

國家公園區內地質災害敏感之評估研究-台北縣地區為例

陳宏宇¹, 林俊全², 宋聖榮¹

(收稿日期：2003 年 5 月 15 日；接受日期：2003 年 7 月 9 日)

摘 要

地質災害敏感的評估，主要是根據該土地所具有之各項地質環境的條件來進行。一般包括了地貌表徵的特性、地質構造的延伸、地質材料的組成以及地下水的分布狀況等多項因素。地質環境的了解可藉著地質調查工作的結果，建置成(1)基地地質圖，(2)土壤厚度分布圖，(3)坡度分布圖，(4)坡向分布圖，(5)地下水深度分布圖，(6)地層剖面圖，(7)不連續面投影分布圖，(8)環境地質圖，(9)地質災害圖，以及(10)地質災害敏感圖等 10 種不同項目之數化圖幅來進行，而最終之地質災害敏感評估便是利用這些圖幅套疊的方式得到的。地質災害敏感評估等級根據調查的結果，可以區分為“很高”、“高”、“中”、“低”及“很低”等 5 個等級。評估的結果可以作為土地利用規劃型態上“適宜與否”的參考，也可以提供土地開發上潛力價值之分析決定，同時可以作為土地開發上某種限制程度之參考。本文是以陽明山國家公園台北縣轄區範圍內之區域作為一探討的案例。

關鍵詞：評估、地質災害敏感、地貌、數化

一、前 言

地質災害的評估工作，從過去的地貌圖(Waters, 1958; Savigear, 1965)以及工程地質圖(Geological Society London, 1972)的研究開始，很快的便應用到山崩及地質災害(Brunsdon, 1975; Varnes, 1983)的範疇上。聯合國科教文組織(UNESCO)進年來大力推展圖幅的評估應用(IAEG, 1975)，使得山崩及地質災害敏感的評估工作 (Brabb et al., 1972; Bolt et al., 1975; Hansen, 1984)，在各國政府的普遍重視下，這些圖幅都被建置成為土地利用上的基本資料庫 (Dai et al., 2001; Alcantara-Ayala, 2002)。而地質災害敏感的評估方式，泰半都是以該土地所具有之各項地質環境特性的條件來進行，這些條件包括了山崩、落石、土石流等地質災害，以及地形坡度、土壤厚度、不連續面分布、地質構造的延伸，和地質材料強度等各不同地質條件因子的綜合評

1. 台灣大學地質科學系。
2. 台灣大學地理與環境資源學系。

估(Bell, 1998)。評估的結果可以作為土地利用規劃型態上“適宜與否”的參考，也可以提供土地開發上潛力價值之分析決定，同時可以作為國家公園園區內土地規劃上某種限制程度之參考，當然這些地質環境評估之各項因子的建立，必須依照各項地質調查工作的結果來進行。

國內從民國 73 年起，開始嘗試將一些國家公園計畫、台灣沿海地區的自然保護等各種自然環境之保育計畫列入整體土地利用的規劃中，並逐年漸進的探討環境敏感地區之相關土地的劃設準則，以及其管理制度，唯這些敏感區之探討多半偏向於特殊景觀、生態保育及資源保護地區等方面的進行。而有關於地質災害敏感區的資料建立，大抵上都是以山坡地的評估為主，並大部分著重在台北縣、市等部份都會地區的範圍為主。本文以陽明山國家公園台北縣轄區範圍內之區域作為一探討案例。

二、地質災害

地質災害包括的範圍頗為廣泛，例如地層滑動、土石流、落石、基礎開挖破壞、地震、隧道崩坍以及地盤下陷等種種項目，舉凡與地表內岩石、土壤及水等地質材料有關的各項破壞行為都是屬於地質災害的歸類(表一)。而這些地質材料的形成便與其週遭之地質環境有同樣相互的關聯性，地質環境便是大自然所賦予該地區之特性。

地質災害對於山坡地最直接有關係的便是地層滑動。地層滑動是指山坡地內之地層，經風化、崩解、人為等外力作用後所形成之岩塊或土壤等地質材料，因重力作用的關係，順著地形的坡度，向下產生一種塊體運動或崩落現象(Bromhead, 1986)。地層滑動的形式可根據山坡地內塊體運動的型式及形成機制的不同，再細分為落石、翻覆、滑動、土石流等多種不同型式的破壞 (Varnes, 1978; Cruden and Varnes, 1996)。

表一 地質災害的種類

種類		破壞方式	地質材料組成
地層滑動	土壤滑動	圓弧破壞、非圓弧破壞	土壤
	岩石滑動	順向坡破壞、楔形破壞	岩石
	落石(土)	單獨岩石(土壤)掉落	岩石(土壤)
	翻覆	翻覆破壞	岩石
土石流		流動破壞	岩石、土壤和水
地盤下陷		地層陷落	岩石和土壤
地震		地層震動	岩石、土壤和水
軟弱土壤		差異沈陷、液化	岩石、土壤和水

※ (修正自 Varnes, 1978 ; Gruden & Varnes, 1996 及 Glossary, 1997)

地質環境一般包括了地貌表徵的特性、地質構造的條件、地質材料的組成以及地下水的分布狀況等多項因素 (Brunsdn and Prior, 1984)。現地的植生，人為的開挖，溪谷、窪地、滲水、堆積等幾何形狀的分布，以及地表上的陡峭狀況，都是地貌表徵的特性。地質構造的條件是指

土體及岩體等地層的分布情形，不連續面在地層中的延伸狀況，地層之褶皺及斷層的變形現象。而地質材料的組成主要是視其本身所具有特殊之自然物理性質，以及材料組成的變化等等，這些都將會影響材料本身的力學強度。另外，地下水位的高低，將會在地體內提供巨大的上舉力及水壓力而影響土地開發時的穩定性，地下水相對於地質材料也有風化、侵蝕的作用，對於地層的分布則也具有淘挖、沖刷的作用。

三、評估方法

地質災害的評估工作在近年來，隨著各級政府的重視有逐年增多之趨勢(表二)，其中包括了中央地質調查所於民國 68 年起陸續進行之「坡地社區工程地質調查與探勘」，工業技術研究院能資所(1989)建置之「台灣省重要都會區環境地質資料庫」，張石角(1989)進行之「環境冒險率評估法」，台灣大學地質學研究所(1996)進行之「雲林縣地盤下陷區之地質環境評估」，以及中國地質學會(1999)所建立的「區域國土開發保育防災基本資料」。各評估方式依照各調查基地之基本環境的不同，而建立有不同的評估因子。

表二 相關地質敏感地區之評估資料

項目	委託單位	執行/編製單位	年代	圖幅比例尺	評估資料
山坡地都會區	中央地質調查所	賴典章等	1979	1:50000	坡地社區工程地質調查與探勘
山坡地	台灣省建設廳	工研院能資所	1989、1990 1995、1997	1:5000	台灣省重要都會區環境地質資料庫
山坡地	內政部營建署	中國地質學會	1998、1999	1:25000	區域國土開發保育防災基本資料建立
山坡地	行政院農業委員會	航空測量及遙感探測學會	1995	1:100000	台灣地區土石流危險溪流分布圖
都會區	台北市發展局	張石角	1991、1994 1995	1:5000	台北市自然環境調查評估與區劃
都會區	台北市研考會	李咸亨	1995	1:100000	台北市地質敏感區位圖研究計畫—平地建築篇
都會區	經濟部水資源局	台大地質所	1996	1:250000	雲林縣地盤下陷區之地質環境評估
都會區	經濟部水資源局	台大地質所	1997	1:250000	嘉義縣地層下陷區之地質環境評估
都會區	台北縣工務局	工研院能資所	2000	1:5000	台北縣轄區內易生災害地區資料庫建立計畫
都會區	台北市建設局	亞新工程顧問公司	2000	1:25000	測繪台北市二萬五千分之一敏感地區圖及建立邊坡安全檢查作業管理系統計畫
山坡地都會區	內政部營建署	邱毅顧問公司	1992	1:680000	台灣地區環境敏感地劃設與土地使用適宜性分析
山坡地都會區	中央地質調查所	林啟文等	2000	1:500000	台灣活動斷層概論第二版
山坡地	內政部營建署陽明山國家公園管理處	張石角	1989	1:15000	陽明山國家公園環境敏感區及潛在災害地區之調查研究
山坡地	內政部營建署陽明山國家公園管理處	黃宏斌	2000	1:1000 1:25000	園區聚落與民舍周圍地區潛在災害調查與預警之調查研究

