

旗山溪莫拉克颱風土砂災害河段清疏區位優選之研究

張永誠⁽¹⁾ 何世華⁽²⁾ 林昭遠⁽³⁾

摘要

台灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊之交界，地質條件脆弱，加上地震及高強度、長延時降雨頻繁，且雨量多集中於五月至九月的梅雨與颱風季節，易造成洪水、地滑、土石流等災害，對民眾生命財產威脅極大。八八風災重創南部山區，集水區多處崩塌，使河川水系堆積土砂料源範圍廣大且河道淤積嚴重，為有效選出河道優先清疏區位之順序，及提升河道清疏效率、砂石流向管控，本研究針對莫拉克颱風受創嚴重之旗山溪集水區為樣區，推估風災後旗山溪主、支流各河段之泥砂產量，考量各河段未輸出土砂量、兩岸保全對象之安危作為河段清疏區位優選之參考。結果顯示莫拉克風災旗山溪集水區之崩塌量約 7,624 萬立方公尺，河道總輸出土砂量 1,262 萬立方公尺，未輸出土砂量約為 6,362 萬立方公尺。針對旗山溪主流處標示 17 處控制點，進行控制點間河段之土砂量分析，各控制點以 A11-A12 及 A14-A15 河段堆積嚴重。考量各河段未輸出土砂量及兩岸保全對象之安危，以 A14-A15 河段為最優先清疏區位；經由制定清疏之管控機制，有效的管控砂石流向及數量，進而提升清疏效率，研究結果可提供相關單位清疏之參考。

(**關鍵詞**：莫拉克颱風、清疏優選區位、河道泥砂產量)

Priorities of dredging sites for the river sections of debris disasters caused by Typhoon Morakot in the Chishan streams

Young-Chen-Chang⁽¹⁾ *Shih-Hua Ho*⁽²⁾ *Chao-Yuan Lin*⁽³⁾

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



-
- (1)國立中興大學水土保持學系研究生
(2)國立中興大學水土保持學系博士班研究生
(3)國立中興大學水土保持學系教授(通訊作者 e-mail : cylin@water.nchu.edu.tw)

ABSTRACT

Taiwan is located on the Eurasian plate coupled with the fragile geological conditions and the phenomenon of earthquake occurred frequently. The abundant but uneven distribution of annual rainfall is concentrating in the rainy and typhoon season from May to September, which is easily to cause the disasters of floods, landslides and debris flows, and show a great threat to the human lives and properties. Typhoon Morakot hit southern mountains seriously in Taiwan caused several collapses and heavy sedimentation in the watersheds. It is necessary to set the priorities of dredging, promote the dredging efficiency and control the flow chart of dredging in the channels due to a wide range of debris deposition. This study focused on the assessment of sediment yields for the river sections of main channel and/or tributaries located at the watershed of Chishan streams, which suffered severe damages during the hits of typhoon Morakot. The results show that the amounts of landslides is about $7.624 \times 10^7 \text{ m}^3$ in the watershed, and the outputs of total sediment yields is some $1.262 \times 10^7 \text{ m}^3$ from the outlet, there is still $6.362 \times 10^7 \text{ m}^3$ remains in the watershed. Seventeen control points are placed at the junctions of main stream and tributaries to analyze the sediment yields of each channel section. While the section of A11-12 and A14-A15 depicts tremendous deposition because of several landslides resulted in sedimentation. The section of A14-A15 is screened as the first priority of dredging because of the amount of sediment sedimentation and the protected targets along the river banks. The treatments and quantities of debris deposition can be effectively controlled and the dredging efficiency can then be further promoted through the establishment of mechanism for the dredging management. This study can be applied as the references of dredging related authorities.

(**Keywords** : Typhoon Morakot, priority dredging sites, sediment yields of the river sections)

前言

2009年莫拉克颱風入侵台灣，重創南部山區，創下台灣氣象紀錄以來最大日降雨量，是臺灣自1959年八七水災以來最嚴重之水患。台灣南部山區因暴雨影響，集水區多處崩塌導致河道淤積嚴重，其中以高雄市旗山溪集水區所遭受之災害最為嚴

重。因河川水系堆積土砂料源範圍廣大，宜利用相關圖資及集水區泥砂產量推估式，有效量化河道土砂生產量，藉以作出整體效益評估，俾提昇河川清疏功效。

本研究針對莫拉克颱風受創嚴重之旗山溪集水區，利用衛星影像萃取崩塌區位，進而推算崩塌造成之土砂量，並利用通用土壤流失公式(USLE)配合集水區泥

砂遞移率，估算旗山溪集水區各河段之泥砂產量。針對旗山溪主流處標示 17 個控制點，據此分析集水區各河段土砂量空間分布，篩選河道清疏區位順序，有效進行河道清疏作業，並針對整體清疏的過程制定管控機制，提供清疏單位參考。

