

以污水下水道工程為例

談2D進化至3D的電腦輔助設計應用

沈郁翔／台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部計畫工程師

賴鈺蓓、蘇毓誠／台灣世曦工程顧問股份有限公司BIM整合中心工程師

因污水下水道建設常以行政區域劃分建設工程範圍，幅員廣大，故相關設計工作所需資料分析、轉化及輸出圖說之作業人力需求高，不同設計服務階段業主、設計審查委員亦常有圖說表示、修正之要求，相關配合作業常需耗費大量工作人力。

目前設計作業模式係採用商用軟體 Microsoft Excel 進行水理分析及數量計算，採用 2D 的設計方法進行管線設計作業及設計圖輸出，惟兩者間常有頻繁之作業資料傳輸及轉換，以人力進行判讀、填入資料、修正及輸出，作業過程之反覆檢核工作負荷量高偶有疏漏情況，故考量導入新的 3D 視覺化工作方法，發展相關自動化設計程式應用及整合，降低資料處理所需人力、提高設計作業效率化，俾利進行設計作業精確度控管，提昇作業效能及成果品質。

本文將以污水下水道工程 3D 設計應用發展程序為例，淺談台灣世曦工程顧問股份有限公司（以下簡稱台灣世曦）在土建工程設計專業上導入 3D 視覺化應用之實作經驗，藉由地形高程、人孔結構物、污水管佈設、水理分析、平縱面圖繪製及報表輸出之資料整合及程式自動化串接，簡介說明工程設計導入視覺化 3D 新技術的潛能與效益。

從 2D 到 3D，縮短工程設計週期

目前業界一般還是習慣使用傳統 2D 軟體繪圖作為設計溝通工具，用 2D 視圖去表達工程 3D 實體的設計資訊有其先天上之侷限，2D 圖檔係以圖層、線條或註記方式去描述設計資訊，無法自動辨識空間的相對位置。2D 圖不具備物件化的參數構件，不利物件判別及其對應屬性參數之連結應用，需要多張圖紙方能完整表

達一份設計方案，設計者需要花費相當多的人力與時間在避免設計資料衝突發生，且在面對設計變更時容易有圖面資訊不一致情事發生。3D 設計藉由視覺化模型及參數的導入與歸納，將設計項目具體形像化後，所有的設計單元都會成為具體的物件。不論是牆面、梁柱，或是污水下水道管網的管件、人孔設施，不再是由工程師自行繪製組成，而是直接以物件概念進行設計配置。一旦模型有了變更，便能快速同步化製作圖紙以反應更新內容，達到資料的一致性，可有效解決上述 2D 設計的問題與限制。

3D 為土木工程設計，提供了更完善的方法。將耗時的工作自動化，有助於精簡設計工作流程。提供設計工程師以規則為主的工具來配置或是變更污水下水道管流網路與結構設施，在平面、縱斷面或橫斷面視圖中完成最後管流網路製圖並進行出圖，還可與外部分析應用程式共用管流網路資訊，如管線衝突或干涉檢查。設計過程中的製圖與註解變更，都會自動反應在模型中，並能快速有效率產生視覺效果。不但有助於縮短設計、分析與執行變更所需的時間。工程師也可有多餘裕時間去評估更多假設情景及進行最佳化方案的設計。

3D 技術導入之前置作業

以 3D 設計工具從事工程設計時比原慣用的 2D CAD 作業，初期會感到費時費力，尤其在適應新軟體時，但熟悉軟體操作後，才會深刻感覺節省時間與人工的成效，設計單位初期導入 3D 設計作業環境，首先最重要的，就是慎重選擇適合自己的軟體工具，並建立符合國內工程專業規範及作業習慣之元件資料庫，並依需求客製開發可輔助設計自動化作業及資料

整合交換的應用程式，以降低設計人員對於接受新工具之學習門檻。現行污水下水道設計作業多數仍採用 AutoCAD 繪圖工具進行 2D 圖面繪製工作，本公司評估與既有 2D 繪圖作業環境的資料可互通性，同時考量自主應用彈性及未來發展性，選用 Civil 3D 作為本次污水下水道 3D 設計之實作工具。評估工具時，主要考量的課題包括：

