土石流有效降雨納入土壤含水量之推估

何碩倫[1*]　周天穎[2]　方耀民[3]

摘　要 近年來天然災害的發生逐漸攀升，以土石流為例，國內外許多學者針對土石流發生的水文因素做研究，例如降雨量、土壤含水量等，目前國內以累積雨量與降雨強度以及歷史災害數據定訂警戒值，是因龐大的降雨量為主要導致土壤沖刷以致土石流發生，而土壤能容納的含水量有限，土壤含水量因降雨強度與入滲率之增減造成其變化，國內目前已建立以降雨量為因素的土石流害預警系統。但現行預警模式當災害來臨時，其撤離逃離時間計算依然無法面面俱到，故本研究將先對歷史災害進行環境資料收集，再針對歷年災害進行統計，依歷年颱風、豪雨災害時間納入土壤含水量嘗試推估有效降雨量探討前期降雨趨勢與現行有效累積雨量公式之差異。

關鍵字：土石流、有效降雨、土壤含水量

Estimating the Effective Rainfall on Soil Moisture Causing Debris Flow

Shuo-Luen Ho[1]　Tien-Yin Chou[2]　Yao-Min Fang[3]

ABSTRACT The occurrences of natural disasters in recent years are increased gradually, take debris flow as an example, currently domestic to cumulative rainfall and rainfall strength and history disaster data set alert value, soil moisture due to rainfall intensity of increase or decrease causing the changes, domestic recently set up rainfall for debris flow disaster early warning systems, but the current warning mode, when disaster strikes, their evacuation to escape time still unable to run, this study will collect data of historical disasters, and soil will hold moisture content is limited, statistics for the disaster, according to the typhoons and torrential rain over the years, disaster time included attempts to estimating the effective rainfall on soil moisture causing debris flow with the current trend of the early rains formula of effective rainfall.

[1] 逢甲大學土地管理學系碩士班（* 通訊作者 E-mail: mouse923218@yahoo.com）
Master, Dept. of Land Management, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan
[2] 逢甲大學都市計畫與空間資訊學系 特聘教授
Distinguished Professor, Dept. of Urban Planning and Spatial Information, Feng Chia University Department, Taichung 407, Taiwan
[3] 逢甲大學地理資訊系統研究中心 研究副教授
Research Associate Professor, Geographic Information Systems Research Center, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan

一、前　　言

目前土石流在颱風豪雨期間當其預測雨量超過其該區警戒基準值時將會發布黃色警戒進行疏散，而紅色警戒則是實際雨量大於警戒值時進行強制撤離，而現行土石流警戒基準值是以各鄉鎮內歷史降雨資料比對災例發生時間以人工的方式訂定出發生機率 70%的 RTI 值(陳振宇，2013)，而 RTI 值又稱降雨驅動指標，以有效累積雨量與降雨強度去訂定其基準值，但對於災例過少的土石流潛勢溪流地區卻無更精確的數據訂定警戒基準值。而目前水保局觀測資料供應平台內現有資料含有歷年降雨量與土壤含水量可供申請，其土壤含水量為 2008 年底開始偵測，但因初期數值問題可以人工方式加以排除，此外神木觀測站也含有土石流發生之歷年鋼索斷裂時間，本研究希望經由歷年颱風災例納入土壤含水量嘗試推估有效降雨量，而後利用歷年降雨量與土壤含水量推測出之有效降雨驅勢與現行公式差異比對提供政府納入參考。

二、研究目的

本研究旨在探討土石流歷年來發生的災害情況，並收集因土石流而鋼索斷裂時間點，利用現有水保局架設之儀器申請歷年土壤含水量與降雨量，經由納入土壤含水量深入探討前期有效降雨量並與現行公式比對，希望未來政府對土石流警戒基準值納入參考。以下為本研究目的:

1.　探討土壤含水量和降雨量之關聯性。

2.　納入土壤含水量於有效降雨量之推估。

三、文獻回顧

1.降雨量之相關研究

黃婷卉(2002)應用不同的降雨參數，例如:降雨強度、降雨延時、累積雨量前期降雨量分析不同雨場的分割方式對降雨參數的差異，許多研究學者在處理雨量數據時所採用之研究方法並不相同，而不同的研究方式有可能使降雨警戒值上產生誤差，如若能對降雨參數納入真正有效降雨量參數將能提高警戒值之準確性。每當災害來臨，蒐集二種不同的颱風及豪雨災害事件，命中率相差甚大，而目前台灣災害預警模式，豪雨與颱風事件模式相同，但其效果差異是因每當颱風來臨會提供定時雨量資料與未來預測雨量資料，相對上豪雨事件時卻無提供，但提供預測雨量資訊必須完整，否則將會影響警戒之精確度(陳振宇，2013)。

