

山區土壤厚度與坡度關係之建立

王智仁¹ 許世孟² 柯建仲¹ 蘇泰維³ 李錦發⁴

1. 中興工程顧問社大地工程研究中心研究員
2. 中興工程顧問社大地工程研究中心 組長
3. 中央地質調查所 科員
4. 中央地質調查所 科長

摘 要

本研究目的為建立台灣山區廣域範圍土壤厚度與坡度之特性關係，藉此應用於崩塌地之崩塌量估算，提供水文地質概念模式與山崩關聯因子研究使用。本研究調查範圍包含鳳山溪、頭前溪、中港溪、後龍溪、烏溪等流域之上游集水區自然形成的邊坡，以機械傳動式土鑽(最大深度 5 公尺)搭配手動土鑽(hand auger, 最大深度 1.2 公尺)，共取得 154 處之現地坡度、土壤厚度資料。

在調查資料分析方面，首先利用 DEM-5 公尺網格計算坡度，連同現地調查坡度之記錄資料分別依據坡度條件進行分析資料之篩選後，以現地調查之土壤厚度對現地坡度、DEM 坡度分別建立土壤厚度與坡度特性關係之回歸分析，分析過程再區分各流域、各地質時代、調查區域整體分析等三個類型做交叉比對，最後以相關係數(R^2)作為優劣判斷。本研究結果顯示，以 DEM 坡度對土壤厚度之特性關係分析結果均優於現地坡度對土壤厚度之結果，如以調查區域整體分析之 DEM 坡度對土壤厚度之回歸方程式推估土壤厚度值，則須注意土壤厚度有低估情形。本研究也發現台灣西半部由西向東(至雪山山脈與中央脊樑山脈形成之軸線)，土壤厚度確實有漸薄之趨勢。

關鍵字：土壤厚度、坡度、崩塌量。

The Relationship Between Soil Thickness and Slope Gradient in Taiwan Mountain Area

ABSTRACT

The objective of the investigation was to characterize the relationship between soil thickness and slope gradient in some Taiwan's mountain area with the results facilitating the debris volume estimation of landslides, the establishment of hydrogeologic conceptual models of landslide sites and ultimately the research on factors affecting and triggering landslides. Soil thickness survey was conducted using fuel-powered and hand augers, depending on the conditions of the sampling locations, with maximal drilling depths of 5 m and 1.2 m, respectively. A total of 154 sites, located within the watersheds of Fongshan River, Toucian River, Jhonggang River, Houlong River and Wu River, were surveyed for soil thickness and the slope gradient.

Soil thickness data were prescreened and organized into groups based on watershed, geology and the nature of slope before statistical study. Results were analyzed by statistically correlating the field surveyed soil thickness to two corresponding slope gradients: one that was measured on location and the other computed from DEM coverages with 5 m-by-5 m resolution. Although analysis using slope gradient computed by DEM yielded relatively high correlation factor, on-site slope gradient measurement yet plays a critical role in the investigation. The correlation results between soil thickness and the DEM-derived slope gradient revealed that soil thickness tends to be underestimated. From the results of this study, it is evident also that soil thickness in hill slope shows an increasing trend from west to east in Taiwan piedmont area.

Key Words: soil thickness, slope gradient, debris volume.

一、前言

土壤厚度在降雨引發之地質災害、河川土砂輸出與水庫淤積等均有重大影響，如確實掌握土壤厚度的空間分佈，就能提升災害潛勢分析與災害規模評估的準確性。

Heimsath 等人[1][2]對於基岩上土層的研究發現，地表至基岩間的土壤厚度隨斜坡曲率(hillslope curvature)增加有線性遞減關係，且認為使用數值地形模型(DEM)5j5 公尺網格能表現出最合適之地形曲率。Delmonaco 等人[3]則調查 70 處三種不同岩性特徵的表土厚度，建立土壤厚度與坡度回歸特性，並用來分析崩塌地之崩塌潛勢。Ohnuki 等人[4]認為土壤厚度與地表植生、地下水儲水量之間據相關性。

台灣早期對土壤厚度的探討，大多為農業方面之研究[5][6][7]。近年來開始有多位學者針對土壤厚度與坡度之關係進行研究，姜壽浩等人[8]以地形作用模式與現地調查為基礎，建立土壤厚度的估測模式，透過數值高程模型(DEM)進行數值模擬與驗證。楊孟衛等人[9]則藉由小範圍建立土壤厚度與坡度間的關係及使用經驗公式的推估，結合分析模式進行山崩、土石流模擬與潛勢分析。鍾欣翰[10]以現地量測土壤厚度，建立土壤厚度與坡度間的線性關係式。

