

# 運用隨機森林演算法進行莫拉克颱風災區土石流發生因子 關聯性分析

## Relationship Analysis of Debris Flow-inducing Factors in Typhoon Morakot Affected Area By Using Random Forest Algorithm

沈哲緯 Che-Wei Shen 蕭震洋 Cheng-Yang Hsiao 辜炳寰 Bing-Huan Ku  
曹鼎志 Ting-Chi Tsao 鄭錦桐 Chin-Tung Cheng

財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心

羅文俊 Wen-Chun Lo

行政院農委會水土保持局土石流防災中心

### 摘要

本研究採用遙測影像、現地調查結果、農委會水保局 95~99 年土石流易致災因子調查資料及各項分析成果，萃取莫拉克颱風災區 218 條土石流潛勢溪流土石流發生三元素作為評估因子(地形、降雨及土砂來源)，合計 101 個因子，以主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)與相關性分析(Correlation Analysis, CA)，篩選莫拉克颱風引發土石流之顯著發生因子，並藉由成功率曲線(Success Rate Curve, SRC)AUC 值瞭解單一因子預測土石流，結果發現 AUC 值最高為 0.567，代表單一因子無法有效預測土石流發生，故採用美國貝爾實驗室開發的隨機森林演算法(random forest algorithm)，針對多變量因子間關聯性進行研究與探討，發現莫拉克颱風時，土石流顯著發生因子分別是「有效累積雨量」影響最大，「時雨量」次之，之後依序「各潛勢溪流線 50 公尺環域範圍內之崩塌率」、「10 度以上有效集水區高度平均值」等。本研究除期望釐清莫拉克颱風引致土石流發生因子特性外，亦可回饋分析結果於易致災因子調查，研修土石流易致災調查發生因子項目。

關鍵詞：莫拉克颱風、顯著土石流發生因子、主成分分析、隨機森林演算法。

### 一、前言

2009 年 8 月莫拉克颱風來襲，長延時強降雨高累積雨量的降雨型態，以及颱風引進之西南氣流為台灣中南部地區帶來破紀錄的大量豪雨，尤其在高雄縣、台南縣、嘉義縣等山區造成重大災害，而各集水區內也因大量崩塌產生隨豪雨增加而誘發多處發生土石流，對溪流兩岸保全對象之生命財產造成重大危害。土石流災害發生機制原因眾多，且受限於各種環境和人為因素影響，使其發生具有高度不確定性及複雜性，甚難以釐清災害誘發機制，且土石流發生需具備豐富土石材料來源、足夠水源供應以及適當的地形條

件等三個基本要件(詹錢登, 2000), 此即為土石流發生三元素(土砂來源、降雨及地形)。

本研究以莫拉克颱風後現調之 218 條土石流潛勢溪流為研究範疇(圖 1), 以現調評估「有無發生土石流」屬性為因變數, 將溪流區分為「災害發生組」與「災害未發生組」, 探討土石流顯著發生因子, 分別就土砂來源(以莫拉克颱風前期崩塌地為主)、地形因子(集水區幾何形狀、集水區曲率、集水區坡度、集水區坡向、集水區高程及其它地形指標等因子)等項進行主成分分析、相關性分析與成功率曲線統計, 綜合探討莫拉克颱風引發土石流之顯著地形發生因子, 並探討土石流發生三元素之相關性與因子特性。然眾多研究結果顯示(池谷浩, 1980; 謝正倫、陳禮仁, 1993; 陳榮河等, 1993; 陳榮河、江英政, 1999; 陳宏宇等, 1999; 范正成等, 1999; 詹錢登, 2000; 陳天健等, 2001; Chen and Yu, 2011), 各因子間相互存在著相關性, 發生因子非獨立因子, 也可能因地形地貌的改變, 而連帶影響降雨多寡及土砂料源供應量, 故要釐清多變量因子間交叉關聯性, 並非一件容易的研究工作。目前國際上資料採礦方法學中, 探討多變量因子間交叉關聯性及權重排序的演算法, 以美國貝爾實驗室基於決策樹(decision tree)理論發展而成的隨機森林(random forest, 以下簡稱 RF)最具代表性, 此演算法具有分析多變量因子間權重及交叉關聯性鏈結圖(link chart)的功能, 有鑒於此, 本研究採隨機森林演算法針對顯著發生因子進行多變量交叉關聯性分析, 期釐清莫拉克颱風土石流發生因子在相互影響及牽制作用下, 各因子權重排序及關聯性, 藉此歸納莫拉克颱風災區土石流潛勢溪流關鍵發生因子, 成果可回饋於農委會水土保持局土石流潛勢溪流易致災調查表, 精進土石流易致災調查考量的發生因子。

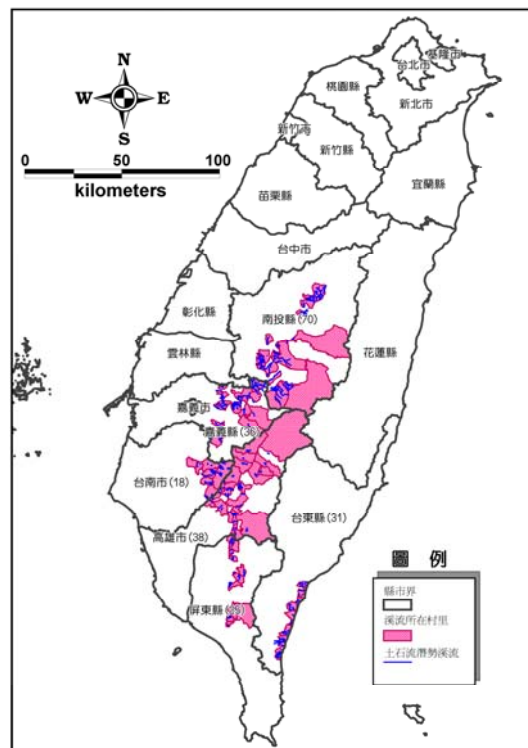


圖 1 本研究採用莫拉克颱風災區 218 條土石流潛勢溪流分布圖  
(摘自農委會水土保持局, 2011)

