

臺中市政府 105 年度規劃研究設計報告獎助計畫
報告節錄重點

台中市國小校園空間導入低衝擊開發策略之
暴雨管理效益

The Benefits of Using Low-impact Development
Techniques in Taichung Elementary School Campus

研究人員：何郁如、潘敏琪

學 校：東海大學

系 所：景觀學系

中華民國 105 年 5 月

摘 要

近年極端氣候的影響，導致水患問題加劇。同時，都市迅速的擴張，建地大量開發，加上都市環境高度不透水之硬質地面，不僅產生都市的熱島效應，造成都市雨水逕流問題。因此，如何排洪減災，進行暴雨管理是都市治理的重大議題。

本研究的目的是在於探討利用低衝擊開發策略建構都市內小尺度、分散式的排洪小區，就地解決洪患問題的效益。本研究以一所國小校園做為實證基地，就不同的空間設施模擬示範導入適宜的低衝擊開發策略：綠屋頂、乾式滯洪池、透水鋪面草地型、透水鋪面和雨水花園等策略等。並以上述模式模擬導入均勻分布於台中市的 62 所國小校園之後，評估以此方式在全市建設分散式排洪小區可以獲得的暴雨管理效益，做為未來排洪減災政策之參考。

目錄

摘要	i
第一章 前言	1
第二章 研究目的與重點	3
第三章 文獻回顧	4
第一節 都市國民小學的區位分布及空間配置	4
第二節 低衝擊開發 (Low Impact Development, 簡稱 LID)	5
第三節 暴雨管理效益	11
第四章 研究設計	17
第一節 研究架構與流程	17
第二節 研究對象及範圍	19
第三節 研究方法	21
第五章 研究結果及研究發現	28
第一節 研究對象資料調查	28
第二節 低衝擊開發相關策略導入國小校園操作模式	29
第三節 模擬導入 LID 策略之校園空間設施面積計算	33
第四節 低衝擊開發策略應用於國小校園之暴雨管理效益評估	36
第六章 結論與政策建議	41
第一節 結論	41
第二節 政策建議	42
參考文獻	44

圖目錄

圖 3-1-1	台中市 95 學年度公立國民小學位置與台中市里界圖	5
圖 3-2-1	雨水花園結構圖	8
圖 3-2-2	雨水花園示意圖	8
圖 3-2-3	庭園型和種植薄層型綠屋頂結構圖	10
圖 3-2-4	非連續拼接或鏤空鋪面（連鎖磚及植草磚）示意圖	10
圖 4-1-1	研究架構圖	17
圖 4-1-2	研究流程圖	18
圖 5-1-1	校園空間平面圖	28
圖 5-2-1	綠屋頂策略導入前	29
圖 5-2-2	綠屋頂策略導入後	29
圖 5-2-3	綠屋頂策略示意圖	29
圖 5-2-4	乾式滯洪池策略導入前	30
圖 5-2-5	乾式滯洪池策略導入後	30
圖 5-2-6	乾式滯洪池策略示意圖	30
圖 5-2-7	透水鋪面草地型策略導入前	30
圖 5-2-8	透水鋪面草地型策略導入後	30
圖 5-2-9	透水鋪面草地型策略示意圖	31
圖 5-2-10	透水鋪面策略導入前	31
圖 5-2-11	透水鋪面策略導入後	31
圖 5-2-12	透水鋪面策略示意圖	31
圖 5-2-13	雨水花園策略導入前	32
圖 5-2-14	雨水花園策略導入後	32
圖 5-2-15	雨水花園策略示意圖	32

表目錄

表 3-2-1	滯洪池類型說明	7
表 3-2-2	複合式設計滯洪設施儲集水深建議值	7
表 3-2-3	雨水花園結構功能及厚度	8
表 3-2-4	綠屋頂類型表	9
表 3-3-1	雨水儲留及涵養水分再利用設施滯留量計算表	12
表 3-3-2	雨水儲存利用計算表	12
表 3-3-3	設施單元洪水儲存能力	13
表 3-3-4	台中都會公園生境面積因子	14
表 4-2-1	台中市都市計畫區國小校園人數及校地面積表	19
表 4-3-1	校園空間設施相對應的低衝擊開發策略表	23
表 4-3-2	各項低衝擊開發策略暴雨管理效益評估計算表	26
表 5-3-1	校園空間設施各類策略面積	33
表 5-4-1	綠屋頂策略的暴雨管理效益表	36
表 5-4-2	乾式滯洪池策略的暴雨管理效益表	37
表 5-4-3	透水鋪面草地型策略的暴雨管理效益表	37
表 5-4-4	透水鋪面策略的暴雨管理效益表	38
表 5-4-5	雨水花園策略的暴雨管理效益表	39

第一章 前言

近年來因溫室效應帶來極端的氣候事件日益頻繁，專家學者指出全球暖化造成降雨特徵變化顯著，水文極端的現象產生(陳淡容、鄭兆尊、許晃雄、陳正達，2014)，導致世界各地洪旱災的頻率和程度攀升。台灣近 30 年每年颱風生成數量增加約 57%，降雨強度增強約 64%，大豪雨日數增加約 35%，總降雨日數下降約 78%(盧孟明等，2011)，造成暴雨、洪水、乾旱等，這些極端水文現象導致人民的傷亡，重挫國民生計經濟如：莫拉克、杜鵑風災等。由此可見，如何強化都市暴雨管理的排洪能力以減緩都市洪旱災害成為重大的議題。

台灣自 70 年代經濟起飛後，都市化迅速擴張，大量的開發建設造成地貌環境的改變。這些改變又多由水泥、瀝青、地磚、金屬等不透水材料組成環境鋪面。因此阻絕了雨水直接滲透進入土壤之管道，這些高度的不透水表面率，導致都市的熱島效應，破壞都市生態平衡，增加地表逕流，不僅造成都市雨水逕流問題，更加劇水患問題的發生。

由於城鄉都市普遍的不透水鋪面材質阻絕雨水滲透，所以土地使用計畫的公園綠地用地的軟鋪面成為都市中讓雨水直接滲透進入土壤之管道，減少排水設施溢水等問題的機會。但彙整 2013 年新北市政府城鄉局、內政部營建署和內政部統計處資料目前台灣六都會區都市計畫的公園綠地面積占整體都市用地面積的比例不高，高雄都會區最高達 7.6%，台中都會區占 4.1%，最低為桃園都會區僅有 2%。但都會區的公園內亦佈滿許多人工設施，根據簡玲雅和劉東啟(2007)利用 2005 年航照圖研究台中市都市綠覆地分布情形，普遍都是分佈不均，且存在公園設施化的情況，導致都市公園綠地綠覆率低，嚴重影響都市暴雨管理的防洪機制。此外，過去的土地使用規劃作業常忽略或不考慮土地使用的改變對地表水文影響，因此雨水排水系統之規劃設計成為一種補救土地使用計畫的工作(黃書禮，1984)。所以有效率的雨水排水方式為減緩都市暴雨問題的關鍵。

暴雨管理方法是雨水共存的觀念，從自然界的水循環中，水透過降雨迅速降至地面，再透過逕流入滲的方式進入土壤和河海中儲存，所以運用源自美國發起的低衝擊開發(Low Impact Development, LID)的理念是設置儲存、滲透、減少逕流之設施，來減少地表逕流及土地開發對環境的衝擊，

增加地表透水面積來分攤都市的洪水量，以增加都市滯洪及入滲的空間。綜合上述，低衝擊開發策略提及利用分散的小區域設施來做暴雨管理，盡可能讓開發後的水文狀態接近開發前的狀態，這種新的思維不但可減少洪水災害，亦達到人與自然界共存的理念。

為了因應全球氣候異常導致極端水文現象，都市空間需要增加透水的表面積，除了在都市內的公共設施增加透水鋪面外，發展更多的小區排洪是另一種選項，由於都市土地開發多已達飽和程度，政府單位如何在已開發的地區推展分散式的小區，透過場地的設計，進行源頭的控制，以建構新的排水設施，是刻不容緩的議題。

第二章 研究目的與重點

由於都市中國民小學的區位設置大致平均分布於都市各區域，因此本研究擬利用都市中現有的國小校園空間，導入低衝擊開發的技術策略來作為都市中的排洪小區，以推動暴雨管理的對策，並評估其可產生的效益，藉此提升都市減洪防災的功能，以達到永續環境的目的。故本研究目的在於探討應用低衝擊開發策略導入現有的國民小學空間設施，及其能衍生的都市暴雨管理之防災治洪效益。

本研究的重點在於：

- 一、國小校園的區位與分佈做為都市小尺度、分散式排洪小區的適宜性
- 二、適用導入國小校園空間設施的低衝擊開發策略
- 三、低衝擊開發策略導入國小校園操作模式
- 四、各項低衝擊開發策略可以產生的暴雨管理效益

第三章 文獻回顧

本章就都市國民小學的區位分布及空間配置、低衝擊開發策略、暴雨管理效益和減洪防災法規等理論進行回顧分析與探討。

第一節 都市國民小學的區位分布及空間配置

依照憲法第 21 條規定人民有受國民教育之權利與義務。依照《國民教育法》第 4 條規定國民教育，以由政府辦理為原則。以下就政府設立的公立國民小學分佈區位及校園空間配置討論如下：

一、都市國民小學的區位分布

在都市計畫範圍區內的國民小學用地係依據《都市計畫法》第 42 條第二項劃設，都市計畫地區範圍內，應視實際情況，分別設置學校等相關公共設施用地。至於規劃國民學校用地的標準，參照九十一年頒布之《都市計畫定期通盤檢討實施辦法》第十八條第一項學校用地之檢討標準依下列之規定：國民小學依閭鄰單位之分布，以每一閭鄰單位或服務半徑不超過六百公尺配設為原則，校地面積除已發展地區確實無法補足者外，依下列計畫人口規模檢討之，每校面積並不得小於二．〇公頃。另外，現有都市內的公立國民小學的設置依教育部發布之《國民中小學設備基準》第五章第一條第一項校地選擇規定：

（一）校地應位在本學區之適中位置、交通便利、鄰近大多數居民之適當地點，以學校為中心之學區面積，其半徑以不超過 1.5 公里，徒步通學所耗費之時間不超過半小時為原則，俾利學生就學及推行社區活動。

（二）校地的選擇應配合都市計畫或地方發展需要，並顧及人口之增加及社區的發展，除能適應當前學校發展需要外，尚應考慮未來有擴充發展的空間，以免將來增班發生困難，如鄰近社區公園綠地，應儘量與其空間配合規劃。

依上述的學校用地的規劃原則都市地區內的國民小學，其區位設置配合閭鄰單位大致會均勻分布在全市的各行政區。由周宜庭(2000)利用地理資訊系統透過 Mapinfo7. 軟體，結合空間形式，蒐集台中市 95 學年度台中市 61 所公立國民小學確切位置與台中市里界圖，將學區分配表轉換成圖