由上述研究中發現，土壤厚度的研究已發展為地形、水文、植生等多方面型態之結合研究，而國內研究仍以災害分析為主，且屬於小區域研究類型，所以資料的應用較多的侷限。

本研究利用現地調查方式，以機械與手動設備量測土壤厚度與坡度，並將現地量測坡度與 DEM-5j5 公尺網格計算之坡度進行比較，研究目的：(1)建立台灣山區廣域的土壤厚度與坡度關係，(2)結合數值地形模型(DEM)與現地調查結果做不同類型之土壤厚度與坡度關係比較。分析方式則區分現地調查坡度及 DEM 計算坡度二大類型，以統計方法推估土壤厚度與坡度間的線性關係式，然後依調查區域、地質時代、整體調查區域等，分別以回歸結果的相關係數(R^2)來比較其優劣性。

二、土壤厚度調查方法

本研究目的為建立台灣山區自然邊坡土壤厚度與坡度關係，因考量山區地形分布的複雜性，故以河川流域劃分調查區域(如圖 1 所示)。以下就本研究之現地調查深度定義、原則及範圍，加以說明。

2.1 調查深度定義與設備

一般土壤剖面之建立，多採用試坑挖掘方式記錄地表至風化母岩之風化土層厚度。在參照美國 USDA 土壤調查手冊[11]，與考量調查設備工作效能，本研究調查之土壤深度定義在 O、A、B 層等三層範圍[12](如圖 2 所示)。

在調查設備之使用，則採用手動土鑽(hand auger)及機械傳動式土鑽等二項設備，機械傳動式土鑽最深可達至地表下 5 公尺之範圍，但在陡峭之坡度(大於

45 度)將無法操作，所以搭配手動土鑽進行調查；手動土鑽採用人力，探查範圍適用於土壤深度小於 1.2 公尺。有關現地調查設備之概況，如表 1、圖 3、圖 4 所示。

關於現地坡度調查方式，在鑽孔位置側邊一段距離，直接使用地質羅盤量測斜坡坡度。



圖 1 現地調查範圍

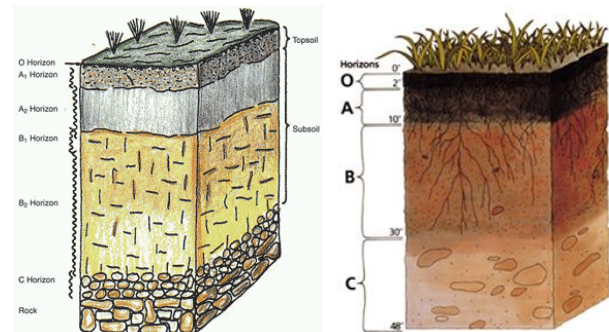


圖 2 調查深度(至 B 層)範圍(摘自 USDA 網站)

表 1 土壤厚度調查設備說明

設備名稱	設備項目及規格	鑽孔方式
手動土鑽 (hand auger)	<ul style="list-style-type: none"> 鑽頭直徑 2 英吋(長 60 公分) T 型連桿一支(直徑約 3/4 英吋、長 60 公分) 	T 型連桿與鑽頭銜接後，以手控旋轉方式鑽孔
機械傳動式土鑽	<ul style="list-style-type: none"> 汽油引擎，輸出：8Hp 螺旋鑽桿直徑 1.5 英吋(每支 1 公尺長) 	<ul style="list-style-type: none"> 發動引擎，傳動軸帶動螺旋鑽桿，以旋轉方式鑽孔 每鑽入 1 公尺須加裝接鑽桿 1 支



圖 3 手動土鑽



圖 4 機械傳動式土鑽

2.2 調查原則

本研究採下列方式作為現地調查之位置選定原則，圖 5 為現地調查之記錄。

- (1) 河床位置不選，並排除崩塌區域(有無整治均同)及山溝侵蝕位置，完全選擇自然形成的邊坡。
- (2) 沿道路之上邊坡進入產業道路內調查。
- (3) 隨機選定調查點進行作業。
- (4) 過程中儘量取不同坡度調查。在選定調查點後，即將設備搬運至鑽孔位置，每處調查位置最少鑽二孔比較其深度差距、記錄大值並概略描述土壤性質；若二鑽孔之深度差距大於 50 公分[11]則再鑽一孔加以比較。
- (5) 鑽桿垂直坡面鑽入。



圖 5 現地調查記錄

2.3 調查範圍

依據調查的流域範圍內，選擇產業道路、農路之分布狀況做整體規劃，調查位置散佈在各流域範圍中。

本研究共完成的調查區域為鳳山溪(14 處)、頭前溪(50 處)、中港溪(24 處)、後龍溪(23 處)、烏溪(43 處)等五流域，共進行 154 處之調查位置。

三、調查結果

3.1 坡度與土壤厚度分布說明

完成現地調查後，將調查位置二度分帶坐標

(TWD97)輸入 GIS 軟體，確認各調查點均落於所屬流域中(如圖 6 所示)，並將調查成果繪製成圖 7。

由圖 7 中顯示，五個流域土壤厚度均集中在 1 公尺以下，平均坡度為 35.06 度。在表 2 中細分各流域之坡度與土壤厚度範圍。從記錄中顯示土壤厚度在 1 公尺以下者，佔 79.87%。另外在坡度分布範圍來看，坡度分布在 30 度至 39 度間，佔 31.82%，而 30 度至 49 度之範圍共佔 59.09%，數量超過調查總數二分之一。

