

國立成功大學

都市計劃研究所

碩士論文

以景觀生態學評估都市紋理對淹水潛勢之影響

-以原台中市為例

An Assessment of the Impact of Urban Pattern to Inundated Potential via Landscape Ecology-A Case of Taichung City

研究生：蔡妙琪

指導教授：林漢良

中華民國一〇六年六月

摘要

氣候變遷使得水患發生的頻率與規模逐年增加，都市化改變水患在都市空間的流動方式，更加劇水患對都市空間之衝擊。其中都市化帶來大量的建築物、街廓、道路，這些建成環境排列成都市紋理(urban pattern)，造成地表缺少保水鋪面，使得水患發生時，水流在都市空間中流速增加而集流時間縮短，加劇水患對都市空間之衝擊，更造成淹水範圍與淹水深度的增加。因此，淹水潛勢會受到都市紋理影響，更會因都市紋理的排列方式不同而加劇或減緩。

然而淹水潛勢相關研究中，目前多使用都市計畫使用分區之建蔽率、土地使用現況為基礎計算此淹水格區的曼寧粗糙係數，忽略將都市紋理納入淹水模擬中，其代表特定土地使用所形成之建築物、開放空間、街廓以及道路的配置方式是固定的，因此可將特定土地使用直接對應至其產生的都市紋理，進而忽略都市紋理實際的配置方式，造成淹水模擬結果無法完全反映實際的都市樣貌。

為瞭解都市紋理對淹水潛勢之影響，特定的都市紋理是否加劇或減緩淹水潛勢，並探討較耐水患的都市紋理的幾何特性與在都市空間的配置方式，本研究利用景觀生態學量化都市紋理，將量化結果與曼寧粗糙係數進行歸類分析，以討論都市紋理對於淹水環境之影響，探討特定都市紋

理是否加劇或減緩水患對都市空間之衝擊，並依據各種都市紋理的幾何特性與配置方式，歸納其具有的曼寧粗糙係數，納入淹水模擬後，與納入土地使用之淹水模擬結果比較。

研究結果顯示，分類後五種紋理中較為不耐水患的都市紋理，其曼寧粗糙係數與嵌塊體形狀指標(MSI)、邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)分別呈現顯著的中與低度正相關，表示都市地區可透過設計建築物的幾何形狀、建築物密度、建築物數量、建築物覆蓋比例等方式使得都市空間更耐水患。此外，比較「以土地使用現況推算曼寧係數演算的淹水潛勢」與「以都市紋理推算曼寧係數演算的淹水潛勢」後，發現不論是探討兩情境的最大淹水深度差異，亦或是兩情境的淹水延時差異，將都市紋理納入淹水模擬當中，於原台中市都市紋理較密集的區位及水道兩側皆有顯著的影響，表示於都市紋理密集的地區進行淹水模擬時，除了土地利用方式外，應將都市紋理納入曼寧粗糙係數中。

關鍵詞：都市紋理、淹水潛勢、景觀生態指數、地文性淹排水模式。

目錄

第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與目的	1
第二節 研究範圍	5
第二章 相關理論與文獻回顧.....	7
第一節 都市紋理對水文環境的影響	7
第二節 都市紋理對淹水潛勢的影響	11
第三節 景觀生態學	15
第三章 研究設計與方法.....	16
第一節 研究方法	16
第二節 研究設計	24
第四章 研究結果.....	28
第六章 結論與政策建議.....	40
參考文獻.....	44

表目錄

表 2-1 綜合治水架構.....	9
表 2-2 都市減洪空間規劃與辦理事項表	9
表 2-3 土地利用狀況選用糙率係數對應表	11
表 2-4 曼寧粗糙係數影響因素	12
表 3-1 景觀生態指數與其描述表	17
表 3-1 景觀生態指數與其描述表(續).....	18
表 3-1 景觀生態指數與其描述表(續).....	19
表 3-1 曼寧粗糙值之建議值	22
表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域	31
表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域 (續)	32
表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域 (續)	33
表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域 (續)	34

圖目錄

圖 1- 1 烏溪流域與原台中市範圍圖	6
圖 3- 1 研究設計示意圖	27
圖 5- 1 兩情境曼寧係數差異量資料分配與空間分布圖	36
圖 5- 2 兩情境最大淹水深度差異資料分類與空間分布圖	37
圖 5- 3 兩情境淹水延時差異資料分類與空間分布圖	38

第一章 緒論

第一節 研究背景與目的

一、研究動機與背景

台灣因屬副熱帶、熱帶季風氣候區及具年輕地質的環境特性，夏季常有豪雨及颱風侵襲，使得位於沿海低窪地區之人口聚集都會區容易發生淹水災害。而近年來因都市土地利用的快速變遷，都市化對地球之生態環境造成重大破壞，其為地表帶來大量的建築物、街廓、道路，這些建成環境排列成都市紋理(urban pattern)，破壞水文系統流動及循環方式，使得水患發生時，水流在都市空間中流速增加而集流時間縮短，更加劇水患對都市空間之衝擊(Alberti et al.,2007)。

在天然災害的侵襲之下，台灣必須面對並積極減緩與調適氣候變遷與都市化對都市帶來的影響。相對於過去較以工程面向的結構式排洪減災手段，近年多倡導將土地使用規劃設計面向的非結構式減災手段與工程式相互結合使用。因此近年台灣提倡的綜合治水概念，便是以流域為單元，結合運用各項結構與非結構式減災手段，進行流域中上游保水、中游減洪、下游防洪等工作，並配合土地利用規劃與設計的全面性治水策略(鐘文祥，2012；行政院，2014)。在綜合治水的架構中，下游防洪除了加強排水系統、設置堤防等結構式手段之外，近年開始強調在位於下游的都市地區，利用土地利用管理的方

式，加強都市土地的耐水患能力。而在諸多減災手段中，因不同的都市紋理(urban pattern)對於水文環境會有不同影響(Alberti et al.,2007；Greve,2012)，若探討都市紋理對於水文環境的影響程度，可進一步透過改變都市紋理在都市空間的配置方式，減緩水患於都市地區的流速，進而可減少水患產生的淹水深度與範圍，增加都市紋理的耐水患能力；反之，可能加快水患的流速，進而讓水患造成的淹水深度與範圍更加嚴重。

為了預測未來可能發生的水患，並據此提出水災的減緩調適策略，近年多利用淹水潛勢地圖做為了解都市可能發生水患的區位與程度的方法，其中影響淹水潛勢程度的變數包括雨量、坡度以及土地表面利用情形等。淹水模擬演算過程中以曼寧粗糙係數來代表土地表面利用情形，曼寧粗糙係數由曼寧於 1889 年提出，與地表水流速率有直接之相關性，代表此塊土地在水流流經時，與水流產生的地表摩擦力，以及地表的透水程度。影響曼寧粗糙係數的原因包括植物、渠道之不規則性、土地利用、水位流量、季節變化等(林昭遠等，2009)，然而淹水潛勢相關研究中，目前多使用都市計畫使用分區、土地使用現況推算曼寧粗糙係數，也就是忽略都市紋理的配置方式，進行淹水模擬的演算。其代表特定土地使用所形成之建築物、開放空間、街廓以及道路的配置方式是固定的，因此可將特定土地使用直接對應至其產生的都市紋理。然而當使用都市計畫使用分區以及土地使用現況推算曼寧粗糙係數時，常因與現況使用不符、容積移轉等原因，使得建蔽率與容積率時常無法反映

實際的土地利用狀況，亦會忽略建築物與開放空間的排列關係，造成淹水模擬結果忽略都市紋理實際的配置方式，無法完全反映實際的都市樣貌。

為了利用評估淹水潛勢來探討都市紋理對淹水環境的影響，必須了解如何量化都市空間元素的配置方式，以將都市紋理納入淹水潛勢評估流程當中。景觀生態學是研究一個景觀當中的景觀組成單元、景觀結構配置、景觀格局以及根據不同的景觀結構分類景觀的理論方法。在景觀生態學中，景觀由基質(matrix)、廊道(corridor)以及嵌塊體(patch)此三個結構單元所構成。由於都市系統亦為自然系統中的一環，都市中的空間單元亦可轉化為景觀生態學的基本結構單元，將都市空間做為基質，建築物及開放空間(如：公園、廣場等)為鑲嵌於基質中的嵌塊體，水文系統以及道路系統則分別為將水傳輸到都市基質以及嵌塊體的廊道。而透過計算都市空間的景觀格局(landscape pattern)，可以量化都市紋理在都市當中的配置方式，進而可以探討都市紋理對於淹水環境之影響程度。

綜上所述，近年氣候變遷與都市化的加劇，對水文環境產生重大影響，都市洪災頻率與規模增強，而都市化產生之都市紋理，造成地文、水文環境改變，更使得水患在都市空間中流速增加，集流時間減少，排水不及而造成積水易淹。因此，當一都市紋理具有耐水患的韌性，其可以使得水在都市空間流動的路徑越長、流速越慢，而造成都市淹水潛勢的深度與淹水範圍越少，使得都市空間越可以和水患共存。因此，為了瞭解不同都市紋理在都市空間

中會加劇或減緩水患的災情，以及如何設計出具有耐水患能力的都市紋理，本研究利用景觀生態學描述都市紋理的幾何與配置特性，並利用地文性淹排水模式探討不同都市紋理對淹水潛勢的影響程度。相較於在淹水模擬當中使用都市計畫使用分區及土地使用現況作為代表土地利用狀況的變數，本研究討論各種都市紋理應具有的曼寧粗糙係數，並代入淹水模擬演算過程中，使得淹水模擬之結果能夠反映實際土地表面利用情形的配置方式。

