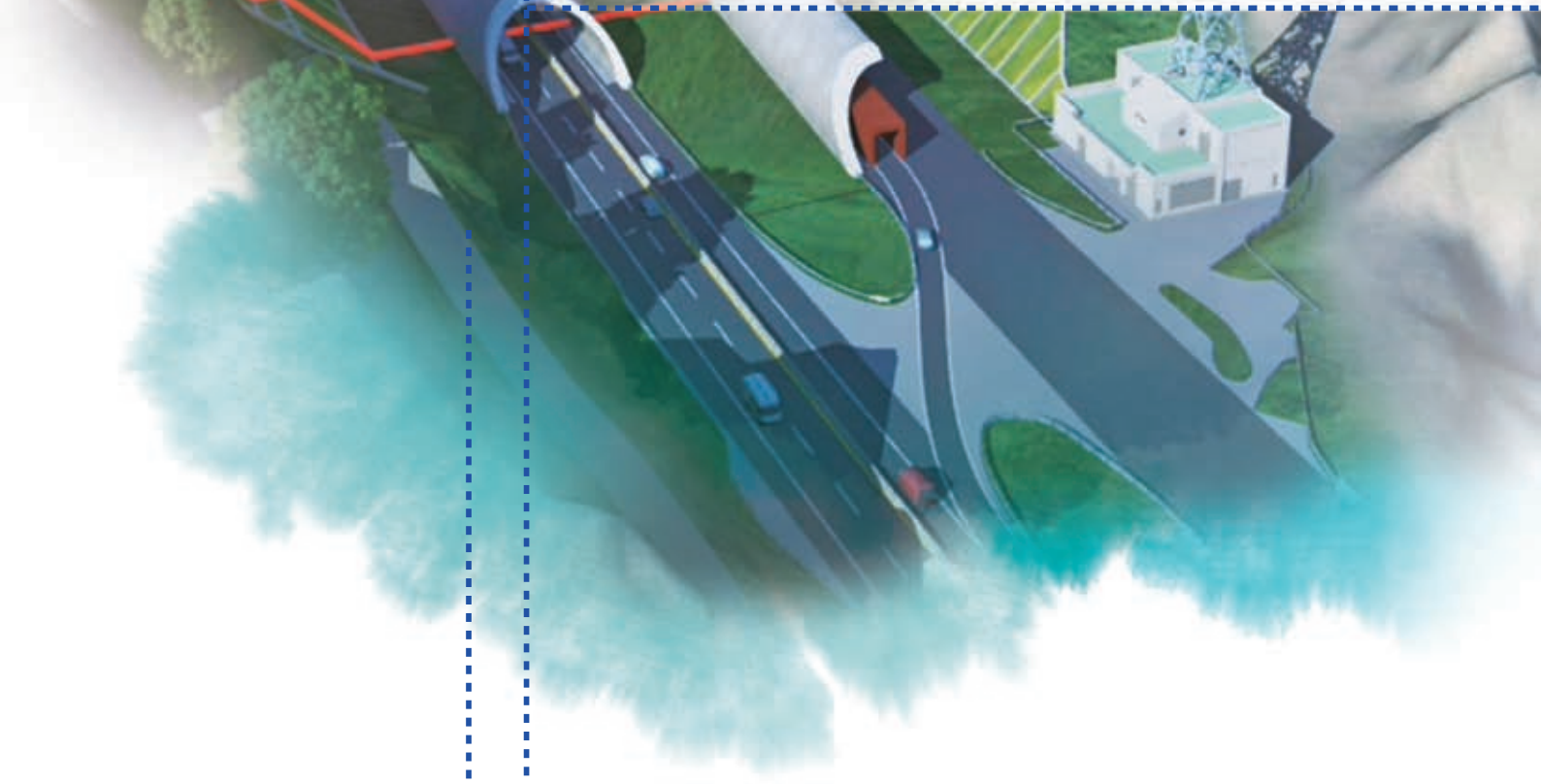
BIM在大地工程設計之應用

關鍵詞：BIM、介面整合

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／正工程師／許耀仁 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／工程師／廖秋銘 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／工程師／吳語麒 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／工程師／蔡怡臻 ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／工程師／紀建宇 ❺
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／工程師／莊心凱 ❻
台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／業務經理／李魁士 ❼



