中華水土保持學報, 53(3):202-212(2022)
Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 53 (3)*: 202-212* (2022)
DOI: 10.29417/JCSWC.202209_53(3).0006

阿里山公路邊坡崩塌體積時間序列分析—以 34K 到 97K 為例

吳萬聰　陳建元*

摘　　要　本研究探討 2008 年至 2018 年間阿里山公路 34K 到 97K 崩塌事件相關資料，應用時間序列分析將雨量與崩塌次數及體積(土方量)依時間序列來探討。分析可知降雨量，崩塌次數及體積都具有季節性趨勢，且每年第一季及第四季的土方崩塌體積低於四季平均，第二季與第三季則高於四季平均，降雨量與土方崩塌體積成正相關。雖然時間序列分析顯示崩塌次數與體積具有季節性的波動，但消除季節因子後的崩塌體積時間序列不具有長期趨勢，無法有效以時間序列預測方法來估計崩塌土方量，因此在估計崩塌體積應該要考慮季節因子。每季的崩塌體積可依時間序列長期趨勢的回歸模式預測崩塌體積，針對防救災資源作更有效的分配。

關鍵詞：阿里山公路、時間序列分析、崩塌體積。

Time Series Analysis of Landslide Volume Along Alishan Expressway – The Example of Kilometers 34 to 97

Wan-Tsung Wu　Chien-Yuan Chen*

ABSTRACT　This study collected landslide data along the Alishan Expressway between kilometers 34 and 97 from 2008 to 2018. A time series analysis was conducted to monitor the landslide volume in the study area. We report that the annual precipitation, number of landslides, and landslide volume varied seasonally. The landslide volume in Spring and Autumn was lower than the four-season average; those of the Summer and Winter were higher than the four-season average. Precipitation was positively correlated with landslide volume and not directly related to time. After the elimination of seasonal factors, the time series did not exhibit a long-term trend, and yearly cumulative rainfall was a positively correlated with landslide volume. Seasonal factors must be considered in landslide volume estimation to improve disaster mitigation.

Key Words : Alishan Expressway, Time Series Analysis, Landslide Volume.

一、前　　言

阿里山公路沿線有日出、雲海、鐵道、晚霞及森林等美麗的自然風貌，為國內外觀光客出遊或訪台觀光必遊之景點，自海拔 300 公尺到 2400 公尺展現出不同之林相及生態，亦成就了甚多的學術研究成果，公路暢通及安全自然不在話下。全球氣候變遷造成極端氣候頻率增加，颱風及豪雨造成公路沿線極端降雨量遽增，大幅增加公路邊坡崩塌的威脅，自 1999 年 921 地震之後，緊接而來的嘉義 1022 地震造成山區土質更易鬆散，每逢颱風及致災性豪雨極易使邊坡崩塌或滑動造成公路阻斷，因此阿里山公路邊坡崩塌時間及體積分析為公路養護極重要的一環。公路管養機關對於邊坡崩塌管理的機制為接獲崩塌通報時，即刻進行現場踏勘，初報災情狀況，並進行是否能即刻搶通評估，再進行詳細的複勘，續報災修人物力資源調配及預估搶災預算。公路局目前針對阿里山公路防救災資源配置主要在低海拔的 34K、中高海拔的 66K 及高海拔的 76K 處，防救災資源有裝載機、卡車各 2 部，挖掘機 1 部，人力 6 人，採取為期 365 天開口契約常駐運作 (公路總局第五區養護工程處，2021)。

時間序列分析(Time series analysis)理論由 Yule (1927)教授提出，並由 Box 與 Jenkins 等教授在 1970 年初大力推行 (Box and Jenkins, 1970)，發展出自我回歸移動平均整合模式 (Autoregressive Integrated Moving Average Models)，簡稱為 AIMAM 模式。一般而言，所謂時間數列 (Time Series) 係指以時間順序型態出現之一連串觀測集合，或對某動態系統 (Dynamic System)隨時間連續觀察所產生有順序的觀測值之集合 (林茂文，1992)。時間數列係指一組隨著時間記錄的觀

〔1〕交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處
West Coast Expressway Southern Region, Temporary Engineering Office Directorate General of Highways, MOTC, Potz City 613019, Chiayi County, Taiwan
〔2〕國立嘉義大學土木與水資源工程學系
Department of Civil and Water Resources Engineering, National Chiayi University, Chiayi City 60004, Taiwan
* Corresponding Author. E-mail: chienyuc@mail.ncyu.edu.tw

察值，如果觀測值是連續的，就稱為連續時間數列 (Continuous time series)，如溫度、地震波、爆炸波等。而離散型的觀測值，則稱為離散時間數列 (Discrete time series)，如每天公布的銀行存放款利率、店家每周的營業額、國家每月的經濟指標及每年人口成長率等 (吳柏林，1994)。

時間序列分析方法可分為兩大類：第一類為時間定義域分析法 (Analysis in Time Domain)，第二類為頻率定義域分析法(Analysis in Frequency Domain)，前者是利用自我相關函數 (Autocorrelation Function) 作為建立模式之依據；後者則以頻譜 (Spectrum) 作為分析工具，又稱為譜系分析 (Spectral Analysis)(林茂文，1992)。時間序列分為定常性時序列與非定常性序列，其又可分為常態時序及非常態時序 (虞國興、歐立中，1993)，傳統繁衍非常態時間序列之方法於建立模式之過程中，將受資料為非常態分佈影響，導致自相關函數產生偏離，以致無法掌握時序之真正模式特性，故於分析時序時，若能將所分析之時序轉換為具備定常性及常態分佈特性之時序，有利後續分析 (鐘琬喬，2003)。分析時間序列首先要先把觀測值對時間的趨勢畫出趨勢圖，再由趨勢圖中去判斷重要的特性，如遞增或遞減，是否有季節性、循環性等，還是觀測值中有突然揚升、陡降的趨勢現象資料。如果只從趨勢圖中去觀察並不足夠，則必須考慮其他相關的統計測量資料。時間序列的各個觀測值通常互有關聯，但如果時間相隔愈長，關聯性則愈小。不同時間單位的時間序列，可以轉換成相同時間的時間序列，其時間單位可以是年、季、月、周、日甚至是小時，分秒等，但須採用相同間隔分析。時間序列每個觀察值都須按照時間先後順序排列，不可以變動，這些觀測值是該段時間內許多影響因素的組合，故進行分析時必須先將時間數列依照組合的成分先分解後再進行分析 (楊秋月、陳耀茂，2018)。

時間序列是一個有次序的觀測值序列，按照時間來進行觀測，且必須視等間隔時間區間觀測，運用層面甚廣，在農業領域可以觀測農作物的年產量與價格，在商業領域裡可以觀測每天股匯市的收盤價格，在工程方面可以觀測訊號、電壓電流，在地球科學可觀測海浪與地動噪聲等，在醫學方面可觀測心電圖、腦波圖等 (Wei，1989)。台灣河川流量受乾、濕季影響頗巨，在豐水期與枯水期相差懸殊，如能掌控枯、豐期變化，則將有利水資源調度。王偉群 (2000) 以時間序列分析烏溪集水區的流量資料，建立烏溪流量預測之序率模式，以線性時間序列分析之單變量 ARIMA 模式、離群值偵測、介入分析與去週期性之標準化時間序列模式進行模擬與預測。鄭皆達等 (2003) 探討台東卑南溪流域降雨及地下水位之時間序列變化特性，以卑南溪流域內紀錄長期且無缺失資料之雨量站和地下水位站資料，建立 ARIMA 模式，以探討模式鑑定及預測地下水位之可行性。康家桂 (2006) 透過地表及地下監測方法，掌握麥寮地區地層下陷之變化與機制，並藉由時間序列分析依照變數本身過去的資料所存在的變異型態來建立模型，就目前地層下陷之變化選定適合之預測方法並建議預測模式。林建誠 (2012) 則以時間序列方法分析屏東平原地層下陷，以時間序列預測法中的卡爾曼濾波法來推估變動量。王超國 (2009) 以時間序列地圖分析臺江內海地形變遷與演育，就洲瀉海岸地形及河道水系等地形變遷現象進行分析探討，研究結果顯示，利用時間序列圖分析區域地形變遷與演育的做法是可行的。

