

## 探討土石流堆積物分布範圍與體積濃度推算之關係

賴承農<sup>1</sup> 鍾佩蓉<sup>2</sup> 陳盈守<sup>3</sup> 陳振宇<sup>4</sup>

- 1.財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 副工程師
- 2.財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心 助理研究員
- 3.麒昌工程顧問公司 水土保持技師
- 4.農委會水土保持局土石流防災中心 主任

### 摘要

土石流運動方式受地形陡降而產生相當大的差異，土石流發生剖面可簡易地區分為發生區、流動區及堆積區等三種分區。在土石流溪谷的平緩區域通常為土石流停淤狀態，因此許多研究者以坡度與土石流出量體為主要因子而建立關係式。而影響堆積區地形貌的主要因子則是土石流出量，而且已有研究指出其與土石流堆積長度有強烈關係。但是土石流出量體的估算相當不容易，尤其是現地判斷之道路邊坡崩塌、短暫河道堵塞或是大規模土體移動區域。本研究參考土石流堆積長度經驗公式(張師鐸(2005), 謝正倫(2006), 黃宏斌(2007), 賴承農(2010))，依據土石流量體與堆積型態估算土石流之流動長度(L)。基於平衡濃度理論基礎，由笹原克夫實驗結果(2005)以及數值模擬所建議之體積濃度範圍(Flo-2d, 2006)，在土石流體積濃度合適範圍內，提出體積濃度(Cd)與流動長度(L)之估算方法。為能夠準確預估土石流停淤區域，有必要估算土石流材料組成中巨石與流木比例、崩塌地岩性資料以及運用鑽探方式取得堆積區土石材料、堆積深度等特性。期望後續建立更詳實之調查資料庫建置以及提供未來因應集水區水文條件變遷之規劃依據。

**關鍵詞：**土石流、體積濃度、堆積長度、回歸分析

### ABSTRACT

The debris flow movement pattern can be classified by the terrain conditions, including the source part, transportation part and deposition part. The debris flow deposition occurred in mild terrain area, where the slope can be taken as the main factor. In the debris flow event, the main factor that influences the changing terrain is the amount of run-out volume. The volume of debris flows was strongly correlated with run-out length in the previous research. However, the debris flow run-out volume is not easy to estimate, especially in some locations where the collapse of the road related, the blocking river or large-scale soil movement area. In this study, the empirical length formula of the debris flow (Chang, 2005; Hsieh, 2006; Huang, 2007; Lai, 2010) was used to estimate the deposit length and the final deposit profile. Then, based on the equilibrium concentration theory, Xiao's experiment results (2005) and Flo-2d (2006) proposed concentration table

were used to indicate and develop the relationship of the debris flow volume concentration (Cd) and flow length (L). To enhance the accuracy of estimated the deposit physical process, it is necessary to estimate the composition and proportional of rock and wood in debris flow deposition material. To achieve the proportion of rock in the flow, it is better to collect the information of the geological lithology, then to measure the terrain slope and earth materials. In further, drilling method can be used to obtain the debris flow material in ancient times, accumulation depth features. In this study, the proposed approach is expected for establishing a more detailed disaster directory or database, and for preparing the need in developing strategies under the changes of hydrological conditions for the future.

**Keywords:** debris flow, volume concentration, flow length, Regression

Analysis

## I、緒論

自從民國 85 年賀伯颱風以來，土石流一直被認為與地質地形有關，研究者對於土石流現象有著不同觀點，在地質觀點認為土石流屬於地表地質營力作用的一部份，而在水土保持技術規範第 59 條說明土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔之流動體。在水土保持手冊則說明溪流冲刷之土石流類型，豪雨時，因河溪流量激增，使水流得以冲刷堆積在溪流兩岸或溪床上較為鬆散之土體，並混合成漿狀體而轉變成土石流流下。

而自民國 90 年桃芝颱風後，土石流現象已經能夠依地形坡度區隔為發生區、流動區及堆積區等三個分區。特別是在堆積區上，地形平緩區域出現停止運動或停淤狀態，土石流在此路線上之起伏變化，具有波段粒群之現象，除此之外，亦有研究者提出以其地下水水位與山崩之現存量體估算其堆積土石量體，並且藉由蒐集之河道或設施遭洪水淹沒的痕跡，評估其流速與流量(Johnson and Rodine, 1984)，如圖 1。也因此判斷土石流出量以及估算土石堆積量，不僅考量河道內土石來源或者集水區上游崩塌地之崩壞，而且必須對於道路邊坡之崩塌、短暫河道堵塞或是大規模土體移動區域之崩塌料源予以界定。

目前水保局已完成總數 1,578 條土石流潛勢溪流以及其影響範圍之劃設，亦完成土石流潛勢溪流之保全對象評估，潛勢溪流之判定則依現地調查時，則藉由河道橫斷面殘留之泥砂特徵以及土石流