中央地質調查所(民國 68 年)主要是以岩性，構造，坡度及環境等四項因子構織成坡地社區開發建議圖，並利用坡度分析圖、坡地社區開發建議圖及地質圖等三種，來進行地質災害敏感的分析工作。工業技術研究院能資所(1989)建立環境地質資料庫，內容包括環境地質圖、山崩潛感圖、土地利用潛力圖等幾種，每一種圖幅均是具有多個評估因子的組合，包括了坡度、基岩性質、新舊崩塌地、崩塌堆積、河岸侵蝕、向源侵蝕、表層沖蝕、廢棄土石及人為填土等多項評估因子。台灣大學地質科學研究所(1996)將地層下陷的土地評估項目歸類為水資源、土地資源及地質環境資源等三大項，再由各項目之地下水變遷、開發範圍、地質概況、礫石層分布及侷限層深度分布等不同比例之權重因子，來評估該土地利用上，環境“好”、“壞”的等級分類。張石角(1989)將土地單元中的 5 個評估因子歸列為，地形序數(坡度、地表現象)及地質序數(岩質、坡型與土壤厚度)兩種，並以列表方式根據不同因子特性給予不同的評分權重，評估的得分高低，可得知該土地單元之環境敏感度的高低分布。中國地質學會(1999)將山坡地依其潛在地質災害及地質條件等因素的不同組合而分成四個等級，稱為地質災害敏感度分級，其中地質災害包括土石流，流水沖刷，及地盤下陷等。地質條件則包含有岩性，地質構造及活動斷層之分布等，最後依所得之地質災害敏感分區訂立防災原則。

上述各地質災害敏感評估方式各有其不同之主、客觀條件，本研究之地質災害敏感的評估則依照中央地質調查所(2001)所訂定之「坡地環境地質災害敏感區判定準則及作業方法」來進行。進行的方法是將現場調查工作所得到之岩石、土壤及水文特性，以及山崩、土石流等地質災害之調查成果先繪製於不同目的的圖幅上，這些圖幅包括了：(1)基地地質圖，(2)土壤厚度分布圖，(3)坡度分布圖，(4)坡向分布圖，(5)地下水深度分布圖，(6)地層剖面圖，(7)不連續面投影分布圖，(8)環境地質圖，(9)地質災害圖，以及(10)地質災害敏感圖等 10 種，再將上述各不同項目之成果圖幅數化後，並可建置成資料庫之圖檔。其中(9)地質災害圖主要是依照判定準則所分類之各不同種類之災害來進行圈繪，最終之地質災害敏感的評估則是以各不同圖幅的套疊方式同時來進行不同等級的區分。地質災害敏感評估等級區分為“很高”、“高”、“中”、“低”及“很低”等 5 個等級。

四、案例探討

陽明山國家公園位處台北盆地北緣，東起磺嘴山、五指山東側，西至向天山、面天山西麓，北迄竹子山、土地公嶺，南迄紗帽山南麓，面積約 11455 公頃。行政區包括台北市士林、北投部份山區，以及台北縣淡水、三芝、石門、金山、萬里等鄉鎮之山區；海拔高度自 200 公尺至 1120 公尺範圍不等。本文是以陽明山國家公園台北縣內上述鄉鎮之山區為案例探討之範圍。

(一) 地質

陽明山國家公園主要由大屯山火山群構成，大屯山火山群中共有火山及火山丘二十餘座，

熔岩流 15 層以上，並夾有許多凝灰角礫岩層(Chen and Wu, 1971)。大屯火山群為第四紀火山活動時構成，多以中新世地層為其基盤，從大約 280 萬年前起分為二期陸續噴發，直到約 20 萬年前才停止。第一階段從 280 萬年前一直持續到 250 萬年前，僅有原始大屯山的噴發所形成的火山岩零星散佈於大磺嘴一帶，火山噴出量相當少，顯示此一時期的應力還是處於擠壓的狀態。第二階段之噴發涵蓋了大部份火山地區，噴發時間為 80 萬至 20 萬年，整個大地應力已經由先前之擠壓狀態，轉變為張力狀態，使得岩漿容易上升到地表(陳正宏, 1988)。

綜合各期火山活動，火山大抵沿東北走向之地殼弱線噴發。陽明山國家公園之地層主要由火山岩組成(圖一)，大屯火山群之火山岩與上新世及中新世沈積岩層以交角不整合的關係接觸。大屯火山群大多屬於層狀火山，火山岩流與凝灰角礫岩層層相疊(宋聖榮, 1994)。

1. 火山岩流

主要分佈於火山地帶之中央部份，為構成火山之主體。其岩流分布地帶常在海拔高度 200 公尺以上地區。熔岩有灰、黑、紫、淺紅等色，其底部含輝石較顯著，上部則以角閃石較多。本層共有十五層以上，岩性多為安山岩類，厚度隨處而異，大部分都在數十公尺，最厚者可達 300 公尺以上。

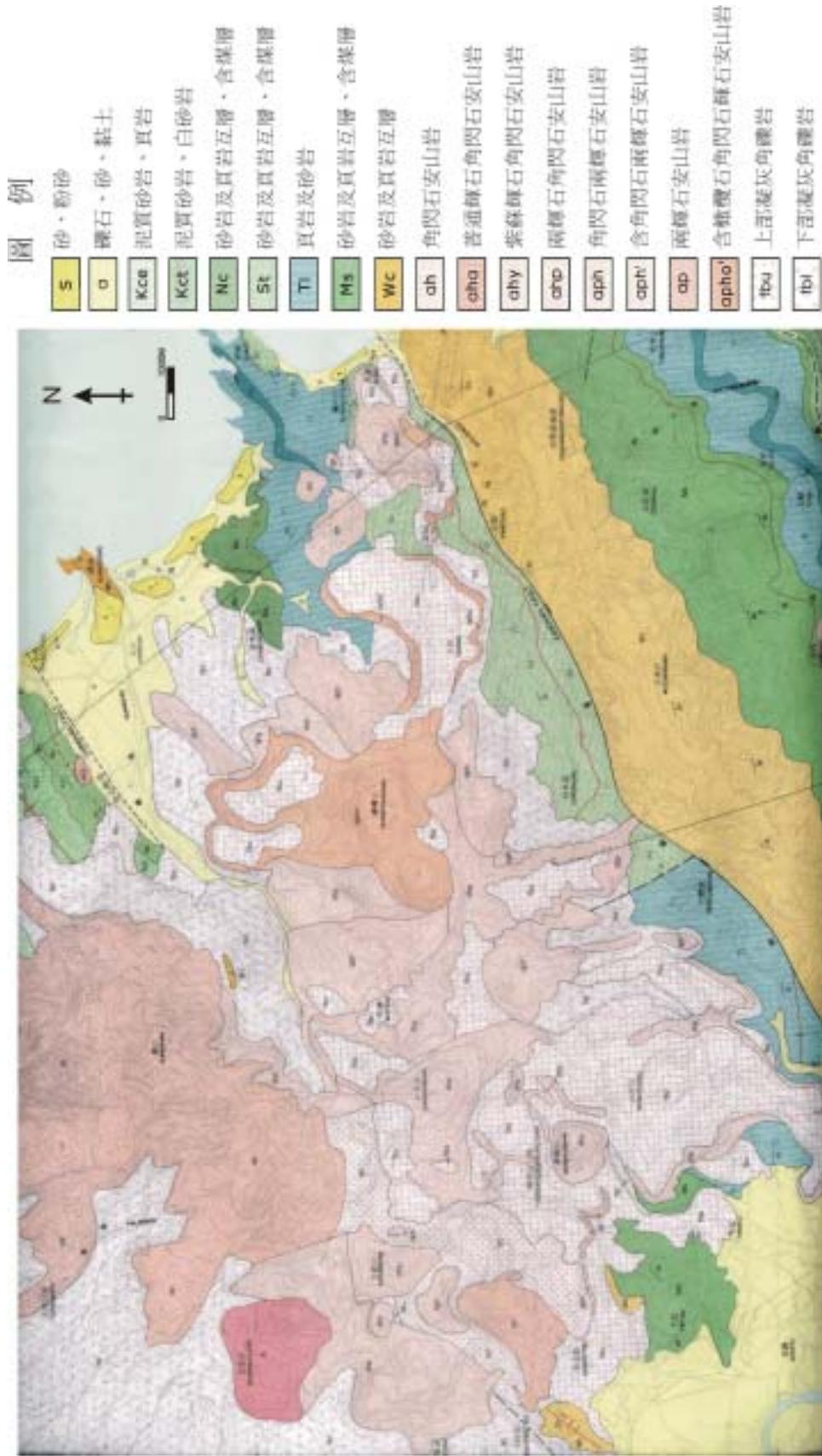
2. 凝灰角礫岩

分布在火山周緣，或覆蓋於火山岩流之上部或夾於其中，厚度變化可從數公尺至 300 公尺以上。此角礫岩為火山碎屑之堆積，由略帶稜角，大小不一之安山岩岩塊，以及細顆粒之凝灰岩、泥砂等夾雜混合構成，一般膠結良好。本地區出露之凝灰角礫岩成份亦隨各不同火山岩流而異，可分為下部凝灰角礫岩，大屯山凝灰角礫岩，及上部凝灰角礫岩。下部凝灰角礫岩位於主要岩流之下，普遍存在於各火山之附近，表示火山噴發一度極為強烈。

