SWCB(104.7 版)

計畫編號：SWCB-110-043

整合地文與水文資訊之深層崩塌即時預警模式(三)

Using the Information of Geology and Hydrology on the Early Warning of Deep-Seated Landslide (III)

期末報告書

執 行 單 位：南華大學

執 行 期 間：110 年 1 月 27 日至 110 年 12 月 31 日

計畫主持人 ：洪耀明 教授

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國一一〇年十二月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

整合地文與水文資訊之深層崩塌即時預警模式(三)

摘要

本研究發展深層崩塌之地下水位預警系統，首先透過無限邊坡及滲流分析理論與試驗驗證，推得深層崩塌臨界地下水位及位置，再採用線性水庫及類神經網路兩方式，發展下一小時、兩小時及三小時地下水位。並建立即時水文資料接收系統，即時接收來自崩塌地現場之降雨及地下水位，以建立整合現場雨量及地下水位之崩塌預測系統。

本年度建立梨山及中心崙即時降雨及地下水位即時接收資料庫及預警網站，先以線性水庫模式，找出降雨與地下水位關係較佳之監測站，測試後於選擇模擬較佳之三處測站，進行線性水庫及類神經網路模式比較，並透過即時分析與即時圖形呈現，建立即時建立崩塌地即時地下水位預警系統，當預測地下水位達到警戒值，將可提供主管機關做為早期大規模崩塌預警之依據。

關鍵詞：深層崩塌、地下水位、即時預警系統、即時分析

Using the Information of Geology and Hydrology on the Early Warning of Deep-Seated Landslide (III)

Abstract

This study developed a real-time early warning system for groundwater level of deep landslides. Through theoretical analysis and laboratory experiment, the critical groundwater level and position of seepage erosion was derived, and then the next hour, two hours and three hours of groundwater can be predicted by linear reservoirs and artificial neural networks. A real-time prediction system, which integrates on-site rainfall, groundwater level can be established.

Annual propose will establish the prediction system of ground water level for landslide by the analysis and the display of graphic interface in real-time. The linear reservoir model was used to find the monitoring station with the agreement between the rainfall depth and groundwater level. After testing the data, this study selected three stations to predict the groundwater level by ANN model. The real-time prediction system are also developed. This research built the early warning system for the landslide occurrence. The message of prediction value of groundwater level reach the warning value can be used as the early warning basis of landslide.

Keywords: Deep-seated landslide , Groundwater level, Real-time Warning System, Real-time analysis.

目次

摘要.....I

ABSTRACT II

目次.....III

表次.....VII

圖次.....VIII

第一章　緒論.....1

第一節　計畫目標.....1

一、 全程目標.....1

二、 本年度目標.....1

三、 前期成果摘要.....1

第二節　計畫甘特圖.....3

第三節　計畫交付項目.....4

第二章　實施方法與步驟.....5

第一節　理論發展.....6

一、 深層崩塌臨界地下水位及位置.....6

二、 地下水位預測.....6

第二節　資料收集.....7

一、 地文資料.....7

(二)　水文資料.....9
第三節　預警系統建立.....9
一、 預測流程.....9
第三章　理論分析.....11
第一節　崩塌地臨界地下水位及滲流長度.....11
第二節　線性水庫模式預測地下水位.....24
一、 地下水位擾動方程式推導.....24
二、 數值方法求解.....29
第三節　應用類神經網路預測地下水位變動量.....31
第四章　驗證場域.....38
第一節　梨山地區.....38
一、 梨山精華區.....40
二、 松茂地區.....42
三、 老部落地區.....44
四、 新佳陽地區.....45
第二節　中心崙地區.....46
一、 崩塌潛勢.....46
二、 監測設施.....47
三、 地下水流向.....49

第五章　即時系統建置.....50

第一節　資料庫架構.....50

一、 系統建置.....50

二、 監測項目.....51

三、 資料庫建置.....52

第二節　即時資料輸入.....53

第三節　網頁展示.....56

一、 首頁地圖.....56

二、 監測站資料查詢.....57

第四節　預測系統.....60

一、 預測系統操作方式.....61

二、 預測系統程式操作.....63

三、預測系統介面.....64

第六章　降雨與地下水位關係.....69

第一節　梨山地區降雨與地下水位特性.....69

一、 線性水庫參數.....69

二、 模擬誤差.....69

三、 模擬成果.....71

第二節　中心崙地區降雨與地下水位特性.....75

一、 線性水庫參數.....75
二、 模擬誤差.....75
三、 模擬成果.....76
第三節 地下水位預測模式比較.....80
第七章 臨界地下水位計算.....84
第一節 大梨山地區.....84
一、梨山新佳陽地區 J1.....85
二、梨山松茂地區南區(上松茂)S1.....87
第二節 中心崙地區 JSL2.....89
第八章 結論.....92
參考文獻.....93
期初審查意見回覆表.....95
期中報告審查意見回覆表.....98
期末報告審查意見回覆表.....100
附錄 1、梨山地區監測站地下水位訓練及預測成果.....101
附錄 2、中心崙監測站地下水位訓練及預測成果.....107

表次

表 1 計畫甘特圖.....4
表 2 計畫所需資料.....8
表 3 各類土壤之內摩擦角.....13
表 4 土壤內聚力.....15
表 5 飽和滲流係數.....23
表 6 中心崙自動監測站.....47
表 7 感測器與對應地區關係表.....51
表 8 資料庫表單說明.....53
表 9 梨山地區降雨與地下水位模擬.....70
表 10 新中崙降雨與地下水位模擬.....76
表 11 地下水預測模式比較.....80
表 12 地質參數建議值.....84
表 13 邊坡穩定地質參數.....85
表 14 水土保持局新佳陽邊坡臨界地下水位.....85
表 15 水土保持局梨山松茂地區南區(上松茂)S1 分析成果.....87
表 16 臨界地下水位計算成果.....91

圖次

圖 1 降雨導致地下水位升高示意圖.....5
圖 2 影響無限邊坡滑動之因子.....11
圖 3 臨界沖蝕試驗.....18
圖 4 實際邊坡滑動面.....22
圖 5 地下水流動概念圖.....25
圖 6 暴雨期間地下水位擾動變化.....28
圖 7 原始資料矩陣轉換.....33
圖 8 類神經網路訓練.....37
圖 9 梨山地區主要地點分布圖.....40
圖 10 梨山精華區位置與說明.....42
圖 11 松茂地區位置與說明.....43
圖 12 老部落地區位置與說明.....44
圖 13 新佳陽地區位置與說明.....45
圖 14 中心崙推估滑動塊體分佈圖.....47
圖 15 雨量筒遷移位置圖.....48
圖 16 地下水位計位置圖.....48
圖 17 地下水流向分佈成果圖.....49
圖 18 系統架構圖.....51
圖 19 資料庫架構圖.....52
圖 20 梨山即時監測原始資料 XML 網頁圖.....54
圖 21 中心崙監測原始資料 XML 網頁圖.....54
圖 22 梨山即時監測原始資料讀檔程式執行圖.....55
圖 23 中心崙即時監測原始資料讀檔程式執行圖.....55
圖 24 監測站首頁切換.....56
圖 25 即時預測系統構想.....60

圖 26 工作執行步驟.....62
圖 27 訓練程式.....63
圖 28 模擬程式.....64
圖 29 將與與地下水關係研究流程.....69
圖 30 J1 站訓練及模擬成果.....73
圖 31 S1 站訓練及模擬成果.....74
圖 32 JSL2 訓練及模擬成果.....78
圖 33 JSL4 訓練及模擬成果.....79
圖 34 地下水模式預測成果比較.....83
圖 35 水土保持局新佳陽邊坡剖面及邊坡穩定分析.....86
圖 36 松茂地區 S-1 自動監測站邊坡剖面位置圖.....88
圖 37 中心崙崩塌地地質平面及剖面圖.....90
圖 38 A1 訓練及模擬成果.....102
圖 39 B4 訓練及模擬成果.....103
圖 40 C1 訓練及模擬成果.....105
圖 41 L1 訓練及模擬成果.....106
圖 42 JSL1 訓練及模擬成果.....108
圖 43 JSL3 訓練及模擬成果.....109
圖 44 JSL5 訓練及模擬成果.....111

第一章 緒論

大規模崩塌往往導致大量生命財產損失，本計劃希望發展即時崩塌預警系統，計畫目標及實施方法與步驟如下。

第一節 計畫目標

一、全程目標

1. 建立大規模崩塌區崩塌之臨界地下水位。
2. 建立以即時地下水位及降雨，建立一小時、兩小時及三小時後地下水位預測模式。
3. 建立即時網頁，即時預測地下水位，當地下水位達到警戒值，即時發布預警。

二、本年度目標

建立崩塌地即時地下水位預測系統，即時分析與即時圖形呈現，當預測地下水位達到警戒值，可提供主管機關做為早期大規模崩塌預警之依據。

三、前期成果摘要

2019 年第一期及 2020 年第二期成果摘要如下。

(一)第一期計畫摘要

本研究建立深層崩塌臨界地下水位及臨界滲流長度理論及計算模式，並發展地下水位即時預測系統。首先發展深層崩塌滑

移之臨界地下水位及滲流長度理論，建立可能發生位移之地下水位及滲流長度，再應用類神經網路模式，建立以 24 小時降雨及即時地下水位，預測一小時、兩小時後之地下水，並以梨山松茂地區 S1 觀測站為例，進行歷史資料收集及現場土壤採樣，於實驗室進行臨界地下水位及滲流長度理論參數分析，並應用類神經網路，採用 24 小時降雨及即時地下水位，預測一小時、兩小時及三小時後之地下水位。

分析結果如下臨界地下水位分析結果與過去研究結果相近，臨界滲流位置為模擬破壞面上游，需進一步檢核下邊坡主要滲流出口位置。一小時及兩小時地下水位模擬結果預測準確，而三小時預測較不準確，顯示降雨到達地下水位時間少於三小時，未來若能先得知預測降雨量，應可提供較準確預測。

關鍵詞：深層崩塌、臨界地下水位、臨界滲流長度、類神經網路、即時預測

(二)第二期計畫摘要

本研究發展深層崩塌之地下水位預警系統，首先透過無限邊坡及滲流分析理論與試驗驗證，推得深層崩塌臨界地下水位及位置，再採用線性水庫及類神經網路兩方式，發展下一小時、兩

小時及三小時地下水位。並建立即時水文資料接收系統，即時接收來自崩塌地現場之降雨及地下水位，以建立整合現場雨量及地下水位之崩塌預測系統。

分析結果顯示，線性水庫演算演算在尖峰地下水位，容易高估，其原因可能為滲透係數 K 值高估。前饋式倒傳遞類神經網路一小時及兩小時模擬結果，均方根誤差小於 0.2m，三小時之均方根誤差大於 0.5m，顯示可用於短時間預測。外因輸入非線性自迴歸回饋神經網路，因為有自迴歸回饋，使得一至三小時預測均方根誤差約為 0.25m，可用於三小時預測。

關鍵詞：深層崩塌、地下水位、即時預警系統、線性水庫、類神經網路

第二節 計畫甘特圖

預計執行進度如下表所示，預計本年度能夠建立即時預測系統，提供使用。

表 1 計畫甘特圖

任務名稱	日期											
	1 月 27 日	3 月 1 日	4 月 1 日	5 月 1 日	6 月 1 日	7 月 1 日	8 月 1 日	9 月 1 日	10 月 1 日	11 月 1 日	12 月 1 日	12 月 31 日
試區資料收集與決定												
水文資料庫建立												
即時地下水位預測												
期中報告撰寫												
臨界地下水位決定												
即時預測系統												
即時地下水位預測發展完成												
期末成果撰寫及修正												

第三節 計畫交付項目

預計交付一套即時地下水位預警系統，內容包括

(1)即時及歷史水文資料庫：即時及歷史降雨、水位及災害資料庫查詢系統建置。

(2)即時地下水位預測：一區之地下水位即時預測，預計預測一、二、三小時水位。

(3)即時地下水位預測系統：即時分析與即時圖形呈現，當預測地下水位達到警戒值，可即時發布警戒。

第二章 實施方法與步驟

Hong (2017) 認為深層崩塌山坡地地下水位在降雨期間，會因為地下水位上升，使得邊坡下滑力增加，導致崩塌可能性增加如圖 1。

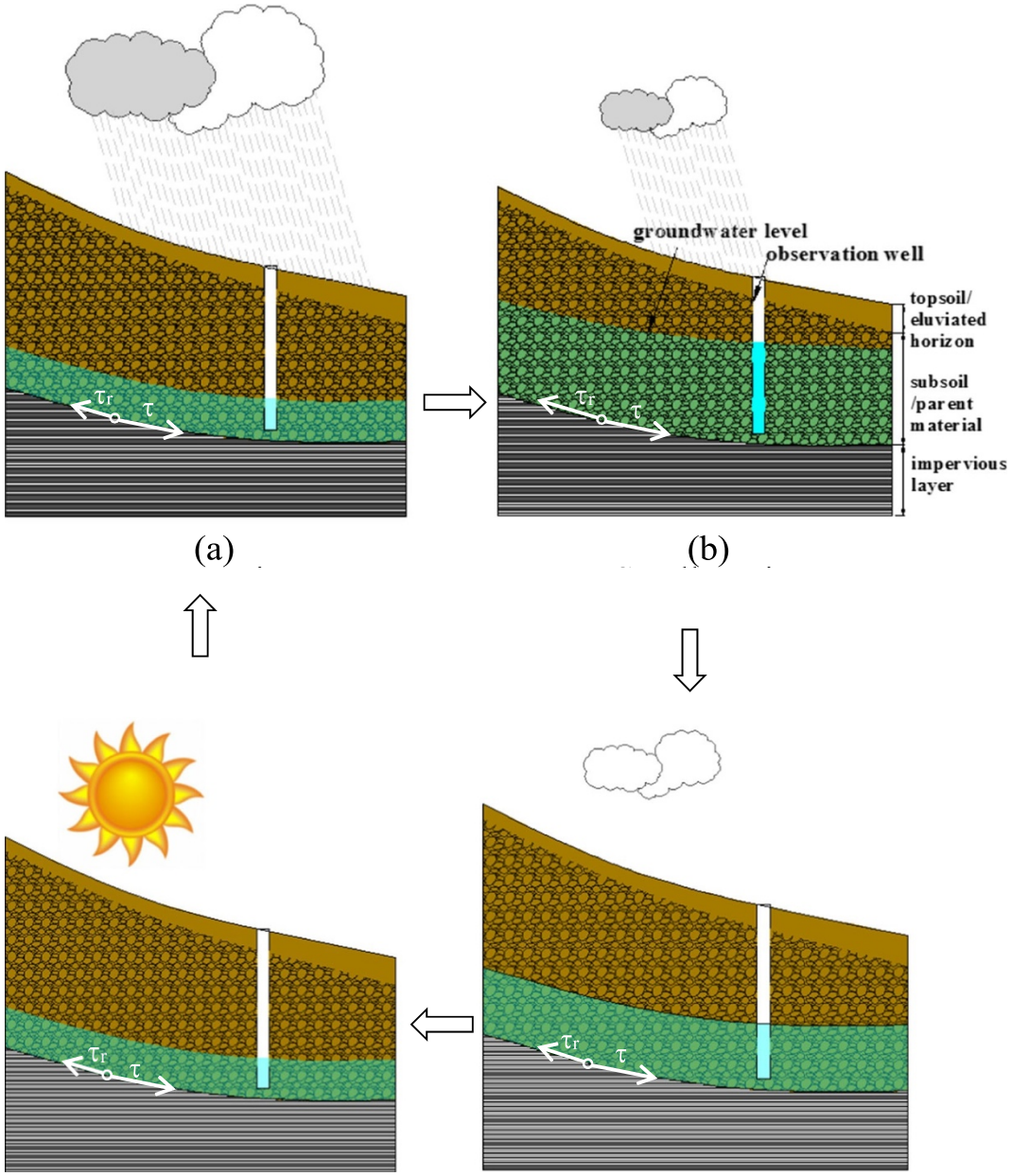


圖 1 降雨導致地下水位升高示意圖

(資料來源：Hong, 2017)

由圖 1 可知，降雨、入滲至地下水位提高，會有一定時間差，因此發生崩塌之時間，通常會發生在最大降雨之後，且地下水流動會將泥沙往下游帶動而形成滲流，最後導致崩塌。

本研究延續前兩年之成果，發展以降雨及地下水預測即時大規模崩塌模式。，說明如下：

第一節 理論發展

一、深層崩塌臨界地下水位及位置

(一) 臨界地下水位

以重力理論之無限邊坡理論，推導臨界地下水位。

(二) 滲流長度推估

以無沖蝕濾料試驗，推估泥砂臨界流動之流速，反推崩積層產生滲流最長流線長度，小於或等於滲流長度之土體，為可能移動土體。

二、地下水位預測

(一) 白盒分析：線性水庫模式

線性水庫地下水位預測採用筆者已發表於 nature Hazards 期刊之線性水庫物理模式，收集歷史資料，建立各區域地下水位即時預測模式。

(二) 黑盒分析：類神經網路模式

應用類神經網路模式，包括採用模式包括前饋式倒傳遞類神經網路(Feedforward Back-Propagation Neural Network, FBPNN)及外因輸入非線性自迴歸(Nonlinear Autoregressive With external Input, NARX)、回饋神經網路(Feedback Neural Networks)。發展預測地下水位模式。

第二節 資料收集

收集目前有即時地下水位及雨量區域，包含地文及水文資料如表 1 所示，說明如下。

一、地文資料

(一) 現場土樣收集

將採集試驗現場破壞面土樣,進行 Darcy 定律之 K 值試驗、破壞力之三軸試驗，推得無限邊坡理論公式所需參數。並以無沖蝕濾料試驗驗證，推得臨界水壓力，據以計算滲流長度。

(二)歷史變位資料收集

包括現地滲流點位置，造成崩塌地位移之地下水位、位移量、破壞面土壤粒徑、滲透係數、土壤內聚力、內摩擦角等歷史資料，據以作為臨界地下水位及滲流長度驗證參考依據。

表 2 計畫所需資料

名稱	使用目的	格式
預測雨量	預測下二及三小時雨量用	中央氣象局劇烈天氣監測系統 Qpesum
即時雨量	進行即時地下水位預測用	小時雨量
即時地下水	進行即時地下水位預測用	小時地下水位
即時位移	驗證臨界地下水位用	小時資料
歷史降雨	進行地下水位預測模式建立	(1)至少兩場暴雨，前期發生之第一場暴雨為訓練樣本，第二場暴雨為驗證樣本。 (2)需為小時降雨資料。
歷史地下水位	進行地下水位預測模式建立	(1)伴隨兩場暴雨之地下水位，降雨與地下水位需有明顯關係，前期發生之第一場暴雨為訓練樣本，第二場暴雨為驗證樣本。 (2)需為小時地下水位資料。
鑽孔位置	位移歷史資料	根據現場傾斜管或 TDR 研判是否發生位移
地下水位警戒值	與本研究成果比較	需為破壞面往上高程
破壞面土壤粒徑	進行臨界滲流壓力試驗	需為破壞面粒徑篩分析及機械分析結果
滲透係數	計算臨界滲流壓力	地下水位井位置資料
土壤內聚力 c	推算無限邊坡理論臨界水位	需為破壞面位置資料
內摩擦角φ	推算無限邊坡理論臨界水位	需為破壞面位置資料

(二) 水文資料

(一) 中央氣象局劇烈天氣監測系統系統

1. 以 24 小時降雨及目前地下水位為輸入值，預測下一小時或兩小時地下水位。

2. 以 24 小時降雨，整合 QPESUM 及目前地下水位為輸入值，預測二小時、三小時、四小時後地下水位。

(二) 歷史及即時降雨、地下水位及位移

本年度將選定有歷史及即時降雨、地下水位及位移監測站，且將與與地下水位資料之測站，即時讀取資料，建立資料庫網站，透過所發展模式進行即時預測。

第三節 預警系統建立

即時預測系統建立採用筆者發表於Environ Monit Assess之即時監測系統，建立即時預測程式如下：

一、預測流程

(一)警戒值訂定

根據理論模式，算出地下水位警戒值，並與原有收集資料相互比對。同時推算最長滲流長度，比對原有破壞面假設滲流位置，並至現場勘查確認歷史滲流位置，確認滲流是否在最長滲流長度之上，藉以推估可能移動土體。

(二) 資料庫建置

將所選定之現場，收集現場地下水位及雨量即時及歷史資料，建立二階正規劃即時資料庫，提供即時地下水位演算之用。

(三) 地下水位即時預測

先將現場地下水位及雨量歷史資料，代入本研究所發展之兩模式，經過校準(Calibration)、驗證(Verification)及確認(Validation)之後，推得模式所需參數，輸入即時地下水位、雨量，預測下一小時、兩小時及三小時預測地下水位。

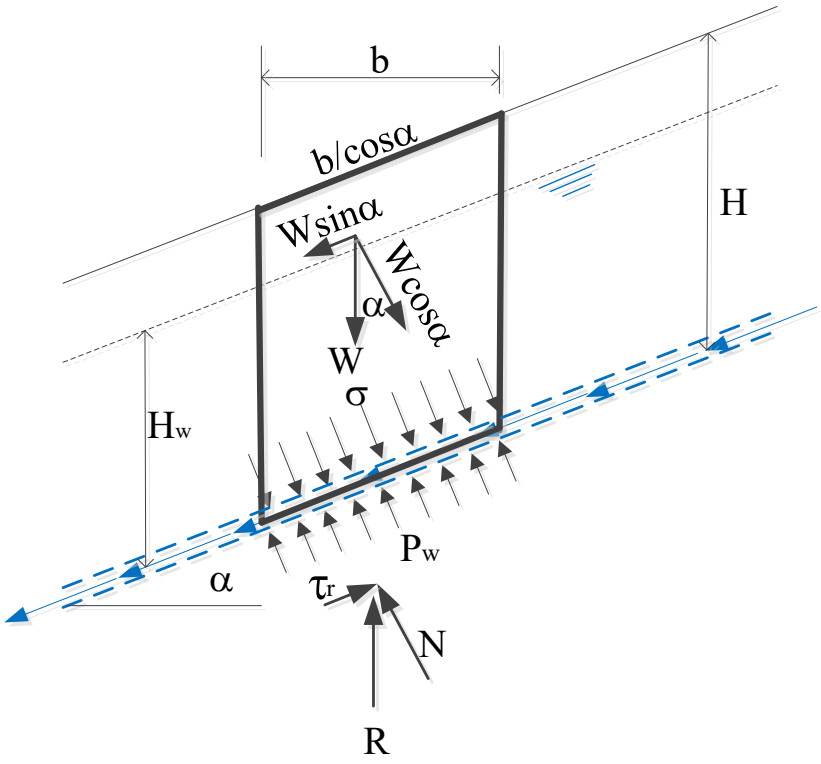
(四) 即時預警平台建置

1. 利用預先已經模擬成功之參數，帶入即時水位及降雨資料，預測一、二、三及四小時之地下水位，並於系統上即時做地下水位圖形及數據展示。
2. 整合收集之地文、水文資料及即時分析資料，完成線上即時預警平台，提供直接預警用途。
3. 若地下水位已達警戒值，則於網頁上提出警戒值。

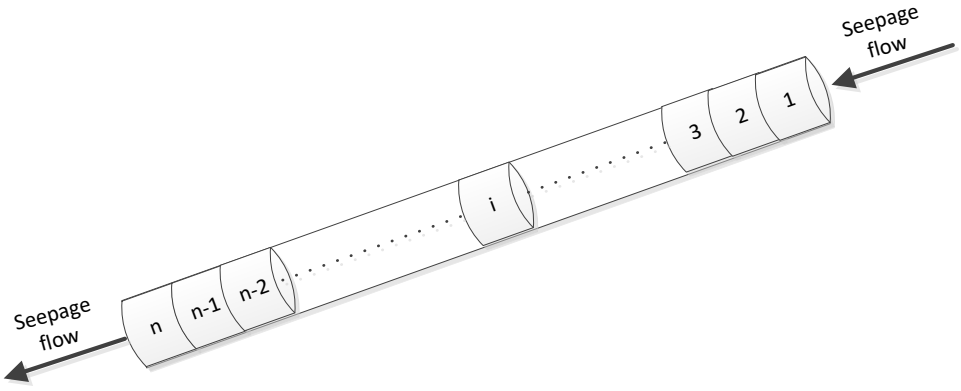
第三章 理論分析

第一節 崩塌地臨界地下水位及滲流長度

圖 2 顯示重力效應、地下水及滲流對於無限邊坡假設條件下，造成滑動之影響因子，推導控制方程式如下



(a) Infinite slope



(b) Seepage erosion occurring in the slip surface

圖 2 影響無限邊坡滑動之因子

(一) 無限邊坡理論模式推導

假設土壤及水之重力為影響邊坡穩定之主要因子，當下滑力(τ)等於阻抗力(τ_r)時，稱為臨界條件，正向力、上舉例及剪應力之關係如下：

$$\sigma = \frac{W\cos\alpha}{b/\cos\alpha} = \frac{\gamma bH\cos\alpha}{b/\cos\alpha} = \gamma H\cos^2\alpha \quad (1a)$$

$$p_w = \frac{\gamma_w H_w\cos\alpha}{b/\cos\alpha} = \gamma_w H_w\cos^2\alpha \quad (1b)$$

$$\tau = \frac{S}{b/\cos\alpha} = \frac{\gamma bH\sin\alpha}{b/\cos\alpha} = \gamma H\sin\alpha\cos\alpha \quad (1c)$$

式中α為滑動面角度；γ為單位重；H 為滑動面至地表面高度；H_w 為滑動面至水面高度。抵抗力採用 Mohr-Coulomb 條件，歸納如下：

$$\tau_r = c + (\sigma - p_w)tan\varphi = c + (\gamma H - \gamma_w H_w)\cos^2\alpha\tan\varphi \quad (2)$$

式中 c 為土壤內聚力；φ 為內摩擦角(Corominas et al. 2005)，高地下水位將增加 p_w，降低τ_r導致地滑，(2)式改寫為如下：

$$P_{wc} = \sigma - (\tau - c)/\tan\varphi \quad (3a)$$

$$H_{wc} = (\gamma/\gamma_w)H - (\gamma H\sin\alpha\cos\alpha - c)/(\gamma_w\cos^2\alpha\tan\varphi) \quad (3b)$$

(3b)式顯示 H_{wc} 為水及固體比重、阻抗力、土壤內聚力、破壞面角度及內摩擦角之函數，根據(3b)式，推算邊坡臨界地下水位。

表 3 為各類土壤之內摩擦角，表 4 為內聚力(Geotechdata.inf, 2013)，可提供現地使用依據。

表 3 各類土壤之內摩擦角

土壤特性	USCS 分類	土壤內摩擦角[°]		
		min	max	Specific value
Well graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GW	33	40	
Poorly graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GP	32	44	
Sandy gravels - Loose	(GW, GP)			35
Sandy gravels - Dense	(GW, GP)			50
Silty gravels, silty sandy gravels	GM	30	40	
Clayey gravels, clayey sandy gravels	GC	28	35	
Well graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SW	33	43	
Well-graded clean sand, gravelly sands - Compacted	SW	-	-	38
Well-graded sand, angular grains - Loose	(SW)			33
Well-graded sand, angular grains - Dense	(SW)			45
Poorly graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SP	30	39	
Poorly-garded clean sand - Compacted	SP	-	-	37
Uniform sand, round grains - Loose	(SP)			27
Uniform sand, round grains - Dense	(SP)			34
Sand	SW, SP	37	38	
Loose sand	(SW, SP)	29	30	
Medium sand	(SW, SP)	30	36	
Dense sand	(SW, SP)	36	41	
Silty sands	SM	32	35	
Silty clays, sand-silt mix Compacted	SM	-	-	34
Silty sand - Loose	SM	27	33	
Silty sand - Dense	SM	30	34	
Clayey sands	SC	30	40	

Calyey sands, sandy-clay mix - compacted	SC			31
Loamy sand, sandy clay Loam	SM, SC	31	34	
Inorganic silts, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	ML	27	41	
Inorganic silt - Loose	ML	27	30	
Inorganic silt - Dense	ML	30	35	
Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity	CL	27	35	
Clays of low plasticity - compacted	CL			28
Organic silts and organic silty clays of low plasticity	OL	22	32	
Inorganic silts of high plasticity	MH	23	33	
Clayey silts - compacted	MH			25
Silts and clayey silts - compacted	ML			32
Inorganic clays of high plasticity	CH	17	31	
Clays of high plasticity -compacted	CH			19
Organic clays of high plasticity	OH	17	35	
Loam	ML, OL, MH, OH	28	32	
Silt Loam	ML, OL, MH, OH	25	32	
Clay Loam, Silty Clay Loam	ML, OL, CL, MH, OH, CH	18	32	
Silty clay	OL, CL, OH, CH	18	32	
Clay	CL, CH, OH, OL	18	28	
Peat and other highly organic soils	Pt	0	10	

表 4 土壤內聚力

土壤特性	USCS 分類	內聚力 Cohesion [kPa]		
		min	max	Specific value
Well graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GW	-	-	0
Poorly graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GP	-	-	0
Silty gravels, silty sandy gravels	GM	-	-	0
Clayey gravels, clayey sandy gravels	GC	-	-	20
Well graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SW	-	-	0
Poorly graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SP	-	-	0
Silty sands	SM	-	-	22
Silty sands - Saturated compacted	SM	-	-	50
Silty sands - Compacted	SM	-	-	20
Clayey sands	SC	-	-	5
Clayey sands - Compacted	SC	-	-	74
Clayey sands -Saturated compacted	SC	-	-	11
Loamy sand, sandy clay Loam - compacted	SM, SC	50	75	
Loamy sand, sandy clay Loam - saturated	SM, SC	10	20	
Sand silt clay with slightly plastic fines - compacted	SM, SC	-	-	50
Sand silt clay with slightly plastic fines - saturated compacted	SM, SC	-	-	14
Inorganic silts, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	ML	-	-	7
Inorganic silts and clayey silts - compacted	ML	-	-	67
Inorganic silts and clayey silts - saturated compacted	ML	-	-	9
Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity	CL	-	-	4

Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity - compacted	CL	-	-	86
Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity - saturated compacted	CL	-	-	13
Mixture if inorganic silt and clay - compacted	ML-CL	-	-	65
Mixture if inorganic silt and clay - saturated compacted	ML-CL	-	-	22
Organic silts and organic silty clays of low plasticity	OL	-	-	5
Inorganic silts of high plasticity - compactd	MH	-	-	10
Inorganic silts of high plasticity - saturated compacted	MH	-	-	72
Inorganic silts of high plasticity	MH	-	-	20
Inorganic clays of high plasticity	CH	-	-	25
Inorganic clays of high plasticity - compacted	CH	-	-	103
Inorganic clays of high plasticity - satrated compacted	CH	-	-	11
Organic clays of high plasticity	OH	-	-	10
Loam - Compacted	ML, OL, MH, OH	60	90	
Loam - Saturated	ML, OL, MH, OH	10	20	
Silt Loam - Compacted	ML, OL, MH, OH	60	90	
Silt Loam - Saturated	ML, OL, MH, OH	10	20	

Clay Loam, Silty Clay Loam - Compaced	ML, OL, CL, MH, OH, CH	60	105	
Clay Loam, Silty Clay Loam - Saturated	ML, OL, CL, MH, OH, CH	10	20	
Silty clay, clay - compacted	OL, CL, OH, CH	90	105	
Silty clay, clay - saturated	OL, CL, OH, CH	10	20	
Peat and other highly organic soils	Pt	-	-	

(二) 產生滲流沖刷之最長流線長度

對於具備鬆軟土石且滲流發達之邊坡，滲流沖刷往往導致崩塌原因之一，滲流流過土壤時，若壓力不大則不會引起土壤流失，若水壓力過大，則產生管湧沖蝕(piping erosion)，造成土壤流失，例如Okeke & Wang (2016)進行實驗室崩塌邊坡試驗，找出滲流導致崩塌破壞之滲流梯度。若崩塌地土壤為砂質土壤，則滲流沖刷為造成邊坡崩塌之主要因素，因此以無沖蝕濾料試驗(No Erosion Filter Test, NEFT)設備(Hong et. al., 2011)，進行產生滲流沖刷之臨界沖蝕試驗

（Critical Erosion Test, CET），如圖 3，為 CET 標準構造，上方施加壓力 P1，為使壓力平均分佈，土壤上下方均設置一層礫石實驗時先在土體中心插一針頭大小的縫，當土壤產生滲流破壞，便會於中心產生較大孔隙，並形成管道破壞。

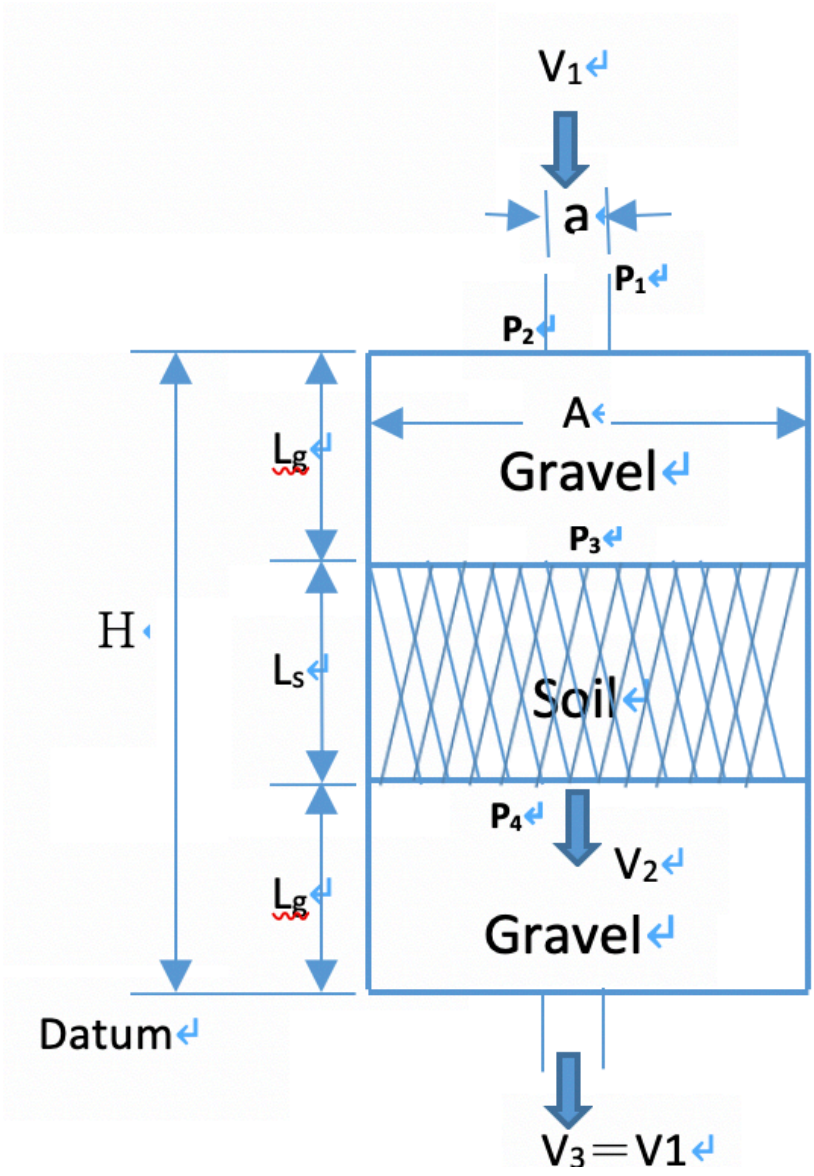


圖 3 臨界沖蝕試驗

依據伯努利定理(Bernoulli’s Equation)，假設由入口管路放大至試驗柱體無能量損失，可推得

$$\frac{P_1}{\gamma}+H+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{P_2}{\gamma}+H+\frac{V_2^2}{2g}$$

$$\Rightarrow\frac{P_2}{\gamma}=\frac{P_1}{\gamma}+\frac{1}{2g}(V_1^2-V_2^2)$$

根據連續方程式，$V_1a=V_2A$，推得下式

$$\boxed{\frac{P_2}{\gamma}=\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}\left[1-\left(\frac{a}{A}\right)^2\right]} \qquad (4a)$$

