

第一章 緒論

1.1 前言

臺灣地處菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之交界地帶，由板塊的推擠隆升而成。因此臺灣的地形陡峻而川短流急；不連續面發達而地質破碎。加上氣候高溫多雨而岩層風化嚴重，造成鬆散土石滿佈山區河谷。水文方面年平均雨量約二千五百公釐，且遇梅雨與颱風時季，常伴隨強勁且豐沛的雨勢使得鬆散土石往下游流動。並在流動過程中不斷侵蝕、淘刷兩側谷壁及底岩，使得流動速度不斷加快且規模俱增，形成土石流現象。最後人為不當開發山坡地的情況加劇，如坡地社區建築、高爾夫球場興建、道路新闢、大型遊樂設施，淺根性農作物的栽種等。莫不造成具有水土保持的深根性原始林遭受破壞，人何以勝天？終究只是加劇了大自然的反撲。

追究起來基於臺灣的水文與地文條件，土石流的發生原為大自然的動態平衡現象。然礙於境內地狹人稠、社會競爭的條件下，部份人口只有遷往山區發展。加上政府無法有效制衡的情況下，往往在土石流急促且具毀滅性的破壞下，造成生命財產的損失。如民國七十八年六月的歐菲莉颱風及九月的黛特颱風，造成四十餘人被活埋的不幸慘劇；民國八十三年七月的耐特颱風，花蓮地區再度發生土石流災害；民國八十五年七月的賀伯颱風，造成之全台各地重大土石流災害更引起全國的注意；而民國九十年七月的桃芝颱風，亦使全台發生多處大小不等的土石流災情(詳表 1.1)。

表 1.1、臺灣歷年土石流災害表

發生時間	發生地點	發生原因
85 年 7 月 31 日 至 8 月 1 日	南投縣陳有蘭溪沿岸，如：神木村、同富、豐丘、郡坑及南平坑等地區、新竹縣五峰鄉桃山村、臺北市士林區福林里	賀伯颱風
85 年 8 月	屏東縣瑪家水庫集水區	賀伯颱風
85 年 8 月	嘉義縣阿里山山區	賀伯颱風
85 年 11 月	花蓮縣豐濱鄉新莊村	爾尼颱風
86 年 9 月 1 日	南投縣神木村	豪雨
87 年 5 月 9 日	南投縣神木村	橋孔堵塞潰決
87 年 10 月 16 日	臺北市內湖路一段 47 巷、花蓮縣鳳林鄉鳳義坑、萬榮見晴村、豐濱新社村、壽豐池南村	瑞伯颱風
87 年 10 月 18 日	臺北縣五股鄉	瑞伯颱風
87 年 10 月 26 日	新店北宜路	芭比絲颱風
89 年 2 月 2 日	雲林縣古坑鄉華山村	地震鬆散土石、豪雨

(續)表 1.1、臺灣歷年土石流災害表

發生時間	發生地點	發生原因
89年2月25日至2月27日	南投縣埔里鎮蜈蚣里、麒麟里、水頭里及福興里地區、南投縣仁愛、國姓及魚池地區、草屯鎮坪林村等地區	地震鬆散土石、豪雨
89年4月1日至4月3日	南投縣埔霧公路蜈蚣里路段、雲林縣古坑鄉華山村、彰化縣二水鄉龍仔頭等地區	地震鬆散土石、豪雨
89年4月29日至4月30日	雲林縣古坑鄉華山村二尖山、彰化縣二水鄉倡和村龍仔頭山區、嘉義縣阿里山鄉豐山村等地區	地震鬆散土石、豪雨
89年5月1日至5月3日	南投縣山區、臺中縣和平鄉松鶴部落、苗栗縣南庄鄉南江村里金館山區等地區	地震鬆散土石、豪雨
89年5月26日	嘉義縣阿里山鄉豐山村	地震鬆散土石、豪雨
89年5月30日	中橫公路禪光寺	豪雨
89年6月3日	雲林縣古坑鄉華山村	地震鬆散土石、豪雨
89年6月6日	南投縣水里鄉頂崁村剪刀崁山、魚池鄉五城村及新中橫公路等地區	地震鬆散土石、豪雨
89年10月	基隆市仁愛區龍門里、七堵區泰安里、暖暖區暖東里、臺北縣金山鄉三界村、臺北市淡水鎮樹興里	象神颱風
90年7月30日至8月1日	南投縣溪頭米堤飯店旁、花蓮縣光復鄉大興村、花蓮縣壽豐鄉米棧村八鄰	地震鬆散土石、桃芝颱風
90年9月5日	臺北北投區多處溪谷、淡水鎮畚箕湖地區、淡水樹興里、水源里	地震鬆散土石、豪雨
90年10月	南投豐丘、郡坑、花蓮銅門村地區、臺北瑞芳鎮侯硐里、雙溪鄉三貂村、雙溪鄉外柑村、新竹縣尖山鄉嘉樂村五鄰	地震鬆散土石、納莉颱風

(資料來源：曾炫學，2003)

1.2 研究動機與目的

為取代部份現場調查土石流的工作項目，因此考量如何以內業的處理能準確的掌握土石流發生因子。以期能釐清現場調查土石流的工作內容，進而提高調查內容的品質。

研究目的為應用地理資訊系統(GIS)軟體 ArcView®3.2 建置土石流發生因子資料庫；再藉以類神經網路(ANN)中的倒傳遞網路進行土石流發生可能性的分析。以提供做為相關單位劃分出土石流危險區域，並擬定土石流災害相關防治措施之參考。

1.3 研究範圍

本研究主要的樣本空間是依據「土石流災害地質調查～南投、臺中地區成果報告書(期末報告版)」(中央地調所，2003)，內容中包括南投縣一九九條土石流潛勢溪流資料。根據紀載僅在賀伯颱風發生土石流佔十筆；賀伯及桃芝颱風皆發生土石流佔十一筆；僅在桃芝颱風發生土石流佔三十一筆。本研究再配合以賀伯及桃芝颱風兩場颱風雨場，做為土石流誘發因子之資料庫。最後彙整出發生土石流範例計六十三筆；未發生土石流範例計一百零五筆，以做為類神經網路輸入向量之依據。

1.4 研究方法與流程

本研究主要應用 ESRI 公司出版的地理資訊軟體-ArcView®3.2，對於空間資料的蒐集、儲存、處理、更新、查詢、分析、統計及展示功能，獲取土石流發生因子的資料庫。並將土石流發生因子資料庫利用類神經網路(ANNs)分析土石流發生的可能性，有關研究方法與流程(詳圖 1.1)簡述如下：





圖 1.1、研究流程圖

1. 文獻回顧

蒐集彙整國內外相關文獻與研究，做為選定土石流發生因子之參考依據。

2. 資料收集與整理

- (1) 「土石流災害地質調查～南投、臺中地區成果報告書(期末報告版)」(中央地調所，2003)

採用報告書中「溪床土石量」及「上游邊坡風化程度」兩項因子做為資料庫內容，並根據報告書中潛勢溪流的發生歷史，選取範例分析。

(2) 中央氣象局

採用賀伯(1996)及桃芝(2001)颱風侵台時，南投縣內二十個與本研究相關之雨量測站資料(詳表 1.2)。並且透過 Arc View[®]軟體，區分出各集水區的雨量站觀測值，最後彙整出各集水區最大時雨量與累積雨量兩項因子，做為土石流誘發因子資料庫。

(3) 地理資訊系統

本研究在地文因子資料庫的建置方面，主要是應用 ESRI 公司推出的 Arc View[®]3.2 軟體。透過該軟體所具備之擷取、儲存、編輯、處理及展示功能。依序整理出集水區面積、溪床平均坡度、溪床曲面長度、形狀係數、集水區地質、集水區東北邊坡坡向面積比、集水區東南邊坡坡向面積比、集水區西南邊坡坡向面積比、集水區西北邊坡坡向面積比等九項有關土石流的發生因子。

(4) 類神經網路

本研究將建立完成的土石流發生因子的資料庫，分為訓練數據集及測試數據集兩類，提供做為類神經網路訓練的輸入向量。再應用 Math Works 公司出版的 MATLAB[®]6 軟體，做為類神經網路(ANNs)的分析工具。



表 1.2、本研究採用二十個南投縣雨量測站

序號	雨量測站	海拔高度(m)	經度(E)	緯度(N)
1	C1H870	1113	121-07-22	24-01-14
2	C1H880	1318	121-00-24	24-01-08
3	C1H890	451	120-56-39	23-58-20
4	C1H900	934	120-57-17	24-04-58
5	C1H910	724	120-55-14	23-54-10
6	C1H920	736	120-52-18	24-06-14
7	C1H930	393	120-51-59	23-59-14
8	C1H940	600	120-47-39	23-58-09
9	C1H950	180	120-45-30	23-53-10
10	C1I020	1555	121-07-25	23-58-53
11	C1I030	948	121-02-39	23-54-53
12	C1I060	2403	120-54-10	23-37-16
13	C1I070	825	120-52-51	23-35-33
14	C1I080	536	120-50-34	23-41-29
15	C1I100	1771	120-47-57	23-39-47
16	C1I120	1528	120-45-06	23-40-49
17	C1I130	307	120-38-44	23-38-39
18	C1I150	393	120-56-28	23-48-03
19	C1I160	339	120-51-49	23-46-54
20	C1I170	235	120-46-01	23-49-42

(資料來源：中央氣象局，2004)

第二章 土石流簡介與前人研究

2.1 土石流簡介

近年來臺灣飽受土石流的災情所累，土石流更隨之與颱風、地震等災害，列於同一個位階受到社會上的高度重視。以下分別就土石流定義、特徵及分類加以說明，並彙整相關前人研究如后。

2.1.1 土石流定義

土石流是泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，受重力作用後所產生之流動體，水與固態物質間因充份混合之結果。使土石流運動型態與力學機制，脫離一般牛頓性流體範疇，而呈現較複雜之力學機制。發生時往往因為其流速快、具突發性、衝擊力強及破壞性大而造成許多嚴重災情(水土保持手冊，1992)。

2.1.2 土石流特徵

依據「土石流野外調查作業準則」(中央地調所，2003)，將土石流依年代區分為近代土石流及古土石流。

1. 近代土石流(詳圖 2.1、圖 2.2)

(1)發生區

一般位於整個溝谷或河谷流域之中、下游或源頭發生區通常由周圍的山嶺環繞，形成只有一處出口的窪狀、匙狀或碗狀的地形。此出口處的坡度一般較陡峻，大致上多在 15° 至 30° 之間，出口處的橫剖面形狀則多為「V」字形。此外發生區堆積的地質材料多為週遭谷壁崩坍所提供之材料，因此相對谷壁四周的植生便顯得較稀少。

(2)流動區

一般位於溝谷或河谷流域的中、下游地區，流動區橫剖面的谷形多為「U」字形，谷壁兩側的山坡相當陡峭，河床一般多介於 6° 至 15° 之間。而谷壁與河谷中皆可發現土石流經過時遺留下來的沖刷、淘蝕的痕跡。在流動部的河床上常可見自河谷兩岸崩落下來的崩積土層與崖錐堆積材料。

(3)堆積區

多位於河谷下游的出口處，堆積區的地形較平緩，坡度一般在 3° 至 6° 以下，通常為沖積扇狀的平坦地形。在谷溝內堆積部表面前緣多聚集有大顆的岩塊。

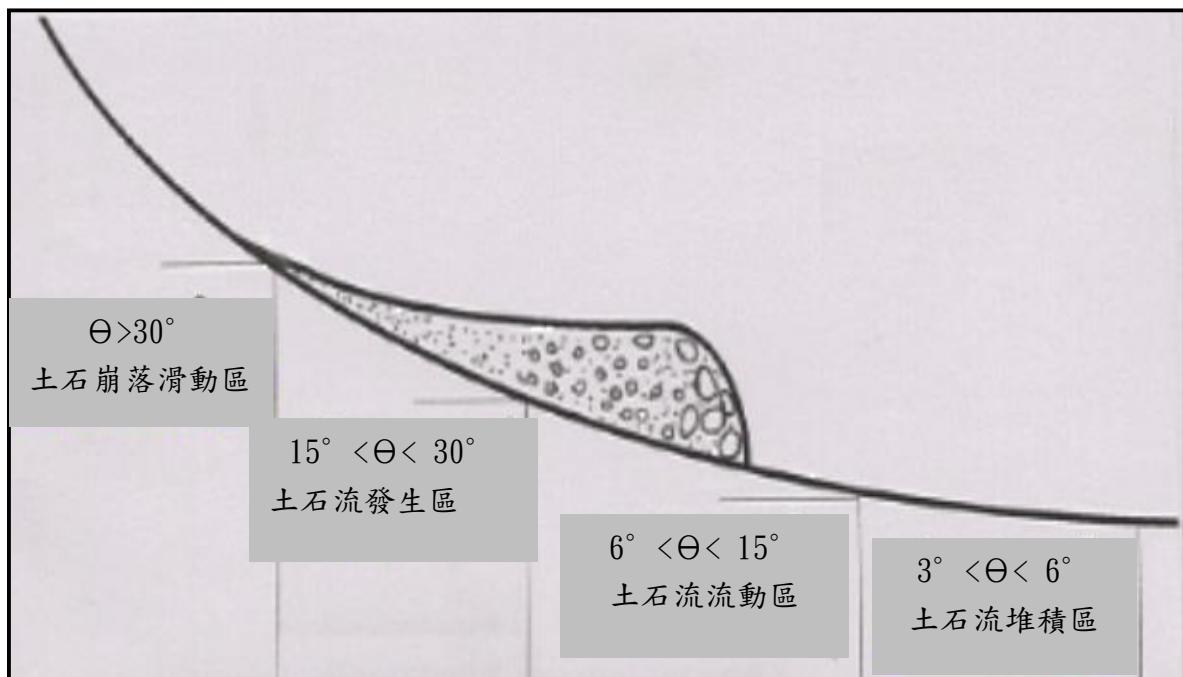


圖 2.1、土石流流動過程包含發生區、流動區及堆積區

(詹錢登, 2000)

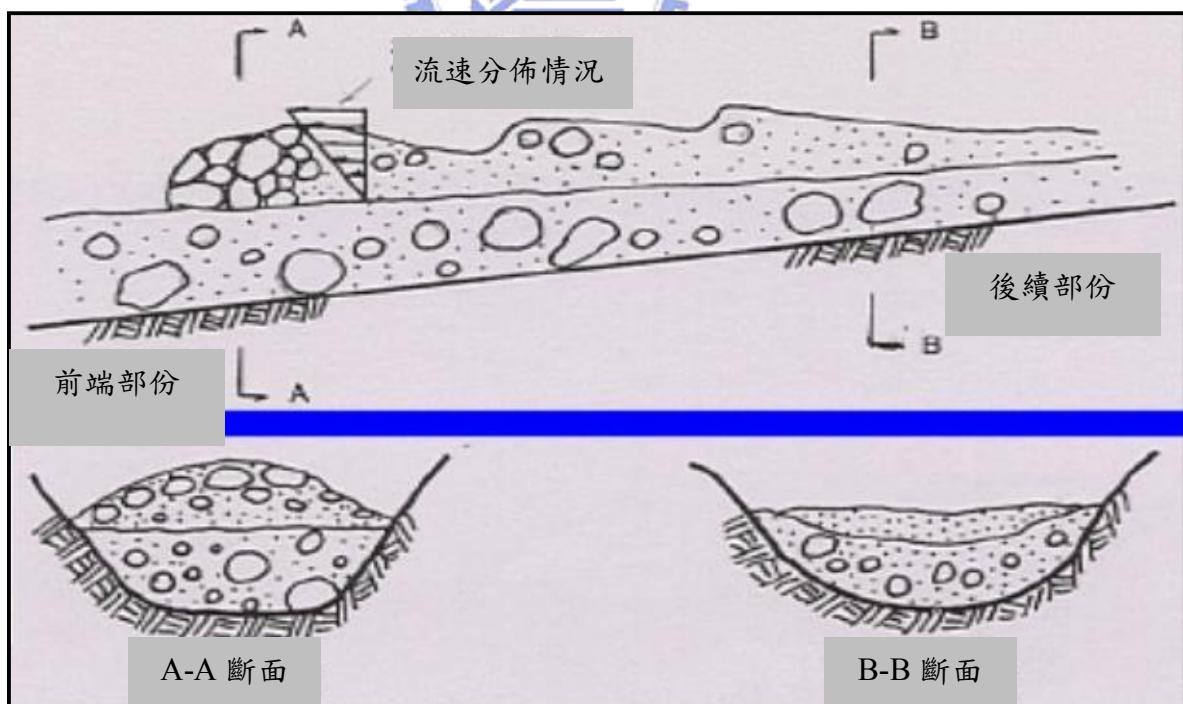


圖 2.2、土石流流動之縱斷面及橫斷面示意圖

(詹錢登, 2000)

2. 古土石流

- (1) 有溝的形態發育。
- (2) 河流出口或山溝出口有扇形地形，坡度超過 4° 至 6° 。
- (3) 縱剖面中有大小不一岩塊、基質支撐(matrix support)；局部有枯樹幹、樹枝、雜草等。
- (4) 中游地區之橫斷面常呈 U 型谷，有明顯沖刷及淤積痕跡。
- (5) 縱剖面常呈鋸齒狀且有天然跌水。
- (6) 上游成畚箕形地形，坍方、蝕溝作用頻繁。
- (7) 中上游溪岸坍方數目多。
- (8) 曾有土石流災害紀錄。

3. 中部地區土石流特徵

- (1) 間歇性流動(如神木國小、豐丘案例)。
- (2) 直進性強且遇轉彎處會形成超高(如南平坑案例)。
- (3) 前端常呈波浪狀、有巨礫集中現象，堆積後接著常有泥流發生，漫過原有堆積，使堆積坡度更緩，行進距離更遠，有時會造成意想不到災害(如郡坑橋、豐丘案例)。
4. 土石流陡漲暴落、歷時較短，一次土石流過程一般從幾分鐘至幾小時。台灣地區由於坡度較陡且流程較短，一次土石流過程大約十五分鐘以內結束(詹錢登，2000)。
5. 土石流沿陡坡之流動速度每秒可達幾公尺至幾十公尺，其表面流速明顯高於底面流速及平均流速，並導致土石流前端部集結巨石(詹錢登，2000)。
6. 土石流體內泥、砂、礫石及巨石等固體物質之體積濃度大約介於 27% 至 75% 之間，土石流單位重大約是 $1450\text{~}2240\text{kg/m}^3$ (詹錢登，2000)。
7. 由於土石流之組成非常不均勻，它的流動不穩定，有陣流現象，當前端受阻而停止其後續部份會因慣性而壅高，增加壓力迫使前端再次流動(詹錢登，2000)。

2.1.3 土石流分類

土石流之分類甚多，按照土石流的成因、地貌條件、組成物質、泥石來源、流體特性、激發因素、力學特徵及發育階段等不同指標，可將土石流區分為不同之類別(詳表 2.1)。

表 2.1、土石流分類方式

分類指類	分類	參考文獻
土石流成因	自然土石流、人為土石流	詹錢登(2000)
土石流崩塌範圍大小	大規模崩塌誘發型、源頭部崩塌誘發型、小規模崩塌誘發型、溪床堆積物流動型土石流	中筋氏(1977)
土石流土砂提供(或運動)方式	滑動型、崩塌型、溝床侵蝕型、坡面侵蝕型土石流	周必凡(1980)
土石流激發因素	暴雨型、融雪型、暴雨融雪型、地震型、火山爆發型土石流	池谷浩(1980)
土石流發育階段	發展期、旺盛期、衰退期、停歇期土石流	陳光犧(1983)
土石流促發因素	激發、觸發、誘發類土石流	呂儒仁(1988)
土石流發生地貌條件	河谷型、山坡型土石流	周必凡等(1991)
土石流流動力學特徵	土力類、水力類土石流	周必凡(1991)
土石流動力條件	水力、重力、動力土石流	吳健民(1991)
土石流發生型態	邊坡崩塌流體化土石流、河谷天然堰塞壩潰決土石流、溪床堆積土石不穩定土石流	Takahashi(1991)
土石流物質組成	礫石型、泥流型、一般型土石流	水保手冊(1992)

(資料來源：陳明崇，2002)

2.1.4 前人相關研究

有關土石流的研究大致可分為六方面：一、發生機制研究；二、流動性質研究；三、堆積機制研究；四、衝擊力學特性及其防治對策研究；五、現場調查研究；六、預測與危險區域預警系統之劃定研究。本研究係針對有關土石流預測方面的探討，因此列舉幾篇相關的前人研究簡述如下：

- (1) 江永哲、林啟源(1991)分析曾經發生於台灣的七場土石流與降雨間的關係，發現在台灣造成土石流的累積雨量，至少大於 150mm，而最大一小時後降雨強度至少大於 40mm/hr，降雨延時全部在十二小時以上，且發生土石流多在整場暴雨的後半期。
- (2) 林美玲，詹士勝（1995）以集水區面積、溪床平均坡度、溪谷邊坡坡度、集水區形狀係數與坡向、地質等六項因子來作為土石流危險度判定指標；在其研究中引用危險因子之觀念，使不同單位及量測範圍之各影響因素能合併計算；研究結果發現，土石流危險溪流之特性與地域之間具有相當顯著之關係存在。
- (3) 張斐章、李心平（1995）曾應用模糊理論與類神經網路於土石流預警系統，其主要以類神經網路為主軸，輔以模糊理論的概念，藉降雨量多寡及研究地區地形對土石流發生的影響，判斷是否達土石流之警戒標準。由結果可以看出，以模糊控制配合類神經網路為基礎的土石流預警判定有相當好的表現。
- (4) 張東炯（2000）以倒傳遞類神經網路針對過去調查所得資料，進行土石流發生情況之研究。其結果與調查所得比較後發現，類神經網路架構具穩定性，且在訓練學習過程所得成功率平均高達 91.073%，而在測試驗證過程，整體成功率約為 75%。
- (5) 劉哲欣(2000)以南投縣二十八個集水區為樣本，選定土地利用因子、集水區面積、主要河川長度、集水區平均寬度、集水區形狀因子、溪床平均坡度、土壤孔隙比、土壤粒徑大於 4 號篩百分比、土壤粒徑小於 200 號篩百分比、土壤內摩擦角、凝聚力及土壤塑性指數等因子，利用多變量分析中之費雪區別函數求出南投地區土石流預警的建議公式。
- (6) 林信亨(2000)以東部海岸山岸與臺東縱谷境內之土石流潛勢溪流為研究對象，以 ESRI 公司推出的 Arc View[®]建立資料庫。選定因子包括集水區面積、溪流長度、形狀因子、地質種類、殘土率、溪床平均坡度、溪谷邊坡坡向、溪床邊坡坡度等八項因子。以類神經網路及費雪區別分析進行分析，最後選擇類神經網路為日後判定準則。
- (7) 陳明棠(2002)選定有效集水區面積、集水區斷層長度與總集水區面積比值、上游崩塌面積與總集水區面積比值、集水區主要岩性、集水區形狀因子與溪床平均坡度等六項影響因素。以類神經網路分析將土石流危險溪流簡單分為較高危險度之曾發生土石流案例，與較低危險程度之尚未發生或無明顯發生跡象的案例。接著考慮前述地文因子所造成之危險度與降雨特性(時雨量與有效累積雨量)等因素，利用模糊集合理論分析土石流於某場降雨情況下之發生度。
- (8) 曾炫學(2003)以全臺灣九八三條溪流型土石流潛勢溪流，應用基因演算法最佳化類神經網路結構。網路判釋分析成功率達 80%，接著收集具有發生日期的土石流案例二十二筆，以模糊理論建立土石流發生臨界曲線建議-預警模式。
- (9) 許瑞文(2003)選定集水區面積、有效集水區面積、集水區平均坡度、溪床平均坡度、

