

NCDR 108-T26

# 驟發型淹水風暴之災害衝擊研究

Research on the disaster impact of storm induced  
flash flood

---



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月



NCDR 108-T26

# 驟發型淹水風暴之災害衝擊研究

## Research on the disaster impact of storm induced flash flood

---

江申、葉森海、陳偉柏、魏曉萍、張志新



國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月



## 中文摘要

台灣受海島型氣候及地形之影響，降雨之時空間分佈不均。除對水資源之開發利用造成困難外，近年來都會區由於城市建設以及人口集中，短時間風暴降雨引致驟發型淹水事件所造成之災害頻傳。本研究之先前研究發現，十分鐘短延時之強降雨與較長延時之六十分鐘之強降雨所標定之空間區位不同，不同氣象因子（颱風、梅雨及午後對流）下之短延時強降雨空間區位亦有所不同。爰此本研究結合過去短延時強降雨之研究成果及歷史災害資料庫，進行短延時降雨與地形之關聯特性分析，並發展短延時強降雨引致驟發型淹水於都會區之空間區位標定方法。研究發現三小時延時之可能致災降雨之氣候因子主要為颱風，其發生次數為梅雨之 11 倍、午後對流之 20 倍；二小時延時之可能致災降雨之氣候因子亦主要為颱風，其發生次數為梅雨之 7 倍、午後對流之 16 倍；相較於三及二小時，一小時延時之可能致災降雨氣候因子雖亦主要為颱風，但數量級相差不大。颱風之發生次數為梅雨之 4 倍、午後對流之 5 倍。研究中以相對地形高程之概念作為區域內水積淹難易程度之衡量指標，並以此指標作為機器學習之模式訓練特徵值之一，建立示範區之驟發型淹水致災之空間區位標定方法。研究最後部分為對象區域內之減災工程方案研擬，透過示範區淹水減災工程方案實施前後之二維淹水模式淹水模擬，可知淹水減災工

程方案改善淹水面積及影響人口之情形，此結果可提供相關單位規劃  
淹水減災工程方案之參考。

關鍵字：短延時強降雨、減災工程、淹水模擬、機器學習、氣象  
因子

## ABSTRACT

As affected by its sea-island type of climate and complex terrain, the temporal and spatial distribution of precipitation is uneven in Taiwan. Which not only caused issue of water resources allocation and utilization, but also, companion with urbanization and population concentration, the urban flooding disasters induced by sudden rainstorm became severer and more frequently. Previous studies shown that the spatial location of short-term heavy rainfall with a duration of 10 minutes is not the same as that of a longer duration of 60-minute rainfall. The short-term heavy rainfall spatial location under different meteorological factors (typhoon, plum rain and afternoon convection) are also different. So that, the research result of previous study which related to short-term heavy rainfall and historical disaster database are manipulated in this study to analyze the correlation between short-term heavy rainfall and terrain, and developed a methodology of spatial location for sudden storm induced flood disaster in the metropolitan area. The study shows that typhoon induced disaster rainfall event number is 11 times to plum rain, 20 times to afternoon convective storm for 3 hours of rainfall duration. As for 2 hours of rainfall duration, the number of typhoon induced disaster rainfall event is 7 times to plum rain and 16 times to afternoon convective storm. By comparison to 2 and 3 hours of rainfall duration, 1 hour rainfall, the order of magnitude is smaller than previous two. The number of typhoons induced disaster rainfall event is 4 times of plum rain and 5 times of afternoon convective storm. In the study, the concept of relative topographic elevation was utilized as a measurement of the degree of flooding in the area, and this

index was used as one of the training feature values of the machine learning model to establish a methodology for the locating of the zoning of sudden flooding in the demonstration area. The final part of the study is the development of the disaster reduction project plan in the target area. Through the two-dimensional flood simulation, before and after of the implementation of the flood reduction project plan in the demonstration area, the flood reduction project plan improves the flooded area and affects the population can be acquired. The result of the study could be a reference for flood disaster reduction planning and studying.

Keywords: Short-Time Heavy Rainfall, disaster mitigation, inundation simulation, machine learning, meteorological factor



# 目錄

第一章 前言.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.2.1 暴雨致災之水文及地文特性分析.....	1
1.2.2 淹水減災工程方案研擬及適宜性分析.....	2
第二章 使用資料、模式及研究方法說明.....	4
2.1 使用資料、模式及研究方法說明.....	4
2.1.1 雨量、雨型及淹水驗證資料.....	4
2.1.2 示範區數值高程資料及地表利用.....	8
2.1.3 相對地表高程指數計算.....	9
2.1.4 支持向量機 (Support Vector Machine, SVM) .....	10
2.1.5 二維淹水模式.....	11
2.1.6 抽水站及區域排水出口.....	11
第三章 研究結果.....	13
3.1 暴雨致災之水文及地文特性分析.....	13
3.2 致災暴雨門檻值分析：.....	17
3.3 示範區暴雨與地形高程及致災門檻值分析.....	22
3.4 淹水減災工程方案研擬及模擬結果.....	25

3.5 淹水減災工程方案適宜性分析.....	28
第四章 問題討論與未來展望.....	36
4.1 問題討論與未來展望.....	36

## 圖目錄

圖 1.2.2.1 綜合流域治理示意圖 .....	2
圖 1.2.2.2 台南科學園區週邊範圍排水改善方案 .....	3
圖 2.1.1.1 台灣本島四大分區及雨量站位置 .....	5
圖 2.1.1.2 林邊溪流域颱風雨無因次設計雨型 .....	6
圖 2.1.1.3 莫拉克及尼莎颱風之 10 分鐘降雨時序列及淹水範圍 .....	6
圖 2.1.1.4 枋寮站(COR380) 之 10 分鐘降雨時序列資料圖示 .....	7
圖 2.1.2.1 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉數值地形高程 .....	8
圖 2.1.2.2 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉土地利用 .....	9
圖 2.1.3.1 相對地表高程擷取方法圖示 .....	10
圖 2.1.6.1 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉抽水站及區域排水出口 .....	12
圖 3.1.1 台灣本島雨量站十分鐘最大降雨記錄與其高程及地理分區 .....	13
圖 3.1.2 全台雨量站 10 分鐘最大雨量與高程之 K-means 群聚分析	15
圖 3.1.3 台灣本島雨量站六十分鐘最大降雨記錄與其高程及地理分區 .....	15
圖 3.1.4 全台雨量站 60 分鐘最大雨量與高程之 K-means 群聚分析	16
圖 3.1.5 各雨量站記錄中最大 10 分鐘雨量經內插處理後之空間分布圖 .....	17

圖 3.2.1 一小時降雨量與其延時內最大 10 分鐘降雨量散佈圖.....	18
圖 3.2.2 二小時降雨量與其延時內最大 10 分鐘降雨量散佈圖.....	19
圖 3.2.3 三小時降雨量與其延時內最大 10 分鐘降雨量散佈圖.....	20
圖 3.2.4 各延時雨量之第二象限（長延時致災）與第四象限（短延時致災）比值 .....	21
圖 3.2.5 不同象限之颱風與午後對流及颱風與梅雨之各延時雨量發生次數比值.....	22
圖 3.3.1 不同相對高程判定方式所擷取之相對地表高程指數比較..	23
圖 3.3.2 使用線性核函數之不同 10 分鐘降雨量之預測結果.....	24
圖 3.3.3 使用 RBF 核函數之不同 10 分鐘降雨量之預測結果.....	24
圖 3.4.1 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉 100 年重現期淹水潛勢.....	25
圖 3.4.2 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案(1)羌園排水改善模擬結果 .....	27
圖 3.4.3 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案(2)台 17 線路基抬高模擬結果.....	27
圖 3.4.4 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案模擬結果 .....	27
圖 3.4.5 佳冬鄉羌園村及枋寮鄉人和村 107 年 12 月最小統計區人口 .....	28
圖 3.5.1 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案(1)模擬結果.....	30
圖 3.5.2 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案(2)模擬結果.....	31

圖 3.5.3 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案改善前後淹水面積比較..	33
圖 3.5.4 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案模擬結果 .....	34
圖 4.1.1 示範區內雨量觀測站(左圖)及 QPESUMS 點位(右圖).....	36

## 表目錄

表 2.1.1.1 枋寮站(COR380) 之 10 分鐘降雨重現期計算結果.....	7
表 3.5.1 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案改善前後之淹水面積統計 .....	32
表 3.5.2 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案改善前後之影響人口統計 .....	32
表 3.5.3 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案改善前後之淹水面積統計 .....	35
表 3.5.4 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案改善前後之影響人口統計 .....	35

# 第一章 前言

## 1.1 前言

驟發型淹水之特徵為短時間之強降雨情境下，雖河川未達到警戒水位，但區域排水系統已無法負荷此短時間之降雨量，從而造成此主要發生於都會區之積淹。近年來台灣地區驟發型淹水的事件有增加愈烈之趨勢，如：2015 年 6 月 14 日台北市公館之三小時累積雨量達 190.5 毫米，氣象局公館測站 10 分鐘之最高雨量達 33mm，累積最大時雨量更達 131.5 毫米。又如：2017 年之梅雨鋒面，於 6 月 2 日凌晨為台灣北部帶來驚人雨量，許多測站最大時雨量大於 80 毫米，台北市內湖區中午的時雨量也突破 100 毫米，北北基多處發生排水不及導致淹水災情。

此類驟發型淹水之發生和降雨型態以及區域之排水特性有直接關聯，本研究經由分析此類驟發型暴雨致災之水文及地文關聯特性，試圖建立一指標型之水文地文因子，作為機器學習模式之訓練值。本研究最後並以二維淹水模式，進行示範區淹水減災工程方案實施前後之淹水模擬，並比較淹水面積及影響人口。研究結果可應用於預警分析以及減災規劃之用。

## 1.2 研究目的

### 1.2.1 暴雨致災之水文及地文特性分析

本研究專案之先前研究中發現，十分鐘延時之強降雨與較長延時之六十分鐘之強降雨所標定之空間區位不同，甚至不同氣象因子（颱風、梅雨及午後對流）下之短延時強降雨空間區位亦有所不同。因此，本研究整合中心過去於短延時強降雨之研究成果及歷史災害資料庫，

進行短延時降雨與地形之關聯特性分析，並建立短延時強降雨引致驟發型淹水於都會區之空間區位標定方法。希冀結果可作為都會區積淹預警及防減災策略規劃之參考。

## 1.2.2 淹水減災工程方案研擬及適宜性分析

目前中央及地方政府改善各地區淹水情況的方法，主要為綜合流域治理，包括工程及非工程方案，如圖 1.2.2.1 所示。



其他工程措施：雨水下水道、抽水站、海綿城市...等

圖片來源：水利署

其他非工程措施：防災教育、法規制度(逕流分擔、出流管制)...等

圖 1.2.2.1 綜合流域治理示意圖

為探討淹水減災工程方案改善淹水面積之情形，本研究以二維淹水模式，進行示範區淹水減災工程方案實施前後之淹水模擬，並比較淹水面積及影響人口。從過去案例，如台南科學園區(圖 1.2.2.2 所示)、冬山都市計畫區、中央研究院及新莊樹林地區等，可知以二維淹水模式進行模擬時，可研擬之工程方案有滯洪池、整地、抽水站、雨水下



水道及排水路改善等。結果將可作為防減災策略規劃及擬定之參考。

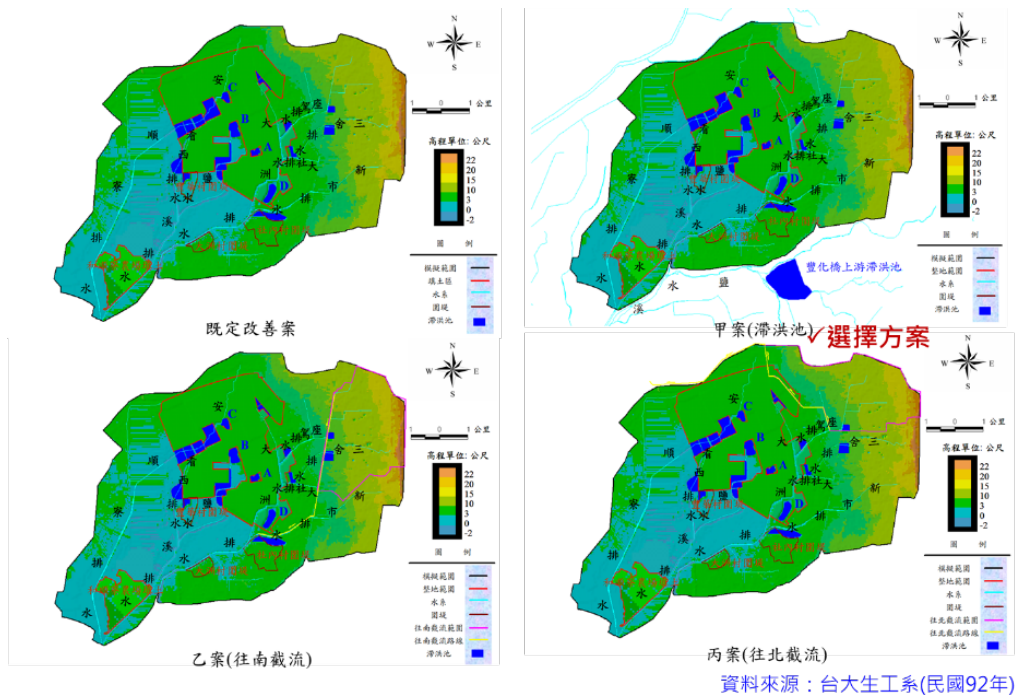


圖 1.2.2.2 台南科學園區週邊範圍排水改善方案

## 第二章 使用資料、模式及研究方法說明

### 2.1 使用資料、模式及研究方法說明

從過去淹水災情可知，佳冬鄉及枋寮鄉為屏東縣易淹水區，故本研究以屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉為淹水減災示範區。為進行二維淹水模擬分析，須蒐集淹水模擬所需之各項資料，包括地文、水文及相關水利設施等，簡要說明如下：