(二) 地形

大屯火山主要地形有火山體、火山口、熔岩台地及斷層崖等(鄧國雄, 1988)。火山體大都呈圓錐形，部份頂部尚有火山口之遺跡。熔岩台地是火山熔岩隨地形坡度往下流時，在火山體外緣所構成寬平的台地，此種台地常呈階狀。一般而言，越外圍的階地，其形成的時間越久遠。

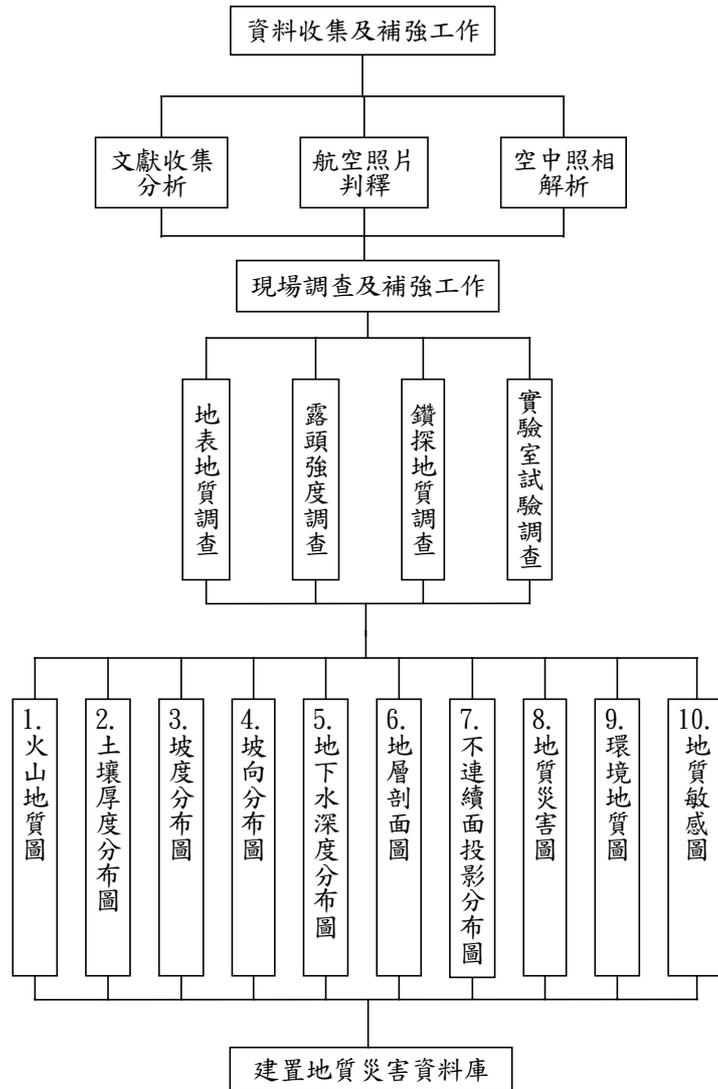
陽明山國家公園境內的河流多發源於竹子山、七星山及大屯山一帶，呈放射狀水系，自火山群高區向四方奔流，屬上游河段，由於各流域的源頭大多位於較高的海拔，而且大部份的流程皆較短小，因此，多造成 V 字形峽谷及瀑布的地形(王鑫, 1986)。



圖一 陽明山國家公園地質圖（摘自地調所，1998）

五、現場調查

該區域分成三個階段來進行(圖二)，包括(1)資料收集及補強工作，(2)現場調查及補強工作，(3)地質災害敏感度分析，以及(4)建置地質災害資料庫。



圖二 地質災害資料庫建置流程

(一) 航照判釋工作

本研究之航照判釋工作，包括了民國 75 年、民國 83 年農林航空測量所之航空照片，以及民國 89 年(象神颱風後)、民國 90 年(桃芝及納莉颱風後)所進行小飛機拍攝等各不同年度在 16 年間之空中照片，這些照片涵蓋了各區域在過去與現今可能之地貌的變化狀況，這些地貌或地形變化之差異性可藉由航照判釋的工作得到了解。一些照片中無法清楚判釋之地區，則仍需要以現場調查的方式來進行。

(二) 現場調查

針對本研究區之地形進行實地踏勘工作，瞭解地表的起伏變化、崩塌地質材料的組成、地貌表徵、坡度、坡向、河流水系的分布狀況、岩層間之滲水狀況、崩塌區的位置及範圍。踏勘同時，並利用傾斜儀對現地露頭進行位態量測，記錄岩性特徵，弱面分布狀況，並收集岩石樣品進行強度試驗。記錄同時都以 GPS 定位系統加以量測正確地點，並標示於圖幅上。

(三) 邊坡穩定分析調查

本分析調查的方式包括立體投影分析，以及不同幾何破壞模狀之量化分析兩種。從不連續面之立體投影分析中大致可以判斷各坡體可能構織成之平面破壞、楔形破壞及翻倒破壞等不同之模式。本園區在現場調查中依循陽金公路、北 3 縣道、2 甲縣道及 101 甲縣道沿線，於淡水鎮、三芝鄉、石門鄉、金山鄉，及萬里鄉共進行了 276 處投影分析，而量化之穩定性分析是以極限平衡的分析方式，針對研究區內 30 處坡體，來評估抵抗力與下滑力的安全係數比值，以作為坡體是否穩定的參考。

六、圖幅建置

上述各項調查工作都是使用園區提供 1:1000 之地形圖來進行，並以 Illustrator 9.2 軟體將調查的結果建立成圖幅的資料。本研究繪製之台北縣轄區範圍內之圖幅每個項目各有 59 張，10 個不同項目的圖幅總計共有 502 張。

(一) 基地地質圖

由地質圖中可看出熔岩流、凝灰角礫岩，及第三紀沉積岩主要的分布區域。基地東北邊和西南邊是以兩輝安山岩為主，玄武岩則是出露於洪爐山。

(二) 土壤厚度分布圖

一個發育良好的土壤剖面，大抵上都是由若干性質不同的地質材料所組成，也就是所謂的土壤層。一個發育於潤濕溫帶的土壤剖面，自上至下可以分為 A、B 和 C 三層。由於本研究區已發表的土壤厚度(A 層)料較少，且土壤厚度調查需要耗費相當大的人力、物力和時間。在經費有限、無法僱用較多的人力，以及購買大量器具的情況下，本工作採用分類土壤(A 層)的方法，是依據蔡呈奇(2002)所發展出來的土壤厚度經驗公式，配合過去陽明山國家公園過去委外計畫所鑽取的岩心，以及野外露頭實際的驗證等資料，來繪製土壤厚度圖。

