

### 第三章 沖積扇流域特徵之分析

上一章本研究利用沖積扇形態結合有限的沈積物特性和土石流發生史將研究區中 38 個沖積扇分為 4 個洪水扇、30 個土石流扇和 4 個土石洪水扇。本章利用統計分析尋找能判別這三類扇的因子，並利用統計分析尋找能判別有無扇狀堆積的因子。

在尋找判別不同沈積營力之扇的因子方面，大地構造、地質、氣候、流域形態特性和土地利用等因子都可列為討論的範圍(Crosta and Frattini 2004)，但本研究的對象為當代營力所造成之現生扇(modern fan)，因此在判別因子的選擇上僅探討地質、流域形態和土地利用等影響流域傳輸的因子做探討，大地構造和氣候等因子則不列入討論。但在土地利用方面，因為本研究區面積較小的扇多數缺資料，因此無法納入統計分析中。

在因子的篩選上，本研究主要使用三種統計方式，依序為相關分析、單因子變異數分析和判別分析等尋找判別不同主導營力之扇的因子。在操作過程中，先將變數進行相關分析，了解變數之間的相關性，以免所挑選的流域變數之間因為具有高度相關性而在最後的判別分析中產生偏移；進而利用單因子變異數分析挑選出能在不同主導營力的流域間具顯著差異性的變數作為判別分析檢定的變數；最後利用判別分析檢驗所挑選的變數是否能成功區分不同類型的流域（圖 3-1）。

本章的第二部分仍利用統計分析的方式尋找區分有無土石流扇堆積的因子，研究的起因來自本研究中是採人工檢核每一溝谷的方式判釋土石流扇的存在，為求迅速尋找有扇狀堆積的溪流，因此擬利用統計分析的方式尋找區分有無扇狀堆積的因子。在因子的篩選上，本研究主要使用三種統計方式，依序為相關分析、獨立 T 樣本檢定和判別分析等尋找有無扇狀堆積的判別因子。



## 第一節 不同主導營力之沖積扇的流域特徵和判別因子

本節的目的為尋找區分不同主導營力之沖積扇的判別因子，在研究過程中，經相關分析、單因子變異數分析和判別分析歸結主要判別不同主導營力之扇的因子，下為各項統計的結果。

### 一、相關分析

相關分析的旨在於了解兩兩變數相互之間的關係。本節挑選多項變數進行分析，其中扇的特性包括：扇面積、扇河道平均坡度、扇面平均坡度以及流域特性包括：流域河道平均坡度、流域河床平均坡度、流域面積、流域周長、流域長度、流域周長、流域長度、流域高差、形狀係數、起伏比、流域險峻值、水系密度等進行相關分析（表 3-1）。

38 個沖積扇各項變數之間的相關性除了流域平均坡度與各項變數之間無顯著相關，其他各項變數之間的相關性幾乎皆在中度或中度以上（表 3-1），其中流域面積、流域周長、流域長度和流域高差 4 者之間呈現高度正相關；流域面積、流域周長、流域長度和起伏比 4 者之間呈現高度負相關，流域河床坡度、起伏比和流域險峻值 3 者之間呈現高度正相關；流域河床坡度、流域周長、流域長度和流域高差 4 者之間呈現高度負相關，這些變數不宜在判別分析中同時使用，以免造成分析上的偏移。

30 個土石流扇的流域面積、流域周長、流域長度、和流域高差 4 者之間呈現高度正相關。扇面平均坡度除了和起伏比有中度相關外，與其他變數的相關性不顯著。流域平均坡度與其他變數之間的相關性皆不顯著。

比較 38 個沖積扇和 30 個土石流扇各項變數相關性（表 3-1），發現土石流扇各變數之間的相關性較低，這可能是因為土石流扇各項變數值並無一定的規則性，導致變數和變數之間的關聯性較弱。其中值得注意的是 30 個土石流扇的和形狀係數為中度正相關的關係，顯示若流域面積愈大、流域愈圓，延時集中的現象明顯，沈積物傳輸效能高，則所堆積的扇體愈大。

另外在研究區中 38 個沖積扇面積和流域面積之間以及 30 個土石流扇

面積和流域面積之間為高度正相關，這兩變數之間的關係過去有許多學者做過討論，本研究在下一章中也將討論它們之間的關係。

表 3-1. 沖積扇各變數相關整理表 (上半部粗體字為 38 個沖積扇各項變數之間的相關性, 下半部斜體字為 30 個土石流扇各項變數之間的相關性) ( $p < 0.05$ )

