明德水庫智慧安全預警平台之建置

The Mingde Reservoir Intelligent Safety Early Warning Platform

農田水利署苗栗管理處
處長
陳建國
Chien-Kuo Chen

農田水利署苗栗管理處
管理組組長
李坤穎
Kun-Ying Lee

農田水利署苗栗管理處
明德水庫工作站站長
蔡晉全
Jinn-Chyuan Tsay

禾騰技術有限公司
執行長
黃建霖
Chien-Lin Huang

興創知能股份有限公司
事業二部部長
紀柏全
Po-Chian Chi

摘　要

明德水庫肩負灌溉、民生及工業供水等任務，大壩安全攸關下游民眾生命及財產，且供水穩定亦直接影響苗栗地區生活品質與經濟維持。為充分掌握水庫大壩安全與水情狀況，作為緊急應變與供水調度作為之決策，故有建置一站式情資整合智慧安全預警平台之必要。本平台以 RWD 響應式設計為基礎，整體架構除了資料倉儲與即時情資展示，亦包含告警推播 LINE 機器人建置、枯旱預警決策支援模組及防洪預警操作支援模組等。

其中，LINE 機器人之建置為水庫告警訊息推播之方式，其整合農田水利署細胞廣播簡訊等多種警戒通報，提供水庫放水、豪大雨特報與地震震度等警戒訊息。藉主動警戒推播，協助管理者即時掌握水庫安全與未來雨情。並且，在外業巡查作業時，亦可藉手機定位與 LINE 機器人，即時獲得周圍之雨量、水位、壩體與溢洪道監測資訊。

而枯旱預警決策支援模組則彙整水庫近年水情、灌溉操作與枯旱預警指標 SPI 等，先行建立枯旱預警供水原則。該模組包含預警儀表板與決策支援頁面，儀表板提供水庫上游降雨入流、現況未來 SPI、各標的用水及明德水庫、大潭調整池之蓄水等即時資訊；當水情不佳時，管理者進入決策支援頁面，進行供灌範圍調整、加強灌溉管理措施及未來入流情境等選項設定，並參考不同供需水情境模擬之成果，進行供水調度之決策。

最後，著眼人工智慧對管理業務效能之提升，平台創先導入 AI 影像辨識技術，建立溢洪道裂縫尺記讀模組，巡查人員只需拍照並透過 LINE 機器人上傳，即可自動記讀裂縫尺數據，同時提高記讀精度與節省時間。平台亦導入大型語言模型(LLM)，建立自然語言處理與複雜邏輯問答功能，達成系統化、智能化之水庫維護知識管理，邁向永續水庫經營。

關鍵詞：明德水庫，安全預警平台，人工智慧，枯旱預警

Abstract

The Mingde Reservoir is responsible for irrigation, domestic, and industrial water supply in the Miaoli area; its dam safety is crucial not only for the downstream residents, but also for the water supply stability. Therefore, it is necessary to establish a one-stop intelligent safety early warning platform. The overall architecture of this platform includes modules for data warehousing and real-time display, LINE bot alert notifications, drought early warning decision support, and flood early warning operation support. Moreover, it was developed based on the Responsive Web Design (RWD), making it adaptable to various devices.

The establishment of LINE bot integrated various alert notifications from the CWA, WRA and Irrigation Agency' Cell Broadcast Messages. And, it provided alerts for reservoir releases, heavy rain and earthquake intensity warnings. Through proactive alert notifications, users would grasp reservoir safety and future rainfall conditions in real-time. Additionally, while field inspections, users would use the LINE bot to immediately obtain rainfall, water level, dam and spillway monitoring information around the users' location.

The drought early warning decision module compiled the past water conditions, experience of irrigation operations, and the drought indicator SPI, to established principles for drought early warning and water allocation. A drought early warning dashboard would provide real-time information for drought monitoring. While the water condition from dashboard came poor, decision-makers might enter the decision support pages to set options such as irrigation district adjustment, enhanced irrigation management measures, and inflow projection scenarios. The module would refer to the simulation results under different inflow and demand scenarios, to help water supply allocation decisions.

Besides, this platform introduces Artificial Intelligence (AI) to improve the efficiency and reading accuracy for field inspection. An AI image recognition technology was applied to spillway crack gauge reading. Users would simply take a photo on the crack gauge, and the LINE bot will automatically recognize and record data. Additionally, the platform incorporates the Large Language Models (LLM) to establish natural language processing and complex logic question and answer functions, achieving systematic and intelligent reservoir maintenance knowledge management and progress towards sustainable reservoir management.

Keywords: Mingde Reservoir，safety early warning platform，artificial intelligence，drought early warning

一、 前言

明德水庫肩負苗栗地區灌溉、民生與工業供水，並提供觀光功能之任務，水庫壩址建於苗栗縣頭屋鄉明德村，於民國 59 年 6 月竣工，營運迄今已 50 餘年。明德水庫大壩安全與否不僅攸關下游民眾生命及財產，其供水之穩定亦直接影響苗栗地區生活品質與經濟維持，故維護大壩及其附屬設施之安全穩定、預測水情趨勢滿足供水需求、減少水庫淤積延長水庫壽命、防制水庫水質污染等，均為農田水利署苗栗管理處業務推動之重點工作。

為增進明德水庫維護管理效益，建置明德水庫智慧安全預警平台，使水庫維護管理制度與監控措施智慧化得以提升與精進，實有必要。明德水庫智慧安全預警平台透過盤點既有維護管理資料建構資料庫，介接監測資訊提供視覺化分析總覽儀表等方式，建置即時情資展示模組，整體架構如圖 1 所示，提供維護管理業務、水情全面掌握之一站式情資整合平台。

除一站式情資整合服務外，考量近年氣候變遷極端氣候下枯旱發生頻繁，平台亦彙整水庫過往之營運資訊，建置明德水庫枯旱預警之獨立模組，在既有維管制度下，協助水庫管理者進行供水調度等應變作為之決策。

