玉山國家公園金門峒斷崖崩塌速率及演化趨勢之研究

玉山國家公園研究叢刊
2001

玉山國家公園金門峒斷崖崩塌速率及演化趨勢之研究

撰寫人：陳隆陞

研究單位：內政部營建署玉山國家公園管理處
中華民國　八　十　一　年　八　月

該研究報告非本處立場、僅供參考

謝　誌

本研究承蒙處長暨管理處的鼓勵與支持，並提供經費及行政支援，始得以順利完成及出版報告。

研究期間（七十六年十一月～八十一年五月），受到前任葉世文處長全力的支持與勉勵，藉此謹表達個人最誠摯的敬意與謝意。同時承國立成功大學地球科學研究所蔡金郎教授、林慶偉教授、工研院能資所黃鎮臺教授、劉進金、夏龍源二位學長及國立自然科學博物館程延年、葉貴玉二位博士的參與勘查及指導，特此致謝。

金門峭斷崖因地形險峻，交通極為不便，野外監測工作非常的艱困與危險，衷心感謝全體巡山員不辭辛勞協助野外打樁及量測工作，使本研究得以順利完成，如：伍金山、伍玉龍、江啓明、方有水、顏文博、林淵源、杜順發、劉居賜、高尚義、謝國忠、謝佑龍、高忠義、全秋雄等巡山員。

還要感謝鍾銘山、楊惠朱二位同仁於研究期間代理課務之辛勞，工務課凍彥甫同仁、鄭元振學弟之協助電腦繪圖工作，成大地科系學弟顏君毅、王仲平、賴文基、莫凌霄等的協助野外地質調查工作，以及吳明勳先生協助繪圖之工作。

最後感謝企劃課與觀光課全體同仁於研究期間，均能勤奮盡責於課務，使我無後顧之憂，得以順利在工作與自行（學術）研究上兼顧並獲益。

陳隆陞

謹誌

1992年8月於水里

摘　　要

玉山國家公園內位於八通關地區之金門峒大斷崖是國內規模最大的崩塌地之一，也是河川向源侵蝕及河川襲奪之典型範例，並為斷崖、斷層、崩塌地，分水嶺等地質研究與解說之極佳地點。本研究即將金門峒斷崖按地層、岩性等崩塌特性之不同分為① C區頭山層板岩區② D區金門峒斷層破碎帶③ E區佳陽層變質砂岩夾板岩區等三區，分別於崩崖冠部埋設木樁加以量測其向源侵蝕之速率，除定點定期野外量測與拍攝記錄外，亦針對特殊季節如颱風、豪雨、梅雨季進行不定期之觀測，並配合不連續面之調查分析，地理資訊系統之分析與航照判釋以探討其崩塌之發育機制，再配合前人於玉山地區之研究及文獻分析，進一步推測其未來的崩塌演化趨勢。

其崩塌種類與速率依野外觀測結果為：

(1)C區屬穩定區域，崩塌規模甚微；落石或岩屑崩落。

(2)D區以5.75m／year 平均速率向源侵蝕；崩塌方式以板狀倾覆或岩塊崩滑或落石為主。

(3)E區以8.89m／year 平均速率向源侵蝕；崩塌方式以板狀倾覆或岩塊崩滑或落石為主。

金門峒斷崖之崩塌機制主要是受到金門峒斷層主構造之影響，使得岩體破碎，特別是鞍部D區，另伴隨著斷層發育的高密度節理，及因解壓作用形成的張力裂縫，板岩的板劈理，均使金門峒斷崖的岩體特性，破碎的有如膠結疏鬆的碟岩一般，加上外在營力的作用，例如降雨沖蝕、豪雨、颱風、地震、重覆冷熱(乾濕)作用、與凍霜作用，使金門峒斷崖以5.75m／year ～ 8.89m／year平均速率朝南與西南急速的向源侵蝕，其崩坍面積更於59年內擴張達2.5倍，預計3～5年之時間，可達分水嶺開始進行河川襲奪之作用(陳有蘭溪襲奪荖濃溪)，再約15年之時間會影響到玉山至八通關之步道，其崩塌發育趨勢更有向北峰稜線迅速擴大崩塌之趨向，終致會影響到整個八通關地區甚至玉山山脈之地形與地貌。

英文摘要

The Chinmentong Cliff at Patungkuan in the Yushan National Park is one of the largest collapsed lands in Taiwan. It is also a classic example of headward river erosion as well as river capture. It is an excellent location for geologic research and exemplification of cliff, fault, watershed, and collapsed land. Chinmentong Cliff is divided into the following three areas, based on the characteristics of collapse, stratigraphy and the nature of the rock, (1) Area C Lushan formation (slate) area; (2) Area D Chinmentong fault rubble belt; (3) Area E Chiayang formation (metamorphic sandstone interspersed with slate.) Wooden posts were sunk in the ground at the crest of the collapsed cliff in order to measure the rate of headward erosion. Besides doing field research and photographic records at fixed intervals, measurements were made also at unspecified time during the typhoon, heavy rain, and spring rain seasons. These were accompanied by discontinuity survey research, geographic information systems analysis, as well as aerial photography analysis to explore the development mechanism of the cliff. Also, these were collated with previous studies and textual evidence about the Yushan area left by others. Finally, the study estimates the future evolution of the collapsed cliff.

Based on field measurements, the landslide type and rate results are:

(1) Area C is stable, with very little collapse; falling rocks or debris slump;

(2) Area D is being eroded headward at the rate of 5.75 m/year; with toppling plates, Rock block slide, or falling rocks;

(3) Area E is being eroded headward at the rate of 8.89m/year; with toppling plates, rock block slide , or falling rocks.

The collapse mechanism of the Chinmentong Cliff is mainly affected by the main structure of Chinmentong Fault, causing the rocks to be shattered, in particular, in saddle Area D, high joint density is accompanied with the development of the fault.

The tensile fractures caused by the action of releasing the pressure, and the cleavage of the slate, all make the rock composition of the Chinmentong cliff special. The pebbles are a conglomerate type like gum combed through the hair. With the help of the external effects, such as rain erosion, heavy rains, typhoons, earthquakes, repeated hot and cold (or dry and moist), and frost ,the headward erosion at the Chinmentong Cliff is vapid with a rate of 5.75 m/year to 8.89 m/year in a southerly and southwesterly direction. The surface area of the collapse has expanded 2.5 times in 59 years. It is estimated that in 3-5 years, it could reach the watershed, and initiate the river capture (the Chenyoulan River capturing the Laonong River). In about fifteen years will affect the Yushan to Patungkuan trail. The trend of its collapae is to move with increasing speed toward the north peak ridge line of Yushan. Ultimately this will affect the whole Patungkuan area and even the shape and appearance of the Yushan mountain range.

表 目 錄

表2-1 八通關與金門峒斷崖附近岩層對比表----------12
表2-2 玉山、阿里山地區75—79年月平均溫度表----------17
表2-3 玉山、阿里山地區75—79年月平均雨量表----------17
表2-4 玉山、阿里山地區75—79年月平均風速表----------17
表2-5 八通關草原各型植被摘要----------20
表2-6 玉山地區地層對比表----------29
表3-1 研究架構流程表----------32
表3-2 野外觀測點及觀測項目表----------40
表4-1 金門峒斷崖崩塌地基樁觀測樁位滑動表----------48
表4-2 金門峒斷崖面至分水嶺距離變化表----------53
表4-3 金門峒斷崖崩塌面積擴大表----------54
表4-4 C區廬山層板岩不連續面調查表----------60
表4-5 D區破碎帶不連續面調查表----------61
表4-6 E區佳陽層不連續面調查表----------62
表4-7 金門峒斷崖張力裂縫調查表----------63
表4-8 金門峒斷崖主要節理組之Schmidt Net 分析值----------67
表4-9 金門峒斷崖主要板劈理之Wulff Net 分析值----------67
表4-10 崩塌地記錄表----------69
表4-11 Vornes 山崩分類表(1989)----------71
表4-12 玉山地區1991年地震記錄資料表----------95
表4-13 金門峒斷崖氣候與向源侵蝕速率比較表----------97
表4-14 77年—80年侵台颱風及災情紀要表----------99

圖 目 錄

圖1-1 研究範圍簡圖----------3
圖1-2 金門峒大崩崖之崩塌現況景觀----------4
圖2-1(a) 八通關草原地形景觀----------6
(b) 金門峒斷崖及八通關地理環境----------7
圖2-2(a) 陳有蘭溪及附近流域河系分佈圖----------8
(b) 金門峒斷崖北側之陳有蘭溪與其南側之荖濃溪--------9
圖2-3(a) 金門峒斷崖地層及岩性分區圖----------11
(b) 金門峒斷崖附近之岩層與岩石----------12
圖2-4 台灣地區氣候分區圖----------16
圖2-5 玉山、阿里山地區平均溫度圖(75~79年)----------18
圖2-6 玉山、阿里山地區月平均降雨日數圖(75~79年)-----18
圖2-7 玉山、阿里山月平均雨量圖(75~79年)----------18
圖2-8 玉山、阿里山月平均下霜日數圖(75~79年)----------19
圖2-9 玉山、阿里山月平均下雪日數圖(75~79年)----------19
圖2-10 玉山、阿里山水文消長平衡圖(75~79年)----------19
圖2-11 八通關草原植被圖----------21
圖2-12 金門峒斷崖D區植被圖----------22
圖2-13 玉山、水里地區地質圖----------25
圖2-14 八通關附近航照分析圖----------26
圖2-15 東埔玉山區線型構造分析圖----------28
圖3-1 金門峒斷崖崩塌速率監測木樁分佈圖----------38
圖3-2 金門峒斷崖監測木樁與野外埡設圖----------39
圖3-3 重疊拍攝法之重疊原理圖----------41
圖4-1 金門峒斷崖監測木樁樁位分佈 (CIS)圖----------47
圖4-2 77~81年金門峒斷崖A~E樁位後退滑動變化圖-------49
圖4-3 不連續面野外調查分佈點----------57
圖4-4 金門峒斷崖D區步道旁盧山層發達之節理與板劈理----58

1. 地層位態與岩性調查——44
2. 地質構造暨不連續面發育調查——44
第四節 坍滑區評估——46
第四章 資料分析與討論——47
第一節 金門峒斷崖崩塌及向源侵蝕之速率——47
第二節 不連續面調查及分析——55
第三節 金門峒斷崖崩塌地形態及特性之分析——68
第四節 金門峒斷崖崩塌控制機制之探討——80
1.氣候與植生因子之影響——80
2.地形因子之影響——83
3.組成物質之影響——89
4.不連續面及地質構造之影響——91
5.地震、積雪等其他特殊因子之影響——95
第五節 金門峒斷崖崩塌演化趨勢之推測——101
第五章 結論與後續研究——106
參考文獻——107
附圖——111
附錄一——115
附錄二——117
附錄三——118
附錄四——119
附錄五——120

圖4-5　金門峒斷崖D區之張力裂縫圖----------58
圖4-6　金門峒斷層於D區之拖曳褶皺(drag flod)----------59
圖4-7　金門峒斷崖張力裂縫分佈圖----------64
圖4-8　節理調查值之史密特(Schmidt)立體投影圖----------65
圖4-9　板劈理調查值吳爾福(Walff)立體投影圖----------66
圖4-10　邊坡研究架構圖----------68
圖4-11　岩體中邊坡不穩定的種類----------72
圖4-12　金門峒斷崖崩塌型態標示圖----------74
圖4-13　理想化且簡化之崩塌剖面示意圖及其上各部名稱----75
圖4-14　金門峒斷崖之GIS坡向分析圖----------87
圖4-15　金門峒斷崖之GIS坡度分析圖----------88
圖4-16　金門峒斷崖E區沿陳有蘭溪河床之GIS剖面圖----------77
圖4-17　金門峒斷崖D區沿陳有蘭溪河床之GIS剖面圖----------77
圖4-18　金門峒斷崖崩塌地之三處橫向GIS剖面圖----------78
圖4-19(a)金門峒斷崖C區崩塌剖面示意圖----------79
(b)金門峒斷崖E區崩塌剖面示意圖
(c)金門峒斷崖崩塌橫剖面圖
圖4-20　金門峒斷崖崩塌地3D立體透視圖----------78
圖4-21　78年D區月平均崩崖崩塌後退速率變化圖----------81
圖4-22　玉山地區氣候因子之季節變化----------81
圖4-23　降水、侵蝕量與植被的關係圖----------82
圖4-24　侵蝕與坡角及坡長間的關係----------83
圖4-25　坡角與邊坡安全係數之關係----------84
圖4-26　台灣震度區分圖----------96
圖4-27　金門峒斷崖氣候與向源侵蝕之關係比照圖----------98
圖4-28　陳有蘭溪與菉濃溪河川襲奪預測圖----------102
圖4-29　金門峒斷崖D區及E區向源侵蝕演化預測圖----------103
圖4-30(a)金門峒斷崖現況島瞰圖(西元1989年)----------104
(b)金門峒斷崖崩塌發育趨勢預測示意圖(約西元2030~2040)

