

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

台灣高山地區地形發育研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2116-M-002-005-
執行期間：95年02月01日至96年01月31日
執行單位：國立臺灣大學地理環境資源學系暨研究所

計畫主持人：林俊全

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：陳毅青、林建偉、王翠華、楊嵐雅
博士後研究：任家弘

報告附件：國際合作計畫研究心得報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 96 年 04 月 03 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

台灣山地地形演育之研究

計畫編號：NSC-95-2116-M-002-005-

執行期限：95 年 2 月 1 日至 96 年 1 月 31 日

主持人：林俊全 執行機構及單位名稱：台大地理環境資源學系

一、中文摘要

台灣地區有許多區域屬於山區，高度在 3000 公尺以上的高山更有一百多座，這些高山的地區容易遭受地形作用的影響，包括：河川輸沙、土壤潛移與崩塌等，作用與構造抬升相抗衡，型塑出新的地表地形。本研究位在大甲溪上游的合歡山山區，針對上述現象加以研究。

研究進行氣候與水文監測，利用自動氣象與水文測站，蒐集氣濕度、風速風向、雨量和流量資料，並蒐集小集水區的溶解質、懸移質與推移質等集水區輸沙量。利用航空照片對崩塌地判識與全測儀（Total Station）量測颱風前後河道變化，以建立數值地形模型。試圖瞭解颱風事件與地形變遷的關係，以及對河道物質堆積搬運的影響，進而瞭解台灣山地地形作用。

國際合作方面，本研究與德國柏林自由大學合作，利用自由大學之水工模擬實驗槽，模擬合歡山河道中沉積物搬運的情形。

關鍵詞：高山、崩塌、集水區輸沙、地形作用

Abstract

The morphological processes are main agents in shaping landscape in the high mountains of Taiwan. Sediments transportation, soil creeping and landslides can reshape the landscape dramatically. The main object of this study is to deal with the processes of erosion and transportation at Mt. Houuan area in central

Taiwan.

In this joint research, the researchers from Free University Berlin and National Taiwan University will share the responsibility. There are some works in first year, including instrumentation on monitoring meteorological and hydrological data collection. By using data logger and relative sensors, climatic and hydrological data are collected. We also install sediment trap and auto water sampler to collect bedload, suspended and dissolved load.

Besides, aerial photo interpretation on landslides and DEMs building by using total station which provide the detail landform information. The difference of DEMs in two periods can be the result of morphological processes and therefore to be the main topics of this study.

Furthermore, flume experiment was also conducted in Free University Berlin to simulate the sediment transportation of Mt. Hehuan is also part of this study.

Keywords : High mountains, Landslides, Sediment transportation, Morphological processes.

二、緣由與目的

台灣中高海拔的地區，容易遭受地形作用的影響，包括：崩塌（崩山與地滑）、土石流與土壤潛移等，因地震與颱風事件後造成許多崩塌與沉積物堆積於大甲溪河道，持續往下游搬運（Lin, 2006）。

許多高山地區海拔超過3,000公尺，從中低海拔的熱帶氣候，隨海拔高度亞熱帶氣候、溫帶氣候與寒帶氣候，目前台灣高山氣候資料相當稀少。高山地形作用、地形發育、集水區問題等相關基礎資料皆相當相缺乏，使得台灣高山的研究往往無法深入。近年來，已經有許多國外學者開始對於台灣高山地區輸沙、第四紀冰河與地形作用開始進行相關研究，若能與國外學者進行相關的合作研究，有助於台灣高山研究在西太平洋區域的研究上，佔一席之地。

高山地區經常是台灣主要河川之源頭，其特殊性對於集水區之輸沙與水文有重要的影響。其特殊的地形作用、氣候環境與植物生態，都有別於中低海拔地區。過去台灣甚少對於此地區之地形作用進行深入的探討。冰緣氣候，冰凍（freezing）作用係最重要的環境影響因子；而凍融（freeze-thaw）作用則是最重要的地形營力（Embleton and Cuchlaine, 1975；Lautridou, 1988；Böse, 2006），地形變化中的常見因素，風化作用與塊體運動，受到凍融作用影響，形成凍融風化與寒凍潛移的地形作用，進而影響地形的變化與發育。

目前全球氣候變遷的議題已經受到許多科學家關注，包括全球暖化、海平面上升、冰川後退等。而國外在研究阿爾卑斯山氣候與冰川後退的研究中，發現全球氣候變遷對於高山氣候影響是相當劇烈的，氣候變遷對高山影響大約是低海拔的兩倍之大（Ørbæk et al., 2004）。如今我們對於台灣高山氣候狀況與變遷的瞭解和研究仍然相當稀少，而且高山的氣候變遷對於下游地區的水資源影響非常大，若我們能夠更加瞭解高山氣候，對於某些特殊地景的保育與災害的預防都有相當的助益。