二、研究目的

本研究的研究目的為探討耐水患的都市紋理的配置方式與幾何特性，並討論都市紋理對淹水潛勢的影響。

本研究將利用景觀生態指數量化並分類都市紋理，分析目前都市紋理的配置方式，並探討都市紋理分類結果與曼寧粗糙係數，也就是於淹水環境當中地文特性的相關程度；並且，將前述結果回歸到都市設計尺度當中，將都市紋理依據耐水患程度以及配置方式進行歸類，以將都市紋理在地文環境當中的淹水特性得以與都市設計連結；最後，將都市紋理納入淹水模擬演算當中，並與納入土地使用演算的淹水模擬進行比較。

第二節 研究範圍

本研究之空間範圍依研究方法及目的可分為兩部分，第一部分為進行地文性淹水模式進行水患模擬之範圍，第二部分為探討都市紋理對於淹水潛勢影響之範圍。

進行地文性淹水模式進行水患模擬之範圍，必須可以反映整體水文系統之特性，才能夠有較為精確的模式演算結果，因此以流域之範圍為主。本研究以烏溪流域範圍作為淹水模擬之研究範圍。烏溪位於台灣西海岸中部，發源於中央山脈合歡山西麓，東以中央山脈為界，北鄰大甲溪流域，西臨台灣海峽，南與濁水溪流域為鄰，地勢自東北向西南傾斜，幹流全長約 119.13 公里，流域面積為 2,025.60 平方公里，流經原台中市、彰化縣及南投縣等行政區域，幹流流域兩側支流密佈，包括筏子溪、大里溪水系、貓羅溪、北港溪及眉溪，其中其支流筏子溪水流湍急，並流經人口密集之原台中市，颱風來襲常氾濫成災。

探討都市紋理對於淹水潛勢影響之範圍，因都市為人口主要的居住地區，都市人口分布將影響水患發生在都市所造成的影響，進而提高都市水患的發生風險；研究範圍需具有多種發展強度及土地覆蓋類型，以呈現多種類都市空間紋理以供計算其韌性差異；在災害面向而言，研究範圍在氣候變遷挑戰之下，常因暴雨、颱風災害侵襲導致淹水情形。因此本研究選擇以人口密集、具有多樣化都市紋理、且近年易遭水患之原台中市作為研究範圍。本研究將利用景觀生態指數描述原台中市的都市紋理，並在探討都市紋理對淹水潛勢的影響時，將以流域為範圍的淹水模擬結果提取出原台中市的範圍進行討論。

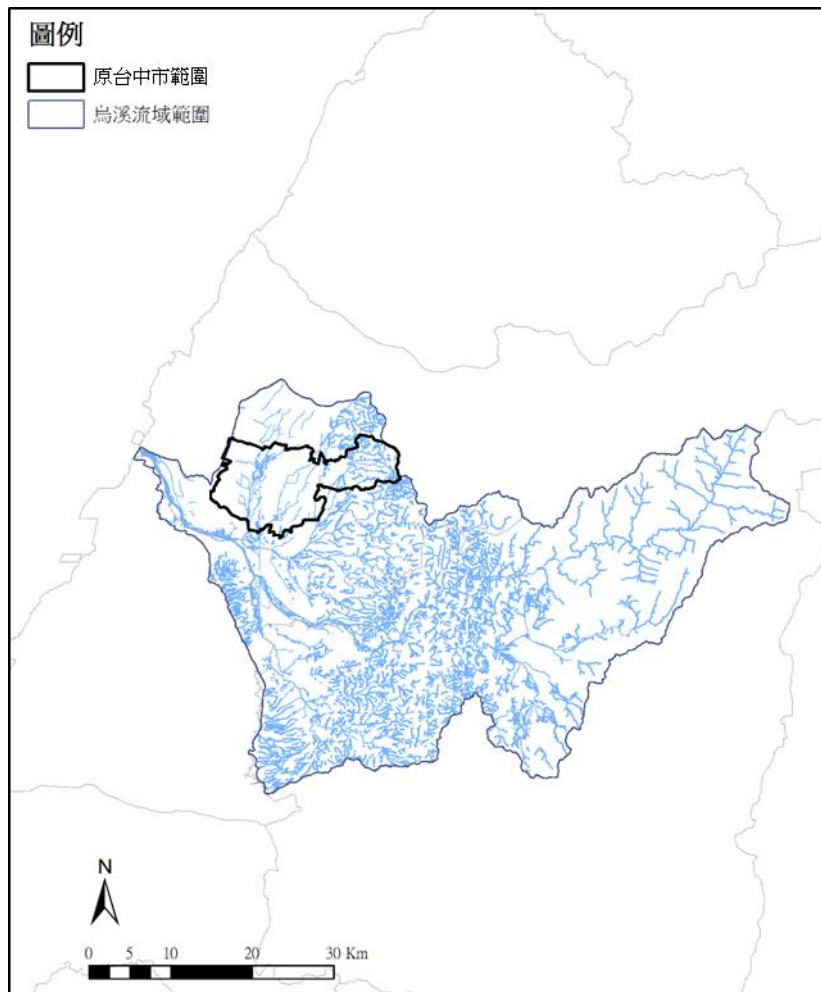


圖 1-1 烏溪流域與原台中市範圍圖
(資料來源：水利署劃設，本研究套繪於行政區域)

第二章 相關理論與文獻回顧

第一節 都市紋理對水文環境的影響

一、土地覆蓋變遷對水文環境的影響

在都市化對水文環境的影響相關文獻中，有大量文獻認為都市化所帶來的土地覆蓋變遷，改變水文的循環模式，更造成逕流量增加。目前已有大量都市土地覆蓋(land cover)變遷對於水文環境造成影響的相關研究，大多研究皆認為因土地覆蓋的快速變化，帶來大量的建築物，及其伴隨的不透水表面增加，將使得都市空間的地文、水文環境改變，進而加劇水患對都市空間帶來的衝擊 (Yang et al., 2012; J. Du et al., 2012)。都市大量的不透水表面面積增加，導致降雨時水流減少入滲進土壤層的機率，進而造成地表逕流量增加；而大量建築物所形成之建成環境，將形成建物形狀阻抗效應，使得流速增加而集流時間縮短，然都市排水系統皆有其可容納水量之設計工程標準，因此當發生颱風災害時，水流流速增加及集流時間縮短，將造成水流很快聚集到超過排水系統之設計標準，產生排水不及而積水易淹之災情，更使得淹水範圍與淹水深度的增加(Ogden et al., 2011; 蔡長泰等, 2011)。

二、都市紋理對水文環境之影響

都市之土地利用變遷造成大量建築物的增加，產生之都市紋理使得水流流速增加而集流時間減少，其與水文環境呈現顯著相關，將影響水患於都市

空間的流動狀態。雖然都市紋理的產生使得水患對都市空間的災情加重，但是若要減緩都市水患對都市空間造成之淹水深度及淹水範圍，使得都市空間更耐水患，除了透過減少不透水表面面積之外，可由調整都市紋理的方式，降低水流於都市空間中之流速、增加集流時間等面向著手。並且可利用景觀生態指數，分析都市紋理與淹水環境之關係，探討當都市紋理如何配置時，能夠加劇或減緩水患對都市空間造成之衝擊，並可指出都市的淹水潛勢地區區位，進而透過設計都市紋理以減緩水患對於都市空間之衝擊。

三、都市減洪策略

為降低未來水患對都市空間可能帶來之損失，如何有效的利用減災手段降低都市空間受災的風險為近年重大的課題之一。Godschalk(1991)將減災手段分為結構式(structural)與非結構式(non-structural)兩類，其中結構式減災如堤防、水壩、攔砂壩等工程措施，以減低水患衝擊程度；非結構式減災則指土地使用計畫等土地管理方式，以及如財政、保險、監測及預警系統、建築物耐震設計等非工程面面向之空間規劃設計或教育，降低災害風險(Berke and Beatley, 1992；吳杰穎、李玉生，2010)。

我國近年則結合結構式與非結構式的減災策略，提出綜合治水的水患治理對策，以流域為單位，強調流域須以「上游保水、中游減洪、下游防洪」為目標，進行內水排除、外水治理及暴潮防禦工作，並配合流域內的土地利用

規劃、設計及管理等非結構式減災手段，來保護流域中人民、財產與產業安全，使得流域更耐水患(鍾文祥，2012；行政院，2014)。

表 2-1 綜合治水架構

手段		主要措施
工程措施	禦潮事業	海堤、防水門
	防洪事業	河堤、護岸、蓄洪、滯洪、疏浚、分洪
	排水事業	下水道、排水路、抽水站、排水水門、滯洪池
	建築物抗洪	耐水建築物、防災道路、圍堤
非工程措施	土地利用管理 (逕流量抑制)	設置滯洪區、農地多目標使用、土地開發逕流抑制、公園綠地治水化
	預警避難	預警系統、洪水警報、緊急避難、河川搶險
	災害善後	災害救濟、洪水保險、租稅減免
	教育宣導	政策宣導、淹水潛勢圖與紀錄圖製作、淹水潛勢圖與實績圖公布

(資料來源：鍾文祥，2012)

在綜合治水的架構中，非結構式減災手段其中之一即為土地利用管理，其目的在於透過土地利用的規劃、設計、管理等方式，使得流域內的建築物、道路等建成環境，可以擁有承受災害的能力。而土地利用管理手段在都市計畫領域中的具體措施，主要則依據經濟部水利署 2014 年所研擬的都市防洪空間規劃與管理之研究。從表 2-2 中可看出，可將綜合治水架構中提及的設置滯洪區、農地多目標使用、土地開發逕流抑制、公園綠地治水化等策略細緻化進入都市計畫法制架構當中，可應用的層面包括土地使用分區計畫、公共設施用地計畫、土地使用分區管制要點及建築管理等。

