複合型都市排水系統模式建置說明書(V2.6)

一、 前言

營建署委託辦理各地雨水下水道系統(檢討)規劃案。考量各案件所建置之都市排水系統水理模式，係為後續各都市計畫區下水道改善工程及防災示警基礎，為確保各檢討規劃案成果品質，請各案件執行單位提送相關成果資料，由營建署進行水理模式檢核分析，以確認所建立模式之正確性。為使各案件執行機關及單位瞭解複合型(街道/下水道)都市排水系統之建置，本說明文件乃針對複合型(街道/下水道)都市排水系統、建置範圍及原則、模式建置作業說明、成果繳交、檢核行政流程，以及水理檢核內容等項目進行說明，以利各單位相互配合辦理。

二、 複合型都市排水系統

依據營建署「雨水下水道系統規劃原則檢討」，水力計算原則需採用 SWMM 套裝軟體予以演算，而以往應用 SWMM 進行雨水下水道模擬時，只考慮下水道水流傳輸(如圖 1 左上所示)，當超過下水道設計流量，而產生人孔溢流時，若 SWMM 模式中節點設定為允許溢淹，則溢淹流量只能貯存於節點之虛擬貯留空間內，待下水道水位下降後，溢淹水體方回流至下水道中。然而，若節點溢淹設定為關閉，則溢流水量將消失於此系統中，不再回流至下水道系統。而真實情況下，當發生人孔溢淹時，溢流水量會以街道做為渠道，沿著街道漫流；且都市集水區通常會匯集水量至側溝中，若因側溝排水不足以疏排瞬間暴雨，亦將造成溢淹情況，此部分亦無法僅以單純的雨水下水道模式模擬之。

複合型(街道/下水道)都市排水系統應包含雨水下水道系統、街道水流系統(含街道斷面及側溝)、區域排水系統、水工構造物等水利設施。該系統(如圖 1 右側)可同時計算下水道與街道之降雨逕流過程，藉由人孔節點在下水道系統與街道系統之間進行水流交換。街道系統之水流可以藉由路邊溝或人孔進入下水道系統；反之，下水道系統之水流亦可藉由路邊溝或人孔流到街道系統。其中街道水流可視為明渠水流，可應用動力波進行一維渠道水理演算，以此模擬人孔或側溝溢淹後水流漫流情況，可真實掌握都市逕流特性。

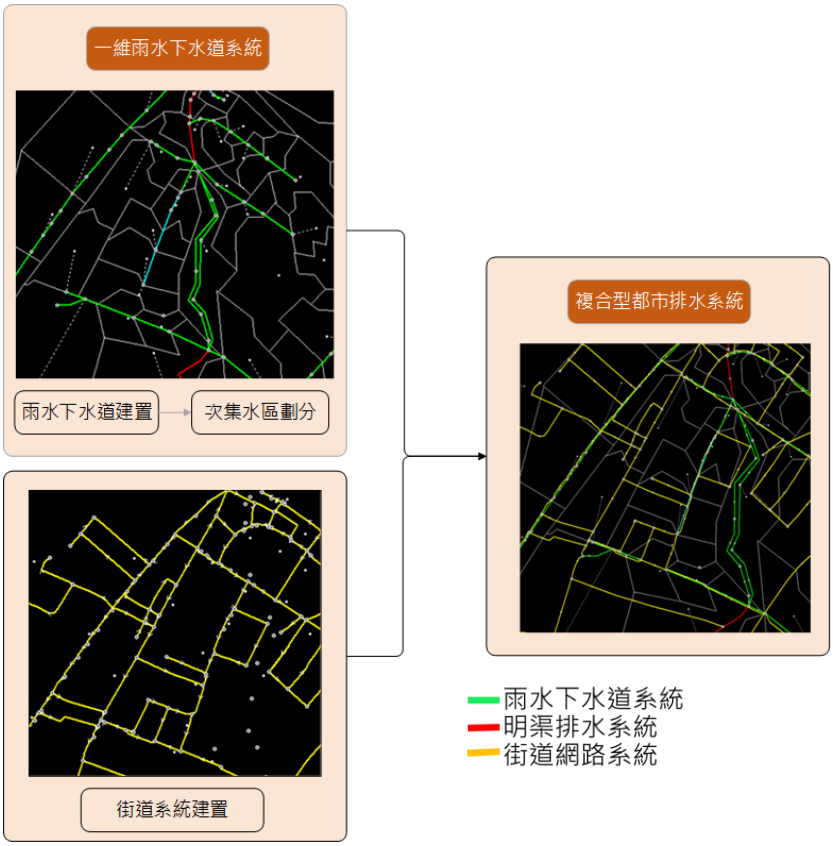


圖 1 複合型(街道/下水道)都市排水系統示意圖

三、 建置範圍及原則

1. 都市計畫區內 4 m 以上道路，如有下列任一情況，則需建置街道水流系統。
   (1) 與雨水下水道相連結之路段
   (2) 設有側溝之路段
   (3) 曾經發生淹水之區域