形狀係數及集水區內崩塌地面積等六項地文因子。以類神經網路分析土石流潛勢溪流，判定結果為訓練數據集正確率達 71%；測試數據集正確率達 64%。

2.1.5 台灣土石流潛勢溪流之判定方法

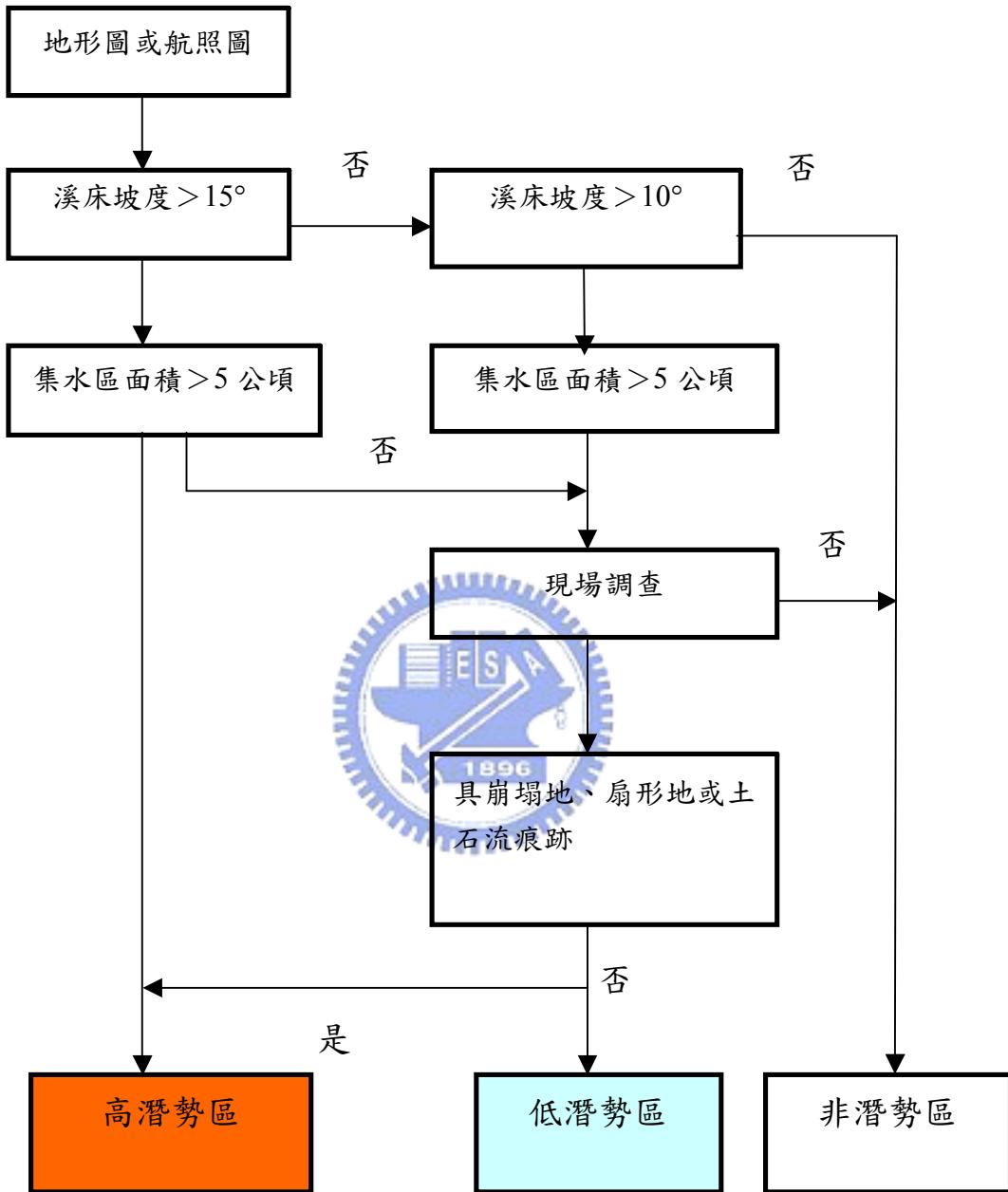


圖 2.3、台灣土石流潛勢溪流判定方法

(農委會水土保持局，1996)

農委會水土保持局(1996)判定台灣土石流潛勢溪流之方法，主要依據謝正倫等人(1992)現場調查方法，以集水區溪床坡度、集水區面積與有效集水區面積為主要指標，並配合現場調查決定是否為土石流潛勢溪流(詳圖 2.3)，其判定方法如下：

- 首先由航照圖或地形圖上尋找溪床坡度大於 15° 之地點，並量測該點以上之集水區面積是否大於有效集水面積五公頃。若具備上述條件則視為高敏感度之土石流潛勢溪

流(危險溪流)，如果集水區面積小於五公頃時，則應視現場調查結果方能判定。

2. 當整條溪流之縱剖面中並無大於 15° 之坡度者，則進一步找出溪床坡度大於 10° 之地點，並量測該點以上之集水區面積是否超過有效集水區面積五公頃。若符合本條件者，則進行現場調查以決定是否為土石流潛勢溪流(危險溪流)，若坡度或面積皆不屬於上述條件時，則可將該溪流視為非土石流潛勢溪流。
3. 現場調查中主要以有無崩塌地、有無扇形地及有無土石流痕跡為主，主要根據農委會水土保持局統計台灣地區目前土石流危險溪流與山坡崩塌地數量(詳表 2.2)。因此藉由本節可以得知，定義潛勢溪流的結果，與土石流的發生與否並無絕對的關係(詳表 2.3)。

表 2.2 台灣地區目前土石流危險溪流與山坡崩塌地數量

縣市	土石流危險溪流數量	崩塌地面積數量	崩塌地面積 (公頃)
台北縣	214	2847	3339.67
新竹縣	64	921	5542.46
雲林縣	9	154	256.22
桃園縣	43	373	1719.74
南投縣	199	5315	11185.53
高雄縣	54	1377	1959.79
台中市	3	15	15.58
台中縣	82	935	3268.74
台北市	49	975	412.87
嘉義縣	43	1169	3390.40
屏東縣	63	1380	877.28
基隆市	34	335	922.95
台東縣	160	3838	3422.18
宜蘭縣	124	1585	3392.76
台南縣	39	339	173.04
花蓮縣	160	7653	9991.48
苗栗縣	70	456	820.01
共計	1420	29673	50690.7

(資料來源：農委會水土保持局，2002)

表 2.3、南投縣一九九條潛勢溪流土石流災害歷史表

序號	溪流 編號	災害歷史	潛勢度	序號	溪流 編號	災害歷史	潛勢度
1	N001	桃芝	中	35	N043	有	中
2	N002	有	中	36	N044	桃芝	低
3	N003	無	高	37	N045	有	高
4	N004	有	高	38	N046	桃芝	低
5	N005	無	高	39	N047	有	中
6	N006	有	高	40	N048	桃芝	低
7	N007	有	中	41	N049	桃芝	高
8	N008	有	低	42	N050	無	高
9	N009	不詳	高	43	N051	無	高
10	N010	有	高	44	N052	有	低
11	N011	不詳	中	45	N053	桃芝	高
12	N012	有	高	46	N054	桃芝	低
13	N013	不詳	高	47	N055	無	中
14	N014	不詳	高	48	N056	無	高
15	N015	不詳	中	49	N057	有	高
16	N016	桃芝	高	50	N058	有	高
17	N017	不詳	高	51	N059	有	高
18	N018	賀伯	高	52	N060	無	中
19	N019	賀伯	高	53	N061	無	中
20	N020	不詳	中	54	N062	不詳	中
21	N021	桃芝	中	55	N063	無	中
22	N022	賀伯、桃芝	中	56	N064	無	中
23	N023	有	中	57	N065	有	低
24	N024	無	中	58	N066	桃芝	低
25	N025	桃芝	中	59	N067	桃芝	低
26	N026	不詳	中	60	N068	有	高
27	N027	賀伯、桃芝	低	61	N069	不詳	高
28	N028	賀伯、桃芝	低	62	N070	桃芝	高
29	N029	賀伯	高	63	N071	桃芝	高
30	N030	桃芝	低	64	N072	不詳	高
31	N031	不詳	低	65	N073	賀伯、桃芝	高
32	N032	不詳	低	66	N074	有	低
33	N033	不詳	高	67	N075	有	高
34	N034	不詳	高	68	N076	賀伯	高

(續)表 2.3、南投縣一九九條潛勢溪流土石流災害歷史表

序號	溪流 編號	災害歷史	潛勢度	序號	溪流 編號	災害歷史	潛勢度
69	N035	不詳	低	103	A001	無	中
70	N036	賀伯、桃芝	低	104	A002	無	中
71	N037	賀伯、桃芝	低	105	A003	有	高
72	N038	賀伯、桃芝	高	106	A004	無	中
73	N039	賀伯、桃芝	中	107	A005	無	中
74	N040	不詳	高	108	A006	有	高
75	N041	桃芝	高	109	A007	有	中
76	N042	無	低	110	A008	不詳	高
77	A009	有	高	111	A051	不詳	低
78	A010	有	高	112	A052	不詳	高
79	A011	不詳	高	113	A053	不詳	高
80	A012	有	高	114	A054	賀伯、桃芝	低
81	A013	賀伯	中	115	A055	賀伯	高
82	A014	賀伯	中	116	A056	賀伯、納莉、桃芝	高
83	A015	桃芝	高	117	A057	桃芝	中
84	A016	不詳	高	118	A058	桃芝	中
85	A017	有	中	119	A059	有	中
86	A018	有	中	120	A060	桃芝	中
87	A019	不詳	中	121	A061	無	中
88	A020	不詳	高	122	A062	無	中
89	A021	有	中	123	A063	不詳	中
90	A022	有	中	124	A064	不詳	高
91	A023	納莉	低	125	A065	不詳	中
92	A024	桃芝	中	126	A066	不詳	中
93	A025	無	低	127	A067	不詳	中
94	A026	不詳	中	128	A068	不詳	中
95	A027	有	高	129	A069	不詳	中
96	A028	不詳	高	130	A070	有	高
97	A029	921	高	131	A071	有	中
98	A030	921	高	132	A072	有	中
99	A031	有	高	133	A073	無	中
100	A032	不詳	高	134	A074	無	低
101	A033	無	中	135	A075	桃芝	高
102	A034	有	中	136	A076	桃芝	中

(續)表 2.3、南投縣一九九條潛勢溪流土石流災害歷史表

序號	溪流 編號	災害歷史	潛勢度	序號	溪流 編號	災害歷史	潛勢度
137	A035	桃芝	中	166	A077	桃芝	中
138	A036	桃芝	中	167	A078	無	中
139	A037	不詳	中	168	A079	無	高
140	A038	不詳	中	169	A080	有	高
141	A039	不詳	高	170	A081	無	中
142	A040	不詳	中	171	A082	桃芝	中
143	A041	無	中	172	A083	賀伯、桃芝	中
144	A042	有	中	173	A084	賀伯	中
145	A043	無	中	174	A085	賀伯	中
146	A044	不詳	高	175	A086	桃芝	中
147	A045	有	中	176	A087	桃芝	高
148	A046	桃芝	中	177	A088	賀伯	高
149	A047	無	高	178	A089	有	高
150	A048	無	中	179	A090	桃芝	高
151	A049	不詳	低	180	A091	無	高
152	A050	不詳	低	181	A092	桃芝	高
153	A093	有	中				
154	A094	有	高				
155	A095	有	中				
156	A096	無	中				
157	A097	無	中				
158	A098	無	中				
159	A099	納莉	中				
160	A100	有	高				
161	A101	有	高				
162	A102	有	高				
163	A103	有	中				
164	A104	有	中				
165	A105	有	高				

(資料來源：土石流災害地質調查，2003)

2.2 土石流發生條件

本節主要針對有關土石流發生所需具備的發生條件闡述，根據前人研究中指出，土石流發生需兼備基本與誘發兩項要件，相關研究內容如后所述。

2.2.1 土石流發生條件

形成土石流之基本條件為豐富的鬆散的土石、充足的水份及足夠大的坡度。豐富的鬆散的土石提供形成土石流所需的固態物質；充足的水份降低土石流固體物質間的摩擦力與凝聚力，促使固體物質液化以助於流動；足夠大的坡度供給土石流所需的動力，使土石流克服其內部之摩擦力與凝聚力後向低處流動，在流動過程中促使泥石與水高度混合後並增加其流動性(詹錢登，2000)。

當一溪流具備了基本條件則可視為土石流潛勢溪流，一旦自然環境或人為環境給予適當的誘發條件，即可能會發生土石流(林信亨，2000)。另外相關前人研究採用之上石流發生因子彙整如表 2.4 所示。

表 2.4、前人研究土石流發生因子

研究者	年份(西元)	土石流發生因子
劉希林 唐川	1993	流域面積、流域切割密度、溪流長度、相對高差、泥砂補給、24 小時最大雨量強度、流域內人口密度、溪流彎曲係數
謝正倫 陳禮仁	1993	有效集水區面積、流出土砂量
詹士勝	1994	岩石種類、溪谷邊坡之坡向、溪谷邊坡坡度、集水區面積、形狀係數與溪床平均坡度
張成璞	1995	溪床坡度、形狀係數、有效集水區面積、雨量強度、邊度坡度、岩性
蘇育瑞	1995	坡度、形狀係數、集水區面積、邊坡坡向、邊坡坡度、殘土率、岩性
李心平	1995	坡度、集水區面積、時雨量、累積雨量
范正成 林森榮	1997	土壤粒徑、土壤孔隙比、土壤塑性指數、集水區面積、溪流長度、集水區平均寬度、集水區形狀因子、植生密度、溪床平均坡度
陳秋份	1998	有效集水區面積、集水區內地質之岩性、通過集水區之斷層長度、溪流上游之崩塌面積、淤積範圍與保全對象

(續)表 2.4 前人研究土石流發生因子

研究者	年份(西元)	土石流發生因子
江英政	1998	集水區面積、有效集水區面積、溪流長度、形狀因子、地質種類、崩塌數目、溪谷邊坡坡度、殘土率、溪床平均坡度及植生
詹錢登 陳晉琪	1999	崩塌層厚度、土層坡度、未飽和土壤比重、土壤體積濃度、土壤凝聚力、土壤摩擦係數、土層水位
韋方強 謝洪	1999	相對高度、地層、岩性、斷層、地震、降水年內變差係數、降水年際變差係數、氣溫的較差值
張東炯	2000	溪流長度、溪流平均坡度、有效集水區面積、形狀係數、顆粒中值粒徑、有效累積雨量、有效降雨強度
林信亨	2000	集水區面積、溪流長度、地質種類、形狀因子、殘土率、溪床平均坡度、溪谷邊坡坡度、坡向
陳明棠	2002	有效集水區面積、集水區斷層長度與總集水區面積比值、上游崩塌面積與總集水區面積比值、集水區主要岩性、形狀係數、溪床平均坡度、時雨量、有效累積雨量
曾炫學	2003	有效集水區面積、集水區面積、溪流長度、崩塌面積與總集水區面積比值、形狀係數、有效累積雨量、有效降雨強度
許瑞文	2003	集水區面積、有效集水區面積、集水區內平均坡度、形狀係數、溪床平均坡度、集水區內崩塌地面積

(資料來源：曾炫學，2003)

2.2.2 土石流基本條件

根據高橋(1974)與周必凡(1991)兩位學者對土石流相關的研究，可以將土石流發生之基本條件歸納為以下三點(林信亨、2000)：

1. 豐富的土石材料。
2. 充足的水份供給。
3. 適當的地形條件。

2.2.3 土石流誘發條件

土石流潛勢溪流需配合其誘發條件才會發生土石流，而誘發條件可以視為基本條件於短期內急劇地變化所導致。可以歸納為以下三點(林信亨、2000)：

1. 堆積的土石材料突然喪失平衡

堆積的土石突然受到外力作用，導致原來的平衡狀態遭受破壞而產生運動，例如：山崩、地滑、雪崩等。

2. 水份的大量供應

由於水份的大量供應，則會對堆積土體產生沖擊力，而造成土體流動的現象發生，例如：暴雨、雪融、壩體潰決等。

3. 地形快速變遷

由於人類的過度開發，經由濫墾濫挖，會造成地形與地貌上之變遷，使得河床上之堆積物增加、坡度加劇等變化，而引發土石流之災害。例如：美國亞利桑那州發生森林大火後，因為地形快速變化，而使得土石流之發生次數有明顯的不同。

2.3 本研究採用之土石流發生因子

土石流潛勢溪流的研究過程中，有關發生因子的選定與資料庫的建立將直接決定分析結果的準確與否。基於前人研究中所採用的因子有絕大部份在資料庫的建立方面，偏重以收集資料的方式建立。因此可能造成不均勻的精度，且概括承受資料誤差的情況。因此本研究在資料的收集方面以求精度整合及準確為目的考量下，應用 ESRI 推出的 Arc View[®]3.2 軟體為主軸，取得有關地文中的九個因子：集水區面積、形狀係數、溪床曲面長度、溪床平均坡度、集水區地質、集水區東北坡向面積比、集水區東南坡向面積比、集水區西南坡向面積比及集水區西北坡向面積比。由中央氣象局取得誘發條件中的兩個因子：最大時雨量及累積雨量。由「土石流災害地質調查-南投、臺中地區成果報告書(期末報告版)」(中央地調所，2003)，取得溪床土石量及上游邊坡風化程度兩個因子。

2.3.1 地質相關因子

由於土石流中之固體顆粒含量相當高，如果沒有足夠的土石來源，將難形成土石流，堆積物的來源主要可分為自然堆積與人為堆積兩種。自然堆積物的來源可能由於河流沖刷河道、雨水沖刷邊坡、山崩等因素所造成；而人為堆積物則主要是指因人類活動或不當開發所造成的堆積物。因為人為堆積物難列入考量，因此本研究有關足夠的土石材料來源僅探討自然堆積物。自然堆積物的來源的主要有三部份，包括源頭部崩塌、溪谷的堆積材料以及流動時溪谷兩側之沖刷與侵蝕(林信亨，2000)。

本研究選取集水區地質、上游邊坡風化程度及溪床土石量等三個因子，代表土石材的來源。

(1)集水區地質

事實上要量化地質是困難的，因此本研究嘗試以地質年代評分表作為評定集水區

地質之依據(詳表 2.5)，其中南投縣的地質主要介於始新世晚期至更新世之間。根據「地質與工程」(徐鐵良，1986)指出自第三紀中期的中新世以後，地層均以未變質之沉積岩為主。愈上者則其時代愈新，而年代較老，固結較好，因此其孔隙率也較低。基於前述，本研究假設地質年代愈久遠者，集水區地質因子評分愈高。

表 2.5、地質年代評分表

代	紀	世	時間 (百萬)		評分區間	評分 均值	評分 上限	評分 下限
新生代	第四紀	今世	0.01~現在		0~0.01	0.01	0.01	0.00
		更新世	0.01~1.8	晚期	0.01~0.6	0.31	0.60	0.01
				中期	0.6~1.2	0.90	1.20	0.60
				早期	1.2~1.8	1.50	1.80	1.20
	第三紀	上新世	1.8~5	晚期	1.8~2.87	2.34	2.87	1.80
				中期	2.87~3.94	3.41	3.94	2.87
				早期	3.94~5	4.47	5.00	3.94
		中新世	5~26	晚期	5~12	8.50	12.00	5.00
				中期	12~19	15.50	19.00	12.00
				早期	19~26	22.50	26.00	19.00
	漸新世	26~37	26~37	晚期	26~29.67	27.84	29.67	26.00
				中期	29.67~33.34	31.51	33.34	29.67
				早期	33.34~37	35.17	37.00	33.34
	始新世	37~53	37~53	晚期	37~42.33	39.67	42.33	37.00
				中期	42.33~47.66	45.00	47.66	42.33
				早期	47.66~53	50.33	53.00	47.66
	古新世	53~65	53~65	晚期	53~57	55.00	57.00	53.00
				中期	57~61	59.00	61.00	57.00
				早期	61~65	63.00	65.00	61.00

(資料來源：徐鐵良，1986)

本研究應用 Arc View[®]軟體整理出南投縣潛勢溪流集水區的地質年代，進而可確認由年代久遠至今，分別為始新世晚期、漸新世、中新世、上新世及更新世。其岩性由始新世晚期抗風化性高的石英岩，變化至更新世風化嚴重的礫石、土及砂。

(2)上游邊坡風化程度

根據「土石流災害地質調查-南投、臺中地區成果報告書(期末報告版)」(中央地調所，2003)，將上游邊坡風化程度由低至高分為新鮮、極微風化、中度風化、高度風化、完全風化、殘餘土壤等六個等級，風化程度高愈高表示土石崩落量相形增加。

(3)溪床土石量

根據「土石流災害地質調查-南投、臺中地區成果報告書(期末報告版)」(中央地調所，2003)，將溪床發生區、流通區及堆積區中的土石量，經現場調查或經驗公式加總而得。

2.3.2 水文相關因子

土石流發生需要大量的水，而水量的來源則包括降雨、冰融、雪融、地下水、水庫或者天然土石壩的滲漏與潰決等(詳圖 2.4)。由圖中可以發現土石流中水源的供應，主要是藉由地表逕流與地下滲流的途徑，造成堆積土體不穩定，進而發生土石流。因此地表逕流之大小對於孕育土石流的發生有相當大的影響。

河川逕流之因子包括超滲降雨量之大小及逕流經過流域的時間。換言之，若超滲降雨量越大則滲流越大，逕流經過流域影響時間越短，則逕流越大。而超滲降雨量主要取決於氣象因子、地表覆蓋、土壤入滲能力等(王如意、易任，1984)。但由於求取不易故對於這些因子不予採用。除此之外，逕流的動力現象對於土石流之發生也有影響，而此一現象之大小主要取決於該流域之地文因子，如集水區面積、溪流長度、溪谷邊坡坡向等(林信亨，2000)，分別說明如下：

(1)集水區面積

河川之尖峰流量與集水區面積大小成正比，而集流時間一般隨流域面積增加而增加。因此可以從集水區面積，來評估河川之尖峰流量之大小與集流時間之長短。

山口伊佐(1985)的調查結果顯示，最常發生土石流的集水區面積為 0.3 平方公里，大致上集水區面積 2.0 平方公里以下最容易發生。VanDine(1985)調查加拿大 HoweSound 地區發生土石流之溪流，發現集水區面積與土石流發生區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在 0.4~0.7 平方公里(謝正倫、陳禮仁，1993)。另謝正倫(1992)的調查，顯示花蓮縣與台東縣內土石流危險溪流之集水區面積以 0.1~1.2 平方公里間。佔總數之 62%，其中 0.5~0.6 平方公里間所佔比例最高，而 0.1 平方公里以下則未見有土石流發生。

(2)溪床曲面長度

根據謝正倫(1992)的調查，花蓮縣境內危險溪流以五百公尺~二千公尺居多，佔全數之 81%，長度在五百公尺以及三千五百公尺以上之危險溪流則顯得十分稀少。因此基於溪流長度會影響溪流之尖峰流量、集流時間與逕流分佈等特性，所以本研究將其列入考量。

(3)集水區邊坡坡向

由以往的土石流災害發生時間可以發現，大多數的土石流皆發生於颱風或暴雨期之後。而從臺灣地區颱風登陸之路徑統計中發現，登陸臺灣的颱風多為東南-西北走向，此一因素將造成迎風面所承受之雨水會較背風面為鉅。而且強風也會影響邊坡風化之程度，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。

Auer and Shakoor 也曾研究土石崩(Debris Avalanche)而認為集水區邊坡坡向之影響如下：

- (a)土壤受日照之程度，此一因素將影響土壤於暴雨期間之含水量。
- (b)覆蓋地表的植被種類與分佈狀況。
- (c)地表土壤的特性。
- (d)暴雨期所接受之雨水量。