2.土石流之相關研究

Massimo 等人(2008)土石流發生檢測儀器是透過鋼索斷裂、地聲判定，經由鋼索斷裂高度判定以及地聲之表面流動聲波長判斷土石流發生的時段與強度，李明熹(2006)針對降雨驅動指標加以分析，而分析之中發現，隨著多項影響因素只能有效的說明大地區土石流發生的變化趨勢，並發現如果整體地文、地質較脆弱地區，不需要強降雨就容易觸發土石流之發生，相對的如果其地文與地質耐受力較高，將不容易發生土石流之災害，並由於資料調查不足的原因，如若能提供更多的研究因素以及發生土石流之資料，將能提升土石流警戒值之精確度。

3.土壤含水量之相關研究

當降雨時，土壤含水量控制土壤部份的降雨量吸收程度，亦影響了逕流大小。而有效降雨量是降雨經過截留、入滲、窪蓄、及蒸發後，因土壤含水量飽和導致多餘雨量轉換逕流流出，而要觀察降雨量與土壤含水量的關聯性，除了地表覆蓋物及土壤特性外，須考慮初始降雨或前期連續降水量，通常土壤含水量會隨初始降雨量增大而隨之增大的趨勢(陳錕山，2009)。羅鴻傑等人(2010)當降雨入滲時導致土壤飽和層中與地下水位提升之外，並提升了非飽和層土壤含水量與重量，而當土壤含水量增加導致土壤抗剪強度逐漸減低，產生坡體滑動引發土石流，經研究分析顯示出隨著累積雨量的增加其崩塌地的穩定性也呈微微下降的趨勢，表示累積雨量對於崩塌地穩定性的影響不高，但若初始強降雨將導致脆弱地區容易崩塌，而大量降雨夾帶土、砂、礫產生土石流破壞。韋方強等人(2005)針對前期有效降雨量運用土壤含水量與降雨量衰減過程加以計算，現有土石流研究實際上些微降雨很容易在短時間內蒸發散，其影響程度低卻依舊納入計算有效降雨量，為了確立土石流之前期有效降雨量，通過實際觀測值與統計學方式解決其土壤含水量問題，並經過曲線軟體擬合其土壤含水量與有效降雨量之變化關係，但由於中國泥石流研究與我國土石流研究有所異同，泥石流為流速較為緩慢而我國土石流較為快速，所以本研究將針對韋方強等人研究公式改善為符合我國之特性。

四、研究方法與內容

為運用歷史數據分析，並結合降雨量與土壤含水量進行有效降雨量之推估，本研究擬定下列研究方法與步驟:

1.研究方法

本研究將透過歷史數據分析，而目前土壤含水量儀器自 2008 年底開始架設，由於前期架設儀器精確度問題將取自 2011 年開始的資料，經由水保局申請其土壤含水量與歷年降雨量資料與神木觀測站鋼索斷裂時間，搭配分析土壤含水量與降雨量其變化關係，探討前期降雨趨勢並了解其土石流發生時間。

經由確認土壤含水量與降雨量之變化利用韋方強等人(2005)泥石流公式改善符合我國土石流之公式探討前期有效降雨量，其公式表示為 $EFi=f(F,i)$，EFi：前第 i 天有效降雨量;F：前第 i 天的降雨量，$EWi=g(W,i)+c$，EWi：前第 i 天的降水增加的土壤含水量，W：前第 i 天在降水 F 作用下的土壤含水增加量，c 為平日基礎土壤含水量，且 f 與 g 遵循同樣函數型式綜合前項條件假設如下式:

$$EWi = W\frac{i+a^k}{(i+a)^k}+c \qquad (1)$$

$$EFi = F\frac{i+a^k}{(i+a)^k} \qquad (2)$$

2.研究範圍

本研究的挑選範圍為歷年來較為頻繁發生災害的南投縣信義鄉神木村，所選的土石流潛勢溪流為愛玉子溪，雨量資料則是申請離潛勢溪流最近的兩個測站，如下圖 1 所示:

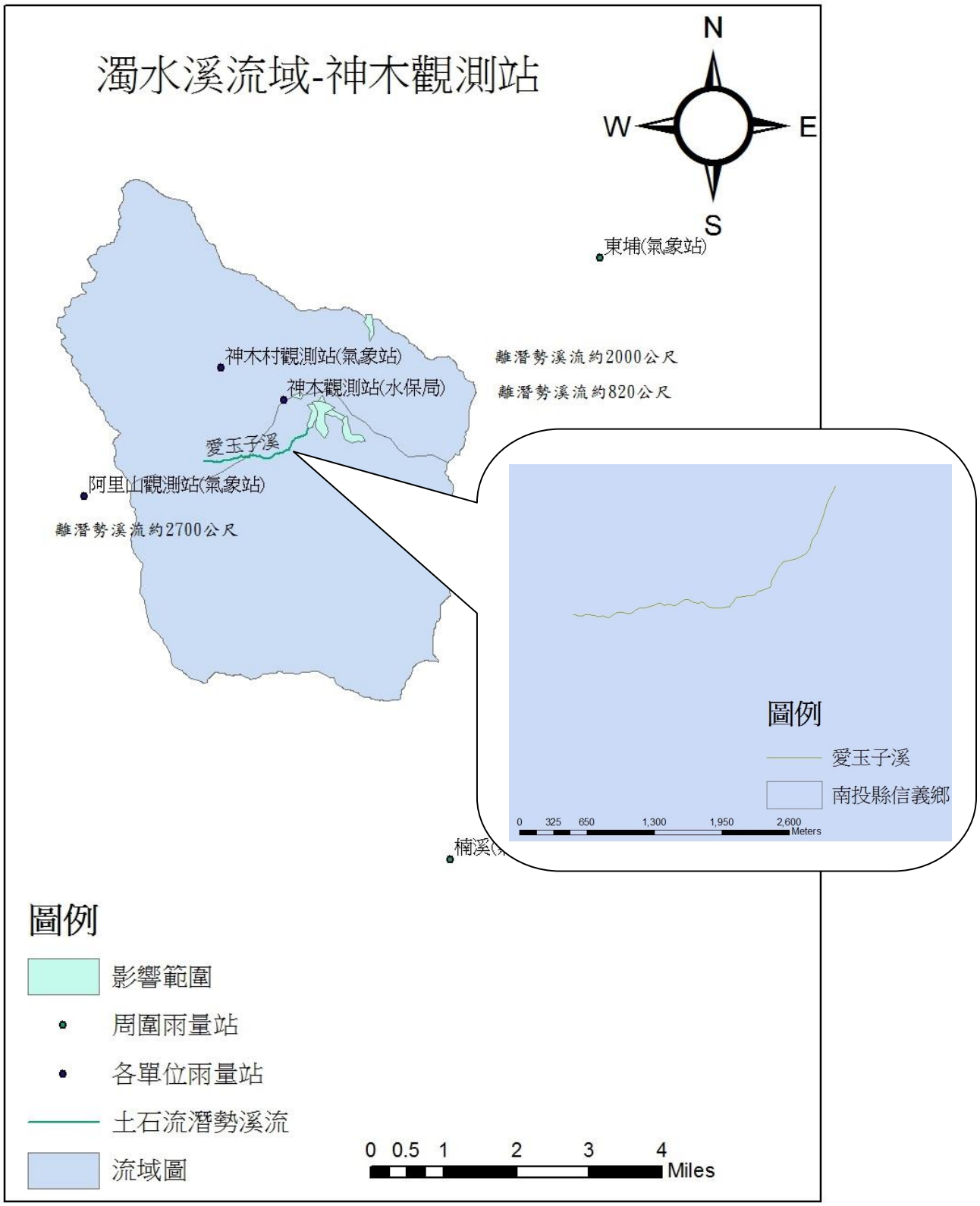
濁水溪流域-神木觀測站
N
W
E
S
東埔(氣象站)
神木村觀測站(氣象站)
神木觀測站(水保局)
離潛勢溪流約2000公尺
離潛勢溪流約820公尺
愛玉子溪
阿里山觀測站(氣象站)
離潛勢溪流約2700公尺
圖例
愛玉子溪
南投縣信義鄉
0 325 650 1,300 1,950 2,600
Meters
圖例
影響範圍
周圍雨量站
各單位雨量站
土石流潛勢溪流
流域圖
0 0.5 1 2 3 4
Miles

圖 1 研究範圍位置圖

3.研究流程

根據上述目的，本研究流程圖如下圖2所示:

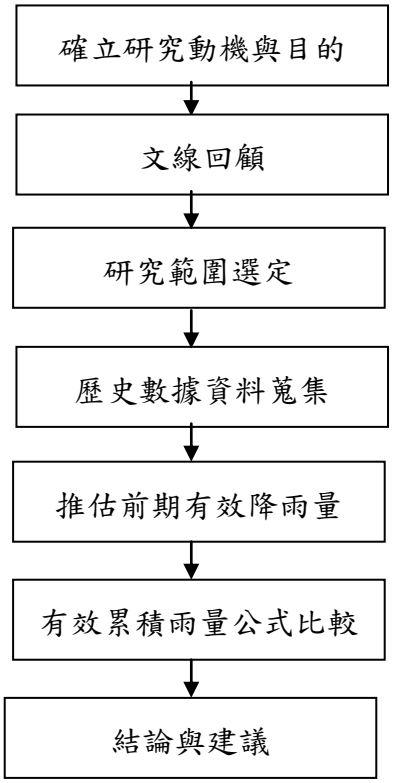

圖 2 研究流程圖

五、研究分析

1.推估前期有效降雨量

蒐集自 2011 年至 2013 年的颱風、無事件，並以土壤含水量與降雨量加以分析，首先韋方強等人(2005)是以雲南蔣家溝推導出泥石流公式 a=0.08，k=3 去擬合土壤含水量，但中國泥石流與台灣土石流公式因各國流速不同並不通用，接著使用 cygwin-Octave 調整公式中 a 與 k 值，如圖 3 擬合 a=230，k=3 達 95%信賴區間。