本研究蒐集合歡山山區進行氣候與水文的資料，透過自動的資料蒐集處理器（Data logger）的設置，進行長時間而連續性的資料蒐集，量測河道之中的溶解質、懸移質與推

移質等的河川搬運物質資料，並且利用影像判釋，瞭解崩塌地的分布。透過這樣的方式，可以瞭解高山地區氣候水文與地形作用的關係，並且更進一步了解地形作用與地形變遷的作用過程。

在氣候因子的資料收集方面，利用在不同位置設立自計式觀測站，進行自動化的區域氣候資料收集，透過實地設立測站的方式，可獲取更精確的資料，對於將來發生的崩塌地可有效瞭解其生成機制。

本計畫由農林航空測量所拍攝的航空照片與福衛二號影像，進行崩塌地的判識與繪製。航空照片所製作的正射化影像解析度為0.5公尺，對於崩塌地判識與繪製工作有相當大的助益。在崩塌地繪製完成之後，即可建立該地區歷年崩塌地資料庫，可進行規模與頻率分析。

在集水區河川輸沙方面，有許多學者進行相關研究（Cain, 2004；Dadson et al., 2003；D'Agostino et al., 1994；Garcia et al., 2000）。Jen等人（2006）在福山小集水區的觀測，發現兩個小集水區的輸沙與水文特性有很大的不一樣，且溶解質、懸移質、推移質比例的不同，因此，對於小集水區的輸沙特性必須有全面的監測。因此，本研究主要以合歡溪上游自行設置之水文觀測系統，長期監測河道流量變化，並且蒐集降雨事件時期，輸沙量的變化，建立集水區內流量與輸沙量之關係，並且利用全測儀進行河道測量，量測河道地形變化，河道泥沙變遷模擬的部分由德國合作研究單位協助。

三、研究成果

（一）氣候水文資料建立

本研究於合歡山武嶺北邊之合歡溪上游小集水區（圖1、圖2），建立自計式氣候觀測器，蒐集風速、風向、氣溫、濕度、雨量、地表溫度、水位等資料，利用GSM遠端連線達到即時監測的目標。

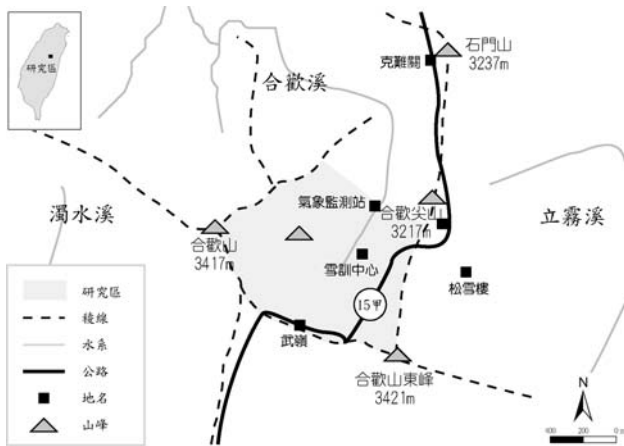


圖1 研究區位置圖

由圖2為氣候觀測器位於合歡溪上游小集水區之溪谷中，集水區面積為0.86km²，海拔高度約3,080-3,417公尺，河段中央有涵管與人工堤之人工構造物，可藉由斷面固定之涵管與水位高來估算河川流量。



圖2 合歡氣象水文測站

圖3顯示合歡山的年降雨分布，配合經濟部水利署合歡埡口測站之雨量觀測，該區域年平均降雨約2,866mm，乾濕季較不明顯，即使6-9月颱風季節雨量與其他月份相比並無明顯增加。因此其地形作用並不侷限在颱風季節，在春季、秋季與冬季之降雨皆有可能造成洪水而搬運沉積物。