摘 要 ABSTRACT

因應個別計畫之特性將BIM相關軟體導入，並實際應用於隧道、線形廊道、風險分析等大地及土木相關工程之設計。設計者藉由建置3D環境模型並執行設計，以提升設計方案正確性及介面溝通之有效性，惟為因應不同之環境條件及設計內容，常須採多種BIM軟體分項建置模型，再加以匯入及整合，故須克服軟體間之整合限制以完整呈現設計成果，俾利即時反應環境條件或設計變更之需求。本文藉各大地工程相關案例呈現近年來BIM之應用情況供工程界參考。

壹、由建築延伸BIM應用至大地及土木工程

台灣世曦工程顧問股份有限公司自2006年開始導入BIM，以Revit軟體設計地下車站，包括站體、景觀、敷地、道路等，整體規劃均以3D設計，並針對個案特性自行研發智慧元件，相關成果詳圖1、圖2。

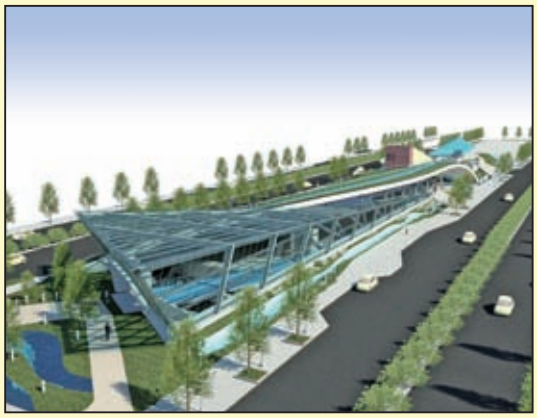


圖1 高雄鐵路地下化工程-美術館站

圖2 高雄鐵路地下化工程-三塊厝站

初始以Revit Architecture為主進行土建設計，為更有效溝通土建機電介面、減少管線衝突，後續再導入Revit MEP進行機電設計，達到全3D設計的目標，設計成果整合如圖3、圖4所示。

