

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 地球科學科

(鄉土)教材獎

030506

泥岩沖刷與地形變化之分析探討

學校名稱：高雄市立阿蓮國民中學

作者： 國一 吳千右 國二 吳柏辰 國二 薛惠馨	指導老師： 曹 鎮
---	------------------

關鍵詞：泥岩沖刷、地形變化、降雨模擬

摘要

本報告研究降雨型態對泥岩的沖刷變化，以高雄田寮區之中寮山泥岩為研究主體，並使用立體模型取代傳統沖刷水槽，以模擬實際地形對沖刷之影響，再利用 Surfer 繪圖軟體繪製沖刷前後之地形變化，進行圖層之套疊與分析，即可完整呈現不同坡度與高程之沖刷差異。

由實驗結果歸納發現，高程越高處受到雨水打擊能量最強，沖刷也最嚴重；另外降雨強度高低對沖刷的影響是最大的，值得未來做更進一步的研究與討論。

一、前言

泥岩又稱青灰岩，主要由細粒的石英、伊萊石、綠泥石、碳酸鈣及少量的長石等礦物所組成，岩性大致均一；泥岩顆粒組成為黏土($<3.9\ \mu\text{m}$)佔 27~31%，粉砂($3.9\sim 62.5\ \mu\text{m}$)佔 42~49%，及砂粒($62.5\ \mu\text{m}\sim 2\text{mm}$)佔 20~31%，受礦物結構與顆粒大小影響，泥岩顆粒將會具有膠體之特性，即表面帶有負電荷，具有吸引土壤溶液中陽離子的能力，主要以 Na^+ 、 Mg^{2+} 為主，其次為 Ca^{2+} 、 K^+ 等離子。

由於泥岩帶電的特性，當遇到降雨沖刷時，往往溶化成泥漿而快速流失，造成水庫淤積與工程構造物的重大損失，因此有關泥岩沖刷的研究一直是相當重要課題，本報告的重點即為研究降雨、地形、以及泥岩沖刷三者之間的相關性。

二、研究動機

前些時候電視上播放「阿公店水庫」的介紹，提到台灣惡地形主要由泥岩層構成，分佈二仁溪以南的泥岩層稱為「古亭坑層」，厚度達數千公尺，是全台灣分佈範圍最廣，夾雜其他岩塊最少的泥岩層。每當強降雨時，泥岩受到雨水的沖蝕，逕流水夾帶著沖蝕土滲入到水庫不斷累積，導致阿公店水庫因泥沙淤積及水質優養化而停止民生用水功能，由於水庫就在學校附近，位於大崗山與中寮山的山腳下，而中寮山主要就是泥岩構成，不禁讓人好奇到底每年有多少泥岩被沖刷掉？也使我們決定進行這次的科展研究。

經過上網與圖書館找尋資料，發現有關沖刷實驗大多是使用沖刷水槽來模擬地形坡度，然而這麼做往往要做很多理想化的假設，有沒有辦法模擬出真實地形所造成的沖刷變化呢？為此我們請教學校的地科老師，嘗試在資優班的課程設計中寮山模型，並製作降雨模擬裝置，希望能進一步了解泥岩沖刷與地形坡度以及降雨型態的相關性。

三、研究目的

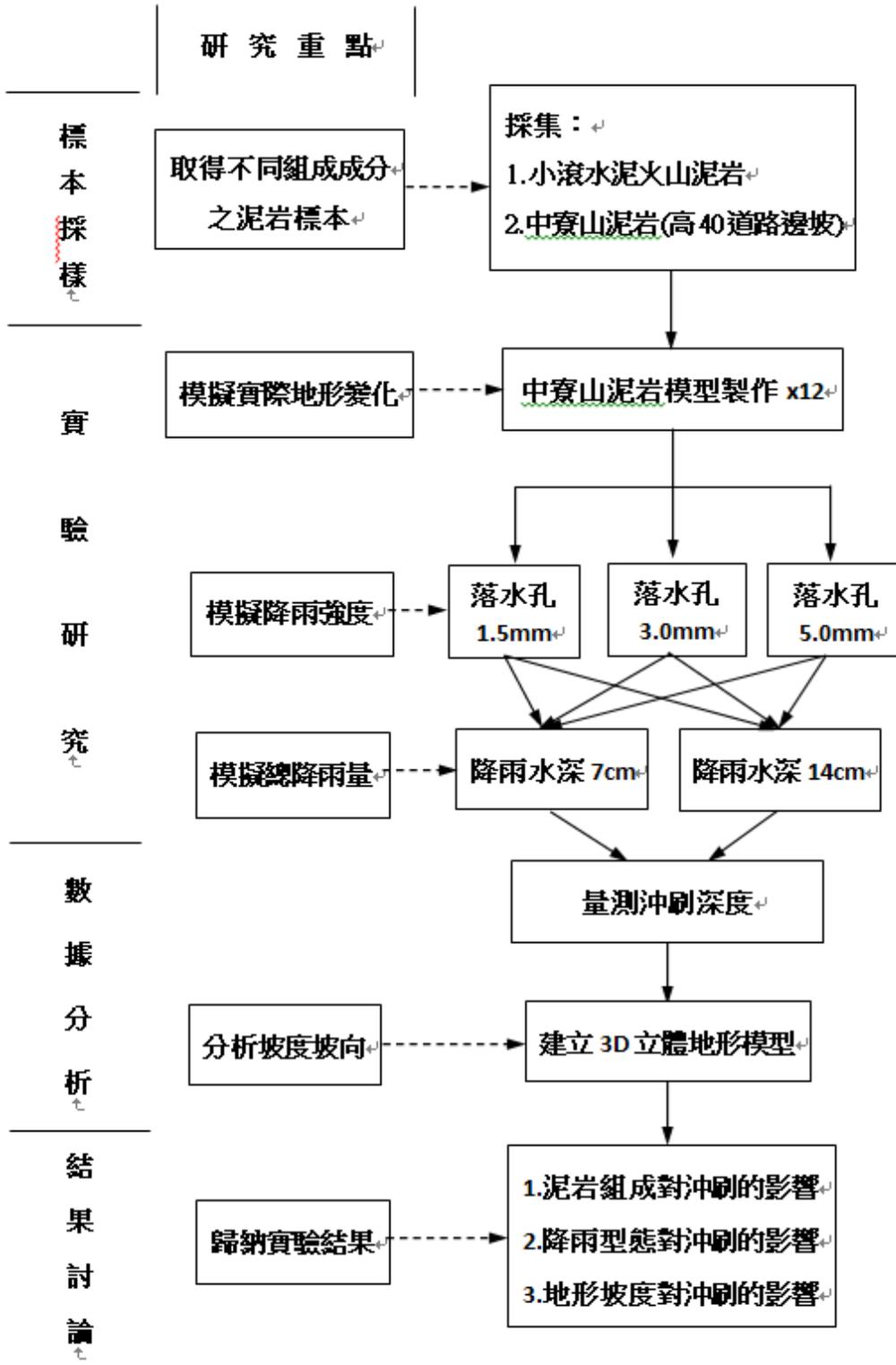
- 1.了解泥岩組成對沖刷的影響
- 2.了解降雨型態對沖刷的影響
- 3.了解地形坡度對沖刷的影響

四、研究設備器材

- 1.泥岩樣品x2 (採樣地點：小滾水、中寮山)
- 2.地質錘
- 3.游標尺
- 4.高雄中寮山地形圖(兩萬五千分之一)
- 5.描圖紙
- 6.珍珠板
- 7.保麗龍膠
- 8.美工刀
- 9.80cmx40cm 塑膠盆
- 10.降雨架(自製)
- 11.大頭針
- 12.壓克力顏料
- 13.Surfer 科學繪圖軟體

五、研究流程

我們的研究過程分為(一)標本採集、(二)實驗研究、(三)數據分析與(四)結果討論，搭配相關參考資料進行假設與驗證，最後得到符合科學的結論，詳細流程如下圖。



六、研究方法

1. 樣本採集：

本報告採樣地點共有兩處，分別是位於高雄市田寮區的小滾水泥火山，於此處採集純泥岩；另外在鄰近國道 3 號中寮山隧道之高 40 道路旁山坡上，於此處採集現地泥岩，採樣點位置請見圖一。

小滾水泥火山位於田寮崇德村，目前有兩個泥火山口，由於泥岩形成是深海沉積環境，泥岩中的有機質分解可產生瓦斯(CH_4)氣體，這些地底的氣體經過一定的時間累積後，形成巨大的壓力，這也是形成泥火山的動力來源(莊文星，2010)。

由於泥火山的泥漿是來自地底深處，比較沒有受到地表植生或其他物質的干擾，我們認為它是較接近原始成分的純泥岩(以下稱泥火山泥岩)，因此我們決定採取泥火山噴發之泥漿，作為沖刷實驗的純泥岩對照組。另外於高 40 道路邊坡採集之中寮山現地樣本(以下稱中寮山泥岩)，成分組成則是混合植物體有機物質加上長期地表風化，正好可以用來對比兩者之間的差異。

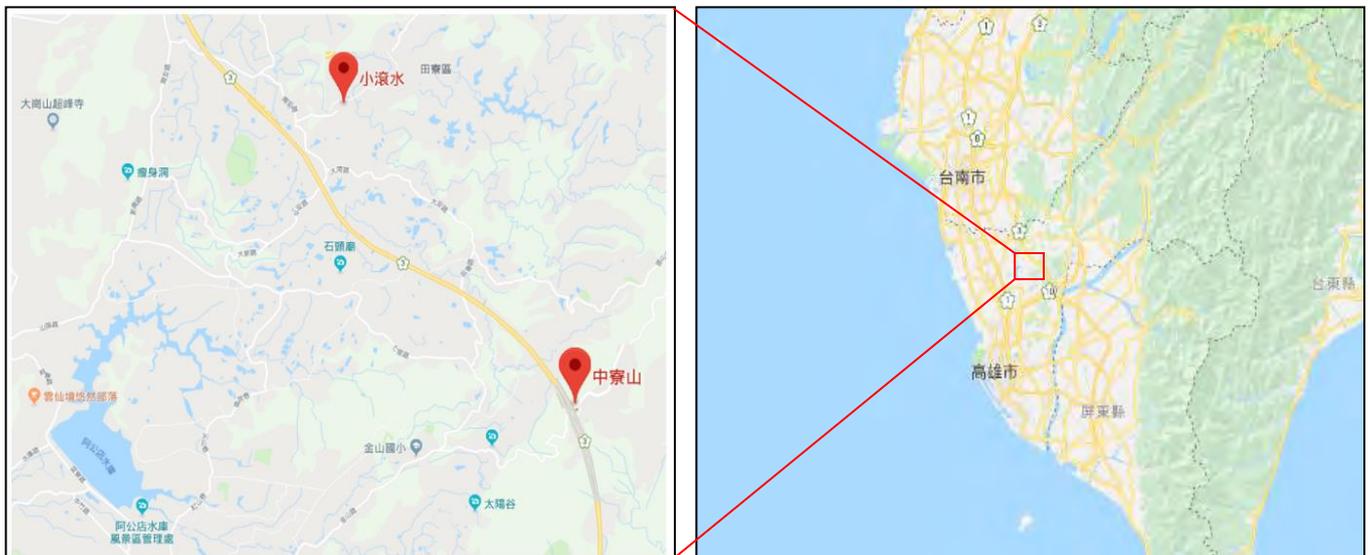


圖 1 採樣地點

我們將現場採得的泥岩樣本帶回實驗室中，撿除其中的枯枝落葉後，以重量比 2 : 1 加水製成具有可塑性之黏稠泥漿，以便進行後續的泥岩模型製作。



圖 2 採樣情形(左-小滾水泥火山 右-中寮山邊坡)

2. 泥岩模型製作：

為了讓沖刷實驗的模擬結果更貼近大自然的實際情況，我們捨棄傳統使用沖刷水槽的方式，改以真實的地形地貌加以呈現，為了達到此目的，我們決定使用縮小地形模型進行沖刷實驗，地點則採用同樣是青灰泥岩組成的中寮山脈，作為地形模型的製作參考。

我們先上內政部國土測繪中心網站，進入國土測繪圖資 e 商城，即可找到中寮山的圖資，然後點選→圖層清單→全台可套疊圖層→網路地圖服務→臺灣經建 3 版地形圖(兩萬五千分之一)，即可輸出中寮山之等高線圖。