■ 資料結構性

- (1) Civil 3D 為 AutoCAD 3D 延伸發展工具，除與原有 2D 圖面可完全相容，另具備管網佈設功能，繪圖元件已具物件概念，不再僅為點及線段組合。
- (2) Civil 3D 管網圖元已具備幾何屬性，同時透過地形資料匯入，亦可快速取得高程及位置資訊，圖元資料組成具結構性。

■ 軟體穩定度

- (1) Civil 3D 為 AutoCAD 進階發展模型工具，AutoCAD 於 2D 繪圖軟體維護階段即已持續測試發展，直至今日已為穩定且適用之 3D 設計環境。
- (2) Civil 3D 工具中提供有屬性資料編輯管理及報表產生工具。透過程式開發延伸應用介面，可提昇客製外掛程式之穩定性。

■ 延伸發展性

- (1) 台灣世曦公司為加速 3D CAD / BIM 先進工程技術的普及應用，透過實作計畫有系統的舉辦 Civil 3D 軟體使用培訓課程，本公司土木設計部門工程師對於 Civil 3D 軟體應用有較高的熟悉度及較多的實作經驗。
- (2) Civil 3D 為 AutoCAD 進階發展模型工具，除既有之 objectARX，另提供 COM 及 .NET API 元件以供使用者可按應用需要自行做輔助介面程式的客製開發，且國內代理商也可提供足夠的技術支援。



圖 1 3D 設計工具選用評估原則

無縫接軌的導入流程

導入方法及步驟

由 2D 思維進入到 3D 設計程序，除空間概念上須有所改變，熟悉新的設計工具及作業流程，對於設計人員也是一大挑戰。本公司在導入的過程中除透過專業顧問團隊輔導實作及培訓課程，並由設計專業工程師研提參與實作的專案及作業項目，透過重新檢視作業流程，搭配開發切合實用的輔助設計介面程式，使工程師能透過專案實作快速上手 3D 設計技術。以下說明本公司實作計畫分階段導入的重點工作。（如圖 2 所示）

(1) 設計作業流程分析

完整分析污水下水道設計工作流程，彙整各階段作業重點及應用輔助軟體，針對現有工具無法立即支援的功能需求，搭配開發外掛輔助介面程式以供導入應用。

(2) 基礎環境評估選用

評估污水下水道設計專業需求屬性，同時考量未來延伸發展彈性，選擇適當之繪圖軟體為基礎環境，並透過輔助介面程式之開發，進以提升 3D 設計技術之快速導入。

(3) 程式操作介面設計

藉由彙整污水下水道分階段的工作要項，逐項釐清設計所需輔助應用功能，透過系統分析將各項操作介面需求轉化為具體設計文件，據以進行程式開發工作。

(4) 實作訓練案例驗證

透過訓練課程以利設計人員熟悉 3D 繪圖軟體操作，同時完成輔助介面程式開發，提供設計人員可直接以實際案例進行操作，並於實作計畫完成驗證後，辦理工作成果檢討會議及教育訓練課程，以利經驗交流與傳承。



圖 2 分階段建構工程設計 3D 化的作業環境

設計作業流程分析

為因應污水下水道工程設計作業特性（工程範圍大、環境背景資料量多）及限制條件（作業期程短、人力有限），避免量多且雜之資料輸出入及處理作業過程產生錯誤，所客製開發的 3D 設計輔助介面程式能與工程設計之實際作業流程相結合實屬必需，彙整本公司污水下水道設計作業重點流程，如圖 5 所示，分項說明如後。

(1) 配置管網

- A. 既有作業流程自污水水系最下游界面人孔為起點，由下往上循線繪製主線人孔（如圖 3），選用已建立的管線及設施 3D 物件，以管網建立的操作概念進行佈設。
- B. 污水下水道主線人孔佈設後，再進行分支人孔之佈設。並透過管網屬性及編碼識別，完成分支管網的佈設。

C. 污水下水道支管網埋設方式是採推進方式施工，每一個推進段皆有發進井及到達井，而工作井係指埋設人孔前的擋土設施，需預先規劃並建立於人孔設施的屬性中。

(2) 集污區面積分配

A. 集污區域之劃分

(A) 污水下水道工程施作範圍主要位於都市計畫區內，而都市計畫區內有住宅區、商業區、工業區、機關學校及公園綠地等不同的土地使用分區，不同使用分區單位面積所產生的污水量各不相同，因此佈設於不同土地使用分區的污水人孔所收納之污水量也各不相同。