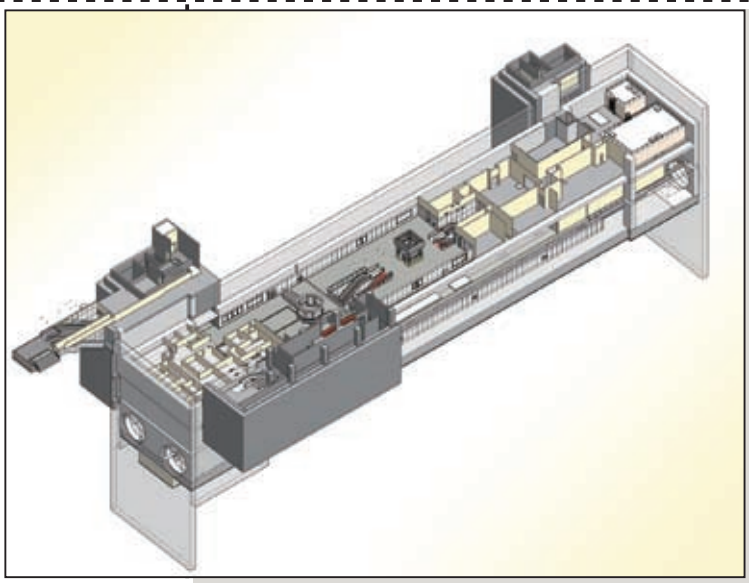


圖3 臺北捷運地下車站

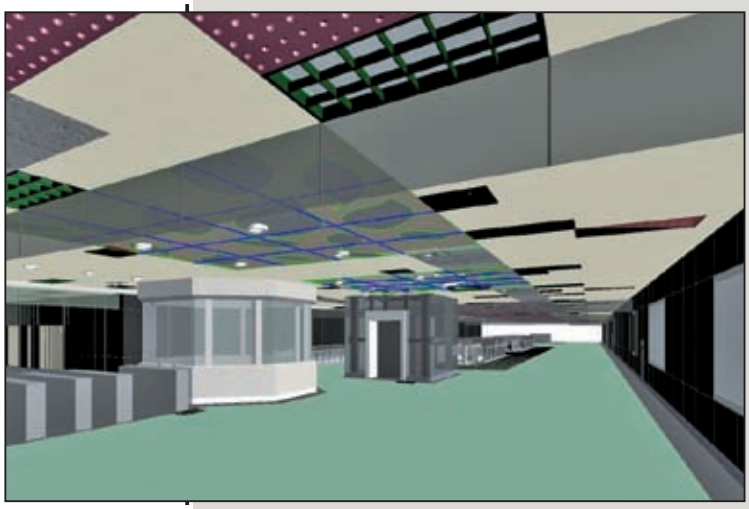


圖4 捷運地下車站機電整合成果

本公司除執行土建機電協同作業、強化介面整合外，近年來亦將BIM的應用擴展至大地及土木工程，包括台電地下電纜線路、自來水、邊坡、隧道等工程(詳圖5～7)。另因應工程特性以3D建置設計環境，包括地下障礙物、既有管線、地形地貌等，提升BIM設計成果的整體性和精確性。

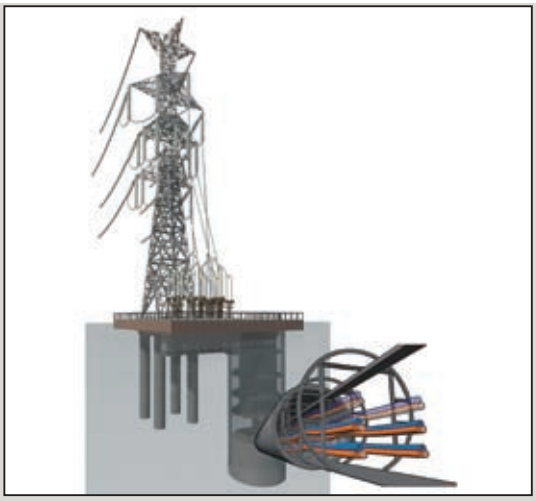


圖5 台電電纜線路工程設計

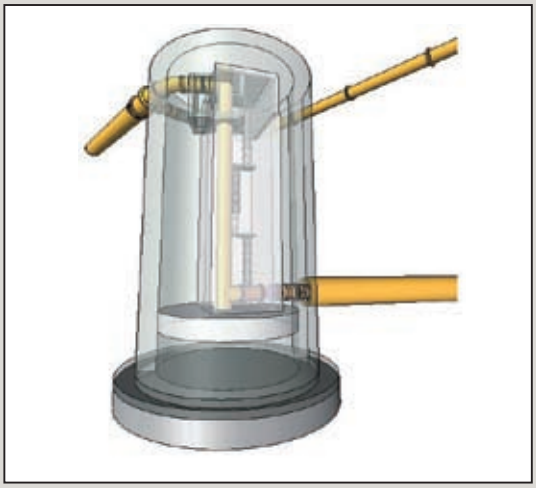


圖6 自來水管線工程設計

圖7 隧道工程設計

貳、BIM應用於大地及土木工程實例及整合成果

大地及土木工程與工址地形地貌具高度

密切性，3D設計主要運用Civil 3D、Revit、ArcScene及SketchUp等多樣軟體整合，實際應用於包含(1)線形設計、(2)三維GIS輔助線形設計、(3)隧道洞口修坡、(4)明隧道、(5)三維地質及(6)集水區分析等專業。

一、線形設計

在逐漸拓展BIM應用至土建工程的過程中，線形廊道扮演著不可或缺的角色，不論是道路、橋梁、軌道、維生線路，均是以線形廊帶為基礎發展而成之土建設施；線形廊帶初步確認之後，相關配套方案如地中障礙物處理對策、邊坡穩定工法、隧道洞口配置及景觀等各項設計工作始得展開。完善之線形廊道規劃與完整之現況資訊息息相關，在進行線形廊帶規劃設計前，應先行蒐集整理工址各項基本資訊，包含地形、地物、地貌、地籍、地中障礙物等，並視工程需要將所蒐集整理之相關資訊匯入BIM 3D模型，據以進行線形廊帶3D設計，如圖8。

