

匹亞桑溪集水區土石流事件之規模探討

陳文福⁽¹⁾ 吳士杰⁽²⁾ 蔡明波⁽³⁾

摘要

本研究以大甲溪支流匹亞桑溪集水區為研究區域，運用災後航空影像製作數值地形模型 (DEM)，並比對不同時期的數值地形模型，推求土砂移動造成地形變遷之變異量，且參考與比較國外兩位學者於土石流規模分類方面之研究，探討何者較適用於本研究區域之規模分級，做為未來防災及減災措施之參考。研究結果發現，於2004年敏督利颱風期間，發生之土石流總體積為240萬 m^3 ，其土石流規模在Takahashi分類法中位於第四級，在Jakob分類法中則已超過其礫石型土石流可分級之限度，故未能以Jakob分類法分級。由於Takahashi分類法中，土石流總體積只要大於15,000 m^3 即為第四級，而本研究區域之地形變異量分析結果為240萬 m^3 ，遠大於15,000 m^3 ，因此基於數據範圍之考量，Takahashi分類法並不適用於本區。建議尋找更多土石流規模分類法進行適用性之探討，或蒐集台灣其他區域之土石流規模以因地制宜方式設計適用於台灣之土石流規模分類法。

(**關鍵詞**：航空影像、數值地形模型、地形變遷、土石流規模)

Discussion on the Magnitude of Pi-Ya-Sang Creek Watershed Debris Flow Events

Wen-Fu Chen⁽¹⁾ Shih-Jie Wu⁽²⁾ Ming-Po Tsai⁽³⁾

Professor ⁽¹⁾ Graduate student ⁽²⁾ Doctoral Student ⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The study area was located in the Pi-Ya-Sang creek watershed of the Da-Jia River Basin. The aerial photos were used to build the DEM, then the DEM was compared over several particular periods. In order to infer the variations of the movements of the debris and the changes of the landform, the classifications of magnitude of debris flow events developed by previous researchers were applied to the study area. Results are expected to be used as references of disaster preventing in

(1)國立中興大學水土保持學系教授

(2)國立中興大學水土保持學系研究生(通訊作者 e-mail：2ulxrudu@yahoo.com.tw)

(3)國立中興大學水土保持學系博士生

the future. The results showed that the total volume of debris flow was 2,400,000 m³ of Typhoon Mindulle in 2004. This magnitude was classified as the fourth grade of Takahashi's Classification and over the bouldery debris flow scale of the limitation of the Jakob's Classification. As a result, the Jakob's Classification was not applicable in the study area. The total volume of debris flow was more than 15,000 m³ and belonged to the fourth grade in Takahashi's Classification. However, the landform variation was 2,400,000 m³ of the study area which was far beyond 15,000 m³. Considering the significant difference between the orders of computed magnitude and grade limitation of Takahashi's Classification, we concluded the Takahashi's Classification was not suitable for this study area. The previous magnitude classifications of debris flow needed to modify in order to fit the local factors of the study area. Collecting the magnitude of debris flow in other regions of Taiwan, and designing the debris flow magnitude classification are suggested to take action in the future.

(**Keyword:** Aerial photo, Digital Elevation Model, Landform change, Magnitude of debris flows)

前言

臺灣地區降雨有兩大特性，一是降雨豐沛，年平均降雨量高達 2,500 公釐以上，是全球平均 800 公釐的三倍；另一是降雨集中，年降雨量 80% 集中於 5~10 月間。
(<http://wrm.hre.ntou.edu.tw/wrm/ews/why1.htm>, 經濟部水資源局推動節約用水相關訊息)

又因臺灣地區地形陡峻、地質脆弱、地震與颱風頻仍，黃宏斌(2009)引用世界銀行於 2005 年刊行之 Natural Disaster Hotspots - A Global Risk Analysis 指出「臺灣地區同時暴露於三項以上天然災害之土地面積為 73%，面臨災害威脅人口亦為 73%，均高居世界第一位。」尤其自 1999 年發生 921 大地震後，造成大量土砂結構鬆散，在近年來極端降雨發生機率增加，土石災害範圍似有逐步擴大之趨勢，已嚴重影響臺灣地區整體環境與民眾生命財產之安全。

