



工區安全智慧化管理 —

打造石門水庫 阿姆坪防淤隧道

智慧管理應用平台

陳肇成／經濟部水利署 總工程師

王銘源／天思數位科技股份有限公司 專案經理

王貞文／準線智慧科技股份有限公司 專案經理

石門水庫自民國 53 年營運迄今已逾 50 年，歷經多場颱風挾帶大量土砂進入水庫，造成水庫容量淤積近三分之一，為維持水庫庫容，行政院已於 103 年 9 月 1 日核定阿姆坪防淤隧道工程，並於 107 年至 110 年辦理工程施工。現場施工為達安全管理標準，皆須依據相關法令或行政規則辦理相關作業，諸如：經濟部水利署施工規範、工程契約書、營造業安全衛生自主管理作業手冊及營造安全衛生設施標準等，但隧道為封閉且動態性之作業環境，營建安全衛生狀況難以即時掌握，為有效降低職災意外發生，首創運用監控設備、資通訊科技等物聯網技術，於隧道施工過程中即時監控及自動判釋分析，以保障勞工作業之安全。

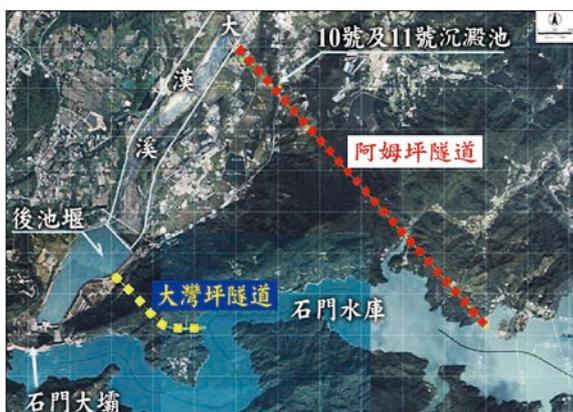


圖 1 石門水庫防淤隧道工程計畫平面位置圖

建立石門水庫阿姆坪防淤隧道智慧管理應用平台

為預防職業災害發生，除由法規面進行安全管理，

本案並導入科技化方式解決工地現場常出現問題，包含：

- 隧道為封閉且動態性之作業環境，作業環境較為惡劣，在大量人員進出的情況下，難以即時且有效率的掌控人員工作安全與生理健康狀態。
- 大型工程車輛進出頻繁且複雜，難以有效管控合法車輛、機具進出工區。

在了解上述常見問題後，則建立一套創新工區智慧化安全管理機制（如圖 2），提供車輛、機具與工作人員進入工區前後期間，可透過攝影機、人員生理檢測裝置及配置於安全帽內的微型感測器，以網路傳輸方式進行資訊整合與雲端管理，透過事件回傳與程式自動化邏輯判斷，以行動化監控技術，有效提供工區作業人員與機具安全資訊管理作業。



圖 2 工區人員與機具智慧化安全管理機制

工區物聯網系統運作架構

物聯網架構可分成 3 層，由底層至上層分別為感測層、網路層與應用層，這 3 層各司其職，同時又環環相扣，感測層用來識別、感測與控制末端物體的各種狀態，透過感測網路將資訊蒐集並傳遞至網路層，網路層則是為了將感測資訊傳遞至應用層的應用系統，應用層則是結合各種資料分析技術，以及資訊系統整合，來滿足業務需求，整體運作架構可詳如圖 3。

以圖 3 的人員定位偵測為例，本案係以微型感測器 Sensor Tag，以藍牙標準傳遞 rssi 訊號，再透過資料轉發閘道器 (Gateway) 接收訊號，利用 Wi-Fi 以點對點方式將資料傳回雲端伺服器進行訊號過濾、解譯及演算，並將數據資訊以視覺化方式即時呈現於系統控管平台中，達到 PaaS (平台即服務, platform as a service)，管理者可即時掌握施工人員安全、施工機具管理及事件歷史紀錄等。此物聯網架構不僅能達到