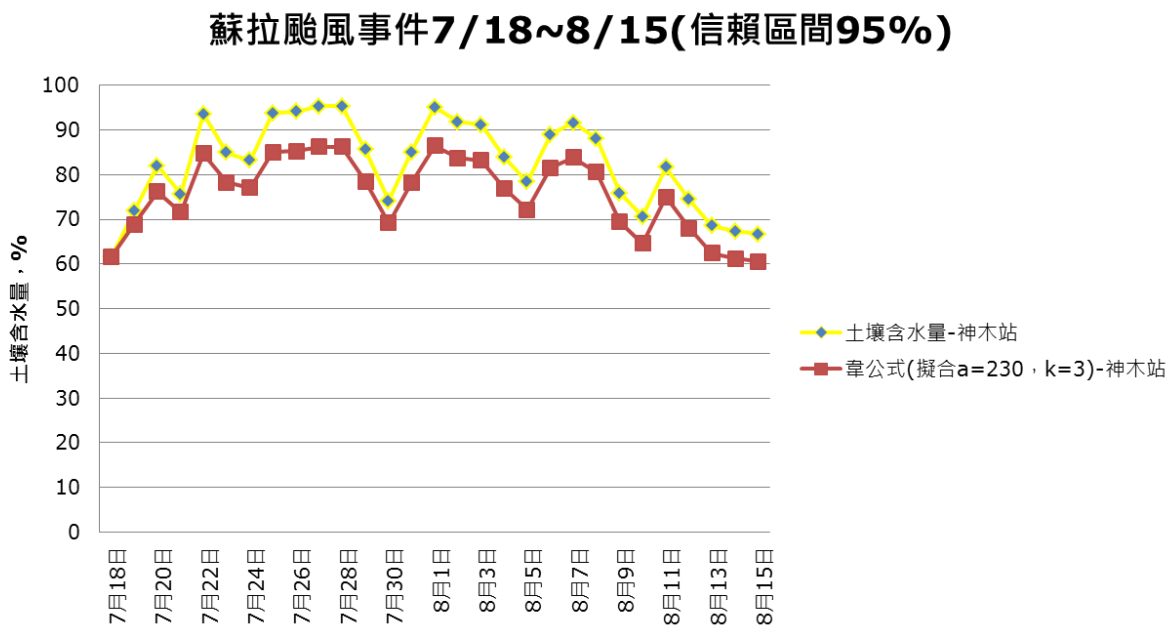

圖 3 蘇拉颱風擬合土壤含水量(調整後)

