

橋梁頂升換底工法分析與監測管理之研究 —以省道台 3 線烏溪橋為例

黃文治^{*}、方耀民^{**}、卜君平^{***}、李秉乾^{****}

摘要

近年來由於全球氣候變化極端降雨事件增加，造成老舊橋梁的基礎沖刷愈加嚴重，每當颱風豪雨來時，橋梁基礎屢因沖刷造成橋柱承载力不足而導致斷橋。橋梁換底工法是在保持橋面通車狀況下進行下部結構改建，將橋梁的載重暫時轉移傳遞至臨時支撐構架上，拆除強度不足的橋基或損壞部份，將拆除部份之橋基更換為符合防洪耐震需求之新橋基，且在換底工法施工期間需配合監測計畫以確保橋梁通行之安全。本研究實例省道台 3 線烏溪橋，其結構最大橋齡部份已達四十年，基礎被沖刷最大裸露長度高達 7.5 公尺，導致耐洪耐震能力不足，故進行改建計畫。本研究以烏溪橋改建為對象，並依據烏溪橋二次改建設計圖建立電腦軟體 SAP 2000 有限元素模型，再以國內橋梁設計規範作為烏溪橋模型靜力及動力分析之依據，且經由分析的結果，訂定施工期間監測儀器之管理值。又將訂定之管理值與施工期間的監測資料進行比對，以確定管理值的合理性，並探討舊橋梁與臨時支承架橋梁之行爲的變化。

一、前言

針對國內橋梁因橋基裸露引致耐震能力不足之情形，一般在結構性之補強對策為施作橋基加固保護工與橋梁拆除重建，或有採局部補強橋基方式，如以混凝土包墩、托底擴座等，均依橋梁結構形式及河川特性考量，各有其適用性。

烏溪橋為連接台中市霧峰區與南投縣草屯鎮間之重要橋梁，民國 88 年 921 地震災後進行復建，近年來因受洪水沖刷河床持續下降，P9~P13 間之橋梁沉箱基礎嚴重裸露，因此老舊基礎垂直承载力及側向承载力業已明顯降低，曾多次採用排樁圍繞工法保護補強，但仍受河床持續下降

* 公路總局第二區養護工程處 幫工程司 逢甲大學研究所博士生

** 逢甲大學土木及水利工程系助理教授

*** 逢甲大學土木及水利工程系教授

**** 逢甲大學教授兼副校長

及河道側向侵蝕影響，橋基裸露嚴重而有安全虞慮，故被列為全省極待改善之受損橋梁。為提昇本橋整體耐震能力及抗洪功能，並考量本工程上部結構係於民國 91 年改建完成，結構尚新且良好，因此在沿用既有上部結構及維持原有交通之條件下，故採用換底工法局部改建。

二、文獻回顧

2.1 橋梁監測

對於橋梁狀況之監測研究，最早起源於 1980 年代中後期的歐美國家，又橋梁監測力求對結構整體行為之即時監控，及對結構狀態之動力行為評估。同時，亦為對橋梁設計理論與力學模型之驗證，另對橋梁結構與結構環境中未知或不確定性問題之調查與研究，也為融入橋梁監測之內涵【1】。美國於 1980 年代中後期在多座大型橋梁上安裝監測裝置，例如美國主跨 440 公尺的 Sunshine Skyway 橋上即安裝了 500 多個感測器來監控橋梁的狀態【2】。英國也在總長 522m 的三跨變高度連續鋼箱梁橋 Foyle 橋上佈設感測器，監測橋梁在運營階段受車輛與風載作用下主梁的振動、撓度和應變等回應，同時監測環境的風和結構的溫度。該系統是最早安裝較為完整的監測系統之一，它實現了即時監測、即時分析和資料網路共用等目的【3】。

中國大陸虎門大橋與江陰長江大橋等也設置相應的監測系統。其中虎門大橋監測系統係由應變計、加速度感測器、溫度感測器、位移感測器、GPS 系統等幾部分構成，在施工監控與橋體完成後試驗測試系統的基礎上，能對該橋進行通車後之橋梁監測，這對保證虎門大橋的建設後的安全運行都產生了許多積極的影響與作用。

2.2 頂升工法

台灣近年來橋梁受沖刷之情形嚴重，民國 85 年賀伯颱風造成西部主要橋梁的橋基嚴重裸露與傾斜破壞，其中自強大橋裸露高達 6.3~9.3 公尺，南部里港大橋也因橋墩下陷傾斜破壞而交通中斷【4】。

台 1 線溪州大橋於民國 90 年受桃芝颱風侵襲影響，致使溪州大橋橋址處河床刷深下降 5 公尺以上，深槽區橋基嚴重裸露高達 10 公尺，安全堪慮。為維護橋梁安全及保持橋梁交通暢通無阻，首創台灣橋梁換底工法，在維持保留橋梁上構與交通通行的狀況下，將橋梁載重暫時由原來橋墩轉移至臨時支撐鋼構架上承載，拆除裸露嚴重或損壞之橋基，並更換符合抗洪與耐震設計需求之新橋基，且於施工前後橋面發生差異之變位極為微小，也使原有橋梁之形狀與機能得以繼續維持，以有效解決橋梁沖刷與交通之問題，並兼具節省工程成本與施工期限之優點，又可兼顧環保節能、環境美觀及生態之維護，對於國內沖刷水害造成橋梁橋基裸露問題，提供一套很好的解決方法【5】。

三、研究方法

3.1 省道台 3 線烏溪橋換底工法之簡介

一般橋梁改建須進行全橋封閉施工，致使交通中斷造成用路人之不便。此外，橋梁上部結構如為建造完成不久，若因其橋基裸露而拆除重建，實不符經濟效益。本文研究案例「省道台 3 線烏溪橋」位處草屯地區對台中地區的重要聯絡橋梁，且交通量甚大，故採用橋梁換底工法施作，得以確保施工期間能維持原有交通之功能。

3.2 烏溪橋換底工法之介紹

施工時首先於欲改建下部結構（橋基、橋柱及帽梁）之橋基周圍施作六支臨時支撐樁柱，於樁柱上施作臨時帽梁構架（鋼結構），作為橋墩(柱)拆除改建期間之臨時支撐系統，如圖 1 所示，且於千斤頂頂升之大梁處，增作大梁臨時支撐加勁版，以增加臨時帽梁鋼構架支撐鋼梁處之勁度。另為確保頂升時橋梁結構安全，因此在頂升施作處附近裝設監測系統，其監測設備為：電子式傾斜計、電子式沉陷計等，以監控橋梁之安全。

頂升之千斤頂，如圖 2 所示，設置於臨時帽梁鋼構架上，頂升時採取分段頂升，分次累計增加 50 噸（每個千斤頂荷重）後，停止半小時讓結構穩定，並同時進行量測紀錄每個千斤頂的讀值及大梁位移量。之後，再依次進行頂升，如此當舊有橋墩支承處有著明顯的分離時，即停止頂升，並固定支撐鋼墊片與設置止震鋼構，此時橋梁之重量業已轉移至臨時支撐鋼構架上來承載。

載重轉置後，即可進行舊有橋墩與基礎之拆除工作，俟新基礎、墩柱及帽梁建造完成後，載重再轉置於新墩柱上，便可拆除 6 支臨時支撐樁柱及頂升之臨時支撐鋼構架，以完成改建的工作。



圖 1 臨時支撐鋼構架



圖 2 頂升千斤頂

3.3 結構的分析（電腦軟體工具 SAP2000）

SAP2000 電腦軟體為一功能強大之全視窗介面結構分析軟體，從基本的三維空間幾何形狀之建立，桿件與薄殼元素的斷面性質，鋼筋混凝土、鋼構、非線性元素之力學性質，或新定義材

料特性，乃至於靜力分析、動力分析、反應譜分析與歷時分析等皆可於 SAP2000 電腦軟體中完成，並可將分析結果以圖形介面顯示，或以標準化文字格式輸出，以利後續處理工作。

本研究亦採用電腦軟體 SAP2000 有限元素結構分析，來進行烏溪橋結構的安全分析，依據 921 集集大地震災後該橋梁復建工程之設計圖，及橋梁改竣工圖來建構烏溪橋結構分析模型，並於橋上每跨(P9~P15)進行微震試驗，用以修正 SAP2000 電腦軟體所構建之模型，使模型更接近於橋梁之實際狀況。

3.4 監測系統的應用

橋梁為各個國家不可或缺之交通運輸命脈，然而隨著橋梁結構的老舊，及歷年來的地震及颱風災害影響，因而造成橋梁結構強度下降與壽命減短，用路人的安全也受到危及，尚有橋梁何時損壞的未知風險。如民國 89 年 8 月 28 日，南部台一線重要交通運輸橋梁「高屏大橋」發生斷橋，其瞬間斷裂與傾斜之橋面，造成十六部大小車輛掉落於溪中，致使 22 人死傷。又民國 97 年 9 月 14 日，中部台 13 線重要交通運輸橋梁「后豐大橋」也因為橋基遭受嚴重沖刷，橋墩不堪支撐而斷橋，造成 6 人墜橋死傷。

橋梁因受天候及人為因素的影響，而減少其功能與損傷，又缺乏必要的監測系統，導致橋梁安全性亮起紅燈卻未知，往往造成交通運輸與用路人安全的重大傷害，因此完善的監測系統能於平常監測結構物之狀況，且可評估結構物安全性外，能更廣泛應用於設計理論之實地驗證，以利於未來橋梁結構特性之瞭解及設計技術的提升。

四、現地實驗

4.1 實驗規劃

由於本研究工程是在橋梁被使用中進行換底工作，因此有實際載重作用於橋上時，各種維持管理項目的量測結果，也就會含有動態成分，而這些動態的數值，大多是由監測所獲得的。此外，在施工時之振動監測結果，可用來確定與檢討使用中所建立的軟體模型，或設定各項監測項目之初始特性，即只要把這些監測結果應用到評估或研究上便可。本研究工程現地實驗規劃了兩項實驗，分別為微振量測實驗及應變計量測實驗，由這些實驗所擷取之資訊，進一步來輔助電腦軟體模型所建立之精確性，以及管理值之訂定。

4.1.1 微振量測實驗：

在所有的動力試驗當中，唯一不需考慮或輸入任何擾動，而且試驗過程十分的方便，更不需長時間的量測，分析方法既快速又能準確反應出橋梁各方向的主要振動頻率，因此能在建造的過程中持續進行微震量測試驗(如圖 3、圖 4)，並利用量測的結果與數據來修正電腦軟體所構建的數值模型，主要為振動頻率與振動模態等之修正。



圖 3 MR2002-CE 型訊號記錄器



圖 4 MS2003 型速度計

4.1.2 應變計量測實驗：

本研究工程之頂升換底工法，係規劃於每一個臨時帽梁（鋼箱形帽梁）上共放置 24 個千斤頂，每個千斤頂間距均為 208 公分。並在頂升前於每個千斤頂位置旁（即鋼箱形帽梁上翼版，千斤頂置放位置旁）黏貼應變計(如圖 5~圖 7)，共計 24 個。當頂升時即可獲得相對應於千斤頂之力量，及在支撐架上所造成之應變，以利幫助分析在頂升過程中力量傳遞至支撐架之分佈情況，及是否造成橋梁傾斜或是沉陷等危安之情況。在頂升過程前後臨時支撐鋼梁之受力，其應變計讀值有明顯變化(如圖 8)。



圖 5 黏貼應變計

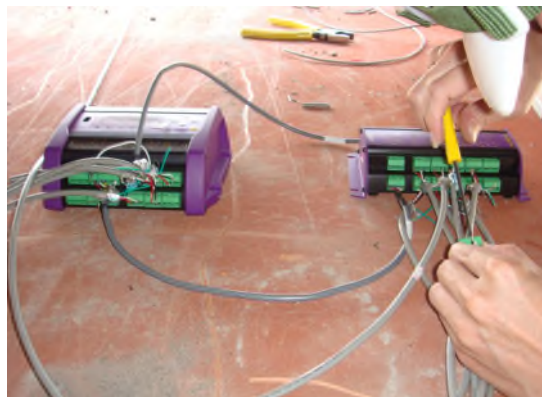


圖 6 接上資料擷取器

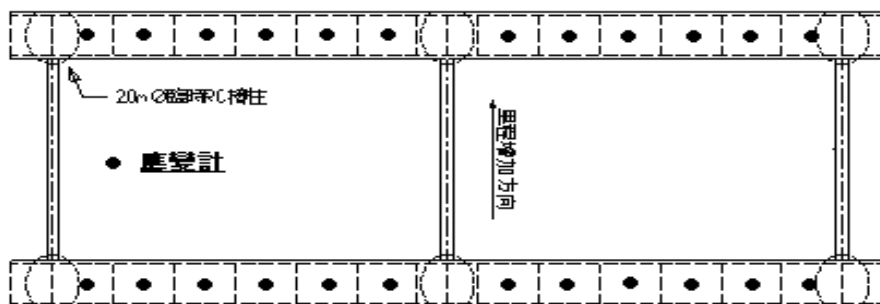


圖 7 應變計黏貼位置示意圖（俯視圖）

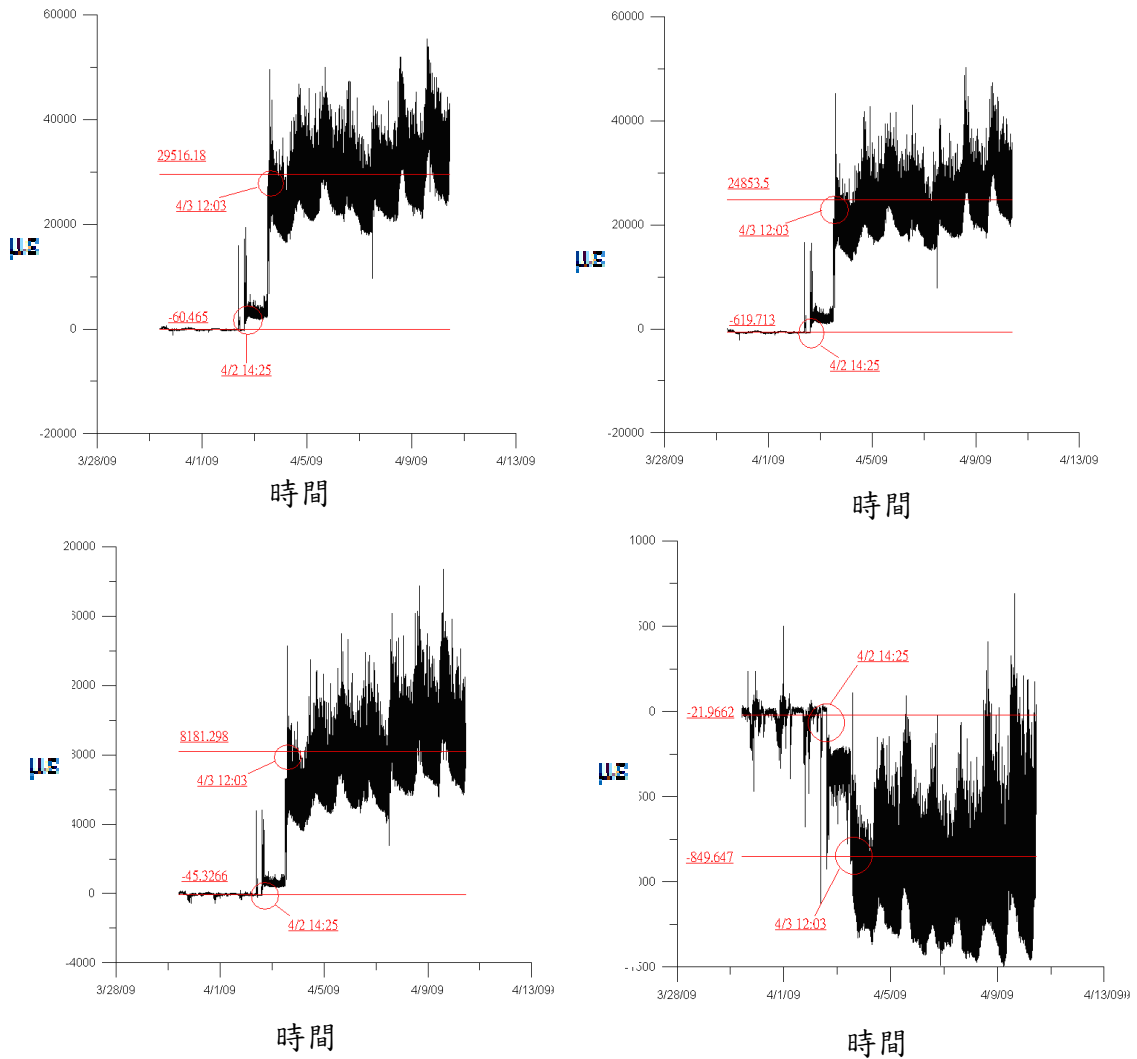


圖 8 頂升後應變計變化情形

4.1.3 量測數值：

在微振量測中，分為原始橋梁及頂升後橋梁之量測數值，測量點位皆為每跨中間段，擷取頻率為 400HZ，資料分為三個軸向，分別為 X(南北向)、Y(東西向)、Z(垂直向)，將實驗所得時間域資料做出 FFT 之後，予以求出其橋梁自然振動頻率(如圖 9~圖 11、表 1 所示)，此現地實驗資料將用來修正 SAP2000 橋梁結構模型之振態頻率，使電腦軟體 SAP2000 所建立之模型更符合現地狀況，並加以進行分析。

