

整合地文與水文資訊之深層崩塌即預 警模式

洪耀明 教授

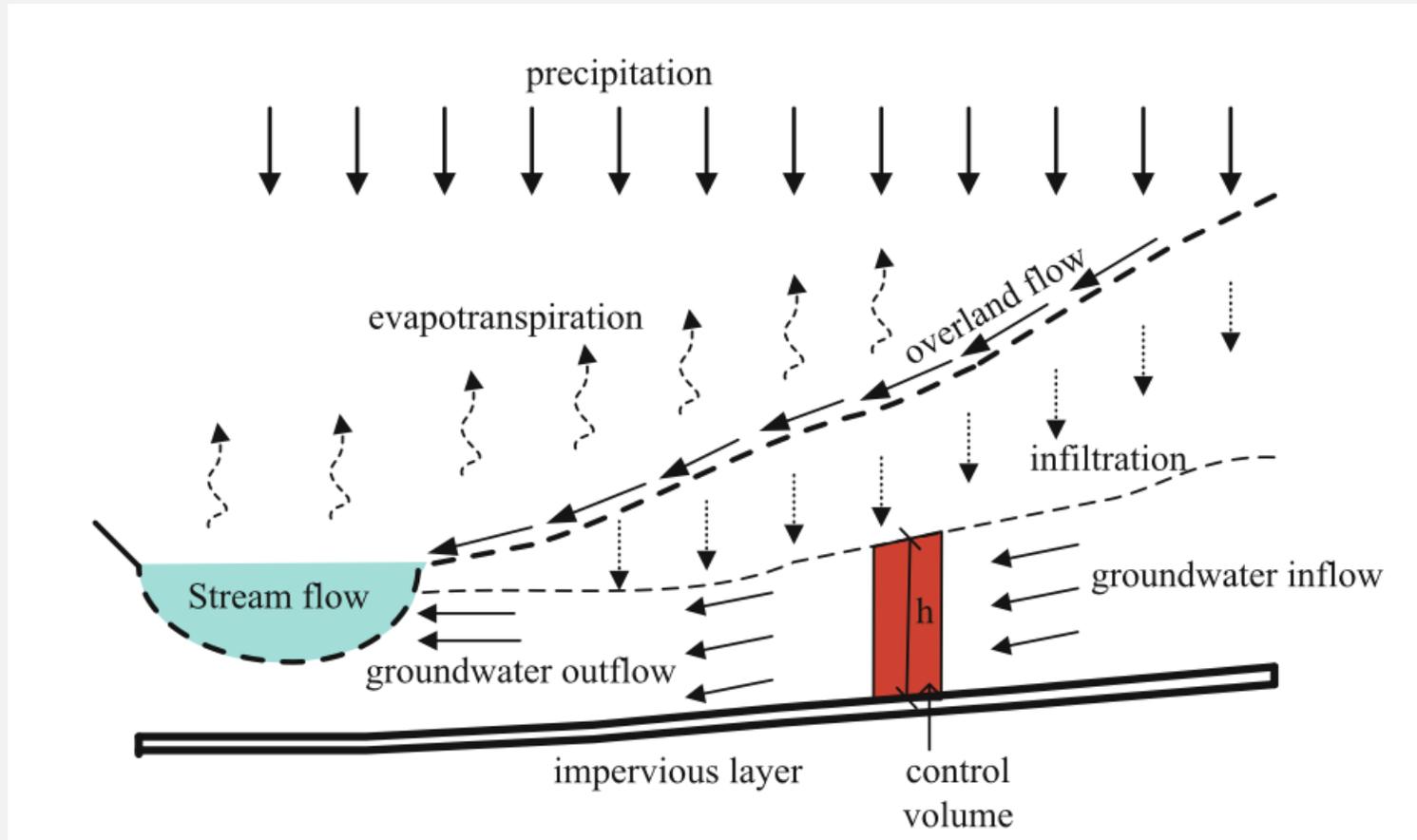
南華大學永續綠色科技碩士學位學程

簡報內容

- 前言
- 研究方法
 - 深層崩塌理論模式建立
 - 應用類神經網路進行即時地下水位預測
- 資料收集與分析
 - 地文資料
 - 水文資料
 - 實驗分析
- 結果與討論
 - 深層崩塌模式驗證
 - 類神經網路模擬
- 結論