根據前述可以發現集水區邊坡之坡向能代表該邊坡的雨水接受量，因此本研究將集水區邊坡之坡向面積比納入考量。



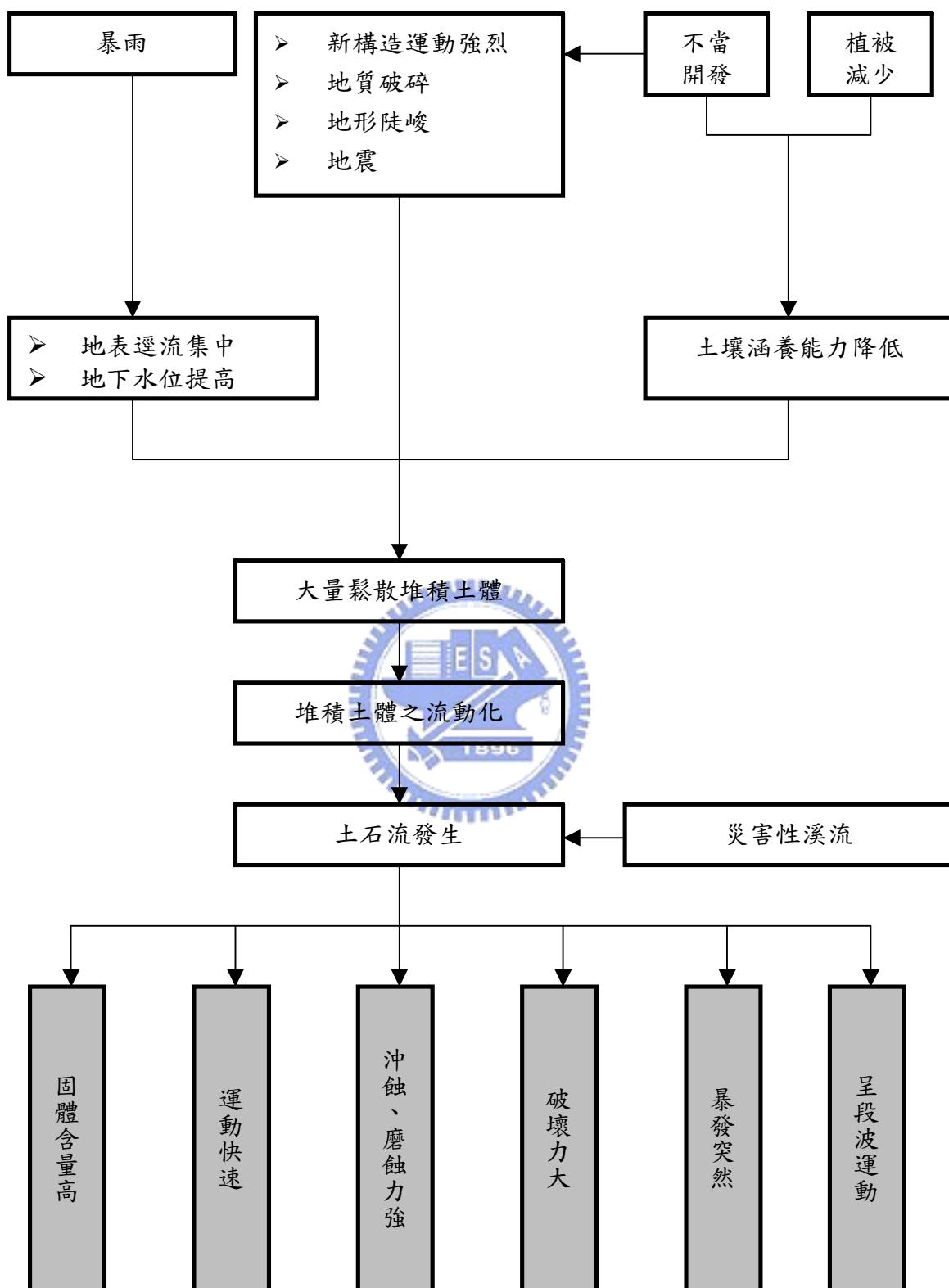


圖 2.4、台灣地區土石流發生特性與基本概念
(詹錢登, 2000)

2.3.3 地文相關因子

(1)溪床平均坡度(Jeff Jenness, 2003)

本研究溪床平均坡度根據以下公式計算

$$Average \quad Slope = \frac{\sum (S \times L)}{\sum L} \quad (2.1)$$

(2.1)式中 S (in Degrees)=Segment Slope(切割單元為 40m)

L =Segment Surface Length(L 水平投影長=40m)

一般而言水流流速會受坡度直接影響，且與坡度平方根成正比。因此坡度越大則水流速度會愈快，反之則愈慢。因為欲使土石流發生流動必需要有一適當之溪床坡度，若溪床坡度太小，則不能產生較大之推動力促使土石流流動。若溪床坡度太陡，則顆粒易於水中形成懸浮載(Suspension Load)，不易使土石與水混合成泥狀而產生土石流。此外溪床坡度太陡，土體可能在其滲水位線(level of seepage flow)還很低時就已滑動，無法累積足夠的水量產生土石流且土石流無法堆積於溪谷中累積土石量(林信亨, 2000)。

(2)形狀係數

集水區之形狀係數(Form factor, F)為 Hortons(1932)所提出，又稱為荷頓因子(Hortons form factor)或流域形狀(Basin shape)，定義為：

$$F = \frac{W \times L}{L^2} = \frac{A}{L^2} = \frac{W}{L} \quad (2.2)$$

(2.2)式中 W =流域平均寬度

L =主要河川長度

A =集水區面積

由(2.2)式可知，形狀係數所代表的意義，為單位河川主要河川長度之流域寬度。因此若形狀係數愈大，則代表集水區的形狀愈呈寬宏狀；反之則呈現較狹窄之形狀(詳圖 2.5)。

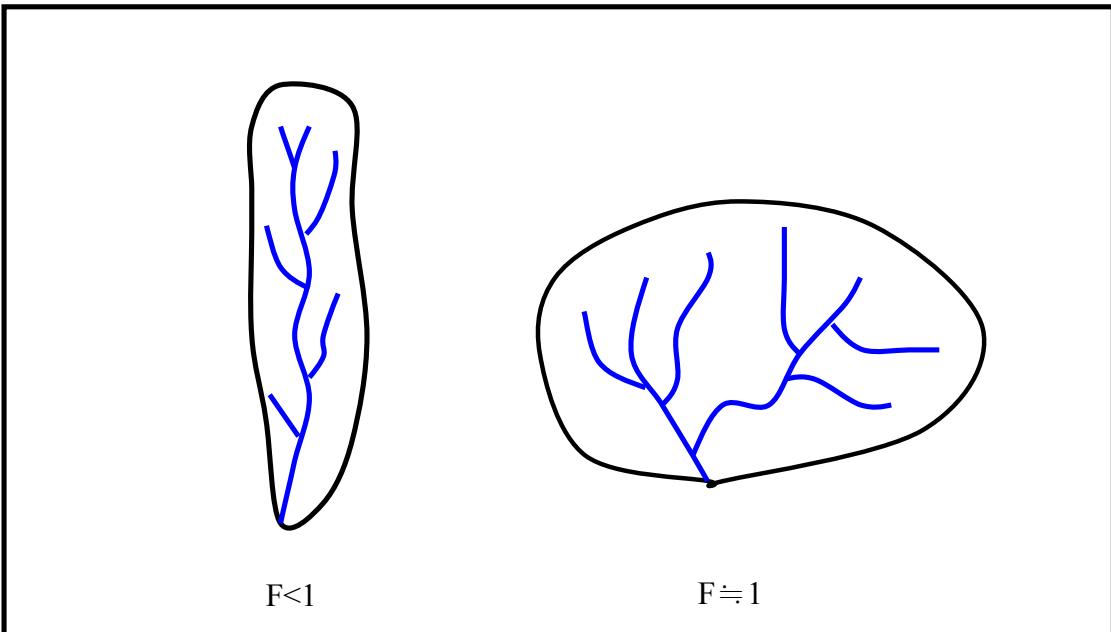


圖 2.5、集水區形狀係數示意圖

(詹錢登, 2000)

尹承遠(1993)在討論臺灣土石流之特性時曾指出，臺灣地區發生土石流之溪流，其集水區之形狀係數在 0.13~0.34 之間；而蘇育瑞(1995)對花蓮地區部份土石流潛勢溪流所得形狀係數集中在 0.2~0.7 之間；陳榮河(1999)調查新中橫公路沿線二十五處土石流潛勢溪流得其形數集中於 0.1~0.5 之間。由此可知土石流潛勢溪流多屬於狹長形之集水區(林信亨, 2000)，因此將此因子列入本研究中考量。

2.3.4 誘發條件因子

池谷浩(1980)研究土石流災害的降雨雨型、降雨強度和降雨延時之間的關係，將土石流發生時的降雨狀況整理分為三種型式(曾炫學, 2003)：

1. 第一類：急遽發生大強度降雨。
2. 第二類：連續數小時之強度不大的降雨，接著發生大強度降雨。
3. 第三類：介於第一類和第二類之間。

第一類中支配土石流發生的主要因素為降雨強度，降雨強度在 50mm/hr 以上時發生土石流。

第三類是經過一場暴雨或累積雨量至相當之後，於雨勢漸趨轉弱或歇止後，才發生土石流。因此土石流受累積雨量的影響較大，其土石流發生時累積雨量的臨界，大致在 200mm 左右。

第二類是在持續一段時間小雨後，降下大雨所造成，其降雨強度不及第一類型態。因此土石流的發生需累積雨量與降雨強度的配合，累積雨量需為 60mm，最大時雨量約在 20mm/hr 左右。

因此本研究選定集水區最大時雨量及累積雨量做為土石流的誘發因子資料庫。

2.4 類神經網路簡介

類神經網路(Artificial Neural Networks, ANNs)，或譯為人工神經網路，其主要的基本概念是嘗試著模仿人類的神經系統，因為人類的神經系統在語音、聽覺、影像和視覺方面均有很完美的表現。所以也期望這些模型能夠在這些方面有出色的成果。類神經網路的架構源自於現代對人類神經系統的認識，它是由很多非線性的運算單元(即：神經元 neuron)和位於這些運算單元間的眾多連結(links)所組成。而這些運算單元通常是以平行且分散的方式來進行運算，如此就可以同時處理大量的資料應用。如語音、手寫辨識等。呈現的方法是以電腦的軟硬體來模擬生物神經網路的資訊處理系統，從人類專家解決問題的實際案例中學習，利用非線性函數的轉換，能有效地對大量資料進行分析，且具學習能力，以利各種非結構性決策的制定。此外，類神經網路之應用不需前提假設，只要有充足的歷史資料，即可進行分析，例如有完整之交易資訊的股票市場，或精確且眾多的氣象資料，皆十分適合運用網路模式進行分析、預測工作(張斐章，2003)。

類神經網路有大量相互連結的處理單位(processing elements)，通常是以平行的方式操作且置放於整個網路之中，而整個 ANNs 的聚集形式就如同人類的大腦一般。可透過樣本或資料的訓練來展現出學習(learn)、回想(recall)、歸納推演(generalize)的能力。類神經網路在處理形式套配(pattern matching)、分類(classification)、函數近似(function approximation)、最佳化(optimization)及資料分類(data clustering)等都有很好的效果(張斐章，2003)。

2.4.1 適合使用類神經網路解決的問題

- 
1. 問題及相關條件難以完整定義(張斐章，2003)。
 2. 需要快速得到問題解答且解答不用完全精確(張斐章，2003)。
 3. 問題非常複雜或是非線性的問題，無法由一連串已知的數學方程式來描述並求得解答者(張斐章，2003)。

2.4.2 倒傳遞網路(Back Propagation Network, BPN)

倒傳遞類神經網路模式是目前類神經網路學習模式中最具代表性，應用最普遍的模式。已發表的應用至少在數千篇以上，不勝枚舉。倒傳遞類神經網路基本原理是利用最陡坡降法(Gradient Steepest Descent Method)的觀念將誤差函數予以最小化。網路架構(詳圖 2.6)可分為輸入層、隱藏層及輸出層三層(張斐章，2003)：

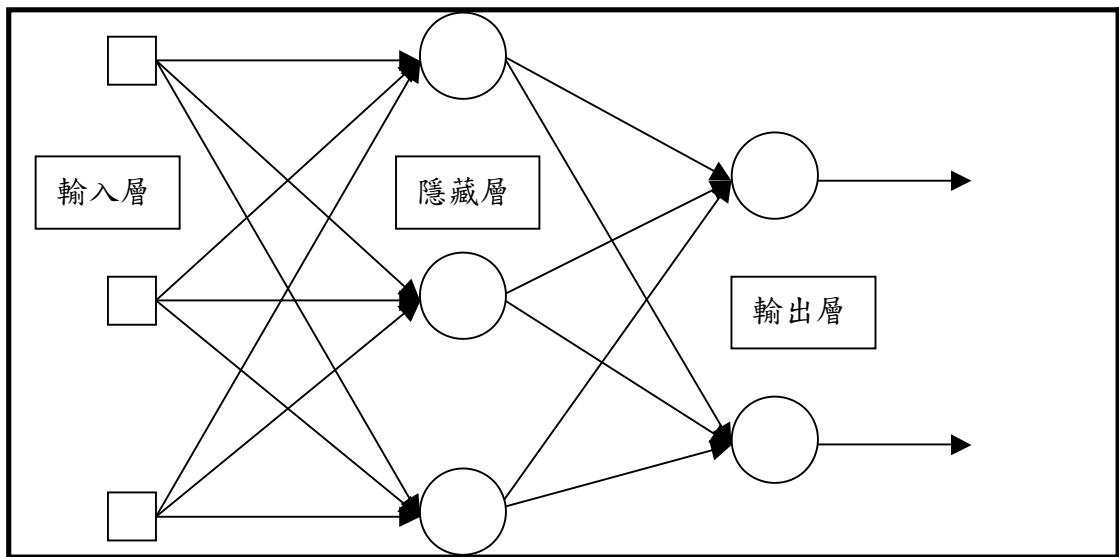


圖 2.6、多層前饋式網路

(張斐章, 2003)

1. 輸入層：用以表現網路的輸入變數，其處理單元數目依問題而定。
2. 隱藏層：用以表現輸入處理單元間的交互影響，其處理單元數目並無標準方法可以決定，經常以試誤法決定其最佳數目。
3. 輸出層：用以表現網路的輸出變數，其處理單元數目依問題而定。

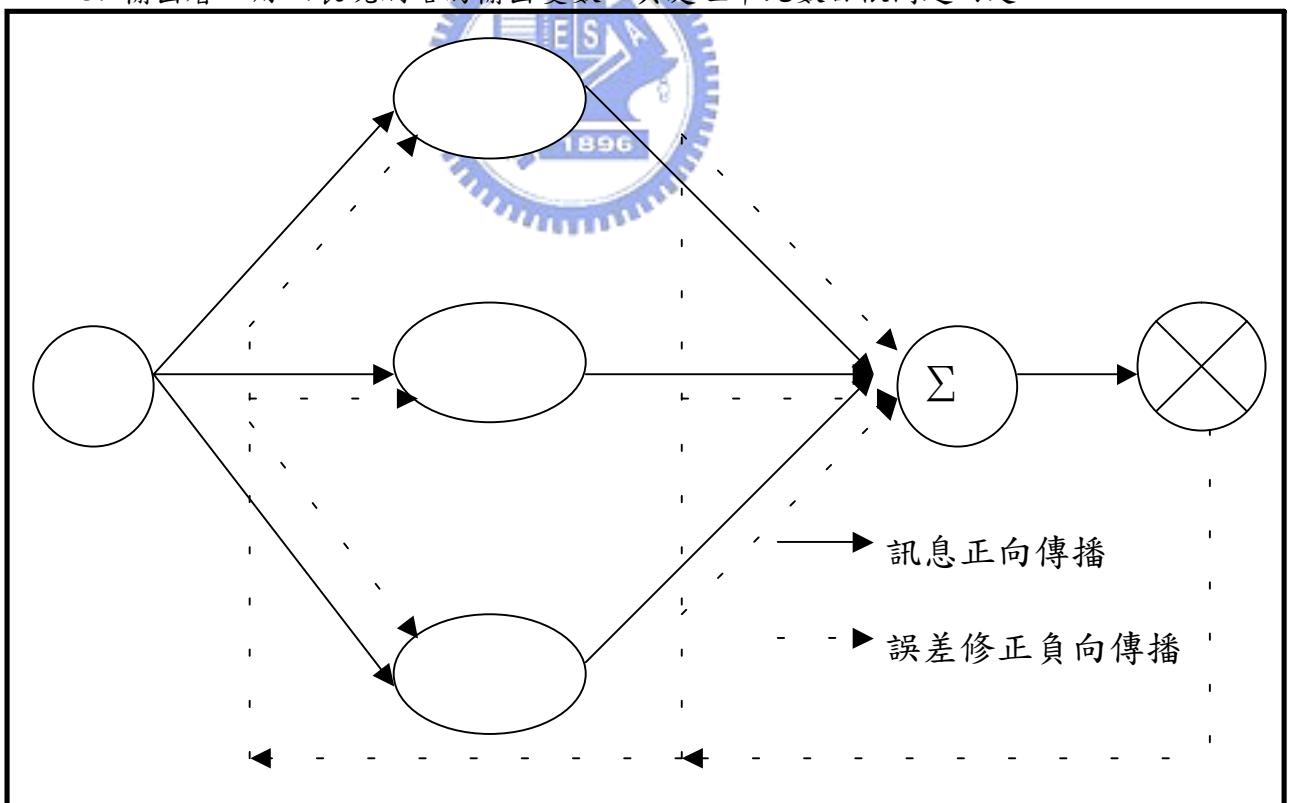


圖 2.7、BP 演算法之正向傳播與負向傳播圖

(張斐章, 2003)

由圖 2.7 中說明學習過程是由正向傳播與負向傳播所組成。

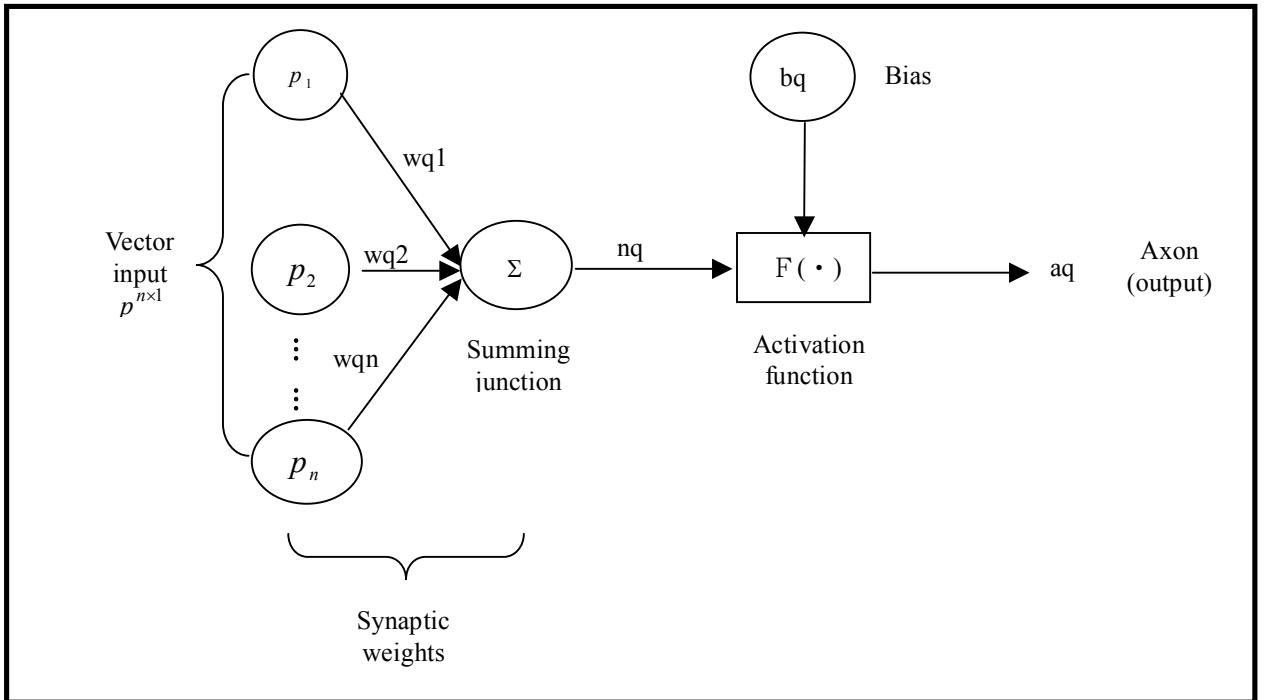


圖 2.8、人工神經元模型
(羅華強, 2001)

由圖 2.8 中說明在正向傳播過程中，輸入訊息從輸入層經由隱藏層加權運算。透過活化函數轉換處理後，再傳向輸出層計算網路輸出值。

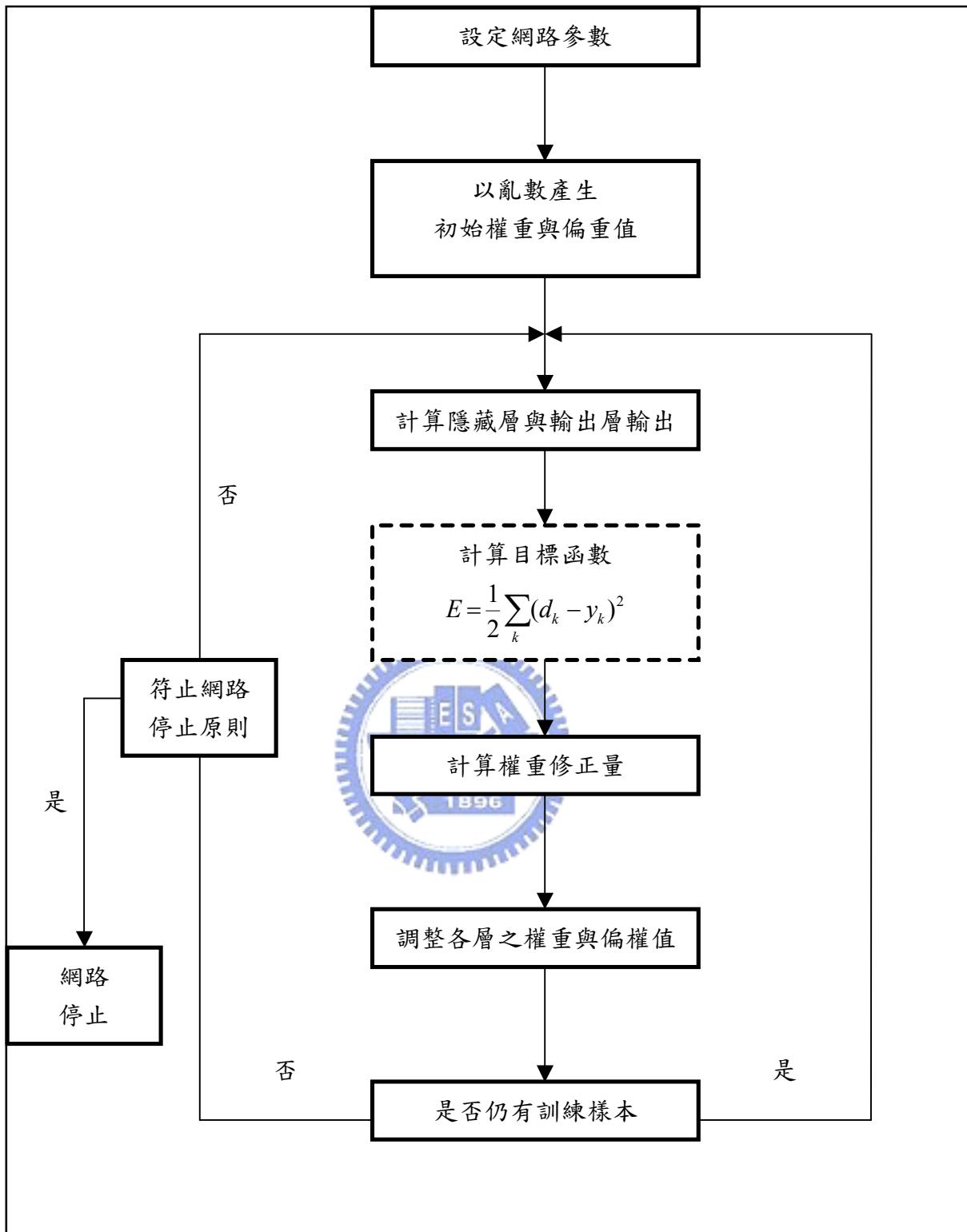


圖 2.9、倒傳遞演算法流程

(張斐章, 2003)

藉由圖 2.9 中說明每一層神經元只影響下一層神經元的狀態，若在輸出層不能得到目標輸出值，則轉為反向傳遞，將誤差訊號沿原來的連接通路回傳，透過修改各層神經元的權重與偏權值，期能使誤差值達到容忍誤差範圍之內而停止。

2.4.3 參數設定限制

1、輸入項資料處理

輸入項資料必須經過前處理，讓其平均值在 0 附近或是使其標準偏差較小，如此搜尋過程中較不容易產生權重分散，造成無限的或負無限大的值出現。當然經過處理後的資料，可以讓權重調整的速率相近似，同時也可以將極端事件考慮進去。因此，輸入項資料處理可將資料正規化(normalize)至[0.1,0.9]的範圍間，一方面提供所有權重調整速率相似，另一方面可避免訓練資料輸入項達到飽和(saturation)的現象(張斐章，2003)。

2、輸出值的限制

目標輸出值必須考慮到神經元所使用的活化函數特性，也就是目標輸出值必須介於活化函數的範圍間，特別是讓目標輸出值有一些預留空間，不要達到活化函數的極限值。因此建議在學習階段目標輸出值最好介於 0.1 到 0.9 之間(張斐章，2003)。