第一章　緒論

第 一 節　研究動機

玉山國家公園位居台灣心臟地帶，範圍遼闊，境內地形複雜，高山峻谷羅列，各種地形、地質景觀豐富而且深具解說與研究之價值，其中金門峒大斷崖是國內規模最大的崩塌地之一，也是玉山國家公園內最主要登山步道－玉山主峰線之主要地形景觀，更是國內地質學上河川向源侵蝕之典型範例；並為斷崖、斷層、崩塌地、分水嶺、地層分界等地質研究與解說之最佳地點，以往有關此斷崖之研究多為描述性之定性調查，而欲對此斷崖之成因及其發育過程做進一步的了解實有進行崩塌速率之量測與探討其崩塌控制機制之必要，並據以提供玉山國家公園管理處該地區經營管理暨地質解說教育及保育研究之基礎資料。

第二節　研究地區

本研究調查之範圍乃以八通關附近地區暨金門峒崩崖為主，北至觀高南迄八通關南側荖濃溪谷，東抵八通關山，西達玉山北峰之區域(圖1—1)。至於本研究中金門峒崩塌地之向源侵蝕速率與分水嶺位移速率及河川襲奪現像之監測；則係指八通關北側陳有蘭溪源頭之金門峒大崩崖之現有崩塌範圍及可能擴充與影響之地區，例如崩塌地接近玉山北峰之稜線與八通關南側荖濃溪谷坡崩塌地一帶。

金門峒大崩崖位於玉山國家公園之八通關處，是濁水溪上游陳有蘭溪的源頭區域。從南投縣東埔溫泉開始，八通關古道沿著陳有蘭溪的陡急坡谷穿行，兩岸的大山分別是郡大山與玉山北峰。陡急的陳有蘭溪河谷一直向上延伸，直到八通關的北側達到了盡頭。由於陳有蘭溪急速的向源侵蝕作用在源頭處造成激烈的山崩土瀉，形成＂金門峒大崩崖＂之景觀，自觀高附近遠眺，壯麗的崩塌景像，清晰可見(如圖1—2)。

第 三 節　研究目的與課題

針對金門峒斷崖崩塌地之觀測及探討，本研究將著重於下列三個課題：

㈠金門峒斷崖崩塌及向源侵蝕速率之監測

㈡金門峒斷崖崩塌發育機制之探討

㈢金門峒斷崖崩塌演化趨勢之推測

希望藉由本研究對金門峒斷崖崩塌地發育進行長期之監測，並調查各項地質與氣候因子之影響程度；探討其崩塌發育之機制；及根據量測調查資料與結果推測金門峒斷崖崩塌演化之趨勢，而達到以下之預期成果：

㈠建立金門峒斷崖之基本地質資料如：地層、岩性、地質構造、不連續面...等。

㈡探討與了解造成金門峒斷崖崩塌之原因，及其主要影響因子之影響程度。

㈢觀察與了解金門峒斷崖向源侵蝕之進行速率。

㈣推估金門峒斷崖坍滑擴大之可能範圍、方位、規模與速率。

圖 1-1 研究範圍簡圖

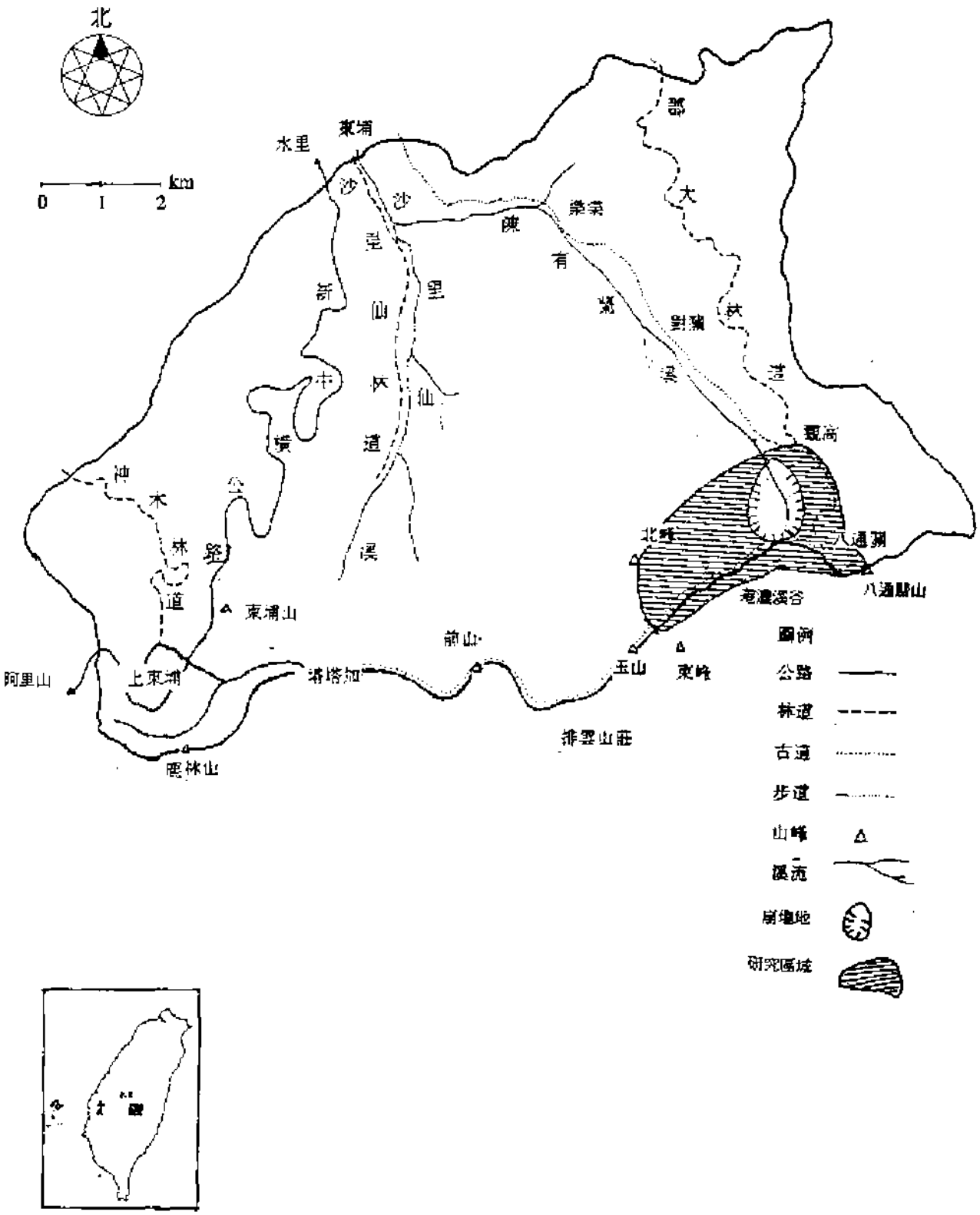
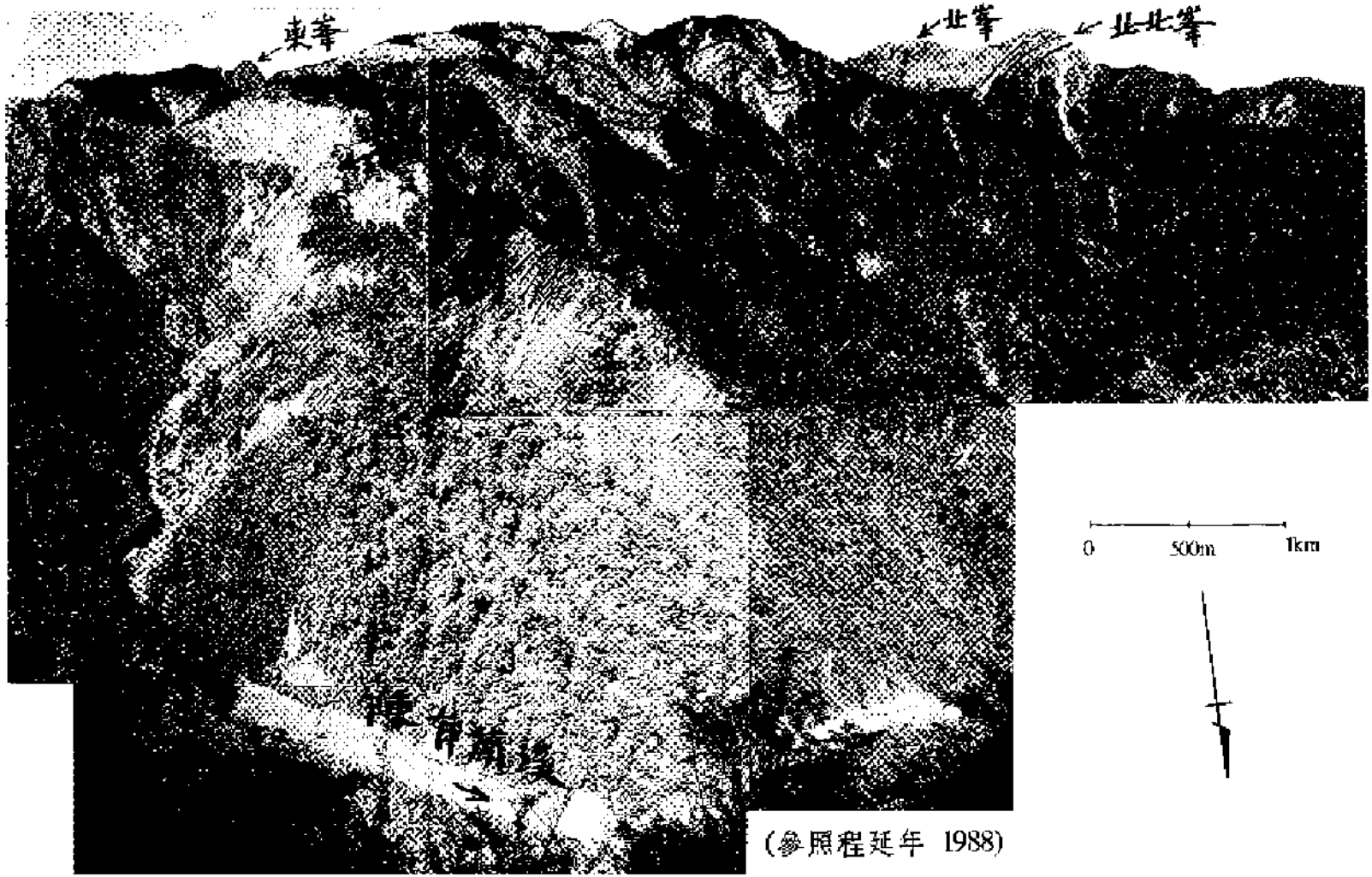

北
km
0
1
2
東埔
水里
沙
沙
里
里
仙
仙
新
中
橫
公
路
林
道
溪
沖
木
林
道
東埔山
上東埔
阿里山
塔塔加
前山
玉山
東峰
排雲山莊
鹿林山
北峰
八通關
八通關山
觀高
對關
溪
大
林
道
圖例
公路
林道
古道
步道
山峰
溪流
崩塌地
研究區域

圖 1-2 金門峒大崩崖之崩塌現況景觀



(參照程延年 1988)

第二章　研究區域之自然環境與地質背景

第一節地理概況

金門峒大斷崖座落於玉山國家公園內八通關之北側位置，行政區分上隸屬南投縣信義鄉管轄，本區之交通可由南投縣東埔溫泉風景區沿八通關越嶺道步行14.3Km經觀高，再步行2.5Km到達八通關，大約一天之步行行程可達；或從南投縣信義鄉十八重溪橋處之郡大林道行車上觀高，再步行至八通關，惟目前因郡大林道47K 處坍方嚴重，已無法通車。另從新中橫公路經塔塔加鞍部，走玉山主峰線步道上玉山主峰後下八通關，則需約二天之步行行程。

八通關海拔2955公尺介於玉山山塊與中央山脈之間，為玉山與秀姑巒山兩座山之間東西向稜線的鞍部凹地，鄰近環繞的高峰有秀姑巒山(3869m)大水窟山(3724m)達芬尖山(3222m)、玉山東峰(3900m)、八通關山(3404m)、玉山主峰(3952m)、玉山東峰(3900m)、玉山北峰(3920m)等。在地理上它近本島的中央部位，是本島中部橫越中央山脈高峰前必經的關口；由於八通關是一個鞍部（垭口）地形，因此是築路必經的重要關口，一百多年前福建總兵吳光亮領隊開築的"八通關古道"即經過八通關，繼續向東抵花蓮縣玉里鎮。

八通關附近的水系主要有北側（稍偏東）的郡大溪（流路呈南北向延伸）、北側（偏西北）的陳有蘭溪（流路呈西北向延伸）及南側的荖濃溪，如圖2-2。

郡大溪發源於秀姑巒山西麓，即秀姑巒山、八通關山、觀高山等環繞的集水區，其流路大致平行於本島最大的匹亞南大構造線呈南北之流向，從八通關山北側向北流，先匯入丹大溪後再匯入濁水溪。

陳有蘭溪發源於玉山北麓，匯集該坡面至西方向里山山脈東坡與東方郡大山脈之水朝西北流，在東埔村與沙里仙溪匯合北流入濁水溪，而為其最大支流。此溪沿陳有蘭斷層發育，為一標準之斷層