檔(詳圖 3-1-1)可證之。

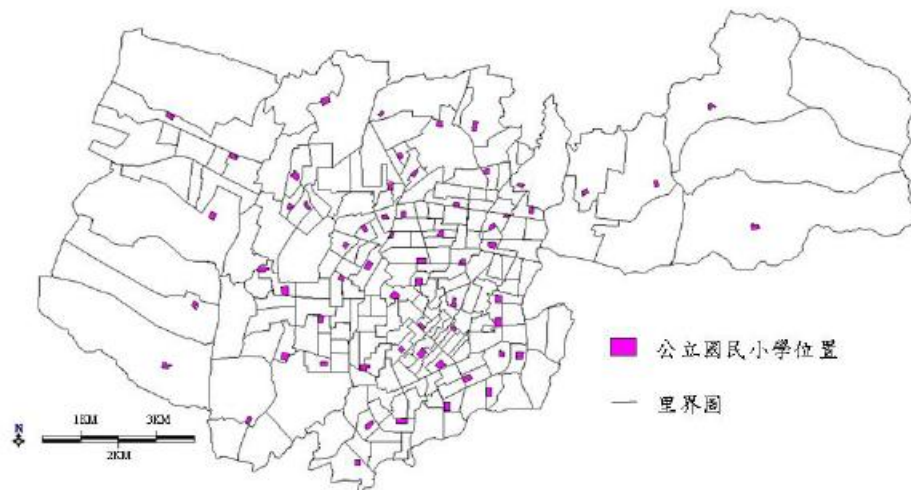


圖 3-1-1 台中市 95 學年度公立國民小學位置與台中市里界圖
資料來源:周宜庭,2000

二、國民學校的校園規模及配置

依《國民中小學設備基準》規定，校地面積之配置使用，宜考量校地區位、地形地貌、班級規模及發展教育特色需要，參考下列比例辦理：校舍建築用地約占十分之三。運動空間用地約占十分之三。綠地、庭園、步道用地約占十分之四。而學校空間設備的運用方法依本基準所規範之各項戶外教育設施與綠建築手法，可與社區教育結合，進行生態手法、綠建築以及資源節約等推廣措施，達成社區整體環境永續化目標。另外，建議學校採用綠籬、綠化屋頂、立面綠化等綠化環境措施。

由上述規定，利用校園基地區位的分佈，並整合空間設施的配置使用規劃設計，減少每間校園的不透水面積，將徑流量減到最小，就源解決雨洪問題，整合都市區域內的所有國民小學使其個別成為暴雨管理系統中的小尺度、分散式、多功能之微處理的基礎景觀設施。

第二節 低衝擊開發 (Low Impact Development，簡稱 LID)

20 世紀末期美國發展之低衝擊開發技術(以下簡稱 LID)為實踐都市永續發展的暴雨管理技術手段之一。由美國馬里蘭州和西雅圖市、波特蘭市同時創新開發出一種暴雨管理技術，其原理是通過分散的、小規模的源頭控制機制和設計技術來控制暴雨產生的徑流和污染，使開發地區儘量接

近于開發前的自然水文迴圈。(劉建和余年，2009)

一、低衝擊開發的設計策略

LID 的核心理念包含整體考量水文特性於土地使用規劃中、通過一系列的小尺度設計實現分散式控制、源頭控制、整合非結構性系統解決問題，以貼近自然簡單的方法處理、創建多功能的景觀和基礎設施等五大核心理念(Department of Environmental Resources, 1999)，基於以上理念，執行 LID 場地設計策略時，在實現該地設計基本目標的同時，會將徑流量減到最小，儘量維持自然水文過程，降低土地開發對徑流的影響。依照美國工兵署的低衝擊開發手冊的設計策略有以下七項：

- (一)延長徑流路徑，保持徑流呈薄層流動狀態；
- (二)維護自然的洩洪通道，保持徑流路徑分散；
- (三)將不透水的區域與排水系統分開，使徑流通過透水區域以加強雨水下滲；
- (四)保護自然植被土壤，減緩徑流、過濾污染物、促進雨水下滲；
- (五)引導徑流進入或通過植被覆蓋的區域，過濾徑流回補地下水；
- (六)提供小尺度分散式的裝置，以實現管理和資源目標；
- (七)從源頭處理污染物，阻止污染產生。(Unified Facilities Criteria [UFC], 2004)

二、低衝擊開發策略規劃

LID 技術可在不同的尺度範圍內應用，作為實現區域調控目標，同時可達到經濟和環境雙重效益，常見的低衝擊策略包括：植生滯留槽(滯洪池) (Bioretention Cell)、植生濾槽、儲雨桶(Biofilter)、草溝及草渠 (Grass swales and channels)、雨水花園、綠屋頂(植生屋頂)覆蓋 (Vegetated roof covers) 及透水性鋪面(Permeable pavements)、生態池等等(張嘉玲，2008；張登勝，2013)。檢視上述就其適合導入學校校園中多元 LID 技術，主要參照內政部建築研所(2014)和行政院環境保護署(2013)，分述如下：

(一)滯洪池

依據調節技術之逕流儲存方式，可概分為滯洪 (Detention)、滯

留 (Retention) 二種型式(詳表 3-2-1)。

表 3-2-1 滯洪池類型說明

類型	說明
乾式滯洪池 (Detention)	屬乾式型，作為調節逕流機能係限定在一定期限內的調節，並以滯洪口控制出流量使水慢慢排去，可延遲洪水波到達下游時間並削滯洪峰流量。
濕式滯洪池 (Retention)	屬於濕式型，蓄水並不排放至下游，可結合現有或人工的池塘、窪地予以儲存部分之洪水體積，具有減少逕流體積、尖峰流量及延遲洪水波之功效。

資料來源:內政部建築研究所，2014

可配合集合住宅棟間綠地、停車場、公園綠地、運動設施等，利用儲集淺層雨水方式作為儲滯洪水之複合式設計；在設計時須注意其儲集水深，以不危害原有設施使用者行動為基本設計，下表3-2-2為各土地利用型式其水深設計建議值參考。

表 3-2-2 複合式設計滯洪設施儲集水深建議值

土地利用型式	儲集場所	儲集水深界線 (m)
集合住宅	棟間綠地	0.3
停車場	停車廣場	0.1
小學	屋外運動場	0.3
中學	屋外運動場	0.3
高中以上	屋外運動場	0.3(※0.5)
街區小型公園	公園用地廣場等	0.2
社區大型公園	運動施設用地廣場等	0.3(※0.5)
備註：※安全無慮的考量下，可以加深儲集深度至 0.5		

資料來源:內政部建築研究所，2014

滯洪池用於學校用地可操作在校園中戶外運動場和停車場設施作為乾式滯洪池可成為多功能場地使用，須注意戶外運動場設施最大儲集水深界線為 30cm，停車場設施最大儲集水深界線為 10cm。

(二)雨水花園

針對來自屋頂、車道、道路、停車場等不滲透性的表面之雨水抑制流出設計(行政院環境保護署，2013)，在雨水逕流通過雨水花園使雨水儲留後入滲到地下。雨水花園結構主要分為：蓄水層、樹皮覆蓋

層、種植土層、回填層、沙層或地工織物、礫石層(含滲透管)，共六層如圖 3-2-1 所示，以及各層主要功能及厚度說明(詳表 3-2-3)。

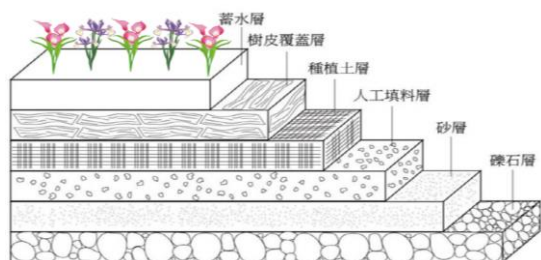


圖 3-2-1 雨水花園結構圖

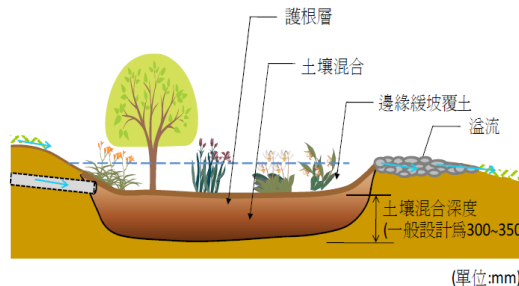


圖 3-2-2 雨水花園示意圖

表 3-2-3 雨水花園結構功能及厚度

組成	功能及厚度
蓄水層	當雨水進入雨水花園，可以暫存雨水，促使沉澱物沉澱。顧慮蓄水量及安全，一般深度為0.15-0.3m。
樹皮覆蓋層	可以保持植物根部的濕度，並可以過濾大型的懸浮物，其深度一般為0.05-0.1m。
種植土層	種植土層對植物根的吸附及微生物分解污染物提供很好的場所，一般採用60%-85%的中砂質、5%-10%的有機成份、粘土含量不超過5%，如果採用草本植物其深度約0.25m。
人工填料層(回填層)	厚度需根據當地降雨特性做決定，一般多為0.5-1.2m，土壤成分與種植土層相同，滲透係數一般採 10^{-5} m/s。
砂層或地工織物	砂層或地工織物是防止回填層土壤顆粒堵塞礫石層及透水管，其砂層厚度一般採0.15m。
礫石層	礫石層主要接收上層所滲透下來的水，再經由滲透管排出。厚度一般為0.2-0.3m，埋置的滲透管直徑為0.1m。

資料來源:內政部建築研究所，2014

雨水花園適用於尖峰流量的控制，屬於短暫的流量儲存控制系統。儲集深度為了安全，小學不可超過 20cm；中學必須在 30cm 以內；其他則深度在 50cm 以內，建議應採階段漸變方式設計。蓄水量需於 24 小時內消退完畢(內政部建築研究所，2014)。

雨水花園用於學校用地可操作在校園中車道、道路和人行道等，適用於尖峰流量的控制，須具備蓄水層、樹皮覆蓋層、種植土層、回填層、沙層或地工織物、礫石層(含滲透管)六層，在小學用地則須注意儲集深度需小於 20cm，如講求快速滲水，則選用較耐旱的植栽，如果是慢慢滲透地表水類型的，則選用較耐潮濕的植栽，將會產生濕景和乾景不同景色。

(三)綠屋頂

屋頂綠化可分為庭園型、盆栽組合型及種植薄層型屋頂綠化三類型，如表3-2-4說明：

表 3-2-4 綠屋頂類型表

類型	說明	規劃原則比較
庭園型	選擇小型喬木、低矮灌木、草坪與地被植物進行屋頂綠化配置，設置小徑、座椅和園林小品等，提供一定的遊覽和休憩活動空間的複雜變化。	1. 適合平屋頂，搭配休憩設施； 2. 覆土深度15-100cm，重量250-1000kg/m ² ； 3. 栽植喬木、灌木與地被植物； 4. 如同地面庭園的維護管理，所需費用較高。
盆栽組合型	根據建築物屋頂載重，在屋頂承重進行綠地配置並利用容器苗擺放的綠化方式。	1. 適合平屋頂，變化性高； 2. 盆栽重量取決盆栽大小數量； 3. 管理需求視盆栽種植的多樣性，越多種植物維管難度越高，所需費用取決於盆栽大小數量。
種植薄層型	以種植植物為主，如低矮灌木、草坪與地被植物，不設置園林設施的綠化。	1. 適合平屋頂與斜屋頂，可塑性高； 2. 覆土深度 15cm 以下，重量 50kg/m ² 以上； 3. 適合栽植原生、野生地被類與景天科多肉植物等； 4. 低維護管理需求，所需費用低。

