臺中市政府 104 年度市政發展研究論文獎助計畫實務工作研究論文

臺中市政府災害應變中心災害情資研判程序精 進策略研究

A Study on the Improvement of Decision Support Procedure of Flood Response for the Emergency Operation Center of Taichung City Government

研究人員:陳柏蒼、鍾侑達、李哲源

學 校:逢甲大學

系 所:水利工程與資源保育學系

中華民國 104 年 8 月

摘要

臺中市災害應變中心於風水災害來臨時,應變期間主要依賴交通部中央氣象局、水利署防災資訊服務網、行政院農委會水土保持局、國家災害防救科技中心等防災相關單位所提供之災害資訊及風水災害潛勢圖進行淹水災害情勢預判,其中風水災害潛勢圖屬靜態圖資且為假設情境下預行建置之成果,因此,若可於情資研究程序中在應變期間未有其他即時水文與水量的分析情況下,其之使用就現況而言,為不得不之必然導入即時淹水模擬模式,以動態之災時氣象水文及地理狀況等條件進行淹水模擬,有助於即時掌握地區淹水趨勢概況。

本研究發展即時淹水預報決策支援系統(Real-time Flooding Prediction Decision Supporting System, RFP-DSS),以卡玫基及蘇力颱風下之氣候條件進行地文性淹排水模式(Physiographic drainage-inundation model, PHD)模式檢定與驗證,以蘇迪勒颱風事件進行即時淹水模擬演算,透過 GIS 軟體繪製與輸出即時淹水模擬成果,並分析臺中市各里之危險度,圖像化顯示臺中市轄區內各地可能淹水情況及標示淹水潛勢區域。配合中央氣象局之氣象站資訊、颱風預測路徑、雷達回波圖,水土保持局之土石流警戒資訊等防災情資,協助指揮官下達精準之應變指示,提升現有臺中市政府災害應變中心面對風水災害情資研判之即時性及強化風水災時之應變能力。

本研究發展之 RFP-DSS 結合中央氣象局所提供之雨量站監測資料及定量降雨預報資訊,提供即時預測之地表淹排水模擬結果及里級危險度分析,透過 GIS 軟體製作圖像呈現成果,提供指揮官掌握臺中市轄區內可能淹水區域之模擬概況及潛勢區域,利於提前災害之應變準備。後續研究建議可增加 3 至 12 小時之即時降雨預測資訊,降低淹水預測模擬成果與現況之差異;於淹水模擬精緻度之提升,可增加格網的細緻度,但相對會影響演算速度,此可以使用數位電路設計方式降低影響性;於資訊呈現上,建議將各平臺之防災情資整合至單一介面呈現,提升防災情資蒐集能力;未來可將 RFP-DSS 系統導入臺中市之深耕計畫,透過反覆擬訂與修正程序精進臺中市風水災害應變能力。

關鍵字:決策支援系統、即時淹水模擬、災害

目錄

摘要	
目錄	I
表目錄	
圖目錄	
第一章	研究緣起
第二章	研究目的與重點
第三章	文獻探討
3.1	即時氣候觀測資料
3.2	地表積淹水分布模擬
	3.2.1 水文集水區模式
	3.2.2 淹水模式
3.3	淹水預報方法
第四章	研究架構與分析方法
4.1	氣候觀測資料1
4.2	即時地表積淹水分布模擬1
	4.2.1 演算格網佈置
	4.2.2 PHD 模式理論
	4.2.3 邊界條件
4.3	決策輔助資訊分析2
第五章	研究成果2
5.1	即時氣候觀測資料2

	5.2	不規則格網建置	. 32
	5.3	PHD 模擬檢定	. 33
	5.4	PHD 模擬驗證	. 34
	5.5	PHD 即時模擬成果	. 35
第六	章	結論與建議	. 40
	6.1	結論	. 40
	6.2	建議	. 4 C
參考	文獻		. 42

表目錄

表 2-1	國內淹水潛勢圖資製作比較表	3
表 4-1	PHD 執行所需資料清單	14
表 4-2	不規則格網線與面向量屬性	19
表 4-3	土地使用糙度對照表	20
表 5-1	臺中市五大集水區雨量站	29
表 5-2	臺中市抽水站資訊	33
表 5-3	PHD 模式水道水理演算檢定表(檢定)	34
表 5-4	PHD 模式水道水理演算檢定表(驗證)	35
表 5-5	蘇迪勒颱風概況表	36
表 5-6	臺中市淹水潛勢區	38

圖目錄

圖	1-1	土地使用變動及暴雨增加導致地表逕流行為改變示意圖1
圖	4-1	即時淹水預報決策支援系統架構9
圖	4-2	部格區劃分示意圖
圖	4-3	最小統計區格網
圖	4-4	自動化格網生成流程13
圖	4-5	山區/市區劃分成果15
圖	4-6	山區集水區萃取成果15
圖	4-7	集水區細緻切割示意16
圖	4-8	山區格網整合程序成果17
圖	4-9	路網整合程序成果17
圖	4-10	市區格網數繪/編修程序格網成果18
圖	4-11	排水路數繪成果18
圖	4-12	不規則格網切割成果19
圖	4-13	相鄰格區間流量交換示意圖21
圖	4-14	堰流連接型相鄰格區之交界示意圖22
圖	4-15	自由堰流與潛沒堰流示意圖23
圖	4-16	箱式涵洞示意圖25
圖	4-17	箱式涵洞流況分類圖25
圖	4-18	箱式涵洞無因次水位-流量率定曲線25
圖	4-19	抽水站示意圖26
圖	4-20	危險度分析流程圖28

圖	5-1	雨量站暨雨量站範圍31
圖	5-2	雨量資料讀取轉換程式介面31
圖	5-3	自動化不規則格網成果
圖	5-4	卡玫基颱風事件淹水模擬成果
圖	5-5	PHD 模式卡玫基颱風-水位歷線比較(溪南橋)34
圖	5-6	蘇力颱風事件淹水模擬成果34
圖	5-7	PHD 模式蘇力颱風-水位歷線比較(溪南橋)35
圖	5-8	蘇迪勒降雨分布圖-以臺中雨量站為例36
圖	5-9	蘇迪勒颱風即時淹水模擬成果
圖	5-10	經濟部水利署 24 小時 300 毫米淹水潛勢圖與實際模擬的比較圖
•••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	37
圖	5-11	臺中市各行政區淹水潛勢分析成果38
圖	5-12	蘇迪勒颱風事件災害應變中心簡報現況39
圖	6-1	決策輔助系統展示介面資訊配置(模擬畫面)41

第一章 研究緣起

依中華民國統計資訊網之天然災害統計結果中顯示出臺灣是易受颱風 侵襲之國家,而主計處 102 年之國情統計通報顯示,近 10 年天然災害發生 次數有 108 次,其中 57 次為颱風,可見颱風對臺灣而言已是常態性災害; 由於土地使用的高度開發及暴雨事件增加,造成地表逕流增加、洪峰提前 等降雨-逕流行為的改變(如圖 1-1 示), 颱洪暴雨衍生的淹水事件已成平原地 區居民生命財產危安的隱憂。

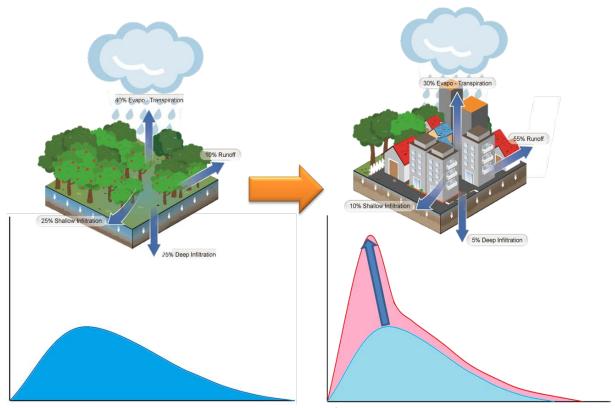


圖 1-1 土地使用變動及暴雨增加導致地表逕流行為改變示意圖

對於水災災害的潛勢預警,多以經濟部水利署所發布之 24 小時定量降雨 150mm、300mm、450mm 及 600mm 等靜態的淹水潛勢圖資進行災情研判作業,惟靜態圖資為假設環境條件下之模擬成果,且為靜態資訊下的概況呈現,無法反應。目前臺中市災害應變中心於迅期期間,在淹水情勢研判作業上仍採用靜態前提假設下的淹水潛勢圖作為決策參考依據,其無法即時呈現出事件當下轄區內地表可能淹水潛勢區域,對於災害應變中心指揮官決策需求仍有相當差距。

於風水災時如何快速掌握臺中市轄區內各地淹水情況,並配合各平臺之風水災害情資預判未來可能淹水區域,最後協助決策者下達精準之應變指示,為本研究之重要課題。本研究主要目的在於發展即時淹水預報決策支援系統 (Real-time Flooding Prediction Decision Supporting System, RFP-DSS)以圖像介面呈現即時模擬成果,並配合各防災單位所提供之防災資訊,精進臺中市現有風水災害資料蒐集能力及淹水預判能力,並提升臺中市政府災害應變中心面對風水災害時之應變能力。

第二章 研究目的與重點

據現行臺中市災害應變中心之災害預警資訊,主要係依中央氣象局、水利署、國家災害防救科技中心等防災相關單位所提供之防災資訊(颱風動態、累積雨量、土石流潛勢溪流警戒、淹水潛勢圖資、...等)進行靜態式且主觀的災情預判,對於臺中市轄區內未來可能淹水潛勢區域之預警能嚴重力不足且僅以淹水潛勢圖資進行淹水情勢預判亦會有相當之差異,主要原因在於淹水潛勢圖係以假設環境條件下進行淹水模擬,並不敷災時之應變使用。各期之淹水潛勢圖製作所需之基本資料、模擬條件及演算模式不盡相同(如表 2-1),無法整合及提高淹水潛勢圖之準確性。

表 2-1 國內淹水潛勢圖資製作比較表

表 2-1 國內淹水潛勢圖貧製作比較表							
淹水潛勢圖 基本資料	第一代	第二代	最新版本(第三代)				
時間	民國 88~90 年	民國 96~98 年	103 年~				
網格精度(x,y,z)	台北縣 120m x 120m 其他縣市 200m x 200m	40m x 40m x 0.1m	≤40m x 40m x 0.1m				
DTM	採農林航測所於民國 70~78 年間測量相片基 本圖之資料	採內政部於民國 94 年 更新完成之數值高程, 無第一代之人工地塹情 況	採內政部於最新年份完 成之數值高程				
模式選定	全面採用同一種模式產製,無邊界銜接的問題	全國分區採數種模式製 作,存在邊界銜接問題	制訂模式檢定驗證標 準,去除縣市邊界銜接 問題				
模擬情境	定量降雨: 150、300、450、600 毫 米/日		定量降雨: 12 小時: 100、150、200、250、 300、350、400、450、 500、550 毫米 24 小時: 150、200、250、300、 350、400、450、500、 550、600 毫米 48 小時: 450、500、550、600、 650、700、750、800、 850、900 毫米 重現期: 2、5、10、25、50、 100、200、500 年				

港水潛勢圖 基本資料	第一代	第二代	最新版本(第三代) 加入雨水下水道系統、區域排水、易淹水地區治理規劃已施作完成的成果、防洪設施(滯洪池及抽水站)、越波量、暴潮		
淹水模擬		加入暴潮、加入外水溢流因素			
色階	顏色鮮明	漸層	漸層		

資料來源:水利規劃試驗所,「全國淹水潛勢圖資更新及整合先期計畫」,(2013)