#### 2.1.1 雨量、雨型及淹水驗證資料

過去大部分有關降雨量與高程關聯研究主要集中於年降雨量或月降雨量，較少關於短延時強降雨與高程關聯之研究。為了解各雨量測站之高程與短延時強降雨間之關聯特性，研究中使用氣象局之 2006 年 1 月至 2019 年 1 月全台 10 分鐘雨量資料(原始總資料站數為 1171 站，去除外島及無法使用資料，有效站數為 1118 站)，經初步資料清洗處理後，進行所有雨量站資料年限內之 10 分鐘最大雨量於不同地形高程區間，及將台灣本島分為北(343 站，包括臺北市、基隆市、臺北縣、桃園縣、新竹縣及宜蘭縣)、中(353 站，包括臺中市、苗栗縣、臺中縣、南投縣、彰化縣及雲林縣)、南(240 站，包括高雄市、臺南市、嘉義縣、臺南縣、高雄縣、屏東縣)及東(182 站，包括臺東縣及花蓮縣)等四個不同地理區間進行分析。雨量站之空間分布如下圖(圖 2.1.1.1)所示：

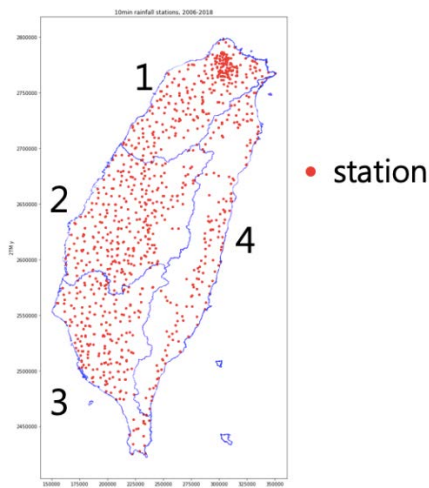


圖 2.1.1.1 台灣本島四大分區及雨量站位置

由過去研究得知，颱風雨是造成台灣地區各流域淹水的主要降雨型態，其致災降雨延時約為 24 小時，故本研究採用屏東縣淹水潛勢資料報告[1]中，林邊河流域 24 小時延時颱風雨無因次設計雨型，如圖 2.1.1.2 所示。另一方面，本研究以屏東縣淹水潛勢圖第二次更新計畫[2]中，枋寮站 5 年(336 毫米/日)、25 年(429 毫米/日)、100 年(497 毫米/日)及 500 年(569 毫米/日)重現期降雨量，模擬不同總降雨量在模擬區域中之淹水範圍及深度，故將上述 4 種不同總降雨量依圖 2.1.1.2 之設計雨型百分比予以分配逐時降雨量，則可推得不同總降雨量下之逐時設計降雨組體圖。

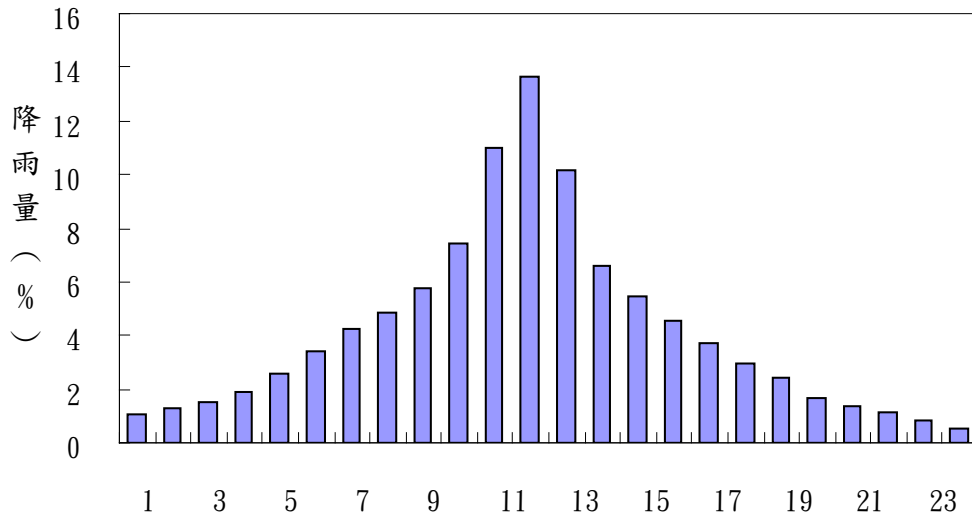


圖 2.1.1.2 林邊溪流域颱風雨無因次設計雨型

為進行淹水減災工程方案之效果模擬，研究中使用莫拉克及尼莎颱風之降雨以及中心之歷史颱風淹水資料庫之淹水範圍調查資料進行二維淹水模式驗證，圖 2.1.1.3 為莫拉克及尼莎颱風之 10 分鐘降雨時序列及淹水範圍（黑色）資料。

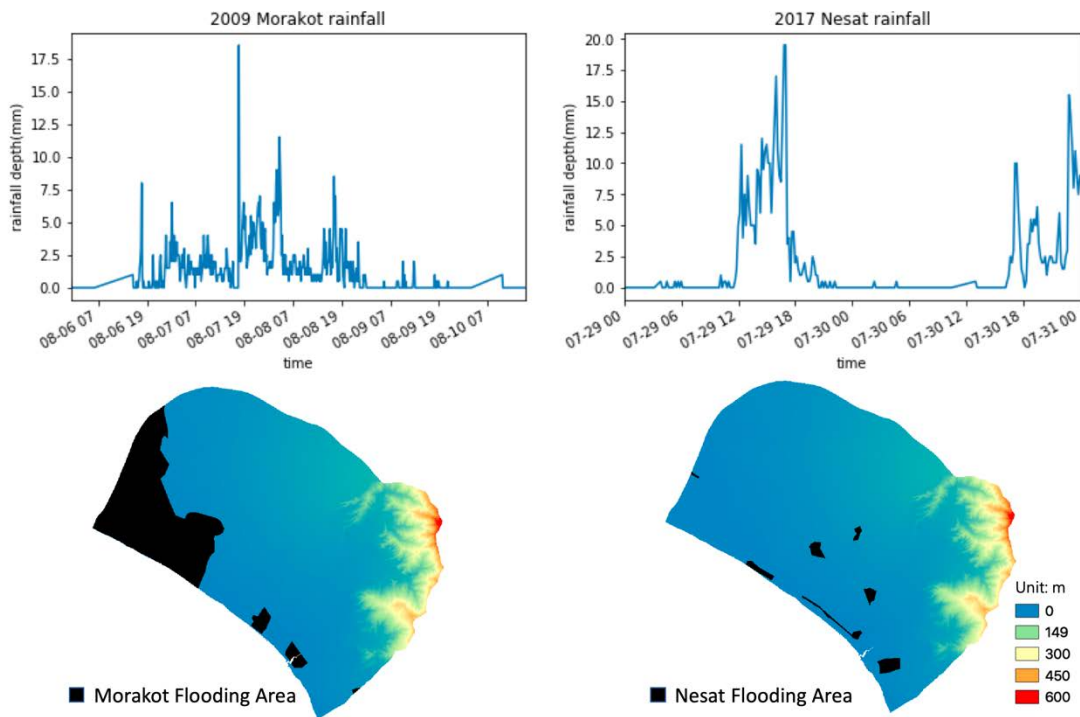


圖 2.1.1.3 莫拉克及尼莎颱風之 10 分鐘降雨時序列及淹水範圍

研究區域內使用之 10 分鐘雨量站為站號 C0R380 之枋寮站，研究中所收集之資料年限為 2006 至 2018，其 10 分鐘降雨時序列資料如圖 2.1.1.4 所示：

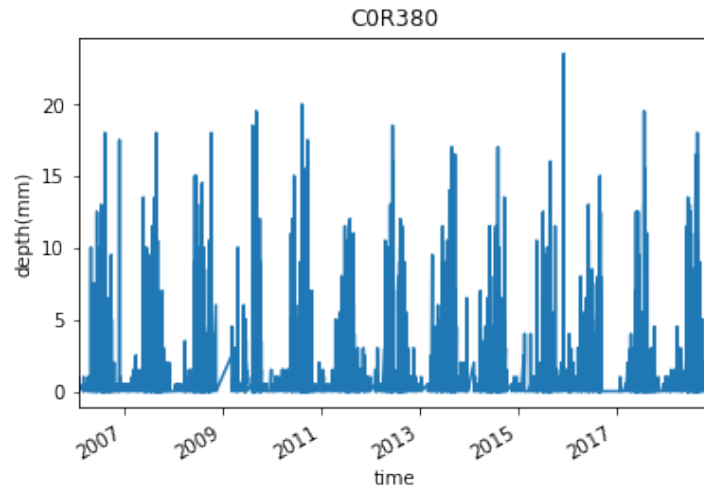


圖 2.1.1.4 枋寮站(C0R380) 之 10 分鐘降雨時序列資料圖示

不同重現期之降雨量計算係以 10 分鐘降雨時序列資料之年最大值，機率分布選取 Pearson type III 分布，再以 l-moments 法擷取機率分布之參數，重現期降雨量之計算方法可詳[3]，計算結果如表 2.1.1.1 所示：

表 2.1.1.1 枋寮站(C0R380) 之 10 分鐘降雨重現期計算結果

重現期	2 年	3 年	5 年	10 年	25 年	50 年
降雨量 mm	17.99	19.07	20.04	21.04	22.03	22.64

與內政部雨水下水道設計[4]內高雄地區之降雨回歸公式結果相差不大。

## 2.1.2 示範區數值高程資料及地表利用

從過去淹水災情[2][5]可知，佳冬鄉及枋寮鄉為屏東縣易淹水區，故本研究以屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉為淹水減災示範區。研究中使用之數值地形高程資料，係由內政部提供，其資料型態為 ASCII 碼，資料內容含各點之 UTM 國際座標與高程資料，屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉數值地形高程如圖 2.1.2.1 所示。

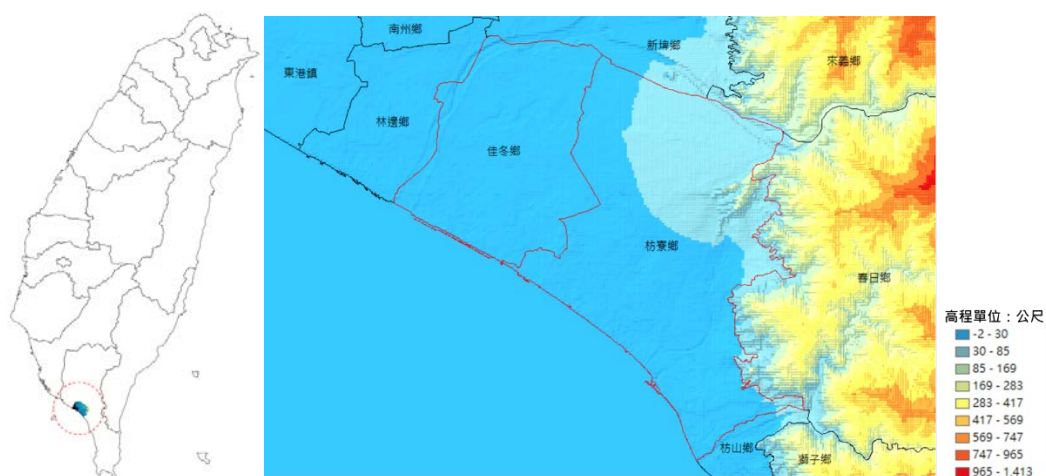


圖 2.1.2.1 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉數值地形高程

本研究根據內政部地政司之台灣省國土利用現況調查數化資料，將示範區分為水利用地、建築、工業用地、農業、交通、遊憩、礦業、軍事及其他用地等土地利用分類，再以不同土地利用狀況來決定曼寧糙度  $n$  值及逕流係數，如圖 2.1.2.2 所示。