線谷；主流溪谷均呈直線狀，坡度甚陡，曲流不發達，從觀高沿八通關越嶺道下東埔沿途可見陳有蘭溪的V狀河流。

荖濃溪發源於秀姑巒山、大水窟山、玉山北峰與主峰之間，為高屏溪上游第一大流，與楠梓仙溪在旗山以南匯入高屏溪；從玉山主峰東側的山谷步行至八通關的路程，即沿著本溪的源流之一而行，到達八通關之後，急轉南流；本流上游河谷，河階不發達，大致呈連續的峽谷。

八通關北側是濁水溪的上游集水區；南側是高屏溪的上游集水區，二溪呈谷中分水的景觀，以八通關為其分水嶺，由於北側陳有蘭溪的河床坡度較陡，向源侵蝕劇烈，在源頭處造成金門峒斷崖大崩塌地，南側荖濃溪谷亦見崩塌，惟規模較小，故而分水嶺逐漸向南移動著；金門峒大斷崖繼續發育下去，從玉山下達八通關的荖濃溪谷將被陳有蘭溪襲奪而去，改變成陳有蘭溪的上游源頭支流。

金門峒大斷崖不僅具備斷崖的景觀，也是一個壯觀的高山崩塌地景觀，基本上它是一個大溪的源頭圈谷地形。而其南北側的兩溪由於均受構造線的控制，和向源侵蝕力量的差異，使分水嶺有位移的走趨。總觀八通關及金門峒斷崖鄰近區域計有：高山、河流源頭、溪谷向源侵蝕、鞍部垭口、分水嶺及谷中分水、崩坍與斷崖、斷層體系等地形、地質景觀。

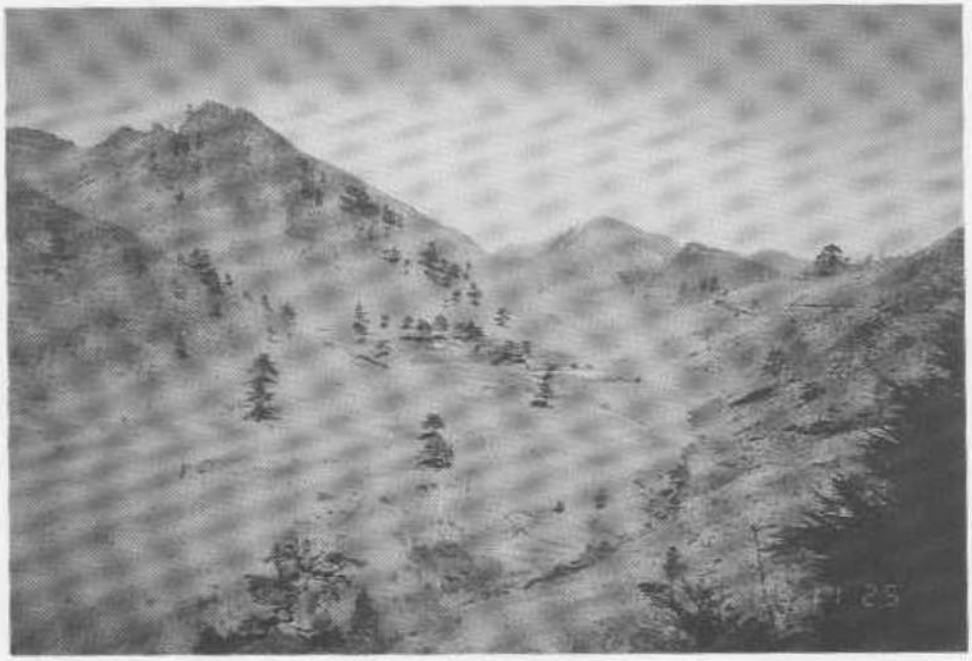
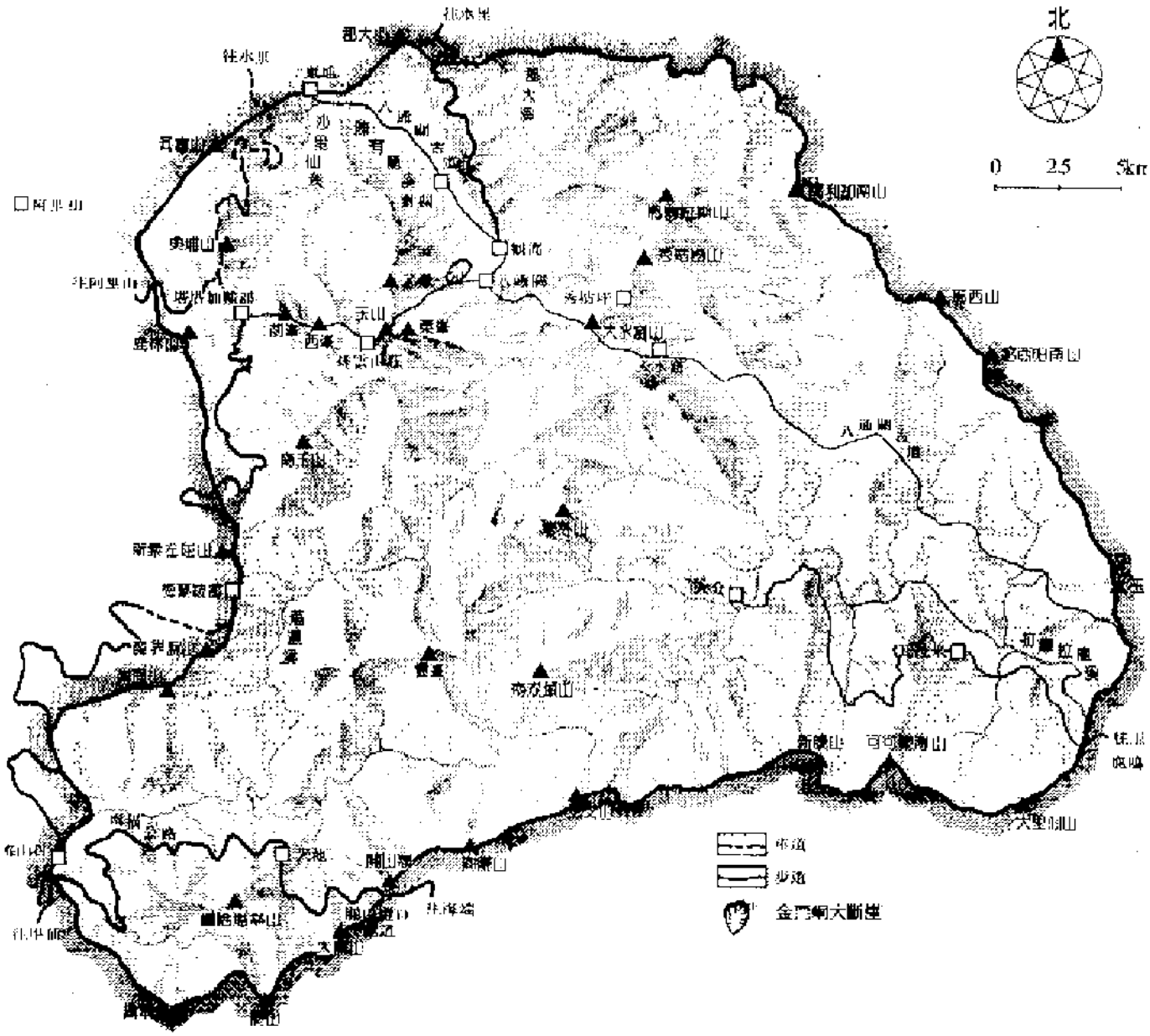


圖 2-1(a)　八通關草原地形景觀

圖 2-1(b)　金門峭斷崖及八通關地理環境



(玉山國家公園簡介)

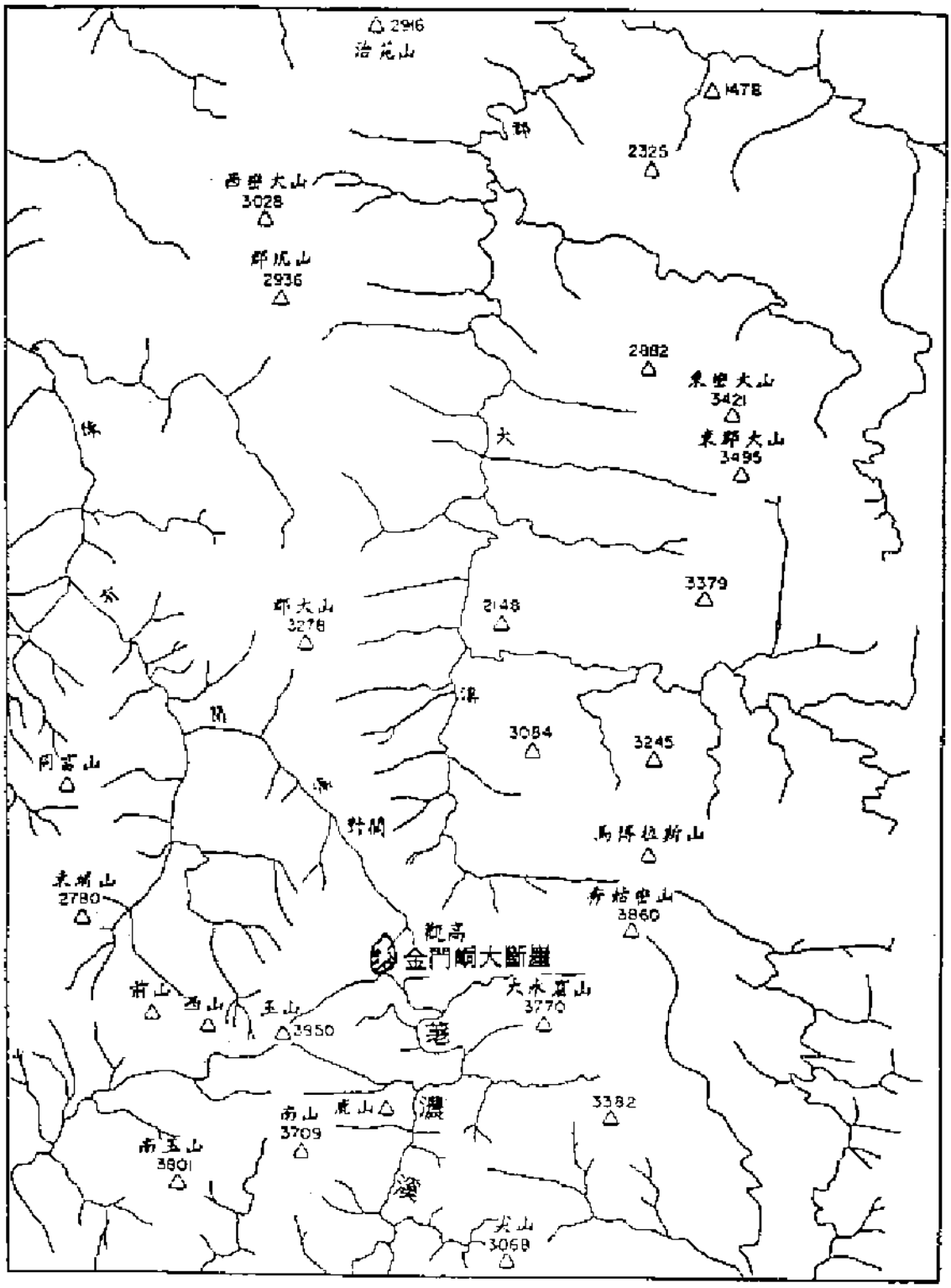


圖2-2(a) 陳有蘭溪及附近流域河系分佈圖

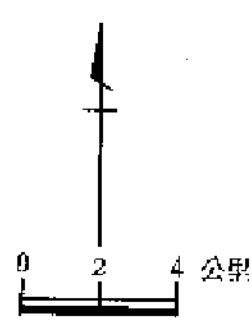


圖 2-2(b) 金門峒斷崖北側陳有蘭溪與南側菴濃溪



陳有蘭溪源頭金門峒大斷崖



金門峒斷崖北側的陳有蘭溪
右下圖



金門峒斷崖南側的菴濃溪
右上圖

第二節　地質背景

一、地層與岩性

在地質區分上金門峒大斷崖位置恰在中央山脈西翼地質區的兩大分區界線位置，亦即西部的雪山山脈帶及其東的脊樑山脈帶，玉山山塊實屬於雪山山地脈質區最南緣的部份，玉山山塊以郡大溪及老濃溪河谷與中央山脈的脊樑山塊分界，金門峒大斷崖的地形景觀在這兩大地質區的界限上格外值得注意，王鑫等（1984）認為金門峒斷崖的地質分界清晰可見，在斷崖的東下半部是顏色深暗的硬頁岩，西上半部是顏色稍淺的砂岩，前者是組成秀姑巒山的岩層（中新世廬山層的岩層），後者是組成玉山諸峰的岩層（玉山主山層或佳陽層），而二者之間以斷層為界，據筆者實際的野外採樣鑑定結果，前者為廬山層的板岩，後者則為佳陽層的變質砂岩與板岩。(表2-1及圖2-3)其岩層描述如下。

佳陽層（陳肇夏，1977；李春生，1979，程延年，1788）

佳陽層主要由厚黑色板岩或千枚岩所組成，夾有極少量之細粒變質砂岩或變質粉砂岩，板岩劈理極為發達，夾有燧石結核，並富含腸狀褶皺之石英脈填充。單調之板岩岩性與發達之板岩劈理為佳陽最明顯之岩性特徵。

