 20 三重區行政圖與淹水圖 Intersect 之屬性表 27
圖 3. 21 三重區各里淹水面積 28
圖 3. 22 淹水深度與災害損失 31
圖 3. 23 不同重現期距下之水災發生機率 35
圖 4. 1 三重區高程圖（100 年度更新） 37
圖 4. 2 三重區 2000 年至 2008 年月平均雨量曲線圖（100 年度更新） 37
圖 4. 3 三重區各里人口密度圖（100 年度更新） 38
圖 4. 4 三重區 24h 200 年重現期淹水深度圖 42
圖 4. 5 三重市模擬 24h 延時降雨造成淹水損失分佈圖 42
圖 4. 6 三重市模擬 48h 延時降雨造成淹水損失分佈圖 43
圖 4. 7 年度累計損失 24h(左)48h(右)超過 1000 萬元的行政鄉里示意圖 44
圖 4. 8 厚德里，中興里航照圖、淹水潛勢圖 47
圖 4. 9 天災費率計算準則 48
圖 4. 10 三重區降雨延時－損失圖 50
圖 4. 11 降雨延時-災害損失關係圖 50

表目錄

表 3. 1 水利署訂定之淹水警戒(以中正橋雨量站為例)..... 11

表 3. 2 三角形、SCS、PRF 歷線設計時間-出流量表..... 13

表 3. 3 淹水深度分級表..... 23

表 3. 4 淹水深度與災損金額對照表..... 29

表 3. 5 淹水損失參考值..... 32

表 4. 1 三重區不同降雨延時下淹水損失(萬元／年)..... 40

表 4. 2 24 小時降雨延時下年度累計損失超過 1000 萬元之鄰里 44

表 4. 3 24 小時降雨延時下年度累計損失超過 1000 萬元鄰里 46

表 4. 4 三重地區淹水事件的年度累計損失..... 48

表 4. 5 三重地區淹水事件最大可能損失..... 49

第一章 緒論

1.1 研究動機

天然災害在是現今世界各國必須面對的課題，隨著溫室效應、全球氣候轉變，許多研究均指出，全球降雨模式將會越來越集中，也就是降雨天數減少但是降雨強度將會大增。隨著條件的改變，天然災害的損失是無法避免的，近 20 年來的時間中，災害的發生更是頻繁且嚴重。從 2005 年 8 月發生的卡崔娜颶風（Hurricane Katrina）Katrina 超強颱風，印度孟買最大降雨，2008 年緬甸熱帶氣旋納吉斯(Cyclone Nargis) ，都造成了不同國家的巨大損失。由於全球暖化氣候變遷導致極端天氣頻繁發生，這些災害不但對人民的生命健康造成了損害，也造成了個人財產以及國家財產的損失。

台灣地處亞熱帶太平洋與歐亞大陸的交界地區，深受海洋與大氣的影響，加上地形以及每年到來的季風影響，造成天然災害頻繁發生的機率較世界各地高。台灣北部全年有雨，南部降雨集中在夏季，每年 5、6 月常有豪雨，7、8 月則常有颱風侵襲。雖然政府不斷著力於防洪工程，但仍無法完全避免水災的威脅。過去從 1959 年八七水災及 1963 年葛樂禮颱洪災害開始，一直到民國 80 年代後期，臺灣接連發生的幾個重大颱風事件，包含 1996 年賀伯颱風、1998 年瑞伯、芭比絲颱風、2000 年象神颱風、2011 年納莉颱風等，都引致相當嚴重的淹水災情。2009 年莫拉克颱風來襲，並帶來驚人破紀錄錄之降雨量，24 小時最大累積降雨量高達 1,583 毫米，48 小時 2,361 毫米，72 小時 2,542 毫米，其中 24 小時與 48 小時累積降雨更逼進世界極端值，台灣地區 9%面積累積降雨量高達 2,000 毫米。驚人之降雨量，重創台灣中南部各縣市，死亡、失蹤人數共 700 多人，淹水受災戶數數高達 304,354 戶，總經濟損失約新台幣 1,000 億元，其衝擊不下 50 年前之八七水災。

2010 年凡那比颱風在高雄地區帶來驚人雨量，一小時高達 124.5 毫米，各延時之降雨量均超過該地 200 年回歸期之降雨量，各種防洪設施無法發揮功用，造成大高雄地區嚴重淹水。同年梅姬颱風在宜蘭蘇澳地區帶來每小時最高 181.5 毫米的降雨量，各延時之降雨量亦超過 200 年回歸期之降雨量，遠超過防洪系統之設計標準，亦造成宜蘭蘇澳地區嚴重淹水災情。

台灣自 1980 年到 2010 年發生的重大自然巨災，按照總體損失排序前十位中，除了第一位民國 88 年的 921 大地震，其餘排名第二為 2001 年發生的莫拉克颱風到第八的桃芝颱風，造成巨大損失的原因均為颱風豪雨造成的大範圍淹水。依據 1961 年至 2010 年侵台颱風的統計，平均每年侵台颱風數為 3.46 次，雖然颱風能帶來的水量補足水庫蓄水，但另一方面也造成重大威脅。

除了台灣，世界各地自然災害的損失事件也逐年攀升，全球自然災害所致的損失不斷增加。自然災害造成巨大的損失，民眾面臨經濟上的衝擊，災後還必須進行還原、復舊的工作以恢復原有生活條件狀態，而政府也需對受災的民眾以及各種公共設施進行補貼以及維護，以免更大的社會問題。因此，天然災害的發生對政府財政一定程度上造成了壓力。台灣處於火山地震帶中，受到地震威脅，並且常年受季風颱風影響，發生颱風豪雨的概率非常大。過去 20 年來，台灣政府為救災、防災、重建已撥出將近 4300 億的預算，其中包括 921 災後重建特別預算、基隆河整治特別預算等，由於政府財政困難，莫拉克風災災後重建特別預算只能舉債支應，造成政府財政相當大的負擔。造成這種狀況的原因之一是因為人口增長人民生活標準提高，城市化導致人類在風險極高的區域聚居，超過了城市的承載力，故現代社會與科技面對自然災害的脆弱性相比未開發時期更大。

颱風洪水由於具有發生頻率低、影響範圍及損失極大的巨災(Catastrophe)特性，顯著特點是突發性和破壞性。颱風洪水引起的個體保險損失或理賠之間不是相互獨立而是具有較強的

正相關性，這與保險分散風險基礎理論「大數法則」有些許抵觸；同時颱風洪水可能在短期內猛烈地衝擊保險公司和保險市場，這與保險業務普遍具有的長期性特點相矛盾，對保險業經營的穩健性形成挑戰。圖 1.1 是 1950 年至 2011 年全球天然巨災造成之經濟損失及保險損失之統計。其中日本在阪神地震之後推行了巨災保險，可以看出，311 大地震時已經可以獲得相當大的保險賠付；同時早就具有聯邦洪水保險計劃（National Flood Insurance Plan ，NFIP）保障的美國在 2005 年遭受 Katrina 颱風襲擊，大約一半的損失可以得到保險公司賠付。根據慕尼黑再保險公司截至 2011 年的數據指出：從 1980 年至 2010 年的三十年時間內共 19400 起損失事件中，6200 起發生在亞洲，排各大洲第一，約佔總損失時間的 32%；同時有將近 1,150,000 的人在這些自然巨災中喪生，同樣排各大洲第一，約佔總死亡人數的 51%，造成的損失占全世界損失的 38%與北美洲並列第一；可是在亞洲只有 6%的損失有保險保障，在北美洲，此比例為 40%。舉例來說，2008 年四川汶川大地震損失達 8,000 多億元人民幣，獲得來自保險業的賠付額僅有 18 億多元人民幣，占總損失的 0.2%，而 1994 年美國北嶺地震後，包括再保險等各保險公司承擔了 70%。

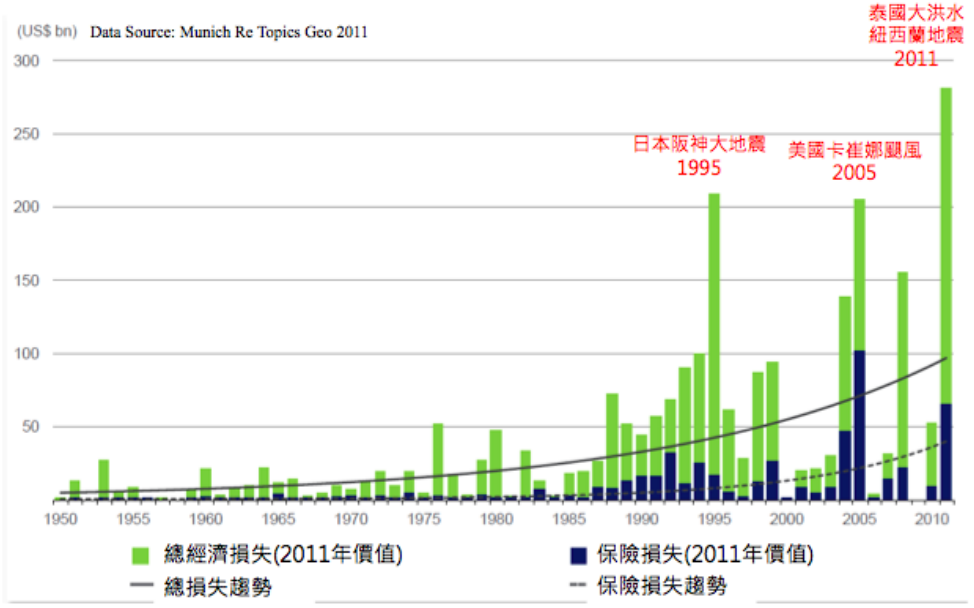


圖 1. 1　1950-2011 年全球天然巨災造成之經濟損失及保險損失之統計

(資料來源：Munich Re Topics Geo)

現階段亞洲、台灣對於災害保險的制度、推廣程度仍有限，當災害發生時多為政府機構須付出龐大的資金，造成政府財政吃緊，保險制度能將風險分擔，若保險制度運用得當，能驅使高風險區域的民眾減低對當地的投資達到避災的效果，在保險保費的評估中準確的估計災害造成的損失就尤為重要。本論文將針對颱風造成之淹水損失進行探討，希望應用有限的資料來對淹水損失進行儘量準確的預估，以此來幫助洪水保險推行可行性評定。

1.2 研究目的

台灣現行之颱風洪水險是產險業者承保火災險時的一種附加險，一般車輛的全險也必須在附加颱風洪水險之後才能獲得理賠。但是實務上保險業者對於高風險區的住宅常常將之列為拒絕往來用戶，或者採取較高標準的有條件承保。同時，主動要求投保的人又極少，主要是由於颱風洪水風險集中，民眾不願承擔風險。尤其隨著近年極端氣象災害頻繁發生，台灣

頻繁遭到天災重創，在納莉颱風之後，許多國際再保險公司紛紛要求台灣保險業者調高颱風洪水保費，也有部份公司因不堪虧損而退出了台灣市場。

同時，頻繁的天災給國家財政帶來了沉重的負擔。天災是無法避免的，因此災害預防在政策規劃中總是被忽略，多是在做事後的補救措施。當重大天然災害發生時，人員的傷亡、財產的損失、道路交通及其他基礎建設的被破壞，常常迫使政府必須將國家長期發展所需要的資金專做短期的緊急救助及災後重建，影響著國家整體的經濟發展。為了緩解天災損失對財政的壓力，需要能夠更準確的對天災造成的損失進行預估，而不是將大量財政收入花費在災後補救上。

本研究之主要目的為討論如何根據淹水潛勢地圖提供的資訊，對淹水損失進行預估，改善前人不足之處。基於較為準確的損失預估方法，來探討如何對天然災害引起的一系列財政損失進行再保險，以此來減少財政支出，分擔天災造成的巨大風險。三重地區在遭受艾利颱風重創之後，公共設施遭受了巨大破壞，帶來了非常大的財產損失。本研究以三重地區為例，應用淹水潛勢地圖、人口資料、淹水深度損失曲線評估年損失，進而討論進行保險時所需注意之問題。

第二章 文獻回顧

在氣候變遷、極端降雨事件頻率增加的情況下，洪水發生的機率逐漸增加，洪災所造成的損失這個議題又浮現了出來。避免洪災損失有工程手段與非工程手段，工程手段部分有分洪渠道、蓄洪池、水庫調節、堤防等手段，除了工程手段外，也應輔以預警避災等非工程措施將人民財產傷亡減至最低，洪災保險即是一種重要的非工程手段，將風險分攤避免造成無法回復之經濟損失。洪災的發生具有不確定性，在決定洪災保險時需要詳細的洪災風險資料，以擬訂適當的的風險轉移與風險管理政策。洪災保險的概念為將洪水損失攤至若干年、由全區或部分受災區域共同負擔損失。

在政策保險制度方面，挪威的巨災保險制度採用共保方式，將所有的保險公司結合起來，對所有被保險人提供保險，並按所得之高低來分配理賠之比例，基本上屬於一種所得分配性質的社會保險，主要目的是要將損失平均化。法國採取產物火險自動涵蓋天然災害險的方式，由政府來決定費率，銷售與理賠交由民間保險業者來來承辦，政府成立一個專門的再保公司將高層之損失完全承受，同時要提供減稅與再保之誘因給保險業者。

英國是世界上最古老的保險市場，英國的洪水保險模式是以市場化爲基礎，政府不參與承擔風險，民營保險業自願地將洪水風險納入標準家庭及小企業財產保單的責任範圍之內，業主可以自願在市場上選擇保險公司投保，保險公司通過再保險進一步分散風險，因此而積累了相當豐富的承保經驗，各種專業技術和管理手段十分發達，承保力量雄厚，是世界再保險市場的中心之一，這也爲洪水的市場保險機制能夠在英國有效地運行提供了必要的保證。

日本的氣候地理條件跟台灣非常的接近，不但是一個地震常發生的國家，而且也經常受到颱風、洪水和海潮所帶來的侵襲。最常遭受到這些天然災害侵襲的地區是固定少數且可預

知的，例如東京、 大阪、名古屋這些比海平面低的地區，在高山地區的一些溪流也常發生暴雨的災情。日本的風災險都是由保險公司來開發，但是也有許多合作社組織的共保機制存在，保費是採用固定費率，並有保額上限。至於洪水險，也是附加在火險當中，民眾可以額外加保，但不是強制性，而且保費高，洪水險的賠償也是有條件的，淹水深度一定要超過某個高度以上才予以理賠，多數民眾沒有購買這些天然災害的保險。