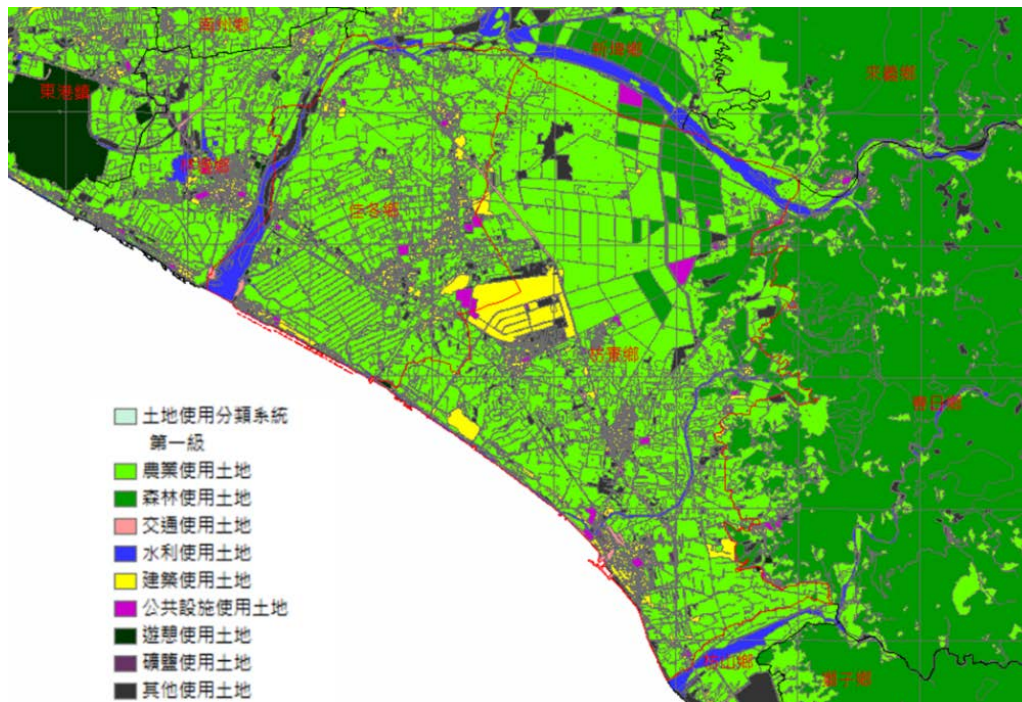


圖 2.1.2.2 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉土地利用

### 2.1.3 相對地表高程指數計算

為了解地形與致災之關係，研究中以相對地表高程之概念進行地文特性分析。相對地表高程之計算方法為：

1. 以數值高程網格內之指定一網格點作為中心網格為，並取 N 之網格距離構成  $(2N+1) \times (2N+1)$  之網格矩陣。
2. 計算此  $(2N+1) \times (2N+1)$  空間矩陣之 i. 平均地盤高程、ii. 地盤回歸平面（一階回歸）或 iii. 地盤回歸曲面（二階回歸），作為相對高程之判斷依據。
3. 計算範圍內所有網格於此  $(2N+1) \times (2N+1)$  空間矩陣中與 i. 平均地盤高程、ii. 地盤回歸平面（一階回歸）或 iii. 地盤回歸曲面（二階回歸）之相對距離，並由小至大排序。

4. 將此排序無因次化後可得 0~1 之此點於區域內之高程相對比率值，數字愈小代表在此範圍內此點相對愈不容易排水，數字愈高代表愈不容易有積淹情況之發生。研究中以此作為研判內水氾濫潛勢地區之指標。下圖(2.1.3.1)為示意：

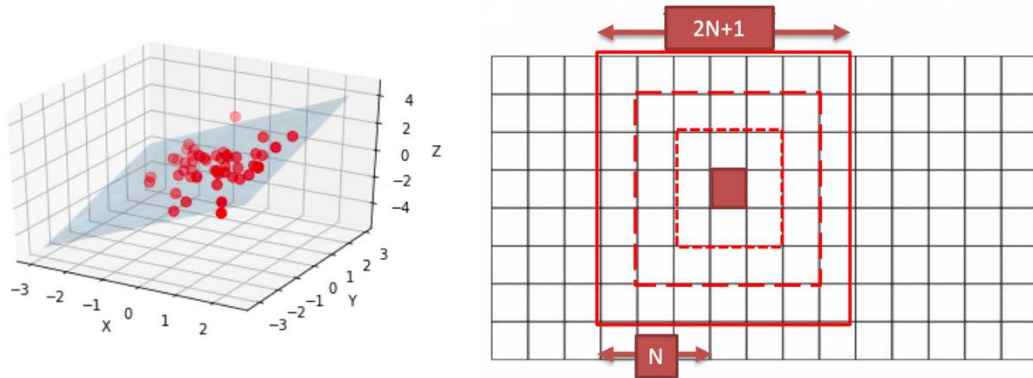


圖 2.1.3.1 相對地表高程擷取方法圖示

為了解相對高程指數於致災門檻值之應用性，研究中試以研究區域之相對高程指數作為支持向量機（Support Vector Machine, SVM）機器學習訓練用之特徵值。

#### 2.1.4 支持向量機（Support Vector Machine, SVM）

過去之淹水模擬技術主要為應用有限差分或有限元計算之物理模式，近年來隨著機器學習技術之進步，應用機器學習之河川水位預報以及淹水預報之研究數量較過去增加許多。支持向量機為 Vapnik[6] 於 1970 年代提出的一種機器學習方法，其基於統計學之 Vapnik Chevonenkis dimension 理論及 Structural risk minimization inductive principle，在樣本數少、非線性及高維度識別問題中表現優於傳統機器學習之演算法，成為近年來機器學習領域研究中之熱點[7]。

研究中使用台灣大學林智仁教授撰寫之 LIBSVM 3.24 [8]進行淹



水與否之計算。LIBSVM 為一操作簡單及便於使用之通用 SVM 軟體包，可解決分類、回歸以及分布估計等課題，提供線性、多項式、徑向基及 S 形函數等四種常用之核函數供選擇，可有效地解決多類問題。支持向量機之理論及應用可參考[6][7][9][10]等論文。

### 2.1.5 二維淹水模式

為進行淹水減災工程方案之效果模擬，需準確模擬水流在地表之流動情形，無法直接應用機器學習之方式。因此本研究以二維零慣性波 (non-inertia wave) 傳遞理論為基礎，利用二維交替方向顯式(ADE)差分法建立二維地表漫地流淹水模式，以模擬地表漫地流之水流動態、淹水範圍及淹水量[1][11]。模式並可納入降雨、入滲、重力排水、抽水站及河川溢堤等多項功能。假設堤防均無潰決之情況下，區域排水以堰流方式排入主要河川。

### 2.1.6 抽水站及區域排水出口

本研究以民國 103 年屏東縣淹水潛勢圖第二次更新計畫中，佳冬鄉及枋寮鄉區域內之抽水站及區域排水出口資料，做為二維淹水模擬之邊界條件，如圖 2.1.6.1 所示。



圖 2.1.6.1 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉抽水站及區域排水出口

## 第三章 研究結果

### 3.1 暴雨致災之水文及地文特性分析

驟發型淹水主要是由於區域排水不及，而於短時間內由強降雨導致之積淹型態，可知此現象與區域內之降雨特性及排水設計基準有相當程度關聯。

下圖 (3.1.1) 為表示台灣本島雨量站十分鐘最大降雨記錄與其高程及地理分區關聯之散佈圖。

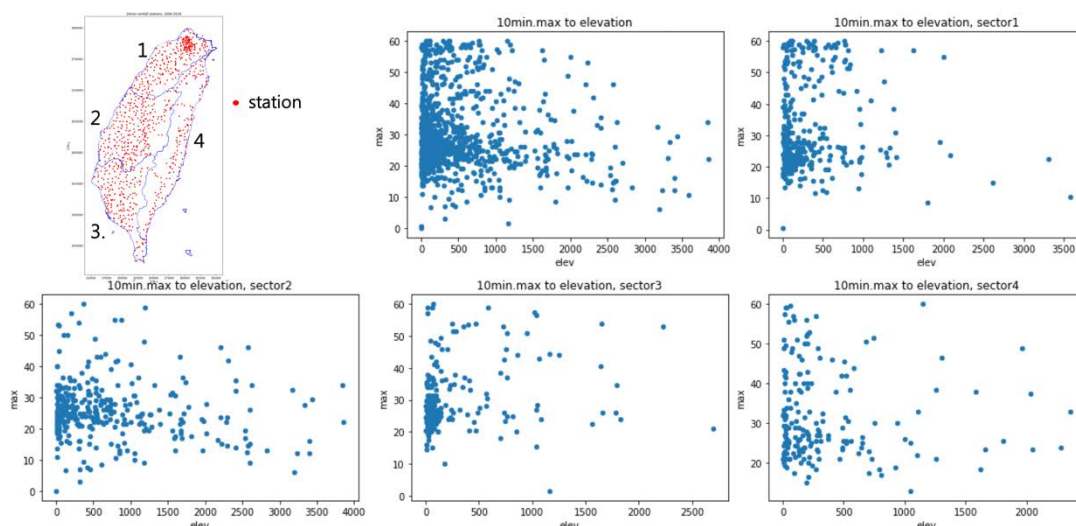


圖 3.1.1 台灣本島雨量站十分鐘最大降雨記錄與其高程及地理分區

由圖中可看出並無特定之相關趨勢呈現，由於一般之散佈圖無法看出趨勢，因此研究中試以 K-means 群聚 (Clustering) 分析之方式試圖辨認水文特性與高程之可能關聯。群聚分析之目的在於辨認資料之相似特性，並將資料依此特性分為不同群聚 (或稱群集)，同一群聚之對象具有均一性 (homogeneity) 之特徵，而不同群聚之對象則具有明顯之異質性 (heterogeneity) [14]。K-means 群聚分析之進行概略流程如下：

1. 設定資料空間之群聚數為  $K$
2. 於資料空間中隨機設定  $K$  個點作為群聚中心。
3. 計算空間內每一資料點至  $K$  個群聚中心之距離
4. 指定各資料屬於其距離最近之群聚中心。
5. 所有資料點分配計算完畢後，每一群聚再次以所分配之資料點計算平均(means)以更新群聚中心。
6. 重複以上距離計算、分配群聚及更新群聚中心之流程直至收斂（每次更新後群聚中心無太大變動）。

圖 3.1.2 為 K-means 群聚分析之結果，圖中 X 軸為各雨量站之記錄最大 10 分鐘雨量，Y 軸為各雨量站之高程，圖中群聚數由左至右由上至下為 2 至 10，並以不同顏色表示之，可看出群聚與高程有對應關係。

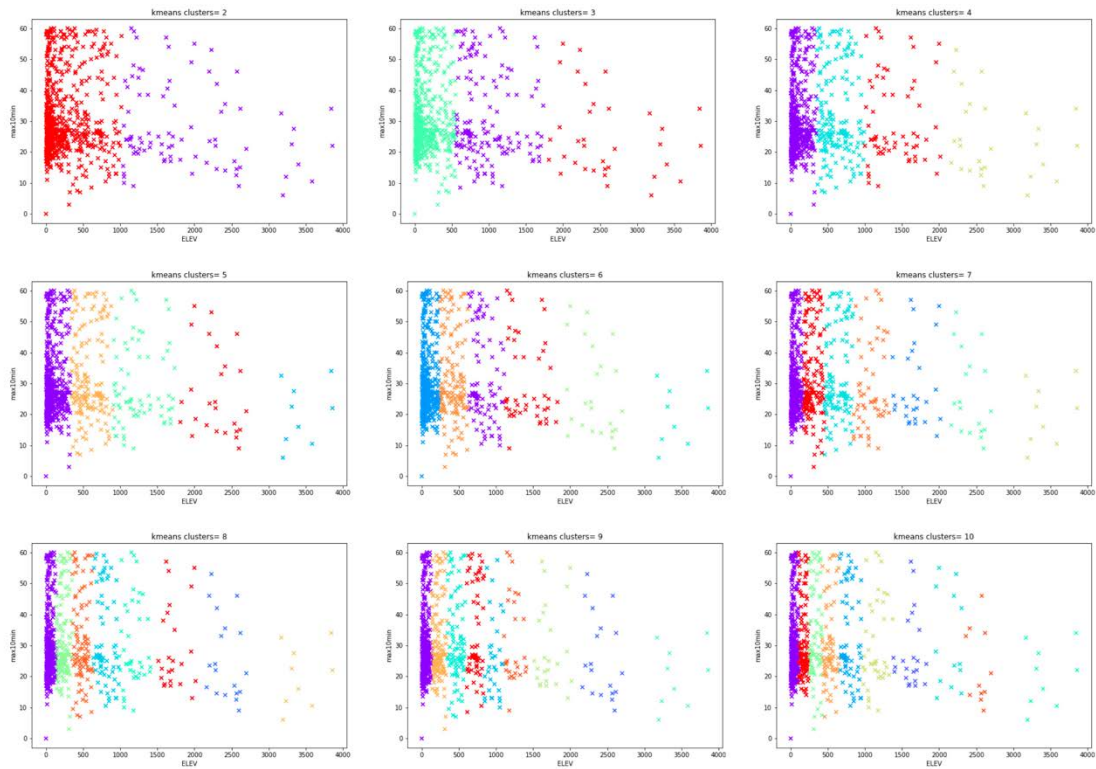


圖 3.1.2 全台雨量站 10 分鐘最大雨量與高程之 K-means 群聚分析

圖 3.1.3 為 60 分鐘雨量之不同地理區間及高程之散佈圖，與 10 分鐘雨量結果呈現類似無相關之趨勢，此點與 Zbyněk Sokol 等[12]之研究結論相同。