颱風屬風水災害,對於人民有直接之影響性,故於颱風來臨時,如何使用現有之淹水模式快速掌握轄區內各地可能之淹水趨勢為本研究之主要課題之一;現有防災相關之機關單位雖發展多種平臺,但訊息分布各處,尚未有統一平臺得以平行展示,為能提高災情蒐集之能力與效率,發展一災情資訊平臺是有其必要性的;上述兩項目標有助於精進臺中市災害應變中心掌握風災時之淹水趨勢及災害情資蒐集之效益,如何結合上述兩主要課題內容提出適宜之因應策略,為本研究之最後且最重要之研究課題。

第三章 文獻探討

即時淹水模擬與預報之核心在於即時氣候觀測資料、地表積淹水分布模擬及淹水預報方法,茲就上述項目分述如下。

3.1 即時氣候觀測資料

依據即時淹水模擬之即時資訊需求有雨量及潮位。在雨量預報方面,雷達系統與衛星遙測之技術與日俱進,在大範圍降雨可應用較為進步之定量降雨預報法預報(Golding, 2000),增加定量降雨預報的可用性與準確性 (Foufoula-Georgiou and Krajewski, 1995; Wang et al., 2007)。

Du 等人發展短期系集預報技術(Short-Range Ensemble Forecasting)可提 供更高精度的定量降雨預報(Du et al., 1997)。雷銘中以中尺度數值天氣預報 模式(NFS)進行梅雨期間定量降水預報評估,並配合 MM5(Fifth-generation Penn. State/NCAR Mesoscale Model)系集預報,探討不同積雲參數化方法對 臺灣降水預報之適用性(雷銘中,2002)。將定量降雨預報技術應用於阿爾卑 斯山,經由數據分析同化、模式不確定性之量化、模式比較與驗證,在複 雜地形區域短期高解析度之預報有良好成果(Richard et al., 2007)。蔡孝忠與 李天浩以雙傅立葉函數迴歸法建立颱風氣候降雨定量估計模式,並應用於 淡水河流域之降雨預報(蔡孝忠、李天浩,2008)。加拿大氣象局(The Meteorological Service of Canada, MSC)以 33km 版本之全球環境多尺度模式 (the Global Environmental Multiscale, GEM)與100km格點尺寸、MSC短期(48 小時)區域(15km 格點尺寸)系統比較,比較結果顯示 33km 較接近觀測值 (Bélair et al., 2009)。羅峻文應用調適性網路模糊推論系統建立前導時間 1 小時至 6 小時之颱風降雨預報模式,預報石門水庫集水區玉峰與霞雲雨量 站之雨量預報(羅竣文,2010)。尤心瑜與廖宇慶以都卜勒雷達資料同化改善 定量降雨預報(尤心瑜、廖宇慶,2011)。上述對定量降雨技術之研究與改善, 提高了降雨預報之精確度。有相當可靠之降雨預報資料,還需能迅速演算 淹水範圍,才能發展高效率之防洪預警系統(Chien and Jou, 2004; Zepeda-Arce et al., 2000) •

潮位預報方面,潮位預報對於海域或沿海地區相關活動是不可或缺的重要資訊,海岸工程、港口與軍事的應用也倚賴潮位預報(Byun and Cho,

2009),此外,基於暴潮對沿海地區淹水之影響(Karimi et al., 2013),潮位預報模式也成了淹水預報中不可缺少的部分。美國國家氣象局(National Weather Service)發展了暴潮模式 SLOSH 以即時預報暴潮,1984 年 SLOSH 被應用於 22 個流域,以劃定具颶風淹水潛勢之洪氾區(Jelesnianski et al., 1984)。許泰文等人以預報之風場經三維非線性海洋模式(Princeton Ocean Model, POM)預報暴潮偏差(許泰文等, 2011)。近年來,隨著潮位預報技術的發展與進步(Lee, 2006; Londhe, 2011; Sannasiraj et al., 2004; Wang, 2009),增進了其於淹水預報的可應用性。

3.2 地表積淹水分布模擬

由雨量資料計算地面逕流現象可分為兩類:水文集水區模式法與淹水模式法。

3.2.1 水文集水區模式

水文集水區模式法為由雨量資料應用降雨-逕流模式演算河流指定斷面上游集水區之逕流歷線,作為河道洪流演算模式(river flood routing model)之上游邊界條件,以演算沿河各處之流量及水位,則可預測淹水範圍(Kraijenhoff and Moll, 1986)。水文集水區模式可分為集塊型水文模式與分布型水文模式,集塊型水文模式假設集水區為水文與地文特性均勻穩定之系統,如單位歷線法、合理化公式、儲蓄函數法、水筒模式、SWM(Stanford Watershed Model)(Crawford and Linsley, 1966)等,可由雨量、流量等推得集水區出口之逕流歷線,但未能描述地表逕流於空間上之變化情形。分布型水文模式考慮集水區之物理特性於空間之變異性,如運動波-地貌瞬時單位歷線模式(KW-GIUH)(楊銘賢、李光敦,1998;黃仁國、李光敦,2009)、GBDM(Grid-Based Distributed rainfall-runoff Model)(Yu and Jeng, 1997)。以上游降雨逕流模式演算之逕流歷線做為邊界條件,應用河道洪流演算模式(Havis et al., 1996; Havnø et al., 1995; 蔡長泰,1981)進行沿河道之水位、流量演算,可分析河道內水位或由河道溢淹至鄰近河道雨岸區域之洪水量以分析淹水現象。

3.2.2 淹水模式

集水區降雨-逕流模式為由降雨資料演算集水區出口之流量歷線,若進

而能演算集水區各處之水深、流量、流速等,則成為淹水模式。因流域中之局部淹水現象與降雨之空間分布及地形地貌有關,故需要知道流域中局部淹水範圍及淹水深度時,就需要應用淹水模式。淹水模式為將流域依地形地貌佈置適當格網,再以降雨分布資料、河道溢流水量及沿海潮位等,應用平面二維模式(Iwasa and Inoue, 1982; Li et al., 2002; O'brien et al., 1993a; Takahashi et al., 1986)、二維零慣性淹水模式(許銘熙, 1989; 賴進松, 1986)或擬似二維模式(Chen et al., 2007; Cunge, 1975; Tsai et al., 2007; Wong et al., 2004)演算降雨區域之地表水流漫流現象以得到各處之淹水深度。

其他降雨逕流模式如歐洲 SHE(System Hydrologique European)(Abbott et al., 1986)、美國 FLO-2D 模式(Hübl and Steinwendtner, 2001; O'Brien et al., 1993b; O'Brien and Julien, 2000)、荷蘭 SOBEK 模式(Asselman and van Wijngaarden, 2002)、歐洲 LISFLOOD(Van Der Knijff et al., 2010)、英國 TOPMODEL (Topography MODEL) (Beven and Kirkby, 1979)、瑞典 HBV 模式(Bergström and Singh, 1995)與 1998 年美國陸軍工兵團(US Army Corps of Engineers)發展之 HEC-1 模式等也可用來模擬集水區逕流。

除考慮地表逕流模式外,針對沿海處應考慮暴潮沿排水系統上溯或暴潮越過海堤造成溢淹的情況。一般模擬沿海地區因海域暴潮入侵影響所造成之淹水現象(Benavente et al., 2006; Cheung et al., 2003; Gambolati et al., 2002; Peng et al., 2004),通常以沿海地區之地形等高線大略繪出當海水溢淹至沿海地區時之淹水潛勢範圍。但溢淹潮水在洪氾區之淹水傳播過程與地面流動現象,以及降雨逕流形成河道或排水路在沿海低地平原溢淹的現象亦加重積淹水災情。

3.3 淹水預報方法

美國國家氣象局於1971年發展出非線性概念式降雨逕流演算為基礎之河川預報系統(The National Weather Service River Forecast System, NWSRFS),在1980年Kitanidis等人以6小時之即時流量與降雨資訊,預報前導時間6,12,18,24,30與36小時之流量,並討論模式與觀測資料之誤差(Kitanidis and Bras, 1980)。1987年Georgakakos發展一即時洪水預報模式,以更新模式狀態變數估計結合定量區域雨量預報、逕流產出水文模式與非線性水庫型洪水演算,應用於美國West Virginia 州的Tug Fork 集水區之前

導時間3小時之洪水位預報(Georgakakos, 1987)。歐洲應用區域性的數值天 氣預報模式(Numerical Weather Prediction models)於適當空間尺度之水文預 報,饋入水平衡與降雨逕流模式 LISFLOOD 發展歐洲洪水預報系統 (European Flood Forecasting System, EFFS)以進行洪水預報,以 Meuse 河流 域 1995 年 1 月之洪水事件測試 EFFS 之效能(De Roo et al., 2003), Werner 等以 1995 年 Rhine 河流域降雨事件進行歐洲洪水預報系統 EFFS(European Flood Forecasting System)之預警(pre-warning)測試(Werner et al., 2005a)。 Calvo 與 Savi 建立一前導時間 12 小時之概念型即時洪水預報模式,並以義 大利羅馬 Tiber 河流域 3 場歷史洪水事件測試,同時為評估預報之準確性與 降低錯誤警報之可能性,以蒙地卡羅方法計算預報水位或流量之信賴區間 (Calvo and Savi, 2009)。Habert 等人以建立在一維水力模式之擴展卡門濾波 器演算法(Extended Kalman Filter, EKF)進行流量資料同步之即時洪水預 報,在假設側流邊界條件與模擬流量之關係為線性的條件下,應用於法國 Marne 河流域,並整合應用於 SCHAPI(Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations, SCHAPI)即時洪水預報平台(Habert et al., 2012) •

國內林景行(1975)以單位歷線探討蘭陽溪流域之洪水預報,1976 年謝新春應用瞬時單位歷線探討大漢溪上游之洪水預報,陳榮光應用單位歷線、劉瑞宗應用瀦蓄函數法於急水溪流域。大流域洪水預報方面,1980 年顏清連等人研擬淡水河之洪水預報系統,1983 年蔡長泰等人建立濁水溪洪水預報系統,以集水區降雨逕流模式計算流量歷線,再以變量流模式進行河道洪流演算(蔡長泰、顏沛華、盧炳堃,1983)。臺灣於 1977 年建立的淡水河洪水預報系統原也是水文集水區模式(顏清連,1998;顏清連、何興亞,2001),歷經研發改進成為淡水河即時洪水預測模式(Real Time Flash Flood Forecasting Model, REFOR),包括潮汐預測、雨量預測、水文降雨逕流模擬、河川變量流模式(Hsu et al., 2003; Hsu et al., 2006)。陳昶憲等人以歷史流量紀錄用類神經網路進行集水區洪水流量預報並應用於烏溪流域(陳昶憲等,1996)。Hsu 等人發展臺灣淡水河驟發洪水演算模式,以即時觀測之河川水位做為內部洪水演算之邊界條件以校正計算之即時流況(Hsu et al., 2003)。經濟部水利署之河川(外水)溢淹預警,係依水位等級分為一級、二級、三級警戒水位,以做為防汛、救災單位啟動作業之依據(行政院,2011)。

第四章 研究架構與分析方法

本研究所提出之「即時淹水預報決策支援系統」(Real-time Flooding Prediction Decision Supporting System, RFP-DSS)係以成功大學所發展之「地文性淹水即時預報模式」(Physiographic drainage-inundation model, PHD)為基礎進行發展。RFP-DSS 主要可分為氣候觀測資料、即時地表積淹水分布模擬及決策輔助資訊分析三大核心,圖 4-1 為 RFP-DSS 主要架構圖,茲將就上述核心進行說明於下。