有鑑於多數常見之自然現象皆有耳熟能詳之分級，諸如：芮氏規模、蒲福風級等，其

中，土石流為臺灣山坡地主要災害之一，若有其合理之規模分級，則能透過宣導使社會大眾更易瞭解各種自然現象規模之大小，自能產生自我警戒之效果，應能有助於自然災害預防與避災之工作。

本研究以大甲溪支流匹亞桑溪集水區為研究區域，運用災後航空影像製作數值地形模型 (DEM)，並比對不同時期的數值地形模型，推求土砂移動造成地形變遷之變異量，且引用 Takahashi 與 Jakob 兩位學者於土石流規模之分類，探討適用於本研究區域之規模分級，做為未來防災及減災措施擬訂之參考。

區域概況

本研究區域以匹亞桑溪集水區為試區，其位於台中縣和平鄉博愛村東北隅，與梨山村和苗栗縣泰安鄉梅園村為鄰，佔博愛村全村 (25,159.88 公頃) 面積之 14.58%。

匹亞桑溪發源於大雪山 (海拔 3,530m)，主流長度及其支流約 36.76km。匹亞桑溪上游可分為左右兩條支流，右支流長度約 6,094m，溪

流高差約為1,142m，平均坡度為1/5.34；左支流約為5,630m，溪流高差約為1,202m，平均坡度為1/4.69。左右支流約於4K+600處匯流而下，於小澤台注入大甲溪，本區之水系及範圍圖如圖1所示。

本區高程變化較大，平均高程2,182m，最高高程達3,530m，最低高程977m。高程分布於2,000m<H≤2,500m間者最多，面積為1,272公頃，佔全區35%。

在坡度部分，本區平均坡度為86%，大多分布於六級坡以上，面積為3,177ha，佔全區87%。坡向部份，本區坡向大多為東南向最多，面積為644公頃，佔全區18%。

文獻回顧

3.1 航空影像測量

航空照片要有立體模型(Stereo model)的效果，需在同一攝影航線方向有50%以上的重疊；亦即前一張照片所覆蓋的地面範圍，後一張照片至少重複50%以上。然而因顧及飛航偏向、偏斜、航高變化、地形變化，及攝影測量控制推展上，控制點影像需在三張照片上出現，故實際上前後重疊度要求60%，並容許加或減5%的差異，即實際前後重疊為55%至65%之間。

由於空中攝影會因航線偏流、偏向、航高變化、地形起伏變化而引起航帶間的空隙，因此航線規劃必需考量到鄰接航帶間適度的左右重疊問題，以防航帶間發生空隙。一般製圖攝影左右重疊約30%，至少亦須15%以上。較大的左右重疊可避免使用邊緣附近品質較差的像點，一般以能連結兩條航帶的控制為原

則，前後重疊與航帶重疊在航線上的關係，如圖1所示(廖大牛，1980)。

利用電腦快速處理大量運算之特點，可將傳統攝影測量相對、絕對方位判定、空中三角測量、建立數值地形模型、建立正射影像等工作在電腦上運算處理。(葉俊佑，2004)。

當我們在看影像時，通常我們看到有類似紋理組織和灰階的相連區域，這些區域組合成物體。如果物體較小或是低對比，則我們通常在較高的解析度下檢視他們；如果他們較大或高對比，則較粗略的觀看及已足夠。如果有小和大的物體或較低和高的對比同時存在，則在以各解析度下探討他們是有助益的。當然這就是解析度大小處理的基本動機(Gonzalez and Woods, 2002)。

一個影像金字塔是安排成金字塔形狀的一組解析度漸減的影像。從圖2中可以看出，金字塔底部為高解析度的影像，頂端為低解析度的影像。金字塔階層是原圖層以二次幕進重新取樣的結果。金字塔階層的數目與原影像的大小有關，影像越大，則金字塔階層越多，直到最後一個金字塔可以儲存於64×64的像元中。

3.2 土石流特性

土石流之定義詳見游繁結(2007)。其最主要之特性為土體與水混合成流體後之流動係屬於連續性之流動，可將土砂石等材料移運至遠處，且由於土石流之土砂含量相當高，因此流動時會產生極大之破壞力。