其土壤厚度經驗公式為：

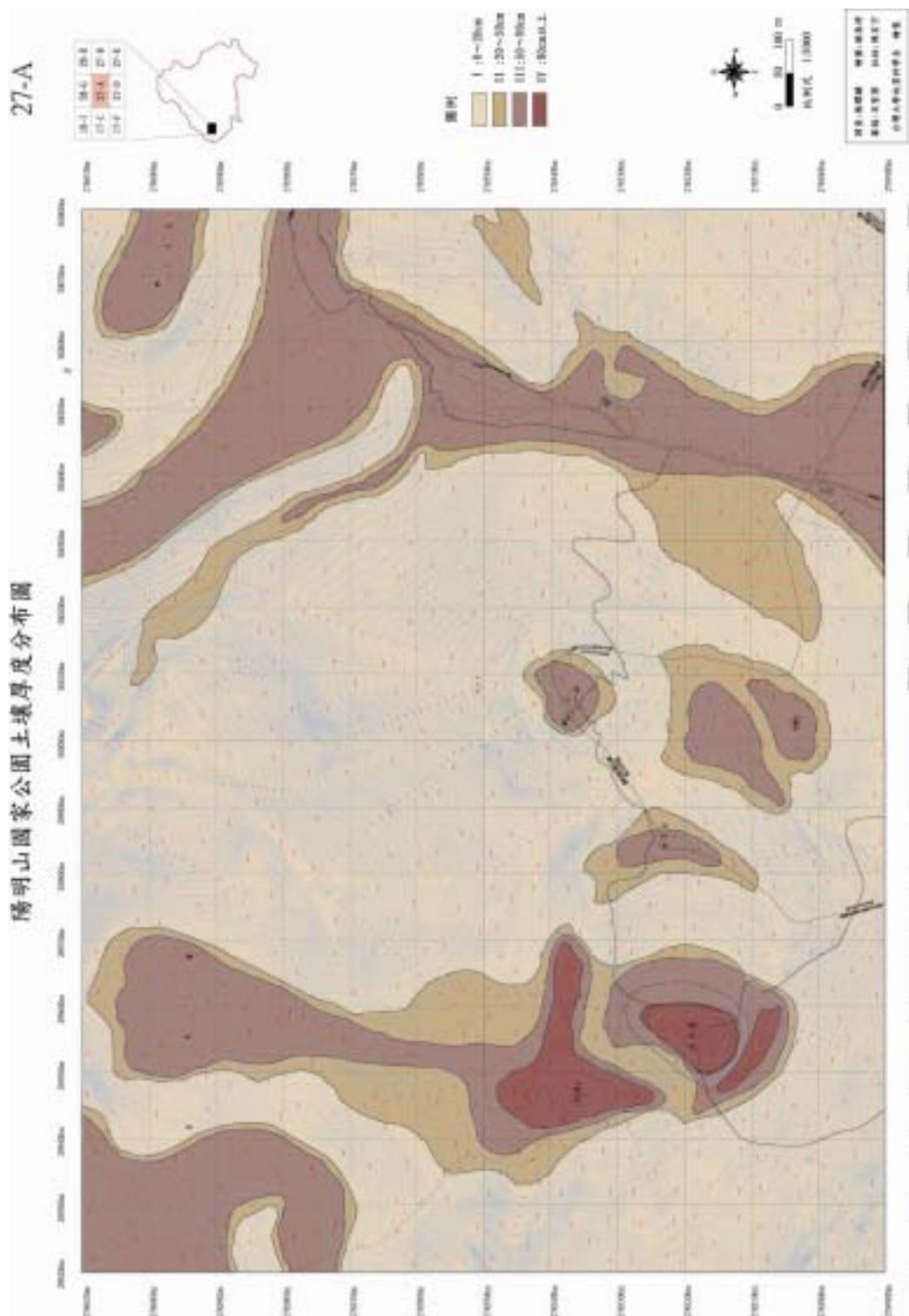
$$\text{深度(公分)} = 0.0168 \times \text{高度(公尺)} + 2.062$$

$$\text{深度(公分)} = -0.1916 \times \text{坡度} + 21.03 \quad (\text{適用於陡坡})$$

作將過去園區內完成之 80 多孔鑽探資料，以及現場地形、地質踏勘工作中進行比對後，發現大部份區域之土壤厚度的分布與蔡氏所發表之經驗公式有個常數值(相當於 3)的相對應關係。所以本研究工作中土壤厚度的估算，是將上述公式修正為：

當坡度>30% 深度(公分) = - 0.1916 × 坡度 + 21.03
當坡度<30% 深度(公分) = 3 × [30.0168 × 高度(公尺) 2.062]

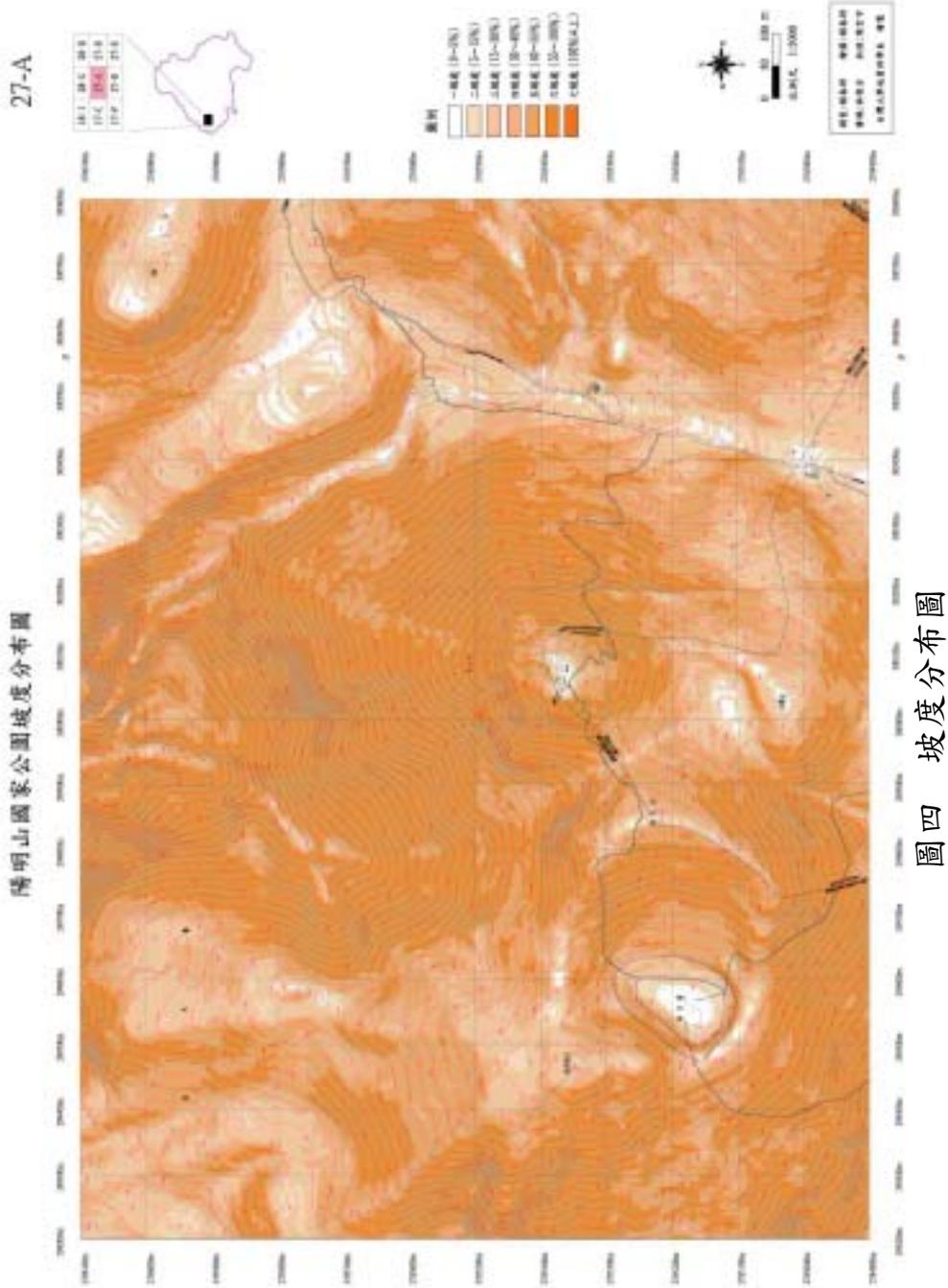
從修正經驗公式中所得之結果顯示，園區內之土壤厚度分布主要可分為小於 20 公分、20 公分至 50 公分，以及大於 50 公分等 3 個不同厚度的分層作為參考(圖三)。