堆積型態，如圖 2。而推估土石流影響範圍之經驗公式係日本池谷浩提出之經驗公式，此經驗式中土石流堆積長度與溪流坡度以及土石流出量有關，如式 1。式中，V:土石流出量( $m^3$ );A:集水區面積( $Km^2$ ); $\theta_u$ :下游坡度(度)。水保局於 2002 年公開有關土石流出量之推估公式，此公式係採用台灣地區土石流事件集水區與土方量之關係圖(蔡元方,1999)，如圖 3，經驗公式如式 2。

$$\log L = 0.42 \log(V \tan \theta_u) + 0.935 \quad (1)$$

$$V = 70,992 A^{0.61} \quad (2)$$

室內作業進行劃設時，依據航照圖判釋之土石流扇狀堆積區以及地形圖之谷口位置，自谷口或扇狀地頂點予以劃定，選定其溢流點，其次依土石流堆積長度公式以及地形起伏情形(溪床坡度)，劃設初步之影響範圍及可能保全對象，經現地調查訪談及現地地形、地貌加以記錄，將現勘結果攜回室內作業進行編修，影響範圍之劃定應以安全為考量，並且應依災害之最大影響範圍進行調整，如圖 4。

考慮溪床由陡坡進入緩坡，礫石型土石流由土石流轉變為不成熟土石流時，此時上層清水的濃度應為 0，底床的土砂堆積濃度為  $C^*$ ，藉由平衡濃度可假設為  $C=C^*/2$ ，得到土石流及未成熟土石流的發生條件為可以以臨界坡度方式區分為土石流，當坡面之坡度  $\theta$  大於臨界坡度  $\theta_C$ ，稱土石流，如式 3，若未達臨界坡度  $\theta_C$ ，則稱未成熟土石流(曾文孝，2002)，如式 4。

$$\tan \theta \geq \tan \theta_C \quad (3)$$

$$\tan \theta \leq \tan \theta_C \quad (4)$$

目前臨界坡度的訂定是用以評估土石流的發生潛勢之基本條件，若在溪流臨界坡度之點位上，其集水區面積可達3公頃，則依據溪流堆積材料、集水區崩塌料源進一步判定是否具有土石流災害特性，或者由現地訪談土石流動之紀錄，作為土石流判定分析之基礎。

但在現地勘查時，不容易推估材料一般特性以及體積濃度之可能範圍，綜合上述，有必要針對勘查項目中，包括有堆積範圍、堆積深度、堆積物主要粒徑、堆積面坡度以及河道外溢之土石堆積量(土石流出量)，探討土石流堆積型態分布與土石流之流動長度(L)之關係，這也成為本研究之重要課題。

## II、土石流堆積體積(V)與流動長度(L)之簡介

土石流調查的目的，係瞭解土石流運動狀態、估計土石流之災害規模以及土石流危險區域，對於相關防災整備工作有極大的影響。

池谷浩公式藉由歷年日本地區蒐集之土石流災害歷史資料，進一步分析其土石流出量(V)與土石流堆積長度(或稱土石流的流動距離,L)之關係式，估計土石流堆積長度之原理即考量集水區中上游料源體積由匯水盆地崩壞之後，流動至中、下游溪流時，推估土石流流動之距離、溢流寬度以及停淤位置(謝正倫,1998; 詹錢登,2004; 張師鐸,2005; 陳晉琪,2006; 黃宏斌,2007; 賴承農,2010)。

### 2.1 土石流堆積長度調查

在判斷不同土石流堆積型態時，其土石流堆積長度之量測以及形成原因不同，主要土石流堆積分布型態包括以下幾種：

一、沿河谷地帶之土石流流動情形，溢流點位置係於土石流發生處或匯水盆地下緣處，假設溪谷兩側並未提供料源，藉由土石料源在河谷堆積情形(Cannon, 1993)，不過公式僅適用於峽谷河岸屬於堅硬岩盤或人工構造物，其推估如式5所示，式中 $V_i$ 、 $V_o$ 分別指流動進入以及流出河谷地帶之土石流體積( $m^3$ )，等號左邊 $(V_i - V_o)$ 表示在河谷地帶之土石流停淤量體( $m^3$ )， $L$ 表示土石停淤之長度(m)， $R$ 為土石流停止處之橫斷面曲率半徑(m)， $\theta$ 為河谷溪床坡度(度)。

$$\log \frac{V_i - V_o}{L} = a \log R - b \log \theta + C \quad (5)$$

二、典型之土石流堆積區大致屬於土石流流出河谷到沖積扇時，底床為緩坡斷面屬於低淺而寬廣，地形屏蔽、阻隔作用較不明顯者，在地形上呈現明顯扇狀地。依據Takahashi(1991)針對實驗水槽進行礫石型土石流之堆積模擬結果顯示，當體積濃度0.364之土石流由陡坡進入緩坡面時(緩坡面之坡度 $\theta$ 需小於臨界坡度 $\theta_C$ )，而土石流流量之輸入亦維持固定時，堆積長度很快地就達到最大，而後續抵達的土石流則逐漸增加堆積區之厚度以及橫向寬度。黃信融(1997)曾探討扇狀地之土石流堆積物分布特性淘選不佳，粗粒徑主要堆積在扇狀邊緣，而細粒徑則堆積在流道內側，其堆積體積與可以式6表示。式中運用之參數均採無因次分析，扇狀地中心軸長度( $L_C$ )，最大寬度( $B_M$ )，及扇頂之淤積厚度( $Z_O$ )。