材料與方法

一、試區概述

(一) 地理位置

以旗山溪集水區為樣區 (圖 2)，旗山溪發源於玉山主峰西南坡標高約 2,700 公尺，沿西南方流經那瑪夏區、甲仙區、杉林區、旗山區，至嶺口與來自東方之荖濃溪匯流後，與高屏溪合併為高屏溪，河川長度 118 公里、流域面積達 842 平方公里，北鄰南投縣、西接嘉義及台南縣、東鄰台東縣。聯外道路以台 21 線公路為主，其與甲仙及桃源區接壤，向西南行約 25 公里，於甲仙可接台 20 線西往玉井，東往桃源，台 21 線為人民生活之主要聯外道路。

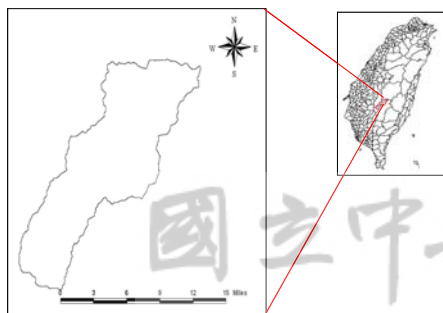


圖 2 試區位置圖

Figure 2. Map of study site

(二) 地形

研究樣區地勢除下游甲仙區地勢較為平緩外，其餘區域多屬陡峭分布。海拔高度大多分布在 1600m 以上，約佔總集水區面積 60%(圖 3)。全區自東北向西南傾斜，南北呈狹長形，坡向多呈西南向(圖 4)。集水區多為六級坡(坡度 55%)以上 (圖 5)。

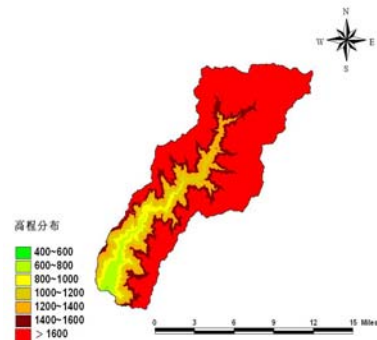


圖 3 試區高程分佈圖

Figure 3. Spatial distribution of elevation

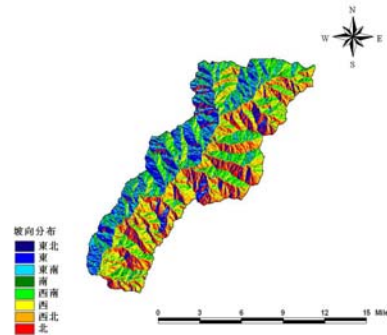


圖 4 試區各級坡向分佈圖

Figure 4. Spatial distribution of aspect

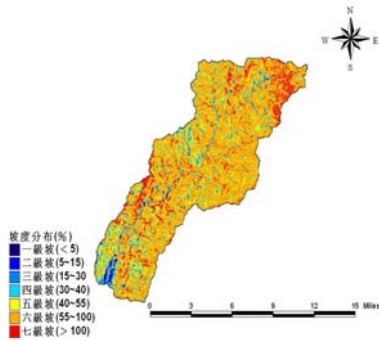


圖 5 試區坡度分佈圖

Figure 5. Spatial distribution of slope

(三) 水文

蒐集經濟部水利署甲仙雨量站資訊作為平均雨量分析之用。其雨量紀錄時間為 1989~2011 年間，採用雨量記錄共計 23 年。分析結果平均降雨量約為 2853 公厘，降雨普遍集中於每年 6 至 9 月期間。紀錄 23 年間最大雨量為 2005 年 5172 毫米，最小為 1993 年 1205 毫米，詳如表 1。

表 1 旗山溪集水區年雨量一覽表

Table 1. Annual rainfall of Chishan stream watershed

年	雨量(mm)	年	雨量(mm)
1989	2,329	2001	3,417
1990	3,519	2002	1,908
1991	2,342	2003	1,809
1992	2,602	2004	2,420
1993	1,205	2005	5,172
1994	3,098	2006	3,624
1995	1,448	2007	3,792
1996	2,655	2008	4,849
1997	2,668	2009	3,371
1998	2,902	2010	3,031
1999	2,870	2011	2,182
2000	2,423		