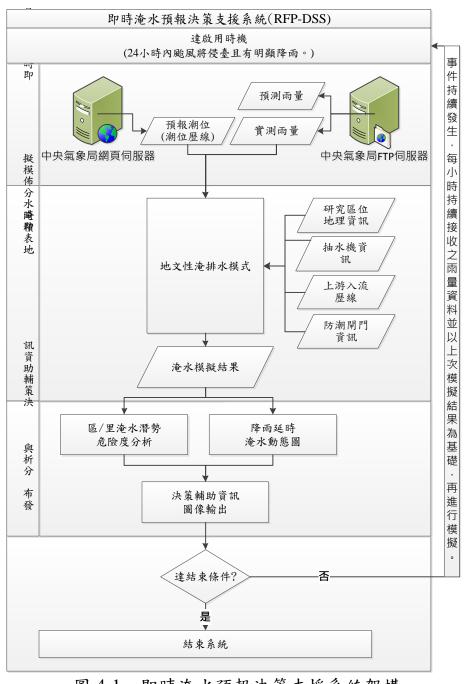


圖 4-1 即時淹水預報決策支援系統架構

本研究主要以中央氣象局所公布之颱風暴風半徑與降雨資訊作為 RFP-DSS 啟用時機之判斷依據,若颱風之暴風半徑已觸及本島或臺中行政 轄區範圍內之雨量站已有明顯之持續降雨記錄資料時將啟動 RFP-DSS,於 每小時執行氣候觀測資料接收與地表積淹水分布模擬,並即時將淹水潛勢 資訊透過 GIS 軟體繪製輸出成圖形;而解除時機為中央氣象局解除陸上颱 風警報或臺中市轄區內已無明顯降雨之情形。

4.1 氣候觀測資料

RFP-DSS 系統即時氣候觀測資料可分為「實測雨量」、「預測雨量」及「潮位資訊」等三種資訊,其中除「潮位資訊」係考量即時潮位就歷史推論未來可能潮位作為系統邊界條件考量外,「實測雨量」及「預測雨量」係由中央氣象局所提供之雨量站即時監測資訊、警報資訊及劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, QPESUMS)之雷達回波推估雨量值,此兩種資料各述於下。

1、實測雨量

雨量站之雨量記錄為「實測雨量」。降雨時,蒐集降雨區域各雨量站之實測雨量,可應用徐昇法或等雨量線法即時分析降雨量之空間分布,作為模式推論起始時刻之模擬條件(自降雨發生開始至未來雨量推估值輸入前)。

2、預測雨量

本研究使用除使用中央氣象局所於海上陸上颱風警報發布期間,對臺中市發布之山區及平地 24 小時預報雨量外,並擬結合 QPESUMS 系統各時階預報資訊(目前僅提供未來 1 小時雨量推估資訊)進行未來可能之淹水模擬評估。QPESUMS 為由雷達觀測網觀測的氣象資料求得當時雨量,稱為「雷達觀測雨量」,若由觀測的氣象資料預測未來若干小時(即預報前導時間)之雨量,則為「預報雨量」。QPESUMS 佈置全臺格網,每個網格之面積為 1.25 公里 x1.25 公里,可提供每個格網之「雷達觀測雨量」及隨後若干小時(預報前導時間)之「預報雨量」。需要淹水預報之區域,可由 QPESUMS 取得預報雨量之空間分佈以進行

淹水演算。

4.2 即時地表積淹水分布模擬

本研究採用 PHD 進行地表積淹水分布模擬, PHD 模式係以 Cunge 之擬似二維流理論分析地面水流現象(Cunge, 1975), 並以數值方法建立數學模式,用於進行降雨-淹水演算。(2013, 巫孟璇)

4.2.1 演算格網佈置

降雨及其水流相關區域均會有淹水現象,應為分析降雨-淹水演算之研究區域。因地面水之流動現象受地形地貌地物之影響,故分析地表逕流現象時,應先依地形地貌地物佈置為適當之格網,每一網格即為一格區(cell),形狀及大小因地形地貌地物而異。位於陸地之格區稱為陸地格區,位於排水路、河流或湖泊之格區稱為渠流格區;部分邊界為研究區域邊界之格區稱為邊界格區,其餘為內部格區,格區之劃分原則如下:

- (1)、格區內應屬同一土地使用類型,如渠流格區內應為排水路、河流 或湖泊,不該為道路或其他非屬渠流格區之土地使用型態。
- (2)、道路、堤防、天然岸堤等可取為格區邊界,若無上述地物時,則 依地形、坡度、坡向、地表植被、土地利用、表土質地等資訊, 選擇適當格區邊界。
- (3)、為提高模式計算精度與效率,相鄰格區面積不宜差距過大。

研究區域之地形可利用數值高程資料得之。研究區域之河系及集水區可以地理資訊系統軟體 ArcGIS 進行分析,描繪出研究區域水系中各支流之集水區,每個集水區之河流或排水路及其兩側均可各佈置若干格區。集水區格網初步劃分完成後,若有特殊地形,則分析後套疊至現有格網上;再套疊土地利用、道路系統、航照等圖層,進行格網細部劃設。山區網格主要依等高線進行細部劃分,平原地區格網因排水路與交通系統密佈其中,故道路、堤防均視為格區邊界,將格網細分,都市中之路塹型重要街道,可視同水路,劃分格區,並依實際測量資料設定寬度。埤塘、湖泊與水庫之劃分方式均相同,可視庫區大小與有無實測庫底高程資料再行細部劃分。魚塭、水田、鹽田、聚落等區域,可視格網整體格網大小與密度適度

調整上述區域之大小,如圖 4-2 所示。

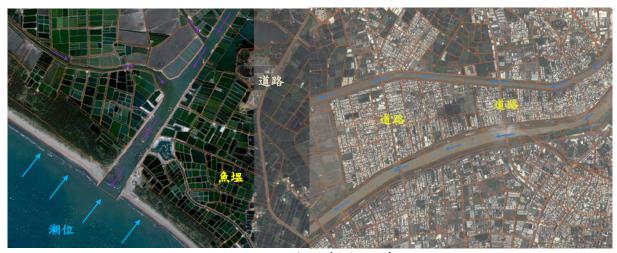


圖 4-2 部格區劃分示意圖

本研究為降低 PHD 模式中不規則格網建置技術門檻,針對地表地形、水文及人文行為的活動,開發出針對地文性淹排水模式不規則格網的布設方法,主要先透過內政部主計處所繪製之最小統計區域圖為基礎圖層(如圖4-3),再以水系、土地利用、集水區、高層及數值航照輔助進行格網布設與編修,並透過山/市區範圍劃分、河系切割、坡地單元萃取及市區路網萃取後,經格網整合即可有初步之不規則格網輸出,其流程圖如圖4-4所示,其中程序可分為人工數繪/編修、自動化及現地查核三種類型,自動化程序部分係使用 ArcGIS 軟體提供之 ModelBuilder 功能進行開發,以下就各類型之各程序說明與成果展示,其中所提及之各程序步驟詳述如下:

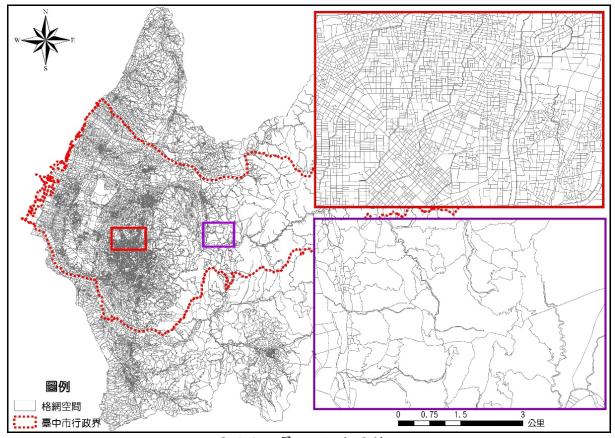


圖 4-3 最小統計區格網

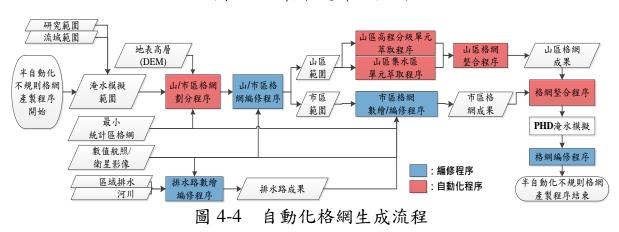


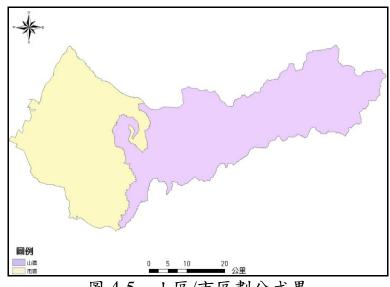
表 4-1 為半自動化格網布設流程及 PHD 運算時所需之資料清單,其中 行政區界主要係根據為臺中市行政管轄範圍;流域則為 PHD 於淹水模擬時 以流域範圍進行集水及排水演算時所需;高解析度數值航照或衛星影像則 係用於輔助格網繪製時之參考;數值地形高程為計算坡地單元及各格網高 程資訊運算時所需;道路圖資與土地利用圖為市區格網切割參考依據;排 水路圖資及排水路測量資料主要為格網繪製之參考與 PHD 運算時格網屬性 布設所需;海堤、抽水站、滯洪池、水門、(防潮)閘門、水位站、流量站為 PHD 運算時格網屬性布設所需;雨量站、事件區間降雨資訊、潮位站及潮 位歷線為PHD於事件淹水模擬運算時所需之降雨資訊參考來源。

編號	資料	資料格式	備註
1	行政區界	Polygon	縣/市、鄉/鎮/區、村/里等行政界範圍。
2	流域	Polygon	需包含模擬演算範圍。
3	高解析度數值航照/ 衛星影像	Raster	用於數繪編修。
4	數值地形高程	Raster	進行基礎格網、山區/市區範圍劃分及格網高層資訊運算。
5	道路圖資	Polygon/ Polyline	一般道路、省道、快速道路、國道、高鐵、 臺鐵及路堤區段。
6	土地利用圖	Polygon	輔助編修市區格網切割判斷。
7	排水路圖資	Polyline	河系、區排
8	排水測量資料	文字檔	測量樁點、斷面測量資料
9	海堤	Polyline	PHD 邊界設定參考。
10	抽水站	Point	盡量有需有操作規則及抽水 cms 值
11	滯洪池	Point	PHD 滯洪池設定參考。
12	水門、(防潮)閘門	Point	PHD 水門設定參考。
13	水位站	Point	需有歷史記錄。(包含分析事件時間)
14	流量站	Point	PHD 檢定驗證使用。
15	雨量站	Point	需有雨量記錄(包含分析事件時間)。
16	事件區間降雨資訊	文字檔	PHD 淹水模擬參數。
17	潮位站、潮位歷線	文字檔	PHD 淹水模擬參數。
18	最小統計區圖	Polygon	為基礎格網。(內政部統計處提供)

表 4-1 PHD 執行所需資料清單

1、自動化程序—山/市區格網劃分程序與人工編修程序—山/市區格網編修程序

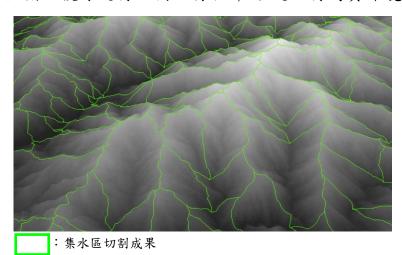
本研究重點主要著重於臺中市區之地表淹排水模擬,因此進行淹水模擬演算範圍之山區與市區劃分,而山區與市區之劃分係依據內政部主計處之最小統計區山區定義,以海拔 500 公尺為切割標準。欲進行山/市區劃分時,需有基礎格網以供區域劃分運算,本程序中使用之基礎格網採用內政部主計處所提供之最小統計區圖進行格網選取(最小統計圖主要根據地形地貌進行繪製,故與 PHD 於不規則格網繪製之需求相符),待完成山/市區格網劃分運算後,對於山/市區交界處套疊數值航照進行編修,修正山區與市區交界處之切割範圍,圖 4-5 為編修後之山區與市區劃分結果。