資料來源:內政部建築研究所，2014；內政部建築研究所，2015；本研究整理

根據上述三項類型比較，種植薄層型可依不同學校屋頂形式調整，可塑性高，生長介質的覆土深度15cm以下，需考慮過濾層、排水層、防根層、防水層和隔熱層即可(詳圖3-2-3)，由於低維護管理，所需費用較低，故以種植薄層型綠屋頂操作於學校設施。

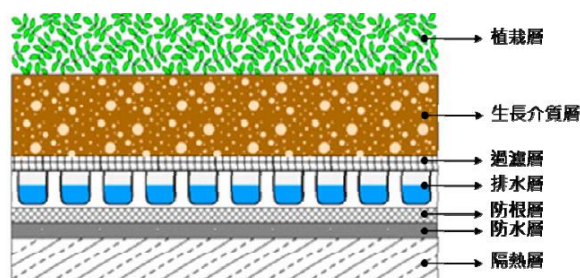


圖 3-2-3 庭園型和種植薄層型綠屋頂結構圖
資料來源:內政部建築研究所，2014

(四)透水鋪面

根據表層材料區分透水性鋪面以非連續性拼接塊狀鋪面的連鎖磚及植草磚為主，鋪面間有較大之間隙可填入砂土，鋪面下採用透水性底層如無細粒料混凝土、砂土層。鏤空鋪面如植草磚等，具足夠之空隙可直接提供植被生長之環境，其斷面示意圖如圖3-2-4所示(陳瑞雯和吳銘志，2006)。

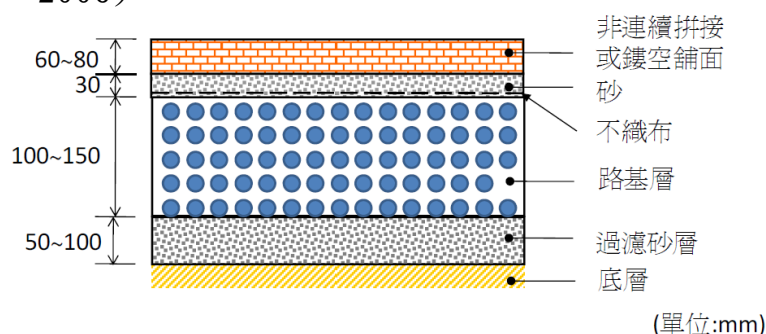


圖 3-2-4 非連續拼接或鏤空鋪面（連鎖磚及植草磚）示意圖

資料來源:內政部建築研究所，2014

透水鋪面供步行、自行車之鋪面，其路基層(級配層)厚度應為10cm以上，若供輕型車輛行駛及停放之鋪面，其路基層(級配層)厚度為15cm以上。砂層應為堅硬、潔淨、乾燥之細砂，且不含黏土、植物、石子或其它雜質。規格應為0.3mm-1.2mm，厚度約為3-6cm。連鎖磚硬質材料以乾砌方式拼成，其透水性能主要由表面材的乾砌間隙達成。每一塊實體塊材表層鋪面面積必須在0.25 m²以下(內政部建築研

究所，2014)。

透水鋪面可適用於小學校園的徒步區及車輛行駛區，均可取代傳統的不透水鋪面。

依據上述文獻回顧，可以簡易被運用在小學校園空間的低衝擊開發技術有滯洪池、雨水花園、綠屋頂和透水鋪面設施四項技術，彙整出乾式滯洪池可操作於操場，雨水花園可操作於水池、花台等結合校園植栽配置，綠屋頂可操作於校舍建築，透水鋪面技術可操作於庭園步道、停車場、戶外運動場地等硬鋪面，依其不同校園設施導入對應的低衝擊開發技術。

第三節 暴雨管理效益

低衝擊開發的技術應用可以結合景觀規劃及設計，管理暴雨徑流，並同時維護開發前區域內的水文環境，綠化的環境不僅提供環境的美化，也是對抗熱島效應的一個策略。由上述提及小學校園導入LID策略探討其可衍生的暴雨管理效益包含減洪效果、降溫程度、景觀效益、教育效益和使用者環境心理等，主要針對可數值量化者減洪效果、降溫程度和景觀效益分述如下：

一、減洪效果

內政部營建署(2012)建築基地保水設計技術規範提出透水保水量 = 設施之滲透量 + 設施之貯水量。

內政部建築研究所(2014)水環境低衝擊開發設施操作手冊編制與案例評估計畫提出減洪設施設施量計算原則為：

$$\begin{aligned} & \text{雨水儲留及涵養水分再利用設施} + \text{雨水儲留利用} + \text{基地保水} \\ & = \text{總減洪效果} \end{aligned}$$

(一)雨水儲留及涵養水分再利用設施

根據雨水儲留及涵養水分再利用設施之滯留面積和滯留深度得知該設施滯留量(詳表3-3-1)。

表 3-3-1 雨水儲留及涵養水分再利用設施滯留量計算表

滯洪設施	滯留面積	滯洪水深(h)	計畫滯留量(Q)
地下滯留槽	A_1	H_1	$Q_1 = A_1 \times H_1$
基地地面滯留	A_2	H_2	$Q_2 = A_2 \times H_2$
建築體內部滯留	A_3	H_3	$Q_3 = A_3 \times H_3$
其它滯留	A_4	H_4	$Q_4 = A_4 \times H_4$
滯留量總計			$= \sum Q_i \quad (i=1 \sim 4)$

資料來源：內政部建築研究所，2014

(二) 雨水儲留利用

利用雨水儲留設施計算自來水替代水量，作為水資源再利用(詳表 3-3-2)。

表 3-3-2 雨水儲存利用計算表

最小雨水儲水槽容量	儲水倍數	自來水替代水量
$V_{sm} = N_s \times W_s$	N_s	$W_s = \min(W_r, W_d)$ ， 其中 W_r 日平均集雨量 = 日平均雨量 $R \times$ 集雨面積 $A_r \times$ 日降雨概率 P W_d 雨水利用設計量 = $\sum r_i =$ 容納人數 $\times$ 日用水量

資料來源：內政部建築研究所，2014

(三) 基地保水量

根據內政部營建署(2014)的「水環境低衝擊開發設施操作手冊編制與案例評估計畫」提及其設施單元洪水儲存保水量計算公式如表 3-3-3。

表 3-3-3 設施單元洪水儲存能力

技術	保水量推算公式	變數說明
雨水花園 /生態滯 洪池	$V=h_1 \times A + P \times h_2 \times A + A \times f \times t$	A：設施面積(m^2) f：基地最終入滲率(m/s) t：最大降雨延時(s) h ₁ ：表層蓄水深度(m) h ₂ ：生長介質及過濾儲水層厚度(m) P：孔隙率(%)25%
綠屋頂	$V=P \times h \times A + L \times A$	A：設施面積(m^2) L：蓄保水板單位面積蓄水體積(m^3)0.04 m^3 h：輕質土厚度 (m)10cm P：孔隙率(%)30%
透水鋪面	$V=P \times h \times A + A \times f \times t$	A：設施面積(m^2) f：基地最終入滲率 (m/s) t：最大降雨延時(s) h：級配基層及級配底基層厚度(m) P：孔隙率(%)25%

資料來源:內政部營建署，2014

二、降溫程度

林憲德(1999)在都市中每提升10%的綠覆率，對周圍平均氣溫有降低0.13%-0.28%的效果。依此推算，假如我們的都市環境可以提升30%的綠覆率的話，則夏季約可降低都市氣溫0.4-0.90℃，相當於降低夏季尖峰用電量2.4-5.4%。

內政部建築研究所的屋頂綠化手冊(2015)提到3公頃的綠地，就能讓周邊溫度降溫0.5℃以上，而1公頃的樹木，每年可吸收67噸灰塵。

都市行政區域之綠覆率=綠地面積÷行政區總面積×100%

三、景觀效益

透過生境品質評估，作為景觀效益參照，以下為德國柏林於1980年代提出的生境面積指數(Biotope Area Factor, BAF)和2007年西雅圖實施的西雅圖綠指數(Seattle Green Factor, GF)以及邱薇之針對在地性提出的

生境面積因子方法應用作為改善BAF系統。

(一)生境面積指數(Biotope Area Factor, BAF)

1980年代由德國提出作為一種政策性的工具，其目標在於保存及創造都市中的生物棲息地，確保都市環境的綠化水準及視覺品質，並增加提供市民休閒娛樂的綠地機會水準。

柏林對現有已開發或新開發基地有不同的BAF目標，以確保達到某個生態棲地標準，其對新開發住宅區的最小BAF指數要求為0.6，公共設施為0.6，商業區及學校為0.3，BAF值因而亦是適合評估校園永續性的重要指標之一（林泉宏，2010）。

一個地區的BAF所代表的是這個區域中「有效的生態表面」(Ecologically-effective Surface)面積和區域總面積的比重，有效的生態表面公式如下：

有效的生態表面 = 特定型態表面積 × 生態權數

(二)西雅圖綠指數(Seattle Green Factor, GF)

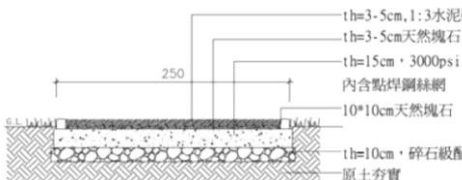
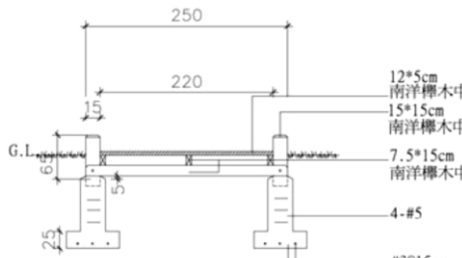
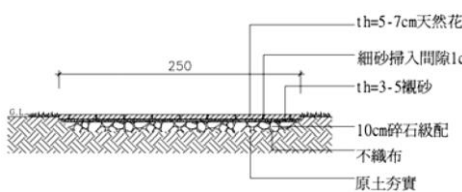
GF是一種多用途功能景觀的評估模式，建立於西雅圖環境因素上修改BAF權數添加複層植栽和增加雨水滲透來改善城市景觀(City of Seattle Department of Planning and Development, 2010)，以營造生物多樣性高層次的設計，發展建築與景觀的聯繫，作為解決美學與功能性景觀的新策略，並提升都市的生態系統(Jason Hirst, 2008)。

(三)邱薇之(2011)台中都會公園之永續景觀管理—生境面積因子方法應用

參考德國柏林(BAF)及美國西雅圖(GF)的生境面積因子評估工具，歸納台中都會公園各種不同表面型態再次進行分類，以專家法給予各表面型態之生態權數有效性的評值(詳表3-3-4)。