(B) 本階段的作業重點是套疊都市計畫圖後，先劃定每個土地使用分區的集污範圍線，再將集污面積指定至人孔作業。（如圖 4 所示）

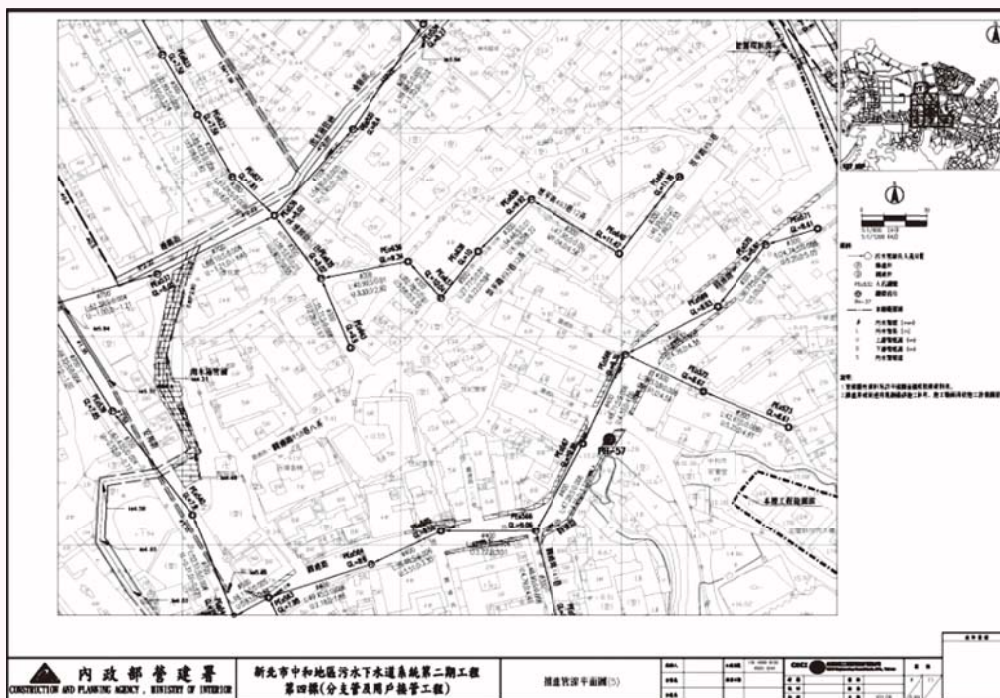


圖 3 污水下水道管線設計平面圖示例



圖 4 污水下水道集污面積配置圖例

B. 將集污面積指定至人孔

- (A) 土地使用分區範圍線係位於道路以外之區域，而人孔位置則位於道路區域，故依據污水收集路徑，一個人孔可能同時分配來自兩個以上不同的土地使用分區，應分別記錄源自不同使用分區所配置的面積。
- (B) 單一人孔也可能收集源自同一種使用分區（如住商區）內的多塊區域（範圍）之面積，應加總後計算人孔配置的總面積。
- (C) 同一個區塊面積也可能分配給多個人孔，透過權重設定方式將集污面積作加權計算及分配。

(3) 環境資料輸入

- A. 環境資料是人孔的基本屬性資料，包括地面高程、道路形式（道路或人行道）、道路寬度、施工影響鄰近房屋棟戶數及路口 AC 加鋪面積等。
- B. 工程師需依據工作井開挖影響範圍，判讀施工前建物調查基準線，並記錄每個人孔的設施影響建物棟戶數。
- C. 環境資料主要是供水理分析判斷使用，早期多為工程師以目視平面圖方式手動輸入屬性資料，有了 3D 設計物件後，就可透過輔助介面程式由圖面中自動讀取建立相關參數資料。

(4) 產出支管配置平剖面圖

- A. 將完成水理分析的人孔、管線及環境資料，繪製符合業主要求格式的平面圖及縱斷面圖。
- B. 預先製作圖面輸出格式樣版，包括常用圖元屬性、排列方式、圖框範圍切分、流向標示及顏色設定，降低手動調整圖面顯示所需耗費之人力。