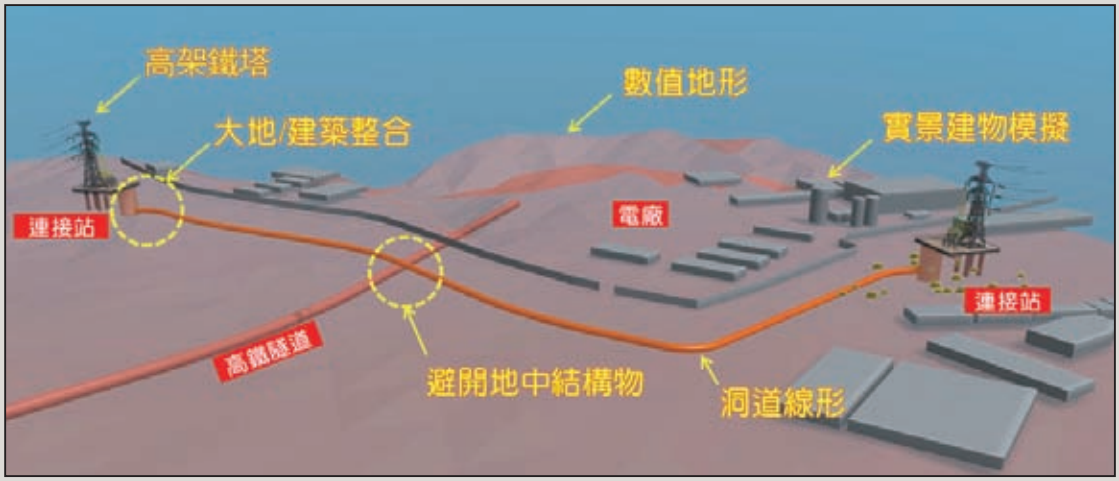


圖8 廊道線形、地物設計整合

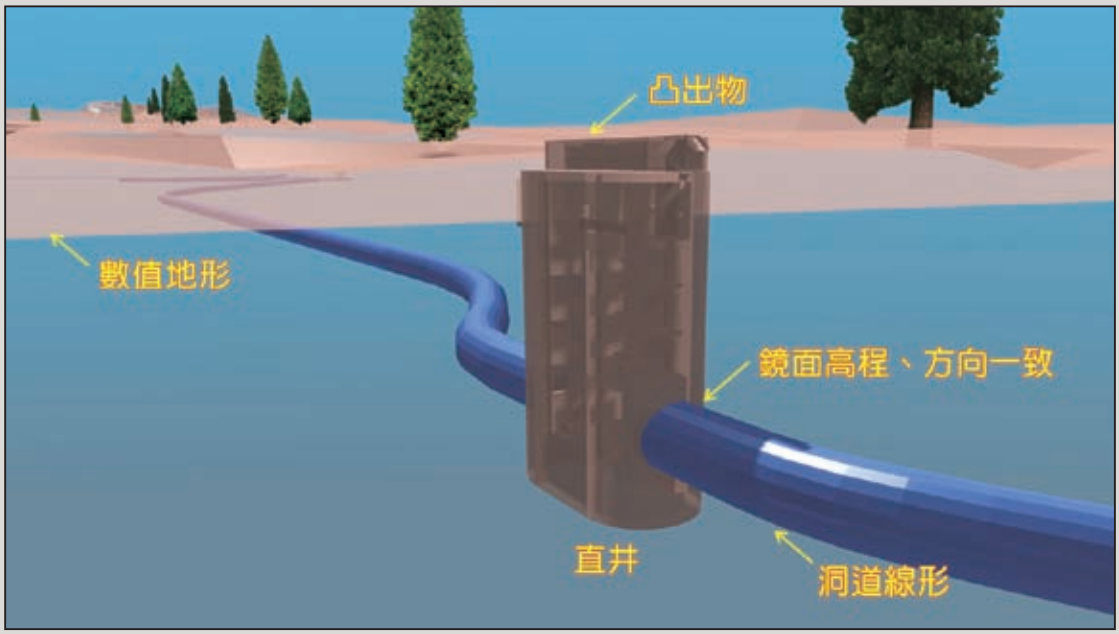


圖9 地下線路工程Revit、Civil 3D等之BIM整合成果

為提供人員出入、電纜延放需求，地下電纜洞道須銜接至直井、機房，因此地形、洞道與相關建物須建置在相同的座標系統並經整合界面資訊，以提升設計品質，如圖9。

二、三維GIS輔助線形設計

道路線形規劃不易，傳統道路工程設計採等距斷面逐一檢討，地面形狀起伏之掌握分析困難，若須納入環境變化模擬(如河道沖積扇模擬、洪水溢淹高程、淤積高程時)，將更增加2D設計之困難度。因而，若能導入三維GIS作為設計輔助工具，逐項檢視各種設計情境需求並回饋調整，必可提升設計及溝通之品質及效率。