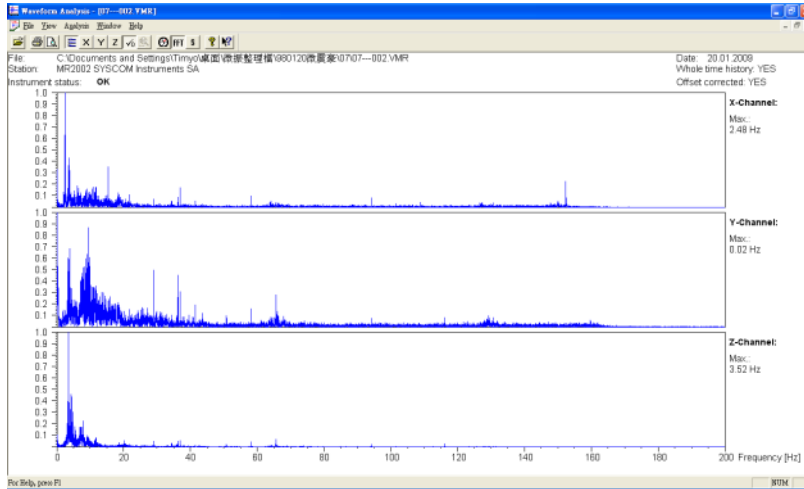


圖 9 P9 原始橋梁頻率

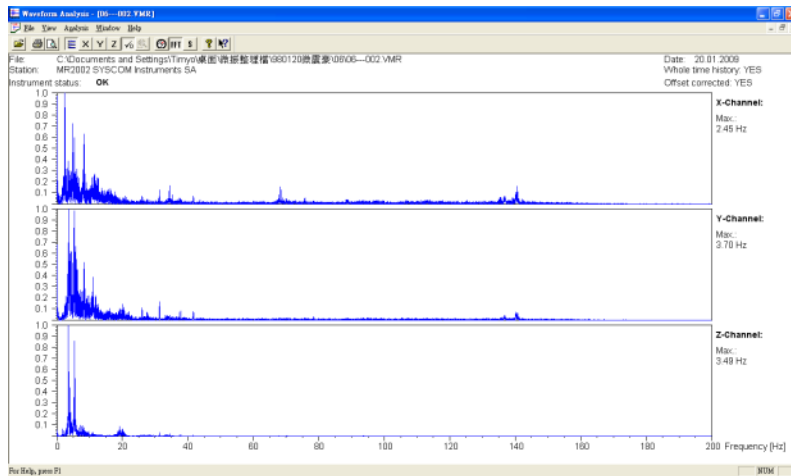


圖 10 P10 原始橋梁頻率

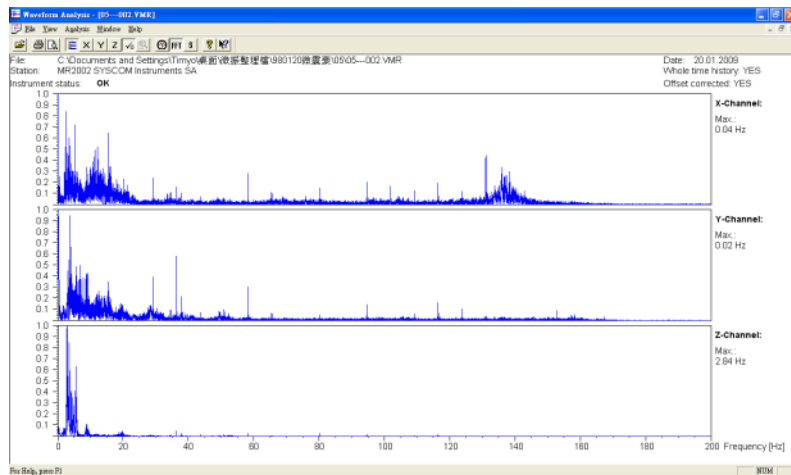


圖 11 P11 原始橋梁頻率

表 1 頂升前後之橋梁頻率比較表

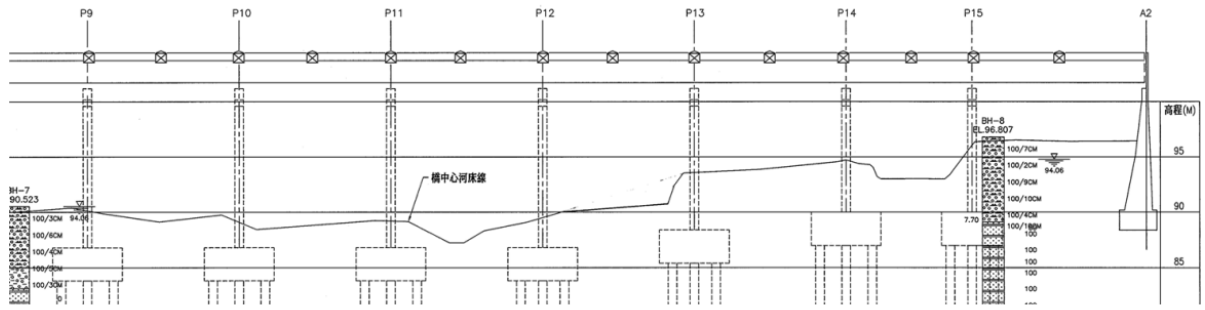
方向	X 軸向		Y 軸向		Z 軸向	
	北上線	南下線	北上線	南下線	北上線	南下線
單位	頻率(Hz)	頻率(Hz)	頻率(Hz)	頻率(Hz)	頻率(Hz)	頻率(Hz)
	P9					
頂升前	2.48	2.48	3.67	3.58	3.52	3.48
頂升後	2.53	2.48	2.87	2.81	6.08	6.34
	P10					
頂升前	2.45	2.43	3.41	3.65	3.47	3.47
頂升後	2.47	2.38	2.25	2.31	6.14	6.29
	P11					
頂升前	2.49	2.48	3.65	3.67	3.65	3.47
頂升後	2.48	2.31	3.59	1.88	5.07	5.35

4.2 儀器規劃：

靜態量測部分，本計畫所使用之儀器設備為沉陷計及傾斜計，分別設置了 42 個結構物沉陷點，其沉陷點規劃安裝之橋墩為 P9~P15 共七個橋墩，每座臨時帽梁鋼構架上，各設置了 6 個沉陷點，另又設置 28 個沉陷點於橋面版上，規劃安裝位置為 P9~P15 橋墩上方的橋面版上，每座橋墩上方的橋面版各兩組沉陷點。為了確保上部結構頂升過程中，橋梁上部結構的安全性，故設置 28 個連通管式沉陷計，其規劃安裝位置為 P9~P15 橋墩上方的橋面版外側（紐澤西式護欄外側）上及橋跨中間。

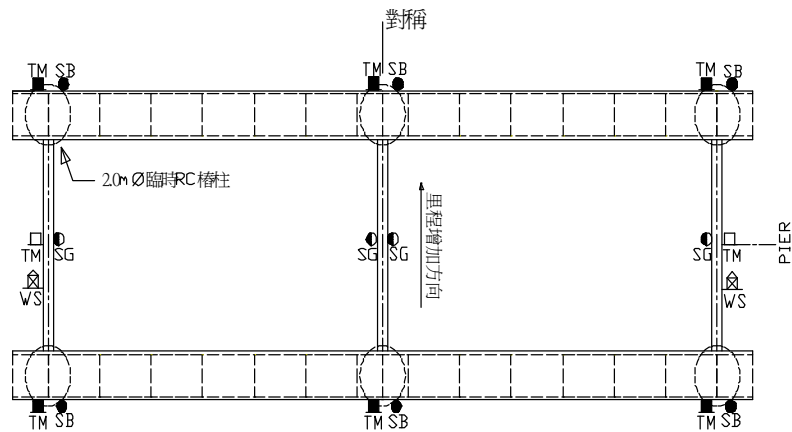
傾斜計安裝於橋墩上，除了於每座臨時帽梁鋼構架上，各裝置 4 個傾斜計（7 墩共計 28 個）外，另規劃 14 個自動電子式傾斜計，分別安裝於 P9~P15 橋墩上方之鋼梁上（每墩 2 個）。其目的主要量測各橋墩在上部結構頂升過程中，上部結構傾斜歷時資料，其安裝位置如圖 12 所示。

各項監測系統架構完成後，將進行各感測設備介面上之整合，並提供遠端即時完整之監測系統操作介面，以利工作人員後續之維護及資料分析。



連通管式沈陷計

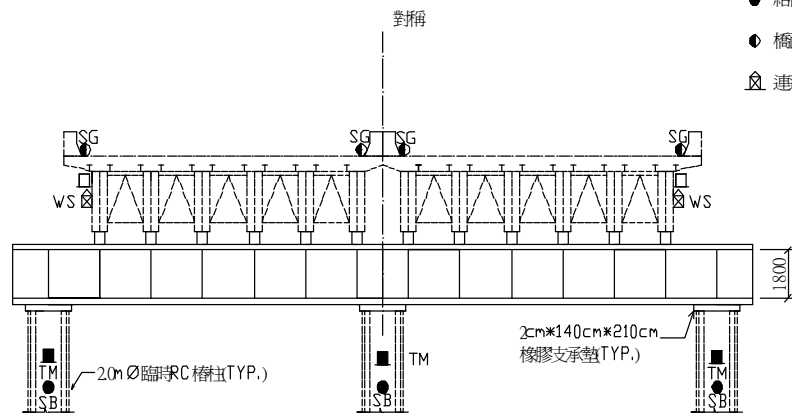
連通管式沈陷計配置示意圖



臨時橋梁構架監測儀器配置平面圖

圖例

- 電子式磅秤計
- 結構物磅秤計
- 結構物沉陷點
- ◆ 橋面沉陷點
- ⊗ 連通管式沉陷計



臨時橋梁構架監測儀器配置示意圖

圖 12 各項監測儀器配置規劃圖

4.3 其量測方法以及儀器說明如下：

4.3.1 沉陷計

1. 監測用途：

其工作原理與位移計類似，但沉陷計所量測之位移多為絕對位移量，即監測初期需訂定一參考基準點，日後進行監測時以參考點為直線座標原點，用於測定沉陷量。安裝位置為橋墩基礎或橋台位置，以監測整體橋梁可能的沉陷量，本研究工程沉陷計規劃安裝之橋墩為 P9~P15。

2. 連通管式沉陷計(自動監測)：

目前最常用者為利用連通管原理之相對沉陷量分析計算，即於各受測點約略等高處安裝小型水槽及水壓計，並以水管相連接成液體相通之系統，當其中某測點處發生沉陷時，該處水槽之水位增高導致水壓上升，即可換算為相對沉陷量。設置時應考慮溫度效應及管線過長時管壁磨擦所造成之壓力水頭損失，可採用甘油與水以 1：1 之比例混合之液體，以減少溫差所造成之影響。本設備安裝於橋梁護欄外側下方。該項監測系統主要儀器構件為：連通管式沉陷計、基準水槽，其量測範圍為±50mm 以上，精度為最大量測範圍 1%以下（即小於 1%），維持 24 小時自動記錄。

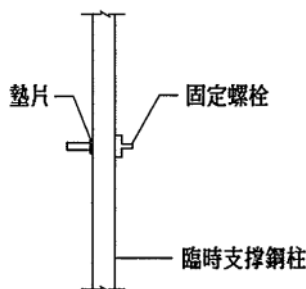
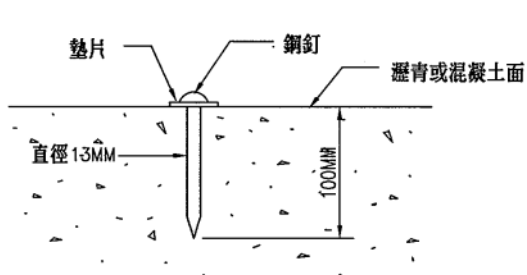
3. 橋面版測沉點(人工監測)：

為避免破壞橋梁之主體結構，本項監測係採用圓頭鍍鋅鋼釘（長約 20 公厘）做為沉陷基點，而其設置位置則依據設計規範要求之地點裝設。

4. 結構物沉陷點(人工監測)：

本項監測於臨時 RC 樁柱上，鎖上固定螺栓，並標漆明示之方式作為沉陷基點，而其設置位置則依據設計規範要求之地點裝設。

5. 儀器裝設示意圖如圖 13 所示，儀器配置如圖 14 所示：



圖(A)橋面版測沉點(SG)安裝示意圖

圖(B)結構物沉陷點(SB)安裝示意圖

圖 13 沉陷點安裝示意圖

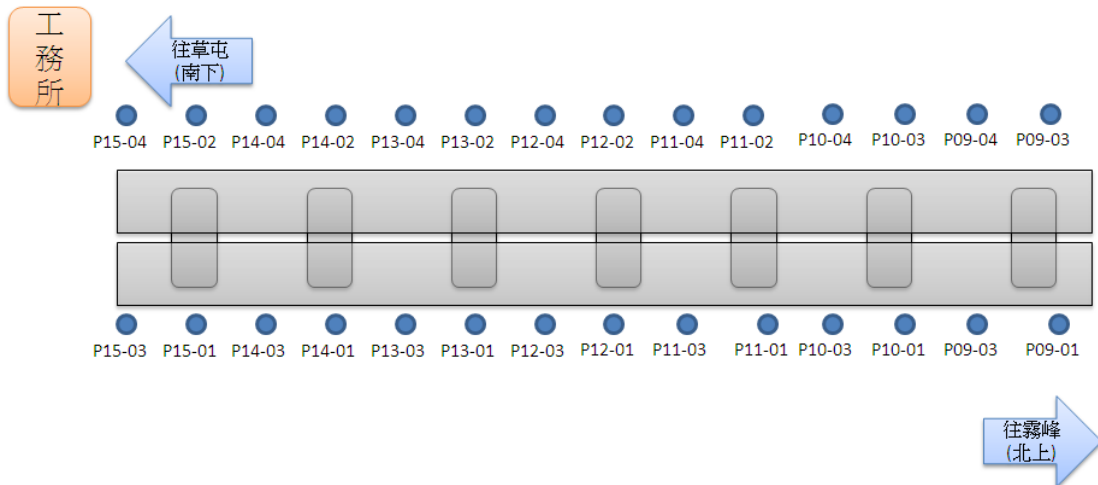


圖 14 連通管式沉陷計平面配置圖

4.3.2 傾斜計

1. 監測用途：

傾斜計主要用於監測結構之側向傾斜程度，量測方向分單向及雙向兩種。由於橋墩基礎長期裸露之情況下，橋梁是否因此產生某種程度上的傾斜，進而造成承載能力的變化，實為監測之重點。本研究將針對橋梁的傾斜狀況，於橋梁帽梁中間佈設電子式傾斜計，以即時監控系統定時量測各橋跨間之傾角值，並作安全預警的研判。

2. 電子式傾斜計(自動監測)：

一般安裝於基礎開挖周圍之結構物柱子上，用以量測因開挖、抽水或其他因素等，造成周圍地表沉陷變化及不均勻沉陷等，導致結構物傾斜之程度，依此研判結構物之安全性。其主要原理為：當結構物發生傾斜時，裝設於其上之傾斜計亦隨之傾斜，其所產生之電壓值會傳輸至記錄器內，再轉換算成傾斜角。該設備安裝於橋梁護欄外側下方，量測範圍為 ± 5 度以上，維持 24 小時自動記錄。

3. 結構物傾斜儀(人工監測)：

原則上係於指定之地點設置傾斜儀，以量測結構各方向之傾斜度，構件主要為：傾斜儀本體、保護蓋、支承架(耐久性及防銹)及一切固定構件，監測時係採用傾斜儀感應器(SENSOR)及指示儀(INDICATOR)配合量測，量測範圍為 ± 5 度或以上，精度為最大量測範圍之 2%或以下(即小於 2%)。

4.儀器裝設示意圖如圖 15 所示，儀器配置圖如圖 16 所示：

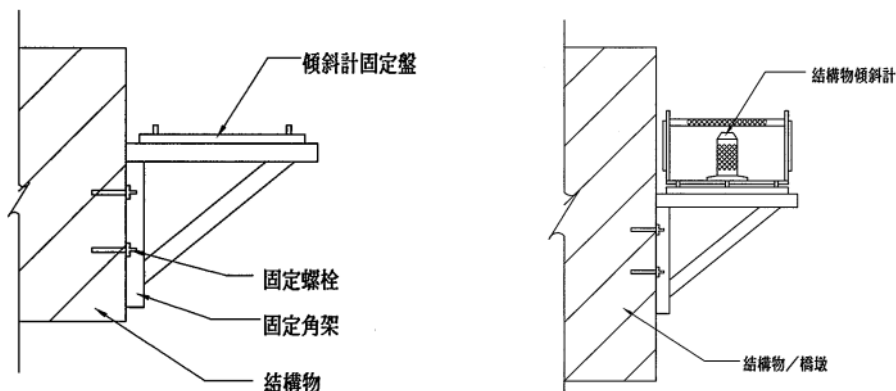


圖 15 傾斜儀安裝示意圖

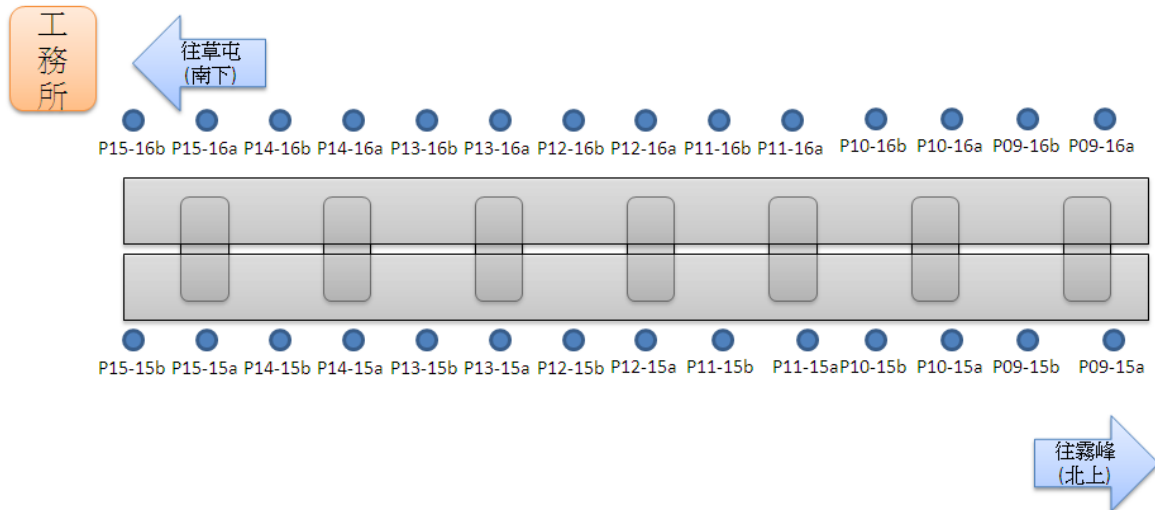


圖 16 電子式傾斜計平面配置圖

五、理論分析

5.1 靜力分析流程

以靜力分析訂定位移計及傾斜計之管理值。依據橋梁設計規範及耐震設計規範，於 SAP2000 電腦軟體模擬模型中輸入呆載重、活載重、風力、地震力等外力進行靜力分析。

另依據「公路橋梁設計規範」之強度設計法，將相關資料及數據輸入 SAP2000 電腦軟體，模擬橋梁模型之外力組合下之各類載重組合，以進行其結構分析。

5.2 動力分析流程

動力分析係經由 SAP2000 電腦軟體運算地震加速度歷時分析，模擬橋梁頂升期間受到地震影響之監測管理值。由於霧峰、草屯地區屬於地震甲區，故設計地表加速度為 0.33g，採用 921 集集大地震靠近烏溪橋地震測站編號為 TCU065（霧峰國小測站），所收集到之地震加速度資料，水平方向線性放大到 0.33g，垂直方向線性放大到 0.22g【5】，三方向同時輸入 SAP2000 電腦軟體進行歷時分析。