	扇面積	扇河道 平均坡度	扇面平 均坡度	流域平 均坡度	流域河 床坡度	流域面 積	流域周 長	流域長 度	流域高 差	形狀係 數	起伏比	流域險 峻值
扇面積	1	<b>-0.516</b>	<b>-0.567</b>		<b>-0.706</b>	<b>0.926</b>	<b>0.897</b>	<b>0.939</b>	<b>0.831</b>		<b>-0.774</b>	<b>-0.589</b>
扇河道 平均坡 度	<i>-0.548</i>	1	<b>0.826</b>		<b>0.672</b>	<b>-0.501</b>	<b>-0.602</b>	<b>-0.620</b>	<b>-0.719</b>	<b>-0.620</b>	<b>0.725</b>	<b>0.775</b>
扇面平 均坡度	<i>-0.480</i>	<i>0.613</i>	1		<b>0.676</b>	<b>-0.545</b>	<b>-0.641</b>	<b>-0.664</b>	<b>-0.745</b>	<b>-0.551</b>	<b>0.734</b>	<b>0.697</b>
流域平 均坡度				1								
流域河 床坡度					1	<b>-0.694</b>	<b>-0.784</b>	<b>-0.808</b>	<b>-0.836</b>	<b>-0.594</b>	<b>0.909</b>	<b>0.820</b>
流域面 積	<i>0.721</i>	<i>-0.564</i>			<i>-0.525</i>	1	<b>0.959</b>	<b>0.944</b>	<b>0.827</b>	<b>0.330</b>	<b>-0.749</b>	<b>-0.575</b>
流域周 長	<i>0.603</i>	<i>-0.582</i>			<i>-0.486</i>	<i>0.915</i>	1	<b>0.984</b>	<b>0.910</b>	<b>0.375</b>	<b>-0.825</b>	<b>-0.655</b>
流域長 度	<i>0.539</i>	<i>-0.490</i>			<i>-0.467</i>	<i>0.870</i>	<i>0.944</i>	1	<b>0.940</b>	<b>0.363</b>	<b>-0.855</b>	<b>-0.669</b>
流域高 差	<i>0.471</i>					<i>0.747</i>	<i>0.831</i>	<i>0.944</i>	1	<b>0.483</b>	<b>-0.832</b>	<b>-0.693</b>
形狀係 數	<i>0.518</i>	<i>-0.463</i>			<i>-0.508</i>	<i>0.565</i>	<i>0.480</i>			1	<b>-0.436</b>	<b>-0.783</b>
起伏比		<i>0.485</i>	<i>0.390</i>		<i>0.751</i>	<i>-0.485</i>	<i>-0.426</i>	<i>-0.482</i>			1	<b>0.825</b>
流域險 峻值	<i>-0.421</i>	<i>0.568</i>			<i>0.622</i>	<i>-0.555</i>	<i>-0.474</i>			<i>-0.856</i>	<i>0.661</i>	1
水系密 度						<i>-0.486</i>	<i>-0.480</i>			<i>-0.540</i>		<i>-0.399</i>

## 二、單因子變異數分析

單因子變異數分析目的為檢驗變數的數值在組間的差異是否大於組內差異，本研究利用此項統計方式找出在三類扇（洪水扇、土石洪水扇和土石流扇）之間的差異達顯著水準的因子。所挑選流域計測因子包括：流域河道平均坡度、流域河床平均坡度、流域面積、流域周長、流域長度、流域高差、形狀係數、起伏比、流域險峻值、水系密度和地質等，表 12 為各變數的描述性統計。

經過變異數分析中的因果檢定(附錄 3, 1-1), 再利用 Scheffe、Dunnett C 作分析，結果顯示流域周長、流域長度、流域高差、流域河床坡度和起伏比在洪水扇、土石扇和土石洪水扇三組之間的差異在統計上達顯著水準（附錄 3, 1-1），本研究也利用 Wilford et al. (2004) 所採用的 Bonferroni 分析法，結果與用 Scheffe、Dunnett C 一致。

