

Open GIS輔助土石壩安全管理資訊之初步探討

A Preliminary Study on Applying Open GIS to Assist Embankment Dam Safety Management Information

邱顯晉	高憲彰	蔡明欣	鄭仁嶽
S.J., Chiou	H.C., Kao	M.S., Tsay	J.Y., Cheng
中興工程顧問社	中興工程顧問社	中興工程顧問社	水利署南區水資源局
Sinotech Engineering Consultants, Inc.	Sinotech Engineering Consultants, Inc.	Sinotech Engineering Consultants, Inc.	Southern Region Water Resources Office, WRA

【摘要】

為維護水庫營運功能，大壩管理工作極為重要且有賴於彙整各項檢查與監測資料之建置成果，以供大壩安全綜合評估及維護管理之依據。GIS為資料建置、儲存、查詢、分析、展示的資訊系統，可整合空間區位特性與現象，這些功能正好符合輔助大壩安全管理資訊整合之需求。因應地理資訊技術之發展趨勢，本文即以阿公店水庫為例，經由Open GIS共通標準的輔助，利用Google Earth結合Quantum GIS (QGIS)之軟體及技術，初步將土石壩與對應之現地檢查、監測等資訊建置為具空間資訊的查詢展示系統。運用其豐富圖資及立體地形，以協助管理人員根據其空間分布行為，綜合研判及瞭解可能問題，期能提昇水庫大壩管理於GIS領域之應用潛力。

Abstract

In order to maintain the function of reservoir operation, dam safety management tasks are extremely important and depend on the inspection and monitoring data to assess the safety of dam. A geographic information system (GIS) is any system that collects, stores, manages, analyzes and presents data that integrate the geospatial characteristics and phenomena, its functions are enough to meet the demand for assisting the integration of embankment dam safety management information. In response to the developing trends of GIS technology, this paper presents an example of A-Kung-Tien reservoir to preliminarily integrate the spatial-related information of embankment dam, inspection and monitoring data to establish a GIS query system that practicably adopts the software and technology of Google Earth combined with Quantum GIS (QGIS). Through the assistance of extensive geospatial data and three-dimensional terrain, the managers can comprehensively judge and understand the potential issues in accordance with spatial distribution, it will be helpful to improve the application potential of GIS in the dam safety management field.

關鍵詞：Open GIS、土石壩、Google Earth

Keywords: Open GIS, Embankment Dam, Google Earth.

一、前言

依據經濟部水利署網站資料，於台灣地區現有百餘座蓄水建造物中，土石壩(含土壩)約佔三分之一，其中土石壩平均壩長約五百餘公尺，壩體最長者為阿公店水庫，大壩長達約2.38公里，為一般混凝土壩平均長度的數倍。同時目前大部分水庫使用迄今已數十年以上，大壩安全管理工作對於水庫永續利用尤為重要，有賴各項安全檢查與監測資料之建置成果，以供大壩安全評估及管理維護之依據。

由於面對壩體較長的土石壩及其廣大下游區域，大壩既有安全檢查及監測範圍廣且資料多，也可能存在大壩行為分屬不同區域特性的情況，使得管理者常需用更多時間和精力於管理作業。若能運用GIS(Geographic Information System)建置及管理大壩之空間資料，透過可視化的整體資訊來輔助溝通瞭解與規劃，將有效提昇大壩管理之能力。惟以往受限於GIS軟體及圖資昂貴、資料轉換等問題，以致大壩管理實務在GIS應用上仍未普及，經常仍以傳統方式表述大壩行為特性及管理大壩資料。

隨著GIS資料交換需求與應用普及化，新興的Open GIS領域在OGC (Open Geospatial Consortium) 及OSGeo (Open Source Geospatial Foundation)等組織的推動與專家社群發展下，漸具規模與可用性，同時也為上述問題找到解決之道。因此，本文即以阿公店水庫為例，實務探討免費軟體Google Earth結合Quantum GIS (QGIS)之應用，初步整合土石壩與其對應之現地檢查、監測等資料，建置為具空間資訊之查詢展示系統，運用豐富圖資及立體地形，期能協助大壩管理人員根據其空間分布，綜合研判大壩行為及重點規劃區域的管理面向。