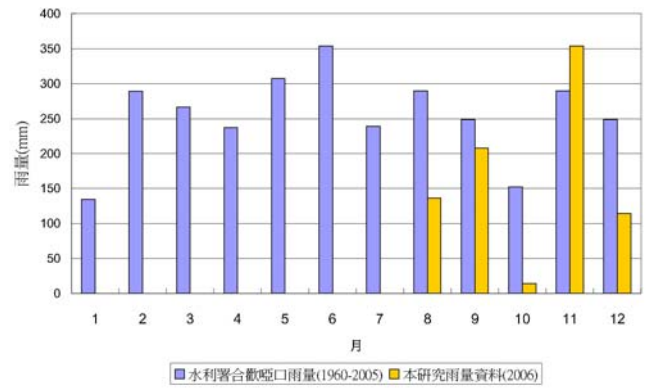


圖3 水利署測站與本研究測站比較

由圖4資料顯示，夏季（6月至10月）測站之風向以西南風、南風與東南風為主，風速大多在1-2 m/s 之間；冬季之風向集中在南風，風速較夏季略高一些。

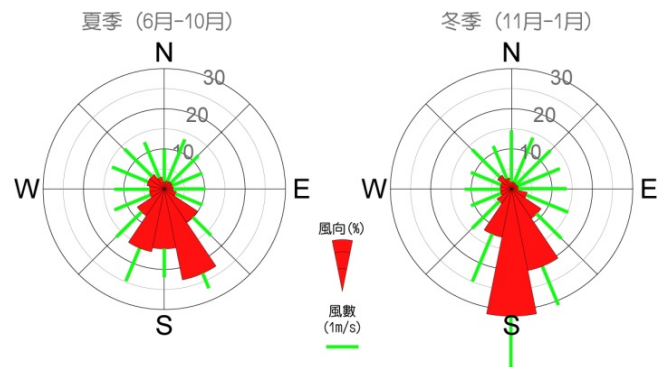


圖4 合歡測站風花圖

圖5顯示，過去許多高山凍融作用之研究皆使用連續性地溫觀測進行 (Matsuoka, 1990; Hall, 1997; Vieira et al., 2003; Putkonen, 2003; Hall, 2004)，本研究也採取此方法，研究顯示合歡山山區之氣溫於冬季時經常降至零度以下，地表溫度也隨著日夜溫差震盪，經常造成岩石和土壤中的水分產生凍融作用 (freeze-thaw process)，合歡山冬季日夜溫差最小在5℃以內，最大可達20℃；地表下2 cm處之地溫大致隨氣溫震盪，最小在5℃以內，最大可達15℃；而地表下5cm處之地溫變化遠小於2cm處，日夜溫差在3℃以內，且地溫大多在冰點以上，較不容易發生凍融作用。

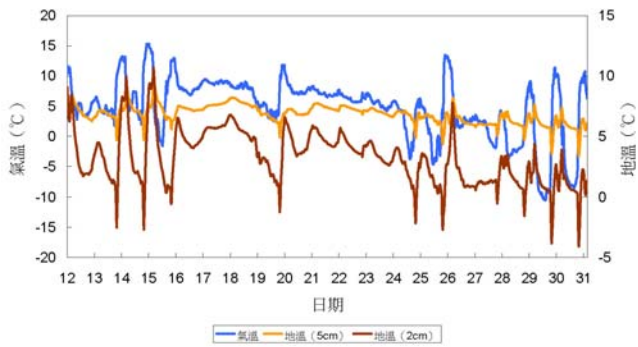


圖5 氣溫、地溫變化圖(2007/1/16-20)

本研究以水位量測配合曼寧公式 (Manning's equation) 來推估河川流量，圖6為兩場降雨事件期間的降雨雨水文歷線圖，1月16日之降雨事件降下9mm的累積雨量，但幾乎未使流量有明顯增加，顯示9mm之雨量可能幾乎被蒸發散或地表入滲；1月17日之降雨事件，當累積雨量達27.8mm，且降雨延時11.5個小時之後，河川流量才明顯上升；1月18日之降雨累積達131.2mm，使得流量增加為2.82 c.m.s.，相當於水位高57.5cm，當降雨事件過後約18個小時，河川流量恢復至0.17 c.m.s.，高於冬季河川流量之0.03 c.m.s.。

1月21日之降雨事件，雖然降雨量僅39mm，然而降雨強度較強，最大每30分鐘降下6.6mm，且當時土壤水已經飽和而不易入滲，使得河川流量在降雨延時12個小時後，河川流量達3.75 c.m.s.，相當於水位高67.7cm。

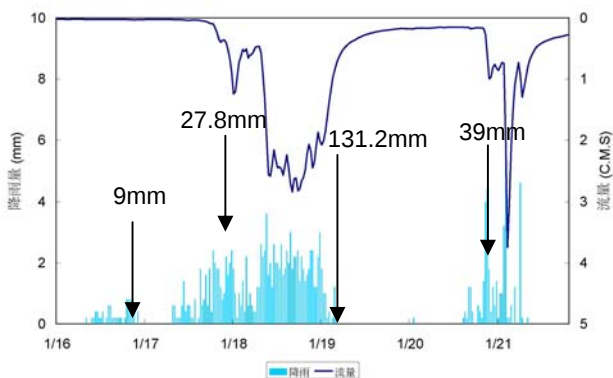


圖6 降雨與水文歷線圖(2007/1/16-20)

圖7顯示30分鐘累積降雨量流量之間的關係，回歸之相關係數為0.4184，屬於中度相關，雖然研究區集水區面積僅0.86km²，但仍受到降雨與洪峰之延時影響，此項目仍有待持續的觀測。