在 SAP2000 電腦軟體模型中找出沉陷計與傾斜計的位置，分析後可得到地震作用下橋梁之各個沉陷計與傾斜計的變位量。取保守分析，以變位量較小者為基準值，並設為各個監測儀器之警戒值與行動值。

5.3 管理值之訂定

以所建立完成的 SAP2000 電腦軟體模型，作為監測管理值研定之分析模型，依交通部 90 年 1 月頒佈的「公路橋梁設計規範」及 89 年 4 月頒佈的「公路橋梁耐震設計規範」作為 SAP2000 電腦軟體模型靜力及動力分析的依據，經由靜力及動力分析的結果，得到各個監測儀器之監測管理值（如表 5-1 所示之沉陷值），並將初步所得到之監測管理值與設計圖說所規定的監測管理值（如表 5-2 所示）進行比較，用以確定設計圖說所規定監測管理值訂定之合理性。

SAP2000 電腦軟體模型分析所訂定的監測管理值與設計圖說所規定監測管理值比較之結果，如附錄二所示，由其結果得知，設計圖說所訂定之監測管理值應屬合理，可以作為本研究工程監測管理之警戒值與行動值。

以 SAP2000 電腦軟體模型靜力及動力分析，其監測管理值訂定的步驟流程如圖 17 所示，其中強度折減係數 0.9 與 0.75 為鋼筋混凝土強度設計法中的強度折減係數【5】。

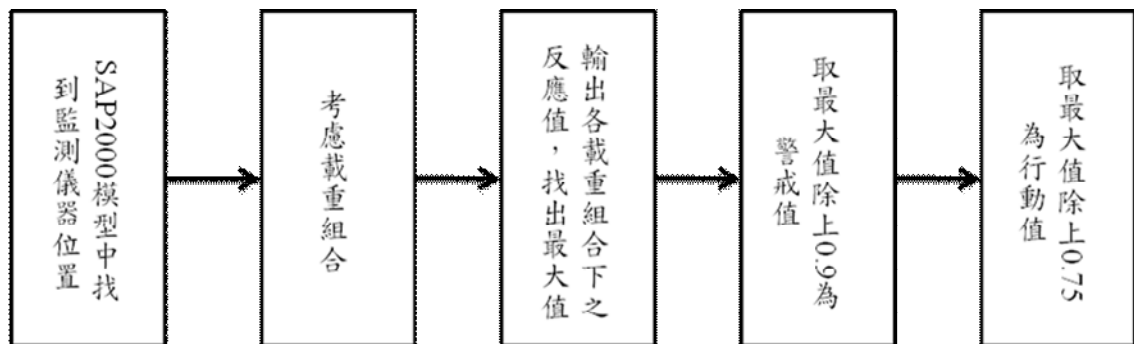


圖 17 靜力分析之管理值訂定流程圖【6】

表 5-1 烏溪橋載重組合下沉陷的變位最大絕對值 (單位：mm)

	最大值	警戒值	行動值
9-1	23.6	26.2	31.5
9-2	14.3	15.9	19.1
9-3	14.6	16.2	19.5
9-4	23.3	25.9	31.1
10-1	17.6	19.6	23.5
10-2	12.9	14.3	17.2
10-3	12.8	14.2	17.1
10-4	17.5	19.4	23.3
11-1	13.7	15.2	18.3
11-2	12.1	13.4	16.1
11-3	26.6	29.6	35.5
11-4	26.3	29.2	35.1

表 5-2 烏溪橋設計圖說所規定監測管理值

儀器項目	符號	縮寫	數量 (個)	觀測頻率A		警戒值	行動值	
				開挖期間	其餘施工期間			
結構物傾斜計	■	TM	42	每日二次 (上下午各一次)	*每週二次 (間隔2~3天)	1/250 (橋墩) **	1/200 (橋墩) **	
結構物沉降點	●	SB	42	***每日一次	*每週一次	10mm (橋墩)	15mm (橋墩)	
橋面板測沉點	●	SG	28	每日一次	*每週一次	20mm	30mm	
自動警報系統	連通管式沉陷計	⊕	WS	28	24小時連續監測	24小時連續監測	10mm (橋墩)	15mm (橋墩)
	基準水槽	⊖	WT	4	24小時連續監測	24小時連續監測	-	-

5.4 橋梁結構模擬及振(模)態分析結果

根據省道台 3 線烏溪橋原設計圖及復建計畫設計圖，利用 SAP2000 電腦軟體建置其橋梁模型。由於有限元素法模擬橋梁時，橋梁重量和勁度會與真實橋梁不同，為了確保所建的模型能代表真實橋梁，則必須再配合現地實驗所獲得之數據與參數，其中包含振動頻率、振動模態等，予以修正其結構模型，使模型的振動頻率和振動模態更符合橋梁現況，如附錄三所示，以更準確地分析橋梁之力學行為等。而橋梁頂升工法前、中和後期，都必須另外修改橋梁模型，將原本的橋柱換成臨時支撐鋼架和新的橋墩，再 SAP2000 電腦軟體建立符合現況之橋梁模型(如圖 18~33 圖)，即不同時期橋梁的模態，有其模擬之電腦模型。

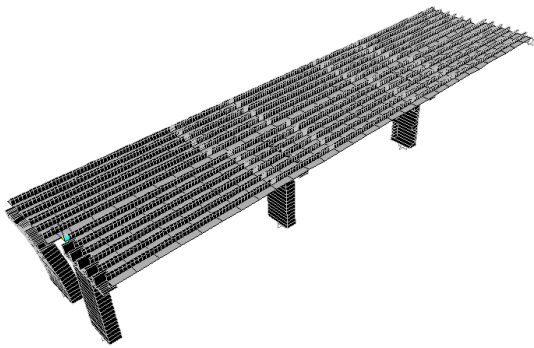


圖 18 原始橋梁模態(一)

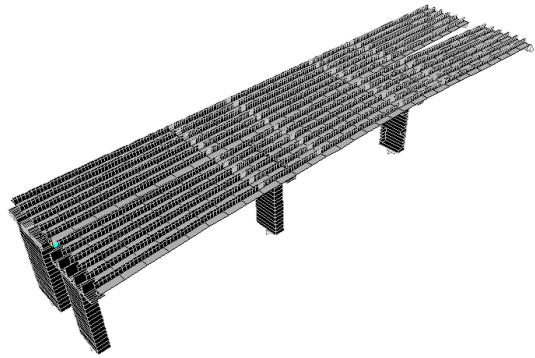


圖 19 原始橋梁模態(二)

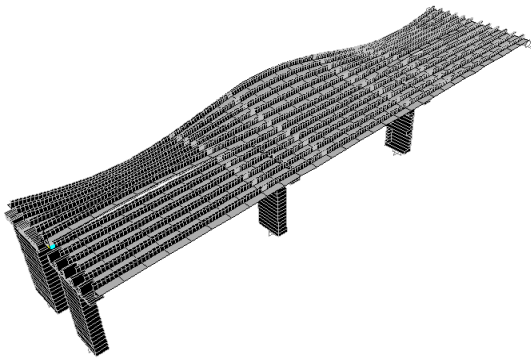


圖 20 原始橋梁模態(三)

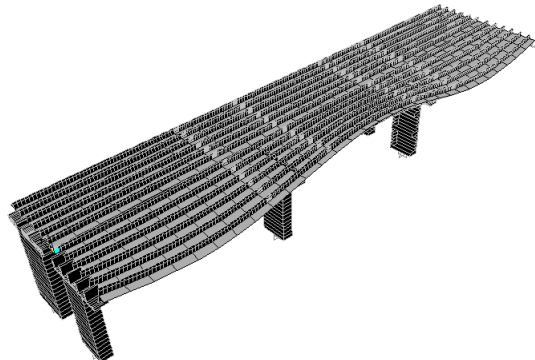


圖 21 原始橋梁模態(四)

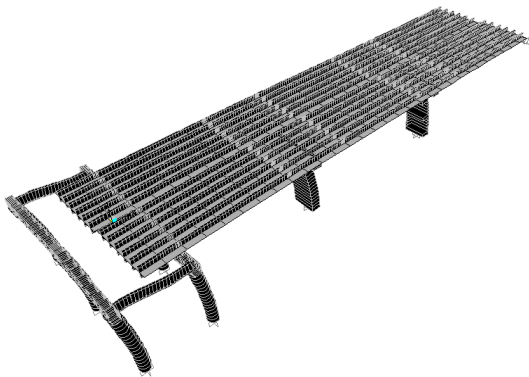


圖 22 P9 頂升完成後橋梁模態(一)

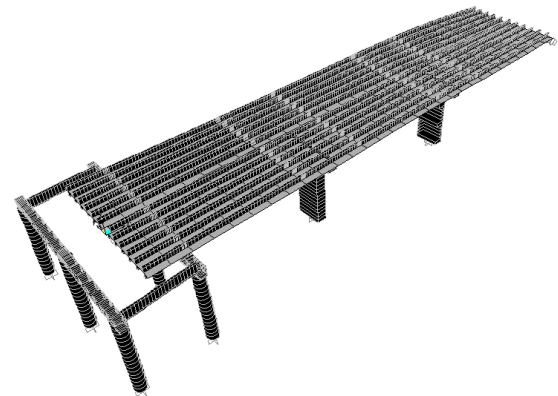


圖 23 P9 頂升完成後橋梁模態(二)

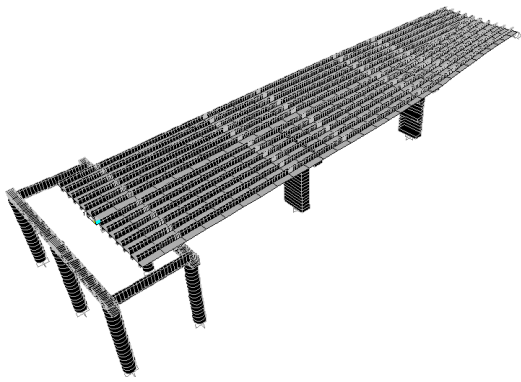


圖 24 P9 頂升完成後橋梁模態(三)

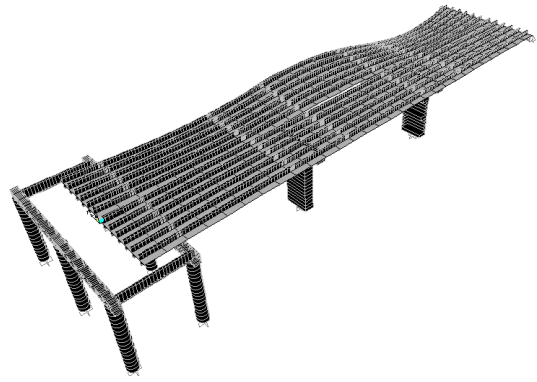


圖 25 P9 頂升完成後橋梁模態(四)



圖 26 P9、P10 頂升完成後橋梁模態(一)



圖 27 P9、P10 頂升完成後橋梁模態(二)

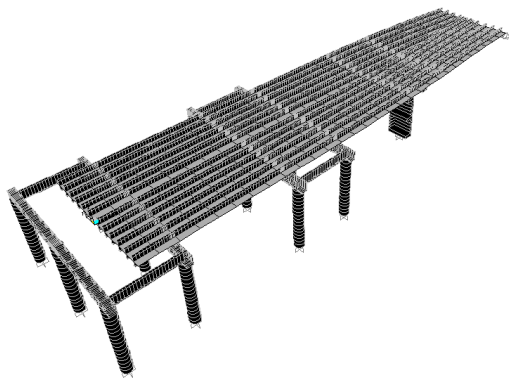


圖 28 P9、P10 頂升完成後橋梁模態(三)

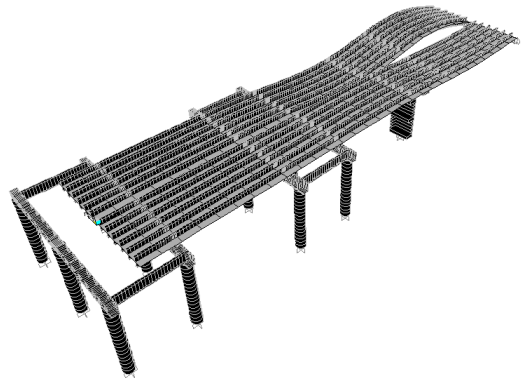


圖 29 P9、P10 頂升完成後橋梁模態(四)

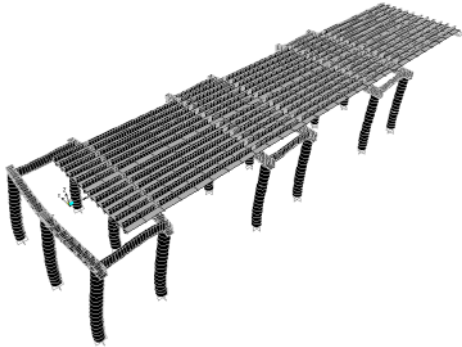


圖 30 P9、P10、P11 頂升完成後橋梁模態(一)



圖 31 P9、P10、P11 頂升完成後橋梁模態(二)

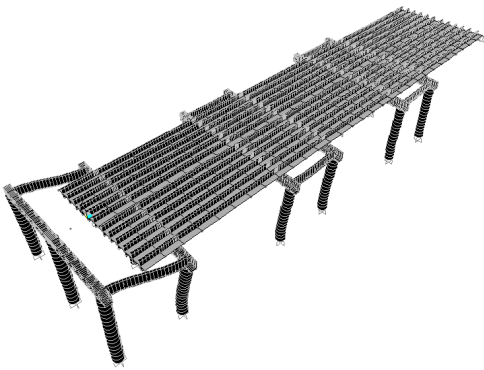


圖 32 P9、P10、P11 頂升完成後橋梁模態(三)

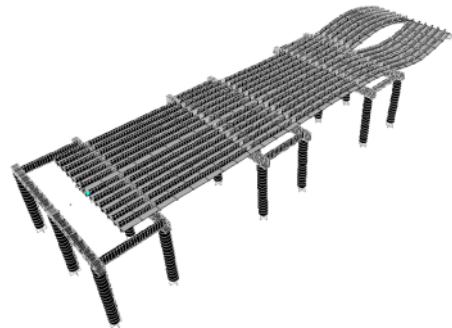


圖 33 P9、P10、P11 頂升完成後橋梁模態(四)

六、監測系統

6.1 系統架構

本工程監測系統軟體環境為：網頁平台-IIS 6.0、程式語言-ASP.NET、資料庫-SQL Server Express；硬體環境：ADSL、伺服器、Hub；本工程監測系統軟體架構如圖 34 所示。

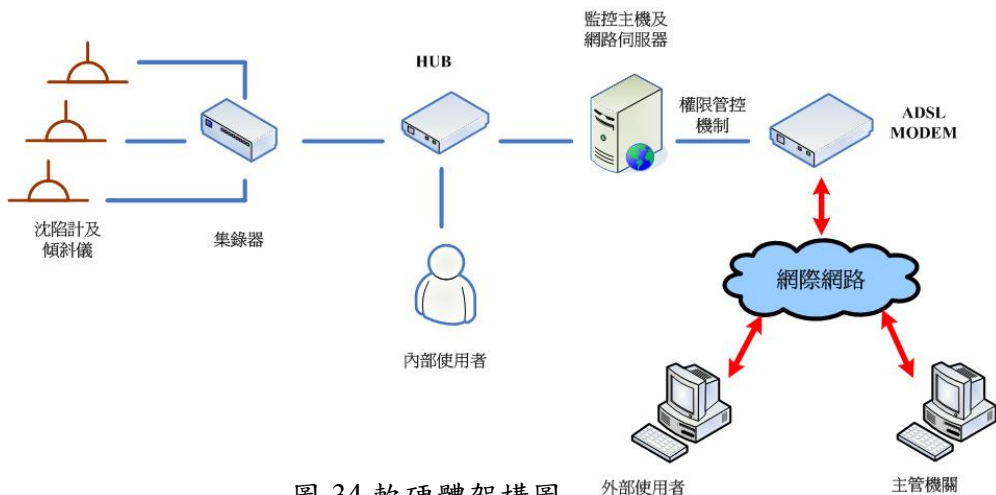


圖 34 軟硬體架構圖

本工程監測系統之功能規劃分為以下九大功能：

1. 資料轉換儲存功能：系統依據設定值自動定時呼叫感測器取得感測數據，依不同類別感測器，分別寫入相對應之資料表，寫入資訊包括：感測器編號、資料時間、感測數據及資料狀態。
2. 系統主介面：分為登入界面及系統首頁，如圖 35、36。