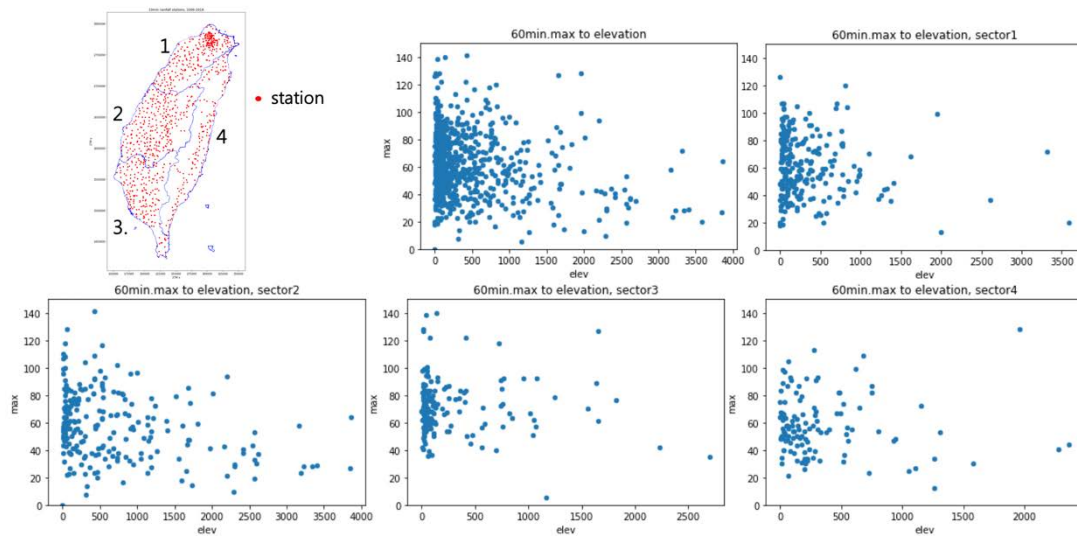


圖 3.1.3 台灣本島雨量站六十分鐘最大降雨記錄與其高程及地理分區

圖 3.1.4 為 K-means 群聚分析之結果，圖中 X 軸為各雨量站之記錄最大 60 分鐘雨量，Y 軸為各雨量站之高程，群聚數於圖中由左至右由上至下為 2 至 10，可看出群聚之分布亦與高程有對應關係。此結果未來可應用於指定區域之雨量站由點雨量轉換至面雨量時，幫助掌握降雨之空間變異性。

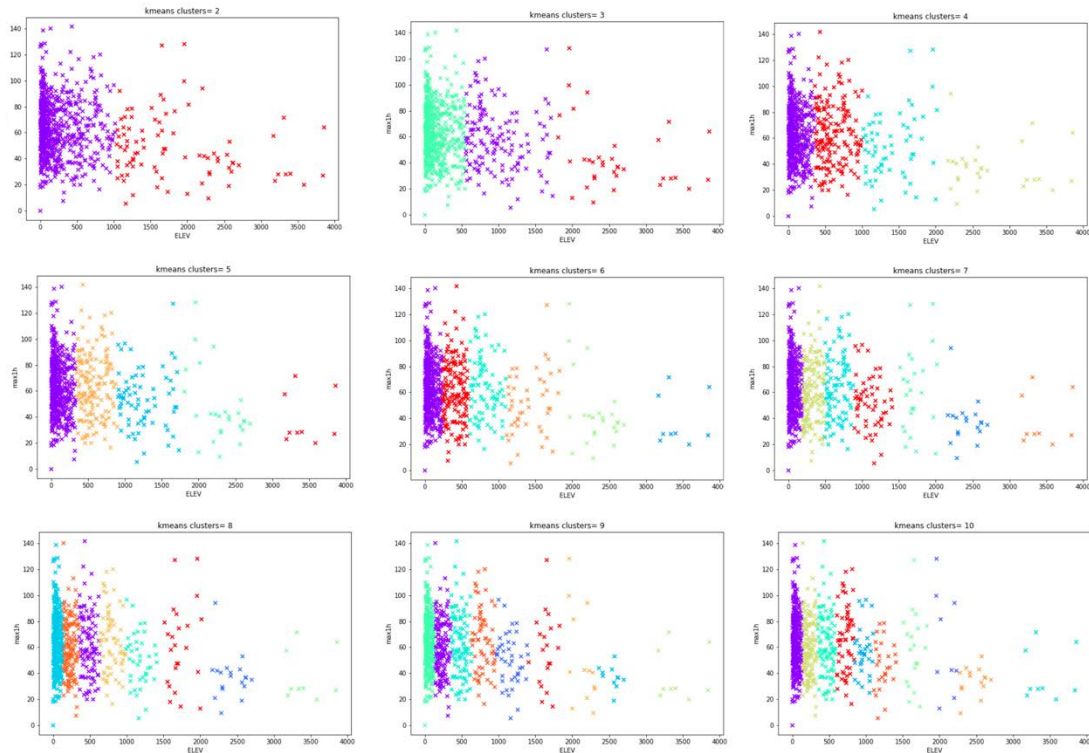


圖 3.1.4 全台雨量站 60 分鐘最大雨量與高程之 K-means 群聚分析

為了解最大雨量之空間分布，下圖(3.1.5)為各雨量站記錄中最大 10 分鐘雨量經內插處理後之空間分布圖。



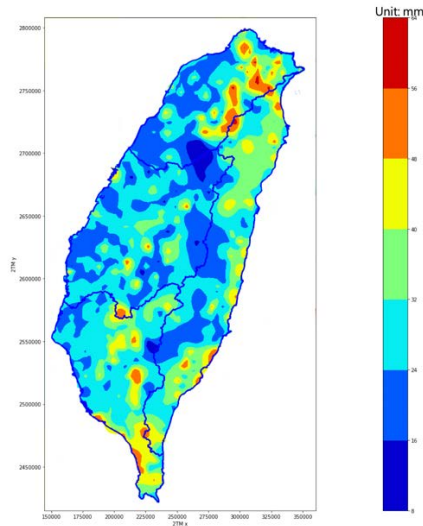


圖 3.1.5 各雨量站記錄中最大 10 分鐘雨量經內插處理後之空間分布圖

由圖中可看出 10 分鐘最大雨量出現最多之空間區位為中部及北部，其次為南部及東部。而 100 公尺以下之平原地區較 100 公尺以上之地區之頻率為高。

### 3.2 致災暴雨門檻值分析：

台灣之下水道設計一般使用五年設計頻率，部分地方政府由於財政關係或是地方工程建設之先後考量，會使用三年或是二年之設計頻率。內政部之下水道設計指南中對於造成都市淹水之原因有相當詳細之敘述可參考 [4]。圖 3.2.1、3.2.2 及 3.2.3 為台灣本島雨量站之一、二及三小時降雨量與其延時內最大 10 分鐘降雨量散佈圖。其中紅色點表示颱風降雨，藍色點表示非颱風降雨。圖內黃色線為台北市下水道設計標準[4]中台北市中正橋測站 Horner 公式 2、10、25、50、100、200 年重現期之降雨量，紅色虛線為 5 年重現期之降雨量。若以此作為致災門檻值之設定，降雨量超過此設計標準代表超出下水道之容受

範圍，將有局部內水積淹之可能。X 軸及 Y 軸之 5 年重限期線可將點散佈空間分為四個象限，其中第一象限表示 10 分鐘及一、二及三小時雨量均超過設計規範，第二象限表示 10 分鐘雨量未超過設計規範但一、二及三小時雨量超過設計規範，此代表較長延時之雨量超過設計基準後可能致災；第三象限表示 10 分鐘雨量及一、二及三小時雨量均未超過設計規範，亦即若無管線阻塞或其他突發事故較不會發生積淹事件；第四象限表示 10 分鐘雨量超過設計規範但一、二及三小時雨量未超過設計規範，即有短延時降雨積淹事件發生之可能。圖中除第三象限外均有內水積淹之可能。圖中 X 軸為 10 分鐘雨量 (mm)，Y 軸為一、二及三小時雨量 (mm)。

