

地工分析網路作業平台發展

洪世勳* 王天佑* 冀樹勇**

摘要

本研究利用網路服務技術及軟體工程方法開發地工分析網路作業平台(以下簡稱地工平台)，將各種分析程序與對應之地工資訊結合為具相互溝通能力之物件(Object)，讓這些物件能在作業平台上根據各自資料屬性之描述(MetaData)，自行交換資料與計算結果，同時，工程師可監控其過程，並根據相關計算結果進行研判比較。地工平台之開發成果包括地質鑽探資料庫查詢、液化潛能分析及基礎分析設計等工作模組。本文除介紹地工平台系統之基本架構外，亦就各模組開發技術及運作方式予以說明。文末並針對近期甫將 Google Earth 與此平台連結的研究作簡要介紹，以因應地理資訊技術之潮流，持續對此平台進行系統之改進。

關鍵字：地工分析網路作業平台、地質鑽探資料庫查詢模組、液化潛能分析模組、基礎分析設計模組、Google Earth

一、前言

大地工程分析與設計工作，通常因需考慮之變因眾多，加上對土層之不確定性、施工品質控制難度較高等因素，向被視為一種藝術。實際進行設計時，需針對各種課題，分階段逐一進行系列分析運算；對於同一階段之分析，亦需依據地區、地層分布、施工方法以及其他考慮因素之不同，結合過去之經驗與判斷，選擇不同之參數與方法同時進行分析。在縱向(各種課題)與橫向(採用的分析方法)間，資料的準備、轉換、銜接等工作，往往佔據工程師大量的時間。因此，如欲進一步提升工程設計之品質與效率，必先有一套能協助工程師處理資料與分析方法的整合性平台，使資料處理所需的時間及可能錯誤減少，並盡可能增加工程師探討其他潛在解決方案的時間。

著眼於此，本研究利用網路服務技術及軟體工程之方法，研究將各種分析程序與對應之地工資訊結合為具相互溝通能力之物件(Object)，讓這些物件能在平台上自行交換資料與計算結果，同時，工程師可監控其過程，根據相關計算結果進行研判比較。由於大地工程範疇廣闊，從選址、規劃、地質調查、初步設計、細部設計、施工規劃、施工監測乃至於工程完成後之安全監測等等，其考量因素、目的與需求均不盡相同；欲建立適用於各種需求之網路平台，絕非一蹴可及之工作。

地工平台為中興工程顧問公司所贊助的研究案，初期(2004 年)以開發基本架構為導向，並研擬前述互動性物件之架構機制與資料儲存格式建立入口網站(<http://genet>)，且於 2005 年開發完成以任何工程均需要之地質鑽探資料庫查詢模組作

* 中興工程顧問社大地工程研究中心研究員

** 中興工程顧問社大地工程研究中心經理

為大地工程平台之首要模組，同年並開發液化潛能分析模組，作為應用地質鑽探資料庫可行性的第一個分析模組。隔年(2006 年)，本中心(大地工程研究中心)將設計國道六號基樁的經驗另行開發了基礎分析設計模組，但由於基礎設計的土層參數必須由工程師依其本身之經驗與專業素養來決定，非僅靠鑽探資料及力學試驗的結果即能引用，且亦無法確定新的設計案所在位置，地質鑽探資料庫內必有該區的鑽探資料及力學試驗值，因此基礎分析設計模組最後採自行輸入土層參數的模式開發，但仍附掛於地工平台上，作為一個獨立的分析模組。

開發期間，因應網路程式開發技術之進展，及工程師們使用操作上之建議陸續進行系統改進之工作。本文除介紹地工平台系統之基本架構及各模組的功能外(部份內容取材自中興工程 97 期「大地工程網路作業平台之開發」)，亦針對最近甫將 Google Earth 與此平台連結的研究作簡要介紹，以因應地理資訊技術之潮流，持續對此平台進行系統之改進，期能使地工平台成為大地工程師們有力之工具。

二、地工平台系統架構介紹

國內目前大型公共工程建設日益複雜，必須由多人通力合作才能完成所有工作，因此，地工平台係以多人協同作業的方式進行規劃，以 C#.NET 及 VB.NET 配合 Microsoft .Net Framework 相關技術，採分散式多層次(Multi-Tier) 架構的方式建置；所有程式的使用者介面及資料交換介面均採取 Web-Base 方式並使用 ASP.NET 配合 Javascript 技術開發。資料庫管理系統及網頁伺服器採用 SQL Server 及 Internet Information Server (IIS) 建置。資料庫之存取、維護以及數值運算以 XML Web Service 方式建立。其整體架構，以系統服務及硬體結構來區分，可分為客戶端及伺服器端兩個部分，如圖 1 中所示。

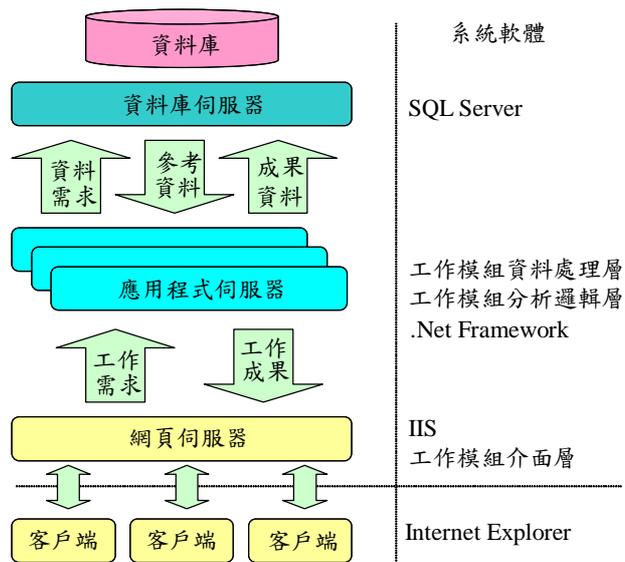


圖 1 地工平台硬體與服務架構圖

地工平台為使系統建置維護與使用成本能儘量降低，在不影響功能與運行效率之前提下，客戶端之軟硬體規格儘量降低，僅需提供讓網路瀏覽器(如 Internet Explorer)能順暢運行即可，所有運算及資料存取，均由地工平台之伺服器端提供。