表 3-3-4 台中都會公園生境面積因子

基地表面型態	特徵		生態權數
封死硬鋪面	不透水及空氣的表面，無植物生長，例：聯外柏油道路、園區內柏油自行車道		0.04

基地表面型態	特徵		生態權數
部分封死硬鋪面I	無植物生長，但是水和空氣可以滲入，例：主要步道、活動廣場 	 	0.19
部分封死硬鋪面II	無植物生長，但是水和空氣可以滲入，例：木平台 		0.28
半開放表面I	水和空氣可以入滲、植物可以生長的表面，例：一般步道 		0.34
半開放表面II	水和空氣可以入滲、植物可以生長的表面 例：有短草覆蓋的礫石鋪面、植草磚		0.47
垂直綠覆面	於建築表面之綠覆面 例：牆面綠化、綠屋頂		0.55

基地表面型態	特徵		生態權數
封閉的水池	池中無植物生長，人工護岸		0.22
開放的水池	生態池、溼地，自然邊坡，並有水生及岸生植物		0.88
植栽覆面，但不與地下土壤接觸	有植物覆蓋的表面，位於不透水人工構物之上，例：道路安全島、停車場分隔島		0.37
短草草坪	土壤深度0.3m以上		0.58
草花植物、矮灌木類	土壤深度0.5m以上，每m ² 至少栽植4株以上		0.72
中型樹木	疏葉喬木、棕櫚類，且土壤深度1.0m以上		0.80
大型樹木	闊葉大喬木，且土壤深度1.0m 以上		0.86
密植區與生態復層	大小喬木、灌木、花草密植混種區，喬木種植間距3.5m以下，且土壤深度1.0m 以上		0.99

資料來源:邱薇之，2011

上述的生境面積指數、西雅圖綠指數，生境面積因子評估指數皆能反映校園環境綠化程度。前述兩項指標以國外環境作為研究，故本研究宜以邱薇芝就台中地區的生態環境各表面型態之生態有效性評值為評估工具。

第四章 研究設計

本研究經由文獻回顧彙整歸納 LID 技術，以發展都市分散式小區的理念，就地減緩瞬間暴雨湧進和徑流路徑過長，造成都市排水系統宣洩不易的暴雨困境，利用都市的公共設施用地，以國民小學為實證模擬基地，分析校園不同空間設施適用的 LID 技術，並評估採行該技術後所能產生的暴雨管理效益，藉此評估未來政策推展的可行性。

第一節 研究架構與流程

本研究的研究目的是要探討導入適用於全市公立小學校園各類空間設施的 LID 技術的暴雨管理效益。研究架構以探討現行國小校園空間的利用方式分類，分別模擬導入可行的 LID 技術。繼而推算全市國小校園採行上述策略模擬改造後，所能衍生的總合之暴雨管理效益，其研究架構如圖 4-1-1。

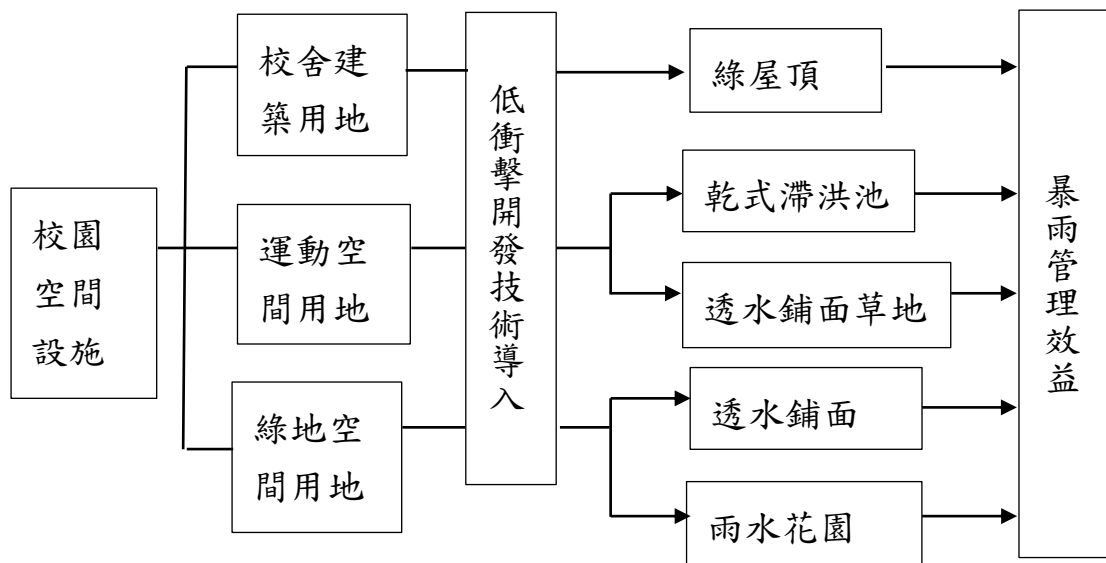


圖 4-1-1 研究架構圖

本研究分為五個階段，包含前言、文獻回顧、研究架構、實證研究及結論與建議，研究流程如圖 4-1-2：

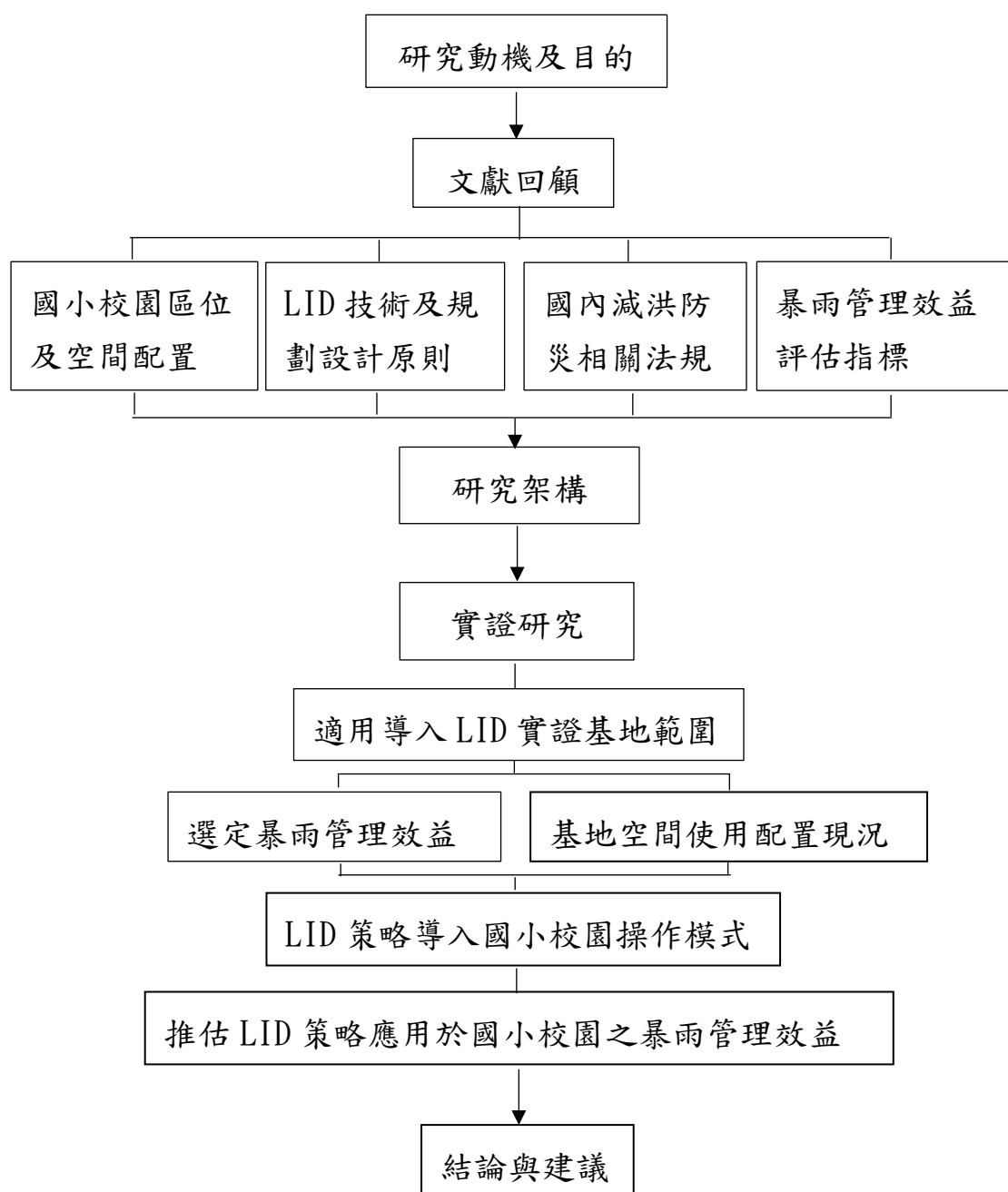


圖 4-1-2 研究流程圖

第二節 研究對象及範圍

以台中市都市計畫區內台中市教育局公布之 64 所國民小學為研究範圍，以做為導入 LID 技術於校園空間設施的實證基地，建構都市內分散式小區的綠色排洪設施。本研究的主要對象為台中市都市計畫地區內八行政區共有 64 所國小校園空間，校地總面積達 1,534,600 平方公尺(表 4-2-1)。每所校園基地的配置使用可分為校舍建築用地、運動空間用地及綠地空間用地包含綠地、庭園、步道用地等。

表 4-2-1 台中市都市計畫區國小校園人數及校地面積表

學校編號	行政區	校名	行政人數	學生人數	校內總人數	校地總面積(m ²)
1	東區	樂業國小	52	138	190	20,500
2		臺中國小	69	735	804	27,442
3		力行國小	116	1,369	1,485	29,946
4		大智國小	59	610	669	25,117
5		進德國小	50	403	453	39,792
6		成功國小	88	1,000	1,088	28,196
7	南區	樹義國小	113	1,704	1,817	22,051
8		信義國小	114	1,543	1,657	39,504
9		和平國小	96	1,258	1,354	26,370
10		國光國小	65	674	739	35,940
11	西區	大同國小	95	1,180	1,275	36,316
12		忠孝國小	166	1,942	2,108	34,591
13		大勇國小	154	2,104	2,258	34,644
14		忠信國小	43	286	329	15,924
15		忠明國小	69	631	700	32,228
16		中正國小	72	900	972	29,802
17	北區	賴厝國小	139	2,085	2,224	24,240
18		中華國小	72	786	858	17,490
19		太平國小	68	390	458	25,840
20		省三國小	64	761	825	17,404

學校 編號	行政區	校名	行政 人數	學生 人數	校內 總人數	校地總面積 (m ²)
21	北區	健行國小	58	494	552	30,206
22		篤行國小	54	635	689	32,424.3
23		立人國小	47	884	931	17,912
24	中區	光復國小	88	647	735	19,473
25	北屯區	東光國小	76	852	928	17,948
26		四維國小	54	681	735	12,044
27		僑孝國小	65	780	845	14,665
28		逢甲國小	18	58	76	12,858.7
29	北屯區	文昌國小	79	882	961	19,985
30		陳平國小	68	785	853	17,006
31		松竹國小	102	1,364	1,466	2,1410
32		建功國小	78	1,066	1,144	17,324
33		仁愛國小	55	632	687	12,511
34		新興國小	56	552	608	14,599.5
35		仁美國小	120	1,699	1,819	34,013.77
36		四張犁國小	61	607	668	24,208
37		軍功國小	91	1,169	1,260	24213
38		北屯國小	97	1,055	1,152	28,689
39		文心國小	111	1,509	1,620	18,328
40		大坑國小	28	162	190	20,209.12
41	西屯區	重慶國小	50	413	463	16,716
42		國安國小	104	1,440	1,544	24,987
43		上石國小	73	824	897	19,371
44		西屯國小	96	1,052	1,148	33,956
45		永安國小	136	1767	1,903	26,662.58
46		上安國小	82	775	857	36,237
47		長安國小	68	952	1,020	16,696.86
48		惠來國小	73	854	927	14,841.86