(5) 配置用戶連接管網

- A. 用戶接管設施需標註特定代碼，連結下游端之支管人孔編號，以利識別同一水系之用戶接管管線，以供水理分析時使用。
- B. 整理水理分析表時，流水碼較大者

置於上游端，以利符合重力管線高程規劃由高往低排列原則及水理分析運算所需格式。

- C. 位於道路位置的設施形式可能為陰井或 E 型人孔。位於後巷位置，設施形式通常為配管箱，工程師可透過輔助介面程式選擇相對應的設施結構物件進行佈設。

(6) 設計成果及環境資料匯出

- A. 完成用戶接管設計圖面作業成果及屬性資料（如人孔的地面高程、管底高程、管徑及坡度）與環境資料（如道路寬度、道路形式等）設定後，可自動產生用戶接管水理分析表。
- B. 工程師也可編輯水理分析表，將修正資訊同步回饋至設計圖面中。藉由輔助介面程式進行設計成果資料版本的差異比較及管理。

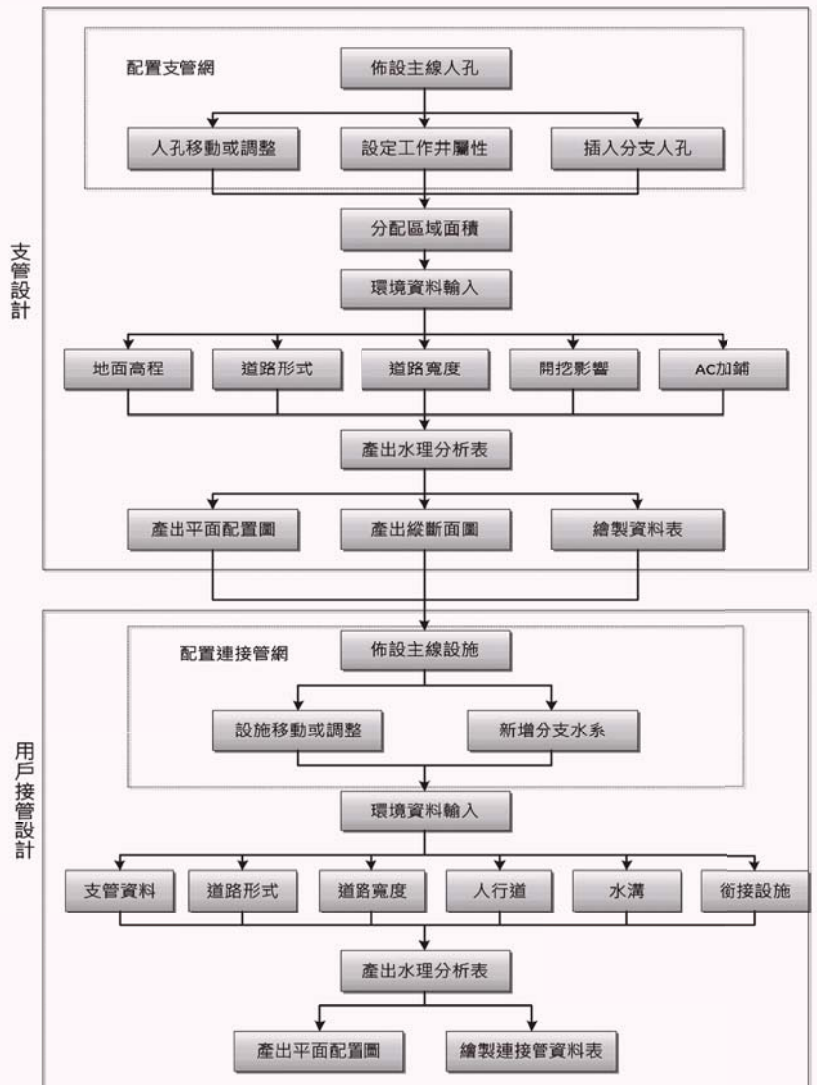


圖 5 污水下水道設計作業流程圖

污水下水道設計輔助介面程式開發

雖然 Civil 3D 軟體已具備許多土木工程設計輔助功能，然與達成污水下水道設計流程全自動化作業仍有許多瓶頸，如水理分析軟體與 Civil 3D 圖面資料之互通整合界面及有助提升操作便利性的客製需求功能等，則需由本公司資訊人員協助以 C#.NET 程式結合 Civil 3D 的 API 套件另進行客製程式開發。為確保輔助設計程式能切合實用，本公司資訊開發團隊與工程設計專業人員多次討論，研討適合污水下水道設計應用的 API 程式研發項目及資料整合需求，圖 6 所示即為污水下水道設計輔助介面程式客製開發的功能架構，擇要說明如後：