圖 35 登入介面



圖 36 系統首頁

3. 權限管理維護功能模組：

- (1) 新增帳號：於首頁中提供申請介面，以新增使用者之帳號，其包含帳號、密碼、單位、姓名、行動電話等資料。
- (2) 帳號維護：使用者可修改自己帳號內的資料，但帳號不可修改，其修改層級須由系統管理者修改。
- (3) 權限控管：為查詢帳號介面，用以帳號核定功能與提供帳號層級設定功能，其可設定帳號之層級及刪除帳號資料的功能。
- (4) 登入系統功能：係於首頁中提供帳號密碼登入功能，為送出之帳號密碼進行比對，符合者即進入系統，且提供「忘記密碼」功能，使用者輸入帳號及電子郵件 Email 信箱，比對符合者，系統會將密碼寄至該 Email 信箱中，並依權限提供系統功能。

4. 監測點管理功能：

- (1) 功能入口：監測點管理
- (2) 查詢介面：係提供橋墩編號及儀器類別查詢條件，並提供新增、修改、刪除、列印(Excel)功能，系統管理人員及資料維護者可編修與刪除資料，且系統自動記錄編修人員。使用刪除資料時，系統會顯示出確認視窗供使用者確認，又在該儀器無任何資料時方能刪除，於確認刪除後會顯示出「資料已刪除」對話方塊，如圖 37 所示。
- (3) 監測點資料新增：係為區分自動測點及人工測點，新增監測點資料，其包含橋墩編號、測點編號、測點類別、感測器編號等資料。在新增測點編號時會自動避開已存在之編號，並自動顯示建議編號，其建議編號為可修改，於確定編號送出後系統會自動產生系統識別編號(SID, System Identification)，及自動檢查測點 SID 是否重複，如重複時則回到編輯畫面，並在重複資料後面以紅色字標示。如為自動監測點，需檢查訊號通道是否重複，如重複時則系統會回

到編輯畫面，且在重複資料後面以紅色字標示。在資料通過檢核後將寫入資料庫時，會顯示出「資料已新增完畢」對話方塊，如為人工監測點，則無須填寫訊號通道，如圖 38 所示。

- (4) 監測點資料維護：於查詢清單中點選測點編號後，會開啓編輯介面圖示，其與新增介面圖示架構相同，但橋墩編號、測點類別及測點編號是不可修改的。資料通過檢核將寫入資料庫時，會顯示出「資料已修改完畢」對話方塊。另該功能並提供刪除監測點資料之功用，但如已接收感測器資料或已填報觀測資料時則是無法刪除該監測點。

橋墩編號	測點編號	測點類別	測點編號	架設位置	訊號通道
P09	P09WS01	連通管式沈陷計	1	9號橋墩橋面板左側	11
P09	P09WS02	連通管式沈陷計	2	9號橋墩橋面板右側	12
P11	P11WS01	連通管式沈陷計	1	11號橋墩橋面板左側	13
P11	P11WS02	連通管式沈陷計	2	11號橋墩橋面板右側	14
P11	P11SB03	橋面板測沈點	3	11號橋墩橋面板右側護欄	-
P11	P11SG04	結構物沈陷點	4	11號橋墩1號支架	-

圖 37 監測點資料查詢介面規劃

圖 38 自動監測點資料新增介面規劃

5. 人工填報監測數據維護功能模組：

(1) 功能入口：人工監測維護

(2) 資料查詢：點選橋墩編號後系統則會自動進入人工測點編號。其時間區間會提供一小月曆供點選，不選時間則代表全日，於指定一個日期時則代表只查當日資料。另於勾選「正常值」時會顯示正常值資料、勾選「超過警戒值」時則顯示超過警戒值之資料、勾選「超過行動值」時則顯示超過行動值之資料，預設值為三者全勾選，使用時至少需勾選一個選項方可查詢。又點選「查詢」時則會顯示出資料清單，點選新增圖示時則會開啓「新增」視窗，其查詢清單為可列印，於選擇測點編號後，則系統自動會顯示該測點之說明資訊。

(3) 監測資料新增：使用時監管單位及橋梁名稱編號時則會自動顯示，另橋墩編號選擇、測點選擇、觀測時間、觀測數據、填報人員、填報時間，於選擇測點編號時，則系統會自動顯示該測點之說明資訊。

(4) 監測數據維護模組：於查詢清單中點選測點編號之編輯圖示時，將會開啓編輯介面，其與新增介面基本上是相同的，只允許修改時間與數值，但橋墩編號及測點編號是不可修改的。資料通過檢核寫入資料庫後，會顯示出「資料已修改完畢」對話方塊，同時系統會自動記錄修改人員。另本功能亦提供刪除單筆監測數據之功用，於刪除時系統將會自動記錄刪除資料之人員及時間。

6. 警戒值管理功能模組：

(1) 功能入口：警戒值管理

(2)警戒值介面模組：使用時監管單位及橋梁名稱編號則會自動顯示，且提供沉陷計、傾斜計警戒值及行動值之輸入，如圖 39 所示。其警示方式預設值為勾選簡訊，取消勾選則不會發送簡訊。另設定是否啓用，預設值為勾選啓用，又於變更警戒值時，系統則會顯示出「將會重新判斷全部

圖 39 警戒值設定介面規劃

監測數據狀態，是否確定變更」對話方塊，如確定變更時，則系統會重新判斷全部感測資料，並重新顯示欄位數據。

7. 監測資料查詢功能模組：

(1)功能入口：監測資料查詢

(2)沉陷計監測資料查詢：係提供橋墩編號、感測方式、測點編號、時間區間及行動警戒等查詢條件，於選定條件後，則會顯示出符合條件之資料。另於點選橋墩編號後，系統則會自動顯示該測點編號，又勾選自動或人工時亦會自動顯示測點編號，預設值為兩者全勾，使用時至少要勾選一個選項。時間區間則提供一小月曆供點選，不選時間則代表全日，於指定一個日期時則代表只查當日資料，又勾選「正常值」時則會顯示正常值資料、勾選「超過警戒值」則顯示超過警戒值之資料、勾選「超過行動值」則顯示超過行動值之資料，預設值為三者全勾選，使用時至少需勾選一個選項方可查詢。於點選「查詢」顯示出資料清單時，使用分頁功能時則列印輸出 Excel 格式資料。

(3)傾斜計監測資料查詢：使用如同沉陷計監測資料查詢。

8. 即時警示功能模組：

(1)警示常駐程式：常駐於作業系統中，其觸發時間點如下：定時擷取模組之感測數據後，則感測數據輸入系統功能模組新增資料內，如超出警戒值、行動值均發出簡訊通知給設定之警示對象。

9. 監測資訊展示平台功能模組：

(1)全橋監測資訊展示模組：顯示省道「台 3 線 210k 烏溪橋橋基改建工程」施工範圍之全橋圖形，包含方向及橋墩編號，其納入監測之橋墩均以燈號標示。正常時橋墩以綠燈顯示，橋墩任一感測器數據超過警戒值時，即顯示黃燈警示，橋墩任一感測器數據超過行動值時，即顯示紅

燈警示，並列出全部感測器資訊。感測器資訊內容包含感測器名稱與感測數據，超出警戒值之感測器資料以橘色表示，超出行動值之感測器資料以紅色表示，無異常之感測器資料則以黑色表示。另滑鼠游標移至任一橋墩時，即顯示全部感測器資訊，雙擊橋墩圖示則開啓橋墩監測資訊之展示模組，如圖 40。圖 40 之圖例中 P09 橋墩出現紅色警戒是因為 P9 橋墩正施作頂升工程，俟 P9 橋墩完成頂升工作後，會重新再設定沉陷計之基準值(未完成橋墩柱換底前)，以利監測頂升後 P9 橋墩之沉陷與傾斜。

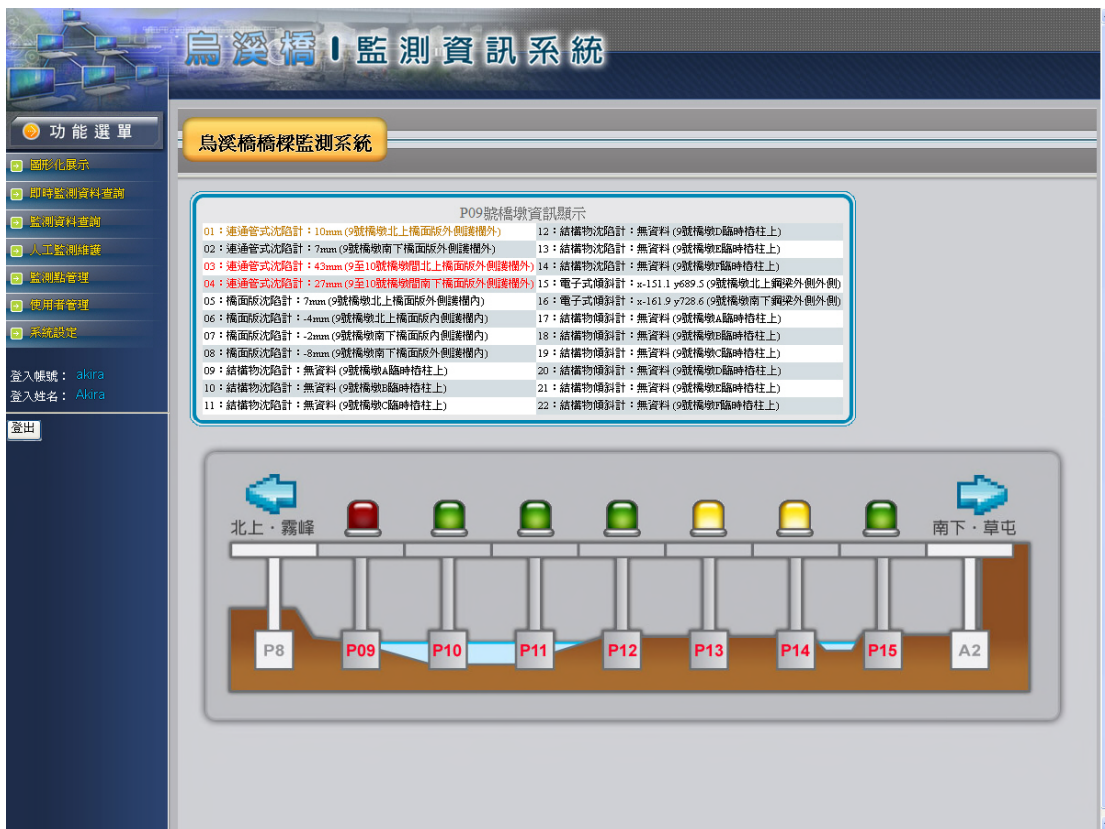


圖 40 全橋監測介面規劃

(2)橋墩監測資訊顯示模組：係以全橋圖形縮成小圖展示，包括方向及橋墩編號，其被納入監測之橋墩均以燈號顯示。橋墩監測圖示可顯示正面圖、側面圖及平面圖等三種圖形，另感測器依其類型以不同的圖示，展現於配置之位置上。感測器數據位處正常值時，以綠色圖示展現，感測器數據超過警戒值時，即以黃色圖示展現，超過行動值時，即以紅色圖示展現，以告知監測管理人，並以簡訊通知相關人員。各感測器資訊顯示，仍以文字之顏色提醒監測者，當監測值超出警戒值時，感測器所顯示之資料以橘色文字表示，監測值超出行動值時，感測器所顯示之資料以紅色文字表示，監測值無異常時，感測器所顯示之資料以黑色文字表示。雙擊全橋圖示時則回到全橋監測資訊展示模組，雙擊感測器時則開啓感測器監測資訊展示模組，如圖 41。

(3)感測器監測資訊顯示模組：其展示資訊包含感測器類型、型號、設置位置及目前讀數等資料。並提供時間區間查詢功能，顯現出時間區間內之感測器數據清單及圖形，包含警戒值與行動值線型，及區間之最大值與最小值、標準差等統計數據，且提供圖表列印輸出功能。另亦提供連結感測器參數維護功能模組，如為人工觀測點位（如觀測沉陷點等），可連結至感測數據輸入功能模組，以輸入人工觀測數據，如圖 42。



圖 41 橋墩監測介面規劃

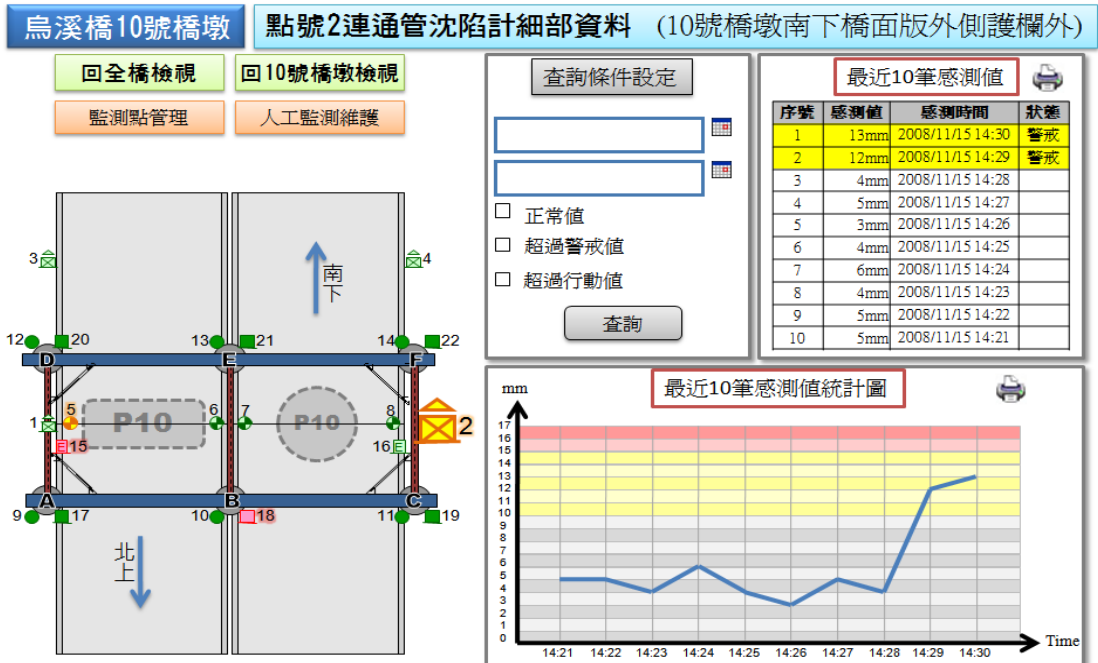


圖 42 感測器監測介面規劃

七、結論與建議

1. 傳統的橋梁檢測方法其缺點為不具連續性，且人工定時觀測之數值，容易產生誤差影響檢測結果。而自動化監測系統則是可以大幅降低監測誤差，並連續記錄感測器資料，且具有即時警示功能，是未來必行之趨勢。
2. 目前本局橋梁施工監測，大部份仍採用傳統之人工定時觀測、量測取得數據分析的檢測方式，當颱風豪雨或位處河道時，人工是無法量測與觀測的。然颱風豪雨時，也正是橋梁較危險時，故為使橋梁監測具有連續性及即時性，因此建議採較科學之自動化監測系統，以符合現代之趨勢。
3. 為了解橋梁之動態反應及異變警訊，乃於橋梁上安裝各類型監測感測器以取得結構反應及環境資料，並進行長期分析評估工作，以降低災害發生所造成之社會成本付出。另基於橋梁監測中心資訊管理之理念，及配合網路科技之進步與遠端控制且集中化管理，並統合所有橋梁之監測系統，達到有效之集中化管理之目的，以降低管理人員的需求。
4. 本文以建立橋梁有限元素電腦模型，並參考橋梁設計規範及設計資料訂定監測之管理值，且經由管理值與實際監測資料比對後，以確定初步所訂定之監測管理值是合理的，故更可以證明此訂定管理值的方法是可行的。
5. 有關於橋梁使用性與車輛行駛性及對週遭環境的影響，可用橋梁振動的等級做為其性能指標，而該橋梁振動的量測，即是橋梁監測最能發揮之功能，近年來橋梁補強及老舊處理也利用此方法進行。
6. 本研究監測系統之案例具有其特殊性（橋梁換底工法），未來在類似工法施作時，也可據本研究所採用之監測方式，加以改善並提升監測品質與效果。

參考文獻

1. 張啓偉，「大型橋梁健康監測概念與監測系統設計」，中國土木工程學會橋梁及結構工程學會第十四屆年會論文集。
2. E. Y. Andersen， “Structural Monitoring of the Great Belt East Bridge.”， Proceeding of the Third Symposium on Strait Crossing， 1994， Rotterdam.
3. F. Myroll and E. Dibiagio， “Instrumentation for Monitoring the Skarnsunder Cable-stayed Bridge” ， Proceedings of the Third Symposium on Strait Crossing， 1994， Rotterdam.
4. 游明益、林曜滄、王炤烈、張荻薇(民 95)，換底工法於沖刷水害橋梁之應用以台一線溪州大橋橋基加固工程為例，中華技術第 71 期.P110~121。
5. 方耀民，2006，「盤式支承與鉛心橡膠墊支承橋梁之現地試驗與耐震評估-以獅子頭溪河川橋為例」，逢甲大學土木及水利工程研究所博士論文。

附錄：一



微震量測實驗-微震測量儀



微震量測實驗-收集記錄器

附錄：二

SAP2000 電腦軟體模型分析所訂定的監測管理值與設計圖說所規定監測管理值之比較：

本次烏溪橋監測分析工作之模型，主要是依據兩次改建設計圖與實際狀況，利用有限元素分析軟體 SAP2000 電腦軟體 建立結構分析模型。烏溪橋此次改建工程為 P9 橋墩柱至 P15 橋墩柱段，此橋段為連續橋梁，將 P9 至 P11 段視為一體並建立模型，並依著橋梁換底工法的施作，P9 至 P11 陸續更換為臨時支承架，並於施工期間的四種情況各自建立模型。

1. SAP2000 電腦軟體模型分析之管理值訂定：

將各載重組合輸入到 SAP2000 電腦軟體的橋梁模型內，去進行結構分析，將分析時各個監測項目儀器的位置找出，並將這些儀器放置的位置之沉陷量與傾斜量取最大值。將沉陷計之沉陷量最大值除 0.9 可得到監測儀器沉陷量之警戒值，將最大值除 0.75 可得到監測儀器沉陷量之行動值，即可得到監測儀器沉陷量之管理值，綜合上述整理結果，各監測儀器之警戒值與行動值如表 5-1 所示。

