

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 45 卷 第 5 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 45 No.5 May 2019

交通部公路總局

中華民國 108 年 5 月 15 日



封 面 說 明

台14甲線30K
山嵐雲海

蔡叔芬 提供



臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 45 卷 第 5 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

陳 彥 伯

社長

許 鈺 漳

總編輯

陳 敬 明

總幹事

李 崇 堂

編輯

鄧文廣 陳進發

李忠璋 黃三哲

蔡宗成 何鴻文

陳松堂 薛讚添

陳營富 劉世桐

林清洲 李順成

謝哲雄 吳昭煌

江金璋 邵厚潔

顏召宜

實務報導

台 61 線 229K+985 河川橋補強工程之懸吊式施工法設計與施工介紹
.....李幹棋、李俊儒、連文峰... (2)

台 64 線觀音山隧道 BIM 維護管理系統
.....蕭興臺、林昭修... (14)

台 61 線 229K+985 河川橋補強工程之懸吊式施工法 設計與施工介紹

李幹棋¹、李俊儒²、連文峰³

摘要

本工程地點位於西濱快速公路台 61 線 229K+985 河川橋（以下簡稱：舊虎尾溪橋），橋頭里程數為 228 K+462、橋尾里程數為 231 K + 027，跨越舊虎尾溪靠近出海口屬於臨海橋梁，屬於本局第五區養護工程處轄管雲嘉南省道內最靠近海岸線的 1 座橋梁。舊虎尾溪橋是通往台西鄉~四湖鄉重要快速公路橋梁。自從民國 93 年 1 月竣工迄今，橋梁狀況尚屬正常。惟沿海地區長期受氯化物侵蝕，造成橋梁部分大梁底部、橫隔梁及橋墩柱鋼筋銹蝕致混凝土爆裂、蜂窩、小體積鋼筋鏽蝕現象，如圖 1 所示。

本局第五區養護工程處於民國 105 年 3 月 4 日邀請橋梁專家辦理實地勘察研討，大梁底部及橫隔梁混凝土爆裂鋼筋銹蝕，主因鋼筋保護層不足，另大梁也有此現象，可推測屬施工上系統缺失；另進一步研擬如何採用上部結構及橋墩補修方式。本橋梁所跨河川退潮後，下游側河道遍布蚵架，工作船吃水深度不足，故本工程施工恐無法利用工作船辦理施工補強，才決定使用懸吊式施工法辦理。

關鍵詞：舊虎尾溪橋、鋼筋銹蝕、懸吊式施工法。

¹ 交通部公路總局第五區養護工程處斗南工務段 段長

² 交通部公路總局第五區養護工程處斗南工務段 副段長

³ 文銓營造有限公司專案 副理



圖 1 預力梁底鋼筋銹蝕混凝土爆裂

壹、計畫緣起

台 61 線，又稱西部濱海快速公路，是縱貫臺灣西部沿海地區的省道快速公路，也是全台最長的快速公路。本局第五區養護工程處轄管台 61 線 212K+460（西濱大橋南端）~310K+021（173 線九塊厝），如圖 2 西濱快速公路示意圖所示。其中位於台 61 線 229K+985 舊虎尾溪橋為最靠近海岸線的 1 座橋梁，跨越舊虎尾溪出海口屬於臨海跨河橋梁，如圖 3 台 61 線舊虎尾溪橋航空照套繪橋墩位置圖所示。

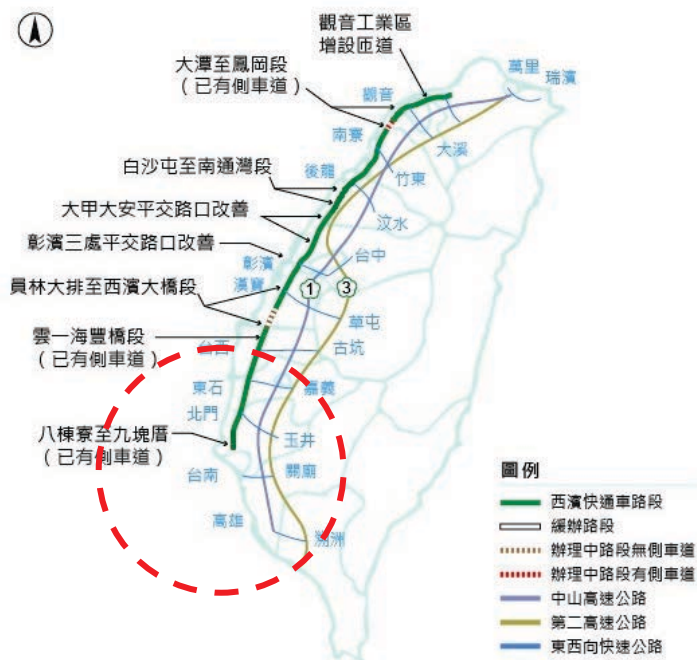


圖 2 西濱快速公路示意圖（本局第五區養護工程處養護範圍：西濱大橋至九塊厝）

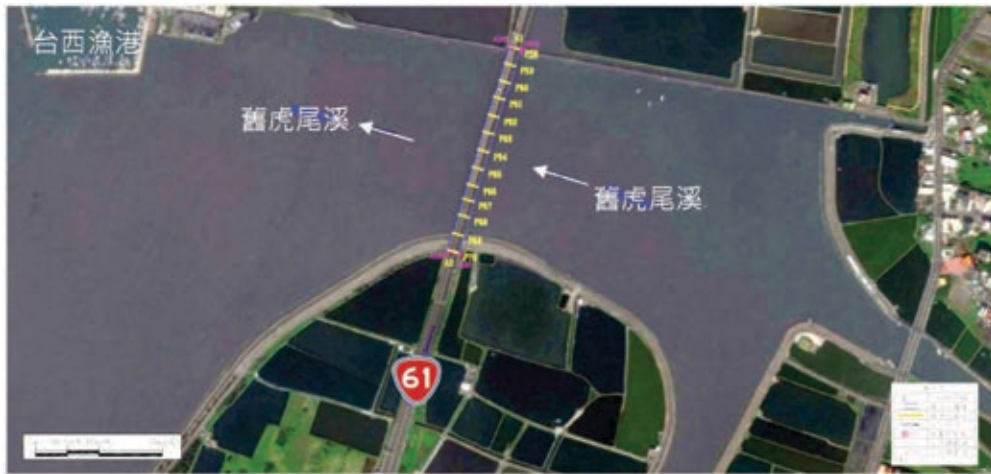


圖 3 台 61 線舊虎尾溪橋航空照套繪橋墩位置圖

本座橋梁因沿海地區長期受氯化物侵蝕，造成橋梁部分大梁底部、橫隔梁及橋墩柱鋼筋銹蝕致混凝土爆裂、蜂窩、小體積鋼筋鏽蝕現象，因此沿海橋梁如何辦理維護補強。必須從工程風險評估上審慎分析及預防對策處理，另工法選擇上從計畫施作範圍（上部結構及橋墩）、所跨河川退潮後下游側河道遍布蚵架、工作船吃水深度不足..等因素下考量，評估出最佳工法並決定使用懸吊式施工法辦理。

貳、設計階段即評估工法、優選方案及風險評估

為進行台 61 線舊虎尾溪橋調查及混凝土補強，以維護公路品質。本局第五區養護工程處於 105 年 9 月開始辦理評估及設計，自從設計階段即針本工程施工環境作工法選擇及方案評估，從各面向之工期、成本、施工性、風險、抗沖刷、地盤擾動等評估結果，故決定本工程優選施工方案之「懸吊式施工法」，如圖 4 設計階段即評估施工安全及優選方案。



	工期	成本	施工性	風險	抗沖刷	地盤擾動	結論
鋼便橋	長	高	可	高	可	大	
懸吊式	短	低	優	低	優	小	優選方案

圖 4 設計階段即評估工法及優選方案

工程執行過程中排除或減輕潛在風險對工程目標、期程及預算等之影響，提高工程執行績效。依職業安全衛生法規定設計階段即需進行施工安全風險辨識，對於施工中可能產生的風險設法予以排除、降低或控制及研擬相關配合措施。考量本工程安全（如工址施工環境、施工方案、施工方法進行風險消除或取代）、安全設施（如施工機械設備安全、安全防護設施進行風險隔離與工程控制）及施工安全管理（各種管理控制作為），對於本工程高架橋梁劣化修補工程勢必重要。

首先本工程之高風險作業項目經施工安全風險評估選定 R3 為下列二項「金屬橋欄杆安裝作業」、「施工架搭設拆除作業」，如表 1 安全風險分析評估及對策所示。針對風險等級為 R3 的風險項目，更應特別關注，採取適當的對策。根據設計階段安全評估結果訂定施工安全規範，編列預算、工期，製成招標文件，以傳遞至施工階段並規範承攬廠商落實辦理之安全衛生事項，才能讓工程執行過程確保工區人員安全至上。

表 1 安全風險分析評估及對策

施工工項	主要施工風險	風險值	危害等級	管理目標	風險降低管理對策
金屬橋欄杆安裝作業	交通事故被撞	有可能2* 嚴重度3 2*3=6	R3 高度危害	R1 低度危害	1.審查承商所提施工及交通維持計畫。 2.檢查車輛是否裝設有警示設施。 3.交維設施是否充足。 4.檢查施工人員安全護具配戴齊全。
施工架搭設拆除作業	施工架倒塌、人員墜落、物體掉落	有可能2* 嚴重度3 2*3=6	R3 高度危害	R1 低度危害	1.審查承商所提施工計畫。 2.檢查施工架搭設人員是否確實穿背負式安全帶及妥適掛勾。 3.檢查施工架水平及垂直版是否依結構計算搭設及牢固。 4.檢查是否有作業主管於現場指揮監督。 5.檢查是否設置人員上下設備。
施工架搭設拆除作業	溺水	有可能2* 輕微2 2*2=4	R2 中度危害	R1 低度危害	1.審查承商所提施工計畫。 2.相關安全設施是否到場(列水位監視標尺,救生圈,救生衣,橡皮艇)。

參、懸吊式施工架施工檢驗及組搭流程介紹

懸吊式施工架工程施工檢驗流程主要為供承包商自主檢查管制及監造單位品保抽查之根據，如圖 5 施工架施工檢驗流程圖所示。其流程圖中對於懸吊式施工法『材料進場』之主要元件則分為主架、水平踏板、交叉拉桿、鐵梯、專用插銷、高低調整器、吊鍊、卸克、懸吊支撐桁架，主要相關元件規格必須在進場前作審核及圖說繪製如後：

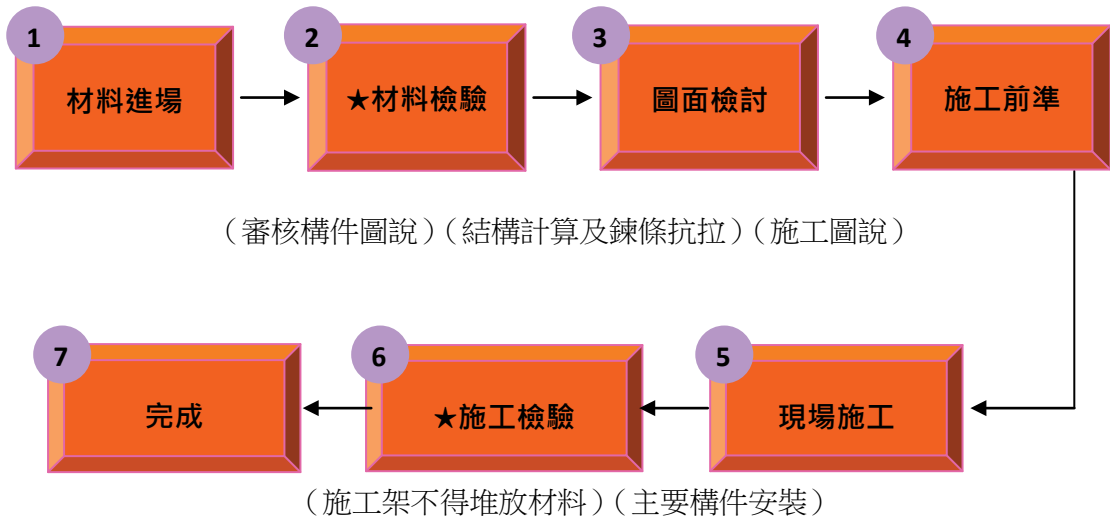


圖 5 懸吊式施工架施工檢驗流程圖

1. 主架：主要為台61線舊虎尾溪橋兩側堤防區上下設備用途使用，如圖6所示。

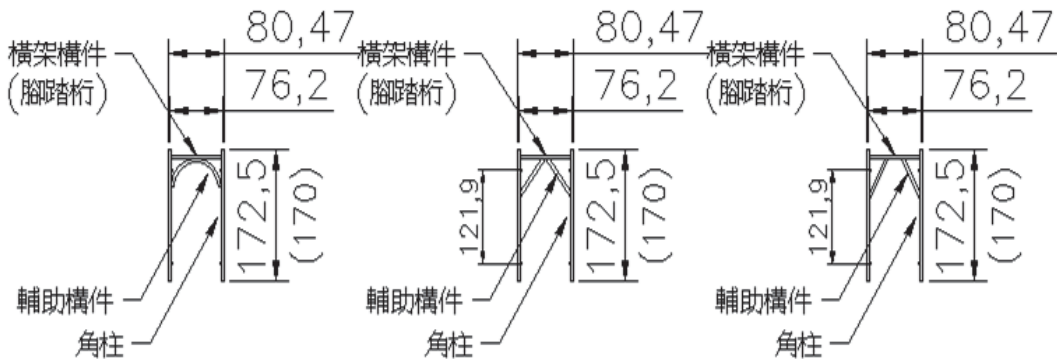


圖 6 主架（門型施工架）構件圖說

部材	外徑 (mm)	厚度 (mm)
腳柱及橫材	42.7	2.5
加勁鋼材	27.2	2.0
腳柱接頭	34	2.3

2. 水平踏板：主要為提供施工人員安全工作區域且踏板必須滿鋪情形，如圖7所示。

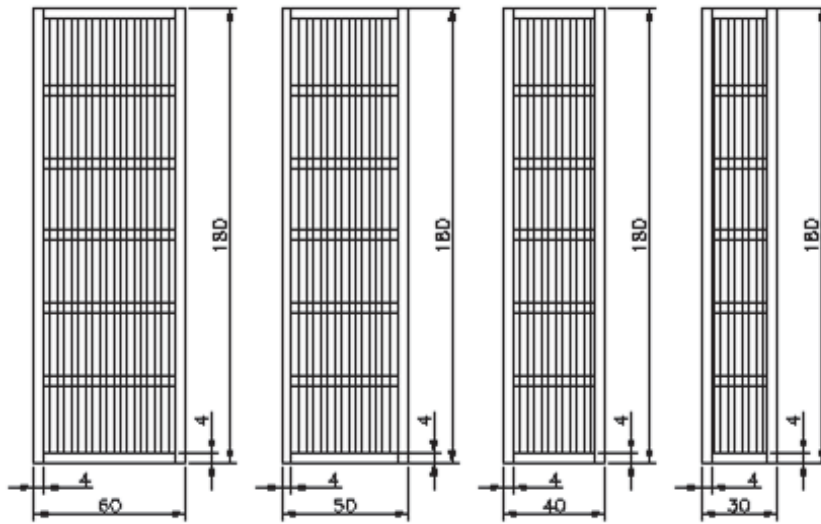


圖 7 水平踏板構件圖說

部材	尺寸 (mm)	厚度 (mm)
縱向角鋼	L-40×40	1.0
橫向角鋼	L-40×40	1.0

3. 交叉拉桿：主要為提升主架支撐穩固及墜落防護功能，如圖8所示。

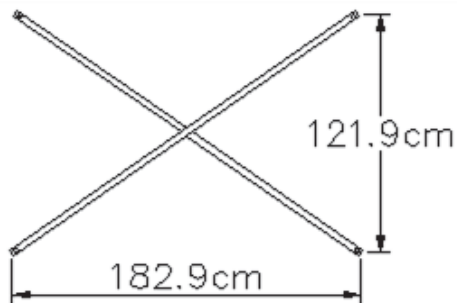


圖 8 交叉拉桿構件圖說

部材	外徑 (mm)	厚度 (mm)
交叉拉桿	21.7	2.0

4. 專用插銷：主要為主架上下層固定及穩固作定位，如圖9所示。

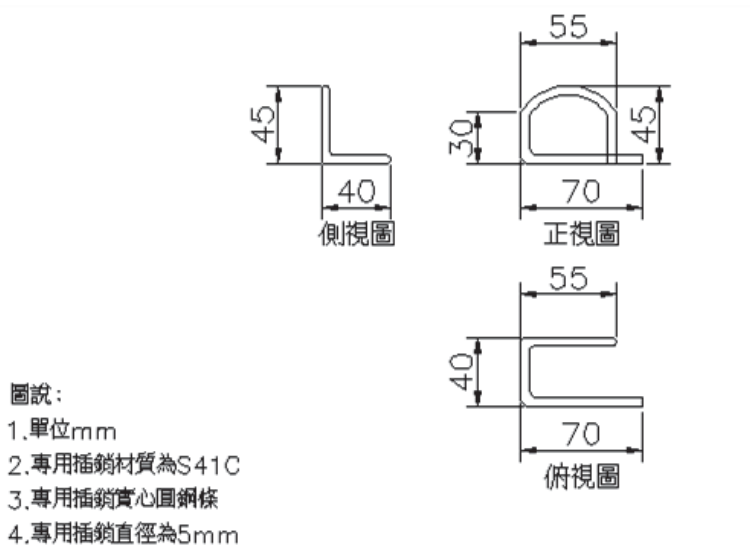


圖 9 專用插銷構件圖說

5. 爬梯：提供施工人員安全上下使用，扶手掛置於拉桿，如圖10所示。

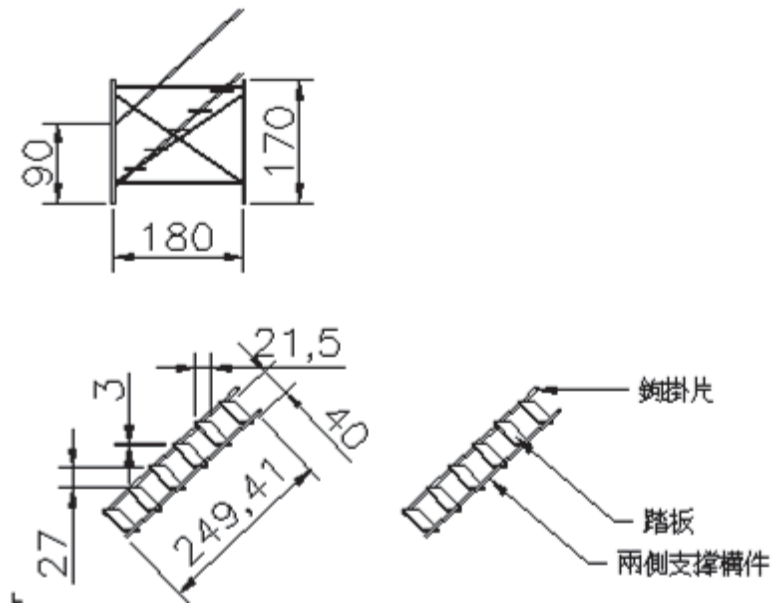


圖 10 爬梯構件圖說

6. 吊鍊及卸克：懸吊支撐桁架所使用吊鍊採8mm、懸吊鍊條結合方式使用卸克3/8”。

『材料檢驗』抽驗前必須針對本工程懸吊施工架材料主要元件審核及施工架強度結構計算，確認無誤後會針對懸吊系統吊鍊抗拉強度試驗，經試驗結果其吊鍊可承受之最大抗拉荷重分別為 3749kgf、3765kgf、3214kgf，如圖 11 鍊條拉伸試驗所示。抽測鏈條拉力強度係為確保能與結構計算相符合，方可承受變形量而不會斷。另『施工前準備』必須檢查施工架與周邊配備是否有裂紋、腐蝕、變形及其他可能影響施工架強度之缺點，施工架不得用油漆或其他處理，將缺點、毀壞處遮蔽。若無確實檢查，會因未詳細檢查施工架和周邊配備是否有裂紋、腐蝕、變形之類等瑕疵，導致組立中的施工架或已組立完成之施工架，承受不住上面施工人員與所搬運之原料，或承受不住外在力之影響（風力、地震力），因而傾覆倒塌，造成重大事故。



圖 11 鍊條拉伸試驗

針對舊虎尾溪橋整修補強『現場施工』作施工區段規劃，因劣化修補位置包含預力梁及橋面版底面，故考量本橋梁跨越水域舊虎尾溪出海口，工法採搭設懸吊式施工架並輪進方式處理。搭設里程範圍由 232K+020 至 232K+440，其施工架搭設採用分區