2. 而若上開範圍內有下列情況，則可考慮無須建置街道斷面，但仍需建置側溝排水系統。
   (1) 道路緊鄰大面積低窪地(如農地、養殖池等)
   (2) 該路段街道坡度達 5 %以上(特別指定需進行分析之地區除外)
   (3) 上述(1)及(2)項路段若其上游有街道水流匯入者，則仍需建置該路段之街道水流系統

3. 街道需連續建置，且與周邊街道正確連接，以合理反應水流傳遞情況。

四、 模式建置作業說明

複合型(街道/下水道)都市排水系統之建置方法，可參考 EPA SWMM 網站中 SWMM Applications Manual 應用手冊範例 7 及 SWMM 相關操作手冊，其中並包含官方範例檔案，可供使用者下載實作。另臺灣雨水下水道系統模式建置應參酌營建署「雨水下水道系統規劃原則檢討」、「雨水下水道設計指南」及署內相關規定。而本說明文件乃針對複合型(街道/下水道)都市排水系統 SWMM 建置作業，提出模式建置說明、注意事項以及相關建議。

1. 模擬雨型

可依據營建署「雨水下水道系統原則檢討」第三章水文分析原則進行雨型設計。此外，SWMM 模擬應符合現況排水真實情況，並在確認模式之正確性後，才可據以進行改善方案之模擬分析。因此，應以已施設管線及測量成果所建置之模型，針對現況實際淹水或暴雨場次進行模擬說明，以檢視模式是否可正確反映計畫區水理情況之依據。

2. 雨水下水道系統

依據現況排水調查及測量成果，針對已施設管線及水工構造物，建立實際現況排水系統，藉此進行實際降雨場次之水理演算，以確認各執行單位所建置 SWMM 模式是否可符合計畫區實際水流傳輸情況。圖 2 為下水道系統示意圖；在 SWMM 模式中，人孔係以節點(Node)中之連接點(Junction)進行設置，此時連接點之底部高程(Invert El.)應設定為人孔底部高程，節點最大深度(Max. Depth)則為人孔底部至地表之深度。任兩人孔間之連結箱涵，則以 SWMM 模式管道(Links)中之管渠(Conduits)進行設置，並依測量成果設定管渠與其連接節點之上游管渠垂直偏移量(Inlet Offset)及下游管渠垂直偏移量(Outlet Offset)，此即為一般雨水下水道系統之基本建置。

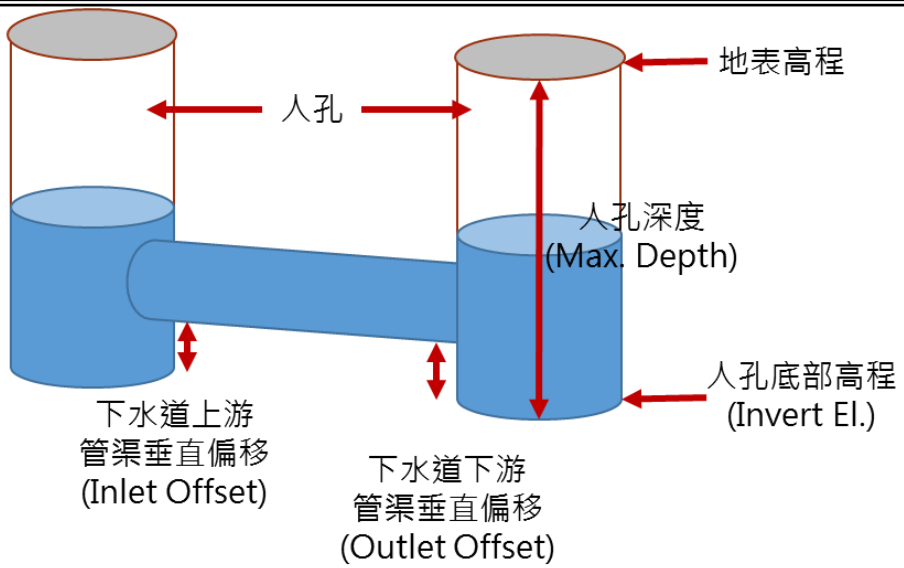


圖 2 雨水下水道系統示意圖

3. 街道水流系統(含街道斷面及側溝)

