環境與世界 第十七期:21頁~36頁(2008) 國立高雄師範大學地理學系 Environment and Worlds (17):21~36(2008) Department of Geography, National Kaohsiung Normal University

# 礫石河道的沖蝕試驗之研究-以火炎山礫石沖積物為例<sup>1</sup>

Experiment on fluvial processes of conglomerate channel -an example of Hoyenshan conglomerate sediments

林俊全<sup>2</sup> 陳毅青<sup>3</sup> 林建偉<sup>3</sup> 任家弘<sup>4</sup> 阿信·舒特<sup>5</sup> 瑪格利特·博斯<sup>5</sup>

Jiun-Chuan Lin, Yi-Chin Chen, Jian-Wei Lin, Chia-Hung Jen,

Achim Schulte, Margot Böse

#### 摘要

本研究以瞭解礫石河床的推移質搬運方式與坡度的關係,並用以探討火炎山沖蝕溝可 能的沖蝕與搬運方式。研究對象為三義火炎山的礫石沖積物,利用柏林自由大學水文地形實 驗室,模擬豪雨時的水文現象,探討不同坡度的沖蝕與搬運特性。

實驗結果顯示在平緩的河床上(小於4°),推移質的搬運量並不多。然而豪雨時河川流 速超過每秒鐘2公尺的流速時,礫石便很容易被搬運,顯示流速高的水流對礫石搬運的搬運 能力非常強,而坡度超過7°(15%)以上的礫石河道,非常容易被流速2-2.5公尺的急流搬 運。實驗槽中的火炎山礫石,如果沒有特殊的阻礙物,非常容易被搬運離開原來的位置,在 10分鐘之內,實驗槽中的礫石便全數被搬運殆盡。本研究顯示礫石在河道中搬運河床坡度 有關連性。

#### 關鍵詞:推移質、礫石、實驗槽、河床坡度

<sup>1</sup> 本研究承林務局新竹林區管理處、國科會與台大地理系研究經費支援,特此致謝。

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 國立台灣大學地理環境資源學系教授(通訊作者)(E-mail: jclin@ntu.edu.tw)

<sup>3</sup> 國立台灣大學地理環境資源學系研究助理

<sup>4</sup> 國立高雄師範大學環境教育暨安全衛生中心助理研究員

<sup>5</sup> 德國柏林自由大學地理系教授

### 一、前言

火炎山自然保留區為台灣現有的 19 個自然保留區之一,主要為厚層礫石層受侵 蝕所產生的惡地地形(王鑫,1982)。整個火炎山是由頭嵙山層礫岩所組成,其特色 是岩層中含有大量礫石以及少量細粒物質所組成的礫石層,由於礫石的膠結物是鬆散 的沙與泥,因此常常會由於地表的侵蝕作用,產生劇烈的邊坡沖蝕現象。其特徵為蝕 溝發達、地表沖刷作用強烈,邊坡垂直聳立礫石惡地地形(林俊全,1992a、b)。

過去研究顯示火炎山河道高程變動中,河道的堆積及侵蝕都發生在上方接近源 頭與下方沖積扇區域,中段的河道高程剖面沒有發生太多變動。主要是上方崩塌地 所生產的礫石與其他沈積物暫時堆積在下邊坡的坡腳與河道中,但在降雨事件發生 時,堆積在坡腳與河道的礫石與沈積物會再度被搬運,最後離開河道而進入沖積扇。 尤其是降雨量超過100公釐時,礫石堆積物以推移質的形式搬運(林俊全等,2007)。 因此如果能瞭解颱風與豪雨來臨時,礫石堆積物可能如何被搬運,或有助於對台灣 的河道推移質的搬運有更多的瞭解。

由於颱風豪雨時期的礫石搬運的野外觀測並不容易進行,因此以實驗室的水槽 觀測是一個比較可行的方法。本研究以柏林自由大學地理系的實驗槽進行實驗,期 望以模擬的方式研究颱風與暴雨時期河道中礫石沈積物的搬運方式與特性,因此將 火炎山礫石樣本以海運送至柏林自由大學以進行實驗。



圖1 研究區範圍(資料來源:內政部1:25000 經建版地形圖)