前言

- 坡地水文循環



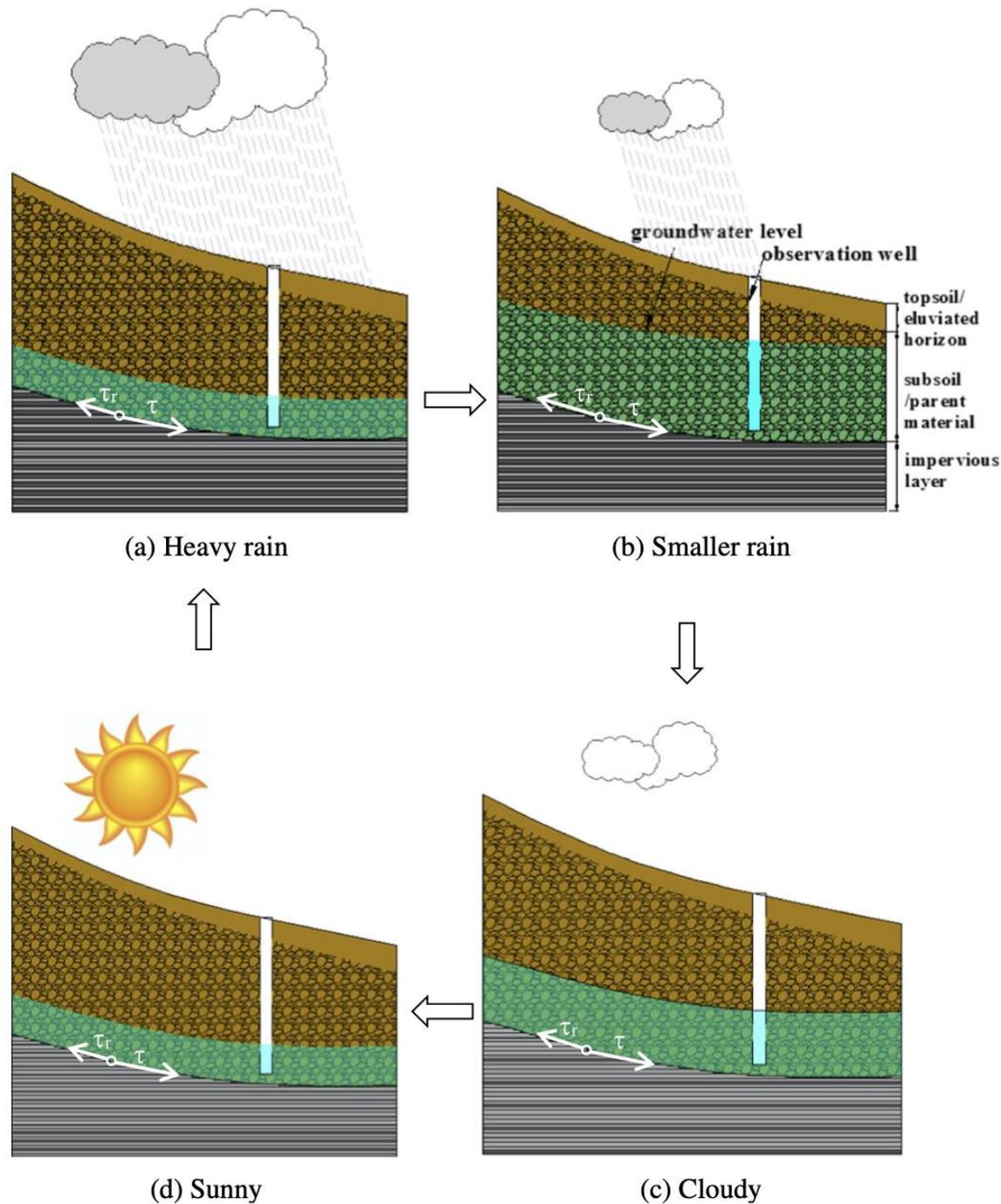
入滲之後土壤水分流動

- 地下水位變化對邊坡穩定之影響
 - 土壤含水→土體重量增加
 - 摩擦角降低
 - 地下水滲流造成土壤流失，導致崩塌

地下水位為影響深層崩塌主要因子

- 地下水位變化過程
 - 降雨→入滲→地下水位上升

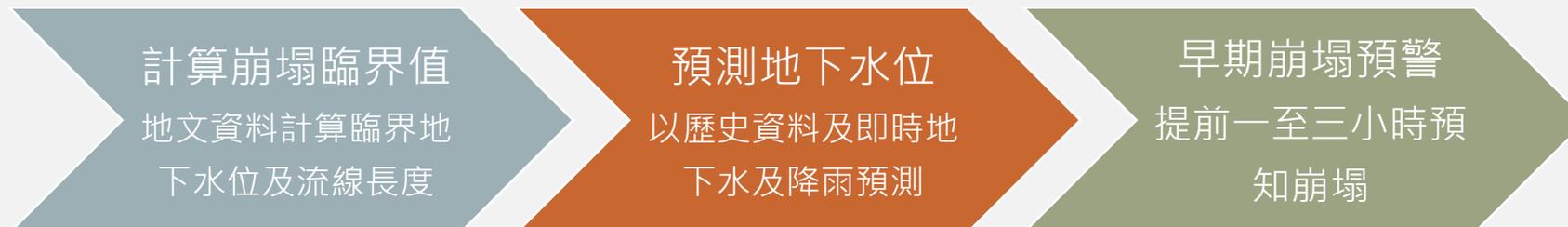
地下水上升與降雨有時間差



前言

- 深層崩塌臨界值
 - 推導理論公式，計算土體崩塌之臨界地下水位
 - 地下水位滲流可推滲流最長位置
- 提早得知未來地下水位
 - 以過去降雨及目前地下水位推算未來一到三小時地下水位
 - 黑盒分析：應用類神經網路分析
 - 白盒分析：線性水庫模式

提供深層崩塌預警方式

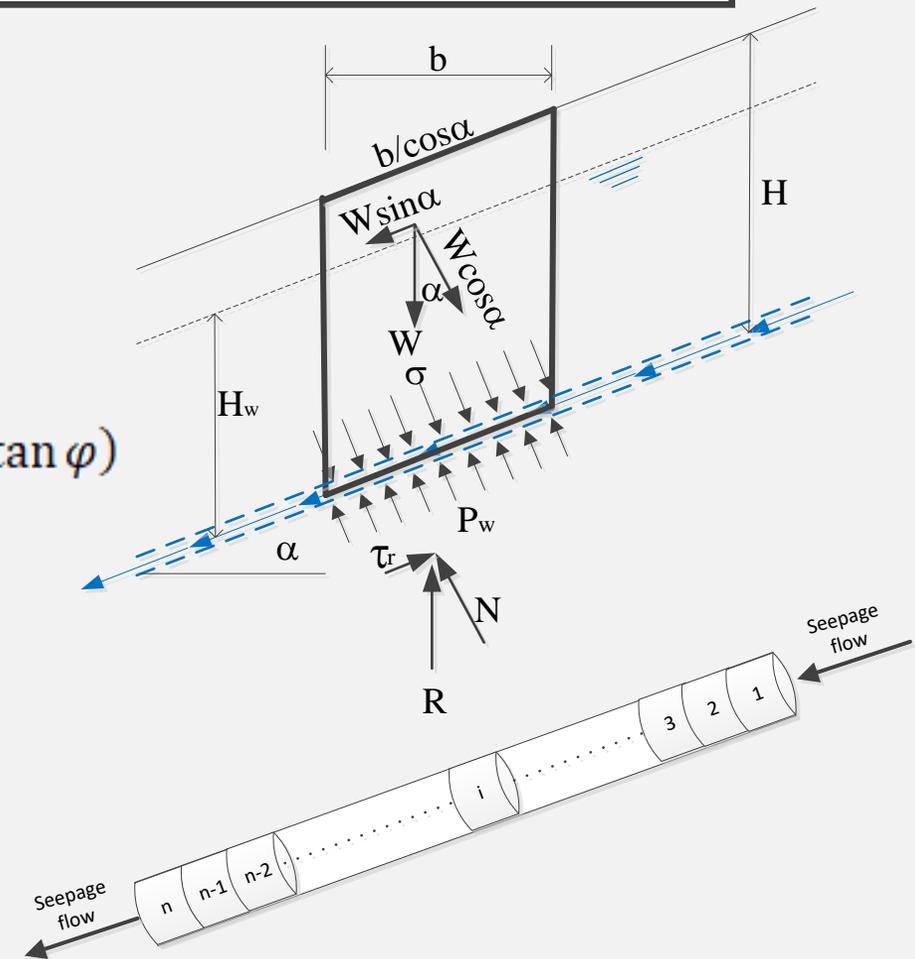


研究方法

- 無限邊坡理論模式推導

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

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



產生滲流沖刷之臨界流線長度

- 根據達西定律，長度越長，滲流速度越慢
- 滲流發生於流速達到泥砂啟動流速時
- 地下水位滲流發生應與長度有關

- 設滲流速度不變，建立下式

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + H_p = \frac{V^2}{2g} + \Delta H$$

$$\text{壓力水頭 } \frac{P}{\gamma} = H_w$$

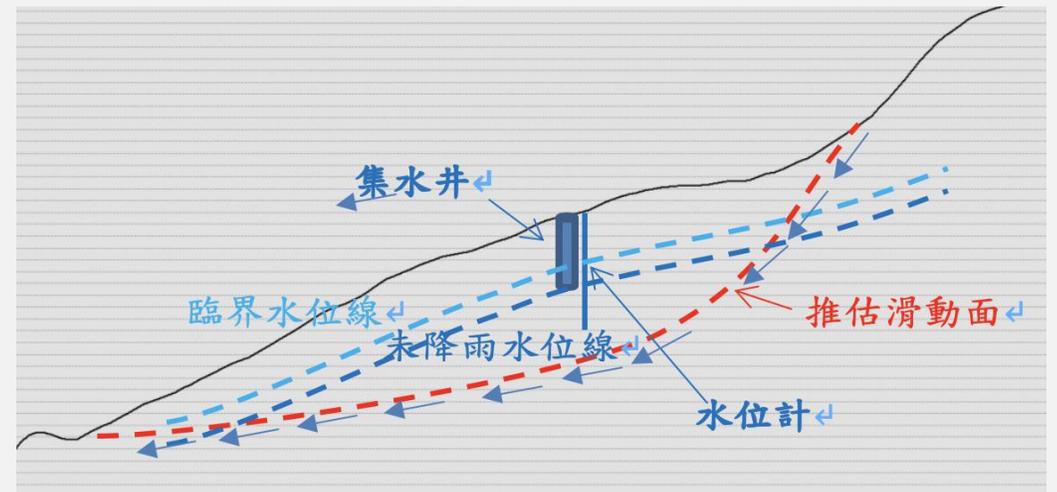
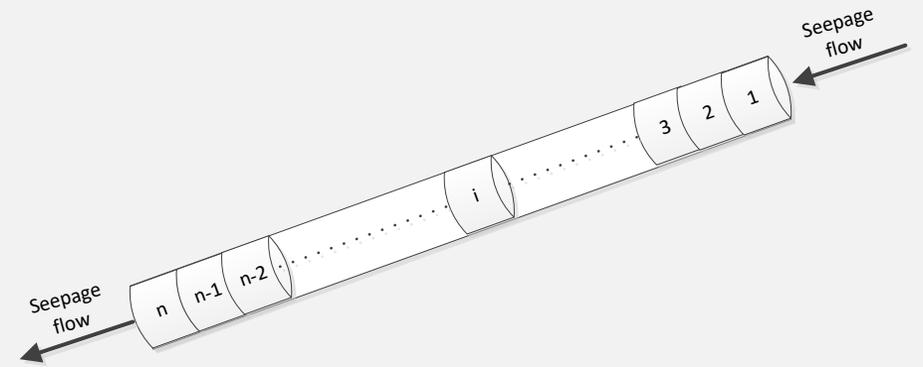
H_p 為位置水頭，為量測水位位置底部與坡底高差