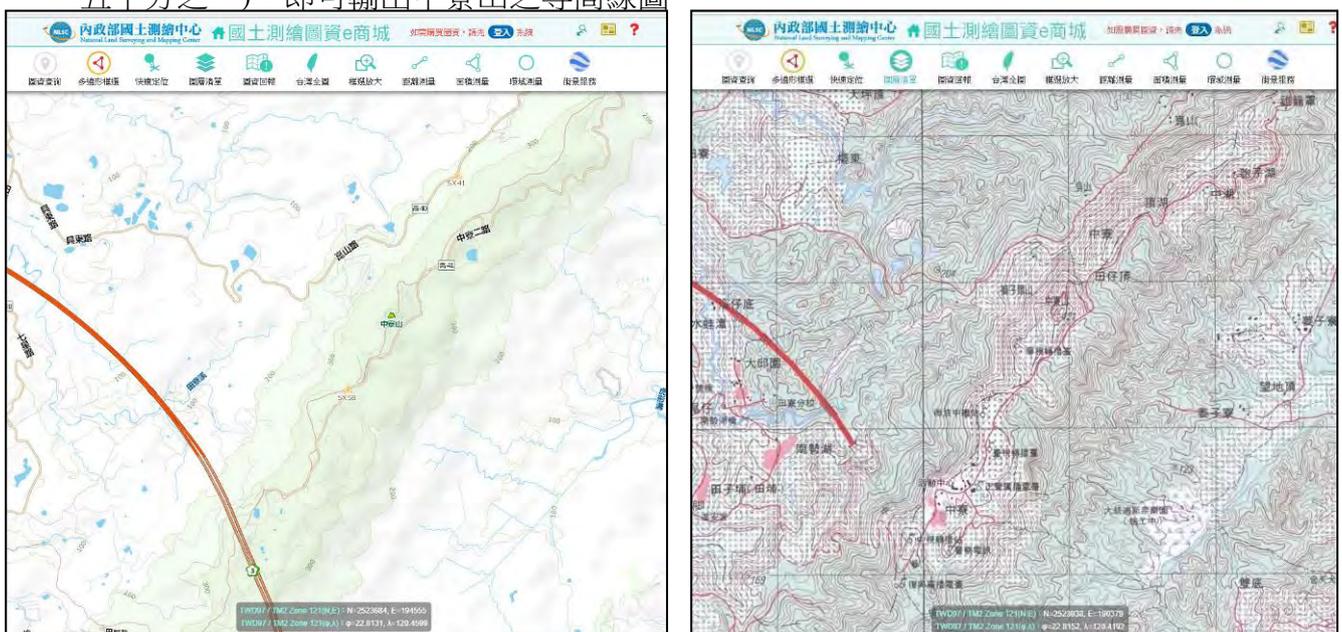


圖 3 中寮山地形及等高線圖

列印出兩萬五千分之一中寮山地形圖後，以人工進行圖幅接合，並以描圖紙描繪等高線，每 50 公尺間距繪製一條，由山頂描繪至海拔 100 公尺結束。為製作成立體模型，再將描繪之等高線轉換切割至厚度 2mm 之保麗龍珍珠板上，再將各高程之珍珠板黏合，即可完成中寮山之 3D 立體模型，包含陰模與陽模各一組。



圖 4 圖幅接合及描繪等高線過程



圖 5 切割珍珠板與 3D 立體模型建立過程

將泥岩製作之泥漿均勻塞入陰模中，上方平均放置總重量 2 公斤之砝碼進行壓密，靜置 2 天後脫模倒出，並且將泥漿填入階梯狀等高線間隙，使其平滑與原始地貌相符，為搭配後續沖刷實驗，以泥火山純泥岩製作 6 組，中寮山現地泥岩製作 6 組，共製作 3D 立體中寮山泥岩模型 12 組。



圖 6 脫模之泥岩與立體模型製作(左-泥火山純泥岩，右-中寮山現地泥岩)

小結：

- ◎我們發現製作出來的泥岩模型顏色有明顯差異，小滾水的純泥岩顏色較深呈灰色，而在中寮山現地採樣的泥岩則偏向土黃色，研判是因為中寮山坡面上有許多的植物，受到**長期的風化作用加上有機物質混入**，造成成份上的改變。
- ◎我們在製作泥漿時發現，中寮山現地採樣的泥岩加入水中會產生相當多氣泡，研判是因為其中有較多的孔隙，推論是受到風化或植物根系的影響所致，因此兩者除了顏色上的不同，還有**結構上的不同**。
- ◎由於本報告主要分析降雨強度與地形坡度對沖刷量的影響，因此有關孔隙上的差異在後續的實驗中就予以忽略。

3. 降雨沖刷模擬：

為進行降雨沖刷模擬，我們決定採用三個不同孔徑的落水盆，分別是孔徑(Ø)5mm、3mm、1.5mm，來模擬大中小三種不同的降雨強度；另外我們由參考文獻得知，沖刷量除了受到降雨強度影響外，還受到累積雨量的控制，因此我們在相同孔徑的落水盆中，設計 14cm 與 7cm 之降雨水深，來模擬總雨量的不同，步驟如下：

- a. 選定三個 80cm*40cm 的塑膠盆，間隔 3.5cm 鑽一個落水孔，每盆總計鑽孔 300 孔。
- b. 使用孔徑(Ø)5mm、3mm、1.5mm 分別代表三種不同降雨強度，分別搭配 14cm、7cm 兩種降雨水深，總共設計 6 種降雨型態。
- c. 再搭配純泥岩與現地泥岩兩種土壤，總計進行 12 組沖刷實驗。
- d. 實驗之前先進行雨量率定，分別採用上述 6 種降雨型態，使用碼表計時自開始降雨到結束所花費時間，即可率定模擬之降雨強度與累積雨量，如下表 1：

表 1 實驗模擬之降雨強度

降雨時間	1.5mm	3mm	5mm
7cm	255 秒	192 秒	165 秒
14cm	337 秒	238 秒	198 秒
降雨強度	1.5mm	3mm	5mm
7cm	16.5mm/min 988mm/h	21.9mm/min 1312mm/h	25.4mm/min 1527mm/h
14cm	24.9mm/min 1495mm/h	35.3mm/min 2117mm/h	42.4mm/min 2545mm/h

數值相近



圖 7 落水盆孔徑 5mm 製作過程

我們將 3 個落水盆，置於 150cm 高的降雨架上，搭配 6 種不同降雨型態，分為泥火山泥岩與中寮山泥岩兩組進行沖刷試驗，並且記錄比較其沖刷深度，如圖 8~19 所示。

第一組：泥火山泥岩



圖 8 落水孔 1.5mm 降雨水深 7cm



圖 9 落水孔 3mm 降雨水深 7cm



圖 10 落水孔 5mm 降雨水深 7cm



圖 11 落水孔 1.5mm 降雨水深 14cm



圖 12 落水孔 3mm 降雨水深 14cm



圖 13 落水孔 5mm 降雨水深 14cm

第二組：中寮山泥岩

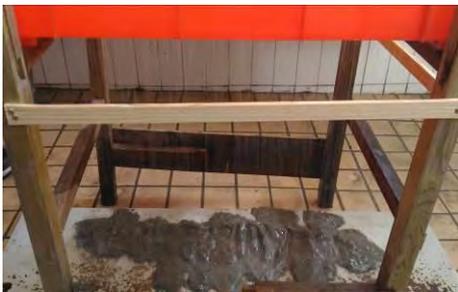


圖 14 落水孔 1.5mm 降雨水深 7cm

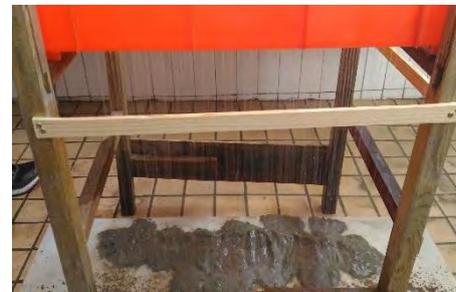


圖 15 落水孔 3mm 降雨水深 7cm



圖 16 落水孔 5mm 降雨水深 7cm



圖 17 落水孔 1.5mm 降雨水深 14cm

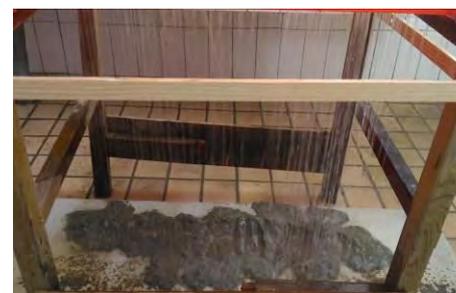


圖 18 落水孔 3mm 降雨水深 14cm

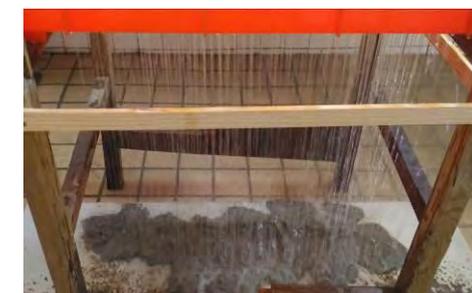


圖 19 落水孔 5mm 降雨水深 14cm

小結：

- ◎我們觀察到降雨強度越大(孔徑越大)，造成的沖刷量也越大，沖走的**泥水也越混濁**；而當總降雨量越大(水深越大)，其實泥水並沒有更混濁，主要是因為**沖刷的時間拉長**，才會造成最終的沖刷量也增加。
- ◎我們整理數據時意外發現，落水孔徑(Ø)5mm 搭配總雨量 7cm，與孔徑(Ø)1.5mm 搭配總雨量 14cm 這組，所計算的**降雨強度數值十分接近**，然而由後續沖刷實驗可發現前者的沖刷量大很多，顯示**雨滴大小**也是影響沖刷能量的重要因素。
- ◎表 1 中我們發現由降雨時間換算的降雨強度，明顯比**大自然的實際降雨強度偏高**，我們曾經嘗試降低降雨強度，但卻造成沖刷力量下降且沖刷量少到幾乎無法測量，因為本實驗採用的是**縮小模型**，要在有限的實驗時間內完成；並且得到可用游標尺量測的沖刷深度，我們只好**折衷採用**較高的降雨強度來進行實驗。

4. 3D 立體模型建模：

為了完整呈現沖刷後的整體地貌改變(包含坡度坡向)，傳統上使用 2D 的平面等高線表示坡度坡向，然而卻沒有辦法給人足夠的立體感覺；我們參考相關文獻後，決定採用 Surfer 軟體來建立中寮山的 3D 立體模型，以便後續分析研究，其建立步驟如下：

- a.在泥岩模型的地形特徵點，如稜線、河谷及坡度改變處建立量測點，以漆上黃漆的大頭針插入固定。
- b.使用描圖紙描繪地形圖上的經緯度座標，並加上細分格線以精密定出量測點座標。
- c.參考地形圖上等高線高程，即可求得量測點尚未沖刷前的初始高程值。
- d.將量測點的經度、緯度、高程值作為輸入 Surfer 軟體(x,y,z)值，即可完成 3D 立體模型繪圖。
- e.沖刷後用游標尺量測每根大頭針的深度，扣除沖刷前的大頭針的深度，即為土壤沖刷深度，按照比例即可換算回實際高程，輸入 Surfer 軟體建立模型。
- f.建模完成的 3D 模型由北往南分別產生 5 個橫剖面及 1 個縱剖面，2D 平面等高線圖，以及 3D 左側視圖(向西)與 3D 右側視圖(向東)，並套疊網格最大坡度方向，以便分析沖刷前後的地形變化，如圖 22~25 為沖刷前之原始地形圖。