如圖 3 黃線標示範圍，街道斷面應包含街道及側溝。而若街道所相鄰之人行空間範圍或空置地，其所占空間比例甚大而影響模擬結果時(如圖 4)，宜將其納入街道斷面之建置範圍。而上述建置完畢之街道斷面兩側邊界高程建議向外延伸拉高(水平 10 m，垂直 3 m)，以確保當水溢淹至邊界頂端時，仍有足夠之通水斷面進行下游水量傳輸。街道斷面可應用 SWMM 中管渠之斷面編輯器，以不規則斷面(irregular)進行建置。

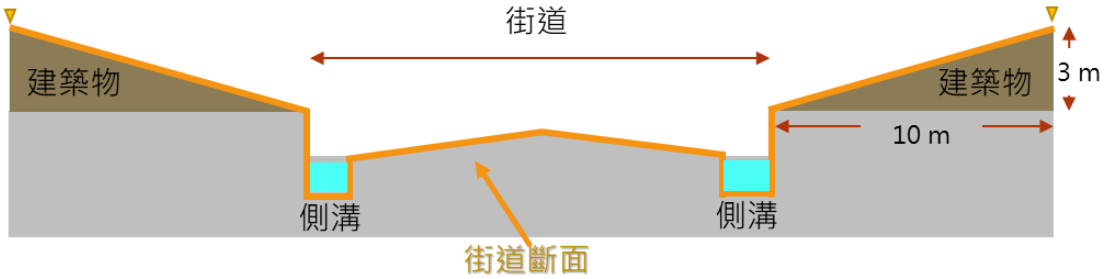


圖 3 街道斷面示意圖

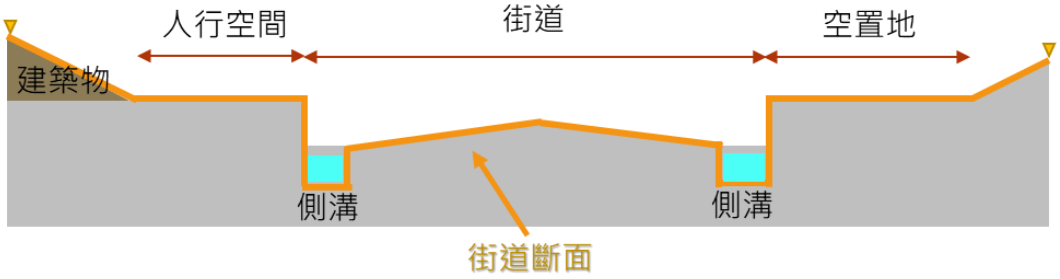


圖 4 街道斷面示意圖(含人行空間或空置地)

而若側溝與街道斷面之縱向坡降相反，或側溝與街道坡降差異過大時，則建議側溝系統可用箱涵建置獨立系統，而街道部分則以明渠水流系統建置(如圖 5(b)所示)，並於 SWMM 模式中之節點分別設定此兩排水系統之連結，即可模擬街道水流情況。惟需特別注意，利用圖 5(b)設定方法進行水流模擬時，於歷線退水段可能造成數值上的模擬誤差，建議僅於特殊情況下使用。

(a) 標準街道斷面

(b) 道路縱向坡降與路側溝相反或差異過大時之建議設定方法

圖 5 街道斷面示意圖

此外，於街道交叉路口、街道寬度變化處，應設置街道節點(Node)。圖 6 為街道節點設定範例，若街道斷面採用圖 5(a)之標準斷面建置時，街道節點之底部高程應設定為側溝底部高程，而非街道高程。