表 2-2 都市減洪空間規劃與辦理事項表

辦理事項	規劃具體措施
土地使用分區計畫	農業區或保護區變更為滯洪池用地

	閒置空地變更為滯洪池用地
公共設施用地計畫	公共設施多目標使用
	利用道路排水滯洪
土地使用分區管制要點	增加法定空地面積比例
	限制地下室開挖率
	土地高程管理
都市設計準則	提高法定空地透水面積
	導入低衝擊開發設施
	地面樓層採開放空間設計
建築管理	建築物設置雨水收集貯留設施

(資料來源：都市防洪空間規劃與管理之研究，2014)

然而雖可透過以上策略來達成增加地表水入滲、延緩水患流速的目的，若能夠透過都市設計準則，設計出耐水患的都市紋理，使得水患於都市空間的路徑越長越複雜，流速越慢，水流越不容易累積到目前排水設施的工程設計標準，便可以減緩積淹水的災情，使得都市更具有耐水患的能力，更可豐富綜合治水架構中關於土地利用管理的手段。

第二節 都市紋理對淹水潛勢的影響

一、淹水潛勢

(一) 曼寧粗糙係數

有許多變數會影響淹水潛勢的評估結果，其中包括雨量、坡度以及土地利用方式等。以雨量為例，當利用不同降雨量、降雨延時與降雨型態進行淹水模擬時，可能造成淹水潛勢演算結果產生不同的淹水深度與淹水範圍(蔡長泰，1999)。土地利用方式則有別於都市計畫當中常使用的「土地使用」，意義為土地表面的利用方法是否能夠透水保水，或是在水流經過時將與地表之間產生磨擦力，使得水流速度能夠減緩的指標，並加以利用曼寧粗糙係數量化。

表 2-3 土地利用狀況選用糙率係數對應表

土地利用	曼寧 n 值
建築用地、遊憩用地	0.1
稻作、水田	0.15
林業、灌木荒地、林地	0.35
旱作、牧場、草地	0.25
人工改變中土地、土石採取場、土石設施、未使用地	0.2
鹽田	0.05
水庫、養殖魚塭、湖泊、排水路	0.02
洪水平原	0.07
河川	0.03
公園、綠地、廣場、畜禽舍、墳墓	0.2

(資料來源：經濟部水利署，2012)

上述表格中提到的曼寧係數，由曼寧於 1889 年提出，體現土地表面利用方式如何影響水流流速。根據國家教育研究院對於曼寧粗糙係數的定義，一塊土地的曼寧粗糙係數會受到土地的表面粒徑粗糙度、植物分布、河槽不規則程度、河槽走向、沖淤、障礙物、河槽斷面之大小與形狀、河川水位與流量、河道季節性之變化以及懸移載與河床載等因素所影響，其中障礙物的性質、大小、形狀、數目、分佈，與都市空間的使用與紋理十分有關。

曼寧係數的訂定方法，通常以人工渠槽實驗，於渠道兩側配置不同材質與其他變數，依渠道流量資料推算而得，或以實驗建立土地表面的材質、粒徑，與曼寧粗糙係數之經驗方程式(林昭遠等，2009)。Kalyanapu et al.(2009)則利用地理資訊系統(GIS)，分析土地使用分布的狀況，並將同淹水格區中各項土地利用方式，以面積加權的方法得一淹水格區的曼寧粗糙係數。曼寧係數與水流流速成反比，在一樣的流量與坡度下，當曼寧係數越大，表示水患流經此塊土地之流速越低，此塊土地越耐水患。

表 2-4 曼寧粗糙係數影響因素

影響因素	說明
表面粗糙度	表面粗糙度是由土地表面的顆粒之大小與形狀來代表。
植物	植物一方面增加表面粗糙度，另一方面減低河槽通水斷面積，其影響程度依植物之高度、密度、分佈與種類而異。
河槽不規則程度	河槽不規則程度由四周之變化，與斷面沿渠道之變化兩部所構成。
河槽走向	河槽曲率平緩者曼寧係數小，曲率銳急者曼寧係數大。
沖淤	一般而言，淤積可能減輕河槽不規則程度而降低其曼寧係數，但不均勻的淤積或沖刷，可能有相反之作用而增加其曼寧係數。

障礙物	障礙物之存在，使曼寧係數增加。其增加量依障礙物之性質、大小、形狀、數目、分佈等而定。
河槽斷面之大小與形狀	其對曼寧係數之增減不明確。
水位與流量	大部分河川，曼寧係數隨水位與流量之增加而減少，但流量增加到溢岸流情況時，洪水平原之曼寧係數可能比槽底的曼寧係數大。
季節性之變化	季節影響水中或堤岸邊的植物盛長枯萎，由此影響曼寧係數。季節又控制水溫，轉而影響黏度而致使曼寧係數之增減。
懸移載與河床載	懸移載與河床載，在移動時，總會消耗部分能量而致增加水頭損失。

(資料來源：國家教育研究院，2002)

淹水模擬輸入參數中的土地利用狀況，除了上述提到的林地、草地、建築用地等是否可入滲、保水等功能之外，其實也跟含括這些使用的空間紋理有關，以上使用的配置方式以及大小、邊緣長度等幾何形狀特性，亦影響水患於以上每種土地利用狀況的路徑。也就是說，土地利用狀況關心此塊土地的使用性質是否可使得水患來臨時，可以增加地表逕流入滲的機會，並藉此延緩水流的流速，此外，也需探討各種土地使用狀況的形狀及其配置方式，其概念即與都市紋理的概念相符，都市紋理含括都市中建築、道路、綠地等使用，並為這些使用的配置方式，以及幾何特性的體現。然而目前曼寧粗糙係數的訂定，僅有少數研究有將都市空間結構納入曼寧粗糙係數當中，也就是僅利用土地使用來推算曼寧粗糙係數，尚未有研究探討如何將都市紋理納入曼寧粗糙係數。

二、都市空間與曼寧粗糙係數的關係

目前關於將都市空間對淹水潛勢的影響研究中，絕大部分研究以都市的土地使用影響淹水潛勢為導向，多以土地利用現況來做為計算曼寧粗糙係數的依據。近年亦逐漸有研究跳脫土地使用導向的思維，以都市紋理的角度，將建築覆蓋比率，或是台灣都市計畫使用分區中所規範的建蔽率推算成曼寧粗糙係數。相較於使用土地使用推算曼寧粗糙係數，建蔽率隱含的都市紋理概念包括單宗基地內應含有的開放空間比例，以及可開挖的地下室層面積，即是從土地使用的角度之外，開始思考在水患來襲時，建築物與開放空間的關係會如何影響水患流動方式。

利用都市計畫使用分區當中的建蔽率，或是土地利用現況代替土地利用方式作為變數，推算曼寧粗糙係數及調整淹水模擬情境，代表特定土地使用所形成之建築物、街廓以及道路的配置方式是固定的，因此可將特定土地使用直接對應至其產生的都市紋理，例如：當某塊土地 A 面積為 1000 平方公尺、建蔽率為 60%時，A 土地的建物覆蓋面積必為 600 平方公尺。然而當使用都市計畫使用分區以及土地使用現況作為變數時，常因與現況使用不符、容積移轉等原因，使得建蔽率與容積率時常無法反映實際的土地利用狀況，亦會忽略建築物與開放空間的排列關係，造成淹水模擬結果忽略都市紋理實際的配置方式，無法完全反映實際的都市樣貌。因此若要將都市紋理納入淹水模擬之流程中，首先需探討都市紋理對於水文環境之影響。

第三節 景觀生態學

一、景觀生態學理論

景觀生態學之核心在於分析景觀格局，其目的為分析景觀之結構特性，並可進一步解析景觀具備的功能，而景觀生態指數透過量化景觀格局——景觀結構單元的幾何特性、多樣性、及景觀配置，來分析此景觀格局具有的功能。換言之，本研究可利用景觀生態指數量化都市紋理，以解析都市紋理在都市空間的配置將如何影響淹水環境，並可描述都市紋理在淹水環境中之功能，為加劇亦或減緩水患對都市帶來之衝擊。其中，都市紋理即可轉化為景觀生態指數探討之景觀格局，而都市紋理的組成將轉化為景觀生態學所討論之景觀結構單元，都市空間做為基質，建築物及開放空間(如：公園、廣場等)為鑲嵌於基質中的嵌塊體，水文系統以及道路系統則分別為將水傳輸到都市基質以及嵌塊體的廊道。

第三章 研究設計與方法

第一節 研究方法

一、景觀生態指數

景觀生態指數可作為量化與描述都市紋理的研究方法。景觀生態指數的選定根據分析對象以及分析目的有所不同，本研究意旨於探討在都市洪患來臨時，都市紋理對淹水過程與淹水結果產生的影響，因此選定的景觀生態指標必須可量化都市紋理的幾何形狀，以及在都市空間的配置方式。此外，根據文獻回顧的結論，耐水患的都市紋理必須使得都市洪患來襲時，水流於都市紋理流動的過程中，流動的路徑越長、越複雜，逕流路徑上的透水面積越大，故都市的排水系統能夠擁有更多的時間處理降下的暴雨，不會因為集流時間過短使得水流流量超過都市排水系統的工程設計標準，造成積淹的災情。

根據以上景觀生態指數的選定標準，本研究選定六項景觀生態指數，分別為嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、平均嵌塊體面積(MPS)、平均嵌塊體形狀指標(MSI)、嵌塊體面積標準差(PSSD)，並另外增加一項由嵌塊體面積(CA)此景觀生態指數轉化而成的延伸指標——嵌塊體覆蓋比例(PCR)，以上各指標數學運算公式以及其值域如表 3-1：

