

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

斜坡地形演化與地形定年—（子計畫二）控制邊坡演育的地形作用及其環境閾值條件

Environmental Threshold for Geomorphological Processes Controlling Terrace Slope Evolution

計畫編號： NSC89-2116-M002-025

計畫期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 07 月 31 日

計畫主持人：徐美玲

執行機關：國立台灣大學地理學系

一、中文摘要

本研究在蘭陽溪上游夫布爾階地上選取觀測實驗區，收集自民國八十七年底至八十九年七月的降雨事件和四個觀測孔三個深度的土壤含水量的變化資料，並分析其中的 43 場降雨事件的總雨量、平均降雨量、最長連續雨時、最大連續雨量和最大平均時雨量等降雨特性，和各場降雨發生前後各觀測孔三個深度的土壤含水量的變化。初步分析發現在同一場降雨事件下，各觀測孔的土壤含水量變異甚大，因此根據各場降雨事件所對應的土壤含水量變化的明顯程度，將降雨事件分為有明顯變化和無顯著變化兩類。然後比較兩類降雨事件中各降雨特性間的差異，並進行 t 檢定，結果發現能夠讓四孔的土壤含水量發生明顯變化的各場降雨的平均雨量、最大連續雨量和最大平均時雨量都比未能造成反應者來得大，而且均具有統計上的顯著差異性。各觀測孔不同深度的土壤含水量在各場降雨事件下的反應並不一致，可能與局部土壤組成、結構或生物活動狀況有關。研究顯示連續 16 天沒雨會造成本階地土壤的乾涸，而長時間的降雨和較高的最大平均時雨量可能是造成各層土壤飽和的重要條件。建議未來可以針對當地造成崩場的降雨事件，進行延時和最大平均時雨量的分析，或能歸納獲得影響階地邊坡穩定度的降雨閾值。

關鍵詞：階地、土壤含水量、降雨延時、降雨強度

Abstract

The study site is located upon the Fu-Bu-Ur Terrace at the Lan-Yang His watershed. Rainfall and soil moisture of four observation holes were continuously monitored from 1998 to 2000. 43 rainfall events with good soil moisture data were selected for further analysis. Total rainfall amount, average rainfall intensity, the maximum duration and the maximum rainfall of the within-storm raining periods, and the maximum hourly rainfall intensity of each rainfall events and the corresponding soil moisture variations were compared. The soil moisture fluctuation patterns among different observation holes and among different depths appeared to be extremely complicated. The average rainfall intensity, the maximum duration of the within-storm raining periods and the maximum hourly rainfall intensity of the rainfall events which significantly raised soil moisture were statistically greater than those of the other rainfall events. Variability in soil moisture responses among different observation holes and depths were very likely due to local variations in soil texture,

structure and/or bio-activities. The study showed that 16 consecutive rainless days significantly lowered the soil moisture in all observation holes, while long-lasting rainfall or large maximum hourly rainfall intensity seemed to contribute to the saturation of the whole soil columns. Thus, further study of the maximum duration of the within-storm raining periods and the maximum hourly rainfall intensity of the storms which have caused landslides in the study area should be conducted in order to estimate the threshold magnitudes of landslide-triggering storms more effectively.

Keywords: terrace, soil moisture content, rainfall intensity, rainfall duration

二、緣由與目的

地表的形貌是由許多山坡單元組合而成，因此地形的演育乃邊坡地形作用的綜合表現。進行於邊坡上的地形作用可根據其主要營力及運動特性分為潛移、土壤沖蝕及崩塌等。各地形作用進行的結果均會造成邊坡型態的變化，但所展現出來的變化方式和速度卻有很大的差異。因此若有效推估未來地形演育的方向，或經由地表形貌去反推過去邊坡形成的時間，必須辨識影響該目標邊坡演育的主要地形作用。根據階地形態的調查結果（徐美玲，1999），階地的邊坡通常由原階地構造所組成的上方較陡的坡面，及由鬆散的物質累積而成的下方緩坡所構成，因此崩塌很可能是階地邊坡演育過程當中相當重要的作用。根據文獻淺層的邊坡崩塌常與土壤孔隙水壓的突增密切相關，而這種土壤孔隙水壓的快速舉升與暴雨的入滲密切相關。因此本子計畫的研究重點即在於探討