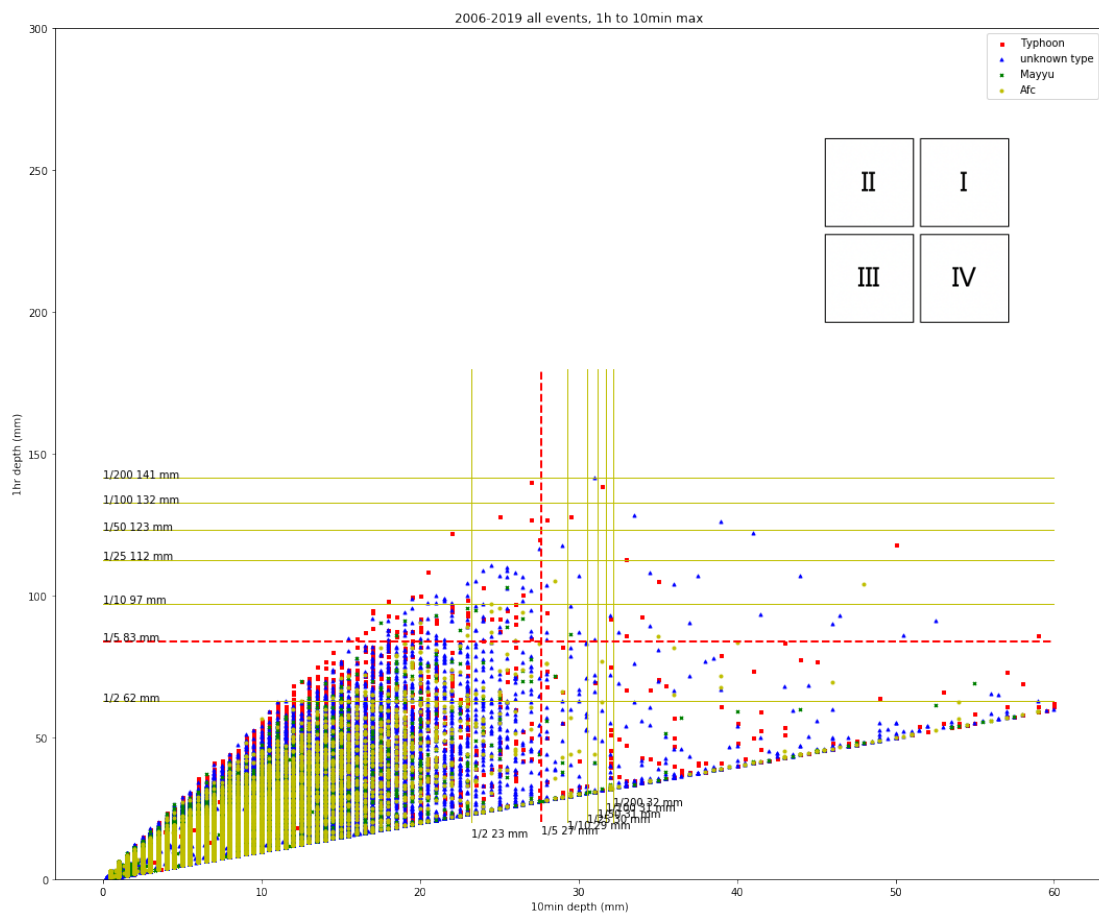


圖 3.2.1 一小時降雨量與其延時內最大 10 分鐘降雨量散佈圖



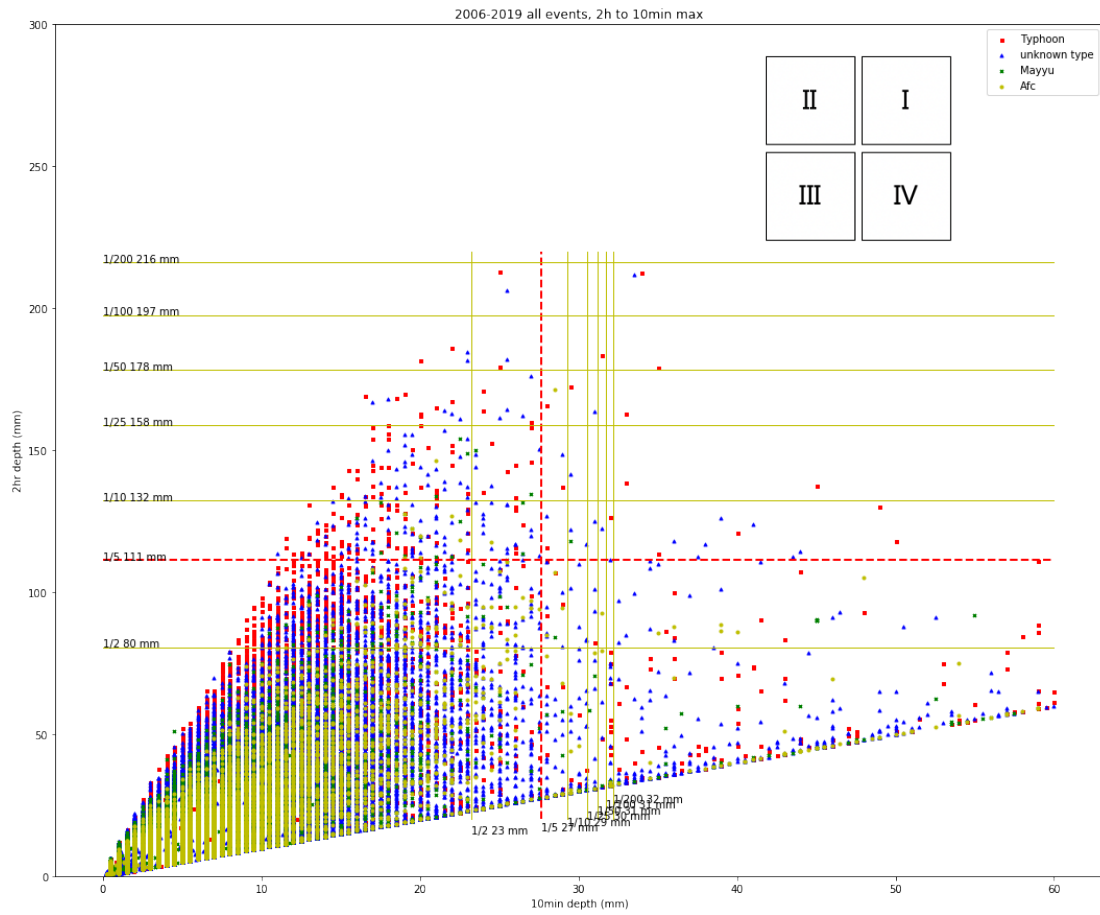


圖 3.2.2 二小時降雨量與其延時內最大 10 分鐘降雨量散佈圖

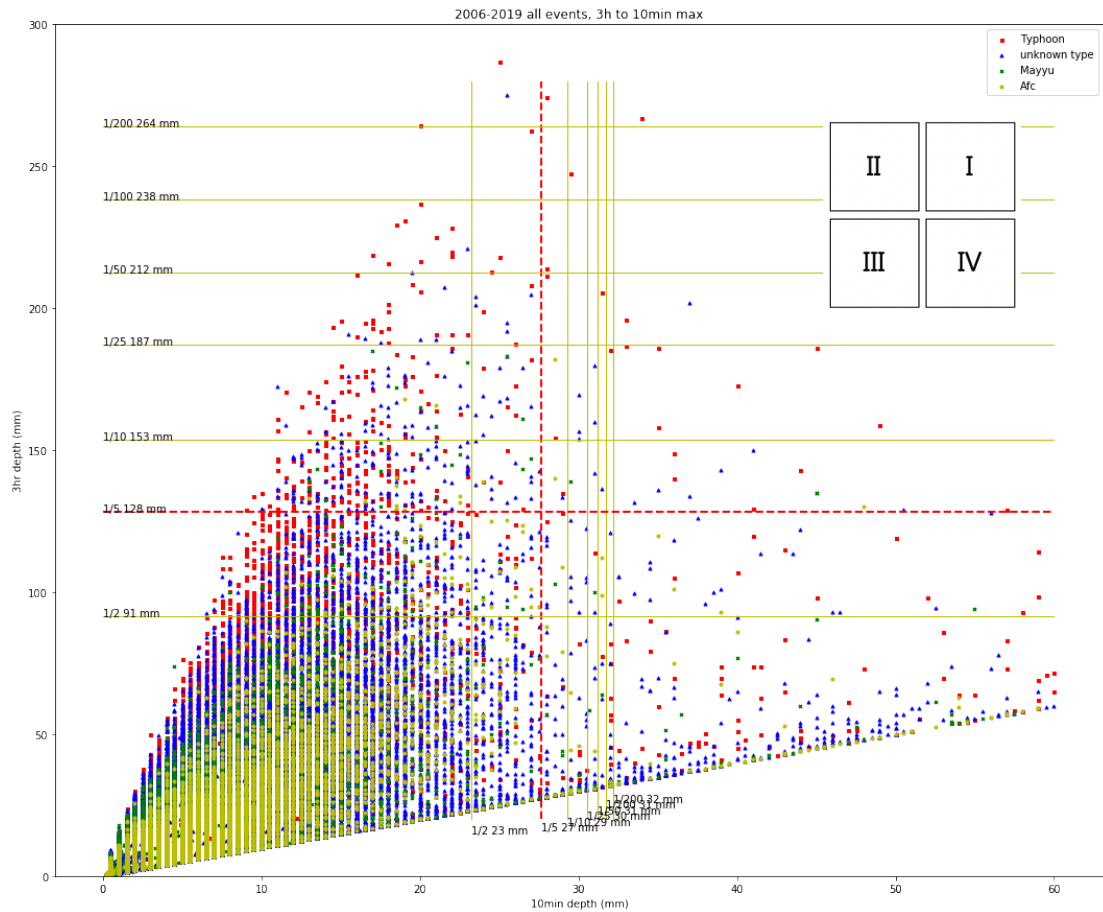


圖 3.2.3 三小時降雨量與其延時內最大 10 分鐘降雨量散佈圖

圖中可看出梅雨及午後對流主要影響之延時為兩小時內，而颱風則在不同延時均可能致災。

圖 3.2.4 為上三圖中第二象限（一、二及三小時降雨量超過五年重現期）與第四象限（一、二及三小時下降雨延時內 10 分鐘最大雨量超過五年重現期）之比值。可看到颱風型態之降雨與其他氣象因子下之降雨特性明顯不同。亦即颱風之三小時降雨之 10 分鐘最大雨量超過五年重現期之比值較數較下為多，但三小時之一、三象限數量相差不大。

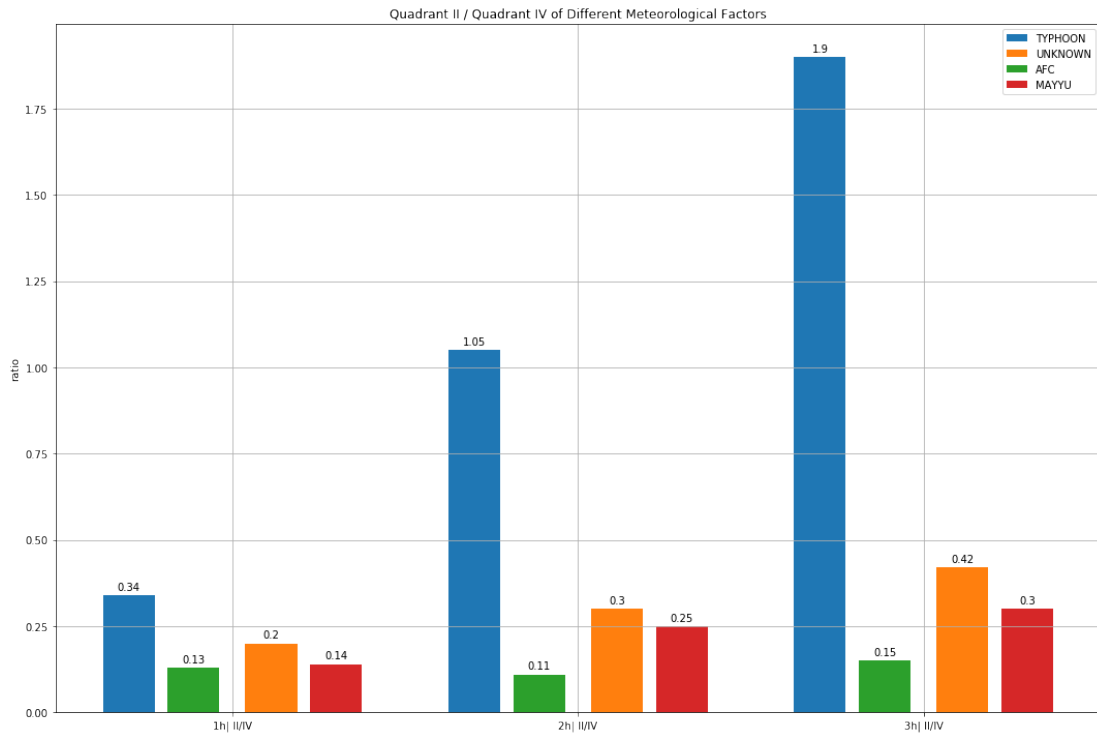


圖 3.2.4 各延時雨量之第二象限（長延時致災）與第四象限（短延時致災）比值

較短延時之降雨可能致災事件集中在一、四象限，代表較長集流時間之區域排水及較短延時之雨水下水道均有可能發生排水不及之積淹。梅雨及午後對流則主要是在雨水下水道可能發生排水不及之積淹情境較多。

圖 3.2.5 為不同象限之颱風與午後對流及颱風與梅雨之發生次數比值。可看到在第二象限，即較長延時降雨致災，颱風為最主要之氣象因子；但在第四象限，即短延時降雨致災，各項氣象因子之比值相差不大。

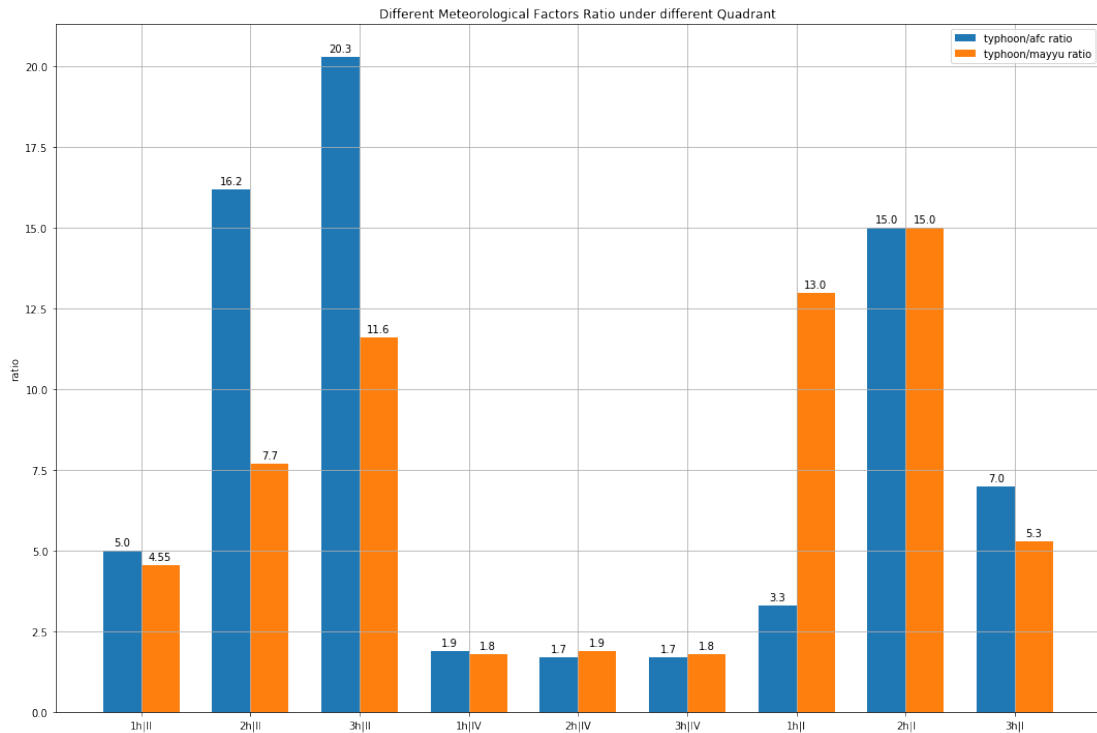


圖 3.2.5 不同象限之颱風與午後對流及颱風與梅雨之各延時雨量發生次數比值

### 3.3 示範區暴雨與地形高程及致災門檻值分析

為了解地形高程與致災之關係，研究中以相對地表高程指數之計算進行。相對地表高程指數之計算方法為：以特定區域之一點為中心點，並取一定距離作為計算範圍，以此範圍之平均地盤高程作為判斷依據，計算此點之高程相對比率值，以此作為研判內水氾濫潛勢地區之指標。此相對地表高程指數為 0~1 之指數，數字愈小代表愈不容易排水，數字愈高代表愈不容易有積淹情況之發生。在此計算範圍以漫地流之長度作為參數，研究中以內政部之空間解析度 20 米之數值高程資料，假設區域內之漫地流長度為 80 公尺進行計算。圖 3.3.1 中由上至下為地面相對高程由數值高程、地盤回歸平面（一階回歸）或地盤回歸曲面（二階回歸）進行判定之結果，圖由左至由為區域面積參數為 102m<sup>2</sup>、602m<sup>2</sup>、1202m<sup>2</sup>所擷取之示範區相對地表高程指數。

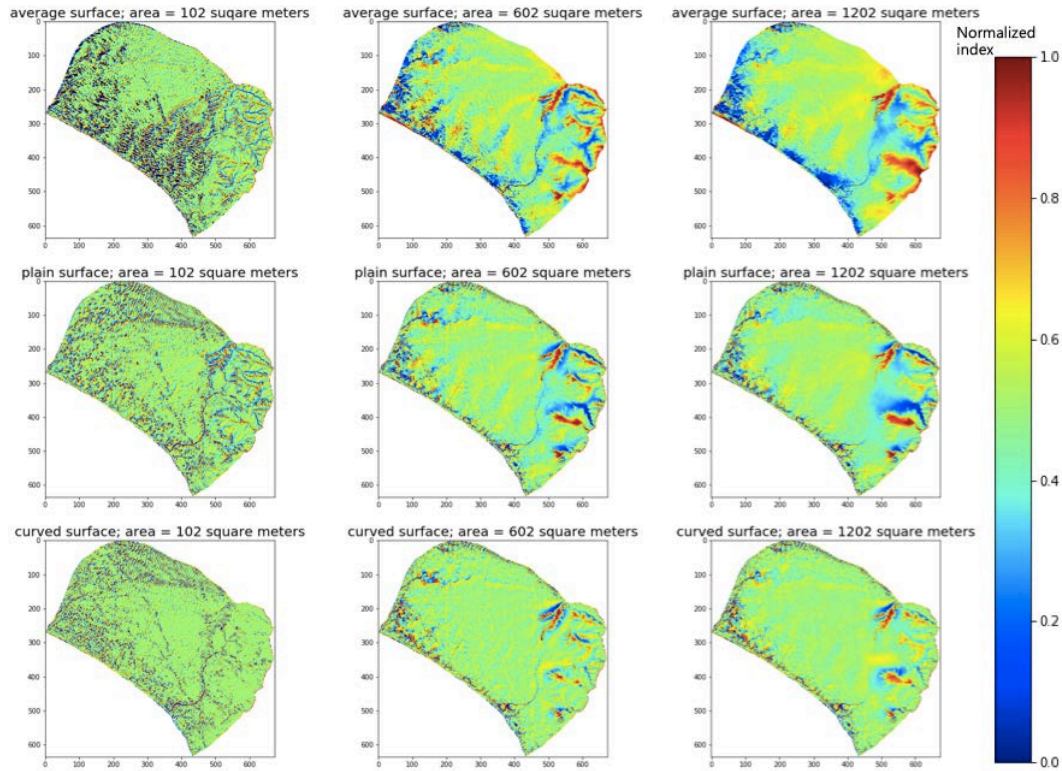


圖 3.3.1 不同相對高程判定方式所擷取之相對地表高程指數比較

為了解相對高程指數於致災門檻值之應用性，研究中試以研究區域之相對高程指數作為支持向量機(SVM)之模式訓練用特徵。由 Lin and Chen [13]之研究中可知模式訓練時輸入項之決定對於模式輸出有一定的影響，不同的輸入項將產生不同的模式結果。研究中訓練使用之特徵值 (feature, 或有研究稱為 attribute) 為區域內之高程、地形相對高程指數、地表利用、點位空間位置、颱風淹水範圍以及最大 10 分鐘雨量。由於模式訓練之特徵值選用對於 SVM 模式之建立亦有影響，研究中以不同參數所擷取之地形相對高程指數，配合不同之其他特徵值，試圖建立可以快速反應示範區內淹水範圍之機器學習模式。使用線性核或 RBF(Radial Basis Function)所需之計算時間不同外，所得之訓練結果也不相同。以下是以不同核函數進行訓練所得之結果比較。圖 3.3.2 為使用線性核函數之不同 10 分鐘雨量之預測結果，下圖 3.3.3

