

以灰關聯分析建立土石流危險度評估模式

The Risk Evaluation Model of Debris Flow by Using Grey Relational Analysis

高苑技術學院土木工程系講師

張東炯

Tung-Chueng Chang

摘 要

土石流之發生係一非單存之線性系統，其影響發生因素包括降雨、溪流坡度、溪流長度、溪流寬度、谷口上游之集水面積及地質種類、地表植生、上游崩塌地、溪床堆積物特性、地下水位等等皆是促成土石流形成之重要因子。因此，本文主要將土石流流動系統視為一灰色系統，應用灰色相關理論分析探討地形因子參數中如溪流坡度、溪流長度、溪流寬度、谷口上游集水面積等對土石流發生之影響程度，以建立土石流危險度之評估模式。由本研究之結果經與現場發生土石流之危險溪流做一比較，證實其準確度相當高。

關鍵詞：灰關聯，土石流，危險度。

ABSTRACT

The occurrence of debris flow is not just a linear system, the main factors are precipitation, slope, length and width of creek, watershed area, geologic characteristic, covered of land, landslide, accumulation particles in bed and groundwater that result in debris flow. Therefore, it would be considered as a grey system, using this theory the model of risk evaluation is built to analyze the influences by debris flow. The debris flow in Jayi county in Southern Taiwan was used as pilot study. The algorithm is verified to be practical. This model was found to be an efficient tool in building decision system for planning in debris flow.

Keywords: Grey relation, Debris flow, Risk evaluation.

一、前言

在真實世界中許多物理現象之發生無法被具體詳細地描述，因其包含著不確定及不完全性的因故，而灰色系統之信息不完全的特性，由發生原因至產生之後果；往往是多對多的映射關係，而非單一之線性關係，土石流之發生就是其中一例。

臺灣土地資源狹小，係一山多平地少之海島型國家，地質屬脆弱型，地勢坡度陡峭，且人口密度甚高，因此對於平地使用有更高之需求，惟近年來工業與經濟之快速成長及環保意識抬頭之下，平地需求之使用已漸達飽和，並漸漸將重點轉至山坡地之開發。惟囿於本省地質、地形之影響，再逢上本省每年6月到10月之颱風降雨季節所帶來豐沛雨量，造成了本省山區大規模之土砂災害，其中尤以土石流災害更屬嚴重，由於土石流常常於下雨過後不久便發生而居住於山坡地上之人口，其生命及財產之損失也就令人更為擔憂。綜觀近年來本省北部地區所發生之土石流災害計有：民國70年7月19日（莫瑞颱風）及民國83年8月8日（道格颱風）在台北縣三峽發生土石流，民國68年8月15日（歐敏風）及民國70年7月19日在台北縣石碇鄉發生土石流，台北縣貢寮鄉在民國74年10月4日（貝絲颱風）也發生大規模土石流，而又於民國76年10月25日在琳恩颱風侵襲下台北縣瑞芳造成土石流災害，同時在同一地區又於民國83年8月3日（道格颱風）再度遭受土石流災害，陽明山馬槽也於民國78年7月28日發生土石流，台北市信義區曾於民國68年6月13日發生土石流，台北縣林口於民國71年8月11日（西仕颱風）發生土石流，三芝鄉的富貴角也於民國76年10月25日（琳恩颱風）發生過；此種災害造成了台北縣、市多人死亡、房屋全倒及農業財物損失之慘痛事件；基隆市安一路也曾於民國85年9月28日發生土石流，新竹縣芎林鄉芎林於民國70年7月19日（莫瑞颱風）也發生過。

而民國88年6月~8月之間之台灣豪雨不斷也造成了台灣各地區土石流之發生，如屏東縣三

地鄉口社、獅子鄉南世村、霧台鄉、台北新店、內湖，桃園大溪，嘉義梅山，南投神木村等等也再度爆發土石流。土石流災害之不斷發生實應喚醒大眾更加重視。

二、灰關聯理論

一般而言，系統行為數列往往是沒有規律的，是隨機變化的，對隨機變量、隨機過程，傳統上人們往往使用機率統計的方法進行研究。而機率統計的方法，對於非平穩過程，非常態，皆難以處理。自1982年由華中理工大學鄧聚龍教授提出，灰色系統理論(Grey System Theory)，歷經幾年的發展，已初步形成以灰色關聯空間(簡稱灰關聯空間)為基礎的分析體系，GM灰色模型為主體的模型體系，以及其他相關研究領域。而灰色系統理論，則將一切隨機過程看作是在一定範圍內變化的灰色量過程，只要原始數據有4筆以上，就可通過生成轉換來建立灰色模型。