利用ArcScene整合GIS圖資，建置光達測繪之擬真地表面，並配合各項淹水位及河道淤積模擬，作為道路線形設計之依據，可呈現各種情境之模擬，如(1)100年重現期洪水溢淹分析模擬、(2)未來2029年之沖淤序率分析＋20年重現期之洪水溢淹範圍及(3)土石流沖積扇模擬等，如圖10。

導入三維GIS整合3D模型具有：(1)建置快速、(2)模型調整機動性高、(3)GIS圖資與高程整合分析及(4)高擬真性展示效果等優勢，可大幅減少圖紙調閱時間及方便溝通，利於規劃設計方案研擬、願景呈現及協調整合。

三、隧道洞口修坡

傳統2D山岳隧道洞口設計，多以隧道中心線縱軸方向做為隧道頂端與地盤的接點，據以檢討洞口上方覆土厚度、邊坡的坡度及隧道總長等。由於隧道斷面係為多心圓，洞口邊坡地形及傾角方向與隧道入洞角度常斜交，必須經由平面、縱面、橫斷面與地表面的關係來決定洞口的位置與形狀，並配合分析結果反覆不斷的確認洞口修坡的坡比(如圖11)，因此洞口型式常因現場地形不規則性須配合變更調整。

採Civil 3D進行隧道洞口的修坡設計(如圖12)，模擬隧道洞口與修坡的關係(如圖13)，並即時檢視隧道頂部及側壁覆土妥適性，如有覆土不足、偏壓、洞口高程變更、修坡坡比及洞口位置改變等，只要調整數值，就能自動產生調整後3D模型，原選定里程之縱斷面與橫斷面也會配合一併修正，可減少2D設計常犯之部分圖面未同步修正情形。

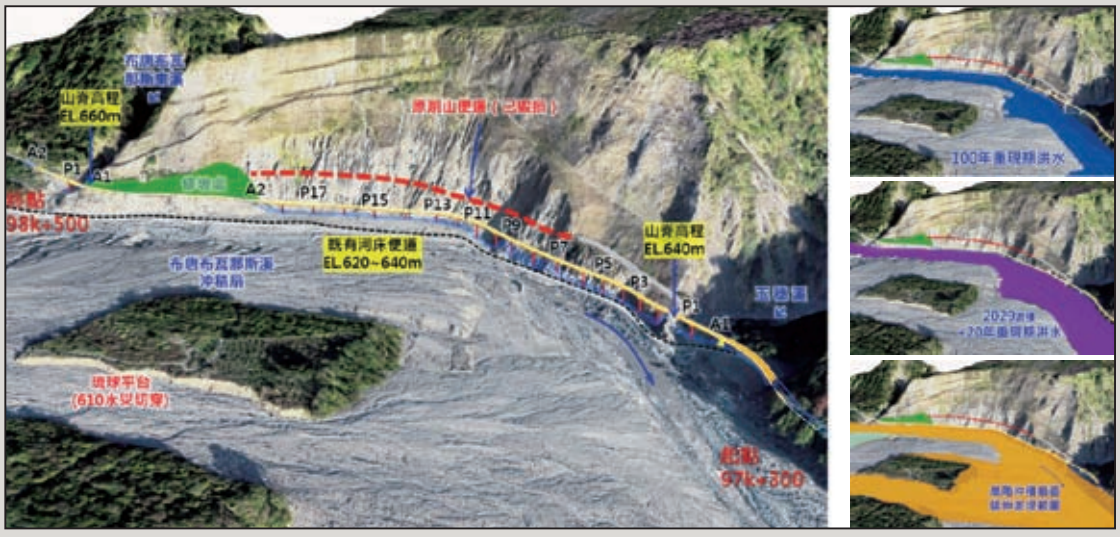
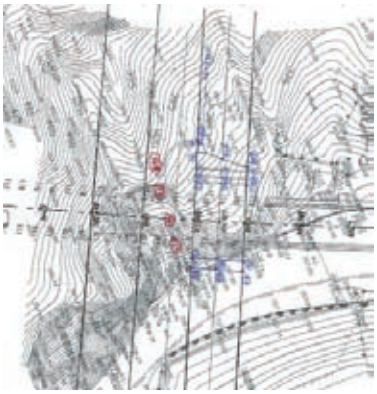
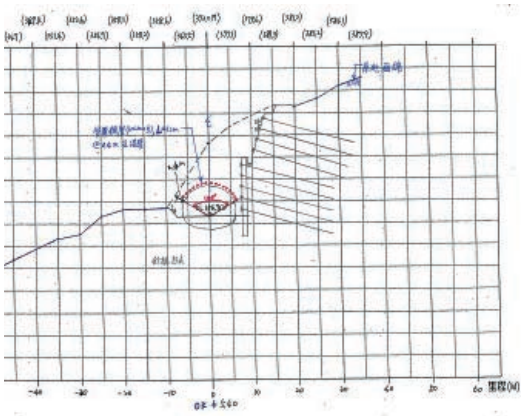