山區/市區劃分成果

2、自動化程序-山區集水區單元萃取程序

山區集水區單元萃取主要依據數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)資訊,再透過本研究所發展之自動化山區集水區單元萃取 程序進行集水區運算,本程序之運算方式係使用 DEM 資訊進行集水區 單元萃取,其萃取方法係將 DEM 資訊依序進行填漥(Fill)、水流方向 (Flow Direction)分析、匯流累積量(Flow Accumulation)及水流長度(Flow Length)分析、河網萃取(Con)、河網轉線向量(Stream to Feature)及點向量 (Feature to Points)、河網連結(Stream Link)分段、子集水區分割(Watershed) 及網格轉面向量(Raster to Polygon)等運算後便可萃取出集水區單元。圖 4-6 為山區集水區萃取成果並套疊 DEM 之成果, 由圖 4-6 中可看出各集 水區單元依循山稜線進行切割,符合降雨-逕流行為實際境況。



山區集水區萃取成果

3、自動化程序-山區高程分級單元萃取

若僅使用集水區尺度之格網,會因格網尺度過大而導致無法真實呈現地表起伏狀態。故本研究再透過數值高程模型進行等高線萃取,其萃取方式係將 5 米 DEM 進行 12 級別分群並重新編碼(Reclassify),待取得各級別分群結果後再透過網格轉面向量(Raster to Polygon)功能轉成面向量(Polygon)資訊後,便可與集水區成果進行切割(clip)運算,此動作主要在於將各集水區進行細緻化切割,以提升 PHD 於格網間水流交換運算之真實度。圖 4-7 為各集水區細切後之成果,由圖中可看出各集水區將被高程分級成果進行更細緻地切割,更能真實呈現出山區地表起伏情形,亦得以讓 PHD 更能模擬實際降雨時雨水於地表流動之情形。

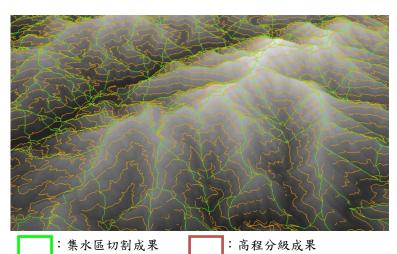
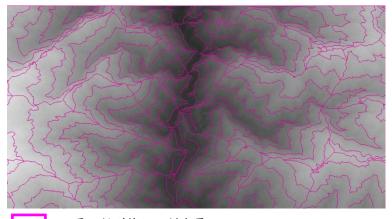


圖 4-7 集水區細緻切割示意

4、自動化程序-山區格網整合程序

待完成 2、3 程序之結果後,再透過聯集(Union)運算將兩程序之格網萃取成果進行整合,圖 4-8 為整合成果。



: 山區不規則格網切割成果

圖 4-8 山區格網整合程序成果

5、自動化程序-路網整合程序

路網整合程序主要係將高鐵、臺鐵、國道及快速道路進行合併 (Merge)運算,藉以取得基礎路網資訊,圖 4-9 為主要路網整合結果。

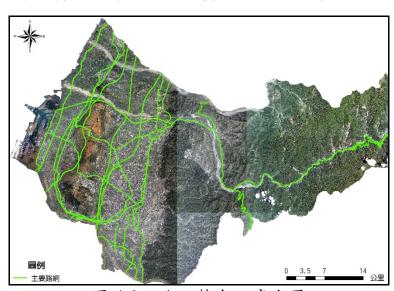


圖 4-9 路網整合程序成果

6、人工數繪/編修程序一市區格網數繪/編修程序

取得基礎格網與路網成果後,便可進行市區格網編修,主要修正 最小統計區圖中道路因繪製時與航照內容之差異處。對於市區之格網 切割中可根據數值航照中之街廓進行格網細緻切割,圖 4-10 為本程序 之成果。由圖 4-10 中可看出本研究路網繪製主要考慮層級為主要幹道 及次要幹道,對於巷、弄部分則視區域之路網密集度斟酌繪製,路網 過於密集之區域將不繪製,反之路網較為稀疏區域則可考慮繪製。

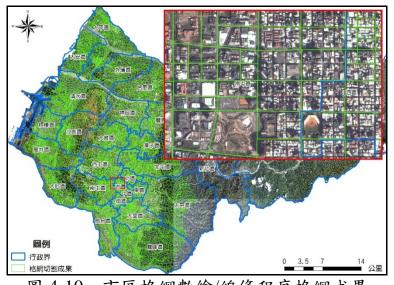
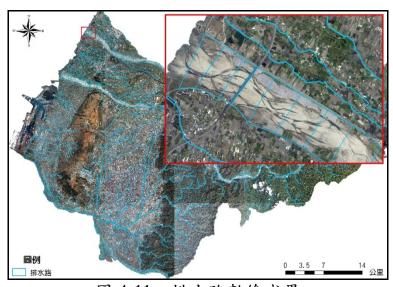


圖 4-10 市區格網數繪/編修程序格網成果

7、人工數繪/編修一排水路數繪編修程序

於排水路繪製上需參考數值航照、樁點點位及排水路斷面等資訊 進行繪製,對於無測量資訊之排水路可依據數值航照影像所提供之地 表資訊進行繪製,本程序數繪成果如圖 4-11 所示。



排水路數繪成果 圖 4-11

8、自動化程序-格網整合程序

完成程序 1 至 7 之資料產製後,便可進行格網整合程序之運算將 各部分之成果進行整合運算,本程序先將山區與市區之成果進行合併 (Merge)運算,完成山區及市區格網之合併後,使用抹除(Erase)功能去 除河道後再使用合併(Merge)運算,完成排水路之布設,待完成所有資 訊布設後需再透過人工編修去除因合併或切割時所產生之細碎格網。 圖 4-12 為本研究於 PHD 淹水模擬演算時所使用之格網資訊。

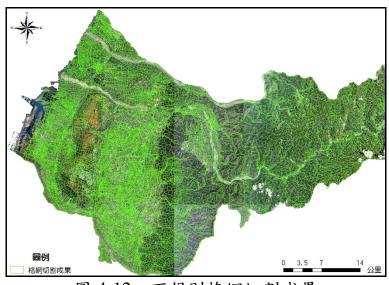


圖 4-12 不規則格網切割成果

PHD 模式中需定義格網屬性以提供淹水演算之參數,屬性分為面 (Polygon)及線(line)兩種向量格式,其中面向量主要用於描述地表地貌 資訊(格網中心點位 X、Y 座標、高層值、面積、土地使用型態、透水面積、對應之兩量站及用於判斷之指標),線向量主要用於描述格網位相、交界關係(長度、水流交換方式),表 4-2 為格網屬性記錄資訊。

表 4-2 不規則格網線與面向量屬性

資料格式:線									
長度	度 堤高度 堤防種類 是否有涵洞 是否有水門 格網相位資訊								
資料	資料格式:面								
X	Y 面積 高程 土地使用		用	曼寧 n值	雨量編		是否為邊界	7	是否為排水路

9、淹水分析輸入設定

於淹水分析輸入設定部分將說明格網資訊設定之方式,其中包含地表糙度(曼寧 n 值)設定。於格網之曼寧 n 值設定前,需先進行格網之土地利用型態確立,本研究將不規則格網與土地利用型態資訊套合運算後取得,再參考水利署水利規劃試驗所之「流域洪氾防災及土資源管理之研究(3/3)」值進行曼寧 n 值設定,各土地使用糙度值如表 4-3 所示。

土地利用分類	曼寧n值	土地利用
Rtype1	0.1	建築用地、遊憩用地等
Rtype2	0.15	稻作、水田
Rtype3	0.35	林業、灌木荒地、林地
Rtype4	0.25	旱作、牧場、草生地
Dtypo5	0.2	人工改變中土地、土石採取場、土石設施、未使用地、棄土
Rtype5		地、裸露地、廢耕地
Rtype6	0.05	鹽田
Rtype7	0.02	水庫、養殖(魚塭)、湖泊、排水路
Rtype8	0.07	洪水平原
Rtype9	0.03	河川
Rtype10	0.2	公園綠地廣場、畜禽舍、墳墓

表 4-3 土地使用糙度對照表

10、水工構造物設定

水工構造物主要以堤防、抽水站、滯洪池及水位站為布設重點,其中堤防可分為海堤與排水路堤防,因不規則格網係以地型地貌進行繪製,海堤資訊布設上係使用套合方式選取後進行屬性設定,排水路堤防係根據排水斷面測量報告進行線段逐一設定,其主要設定堤方高與排水路之高層;水位站分布則以其測量點位與格網套合後,取得欲觀測之格網編號後將其寫入水位站設定檔中即可輸出觀測格網水位與流量變化值。

11、查核機制一實地勘察與人工數繪/編修一格網編修程序

實地勘察程序之執行要件為完成 PHD 淹水模擬並結合歷史淹水點,若淹水模擬結果與歷史淹水點位不符時,將透過現地勘察方式進行現地地貌記錄,再進行格網編修程序,修正不規格網之切割成果, 待修正後再重新執行 PHD 淹水模擬演算。

4.2.2 PHD 模式理論

演算區域之相鄰格區間應用擬似二維流理論之水流連續方程式及適當 之流量律連接,以分析格區水位及格區間之流量,說明如下:

1、水流連續方程式

研究區域佈置演算格網後,任一格網與其相鄰各格網間(圖 4-13) 之水流連續方程式可表如公式(4-1):

$$As_i \frac{dh_i}{dt} = Pe_i + \sum_k Q_{i,k}(h_i, h_k)$$
(4-1)

式(4-1)中, As_i 為t時刻i格區之面積; Pe_i 為t時刻i格區之每單位時間超滲降雨體積,等於超滲降雨強度與i格區面積之乘積; Q_{ik} 為由k格區流入i格區之流量,正值代表水流由k格區流入i格區,負值代表水流由i格區流入k格區; h_i 為t時刻i格區之水位; h_k 為t時刻k格區之水位。



圖 4-13 相鄰格區間流量交換示意圖

2、流量律

對於相鄰格網之水流交換型式,可歸納為川流連接型、堰流連接型、箱式涵洞連接型,各類型流量律分述如後。

(1) 川流連接型

若相鄰兩格區間之水流交換無局部障礙,則視為漫地流式之流動,可使用曼寧公式或謝希公式等,計算流過兩格區間交界面之流量。本研究採用曼寧公式計算流過兩格區間交界面之流量。以i格區而言,由k格區流至i格區的流量為:

$$Q_{i,k} = \frac{h_k - h_i}{|h_k - h_i|} \cdot \Phi(\overline{h_{i,k}}) \cdot \sqrt{|h_k - h_i|} \quad \text{for} \quad \frac{\partial Q_{i,k}}{\partial h_i} \le 0 \quad \dots (4-2)$$

$$Q_{i,k} = \Phi(h_k) \cdot \sqrt{|h_k - h_i|} \quad \text{for} \quad \frac{\partial Q_{i,k}}{\partial h_i} > 0 \qquad (4-3)$$
式中 $\overline{h_{i,k}}$ 為i格區與k格區交界處之水位。
$$\overline{h_{i,k}} = h_k + (1-\alpha)h_i, \quad 0 \le \alpha \le 1 \qquad (4-4)$$
而 $\Phi(h)$ 為:
$$\Phi(h) = \frac{A(h)R(h)^{2/3}}{n\sqrt{\Lambda x}} \qquad (4-5)$$

 Δx 為 i 、 k 兩格區之中心距;n 為兩格區間之曼寧糙率係數; A 、 R 分別為兩格區交界處之通水面積和水力半徑。當i 格區水深小且水位下降,k 格區流至i 格區的流量減少時,為消除i 格區水位之影響,令(4-4)式之 $\alpha=1$,k 格區流至i 格區的流量以(4-3)式計算。

(2) 堰流連接型

若相鄰兩格區間以道路、堤防、田埂、塭堤、天然岸堤或自由 溢流之水庫堰壩等為交界,如圖 4-14 所示,則可將交界視為寬頂 堰,以堰流公式計算流過兩格區間交界面之流量。