進一步由總水頭能量經過上方礫石、土壤、下方礫石及出口管路之後，總水頭出口壓力為 0，根據能量方程式，推得

$$\boxed{\frac{V_2^2}{2g}+\frac{P_2}{\gamma}+\mathrm{H}=\Delta H_g+\Delta H_s+\Delta H_g+\Delta H_f+\frac{V_3^2}{2g}} \qquad (4b)$$

式中ΔH_g、ΔH_s、ΔH_g、ΔH_f分別為流經上方礫石、土壤、下方礫石及管路損失，設管路損失不計，$L_g=H_g$, $L_s=H_s$。根據達西定律，可推得流速公式及水頭損失如下：

$$V_2=K_g\frac{\Delta H_g}{L_g}=K_s\frac{\Delta H_s}{L_s}$$

$$\Rightarrow\Delta H_g=\frac{L_gV_2}{K_g},\Delta H_s=\frac{L_sV_2}{K_s}$$

帶入(4b)式，推導如下：

$$\Rightarrow\frac{V_2^2}{2g}+\frac{P_2}{\gamma}+H=\left(\frac{2L_g}{K_g}+\frac{L_s}{K_s}\right)V_2+\frac{V_3^2}{2g}+\Delta H_f$$

$$\Rightarrow\frac{P_2}{\gamma}=\left(\frac{2L_g}{K_g}+\frac{L_s}{K_s}\right)V_2+\frac{1}{2g}(V_3^2-V_2^2)+\Delta H_f-H \qquad (4c)$$

(4a)式等於(4c)式，且 $V_1=V_3$，消除共通項，可推得

$$\Rightarrow \frac{P_1}{\gamma} = \left(\frac{2L_g}{K_g} + \frac{L_s}{K_s} \right) V_2 + \Delta H_f - H \tag{4d}$$

P_3 亦可由伯努利定理(Bernoulli’s Equation)，推算如下：

$$\frac{P_2}{\gamma} + H + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + (H - H_g) + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_g$$

推得

$$\boxed{\frac{P_3}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + H_g - \frac{V_2 L_g}{K_g}} \tag{4e}$$

將(4a)帶入(4e)式，最後推得施於土體之壓力為

$$\boxed{\frac{P_3}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}\left[1 - \left(\frac{a}{A}\right)^2\right] + H_g - V_1 \frac{L_g}{K_g}\left(\frac{a}{A}\right)} \tag{4f}$$

此外，土體下方 P_4 可推算如下：

$$\boxed{\frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_3}{\gamma} + (\mathrm{H}_s + \mathrm{H}_g) = \frac{P_4}{\gamma} + \Delta H_s + \mathrm{H}_g + \frac{V_2^2}{2g}}$$

實際施加於土體之壓力，可由 P_3 與 P_4 之壓力差獲得如下式：

$$\boxed{\frac{\Delta P_s}{\gamma} = \frac{P_3}{\gamma} - \frac{P_4}{\gamma} = H_s + \Delta H_s}$$

$$\boxed{\frac{\Delta P_s}{\gamma} = \mathrm{H}_s \left(1 + \frac{V_2}{K_s}\right)} \tag{4g}$$

$$\boxed{\frac{\Delta P_s}{\gamma} = \mathrm{H}_s \left(1 + \frac{aV_1}{AK_s}\right)} \tag{4h}$$

當量測出產生管湧的流速，便可以由(4h)式，推得直接施加於土體臨界壓力ΔP_s。ΔP_s 可定義為流經土體高度及長度均為 H_s，產生滲流

破壞之臨界壓力，與流經土體高度差、土壤達西定律滲透係數及滲流速度有關。

但實際上流經邊坡，滲流方向如圖 4，假設滲流速度不變，可由能量方程式建立下式

$$\frac{P}{\gamma}+\frac{V^2}{2g}+H_p=\frac{V^2}{2g}+\Delta H \qquad (4i)$$

(4i)式中，壓力水頭$\frac{P}{\gamma}=H_w$，H_p為位置水頭，為量測水位位置底部與坡底高差，ΔH為水頭損失，可用達西定律推估得$\Delta H=\frac{LV}{K_s}$，L 為滲流長度，V 為滲流速度，帶入(4i)式，推得

$$L=\frac{K_s}{V}\left(H_w+H_p\right) \qquad (4j)$$

(4j)式為滲流長度，當流速達到滲流破壞強度，則產生滲流破壞，此時 L 為滲流破壞最長長度,若滲流流線長度短於 L,則產生滲流破壞。(4j)式可解釋為，邊坡破壞若考慮管湧導致之滲流破壞現象，則須考慮流線長度，流線長度可由實驗室獲得臨界啟動流速、達西定律滲流係數，與無限邊坡理論整合，推得產生滲流之最長邊坡流線長度，若滲流長度小於(4j)式，則崩塌可能性增加，若滲流長度比(4l)式長，則降低崩塌可能性，實務解釋上，例如增加擋土牆，讓流路變長，則會使流線長度變長，防止崩塌產生，而推估滑動面以下土體，則與滑動

破壞無關，不過本研究假設為均勻土體，為理想假設，現地往往為混合土、砂及石頭堆積，且土壤壓密度不一，因此理論值僅提供參考，需到現場近一步踏勘驗證。

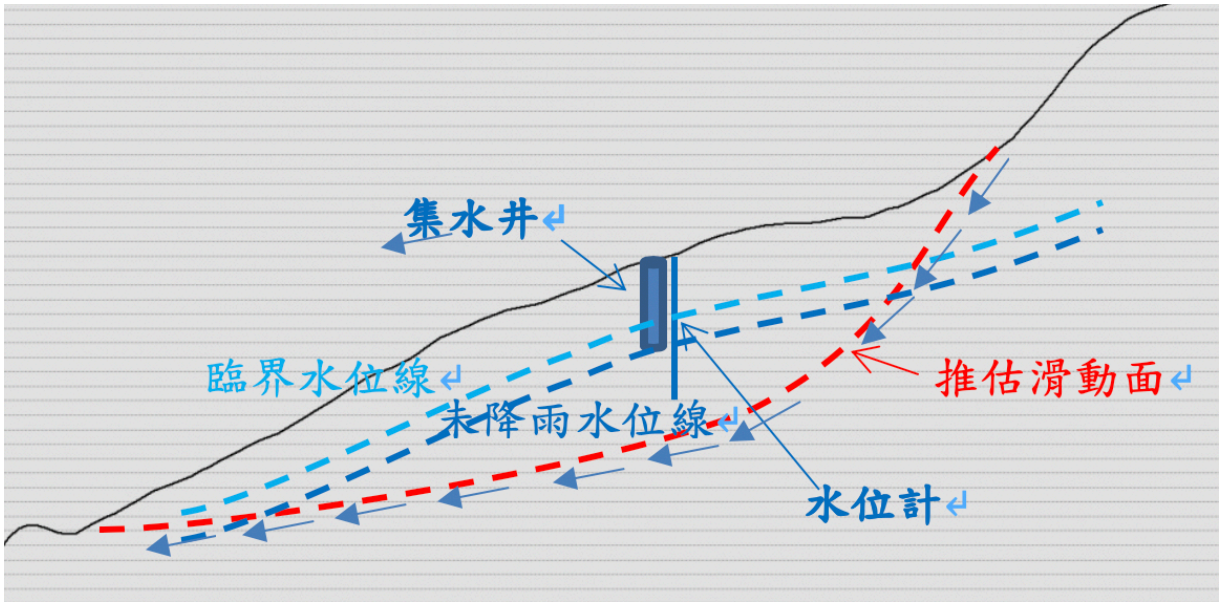


圖 4 實際邊坡滑動面

表 5 為飽和滲透壓（Geotechdata.inf, 2013），可提供未來現地土壤飽和滲透係數使用依據。而引起滲流之臨界壓力，目前尚無相關資料可以參考，本年度將持續研究，建立不同種類土壤之滲流速度，提供滲流破壞長度分析依據。

表 5 飽和滲流係數

土壤特性	USCS 分類	最小滲透係數 min (m/s)	最大滲透係數 max (m/s)
Well graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GW	5.00E-04	5.00E-02
Poorly graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GP	5.00E-04	5.00E-02
Silty gravels, silty sandy gravels	GM	5.00E-08	5.00E-06
Alluvial sand and gravel	(GM)	4.00E-04	4.00E-03
Clayey gravels, clayey sandy gravels	GC	5.00E-09	5.00E-06
Well graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SW	1.00E-08	1.00E-06
Very fine sand, very well sorted	(SW)		
Medium sand, very well sorted	(SW)		
Coarse sand, very well sorted	(SW)		
Poorly graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SP	2.55E-05	5.35E-04
Clean sands (good aquifers)	(SP-SW)	1.00E-05	1.00E-02
Uniform sand and gravel	(SP-GP)	4.00E-03	4.00E-01
Well graded sand and gravel without fines	(GW-SW)	4.00E-05	4.00E-03
Silty sands	SM	1.00E-08	5.00E-06
Clayey sands	SC	5.50E-09	5.50E-06
Inorganic silts, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	ML	5.00E-09	1.00E-06
Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity	CL	5.00E-10	5.00E-08
Organic silts and organic silty clays of low plasticity	OL	5.00E-09	1.00E-07
Inorganic silts of high plasticity	MH	1.00E-10	5.00E-08
Inorganic clays of high plasticity	CH	1.00E-10	1.00E-07
Compacted silt	(ML-MH)	7.00E-10	7.00E-08
Compacted clay	(CL-CH)	-	1.00E-09
Organic clays of high plasticity	OH	5.00E-10	1.00E-07
Peat and other highly organic soils	Pt	-	-

第二節 線性水庫模式預測地下水位

本研究採用計畫主持人發展(Hong & Wan, 2011)之線性水庫模式，來預測地下水如下：

一、地下水位擾動方程式推導

圖 5(a)為降雨至水流流至河川之過程，可用水文連續方程式(Chw et al. 1988) 描述水在土壤移動過程

$$\frac{dS}{dt} = I - O \tag{5}$$

式中 S 為水之儲蓄體積; I 為入流率，包括地下水流入及入滲；O 為地下水出流率。

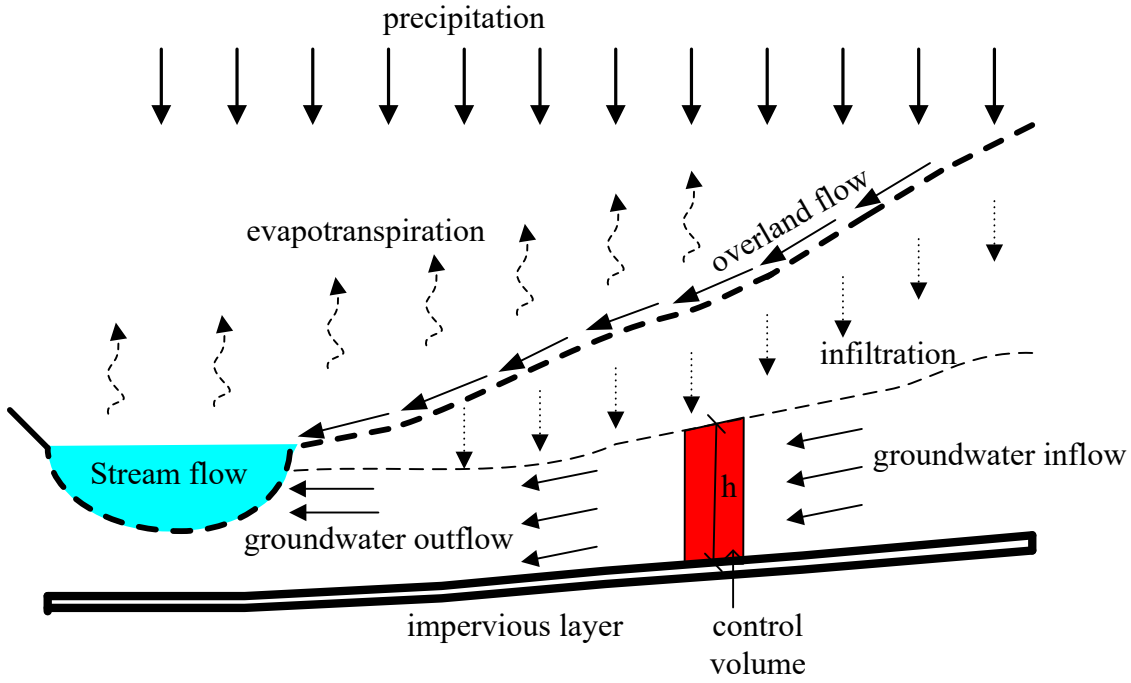
S 可用單位面積 L 之含水量表示如下(Rasmussen & Andreasen, 1959):

$$S = phL \tag{6a}$$

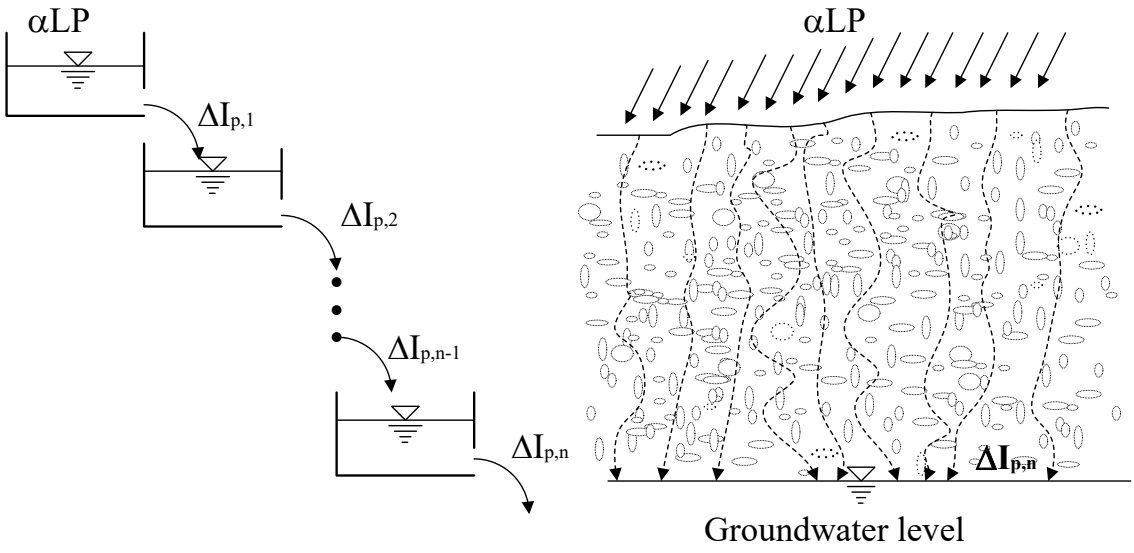
式中 p 為單位面積孔隙率，h 為水深(Maréchal et al. 2006; Park & Parker 2008; Sophocleous 1991)，S 對時間微分為

$$\frac{dS}{dt} = pL\frac{dh}{dt} \tag{6b}$$

(一)降雨入滲率



(a) Water travel process from precipitation to stream



(b)Conceptualization of infiltration process using a series of n identical linear reservoirs

圖 5 地下水流動概念圖

圖 5(a)顯示水之入流可表示如下：

$$I = I_p + I_g \tag{7a}$$

式中I_g 為地下水入流； I_p 為入滲率，為降雨量P_r 減蒸發散量E_r、漫地流O_r 及窪蓄量S_r 如下

$$I_p = \left[P_r - \left(E_r + O_r + S_r\right)\right]L \tag{7b}$$

Wu et al. (1996) 透過迴歸分析，推得降雨與入滲關係如下

$$I_{p,e} = 0.87\left(P_{r,e} - 5.25\right) \tag{7c}$$

式中$I_{p,e}$ 為個別降雨事件之入滲量(mm), $P_{r,e}$ 為降雨量(mm)，5.25 mm 為個別降雨事件門檻值，低於此值則無入滲量。

Park & Parker (2008) 則假設每日入滲率$I_{p,d}$ 與每日降雨量$P_{r,d}$之間，可用係數表示如下

$$I_{p,d} = \alpha P_{r,d} L \tag{7d}$$

式中α 代表降雨量之入滲比率。

本研究採用線性水庫模擬降雨入滲至地下水位過程，降雨至入滲補注地下水之時間稽由 n 個線性水庫來表示，每個水庫有相同的儲蓄常數β. 圖 5(b)為線性水庫概念圖，第一個線性水庫流量$\Delta I_{p,1}(t)$ 為入滲率除以儲蓄常數，將(7d)式代入，可推得降雨量之函數$\alpha LP(t)$:

$$\Delta I_{p,1}(t) = \frac{\alpha LP(t)}{\beta} \tag{7e}$$

採用水文連續方程式，將(7e)代入(5)式，則可推得第 n 個水庫流出率為：

$$\Delta I_{p,n}(t) = \frac{\alpha LP(t)}{\beta(n-1)!}\left(\frac{t}{\beta}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{\beta}} = \alpha LP(t)H(t) \tag{7f}$$

式中 $H(t)=\frac{1}{\beta(n-1)!}\left(\frac{t}{\beta}\right)^{n-1}e^{-\frac{t}{\beta}}$ 為入滲率之單位脈衝函數，對 $H(t)$ 微分，可獲得最大入滲率 H_p 及入滲時間 t_p

$$t_p=\beta(n-1) \tag{7g}$$

$$H_p=\frac{1}{\beta(n-1)!}(n-1)^{n-1}e^{-(n-1)} \tag{7h}$$

(7g)式可知 β 及 n 越大，則 t_p 越大且 H_p 越小。

將時間離散成許多 Δt ，設 P_m 為介於 $(m-1)\Delta t$ 及 $m\Delta t$ 間之降雨深度，$t=N\Delta t$ 之入滲率為

$$I_{p,N}(t)=\alpha L\left(P_1H(N\Delta t)+P_2H[(N-1)\Delta t]+\ldots+P_mH[(N-m+1)\Delta t]+\ldots+P_NH[\Delta t]\right)$$

$$=\alpha L\sum_{m=1}^{N}P_mH[(N-m+1)\Delta t] \tag{7i}$$

式中 N 為因為 n 及 β ，導致入滲綠結果之影響區間

(二) 地下水流率

圖 6(a)說明地下水控制體積，入滲率 I_p、地下水入流 I_g 及出流率 O_g 之相互關係，圖 6(b)-(e)，則說明交互作用導致地下水位上升及下降之其過程。

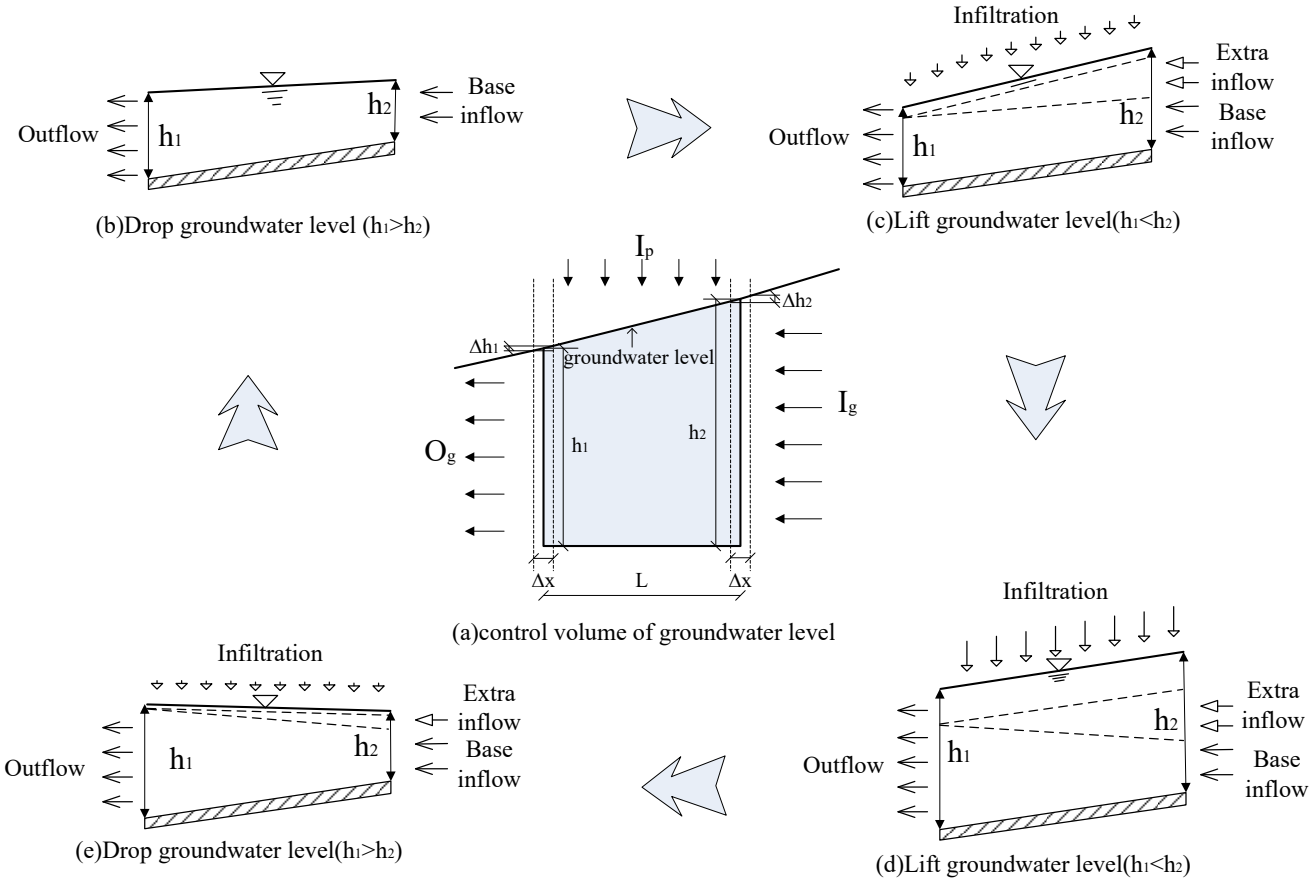


圖 6 暴雨期間地下水位擾動變化

經由 Darcy’s law，地下水入流率可表示為

$$I_g = k\frac{\Delta h_2}{\Delta x}h_2 \tag{8a}$$

式中 k 為水力傳導係數；$\frac{\Delta h_2}{\Delta x}$ 為入流水力梯度；h_2 為入流單位寬度之水深，地下水流出率為

$$O_g = k\frac{\Delta h_1}{\Delta x}h_1 \tag{8b}$$

式中 $\frac{\Delta h_1}{\Delta x}$ 為出流水力梯度；h_1 出流單位寬度之水深。假設局部水力梯度等於區域水力梯度，即 $\frac{\Delta h_2}{\Delta x}=\frac{\Delta h_1}{\Delta x}=\frac{\Delta h}{\Delta x}$，則入流率 I_g 與出流率 0_g 差值為

$$I_g - O_g = k\left(h_2 \frac{\Delta h_2}{\Delta x} - h_1 \frac{\Delta h_1}{\Delta x}\right) = -kL \frac{\Delta h}{\Delta x}\left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right) = -kLi \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (8c)$$

式中控制體積平均水力梯度 $i = \frac{h_1 - h_2}{L}$ ， Park & Parker (2008) 假設淨儲存體積改變量與儲存體積之間之關係如下

$$I_g - O_g = KS = KpLh \quad (8d)$$

式中 $K = \frac{-ki}{ph} \frac{\Delta h}{\Delta x}$ 為地下水傳輸參數，假設 $L \cong \Delta x$ 及 $(h_1 - h_2) \cong \Delta h$ ，則 $\frac{\Delta h}{\Delta x} \cong i$ ， $K = -\frac{ki^2}{ph}$ ，因為 i^2 ， k， p 及 h 為正值， K 則為負值。

整合入滲及側向入流，則連續方程式可寫成下式：

$$\mathrm{I - O = KpLh + A\alpha L \sum_{m=1}^{N} P_m H\left[(N - m + 1)\Delta t\right]} \quad (8e)$$

式中 A 為集水區面積

二、數值方法求解

將(6b)、(7i)及(8e)式代入(5)式，再除以 pL ，可推得下式

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = Kh + I\sum_{m=1}^{N} P_m H\left[(N - m + 1)\Delta t\right] \quad (9a)$$

式中 $I = \frac{\alpha}{p}(A + 1)$ ，為大於 0 之值，定義為上升數(Rise Number)，而 $I\sum_{m=1}^{N} P_m H\left[(N - m + 1)\Delta t\right]$ 為入滲及地下水入流， K 定義為下降數(Sink Number)，為小於 0 之值。 Kh 為地下水水頭損失。

(9a)式為一階線性微分方程式，可用 4 階 Runge-Kutta 數值模式求解(Anderson, & Woessner 1992; Chapra & Canale 1988; Hong 2008; Hong 2010)，首先(9a)式可推導如下

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = f(t,h) \tag{9b}$$

定義 $t_i = \Delta t \times i$，其對應地下水位為 h_i，則

$$C_1 = f(t_i, h_i) = Kh_i + I\sum_{m=1}^{N} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right] \tag{9c}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= f\left(t_i + \frac{\Delta t}{2}, h_i + \frac{\Delta t}{2} C_1\right) \\ &= K\left(h_i + \frac{\Delta t}{2} C_1\right) + \frac{1}{2}\left(I\sum_{m=1}^{N} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right] + I\sum_{m=2}^{N+1} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right]\right) \end{aligned} \tag{9d}$$

$$\begin{aligned} C_3 &= f\left(t_i + \frac{\Delta t}{2}, h_i + \frac{\Delta t}{2} C_2\right) \\ &= K\left(h_i + \frac{\Delta t}{2} C_2\right) + \frac{1}{2}\left(I\sum_{m=1}^{N} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right] + I\sum_{m=2}^{N+1} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right]\right) \end{aligned} \tag{9f}$$

$$C_4 = f(t_i + \Delta t, h_i + \Delta t C_3) = K(h_i + \Delta t C_3) + I\sum_{m=2}^{N+1} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right] \tag{9g}$$

式中 P_{N+1} 為 $N\Delta t$ 時間之降雨率，進一步分析，於$t_i + \frac{\Delta t}{2}$ 之降雨深度未知，因此$\frac{1}{2}\left(I\sum_{m=1}^{N} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right] + I\sum_{m=2}^{N+1} P_m H\left[(N-m+1)\Delta t\right]\right)$ 可視為在 $t_i + \frac{\Delta t}{2}$ 時間之入滲率及額外入流率。根據 4 階 Runge-Kutta 演算法，於時間t_{i+1}之地下水位 h_{i+1} 為

$$h_{i+1} = h_i + \frac{\Delta t}{6}(C_1 + 2C_2 + 2C_3 + C_4) \tag{9h}$$

(9h)式說明於t_{i+1} 時間之地下水位可以由 t_i 時間之降雨求得。

第三節 應用類神經網路預測地下水位變動量

本研究將採用 Hong(2017)研發之方法，進行崩塌地之地下水位預測，透過預測系統建置，可以提早得知未來一小時、二小時甚至更久之後的地下水位預測，與已發展好之理論模式相結合，作為預警系統建置之用。

以水文循環觀點來看，降雨落於地面，然後入滲至土壤，經過一段時間之後，水分達到含水層，然後沿著不透水面流至下游。根據上述描述，即時地下水位及降雨將影響未來地下水位變化。即時地下水位及降雨為最常採用之因子，而預測之期程以一場暴雨，則蒸發散量及溫度可視為常數。定義 H_t 及 H_{t+1} 分別為 t 及 t+1 時間之地下水位，P_t 為 t 時間之降雨量，$f(H_t;P_t, P_{t-1},\cdots, P_{t-s})$為轉換函數。可推得下式：

$$H_{t+1} = H_t + f(H_t; P_t, P_{t-1},..., P_{t-s}) \tag{10}$$

(10)式說明 $t+1$ 時間之地下水位為 t 時間的地下水位及之前累積降雨之影響。若另定 $H_{diff}(t)$為時間 t 至 t+1 之間之地下水擾動量，則(10)式可改為

$$H_{diff}(t) = H_{t+1} - H_t = f(H_t; P_t, P_{t-1},..., P_{t-s}) \tag{11}$$

本研究採用(11)式來描述一場暴雨地下水擾動量與相關因子關係，並以類神經網路進行時間序列之演算。首先地下水擾動模擬亦

採用倒傳遞類神經網路，使用 25 個神經元，也就是影響預測時間的地下水位資料包括過去 24 小時及目前地下水位，包括H_t及P_t，P_{t-1}，…, P_{t-23}為輸入層，擾動變化量$H_{diff}(t)$為輸出層；系統採用一層隱藏層，亦為 73 個神經元，輸入層至隱藏層以 log-sigmoid 為轉換函數，隱藏層至輸出層採用線性函數(Howard and Mark 2004)。預測部分，可以預測之後時間，可選擇預測時間與目前時間之差。

本研究目前先利用 C 語言，將原有降雨資料及地下水位資料，將訓練樣本及驗證樣本轉換為輸入矩陣，本計畫採用過去 24 小時降雨及當下之地下水位，預測下一小時、二小時及三小時地下水位，經過整理後之矩陣，使用 Matlab NNTool 進行訓練，訓練所得參數，再輸入另一場暴雨進行驗證，未來可以整合為執行檔，進行即時預測之用，圖 7 及圖 8 為預測方法說明，本年度將寫成執行檔案，直接提供給系統執行。

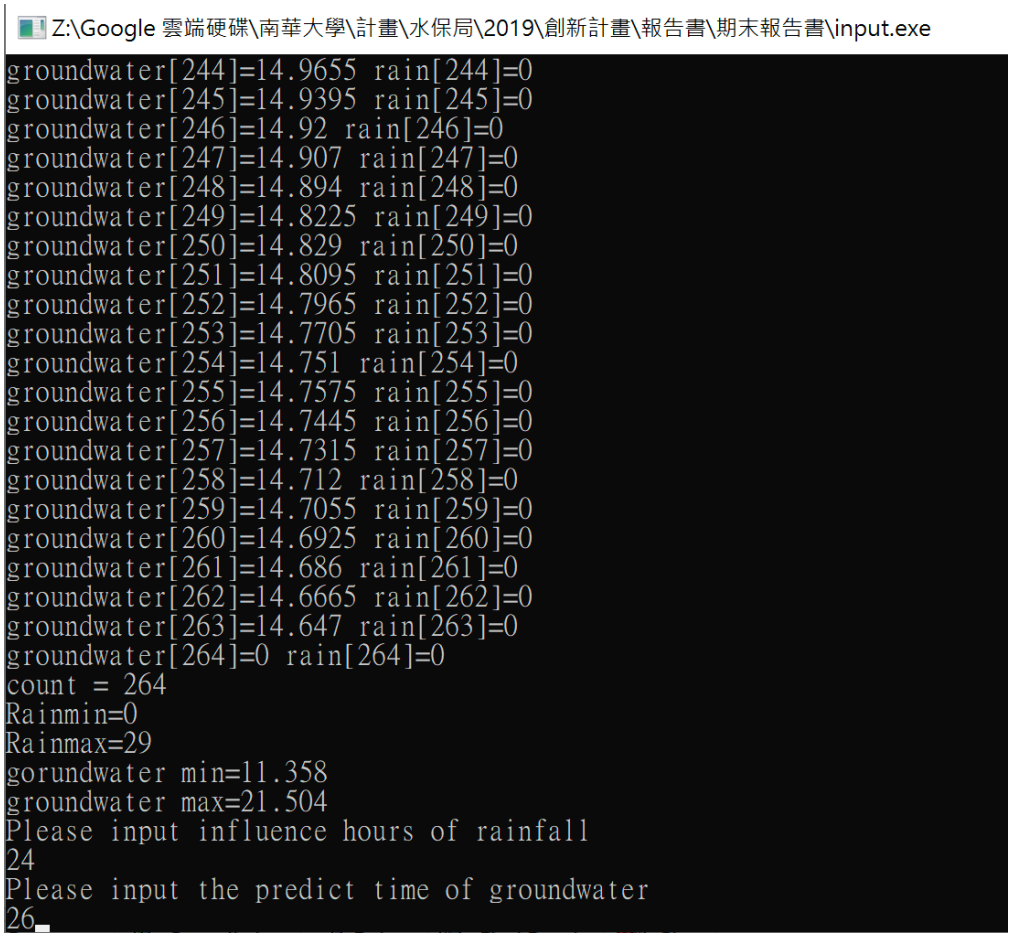
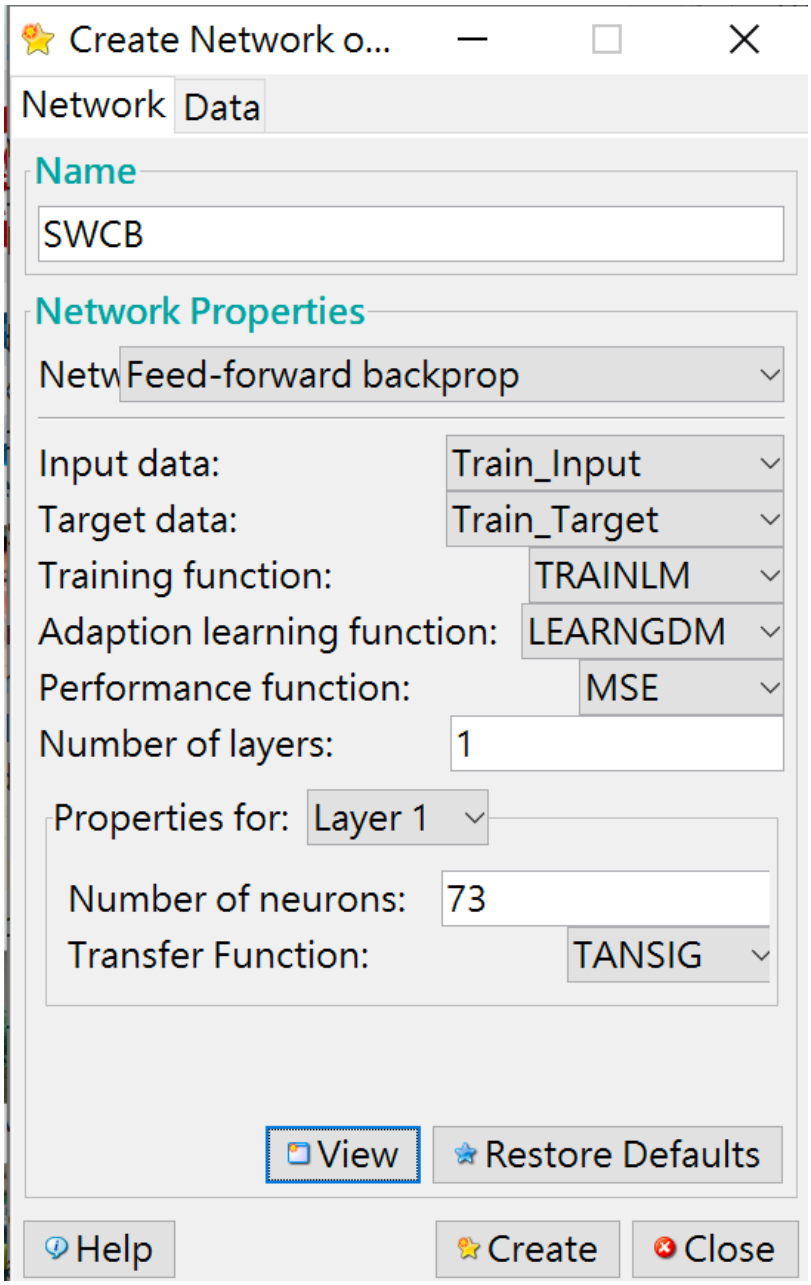
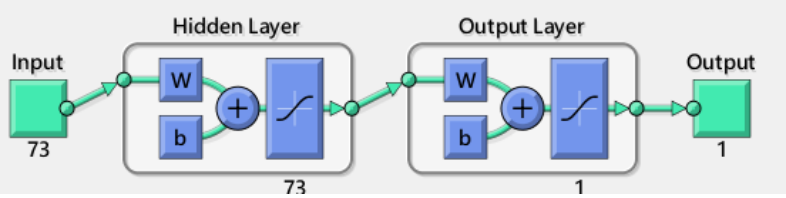