表 3- 1 景觀生態指數與其描述表

景觀生態指數	公式	描述	指標與淹水環境的關係
平均嵌塊體 形狀指標 (MSI)	$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{N}$	景觀中每一嵌塊體的周長(公尺)除以面積(平方公尺)的平方根，再乘以正方形校正常數，然後加總所有嵌塊體，最後除以嵌塊體總數。 值域：MSI$\geq$1，無上限，當景觀中所有嵌塊體均為正方形時，MSI=1；當嵌塊體的邊長愈長或愈複雜、形狀愈偏離正方形時，MSI 值將增大。	平均嵌塊體形狀指標(MSI)代表淹水格區內所有建築物平均的形狀，其值域最小為 1，沒有單位，表示此淹水格區的建築物皆為正方形，其值越大，表示此淹水格區內的建築物平均形狀越複雜、邊長越長。
邊界總長度 (TE)	$TE = E$	景觀中所有嵌塊體邊界總長度(公尺)。 值域：TE$\geq$0，無上限，TE 值越大。	邊界總長度代表此淹水格區中所有建築物產生邊界的總長度，其值域最小為 0，單位為公尺，表示此淹水格區內無建築物，當值越大，表示此淹水格區內建築物越多，或是此淹水格區內的建築物邊界較為複雜，造成邊長越長。
邊緣密度 (ED)	$ED = \frac{E}{A} \times 10^6$	景觀中所有嵌塊體邊界的總長度(公尺)除以景觀總面積(平方公尺)，再乘以 10⁶(轉換成平方公里) 值域：ED$\geq$0，無上限。	邊界密度代表此淹水格區中單位面積中具有的邊界長度，概念含有單位面積建築物的覆蓋密度外，亦含有單位面積內建築物邊長的複雜程度，其值域最小為 0，單位為公尺/平方公里，表示此淹水格區內無建築物，當值越大，表示此淹水格區單位面積內建築物越多，或是此淹水格區單位面積內的建築物邊界較為複雜，造成邊長越長。

表 3-1 景觀生態指數與其描述表(續)

景觀生態指數	公式	描述	指標與淹水環境的關係
平均嵌塊體面積(MPS)	$MPS = \frac{A}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}$	景觀中所有嵌塊體的總面積(平方公尺)除以嵌塊體總數。 值域：MPS>0，無上限。	平均嵌塊體面積代表此淹水格區中所有建築物的平均面積，其值域最小為 0，單位為平方公尺，表示此淹水格區內無建築物，當值越大，表示此淹水格區內建築物平均面積越大。
嵌塊體數量(NumP)	$NP = N$	景觀中所有嵌塊體的總數。 值域：NP≥1，無上限。	嵌塊體數量代表此淹水格區中的建築物總數，其值域最小為 0，單位為個，表示此淹水格區內無建築物，當值越大，表示此淹水格區內建築物越多。
嵌塊體面積標準差(PSSD)	$PSSD = 10^6 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i}^n \left[a_{ij} - \left(\frac{A}{N} \right) \right]^2}{N}}$	每一嵌塊體的面積(平方公尺)與平均嵌塊體面積相減，平方後的總合除以嵌塊體數量，最後開根號並乘以 10 ⁶ ，以轉換成平方公里。 值域：PSSD≥1，無上限，當景觀中所有嵌塊體的面積一樣，或是此景觀的嵌塊體只有一個時，PSSD=0。	嵌塊體面積標準差代表此淹水格區中所有建築物的面積的離散程度，其值域最小為 0，無單位，表示此淹水格區內建築物面積皆同，或是此淹水格區僅有一個建築物；當值越大，表示此淹水格區內建築物面積離散程度越大。
嵌塊體密度(PD)	$PD = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A}$	每平方公里的嵌塊體數。 值域：PD>0，無上限。	嵌塊體密度代表此淹水格區中單位面積的建築物個數，其值域最小為 0，單位為個/平方公里，表示此淹水格區內無建築物，當值越大，表示此淹水格區單位面積建築物越多。

表 3-1 景觀生態指數與其描述表(續)

景觀生態指數	公式	描述	指標與淹水環境的關係
嵌塊體覆蓋比例(Patch Coverage Ratio)	$PCR = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100$	景觀中每一嵌塊體的面積(平方公尺)總和除以景觀總面積(平方公尺)。 值域：$0 \leq PCR \leq 1$，當此景觀中嵌塊體覆蓋比例越高，PCR 越接近 1。	嵌塊體覆蓋比例代表此淹水格區中建築物的覆蓋比例，或稱建蔽率，其值域最小為 0，單位為比例，表示此淹水格區內無建築物，當值越大，表示此淹水格區建築物覆蓋比例越高。

(資料來源：鄔建國，2003；本研究彙整)

二、地文性淹排水模式

本研究使用的地文性淹排水模式(Physiographic Inundation Model, PI 模式)為蔡長泰等人由擬似二維淹水模式發展而來，承襲其可將複雜地形地物納入模擬中，可依據洪氾的地形地勢等地理特性，將具有一樣特性之範圍劃定為一網格，並可呈現出都市空間中不同區域淹水深度、淹水範圍差異之優點。

(一) 格區劃分

因地文性淹排水模式屬於分布型水理模式(distributed model)，因此應用此模式演算區域降雨與洪流淹水過程時，必須視不同精度需求將演算區域劃分為若干分區，各相鄰分區間以水流連續方程式與流量律連接，以描述演算區域之淹水過程。根據楊昌儒與蔡長泰(2003)分區劃分方法之研究，提出五項分區原則與四項假設條件，分別說明如下：

1.分區原則

(1) 每一分區內應具相同水文氣象條件(hydrometeorological condition)，

否則應依水文氣象條件再予以細分，務使分區內具相同水文氣象條件。

- (2) 分區儘可能以各地物(如道路、堤防、天然岸堤等)為分區邊界，若為寬廣平原而無上述地物時，則依地形、坡度、坡向、地表植被、土地利用、表土質地等資訊，選擇適當分區邊界。
- (3) 為提高模式計算精度與效率，相鄰分區面積不宜差距過大。
- (4) 分區若是由陸地劃分而得，則此分區稱為平原分區；分區若是由排水路或河流劃分而得，則此分區稱為渠流分區。
- (5) 分區若與外界相鄰，則此分區稱為邊界分區；分區若不與外界相鄰，則此分區稱為內部分區。

2.分區假設

- (1) 每一分區中，假設有一在洪水期間均能正確辨識流向之處，該處稱為分區中心。
- (2) 每一分區水面假設為水平，可由分區中心之水位，代表整個分區水位，該水位稱為分區特性水位。
- (3) 假設分區蓄水量只與該分區特性水位有關。
- (4) 假設某特定時刻相鄰兩分區間之流量，只為該時刻此兩分區特性水位之函數。

(二) 模式輸入資料說明

- 1.格區位向資料：包含相鄰格區個數、相鄰格區編號、交界長、交界格區、交界高程、相鄰格區連接形式等。
- 2.格區幾何資料：包含格區編號、面積、中心座標、代表高程等。
- 3.曼寧粗糙係數(Manning roughness coefficient)：曼寧粗糙係數與地表水流速率有直接之相關性，代表此塊土地在水流流經時，與水流產生的地表摩擦力，以及地表的透水程度，當此塊土地與水流的摩擦力越大、透水程度越高，越可延緩水流流速，其曼寧粗糙係數則越大。影響曼寧粗糙係數的原因包括植物、渠道之不規則性、土地利用、水位流量、季節變化等(林昭遠等，2009)，其中與本研究相關的部分為土地利用狀況，因此本研究將參考 Kalyanapu et al.(2009)之研究，透過地理資訊系統(GIS)土地分布的狀況，並以同格區當中土地利用面積加權的方式得格區的曼寧粗糙度。其中土地利用曼寧粗糙值參考經濟部水利署(2013)研究中所提的經驗參數值，詳細如下：

表 3-1 曼寧粗糙值之建議值

表面土地利用狀態描述	曼寧粗糙值
建築用地、遊憩用地	0.10
柏油、水泥	0.012
稻作、水田	0.15
林業、灌木荒地、林地	0.35
旱作、牧場、草生地	0.25
鹽田	0.05
水庫、養殖(魚塭)、湖泊、排水路	0.02
裸露空地、未使用地	0.018

河川	0.03
公園、綠地、廣場、墳墓	0.20

(資料來源：經濟部水利署，2013)

第二節 研究設計

一、研究設計

本研究的研究設計架構如圖 3-1，主要分為三大部分：

(一) 基本資料與演算資料建置

1. 建成環境基本資料建置

(1) 建成環境基本資料建置

本研究之建成環境基本資料，以台中市數值地形圖為基礎，將其分為街廓、土地使用分區與建築物三種資料。

(2) 景觀生態指數運算

將建成環境資料分類後，將以街廓作為空間分析單元，將以上資料輸入進 ArcGIS 之 Patch Analyst 程式中，以景觀生態指數運算各街廓之景觀格局，可得到各街廓對於不同景觀生態指數之分數，作為分類原台中市中不同土地使用下都市紋理的依據。

2. 水文與地文演算資料建置

本研究欲透過地文性淹排水模式進行淹水模擬，並將納入土地利用，以及納入都市紋理之二模擬結果進行比較。在進行模式演算前，需建置基本地文及水文資料作為模式輸入檔，詳述如下：

(1) 水文資料

a. 降雨資料

因本研究意欲分析水患來臨時水流於都市紋理的流向，與其造成的淹水深度、淹水範圍，故本研究將以參考經濟部水資源局編纂的「水文設計應用手冊」內的區域雨型資料，推算出原台中市中各延時的設計暴雨，作為輸入的雨型資料。