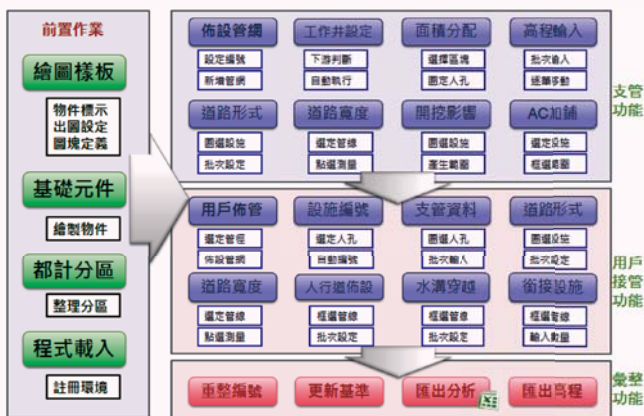


圖 6 輔助介面客製程式功能架構

佈設管網輔助功能模組

- (1) 透過 NETLOAD 指令載入程式啟動 Civil 3D 管網建立工具（如圖 7 所示）。導引使用者自下游往上游完成管網建置作業，如需於既有管網插入新增人孔，Civil 3D 會自動將原管線斷開，使用者再加設上游段標示設定。
- (2) 插入新增人孔無須手動調整編碼序列，執行 [重編人孔編號] 功能，輔助介面程式將依據規則重新編製整體圖面的人孔編碼序號。

輸入高程輔助功能模組

- (1) 污水下水道設計人員反應，已慣於直接目視讀取 2D 平面圖上標示之高程文字方塊以輸入高程資料，故輔助介面程式另提供地面高程批次輸入功能，框選人孔範圍，即可開啟框選範圍內之人孔列表清單，方便輸入其高程資料。

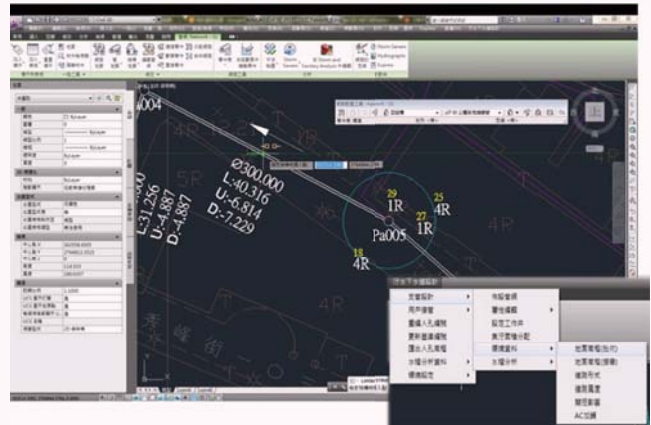


圖 7 佈設管網輔助功能操作畫面

- (2) 逐筆輸入功能則是透過圖元巡覽機制，啟動地面高程（搜尋）功能（如圖 8 所示），由程式自動搜尋圖面尚未輸入高程之人孔，並將畫面中心移動至該人孔，設計人員可直接輸入高程值按 Enter，游標自動移至待輸入高程值之下一個人孔點位置。
- (3) 透過輔助介面程式輸入的人孔高程資料，也可反饋建立 Civil 3D 地形模型，以供剖面圖之繪製使用。