圖 7 原始資料矩陣轉換

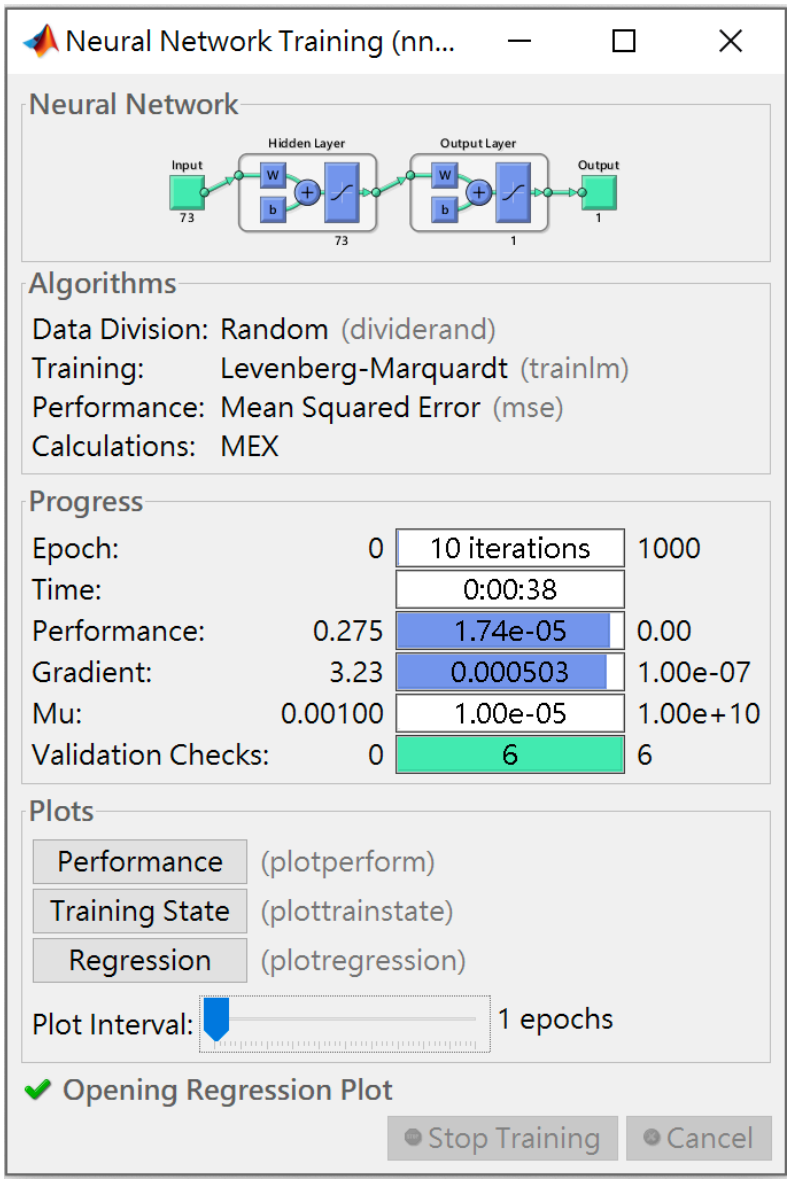
NNTOOL 執行時，需要選擇參數設定及訓練如圖 8。



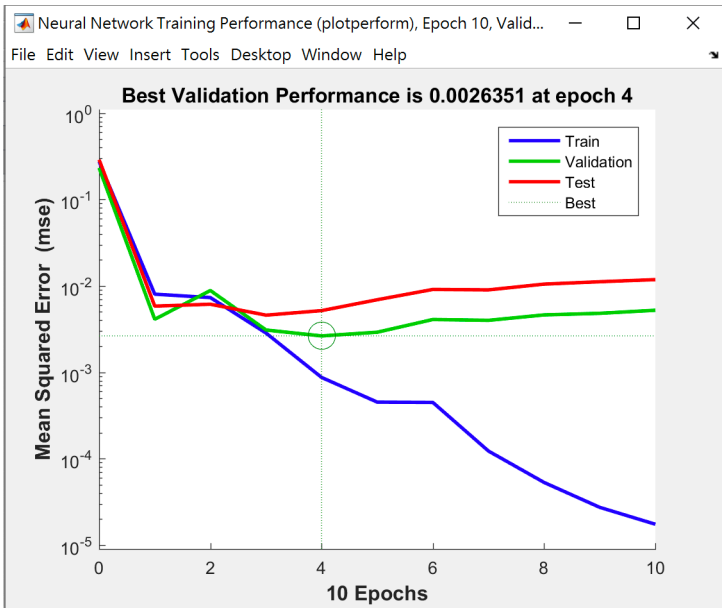
(a) NNTOOL 參數設定



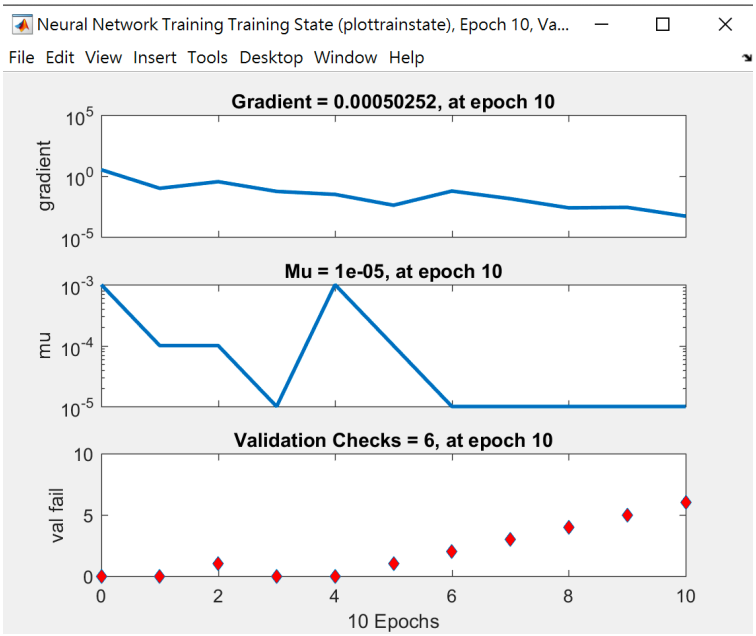
(b)設定之模型


Neural Network Training (nn...
Neural Network
Input
73
Hidden Layer
W
b
73
Output Layer
W
b
1
Output
1
Algorithms
Data Division: Random (dividerand)
Training: Levenberg-Marquardt (trainlm)
Performance: Mean Squared Error (mse)
Calculations: MEX
Progress
Epoch: 0 10 iterations 1000
Time: 0:00:38
Performance: 0.275 1.74e-05 0.00
Gradient: 3.23 0.000503 1.00e-07
Mu: 0.00100 1.00e-05 1.00e+10
Validation Checks: 0 6 6
Plots
Performance (plotperform)
Training State (plottrainstate)
Regression (plotregression)
Plot Interval: 1 epochs
Opening Regression Plot
Stop Training
Cancel

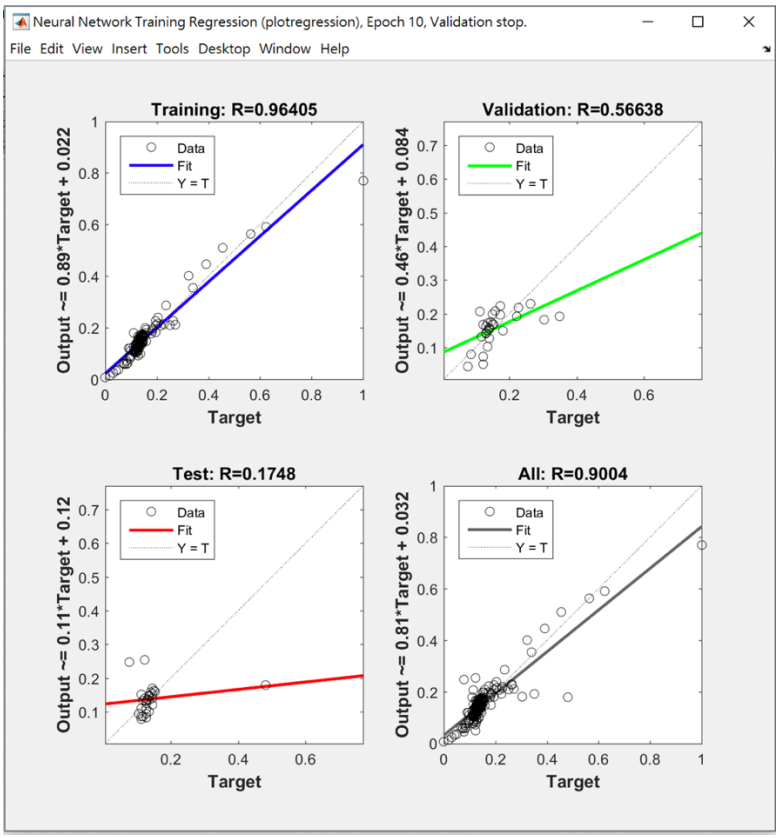
(c)演算成果



(d)均方根誤差



(e)訓練狀態



(f)回歸模型

圖 8 類神經網路訓練

第四章 驗證場域

本計畫引用水土保持局於梨山及中心崙之即時監測站，進行全面性檢核降雨與地下水位之連動關係，再擇定關係較佳者，進行分析，並建立即時預警系統。

第一節 梨山地區

依據農委會水土保持局(2016)105 年度大梨山地區地滑地監測管理及系統維護資料分析，梨山地區地層滑動範圍涵蓋遼闊，主要包括中橫公路台 8 線與宜蘭支線(台 7 甲)交會處的梨山里一帶，本區域在民國 79 年 4 月間發生大規模的地層滑動，台 7 甲線路基嚴重下陷流失而致中斷，而台 8 線及座落在梨山地區的幾處重要公共設施，均發生嚴重地基下陷及建物損毀等情況。為防止地滑災害持續擴大，不利德基水庫集水區之維護管理，水土保持局自民國 84 年度起實施梨山地區的「坡地災害整治」計畫。於民國 91 年度完成治理之工作，並依現地需要擬定了梨山地區地層滑動整治後續的計畫，持續針對原有施工中監測系統，調整提昇為可即時通報的預警系統，並據此研定了各項監測預警的基準值。各年度除了持續維持系統運作及更新監測儀器外，並應對整體預警系統的介面與運作方法加強辦理。

梨山及其週遭範圍在歷經 921 地震及後續颱風影響，尤其是民國 93 年七二水災過後，原地滑地治理區之西區、東南區外圍及東方，包括省道台 7 甲 68K～70K 附近的松茂部落、台 8 線 82K+200 加油站下方、台 8 線 80.9K 處下邊坡老部落及台 8 線 76K～79K 路段上的新舊佳陽部落等地，都有新的地滑地的產生，危及居民居家及耕作的安全，雖經緊急處理，仍有長期治理的需求及安全監測預警的必要，在第三期計畫(96～99 年度)，擴大原治理管理範圍，以保障原住民部落安全並加強保護德基水庫的上游集水區。

梨山隸屬於臺中市和平區，人口約 2,138 人，位置約在臺灣中部臺中市區東偏北約 100 公里的中央山脈中，標高約在 1,950 公尺左右，為中部橫貫公路（台 8 線）以及其宜蘭支線（台 7 甲線）交會點。此為中橫公路交通、商業、觀光旅遊及行政之綜合據點，圖 16 為梨山地區主要地點分布圖。

梨山周圍部落，包括位於宜蘭支線（台 7 甲線）61 公里處下方的環山地區與 68～70 公里兩側的松茂地區，以及中部橫貫公路（台 8 線）80.9 公里處下方的老部落與 76～79 公里公路上邊坡的新佳陽地區，統稱為「大梨山地區」，都有新的地滑地產

生，有長期治理的需求及安全監測預警的必要，擴大原管理監測範圍，以保障原住民部落安全並加強保護德基水庫的上游集水區。



圖 9 梨山地區主要地點分布圖

一、梨山精華區

梨山賓館是梨山著名的地標，為昔日蔣公行館之一，其他有臺灣家喻戶曉之觀光景點，梨山文物館、台汽車站等公共設施，但皆因民國 79 年 4 月 15 日至 19 日間，梨山地區發生大規模之地層滑動，造成國民旅舍與台汽車站內部嚴重損壞而暫停使用，921 地震後，中橫公路谷關往德基段中斷，因交通不便，梨山觀

光產業一落千丈，梨山賓館更是幾近閒置。目前國民旅舍與台汽車站已拆除，環境已大致改善，政府相關單位積極推動振興觀光產業計畫，希望能逐漸恢復往日景象，目前梨山賓館進行 OT 案，101 年營運，圖 17 為梨山精華區位置與說明圖。

地滑體特性：水對於邊坡滑動的影響甚大，由於本地滑區係位於匯集地表逕流之凹谷地形，使得降雨可直接由地表或裂隙滲入地下，沿著滑落崖陡坡或滑動土體冠部裂隙發達處匯入，加注至本區地下水，降低了土壤有效應力，破壞了邊坡之穩定性，因此降雨與地下水為滑動之最大誘因。

滑動體特性：由數個上下關聯之滑動體所構成，屬複合型風化岩或崩積土層之地滑。

監測治理範圍之面積共300公頃(包括梨山地區約230公頃、松茂地區約 20 公頃、老部落地區約 20 公頃、新佳陽地區約 30 公頃)。



圖 10 梨山精華區位置與說明

二、松茂地區

松茂地區位於台 7 甲線 68～70K 公里處標高約在 1,690 公尺左右，公路兩側主要為泰雅族原住民部落，主要聯外道路為台 7 甲線，往南接梨山，往北可通往宜蘭。由於松茂地區之地形及地質因素影響，每逢地震、颱風及豪大雨期間，常引發地滑、路基崩壞等災害，造成當地居民生命財產之危害，為一處已久存的地滑區。

松茂地滑區地形上位於太保久稜線西側坡面，下邊坡處有大甲溪之曲流通過，地勢由東南向西北遞降，平均坡度 20°～30

。地滑區依地形研判，大致以一小山脊分為南北兩區，兩區之下邊坡均位於大甲溪之攻擊凹岸，北區有一明顯老崩塌之馬蹄形陡坡及凸狀台地地形；南區除有一明顯崩塌地，馬蹄形陡坡崖頂位於松茂產業道路邊，凸狀台地地形向下邊坡延伸，並將台 7 甲線部份路段截斷下移；此一滑動體曾多次滑動，其下方房屋及植物之傾斜情況明顯。

滑動體特性：推測由一個圓弧形滑動面之滑動體所形成，屬風化岩或崩積土層之地滑。

滑動區監測範圍與滑動面深度約 20 公頃，依目前監測結果，最深達地下 48 公尺。



圖 11 松茂地區位置與說明

三、老部落地區

梨山老部落地區位於省道台 8 線 80K+900，梨山往德基方向，齡恩路下方山坡地，海拔約 1,750 公尺，於進入梨山街區前約 1 公里。位於梨山地滑分區中的西區(A 區滑動土體)所匯集之坑溝以西，鄰近大甲溪，區域內地表水匯集成一主要坑溝後排入大甲溪。主要通行道路為齡恩路，為當地農民輸運貨物、人員進出之唯一對外道路。

區域內地表大部分坡度從 15°～45°，坡度 35°以上區域主要分布在靠近德基水庫之區域坑溝下游部分，自西側稜線以西向上延伸，此部份目前現地踏勘並未發現有明顯滑動跡象。

滑動體特性：推測由一個圓弧形滑動面之滑動體所形成，屬風化岩或崩積土層之地滑。

滑動區監測範圍與滑動面深度約 20 公頃，依目前監測結果，最深達地下 37.5 公尺。



圖 12 老部落地區位置與說明

四、新佳陽地區

新佳陽部落位於台 8 線 76K～79K 之公路上邊坡，原舊佳陽部落位於德基水庫對岸的台地上，因興建德基水庫致使舊佳陽部落被淹沒，於民國 57 年遷村到現址的新佳陽部落。

新佳陽部落高程介於 1,750～1,900 公尺，位於一個呈西南－東北走向之山脊的坡腹，地勢由西南向東北遞降，終而沒入大甲溪。新佳陽部落東側為一山凹，地形上屬侵蝕面，有一條溪溝通過。因為地質破碎，加以岩層的解壓作用，造成裂隙發達，地表水淘刷溪溝兩岸土石，向源侵蝕作用極強烈。滑動體特性：推測新佳陽滑動面由塊體解壓所形成並逐漸向上發展，屬平面滑動之地滑。滑動區監測範圍約 30 公頃，依目前監測結果，最深達地下 13.9 公尺。



圖 13 新佳陽地區位置與說明

第二節 中心崙地區

摘錄水土保持局(2020)，109 年度中心崙崩塌地調查與多尺度監測計畫成果報告書，及 110 年度中心崙地區潛在大規模崩塌調查、監測及規劃計畫期初報告書，簡述中心崙地區如下：

一、崩塌潛勢

中心崙計畫區為嘉義縣-竹崎鄉-T003 潛在大規模崩塌區，位於嘉義縣竹崎鄉白杞村，根據「109 年度中心崙崩塌地潛在大規模崩塌調查監測計畫」監測成果顯示，計畫區已有明確滑動徵兆，已屬高潛勢崩塌區。根據歷年經測成果，中心崙區域佈設 GPS 固定樁觀測點及地層觀測儀器以掌握 M1、M2 塊體坡面滑動特性，及更大範圍之 L 深層滑動，坡腹處劃定了 M1 滑動塊體及 M2 滑動塊體，兩處塊體屬淺層滑動，經由歷年傾斜管觀測成果資料，地層整體向北方及北北西方向滑動，其崩塌地及高崩塌潛勢邊坡面積約 32.62 公頃。

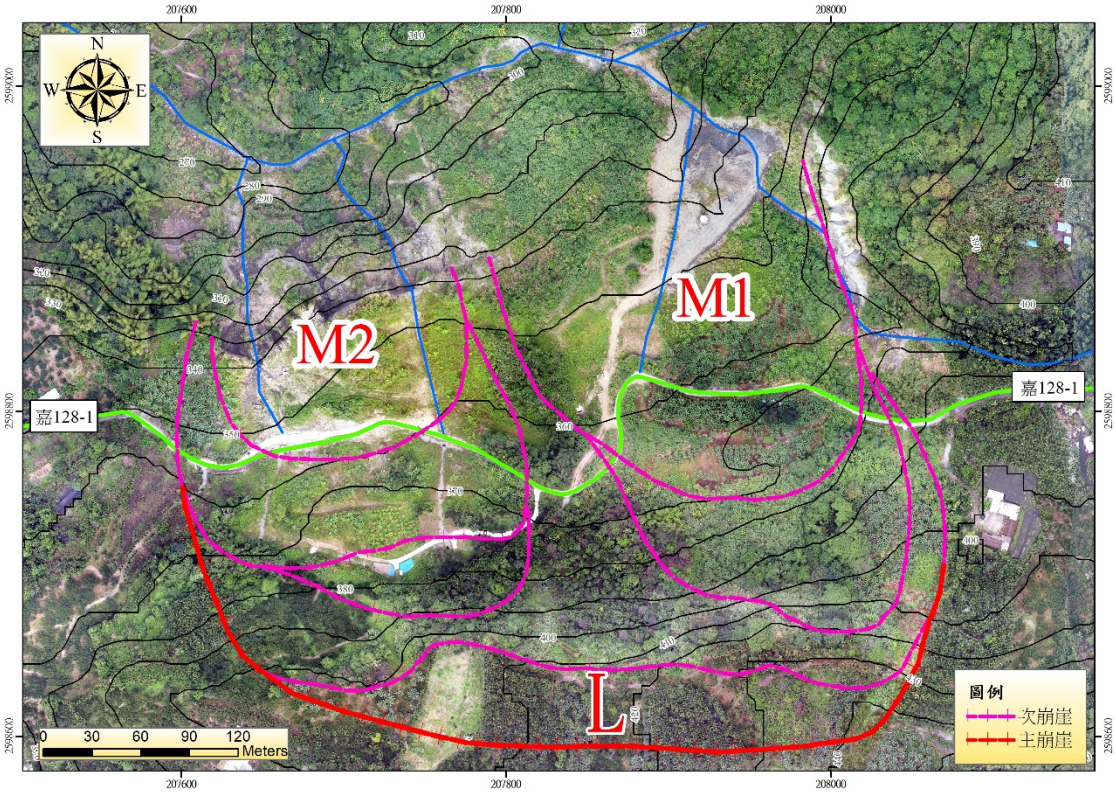


圖 14 中心崙推估滑動塊體分佈圖

二、監測設施

既有雨量筒原位於本計畫區東側邊界上，由於鄰近有植生，考量 M1 滑動塊體既有監測站附近地勢較為平緩，且鄰近無樹木遮蔽，因此將雨量筒移至 M1 滑動塊體之監測站如圖 15，110 年將圖 16 18-3 改為電子式水位計，編號 JSL-OW5。

表 6 中心崙自動監測站

監測項目	數量	儀器編號
水位計	5 處電子式水位計(自動)	JSL-OW1、JSL-OW2、JSL-OW3、JSL-OW4、JSL-OW5
雨量筒	1 處	JSL-R1

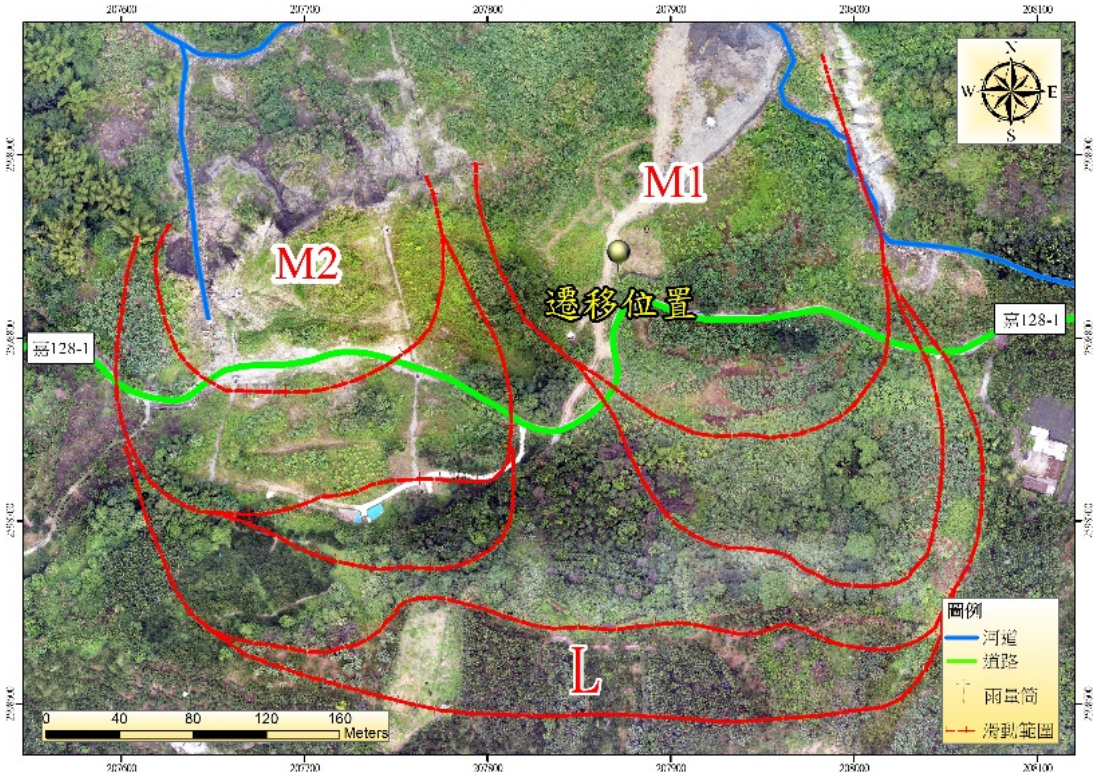


圖 15 雨量筒遷移位置圖

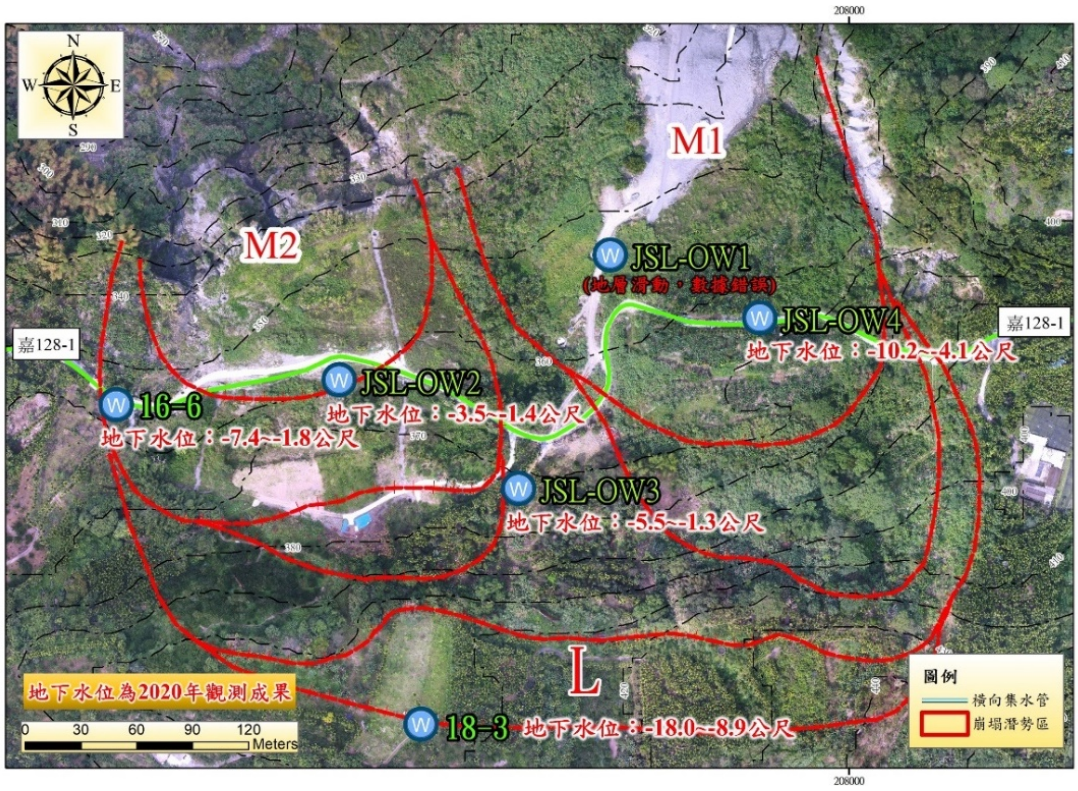


圖 16 地下水位計位置圖

三、地下水流向

為評估中心崙地區邊坡地下水流向系統，根據水土保持局(109)蒐集歷年中心崙地區鑽孔資料，以鑽孔水位高程來進行區域 3D 地下水流向模擬，坡趾處則以嘉縣 DF015 土石流潛勢溪流之河道高程加以控制，使用 GIS 系統之 Kriging 內插法對鑽孔資料進行分析及研究，並經由 ArcView 的空間分析，採網格水頭的高低判釋其水流的方向，在判釋地下水流向後，可提供考慮阻水層以及基盤所產生的影響，判釋地下水流向的概念化模式，其成果如圖 17 所示。

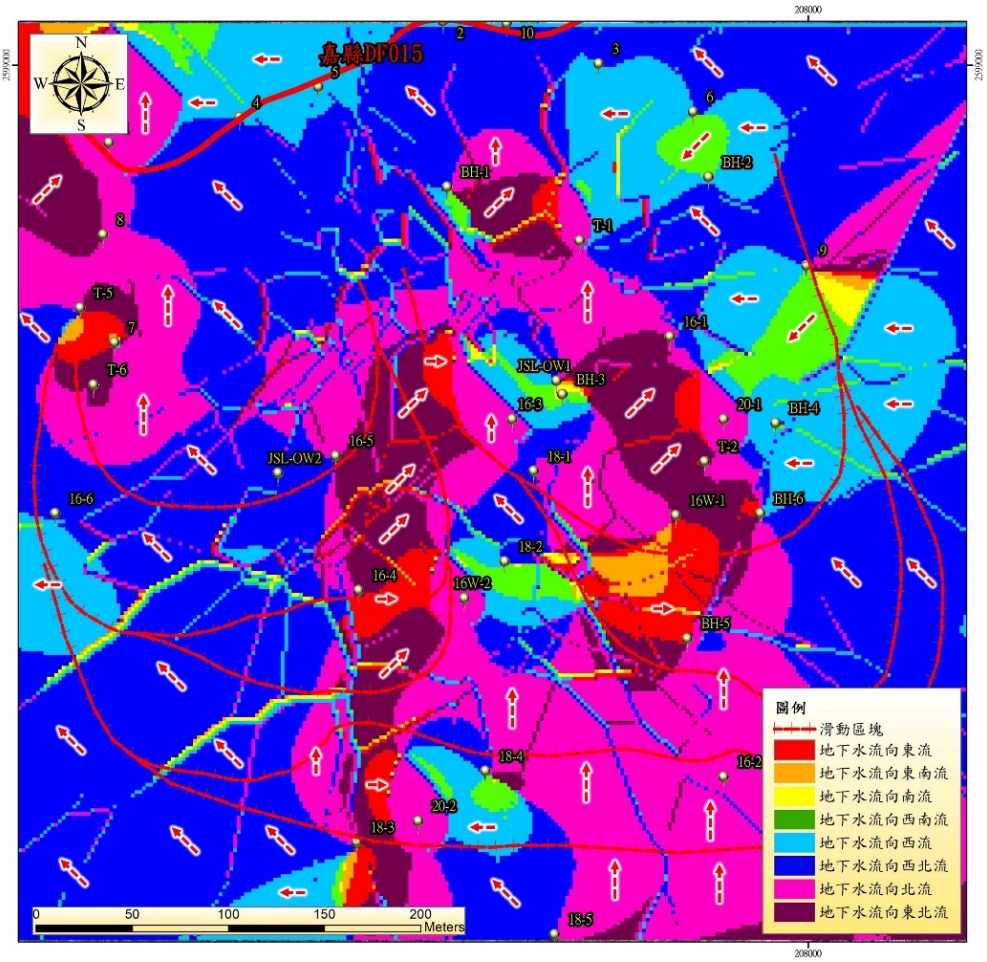


圖 17 地下水流向分佈成果圖

第五章 即時系統建置

本年度建立即時地下水位預測系統如圖 25 即時預測系統構想，109 年已完成資料接收及儲存系統，說明如下

第一節 資料庫架構

建置計畫所需歷史及即時之降雨、地下水位資料，若未來能取得降雨預測資料，再補充至水文資料庫。

一、系統建置

本計畫以 WAMP(Windows + Apache + PHP + MySQL)的架構開發。WAMP 是基於 Windows、Apache、MySQL 和 PHP 的資源開放網路開發平台；Apache 是最通用的網路伺服器；MySQL 是帶有網路管理附加工具的資料庫，MySQL 資料庫體積小、速度快、總體擁有成本低，開源、支援多種作業系統，資料庫提供的介面支援多種語言連線操作。靈活地為使用者提供服務，而不過多的系統資源。上述各自獨立的程式，因為常被放在一起使用，擁有相當高的兼容性，共同組成強大的網路發展平台。優點是沒有頻寬流量限制、沒有空間限制、沒有設定上的限制。系統架構圖如下：



圖 18 系統架構圖

二、監測項目

監測來源包括中心崙、梨山的地下水位與雨量資料，其中中心崙有一個雨量計與三個地下水位計，梨山包括梨山精華區及松茂地區，有五個雨量計與五個地下水位計，對應編號如下表所示。

表 7 感測器與對應地區關係表

地區與感測器	雨量計	地下水位計
中心崙	JSL-R1	JSL-OW1
		JSL-OW2
		JSL-OW3
		JSL-OW4
		JSL-OW5
梨山	A-1-R	A-1-OW
	B-4-R	B-4-OW
	C-1-R	C-1-OW
	J-1-R	J-1-OW
	L-1-R	L-1-OW
	S-1-R	S-1-OW