而本研究意於分析水患來臨時，水流於都市紋理當中的流向，以及其造成的淹水深度、淹水範圍，故本研究需應用長延時，且降雨量需容易造成淹水情形。本研究模擬以上各種雨量情境，發現將日雨量提高 24 小時 600 毫米時始有較明顯的淹水情形，因此本研究將以 24 小時 600 毫米作為本研究輸入的雨量資料。

本研究之研究範圍為烏溪流域，故以流域內及接近流域範圍之六個雨量站之雨量資料作為輸入資料，包括草屯(4)、汴頭坑、北山(2)、清流(1)、惠蓀(2)、翠巒等測站。

(2) 地文資料

a. 數值地形圖

本研究將使用內政部地政司於 2016 年公布之研究範圍數值地形圖(DEM)，其為 20 公尺解析度，並以此檔案進行 ArcGIS 水文模組進行子集水區自動劃分，以及地文性淹排水模型格區之再細分。

b. 水利交通設施

包含高鐵國道一號、國道三號，其加高高程分別為 3 公尺、3 公尺、0.5 公尺；具涵洞現象則包含高鐵以及國道號。

c. 土地利用狀況

土地利用資料本研究將以民國 95 年之國土利用調查為基礎，使用 ArcGIS 計算各格區內土地利用的面積比例，以面積加權的方式計算得該格區之曼寧粗糙係數，作為模式輸入的條件。

(二) 都市紋理地文特性分析

1. 耐水患都市紋理分類與描述

在以上基本資料建置完畢後，由於過去研究多以土地使用作為代表土地表面利用狀態的變數，使得淹水潛勢難以反映都市紋理實際的配置方式，故本研究為將都市紋理納入淹水潛勢評估流程中，首先將各淹水格區的景觀生態指數與曼寧粗糙係數結合並分類，並依據實證地區都市紋理耐水患能力的不同，詳細歸類並以景觀生態指數描述之。

(三) 兩個淹水模擬情境的結果比較

在得到不同耐水患程度的都市紋理，與其對應的景觀生態指數表現後，可根據各分類的景觀生態指數表現為基準，分析出各分類的都市紋理表現之

集中量數，據以重新分類都市紋理，並且得到都市紋理角度的曼寧粗糙係數，以納入淹水模擬當中，並與納入土地使用的淹水模擬比較。

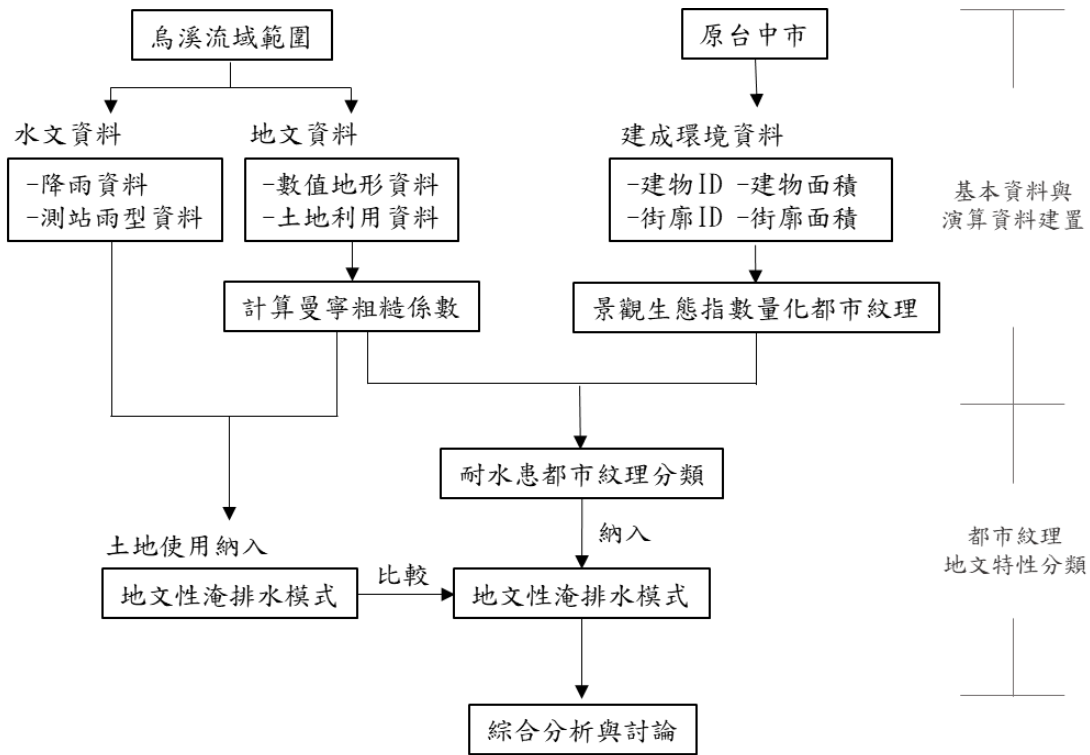


圖 3-1 研究設計示意圖

第四章 研究結果

一、基本資料與演算資料建置

確定利用景觀生態指數作為都市紋理的量化方法後，需決定以街廓或是淹水格區兩空間分析單元量化都市紋理，初步透過計算原台中市以街廓/淹水格區兩空間分析單元的曼寧粗糙係數，並將之與各街廓/淹水格區的各景觀生態指數進行相關性統計分析，得到街廓可能因空間尺度太小，較無法良好描述都市紋理的配置形式於淹水過程中可能產生的影響，因此在探討都市紋理對淹水潛勢的影響時，淹水格區為較好用來描述都市紋理的空間分析單位。

二、都市紋理地文特性分類

在得到淹水格區為分析都市紋理對淹水潛勢產生之影響的空間分析單元後，即可根據原台中市全區淹水格區具有的景觀生態指數，進行都市紋理的耐水患程度分類，並根據不同分類以景觀生態指數描述之，最後可得到原台中市與都市紋理 A、B、C、D、E 的各項景觀生態指數表現，與各景觀生態指數與曼寧粗糙係數的相關程度，如表 5-9 所示。透過彙整所有資料，可以探討不同分類底下，都市紋理幾何與配置特性會如何影響其耐水患程度。其中可發現，選定的八個景觀生態指數中，邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)等指標與曼寧粗糙係數呈現顯著的中度負相關；平均嵌塊體形狀指標(MSI)、平均嵌塊體面積(MPS)、

嵌塊體面積標準差(PSSD)與曼寧粗糙係數呈現顯著的低度負相關。

在各種紋理分類的部分，表 5-9 彙整了各分類的都市紋理景觀生態指數表現與曼寧粗糙係數的相關程度，其中相關係數若有灰底則表示此相關係數有通過顯著性檢定。可以發現在紋理 A 時，屬五種紋理中較不耐水患的紋理，有別於原台中市全區的景觀生態指數描述，出現曼寧粗糙係數與嵌塊體形狀指標(MSI)、邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR) 分別呈現顯著的中度正相關。此表示，在都市空間具有一定密度的建成環境時，可能可以透過調整淹水格區中的建築物形狀、建築物邊長、建築物密度等方式增加此淹水格區的耐水患能力。而在紋理 B 中，雖與原台中市全區的耐水患紋理描述相同，也就是淹水格區中建築物數量越少，都市紋理的耐水患韌性越高，但紋理 B 的平均嵌塊體面積(MPS)、嵌塊體面積標準差(PSSD)呈顯著低度正相關，顯示出可透過在紋理 B 中，使得建築物面積的離散程度增加，或是將建築物面積增加，使得水流路徑可變得更長、更複雜，使得都市紋理的密集地區可更具有耐水患韌性。另外，在紋理 C、D、E 中，則與原台中市全區的耐水患紋理描述相同，也就是淹水格區中建築物數量越少、耐水患韌性越高。

在所有紋理分類的討論中，除了關於相關程度之外，各種分類的景觀生態指數亦代表了各都市紋理的幾何與配置特性，各紋理在景觀生態指數上的集中趨勢值域如表 5-9 所示。在八個景觀生態指數當中，平均嵌塊體形狀指

標(MSI)、平均嵌塊體面積(MPS)、嵌塊體面積標準差(PSSD)、在原台中市的尺度，以及五種紋理分類當中，皆沒有明顯的值域差異。而邊界總長度(TE)、邊緣密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)等景觀生態指數，因皆與淹水格區內的建築物數量、建築物覆蓋密度、建築物覆蓋比例有直接關係，回應到以原台中市尺度中對耐水患紋理的論述，也就是當淹水格區建築物越多時，透水表面面積將減少，使得淹水格區可延緩水患流速的能力越低，故以上五個指標的值域皆隨都市紋理曼寧係數的增加而減少。然而，因耐水患的都市紋理分類忽略此淹水格區的土地表面利用方式，僅考慮建築物與開放空間的排列與幾何關係，或是因為以淹水格區來看的台中市都市紋理有高同質性，導致各分類都市紋理的景觀生態指數值域有非常高的重複性，故無法很明確的根據都市紋理的耐水患韌性程度，區別出都市紋理各項幾何特性或是配置方式的明確值域。

表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域

指標		原台中市	紋理 A	紋理 B	紋理 C	紋理 D	紋理 E	箱型圖
曼寧粗糙係數	集中趨勢	0.08-0.118	0.03-0.081	0.096-0.12	0.145-0.165	0.21-0.255	0.295-0.328	-
平均嵌塊體 形狀指標 MSI	集中趨勢	1.1-1.5	1.125-1.5	1.125-1.5	1.125-1.5	1.2-1.38	1.2-1.3	
	相關係數	-0.357	-0.038	-0.005	0.081	-0.325	-0.087	
邊界總長度 TE(m)	集中趨勢	7-13000	14-9000	45-26600	17-9700	15-2500	7-1100	
	相關係數	-0.471	0.526	-0.068	-0.271	-0.243	-0.373	