推進，每單元搭設跨距為 3 跨橋面版，整體河川橋分 4 次搭設完成，如圖 12 懸吊式施工架施作區段圖所示。

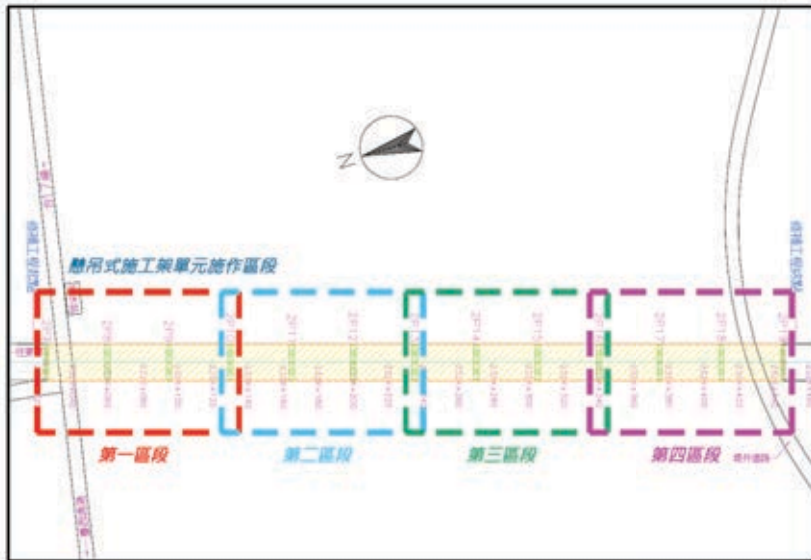
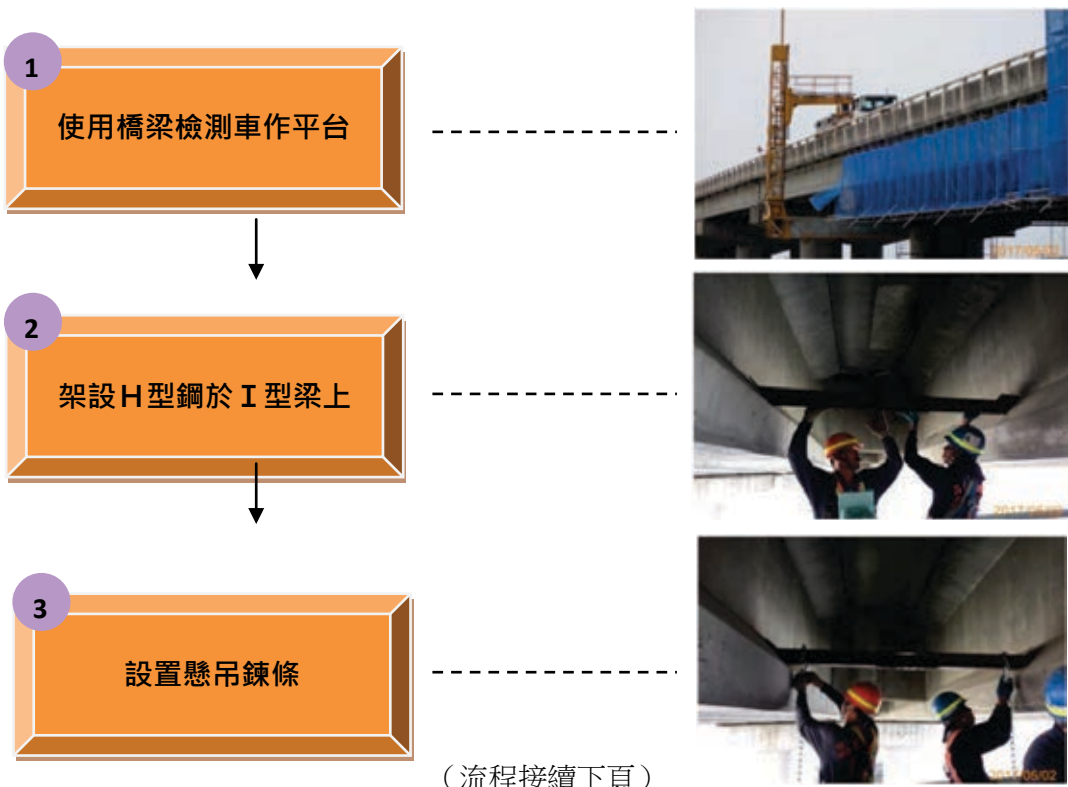


圖 11 懸吊式施工架施作區段圖

在懸吊式施工架之組搭流程中，最需要注意之部分為需避免勞工在高空作業時無任何防護措施之情形，故採橋梁檢測車作平台施工，以下針對懸吊式施工架之組搭流程進行簡單之說明，如圖 12 懸吊式施工架之組搭流程：



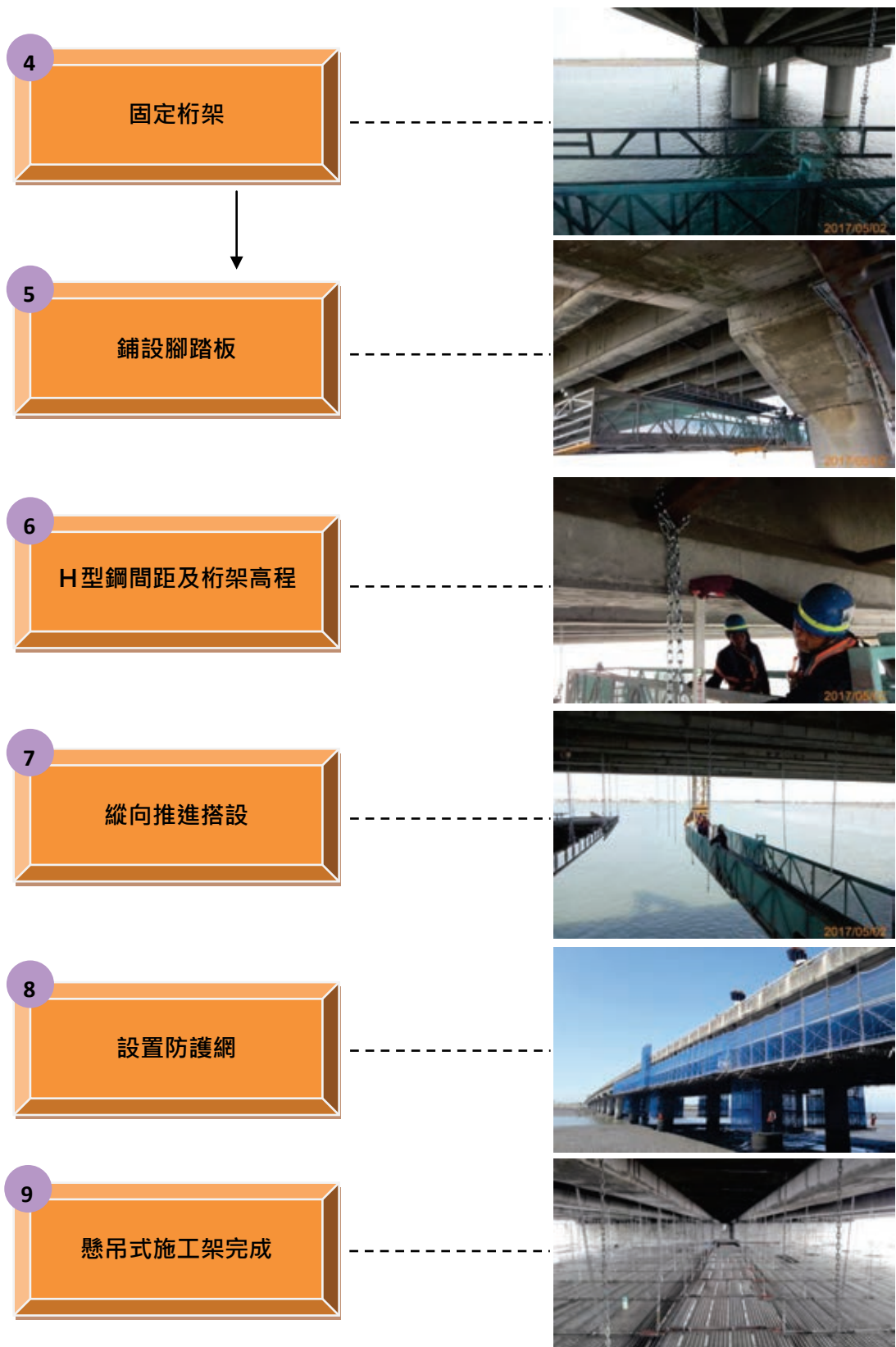


圖 12 懸吊式施工架之組搭流程

本工程於舊虎尾溪橋使用懸吊式施工法進行補強施工成果總計數量約 3,000 平方公尺，施工架之組搭約 7,500 平方公尺，組搭完成後辦理橋梁構件補強後照片如圖 13 所示，工程順利於 107 年 1 月完工，經本局第五區養護工程處及工務段執行過程並無發生職業災害順利圓滿成功。

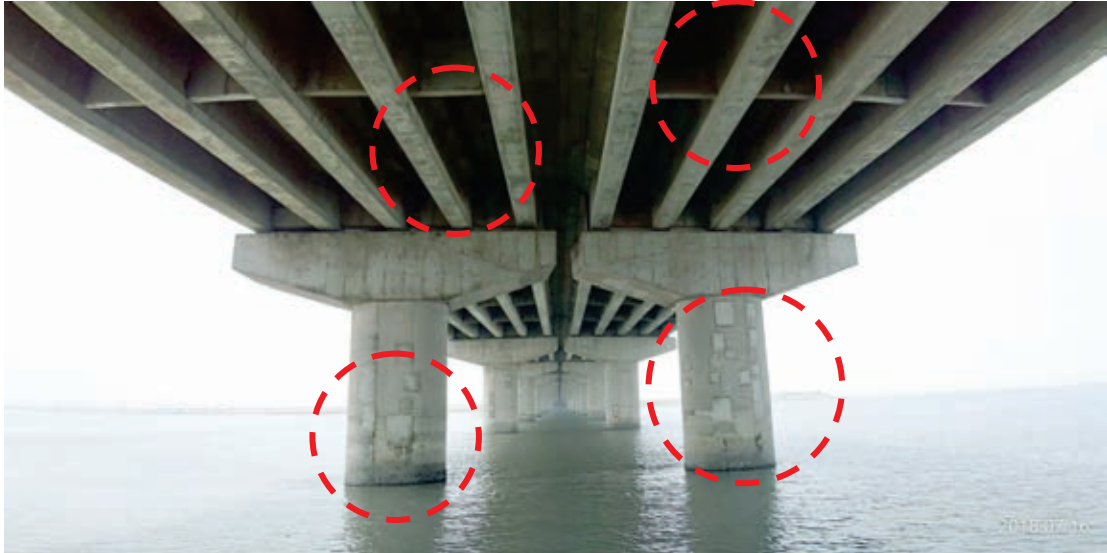


圖 13 橋梁構件補強施工完成

肆、結論及建議

橋梁於跨水河段進行橋梁裂縫修補作業時，懸吊式施工法相對於傳統施工鋼便橋，確有其優勢，如施工迅速（工期較傳統方式縮短一半以上，且不需向水系管理機關申請使用河川公地、不受汛期及漲退潮影響）、價格較低廉（搭設面積小且不必架設鋼便橋及施作施工便道）等；且懸吊式施工架具一夾層工作空間，勞工環境也相對比較安全，強風之影響有限。

針對本工程舊虎尾溪橋屬於沿海地區橋梁，長期受氯化物侵蝕，造成橋梁部分大梁底部、橫隔梁及橋墩柱鋼筋銹蝕致混凝土爆裂鏽蝕現象，需 1 年內辦理維修處理完成，在選用懸吊式施工法進行沿海橋梁補橋施工此方法可以說是一大利器。

懸吊式施工架為一相當便利之高空作業平台，具有組搭方便、施工時間短及所需元件較少等多項優點，但由於組搭時亦為高空作業，組搭懸吊式施工架時需多加注意所使用之元件及標準之作業流程，以保障勞工之安全。建議可以在行動裝置通訊軟體上即時聯繫確認，承包商辦理之安全衛生及施工架工程職安衛自主檢查完成安全無虞下方可進行施工。

參考文獻

1. 台61線229k+985河川橋整修補強工程資料，文銓營造有限公司（2018）。
2. 西濱快速公路示意圖資料，西濱快速公路後續建設計畫（2017）。
3. 107年度公路總局第五區養護工程處轄區省道主要橋梁河床斷面測量暨轄區河床掃描測量工作測量成果報告書，第五區養護工程處（2018）。
4. 第五區養護工程處107第1次職業安全衛生委員會議資料，第五區養護工程處(2018)。

台 64 線觀音山隧道 BIM 維護管理系統

蕭興臺¹、林昭修²

摘要

臺灣為高密度發展國家，公路交通為重要樞紐，交通部公路總局第一區養護工程處與中國科技大學共同研發 BIM 3D 智慧雲端管理系統，予以管理相關設施維護紀錄與裂縫監測管理，並能隨時調 3D 圖資與管理文件，提供第一區養護工程處與相關同仁一個便利使用的管理平臺。輔以快速地查找相關基礎資料，以及反應用路需求。

傳統的維護管理系統缺乏實用的可視化功能和互控實時監控數據。本文介紹了基於 BIM 和 3D GIS 的維護管理系統可視化管理，整合拓撲和周圍環境信息，監控數據提供 3D 具體圖像及全生命週期管理資訊的 BIM 技術為核心；納入物聯網（IOT）的即時量測技術，研究開發『台 64 線快速道路及觀音山隧道 BIM 維護管理系統』，期在提升快速公路維運效能。

關鍵字：建築資訊管理、3D 地理資訊系統、數據庫、維護管理

¹ 中國科技大學規劃與設計學院 副教授兼院長

² 中國科技大學土木與防災設計系 助理研究員

壹、緒論

1.1 計畫緣起

臺灣都會區與主要公路幹道使用密集，又是高密度城市發達，基礎設施漸漸老化，民眾的需求量卻在激增。再者，天然災害影響（如地震、洪水、颱風等）均會造成公路結構損壞與人民生命財產安全危機。交通部公路總局第一區養護工程處為使快速公路及隧道之維護管養更具效率，與中國科技大學共同研發 BIM 3D 智慧雲端管理系統，予以管理相關設施維護紀錄與裂縫監測管理，並能隨時調閱 3D 圖資與管理文件，提供第一區養護工程處與相關同仁一個便利使用的管理平臺。輔以快速地查找相關基礎資料，以及反應用路需求。

隨著資通訊科技（Information Communication Technology, ICT）、即時監控、定位等技術的發展，養路巡查應採取更有效率的方式，智慧化回傳現場狀況與數據，俾利於更進一步掌握公路條件變化。鑑此，本計畫整合基礎建設資訊模型（BIM）、3D GIS、資料庫技術與監控整合技術等，根據公路總局公路養護手冊的內容，以資訊化管理為目標，開發公路隧道 BIM 維護管理系統，期能提升公路維護管理能力。實可提供這些構造物完整維運與防災即時訊息，具體提升各種構造物管理維運與防災效能。

為配合台 64 線 BIM 維護系統檢視作業的流程及作法，以不改變現行維護管理巡檢流程為原則，對設備評估工作的執行，轉為使用智慧型手機，在工程司取得任務相關資料後，即可進行巡檢維護工作，於發現問題狀況時加以詳實記錄，並於完成任務後，將當日成果回傳至後端資料庫中儲存。管理及檢修工作人員可利用系統檢視成果管理模組，產出所需工單，檢視相關工作。而當任務執行完成後，應將所有檢視成果交付資訊中心人員，資訊中心人員以進行評估並提出工單，將紀錄做查存，以提供分析過期工作請求、備件使用歷史、工種表現等。

1.2 工作範圍

本研究 BIM 系統範圍：觀音山隧道、觀音山隧道前 2 公里後 8 公里高架段、包含 6 個橫坑人行通道、一個橫坑車行連通道（含東口機房）、西口機房，全長共 12.3 公里



圖 1-1 台 64 線觀音山隧道及隧道前 2 公里後 8 公里高架段

BIM模型建置範圍：

本計畫目標包括 3D BIM 視覺管理建置-觀音山隧道 BIM 細部建模，本案 BIM 建置依實際給予圖面建置，並配合現場調查。建模涵蓋觀音山隧道前 2 公里後 8 公里高架段與東、西口機房機電管線（含隱蔽工程機電管線與設備）、觀音山隧道機電（不包括隱蔽工程機電管線）初步建模。隧道結構建模。

- (1) 隧道機房建模（包含機房基礎建設、機房內部機電設施）。
- (2) 隧道機電建模ⁱ（包含機電管線設備、通風系統、照明系統、消防系統）。
- (3) 隧道監控系統建模（包含CCTV等）ⁱⁱ。
- (4) 隧道段 DTM 數值模型建置及處理。
- (5) 隧道段頂部地景模型建置處理。
- (6) 洞口低空影像整合地景模型建置處理。

1.3 計畫目的

1. 公路養護技術管理包括建立公路基本資料庫，公路基本資料以採用數位化進行儲存和管理為原則。內容包括公路幾何資料、路面結構、公路養護歷史紀錄、交通量和設計載重、橋涵及路基防護構造物、防護工程設施、綠美化等基本資料資料,及路面結構強度、路面破損、路面平整度和路面抗滑等路面資料資料。
2. 建置三屏一機：系統三屏由3D GIS、BIM、IoT等三大框架組成，各框架間相互連動，從宏觀的地理資訊到微觀BIM的設施設備資訊都可完全掌握。
3. 定義標準化公路維護管理系統編碼：建立完整而清晰的BIM維護管理系統定位地圖，提供較科學的設備與結構構件定位。根據台64快速道路及觀音隧道BIM維護管理系統，定義標準化公路維護管理系統編碼，建立設備搜索，提供快速、有效、正確的搜索方式和搜索結果，確保資料的存儲和運算能順利進行。

4. 建立結構化IOT數據接口：IOT安全監測與隧道裂縫管理應用互聯網於公路工程施工圖與3D BIM設備管理；並定義結構化數據接口有助於未來各類型感測器介接
5. 導入預算契約價格資料，能預估工作成本。工作包預算建入維護管理系統，精準計算廠商工作的成本預估。
6. 彈性化巡檢報表-針對不同設備型態，提供彈性化介面設定功能，自行增設巡檢點，以滿足巡檢需求。

貳、文獻回顧

2.1 BIM 在基礎設施應用

建築資訊建模（BIM）是建築物的 3D 數字表示以及將該表示用於施工專案（例如建築物、道路和橋樑）的一組流程（IBM 公司）。此標準在施工的設計和建設階段中使用，並且還採用用於運營管理系統。建築信息模型（BIM）屬性（CoBie）是一種統一的信息交換，屬性詳細信息用於公共基礎設施對永久經濟至關重要。（Xin Liu ,2017；Magdalena Stelzer Dipl.-Ing at all,2018），CPIC（Construction Project Information Committee）指出 BIM 可視化運行的過程能在整個資產生命週期（Weihong Zhou,2017；Y. Rezgui,2012）其數字表示用於決策設施資產的物理和功能是關鍵要素。英國政府定義 BIM 運營和維護（O&M）階段的設施管理（FM）中的應用（HM Government.2012），準確的竣工模型移交給業主，其隱性知識鏈接數據（Özgür Göçer at all 2015; HK Civil Engineers,2016），在 BIM 的設計和開發過程中必須考慮此階段，對 BIM 數據運用於後端管理是（Alex Bradley at all,2016.）。

2.2 GIS 在基礎設施應用

地理空間因 BIM 具有存儲和表示這種詳細的幾何和語義信息（Yongze Song at all,2017）。建築資訊模型中挖掘出來的資訊（Sjors Donkers,2015）以及相關的地理資料可以提高資產管理的成功率（Richelle Fosu at all 2015；Jun Wang at all 2014）在設備全生命週期中，BIM 和 GIS 的整合最多應用在運營維護管理階段（謝尚賢,2018），對基礎工程決策有很大的幫助（Eastman at all,2011；Sjor,2015，Ozgur Gocer at all,2016），建築信息（BIM）到 3D-GIS 的轉換通過提供 3D 模型是可以促進城市規劃過程，地理空間因 BIM 具有存儲和表示這種詳細的幾何和語義信息的能力關鍵要素（Umit at all,2008）。數據轉換為適當的格式：BIM（Industry Foundation Classes- 格式 IFC）、GIS（地理標記語言 CityGML）-3D 幾何，拓撲，語義和外觀多層次細節 LOD（A. Borrman, at all, 2017），直觀的展示和挖掘資料的關係，為建築物元件對應關係與數據源（Muzafar Ahmad Bhat at all,2011；Ozgur Gocer at all ,2015），整合呈現城市地形於 3D GIS 平台中。

2.3 BIM+IOT 於基礎設施應用

IOT 信息傳輸和 BIM 可視化技術是有助於增強人們對複雜建築信息的感知和理解 (Duanshun Li ,2018)。其 3D GIS 通過整合無人機，移動設備和數位相機拍攝的圖像來表現不斷變化的地貌是至關重要。3D GIS 設施管理 (FM) 系統是需要從各種獲取數據來源 (Tae at all,2015; L.Y. Ding at all,2013)。環境 (傳感) 監測並與物理世界相互作用 (驅動/命令/控制) (Al-Jumaili at all , 2014; Tretten at all , 2014)，為信息傳輸、分析。(Zhiliang Ma,2017) 提供服務於基礎設施監測，交通監控等 (I.F.Akyildiz,2002; Jayavardhana at all,2013) 尤其運用視覺和維護開發具有 IoT 信息技術系統保護公用事業免受潛在威脅計算機化維護管理系統 (CMMS) 支持公部門進行維護計劃，執行，評估。(Kullolli , 2008 ; Javier Irizarry at all ,2013)

2.4 系統名詞解釋

1. BIM LOD100~LOD500：BIM實施等級分按美國AIA標準制定為

- LOD100：相當於概念設計等級。
- LOD200：協助設計開發階段可清楚識別模型或組件與大概數量，大小，形狀，位置和方向。
- LOD300：模型元素，是適用於傳統的施工文件和施工圖紙的生成。設備也須逼近仿真詳細的元件。
- LOD400：除達到 LOD300 施工圖生成等級外，模型元素可直接協助發包及現場安裝使用，包含詳細數量及細部裝配。
- LOD500：完整模型資料及元件連接設施維護管理。