研究方法

4.1 研究流程

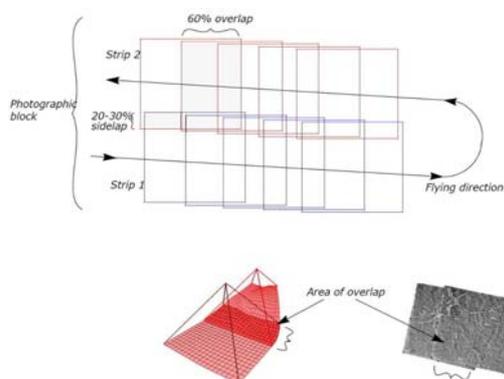


圖1 前後重疊與航帶重疊在航線上之關係
Figure 1 Relation of the same and different strips overlap on the fly route

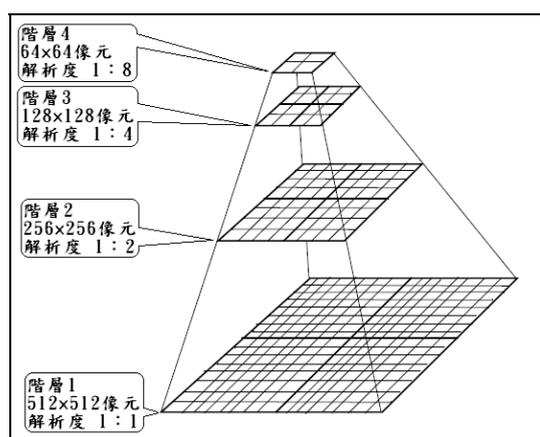


圖2 金字塔階層
Figure 2 Pyramid layers

本研究之流程如圖3所示。

4.2 空中三角測量

空中三角測量乃根據像點座標來決定該點空間座標(或稱地面座標)之作業程序。為了建立一提供量測之立體模型，模型中須有平面及高程控制點，藉由這些控制點來完成模型在

空間上之絕對定位，進而求得拍攝區之任意點點位地面座標。

空中三角測量乃利用多張影像，藉空間後方交會法以確定點位之攝影測量方法(何維信，1995)。

4.3 影像匹配技術

影像匹配技術為攝影測量邁入自動化的第一步，而區域式的點位匹配仍為目前空中三角作業中連結點量測、自動化數值地形模型生產及影像套合作業等所依賴之重要工具。

本研究採用 Leica Photogrammetry Suites(LPS)進行區域匹配，陳耀賢(1991)、劉邦偉(2003)對影像匹配原理及方法做了解釋與說明：區域匹配(Area-based matching)為相同的地物成像於左右立體像對時，其對應的像元灰度應具有相似性。而在左、右影像取一子單窗，直接對單窗內地物之灰度資訊進行相似性之評估。常見的匹配方法有標準化互相關法(Normalized cross correlation)與最小二乘匹配法(Least squares matching)。

4.4 航空攝影測量精度之探討

數位航空攝影照片中可以透過每秒一幀幅影像的速度拍攝極大量影像，因此在多數情況下幾乎都會拍攝80%的重疊影像，甚至小面積的都市測量計畫還有可能達到90%的前後重疊影像。由於重疊百分比的提升，並且所有地表的部分，都可以被覆蓋到，可使錯誤的點位匹配情形大幅減少，因此空三演算的正確性能夠有效提升，在製作DEM數值高程模型上的錯誤也會降低，匹亞桑溪集水區DEM精度檢核之成果，詳如表1所示，其中，RMSE為均方根誤差值；Ground X為X方向的均方根誤差值；

Ground Y為Y方向的均方根誤差值；Ground Z為Z方向的均方根誤差值；Image X為X方向的影像精度；Image Y為Y方向的影像精度。

數位影像較底片式好之主要原因乃它少了顆粒狀的雜訊，而缺少顆粒狀雜訊的數位影像有較高的輻射展現。例如在陰影的部分，它提供了稠密及可靠的自動化DEM萃取的能力，更由於數位影像比起底片式不需經過實驗室的相片製作，因此有較佳的幾何穩定性。