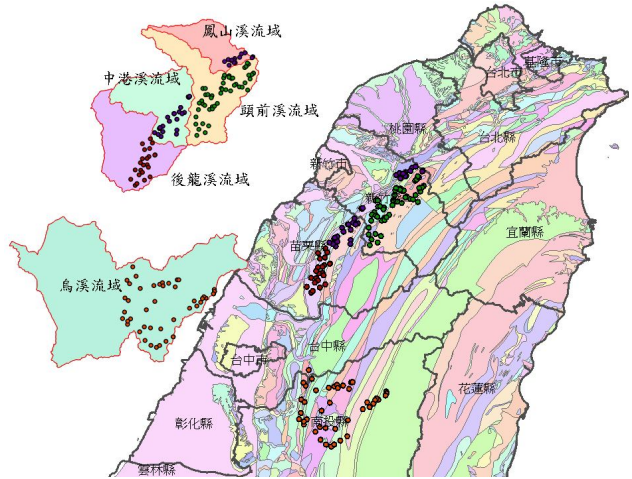


圖 6 現地調查位置分布圖

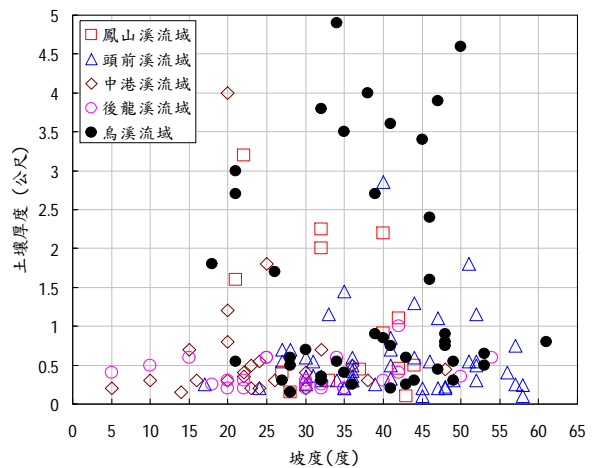


圖 7 土壤厚度與坡度現地調查結果

3.2 調查位置與地層分布概況

將調查位置套入中央地調所五萬分之一地質圖，確定各調查位置所屬的地質地層種類。

經整合後，本研究調查範圍，涵蓋台灣中、北部之西部麓山帶與雪山山脈地質分區，其中西部麓山帶佔 102 處調查點(18 個不同地層)，雪山山脈佔 39 處調查點(7 個不同地層)，其他沖積層(或堆積層、河階地)佔 13 處調查點，如圖 8 所示。在全部調查位置中，有 91.56%(141 處)涵蓋於第三紀的地層，而另有 8.44%(13 處)的調查位置於沖積層(或堆積層、河階地)。

表 3 為調查結果整理(刪除沖積層或階(盆)地堆積層)之統計表，位於中新世的地層(如南莊層等)佔最多調查數量(68.09%)，而漸新世(佔 12.06%)地層則次之。

表 2 各流域調查結果概況一覽

項目	單位(流域)	鳳 嶺 各 流 域					合計	平均值 (公尺)	標準差	變異數	
		山溪	前溪	港溪	龍溪	烏溪					
坡度範圍 (數量)	0-20 度	0	1	9	6	1	17	11.04%	13.00	4.80	23.00
	20-29 度	4	4	8	4	9	29	18.83%	23.86	2.95	8.71
	30-39 度	4	19	6	8	12	49	31.82%	33.65	2.73	7.44
	40-49 度	6	15	1	3	17	42	27.27%	44.19	3.05	9.33
	50-59 度	0	11	0	2	3	16	10.39%	53.50	2.80	7.87
	60-69 度	0	0	0	0	1	1	0.65%	-----	-----	-----
	合計	14	50	24	23	43	154	100%	-----	-----	-----
土壤厚度 (數量)	1 公尺以下	8	43	21	23	28	123	79.87%	0.42	0.21	0.04
	1.1-2 公尺	3	6	2	0	3	14	9.09%	1.48	0.31	0.10
	2.1-3 公尺	2	1	0	0	4	7	4.55%	2.59	0.31	0.09
	3.1-4 公尺	1	0	1	0	6	8	5.19%	3.68	0.30	0.09
	4.1-5 公尺	0	0	0	0	2	2	1.30%	4.75	0.21	0.05
	合計	14	50	24	23	43	154	100%	-----	-----	-----

