

道路導排、削減雨峰和貯留滂淹策略減輕都市內滂淹水之定量評估

李天浩¹ 任文瑋¹ 黃貫鈞¹

國立台灣大學土木工程學系¹

摘要

本研究係利用 SWMM 模式模擬都市淹水情況，在配置道路導排以及雨水貯集滯洪設施之設置進行都市淹水之評估，且貯集滯洪設施之設計亦有針對台灣地區需求而設計不同之入流門檻值，以達削減洪峰之目的。針對台灣建築技術規則建築設計施工編增訂 4-3 之規定最小貯留量 0.045m³/m² 下，搭配上中下游地區不同之入流門檻以設計出對於都市最安全之情況，在雨水下水道滿管情況下，進入路面淹水時道路導排功能開始發揮，其淹水水量是否進入貯集滯洪設施則視該區域之入流門檻值決定之，上游地區(未必是高地)著重削減洪峰，下游地區則毋須削減洪峰而是降低入流門檻，著重在使淹水不侵入建築物為主。

關鍵詞：削減雨峰、貯留滂淹、內水淹水、貯集滯洪、入滲保水

一、前言

臺灣都市內水淹水，過去認為是超過保護標準的天災而被接受，近年因為發生頻率偏高，生活品質提升或水淹進屋內導致民怨，乃受到更多重視。常見的因應策略包括：透水、入滲保水的「低衝擊開發」或「海綿城市」等；臺北市政府提出「上游保水、中游減洪、下游防洪」的「流域總合治水」策略；內政部修正「建築技術規則」，要求設置「雨水貯集滯洪設施」的設計容量不得低於建築基地面積乘以 0.045(立方公尺/平方公尺)；水利署也提出「逕流分擔、出流管制」政策等。但是尚未見到這些策略的實作技術、區域模擬、定量分析或效益評估，乃致於討論失焦、莫衷一是。

以臺北盆地為例，本研究的關鍵認知和防滂觀點包括：1.都市地小、雨強量大，「雨水貯集滯洪設施」、可以「分擔逕流」的體積有限，所以不能「雨來就收」，只能在很可能淹水時，用上游的滯洪體積來削減降雨逕流峰值，用下游和局部低點等易淹水地區的滯洪體積，來滯蓄淹水。2.透水、入滲、雨水利用等都是無控制的「雨來就收」手段，對於雨強量大的臺灣降雨，和地下水位很高的臺北盆地，通常沒有削減降雨逕流

峰值的功能，不適合臺灣作為減少淹水、分擔逕流的手段。3.都市淹水無法避免，衝擊太大、市民不能接受的是：深度及腰的道路淹水，和淹水進入建築物或地下空間；衝擊低、可以接受的是：半個輪胎高的道路淹水，並且不進入建築物和地下空間的淹水。

暴雨逕流導致都市內水淹水的四種主要型態：1.在暴雨中心，降雨逕流強度超過排水系統設計標準的「源頭淹水」。2.上游暴雨逕流在匯流往下游時，下水道滿管溢出至道路表面，並沿道路流往下游的「流經淹水」。3.下水道滿管溢出至道路表面，滯留在道路局部低點的「局部滂淹」。4.因為外水高漲，在排水系統下游低地或易淹水地區無法即時排出的「迴水淹水」。

本研究以針對導致都市淹水四種型態提出解決對策，惟不考慮外水對於都市淹水之影響，即針對降雨於都市內所致淹水情況，而都市淹水問題等以及相關對應策略參考李天浩.(2015)氣候變遷下的都市水災防治策略(上)、(下)。

二、研究方法

本研究以 SWMM 模式，定量模擬臺北市東區的玉成、南京、民生、撫遠等四個抽水站的集水區，評估兩個都市淹水削減策略的效益：1.道路導排策略：修改道路斷面和坡度，除了去除局部低點外，也使道路具備將「局部滂淹」「導排」至下游的能力，或將「源頭淹水」和「流經淹水」導排至其他排水系統，以多排水系統共同分擔的方式，降低淹水深度。2.評估利用上游、中游的「雨水貯集滯洪設施」削減降雨逕流峰值；並在下游和易積水地區，透過特殊設計避免「雨來就裝」，滯洪體積只用來蓄存超過門檻值的滂淹。

評估實驗分為四部分，分別為：1.控制組—使用下水道和市街現況模擬；2.對照組 A—增加「道路導排」策略的模擬；3.對照組 B—同時增加「道路導排」和台北市所規範之門檻值的「貯集滯洪設施」；4.對照組 C—同時增加「道路導排」和上游減峰、下游滯洪策略之「貯集滯洪設施」的模擬，即不同區域以不同門檻值評估，且由於通常可使用空間有限，最有效解決淹水則應採取減峰，如圖 1 所示。輸入 5 年、25 年和 200 年重現期的長、短延時設計降雨，探討兩個對照組淹水點數量和淹水深度。