最後，以平台倉儲資料為基礎，建立行動端使用介面 LINE 機器人供業務相關人員使用，相關人員可利用 LINE 機器人即時獲取水庫相關資訊，配合告警訊息推播使資訊公開，完善水庫整體智慧管理及安全營運。並著眼人工智慧對於明德水庫管理業務效能之提升，平台也創先導入 AI 協助相關管理業務，包含應用 AI 影像辨識技術建立溢洪道裂縫尺記讀模組，與智慧語音辨識訊息自動報表填報，減輕巡查人員填寫報表之負擔。

以下將首先闡述明德水庫智慧安全預警平台中，系統運作基礎環境與數位管理資料倉儲，再依序說明即時情資展示模組、枯旱預警決策支援模組及 LINE 機器人建置之內容。

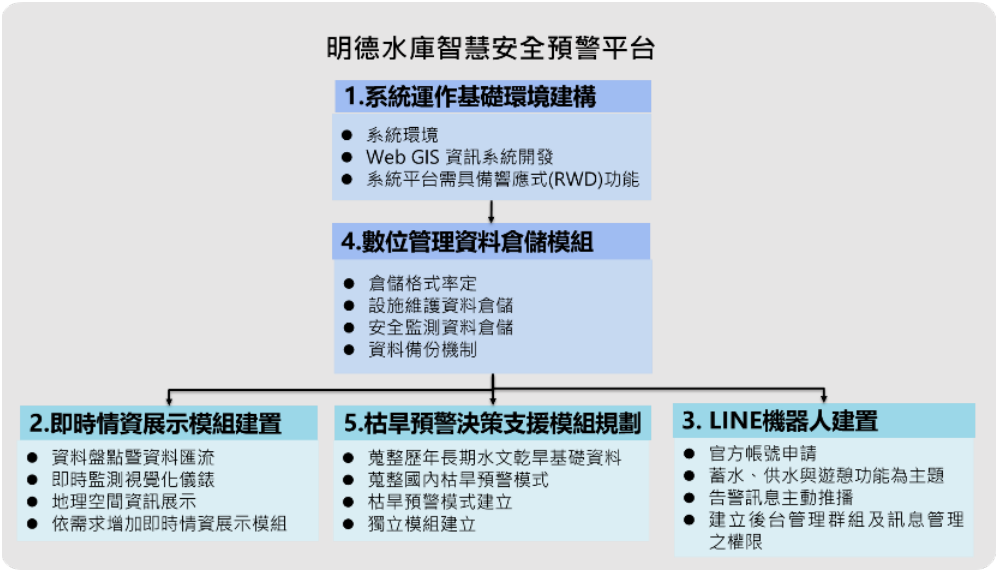


圖 1　智慧安全預警平台整體工作流程

二、 系統運作基礎環境與數位資料管理

明德水庫智慧安全預警平台將從前端設備管理、設備傳輸、地圖資訊、資料查詢以及資料介接提供完整資訊系統服務，以利後續開發能符合國際標準並能與農水署所有系統無縫串接，達到具有即時性並傳輸安全之目的。

2.1 系統運作基礎環境

整體系統開發架構採用前後端分離模式，以讓前後端程式更能具備高內聚與低耦合的特性，其技術架構呈現如圖 2 所示。

圖 2　智慧安全預警平台技術架構圖

由於本平台功能應用牽涉於即時資料之串接與展示，在需儲存大量 GIS 資料情況下，SQL 資料庫的建立與連結為前後端整合的重要關鍵。平台伺服器作業系統環境可配合採用 Windows Server 或 Linux Ubuntu，網站伺服器使用 Nginx，資料庫軟體採用 Postgres SQL，除可存取多數資料內容外，更方便其它介面程式進行 get、post、insert、delete 等資料搜尋與修改等操作，另 Postgres SQL 更具備地理資料存放與演算法相關應用。而連接前端與資料庫之程式語言採用 Python Fastapi 框架，可方便與前端溝通以進一步操作資料庫的資料，更可建置 Swagger 管理 API 文件。就監測資料以及其它相關圖層，採用 GeoServer 地圖伺服器進行管理與發佈，此工具為 Open Source 軟體，允許用戶觀看與編修地理資料，其發布的地理格式遵循 OGC (Open Geospatial Consortium) 規範，使用此軟體可自行發布空間圖層，以供應平臺使用者瀏覽與分享資訊。

平台視覺設計採用 HTML、CSS 與 Quasar Material Component 建立網站中的所有元件，且以 RWD 設計概念為開發基礎，以使平台可適用於各解析度裝置。資料視覺化上，結合資料視覺化工具 highchart.js 可進行時序列繪圖，以視覺化方式展現感測器資料，如各式統計量結果可設計不同統計圖表展示，以讓使用者更迅速且簡明地瞭解其所查詢的資訊。而互動式地圖開發上，2D 需求採用 Leaflet.js，3D 需求使用 Cesium.js，兩者皆可達到 Web-GIS 的功能，提供圖層查看、疊圖分析、地理查詢以及地理定位資訊，亦可介接公開網路地圖服務以及圖層影像，以及 GeoServer 地圖伺服器的圖層，最後整合所有圖層可進行疊圖分析，達到更多元與目的之應用。另外，turf.js 搭配以上 Web-GIS 技術進行兩圖層之間的空間查詢與內插等空間分析功能，更能補足 Web-GIS 的空間查詢功能的完整性。由於平台開發基於 SaaS (Soft as a Service)概念，故開發完畢後透過網站伺服器發布即可使用，毋須透過程式安裝等程序，亦方便未來系統更新與維護。

2.2 系統運作基礎環境

智慧安全平台系統軟硬體及倉儲架構圖如圖 3 所示，以虛擬機器及機房環境建構系統平台前端網頁服務、資料庫倉儲、LINE 官方帳號機器人對外服務等項目，透過防火牆對外開放 443 Port，僅提供 HTTPs 加密傳輸網頁服務，確保資訊安全；外部資料介接則採白名單開放中央氣象局、NCDR 等重要介接資訊來源單位取得相關情資，內部資料則直接串接機關機房環境之既有資料庫。平台系統倉儲環境規劃採用開源資料庫解決方案 PostgreSQL，並透過附加 PostGIS 模組、TimescaleDB 模組儲存地理空間資訊、時序型監測資料，搭配關聯式資料庫儲存相關內容，可快速交互查詢資訊；針對網頁前端平台開發採用 HTML、jQuery 技術，搭配 Boostrap 框架、Leaflet 地理空間框架建構系統，並應用資料視覺化套件 Highcharts 呈現數據儀表，此外 LINE 官方帳號機器人則採用 Python 搭配 Sanic 框架開發，串接前端平台與資料庫深度整合，提供地理空間查詢，以加強資料倉儲與應用範疇。