## 二、研究目的

本研究的目的是瞭解火炎山河道礫石與沈積物如何被搬運,尤其是颱風與豪雨 時期間地表有大量逕流匯集時的大量搬運模式。由於礫石粒徑大,堆積時易形成暫 時穩定的結構,相對地並不易再次被搬運。因此火炎山地區的礫石堆積物在颱風豪 雨時的搬運,是一個具有快速地形發育意義的研究課題。

一般而言,颱風和豪雨時期在野外進行礫石搬運的觀測研究不容易,本研究以 實驗槽進行模擬,以瞭解礫石沈積物的搬運特性。而除研究搬運作用外,並在實驗 中的觀察,檢討實驗過程與相關步驟,尋找未來進行相關實驗時可能的改進之道。



圖 2 4號子集水區源頭之崩塌地,可觀察到裸露邊坡中厚層頭嵙山層礫岩,由礫石 顆粒之間互相緊壓堆疊所支撐,其間的縫隙由細顆粒物質填充而形成穩定結構。坡 腳與河道堆積著許多被侵蝕掉落的礫石,等待下次颱風豪雨來臨再次被往下游搬運。

## 三、研究區簡介

火炎山位處台灣苗栗縣三義鄉,鄰近大安溪北岸,是以礫石層為主的更新世岩 層,在火炎山形成五個子集水區,子集水區最上游區域為大面積崩塌地,邊坡裸露 且持續快速崩塌後退,產生許多礫石沈積物;河道因劇烈侵蝕作用而下切,將上方 與兩側崩塌所形成的礫石向下搬運;下方則有五個巨大的聯合沖積扇,主要是由河 道搬運而來的礫石與沈積物再次堆積所形成。裸露的邊坡、陡直的乾河道與巨大的 聯合沖積扇成為火炎山最主要的地形特徵。

沖積扇的形成主要是因為降雨使地表逕流匯聚,產生巨大的搬運力,將河道中 原本堆積的礫石與細粒物質重新移動。這些物質的移動方式與土石流類似,也就是 夾帶礫石的泥流(褚炳麟,1982;謝豪榮等,1985;Blair,1999;Harvey,2002)。在 土石流沖出谷口後,因為流路加寬使搬運力大幅降低,土石流便堆積而呈錐狀攤開, 不斷的堆積加高而成為沖積扇。火炎山沖積扇因為上方供應的土石量充足,每次颱 風或豪雨都可能夠造成地形的變化(林俊全等,2007;葉堃生,1999;陳永寬等, 2000)。

來自於上游崩塌地下方坡腳堆積的礫石再次被搬運時,也會對河道兩側產生侵 蝕作用(林俊全,1992b;Baily et al.,2003;Huang et al.,2001)。由於孔隙大,地表 逕流下滲速度極快,平時河道處於無水的乾溝狀態(De Poly et al.,1991;Gomez-Villar et al.,2000;Selby,1993)。一到颱風與豪雨時期,從上游與邊坡匯入的地表逕流, 開始對於河道與兩側進行侵蝕作用,河道中充足的水量形成土石流往下游移動,在 下游形成沖積扇堆積(Bovis,1999;Field,2001;Martinez-Casanovas,2003)。

整個火炎山地區的地形特色包含崩塌地、河道與沖積扇,相關地形參數如表 1 所示。火炎山的礫石層經雨水沖刷後,礫石進入河道而後被往下游搬運,而河道的 特性是長度短且坡度大,平時乾涸且礫石堆積,在颱風與豪雨期間匯集地表逕流而 形成暫時性河川。最長的河道長約 920 公尺,平均河道坡度約在 10 至 15°。由表 1 可知,3 號子集水區的面積最大,河道長度也最長。各子集水區平均坡度除 3 號為 16°之外,其餘為 20°左右。各子集水區河道的平均坡度差異較小,除 1 號集水區外 都在 10°至 11°之間。

根據過去研究(林俊全,2007),火炎山地區在24小時累積降雨達到100公釐 以上時,都會產生上方崩塌地與下方沖積扇的變化,也就是地表在劇烈的外營力作 用下產生侵蝕、搬運與堆積。主要的侵蝕區在集水區上方崩塌地和河道與兩側邊坡; 主要的堆積區則在下方沖積扇。因此形成地形的變化。