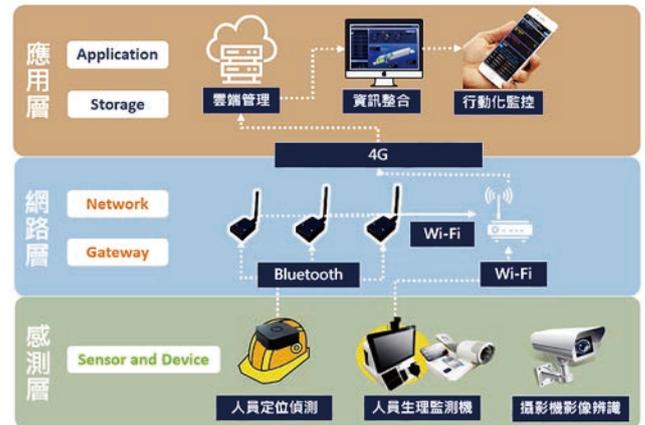


圖 3 工區安全管理物聯網 (IoT) 運作架構

資料即時感測與顯示，並能藉由 IFTTT (If this then that) 事件設定達到即時回饋，可以較低成本且無死角的方式達到遠端監控效益。

工區物聯網佈設架構

物聯網 (Internet of Things, IoT) 運作機制如同神經網路，末梢神經自動感測訊息後，會將訊息從神經網路分支匯流至主要幹道，再傳遞至人腦，進一步做出反應與決策，物聯網主要為各種電子設備串聯，阿姆坪隧道長 4.2 公里，目前於隧道內每 20 公尺放置一個 BLE-WIFI 閘道器，用以接收來往工作人員所配戴安全帽內之微型感測器所傳遞的訊號，「BLE-WIFI 閘道器」所接收到的訊號，則透過每 500 公尺所佈設的「MESH WIFI 雙向 AP」以點對點的方式以 Wi-Fi 進行傳輸，訊號傳輸至隧道出入口的行動通訊路由器後，將由 4G 網路傳



圖 4 工區安全管理物聯網 (IoT) 環境佈設架構



佈設於隧道的 MESH WIFI 雙向 AP



佈設於隧道口的行動通訊路由器



佈設於隧道內的 BLE-WIFI 資料轉發閘道器

圖 5 工區物聯網相關感測儀器

回至雲端伺服器，以進行雲端資料管理，有關工區安全管理物聯網（IoT）環境架構可詳如圖 4，此外，本案亦於隧道出入口旁架設智慧型酒測及血壓機，並同步整合至人員資訊中，以發揮人員安全管理的最大效益。

隧道工作人員生理監測

在本案所建立的工區物聯網架構下，目前已建議工程人員出勤前，皆須透過自行研發的「智慧型酒測及血

壓機」進行酒精濃度及血壓、脈搏量測，同時以人臉辨識技術識別人員身份，以確實掌握工作人員精神、身體狀態，降低意外事故風險，生理監測畫面可詳如圖 6，在監測過後，若有異常，例如：血壓值過高或過低，或有酒精反應，即會由資訊系統發送警戒通知管理人員該作業人員生理狀況（如圖 7），此外，本資訊管理系統並提供生監控趨勢統計功能，協助現場作業人員有效掌握長期生理健康趨勢變化，可詳如圖 8 所示。



圖 6 隧道工作人員生理監測程序



圖 7 生理監測值異常發出通知

隧道內人員追蹤監控

為判釋人員相對位置，整體硬體設備包含藍牙微型感測器 (Tag) 與資料轉發閘道器 (Gateway)，藍牙微型感測器 (Tag) 帶有硬體唯一識別碼，以供辨識人員使用，在進入隧道施工期間，人員所佩戴的安全帽已整合微型感測器 (如圖 9)，作業期間將不間斷的透過藍牙定位技術傳輸傳輸至 HTTP 伺服器與 MQTT 伺服器，用以解析隧道內人員位置 (如圖 10)，當工作人員生理狀況異常，並可於監控平台顯示異常訊息，通知工區管理人員進一步進行安全防護處理。



圖 8 人員生理監測趨勢分析功能



圖 9 藍牙微型感測器與安全帽進行整合



圖 10 隧道內人員追蹤監控

此外，「石門水庫阿姆坪防淤隧道智慧管理應用平台」採跨平臺開發技術，不論桌上型電腦及手機皆可以最佳的視覺化方式呈現即時資訊。平台展示以人員安全為管理主軸，涵蓋作業人員進出隧道時間、隧道內各工班資訊、人員分布點位及人員生理監測資訊等，以地圖視覺化及表格列表方式進行展示，利於工程管理人員及決策者掌握工區情資，如圖 11 至圖 13。

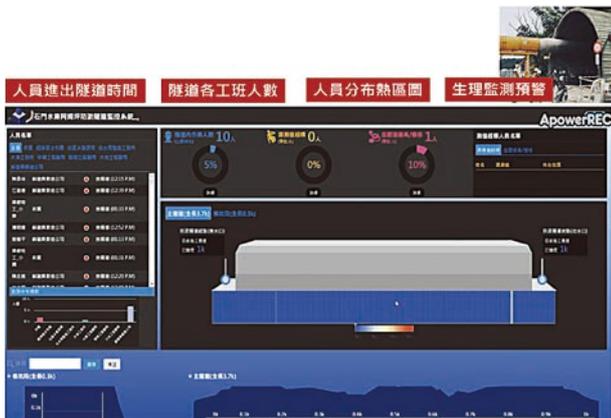


圖 11 隧道安全監控資料視覺化面板 (1/2)