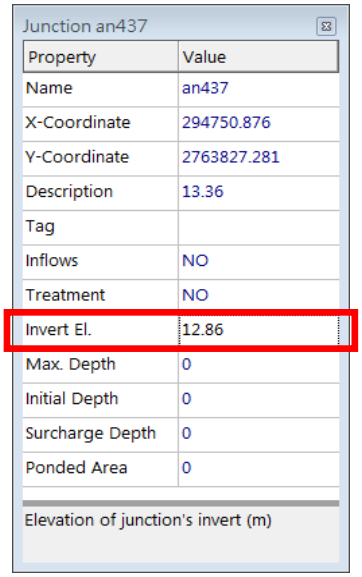


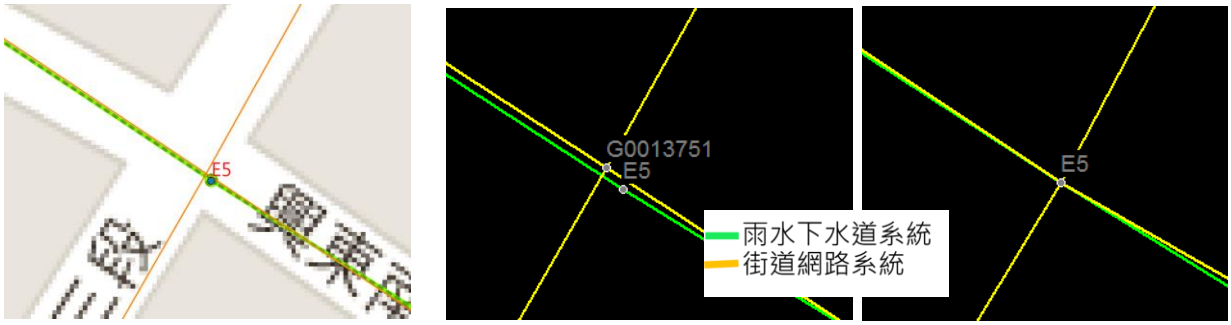
圖 6 街道節點高程設定

4. 街道系統與雨水下水道系統之連結

在分別建置下水道系統與街道水流系統後，即可進行二系統之連結。連結方法包含(1)平面節點整合，以及(2)縱向管渠調整。茲說明如下。

(1) 平面節點整合

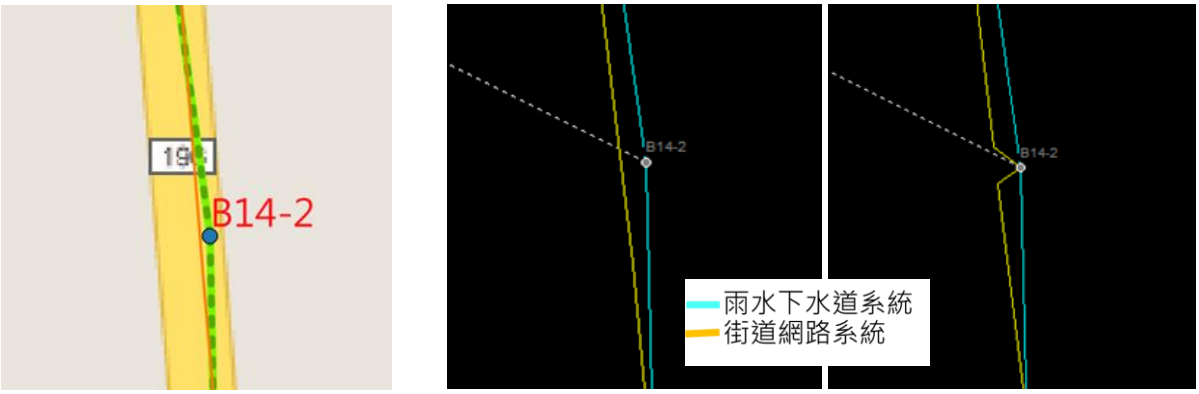
如圖 7(a)所示，當下水道系統之人孔位置位於路口，而與街道之連接點位置相近時，應合併人孔連接點與街道連接點。可將圖 7(b)中街道連接至人孔 E-5 後，再移除街道連接點。合併後之模型設置情況如圖 7(c)所示。



(a) (b) (c)

圖 7 街道節點與人孔整合

如圖 8(a)所示，若街道附近有下水道人孔節點，應將圖 8(b)之街道依人孔位置分為兩段街道管渠後，再將街道與人孔 B14-2 相接(如圖 8(c)所示)。



(a) (b) (c)