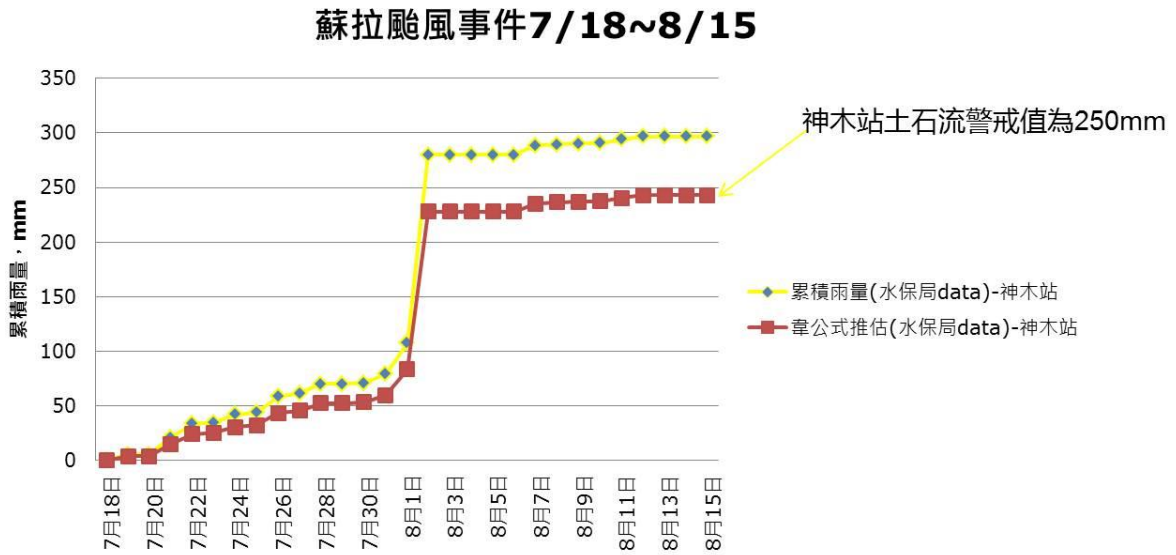

圖 4 蘇拉颱風推估有效降雨量

接者利用調整後的公式因土壤含水量擬合成功，利用相同函數換算推估出蘇拉颱風的前期有效降雨量，如圖 4 所示且未達警戒值 250mm，因有效降雨量是降雨經過截留、入滲、窪蓄、及蒸發後，因土壤含水量飽和導致多餘雨量轉換逕流流出(陳錕山，2009)，所以與實際觀測累積降雨量有落差代表是正確的。

2.擬合各事件土壤含水量

因為各事件降雨強度、雨量都不同，本研究嘗試針對各事件找出固定公式值，不論發生什麼事件都可以套用，而不是隨降雨量而變化，如表1自變數會隨著事件而不斷變化，而當自變數越大相對於有效降雨量會趨向越保守的值，就算無事件也會達到警戒值，所以本研究以a=50，k=3去擬合各事件，如圖5~8皆達90%信賴區間以上，只有蘇拉颱風事件在71%信賴區間。

表 1 各事件土壤含水量擬合

事件(日期)	觀測地點	a(自變數)	k(自變數，需>2)	c(%)	信賴區間(%)	備註
無事件(2012/5/9~6/1)	神木	80	3	55	95.1	擬合時段:2012/5/9~6/1
蘇拉颱風事件2012/7/30~8/3	神木	230	3	61	95.3	擬合時段:2012/7/18~8/15
天秤颱風事件2012/8/21~28	神木	70	3	75	95.5	擬合時段:2012/8/9~9/9
蘇力颱風事件2013/7/11~7/13	神木	50	3	81	96.5	擬合時段:2013/7/1~7/24
2012/1/1~12/31	神木	250	3	46	95	擬合時段:2012/1/1~12/31