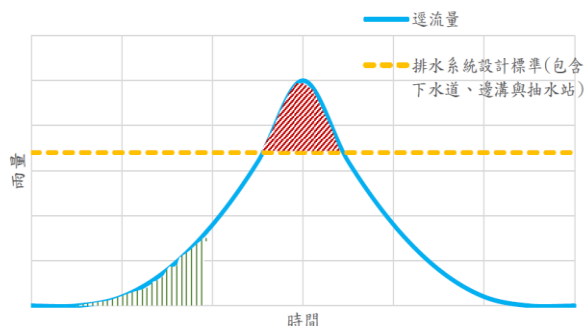


圖 1 削減雨鋒示意圖

模擬方法以 SWMM 模式模擬之，其中「對照組 A」以道路導排做為淹水管理策略，其方法為將地區之地表高程拉平，以去除路段或區域之相對低窪處，目的為減緩局部排水不良所致「局部滂淹」，並因將道路高程拉平故蓄淹於該處之水量可延道路導排至其他無淹水區域或是導入抽水站，如此雖會有淹水情況，但可消除「局部滂淹」之淹水深度較高之情況。

「對照組 B」部分採用「道路導排」以及「貯集滯洪設施」，其門檻值在研究區域內皆採用台北市規

範 62.28mm/hr，門檻值乃對於淹水深度高於一定接受深度(半個輪胎高)後即進入貯集滯洪設施，其中關於。

「對照組 C」部分與「對照組 B」大致相同，唯研究區域內門檻值有所不同，並將模擬區域以淹水程度分為上、中、下游，越下游越易淹水，並不一定與其地區之高程相關，參考台北市之「流域總合治水」之「上游保水、中游減洪、下游防洪」策略，將上游部分以相對較高之門檻值作為減峰目的，中游部分相對兼具減峰以及貯集路面淹水，下游部分則考量已無更下游地區，故無需考慮減峰，降低門檻值已盡量貯集路面淹水為目的。

(一)道路導排

允許水量暫時蓄積在道路，並沿著道路坡度流至下一個排水口，要避免地勢低窪之「局部滂淹」，故將路面高程以內插方式拉平之。

道路高程以人孔蓋高程作為依據，而道路導排分為兩部分，一種是以道路自身斜率以進行明渠流輸導水的作用，其二是面對實際上難以調整道路高程路時，進而以邊溝等設施作為疏導設施，個邊溝自身乃為一封閉迴路，假使設計箱涵管線將各個邊溝串連，則可以達成輸導水之目的。

(二)貯集滯洪設施

貯集滯洪設施主要設置於建築物地基部分如圖 2 所示，其功能乃在於雨水下水道以及道路所能容納之水量超載時，進一步提供儲水空間，關於貯集滯洪設施之法律規範，依據內政部營建署「建築技術規則建築設計施工編增訂第 4 條之 3」中規定建築基地之最小貯留量為 $0.045\text{m}^3/\text{m}^2$ ，在本研究區域中為台北市，故以台北市規定之 $0.078\text{m}^3/\text{m}^2$ 做為模擬評估時貯集滯洪設施單位體積之量，又台北市規定之單位面積出流量為 $0.0000173\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ，經由單位換算可以得出現行法規容許單位面積出流量為 62.28mm/hr，但目前法規部分並無針對區域性而有所不同，也就是僅以建築單位為規範目標，即以該值作為貯留滯洪設施之門檻值。