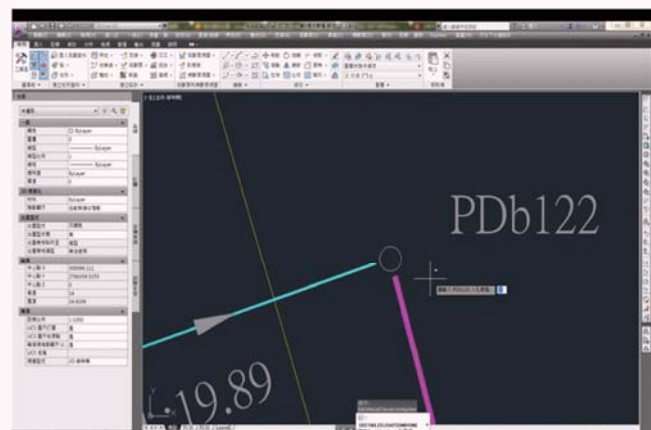


圖 8 巡覽輸入高程資料操作畫面

集污面積分配輔助功能模組

- (1) 進行集污面積分配，使用者須先針對不同使用分區建立不同圖層，面積分配完成後，介面程式將依圖層屬性匯出至水理分析表。
- (2) 使用者須先指定待分配區塊，並框選分配人孔範圍。（如圖 9 所示），於分配畫面輸入各人孔之分配權重，試算配置面積後存入設施屬性欄位。

開挖影響範圍輔助功能模組

- (1) 開挖影響範圍設定功能使用前，須由調查單位將現地盤查資料建立為特定圖層資料。

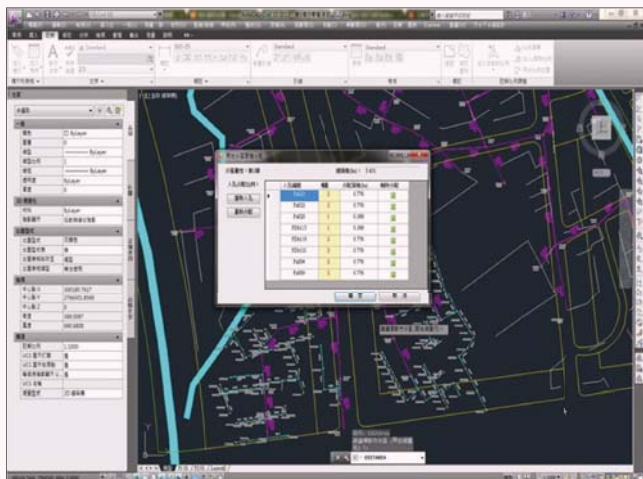


圖 9 集污面積分配計算畫面

- (2) 使用者設定影響圈半徑，輔助介面程式將自動繪製影響圈範圍圖層，並計算其影響棟戶數。
- (3) 介面程式可依前述範圍，由現地調查之圖層資料中，自動搜尋讀入框選範圍內之樓層高度、棟戶數及型式資料（連動式住宅或集合式住宅），可減省設計人員目視圖面手動輸入之作業時間。

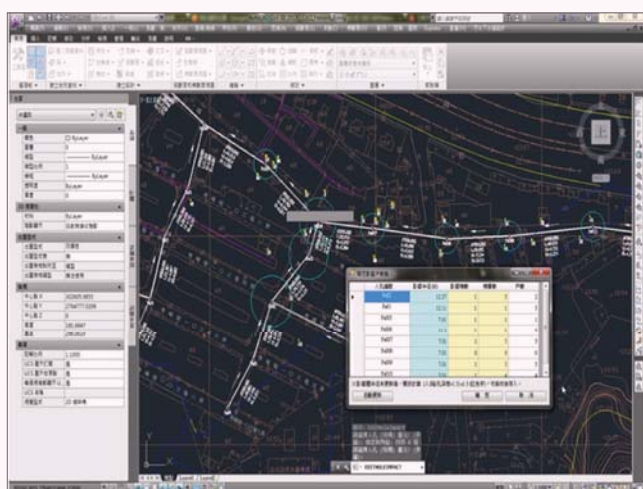


圖 10 開挖影響範圍操作畫面

AC 加鋪面積計算輔助功能模組

- (1) 為便利設計人員操作，介面程式針對 AC 加鋪面積之記錄，提供圖元測量、繪製範圍線（自動計算面積）及手動輸入等三種操作功能。
- (2) 繪製範圍線為使用者較常使用的功能，為提供設計人員直接框選範圍，由程式自動計算封閉曲線面積。（如圖 11 所示）
- (3) 加鋪面積範圍亦將留置於特定圖層，以供事後資料檢核時之參考。