美國的制度則是相當多樣化，各州有不同的天然災害或巨災保險制度，大多屬自願投保，但為了減輕民眾之保費負擔，同時也強制保險公司必須成立共保組織來承保或由州政府提供再保，協助民間業者降低成本。而美國聯邦政府所建立的洪災保險制度(NFIP)為半強制性，故一直有參與率偏低的問題，政府必須提供保費補貼來提高投保率，但即使在有政府費率補貼之情況下，投保率一直低於 30 %。在美國超過六百萬的建築物分布於一百年重現期洪氾平原，88%的美國城市在二十世紀下半頁經歷過一次以上的洪災。為了處理這個問題，聯邦政府在 1968 開始了國家洪災保險計劃（National Flood Insurance Program，NFIP），雖經過近半世紀的研究與保險實施，洪災保險仍有進步的空間，Raymond.J. 提出洪災的鑒定方法是不完整的，並且使用的方法有瑕疵，易遭受洪水風險區的老舊建築物並沒有因實施洪災保險而減少，遭受洪水和沿海地區暴風雨時財產損失還在增多。儘管有對洪災風險地區的老舊建築進行洪災保險上的補貼，新建築物也進行了強制投保的要求，但是洪災保險的市場推廣程度仍很低，所造成的效益有限。

在台灣方面，洪災保險的發展慢了美國將近 40 年，近期張靜貞、蘇明道等(2006)做了颱風洪水保險制度之建立與可行性評估研究，研究比較了各國巨災保險的制度，利用建立洪水事件損失表結合蒙地卡羅模擬來計算年度損失期望值（annual aggregate loss，AAL），蕭代基(2007)應用機率風險分析法，以淡水河流域的家戶為研究的範圍與對象，依序進行洪災的災害

度分析、暴露量推估、易損性分析與損失推估， 最後， 以 Monte Carlo 模擬法產生家戶損失超越機率曲線， 並計算在幾個假設的決策者之風險接受度下之最大可能損失(PML)與每年損失期望值(AAL)。決策者可以根據這些資訊得知其面臨的洪災損失風險，進一步依據其決策原則設定一個城市(或流域)可以承擔的洪災損失、洪災防護規模以及擬定適當的風險管理策。林志瑋(2007)，考慮流域洪災損失相關性及不確定性之洪災風險評估模型建立之研究，根據雨量資料構建流域間相關係數矩陣建立了洪災風險評估模型。提供了用 Monte Carlo 計算累加損失的方法，以及洪災風險評估模型。現階段台灣的洪災保險仍在研究、試辦階段，未來仍有繼續發展的空間。

而為了訂定保險制度與費用，需先進行淹水範圍及深度的預估，配合當地財貨損失的情形，並輔以各災損發生之機率進而計算年損失，如圖 2.1 所示。早在半個世紀以前降雨強度-延時曲線就已被提出，大多數淹水潛勢圖的建立，皆建立於不同回歸年下不同強度降雨，進行計算洪災發生的機率。Goel (2000) 提出了利用隨機降雨事件進行了淹水頻率模擬(derived flood frequency distribution,DFFD)，以往的淹水模擬降雨條件之降雨強度與延時呈反比，Goel(2001)所提出之研究將降雨強度與延時視為互相獨立的參數，討論了更廣泛的降雨事件。

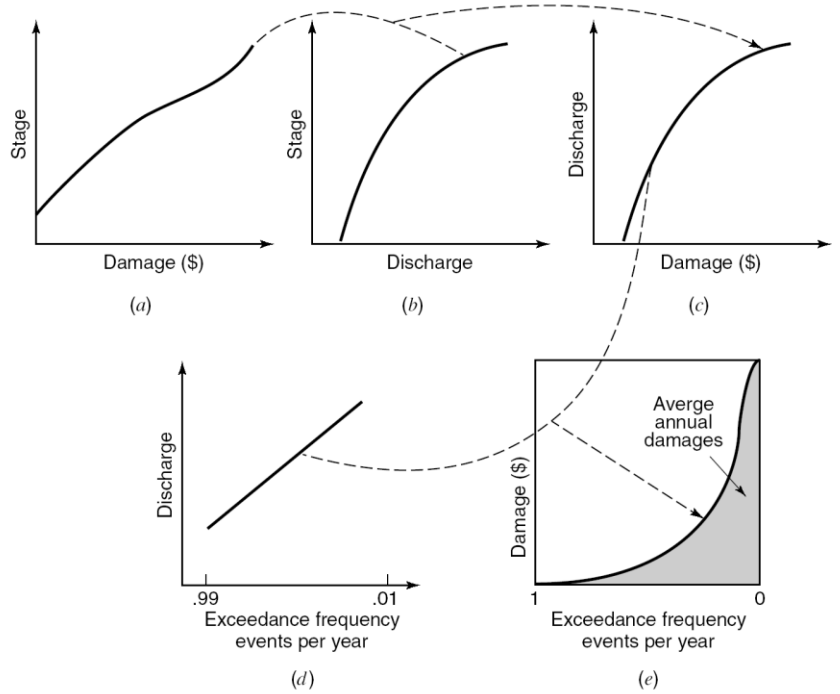


圖 2. 1 計算淹水損失之基本概念 (a) Stage-damage relation; (b) Stage-discharge; (c) Discharge-damage; (d) Discharge-frequency relation; (e) Damage-frequency relation. (資料來源: Water resources engineering, Mays, 2010)

為了更加準確的估計洪水風險損失，需要知道洪峰流量。過往的設計多是利用臨界降雨(Critical Storm)進行分析，但並沒有對降雨延時進行討論，在 FEMA guidelines 中提出到臨界降雨延時(Critical Duration)的概念，即產生最大洪峰流量的降雨事件延時，Lau etal.(2011)年並分析了 Mindlothian Creek 和 Butterfield Creek 兩條溪之臨界降雨延時，發生最大出流量的延時即為臨界降雨延時，文章關注了 1h、3h、6h、12h、24h 和 48h 的延時。圖 2.2 中為 Lau 所進行分析的案例，臨界降雨延時即為 12 小時，而不同的集水區也會有不同的臨界降雨延時，在上游臨界降雨延時較短，下游較集水區較大臨界降雨延時較長。

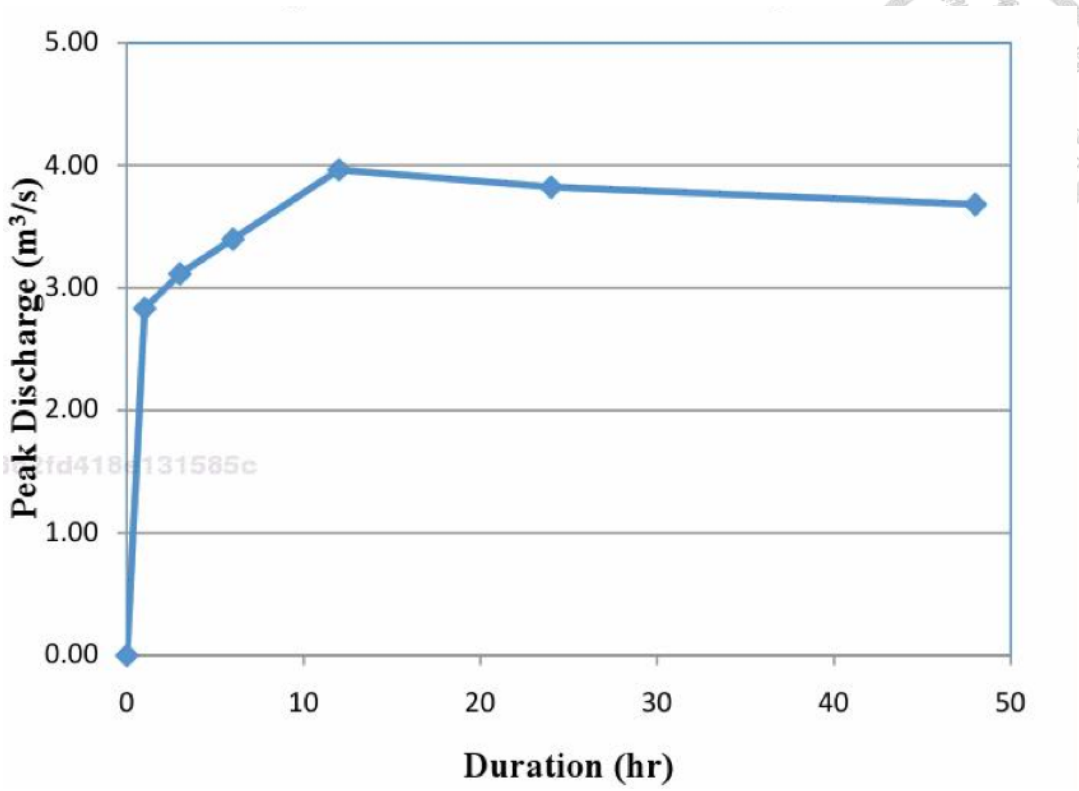


圖 2. 2 Critical Duration Analysis

（資料來源:How “Critical” is Critical Duration in Determing Flood Risk,Flood Damages and Stormwater Management Solutions?,Watershed Management,2010)

雖然出流量與淹水程度有所相關，但對都市中分散的小集水區中的淹水情形並不適用，故本研究利用 Critical Duration 的概念，分析都市中駐留在集水區的水量，建議往後進行洪災保險時所需考慮的降雨事件、降雨延時。

第三章 理論分析與研究方法

本章將對颱風洪水風險評估模型，運用ESRI公司開發之ArcGIS進行淹水潛勢圖處理，進行洪水風險損失分析，推估三重區之最大可能損失 (PML) 與每年損失期望值(AAL)。決策者可以根據這些資訊得知其面臨的洪災損失風險，進一步依據其決策原則設定一個城市（區或流域）可以承擔的洪災損失以及擬定適當的風險管理策略。

3.1 淹水潛勢圖資介紹

國家災害防救科技中心自2011年起即彙整各部會已公布潛勢圖資（包含「災害潛勢數值資料」及「災害潛勢地圖籍」）加值產製全臺災害潛勢地圖（分縣市鄉鎮但不含離島），並配合各單位更新每年進行維護，呈現類別主要為淹水及坡地災害。淹水潛勢圖資製作條件說明：

淹水潛勢圖係基於設計降雨條件、特定地形地貌資料及客觀水理模式演算，因水文預測具不確定性，故無法完全模擬未來颱洪事件之降雨歷程及逕流狀況，參考使用時應個別注意此項差異說明。

淹水模式：二維零慣性模式

水文條件：1.使用設計降雨。

2.使用固定潮位。

地文條件：1.使用民國95年之數值地形。

2.使用民國95年之土地利用調查資料。

3.未考慮石門、翡翠水庫之放水效應。

假設條件：1.所有河堤皆無破壞損毀。

2.所有抽水站皆正常運作。

3.所有堤防閘門皆關閉。

4.所有下水道系統皆正常運作。

此研究資料淹水潛勢圖提供24、48、72小時延時之10種重現期：1.1年、2年、5年、10年、20年、25年、50年、100年、200年，500年降雨之淹水潛勢圖共30張。圖檔格式為Grid網格式資料，使用TWD67座標系統，圖中淹水深度D使用的單位為公尺。

3.2 降雨延時－強度－體積圖

造成淹水的降雨事件可能是高強度短延時的降雨,也有可能是較低強度延時較長的降雨，但對於怎樣的延時、怎樣的強度會造成淹水並沒有很詳盡的討論。水利署依過往經驗已訂定淹水警戒,由表 3-1 可知同樣的警戒可能是短延時較高強度的降雨事件也可能是較長延時低降雨強度的降雨事件，在此進行造成相同淹水降雨延時變化的討論。

表 3. 1 水利署訂定之淹水警戒(以中正橋雨量站為例)

1 小時雨量(mm)	3 小時雨量(mm)	6 小時雨量(mm)	12 小時雨量(mm)	24 小時雨量(mm)

二級 警戒	一級 警戒	二級 警戒	一級 警戒	二級 警戒	一級 警戒	二級 警戒	一級 警戒	二級 警戒	一級 警戒
60	70	120	130	150	180	220	250	320	350

資料來源：水利署網站 http://fhy.wra.gov.tw/Pub_Web_2011/Page/SurveyStationInfos.aspx

學理上計算區域淹水深度需跑水理模型較為複雜，在此利用簡單的單位歷線、S 歷線，初步研究在集水區內的駐留水體積隨降雨延時、強度的變化。出流歷線是一集水區在單一降雨事件出流量隨時間的變化，而 S 歷線為某降雨強度下降雨一直延續下去的出流歷線，S 歷線在末端呈現一水平狀態，意即出流量並不會時間改變，此時集水區的水達到飽和，降雨量與出流量相等。

藉由此概念進一步討論，在集水區中的水體積可以利用降雨量與出流量相減對時間做積分進而求得，如圖 3.1，也就如同在水庫裡面常用到的連續方程式，其中 I 為 Inflow 入流量，在此為雨量，Q 為出流量，I＝Qmax，而 V 為集水區中的水體積。在集水區中的水體積 V 與淹水的程度息息相關，以下對降雨延時、強度、淹水體積進行初步的研究。

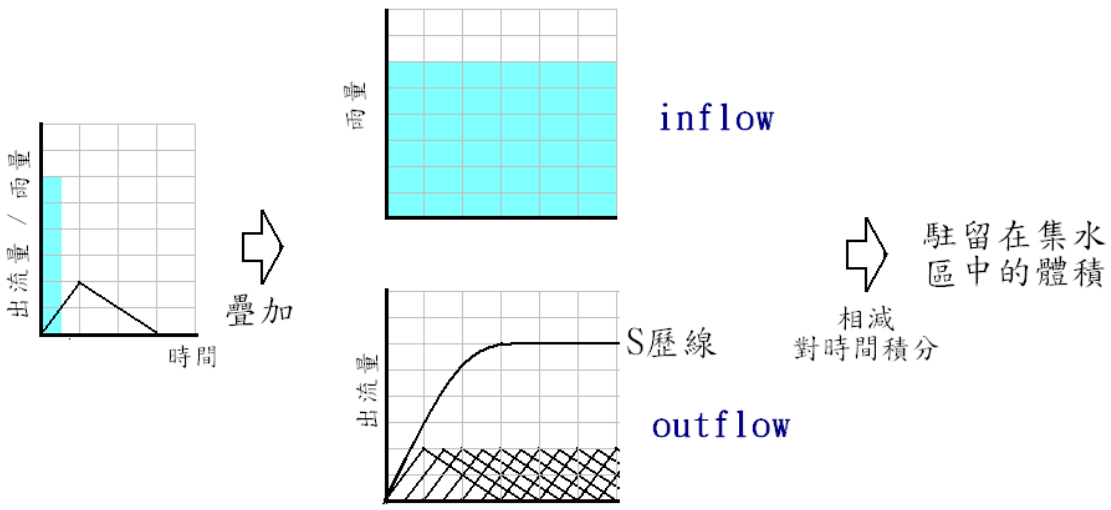


圖 3.1 集水區中駐留水量計算示意圖

常用的降雨歷線有三角降雨歷線、NRCS（SCS）(the U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service，1992)、Pulse Response Function，三角形降雨歷線。NRCS（SCS）歷線則是由 NRCS（the U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service，1992，現在的 National Resources Conservation Service）對集水區發展的降雨出流歷線。Pulse Response Function：出流 S 與時間 t 的方程式為

$$g(t) = 1 - e^{-\frac{t}{k}}$$

以下為三種歷線設計出流量。

表 3.2 三角形、SCS、PRF 歷線設計時間-出流量表

t/tp	q/qp (SCS)	q/qp (三角形)	q/qp (PRF)
0	0	0	0
0.1	0.03	0.1	0.524979
0.2	0.1	0.2	1
0.3	0.19	0.3	0.904837
0.4	0.31	0.4	0.818731
0.5	0.47	0.5	0.740818
0.6	0.66	0.6	0.67032
0.7	0.82	0.7	0.606531
0.8	0.93	0.8	0.548812
0.9	0.99	0.9	0.496585
1	1	1	0.449329
1.1	0.99	0.975	0.40657
1.2	0.93	0.95	0.367879
1.3	0.86	0.925	0.332871