圖 8 街道管渠劃分與人孔連接

(2) 縱向管渠調整

當平面節點整合後，應重新設定街道上游垂直偏移量及下游垂直偏移量，其設定深度應為人孔深度扣除側溝深度(如圖 9 所示)。

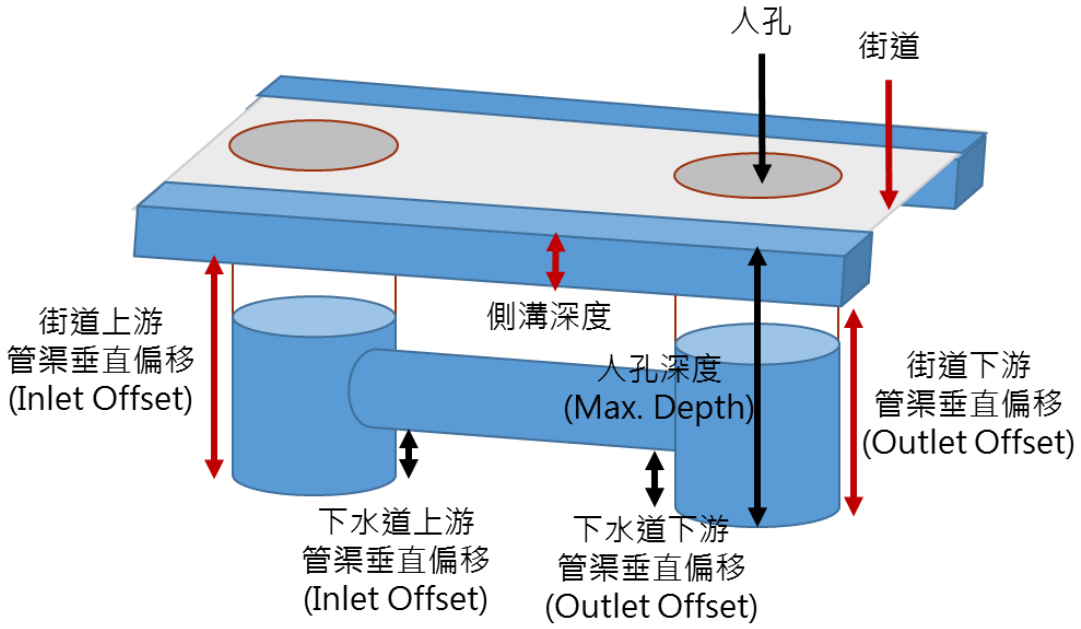


圖 9 街道系統與下水道系統連結

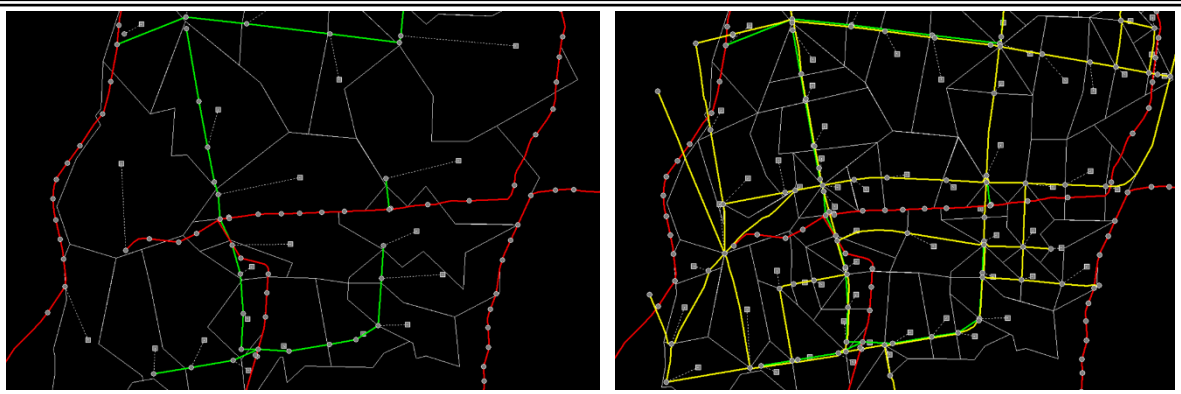
位於下水道管路分岔處之虛擬人孔，因無街道水流交換之情形**請勿與街道節點進行整合**。此外，虛擬人孔之 Surcharge Depth 設定，應為該節點之底部高程(Invert El.)至地表高程之距離，再增加 2 m 之深度，以維持模式計算之正確性。[Surcharge Depth (m)= 地表高程 - Invert El. + 2]

5. 排水分區集水面積劃分

集水面積之劃分，應以「雨水下水道系統規劃原則檢討」之方式為原則，惟以往於 SWMM 之設定中，集水面積之劃分時常見一區塊內含有多點人孔，但是集水區之出流量卻集中於區內其中一人孔(如圖 10(a)所示)，致使單點流量過大，可能造成系統模擬無法確實掌握實際逕流特性。建議於次集水區劃分時，除了下水道人孔之外，應另將街道節點納入(如圖 10(b)所示)，並使各節點均可收集兩側次集水區之集水量。此外，若街道兩側有空地、窪陷區域或儲流池等設施，應考慮設置貯水設施(storage unit)，並與附近節點連接，以模擬發生溢淹時水於地表積淹之情況。

6. 排水分區參數設定

排水分區之模式參數設定，於 SWMM 之使用者操作手冊內均有詳細說明與建議，茲列出常用參數設定參考資料來源，設定方法請直接參考官方資料。



(a)集水面積流入區內單一節點　　(b)各節點均有集水面積流入

圖 10 排水分區集水面積之劃分

- 入滲：SWMM 5.1 User's Manual, C.8 Infiltration Editor
- 逕流係數：SWMM 不需特別設定，但執行曼寧公式計算時，可參考營建署「雨水下水道系統規劃原則檢討」表 3-11 各土地使用分區逕流係數參考表。
- 不透水面積百分比：可參考「台北市雨水下水道規劃手冊」P4-10 表 4-1，「雨水下水道設計指南」PI-28 或 Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology 3.8.3 Imperviousness, 或 SWMM Applications Manual, Imperviousness。
- 窪蓄深度：SWMM 5.1 User's Manual, A.5 Depression Storage.
- 集水區寬度計算：Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology 3.8.4 Subcatchment Width.