伺服器端由網頁伺服器、資料庫伺服器及多個應用程式伺服器所構成，基本上，網頁伺服器處理客戶端之使用者介面；應用程式伺服器處理各工作所需分析與計算工作；資料庫伺服器負責資料庫之維護及各種資料之提供。所有客戶端使用者介面之動作，均透過網頁伺服器向應用程式伺服器提出工作需求；根據工作需求，應用程式伺服器向資料庫伺服器取得所需之各種資料並加以運算後，再將運算結果透過網頁伺服器提供給使用者，同時亦須將工作參數及運算結果儲存於資料庫伺服器中。

工作模組為組成地工平台之基本元件(如圖 2 所示)，以分析模擬之對象例如鑽孔、基樁等為導向；容許採用不同之理論或方法，並自動製作如計算書等成果。此元件由層層包容之數值模型物件集合所組成，各數值模型則描述了該項分析或設計工作所處理的工程對象之數值特徵。

以鑽探資料處理模組為例，鑽探資料處理模組本身為工作模組物件，其模擬之數值工程物件為鑽探孔物件所組成之串列，每個鑽探孔物件又由取樣紀錄、現地試驗紀錄等串列物件組成，層層套疊，至可將該鑽探工作所紀錄之各種數值資料完整定義為止。工作模組物件之組成元件，係由數值資料、服務程序以及使用者介面等三個部分構成，數值資料儲存前述工程對象之數值特徵；服務程序處理該模組之數值資料，提供使用者介面或其他模組引用；使用者介面負責與使用者間之溝通。數值資料僅可由自己的使用者介面或服務程序來存取，其他模組不能直接存取該模組之數值資料。

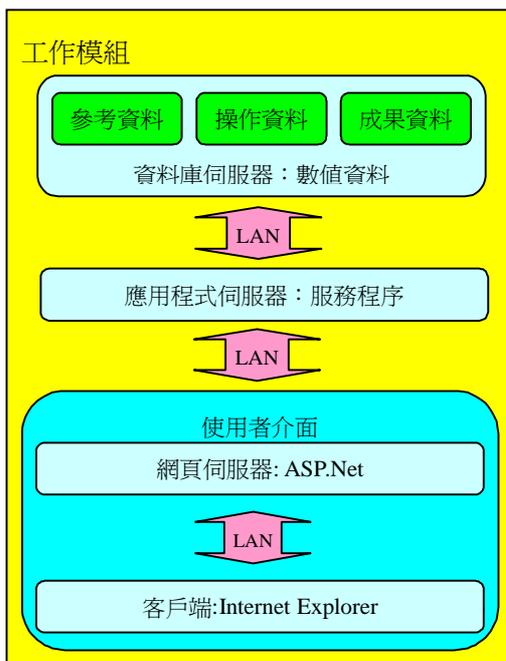


圖 2 工作模組架構示意圖

地工平台入口網址為 <http://genet>。目前已完成並開放線上測試使用的模組包括鑽探資料庫查詢、可將各工作模組之資料縱向管理之專案管理模組、針對鑽孔試驗結果進行液化分析計算之液化分析以及基礎分析設計等模組，未來亦擬就地工設計參數推估、邊坡穩定及深開挖等分析開發。本文將針對鑽探資料庫查詢模組，液化潛能

分析模組以及基礎分析設計模組，就其開發技術及運作方式予以說明。

三、地質鑽探資料庫查詢模組

地質探勘資料是工程建設、資源開發、環境保育、地質災害防治、土地利用及學術研究等方面不可或缺的基本資料，但資料的調查與蒐集，卻是一項昂貴且費時的工作。為求節約和時效，避免有限資源因重複建置而浪費，因此相關探勘資料的互通、共享，顯然是一實際而迫切之需求。其次，由於各單位對地質探勘資料的應用領域與作業需求不同，因此對於資料蒐集項目及其精細程度之差異，將是可預期的。因此，唯有促成資料規範的標準化，才能達到分散建置、互通共用與資源共享的目標。

經濟部為推動地質資料共享，避免重複調查造成資源浪費，遂於民國 84 年開始推動「地質探勘資料庫」資料共通規範的研擬工作，參考美、英、日等國之相關標準及國際規範，並彙整國內各相關單位所編定的工址調查作業準則，於民國 87 年 6 月訂定「國土資訊系統自然環境基本資料庫分組－工程地質探勘資料庫」資料作業參考規範。該規範完成後，經濟部除投注人力，將過去各大公共工程建設所完成的地質調查工作予以建檔，迄今(民國 98 年)已完成了 3 萬 1 千多個鑽孔的資料建置作業，目前仍持續建置資料中。

本系統則於初期(民國 93 年)取得經濟部地質調查所數化之 11,981 孔地質資料，除納入作為資料庫外，另將中興公司從民國 60 年到 92 年共 349 冊 5,214 孔之鑽探報告書予以數化進資料庫，且此數化資料皆已進行過正確性檢核，包括基本幾何位置檢核、基本物理性質檢核及試驗資料檢核，以確保輸入資料的正確性。另由於目前工程界習用之 TWD67 二度分帶座標系統係於民

國 67 年公布實施，較早完成之鑽探計畫，已無從查考其真正之座標，因此，僅有 2,413 孔具有有效之座標資訊，座標不詳之資料，僅能透過計畫名稱查詢。

地質鑽探資料庫查詢模組之介面係採網路應用程式的方式來設計，其與傳統的 WinForm 程式大不相同。原本在 WinForm 程式可以很輕易達到的功能，在網路應用程式裡就要藉助其它的方法或以其它的方式來呈現。此外，網路應用程式運算的核心是在伺服器端（Server），而客戶端（Client）只負責是以網頁的方式來展示程式介面，做為使用者與伺服器端的溝通橋樑。

因為只要客戶端需要伺服器端有所回應時，伺服器端必須重新傳回新網頁給客戶端，如此即會造成網頁畫面的跳動，來回傳送越頻繁，畫面跳動就越多，造成客戶端使用者操作的不便。而且網路傳輸速度也會影響伺服器傳回網頁的時間，若再加上過度頻繁的傳送，將會讓使用者等待過久的時間，失去耐心。