使用高斯 radial basis function (RBF) 核函數之不同 10 分鐘雨量之預測結果，圖中黑色部分為不同降雨情境下所得之淹水範圍。

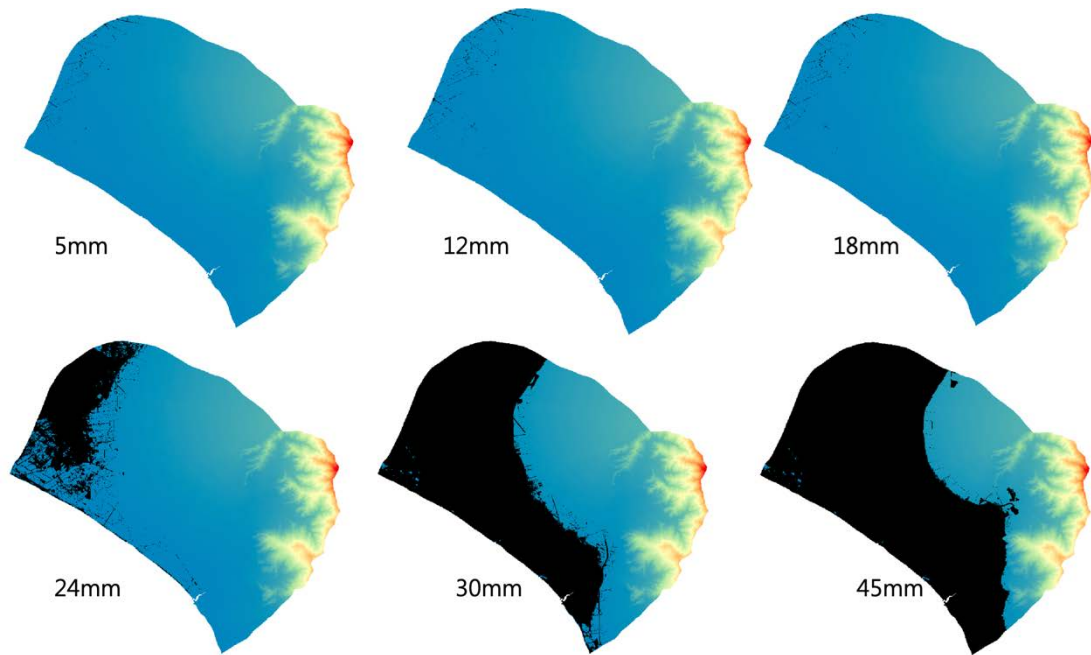


圖 3.3.2 使用線性核函數之不同 10 分鐘降雨量之預測結果

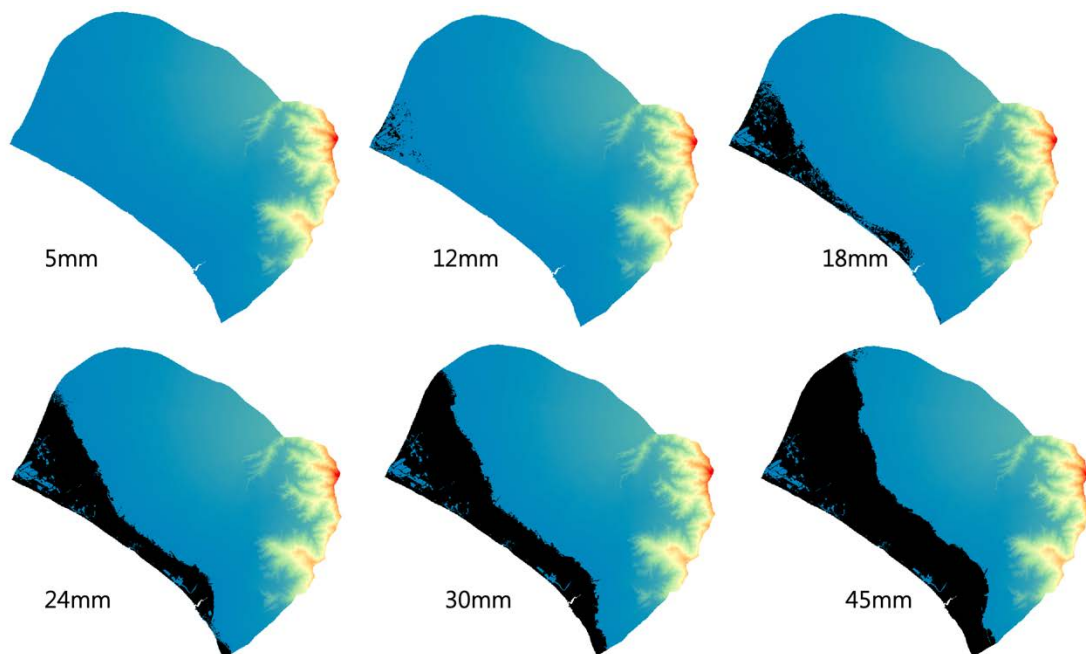


圖 3.3.3 使用 RBF 核函數之不同 10 分鐘降雨量之預測結果



就訓練所費時間而言，線性核函數之訓練所費時間較高斯核函數所費時間為短，因函數複雜度不同緣故，而就結果而論，由於僅使用莫拉克及尼莎颱風進行模式訓練，使用之歷史淹水範圍僅有標示而無水深資訊，因此模式之訓練內容為分類而非回歸，因此訓練之結果尚有很大之進步空間。未來可配合使用淹水調查之點位水深資料，以及配合空間變異雨量輸入以進行回歸分析，將可提高模式之訓練結果。

### 3.4 淹水減災工程方案研擬及模擬結果

由屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉 100 年重現期淹水模擬結果可知(如圖 3.4.1 所示)，佳冬鄉羌園村及枋寮鄉人和村為淹水嚴重地區，故本研究以佳冬鄉羌園村及枋寮鄉人和村為淹水減災示範區。

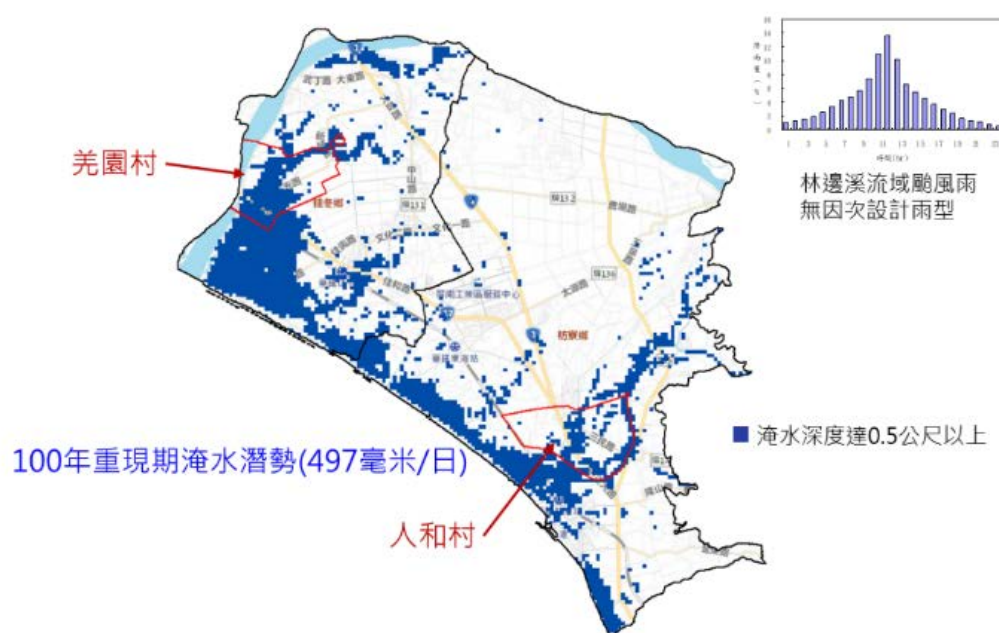


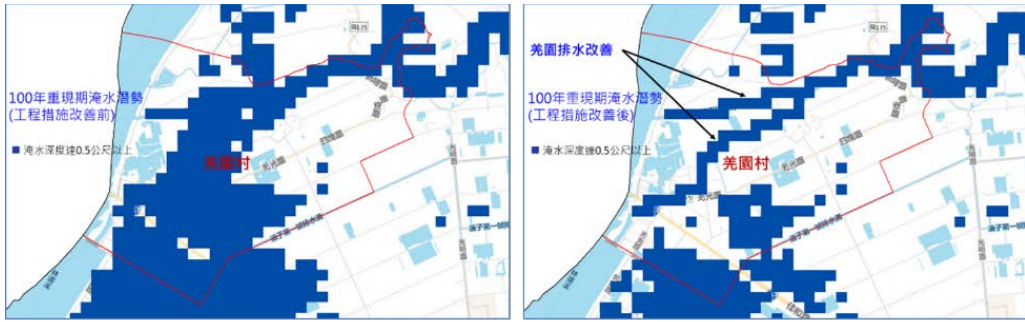
圖 3.4.1 屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉 100 年重現期淹水潛勢

根據歷史災情及水利設施狀況，本研究研擬之淹水減災工程方案——佳冬鄉羌園村為羌園排水改善(排水路平均挖深約 1 公尺以增加通

水能力)及台 17 線路基抬高 1 公尺等 2 方案；枋寮鄉人和村則為北勢寮排水改善(排水路平均挖深約 1 公尺以增加通水能力)。圖 3.4.2 為佳冬鄉羌園村羌園排水改善前後之淹水模擬結果，由圖可知，羌園排水增加通水能力後(提高約 50%)，可將排水路周邊積水排除，工程方案改善前淹水面積為 108 公頃，工程方案改善後則為 46 公頃，工程方案改善前影響人口為 686 人，工程方案改善後則為 287 人；圖 3.4.3 為佳冬鄉羌園村羌園排水改善及台 17 線路基抬高前後之淹水模擬結果，由圖可知，雖然羌園排水增加通水能力後(提高約 50%)，可將大部分排水路周邊積水排除，但由於台 17 線路基抬高後產生路堤效應，使得台 17 線與羌園排水之間產生積淹，且無法經由羌園排水排除，工程方案改善前淹水面積為 108 公頃，工程方案改善後則為 59 公頃，工程方案改善前影響人口為 686 人，工程方案改善後則為 334 人；圖 3.4.4 為枋寮鄉人和村北勢寮排水改善前後之淹水模擬結果，由圖可知，北勢寮排水增加通水能力後(提高約 50%)，可將部分排水路周邊積水排除，工程方案改善前淹水面積為 90 公頃，工程方案改善後則為 75 公頃，工程方案改善前影響人口為 544 人，工程方案改善後則為 411 人。上述影響人口資料來源為 107 年 12 月屏東縣最小統計區人口(如圖 3.4.5 所示)。

從上述結果可知，排水改善(排水路挖深以增加通水能力)可減少淹水面積。本研究為數值模擬成果，研究過程必須作若干合理之假設(如：以 DTM 數值地形高程平均而得之 80 公尺×80 公尺數值模擬網格代表模擬區域之實際地形)，故模擬結果有其不確定性。

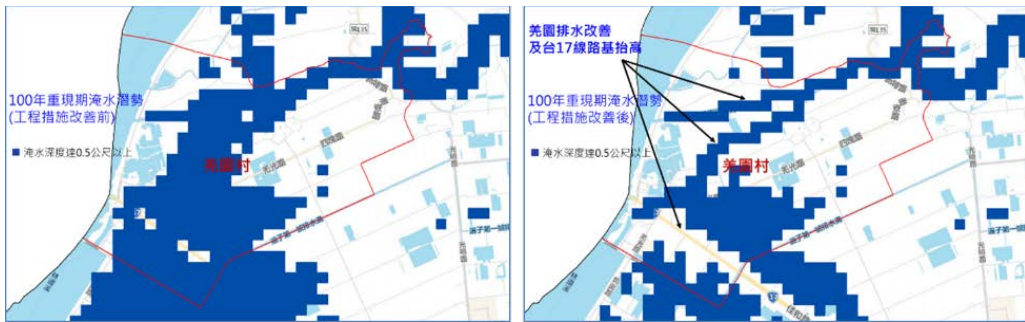




美園村(299公頃,1246人)  
 淹水面積：108公頃(36%)  
 影響人口：686人(55%)