## 二、土石流發生三元素因子萃取

### 1. 土砂來源(包含崩塌地、殘土率及地質因子)

#### (1) 崩塌地面積(崩壞比)

崩塌地崩落之土石較為鬆軟，常堆積於溪床及鄰近溪床坡面，而易成為土石流的材料來源(水保局，2010)。因此，集水區內的崩塌地，在豪雨時期易被誘發而導致土石流。

#### (2) 面積高度積分(殘土率)

本因子是由百分率面積高度曲線(Percent-age Hyposometric Curve)求出一項變數(如圖 2)。所謂的百分率面積高度曲線為地形學者做定量分析時的一項工具，目的在表示地表某區各高度以上面積佔全區總面積的比例，因此可利用此資料了解集水區地表發育概況，或用來研究集水區的地形發育情況，而以面積高度積分值可知地形的幼、壯、老程度(Strahler, 1952)。

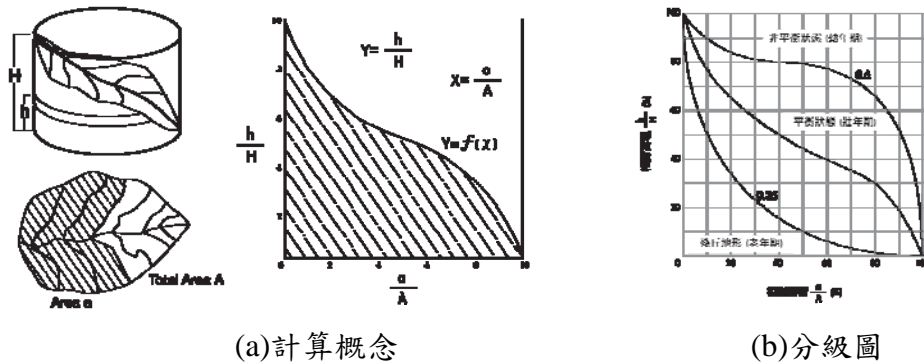


圖 2 面積高度積分示意圖(重繪自 Strahler, 1952)

### 2. 降雨

造成土石流的水源供應，通常考慮降雨、融雪及地下水等來源，而因台灣所處地區及考量資料完整性，故常以累積降雨量及降雨強度作為因子。降雨量多且強度集中乃促成土石流發生之重要元素。據山口伊佐夫(1985)之調查結果顯示，連續雨量達 60mm，不論是長、短時間之降雨皆可能發生土石流，最大強度降雨尖峰發生時間與土石流發生時間同時發生者相當多，此外絕大部份之土石流發生在降雨尖峰後 2~3 小時內，可見降雨特性對土石流發生影響之大。

### 3. 地形

#### (1) 集水區面積

集水區面積愈大，則在暴雨時期所匯集雨量的水量愈大，且會在集水區出口處產生較大流量，所以集水面積大小與河川尖峰流量成正比。但因為集水面積越大，雨水匯集的時間愈長，所以與集流時間成反比，故可由集水區面積來評估河川尖峰流量與集流時間。Van Dine 調查加拿大 Howe Sound 地區發生土石流之溪流，發現集水區面積與土石流發生部之溪床坡度有反比例之關係存在，而發生土石流之集水區面積大小範圍一般在 0.4 到 0.7 平方公里之間(詹錢登，2000)。

## (2) 主流

常見主流因子有主流長度、主流相對高度、主流平均坡度及主流彎曲度，簡述如下。

- A. 主流長度：主流長度愈長，河川尖峰流量愈大，集流時間也愈長。
- B. 主流高程差：主流高度差與坡度有絕對的相關性，故為河川動力機制的基礎，本研究也將其納入土石流發生評估因子。
- C. 主流平均坡度：由於土石運動型態與坡度有密切關係，且主流溪床坡度隨縱斷面由上游至下游皆有變化。故主流坡度決定土石運動類型，也易影響土石流的發生，故常見前人將此列為評估土石流發生之因子，本研究以詹錢登(2000)所計算主流溪床之平均坡度(S)，其定義如公式 1。

$$S = \tan^{-1}(\text{主流上下游端點之高程差} / \text{主流上下游端點水平投影長度}) \quad \text{公式 1}$$

- D. 主流彎曲度：定義為主流長除以主流上下游端點水平投影長度。林昭遠與張力仁(2000)指出主流蜿蜒程度亦表示可攔阻砂石之程度，進而能影響土石流發生之機率。

## (3) 坡度

理論上坡度愈陡，則驅動土石流發生之能量愈高。

## (4) 坡向

從台灣地區颱風登陸之路徑統計中發現，登陸台灣的颱風大多為東南—西北向，此因素將造成迎風面所承受之雨水會較背風面多，而且強風也會影響邊坡受風化之程度，因此集水區邊坡之坡向將影響集水區承受雨量與崩塌物質的多寡。