基於上述的特性，本介面的設計儘量減少和伺服器端的溝通，也就是減少網頁數目，讓一個畫面裡儘量能顯示完整的資訊，且以框架（Frame）的方式來設計，讓畫面的跳動只在局部性。

地質鑽探資料庫查詢模組中，有三種查詢條件可來查詢鑽孔資料，分別為(1)鑽孔座標範圍、(2)鑽孔試驗項目及(3)鑽孔計畫名稱關鍵字，如圖 3 所示。此三個查詢條件可任意組合，若無輸入查詢條件，則查詢結果將列出在資料庫裡所有的鑽探計畫，如圖 4 所示。若要觀看某一鑽孔，則點選某一鑽孔編號可顯示該鑽孔的詳細資料如柱狀圖、基本資料、鑽孔方法、取樣方法、目視地質紀錄、地下水水位、試驗紀錄及岩心箱照片等，如圖 5 所示，如此可讓使用者迅速掌握區域範圍內土層狀況與力學特性。



圖 3 地質鑽探資料庫查詢模組查詢介面

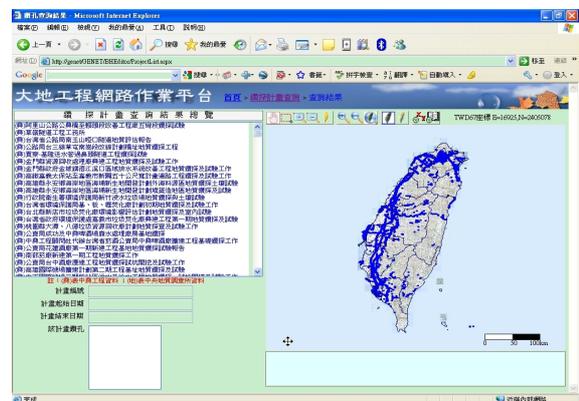


圖 4 鑽孔資料查詢結果

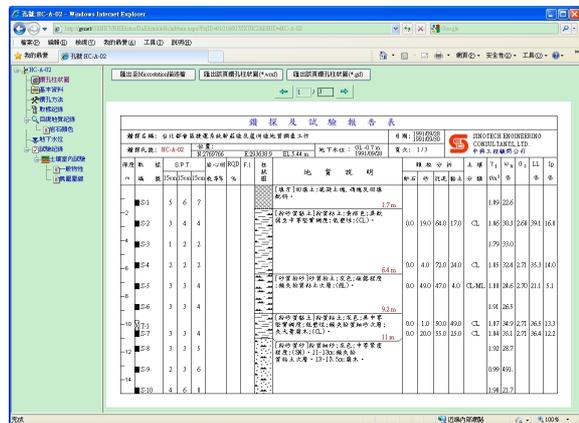


圖 5 鑽孔詳細資料

上述查詢介面已有經濟部於民國 63 年編印之兩萬五千分之一經建版地形圖及二十五萬分之一台灣地質圖作為底圖參考，但初版系統上線時並無提供此服務，因此工程師們即反應希望能加上參考底圖，對於單機版程式，地圖顯示所需之操作極為單純，但對於網站作業方式則需牽涉到

伺服器與瀏覽器間之互動及通訊，致使開發益加困難。其次，目前建構網頁之描述語言(HyperText Markup Language, HTML)對於網格式(Raster)影像之顯示功能支援較齊全，但對於向量式(Vector)資料之處理則付之闕如，一般網頁作業對向量資料之處理方式包括：

(一) VML(Vector Markup Language)

該協定係由 World Wide Web Consortium 於 1998 年 5 月所建議。伺服器傳輸依據螢幕座標描述之幾何圖形定義，由瀏覽器解讀再繪製於客戶區域(Client Area)上。此法利於幾何形狀較為單純之直線、矩、圓形等，應用於地圖時，對道路等線形較單純之物件顯示效能頗佳，但針對如縣市、鄉鎮界需以多點描述之複雜圖形時，則須先依據目前縮放比例予以平滑化後，才能獲致較佳之效果。

(二) X3D(Extensible 3D) / VRML(Virtual Reality Modeling Language)

X3D 為 VRML 之後續產物，主要為提供於網頁上描述三維物件及顯示方式之語言，模型可依據使用者之指令拉近、拉遠，以任何角度旋轉、並可設定簡易的光、影等視覺效果。目前由 Web3D Consortium 負責發展及維護，其功能遠較 VML 強大，但因目前大多數瀏覽器均未直接支援此語言，因此均需外掛如 Cosmo Player 等軟體才能作用。

(三) Web GIS(Geographic Information System)

由於以簡單幾何形狀描述之向量物件在網頁上傳輸及顯示地圖資訊之效能不彰，各家 GIS 軟體公司，於近年來均大力開發 Web GIS 相關產品，較為國人所熟悉的包括 Autodesk MapGuide、ArcGIS ArcIMS、ArcGIS Server 以及 MapInfo MapXtreme 等產品，中興工程顧問社亦利用 MapGuide 開發了地理資訊供應網站、工業區地理資訊系統等成果(林永青、徐黎明、謝素貞，

1994)。這些系統對於地理資訊之定義、儲存、傳輸、顯示乃至於分析等，均做了最佳化調整，亦提供了強大且完整的功能，在展示了作為在網路上開發大型專業地理資訊系統高度潛力。

針對地質鑽探資料庫之查詢而言，對所需之參考底圖之操作功能需求有限，大致僅需顯示、放大、縮小、框點選等基本功能，但由於縣市界等向量式地圖資料過於複雜，VML 及 X3D 並不適用；且 Web GIS 之伺服器端軟體費用動輒數十萬，應用在本系統之建置成本亦過高，均不適用於本系統。所幸 2005 年間迅速崛起之非同步呼叫技術 AJAX(Asynchronous JavaScript And XML)，為此問題提供了高效率且價廉的解決之道。