$$V = AL_C B_M Z_O \quad (6)$$

三、土石流若在河道上發生連續溢流-堆積(陣流特性)，表示其流動區與堆積區可能有重疊，其堆積區地形具有土石流波段(Johnson&Rodine,1984)而類似葫蘆型，如圖1，其土石料源可能部分來自源頭崩塌，部分來自溪岸沖刷，因此量體推估甚不容易，分析時將土石流之每一波段視為一個土石流溢流現象，例如：關於土石流動於河階地、土石流歷史堆積扇或者平台階段，採筭原克夫及田中秀基實驗結果(2005)，針對堆積長度與階段高度差、縱向長度、材料粒徑以及體積濃度之關係進行研究時，以現地及試驗資料互相佐證，除了也提供對於土石流堆積長度與體積濃度之經驗公式修正用途。筭原克夫及田中秀基(2006)，曾以日本2004年境內階段地形共計發生29件之土石流災害事件為主，推估土石流在階段上發生土石流堆積之關係圖，如圖5、6所示。

四、部分土石流堆積區發生於上游溪流，中游溪流很可能受到地形屏蔽以及攔阻作用而形成短暫的堆積區(不成熟的堆積型態)，集水區若發生持續性降雨，洪流會在緩坡處漫淹土石流不成熟之堆積物，並且過渡為不成熟土石流(泥流狀)的型態，而後再過渡至一般的河道輸砂(曾文孝,2002)，沿流動路徑之流動型態趨近於一般輸砂情況，此種輸砂沖積物質通常判定為高濃度泥砂流動所推移造成(體積濃度 $C_v$ 大約介於0.2~0.35)。

本研究綜合上述不同土石流堆積區之描述，土石流堆積扇材料組成，扇基部(中央地帶)比扇緣部(邊緣地帶)粒徑顯著偏小，但若有後續細砂物質流動越過扇緣分散流出之情形，則在扇緣之堆積粒徑則較小。堆積之垂直縱斷面上，則無明顯之粒徑分層與大小規則分布之現象(淘選不佳之現象)，此乃異於一般沖積河川水流依粒徑大小分層堆積之特性，根據前述相關之研究假設條件及分析方法，據統計資料，土石流堆積區之分布位置坡度以在3°~5°間為最多。

現調人員在土石流堆積區範圍，配合有關溢流點、扇狀地邊緣之量測時，應視不同現地條件影響，以及地形圖判讀以及堆積深度量測方式，修正其調查方式、調查內容以及相關遙測資料之引用，因此受到調查人員訓練情況，回傳資料差異頗大，均可能影響室內繪製及回歸分析時偏差幅度。

## 2.2 土石流體積濃度( $C_V$ )估算

土石流體積濃度之估算主要基於平衡濃度理論，一般而言土石流運動特性的分析過程中，通常假設為非牛頓流體，而且流動之土體具有塑性、降伏應力以及相當高的比重，若發生脫水現象，使得土石流形成更高濃度，而且黏滯係數亦大於泥流數倍以上，流動速度受到地形陡降影響而產生相當大的差異，可達洪水流速之數倍。

界定土石流之體積濃度 $C_V$ 介於0.45~0.55之間，一般經驗，而當 $C_V$ 介於0.2~0.45之間，則稱為高濃度泥流狀洪水，在數值模擬所建議之體積濃度範圍(National Park Service, Fish & Wildlife Service, 1998)，如表1所示，在土石流體積濃度合適範圍內，提出體積濃度(Cd)與流動長度(L)之估算方法。

另一方面土石流堆積長度值，亦有受到土石流堆積材料的影響，研究者則指出運動行為與組成材料有相當之關係，例如在苗栗火炎山地帶之土石流舌狀堆積特性，研究者認為舌狀堆積長度隨坡度增加而減少，礫石群之粗粒徑動能較大先到達堆積段而形成扇狀堆積，再由後續之細粒徑形成舌狀堆積，分析結果顯示縱向斜坡坡度和粒徑為正相關(高百毅,2010)。

研究者亦建立了坡度與土石流停淤關係式(泉岩男、池谷浩, 1978; 施邦築、謝正倫,1998)，本研究基於平衡濃度(C)之理論基礎(Takahashi, 1991)，如公式7。式中，C:流動中土石流體積濃度;p:水密

度( $Kg/m^3$ ); $\sigma$ :土石密度( $Kg/m^3$ ); $\theta$ :溪谷之坡度(度); $\phi_S$ :土石內摩擦角(度)。而土石流混和物(泥漿體)的比重 $\gamma_m$ ，如公式8。式中， $\gamma_S$ :細砂礫的比重約26.5( $KN/m^3$ )， $\gamma_W$ :水的比重約9.81( $KN/m^3$ )。

$$C = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi_S - \tan \theta)} \quad (7)$$

$$\gamma_m = \gamma_W + C_V(\gamma_S - \gamma_W) \quad (8)$$

其中，試驗區土體組成之土石內摩擦角，可採用飽和狀態之土體內摩擦角 $\phi_S$ 作為土石流之流態與堆積區之波段關係(周必凡等人, 1991)，如表2所示， $C_V$ 受到土石流比重 $\gamma_{DF}$ 之影響，流動之土體材料直接會影響 $\phi_S$ ，如表2所示，若主要顆粒越粗大，內摩擦角度越大，在斜坡面形成溪床堆積坡度也就越陡，初步探討卵石土，由平衡濃度公式所得到的溪床堆積坡度大約7.6~11.1度。