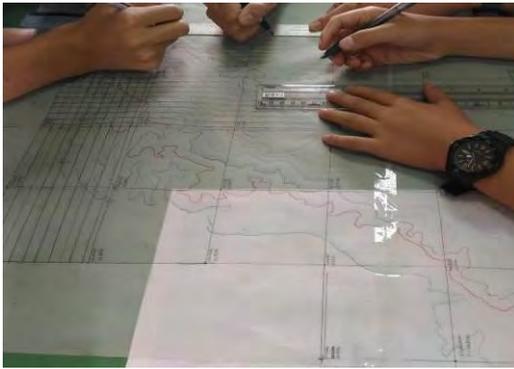


圖 20 描繪地形圖經緯度座標

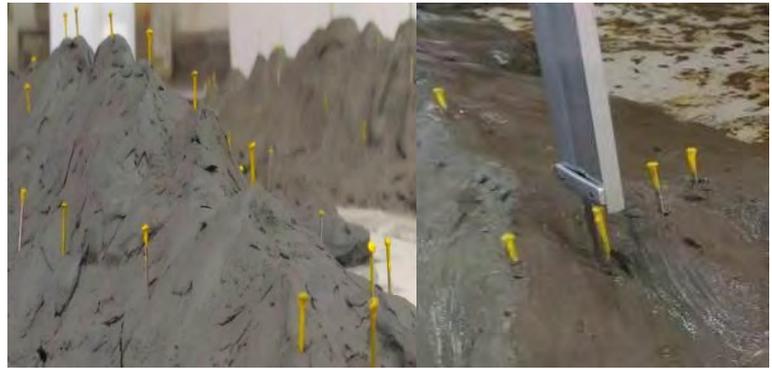


圖 21 使用游標尺量測沖刷深度變化的過程

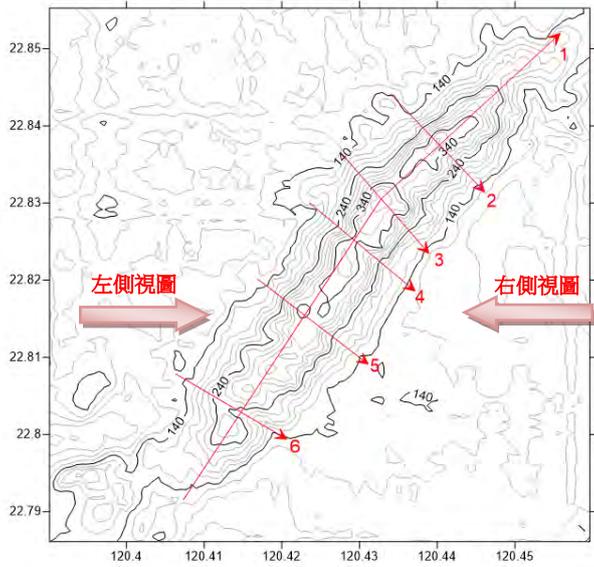


圖 22 沖刷前等高線分布圖

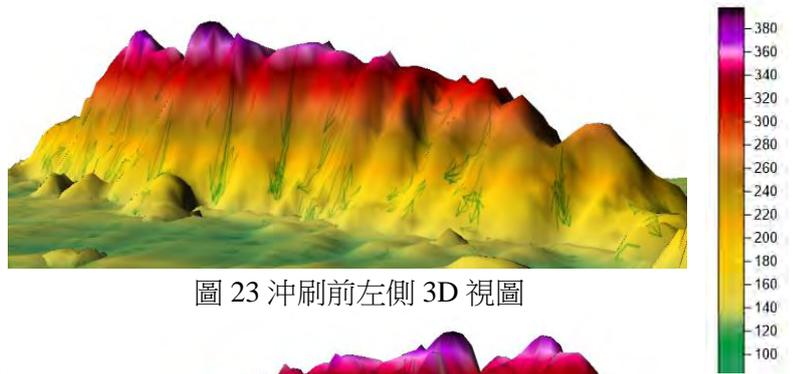


圖 23 沖刷前左側 3D 視圖

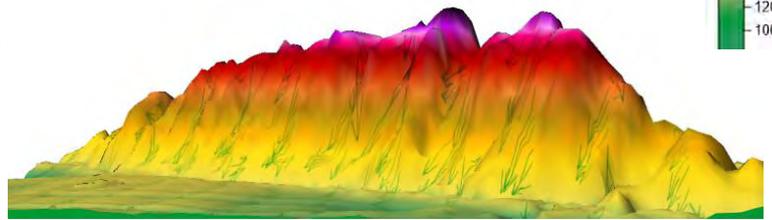


圖 24 沖刷前右側 3D 視圖

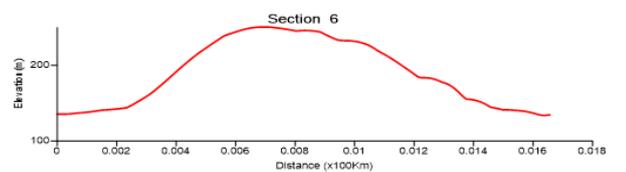
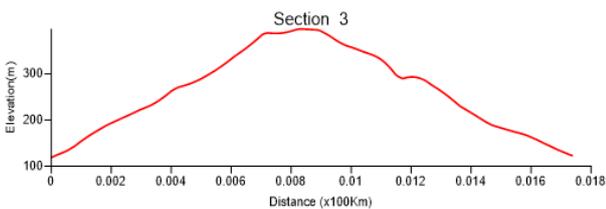
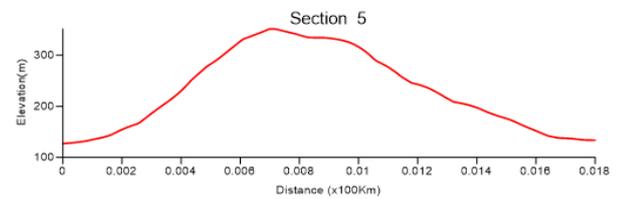
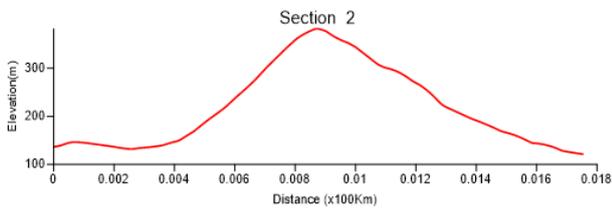
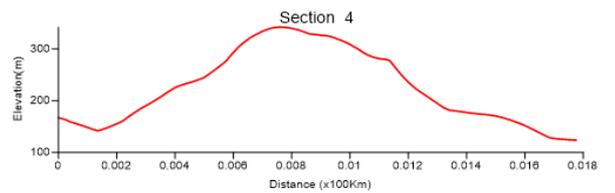
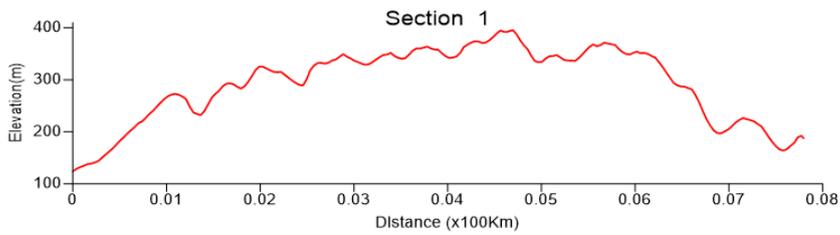


圖 25 沖刷前 1~6 號斷面地形剖面圖

七、結果與討論

我們在每次沖刷實驗之後立即進行量測，並將地形座標輸入 Surfer 軟體，即可建立 3D 立體模型，並且將相關圖形匯出，進行比對與套疊，歸納找出以下三個主題 1.沖刷與泥岩組成(泥火山泥岩、中寮山泥岩)的關係 2.沖刷與降雨型態(強度、總雨量)的關係 3.沖刷與地形(高程、坡度)的關係，以下分別由等高線圖形、3D 立體視圖、以及地形剖面線進行比對與套疊討論如下：

等高線圖：(泥火山泥岩沖刷)

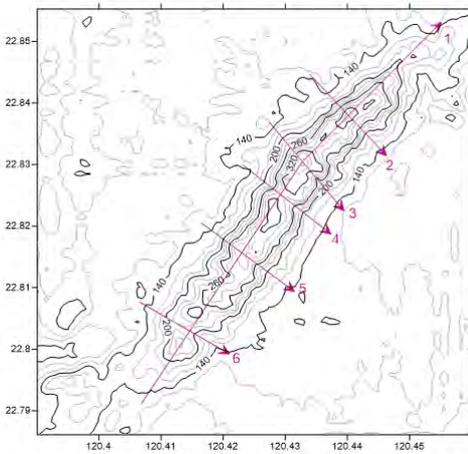


圖 26 等高線圖(Ø1.5mm×7cm)

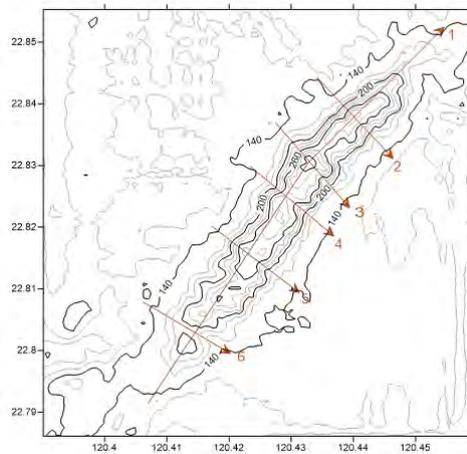


圖 27 等高線圖(Ø3mm×7cm)

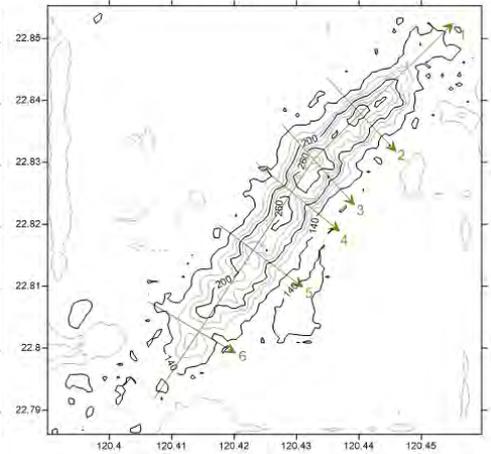


圖 28 等高線圖(Ø5mm×7cm)

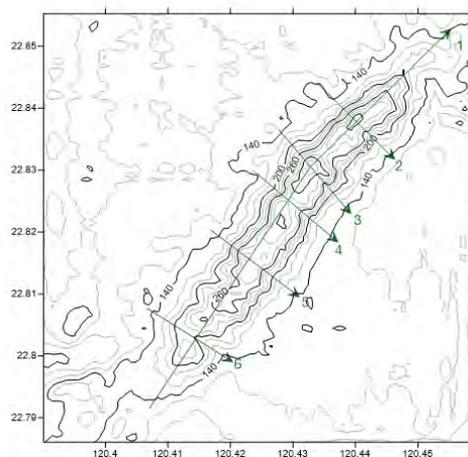


圖 29 等高線圖(Ø1.5mm×14cm)

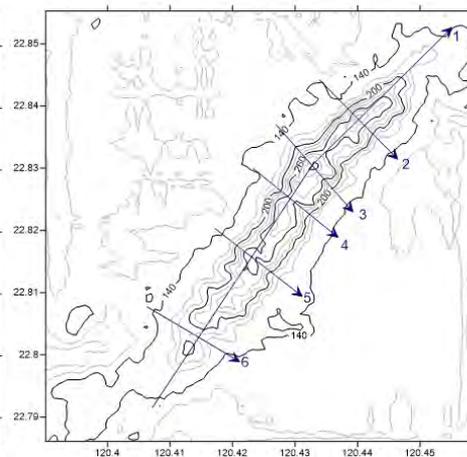


圖 30 等高線圖(Ø3mm×14cm)

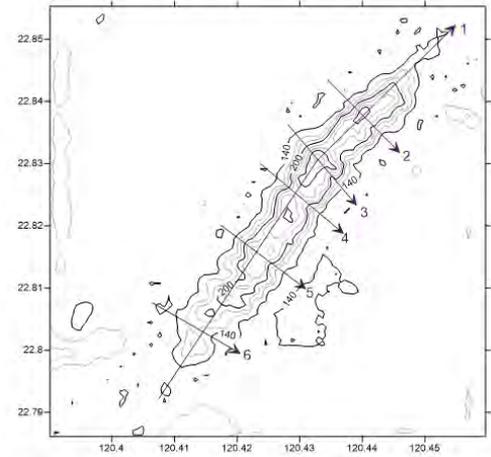


圖 31 等高線圖(Ø5mm×14cm)

等高線圖：(中寮山泥岩沖刷)

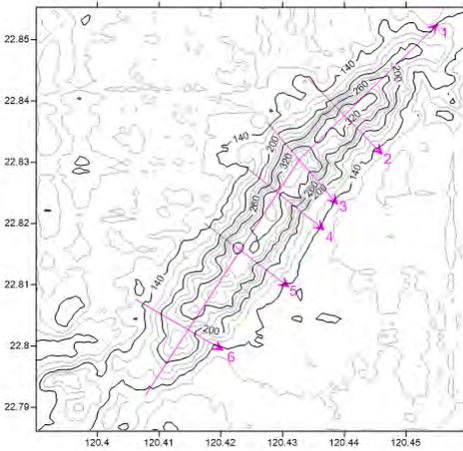


圖 32 等高線圖(Ø1.5mm×7cm)

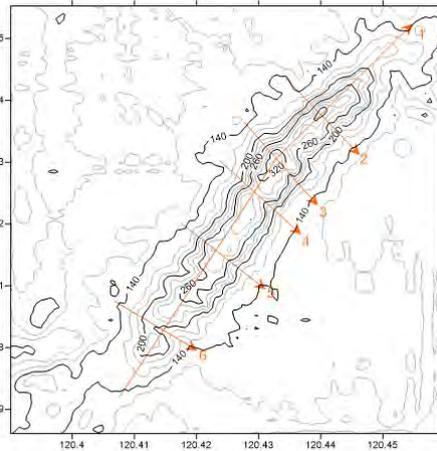


圖 33 等高線圖(Ø3mm×7cm)

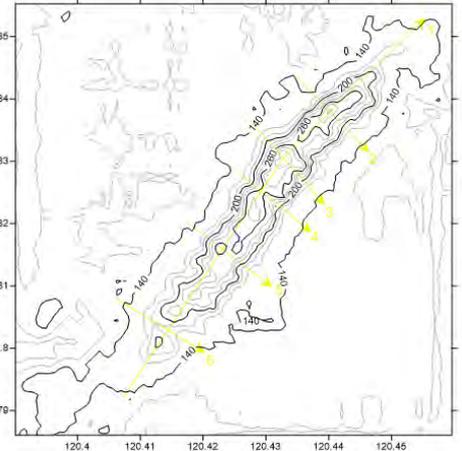


圖 34 等高線圖(Ø5mm×7cm)

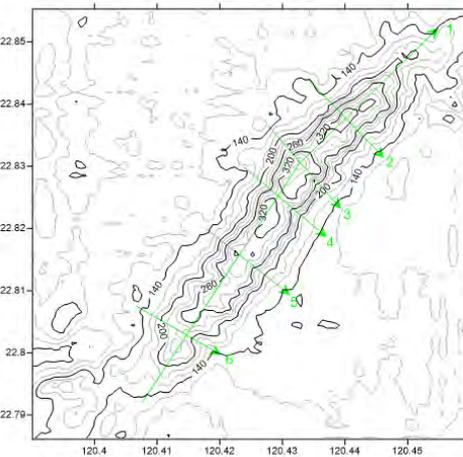


圖 35 等高線圖(Ø1.5mm×14cm)

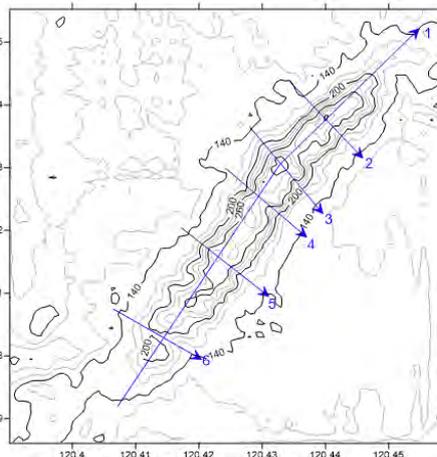


圖 36 等高線圖(Ø3mm×14cm)