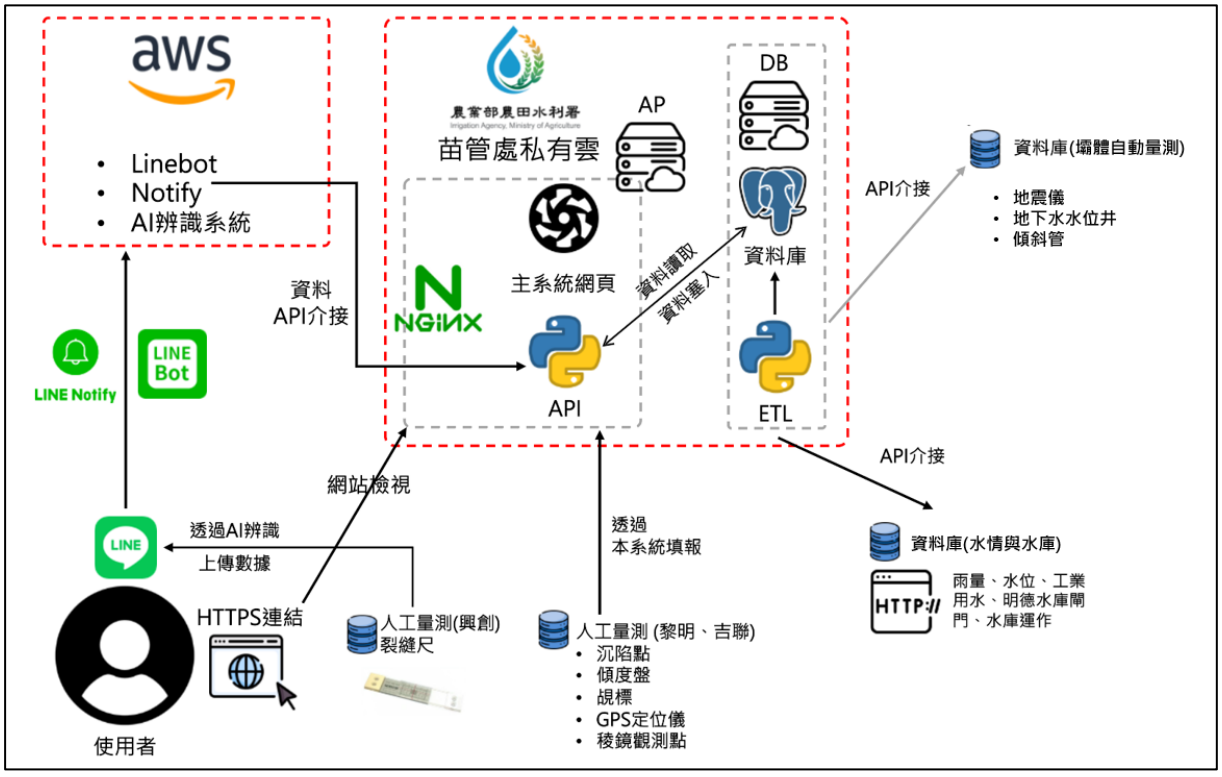


圖 3　智慧安全預警平台系統功能架構

2.3 平台整體功能架構

智慧安全預警平台之整體功能架構圖如圖 4 所示，核心功能模組包含：監測資訊、維護管理、歷年庫容、枯旱預警、生態資訊與其他資訊等，透過盤點倉儲既有系統資料，以及介接監測資訊提供視覺化分析總覽儀表等，提供使用者業務、水情全面掌握之一站式情資整合平台。

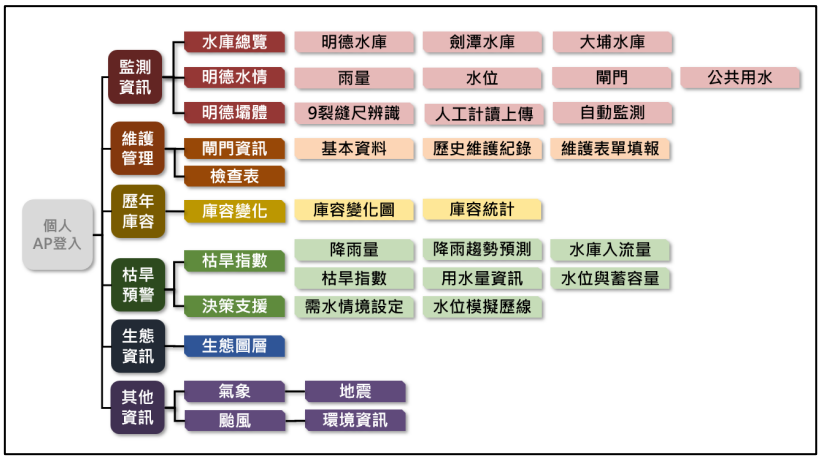


圖 4　智慧安全預警平台系統功能架構

三、 水庫即時情資展示

明德水庫智慧安全預警平台運用即時情資展示模組，展示前述倉儲資料與監測資訊。即時情資展示內容包含：即時監測、維護管理、歷年庫容、枯旱預警及生態資訊等五大主功能，並分別納入水庫水情資料、設備監測和對外服務等子功能。平台以「即時監測視覺化儀錶」與「地理空間資訊展示」作為情資展示設計原則，茲以壩體安全相關之監測資訊、維護管理頁面進行說明。

3.1 水庫總覽與水情監測資訊

監測資訊中水庫總覽與明德水情，於平台左側呈現明德、劍潭與大埔水庫總覽與水情監測數據資料，透過連動右側圖台，提供資料地理空間服務，另可藉由圖台的功能按鈕自由切換底圖或套疊相關圖層，提供更加完善之水庫資訊，如圖 5 所示。