另一方面，由周必凡(1991)及連惠邦(1997)提出土石流之最小泥砂體積公式，經由理論值所推求之最小體積濃度 $C_{Dmin}$ 如式9所示，式中， $\gamma_W$ :水比重9.81( $KN/m^3$ ); $\gamma_S$ :砂礫比重26.5( $KN/m^3$ );得知， $C_{Dmin}$ 約為0.274，常建議使用0.3為最低值。

$$C_{Dmin} \geq \frac{\gamma_W}{\gamma_S + \gamma_W} \quad (9)$$

也是高濃度泥沙試驗常探討 $C_V=0.3\sim0.4$ 原因。

## 2.3 土石流數值模擬分析

本研究區針對高雄縣那瑪夏區瑪雅村之高縣DF003及高縣DF065，如圖7所示。經採用地形圖及航照圖判讀及現地調查確認其基本資料，如表3。

經訪談當地居民得知，瑪雅村高縣DF003、高縣DF063、高縣DF064、高縣DF065及高縣DF066於民國98年莫拉克颱風期間曾發生土石災害，而高縣DF065則曾經於97年卡攷基颱風亦曾發生災害，共計5次災情如表4所示，詳述如下。

高縣DF065於民國97年7月18日卡攷基颱風時發生土石流災害，其災情為集水區上游發生大面積崩塌，除造成亦造成上游甲仙農場林道之駁坎損毀而阻斷往來交通，籃球場土石堆積約4,000立方公尺，辦公大樓後方駁坎滑動，亦有部分地表塌陷。

民國98年8月莫拉克颱風期間，靠近瑪雅村主要聚落之高縣DF003因集水區上游崩塌造成土石下移，並於中游左、右支流匯流處造成溢流，溢流土石淤埋省道台21線和甲仙農場林道受損約500

公尺，土石最終堆積於主要聚落之巷道、三民國中禮堂及操場；而鄰近之高縣 DF065 亦因上游甲仙農場林道之邊坡再次崩塌，連同原堆積之土壤下移造成集水區中下游，包括造成省道台 21 線受阻中斷，甲仙農場林道損毀總計約 400 公尺道路損毀，土石最終堆積於瑪雅遊客服務中心以及三民國中操場及辦公室遭土石侵入。

土石流潛勢溪流鄰近瑪雅國中(舊稱三民國中)，其地形位於河階地以及歷史土石流堆積扇，具現地調查堆積層約有 3 階，另於溪流與林道管涵以及省道箱涵處，形成短暫溢流，溪流縱剖面高程變化詳如圖 8、9 所示，高縣 DF003 土石流影響範圍內之溪床平均坡度約 13%，約 7.7 度，以及高縣 DF065 土石流影響範圍內之溪床平均坡度約 19%，約 10.3 度。另也根據土石流發生之事實(Flow evident)，以表 1 查詢其體積濃度介於 0.48 至 0.55 之間，此集水區位於瑞芳群及其相當地層，而堆積物之表面粒徑約為 30 公分之岩塊，另在堆積物中央位置則有極高比例之細砂，參考表 2 之堆積材料與濃度關係，體積濃度大致為 0.45 至 0.55 之間，不建議使用極端值 0.45 或 0.55，故此體積濃度選用 0.5。

數值模擬分析結果顯示，97 年所模擬高縣 DF003 之重現期 200 年之堆積範圍與莫拉克颱風相當接近，如圖 10。由堆積圖之淹沒範圍略呈葫蘆狀可知其土石流路徑上具有階地地形，而引用笹原克夫及田中秀基(2006)實驗結果顯示，古老堆積物、沖積物，經人為開墾之後，極易形成平坦地形，造成土石流濃度提高，以及粗顆粒材料集中，隨土石流往堆積區兩旁堆積而毀損堆積區兩側之作物、建築物或道路。

圖 11 則為莫拉克颱風後，再以合理調整之地形網格再進行高縣 DF003 重現期 200 年之堆積範圍，其堆積範圍則略呈一致。歷經 97 年 7 月卡孜基颱風及 98 年莫拉克颱風，部分受到土石災害之建築物已經清除淤積土石，並且恢復正常生活作息，惟集水區上游右支流尚有一處崩塌殘土，尚未下移。

圖 12 則為莫拉克颱風後，以合理調整之地形網格進行高縣 DF065 重現期 200 年之堆積範圍，其堆積範圍則略呈一致。高縣 DF065 歷經 98 年莫拉克颱風，溪流現況大致沒有改變，受到土石淤埋建築物瑪雅社區活動中心及三民國中等均已清除淤積土石並且正常使用中，經現調檢核堆積深度大致符合。

### III、土石流堆積型態回歸分析

為求瞭解不同土石流量體設定對於土石流堆積

型態之差異，因此採用數值模擬輸出之資料作統計分析基礎。

#### 3.1 土石流量體對於土石流堆積型態之關係

一般理解之土石流堆積型態，主要應該具備土石流量體增加，其堆積長度以及堆積寬度會隨之提高，此觀念在高縣 DF003 之數值模擬，稍能解釋；但是在高縣 DF065 之數值模擬過程，發現坡面堆積土石量體會有瀕臨極限之狀況，因此造成土石流量體與堆積長度、寬度產生非線性關係，但是整體而言，當土石量體增加，堆積範圍持續增加，僅增加之幅度並非線性關係。