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，推得

$$L = \frac{K_s}{V} (H_w + H_p)$$

當 V 為臨界滲流速度，則 L 為最長臨界長度
超過此長度，則不會發生滲流



應用類神經網路預測地下水位變動量

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

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

以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變化量

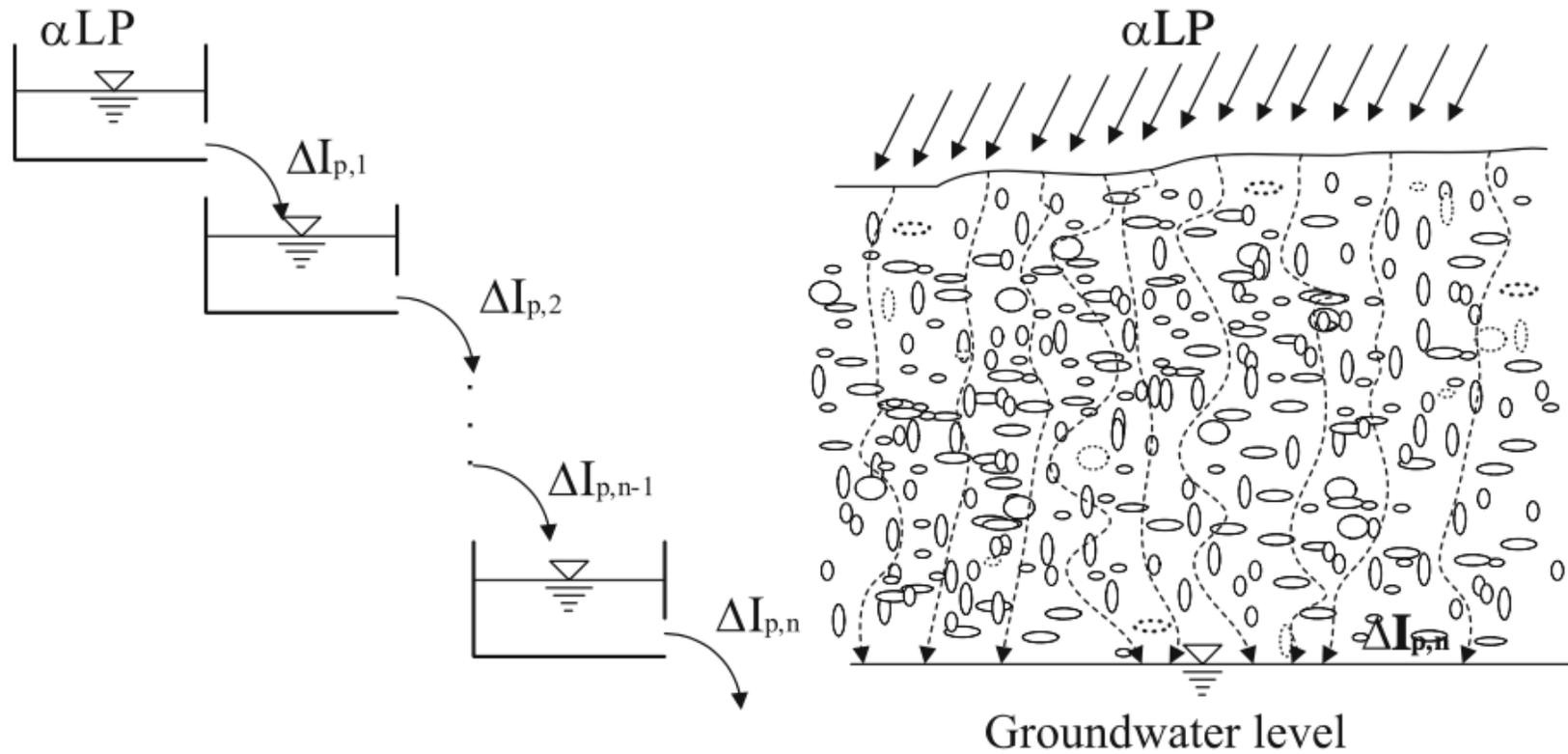
- 降雨資料及地下水位資料，轉換為輸入矩陣，
- 將訓練樣本使用Matlab NNTool進行訓練，
- 訓練所得參數輸入另一場暴雨進行驗證

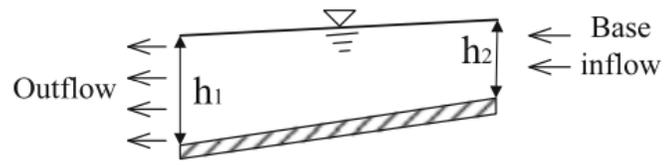
未來可以整合為執行檔，進行即時預測

詳細內容可參考

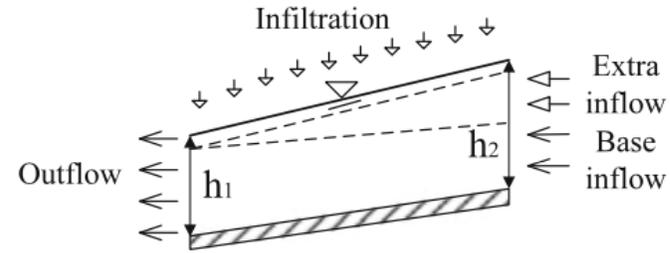
Yao-Ming Hong*, "Feasibility of Using Artificial Neural Networks to Forecast Groundwater Levels in Real-Time" (2017), Landslides.

線性水庫預測地下水位變動量

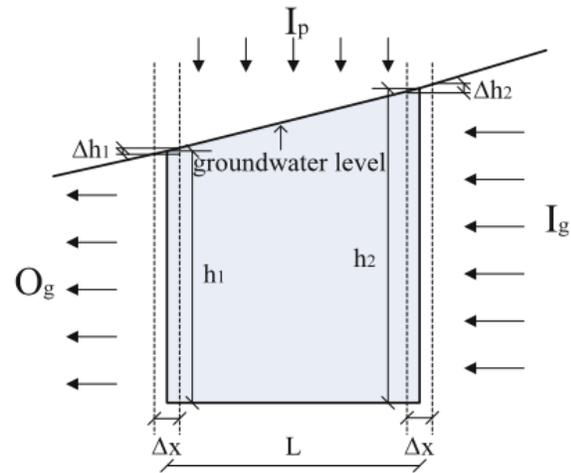




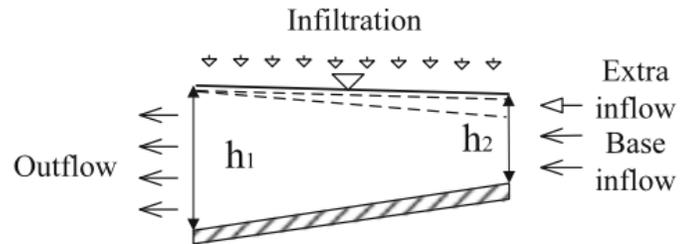
(b) Drop groundwater level ($h_1 > h_2$)