圖10 GIS洪水、淤積、構造物整合設計



2D隧道洞口平面設計



2D隧道洞口橫斷面設計

圖11 隧道洞口修坡2D作業過程

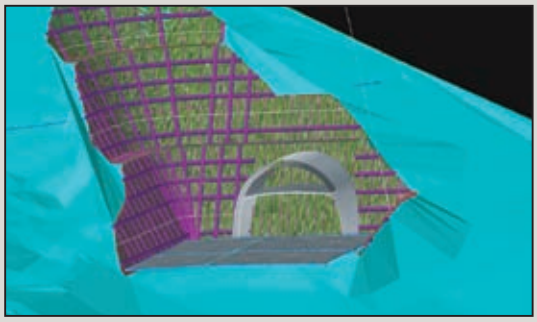


圖12 3D隧道與格框護坡

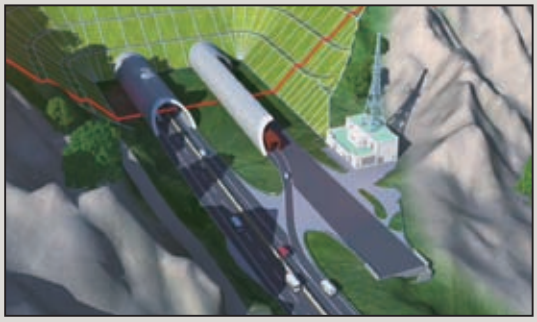


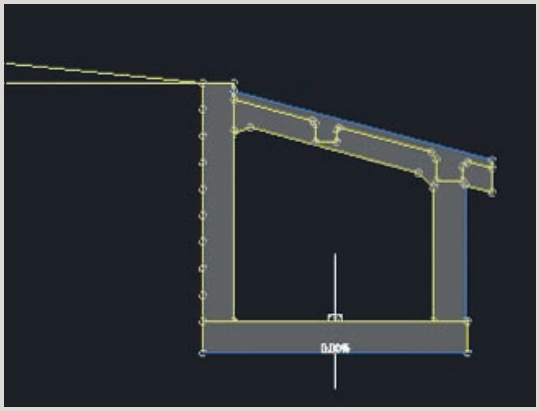
圖13 3D隧道洞口設計

四、明隧道

傳統2D明隧道設計僅能利用平面、縱斷面及橫斷面，表達規劃構想，不易完整呈現修坡後邊坡與構造物的關係，故常須在施工過程中進行整合以符合現況。

應用Civil 3D建立明隧道之次組合元件(如圖14)，直接於路線上產生明隧道結構，在3D環境中結合地形及明隧道(如圖15)，建立完成之3D視圖並自動產製多組2D橫斷面(如圖16)。

