

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

斜坡地形演化地形定年（子計畫二）控制階地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：NSC 87-2116-M-002-004

執行期間：86年8月1日至87年7月31日

計畫主持人：徐美玲

執行單位：國立台灣大學地理學系

一、中文摘要

階地是台灣常見的地形，因此正確地訂出各階地的生成年代，可以做為各地區地形演育的參考基準。宋國城等（1993, 1995）曾經提出地形定年模式以估測階地生成年代。該模式乃建立在擴散模式為邊坡演育的主要方式的假設上，然而影響階地邊坡演育的地形作用不止一端，所以有必要對各種地形作用進行的規模和顯著性做比較詳細的觀測研究。本研究就蘭陽溪中游夫布爾階地崖進行詳細的地形調查工作，並且在一個小沖積扇上的竹林內設置水文觀測區。觀測區內安裝36支水位計，2支土壤張力計，並在竹林內、外各安置一個雨量計，採自計方式收錄資料。研究發現，當半小時的降雨量超過1.5公釐時，竹林內才会有穿透流發生。不過在觀測期間，並沒有測量到暫棲地下水的現象。這種結果可能是因為暫棲地下水發生在比較深層的土層中，或者是所觀測到的降雨強度還不足以造成淺層土壤的飽和。階地崖面地形的調查發現，邊坡的坡度與植生的狀態密切相關。而且階地層的崖面坡度有比崩積錐陡峻的趨勢。

關鍵詞：階地、邊坡演育、地形定年

Abstract

Terraces are commonly found in many places in Taiwan which when correctly dated will provide very good datum for geomorphological evolution in different part of the island. Geomorphic dating of terrace formation has been proposed by Song et al. (1993, 1995). In the method diffusion model was used to simulate the evolution of a terrace scarp. However, many processes contribute to terrace scarp evolution, it is necessary to investigate the magnitude and significance of each geomorphic process. This project conducted a field survey on the terrace scarp of Fu-Bu-Er Terrace at the mid-section of Lan-Yang Chi. In the meanwhile, a small observation plot located in a small alluvial fan and covered by bamboo woods was selected. 36 automatic recording piezometers and 2 tensiometers, together with one rain gauge outside, and the other inside the bamboo woods were set up for monitoring the hydrological responses of shallow soil layers. It was found that throughfall inside the bamboo woods only took place when rainfall within half an hour exceeded 1.5mm. Soil moisture is wetter at

the downslope location. But soil saturation has never been detected. It is likely that either the perched groundwater layer took place in a much deeper layer, or the rain intensity observed was not large enough to cause saturation in shallow soil layers. Terrace scarp profile survey revealed that slope gradient is significantly affected by vegetation cover. Also, terrace scarps tended to be steeper than talus slopes.

Keywords: terrace, slope evolution, geomorphological dating

二、計畫緣由與目的

台灣由於位於板塊活動地帶，地殼隆升速度驚人，河、海階地非常普遍，若能正確推估各階地的生成年代，將有助於建立各相對應地區地形的演進史。宋國城等（1993，1995）曾利用地形擴散模式（diffusion model）模擬階地邊坡的演化，並藉由已有碳十四定年資料的檢核，獲得以階地邊坡坡度推測其生成年代的迴歸方程式。然因發生在階地邊坡上的地形作用不止一端，使得此種地形定年方法所得的推測值與碳十四定年估計值尚有相當之誤差。

由於邊坡的演進與發生在該邊坡的地形作用方式和強度密切相關，因此若要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。有識於此，本總計畫【斜坡地形演化地形定年】選擇蘭陽溪流流域做為初步研究的區域，除了詳細進行階地邊坡地形的量測，修正原有的地形演育模式之外，亦由歷年崩塌地的測繪，以及邊坡水文的觀測資

料，來辨明各種地形作用的發生頻率。

邊坡的演進乃地形學的重要研究主題，許多學者經由觀察及經驗的累積歸納出影響邊坡發育的主要環境因子（例如，Young，1969；Carson and Clark，1972；Selby，1982等），但是由於影響變數繁多以及其間交互作用的不可預測，無法整理出一個可以直接用來解釋或預測邊坡演育的決定論模式（deterministic model）。因此一些地形學者採取另一種研究觀點，亦即針對特定區域進行系統性的觀察研究，以歸納出適用於該地區邊坡演進的經驗公式（例如，Nogami，1977；Crittenden and Muhs，1986；及 Suzuki and Nakanishi，1990）。此研究觀點乃符合地理學研究的基本精神，同時也是真正能發展出實際可用模式的有效方法，因此本研究採取此種研究取向，針對蘭陽溪夫布爾階地進行全面性的邊坡調查工作，以歸納各種地形作用在邊坡演育過程中的相對重要性。