## (5) 形狀因子

常見的形狀因子有集水區形狀係數、細長比及環性比，簡述如下：

- A. 集水區形狀係數(Form factor, F)：係集水區面積與集水區長度平方之比值，為 1932 年由荷頓氏(Horton)所提出(李光敦, 2002)。Strahler(1964)認為集水區之形狀對於河川流量特性有顯著的影響，形狀係數小於 1 時，則表示集水區狹長，而一個狹長的集水區有較小的尖峰流量，且其流量歷線較為平緩。
- B. 細長比：定義為「面積相等之圓直徑」除以「集水區長度」。數值愈小，表示集水區愈狹長，同時也代表該流域起伏較大，流速也愈快，也容易發生土石流；但若本數值愈接近 1，則表示地形起伏較低(黃朝恩, 1980)。
- C. 環性比：定義為「集水區面積」除以「與集水區邊長相等圓周長之圓面積」。環性比介於 0~1 間，比值愈接近 1，流域形狀愈接近圓形，河流水系也易呈現向心狀，在豪雨影響下，易於相近時間匯流水於同一點，進而驅動土石移動。

## (6) 高程

常見的集水區高程因子有集水區相對高度及集水區高度變異係數，簡述如下：

- A. 集水區相對高度：此因子為集水區最高及最低的高程差量。本因子落差愈大，表示集水區整體相對坡度愈大，降雨時的集流時間也就愈快。
- B. 集水區高度變異係數：為集水區內高度標準差除以平均數。此項因子在值小的時候，表示高度變動不大；反之在值大的時候表示高度變動大。此因子可知集水區高度的差異程度，即表示集水區的起伏程度。

(7) 曲率

曲率是一種地形二次微分的概念，所代表的是坡度或坡向的改變率，本研究所探討的曲率包括縱向曲率(profile curvature)、橫向曲率(plan curvature)、切向曲率(tangential curvature)及全曲率(total curvature)，其中以縱向曲率及橫向曲率最常為人所探討。縱向曲率指的是沿著邊坡最陡坡降的方向，切垂直剖面坡度的斜率。橫向曲率指的是沿著等高線水平方向坡向的斜率；切向曲率是指垂直於坡向對坡面之投影向量和坡面的平面，對地表面所切出來的剖面之曲率。根據 Wilson 和 Gallant(2000)定義各項曲率公式進行計算，各項計算參數定義如下：

$$z_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \approx \frac{z_4 - 2z_5 + z_6}{h^2} \quad \text{公式 2}$$

$$z_{yy} = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \approx \frac{z_2 - 2z_5 + z_8}{h^2} \quad \text{公式 3}$$

$$z_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \approx \frac{-z_1 + z_3 + z_7 - z_9}{4h^2} \quad \text{公式 4}$$

$$p = z_{x_2}^2 + z_{y_2}^2 \quad \text{公式 5}$$

$$q = p + 1 \quad \text{公式 6}$$

其中， $z_1 \sim z_9$  及  $z_{x_2}$  和  $z_{y_2}$  同平均坡度及平均坡向計算時之定義。各曲率之計算公式如下：

$$K_p = \frac{z_{xx}z_{x_2}^2 + 2z_{xy}z_{x_2}z_{y_2} + z_{yy}z_{y_2}^2}{pq^{2/3}} \quad \text{公式 7}$$

$$K_c = \frac{z_{xx}z_{y_2}^2 - 2z_{xy}z_{x_2}z_{y_2} + z_{yy}z_{x_2}^2}{p^{3/2}} \quad \text{公式 8}$$

$$K_t = \frac{z_{xx}z_{y_2}^2 - 2z_{xy}z_{x_2}z_{y_2} + z_{yy}z_{x_2}^2}{pq^{1/2}} \quad \text{公式 9}$$

$$K = z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2 \quad \text{公式 10}$$

其中， $K_p$  為縱向曲率； $K_c$  為橫向曲率； $K_t$  為切向曲率； $K$  為全曲率。

(8) 其它地形指標

河道水力指數(Stream Power Index, 以下簡稱 SPI)常用於河道沖蝕及地貌變遷(Moore et al., 1991)使用。Chen and Yu(2011)也曾以其為影響因子於台灣陳有蘭溪對土石流進行關聯性研究。其計算方式如公式 11。

$$SPI = \ln(A \tan \beta) \quad \text{公式 11}$$

式中  $A_s$  為指定點以上之集水區面積；而  $\beta$  為該集水區平均坡度值。

本研究依據 218 條土石流潛勢溪流、莫拉克颱風前期崩塌地判釋成果、5m 高精度數值高程模型、莫拉克颱風期間雨量等資料(資料來源如表 1 所示)，以土石流潛勢溪流集水區、溪床坡度 10 度及溪床坡度 15 度以上有效集水區等三種不同集水區範圍進行因子萃取，成果計有土石流潛勢溪流之集水區面積、高程(變異係數、相對高度、面積高度積分)、坡度(平均值、標準差、變異係數、七級坡眾數、最大坡度)、坡向(平均值、八方向眾數、x 方向分量、y 方向分量)、形狀因子(形狀係數、細長比、環性比)、SPI、莫拉克颱風前之崩塌率、時雨量、有效累積雨量及主流長、主流高程差、主流平均坡度、主流彎曲度等，合計共 101 個因子，因子萃取組合與流程如圖 3 所示。

表 1 研究使用資料列表(摘自農委會水土保持局，2011)

類型	屬性	時間	地點	來源名稱(計畫或基礎資料)
土石流發生與否	現地調查資料	98 年	218 條土石流潛勢溪流	水保局「98 年莫拉克颱風後土石流潛勢地區易致災因子調查」
土砂來源	遙測判釋崩塌地	97 年底	全臺灣	97 年底福衛 2 號衛星影像判釋溪流崩塌地成果(莫拉克颱風前期崩塌)
土砂來源	崩塌地現調結果	99 年	218 條土石流潛勢溪流	「98 年莫拉克颱風後土石流潛勢地區易致災因子調查」及「99 年土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析」(莫拉克颱風後期崩塌)
地形	5m 高精度數值高程數值模型	91~93 年	全臺灣	93-95 年度之「高精度高解析數值地形模型建置計畫」
降雨	雨量	莫拉克颱風期間	218 條土石流潛勢溪流	水保局土石流防災應變系統擷取的雨量資料