二、應用系統簡介

2.1 結合Open GIS輔助大壩安全管理之考量

地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)為資料建置、儲存、查詢、分析、展示的系統，可整合空間區位特性與現象，這些功能正好符合輔助大壩安全管理資訊之需求。但以往一般的地理資訊系統，使用者在應用上常需耗費許多時間與經費以整合不同來源之資料(詹進發, 2009)，因此如何選取較低成本的良好工具，確為吾人在工程實務領域之基本考量。

廖泮銘等人(2006)指出隨著Open GIS的發展，地理資訊系統走向開放式架構，勢為未來之趨勢，以往空間資料轉檔、軟體使用平台之技術問題，將逐漸的獲得解決。由開放源碼軟體所組成之開放地理資訊軟體架構，不僅支援標準制度而發展，更讓Open GIS推展之目的可更確切落實於各組織實務應用之層次(范成棟等人, 2006；廖泮銘等人, 2009)。同時，目前推動的「國土資訊系統資料倉儲及網路服務平台」等多項計畫都與Open GIS的發展緊密結合。未來依循OGC標準，能結合GML(Geography Markup Language)、KML(Keyhole Markup Language)與WMS(Web Map Service)、WFS(Web Feature Service)以及坐標轉換服務等等共通標準的GIS服務平台，將成為未來系統整合之重要趨勢。

其中，採用KML之Google Earth及Quantum GIS即是具有符合OGC標準實作規格(Implementation Specification)所發展的界面，更為免費且開放的GIS資源。上述兩個免費GIS軟體的官方網站：「Google 地球」(<http://earth.google.com>)及「The Quantum GIS Project」(<http://www.qgis.org>)均有提供軟體下載與解說文件。針對KML標準的架構及開發文件於OGC官方網站(<http://www.opengeospatial.org/standards/kml>)及

Google(<http://code.google.com>)同樣有詳細資料可供參考。此外，目前中央研究院分別已建置「Google Map/Earth觀察報@Sinica」(<http://gis.rchss.sinica.edu.tw/google>)及「Quantum GIS資源網@Sinica」(<http://gis.rchss.sinica.edu.tw/QGIS>)等兩大網站，內含中文技術文件與實作資源予各界參考，內容極為豐富且值得推薦，極有助於推廣Google Earth與QGIS之應用。

其中，具有高解析度遙測影像及3D展示平台的Google Earth自開放以來，因Google Earth界面有效降低GIS技術門檻，用來操作和交換空間資料的使用人數與日俱增，各領域結合Google Earth的應用與研究成果極為廣泛(洪世勳等人，2010；徐百輝，2009)，政府部門也陸續開放防災及各式KML及WMS圖資讓各界連結，例如水利署(圖1及圖2)、地調所、水保局等網站，成為空間資料交換與整合的便利管道，可見透過此類友善操作界面與開放的GIS資源，確能有效提昇空間資訊與實務應用的緊密結合。

爰此，本文以實務應用為主要面向，初步採用符合開放式GIS架構所發展的免費GIS界面及其網路服務，透過此類GIS整合歷年來安全檢查、監測儀器分布與監測結果，以及各項具有地理區位的管理資訊，以輔助大壩安全管理之應用，提供大壩管理者可視化的綜合研判及溝通界面，輔助掌握大壩行為特性及瞭解可能的問題。