學校 編號	行政區	校名	行政 人數	學生 人數	校內 總人數	校地總面積(m ²)
49	西屯區	何厝國小	51	384	435	16,997.59
50		泰安國小	32	190	222	29,981
51		大鵬國小	70	673	743	19,422
52		大仁國小	47	452	499	17,581
53		協和國小	89	1,012	1,101	33,159
54		東海國小	15	164	179	14,080.62
55	南屯區	東興國小	85	1,393	1,478	19,940
56		永春國小	115	1,646	1,761	20,033
57		大新國小	180	2,335	2,515	20,655
58		惠文國小	198	2,729	2,927	43,754
59		大墩國小	75	1,033	1,108	20,000
60		文山國小	101	1,282	1,383	-
61		南屯國小	75	886	961	33,529
62		鎮平國小	66	726	792	20,705
63		春安國小	31	173	204	24,287
64		黎明國小	81	913	994	37,643
64 所校地面積總計						1,534,600

資料來源:台中市教育局(2014)，本研究整理

第三節 研究方法

本研究係透過國內外相關文獻回顧，分析探究低衝擊開發技術之內容手法，及暴雨管理效益的評估指標，並利用行動研究法推演以現有真實之情境，針對校園不同空間設施可應用低衝擊開發技術的操作模式，先以其中一所國小校園模擬未來規劃設計結果的真實可理解之圖像，再以此模式推導至全市的公立國小校園，繼而推導其建構出暴雨管理系統的分散式都市小區所能獲致的效益。惟本研究限於時間限制，暫不將各國小周遭高程和排水系統納入本次研究中，僅探討國小校園空間與設施直接導入低衝擊開發(LID)策略後的暴雨管理效益。實證研究步驟說明如下：

一、研究對象資料蒐集

台中市公立國小校園空間設施配置調查工具使用 Google 衛星影像圖，針對台中市都市計畫地區內 64 所校園進行平面配置圖蒐集。

二、減洪防災相關法規規範回顧及國小校園適用的 LID 技術策略

回顧減洪相關法規和《國民中小學設施基準》依此分析校園不同空間設施適用的 LID 策略技術，包括有 1. 綠屋頂策略；2. 乾式滯洪池策略；3. 透水鋪面草地型策略；4. 透水鋪面策略；5. 雨水花園策略等五類。

三、選定評估 LID 校園能達成之暴雨管理效益的指標

根據文獻回顧，暴雨管理效益以校園整體減洪效果、降溫程度和景觀效益三項為主要的評估指標，分述如下：

（一）減洪效果

依據「社區及建築基地減洪設施法規簡易檢核系統」的減洪設施容量原則作為運算導入暴雨管理後的排洪效益評估，獲得總減洪效果，達到防洪、淨化空氣、淨化水質、土壤保水、水資源再利用、生態棲地復育、景觀美質改善。

（二）降溫程度

依據林憲德提出每提升 10% 的綠覆率，對周圍平均氣溫有降低 0.13%~0.28% 的效果，每提升 30% 的綠覆率，可以降低用電量 2.4~5.4%，達到降溫節電。

（三）景觀效益

依據德國柏林 BAF 生境品質評估指數作為景觀效益指標，而生境品質評估指數內的生態權數是依據邱薇之提出生境面積因子方法應用，達到淨化空氣、生態棲地復育、景觀美質改善和提高民眾對環境心理的滿意度。

四、低衝擊開發策略導入國小校園操作模式

利用上述調查的資料，進行 64 所校園設施分析，依其校舍建築用地、運動空間用地和綠地空間用地分別判讀，並依設施細項分為校舍建築、體育館建築、戶外球場、操場內圈及跑道、庭園步道、戶外廣場、人行道、車道、停車場、水池、植栽花台等。就不同校園空間設施性質分別導入適合的「綠屋頂策略」、「乾式滯洪池策略」、「透水鋪面草地型策略」、「透水

鋪面策略」和「雨水花園策略」的五項策略(詳表 4-3-1)。並使用 Auto CAD 操作分別計算其不同 LID 的操作面積。

表 4-3-1 校園空間設施相對應的低衝擊開發策略表

校園空間設施	設施細項		低衝擊開發策略
校舍建築用地	校舍建築		綠屋頂
運動空間用地	體育館建築		
	戶外球場		乾式滯洪池
	操場	操場內圈	
			操場跑道
綠地空間用地	庭園步道		透水鋪面
	戶外廣場		
	人行道		
	車道		
	停車場		
	水池		雨水花園
	植栽花台		

資料來源:本研究整理

五、低衝擊開發策略應用於國小校園之暴雨管理效益推估

就上述五項策略的暴雨管理效益分別以減洪效果、降溫程度和景觀效益三項指標評估之，各項策略的評估公式見表 4-3-2。

(一)減洪效果

總減洪效果等於雨水儲留及涵養水份利用設施的滯留量加上雨水儲留利用的容積量加上基地的保水量，以下就各項策略的減洪容量分述之：

1. 雨水儲留及涵養水份利用設施的滯留量

透水鋪面草地型及透水鋪面策略因未採用滯留量，數值為 0。綠屋頂策略、乾式滯洪池策略和雨水花園策略以公式一計算得之。

$$\text{公式一: } Q(m^3) = A(m^2) \times H(m)$$

註:Q = 滯留量

A = 面積

H = 滯洪水深

2. 雨水儲留利用的容積量

綠屋頂策略的容積量計算公式二得之，其它策略未採用容積量，故數值為 0。

$$\text{公式二: } V_s(m^3) = N_s \times W_s(L/\text{日})$$

註: V_s = 雨水儲水槽設計容積

N_s = 儲水倍數

W_s = 自來水替代水量 = $\min(W_r, W_d)$

$W_r(L/\text{日})$ = 日平均集雨量 = $R(mm/\text{日}) \times A_r(m^2) \times P$

$W_d(L/\text{日})$ = 雨水利用設計量 = $\sum R_i$

R = 日平均雨量

A_r = 集雨面積

P = 日降雨概率

$\sum R_i$ = 容納人數 $\times$ 日用水量

3. 基地保水的保水量

(1) 採用綠屋頂策略的基地保水量以公式三計算。

$$\text{公式三: } V(m^3) = P(\%) \times H(m) \times A(m^2) + L(m) \times A(m^2)$$

註: P = 土壤孔隙率

H = 土壤厚度

A = 面積

L = 蓄保水板單位面積

(2) 採用乾式滯洪池策略的基地保水量以公式四計之。

公式四:

$$V(m^3) = H_1(m) \times A(m^2) + P(\%) \times H_2(m) \times A(m^2) + f(m/s) \times t(s) \times A(m^2)。$$

註: V = 單位面積保水量

H_1 = 表面蓄水深度

A = 面積

P = 土壤孔隙率

H_2 = 生長介質、過濾儲水深度

f = 基地入滲率

t = 最大降雨延時

(3)透水鋪面草地型策略及透水鋪面策略的基地保水的保水量皆以公式五得之。

公式五：

$$V(m^3) = P(\%) \times H(m) \times A(m^2) + f(m/s) \times t(s) \times A(m^2)$$

註：P = 土壤孔隙率

H = 級配基層、級配基底厚度

A = 面積

f = 基地入滲率

t = 最大降雨延時

(4)雨水花園策略基地保水的保水量以公式六計之。

公式六：

$$V(m^3) = H_1(m) \times A(m^2) + P(\%) \times H_2(m) \times A(m^2) + f(m/s) \times t(s) \times A(m^2)$$

註：V = 單位面積保水量

H₁ = 表面蓄水深度

A = 面積

P = 土壤孔隙率

H₂ = 生長介質、過濾儲水深度

f = 基地入滲率

t = 最大降雨延時

(二)降溫程度

綠屋頂策略及透水鋪面草地型策略將有新增的綠覆面積，依據成功大學建築研究所提出的綠覆率對降溫和節電程度的影響作為降溫程度評估，公式如下：

$$\text{公式七：降溫}(\%) = \text{增加綠覆率}(\%) \div 10\% \times 0.2\%$$

$$\text{公式八：節電量}(\%) = \text{增加綠覆率}(\%) \div 30\% \times 3.9\%$$

其它策略為非新增綠覆面積，不操作計算。

(三)景觀效益

依據德國柏林 BAF 生境品質評估指數作為主要指標，而生境品質評估指數內的生態權數則依邱薇之提出生境面積因子方法應用，作為景觀效益評估，所有的 LID 策略，其 BAF 指數計算如公式九：BAF = 特定型態表面積(m^2) × 生態權數 ÷ 區域總面積(m^2)

表 4-3-2 各項低衝擊開發策略暴雨管理效益評估計算表

LID 策略 暴雨 管理效益		綠屋頂 策略	乾式滯洪 池策略	透水鋪面草 地型策略	透水鋪面 策略	雨水花園 策略
減 洪 效 果	滯留量	公式一： $Q(m^3) = A(m^2) \times H(m)$	公式一： $Q(m^3) = A(m^2) \times H(m)$	未採用滯留量，數值為 0。	未採用滯留量，數值為 0。	公式一： $Q(m^3) = A(m^2) \times H(m)$
	容積量	公式二： $Vs(m^3) = Ns \times Ws(L/日)$	未採用容積量，數值為 0	未採用容積量，數值為 0。	未採用容積量，數值為 0。	未採用容積量，數值為 0。
	保水量	公式三： $V(m^3) = P(\%) \times H(m) \times A(m^2) + L(m) \times A(m^2)$	公式四： $V(m^3) = H_1(m) \times A(m^2) + P(\%) \times H_2(m) \times A(m^2) + f(m/s) \times t(s) \times A(m^2)$	公式五： $V(m^3) = P(\%) \times H(m) \times A(m^2) + f(m/s) \times t(s) \times A(m^2)$	公式五： $V(m^3) = P(\%) \times H(m) \times A(m^2) + f(m/s) \times t(s) \times A(m^2)$	公式六： $V(m^3) = H_1(m) \times A(m^2) + P(\%) \times H_2(m) \times A(m^2) + f(m/s) \times t(s) \times A(m^2)$

LID 策略 暴雨 管理效益		綠屋頂 策略	乾式滯洪 池策略	透水鋪面草 地型策略	透水鋪面 策略	雨水花園 策略
降 溫 程 度	降溫量	公式七： 降溫(%) = 增加綠覆 (%) ÷ 10% × 0.2%	為非新增 綠覆面 積，不操 作計算。	公式七： 降溫(%) = 增加綠覆率 (%) ÷ 10% × 0.2%	為非新增 綠覆面 積，不操 作計算。	為非新增 綠覆面 積，不操 作計算。
	節電量	公式八： 節電量 (%) = 增加綠覆 (%) ÷ 30% × 3.9%		公式八： 節電量(%) = 增加綠覆率 (%) ÷ 30% × 3.9%		
景 觀 效 益	BAF 指數	公式九： BAF = 特定型態 (m ²) × 生態權數 ÷ 區域總面 (m ²)	公式九	公式九	公式九	公式九