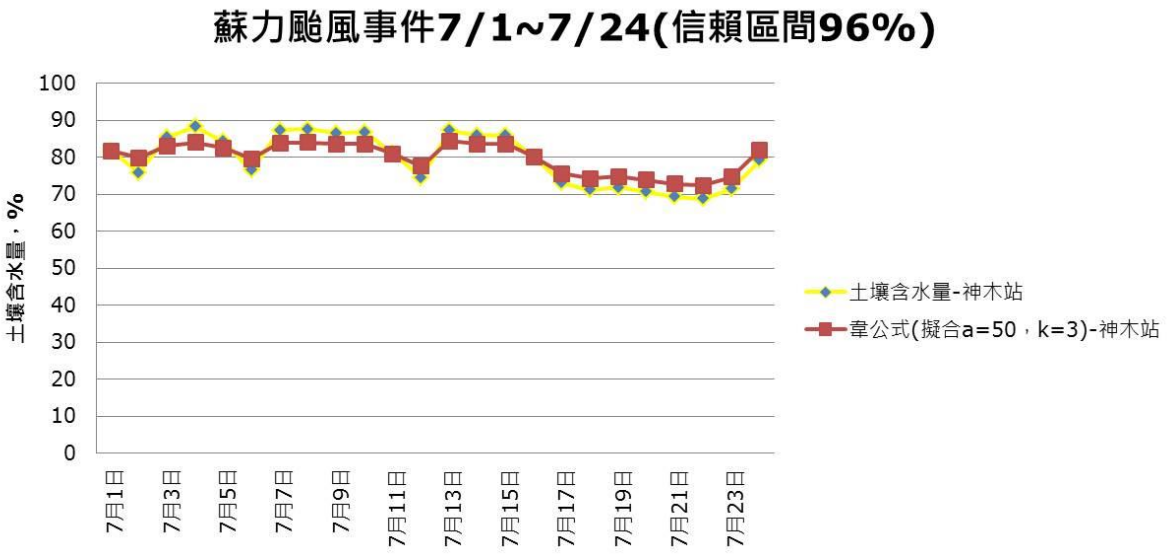

圖 5 蘇力颱風擬合土壤含水量

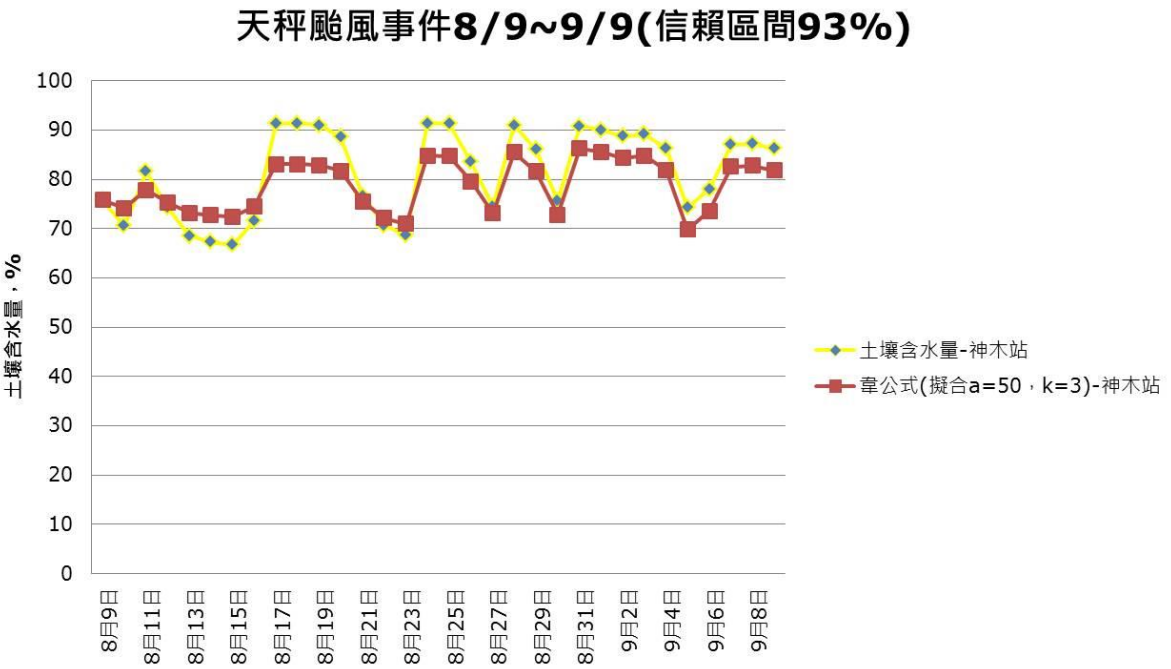

圖 6 天秤颱風擬合土壤含水量

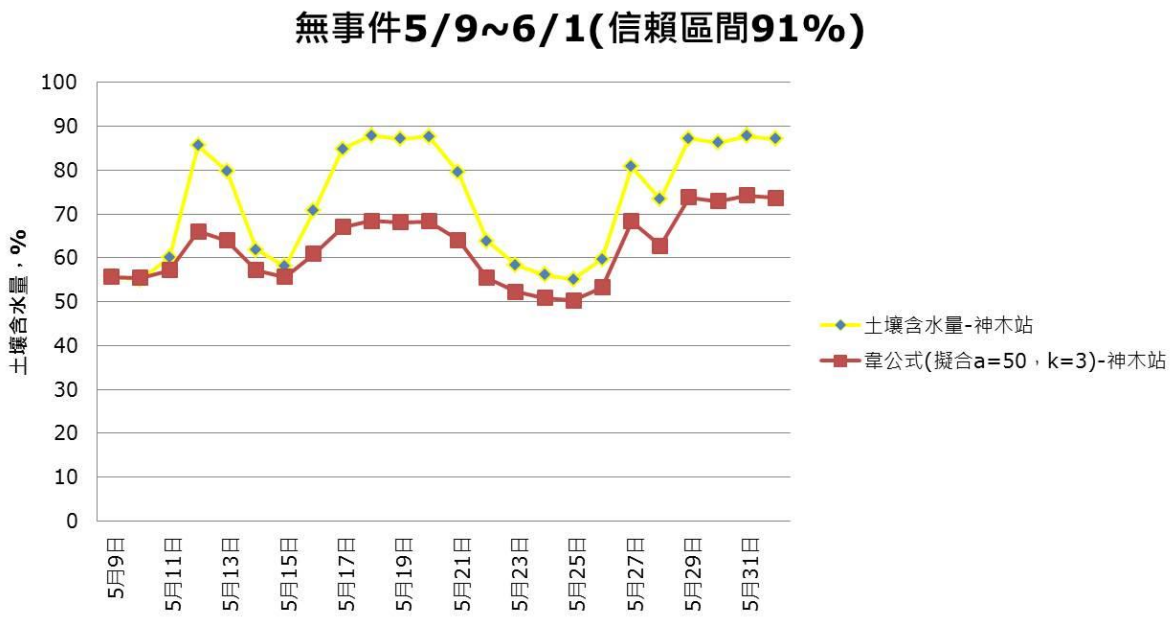

圖 7 無事件擬合土壤含水量

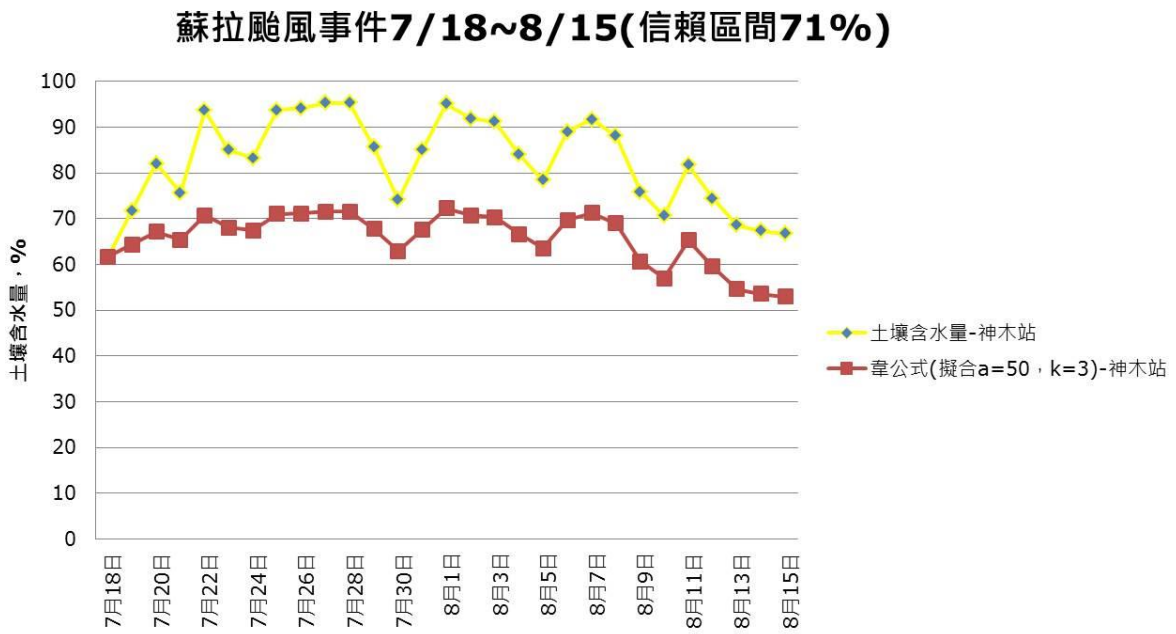

圖 8 蘇拉颱風擬合土壤含水量

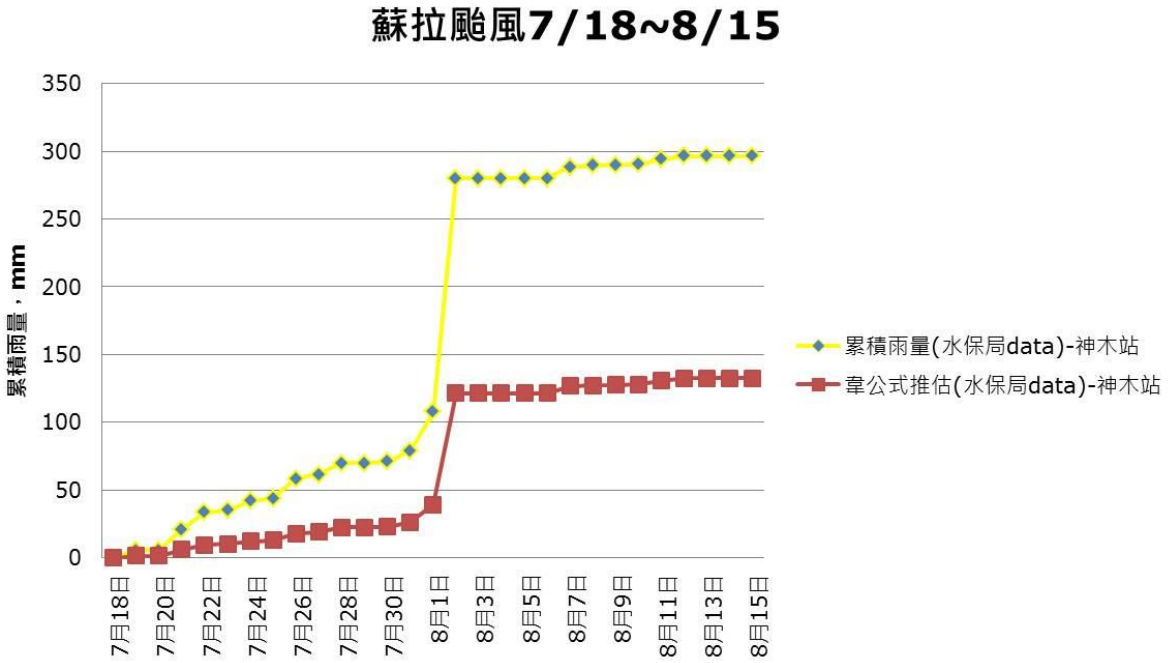

圖 9 蘇拉颱風推估有效降雨量

各事件擬合土壤含水量後，以 a=50，k=3 相同函數轉換推估有效降雨量，如圖 9 可以看出蘇拉颱風較為精準的計算出有效降雨量。接著針對不同雨量數據進行分析，透過表 2 可以看出分為水保局與氣象站的雨量資料，現行有效累積雨量公式為圖 10，由於韋學者公式是不斷計算降雨量，如若要跟現行公式計算前七天降雨量做比對，也將韋公式改成只計算前七日降雨量，表 2 分為三種事件，由於是以鋼索檢知器斷裂做為土石流發生判斷，無事件與蘇拉颱風事件皆無發生土石流，但利用氣象站的數據卻達到警戒值，代表水保局數據較為適用。針對各公式在發生土石流時，有達警戒值且較為精確的是只計算前七日降雨量的韋公式，相較於其他公式計算較為保守，故希望可供參考。

表 2 各公式有效累積雨量比對

地點/事件(神木，警戒值250mm)	韋公式 (a=50，k=3) 水保局data	韋公式 (a=50，k=3) 氣象站data	韋公式只計算前七日i (a=50，k=3) 水保局data	韋公式只計算前七日i (a=50，k=3) 氣象站data	水保局公式 水保局data	水保局公式 氣象站data