三、資料庫建置

資料庫包含地區、感測器標號、時間與雨量及地下水位資料，資料庫架構如下圖。

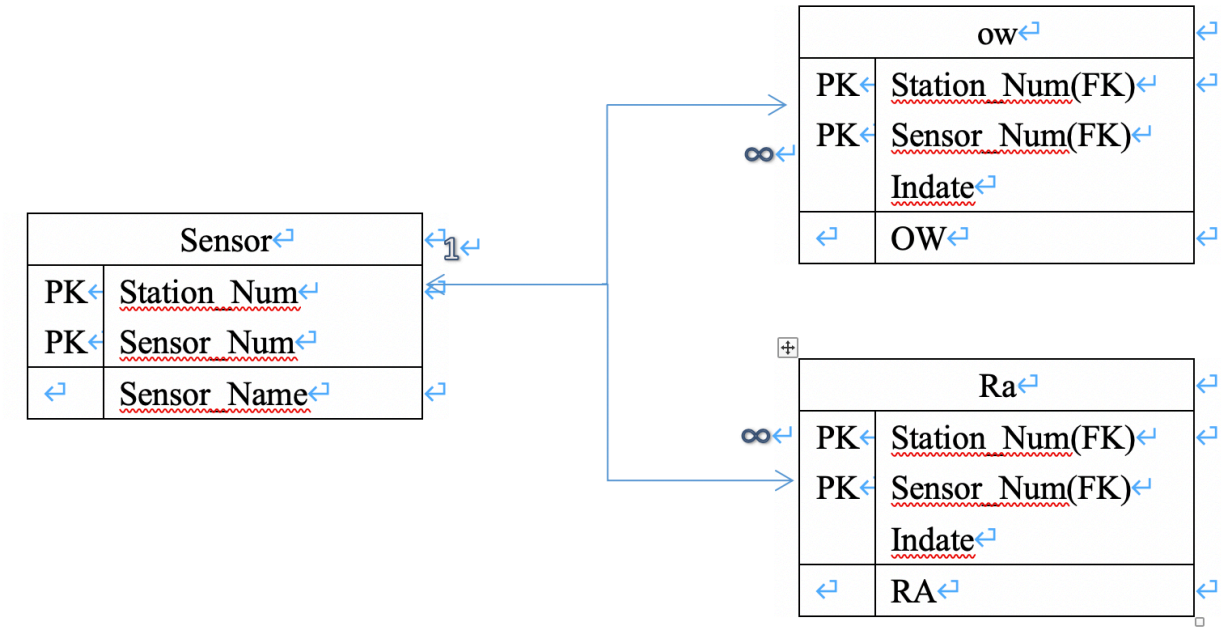


圖 19 資料庫架構圖

資料庫與表單欄位說明如下表。

表 8 資料庫表單說明

表單名稱	表單說明	欄位名稱	欄位說明
Sensor	定義站與感測器關係表	Station_Num	主鍵(Primary Key, PK) 監測站編號
		Sensor_Num	主鍵(Primary Key, PK) 感測器編號
		Sensor_Name	感測器名稱
OW	監測站地下水位資料表	Station_Num	外部鍵(Foreign Key, FK) 監測站編號
		Sensor_Num	外部鍵(Foreign Key, FK) 監測站編號
		indate	日期時間
		OW	感測器紀錄地下水位資料
RA	監測站雨量資料表	Station_Num	外部鍵(Foreign Key, FK) 監測站編號
		Sensor_Num	外部鍵(Foreign Key, FK) 感測器編號
		indate	日期時間
		RA	感測器紀錄雨量資料

第二節 即時資料輸入

本計畫與震翔監測工程，連結梨山及中心崙即時監測原始資料 XML 網頁，如圖 20 及圖 21。利用讀檔程式每十分鐘抓取一筆即時資料寫進資料庫，梨山抓取 A1、B4、C1、S1、S3、L1、J1 監測站即時雨量及地下水位資料；中心崙抓取 JSL1、JSL2、JSL3、JSL4、JSL5 監測站即時雨量及地下水位資料，如圖 22 及 23。

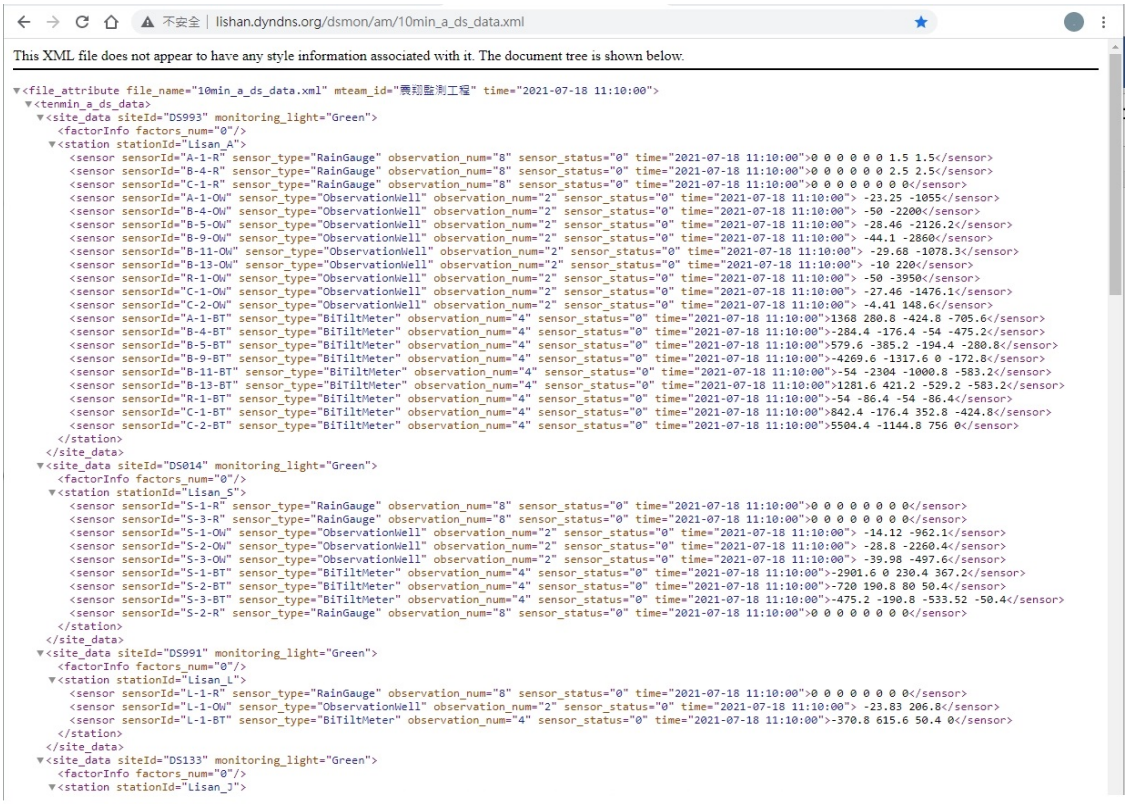


圖 20 梨山即時監測原始資料 XML 網頁圖

(http://lishan.dyndns.org/dsmon/am/10min_a_ds_data.xml)



圖 21 中心崙監測原始資料 XML 網頁圖

(http://61.216.161.9/dsmon/am/10min_a_ds_data.xml)

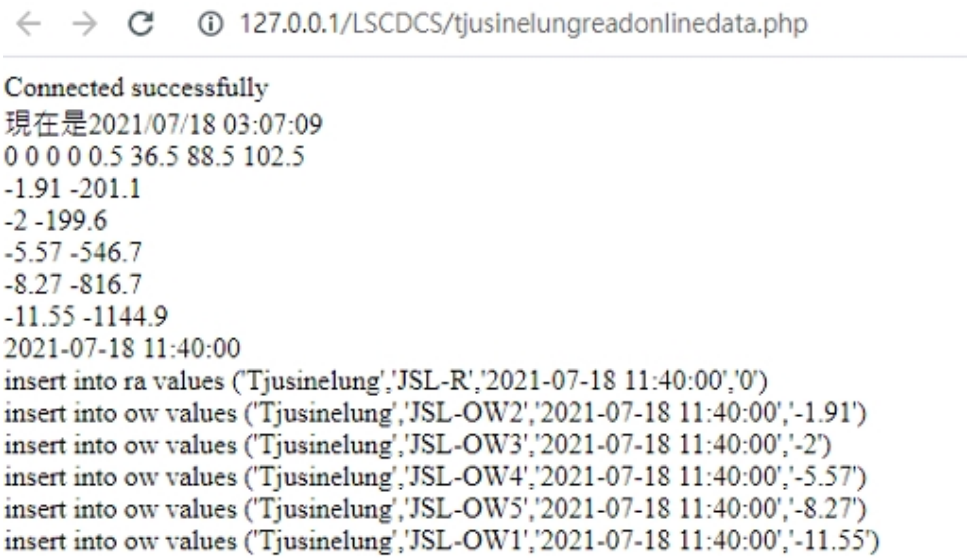


圖 22 梨山即時監測原始資料讀檔程式執行圖

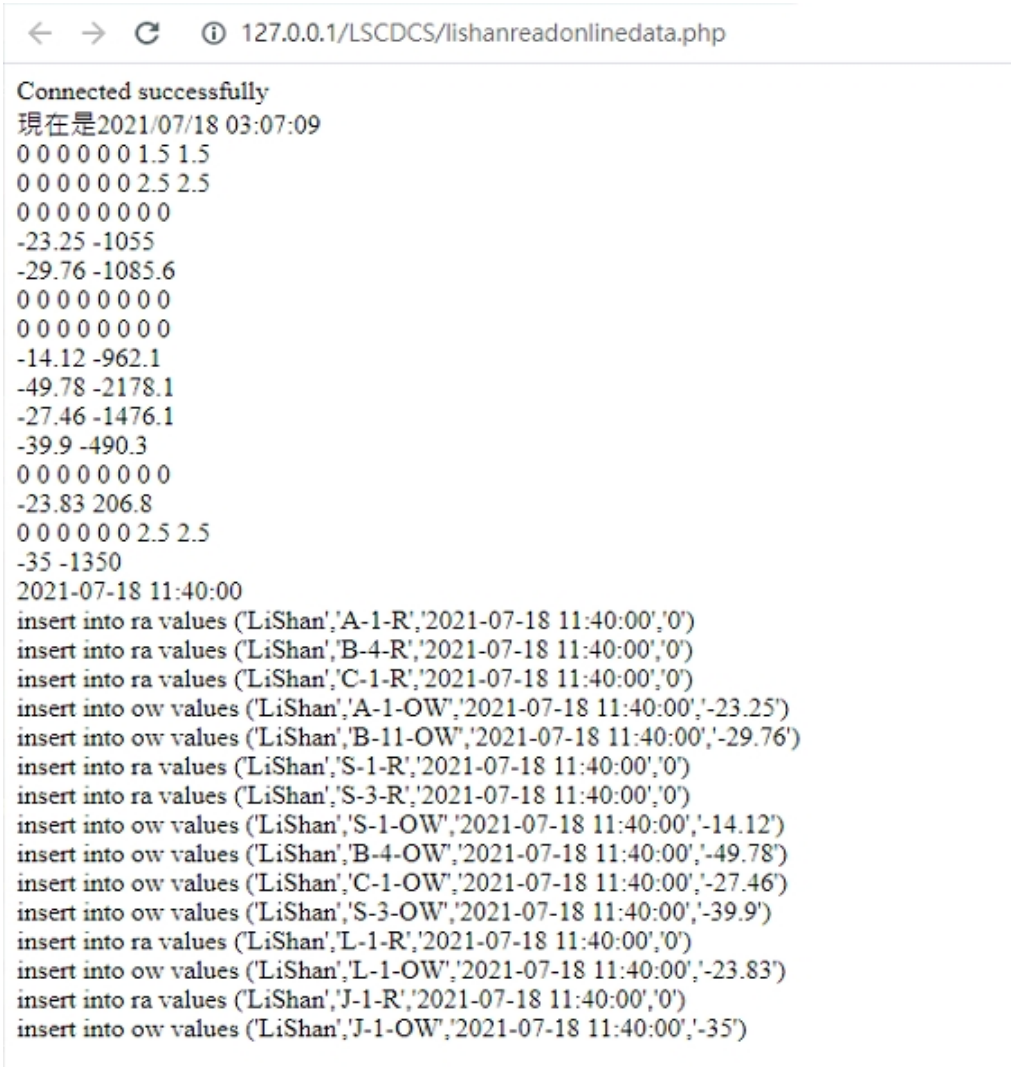


圖 23 中心崙即時監測原始資料讀檔程式執行圖

第三節 網頁展示

目前展示項目包括監測站說明，讓使用者了解監測基本資料，及即時資料查詢，功能包括兩大項，說明如下：

一、首頁地圖

可切換梨山及中心崙地區如下圖。



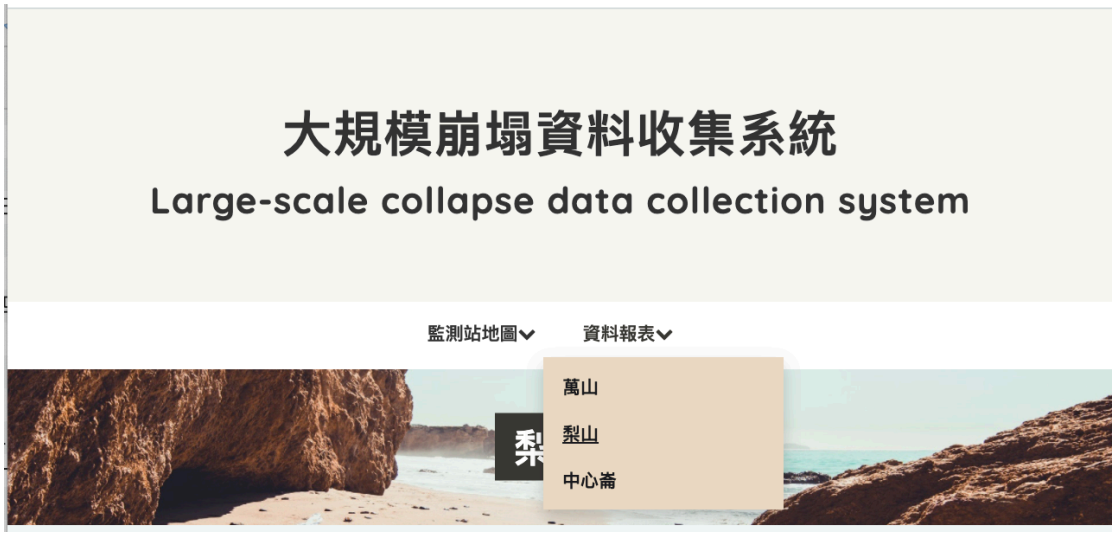


圖 24 監測站首頁切換

二、監測站資料查詢

以查詢梨山資料為例，說明如下。

Step1. 選擇梨山

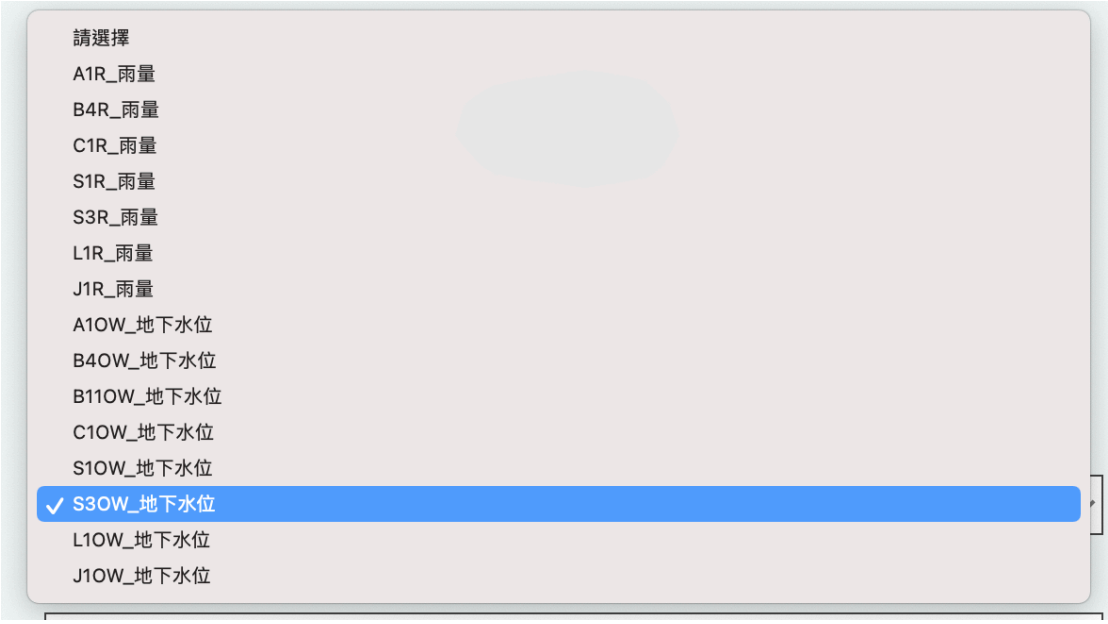


Step2. 選擇起始時間與結束時間



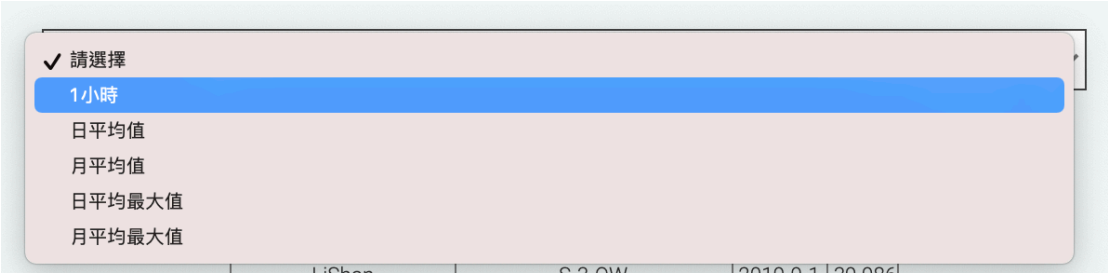
Step3. 選擇感測器

目前梨山資料中依下圖顯示有 7 處雨量及 8 處水位感測器，而範例選擇 S3OW_地下水位。



Step4. 選擇時間區段

可以選擇小時、日、月的平均值或是日與月的平均最大值，最後再按下提交按鈕送出即可。



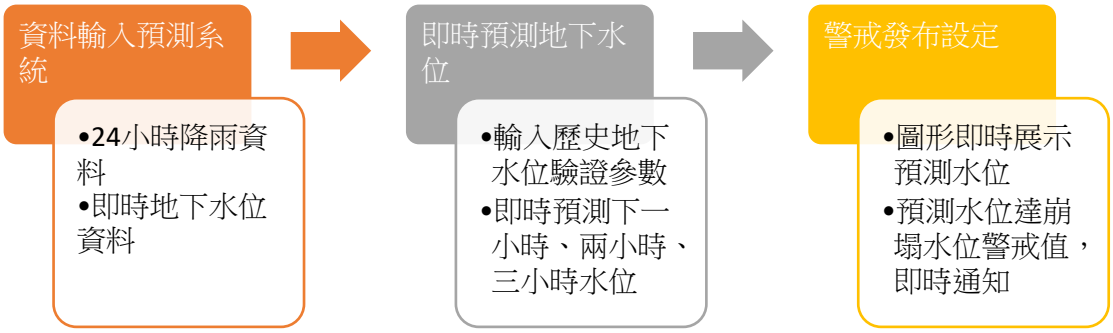
Step5. 功能顯示

下圖是為時間區段選擇小時平均，時間為 2018-09-15 至 2018-09-16 的 S3OW_地下水位資料。

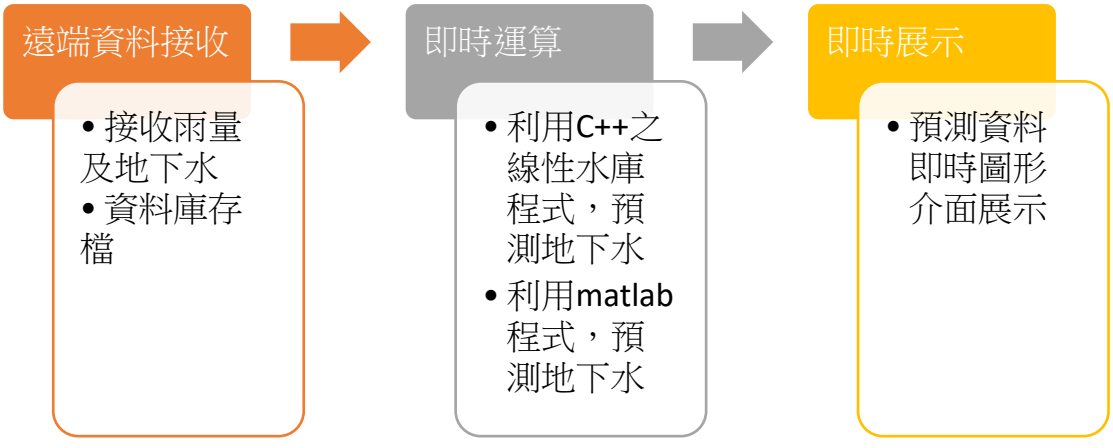
感測器: S3OW_地下水位	時間: 2018-09-15~2018-09-17	單位: M	
監測站	**感測器**	**時間**	**記錄值**
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 00:00:00	-42.55
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 01:00:00	-42.57
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 02:00:00	-42.57
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 03:00:00	-42.59
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 04:00:00	-42.61
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 05:00:00	-42.61
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 06:00:00	-42.63
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 07:00:00	-42.62
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 08:00:00	-42.62
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 09:00:00	-42.6
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 10:00:00	-42.61
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 11:00:00	-42.59
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 12:00:00	-42.59
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 13:00:00	-42.57
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 14:00:00	-42.57
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 15:00:00	-42.57
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 16:00:00	-42.57
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 17:00:00	-42.58
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 18:00:00	-42.59
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 19:00:00	-42.58
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 20:00:00	-42.58
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 21:00:00	-42.57
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 22:00:00	-42.56
LiShan	S-3-OW	2018-09-15 23:00:00	-42.56
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 00:00:00	-42.55
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 01:00:00	-42.56
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 02:00:00	-42.56
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 03:00:00	-42.58
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 04:00:00	-42.6
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 05:00:00	-42.61
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 06:00:00	-42.61
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 07:00:00	-42.6
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 08:00:00	-42.59
LiShan	S-3-OW	2018-09-16 09:00:00	-42.57

第四節 預測系統

於既有水文資料庫網站之下，將現場驗證成果，增加於即時預測系統，運作構想如圖 25 即時預測系統構想，首先透過接收前端監測站資料，包括降雨及地下水位，輸入水文資料庫網站，然後透過已完成之預測系統，預測地下水位，當地下水位達到警戒值，就可以設定發布大規模崩塌警戒。



(a)整體系統運作構想



(b)預測系統操作方式

圖 25 即時預測系統構想

一、預測系統操作方式

而預測系統操作方式，首先由水文資料庫網站，進行即時資料接收，然後即時運算，運算項目包括(1)利用 C++之線性水庫程式，及(2)利用 matlab 程式，撰寫 ANN 模式，來預測地下水，並透過圖形介面，做即時展示。

即時系統工作執行流程如圖 **26** 工作執行步驟，分為五部分，首先由收集之水保局大規模崩塌區，挑選降雨與地下水位關係密切之四至六處試驗區，收集試驗區歷史資料；然後由已介接現場監測資料之水文資料庫網站，進行歷史資料驗證；進行地下水預測，確認模式適用性，模式包括包括產生崩塌之臨界地下水位、崩塌土體預估及預測未來地下水位。然後架構即時系統，完成後隨時待命，當暴雨來臨時，就啟動系統。


驗證區初選
• 收集水保局大規模崩塌成果報告
• 挑選降雨與地下水位關係密切之四至六處試驗區
• 收集歷史資料
即時水文資料網站
• 與水保局即時資料連線
• 分析資料格式，建立降雨及地下水即時資料庫網站
地下水位預測
• 歷史地下水及雨量收集
• 建立線性水庫及類神經網路預測模式
• 即時地下水深層崩塌預測平台
臨界地下水位推估
• 現場資料收集
• 試驗分析及理論模式計算
• 數值演算模擬
最短滲流長度計算
• 現場資料收集
• 試驗確定臨界流速
• 長度計算及現場比對驗證
即時預測系統
• 即時線上程式推算地下水位
• 預測水位達臨界地下水位時，提供主管機關參考

圖 26 工作執行步驟

二、預測系統程式操作

以線性水庫為例說明，預警系統由兩個程式組成，分別為訓練及模擬。由最大一場暴雨及地下水位資料，包含雨量及地下水位訓練參數，訓練程式可得參數寫入 coeff.txt，如下圖 27 所示。



(a)預警系統文件配置圖

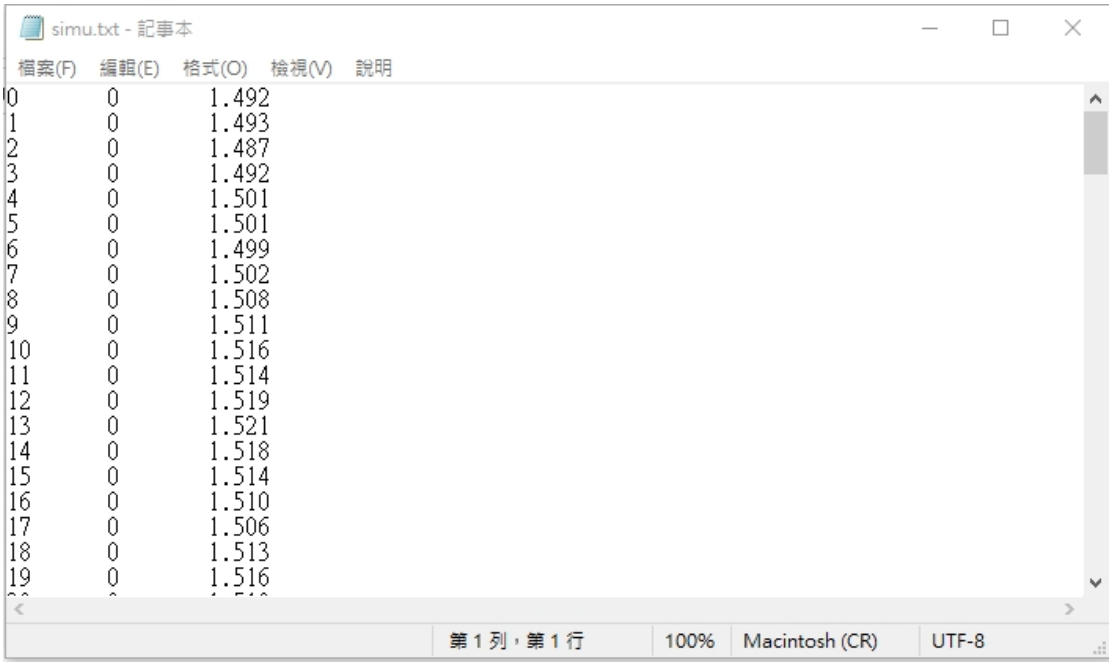


(b) coeff 文件訓練參數圖

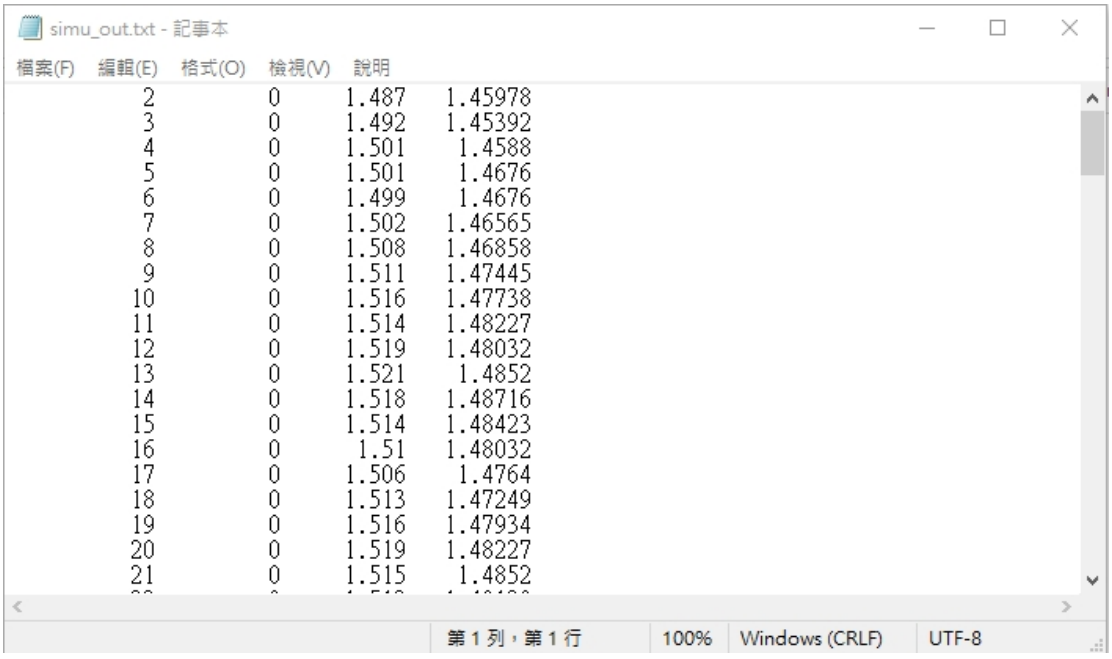
圖 27 訓練程式

simu.txt 為抓取當天算起前 48 小時的雨量及地下水位資料，simu.txt 第一列為時間，第二列資料為雨量，第三列資料為地下水位，如圖 28(a)，simu.exe 執行會帶入 coeff.txt 及 simu.txt 生成 simu_out.txt，simu_out.txt 第一列為時間，第二列資料為雨量，第三列資料為地下水位，第四列資料為模擬下一個小時的地下水位，如圖 28(b)。本計畫以程式抓取當下時間至前兩天的降雨資料，每小時自動寫入 simu.txt。利用 window 排程每小時執行 simu.exe，simu.exe 執行會帶入 coeff.txt