(六)結論與政策建議

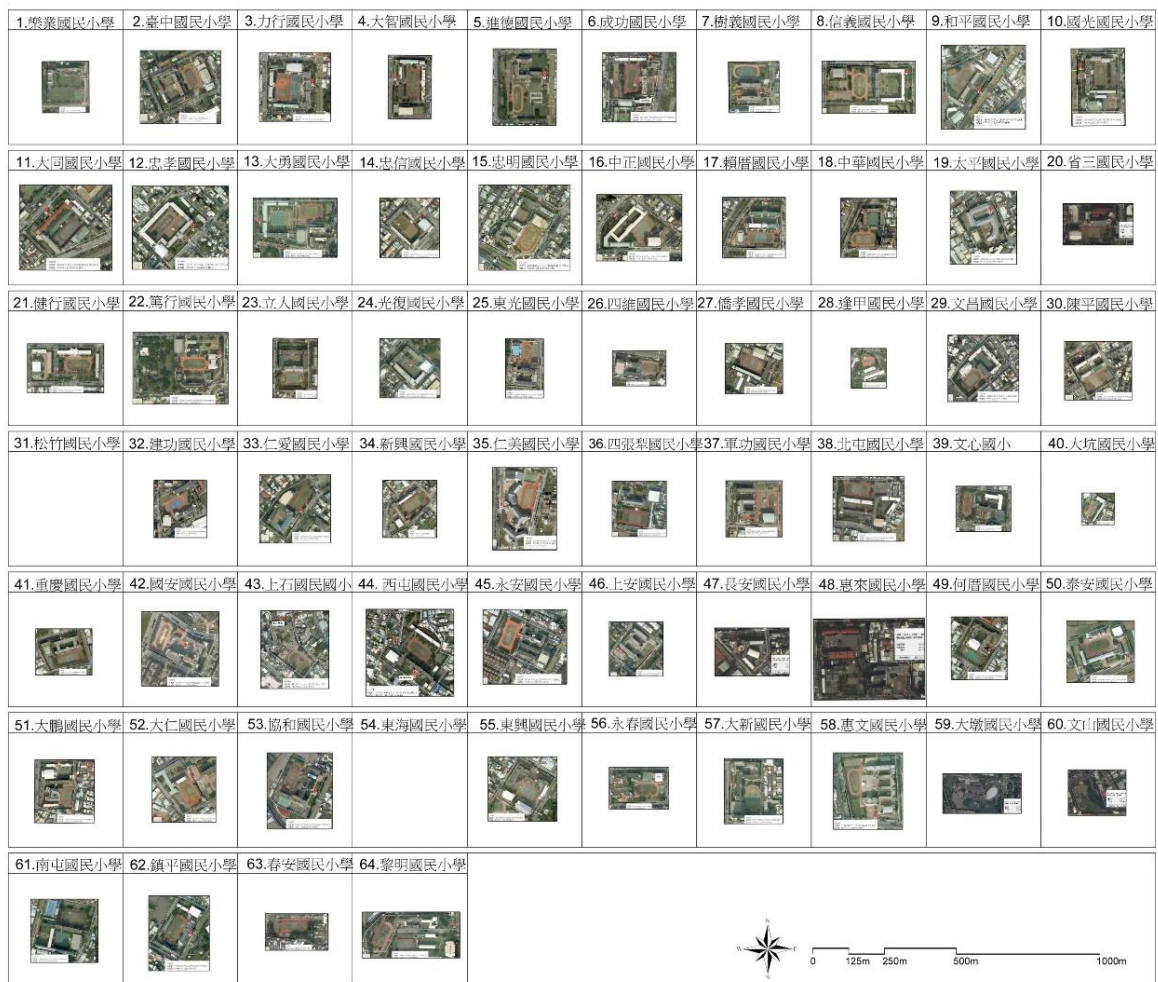
針對推導計算出的暴雨管理效益提出對市政建設上可行之建議和改善方案。

第五章 研究結果及研究發現

第一節 研究對象資料調查

校園空間設施配置及面積調查使用 Google 衛星影像地圖(下載日期:105.1.25)操作 64 所台中市都市計畫區國小校園平面圖截圖，並依實際比例操作平面配置圖的調查。

調查顯示編號 31 的松竹國民小學在 Google 地圖上尚未被定位，故無法得知該校平面圖，以及編號 54 東海國民小學現階段仍在建校中，故亦無法得知該校平面圖，因此在操作下階段的校園空間設施面積時，將以 62 所國民小學為操作對象(詳圖 5-1-1)。



下載日期:105.1.25

圖 5-1-1 校園空間平面圖

第二節 低衝擊開發相關策略導入國小校園操作模式

分析校園不同空間設施利用情形，導入適宜的低衝擊開發策略，先以台中市協合國小做為模擬設計的實證基地，以下就其導入前現況與模擬導入後的狀況分別說明之。

一、綠屋頂策略

綠屋頂策略主要導入於校園設施的校舍建築、體育館建築和警衛室等建築物體的屋頂，導入前建築屋頂皆為不透水的混凝土硬鋪面(見圖 5-2-1)。

導入後採用薄層型綠屋頂故操作減洪效果時可以同時計算滯留量、容積量和保水量，而屋頂皆種植草花植物覆土深度至少採 10cm，土壤孔隙率則依台中市土壤 30%為主，以及蓄保水板單位面積蓄水體積則是同時考慮費用與可產生的減洪效果採中間值 0.04m^3 的規格進行操作(見圖 5-2-2，圖 5-2-3)。



圖 5-2-1 綠屋頂策略導入前
(資料來源:google earth 下載日期:105.3.12)



圖 5-2-2 綠屋頂策略導入後

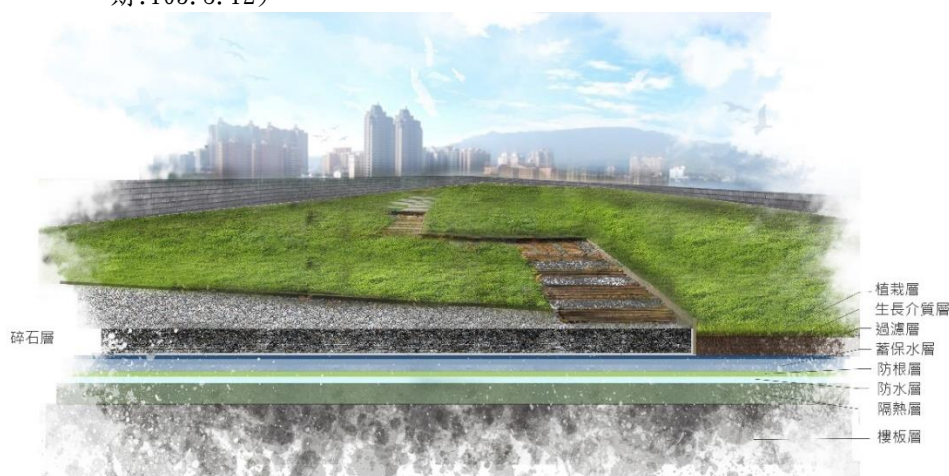


圖 5-2-3 綠屋頂策略示意圖

二、乾式滯洪池策略

乾式滯洪池策略主要導入於操場和戶外球場，導入前操場中間綠地與跑道齊平(見圖 5-2-4)。

導入後，國小校園滯洪池水深度限制為 30cm 且斜率為 2%平緩坡作為兼具視覺美感與符合校園安全的多功能場地使用，生長介質和過濾儲水深度為 5cm 的假儉草、地毯草和台北草混搭，減少單一草種的情況產生(見圖 5-2-5，圖 5-2-6)。



圖 5-2-4 乾式滯洪池策略導入前



圖 5-2-5 乾式滯洪池策略導入後



圖 5-2-6 乾式滯洪池策略示意圖

三、透水鋪面草地型策略

草地操場導入於操場跑道，導入前跑道為 PU 跑道，跑道面有裂痕、不具有透水性，且會揮發有害氣體二甲苯(見圖 5-2-7)。

導入後跑道種植假儉草、地毯草和台北草等混合草種，減少單一草種的情況產生，並作為生長介質和過濾儲水深度為 5cm，場地平坦以符合平時校園跑道的安全性考量(見圖 5-2-8，圖 5-2-9)。



圖 5-2-7 透水鋪面草地型策略導入前



圖 5-2-8 透水鋪面草地型策略導入後

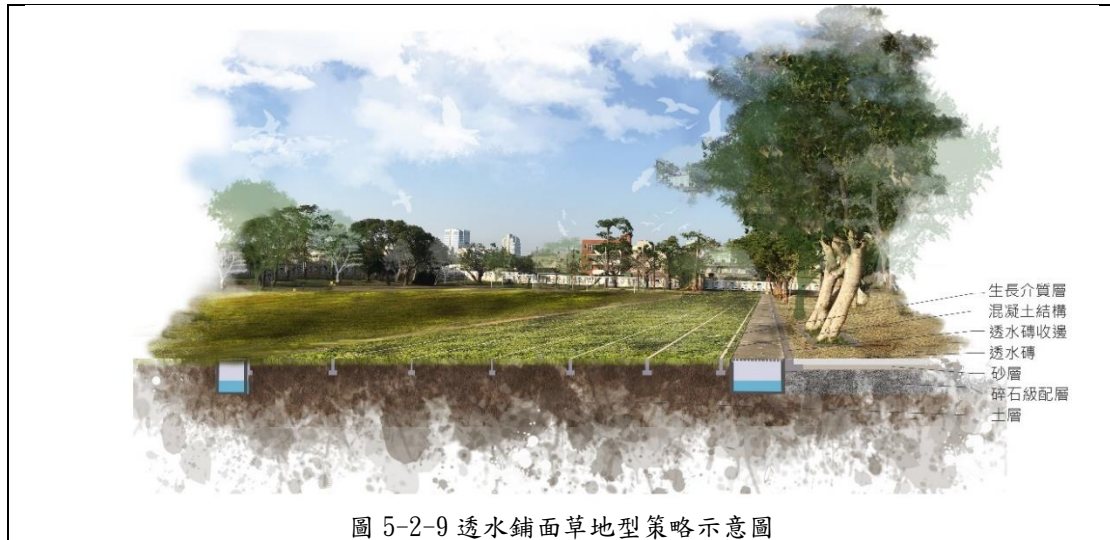


圖 5-2-9 透水鋪面草地型策略示意圖

四、透水鋪面策略

透水鋪面主要導入於校園設施的庭園步道、戶外廣場、人行道、車道和停車場，導入前鋪面皆為不透水且無收邊的硬鋪面(見圖 5-2-10)。

導入後採用約 6~8cm 後透水鋪磚，由於承載顧慮透水鋪磚下層採 30cm 砂石、100cm 路基層和 50cm 過濾砂層，達到雨水下滲和過濾(見圖 5-2-11，圖 5-2-12)。