貯集滯洪設施在於儲存水量，其中包括道路淹水以及儲存雨水，上游地區即如前述，故以貯集雨水為主要，下游地區則主要以存取地面淹水為目的。

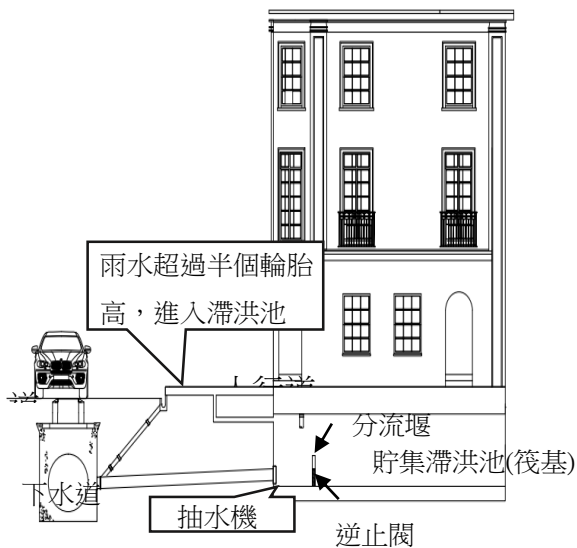


圖 2 貯集滯洪設施設置示意圖

(三)設計降雨事件

設計降雨部分因應台北市需求，模擬在不同降雨強度下其淹水情況，而台北市雨水下水道系統為 5 年重現期降雨量，捷運系統以及周圍堤防則以 200 年重現期設計之，故本研究參考現有之兩種不同標準下加入中間值 25 年，則以三種不同重現期作為設計降雨事件，其分別為 5、25、200 年重現期，且設計不同降雨延時以探討延時對於淹水情況影響，故根據都市地區降雨延時定義選定 90 分鐘為短延時降雨，720 分鐘 (12 小時) 為長延時降雨。

降雨強度部分以 Horner 公式計算之，參照「水文設計應用手冊」(經濟部水資源局，民 90 年)中回歸 Horner 係數台北站，以應用於本模擬評估。Horner 降雨強度公式： $I_t = \frac{a}{(t + b)^c}$ ； I_t 為平均降雨強度(mm/hr)。

	5 年	25 年	200 年
a	1369.49	3329.11	27384.4
b	20.26	60.04	224.58
c	0.6878	0.7488	0.9603

表 1 Horner 公式係數

(四)有效降雨以及率定

本研究率定 SWMM 模是參數時，考慮運動波模式、道路與下水道模組等曼寧粗糙度係數，以及 SCS 法計算降雨損失之 CN 值。

研究區域內土地利用大致分為五類，山區(CN：72)、公園等遊憩地區(CN：88)、交通與其他土地利用(CN：90)、建築物不密集處(CN：93)、建築物密集處(CN：98)，為對於實際降雨事件影響，其 CN 值須以該地區實際案例率定之。

其率定時以實際降雨事件作為率定準則，由於土地利用不同以及土地 CN 值亦會隨著降雨事件前後而有所不同，因此用以 6/12、6/13 以及 6/14 日之降雨事件所對應之抽水站前池水位做為實際有效降雨量，其中 6/14 的 CN 值會相對提高，乃為受 6/13 降雨量影響其土壤含水量所致，其中調整 CN 值的方法為 SCS 法根據土壤臨前含水量調整之原理，採取李天浩教授提供演算式。

$$CN(*) = \frac{(10 + 100K) \cdot CN(II)}{10 + K \cdot CN(II)}$$

並且調整 K 值使模擬之水位歷線最接近實際觀測之水位歷線，率定結果如表 2 所示。

	6/13 日	6/14 日
觀測有效降雨	243.36	434.06
模擬有效降雨	250.67	442.34
誤差(%)	3	1.9

表 2 觀測與模擬之有效降雨比較

三、模擬結果

在於「對照組 A」中僅以道路導排方式紓解都市淹水情況，對應三種不同重現期設計降雨事件且不同延時，其對於淹水的情況其並不會減少淹水量，但對於「局部澇淹」之情況確有削減之情況，該類情況尤其對於低重現期降雨事件顯著，且同時短延時之降雨事件積淹的情況亦是會改善，局部淹水深度高的情況減少，將水量疏導至其他路段，以解決「局部澇淹」在部分地區相對嚴重之情況，在此呈現相對易造成損失之長延時結果如表 3 所示。

		5 年	25 年	200 年
原始	總個數	432	1078	1366
	最大深度	1.898	2.751	3.144
對照組 A	總個數	322	1138	1376
	對大深度	0.487	1.244	1.902

表 3 對照組 A 與原始路面淹水差異

「對照組 B」採用道路導排以及貯集滯洪設施作為淹水管理之策略，以同樣的三種設計降雨事件做為模擬之，其門檻值以台北市「雨水出流抑制標準」，故而採用 62.28mm/hr 做為模擬門檻，且考量法規建築基地貯集滯洪設施之標準 0.078m³/m² 作為貯留空間，而研究區域內上、中、下游地區皆以 10% 之公共用地可供施作貯集滯洪設施，加入貯集滯洪設施之主要目的為削減洪峰流量，並且可更有效處理高重現期或是長延時之降雨事件，進而評估該條件下是否能有效利用這些滯洪空間，加入貯集滯洪設施後，其淹水程度以及次數以長延時降雨表示如表 4，區域內貯集滯洪設施上、中、下游地區使用程度如表 5 所示，且於 200 年重現期時，加入短延時比較之。