最大一日暴雨量以 2009 年 8 月 10 日

之 1036 毫米為歷年最大，其次為 2008 年 07 月 19 日之 650 毫米，將區域內一日最大暴雨量彙整如表 2 所示。

表 2 旗山溪集水區歷年日最大暴雨量一覽表

Table 2. Annual maximum daily rainfall of Chishan stream watershed

年	日最大暴雨(mm)	年	日最大暴雨(mm)
1989	305	2001	371
1990	220	2002	245
1991	286	2003	254
1992	285	2004	345
1993	139	2005	546
1994	253	2006	377
1995	145	2007	416
1996	469	2008	650
1997	240	2009	1,036
1998	220	2010	630
1999	165	2011	175
2000	285		

二、 研究材料

(一) 數值地形

以林務局農林航測所製作之網格式資料數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)含平面 XY 座標以及高程屬性，解析度為 40M×40M，進行相關地形分析、水系網萃取等。

(二) 衛星影像

採用購置中央大學太空及遙測中心之 2008/08/24 及 2009/10/28 兩期 SPOT 衛星影像，其空間解析度為 20m×20m，用以崩塌區位分布情形與綠覆率(C)值計算，各期影像如圖 6 所示。

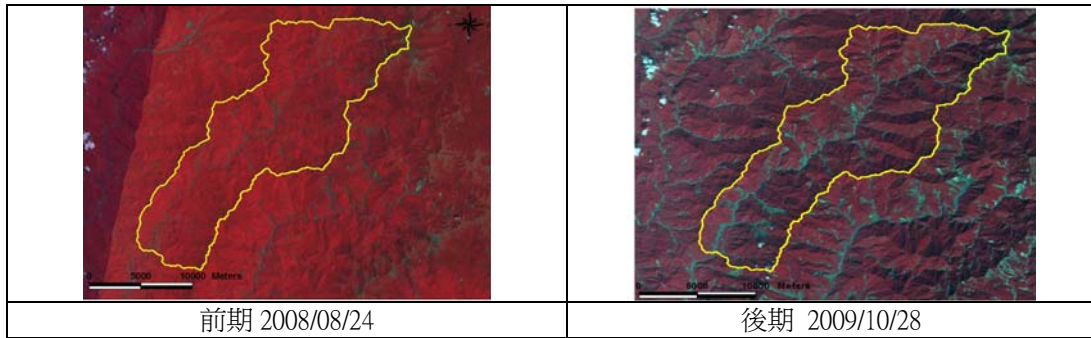


圖 6 莫拉克颱風前後期之衛星影像

Figure 6. STOP images before and after typhoon Morakot

三、研究方法

(一) 河段控制點位劃定

將旗山溪主流處設為控制點，其主、支流控制點分布如圖 7 所示，以此進行各控制點間之河段土砂量分析。

(二) 崩塌地萃取

利用莫拉克風災前後期衛星影像，萃取出旗山溪崩塌區位，並使用 Kappa 係數作為分類準確度之準則。Kappa 係數介於 0~1 間，係數愈大表示分類成果愈好

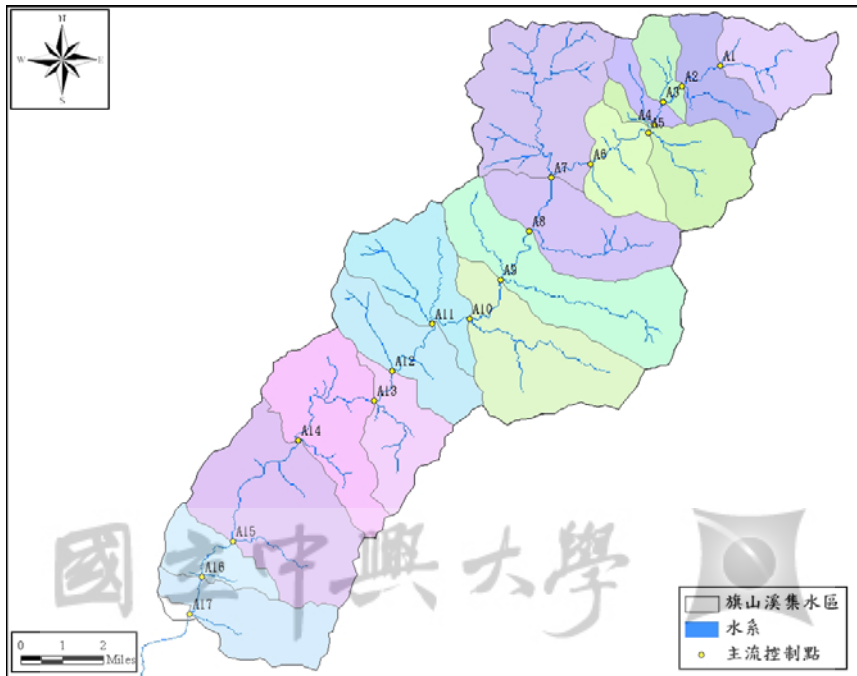


圖 7 旗山溪集水區控制點分佈圖

Figure 7. Control points located at the Chishan stream watershed

依據 Congalton (1991) 及 Janssen and Vanderwel (1994) 研究指出, kappa 係數小於 0.4 為差, 0.4~0.7 為好, 當 Kappa 大於 0.7 時, 分類精確度屬良好。分類後 Kappa 值為 0.67(如表 3), 表示萃取崩塌地屬於接近良好階段, 集水區內各主流控制點與崩塌地面積分布如圖 8 所示。