及 simu.txt 生成 simu_out.txt，再以讀檔程式自動讀取 simu_out.txt 寫入資料庫，將模擬資料展示於網頁上，達到預警的效果。



(a) simu 文件資料圖

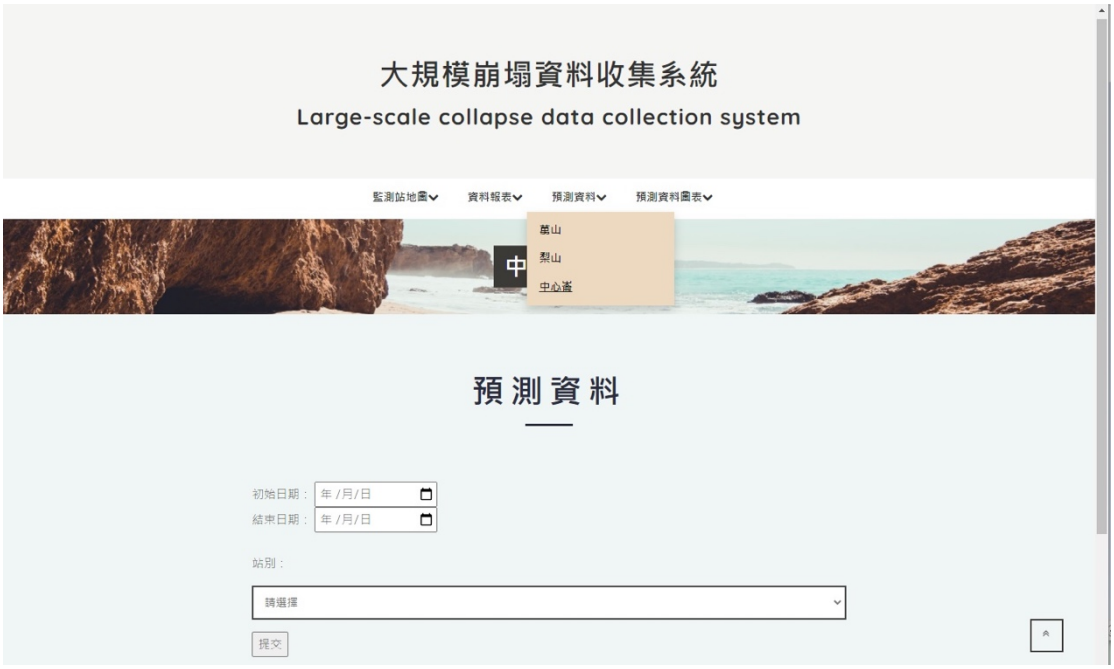


(b) simu_out 文件資料圖

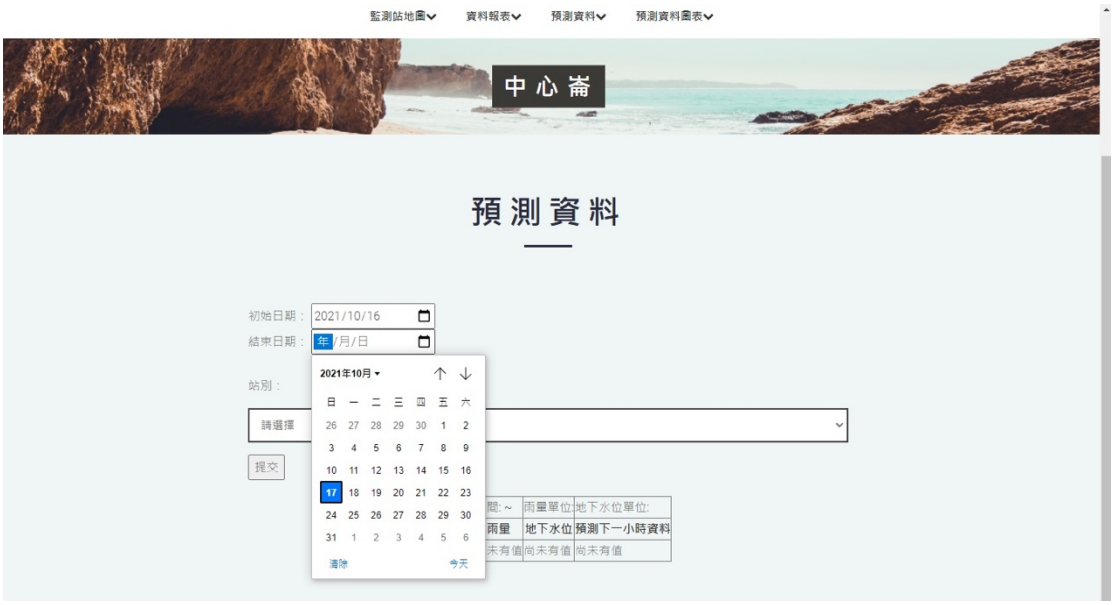
圖 28 模擬程式

三、預測系統介面

預測資料皆為執行 simu.exe 程式取得 simu_out.txt，將 simu_out.txt 資料匯入資料庫。預測資料網頁為展示出預測資料清單。

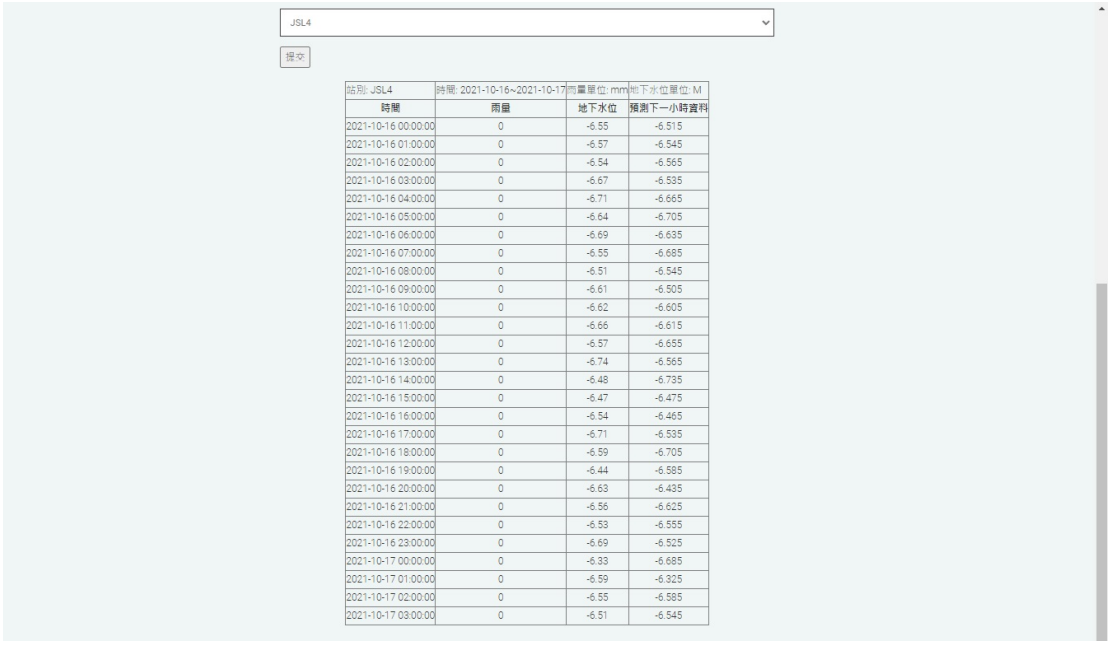


使用新中崙為本次案例。先選日期及站別，下圖使用 2021-10-16 至 2021-10-16 區間資料，選擇 JBL4 站別。



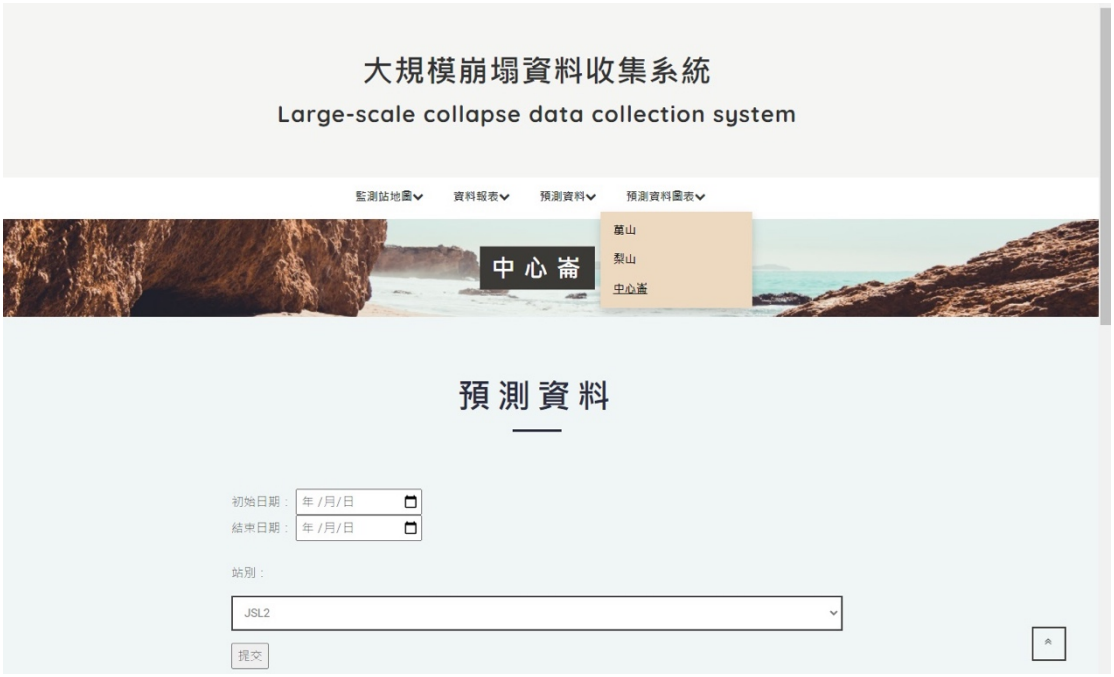


按下提交，展示出 JBL4 的 2021-10-16 至 2021-10-16 區間資料，其中包含雨量，地下水位及地下水位下一小時之預測值。

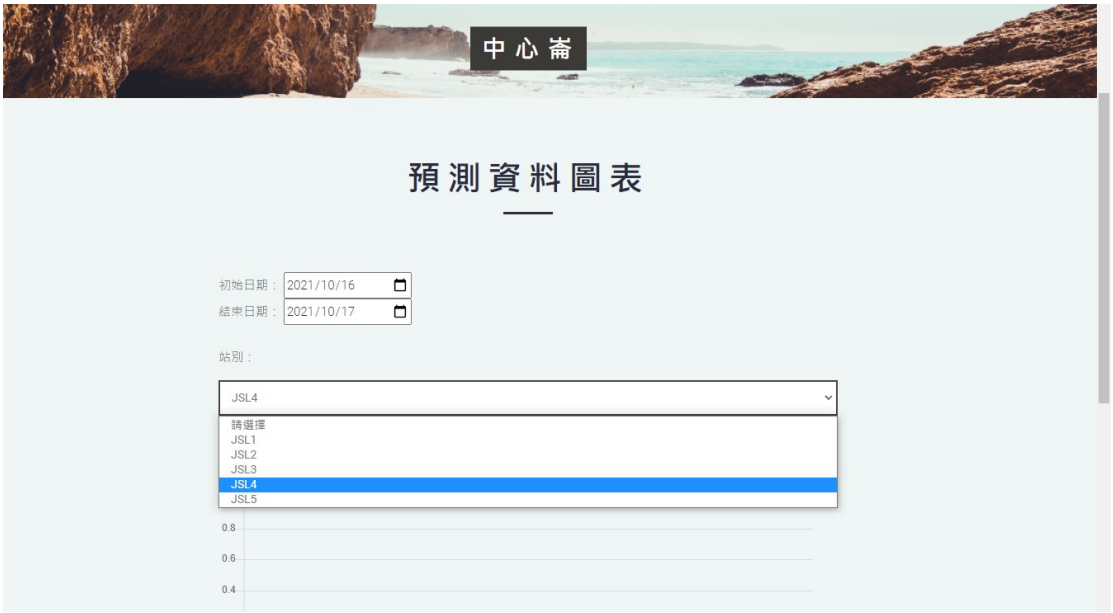


站別: JSL4	時間: 2021-10-16~2021-10-17	雨量單位: mm	地下水位單位: M
時間	雨量	地下水位	預測下一小時資料
2021-10-16 00:00:00	0	-6.55	-6.515
2021-10-16 01:00:00	0	-6.57	-6.545
2021-10-16 02:00:00	0	-6.54	-6.565
2021-10-16 03:00:00	0	-6.67	-6.535
2021-10-16 04:00:00	0	-6.71	-6.665
2021-10-16 05:00:00	0	-6.64	-6.705
2021-10-16 06:00:00	0	-6.69	-6.635
2021-10-16 07:00:00	0	-6.55	-6.685
2021-10-16 08:00:00	0	-6.51	-6.545
2021-10-16 09:00:00	0	-6.61	-6.505
2021-10-16 10:00:00	0	-6.62	-6.605
2021-10-16 11:00:00	0	-6.66	-6.615
2021-10-16 12:00:00	0	-6.57	-6.655
2021-10-16 13:00:00	0	-6.74	-6.565
2021-10-16 14:00:00	0	-6.48	-6.735
2021-10-16 15:00:00	0	-6.47	-6.475
2021-10-16 16:00:00	0	-6.54	-6.465
2021-10-16 17:00:00	0	-6.71	-6.535
2021-10-16 18:00:00	0	-6.59	-6.705
2021-10-16 19:00:00	0	-6.44	-6.585
2021-10-16 20:00:00	0	-6.63	-6.435
2021-10-16 21:00:00	0	-6.56	-6.625
2021-10-16 22:00:00	0	-6.53	-6.555
2021-10-16 23:00:00	0	-6.69	-6.525
2021-10-17 00:00:00	0	-6.33	-6.685
2021-10-17 01:00:00	0	-6.59	-6.325
2021-10-17 02:00:00	0	-6.55	-6.585
2021-10-17 03:00:00	0	-6.51	-6.545

預測資料圖表網頁為將預測資料轉化為可視覺化圖表，以折線圖表示。



本次案例同樣使用新中崙。先選日期及站別，下圖使用 2021-10-16 至 2021-10-16 區間資料，選擇 JBL4 站別。



按下提交後，展示出 JBL4 的 2021-10-16 至 2021-10-16 區間資料圖表。上圍表為原始資料圖表，下圖表為預測資料圖表。


JSL4
提交
地下水位
-6.30
-6.35
-6.40
-6.45
-6.50
-6.55
-6.60
-6.65
-6.70
-6.75
2021-10-16 00:00:00
2021-10-16 04:00:00
2021-10-16 08:00:00
2021-10-16 12:00:00
2021-10-16 16:00:00
2021-10-16 20:00:00
2021-10-17 03:00:00
下一小時預測值
-6.30
-6.35
-6.40
-6.45
-6.50
-6.55
-6.60
-6.65
-6.70
-6.75

第六章 降雨與地下水位關係

本計畫收集所有監測站近三年資料，每處監測站收集前三場最大暴雨，以最大暴雨進行訓練，其他兩場進行模擬，以了解區域內降雨與地下水位關係。研究流程如下：

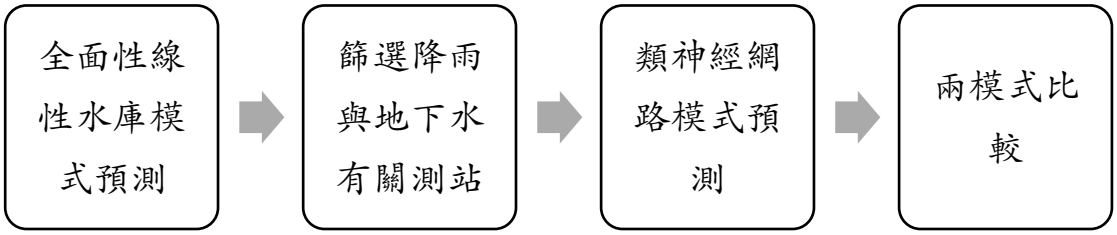


圖 29 將與與地下水關係研究流程

第一節 梨山地區降雨與地下水位特性

結果如表 9 梨山地區降雨與地下水位模擬，說明如下：

一、線性水庫參數

達西定律入滲係數 K、線性水庫參數之為儲蓄常數□及為線性水庫數量 n、降雨量之入滲比率□，每一區均相同，其中 K 值均很小，研判與排水廊道或集水井有關，大部分地下水均排出，而□為儲蓄常數，越大表示儲蓄率越高， n 為線性水庫，越多表示流出越慢，模擬結果均相當大，顯示地層複雜。降雨量之入滲比率□為 0.5，入滲率不高，或是入滲後由排水廊道或集水井流出。

二、模擬誤差

模擬結果，均方根誤差(RMSE) 排序為 J1 < S3 < S1 <L1 < B4<C1<A1，顯示 J1 降雨與地下水關係最明顯，其中 08/05/18 之資料有問題，S1 次之，未來本區將以 J1 及 S1 作為主要模擬對象。

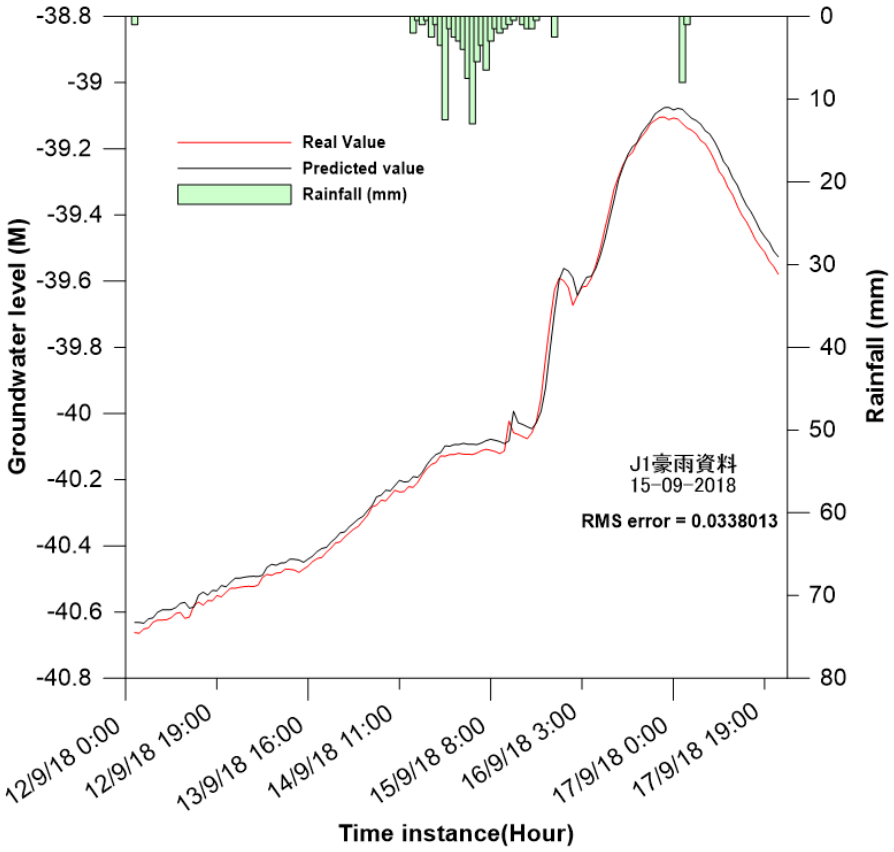
表 9 梨山地區降雨與地下水位模擬

區位	站名	K	□	n	□	類別	降雨日期(日/月/年)	24 小時累積暴雨(mm)	RMSE
梨山精華區西區	A1	-0.00075	4	5	0.5	訓練	07/01/18	171	0.425132
						模擬一	08/05/18	74	0.495491
						模擬二	15/09/18	97	0.572146
梨山精華區中區	B4	-0.00075	4	5	0.5	訓練	07/01/18	171	0.115935
						模擬一	08/05/18	74	0.126328
						模擬二	15/09/18	97	0.571846
梨山精華區東北區	C1	-0.00075	4	5	0.5	訓練	07/01/18	171	0.0488857
						模擬一	24/08/18	74.5	0.426187
						模擬二	15/09/18	74.5	0.395487
新佳陽地區	J1	-0.00075	4	5	0.5	訓練	15/09/18	97	**0.0338013**
						模擬一	08/05/18	74	**3.32404**
						模擬二	11/07/18	60	**0.0361824**
	L1		4	5	0.5	訓練	07/01/18	171	0.0403135

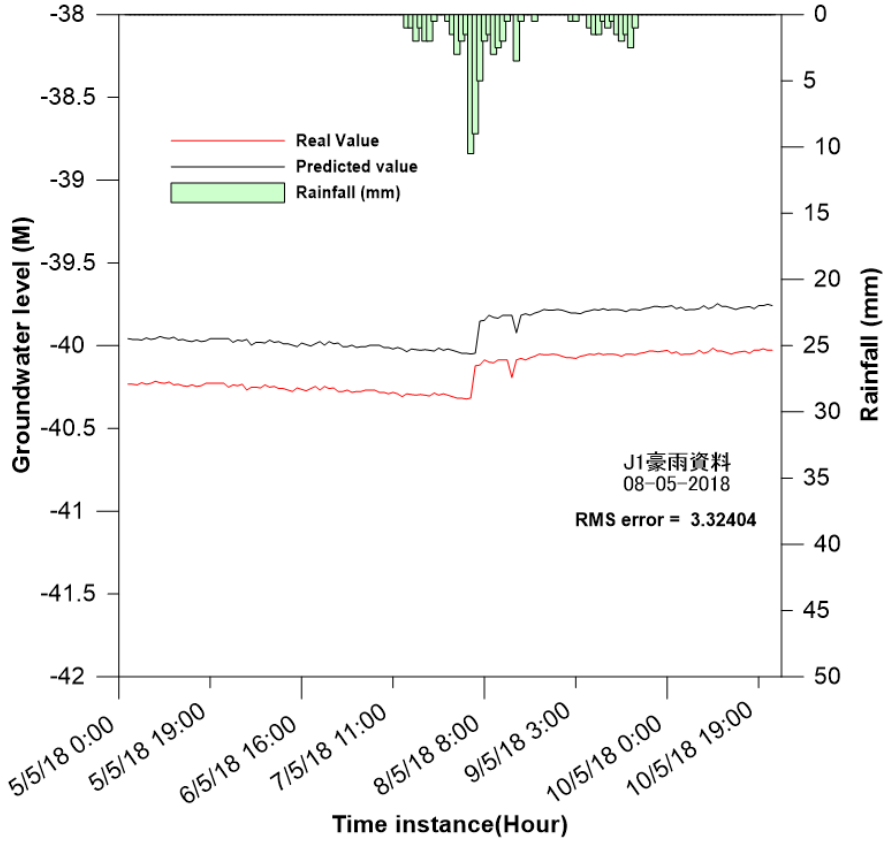
老部落地區		-0.00075				模擬一	08/05/18	74	0.0471617
						模擬二	15/09/18	97	0.0534208
松茂地區南區(上松茂)	S1	-0.00075	4	5	0.5	訓練	15/09/18	97	**0.0254605**
						模擬一	28/03/18	86.399	**0.0741053**
						模擬二	08/05/18	74	**0.0370552**

三、模擬成果

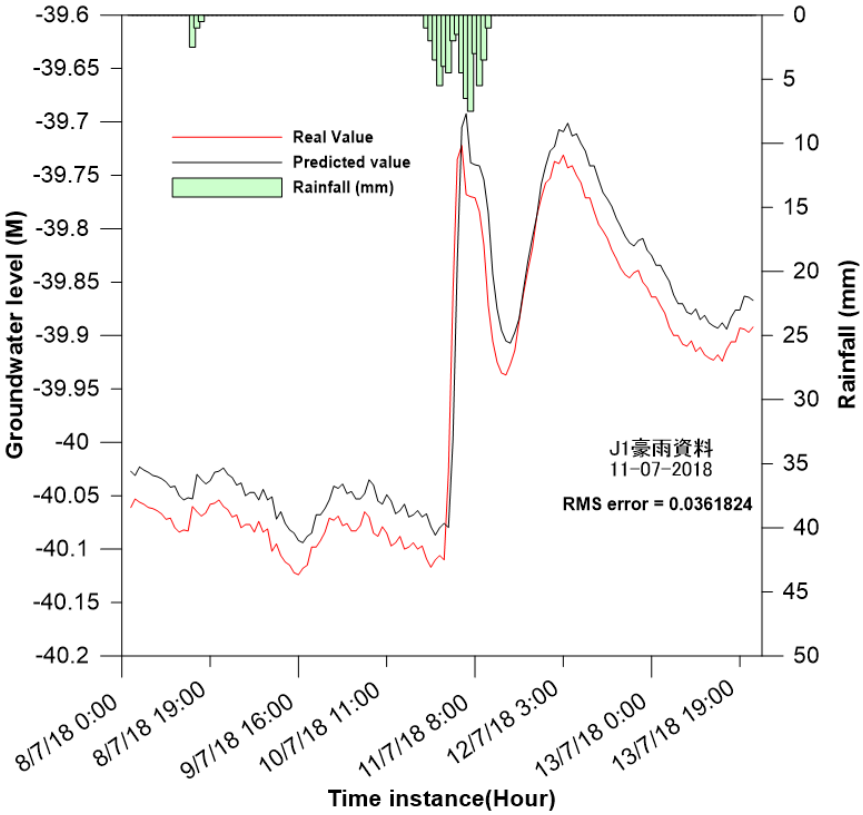
J1 及 S1 訓練及模擬一小時預測結果成果如下圖，其他站之模擬成果列於附件 1，其中 J1 第一次模擬顯示現場資料讀取有問題，S1 第二次模擬因為地下水位計跳動明顯，應有故障，導致誤差高。



(a) 訓練成果

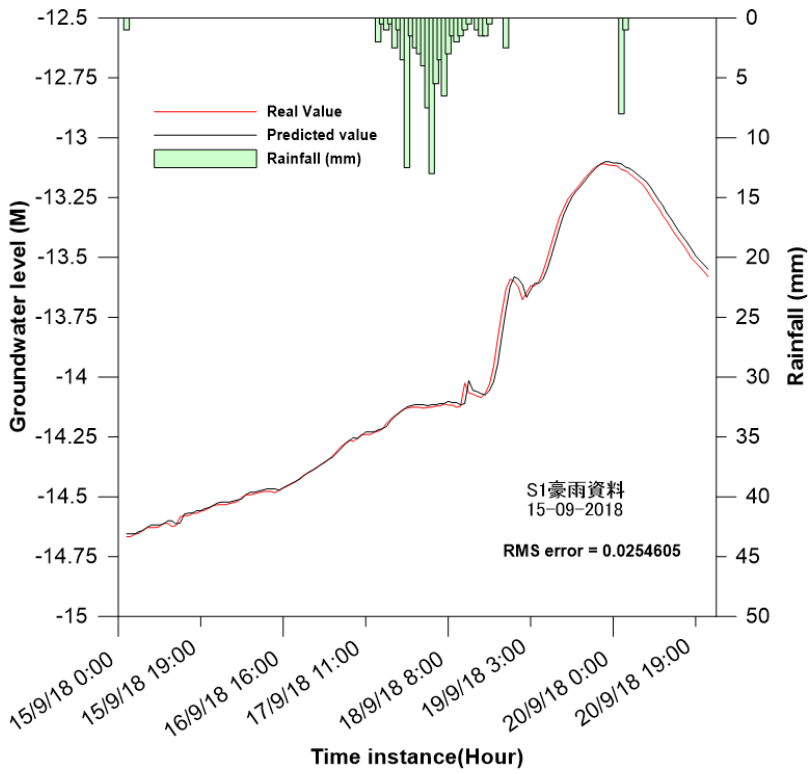


(b)模擬一成果

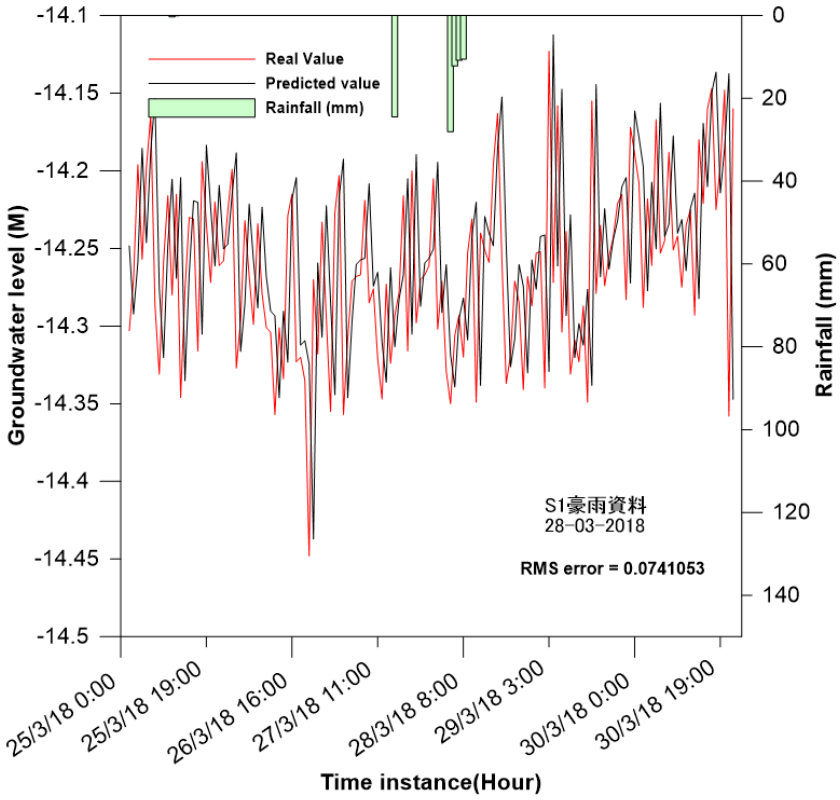


(c) 模擬二成果

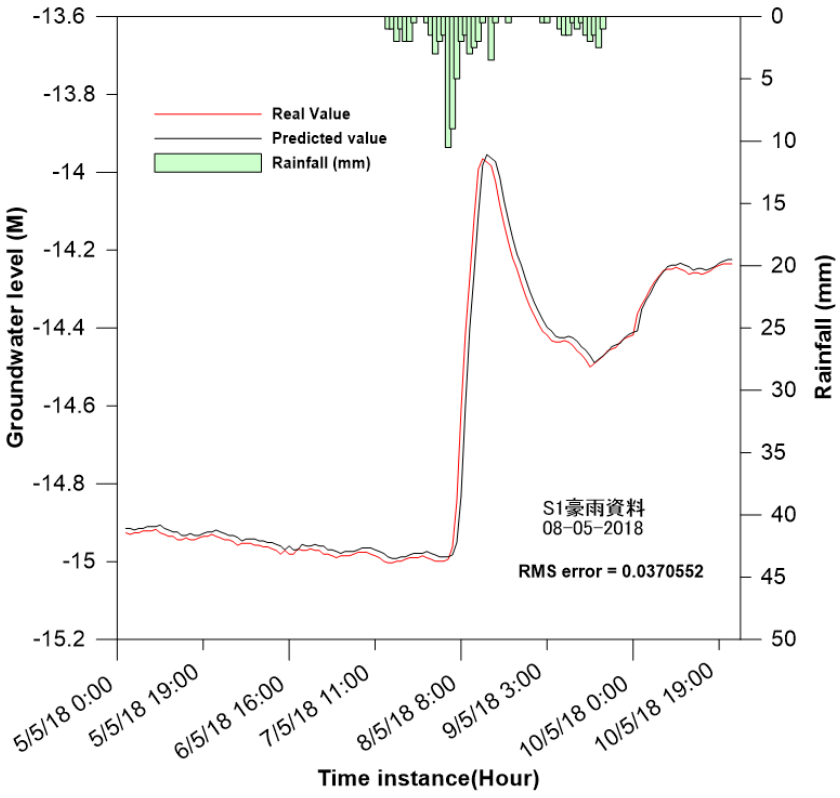
圖 30 J1 站訓練及模擬成果



(a)訓練成果



(b)模擬一成果雜訊



(c)模擬二成果

圖 31 S1 站訓練及模擬成果

第二節 中心崙地區降雨與地下水位特性

中心崙結果如表 10，說明如下：

一、線性水庫參數

(一)達西定律入滲係數 K

K 越大，表示入滲率越高，模擬結果以 JSL5 最大，而 JSL5 在崩塌地上方，顯示該區入滲發達，需注意排水。其餘區域之 K 值均很小，表示應有夾雜黏土等層面，導致入滲小。

(二)線性水庫參數

□為儲蓄常數，越大表示儲蓄率越高，以 JSL1 及 JSL2 最大，n 為線性水庫，越多表示流出越慢，模擬結果以 JSL1 最大。

(三) 降雨量之入滲比率

模擬結果，以 JSL5 及 JSL3 完全入滲最高，兩區位於崩塌地上游，入滲率較大。

二、模擬誤差

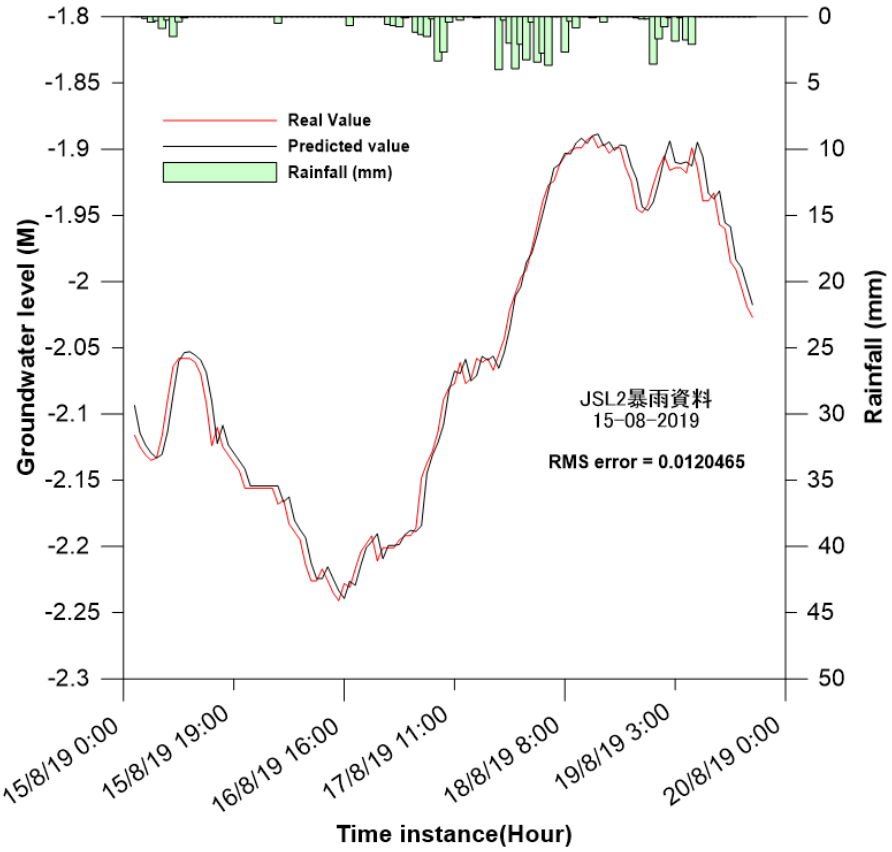
模擬結果，均方根誤差(RMSE)排序為 JSL2＜JSL4＜JSL3＜JSL5＜JSL1，顯示 JSL2 降雨與地下水關係最明顯，JSL4 次之，未來本區將以 JSL2 及 JSL4 作為主要模擬對象。

表 10 中心崙降雨與地下水位模擬

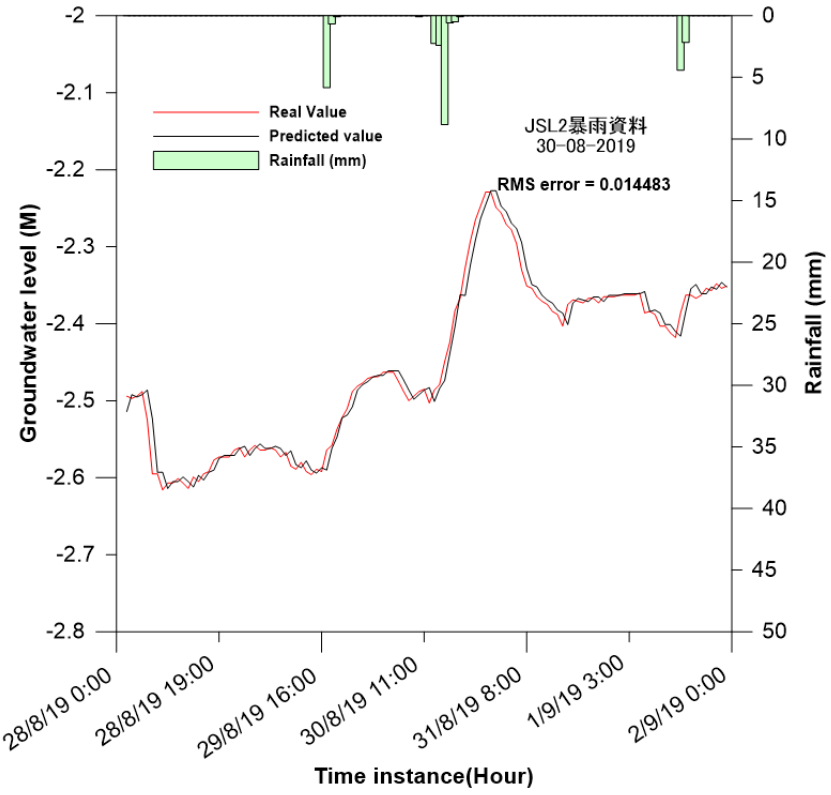
站名	K	□	n	□	類別	降雨日期(日/月/年)	24 小時累積暴雨（mm）	RMSE
JSL1	-0.00075	4	5	0.5	訓練	15/8/19	60.417	0.112157
					模擬一	30/8/19	27.916	0.299379
					模擬二	22/5/20	28.248	0.087641
JSL2	-0.00075	4	3	0.5	訓練	15/8/19	60.417	**0.012047**
					模擬一	30/8/19	27.916	**0.029938**
					模擬二	22/5/20	28.248	**0.014483**
JSL3	-0.00075	3	3	1	訓練	15/8/19	60.417	0.102235
					模擬一	30/8/19	27.916	0.137909
					模擬二	20/7/20	16.083	0.037707
JSL4	-0.00075	2	3	0.5	訓練	15/8/19	60.417	0.036406
					模擬一	30/8/19	27.916	0.105361
					模擬二	22/5/20	28.248	0.07474
JSL5	-0.00375	3	2	1	訓練	15/8/19	60.417	0.111942
					模擬一	30/8/19	27.916	0.098259
					模擬二	22/5/20	28.248	0.157555