圖 5　水庫總覽與明德水情

3.2 水庫壩體監測資訊

監測資訊另一功能壩體監測，則盤點明德水庫水位井、地震儀與傾斜管等壩體監

測設備，包含裂縫尺 AI 判釋、人工上傳及自動監測三類，裂縫尺判讀 X、Y 軸數值與狀態，人工上傳則由相關單位上傳數據之 excel 檔，並留存於系統中，自動監測則呈現相關監測數據，右側圖台也根據各項監測儀器點位資訊，將其位置以不同種類圖示呈現於圖台中，如圖 6 所示。

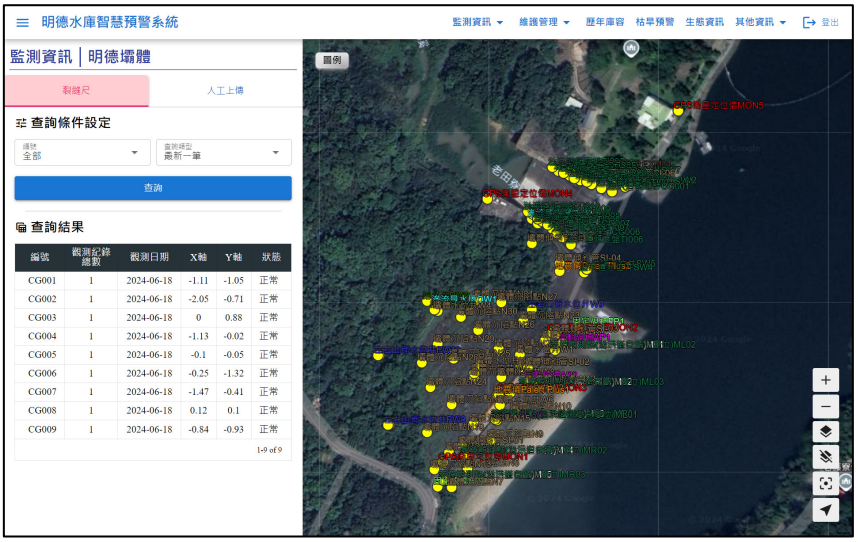


圖 6　水庫壩體監測

3.3 水庫維護管理

維護管理頁面以明德水庫溢洪道閘門資訊為主體，展示各閘門基本資料及歷年維護紀錄，基本資料列上控制閘門尺寸、型式、溢洪量、運行年數和製造廠商等資訊，而各年度歷史維護紀錄中則提供各月份檢查結果檢視，若當年度有發現檢查異常部分，其維修前後照片亦能於系統中呈現，提供使用者查看。另外，本系統亦設計現況填報功能，該填報網址為 QR Code，使用者在掃描後，即能透過手機進行閘門檢查與填報，包含門體、弧型門樞樑、門框、吊門機、電器設備及維護檢查紀事。亦可針對水庫檢查表進行線上操作，並查看相關檢查規範檔案進行參考，如圖 7 所示。

圖 7　維護管理填報表單

四、 枯旱預警決策支援

臺灣近年整體降雨呈現豐者愈豐枯者愈枯之特性，在變化快速且愈趨嚴峻的水情下，穩定水資源之供應，是水庫管理所要面對的重要課題。因此，明德水庫智慧安全預警平台，建置枯旱預警決策支援模組，藉以輔助管理者進行抗旱應變決策，並降低缺水造成之風險。

智慧預警平台彙整等國內水庫枯旱預警模式相關研究(林秋綺 2008、農田水利署 2023)，枯旱預警模式架構應具備「乾旱監測」、「乾旱預警及未來水情推估」、「供灌決策」等重點。其中，乾旱監測係為瞭解現況乾旱發展程度，因此乾旱監測所提供之基本資訊為水庫即時的供需水情，包含：水庫蓄水量、降雨狀況、農業耕種面積與供水狀況、公共與工業供水狀況等。此外，若能比較水庫即時供需水情與歷史紀錄，例如呈現即時降雨於歷年降雨之超越機率等，可更進一步協助決策者瞭解目前乾旱程度。未來水情係為瞭解未來可能之水文情勢，因此其提供之資訊，主要為未來之降雨或流量推估，其中，運用不同超越機率流量作為未來數月水庫入流量推估值，是較為常見之作法；而乾旱預警則為考慮水庫未來水情與乾旱監測分析之整合性指標，其目標為協助決策者瞭解未來乾旱發展趨勢，並配合枯旱燈號等方式顯示乾旱預警程度，讓決策者得以提早採取乾旱應變措施。而供灌決策部分，係提供決策者設定供灌情境與供灌配水操作等方式，例如折扣用水、調整供灌頻率甚至停灌休耕等不同節水措施，配合水資源系統模擬，據以評估不同未來水文情勢及灌溉節水因應策略下的供灌用水方案，並將相關資訊提供決策者參考。

4.1 乾旱監測

有關乾旱監測，智慧預警平台提供水庫蓄水、集水區降雨、以及各標的用水供水狀況等基本資訊，亦提供現況與歷史水情之比較，例如呈現降雨於歷年降雨之超越機率等，對於管理者瞭解目前乾旱程度大有幫助。如圖 8 之枯旱預警模組儀表板所示，儀表板左側主要為水庫上游入流相關資訊，如雨量與入流量等，其中雨量部分包含歷史、現況與未來推估等雨量資訊，而入流量則包含歷史、現況與未來推估之入流量資訊。此外，由於大潭調整池與明德幹渠跨系統之啟動，須視後龍溪水情而定，因此，儀錶板亦介接提供後龍溪上游之打鹿坑流量站資訊，協助管理者瞭解後龍溪流量變化。而儀表板右側則為水庫各標的用水量及蓄水狀況等相關資訊，內容包含各用水標的之實際與計畫用水量，以及重要蓄水設施之蓄水量。