2. SAP2000 電腦軟體模型分析監測管理值與設計圖說所規定管理值之比較：

由表 5-1 得知，P9 橋墩柱至 P11 橋墩柱段，由 SAP2000 電腦軟體模型分析沉陷計之沉陷量監測管理值，其沉陷變位量最小警戒值為 13.4 mm。查設計圖說連通管式沉陷計之沉陷量警戒管理值為 10.0 mm，小於電腦軟體模型分析警戒管理值 13.4 mm，故設計圖說所訂定的沉陷量警戒值是屬合理，為取保守分析，以變位量較小者為監測儀器之警戒值，故本研究工程乃以設計圖說沉陷計之沉陷量 10.0 mm 為警戒值。

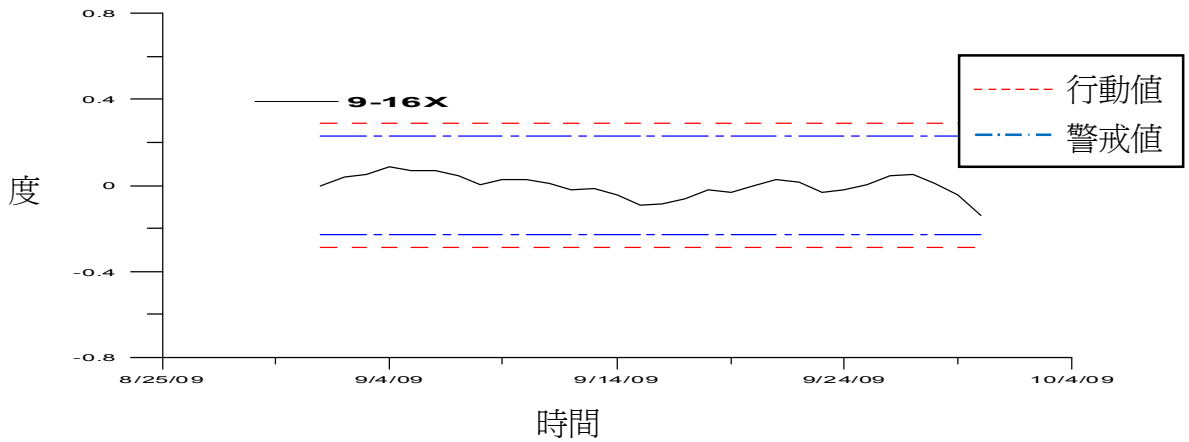
又由表 5-1 得知，P9 橋墩柱至 P11 橋墩柱段，由 SAP2000 電腦軟體模型分析沉陷計之沉陷量監測管理值，其沉陷變位量最小行動值為 16.1 mm。查設計圖說連通管式沉陷計之沉陷量行動管理值為 15.0 mm，小於電腦軟體模型分析行動管理值 16.1 mm，故設計圖說所訂定的沉陷量行動值是屬合理，為取保守分析，以變位量較小者為監測儀器之行動值，故本研究工程乃以設計圖說沉陷計之沉陷量 15.0 mm 為行動值。

3. SAP2000 電腦軟體模型分析所訂定之管理值與實際監測儀器所收集之監測資料結果比對之討論：

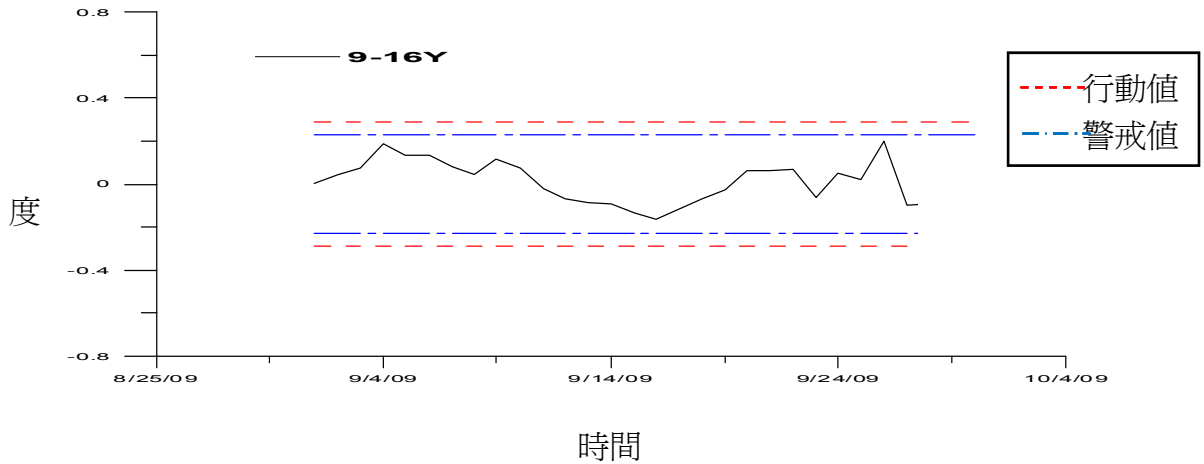
本研究烏溪橋改建工程 P9 橋墩柱至 P11 橋墩柱段，由 2009 年 4 月至 2009 年 9 月間，從施工前到臨時支承架承載期間，最後到整個單元改建完畢的監測資料，均呈穩定之曲線，其 2009 年 4 月至 2009 年 9 月間，監測管理值與實地監測資料的比對圖，如附錄圖二-1 至附錄圖二-3 所示，藍色線代表警戒值，紅色線代表行動值。

由 SAP2000 電腦軟體模型之靜力與動力分析所得的監測管理值，與設計圖說所訂定監測管理值之資料進行比對，可以確定設計圖說管理值訂定之合理性。從分析結果來看，整體的施工期間從原始橋梁到臨時支承承載，與最後新改建橋墩柱期間，監測資料整體都呈現穩定的趨勢。惟橋梁未經實際災害驗證，故無法確定管理值真正的準確性，因此訂定之管理值，仍需靠日後長期

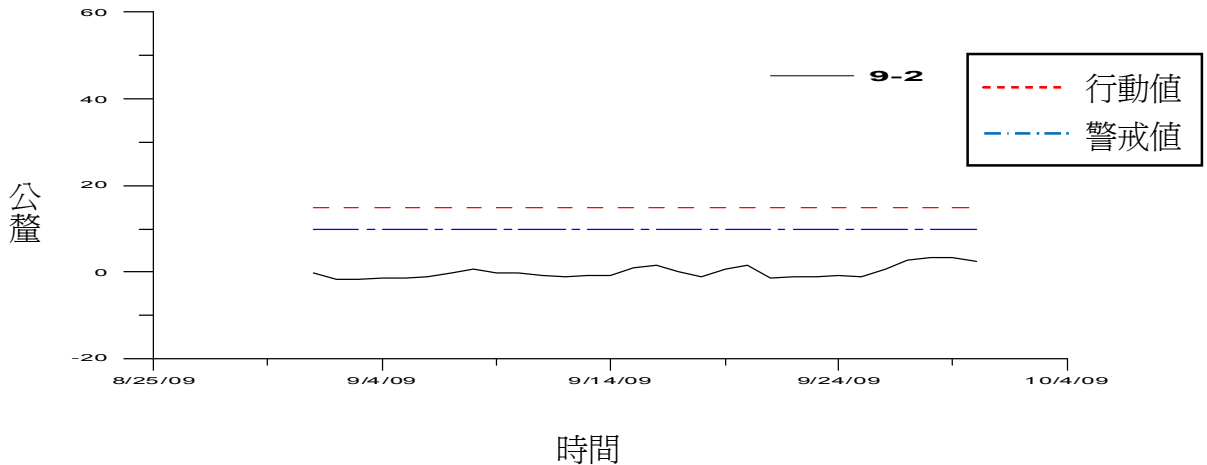
的監測，由長期監測資料的收集與彙整或災害發生時橋梁的反應來進行再次修正。



附錄圖二-1 電子式傾斜計 P9-16X 歷時曲線



附錄圖二-2 電子式傾斜計 P9-16Y 歷時曲線



附錄圖二-3 連通管式沉陷計 P9-2 歷時曲線

附錄：三

SAP2000 電腦軟體所建置之橋梁模型，配合現地微振測量試驗修正：

SAP2000 電腦軟體所建置之橋梁模型，為了確保該模型能趨近符合（代表）真實橋梁，則必須再配合現地微振測量試驗所獲得之數據與參數，其中包含振動頻率與振動模態等，予以修正其電腦結構模型，使模型的振動頻率及振動模態更符合橋梁現況，以能更準確地分析橋梁之力學行為等。

1. SAP2000 電腦軟體分析模型之建置：

本研究工程分析工作之模型，主要是依據烏溪橋兩次改建設計圖與實際狀況，利用有限元素法電腦分析軟體 SAP 2000 所建立之結構模型。

本研究工程烏溪橋此次改建工程為 P9 橋墩柱至 P15 橋墩柱段更換，此橋段為連續橋梁，並將 P9 至 P15 段視為一體，並建立其電腦結構模型，另依照現地微振測量之結果進行電腦結構模型之修正。

2. 現場微振測量試驗：

現地試驗為了解橋梁行為最直接的方式，其中微振試驗為最常用的現地試驗，主要是藉由微振儀直接量測結構體受到周遭環境擾動影響下，所產生的振動反應，並經由資料處理後，即可獲得結構物之自然振動頻率。

本研究工程烏溪橋的微振量測中，分為原始橋梁 P9 橋墩柱至 P15 橋墩柱段，以 P9、P10、P11 依序頂升後之微振測量試驗為範例，測量點位皆為每跨中間段，擷取頻率為 400HZ，資料分為三個軸向，分別為 X(南北向)、Y(東西向)、Z(垂直向)，將量測所得數值之時間歷時資料，做快速傅立葉轉換(FFT)之後，將時間域資料轉換成頻率域資料，即可得 XYZ 三方向之橋梁自然振動頻率，如圖 9 至圖 11 所示。

3. SAP2000 電腦軟體分析模型之模態（頻率）修正討論：

將換底工法施工期間五種情況之橋梁模型用 SAP 2000 電腦軟體進行分析，從模態分析可得橋梁之模態與頻率。因自然振動頻率為橋梁結構行為變化之主要因子，由 SAP 2000 電腦軟體分析所得到之自然振動頻率，作為橋梁行為變化之依據，與現地微振量測所獲得結構物之自然振動頻率結果作比對。其相差值借由調整 SAP 2000 電腦軟體內之分析因子（如靜載重、活載重、風力、衝擊係數、勁度等），並採用試誤法進行逐步修正，調整電腦模型之行為模式與現地微振量測結果相接近，使橋梁電腦模型的結構特性與真實橋梁的行為較為接近，其調整後橋梁電腦模型與微振量測結果（自然振動頻率）之比對，如附錄表 3-1 所示。

本研究橋梁工程係以微振測量試驗來修正 SAP 2000 電腦軟體所建立之電腦結構模型，由於原本橋梁之橋墩已多處嚴重裸露，橋柱實際作用高度不易得知，加上橋梁上部結構重量無法確知真實值等等之諸多因素，因此 SAP 2000 電腦軟體所建立之分析模型，與實際施工烏溪橋的特性並非完全相同。因此，電腦模擬橋梁模型與實際橋梁行為之模式僅能趨近於符合。

附錄表 3-1 橋梁電腦模型分析與微振量測結果比對（自然振動頻率）

項 目	方向	P9	P10	P11
頂升前頻率(Hz)	X	2.41	2.43	2.49
	Y	3.15	3.21	3.23
	Z	3.26	3.44	3.44
微振量測	X	2.48	2.43	2.49
	Y	3.58	3.41	3.65
	Z	3.48	3.47	3.47
頂升後頻率(Hz)	X	2.47	2.11	2.06
	Y	3.03	2.22	2.50
	Z	6.41	6.44	5.35
微振量測	X	2.48	2.40	2.31
	Y	2.87	2.25	1.88
	Z	6.34	6.29	5.52

園地公開 歡迎投稿



公路路線圖資與 Google Map(Earth)結合之應用

李崇堂*

摘要

本篇係個人將公路總局現有網頁上公路地圖整合於 Google Map 上，提供社會大眾在熟悉的網路 Google 地圖介面中，經由滑鼠點選，即能輕易找到欲查詢之正確公路路線地圖資訊。另因應地質法頒佈施行，本篇亦介紹如何將各類型環境地質基本圖及地質災害潛勢圖圖資，先經由 GIS 專業軟體處理並轉換為 Google Earth 所能讀取之 kmz 格式檔案後，再匯入其系統內，提供使用者在 Google Earth 介面瀏覽並查詢地質災害潛勢圖與現有公路路線間之空間關係。

關鍵字：Google Map、Google Earth、kmz、地質災害潛勢圖、公路路線、公路地圖

一、前言

公路圖資以往給人的印象不外乎公路路線地圖、書籍及成冊的公路統計報表等，不僅所費不貲、查詢使用不易，且資料無法即時更新，往往限制其應用發展，直至網際網路普及後，引進 GIS 地理資訊系統(以下簡稱 GIS)概念，逐漸發展為網路公路電子地圖，如民間公司之 PAPAGO 地圖、UrMap 等網路電子地圖，及政府機關之新北市樂活地圖等，如雨後春筍般地相繼推出；尤其自從 Google 公司推出 Google Map、Google Earth 等軟體於網路上免費提供下載及使用，以公路地圖為基本架構，整合其它生活資訊於友善親和的介面，搭配簡易的操作方式，廣泛應用於電腦及各式電子科技產品上，吸引各年齡層普遍使用，不論歷史、文化及生活(如餐飲、遊憩、休閒等日常生活資訊)皆隨手可得，就像一本大百科全書，"Google"一詞代表網路科技之應用與民眾生活息息相關且密不可分。

交通部公路總局(以下簡稱本局)負責台灣地區省道(含快速公路)及縣道等公路路線圖資之管理(公路基本資料異動登記作業之彙辦機關)，本於為民服務精神，近年來已依不同業務推展需要，繪製百餘幅之各類公路地圖，建置於網站供民眾查詢利用。

本文以省道快速公路交流道示意圖為例，介紹將本局網站已建置完成之 12 條東西向快速公路、台 61 線西部濱海快速公路、台 63 線及台 65 線等公路之交流道示意圖，利用網路超連結方式整合於 Google Map 介面上，建立公路路線地圖單一窗口，使民眾在具豐富背景圖資之 Google

* 交通部公路總局規劃組資料科 副工程司

電子地圖上瀏覽時，也可查詢本局建置之公路地圖，互相對照，獲取正確公路路線資訊。

另地質法業於 99 年 12 月 8 日由總統明令公布，預定於 100 年 6 月初起施行，並於本法公布日期起算 9 個月內公告首批地質敏感區。而地質災害潛勢圖與現有公路路線之空間關係，尤為本局應特別注意事項。筆者以經濟部中央地質調查所（以下簡稱地調所）提供地質災害潛勢圖電子檔（檔案格式為 shp），利用 ArcGIS 軟體處理、轉換為 kmz 格式檔案，及由本局管養之省、縣道公路路線及第 4 次公路清查成果如整樁里程等資料轉換為 kmz 格式檔案，一併套疊於 Google Earth 之衛星影像圖、地名及道路等圖層上為應用範例，希使業務相關同仁皆能查詢得到其管養公路路線是否位於各類型地質災害潛勢範圍內，其成果亦於本文內介紹。

二、Google Map 之應用

本節介紹將分散於本局網站之各類公路地圖，以超連結方式整合於 Google Map 介面上，提供使用者於電子地圖上點選超連結文字框，直接查詢到本局提供之公路路線地圖資訊，並於 2 地圖視窗間對照查詢。同時也介紹利用 Google Map 之應用範例，以獲取 2 點以上空間位置間之高程剖面及公路坡度等相關資訊，了解 Google Map 之其它功能。

2.1 省道快速公路交流道示意圖之應用

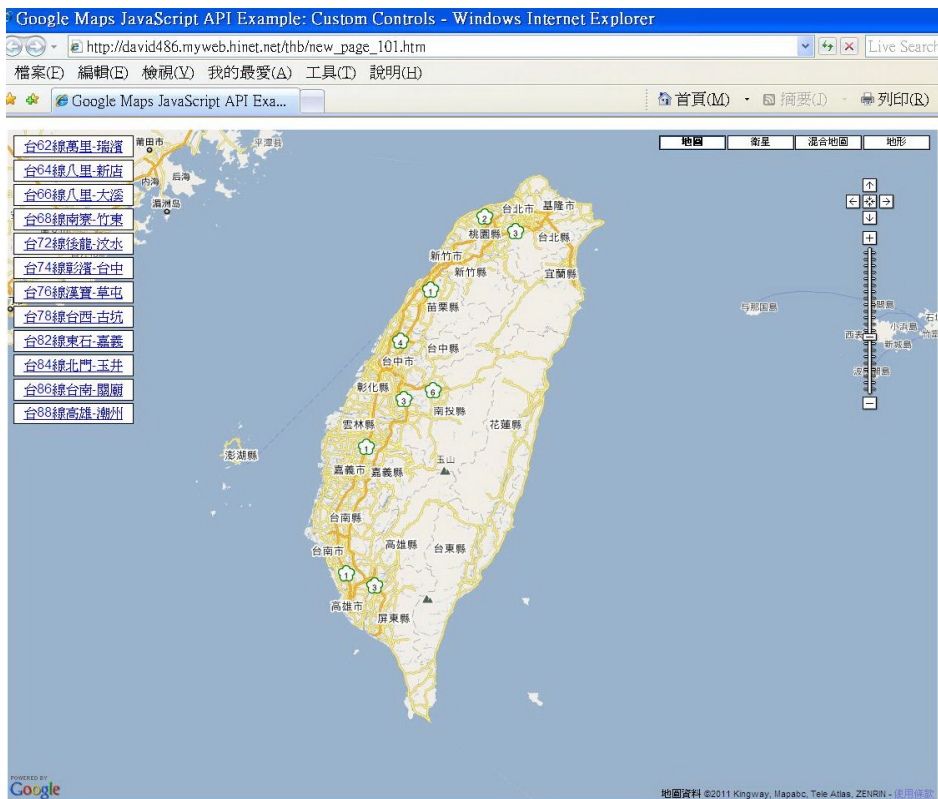


圖 1 以 Google Map 為介面之快速公路交流道查詢

圖 1 為省道快速公路交流道示意圖之首頁雛型，係架構於 Google Map 介面上，視窗右上角有「地圖」、「衛星」、「混合地圖」及「地形」等 4 種模式可用滑鼠直接點選切換，且可用滑鼠拉動右側比例尺規以調整地圖大小，也可直接於圖面上按壓滑鼠左鍵不放並拖曳以平移圖面，如同一般電子地圖之操作方式。圖 2 為切換到「混合地圖」模式（衛星影像上套疊道路、地名等圖層）且用滑鼠點選左側文字框「台 64 線八里-新店」後以台 64 線全線為範圍放大後之地圖。