廬山層（何，1975，程延年，1988）

廬山層基本上以黑色硬頁岩、板岩及千枚岩／變質硬砂岩之互層組成，含泥灰岩團塊。於標準剖面之廬山溫泉一帶，廬山層分為三段（張，1984a），下段之春陽段為暗灰色板岩，偶夾細粒變質砂岩或粉砂岩。於萬大水庫，夾有稜鏡體玄武岩質之火成岩。所有廬山階化石群大都於下段中發現。中段之鷹峰段為青灰色變質砂岩與砂質板岩互層，以砂岩為主，含有不規則之石英脈。上段之昆陽段千枚岩組成，葉理發達，呈絲絹光澤。偶夾薄層或厚層之變質砂岩。

圖 2-3(a)　金門峒斷崖地層及岩性分區圖

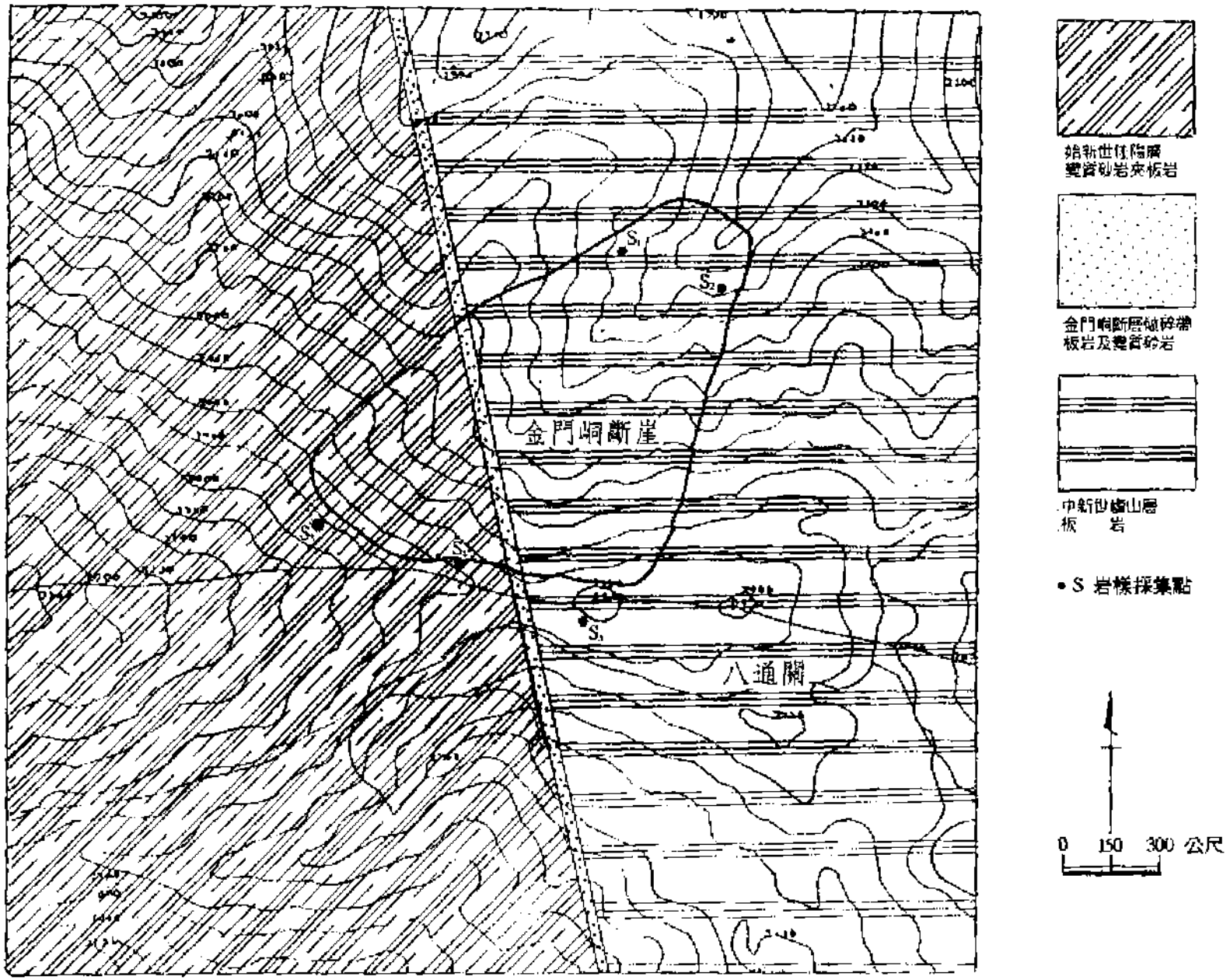


表 2-1 八通關與金門峒斷崖附近岩層對比表

分區 / 年代	八通關與金門峒斷崖附近岩層				
	李春生(1979) 陳肇夏(1977)	王鑫(1984)	王文能(1979)	何春蓀(1986) 程延年(1988)	本文
新第三紀		金門峒斷崖東下半部（秀姑巒山岩層）	廬山層	廬山層	廬山層
古第三紀	佳陽層	金門峒斷崖西上半部（玉山箭峰岩層）	玉山主山層	佳陽層（西村層）	佳陽層



圖2-3(b)金門峒斷崖附近之岩層與岩石

金門峒斷層破碎帶上之破碎板岩



佳陽層之變質砂岩



廬山層板岩(夾石英脈)

二、地質構造

地理位置上八通關介於玉山山塊與中央脊樑山塊之間，群峰環繞，為一個鞍部垭口的地形，此一地形表現適足以反應內部地質結構體系的特殊性，八通關北側郡大溪即所謂梨山大斷層向南延伸的「郡大溪斷層」；八通關以南沿荖濃溪谷地，有所謂的「荖濃溪斷層」；另一組西北向通過金門峒斷崖的斷層即為「金門峒斷層」。八通關似為一幅射狀構造線的軸心位置，構造線極為複雜（參照圖2-15），由於構造的錯動，原本軟弱的中新世廬山層岩會遭受快速的侵蝕與風化作用。

金門峒斷崖的地質構造有下列數端：(1)金門峒大斷崖是受到金門峒斷層主要構造線的控制，，至於王文能（1978）所繪「金門峒斷層」線之位置值得斟酌。事實上，八通關附近構造極為錯綜複雜，沿荖濃溪谷東北西南向為一斷層谷，而陳有蘭溪西北東南向筆直谷則為另一斷層谷（張郁生，1984）。後者經過八通關大山兩個山峰間的鞍部往東南延伸。除這兩個主要構造系之外，荖濃溪谷於本研究區附近轉折近90度，其西北東南向的流向顯然受到另一組構造斷層線所控制。這一組構造線將三千五百萬年前沉積的佳陽層與約一千萬年前沉積的廬山層板岩以逆衝斷層拉攏在一起，在金門峒斷崖面上清晰可見。第二組線型體系乃陳有蘭溪於金門峒斷崖處以北，轉折而與荖濃溪的東北西南河段平行發育的構造體系，這一構造體系加速了陳有蘭溪源流的刻蝕力量；(2)由於前述基本地質構造的控制，在金門峒斷崖以北的陳有蘭溪源流之向源侵蝕極旺盛，加上泥質的廬山層板岩之快速風化，又由於這個侵蝕面因位居構造斷層線上而使岩體破碎，造成了東埔玉山區最為壯觀的地質崩崖景觀；(3)荖濃溪谷在南面受兩組構造線控制，其轉折處具有旺盛的邊坡側蝕力量，也導致大型崩坍之發生，使得玉山步道所形成的谷中分水嶺日益狹窄。由於兩坡侵蝕的較勁，分水嶺亦逐漸南移。（參照程延年，1988）。

第三節　自然環境

一、研究地區的氣候

本研究地區雖山巒起伏，但早在1943年即有玉山測候站在玉山北峰設立，對該地區之氣溫、降水、相對濕度、風、氣壓、日照、霜雪均有所記錄，茲將本研究調查期間之氣象資料對照鄰近阿里山測候站資料，就有關影響崩塌地發育之氣候因子如氣溫、雨量、颱風及霜雪等，簡述如下。

玉山地區雖地處台灣亞熱帶氣候區之中央，因海拔在三百公尺至三、九五二公尺之間，氣溫隨著高度上升而遞減，形成溫帶、寒帶兩種氣候型。(參閱圖2-4台灣地區氣候分區圖)綜合玉山地區中央氣象局所屬玉山北峰氣象測站 (海拔三、八五〇公尺)、阿里山測候所(海拔二、四〇公尺)及本處鹿林山氣象站資料，依氣溫、雨量、風及颱風、。氣壓、濕度與蒸發量、霜雪等分述如次：

㈠氣溫

本區全年平均等溫線分布，攝氏二十度等溫線大致和海拔一千公尺等高線相合；攝氏十度等溫線與海拔二、五〇〇公尺等高線相合；至於三、五〇〇公尺以上之山區，其年平均溫則為攝氏五度。尤以玉山地區，最近五年年平均溫僅攝氏四．二度；在氣溫最高的七月間，月平均溫仍不超過攝氏八．五度；元月、二月份月平均溫可下降至攝氏零下〇．九度。該區曾出現之絕對最低溫達攝氏零下十八．四度。(一九七〇年元月三十一日)

全區在海拔三、五〇〇公尺以上高山地區，一年中一月、二月之月平均溫降至攝氏零度以下，三月、十一月及十二月之月平均溫於攝氏五度以下。至於海拔二、五〇〇公尺左右之地區夏天涼爽，為良好之避暑地。(參閱表2-2、圖2-5)。

㈡雨量

本區年平均降雨量約三、五〇〇公厘左右，全年降雨日數約一五〇日，集中於五月至九月間。其中自五月及六月上旬主要是梅雨期，雨季長而雨量少；六、七、八月為颱風及夏日暴雪雨，雨季長

而量多。西側鹿林山及東側拉庫拉庫溪畔中海拔地區雨量最多，年雨量幾達四、二〇〇公厘；玉山山塊及秀姑巒山海拔在三、五〇〇公尺以上，高度已超過「最大降水帶」，雨量減少，年量三、〇〇〇公厘。

全區冬乾夏濕，對比極為明顯，十二月、一月季期間每月降雨量為八月降雨量之八分之一。(參閱表2-3、圖2-6、圖2-7)

㈢風及颱風

玉山地區地勢高，全年風速均強，年平均風速在高山地區約為每秒五．二二公尺；鹿林山、阿里山一帶，因四周山稜圍繞，遮擋氣流，年平均風速為每秒一．六八公尺。各區各月風速相差並不大夏、秋盛行東南風及西南風，冬、春則多為西風。

颱風也為本區風、雨之來源，侵犯本區之主要路徑來自東、南方海上，過中央山脈時氣流被破壞，威力驟減，在山脊背阿里山、鹿林山一帶形成大雨，一次總雨量曾達一千公厘。風速雖可因山脈、森林阻擋過濾，但仍達每秒四〇公尺左右。(參閱表2-4)

㈣濕度與蒸發量

玉山地區中央地帶因地勢高，空氣流通，且高度超過水氣凝結集中之地，年平均相對濕度僅八十%；其餘地區則在八十五%以上。各月相對濕度變化不大，僅十一月至一月間因雨量少較乾燥，月相對濕度在七十五%以下。