1.4	0.78	0.9	0.301194
1.5	0.68	0.875	0.272532
1.6	0.56	0.85	0.246597
1.7	0.46	0.825	0.22313
1.8	0.39	0.8	0.201897
1.9	0.33	0.775	0.182684
2	0.28	0.75	0.165299
2.1	0.24	0.725	0.149569
2.2	0.2	0.7	0.135335
2.3	0.1735	0.675	0.122456
2.4	0.147	0.65	0.110803
2.5	0.127	0.625	0.100259
2.6	0.107	0.6	0.090718
2.7	0.092	0.575	0.082085
2.8	0.077	0.55	0.074274
2.9	0.066	0.525	0.067206
3	0.055	0.5	0.06081
3.1	0.0475	0.475	0.055023
3.2	0.04	0.45	0.049787

3.3	0.0345	0.425	0.045049
3.4	0.029	0.4	0.040762
3.5	0.025	0.375	0.036883
3.6	0.021	0.35	0.033373
3.7	0.018	0.325	0.030197
3.8	0.015	0.3	0.027324
3.9	0.013	0.275	0.024724
4	0.011	0.25	0.022371
4.1	0.0098	0.225	0.020242
4.2	0.0086	0.2	0.018316
4.3	0.0074	0.175	0.016573
4.4	0.0062	0.15	0.014996
4.5	0.005	0.125	0.013569
4.6	0.004	0.1	0.012277
4.7	0.003	0.075	0.011109
4.8	0.002	0.05	0.010052
4.9	0.001	0.025	0.009095
5	0	0	0

利用此三種歷線進行分 Q/Qp 出流歷線的計算，得到圖 3.2

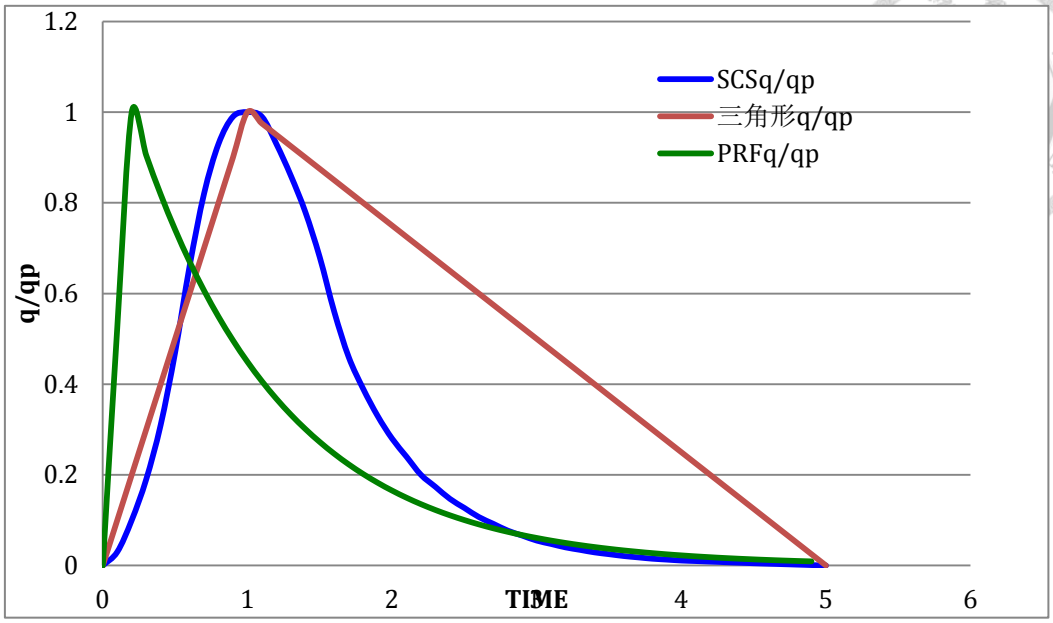


圖 3.2 出流量－時間圖

利用此三種歷線進行分 S 歷線的計算，可得圖 3.3

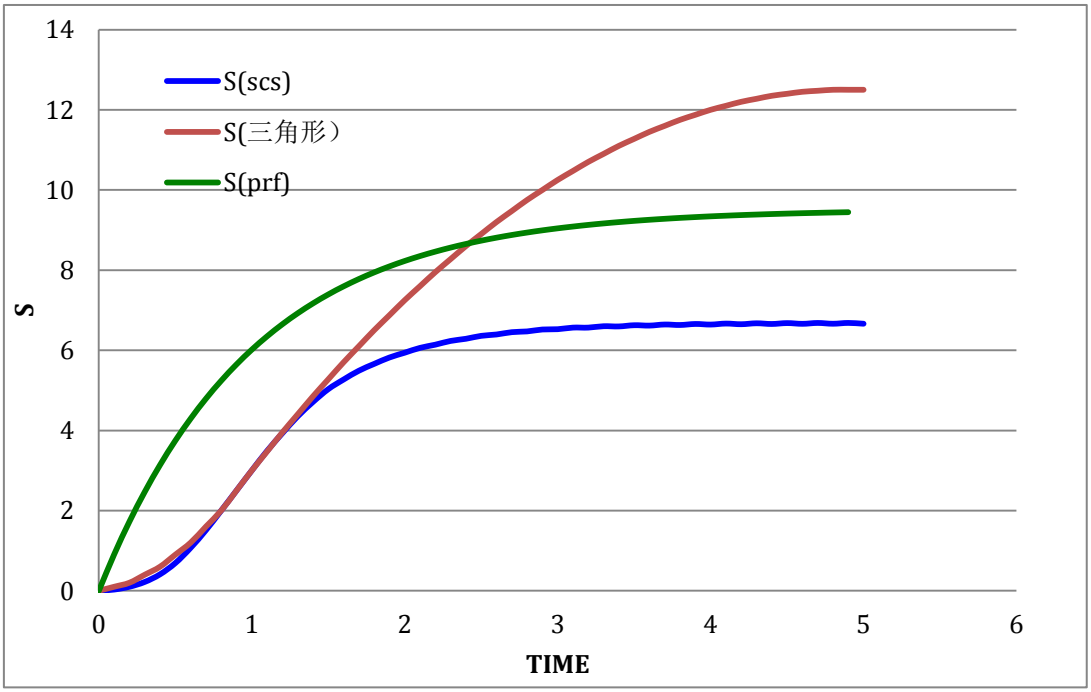


圖 3.3 累積出流量 s－時間圖

利用 S 歷線可以計算出駐留在集水區中的體積 V 隨時間的變化如圖 3.4

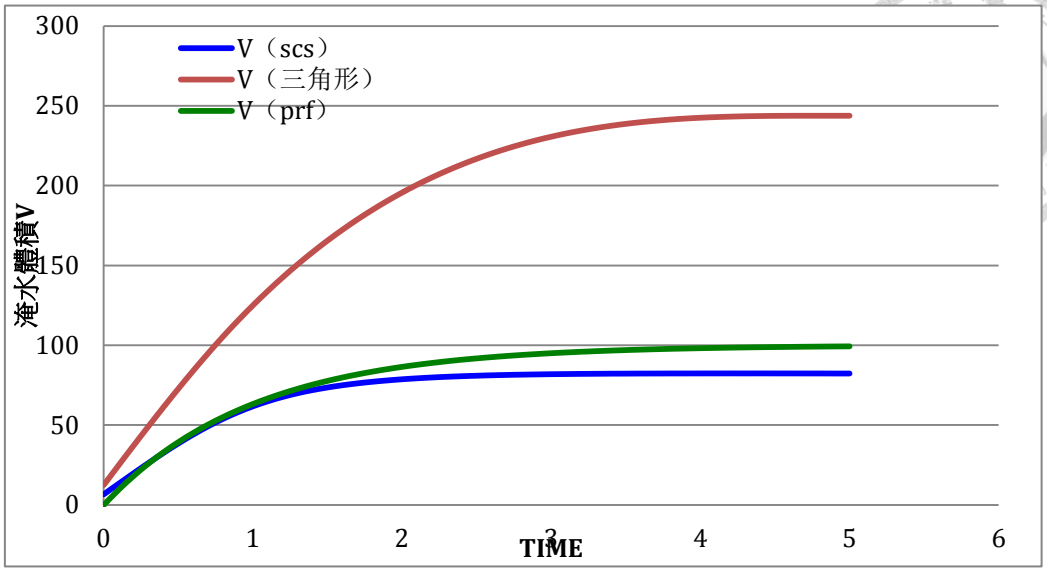


圖 3.4 淹水體積 V－時間圖

改變不同的降雨強度可得降雨延時－強度－體積圖，如圖 3.5～3.7 所示:

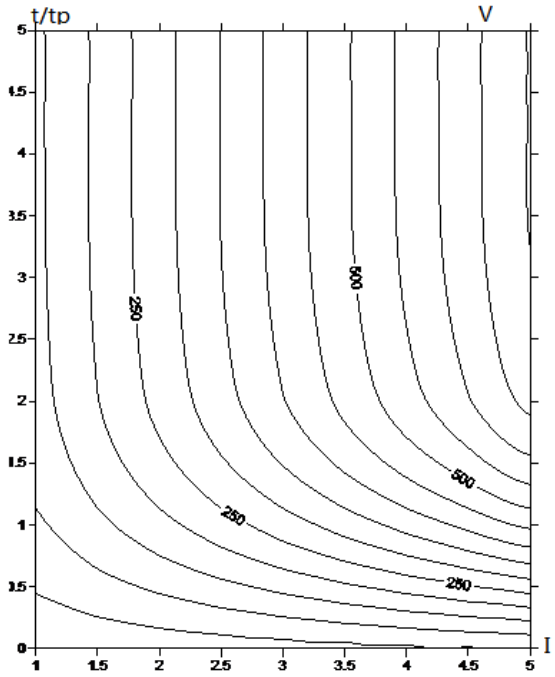


圖 3.5 三角形歷線雨型降雨延時－強度－淹水體積圖

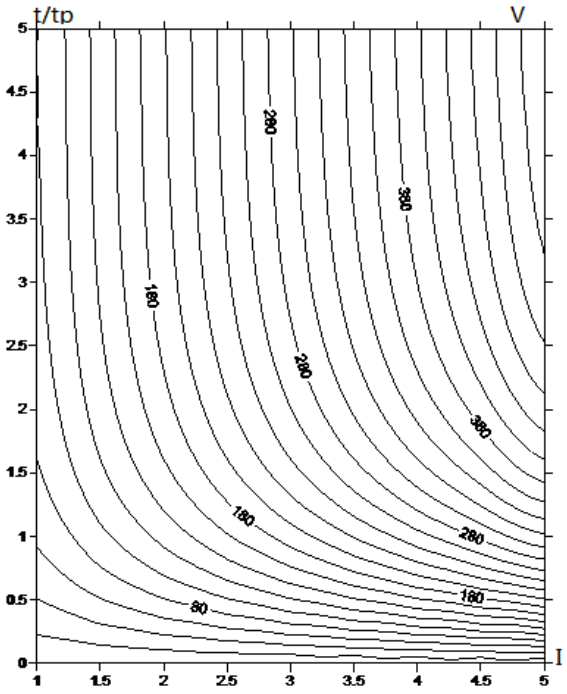


圖 3. 6 Pulse Response Function 歷線雨型降雨延時－強度－淹水體積圖

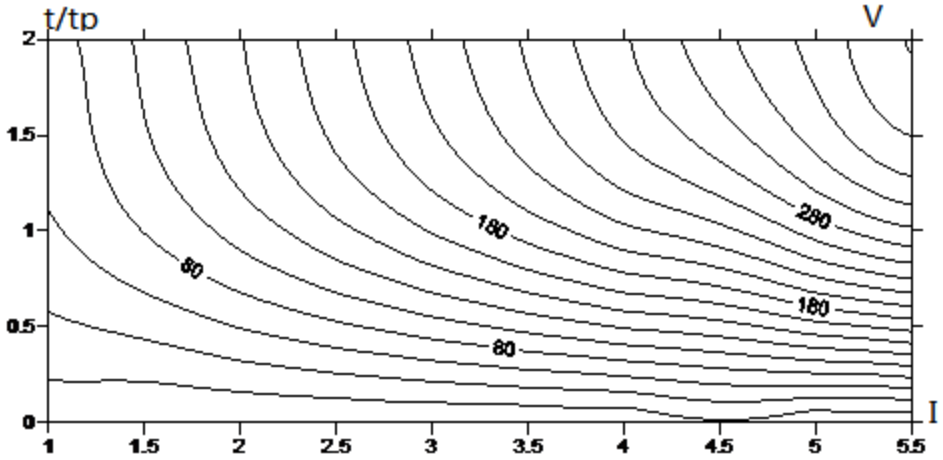


圖 3. 7　NRCS（SCS）歷線雨型降雨延時－強度－淹水體積圖

3.3 運用 Arc GIS 推估計算年平均損失期望值

為了解各區域在不同降雨條件下所產生的損失，進行了下列步驟，首先先將NCDR所提供之淹水潛勢圖與行政圖進行疊合，計算各淹水深度之面積，接著將各區域的人口數、面積資

料、平均每人損失讀入所屬區塊中，最後利用不同重現期所發生的機率即可計算出平均年損失。

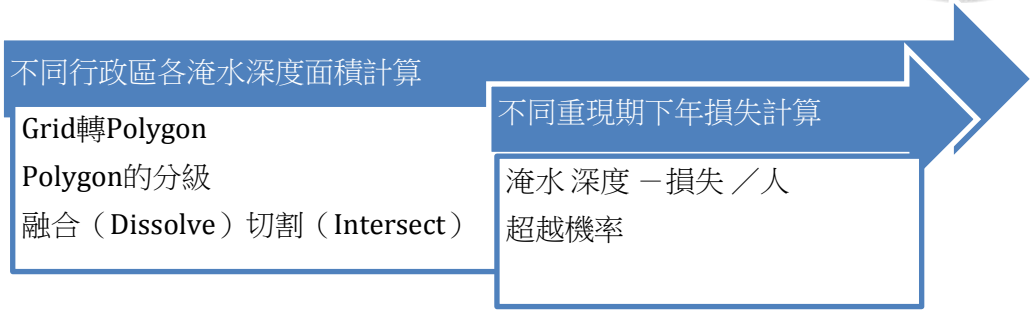


圖 3.8 年平均損失期望值計算流程

3.3.1 不同行政區各淹水深度面積計算

NCDR淹水潛勢圖資如下（以200年回歸期24小時降雨延時模擬結果展示），淹水資料格式可應用於Arc GIS的Grid網格式資料，網格大小為40公尺×40公尺而新北市行政區資料格式為polyline的向量式資料。進行淹水潛勢圖數據套疊的操作前先要進行資料格式的轉換，在此選擇將網格式資料轉換成向量式polygon資料，說明如下。