有鑑於維持阿里山公路暢通的重要性，本研究蒐集自 2008 年起到 2018 年間阿里山公路歷史崩塌資料，透過崩塌災害體積與次數及年度降雨情形資料，應用時間序列分析理論，分析公路易致災崩塌季節及體積，提供公路養護機關依季節及易致災路段做防災資源分配、防災預警以及防減災之參考。

二、研究區域與方法

1. 研究區域與崩塌特性

本研究由公路總局防救災地理資訊系統(GIS)(http://test.bobe168.tw/) 及阿里山工務段(https://thbu5.thb.gov.tw/thbu5/) 同仁提供災害搶修之資料，並參考賴明煌等 (2014) 所彙集 2008 年到 2010 年颱風造成阿里山公路崩塌事件，整理出自 2008~2018 年間阿里山公路觸口 34K~自忠 97K(圖 1) 間颱風豪雨造成重大崩塌災害歷史事件共 102 筆 (表 1)，但不包括零星落石或小型崩塌的案例，崩塌資料點位無重疊情形，皆為調查年間非重複的崩塌地。透過所蒐集崩塌資料，經統計分析發現，2009 年莫拉克颱風造成巨量的土石崩塌，隔年 2010 年仍有大量的崩塌發生，但隨著災修工程的進行，崩塌量有較穩定下降的趨勢(圖 2)。依公路總局阿里山工務段取得 1985~2000 年的災害崩塌紀錄，田坤國等(2000)探討阿里山地區公路邊坡崩壞特性，在台 18 公路每次颱風豪雨造成嚴重崩塌後，隔年崩塌量有大幅減少；而 1999 年的 921 地震後，全年總崩塌量則明顯上升。

2. 地質條件

劉桓吉等 (1989) 針對新中橫公路嘉義觸口至塔塔加鞍部沿線地質做調查，沿線出露之岩層由老而新為南港層、南庄層、桂竹林層、錦水頁岩及卓蘭層，而南庄層廣泛分布在公田斷層以東地區，其他岩層則出露在公田斷層以西地區。地質構造亦以公田斷層為界，其東以褶皺構造為主，其西以逆衝斷層為主。本區之南庄層可能由於快速下降的海岸環境以致未發現連續的煤層 (劉桓吉等，1989)。本研究範圍區域為在台灣的西南部麓山帶，屬中新世、上新世及更新世、全新世的地質年代 (徐鐵良，2002)，沿線出露之岩層如圖 3。依據王鑫(1989)的研究，觸口到公田這一區塊，大型蝕谷較多，也就是公路與兩邊的山陵延伸方向將近垂直，而公田到龍美這一段，因為公路是沿著山陵線，所以沿路大多為小型蝕谷；而龍美到石桌段則因為接近山陵線，路線與地層構造趨近於平行；而石桌以東路段則沿著山陵線的南翼，切過曾文溪谷向南迴繞，再沿著分水嶺的南側往東延伸。

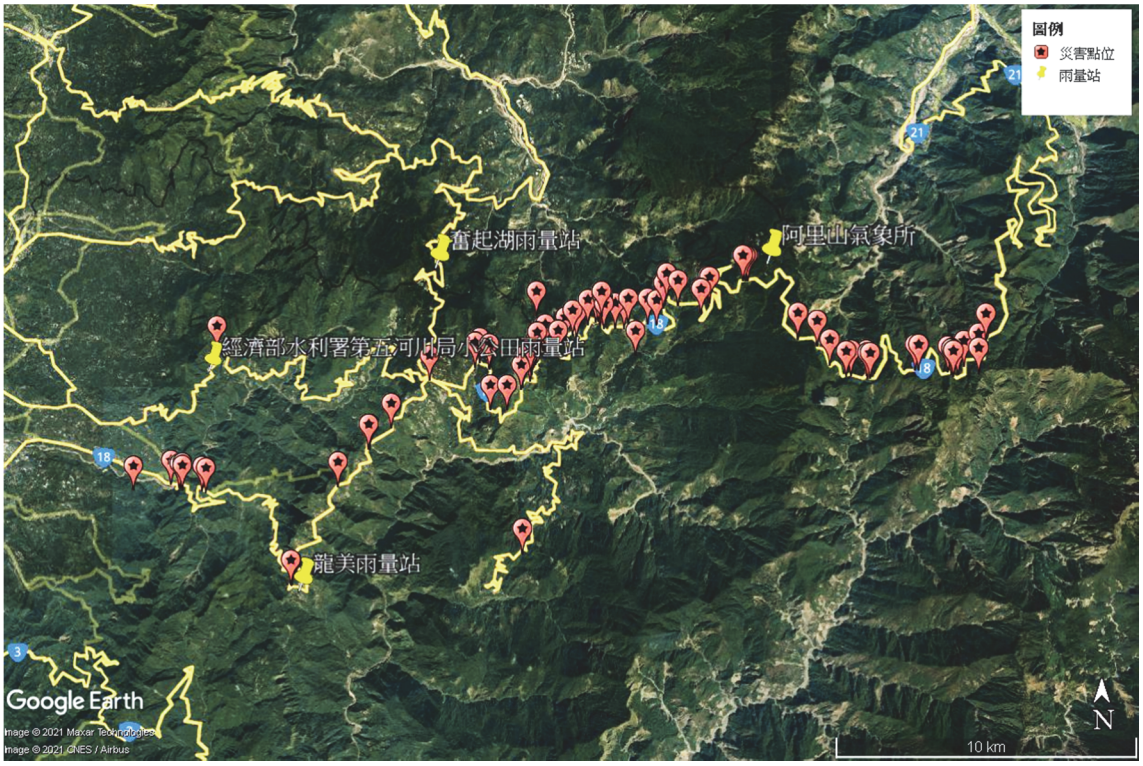


圖 1 研究區域地理位置 (底圖摘自 Google Earth)

Fig.1 Location of the study area (information added on Google Earth imagery)

表 1 2008 年~2018 年各月份崩塌次數與土方量統計表(土方量單位：m^3)

Table 1 Statistics of monthly landslide frequency and volume from 2008 to 2018 (volume unit: m^3)