過去學者提出流域平均坡度為區分不同主導營力之沖積扇的最佳因子(Crosta and Frattini 2004), 顯示流域平均坡度在不同主導營力之扇中應該有顯著的差異性。但在本研究區，洪水扇的流域平均坡度平均為 56.5%、土石流扇平均為 61.2%、土石洪水扇平均為 64.1%（表 3-2），三者差異並不明顯，原因可能為本區的洪水扇流域範圍大，在上游垂直落差大，因此洪水扇的流域平均坡度與土石流扇的差異較不明顯。

本研究將變異數分析所得在三類型扇之間達顯著差異的 5 個變數，包括流域周長、流域長度、流域高差、流域河床坡度和起伏比進行判別分析。

表 3-2. 各變數描述性統計整理表

		個數	平均	標準差	最小值	最大值
流域平均坡度 (%)	洪水扇	4	<b>56.4875</b>	10.83899	46.09	70.22
	土石流扇	30	<b>61.2437</b>	15.29319	39.96	103.95
	土石洪水扇	4	<b>64.1450</b>	26.73349	47.09	103.95
	總數	38	61.0484	15.94057		
流域河床坡度 (%)	洪水扇	4	<b>8.3050</b>	1.26845	6.59	9.28
	土石流扇	30	<b>35.6737</b>	6.64180	22.60	48.24
	土石洪水扇	4	<b>22.1400</b>	8.58961	10.43	29.13
	總數	38	31.3682	11.06475		
流域面積 (m <sup>2</sup> )	洪水扇	4	<b>253866347.5753</b>	134026197.27518	126425600.2	441806540.6
	土石流扇	30	<b>1066991.5319</b>	1251883.03150	68854.37	4763200.01
	土石洪水扇	4	<b>19925662.2342</b>	16521196.37967	8652799.71	44336249.17
	總數	38	29662573.2946	87105580.82866		
流域周長 (m)	洪水扇	4	<b>101378.19</b>	30776.296	71715	135811
	土石流扇	30	<b>5255.43</b>	2893.384	1418	12080
	土石洪水扇	4	<b>21999.78</b>	6522.771	16080	30399
	總數	38	17136.18	31161.309		
流域長度 (m)	洪水扇	4	<b>23598.2825</b>	3645.67016	20755.00	28898.52
	土石流扇	30	<b>1586.6867</b>	757.47389	549.94	3590.95
	土石洪水扇	4	<b>5723.4200</b>	1648.30402	4181.83	7695.04
	總數	38	4339.1424	6942.36090		
流域高差 (m)	洪水扇	4	<b>3119.250</b>	268.9081	2912.0	3505.0
	土石流扇	30	<b>665.210</b>	276.7575	300.8	1314.8
	土石洪水扇	4	<b>1818.613</b>	375.7444	1379.5	2285.0
	總數	38	1044.941	850.9597		
形狀係數	洪水扇	4	<b>.4287</b>	.09846	.29	.53
	土石流扇	30	<b>.3019</b>	.10968	.08	.51
	土石洪水扇	4	<b>.5441</b>	.17934	.37	.75
	總數	38	.3408	.13911		
起伏比	洪水扇	4	<b>.1334</b>	.01180	.12	.15
	土石流扇	30	<b>.4338</b>	.06453	.32	.57
	土石洪水扇	4	<b>.3260</b>	.05786	.29	.41
	總數	38	.3908	.11254		
流域險峻值	洪水扇	4	<b>.2089</b>	.04679	.17	.28
	土石流扇	30	<b>.8460</b>	.24975	.46	1.50
	土石洪水扇	4	<b>.4516</b>	.07513	.34	.52
	總數	38	.7375	.31324		
水系密度	洪水扇	4	<b>.1200</b>	.00136	.12	.12
	土石流扇	30	<b>.4659</b>	.19407	.00	.76
	土石洪水扇	4	<b>.1303</b>	.00782	.12	.14
	總數	38	.3941	.22215		
地質	洪水扇	4	<b>6.50</b>	1.732	4	8
	土石流扇	30	<b>1.77</b>	1.251	1	6
	土石洪水扇	4	<b>1.00</b>	.000	1	1
	總數	38	2.18	1.943		