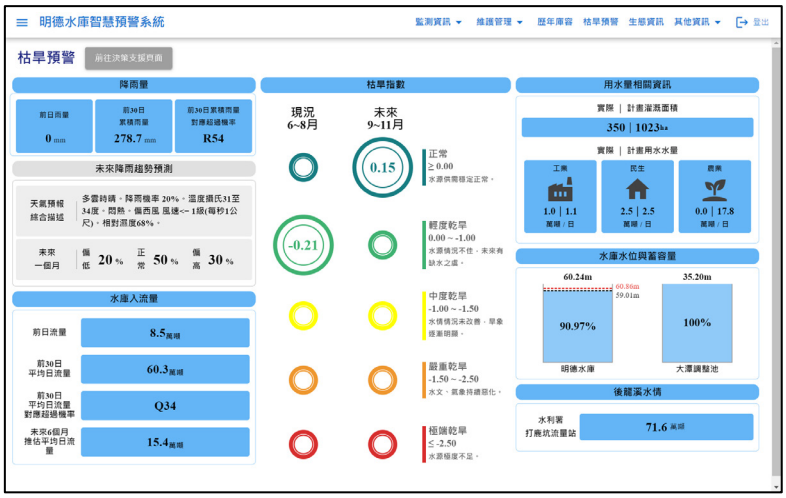


圖 8　枯旱預警模組儀表板

4.2 乾旱預警及未來水情推估

有關乾旱預警及未來水情推估部分，首先針對乾旱預警說明。智慧安全預警平台之乾旱預警指標採用 McKee et al. (1993)提出之標準化降雨量指標評估法(Standardized Precipitation Index, SPI)，並以適時反映乾旱漸進變化之連續三個月之標準化降雨量指標 SPI_3，進行水庫枯旱預警情勢評估，SPI_3 指標與水情變化之關聯，則參考「旱災災害防救業務計畫」、「農業部旱災災害規模及通報層級表」擬定，如表 1 所示。SPI 指數與燈號顯示於圖 9 枯旱預警模組儀表板之中央，說明水庫枯旱預警情勢，除了呈現歷史降雨紀錄運算而得之現況 SPI_3 外，亦呈現「全國重要水庫長期水庫入流量預報暨乾旱監測」之未來 3 個月預測雨量運算而得之未來 SPI_3，以滿足管理實務需求。

而智慧預警平台之未來水情推估，採用「全國重要水庫未來入流量預報」之預報資訊，該流量預報產品由水利署、中央氣象署於每月初發佈，提供明德水庫未來 6 個月入流量推估值，而有關推估方法，係採用氣候預報模式之降尺度雨量產品，結合修正型 HBV 水文模式，進行集水區之未來入流量之推估。其中，氣候預報模式之降尺度雨量產品，係整合歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)未來 1~30 天展期雨量預報降尺度成果，以及氣象署第一代全球海氣耦合模式(CWB1T1)未來 1~6 個月長期雨量預報降尺度成果，進行水庫集水區未來雨量預報；再整合展期、長期雨量預報後，配合修正型 HBV 水文模式，進行水庫未來 1~180 天入流量預報作業，除能提升未來 1~30 天面對天氣型態快速變化之能力外，亦能兼顧長期未來第 2~6 個月之水庫入流量發展情勢。有關理論細節，詳參楊道昌等(2023)及水利署水利規劃試驗分署(2022)等文獻。

表 1　旱災應變層級與水情燈號關係

燈號	藍	綠	黃	橙	紅
水情	正常	輕度乾旱	中度乾旱	嚴重乾旱	極端乾旱
SPI_3 指標	>0	$0.00\sim-1.00$	$-1.00\sim-1.50$	$-1.50\sim-2.00$	≤-2.00

4.3 供灌決策

而有關供灌決策，智慧預警平台彙整明德水庫 102~111 年之灌區用水與水庫運轉

資料，針對農業灌溉施行方式，包含大區輪作、錯開秧整田期用水時間、調整本田期灌溉方式等各項加強灌溉管理措施，與歷年灌溉用水需求、水庫水情、乾旱事件間之關係進行探討，建立水庫水情與灌溉方式決策之關聯，作為枯旱預警模式供灌原則。以明德水庫一期作為例，一期作明德水庫灌區之供水日程，原則上從 3/1 開始 7/15 結束，其中 3/1~3/31 為秧整田供水期，4/1~7/15 則為本田供水期間，秧整田期與本田期之供灌決策彙整資訊分別如圖 9 與圖 10 所示。

有關一期作耕種面積之決策建議，係利用過去歷史紀錄，分析去年底之蓄水量與 1~3 月 SPI_3 指標之關係，當 1~3 月 SPI_3 指標顯示正常、輕度乾旱與中度乾旱時，其對應最低水庫蓄水量分別為 681.9 萬噸(108 年)、776.4 萬噸(109 年)與 1,258.0 萬噸(102 年)，因此，建議當 1~3 月指標呈現水情正常且 12/31 蓄水≤700 萬噸，或當 1~3 月指標呈現輕度乾旱且 12/31 蓄水≤800 萬噸，或當 1~3 月指標呈現水情劣於中度乾旱且 12/31 蓄水未達滿水位時，則代表需配合大區輪作或輪灌操作進行耕種面積之調整。

有關一期作錯開秧整田期上下游供水之決策建議，則利用過去歷史紀錄，分析當年 2 月中旬之蓄水量與 3~5 月 SPI_3 指標之關係，當 3~5 月 SPI_3 指標顯示正常與輕度乾旱時，其對應最低水庫蓄水量分別為 603.5 萬噸(108 年)與 723.9 萬噸(106 年)，因此，當 3~5 月指標呈現水情正常且 2/20 蓄水≤650 萬噸，或當 3~5 月指標呈現輕度乾旱且 2/20 蓄水≤750 萬噸，或當 3~5 月指標呈現水情劣於中度乾旱時，則不論當時水庫蓄水狀況，建議可實施錯開上下游秧整田期供水。

有關一期作間歇灌溉公告時機之決策建議，則利用過去歷史紀錄，分析當年 3 月中旬之蓄水量與 4~6 月 SPI_3 指標之關係，當 4~6 月 SPI_3 指標呈現正常與輕度乾旱時，其對應最低水庫蓄水量分別為 720.6 萬噸(106 年)與 726.1 萬噸(109 年)，因此，當 4~6 月指標呈現水情正常時，建議以水庫蓄水 700 萬噸為界，於本田開始後 4/1~20 間擇期公告供 4 停 3 或供 4 停 4 措施；而當 4~6 月指標呈現水情劣於輕度乾旱時，仍建議以水庫蓄水 700 萬噸為界，儘速於本田開始後公告供 4 停 3 或供 4 停 4。