年	類別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
2008	崩塌數	2	2	3	1	2	5	19	6	23	2	3	1	69
	土方量	25	15	937	30	156	366	5762	2496	4594	958	142	12	15493
2009	崩塌數	3	1	2	1	3	4	2	45	5	3	1	1	71
	土方量	18	8	35	200	330	230	57	52557	423	368	154	4	54384
2010	崩塌數	1	3	3	2	1	3	3	2	3	2	1	1	25
	土方量	5	408	506	1934	89	3723	4019	3839	812	159	66	9	15569
2011	崩塌數	1	2	5	3	3	4	5	4	2	3	2	1	35
	土方量	17	143	342	257	205	549	3950	1684	856	253	82	5	8343
2012	崩塌數	1	2	2	2	2	9	1	6	3	2	1	2	33
	土方量	3	57	25	47	270	2574	42	25521	1744	125	12	9	30429
2013	崩塌數	2	1	2	4	2	1	7	8	4	1	2	1	35
	土方量	26	23	51	55	504	75	2100	1698	364	189	88	34	5207
2014	崩塌數	1	1	3	2	2	4	1	4	4	2	1	2	27
	土方量	16	52	55	153	3681	245	42	3150	1330	682	449	58	9913
2015	崩塌數	1	3	5	2	4	6	3	2	2	1	1	1	31
	土方量	23	43	143	68	759	1542	672	1221	985	65	57	6	5584
2016	崩塌數	2	1	2	4	3	4	6	6	8	2	1	1	40
	土方量	22	34	132	65	489	379	677	833	3457	649	255	27	7019
2017	崩塌數	1	1	3	1	1	4	6	3	1	3	1	1	26
	土方量	57	9	66	181	807	1422	567	178	263	135	176	57	3918
2018	崩塌數	1	1	3	1	2	1	5	2	2	1	2	2	23
	土方量	32	27	691	8	2200	450	1153	686	368	259	27	22	5923

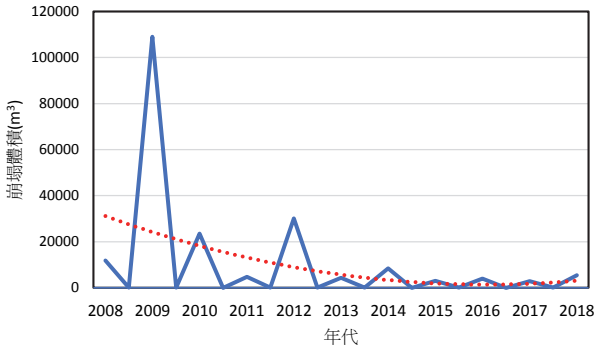


圖 2 2008 年至 2018 年研究區每年累計崩塌體積

Fig.2 Annual cumulative landslide volume from 2008 to 2018

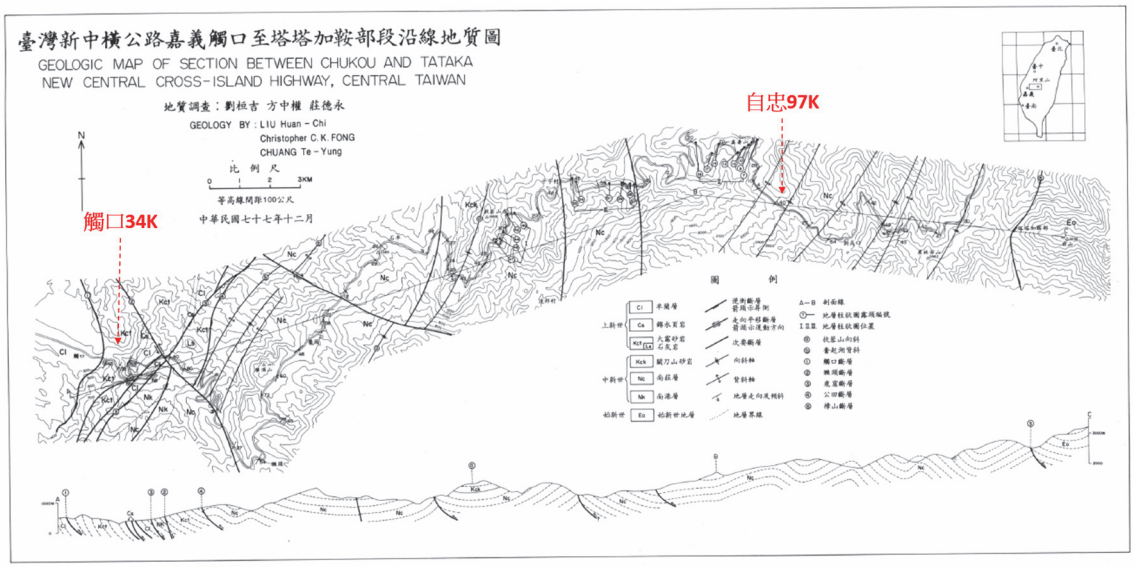


圖 3 新中橫公路觸口至塔塔加段沿線地質圖 (劉桓吉等，1989)

Fig.3 Geological map along the Chukou-Tataka section, New Cross-Island Highway (Liu et al., 1989)

3. 研究方法

降雨量是山區道路邊坡崩塌主要的原因之一，其中低海拔、中海拔及高海拔的降雨量亦有所差異，依照國土復育條例的定義，海拔 100 到 500 公尺為低海拔，500 到 1500 位中海拔，1500 公尺以上為高海拔，本研究收集公路鄰近各海拔高度中央氣象局氣象站及水利署雨量站資料，高海拔為阿里山氣象站，介於中-高海拔有奮起湖氣象站，中海拔有龍美氣象站及水利署所屬之小公田 2 雨量站。

而時間序列模型的建立，Box 與 Jenkins (1970) 所提出的模式建構之程序為一種試誤迭代過程 (Trial and Error Iterative Process)。模式建立的步驟包括，第一個步驟:從理論與實際問題的交互作用，選擇所擬採用之有用的模式。第二個步驟：利用較粗略之方法來鑑定這些模式之子模型，如此，利用所搜集的資料與對系統之瞭解來推測一個合適並合乎精簡原則之子類型模式稱為暫定模式，此外，在鑑定過程中自可產生粗略的模式中參數之初期估計值。第三個步驟：當資料被擬合為某一暫定模式且其參數值被估計後，可利用統計理論對參數值作最精確的估計。第四個步驟：診斷與檢定前步驟中所得模式與數據之擬合是否適當，是否正確地代表所觀測之現象及模式是否合乎精簡原則等。如果所得模式無缺適性，則模式可供應用，反之，若模式不適當，則必須重新鑑定、估計與診斷、檢定等直到能獲得一適當模式為止 (林茂文，1992)。

時間序列預測方法主要有三類，包括平滑法預測、季節性預測法及趨勢預測法 (林茂文，2006)。時間序列中除去趨勢、週期性和季節性之後的偶然性波動稱為隨機性或不規則波動。時間序列分析的另一項主要工作就是把不規則波動成分從時間序列中分解出來，並將它們之間的關係用數學關係式予以表達，而後進行分析。依不規則波動成分，時間序列的成分分解方法有加法模式、乘法模式等，其中乘法模式較常用。如果預測現象本身沒有季節變動或不需預測分季分月的資料，則長期趨勢的預測值就是時間序列的預測值

較常被採用來衡量兩變數之關係的工具有散布圖及相關分析，散布圖主要是透過圖形來判斷兩個變數的關係，做法是在 X 軸及 Y 軸座標上畫點，相關係數 r=1 為完全正相關，r=-1 等於完全負相關，r=0 為無相關。一般而言，相關係數大於 0.5，就表示兩個變數之間具有相關性。再計算相關係數之前，先要計算出共變異數，共變異數愈大，兩個變