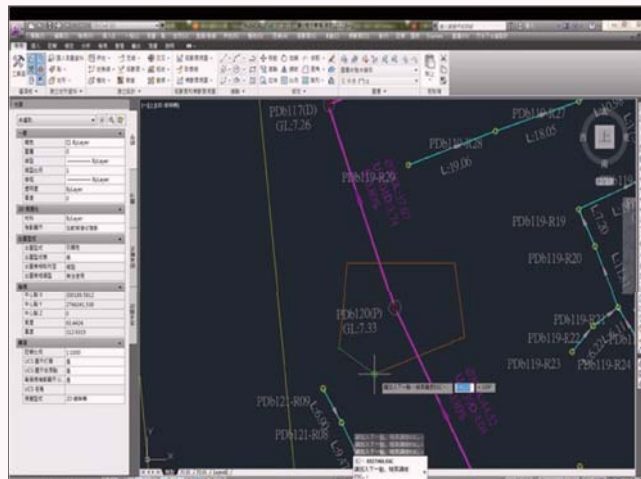


圖 11 AC 加鋪面積框選畫面

匯出水理分析表

- (1) 水理分析資料之自動匯出，實為本公司發展輔助介面程式之主要特色功能。結合設計流程可自動化產出圖文一致的水理分析表，如圖 12 所示，減免設計人員二次資料輸入，以提升 3D 視覺化設計作業的工作效率及資料品質。
- (2) 設計人員可依審查意見調整圖面配置，並可於重新匯出水理分析資料時，由程式自動檢出新舊版本人孔編碼之差異，以供設計人員進行審查及資料校對使用。

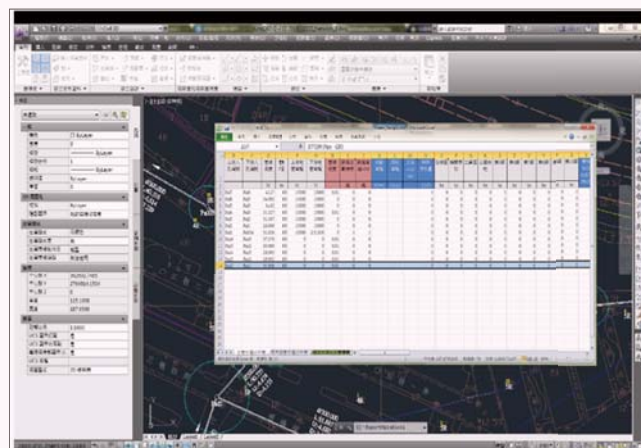


圖 12 水理分析表匯出畫面

3D 工程輔助設計技術之發展應用模式

利用 3D 設計環境進行設計，透過 3D 管線及結構元件的建立及屬性連結，資料可連動修正，有助改善傳統 2D 作業工程師在工程分析、繪圖作業及報告輸出工作過程中不必要的重工及人為疏失，3D 視圖瀏覽也有助配置上的判斷，有助工程師能有較多的時間聚焦在設計工作上，設計方案也更方便展示與了解。另可

延伸整合其他軟體進行設計衝突檢查，提升設計圖施作可行性，本公司運用 Autodesk Navisworks 軟體進行污水下水道設計衝突檢查，圖 13 所示即為檢核管件間發生位置衝突之問題，圖 14 則顯示管件與道路發生穿越衝突問題。

未來發展建議

本公司藉由開發輔助介面程式順利協助將污水下水道設計工作技術換裝至 3D 作業環境。惟新工具之推展需要設計單位與資訊開發單位密切合作推動，方能使輔助介面程式更加貼近實務所需。本公司設計部門藉由實際案例驗證後提出未來仍需再努力精進的建議事項，說明如後。

(1) 縱斷面視圖輔助程式

透過 Civil 3D 繪製縱斷面視圖，因管網性質定線後操作仍存在產製縱斷面剖面時發生疊圖現象，未來需研發更為自動化之繪圖格式定義功能，以克服目前縱斷面圖產出仍需人工再調整的不便性。

(2) 樣板轉匯輔助程式

Civil 3D 所有標示型式及出圖樣式皆透過樣板檔設定，由設計單位自訂常用樣板後分享相關設計人員共用。現行設計人員應用 2D 製圖之樣板檔操作較為純熟且已多具備既有樣板資料，未來應可研析透過介面程式將既有 2D 樣板檔對應自動轉製為 Civil 3D 適用的樣板檔設定，再經設計人員確認微調，以確保可達成符合現行 2D CAD 作業一樣完整的繪圖輸出成果。