另一方面，由階地形態的調查中得知，階地邊坡經常包括上下兩個部份，上方部份較為陡峻，是由原階地組成物質所構成；而下方通常有一緩坡，乃是由崩落下來的鬆散物質堆積而成的，由此推斷，崩塌很可能是邊坡演育過程中相當重要的作用。根據文獻記錄，淺層的邊坡崩塌經常與土壤孔隙水壓的突增密切相關，而這種土壤孔隙水壓快速舉升的現象，又與暴雨所導致的淺層暫棲地下水，和地下逕流（subsurface flow）有關。為了觀察暴雨和土壤內發生暫棲地下水過程的關係，進行小坡地實驗區的詳細水文觀測。

三、研究結果與討論

邊坡的穩定性與邊坡的組成、構造、坡度和植生狀態（Greenway，1987；Sidle，

1992) 密切相關，邊坡上所發生的地形作用則包括土壤沖蝕、溝蝕和崩塌等，另外，蔡衡等(1998) 野外量測資料發現，階地的高度也與地形的演育階段有關，因此本研究乃針對這些變數進行野外的量測。

沿著蘭陽溪河岸，自繼光橋往上游，調查夫布爾階地約 600 公尺長的階崖，先根據組成物質、坡形和地表地形作用狀況劃分成均質邊坡單元。再將較大的邊坡單元細分成十公尺寬度的小單元。觀察每個單元的表面侵蝕狀況，分成非常淺薄的紋蝕、平行發育的小蝕溝，以及由小蝕溝匯聚形成有明顯槽谷的大蝕溝三種，並且記錄各種沖蝕溝的數目。

接著每個單元取一條剖面，先依其組成分成沖積層、崩積錐、基岩三類，再根據坡度的轉變進一步加以分段，最後再將其根據植生狀態，細分成裸露地、草地和雜木林地三類。分別記錄各剖面分段的垂直投影長度，以及平均坡度。一共獲得 80 個坡段的資料。

由於夫布爾階地與目前河床高差大部分在 40 到 60 公尺之間，而且坡度經常超過 40 度，很不容易攀爬，所以各段剖面的垂直投影長度和平均坡度，乃是在階地崖基部以傾斜儀測量各坡段轉折處的視角，接著垂直坡面往外後退一段已知距離後，再測一次各點的視角，然後利用三角幾何推算出各轉折點與河岸現生河階面間的相對高度，以及各段的平均坡度。

本研究區內可及性高的階地面上大都已經開墾為蔬菜種植區，由於設有灌溉設施，並不適合進行水文的觀測。經過詳細的踏堪之後，在夫布爾階地面馬諾源蔬菜區靠山邊的地方，選擇一個由竹林所覆蓋的小沖積扇，做為水文觀測區。觀測區面積約為 600 平方公尺，寬度約為 15 公尺，縱長約為 40 公尺，平均坡度則約在 16° 左

右。利用經緯儀進行詳細地形測繪，並且製作數位地形圖。在觀測區隨機選取 10 個採樣點，每個點利用土壤採樣器分別取得 25、50、75 及 100 公分深處的土樣，回實驗室後進行土壤質地的分析，結果發現，土壤質地並沒有隨深度而有顯著的變化。又選取 6 個採樣點，利用 Guelph Permeameter 分別測得 25、50 及 75 公分處的土壤飽和導水度，結果顯示，飽和導水度約在 1/100 到 1/1000 之間，而且略有隨土壤深度降低的趨勢。

在竹林的內、外各安裝一個自計式雨量計，以便同時觀測竹林對到達土壤表面雨量的影響。理論上，當降雨強度大於土壤入滲率時，會發生地表逕流，而當土壤表層滲漏率大於底層時，就會產生暫棲地下水。由於在其他階地地區所觀察到的表層崩塌現象，深度大約在 1 公尺左右，因此推斷暫棲地下水層有可能出現在淺層土壤中。於是在觀測區選擇三條略與坡面垂直的剖面，每條剖面由上至下坡，選擇四個觀測點，並且盡量讓各剖面所選取的觀測點約略位於等高處。然後在每個選取地點周圍 1 公尺範圍內，挖掘 30、60、及 80 公分等三種深度的洞，然後安裝自記式的水位計 (Piezometer)。總計共安裝了 36 支水位計。又為了了解土壤水分含量的變化情形，在沖積扇頂端和下坡扇緣處分別安裝一支自計式的土壤張力計。

儀器進口作業的延誤，使得觀測工作延遲到民國八十六年十月才開始。其後數個月天氣晴朗，直到農曆年時才有比較大的雨量。所購置的資料記錄器 (Campbell 21X) 在電池電壓低於 9 伏特時便失效，並連帶地消除先前儲存的資料，剛開始不知道此種記錄器的限制，曾因為稍微延遲前去讀取資料，而喪失一些記錄。之後，雖然縮短前往的時間間隔，但是卻又因電池