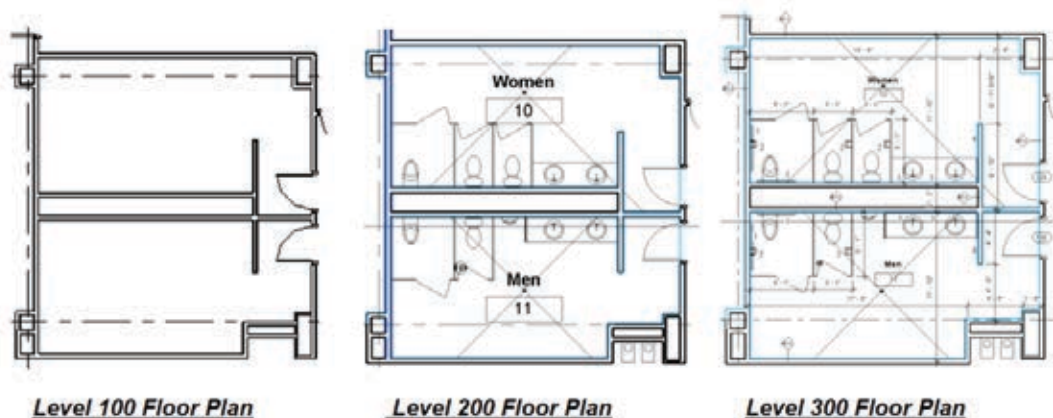


圖 2-1 BIM 模型平面等級精細程度
資料來源：美國 AIA 建築學會

2. SLA：Service Level Agreement SLA 是服務供應商與客戶之間就服務品質、服務水準以及效能等訂定的協議或契約。內容包含服務品質的定義、權利義務的歸屬、服務目標（Service Level Objective，SLO）以及雙方的預期和責任定義。主要是用來保障使用者服務權利，也做為供應商服務費的依據。

參、執行方法

3.1 質性資料（Qualitative Data Analysis）-訪談（Interviewing）

分別是描述（describing）、分類（classifying）以及連結（connecting）建立此流程說明。藉著工作小組會議，從養護管理單位工作經驗陳述與現勘工作流程，且多人檢核驗證（verification）此系統流程，並採情境模擬管理流程增加本系統可靠度。

3.2 系統規劃

系統架構由 3D GIS、BIM、IoT 等三大框架組成，各框架間相互連動，從宏觀的地理資訊到微觀的設施設備資訊都可完全掌握，並從事件處理框架中獲取監控資料、維護紀錄、統計分析等資訊。

- 第一屏 3D GIS 地理資訊屏：具備調閱 CCTV 即時影像，720 環場照片輔以查詢；並有劣化 BIM 模型供調閱。
- 第二屏 BIM 圖像管理屏：為 BIM 模型與模型屬性，具備漫遊、剖切等功能由第一或第三管理屏控制
- 第三屏 IoT 資訊管理屏：分為設備資料查詢管理、圖說文件管理、裂縫紀錄管理、定期檢查管理、警報訊號管理、派工及維護管理、數據分析、系統管理等八大功能。

3D GIS 第一屏：地理資訊屏	BIM 第二屏：圖像管理屏	IoT 第三屏：資訊管理屏
---------------------	------------------	------------------



圖 2-2 三屏連動

3.3 執行流程說明

本系統製作過程說明（圖 3-1）依工作前後順序製作工作重點項目分章節敘述

- 第四章 3D BIM 建模及地景模型建置執行計畫
- 第五章 3D-GIS DTM 模型建置執行計畫
- 第六章 「台 64 線快速道路及觀音山隧道 BIM 雲端維護管理系統」網路平台與 app 開發
- 第七章 結論與建議

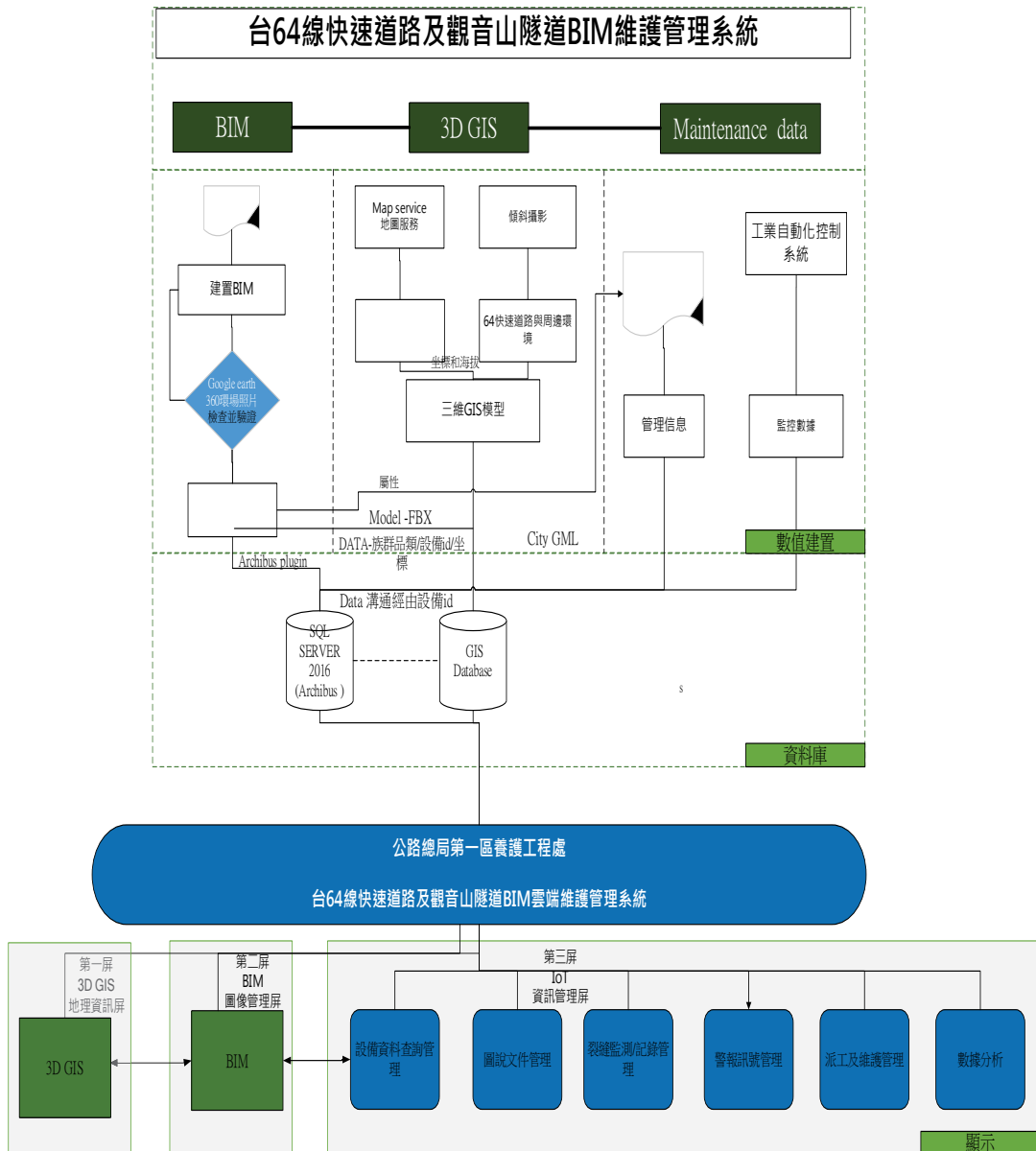


圖 3-1 台 64 線快速道路及觀音山隧道 BIM 維護管理系統流程

肆、3D BIM 建模及地景模型建置執行計畫

BIM 建立公路基本資料與 2D 圖面轉繪成 3D，公路基本資料以採用數位化進行儲存和管理為原則。3D BIM 基本資料庫內容包括公路幾何資料、地形圖、機電等建模。為確保數位化 BIM 結構正確，完成 BIM 與 GIS 的資料共用，BIM 模型的搭建應制定統一的視圖規則和建模標準，旨在確保專案的所有相關方都能夠以相同的坐標進行溝通

4.1 3DBIM 規範定義




1. 專案單位

在 BIM 基礎模型的創建過程中，需為整個專案建立統一管理模式，保持單位的統一，在將模型轉移到維護管理系統時，能快速轉移至審核，確保在模型更新及新建過程中。整個專案配合機電維護管理部分單位設定 mm。

2. Revit 樣板規劃

專案樣板檔設置的主要目的是將 BIM 3D 重複性的工作在樣板檔中預先做好。規劃繪圖的標準化工作，就可以在每個專案重複的工作中，都能達到同樣的繪圖需求。本專案在 revit 透過[可見性/圖形]功能，設定各系統品類的可見性和線條樣式與顏色等。

表 4-1 機電子系統各系統顏色

導入組件一覽表				顏色	RGB	LOD 300 細緻等級
隧道 (機房) 機電服務設施	排水系統	廢水	WP	230-118-26		以竣工圖說提交的立管、主管、分支管之管路/閥/配件/隔絕材元件的 確切尺寸/形狀/位置建置
		汙水	SP	144-77-10		
		RP：雨水	RP	91-155-231		
		通氣管	VP	112-48-160		
	給水系統	冷卻水	CW	191-143-0		
	消防	消防栓箱		單設備		
	電氣	電纜橋架/線槽		68-114-196		
		動力配電盤		單設備		
		動力分電盤		單設備		
		插座分電箱		單設備		
		緊急電源分電箱		單設備		
		照明燈具		單設備		
		號誌		單設備		
	監視設備	CCTV		單設備		
		火警系統		單設備		
	通風系統	送風	FA	153-255-15		
		回風	RA	102-204-255		
		補給水	MU	31-145-36		
		冷卻水送水管	CWS	150-0-0		
		冷卻水回水管	CWR	130-130-60		
冰水送水管		CHS	153-255-153			
冰水回水管		CHR	255-255-210			

3. 路網標準規範

(1) 交通部道路路網標準

專案實施前為統一實施管理，應制定模型構件命名方式，模型中的構件命名應包括：構件類別、構件名稱、構件尺寸、公里路段等。依循「道路路網資料標準」之路網標準 100 年 4 月版本，建置設備與路網資料庫編碼標準，符合國土資訊系統體系之交通網路資料庫及相關交通單位地理資料之共享、整合及應用。

道路路網資料標準

文件編號：NGISTD-ANC-019-2011.12

文件版本：第一版
標準編號：019
研擬單位：交通部
聯絡方式：台北市仁愛路一段 50 號
提出日期：中華民國 100 年 4 月

圖 4-1 道路路網資料標準

(2) 公路基本資料登記管理要點：

BIM 設備屬性建置（如圖：4-2）參考依據公路基本資料登記管理要點，公路修建養護管理規則第九條第二項之規定訂定，建置公路基本資料庫屬性-路基、路面、隧道、交通安全設施資料、標誌資料號誌、照明設施資料。



圖 4-2 BIM 設備屬性

舉例：橋梁 BR-分為上部結構（BRU）、下部構造（BRD）。（如圖：4-3）

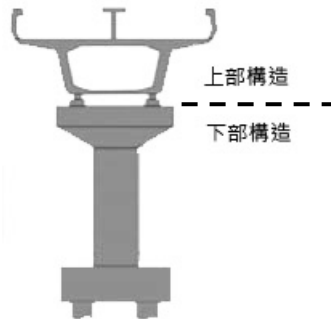


圖 4-3 橋梁結構（設備屬性 BR）

（3）公路總局公路基本管理系統設施編碼原則

編碼方式係由路線編號(含工程處代號)-里程樁號-設施代碼-NODE-流水編號組成，其中 NODE 係利用 TWD97 坐標資料以 32 進位編碼轉換二度分帶坐標 TM2（如圖 4-4）。

公路總局公路基本資料管理系統影像檔名編碼原則

◆ 編碼方式：以路線編號(含工程處代號)-里程樁號-設施代碼-NODE-流水編號(張數)組成，例台 1 線路面之編碼：

P00101-000K+000-RO-NODEID-0001(n).JPG

①、路線編號：5 碼

②、工程處代號：1 碼。

③、里程樁號：8 碼。

④、設施代碼：2 碼。

⑤、NODEID：9 碼，利用 TWD97TM2 坐標資料以 32 進位編碼，編碼方法如下：

(1) TM2 投影採用 10 萬公尺方格帶，橫坐標整數為 6 位，縱坐標因為自赤道起算，整數為 7 位，小數位一律不計，另為便於計算，縱坐標減 2000000。例如：臺北市某 1 點坐標位置為(300500,2770000)，將縱坐標減 2000000，因此參考坐標成為(300500,770000)。

(2) 32 進位代碼定義如下：

「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,N,P,Q,R,S,T,U,V,W,X」，其中字母 I、O 不用，避免和數字混淆，代碼對應如下表：

0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
8	8	9	9	A	11	B	12	C	13	D	14	E	15	F	
16	G	17	H	18	J	19	K	20	L	21	M	22	N	23	P
24	Q	25	R	26	S	27	T	28	U	29	V	30	W	31	X

前述參考坐標(300500,770000)分別以 32 進位計算，可得如下轉換值：300500→95EL；770000→PFWG，兩字串相加 95EL+PFWG 因此坐標 (300500,2770000) 可轉換為 95ELPFWG，共計 8 位數。

(3) 分帶：為解決離島跨帶問題，在坐標編碼之前再加一碼代表分帶，分帶建議可從東經 70°~ 134°。臺灣本島位於 120°~ 122°，依順序代碼為 S，澎湖地區代碼為 R，所以本例坐標點 (300500,2770000) 完整編碼為 S95ELPFWG (共 9 碼)。

⑥、流水編號：4 碼。

⑦、n → 張數

◆ 資料需與設施資料辦理連結。

◆ 資料格式：JPG。

圖 4-4 公路總局公路基本管理系統設施編碼原則

4.2 BIM 模型建置

本系統 BIM 元件建置採 Autodesk Revit 2017 版本建立，模型細緻等級為 LOD300 等級。BIM 模型實施前應制定模型構件命名方式，模型中的構件命名應包括：構件類別、構件名稱、構件尺寸、樁號位置等。2D 圖面部分為 PDF 與 2D CAD 圖面，整併 2D 圖面觀音山隧道前 2 公里、隧道段 2.4 km 及隧道後 8km 高架段施工圖，且定義大地坐標經緯度隧道入口為本研究模型定位點。

BIM 製作流程：

1. 進行清圖-將2D圖面觀音山隧道前2公里隧道段2.3 km後8公里高架段之施工圖二維圖面整併。把多餘的線條、尺寸；不繪製的的線條、尺寸做個總整理，讓圖面乾淨，了解整個台64基地位置布局，符合圖面品質容易套繪。



圖 4-5 建置模型步驟說明

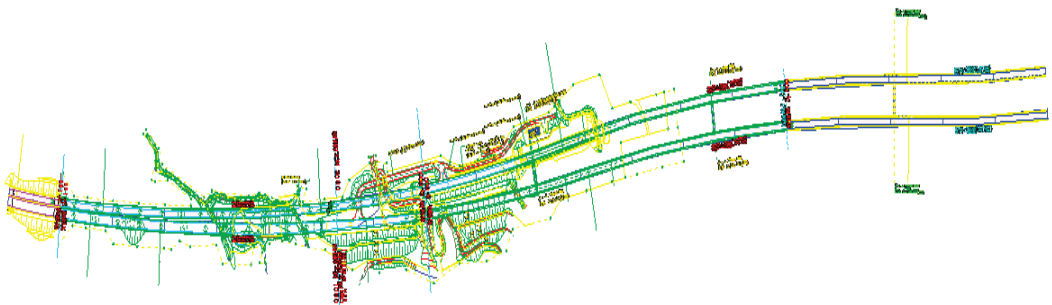


圖 4-6 圖面清圖併整合

2. 建置模型按路面中心向兩側之傾斜坡度。

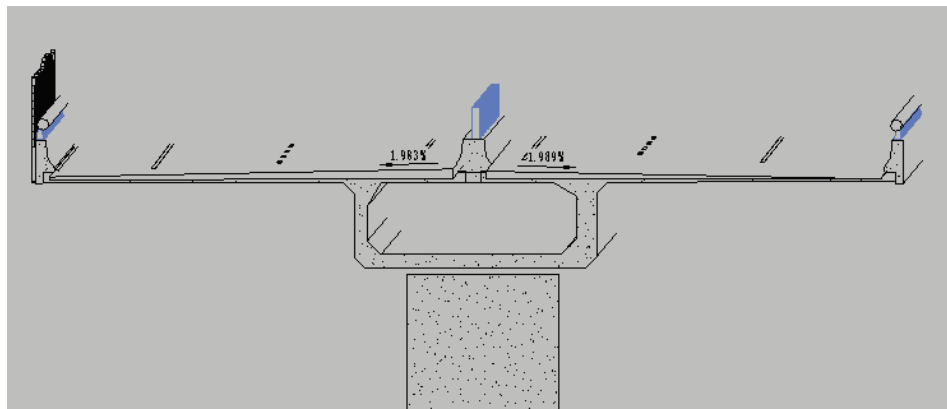
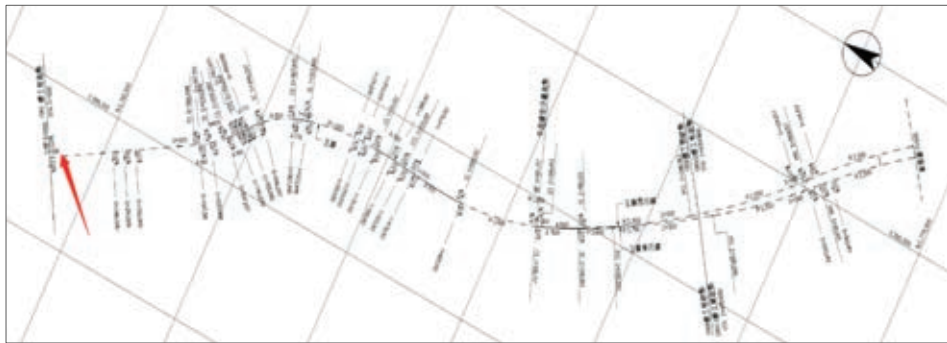


圖 4-7 REVIT 剖切檢核傾斜坡度

3. Revit模型依據大地坐標。

依據大地坐標，REVIT 元件自動導入經緯度。

Revit 坐標說明	模型坐標說明

圖 4-8 REVIT 定義大地坐標

4.3 模型執行成果

1. 1.3K 八里交流道

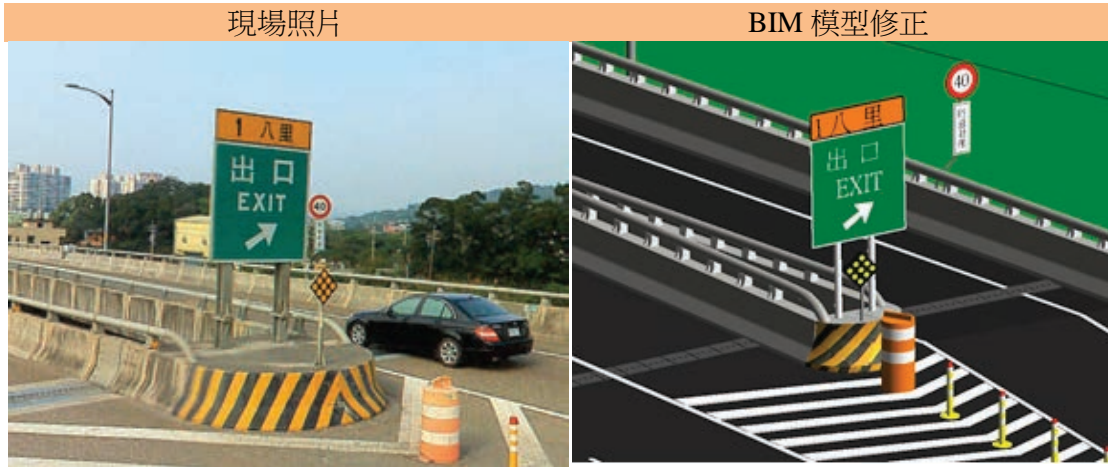


圖 4-9 1.3K 八里交流道

2. 1號人行聯絡隧道

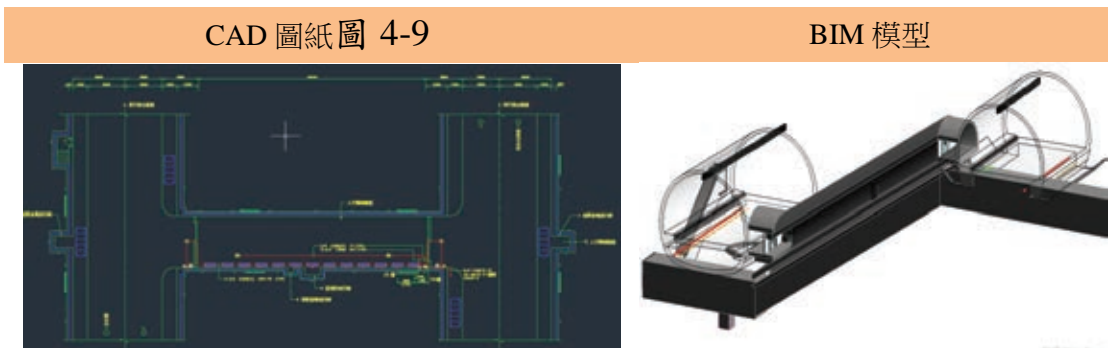


圖 4-10 1 號人行聯絡隧道

3. 西口機房-1F交控設備室

現場照片



BIM 模型

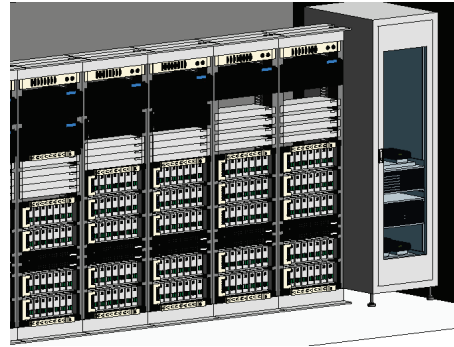


圖 4-11 西口機房-1F 交控設備

4. 西口機房-空調依機電子系統顏色成果

機房空調系統成果

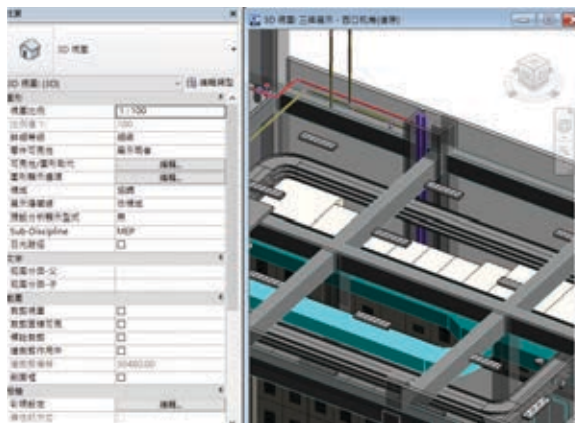


圖 4-12 西口機房空調顏色設定

BIM 樣板顏色規劃



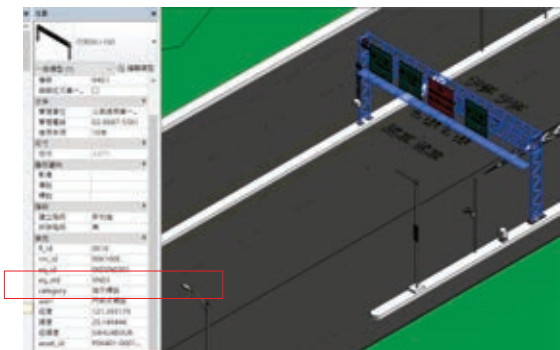
圖 4-13 REVIT 樣板定義

4.4 屬性資料建置

BIM 屬性導入是經由 ARCHIBUS plugin 至 SQL 2016。3D GIS data、SQL2016、BIM 溝通方式為設備之 id，而設備 id 是採標準化公路維護管理系統編碼，revit 欄位建置 rm_id (路段 id)、eq_id (設備 id)、eq_std (設備規格)、category (系統分類)、use1 (設備名稱)、經度、緯度、經緯度 (二度分帶)、fl_id (道路公里數 id)、asset_id (設備資產 id)、使用年限、管理電話、管理單位等，並依設備相關維護資料建置相關屬性。其參考的規範為交通部道路路網標準、公路基本資料登記管理要點、公路總局公路基本管理系統設施編碼原則。