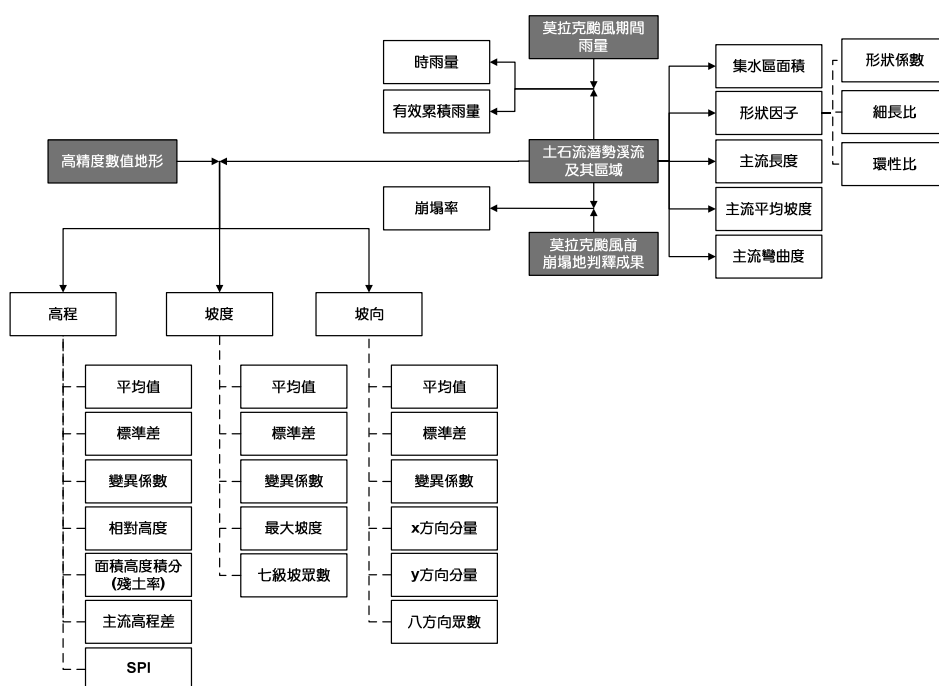


圖 3 基礎資料及因子萃取流程圖

### 三、顯著地形發生因子篩選

針對莫拉克颱風時有發生土石流現象之溪流為主，探討土石流顯著發生因子，分別就土砂來源(以莫拉克颱風前期崩塌地目錄為基礎)、地形因子(集水區幾何形狀、集水區曲率、集水區坡度、集水區坡向、集水區高程及其它地形指標等因子)進行主成分分析(PCA)、相關性分析(CA)與成功率曲線(SRC)AUC 值統計，綜合探討莫拉克颱風引發土石流之顯著地形發生因子，以利後續發生因子特性歸納及探討使用，至於降雨(時雨量、有效累積雨量)因子為土石流發生之必要條件，故於後續多變量交叉關聯性分析時一併探討，此階段不納入顯著發生因子篩選，分析流程如圖 4，篩選獲致的顯著因子發生因子如表 2 所示。

表 2 莫拉克颱風引發土石流的顯著發生因子(僅包含地形與土砂來源兩類)

因子類別	發生因子	單位	主成分順序	主成分係數	AUC 值	AUC 排序
前期崩塌地	各潛勢溪流線 50m buffer 範圍內之崩塌率	%	1	0.9131	0.5342	4
集水區形狀相關	多邊形邊長與圓周長相等之圓面積	平方公尺	1	0.9853	0.5622	2
	環性比	無因次	2	0.7845	0.4646	16
集水區地形曲率因子	10 度以上有效集水區全曲率標準差	1/公尺	1	0.9645	0.4774	15
	集水區全曲率變異係數	無因次	2	0.9194	0.4986	11
	10 度以上有效集水區全曲率平均值	1/公尺	3	0.9768	0.5095	8
	15 度以上有效集水區全曲率平均值	1/公尺	4	0.9591	0.4985	12
集水區坡度因子	集水區坡度平均值	度	1	0.9056	0.5037	10
	10 度以上有效集水區坡度變異係數	無因次	2	0.8857	0.4957	13
	集水區坡度標準差	度	3	0.7472	0.5086	9
集水區坡向因子	10 度以上有效集水區坡向標準差	度	1	0.8472	0.4903	14
	集水區坡向眾數(八方向)	無單位	2	0.8347	0.5166	7
集水區高程因子	10 度以上有效集水區高度平均值	公尺	1	0.9450	0.5246	5
	10 度以上有效面積高度積分(殘土率)	無因次	2	0.8718	0.5409	3
	10 度以上有效集水區高度變異係數	無因次	3	0.8596	0.5195	6
其它地形指標	10 度以上有效集水區面積 SPI	平方公尺	1	0.9726	0.5670	1