圖三 土壤厚度分布圖

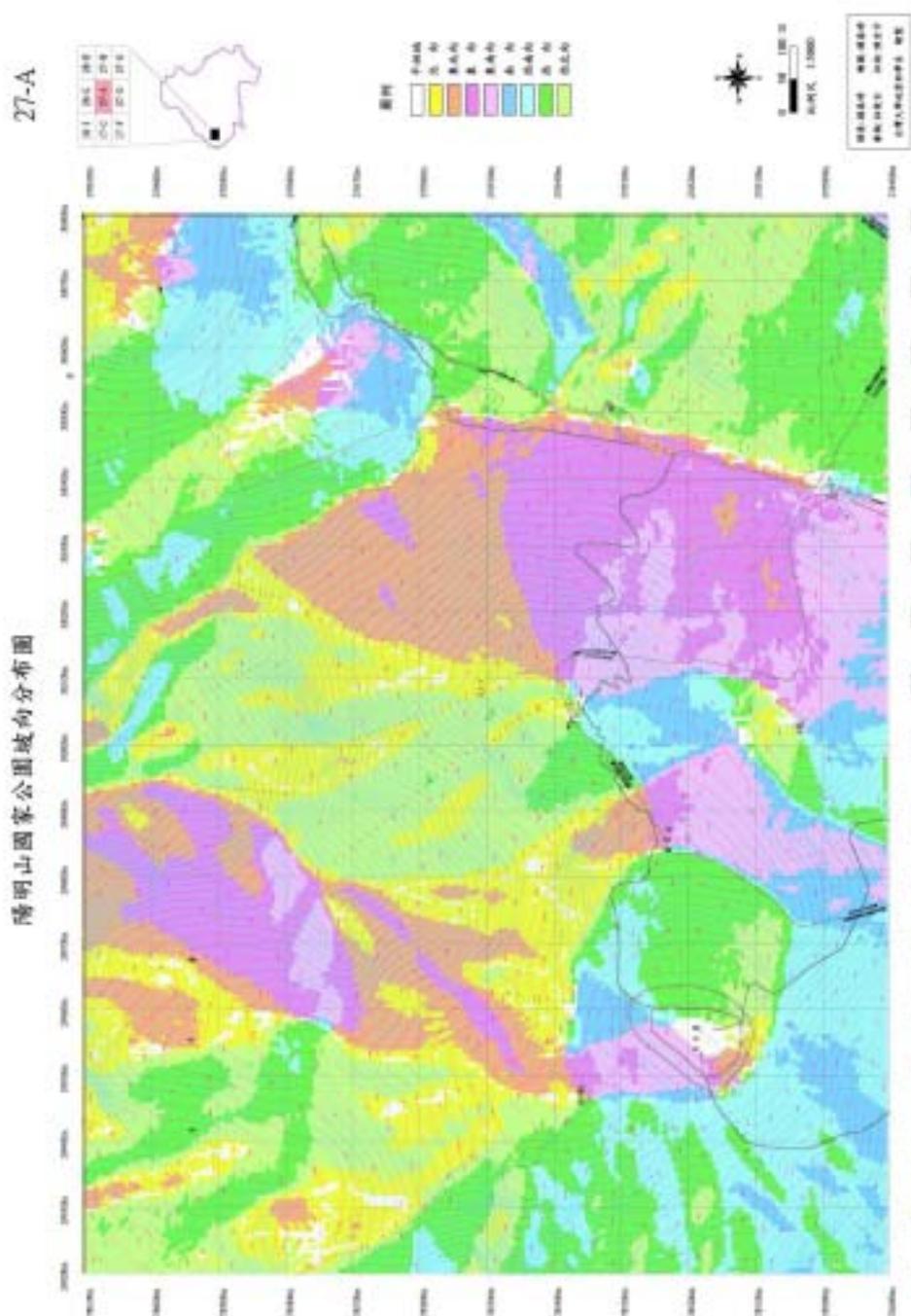
(三) 坡度分布圖

此坡度之分級方式，係依照水土保持技術規範第四十四條規定來進行，按照小於 5% 以下，5%~<15%，15%~<30%，30%~<40%，40%~<55%，55%~<100%，以及大於 100% 以上等七級，編製坡度分級圖(圖四)



(四) 坡向分布圖

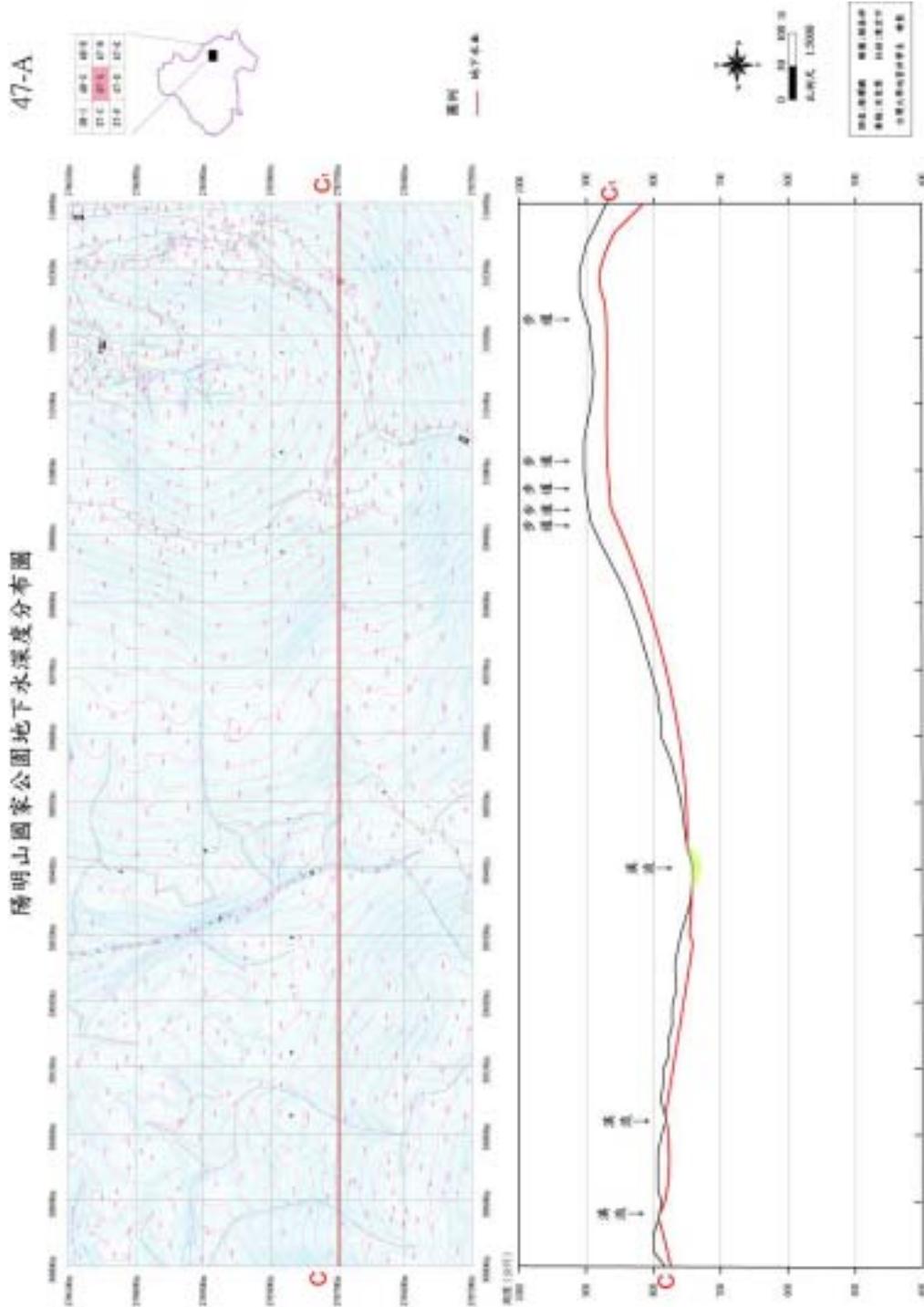
本研究區共分為平地、北向、東北向、東向、東南向、南向、西南向、西向以及西北向等 8 個方位來進行，每個方位的分區是以 45 度來予以區隔(圖五)。



圖五 坡向分布圖

(五)地下水深度分布圖

從現場踏勘、鑽探(礦研所 1969 至 1973 年),以及園區近年來各不同施工單位進行之探勘報告匯整成本研究區地下水深度之資料中可發現,園區內屬於熔岩流組成的地層為非含水層(隔水層)地層,而火山碎屑岩則為屬於含水層的地層。因此,園區內地下水的分布似乎是相當侷限的出現於各常態水流河道週遭之區域內,而部分地下水分布較深處,則可能是受到非含水層(隔水層)不透水的特性影響所形成(圖六)。