三、模擬成果

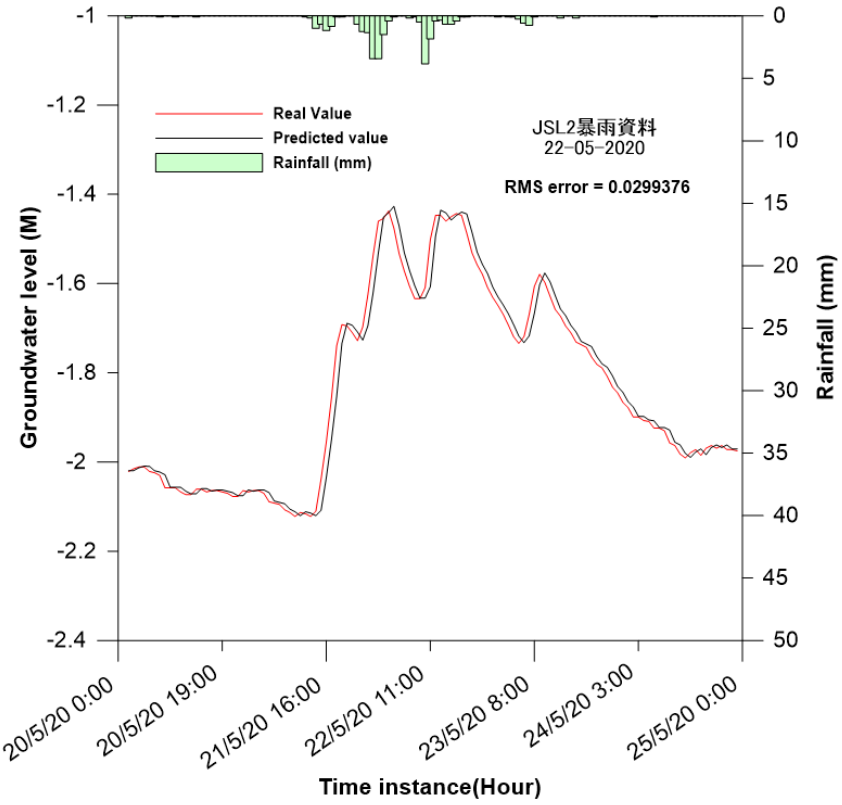
JSL2 及 JSL4 訓練及模擬一小時預測結果成果如下圖，其他站之成果列於附件 2。



(a)訓練成果

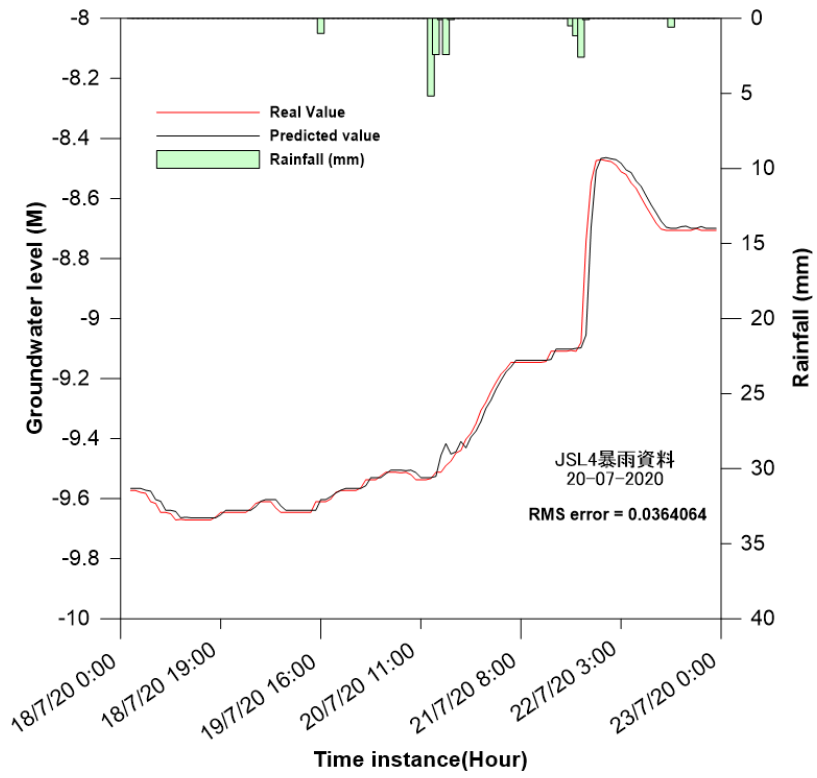


(b)模擬一成果

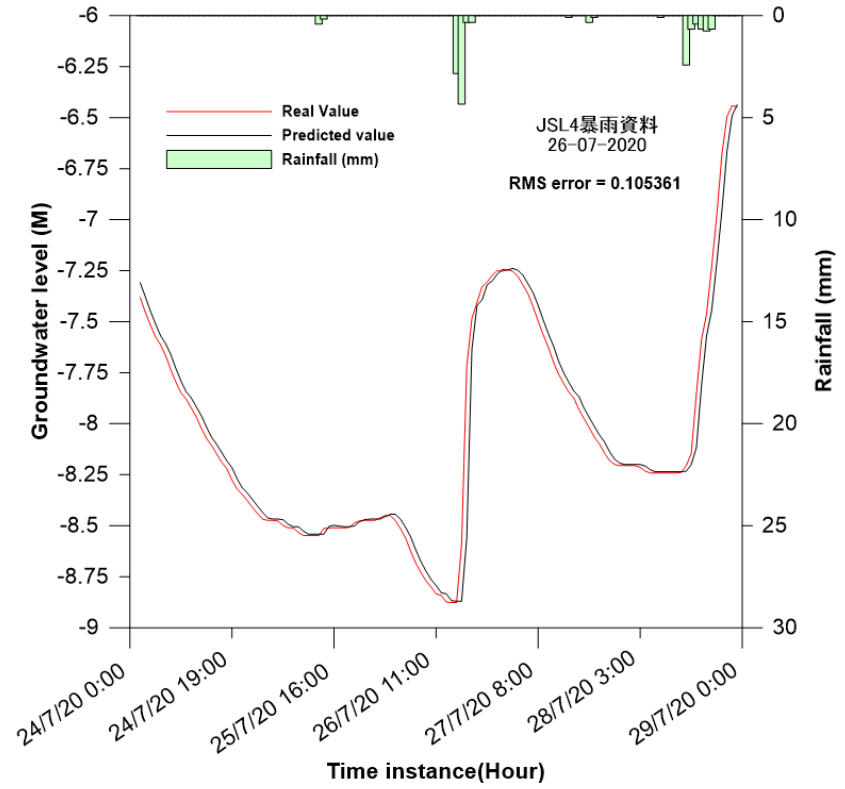


(c)模擬二成果

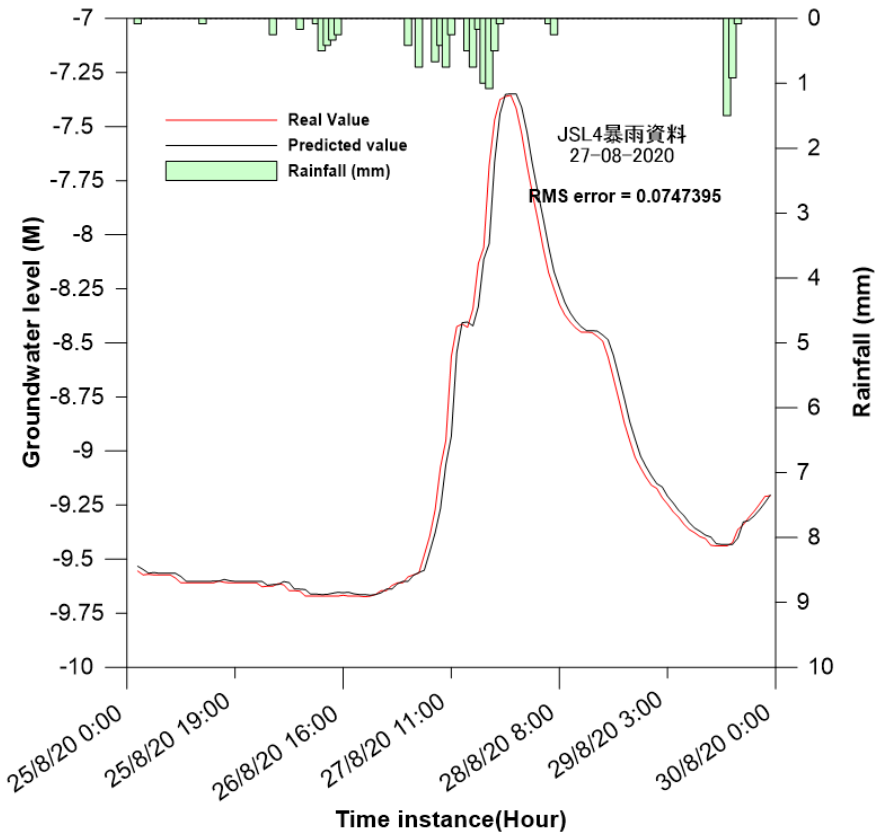
圖 32 JSL2 訓練及模擬成果



(a)訓練成果



(b)模擬一成果



(c)模擬二成果

圖 33 JSL4 訓練及模擬成果

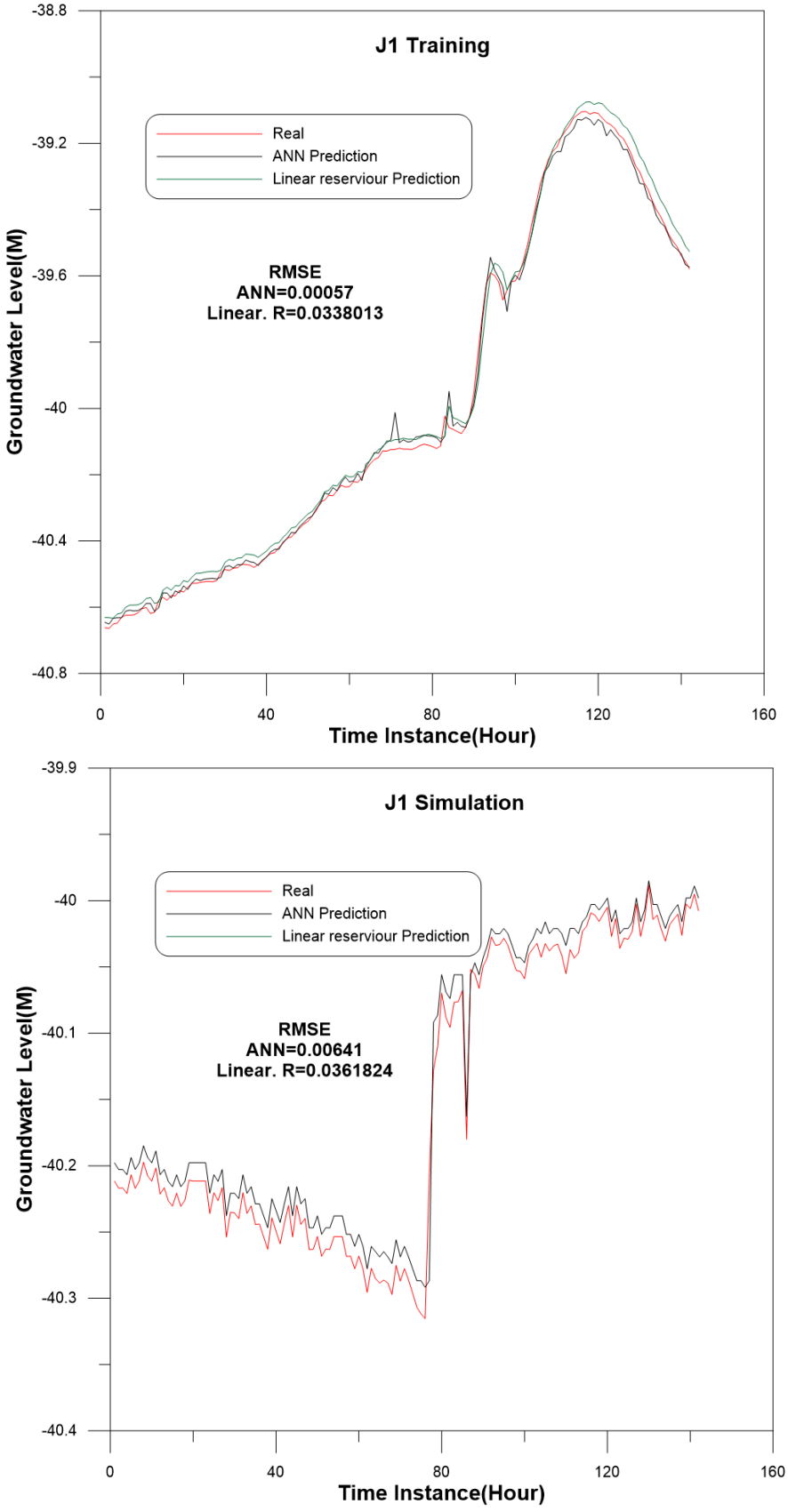
第三節 地下水位預測模式比較

針對降雨與地下水關係良好區域，經採用 ANN 模式之 FBPNN 及 NARX 進行比較分析，發現以 NARX 結果如圖 34 所示，若以訓練樣本來看，梨山新佳陽地區 J1 及梨山松茂地區南區(上松茂)S1 以 NARX 模式較佳，中心崙 JSL2 以線性水庫模式較佳；而模擬結果顯示，梨山新佳陽地區 J1 區域，NARX 模式較佳，梨山松茂地區南區(上松茂)S1 及中心崙 JSL2，則以線性水庫模式較佳。

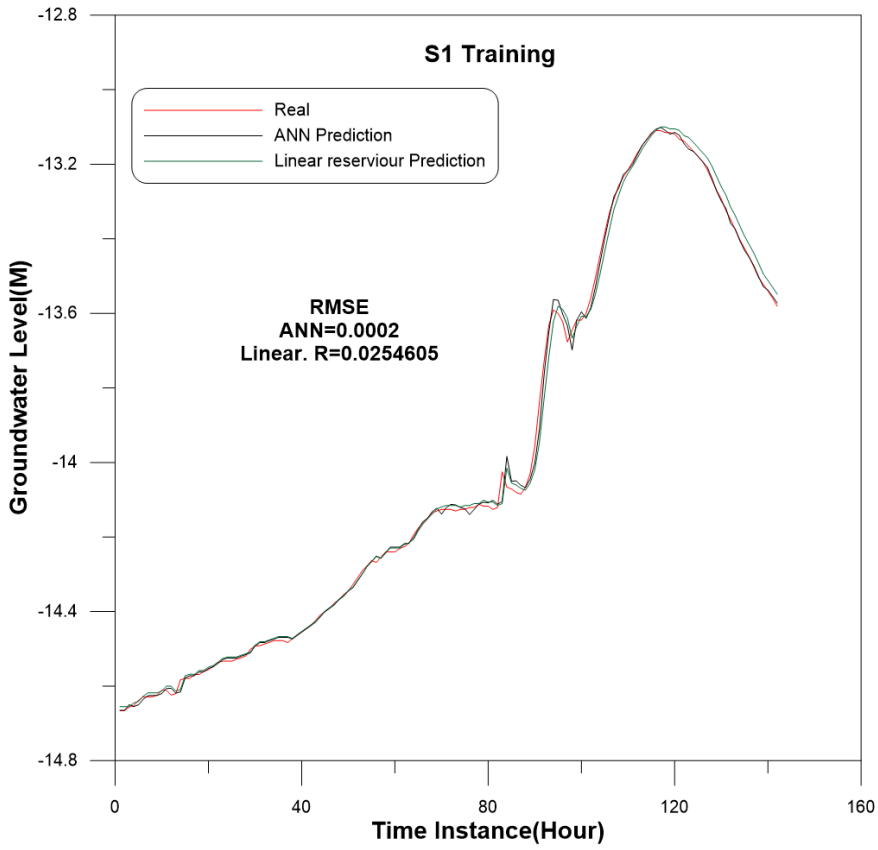
因此未來進行即時預測時，梨山新佳陽地區 J1 區域推薦採用 NARX 模式，而梨山松茂地區南區(上松茂)S1 及中心崙 JSL2，則推薦採用線性水庫模式。

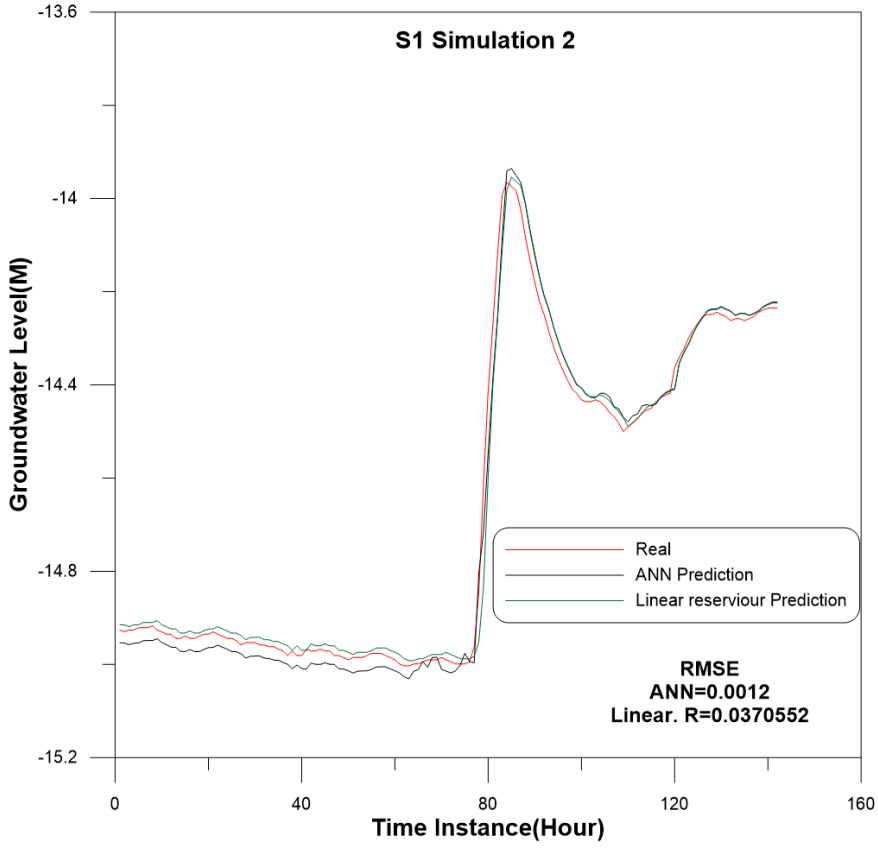
表 11 地下水預測模式比較

區域及測站名稱	訓練組均方根誤差		模擬組均方根誤差	
	線性水庫	NARX	線性水庫	NARX
梨山新佳陽地區 J1	0.0338	**0.00057**	0.0361	**0.00641**
梨山松茂地區南區(上松茂)S1	0.0254	**0.0002**	**0.0012**	0.0371
中心崙 JSL2	**0.0045**	0.0120	**0.014**	0.084

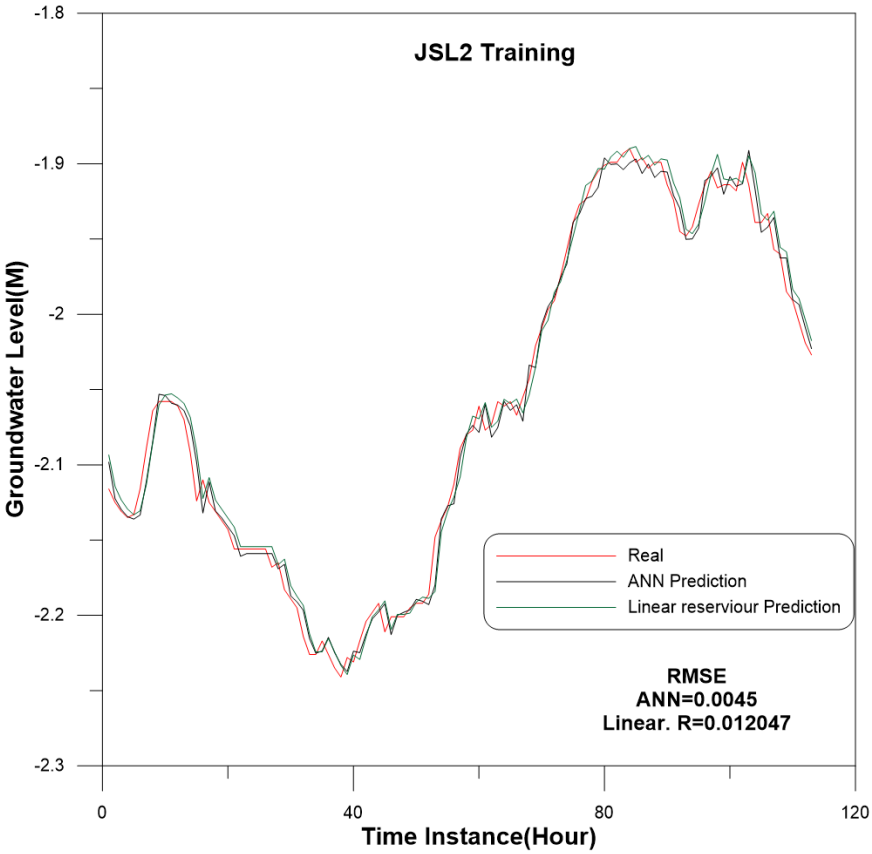

J1 Training
Real
ANN Prediction
Linear reserviour Prediction
RMSE
ANN=0.00057
Linear. R=0.0338013
Groundwater Level(M)
-38.8
-39.2
-39.6
-40
-40.4
-40.8
0
40
80
120
160
Time Instance(Hour)
J1 Simulation
Real
ANN Prediction
Linear reserviour Prediction
RMSE
ANN=0.00641
Linear. R=0.0361824
Groundwater Level(M)
-39.9
-40
-40.1
-40.2
-40.3
-40.4
0
40
80
120
160
Time Instance(Hour)

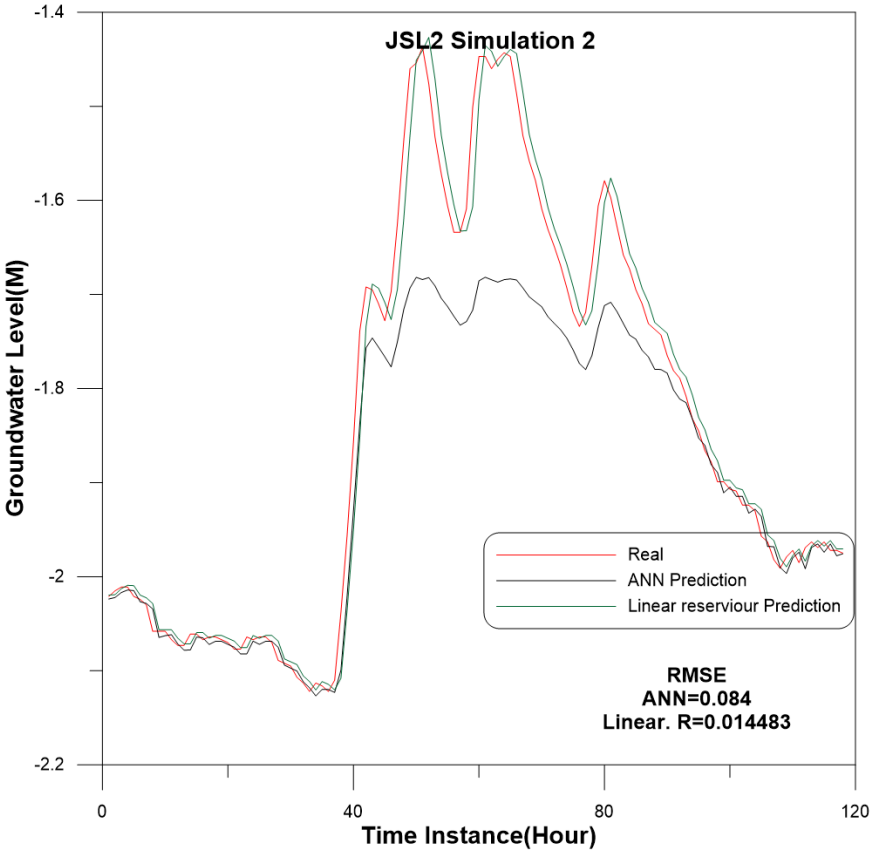
(a) 梨山新佳陽地區 J1





(b)梨山松茂地區南區(上松茂)S1





(c)中心崙 JSL2

圖 34 地下水模式預測成果比較

第七章 臨界地下水位計算

透過前述分析，得知梨山新佳陽地區 J1、梨山松茂地區南區(上松茂)S1 及中心崙 JSL2，三區域降雨與地下水位關係密切，因此以此三區進行分析如下。

第一節 大梨山地區

邊坡穩定地質參數建議如表 12。同時詹連昌及蘇苗彬(2002)建議梨山地區之邊坡穩定地質參數建議如表 13，本研究採用表 13 進行計算。

表 12 地質參數建議值

建議值	參數	Dt (崩積層)	W3~W2 (高度至中度風化)	W1~RF (輕度風化至岩盤)	滑動面		
					Dt	W3-W2	W1-RF
蘇苗彬	C	0				2.1~3.8	
	φ	35				9~16	
亞新顧問	C	0					
	φ	29~34.5					
林炳森	C	0.17~1.6				1.3~2.9	
	φ	33~38				18.2~18.5	
蔡光榮	C	1.9~3.9				1.8~4	
	φ	33.5~35				25~45	
工業技術研究院	C	0.1~2.2	2~6	30		0~20	
	φ	15~45	36~39	40		20~23	
中華顧問	C					0.5~1.1	0.3~1.8
	φ					28.7~30.9	28.5~31.3
中華顧問反算	C				0.5	0~5	3
	φ				28	15~31	33
中華顧問建議	C	0.5~1	3	30	0.5~1	2	3
	φ	28~32	28	33	28~32	20	33

表 13 邊坡穩定地質參數

土/岩層種類	比重	單位重	C	φ
崩積土層	2.73	2.06	0.50	28
強至中度風化板岩	2.76	2.69	3.00	33
弱風化至新鮮板岩	2.76	2.70	30.00	37
滑動面(反算分析)	2.76	2.69	1.00	16.7

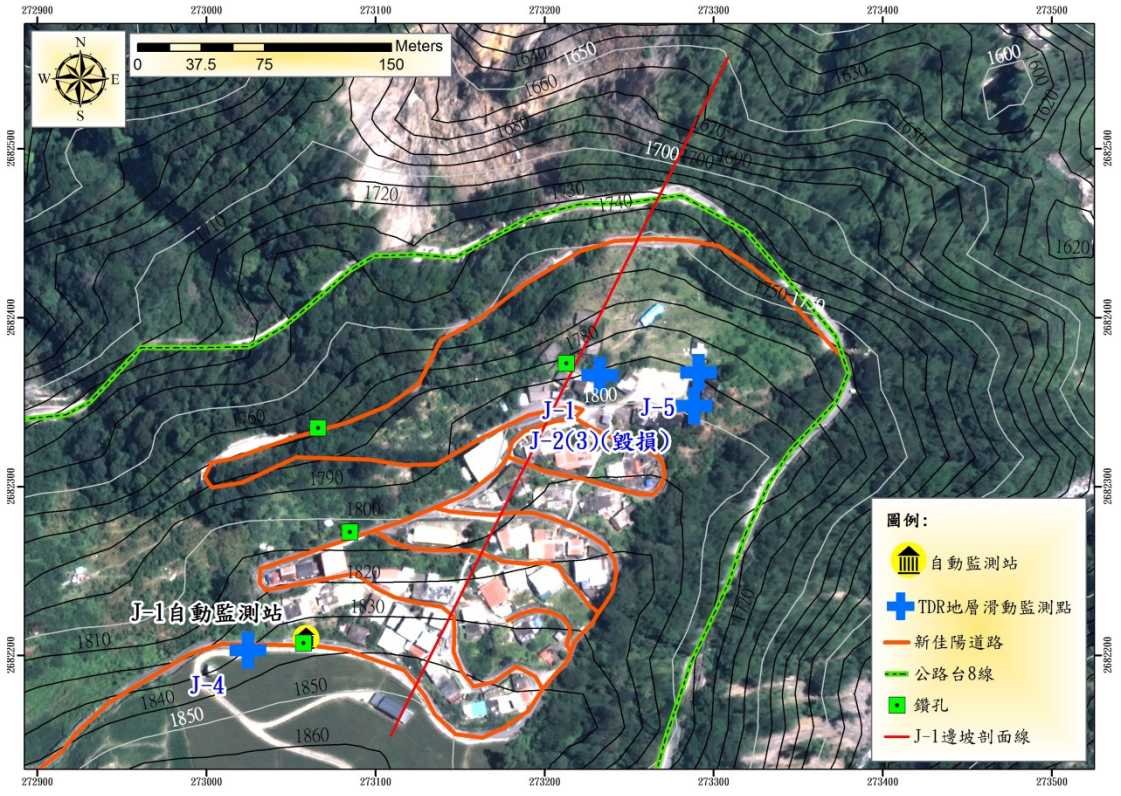
一、梨山新佳陽地區J1

根據農委會水土保持局(2019)，108 年度大梨山地區地滑地監測管理及系統維護資料分析。監測站孔口地表高程程 1855 公尺，本自動監測站歷史最高水位為 102 年蘇力颱風 1835.9 公尺，TDR 滑動面則是 J-1 地面下 13.9 公尺，高程為 1841.1m，水土保持局(2018)分析新佳陽邊坡臨界地下水位如表 14，其中安全係數 1.15，地下水水位 1812.5m，與可能滑動面高程相同，邊坡剖面及邊坡穩定分析位置如圖 35。

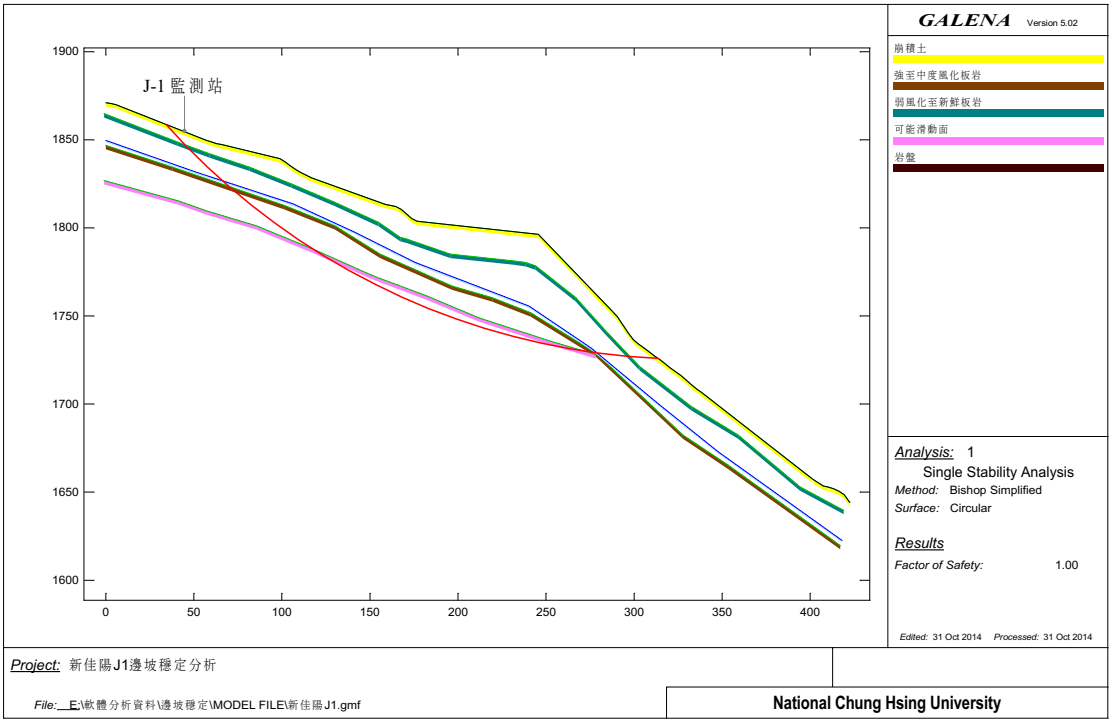
表 14 水土保持局新佳陽邊坡臨界地下水位

安全係數	地下水水位(公尺)	離地面高
1.15 (正常)	1812.5	34.9
1.10 (待命)	1823.5	42.5
1.05 (注意)	1826.5	28.5
1.00 (警戒)	1833.5	21.5

資料來源：水土保持局(2019)，108 年度大梨山地區地滑地監測管理及系統維護資料分析。



(a)邊坡剖面位置圖



(b)邊坡穩定分析

圖 35 水土保持局新佳陽邊坡剖面及邊坡穩定分析

本研究採用滑動面位置高程 1812.5，係數採用崩積層，採用公式(3b)計算，推得臨界地下水位為地表下 16.03 公尺，高程為 1831.37 公尺，比產生滑動之蘇力颱風地下水位 1835.9 公尺低。

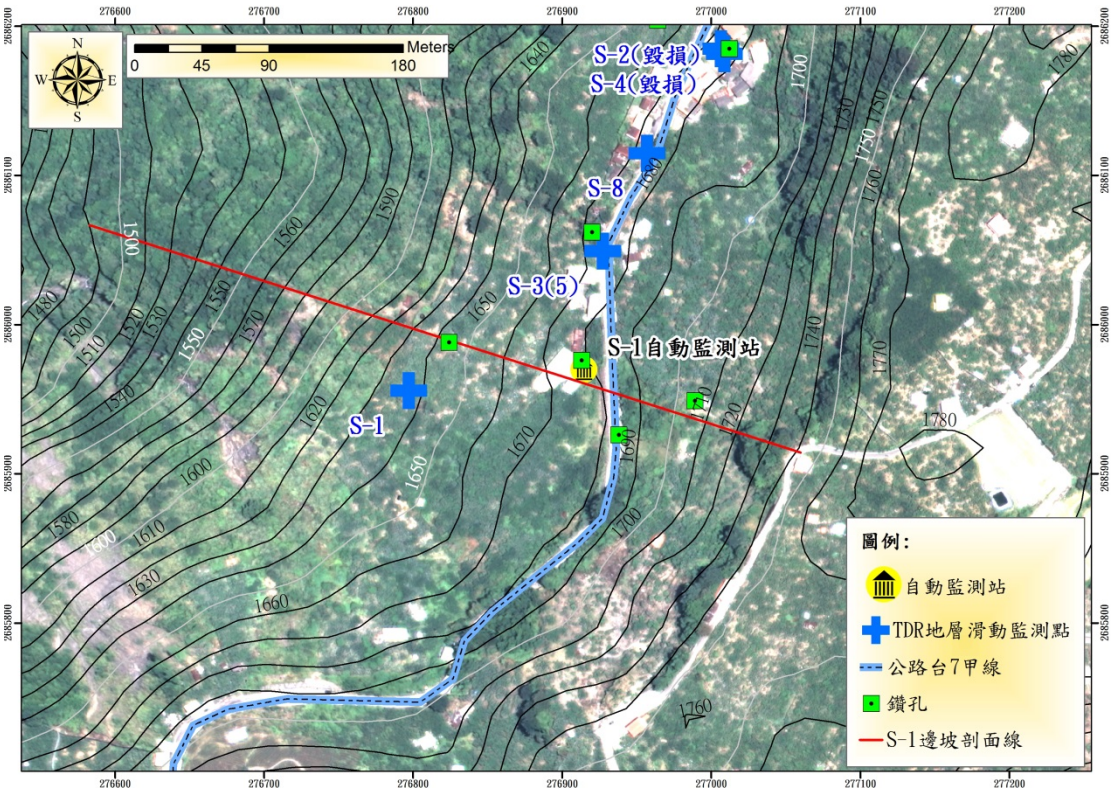
二、梨山松茂地區南區(上松茂)S1

本區地面高程 1678 公尺，下方為崩積層，因此滲流發達，根據農委會水土保持局，105 年度大梨山地區地滑地監測管理及系統維護資料分析(2016)，2012 年 610 豪雨為歷史高點水位 1675 公尺，剖面上 S-1 之 TDR 監測站地下 23 公尺繪製滑動面，進行地下水水位之安全係數分析。由圖 36 破壞面坡底地表與測站位置高差 40 公尺，水平距離為 137 公尺，高程為 1638 公尺，鑽孔位置，向下坡度為 23 度。根據理論公式(3b)，推得臨界地下水位低於地表 12.34 m，高程為 1662.66，介於安全係數 1.10 至 1.15 間，目前該區有設置集水井抽取地下水，因此水位不易升高。