(圖14a) 明隧道實景



(圖14b) 次組合元件製作

圖14 建立明隧道次組合元件

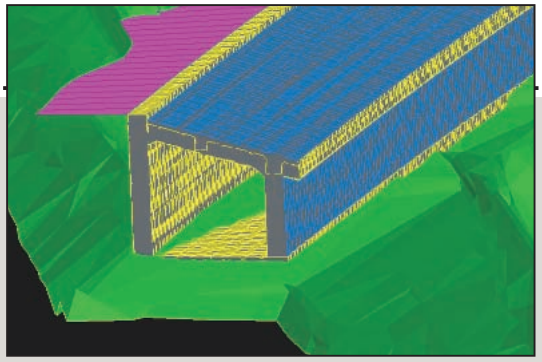


圖15 明隧道3D模擬圖

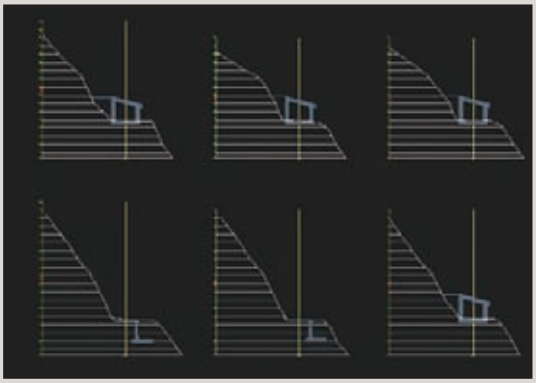


圖16 快速自動產生2D橫斷面圖

五、三維地質模型建置之應用

應用整合Auto CAD Civil 3D的附屬程式(Geotechnical Module)、Corel DRAW繪圖軟體及SketchUp三維相關技術以展現地質剖面柵狀圖，依各鑽孔之座標、高程，地層分布深度即可自動產生三維鑽孔柱狀圖，如圖17。透過將各鑽孔中相同的岩性介面(如土壤與岩盤)以三角網格法相連成地層面(圖18)。若於地表面套疊地形資料，則可進一步展現地層與地形之相對關係(圖19)。

於設計上所需之剖面圖可利用Civil 3D剖面繪製功能，將剖面線(定線)繪製於圖上後，即可把定線所截切之地層面及地形面繪製成剖面(圖20)，可快速取得各剖面線的地質資料。

在三維剖面圖及柵狀圖呈現的部分，可利用Civil 3D將繪製好的剖面圖建置成三維模型，或採SketchUp建立等比例模型後，再將各剖面當作素材貼於模型上(圖21)，即可展現三維地質剖面及三維柵狀圖。