數之間的關係愈密切。樣本的數量愈多則共變異數也會變大，但其大小並無法直接從數值上判讀，且兩個變數單位不同，也是無法將共變異數比較，於是須將共變異數除以兩個變數的標準差相乘後，得到相關係數，就可以用上限值 1 來做為兩個變數關係的密切程度。計算式如下：

相關係數 r = (降雨量與共變異數)/

(降雨量的標準差x崩塌體積的標準差) (1)

本研究先利用年度摺疊時間序列圖 (folded annual time series plot)、四季時間序列圖、及四季圓餅圖初步檢核降雨量、崩塌次數與崩塌體積在一年內是否有重複出現季節性的波動 (存在季節性)。確定了時間序列的成分(如季節)後，再選擇適當的預測方法，選擇的方法如流程圖 4 所示。接下來應用平滑法理論，來檢核崩塌次數是否具有季節性，其基本原理是用移動平均法來度量趨勢和周期性組合 (TxC)，以消除季節性和隨機變動的影響，進而預測崩塌體積。

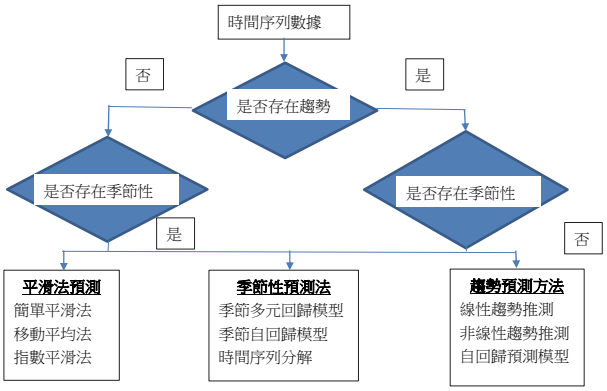


圖 4 季節性時間序列分析流程圖 (林茂文，2006)

Fig.4 Flowchart of seasonal time series analysis (Lin, 2006)

研究所採乘法模式的時間序列 Y_t 是 4 種變動因素的相乘：

$$Yt=TtxStxCtxIt \quad (2)$$

Yt、Tt、St、Ct、It 分別表示時間序列原始值、長期趨勢因素(或指數)、季節變動因素、週期(循環)變動因素和不規則變動因素。時間序列預測法其實是一種回歸預測方法，本研究在預測崩塌體積方法採線性回歸模式:

$$Yt=\alpha+\beta t+\varepsilon_t \quad (3)$$

其中 Yt 為時間數列值，α 及 β 為回歸參數，t 代表時間，t=i 表示時間數列的第 i 個觀察值，ε_t 為殘差項，為滿足回歸方程式的假設條件。

三、結果與討論

1. 降雨量時間序列分析

由雨量站的年度摺疊時間序列分析圖來看 (圖 5)，阿里山氣象站、奮起湖氣象站、龍美氣象站及小公田 2 紀錄雨量都出現在一年內重複出現的季節性波動，雨量集中趨勢也都在 5 月到 9 月之間 (如圖 6)，乾季與濕季有很明顯的降雨量差異，颱風及梅雨鋒面是山區公路沿線降雨的主要原因之一。再由各年度的季降雨量摺疊時間序列圖，各季累積降雨量時間序列圖、及圓餅圖 (圖 7)，可判斷出降雨量有季節性的趨勢。

2. 崩塌次數時間序列分析

圖 8 為崩塌次數年度時間序列圖、四季時間序列圖、及四季圓餅圖，圖中顯示 2008 年從 6 月到 9 月有次數集中的現象，2009 年則為 8 月到 9 月，2010 年 6 月到 9 月，2011 年 5 月到 7 月，2012 年 5 月到 9 月，2013 年 5 月到 8 月，2014 年 5 月到 9 月，2015 年 8 月到 9 月，惟 2016 年及 2017 年較看不出有集中的趨勢，2018 年則集中在 3 到 8 月。由崩塌次數年度摺疊時間序列圖、四季的時間序列、及四季圓餅圖來看，崩塌次數初步判斷具有季節性的波動。

本研究採平滑法理論的 K 值移動平均法 (K-periods moving average)(楊秋月、陳耀茂，2018) 來檢核崩塌次數是否具有季節性，以消除季節性和隨機變動的影響。可先計算 K 值移動總和，再計算 K 值移動平均值，以求出中央移動平均數 (TtxCt) 與季節不規則成分 (StxIt=Yt/(TtxCt)、求季節因子 (季節及不規則成分的平均值，StxIt 的平均值)，並計算季節指數。前三步驟主要是算出移動平均數，後三項步驟求去除移動平均後的季節因素。而 K 值移動平均法是依序計算 K 個連續的觀察值的平均數，在計算每一個連續的 K 期移動平均時，先將計算上一期移動平均數的第一個觀察值拿掉，再往下順序移動加入下一個觀察值，然後再求平均數。分析取春季、夏季、秋季、冬季四季 (K=4)。

分析先計算 K 值移動總和及 K 值移動平均值，再求出中央移動平均數 (TtxCt)，計算結果如圖 9，進而求出季節不規則成分 (圖 10)。接下來再求崩塌體積季節因子，若計算結果如果季節因子總和不等於 4，則需要作季節因子的修正。表 2 所計算出的季節因子分別為 0.704、1.037、1.461 及 0.497，由於季節因子是四季的指數總和，應等於 4，因此上面所求出的 0.7+1.0+1.5+0.5=3.699 不為 4 需作調整到等於 4 為止。調整後第一季的季節指數 (0.704/3.699)x4=0.762，調整後第二季的季節指數 (1.037/3.699)x4=1.121，調整後第三季的季節指數 (1.461/3.699)x4=1.579，調整後第四季的季節指數 (0.497/3.699)x4=0.538。

因此可得到第一季的崩塌次數低於所有四季平均崩塌次數的 23.8 %(1-0.762=0.238)，第二季的崩塌次數高於所有四季平均崩塌次數的 12.1 %(1.121-1=0.121)，第三季的崩塌次數高於所有四季平均崩塌次數的 57.9 %(1.579-1=0.579)，第四季的崩塌次數低於所有四季平均崩塌次數的 46.2 %(1-0.538=0.462)。

經檢核後第一季及第四季的崩塌次數低於所有四季平均 (小於 1.0)，第二季及第三季的崩塌次數高於所有四季平均 (大於 1.0)，因此，崩塌次數具有季節性的波動趨勢。