接著可用滑鼠於視窗左側文字框處點選「台 88 線高雄-潮州」，圖面即自動平移並縮放至以台 88 線為範圍，地圖上並自動顯示出 6 顆紅色氣球，代表本局所繪製台 88 線交流道示意圖之超連結位置（詳圖 3）。

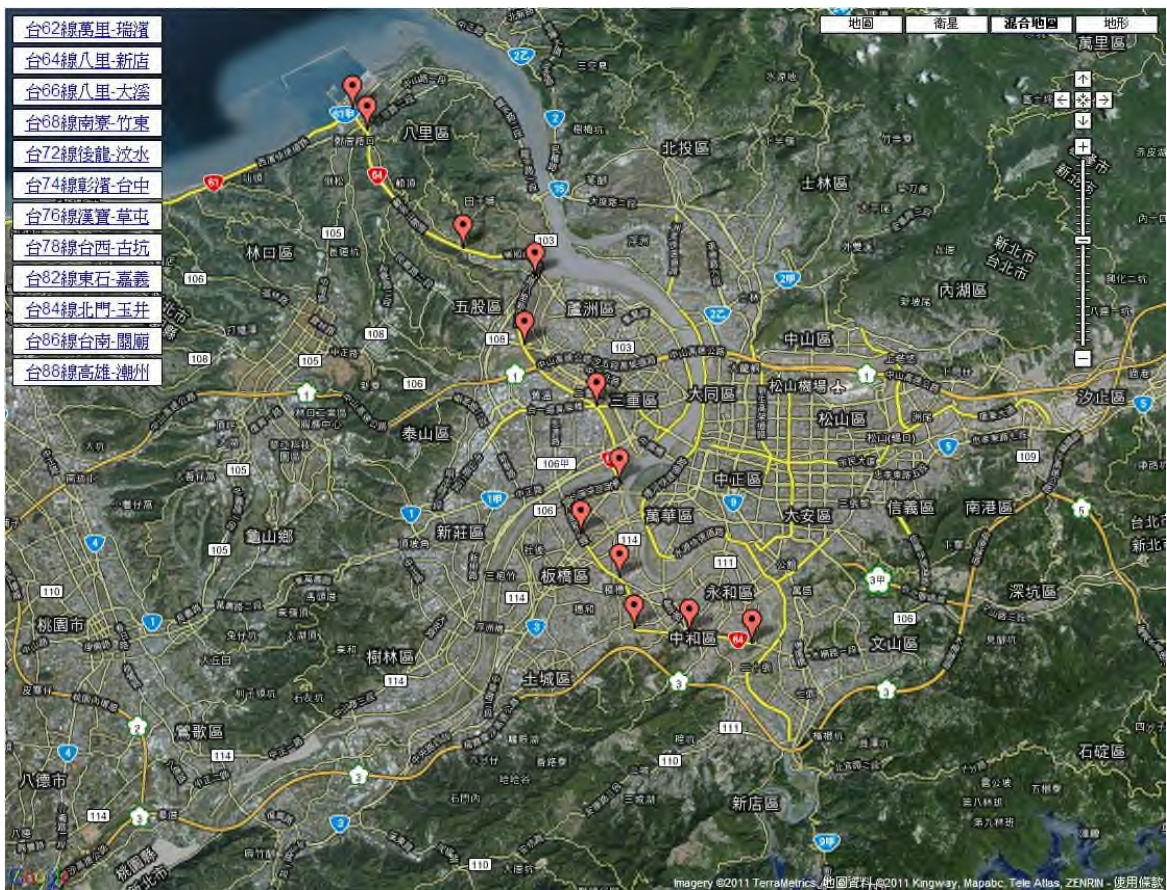


圖 2 「混合地圖」模式下之台 64 線全線地圖



圖 3 台 88 線路線地圖及沿線交流道位置（紅色氣球）

利用比例尺規及滑鼠將圖面平移縮放至台 88 線與台 27 線相交處並於右上角點選「衛星」模式後（關閉道路、地名等圖層），即可清楚看到交流道線形，接著用滑鼠左鍵點選紅色氣球後自動彈出文字框「萬丹交流道示意圖」（詳圖 4）。再點選文字框上字樣，則自動展開一新視窗並顯示出本局繪製萬丹交流道示意圖之網頁，此時可於 2 視窗間切換以查詢實際路線圖與示意圖間之對照關係（詳圖 5）。

以上 Google Map 應用範例，已建置於本局人生哲學社之及人會社團網站（筆者個人）供參考，網址為 http://david486.myweb.hinet.net/thb/untitled_1.htm。



圖 4 「衛星」模式下之台 88 線萬丹交流道路線圖



圖 5 台 88 線萬丹交流道衛星影像圖與示意圖對照

2.2 查詢 2 點以上高程剖面及公路路線坡度之應用

隨著 Google Map 之應用愈來愈普及，Google 公司也開發出一些應用程式範例供大眾加值使用，以下介紹筆者以該公司範例修改過之應用範例（詳圖 6）。

請在地圖上直接用滑鼠點選2處以上點位或輸入地址,並請等幾秒鐘觀看圖形變化

說明1: 上圖("一般地圖")操作方法同一般google map方式,請將視窗往下捲,可看到"高程剖面圖"。

說明2: 請按"清除點重來"後,於"一般地圖"中任意點選2點或3點以上,耐心觀看其變化。

說明3: 可於"旅程模式"中點選直線、開車或走路選項,自行車選項於美國地區可用,台灣地區暫無法使用。

說明4: 可點選下列文字如"嘉130線"選項;於"高程剖面圖"中移動滑鼠,可得高程資訊。

地址:

旅程模式:

嘉130線 台9線蘇澳經東澳至南澳路段 台30線玉長公路 台21線同富路段 日月潭 台灣海峽

圖 6 由 Google Map 地圖取得二點間高程剖面之應用範例

本範例最上面文字部分為筆者加註之操作說明，往下為一般 Google Map 地圖，使用者可在上面經平移縮放找到欲查詢之地點後，任意用滑鼠左鍵點選 2 點（含）以上點位後（點選位置以紅色氣球呈現），並於旅程模式中選擇「開車」模式，地圖下方即顯示 2 點間沿公路路線之高程剖面圖。此時可將滑鼠移至高程剖面圖上（藍色區域），則可於上方地圖視窗中得到對應之點位（綠色氣球），按下左鍵即可出現文字方框標示該位置之高程值（詳圖 7）。

請在地圖上直接用滑鼠點選2處以上點位或輸入地址，並請等幾秒鐘觀看圖形變化

說明1：上圖("一般地圖")操作方法同一般google map方式，請將視窗往下捲，可看到"高程剖面圖"。

說明2：請按"清除點重來"後，於"一般地圖"中任意點選2點或3點以上，耐心觀看其變化。

說明3：可於"旅程模式"中點選直線、開車或走路選項，自行車選項於美國地區可用，台灣地區暫無法使用。

說明4：可點選下列文字如"嘉130線"選項；於"高程剖面圖"中移動滑鼠，可得高程資訊。

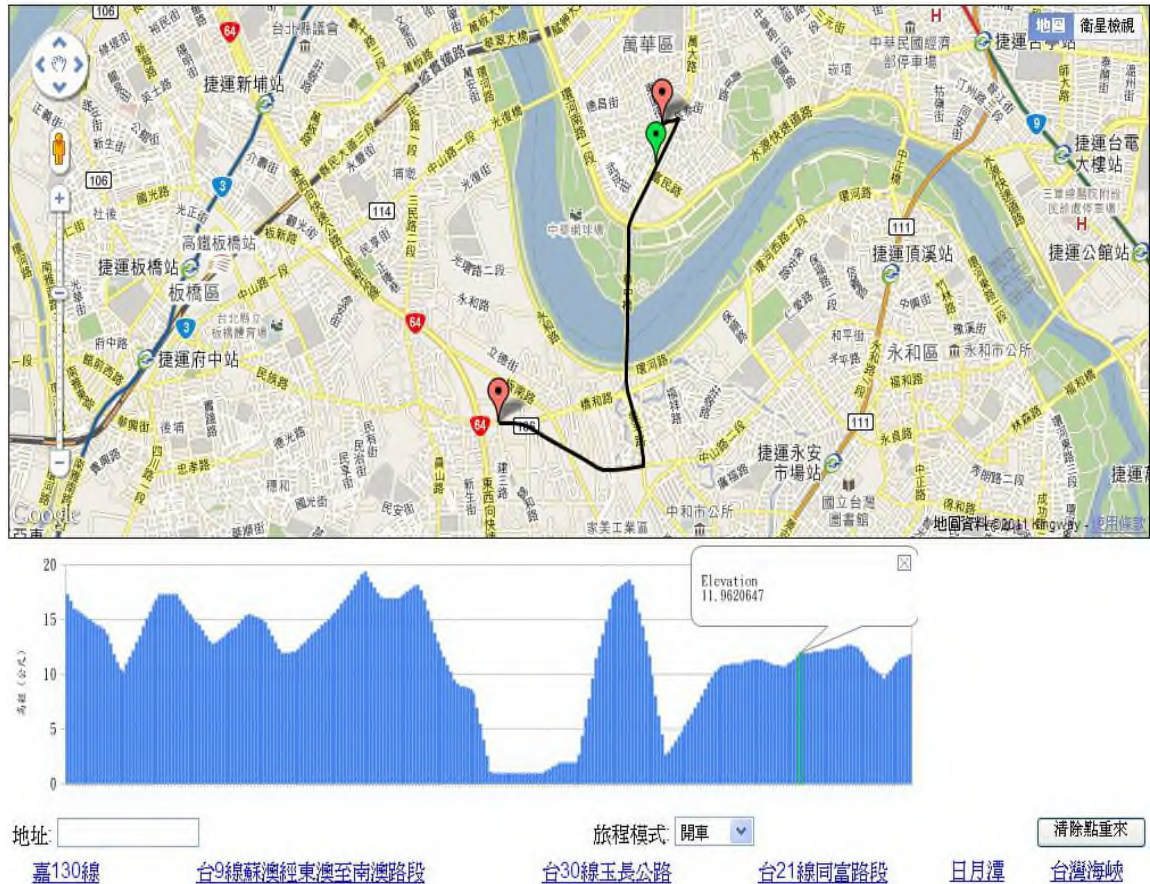


圖 7 由高程剖面圖讀取高程值及地圖上對應之點位（綠色氣球）

於圖 7 底部文字部分，本範例提供之「旅程模式」計有 4 種，分別為「直線」（二點間之直線距離）、「開車」（沿公路路線）、「自行車」及「走路」等模式，其中「自行車」模式，於台灣地區未提供此服務（資料庫尚未建置），有興趣的讀者可將地圖移至美國地區再利用該模式查詢。於「地址」欄位，讀者可自行鍵入如「板橋市」等地名，按鍵盤 Enter 鍵後等約數秒鐘，即可看到視窗平移至以板橋區為中心之圖幅，筆者經驗，路名、地址之查詢結果仍以美國地區較為準確。

另本範例中也選擇「嘉 130 線」、「台 9 線蘇澳經東澳至南澳路段」、「台 30 線玉長公路」、「台 21 線同富路段」、「日月潭」、「台灣海峽」等區域提供讀者參考（可直接點選高程剖面圖底部之文字）。例如於「嘉 130 線」路段範例中，依次選擇「直線」、「開車」旅程模式，可分別得知嘉 130 線兩點間直線路徑以及沿公路路線之高程剖面變化情形（詳圖 8、圖 9）。

請在地圖上直接用滑鼠點選2處以上點位或輸入地址,並請等幾秒鐘觀看圖形變化
 說明1: 上圖("一般地圖")操作方法同一般google map方式,請將視窗往下捲,可看到"高程剖面圖"。
 說明2: 請按"清除點重來"後,於"一般地圖"中任意點選2點或3點以上,耐心觀看其變化。
 說明3: 可於"旅程模式"中點選直線、開車或走路選項,自行車選項於美國地區可用,台灣地區暫無法使用。
 說明4: 可點選下列文字如"嘉130線"選項;於"高程剖面圖"中移動滑鼠,可得高程資訊。

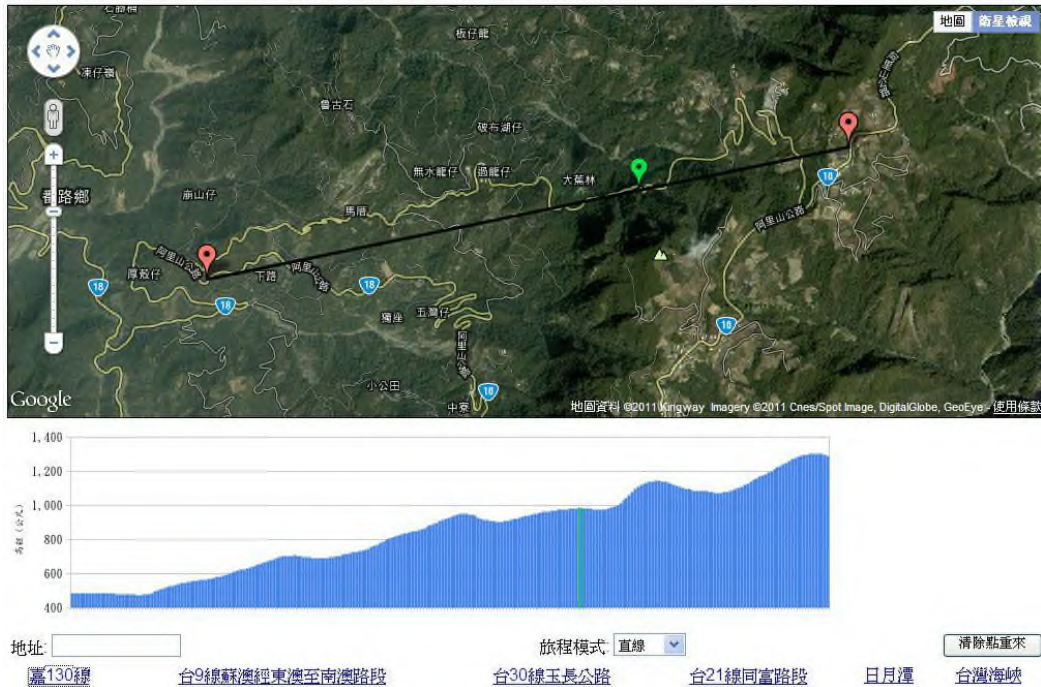


圖 8 嘉 130 線兩點間直線路徑之高程剖面圖 (旅程模式為「直線」)

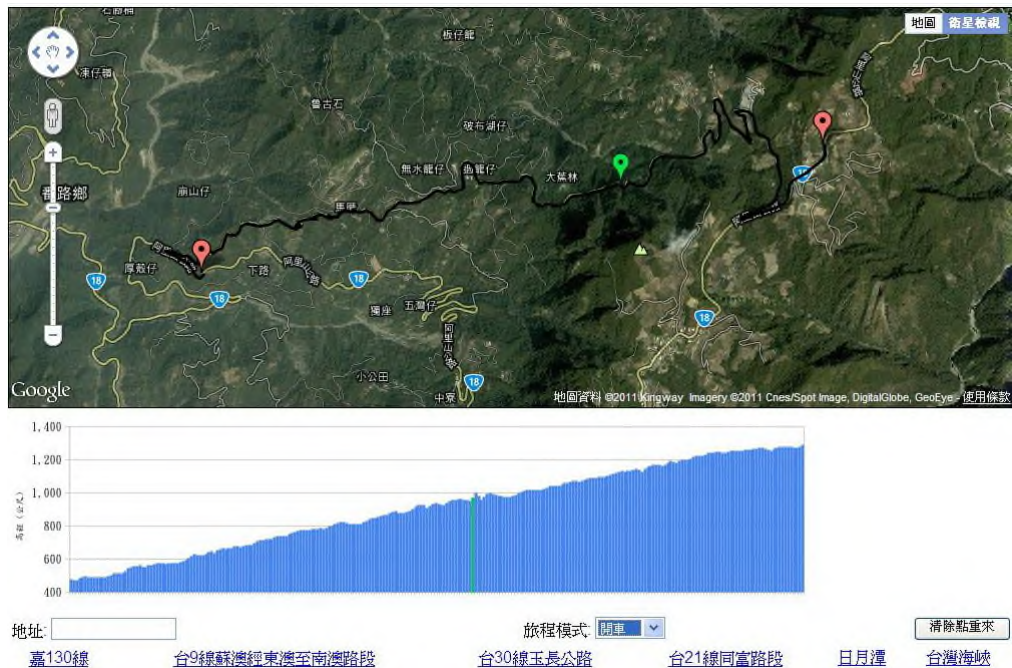


圖 9 嘉 130 線沿公路路線之高程剖面圖 (旅程模式為「開車」)

雖然 Google Map 上的資訊內容十分豐富，可提供大眾便利使用，然在應用時，仍需注意軟體本身所使用之圖資精度及時間，以免錯誤資訊影響研判結果。如受限於建置數值高程模型之精度，Google 公司提供之高程資訊自有一定誤差，另如公路隧道內路段高程係以其垂直於地表之山頂高程為代表，非為隧道內之公路路面高程（如玉長公路之隧道路段，詳圖 10）。