#### 3.2 土石流體積濃度對於土石流堆積長度之關係

經採用平衡濃度公式推估六種工程常用分類之土石材料，包括：卵石土、礫砂土，中砂土、細砂土、粉砂土以及含黏砂土等，其體積濃度  $C_d$  與停淤坡度之關係大致呈現線性關係。

探究此平衡濃度公式所推得之推積坡度大多數均小於 10 度(僅卵石土、礫砂土以及中砂土於  $C_d=0.8$ ，相當於山崩之運動型態，其推積坡度大於 10 度)，六種工程常用分類土石材料之停淤坡度經迴歸分析後，說明如下：

以卵石土為例，如式 10 所示( $R^2=0.9968$ )，以土石流濃度  $C_d=0.45\sim 0.55$  為例，其停淤坡度大約為 5.55~11.09 度。

$$\theta = 19.493C_d - 3.0592 \quad (10)$$

式中， $\theta$  為堆積坡度(度)， $C_d$  為體積濃度。

以礫砂土為例，如式 11 所示( $R^2=0.9967$ )，其停淤坡度大約為 5.12~10.24 度。

$$\theta = 17.998C_d - 2.8326 \quad (11)$$

以中砂土為例，如式 12 所示( $R^2=0.9966$ )，其停淤坡度大約為 4.70~9.40 度。

$$\theta = 16.548C_d - 2.6108 \quad (12)$$

以細砂土為例，如式 13 所示( $R^2=0.9964$ )，其停淤坡度大約為 3.89~7.81 度。

$$\theta = 13.761C_d - 2.1802 \quad (13)$$

以粉砂土為例，如式 14 所示( $R^2=0.9963$ )，其停淤坡度大約為 2.95~5.93 度。

$$\theta = 10.451C_d - 1.6622 \quad (14)$$

以含黏砂土為例，如式 15 所示( $R^2=0.9962$ )，其停淤坡度大約為 2.40~4.84 度。

$$\theta = 8.5365C_d - 1.3602 \quad (15)$$

綜合上述分析結果顯示，若僅考量土石流之流動狀態( $C_d$  介於 0.45~0.55)，六種工程常用分類土石材料堆積坡度大約在 6 度以下，若含黏土質較高者，其堆積坡度大約在 2 度以下，與目前水保局劃設土石流影響範圍之準則相近。

#### IV、結論

目前已完成推估體積濃度與土石堆積坡度之關係式，現地應用時，仍需搭配土石材料之粒徑分布曲線以及現地之地形判讀，方能以堆積坡度推估其土石流堆積長度。

土石流理論已經有相當成果，也許研究者可以將很複雜的理論公式，透過簡易的關係式，以提供工程單位進行更具實用性的試驗與規劃設計之參考使用。

目前野溪整治有相當多壩工設施，已經將砂石攔阻在山上，如果可以針對此些河川進行相關研究，提供河道輸砂、減災規劃作業，以提供更大的助益。

#### VI、參考文獻

1. 林銘郎 (2002)，「土石流災害之地質環境探討」，土石流地質調查及防災對策研討會，台北市，研討會論文。
2. 滋賀県 (2010)，「設計便覧（案）砂防編」，日本滋賀県。
3. 謝正倫(1998)，「土石流特定區水土保持區之劃定」，中日與土石流危險區劃定研習會論文集。
4. 詹錢登、謝正倫、臧運忠、陳晉琪(2004)，「台灣土石流特定水土保持區之劃定」，特定水土保持區劃定國際研討會。
5. 詹錢登 (2000)，「土石流概論」，科技圖書。
6. 張師鐸(2005)，「土石流堆積砂土量特性之研究」，華梵大學環境與防災設計學系，碩士論文。
7. 陳晉琪、張師鐸、臧運忠、謝正倫(2006)，「台灣土石流堆積砂土量與集水區面積之關係研究」，第五屆海峽兩岸山地災害與環境保育研討會，中國雲南東川，第142~145頁。
8. 黃宏斌、蘇峰正(2007)，「土石流堆積長度研究」，中華水土保持學報,38(2):pp.195-204。
9. 賴承農、陳建宏、辜炳震、張玉堯、冀樹勇、陳振宇 (2010)，「探討莫拉克颱風後降雨量與土石流出量之關聯性」，2010 第十屆岩盤工程研討會，高雄。
10. 黃信融(1997)，「黏性材料對土石流扇狀地淤積形態影響之實驗研究」，國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文。
11. 笹原克夫、田中秀基(2006)，「階段地形上の土石流氾濫範圍の推定手法に関する研究」，土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流

一ム。

12. 曾文孝，(2002)「土石流及其過渡行為之數值研究」，國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文。
13. 周必凡等五人，(1991)，「泥石流防治指南」，科學出版社，北京。
14. Takahashi, T.(1991), “Debris Flow”, IAHR, Monograph, A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
15. Cannon S. H. (1993), “An Empirical Model for the Volume-Change Behavior of Debris Flow”, Proc. Conference of Hydraulic Engineering ASCE, San Francisco, California, U.S.A., pp.1768~1773.
16. Johnson, A.M., and Rodine, J.R. (1984), “Debris flow”, in Brunsten, D., and Prior, D.B. (editors), Slope instability: New York, John Wiley and Sons, pp. 257-361.
17. National Park Service, Fish & Wildlife Service, (1998), “Green River Flood Routing”, Flaming Gorge to Colorado River, Utah.