(三) 崩塌土方量估算

林昭遠及莊智瑋 (2009) 針對 921 地震後所發生崩塌地, 整合遙感探測、地理資訊系統、影像判釋等技術, 搭配地震前後期 DEM, 對 921 地震所造成之崩塌地推估崩塌地土方量, 發現由 Khazai and Sitar(KS) (2000) 推估崩塌土方量方法明

顯低估且呈正相關性, 故利用迴歸方程式加以修正, 估算其崩塌土方量 (圖 9)。因此本研究以 KS 修正法作為崩塌量體推估之用。

表 3 崩塌地分類誤差矩陣

Table 3. Classification error matrix of the landslides

真實地表 分類 地表覆蓋	崩塌地	非崩塌地	合計	使用者 精度
崩塌地	98	20	118	83.05%
非崩塌地	18	97	115	84.35%
合計	116	117	233	-
生產者精度	84.48%	82.91%	-	-
整體精確度	83.69%			
Kappa係數	0.67			

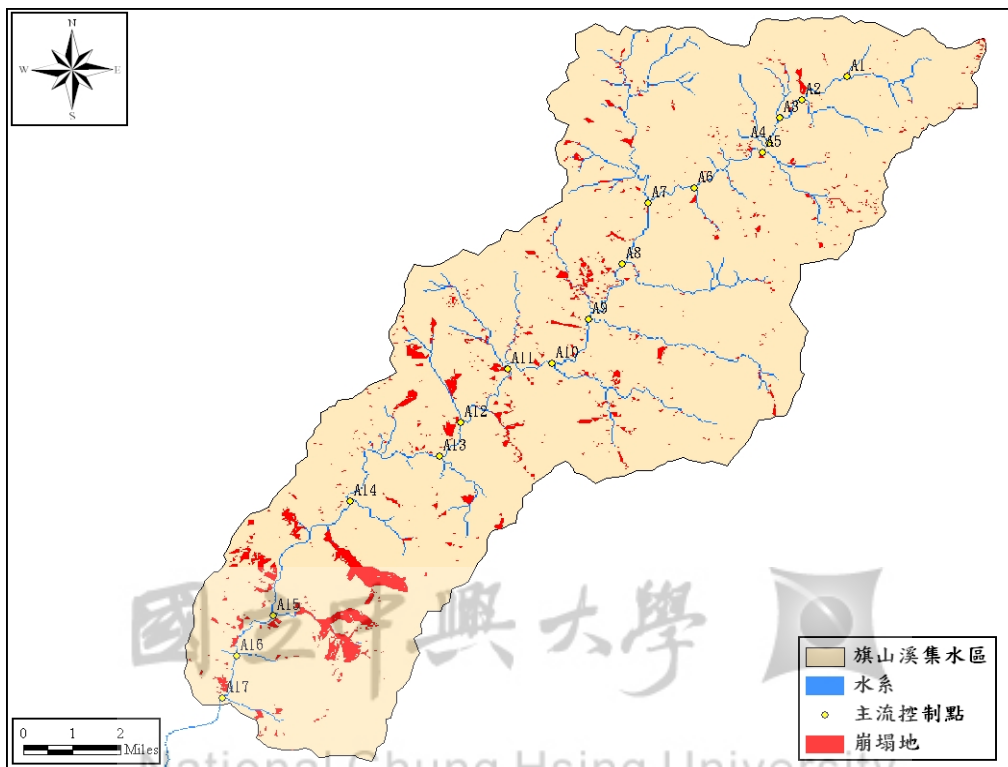


圖 8 旗山溪集水區崩塌地分佈圖

Figure 8. Spatial distribution of landslides at the Chishan stream watershed

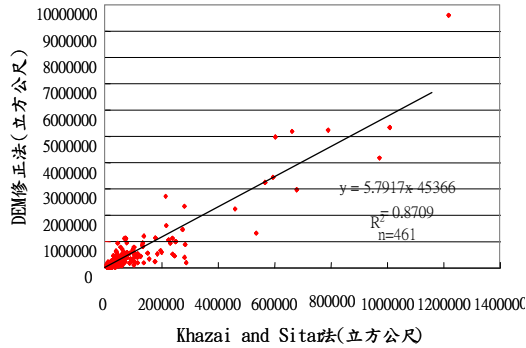


圖 9 崩塌體積相關分析圖

Figure 9 Correlation of the collapse volume estimated by the DEM modified and KS method