3、目標函數的型態

EBP 演算法是根據搜尋最小的目標函數值為目的，可以根據問題的型態或需求來改變目標函數的型態(張斐章，2003)。

4、學習速率設定

學習速率越小，雖然收斂過程因此越趨緩，但迭代次數就相對地提高；學習速率太大，雖然可以加速搜尋效率，但容易造成搜尋過程中，目標函數產生不穩定的振盪情形。而學習速率的設定需要多次的嘗試，並因問題與訓練範例資料有所不同。在批次學習中，建議使用變動的學習速率提高搜尋的效率，例如當前一代的誤差總和下降，可提高學習速率，反之，誤差值增加，學習速率就必須降低；提高與降低學習速率最簡單的策略是分別乘上大於 1 與小於 1 的數值來改變學習速率(張斐章，2003)。

5、權重初始化

一般建議 BPN 的連結權重在初始化時，應設定很小值的隨機亂數，可以避免網路訓練過程是從一個特定的權重值開始搜尋，而容易落入局部解或需要很多的迭代次數(張斐章，2003)。

2.4.4 網路架構設定條件與限制

1、隱藏層層數

在使用 BPN 的第一步就是必須決定隱藏層的層數，以確定網路的大小，方能建構一個好的模式。在許多理論研究的結果與工程領域的模擬應用上都顯示，隱藏層的層數不需要超過兩層以上。至於一層隱藏層比較好還是兩層比較好，則在不同的研究或問題中有不同的結論。如 Hush and Home,(1993)便指出在某些問題中使用兩層隱藏層的網路，各隱藏層只需有少量神經元，可以取代使用一層需要數量龐大神經元隱藏層的網路(張斐章，2003)。

2、隱藏層神經元的個數

建置 BPN 網路架構包括輸入層、隱藏層與輸出層，輸入層與輸出層都可以由問題本身決定。譬如說：系統的控制因子或影響因子，是決定輸入層的神經元個數；而系統

所需的預測變數為何，也決定了輸出層的神經元個數。因此，當決定隱藏層的層數後，各隱藏層的神經元個數的多寡對網路有相當大的影響。過少的神經元個數是無法建構適當的函數來描述問題，因為網路沒有足夠的參數來描述(fit)訓練範例；反之，過多的神經元個數造成參數自由度 (freedom) 太高，進而對訓練範例過度地描述(over-fitting)(詳圖 2.10)，也隱含了雜訊的描述，而失去歸納推演的能力(張斐章，2003)。

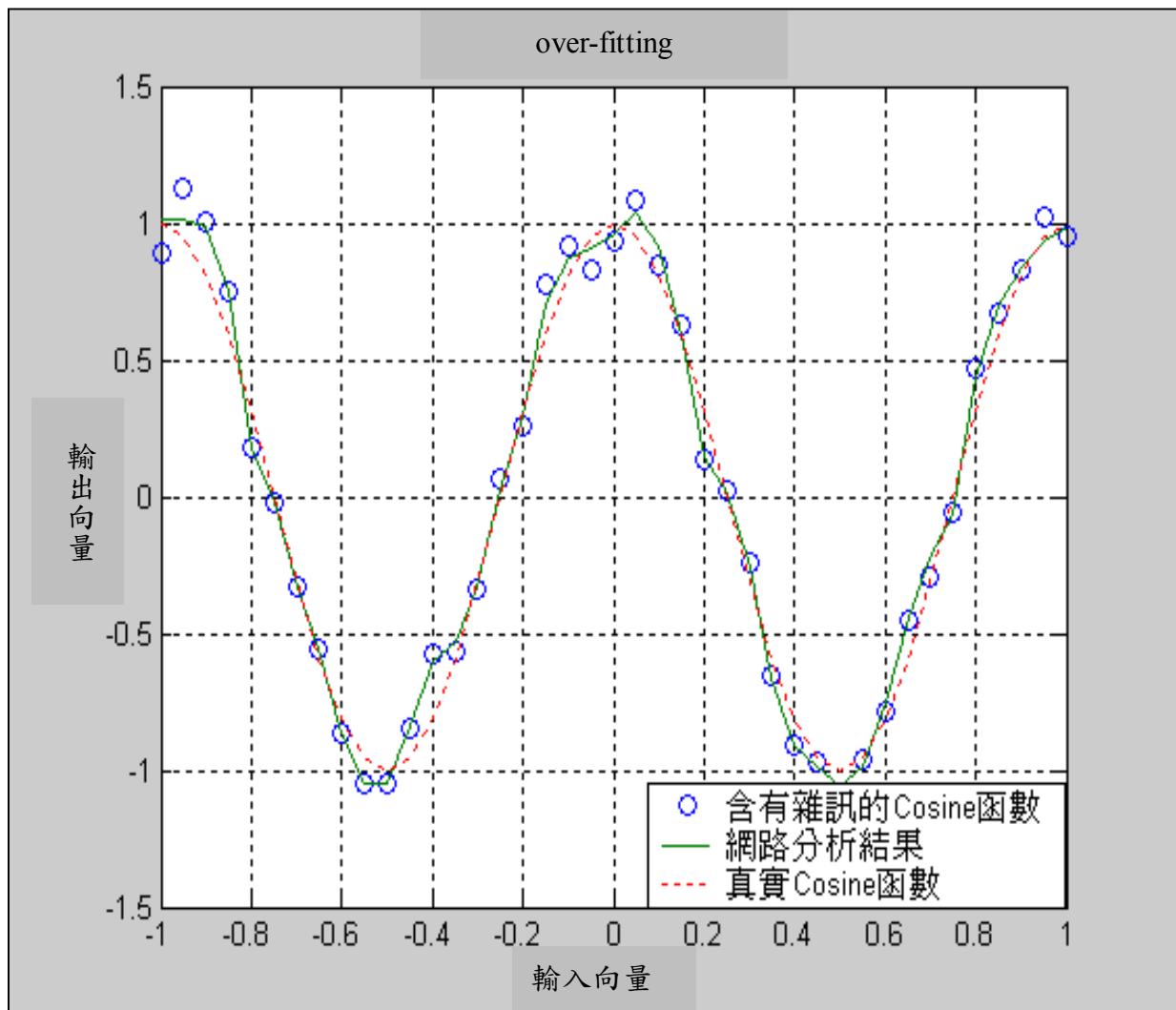


圖 2.10、Cosine 函數過度調適之範例
(羅華強，2001)

2.4.5 提昇網路廣義化能力

面對網路訓練時過度調適(over-fitting)的問題，其改善與提昇網路結構廣義化的方法則有規則化 (Regularization)之設定，即對網路訓練時性能函數進一步修改與調整，要如何修改性能函數說明如下(羅華強，2001)：

用於訓練前饋型倒傳遞網路時性能函數如(2.3)式

$$MSE = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K (d_k(p) - y_k(p))^2}{PK} \quad (2.3)$$

藉由增加由網路權重值和偏權值的均方和組合成一項以修改性能函數，則可改善提昇網路廣義化能力如(2.4)式

$$msereg = \gamma \cdot mse + (1 - \gamma)msw \quad (2.4)$$

(2.4)式中

γ ：性能比

$$msw = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N w_j^2 \quad (2.5)$$

(2.5)式中

msw：權重平方平均值



使用性能比來修正調整性能函數，使得網路結構演算訓練時可避免過度調適的問題。而針對網路結構訓練分析時決定最佳性能比的參數是困難的，如果設定太大則會產生過度調適的問題；反之則會造成訓練數據集訓練分析不足的問題。因此，本研究也針對最佳性能比的參數加以分析找尋。

2.4.6 類神經網路的範例型態

類神經網路分析所使用的資料庫，可以區分為訓練數據集與測試數據集兩種型態，其功能說明如后(葉怡成，2001)。

1. 訓練範例

用以訓練網路的範例。網路對其誤差小只能說網路具有重現性，並不代表網路具有普遍性(預測訓練範例以外範例的能力)。

2. 測試範例

在網路訓練過程中，用以測試網路的範例，其誤差小代表網路具有普遍性。

第三章 研究方法

本研究的範圍主要鎖定桃芝颱風過後，水保局所定義的一百九十九條潛勢溪流。首先應用地理資訊軟體-Arc View[®]3.2 建置土石流發生因子資料庫，進一步利用類神經網路中的倒傳遞網路，建立判定潛勢溪流是否發生土石流之網路結構。

3.1 研究區域概述

本節主要針對研究範圍南投縣地理及地質情況作整體性的概述，並說明如何透過ESRI公司推出之Arc View[®]3.2軟體，建立本研究所採用的土石流發生因子，以使日後研究者在建立相同參數資料庫時參考應用。

3.1.1 研究區域地理概述

南投縣位於臺灣中央，是全省唯一不濱海之縣份，南北長約九十五公里，東西寬約七十二公里。東以中央山脈與花蓮縣相鄰，西以八卦丘陵及清水溪與彰化縣及雲林縣相接壤，南以清水溪及玉山支脈與雲林、嘉義、高雄三縣接壤，北以北港溪與大甲溪之分水嶺(白狗大山、八仙山)及烏溪與臺中縣為界。在全省五大山系中擁有中央山脈、玉山山脈、阿里山山脈等三大山系，全省高度超過三千公尺之六十二座山峰中，位於本縣有四十一座。本縣山多平原少，山地佔約百分之八十三。

3.1.2 研究區域地質概述

臺灣本島主要的地質呈狹長的帶狀分佈，大致和臺灣的長軸平行。大致可以分為三個主要地質區(劉哲欽，2000)：

1. 中央山脈區
 - (1) 中央山脈的西翼和脊樑山嶺，包括雪山和玉山兩個最高山嶺。
 - (2) 中央山脈的東翼
2. 西部麓山地質區
3. 海岸山脈地質區

南投地區屬於中央山脈的西翼和脊樑山嶺地質區，此區大部份是深灰或灰黑色劈理良好的硬頁岩(argillite)、板岩(slate)及千枚岩(phyllite)。也說是說為經過變堅或變質的泥質岩石。這些岩石中常含有許多小石英脈，泥質岩在西部以硬頁岩為主，向東漸漸變為板岩或千枚岩；硬頁岩定義是變堅的頁岩，只受過極輕微的擠壓；如變質度增高，較硬的頁岩就漸變為板岩。這些泥質岩石的變質度從本帶的西界向東邊的先第三紀基盤或中央山脈的核心地帶逐漸增強。

白色和灰色的砂岩在巨厚的頁岩層中構成另一重要岩相，砂岩中通常夾有薄層或不規則凸鏡狀的石墨質煤或炭質頁岩。白色砂岩有時變為中粒至粗粒的石英岩，灰色砂岩則變為較細粒的硬砂岩。砂岩常成厚層塊狀，有時也夾有灰黑色使頁岩和板岩的互層。砂岩段和頁岩段之間的地層界線是屬於漸變的，在一般大比例尺的地質圖上都呈現犬牙

相錯之狀。石灰質或泥灰質的凸鏡體或結核多散佈在中央山脈高處的板岩中，層厚及層位不同而且不連續的礫石層或凸鏡體則出現在硬頁岩和板岩帶的東部及南部，所含的礫石部份來自變質基岩，部份來自硬頁岩和板岩。

3.2 建置土石流發生因子資料庫

本節為說明整個研究過程中的核心工作—建置土石流發生因子資料庫。由於資料庫的精度直接影響類神經網路的分析結果，因此如何能建立優質的資料庫以使類神經能做有效的分析實為重要，有關資料庫的取得詳述如后。

3.2.1 Arc View 簡介

ArcView[®]為一套由美國 ESRI(Environment System Research Institute Inc.)公司所發行的 GIS(Geographic Information System)軟體，並有 ArcView[®]3.x 及 ArcView[®]8.x 兩個版本。本研究所採用的是 ArcView[®]3.2 版，其主要功能為進行圖層的編輯、屬性資料庫的管理、查詢、分析、展示、製圖...等工作。並將資料處理及分析後的結果，提供給相關研究領域的專家及決策者，作為分析規劃或政府制定時的重要參考依據。

必須注意的是 Arc View[®]軟體常需要配合擴充模組(Extension)以利取得所需要的參數，可嘗試透過上網或諮詢中央大學遙測及研究中心取得所需的擴充模組。

3.2.2 資料庫取樣數量

本研究資料庫數量的決定，主要依據「土石流災害地質調查-南投、臺中地區成果報告書(92 年期末報告版)」(中央地調所，2003)。調查內容包括南投縣的土石流潛勢溪流計一九九筆，惟其中的二十二筆無紀錄資料。因此將其刪除後，計建立一七七筆南投縣的土石流潛勢溪流資料庫。

本研究將一七七筆南投縣的土石流潛勢溪流依發生歷史分為六類：

1. 僅在賀伯颱風發生土石流溪流計十筆。
2. 賀伯及桃芝皆發生土石流溪流計十一筆。
3. 僅在桃芝颱風發生土石流溪流計三十一筆。
4. 未曾發生土石流溪流計三十二筆。
5. 有發生土石流溪流但無法認定發生時間者計五十一筆。
6. 無法認定土石流發生與否溪流計四十二筆。

因此歸納 1~4 類，可分成發生土石流溪流及未發生土石流兩類，為提供本研究類神經網路分析之資料庫來源。而 5~6 類在本研究中，僅能建立不含最大時雨量及累積雨量的土石流發生因子資料庫，以提供後續研究者參考應用(詳附錄 A)。

1. 發生土石流溪流：六十三筆
 - (1) 僅在賀伯颱風發生土石溪流計十筆(代入賀伯颱風雨量資料)。
 - (2) 賀伯及桃芝皆發生土石流溪流計十一筆(代入賀伯颱風雨量資料)。

- (3) 賀伯及桃芝皆發生土石流溪流計十一筆(代入桃芝颱風雨量資料)。
- (4) 僅在桃芝颱風發生土石流溪流計三十一筆(代入桃芝颱風雨量資料)。
- 2. 未發生土石流溪流：一百零五筆
 - (1) 僅在賀伯颱風發生土石流者計十筆(代入桃芝颱風雨量資料)。
 - (2) 僅在桃芝颱風發生土石流溪流計三十一筆(代入賀伯颱風雨量資料)。
 - (3) 未曾發生土石流溪流計三十二筆(代入桃芝颱風雨量資料)。
 - (4) 未曾發生土石流溪流計三十二筆(代入賀伯颱風雨量資料)。

3.2.3 收集基本資料圖層

在使用 ArcView[®]前需先進行基本資料的收集，包括數值地形模型座標值、土石流災害溪流、水系、地質及雨量測站等圖層資料，其來源說明如下：

1. 數值地形模型座標值(中央大學遙測及研究中心，1980)

數值地形模型(DTM)是由中央大學遙測及研究中心製作，其資料密度為 40 m × 40 m 之網格資料值 (X, Y, Z)，為研究中土石流發生因子建立資料庫過程中，最為基本的資料。

2. 南投縣土石流災害溪流圖層(農委會水保局，2001)

土石流災害溪流圖層來源，是根據農委會水土保持局桃芝颱風後，公佈南投縣內一九九條潛勢溪流之所在位置。由此圖層檢核比對南投縣內發生與未發生土石流之溪流位置，以利資料庫分類。

3. 水系圖層(交通部運輸研究所，1994)

水系圖層來源是「新世紀台灣地區 1/5,000 交通路網數值地圖」，做為地理資訊系統水文模組分析時水系之比對與檢核。

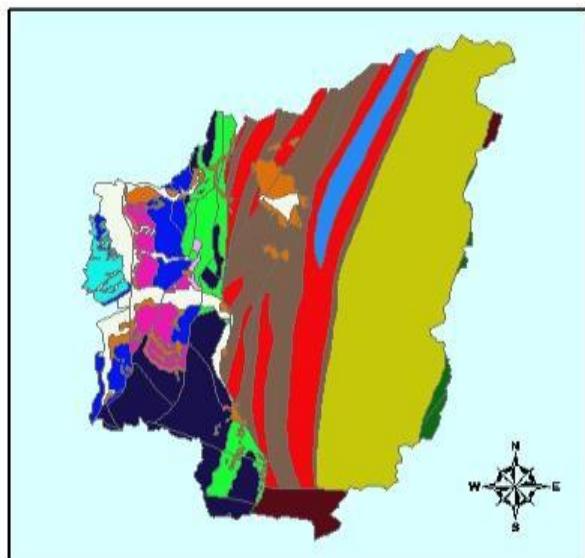
4. 地質圖(中央地調所，1986)

地質圖(詳圖 3.1)的來源是由「南投縣 1/250,000 地質圖」，作為獲得集水區地質因子時使用。

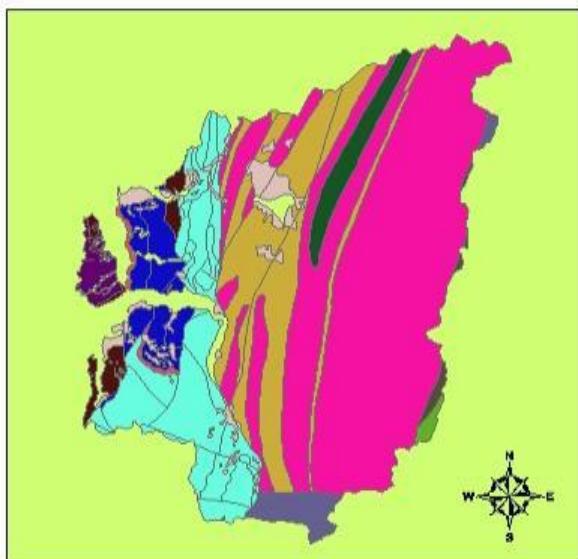
5. 南投縣雨量站分佈圖(中央氣象局，2004)

根據中央氣象局提供南投縣的雨量站(含氣象站)測站計六十七個(詳圖 3.2)，惟經 Arc View[®]軟體彙整後計三十六個雨量測站與本研究相關。又配合在桃芝颱風前三十六個雨量測站僅二十個雨量測站有紀錄資料。因此本研究採用二十個雨量測站觀測賀伯(1996)及桃芝(2001)颱風的時雨量值(詳附錄 B)。並整理成集水區最大時雨量及累積雨量兩項因子，做為土石流發生誘發因子資料庫。

南投縣地質分佈狀況



南投縣地層分佈狀態	
三峽群及其相當地層	
乾溝層	
卓蘭層及其相當地層	
四稜砂岩	
大南澳片岩	
大楠山層	
廬山層	
沖積層	
瑞芳群及其相當地層	
紅土臺地堆積	
臺地堆積	
西村層，新高層	
野柳群及其相當地層	
錦水頁岩及其相當地層	
頭嵙山層及其相當地層	



南投縣內岩石種類	
千枚岩，板岩，夾砂岩	
玄武岩質凝灰岩及岩流	
石英岩，板岩，煤質頁岩	
砂岩，泥岩，頁岩	
砂岩，頁岩	
硬頁岩，板岩，千枚岩	
硬頁岩，砂頁岩，砂岩	
礫岩	
礫石，土，砂	
紅土，礫石，土，砂	
變質石灰岩	
頁岩，砂質頁岩，泥岩	
黑色片岩，綠色片岩，矽質片岩	

國立交通大學
環境地工實驗室

圖 3.1、南投縣內地質分佈圖

(中央地調所，1986)

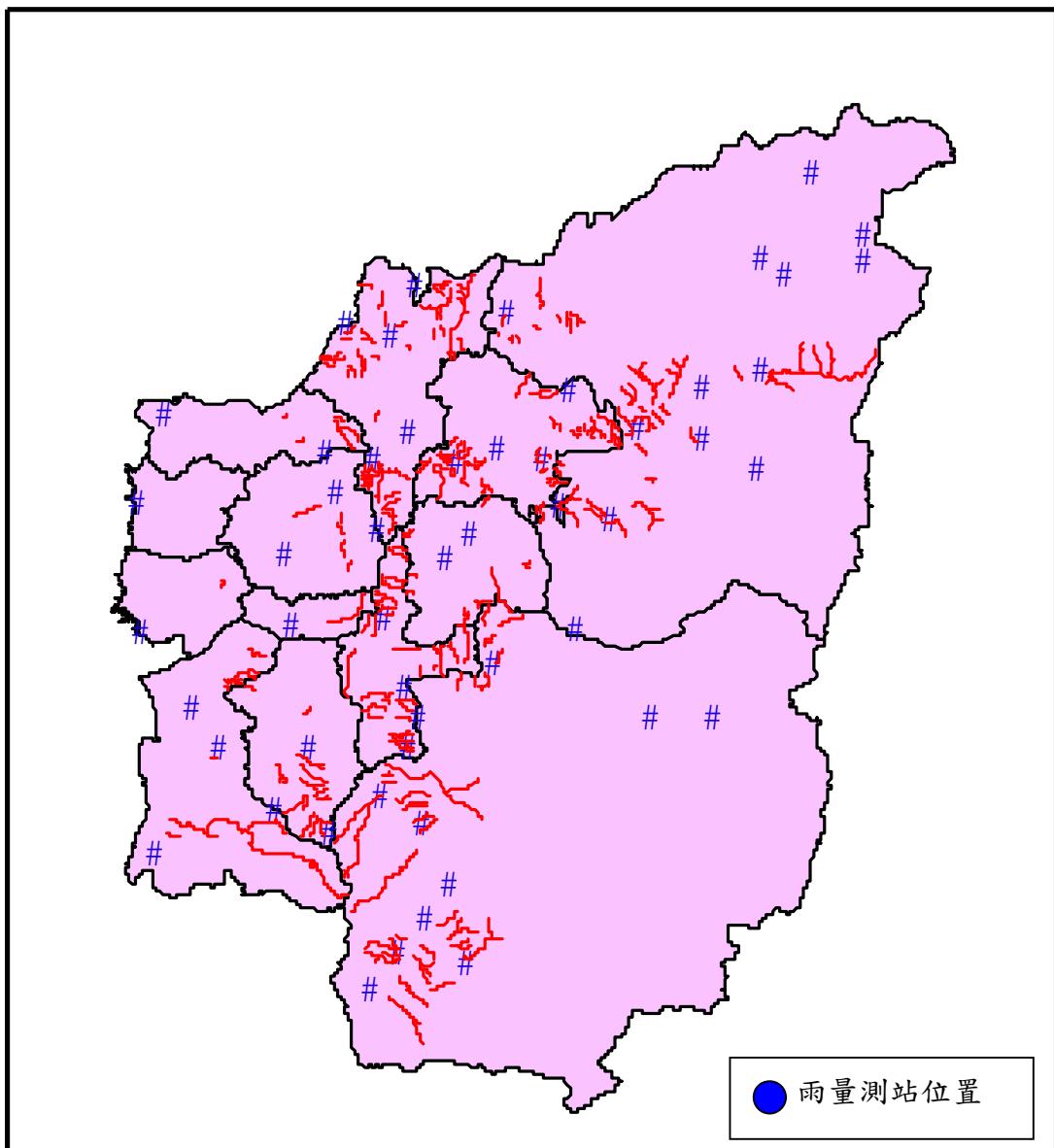


圖 3.2、南投縣六十七個雨量測站分佈情況
(中央氣象局, 2004)