表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域(續)

指標		原台中市	紋理 A	紋理 B	紋理 C	紋理 D	紋理 E	箱型圖
邊緣密度 ED(m/km ²)	集中趨勢	0.002-5	0-2	0.014-8.75	0.5-3	0.004-1.2	0.002-0.4	
	相關係數	-0.471	0.526	-0.068	-0.271	-0.243	-0.373	
平均嵌塊體 面積 MPS (m ²)	集中趨勢	0.934-200	80-120	75-130	50-150	9-250	50-85	
	相關係數	-0.184	0.083	0.109	0.127	-0.201	-0.158	

表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域(續)

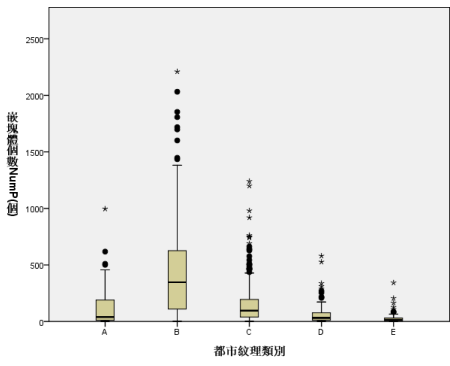
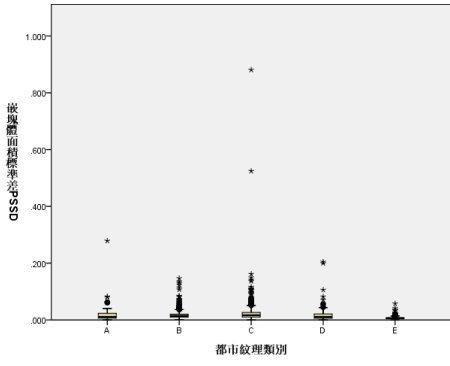
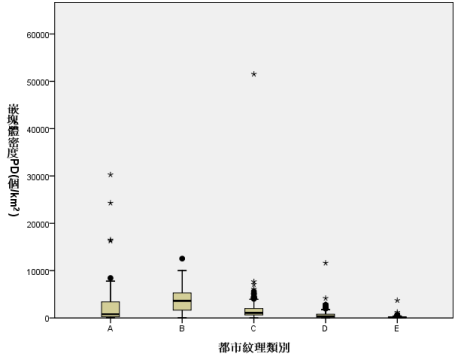
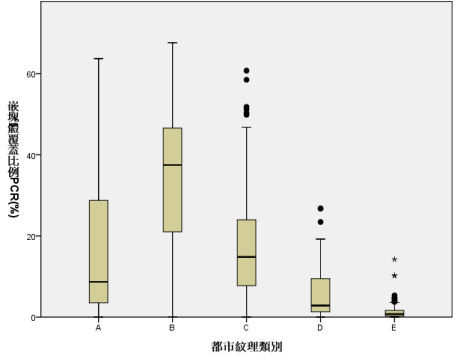
指標		原台中市	紋理 A	紋理 B	紋理 C	紋理 D	紋理 E	箱型圖
嵌塊體數量 NumP(個)	集中趨勢	1-389	1-200	100-550	50-200	1-90	1-30	
	相關係數	-0.453	0.553	-0.065	-0.278	-0.12	-0.335	
嵌塊體面積 標準差 PSSD	集中趨勢	0-0.028	0-0.025	0.005-0.02	0-0.027	0-0.02	0.003-0.008	
	相關係數	-0.267	-0.009	0.134	0.125	-0.303	-0.177	

表 5-1 原台中市與各分類紋理的景觀生態指數相關係數與集中趨勢值域(續)

指標		原台中市	紋理 A	紋理 B	紋理 C	紋理 D	紋理 E	箱型圖
嵌塊體密度 PD(個/km ²)	集中趨勢	3-3000	0-4400	1600-5700	4-1500	3-600	4-180	
	相關係數	-0.593	0.663	-0.19	-0.045	-0.147	-0.291	
嵌塊體覆蓋 比例 PCR (%)	集中趨勢	0-7	5-30	21-46	7-22	0.007-9.5	0.001-2	
	相關係數	-0.605	0.649	-0.229	-0.249	-0.453	-0.379	

三、兩種淹水模擬結果比較

根據前一部分的彙整分析後，可以得到五類都市紋理在 8 個景觀生態指數的集中量數，本研究計算每個淹水格區的景觀生態指數表現在標準化後，與各類景觀生態指數的集中量數距離，以最短距離者作為淹水格區應被重新分類到的都市紋理類別，及其應轉換的曼寧粗糙係數。將都市紋理重新分類後，即可將新的曼寧粗糙係數納入淹水模擬演算(情境二)，並與以土地使用現況推算的曼寧係數所演算的淹水潛勢(情境一)比較。

(一) 兩情境曼寧係數比較

在進行都市紋理重分類之後，情境一主要的資料聚集於 0.11 至 0.18 之間，且其集中量數為 0.15，標準差為 0.074，整體空間分布中曼寧係數最低的類別(紋理 A)聚集於水道兩側、西屯區西側、東區、南區、中區等原台中市中心的行政區。情境二主要的資料聚集於 0.1 至 0.25 之間，最多資料聚集於 0.1，其集中量數為 0.185，略高於情境一的 0.154，標準差為 0.108，與情境一的 0.074 比較，情境二的資料離散程度較情境一大。整體空間分布中曼寧係數最低的類別(紋理 A)聚集於水道兩側、西區、南區等行政區。

情境一減去情境二的曼寧係數差異，發現兩情境曼寧差異量甚大，顯示出納入都市紋理來計算曼寧粗糙係數，對於淹水潛勢結果的影響十分顯著。此外，在 1626 個淹水格區中共有 670 個淹水格區的曼寧係數差異值較小，

多分布於西屯區西南側、北區、西區、中區、南區、東區西側及北屯區東側。而情境一大於情境二的區位中，改變量較顯著的區位則多分布於水道兩側，以及西屯區、西區、北區等行政區。情境一小於情境二的區位中，改變量較顯著的區位則多分布於水道兩側，以及西屯區、南屯區、北屯區等行政區。

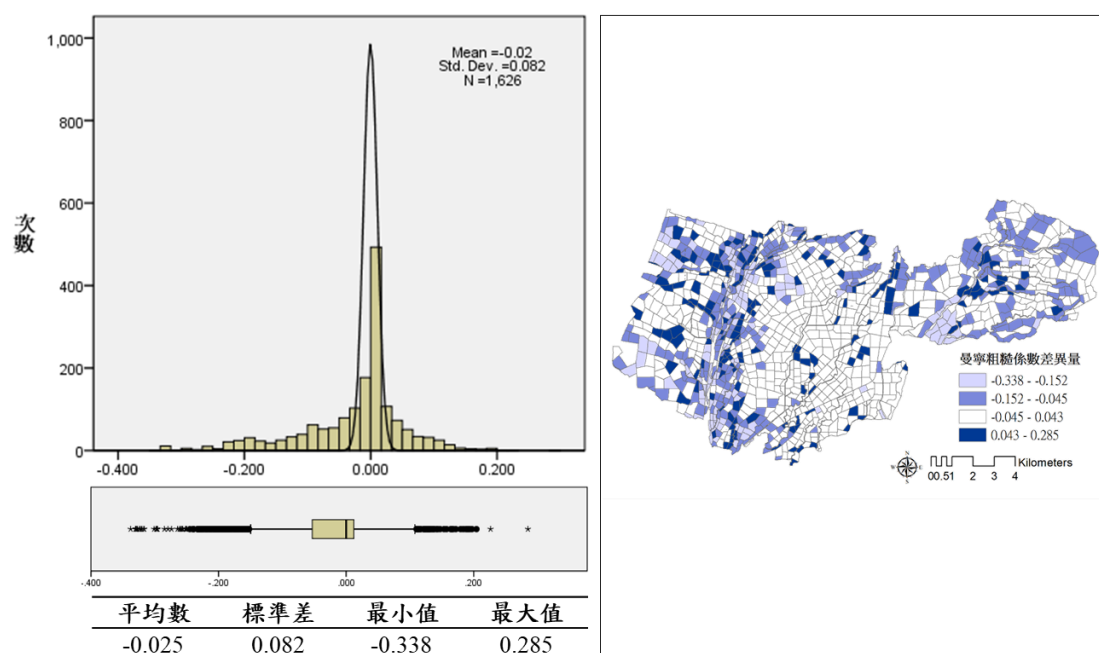


圖 5-1 兩情境曼寧係數差異量資料分配與空間分布圖

(二) 兩種淹水模擬的最大淹水深度差異

1626 個淹水格區中共有 1227 個淹水格區的最大深度差異不大；而淹水深度差異較大，且情境一淹水深度大於情境二者，多分布於水道兩處；淹水深度差異較大，且情境一的淹水深度小於情境二者，多分布於水道兩側及東區、北區。

除了從整體資料分配來看兩情境的最大淹水深度差異量之外，亦可根據情境一淹水深度的分類，討論兩情境淹水深度的差異量。透過敘述性統計以及比較分析後得到，0.1-0.3 公尺、0.3-0.5 公尺、0.5-1 公尺等三類深度差異較小，接近於 0，並發現且隨著情境改變，曼寧係數調整，於最大淹水深度的影響於 0-0.1 公尺及 1 公尺以上的淹水格區較大，但較看不出規律。