各種型態的暴雨與土壤含水量變化的關係。

三、結果與討論

為瞭解不同的降雨型態與階地土壤含水量變化的關係，本研究在位於蘭陽溪左岸夫布爾階地上方靠山邊為竹林所覆蓋的沖積扇階地面設置一個小的觀測區，觀測區面積約600平方公尺，坡面朝南，主由礫石層所構成。除西南隅有一比較明顯的小陡坡，大體平緩，坡度約在10度到20度之間。其上竹林茂密，林下則草類密生，並覆蓋著淺薄的枯枝落葉。首先在觀測區西北邊界處的乾溝側岸進行堆積層的觀察，在清除該乾溝側岸邊坡植生後，順勢往下挖至100公分處，並進行剖面外觀的初步研判，結果發現構成邊坡的堆積層並無明顯的分層，因此決定往後的採樣乃以自地面起每隔25公分為原則視為一採樣層，共分4層。接著在竹林內、外分別裝置一個雨量計，並於坡形略成凹坡處，自扇頂往下每隔4公尺設置一觀測點，再分別根據土層分層與儀器規格安裝25、60和100公分三個深度的張力計，進行雨量和土壤張力的觀測。

為了瞭解各層土壤的組成和導水特性，同時在野外和室內進行導水度的測定。首先在前述12個觀測點處利用土壤採樣器採集表層25公分土層，然後利用該孔洞，以滲漏儀 Guelph Permeameter進行導水度的測定，接著再採下層25公分土樣，然後再進行現地滲漏實驗，依此類推直到土深100公分處。採樣時並儘量避免土層的擾動，但是某些土樣由於挖掘途中受礫石阻擋，導致土樣嚴重擾動及遺失，因此共取得45個樣本。取回實驗室的樣本首先進行降水頭的滲透實驗，推算各土層的導水

度。然後利用篩分析實驗測量各土樣的粒徑組成。

接著為建立土壤張力與實際含水量之間的關係，以利將張力計觀測值換算成土壤含水量，於觀測區中央觀測線的4個觀測點表層和25公分處，利用直徑8.4公分，長度10公分的鋼環，分別取得樣本；由於礫石層挖掘困難，不易取得良好的深層土樣，因此又在上述乾溝側岸60和100公分處，以盡量不擾動土層為原則各取2個土樣，總計12個樣本。回實驗室後，在土樣中心，插入T3自計張力計，讓水從土樣底部逐漸往上滲透直到飽和，秤重後，開始讓土樣自然排水，自計張力計每隔半小時記錄一次，而視土樣的排水狀況，每隔2到6小時秤重一次，直到重量不再變化為止。之後，每半小時注入5公克的水，一方面利用張力計記錄土壤張力值，直到飽和為止。各樣本每次漸乾的過程約需耗費24到36小時，而漸濕的過程則約耗時18-30小時。實驗完畢後烘乾，求取土壤乾重，估算孔隙率，並利用每次秤重資料計算水分含量，並換算出對應的土壤飽和度。

由於坡地災害通常與暴雨事件密切相關，簡單的總雨量資料既不足以有效推測災害的發生，過小的記錄時距卻又增加資料的儲存和處理難度，因此決定每30分鐘累積記錄一次雨量，再以其進行觀測區的降雨事件分布型態，及各事件的降雨特性的研究。根據自計式雨量計的設計，降雨量每累積0.254公釐會被記錄一次，因此如果半小時內雨量不足此值者，便被視為無雨；而相鄰兩個降雨記錄值中間若有連續24個小時以上的無雨記錄時，則此二筆資料被視為屬於不同的降雨事件，若其間的連續無雨記錄時間少於24小時，則視為同一場降雨。由於所關心的乃為暴雨事件，因此若同一降雨事件的總雨量少於5公

釐，則不列入分析。根據此原則，自民國八十七年10月4日至八十九年7月10日止，共收集了43場降雨事件的雨量資料。

首先將觀測所得的土壤張力數據，利用前述所建立各相關土層的保水曲線，轉換成相對應的土壤含水量。將各孔各深度的含水量變化繪製成圖，分析每一個觀測點土壤含水量在不同降雨事件中的垂直分布及時間變動狀態，特別將有明顯含水量變化的事件分別出來，結果發現各孔的反應不盡相同。因此分別根據各場降雨是否造成各孔土壤含水量變動而加以分類，然後利用 t 檢定，找出兩組間具有顯著差異的降雨特性（表1），發現能夠讓四孔的土壤含水量發生明顯變化的各場降雨的平均雨量、最大連續雨量和最大平均時雨量都比未能造成反應者來得大，而且均具有統計上的顯著差異性。