無事件2012/5/9~6/1	未達警戒值	未達警戒值	未達警戒值	未達警戒值	未達警戒值	未達警戒值
蘇拉颱風事件2012/7/18~8/15	未達警戒值	8/15 達警戒 253mm	未達警戒值	未達警戒值	未達警戒值	未達警戒值
蘇力颱風事件2013/7/1~7/24 (7/13 6:44 累積雨量達警戒 6:54 鋼索斷裂)	7/12 73.57mm 7/13 308.30mm	7/12 72.63mm 7/13 365.85mm	7/12 55.51mm 7/13 283.01mm	7/12 58.17mm 7/13 343.77mm	7/12 64.86mm 7/13 492.84mm	7/12 77.65mm 7/13 613.27mm

$$\text{有效累積雨量} = R_t = \sum_{i=0}^{7} \alpha^i R_i$$

(R_0 為該時刻之前 0-24 小時之累積雨量, R_1 為該時刻之前 25-48 小時之累積雨量其餘以此類推；α為加權係數α=0.7)

圖 10 現行有效累積雨量公式

六、結論與建議

1.結論

由於土壤含水量隨著降雨提升，並推估土壤含水量會隨著降雨強度升降，當強度不夠時會遭地表或覆蓋物吸收或流失，但到飽和時會產生逕流不再提升含水量，而儀器含水量無法到百分之百其中原因為沖毀或異常需以人工排

除，或後續改善儀器之設置，且當降雨停止時，土壤含水不會因為降雨量停止而快速驟降，會隨著時間慢慢的減少土壤含水量，確立了土壤含水量與降雨量之間關係後，利用調整後的公式擬合土壤含水量在各事件上也相當接近實際觀測值，再利用相同函數的推估出了有效累積雨量。目前現行神木村愛玉子溪土石流警戒值為 250㎜，依本研究當 a 值越大時於統計學上信賴區間表示越高，但因為 a 值偏高，導致公式就算低強度降雨也使警戒值容易達到而發佈勸告撤離，所以將 a 值與實際事件比對找出更精確的值，有發生事件有達到警戒，未發生事件時無超出警戒值。未來希望在土石流判斷警戒值上能納入土壤含水量當作參考，如若能針對不同地質、地形、坡度因素探討將會更增進土石流預警模式之準確性。