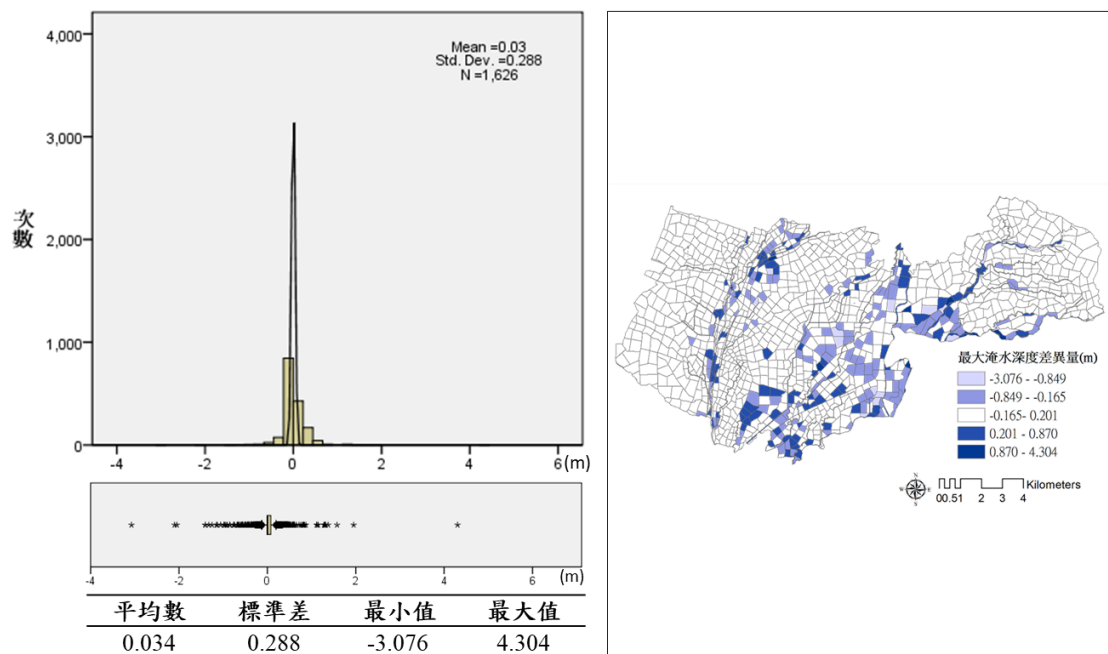


圖 5-2 兩情境最大淹水深度差異資料分類與空間分布圖

(三) 兩種淹水模擬的淹水延時差異

1626 個淹水格區中，共有 1184 個淹水格區的淹水延時差異不大；淹水延時差異較大，且情境一大於情境二時，多分布於水道兩側以及西區、中區、南區；反之，淹水延時差異較大，且情境二大於情境一者，多分布於原台中市西屯區、南屯區、北屯區、南區、中區、北區。

除了從整體資料分配來看兩情境的淹水延時差異量之外，亦可以情境一的淹水深度分類，討論兩情境淹水延時的差異量。分析後發現 0-0.1 公尺、0.5-1 公尺以及 1 公尺以上三分類的淹水延時差異，以資料分配而言具有大量的極端值，較無規律；0.1-0.3 公尺、0.3-0.5 公尺等兩類資料分配皆較具有規律性，但仍具有許多極端值，且此兩類的資料集中趨勢為延後到達最大淹水深度時間 3-7 小時。

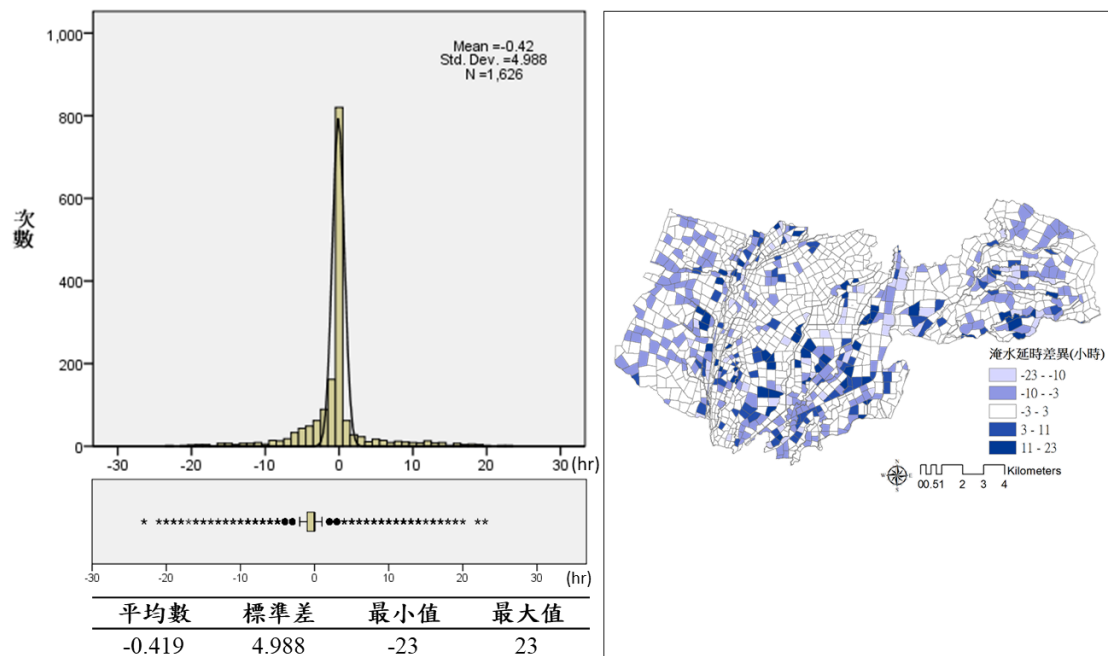


圖 5-3 兩情境淹水延時差異資料分類與空間分布圖

四、小結

綜合五種都市紋理的景觀生態指數表現，得出都市紋理 A，這類都市紋理雖屬五種紋理中較為不耐水患的都市紋理，但這類紋理的曼寧粗糙係數與嵌塊體形狀指標(MSI)、邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)分別呈現顯著的中度正相關，表示都

市地區可透過設計建築物的幾何形狀、建築物密度、建築物數量、建築物覆蓋比例等方式使得都市空間更耐水患。而都市紋理 B，亦屬五種紋理中較為不耐水患的都市紋理，但這類紋理的曼寧粗糙係數與平均嵌塊體面積(MPS)、嵌塊體面積標準差(PSSD)呈現顯著的低度正相關，表示都市地區可透過增加建築物面積的異質性、增加單宗建築物的面積等方式使得都市空間更耐水患。後續可以此結論為基礎，探討以上因子與都市紋理的耐水患程度實際的因果關係，並探討耐水患都市紋理的配置方式。

此外，透過比較「以土地使用現況推算曼寧係數演算的淹水潛勢」與「以都市紋理推算曼寧係數演算的淹水潛勢」，發現不論是探討兩情境的最大淹水深度差異，亦或是兩情境的淹水延時差異，將都市紋理納入淹水模擬當中，於原台中市都市紋理較密集的區位皆有顯著的影響，表示於都市紋理密集的地區進行淹水模擬時，除了土地利用方式外，應將都市紋理納入曼寧粗糙係數中。

第六章 結論與政策建議

一、研究結論

隨著都市化的過程，大量的建築物、街廓、道路等建成環境替代大量的透水鋪面，導致水患來臨時，都市未能有足夠的透水鋪面保水以延緩水患的流速，因此除了研擬都市的低衝擊開發策略外，設計出耐水患的都市紋理亦為十分重要的議題，拉長水流在都市空間的路徑，減緩水流在都市空間的流速，使得都市排水系統具有更多時間處理地表逕流。因此，本研究的研究目的設定為探討都市紋理對淹水潛勢的影響，並解析耐水患都市紋理的配置方式。都市紋理與水流產生的摩擦力可延緩水流的流速，此能力的量化係數—曼寧粗糙係數，作為本研究判定都市紋理耐水患程度的參數，輔以景觀生態指數進一步描述不同耐水患程度的都市紋理配置方式與幾何特性，並透過探討各各類都市紋理，其景觀生態指數表現與曼寧粗糙係數的相關性，以及將都市紋理納入淹水模擬演算中，來探討都市紋理對淹水潛勢的影響。本研究的具體研究成果包括：

1. 歸納與分類不同耐水患程度的都市紋理特性

本研究以原台中市為範圍，以淹水格區為空間分析單元，將各淹水格區的曼寧粗糙係數分類後，根據其耐水患程度，利用平均嵌塊體形狀指標(MSI)、邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度

(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)、平均嵌塊體面積(MPS)、嵌塊體面積標準差(PSSD)等八個景觀生態指標，利用相關性統計分析與歸納分析，描述不同耐水患程度都市紋理的曼寧粗糙係數與那些因子相關，並且歸類出其值域。

2.分析都市紋理幾何與配置特性與曼寧粗糙係數之相關性

透過相關性統計分析，將本研究歸類的耐水患都市紋理與曼寧粗糙係數的相關性，得出都市紋理 A 的曼寧粗糙係數與嵌塊體形狀指標(MSI)、邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)分別呈現顯著的中度正相關，表示都市地區可透過設計建築物的幾何形狀、建築物密度、建築物數量、建築物覆蓋比例等方式使得都市紋理更耐水患。都市紋理 B 與嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)多呈顯著低度負相關，但是與平均嵌塊體面積(MPS)、嵌塊體面積標準差(PSSD)等指標呈顯著低度正相關，表示可透過提高原台中市淹水格區的建築物面積的離散程度，以及增加單宗建築物的面積的方式增加都市紋理的耐水患韌性。都市紋理 C、D、E 則與嵌塊體形狀指標(MSI)、邊界總長度(TE)、邊界密度(ED)、嵌塊體數量(NumP)、嵌塊體密度(PD)、嵌塊體覆蓋比例(PCR)多呈顯著低度負相關，表示都市空間中建築物越多，耐水患能力越差。