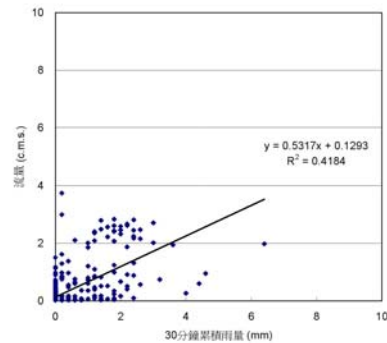


圖7 降雨與流量回歸關係

(二)沉積物搬運量

本研究區利用斷面固定之涵管與水位高來蒐集高山河道沉積物之搬運量，溶解質與懸移質方面，利用自動採水樣器，冬季時設定當24小時之每累積雨量超過10mm，便每小時自動採取水樣，總共可連續採樣24瓶，將收集到之水樣過濾、烘乾得到溶解質與懸移質；推移質方面，在水泥涵管出水口裝置六個各290公升之耐酸桶之集沙盒，每當颱風與豪雨等事件之後，便可量測集沙盒中之推移質含量。

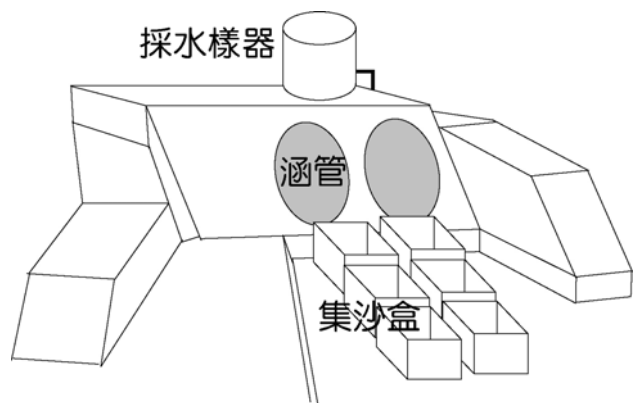


圖8 河川沉積物蒐集裝置

(三)河道高程資料

本研究利用全測儀測量各時期集水區河道之數值地形模型，未來比較各時期之數值

地形模型，以分析不同事件對於河道地形之影響。以測量資料配合Kriging之空間內差，數值高程模型精度可以到達公分級（圖9）。

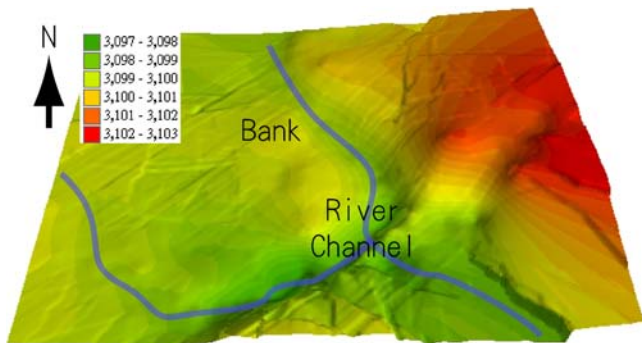


圖9 利用全測儀建立數值高程模型

(四)航空照片判釋

本研究並且利用航空照片進行研究區地貌判釋，淺綠色屬於高山箭竹；深綠色為松樹類，在研究區內可以發現四處崩塌地與許多規模較小之埋積蝕溝（圖10）。

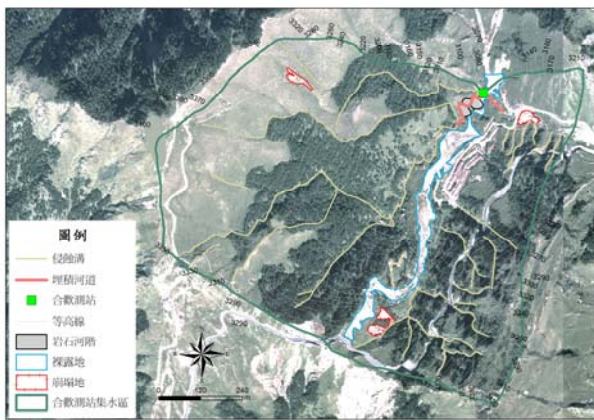


圖10 研究區地貌圖（2004年）

(五)水槽實驗

本研究計畫與德國柏林自由大學進行合作研究，該系之實驗槽長8m、寬1.2m、深0.5m，能模擬河道坡降0-30°的狀況，最大流量可達2c.m.s.。將合歡溪支流碧綠溪之樣本，以8mm網選取粗顆粒之沈積物進行實驗，模擬合歡溪在颱風豪雨事件的搬運情形。



圖11 德國柏林自由大學之水工模擬實驗槽

四、討論

配合經濟部水利署合歡埡口測站之雨量觀測站，合歡山的年平均降雨約2,866mm，由圖3顯示，合歡山區之乾濕季較不明顯，即使6-8月的颱風季節，累積雨量並無較其他月份多，顯示合歡山區之地形作用可能並不侷限在颱風季節，在春季、秋季與冬季之降雨皆有可能造成沉積物運等地形作用。

圖6之水文歷線發現不同降雨量、降雨強度對於河川流量的影響，第二場降雨事件之累積雨量小於第一場雨量的131mm，卻造成較高的洪峰，也造成較大的搬運作用，可以見得不同降雨型態對於高山小集水區影響是相當重要的。