根據中央氣象局在火炎山鄰近地區測站的降雨資料顯示,主要的降雨期為每年的四至九月,包括春雨、梅雨、對流雨和颱風降雨,平均佔總年降雨量的65%以上。 根據1982年至2001年降雨資料顯示,有12次日降雨量大於100mm,其中以1996年7月28日至8月1日的賀伯颱風降雨量最大,在5日內總計降下550mm,平均 每一日超過110mm,形成嚴重災害。這些颱風與豪雨在火炎山地區容易形成崩塌與 土石流,使通過沖積扇南側的道路苗縣道130甲被土石淹沒,形成交通中斷。根據 吳仁明等(2004)的統計,在1992年至2004年之間,共發生10次以上土石中斷交 通的災害,大部分都是由颱風所帶來大量降雨所形成,顯示由颱風與豪雨所帶來的 大量降雨對火炎山地形的發育與變遷扮演相當關鍵的角色。

集水區編號	1	2	3	4	5
面積(m²)	98780	64545	188767	83834	96820
最高點(m)	460	440	530	417	418
最低點(m)	190	193	188	186	185
平均坡度	$21^{\circ}$	$22^{\circ}$	$16^{\circ}$	$19^{\circ}$	$20^{\circ}$
河道長度(m)	497	521	917	364	451
平均河道坡降	$15^{\circ}$	$11^{\circ}$	$11^{\circ}$	$11^{\circ}$	$10^{\circ}$

表1 火炎山集水區主要地形參數(以 2002 航照製作之 DTM 計算結果)

(註:子集水區最東側為1號,最西側為5號)



圖 3 火炎山的沖積扇(資料來源:林務局農林航空測量所,拍攝日期 2002 年 6 月)

#### 四、研究課題

本研究主要的課題是實驗槽的礫石河道搬運實驗。火炎山侵蝕作用主要是伴隨 降雨事件而發生(林俊全等,2007;吳仁明等,2004),其原因為地層中礫石膠結不 良,使得邊坡容易發生侵蝕現象。礫石層內粒徑大的礫石,彼此之間互相接觸而形 成穩定結構,使裸露坡面有足夠的支撐力能避免崩落,形成峭壁景觀。在降雨時顆 粒之間的膠結受到侵蝕,因而產生空隙,也破壞整體結構,部分礫石在沒有足夠支 撐之下,邊坡就發生崩落的現象(陳榮河,1990;王瑞斌,2001)。

火炎山地區的土壤分佈,主要受到崩塌與氣候因素所控制。根據台灣省政府農 林廳山地農務局(1983)有關苗栗縣山坡地土壤調查報告指出,火炎山地區主要的 土壤有高溫多雨氣候區常見的黃棕色紅壤,及由邊坡上崩落之灰黃色崩積土。黃棕 色紅壤區,土壤厚度極薄,礫石佔80%以上,排水性良好。原因在於火炎山邊坡陡 峭,無法留住風化後產生的土壤,導致於土壤層太薄,植物無法順利生長,所以無 法形成穩定土石的效果,這也是火炎山區邊坡持續崩塌的原因之一。

由林昭遠等人(2008)的研究顯示,河水的侵蝕力來自河道中流水對於河道與 沈積物的剪應力,如以下公式所示:

$$E = k_{\mu} \tau_{\mu}^{a}$$

其中 $k_b$ 是抗侵蝕因子, $\tau_b$ 是流水所造成的剪力,其強度如下公式所示:

$$\tau_b = \rho C_f^{1/3} \left[ \frac{gSQ}{W} \right]^{2/3}$$

 
 ρ 是水體密度, C<sub>f</sub>是摩擦因子,g 是重力加速度,S 是河道坡度,Q 是河川流 量,W 是河道寬度。由公式可知,在河道中沈積物搬運主要受到河川坡度、流量、 寬度等因子控制。在研究礫石搬運的模擬中,可控制這些因子進行實驗,瞭解各因 子的重要性。在本研究中,實驗主要控制的因子是河道坡度,也就是以固定流量, 針對不同坡度,研究其對於河道礫石搬運量與速率之影響。

就礫石搬運特性而言,本研究主要以柏林自由大學的實驗槽進行搬運模擬。著 眼的便是巨大沖蝕作用的機制的控制。由每秒鐘所提供的 200 公升的水量(0.2 cms),可以使模擬的河水流速達到每秒 2.7 公尺,原主要是為了颱風豪雨等規模較 大的作用而設計,因此粒徑小於 2 公分的礫石與其他沈積物並不適合進行實驗。在 火炎山地區的礫石與沈積物樣本中,粒徑小於 2 公分的部份必須先水洗去除,只保 留粒徑大於2公分的礫石。