註：降雨(時雨量、有效累積雨量)因子為土石流發生之必要條件，此步驟不納入顯著發生因子篩選。

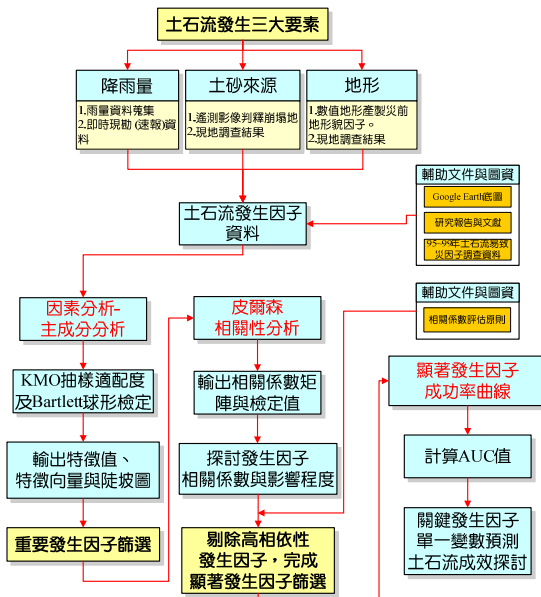


圖 4 土石流顯著發生因子篩選流程圖

## 四、交叉關聯性分析結果與討論

### 1. 相對重要性指標 RI 分析結果與探討

本研究探討莫拉克颱風土石流顯著發生因子交叉關聯性，採用隨機森林演算法進行評估，透過隨機森林計算總體相對重要性指標 RI，結果如表 3 所示。由結果可知各因子在多變量交叉關聯影響下，其總 RI 排序，本研究選取相對重要性百分比大於等於 5% 的因子進行顯著性探討(水保局，2011)，顯著發生因子分別是「有效累積雨量影響」最大(RI=0.0668)，「時雨量」次之(RI=0.0222)，之後依序「各潛勢溪流線 50m 環域範圍內之崩塌率」(RI=0.0189)、「10 度以上有效集水區高度平均值」(RI=0.0180)、「10 度以上有效面積高度積分(殘土率)」(RI=0.0115)、「多邊形邊長與圓周長相等之圓面積」(RI=0.0100)及「10 度以上有效集水區面積 SPI」(RI=0.0092)。

由結果可知，莫拉克颱風引發土石流最顯著因子是降雨因子，其次才是土砂來源(崩塌地)、集水區高程因子、集水區形狀因子及其它地形指標影響，然崩塌地、集水區形狀因子及高程因子與降雨皆呈現高度相關性(由前述相關性分析結果可知)，主要是莫拉克颱風誘發了許多崩塌料源，提供了土石流誘發必要條件；而集水區高程及形狀因子與降雨多寡及集流時間有關，在在說明莫拉克颱風高累積雨量型態係為誘發土石流災害發生的主因。

### 2. 多變量交叉關聯性分析結果與探討

透過隨機森林演算法可獲致多變量因子交叉關聯性分析結果，共可劃分出 47 棵決策樹及 144 個節點，OBB 誤差為 33.3%，以顯著發生因子建構的隨機森林分類模式分類準確率達 80.1%，分類成效相較於單因子預測結果(即成功率曲線成果)，更能有效的進行土石流發生與否分類。

本研究將交叉關聯性成果彙整以鏈結圖(link chart)表示，如圖 5 所示。然此結構太過複雜且不易以一張圖說明清楚，故將各決策樹的相對重要性指標區分成多張鏈結圖進行探討，成果如圖 6 所示。

根據圖 6 可知，以下依照各相對重要性指標分級圖歸納相關成果敘述如後：

- (1) 相對重要性指標 0.9~1.0：顯示「有效累積雨量」與「各潛勢溪流線 50m 環域範圍內之崩塌率」呈現高度相關，顯見土石流發生組的崩塌地與莫拉克颱風降雨誘發有著直接的關係，且因土砂料源的供應及雨量的驅使，致使發生土石流災害。
- (2) 相對重要性指標 0.8~0.9、相對重要性指標 0.7~0.8、相對重要性指標 0.6~0.7：無因子交叉關聯性存在。
- (3) 相對重要性指標 0.5~0.6：整體而言，相對重要性指標介於 0.5~0.6 之間，「高程、坡度、地形曲率、集水區形狀相關因子」與「有效累積雨量、各潛勢溪流線 50m 環域範圍內之崩塌率因子」具有關聯性。詳細交叉關聯性詳如圖 6(e)所示。
- (4) 相對重要性指標 0.4~0.5：顯示「有效累積雨量」與「10 度以上有效集水區坡度變異係數」呈現中等相關性。
- (5) 相對重要性指標 0.3~0.4、相對重要性指標 0.2~0.3 及相對重要性指標 0.1~0.2：無因



子交叉關聯性存在。

- (6) 相對重要性指標 0.0~0.1：地形因子間交叉關聯性相對重要性指標多數介於 0.0~0.1 之間，與降雨及土砂來源因子無關聯。觀察此指標區間可知，「集水區坡向眾數、集水區坡度標準差」與其它地形因子間並無關聯性，且與降雨及土砂來源因子亦無關聯性，如此即可獲知坡向因子總體相對重要性指標較低的原因。詳細交叉關聯性詳見圖 6(j) 所示。

表 3 莫拉克颱風土石流顯著發生因子總體相對重要性指標(隨機森林分析結果)