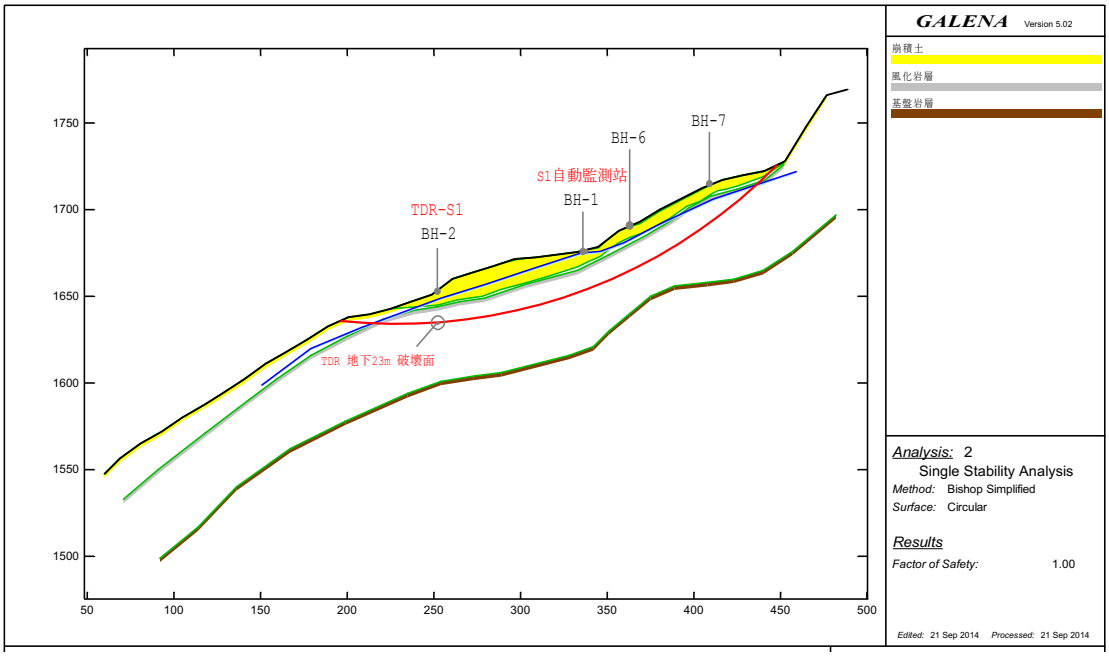
表 15 水土保持局梨山松茂地區南區(上松茂)S1 分析成果

安全係數	安全係數	水位高(m)	地下位高程(m)
1.15 (正常)	1.15	6	1661
1.10 (待命)	1.1	13.6	1668.6
1.05 (注意)	1.05	15.5	1670.5
1.00 (警戒)	1	20.6	1675.6

資料來源：105 年度大梨山地區地滑地監測管理及系統維護資料分析(2016)



(a)平面圖

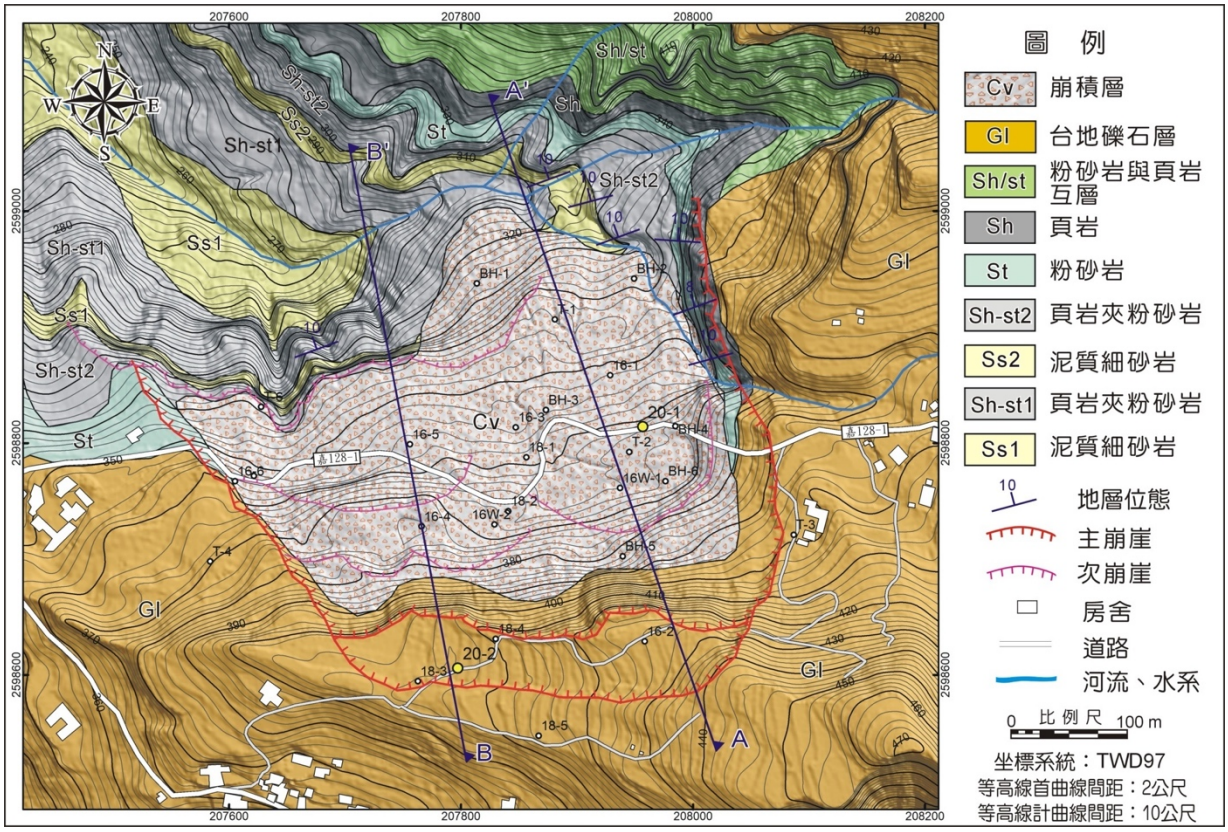


(b)剖面圖

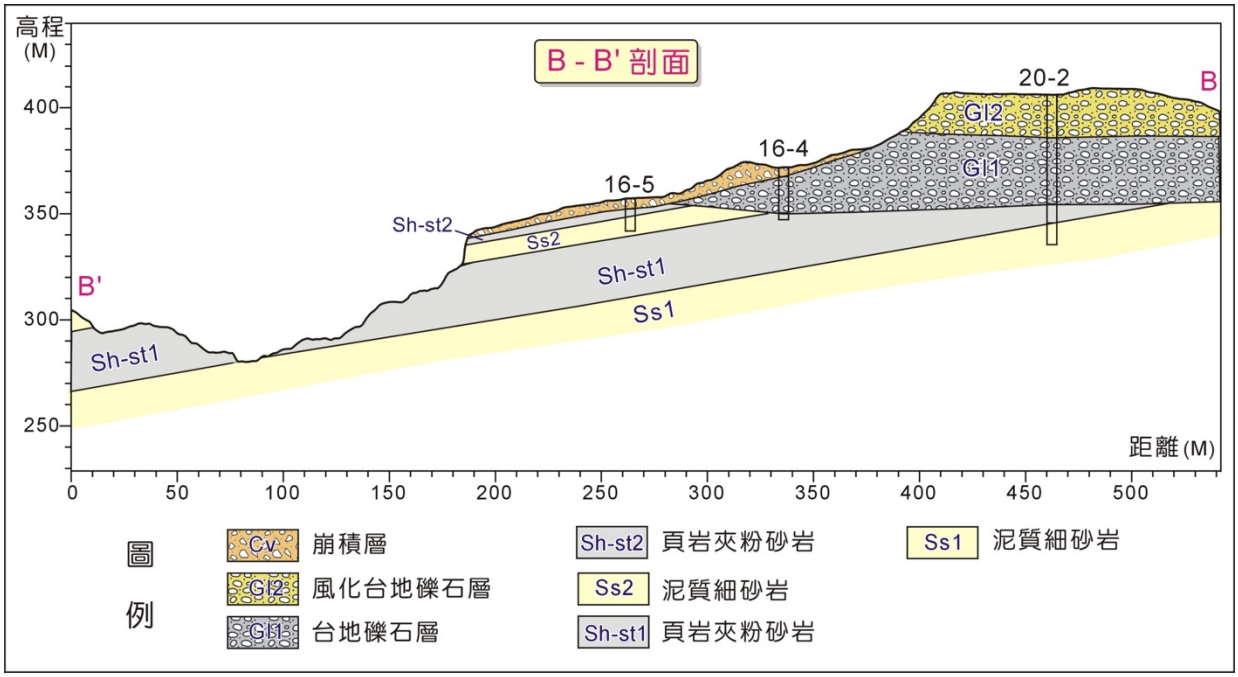
圖 36 松茂地區 S-1 自動監測站邊坡剖面位置圖

第二節 中心崙地區 JSL2

根據農委會水土保持局(2020)109 年度中心崙崩塌地調查與多尺度監測計畫成果報告書，井深度 15 公尺，注意值為地表下 3 m，警戒值為水位地表下 2 m，現場 GPS 量測結果，高程 375.67 公尺，中心崙崩塌地地質平面及剖面圖如圖 37，崩積層下方為頁岩夾粉砂岩，主要滑動面為崩積層，其厚度為 5.7 公尺，採用表 13 邊坡穩定地質參數，岩盤邊坡斜度為 15.38%，則推得臨界水位高度為 9.31m，較地表高度高出 3.61m，但因為下方邊坡為陡坡，使得土壤下方無支撐，因此會持續滑動，與理論公式計算方式不同，若改為連結至最低點計算，坡度改為 40%，計算結果臨界地下水位為 4.01 公尺，高程 373.98 公尺。



(a)中心崙崩塌地地質平面圖



(b) 中心崙崩塌地地質剖面圖(B-B’)

圖 37 中心崙崩塌地地質平面及剖面圖

整理本研究計算成果如表 16 所示，推估資料水深均較參考文獻資料低，也就是本研究之推估值較為保守，原因與採用之邊坡穩定地質參數有關。

表 16 臨界地下水位計算成果

區域	臨界地下水位高程推估值(m)	離地表距離(m)	參考文獻計算值(安全係數＝1)
梨山新佳陽地區 J1	1831.37	16.03	1833.5
梨山松茂地區南區(上松茂)S1	1662.66	12.37	1675.6
中心崙地區 JSL2	373.98	1.69	373.67

第八章 結論

本研究分析梨山及中心崙大規模崩塌地區域，共分析 11 處測站，建立崩塌地即時預警模式，推得如下結論：

1. 以線性水庫模式進行降雨與地下水位關係篩選，共推得梨山新佳陽地區 J1、梨山松茂地區南區(上松茂)S1 及中心崙 JSL2，暴雨期間模擬誤差小於 10cm，其餘測站誤差大。
2. 模擬結果顯示，梨山新佳陽地區 J1 區域，NARX 模式較佳，梨山松茂地區南區(上松茂)S1 及中心崙 JSL2，則以線性水庫模式較佳。未來進行即時預測時，梨山新佳陽地區 J1 區域推薦採用 NARX 模式，而梨山松茂地區南區(上松茂)S1 及中心崙 JSL2，則推薦採用線性水庫模式。
3. 本研究將模擬程序，整合為執行檔案，並與網頁整合，透過即時網站，可以即時預測暴雨期間下一小時地下水位，作為防災預警之用。
4. 本研究採用理論公式計算臨界地下水位，可作為發布警戒值之依據，若推估之地下水位達到警戒值，可據以發布警戒。

參考文獻

1. Corominas J, Moya J, Ledesma A, Lloret A, Gili JA (2005) Prediction of ground displacements and velocities from groundwater level changes at the Vallcebre landslide (eastern Pyrenees, Spain). Landslides 2(2):83-96
2. Geotechdata.inf (2013), http://www.geotechdata.info/parameter/permeability.html
3. Hong Y. M., Shiuan Wan (2011), “Forecasting groundwater level fluctuations for rainfall-induced landslide”, Natural Hazards, 57, 167-184
4. Hong, Y. M. (2017). Feasibility of using artificial neural networks to forecast groundwater levels in real time. Landslides, 14(5), 1815-1826.
5. WASHINGTON FOREST PROTECTION ASSOCIATION, http://www.wfpa.org/news-resources/blog/deep-seated-landslides-shallow-landslides-washington/
6. 詹連昌、蘇苗彬(2002)，梨山地區地層滑動整治計畫之五-成效評估與後續處理，農委會水土保持局梨山地區地層滑動整治計畫成效評估研討會論文集。
7. 農委會水土保持局(2016)，105 年度大梨山地區地滑地監測管理及系統維護資料分析。
8. 農委會水土保持局(2019)，108 年度大梨山地區地滑地監測管理及系統維護資料分析。

9. 行政院農業委員會水土保持局(2018)，107 年度中心崙崩塌地調查監測計畫成果報告書。

10. 農委會水土保持局(2020)，109 年度中心崙崩塌地調查與多尺度監測計畫成果報告書。

期初審查意見回覆表

審查意見	回復意見
(一)本計畫深入分析水保局所蒐集的地下水資料，提出深層崩塌預警模式，經過幾年接力持續研究，很有應用潛力和價值。	感謝鼓勵，持續努力研究
(二) 今年和去年最大不同是 AI 要自己寫，那種架構比較好？為何？	經過比較 Python 及 Matlab 內建之 library，發現 Matlab 之函式預測準確高，將於 Server 安裝 Matlab Runtime，提供轉成執行檔。
(三)有很多因素是明顯重要的因素，例如地質組成、土壤係數如何結合到 AI 模型中？	經考量，因為中心崙在同一塊區域有五個測站，本年度將以中心崙區域，嘗試將地質及土壤特性，放到 AI 模型中，提高其準確率。
(四) Matlab 編譯成 Runtime library 可以讓其他人使用，不需再買 license。	感謝指正，將採用 Matlab 執行。
(五) 本模式於 1D 滲流概念模式如何在現地二維破壞非均勻土體 2D 或 3D 坡地滲流加以驗證，建議補充說明。	本案例將以中心崙資料加以驗證，梨山地區因為均已整治完成，不容易驗證。
(六) 降雨條件與地下水上升及滲流長度之關係為本研究之貢獻，請補充現地不同土壤或地質案例之驗證。	同回覆意見五，將於期末報告完成詳細驗證。
(七)本期計畫為第三年，建議補充前期成果摘要。	感謝委員意見，補充於第一章第一節。

審查意見	回復意見
(八)文獻部分例如表 2、表 3 有需要才列表，試驗分析，夯實試驗，變水頭滲透試驗壓密排水試驗等不需要的步驟，請省略。	感謝委員意見，已刪除。
(九) 報告的撰寫請重新整理改寫。避免讀者讀不到目標。例如：P48 選定三處，但是選了「梨山」、「梨山精華區」、「松茂」、「老部落」、「新佳陽」…。	感謝委員意見，已修改為梨山六處，中心崙五處。
(十)僅搜集一場暴雨事件，做為訓練樣本，恐無法訓練出可用的迴歸網路。	1. 本研究方法，係將一場大暴雨，每一個單位時間地下水位，及過去 24 或 48 小時降雨為輸入，下一單位小時為輸出，因此若一場暴雨延時達 24 小時，地下水下降約 48 小時，則至少有 48 組事件為輸入，預測 48 組輸出。 2. 感謝建議，因近三年試驗區重大暴雨事件少，期末報告將嘗試增加今年暴雨事件，以兩場至三場暴雨事件為輸入，進行訓練。
(十一) 地下水位的初始水位也會影響地下水位的上升高度及速度及最後的水位高度。	過去 24 或 48 小時降雨，隱含對地下水位影響，將於期末報告前，增加地下水位的初始水位參數，進行 AI 模式驗證。
(十二) 地下水位上升與降雨延後時間也是防災警戒的重要數據，建議納入評估。	將整理出 11 處試驗區模擬暴雨之地下水與降雨尖峰之稽延時間，提供參考。

審查意見	回復意見
(十三) 本計畫著重在降雨後地下水位抬升之預測做為預警，可協助發布預警參考，建議可增加探討降雨停止後地下水位降低之預測，供解除警戒之參考。	將整理出 11 處試驗區模擬暴雨之地下水與降雨尖峰之退水時間，提供參考。
(十四) 本計畫之製作方式，建議參照本局委辦計畫報告書印製暨電子檔案製作範本，錯誤部分為書被計畫期別應改為(三)，另目次亦有缺漏，請修正。	感謝委員意見，已修正。
(十五) 本計畫建立崩塌地即時地下水位預警系統，對於未來本局執行大規模崩塌 r 警戒發布應有其參考性；惟計畫內容部分文字，為避免造成與本局目前執行之內容混淆，請將表 5 及表 6 修正為「八處大規模崩塌地區監測執行期程表」。	感謝委員意見，本年度改為中心崙區域驗證。
(十六)有關現場驗證部分，目前擇定梨山地區(梨山精華區、松茂、老部落、新佳陽)、萬山地區，為增加對不同地質區之分析，可考慮於本局萬山等八處大規模區監測計畫中再擇一處分析，以增加分析資料多樣性。	感謝委員意見，本年度共選擇梨山及中心崙，共 11 處監測站，進行驗證，因為無法取得萬山地區資料，無法進行驗證，將於近期確認如何取得萬山或其他地區即時資料。

期中報告審查意見回覆表

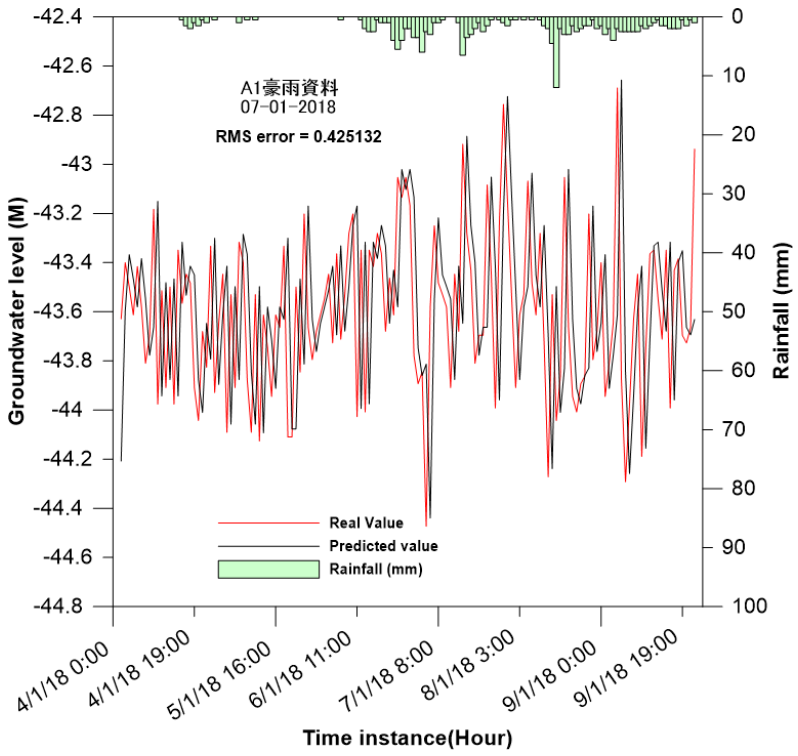
審查意見	回復意見
(一)第六章各訓練及模擬成果，均出現模擬的地下水位，較實測結果延後的現象，建議深入了解其主要原因。	本研究以預測目標為變化值，因此皆以目前值加上變化值為預測值，容易產生較實測值延後成果。
(二)第六章選取J1 及S1 兩站做為模擬對象，似乎僅似均方根誤差（RMSE）為篩選依據，建議將表9 的其餘4 個站納入模擬，似瞭解模式的反應，同時，建議對增加的4 站之訓練與模擬成果詳加分析論述。	所有測站皆有模擬，將關係較佳測站列於主文，其餘列於附錄。
(三)本計畫已進入第三期，但目前僅看到降雨與地下水位的模疑成果，似乎未能反饋到「深層崩塌」的主題上，而遮限邊坡理論模式乃架構於土壤力學的基礎上，土壤水的移動，入滲亦然。建議留意原計畫的主題，尤其是全程目標1、「建立大規模崩塌區崩塌之臨界地下水位」。	感謝指正，將持續努力推動深層崩塌，於定稿成果中補充。
(四)本計畫算出各區之臨界地下水位是必需及重要，依目前之計畫書所示，應有初步之成果，建議將各處之臨界地下水位對應之即時雨量表列，俾利與本局目前訂定各區之臨界發生雨量做一比較，以做為未來互相驗證使用。	感謝指正，將持續計算臨界地下水位資訊，於定稿成果中補充。
(五)另計畫之最終目的係擬做為預警使用，未來預警系統可推估出降雨後1、2 及3 小時之地下水位，若達到臨界地下水位時即予示警，惟目前本局之防災應變啟動時間，係以發生前	若要推算至六小時，需要有推估雨量帶入，建議能提供推估雨量，進行計算。

審查意見	回復意見
6 時啟動，爰此，建議本系統之預測地下水位可延至6 小時後。	
(六)本計畫p52 監測來源包括萬山、梨山的地下水位…，與表7 之地區不相符，應為「中心崙」，請修正。	已修正
(七)P80 審查見回覆表，現場驗證地點再增加一處部分，回復為無法取得萬山或其他地區之資料，若有其必要性，可考慮由本局之其他計畫提供。	今年以中心崙及梨山兩站為主。
(八)建議宜選定歷年有較多場暴雨事件之樣區，以每一場暴雨事件做為一個訓練樣本，並選一場或多場暴雨事件做為驗証較為合理。	目前以一場大暴雨為訓練樣本，以多場暴雨進行驗證。

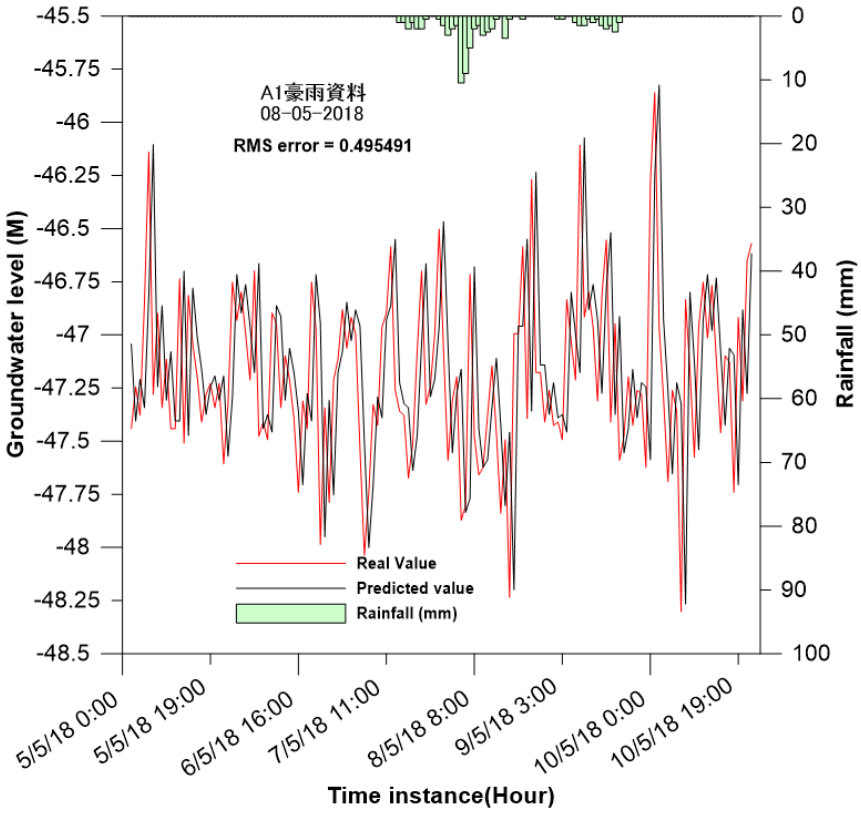
期末報告審查意見回覆表

審查意見	回復意見
(一)理論公式計算之臨界水位與實際坡地穩定度之差異，建議加以比對。	感謝指正，補充於表 16，理論公式推算結果較為保守。
(二)試驗區所計算出來臨界水位均較水保局現場監測所訂之地下水位警戒值為高，其差異為何？	理論公式推算結果較為保守，理論公式較低。主要係因為採用土壤參數較為保守。
(三)建議可運用在有排水設施之地區，以驗證治理工程之成效。	感謝認同，建議可以全面性驗證水土保持局所有監測站。
(四)想請教降雨事件的切割方法，是否加入更多降雨時間供訓練模型之用，以增進模型準確性。	因為降雨特性會影響地下水入滲，可針對雨量大小進行分類，針對不同雨量進行模擬，增加模擬之準確度。
(五)入滲速率受到土壤種類影響，雨量和地下水位的關聯可能會有 delay,不同土壤 delay 的時間可能不同（如砂土可能雨量馬上入滲到地下水，黏土可能一天才入滲幾公尺），目前建立的模型是否可以適用全台？	因為有延遲效益，使得本模式可以應用，同時只要現場有降雨量紀錄及地下水位計，均可進行驗證，了解其相關性。