表 3 各地質時代與調查結果統計表

地質時代		調查數量	調查項目	最大值 (公尺)	最小值 (公尺)	平均值 (公尺)	標準差	變異數
第三紀	上新世	10 處	坡度	44.0	10.0	29.9	10.42	108.54
			土壤厚度	3.2	0.2	1.0	1.00	1.00
	中新世	96 處	坡度	58.0	5.0	33.3	12.06	145.54
			土壤厚度	4.0	0.1	0.7	0.78	0.60
	漸新世	17 處	坡度	57.0	27.0	43.4	8.58	73.62
			土壤厚度	4.0	0.2	1.0	1.16	1.35
	始新世(晚期) - 漸新世(早期)	8 處	坡度	47.0	26.0	33.5	8.45	71.43
			土壤厚度	4.9	0.2	1.3	1.64	2.70
	始新世	10 處	坡度	61.0	21.0	43.9	11.32	128.10
			土壤厚度	4.6	0.3	1.6	1.56	2.43

註：上述未含 13 處沖(堆)積層資料

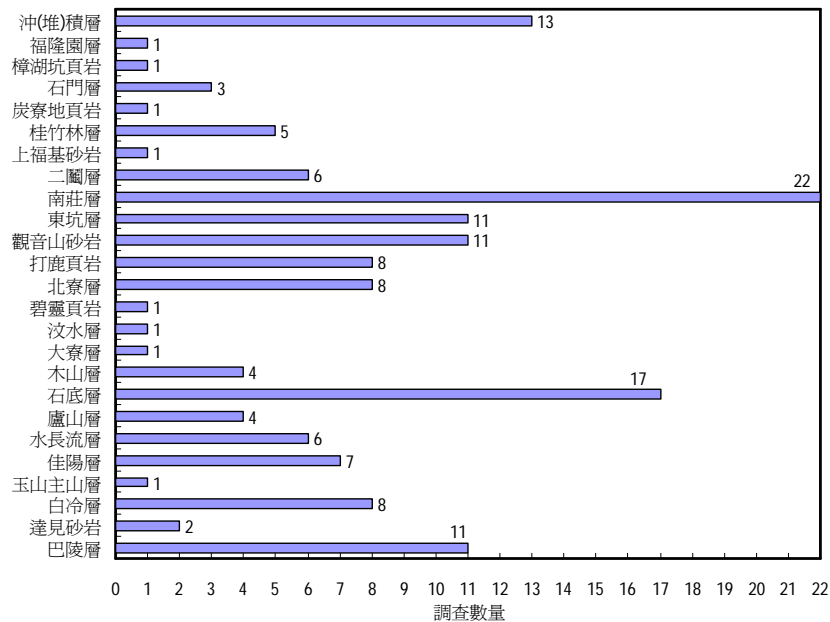


圖 8 雪山山脈(中新世中期前)各地層調查數量圖

四、土壤厚度與坡度之關係建立

本研究分析方法之建立，首先對現地調查土壤厚度依坡度條件加以篩選，並用回歸計算方式分析。

在分析資料中，土壤厚度一律採用現地調查之記錄。坡度資料，本研究嘗試使用兩種方式計算，一是透過現地調查獲得；二是由 5;5 公尺數值高程模型 (DEM) 搭配 ArcGIS-3D 空間分析程式獲得，其中現地調查與使用 DEM 計算坡度之差異如表 4 所示。本研究將分析土壤厚度對現地坡度、DEM 坡度之關係，以比較二者間之優劣性。

表 4 現地坡度、DEM 計算坡度之優、缺點比較

坡度量測方法	優點	缺點
現地調查坡度	現地真實資料 直接量測取得	量測位置對坡度會造成視角誤差 須在現地取得資料
DEM 計算坡度[13]	精度可隨 DEM 網格縮小而相對提高 資料取得容易 作業可自動化	較難展示地形特徵點 坡度為平均坡度 分佈態勢較不連續 與實際情況差異大 較適用於坡向分析

最後分析台灣整體地勢走向與土壤厚度的關係，以二度分帶坐標之 X、Y 軸，分別對土壤厚度之分布狀況做一整體分析。

4.1 分析方法

根據 Delmonaco 等人[3]、Salciarini 等人[14]及鍾欣翰[10]等的研究指出，土壤厚度與坡度之關係，呈現指數遞減之關係，意即坡度愈陡、土壤厚度愈薄。故本研究綜合各文獻採用之方法，將依據下列方式進行土壤厚度與坡度關係建立。

首先，針對調查資料進行篩選，方式如下：

- (1)考慮土石崩塌堆積與土壤之摩擦角及安息角等因素，坡度低於 20 度以下之資料不予計算。
- (2)參照 Khazai 等人[15]、Delmonaco 等人[3]以及 Salciarini 等人[14]等研究結果，對於土壤存在於坡度之厚度過大，則推論屬早期崩積堆置之情形，資料不予計算。坡度 20~29 度，土壤厚度大於 2.0 公尺，坡度 30~39 度，土壤厚度大於 1.5 公尺；坡度 40~49 度，土壤厚度大於 1.0 公尺。
- (3)相同坡度者取土壤厚度大值。

完成資料篩選後，採用回歸分析，相關公式如下：

$$SS_{Tot} = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad \text{式(1)}$$

$$SS_{err} = \sum (y_i - \omega_i)^2 \quad \text{式(2)}$$

$$R^2 = 1 - (SS_{err} / SS_{Tot}) \quad \text{式(3)}$$

其中

y_i ：現地調查土壤厚度值

\bar{y} ：現地調查土壤厚度平均值

ω_i ：回歸計算土壤厚度值

R^2 ：相關係數

SS_{Tot} ：總變異平方和(total sum of squares.)