AJAX 與其說是一種技術，倒不如說是網頁設計者對於伺服器與瀏覽器分工方式之重新思考。傳統之網頁，係由伺服器來回應使用者的所有操作，即使使用者只修改了網頁上的一個數字，瀏覽器仍將整個網頁資料傳回伺服器，由伺服器解讀後再產生新的網頁描述送至瀏覽器，此方式造成了大量相同的資料重複地在網路上傳輸，不僅佔用頻寬，更造成了網路程式反應遲緩。AJAX 其實並沒有利用新的語言或工具，僅是對使用者的回應動作，以 Javascript 先行定義好，在第一次顯示網頁時，伴隨頁面傳輸至瀏覽器，因此使用者之動作，均由瀏覽器來回應，除非需要向伺服器要求新的資料時，才與伺服器進行最為耗時的資料傳輸，且傳輸以非同步方式進行，即使需要大量資料的傳輸，亦不影響使用者畫面操作之流暢度。

針對網格式地圖資料，鑽探資料庫查詢模組係將所需引用之地圖，切割為許多能在網路上迅速傳輸之小方格，引用了 AJAX 觀念，將滑鼠於地圖上移動等操作，以 JavaScript 解譯為相對應之平移、放大、縮小、框選、點選等動作，根據這些動作，計算須向伺服器要求之底圖名稱，如該底圖曾經被要求過，且尚存於瀏覽器的暫存記

憶體中，即可省略該圖之傳輸。其次，由於相對於向量式地圖之精度而言，使用者螢幕之解析度甚低，如於伺服器先將各線段予以平滑化，許多線段均將落於同一像素(Pixel)內，而瀏覽器尚須多花費計算時間將向量資料轉為螢幕的網格予以展示，故平滑化之步驟並無法有效率地提高使用者操作之順暢度。因此，針對向量地圖資料之處理，本系統採先將所有向量資料讀入伺服器之記憶體，並以數值(Binary)方式儲存，再依據目前圖框範圍，即時以向量資料產生底色透明之壓縮網格式圖檔，最後由瀏覽器將前述網格式地圖層與向量資料產生之圖層疊合顯示(圖 6)。

改良後之地質鑽探資料庫查詢模組可流暢地對全台灣地區地圖任意地縮放、框選、點選、顯示座標、比例尺等。相同之技巧，將來亦可應用於可取得的任何網格式或向量式地圖資料進行套疊，如航空照片、水系、街道圖等。

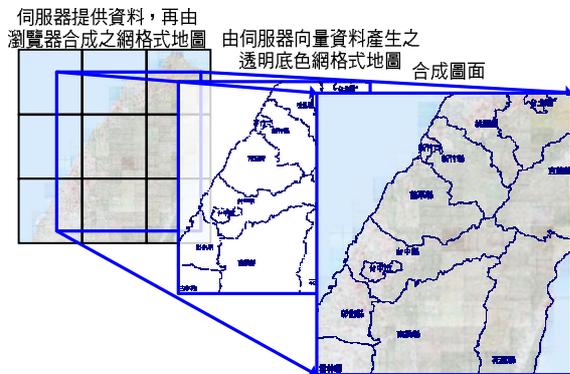


圖 6 網格式及向量式地圖資料疊合示意圖

目前網路上亦有中央地質調查所所發展之「工程地質探勘資料庫」可供一般人士進行地質鑽探資料之查詢，其與本平台地質鑽探資料庫查詢模組展示的資料相同，皆為鑽探資料，但仍有些許差別，如下所述：

1. 資料庫資料表格式的不同

本模組雖參考地調所 GEO2000 資料庫之格

式，但因該格式資料表分類過多，試驗資料儲存過於零亂，不利資料編輯及查詢，因此本模組將 GEO2000 的資料表整合成本模組專屬的 GeoData 資料庫格式，將同屬性項目或同深度的資料歸屬於同一資料表內，有利於原始資料的閱讀及維護，如圖 7 所示。

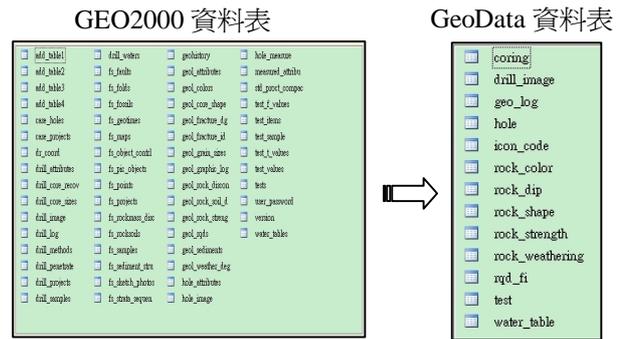


圖 7 本模組資料庫資格式與 GEO2000 資料庫格式的不同

2. 資料查詢方式的不同

本模組是以鑽孔座標範圍、鑽孔試驗項目及鑽孔計畫名稱關鍵字作為查詢方式，而地調所的平台則無鑽孔試驗項目及鑽孔計畫名稱關鍵字的查詢方式。

3. 資料展示方式的不同

本模組是以單獨鑽孔為單位，將鑽孔所有的鑽探及試驗項目以樹狀圖表示，並能匯出完整的鑽孔柱狀圖(如圖 5)，而地調所的平台則以功能表方式展示鑽探資料，鑽孔柱狀圖亦僅簡要的列出，如圖 8 所示。

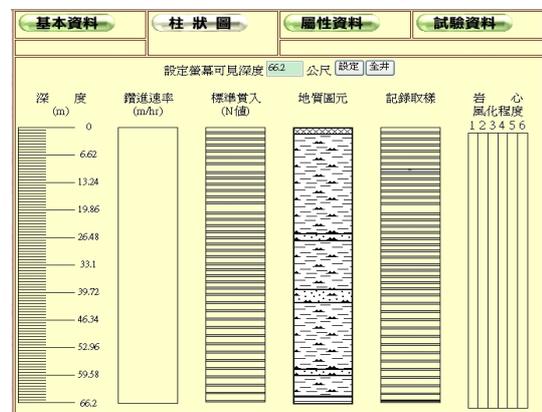


圖 8 地調所平台所列出之鑽孔柱狀圖

4.使用的網路技術不同

本模組網頁是以新一代的 ASP.NET 語言來開發，以利未來擴充更多、更強的功能，而地調所的平台則以傳統的 ASP 語言來開發，功能較為受限。此外，本模組使用的網路 GIS 展圖平台為自行開發，使用者開啟瀏覽器即可使用，已於上作說明，而地調所的平台則以 MapGuid 作為展圖工具，使用者開啟瀏覽器需要再安裝 MapGuid Plugin 才可使用。