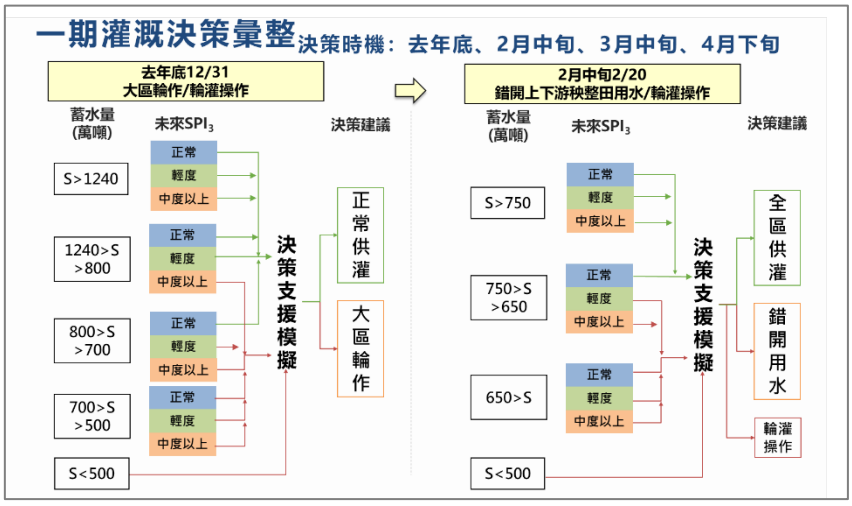


圖 9　明德水庫一期作秧整田期供灌決策流程彙整

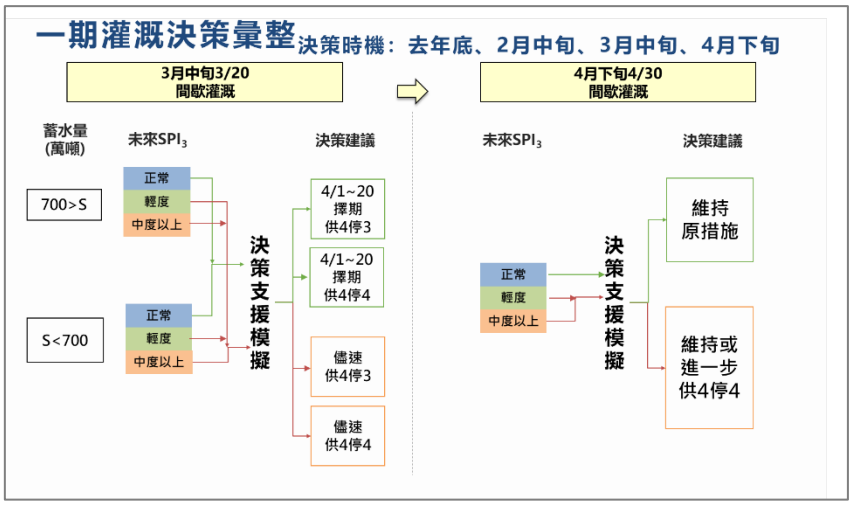


圖 10　明德水庫一期作本田期供灌決策流程彙整

當明德水庫集水區已進入枯旱時期，或枯旱預警指數 SPI_3 與燈號呈現輕度乾旱或更嚴重的乾旱情勢時，可點擊上圖 7 中枯旱預警模組儀表板中央之枯旱預警指數，進入明德水庫供灌決策支援頁面，如圖 11 所示，管理者可透過決策頁面上排之選項，設定未來農業、公共與工業用水標的之需水情境，以及設定未來六個月之水庫入流量情境，當未來需水與入流情境設定完成後，則可點擊分析，模式將自動計算並呈現出未來六個月水庫的模擬水位，並提供使用者該設定之決策情境能否通過供水決策判斷之資訊，若未能通過，管理者亦可回過頭調整本田期間灌溉方式、秧田期間灌溉方式、灌溉面積或公共工業用水打折等，檢視不同策略組合，作為未來決策判斷之參考。

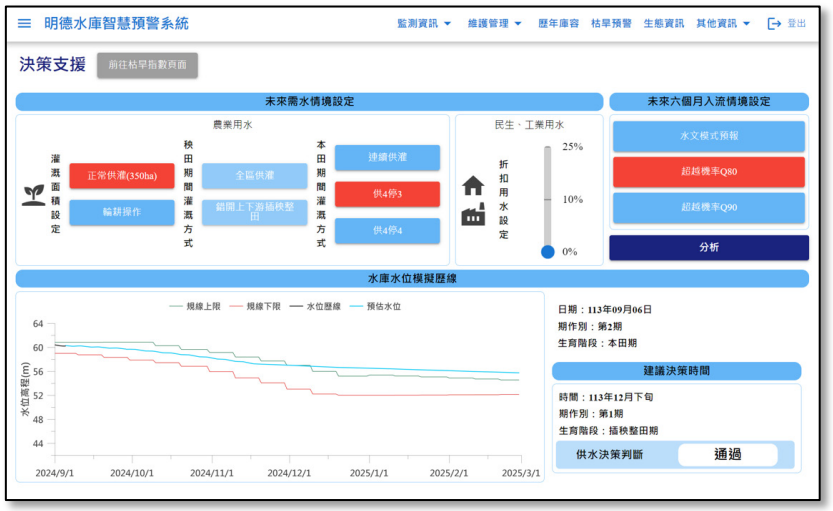


圖 11　枯旱預警模組決策頁面

4.4 細緻化輪灌操作

枯旱預警模組之正常供灌面積設定，預設為該期作之實際耕作面積。然而近年極端氣候之影響加劇，明德水庫灌區未來可得面臨水源水量不足以供灌全區，而必須部分區域進行輪灌操作之情形。為此，平台以各小組耕地面積為基礎，配合大區輪作劃分方式，將各小組耕地面積再細分為位於後龍鎮之農地，以及位於頭屋與造橋鄉之農地等，使用者於灌溉面積設定點擊「輪灌操作」選項後，將跳轉至頁面如圖 12 所示，使