表 4-2 道路公里數

REVIT 名稱	資料屬性	Afm.fl	前台顯示
fl_id	3K4K	fl_id	道路公里數



Revit 屬性

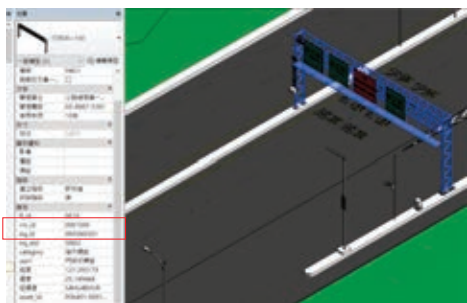
image_id	name	o.o.p.r.	r.r.z.c.c.d.	e.e.l.l_id	fl_id	
1	NULL	0K-1K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	0K1K
2	NULL	10K-11K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	10K11K
3	NULL	11K-12K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	11K12K
4	NULL	1K-2K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	1K2K
5	NULL	2K-3K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	2K3K
6	NULL	3K-4K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	3K4K
7	NULL	4K-5K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	4K5K
8	NULL	5K-6K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	5K6K
9	NULL	6K-7K	Y N N	0. 0 0 0 0 0	N N O 64	6K7K

SQL 資料庫

圖 4-14 revit 欄位說明- fl_id

表 4-3 設備 id

REVIT 名稱	資料屬性	Afm.eq	前台顯示
eq_id	OKESN0301	eq_id	設備



Revit 屬性

eq_id	category	manage_jal	management	useyears
OKECCTV_010	智慧系統系統	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKECCTV_010	智慧系統系統	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKECCTV_020	智慧系統系統	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEEP01	電業系統	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年
OKEXPANSIO	公路設施	02-8687-5361	公路局第一	10年

SQL 資料庫

圖 4-15 revit 欄位說明- eq_id

表 4-4 設備規格

REVIT 名稱	資料屬性	Afm.eq	前台顯示
eq_std	SN03	eq_std	設備規格



Revit 屬性

eq_std	fl_id	geo_objectid	grp_mid	hardware_address	image_eq_std
830	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL
831	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL
832	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL
833	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL
834	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL
835	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL
836	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL
837	SN03	0K1K	NULL	NULL	NULL

SQL 資料庫

圖 4-16 revit 欄位說明- eq_std

表 4-5 設備經度/緯度/二度分帶

REVIT 名稱	資料屬性	Afm.eq	前台顯示
經度	121.393179	lon	經緯度
緯度	25.149444	lat	
二度分帶	S4HU4BVUR	TM2	二度分帶



Revit 屬性

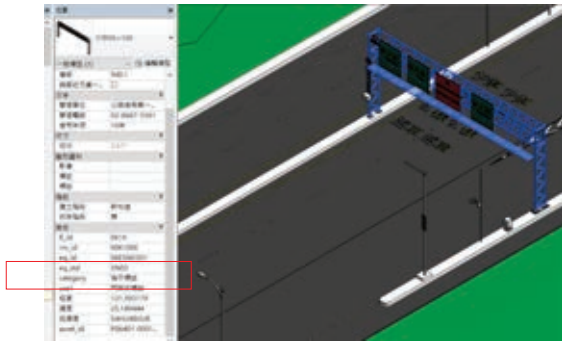
lat	lon	lon	lon	lon	lon	lon	lon	lon	lon
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14749200	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900	121.39436900
25.14553800	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600
25.14553800	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600
25.14553800	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600
25.14553800	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600
25.14553800	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600
25.14553800	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600
25.14553800	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600	121.39569600

SQL 資料庫

圖 4-17 revit 欄位說明- lon. lat TM2

表 4-6 設備資產

REVIT 名稱	資料屬性	Afm.eq	前台顯示
asset_id	3K4K	asset_id	設施編號



Revit 屬性

asset_id
P06401-000300-NO-S4G14C141-0002
P06401-000300-NO-S4G14C141-0003
P06401-000300-NO-S4G14C141-0004
P06401-000300-NO-S4G14C141-0005
P06401-000300-NO-S4G14C141-0006
P06401-000300-NO-S4G14C141-0007
P06401-000300-NO-S4G14C141-0008
P06401-000300-NO-S4G14C141-0009
P06401-000300-NO-S4G14C141-0010

SQL 資料庫

圖 4-18 revit 欄位說明- asset_id

- **P06401-000300-CR-S8UDSPR1V-0003**

路線編號：5 碼

工程處代號：1 碼。

P	0	64	0	1
N、P、S、C 分別表示國道、省道、縣道、鄉道		台 64 路段		第一區養護工程處

- **P06401-000300-CR-S8UDSPR1V-0003**

- 里程樁號：6 碼。

0	0	0	3	0	0
		0K	300M		

- **P06401-000300-CR-S8UDSPR1V-0003**

- 設施代碼：2 碼。

設施資料名稱	分類編碼代字	設施資料名稱	分類編碼代字	設施資料名稱	分類編碼代字
路線概況	GE	路基	RO	路面	PA
橋梁	BR	隧道	TU	涵管	CU
防護設施	PR	安全設施	SF	沿線狀況	SI
鐵路平交道	RL	立體交叉	CR	標誌	SN
號誌	SG	照明	IL	交流道	IC
停車設施	PK	服務區	SE	收費站	TO
防音牆	NO	其他	OT	設施	

- P06401-000300-CR-S8UDSPR1V-0003
- NODEID：9 碼，利用 TWD97TM2 坐標資料以 32 進位編碼，編碼方法如下：
- TM2 投影採用 10 萬公尺方格帶，橫坐標整數為 6 位，縱坐標因為自赤道起算，整數為 7 位，小數位一律不計，另為便於計算，縱坐標減 2000000。例如：臺北市某 1 點坐標位置為 (300500,2770000)，將縱坐標減 2000000，因此參考坐標成為 (300500,770000)。
- 「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,N,P,Q,R,S,T,U,V,W,X」，其中字母 I、O 不用，避免和數字混淆，代碼對應如下表：

0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
8	8	9	9	10	A	11	B	12	C	13	D	14	E	15	F
16	G	17	H	18	J	19	K	20	L	21	M	22	N	23	P
24	Q	25	R	26	S	27	T	28	U	29	V	30	W	31	X

- 前述參考坐標 (300500,770000) 分別以 32 進位計算，可得如下轉換值：300500 → 95EL；770000 → PFWG，兩字串相加 95EL+PFWG 因此坐標 (300500,2770000) 可轉換為 95ELPFWG，共計 8 位數。

S	8	U	D	S	P	R	I	V
臺灣 本島	經緯度改成 TWD97TM2							

地點	里程	設備編號	設備標準	設備標準名稱	設備名稱	經緯度	二度分帶	資產編號	其他
----	----	------	------	--------	------	-----	------	------	----

REVIT 名稱	資料屬性	Afm.eq	前台顯示
管理單位	公路總局第一區 養護工程處	management	設施編號
管理電話	02-8667-5361	Manage_tel	管理電話
使用年限	10 年	useyear	使用年限



Revit 屬性

category	manage_tel	management	useyears
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年
公路設施	02-8667-5361	公路總局第一區	10年

SQL 資料庫

圖 4-19 revit 欄位說明-管理單位、管理電話、使用年限

伍、3D GIS DTM 模型建置執行計畫

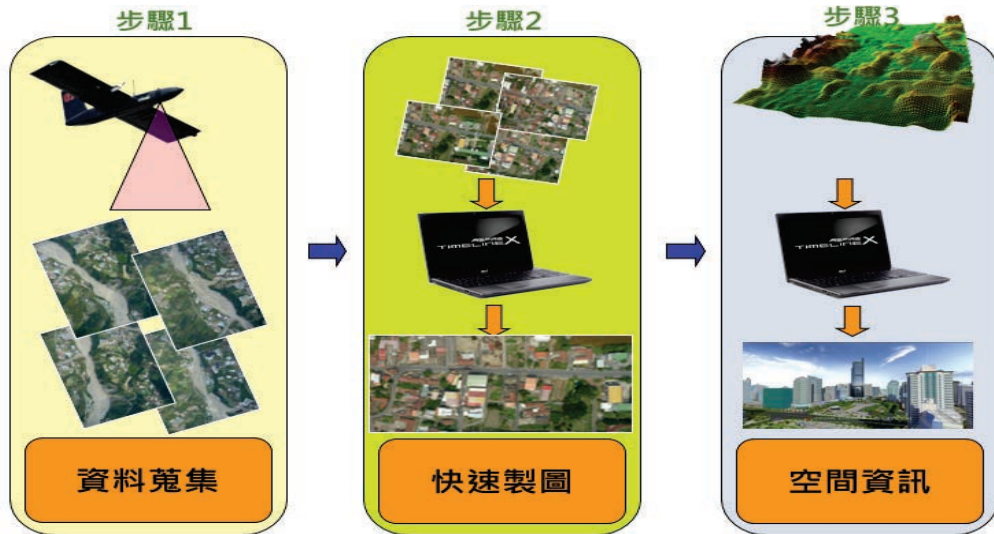


圖 5-1 DTM 數值建模程序

數值地形模型 (Digital Terrain Model, 簡稱 DTM), 以 X Y Z 坐標格式來描述地表位置之數值資料。台 64 快速道路及觀音山隧道 BIM 維護管理系統其 3D DTM 範圍為台 64 快速公路及觀音山隧道。設定飛機在新北市五股區洲子尾疏洪圳邊公園為起飛及降落點, 於台 64 線兩側進行拍攝後返航至起飛點上空盤旋, 之後進行人工手動降落。

5.1 無人飛機系統

本計畫使用定翼型無人飛行來進行台 64 線部分區域之影像空拍, 以及影像之正射、數值地形, 以及實境三維建模。飛行任務搭載 Sony QX-100 數位相機。定翼型無人機起降飛行過程為一連續的運動狀態, 需有一較開闊的起降區域, 故場地的需求較為不便, 具飛行過程因地形起伏變化, 一般飛行高度較高, 故相片解析度較低, 但由於其飛行特性, 單次飛行拍攝面積為可達旋翼型二十倍以上, 大大降低時間成本為其最大優勢



圖 5-2 航拍無人飛行載具

5.2 航拍及數值地形模型建置規劃

無人飛行載具有機動力強、時效性快、經費較廉、及較寬鬆天氣條件即可操作的優點等特性，並可取得即時、清晰、全面之中低空照片特性。

1. 平面基準

- 採用內政部公告之 TWD97 平面基準。
- 投影坐標系統：採用經差 2 度分帶之橫麥卡托坐標系統，中央子午線為東經 121 度，中央子午線尺度比為 0.9999，中央子午線與赤道之交點西移 250,000 公尺為坐標原點。

2. 高程基準

採用內政部公告之 TWVD2001 高程基準。

3. 航拍路線規劃

本計畫之執行，實際之航向重疊約 80%，側向重疊約 40%

- 配合計畫需求，考量航高、拍攝之範圍（field of view, FOV）、影像重疊率、地面解析度（或比例尺）等相關因子，以提供後續製圖之運用。
- 航拍重疊比例：航向重疊（overlap）大於（含）70%，側向重疊（sidelap）大於（含）30%

4. 無人飛行載具影像真實正射（true ortho）影像鑲嵌製作：

實際航拍之影像地面解析度約 8~10 公分

- 影像解析度：視任務之需求，其像元地面解析度（ground sampling distance, GSD）可優於 10 公分（或更高晰度）真實正射影像鑲嵌。
- 資料格式：數據以公尺為單位，坐標位數保留至少小數點以下 2 位。

5. 無人飛行載具航拍影像數值地面模型（DSM）製作：
- 網格間距：視任務之需求，可建置 10 公分×10 公分（或更高晰度）網格。
 - 資料格式：數據以公尺為單位，坐標位數保留至少小數點以下 2 位。

6. 無人飛行載具航拍三維建模：

模型解析度：視任務之需求，高解析目標之影像拍攝，至少建置優於 10 公分（或更高晰度）網格。

- 資料格式：數據以公尺為單位，坐標位數保留至少小數點以下 2 位。三維模型格式至少可為 OBJ, KMZ, OSGB, DAE, LODT 等常用之通用格式，並具影像金字塔之階層格式（level of detail），以方便三維模型之量測及展示。
- 三維模型可直接於模型內量測坐標、長度、面積及體積。

5.3 空拍作業執行

UAS 的任務執行流程可以分成任四個階段：1.任務前準備、2.現場佈署、3.任務執行，以及 4.撤收階段。以下就各階段進行說明。

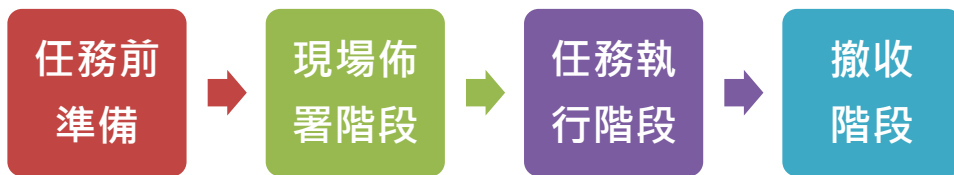


圖 5-3 UAS 任務執行流程

1. 任務前準備階段

在任務前準備階段，該任務之任務督導（Mission Director），應就該次任務的屬性與目標作資料整理與分析，並將該次任務的重要資訊彙整後，統一發佈與參與該任務之人員，含 IP 內部飛行員（Internal Pilot，即負責在導控工作站操作無人飛機的人員）與 EP 外部飛行員（External Pilot，即負責手動控制飛機起降的人員），確保全員瞭解。

- 確認任務目標是否可達成
- 確認起降地點是否正確無誤，執行人員是否正確到達
- 確認天候狀況是否適合執行任務
- 確認該任務之工作分配是否合理

完成工作分配，就會清楚的瞭解該任務的人事時地物等重要注意項目，並經由任務前目標宣佈，讓參與任務的人員充分的瞭解該次任務的配合人員、任務目的、任務執行期間、執行地點等，有效的管理該次任務。

2. 現場佈署階段

現場佈署階段中,IP 內部飛行員與 EP 外部飛行員各有不同的任務。IP 進行 GCS 電腦的設定、確認飛行環境(空域)、當次飛行計畫無誤,並再次確認通訊後,進行飛行計畫上傳。EP 架設天線,以確保天線安裝無虞。EP 需進行飛機的組合與基本的機械結構測試。確認機體良好後,開啟飛行控制電腦,與 GCS 進行無線電通訊。在雙方完成系統確認後,IP 即可通知 EP 進行無人飛機的起飛動作。

3. 任務執行階段

在任務執行階段中,主要由 IP 與稽查人員共同執行。在 UAS 上空後,IP 必須確認 UAS 的飛行狀態無誤,在 IP 完成安全性檢查後,即可命令 UAS 進行任務,此時無人飛機就會朝任務航點飛行。一旦 UAS 進入任務狀態,IP 需要全時的對 UAS 進行狀態監控,並根據實際的需求更改 UAS 的飛行計畫。在另一方面,稽查人員的重點在於監視即時回傳的 UAS 影像,若有發現異常的狀況,可以要求 IP 進行相對應的 UAS 操作。IP 與稽查人員的配合直到任務結束,UAS 將飛回降落點準備進行降落。

4. 撤收階段

當 UAS 降落後,任務進入撤收階段,UAS 斷電後,IP 開始進行資料處理的工作。資料處理主要的項目在於確認任務的影像資料是否合用,並與稽查人員確認當天的飛行成果。若沒有其他的需求,IP 則會對資料進行備份,以作為保存。另一方面,EP 同時需進行 UAS 的檢查、設備的回收,完成撤收的動作。

5.4 飛行成果說明

1. 飛行第一段路徑規劃程序與成果



圖 5-4 飛行第一段路徑規劃

表 2-7 飛行第一段空域佈點

空域範圍 各點連線 (WGS-84/ 可視需要 增加欄位)	1.北緯	25 度 07 分 42.55 秒	東經	121 度 24 分 30.31 秒
	2.北緯	25 度 09 分 13.67 秒	東經	121 度 23 分 45.34 秒
	3.北緯	25 度 08 分 55.43 秒	東經	121 度 23 分 20.84 秒
	4.北緯	25 度 07 分 29.30 秒	東經	121 度 24 分 05.30 秒
	5.北緯	25 度 06 分 39.80 秒	東經	121 度 24 分 56.93 秒
	6.北緯	25 度 06 分 17.16 秒	東經	121 度 25 分 40.77 秒
	7.北緯	25 度 06 分 08.96 秒	東經	121 度 26 分 58.15 秒
	8.北緯	25 度 05 分 16.47 秒	東經	121 度 26 分 40.02 秒
	9.北緯	25 度 04 分 13.16 秒	東經	121 度 27 分 02.84 秒
	10.北緯	25 度 04 分 21.37 秒	東經	121 度 27 分 27.07 秒
	11.北緯	25 度 05 分 15.48 秒	東經	121 度 27 分 03.16 秒
	12.北緯	25 度 06 分 28.42 秒	東經	121 度 27 分 29.08 秒
	13.北緯	25 度 06 分 44.84 秒	東經	121 度 25 分 41.13 秒