地質鑽探資料庫查詢模組為地工平台第一個模組，平台的基本架構與模組的運行模式都在此時建立，因此所花費的開發時間較多，但後續的應用模組皆可依循此發展標準進行開發。

四、液化潛能分析模組

近幾年來，大地工程學術界與工程界投注了大量的資源於土壤液化的研究上，液化潛能分析成為了大部份土壤基礎工程規劃設計階段必先檢討的問題之一。921 地震後，台灣中部地區十三個鄉鎮均發生了嚴重的液化災害，土壤液化問題更加引起社會大眾的注意；同時，土壤液化潛能評估工作也受到政府主管單位對於地震災害防治方面的高度重視。基於此，本平台開發液化潛能分析模組作為第一個分析模組。

土壤液化潛能分析方法由簡而繁大致可以分成三個層次，第一層次是經由歷年累積下來的案例研究所建立的經驗公式，以安全係數是否大於 1 的方式評估土層之液化潛能；第二個層次為總應力分析法(Total Stress Analysis)，考慮土壤之勁度隨應變增加而折減之特性，以擬線性的方式計算土壤隨應變折減的勁度；第三個層次也就是有效應力分析法(Effective Stress Analysis)，由土壤的非線性行為及達西定律計算孔隙水壓的反應及傳遞，進而判定液化可能發生的深度及後續孔隙水壓消散的影響，這種方法理論架構最為嚴謹，

相對的，也較為複雜。

以有效應力分析法進行地盤液化反應之模擬時，由於數學理論複雜，動輒需同時對十餘個參數進行校調，目前尚處於研究階段，尚未於工程界廣泛應用；總應力分析法，雖可較精確地評估地盤剖面由地震引致之反覆剪應力比，但土壤之抗液化強度比仍採用與簡易經驗法類似之方式來評估。雖然土壤之抗液化強度，也可以試驗室動力試驗求得，但是限於試驗數量、經費及試驗儀器、程序，甚至取樣技術等問題，以簡易經驗法由現場試驗如 SPT、SCPT 等試驗結果來評估土壤抗液化強度比，較具有廣泛、經濟上的優點。由於本文以地質鑽探資料庫作為分析之資料，因此選擇簡易分析法開發分析模組當能達到簡易、快速及先行評估之目標。

根據建築物技術構造設計規範之建議，一般鑽探資料標準貫入試驗 N 值進行評估之土壤液化簡易分析法，包括修正 SEED 法、JRA96 法以及 Tokimatsu and Yoshimi(簡稱 T&Y 法)等所建議之方法，其基本流程，均為分別估計地震引致之反覆剪應力比(Cyclic Stress Ratio, CSR)以及土壤材料本身之反覆抗剪力強度比(Cyclic Resistance Ratio, CRR)，並定義安全係數 $FS=CRR/CSR$ ，如安全係數小於 1，即代表該土層在設計地震下有液化之可能。

此三種簡易的方法僅需鑽探資料內的 SPT-N 值、基本物理性質試驗即能作液化潛能分析，非常符合本模組所需，因此本組即採用此三種常用之方法((1)修正 Seed 法(2)JRA96 及(3)T&Y 法)來進行土壤液化潛能評估。使用者可點選地質鑽探資料庫查詢模組之鑽孔，本模組即可快速地至鑽探資料庫內讀取該鑽孔深度 20 米內之所有取樣結果及試驗資料將該鑽孔之柱狀圖、SPT-N 值、細粒料含量以及三種液化評估法計算所得之安全係數對土層深度之關係，以圖形方式顯示，如圖 9 所示；當某深度之安全係數小於 1，表此深度

之土壤於設計地震規模下有液化的可能，可提供使用者於後續的工程規劃設計中採取必要的經費估算及工程措施來因應。

由於進行液化潛能分析時，鑽探之地下水位並不能作為分析之依據，故本模組設計讓使用者輸入設計地下水位、設計地表最大加速度以及設計地震規模等分析參數，供設計者進行不同狀況下之土壤液化潛能分析。使用者僅需按「重新計算」，該模組即透過 AJAX 技術將使用者輸入之參數以非同步方式回傳至應用程式伺服器，並至資料庫伺服器讀取鑽探資料後進入應用程式伺服器進行資料運算後再傳回使用者端，期間網頁都不會跳動，不會影響使用者畫面操作之流暢度。

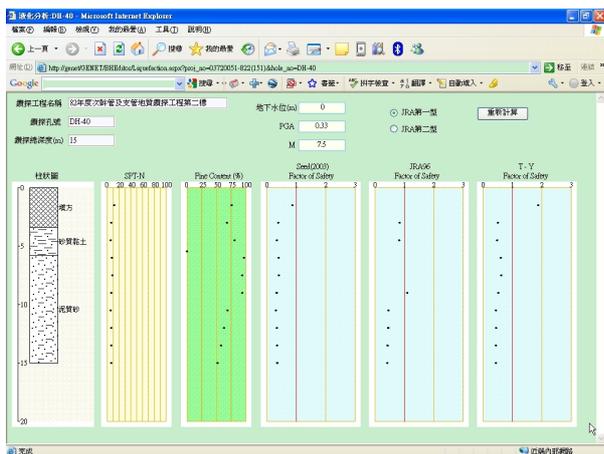


圖 9 液化潛能分析結果

液化潛能分析模組為第一個應用地質鑽探資料庫之資料來作為分析的模組，經由資料庫現有的資料來作快速地計算，即能得到分析結果，實為地工平台最佳的應用模組範例。

五、基礎分析設計模組

基礎工程係指將上部結構體之載重，安全地傳遞至土壤或岩盤之結構體。但由於各設計規範對外加荷重考慮之不同，例如極限設計(Limit State Design, LSD)、載重與阻抗係數設計(Load and Resistance Factor Design, LRFD)，乃至於性能