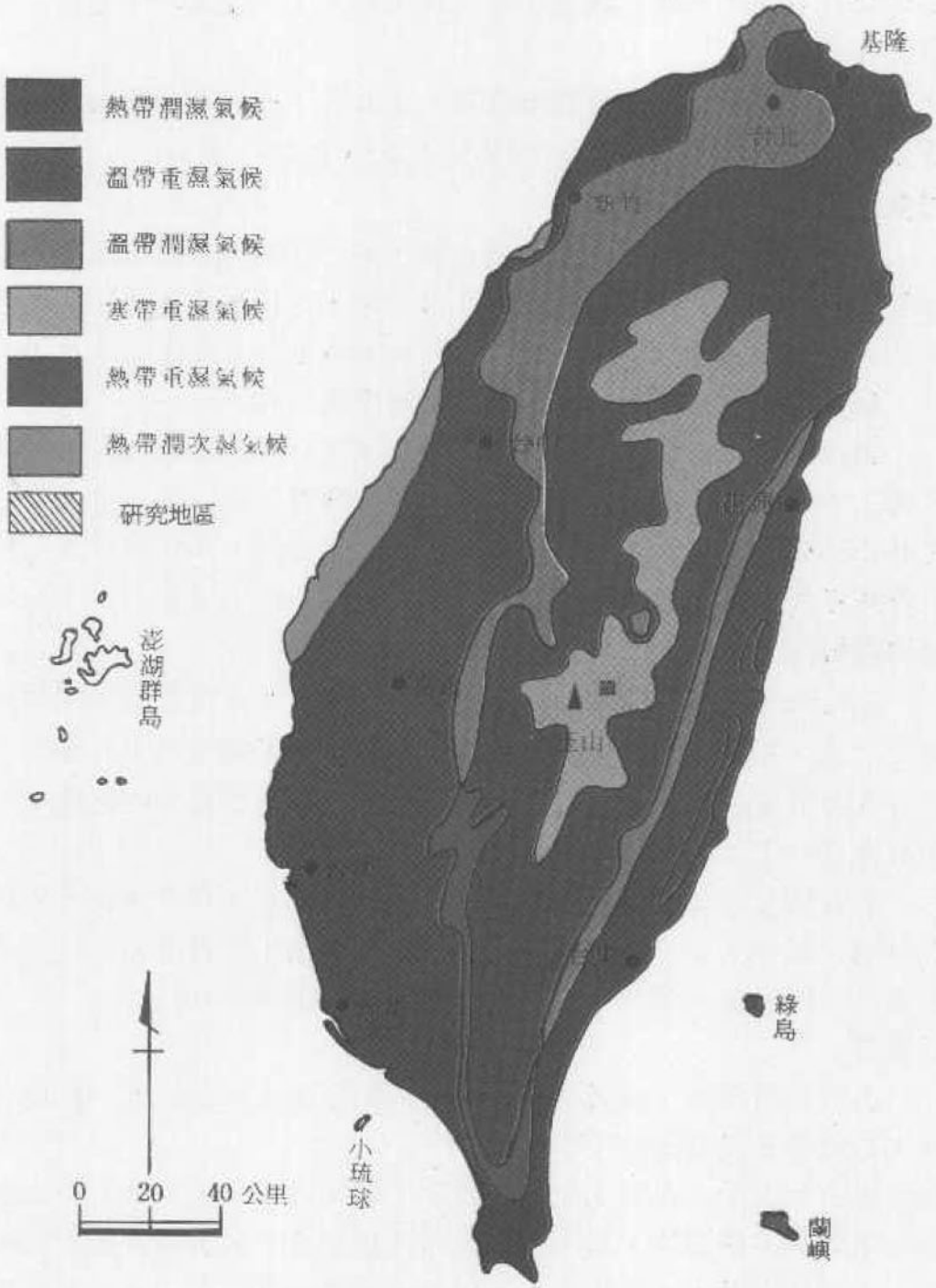
全區因氣溫低且迎風坡與山間常有雲霧籠罩，雲量既多，蒸發自然隨之減少，年平蒸發量約一、〇〇〇公厘，各月變化不大。蒸發量小於降雨量，因此本區全屬剩水區。(參閱圖2-10)

㈤霜雪

玉山地區除七、八月外，其餘各月均下霜；但因風大，除山谷外，其餘各地降霜量並不多。

全區在海拔二千公尺以上之地區均會下雪，而三千公尺以上之地區在冬季乾旱不明顯時，積雪期可連續達四個月，但雪期長短變化相當大，始於十月，止於五月。玉山全年降雪日有二五．六日；海拔較低地區全年僅〇．六日，一般以一月雪日數最多。(參閱圖2-8、2-9)

圖 2-4 台灣地區氣候分區圖



(參照玉山國家公園計畫書 1985)

玉山國家公園金門峒斷崖崩塌速率及演化趨勢之研究

中文摘要 ——— I
英文摘要 ——— II
目　　錄 ——— IV
表 目 錄 ——— VI
圖 目 錄 ——— VII

第一章　緒　論 ——— 1
　第一節　研究動機 ——— 1
　第二節　研究地區 ——— 1
　第三節　研究目的與課題 ——— 2
第二章　研究區域之自然環境與地質背景 ——— 5
　第一節　地理概況 ——— 5
　第二節　地質背景 ——— 10
　第三節　自然環境 ——— 14
　第四節　前人研究 ——— 23
第三章　研究方法 ——— 30
　第一節　調查過程與步驟 ——— 30
　第二節　崩塌地觀測 ——— 33
　　1. 監測系統規劃 ——— 33
　　2. 基樁埋設與量測 ——— 36
　　3. 定點定期觀測與拍攝 ——— 40
　　4. 岩石裂隙量測 ——— 41
　　5. 特殊崩塌影響因子之不定期觀測 ——— 42
　　6. 地理資訊系統(GIS)分析及應用 ——— 43
　第三節　野外地質調查 ——— 44

表 2-4 月平均風速、月平均絕對最大風速及風向表(75－79年)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
玉山	月平均風速(m/s)	6.4	5.2	5.4	5.5	4.7	4.8	4.5	4.1	4.3	4.1	4.9	5.1
	月平均絕對大風速(m/s)	18.2	14.6	14.8	15.9	22.1	18.6	21.8	19.4	18.9	18.5	20.3	14.1
	風向	9.6	13	10.2	12.6	6.6	9	6.8	8.4	7.6	8	5.8	11.8
阿里山	月平均風速(m/s)	0.8	0.8	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9
	月平均絕對大風速(m/s)	5.0	4.9	5.7	6.0	7.8	5.8	5.9	7.6	7.4	5.7	5.9	5.2
	風向	4.4	10.4	11.8	8.2	7.8	9.4	8.8	8.8	5.2	7.0	5.0	5.2

資料來源：中央氣象局

表 2-2 月平均溫度及月平均絕對最高、最低溫度表(民國75－79年)

氣溫 \ 月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
玉山	月平均溫℃	-0.9	-0.7	0.6	3.2	5.5	7.5	8.1	7.9	6.9	6.5	4.5	0.9	4.2
	月平均絕對最高溫℃	11.0	11.7	11.4	13.5	15.1	16.5	17.8	18.2	17.1	17.3	16.6	13.9	15.0
	月平均絕對最低溫℃	-9.9	-8.7	-8.8	-2.4	-0.5	0.6	2.5	1.6	0.4	0.0	-3.7	-4.4	-2.8
阿里山	月平均溫℃	6.5	6.5	8.6	11.2	12.8	14.1	14.3	14.0	13.6	12.2	10.3	6.7	10.9
	月平均絕對最高溫℃	17.8	16.9	19.3	19.6	20.0	21.8	22.2	22.4	22.3	21.1	20.6	17.8	20.2
	月平均絕對最低溫℃	-3.2	-1.6	-1.8	3.7	5.8	7.5	8.2	7.5	6.1	5.1	1.1	-2.7	3.1

資料來源：中央氣象局

表 2-3 月平均雨量表(75－79年)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
玉山	降雨量(mm)	90.4	112.6	112.9	395	460	480.6	352.6	482.8	440.7	137.8	63.3	65.9	3194.6
	降雨量(日)	8.6	5.8	9.6	16.4	20.6	18.6	16	18.6	18.8	12.4	9.2	5.4	159.8
阿里山	降雨量(mm)	77.6	88.1	174.5	361.7	537.1	605.2	488.0	845.8	530.7	91.5	29.4	50.5	3880.1
	降雨量(日)	7.4	8.0	12.0	13.4	18.8	20.6	21.2	19.8	19.4	10.4	5.6	5.8	162.4

資料來源：中央氣象局

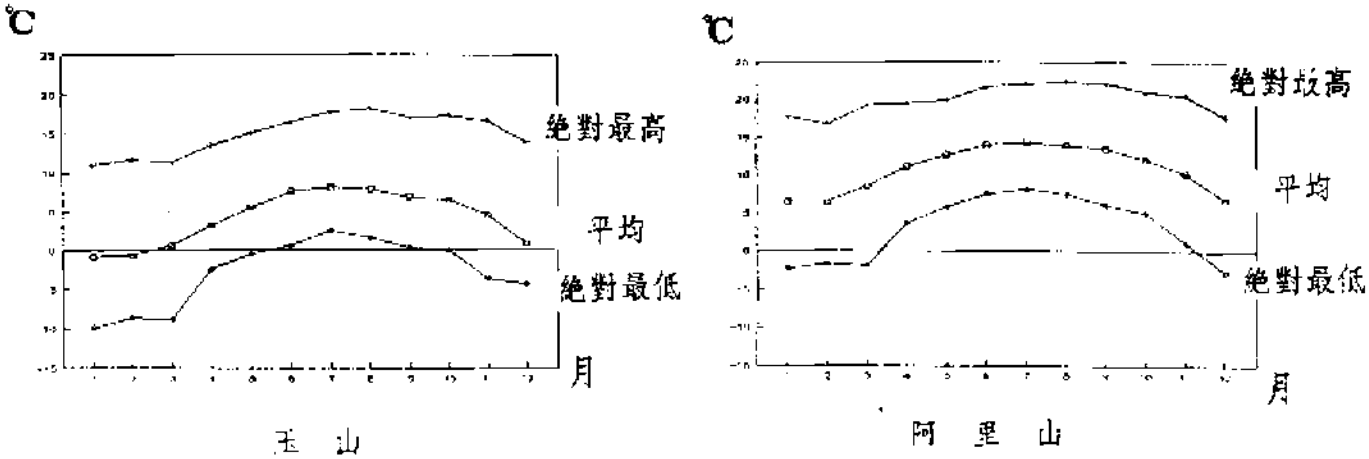


圖 2-5 月平均溫度及月平均絕對最高、最低溫度圖(民國75－79年)

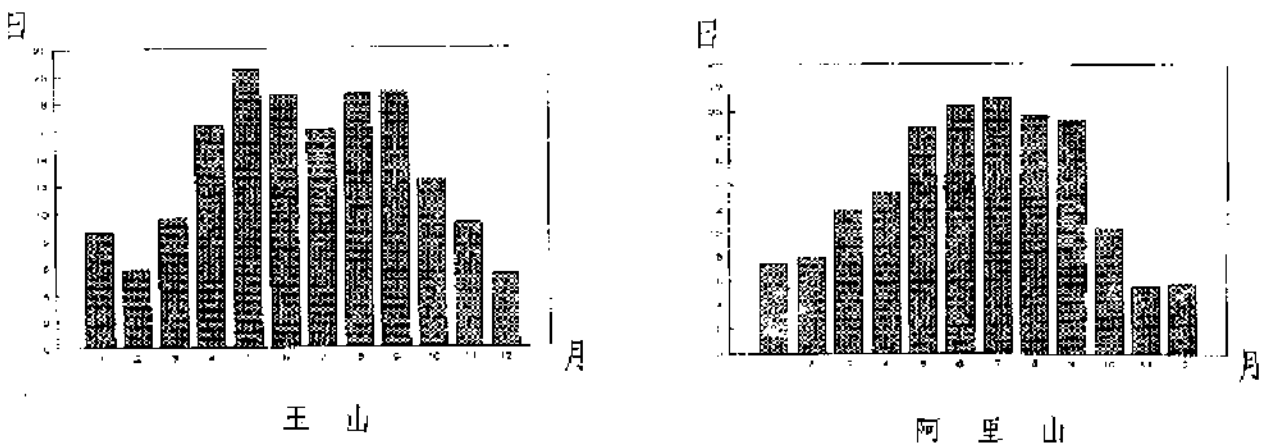


圖 2-6 月平均降雨日數圖(民國75－79年)

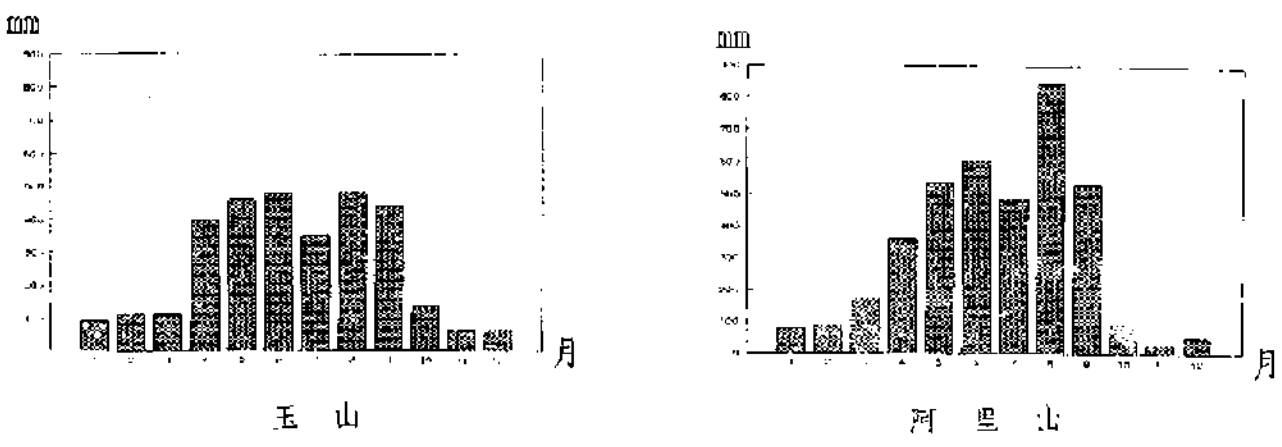


圖 2-7 月平均雨量圖(民國75－79年)