SS_{err} ：總差異平方和(total squared error.)

回歸曲線公式以 $\ln Y = a + bX$ 方式表示(Y 為土壤厚度，X 為坡度，a、b 為公式參數)。

4.2 土壤厚度與坡度之關係

本研究於現地調查中取得坡度資料，將調查位置之坐標資料，套入 GIS 軟體並結合 DEM 之 5;5 公尺網格計算，最終獲得不同的坡度值。在以下各項分析中，將建立土壤厚度個別對現地坡度、DEM 坡度之分析，比較二者間之優劣。分析類型有：(1)各流域土壤厚度與現地坡度、DEM 坡度分析，(2)各地質時代土壤厚度與現地坡度、DEM 坡度分析，(3)調查區域整體分析；整合上述各類型分析並做一綜合討論。

4.2.1 各流域土壤厚度與現地坡度、DEM 坡度分析

本研究調查各流域的土壤厚度與坡度關係之分析結果，如圖 9、圖 10 及表 5 所示。

從圖 9 中可看出，各流域之土壤厚度與現地坡度回歸曲線較分散，而圖 10 中的各流域回歸曲線則較集中，且曲線趨勢具一致性，而中港溪、後龍溪流域的回歸曲線幾乎有重疊之狀況。由表 5 的相關係數(R^2)顯示土壤厚度對 DEM 計算坡度之分析，在各流域之分析均有較佳之結果。

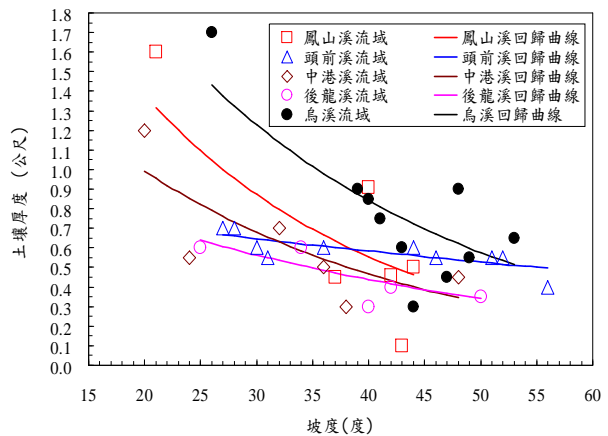


圖 9 各流域土壤厚度與現地坡度之回歸曲線圖

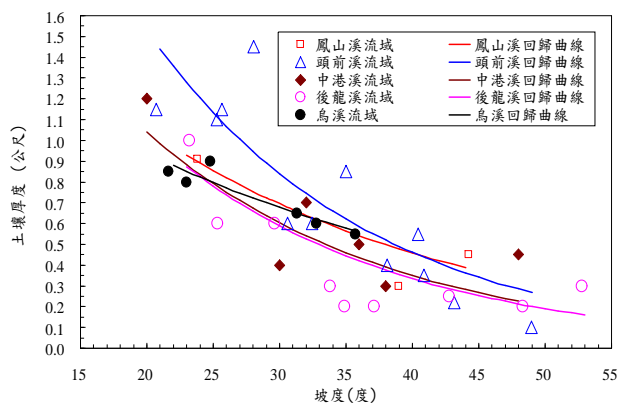


圖 10 各流域土壤厚度與 DEM 坡度之回歸曲線圖

4.2.2 各地質時代土壤厚度與現地坡度、DEM 坡度分析

本項分析針對調查區域中，依不同地質時代做個別分析，如圖 11、圖 12 及表 6 所示。分析過程中發現，始新世晚期至漸新世早期的地層(白冷層)因調查資料不足而無法計算，而在圖 11、圖 12 中的回歸曲線分布情形，DEM 坡度之分布較為集中，中新世與

表 5 各流域土壤厚度與現地坡度、DEM 計算坡度之計算結果

坡度類型	調查範圍	調查數量	篩選數量	計算數量	土壤厚度平均值(公尺)	標準差	變異數	計算坡度範圍	回歸方程式	關係係數 (R)
現地坡度	鳳山溪	14	9	6	0.67	0.5232	0.2738	21°~44°	$\ln Y = 1.2300 - 0.0455 X$	0.7134
	頭前溪	50	22	10	0.58	0.0856	0.0073	24°~58°	$\ln Y = -0.1295 - 0.0102 X$	0.6100
	中港溪	24	11	6	0.62	0.3141	0.0987	20°~48°	$\ln Y = 0.7462 - 0.0377 X$	0.6072
	後龍溪	23	11	5	0.45	0.1414	0.0200	20°~50°	$\ln Y = 0.1797 - 0.0252 X$	0.6367
	烏溪	43	19	10	0.77	0.3830	0.1467	21°~53°	$\ln Y = 1.3416 - 0.0378 X$	0.6848
DEM坡度	鳳山溪	14	4	3	0.55	0.3179	0.1010	23°~44°	$\ln Y = 0.8760 - 0.0413 X$	0.8200
	頭前溪	50	18	12	0.71	0.4258	0.1813	21°~49°	$\ln Y = 1.6223 - 0.0599 X$	0.7208
	中港溪	24	11	6	0.59	0.3262	0.1064	20°~48°	$\ln Y = 1.1255 - 0.0543 X$	0.7101
	後龍溪	23	12	9	0.41	0.2744	0.0753	23°~43°	$\ln Y = 1.1594 - 0.0563 X$	0.6732
	烏溪	43	8	6	0.73	0.1440	0.0208	22°~36°	$\ln Y = 0.5827 - 0.0324 X$	0.8621