設計(Performance Based Design)等，基於可靠度分析(Reliability Analysis)之概念，對各種外加荷重條件及承載力之修正係數各異，因應不同荷重條件，土層對基礎之反應亦不相同，例如砂性土壤在地震荷重下可能發生液化現象，黏土質土壤在長期荷重下可能產生壓密沉陷等，工程師必須針對各種可能的狀況進行考慮。且由於各種基礎之適用條件、分析方式均不相同，故其對設計結果之輸出方式亦異。為提供工程師整合之設計輔助系統，針對各種可能之設計方案進行檢討，故就其設計荷重之考慮、土壤行為分析、基礎設計方法以及設計成果呈現方式等方向，整合各種規範、理論與計算書、設計圖等參考資料，據以開發基礎分析設計模組。

基礎分析設計模組係針對一般鐵公路工程常用之橋台淺基礎、單樁基礎以及群樁基礎，發展整合基本規範與分析設計之程序。其中樁基礎因現行市面大部分之商用基樁計算程式，多套用固定理論與既有規範，無法予以變更，例如使用廣泛之群樁分析程式 GROUP(Ensoft,2006)，即無法對柔性樁帽進行分析，而可進行柔型樁帽分析之結構分析程式 SAP(CSI,2006)，卻無法有效模擬樁與土壤間之高度非線性受力-變形關係。因此，本研究蒐集目前樁基礎分析理論之發展，擇其堪於工程實務上應用者，配合目前已普遍應用之設計程序，自行開發計算核心，以因應未來規範之發展而擴充之彈性需求。

進入此模組中，工程師將土層參數、設計載重組合以及基本設計條件輸入後，系統即能快速對所有載重條件下之設計要求及檢核條件進行計算，使用者反復運算，以符合規範之要求；設計定案後，該程式更亦可將設計結果彙整，協助工程師完成配筋計算，並自動製作所有過程的計算書。如此，工程師即可將大部分之心力集中於設計之最佳化上，以提高設計實務上兼顧安全與經濟之品質要求。

本模組對於基礎設計資料之組織構想，源自於於 2004 年所開發完成之 PGROUP V1.0 程式 (陳錦清、冀樹勇、洪世勳、王天佑, 2006)，係以工程專案為基本單位，每一工程專案擁有獨立的设计規範參數，諸如安全係數、承載力公式、土壤彈簧模式以及群樁效應折減計算方式等，除常用之計算公式由系統提供使用者選用外，同時亦可視該專案設計規範之規定，由使用者自行定義相關計算公式(圖 10)。工程專案內可包含任意數量之基礎，每基礎則各自擁有至少一組以上之載重組合以及對應之簡化土層參數(圖 11)。使用者可依其設計經驗，透過本系統提供之設計介面(圖 12)來指定基礎之配置，再利用變位分析模組，對所有載重組合進行計算，系統同時針對設計規範進行檢核，使用者可藉計算及檢核結果(圖 13)瞭解對各種載重下單樁荷載之分布、變形、剪力與彎矩與深度之關係，並可針對控制設計之條件，調整其樁群配置，直到符合規範之要求為止。此外，系統亦將自動彙整所有載重下之分析結果，計算樁帽或基礎底板各方向之最大正負彎矩、剪力以及樁身於各深度之軸力、彎矩及剪力，使用者僅需輸入欲配置之各層鋼筋號數、間距等設計值，系統亦會根據鋼筋混凝土設計規範立即檢核該配筋是否足夠，如圖 14 及圖 15 所示，如因彎矩過大等因素造成無法配筋時，則應自基礎之幾何配置重新檢討試算，直到所有設計均符合規範要求為止。

群樁載重分析條件:

- 是否考慮樁帽自重
- 是否考慮覆土重
- 地層下是否考慮樁帽自重之慣性力
- 地層下是否考慮覆土重之慣性力

單樁樁頭點承力公式: NAVFAC 7.2

CL: $f_t = 0.21 + 0.26 \text{ Pa} / S_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$

SM: $f_t = 0.7 \sigma'_{\text{max}}(\varphi) \leq 12 \text{ kN/m}^2$

公式代號: NAVFAC

單樁樁頭點承力公式: 台灣建築基礎構造規範2001

$q_b = cN_c + \sigma' N_q + 0.5 \gamma D N_{\gamma} \leq 375 \text{ kN/m}^2$

公式代號: TWN01

基礎安全係數

深基安全係數	長期荷重	暫態荷重	設計荷重	極限荷重
摩擦係數	3	1	1	1
點承力	3	1	1	1
拉拔力	6	1.25	1	1.25

淺基安全係數

深基安全係數	長期荷重	暫態荷重	設計荷重	極限荷重
承載力	3	2	1.25	1.25
傾覆	2	1.5	1	1
滑動	1.5	1.2	1	1

圖 10 專案計算方法與參數設定

新增土層組

土層名稱	Strata1
設計地表高程EL.(m)	100
基礎頂面高程EL.(m)	95
地下水位G.L.(m)	2
地表原有荷載(t/m^2)	3
地表新增荷載(t/m^2)	0
P-Y曲線: X向折減係數	0.9
Y向折減係數	0.9

新增土層類型: 此表之深度為地表高程往下計算。若不計算沉陷, Cc、Cr、e、α(過密凝聚力)不可用輸入。

土層	深度(m)	土層類型	層號	γ (t/m^3)	S_u (t/m^2)	ϕ (度)	q_u (t/m^2)	摩擦角	點承力	P-Y曲線	Cc	Cr	e	α	σ_c (t/m^2)
填土	5	填土型	3	1.9	2	0	2	TWN01	TWN01	JpRoad96	0	0	0	0	0
填土	15	填土型	15	2.1	0	32	0	TWN01	TWN01	JpRoad96	0	0	0	0	0
填土	35	填土型	30	2	0	34	0	TWN01	TWN01	JpRoad96	0	0	0	0	0
填土	50	泥岩類	50	2.3	0	35	0	TWN01	TWN01	JpRoad96	0	0	0	0	0