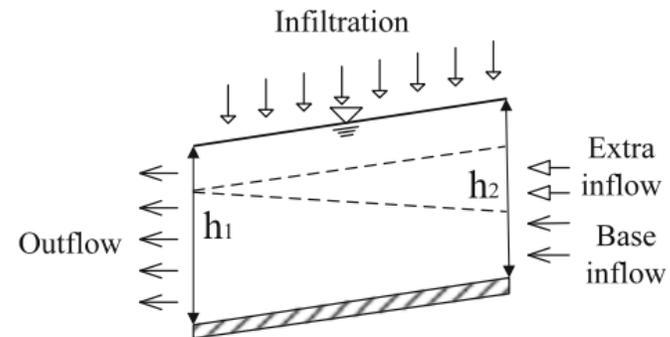
(c) Lift groundwater level ($h_1 < h_2$)



(a) control volume of groundwater level



(e) Drop groundwater level ($h_1 > h_2$)



(d) Lift groundwater level ($h_1 < h_2$)

線性水庫預測地下水位變動量

控制體積之連續方程式

$$I_g - O_g = KpLh + A\alpha L \sum_{m=1}^N P_m H[(N - m + 1)\Delta t]$$

水位高度隨時間變化數值解

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

詳細內容，參閱

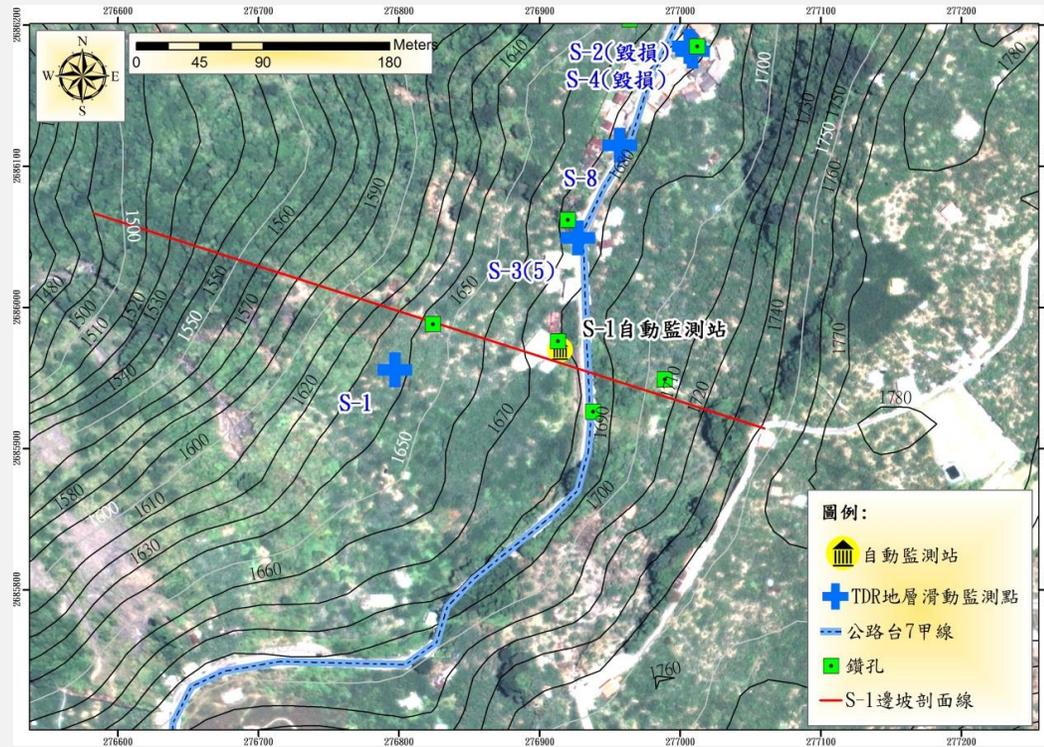
Yao-Ming Hong*, Shiu-an Wan (2011/5), “Forecasting groundwater level fluctuations for rainfall-induced landslide”, *Natural Hazards*, 57, 167-184

資料收集與分析

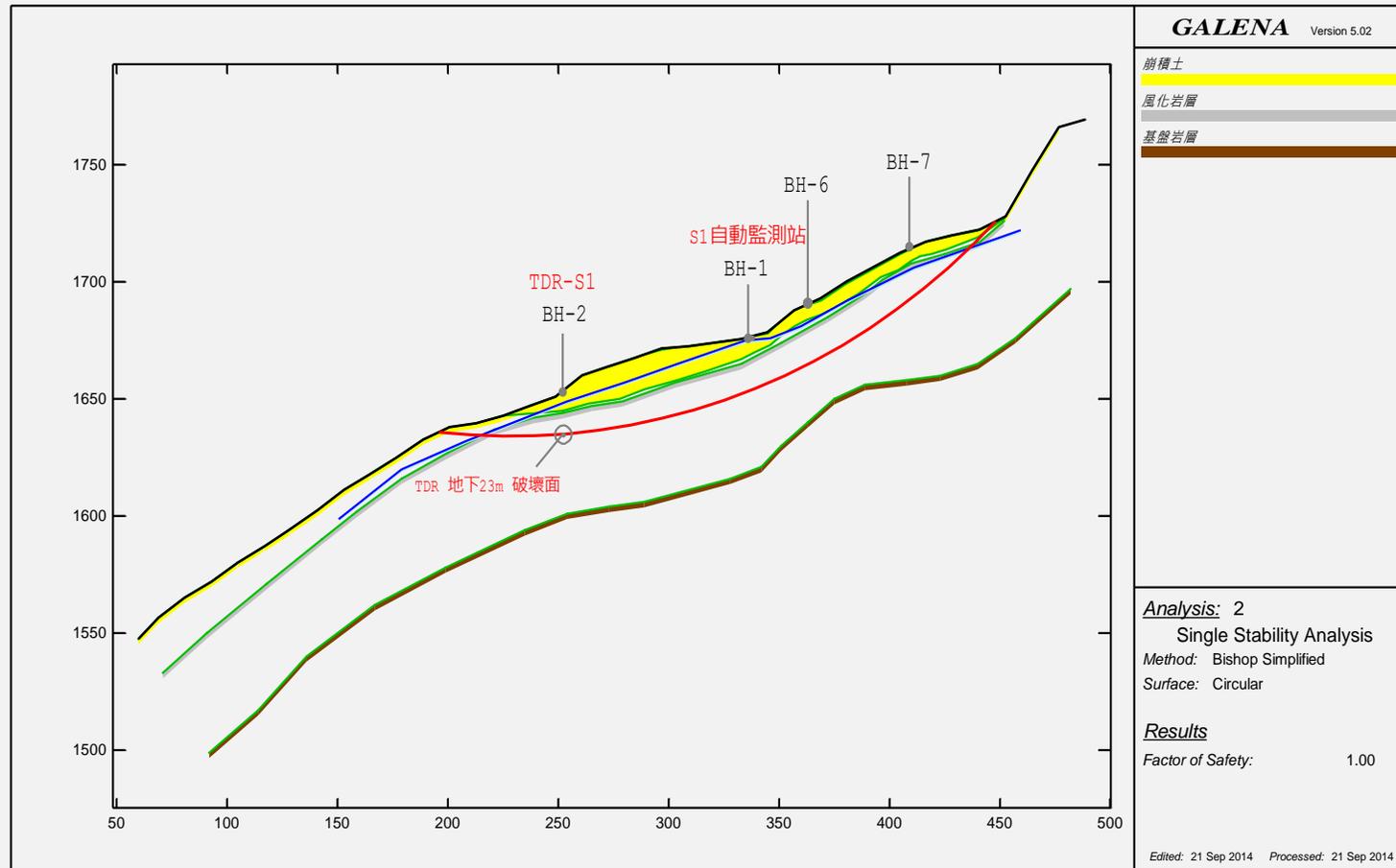
資料名稱	資料目的	資料要求
降雨資料	進行地下水位預測用	<ul style="list-style-type: none">• 至少兩場暴雨，前期發生之第一場暴雨為訓練樣本，第二場暴雨為驗證樣本。• 需為小時降雨資料。
地下水位資料	進行地下水位預測用	<ul style="list-style-type: none">• 伴隨兩場暴雨之地下水位，降雨與地下水位需有明顯關係，前期發生之第一場暴雨為訓練樣本，第二場暴雨為驗證樣本。• 需為小時地下水位資料。
鑽孔位置資料	位移歷史資料	根據現場傾斜管或TDR研判是否發生位移
地下水位警戒值	與本研究成果比較	破壞面以上高程
破壞面粒徑	進行臨界滲流壓力試驗	需為破壞面粒徑篩分析及機械分析結果
滲透係數	推算臨界滲流壓力	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