2.後續研究

探討不同地區與各颱風、豪雨、大雨事件擬合差異，再嘗試將土壤含水量納入現有預警模式內，探討是否能提升現有預警模式，並針對警戒值訂定加以探討，減少土石流產生的社會成本與生命傷亡。

參考文獻

1. 李明熹，2006，土石流發生降雨警戒分析及其應用，國立成功大學水利及海洋工程學系碩博士班博士論文。

2. 韋方強、胡凱衡、陳傑，2005，泥石流預報中前期有效降水量的確定，中國科學院水利部成都山地災害與環境研究所，山地學報，第 23 卷，第 4 期，頁 453-457。

3. 陳錕山，2009，衛星遙測台灣地區土壤含水量與降雨量之研究，交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告。

4. 陳振宇，2013，以雨量為基礎之土砂災害警戒系統成效評估—以台灣及日本為例，中華水土保持學報，第 44 卷，第 1 期，頁 50-64。

5. 黃婷卉，2002，土石流發生降雨特性之研究-以陳有蘭溪流域為主，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。

6. 羅鴻傑、許世孟、顧承宇、蘇泰維、李錦發，2010，降雨特性對坡地穩定性之關連性研究—以義興崩塌地為例，中興工程季刊，第 106 期，頁 17-25。

7. Arattano M, Marchi L. 2008. Systems and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning. Sensors8 :2436-2452.