3.2.4 獲得資料庫的流程

本節將簡要說明獲得資料庫的流程(詳圖 3.3)，另有關如何透過 ArcView®3.2 如何取得土石流發生因子的操作流程可參閱附錄 C。

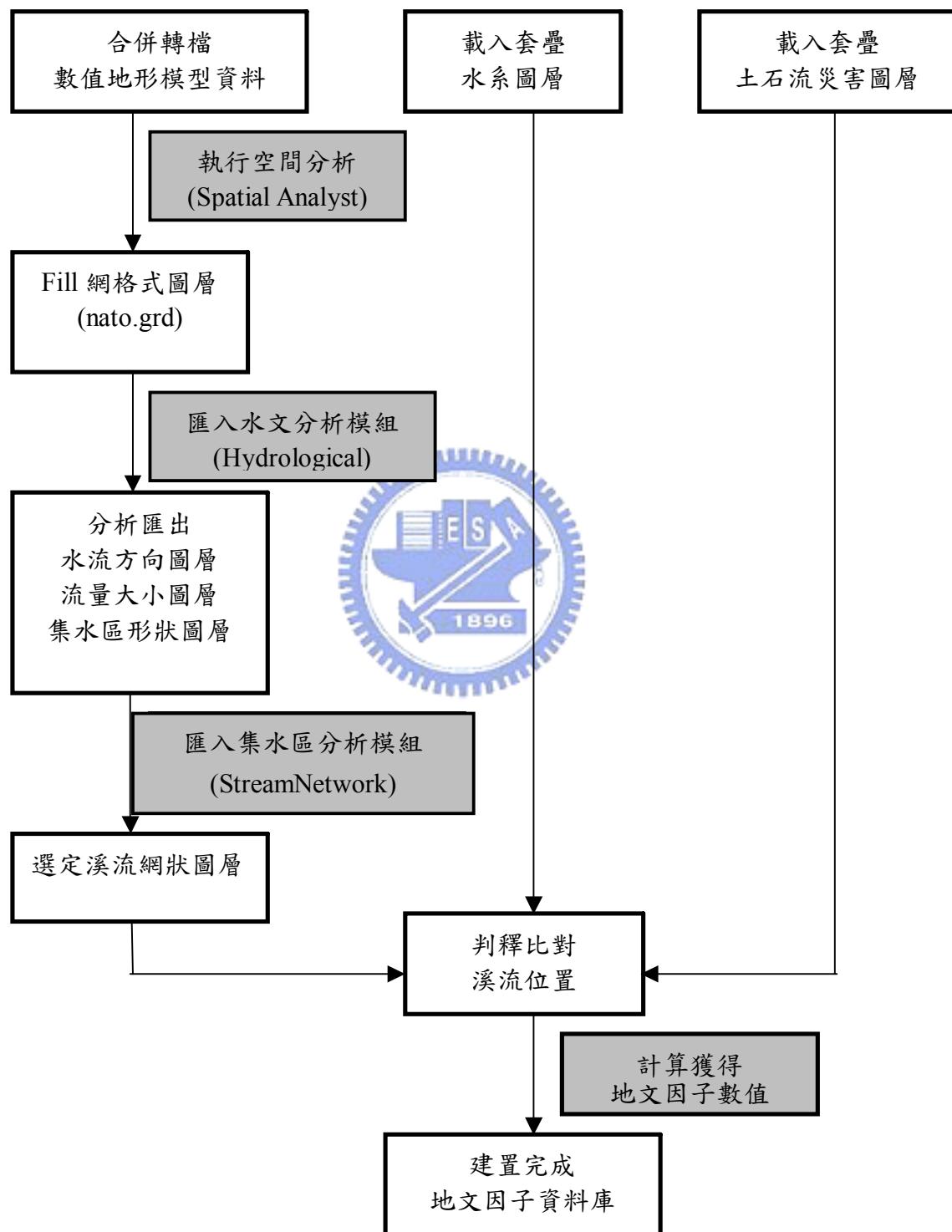


圖 3.3、地文因子資料庫建置流程圖

- 由中央大學遙測及研究中心所獲得的 DTM(nato.dat)需先進行轉檔(nato.txt)，以使 ArcView[®]能讀取資料。其中南投縣的 DTM 圖幅編碼為 9519、9520、9521、9619、9620、9621。因資料容量過大無法一次轉檔成功，因此在轉檔時需分批逐次，並加以編碼以使資料不致混淆，整理後可得整個南投縣的網格圖層 nato.grd(詳圖 3.4)。
- 俟建立南投縣 nato.grd 後，可依序獲得 Filled DEM(詳圖 3.5)、流向圖層 Flow Direction(詳圖 3.6)、流量圖層 Flow Acc(詳圖 3.7)。於此開始，進行比對溪流的動作，以確認實際溪流的絕對位置，比對過程需設定「門限流量」值。所謂門限流量值係指當網格達到某一累積流量後，該網格即有地表逕流產生。不同的門限流量會產生不同的河川密度，本研究設定 50、100、150 三種門限流量值(詳圖 3.8、圖 3.9、圖 3.10)。由圖中得知：當門限流量越低時，經由 DTM 資料所自動萃取出之河川網路，會較門限流量高者有密且長之趨勢。此因當門限流量越低時，表示地面上任意網格欲形成地表逕流所需之累積流量越少，是以有較多之網格被認定有地表逕流發生所產生的結果。檢核比對「新世紀台灣地區 1/5,000 交通路網數值地圖」(交通部運輸研究所，1994)，及「南投縣土石流災害溪流圖層」(水保局，2001)，以符合兩個圖層(詳圖 3.11、3.12)的情況時認定該溪流存在。結果以設定門限流量 100 時與實際溪流分佈最為相符。

- 土石流發生因子取得

- (1) 集水區面積

應用集水區分析模組(Basin1.avx)，可逐一描繪出選取溪流集水區的形狀，並計算出集水區面積(詳圖 3.13)。

- (2) 溪流主要河川長度、溪床曲面長度、溪床平均坡度及形狀係數：

配合 Surface Tools 可求取出本項前三項參數，另形狀係數只需將集水區面積/(溪流主要河川長度)² 即可得知。

- (3) 集水區地質

各個集水區的往往參雜一種以上的地質條件，因此，先以「南投縣 1/250,000 地質圖」(中央地調所，1986)做為底圖，進而與各個集水區套疊。然後再逐一比對取得各集水區的地質條件(詳圖 3.14、附錄 D)。

- (4) 集水區坡向

Arc View[®]軟體內建為九個坡向，分別 Flat(-1)平地、North(北方)、Northeast(東北方)、East(東方)、Southeast(東南方)、South(南方)、Southwest(西南方)、West(西方)、Northwest(西北方)。本研究採用四個坡向，分別為東北方(方位角 0°~90°)、東南方(方位角 91°~180°)、西南方(方位角 181°~270°)、西北方(方位角 271°~360°)。

- (5) 最大時雨量及累積雨量

降雨資料使用詳細之時雨量資料，資料來源為交通部中央氣象局(2004)之雨量站資料。首先必需根據土石流潛勢溪流案例地點，選擇適當之雨量測站點(詳圖 3.15)，也就是選擇距案例點愈近之雨量站愈能代表該案例之降雨特性。因此參考「淡水河流域降雨時空分析及推估」(蔡玉琴，1994)，文中所提及之「距離平方反比法」來計算案例點之降雨量，說明如下：

現象在空間上之變遷大部份不應該是突然的，而是漸變的，距離平方反比法的未知點就是以鄰近點距離遠近之平方值來決定權重，愈近權重值愈大，愈能表現未知點之特性。

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(X_i) \quad (3.1)$$

$$\lambda_i = \frac{f(d_{0i})}{\sum_{i=1}^n f(d_{0i})} \quad (3.2)$$

$$d_{0i} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (3.3)$$

(3.1)~(3.3)式中， $Z(X_0)$ 為集水區雨量值

$Z(X_i)$ 為雨量站觀測值

λ_i 為集水區與雨量站的權重係數

d_{0i} 為集水區與雨量站的距離

在雨量資料上，本研究選用集水區最大時雨量與集水區累積雨量作為影響土石流發生因子之誘發條件，整理如附錄 B。

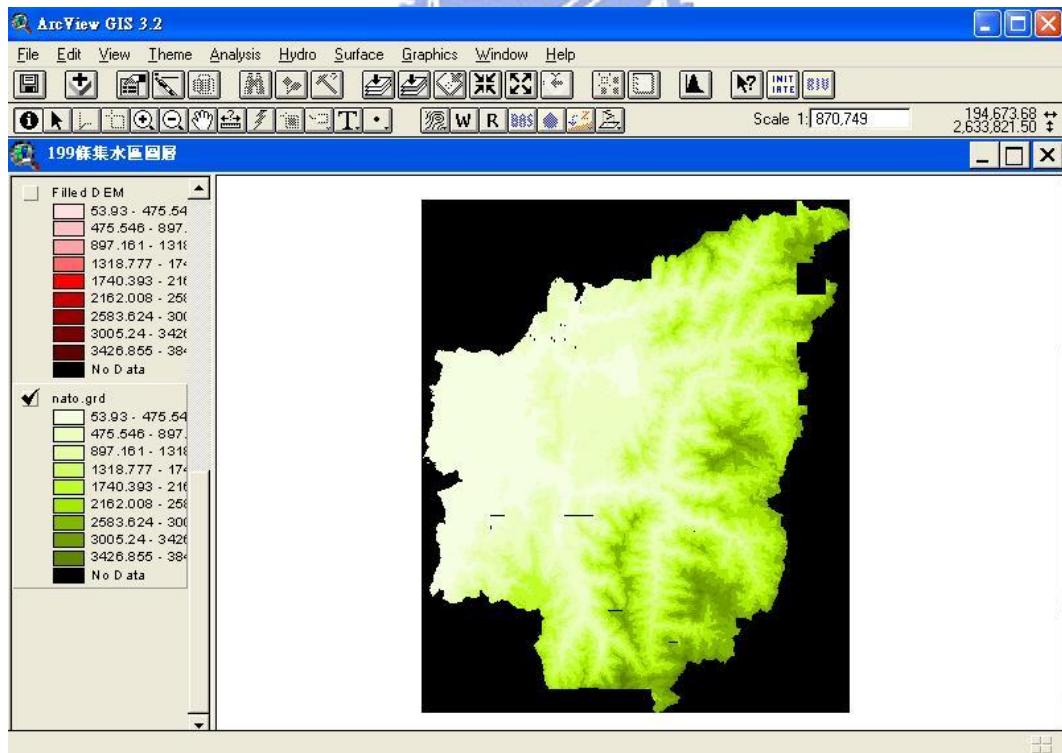


圖 3.4、南投縣 40m×40m 網格圖層(nato.grd)

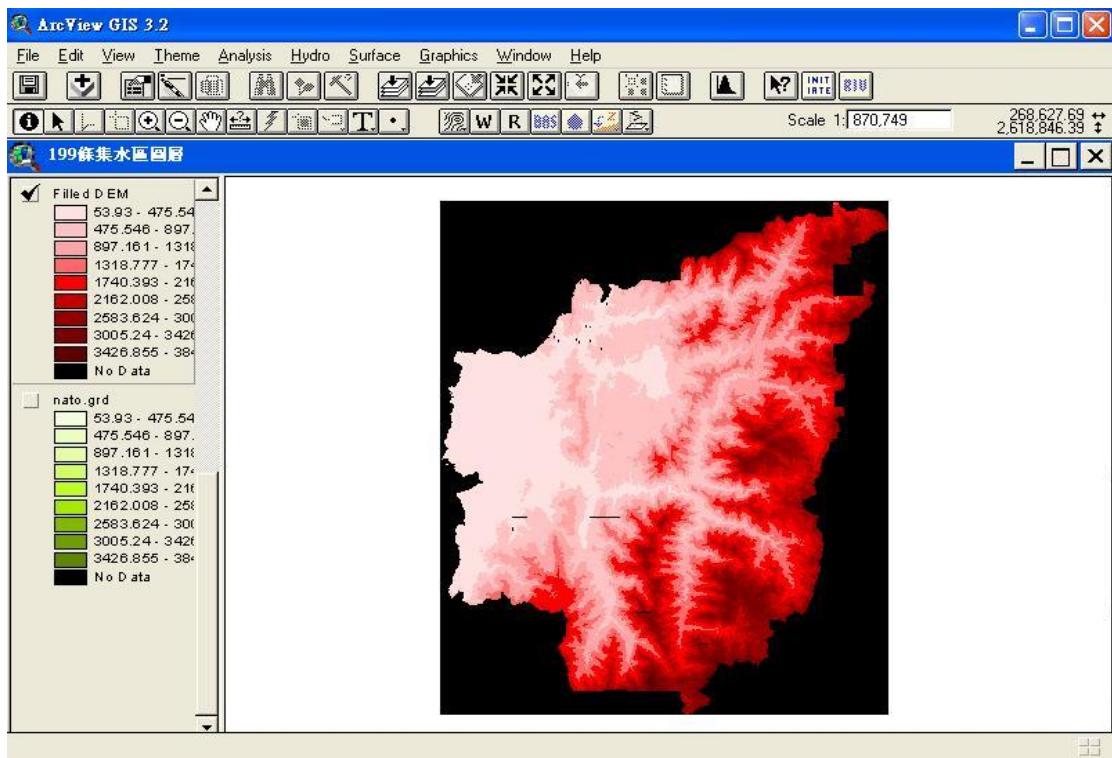


圖 3.5、nato.grd 經 Fill 後之圖層(Filled DEM)

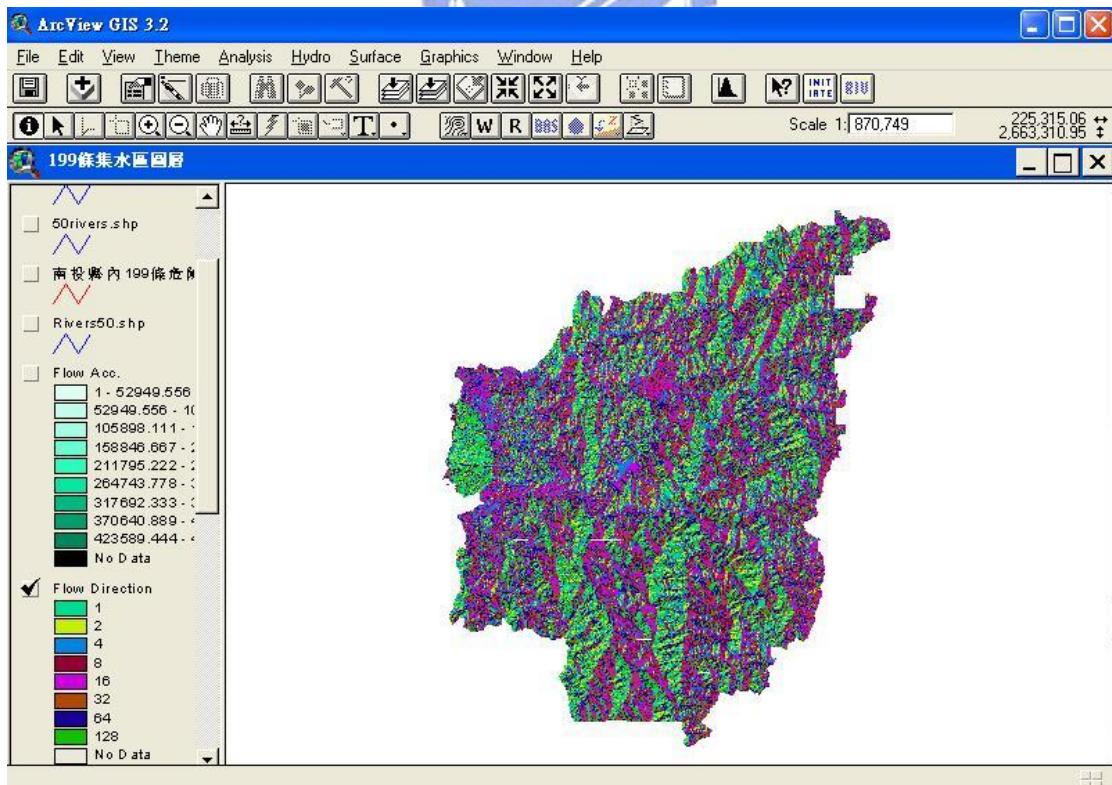


圖 3.6、流向圖層(Flow Direction)

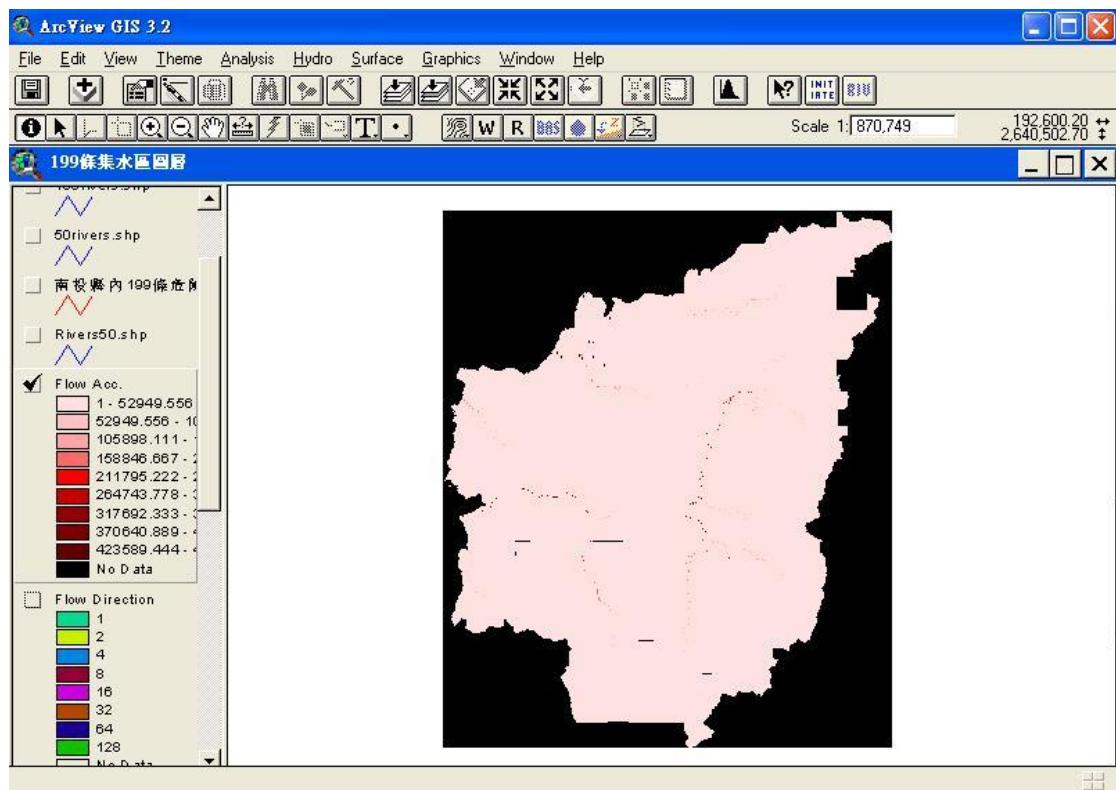


圖 3.7、流量圖層(Flow Acc)

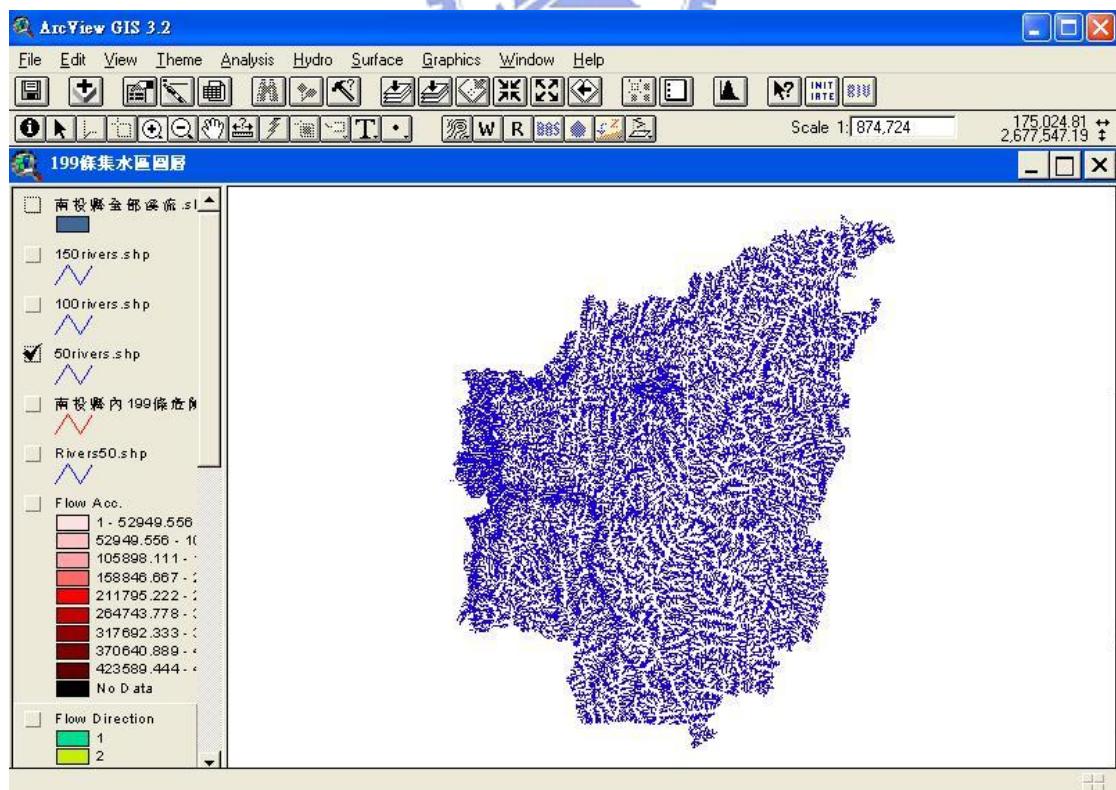


圖 3.8、門限流量 50 河川密度圖

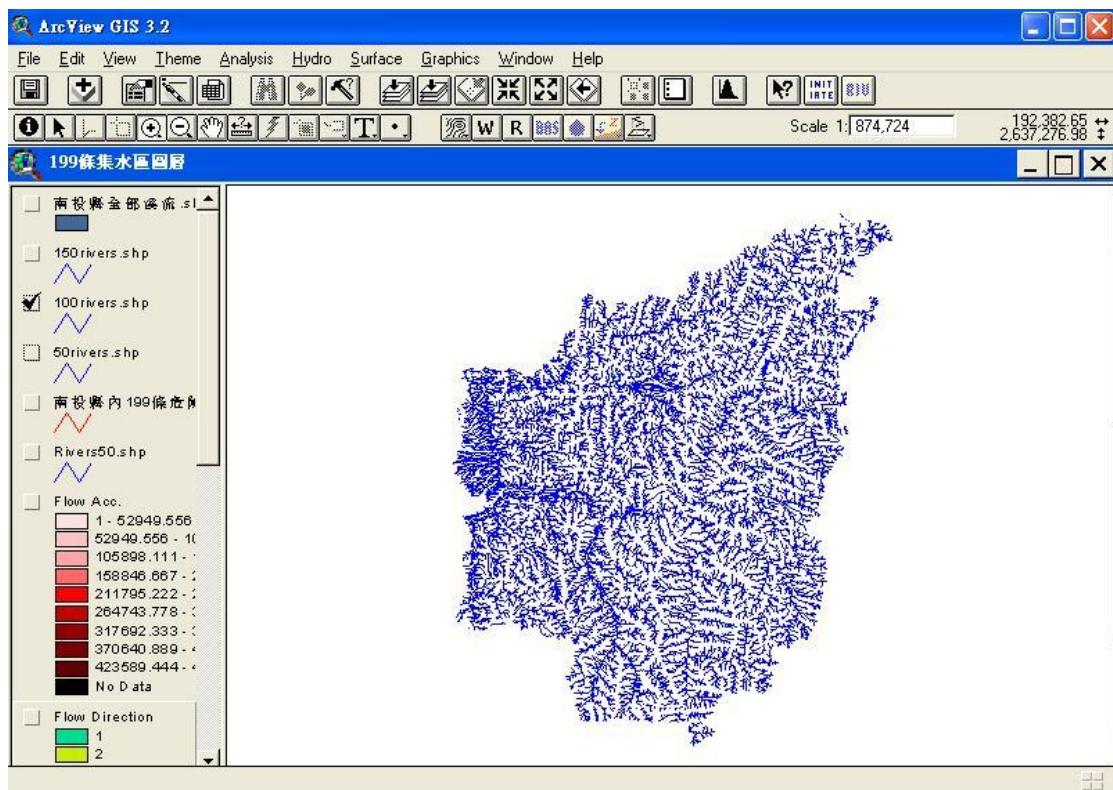


圖 3.9、門限流量 100 河川密度圖(本研究採用)