#### VII、圖與表

表 1 土石流體積濃度建議值

Flow Type	Sediment Concentration		Flow Characteristics
	by Volume	by Weight	
Landslide	0.65-0.80	0.83-0.91	Will not flow
	0.55-0.65	0.76-0.83	Block sliding failure with internal deformation
Mudflow	0.48-0.55	0.72-0.76	Flow evident
	0.45-0.48	0.69-0.72	Flow spreading on level surface
Mud Flood	0.40-0.45	0.65-0.69	Flow mixes easily
	0.35-0.40	0.59-0.65	Marked settling of gravels and cobbles
	0.30-0.35	0.54-0.59	Separation of water on surface
	0.20-0.30	0.41-0.54	Distinct wave action
Water Flood	<0.20	<0.41	Water flood with conventional suspended load and

註：flo-2d 使用者手冊第 55 頁(2006 版本)。

表 2 泥漿、土石流平衡濃度下堆積坡度範圍

運動形式		泥漿	土石流 下限	土石流 上限
卵石土	$\phi_s$ (度)	$\theta$ (度) (Cv=0.3)	$\theta$ (度) (C=0.45)	$\theta$ (度) (Cv=0.55)
礫砂土	30	2.7-4.3	5.6-8.4	7.6-11.1
中砂土	28	2.5-4	5.1-7.8	7-10.2
細砂土	26	2.3-3.6	4.7-7.1	6.5-9.4
粉砂土	22	1.9-3	3.9-5.9	5.4-7.8
黏砂土	17	1.4-2.3	2.9-4.5	4.1-5.9
砂黏土	14	1.2-1.9	2.4-3.7	3.3-4.8
輕黏土	10	0.8-1.3	1.7-2.6	2.3-3.4
卵石土	6	0.5-0.8	1-1.5	1.4-2

表 3 瑪雅村高縣 DF003 及高縣 DF065 基本資料

項次	溪流編號	溪流長度 (公里)	溪流平均 坡度(%)	集水區 (ha)	溢流點集 水區(ha)	舊溪流 編號
1	高縣 DF003	0.942	23	50	41	高雄 A012
2	高縣 DF065	1.176	24	86	72	高縣 S98-09

表 4 瑪雅村歷年土石流災情資料

項次	溪流編號	事件名稱	災害發生 時間	土石流出量 (m <sup>3</sup> )	淤埋範圍 (ha)
1	高縣 DF065	卡玫基颱風	97/7/18	20,000	3.3
2	高縣 DF003	莫拉克颱風	98/8/8	40,000	2.6
3	高縣 DF063	莫拉克颱風	98/8/8	15,000	1.1
4	高縣 DF064	莫拉克颱風	98/8/8	30,000	2.4
5	高縣 DF065	莫拉克颱風	98/8/8	20,000	0.9

圖 1 土石流呈現波段堆積物示意圖

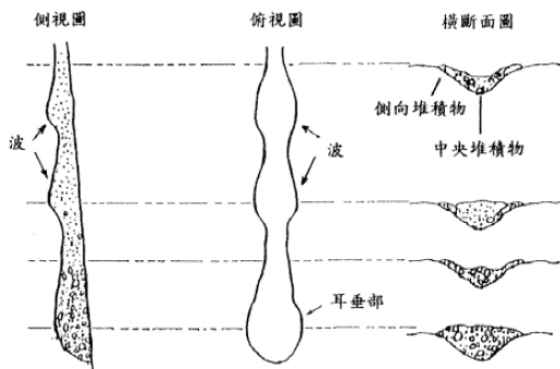
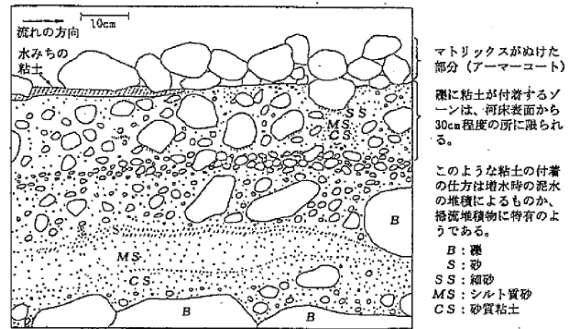


圖 2 土石流河床堆積材料判別圖例



資料來源：滋賀県「設計便覧(案)砂防編」第1編調査編(2010)