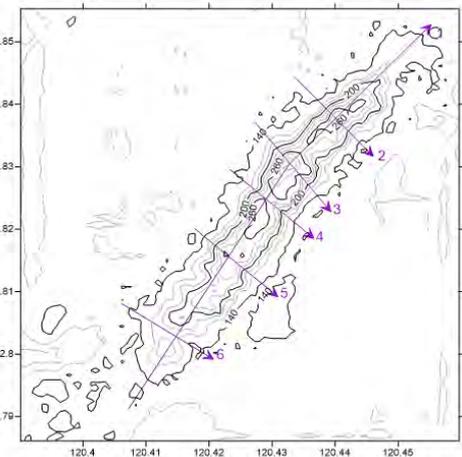


圖 37 等高線圖(Ø5mm×14cm)

小結：

- ◎在同樣的沖刷條件下，泥火山泥岩的等高線數值均低於中寮山泥岩，顯示**純泥岩抵抗沖蝕的能力較弱**，而影響沖蝕最大的因素還是**降雨強度**。
- ◎降雨強度越大(孔徑越大)，等高線變化越大，顯示對沖刷的影響也越大；而當總降雨量越大(水深越大)，等高線變化並不十分明顯，顯示**總降雨量對沖刷的影響低於降雨強度**對沖刷的影響。
- ◎由等高線之變化趨勢可以看出，高程越高的部分等高線變化越大，顯示**高程越高的區域受沖刷越劇烈**，而較低的區域則**沖刷趨緩甚至發生堆積**。

3D 立體視圖：(泥火山泥岩沖刷)

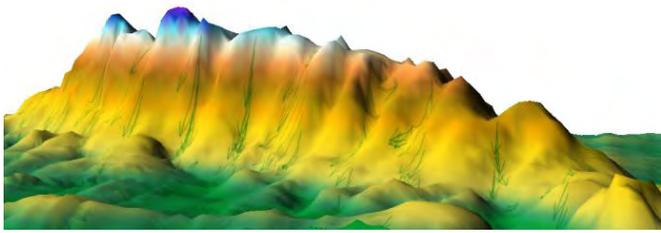


圖 38 立體左側視圖(Ø1.5mm×7cm)

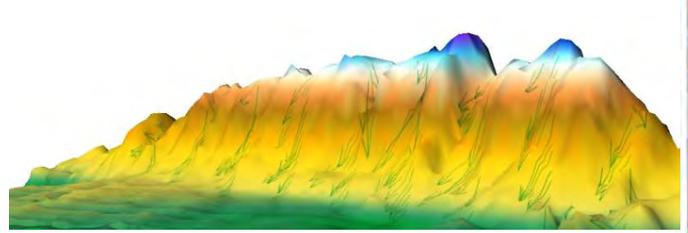


圖 39 立體右側視圖(Ø1.5mm×7cm)

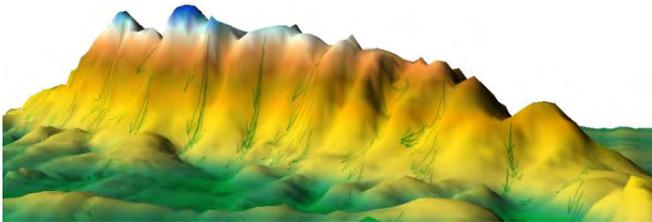


圖 40 立體左側視圖(Ø1.5mm×14cm)

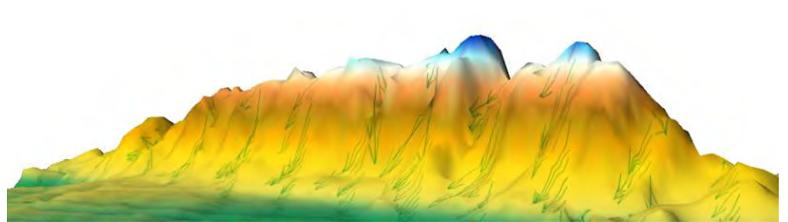


圖 41 立體右側視圖(Ø1.5mm×14cm)

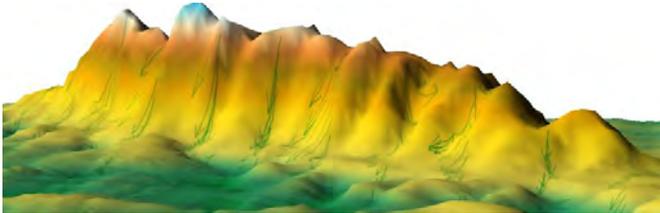


圖 42 立體左側視圖(Ø3mm×7cm)

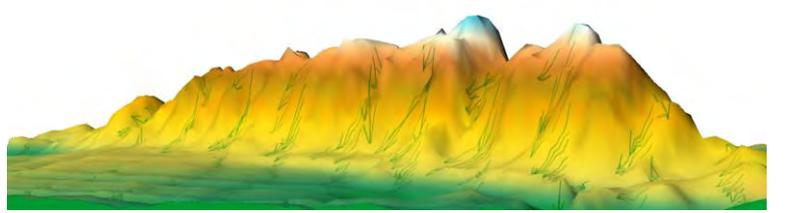


圖 43 立體右側視圖(Ø3mm×7cm)

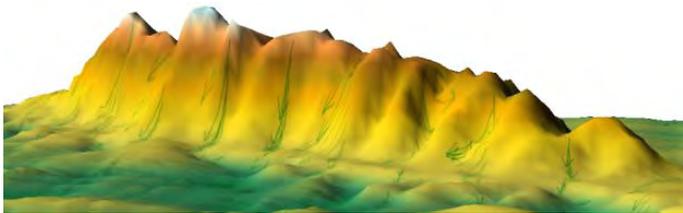


圖 44 立體左側視圖(Ø3mm×14cm)

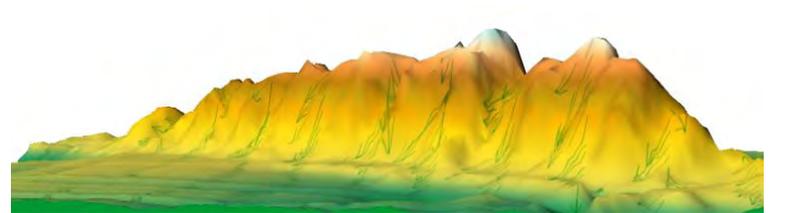


圖 45 立體右側視圖(Ø3mm×14cm)

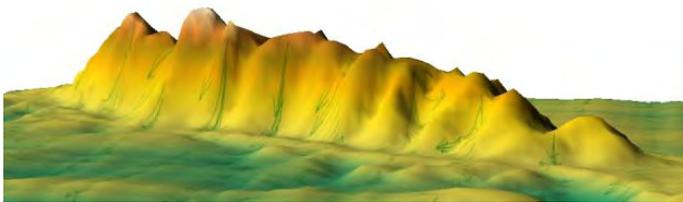


圖 46 立體左側視圖(Ø5mm×7cm)

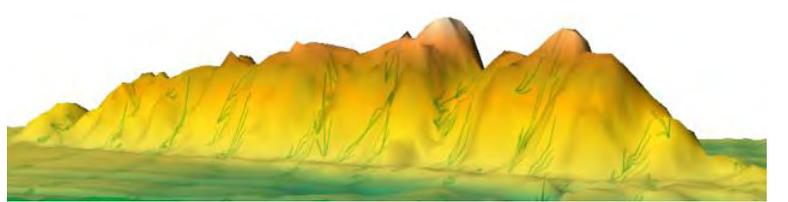


圖 47 立體右側視圖(Ø5mm×7cm)

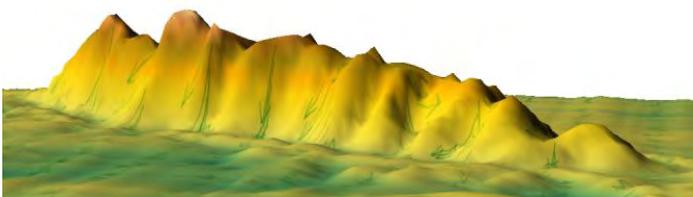


圖 48 立體左側視圖(Ø5mm×14cm)

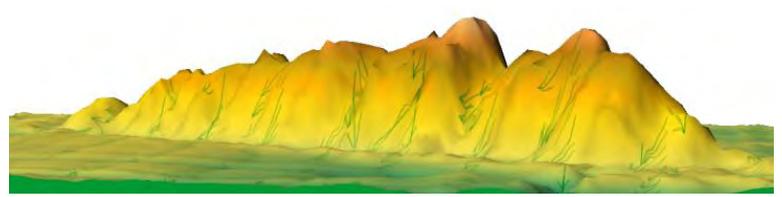


圖 49 立體右側視圖(Ø5mm×14cm)

3D 立體視圖：(中寮山泥岩沖刷)

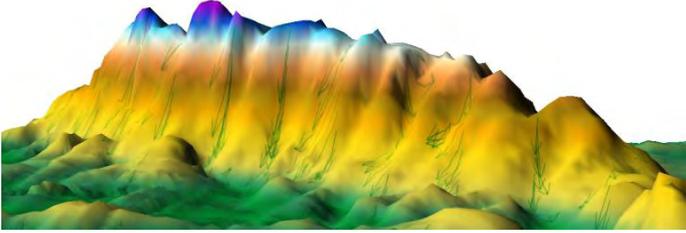


圖 50 立體左側視圖(Ø1.5mm×7cm)

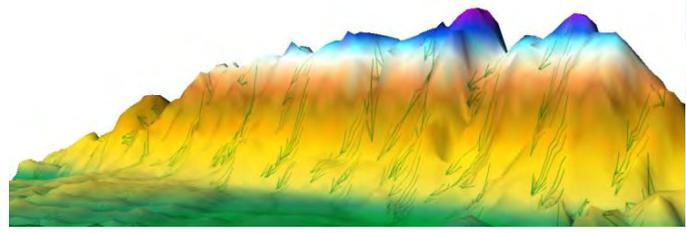


圖 51 立體右側視圖(Ø1.5mm×7cm)

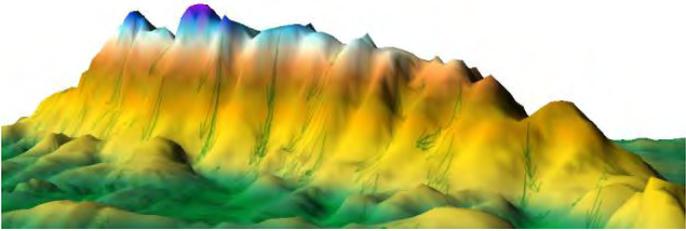
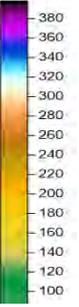


圖 52 立體左側視圖(Ø1.5mm×14cm)

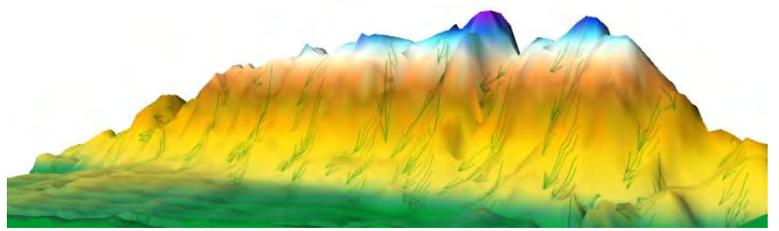


圖 53 立體右側視圖(Ø1.5mm×14cm)

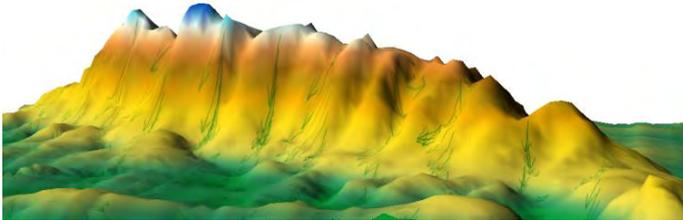


圖 54 立體左側視圖(Ø3mm×7cm)

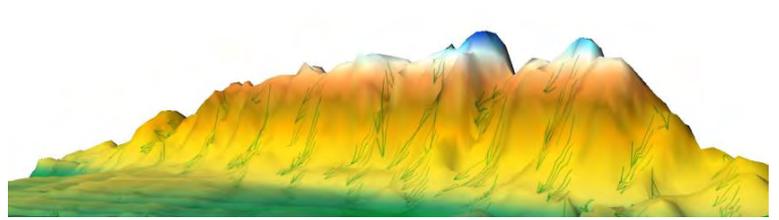


圖 55 立體右側視圖(Ø3mm×7cm)

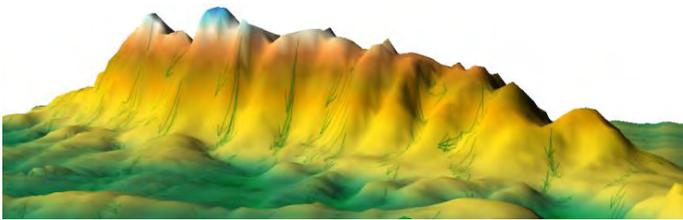


圖 56 立體左側視圖(Ø3mm×14cm)

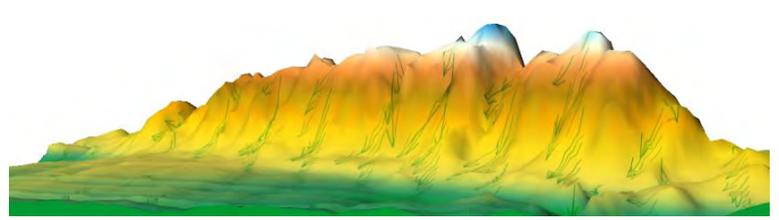


圖 57 立體右側視圖(Ø3mm×14cm)