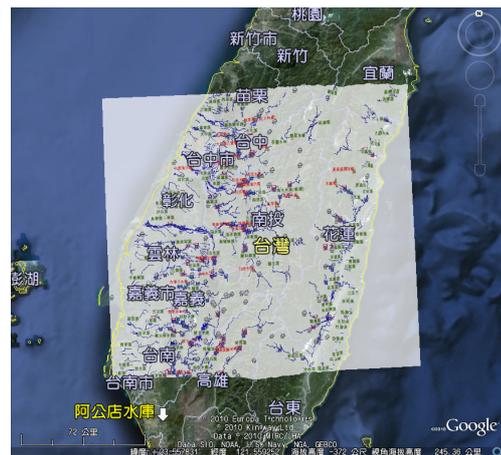
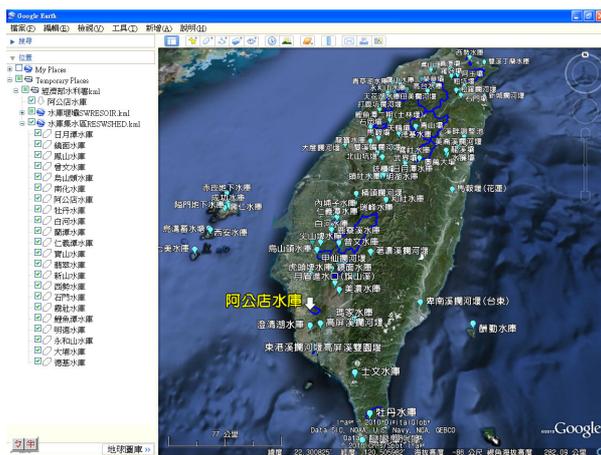


圖1 Google Earth套疊水利署水庫壩堰KML 圖2 Google Earth套疊水利署WMS服務

2.2 結合Google Earth與QGIS之應用方式

由於免費版的Google Earth主要採用WGS 84 經緯度，以及KML/KMZ/GPS格式與影像檔，較缺乏其他GIS/CAD圖資及各類坐標系統轉換、載入及編修處理功能。目前以Google Earth建置空間資訊除了直接以點、線、面標示外，也可以開啟KML編輯及載入GPS的交換檔，但有必要結合其他空間圖資時，大多仍需透過商業軟體及多種免費小軟體(如SHP2KML等)來層層轉換與處理，間接增加使用上的門檻。

為改善上述問題，本文首先藉由免費且具中文友善界面的QGIS軟體及技術，初步利用QGIS整合不同坐標系統及各類GIS/CAD/GPS等資料，直接存為KML於Google Earth套疊；同時，QGIS也能直接開啟既有Google Earth的KML檔及轉換為其他格式，可對KML空間資料予以編輯處理。經由Open GIS共通標準的輔助，結合Google Earth遙測影像的3D展示功能及QGIS的GIS處理技術，達到兩者相輔相成之效果，讓較低成本與適合的GIS工具更能獲得實務領域的採用。

三、案例簡介

阿公店水庫位於高雄縣阿公店溪上，營運至今已逾五十餘載，為唯一以防洪為主要標的之水庫。其大壩總長約2,380 m，主壩為中央混凝土心牆之滾壓式土壩，長250 m，最大壩高31 m；副壩為黏土及抱土心牆滾壓式土壩，右副壩長300 m、左副壩長1,830 m。自1953年完工後運轉以來，水庫因集水區地質條件日漸淤積，因此辦理壩體改善與增建等工程，2006年更新後成為大規模改善成功之水庫。同時在改善後為持續維護大壩安全，積極辦理安全檢查與監測作業，藉以提昇大壩的安全管理及水庫之永續利用。本文彙整阿公店水庫大壩之位置及地形圖如圖3所示，經由QGIS套疊不同坐標系統之CAD/GIS地形圖資以及直接轉換為KML(如圖4)後，將本水庫之大壩空間資訊整合於Google Earth之成果，如圖5所示。