淹水面積：46公頃(15%)  
 影響人口：287人(23%)

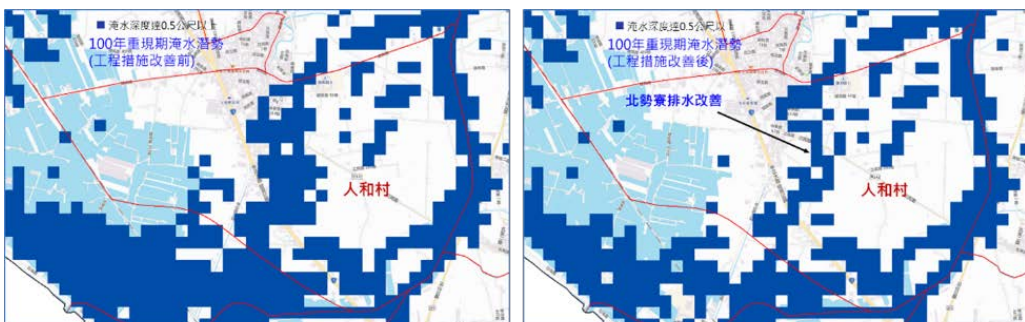
圖 3.4.2 佳冬鄉美園村淹水減災工程方案(1)美園排水改善模擬結果



美園村(299公頃,1246人)  
 淹水面積：108公頃(36%)  
 影響人口：686人(55%)

淹水面積：59公頃(20%)  
 影響人口：334人(27%)

圖 3.4.3 佳冬鄉美園村淹水減災工程方案(2)台 17 線路基抬高模擬結果



人和村(332公頃,2368人)  
 淹水面積：90公頃(27%)  
 影響人口：544人(23%)

淹水面積：75公頃(23%)  
 影響人口：411人(17%)

圖 3.4.4 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案模擬結果

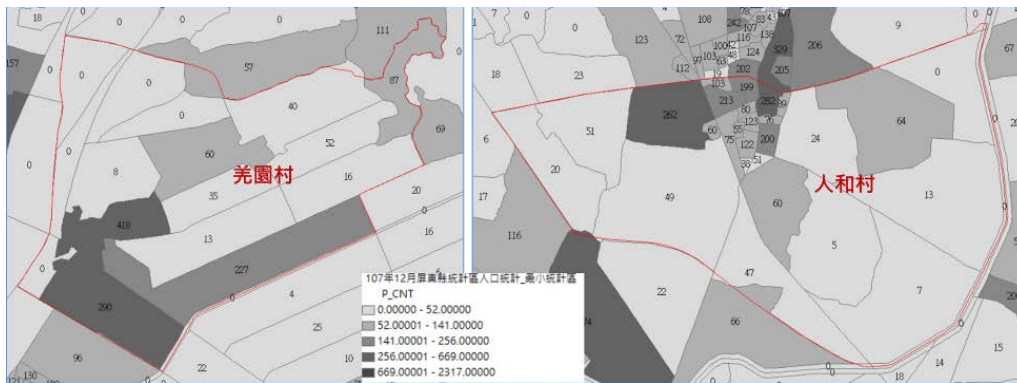


圖 3.4.5 佳冬鄉羌園村及枋寮鄉人和村 107 年 12 月最小統計區人口

### 3.5 淹水減災工程方案適宜性分析

本研究以枋寮站 5 年(336 毫米/日)、25 年(429 毫米/日)、100 年(497 毫米/日)及 500 年(569 毫米/日)重現期降雨量，進行屏東縣佳冬鄉及枋寮鄉淹水減災工程方案改善前後之淹水模擬(淹水減災工程方案研擬如 3.4 節所述)，並統計淹水面積及影響人口。圖 3.5.1 及圖 3.5.2 為佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案改善前後之各重現期淹水模擬結果，表 3.5.1 及表 3.5.2 為佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案改善前後之淹水面積及影響人口統計，由表可知，隨重現期降雨量越大，淹水面積及影響人口減少率則越小，其中，5 年重現期工程方案(2)改善後之淹水面積(38 公頃)，雖然大於工程方案(1)改善後之淹水面積(29 公頃)，但工程方案(2)改善後之影響人口(150 人)，卻小於工程方案(1)改善後之影響人口(186 人)，其原因為淹水面積增加的範圍為人口較少的地區，如圖 3.5.3 所示；圖 3.5.4 為枋寮鄉人和村淹水減災工程方案改善前後之淹水模擬結果，表 3.5.3 及表 3.5.4 為枋寮鄉人和村淹水減災工程方案改善前後之淹水面積及影響人口統計，由表可知，隨重現期降雨量越大，淹水面積及影響人口減少率差別並不大，其原因應與

淹水面積及影響人口減少率較小有關。

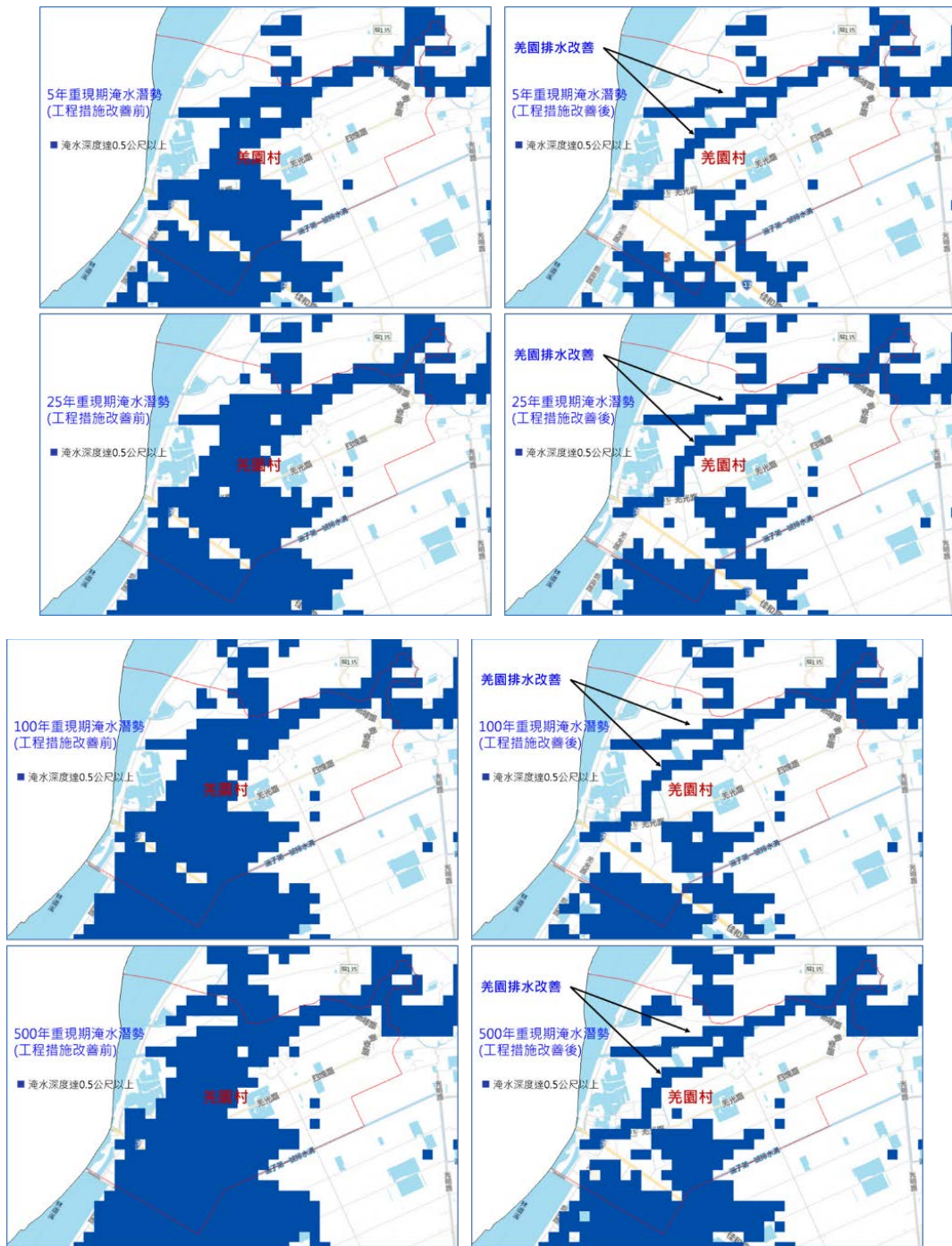


圖 3.5.1 佳冬鄉美園村淹水減災工程方案(1)模擬結果



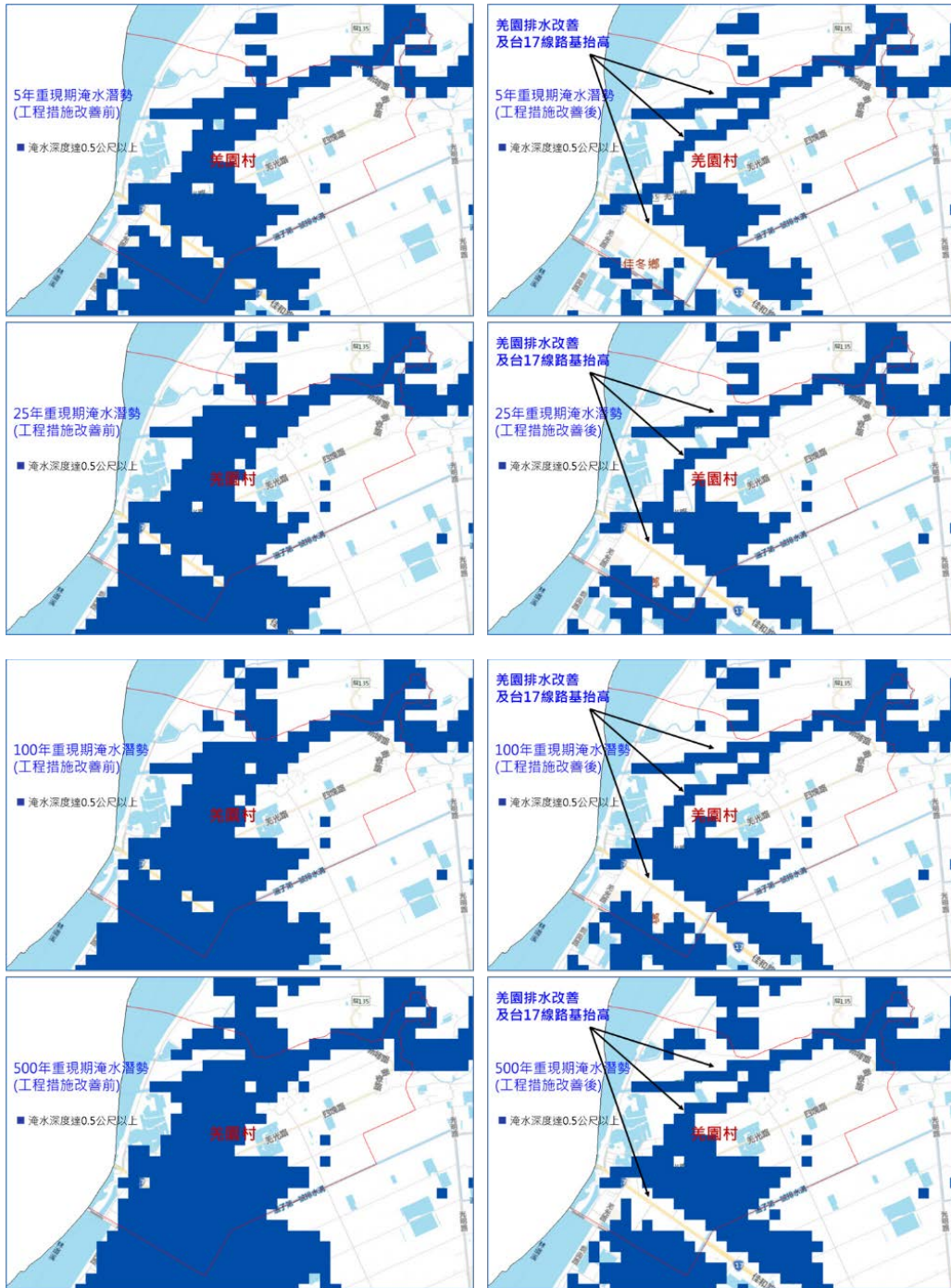


圖 3.5.2 佳冬鄉美園村淹水減災工程方案(2)模擬結果

表 3.5.1 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案改善前後之淹水面積統計

各重現期	工程方案改善前淹水面積	工程方案(1)改善後淹水面積	工程方案(1)改善後淹水面積減少率	工程方案(2)改善後淹水面積	工程方案(2)改善後淹水面積減少率
5年	79	29	63%	38	52%
25年	100	42	58%	52	48%
100年	108	46	57%	59	45%
500年	127	64	50%	75	41%

註：淹水面積(公頃)為計算淹水深度0.5公尺以上之區域

表 3.5.2 佳冬鄉羌園村淹水減災工程方案改善前後之影響人口統計

各重現期	工程方案改善前影響人口	工程方案(1)改善後影響人口	工程方案(1)改善後影響人口減少率	工程方案(2)改善後影響人口	工程方案(2)改善後影響人口減少率
5年	488	186	62%	150	69%
25年	635	259	59%	260	59%
100年	686	287	58%	334	51%
500年	760	383	50%	420	45%