7. 系統邊界條件設定

執行重現期設計雨型之模擬時，系統之上、下游邊界條件，應以「雨水下水道系統規劃原則檢討」進行設定；而進行實際淹水或暴雨場次之模擬時，若該系統之上下游邊界條件為實測紀錄資料時，應具體收集作為模式輸入，若無實測資料亦應以其他水文或水理方式推得之逕流歷線進行邊界條件設定(下游邊界條件設定原則詳如附件所示)。此外，若雨水下水道系統會與鄰近之區域排水、灌溉排水系統、一般明溝進行系統連結，則上述明渠水流亦需完整建置於複合型(街道/下水道)都市排水系統模式中。

五、 其他作業規定

目前國內使用於下水道動態水理模擬之 SWMM 軟體多達 9 種(計算核心均採用不同版本 EPA-SWMM)，而複合型(街道/下水道)都市排水系統模型乃應用於都市現況排水檢討、工程改善效益分析、防災預警等作業，是以模型軟體應具備易於取得、計算穩定、流通性高等特點，故辦理各(檢討)規劃案應採用 EPA 所開發之免費軟體 SWMM 5.0 以上(2005 年之後)版本建置，以利後續各單位之整合應用與資料流通。

六、 成果繳交

規劃執行單位於測量成果查核合格後，應連結 SWMM 複合型都市排水系統檢核管理平臺(http://cityflood.cpami.gov.tw/swmm)提送排水現況水理檢討及分析內容，提送資料包含：

- 階段報告書電子檔及紙本(如期初、期中、期末報告書)(*.doc, *.docx)
- 測量查核合格函文(*.pdf)
- EPA-SWMM 數值模型檔(5.0 以上版本)
  - ➢ 數值模型檔(各場次單獨檔案) (*.inp)
  - ➢ 計算成果檔(各場次單獨檔案) (*.rpt)
  - ➢ 附屬檔案(若未建置於 inp 檔中請另提供)：降雨資料\上游入流歷線\下游水位歷線\抽水機操作曲線\貯流池面積高度曲線(*.dat)
- 雨量資料及邊界條件(*.xls, *.xlsx, *.csv)
  - ➢ 設計流量
    1. 設計雨型
    2. 上游邊界條件
    3. 下游邊界條件
       - ◆下游水位/潮位紀錄資料數值檔
       - ◆抽(蓄)水站操作曲線數值檔
  - ➢ 實際淹水事件
    1. 實際淹水場次雨量紀錄資料
    2. 上游邊界條件
    3. 下游邊界條件
       - ◆下游水位/潮位紀錄資料數值檔

◆抽(蓄)水站操作曲線數值檔

- 淹水紀錄資料
  - 空間資料(Shapefile,cad)
  - 淹水地點統計表(*.xls, *.xlsx, *.csv)
- 都市計畫區土地使用分區圖(Shapefile)
- 區域排水、明溝測量資料(cad)
  - 橫斷面圖
  - 縱斷面圖
  - 平面圖\樁位表
- 雨水下水道測量成果資料(含 GIS 屬性資料表)

七、 水理檢核內容與檢核原則說明

1. 營建署於收到排水現況水理檢討及分析成果後辦理檢核，若檢核不合格，受託規劃執行單位須於通知改善期間內改善完成，並再次報請檢核。
2. 若執行案件契約內已規定複合型(街道/下水道)都市排水系統水理檢核成果需納入期初審查內容。各檢核階段二次為限(四階段合計共八次)，檢核第二次不合格視為逾期，逾期時間自第二次檢核不合格之日起至檢核合格日止。
3. 檢核程序採四階段進行檢查，分別為(1)檔案資料檢核，(2) SWMM 模式設定與參數檢查，(3)水文水理分析成果檢核，以及(4) SWMM 模式演算執行與驗證。任一階段之檢核若未通過，將於核實填報檢查清單後，提供檢核成果與修正建議，函知主管機關與各案執行單位，待執行單位修正後，重新提送修正成果以進行複核工作。
4. 水理檢核所有程序之執行狀態、檢核成果與建議均同步傳遞至 SWMM 複合型都市排水系統檢核管理平臺主管機關、規劃案執行團隊、檢核團隊均可透過平臺看最新檢核作業執行情況。
5. 水理模式檢核流程共有四大檢核程序，水理檢核內容將依據表 1 所列各階段檢核項目清單進行檢查核對工作。