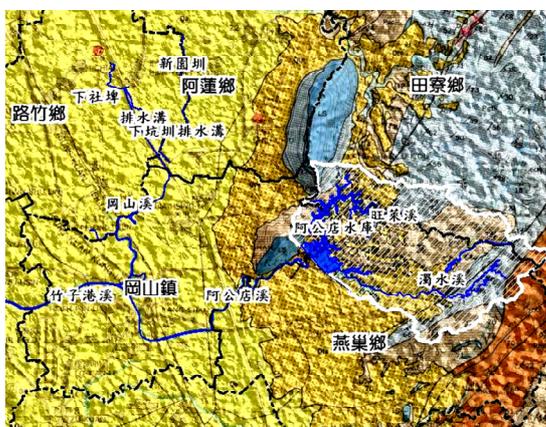


圖3 阿公店水庫位置及地形

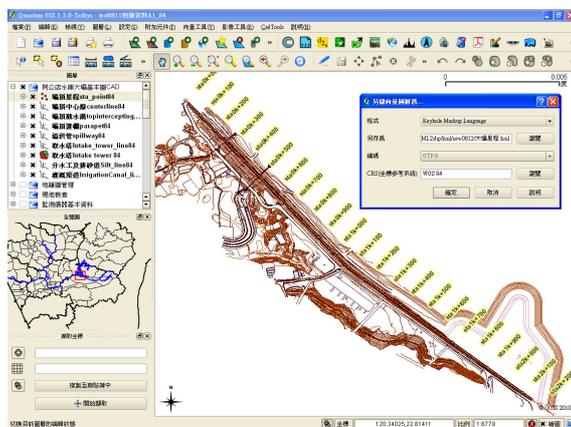


圖4 以QGIS整合及轉換CAD/GIS圖資

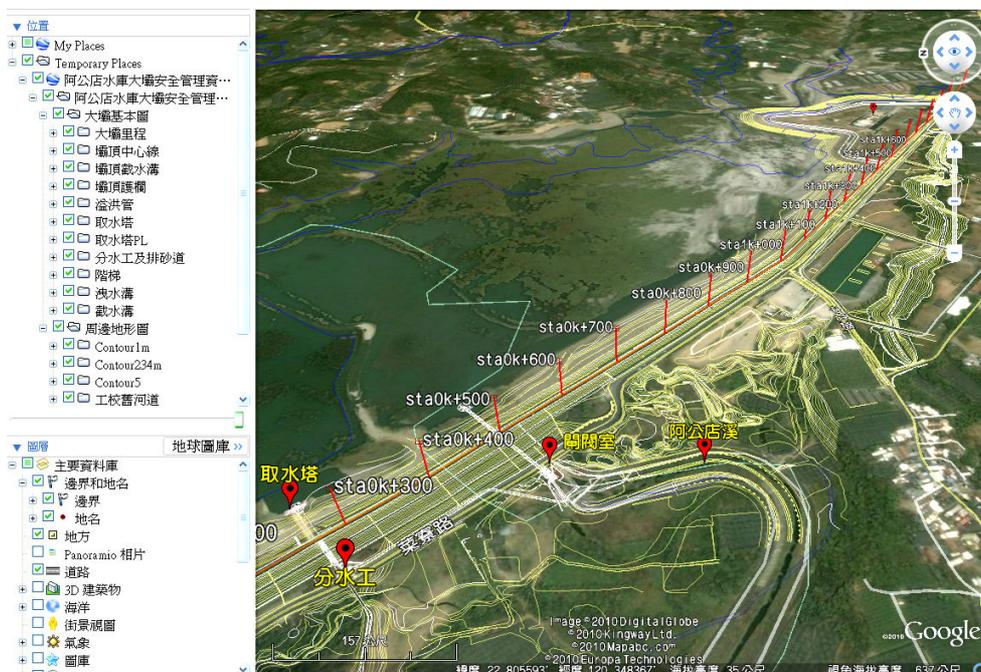


圖5 於Google Earth整合大壩現有CAD/GIS等圖資

依據目前Google Earth平台於本研究區所提供的遙測影像分別有2004年及2006年兩個時期，本文再以Google Earth平台之圖像疊加功能，分別套疊1988年及2003年的航照影像資料(如圖6及圖7)。其中，具有坐標系統的遙測影像可先於QGIS載入及轉換坐標，選用功能表的「向量工具」將影像圖層範圍產生為多邊形圖框，可作為圖像疊加於Google Earth之參考圖框。此外，再利用中央研究院建置的OGC WMS服務(廖法銘，2008)，載入本研究區之歷史影像(如圖8及圖9)。利用最新的衛星、航照等遙測影像與歷史影像的結合，期能提供管理者參考及作為比對之用，也有助於深入瞭解本區域下游河道地形地物之狀況及歷史變遷情形。