灰色系統的特色為系統內部涵蓋的信息是不完全的，具有四項特性也就是(1)系統因素(參數)訊息不明確；(2)因素關係不完全清楚；(3)系統架構不完全知道；(4)系統的作用原理不完全知道。

灰色關聯分析，即對灰色系統因素之間的發展動態過程進行定量比較分析，它根據因素與因素之間發展趨勢的相似或相異程度(即關聯度)來衡量因素間關聯程度的方法，把系統內所有相關因素間的各種關係，一一表現出來，當做系統決策、預測控制並且提供有用的訊息及作為比較可靠的依據，這種分析模式可將灰色系統內各因素間灰關係清晰化(沈啟賓、莊豔蕙，1991)，並且它是對一個系統發展變化態勢給出量化的量度。在以往我們都是以統計的方式像迴歸分析、主成份分析來做因素分析，不過這些數理統計方法，大多只用於因素較少、線性的系統，若是遇到因素多且非線性的系統則不容易處理。

本研究主要利用灰關聯分析來探討在危險溪流中其發生土石流之影響嚴重程度。

(一) 灰關聯度之計算

灰關聯分析係用來計算參考數列 $X_0(K)$ 與 N 個比較數列 $X_1 \cdots X_n$ 間之相關程度可表示如下：

$$X_0(K) = \{X_0(1), X_0(2), X_0(K)\}$$

$$X_1(K) = \{X_1(1), X_1(2), X_1(K)\}$$

$$X_N(K) = \{X_N(1), X_N(2), X_N(K)\}$$

首先利用下式計算參考數列 X_0 與比較數列 X_i 在第 K 點的關聯程度

$$\xi_i(K) = \frac{\Delta \min + \rho \Delta \max}{\Delta_i(K) + \rho \Delta \max}$$

$\Delta_i(K)$ = 曲線上第 K 點 X_0 與 X_N 之絕對差

$$\Delta_i(K) = |X_0(K) - X_i(K)|$$

$$\Delta \max = \max_i \max_k \Delta_i(K)$$

$$\Delta \min = \min_i \min_k \Delta_i(K)$$

ρ : 分辨係數介於 $0 \sim 1$ 之間，通常取 0.5 ，本研究為使其差異性更明顯，採 0.15 。

由於每條比較數列上關聯係數點多，信息分散大，不易比較，因此一般將每條比較數列上各點之關係數取其平均值，來表示為灰關聯度 r_1

$$r_1 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$$

(二) 計算前之數據處理

灰關聯計算之前，一般會先將數據做一個處理，其處理方式有如下幾種

(1) 方法一：(傳統數據前之處理法)

傳統數據前處理法分為三個部份：

1) 望小 (即希望目標愈小愈好時)

$$X_i^*(K) = \frac{\min[X_i^{(0)}(K)]}{X_i^{(0)}(K)}$$

其中 $\min[X_i^{(0)}(k)]$ 表示該數列或該因子的最小值。

2) 望大 (即希望目標愈大愈好時)

$$X_i^*(K) = \frac{X_i^{(0)}(K)}{\max[X_i^{(0)}(K)]}$$

其中 $\max[X_i^{(0)}(K)]$ 表示某一數列或某一因子 (視需求而定) 的最大值。

3) 望目 (即希望目標為某一特定目標且目標介列最大值與最小值之間時，設目標為 OB)

$$X_i^*(K) = \frac{\min\{X_i^{(0)}(K), OB\}}{\max\{X_i^{(0)}(K), OB\}}$$

其中 $\max[X_i^{(0)}(K)]$ 與 $\min[X_i^{(0)}(K)]$ 的定義同前。

(2) 方法二：線性數據前處理法修正為：

1) 望大 (即希望目標愈大愈好時)

$$X_i^*(K) = \frac{X_i^{(0)}(K) - \min[X_i^{(0)}(K)]}{\max[X_i^{(0)}(K)] - \min[X_i^{(0)}(K)]}$$

其中 $\max[X_i^{(0)}(K)]$ 表示某一數列或某一因子 (視需求而定) 的最大值，而 $\min[X_i^{(0)}(K)]$ 表示該數列或該因子的最小值。

2) 望小 (即希望目標愈小愈好時)

$$X_i^*(K) = \frac{\max[X_i^{(0)}(K)] - X_i^{(0)}(K)}{\max[X_i^{(0)}(K)] - \min[X_i^{(0)}(K)]}$$