圖 11 土層定義

基礎配置

群樁編號	P1		
樁帽面寬(m)	10		
樁帽縱深(m)	10		
樁帽厚度(m)	3		
樁帽混凝土(f_c (kg/cm^2))	280		
樁帽頂面高程EL.(m)	95		
樁帽邊界條件	Fixed		
樁心X(m)	樁心Y(m)	樁寬(m)	樁深(m)
0	0	2	2

群樁基礎

樁	X(m)	Y(m)	樁徑(m)	樁長(m)	樁頭承載	f_c (kg/cm^2)	
X 樁	2	3	3	2	30	Fix	210
X 樁	3	-3	3	2	30	Fix	210
X 樁	4	3	-3	2	30	Fix	210
X 樁	1	-3	-3	2	30	Fix	210

圖 12 群樁基礎之設計

關係分析

基礎	風向	荷重	承載力檢核	拉拔力檢核	傾向位移檢核
基礎 1	整體	N.G.	O.K.	O.K.	O.K.
基礎 2	長期	N.G.	O.K.	O.K.	O.K.

最大軸力: 1851.02 kN, 最大彎矩: 246.4 kNm, 最大剪力: 142.38 kN, 最大樁頭側向位移: 234.95 mm

樁號	樁身	樁身軸力(kN)	樁身彎矩(kNm)	樁身剪力(kN)	樁身位移(mm)	檢核
1	1	-143.38	-0.06	786.4	234.95	O.K.
2	1	1327.08	0.53	786.4	234.95	N.G.
3	1	1839.95	1.08	786.4	234.95	N.G.
4	1	-55.6	-0.04	786.4	234.95	O.K.
5	1	1367.85	0.54	786.4	234.95	N.G.
6	1	1451.78	1.1	786.4	234.95	N.G.

圖 13 基礎數值分析結果檢核

計算

樁帽/基礎底板配筋設計

方向	號數	支向寬	間距(cm)	總面積(cm^2)	檢核
X	10	2	15	18.09	O.K.
Y	10	2	15	18.09	O.K.

次向檢核主筋

層別	深度(m)	號數	支向寬	間距(cm)	$A_{s,min}$ (cm^2)
1	0.29	11	1	15	1258.75
2	34.29	1	1	1	1
3	59.29	1	1	1	1
4	290.71	1	1	1	1
5	315.71	11	2	15	2517.5
6	340.71	11	2	15	2517.5

Y向檢核主筋

層別	深度(m)	號數	支向寬	間距(cm)	$A_{s,min}$ (cm^2)
1	12.67	1	1	1	1
2	37.67	1	1	1	1
3	62.67	1	1	1	1
4	287.13	1	1	1	1
5	312.13	11	2	15	2517.5
6	337.13	11	2	15	2517.5

圖 14 樁帽/基礎底板配筋設計

料經由網路分批傳送到使用者電腦上，最大的優點是使用者在操作過程中不會因為地圖顯示範圍的改變，產生太多的等待時間，同時使用者電腦上也不需要儲存大量的地圖資料，透過網路即可動態取得昂貴及高解析度的衛星影像資料。

若想查看某一鑽孔詳細的資料，可放大至可辨識該鑽孔之範圍，並用滑鼠點選該孔，則會快顯一圖說框，內嵌兩超連結，其一為土工平台鑽探模組之連結，另一則為液化分析模組之連結，如圖 19 所示。

點選兩超連結後，該鑽孔之鑽探模組及液化分析模組網頁隨即顯示於 Google Earth 內建的瀏覽器視窗中，如圖 20、圖 21 所示。土工平台的鑽探模組與液化分析模組即可藉此方式與 Google Earth 整合在一起。