地文資料

- 採用梨山松茂地區



斷面資料



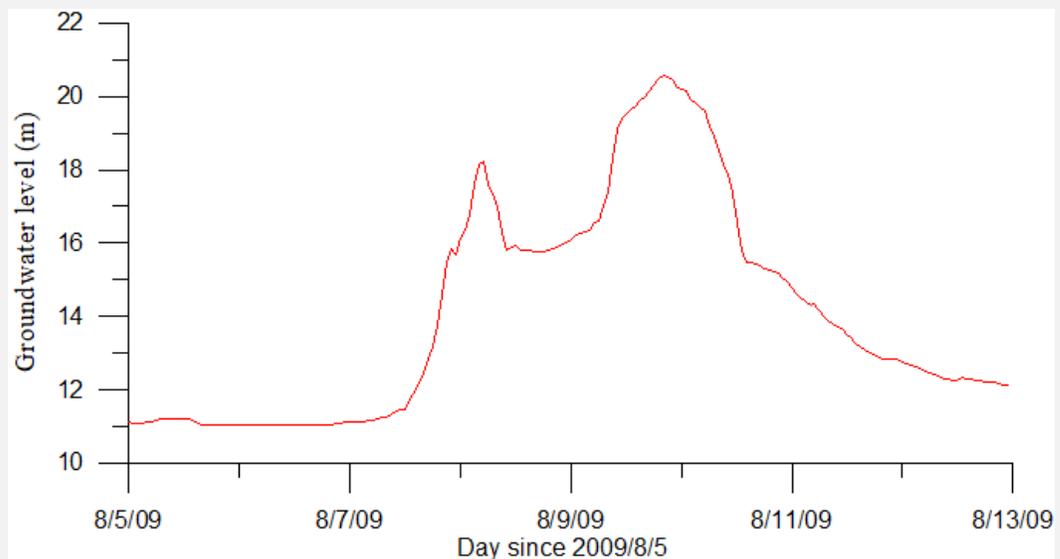
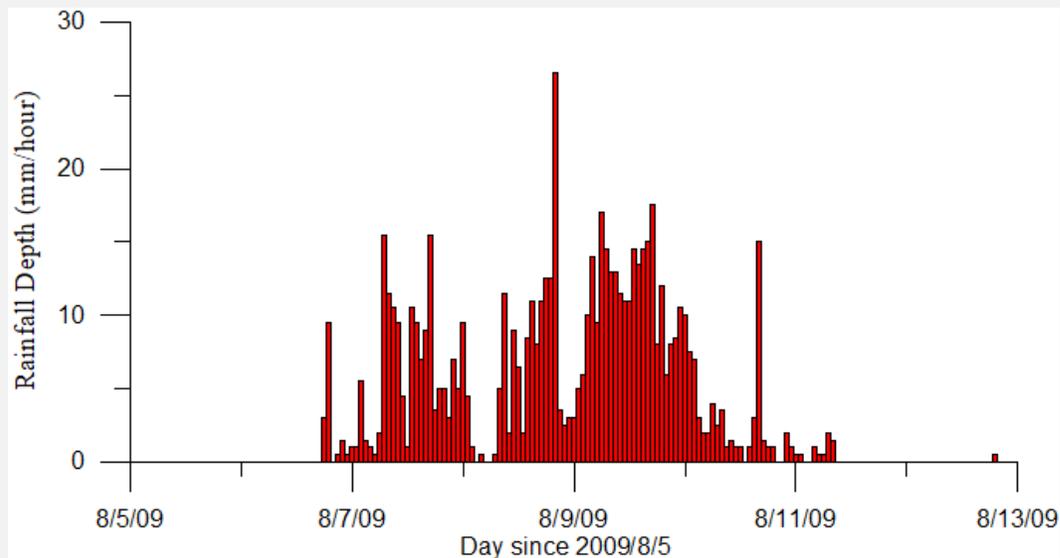
農委會水土保持局崩塌分析資料

安全等級	安全係數	水位高(m)	地下位高程(m)	離滲流出口高差(m)
正常	1.15	6	1661	23
待命	1.1	13.6	1668.6	30.6
注意	1.05	15.5	1670.5	32.5
警戒	1	20.6	1675.6	37.6

重大歷史事件收集

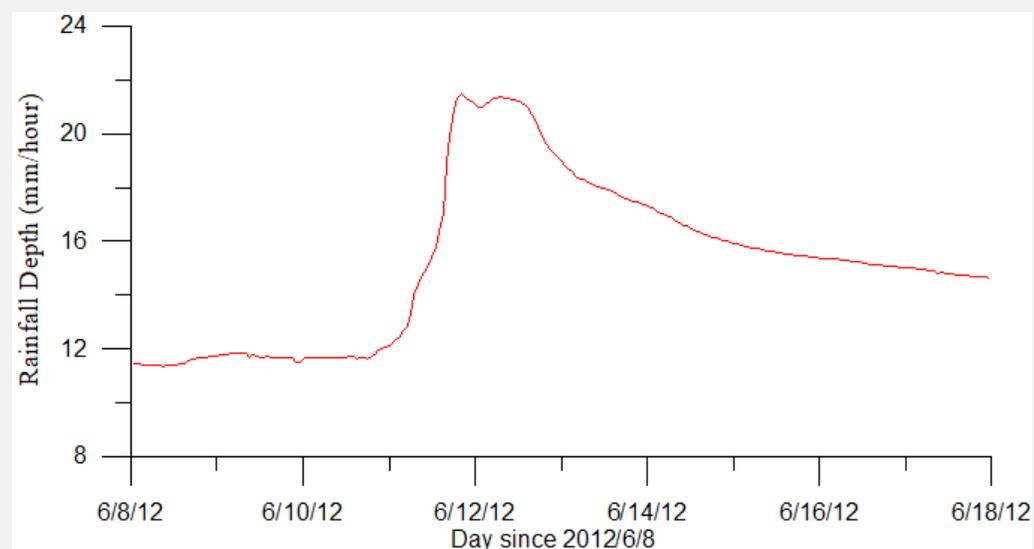
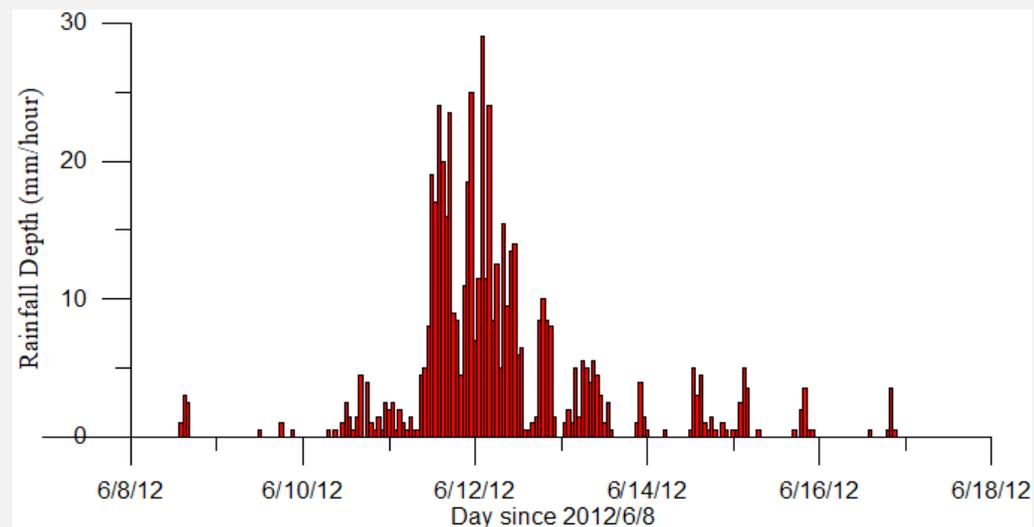
- 莫拉克颱風