其中 $\max[X_i^{(0)}(K)]$ 與 $\min[X_i^{(0)}(K)]$ 的定義同前。

3) 望目 (即希望目標為某一特定目標且目

標介列最大值與最小值之間時，設目標為 OB)

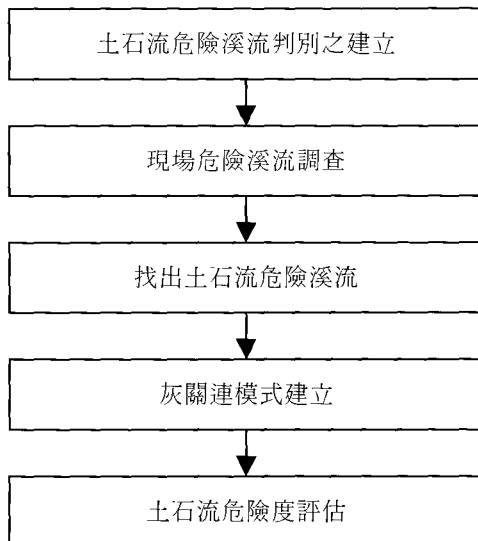
$$X_i^*(K) = 1 - \frac{|X_i^{(0)}(K) - OB|}{\max\{\max[X_i^{(0)}(K)] - OB, OB - \min[X_i^{(0)}(K)]\}}$$

其中 $\max[X_i^{(0)}(K)]$ 與 $\min[X_i^{(0)}(K)]$ 的定義同前。

三、研究方法

國內對土石流現場資料之收集相當闕乏，游(1987)曾探討豐丘土石流之災害，(1987)亦對十八重溪災害做過現場之研究，但對全省各地區之土石流資料並沒有建立，謝，張(1996)開始對全國各地區以坡度大於定角度 5 度以上及谷口上游集水面積超過 5 公頃以上之溪流，將其則列為有可能發生土石流之危險溪流，並做現場調查以確定之，但並未評估其危險度。本文土石流危險溪流評估判定是依據謝，張之法則，並研究直接考慮溪流寬度、溪流長度、溪流集水面積，及溪流坡度等地形因子做為參數，列出土石流危險度評估準則如表 1，並以灰色理論為依據配合嘉義地區之土石流危險溪流做為研究對象，分析比較出各條土石流溪流之影響程度。

表 1 土石流危險度評估準則



分析方法如下：

第一、以溪床寬度、溪床坡度、溪流長度、集水面積做為參考數列 X0，以各地所調查出來之土石流危險溪流參數做為比較列 X1、X2、X3 ...X15 如表 2。

第二、進行數據處理，將表 2 之數據無因次化，結果如表 3。

第三、計算 $\Delta_{oj}(k) = \|X_0(k) - X_j(k)\|$

(j=1,2,...m,k=1,2,...n)，並找出 Δ_{max} 及 Δ_{min} 如表 4。

第四、假設 $\rho = 0.15$

第五、計算灰關聯係數。

第六、計算關聯度。

第七、排出關聯序如表 5。

第八、以灰關聯度做為土石流危險度之評估，如表 6。

將以上之結果與現場實地所調查結果相比較如表 7，得知其結果相當接近，成功率達 80 %。

表 2 土石流地危險溪流形因子參數表

	寬度(m)	坡度(°)	長度(m)	面積(ha)
E0	80	35	8000	2000
E1	10	17.5	1625	131
E2	8	17.7	1000	81
E3	2.5	22.8	1300	85
E4	5	23.7	800	28
E5	3	23.7	770	36
E6	20	8	6050	1405
E7	10	16.3	750	20
E8	8	21.8	1500	116
E9	22.5	14.4	3520	198
E10	5.5	18.8	2120	252
E11	4.5	22.8	1800	127
E12	3.5	18.3	1500	68
E13	35	16.2	5550	607
E14	35	14	4800	1034
E15	25	19.8	1500	114

表 3 無因次化

	(maxE(i)-E(i))/(maxE(i)-minE(i))			
E0	0.994	1	0	0.753
E1	1	0.995	0	0.925
E2	1	0.99	0	0.926
E3	1	0.984	0	0.936
E4	1	0.976	0	0.971
E5	1	0.973	0	0.957
E6	0.998	1	0	0.769
E7	1	0.991	0	0.986
E8	1	0.991	0	0.928
E9	0.998	1	0	0.948
E10	1	0.994	0	0.883
E11	1	0.99	0	0.932
E12	1	0.99	0	0.957
E13	0.997	1	0	0.893
E14	0.996	1	0	0.787
E15	0.996	1	0	0.936