圖6 套疊1988年航照影像



圖7 套疊2003年航照影像



圖6 套疊中研院WMS之1904年歷史影像



圖7 套疊中研院WMS之1921年歷史影像

四、初步應用成果

在於輔助大壩安全管理資訊之應用方面，本文分別針對水庫周邊土地地籍資料管理、現地檢查成果、安全監測結果及地下水位推估、地質分布之推估與研判等運用情形作初步探討，將分述如后。

4.1 輔助土地管理之初步應用

一般水庫大壩之公有土地與周邊民間土地經常交錯連接，尤其土石壩下游及周邊區域的面積廣大，使得水庫所有土地管理及重要保護區的巡檢工作極為繁重。由於目前的地籍圖資大多以CAD圖來標示地目、地號及界線，以往一般巡檢人員取得此類CAD圖來研判公、私區域及現地界線時，常缺乏可視化的遙測影像來輔助，也無法以GIS空間屬性來標示地權分布與現況的問題。

因此，本文初步將阿公店水庫周邊地籍圖(TWD67TM2度分帶坐標系統的CAD)經由QGIS分類處理及轉換，區分為公有及民間土地資料，再以KML整合套疊於Google Earth中，如圖10所示；圖中，淺綠色邊界為水庫公有地，白色為周邊的民間土地。利用清晰的3D查詢及展示功能，提供大壩巡檢管理者有明確的空間概念，可初步查詢各土地面積及長度(如圖11)，同時能作為水庫大壩現有土地範圍之維護管理及調查改善區域之參考。

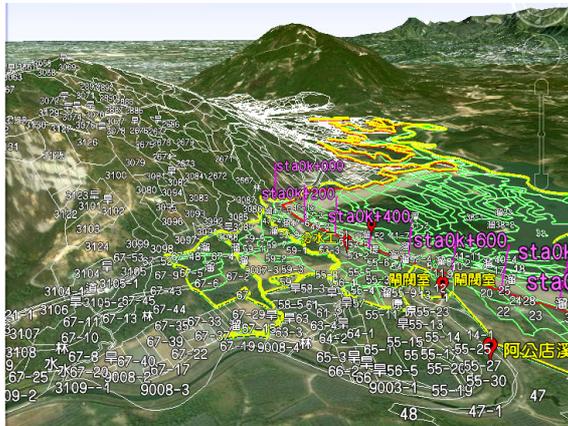


圖10 以Google Earth輔助土地管理之應用

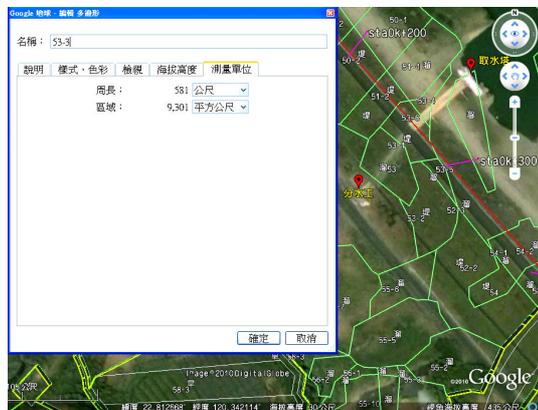


圖11 於Google Earth取得面積及周長

4.2 結合安全監測及地下水位推估

目前大壩現有設置之監測儀器設施主要分佈於大壩及下游區域，監測項目包括孔隙水壓計、自記水位計、水位井、傾斜管、沉陷點、量水堰及地震儀等。現有監測儀器與設施之監測目的如表1，大壩主壩剖面及監測儀器設置圖如圖12所示。本文將現有文字敘述的各項監測儀器基本資料、坐標點位於QGIS中分別整合為KML，未來可透過Google Earth快速查詢及管理維護監測儀器之GIS資料，以協助研判監測儀器是否足夠及改善規劃之參考。