## 五、研究方法

本研究主要的目的是以實驗的方式,研究河道坡度與流速對礫石沖刷作用的方 式與影響方式。礫石樣本主要是採取沖積在火炎山沖積扇上的礫石,標本量約有 300 公斤。實驗室的沖蝕實驗是以在火炎山沖積扇上所採集的礫石樣本,以相同的流量、 不同的坡度進行礫石搬運實驗。

#### 1. 沖蝕實驗槽

德國柏林自由大學地理學系沖蝕試驗槽主體長 5.5 公尺、寬 1.5 公尺、高 0.8 公尺,實驗用水由二個幫浦提供,可以依據實驗所需水量進行操控,最大水量可達 每秒 200 公升(0.2 cms)。除水量控制之外,水槽的坡度依據實驗所需,坡度可從 0° (平坦)至高可升至 35°。本研究主要是以固定流量,實驗不同坡度對於礫石搬運 的影響。

#### 2. 實驗步驟

- (1)首先將礫石樣本中粒徑小於2公分的礫石與沙泥部份篩除,只留粒徑大於2公分的礫石。淘選過的礫石鋪於實驗槽中,最前端留下約1.5公尺空隙,礫石鋪成厚度約15-20公分,長度約1.5公尺的區域(請參閱圖4上視圖與側視圖)。
- (2)進行實驗時由河道坡度 0°開始進行,最高至河床坡度為 7°。每一回合實驗 進行的終止時間為實驗河道中礫石沈積物便被完全被搬運為止,每升高河 道 1°進行一次實驗,在實驗過程中對流速、水深、河道形狀進行量測。每 一回合實驗完成後後再升高至下一個實驗設定之河道坡度。
- (3)實驗完畢清理實驗槽的堆積物,計算搬運礫石總重量,並將礫石重新排回 實驗槽。
- (4) 重覆進行上述實驗過程。



圖4 實驗槽簡圖

#### 3. 實驗過程與結果

沖蝕槽由河道為 0°開始進行實驗,設定水量達每秒 200 公升(0.2 cms)。在沖 蝕槽的坡度由 0°抬升至 2°之間,沖蝕槽上所鋪設的土石沒有明顯變化,只有少數礫 石被移動,其餘部分幾乎與最初狀態相同。

當沖蝕槽抬升至 3°之後,礫石在實驗中開始明顯往下游方向移動,尤其是原本 堆積在上游部分的礫石,並且原本中段的礫石有集中堆積並且厚度增加的現象,但 最下方堆積區仍無任何礫石。

實驗坡度增加至 4°時,中段礫石變化情形與 3°相類似,礫石集中更向下游移動,且堆積區仍然無堆積之礫石。實驗結果顯示河道坡度在 0°至 4°之間,並沒有顯著的搬運現象。

當沖蝕槽抬升至 5°的坡度時,經過流水沖蝕搬運後,中段礫石堆積除了更向下 游集中外,更下游區域開始有礫石。而礫石主要集中於原本礫石放置的最下方區域, 而有少數被搬運的礫石直達實驗槽最末端區域。

在沖蝕槽河道坡度 6°的狀況下,經河水搬運之後,原本在礫石區的礫石大部分 被搬運至實驗槽最末端堆置,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 7°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結束。



圖 5a 河道坡度為 0°實驗後狀態



圖 5b 河道坡度為 1°實驗後狀態



圖 5c 河道坡度為 2°實驗後狀態



圖 5d 河道坡度為 3°實驗後狀態

#### 30 環境與世界



圖 5e 河道坡度為 4°實驗後狀態



圖 5f 河道坡度為 5°實驗後狀態



圖 5g 河道坡度為 5°實驗後狀態



圖 5h 河道坡度為 7°實驗後狀態

六、結果與討論

#### 1. 礫石沖蝕情形

礫石之搬運量與變動,明顯隨著沖蝕槽的坡度增加而變化(表2)。在坡度升至 3°之後,部分礫石開始向下游產生搬運。在實驗槽坡度升到5°後,開始出現礫石被 搬離實驗槽的河道。在河道坡度為5°的狀況下,被搬運之土石量為17公斤。河道 坡度為6°時,搬運量立刻大量增加。幾乎所有的礫石皆被沖蝕帶至堆積區,只餘留 少數粒徑較大的礫石,被移動的沖蝕總量為235公斤。當河道坡度增加到7°時,所 有的礫石被沖刷殆盡,量測所有被搬運礫石總重量250公斤。