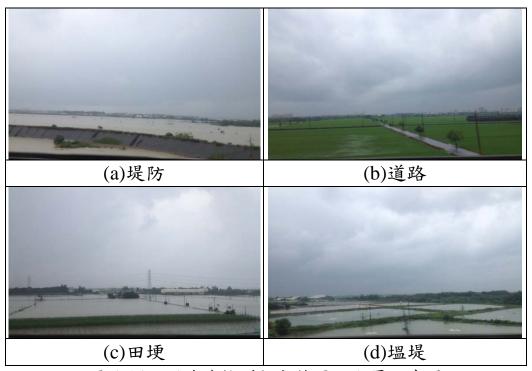


圖 4-14 堰流連接型相鄰格區之交界示意圖

若以 $h_k > h_i$ 之情形而言,可分為自由堰流及潛沒堰流兩種形式,如圖 4-15 所示,公式如式(4-6)、式(4-7)。



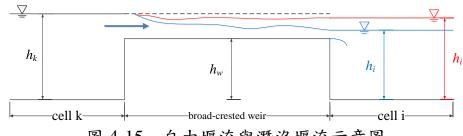


圖 4-15 自由堰流與潛沒堰流示意圖

A、自由堰流:

$$Q_{i,k} = \mu_1 b \sqrt{2g} (h_k - h_w)^{\frac{3}{2}}$$
 (4-6)

B、潛沒堰流
$$(h_i - h_w) \ge \frac{2}{3} (h_k - h_w)$$
:
$$Q_{i,k} = \mu_2 b \sqrt{2g} (h_i - h_w) (h_k - h_i)^{\frac{1}{2}}(4-7)$$

以上式(4-6)、式(4-7)中,你為堰頂高程,即交界處之路面、 堤頂或地面高程;b為堰頂之有效寬度,即相鄰兩格區之交界長; 8為重力加速度;μ、μ2分別為自由堰流及潛沒堰流之堰流係數, μ=0.36~0.57,μ2=2.6μ。

(3)涵洞連接型

若相鄰兩格區間為道路分隔,且道路下以涵洞連接,則以涵洞流量公式計算相鄰兩格區間之流量。此種流況較為複雜,至少包括閘流、堰流與管流,此三種類型。箱式涵洞之涵洞寬度、垂高、底部高程,分別以 B , D , Z 表示,如圖 4-16 所示。 $\varphi_{\zeta_{i}} = \frac{h_{i} - Z}{D}$, $\zeta_{k} = \frac{h_{k} - Z}{D}$, 且以 $\zeta_{k} > \zeta_{i}$ 之情形而言,其流況分界如圖 4-17 所示,模式將依相鄰兩格區之水位、涵洞底部高程與涵洞垂高,以閘流、自由堰流、潛沒堰流或管流方式計算流量。以 μ_{3} 、 μ_{4} 、 μ_{5} 、 μ_{6} 分別表示閘流、

自由堰流、潛沒堰流、管流,此四種流況之流量係數。令 $^{\gamma_4 = \frac{\mu_5}{\mu_3}}$ 且 $\gamma_5 = \frac{\mu_6}{\mu_3}$,則以 $^{\zeta_k}>_{i}$ 之情形而言,各流況之流量律如下:

A、閘流型

$$\zeta_{i} \leq 0.8 \text{ 時 } , \zeta_{k} \geq 1.2 \text{ 或 } 0.8 \leq \zeta_{i} \leq 1 \text{ 時 } , \zeta_{k} \geq \frac{\mu_{3} - \gamma_{4}^{2} \zeta_{i}^{3}}{1 - \gamma_{4}^{2} \zeta_{i}^{2}} \text{ 或 } 1.0 \leq \zeta_{i}$$
 時 , $\zeta_{k} \geq \frac{\mu_{3} - \gamma_{5}^{2} \zeta_{i}}{1 - \gamma_{5}^{2}}$;
$$Q_{i,k} = \mu_{3} \sqrt{2g} B D^{1.5} (\zeta_{k} - \mu_{3})^{0.5} . \tag{4-8}$$

B、自由堰流型

$$1.2 \ge \zeta_k \ge 1.5 \, \zeta_i ;$$

$$Q_{i,k} = \mu_4 \, \sqrt{2g} \, B \, D^{1.5} \, \zeta_k^{1.5} . \tag{4-9}$$

C、潛沒堰流型

$$\zeta_{i} \leq 1 \underline{\mathsf{H}} \zeta_{i} \leq \zeta_{k} \leq \min \left(\frac{\mu_{3} - \gamma_{4}^{2} \zeta_{i}^{3}}{1 - \gamma_{4}^{2} \zeta_{i}^{2}}, 1.5 \zeta_{i} \right);$$

$$Q_{i,k} = \mu_5 \sqrt{2g} \ B \ D^{1.5} \ \zeta_i \ (\zeta_k - \zeta_i)^{0.5} \dots (4-10)$$

D、管流型

$$1 \le \zeta_i \le \zeta_k \le \frac{\mu_3 - \gamma_5^2 \zeta_i}{1 - \gamma_2^2}$$
;

$$Q_{i,k} = \mu_6 \sqrt{2g} B D^{1.5} (\zeta_k - \zeta_i)^{0.5} (4-11)$$

為使水位升降所引起之流量改變具連續性,因此必需使 $\mu_4=0.761\mu_3(1.2-\mu_3)^{1/2}$, $\mu_5=\mu_6=2.598\mu_4$, μ_5 取為 0.6 及 0.8 之箱式 涵洞無因次流量—水位關係曲線,如圖 4-18 所示。

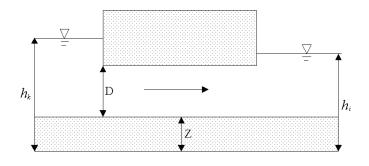
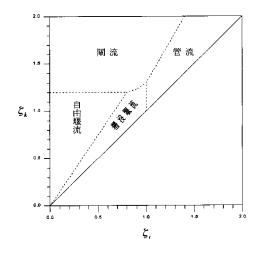


圖 4-16 箱式涵洞示意圖



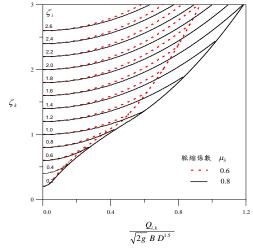


圖 4-17 箱式涵洞流況分類圖

圖 4-18 箱式涵洞無因次水位-流量率 定曲線

(4) 人為操作影響

為使模式之模擬更為符合現地情況,宜考慮人為操作所造成之格區水量交換情形。若格區設置抽水站,則兩相鄰格區之水量交換,依據抽水站操作原則,於格區水位超過啟抽水位時,依據抽水機抽水量進行格區間水量交換,如圖 4-19 所示。

A、格區水位超過啟抽水位 $h_i \geq h_p$:

$$Q_{i,k} = Q_p \cdot \Delta t \tag{4-12}$$

B、格區水位未超過啟抽水位 $h_i < h_p$:

$$Q_{i,k} = 0$$
(4-13)

式(4-12)、式(4-13)中, h_p 為抽水站操作規則之啟抽水位, Δt 為 t 時刻至下一時刻 t+1之時間增量, Q_p 為 Δt 時間中之抽水率(cms)。

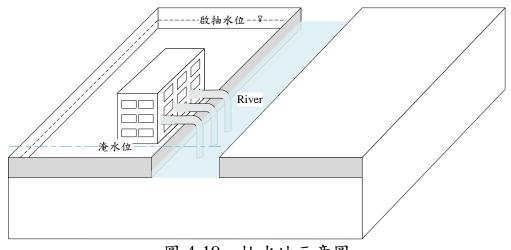


圖 4-19 抽水站示意圖

4.2.3 邊界條件

以研究區域之邊界為部份邊界之格區稱為邊界格區,無水流進出之邊界(如分水嶺、邊界堤防等)為封閉邊界;若有水流進出邊界(如潮流、水庫洩洪進流等)為開放邊界。開放邊界之邊界格區應給予進出水流之邊界條件,包括相鄰海域之潮位歷線、水庫之洩洪流量歷線等。故以研究區域內之降雨歷程及相鄰海域之潮位歷線可演算豪雨過程中之淹水現象。

4.3 决策輔助資訊分析

當完成 PHD 模式之地表淹排水模擬後,將淹水模擬結果之成果進行決策輔助資訊產製,其中決策輔助資訊以臺中市各里為單位進行危險度分析,分析結果將透過 GIS 軟體繪製輸出為圖形供指揮官參考,茲就決策輔助資訊分析方式說明如下:

完成現況地表積淹模擬成果後,除可透過影像軟體產製各降雨延時之 淹排水情況動態圖,尚可針對臺中市行政區/里進行淹水之危險度分析,危 險度主要以危害度、脆弱度及回復度三個面向進行綜合評估,三面向將分 述如下:

1、危害度分析

為分析各區之水災敏感度,茲依淹水潛勢圖所示之淹水分布網格 與各區面積進行危害度分析。其係將各網格淹水深度分為 0.3~0.5m、 0.5~1m、1~2m、>2m 等四級,並就各網格區間分別賦予 1~4 分,經各 區加總後再除以該區面積,續以 Natural-Break 法將各區單位面積淹水深度得分劃分為四級,並就各分級所屬行政區,由低至高分別賦予 1~4分,是為各區別危害度得分。

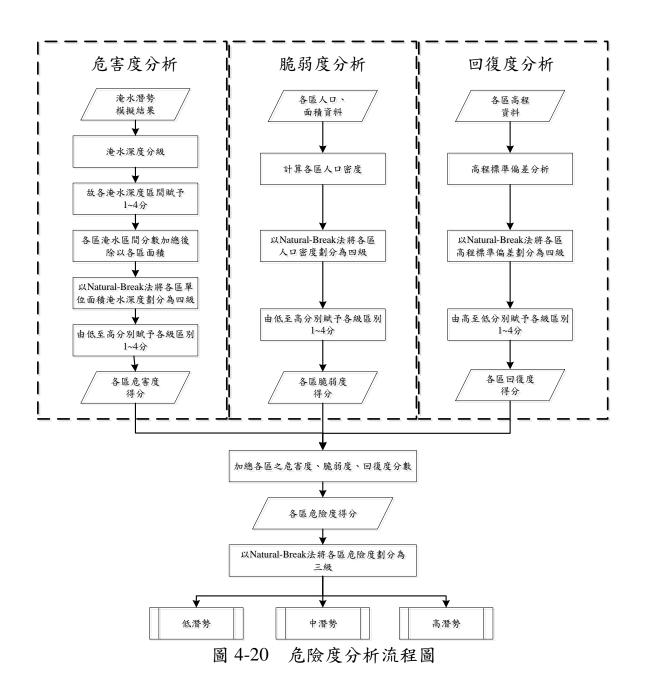
2、脆弱度分析

就風水災害的脆弱度分析而言,各區人口密度與脆弱度呈反比。 其分析方式為先就各區人口以 Natural-Break 法劃分為四級,並就各分 級所屬行政區,由低至高分別賦予 1~4 分,是為各區別脆弱度得分。

3、回復度分析

「回復度」係指降雨後淹水潛勢區內排水系統回復至正常狀態之能力。綜觀淹水成因可概分為地形性淹水與系統性淹水,地形性淹水主為低勢低漥處,於豪雨颱風時雨水匯集所造成淹水現象;系統性淹水為區域排水系統不良或通水斷面不足造成的淹水。本研究依本市各區高程特性進行標準偏差分析,其值愈大者表示其高程變異性越大,相對退水速度較慢,回復度較低。其分析方式為先行計算各區之高程標準偏差,續以Natural-Break 法劃分為四級,並就各分級所屬行政區,由高至低分別賦予1~4分,是為各區回復度得分。