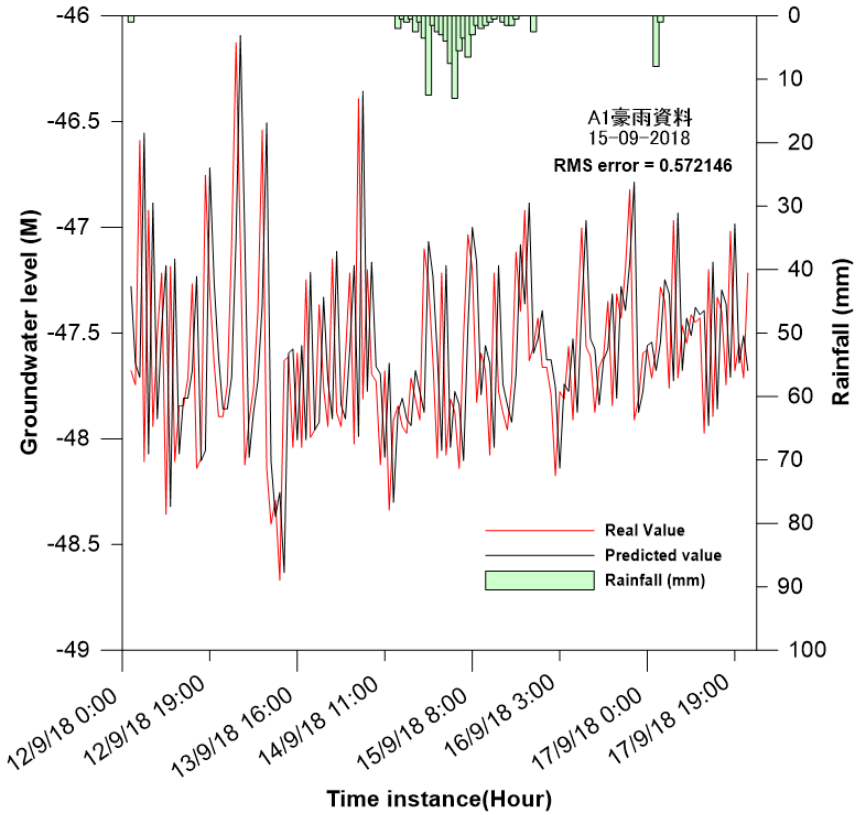
附錄 1、梨山地區監測站地下水位訓練及預測成果



(a)訓練成果

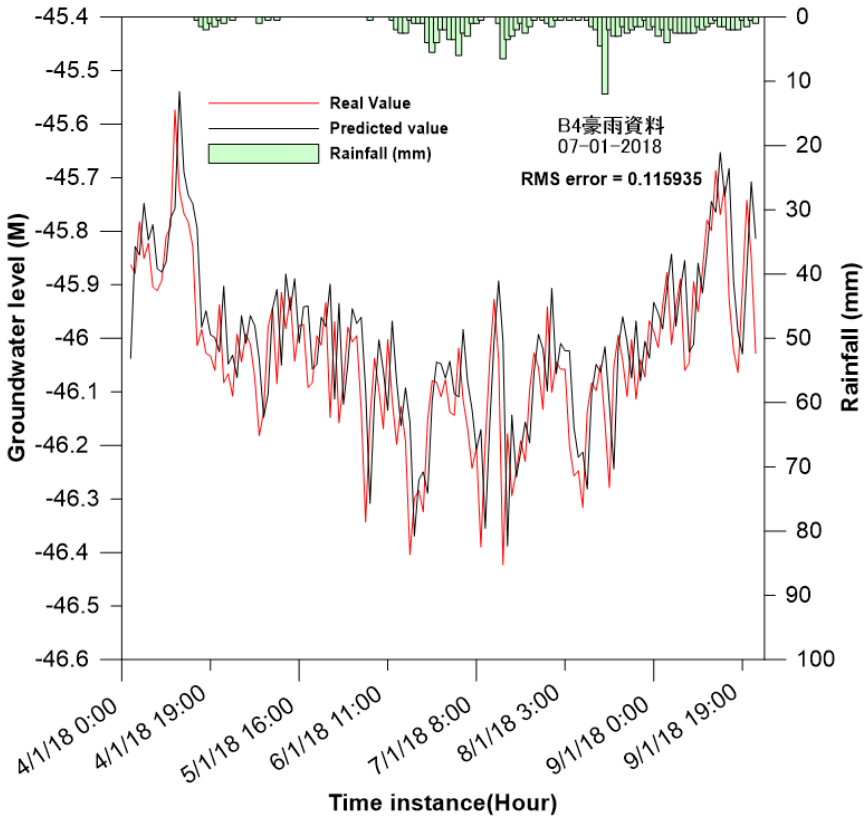


(b)模擬一成果

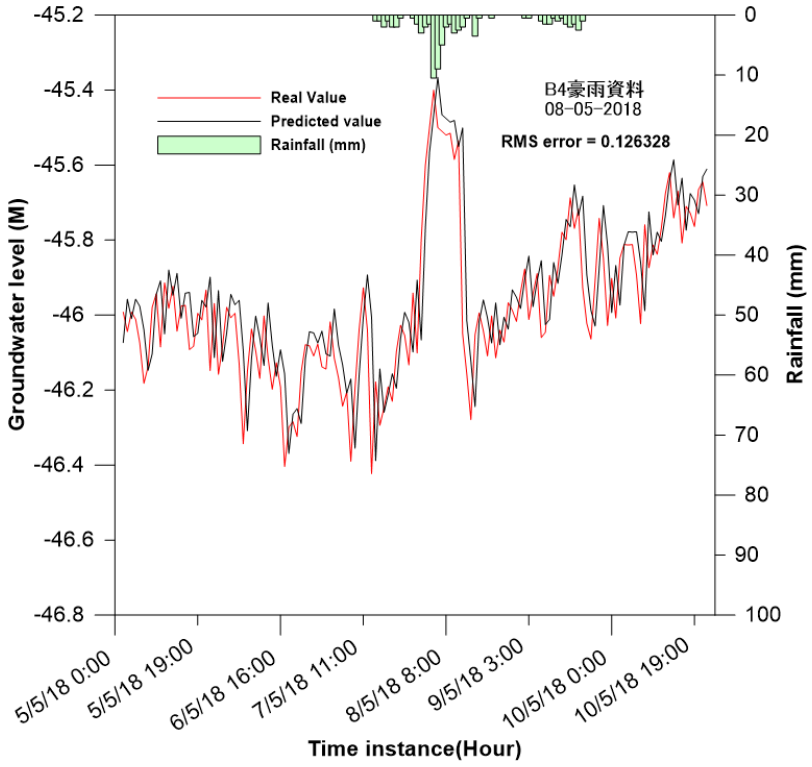


(c)模擬二成果

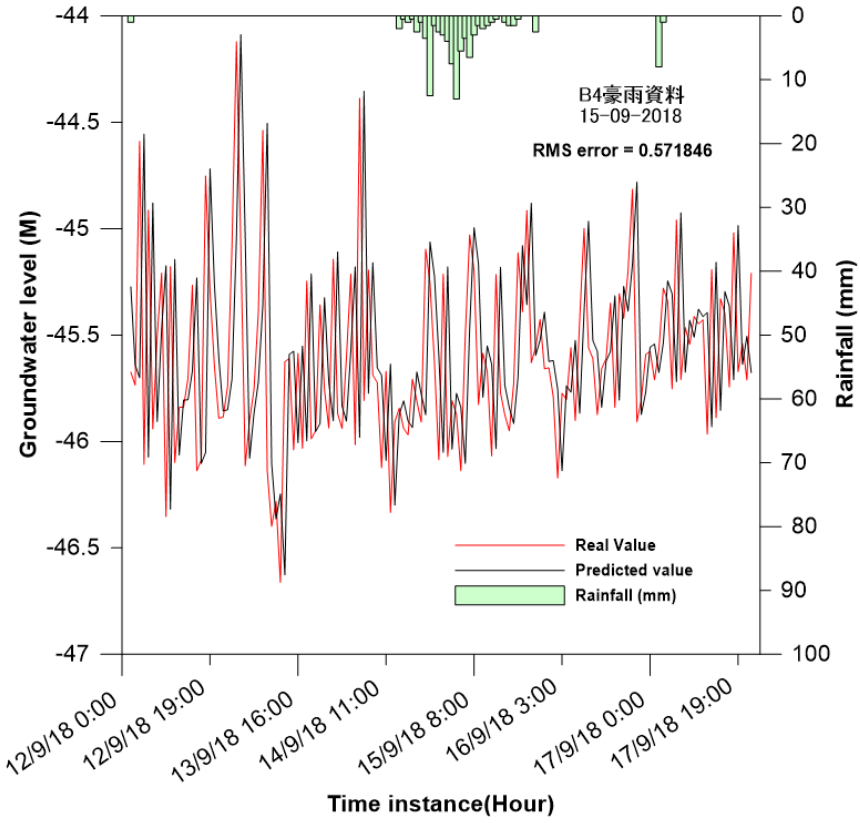
圖 38 A1 訓練及模擬成果



(a)訓練成果

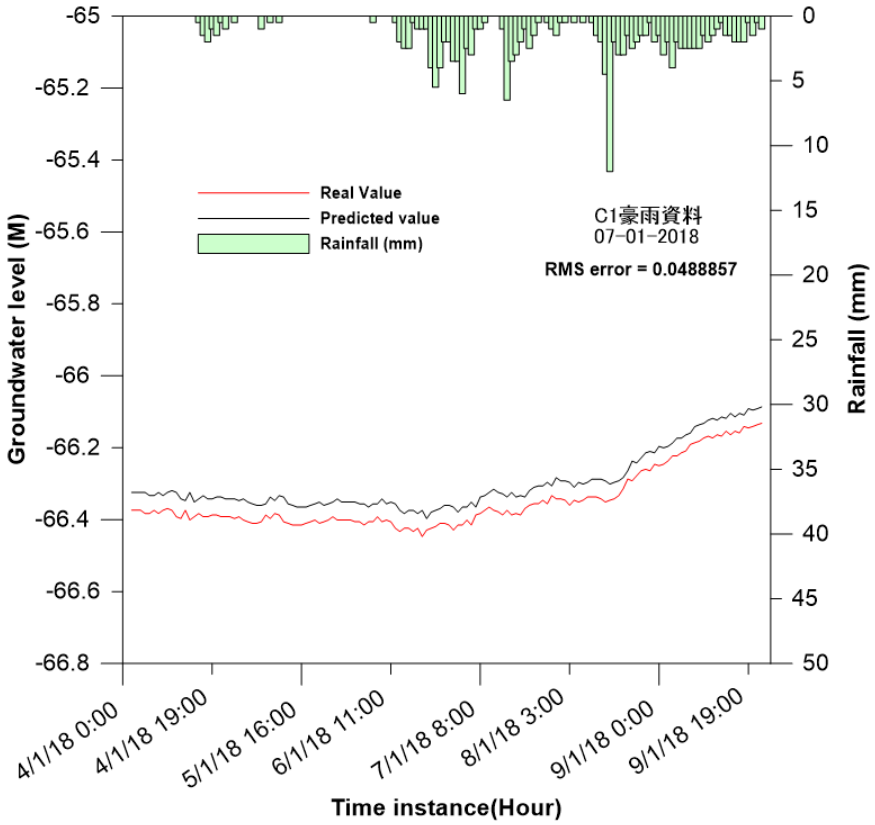


(b)模擬一成果

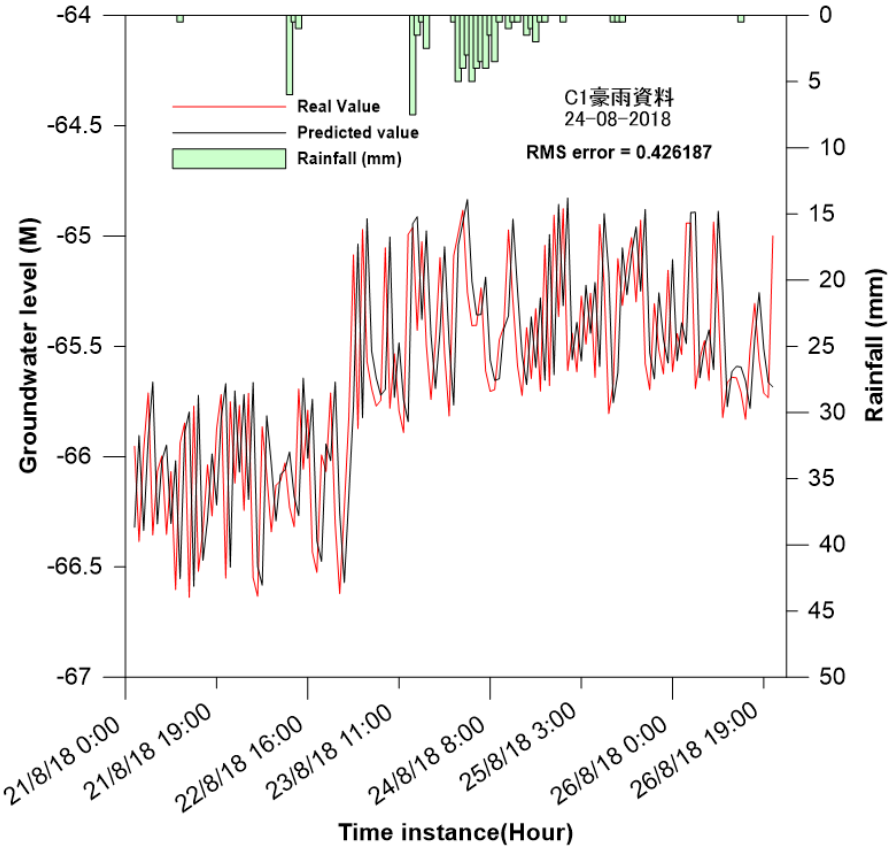


(c)模擬二成果

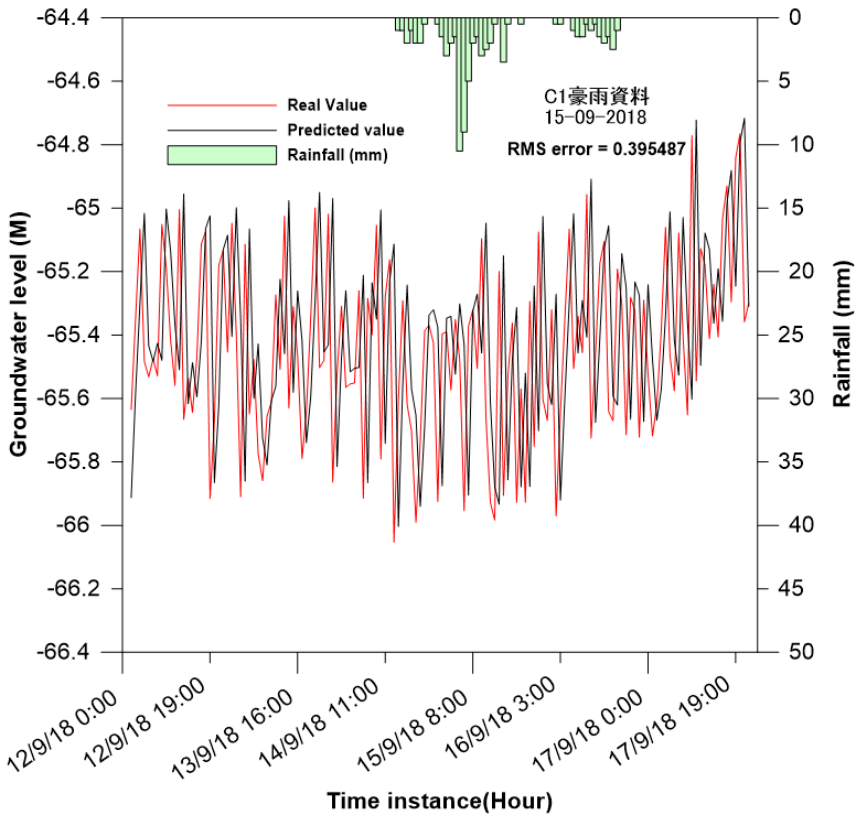
圖 39 B4 訓練及模擬成果



(a)訓練成果

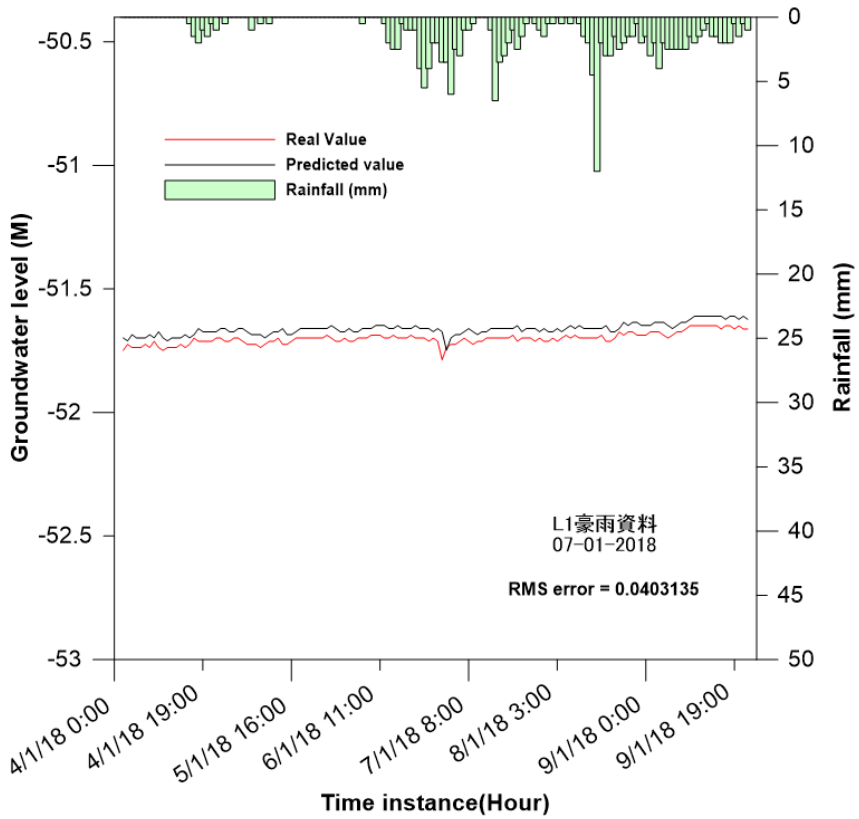


(b)模擬一成果

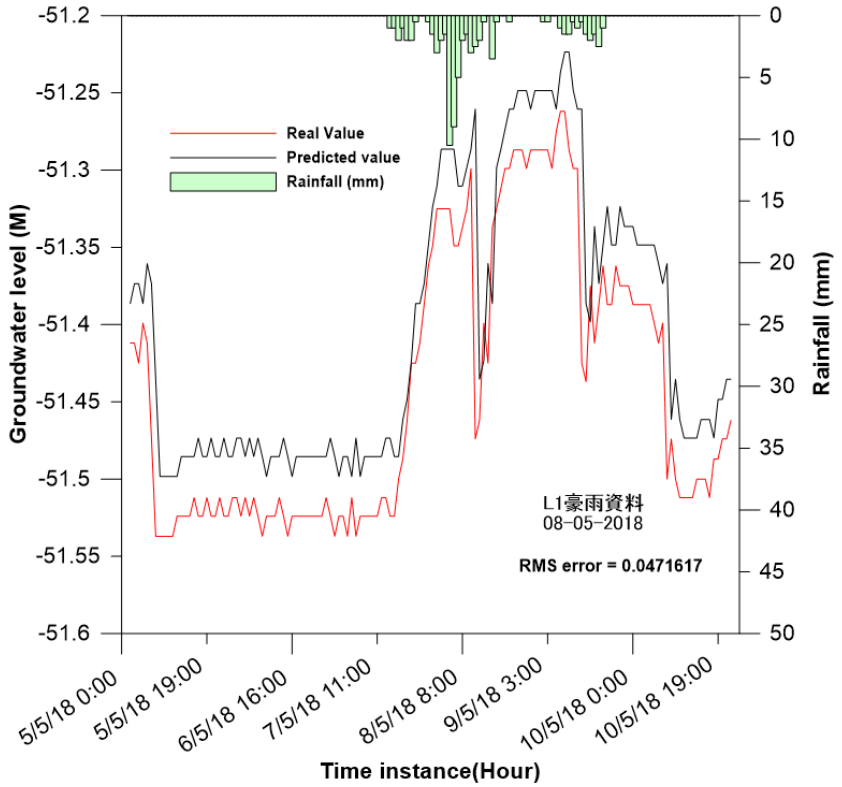


(c)模擬二成果

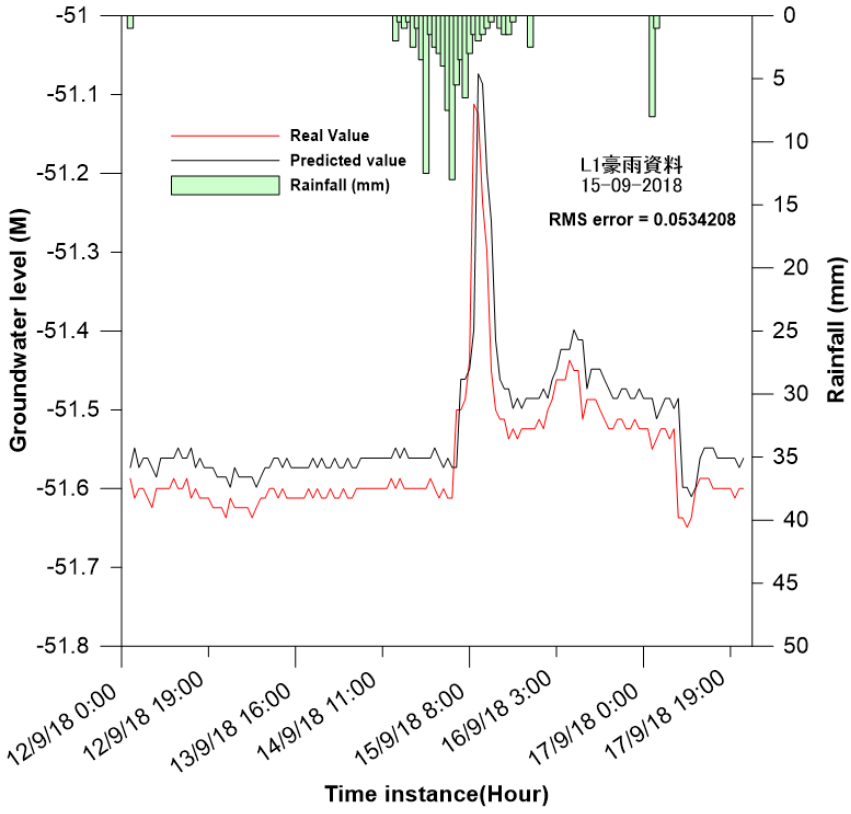
圖 40 C1 訓練及模擬成果



(a)訓練成果



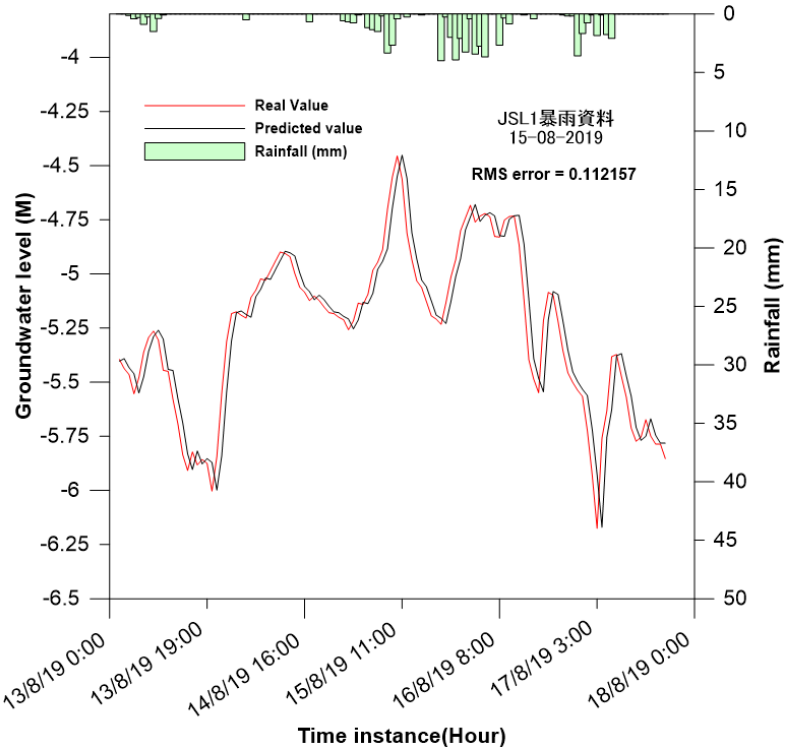
(b)模擬一成果



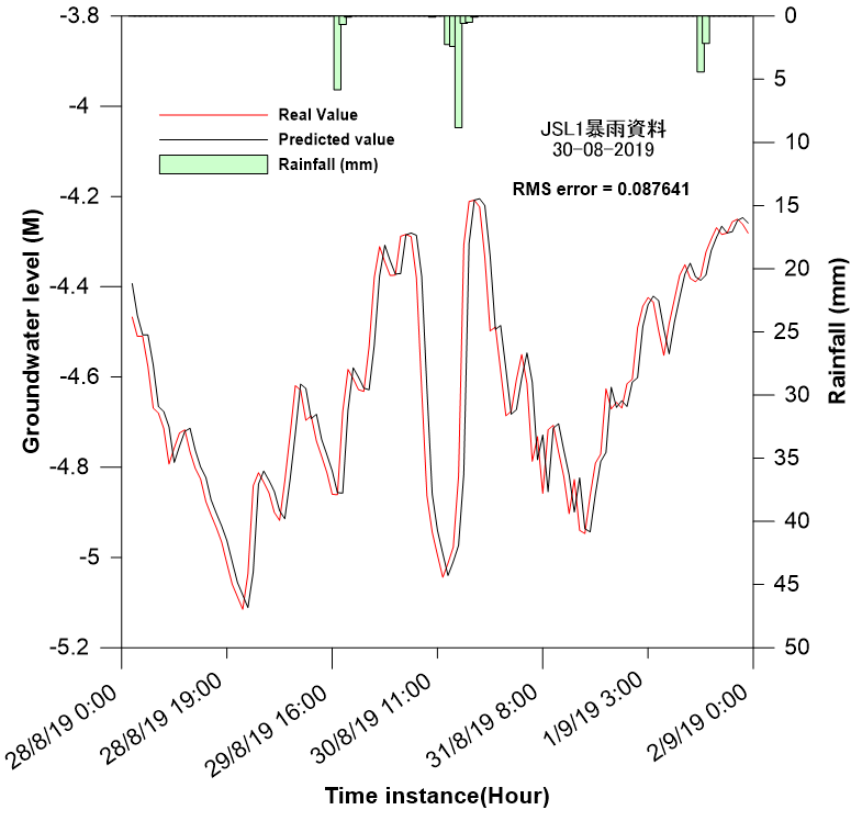
(c)模擬二成果

圖 41 L1 訓練及模擬成果

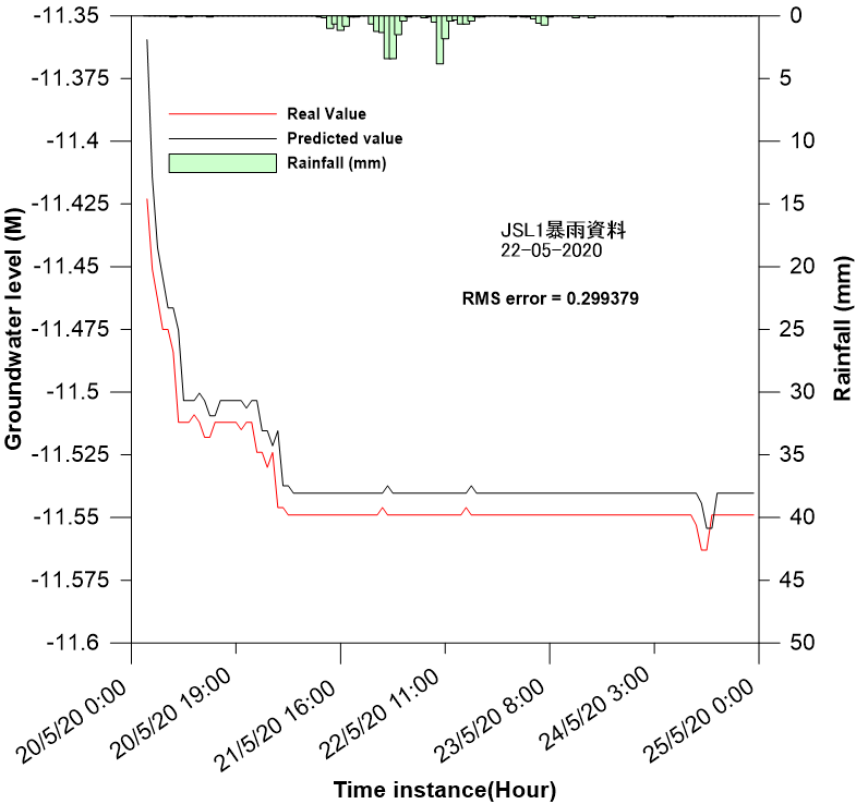
附錄 2、中心崙監測站地下水位訓練及預測成果



(a)訓練成果

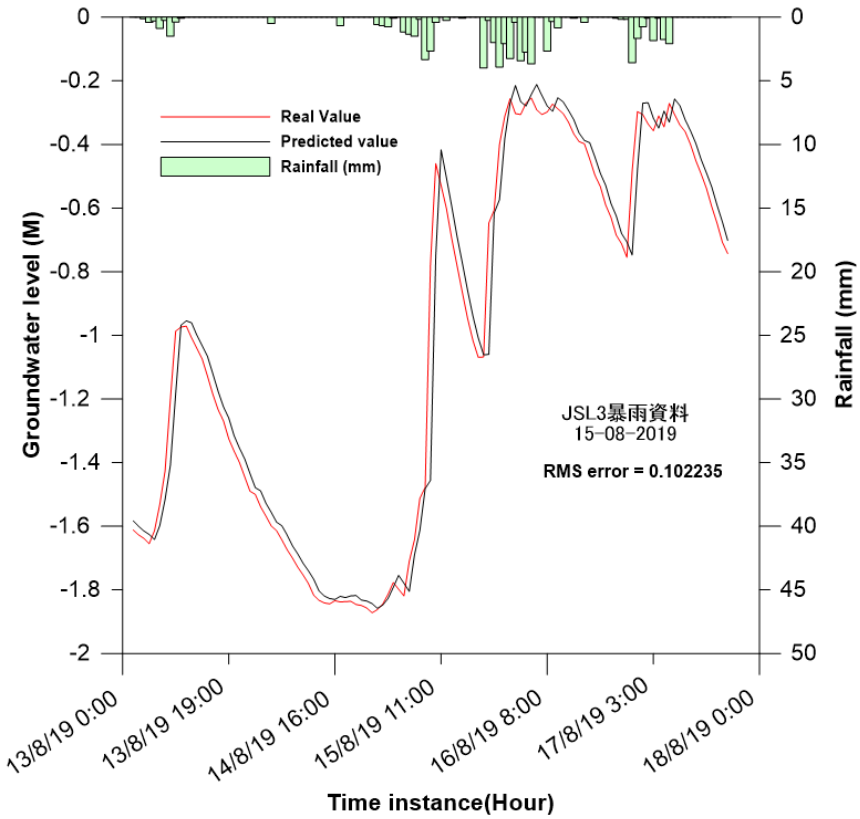


(b)模擬一成果

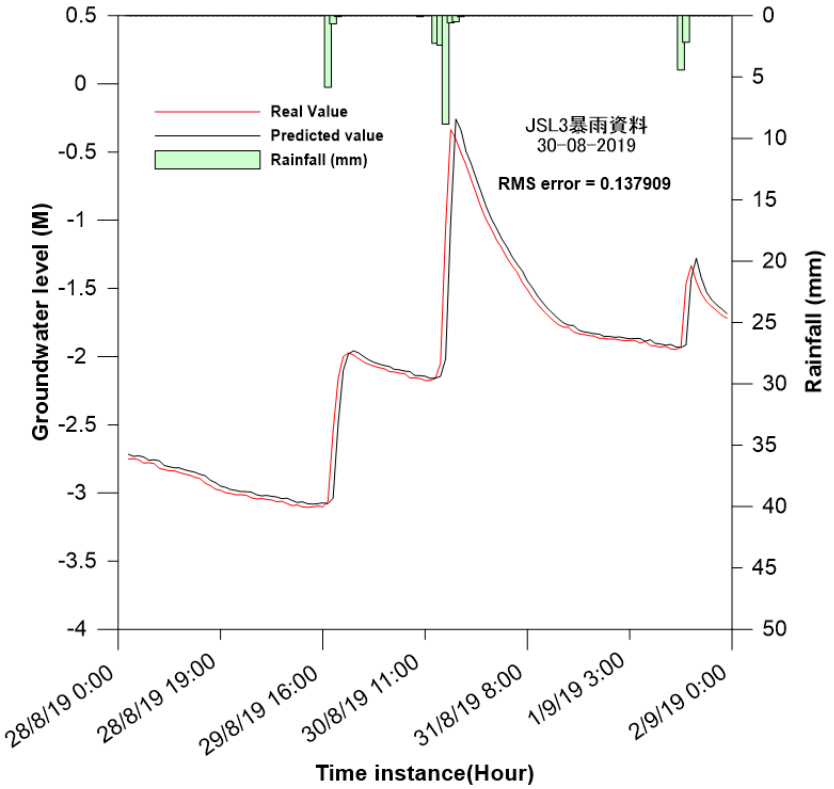


(c)模擬二成果

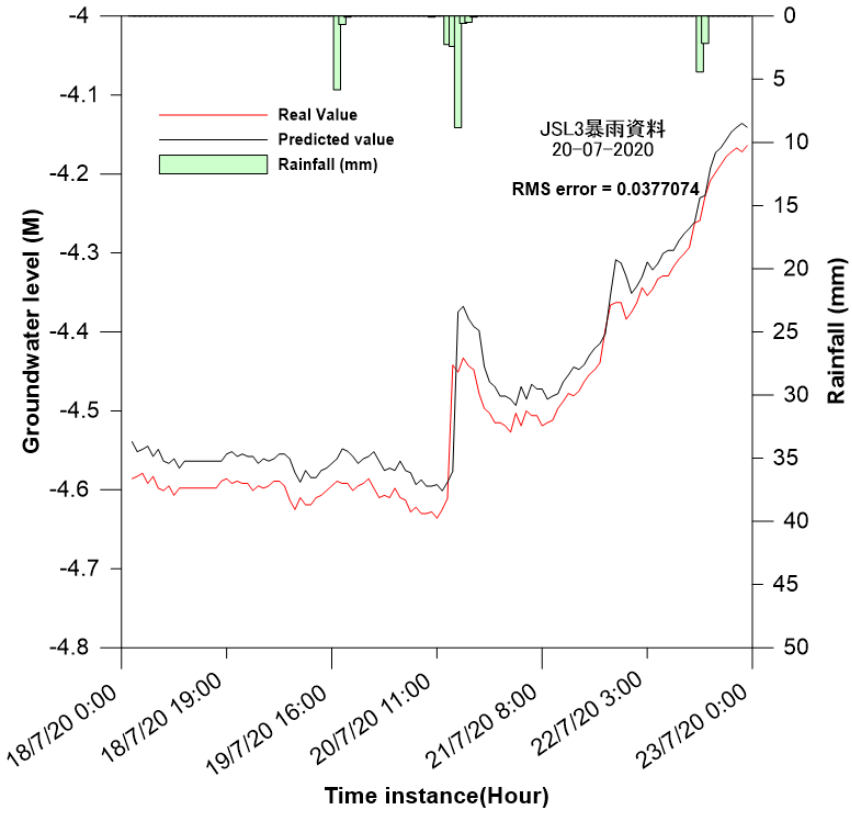
圖 42 JSL1 訓練及模擬成果



(a)訓練成果

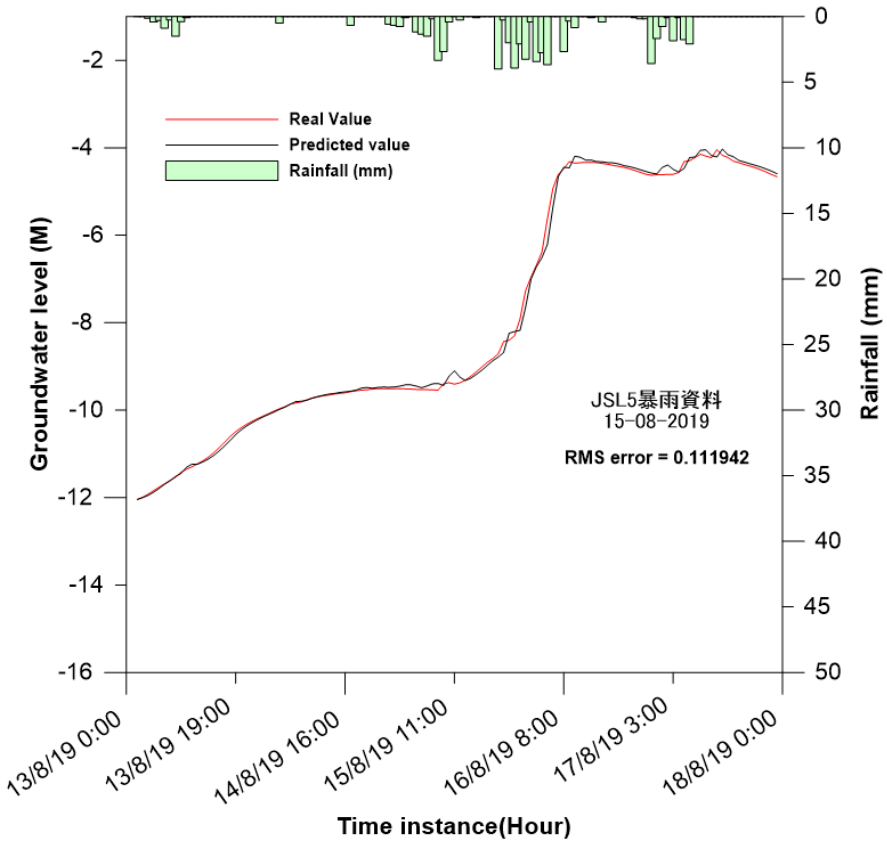


(b)模擬一成果

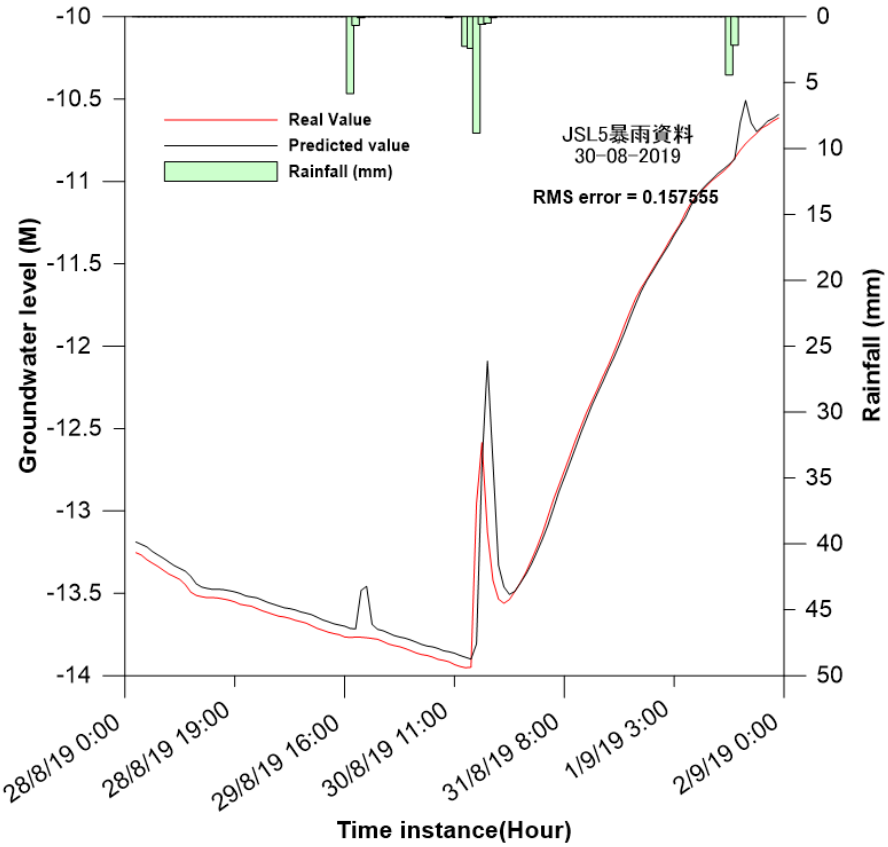


(c)模擬二成果

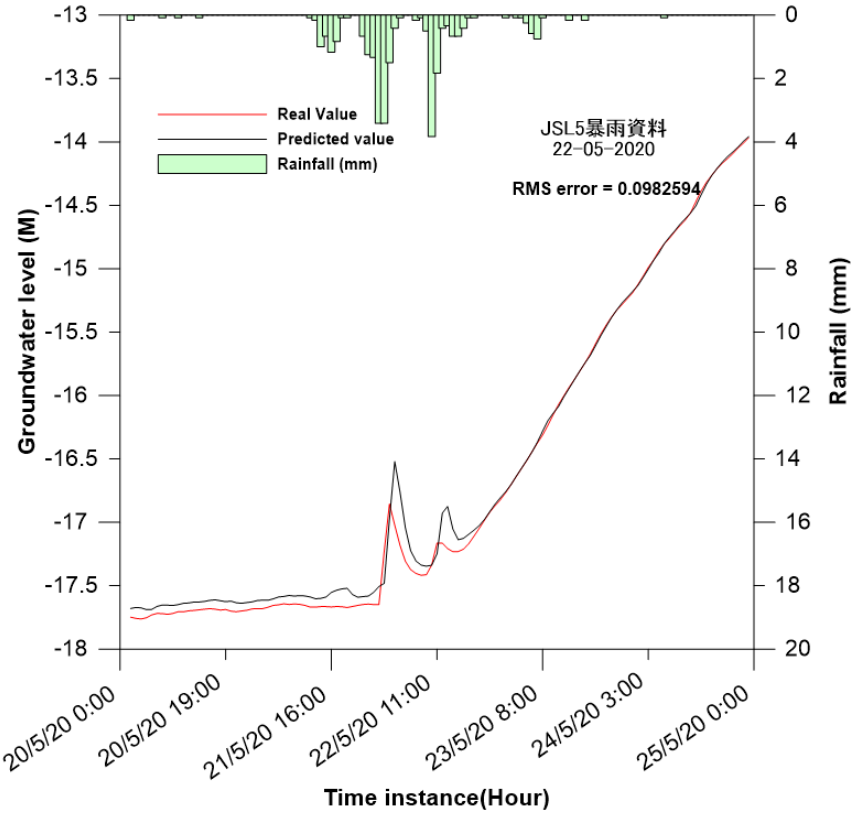
圖 43 JSL3 訓練及模擬成果



(a)訓練成果



(b)模擬一成果



(c)模擬二成果

圖 44 JSL5 訓練及模擬成果