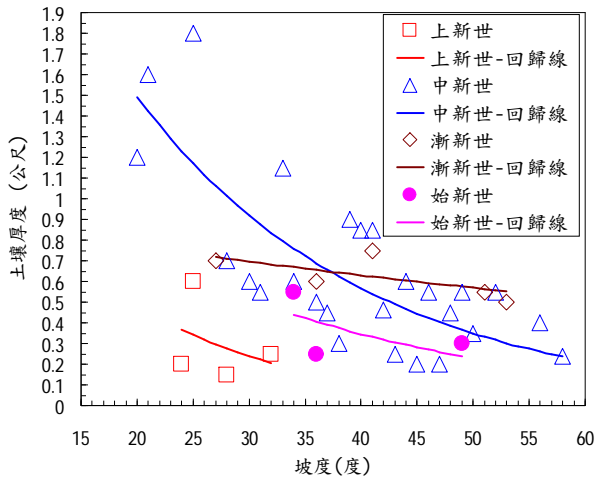


圖 11 各地質時代土壤厚度與現地坡度之回歸曲線圖

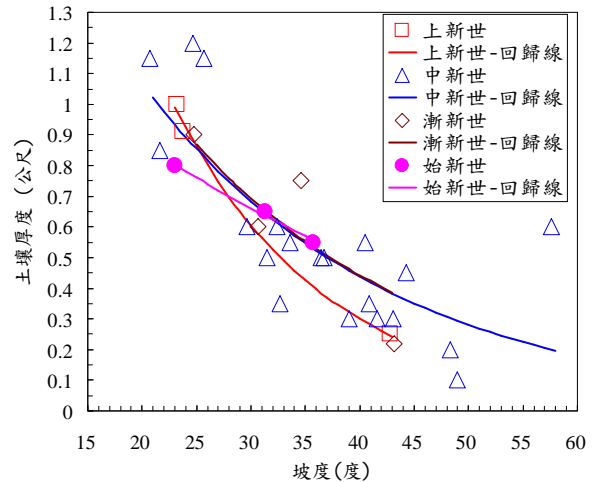


圖 12 各地質時代土壤厚度與DEM坡度之回歸曲線圖

表 6 各地質時代土壤厚度與現地坡度、DEM 計算坡度之計算結果

坡度類型	調查範圍	調查數量	篩選數量	計算數量	土壤厚度平均值(公尺)	標準差	變異數	計算坡度範圍	回歸方程式	關係係數 (R)
現地坡度	上新世	10	7	4	0.30	0.2041	0.0417	24°~32°	$\ln Y = 0.7269 - 0.0719 X$	0.1018
	中新世	96	34	26	0.65	0.4058	0.1647	20°~58°	$\ln Y = 1.3692 - 0.0484 X$	0.58
	漸新世	17	11	5	0.62	0.1037	0.0108	27°~53°	$\ln Y = -0.0582 - 0.0101 X$	0.4797
	始新世-漸新世	8	4	0	----	----	----	----	----	----
	始新世	10	6	3	0.37	0.1607	0.0258	34°~49°	$\ln Y = 0.5621 - 0.0407 X$	0.2252
DEM坡度	上新世	10	3	3	0.72	0.4095	0.1677	23°~43°	$\ln Y = 1.6062 - 0.0702 X$	0.9988
	中新世	96	27	20	0.56	0.3120	0.0973	21°~58°	$\ln Y = 0.9567 - 0.0446 X$	0.6633
	漸新世	17	7	4	0.62	0.2919	0.0852	25°~43°	$\ln Y = 0.9809 - 0.0449 X$	0.7347
	始新世-漸新世	8	1	0	----	----	----	----	----	----
	始新世	10	5	3	0.67	0.1258	0.0158	23°~36°	$\ln Y = 0.4307 - 0.0282 X$	0.9888

漸新世的回歸曲線幾乎重疊。表 6 中，在上新世、始新世之 DEM 坡度的分析結果，相關係數(R^2)非常高係因計算資料僅有 3 筆，而且資料點分布恰接近回歸曲線，雖然相對於現地坡度之分析資料也有過少之因素，但相關係數(R^2)的結果卻遠低於 DEM 坡度的結果，又比較回歸曲線圖之資料分布，顯得分散。由此可得知，DEM 坡度對於土壤厚度的回歸曲線建立，可獲得較佳之結果。