4.5 土砂量估算

歷年土砂量之估算，將以各DEM之高程差值進行地形變遷推估，並以現場調查及測量以輔助DEM之正確性。

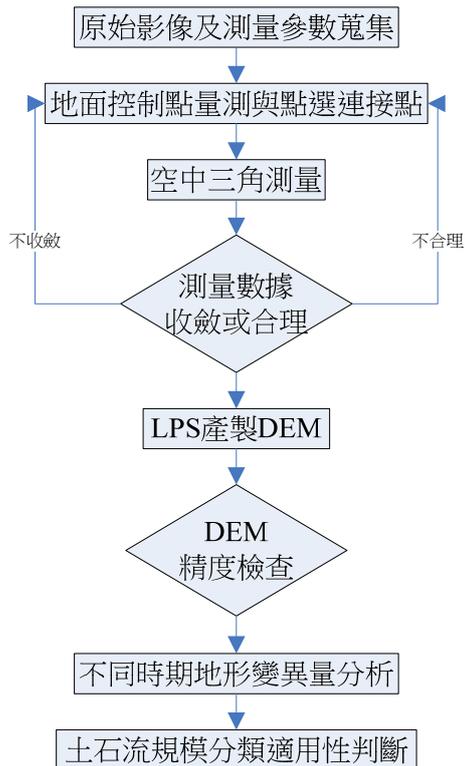


圖3 研究流程圖

Figure 3 Flowchart of the study

利用不同時期之DEM，將高程網格進行分析運算，以劃分出地形變化範圍以及土砂變化量。劃分之原理係將兩期之DEM，應用ArcGIS之空間分析模組來進行圖層相減，以求得網格間之高程差值，若兩期DEM網格相減為正值，表示該區域為淤積區；反之若為負值則為沖刷區，如此即可瞭解不同時期之河道變化情形及沖淤趨勢，詳如圖4所示。最後，若將各網格之高程差值乘以單一網格大小後再進行加總，即可得知土砂變化量(馮正一等，2006)。

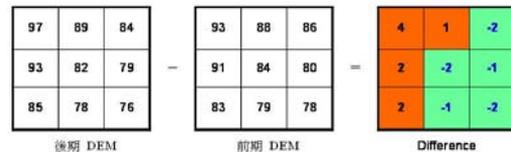


圖4 網格土砂量估算示意圖

Figure 4 Diagram for calculation of sediment yield of grid

表1 匹亞桑溪集水區DEM精度檢核之成果
Table 1 Precision control of the Pi-Ya-Sang creek watershed

	2003年	2006年	2009年
RMSE(m)	0.4521	0.8285	1.1512
Ground X (m)	0.4052	0.8596	
Ground Y (m)	0.5669	1.1869	
Ground Z (m)	0.7308	1.1091	
Image X (m)	0.5015	0.7486	
Image Y (m)	0.4550	0.8656	

4.6 土石流規模分級

依日本學者Takahashi (1991)之建議，土石流

表2 土石流規模分類表(摘自Jakob,2005)

Table 2 Magnitude of the debris flows (Jakob,2005)

土石流規模	土石流總體積 $V(m^3)$	礫石型土石流洪峰流量 $Q_b(m^3/s)$	火山型土石流洪峰流量 $Q_v(m^3/s)$	礫石型土石流影響範圍 $B_b(m^2)$	火山型土石流影響範圍 $B_v(m^2)$
1	$<10^2$	<5	<1	$<4 \times 10^2$	$<4 \times 10^3$
2	$10^2 \sim 10^3$	5~30	1~3	$4 \times 10^2 \sim 2 \times 10^3$	$4 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4$
3	$10^3 \sim 10^4$	30~200	3~30	$2 \times 10^3 \sim 9 \times 10^3$	$2 \times 10^4 \sim 9 \times 10^4$
4	$10^4 \sim 10^5$	200~1,500	30~300	$9 \times 10^3 \sim 4 \times 10^4$	$9 \times 10^4 \sim 4 \times 10^5$
5	$10^5 \sim 10^6$	1,500~12,000	$300 \sim 3 \times 10^3$	$4 \times 10^4 \sim 2 \times 10^5$	$4 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6$
6	$10^5 \sim 10^6$	N/A	$3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$	$>2 \times 10^5$	$2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7$
7	$10^6 \sim 10^7$	N/A	$3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5$	N/A	$3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8$
8	$10^7 \sim 10^8$	N/A	$3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6$	N/A	$3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^9$
9	$10^8 \sim 10^9$	N/A	$3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7$	N/A	$3 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{10}$
10	$>10^9$	N/A	$3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8$	N/A	$>3 \times 10^{10}$