(四) 土壤流失量估算

依據水土保持技術規範(2003)第三十五條第一款規定，山坡地土流失量之估算，得採用土壤流失公式，其公式如下：

$$Am=Rm \times Km \times L \times S \times C \times P$$

Am：土壤流失量(tons/ha/yr)

Rm：降雨沖蝕指數(Mj-MM/ha-hr-yr)

Km：土壤沖蝕指數(tons-ha-hr-yr/

Mj-MM-ha-yr)

L：坡長因子

S：坡度因子

C：覆蓋與管理因子

P：水土保持處理因子

(五) 泥砂產量估算

林昭遠等(2006)進行「集水區泥砂產量推估之研究」文中指出一般河道輸送之泥砂量包括來自土壤坡面的土壤沖蝕遞移量(懸浮載)與崩塌地的土砂遞移量，針對

保全對象產生的總體泥砂移運量之通式可寫為：

$$ST_t = (ST_{slope} + ST_{landslide})$$

式中， ST_t 總體泥砂運移量(Total Sediment Transport, ST_t)、 ST_{slope} (ST_s)：為來自坡面的土壤沖蝕遞移量、 $ST_{landslide}$ (ST_l)：來自崩塌地的土砂遞移量。

河道潛在輸砂效能與地文因子(坡度)及水文因子(流量)有關，且並非每一場單場降雨皆會得到相同的輸砂量。因此本研究亦提出在同一集水區探討土砂災害時，單場暴雨(single event)的雨量將會影響每次泥砂運移量，將此雨量關係納入計算式中，其公式將會改寫成：

$$ST_t = (ST_s + ST_l) \left(\frac{p}{P_t} \right)$$

若將泥砂來源之二大部分，分開計算時公式可更寫進一步寫成：

$$ST_t = V_s \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{p}{P_t} \right) + V_l \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{p}{P_t} \right)$$

式中， V_s ：可由土壤通用公式(USLE)中評估獲得，惟因土壤沖蝕之輸砂衰減係數為0($\alpha=0$)，故整體中式可寫為：

$$ST_t = V_s \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{p}{P_t} \right) + V_l \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{p}{P_t} \right)$$

式中崩塌地土砂遞移衰減之影響因子可分為：

(1)面積因子：若崩塌地離保全對象非

$\frac{A_c}{A_a} \cong 0$
常遠($\frac{A_c}{A_a}$)，則輸砂率影響不大；若崩
 $\frac{A_c}{A_a} \cong 1$
塌地離保全對象非常近 ($\frac{A_c}{A_a}$)，則影
響輸砂率甚鉅。

(2)輸砂衰減係數: α 值為輸砂衰減係數， α 值
為輸砂衰減係數，其可能由細顆粒之土壤沖
蝕之完全遞移 ($\alpha=0$) 至大顆粒土砂遞移比
率($\alpha=1$)；此類分佈應進一步比對河床值(D_{50})
調查，以建立類似水土保持技術規範中泥砂
運移量所採用之計算公式。

坡面泥砂遞移率之計算，基於整合地
理資訊系統並結合網格式計算理論與集水
區自動劃分等技術，其方法論係延續 Lin
al.(2002)所建構之理論基礎，假設坡面泥
砂主要係由坡面地表所帶動，運移至常流
水而流失。依此一假設及泥砂遞移率之定
義，泥砂遞移率可視為某格點對最接近渠
道格點之泥砂貢獻量，若將泥砂貢獻量用
網格上游流入面積表示，則網格上游流入
面積愈大，其產生的逕流量亦愈大，愈能
將泥砂帶至河道。因此，集水區坡面上任
一格點之泥砂遞移率，可視為該格點上游
流入面積(A_{grid})與該格點流至最接近渠道

之上流流入面積(A_{total})之比值，意即濱水
區愈靠近渠道之格點，其坡面沖蝕之泥砂
愈容易進入渠道，增加河道之泥砂產量愈
多，泥砂遞移率越高。集水區之坡面泥砂
產量(YS)可由集水區坡面土壤流失量(A_m)
與坡面泥砂遞移率(SDR)之成積
($YS=A_m*SDR$)來推算，藉由網格之排水流
向可計算每個網格之泥砂遞移率及泥砂
量。

崩塌地保全對象之泥砂產量為崩塌土
砂量沿河道遞移保全對象之輸送量，遞移
路徑與公式如圖 10，輸砂通式可寫成：

$$ST_t = V_t \left(\frac{A_c}{A_b} \right) \left(\frac{A_c}{A_a} \right)^\alpha \left(\frac{P}{P_t} \right)$$