用者可選擇欲關閉之明德幹渠制水門，以 3 號制水門為例，當其關閉時，其下游之東明、東苓、東堡、海寶、西寶、彎寶與南寶等小組便無法引灌，缺水時期寶貴水源將得以集中供應其他小組。藉由明德幹渠上 4 座制水門之聯合操作，達成輪灌操作區域更精細之目標，藉以提升枯旱時期明德水庫之供水效益，降低灌區全面平割之風險。

圖 12　枯旱預警模組輪灌操作情境之決策支援頁面

五、 LINE 機器人告警訊息推播與外業巡查

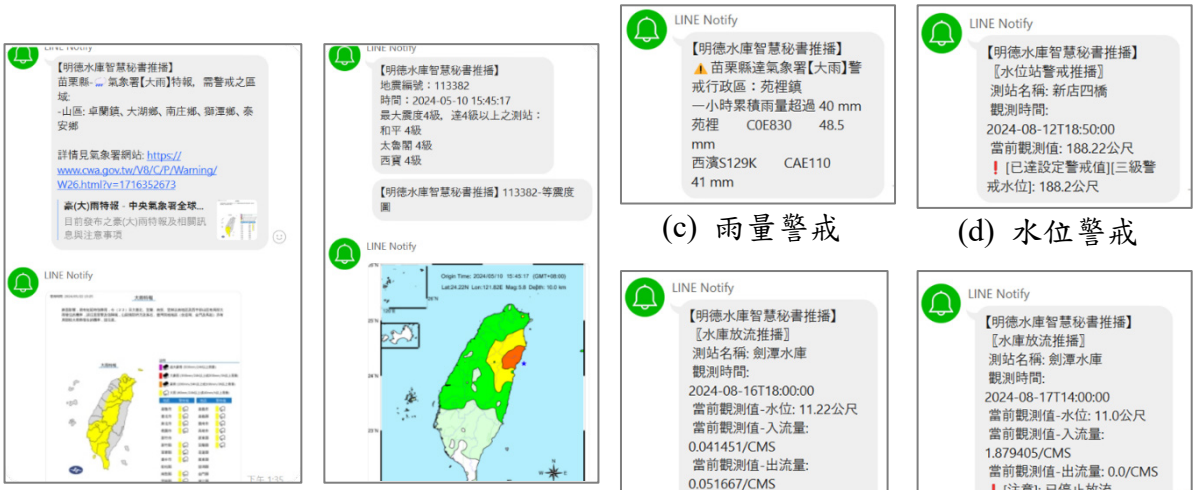
明德水庫智慧安全預警平台以所彙整資訊為基礎，提供行動端使用介面給業務相關人員使用，同時，使用者亦可利用通訊軟體 LINE 獲取水庫相關資訊，並透過 LINE 推播警戒訊息，提供示警服務。

LINE 官方帳號設計圖文主選單，提供使用者於手機互動點擊即可使用或查閱功能模組，並與明德水庫智慧安全預警平台深度整合，建構智慧化行動幫手，輔助使用者取得相關資訊，共計可分為六大區塊。將以明德水庫蓄水、供水與遊憩功能為主題，規劃六個功能選單按鈕：氣象總覽、監測資訊、定位查詢、放流警戒、外業巡查與閘門維護功能，如圖 13 所示，以掌握水庫水情、提供決策資訊。

圖 13　LINE 官方帳號圖文主選單

5.1 告警訊息推播

透過 LINE 官方帳號搭配 LINE Notify 推播輔助通知示警，化防汛應變之被動查詢為主動通報，讓使用者獲得告警訊息即時通知。該推播整合多種警戒通報，訊息來源端多元，包含中央氣象署、國家災害防救中心、水利署、民生公共物聯網，以及農田水利署細胞廣播簡訊內容，包含豪大雨特報、地震震度、雨量警戒、水位警戒及水庫放流資訊等，如圖 14 所示，將轄區內防汛資源與警戒需求進一步彙整提供，主動告知業務相關應變協勤人員重要資訊。警戒推播可時刻關注轄區內即時與未來雨情，提醒使用者關注轄區可能之災害預警，節省關注人力。



(a) 豪大雨特報　(b) 地震震度　(c) 雨量警戒　(d) 水位警戒　(e) 水庫開始放流　(f) 水庫停止放流

圖 14　LINE Notify 主動推播

5.2 外業巡查

針對裂縫尺之外業巡查作業，智慧安全平台導入 AI 自動判讀技術，透過模型訓練和特徵萃取進行裂縫尺偏移量檢測，針對 9 支裂縫尺設計相應的連結，巡查人員只需拍攝裂縫尺照片，並透過 LINE 機器人上傳，AI 即會自動記讀裂縫尺數據，如圖 15 所示，判讀數據會即時紀錄於資料庫中，同時提高記讀精度與節省時間。

圖 15　裂縫尺 AI 自動判讀

六、 導入大語言模型建立水庫知識管理

為預先因應未來人力結構變化，具有水庫維護管理專業知識之人才可能出現缺乏或銜接問題，本平台率先導入大型語言模型(Large language model, LLM)，從網頁前端，使用者可藉由語音或文字訊息給定提問，透過 LLM 之 NLP (Natural language processing，自然語言處理)辨識與解讀提問，由智慧安全預警平台資料庫及文件檔案集之中，自動取得對應之答覆。圖 16 所展示為針對建造物檢查之相關法規，於問答介面中提出問句或關鍵字後，平台可於 1 秒內回覆指定文件範圍內之對應說明。藉此，前述建立資料詮釋、資料倉儲之效益，方得以被大幅發揮，資料庫中保存之數據、文件將不再僅供展示之用，透過 LLM 架構可將長期累積之寶貴資料轉化為知識庫，水庫管理人員將可便捷地查詢到明德水庫歷年水情、供灌、安全監測與維護等資訊，大幅度降低因人員異動導致資料缺漏之風險。