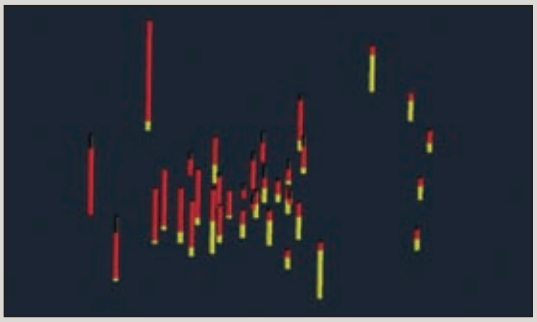


圖17 三維鑽孔柱狀圖

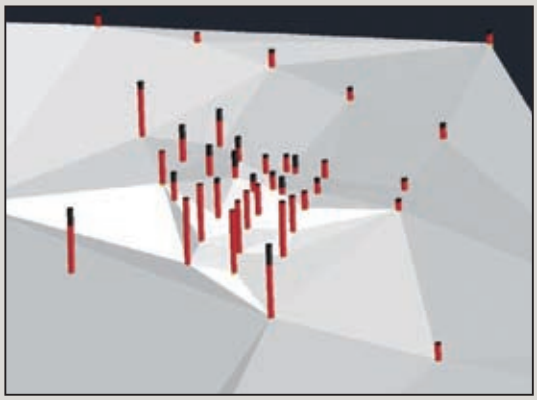


圖18 相同岩性地層面

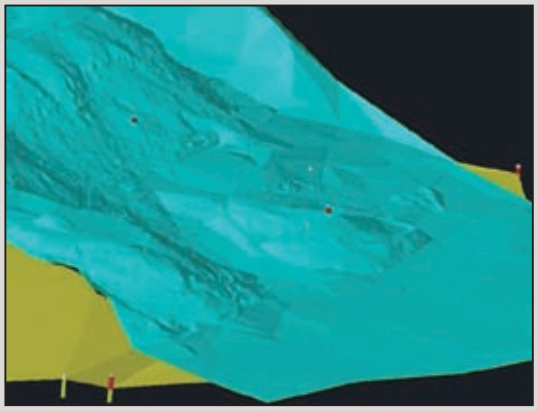


圖19 套疊地形與地層

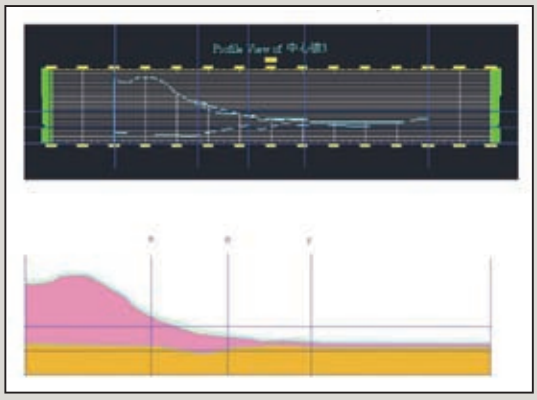


圖20 地形與地層剖面圖

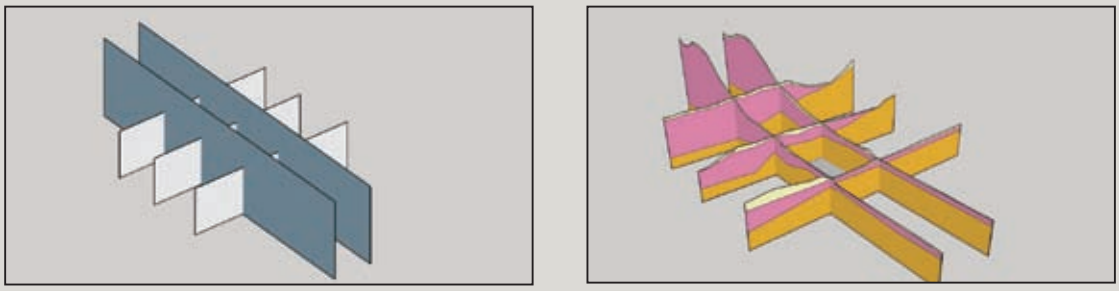


圖21 三維地質模型建置

圖22 流徑分析操作方法

圖23 集水區分析操作方法

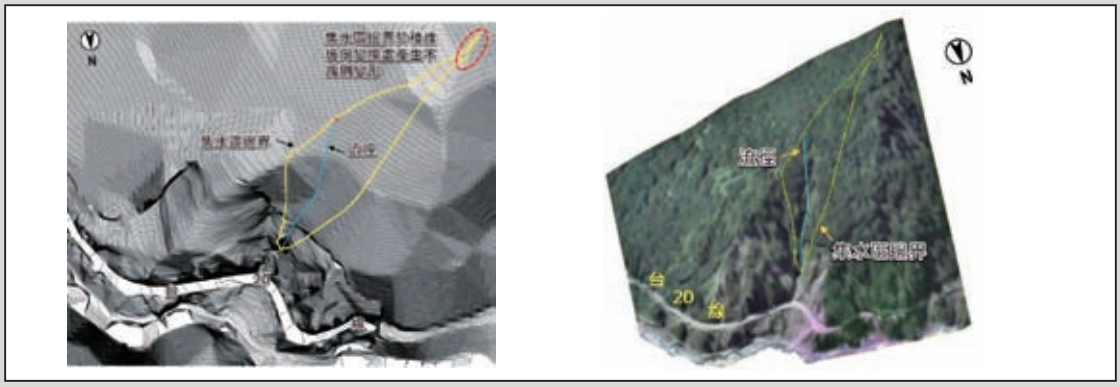


圖24 集水區分析成果

六、集水區分析

邊坡水利設施之容量設計應依據合理估算之上游集水面積，利用Civil 3D分析功能在3D地形模型中建立並標示坡地上流水集中的路徑，經由指定集水區之排水點後，可自動分析產生集水區(詳圖22～24)。

參、結語

BIM技術之發展經由建築設計案件已能逐漸發展應用於大地或土木相關工程，由於工址往往存在錯綜複雜的地下管線，且地形變化較為複雜，以傳統2D設計圖資不易判讀。近年來透過BIM軟體3D設計及呈現，可提升整體設計品質、效率，並改善介面整合及溝通，有助設計方案研擬，並可於模型中直接進行設計、驗證設計成果之可行性及安全性。由於地形、橋梁、管線建置模型後須予以整合，並設法避免因格式轉換造成材質流失，故須採擇適當的整合平台軟體，以避免因負載規模過大的模型而造成硬體當機，方得以呈現設計重點並精進設計。