圖 5-5 飛行第一段照片 1



圖 5-6 飛行第一段照片 2

2. 飛行第二段路徑規劃程序與成果

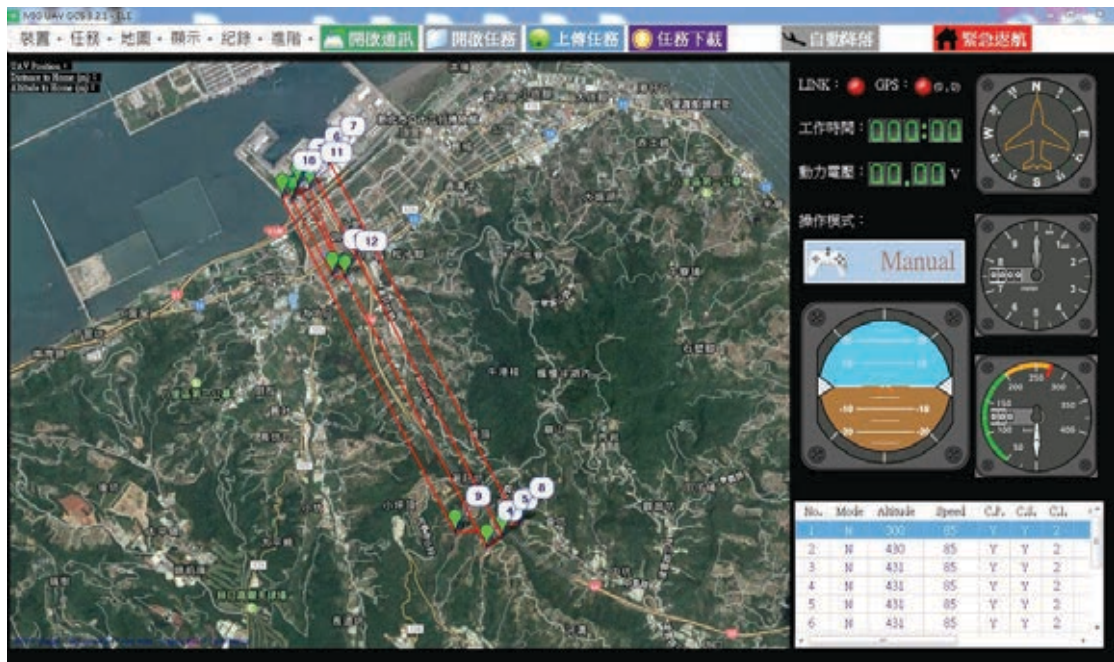


圖 5-7 飛行第二段路徑規劃

表 2-8 飛行第二段空域佈點

No.	GpsTime	Latitude	Longitude	Altitude	Pitch	Roll	Yaw
1	51:17.6	25.08223	121.4453	305	13.45	-43.88	-173.61
2	51:19.6	25.08193	121.4453	310	14.97	-10.77	150.24
3	51:21.6	25.0818	121.4456	313	16.49	5.13	112.99
4	51:23.6	25.08174	121.4458	322	13.91	8.45	113.55
5	51:25.6	25.08166	121.4459	332	13.14	0.83	119.47
6	51:27.6	25.08156	121.4461	339	14.28	7.25	116.42
7	51:29.6	25.08145	121.4463	347	12.71	4.24	125.12
8	51:31.6	25.08133	121.4465	358	14.13	3.95	126.23
9	51:33.6	25.08122	121.4467	368	12.45	4.88	120.37
10	51:35.6	25.0811	121.4469	373	6.7	12.01	125.99
11	51:37.6	25.08092	121.4471	375	3.05	9.44	139.14
12	51:39.6	25.08069	121.4473	378	-0.27	3.07	144.82
13	51:41.6	25.08044	121.4475	376	-1.89	9.33	144.77
14	51:43.6	25.08018	121.4477	373	-0.36	2.74	147.17
15	51:45.6	25.0799	121.4479	376	-0.94	8.92	151.62
16	51:47.6	25.07961	121.448	373	-0.62	8.63	150.89
17	51:49.6	25.0793	121.4482	372	1.94	3.75	153.17
18	51:51.6	25.07898	121.4484	370	2.52	3.55	158.28
19	51:53.6	25.07865	121.4485	370	-0.32	6.89	161.12
20	51:55.6	25.07834	121.4487	371	1.52	3.89	153.06
21	51:57.6	25.07805	121.4488	370	-1.46	14.87	156.16
22	51:59.6	25.07769	121.449	370	1.03	-1.93	159.36
23	52:01.6	25.07733	121.4491	371	-1.6	4.1	159.72
24	52:03.6	25.07697	121.4493	369	-0.21	6.42	157.99

No.	GpsTime	Latitude	Longitude	Altitude	Pitch	Roll	Yaw
25	52:05.6	25.0766	121.4494	368	2.2	1.66	158.7
26	52:07.6	25.07623	121.4496	370	-0.83	3.72	158.77
27	52:09.6	25.07587	121.4498	368	-0.96	8.61	160.02
28	52:11.6	25.07552	121.4499	367	2.75	8	158.1
29	52:13.6	25.07516	121.4501	366	3.32	5.81	161.8
30	52:15.6	25.07482	121.4502	370	-0.28	4.09	162.5
31	52:17.6	25.07449	121.4503	370	-1.86	6.17	157.38
32	52:19.6	25.07416	121.4505	365	3.09	3.95	157.25
33	52:21.6	25.07382	121.4507	366	3.81	3.53	160.09



圖 5-8 飛行第二段照片 1



圖 5-9 飛行第二段照片 2

3. 飛行第三階段路徑規劃程序與成果

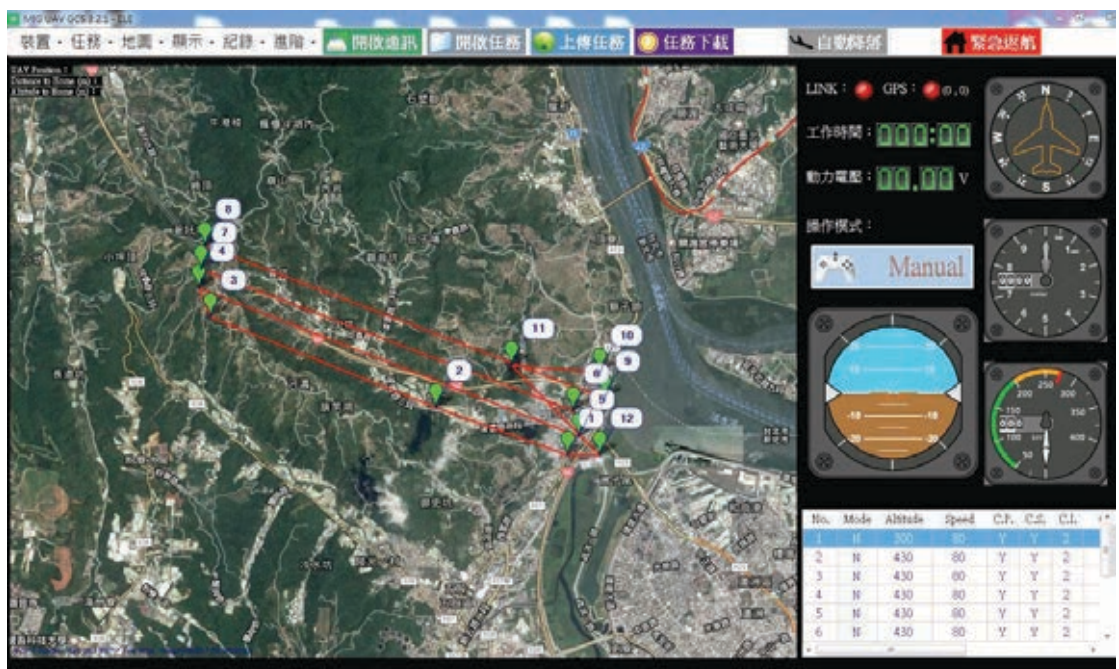


圖 5-10 飛行第三段路徑規劃

表 2-9 飛行第三段空域佈點

No.	GpsTime	Latitude	Longitude	Altitude	Pitch	Roll	Yaw
1	49:44.0	25.14171	121.3936	360	10.24	50.2	-70.62
2	49:46.0	25.14197	121.3932	369	16.41	38.24	-34.98
3	49:48.0	25.14238	121.393	380	12.12	14.95	-11.29
4	49:50.0	25.14278	121.393	396	21.43	-0.58	-5.67
5	49:52.0	25.14318	121.393	408	13.23	3.12	9.04
6	49:54.0	25.14356	121.3931	422	15.05	-6.11	7.95
7	49:56.0	25.14397	121.3931	433	13.38	-13.28	-10.69
8	49:58.0	25.14437	121.393	443	14.57	2.88	-15.41
9	50:00.0	25.14477	121.3928	452	14.09	9.95	-17.06
10	50:02.0	25.14518	121.3926	457	13.14	2.16	-22.35
11	50:04.0	25.14558	121.3924	461	12.73	4.34	-27.59
12	50:06.0	25.14596	121.3922	466	7.51	4.47	-33.52
13	50:08.0	25.14632	121.3919	468	4.63	4.92	-36.67
14	50:10.0	25.14671	121.3916	467	4.4	10.57	-32.86
15	50:12.0	25.14712	121.3913	471	0.79	14.71	-28.95
16	50:14.0	25.14751	121.3911	475	-5.19	8.9	-30.53
17	50:16.0	25.14788	121.3908	473	-3.13	3.5	-34.82
18	50:18.0	25.14828	121.3906	469	0.86	3.11	-26.55
19	50:20.0	25.14869	121.3904	470	0.67	-11.48	-18.94
20	50:22.0	25.14913	121.3903	469	1.58	-3.81	-13.87
21	50:24.0	25.14959	121.3902	467	2.47	-12.17	-26.77



圖 5-11 飛行第三段照片 1



圖 5-12 飛行第三段照片 2

陸、「台 64 線快速道路及觀音山隧道 BIM 雲端維護管理系統」 平台與 app 開發

6.1 平台子系統規劃

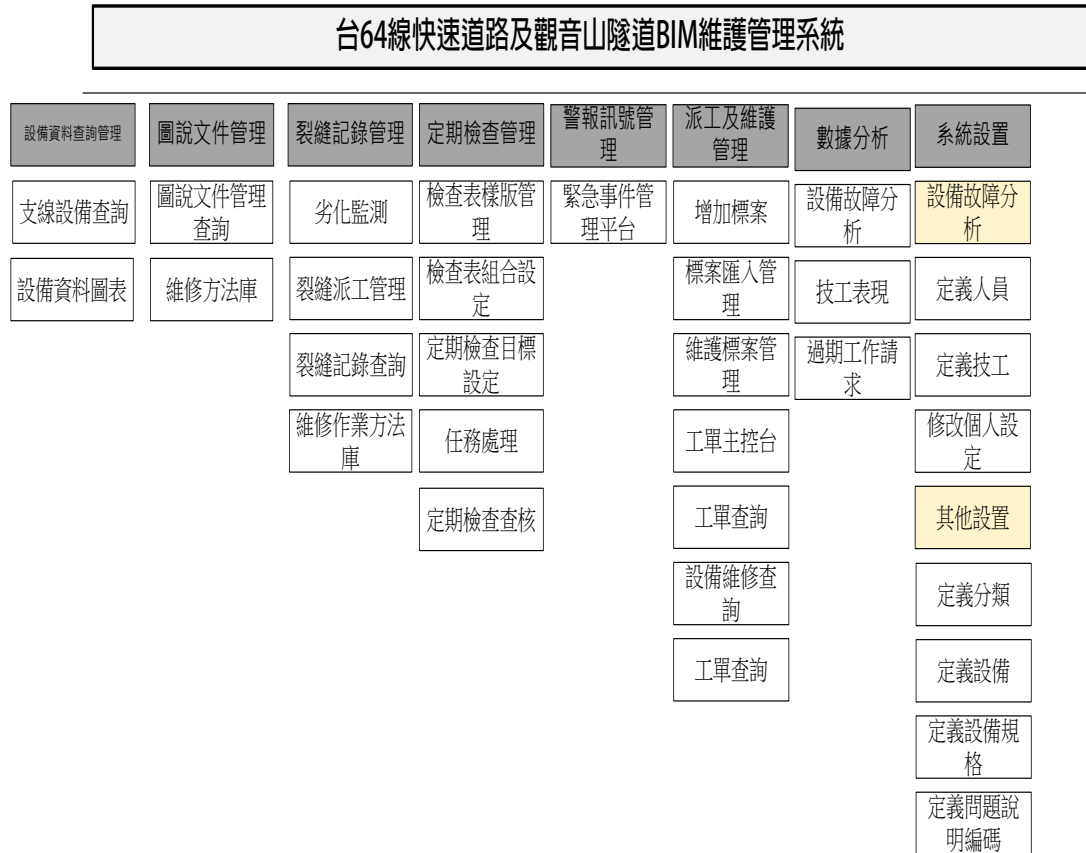


圖 6-1 系統架構圖

- 設備資料查詢管理-提供機電設備查詢相關平面位置並調入設備細部規格。
- 圖說文件管理-文件查詢<規劃設計圖說、竣工圖、revit>，手機可連接調閱相關圖說文件。
- 裂縫紀錄管理-裂縫監測用於測量表面裂縫和接縫處的位移，系統開發以 BIM 模型為基礎，連結設施基本資料庫、維修記錄、破壞樣態庫、維修作業方法庫，手機可連接將現場照片傳回。
- 定期檢查管理-巡檢作業有效控管及落實人員確實到位檢查、保養校正。
- 報警訊號管理-管理緊急事件指揮、情報分析、決策調度，系統通透過此報警訊號監控模組，能報警指揮與運維業務協同。
- 派工及維護管理-指派廠商工作。
- 數據分析-設備故障分析、技工表現、過期工作請求。
- 系統管理-人員、技工、設備分類等背景數據。

6.2 設備資料查詢管理

1. 支線設備查詢

提供機電設備查詢相關之平面位置並調入設備細部規格。顯示與設備<號誌>相關細部設備規格與空間明細

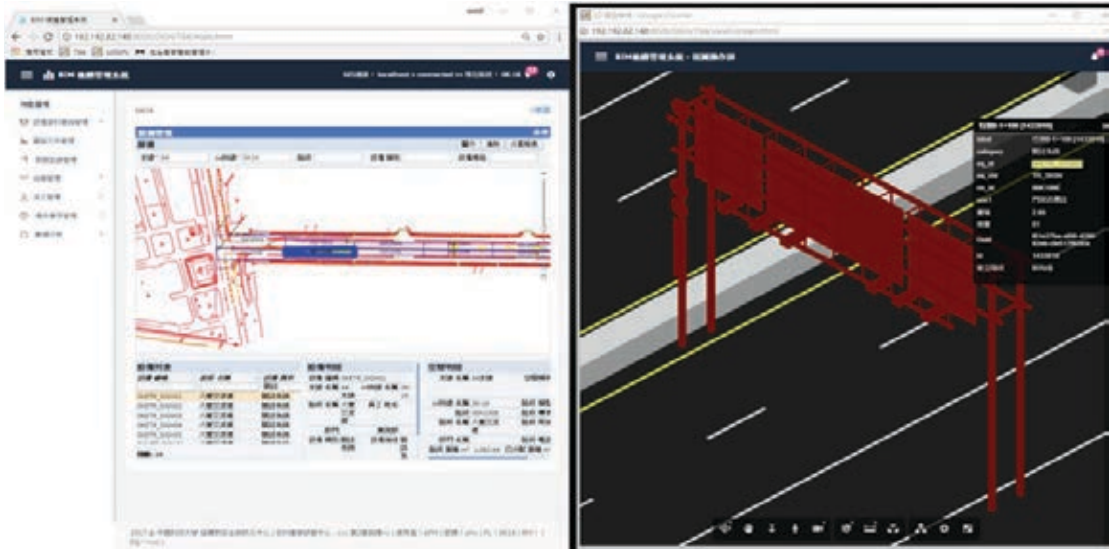


圖 6-2 設備查詢

2. 設備資料圖表

提供查詢設備細部規格<以各設備類型說明。於手機 APP 中提供該設備規格，在工單派修時，提供相關設備製造商與啟用日期，提供管理單位修繕參考依據。



圖 6-3 設備資料圖表



圖 6-4 手機設備資料表

6.3 圖說文件管理

1. 圖說文件管理查詢

透過瀏覽器即可線上取得，圖說文件等數位化檔案，具備修改權限的使用者可即時線上新增數位檔案。

提供文件管理查詢<規劃設計圖說、cad 竣工圖>。運用 AUTODESK A360 (PaaS 雲端平台)，手機可調閱圖說並可加註記與標註

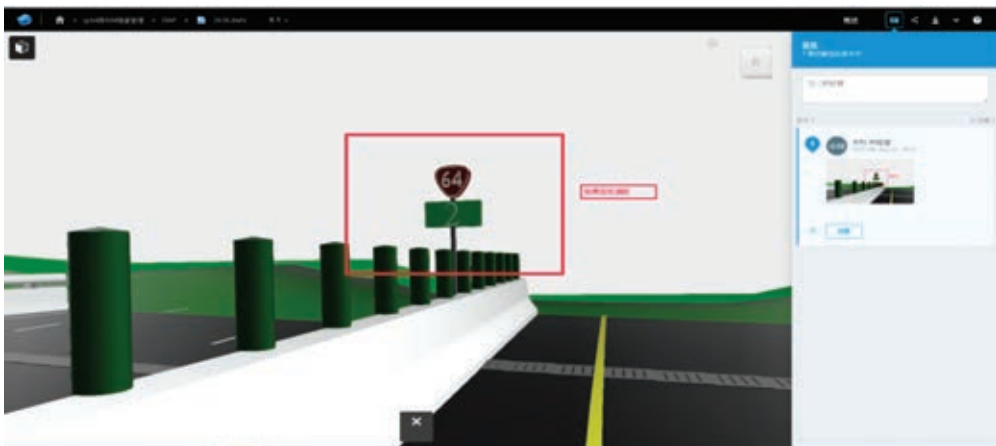


圖 6-5 web 設備資料圖表



圖 6-6 手機 app 設備資料圖表

2. 維修方法庫

養護手冊清單-養護單位執行巡查，須隨時瞭解養護路段狀況並填具相關巡查報告表格。

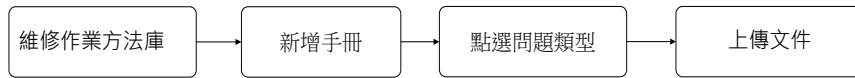


圖 6-7 維修方法庫上傳流程

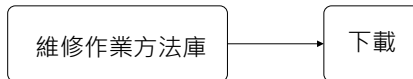


圖 6-8 維修方法庫下載流程

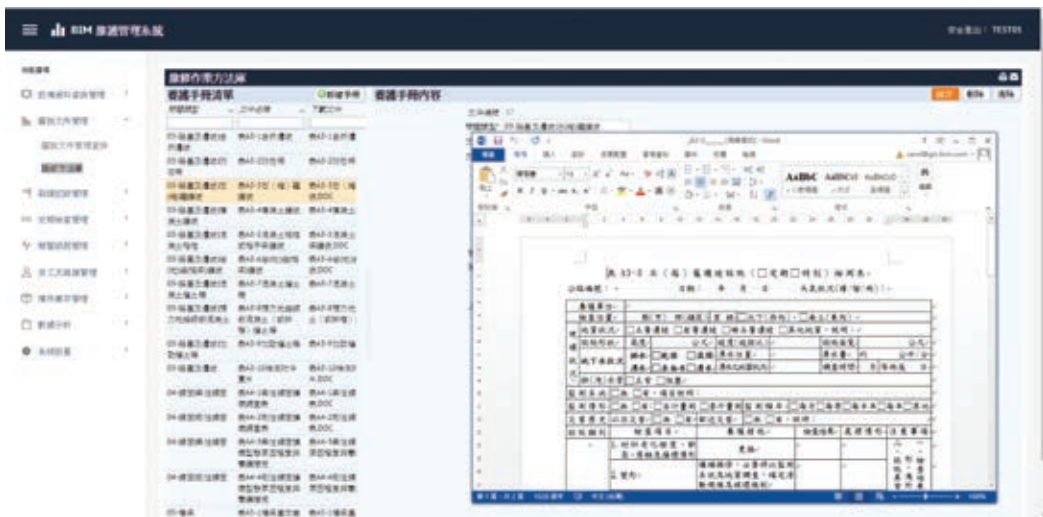


圖 6-9 維修方法庫調閱相關報表文件

6.4 裂縫記錄管理模組

1. 裂縫監測

用於測量表面裂縫和接縫處的位移。現場設備由公路總局提供，將監測數據介接至資料庫並於前台顯示，監測數據每 10 分鐘接收，自動採集實時數據。發現異常值點，選取顯示異常值與相關位置，並請求維護技術服務。

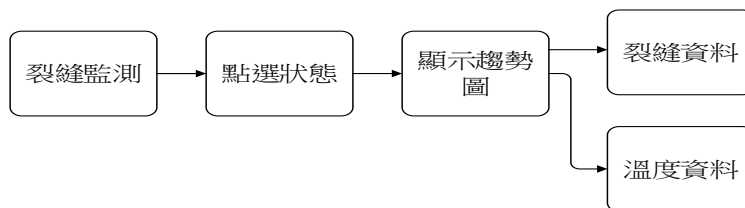







圖 6-10 裂縫監測流程

表 5-40 裂縫監測三級訊號

	異常	正常	3 級	2 級	1 級
燈號					
裂縫	null	<0.5	0.5	1	5
溫度	null	<40	40	45	50

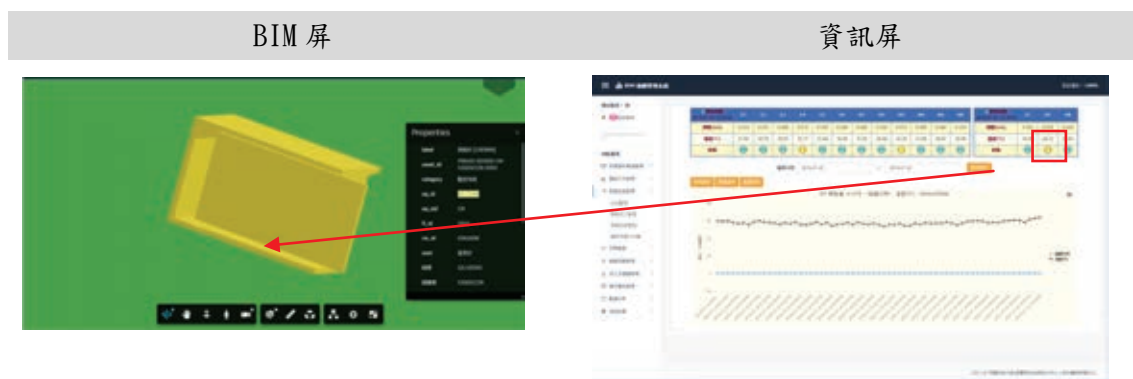


圖 6-11 BIM 屏顯示警戒層級（依裂縫監測三級訊號-黃、橙、紅顯示）

6.5 裂縫派工管理

巡檢現場發現裂縫，由手機選取損壞狀況拍照存檔自動上傳記錄平台。加強裂縫監測管理通報及派工流程的整合，針對裂縫可緊急發派工單修補處理，縮短工程派工流程。



圖 6-12 裂縫派工管理流程



圖 6-13 手機存檔

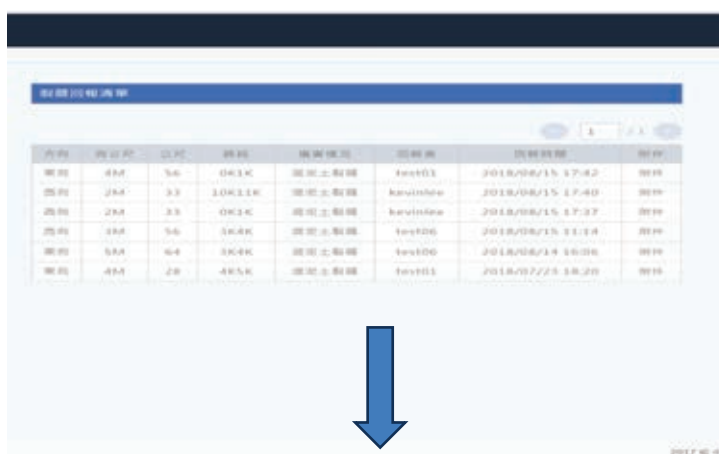


圖 6-14 電腦自動上傳



圖 6-15 裂縫派工管理工單

6.6 破壞樣式貼片

以手機將破壞位置照相後，選取東西行將照片、里程及仰角上傳，則可由系統中之巨集將破壞照片貼附於截取照片。



圖 6-16 手機裂縫照片現場處理

1. PART I：擷取實體參數

因上傳之位置參數僅里程及仰角，而非準確定位所需之空間坐標 (x,y,z) 及拍攝方向向量 $(\vec{x},\vec{y},\vec{z})$ ，因此須提供僅用里程及仰角定位之方式，而缺少之條件則以觀測者位於該里程對應之隧道剖面所在平面且觀測方向亦與該平面平行之假設補足。因目前輸入格式里程單位為公尺，僅限整數，因此為節省往後操作時間，可事先將各剖面之法向量及預設觀測者位置算出。