此分析結果顯示出，雖於整體而言當淹水格區建築物越多，將使該淹水格區的曼寧粗糙係數越低，越不耐水患，但在都市紋理較密集的地區中，當建築物越多，水患於都市空間的路徑將越長、越複雜，使都市空間越耐水患。

3.將都市紋理納入淹水模擬

將都市紋理依據耐水患程度分類後，可得到各分類在各景觀生態指數的集中量數，透過計算各筆資料與集中量數的距離，即可將最短距離者，作為都市紋理的新的分類。透過以上的分類，有別於以土地使用現況所推算出的曼寧係數為基礎，進行的耐水患都市紋理分類，此次分類依據都市紋理表現為基礎分類，並得出新的都市紋理分類底下，各個淹水格區在都市紋理角度的曼寧粗糙係數。本研究將都市紋理角度的曼寧粗糙係數納入淹水模擬當中，並模擬出都市紋理角度的原台中市淹水潛勢地圖。

4.比較兩種淹水模擬結果

模擬「以土地使用現況推算曼寧係數演算的淹水潛勢」與「以都市紋理推算曼寧係數演算的淹水潛勢」後，透過比較兩種淹水潛勢的最大淹水深度差異以及淹水延時差異，以探討都市紋理納入淹水潛勢帶來影響。發現將都市紋理納入淹水模擬當中，於原台中市都市紋理較密集的區位及水

道兩側皆有顯著的影響，表示於都市紋理密集的地區進行淹水模擬時，除了土地使用外，應將都市紋理納入曼寧粗糙係數訂定的考量中。

二、政策建議

(一) 將耐水患都市紋理作為減災手段之一

目前台中市多應用的水患減災手段除了加強災害應變外，有別於過去常利用建築堤防、水壩等工程性減災方式，近年也嘗試社區自主防災、土地使用管理等非工程式手段。然而，在人口、產業皆十分密集的原台中市，難以透過降低土地使用強度的手段來減災，若是建設滯洪池亦會遇到土地取得以及有效率建設區位的問題，因此未來可結合低衝擊開發手段，於本研究指出的五種類都市紋理區位，應用不同耐水患都市紋理手段，舉例而言，可於都市紋理 A 的區位增加建築物密度、建築物數量、建築物覆蓋比例等方式使得都市紋理更耐水患；且可在都市紋理 B 的區位提高原台中市淹水格區的建築物面積的離散程度，以及增加單宗建築物的面積的方式增加都市紋理的耐水患韌性。可據本研究以及延續本研究的後續研究成果，適度改進都市設計準則，使都市設計準則亦可成為台中市之減災手段之一。

參考文獻

外文文獻

- Alberti M., Booth D., Hill K., Coburn B., Avolio C., Coe S., Spirandelli D., The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: An empirical analysis in Puget lowland sub-basins. *Landscape and Urban Planning*. Volume 80. Issue 4. 20 May 2007, p.345–361, 2007.
- Berke P. R. and Beatley T., A National Assessment of Local Earthquake Mitigation: Implications for Planning and Public Policy. *Earthquake Spectra*: February 1992, Vol. 8, No. 1, p. 1-15, 1992.
- Forman, R.T.T. and Godron, M., *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- Godschalk D. R., Beatley T., Berke P., Brower D., Kaiser E. J., *Natural Hazard Mitigation: Recasting Disaster Policy and Planning*, Island Press, 1992.
- Greve A. I., Linking urban form, land cover pattern, and hydrologic flow regime in the Puget Sound Lowland. *Urban Ecosyst* (2012). Volume 15, Issue 2, p 437–450.DOI:10.1007/s11252-012-0233-8, 2012.
- Horritt M.S., Bates P.D., Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology* 268 (2002) 87–99, 2002.
- Jain, S.K., Singh, R.D., Jain, M.K. et al., Delineation of Flood-Prone Areas Using Remote Sensing Techniques. *Water Resour Manage* (2005) 19: 333. doi:10.1007/s11269-005-3281-5, 2005.
- Jingqiu C., Lawrence T., Margaret W. G., Bernard A. E., Jonathan M. H., Urbanization impacts on surface runoff of the contiguous United States. *Journal of Environmental Management* 187 (2017) 470-481, 2017.
- Jinkang D., Li Q., Hanyi R., Tianhui Z., Dapeng Z., Youpeng X., C.-Y. X., Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. *Journal of Hydrology* 464–465 (2012) 127–139, 2012.
- Kalyanapu A. J., Burian S. J., McPherson T. N., Effect of land use-based surface roughness on hydrologic model output, *Journal of Spatial Hydrology*, Vol.9,

No.2, 2009.

- Lin Y.-P., Chu H.-J., Wu C.-F., Spatial pattern analysis of landslide using landscape metrics and logistic regression: a case study in Central Taiwan, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7, 3423-3451, doi:10.5194/hessd-7-3423-2010, 2010.
- Luck M., Wu J., A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology* 17: 327–339, 2002.
- Ogden F.L., Pradhan N.R., Downer C.W., Zahner J.A., Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment. *Water Resour. Res.* 47, W12503. <http://dx.doi.org/10.1029/2011WR010550>, 2011.
- Patro S., Chatterjee C., Mohanty S., Singh R., Raghuwanshi N. S., Flood Inundation Modeling using MIKE FLOOD and Remote Sensing Data. *J. Indian Soc. Remote Sens.* (March 2009) 37:107–118, 2009.
- Suriya S., Mudgal B.V., Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed—a case study .*J. Hydrol.*, 412 (2012), pp. 210–219, 2012.
- Yang X.L., Ren L.L., Singh V. P., Liu X.F., Yuan F., Jiang S.H., Yong B., Impacts of land use and land cover changes on evapotranspiration and runoff at Shalamulun River watershed, China. *Hydrol. Res.* 43 (1–2), 23–37, 2012.

中文文獻

王彥翔，都市區建蔽率對水流計算之影響，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，2012。

巨廷工程顧問股份有限公司，都市防洪空間規劃與管理之研究，經濟部水利署水利規劃試驗所委託，2014。

吳杰穎、李玉生，非結構式減災措施運用於空間規劃與管理之研究，中華民國建

築學會「建築學報」第 72 期，第 169-186 頁，2010。

林昭遠、陳禹成、莊智瑋，應用植生指標萃取淹水區位曼寧粗糙係數之研究，水土保持學報 41(2)：181-196，2009。

邱建勳，建蔽率對都市淹水影響之模擬，國立台灣大學生物資源暨農學院生物環境系統工程學系碩士論文，2011。

修正「流域綜合治理計畫(103-108 年)」，行政院，2014。

財團法人成大研究發展基金會，流域洪氾防災及土資源管理之研究（3/3）教育訓練手冊，2013。

國家教育研究院，力學名詞辭典，<http://terms.naer.edu.tw/detail/1328630/>，2002。

許銘峰，台灣地區都市型態特徵之比較研究，國立成功大學都市計劃研究所碩士論文，2008。

陳加榮，都市化與氣候變異對都會地區淹水之衝擊評估——以台中都會區為例，國立台灣大學生物資源暨農學院生物環境系統工程學系碩士論文，2011。

陳豐文、林修德、陳宗益、藍士呈、蔡瀚陞，應用 HEC-RAS 一維水理模式評估渠首工構造物之淹水潛勢-以臺中水系灌區為例，2012 年中華水土保持學會年會及學術研討會論文集，2012。

彭思顯、蔡誌崇、曾智弘，南投縣洪水災害規模設定及其境況模擬研究，建國科

大學報：設計類，民國 97 年，27(2)，01-16，2008。

楊昌儒、蔡長泰應用 GIS 於社區淹水潛勢區分析及潛勢危險區劃分研究，弘光學報, (63), 2011，210-227，<http://dx.doi.org/10.6615/HAR.201106.63.15>，2011。

鄒克萬、郭幸福，評估都市土地使用變遷之自然環境效率—以永康市為例，都市與計劃，37(1)，2010，DOI:10.6128/CP.37.1.143，2010。

鄒克萬、黃書偉，都市土地利用變遷對自然環境衝擊之空間影響分析，「地理學報」，48：1-18，2007。

鄔建國，景觀生態學---格局、過程、尺度與等級，五南圖書出版社，2003。

廖朝軒、蔡耀隆，從健全都市水環境談雨水滯蓄措施之應用，水資源管理季刊，4(2)，頁 8-18，2002。

廖朝軒主持，都市防洪空間系統規劃技術研究，子計畫一：淹水潛勢地區開發及都市設計減災管理制度研究，2005。

趙羿、賴明洲、薛怡珍編著，景觀生態學理論與實務，地景企業股份有限公司，2003。

蔡長泰、陳明仁、楊昌儒、林志翰，洪氾防災預警，都市與自然災害防災專題講座專輯，第 97~120 頁，成功大學，1999。

蔡長泰主持，氣候變異與都市化對台中盆地洪災之影響研究--子計畫:都市地區淹水改善措施之效益評估研究（III），行政院國家科學委員會專題研究計畫，2011。

鍾文祥，綜合治水介紹及治理基準訂定，中興工程．第 117 期．2012 年 10 月，第 49-54 頁，2012。

顏榮甫、楊昌儒、蔡長泰，應用地文性淹水模式進行降雨-逕流模擬之研究，台灣水利，48（8），2000。