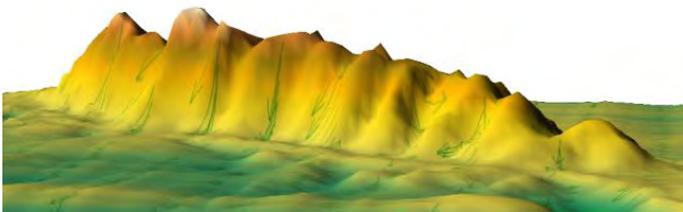


圖 58 立體左側視圖(Ø5mm×7cm)

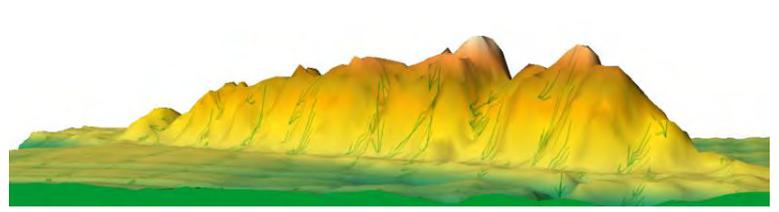


圖 59 立體右側視圖(Ø5mm×7cm)

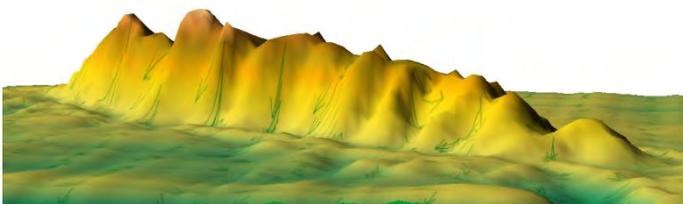


圖 60 立體左側視圖(Ø5mm×14cm)

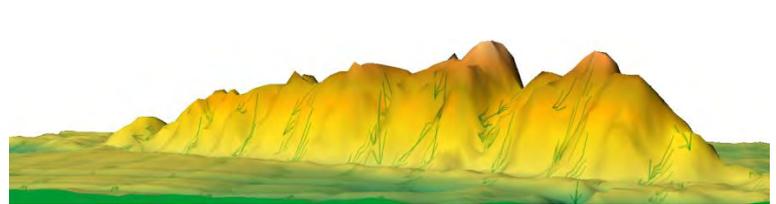


圖 61 立體右側視圖(Ø5mm×14cm)

小結：

- ◎在同樣的沖刷條件下，泥火山泥岩的高程色階均下降得比中寮山快，顯示純泥岩抵抗沖蝕的能力較弱，最明顯可看出影響沖蝕最大的因素還是降雨強度。
- ◎降雨強度越大(孔徑越大但水深不變時)，兩種泥岩的高程色階均下降越快(比較圖 50 →54→58；或圖 52→56→60)，顯示對沖刷的影響也越大；而當總降雨量越大(水深越大但孔徑不變時)，兩種泥岩的高程色階僅有微幅下降(比較圖 50→52；圖 54→56；圖 58→60)，顯示總降雨量對沖刷的影響低於降雨強度對沖刷的影響。
- ◎就地形地貌而言，整體地形改變最明顯的是高程下降，坡向的改變不大，顯示雖然經過沖刷，但是主要的河谷與稜線仍大致維持原貌，沒有明顯的變形或改道，只有坡度隨著沖刷而逐漸坡度變緩。

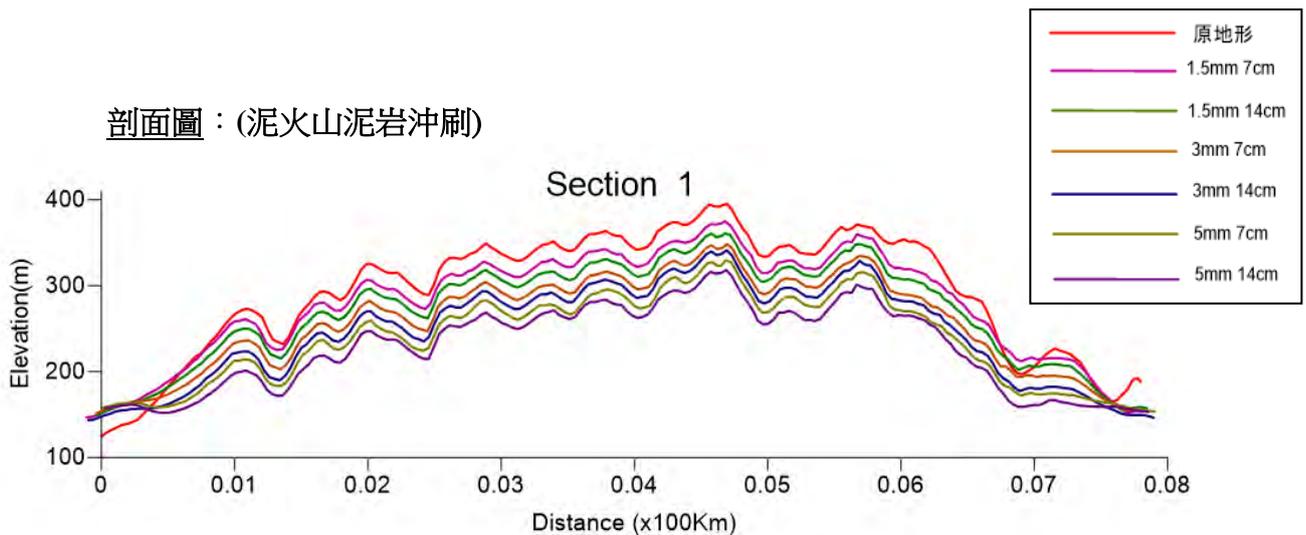


圖 62 斷面 1 剖面線套疊圖

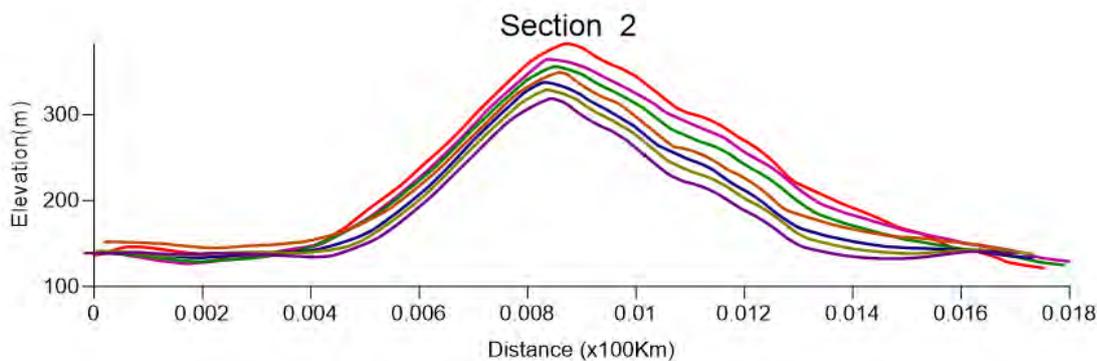


圖 63 斷面 2 剖面線套疊圖

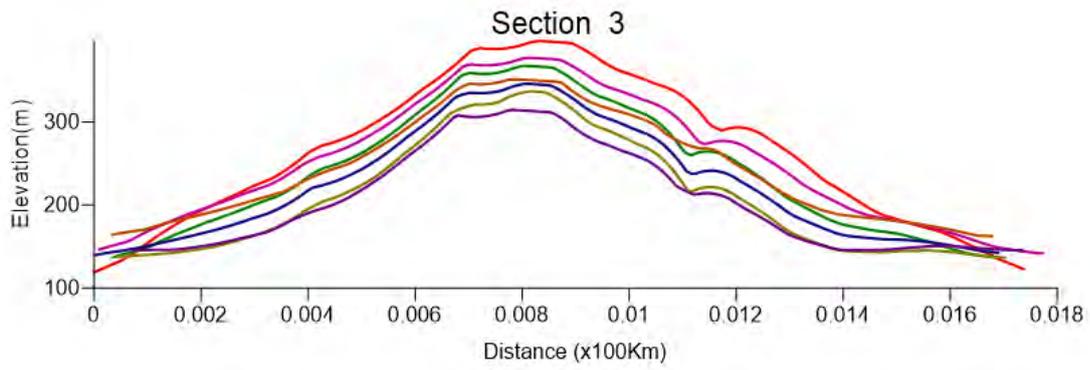


圖 64 斷面 3 剖面線套疊圖

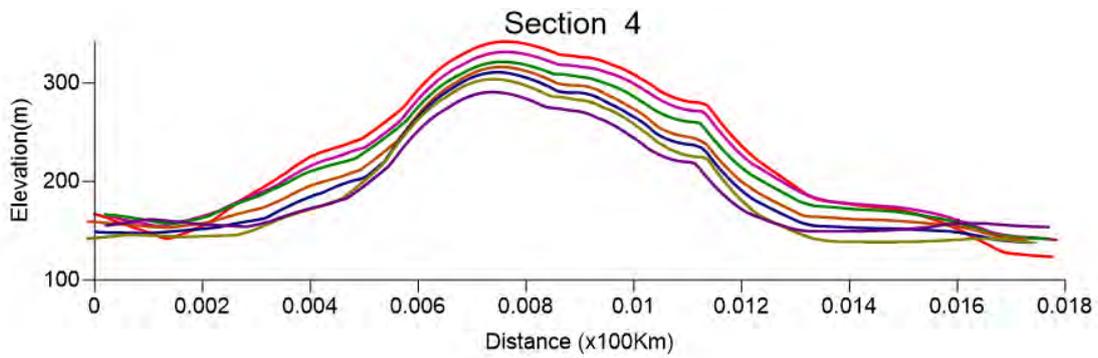


圖 65 斷面 4 剖面線套疊圖

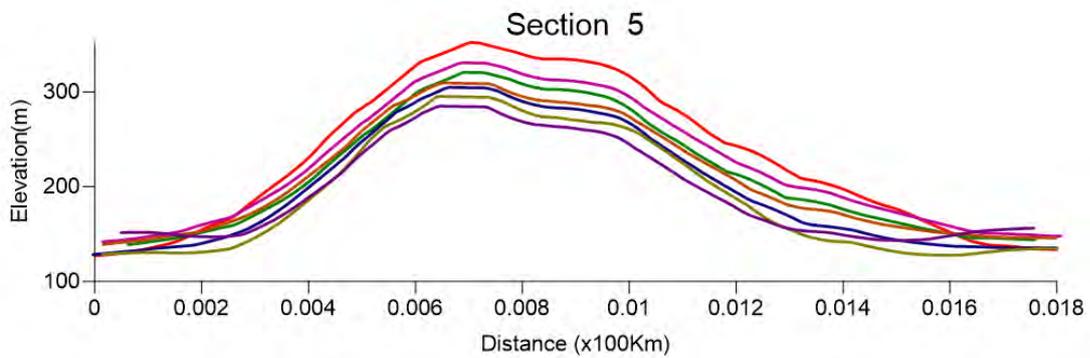


圖 66 斷面 5 剖面線套疊圖

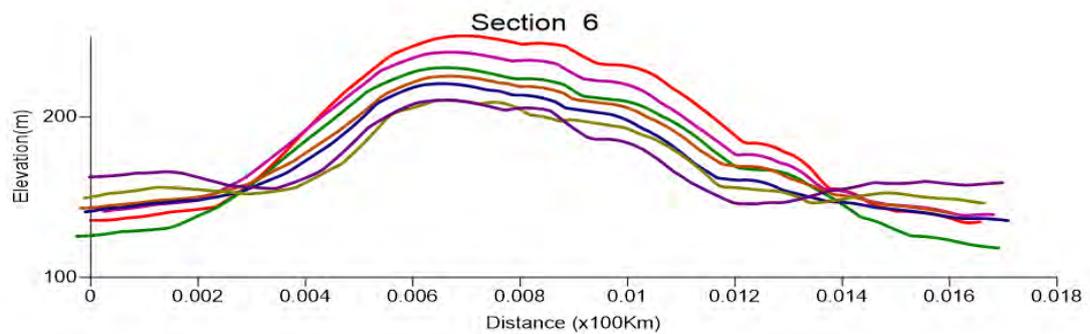


圖 67 斷面 6 剖面線套疊圖

剖面圖：(中寮山泥岩沖刷)