表 1 檢核項目與內容清單

檢核程序	檢核項目類別	檢核內容	備註
檔案資料檢核	檔案數量	1. 期初(期中、期末)報告書 2. EPA-SWMM 5.0 以上版本數值模型檔 3. 雨量、下游邊界條件(如水位、抽(蓄)水站操作曲線)等水文紀錄資料數值檔 4. 淹水紀錄資料 5. 土地使用分區圖 6. 區域排水、明溝測量資料 7. 雨水下水道量測資料(包含雨水下水道台帳圖、GIS 屬性資料、街道、路面、側溝等調查成果)	由檢討規畫案執行單位提供 1-6 項內容 第 7 項經測量檢核單位核可後提供
	檔案內容完整性	1. 各類檔案是否可正常開啟 2. 檔案內容是否符合工作範圍內水文水理檢核需求	
SWMM 模式設定與參數檢查	基本資料與建置數量	建置範圍面積、雨水下水道系統、街道及側溝排水系統、區域排水系統、抽蓄排設施等物件數量是否與排水區域現況相符。	全區檢查
	計算機制設定	水流傳輸機制參數、計算時距合理性檢查。	
	雨水下水道排水系統物件尺寸參數	以自動化程式進行「雨水下水道 GIS 屬性表」測量資料與 SWMM 模式物件尺寸參數設定之比對檢查，檢查項目包含人孔、管線等 SWMM 尺寸設定內容。	自動化程式全區檢查及人工檢查
	街道排水系統斷面資料	以「雨水下水道 GIS 屬性表」測量資料，確認街道斷面是否確實納入路面寬度、人行道緣石高、側溝，以不規則斷面進行街道排水系統建置。	以街道排水幹線總數 100 %進行檢查
	明渠排水系統斷面資料	確認斷面尺寸、坡降、流路是否與測量結果一致。	以明渠排水幹線總數 100 %進行檢查
	街道與下水道排水系統連結設定	確認下水道系統是否與上層街道排水系統進行節點整合連結，並檢查縱向管渠(包含街道與下水道)垂直偏移量設定正確性。	以街道排水幹線總數 100 %進行檢查
	上游邊界條件	區外次集水區逕流模擬成果、其它排水匯入設定確認。	
	下游邊界條件	抽水站、區排、河川、感潮等下游邊界條件設定合理性確認。	全區檢查
	都市次集水區分區設定	分區範圍、面積、流入位置正確性檢查 配合土地使用分區圖，檢查逕流演算參數設定合理性(含漫地流糙度係數、不透水比例、入滲率等參數設定合理性檢查)。	以次集水區總數 100 %進行檢查
	管渠參數設定	渠流糙度係數設定合理性檢查。	以下水道、街道、區排流路總數 100 %進行檢查
	水工構造物設定	滯洪池、貯留池、分流、截流、舌閥、抽水站等設施參數檢查。	全區檢查
水文水理分析成果檢核	分析成果	雨量分析、水文分析、水理分析合理性檢核。	
	成果驗證	水位監測紀錄比對、淹水紀錄範圍模擬情況合理性確認。	無水位監測地區以淹水紀錄範圍及淹水深度進行確認
SWMM 模式演算執行與驗證	執行	以實際降雨場次執行演算，確認模式無數值發散、錯誤等問題。	
	檢定與驗證	以實際降雨場次執行演算，再次進行水位監測紀錄比對與淹水範圍模擬情況。	

附件、複合型都市排水系統[設計流量]及[實際降雨場次]排水出口水位設定原則

雨水下水道(檢討)規劃區排水出口至河道(或區排)之空間關係如附圖 1 所示，針對[設計流量]及[實際降雨場次]，排水出口之水位歷線設定方法應有所不同，茲說明如下：