圖 5-2-10 透水鋪面策略導入前



圖 5-2-11 透水鋪面策略導入後



圖 5-2-12 透水鋪面策略示意圖

五、雨水花園策略

雨水花園導入於校園設施的水池和植栽花台，導入前花台皆種植普通灌木和地被植栽(見圖 5-2-11)。

導入後國小校園雨水花園蓄水深度限制為 20cm 以符合校園安全的顧慮，以及過濾儲水深度為 60cm 的種植土層、回填層、沙層或土工織物和礫石層達到減洪效果和過濾水質之功能(見圖 5-2-14，圖 5-2-15)。



圖 5-2-13 雨水花園策略導入前



圖 5-2-14 雨水花園策略導入後



圖 5-2-15 雨水花園策略示意圖

第三節 模擬導入 LID 策略之校園空間設施面積計算

以上述低衝擊開發技術導入校園的操作模式，利用上述所調查的資料，進行 62 所校園設施調查，依其校舍建築用地、運動空間用地和綠地空間用地等設施細項，分別就其適宜性模擬導入不同 LID 策略，再以 Auto CAD 操作計算各項策略模擬的施行面積(詳表 5-3-1)。

表 5-3-1 校園空間設施各類策略面積表

單位:㎡

學校 編號	採綠屋頂 策略	採乾式 滯洪池策略	採透水鋪面 草地型策略	採透水鋪面 策略	採雨水花園 策略
1	2,434.52	3,582.94	1,992.65	4,178.87	6,178.92
2	9,169.67	3,666.51	1,645.22	10,861.04	4,262.14
3	7,957.38	5,726.98	2,227.32	10,774.69	4,673.32
4	6,153.13	3,352.91	2,851.43	8,232.03	4,569.39
5	3,551.18	2,757.94	1,813.1	12,991.55	19,556.07
6	7,138.4	3,990.83	3,160.44	13,067.13	5,557.57
7	3,900	2,443.26	2,151.55	7,507.8	5,471.08
8	6,315.98	6,993.5	2,633.61	11,185.77	15,202.4
9	9,195.95	2,899.51	2,360.27	10,606.88	4,604.4
10	6,501.43	5,608.05	1,653.09	11,546.46	7,781.59
11	10,867.32	3,915.63	2,194.6	10,323.31	8,471.52
12	9,919.88	3,193.37	2,586.76	13,285.76	6,519.08
13	7,023.5	6,555.57	2,049.95	8,251.83	11,640.23
14	5,394.49	2,263.5	2,081.73	4,782.74	2,542.14
15	8,709.9	3,838.2	2,000.73	8,443	9,144.68
16	8,332	4,033.34	2,720.78	8,070.61	9,664.2
17	5,478.93	3,644.81	2,522.68	8,927.92	6,189.2
18	2,759.62	2,888.47	2,282.92	7,959.78	3,516.74
19	7,198.8	1,515.27	0	4,993.37	7,326.21
20	4,878.41	1,676.06	1,747.81	6,376.73	6,537.42
21	6,325.05	3,374.37	2,796.07	11,765.26	7,711.65
22	6,769.53	4,196.27	2,510.86	11,306.69	9,643.18

學校 編號	採綠屋頂 策略	採乾式 滯洪池策略	採透水鋪面 草地型策略	採透水鋪面 策略	採雨水花園 策略
23	4,060.81	4,545.24	2,157.46	5,100.5	4,371.61
24	6,007.3	1,824.64	911.97	2,831.91	2,717.97
25	6,944.88	1,744.3	1,090.81	5,125.85	1,544.07
26	3,800.05	1,816.59	1,512.61	4,446.81	2,903.48
27	5,614.92	2,922.56	1,856.91	3,727.86	2,489.2
28	1,445.48	418.26	0	2,276.65	3,640.94
29	4,824.77	4,856.83	1,933.03	6,277.5	3,347.46
30	3,552.81	2,355.57	1,813.47	7,066.75	4027.7
31	0	0	0	0	0
32	5,366.21	1,767.8	1,560.06	4,593.22	5,073.4
33	4,695.34	4,335.02	2,168.56	5,248.62	4,772.33
34	3,705.98	,2674.67	1,576.64	5,158.63	0
35	9,431.13	3,316.99	2,066.93	15,752.23	5,914.43
36	5,309.8	2,387.98	2,737.02	7,042.77	4,766.56
37	5,853.96	2,439.85	1,459.22	8,767.6	6,381.99
38	8,065.12	5,344.09	2,395.68	8,750.91	7,161
39	4,365.32	2,412.95	1,518.16	7,560.34	5,171.28
40	1,455.58	1,575.65	0	2,599.95	682.66
41	4,504.21	2,307.37	1,717.9	6,087.27	3,760.53
42	5,490.72	3,521.75	2,363.76	11,806.16	4,143.22
43	5,115.58	2,759.75	1,715.71	6,153.77	4,056.51
44	6,934.54	3,802.81	2,597.69	13,582.08	10,228.48
45	6,693.98	2,939.86	3,152.79	11,639.63	7,410.85
46	5,167.23	1,581.47	0	5,041.17	2,625.6
47	4,220.89	896.34	0	5,469.45	3,560.91
48	4,748.83	1,057.55	984.41	7,254	2,894.86
49	4,881.26	2,285.33	1,487.55	3,896.1	5,732.74
50	6,109.05	5,029.08	2,567.56	10,251.76	4,308.55

接續上頁

學校 編號	採綠屋頂 策略	採乾式 滯洪池策略	採透水鋪面 草地型策略	採透水鋪面 策略	採雨水花園 策略
51	6,560.5	2,924.4	1,106.37	7,870.37	2,982.97
52	5,557.29	5,011.02	1,934.1	4,576.99	4,679.9
53	4,563.35	3,901.14	2,601.67	11,101.51	5,458.6
54	0	0	0	0	0
55	6,916.09	2,839.29	2,238.67	9,656.92	2,831.47
56	5,041.58	3,995.07	2,425.68	9322.65	2,943
57	6,836.2	2,612.83	2,434.17	8,719.07	3,014.09
58	10,745.76	3,852.45	2,043.36	13,966.35	10,367.42
59	5,229.9	805.64	0	4,642.56	7,958.55
60	2,463.24	2,599.08	1,208.48	5,375.662	3,026.33
61	7,064.59	6,961.16	1,910.68	7,895.09	6,083.39
62	5,099.19	3,316.84	2,194.51	7,533.87	4,531.54
63	1,244.24	2,800.85	2,665.43	5,339.26	6,464.07
64	2,620.26	4,527.48	2,840.51	6,617.53	8,592.28
總計	354,283.01	201,184.84	116,933.10	374,633.44	349,385.07
備註：					
1. 學校編號 31 和 54 無法得知兩校平面圖，故不納入估算中。					
2. 學校編號 19、28、40、46、47 和 59 由於校園設施中沒有完整的跑道，故採用透水鋪面草地型策略的數值為 0。					

第四節 低衝擊開發策略應用於國小校園之暴雨管理效益評估

依據第三章第三節研究方法提及的「暴雨管理效益」的評估公式，推算校園空間模擬操作可獲得的各項效益。

一、全市國小校園採行 LID 各項策略的暴雨管理效益

依照研究方法提及計算方式，推估台中市都市計畫區國民小學導入低衝擊開發策略的暴雨管理總效益，分別敘述如下：

(一)綠屋頂策略的暴雨管理效益

全市 62 所小學校園採用綠屋頂策略的面積為 354,283 m²

表 5-4-1 綠屋頂策略的暴雨管理效益表

效益	評估細項	效益估算	備註
減洪效果	滯留量	14,171.32 m ³	
	容積量	84,336,722,454.6 m ³	假設台中日平均雨量為 4.45(mm/日)； 台中日降雨概率為 0.312； 台中儲水倍率為 9.63； 國小校園每人每日校園用水量為 28L
	保水量	24,799.81m ³	假設土壤孔隙率為 30%
降溫程度	降溫量	0.1409%	
	節電量	0.9159%	
景觀效益	BAF 指數	0.1426	假設採用邱薇之提出垂直綠覆面生態權數為 0.55

操作綠屋頂策略對暴雨管理效益產生總減洪效果將達 84,336,761,425 m³，其中又以容積量對總減洪效果的貢獻極大；降溫程度達全市降溫 0.1409%，節電程度達全市節電 0.9159%和景觀效益平均生境品質評估為 0.1426。

(二)乾式滯洪池策略的暴雨管理效益

全市 62 所小學校園採用乾式滯洪池策略的面積為 201,184.8 m²

表 5-4-2 乾式滯洪池策略的暴雨管理效益表

效益	評估細項	效益估算	備註
減洪效果	滯留量	60,355.45 m ³	
	容積量	0	未採用
	保水量	67,215.86 m ³	假設台中市砂質土壤孔隙率為 25%； 台中市砂質土地入滲率為 10 ⁻⁵ ； 最大降雨延時經鋪面和草地共為 36 分鐘
降溫程度	降溫量	0	非新增綠覆面積
	節電量	0	
景觀效益	BAF 指數	0.0515	假設採用邱薇之提出部分封死硬面 I 生態權數為 0.19 和短草草坪生態權數為 0.58

操作乾式滯洪池策略對暴雨管理效益產生總減洪效果達 127,571.3 m³，其中又以保水量對總減洪效果的貢獻較大達和景觀效益平均生境品質評估為 0.0515。

(三) 透水鋪面草地型策略的暴雨管理效益

全市 62 所小學校園採用透水鋪面草地型策略的面積為 116,933.1 m²

表 5-4-3 透水鋪面草地型策略的暴雨管理效益表

效益	評估細項	效益估算	備註
減洪效果	滯留量	0	未採用
	容積量	0	未採用
	保水量	55,145.65m ³	假設台中市砂質土壤孔隙率為 25%； 台中市砂質土地入滲率為 10 ⁻⁵ ；
減洪效果	保水量		最大降雨延時經鋪面和草地共 36 分鐘

效益	評估細項	效益估算	備註
降溫程度	降溫量	0.0465%	針對 PU 操場轉變草地操場為主
	節電量	0.3023%	
景觀效益	BAF 指數	0.0535	假設採用邱薇之提出短草草坪生態權數為 0.58

操作透水鋪面草地型策略對暴雨管理效益產生減洪效果達 55,145.65 m³；降溫程度達全市降溫 0.0465%，節電程度達全市節電 0.3023%和景觀效益平均生境品質評估為 0.0535。

(四)透水鋪面策略的暴雨管理效益

全市 62 所小學校園採用透水鋪面策略的面積為 374,633.4m²

表 5-4-4 透水鋪面策略的暴雨管理效益表

效益	評估細項	效益估算	備註
減洪效果	滯留量	0	未採用
	容積量	0	未採用
	保水量	176,677.13m ³	假設台中市砂質土壤孔隙率為 25%； 台中市砂質土基地入滲率為 10 ⁻⁵ ； 最大降雨延時經鋪面和草地共 36 分鐘
降溫程度	降溫量	0	非新增綠覆面積
	節電量	0	
景觀效益	BAF 指數	0.0505	假設採用邱薇之提出部分封死硬鋪面 I 生態權數為 0.19