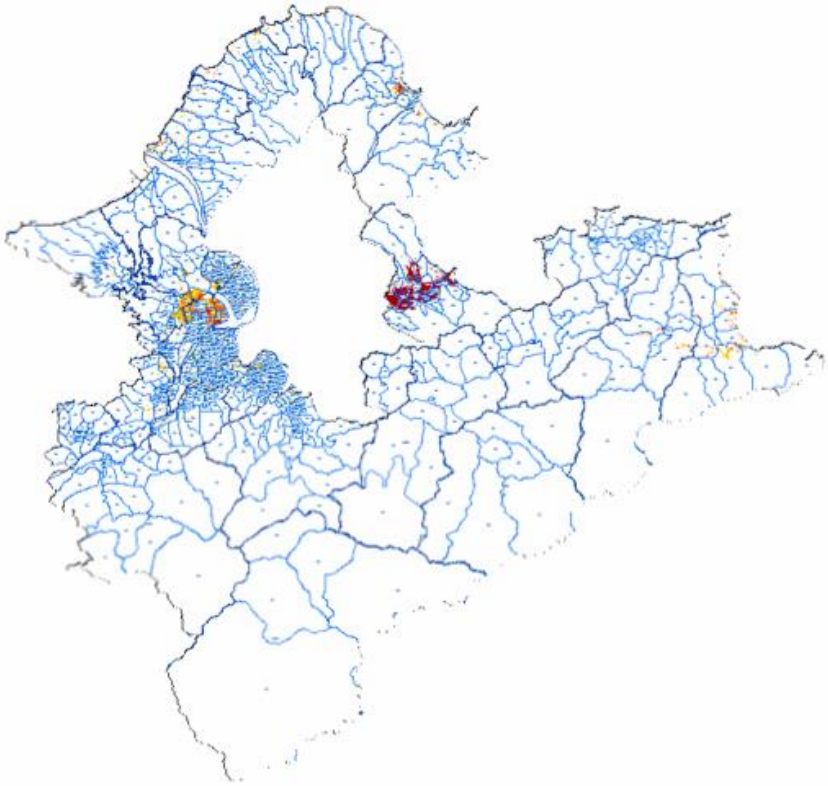


圖 3. 9 新北市淹水潛勢圖

由於Grid網格式的淹水潛勢圖資料直接轉換成Polygon會因為淹水深度數據的關係是浮點型格柵，無法直接轉換成向量格式。首先將浮點型格柵轉換成整數形式。

NCDR所提供的淹水資料為Grid網格格式，每個網格有一淹水深度屬性資料，其資料格式為浮點數，無法轉換成Polygon，故先將屬性資料進行取小數點至第三位並將格式轉換的步驟。以下介紹 Int 工具，該工具可以通過Int將柵格的每個網格的原值從小數形式轉換為整數形式。用法如圖3.10：

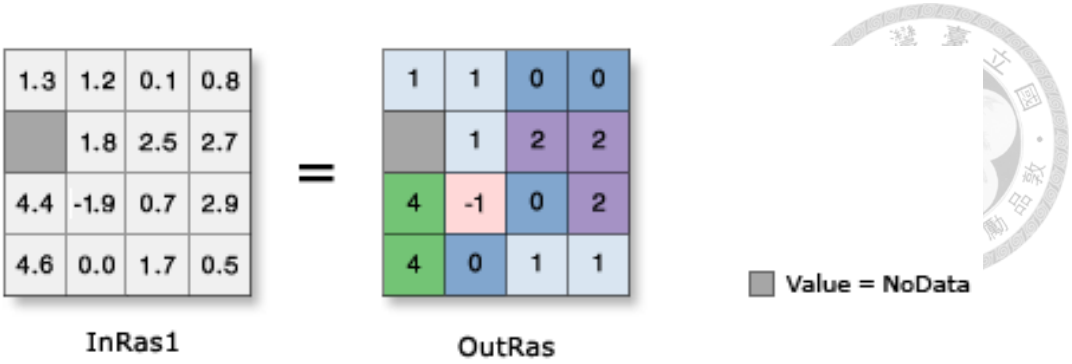


圖 3. 10　Int 工具運算圖

為了減少Int工具截斷後對淹水深度數據造成的誤差，使用此工具之前使用Times工具，Times工具可以將隔柵的值逐個相乘，所以在此使用Times工具將隔柵乘以1000之後再對其進行轉整型操作。

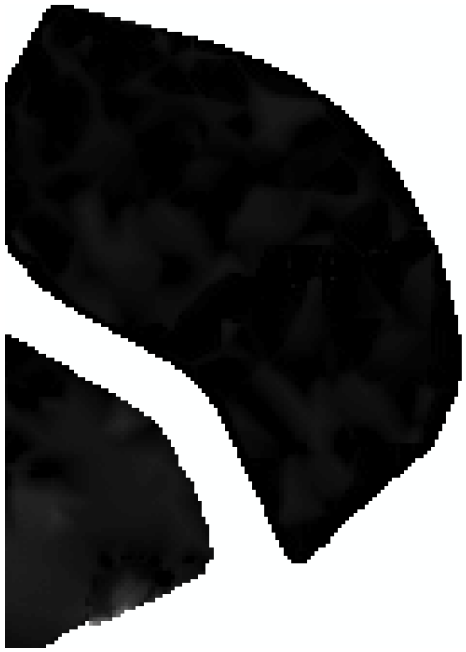


圖 3. 11 淹水圖 Grid 檔

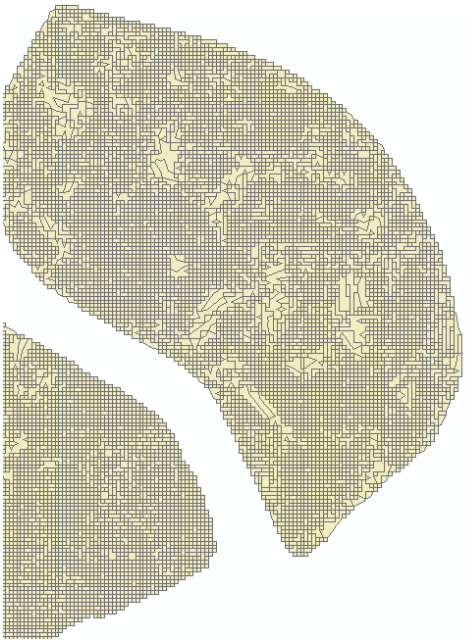


圖 3. 12 淹水圖 Polygon 檔

接下來將網格式資料（Raster）轉換為向量式資料（Polygon）如圖3.11。在此應用的是Conversion Tools－From Raster－Raster to Polygon工具，輸出圖3.12。開啟Attribute Table，名為“GRIDCODE”的域即是淹水深度數據。在轉化為向圖之前進行了Times工具操作將其乘1000，所以需要在Attribute Table內將其還原，新增一個名為“d”的Field，Field格式選擇小數格式的text，對該Field進行縮小1000倍的運算，如圖3.13。運算成功之後得到的d欄數據即為淹水潛勢圖資內原始的淹水深度四捨五入至小數點後第三位之資料，如圖3.14。

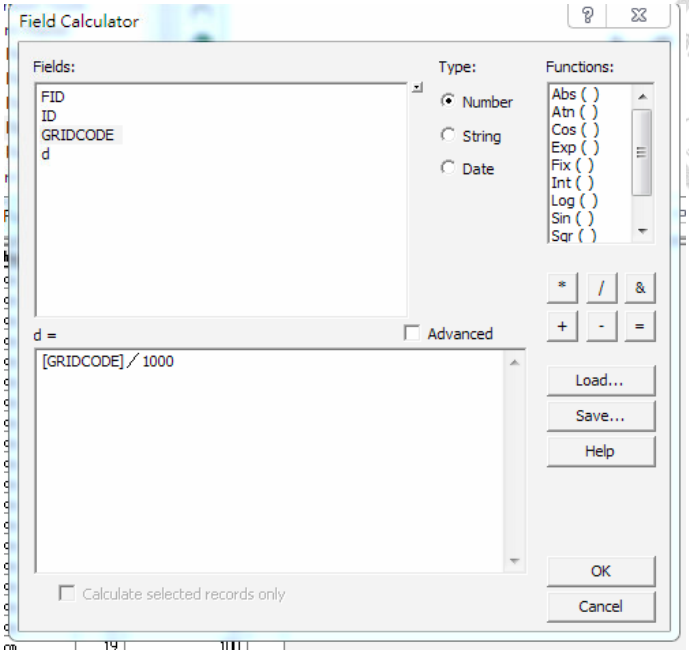


圖 3. 13 縮小 1000 倍過程

Attributes of RasterT_Int_Ti43

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	d
0	Polygon	1	30	0.03
1	Polygon	2	50	0.05
2	Polygon	3	40	0.04
3	Polygon	4	0	0
4	Polygon	5	1800	1.8
5	Polygon	6	100	0.1
6	Polygon	7	220	0.22
7	Polygon	8	0	0
8	Polygon	9	30	0.03
9	Polygon	10	0	0
10	Polygon	11	1530	1.53
11	Polygon	12	100	0.1
12	Polygon	13	220	0.22
13	Polygon	14	100	0.1
14	Polygon	15	170	0.17
15	Polygon	16	160	0.16
16	Polygon	17	100	0.1
17	Polygon	18	90	0.09
18	Polygon	19	100	0.1
19	Polygon	20	560	0.56
20	Polygon	21	510	0.51
21	Polygon	22	360	0.36

Record: 0 Show: All Selected Records (0 ou

圖 3. 14 淹水深度運算結果

最後將得到的淹水深度進行分級。分級標準如下表3.3。

表 3. 3 淹水深度分級表

淹水深度(m)	0	0-0.3	0.3-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0
Type	1	2	3	4	5	6

Add Field，命名為“type”，類型選擇text，并為該field添加高級運算：

運算之後繼續添加Field命名為“classified”，類型同上，為該field添加高級運算：

完成對淹水深度d的分級，如圖3.15。

Attributes of RasterT_Int_Ti43

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	d	type	classified
0	Polygon	1	30	0.03	1	0~0.3
1	Polygon	2	50	0.05	1	0~0.3
2	Polygon	3	40	0.04	1	0~0.3
3	Polygon	4	0	0	0	0
4	Polygon	5	1800	1.8	4	1.0~2.0
5	Polygon	6	100	0.1	1	0~0.3
6	Polygon	7	220	0.22	1	0~0.3
7	Polygon	8	0	0	0	0
8	Polygon	9	30	0.03	1	0~0.3
9	Polygon	10	0	0	0	0
10	Polygon	11	1530	1.53	4	1.0~2.0
11	Polygon	12	100	0.1	1	0~0.3
12	Polygon	13	220	0.22	1	0~0.3
13	Polygon	14	100	0.1	1	0~0.3
14	Polygon	15	170	0.17	1	0~0.3
15	Polygon	16	160	0.16	1	0~0.3
16	Polygon	17	100	0.1	1	0~0.3
17	Polygon	18	90	0.09	1	0~0.3
18	Polygon	19	100	0.1	1	0~0.3
19	Polygon	20	560	0.56	3	0.5~1.0
20	Polygon	21	510	0.51	3	0.5~1.0
21	Polygon	22	360	0.36	2	0.3~0.5

Record: 2 Show: All Selected Records (0 out of 94143 Selected)

圖 3. 15 淹水深度分級結果

如圖3.15所示，將d進行分級後，所有的id都處於留個分級之內，用這六個分級來劃分整

個新北市的淹水區域，並對上面的圖層用Disslove工具進行融合。Disslove工具可以將多個要素，通過指定的屬性（要求屬性值相同）融合成一個要素，同時將沒有屬性資料的區域刪除。在這裡指定屬性表中的“type”和“classified”將同樣區間的屬性資料進行融合，得到屬性表為圖3.17的圖層。

Dissolve工具的應用圖解：

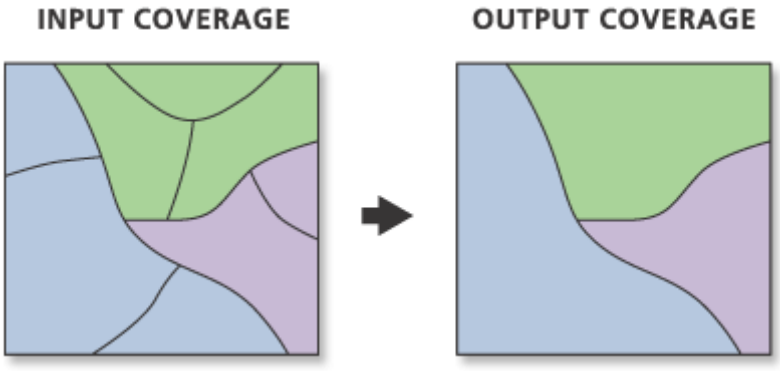


圖 3. 16 Dissolve 工具圖解

Attributes of rastert_int_ti43_Dissolve

FID	Shape *	type	classified
0	Polygon	0	0
1	Polygon	1	0~0.3
2	Polygon	2	0.3~0.5
3	Polygon	3	0.5~1.0
4	Polygon	4	1.0~2.0
5	Polygon	5	2.0~3.0
6	Polygon	6	3.0~

圖 3. 17 相同分級 Dissolve 結果

接下來進行淹水深度圖三重區行政圖（具體到鄰里）的套疊分析。在此應用Arc GIS中Analysis Toolbox中眾多套疊方式中的Intersect工具，該工具是將兩Polygon進行疊合，保留交集