於安全監測儀器中，孔隙水壓及水位變化是影響土石壩穩定的重要因素，因此需藉由水壓計及水位井等資料來研判大壩及下游總水頭、水位分布情形，用以掌握大壩滲流行為及評估其穩定性。因此，將各監測剖面點位每月分總水頭、水位資料，利用QGIS處理成具有空間分布之總水頭等高線資料，同時整合於Google Earth中，用以探討本研究區地下水位變化情形，可提供土石壩及壩基滲流行為及穩定性研判之參考，如圖13所示。

此外，彙整歷年來地下水位距地表深度之統計資料，發現大壩下游區地下水位量測深度略隨地表面高程成線性變化，且具有空間分布特性，因此，本文嘗試將本研究區地下水位距地表深度及地表高程資料作線性迴歸，初步統計結果如圖14所示；其中，決定係數 R^2 值約為0.95，同時當地表高程約略位於17~18m左右時，概略

推估地下水位可能約於地表表土區。再將上述迴歸結果與地表高程計算後，將地下水位量測深度推估結果經由QGIS轉換後套疊於Google Earth，如圖15所示，未來可提供大壩下游區監測儀器安裝深度之參考資料，以及研判地下水位可能位於下游區域地表的空間分布。

表 1 監測儀器及監測方式

儀器名稱	簡稱	監測目的
孔隙水壓計	WPE	埋設於壩體及下游坡面內，可自動監測壩體內與基礎之水壓變化，供壩體穩定性評估。
自記水位計	WLE	分布於壩體及水庫下游曾發生滲漏位置或地球物理探測之含水量較高處，以監測該處水位變化。
水位觀測井	WLW	量測水位之管狀設施，利用手持式感應器以人工方式量測，可瞭解壩體及壩趾下游地下水位之變化。
地震儀	ED	監測地震發生時之壩體受震行為，可作為大壩地震動態分析與評估之用。
傾斜觀測管	SDE	量測壩體上、下游邊坡是否有變位，利用傾斜儀以人工方式量測。
量水堰	WQR	設置於下游區滲水處，以持續自動監測其滲漏情形。
沉陷觀測點	SOP	沿壩頂道路兩側每100 m或200 m佈設一處，每處設有2個沉陷點，定期利用人工量測方式量測沈陷量。