之規模 (Magnitude of the debris flow)可分為四級：第一級：總土砂量小於 $1,000m^3$ 第二級：總土砂量介於 $1,000m^3$ 與 $4,000m^3$ 間第三級：總土砂量介於 $4,000m^3$ 與 $15,000m^3$ 間第四級：總土砂量大於 $15,000m^3$ 。加拿大學者Jakob於2005年提出的土石流規模分類，其中1~5級可適用於礫石型土石流與火山型土石流，而6~10級則僅適用於火山型土石流，詳如表2。

結果與討論

5.1 溪流分段分析

本研究以2009年DEM進行河道縱斷面分析，將匹亞桑溪依土石流之發生段、流動段及堆積段進行分段，再依分段結果進行調查。調查方式包括以影像及現場調查兩種方式。溪流分段結果整理如圖5所示。由圖8及圖9可知，溪床之平均坡度在 15° 以下，土石流發生段主要位於上游坡面上之崩塌地；左右支流主要為流動段，平均坡度分別

為 10.9° 及 9.6° ；匯流點以下至溪流出口之主流段為堆積段，平均坡度為 4.0° ，為主要土砂堆積位置。

5.2 地形變異量分析

本研究已蒐集製作完成2003年、2006年及2009年之DEM，並以上述土砂量估算土石流堆積段之淤積土砂，藉以估算七二水災下移之土砂量，及2006年後至今之土砂變化量。茲將各期DEM成果整理如圖6及圖7，各期DEM相減結果如圖8及圖9所示。

由圖8之DEM相減結果發現，堆積段受敏督利颱風影響，導致土砂大量下移，堆積於主流河道，使河道高程呈現增加之情形。土砂量部分，經由2006年去減2003年之DEM的結果，於土石流堆積段約有 $240萬m^3$ 土砂堆積。