圖 3 土石流潛勢溪流集水區與土方量關係圖

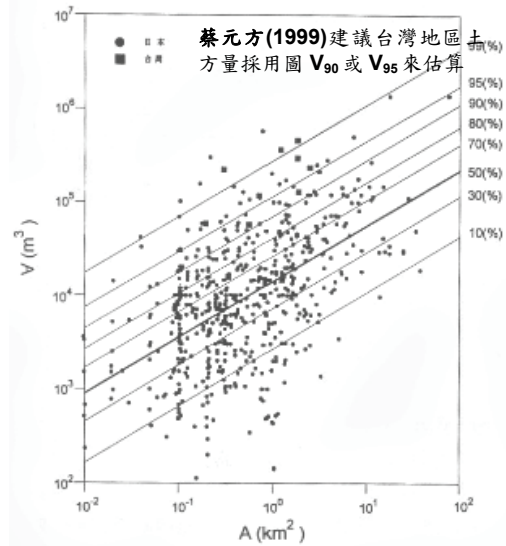


圖 4 投縣 DF182 初步劃設之影響範圍圖

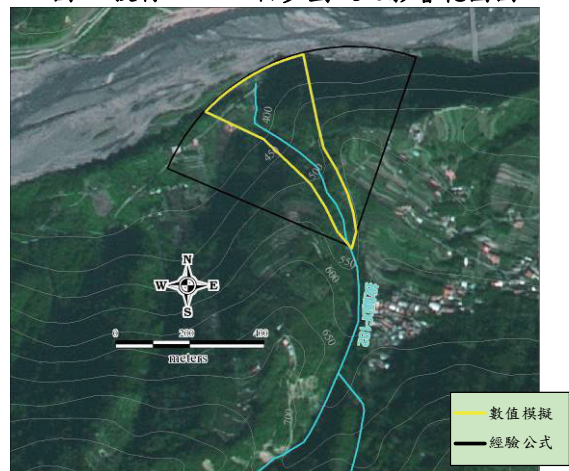


圖 5 階段高度與流動長度之關係圖

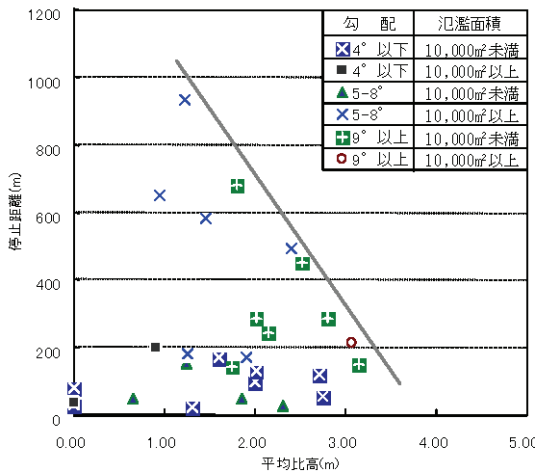
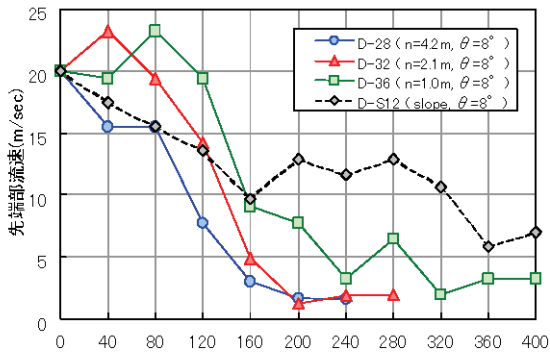


圖 6 流動速度與流動距離之關係圖



縱斷距離(m),  $\theta$ : 氾濫區間勾配, n: 平均比高(m)  
氾濫勾配 8°,  $\Sigma Q=10000m^2, c_d=0.3, d_m=0.051$

圖-21 土石流の先端部の流速 (明瞭なケース)