由圖4得知，氣溫與地表溫度經常隨著日夜變化而起伏震盪，冬季時，地表溫度經常低於氣溫，夜間地溫經常低於點以下；白天地溫又回升到冰點以上，重覆凍融的結果，導致岩石產生凍融風化以及地表之凍融作用，長時間資料累積有助於瞭解凍融作用的頻率以及影響範圍。

從圖9可以發現在集水區邊坡上，可以發現與多小沖蝕溝，在集水區西側邊坡之沖蝕溝密度較低，在集水區東側之沖蝕溝密度較高，可能與坡型與節理有關，造成不對稱之地形發育。

五、結論

1.經由氣象水文觀測站的建立，可以收集

高山地區氣候與水文所造成之地形作用，如降雨、地溫、河川流量與輸沙，建立高山地區長時間研究資料。

2.藉由全測儀之河道測量與歷年航空照片判識，可以建立長期數值高程模型變化與地表特徵變化。

3.本研究與柏林自由大學合作，進行水槽實驗模擬，希望能夠再進一步模擬合歡山河道沉積物搬運。

六、研究者自評

1.本研究已進行儀器架設與基本地形資料收集作業，對研究區已有初步瞭解。目前僅有階段性成果，仍有待繼續努力。

2. 實驗的各種狀況模擬，仍有待更細緻的安排，預計今年仍要繼續努力。

3.本研究設立長期沉積物觀測系統，資料的持續累積之後，將有助於瞭解高山地區之降雨對於地形作用之關係。

七、參考文獻

- Böse, M., (2006) Geomorphic altitudinal zonation of the high mountains of Taiwan, *Quaternary International*, 147: 55-61.
- Cain, N. (2004) Mechanical and chemical denudation in mountain system, in Owens, P. N. & Slaymaker, O. (eds.), *Mountain Geomorphology*, Arnold, 132-152.
- Dadson, S. J., Houvius, N., Chen, H., Dade, W. B., Hsieh, M. L., Willett, S. D., Hu, J. C., Horng, M. J., Chen, M. C., Stark, C. P., Lague, D. & Lin, J. C. (2003) Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen, *Nature*, 426: 648-651.
- D'Agostino, V., Lenzi, M. A. and Marchi, L. (1994) Sediment transportation and water discharge during high flows in an instrumented watershed, in Ergenzinger, P. & Schmidt, K. H.(eds.), *Dynamics and Geomorphology of mountain rivers*, Springer-Verlag, 67-81.
- Embleton, C. and Cuchlaine, A. M. (1975) *Periglacial Geomorphology*, London: Edward Arnold Ltd.
- Garcia, C., Laronne, J. B. and Sala, M. (2000) Continuous monitoring of bedload flux in a mountain gravel-bed river, *Geomorphology*, 34: 23-31.
- Hall, K. (1997) Rock temperatures and implications for cold region weathering: I. New data from Viking Valley, Alexander Island, Antarctica. *Permafrost and Periglacial Processes*, 8 (1): 69-90.
- Hall, K. (2004) Evidence for freeze-thaw events and their implications for rock weathering in Northern Canada, *Earth Surface Processes and landforms*, 29: 43-57.
- Jen, C. H., Lin, J. C., Hsu, M. L. and Petley, D. N. (2006) Fluvial transportation and sedimentation of the Fu-shan small experimental catchments, *Quaternary International*, 147, 34-43.
- Lautridou, J. (1988) Recent Advances in Cryogenic Weathering, In: Clark, M. J. (eds.), *Advances in Periglacial Geomorphology*, New York: John Wiley & Sons Ltd, 33-47.
- Lin, J. C., Petley, D., Jen, C. H., Koh, A. and Hsu, M. L. (2006) Slope movements in a dynamic environment - A case study of Tachia River, Central Taiwan, *Quaternary International*, 147: 103-112.
- Matsuoka, N. (1990) The rate of bedrock weathering by frost action: field measurement and predict model, *Earth Surface Processes and Landforms*, 15: 73-90.
- Ørbæk, J.B., Tombre, I. and Kallenborn, R. (2004) Challenges in Arctic-Alpine Environmental Research, *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 36 (3): 281-283.
- Putkonen, J. (2003) Determination of Frozen Soil Thermal Properties by Heated Needle Probe, *Permafrost and Periglacial processes*, 14: 343-347.
- Vieira, G., Mora, C. and Ramos, M. (2003) Ground temperature regimes and geomorphological implications in a Mediterranean mountain (Serra da Estrela, Portugal), *Geomorphology*, 52: 57-72.