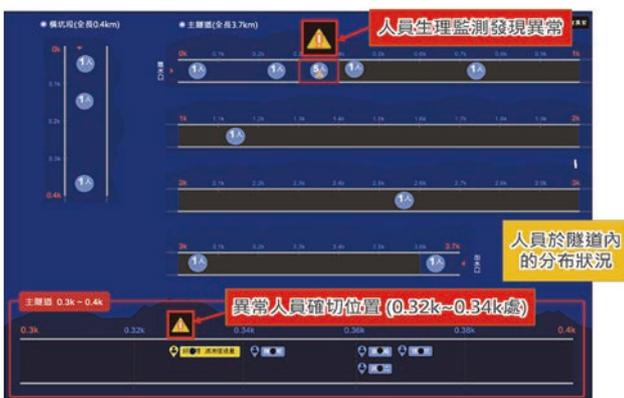


圖 12 隧道安全監控資料視覺化面板 (2/2)



圖 13 以手機監控隧道內人員狀況

工區車輛機具管制

在阿姆坪防淤隧道工區車輛進出管理上，目前於工區主要出入口設置自動化閘道與攝影機，透過影像辨識技術智能化管理黑、白名單車輛，以確保工區出入安全，如圖 14。

結論

為有效降低職災意外發生，本案成功導入智慧科技管理技術進行石門水庫阿姆坪防淤工程安全人員管控，用以降低第一線同仁及工區巡防負擔，目前施工人員進入隧道前皆須至健檢站進行酒測及血壓量測，相關生理資訊可即時紀錄於雲端資料庫，提供管理人員有效掌控全區人員身體健康狀況，施工人員所配戴的安全帽皆已裝戴微型感測器，進入隧道時，已可透過隧道內的物聯網感應器（BLE-WIFI 資料轉發閘道器），自動偵測所在人員位置與身份，包含：生理狀況是否有異常、作業人員是否有安全進出隧道、作業主管是否有在場監督等，提供危害告警、事後通報等機制，大幅降低不符工安規定之情況，期望藉由高科技進行智慧化監控，達到安全第一、預防為主的目標。

隨著資訊科技的進步，建議未來工區物聯網可進一步發展包含：

1. 重型機具安全範圍管理：施工時場域內勢必包含多種具高危險性之施工機具，然相關作業人員亦同時於場域執行任務，此時，若施工人員與高危險性施工機具無保持安全距離，則可能發生機具與人員碰撞等意外，因此，亦可於重型機具裝載 Sensor Tag，並自動劃設危險範圍，透過自動偵測與施工人員之間的安全距離，搭配燈光、聲響等告警裝置，提醒施工人員遠離正在施作之大型機具。
2. 整合自然環境資訊，以減低並迴避自然環境危害對施工人員的風險：為保障工地施工人員安全，後續並可整合自然環境資訊（如雨量、水位、氣溫、空氣品質），當超過水位、雨量、氣溫、空氣品質警戒值，可適時發出警告（如：燈光、聲響等）以提供現場施工人員注意。



圖 14 工區車輛機具管制

3. 透過工區物聯網技術安全管理升級為防災資源分配：未來若可全面落實工區物聯網，在各工區及各機具皆已掛載微型感測器情形下，於汛期災害期間，主管機關即可掌握區域範圍內各工區可用於救災的人力、物力資源的分佈情形，可有效進行災害資源調配利用。

參考文獻

1. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，營造施工安全風險管理資訊系統之建立－動態安全監控模組之研發（2007）。
2. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，營造施工安全動態風險管理資訊系統測試評估（2009）。
3. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，智慧型施工安全檢查即時資訊系統之開發研究（2013）。

07/24 2020 建築物耐震初評、弱層檢核系列講習會



蔡益超教授及宋裕祺教授及研究室團隊繼 PSERCB 系統後接續開發「PSERCB 弱層檢核」程式。可逐層檢查建築物各樓層是否具有弱層現象。本講習會除詳細介紹理論背景、弱層之階段性補強、系統操作說明、及建築物結構性能審查要點，並輔以案例說明與探討。7/24 北部場後，中南部紛紛請求南下，後續接辦中部場及南部場，報名均打破歷次人數紀錄，可見市場需求甚殷。



蔡益超教授 宋裕祺理事長 林洋志碩士
技術與時俱進 人才傳承不斷

08/05 第 24 屆營建工程與管理學術研討會



開幕典禮合照

本研討會由台科大、本學會聯合於台科大舉辦。共 208 位報名。邀請台灣世曦李順敏總經理、工程會林傑主任秘書專題演講。研討會有 152 篇論文，分 16 場次發表，盛況空前，內容精采，廣獲好評。