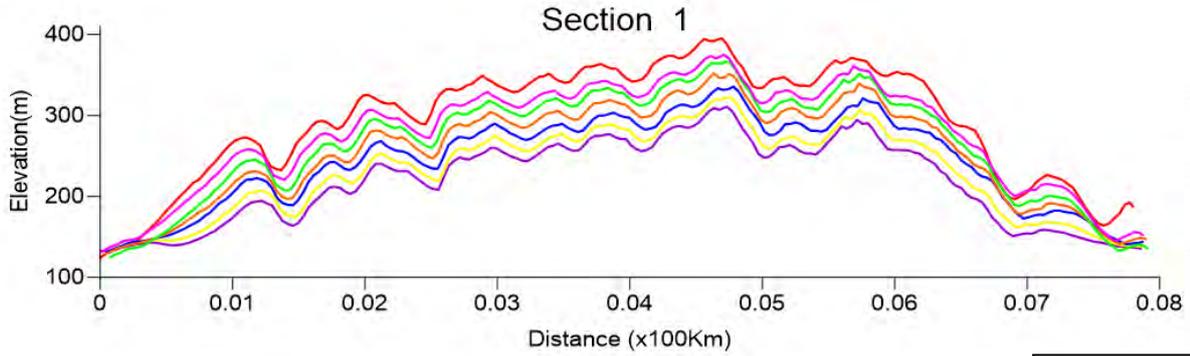


圖 68 斷面 1 剖面線套疊圖

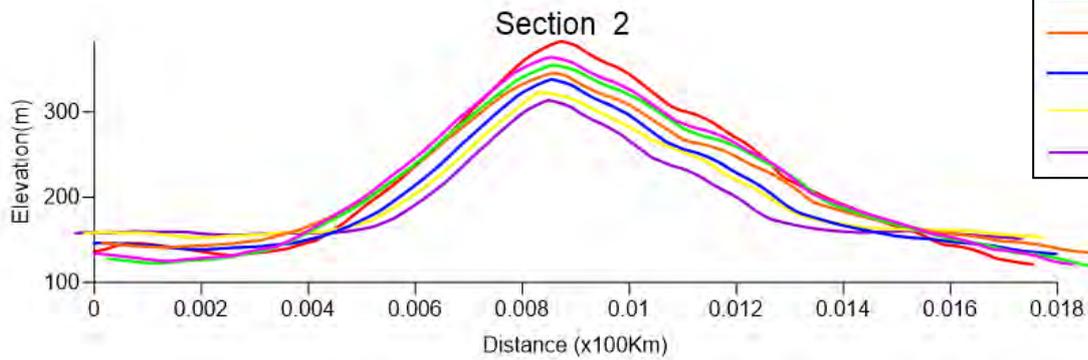
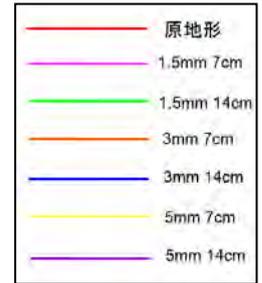


圖 69 斷面 2 剖面線套疊圖

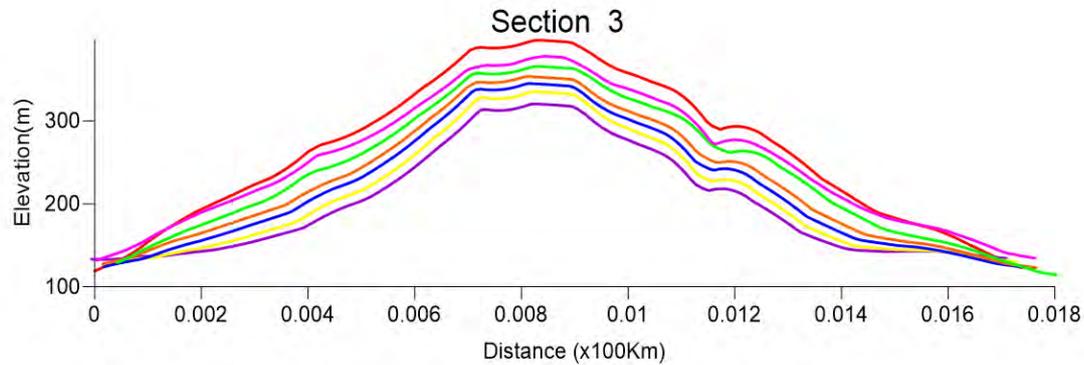


圖 70 斷面 3 剖面線套疊圖

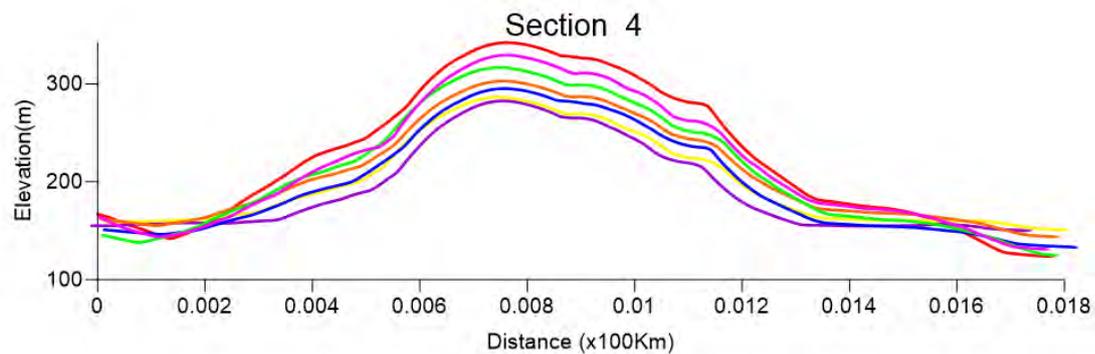


圖 71 斷面 4 剖面線套疊圖

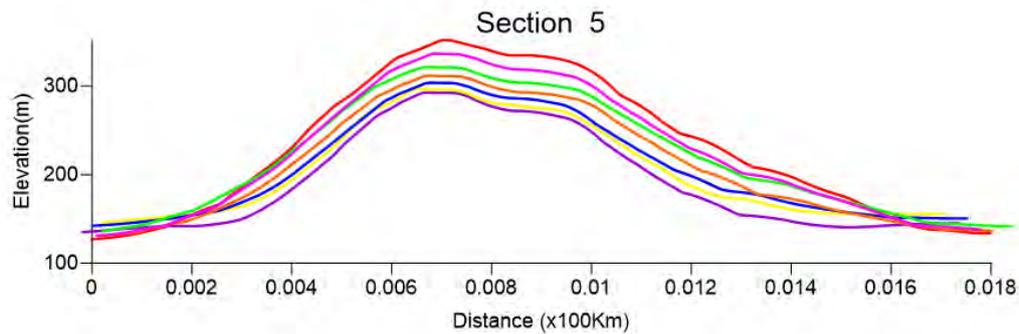


圖 72 斷面 5 剖面線套疊圖

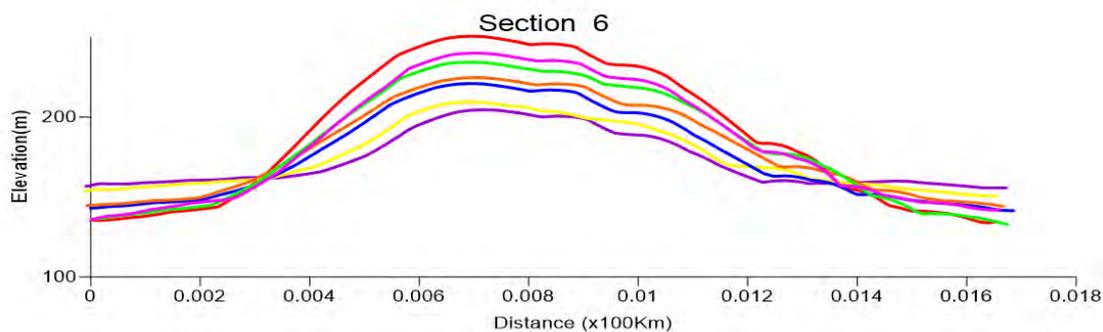


圖 73 斷面 6 剖面線套疊圖

小結：

- ◎在同樣的沖刷條件下，泥火山泥岩的剖面線高度均下降得比中寮山快，顯示**純泥岩抵抗沖蝕的能力較弱**，最明顯可看出影響沖蝕最大的因素還是**降雨強度**。
- ◎不論是 1~6 哪一條剖面，均可發現高程由高至低是**(紅→粉→綠→橙→藍→黃→紫)**顯示**降雨強度越大(孔徑越大但水深不變時)**，泥岩的高程沖刷下降越快，顯示對沖刷的影響也越大；而當總降雨量越大(水深越大但孔徑不變時)，泥岩的高程僅有微幅下降，顯示**總降雨量對沖刷的影響低於降雨強度對沖刷的影響**。
- ◎就地形地貌而言，不論是 1~6 哪一條剖面，均可發現高程越高處(山頂)，剖面線受沖刷影響下降幅度越大，顯示沖刷越嚴重；而高程越低處(山腳)，剖面線下降並不明顯，甚至有剖面線交錯之現象，顯示沖刷**減緩甚至發生堆積**的現象。

為評估不同降雨型態所造成之沖刷量，利用 Surfer 軟體之體積計算程式，可套疊並求出沖刷前後兩曲面間之沖刷體積，其結果如下表 2：

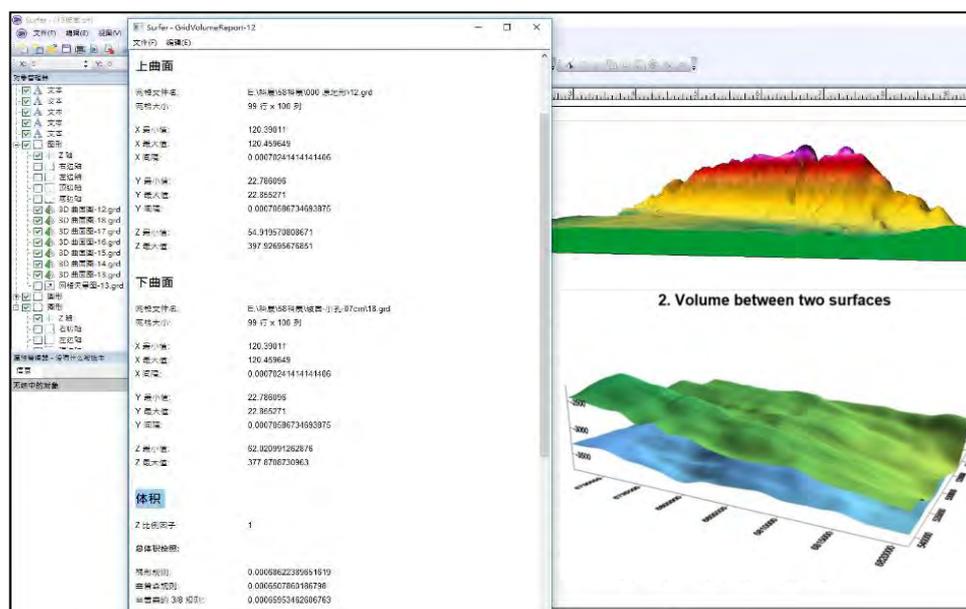


圖 74 沖刷體積計算過程圖

表 2 不同降雨型態沖刷量

	泥火山泥岩沖刷體積(m ³)	中寮山泥岩沖刷體積(m ³)
落水孔 1.5mm 降雨水深 7cm	71523548(m ³)	63104712(m ³)
落水孔 1.5mm 降雨水深 14cm	107086243(m ³)	92097562(m ³)
落水孔 3mm 降雨水深 7cm	142764827(m ³)	125678241(m ³)
落水孔 3mm 降雨水深 14cm	178365981(m ³)	155148602(m ³)
落水孔 5mm 降雨水深 7cm	214198055(m ³)	192756842(m ³)
落水孔 3mm 降雨水深 14cm	249897649(m ³)	215687852(m ³)

小結：

◎在同樣的沖刷條件下，泥火山純泥岩的沖刷量均高於比中寮山泥岩，顯示**純泥岩抵抗沖蝕的能力較弱**，最明顯可看出影響沖蝕最大的因素還是**降雨強度**。

◎就沖刷量而言，中寮山泥岩沖刷量大約都**比純泥岩減少 10%~15%**，顯示**有機物的膠結作用確實可以降低泥岩沖刷**，達到**水土保持的功效**，值得更進一步的研究。

◎就沖刷深度而言，降雨強度或總降雨量增加，**平均都增加了 5 公尺沖刷深度**，**山頂沖刷深度較多**，可達 10 公尺以上，往山腳沖刷深度遞減為 1~2 公尺，甚至發生堆積。

八、結論與建議

1.本報告模擬降雨型態對泥岩沖刷變化的影響，以**立體擬真模型取代傳統沖刷水槽**，再利用 Surfer 繪圖軟體繪製沖刷前後之地形變化，進行圖層之套疊與分析，有**相當具體的成果**，希望未來能與實際沖刷情況進行比對，以獲得更精確的成果。

2.利用 1~6 號剖面得分析結果均可歸納，高程越高處(山頂)，剖面線受沖刷影響越大幅下降幅度越大，顯示**山頂沖刷能力最強**，推測是受到**雨水直接打擊沖刷能量最強**所致；其次是坡度較陡處，顯示沖刷能力次之，我們推論是因為流速的動能較快，因此帶有次等影響的沖刷能力。

3.所有剖面線都可發現，高程越低處(山腳)，剖面線受沖刷影響越小，下降幅度越慢，到了海拔 **130~150 公尺附近**，**剖面線呈現交錯**，顯示強降雨造成的大量沖刷開始堆積在山腳下，我們推論是因為**山腳坡度較緩導致流速的動能下降**，無法帶走山頂沖刷下來的大量物質而發生堆積，其中又以 **6 號剖面**因為切過河谷，所以堆積現象最為明顯。

4.**純泥岩對於沖刷的抵抗能力總是比現地泥岩來得差**，我們推論是因為**缺乏有機物質的膠結作用**，導致無法形成團粒，加上泥岩顆粒帶電，遇水容易溶解，因此更加容易被沖刷帶走，這點與我們找到的參考文獻有相符的結論。

5.歸納泥岩沖刷實驗的結果，發現對於沖刷影響最大的依次為：**降雨強度>總降雨量>地質組成>坡度與高程**，會得出這樣的結果是因為選擇的對象是坡度較緩的中寮山，而且只有嘗試泥岩 1 種材料，若是有機會做更詳細的實驗，相信能得到更加完整的結論。