國際合作計畫赴國外研究心得報告

計畫編號	NSC-95-2116-M-002-005-
計畫名稱	台灣山地形演育之研究
出國人員姓名 服務機關及職稱	林俊全 台灣大學地理環境資源學系教授
出國時間及地點	2007-1-16 至 31 德國柏林
合作研究機構	柏林自由大學地理系
合作計畫名稱	台灣山地形演育之研究
合作計畫主持人	Professor Margot Böse
出國事由	在德國柏林自由大學實驗室進行實驗

一、內容及成果：

火炎山沈積物沖蝕試驗

2007/1/24-25 於柏林自由大學

一、沖蝕實驗槽介紹

沖蝕試驗槽隸屬於德國柏林自由大學地理學系，沖蝕槽主體長 5 公尺、寬 1.5 公尺、高 80 公分，沖蝕水槽動力來自二個幫浦，當二個幫浦全開時沖蝕槽水量可達每秒 200 立方公尺，坡度從 0 度最高可升至 35 度。



圖一、沖蝕槽全景

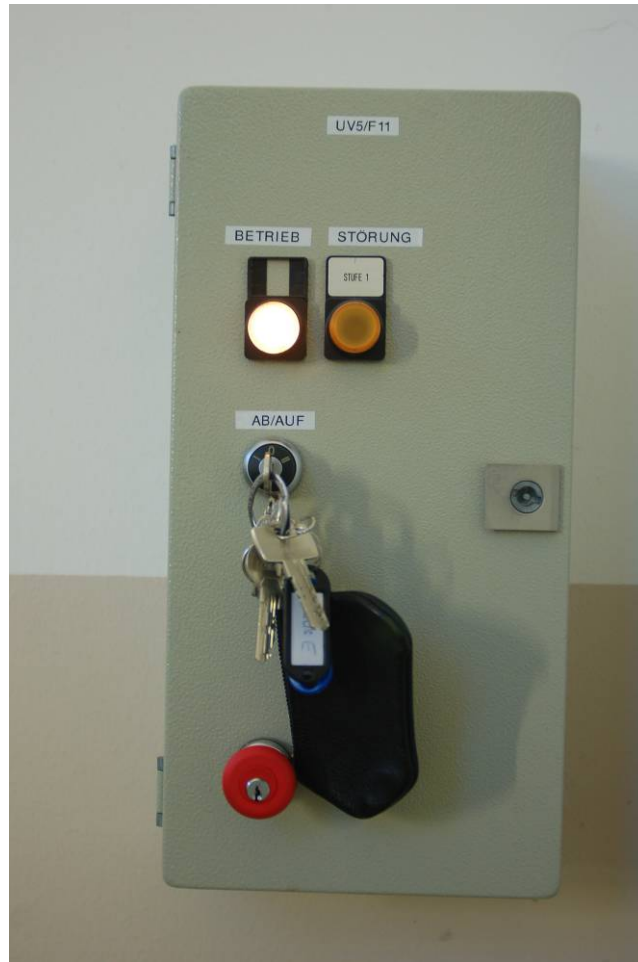


圖二、沖蝕槽沖蝕進行時水流動情形



圖三、沖蝕槽與坡度升降指標

沖蝕槽的電力與升降控制，如圖四所示。下方紅色按鈕為總電源，當按鈕壓下時整體供電會完全停止，若要打開電源需配合鑰匙拉起，供電使得恢復。位於中間位置之控制扭為河道升降所用，AB 表示下降、AUF 表示上升。圖五為幫浦開關，上方二個控制扭分別為幫浦一及二號之開關，當二個幫浦要同時運作時須注意，前後需間隔十秒左右，以避免幫浦同時打開之抽水量過大，而導致供水量不足。另外實驗進行同時，除水深之外亦同時進行流速的量測，圖六為使用之流速儀。