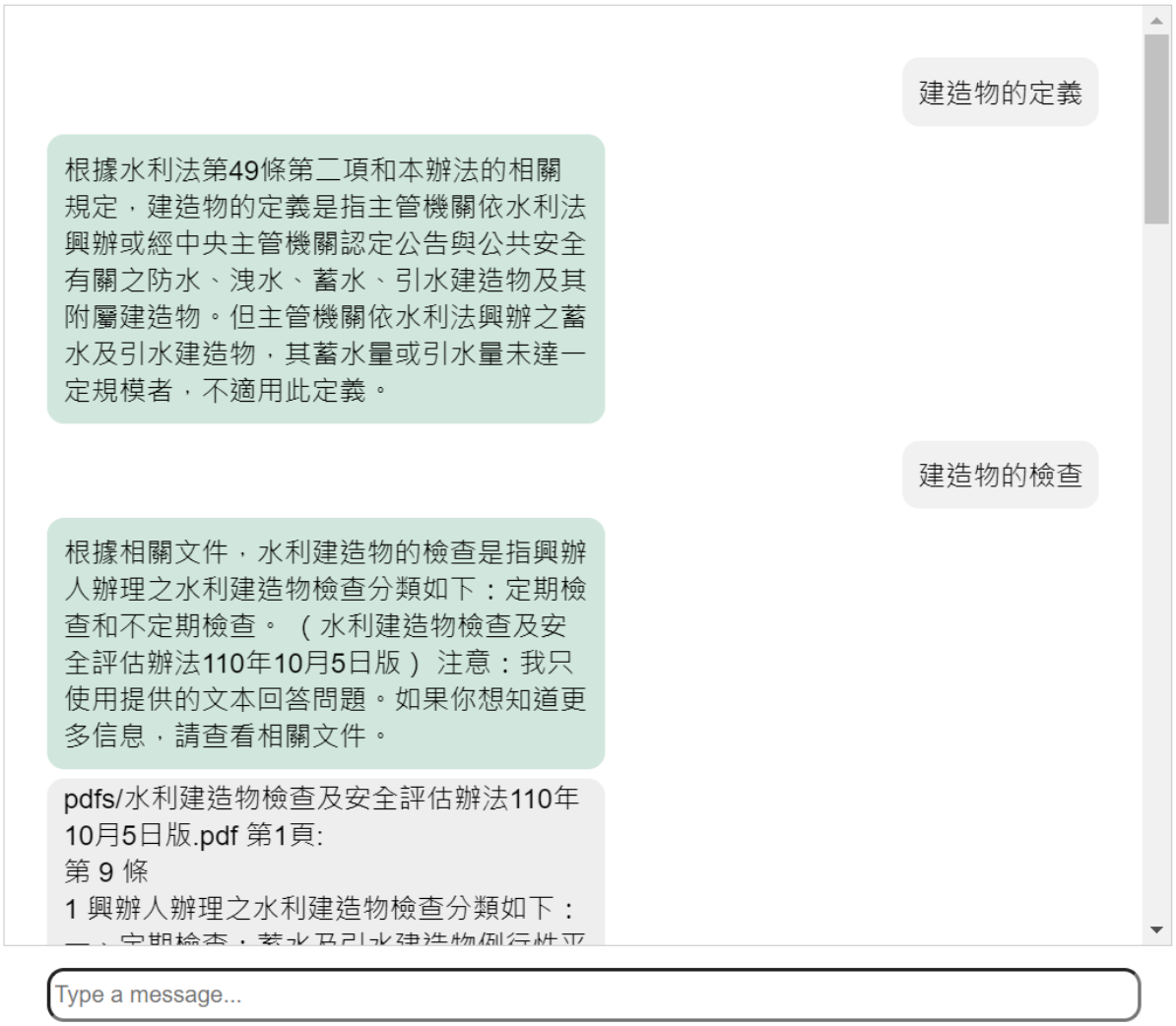


圖 16　LLM 智能問答畫面

七、 總結

明德水庫藉由智慧安全預警平台以「即時監測視覺化儀錶」與「地理空間資訊展示」作為情資展示設計原則，提供水庫即時監測、維護管理、歷年庫容、枯旱預警及生態資訊等即時情資展示，並分別納入水庫水情資料、設備監測和對外服務等子功能。藉以達到維護管理業務、水情全面掌握之一站式情資整合平台。

此外，考量近年氣候變遷極端氣候下枯旱發生頻繁，平台亦彙整水庫過往之營運資訊，建置明德水庫枯旱預警模組，使用者可透過模組之乾旱監測、乾旱預警及未來水情推估功能，掌握明德水庫乾旱發展情勢。水情不佳時，使用者則可透過供灌決策功能，檢視錯開上下游秧整田期供水、間歇灌溉及輪灌操作等，各項強化灌溉管理策略組合以及供水決策判斷建議，作為未來供水調度之參考。

平台亦透過 LINE 官方帳號搭配 LINE Notify 推播輔助通知示警，整合農田水利署細胞廣播簡訊等多種警戒通報，提供水庫放水、豪大雨特報與地震震度等警戒訊息，化防汛應變之被動查詢為主動通報，協助管理者即時掌握水庫安全與未來雨情。同時，平台導入 AI 影像辨識技術，建立溢洪道裂縫尺記讀模組，巡查人員透過 LINE 機器人上傳所拍攝照片，即可自動記讀裂縫尺數據。

本平台之最終目標為建立明德水庫維護管理知識庫，以預先因應未來專業人力不足之風險，藉由導入大語言模型，未來水庫管理人員將可便捷地由本平台介面，以語音或文字問答方式，快速獲得系統初步回應並獲知資料來源，得以進一步查詢對應資訊。透過系統化、智能化之知識管理，促進明德水庫永續經營、永續發展。

八、 參考文獻

1. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., “The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales,” The 8th Conferenceon Applied Climatology, Anaheim, California, U.S.A, pp. 179–184, 1993.
2. 林秋綺，「水庫風險乾旱預警系統之建置-以明德水庫為例」，國立臺灣海洋大學河海工程系，2008。
3. 楊道昌、龔明人、畢嵐杰、張惠玲、洪景山、游保杉，「整合展期與長期雨量預報技術建構全臺重點水庫流量預報系統」，農業工程學報，第 69 卷第 1 期，pp. 1–14，2023。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗分署，「水庫集水區流量預報技術整合暨推廣應用」，執行單位：財團法人成大研究發展基金會，2022。
5. 農業部農田水利署，「農業灌溉用水供需動態演算模擬及智慧決策支援平台建置計畫」，執行單位：財團法人台灣水資源與農業研究院，2023。