由圖9之DEM相減結果發現，堆積段之河道高程呈現減少之趨勢，與現場觀察形成河階臺地相同，但高程尚未回到2003年之水

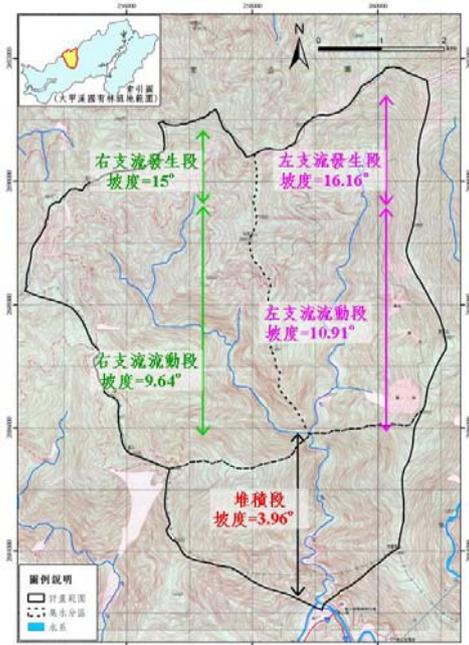


圖5 本區溪流分段示意圖

Figure 5 Diagram for creek partition of study area

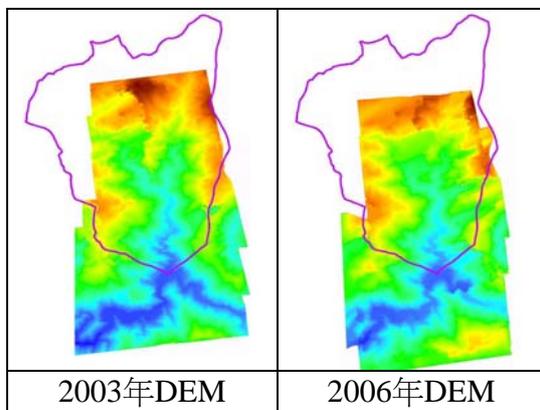


圖6 2003年與2006年DEM

Figure 6 The DEM of 2003 and 2006

準，顯現目前仍有土砂堆積於主流河道中。經由2009年與2006年DEM相減結果，於堆

積段之土砂量約減少108萬 m^3 ，現階段仍有約132萬 m^3 之土砂堆積於河道當中。

5.3 土石流規模分級

由於2003年至2006年間，經歷敏督利颱風重創此區，因此利用自製DEM資料來推估此次土石流總體積為240萬 m^3 ，此次土石流規模在Jakob分類法中已超過其礫石型土石流可分級之限度，故未能以Jakob分類法分級，因此未針對本研究區域進行洪峰流量等推估；在Takahashi分類法中則位於第四級，但由於其分類法中，土石流總體積只要大於1.5萬 m^3 即為第四級，而本研究區域之地形變異量分析為240萬 m^3 ，遠大於1.5萬 m^3 ，因此基於數據範圍之考量，Takahashi分類法並不適用於本研究區域。