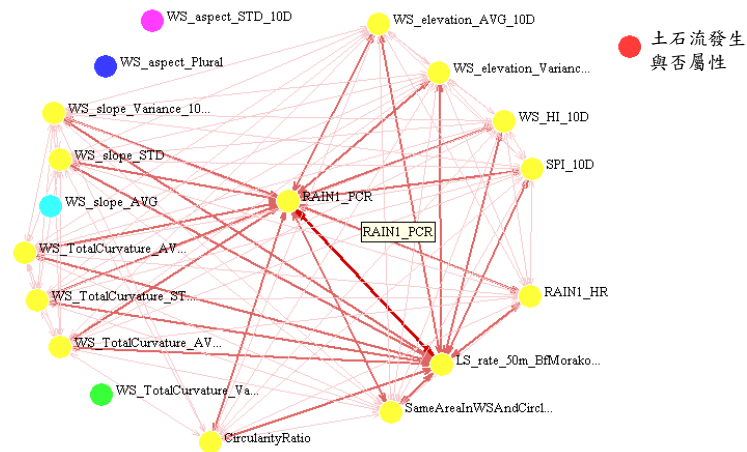
排序	顯著發生因子(代號)	因子類別	相對重要性指標 RI	相對重要性百分比(%)
1	有效累積雨量 (RAIN1_PCR)	降雨量	0.0668	39.6491
2	時雨量 (RAIN1_HR)	降雨量	0.0222	13.1578
3	各潛勢溪流線 50m buffer 範圍內之崩塌率 (LS_rate_50m_BfMorakot)	土砂來源 (前期崩塌)	0.0189	11.2283
4	10 度以上有效集水區高度平均值 (WS_elevation_AVG_10D)	集水區高程	0.0180	10.7017
5	10 度以上有效面積高度積分(殘土率) (WS_HI_10D)	集水區高程	0.0115	6.8422
6	多邊形邊長與圓周長相等之圓面積 (SameAreaInWSAndCircle_CircleDi)	集水區形狀相關	0.0100	5.9647
7	10 度以上有效集水區面積 SPI (SPI_10D)	其它地形指標	0.0092	5.4381
8	集水區坡度標準差(WS_slope_STD)	集水區坡度	0.0038	2.2809
9	15 度以上有效集水區全曲率平均值 (WS_TotalCurvature_AVG_15D)	集水區地形曲率	0.0027	1.5792
10	環性比(CircularityRatio)	集水區形狀相關	0.0024	1.4035
11	10 度以上有效集水區全曲率平均值 (WS_TotalCurvature_AVG_10D)	集水區地形曲率	0.0012	0.7017
12	10 度以上有效集水區全曲率標準差 (WS_TotalCurvature_STD_10D)	集水區地形曲率	0.0009	0.5266
13	10 度以上有效集水區坡度變異係數 (WS_slope_Variance_10D)	集水區坡度	0.0006	0.3509
14	10 度以上有效集水區高度變異係數 (WS_elevation_Variance_10D)	集水區高程	0.0006	0.3509
15	集水區全曲率變異係數 (WS_TotalCurvature_Variance)	集水區地形曲率	0.0000	0.0000
16	集水區坡度平均值(WS_slope_AVG)	集水區坡度	0.0000	0.0000
17	集水區坡向眾數(WS_aspect_Plural)	集水區坡向	0.0000	0.0000
18	集水區坡度標準差(WS_aspect_STD_10D)	集水區坡向	-0.0003	-0.1757

註 1：相對重要性指標值域介於 0~1，即是隨機森林中各決策樹計算獲致的機率值(條件機率 condition probability)。

註 2：相對重要性百分比(%)係將各項因子 RI 加總後數值當作分母，各因子 RI 值為分子，計算各因子相對於其它因子的相對重要性百分比，即就整體來看各單一因子的貢獻程度，值域介於 0~100%。