4.2.3 調查區域整體分析

將所有分析資料依據前述分析方法，重新進行篩選、計算，所得結果如圖 13、表 7 所示。

在圖 13 中顯示，現地坡度與 DEM 坡度二者之曲線近似平行，但現地坡度之曲線位置高於 DEM 坡度之曲線約有 15~40 公分，顯示 DEM 計算所獲得坡度較現地調查坡度為低，二者之相關係數仍以 DEM 坡度之回歸曲線有較佳之分析結果。

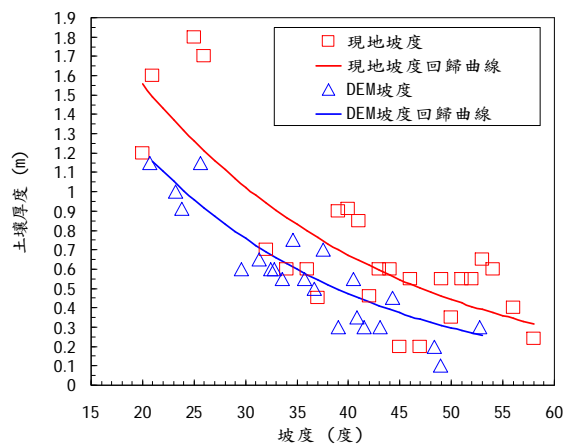


圖 13 調查區域土壤厚度與現地坡度、DEM 坡度之回歸曲線圖

4.3 地勢走向與土壤厚度之關係分析

台灣地形的大致分布，以中央脊樑山脈為主軸，約呈東北至西南走向，主軸兩側分別呈一斜面至海。本調查進行之區域均位於中央脊樑山脈主軸的西向側面。西至台灣海峽起，逐漸向東之地形分別為沉積平原帶、西部麓山帶與高山帶等三大地形分區，所以本調查多集中在台灣西部之麓山帶與高山地帶範圍。

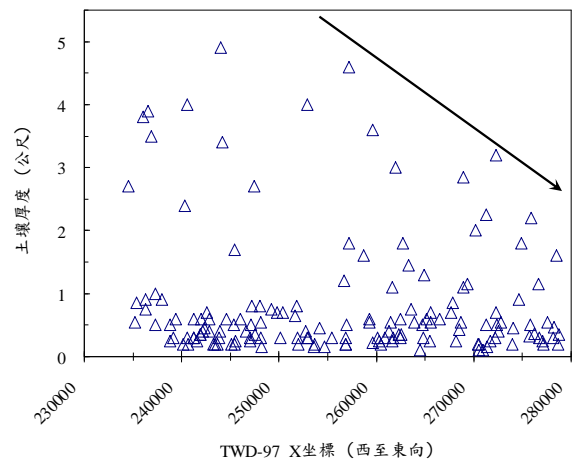


圖 15 地勢走向 西至東向與土壤厚度關係對照

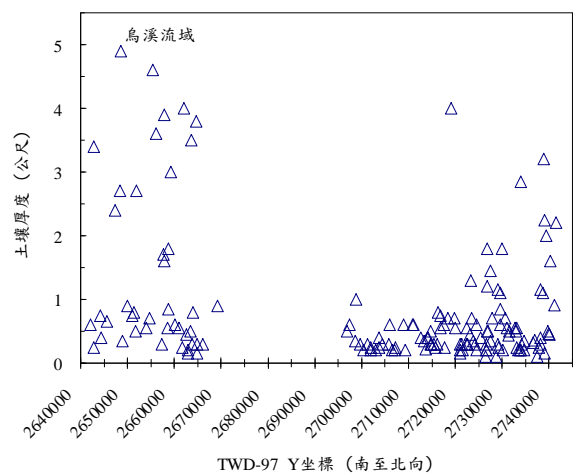


圖 16 地勢走向 南至東向與土壤厚度關係對照

基於上述理由，以台灣二度分帶之 X、Y 軸記錄與土壤厚度帶入散佈圖分析，其結果詳如圖 15、圖 16 所示。由圖 15 顯示，如不考慮土壤厚度在 1 公尺以下的資料點，則由西向東之土壤厚度有漸薄之趨勢。

在圖 16 所顯示烏河流域之南北向與土壤厚度之分析結果，呈現由南向北之土壤厚度漸薄之趨勢；依據圖 5 所示之調查位置，烏河流域的調查位置，全部圍繞在埔里盆地周圍(中寮鄉、國姓鄉、魚池鄉及仁愛鄉等)山區所進行之調查，其南北向之分析結果有土壤漸薄之趨勢只是恰巧吻合而已。