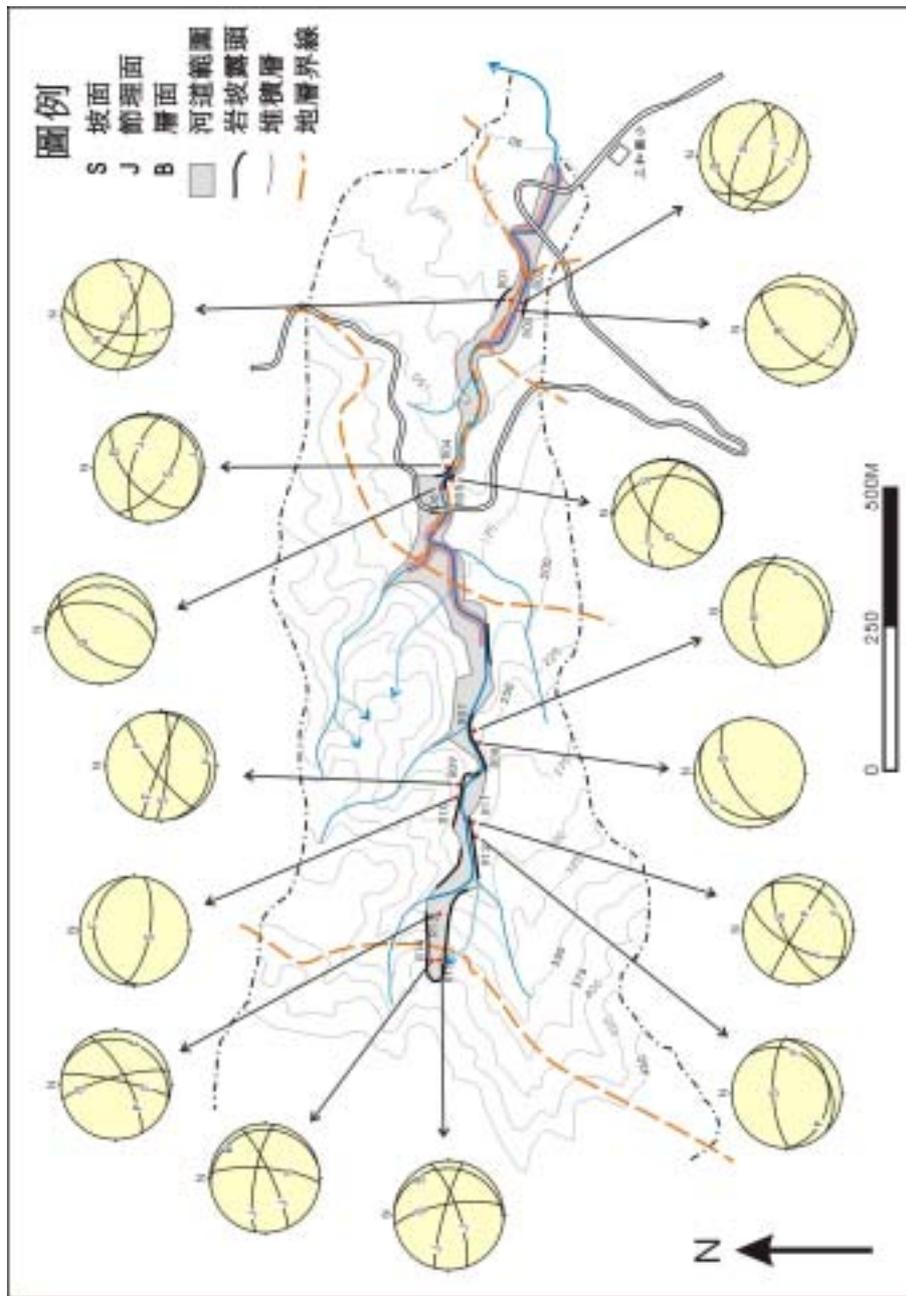
圖六 地下水深度分布圖

(六) 地層剖面圖

同樣從過去鑽孔岩心資料，及現場踏勘工作所繪製之地層剖面圖中可以發現，本研究區之火山岩主要分布於基地的中心，此第四紀火山岩與地表下第三紀沉積岩成不整合接觸。

(七) 不連續面投影分布圖

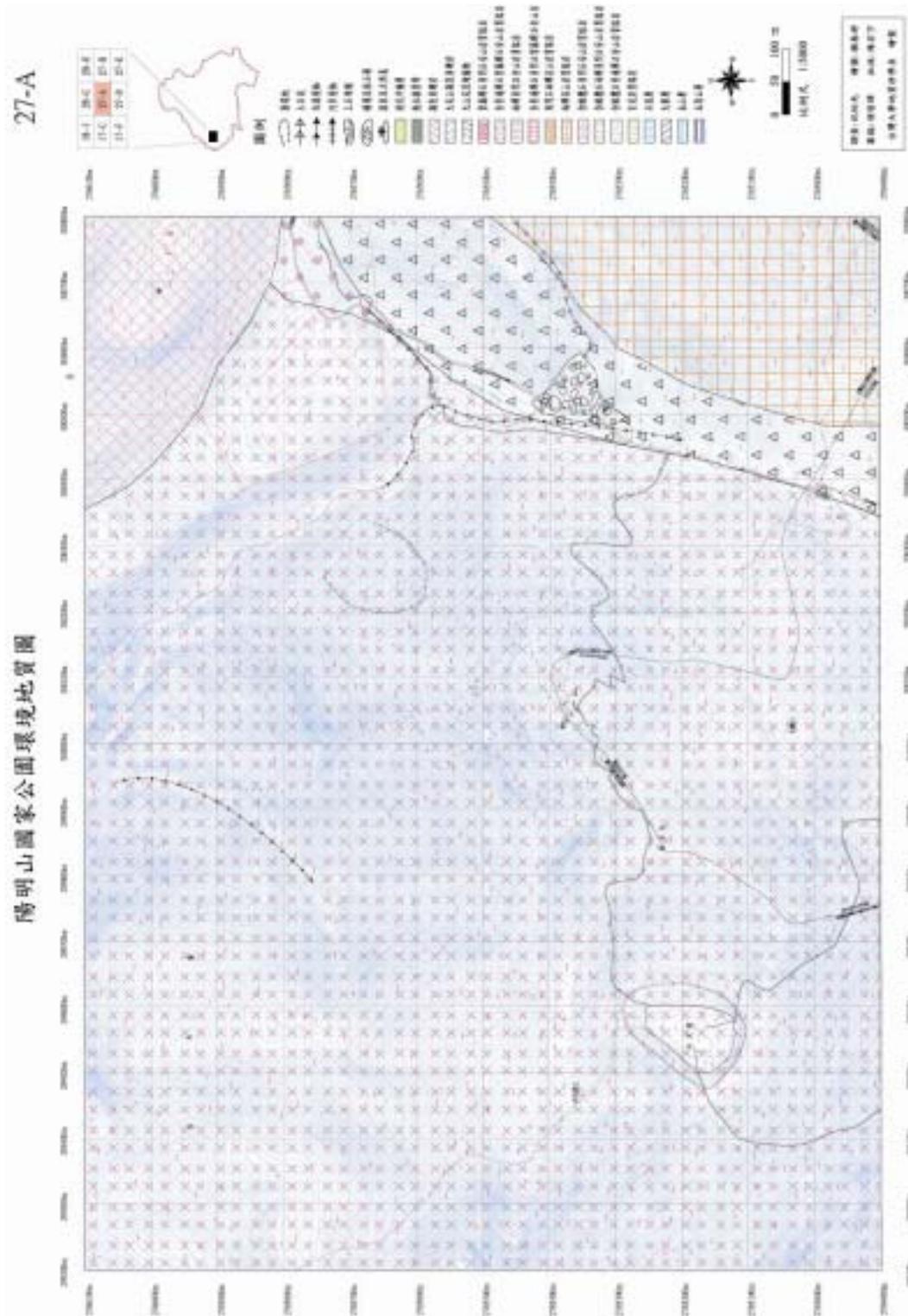
將園區內所量測到各露頭之不連續面，轉化為二維的幾何平面投影圖，並進行不連續面的投影分析(圖七)。藉由投影圖內地質材料之力學強度與不連續面之相對應的幾何關係，而極限平衡的量化分析也一併被輔助瞭解本區域內岩層的破碎狀況，以及坡體可能出現破壞的幾何模狀。