- 地下水水位由破壞面以上11.025m，上升至20.56m，上升達9.535m
- 總降雨量為656公釐，最高水位於最大降雨後24小時發生。



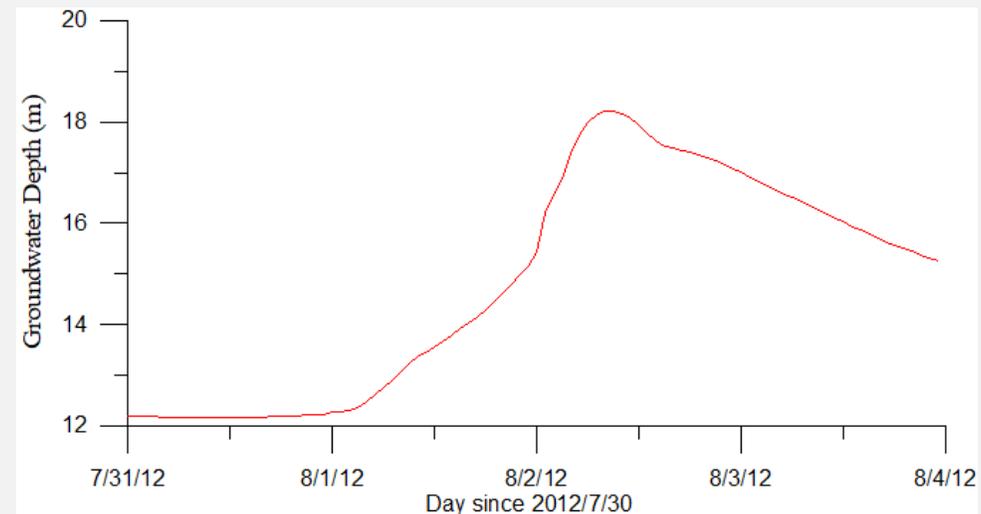
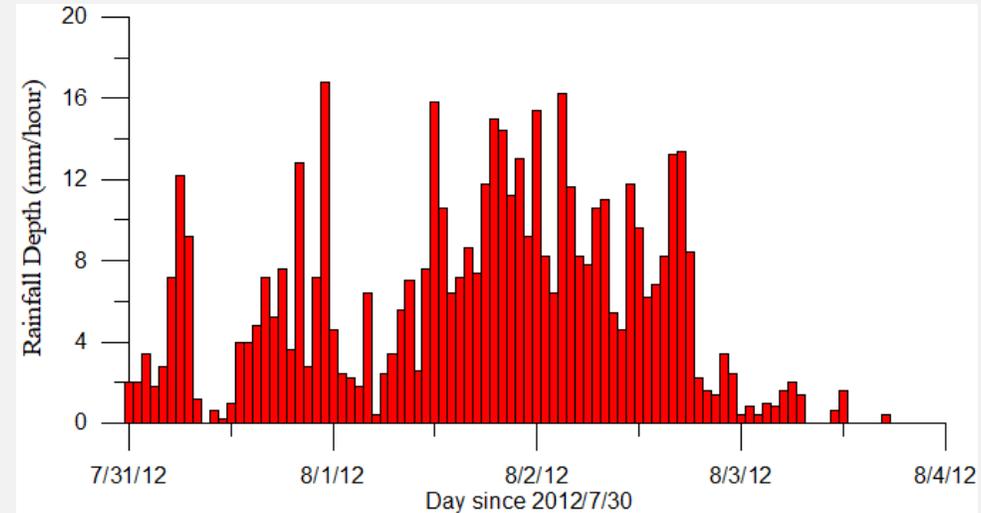
610暴雨

- 民國101年610豪雨
 - 地下水水位上升達10.146m，已達警戒標準
 - 總降雨量為561.5公釐
 - 最大地下水位於最大降雨之前就已達到，研判最大地下水水位發生後，產生滑移洩水
 - 101年TDR監測站七月地面下4.8公尺發生4公分錯動現象
 - 101/06邊坡至往下邊坡位移累計7.0公分



101年蘇拉颱風豪雨

- 101年蘇拉颱風豪雨
 - 地下水水位上升6.057公尺
 - 最高水位發生於最大降雨之後33小時
 - 總降雨量為501.6公釐
 - 地下水水位高度在前期因停電中斷



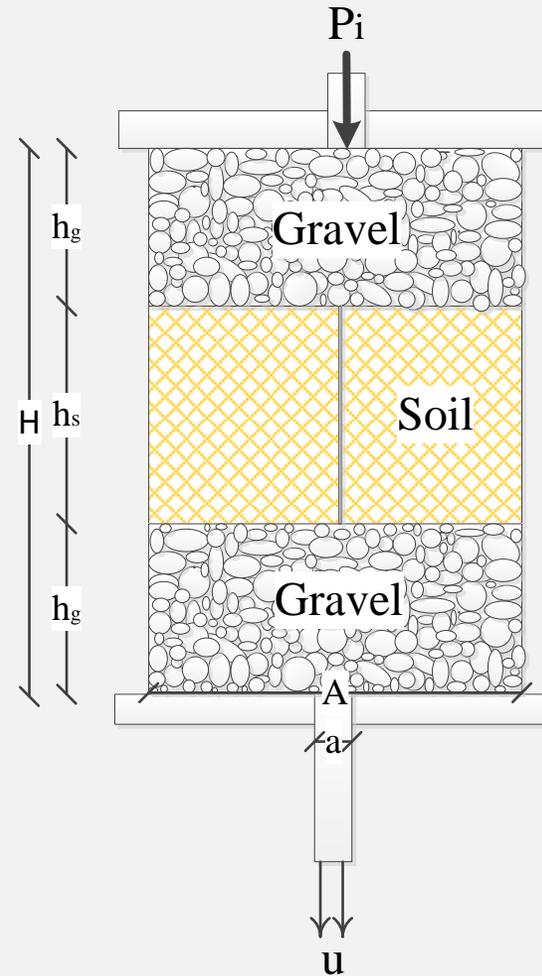
降雨與地下水位關係表

- 610降雨崩塌地未滑移前，達到最高地下水位
- 最高地下水位發生於最大降雨之後，但崩塌地未滑移，顯示地下水流失，導致降雨重新累計至地下水，然後逐步上升

暴雨名稱	最大降雨深度 (mm/hour)	最大地下水位深度(m)			時間稽延 (hour)	總降雨量 (mm)
		最高	最低	差值		
莫拉克	26.5	20.56	11.025	9.535	24	656.0
610	29	21.504	11.358	10.146	-6	561.5
蘇拉	16.8	18.211	12.154	6.057	33	501.6