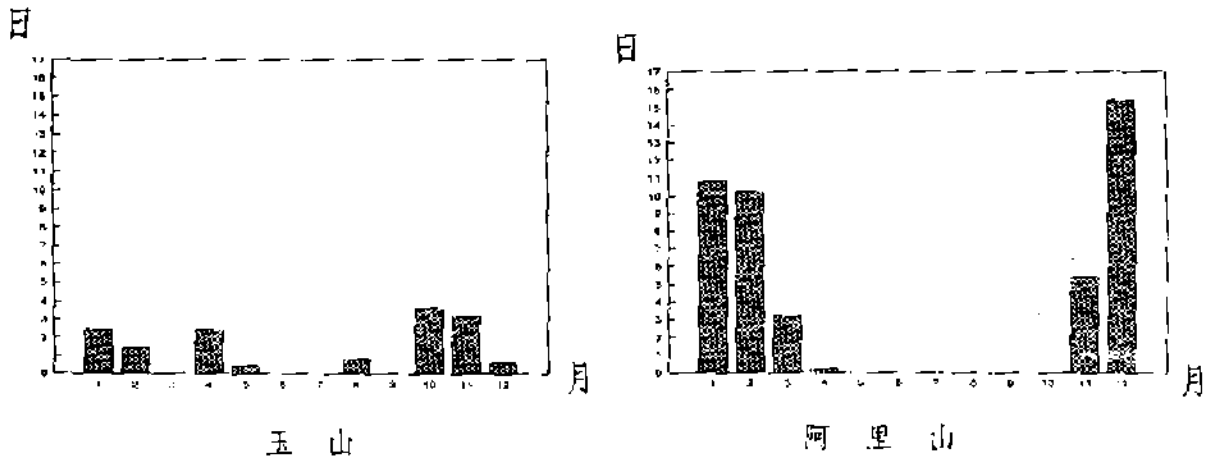


圖 2-8 下霜日數圖(民國75－79年)

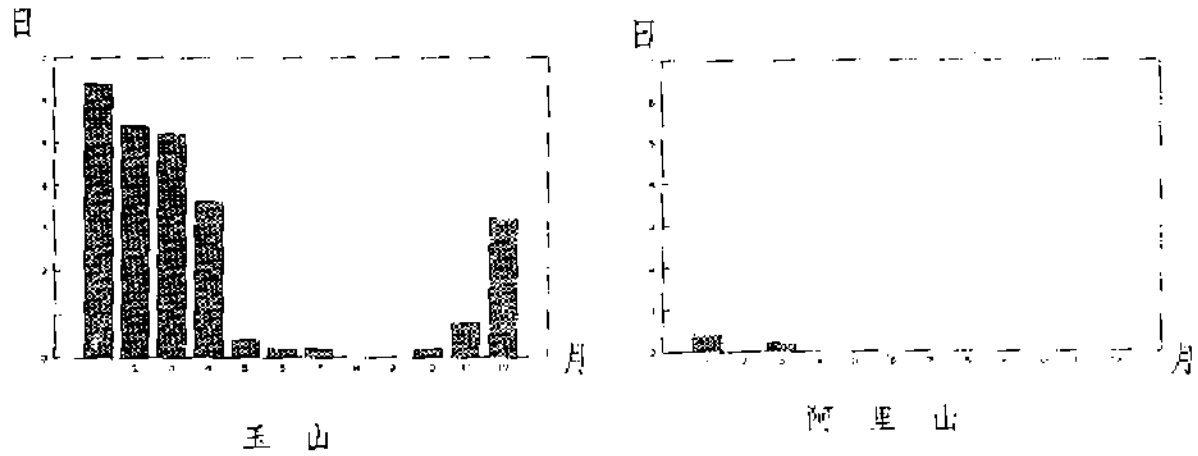


圖 2-9 下雪日數圖(民國75－79年)

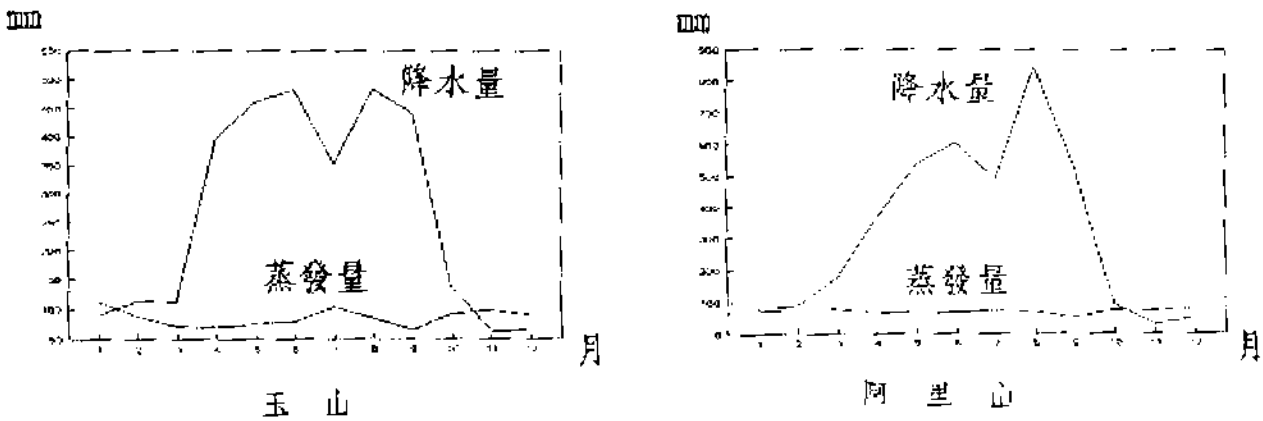


圖 2-10 水文消長平衡圖(民國75－79年)

二、植生情形

八通關地區由於火災關係，植物為以玉山箭竹、高山芒為優勢的高山草原為主，間雜二葉松、馬醉木、紅毛杜鵑等植被，在金門峒斷崖之崩塌面上，岩層裸露，幾無植生可言，而在斷崖面上方四週，植生良好者除不連續面發達之處，大致崩塌較為穩定；而植生之情形多少對崩塌地之穩定、水土保持有所助益，但因該地區不連續面甚為發達緣故，亦降低植生的保育效果。參照台大植物系郭城孟教授所著之「八通關草原生態之研究」研究地區之植生大致可分成六種植被型，如（表2-5與圖2-11、2-12)。

表一 2-5 八通關草原各型植被摘要

植被型	分布地點	成因
鐵杉森林	八通關西峰西北坡及西南坡溪谷。	西風、北風潮濕山溝。
二葉松森林	八通關西峰西南坡及南坡。	火災干擾少。
馬醉木－杜鵑開放灌叢	2928m至2940m稜脊及2870m山頂區。	背風、石礫地萌蘗力強。
玉山箭竹草生地	草原區中央之低平處	較潮濕地。
高山芒－玉山箭竹草生地及枯木林	八通關西峰西坡及2928m西坡、2870m之周圍山坡、北峰稜線南坡。	火災較多之地區、中性環境。
高山芒－玉山箭竹草生地	八通關西峰山頂區域及2928m至2940m稜脊之南、北坡。	

(參考郭城孟 1990)

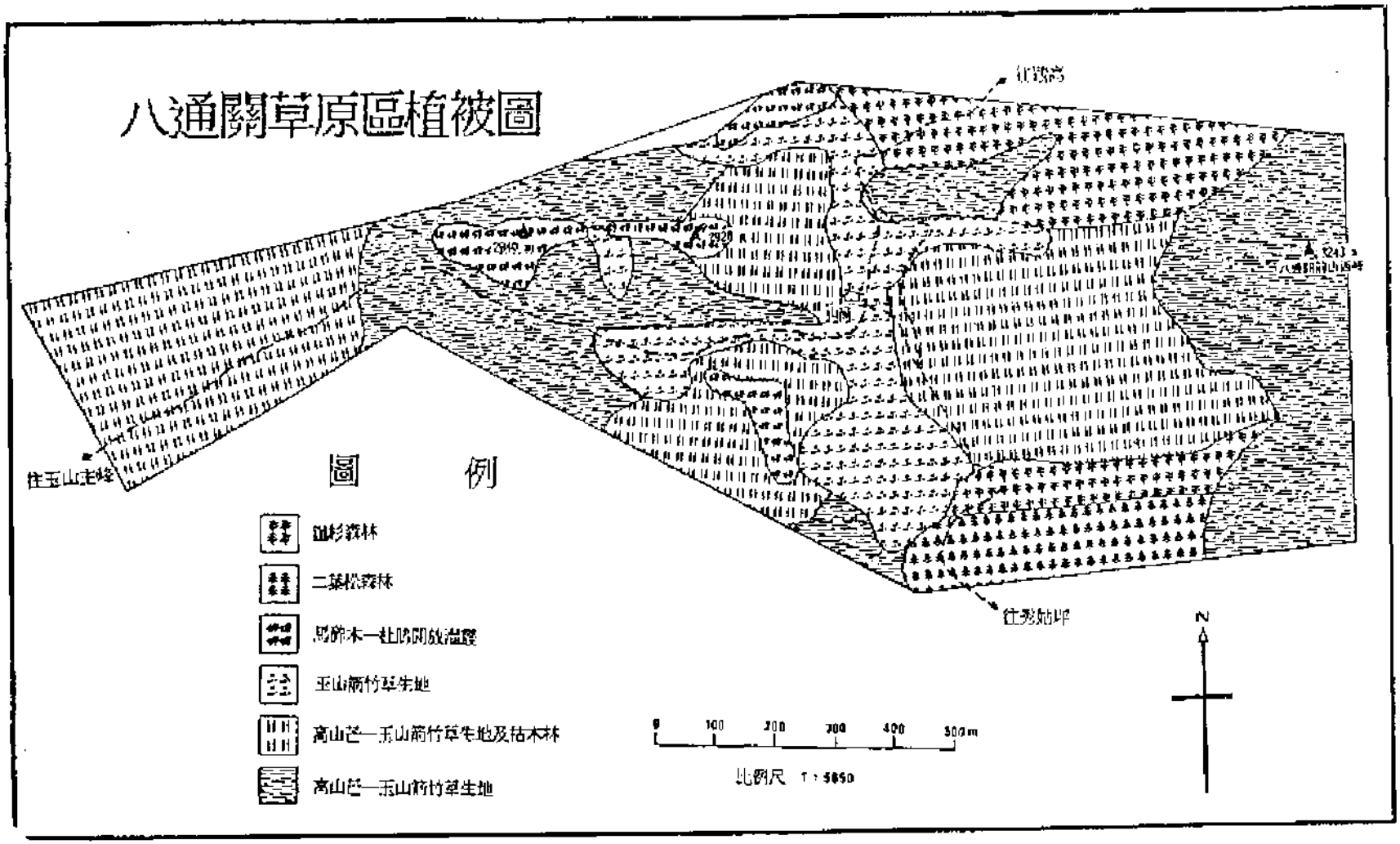
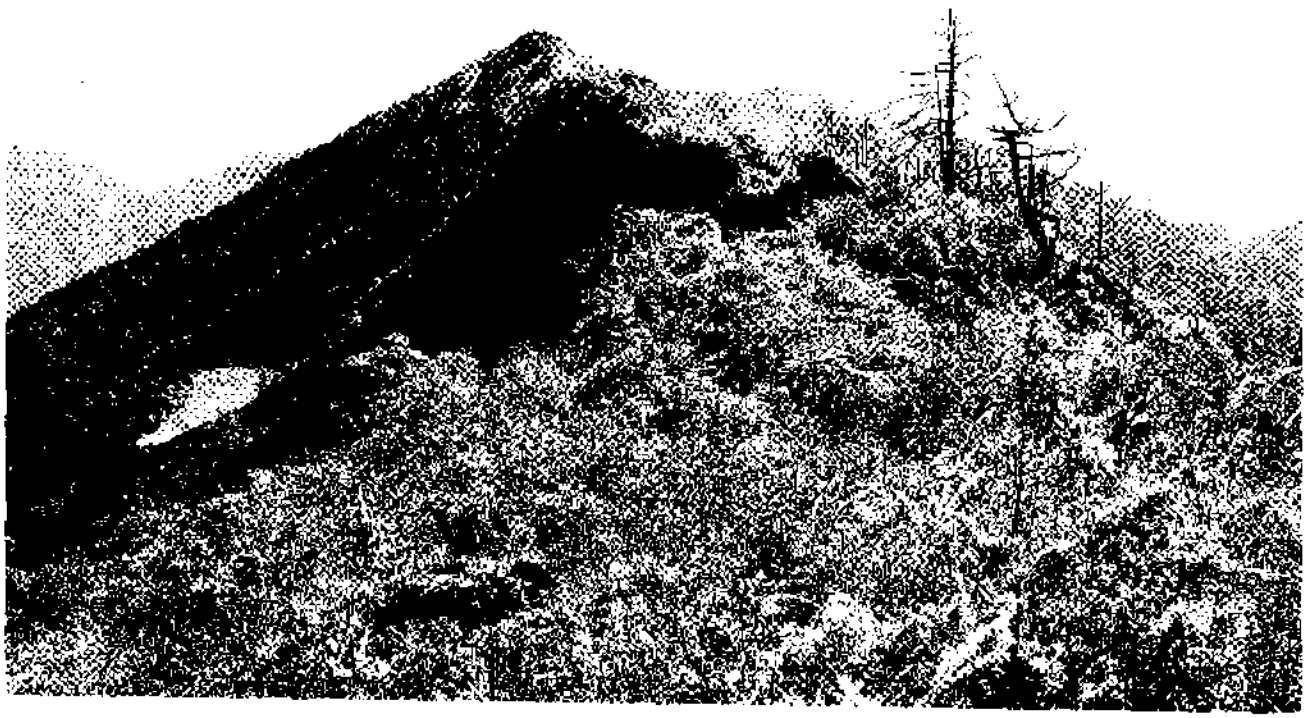