與交集部分的邊界，並且可以將屬性表中的字段全部輸出到新的圖層中。

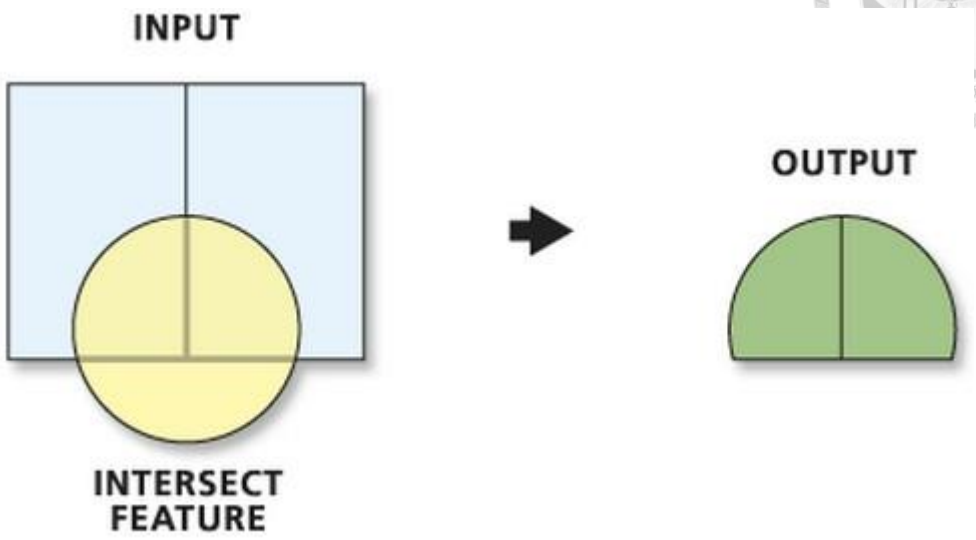


圖 3. 18　Intersect 工具運算圖解

先通過點選 Attribute Table 選新北縣三重區導出為新的三重區行政圖（圖 3.19），應用此方法，可得到三重區行政圖與前面得到的淹水分級融合後的 polygon 切割（Intersect）的圖 3.19 中最後一圖。

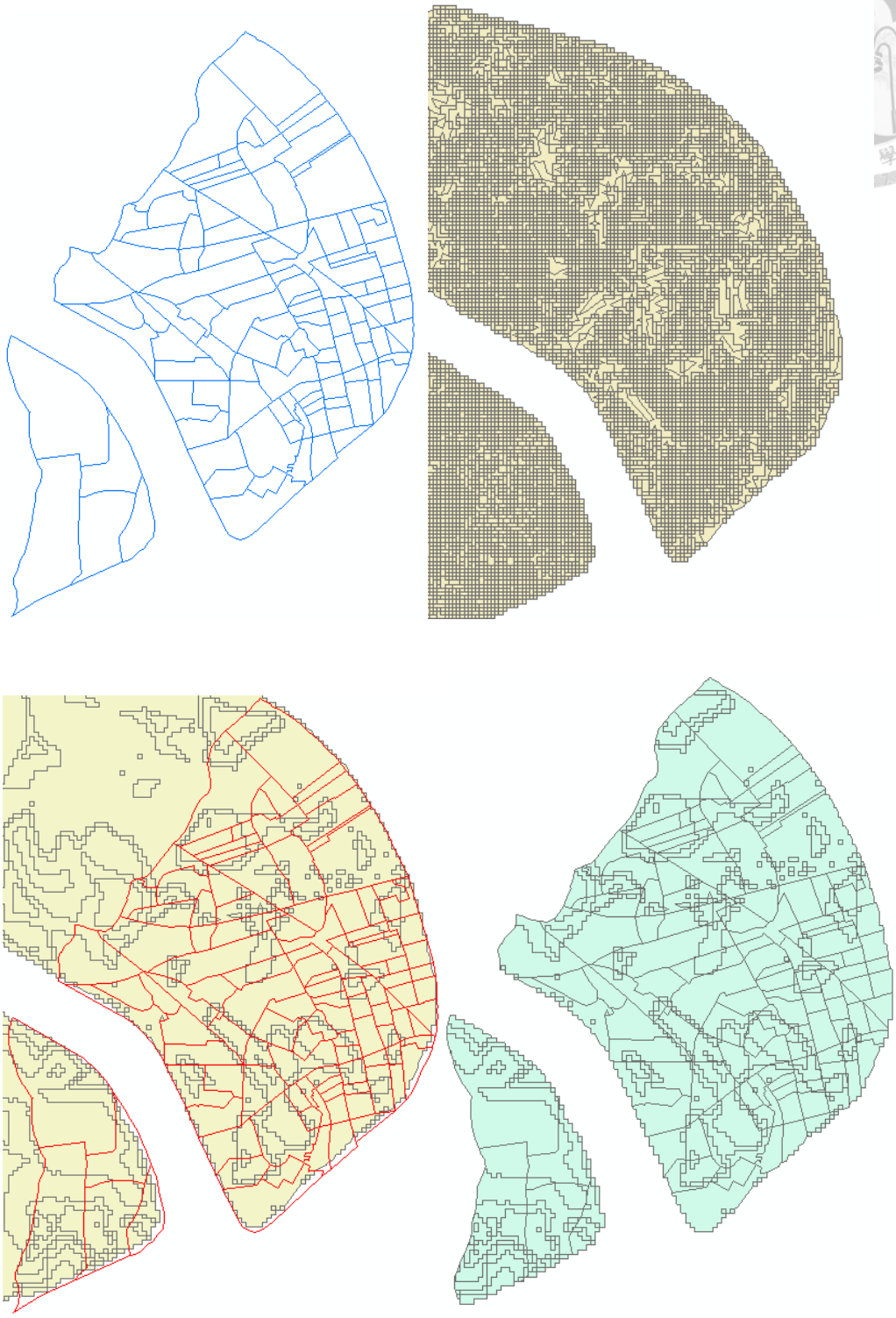


圖 3. 19 三重區運算過程

在淹水潛勢地圖中，新北市鄉鎮鄰里圖層有各個鄉鎮鄰里面積和人口數的屬性資料如圖3.20，將前述切出的三重區鄉鎮鄰里行政圖和屬性圖為的圖層作為Input features，進行Intersect工具操作的時候需要保留所有屬性表中的字段，點選“All”輸出圖檔屬性圖如圖3.20

FID	Shape *	FID_三重5	AREA	NAME	NAME_1	POP	FID_raster	type	classified
0	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	0	0	0
1	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	1	1	0~0.3
2	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	2	2	0.3~0.5
3	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	3	3	0.5~1.0
4	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	4	4	1.0~2.0
5	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	5	5	2.0~3.0
6	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	0	0	0
7	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	1	1	0~0.3
8	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	2	2	0.3~0.5
9	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	3	3	0.5~1.0
10	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	4	4	1.0~2.0
11	Polygon	2	253638.6	台灣省台北縣三重市	成功里	3322	0	0	0
12	Polygon	2	253638.6	台灣省台北縣三重市	成功里	3322	1	1	0~0.3
13	Polygon	2	253638.6	台灣省台北縣三重市	成功里	3322	2	2	0.3~0.5
14	Polygon	3	60855.38	台灣省台北縣三重市	福民里	3635	1	1	0~0.3
15	Polygon	3	60855.38	台灣省台北縣三重市	福民里	3635	2	2	0.3~0.5
16	Polygon	3	60855.38	台灣省台北縣三重市	福民里	3635	3	3	0.5~1.0
17	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	1	1	0~0.3
18	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	2	2	0.3~0.5
19	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	3	3	0.5~1.0
20	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	4	4	1.0~2.0

圖 3. 20 三重區行政圖與淹水圖 Intersect 之屬性表

現在已經將三重區按照淹水得深度進行切割，接下來就可以計算每一分區的淹水面積。在圖3.20打開的Attribute Table裡面新添加一個Field命名為“area_12”，類型選擇為text，為新建的Field添加面積Calculate Geometry，等結果運算完畢就可以知道三重區每個鄉鎮鄰里處於各個淹水深度範圍內的面積多少。

FID	Shape *	FID_三重5	AREA	NAME	NAME_1	POP	FID_raster	type	classified	area_12
0	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	0	0	0	6682.61086070714
1	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	1	1	0~0.3	82985.2860125782
2	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	2	2	0.3~0.5	39259.0809222222
3	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	3	3	0.5~1.0	133013.864899736
4	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	4	4	1.0~2.0	65159.3404599788
5	Polygon	0	353978.2	台灣省台北縣三重市	五谷里	2805	5	5	2.0~3.0	6283.13306080172
6	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	0	0	0	2917.38963929286
7	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	1	1	0~0.3	18974.9535480651
8	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	2	2	0.3~0.5	22338.7492038502
9	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	3	3	0.5~1.0	56936.0141868052
10	Polygon	1	153946.3	台灣省台北縣三重市	德厚里	576	4	4	1.0~2.0	2544.99250836248
11	Polygon	2	253638.6	台灣省台北縣三重市	成功里	3322	0	0	0	6400
12	Polygon	2	253638.6	台灣省台北縣三重市	成功里	3322	1	1	0~0.3	194549.691635772
13	Polygon	2	253638.6	台灣省台北縣三重市	成功里	3322	2	2	0.3~0.5	134.25090852245
14	Polygon	3	60855.38	台灣省台北縣三重市	福民里	3635	1	1	0~0.3	47740.0068295876
15	Polygon	3	60855.38	台灣省台北縣三重市	福民里	3635	2	2	0.3~0.5	8578.84229959274
16	Polygon	3	60855.38	台灣省台北縣三重市	福民里	3635	3	3	0.5~1.0	4562.79991578537
17	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	1	1	0~0.3	36181.8791283075
18	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	2	2	0.3~0.5	12453.7689179171
19	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	3	3	0.5~1.0	53472.9812025755
20	Polygon	4	109473.4	台灣省台北縣三重市	福德里	3317	4	4	1.0~2.0	4800.55401300201
21	Polygon	5	672538.2	台灣省台北縣三重市	中興里	3729	0	0	0	4800
22	Polygon	5	672538.2	台灣省台北縣三重市	中興里	3729	1	1	0~0.3	90170.8058006439
23	Polygon	5	672538.2	台灣省台北縣三重市	中興里	3729	2	2	0.3~0.5	98513.7519329877
24	Polygon	5	672538.2	台灣省台北縣三重市	中興里	3729	3	3	0.5~1.0	166285.250613748
25	Polygon	5	672538.2	台灣省台北縣三重市	中興里	3729	4	4	1.0~2.0	172632.247699698
26	Polygon	5	672538.2	台灣省台北縣三重市	中興里	3729	5	5	2.0~3.0	62518.990786538

圖 3. 21 三重區各里淹水面積

3.3.2 不同重現期下年損失計算

相較於淹水深度之推估，之前在淹水損失的函數方面的資料並無一致性、蒐集整理過去經濟部水利署相關損失計算資料如下：

(1)經濟部水利署（2007~2009）「防洪工程經濟效益評估之檢討修正」

其計畫將防洪效益分為財產效益、產業效益、生態與環境效益、遊憩效益、文化古蹟效益、寧適效益、生命效益、健康效益、社會安全（共九項），並分項做了評估與研究。此計畫將財產效益與產業效益定義為防洪直接效益。

第一年計畫將過往資料做整理，對於各項目之相關參考值，於第二年第三年計畫，分別對市鎮（老街溪）、鄉村（苑裡溪）做了問卷調查並做了災損損失與淹水深度之關係，其防洪直接效益參考值參考值與函數如表3.3所示。

(2)經濟部水利署（2008）「水患治理之經濟效益評估」

分防洪效益與投入產出關聯效果兩部份。年防洪效益又分為損失和增加的房價兩部份，利用災損函數與特徵價格法來評估經濟效益，災損減少中又分家計、工業、商業、農漁部門。又依據95、96年資料運用投入產出模型，算出了這兩年的產業關聯乘數分別為2.18和2.20，其附加價值間接效果乘數這兩年皆為0.77。

(3)國家災害防治中心（2008）「整體性減災計畫之研擬」

問卷調查的對象以台灣北部地區（台北、基隆）及中部地區（台中、嘉義、雲林）五個縣市為主，有效樣本為367份（北部地區198份，中部地區169），在95%的信賴水準下，抽樣誤差為5.1%。其中由於此研究所討論的示範區是位於中部地區，因此在平均損失值的計算只取中部地區的樣本。

利用此調查資料，分項估算各類資本之損失值。由於不同淹水深度可能造成的損失不同，為能更詳細的估算，此研究依據家戶淹水深度的分佈，大致分成幾個等級來調查，如表3.4。

表 3. 4 淹水深度與災損金額對照表

淹水深度（公尺）	0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~1	1~1.25	1.25~1.5
損失金額（萬元）	4,501	24,003	37,302	53,458	85,024	89,408

(4)經濟部水利署（2001）「基隆河汐止、五堵地區洪災保險制度建立可行性研究」

以基隆河汐止、五堵地區為標的，採實地訪問方式，調查汐止、五堵地區以往洪災淹水地區居民之損失狀況，並分析淹水居民參加洪災保險的意願、願付之保費費率等相關問題將

淹水深度與損失的金額做回歸分析，其結果如下：

財產： W = 14.579+ 0.0248 d

產業： W= -9.0623+0.309d

W災損金額（萬元），d為淹水深度單位為公分

(5)經濟部水利署（2003）「水災損失評估系統模式之建立」

對民國九十年颱風、豪雨造成之災害損失調查，調整驗證模式參數以實用化，

W= 3 d^0.47

W為災損金額單位為萬元／人，d為淹水深度單位為公分

綜合上述洪災損失效益研究，直接效益又分財產（一般住家）與產業（工業），將各災損函數整理，並換成相同單位，繪製成災損函數圖，如圖3.22。

過往之文獻對洪水損失的研究總結，將計算方法整理成下表3.5。

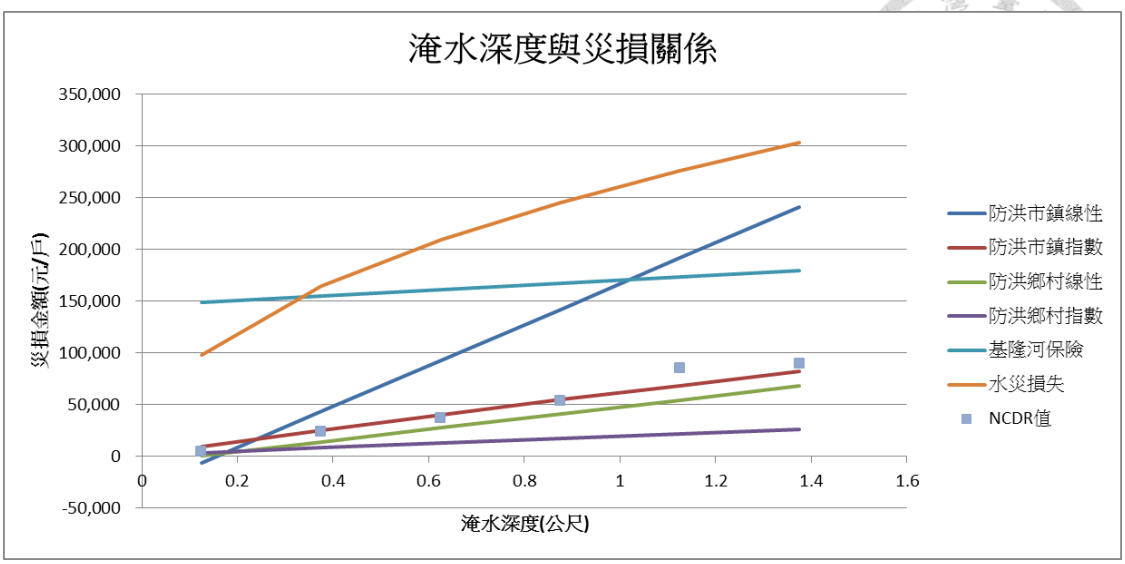


圖 3. 22 淹水深度與災害損失

(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，水資源規劃經濟效益分析與評估，2013 年 12 月)