- [設計流量]水位設定

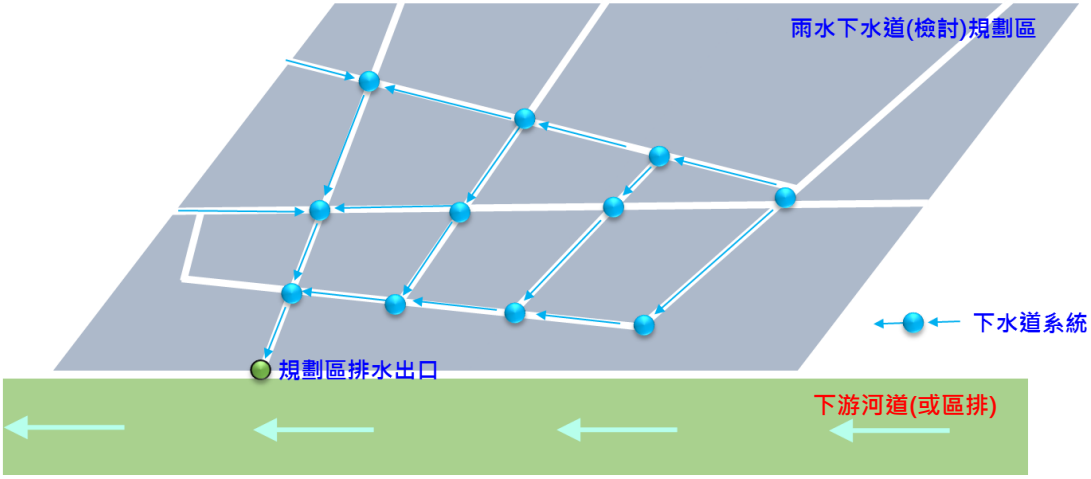
依據營建署「雨水下水道系統規劃原則檢討」第五章出口水位釐訂(下游邊界條件)，雨水下水道排水幹線出口水位之設訂，如無設置抽水站，則排水出口(起算)水位，以排入位置點的河道(或區排)「計畫洪水位」設定之；而如直接排放海洋者則採 7～10 月大潮平均高潮位。並依上述出口(起算)水位，辦理水理演算。

- [實際降雨場次]水位歷線設定

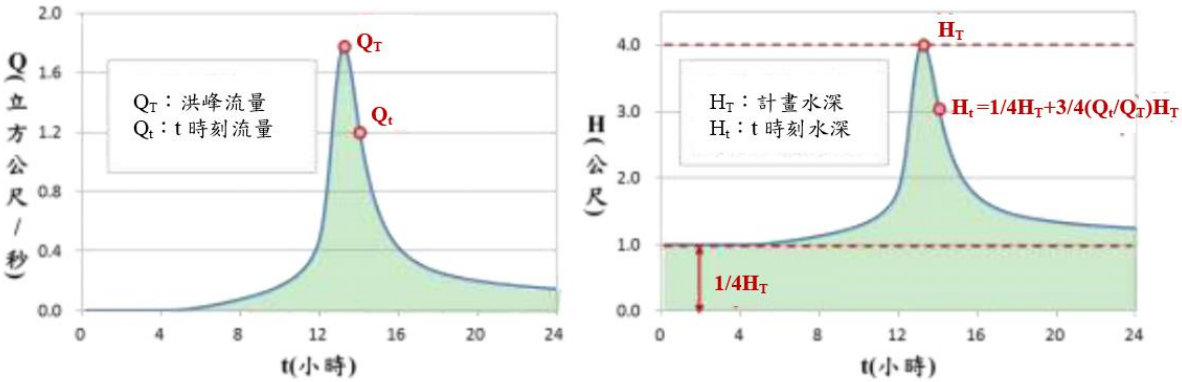
1. 針對特定實際降雨場次演算時，雨水下水道排水幹線出口水位歷線的設定，原則上應以下水道水流排入位置點實測河道(或區排)水位紀錄為下游邊界條件；若無該位置點之實測水位紀錄，則應採用水文模式及水理模式分析該位置點的河道(或區排)水位歷線。
2. 若下水道水流排入位置點的河道(或區排)上游集水面積過大，分析過程甚為繁瑣，則可以採用以下簡化方式處理：
   (1) 首先考慮下游邊界條件為正常水深時，應用 SWMM 模式分析規劃區排水出口之流量歷線(如附圖 2 左側)。
   (2) 分析規劃區雨水下水道排水區域之最大集流時間 T_c；
   (3) 分析該場降雨尖峰時刻於 T_c 時間內之累積最大降雨量 R，再藉由 T_c 與 R 對應規劃區之降雨強度-延時-頻率公式，內插求得該場降雨之重現期 T；
   (4) 分析下水道水流排入位置點的河道(或區排)所相對應的重現期 T 之計畫水深 H_T；
   (5) 參考水利署「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」(經濟部水利署, 108 年)之規定，以 10 分鐘為計算時間間距，設定排水出口最高外水位為 H_T 計畫水深，最低水深為該 H_T 計畫水深的 1/4，並

以步驟(1)計算而得之規劃區排水出口之流量歷線中各時段流量值流量之百分比，依據上述最高及最低水深為基礎，將規劃區出流歷線轉換下游外水位歷線，計算示意圖如附圖 2 右側所示。

(6) 以步驟(5)所推求之外水位歷線為(檢討)規劃區之下游邊界條件，重新進行複合型(街道/下水道)都市排水系統水理演算。



附圖 1 規劃區排水出口與下游河道(或區排)



規劃區出流歷線 ➡ 下游外水位歷線

附圖 2 下游排水邊界水位歷線設計原則示意圖

資料來源：「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」經濟部(108.2.1)