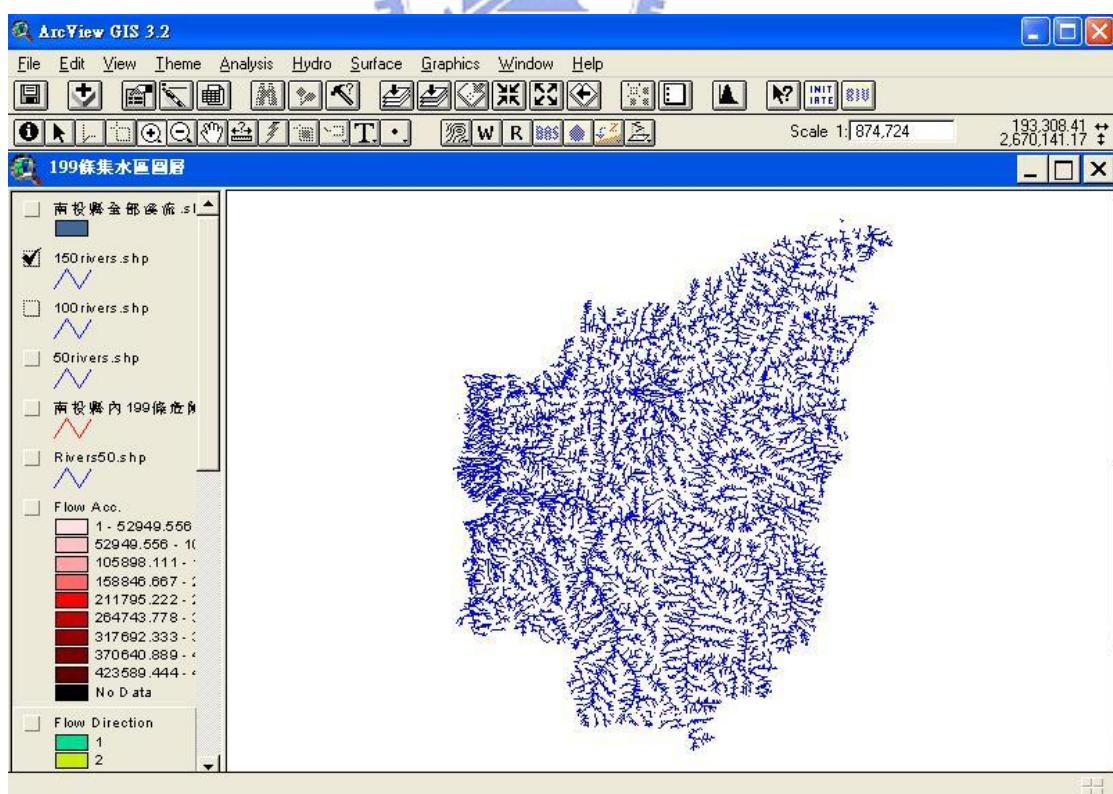


圖 3.10、門限流量 150 河川密度圖

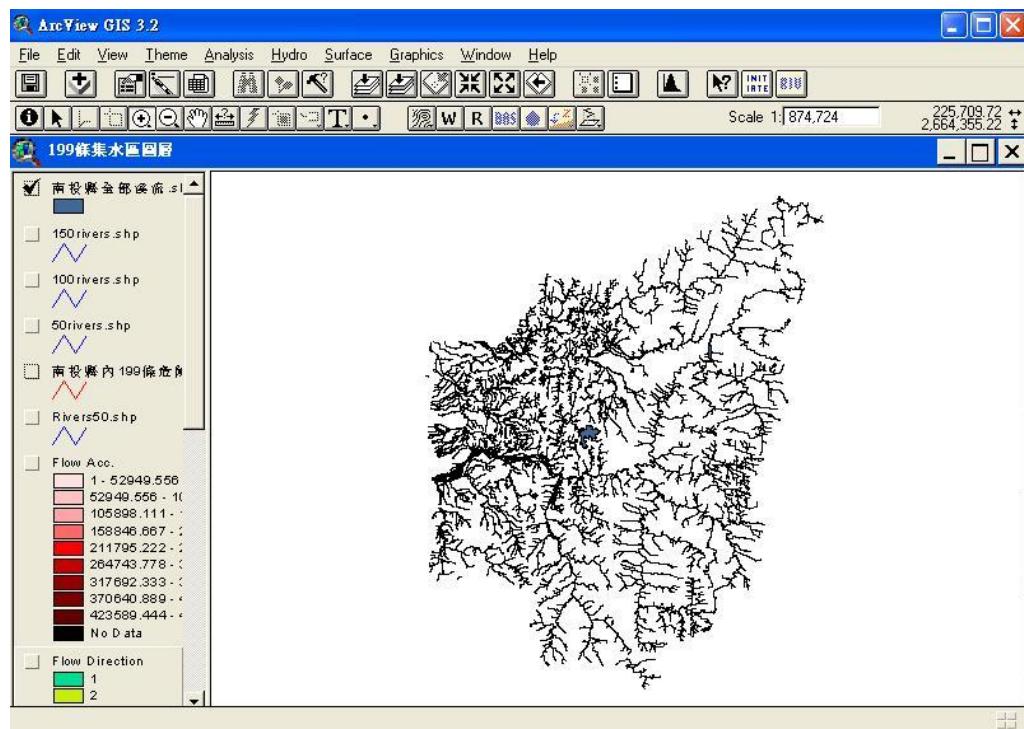


圖 3.11、新世紀台灣地區交通路網數值圖層
(交通部運輸研究所，1994)

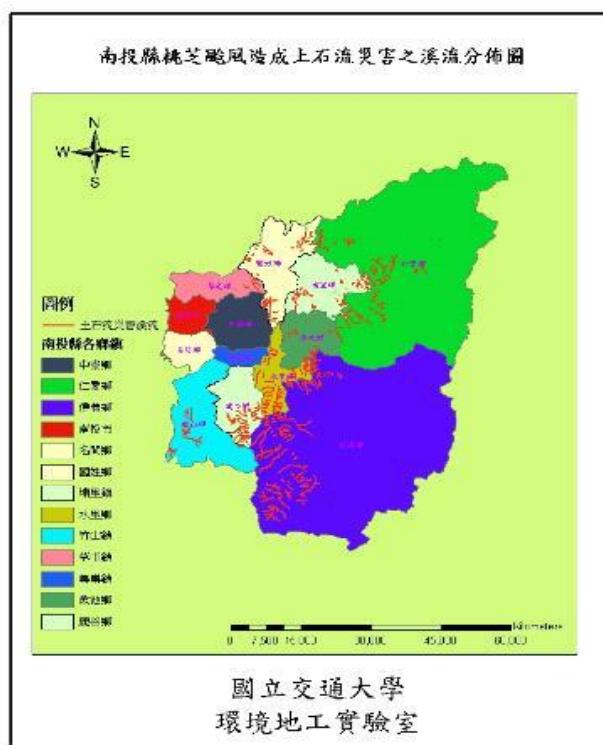
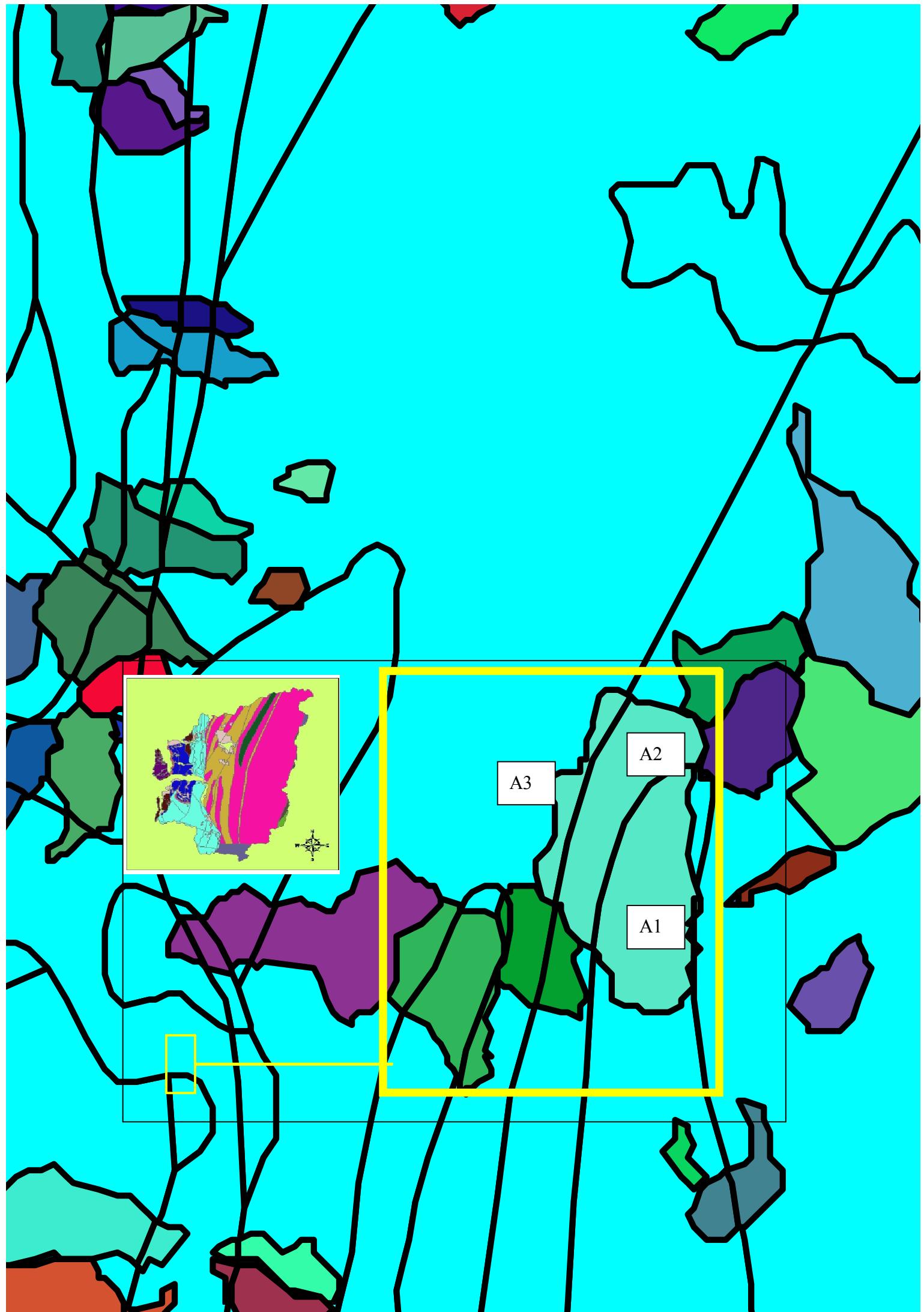


圖 3.12、南投縣土石流災害溪流圖層
(農委會水保局，2001)



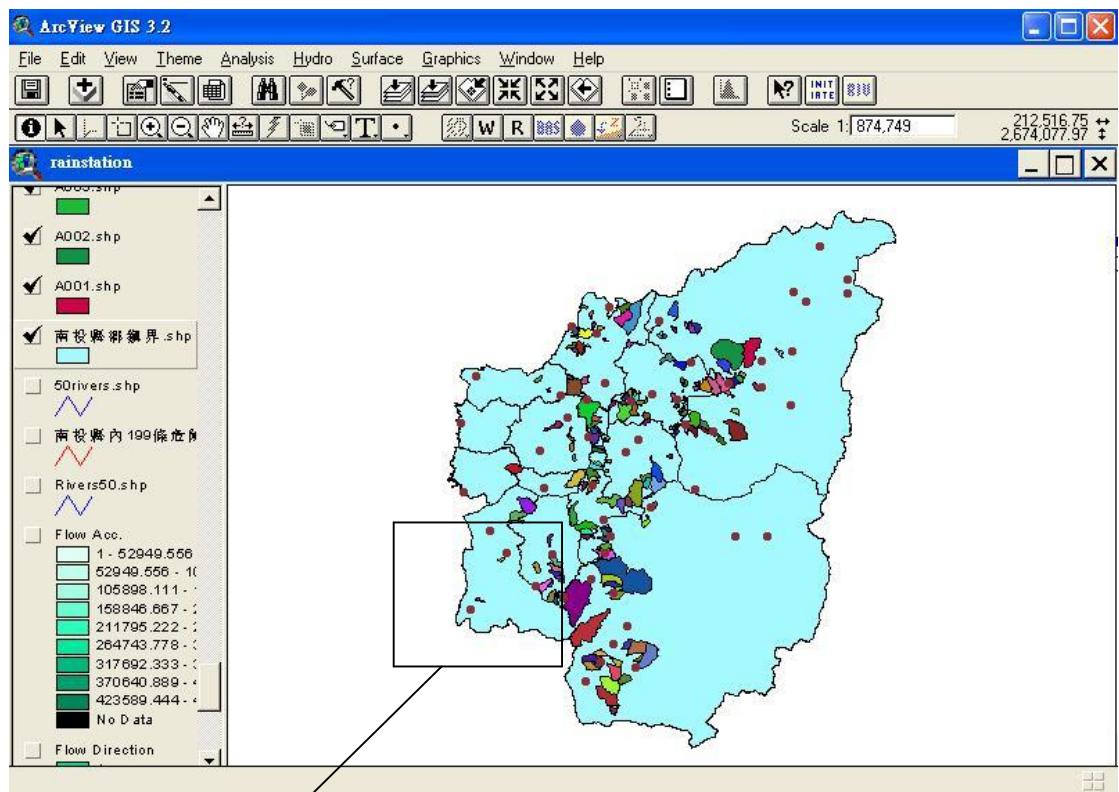
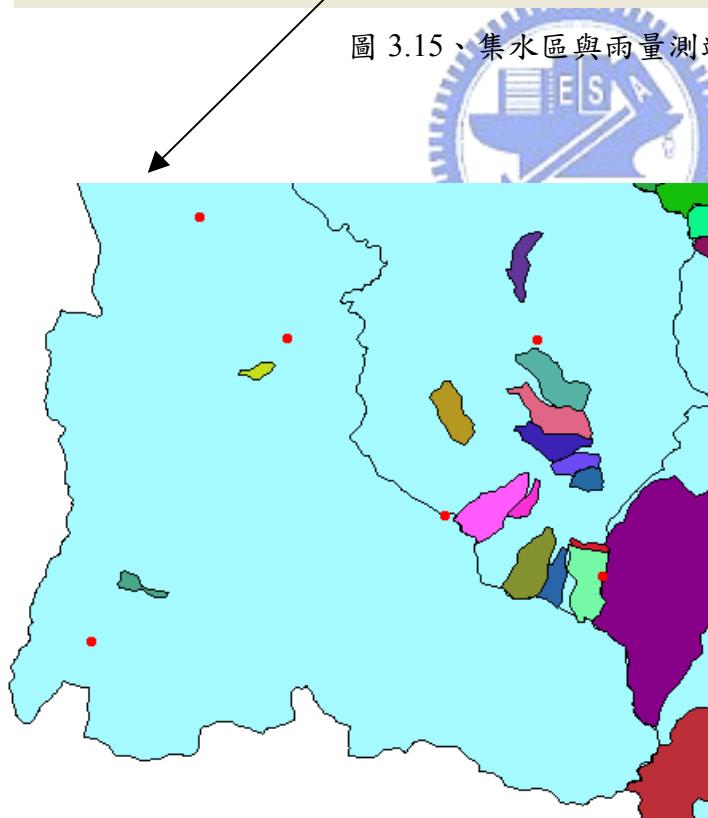


圖 3.15、集水區與雨量測站圖層之套疊



3.3 本研究倒傳遞網路參數設定

本研究採用 MathWork 公司所研發出版 MATLAB[®]6 之程式語言，做為倒傳遞網路分析的工具。整個網路分析過程分成兩個部份：首先為決定網路最佳性能比，進而篩選出不同隱藏層訓練結果符合預期之網路結構；再以設定每次網路訓練循環 5,000 次，進行 1,000 次的反覆演算，最後選定最佳網路結構。

3.3.1 決定最佳性能比

性能比數值介於 0~1 之間，本研究找尋最佳性能比之方法與過程詳述如后：

1. 分析目的

從 0~1 數值之間平均區分出五十個不同性能比數值，做為倒傳遞網路分析之參數；再依據網路訓練結果，篩選出訓練數據集與測試數據集之正確率，符合最高且最接近兩個原則之性能比，定義為該網路結構之最佳性能比。

2. 設定初始條件

- (1) 正規化：將發生土石流 63 筆及未發生土石流 105 筆範例，正規化至 0~1。
- (2) 取樣方式：採固定範例。
- (3) 訓練數據集：各 43 筆發生與未發生土石流溪流範例。
- (4) 測試數據集：各 20 筆發生與未發生土石流溪流範例。
- (5) 訓練演算法：Levenberg Marquardt 演算法。
- (6) 轉移函數：正切雙彎曲函數(詳圖 3.16(a)、(b))。
- (7) 訓練循環次數：5,000 次。
- (8) 性能函數：msereg(2.4)式。
- (9) 性能比範圍區段數：50 個。

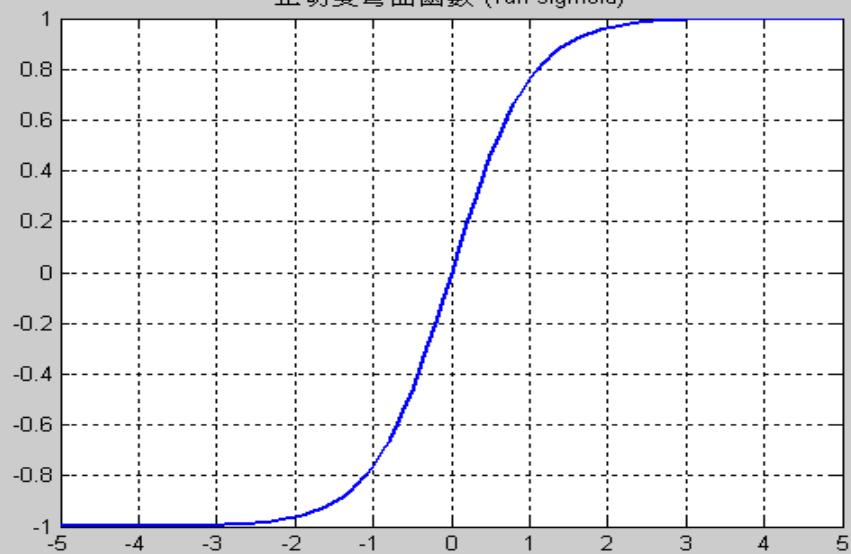
3.3.2 決定最佳網路結構

1. 分析目的

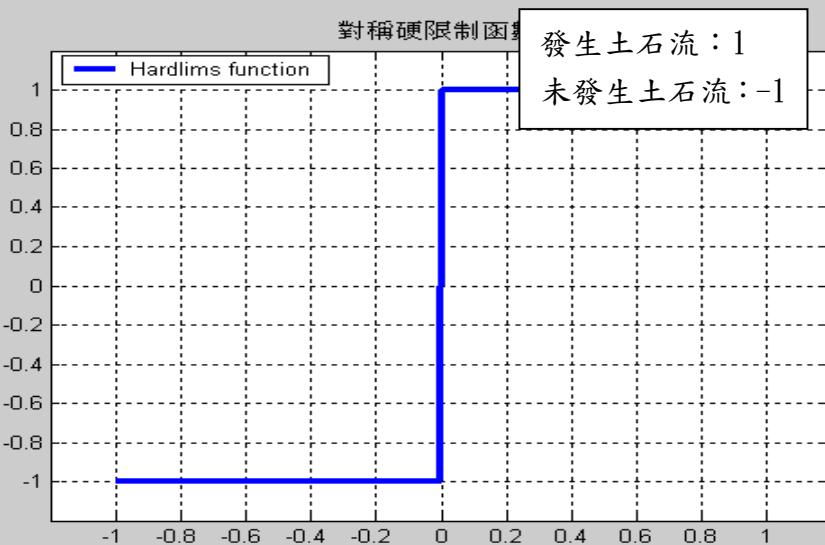
透過 3.3.1 節決定最佳性能比後，基於網路的初始權重為隨機取樣，以及部份範例未經網路測試。因此為驗證所選取網路的穩定性及廣義性，再將網路以 1,000 次的反覆測試結果平均，做為本研究選定最佳網路之依據。

- (1) 應用 3.3.1 節決定的網路結構及最佳性能比。
- (2) 取樣方式：詳表 4.2 及表 4.3。
- (3) 訓練數據集：詳表 4.2 及表 4.3。。
- (4) 測試數據集：詳表 4.2 及表 4.3。。
- (5) 訓練演算法：Levenberg Marquardt 演算法。
- (6) 轉移函數：正切雙彎曲函數(詳圖 3.16(a)、(b))
- (7) 訓練循環次數：5,000 次/每次網路訓練次數。
- (8) 網路訓練次數：1,000 次。

正切雙彎曲函數 (Tan-sigmoid)



對稱硬限制函數



第四章 結果與討論

基於第三章研究方法的架構下，可獲取本研究倒傳遞網路的輸出結果，並藉此比較討論與前人研究之異同。

4.1 最佳性能比

本研究網路結構嘗試由無隱藏層、一層隱藏層及兩層隱藏層漸增的方式，在不同網路結構下將性能比 0~1 均分成五十個區間。因此可以決定出各網路結構的最佳性能比。

最佳性能比決定的原則，在同時符合下列情況時，定義為最佳性能比。

1. 訓練數據集與測試數據集正確率差距小於 5%。
2. 訓練數據集正確率大於測試數據集。
3. 正確率最高。
4. 網路處於穩定狀態。

在測試所有的網路結構後(詳附錄 E)，針對幾個特例，特別加以說明。

- (1) 無隱藏層網路之性能比-正確率曲線。
- (2) 一層隱藏層一個神經元網路之性能比-正確率曲線。
- (3) 一層隱藏層四個神經元網路之性能比-正確率曲線。
- (4) 一層隱藏層五個神經元網路之性能比-正確率曲線。

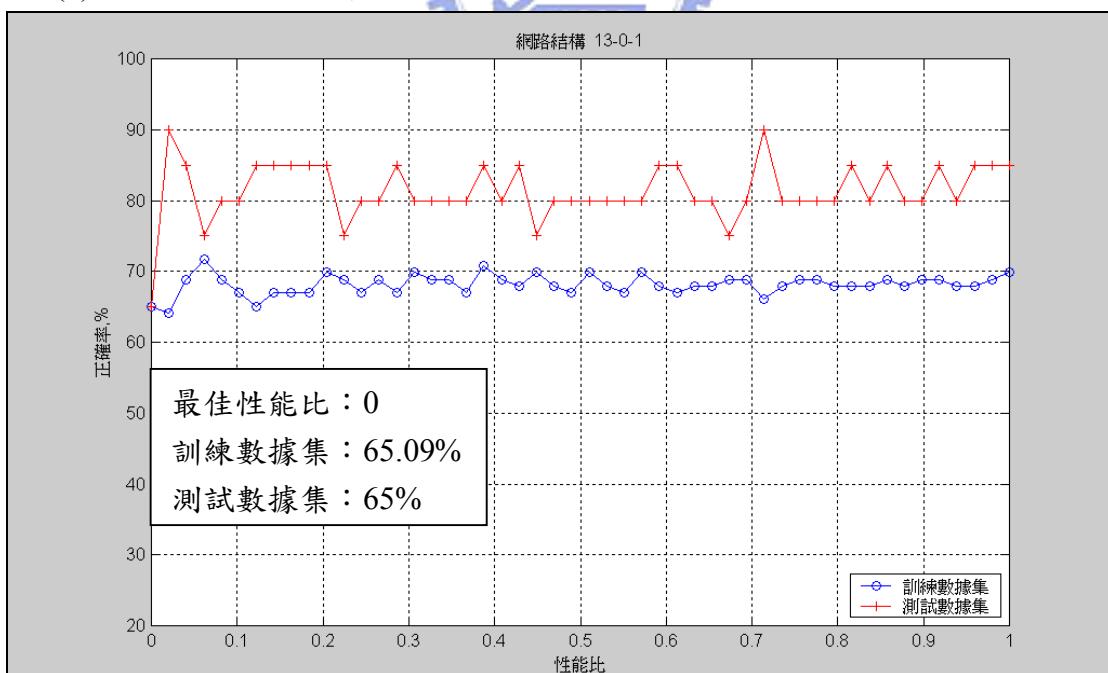


圖 4.1、無隱藏層網路訓練結果

由圖 4.1 觀察得知，五十個性能比所對應的訓練數據集正確率。除了性能比在 0 時符合最佳性能比選定原則外，其餘全部小於測試數據集的正確率。因此，判定最佳性能比為 0，訓練數據集正確達 65.09%；測試數據集正確率達 65%。