表 3.5 淹水損失參考值

		評估方式	調查地點	參考值或函數	單位	資料來源
直接效益	財產	願付金額	都會（基隆河）	953	元／人	鄭蕙燕(2009)
		線性	市鎮（老街溪）	W = -30，746 + 197，554 d	W（元／人）、d（公尺）	
		指數		W= 61，665 d ^ 0.9004	W（元／人）、d（公尺）	
		願付金額		462	元／人	
		線性	鄉村（苑裡溪）	W= -6134 + 53，806 d	W（元／人）、d（公尺）	
		指數		W=19，739 d^ 0.8693	W（元／人）、d（公尺）	
		願付金額		664	元／人	
		淹水深度與災損關係調查	基隆河汐止、五堵地區	W = 14.579+ 0.0248 d	W（萬元／人）、d（公分）	張靜貞(2001)
			台北市、新北市、基隆地區	W= 3 d^0.47	W（萬元／人）、d（公分）	王如意(2003)
			台中、嘉義、雲林	請參考表 3.4		
	產業	願付金額	都會（基隆河）	341,365	元／家	鄭蕙燕(2009)
		線性	市鎮（老街溪）	W=-586,369+2,076,866d	W（元／人）、d（公尺）	
		指數		W=98.351d^0.7774	W（元／人）、d（公尺）	
		願付金額		467,347	元／家	
		線性	鄉村（苑裡溪）	W=11,402+10,824d	W（元／人）、d（公尺）	
		指數		W=14,541d^0.5436	W（元／人）、d（公尺）	
		願付金額		16,986	元／家	
		淹水深度與災損關係調查	基隆河汐止、五堵地區	W=-9.0623+0.309d	W（萬元／人）、d（公分）	張靜貞(2001)

註：W 為災損金額，d 為淹水深度。

上述資料中以經濟部水利署(2003)「水災損失評估系統模式之建立」最適用於三重地區，其計畫對民國九十年颱風、豪雨造成之災害損失調查，調整驗證模式參數以實用化，淹水深度與災損關係調查，適用于台北市、新北市、基隆地區的淹水深度與災害損失關係如下：

$$W = 3d\text{^}0.47$$

W為台北市、新北市、基隆地區人均損失錢數（萬元／人），d表示淹水深度（公尺）。將24h，48h降雨延時下不同回歸週期（1.1年，2年，5年，10年，20年，25年，50年，100年，200年，500年）分別重複3.2.1– 3.2.2過程，即可得知新北市三重區在24小時與48小時的降雨延時下，不同降雨強度下的各個鄰里淹水深度面積area_12。

對於洪災而言，超越機率(Exceedance Probability， EP)，是指一段時間內（通常是一年）發生大於某一規模的所有可能洪災時間的機率，如圖3.23，即當洪災規模為0（最小）的時候，超越機率為1，隨著洪災發生規模的提高，超越機率隨之下降。

以發生200年重現期之年的淹水損失為例，將各深度下之淹水損失加總即為所求；另外將發生200年重現期距洪水之年的淹水損失值乘上發生機率即為發生200年重現期距洪水之年的淹水損失值，計算式如下。

$$200\text{年重現期下淹水損失值} = \sum_{\text{不同淹水深度}} \text{不同淹水深度下的淹水損失值}$$

200年重現期之年的淹水損失期望值 = 發生200年重現期距洪水之淹水損失 × 發生機率

現在已知三重區各個鄉鎮鄰里處於不同淹水深度的面積area_12，鄰里面積area以及鄰里人口數POP，那麼不同回歸期的淹水總損失W總：

$$W總=\sum 3d\text{^}0.47\times POP\times\frac{area}{area_12}\times EP$$

因回歸週期代表的是一年中發生超過某降雨強度的降雨的概率，在疊加的時需注意將重複的損失部分去掉，比如T＝100年時候某一鄰里的的損失為：

$$W=3d^{0.47}\times POP\times\frac{area}{area_12}\times(\frac{1}{100}-\frac{1}{200})$$

計算的總損失就是將三重區所有淹水鄰里的不同重現期降雨造成的淹水總損失進行累加。

$$\mathrm{w}=\sum_{不同回歸期}3\mathrm{d}^{0.47}\times POP\times\frac{area}{area_12}\times(\frac{1}{T_{i+1}}-\frac{1}{T_i})$$

即，當回歸期分別為500年，200年，100年，50年，25年，20年，10年，5年，2年，1.1年時：

$$W=3d^{0.47}\times POP\times\frac{area}{area_12}\times\frac{1}{500}+3d^{0.47}\times POP\times\frac{area}{area_{12}}\times\left(\frac{1}{200}-\frac{1}{100}\right)+3\mathrm{d}^{0.47}\times POP$$
$$\times\frac{area}{area_12}\times\left(\frac{1}{100}-\frac{1}{50}\right)+3d^{0.47}\times POP\times\frac{area}{area_12}\times\left(\frac{1}{25}-\frac{1}{20}\right)+3d^{0.47}$$
$$\times POP\times\frac{area}{area_12}\times\left(\frac{1}{20}-\frac{1}{10}\right)+3d^{0.47}\times POP\times\frac{area}{area_12}\times\left(\frac{1}{10}-\frac{1}{5}\right)+3d^{0.47}$$
$$\times POP\times\frac{area}{area_12}\times\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{2}\right)+3d^{0.47}\times POP\times\frac{area}{area_12}\times\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{1.1}\right)$$

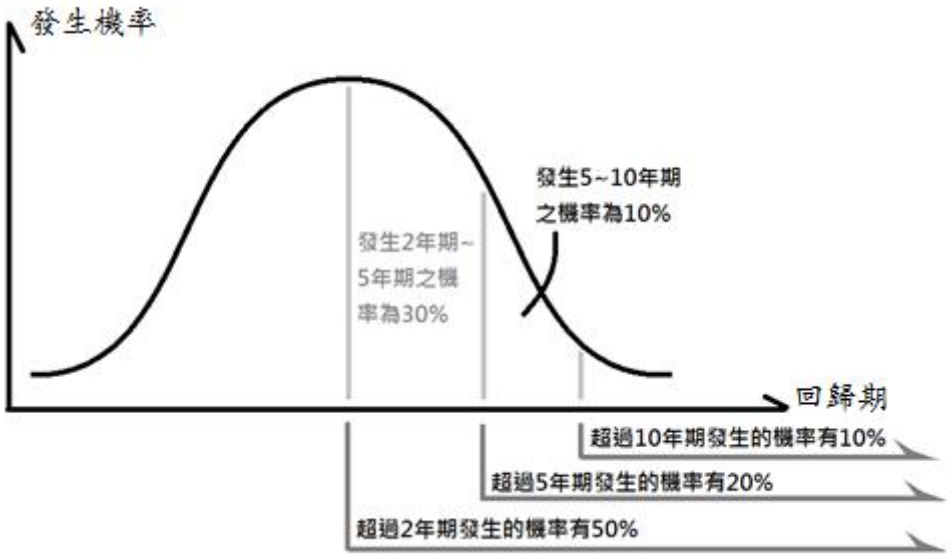


圖 3. 23 不同重現期距下之水災發生機率

利用前述方法將 GIS 的數值輸出 EXCEL，通過計算即可獲得三重區各個回歸期的淹水損失期望值。

第四章 研究結果

4.1 三重區地理環境和災害環境背景

4.1.1 三重區地理環境

三重區隸屬新北市市轄區，昔稱三重埔，埔即平原之意。台灣早些時期閩粵移民從新莊登陸往北拓墾，第一個平原稱為「頭重埔」,「三重埔」就是第三個平原的意思。「頭重埔」後來稱為「頭前」,位於新莊區境內；在三重與新莊交界處的「二重埔」則屬三重區境，現在簡稱為「二重」。三重區位於淡水河的下半段，並且因為地處凸岸，受到河水沖蝕的機會較小，泥沙沉澱淤積久而久之形成了沙埔，其中二重埔、三重埔都是類似方式淤積而成的沙埔地。三重區位處台北盆地的幾何中心，位於淡水河西岸，全區呈菱形平原地勢，東北西南走向，由圖 4.1 得知，區內地勢平坦，最高處僅 10 至 12 公尺，大漢溪由南至北繞經此區東南緣，與東來的新店溪會合注入淡水河，西北與蘆洲區、五股區相接，西邊與新莊區比鄰而居，南與板橋區隔大漢溪相望，東與台北市士林區、大同區、萬華區隔淡水河相鄰，因為地理位置之故，交通十分便利。

三重區屬副熱帶氣候，冬季受大陸冷高壓影響，冷而多細雨；夏季則西南氣流旺盛，炎熱而多陣雨。由台北測站歷年紀錄顯示，此區年平均溫度約為攝氏 23 度，冬季的平均溫度約為攝氏 18 度；夏季的平均溫度約為攝氏 29 度，氣溫年差（最冷月與最暖月相差）11 度左右。夏季盛行西南風，且台北市整體位於盆地的原因，會使該區夏季多對流性雷雨；颱風期間則常降豪雨，非常同意導致水災；冬季盛行東北季風，此區因位於台北盆地底部受地形屏障，雨量較少。以台北測站得歷年監測結果顯示，三重區每年平均降雨量約為 354cm，其中 8、9 月時降雨量為最多，主要是因為 8、9 月颱風季節來襲同時帶來豐沛的雨水、12 月時雨量最少，

平均雨量 69.6cm，僅佔全年的 3%，主要原因是此時颱風季已過，又進入冬季，只有當冷鋒南下時才會有一些降雨，如圖 4.2。

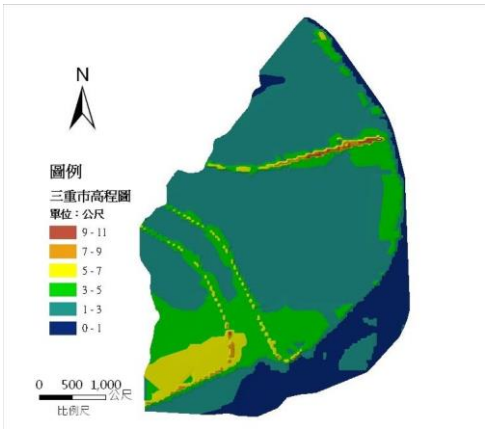


圖 4. 1 三重區高程圖（100 年度更新）

資料來源：三重區地區災害防救計劃，2011 年 9 月

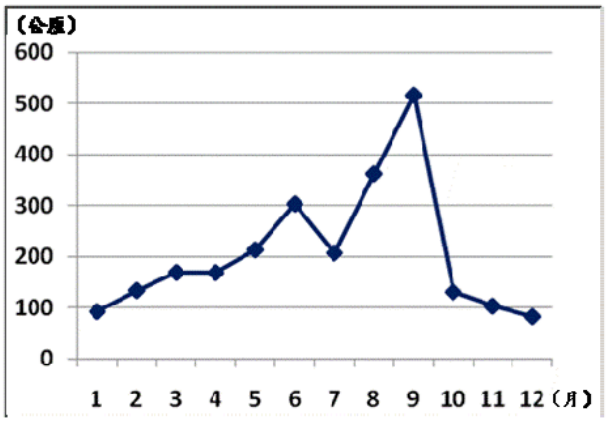


圖 4. 2 三重區 2000 年至 2008 年月平均雨量曲線圖（100 年度更新）

資料來源：三重區地區災害防救計劃，2011 年 9 月

三重區目前計有 119 個里，14 萬餘戶，人口 38 萬多人，面積 16.3170 平方公里，由於地狹人稠，本區人口密度相當高，每平方公里近 2.4 萬人。

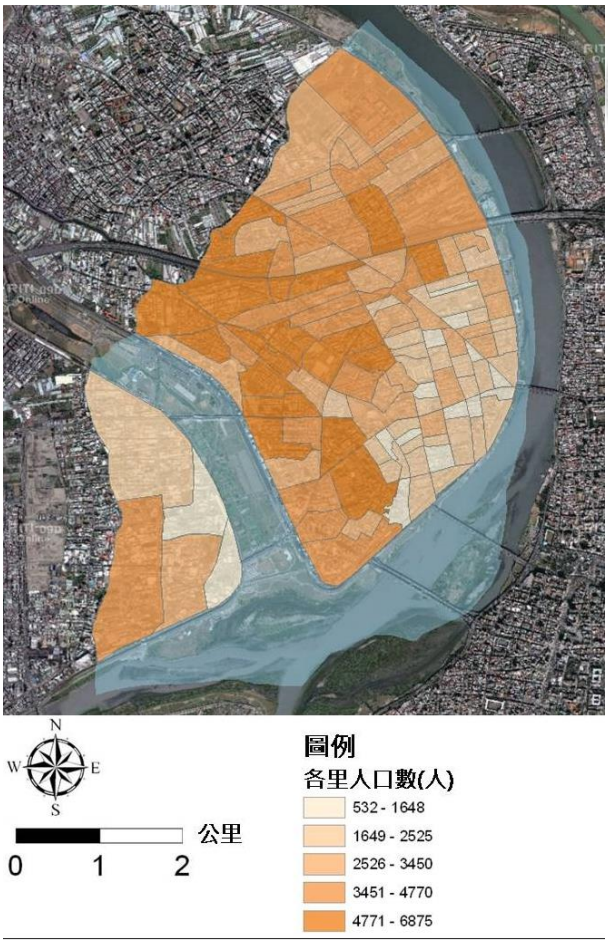


圖 4.3 三重區各里人口密度圖（100 年度更新）

（資料來源：三重區地區災害防救計畫，2011 年 9 月）

三重區人口密度高，但公共設施的開闢率卻偏低，主要原因是因為二重疏洪道、洪水平原管制區、中山高速公路及二省道高架橋等重大公共設施都會從三重地區橫切而過，使得區內都市發展用地面積有限。三重的住宅區佔都市用地面積比例約為42.7%，大多集中於區東側；頂崁工業區則位在本區西南側，以製造業為主而且鄰近新莊區，人口密度較小。