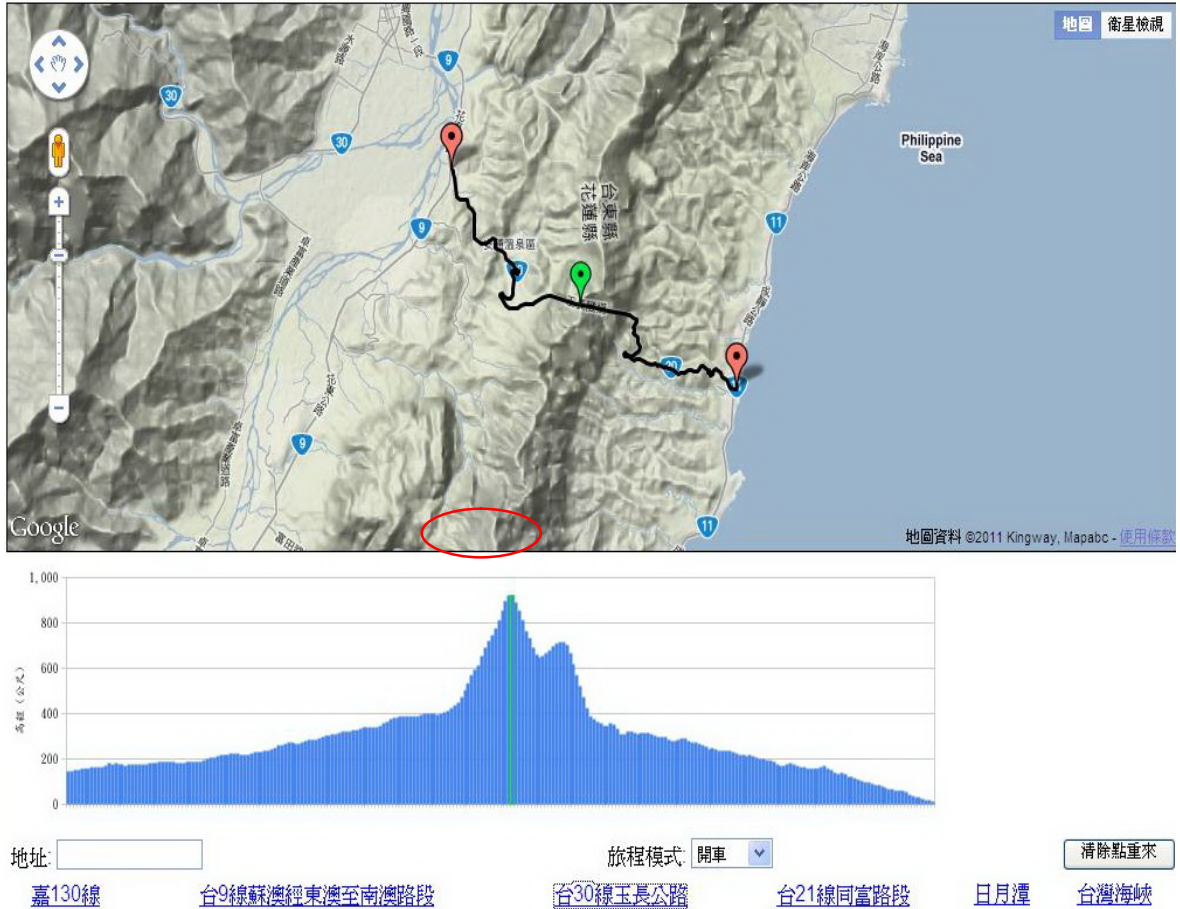


圖 10 玉長公路剖面圖，注意剖面圖中紅色區域為玉長隧道路段，其高程係為山頂高程，而非隧道內之公路路面高程。（旅程模式為「開車」）

又於陸地上之河流、湖泊，則視影像資料拍攝時間水位高低影響河面而有不同之變化；而於海洋中，係以由海平面往下至海底面間之距離為其高程，高程值為負數（詳圖 11、日月潭，圖 12、台灣海峽）。以上應用時需注意事項請參考上述列舉之「嘉 130 線」等範例，請於不同代表性之範例中，依次選擇不同旅程模式如「直線」、「開車」等，瞭解其間之差異。以上 Google Map 應用範例，仍請至 2.1 節所述及人會網站中瀏覽。

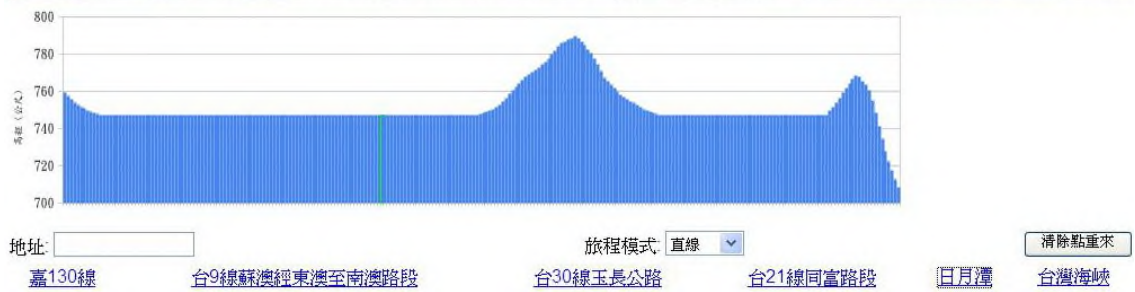
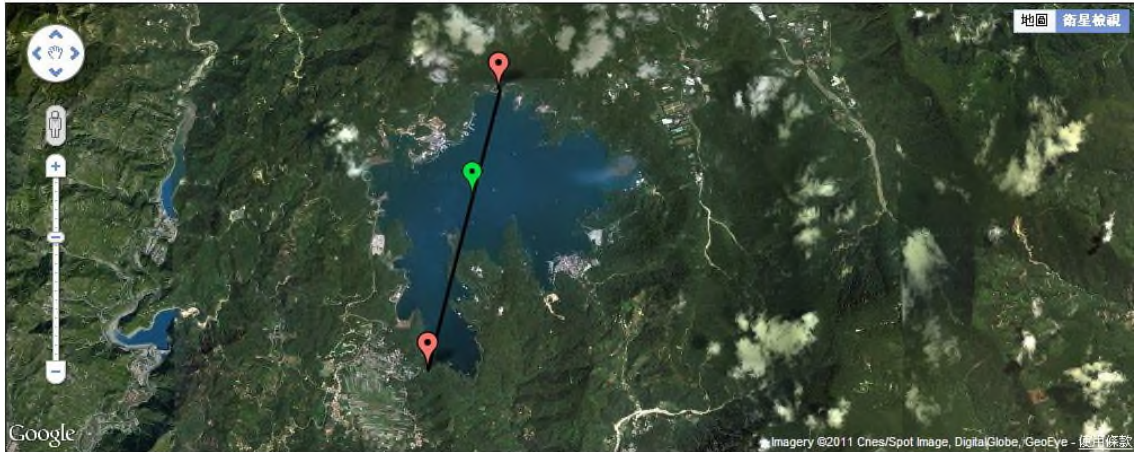


圖 11 日月潭剖面圖 (本範例之高程值係代表湖面高程)

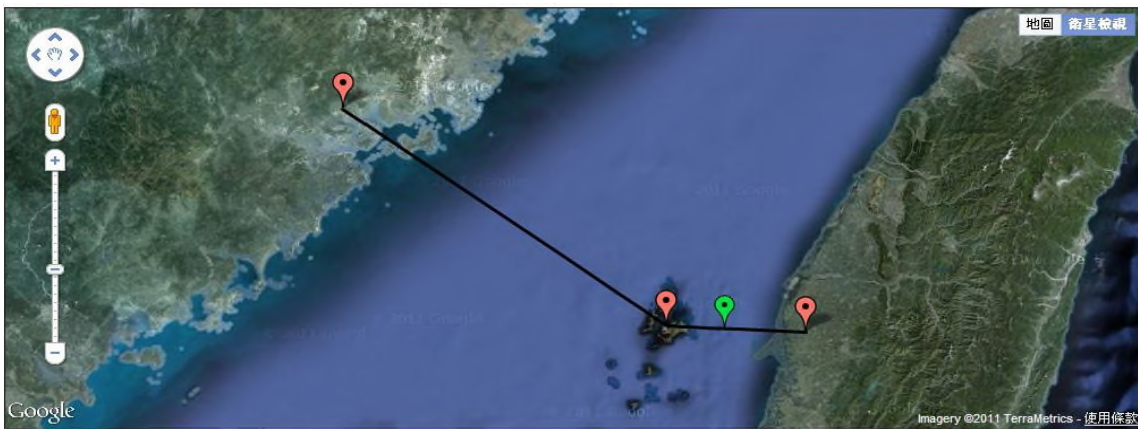


圖 12 台灣海峽剖面圖 (海平面至海底面之距離為其高程, 值為負數)

三、Google Earth 之應用

Google Earth 主要使用 QuickBird 衛星、LANDSAT 衛星所拍攝之高解析度影像並加入航拍影像等數值資料整合後，將衛星影像圖公佈於網站上供大眾瀏覽查詢，使用者可於該網站註冊登錄後將個人影像（照片、圖片等）及文字等資料上傳並分享於「相片圖層」中，只要打開該圖層，即可於畫面中看到有「相片」位置之符號，點選該符號可觀看网友上传之圖片。另外使用者也可將於 Google Earth 上編輯完成之成果儲存成 kmz 格式之檔案（Google Earth 專用之檔案格式），只要將該 kmz 檔案複製傳送給他人，任何人於網路下載免費之 Google Earth 軟體並安裝後，直接點選打開該 kmz 檔案，即可觀看到原作者同樣的編輯成果。本局建置之「公路防救災 GIS 決策支援系統」，即是依此模式藉提供 kmz 檔案，讓同仁在個人電腦上即可查詢使用該系統。以下篇幅將介紹 Google Earth 在公路工程上之應用範例。

3.1 公路路線等圖資套疊之應用

公路路線及其附屬設施等空間資訊應用在 GIS 上所展現之資料類別一般分為 4 種，第 1 種為點圖徵，如公路整樁里程位置、橋梁、隧道、標誌等一般在應用上多以點狀方式呈現；第 2 種為線圖徵，如公路路線、路面寬等，多以線形方式呈現；第 3 種為面圖徵，如公路路權（或用地）範圍、各工程處轄區範圍等，皆以封閉多邊形方式呈現；第 4 種則屬於衛星影像、航拍影像及數值地形模型（Digital Terrain Model，簡稱 DTM）等；而各圖徵或影像中所記載之內容則稱為屬性。

同一公路設施可依不同使用目的而視為不同種類圖徵，如橋梁在大範圍小比例尺模式下（如以全部頭城工務段轄區範圍考量，其轄內有幾座橋梁、長度為多少等），則視為點圖徵；然如以單一座橋梁及其附屬設施考量，如橋梁上有幾座路燈，其分佈位置情形等，則又應將橋梁視為線圖徵。理論上有坐標之公路資料表格皆可經處理轉換，而以點、線、面圖徵方式呈現於 GIS 之圖層上。Google Earth 因具有點、線、面圖徵之展示功能及影像資料，故亦可視為 GIS 系統之一種。

圖 13 左側為筆者將本局公路路線圖資中之台 9 線路線經 ArcGIS 軟體處理、轉換後套疊至 Google Earth 上之成果展現，觀看右側放大圖，粉紅色線條為轉換後所套疊之台 9 線資料，黃色線條及文字為 Google Earth 原有圖層資料，底圖為 Google Earth 影像圖，顯示台 9 線路線轉換成果與 Google Earth 上既有公路路線大致吻合。圖 14 左側為筆者將台 9 線第 4 次公路清查之公路整樁里程套疊至 Google Earth 上之成果展現，觀看右側放大圖，綠色點位為套疊之整樁里程位置，以滑鼠直接點選綠色點位，則可彈出文字框顯示該點之整樁里程（Stake1，單位：km）及其 97 二度分帶坐標值（X_COOR、Y_COOR，單位：m）。以上套疊之圖形（如點、線等）顏色、寬度、大小皆可由使用者自行調整，將此成果儲存成 kmz 檔，檔案大小僅約數十 Kbyte，可供使用者複製後在其它電腦使用，呈現出同樣畫面，方便查詢。

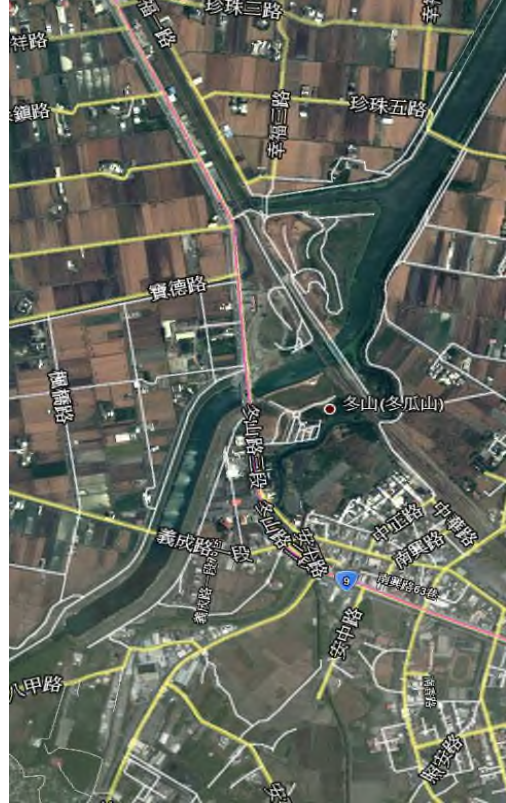
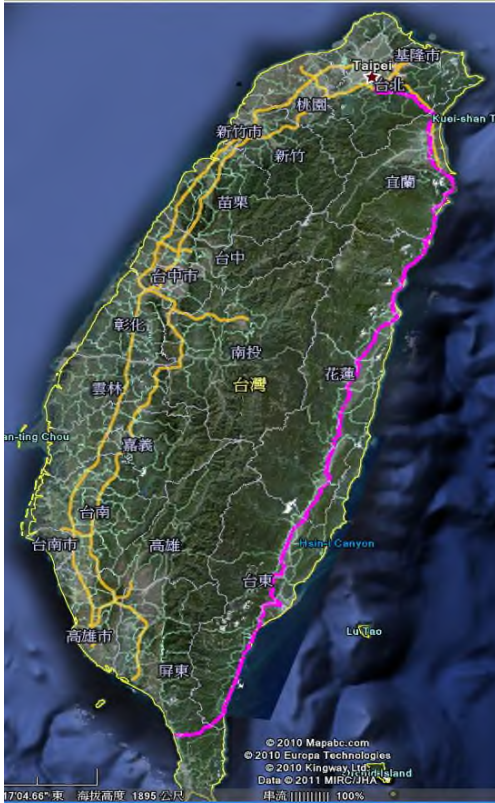


圖 13 套疊至 Google Earth 上之台 9 線路線圖，右圖為宜蘭冬山地區放大圖

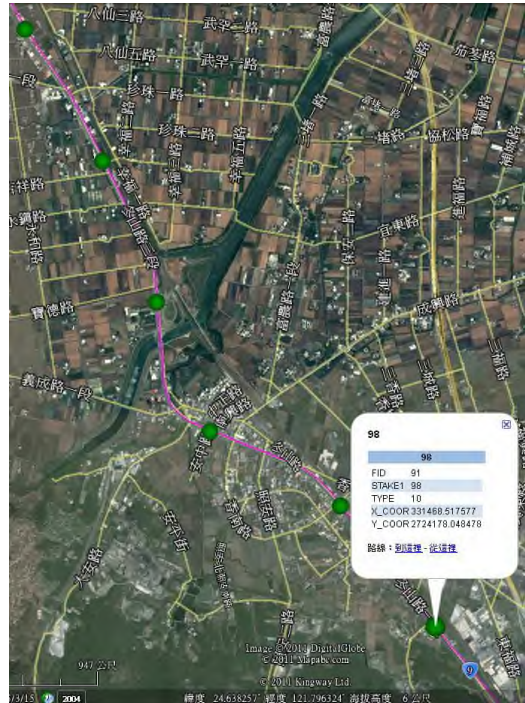
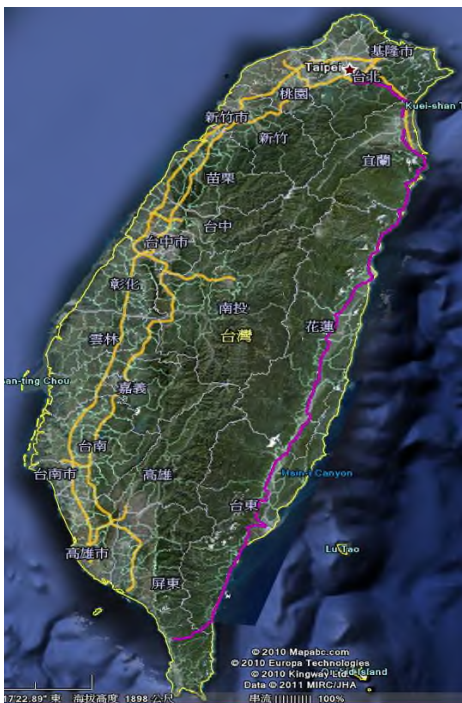


圖 14 台 9 線整樁里程圖，右圖為宜蘭冬山地區放大圖

3.2 查詢地質災害潛勢圖與公路路線間關係之應用

地質災害潛勢圖為公共工程建設主管機關之重要參考資料，本局管養台灣地區省道公路並代養多數縣市之縣道公路，當主動對公路路線是否行經或鄰近各地質災害潛勢範圍等作一全面檢視，及早做好相關補強、養護作業，期能達到減災防災之目的。

地調所網站目前已提供地質資料整合查詢系統、台灣的活動斷層-GIS 線上查詢系統、坡地環境地質資料庫查詢系統等，供社會大眾查詢使用，其中包括環境地質基本圖及地質災害潛勢圖等皆列於上述網站中，相關圖層彙整如表 1。

地質災害潛勢範圍與公路路線之空間位置關係雖可於前述查詢系統查出，但因該系統使用對象為一般大眾，功能較為簡單，且公路相關圖資亦較不完備，於應用上較不方便。

考量 Google Earth 易操作性，且為本局及所屬機關緊急應變小組同仁於值班時常使用軟體，故將前述 shp 格式之圖層檔案先行處理後再轉換成 kmz 格式檔案，如此使用者即可於 Google Earth 軟體中直接開啓並瀏覽查詢。