		5 年	25 年	200 年
對照組 A	總個數	322	1138	1376
	最大深度	0.487	1.244	1.902
對照組 B	總個數	89	649	1152
	對大深度	0.204	0.643	1.47

表 4 觀測與模擬之有效降雨比較

		上游	中游	下游
5 年	道路淹水	0	6.36	65
	貯集雨水	13	13	13
25 年	道路淹水	14.15	43.24	47
	貯集雨水	31	31	31

200 年 (短)	道路淹水	10.6	16	16
	貯集雨水	68	68	68
200 年 (長)	道路淹水	9.74	10	10
	貯集雨水	68	68	68

表 5 觀測與模擬之有效降雨比較

在「對照組 B」中之上、中、下游地區皆採用相同門檻值，由模擬結果可以看出在短重現期(5 年以即 25 年)的中游地區之貯集滯洪設施的使用比例並不好，此乃為門檻值太高所導致，基於各分區不同的需求，設計不同入流門檻，是為設計「對照組 C」之目的，上游地區主要以「削減洪峰」，中游地區以更包含「容納道路淹水」，因此提升中游地區貯集空間使用率為目標，下游地區由於無須削減洪峰，主要以收集道路淹水，盡量減輕淹水深度，因此不予設置門檻值。

經模擬「對照組 C」後，入流門檻值調整為：上游地區門檻值降低成 30mm/hr/m²，中游地區門檻值調整為 50mm/hr/m²，下游地區則無，並模擬相對常發生之 5 年重現期以及 25 年重現期降雨，並且由於可能僅 10% 施作面積影響成效，因此加入 50% 以及 100% 施作面積作為比較如表 6 所示。

項目\降雨		5 年長延時	25 年長延時
對照組 B(法規門檻值)			
對照組 B (10%)	總個數	89	649
	最大深度	0.204	0.643
對照組 B (50%)	總個數	51	573
	最大深度	0.108	0.465
對照組 B (100%)	總個數	38	466
	最大深度	0.08	0.334
對照組 C(門檻值調整後)			
對照組 B (10%)	總個數	89	633
	最大深度	0.203	0.635
對照組 B (50%)	總個數	40	442
	最大深度	0.085	0.363

對照組 B	總個數	14	197
(100%)	最大深度	0.046	0.2

表 6 對照組 C 與對照組 B 之比較

四、總結

都市現有排水系統僅考慮下水道與抽水站的排水能力，本研究透過模擬臺北市玉成等排水分區，評估坡度、高程調整後增加道路排水能力，《臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準》規範每平方公尺最大允許排放降雨強度為 62.28mm/hr 雨水流出抑制設施標準策略的效益，且設計利用剩餘容量容納道路淹水；根據雨水貯集滯洪設施使用率調整排水分區上、中、下游流出抑制標準，以及建築基地符合「排入雨水下水道逕流量標準」的面積達成率等，評估多重淹水管理策略的淹水減輕效果。

因為道路坡度調整，上、中、下游流出抑制標準僅測試案例、並未優化，故僅以原則性方式總結分析的發現，和模擬證實的觀點。

(一)結論

1. 臺北市現有道路並不兼具導排淹水的設計考量，許多路段的坡度不平整、存在局部最低點，在發生排水不良、下水道滿管冒水時，淹水深度會超過半個輪胎高，嚴重影響交通。以輔助下水道排水、減少淹水衝擊為目標，調整道路坡度、高程後，增加的道路排水能力，可以大幅降低局部淹水深度和體積，為各種調適策略中最有效者，且可由臺北市政府直接規劃執行，建議最優先採用。
2. 臺灣土地稀貴，購地興建單目標滯洪池，相對於暴雨，量體小、成本高昂。若不搭配道路導排，淹水必須先達到超越出口處的路面高程才會流出，若在局部低點設置滯洪池，以不淹出路面為目標，在下水道即將滿管時導入，則設施量體需求規模會大到財物不可行。
3. 《臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準》規範要求貯集滯洪設施，若能均勻分布、達到 10%建築面積完成度，採用 62.28mm/hr 「雨水流出抑制標準」設計分流池，並採用「可透淹水、不透雨水」的人行道鋪面「容納超標道路淹水」。