ST_t ：泥砂遞移量(Sediment Transport, ST)

V_t ：崩塌體積(m^3)

A_a ：鄰近保全對象河道之集水區(ha)

A_b ：b 點之集水區面積 (ha)

A_c ：c 點之集水區面積(ha)

P：單場雨量(mm)

P_t ：年平均雨量(mm)

α ：輸砂衰減係數。

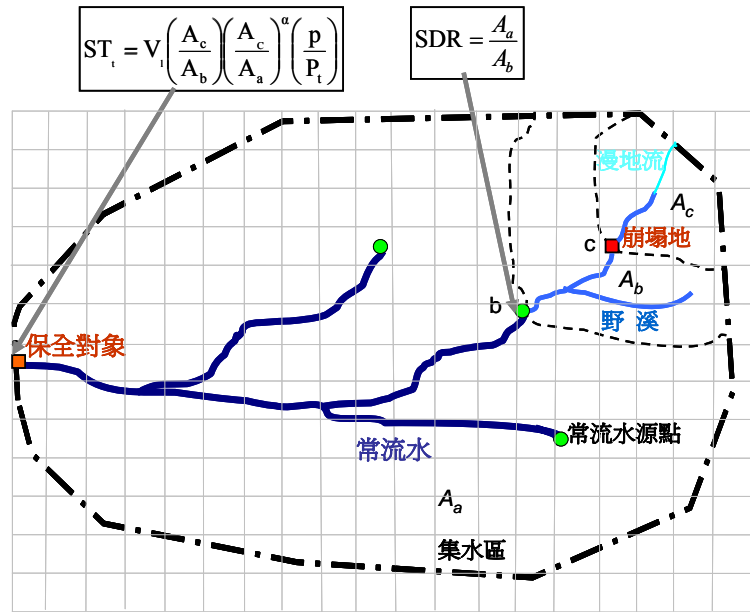


圖 10 集水區崩塌地泥砂遞移量示意圖

Figure 10 Illustration of the sediment delivery quantity from landslide site in the watershed

結果與討論

一、崩塌土方量估算

採用 KS 修正法推估樣區內之崩塌土方量，各控制點上游集水區之崩塌土方量如表 4 所示：莫拉克風災後，得知旗山溪集水區總崩塌量約為 7,624 萬立方公尺。

二、河道輸砂量

由日最大暴雨量分析出河道輸砂量約 1,262 萬立方公尺(表 5)結合上述崩塌地分布圖(圖 8)與河道輸砂量結果得知河道內堆積土砂與崩塌量並沒有絕對關係，可能暴雨須達一定規模時才可將崩塌土砂量輸出。

表 4 各控制點崩塌量體推估

Table 4 Estimated landslide volumes in the different section

控制點	集水區面積 (ha)	總崩塌量(m ³)
A1	1,149	344,472
A2	2,185	1,757,718
A3	2,697	1,995,357
A4	3,074	2,012,957
A5	4,486	3,419,676
A6	5,478	4,720,594
A7	8,201	8,145,868
A8	10,016	8,776,810
A9	12,553	14,113,268
A10	14,901	18,279,619
A11	16,480	20,753,903
A12	17,937	28,282,078
A13	19,074	31,089,234
A14	21,051	33,755,426
A15	24,076	71,405,782
A16	24,843	73,855,557
A17	26,267	76,240,535

表 5 旗山溪集水區泥砂產量

Table 5. Sediment yields in Chishan stream watershed

控制點	崩場地泥砂產量(m ³)	單場坡面泥砂產量(m ³)	河道輸砂量(m ³)
A1	4,120	263,377	267,497
A2	86,384	469,110	555,494
A3	125,966	522,234	648,200
A4	130,137	608,179	738,316
A5	269,986	826,934	1,096,920
A6	404,364	1,150,105	1,554,469
A7	914,943	1,915,307	2,830,250
A8	982,022	2,102,195	3,084,217
A9	1,404,710	2,805,328	4,210,037
A10	1,749,784	3,296,428	5,046,212
A11	2,008,337	3,656,318	5,664,655
A12	2,594,370	4,344,722	6,939,093
A13	2,729,197	4,688,600	7,417,797
A14	2,892,016	5,429,329	8,321,345
A15	5,249,192	6,462,968	11,712,160
A16	5,485,938	6,770,089	12,256,027
A17	5,677,396	6,939,211	12,616,607