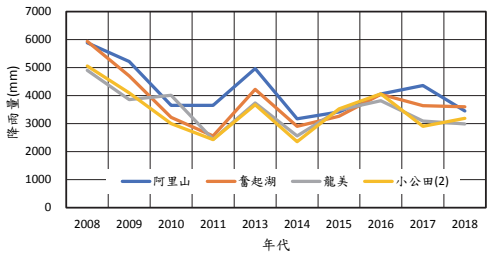


圖 5 四個雨量站年降雨量摺疊時間序列圖

Fig.5 Folded time series plot of annual rainfall at four rain gauge stations

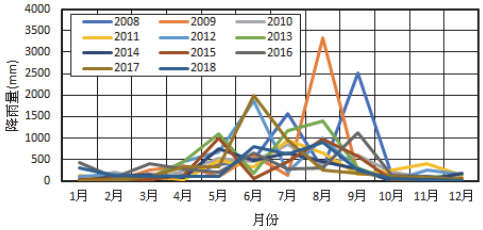
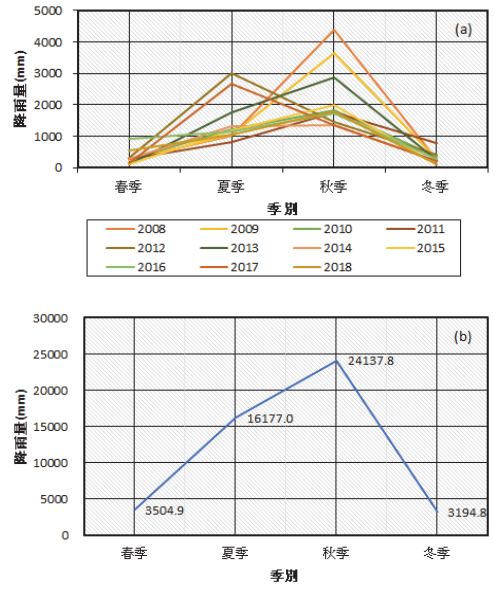


圖 6 阿里山氣象站年度月降雨量摺疊時間序列圖

Fig.6 Folded time series plot of monthly rainfall at Alishan rain gauge station



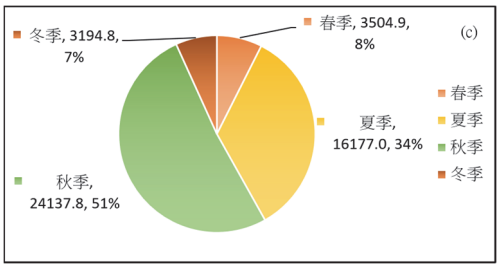
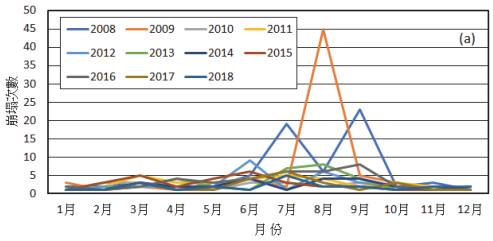
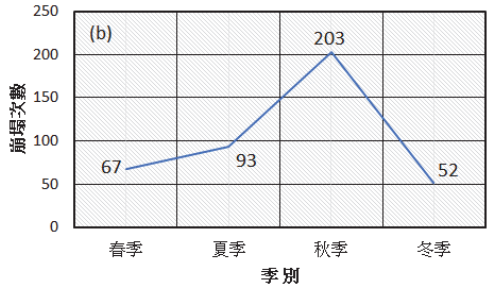


圖 7 阿里山雨量站2008~2018年（a）季降雨量時間序列，(b) 季降累積雨量摺疊時間序列，(c) 季降累積雨量圓餅圖

Fig.7 Alishan rain gauge station from 2008 to 2018 in (a) time series plot of seasonal rainfall, (b) folded time series plot of seasonal rainfall, and (c) seasonal rainfall pie chart plot





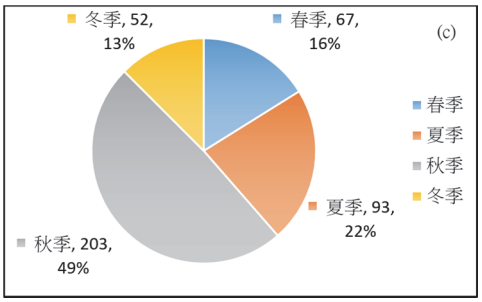


圖 8 崩塌次數 (a) 年度時間序列圖，(b) 四季時間序列圖，(c) 四季圓餅圖

Fig.8 Landslide frequency in (a) annual time series plot, (b) seasonal time series plot, and (c) seasonal pie chart plot

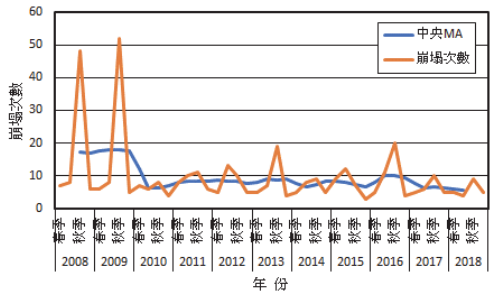


圖 9 2008 到 2018 年崩塌次數與中央移動平均時間序列圖

Fig.9 Landslide frequency and central moving average time series plot from 2008 to 2018

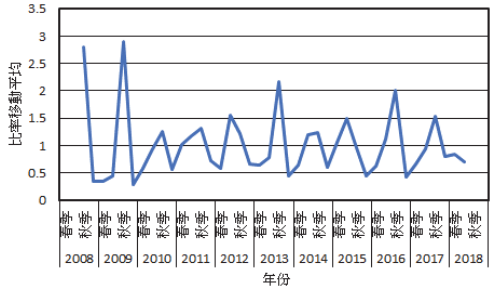


圖 10 2008 到 2018 年崩塌次數季節不規則成分圖

Fig.10 Landslide frequency seasonal irregular time series plot from 2008 to 2018

表 2 崩塌次數季節因子

Table 2 Seasonal factor of landslide frequency

年	春季	夏季	秋季	冬季
2008			2.8	0.4
2009	0.3	0.4	2.9	0.3
2010	0.6	0.9	1.3	0.6
2011	1.0	1.2	1.3	0.7
2012	0.6	1.6	1.2	0.7
2013	0.6	0.8	2.2	0.5
2014	0.6	1.2	1.2	0.6
2015	1.1	1.5	1.0	0.5
2016	0.6	1.1	2.0	0.4
2017	0.7	0.9	1.5	0.8
2018	0.9	0.7		
合計	7.0	10.4	14.6	5.0
季節因子	0.704	1.037	1.461	0.497

3. 崩塌體積時間序列分析

為探討災害發生時所崩塌的土方量是否也具有季節性的特性，其與各個雨量站的降雨量紀錄所顯示的趨勢比對是否吻合，研究首先採用直方圖來分析崩塌體積 (土方量) 的狀況，初步判斷在某幾個月份有崩塌量集中的趨勢。各年度 1 到 4 月及 10 到 12 月除因降雨有小體積的崩塌外，其餘皆為因應下次汛期來臨，進行集水井及水溝內之崩塌土方清除。圖 11 為 2008 到 2018 年崩塌量年度摺疊時間序列圖，崩塌體積四季時間序列圖及四季圓餅圖。直方圖、年度摺疊時間序列及四季時間序列以及四季圓餅圖來判斷，崩塌體積在一年內似乎有重複出現季節性的波動，但趨勢看起來沒有相當的明顯。

4. 崩塌體積預測分析

圖 2 所示 2008~2018 年每年累計崩塌量，時間序列在 2008 到 2018 年長時間內呈現有持續下降的變動，似乎具有長期的趨勢，可先將其視為存在有趨勢但不存在有季節性，以線性趨勢模型推測來做預測 (楊秋月、陳耀茂，2018)。表 3 為崩塌體積長期線性趨勢預測，分析時捨去 2009 年莫拉克風災造成單月 5 萬多立方米的崩塌量視為極端值，不計入計算以免造成偏差過大。

$$Yt'=18396.6-1638.4t \quad (4)$$

方程式(2)為崩塌體積長期線性趨勢預測，預測 2019 年的年崩塌體積等於:

$$Yt'=18396.6-1638.4t=18396.6-1638.4\times10=2002\ m^3$$

經由線性趨勢推測，所預測出來 2019 年崩塌土方量為 2002 m^3，經查詢阿里山工務段的災害報表統計出來的崩塌體積有 7800 多立方米，估計差異大，因此時間序列的成分並沒有存在長期線性趨勢。從另一個年度摺疊時間序列圖來判斷 (圖 11(b))，在第二季邊坡土方崩塌體積有上升的趨勢，到第四季出現下降趨勢，因此崩塌體積存在有季節性成分，與前面所討論的直方圖及年度摺疊時間序列圖相符。

