

灰關聯在土石流發生參數之應用

The Application of Grey Relational Analysis in Debris Flow

高苑技術學院土木工程系講師

張東炯

Tung-Chueng Chang

摘 要

土石流之發生除了降雨係主要因素外，另外地形因素如溪流坡度、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、上游崩場地、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因子參數中降雨量、時雨量、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及土砂流出量間關聯程度排序。由本研究得知發生土石流因子中其灰關聯度以最大時雨量為最大，次為溪床坡度，再次為集水面積，溪床長度而以溪床寬度最小。其次並對土石流土砂流出量之大小利用灰關聯理論分析，發現影響土砂流出量之參數中以溪床寬度之關聯度最大，次為溪床坡度，再次為集水面積，關連最小者為時雨量。

關鍵詞：灰關聯，土石流。

ABSTRACT

Debris Flow occurred was influenced by many factors. Precipitation is the main factor and the other factors are topography, surface cover, landslide, material properties, groundwater and geography which includes stream slope, length, width and watershed area. Therefore, debris flow motion can be described by grey system. Using this theory to analyze the order of those factors that cause debris flow, the results show that grey relation of the occurrence of debris flow is precipitation intensity as the first order, secondary is slope, third is length and last is width of stream. Similarity to analyze the order of factors of outflow of debris, stream width has the best order, secondary is slope, then watershed area and the last is intensity.

Keywords: Grey relation, Debris flow.

一、前言

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石流災害，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爲之擔憂。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（歐敏颱風）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。由上述土石流造成之災害，確實影響著人民生命財產之鉅大損失，亦使得國家經濟資源蒙受重大影響，因此，土石流防治對策實爲相當重要。

國內近年來投入對土石流研究之貢獻相當多，近年來灰色系統理論分析已廣泛被應用在工程上，本研究擬利用從現場收集到的相關資料應用灰關聯理論來判別這些參數對土石流發生及土砂流出量之關聯度，俾做爲土石流防災規劃及設計之參考。

二、灰關聯理論

本研究主要利用灰關聯分析來比較探討影響土石流發生之參數之關聯度。

(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_0, X_1, \dots, X_n 間之相關程度可表示如下：

$$\begin{aligned} X_0(K) &= \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(K)\} \\ X_1(K) &= \{X_1(1), X_1(2), \dots, X_1(K)\} \\ &\vdots \\ X_N(K) &= \{X_N(1), X_N(2), \dots, X_N(K)\} \end{aligned}$$

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

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

$\Delta_i(K)$ = 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 0~1 之間，通常取 0.5

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，來表示爲灰關聯度 r_i

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

(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爲三個部份：

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、分析方法

由於國內對土石流發生相關資料之收集相當缺乏, 故本研究乃以地形因子如溪流長度、溪流坡度、溪流寬度、谷口以上集水面積、及土石流發生時之降雨量為參數並以台灣北部地區土石流危險溪流為研究範圍進行灰關聯分析, 期能從中找出相關性以做為防災工程規劃設計應用時之參考, 本節擬將土石流發生及土砂流出量分成二部份, 分別以灰關聯理論分析探討之, 分析方法如下:

(一) 土石流發生參數之灰關聯分析

第一、先決定影響土石流發生之影響因子, 本文以降雨量、時雨量、溪流坡度、溪流寬度、溪流長度、集水面積等觀測值列表 1。

(1) 其中降水量係誘發土石流之主要因子, 故本文將視為參考數列 X_0 時雨量、溪流坡度、溪流長度、集水面積、溪流寬度做為比較數列 X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 。

第二、進行數據處理, 將表 1 之數據無因次化, 其結果如表 2。

第三、計算 $\Delta_{oj}(K) = \|X_o(K) - X_j(K)\|$ ($j=1 \cdot \cdot m, k=1 \cdot \cdot n$) 並求出 $\Delta_{\max}, \Delta_{\min}$ 如表 3。