圖七 本研究區不連續面分布狀況

(八) 環境地質圖

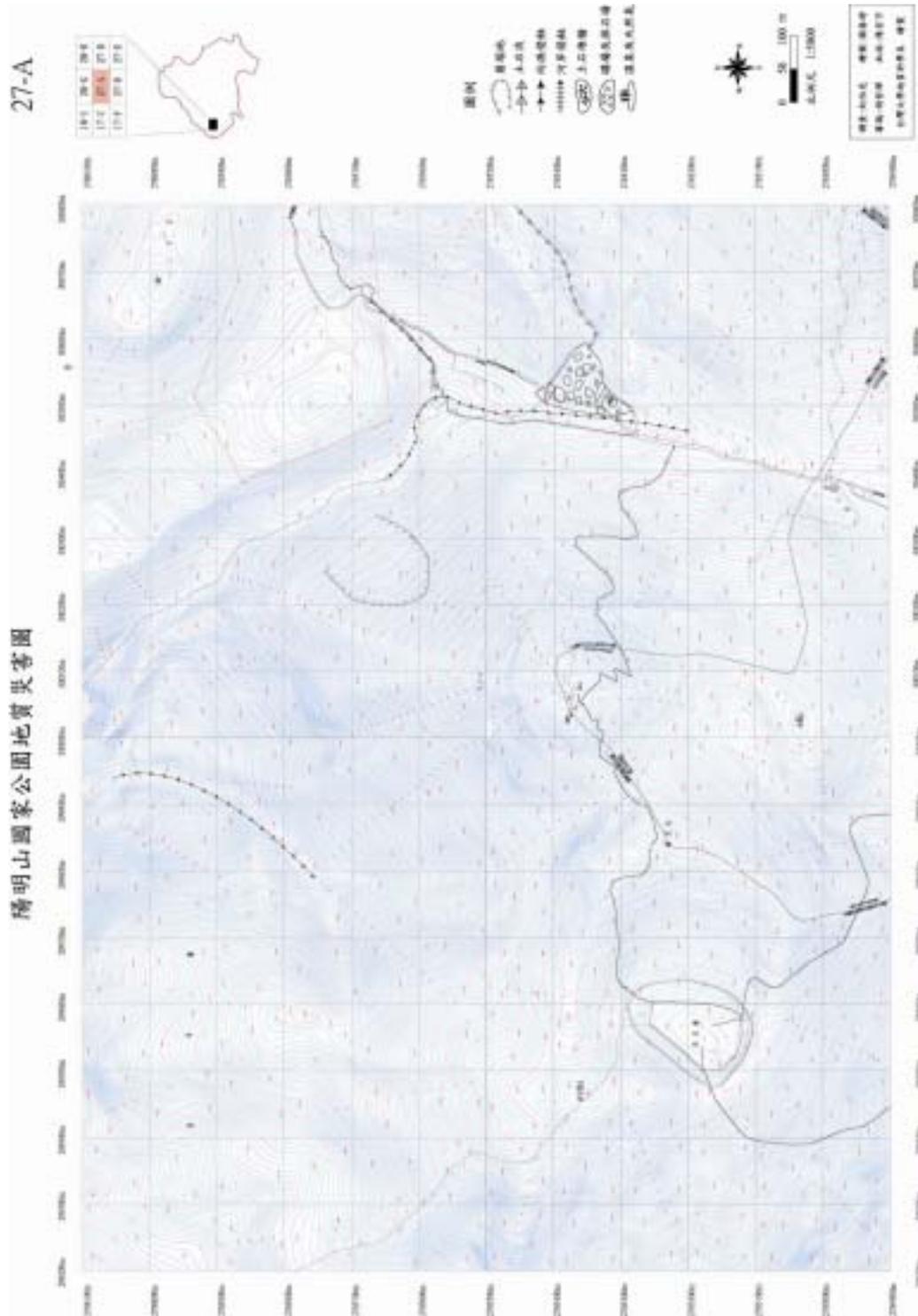
將現地調查所得之地質資料(基地地質圖)、崩基土及廢渣、地表堆積物、水文資料、地熱、地下礦坑分布資料以及地表侵蝕現況等，繪製於地形底圖上(圖八)。



圖八 本研究區環境地質圖

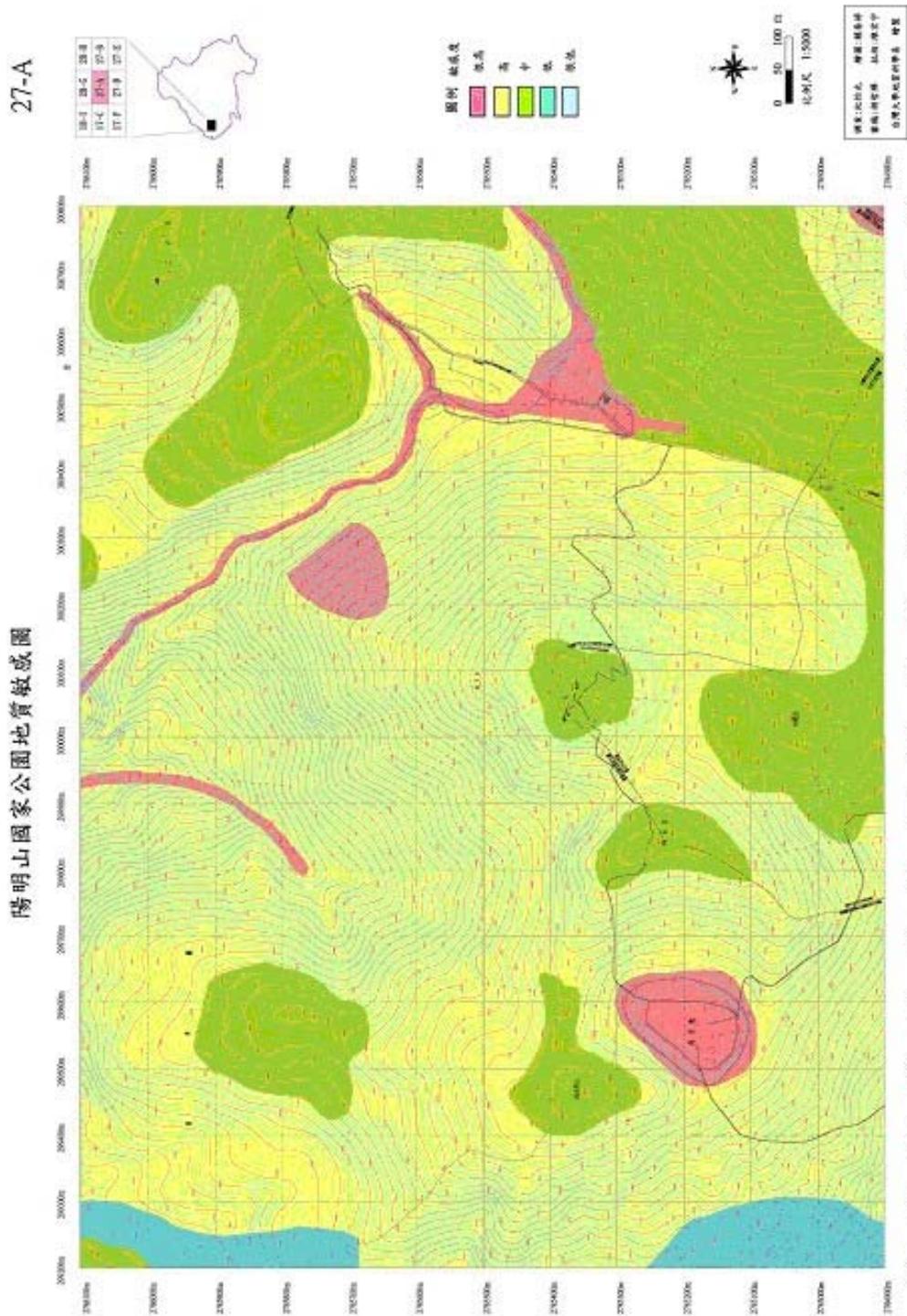
(九) 地質災害圖

匯整政府各單位所出版之「台灣地區土石流危險溪流分布圖」(農委會, 1996), 以及「台灣地區山坡地崩塌地分布圖」在本區顯示之土石流及山崩資料, 並調查園區內地質災害曾發生的地區(黃宏斌, 2000), 如地層滑動、土石流、落石等, 套繪於地形底圖上(圖九)。