### 三、判別分析

在統計分析中，學者們常利用「判別分析」尋找能有效區分樣本的變數，本研究利用此分析法找出區分三類型扇（洪水扇、土石洪水扇和土石流扇）的因子。

本研究將變異數分析所得最佳變數，包括：流域周長、流域長度、流域高差、流域河床坡度和起伏比等進行判別分析之檢定，以確定是否為區分三類型扇的最佳因子。由於這 5 個變數之間互相存在高度相關性，因此本研究利用判別分析的逐步選取變數 (stepwise method)，透過分析結果只挑選 1 個最能區分三類型扇的變數。

分析結果顯示流域長度最具有判別三類扇的能力 (附錄 3, 1-2-1)。再利用判別分析的全部選取變數 (independents together) 分析流域長度的區別三類扇的正確率。分析結果顯示流域長度的判對率可達 97.4%，其中洪水扇和土石流扇的判對率為 100%，土石洪水扇的判對率為 75% (表 3-3、附錄 3, 1-2-2)。在判別錯誤方面，土石洪水扇中的清水溪扇(編號 033)因為流域長度 (4181.83 公尺) 較短，因此被判為土石流扇 (圖 3-2)。

表 3-3. 流域長度判別分析整理表 (97.4%的判對率)

分類	預測			總數
	洪水扇	土石扇	土石洪水扇	
實際數量(%) 洪水扇	4(100)	0	0	4
土石流扇	0	30(100)	0	30
土石洪水扇	0	1(25)	3(75)	4





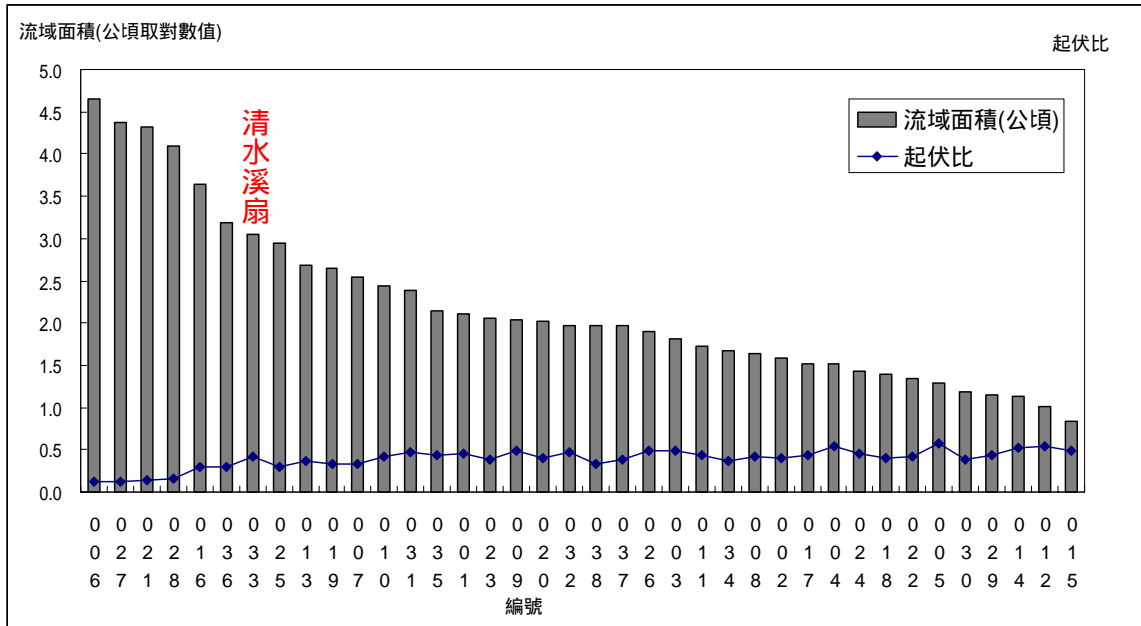


圖 3-3. 本研究區 38 個沖積扇流域面積和起伏比趨勢圖  
(以流域面積大至小排列)

流域平均坡度也曾被學者用來作為區分沖積扇類型的因子(Crosta and Frattini 2004)。在本研究中若單獨利用流域平均坡度作判別分析，結果顯示洪水扇和土石流扇的判對率為 100%，而土石洪水扇的判對率只有 25% (表 3-5、附錄 3, 1-2-4)，其中荖溪扇(編號 016)因坡度較低(10.43%)被判為洪水扇，鳳林溪扇和清水溪扇坡度較高(27.98%、29.13%)被判為土石流扇

表 3-5. 流域河床坡度判別分析整理表 (92.1%的判對率)