操作透水鋪面策略對暴雨管理效益產生減洪效果達 176,677.13m³，其中又以保水量對總減洪效果的貢獻較大和景觀效益平均生境品質評估為 0.0505。

(五)雨水花園策略的暴雨管理效益

全市 62 所小學校園採用雨水花園策略的面積為 349,385.1m²

表 5-4-5 雨水花園策略的暴雨管理效益表

效益	評估細項	效益估算	備註
減洪效果	滯留量	69,877.01m ³	
	容積量	0	未採用
	保水量	129,831.49m ³	假設台中市砂質土壤孔隙率為 25%； 台中市砂質土地入滲率為 10 ⁻⁵ ； 最大降雨延時經鋪面和草地共 36 分鐘
降溫程度	降溫量	0	非新增綠覆面積
	節電量	0	
景觀效益	BAF 指數	0.2450	假設採用邱薇之提出密植區與生態覆層生態權數為 0.99

操作雨水花園策略對暴雨管理效益產生減洪效果達 199,708.6 m³，其中又以保水量對總減洪效果的貢獻較大和景觀效益平均生境品質評估為 0.2450。

二、全市校園採行 LID 的暴雨管理整體效益評估

依據上述模擬採行的各項低衝擊開發策略，所產生的校園暴雨管理效益，進而整合所有策略推估全台中市都市計畫區國民小學總效益。

(一)減洪效果

由上述五項策略整合得知全市國小的總滯留量為 144,403.79 m³，全市總容積量為 84,336,722,454.6 m³，全市總保水量為 453,669.94 m³，故得知全市總減洪效果為 84,337,320,528.33m³。

(二)降溫程度

由上述五項策略整合得知全市總降溫可達 0.1874%℃，全市總節電減少 1.22%度電。

(三)景觀效益

由上述五項策略整合得知全市景觀效益平均生境品質評估為 0.5509。

三、研究發現

經由模擬全市共計 62 所小學校園導入低衝擊開發策略的設計，並推導評估各項策略所能衍生的暴雨管理效益，其結果顯示各項策略對於暴雨管理效益皆有正面的影響。綜合上述，五項低衝擊開發策略與暴雨管理效益的關係如下：

(一)各項策略的操作面積由多至少的為採用透水鋪面策略>綠屋頂策略>雨水花園策略>乾式滯洪池策略>透水鋪面草地型策略

(二)各項策略產生的減洪效果顯示，最多至最少的依序為採用綠屋頂策略效益>雨水花園策略>透水鋪面策略>乾式滯洪池策略>透水鋪面草地型策略

(三)在降溫程度推估顯示，只有採用綠屋頂策略和採用透水鋪面草地型策略兩項策略具降溫節電之效益，尤以採用綠屋頂策略的影響較高，降溫程度可使全市降溫 0.1409%，節電程度達全市節電 0.9159%。

(四)在景觀效益顯示，BAF 指數由高至低的為採用雨水花園策略效益>綠屋頂策略>透水鋪面草地型策略>乾式滯洪池策略>透水鋪面策略，但將 BAF 指數拆開依照五項策略分別計算，則各策略 BAF 皆無法達到德國柏林規定學校須達到 BAF=0.3 的要求，故檢視景觀效益 BAF 時，如須達到德國柏林對學校 BAF 的規定，至少需同時操作綠屋頂策略與雨水花園策略才能達到標準。

(五)雖然本研究未能依各國小基地的高程和排水系統做更詳細的連結，僅就其校園平面的面積粗估，已能獲得相當的減洪效果，若能因地制宜的景觀設計，應能獲得更佳的減洪效果。

(六)本研究僅針對低衝擊策略適用的平面面積設計，若能將校園內可進行建築立面綠化的面積合併考量，其所能獲得的降溫程度、節能效益和景觀效益必然更多。

第六章 結論與政策建議

本章首先對整個實證研究結果進行整合性的彙整，基於本文之實務模擬提出低衝擊開發策略應用於國小校園之暴雨管理的效益評估結論，並針對可行之政策與後續可進行之實務操作提出相關建議。

第一節 結論

藉由本研究實證模擬在全市公立國小校園全面導入低衝擊開發策略皆具對暴雨管理效益具有影響，其效益評估得知結論如下：

一、採用綠屋頂策略對暴雨管理效益最高

根據上述結果顯示，對提升減洪效果具較顯著影響為採用綠屋頂策略，對提升降溫程度具較顯著影響為採用綠屋頂策略，對提升景觀效益具顯著影響為採用雨水花園策略，綠屋頂策略次之，故首先採用綠屋頂策略對整體暴雨管理的效益最高。

二、低衝擊開發策略之材質規格越高則對暴雨管理效益越高

採用不同規格將會影響計算低衝擊開發策略的參數進而影響暴雨管理效益的結果，採用功能越高和材質較高的材質會獲得較高的效益，但相較起來所需經費亦較多，像是本研究模擬採行的綠屋頂策略中的蓄保水板厚度之參數採用 4cm 厚的規格，但如果採用目前最高規格為 9.5cm 厚，則對於減洪效果中的滯洪量和保水量將大幅提升。以及薄層綠屋頂的不同土壤厚度之參數，在模擬中採用 10cm 的土壤厚度，則只能操作草皮型的綠化植栽種類，如果提升土壤層厚度為 15cm、20cm 和 40cm，甚至 100cm，雖然以上將會增加施作成本，但選用的綠化植栽將可操作草花種類、灌木種類和小喬木種類等植栽，增加植栽的多樣性同時提升減洪效果中的保水量和景觀效益。

三、同時操作雨水花園策略和綠屋頂策略可達德國柏林對學校之 BAF 指標

根據模擬結果分析各項低衝擊開發策略景觀效益的生境品質評估指數，得知各項低衝擊開發策略的生境品質評估指數皆無法達到德國柏林對學校設定的 BAF 標準 0.3，但是同時採用綠屋頂策略和雨水花園策略，則可達到德國柏林對 BAF 數值作為確保都市環境的綠化水準及視覺品質，並

增加提供市民休閒娛樂的綠地機會水準的定義。

四、低衝擊開發策略之實施提升市民對環境素養

校園空間經由適當的維護管理和並符合《環境教育法》作為環境教育設施場所認證，可以提升視覺景觀品質、維持原先推估的暴雨管理效益，亦可以與學校課程結合作為校內環境教育的場所，如此更提升景觀效益的生境品質評估數值，同時可以與自然、社會科相關課程結合加強環境教育，增強師生對環境知識，促使建立積極正向的環境價值觀與態度，能提升其環境責任感，使其具有環境行動，終能成為具有環境素養的公民，並達成境教的教育效益。亦可獲得教育部所提供透水鋪面、雨水再生利用、多層生態綠化和生態景觀水池之相關補助和經濟部能源局的節電獎勵。

五、綠屋頂策略、透水鋪面策略和雨水花園策略維護管理費用相對較低

在維護管理的人力與經費方面，以透水鋪面草地型策略和乾式滯洪池策略草地維護費用較高，由於該策略操作整片草坪，故需要適時修整草坪的特殊維護人員與機械，而綠屋頂策略、透水鋪面策略和雨水花園策略屬於需要基本維護的操作即可，以免影響其原先推估暴雨管理效益的表現。

第二節 政策建議

就本研究之結果，提出對台中市未來可推行的暴雨管理政策，可依其效益試行下列項目：

一、建議將低衝擊開發策略推行於各級校園

由於以操作都市小區減洪為主要目標，故根據以上模擬得知，建議可以嘗試以上述五項低衝擊開發策略推行於各級校園中，以建立都市內分散式的小區，就源處理暴雨徑流，並以長期經營維護的方式達到對環境的改善，同時與環境教育做結合，作為境教之場所，提升人們對環境素養。

二、建議推行低衝擊開發策略施作項目可行優先順序之政策

如之後各學校因資金籌措不足，估根據上述各項暴雨管理效益分析和維護管理人力和經費的分析，建議欲導入五項低衝擊開發的步驟為先採用綠屋頂策略為執行低衝擊開發策略的首要施作項目，雨水花園策略次之，接下來是透水鋪面策略和乾式滯洪池策略，最後為透水鋪面草地型策略。

三、建議採用不同的參數操作後續研究

後續研究可朝向各校各項策略需要的資金，以及全市採用各項策略所需施工的估價因操作不同材料規格而操作不同參數的研究。

四、建議與現有排水系統結合操作後續研究

由於本研究尚未考慮各區域與國小連結的高程和排水系統，故在操作後續研究時，建議搭配各區域高程和排水系統狀況進行整合，則在減洪效果中可舒緩都市的暴雨洪水。

參考文獻

1. 內政部建築研究所(2014)。學校設置滯洪設施示範計畫(2/2)。台北市：內政部。
2. 內政部營建署(2014)。水環境低衝擊開發設施操作手冊編制與案例評估計畫，下載日期:2015.12.2，取自：
<http://wwwvideo.cpami.gov.tw/video/filesys/file/chinese/link/nup1031114-2.pdf>
3. 內政部建築研究所(2015)。屋頂綠化技術手冊。台北市：內政部。
4. 周宜庭(2000)。國民小學學區劃分之研究-以台中市為例。朝陽科技大學建築及都市研究所碩士論文。朝陽科技大學，台中市。
5. 林泉宏(2010)。綜合大學永續性指標之建立。國立交通大學工學院永續，環境科技組，新竹。
6. 林憲德(1999)。城鄉生態。台北市。
7. 邱薇之(2011)。台中都會公園之永續景觀管理—生境面積因子方法應用，私立東海大學碩士論文，台中市。
8. 張登勝(2013)。暴雨管理與排水系統之整合分析，國立成功大學土木工程研究所碩士論文。國立成功大學，台南市。
9. 陳瑞文、吳銘志(2006)。結構性透水鋪面與永續地下水資源及生態環境保育。綠營建、綠建築、綠建材透水性鋪面研討會專輯，臺北市。
10. 陳淡容、鄭兆尊、許晃雄、陳正達(2014)。氣候變遷情境下 AGCM 模擬之颱風特徵。國家災害防救科技中心、中央研究院環境變遷研究中心、國立臺灣師範大學地球科學系，台北市。
11. 黃書禮(1984)。整合土地使用規劃與都市雨水管理方法之探討。都市與計劃，11卷。
12. 劉建、佘年(2009)。利用低衝擊開發技術解決城市發展中帶來的洪澇、面源污染和乾旱問題。第十三屆海峽兩岸水利科技交流研討會，台中市。
13. 盧孟明、卓盈旻、曾于恆、徐堂家、李清勝、李昀靜、李思瑩(2011)。台灣地區氣候變遷。台灣氣候變遷科學報告。187-213。
14. 簡玲雅、劉東啟(2007)。台中市綠覆地之現況與影響要因之研究。興大園藝，32(4)，101-114。

15. 內政部營建署(2012)。建築基地保水設計技術規範。台北市:內政部。
16. 行政院環境保護署(2013)。降雨逕流非點源污染最佳管理技術(BMPs)手冊。台北市:環境保護署。
17. Department of Environmental Resources Programs and Planning Division (1999). Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach. Prince George's County, Maryland.
18. Hirst, J. (2008). Function Landscapes: Assessing Elements of Seattle Green Factor. Retrieved December 21, 2009, from http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021359.pdf
19. The U.S. Department of Defense (USDOD)(2004). Unified Facilities Criteria (UFC), Design: Low Impact Development Manual, United States of America.