				1.1				
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

表 2 土石沖刷量變化表

#### 2. 流速與水深變化

在不同的坡度實驗進行時,針對實驗槽三處不同的位置進行流速與水深的量 測,由上至下分別是測量點一、二與三,其位置在礫石堆積區的前端、中點與後端。 另外並對未有鋪置土石的實驗槽部分也進行相同的流速量測,並以此比較二者之不 同。實驗進行時水流成擾流(turbulent),水流的深度大致保持一定(表3)。

以實驗進行時量測點一、二與三的流速而言,量測點一、二變化趨勢較為相似, 流速會隨坡度提升而增加,量測點一的變化尤其明顯,但當坡度超過3°之後,流速 便維持於流速每秒 2.1~2.5 公尺之間,未持續增加。量測點二的變化則不穩定,在 河床坡降達 5、6°時,其流速明顯降低,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,也就是在實驗槽尾端的沈積區,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。至於是否因為堆積區的影響, 則無法判別。

在水深的變化方面,河床坡降 0°至 2°時,水深並沒有太大區別。三個量測點的 水深變化在實驗槽坡度達 3°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,實驗槽坡度在 2°至 3°是水深變 化的臨界界線。

坡度	0	1	2	3	4	5	6	7
流速(m/s) 第一量測點	0.25	0.43	0.55	2.1	2.2	2.4	2.3	2.5
流速(m/s) 第二量測點	0.27	0.91	1	0.5	1.1	0.3	0.3	2.3
流速(m/s) 第三量測點	0.72	0.8	0	0.5	0.8	0.9	0.6	0.9
第一量測點 水深(cm)	28	24	21	9	5	5	5	5
第二量測點 水深(cm)	28	26	28.5	27	25	19	22	22
第三量測點 水深(cm)	23	22	24	26	26	27	30	24

表 3 沖蝕槽鋪置十石之流速與水深變化

未鋪置土石的沖蝕槽流速與水深量測結果如表 4。三個量測點的流速變化,在 坡度為 2°之前,流速皆低於每秒 0.5 公尺。而坡度抬升至 3°之時,除第二量測點之 外,另外二點的流速皆有增加,且第一量測點的變化更為明顯,增加為四倍的數值。 但就此之後,第一量測點的流速只微量增加至每秒 2.7 公尺。但第二量測點則流速 持續增加至每秒 2.2 公尺,第三量測點流速則較為持平。水深的變化在第一量測點 的變化比其餘二個量測點的變動程度較為劇烈,在 0 至 2°水深由 28 逐漸降低至 21 公分,在 3°時大幅度降至 8 公分,自此之後只在降至 7 公分便無變化。第二、三量 測點的水深變化在 5 公分之內,且變化的頻率與幅度皆小於第一量測點的水深變動。

坡度	0	1	2	3	4	5	6	7
流速(m/s) 第一量測點	0.2	0.5	0.5	2.1	2.4	2.5	2.7	2.7
流速(m/s) 第二量測點	0.3	0.4	0.4	0.03	0.7	1.3	2.2	2.2
流速(m/s) 第三量測點	0.2	0	0	0.4	0.7	0.6	0.4	0.4
水深(cm) 第一量測點	28	23	21	8	8	7	7	7
水深(cm) 第二量測點	28	28	28	27	23	23	23	23
水深(cm) 第三量測點	22	24	25	26	25	25	24	24

表 4 沖蝕槽未鋪置土石之流速與水深變化

比較實驗槽內礫石區與與非礫石區的流速與水深變化情形時,第一量測點的變 動最為明顯也是幅度最大之處。觀察第一量測點於二種不同情形下的水深與流速數 值時,發現河床坡降 3°時是劇烈變化的分界點,當坡降至 4°之後所量測到的數值便 呈現穩定的狀態。若配合礫石移動的情形判斷,河床的坡度為 3°時,可能是搬運能 量明顯增加的一個臨界點,因為礫石搬運量增加了。此後的沖蝕能量雖然仍持續增 加,但增加幅度比起 2°至 3°的變化要來得小。搬運能量若是在此假設的推論下,河 道坡度在 3°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組成的特性,以及在實驗進行中所可能的影響,都需要儘 量減小,以免實驗誤差增加。