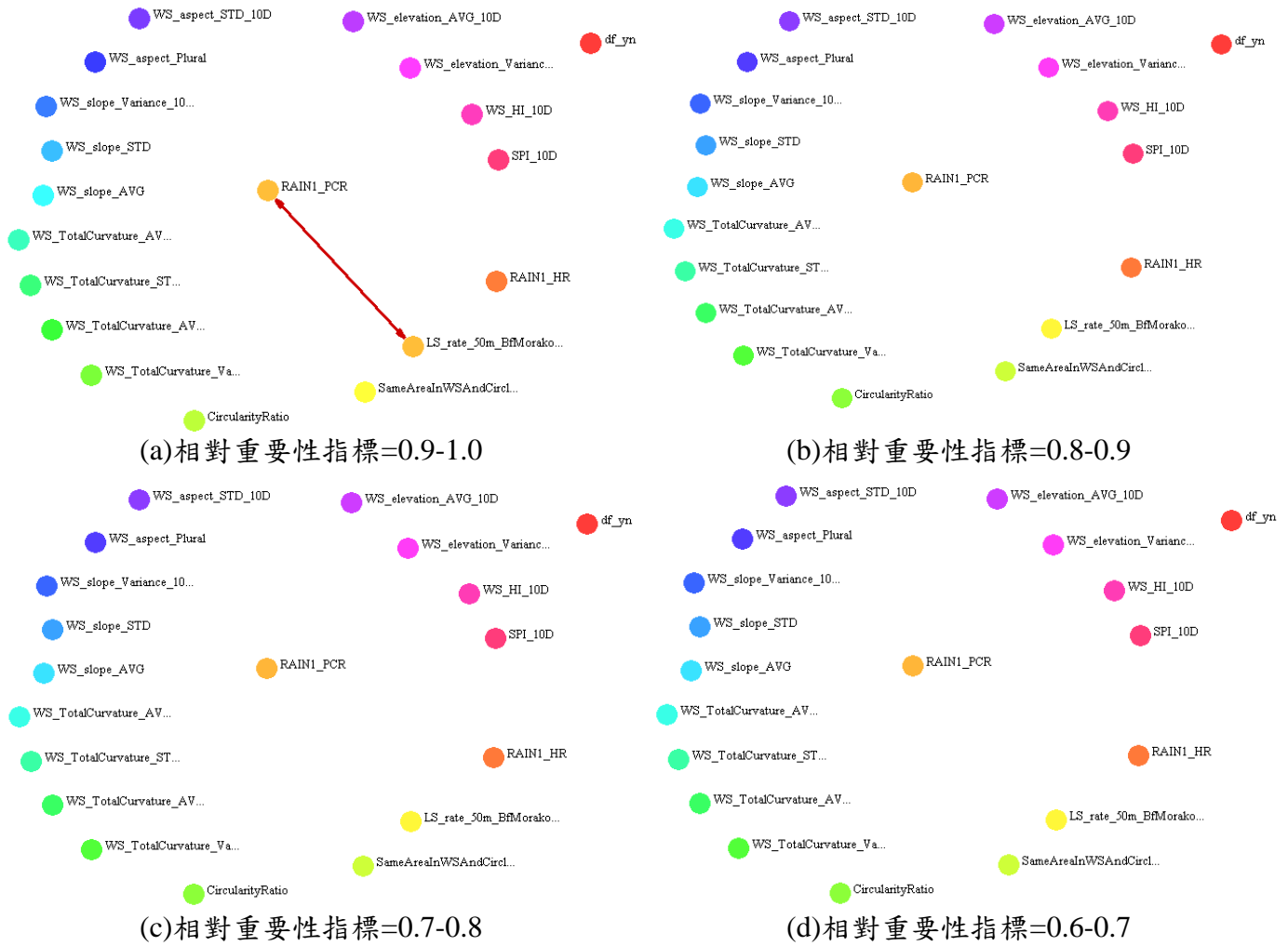
註 3：本研究選取相對重要性百分比大於等於 5% 的因子進行顯著性探討。

註 4：坡度標準差係表示集水區坡度起伏程度，坡度標準差為正的時候，表示平均地形以凸地形為主，降雨可能形成逕流，較不易形成土石流；坡度標準差為負的時候，表示平均地形以凹地形為主，凹地形會蓄積雨水，甚至造成入滲引發土石流情形，由於物理量與物理意義反序，故係數為負。



Size of data Sample for a tree construction:144  
 SplittingEase parameter:0.001  
 Number of Trees:47

圖 5 土石流顯著發生因子交叉關聯性鏈結總圖



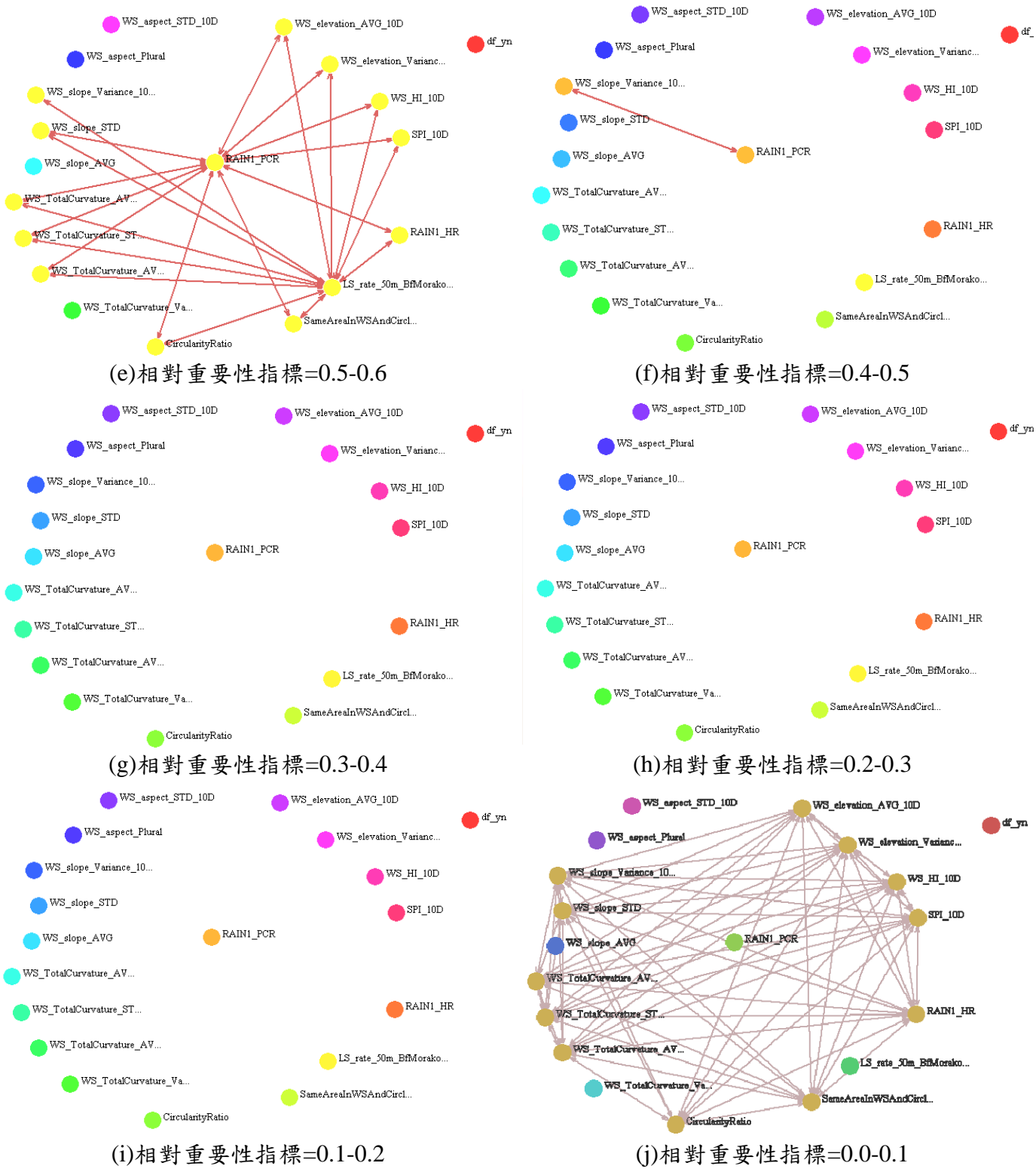


圖 6 土石流顯著發生因子交叉關聯性鏈結圖(區間討論)