(十) 地質災害敏感圖

綜合地質災害及上述各圖幅資料的評估結果，依照地質災害敏感度之不同等級圈繪出：很高、高、中、低、很低等五級(圖十)。



圖十 本研究區地質敏感圖

七、地質災害敏感評估

五級地質災害敏感度包括：(1)崩塌、落石、土石流、向源侵蝕、礦坑及地熱分布區域皆屬於地質災害敏感度“很高”的等級；(2)坡度陡峭(大於40%以上坡度)、地層破碎(具3組以上不連續面)、地質材料強度低(小於 2.5kg/cm^2 之極弱岩以下分類)、具順向坡及楔形坡模狀，為屬於地質災害敏感度“高”的分級；(3)坡度介於40%至30%，不連續面發達(2組以下不連續面)、地質材料強度介於 $2.5\text{-}10\text{kg/cm}^2$ 之極弱岩材質分類、現場具滲水現象，為屬於地質災害敏感度“中”的分級；(4)坡度介於30%至15%之間，不連續面的間距大於3公尺以上，地質材料強度介於 $10\text{-}50\text{kg/cm}^2$ 之間，植生良好，無任何溝谷分布，為屬於“低”敏感度之分級；(5)坡度介於15%以下，不連續面的間距大於3公尺以上，地質材料強度高於 50kg/cm^2 以上，植生良好，無任何溝谷分布，則為屬於“很低”敏感度之分級。

圖幅評估的分析流程主要是依據上述各項調查結果，以套繪的方式來進行(Petak and Atkinson, 1982)。在圖幅套疊的分析中，必須先將(9)地質災害圖內屬於災害分類的資料，以及(8)環境地質圖內屬於侵蝕、地熱、及礦坑等資料先行圈繪，然後(7)不連續面投影分布圖及(3)坡度分布圖則依序進行套疊分析，將具潛在性破壞模狀及坡度陡峭之區域圈繪出來，這個工作分析同時(2)土壤厚度分布圖，(4)坡向分布圖以及邊坡穩地分析資料則予以輔助參考，而基地內所匯整之地質材料強度資料、(6)地層剖面圖及(5)地下水深度分布圖則提供評估上的比對。

從調查中發現，在園區內位於台北縣淡水鎮東側、三芝鄉東南側、石門鄉北側、金山鄉南側，以及萬里鄉西側等地區，都是屬於敏感度較高的區域。

八、結 語

以GIS格式數值化的方式將各項調查之成果圖建置成各不同圖幅的資料庫，非常適宜再利用其圖幅套疊的方式，來更進一步進行地質災害敏感的評估工作。藉由此資料庫的建立，可以提供給該基地在土地利用規劃時，以及地質災害的防治工作上，一套完整而確實的地質環境背景資料，這些資訊的建立可以讓地質災害的損失減到最小的地步，並使土地能夠達到永續經營的目標。

九、致 謝

本研究工作進行期間承蒙台灣大學王鑫教授，黃宏斌教授，文化大學陳錦賜教授，中央地質調查所黃健政組長，陽明山管理處蔡佰祿處長、詹德樞秘書、呂理昌課長、叢培芝課長、王淑芳小姐等多項建議，以及游家敏小姐在文稿整理上的幫忙，在此一並致謝。

十、參考文獻

Alcantara-Ayala, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention and

- natural disasters in developing countries. *Geomorphology* 47, P107-124.
- Bell, F. G. 1998. *Environmental geology*, Blackwell, 608p.
- Bolt, B.A., Horn, W.L., Macdonald, G.A. and Scott, R. G. 1975. *Geological Hazards*, Springer Verlag, 328p.
- Brabb, E.E., Pampeyan, E.H. and Bonilla, M.G. 1972. Landslide susceptibility in San Mateo County, California. US Geological Survey, Misc. field studies map. MF360, Scale 1:62500.
- Bromhead, E. N. 1986. *The stability of slope*, Surrey University Press.
- Brunsdon, D., Dornkamp, J.C., Fookes, P. G., Jones, D.K.C. and Kelley, J.M.H. 1975. Large scale geomorphological mapping and highway engineering design. *QJEG* V. 8, P227-253.
- Brunsdon, D. and Prior, D. B. 1984. *Slope instability*, John Wiley & Sons.
- Chen, Chao-Hsia and Wu, Y.T. 1971. Volcanic geology of the Tatun geothermal area, north Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, no.14, P5-20.
- Cruden, D. M. and Varnes, D.J. 1996. Landslide types and processes; In: *Landslides investigation and mitigation* (Turner, A. K. & Schuster, R. L. eds.), National Research Council, Transportation Research Board, Special report 247, P36-75.
- Dai, F.C. Lee, C.F. and Zhang, X.H. 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study, *Engineering Geology* 61, P257-271.
- Geological Society London 1972. Working party reports on land surface evaluation. *QJEG* 15, P1-168.
- Hansen, A. 1984. Landslide hazard analysis. In: *Slope instability* (Brunsdon, D. & Prior, D.B. eds.), P523-602.
- IAEG, 1976. *Engineering geological maps: A guide to their preparation*. UNESCO, Paris 79p.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek, R.J. (ed.) (1978) *Landslides analyses and control: U.S. National Academy of Sciences Special Report 176*, P11-13.
- Petak, W.J. and Atkison, A.A., 1982. *Natural Hazard Risk Assessment*, Springer – Verlag, 489p.
- Savigear, R.A.G. 1965. A technique of morphological mapping. *Annls. Assoc. Am. Geogr.* 55(3), P514-538.
- Waters, R. S. 1958. *Morphological Mapping*. *Geography* 43(1), P10-17.
- 經濟部中央地質調查所，1979。坡地社區工程地質調查與探勘。
- 王鑫，1986。陽明山國家公園地質及地形景觀，陽明山國家公園管理處，89頁。
- 鄧國雄，1988。陽明山國家公園之地形研究，陽明山國家公園管理處，163頁。
- 陳正宏，1988。陽明山國家公園及鄰近地區火山地質史研究，陽明山國家公園管理處，56頁。
- 張石角，1989。陽明山國家公園環境敏感區及潛在災害地區之調查研究，內政部營建署陽明山國家公園管理處，78頁。
- 工業技術研究院，1989。台灣省重要都會區環境地質資料庫。
- 宋聖榮，1994。陽明山國家公園內古火山環境及噴發史的研究，陽明山國家公園管理

處，79 頁。

行政院農委會，1996。台灣地區土石流危險溪流圖。

台灣大學地質科學研究所，1996。雲林縣地盤下陷區之地質環境評估。

中國地質學會，1999。區域國土開發保育防災基本資料。

黃宏斌，2000。園區聚落與民舍周圍地區潛在災害調查與預警之調查研究，內政部營建署陽明山國家公園管理處，59 頁。

經濟部中央地質調查所，2001。坡地環境地質災害敏感區判定準則及作業方法，44 頁。

蔡呈奇，2002。應用地域分析與地理資訊系統繪製土壤圖：以台灣北部火山灰土壤為例：國立台灣大學農業化學研究所博士論文，168 頁。

The evaluated study of geohazard susceptibility in National Park – A case study of Taipei County area

Hongey Chen¹, Jiun-Chuan Lin², Sheng-Rong Song¹

(Manuscript received 15 May 2003 ; accepted 9 July 2003)

ABSTRACT : The evaluation of geohazard susceptibility is normally based on the environmental properties of the site. It generally includes several items, such as geomorphological characteristics, structural geology, geomaterial composition and groundwater distribution. Digital maps showing the characteristics of geological environments were created using site investigation. These maps include (1) geological map , (2) soil thickness map , (3) slope grade map , (4) slope aspect map , (5) distribution of ground water map , (6) stratigraphic profile , (7) stereonet distribution of discontinuity , (8) environmental geology map , (9) geohazard map , and (10) geohazard susceptibility map. Geohazard susceptibility was evaluated by map overlap. Five grades were distinguished: “very high”, “high”, “medium”, “low” and “very low”. These evaluated results could be used for reference in land use planning and limited land use development. This paper discusses the case study of Yangmingshan National Park using the evaluated study of geohazard susceptibility.

KEYWORDS : evaluation, geohazard susceptibility, geomorphology, digital

1. Department of Geosciences, National Taiwan University
2. Department of Geography, National Taiwan University