6.就沖刷深度而言，降雨強度或總降雨量增加，平均都增加了 5 公尺沖刷深度，**山頂沖刷深度較多，可達 10 公尺以上**，往山腳沖刷深度遞減為 1~2 公尺，甚至發生堆積。就沖刷量而言，中寮山泥岩沖刷量大約都**比純泥岩減少 10%~15%**，顯示**有機物的膠結作用確實可以降低泥岩沖刷**，達到**水土保持的功效**，值得更進一步的研究。

7.我們發現落水孔徑 5mm 搭配總雨量 7cm，與孔徑 1.5mm 搭配總雨量 14cm 這組，所計算的**降雨強度數值十分接近**，然由沖刷實驗可發現**前者的沖刷量大很多**，顯示**雨滴大小**也是影響沖刷能量的重要因素，期待未來進一步的研究。

8.實驗採用的降雨強度較實際情況偏高，原因是為了在較短時間完成沖刷，而且需有足夠的沖刷深度供游標尺判讀，因此我們採用較高的降雨強度來進行實驗，不過卻造成沖刷深度也較實際情況偏高，雖然無法適用於一場降雨，但可以解釋為長週期(數十年)多次降雨所造成的地貌變遷，期待未來可更進一步改良實驗。

9.為進一步探討有機物含量對沖刷的影響，本研究增加一組實驗，利用泥岩地區廣泛生長的銀合歡枯葉，燃燒後形成生物碳拌入泥岩中進行土壤改良，增加有機物質比例並比較沖刷量之變化，然而礙於模型製作需較多時間，為配合交件本結果待現場簡報時再加以呈現。



九、參考文獻

- 【1】莊文星，臺灣泥火山小地形：國立自然科學博物館 館訊第 268 期，2010。
- 【2】何春蓀，臺灣地質概論- 臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所，1997。
- 【3】李德河，紀雲曜，泥岩基本特性及泥岩邊坡之保護措施，地工技術，第 48 期，第 35~47 頁，1994。
- 【4】李德河，田坤國，臺灣西南部泥岩地區邊坡災害之調查分析，集水區土砂災防治與資料庫技術應用推廣研討會，2000。
- 【5】鄒天練，鄭皆達，Guleph「迷你型」人工降雨器之裝配及操作，水土保持學報，第 28 卷，第 1 期，第 1-9 頁，1996。
- 【6】張文詔，水滴於靜止空氣中自由落下加速過程之量測與數值模擬，中華水土保持學報，第 25 卷，第 2 期，第 103~119 頁，1994。

【評語】 030506

此作品以實驗探討雨水沖刷對泥岩之影響。其一特色為仿真地形之立體模型製作，第二個特色是多點量測雨水沖刷後之高程變化，輸入 Surfer，將整體泥岩地形受雨水沖刷之影響以 3D 圖示。可考慮增列以下說明，或可彰顯此作品之價值。

- (1) 所使用之試體雖採自野外，但經混水後蔭乾，其膠結程度已與野外泥岩不同，宜表明此差異，並評估其在模擬雨水沖刷對地型影響時，模擬結果與現況可能之差異程度。
- (2) 『山頂沖刷能力最強，推測是受到雨水直接打擊沖刷能量最強所致』此敘述是否與重力影響相左；高處雨水垂直運動距離較短，動能較小。

壹、前言

泥岩又稱青灰岩，泥岩顆粒組成為黏土($<4\mu\text{m}$)佔27~31%，粉砂($4\sim 60\mu\text{m}$)佔42~49%，及砂粒($60\mu\text{m}\sim 4\text{mm}$)佔20~31%，受礦物結構與顆粒大小影響，泥岩顆粒將會具有膠體之特性，即表面帶有負電荷，具有吸引土壤溶液中陽離子的能力，主要以 Na^+ 、 Mg^{2+} 為主，其次為 Ca^{2+} 、 K^+ 等離子。由於泥岩帶電的特性，當遇到降雨沖刷時，往往溶化成泥漿而快速流失，造成水庫淤積與工程構造物的重大損失，本報告的重點即為研究降雨、地形、以及泥岩沖刷三者之間的相關性。

貳、研究動機

前些時候電視上播放「阿公店水庫」的介紹，其中提到阿公店水庫因週遭泥岩受到雨水的沖蝕，逕流水夾帶著沖蝕土滲入到水庫不斷累積，導致阿公店水庫因泥沙淤積及水質優養化而停止民生用水功能，由於水庫就在學校附近，位於大崗山與中寮山的山腳下，而中寮山主要就是泥岩構成，不禁讓人好奇到底每年有多少泥岩被沖刷掉？也使我們決定進行這次的科展研究。

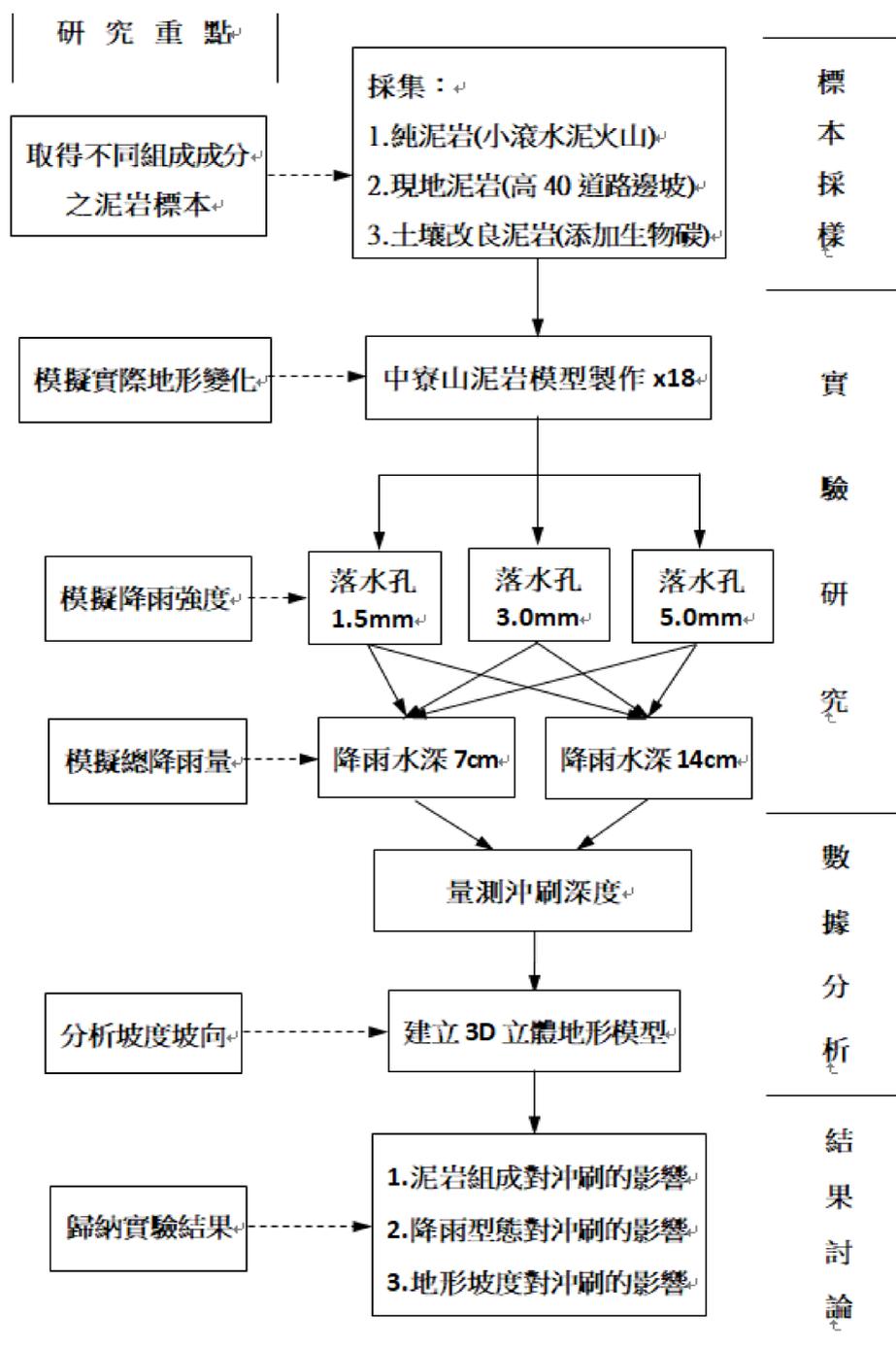
參、研究設備器材

泥岩樣品x2 (採樣地點：小滾水、中寮山) 地質錘 游標尺 中寮山地形圖(兩萬五千分之一) 描圖紙 珍珠板 保麗龍膠 美工刀 80cmx40cm塑膠盆 降雨架(自製) 大頭針 壓克力顏料 Surfer科學繪圖軟體

肆、研究目的

一、了解泥岩組成對沖刷的影響 二、了解降雨型態對沖刷的影響 三、了解地形坡度對沖刷的影響

伍、研究流程與方法



一、樣本採集：我們分別前往以下二個地點進行泥岩的樣本採集：

(一)純泥岩：小滾水泥火山

(二)中寮山泥岩：高40道路邊坡

(三)土壤改良泥岩：添加生物碳



二、泥岩模型製作

為了讓沖刷實驗的模擬結果更貼近大自然的實際情況，我們**捨棄傳統沖刷水槽**，改以**真實的地形地貌**呈現，為了達到此目的，我們決定使用縮小地形模型

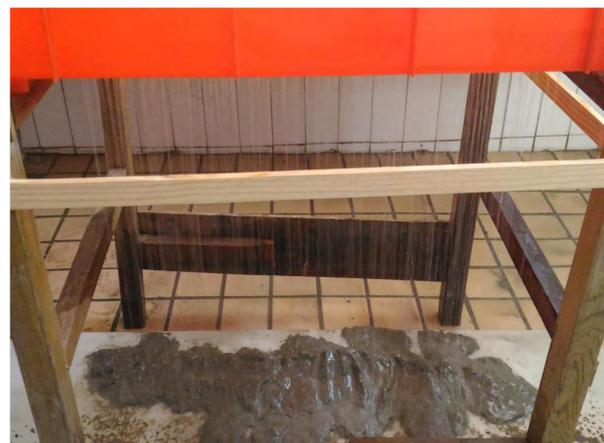
1. 由內政部國土測繪中心網站，進入國土測繪圖資e商城。
2. 輸出中寮山之等高線圖。
3. 進行圖幅接合，並以描圖紙描繪等高線。
4. 每50公尺間距繪製一條，描繪至海拔100公尺。
5. 將描繪之等高線轉換切割至厚度2mm之保麗龍板。
6. 將各高程之珍珠板黏合，即可完成中寮山之3D立體模型。
7. 將泥岩製作之泥漿塞入陰模中，上方放2公斤砝碼壓密，等1~2天後脫模倒出。
8. 將泥漿填入階梯狀等高線間隙，使其平滑與原始地貌相符。
9. 純泥岩、現地泥岩、土壤改良泥岩各製作6組，共製作中寮山泥岩模型18組。



三、降雨沖刷模擬

1. 選定三個80cm×40cm的塑膠盆，間隔3.5cm鑽一個落水孔，每盆總計鑽孔300孔。
2. 使用孔徑5mm、3mm、1.5mm**三種不同降雨強度**，搭配14cm、7cm**兩種降雨水深**，總共設計**6種降雨型態**。
3. 再搭配純泥岩、現地泥岩、土壤改良泥岩三種土壤，總計進行**18組沖刷實驗**。
4. 實驗前採上述6種降雨型態，使用碼表計時率定模擬之降雨強度與累積雨量。

降雨時間	1.5mm	3mm	5mm
7cm	255 秒	192 秒	165 秒
14cm	337 秒	238 秒	198 秒
數值相近			
降雨強度	1.5mm	3mm	5mm
7cm	16.5mm/min 988mm/h	21.9mm/min 1312mm/h	25.4mm/min 1527mm/h
14cm	24.9mm/min 1495mm/h	35.3mm/min 2117mm/h	42.4mm/min 2545mm/h



四、3D立體模型建模

1. 在泥岩模型的**地形特徵點**，如稜線、河谷及坡度改變處建立量測點。
2. 參考地形圖上等高線高程，即可求得量測點尚未沖刷前的初始高程值。
3. 將量測點的**經度、緯度、高程值**作為輸入Surfer軟體(x,y,z)值，即可完成3D立體模型繪圖。
4. 扣除**沖刷前後的游標尺數值**，即為**土壤沖刷深度**，換算回實際高程，輸入Surfer軟體進行建模。