(1) 以 `er_id` 選取（每百米一段，東西行向各一）各隧道實體批次匯出為 `.SAT` 檔



圖 6-17 巨集步驟 PART I_ (1-2)

(2) 以本案限定之幾何條件從各隧道實體各表面幾何參數辨識兩端平面



圖 6-18 巨集步驟 PART I_ (2-2)

(3) 以兩端點分別在兩端面為條件辨識各隧道實體未被開孔截斷之完整稜

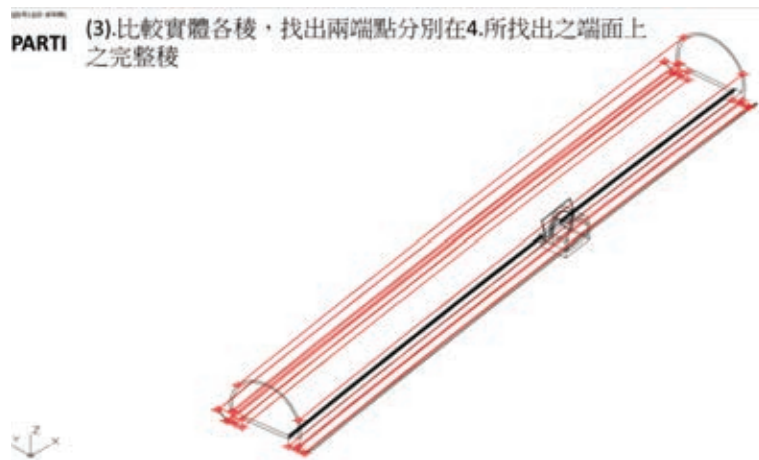


圖 6-19 巨集步驟 PART I_ (3)

(4) 擷取各完整稜之百分點，由各完整稜之同序號百分點以最小平方法估算隧道整數里程剖面方程式

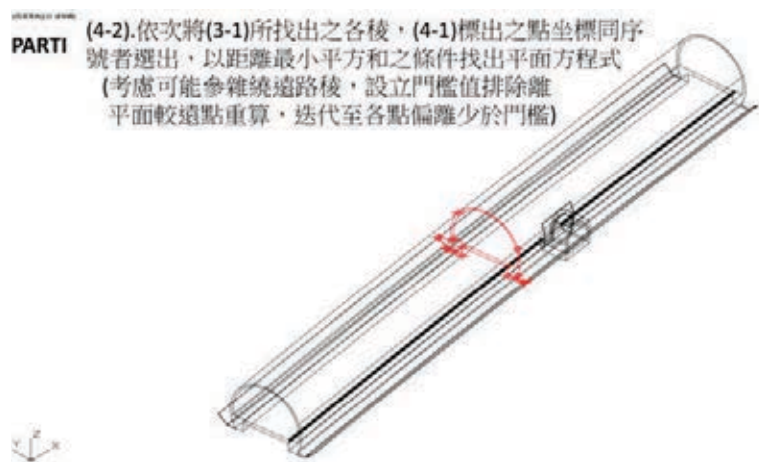


圖 6-20 巨集步驟 PART I_ (4-2) (圖源：AutoCAD2018 截圖)

(5) 因本案隧道實體為兩端定斷面混成，由前述相同序號百分點以最小平方法估算整數里程剖面之旋轉平移矩陣

(6) 各實體兩端平面包絡盒中心點各自以(5)所得之旋轉平移矩陣估算預設觀測者路徑，取兩者平均值

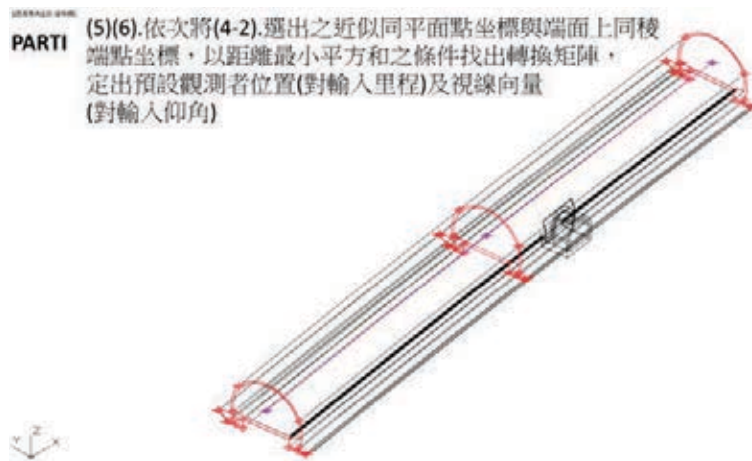


圖 6-21 巨集步驟 PART I_ (5) (6) (圖源：AutoCAD2018 截圖)

2. PART II：產生貼片實體及貼附照片

- (1) 擷取裂縫照片之里程、行向、仰角、圖片
- (2) 由各筆資料之里程及行向選取所對應之隧道實體 (PART I (1) 匯出者)
- (3) 由各筆資料之里程選取所對應之預設觀測者位置 (PART I (6) 估算者)
- (4) 由各筆資料之仰角選取所對應之預設觀測者 3D 視角 (PART I (4) (5) 估算及配合產生之局部坐標系)
- (5) 由預設觀測者位置往觀測者 3D 視角擠出 (EXTRUDE) 路徑長穿透隧道，照片範圍為剖面之實體

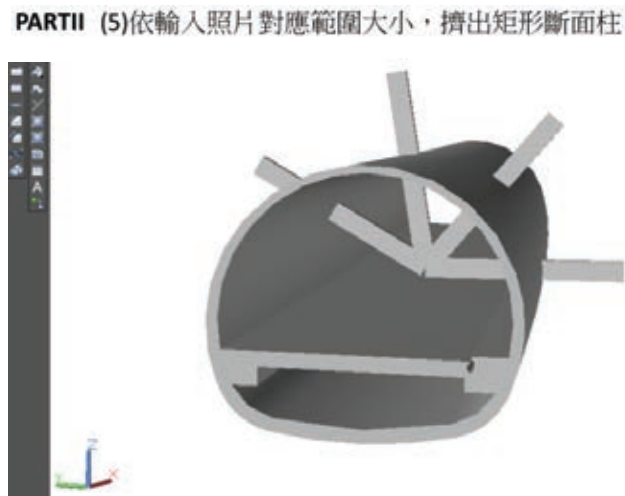


圖 6-22 巨集步驟 PART II_ (5)

- (6) 擠出實體與隧道實體取交集，得到可含開孔之照片投影範圍實體
- (7) 由各筆資料之裂縫照片圖片檔設定照片投影範圍隧道內表面材質

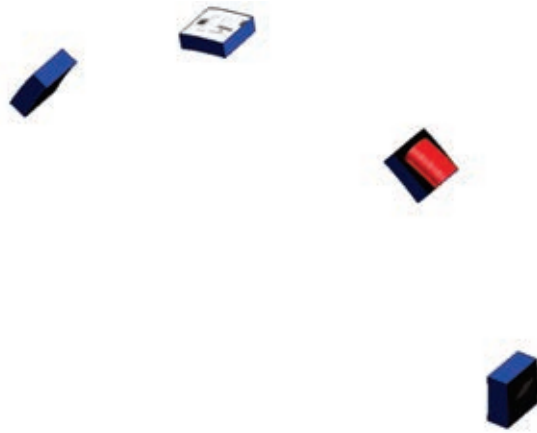


圖 6-23 巨集步驟 PART II_ (6) (7) (圖源：Revit2018 截圖)

- (8) 匯出貼附照片圖片檔之照片投影範圍實體專案檔，選擇將其與整體、所在百米實體或周圍局部擷取實體以同坐標系並列另存新檔
- (9) 在空白族群檔根據 PART I (4) (5) 估算及配合產生之局部坐標系繪製里程標示實體
- (10) 將 (9) 產生之族群空白族群檔根據 PART I (4) (5) 估算及配合產生之局部坐標系繪製里程標示實體

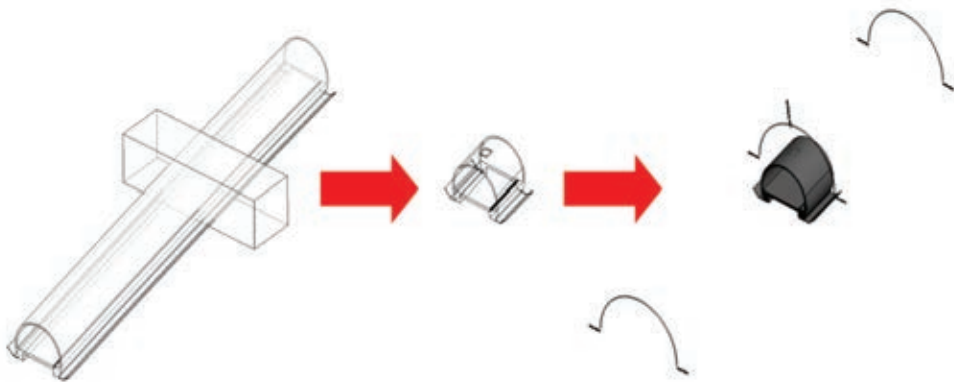


圖 6-24 巨集步驟 PART II_ (8) (9) (10) (圖源：Revit2018 截圖)

結果可累積破壞樣式或維修作業方法之 3D 圖形庫。

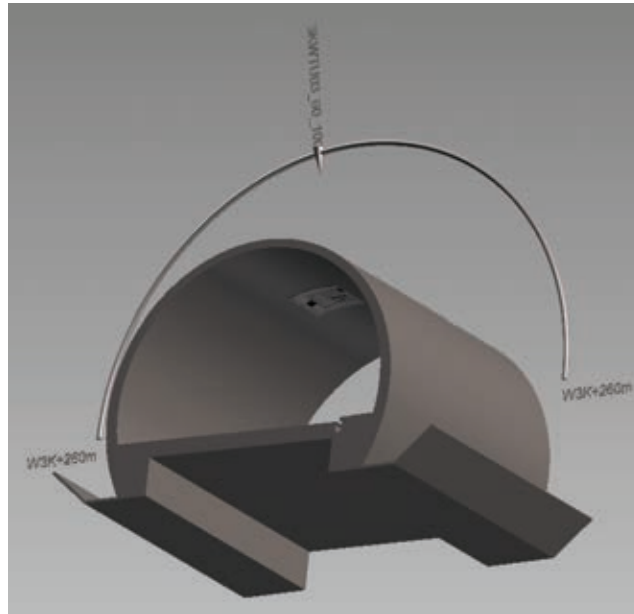


圖 6-25 產生破壞樣式或維修作業方法 RVT 及 DWFX

3. Revit 巨集產生隧道貼片表面之原理

(1) PART I (3) 中辨識實體稜之端點是否在端面上之程序推導：

$ax + by + cz = -d_1$ 與 $ax + by + cz = -d_2$ 之距離：

$ax_1 + by_1 + cz_1 = -d_1$ ，通過 (x_1, y_1, z_1) 垂直 $ax + by + cz = -d_1$ 之直線

$$\frac{x - x_1}{a} = \frac{y - y_1}{b} = \frac{z - z_1}{c} = t, \quad a(x_1 + at) + b(y_1 + bt) + c(z_1 + ct) = -d_2$$

$$t = \frac{d_1 - d_2}{a^2 + b^2 + c^2}, \quad \text{平面距離 } \sqrt{a^2 + b^2 + c^2} |t| = \frac{|d_1 - d_2|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}},$$

在 Revit 巨集中產生曲面定點正規化法向量 $\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} = 1$ ，

因此套用至平面時距離 $|d_1 - d_2|$ ，而 (x_1, y_1, z_1) 與 $ax + by + cz = -d_2$ 之距離即

$$|ax_1 + by_1 + cz_1 + d_2|, \quad \text{而未正規化時 } \frac{|ax_1 + by_1 + cz_1 + d_2|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

(2) PART I (4) 中由實體之完整稜 (2 端點各在 1 端面上) 等分點距離最小平方回歸平面方程式係數：

一筆資料 n 點 (x, y, z) ，與平面 $ax + by + cz = 1$ 之距離平方和

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{(ax + by + cz - 1)^2}{a^2 + b^2 + c^2}$$

$$= \frac{1}{a^2 + b^2 + c^2} \sum_{i=1}^n a^2 x^2 + b^2 y^2 + c^2 z^2 + 2abxy + 2bcyz + 2cazx - 2ax - 2by - 2cz + 1$$

$$\frac{\partial D}{\partial a} = \frac{2}{a^2 + b^2 + c^2} \sum_{i=1}^n ax^2 + bxy + czx - x = \frac{2}{a^2 + b^2 + c^2} (a \sum_{i=1}^n x^2 + b \sum_{i=1}^n xy + c \sum_{i=1}^n zx - \sum_{i=1}^n x)$$

$$\frac{\partial D}{\partial b} = \frac{2}{a^2 + b^2 + c^2} \sum_{i=1}^n axy + by^2 + cyz - y = \frac{2}{a^2 + b^2 + c^2} (a \sum_{i=1}^n xy + b \sum_{i=1}^n y^2 + c \sum_{i=1}^n yz - \sum_{i=1}^n y)$$

$$\frac{\partial D}{\partial c} = \frac{2}{a^2 + b^2 + c^2} \sum_{i=1}^n axz + byz + cz^2 - z = \frac{2}{a^2 + b^2 + c^2} (a \sum_{i=1}^n zx + b \sum_{i=1}^n yz + c \sum_{i=1}^n z^2 - \sum_{i=1}^n z)$$

因此最小距離平方平面方程式 $ax + by + cz = 1$ 係數

$$\begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x^2 & \sum_{i=1}^n xy & \sum_{i=1}^n xz \\ & \sum_{i=1}^n y^2 & \sum_{i=1}^n yz \\ Sym. & & \sum_{i=1}^n z^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \sum_{i=1}^n x \\ \sum_{i=1}^n y \\ \sum_{i=1}^n z \end{Bmatrix} \quad (\text{可代入各點同在平面})$$

$ax + by + cz = 1$ 上之情況檢核係數)

每一循環剔除距離平面較遠之點之後再重新回歸，至 $\frac{|ax + by + cz - 1|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$ 之最大

值或平均值、或剔除剩下的點數少於預設標準為止。

(3) PART I (5) 中，由全等剖面產生之實體，之完整稜 (2 端點各在 1 端面上) 等分點回歸剖面間對應點之坐標轉換矩陣：

二全等剖面之對應點各為 (x_{0i}, y_{0i}, z_{0i}) ， (x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}) ，而 (x_0, y_0, z_0) 以轉換矩

陣轉換後之坐標為 $(x_{1Ri}, y_{1Ri}, z_{1Ri})$ ：

$$\begin{cases} x_{1Ri} = a_x x_{0i} + b_x y_{0i} + c_x z_{0i} + d_x \\ y_{1Ri} = a_y x_{0i} + b_y y_{0i} + c_y z_{0i} + d_y \\ z_{1Ri} = a_z x_{0i} + b_z y_{0i} + c_z z_{0i} + d_z \end{cases}, \text{ 但因每個 } (x_{0i}, y_{0i}, z_{0i}) \text{ 皆在平面}$$

$$a_0 x + b_0 y + c_0 z = 1 \text{ 上,}$$

故可將平面方程式代入消去（一般實體則無，故需 4 點）

$$\begin{cases} x_{1Ri} \\ y_{1Ri} \\ z_{1Ri} \end{cases} = \begin{bmatrix} a_x + a_0 d_x & b_x + b_0 d_x & c_x + c_0 d_x \\ a_y + a_0 d_y & b_y + b_0 d_y & c_y + c_0 d_y \\ a_z + a_0 d_z & b_z + b_0 d_z & c_z + c_0 d_z \end{bmatrix} \begin{cases} x_{0i} \\ y_{0i} \\ z_{0i} \end{cases} = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} \end{bmatrix} \begin{cases} x_{0i} \\ y_{0i} \\ z_{0i} \end{cases}$$

（原僅旋轉及平移而無變形的變化變成僅旋轉及變形而無平移的形式）

3 對以上對應點，在忽略選點差異時，可任選 3 對求反矩陣，而均等考慮各點影

響時，以 (x_{li}, y_{li}, z_{li}) 與 $(x_{1Ri}, y_{1Ri}, z_{1Ri})$ 距離平方最小為條件計算如下：

$$D = \sum_{i=1}^n [(R_{xx} x_{0i} + R_{xy} y_{0i} + R_{xz} z_{0i} - x_{li})^2 + (R_{yx} x_{0i} + R_{yy} y_{0i} + R_{yz} z_{0i} - y_{li})^2 + (R_{zx} x_{0i} + R_{zy} y_{0i} + R_{zz} z_{0i} - z_{li})^2]$$

$$\text{距離平方最小時 } 0 = \frac{\partial D}{\partial R_{uv}} = 2 \sum_{i=1}^n (R_{ux} v_{0i} x_{0i} + R_{uy} v_{0i} y_{0i} + R_{uz} v_{0i} z_{0i} - v_{0i} u_{li}) \quad (u、$$

v 可為 $x、y$ 或 z)

$$\begin{cases} R_{ux} \\ R_{uy} \\ R_{uz} \end{cases} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{0i} y_{0i} & \sum_{i=1}^n x_{0i} z_{0i} \\ \sum_{i=1}^n y_{0i}^2 & \sum_{i=1}^n y_{0i} z_{0i} & \\ \text{Sym.} & \sum_{i=1}^n z_{0i}^2 & \end{bmatrix}^{-1} \begin{cases} \sum_{i=1}^n x_{0i} u_{li} \\ \sum_{i=1}^n y_{0i} u_{li} \\ \sum_{i=1}^n z_{0i} u_{li} \end{cases} \quad (u \text{ 可為 } x、y \text{ 或 } z)$$

（可代入各對對應點間有相同轉換矩陣 $\begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} \end{bmatrix}$ 之情況檢核係數）

$$\begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{0i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}y_{0i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}z_{0i} \\ \sum_{i=1}^n y_{1i}x_{0i} & \sum_{i=1}^n y_{1i}y_{0i} & \sum_{i=1}^n y_{1i}z_{0i} \\ \sum_{i=1}^n z_{1i}x_{0i} & \sum_{i=1}^n z_{1i}y_{0i} & \sum_{i=1}^n z_{1i}z_{0i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_{0i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{0i}y_{0i} & \sum_{i=1}^n x_{0i}z_{0i} \\ \sum_{i=1}^n y_{0i}^2 & \sum_{i=1}^n y_{0i}z_{0i} & \\ \sum_{i=1}^n z_{0i}^2 & & \end{bmatrix}^{-1}$$

Sym.