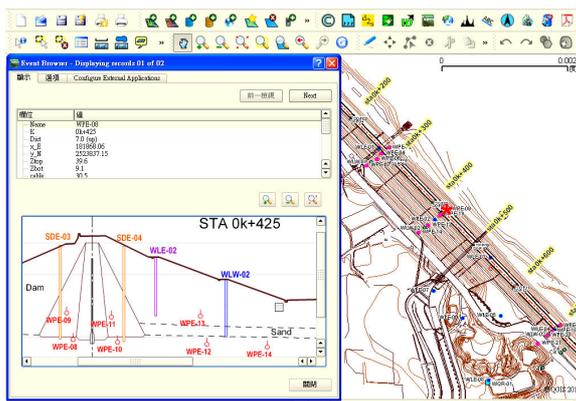


圖12 大壩主壩剖面及監測儀器設置圖



圖13 監測儀器及總水頭等高線之分布

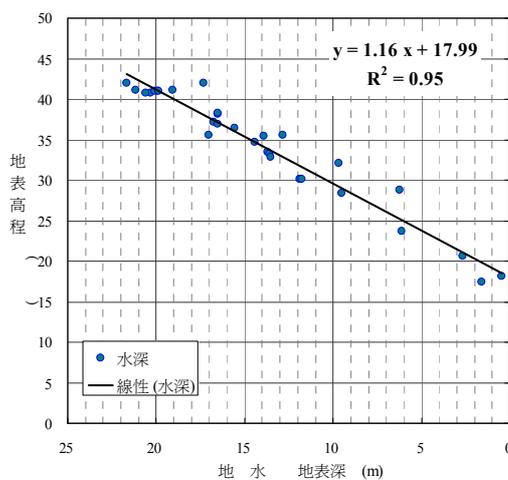


圖14 下游區水位深度與地表高程統計



圖15 以Google Earth呈現下游區水位深度

4.3 現地檢查成果之初步應用

在輔助現地檢查方面，本研究分別彙整現地定期檢查結果、歷年安全評估文件等資料，以及2010年於高雄甲仙地區發生芮氏規模6.4地震後辦理震後特別檢查結果。上述定期及特別檢查均以Garmin GPS定位與拍照，歷年資料則參考文件敘述及坐標值加以處理。

經由現地定位之資料可運用QGIS的「GPS工具」直接下載GPS點位及航跡，由於QGIS將點位資訊另存為KML檔時，主要選取前GPS圖層屬性內的前兩欄資料。因此，本研究首先將載入的GPS圖層新增2個欄位，內容如圖16及圖17所示，其中第1欄為主題名稱，第2欄字串長度則設為255，再以HTML語法補充說明及連結現地照片。透過此種方式，於QGIS及Google Earth中均可查詢展現彙整後現地檢查照片，將有助管理者對於大壩整體安全狀況之瞭解與研判，且能建置歷次檢查結果的GIS空間資料，提供後續安全評估與管理維護之參考，如圖18所示。



圖16 於QGIS新增欄位連結現地照片

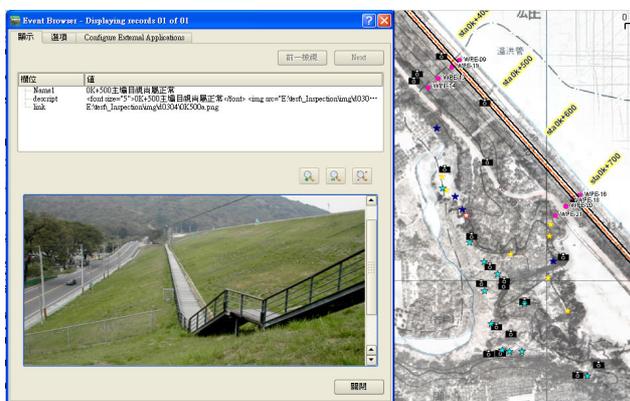


圖17於QGIS查詢整理後的初步成果



圖18 將現地檢查成果展示於Google Earth

4.4 輔助地質分布之推估與研判

依據阿公店水庫壩基地質剖面圖資料，如圖19所示，可知大壩壩基部份含有砂土層，為瞭解此地質材料對於大壩下游區域滲流行為之可能影響，有需要事先初步概估此砂土層之高程分布及其可能位於地表範圍，以供未來規劃安全監測及補充調查重點之依據。

因此，本文初步將既有地質剖面圖中大壩及其下游區砂土層可能位於地表的區域，以網格式高程資料轉換成向量圖徵分類，經由QGIS分類的shpfile檔轉成KML檔套疊於Google Earth中，如圖20所示。其中，黃色區為推估砂土層與地表高程相差為零的範圍；黑色線為推估砂土層位於地表以下0~0.5m的可能範圍，最外圍的白色線為利用QGIS環域分析(Buffers)選取黑線區往外推估距離5m的範圍。同時再套疊比對本文4.3節現地檢查之GPS點位與現地照片，可以清楚得知推估結果略與目前砂土層位於地表區域大致相符，後續將可提供現地補充調查及研擬改善對策之參考。