分類	預測			總數
	洪水扇	土石流扇	土石洪水扇	
實際數量(%) 洪水扇	4(100)	0	0	4
土石流扇	0	30(100)	0	30
土石洪水扇	1(25)	2(50)	1(25)	4

自從 Melton(1965)提出流域險峻值這個概念後，多位學者先後利用此變數作為區分洪水扇和土石流扇的標準(Jackson et al. 1987 ; Bovis and Jakob 1999 ; Coe et al. 2003; Wilford et al. 2004)，本研究也嘗試檢驗此變數的區分能力。結果顯示流域險峻值無法成功區分土石洪水扇（僅 25%判對率），顯示土石洪水扇的流域險峻值沒有一個明確的區間，可以區分出這類扇與洪水扇和土石流扇的差別（表 3-6、附錄 3，1-2-5-1），若扣除土石洪水扇，只判別洪水扇和土石流扇二類，則判對率為 100%（表 3-7、附錄 3，1-2-5-2）。

表 3-6. 三類扇流域險峻值的判別分析整理（92.1%的判對率）

分類	預測			總數
	洪水扇	土石流扇	土石洪水扇	
實際數量(%) 洪水扇	4(100)	0	0	4
土石流扇	0	30(100)	0	30
土石洪水扇	0	<b>3(75)</b>	1(25)	4

表 3-7. 洪水扇和土石流扇流域險峻值的判別分析整理（100%的判對率）

分類	預測		總數
	洪水扇	土石流扇	
實際數量(%) 洪水扇	4(100)	0	4
土石流扇	0	30(100)	30

#### 四、小結

本研究在上一章以沖積扇的形態為主，輔以有限的沈積物特性和土石流發生史，將研究區 38 個沖積扇分為 4 個洪水扇（木瓜溪扇、壽豐溪扇、萬里溪扇和馬太鞍溪扇）、4 個土石洪水扇（荖溪扇、鳳林溪扇、清水溪扇和光復溪扇）和 30 個土石流扇。經流域計測分析後發現土石洪水扇中的清水溪扇（編號 033），其流域長度為土石洪水扇中最小的（約 4.2 公里），起伏比為土石洪水扇中最大的（0.41），流域河床坡度（29.13%），流域險峻值為 0.52，這些流域特性皆較偏向於本研究區土石流扇的流域特性，加上清水溪扇的沈積物露頭表現出圓度差、淘選度差和礫石排列無方向性等土石流沈積的特性（照片 3-1），因此將清水溪扇歸類為土石流扇較為適當。



照片 3-1. 清水溪扇(編號 033)出谷口處沈積相，表現出圓度差、淘選度差和礫石排列無方向性等土石流扇的沈積物特徵。

## 第二節 土石流扇和無土石流扇的流域特性和判別因子

本研究採人工方式檢核每一溝谷的方式判釋沖積扇體，一方面較為費時，另一方面也擔心有所遺漏。以往的研究顯示不同主導營力之沖積扇和其流域形態特徵的關係相當密切，若有高品質的DTM，則頗易計算各項流域形態特徵，因此本研究嘗試為在研究區中，利用統計分析尋找是否有合適的流域形態的因子作為判別有扇狀堆積之流域的指標。

本研究以成扇空間充分的縱谷邊界各小溪流為對象，至於注入主要支流的小溪溝、洪水扇和土石洪水扇均不列入討論。所檢視的112個流域中（圖3-4），土石流扇的流域有20個，無土石流扇流域有92個。本研究選擇流域平均坡度、流域河床平均坡度、流域面積，有效集水面積、流域周長、流域長度、流域高差、形狀係數、起伏比、流域險峻值、水系密度等11個變數，經過相關分析、獨立T樣本分析、判別分析，嘗試找出能有效區分兩類流域的因子。

本研究首先進行上述11個變數間的相關分析，結果顯示有效集水面積、流域周長和流域長度三者互呈高度正相關，流域高差、起伏比和流域險峻值三者也呈高度正相關，其他變數間的相關性較低（表3-7）。

再將上述11種變數利用獨立T樣本分析做檢定，發現流域平均坡度、流域河床坡度、有效集水面積、流域周長、流域長度、流域高差和形狀係數等變數在兩類之間的差異已達顯著水準（附錄3，2-1），將這些變數進一步作判別分析。