則搭配道路導排的貯集滯洪設施體積，便可達到 25 年重現期短延時降雨不淹水（道路導排水深不計入淹水深度）的目標。

4. 採用道路導排和 62.28mm/hr「雨水流出抑制標準」的模擬，發現排水分區中上游仍有部分「貯集滯洪設施」體積並未使用。於是針對 25 年重現期長延時設計暴雨，將排水分區上游、中游的「雨水流出抑制標準」分別降低為 30mm/hr 和 50mm/hr，下游地區不設「雨水流出抑制標準」，僅透過人行道鋪面磚「容納超標道路淹水」，採用均勻分布、10%建築面積達成率的模擬發現，上游、中游的貯集滯洪設施使用率也都可提升至 97%以上，但是淹水深度和淹水體積變化並不大。原因估計是全排水分區採用相同的設計暴雨歷線，削減雨峰後的中上游逕流峰值抵達下游易淹水地區的時間，和下游降雨—逕流峰值發生時間並不同步；上游、中游採用不同「雨水流出抑制標準」，對於兩逕流峰值同時抵達易淹水地區的真实降雨事件，才會發生比較顯著的淹水減輕效果。
5. 本研究也模擬了均勻分布，50%和 100%建築面積達成《臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準》的比率，在 200 年重現期短延時、長延時設計暴雨條件下的淹水減輕效果。雖然 50%和 100%建築面積達成率不容易在短期內達到，但客觀數據可提供政策分析，或選擇公有土地優先設置滯洪池參考。

(二)未來方向

1. 本研究主要在測試道路導排的可行性，非專注於道路斷面設計，使導排功能最大化，也未考慮發生下水道滿管，使道路導排水深對於交通影響最小化，這是未來應該要優先評估的項目。
2. 本研究使用的四個排水分區中，玉成抽水站為臺北市面積最大的排水系統，其他三個南京、松山與撫遠面積都很小，無法達到彼此相互支援的目標。台北市的主要排水系統，多是由南往北排，但道路輸水方向是由道路高程、坡度決定。若是利用多條東西向道路，設計以南北交錯方式，往本系統東西兩側排水系統導排，有機會達成排水系統之間相互支援的效益。
3. 貯集滯洪設施方面對於「削減降雨尖峰子策略」，本研究使用 SWMM 模組外的程式語言處理，未

來可利用 SWMM 內部元件模擬包含「削減降雨尖峰子策略」與「容納超標淹水子策略」兩項策略的貯集滯洪設施。

五、參考文獻

- American Association of State Highway, & Transportation Officials. Subcommittee on Bridges. (2007). AASHTO Load and Resistance Factor Design Movable Highway Bridge Design Specifications. AASHTO.
- Atelier Dreiseitl. (2013). Copenhagen strategic flood masterplan
- Borghei, S. M., Jalili, M. R., & Ghodsian, M. A. S. O. U. D. (1999). Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. Journal of Hydraulic Engineering, 125(10), 1051-1056.
- Carr, R. W. (2001). Micromanagement of Stormwater for Wet Weather Control. Proceedings of the Water Environment Federation, 2001(2), 593-606.
- Clark County Regional Flood Control District, (1991). "Hydrologic Criteria and Drainage Design Manual", Las Vegas, Nevada.
- City and County of Denver, (1968). "Storm Water Design Criteria Manual," Vol 1 and 2, Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado
- Donohue & Associates, (1982).Preliminary Engineering: Runoff Control Program - Howard Street Sewer District - Village of Skokie, IL, Summary Volume, July
- Guo, J. C. (2000). Street storm water conveyance capacity. Journal of irrigation and drainage engineering, 126(2), 119-123.
- Guo, J. C. (2000). Design of grate inlets with a clogging factor. Advances in Environmental Research, 4(3), 181-186.
- Guo, J. C., Urbonas, B., & MacKenzie, K. (2013). Water quality capture volume for storm water BMP and LID designs. Journal of Hydrologic engineering, 19(4), 682-686.
- Guo, J. C. (2011). Off-stream detention design for storm-water management. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(4), 371-376.
- Guo, J. C. (2014). Green Concept in Storm Water Management. Irrigation & Drainage
- 經濟部水資源局.(2001)水文設計應用手冊.
- 內政部營建署.(2009)市區道路及附屬工程設計規範.
- 內政部營建署.(2012)建築物雨水貯留利用設計技術規範
- 內政部建築研究所.(2012)社區及建築基地減洪防規劃手冊研擬
- 臺北市.(2013)臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準
- 陳永明.(2009)台灣極端降雨颱風變異趨勢分析.國家災害防救科技中心
- 黃悅瑩.(2015)都市雨水貯集滯洪設施容量差別應用效益分析.國立台灣大學
- 李天浩.(2015)氣候變遷下的都市水災防治策略(上)、(下).風險社會與政策研究中心