表 4 求出 Δ_{max} 及 Δ_{min}

0.006	0.005	0	0.172
0.006	0.01	0	0.173
0.006	0.016	0	0.183
0.006	0.024	0	0.218
0.006	0.027	0	0.204
0.004	0	0	0.015
0.006	0.009	0	0.233
0.006	0.009	0	0.174
0.003	0	0	0.194
0.006	0.006	0	0.13
0.006	0.01	0	0.178
0.006	0.01	0	0.204
0.002	0	0	0.14
0.001	0	0	0.034
0.002	0	0	0.183

四、結論

在臺灣地區每每經過颱風或暴雨後經常可見到土石流傾瀉而出，嚴重威脅當地人民之生命及財產。土石流之發生一般均在集水區之上游具坡度較陡之處其發生之條件及受災範圍及影

表 5 相關度及排序

編號	相關度	排序
E1	0.728	7
E2	0.703	9
E3	0.678	13
E4	0.649	14
E5	0.643	15
E6	0.9	1
E7	0.699	11
E8	0.705	8
E9	0.766	5
E10	0.73	6
E11	0.7	10
E12	0.697	12
E13	0.785	3
E14	0.869	2
E15	0.776	4

表 6 土石流危險度評估表

關聯度	危險度
75-100	極嚴重
50-75	嚴重
25-50	輕微
0-25	安全

表 7 模式分析結果比較表

編號	模式分析結果	現場調查結果
E1	嚴重	嚴重
E2	嚴重	嚴重
E3	嚴重	嚴重
E4	嚴重	嚴重
E5	嚴重	輕微
E6	極嚴重	極嚴重
E7	嚴重	嚴重
E8	嚴重	嚴重
E9	嚴重	嚴重
E10	嚴重	嚴重
E11	嚴重	嚴重
E12	嚴重	嚴重
E13	極嚴重	極嚴重
E14	極嚴重	嚴重
E15	極嚴重	嚴重

響嚴重程度之大小皆與水文、地形、地貌特性、地質成份、集水區內崩塌積量溪床堆積物有密切之相關。因此，可以有效率之方法掌握了解每一條土石流危險溪流造成之衝擊度以做為規畫整治依據之參考。本文著重於利用簡便之現場地形因子資料如溪床寬度、溪床坡度、溪流長度、溪流集水面積等，並以灰色理論方法去評估每一條溪流其發生土石流之可能性及其嚴重性之大小。從研究可以得出在嘉義地區每一條土石流其帶來衝擊程度之大小，結果發現依土石流嚴重程度來分最嚴重者為番路鄉公興村及阿里山鄉豐山村，較輕微者為竹崎鄉。此結果與現場所調查做比較其準確性相當高皆近 80%，本研究結果證實以灰色關聯理論做土石流危險度之評估，其結果經驗證皆能達到準確性且可以簡化複雜及非線性之問題。

五、參考文獻

1. 陳信雄(1984)，『土石流災害調查方法之研究(一)』，台灣大學森林學系，PP.1~34。
2. 王如意、易任(1982)『應用水文學(上)』，國立台灣編輯館，PP.99~101。
3. 江永哲、林啟源(1991)『土石流之發生雨量特性分析』，中華水土保持學報，第二十二卷，第二期，PP.21~23。
4. 謝正倫(1991)，『土石流預警系統之研究(一)』，國立成功大學台南水工試驗所報告，第 130 號。
5. 謝正倫(1993)，『土石流預警系統之研究(二)』，國立成功大學台南水工試驗所報告，第 139 號。
6. 高橋保(1997)，『土石流發生流動關係研究』，京大防災研究年報 20 號 B-2，PP.405~435。
7. 謝正倫、陳禮仁(1993)，『潛在溪流之危險度評估方法』，中華水土保持學報，第二十四卷，第一期，PP.13~19。
8. 陳禮仁(1996)，『台灣崩塌災害防治對策研究』，國立台灣大學森林學研究所博士論文，PP.47~61。
9. 日本建設省河川局砂防課(1989)，『土石流危險溪流土石流危險區域調查要領』。
10. 張東炯(1998)，『台灣北部地區潛勢土石流現場調查與分析』農業工程學報，第四十四卷，第三期，PP.51~63。
11. 游保杉(1998)，『灰色系統理論在產業界之應用技術』。
12. 游繁結(1987)，『豐丘土石流災害探討』，中華水土保持學報第十八卷，第一期，pp.76~92。
13. 吳漢雄、鄧聚龍、溫坤禮，『灰色分析入門』，高立圖書有限公司

收稿日期：民國 88 年 9 月 20 日

接受日期：民國 88 年 9 月 30 日