(3) 數量計算輔助程式

現階段已完成之污水下水道應用介面程式，主要針對水力分析作業匯出圖面設計屬性資料，未來應可由 3D 模型元件快速計算管線及設備數量，結合檢料資料庫，可降低人工檢料誤差，以及節省圖面變更後重

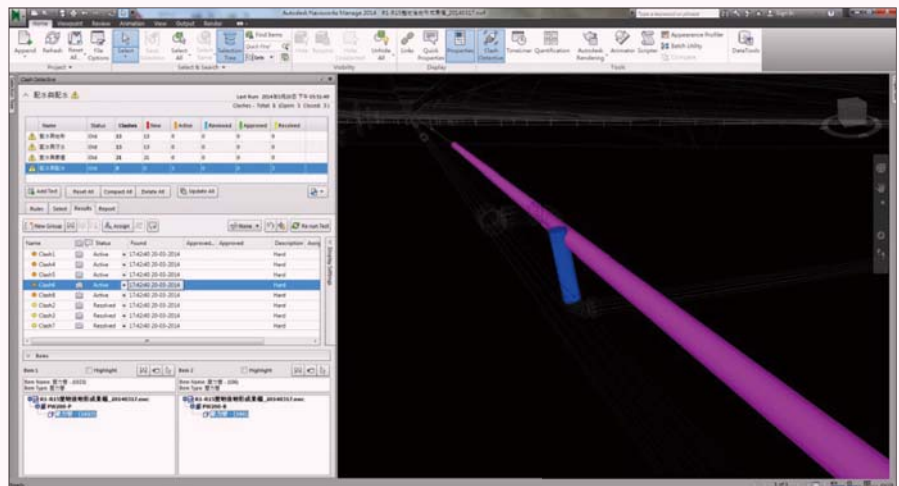


圖 13 不同管線間衝突檢查畫面

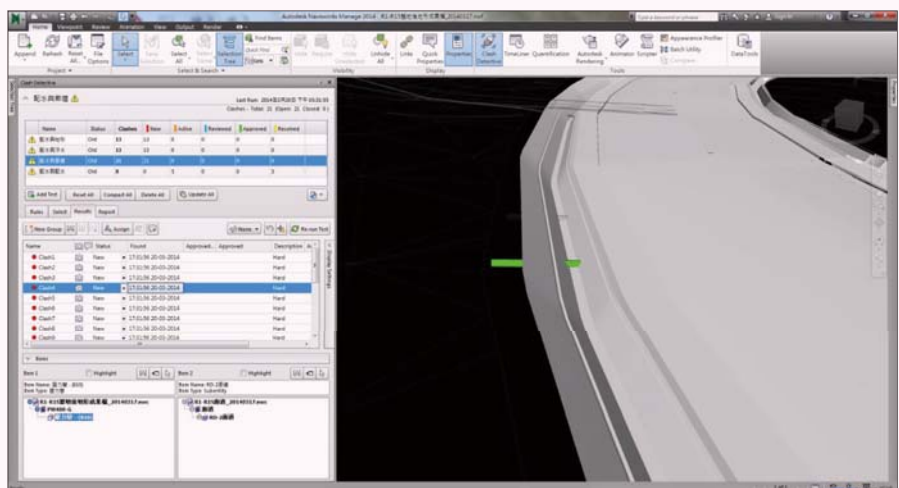


圖 14 道路與管線衝突檢查畫面

新檢料時間，提升預算成本估算的精確度，進以提高設計品質。

(4) 建置共用元件庫

目前 Civil 3D 軟體內建提供之管件及設施屬性規格，與國內常用之元件仍存在差異，為使設計成果貼合國內實務作業需求，設計人員須另外花時間建立管件及設施結構元件匯入 Civil 3D 使用。透過建置共用元件庫，並發展方便搜尋管理的工具，以利相關人員完成自訂元件後，也可快速分享給其他使用者參考應用，將更有助於 3D 設計作業之普及推廣。

(5) 作業成果出圖控制輔助程式

透過 Civil 3D 可建立出圖控制，惟相關設定操作步驟繁瑣，需熟練者始能完成出圖樣版之設定，未來可構思發展輔助出圖的介面程式，簡化設計人員的出圖設定操作，以降低 3D 工程設計作業的應用門檻。