第四、設定 $\tau = 0.5$

第五、求出灰關聯係數值如表 4

第五、計算關聯度如表 5

第六、排出關聯序 $T_{01} > T_{02} > T_{04} > T_{03} > T_{05}$

由上得知, 在影響土石流發生之因子中, 以最大時雨量其關聯度最大, 次為溪床坡度, 集水面積, 溪床長度, 而以溪床寬度, 為關聯度最小。

(二) 土砂流出量參數之灰關聯分析:

其步驟方法如上述, 今將分析結果列表 6 及表 7。

表 1 影響土石流發生之重要因子

時間	83.8.8	70.7.19	70.7.19	70.7.19	74.10.04	83.8.3	83.8.10	78.7.27	74.8.23	75.8.22
地點	三峽 金川	三峽 有木	三峽 竹崙	台北 石碇	貢寮	瑞芳	東勢 麻竹坑	二水	豐丘(1)	豐丘(2)
總雨量 mmX0	164	313.4	313.4	261	92	123	169	369	251	293
最大時雨量 mm/hr X1	33	59.1	59.1	67	34	18	51	94	33	57
坡度 X2	14	17	17	14	14	16	18	19	28	29
長度 m X3	1800	1800	1100	1000	1300	850	1300	510	2300	2250
集水面積 ha X4	86	105	26	60	75	32	230	9	168	201
寬度 m X5	3.5	4	6	4.5	4.5	7	4	10	16	15

表 2 因子無因次化

	(max-x)/(max-min)									
X0	0.74	0.201	0.201	0.39	1	0.888	0.722	0	0.426	0.274
X1	0.803	0.459	0.459	0.355	0.789	1	0.566	0	0.803	0.487
X2	1	0.8	0.8	1	1	0.867	0.733	0.667	0.067	0
X3	0.279	0.279	0.67	0.726	0.559	0.81	0.559	1	0	0.028
X4	0.652	0.566	0.923	0.769	0.701	0.896	0	1	0.281	0.131
X5	1	0.96	0.8	0.92	0.92	0.72	0.96	0.48	0	0.08

表 3 $\Delta_{oj}(K)$

abs(x1-x0)	0.063	0.258	0.258	0.035	0.211	0.112	0.156	0	0.377	0.212
abs(x2-x0)	0.26	0.599	0.599	0.61	0	0.021	0.011	0.667	0.359	0.274
abs(x3-x0)	0.461	0.079	0.47	0.336	0.441	0.078	0.163	1	0.426	0.246
abs(x4-x0)	0.088	0.365	0.722	0.379	0.299	0.008	0.722	1	0.145	0.143
abs(x5-x0)	0.26	0.759	0.599	0.53	0.08	0.168	0.238	0.48	0.426	0.194

$\Delta_{max}=1$

$\Delta_{min}=0$

表 4 灰關聯係數 γ

$\gamma_{01}(k)$	0.889	0.659	0.659	0.935	0.704	0.817	0.762	1	0.57	0.702	0.77
$\gamma_{02}(k)$	0.658	0.455	0.455	0.45	1	0.959	0.978	0.429	0.582	0.646	0.661
$\gamma_{03}(k)$	0.52	0.864	0.516	0.598	0.531	0.865	0.754	0.333	0.54	0.67	0.619
$\gamma_{04}(k)$	0.85	0.578	0.409	0.569	0.626	0.985	0.409	0.333	0.775	0.777	0.631
$\gamma_{05}(k)$	0.658	0.397	0.455	0.485	0.862	0.748	0.678	0.51	0.54	0.72	0.605

表 5 灰關聯度

		關聯度	排序
X1	最大時雨量	0.77	1
X2	溪床坡度	0.661	2
X3	溪床長度	0.619	4
X4	集水面積	0.631	3
X5	溪床寬度	0.605	5