圖 2-11 八通關草原植被圖（參考郭城孟 1990）

圖2-12　金門峒斷崖D區植被圖



金門峒斷崖D區之植被高山芒、馬醉木－杜鵑



D區外之馬醉林二葉松植生情形



崩崖面上的馬醉木等植被

第四節　前人的研究

關於金門峒崩塌地有系統的進行監測如對於金門峒崩塌地之向源侵蝕速率與分水嶺位移速率及河川襲奪現象之監測；以及崩塌控制機制之研究，尚未有前人的研究,僅有從事於玉山地區之地質調查工作學者，偶而提及八通關或金門峒崩塌地該地區之地質構造與地層岩性概況。茲簡述如下：

過去玉山地區的地質研究，均為初步的路線地質調查，大區域的地質調查與精確地質調查尚待開展，如最早有早坂(1934,1935)，市村(1936)，丹(1944)等；後有LIU(1971)，CHIU(1972)，KIMURA(1973)，CHANG(1976)，楊與王(1976)，橋本(1977)，王與陳(1978)，李(1979a,b)；近期則有LIOU(1981)，王與林(1982)，陳等(1983)，顏等(1984)，張(寶堂 1984)，張(郁生 1984)，王(1984)，何(1986)，程等(1988,1989)，周(1990)，雍(1990)等(詳參照文後之參考文獻)，茲摘錄對於本研究較有 關係之前人研究內容簡述如下：

早坂 (1933)曾最早談及八通關北側之陳有蘭溪與其南側之荖濃溪因向源侵蝕作用十分激烈的緣故，將會在八通關附近發生河川之襲奪。

橋本等(1977)利用一號地球衛星影像 (Landsat - 1)判釋玉山地區線型構造，試圖解說八通關至玉山步道與南橫公路兩剖面之間岩性與地層之差異性。

最重要關於玉山地區之地質調查工作，應屬王文能與陳清義 (1978)及李春生 (1979)的調查；王文能等繪製東埔南玉山間之沿線地質圖及剖面圖，提出金門峒大斷層分隔新高群與廬山層(惟斷層位置需重新檢討與修正)；李春生所作水里至玉山地區之古第三紀地層，將雪山山塊(西側)之水長流層及玉山山塊(東側)之新高群對比，繪製成涵蓋孫海(丹大)林道，十八重溪，八通關古道及玉山林道之區域地質圖(圖2-13)，並將新高群根據中橫公路剖面之標準地層延伸引

用至玉山山塊，並創建十八重溪層與玉山主山層，分別以十八重溪與玉山主峰為標準出露剖面。

張郇生 (1984 a,b)分別調查嘉義 － 玉山 － 水里公路沿線地質，並分析中橫公路與玉山地區板岩中(葉狀)粘土礦物之優勢排列,利用 X 光組織角度儀估量地層之總應變；結論指出玉山以西至塔塔加之間地層由應變軸分佈，似為一大背斜構造，且愈接近荖濃溪斷層，岩石表現出越大的地層收縮量；同時根據應變值認為中橫地區與玉山地區似受到同等構造力影響，推測同為上新、更新世臺萊造山運動之結果。

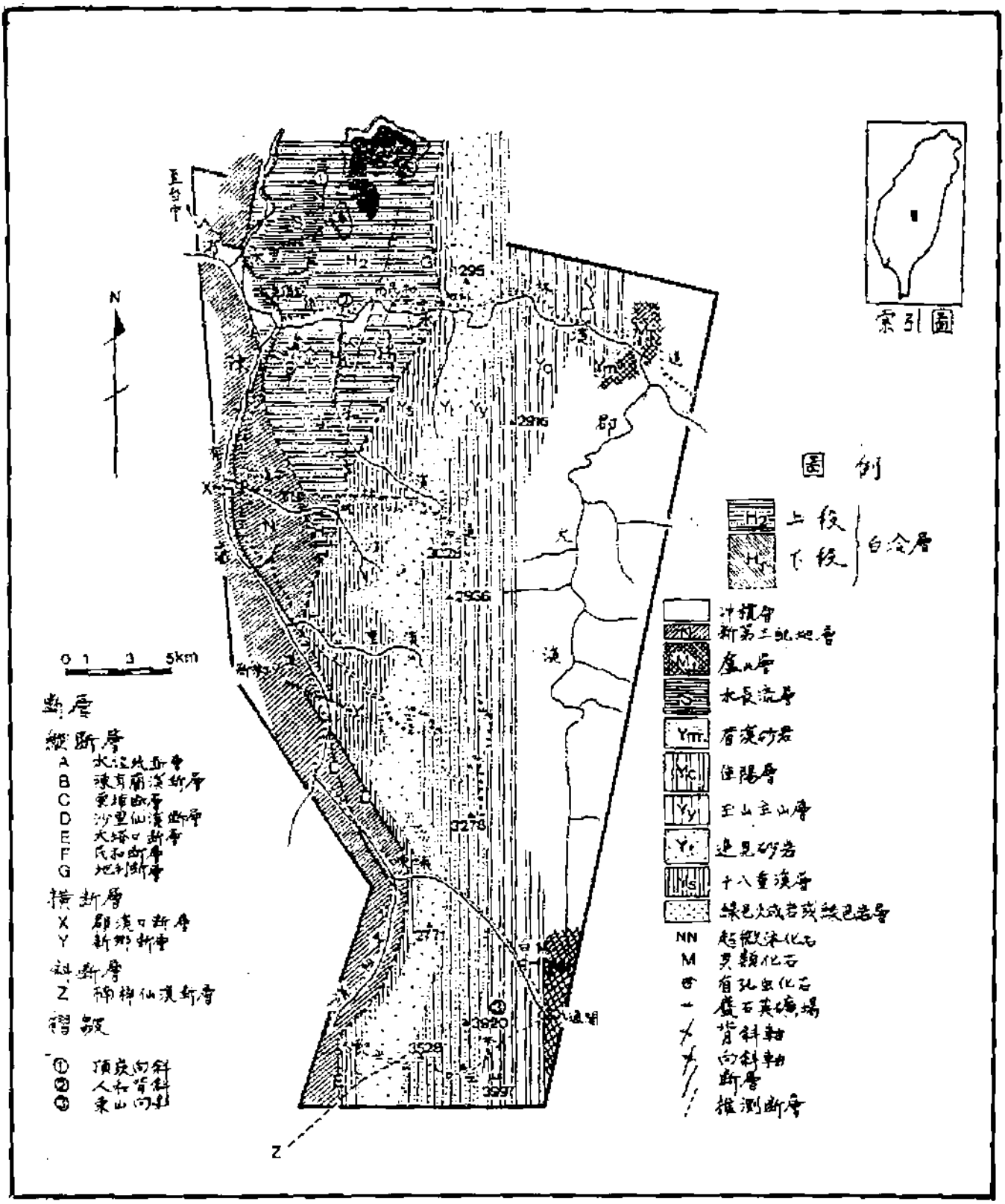
王鑫等(1984)於玉山國家公園的地質調查時，對八通關的地理、地形與地質景觀有所敘述：＂金門峒大斷崖東下半部是顏色深暗的硬頁岩，西上半部是顏色稍淺的砂岩，前者是組成秀姑巒山的岩層，後者是組成玉山主峰的岩層，並且是受到金門峒斷層構造的控制；並說明因陳有蘭溪的河床坡度較南側的荖濃溪陡，是陳有蘭溪的源頭侵蝕較為嚴重的原因之一。

程延年、 葉貴玉、 劉進金等(1988 ,1989) 接受玉山國家公園管理處的委託在玉山地區進行兩年的地質調查，對研究地區之地質概況多所彙整及補充說明，特別是八通關地區之航空照片分析如圖2-14與八通關附近線型構造圖之說明如圖2-15，均為本研究極有參考價值之文獻資料。綜合本研究區域之地層對比表，如表2-6。

此外本研究對於金門峒斷崖崩塌發育之監測規劃、監測工作、崩塌機制之探討、遙測與地理資訊系統 (GIS) 之運用分析等，亦收集國內外有關於崩塌地調查與監測之相關文獻資料加以參考分析，例如：

王(1988)，張(1971,1980)，陳(Chen ,1989,1992)，梁(1986)，徐(1984)，羅(1990)，劉(1984 A.B.C,1986)，郭(城孟,1990) 及Hock & Bray(1981)，Carson & Kirkby(1972)，LIU(1986)，Pan(1987)Bromhead(1987)，Hutchinson(1987)mataru Hashimoto 等(1977)，Finlayson(1989)等。(詳參照文後之參考文獻)。

圖 2-13 玉山、水里地區地質圖 (李春生 1979)



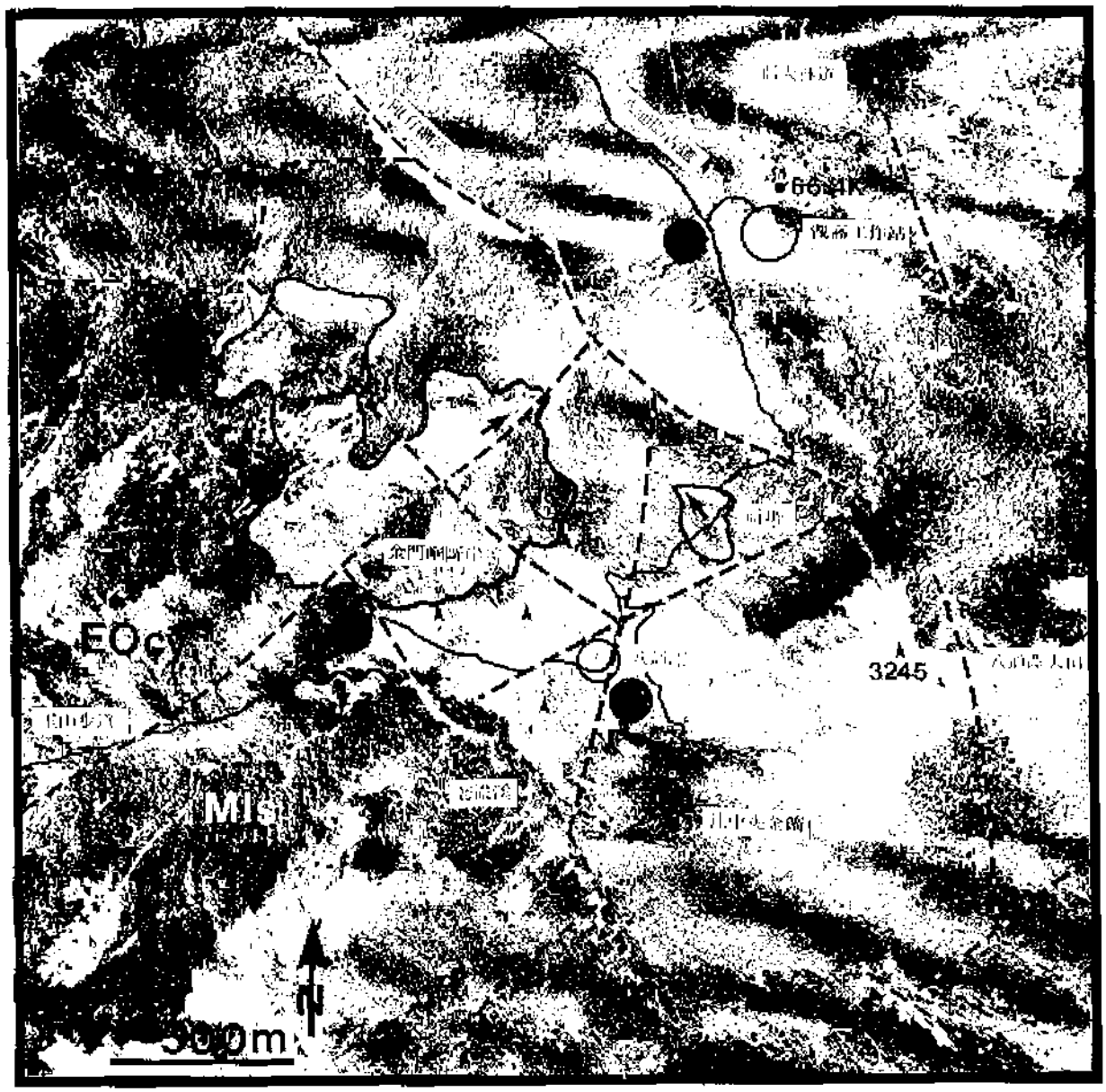


圖 2-14 八通關附近航照分析圖

(參照程延年、劉進金 1988)

八通關附近航照分析圖一(圖 2-14 說明，程延年、劉進金 1988)

(1)涵蓋範圍及區域：本航照圖幅涵蓋面積約為8平方公里，以八通關草原為中心，包含玉山步道第二號崩坍地以東，八通關大山以西，以及八通關古道對關以南，群大林道65½K以南路段。

(2)地形及水文：本圖幅地形以北峰向東延伸至八通關大山之東西嶺線與自八通關前山(3245標高)向北延伸經觀高坪之南北嶺線為主。八通關大原草在地形上為一鞍部，同時也是陳有蘭溪與荖濃溪的分水嶺，其北屬於濁水溪集水區，其南屬於荖濃溪集水區。在地形上，八通關草原東緣由其北之郡大溪與其南之荖濃溪切割成以西之玉山山塊，佔本幅大部份區域，以及以東之中央脊樑山塊包括八通關大山。