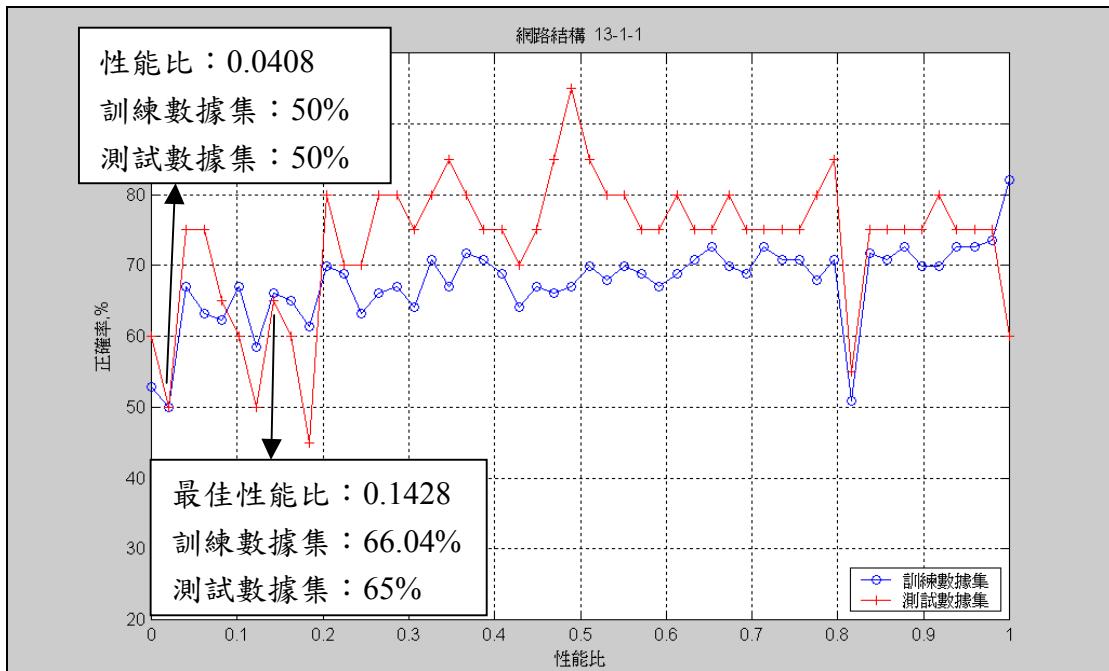


圖 4.2、一層隱藏層一個神經元網路訓練結果

由圖 4.2 觀察得知，五十個性能比中符合最佳性能比決定原則者，分別為性能比 0.0408 及 0.1428。分別對應訓練數據集正確率達 50% 及 66.038%；測試數據集正確率達 50% 及 65%。因此，最佳性能比為 0.1428。

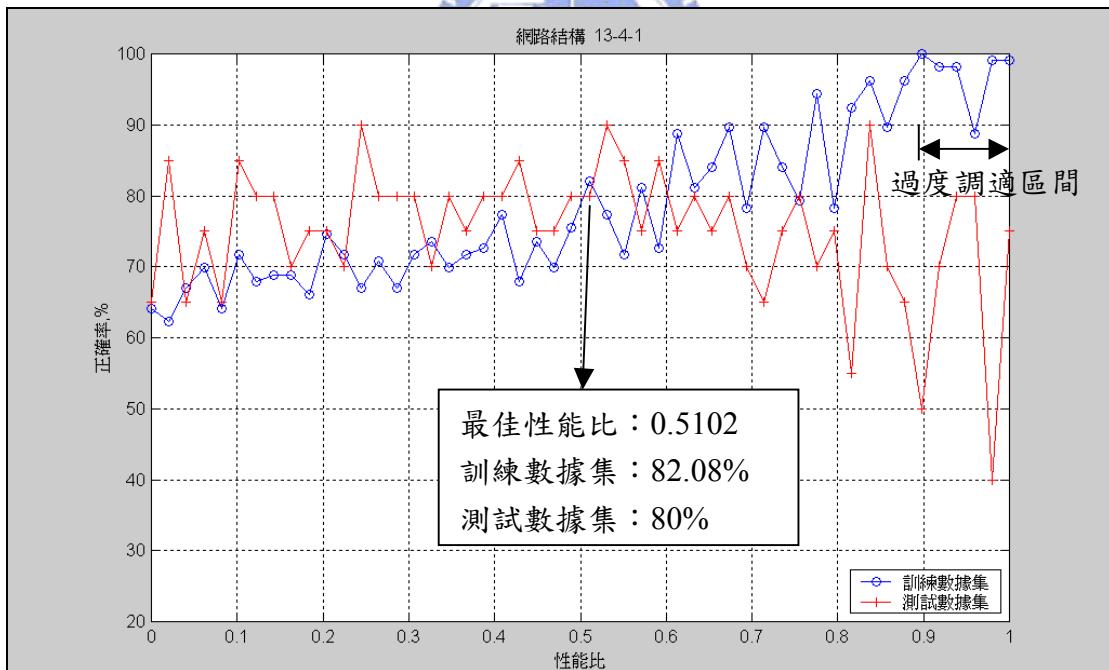


圖 4.3、一層隱藏層四個神經元網路訓練結果

由圖 4.3 觀察得知，性能比 0.9184~1，訓練數據集正確率已接近 100%，而測試數據集正確率卻低於 80%。說明網路自四個神經元以後已開始產生過度調適(over-fitting)的情況，而發生過度調適的性能比區間，本研究稱為「過度調適區間」。並且得知最佳性能比為 0.5102，對應訓練數據集正確率達 82.075%；測試數據集正確率達 80%。

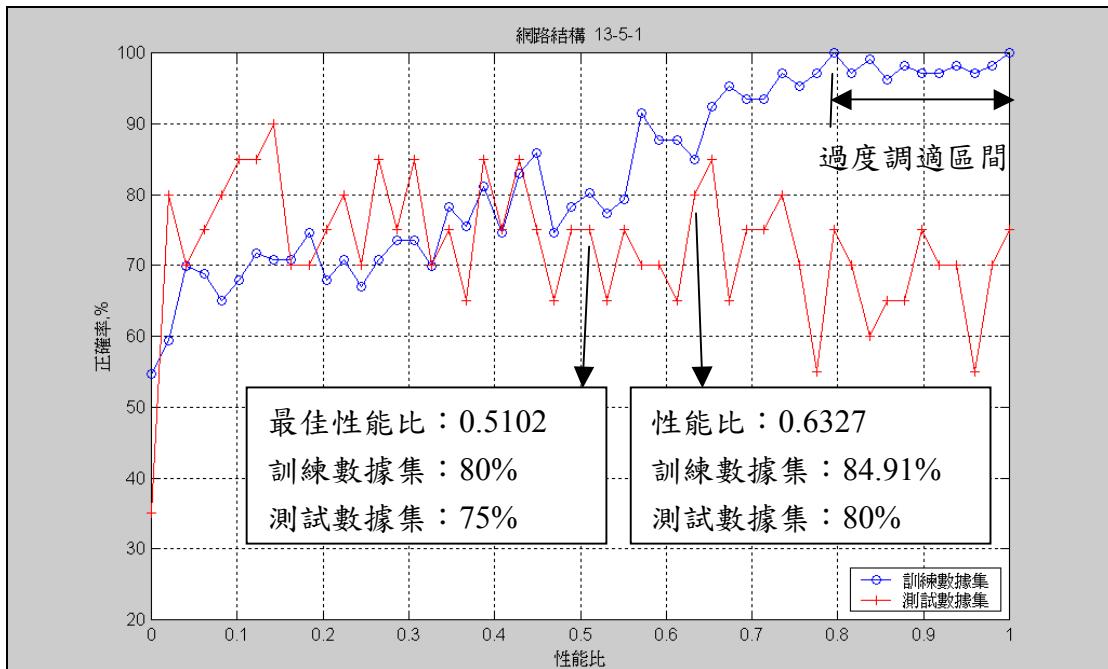


圖 4.4、一層隱藏層五個神經元網路訓練結果

由圖 4.4 觀察得知，初步選定最佳性能比為 0.6327，對應訓練數據集正確率達 84.91%；測試數據集正確率達 80%。但同時也可得知，性能比 0.6122 及 0.6531，分別對應訓練數據集及測試數據集正確率達 88.25% 及 65%；95% 及 65%。誤差差距達 23.25% 及 30%，網路震盪的現象相當明顯，呈現網路不穩定的情況。因此，再次觀察得知，性能比 0.5102，雖輸出正確率不及性能比 0.6327，但取決其網路較穩定的條件，定義為最佳性能比。所對應訓練數據集正確率達 80%；測試數據集正確率達 75%。

4.2 最佳網路結構

本研究所有經過測試的網路結構(詳表 4.1)，在決定最佳性能比後。再依最佳網路結構決定的原則，分別在一層及兩層隱藏層中，各篩選出一個符合預期的網路結構(詳圖 4.5、圖 4.6)，本研究選定一個隱藏層四個神經元(13-4-1)及兩層隱藏層三個及六個神經元(13-3-6-1)，進一步加強反覆訓練達 1,000 次。

- 最佳網路結構決定原則，在同時符合下列情況時，定義為最佳網路結構。
1. 網路結構呈穩定狀態，訓練數據集及測試數據集之性能比-正確率曲線，不會產生突然震盪的現象。
 2. 在網路輸出結果差異不明顯時，以選取訓練時間耗費較少者為原則。
 3. 選取網路結果正確率最高者為原則。
 4. 訓練數據集與測試數據集之性能比-正確率曲線中，所謂正確率為發生土石流正確率及未發生土石流正確率之算術平均值，決定時以選取兩者正確率最為接近者為原則。

表 4.1、各網路結構之最佳性能比

序號	隱藏層	網路結構	最佳性能比	訓練數據集 正確率 (%)	測試數據集 正確率 (%)	誤差 (%)	過度調適區間
1	0	13×0×1	0	65.09	65.00	0.09	0
2	1	13×1×1	0.1429	66.04	65.00	1.04	0
3	1	13×2×1	0.8367	76.42	75.00	1.42	0
4	1	13×3×1	0.8163	76.42	75.00	1.42	0
5	1	13×4×1	0.5102	82.08	80.00	2.08	0.9183~1
6	1	13×5×1	0.5102	80.00	75.00	5.00	0.8163~1
7	1	13×6×1	0.2245	76.68	75.00	1.68	0.6939~1
8	1	13×7×1	0.2834	81.28	80.00	1.28	0.7143~1
9	1	13×8×1	0.2834	81.23	80.00	1.23	0.6735~1
10	1	13×9×1	0.2658	78.34	75.00	3.34	0.5918~1
11	1	13×10×1	0.2653	82.08	80.00	2.08	0.4898~1
12	1	13×11×1	0.1225	76.42	75.00	1.42	0.5510~1
13	1	13×12×1	0.0612	75.74	75.00	0.74	0.5918~1
14	2	13×3×3×1	0.2857	75.00	70.00	5.00	0
15	2	13×3×6×1	0.5714	89.62	85.00	4.62	0
16	2	13×3×9×1	0.2857	83.02	80.00	3.02	0
17	2	13×3×12×1	0.1633	67.87	65.00	2.87	0
18	2	13×6×3×1	0.3673	85.00	85.00	0.00	0.7959~1
19	2	13×6×6×1	0.1224	72.00	70.00	2.00	0.5714~1
20	2	13×6×9×1	0.2041	80.00	80.00	0.00	0.4898~1
21	2	13×6×12×1	0.1837	78.25	75.00	3.25	0.4286~1
22	2	13×9×3×1	0.2041	83.02	80.00	3.02	0.4694~1
23	2	13×9×6×1	0.1225	84.91	84.91	0.00	0.4286~1
24	2	13×9×9×1	0.1020	81.13	80.00	1.13	0.3469~1
25	2	13×9×12×1	0.0408	71.70	70.00	1.70	0.3878~1
26	2	13×12×3×1	0.1429	80.19	80.00	0.19	0.3673~1
27	2	13×12×6×1	0.0204	68.00	65.00	3.00	0.3673~1
28	2	13×12×9×1	0.1429	83.96	80.00	3.96	0.2857~1
29	2	13×12×12×1	0.0245	75.00	70.00	5.00	0.3673~1

由表 4.1 觀察得知幾點結論：

- (1) 隨著網路隱藏層神經元的增加，開始發生過度調適的性能比有逐漸變小的趨勢，也就是過度調適區間逐漸增加。
- (2) 在過度調適區間中，訓練數據集與測試數據集正確率，誤差明顯增加。
- (3) 網路隱藏層神經元的增加，有助於提升訓練數據集及測試數據集正確率，但並非是無限上綱。

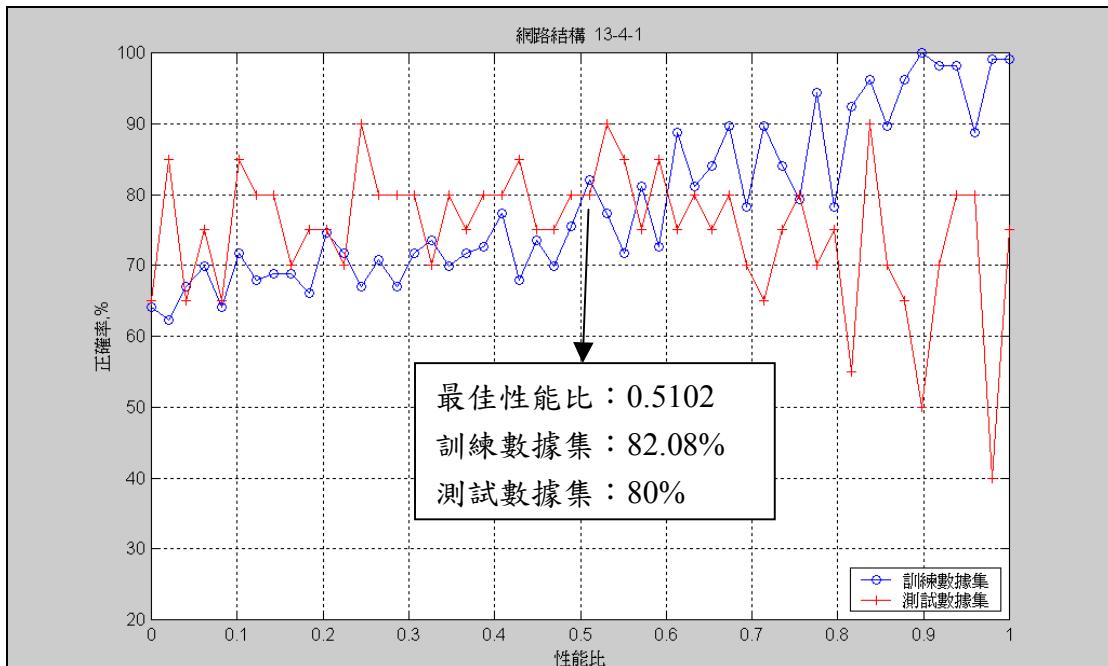


圖 4.5、一層隱藏層四個神經元網路訓練結果

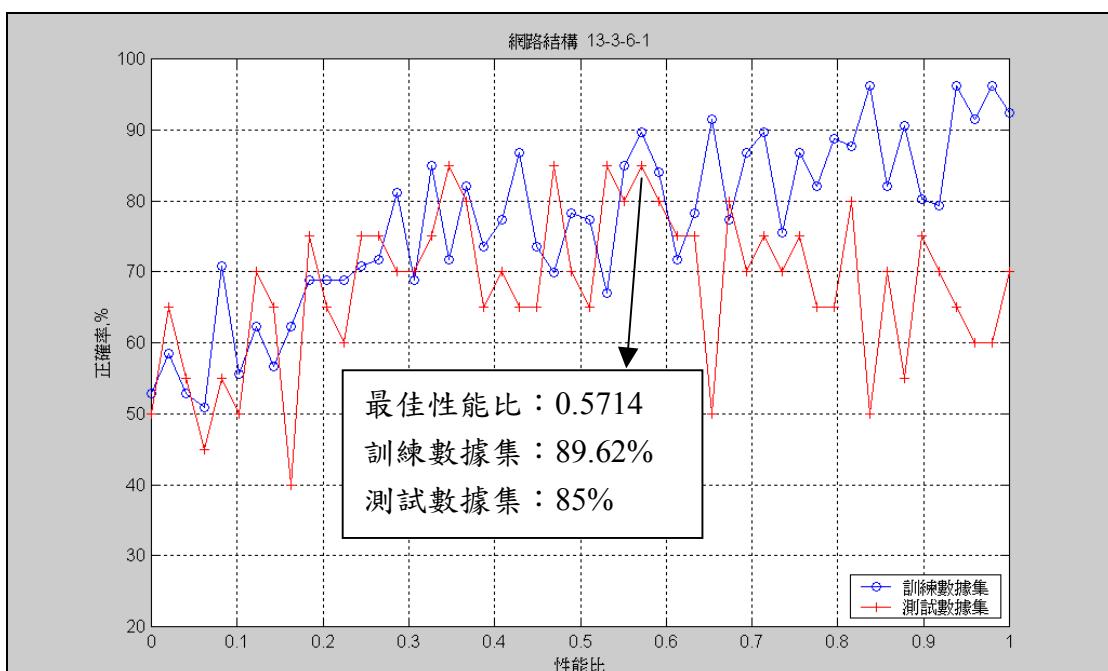


圖 4.6、兩層隱藏層三及六個神經元網路訓練結果

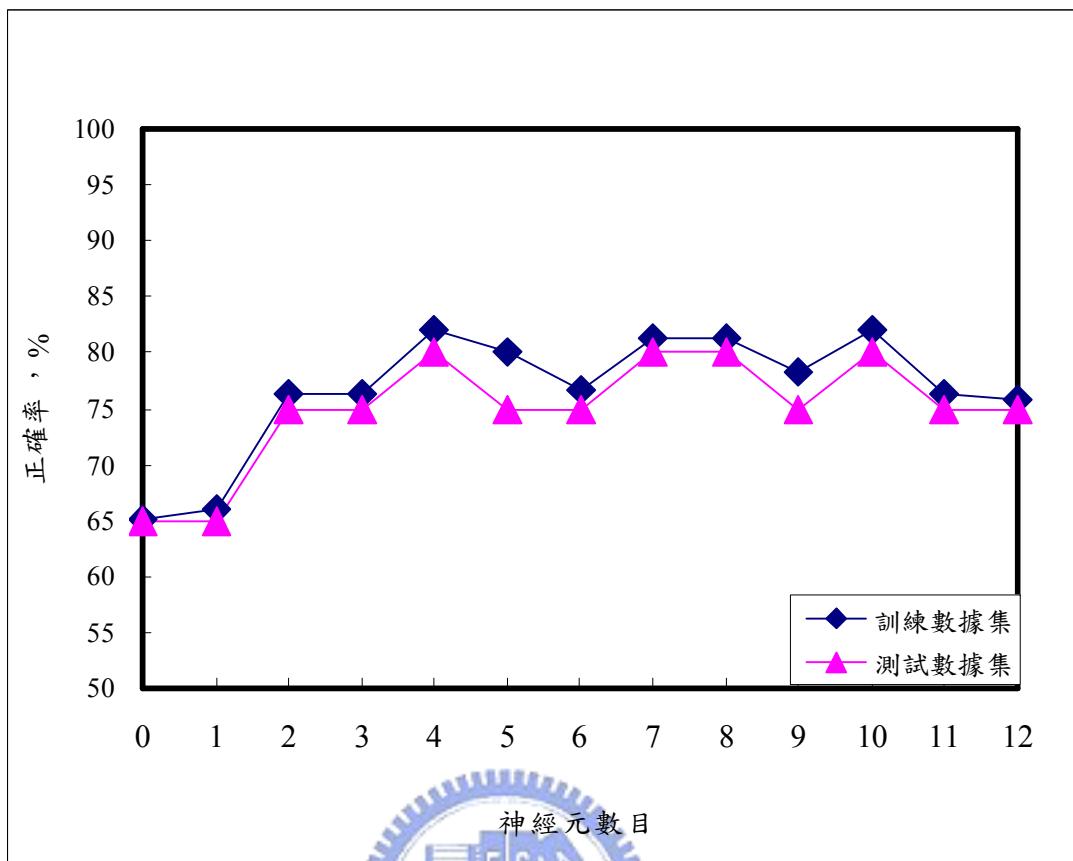


圖 4.7、一層隱藏層網路訓練結果

由圖 4.7 可知，在一層隱藏層中神經元數目由零增加至四的過程中，訓練與測試數據集正確率有提升的情況，但自此以後，神經元的增加只是增加網路演算的時間。

表 4.2、網路訓練 1,000 次之輸出結果
(訓練數據集固定取樣；測試數據集隨機取樣)

網路結構	最佳性能比	未訓練 1000 次 正確率(%)		訓練 1000 次 正確率(%)					
		訓練	測試	訓練	訓練 Y	訓練 N	測試	測試 Y	測試 N
13×4×1	0.5102	82.08	80	81.7	83.2	80.2	77.8	81.3	74.3
13×3×6×1	0.5714	89.62	85	89.2	89.6	88.8	83.4	86.6	80.2
取樣方式		固定	固定	固定	固定	固定	隨機	隨機	隨機
取樣範例 發生：63 筆 未發生：105 筆		86/86	40/40	86/86	43/86	43/86	40/82	20/20	20/62

由表 4.2 觀察得知以下結果：

- (1) 訓練數據集為固定取樣，因此，在網路結構反覆訓練 1,000 次的情況下，整體正確率的改變不大。以網路結構 13-3-6-1 為例，跌幅為 $89.62-89.2=0.42\%$ 。
- (2) 測試數據集為電腦隨機取樣，其中由於未發生土石流範例為六十二筆，高於發生土石流範例的二十筆達四十二筆。因此，在排列組合增加的情況下，整體正確率隨著未發生土石流正確率的降低，而有稍微降低的情況，以網路結構 13-3-6-1 為例，跌幅為 $85-83.4=1.6\%$ 。

表 4.3、網路訓練 1,000 次之輸出結果

(訓練及測試數據集皆採隨機取樣)

網路結構	最佳性能比	未訓練 1000 次正確率(%)		訓練 1000 次正確率(%)					
		訓練	測試	訓練	訓練 Y	訓練 N	測試	測試 Y	測試 N
13×4×1	0.5102	82.08	80	76.3	77.8	74.8	71.2	73.3	69.1
13×3×6×1	0.5714	89.62	85	84.6	85.4	83.8	78.3	81.2	75.4
取樣方式	固定	固定	隨機	隨機	隨機	隨機	隨機	隨機	隨機
取樣範例 發生：63 筆 未發生：105 筆	86/86	40/40	86/168	43/63	43/105	40/168	20/63	20/105	

由表 4.3 觀察得知以下結果：

- (1) 訓練數據集為電腦隨機取樣，因此在網路結構反覆訓練 1,000 次的情況下，整體正確率的改變比固定取樣的方式明顯。以網路結構 13-3-6-1 為例，跌幅為 $89.62-84.6=5.02\%$ 。

- (2) 測試數據集為電腦隨機取樣，在網路結構反覆訓練 1,000 次的情況下，整體正確率的改變比固定取樣的方式明顯。以網路結構 13-3-6-1 為例，跌幅為 $85-78.3=6.7\%$ 。追究導因於訓練數據集在訓練 1,000 次的過程中，以電腦隨機取樣的方式，若所選取的範例不具代表性，測試數據集的正確率也會隨之降低。

比較表 4.2 及表 4.3 結果顯示，可以發現訓練數據集在訓練 1,000 次的過程中，以固定取樣的方式，得到較佳的網路輸出結果。再比較 13-4-1 及 13-3-6-1 網路結構中，發生土石流與未發生土石流的正確率何者最為接近且最高。最後本研究選定 13-3-6-1 網路結構，即兩層隱藏層，其中第一層為三個神經元；第二層為六個神經元。

※表 4.2 及表 4.3 名詞解釋：

訓練：訓練數據集之整體正確率((訓練 Y+訓練 N)/2)。

測試：測試數據集之整體正確率((測試 Y+測試 N)/2)。

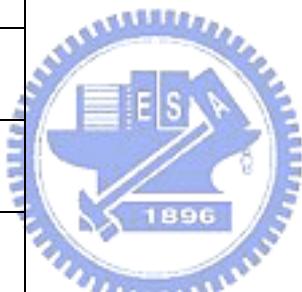
訓練 Y：訓練發生土石流之正確率；測試 Y：測試發生土石流之正確率。

訓練 N：訓練未發生土石流之正確率；測試 N：測試未發生土石流之正確率。

4.3 本研究土石流發生因子影響土石流發生之重要性

考量類神經網路的權重矩重，難以描述所輸入因子對於輸出結果的單獨影響關係。因此，應用 4.2 節所選定之最佳網路結構(13-3-6-1)，將本研究十三個因子依序抽離。藉由持續保持十二個因子為輸入向量的情況下，重新以訓練數據集固定取樣的方式，比較網路重新訓練 1,000 次的輸出結果，進一步探討各因子對土石流發生的影響程度(詳表 4.4、圖 4.8)。