經前述計算後,各區之危害度、脆弱度及回復度之得分線性疊加結果, 是為各區之危險度分數。續將各里危險度分數以 Natural-Break 方法分為三 個等級,第一級為低潛勢區、第二級為中潛勢區、第三級為高潛勢區,危 險度分析流程如圖 4-20 所示。



第五章 研究成果

本研究選擇近年內對臺中市有造成淹水之卡玫基及蘇力颱風事件進行 PHD 模式之檢定與驗證後,再進行本系統之測試,以下將就本研究各細部 進行說明。

5.1 即時氣候觀測資料

臺中市

大甲溪流域

本研究收集包含臺中市之五大集水區(竹南沿海流域、大甲溪流域、大安溪流域、清水沿海河系、烏溪流域)內之雨量站,共計有63站(如表5-1),各雨量站分布與徐昇氏降雨空間分布如圖5-1。各雨量站之即時實測雨量資訊,係由中央氣象局所提供之雨量站實測資料及QPESUMS1小時之雷達雨量預報資訊,然,上述兩種雨量資訊並無法直接提供PHD淹水模擬模式使用,為能將雨量資訊轉換成PHD可使用之格式,本研究逕行開發雨量資料讀取與轉換程式(如圖5-2),其中QPESUMS讀取程式主要係本研究參考中央氣象局所提供之Fortran讀取程式修改而得,此程式可直接讀取原始的雨量資料並依設定之雨量站順序進行排列輸出成PHD程式可讀取之格式。

TWD97 座標 縣市 流域 站號 站名 臺中市 大甲溪流域 C1F9D1 白毛台 237693.250 | 2672748.190 C1F9E1 232104.660 | 2672969.470 臺中市 大甲溪流域 龍安 臺中市 大甲溪流域 C1F9G1 233716.190 2675274.830 慶福山 臺中市 大甲溪流域 C1F9C1 242041.650 2675452.310 白冷 2677361.680 臺中市 大甲溪流域 230445.350 C0F9V0 新社 C1F871 臺中市 大甲溪流域 上谷關 251100.450 | 2677726.650 臺中市 大甲溪流域 233016.030 | 2679767.200 C1F911 新伯公 臺中市 大甲溪流域 C0F861 274134.650 | 2682177.180 梨山 臺中市 大甲溪流域 C0F850 232221.070 | 2682521.570 東勢 大甲溪流域 C0F9M0 220790.510 | 2683438.850 臺中市 豐原 臺中市 大甲溪流域 C1F9W0 268482.910 | 2683463.860 德基 臺中市 大甲溪流域 C1F891 249294.940 | 2684648.540 稍來 臺中市 大甲溪流域 C1F9F1 伯公龍 233868.820 | 2685396.060 252587.832 | 2685985.151 臺中市 大甲溪流域 1400P027 雪嶺 225849.780 | 2686262.720 臺中市 大甲溪流域 C0F920 石岡 臺中市 大甲溪流域 C0F9L0 221733.660 2689617.550 后里 臺中市 大甲溪流域 C0F9K0 207380.970 | 2693566.900 大安

表 5-1 臺中市五大集水區雨量站

大甲

212697.500 | 2693825.650

C0F930

臺中市	大安溪流域	C1F9H1	烏石坑	243655.030	2686126.630
臺中市	大安溪流域	C1F941	雪嶺	251889.380	2686309.910
臺中市	大安溪流域	C0F901	雙崎	239482.230	2687175.100
臺中市	大安溪流域	1400P016	雙崎(2)	240874.860	2687400.997
臺中市	大安溪流域	C0F9Q0	外埔	219303.960	2693769.720
臺中市	烏溪流域	C1F9B1	桐林	222261.700	2662587.060
臺中市	烏溪流域	C1F9J1	清水林	230906.010	2663157.400
臺中市	烏溪流域	C0F9N0	大里	218706.160	2665510.820
臺中市	烏溪流域	C0F9A0	中竹林	223907.610	2666737.070
臺中市	鳥溪流域	C0F9S0	烏日	211675.160	2666976.970
臺中市	烏溪流域	1430P097	頭汴坑	230799.376	2667783.727
臺中市	鳥溪流域	C1H9B1	阿眉	248588.330	2669174.350
臺中市	鳥溪流域	C0F9U0	南屯	212407.240	2670451.380
臺中市	鳥溪流域	467490	臺中	217056.347	2671396.611
臺中市	鳥溪流域	C0F000	大肚	205693.560	2672221.190
臺中市	鳥溪流域	C0F970	大坑	220955.400	2674421.480
臺中市	鳥溪流域	C0F9T0	西屯	212699.270	2675231.390
臺中市	鳥溪流域	C0F9R0	龍井	201318.870	2675736.530
臺中市	鳥溪流域	C0F9O0	潭子	219105.080	2678840.060
臺中市	鳥溪流域	C0F991	横山	209296.730	2679541.630
臺中市	鳥溪流域	C0F9I0	神岡	214497.190	2685437.560
臺中市	清水沿海河系	467770	梧棲	200754.041	2683749.687
臺中市	清水沿海河系	C0F9P0	清水	204742.200	2689874.050
彰化縣	鳥溪流域	C0G620	芬園	210636.710	2656984.560
苗栗縣	大安溪流域	1400P020	卓蘭(2)	231040.717	2688820.454
苗栗縣	大安溪流域	C0E790	卓蘭	231345.090	2689903.070
苗栗縣	大安溪流域	C1E511	新開	231623.550	2693735.980
苗栗縣	大安溪流域	C1E451	象鼻	243124.060	2696033.020
苗栗縣	大安溪流域	C1E461	松安	247746.120	2699261.810
苗栗縣	竹南沿海河系	C0E531	三義	225435.130	2700759.800
苗栗縣	竹南沿海河系	C1E601	南勢	222287.270	2718671.140
南投縣	大甲溪流域	C0H9C1	合歡山	276838.190	2671082.320
南投縣	大甲溪流域	C0T791	大禹嶺	281273.910	2675872.130
南投縣	大甲溪流域	C1H850	翠巒	272208.340	2676574.950
南投縣	鳥溪流域	C0H950	中寮	225410.650	2642449.810
南投縣	鳥溪流域	C1H910	魚池	241911.150	2644258.400
南投縣	烏溪流域	C1H941	雙冬	229053.180	2651623.730
南投縣	烏溪流域	C1H890	大肚城	244318.220	2651947.960
南投縣	烏溪流域	C0H960	草屯	216642.090	2652342.470
南投縣	烏溪流域	C1H930	北山	236404.850	2653614.490
南投縣	鳥溪流域	C1H880	凌霄	250678.190	2657115.050

南投縣	鳥溪流域	C1H870	仁爱	262489.640	2657305.060
南投縣	鳥溪流域	C1H900	清流	245396.320	2664191.340
南投縣	鳥溪流域	C1H920	長福	236953.670	2666534.590
南投縣	鳥溪流域	C1H860	瑞岩	267787.490	2668939.280

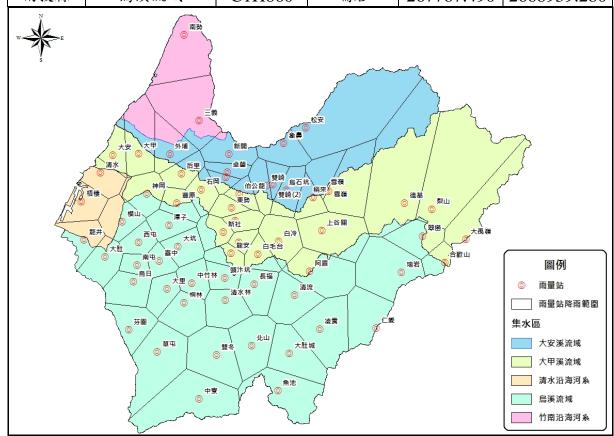


圖 5-1 雨量站暨雨量站範圍



圖 5-2 雨量資料讀取轉換程式介面

5.2 不規則格網建置

本研究使用自動化不規則格網程序進行臺中市不規則格網之建置。其中格網布設時考量真實地表資訊,如集水區範圍、土地利用型態、排水路及影響地表水流之水工設施,如閘門、滯洪池,於格網布設時之參考建議資料清單。本研究根據自動化不規則格網程序所產製之不規則格網,再以衛星影像進行細部修正後得到臺中市之不規則格網,如圖 5-3 所示。

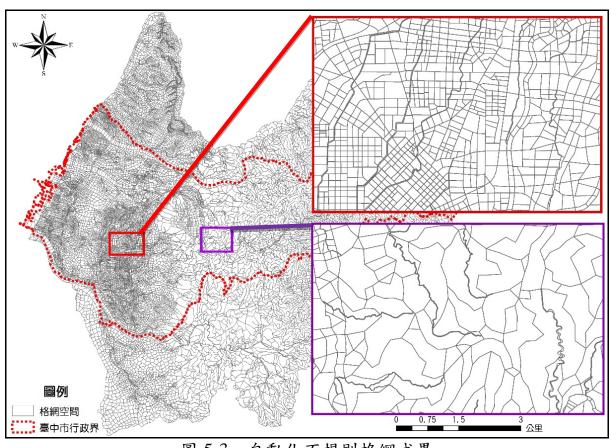


圖 5-3 自動化不規則格網成果

於水工構造物主要以堤防、抽水站、滯洪池及水位站為布設重點,其中堤防可分為海堤與排水路堤防,因不規則格網係以地型地貌進行繪製,海堤資訊布設上係使用套合方式選取後進行屬性設定,排水路堤防係根據排水斷面測量報告進行線段逐一設定,其主要設定堤方高與排水路之高層;水位站分布則以其測量點位與格網套合後,取得欲觀測之格網編號後將其寫入水位站設定檔中即可輸出觀測格網水位與流量變化值;抽水站設定部份係根據抽水點位、放水點位及抽水量進行抽水站設定檔中之抽水格區編號、放水格區及抽放水量設定,即可完成抽水站之模擬,表 5-2 為臺中

市轄區內三座抽水站之基本資訊。

4F Ø	· 사 부 (ams)		座標	
站名	抽水量(cms)	經度	緯度	
樹王埤抽水站	8	120°38'58"	24°5'31.9"	
中興段抽水站	6	120°39'11.6"	24°5'26"	
后溪底抽水站	2	120°38'56.9"	24°5'17.2"	

表 5-2 臺中市抽水站資訊

除透過地理資訊進行自動繪製及人工編修外,本研究亦透過實地勘察程序之執行要件為完成 PHD 淹水模擬並結合歷史淹水點,若淹水模擬結果與歷史淹水點位不符時,將透過現地勘察方式進行現地地貌記錄,再進行格網編修程序,修正不規格網之切割成果,待修正後再重新執行 PHD 淹水模擬演算。

5.3 PHD 模擬檢定

本研究以 2008 年卡玫基颱風事件,進行降雨-逕流演算檢定及淹水模 擬,圖 5-4 為卡玫基颱風模擬圖,於圖 5-4 卡玫基颱風之檢定成果中,淹水 範圍多位於沿海低漥地區或農田區域,大里溪與烏溪匯流處有較為嚴重的 淹水情形,其中烏日區因地勢低漥且期間會因外水暴漲,導致內水無法以 重力方式進行排出,進而造成烏日區五光里大範圍面積淹水,PHD 模式模 擬結果與實地淹水情況大致相符。圖 5-5 為卡玫基風颱之水位檢定成果,由 圖 5-5 中可看出 PHD 模擬之水位與實際觀測值相符,透過水道水理演算檢 定表(如表 5-3)結果顯示模擬與觀測之流量相符。