表 7 調查區域整體土壤厚度與現地坡度、DEM 計算坡度之計算結果

坡度類型	調查範圍	調查數量	篩選數量	計算數量	土壤厚度平均值(公尺)	標準差	變異數	計算坡度範圍	回歸方程式	關係係數 (R^2)
現地坡度	五流域	154	38	25	0.71	0.4359	0.1900	20‰~58‰	$\ln Y = 1.2801 - 0.0419 X$	0.7016
DEM 坡度	五流域	154	25	22	0.57	0.2887	0.0833	21‰~53‰	$\ln Y = 1.1364 - 0.0471 X$	0.8182

五、結論

本研究現地調查作業，於鳳山溪、頭前溪、中港溪、後龍溪、烏溪等五處河川流域之上游集水區進行，位於西部麓山帶與雪山山脈地質區，共執行 154 處之土壤厚度調查，綜觀研究分析結果如下：

- (1) 本研究為台灣廣域山區土壤厚度與坡度之關聯性的初步探討，根據相關文獻指出，坡度與土壤厚度之間，存在線性遞減之特性關係，以統計回歸方法推估土壤厚度，結果以 DEM-5_i 5 公尺網格分析坡度對土壤厚度之特性關係有最佳結果，且利用 DEM 計算所獲得坡度較現地調查坡度為低，造成 DEM 坡度推估的回歸方程式計算結果較保守，低於現地調查之推估土壤厚度。
- (2) 由本研究調查資料顯示，對台灣西半部之地勢走向分析，發現土壤厚度由西向東(至雪山山脈與中央脊樑山脈形成之軸線)，確實有漸薄之趨勢。
- (3) 在調查區域地質方面，由西向東方向涵蓋西部麓山帶之北部、中北部及中部與雪山山脈之地層，地質時代概括第三紀地層，各地層之土壤厚度與坡度特性關係之分析結果僅供參考。
- (4) 本研究分析結果可做廣泛運用，例如配合遙測與影像處理等技術，直接用於邊坡災害之潛勢評估與土砂輸出量之估算。如在現地調查進行過程中，規劃增加土壤之基本物性、粒徑分析等試驗項目，將有助於建置土壤分布圖，對於淺層地下水研究以及水文地質概念模型之建立，將有很大的注挹。

誌謝

本文承 經濟部中央地質調查所提供研究資料，特此銘謝。

參考文獻

- [1] Heimsath, A. M., Dirtrich, W. E., Nishiizumi, K., and Finkel, R.C., 'The soil production function and landscape equilibrium', *Nature*, Vol. 388, pp.358-361 (1997).
- [2] Heimsath, A. M., Dirtrich, W. E., Nishiizumi, K., and Finkel, R. C., 'Cosmogenic nuclides, topography, and the spatial variation of soil depth', *Geomorphology*, Vol. 27, pp.151-172 (1999).
- [3] Delmonaco, G., Leoni, G., Margottini, C., Puglisi, C., and Spizzichino, D., 'Large scale debris-flow hazard assessment: a geotechnical approach and GIS modeling', *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol.3, pp.443-455 (2003).
- [4] Ohnuki, Y., Kimhean, C., Shinomiya, Y., and Toriyama, J., 'Distribution and characteristics of soil thickness and effects upon water storage in forested areas of Cambodia', *Hydrological Processes*, Vol. 22, pp.1272-1280 (2008).
- [5] 台灣省政府農林廳山地農牧局，「平地土壤調查報告」台中南投」，台灣省政府農林廳山地農牧局編印(1976)。
- [6] 台灣省政府農林廳山地農牧局，「山坡地土壤調查報告」台中縣、市」，台灣省政府農林廳山地農牧

- 局編印(1985)。
- [7] 行政院農業委員會，「山坡地土壤調查報告」新竹縣」，台灣省政府農林廳山地農牧局編印(1983)。
- [8] 姜壽浩，徐美玲，「以局部穩定條件律定之邊坡土壤厚度估測模式」，*地理學報*，44 期，第 23-38 頁(2006)。
- [9] 楊孟衛、連惠邦、林秉賢，「斜面土體崩壞潛勢與土石流發生潛勢之相關研究-以南投縣水里鄉郡坑集水區(069)為例」，第六屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會論文集(2008)。
- [10] 鍾欣翰「考慮水文模式的地形穩定分析-以匹亞溪集水區為例」，碩士論文，國立中央大學應用地質研究所，桃園(2008)。
- [11] Soil Survey Division Staff, USDA, 'Soil Survey Manual', USDA, Agriculture Handbook 18, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C., U.S.A (1993).
- [12] USDA 網站，<http://www.mo15.nrcs.usda.gov/features/gallery/gallery.html>
- [13] 財團法人台灣營建研究院，「山坡地土地可利用限度查定作業」報告書，台北市政府建設局委託(2004)。
- [14] Salcirini, D., Godt, J. W., Savage, W. Z., Conversini, P., Baum, R. L., and Michael, J. A., 'Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy', *Landslides*, Vol. 3, pp.181-194 (2006).
- [15] Khazai, B., and Sitar, N., 'Assessment of Slope Stability Using GIS Modeling', *Geographic Information Sciences*, Vol. 6, No. 2, pp.121-128 (2000).