表 1 造成各孔土壤含水量明顯變化的降雨與其他降雨間各降雨特性的差異檢定

孔號		1	2	3	4
有反應的降雨場次		6	8	10	8
總雨量 (mm)	平均	30.52	51.59	48.64	48.52
	顯著水準	0.782	0.093*	0.005**	0.138
平均雨量 (mm/hr)	平均	4.39	3.68	3.77	3.96
	顯著水準	0.000**	0.000**	0.002**	0.008**
最長連續雨時 (hr)	平均	4.92	6.81	7.15	5.75
	顯著水準	0.906	0.276	0.024**	0.532
最大連續雨量 (mm)	平均	24.55	29.94	31.17	29.78
	顯著水準	0.050**	0.029**	0.003**	0.030**
最大平均時雨量 (mm/hr)	平均	6.37	5.16	5.16	6.10
	顯著水準	0.000**	0.003**	0.000**	0.004**

*達0.10 的顯著水準; **達0.05 的顯著水準

將所有降雨事件根據其是否造成任何觀測孔土壤反應分成兩類，然後以平均雨量、最大連續雨量和最大平均時雨量進行區別分析（Discriminant Analysis），找尋其區別函數，再利用該函數反推各降雨事件是否會造成土壤含水量的變異，正確率達86%以上。由於造成各孔土壤含水量反應的降雨場次並不完全一樣，因此利用t檢定去探討其間的差異，結果發現造成第

1孔土壤含水量反應的降雨，其最大平均時雨量顯著地大於造成其他各孔反應的降雨事件，而造成第 3 孔土壤含水量反應的降雨，其最大連續雨量明顯地大於造成其他各孔反應的降雨事件。造成第 2與第 4孔土壤含水量反應的降雨事件則與造成其他各孔反應的降雨事件並無顯著地差異。

再檢視各場降雨致使各孔土壤達到飽和的情況，發現除了 1 號孔之外，各孔表層土壤達到飽和的機率均比底層土壤高，並以 2 號孔表層土壤在所有降雨事件中達到飽和的機率最高。而造成四個孔表層土壤都達到飽和的降雨，除了最長連續雨時顯著地大於其他降雨事件外（顯著水準 0.08），無論總雨量、平均雨量、最大連續雨量和最大平均雨量均小於其他降雨事件，但卻不具統計顯著性。造成各孔各深度土壤均達到飽和的降雨場次以 1號孔最多，利用 t檢定發現造成各層土壤均達飽和的降雨事件的最大平均時雨量顯著大於未能造成飽和的降雨事件（顯著水準 0.10）。

仔細分析各孔土壤在各場降雨事件的反應發現，即使降雨事件發生前有 12天的無雨日，1號孔表層土壤的含水量並未大幅降低，但是只要 8天的無雨日就足以使 70公分深度土壤含水量明顯下降。當降雨事件發生前有 16天無雨日時，2、3號孔各層土壤幾乎乾掉，1號孔的表層土壤含水量也大幅下降。在此等事件中，土壤含水量下降後，有些會因之後的降雨而回升，有的則沒有明顯回升的現象。分析此等事件的降雨特性發現，造成土壤含水量回升的

降雨的最大連續時雨量有顯著高於未造成回升者（顯著水準 0.027）。

四、計畫成果自評

本研究觀測發現在同一場降雨事件下，各觀測孔的土壤含水量變異甚大，因此僅能將降雨事件分為有明顯土壤含水量變化和無顯著變化兩類，進行比較定性式的分析。各觀測孔不同深度的土壤含水量在各場降雨事件下的反應並不一致，可能與局部土壤組成、結構或生物活動狀況有關，將來應該針對各因子的影響進行比較仔細的研究。

根據本研究初步結論，推論造成階地表土或淺層土壤飽和的降雨，最有可能是具有長延時或短時間內降下大量雨水者。階地邊坡雖然有利於土壤水往下坡的排水，但是降雨對其含水量所造成的反應趨勢應該相似於階地面上的土壤，因此未來可以針對當地造成崩塌的降雨，進行延時和最大平均時雨量的分析，或能歸納獲得影響階地邊坡穩定度的降雨閾值。

五、參考文獻

- [1] 徐美玲（1999）階地邊坡形態與地形作用之關係，國立台灣大學理學院地理學報，26：1-12。