三、河道輸砂狀況

集水區崩塌造成之土砂量扣除河道輸砂量，即未輸出土砂量。分析結果顯示莫拉克風災旗山溪集水區約有 6,362 萬立方公尺(表 6)之土砂堆積於河段內，研判主因為莫拉克風災導致多處崩塌，因河道輸砂量有限，仍有大量崩塌土砂蓄積於集水區河道內，形成集水區河道多處淤積情況。

分析河段之沖淤情形整理如表 7 及圖 11 所示，各控制點間以 A11-A12 及 A14-A15 河段堆積嚴重，主要原因為支流較長且地勢較為平緩，土砂不易移動而造成淤積。

考量河段未輸出土砂量、兩岸保全對象安危及相關機關有限人力及資源下，建議針對旗山溪集水區之，以河段 A14-A15 為第一優先、A11-A12 為第二序位。

四、後續土砂清疏管理

河道清疏料源均屬有價料砂石，控制砂石流向及數量，整體清疏作業需制定清疏流程(圖 12)，下列將針對清淤管控工作重要停留點予以說明，使能有效地全面並通盤深入瞭解清淤之過程及管控機制，提昇清淤效率。

(一) 清疏前置準備工作：

1. 依優先清淤河段進行現地放樣及埋樁，界定開挖範圍。
2. 廠商依規定進行磅單印製、提貨單印製。
3. 於開挖前須設置監視系統及錄影設備，能經由錄影擷取畫面進行監控。
4. 於清疏河段進出口設置地磅系統以利車輛載重管制。
5. 砂石廠商需將載運車輛申報給清疏單位，以利後續車輛登載及管控。

(二) 進入管控：控管單位人員須於工區內管控室進行監控，如車斗裝載有異常，立即禁止該車輛進入。

(三) 現場開挖管控：清疏工區內採用 24 小時全天候錄影，針對空車及載運完成車輛進行攝影及擷取照片，有效控管車輛進出工區內管控現場狀況。不定時查驗開挖區位是否有挑料、越區開挖。

(四) 進出數量管控：淤積物採用地磅計量，地磅系統顯示重量確認是否超出該車可容許裝載重量限制，在不超過

- 誤差範圍時才可列印重量，若超出誤差範圍將不予列印磅單。
- (五) 現場人員、車輛管控：車輛、人員進出均須經須登記，管控進出狀況。
- (六) 環境維護措施：針對工區及周邊之環境定期進行維護清理工作，避免過多灰塵影響環境。
- (七) 防弊措施：工區出入口與申購砂石工廠入口，不定時抽檢載運車輛提貨單號及核對影像存檔，以控制載運土石流向，及杜絕體清疏過程。

表 6 旗山溪集水區河道未輸出土砂量
Table 6. Non-output sediments in each control section

控制點	總崩塌量(m ³)	河道輸砂量(m ³)	未輸出土砂量(m ³)
A1	344,472	267,497	76,975
A2	1,757,718	555,494	1,202,224
A3	1,995,357	648,200	1,347,157
A4	2,012,957	738,316	1,274,641
A5	3,419,676	1,096,920	2,322,756
A6	4,720,594	1,554,469	3,166,125
A7	8,145,868	2,830,250	5,315,618
A8	8,776,810	3,084,217	5,692,593
A9	14,113,268	4,210,037	9,903,231
A10	18,279,619	5,046,212	13,233,407
A11	20,753,903	5,664,655	15,089,248
A12	28,282,078	6,939,093	21,342,986
A13	31,089,234	7,417,797	23,671,437
A14	33,755,426	8,321,345	25,434,081
A15	71,405,782	11,712,160	59,693,622
A16	73,855,557	12,256,027	61,599,530
A17	76,240,535	12,616,607	63,623,928

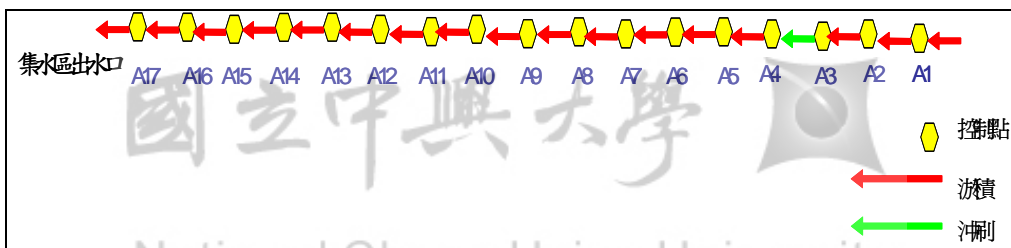


圖 11 旗山溪集水區河段沖淤示意圖

Figure 11. Erosion and/or deposition in river sections of Chishan stream watershed