表 6 影響土砂流出量之參數

時間	83.8.8	70.7.19	70.7.19	70.7.19	74.10.04	83.8.3	83.8.10	78.7.27	74.8.23	75.8.22
地點	三峽 金川	三峽 有木	三峽 竹崙	台北 石碇	貢寮	瑞芳	東勢麻 竹坑	二水	豐丘(1)	豐丘(2)
土砂流出量 X0	2520	3600	2640	2700	1755	9800	9000	20180	330000	110000
總雨量 mm X1	164	313.4	313.4	261	92	123	169	369	251	293
最大時雨量 mm/hr X2	33	59.1	59.1	67	34	18	51	94	33	57
坡度 X3	14	17	17	14	14	16	18	19	28	29
長度 X4	1800	1800	1100	1000	1300	850	1300	510	2300	2250
集水面積 ha X5	86	105	26	60	75	32	230	9	168	201
寬度 X6	3.5	4	6	4.5	4.5	7	4	10	16	15

表 7 灰關聯係數及關聯度

	灰關聯係數										關聯度	排序	參數
	$r_{01(k)}$	$r_{02(k)}$	$r_{03(k)}$	$r_{04(k)}$	$r_{05(k)}$	$r_{06(k)}$	$r_{01(k)}$	$r_{02(k)}$	$r_{03(k)}$	$r_{04(k)}$			
$r_{01(k)}$	0.6469	0.372896	0.372036	0.437315	1	0.843736	0.648403	0.333333	0.525582	0.54383	0.572403	5	總雨量
$r_{02(k)}$	0.707577	0.468606	0.467249	0.423718	0.691519	0.950631	0.533818	0.333333	0.370271	0.720155	0.566688	6	時雨量
$r_{03(k)}$	0.995086	0.708277	0.705181	0.993937	1	0.812617	0.658639	0.629972	0.876222	0.413192	0.779312	2	坡度
$r_{04(k)}$	0.396492	0.397591	0.590769	0.635346	0.516749	0.740441	0.529547	0.893703	1	0.423551	0.612419	4	長度
$r_{05(k)}$	0.576923	0.523962	0.864093	0.674361	0.612443	0.855732	0.325503	0.893703	0.627174	0.466825	0.642072	3	集水面積
$r_{06(k)}$	0.995086	0.932099	0.705181	0.859539	0.855055	0.648774	0.963402	0.50431	1	0.444313	0.790776	1	寬度

由上結果得知，影響土砂流出量之參數中，以溪流寬度關聯度最大，次為溪床坡度，再次為集水面積，關聯度最小者為時雨量。為了更進一步了解土砂流出量與各參數間之相性，本研究應用統計方法求出其相關係數如表 8，從表中明顯看出溪流寬度之相關係數最高為 0.831，次為溪床坡度，再次溪床長度，而最大時雨量係最小者此結論與灰關聯分析結果相當接近。

表 8 相關係數

相關係數	影響參數	排序
0.149	總雨量 mm X1	6
-0.22	最大時雨量 mm/hr X2	5
0.812	坡度 X3	2
0.637	長度 X4	3
0.451	集水面積 ha X5	4
0.831	寬度 X6	1

四、結論

由本研究得知，應用灰關聯理論分析出，影響土石流發生之重要因子中，以最大時雨量關聯度最大，次為溪床坡度，再次為集水面積，溪床長度，而以溪床寬度為最小。而土石流發生後造成土砂流出量之多寡經由灰關聯分析得知以溪床寬度影響最大，次為溪床坡度，再次為集水面積，最小者為時雨量，另外若以統計方式分別求出各參數與土砂流出量之相關係數，則以溪床寬度為最大，次為溪床坡度，再次為溪床長度，而以時雨量為最小，此與灰關聯分析結果甚為符合，從上綜合得知，除降水係誘發土石流之首要條件外而最大時雨量、溪流坡度、溪床寬度更是直接影響著土石流之發生及土砂流出量。

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』。

收稿日期：民國 88 年 4 月 23 日

接受日期：民國 88 年 5 月 5 日