4.1.2 三重區的歷史災害背景

(一)納莉颱風

納莉颱風 2001 年 9 月中旬侵襲本島，由於颱風停留時間過久以及其特殊路徑導致整個臺灣地區降下豐沛雨量，同時也造成了北臺灣嚴重水災，多處地方單日降雨量皆刷新歷史紀錄。臺北市捷運及臺鐵臺北車站淹水，部分山線、海線及花東線中斷；多處地區引發土石流災害；近 165 萬戶停電；逾 175 萬戶停水。共有 9 人死亡，10 人失蹤。全台灣 408 所學校遭到重創，損失近 8 億元；工商部分損失超 40 億元；農林漁牧損失約 42 億元，此次颱風也導致發生嚴重水患，二重疏洪道內防汛道路遭水淹沒兩天無法通行，市區許多交通號誌故障、部分路段積水、街道垃圾也堆積如山，淹水的區域包括如下：

1.中興南街底堤防邊路面淹水 2.重新路五段 609 巷口路面淹水 3.二重疏洪道內淹水 4.光復路底(堤防邊)淹水 5.自強路三段高速公路橋下淹水 6.三和路四段附近淹水 7.正義南路環河道路積水

除了前述淹水地區，其餘不少道路路面淹水約 20 至 35 公分，二重疏洪道因淹水而無法通行，本區多棟高層大樓之地下室或地下停車場積水。由於中興里及頂崁里地勢低窪，所以淹水災情最為嚴重。

(二)艾利颱風

2004 年 8 月 24 日艾利颱風襲擊台灣本島，造成淡水河流域強烈降雨，造成北臺灣降雨量高達 600~1,300 毫米，三重地區降雨量三天累計達 274 毫米； 25 日凌晨 1:10 左右，由於颱風過境期間挾帶大量豪雨侵襲北臺灣，迫使翡翠與石門兩座水庫為維護水庫安全，依水庫運用規定同時實施洩洪，同安抽水站捷運工程施工範圍排水箱涵處，由於臨時封水牆傾倒，發生大量外水(堤防外之淡水河水流)經由此處倒灌入三重區之狀況，經濟部水利署淡水河流域防

洪指揮中心接獲同安抽水站人員報告後，凌晨 1:35 即通知臺北市政府捷運工程局、臺北市政府及新北市政府等單位，儘速派員處理。8 月 25 日下午 13:00 左右完成初步封堵，使三重區積水逐漸消退，並於 8 月 25 日下午 15:15 完成封堵出水處，惟已造成三重區同安路、中正南路、重新路、正義南路、環河路、三和路等一帶嚴重淹水，淹水區域東自臺北橋下，西至三重大同南、北路，北起三和路 3 段，南至環河南路，積水深度於重新路以南平均約 1 公尺，重新路以北平均約 0.5 公尺深，依據公所統計造成三重區淹水總面積約 150 公頃、58 個里(約 15,000 戶)、8 所學校及 420 處地下室受影響。(資料來源：三重區地區災害防救計劃，2011 年 9 月)

4.2 結合模擬淹水深度資料之三重區淹水損失結果

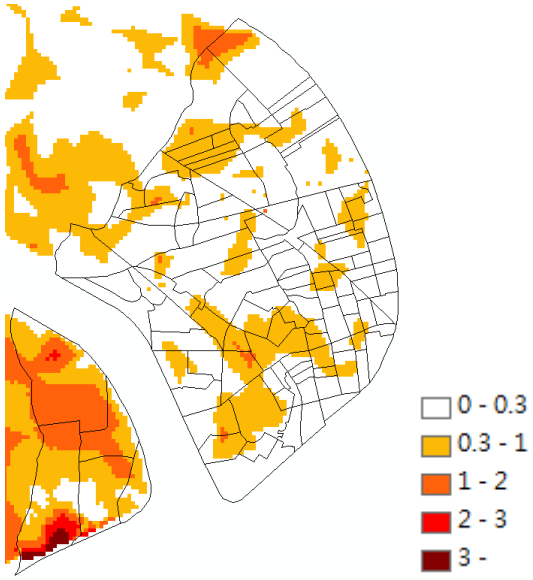
如第三章的所述,計算出三重區各個鄰里在 24 小時和 48 小時降雨延時下造成的的淹水損失，並將數據歸納總結如表 4.1

表 4. 1 三重區不同降雨延時下淹水損失(萬元／年)

區域名稱	降雨延時		區域名稱	降雨延時		區域名稱	降雨延時	
	48h	24h		48h	24h		48h	24h
三重區	28,083.11	53,946.92	永興里	19.3	33.84	頂崁里	167.77	374.45
二重里	0	0	永豐里	400.05	695.5	博愛里	0	0
三民里	730.37	1,212.73	田中里	74.72	245.35	富華里	0	0
三安里	543.9	1,084.10	田心里	0	5.45	富貴里	374	799.23
大同里	6.52	46.09	田安里	131.27	238.28	富福里	0.26	1.04
大安里	0	0	光正里	0	0	菜寮里	6.48	26.81
大有里	84.66	186.4	光田里	24.16	46.19	開元里	0	0
大園里	1,008.30	1,742.66	光明里	572.54	1,198.69	順德里	538.71	696.51
大德里	0	0	光華里	100.73	1,472.22	慈化里	30.61	104.17
中山里	744.23	1,287.28	光陽里	482.72	2,455.16	慈生里	1,682.99	2,701.95
中央里	10.78	40.76	光榮里	3.83	7.56	慈祐里	362.6	647.32

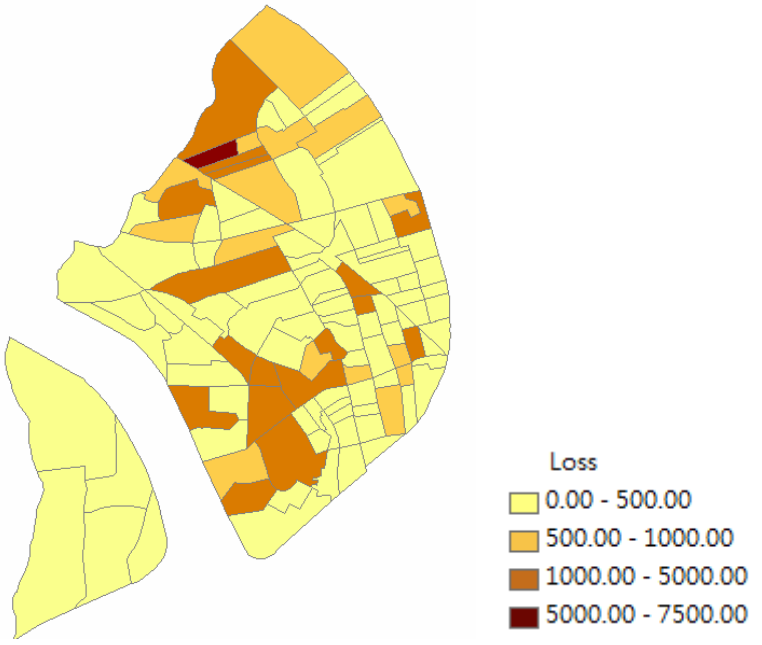
中正里	0	0	光輝里	165	582.92	慈惠里	574.05	914.68
中民里	0	0	吉利里	0	0	慈愛里	4,090.49	7,342.57
中興里	40.32	356.96	同安里	0	0	慈福里	1,148.30	1,665.11
五谷里	8.14	154.36	同慶里	0	0	溪美里	158.14	198.91
五常里	252.93	444.29	安慶里	0	0	瑞德里	163.07	277.93
五華里	3.78	12.27	成功里	0	0.09	萬壽里	0	0
五福里	417.3	809.75	自強里	17.98	32.67	過田里	1,274.68	2,216.49
仁忠里	0	0	秀江里	36.28	89.42	碧華里	1,033.29	1,985.91
仁義里	0.05	3.32	谷王里	26.43	167.17	福民里	20.8	79.33
仁德里	40.63	231.67	尚德里	0	0	福田里	0	0
介壽里	47.53	116.64	幸福里	9.77	36.04	福安里	0	0
六合里	220.93	396.48	忠孝里	3.71	126.05	福利里	0	0.81
六福里	33.7	93.78	承德里	825.65	1,469.44	福星里	454.33	782.44
文化里	0	0	長元里	0	0	福祉里	518.91	950.13
平和里	0	0	長生里	0	0	福隆里	322.28	642.21
正安里	19.9	50.72	長安里	221.29	362.56	福德里	574.95	1,071.47
正義里	1.43	7.86	長江里	0	0	維德里	71.38	150.33
正德里	146.47	247.58	長泰里	4.52	7.8	德厚里	0	19.75
民生里	0	6.04	長福里	0	0	錦田里	1,358.77	2,190.81
永吉里	23.34	52.1	信安里	0	0	錦安里	0	0
永安里	3.79	5.69	厚德里	191.15	291.99	錦江里	0	0
永春里	12.16	60.87	奕壽里	99.65	169.11	錦通里	497.64	854.13
永清里	506.49	810.17	重明里	0.84	6.84	龍門里	36.84	63.88
永盛里	77.08	101.82	重陽里	97.19	289.09	龍濱里	167.31	258.14
永發里	104.55	197.79	重新里	378.33	690.22	雙園里	778.74	1,644.61
永順里	140.81	283.51	國隆里	392.93	726.68			
永福里	869.94	1,631.51	培德里	631.96	1,164.64			
永德里	662.13	996.7	崇德里	0	0			
永輝里	0	0	清和里	1.53	2.94			

根據表 4.1 可以通過 Join 工具將表 4.1 與三重區行政圖來結合（Join），同時就得到三重區在 24 和 48 小時降雨延時下的損失分布



單位：公尺

圖 4. 4 三重區 24h 200 年重現期淹水深度圖



單位（萬元）

圖 4. 5 三重市模擬 24h 延時降雨造成淹水損失分佈圖

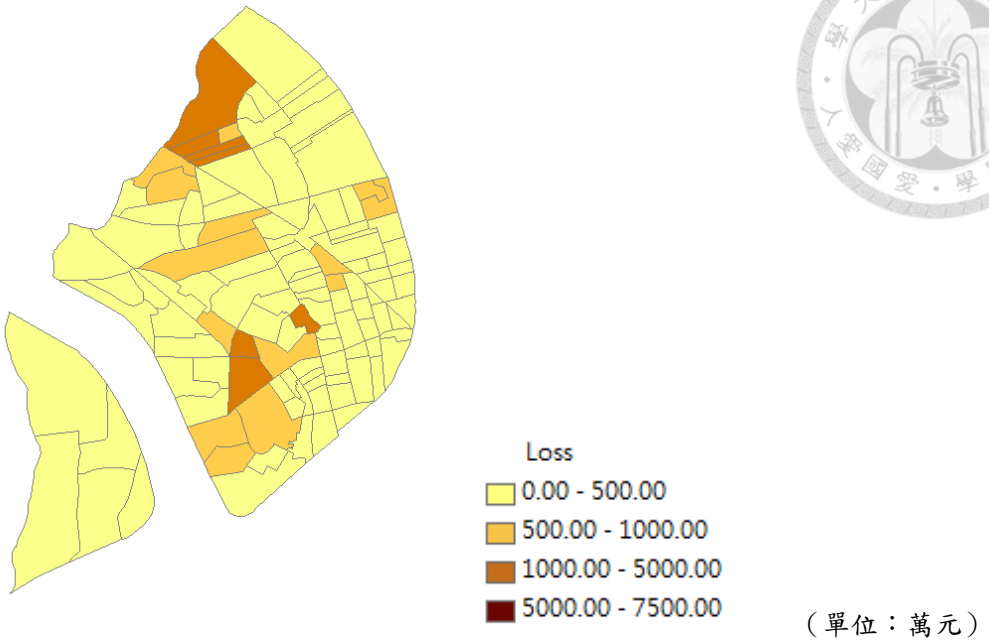


圖 4. 6 三重市模擬 48h 延時降雨造成淹水損失分佈圖

如表 4.1 所述，24 小時降雨延時下年度累計損失超過 1000 萬元的有 18 個里，損失最多為西北側的慈愛里，每年因洪水造成的損失達 7342 萬元。而 48 小時降雨延時下年度累計損失超過 1000 萬元的降為 7 個里，損失最多的仍為慈愛里，每年 4090 萬元。各里損失金額如表 4.2，4.3。

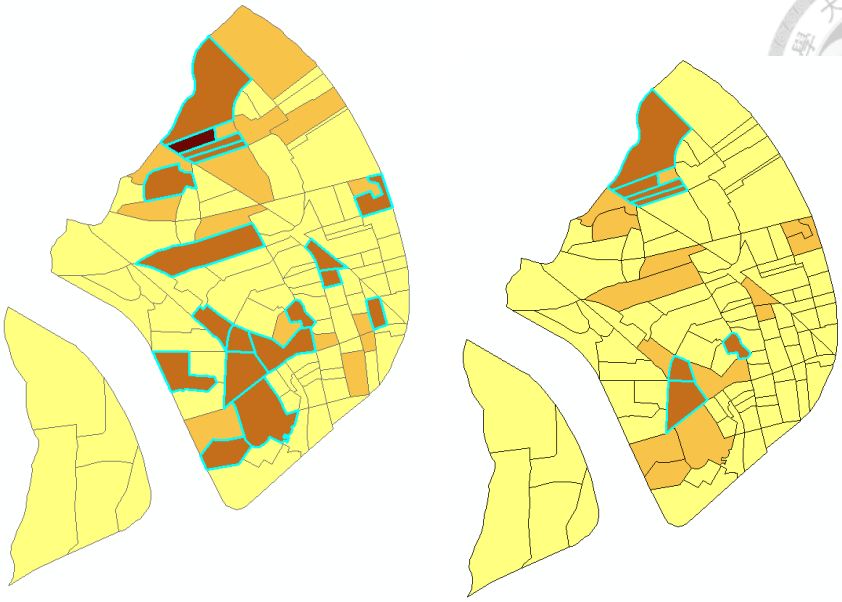


圖 4. 7 年度累計損失 24h(左)48h(右)超過 1000 萬元的行政鄉里示意圖

表 4. 2　24 小時降雨延時下年度累計損失超過 1000 萬元之鄰里

鄰里名稱	損失	人口密度
	(萬元／年)	(人／平方公尺)
慈愛里	7,342.57	0.084439
慈生里	2,701.95	0.074689
光陽里	2,455.161	0.035122
過田里	2,216.492	0.032991
錦田里	2,190.812	0.052399
碧華里	1,985.906	0.013421