(4) Revit 巨集產生隧道貼片表面之方式選擇及程序設定之原因

1. 用實體之原因：

- (1) 如直接標在實體表面，一個實體只能標一個，同段多處無法分開加 ID。
- (2) 如用單一無厚度曲面，要離隧道表面夠遠才不會透過去。
- (3) 如增厚度則表面貼齊會被原材質透過去因此 2 法
 - 微幅突出表面（採用 10m 塞滿畫面時不會透過之最小突出量 3mm（可加在原模型）。
 - 隧道壁差集（或空心）挖除相同形狀實體（差集會變動隧道實體形狀，空心需連結步驟，適合加在允許改變之備份）。

2. 隧道實體從原檔複製出備份匯出 SAT 處理之原因：

- (1) 避免巨集運作時之錯誤影響原檔。
- (2) 處理過程中因畫面中物件較少較可節省運作時間。
- (3) 單獨選取實體另存 RVT 檔，需刪除其他元件，而匯出 SAT 僅需隱藏其他元件，再依序解除各段隧道實體，較為省時。
- (4) 匯出 SAT 仍可另外匯入空白 RVT 產生隧道單體 RVT（目前採用方式）。

3. 過程所需開孔採用差集之原因：

- (1) 本步驟所需開孔不須再做形狀修改（且如用 FreeformElement 之方式即使差集後仍能做修改）。
- (2) 可避免多實體多空心相對關係複雜。

4. 貼片之實體用 SAT 匯入 RVT 之原因：

- (1) SAT 直接匯入 RVT 必定會有品類 0 可附加材料，不必另外附加品類。
- (2) 除含旋轉面之實體外（目前遭遇情況），多次布林運算或匯入匯出不會累積誤差。
- (3) Revit2018.2 後可複製材料多次後，各自修改材質貼圖，操作較便利。
- (4) 如匯入 RFA 再匯入 RVT，程序較長；且在所有貼片匯入後批次修改材料不方便，在個別 RFA 設定貼片之材料就不能直接複製，用其他方式複製後（放入跨檔共用群組）材料 ID 可能各檔不同，會增加不便。

5. 備份或局部之隧道實體採用SAT匯入RFA再匯入RVT之原因：

- (1) Revit 中含旋轉面之實體，匯出 SAT 時會有誤差（與其他不含旋轉面者比較），尺寸較大者易匯出失敗。
（本案例中隧道實體從原檔匯出時可用包絡盒交集之技巧避開，但匯入空白 RVT 檔交集或差集後再匯出時無法避開），因此雖貼片實體（尺寸較小，3m 見方內）採用 SAT 直接匯入（依四、之原因），隧道實體卻不宜。
- (2) 因隧道實體匯入空白檔再布林運算後可能無法匯出，因此採用另存所匯入之檔之方式。
- (3) SAT 匯入空白檔進行布林運算後，在匯出或另存前需實體化，本來採用之 DirectShape 無法像 SAT 直接匯入時自帶含材料之次品類 0，因此採用 FreeformElement 用於匯出（小尺寸實體可用）或另存。
- (4) FreeformElement 無法在 RVT 內使用，只能在 RFA 使用，但 RFA 內匯入實體對應品類只有匯入族群中，仍需加品類設定加材料，但 SAT 匯入後 RFA 自動對應 RFA 樣版檔對應之族群，因此可以對各種材料各設對應之 RFA，對於單一旦無變動之實體採此法較便利（也因此貼片實體仍採用 SAT 直接匯入 RVT 之方法較便利）。



圖 6-26 表面貼齊且不挖洞之背面透出

GetNurbsSurfaceDataForFace Method
 Returns the necessary information to define a NURBS surface for a given **Next HermiteSurface or RuledSurface**

能作為實體面(FACE)
 之NURBS SURFACE
 僅包含RuledSurface
 及HermiteSurface

id	name	type	parent	children
1	Face	Face		
2	HermiteSurface	HermiteSurface	1	
3	RuledSurface	RuledSurface	1	

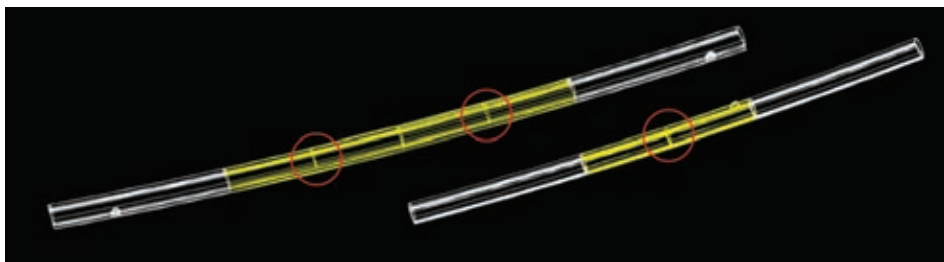


圖 6-27 含旋轉面之實體之近似誤差

6.7 定期檢查管理

彈性化定期巡檢檢查表-針對不同設備型態，提供彈性化檢查表組合成排定巡檢工作單，成為巡檢評估重點，彈性增設巡檢報表，巡檢系統可依任務派工。

公路總局第一區養護工程處管理者藉由預先規劃的任務與檢查頻率派工給廠商或相關技術人員，有效控管及落實人員確實到位檢查、保養校正，能達到及早發現問題並預防設備損壞，延長設備使用年限。

1. 檢查樣板管理

主要採自由表單，對於設備巡檢可以依設備更新增加檢查項次，鍵入相關維修步驟。



圖 6-28 定期檢查管理流程

隧道機電設備每週檢查表
 公路編號： 日期： 年 月 日 天氣狀況(晴/陰/雨)：
 隧道名稱： 隧道位置：

設備	檢查項目	檢查內容	檢查結果	注意事項
電力儀表系統	一、高壓自動轉接開關(HATS)供電狀態	是否在台電側		註：(一)、設備異常時，應即採取修正，或請廠商進行修理並通知管理單位檢查並報告委請辦理，應於備註欄註記。(二)、檢查異常(○)、異常(△)、警告(▽)、急修(×)等情形，應於備註欄註記。(三)、檢查異常(○)、異常(△)、警告(▽)、急修(×)等情形，應於備註欄註記。
	二、LBS、M/F	供電狀態是否正常		
	三、高壓電力盤(HVP)	供電狀態是否正常		
	(一)高壓斷路器	供電狀態是否正常		
	(二)過電流電掣(OI)	是否異常		
	(三)過電流接地電掣(LGD)	是否異常		
	(四)KV, KVAR, KW, PF, KV, A 表指示	登錄各表數據並判斷是否異常		
	四、低壓電力盤(LVP)	供電狀態是否正常		
	(一)空氣斷路器(ACB)	供電狀態是否正常		
	(二)各樣殺型斷路器(MCB/NFB)	有無跳脫		
	(三)低壓自動轉接開關(LATS)供電狀態	是否在台電側		
	(四)指示燈	指示是否正確		
(五)變壓器(CT)	溫度是否在容許範圍			
(六)V, A, KW 表指示	登錄各表數據，並判斷是否異常			
緊急發電機組	一、緊急發電機組	是否在停備(Stand by)狀態		
	(二)發電機組待機油位	是否偏高/偏低		
消防及火警系統	一、火警偵測器	火警偵測器狀態顯示是否正確		
	二、消防泵電氣控制盤	供電狀態是否正常		
隧道通風設備	一、噴氣式通風機或各式送排風機	依隧道特性及排風模式，進行風機啟動運轉測試(正轉或反轉)及檢視供電情形是否正確		

圖 6-29 公路總局提供電力每週檢查表文件

圖 6-30 電力系統檢查表系統顯示

2. 檢查表組合設定

將檢查表組合成排定巡檢工作單，成為巡檢評估重點，並可自動派送工作請求。只要鍵入檢查頻率時間，將檢查表樣板做組合再一起成為定期檢查表。

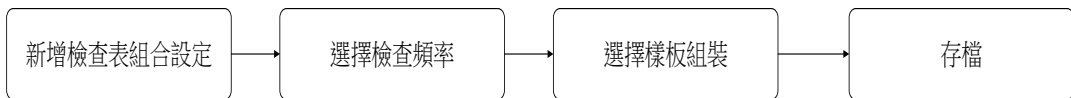


圖 6-31 檢查表組合設定流程

圖 6-32 檢查表組合頻率時間設定

3. 定期檢查設定

輸入定期檢查工作單名稱，指派給技術工並選定工作檢查頻率起訖時間，現場工作人員手機將收到巡檢工作，工作人員可將任務依工作輕重緩急，自行排定工作順序，當查核完成列印存檔，若發現設備問題則派工維修。

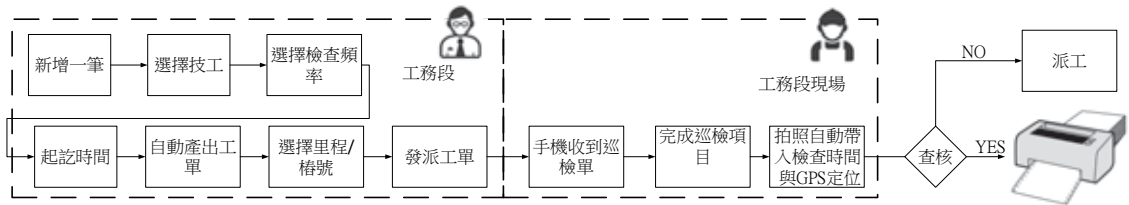


圖 6-33 定期檢查設定



圖 6-34 定期檢查工作頻率起訖時間設定



圖 6-35 指派技術人員

公路總局第一區養護工程處管理者藉由預先規劃的任務檢查項目派工給廠商或相關技術人員，技術人員在現場將有問題的設備掃描 QR-Code 自動帶入設備名稱、數值與現場拍照回傳管理平台，因有開啟 GPS 定位，系統上傳時自動帶入經緯度、照片上傳時間等，進而能蒐集異常資訊，掌握異常狀況，降低風險發生機率，有效控管及落實人員確實到位檢查、保養校正。



圖 6-36 手機 APP



圖 6-37 QR-Code 掃描



圖 6-38 定期檢查設定畫面

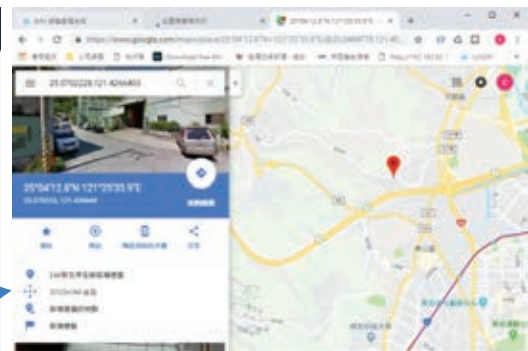


圖 6-39 GPS 定位

1W2_緊急發電機組			
台帳編號:	日期: 2018-10-22	天災狀況 (機組狀態):	
機組名稱:	機組位置: 3KAKWEST01		
功能測試及檢查項目	檢查內容	檢查結果	
1W2_緊急發電機組			
一、	緊急發電機組		異常
(一)	發電機組設備狀態	是否在停機(Stand by)狀態	正常
(二)	發電機組油機油位	是否漏油/漏油	正常
注意事項 一、檢查結果應紀錄(正常(O)、異常(X))、(與此項)的發現異常情形，應於備註欄註記。 二、設備異常時，應即時記錄正、或補正及除錯每當檢可檢查報告表簽請核辦。			
備註:			
檢表人員:		單位主管:	

圖 6-40 文件列印

6.8 報警訊號管理模組

報警訊號管理模組主要在管理緊急事件指揮、情報分析、決策調度。系統通過此報警訊號監控模組，能報警指揮與運維業務協同作業功能。由實時數據監測各設備位置，當發生設備緊急事件可直接點選派工。



圖 6-41 報警訊號管理模組流程

- 結構化數據接口建議

緊急應變程序軟體 對下設備

TCP/IP MODBUS 通信協定

設定 位址(00H 00H)

傳入:

01H	10H	00H	00H	00H	09H	12H	0001H	0002H	0003H	0004H	0005H	0006H	0007H	0008H	0009H	Checksum
ID	指令碼	位	址	word數	byte數	訊息									CRC16(2Byte)	

設備回應:

01H	10H	00H	00H	00H	09H	Checksum
ID	指令碼	位	址	word數	CRC16(2Byte)	

訊息順序

緊急等級 2byte
 發生區域 2byte
 電視牆群組 2byte
 CCTV 群組 2byte+2byte+2Byte +2byte
 備用 2 byte + 2byte

圖 6-42 設備通訊協定數據接口

IoT 產生數據分析 讓設備精準完成預防性維修 (J.J.McArthur,2018)。本研究提供數據接口，運用 PCP/IP 信息單元 (message unit)，將 LAN 上面的信息單元 frame，每一個 frame 都會被賦予一個位址碼和偵錯監測值 (checksum)，並將分別新增到 eq_value (設備數值表) 及 sensor value (監控數值表中) 資料表中，設定設備警戒上值與警戒下值，並依各設備配合設備類型建置分類危險等級。故設備訊息投入則自動反應事件與位置，並自動告知設備危害級數。實時監測數據，依設備分類成 1~5 級緊急事件分類，點選設備自動帶入訊息設備位置、設備訊息、設備規格與此空間相關設備。當緊急事件訊息投入，決策調度需掌握該空間可利用支援設備與危害因子。



圖 6-41 設定設備警戒上值與警戒下值

報警等級	一級	二級	三級	四級	五級	總計
已確認	0	0	2	0	0	2
未確認	0	0	2	0	0	2

報警級別	發生日期	發生時間	報警狀態	支線	路線	路線	設備類別	設備編號	報警描述
3	2018-06-01	09:53:06	1	台6-4線	3K-4K	03K800E	噴洗式風機	3KEFC08	停止
3	2018-06-01	20:35:32	1	台6-4線	3K-4K	03K800E	噴洗式風機	3KEFC07	停止

報警詳情: 3K-4K

此空間相關設	此空間明細	設備明細	設備規格																																																																																																																																																																																															
<p>設備清單</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設備編號</th> <th>設備名稱</th> <th>支線</th> <th>路線</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3k6p_0207</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0208</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0217</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0218</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0219</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0220</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0221</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0222</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0223</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0224</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0225</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0226</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0227</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0228</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0229</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> </tbody> </table>	設備編號	設備名稱	支線	路線	3k6p_0207	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0208	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0217	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0218	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0219	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0220	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0221	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0222	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0223	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0224	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0225	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0226	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0227	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0228	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0229	設備名稱	台6-4線	3K-4K	<p>設備明細</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設備編號</th> <th>設備名稱</th> <th>支線</th> <th>路線</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3k6p_0207</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0208</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0217</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0218</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0219</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0220</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0221</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0222</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0223</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0224</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0225</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0226</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0227</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0228</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0229</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> </tbody> </table>	設備編號	設備名稱	支線	路線	3k6p_0207	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0208	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0217	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0218	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0219	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0220	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0221	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0222	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0223	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0224	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0225	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0226	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0227	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0228	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0229	設備名稱	台6-4線	3K-4K	<p>設備規格</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設備編號</th> <th>設備名稱</th> <th>支線</th> <th>路線</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3k6p_0207</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0208</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0217</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0218</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0219</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0220</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0221</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0222</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0223</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0224</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0225</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0226</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0227</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0228</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> <tr><td>3k6p_0229</td><td>設備名稱</td><td>台6-4線</td><td>3K-4K</td></tr> </tbody> </table>	設備編號	設備名稱	支線	路線	3k6p_0207	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0208	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0217	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0218	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0219	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0220	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0221	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0222	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0223	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0224	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0225	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0226	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0227	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0228	設備名稱	台6-4線	3K-4K	3k6p_0229	設備名稱	台6-4線	3K-4K
設備編號	設備名稱	支線	路線																																																																																																																																																																																															
3k6p_0207	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0208	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0217	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0218	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0219	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0220	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0221	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0222	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0223	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0224	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0225	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0226	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0227	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0228	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0229	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
設備編號	設備名稱	支線	路線																																																																																																																																																																																															
3k6p_0207	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0208	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0217	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0218	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0219	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0220	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0221	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0222	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0223	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0224	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0225	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0226	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0227	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0228	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0229	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
設備編號	設備名稱	支線	路線																																																																																																																																																																																															
3k6p_0207	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0208	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0217	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0218	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0219	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0220	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0221	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0222	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0223	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0224	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0225	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0226	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0227	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0228	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															
3k6p_0229	設備名稱	台6-4線	3K-4K																																																																																																																																																																																															

圖 6-42 報警訊號管理模組系統畫面

6.9 派工管理模組

設施維護預算連接決標後詳細價目表精準預估廠商工作成本。運用 XML、Excel 格式導入系統，本研究 SLA (Service Level Agreement) 管理式流程運維前、運維中、運維後三個程序。於運維前可預估本次工作預算，列印經費執行控管表(子預算)並

估算送審，運維中廠商完成工作後，填入實際工作數量自動扣除多餘費用或不足費用、運維後產生工程施工分期檢查（申請）報表，檢核設施維護預算。



圖 6-43 派工管理模組系統流程

1. 新增標案

工程基本數據建置，提供派工管理基礎數據使用。得標廠商基本資料建置工程編號、工程名稱、會計科目、施工地點、開工日期、竣工日期、統一編號、契約金額。

工程名稱	項目及說明		單位	數量	單價	編碼(備註)
中和工務段106年度觀音山隧道委託管理及機電維護工程	項目及說明		單位	數量	單價	編碼(備註)
施工地點	新北市八里區					106BA006404B01
項次名稱	項目及說明		單位	數量	單價	編碼(備註)
壹	發包工作費					
一	隧道及機房值班、巡查及管理維護費					
1	機房值班費		月	12	225,858.0	01064000004,*
2	隧道及機房巡查費		月	12	12,614.0	01064000088,*
3	機房環境例行清潔		次	12	7,208.0	01064000012,每月一次,*
4	人行、車行聯絡道及凹槽例行清潔		次	4	9,010.0	01064000013,每季一次,*
5	緊急指派工作辦理		人時	10	190.0	01064000029,由甲方指示辦理

圖 6-44 工程會詳細價目表

工程編號	
工程編號*	106BA006404AB01
工程名稱	中和工務段106年度觀音山隧道委託管理及機電維護工程
會計科目	交安費-重要隧道通車後附屬設施維護費
施工地點	新北市八里區
供應商*	強坤實業
開工日期	2018/7/21
竣工日期	2018/7/31
技工	TEST06

圖 6-45 數據建置

2. 標案匯入管理

將標案工項費用匯入至 SQL2016，工單報修時成為預估維修工項費用。點選下載範例，依既定格式完成貼附存檔，選擇工程項目並將檔案匯入成為工作包單價。



圖 6-46 標案匯入管理流程

3. 維護標案管理

檢核工程詳細項目價目表，於分派工程時可添加至實施工單中，作為成本估算依據。

工程名稱	平野工程段108年度養護工程區段管理及機電維護工程	會計科目	預算編案 估計單訂號		
施工地點	新北九區區	工程編號	4881		
項主名稱	項 目 名 稱 單 位	數量	單 價	備註(單位)	
0	雜項工資費				
1	雜項工資費	元	12	28,800.0	201800000.0
2	雜項工資費	元	12	12,000.0	201800000.0
3	雜項工資費	元	12	1,200.0	201800000.0
4	人工、車行雜項工資費	元	4	4,800.0	201800000.0
5	緊急修理工資費	人時	10	100.0	201800000.0
6	雜項工資費特別費	元	4	12,000.0	201800000.0