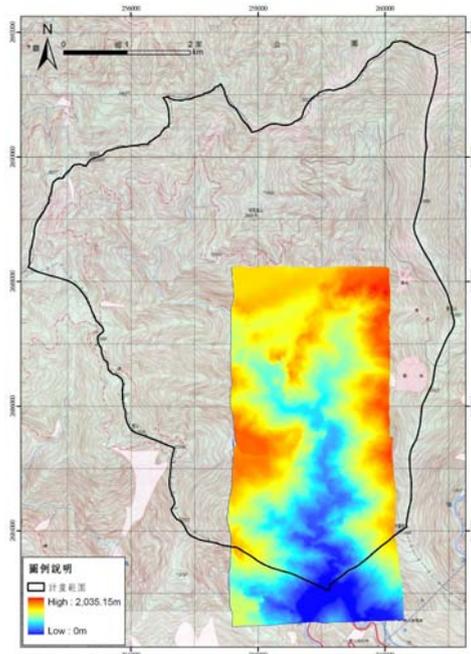


圖 7 2009年DEM

Figure 7 The DEM of 2009

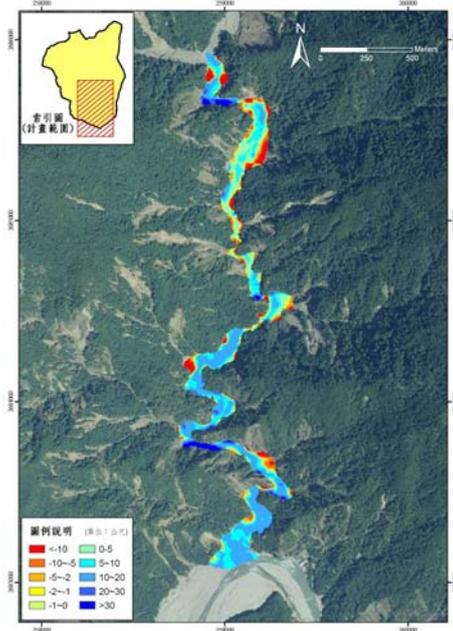


圖 8 2006年與2003年DEM相減結果圖
Figure 8 The subtraction result of 2006 and 2003 DEM

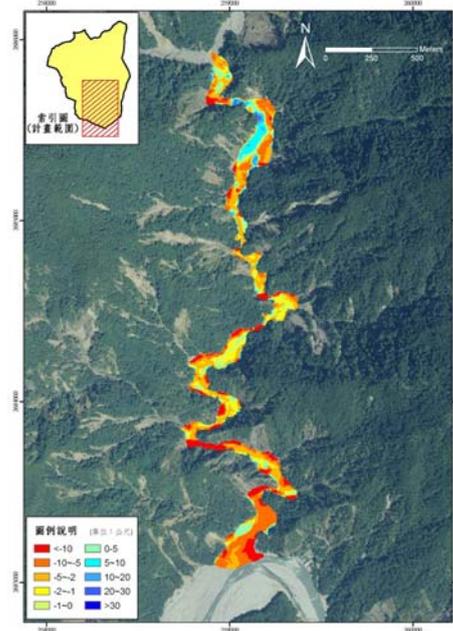


圖 9 2009年與2006年DEM相減結果圖
Figure 9 The subtraction result of 2009 and 2006 DEM

5.4 土石流規模探討

本研究區域地勢陡峻，地質以四稜砂岩為主，陳銘風(2005)指出其特性為岩體易碎裂、剪裂帶發達、含水性高。在經歷921大地震後，使得極大部份土砂結構鬆散並造成上游大規模的崩場地，本來山區之降雨就大，加上全球氣候變遷所導致的極端降雨發生機率增加，全區崩場地均呈現增加之趨勢，大量崩場地材料堆積於坡腳，且其土砂結構較為鬆散，此應為土砂來源大之主因。

於敏督利颱風期間降下之豪雨，造成大量土砂下移，使本研究區域形成大規模土石流，並於堆積段堆積，其土石流總體積亦因此超過Jakob及Takahashi兩位學者之分級甚多。

結論與建議

本研究旨在於討論集水區地形變遷與土石流規模間之關係，共獲得一項結論與兩項建議：

(一) 土石流規模分級

由於Takahashi分類法中，土石流總體積只要大於 $15,000\text{m}^3$ 即為第四級，而本研究區域之地形變異量分析為 $240\text{萬}\text{m}^3$ ，遠大於 $1.5\text{萬}\text{m}^3$ ，因此基於數據範圍之考量，Takahashi分類法並不適用於本區；且此次土石流規模在Jakob分類法中已超過其礫石型土石流可分級之限度，故亦未能以Jakob分類法分級。

(二) 土石流規模探討

由於本研究區域受到地形、地質、地震及極端降雨之影響，導致土砂來源大且結構較為鬆散。於敏督利颱風期間降下之豪雨，造成大量土砂下移，使本研究區域形成大規模土石流，其總體積亦因此超過Jakob及Takahashi兩位學者之分級甚多。

建議尋找更多土石流規模分類法進行適用性之探討，或蒐集台灣其他區域之土石流規模以因地制宜原則設計適用於台灣之土石流規模分類法。

(三) 影像資料蒐集

本研究目前所蒐集之原始影像年度僅為92、95及2009年，若能夠蒐集更多年度之影像資料加以佐證，利用多期不同年代之自製DEM資料來進行地形變異量推估，將能使成果更加精確。

參考文獻

1. 何維信(1995)，「航空攝影測量學」，大中國圖書公司。
2. 陳銘風(2005)，「三孔隧道於不同節理傾角開挖交互影響之探討」，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文。
3. 陳耀賢(1991)，「數值影像匹配及其對相似性評估能力之研究」，國立成功大學航空測量研究所碩士論文。
4. 馮正一、張育瑄、吳宗江、梁家齊、洪子恩(2006)，「崩塌地變遷與分析之研究」，水土保持思維之蛻變與展望研討會論文集，中華水土保持學會編印，台北，台灣，第157-166頁。
5. 黃宏斌(2009)，「莫拉克風災與防災教育」，中華水土保持學報，第四十卷，第四期，第339-343頁。
6. 游繁結(2007)，「水土保持名詞詞彙」，行政院農業委員會水土保持局。
7. 葉俊佑(2004)，「高解析度衛星影像應用於國道邊坡保護工程調查之研究」，國立成功大學資源工程學系碩士論文。
8. 廖大牛(1980)，「森林資源攝影測量」，臺灣省林務局。
9. 劉邦偉(2003)，「以特徵為基礎的方法對NASA JPL AIRSAR影像與航測正射影像進行」，國立成功大學測量工程學系碩士論文。
10. Gonzalez, R. C. and R. E. Woods (2002), "Digital Image Processing," 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
11. Jakob, M. (2005), "A size classification for debris flows," Engineering Geology 79:151-161.
12. Leica Photogrammetry Suites Project Manager User's Guide (2005), Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC.
13. Takahashi T. (1991), "Debris flows, IAHR Monograph Series, Disaster Prevention Research institute." Kyoto University, 83-99.

水土保持學報 43(3) : 311 – 320 (2011)

Journal of Soil and Water Conservation , 43 (3) : 311 - 320 (2011)