- 3. 火炎山的實況推算與實驗結果比較
  - (1)由表1推算第三號小集水區的水文特性而言,集水面積如果以一天降下100 公釐的降雨量在集水區中,假設下游出口的截面積是50平方公尺,則河流 流速可達到每秒2.5公尺。這樣的河川流速與本實驗設計相當。一天之內降 下100公釐的雨量主在颱風或豪雨的狀況,因此火炎山礫石層在颱風與豪雨 期間受到劇烈的侵蝕與搬運。
  - (2)以1982年至2001年降雨資料顯示,有12次日降雨量大於100mm,平均每 兩年發生一次。而吳仁明等(2004)的研究顯示,在1992年至2004年之間, 共發生10次以上土石中斷交通的災害,大部分都是由颱風所帶來大量降雨 所形成,顯示由颱風與豪雨所帶來的大量降雨對火炎山地形的發育與變遷扮 演相當關鍵的角色。
  - (3)礫石組成排列與搬運性而言,實驗槽內的礫石為排列,可能與火炎山河道中 礫石經過自然搬運、掏選與再堆積所形成的排列有所差異,間接影響實驗模 擬與真實世界的結果。然而實驗槽模擬火炎山的礫石河道在豪雨時的沖刷現 象,或可以對實際礫石河道的搬運方式有一定程度的參考。
  - (4) 在河道現場,由於礫石層的下切、搬運方式常常受到巨石的阻礙,而無法下切,甚至形成礫石盔甲的效應,變成梯狀潭的地貌。這梯狀潭的地貌,也是礫石層河道所形成的小地形。然而在實驗槽中,因實驗槽的限制,並無法形成類似梯狀潭的小地形。
  - (5)本文僅以火炎山的礫石當作樣本,進行重複的實驗。礫石做為河道推移質, 然而由於實驗槽的底部是鋼板,並非膠結的礫石層或沒有膠結礫石堆積物。 因此與原有的場景並不同。然而由於實驗槽中,開始實驗時的礫石厚度,達 20 公分以上,因此雖然與自然狀況有所差異,但是或已經可以進行各項參 數間的比較。在未來的實驗中,或可增加礫石堆積物的厚度,以便獲得更合 乎真實狀況的結果。
  - (6)坡度是本研究所主要考量的因子。火炎山地區的河床坡度,由於多超過10°。 此次實驗過程中,設定的坡度為7°(15%),並沒有繼續進行增加河床坡度 的實驗,主要原因是當河床坡度到達7°時,許多的礫石都被沖刷殆盡。然 而由於火炎山的河床坡度均大於10°以上,超出本實驗的範圍。颱風豪雨來

臨時,如果逕流流速達到本次實驗時的流速(每秒 2-2.5 公尺),粒徑小於 15 公分以下的礫石,應該都會被搬運離開原來的位置。

### 七、謝啟

本研究得以順利完成,首先必須感謝林務局新竹林區管理處多年來的支持,讓 火炎山的研究,得以持續達21年。其次國科會、台大地理系的支持,也是非常感謝 的,讓此項研究能持續至今,甚至能將樣本運至德國進行實驗。本研究也是台大地 理系與德國柏林自由大學合作研究的一環,德國柏林自由大學地理系的協助,也是 實驗得以順利進行的關鍵。

### 八、參考文獻

- 王瑞斌 (2001) 南投九九峰卵礫石之排列及其形狀對坡度的影響,國立臺灣大學地 質科學研究所地質組碩士論文,頁 123。
- 王鑫 (1982) 火炎山自然保留區生態之研究報告,行政院農業委員會 76 年生態研究 第 003 號, 69-117 頁。
- 台灣省政府農林廳山地農牧局(1983)山坡地土壤調查報告,頁102。
- 林俊全 (1992a) 台灣第四紀地形區邊坡沖蝕觀測,國家科學委員會專題研究計畫報告,9-12頁。
- 林俊全 (1992b) 台灣苗栗火炎山地區邊坡沖蝕之研究,國立台灣大學地理學報,第 十五期,63-79頁。
- 林俊全 (2004) 火炎山自然保留區地形變遷監測 (二),農業委員會林務局新竹林區 管理處, 30-37 頁。
- 林俊全、鄭遠昌、任家弘 (2007) 苗栗三義火炎山地區的沖蝕特性之研究,中華水 土保持學報,38(3): 275-285 頁。
- 林昭遠、黃凱君、莊智瑋、林家榮 (2008) 地形指標與集水區地文因子關係之研究, 中華水土保持學報, 39(2): 183-194 頁。
- 吳仁明、趙家民 (2004) 苗栗火炎山崩塌地變遷對土石流發生之研究,環境與管理研究,9(1): 129-149 頁。
- 陳永寬、葉堃生、詹進發(2000)應用數位航測技術於三義火炎山地形變遷之研究, 航測及遙測學刊,5(1):17-31頁。