因已判斷出崩塌體積存在有季節性成分，再選擇存在季節性的平滑法預測季節因素對邊坡崩塌的影響。而季節變動的估計方法是利用比率移動方法 (Ratio-to-moving average method) 去計算季節指數 (seasonal index)，用 K 值移動平均法分析來預測崩塌土方量。圖 12 是 2008 到 2018 年季節變動的時間序列圖。

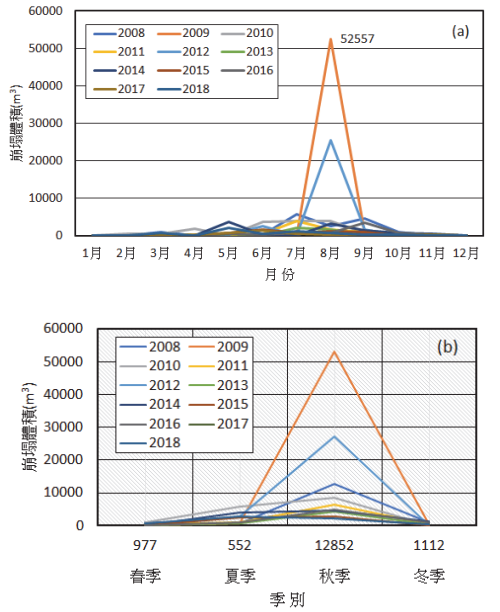


圖 112008 到 2018 年崩塌體積 (a) 年度摺疊時間序列圖，(b) 四季時間序列圖，(c) 四季圓餅圖

Fig.11 Landslide volume from 2008 to 2018 in (a) annual time series plot, (b) seasonal time series plot, and (c) seasonal pie chart plot

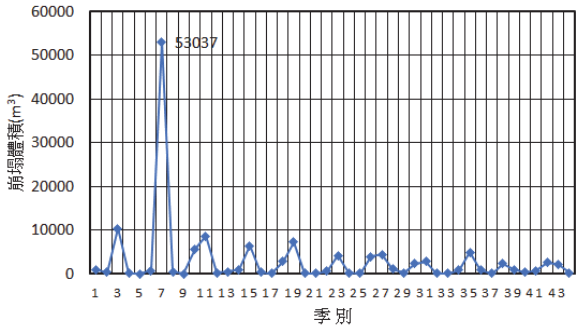


圖 12 2008 到 2018 年崩塌體積節變動時間序列圖

Fig.12 Seasonal variation time series plot of landslide volume from 2008 to 2018

因本研究依季節分析，故採 K=4 的移動總和，第一個 4 期的移動總和為 2008 年的四季土方崩塌體積總和 937+396+10356+142=11831，中央位置在夏季與秋季之間，

第二個 4 期的移動總和為 2008 年夏秋冬季與 2009 年春季土方崩塌量總和 396+10356+142+0=10894，中央位置在秋季與冬季之間。接下來計算 K 值移動平均值，而第一個 4 期移動平均值為 MA1=(937+396+10356+142)/4=2958，第二個 4 期移動平均值為 MA2=(396+10356+142+0)/4=2724，接下來求中央移動平均數(TxC)，由於期數共 44 期(季)為偶數，並無中央季節，必須進一步求出中央移動平均數。(MA1+MA2)/2=(2958+2724)/2=2841 作為 2008 年第 3 季的中央移動平均值，以此步驟逐項往下計算，可得出崩塌體積與中央移動平均的時間序列圖(圖 13)。

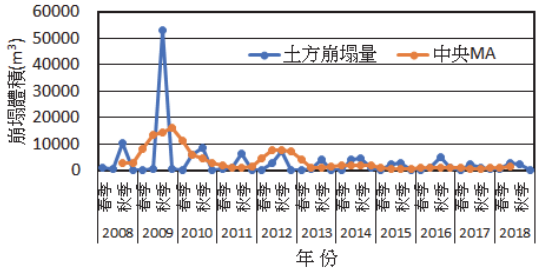


圖 13 2008 到 2018 年崩塌體積與中央移動平均時間序列圖

Fig.13 Central moving average time series plot of landslide volume from 2008 to 2018

下一步驟求季節不規則成分 SxI=Y/(TxC)，此一數值稱為比率移動平均或稱為原時間序列與移動平均的比例，以 2008 年第三季的比率移動平均為 S3xI3=10356/2856=3.63，以 2008 年第四季之比率移動平均為 S4xI4=142/2787=0.06，以此步驟持續計算後面的比率移動平均，找出季節不規則成分如圖 14。

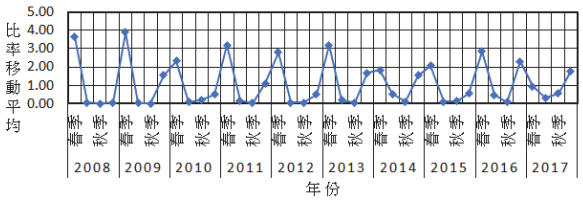


圖 14 2008 到 2018 年崩塌體積季節不規則成分圖

Fig.14 Landslide volume seasonal irregular time series plot from 2008 to 2018

表 3 所得出的季節因子為 0.128、1.157、2.312 及 0.193，由於季節因子是四季的指數總和，應等於 4。因此上面所求出的 0.128+1.157+2.312+0.193=3.79 不等於 4，需作調整到等於 4 為止。調整後第一季的季節指數為 (0.128/3.79)x4=0.135，調整後第二季的季節指數為 (1.157/3.79)x4=1.221，調整後第三季的季節指數為 (2.312/3.79)x4=2.440，調整後第四季的季節指數為 (0.193/3.79)x4=0.204。

因此可得到第一季的崩塌體積低於所有四季平均崩塌體積的 86.5 %，第二季的崩塌體積高於所有四季平均崩塌體積的 22.1 %，第三季的崩塌體積高於所有四季平均崩塌體積的 144 %，第四季的崩塌體積低於所有四季平均崩塌體積的 79.6 %。

表 3 崩塌體積季節因子

Table 3 Seasonal factor of landslide volume

年	春季	夏季	秋季	冬季
2008			3.63	0.06
2009	0.01	0.06	3.9	0.04
2010	0	1.55	2.33	0.07
2011	0.22	0.49	3.19	0.15
2012	0.03	1.1	2.8	0.06
2013	0.06	0.49	3.19	0.18
2014	0.06	1.68	1.85	0.52
2015	0.11	1.55	2.07	0.11
2016	0.15	0.56	2.84	0.48
2017	0.08	2.3	0.95	0.32
2018	0.56	1.79		
合計	1.28	11.57	23.12	1.93
季節因子	0.128	1.157	2.312	0.193