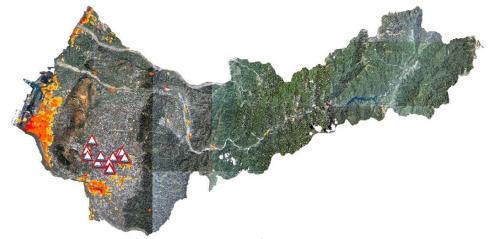


圖 5-4 卡玫基颱風事件淹水模擬成果

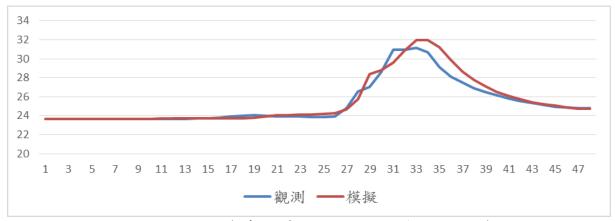


圖 5-5 PHD 模式卡玫基颱風-水位歷線比較(溪南橋)

表 5-3 PHD 模式水道水理演算檢定表(檢定)

流域	檢定事件	流量站	效率係數	相關係數	峰值量誤差	峰值時間誤差
鳥溪	卡玫基颱風	溪南橋	0.93	0.98	-2.65	0

5.4 PHD 模擬驗證

本研究以蘇力颱風進行驗證,圖 5-6 為蘇力颱風模擬成果,由圖 5-7 中可看出於大里溪與烏溪匯流處有較嚴重之淹水情形,與調查成果之烏日區五光里一帶因內水無法順利排出所造成之大面積範圍淹水相符,而沿海地區,主要為農田地區,故無淹水情形之回報。再以圖 5-7 與表 5-4 為證,PHD所模擬之成果與觀測資料均相符。



圖 5-6 蘇力颱風事件淹水模擬成果

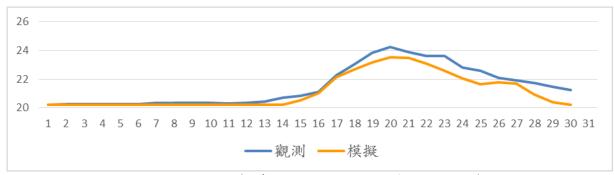


圖 5-7 PHD 模式蘇力颱風-水位歷線比較(溪南橋)

表 5-4 PHD 模式水道水理演算檢定表(驗證)

流域	檢定事件	流量站	效率係數	相關係數	峰值量誤差 (%)	峰值時間誤差
鳥溪	蘇力颱風	溪南橋	0.86	0.97	2.92	0

5.5 PHD 即時模擬成果

本研究以本年度 8 月 8 日之蘇迪勒中度颱風環境條件(如表 5-5)進行即時淹水模擬,再以定量降雨預報資訊進行淹水潛勢預報。據中央氣象局歷史颱風資料庫顯示梧棲氣象站測得最大風速及最大陣風分別為 30.8 與54.2;降雨總量分布圖中顯示臺中雨量站所累積之降雨僅有 63.3 毫米與臺北市北投區竹子湖雨量站之總累積量 492.1 毫米,相差 428.8 毫米,可見蘇迪勒颱風帶來之降雨多集中於北部及山區,對中部之影響主要為強風。

降雨資訊以臺中市災害應變中心一級開設時間(2015-08-07 13:00)至降為第二級開設時間(2015-08-08 22:00),共計 34 小時期間之降雨進行即時淹水模擬,警報期間臺中氣象站之降雨分布記錄如圖 5-8 所示。此次颱風事件,據中央災害應變中心統計至 8 月 11 日止,計有 8 人死亡,4 人失蹤,437 人受傷,且造成多處道路坍方,全臺停電戶數達 400 萬戶。(2015,中央氣象局)

表 5-5 蘇迪勒颱風概況表

n 151	ない。サー(COLIDELOD)	74日 中 年 日
名稱	蘇迪勒 (SOUDELOR)	颱風路徑圖
編號	201513	201513 蘇迪勒(SOUDELOR 3115+++-(20++++125++++130+++35)
發布時間	海上 2015-08-06 11:30	
發 中 时 间	陸上 2015-08-06 20:30	30 30
解除時間	陸上 2015-08-09 08:30	08/09
件 际 时 间	海上 2015-08-09 08:30	25
最大強度	中度	08/08
近中心最	48(公尺/秒)	20 08/04 08/04
大風速	TO (A)(1/)	08/05
登陸地段	花蓮縣秀林鄉	15
侵臺路徑 分類	3	110 115 120 130 135 140 145 150 150 16 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18

資料來源:整理至中央氣象局颱風資料庫

 $(http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/typhoon?year=2015\&num=201513\&name=SOUDELOR\&from_warning=true)$

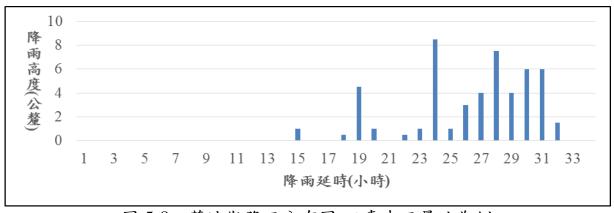


圖 5-8 蘇迪勒降雨分布圖-以臺中雨量站為例

本研究以 63 站之即時雨量觀測資訊進行逐時的淹水模擬,圖 5-9 為即時淹水模擬成果最後之結果,圖 5-9 中之 A 區域為臺中市沿海行政區(清水區、梧棲區及沙鹿區,由 A 區域之放大圖中可見有少部分之淹水區域,再由其放大圖 C 區域裡可知,此些淹水區塊多為低漥之農地;圖 5-9 中之 C 區域為臺中市明星淹水區(烏日區、大里區),就淹水模擬結果,並無明顯之淹水跡象。整體而言,本研究之即時淹水模擬結果與現況淹水情勢相符。圖 5-10 為靜態淹水潛勢圖與本研究即時淹水模擬之淹水範圍比較,以臺中市烏日區為例,由圖 5-10 中可見靜態淹水潛勢圖與即時淹水模擬之範圍差異相當大,原因在於靜態淹水潛勢圖所假設之氣候環境與真實氣候環境條件差異太大,無法表達當下之淹水情況。

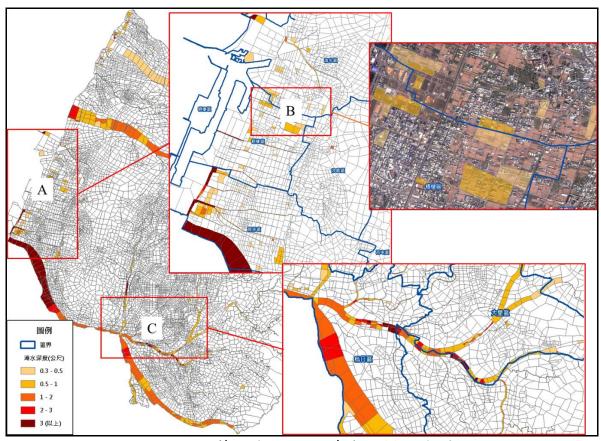


圖 5-9 蘇迪勒颱風即時淹水模擬成果

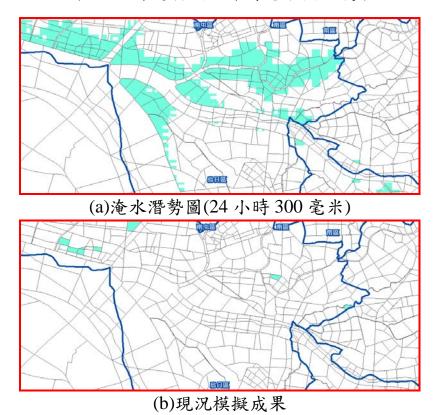


圖 5-10 經濟部水利署 24 小時 300 毫米淹水潛勢圖與實際模擬的比較圖

本研究針對各延時之淹水模擬結果,以各延時之最大可能淹水深度進行淹水潛勢區域分析,分析結果如圖 5-11,圖中可知大甲區、清水區、梧棲區、及東區具有高淹水潛勢風險存在,臺中市於蘇迪勒颱風事件下具有淹水潛勢之行政區如表 5-6 所示。

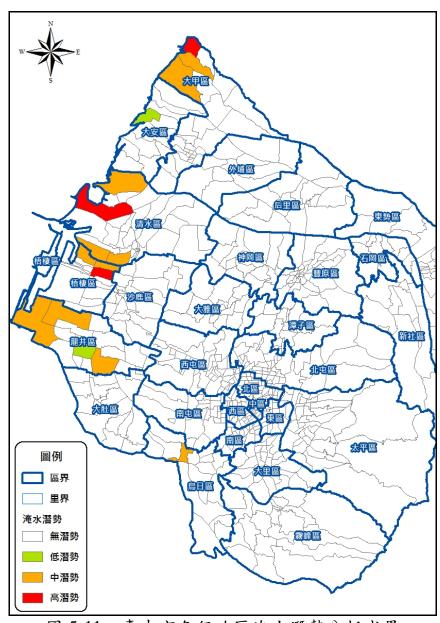


圖 5-11 臺中市各行政區淹水潛勢分析成果

表 5-6 臺中市淹水潛勢區

淹水潛勢等級	行政區名(里別)
低潛勢	大安區(海墘里、田中里)
中潛勢	大甲區(西歧里、建興里)、清水區(高北里、糠榔里、南社里)、龍井區(麗水里、忠和里、竹坑里)、梧棲區(頂寮里、南簡里)、烏日區(湖日里)
高潛勢	大甲區(福德里)、清水區(高南里)、梧棲區(福德里)、東區(泉源里)、

本研究成果在 2015 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風警戒期間,於臺中市災害應變中心,由深耕計畫協力機構逢甲大學直接向臺中市政府首長 林佳龍市長進行簡報與提出可能之淹水情勢與淹水潛勢地區,如圖 5-12。



圖 5-12 蘇迪勒颱風事件災害應變中心簡報現況

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究所提出之 RFP-DSS 的淹水演算核心 PHD 模式,經卡玫基及蘇力颱風事件的檢定與驗證,在模式模擬結果與實際觀測水位歷線及淹水範圍紀錄比較後,PHD 模式具相當推論能力的可靠度,能夠反應地表淹水情形。RFP-DSS 於接收中央氣象局所提供之即時雨量站觀測資訊,能即時反應風水災害應變期間氣候條件下的淹水情況,使用中央氣象局所提供之定量降雨預報雨量可進行地表淹水情勢預判,故 RFP-DSS 可即時及預測颱風期間地表淹水情勢。RFP-DSS 於蘇迪勒颱風侵臺期間,於 1 小時內可提供全臺中市淹水模擬概況及可能淹水潛勢區資訊供災害應變中心指揮官作為災情研判之參考,此顯 RFP-DSS 係具有時效性,亦提升臺中市政府於颱風侵襲期間對淹水災情之研判情資品資,精進災害應變中心淹水災情情勢研判能力。

6.2 建議

對於淹水模擬與臺中市防災應變策略上仍有可精進之處,故於後續研究之建議有下列三點:

(1) 淹水模式精進

RFP-DSS 目前受限於格網精緻度,對於局部低漥積淹水上較難以表達,為能提高模式之淹水模擬準確度,可提高不規則網格之細緻度,但資訊量亦會相對提升,故模擬運算時間勢必受到資料量的影響,加長模擬運算時間。對於此本研究建議可將部分演算功能透過硬體設計方案縮短模擬運算時間,以 Verilog 方式進行撰寫,再設計專用運算加速卡,即可提升淹水模擬精緻度且更可達即時模擬之目的。

(2) 臺中市防災應變中心災情研判機制

對於臺中市政府現有防災應變上建議編列經費發展與建構災害應 變決策輔助系統,改善防災資訊呈現方式與現有風水災害情資研判方 式。針對支援系統開發上,本研究建議整合各局處災害情資資訊及淹 水現況模擬呈現兩部分,其中災害情資資訊可包含中央氣象局之颱風 路徑圖、各國颱風預測路徑、QPESUMS 雷達回波圖及預測雨量資訊、土石流潛勢溪流預警資訊、...等;淹水現況模擬呈現內容中有淹水現況圖、區/里之淹水潛勢排序及淹水模擬之降雨延時分布資訊,如圖 6-1 所示。介面設計上可針對決策者所需資訊進行快速調換,使呈現資訊符合決策者需求。

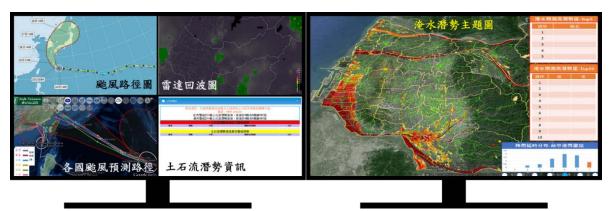


圖 6-1 決策輔助系統展示介面資訊配置(模擬畫面)

(3) 導入即時淹水情勢決策支援系統精進臺中市災害應變中心災害情資準 確程度

臺中市災害應變中心導入本研究所提出之 RFP-DSS,以災害管理 之減災、整備及應變三大程序,透過情境假設、模擬、現況比對及修 正等四大步驟進行滾動式檢討與修正,以提升臺中市災害應變中心情 資研判準確程度,做為災害應變中心決策制定之後盾。

參考文獻

Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E., Rasmussen, J., 1986. An introduction to the European Hydrological System—Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. Journal of hydrology, 87(1): pp.45-59.