圖 15 為經轉換為 kmz 檔案後套疊於 Google Earth 原有圖層上所取得之部份活動斷層分布圖，使用者可點選左側斷層名稱，則於右側地圖視窗即顯示其分佈位置及該斷層之屬性資料；也可直接於地圖上點選粉紅色線條（斷層圖層）查詢該斷層名稱及其屬性資料。

圖 16 為經處理轉換後套疊於 Google Earth 上之部份宜蘭縣順向坡分布圖（粉紅色區塊），藍色線條為套疊之台 9 線，於地圖上點選粉紅色區塊，則彈出文字框顯示該區域之順向坡屬性資料。

圖 17 為部份宜蘭縣山崩-中潛勢圖，同樣於圖面上點選粉紅色區塊，可查詢該潛勢範圍屬性資料。

雖然 Google Earth 軟體有提供尺規功能可量測距離，讓使用者於地圖中量測距公路路線兩側一定距離內是否位於地質災害潛勢範圍，但一次僅能在圖面上量測 2 點間距離，無法作全面性的量測，就實際使用上仍屬不便。

以下以蘇花改計劃路線與地質災害潛勢範圍之空間關係為例，介紹如何查詢計劃路線兩側一定距離內是否有潛勢區。先將取得之蘇花改計劃路線（dwg 檔），利用專業 GIS 軟體轉換為 shp 檔，再以計劃路線中心線為基準，將路線兩側各 100 公尺及 500 公尺範圍內之區域分別製作成一單獨之帶狀圖層，並轉換為 kmz 檔案後再套疊於 Google Earth 上，此時即可於圖面視窗中顯示

表 1、資料來源：彙整自經濟部中央地質調查所網頁
<http://envgeo.moeacgs.gov.tw/geoenv/Default.asp>

環境地質基本圖	地質災害潛勢圖
山崩	落石高潛勢區
土石流	落石中潛勢區
土石流扇狀地	岩屑崩滑高潛勢區
順向坡	岩屑崩滑中潛勢區
河岸、向源侵蝕	岩體滑動高潛勢區
棄填土	岩體滑動中潛勢區
惡地	山崩低潛勢區

出計劃路線與地質災害潛勢範圍之空間位置關係，之後可縮放、平移圖面查詢，在實際應用上更為方便。

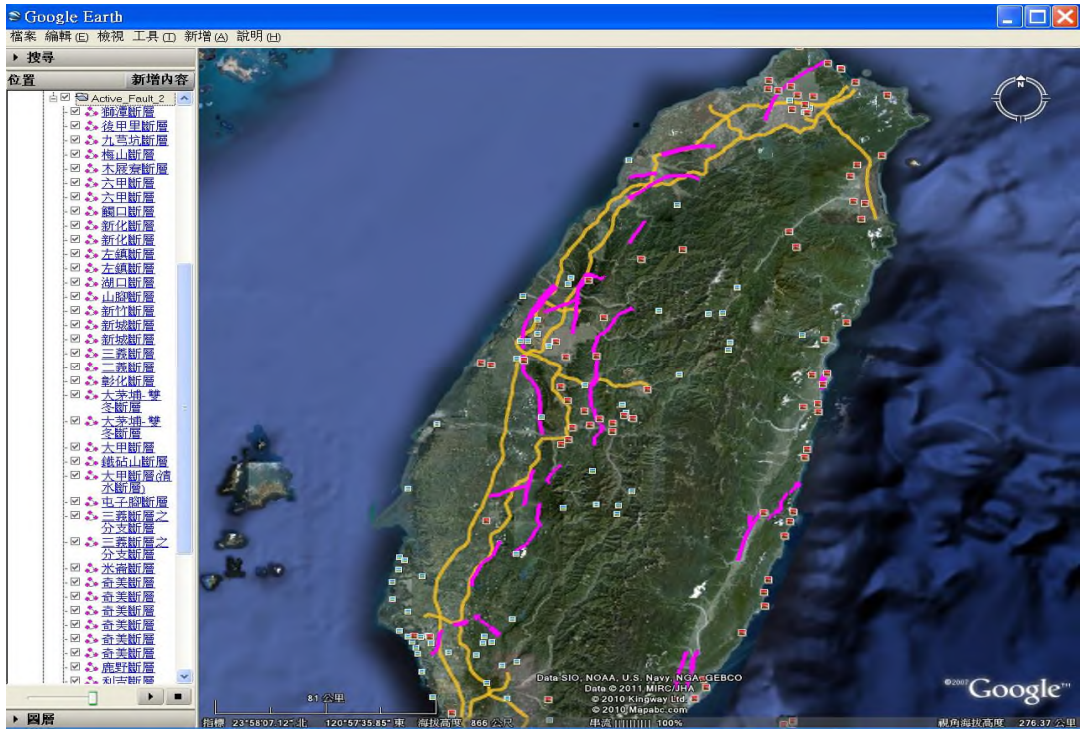


圖 15 活動斷層分布圖（粉紅色線條）套疊於 Google Earth 上之畫面

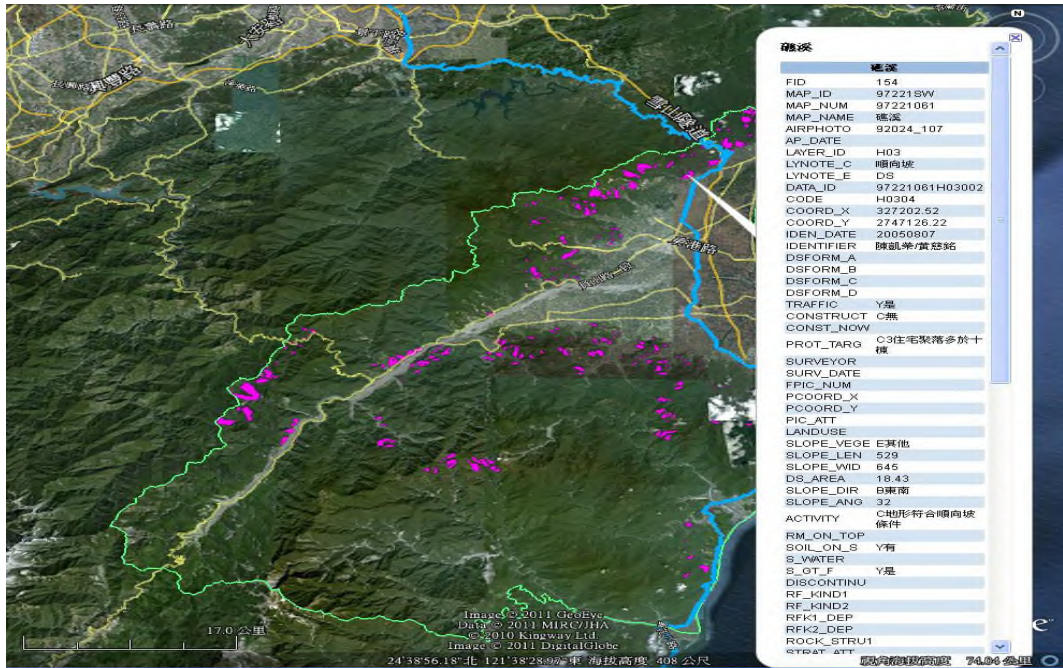


圖 16 宜蘭順向坡分布圖（粉紅色），表格為選取之屬性資料

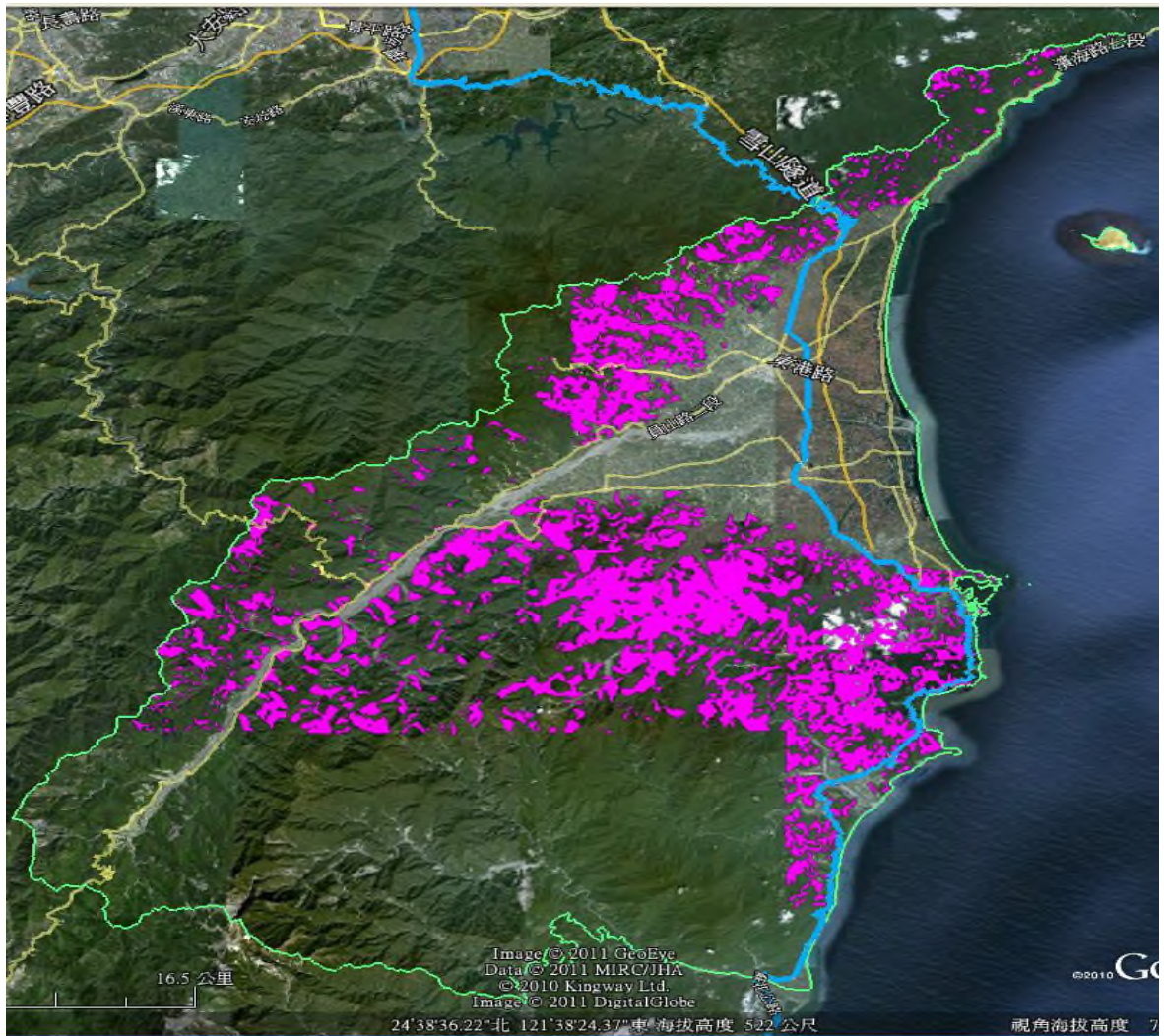


圖 17 宜蘭縣之山崩-中潛勢圖（粉紅色區塊）

圖 18 為蘇花改計畫路線與路中心兩側各 100、500 公尺範圍區域圖，圖 19 為蘇澳至東澳段之放大圖，其中粉紅色線條為套疊之本局台 9 線路線，黃色線條為套疊之蘇花改計畫路線，其兩側淺藍色線條為套疊之蘇花改計畫路線中心線兩側各 100 公尺範圍區域，再往外之綠色線條則為計畫路線中心線兩側各 500 公尺範圍區域，粉紅色區塊為順向坡分佈區域，較淡之粉紅色為山崩-中潛勢區域，使用者可放大圖形後點選區塊查詢地質災害潛勢範圍之相關屬性資料。



圖 18 蘇花改路線及兩側各 100、500 公尺範圍套疊於 Google Earth 上之畫面

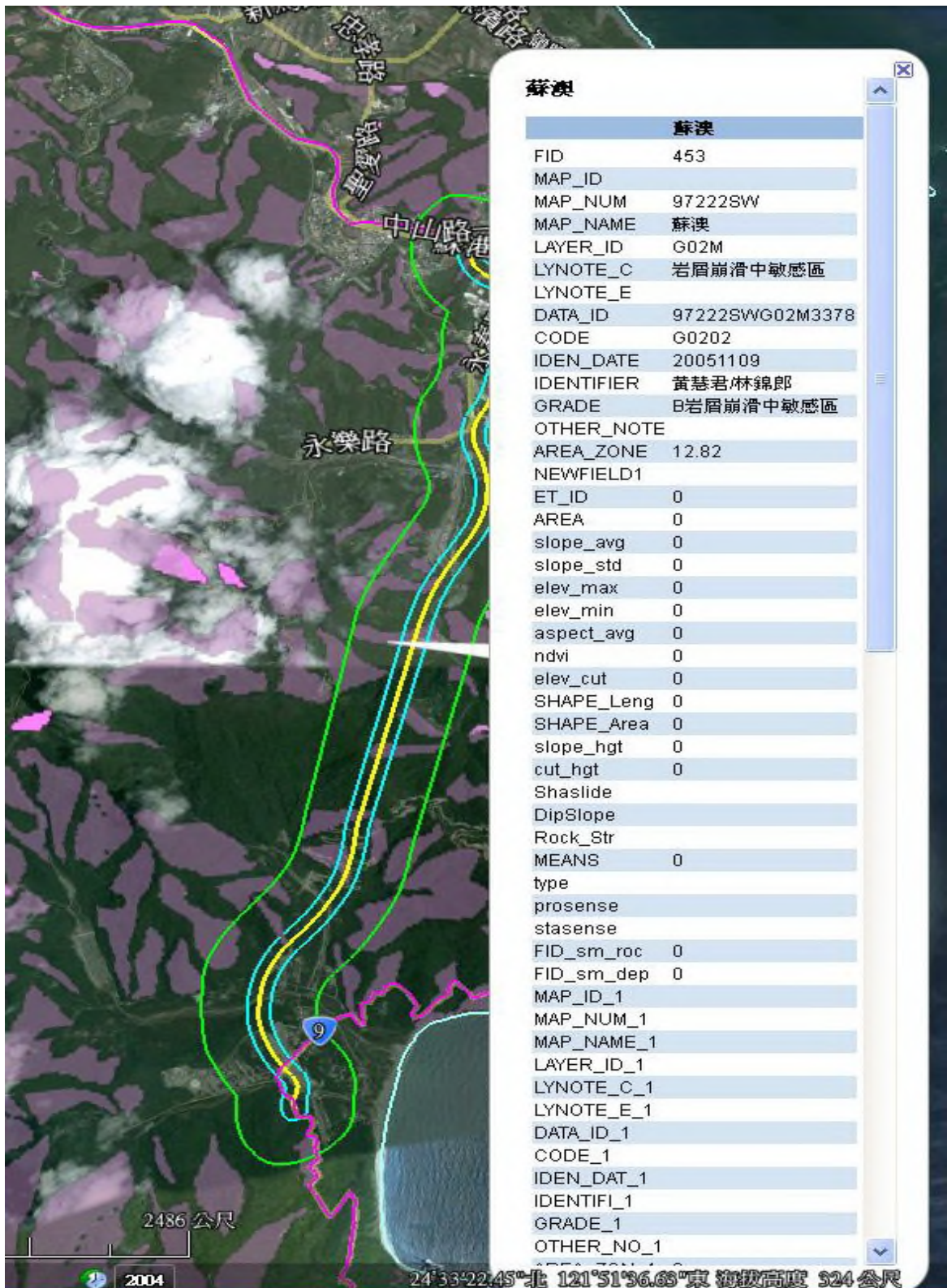


圖 19 蘇花改路線兩側 100 公尺及 500 公尺範圍與地質災害潛勢區之關係圖

四、結論

4.1 Google Map 具有豐富之衛星影像及道路、地名等背景圖資，而以網路電子地圖形式被廣為使用；另也提供設計者自行加值應用，藉由超連結形式，將圖片、文字等資訊結合於電子地圖上，再將訊息發布予他人使用。本篇範例即利用上述軟體特色及功能，而嘗試將本局已建置完成之公路地圖結合於該軟體上，藉由其操作容易、免費之特性，建立本局公路地圖之單一窗口，期能將正確公路路線資訊，提供民眾方便查詢。

4.2 Google Earth 除同 Google Map 一樣具備豐富之背景圖資外，亦提供設計者自行建置點、線、面等圖層，讓使用者藉由開啓相關圖層，查詢空間位置及文字等資訊。本篇範例即嘗試於該軟體上，套疊本局公路路線（含路線中心線兩側一定距離之範圍區域）、整樁里程及地調所建置之環境地質基本圖、地質災害潛勢圖等以加值應用，期能將相關資訊結合俾利本局業務推動。

五、參考文獻

1. Google Map Javascript API 第 3 版教學課程。上網日期：2011 年 5 月 3 日，檢自：
<http://code.google.com/intl/zh-TW/apis/maps/documentation/javascript/tutorial.html>
2. Google Maps/Google Earth API 服務條款。上網日期：2011 年 5 月 3 日，檢自：
<http://code.google.com/intl/zh-TW/apis/maps/terms.html>
3. 萬丹交流道示意圖。上網日期：2011 年 5 月 3 日，檢自：
<http://www.thb.gov.tw/TM/Menu/Menu02/main0202/88-5.aspx>
4. 經濟部中央地質調查所坡地環境地質資料庫查詢系統網頁文字。上網日期：2011 年 5 月 3 日，檢自：<http://envgeo.moeacgs.gov.tw/geoenv/default.asp>
5. 交通部運輸研究所（2009）。「交通部運輸研究所路網數值圖 98 年版」[CD-ROM]。臺北市：交通部運輸研究所。
6. 經濟部中央地質調查所（2010）。「地質災害潛勢圖及環境基本圖電子檔光碟」[DVD-ROM]。