大園里	1,742.656	0.074027
慈福里	1,665.113	0.077399
雙園里	1,644.607	0.054771
永福里	1,631.511	0.040688
光華里	1,472.217	0.054211
承德里	1,469.44	0.037017
中山里	1,287.28	0.020782
三民里	1,212.734	0.040652
光明里	1,198.686	0.020623
培德里	1,164.635	0.025631
三安里	1,084.096	0.068018
福德里	1,071.474	0.0303

表 4.3　24 小時降雨延時下年度累計損失超過 1000 萬元鄰里

鄰里名稱	損失	人口密度
	(萬元／年)	(人／平方公尺)
慈愛里	4,090.486	0.084439
慈生里	1,682.991	0.074689
錦田里	1,358.769	0.052399
過田里	1,274.684	0.032991
慈福里	1,148.298	0.077399
碧華里	1,033.288	0.013421
大園里	1,008.3	0.074027

其中，24 小時延時降雨造成的淹水事件中造成的損失嚴重程度要遠遠大於 48 小時延時降雨造成的淹水。在兩種降雨延時中，慈愛里遭受的損失狀況最嚴重，慈愛里的人口數位 4878 人，人口密度為 0.0844 人／平方公尺，與相同淹水深度下的過田里和錦田里相比，是淹水損失嚴重的幾個里中人口密度最大的一個。相比于淹水深度比較大的地域比如頂嵌里，厚德里，中興里反而幾乎沒有淹水損失，原是因為這幾個里幾乎無人居住，這一點在 google earth 上可以得到確認。

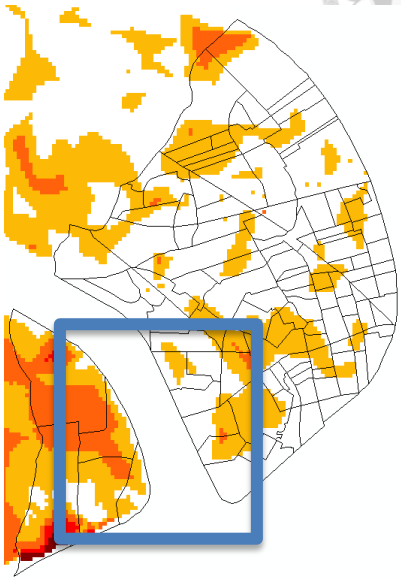


圖 4.8 厚德里，中興里航照圖、淹水潛勢圖

4.3 試算損失與保險

天災保險的運作需考量財務的穩定性、公平性與可負擔性，如何在考量公平性與保戶可負擔性下， 即設計適當的承保範圍與分區分類類費率，並保持保險制度的財務穩定性，天災保險運作之基本原則。 維持財務的穩定性，其基本概念為使保險運作的整體收入“Money in”，包含了了投資收入、災後的損失補償(如再保險或新興風險移轉工具-巨災債券等之災後賠償)、保費收入等;整體支出“Money out”則考量利潤、營運成本、風險融資成本(再保險費、新興風險移轉工具-巨災債券之發行行成本等)、保險理賠等。當收入等於支出“Money in = Money out”時，即可推估出合理的保費。

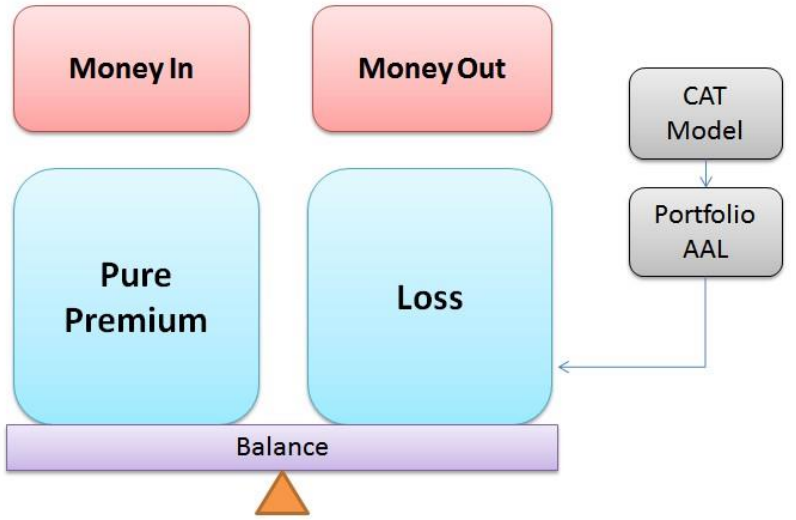


圖 4.9 天災費率計算準則

圖 4.9 中將“Money in”為單純的保費收入，“Money out”為保險損失。以台灣地區來來看，颱風洪水風險的暴露與人口的分布、工商發展等因素有關，“Money in”的保費收入，需考量並模擬台灣各地均可能存在不同類類別的風險暴露單位(例如不同建築型態、樓高、行業別等)，假設各模擬風險單位皆可能投保，因此需先將透過風險評估模型，估算各模擬風險單位之年平均損失。欲知道 Money in 就要知道淹水事件中年度累積損失和最大可能的損失。三重地區淹水事件的年度累計損失為（單位：萬元）

表 4.4 三重地區淹水事件的年度累計損失

降雨延時（小時）	48	24
總損失（萬元）	28,083.11	53,946.92

三重地區淹水事件的最大可能損失為（單位：萬元）

表 4.5 三重地區淹水事件最大可能損失

回歸期／year	24h	48h
200	2,200,813	1,200,896
100	1,452,445	784,941.6
50	1049,396	393,665.4
25	817,707.4	644,586.7
20	490,318.3	24,980.42

根據最新人口統計資料，三重區人口為 389,325 人，戶數 147,402 戶，鄰數 2,555（資料來源：新北市政府民政局，103 年 12 月）。單次降雨遭受最大可能損失總額為 220 萬的總損失，平均為 5.6 萬元／人，14.9 萬元／戶，861 萬元／鄰。平均每年受到的淹水損失為 0.14 萬元／人，0.34 萬元／戶，20.7 萬元／鄰。淹水損失最大的鄰里為慈愛裡平均每人損失 1.5 萬元／人，其次是雙園裡 1.0 萬元／人。如果將淹水損失大於 100 萬元的里定義為洪災風險高區域，那只考慮該區域的人口的話，那么人均損失為 0.24 萬元／人。

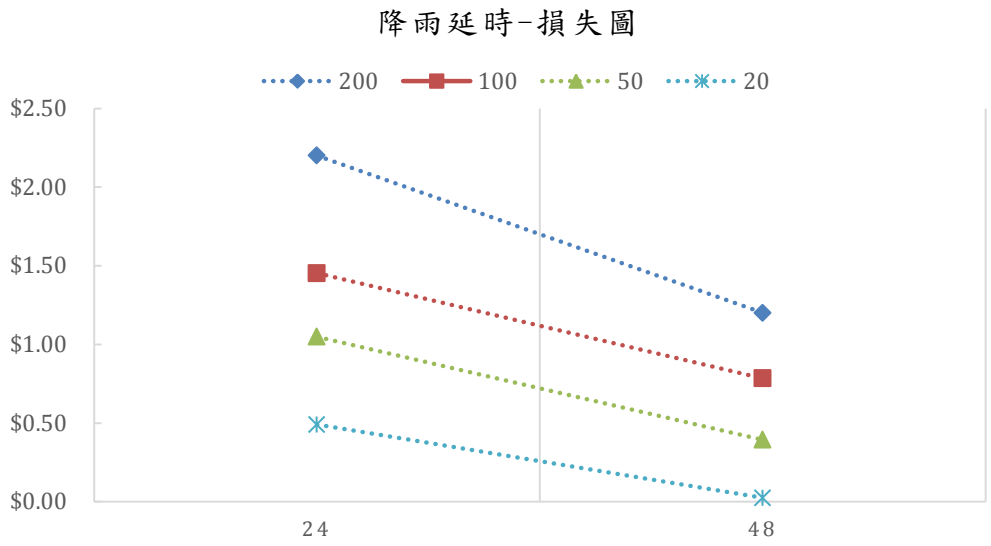


圖 4. 10 三重區降雨延時－損失圖

從上圖 4.10 看出降雨延時短的 24 小時造成的淹水損失要普遍大於降雨延時長的 48 小時，這一點是由於 IDF 曲線中相同回歸期的不同降雨延時下，延時短的降雨降雨強度大。短延時的強降雨會造成更大的災害，從集流時間來看，推測在 24 小時以內的曲線如圖 4.11，降雨延時小於集流時間時，於集水區中的水體逐漸增加，也因此淹水區域逐漸增加、災損增加，超過集流時間後影響災損情形的為降雨強度，相同重現期下的降雨延時越長降雨強度越低。不過現階段缺少短延時降雨的淹水模擬，暫時還無法估出確切的數值。

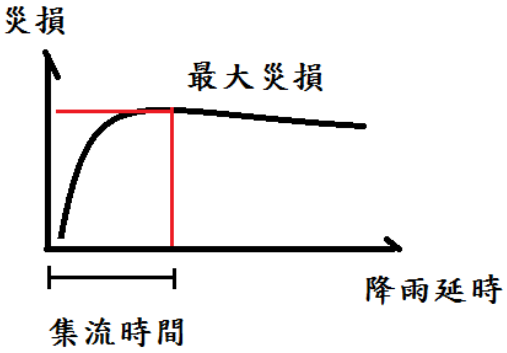


圖 4. 11 降雨延時-災害損失關係圖

第五章 結論與建議

5.1 結論

以往對於淹水的模擬，皆固定在某一延時(24hr，48hr…)，對於不同集水區大小的降雨延時所造成淹水情形並沒有很完善的研究。本研究利用簡單的單位歷線與 S 歷線簡單的探討在集水區中的水體積。其推論方式如同在水庫裡面常用到的連續方程式，其中 I 為 Inflow 入流量，在此為雨量，Q 為出流量，而 V 為集水區中的水體積。在集水區中的水體積 v 與淹水的程度息息相關，在降雨延時尚未達到集流時間時，入流（inflow）大於出流（outflow），淹水體積逐漸增加；當超過集流時間時，出流量與入流量相等，那麼入流量 I 就等於最大出流量 Qmax，淹水體積 V 不會隨時間改變，沒有持續的淹水體積累積。在 S 歷線的假設下，入流量等於降雨量衡為一定值與最大出流量相等，故淹水體積可用表示，由此推斷當降雨時間大於等於集流時間時淹水體積 V 最大。本推論與合理化公式 Q=CIA 中，代入 I 中的降雨延時要代集流時間結果雖相同，但意義不同，本推論為討論集水區中的水體積，而合理化公式討論的重點為出流量，出流量會隨降雨強度、集水區的逕流情形而改變。

另本研究計算三重的淹水損失，損失與人口密度和降雨深度有關。不同鄰里人口密度差距甚巨，如慈愛裡的人口密度將近 0.085 人每平方公尺，相當於培德里的四倍，同時整個里於淹水深度超過 30 公分區域不同淹水深度所涵蓋的範圍，利用 GIS 與災損函數進行分析。淹水損失與人口密度、淹水深度都有關係，淹水深度大的地區淹水損失不一定多，若此處為低度開發人口不多，所造成的損失亦不大。如頂崁里，處於洪災風險高危區，頂崁里大部份地區淹水深度達到 50 公分以上，可是由於人口密度低 ，相較相同淹水程度的慈愛里來說損失微乎其微，同理沒有淹水發生的地區就算人口再密集也不會有損失造成。

三重區 24h 延時降雨每年造成平均損失期望值是 53,946.92 萬元，每人損失 0.14 萬元／人／年，在此若不將附加保費列入考慮，每人要承擔的保費約一千四百元台幣， 但只看若淹過水區域較嚴重（損失大於 100 萬元／里）的地區，那人均損失將提高為 0.24 萬元／人，就是說純保費部分每人需要承擔兩千四百塊台幣。根據張靜貞在 2006 年做了颱風洪水保險制度之建立與可行性評估研究中的調查，汐止五堵居民洪災保險意願調查顯示，居民普遍保意願不高，平均只有 35%願意投保洪災保險，願付保費金額每年約 1000 元／戶，大約 500 元／人。按照數據分析投保人數不多，並且願付金額偏低。如果借鑑美國國家洪水保險計劃（National Flood Insurance Program， NFIP）的發展歷程的話，可適當考慮政府採取半強制手段可將處於洪水發生高風險區的住房附加洪水保險，或者制訂洪水保險相關的後續措施。如購買洪水保險的住宅在災害發生後不僅可以獲得賠付，而且可以享有適當的減災措施來避免下次損失的發生。

5.2 建議

現階段有 24 ,48 小時的降雨深度圖，由此兩組數據可知降雨延時越短造成的淹水損失狀況越嚴重。但現階段只有 24，48 小時延時的淹水潛勢圖，無法驗證造成最大損失的降雨延時為集流時間，推斷三重第區集流時間遠小於 24 小時，若未來有更多不同降雨延時的淹水潛勢圖，可進行後續分析。

現階段進行了三重的家庭損失，但其實此分析可應用更廣，推至整個新北市、全台灣，另也可將工業損失考慮進去，部分地區雖住戶少、人口密度小，但位於工業區若淹水將會造成巨大的損失。

第六章 文獻回顧

[1] 游景雲，水資源規劃經濟效益分析與評估，2013。

[2] 蔡政憲、張世傑，天災風險管理對策之研究 ：財政管理與風險管理研究，2012。

[3] 蕭代基、黃星翔、洪銘堅、盧孟明、羅以倫等，淡水河流域洪災損失機率風險分析研究，台灣經濟預測與政策，p32-53,2007。

[4] 林志瑋，考慮流域洪災損失相關性及不確定性之洪災風險評估模型建立之研究，2007。

[5] 張靜貞、蘇明道等,颱風洪水保險制度之建立與可行性評估研究，2006

[6] 王如意、蘇明道等，台灣水災損失評估系統模式之建立，2002。

[7] Daniel Lau, P.E,D,WRE ,Susen Gali, “How Critical is Critical Duration in Determining Flood Risk, Flood Damages and Stormwater Management Solutions?”, Watershed Management, P1214-1225, 2011.

[8] Erwann Michel-Kerjan, Howard Kuneruther, “Redesigning Flood Insurance”, Disaster Management, Science, P408-409,2011.

[9] Larry W. Mays, Water Resource Engineering, 2010.

[10] N.K.Goel,E.S.Kurothe , B.S.Mathur, R.M.Vogel, “A derived flood frequency distribution for correlates rainfall intensity and duration”,Journal of Hydrology, p56-57, 2000.

[11] Raymond J. Burby, “flood insurance and floodplain management: the US experience”, Environmental Hazards,P111-122,2001.

[12] Ven Te Chow, David R.Maidment, Larry W. Mays, Applied Hydrology, 1988.