受潮漏電、道路中斷等因素，而失去許多寶貴的資料。截至八十七年七月底止總共僅收到 109 日的資料。

竹林內、外每隔半小時記錄一次雨量，資料顯示，當半小時的降雨量大於 1.5 公釐以上，竹林內才會發生穿透雨量。由觀測期間所收集到的水位計資料發現，各觀測井並未發生暫棲地下水的現象。兩支土壤張力計的資料顯示，下坡處的土壤無論在什麼時刻都比上坡處來得潮溼。

階崖邊坡觀測資料的統計分析顯示，植生與坡度具有相關性，利用 t 檢定，在 95% 的顯著水準下，各組間具有顯著的差異。平均而言，裸露地平均坡度最高，約為 73°，而本次調查範圍中，所有的裸露地均為基岩所組成；雜木林地居中，平均坡度為 50°，而草生地最緩，平均為 43°。

調查範圍內，階地崖腳的崩積錐通常規模不大，平均高度約為 16 公尺，而相對應的上邊坡階地層的厚度則比較大，約為 46 公尺。這類堆積地形通常覆以疏密不等的草類植生。唯一一個規模比較大的崩積錐高達 62 公尺，上面則已經長滿了灌木叢。

如果針對同為雜草覆蓋的邊坡來做比較，則發現崩積錐的平均坡度（39°）比階地層的邊坡（50°）來得小；同是階地堆積層的邊坡，則由雜木林地所覆蓋的邊坡平均坡度（50°），比由長著雜草的邊坡（44°）來得陡，不過兩者皆因為樣本數太小，所以不具有統計顯著性。由此可見，邊坡的組成和植生確實影響邊坡的穩定性。

四、計畫成果自評

由於儀器本身限制和操作上的問題，頭一年所收集到的水文資料相當有限，而

且所有被記錄下來的降雨都未能在所監測的各土壤深度處造成暫棲地下水。由於野外調查曾經在一個與河床相對高度在 58 到 65 公尺左右的階地崖面上，距離階地面約 10 公尺的地方發現明顯的地下水滲漏現象，因此暫棲地下水有可能是發生在比較深的土層中，因此所安裝的水位計無法測得飽和的狀況。不過，也可能是在觀測期間的雨量強度尚不足以造成淺層土壤的飽和。因此第二年的觀測，除了繼續監測淺層土層暫棲地下水外，另外將增加測量不同深度的土壤孔隙水壓，希望能夠利用不飽和層土壤水分含量隨土層深度的變化關係，去推估可能的暫棲地下水的位置及變動。

五、引用文獻

- [1] 宋國城、游素雲(1993) Morphological Dating of Fluvial Terraces Along the Ta-Han Hsi, Northern Taiwan: An Ergodic Approach, *中國地質學會會刊*, 36(4):437-456。
- [2] 宋國城、游素雲、廖俊言(1995) Correlation of River Terraces by Quantitative Morphological Dating and Its Neotectonic Implications, *中國地質學會會刊*, 38(1):65-80。
- [3] 蔡衡、宋國城、傅炯貴、齊士崢、李沛然(1998) 蘭陽溪扇階崖坡形態之演育, *中國地理學會會刊*, 26: 99-114。
- [4] Carson, M. A. and Kirkby, M. J. (1972) *Hillslope Form and Process*: Cambridge University Press, 475p.
- [5] Crittenden, R. and Muhs, d. R. (1986) Cliff-height and slope-angle relationships in a chronosequence of Quaternary marine terraces, San

- Clement Island, California, *Zeit of Geomorphologie*, N. F., 24: 52-67.
- [6] Greenway, D. R. (1987) Vegetation and slope stability, in Anderson, M. G. and Richards, K. S. (Eds.) *Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology*. John Wiley, New York: 187-230.
- [7] Nogami, M. (1977) Slope development of terrace cliffs through geologic time, *Geographical Review of Japan*, 50: 32-44 (in Japanese with English abstract).
- [8] Selby, M. J. (1982) *Hillslope Materials and Processes*, Oxford University Press, 264p.
- [9] Sidle, R. C. (1992) A theoretical model of the effects of timber harvesting on slope stability. *Water Resources Research*, 28(7): 1897-1910.
- [10] Suzuki, T. and Nakanishi, A. (1990) Rates of Decline of Fluvial Terrace Scarps in the Chichibu Basin, Japan, *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, 11(2): 117-149.
- [11] Young, A. (1969) *Slopes*. Edinburgh, Oliver and Boyd, 288p.