本研究嘗試對時間序列作預測，但應該考慮將季節因素從時間序列中分解出來，因為分解之後，能夠克服其他因素的影響，僅僅考量其中一種因素對時間序列的影響。另外也可以分析之間的相互作用，以及對時間序列的綜合影響。當去掉某些因素後，就可以更佳的進行時間序列之間的比較，更加客觀反映事物變化發展規律，且分解之後，序列可以用來建立回歸模型，從而提高預測精度。因此本研究進行季節因素的分解，也就是將季節變動因素從原時間序列中去除，而由剩餘三種因素構成的序列來滿足後續分析需求。為建立長期趨勢與季節變動的結合分析，首先求出季節因子，建立消除季節因子後新的時間序列 TxCxI=Y/S，接著求消除季節因子後的長期趨勢 $Tt'=\alpha+\beta t+\varepsilon$，並結合長期趨勢與季節變動預測未來。

調整後的季節因子可求出第一季的季節指數 (0.128/3.79)x4=0.135，第二季的季節指數 (1.157/3.79)x4=1.221，第三季的季節指數 (2.312/3.79)x4=2.440，第四季的季節指數 (0.193/3.79)x4=0.204。計算出消除季節因子後新的時間序列如圖 15。

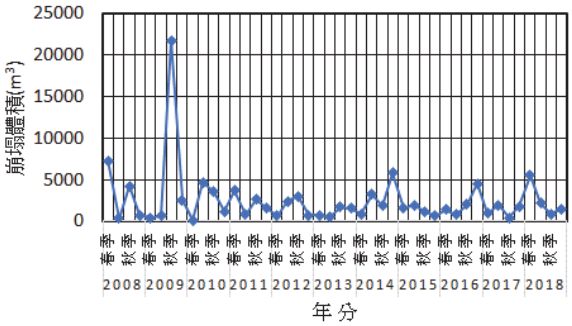


圖 15 消除季節因子的崩塌體積新時間序列

Fig.15 Updated time series of landslide volume after eliminating seasonal factor

使用 EXCELL 計算消除季節因子後的長期趨勢回歸模式，得到時間序列長期趨勢的回歸模式如方程式(5):

$$Yt'=3671.65-53.34t \quad (5)$$

依上式計算 2019 年四季的土方崩塌體積之長期趨勢的預測為，2019 年第一季 Y45' = 3671-53x45 = 1286，2019 年第二季 Y46' = 3671-53x46 = 1233，2019 年第三季 Y47' = 3671-53x47 = 1180，2019 年第四季 Y48' = 3671-53x48 = 1127。預測 2019 年各季的土方崩塌體積，須將趨勢值乘上季節指數如表 4，經由消除季節因素後的長期趨勢分析，2019 年的土方崩塌體積預測值為 4788 m^3。

表 4 2019 年崩塌體積預測值

Table 4 Landslide volume prediction in 2019

季節	趨勢值	季節指數	預測值
第一季	1286	0.135	173.61
第二季	1233	1.221	1505.493
第三季	1180	2.44	2879.2
第四季	1127	0.204	229.908
合計			4788.211

方程式 (5) 為消除季節因子後的長期趨勢回歸模式，藉由 R^2 比例來判斷回歸模型式是否合適，回歸統計後的樣本相關係數 R^2=0.0407，而 R^2 最大值為 1，亦即代表上列長期趨勢回歸模型解釋崩塌體積的能力只有 4.07 %，檢定統計量 T=-1.336，依據 P-value 值檢定法，P 值=0.188>0.05，無法有充分證據說明時間是土方崩塌體積顯著的解釋變數，亦即崩塌體積預測與時間序列並沒有直接的統計相關，因此消除季節因子後的時間序列不具有長期趨勢。

5. 相關性分析

前述使用時間序列分析可知降雨量，崩塌次數及體積都具有季節性趨勢，即是在一年中存在有夏季及秋季集中的趨勢。接下來使用散布圖及相關分析來判斷降雨量及崩塌體積的關聯，把降雨量視為原因放在橫軸，崩塌體積視為結果放在縱軸，繪製出阿里山氣象站、奮起湖氣象站、龍美氣象站及小公田 2 雨量站與崩塌體積的散布點狀圖 (圖 16)。從圖中約略可以看出降雨量紀錄崩塌體積成線性關係，尤其小公田 2 降雨量紀錄與崩塌體積的關係最顯著，但其對應關係卻無法正確及有效的描述降雨量與崩塌體積的強度關係。接下來以 EXCELL 計算各個雨量站紀錄、降雨量平均值與崩塌體積的共變異數及相關係數。共變異數的缺點是由數字的大小無法判讀出二變數之間的關係是否緊密，但所得到的相關係數為 0.582(阿里山站)、0.583(奮起湖站)，其他雨量站分別為 0.554(龍美站)、0.490(小公田 2 站) 及四個雨量站平均值 0.56，表示降雨量與崩塌體積這兩個變數存在有一定程度的線性正相關。

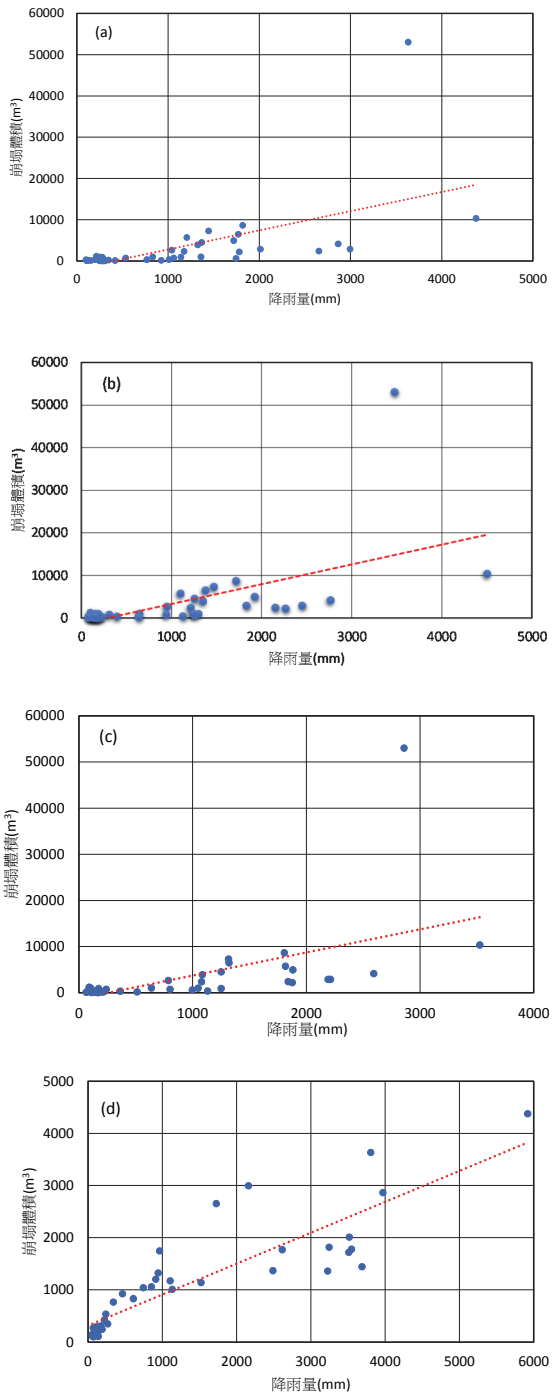


圖 16 降雨量與崩塌體積的關係 (a) 阿里山，(b) 奮起湖，(c) 龍美，(d) 小公田雨量站

Fig.16 Relationship between rainfall and landslide volume at (a) Alishan station, (b) Fenqihu station, (c) Longmei station, and (d) Xiaogongtian station