地文資料分析

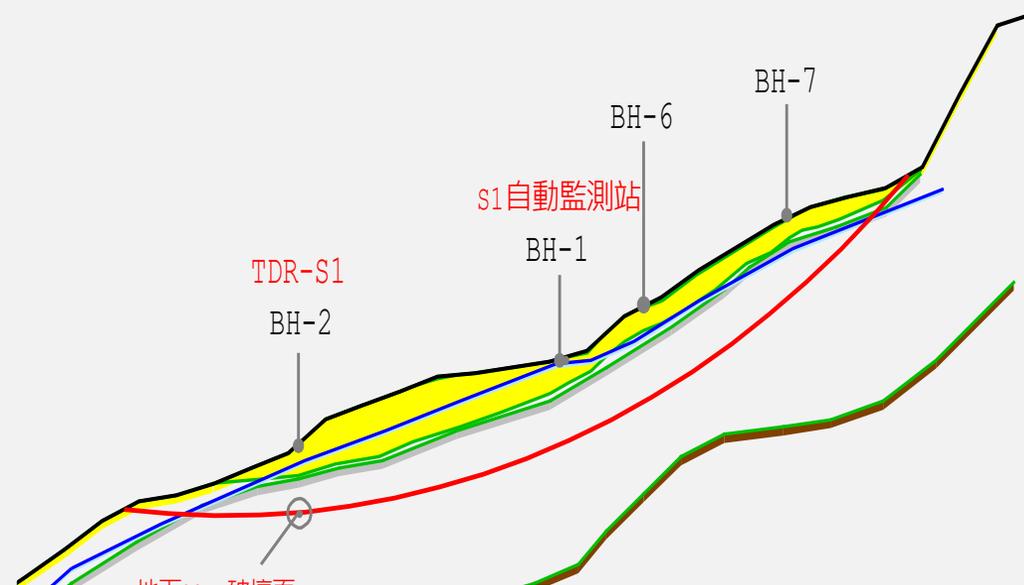
- 現地土壤試驗
 - 夯實試驗
 - 土壤滲透係數試驗
 - 土壤凝聚力試驗
 - 土壤內摩擦角試驗
 - 土壤滲流啟動流速試驗



結果與討論

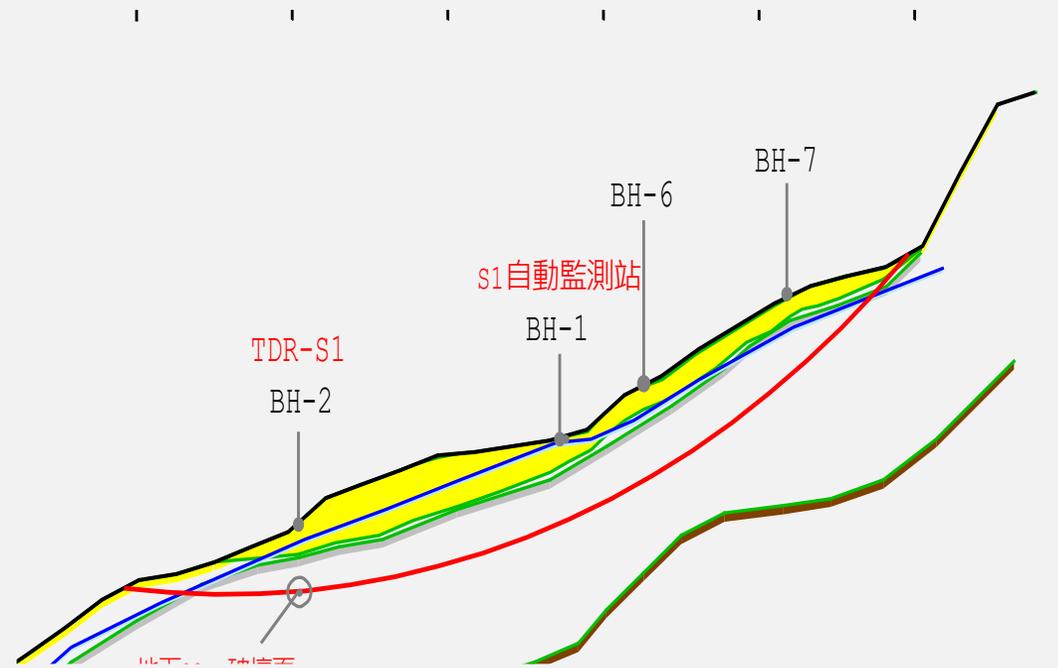
• 臨界地下水位及流線長度

- 現場為崩積層，現地土壤試驗分析
 - 最大乾密度：1.73 (g/cm³)
 - 最佳含水量：18%
 - 內聚力C 趨近於 0 (Newton/m²)
 - 內摩擦角 $\phi = 38$ 度
 - 斜面坡度 $\alpha = 23$ 度。
 - H=23m
- 根據理論公式推得 $H_{wc} = 18.17m$ ，約介於過去分析結果安全係數1至1.05之間，推算結果相近