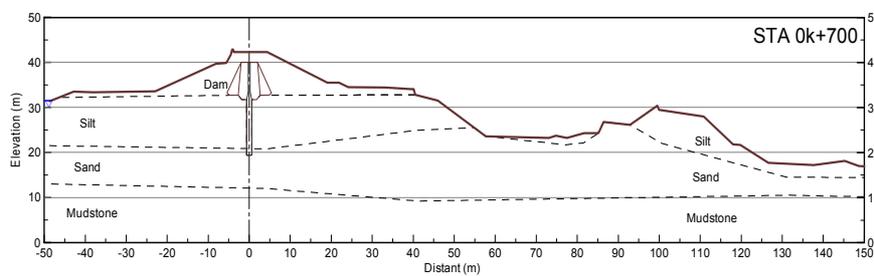


圖19 壩基下方砂土層之地質剖面圖

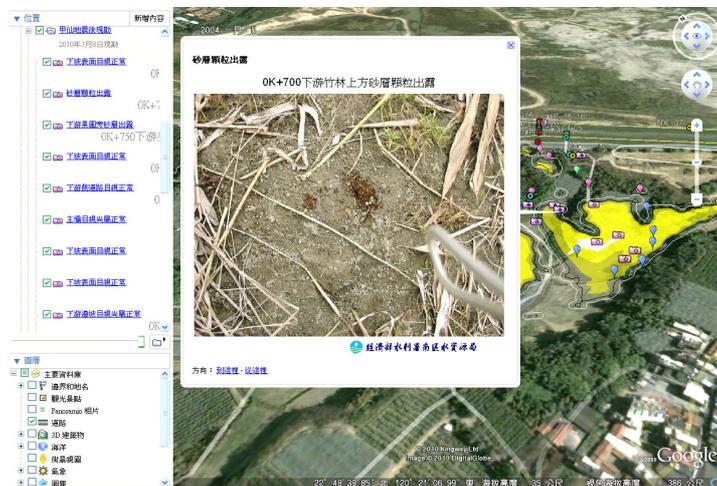


圖20 將現地檢查及地表可能砂土區整合於Google Earth展示

五、結論

本文以阿公店水庫為例，初步探討Google Earth結合QGIS處理技術及其3D展示功能對於土石壩安全管理資訊之應用性，經由Open GIS共通標準的輔助，實作測試結果已能呈現其整合之初步成效。面對壩體較長的土石壩及其廣大下游區域，透過一系列圖資整合及空間資料分析，將可協助土石壩管理人員運用可視化的整體資訊及立體地形，快速查詢與瞭解其空間分布特性與行為，綜合研判可能問題。足見

OpenGIS共通標準可提供空間資料整合的基本需求，未來若能持續推動開放式GIS之應用，將有助於改善GIS軟體成本、圖資轉換及技術門檻等問題，同時可提昇GIS領域於大壩安全管理實務之應用潛力。

六、參考文獻

- (1) 詹進發，2009，自由之美—開放源碼GIS軟體簡介，政治大學文學院身體與文明研究中心，<http://cbcs.km.nccu.edu.tw/xms/>。
- (2) 廖泮銘、范成棟、張志君、江正雄、林士哲，2006，歷史航照結合Google Earth於時空變遷之應用，第二十五屆測量及空間資訊研討會，桃園。
- (3) 范成棟、廖泮銘、林士哲，2006，整合影像資料庫於Google Earth之應用，地圖，第16期，頁109-120。
- (4) 廖泮銘、林農堯、廖怡真，2009，地理資訊開放服務的規範與應用軟體架構，國土資訊系統通訊，第71期，頁53-64。
- (5) 洪世勳、王天佑、冀樹勇，2010，Google Earth結合大地工程網路作業平台之應用，中興工程季刊，第108期，頁41-46。
- (6) 徐百輝，2009，地理資訊標準格式之簡介，國土資訊系統通訊，第71期，頁14-33。
- (7) 廖泮銘，2008，開放式地理資訊系統網路服務(OpenGIS Web Service)簡介及案例應用，2008年國土資訊系統技術人員研討會，台北。