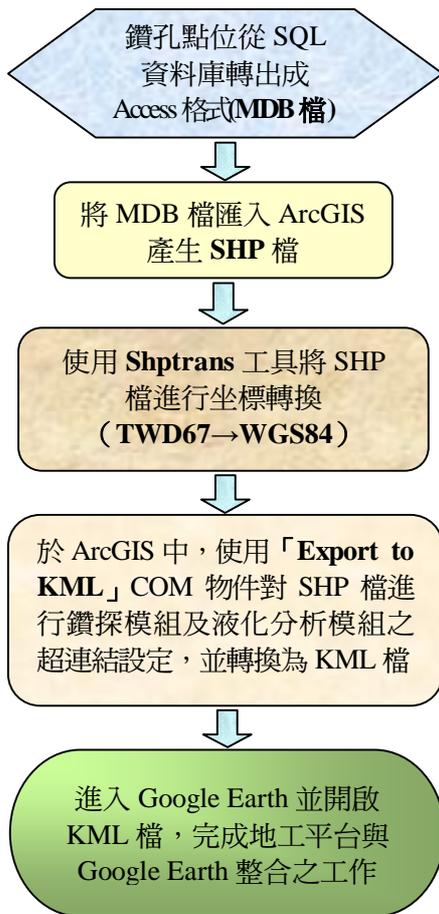


圖17 土工平台內鑽孔點位匯出成KML格式步驟

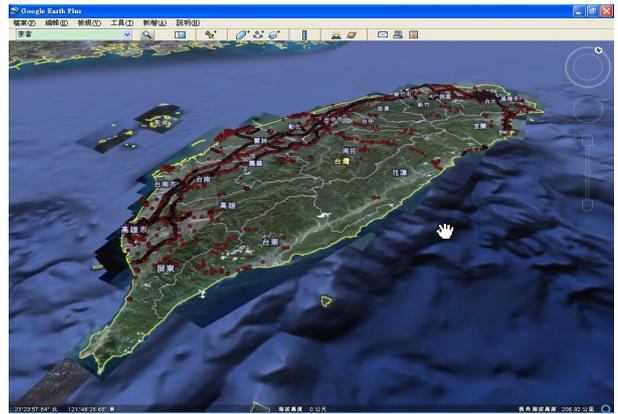


圖 18 鑽孔顯示於 Google Earth 中

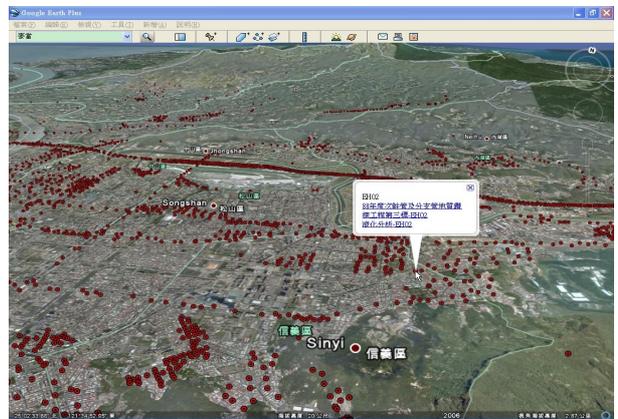


圖 19 Google Earth 圖說框內嵌兩超連結

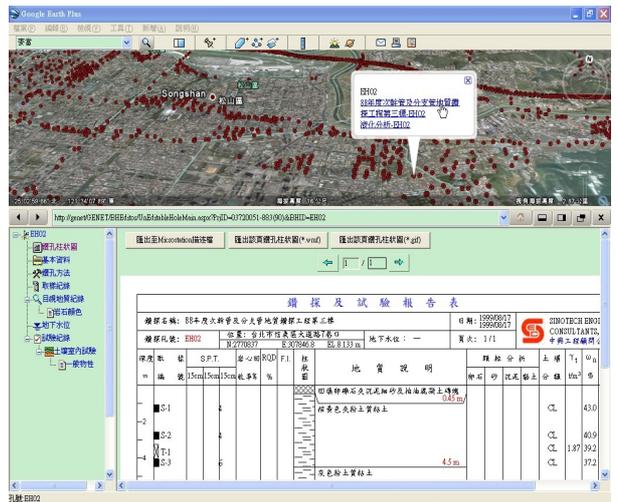


圖 20 鑽探模組與 Google Earth 之結合

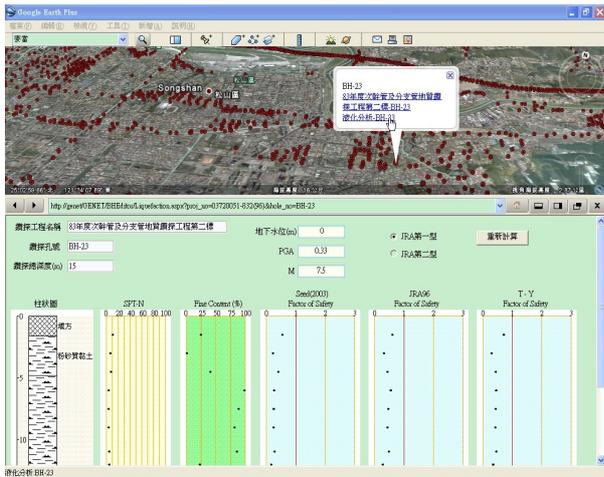


圖 21 液化分析模組與 Google Earth 之結合

七、結 論

由於重複運算及大量資料處理為電腦輔助工程設計自動化最大之優勢，本研究於規劃之初，即擬以工程設計實務為導向。系統計算功能與操作介面規劃之主要考慮因素，均以提供工程師一個易於學習、直觀且便捷之設計工具為主，程式本身並無任何決策之功能，諸如有關土壤參數之決定、採用之分析公式與模型，均需由工程師依其本身之經驗與專業素養來決定，程式僅迅速地提供其所需之計算結果及資料來協助工程師決策，系統所提供之主要服務，在於迅速、確實地進行所有計算工作。

地工平台各工作模組工作單純且便於組合擴充之特性，對於大地工程師所能提供之服務，不僅限於目前已完成之工作模組，未來應可依據學術理論之發展及工程經驗之累積，逐步擴充相關之工作模組，讓本系統所提供之服務能隨時間成長，同時，所有設計資料均可數值化留存，有便於參考之特性，讓資淺之工程師能從前人的經驗中學習，使工程品質亦能逐步提升，此亦為進行本系列研究之理想目標。

此外，Google Earth 的出現，打開了許多地圖瀏覽者與使用者的新視野，亦為地理資訊系統 GIS 開拓了一個新的方向。目前在各領域均有很多應用出現，將來的應用只會與日俱增，對於如此強大的免費工具，我們亦須善加利用，才能跟上此趨勢。本平台已初步跟 Google Earth 作連結，將來隨著 Google Earth 的改版，本平台亦將持續研究作更進一步的應用。

八、誌 謝

地工分析程網路作業平台之開發研究，係由中興工程顧問股份有限公司贊助，研究工作進行期間，承蒙中興公司研發部之支持、地工部侯秉承協理、江政恩、吳東錦等多位工程師提供諸多寶貴意見，以及中興社土木水利研究中心慨允提供地圖資料及技術諮詢，謹此表達謝意。

參考文獻

- 經濟部中央地質調查所(1998) 國土資訊系統自然環境基本資料庫分組-工程地質探勘資料庫資料作業參考規範
- 林永青、徐黎明、謝素貞(1994) 向量式地理資料在 Internet/Intranet 之應用，中興工程第八十三期，第 49-60 頁
- 王天佑、洪世勳、冀樹勇(2007) 大地工程網路作業平台之開發，中興工程，第 97 期，第 73-80 頁
- 建築物基礎構造設計規範，內政部營建署，2001。
- 洪世勳、王天佑、俞旗文(2008) 工程地質鑽探資料庫應用於土壤液化潛能分析，2008 工程地質探勘資料庫系統成果發表暨研討會
- 陳錦清、冀樹勇、洪世勳、王天佑 (2006) 樁基礎分析與設計程式之開發，中興工程第九十期，第 75-78 頁
- 鄭文昕(2009) 地調所「工程地質探勘資料庫之衍生應用」，經濟部中央地質調查所地質資料組資訊科
- Google Earth 相關網址
 - 中央研究院 Google Map/Earth 觀察報
<http://gis.rchss.sinica.edu.tw/google/>
 - 中央研究院地理資訊科學研究中心開發工具
<http://www.ascc.sinica.edu.tw/gis/ISTIS/tools.html>