陳榮河 (1990) 土石流之發生機制,地工技術,74:21-28頁。

- 葉堃生 (1999) 應用數位航測技術於三義火炎山地形變遷之研究,國立台灣大學森 林學研究所,頁 82。
- 褚炳麟 (1982) 台灣地區麓山帶與台地礫石材料特質之初步研究,工程環境,55(9): 21-39 頁。
- 謝豪榮、吳建興(1985)林口紅土台地邊坡穩定及其土壤特性之研究,行政院國家 科學委員會防災科技研究報告 74 - 28 號,頁 51。
- Blair, T. C. (1999) Alluvial fan and catchment initiation by rock avalanching, Owens Valley, California, *Geomorphology*, 28:201-221.
- Baily, B., Collier, P., Farres, P., Inkpen, R. and Pearson, A. (2003) Comparative assessment of analytical and digital photogrammetric methods in the construction of dems of geomorphological forms, *Erath Surface Processes and Landforms*, 28:307-320.
- Bovis, M. J. and Jakob, M. (1999) The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity, *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(11):1039-1054.
- De Ploey, J., Kirkby, M. and Ahnert, F. (1991) Hillslope erosion by rainstorm- A magnitude- frequency analysis, *Earth surface processes and landforms*, 16, 399-409.
- Field, J. (2001) Channel avulsion on alluvial fans in south Arizona, *Geomorphology*, 37:93-104.
- Gomez-Villar, A. and Garcia-Ruiz, J. M. (2000) Surface sediment characteristics and present dynamics in alluvial fans of the central Spanish Pyrenees, *Geomorphology*, 34:127-144.
- Harvey, A. M. (2002) The role of base-level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada, *Geomorphology*, 45:67-87.
- Huang, C., Gascuel-Odoux, C. and Cros-Cayot, S. (2001) Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion, *Catena*, 46:177-188.
- Martinez-Casasnovas, J. A. (2003) A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, *Catena*, 50:293-308.
- Selby, M. J. (1993) Hillslope materials and processes, 2nd Ed. Oxford University Press: Oxford, 219-246.

2008年08月28日收稿 2008年10月30日修改 2008年11月20日接受

# Experiment on fluvial processes of conglomerate channel -an example of Hoyenshan conglomerate sediments

# Jiun-Chuan Lin<sup>6</sup>, Yi-Chin Chen<sup>7</sup>, Jian-Wei Lin<sup>7</sup>, Chia-Hung Jen<sup>8</sup>, Achim Schulte<sup>9</sup>, Margot Böse<sup>9</sup>

#### Abstract

This study mainly focuses on the experiment of fluvial process on conglomerate channels. The sample comes from our research area, Hoyenshan, mid-western Taiwan. The main purpose is to understand the relationship between the delivery of conglomerate pebbles as bed load and the gradient of the channel.

The flume experiment has been carried out at the Freie University, Berlin, Germany. For the experiment, the main factors involved are the flow speed and gradient of channel and we control the flow speed and make the gradient as the only variable in the experiment. The characteristics of the transportation of bed load are then being discussed.

The results show that the bed load is not transported too much on gentle channel under the inclination less than 4 degree. However, the sediments will be removed dramatically when the gradient of channel higher than 4 degree. If the gradient is over 7 degree, or 15%, the bed loads will be transported within 10 minutes at the flow speed between 2 to 2.5 m/sec. The results also demonstrate the power of the fluvial processes and the relationships between channel gradient and bed load transportation.

Key word: bed load, conglomerate rock, flume, gradient of channel

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Professor, Department of Geography, National Taiwan University. (Corresponding Author) (E-mail: jclin@ntu.edu.tw)

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Research Assistant, Department of Geography, National Taiwan University

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Assistant Researcher, Center for Environment Education and Safety, National Kaohsiung Normal University

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Professor, Department of Geography, Freie University Berlin, Germany