圖 6-47 詳細價目表



圖 6-48 標案匯入管理畫面

4. 工單主控台

設備報修且依據公路總局維護管理流程與子預算配合送審制度建置系統，工務段給予相關技術人員與廠商分配工作，技術人員與廠商手機自動收到工單進行維護並回報。

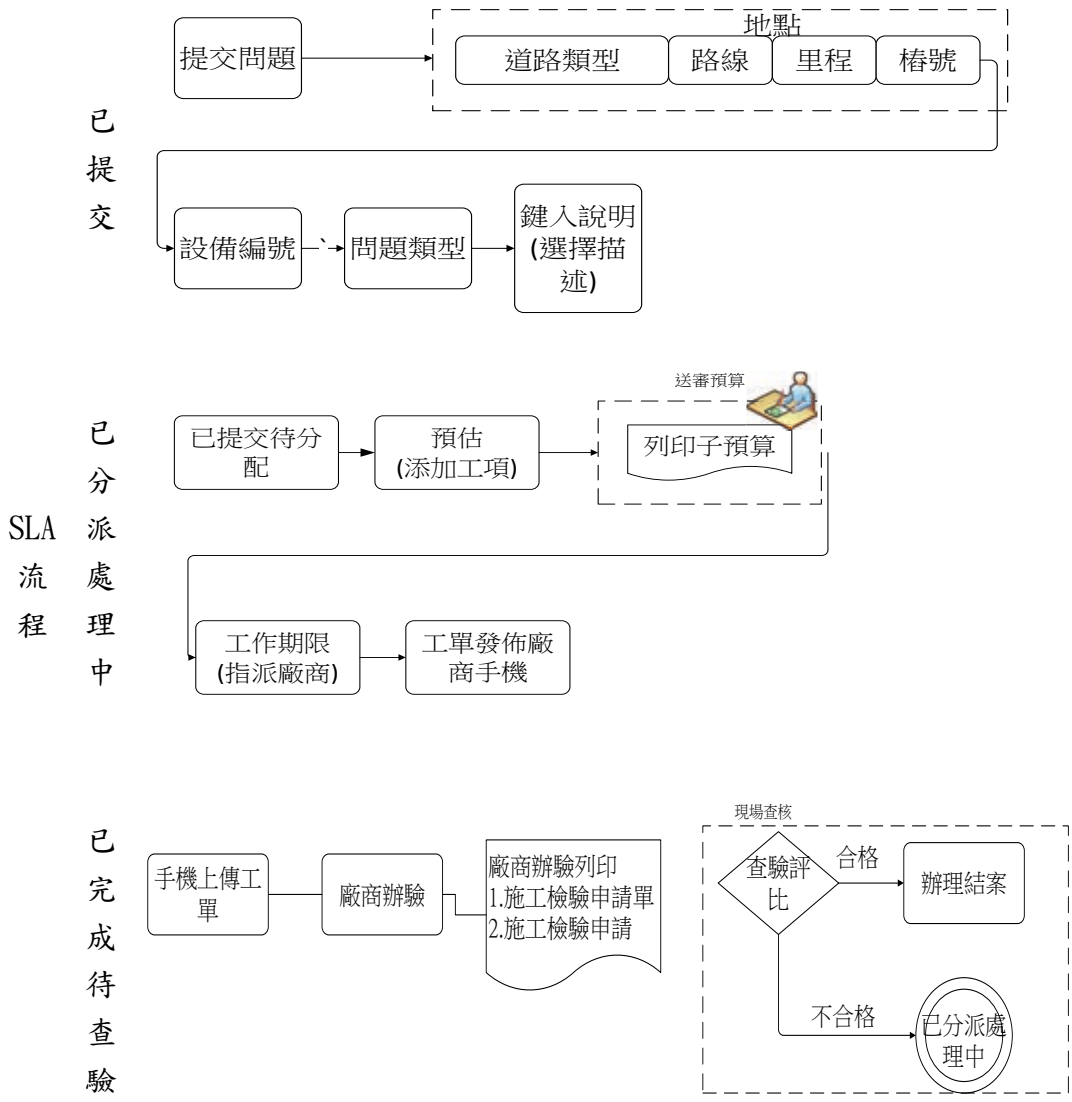


圖 6-49 工單主控台畫面

BIM
第二屏：圖像管理屏



圖 6-50 工單派工設備

IoT
第三屏：資訊管理屏



圖 6-51 工單系統畫面

- 工務段須預估需求/工作期限/指派確認

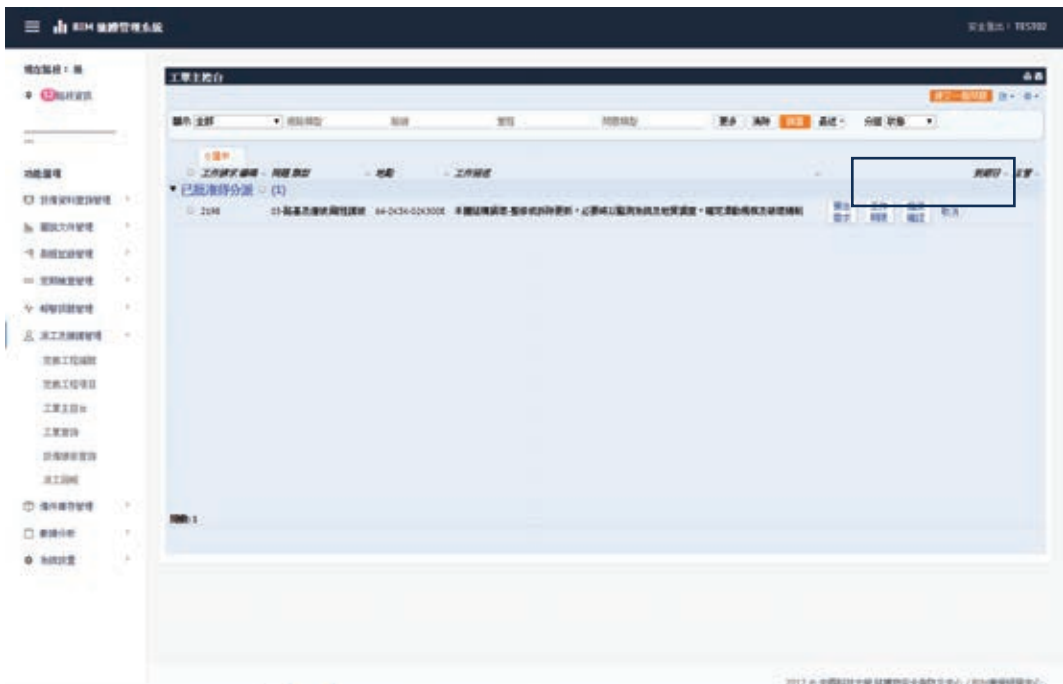


圖 6-52 預估需求/工作期限/指派確認

- 添加工程項目，列印子預算送審

▼ 預估需求								列印子預算	添加工程項目
工程代碼	項目及說明	數量	單位	金額	備註	工程編號	除程日期	施工地點	工程名稱
106BA006404AB01_00014	整珠式燈箱修護	1.000	處	\$1,000.00	1064000031	106BA006404AB01	2018/7/21	新北市八里區	中和工務段106年度觀音山隧道委託管理及機電維護工程
106BA006404AB01_00018	產誌, 租用標誌車(QMS)LED箭頭式(車身黃色, 重3500cc)以上, 含LED指示標誌警示燈...	11.000	輛/月	\$1,000.00	M102WTR0111	106BA006404AB01	2018/7/21	新北市八里區	中和工務段106年度觀音山隧道委託管理及機電維護工程
106BA006404AB01_00019	租用標誌車(QMS)(車身黃色, 重3500cc)以上, 含LED指示標誌警示燈、黃色排式警示燈、蜂...	1.000	輛/日	\$1,000.00	M01583113401ATYU	106BA006404AB01	2018/7/21	新北市八里區	中和工務段106年度觀音山隧道委託管理及機電維護工程
▼ 預估費用總計									
預估總成本: \$13,000.00									

圖 6-53 列印子預算

- 留下工單歷史紀錄備查

▼ 歷史紀錄				
回應用戶	日期	回應時間	狀態	備註
TEST01	2018/10/17	上午 10:22	已請求	
SYSTEM	2018/10/17	上午 10:22	已批准	
TEST01	2018/10/17	上午 10:23	處理中	
TEST01	2018/10/31	下午 12:10	請求	
SYSTEM	2018/10/31	下午 12:10	批准	
SYSTEM	2018/10/31	下午 12:10	指派到工單	
TEST01	2018/10/31	下午 12:11	發出並處理中	
KHAN	2018/10/31	下午 12:11	發出並處理中	
TEST01	2018/10/31	下午 12:11	發出並處理中	
TEST11	2018/10/31	下午 12:11	發出並處理中	
TEST01	2018/11/4	下午 11:05	已完成	
TEST06	2018/11/4	下午 11:07	完成	
TEST02	2018/11/4	下午 11:08	完成	判斷不合格 原因 退回
TEST06	2018/11/5	下午 12:06	完成	
TEST02	2018/11/5	下午 12:08	完成	
TEST01	2018/11/5	下午 12:10	關閉	
TEST01	2018/11/29	下午 2:22	已關閉	

圖 6-54 工單歷史紀錄

5. 工單查詢

維修文件回報，成為維修紀錄之統計與績效分析資訊紀錄，以協助工務段掌握資源、有效調度人員，提升承包廠商服務品質，統計各設備問題類型，整個設備檢查履歷，於未來設備提供弱點分析。

單號	申請人	受理人	請求類型	問題描述	狀態	申請日期
9	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	04-隧道射擊設備	已關閉	2018/02/13
10	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	04-隧道射擊設備	已停止	2018/02/15
11	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	09-交通工程設施/道路開闢設施	已關閉	2018/02/17
12	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	09-交通設施/車道管理設施	已關閉	2018/02/21
14	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	04-隧道射擊設備	已關閉	2018/11/5
15	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	04-隧道射擊設備	已關閉	2018/11/6
16	TEST04	TEST04	SERVICE DESK - MAINTENANCE	09-交通設施/車道管理設施	已關閉	2018/11/6
18	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	04-隧道射擊設備	已關閉	2018/11/6
20	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	04-隧道射擊設備	已關閉	2018/11/7
22	TEST01	TEST01	SERVICE DESK - MAINTENANCE	09-交通設施/道路開闢設施	已關閉	2018/11/23

圖 6-55 工單查詢

- 各設備曾經維修的時間與原因，從異常的紀錄中了解設備最常損壞的問題原因與曾經維修時間

設備	數量	狀態	優先級	請求類型	申請日期	
SKMALTORN001	1	0	0	0	20	High
SKMALTORN002	4	0	0	0	20	High
SKMALTORN003	3	0	0	0	20	High
SKMALTORN004	1	0	0	0	20	High
SKMALTORN005	1	0	0	0	20	High
SKMALTORN006	2	0	0	0	20	High

工作單號	申請日期	請求類型	狀態	優先級	申請人	申請日期
11	2018/11/8	04-隧道射擊設備	已關閉	High	TEST01	2018/11/8
13	2018/11/9	04-隧道射擊設備	已關閉	High	TEST01	2018/11/9
15	2018/11/9	04-隧道射擊設備	已關閉	High	TEST01	2018/11/9
17	2018/11/9	04-隧道射擊設備	已關閉	High	TEST01	2018/11/9
19	2018/11/9	04-隧道射擊設備	已關閉	High	TEST01	2018/11/9

圖 6-56 工單查詢子畫面-設備故障分析

6.10 數據分析

運用視覺化報表分析設備。從收集數據、分析數據，對設備整個生命週期提供可靠度分析。

1. 過期的工作請求

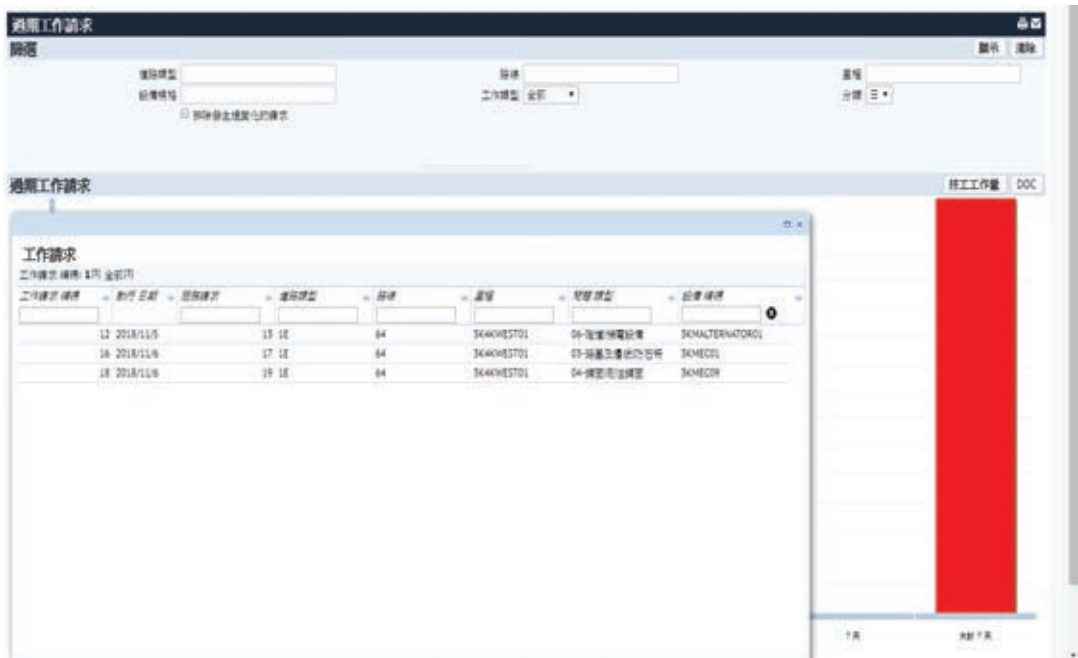


圖 6-57 過期的工作單統計

2. 設備故障分析

左邊為各設備故障統計，右下圖為維修紀錄與該設備維修費用統計。



圖 6-58 設備故障分析

柒、結論與建議

傳統的維護管理系統缺乏實用的可視化功能和互控實時監控數據，本文介紹了基於 BIM 和 3D GIS 的維護管理系統可視化管理，3D GIS 提供大區域整合拓撲和周圍環境信息，監控數據更連接 BIM 相關位置與屬性，並提供 3D 具體圖像化及全生命週期管理資訊的 BIM 技術為核心；納入物聯網（IOT）的即時量測技術，以獲得各種構造物的操作與維運等即時管理資訊；再採地理資訊系統（GIS）的概念及網路平台的資通訊技術將前述各領域技術的優點進行整合，研究開發『台 64 線快速道路及觀音山隧道 BIM 維護管理系統』。

建議推動全國智慧公路由設計->施工->運維管理,採全生命週期各階段導入計畫。BIM 建設是一個長期系統化的導入工作，智慧公路基礎建設應該採統籌規劃實施。

主要經驗與教訓：

1. 本研究可將平台作為開放式數據接口，提供規範編碼，落實技術資料庫標準化，俾方便BIM個別發包工程依循既定標準實施之共通性屬性建置，以達到「共同平台，分散維護」。
2. 定義頂層管理架構：推動智慧公路3D GIS+BIM+FM（公路設施管理）+IoT設備物聯網..等頂層管理架構，需定義基於BIM公路應用與實施標準規範，於全過程工程到運維管理皆整合於平台中管理及應用。
3. 必要釐清那些數據會主導FM的數據決策。因為設備管理擁有過度大量精確數據來讓他們制定決策。本案實施過程中，審查委員建議防眩板每一個都要建置成設備單元，個別擁有設備ID，工務段指出發包採公里數（例如：1.2KM~2.3KM 防眩板發包），而此差異在於資料量的海量數據搜尋與管理，對未來無法掌握精準FM數據決策。
4. 定義BIM用模數據：教育團體成員有關BIM知識，包括它是什麼，它有那些好處是重要，因為儘管很多業界人士都聽過BIM，卻很少人能定義它，而本次歷經近二年來回多次工作小組會議已明確定義規範編碼。

參考文獻

1. J.J.Mc Arthura Nima Shahbazib Ricky Fokb Christopher Raghubara Brandon Bortoluzzia Aijun Anb (2018) “Machine learning and BIM visualization for maintenance issue classification and enhanced data collection” Advanced Engineering Informatics 38,101–112.
2. Zhiliang Ma, Yuan Ren (2017) “Integrated Application of BIM and GIS: An Overview” Creative Construction Conference, CCC, 19-22 June, Primosten, Croatia.

3. Umit Isikdag, Jason Underwood, Ghassan Aouad(2017)“An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes”.
4. Muzafar Ahmad Bhat, Razeef Mohd Shah, Bashir Ahmad(2011) “Cloud Computing: A solution to Geographical Information Systems (GIS)” International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering 3(2)• February,1,341 Reads.
5. Yongze Song ,Xiangyu Wang ,Yi Tan,Peng Wu, Monty Sutrisna ,Jack C. P. Cheng and Keith Hampson (2017) “Trends and Opportunities of BIM-GIS Integration in the Architecture, Engineering and Construction Industry: A Review from a Spatio-Temporal Statistical Perspective” ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2017, 6(12), 397; <https://doi.org/10.3390/ijgi6120397>.
6. Ozgur Gocer, Ying Hua, Kenan Gocer (2015) “Completing the missing link in building design process: Enhancing postoccupancy evaluation method for effective feedback for building performance” Building and Environment S0360-1323(15)00068-2.
7. Javier Irizarry, Ebrahim P. Karan, Farzad Jalaei a School (2013) “Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management” Automation in Construction 31, 241–254 Contents lists available at Sci Verse Science Direct.
8. Ozgur Gocer, Ying Hua, Kenan Gocer (2016) “A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping” Building Simulation ,October, Volume 9, Issue 5, pp 513–527| Cite as.
9. Emad Elbeltagi, Mahmoud Dawood, (2011) “Integrated visualized time control system for repetitive construction projects” Automation in Construction 20(2011)940–953
10. Sjors Donkers, Hugo Ledoux, Junqiao Zhao, Jantien Stoter (2015) “Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings” Transactions in GIS, 2015, 00(00): 00–00.
11. Tae Wook Kang, Chang Hee Hong (2015) A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration “Automation in Construction 54 , 25–38.
12. Richelle Fosu, Kamal Suprabhas, Zenith Rathore, Zenith Rathore (2015) “Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS) – a literature review and future needs.
13. Jayavardhana Gubbia, Rajkumar Buyyab, Slaven Marusic a, Marimuthu Palaniswami a “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions” Future Generation Computer Systems 29 (2013) 1645–1660.

14. I.F.Akyildiz,W.Su,Y.Sankarasubramaniam,E.Cayirci (2002) “Wireless sensor networks: a survey” *Computer Networks* Volume 38, Issue 4, 15 March 2002, Pages 393-422.
15. Jun Wang, Lei Hou,Heap-Yih Chong, Xin Liu Xiangyu Wang, Jun Guo (2014) a high-rise building case study, cooperative design, visualization, *International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering, Cooperative Design, Visualization, and Engineering* pp 143-150.
16. Özgür Göçer, Assistant Professor, Ying Hua, Assistant Professor,Kenan Göçer, Assistant Professor (2015) “Completing the missing link in building design process Enhancing postoccupancy evaluation method for effective feedback for building performance” *Building and Environment* Volume 89, July, Pages 14-27.
17. Yifan Yang, S. Thomas Ng, Frank J. Xu, Martin,Skitmore (2018) “Towards Sustainable and Resilient High Density Cities through Better Integration of Infrastructure Networks” *Sustainable Cities and Society*Volume 42, October 2018, Pages 407-422.
18. Yongze Song,Xiangyu Wang ,Yi Tan ,Peng Wu, Monty Sutrisna ,Jack C. P. Cheng 3 and Keith Hampson (2017) “Trends and Opportunities of BIM-GIS Integration in the Architecture, Engineering and Construction Industry: A Review from a Spatio-Temporal Statistical Perspective” *ISPRS Int. J. Geo-Inf* , 6(12), 397.
19. Rebekka Volk ,Frank Schultmann , Julian Stengel (2014) “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs “*Autom. Constr.* 38 March ,109–127 .
20. Weihong Zhou, Haiyang Qin, Junling Qiu, Haobo Fan, Jinxing Lai, Ke Wang, Lixin Wang (2017) “Building information modelling review with potential applications in tunnel engineering of China” *R Soc Open Sci.* Aug 2; 4 (8): 170174. doi: 10.1098/rsos.170174.
21. Xin Liu, Xiangyu Wang, Graeme Wright, Jack C. P. Cheng (2017) “A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System(GIS)” *International Journal of Geo-Information* 6(2):53.
22. Magdalena Stelzer Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Dr. Nedim Radoncic ,Pedro Luis Iserte Llacer Architekt ,Ali Tatar ,Dr. Mats Holmberg (2018) “BIM processes and workflows using the example of the subway extension in Stockholm” *Geomechanics and Tunnelling*, Volume11, Issue4, August, Pages 340-347.
23. L.Y. Ding, C. Zhou, Q.X. Deng, H.B. Luo, X.W. Ye, Y.Q. Ni, P. Guo (2013) “Real-time safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things” Contents lists available at ScienceDirect,*Automation in Construction* 36,25–37.

24. Christian Kocha, Andre Vonthronb, Markus Königb (2017) “A tunnel information modelling framework to support management, simulations and visualisations in mechanised tunnelling projects” Contents lists available at ScienceDirect Automation in Construction 83(2017)78–90.
25. A. Borrmann, T.H. Kolbe, A. Donaubauer, H. Steuer, J.R. Jubierre & M. Flurl(2015)”Multi-Scale Geometric-Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications” COMPUTER-AIDED CIVIL AND INFRASTRUCTURE ENGINEER, Volume30, Issue4, April.
26. Aaron Costina, Alireza Adibfara, Hanjin Hub, Stuart S. Chenc (2018) “Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations” Contents lists available at ScienceDirect Automation in Construction 94 ,257–281.
27. Duanshun Li, Ming Lu (2018) ”Integrating geometric models, site images and GIS based on Google Earth and Keyhole Markup Language” Contents lists available at ScienceDirect Automation in Construction 89,317–331
28. Kullolli, I., 2008. “Selecting a computerized maintenance management system. “Biomed. Instrum. Technol. 42, 276–278.
29. Alex Bradley, Haijiang Li, Robert Lark, Simon Dunn (2016) “BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective” Contents lists available at ScienceDirect Automation in Construction 71, 139–15230. 謝尚賢，張引玉（2018）“BIM與GIS 整合應用 回顧與展望” 營建知訊 425 期2018/06。
31. 鄭立甯，羅春燕，王建（2017）“綜合管廊智慧化運維管理技術綜述” 地下空間與工程學報。

註釋

-
- i 隧道機電建模係依據觀音山隧道竣工圖資及現場調查建置，因未於設計階段即導入 BIM，故無法回溯管線隱蔽部分之走向，因此僅完成外露部分。
 - ii 另隧道監控目前僅有CCTV與裂縫監測模組之資訊可公開介接，故本案目前僅有此二監測模組納入BIM管理系統中。

臺灣公路工程月刊徵稿簡則

- 一、本刊為交通部公路總局工程同仁業餘進修刊物，歡迎本局同仁及國內外有關公路之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之研究論著均接受投稿；論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全部或部份或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。凡由本刊主動邀稿者，不受上述限制。
- 二、本刊為一綜合性公路工程刊物，下列各類稿件均表歡迎：
 1. 論著：以公路工程之理論著述，創作發明，具有學術價值者為主。
 2. 專題研究：以實際經驗及創見，促進技術之改進者為主。
 3. 譯述：以譯述國外書刊雜誌或工程報導，具有參考或實用價值者為主，長稿予以節譯，如涉及著作權問題，由譯者自行負法律責任。
 4. 實務報導：以報導工程設計、施工、試驗之實際經驗為主。
 5. 法令釋義：以介紹或解釋公路交通法規為主。
 6. 新書介紹：以介紹國內外有關公路工程交通新書為主。
 7. 工程文摘：以介紹國內外有關公路交通工程新知識為主。
 8. 讀者通訊：以反應或解答有關公路交通工程問題為主。
 9. 工程報導：以報導國內公路交通工程動態為主。
 10. 業餘隨筆：以有關工程方面之輕鬆雋永之散文記述為主。
- 三、為便於一次刊出，來稿以一萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身份證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 四、文稿中需註釋處，請標明上標不加括號序碼，按順序往下連續編號，再於文後條列說明。文稿中之數學式，函數請使用正體字、變數請使用斜體字。圖及表中之中文字請使用新細明體，英文字請使用 Times New Roman 字體，圖原則上不加框、繪圖物件以群組處理，表之框線均採細線。參考文獻請按出現序排列，文中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻資料必須完整無缺，請依序書寫作者姓名、論文篇名、期刊（圖書）題名、卷期、出版社、出版日期、起迄頁碼。
- 五、來稿照片、圖片解析度需清楚（或附寄原版），凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 2010（含以上）版本之電子檔。
- 六、本刊編輯委員對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權，來稿一經發表，依本社規定致稿酬，版權歸本刊所有，其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本刊同意，並註明出處。
- 七、來稿如欲退還稿件請附足郵資。
- 八、投稿請寄臺北市萬華區東園街 65 號 8 樓臺灣公路工程月刊社收。

臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 108 年 5 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：先施印通股份有限公司

地 址：10491 臺北市中山區八德路二段 180 號

電 話：(02)8772-5566

中華民國 108 年 5 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123轉8008)

半年新臺幣 150元
一年新臺幣 300元
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)
帳號(共14碼)：1 1 2 9 7 1 0 9 0 9 5 0 1 9
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN200410003

定價新臺幣30元