表 4.4、本研究輸入因子影響土石流發生之重要性

序號	抽離因子	原始訓練數據集正確率 (%)	重新訓練後訓練數據集正確率 (%)	正確率跌幅 (%)	因子重要性
1	集水區面積(A)	 89.6	88.52	1.08	11
2	形狀係數(SF)		88.59	1.01	13
3	溪床曲面長度(L)		87.96	1.64	6
4	溪床平均坡度(S)		86.83	2.77	4
5	溪床土石量(R)		88.54	1.06	12
6	發生區風化程度(E)		87.30	2.30	5
7	集水區地質(G)		86.71	2.89	3
8	東北坡向面積比(NE)		88.02	1.58	7
9	東南坡向面積比(SE)		88.36	1.24	10
10	西南坡向面積比(SW)		88.31	1.29	9
11	西北坡向面積比(NW)		88.09	1.51	8
12	集水區最大時雨量(I)		83.90	5.70	1
13	集水區累積雨量(P)		86.44	3.16	2

本研究定義重新訓練後網路輸出結果，相較於原始輸出結果跌幅愈深者，與影響土石流發生的重要性成正比。

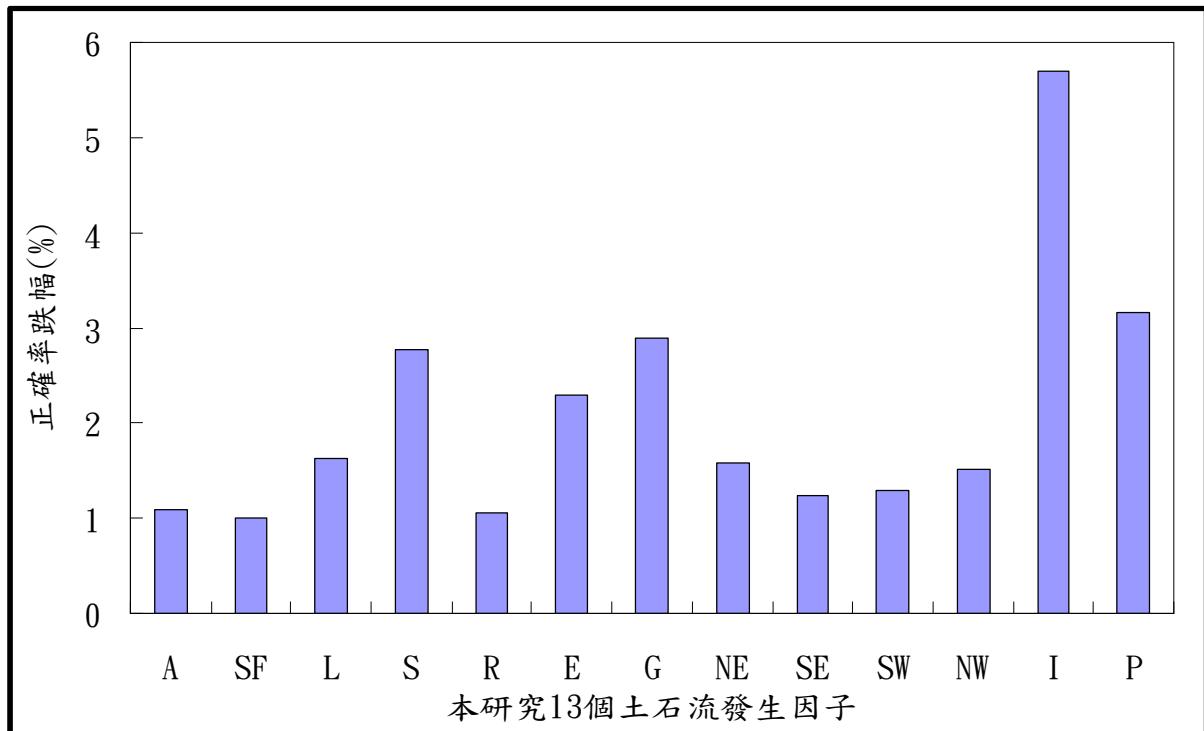


圖 4.8、各因子影響土石流發生之重要性

經觀察圖 4.8 可得知十三個因子中依重要性排序分別為：1. 集水區最大時雨量、2. 集水區累積雨量、3. 集水區地質、4. 溪床平均坡度、5. 發生區風化程度、6. 溪床曲面長度、7. 東北坡向面積比、8. 西北坡向面積比、9. 西南坡向面積比、10. 東南坡向面積比、11. 集水區面積、12. 溪床土石量、13. 形狀係數。本節歸納幾點結論如下：

- 1、最大時雨量及累積雨量確為土石流發生不可或缺的重要因子。
- 2、坡向面積比、集水區面積及形狀係數等三項因子的共同特徵，是普遍權重過低並且都是描述集水區而非溪流的地文因子。可能是由於與土石流溪流相比，這些因子的比例尺過小所致(土石流溪流範圍/土石流發生因子範圍)。而反觀集水區最大時雨量及累積雨量兩項因子，與此結論背離的原因，推測為二十個雨量測站的分佈密度，尚足以描述溪流實際接受雨量的情況。
- 3、在所有土石流因子抽離的過程，重新訓練的輸出結果，都沒有高於原先訓練結果的情形。因此推測類神經網路調整權重的過程中，可以忽略掉不重要的因子，而不會大幅影響網路的輸出結果，差別只是增加網路的演算時間而已。
- 4、有關溪床土石量因子，由於在獲取的過程，並沒有經過詳細的調查，因此推測是由於資料精度過低，而導致重要性的減低。

4.4 類神經網路分析土石流相關研究之綜合討論

本節旨於討論比較與本研究同樣以類神經網路分析土石流之相關前人研究(詳表 4.5)。討論範圍主要針對六個方面加以闡述：一、資料來源；二、研究範圍；三、資料範例；四、取樣方式；五、土石流發生因子；六、分析方法。

表 4.5、本研究與前人研究之區別

	文獻名稱	因子量化方式	研究範圍	範例數量	取樣方式	土石流發生因子		分析方法	正確率
						相同因子	相異因子		
本研究 (2005)	類神經網路應用在土石流發生可能性分析	ArcView [®] + 土石流災害地質調查報告	南投縣	86 筆 測試 82 筆 調查	訓練範例 固定 86/86 測試範例 隨機 40/82	(有效)集水區面積、形狀係數、溪床平均坡度	溪床曲面長度、溪床土石量、上游邊坡風化程度、集水區地質、集水區邊坡坡向面積比、最大時雨量、累積雨量	倒傳遞網路	訓練 89.2% 測試 83.4%
張東炯 (2000)	類神經網路於土石流發生預測模式之研究	前人研究	花蓮縣	142 筆 測試 36 筆	訓練範例 隨機 142/178 測試範例 隨機 36/178	溪流長度、顆粒中值粒徑、有效降雨強度、有效累積雨量	倒傳遞網路	訓練 91.073% 測試 75%	
林信亨 (2000)	地理資訊系統應用於土石流危險度判定研究	ArcView [®]	花蓮縣 台東縣	100 筆 測試 35 筆	訓練範例 固定 100/100 測試範例 固定 35/35	溪床長度、地質種類、殘土率、溪谷邊坡坡向	倒傳遞網路 費雪區別	訓練 89% 測試 82.86%	
陳明榮 (2002)	台灣北部地區土石流潛勢溪流危險度與預警分析之研究～類神經網路與模糊理論之應用	土石流災害地質調查報告	宜蘭縣 基隆市 台北縣 桃園縣 新竹縣	99 筆 測試 33 筆	訓練範例 隨機 測試範例 隨機	集水區斷層長度與總集水區面積比 與上游崩塌面積與總集水區面積比 集水區主要岩性、時雨量、有效累積雨量	倒傳遞網路 模糊理論	訓練 84.85% 測試 84.85%	
許瑞文 (2003)	地理資訊系統-類神經網路土石流潛勢判定方法	ArcView [®]	南投縣	100 筆 測試 100 筆	訓練範例 隨機 100/200 測試範例 隨機 100/200	集水區內崩塌面積 集水區平均坡度	倒傳遞網路	訓練 71% 測試 64%	

4.4.1 資料來源

表 4.5 研究中的主要資料來源主要分成兩方面：一為收集相關前人研究中有關土石流現場調查資料，建立土石流發生因子資料庫(張東炯，2000；陳明棠，2002)；另外則為應用地理資訊系統軟體 Arc View[®] 自行建立資料庫(林信亨，2000；許瑞文，2003；本研究)。兩種方法優劣之處，如下說明：

1. 收集相關前人研究中有關土石流現場調查資料

(1) 短時間大量收集資料建立資料庫

惟類神經網路分析的良窳受資料庫精度的直接影響甚鉅，因此如何能篩選出精度高的資料庫，為必需考量重點。以「台灣北部地區土石流潛勢溪流危險度與預警分析之研究~類神經網路與模糊理論之應用」(陳明棠，2002)為例，主要資料來源為「土石流潛勢溪流調查計劃(北部地區)成果報告書」(水保局，2001)。該計劃書內容主要由水保局委託地調所負責；再經地調所委託地質技師公會負責現場勘查的工作。經洽詢曾參與該工作地質技師表示，以每筆溪流新台幣二仟元的報酬與調查工作的內容份量相比。欲得到確實的資料，受地質師個人因素影響甚鉅。加上該計劃涵括五二八筆，因此受派發工作的地質師不在少數，也就造成資料的人為誤差是無法避免的問題。

(2) 研究範圍的擴展

研究範圍可更趨廣泛，以「台灣北部地區土石流潛勢溪流危險度與預警分析之研究~類神經網路與模糊理論之應用」(陳明棠，2002)為例，研究範圍擴及五縣市。但是隨著研究範圍的增加，造成影響土石流發生因子關係更形複雜，而如何獲取代表性因子，及兼顧資料庫的品質與數量就更需考量。

2. Arc View[®] 自行建立資料庫

(1) 建立資料庫作業單純

Arc View[®] 的應用俟收集研究所需基本圖層後，便可以依研究者需求建置土石流發生因子資料庫，並且在精度方面可以達到準確、均勻的目的。同時在查詢、更新、比對、保存資料方面也深具優勢，只是建立土石流資料庫甚為耗時。

(2) 資源共享

相關單位可研擬一套土石流資料庫的管理機制，收集土石流研究者的圖檔資料，讓後續研究者參考使用，使有更充裕的時間朝其它方面做更深入的研究。

4.4.2 研究範圍

目前有關土石流研究範圍鎖定整個南投縣一九九條潛勢溪流者為數甚少，主因為類神經網路分析需要大量的資料庫。而依據水保局規劃全國土石流潛勢溪流的調查工作共分為三期：第一期為北部地區(宜蘭、基隆、台北、桃園、新竹)；第二期為南部及東部地區(苗栗、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄、屏東、台東)；第三期為中部地區(南投、台中)。目前已出刊第一期「土石流潛勢溪流調查計劃(北部地區)成果報告書」(水保局，2001)；及第二期「土石流潛勢溪流調查計劃(南部及東部地區)成果報告書」(水保局，2002)。第三期工作進度為完成現場調查工作，但調查報告尚未經水保局審核完成。本

研究係參考第三期未出刊之「土石流災害地質調查～南投、臺中地區成果報告書(期末報告版)」(中央地調所，2003)，來認定潛勢溪流發生土石流之歷史。因此研究區域可以將整個南投縣一九九條潛勢溪流作為研究範例，提供做為類神經網路分析。

4.4.3 範例數量

提供做為類神經網路訓練的資料庫數量，主導於有發生土石流歷史的溪流筆數，導因於現場調查工作對於紀錄溪流的土石流發生歷史不夠詳盡。在「土石流潛勢溪流調查計劃(北部地區)成果報告書」(水保局，2001)，指出土石流潛勢溪流計五百二十八條，但紀錄「曾經」發生土石流歷史者僅七十二筆(未註明何時發生)。本研究中土石流潛勢溪流計一九九條，但確實紀錄出溪流發生歷史僅五十二筆，完全未紀錄發生與否者高達六十四筆。因此，即使本研究土石流因子資料已建立一七七筆，卻因受限於土石流發生歷史認定問題，而無法全面使用。因此，現場調查的工作的對土石流研究影響甚鉅，特別是可以針對次級溪流，也期望日後能補強紀錄土石流發生歷史，畢竟土石流不會只有在主要河川發生。

4.4.4 取樣方式

挑選出具代表性的訓練數據集關係到網路品質之良窳，在「類神經網路於土石流發生預測模式之研究」(張東炯，2000)及「地理資訊系統-類神經網路土石流潛勢判定方法」(許瑞文，2003)研究中。都採用電腦隨機取樣訓練範例與測試範例加以反覆訓練，最後將反覆訓練的結果取平均值視為網路輸出結果。惟電腦隨機取樣的方式雖屬客觀，但在取樣過程無法避免挑選到集中於某個區塊範例的問題。致使該筆網路訓練結果雖不具廣義性，卻也被等權平均。因此本研究在訓練數據集另外以固定取樣的方式挑選出範例訓練。而為確認網路結構的廣義性，再反覆訓練網路 1,000 次的過程中，以電腦隨機取樣方式挑選測試數據集以驗證網路的穩定性。

4.4.5 土石流發生因子

本研究採用之土石流發生因子與表 4.5 所列的研究比較，分別整理為地質相關因子、水文相關因子、地文相關因子及誘發因子逐一討論。

1. 地質相關因子

本研究中選定集水區地質、上游邊坡風化程度及溪床土石量為地質相關因子。類比於「地理資訊系統應用於土石流危險度判定研究」(林信亨，2000)中，採用地質種類及殘土率兩項因子。「台灣北部地區土石流潛勢溪流危險度與預警分析之研究～類神經網路與模糊理論之應用」(陳明棠，2002)中，採用集水區斷層長度與總集水區面積比值、上游崩塌面積與總集水區面積比值及集水區主要岩性三項因子。「地理資訊系統-類神經網路土石流潛勢判定方法」(許瑞文，2003)中，採用集水區內崩塌地面積。

土石流發生因子中地質因子是很難去量化的，因此前人研究中所採用的各項因子，也僅是以相當巨觀的角度加以考量。為改善此一缺點，本研究嘗試應用 Arc View[®]3.2 切割出各集水區的地質狀況，雖已進一步描述出集水區的地質情況，只是在量化的過程

中，以地質年代的久遠，以為評估標準仍屬過於簡化。因此，如何以更合理的方式量化集水區的地質因子，還有很大的探討空間。另外本研究中溪床土石量為根據「土石流災害地質調查～南投、臺中地區成果報告書(期末報告版)」(中央地調所，2003)，由於該因子在獲取的過程中，只是以套用公式或現場簡單測量的方式取得，所以可能存在著相當的誤差。另外溪床土石量隨著每次土石流的發生其位置與數量都不斷的在改變。因此在現場調查的工作應針對經常性發生土石流溪流，至少做颱風發生前後土石高度及位置的追蹤調查，再輔以 Arc View[®] 求取溪床土石量。如此可以將土石流發生區位置不斷調整，以利更細部的探討研究。

2. 水文相關因子

本研究在水文相關因子方面，選取集水區面積、溪床曲面長度及集水區邊坡坡向三項因子代表。與表 4.5 所列研究中並無太大的不同，而這三項因子在土石流發生因子中是屬於較不易隨時間變動，因此也普遍受土石流研究者所採用。所以為求精度的準確與均勻性，以 Arc View[®] 求取為佳。

3. 地文相關因子

本研究在地文相關因子選取溪床平均坡度及形狀係數兩項因子為代表。如同水文相關因子，地文因子在土石流發生因子中是屬於較不易隨時間變動。因此也普遍受土石流研究者所採用，而為求精度的準確與均勻性，以 Arc View[®] 求取為佳。

4. 誘發因子

預測土石流發生的研究，大致可分成土石流危險度及土石流發生性兩方面的研究。若為後者研究，則誘發因子就應該考量。以表 4.5 研究為例：「地理資訊系統應用於土石流危險度判定研究」(林信亨，2000)及「地理資訊系統-類神經網路土石流潛勢判定方法」(許瑞文，2003)。因所考量的地質、水文及地文因子在研究中視為常數。因此，並沒有觸發土石流發生的動能條件，本研究將其歸納為土石流危險度的研究，也就是判定危險度愈高，則土石流發生的機率愈高。而「類神經網路於土石流發生預測模式之研究」(張東炯，2000)及「台灣北部地區土石流潛勢溪流危險度與預警分析之研究～類神經網路與模糊理論之應用」(陳明棠，2002)，以考量降雨強度及累積雨量為誘發因子，本研究將其歸納為土石流發生性的研究。其中陳明棠(2002)在研究中也特別將土石流危險度與土石流發生性做了區別，並且在土石流發生性研究中。以類神經網路配合模糊理論的分析方法，探討了六筆有紀錄土石流發生歷史之潛勢溪流；並以其中一筆(台北 A040)有紀錄土石流發生時刻的潛勢溪流，用以定義出當土石流發生度大於 0.65，認定為土石流發生可能性極高。可以發現「土石流潛勢溪流調查計劃(北部地區)成果報告書」(水保局，2001)中，潛勢溪流調查數量高達五百二十八筆，但紀錄土石流發生時間者僅六筆。若只根據這不到 2% 的紀錄資料研究，確實有相當的困難。本研究採用之南投縣一九九條潛勢溪流，確實紀錄出土石流發生時間溪流計五十二筆(賀伯及桃芝颱風)。因此配合南投縣中二十個紀錄賀伯與桃芝颱風的雨量站資料，並取決這兩場颱風降雨強度與累積雨量不同的特性，使類神經網路做更準確的分析。

土石流發生因子中，最不易掌握的是地質因子，但在集水區地質條件難以量化的情況下，應該把握可以做更精準的溪床土石量調查。以目前水保局公佈的潛勢溪流全國達

一千四百二十條，造成量多質薄的調查報告。因此建議重點應先對居民生命有影響的潛勢溪流做做高品質的調查，加上做長時間連續的觀察才更有實質效益。

4.4.6 分析方法

土石流預測方法在表 4.5 中，以費雪區別分析(Fisher's Discriminant Analysis)、類神經網路(ANNs)及模糊集合(Fuzzy Set)為研究者採用。根據「地理資訊系統應用於土石流危險度判定研究」(林信亨，2000)中指出，倒傳遞網路模式確實比費雪區別分析的效果佳。另「台灣北部地區土石流潛勢溪流危險度與預警分析之研究～類神經網路與模糊理論之應用」(陳明棠，2002)研究中，先應用類神經網路及模糊理論定義出土石流危險度，再利用模糊理論定義出土石流發生度的方法，也顯示出能達到預測土石流發生的效果。但由於應用模糊理論需先依前人研究，定義出土石流發生因子的歸屬函數(membership function)。因此存在著太多可能的假設，很難客觀的做出決定。因此經由前述，本研究決定不在研究方法上多做著墨，而著重如何建置出精度高的土石流發生因子資料庫，使類神經網路做出準確的分析。

4.5 小結

網路輸出結果的正確率，並不能完全代表網路訓練成果的優劣，而需從整個研究過程中去討論，特別是建置土石流資料庫的過程。因為畢竟類神經網路是透過資料的輸入與輸出映射關係建構而成。以下針對表 4.5 中研究的網路輸出結果存在的隱性問題，歸納幾點可能的原因：

1、類神經網路應用在土石流發生可能性分析(本研究)

本研究輸出結果雖在訓練數據集達 89.2%；測試數據集達 83.4%。但由於整個網路建構過程中存在著以下所述的各項缺失。因此，以預測土石流的發生性為目的，仍需適時改善。

(1)、土石流發生因子量化方式

以 ArcView[®]取得土石流發生因子需特別考量基本圖層的更新與精度。

(2)、研究範圍

本研究係針對南投縣做分析，所以是否仍適用其它縣市的土石流預測，需要再進一步驗證。

(3)、資料範例

資料範例應隨著土石流現場調查的更新，重新調整網路架構。

(4)、土石流發生因子

有關地質因子的量化，需做更進一步的探討。

2、類神經網路於土石流發生預測模式之研究(張東炯，2000)

(1)、土石流發生因子量化方式

以收集前人研究的方式建置資料庫，如何篩選資料需特別加以考量。

(2)、取樣方式

訓練數據集以電腦隨機取樣的方式，無法避免範例可能過於集中的問題。

(3)、正確率

訓練數據集正確率達 91.073%；測試數據集達 75%，兩者誤差達 16.073%，因此可能產生過度調適的問題。

3、地理資訊系統應用於土石流判定研究(林信亨，2000)

(1)、研究範圍

研究範圍包含花蓮縣與台東縣，因此若以預測大區域土石流發生可能性為目的，分析的複雜性也相形增加。

(2)、取樣方式

訓練數據集與測試數據集皆以固定取樣的方式，難以驗證網路的廣義性。

(3)、土石流發生因子

以土石流預測為目的，應考量降雨因子。

4、台灣北部地區土石流潛勢溪流危險度與預警分析之研究~類神經網路與模糊理論之應用(陳明棠，2002)

(1)、資料範例

紀錄土石流發生歷史時間的範例僅六筆，是否具代表性難以釐清。

(2)、分析方法

模糊理論有關歸屬函數的定義，是否夠客觀需再探討。

5、地理資訊系統-類神經網路土石流潛勢判定方法(許瑞文，2003)

有關在資料範例方面，對於南投縣土石流潛勢溪流發生歷史的認定標準，與本研究差異甚大。



第五章 結論與建議

5.1 結論

綜合研究過程與研究結果歸納出以下結論：

1. 應用 ArcView[®]獲取集水區面積、形狀係數、溪床曲面長度、溪床平均坡度及集水區邊坡坡向面積比等各項因子，可藉以簡化現場調查的工作。
2. 本研究中因子影響土石流的重要性，依序為：一、集水區最大時雨量；二、集水區累積雨量；三、集水區地質；四、溪床平均坡度；五、上游邊坡風化程度；六、溪床曲面長度；七、東北坡向面積比；八、西北坡向面積比；九、西南坡向面積比；十、東南坡向面積比；十一、集水區面積；十二、溪床土石量；十三、形狀係數。
3. 訓練數據集以固定取樣；再輔以配合測試數據集電腦隨機取樣的方式。可獲取較佳的輸出結果，並用以驗證網路的廣義性。
4. 尋找最佳性能比的方式，可改善網路過度調適(over-fitting)的問題。
5. 本研究網路架構最後選定兩層隱藏層，其中第一層為三個神經元；第二層為六個神經元。網路輸出結果方面：訓練數據集整體正確率達 89.2%；其中發生土石流正確率達 89.6%；未發生土石流正確率達 88.8%。測試數據集整體正確率達 83.4%；其中發生土石流正確率達 86.6%；未發生土石流正確率達 80.2%。

5.2 建議

1. 土石流發生因子量化方式

以 ArcView[®]取得土石流發生因子需特別考量基本圖層的更新與精度，但基本圖層的精度並不是研究者本身可以掌握的。因此建議相關機關，應開放從事土石流研究者更直接的管道，即時取得更新的資訊，以利整合研究結果的統一標準。。

2. 研究範圍

本研究係針對南投縣做分析，所以是否仍適用其它縣市的土石流預測，需要再做進一步驗證。

3. 資料範例

全國潛勢溪流一千四百二十條的調查，應先針對有保全對象溪流調查；再著重保全對象中，經常性發生土石流的潛勢溪流，做出持續且詳細的調查報告。特別是土石流發生的時間、發生的位置及溪床土石量變化的情況。而資料範例應隨著土石流現場調查的更新，不斷地調整網路架構。

4. 土石流發生因子

有關地質因子的量化，需做更進一步的探討。在地質因子無法合理量化之前，土石流研究範圍應可嘗試劃分出地質條件相同的地區，將地質條件視為常數。再配合詳細的現場調查資料，建立區域性的類神經網路。也許可以得到較佳的土石流發

生性預測結果。

5. 雨量測站

南投縣的雨量測站迄今已設置六十七站，使日後研究可建立更完整的雨量資料進行分析。另本研究集水區的雨量，只是單純考量集水區與測站距離的影響，若日後研究在測站分佈密度不足的情況下，建議應同時考量高程的影響性。

6. 範例取樣方式

以訓練數據集固定取樣；再輔以測試數據集隨機取樣的方式，雖可驗證網路的穩定性及廣義性，但無法證明所得的網路輸出結果為最佳的一組解。建議日後研究仍以配合訓練數據集隨機取樣的方式，再決定網路的輸出結果。

7. 土石流發生因子權重

建立個別因子對土流發生的權重關係，係建構在抽離因子的過程中，最佳網路的結構(13-3-6-1)與最佳性能比(0.5714)不會改變的前提下。日後研究建議對於輸入因子改變時，應重新個別建立最佳化網路，以達更客觀的衡量標準。