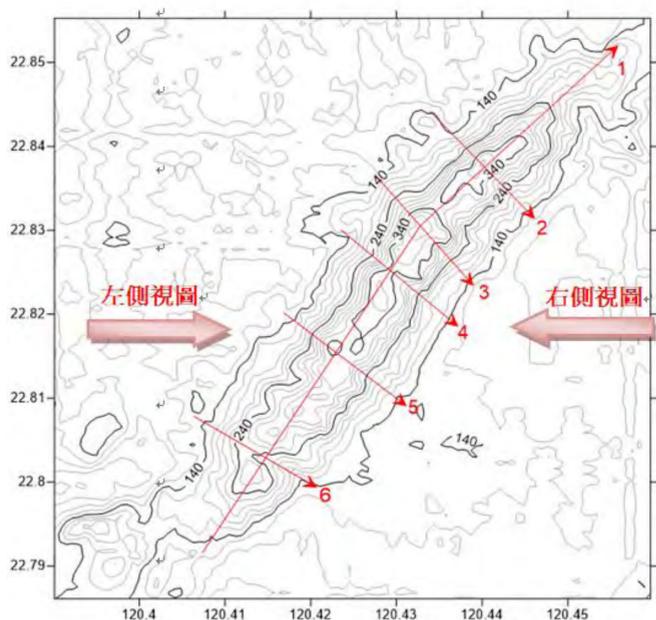


圖 22 沖刷前等高線圖

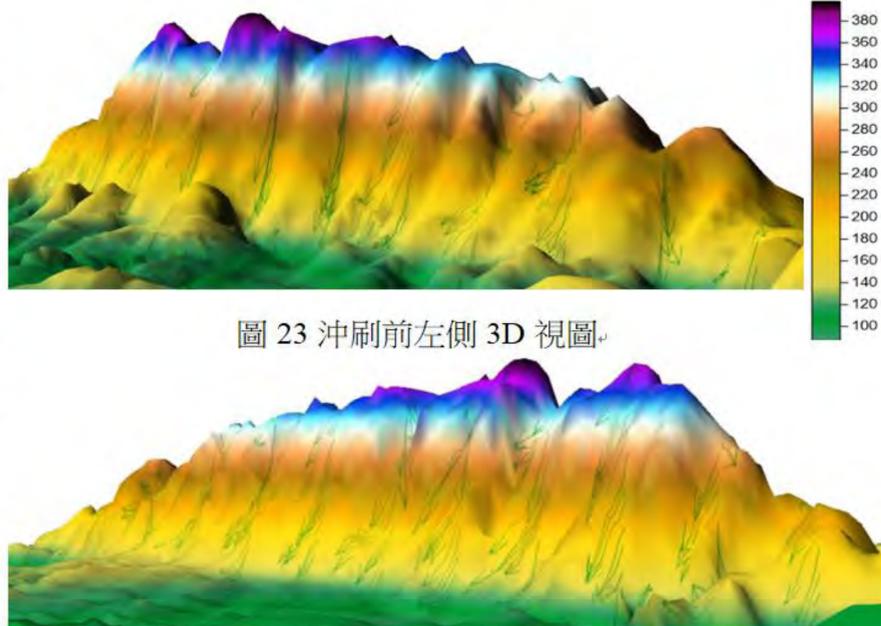


圖 23 沖刷前左側 3D 視圖

圖 24 沖刷前右側 3D 視圖



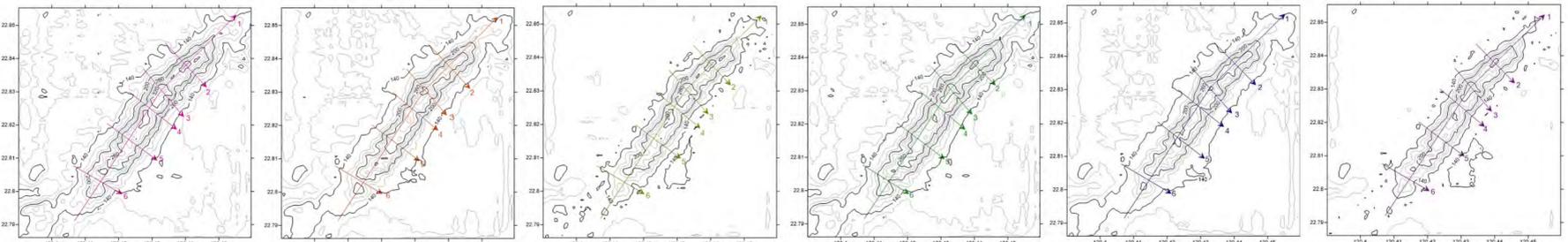
陸、研究結果與討論

我們在每次沖刷後將地形座標輸入Surfer軟體，即可建立3D立體模型，進行比對與套疊，歸納以下三個主題：

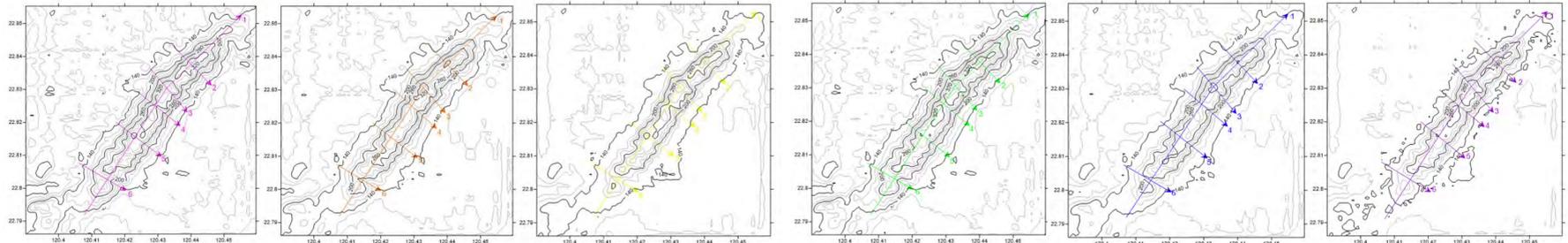
1. 沖刷與**泥岩組成(純泥岩、現地泥岩)**的關係
2. 沖刷與**降雨型態(強度、總雨量)**的關係
3. 沖刷與**地形(高程、坡度)**的關係

- ◎ 純泥岩的等高線數值均低於現地泥岩，顯示**純泥岩抵抗沖蝕的能力較弱**，而影響沖蝕最大的因素還是**降雨強度**。
- ◎ 降雨強度越大(孔徑越大)，等高線變化越大，顯示對沖刷的影響也越大；而當總降雨量越大(水深越大)，等高線變化並不十分明顯，顯示**總降雨量對沖刷的影響低於降雨強度對沖刷的影響**。
- ◎ 由等高線之變化趨勢發現，高程越高處等高線變化越大，顯示**高程越高的區域受沖刷越劇烈**，較低的區域則沖刷趨緩。

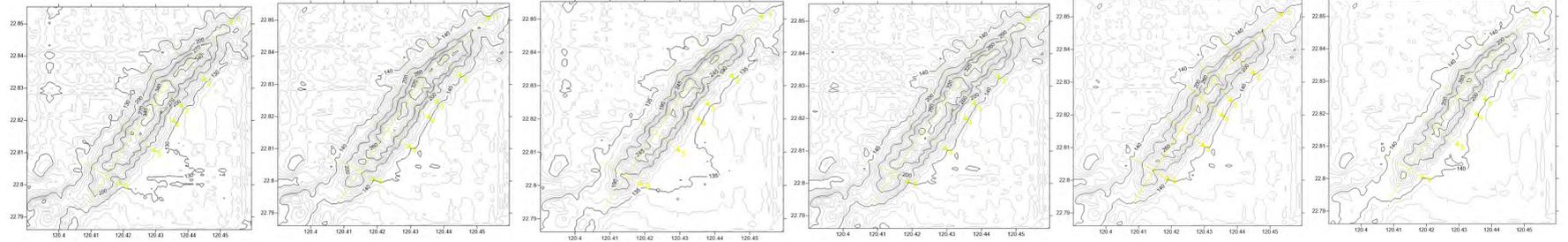
等高線圖：(純泥岩冲刷)



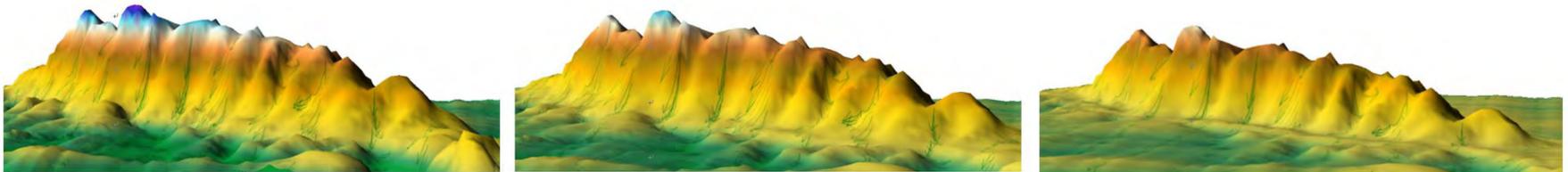
等高線圖：(中寮山泥岩冲刷)



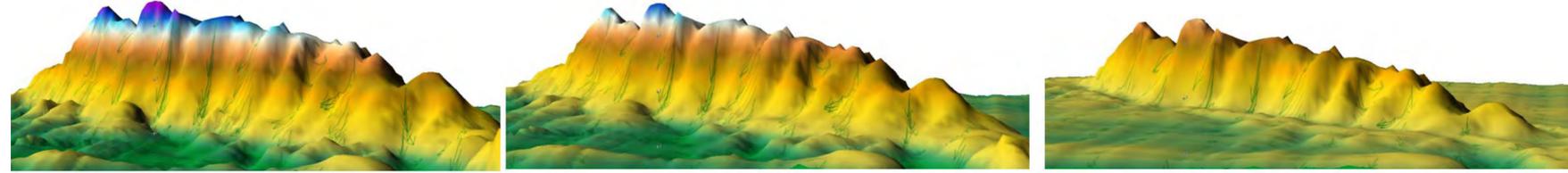
等高線圖：(土壤改良泥岩冲刷)



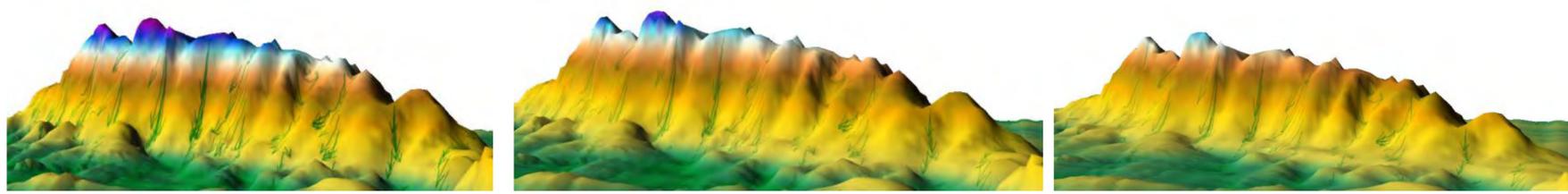
3D立體視圖：(純泥岩冲刷)



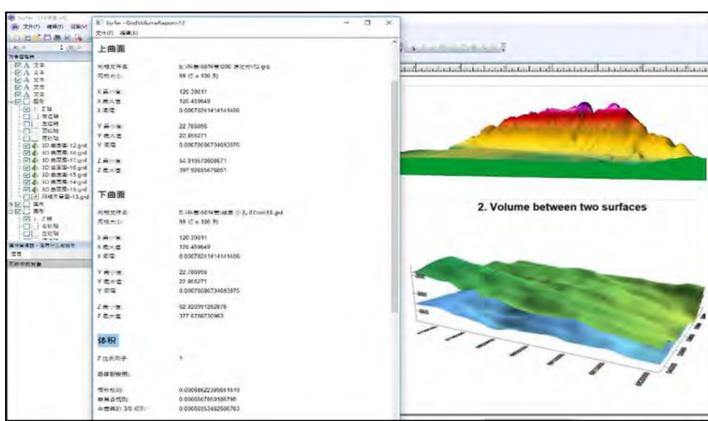
3D立體視圖：(中寮山泥岩冲刷)



3D立體視圖：(土壤改良泥岩冲刷)



冲刷體積比較



冲刷體積(m ³)	泥火山泥岩	中寮山泥岩	土壤改良泥岩
Ø1.5mm×7cm	71523548(m ³)	63104712(m ³)	54632518(m ³)
Ø1.5mm×14cm	107086243(m ³)	92097562(m ³)	77208125(m ³)
Ø3mm×7cm	142764827(m ³)	125678241(m ³)	108964221(m ³)
Ø3mm×14cm	178365981(m ³)	155148602(m ³)	132085223(m ³)
Ø5mm×7cm	214198055(m ³)	192756842(m ³)	172151629(m ³)
Ø3mm×14cm	249897649(m ³)	215687852(m ³)	183475258(m ³)

柒、結果與討論

就冲刷量而言，中寮山泥岩冲刷量大約都比純泥岩減少10%~15%，土壤改良泥岩又比中寮山泥岩冲刷量減少10%~15%，顯示有機物的膠結作用確實可以降低泥岩冲刷，達到水土保持的功效，值得更進一步的研究。

我們由1~6號剖面均可歸納，高程越高處(山頂)，剖面線受冲刷影響越大下降幅度越大，顯示山頂冲刷能力最強，我們推測是受到雨水直接打擊的能量最強所致；其次是坡度較陡處，顯示冲刷能力次之，我們推論是因為流速的動能較快，因此帶有較強的冲刷能力。

純泥岩對於冲刷的抵抗能力總是比現地泥岩來得差，我們推論是因為缺乏有機物質的膠結作用，導致無法形成團粒，加上泥岩顆粒帶電，遇水容易溶解，因此更加容易被冲刷帶走。

不論哪一條剖面都可發現，高程越低處(山腳)，剖面線受冲刷影響越小下降幅度越慢，到了海拔130~150公尺附近，剖面線呈現交錯，顯示強降雨造成的大量冲刷開始堆積在山腳下，我們推論是因為山腳坡度較緩導致流速的動能下降，無法帶走山頂冲刷下來的大量物質而發生堆積，其中又以6號斷面因為切過河谷，所以堆積現象最為明顯。

歸納我們實驗的因素，發現對於冲刷影響最大的依次為：降雨強度>地質組成>總降雨量>坡度與高程，會得出這樣的結果是因為我們選擇的對象是坡度較緩的中寮山，而且只有嘗試泥岩1種材料，若是有機會做更詳細的實驗，相信能得到更加完整的結論。