註：淹水面積(公頃)為計算淹水深度0.5公尺以上之區域

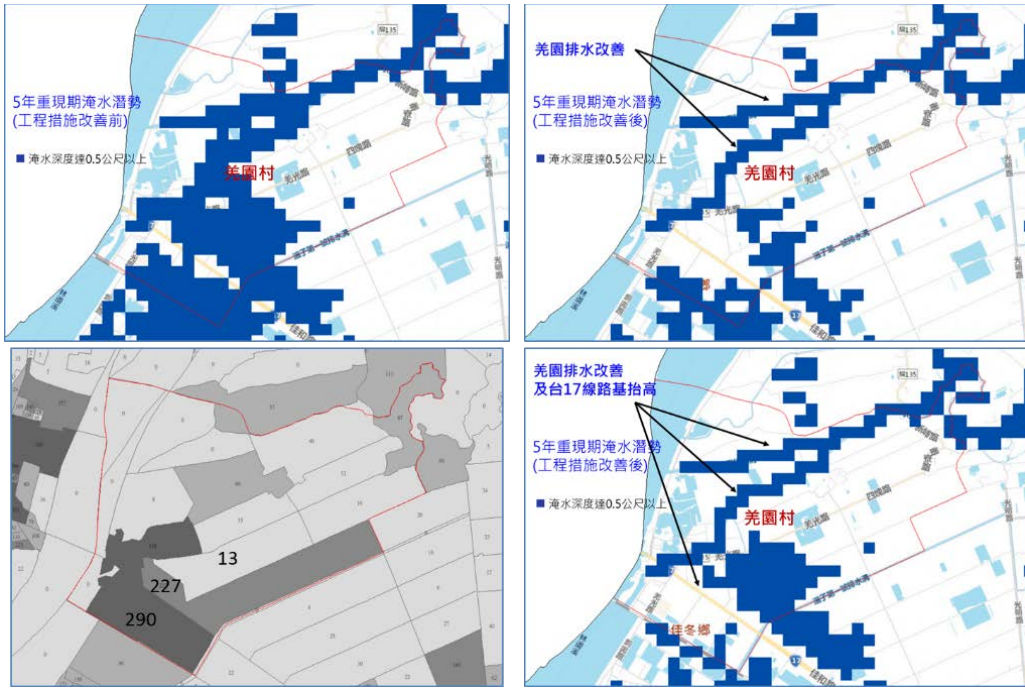


圖 3.5.3 佳冬鄉美園村淹水減災工程方案改善前後淹水面積比較



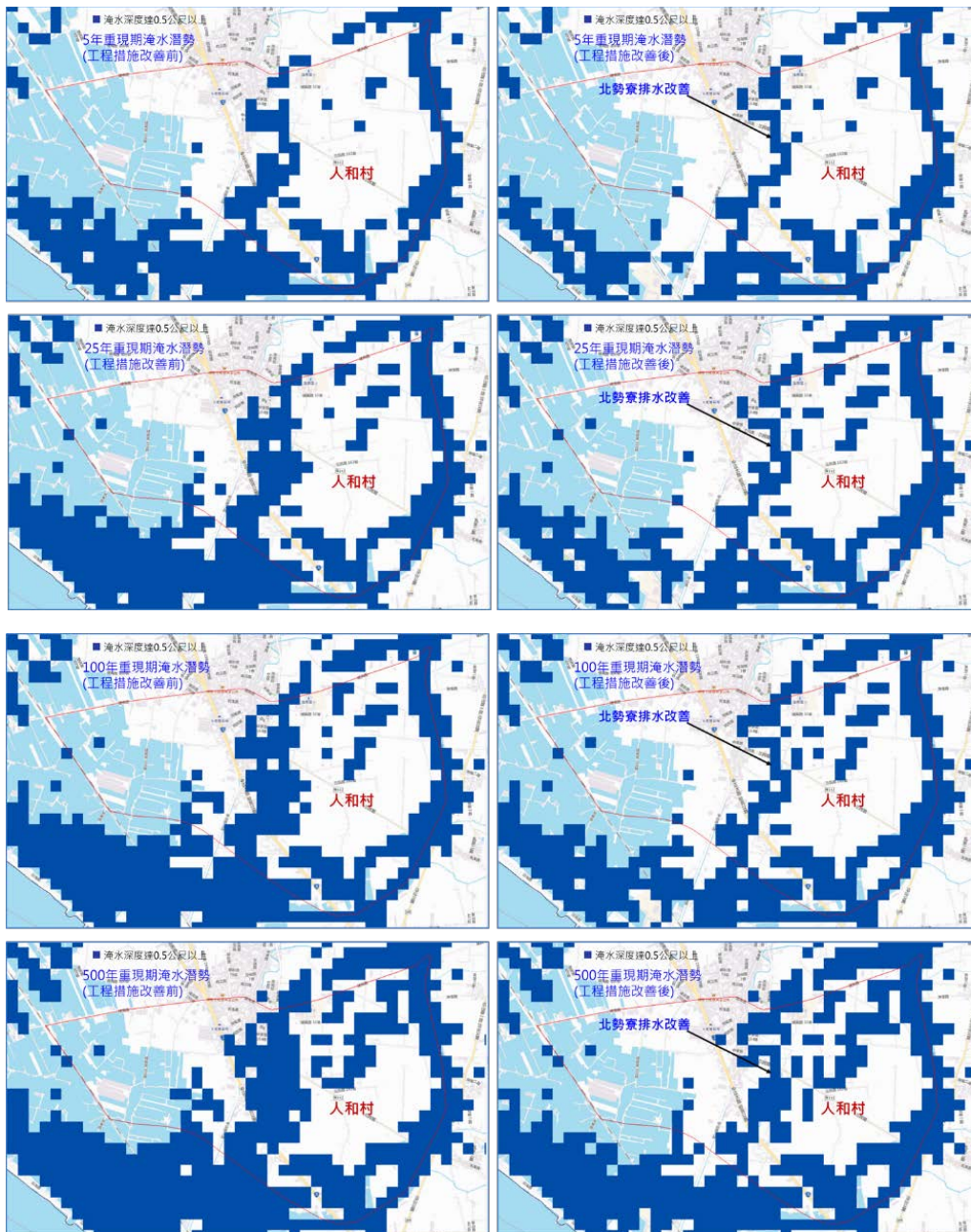


圖 3.5.4 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案模擬結果



表 3.5.3 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案改善前後之淹水面積統計

各重現期	淹水面積(公頃)		淹水面積 減少率
	工程措施改善前	工程措施改善後	
5年	56	49	13%
25年	83	69	17%
100年	90	75	17%
500年	118	99	16%

註：淹水面積為計算淹水深度0.5公尺以上之區域

表 3.5.4 枋寮鄉人和村淹水減災工程方案改善前後之影響人口統計

各重現期	影響人口數		影響人口數 減少率
	工程措施改善前	工程措施改善後	
5年	273	199	27%
25年	448	337	25%
100年	544	411	24%
500年	656	493	25%

註：淹水面積為計算淹水深度0.5公尺以上之區域

## 第四章 問題討論與未來展望

### 4.1 問題討論與未來展望

降雨資料精度方面：

研究中使用之十分鐘降雨資料，由於並未經過 QA 及 QC 之處理，資料清洗方面除指定單站之降雨特性，可能需要利用 K-means 群聚分析結果，使用指定單站之降雨特性有相關之其他站資料進行比對，以得到更好的資料清洗結果。

降雨資料應用方面：

研究中使用之降雨資料為地面觀測站資料，由圖中可看出地面觀測站(COR380)之單點資料未必能代表研究區域內降雨之空間趨勢，未來若能使用 QPESUMS 之空間分布降雨資料，將能提高模擬之精度。

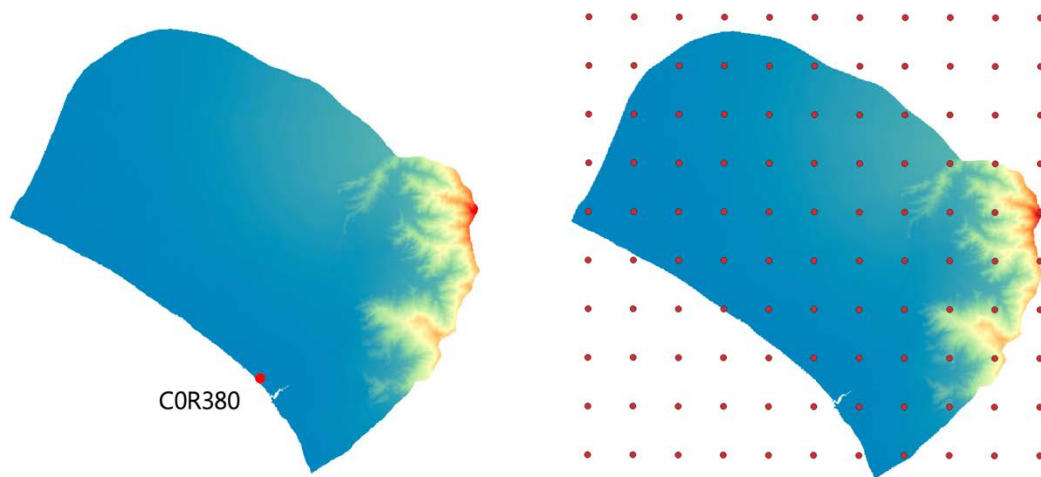


圖 4.1.1 示範區內雨量觀測站(左圖)及 QPESUMS 點位(右圖)

地形相對高程指數方面：

研究中使用三種方式決定指定點於相對範圍內之相對高程，其中

相對範圍對應於漫地流之最長長度，而相對高程則表示重力排水之難易度。相對高程之決定係以指定點與相對範圍內其他點與(1)區域內平均高程、(2) 區域之一維回歸平面以及(3) 區域之二維回歸曲面之垂直距離排序所決定。其中所需決定之主要參數為使用之 DEM 空間解析度以及相對範圍之大小選定。研究中係使用 20 米空間解析度之數值高程資料，選用之相對範圍為 1,488,400 平方公尺。由於研究中主要著眼之淹水現象為內水，未來若欲將外水現象亦納入考量，則範圍之選取可能需更大。

#### SVM 模式訓練方面：

輸入項的決定對於 SVM 之模式訓練有一定的影響，不同的訓練使用之特徵值將產生不同的訓練結果。而模式訓練所需要的時間亦隨特徵值之數量及複雜度有相關。SVM 選用之核函數也影響甚劇。研究中使用分類中最常使用之線性核及高斯核兩種核函數，未來將對核函數之參數進行更進一步之探索。此外，研究中使用之特徵值（feature，或有研究稱為 attribute）為區域內之高程、地形相對高程指數、地表利用、點位空間位置、颱風淹水範圍以及最大 10 分鐘雨量。未來若以不同參數所擷取之地形相對高程指數，配合不同之其他特徵值，以及空間分布雨量，將可得到更良好之結果。

#### 淹水減災工程方案研擬方面：

本研究以二維淹水模式，進行示範區淹水減災工程方案實施前後之淹水模擬，從模擬結果可知，淹水減災工程方案可以改善淹水面積及影響人口之情形，此結果可提供相關單位規劃淹水減災工程方案之參考，冀能提升災害防救成效。



## 參考文獻

- [1] 屏東縣淹水潛勢資料，防災國家型科技計畫辦公室，民國 89 年
- [2] 屏東縣淹水潛勢圖第二次更新計畫，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 103 年
- [3] 水文設計應用手冊，2001，經濟部水資源局。
- [4] 雨水下水道設計指南。內政部營建署。中華民國九十九年七月。
- [5] 2017 尼莎暨海棠颱風災害報告，行政法人國家災害防救科技中心民國 107 年。
- [6] V. Vapnik. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag, New York, NY, 1995.
- [7] 黃鵬、譚紅專、周立波、奉水東。支持向量機在洪災區創傷性應激障礙預測中的應用。Chin J. Epidemiol, January 2009, Vol. 30, No. 1。
- [8] <https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/?fbclid=IwAR0OC88La6d6lLgpC0QjSgYDfUbWz3YEQWwF13b164Tn-6mOAdP4qzcIb0A>
- [9] Yu, P.S., Chen, S.T., Chang, I.F., “Support vector regression for real-time flood stage forecasting”, *Journal of Hydrology*, Vol. 328, Issues 3-4, pp. 704-716, 2006.
- [10] 王志煌、鐘秉宸、林國峰。颱風期間即時淹水地圖預報之研究。農業工程學報 第 62 卷第 4 期，2016.12
- [11] 黃成甲、葉森海、許銘熙、葉克家。二維淹水分散計算系統簡介。災害防救電子報，2013/04，第 093 期
- [12] Zbyněk Sokola, Vojtěch Bližňák, Areal distribution and precipitation–altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year, *Atmospheric Research*, Volume 94, Issue 4, December 2009, Pages 652-662

- [13] Lin, Keng-Pei & Chen, Ming-Syan. (2008). Releasing the SVM Classifier with Privacy-Preservation. 899-904. 10.1109/ICDM.2008.19.
- [14] 林旭信、蔡孝忠、甘稟玄、廖英博，結合群聚分析與人工智慧於颱風時雨量預測，台灣水利，第 57 卷第 3 期，民國 98 年。



## 驟發型淹水風暴之災害衝擊研究

---

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 108 年 12 月

出版年月：中華民國 109 年 01 月

版 次：第一版

非賣品



地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>