表 7 旗山溪集水區河道輸砂狀況

Table7 . Sediment transportation status in Chishan stream watershed

區位	未輸出土砂量(m3)	沖淤情形
源頭-A1	76,975	淤積
A1-A2	1,125,249	淤積
A2-A3	144,933	淤積
A3-A4	-72,516	沖刷
A4-A5	1,048,115	淤積
A5-A6	843,368	淤積
A6-A7	2,149,494	淤積
A7-A8	376,975	淤積
A8-A9	4,210,637	淤積
A9-A10	3,330,176	淤積
A10-A11	1,855,840	淤積
A11-A12	6,253,738	淤積
A12-A13	2,328,451	淤積
A13-A14	1,762,643	淤積
A14-A15	34,259,541	淤積
A15-A16	1,905,908	淤積
A16-A17	2,024,398	淤積

結論與建議

本研究針對莫拉克颱風受創嚴重之旗山溪集水區，推估風災後旗山溪主、支流各河段之土砂分布情形，得到下列結論：

- 一、旗山溪集水區於莫拉克風災之崩塌量約 7,624 萬立方公尺，河道輸出 1,262 萬立方公尺，未輸出 7,624 萬立方公尺。
- 二、河段沖淤方面以 A11-A12 及 A14-A15 河段堆積嚴重。
- 三、考量各河段未輸出土砂量、兩岸保全對象之安危及相關機關有限的人力及資源下，建議針對旗山溪集水區之，以 A14-A15 河段為最優先清疏區位。
- 四、風災後大規模的土砂料源堆積於河

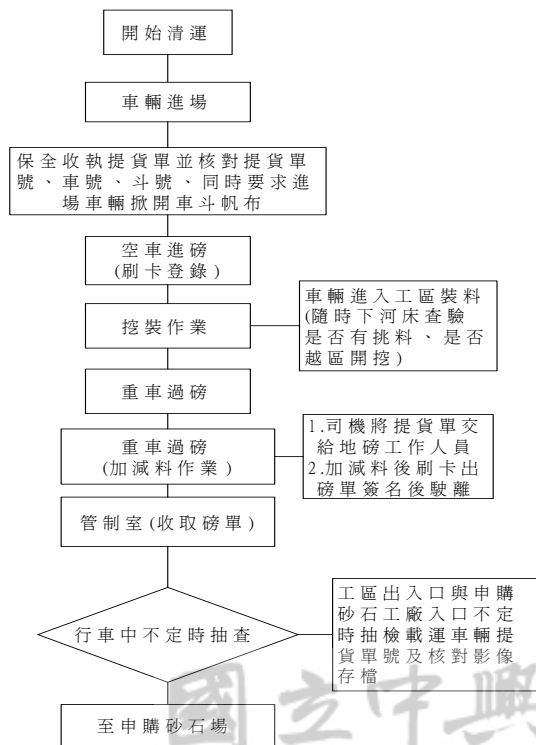


圖 12 清疏流程圖

Figure12. Flowchart of the dredging

- 道內，使得每年必須不斷的進行清疏，若能建立清疏之管控機制，必能有效提申清疏之效益及突顯其成效。
- 五、河道清疏需考量眾多因子，本文僅考慮風災後前後期河段沖淤狀況進行分析，建議後續研究可再納入交通運輸及環境敏感區位，找出最需要土砂清淤之河段，評估相關因子以提供優選清疏區位更好的方法。
- 六、本研究僅以推估泥砂產量作為未輸出土砂量之參考，建議後續可納入現地測量及河道斷面，相信更能對清疏規劃更有效益。
4. Congalton, R.G. (1991), A review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment*, 3: 35-46.
 5. Janssen, L. L. F., and F. J. M. Vanderwel (1994), Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60 (4) : 410-432.
 6. Khazai, B. and N. Sitar(2000) “Landsliding in Native Ground: A GIS-Based Approach to Regional Seismic Slope Stability Assessment”, Internet Report.
 7. Lin, C. Y., W. C. Chou, W. T. Lin(2002), “Modeling the width and placement of riparian vegetated buffer strips: a case study on the Chi-Jia Wang Stream, Taiwan, ” *Journal of Environmental Management*, 66:269-280.

參考文獻

1. 水土保持局 (2003)，「水土保持技術規範」。
2. 林昭遠、莊志瑋(2009)，「921 地震崩塌地特性及變遷監測分析」，921 地震對生態影響與回覆研討會，P.11-32。
3. 林昭遠、陳昱豪、林家榮 (2006)，「集水區泥砂產量推估之研究」，*水土保持學報*，38(2)：207-218。

101 年 06 月 22 日收稿

101 年 06 月 28 日修改

101 年 06 月 29 日接受

水土保持學報44(4) : 407 – 420 (2012)

Journal of Soil and Water Conservation , 44 (4) : 407 – 420 (2012)

國立中興大學 

National Chung Hsing University