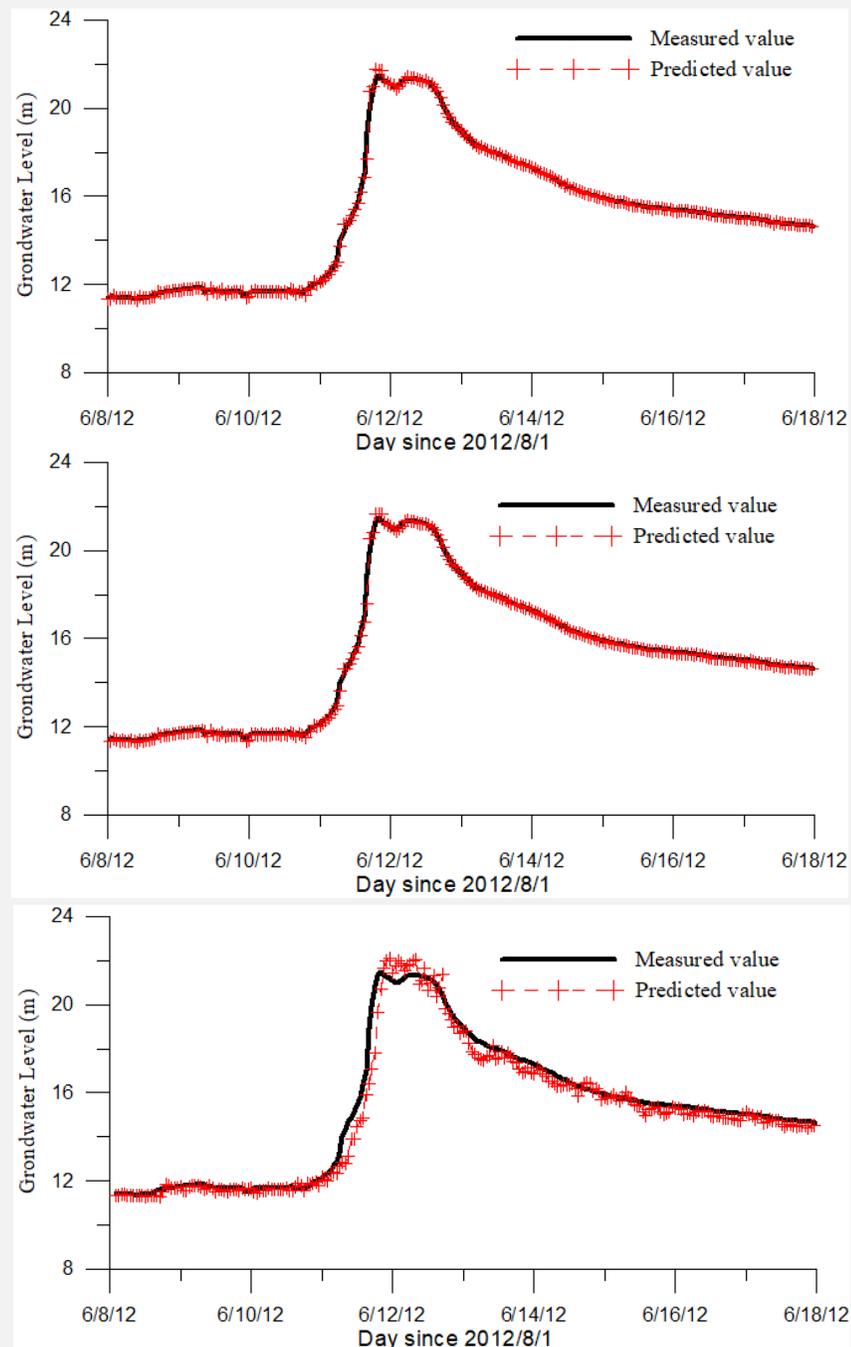
臨界流線長度

- 產生臨界流線長度為
- $L = 1.74(H_w + H_p) = 1.74(18.17 + 40) = 101.2\text{m}$
- 計畫預測實際水平距離為137公尺，大於產生滲流之距離
- 崩積層滲流破壞發生位置應位於假設破壞底部之上
- 崩塌底部位置，並不會產生滲流破壞，可於現場進行確認。



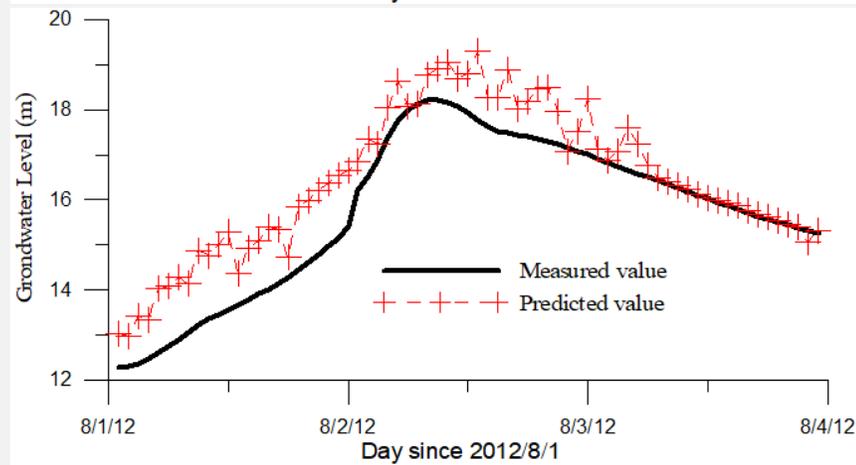
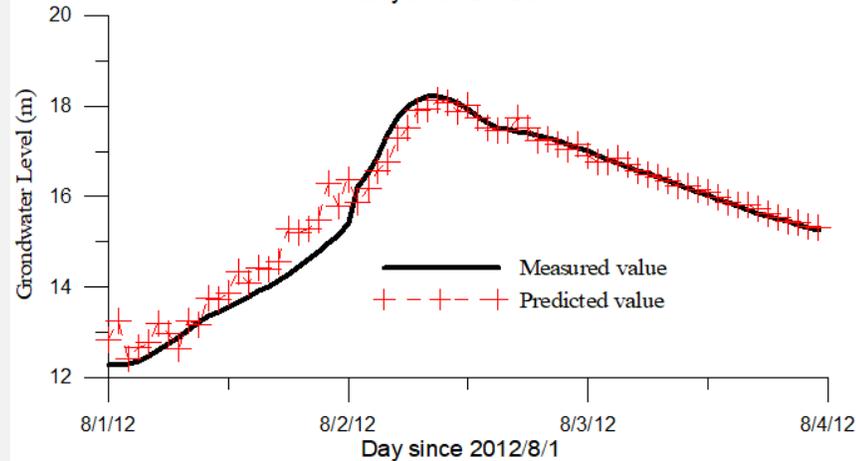
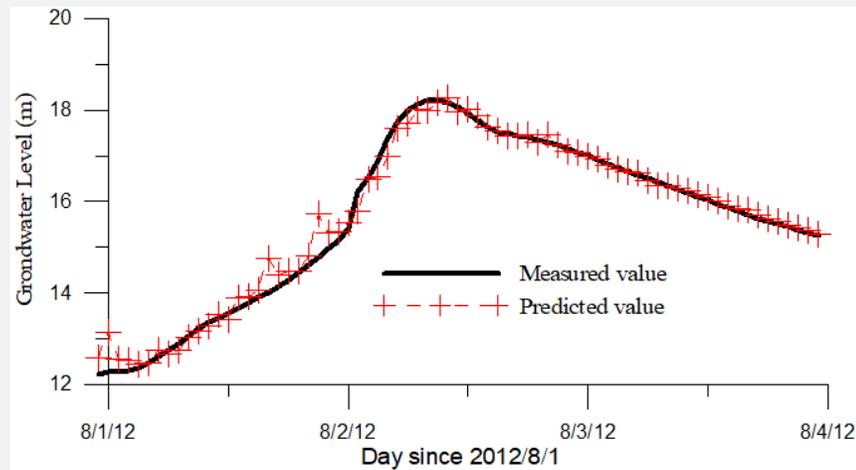
以莫拉克預測610颱風

- 一小時及兩小時RMSE分別為0.118m及0.121m
 - 模擬結果預測準確
- 三小時之RMSE=0.509m，預測則差異大
 - 顯示降雨到達地下水位，影響時間少於三小時
- 未來結合類似中央氣象局劇烈天氣監測系統(QPESUMS)雨量預測，提供較為準確預測。



以610預測蘇拉颱風

- 一小時及兩小時RMSE分別為0.225m及0.379m
- 模擬結果在尖峰預測及退水段部分預測準確
- 前段小雨量因為現場停電，預測較不正確
- 三小時之RMSE=0.875m，預測則差異大
- 顯示降雨到達地下水位，影響時間少於三小時
- 未來結合類似中央氣象局劇烈天氣監測系統(QPESUMS)雨量預測，提供較為準確預測。



預測準確度比較

- 預測一小時及兩小時之後的流量誤差小，預測三小時後誤差大
- 若實測資料不正確，會放大預測誤差。

訓練颱風	模擬颱風	預測颱風均方根誤差 (cm)		
		1小時	2小時	3小時
莫拉克	610	0.118	0.121	0.509
610	蘇拉	0.225	0.379	0.875

結論

- 以梨山松茂地區S1觀測站為例，進行分析及預測
- 發展深層崩塌滑移之臨界地下水位及滲流長度理論
 - 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
- 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。
 - 一小時及兩小時地下水位模擬結果預測準確
 - 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，提供較準確預測

未來應用規劃(一)

- 發展地下水位即時預測系統
 - 即時讀取降雨及地下水位資料檔
 - 即時計算下一小時地下水位
 - 即時讀取一小時、二、三小時後降雨預測資料QPESUMS
 - 即時計算下二、三、四小時地下水位
 - 預測地下水位達危險警戒值
 - 提早發布崩塌地災害預警
 - 可選用預測模式
 - White box 線性水庫模式
 - Black box 類神經網路模式

未來應用規劃(二)

- 判斷滲流位置，進行水土保持工程
 - 滲流位置之上，加強護坡、排水等，降低崩塌潛勢
- 現場地形複雜，難以判斷崩塌水位臨界值
 - 臨界崩塌水位，可作為與其他模式比較依據
- 本年度任務
 - 發展即時地下水位預測網站
 - White box 線性水庫模式
 - Black box 類神經網路模式
 - 加入有限元素法分析模式，模擬出崩塌三維變化