Asselman, N.E.M., van Wijngaarden, M., 2002. Development and application of a 1D floodplain sedimentation model for the River Rhine in The Netherlands. Journal of Hydrology, 268(1–4): pp. 127-142.

Bélair, S. et al., 2009. Medium-Range Quantitative Precipitation Forecasts from Canada's New 33-km Deterministic Global Operational System. Weather Forecast., 24(3): pp. 690-708.

Benavente, J., Del Río, L., Gracia, F., Martínez-del-Pozo, J., 2006. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). Continental Shelf Research, 26(9): pp. 1061-1076.

Bergström, S., Singh, V., 1995. The HBV model. Computer models of watershed hydrology.: pp. 443-476.

Beven, K., Kirkby, M., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. Hydrological Sciences Journal, 24(1): pp. 43-69.

Byun, D.-S., Cho, C.-W., 2009. Exploring conventional tidal prediction schemes for improved coastal numerical forecast modeling. Ocean Modelling, 28(4): pp.193-202.

Calvo, B., Savi, F., 2009. Real-time flood forecasting of the Tiber river in Rome. Natural Hazards, 50(3): pp. 461-477.

Chen, C.N., Tsai, C.H., Tsai, C.T., 2007. Reduction of discharge hydrograph and

flood stage resulted from upstream detention ponds. Hydrological Processes, 21(25): pp. 3492-3506.

Cheung, K. et al., 2003. Modeling of storm-induced coastal flooding for emergency management. Ocean Engineering, 30(11): pp. 1353-1386.

Chien, F.-C., Jou, B.J.-D., 2004. MM5 Ensemble Mean Precipitation Forecasts in the Taiwan Area for Three Early Summer Convective (Mei-Yu) Seasons. Weather Forecast., 19(4): pp. 735-750.

Cunge, J.A., 1975. Two-dimension modeling of flooding plains K. Mahmood and V Yevjevich fedited), Unsteady flow in open channels. Water Resou} ces Publi-cations.

Crawford, N.H., Linsley, R.K., 1966. DIGITAL SIMULATION IN HYDROLOGY'STANFORD WATERSHED MODEL 4.

De Roo, A. et al., 2003. Development of a European flood forecasting system. International Journal of River Basin Management, 1: pp. 49-60.

Du, J., Mullen, S.L., Sanders, F., 1997. Short-Range Ensemble Forecasting of Quantitative Precipitation. Monthly Weather Review, 125(10): pp. 2427-2459.

Foufoula-Georgiou, E., Krajewski, W., 1995. Recent advances in rainfall modeling, estimation, and forecasting. REVIEWS OF GEOPHYSICS-RICHMOND VIRGINIA THEN WASHINGTON-, 33: pp. 1125-1138.

Gambolati, G., Teatini, P., Gonella, M., 2002. GIS simulations of the inundation risk in the coastal lowlands of the Northern Adriatic Sea. Mathematical and Computer Modelling, 35(9-10): pp. 963-972.

Georgakakos, K.P., 1987. Real-time flash flood prediction. Journal of Geophysical Research, 92(D8): pp. 9615-9629.

Habert, J. et al., 2012. Estimation of lateral inflows using data assimilation in the context of real-time flood forecasting for the Marne catchment in France.

Estimation des apports latéraux via assimilation de données pour le bassin versant de la Marne dans un contexte opérationnel de prévision des crues.

Havis, R.N., Alonso, C.V., King, J.G., 1996. Modeling sediment in gravel-bedded streams using HEC-6. Journal of Hydraulic Engineering, 122(10): pp. 559-564.

Havnø, K., Madsen, M., Dørge, J., Singh, V., 1995. MIKE 11-a generalized river modelling package. Computer models of watershed hydrology.: pp. 733-782.

Hübl, J., Steinwendtner, H., 2001. Two-dimensional simulation of two viscous debris flows in Austria. Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, 26(9): pp. 639-644.

Hsu, M.-H., Fu, J.-C., Liu, W.-C., 2003. Flood routing with real-time stage correction method for flash flood forecasting in the Tanshui River, Taiwan. Journal of Hydrology, 283(1-4): pp. 267-280.

Hsu, M.H., Fu, J.C., Liu, W.C., 2006. Dynamic routing model with real-time roughness updating for flood forecasting. JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, 132: pp. 605-619.

Iwasa, Y., Inoue, K., 1982. Mathematical Simulations Of Channel And Overland Flood Flows In View Of Flood Disaster Engineering. Natural disaster science, 4(1): pp. 1-30.

Jelesnianski, C., Chen, J., Shaffer, W., Gilad, A., 1984. SLOSH-a Hurricane Storm Surge Forecast Model, OCEANS 1984. IEEE, pp. 314-317.

Karimi, S., Kisi, O., Shiri, J., Makarynskyy, O., 2013. Neuro-fuzzy and neural network techniques for forecasting sea level in Darwin Harbor, Australia. Computers & Geosciences, 52(0): pp. 50-59.

Kitanidis, P.K., Bras, R.L., 1980. Real-time forecasting with a conceptual hydrologic model: 1. Analysis of uncertainty. Water Resour. Res., 16(6): pp. 1025-1033.

Kraijenhoff, D., Moll, J., 1986. River flow modelling and forecasting. D. Reidel.

Lee, T.L., 2006. Neural network prediction of a storm surge. Ocean Engineering, 33(3–4): pp. 483-494.

Li, M.-H., Hsu, M.-H., Hsieh, L.-S., Teng, W.-H., 2002. Inundation Potentials Analysis For Tsao-Ling Landslide Lake Formed By Chi-Chi Earthquake In Taiwan. Natural Hazards, 25(3): pp. 289-303.

Londhe, S.N., 2011. Forecasting Water Levels Using Artificial Neural Networks. The International Journal of Ocean and Climate Systems, 2(2): pp. 119-135.

O'brien, J., Julien, P., Fullerton, W., 1993a. Two-Dimensional Water Flood And Mudflow Simulation. Journal of hydraulic engineering, 119(2): pp. 244-261.

O'Brien, J., Julien, P., Fullerton, W., 1993b. Two- Dimensional Water Flood and Mudflow Simulation. Journal of Hydraulic Engineering, 119(2): pp. 244-261.

O'Brien, J., Julien, P., 2000. Flo-2D. Users manual. Flo-engineering, Version.

Richard, E., Buzzi, A., Zängl, G., 2007. Quantitative precipitation forecasting in the Alps: The advances achieved by the Mesoscale Alpine Programme. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 133(625): pp. 831-846.

Sannasiraj, S.A., Zhang, H., Babovic, V., Chan, E.S., 2004. Enhancing tidal prediction accuracy in a deterministic model using chaos theory. Advances in Water Resources, 27(7): pp. 761-772.

Takahashi, K., Nakagawa, H., Nishizaki, T., 1986. Two Dimensional Numerical Simulation Method To Estimate The Risk Of A Flood Hazard Caused By A River Bank Breach. DPRI, Kyoto Univ., 29B-2: pp. 431-450.

Tsai, C., Chen, C., Tsai, C., 2007. Influence Of Reservoir Flood Releasing On Inundated Potential For Downstream Area.

Yu, P.-S., Jeng, Y.-C., 1997. A study on grid based distributed rainfall runoff models. Water resources management, 11(2): pp. 83-99.

Van Der Knijff, J., Younis, J., De Roo, A., 2010. LISFLOOD: a GIS-based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation. International Journal of Geographical Information Science, 24(2): pp. 189-212.

Wang, Y., Li, M., Yu, P., 2007. Application of QPESUMS System with Distributed Rainfall-Runoff Model.

Wang, C.-h., 2009. Apply Neural Network Techniques for Storm Surge Prediction.

Werner, M., Reggiani, P., De Roo, A., Bates, P., prokkereef, E., 2005a. Flood forecasting and warning at the river basin and at the European scale. Natural Hazards, 36(1-2): pp. 25-42.

Wong, J.-H., Chen, C.-N., Lai, C.-Y., Tsai, C.-H., Tsai, C.-T., 2004. Application Of Gis Linked The Physiographic Inundation Model To Estimate The Influence Of Land Use On Flooding Potential, Proceedings of the 6th International Conference. World Scientific, pp. 24.

Zepeda-Arce, J., Foufoula-Georgiou, E., Droegemeier, K.K., 2000. Space-time rainfall organization and its role in validating quantitative precipitation forecasts. Journal of Geophysical Research, 105(D8): pp. 10,129-10,146.

尤心瑜、廖宇慶,2011,使用都卜勒氣象雷達資料改善模式定量降雨預報之可行性研究—以模擬資料測試之實驗結果,大氣科學,39(1):第1-24頁。 行政院,2011,災害防救白皮書。

巫孟旋,2013,地文性淹水即時預報模式之發展與應用,國家立成功大學 水利及海洋工程研究所,博士論文。

陳昶憲、楊朝仲、王益文,1996,類神經網路於烏溪流域洪流預報之應用,中華水土保持學報,27(4):第267-274頁。

許銘熙,1989,洪氾區二維變量流模擬:ADE 法與 SES 法之比較,生物環境系統工程學系 期刊論文。

許泰文、游保杉、黃清哲,2011,強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災

害調適能力研究計畫(2/2),經濟部水利署。

黃仁國、李光敦,2009,考慮時變性部分集水面積概念之降雨逕流模式,中國土木水利工程學刊,21(1):第13-23頁。

雷銘中,2002,台灣地區模式降雨預報之校驗評估,大氣物理研究所碩士論文,中央大學。

楊銘賢、李光敦,1998,逕流運行時間分佈對運動波-地貌瞬時單位歷線影響之初步研究,臺灣水利,4(4):第76-89頁。

經濟部水利署水利規劃試驗所,2013,流域洪氾防災及土資源管理之研究(3/3)。

蔡長泰、顏沛華、盧炳堃,1983,濁水溪洪水預報系統之研究 (一),行政 院國家科學委員會防災研究報告72-76號。

賴進松,1986,堤防潰決後二維性洪流演算模式,土木工程研究所碩士論文,臺灣大學。

蔡孝忠、李天浩,2008,利用雙傅利葉函數迴歸法建立颱風氣候降雨定量估計模式—以淡水河流域為例,中國土木水利工程學刊,20(2):第183-195頁。

顏清連,1998,淡水河整體洪水預報系統模式之研發,台灣省水利處,國立臺灣大學。

顏清連、何興亞,2001,洪災預警及防治,中國土木水利工程學會九十年 年會論文集:第57-74頁。

羅竣文,2010,應用類神經網路於颱風降雨量即時預報之研究,土木工程學研究所碩士論文,臺灣大學。