圖 7 高雄瑪雅村之研究區域鳥瞰圖

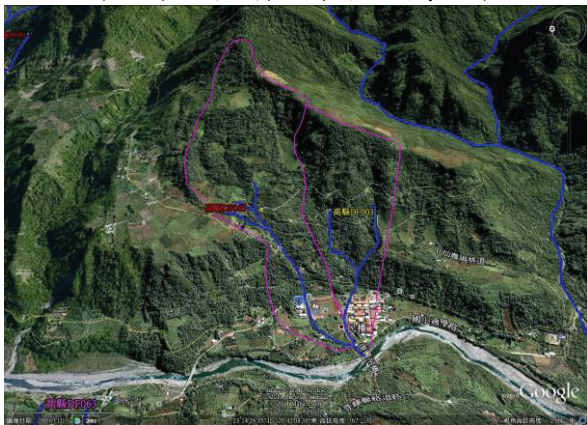


圖 8 高縣 DF003 溪流縱剖面高程變化圖

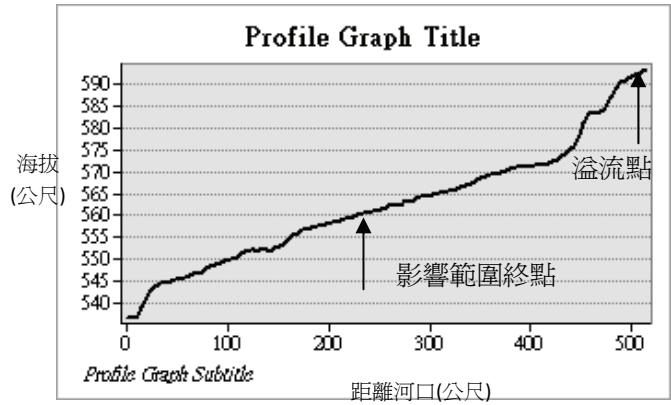


圖 9 高縣 DF065 溪流縱剖面高程變化圖

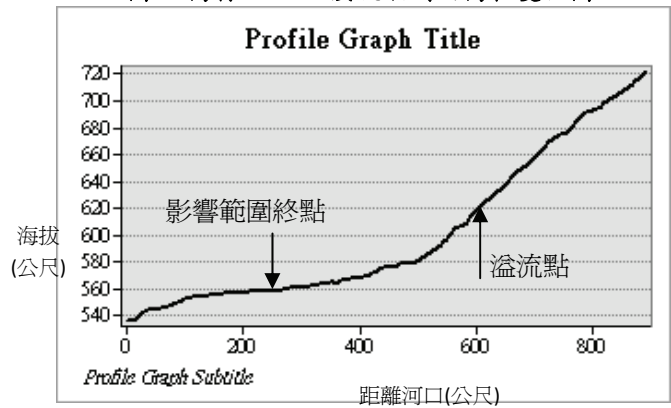


圖 10 97 年完成之 200 年高縣 DF003 堆積深度圖

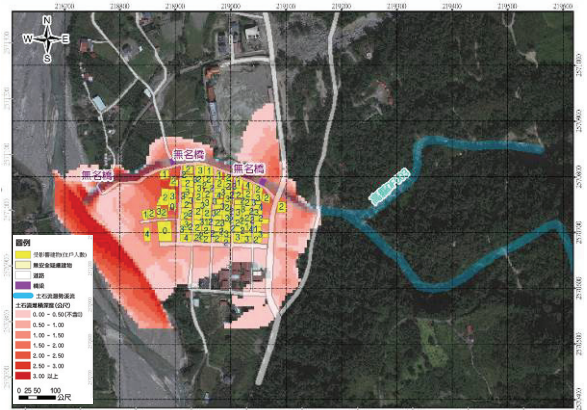




圖 11 99 年完成之 200 年高縣 DF003 堆積深度圖

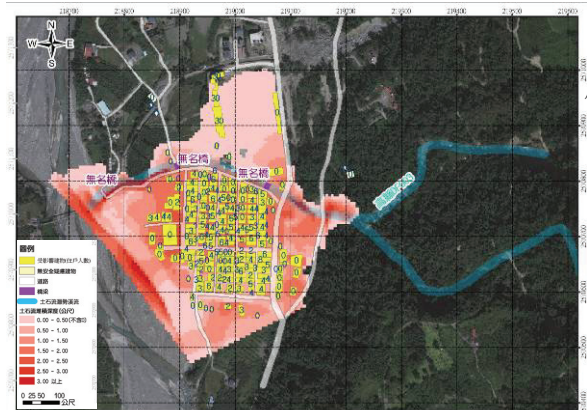


圖 15 各種分類土之停淤坡度與體積濃度之關係

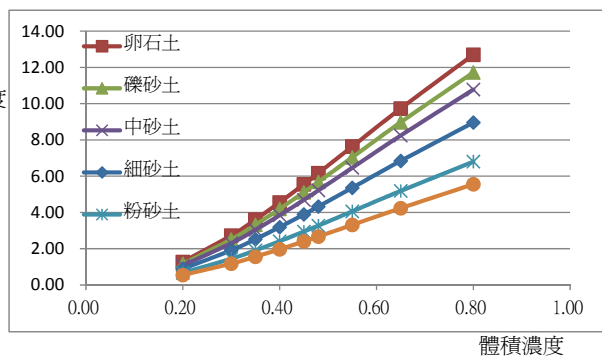


圖 12 99 年完成之 200 年高縣 DF065 堆積深度圖

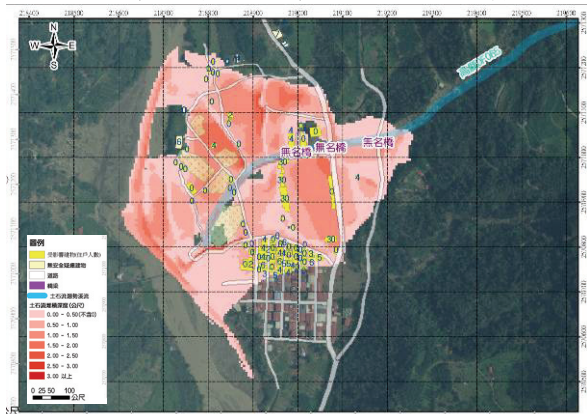


圖 13 99 年完成之高縣 DF003 堆積型態與量體關係

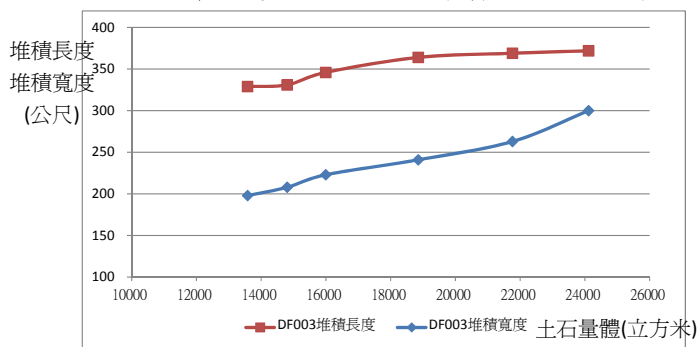


圖 14 99 年完成之高縣 DF065 堆積型態與量體關係