圖四、沖蝕槽電源控制開關



圖五、幫浦電源控制開關



圖六、流速儀

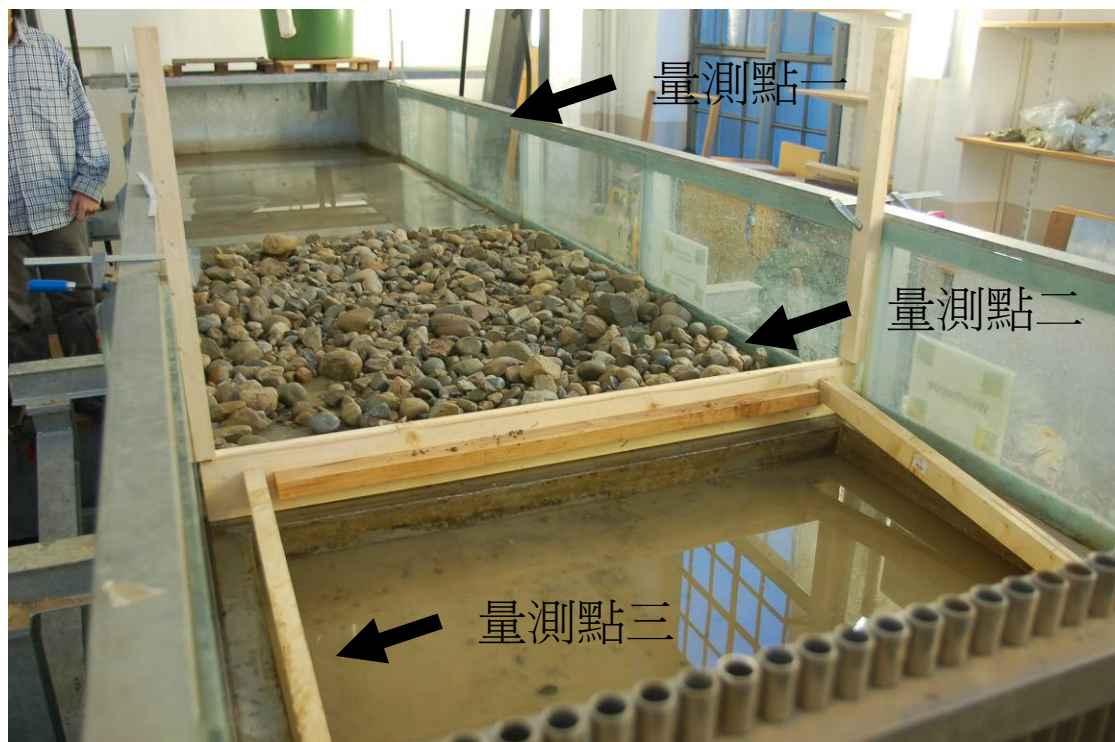
二、實驗進行說明

沖蝕實驗物質由台灣苗栗火炎山地區所採，火炎山地質上屬於礫岩惡地，地層主要由大小礫石混和土沙，焦結狀態不佳，每當大雨發生或重力作用的影響邊坡上的礫石變化掉落至河道，並向下由移動。本實驗進行之主要目的便是欲瞭解當大雨發生時河道上之礫石的移動情形，以及水量與沖蝕變化間的關係。

圖七、火炎山位置圖

圖八、火炎山地質圖

實驗的進行由河道傾角零度開始進行，至七度時河道堆積物完全被侵蝕掉為止。試驗進行為每升高河道一度，便針對流速、水深、河道幾何做量測，完成後下降河道一度，之後再升高至欲試驗的坡度。以下為實驗進行過程與照片記錄。



圖九、流速及水深量測位置

沖蝕槽由零度開始進行實驗，二個幫浦全開水量達每秒 200 立方公尺。在零度至抬升至二度之間，沖蝕槽上所鋪設的土石為有明顯變化，幾乎與最初鋪設之狀態相同。當沖蝕槽抬升至三度之後，土石明顯往下游方向移動，並且有較為集中堆積的現象，但堆積區無任何礫石。實驗持續進行將坡度增加至四度，礫石變化情形與三度相較顯示向下游處更為集中，而堆積區仍然無堆積之礫石。

當沖蝕槽抬升至五度並經過沖蝕之後，沖蝕區土石除了更向下游集中外，堆積區始有被沖蝕出的礫石，這些礫石分佈的空間位置主要集中於靠近沖蝕區之處，另外有少數位於沖蝕槽最後末端的欄杆附近。而經過坡度六度的沖蝕之後，沖蝕區的土石幾乎多數皆被流水帶至堆積區堆置，僅留下少數大顆粒的礫石留於沖蝕區末端木製檔板處。在坡度七度的流水沖蝕後，所有的土石完全被帶離至堆積區堆積，實驗也隨著土石被完全侵蝕完畢而完成。



圖十、零度河道狀態照片一（沖蝕後）



圖十一、零度河道狀態照片二



圖十二、零度河道狀態照片三



圖十三、一度河道狀態照片（沖蝕後）



圖十四、二度河道狀態照片（沖蝕後）



圖十五、三度河道狀態照片



圖十六、四度河道狀態照片



圖十七、五度河道狀態照片一



圖十八、五度河道狀態照片二



圖十九、五度河道狀態照片三



圖二十、五度河道狀態照片四



圖二十一、六度河道狀態照片一



圖二十二、六度河道狀態照片二



圖二十三、六度河道狀態照片三



圖二十四、七度河道狀態照片一



圖二十五、七度河道狀態照片二

三、 結果與討論

(一) 土石沖蝕情形

土石之沖蝕量與變動，明顯隨著沖蝕槽的坡度增加而變化，特別是在坡度升至三度之後，土石明顯向下游產生移動，且在五度之時開始有沖蝕量出現，經量測後被沖蝕之土石量為 17 公斤。接受六度的沖蝕完後幾乎所有的土石皆被沖蝕帶至堆積區，只餘留少數粒徑較大的礫石，量測沖蝕總量總數為 235 公斤；最後至七度的沖蝕完後，所有的礫石被沖蝕殆盡，量測所有土石總重結果為 250 公斤。