### 五、初步結論

1. 本研究依據莫拉克颱風災區 218 條土石流潛勢溪流相關資料為基礎，經主成分分析、相關性分析及成功率曲線評估，可獲致地形及土砂來源兩類合計共 16 個因子，加上降雨因子 2 個(有效累積雨量、時雨量)，共計有 18 個土石流顯著發生因子。

2. 本研究採用隨機森林演算法進行莫拉克颱風土石流顯著發生因子關聯性，結果顯示土石流顯著發生因子以「有效累積雨量」影響最大(RI=0.0668)，「時雨量」次之(RI=0.0222)，之後依序「各潛勢溪流線 50m 環域範圍內之崩塌率」(RI=0.0189)、「10 度以上有效集水區高度平均值」(RI=0.0180)、「10 度以上有效面積高度積分(殘土率)」(RI=0.0115)、「多邊形邊長與圓周長相等之圓面積」(RI=0.0100)及「10 度以上有效集水區面積 SPI」(RI=0.0092)。此結果在在說明莫拉克颱風高累積雨量型態係為誘發土石流災害發生的主因。
3. 彙整交叉關聯性分析結果，摘錄重點說明如下：
  - (1) 「有效累積雨量」與「各潛勢溪流線 50m 環域範圍內之崩塌率」呈現高度關聯性(RI 介於 0.9~1.0)，表示莫拉克颱風高累積降雨型態誘發溪流鄰岸(溪流線 50m 環域範圍)有明顯的土砂料源供應。
  - (2) 各地形發生因子與「有效累積雨量」及「各潛勢溪流線 50m 環域範圍內之崩塌率」呈現中度關聯性(RI 介於 0.5~0.6)，表示地形因子與降雨及土砂來源(即崩塌地)會有相關，也就是降雨強度及崩塌率會因地形不同而有程度上差異，進而影響土石流誘發條件。
  - (3) 各地形因子間呈現低度關聯性，顯示經顯著地形發生因子篩選後，能有效降低因子間相依及互制情形。
4. 本研究提供土石流顯著發生因子篩選及交叉關聯性探討的方法，有別於過去多數研究單因子權重及描述定性說明等方法，期供未來釐清災害顯著發生因子相關研究參考，更期望能回饋災前整備及災中應變規劃，亦可回饋現地調查研修調查重點項目參用。

## 參考文獻

### (書籍)

- 山口伊佐夫，1985。《防砂工程學》，台北：國立台灣大學森林學系譯，150-174 頁。
- 池古浩，1980。《土石流災害調查法》，台北：日本山海堂編印，國家科學委員會土石流研究群日文翻譯本。
- 李光敦，2002。《水文學》，台北：五南圖書出版股份有限公司，共 385 頁。
- 詹錢登，2000。《土石流概論》，台北：科技圖書股份有限公司，共 148 頁。
- Strahler, A.N.(1964) Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, In Chow, V.T. ed., Handbook of Applied Hydrology. Section 4-11; McGraw-Hill.

### (期刊)

- 林昭遠、張力仁，2000。地文因子對土石流發生影響之研究-以陳有蘭溪為例，中華水土保持學報，第 31 卷第 3 期，第 227-237 頁。
- 范正成、吳明峰、彭光宗，1999。豐丘土石流發生臨界降雨線之研究，土工技術，第 74 期，第 39-46 頁。
- 陳榮河、林美聆、陳宏宇，1993。銅門村土石流材料特性之初步研究，中華水土保持

- 持學報，第 24 卷第 1 期，第 65-73 頁。
- 謝正倫、陳禮仁，1993。土石流潛在溪流之危險度的評估方法，中華水土保持學報，第 24 卷第 1 期，第 13-19 頁。
- 陳宏宇、蘇定義、陳琨銘，1999。土石流發生機制與地質環境之相關性，土工技術，第 74 期，第 5-20 頁。
- 陳天健、林美聆等人，2001。桃芝颱風坡地及土石流災害特性分析，中華水土保持學報，第三十二卷第四期，第 279-288 頁。
- 黃朝恩，1980。台灣島諸流域特徵及其相關性的地形學研究，私立中國文化大學理學院地理學系研究報告，第 4 卷，第 1-93 頁。
- Chen Chien-Yuan, and Yu Fan-Chieh, 2011. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS, *Geomorphology*, 129,387-397.

#### (會議)

- 陳榮河、江英政，1999。新中橫公路邊坡破壞之調查，第二屆土石流研討會論文集，第 180-189 頁。
- Strahler, A.N., 1952. *Hypsometric(area-altitude) Analysis of Erosional Topography*, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1117-1142.

#### (報告)

- 財團法人中興工程顧問社，2009。98 年莫拉克颱風後土石流潛勢地區易致災因子調查，農委會水土保持局委託成果報告。
- 財團法人中興工程顧問社，2010。99 年土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析，農委會水土保持局委託成果報告。
- 財團法人中興工程顧問社，2011。莫拉克災區土石流發生因子關連性探討，農委會水土保持局委託成果報告。