由於有效集水面積、流域周長和流域長度三者互呈高度正相關，因此僅三者之中僅挑選有效集水面積作判別分析。將有效集水面積結合流域平均坡度、流域高差和形狀係數等4個變數進行判別分析，結果顯示4個變數的判對率為90.2%，其中無扇流域的判對率有97.8%，有扇流域的判對率僅55%（表3-8，附錄3，2-2-1）。



表 3-7. 各變數相關分析整理表(p < 0.05)

	流域 平均 坡度	流域 河床 平均 坡度	流域 面積	有效 集水 面積	流域 周長	流域 長度	流域 高差	形狀 係數	起伏 比	流域 險峻 值	水系 密度
流域 平均 坡度		0.497			0.208		0.230	0.206			
流域 河床 平均 坡度											
流域 面積				0.641	0.677	0.289		0.306			-0.294
有效 集水 面積					0.883	0.748	0.281	0.607			-0.211
流域 周長						0.852	0.276	0.453			
流域 長度							0.296	0.248			
流域 高差									0.894	0.861	
形狀 係數											-0.289
起伏 比										0.972	
流域 險峻 值											
水系 密度											

表 3-8. 有效集水面積、流域平均坡度、流域高差和形狀係數判別分析結果  
(90.2%的判對率)

有 無扇	預測		總數
	有扇	無扇	
實際數量(%) 有扇	11(55.0)	9(45.0)	20
無扇	2(2.2)	90(97.8)	92

若將上面判別分析中最不具影響力的兩個變數，即流域平均坡度和流域高差捨去，僅留有效集水面積和形狀係數再次進行判別分析（表 3-9），結果顯示無扇流域的判對率為 100%，但有扇流域的判對率僅剩 45%，不到五成。在判別錯誤方面，歸納判別錯誤的 11 個土石流扇（扇 002、003、004、005、017、018、022、024、029、030、034），發現這 11 個扇的有效集水面積皆小於 65 公頃，形狀係數小於 0.3（附錄 2-3）。

表 3-9. 有效集水面積和形狀係數判別分析結果（90.2%的判對率）

有 無扇	預測		總數
	有扇	無扇	
實際數量(%) 有扇	9(45.0)	11(55.0)	20
無扇	0	92(100.0)	92

本研究利用有效集水面積和形狀係數區分有無土石流扇的流域，結果顯示有效集水面積 > 65 公頃，形狀係數 > 0.3 的有土石流扇流域可以被判別出來（附錄 2-3），但有效集水面積 < 65 公頃，形狀係數 < 0.3 的有土石流扇流域則無法判別出來，顯示在本區若用流域形態因子做判別，無法找到全部有土石流扇的流域，利用流域形態因子顯然不足以判釋出有扇流域，其他如崩塌面積等因子也應納入考量才能完備，而在本研究中由於有扇流域判別不佳，因此仍需利用人工判釋的方式才能較完整地將土石流扇判別出來。



### 第三節 小結

本章利用多項統計分析（包括：相關分析、單因子變異數分析、獨立 T 樣本分析和判別分析）討論不同主導營力之扇的流域特性和判別因子和有無土石流扇的流域特性和判別因子。

在不同主導營力之扇的判別因子方面，流域長度為區分不同主導營力之扇（包括洪水扇、土石流扇和土石洪水扇）的最佳因子。流域面積結合起伏比也可以成功區分三類型的扇。在本研究區中，若利用流域險峻值作判別，只能區分出洪水扇和土石流扇的流域，無法成功區分土石洪水扇的流域。

經過不同主導營力之扇的流域計測分析，本研究將上章利用沖積扇形態、有限的沈積物特性和土石流發生史區分的三類扇結果（4 個洪水扇、4 個土石洪水扇和 30 個土石流扇）作了些許修正，原先分在土石洪水扇中的清水溪扇，由於流域特徵較符合本研究區土石流扇的流域特徵，加上沈積物露頭符合土石流扇的特性，將之歸納為土石流扇較為適當。本研究經過這項修正後，研究區中的土石洪水扇減少為 3 個，土石流扇增為 31 個，洪水扇仍維持 4 個。

在有無土石流扇的判別因子方面，有效集水面積和形狀係數可成功區分無土石流扇的流域，但對於有土石流扇流域的判對率卻不到五成，顯示人工判釋土石流扇仍有其必要性。