表一、土石沖蝕量變化

坡度	0	1	2	3	4	5	6	7
沖蝕量 (公斤)	0	0	0	0	0	17	235	250
百分比	0	0	0	0	0	6.8	94	100

(二) 流速與水深變化

本實驗進行時，隨著坡度的不同針對沖蝕槽不同位置的三處進行流速與水深的量測，並另外對未有鋪置土石的沖蝕槽亦進行相同量測，並以此比較二者之不同。

當沖蝕槽內有土石鋪置時，就三個不同量測點的流速而言，量測點一、二變化趨勢較為相似，為隨坡度提升而增加，量測點一的變化尤其明顯，但當坡度超過三度之後，流速便維持於 2.1~2.5 之間，未持續增加。量測點二的變化則不穩定，在五、六度的流速明顯降低，原因推測可能來自於流速計的擺置方式不佳所導致。至於量測點三，可能因沖蝕區末端檔板減緩流速之故，在實驗中的流速並未有大幅度的變化。

在水深的變化方面，零度至二度的水深於三個量測點變化在 2~7 度內，在三度後與之前有明顯的區別，但由此開始至實驗結束，各量測點的水深只有小幅度的變化，以此量測數值來看，

二、三度可說為水深變化的臨界界線。

表二、沖蝕槽鋪置土石之流速與水深變化

坡度	0	1	2	3	4	5	6	7
流速 1 (v/s)	0.25	0.43	0.55	2.1	2.2	2.4	2.3	2.5
2	0.27	0.91	1	0.5	1.1	0.3	0.3	2.3
3	0.72	0.8	0	0.5	0.8	0.9	0.6	0.9
水深 1 (cm)	28	24	21	9	5	5	5	5
2	28	26	28.5	27	25	19	22	22
3	23	22	24	26	26	27	30	24

未鋪置土石的沖蝕槽流速與水深量測結果如表三。三個量測點的流速變化，在二度之前流速皆低於 0.5，而抬升至三度之時，除量測點二之外，另外二點的流速皆有增加，且點一的變化更為明顯，增加為四倍的數值。但就此之後，點一的流速只微量增加至 2.7。但點二則持續增加至 2.2，點三流速則較為持平。水深的變化在點一的變化比其餘二個量測點的變動程度較為劇烈，在零至二度水深由 28 逐漸降低至 21 公分，在三度時大幅度降至 8 公分，自此之後只在降至 7 公分便無變化。點二、三的水深變化在 5 公分之內，且變化的頻率與幅度皆小於點一的水深變動。

表三、沖蝕槽未鋪置土石之流速與水深變化

坡度	0	1	2	3	4	5	6	7
流速 1 (v/s)	0.2	0.5	0.5	2.1	2.4	2.5	2.7	2.7
2	0.3	0.4	0.4	0.03	0.7	1.3	2.2	2.2
3	0.2	0	0	0.4	0.7	0.6	0.4	0.4
水深 1 (cm)	28	23	21	8	8	7	7	7
2	28	28	28	27	23	23	23	23
3	22	24	25	26	25	25	24	24

比較沖蝕槽內有放置土石與沒有放置二種不同的流速與水深變化情形，量測點一的變動為最明顯也是幅度最大之處。觀察量測點一於二種不同情形下的水深與流速數值，坡度三度是劇烈變化的分界點，且至四度之後所量測到的數值便呈現穩定的狀態，若配合土石移動的情形，坡度三度可能是沖蝕能量明顯增加的一個臨界點，此後的沖蝕能量雖然仍持續增加，但增加幅度比起二度至三度的變化要來得小。沖蝕能量若是在此假設的推論下，坡度在三度之後的土石移動變化，可能受重力及底部鋼板摩擦力過小的因素所影響，因此沖蝕槽底部物質在實驗進行中的影響，可能需要儘量減小，對於重力作用的影響探討可能有較為明確的討論。

二、建議事項

- (一) 本次以台灣的沈積物樣本進行河道搬運實驗，獲得相當多的實驗數據成果，顯示藉由國際合作的機會，可以進行不同的合作研究。未來建議持續擴展國際合作研究，藉由兩國研究人員互訪，或是以外國合作單位所擁有之實驗器材進行研究，

可以在短期間內產生許多研究成果，並且訓練我方的研究人員與研究生。

- (二) 本研究計畫是台灣大學地理環境資源學系與德國柏林自由大學地理系在台灣高山地區地形研究的持續，過去的研究成果已藉由雙邊研討會進行發表，並且相關成果也已發表於國際期刊。未來本研究計畫也將以相同模式進行，擴大邀請國內外相關領域學者進行研討會，並於國際期刊發表合作研究成果。希望除了國際合作研究外，國科會與其他相關政府研究單位能支援辦理類似國際研討會，拓展台灣在地形研究的國際能見度。
- (三) 本計畫除了國際合作研究之外，也希望能藉由該合作的機會，使雙方學生可以選修對方課程。在此合作架構下，德國方面已設計與野外地形、地質相關的考察課程，台灣大學方面也設計了「野外地形課程」。期望能使雙方大學或研究生能參與國際交流與合作，並且獲得相關經費的支援。

三、攜回資料

- (一) 河道沈積物搬運模擬相關數據。
- (二) 台灣高山冰緣地形相關研究分析資料。