四、結論與建議

本研究探討 2008 年至 2018 年間阿里山公路 34K 到 97K 崩塌事件相關資料，應用時間序列分析將降雨量及崩塌次數與體積(土方量) 依時間序列來分析。分析可知降雨量，崩塌次數及體積都具有季節性趨勢，即是在一年中存在有夏季及

秋季集中的趨勢；且每年第一季及第四季的土方崩塌體積低於四季平均，第二季與第三季則高於四季平均。雖然崩塌體積與時間並沒有直接的統計趨勢，消除季節因子後的時間序列不具有預測崩塌體積的長期趨勢，因此估計崩塌體積應該要考慮季節因子。根據中央氣象局及水利署的雨量站所統計之降雨量紀錄經由相關性分析，降雨量與崩塌體積具有正相關，亦即降雨量與崩塌體積成正比。由於崩塌次數與體積經檢核有季節性的波動趨勢，運用季節時間序列模式，每季的崩塌體積可依時間序列長期趨勢的回歸模式預測崩塌體積，公路養護機關可依據估算的崩塌體積比率及季節性波動趨勢，針對防救災資源作更有效的分配。

誌　　謝

本研究承蒙交通部公路總局第五區養護工程處阿里山工務段提供崩塌相關資料，作者深表謝意。

參考文獻

[1] 王偉群 (2000)，「烏溪旬流量預測模式」，碩士論文，私立逢甲大學土木及水利工程研究所。(Wang, W.C. (2000). *Ten-day streamflow forecasting models for Wu-Xi River*, Master Thesis, Feng Chia University, Taiwan, ROC. (in Chinese))

[2] 王鑫 (2004)，「台灣的特殊地景：南台灣」，遠足文化事業股份有限公司。(Wang, S. (2004). *Special landscapes in southern Taiwan*, Walkers Cultural Enterprise Co. Ltd., Taiwan (in Chinese))

[3] 王超國 (2009)，「以時間序列地圖分析臺江內海地形變遷與演育」，碩士在職專班論文，國立成功大學地球科學研究所。(Wang, C.K. (2009). *Analysis of geomorphologic change and evolution for Tai-Jiang inner sea of Taiwan by time series maps*, Master Thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))

[4] 田坤國、李德河、呂政諭，2000，「阿里山公路邊坡地震後之災害狀況與崩壞特性」，921 集集大地震週年紀念學術研討會論文集，373-396。(Tie, K.K., Lee, D.H., and Lu, S.Y. (2000). *Post-seismic landslide disasters and failure modes along Alishan Expressway*, Proceedings of conference in anniversary commemoration of the 1999 Chi-Chi earthquake, 373-396. (in Chinese))

[5] 公路總局第五區養護工程處 (2021)，「阿里山工務段防救災資源配置圖」，https://thbu5.thb.gov.tw/thbu5/。(Fifth Maintenance Office, Directorate General of Highways (2021). *Disaster prevention maps in disaster preparedness in Ali Mountain Public Works Section*, https://thbu5.thb.gov.tw/thbu5/ (in Chinese))

[6] 林茂文 (1992)，「時間數列分析與預測」，華泰書局。(Lin, M.W. (1992). *Time series analysis and forecast*, Hwa Tai Publishing, Co. Ltd., Taiwan (in Chinese))

[7] 林建誠，「以時間序列方法分析屏東平原地層下陷之研究」，碩士論文，高雄應用科技大學土木與防災科技研究所(2012)。(Lin, C.C. (2012). *Using time series method to analyze the land subsidence in Pingtung plain*, Master Thesis, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan, ROC. (in Chinese))

[8] 吳柏林 (1995)，「時間數列分析導論」，華泰書局。(Wu, B.L. (1995). *Introduction to Time Series Analysis*, Hwa Tai Publishing, Co. Ltd., Taiwan (in Chinese))

[9] 徐鐵良 (1993)，「地質與工程」，中國工程師學會。(Hsu, T.L. (1993). *Geology and engineering*, Chinese Institute of Engineers. (in Chinese))

[10] 楊秋月、陳耀茂 (2018)，「時間序列分析 EXCELL 與 SPSS 應用」，五南圖書出版股份有限公司。(Yang, C.Y., and Chen Y.M. (2018). *Time series analysis- Excel and SPSS applications*, Wu-Nan Book Inc., Taiwan, ROC. (in Chinese))

[11] 康家桂，「以時間序列預測麥寮地區地層下陷之研究」，碩士論文，國立交通大學土木工程學系(2006)。(Kang, C.K. (2006). *A Study of the forecasting Subsidence in Mailiao Township using time series model*, Master Thesis, National Chiao Tung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))

[12] 賴明煌、李德河、吳建宏、李璧玲 (2014)，「以雨量基準建立公路通行管理準則－以阿里山公路為例」，中華防災學刊，6(1)，49-63。(Lai, M.H., Lee, D.H., Wu, J.H., and Lee, B.L. (2014). "Developing the management criteria for the Alishan highway based on the data of heavy rainfall and slope failures along the highway," *Journal of the Taiwan Disaster Prevention Society*, 6(1), 49-63. (in Chinese))

[13] 劉桓吉、方中權、莊德永 (1989)，「台灣新中橫公路嘉義觸口至塔塔加鞍部沿線地質」，經濟部中央地質調查所彙刊，第五號，19-29。(Liu, H.C., Fong, C.C.K., and Chung, T.Y. (1989). Geology along the Chukou-Tataka section, New Cross-Island Highway, central Taiwan. *Bulletin of the Central Geological Survey*, 5, 19-29. (in Chinese))

[14] 鄭皆達、洪豪男、周良勳 (2003)，「應用時間序列方法分析降雨及地下水位之關係」，中華水土保持學報，35(1)，47-56。(Cheng, J.D., Hong, H.N., and Chou, L.S. (2003). "Application of time series analysis to relationship of rainfall and groundwater levels," *Journal of Soil and Water Conservation*, 35(1), 47-56. (in Chinese))

[15] 虞國興、歐立中 (1993)，「Box－Cox 指數轉換之研究及其應用於月流量時序之分析」，農業工程學報，39(3)，53-66。(Yu, G.H. and Ou, L.Z. (1993). Studies on Box-Cox power transformation and its application on the analysis of monthly streamflow, *Journal of Chinese Agricultural Engineering*, 39(3), 53-66. (in Chinese))

[16] 鐘琬喬 (2004)，「非常態時間序列自相關函數偏離問題之研究」，碩士論文，淡江大學水資源及環境工程學系(2004)。(Chung, W.C. (2004). *A study on biased problem*

of non-Gaussian time series autocorrelation function, Master Thesis, Tamkang University, Taiwan, ROC. (in Chinese))

[17] Box, G.E.P., and Jenkins, G.M. (1970). *Time series analysis, forecasting and control*, Cambridge University Press, Oakland.

[18] Wei, W.W.S. (2006). Time series analysis: univariate and multivariate methods, 2nd edition, Pearson Addison.

[19] Yule, G.U. (1927). "On a method of investigating periodicities in disturbed series with special reference to Wolfer's sunspot numbers." *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series A*, 226, 267-298.

2021 年 08 月 19 日 收稿
2021 年 09 月 06 日 修正
2021 年 10 月 15 日 接受