(3)地質概述：本圖幅就地質構造區言屬於中央山脈西翼地質區，且位於雪山山帶與脊樑山脈帶分區之樞紐區域，亦即分隔中新與漸新一始新世變質硬頁岩或板岩系之界線。在地形上呈現鞍部外貌之八通關就構造觀點而言，似為一複雜構造體系之集中點，兩板岩系之界線似不能單以存疑之金門峒斷層（王，1978）來劃分。於玉山步道佳陽層之始新世板岩與廬山層之中新世板岩或硬頁岩界線在草原以西出露，八通關往觀高以及往中央金礦路途皆屬標準廬山層之地層。八通關古道於觀高坪以西仍為佳陽層之岩性而非廬山層之硬頁岩。在八通關草原為樞紐之三組線型構造體系中，其斷層線、地層界線與其他線型之認識為野外進一步調查之重要目標。

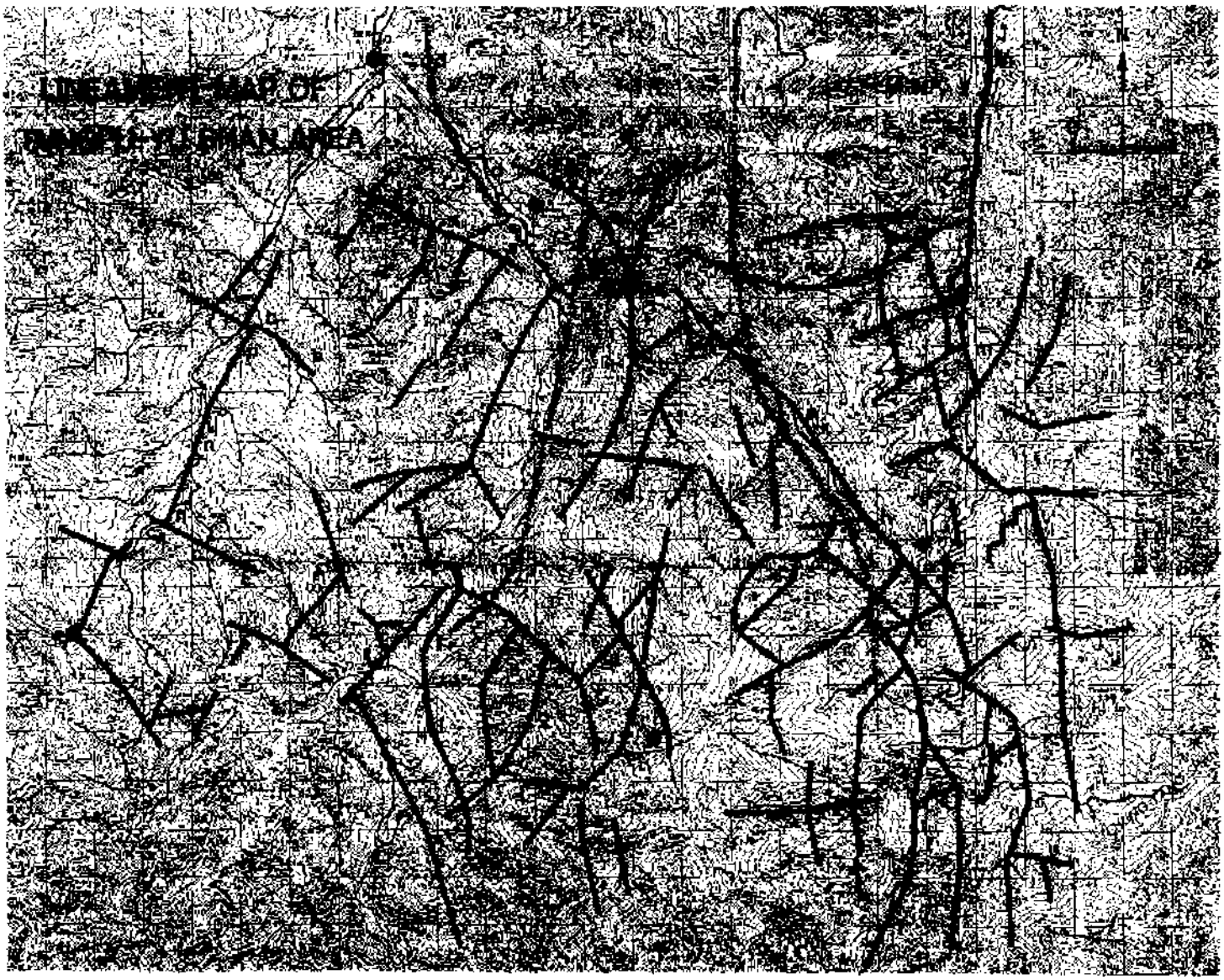


圖 2-15　東埔玉山區線型構造分析圖(參照程延年、劉進金 1988)

表 2-6 玉山地區地層對比表(表內數字為厚度，單位公尺)

年代	分區	玉山						玉山
		詹(1964)		丹(1937)	市村(1937)	陳肇夏(1977)(1976)	李春生(1979)	本文及程延年(1988)
新生代	晚期							
新生代	早期	南玉山層	上部板岩段	新高層 數千公尺	砂岩—板岩互層	眉溪砂岩	眉溪砂岩	眉溪砂岩
新生代	晚期	南玉山層	上部板岩段	新高層 數千公尺	砂岩—板岩互層	佳陽層	佳陽層	佳陽層
新生代	中、早期	南玉山層	上部板岩段	新高層 數千公尺	砂岩—板岩互層	玉山主山層	玉山主山層	玉山主山層
新生代	中、早期	南玉山層	中部砂岩段	新高層 數千公尺	白色砂岩	達見砂岩	達見砂岩	達見砂岩
新生代	中、早期	南玉山層	下部板岩段	新高層 數千公尺	砂岩—板岩互層	新高層	十八重溪層	十八重溪層

第三章　研究方法

第一節　調查過程與步驟

本計劃之調查項目包括金門峒斷崖崩坍地之現狀、崩坍型態與種類、崩坍之地質因素特別是不連續面之控制因素，崩坍地之發育控制、崩坍速率及可能的坍滑範圍。野外工作部份分為二大部份。

一、**地質勘察部份：**包括金門峒斷崖、崩坍地及附近地區之地層、岩性、地質構造、不連續面發育狀況、等。

二、**崩坍地之監測：**如基樁埋設與量測、定點定期拍照、岩石裂隙量測及特殊崩塌影響因子之不定期觀測（如颱風、積雪、地震、豪雨等之影響程度）等。

室內工作部份則為從事各項文獻資料之收集、統計、分析與解釋，如：前人對研究地區之研究文獻、研究地區與鄰近地區氣候資料，與研究地區之有關地形圖、地質圖、航照圖等特別是航照的判釋與地理資訊系統(GIS)之分析，對於金門峒斷崖，因地形陡峻，交通及現地調查困難，更形重要。以及不連續面調查資料之分析。

三、**研究步驟簡述如下：**（如表3-1之研究流程圖）

㈠文獻資料的收集與分析

1、研究地區有關圖幅之收集與分析。包括地質圖、地形圖。

2、研究地區氣象與植生資料之收集與分析。

3、前人的研究文獻之收集與分析。

4、判釋航空照片及其他遙測資料。

㈡野外地質調查，主要調查項目包括：

1、崩塌地組成物質。

2、地層位態。

3、地質構造。

4、不連續面發育狀況。

5、水文（地面水文與地下水文）。

6、坍滑區周邊植生情形。

7、氣候。

8、崩塌種類及特性。

㈢崩塌地觀測

1、監測系統規劃。

2、航照判釋。

3、基樁埋設與量測向源侵蝕速率。

4、定點定期拍攝。

5、岩石裂隙量測。

6、特殊崩塌影響因子之不定期觀測。

㈣崩塌機制之分析研究

1、氣候與植生因子之影響。

2、地形因子之影響。

3、組成物質之影響。

4、不連續面地質構造之影響。

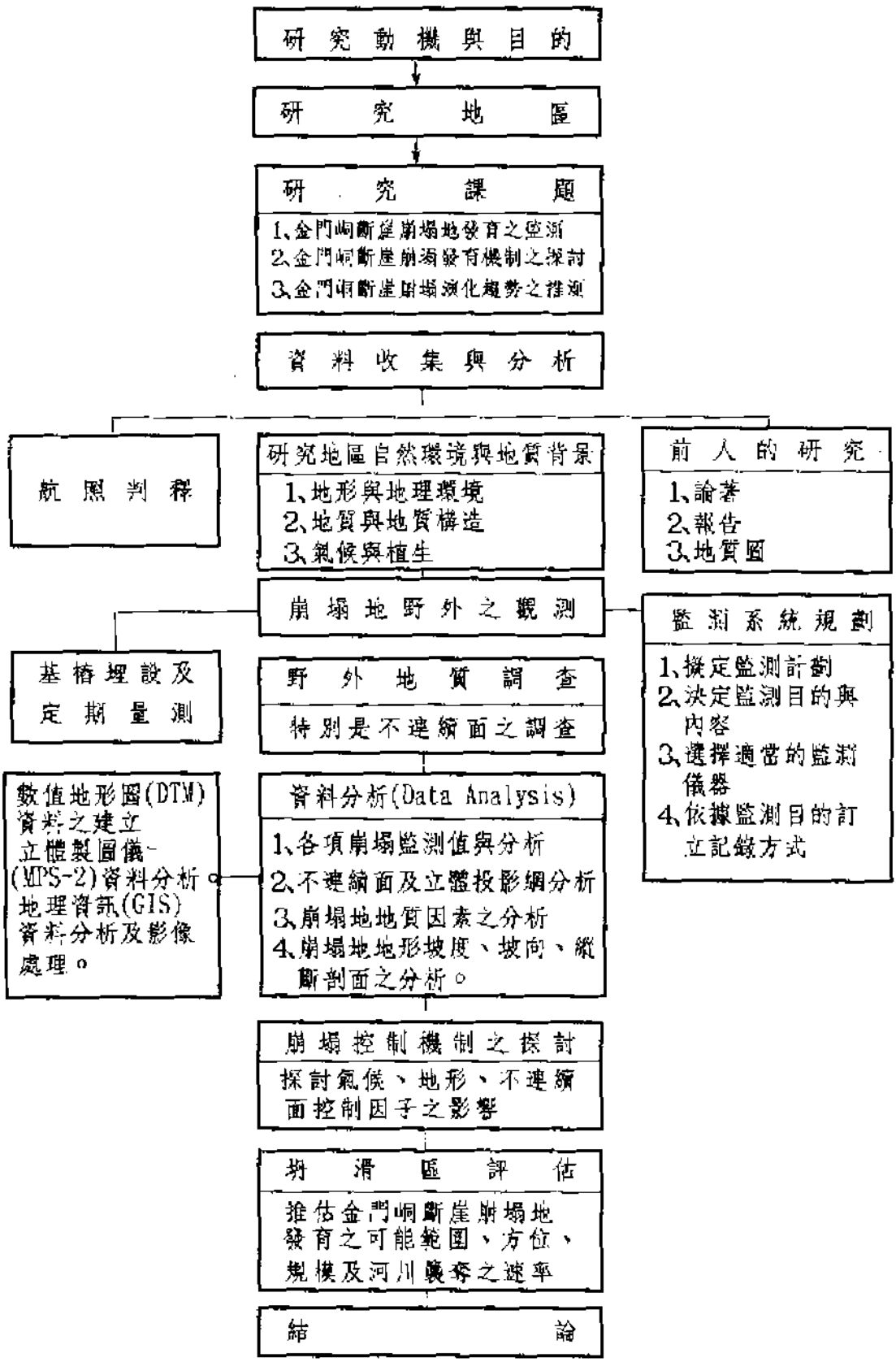
5、綜合分析。

㈤坍滑區評估：

1、預測陳有蘭溪與荖濃溪河川襲奪之時間。

2、推估金門峒斷崖未來坍滑擴大之可能範圍、方位及規模。

表 3—1 研究架構流程表


研究動機與目的
研究地區
研究課題
1、金門峋斷崖崩塌地發育之監測
2、金門峋斷崖崩塌發育機制之探討
3、金門峋斷崖崩塌演化趨勢之推測
資料收集與分析
航照判釋
研究地區自然環境與地質背景
1、地形與地理環境
2、地質與地質構造
3、氣候與植生
前人的研究
1、論著
2、報告
3、地質圖
崩塌地野外之觀測
監測系統規劃
1、擬定監測計劃
2、決定監測目的與內容
3、選擇適當的監測儀器
4、依據監測目的訂立記錄方式
基樁埋設及定期量測
野外地質調查
特別是不連續面之調查
數值地形圖(DTM)資料之建立
立體製圖儀-(MPS-2)資料分析。
地理資訊(GIS)資料分析及影像處理。
資料分析(Data Analysis)
1、各項崩塌監測值與分析
2、不連續面及立體投影網分析
3、崩塌地地質因素之分析
4、崩塌地地形坡度、坡向、縱斷剖面之分析。
崩塌控制機制之探討
探討氣候、地形、不連續面控制因子之影響
坍滑區評估
推估金門峋斷崖崩塌地發育之可能範圍、方位、規模及河川襲奪之速率
結論

第二節　崩塌地觀測

一、監測系統規劃

大體而言一個完善的崩塌地監測系統，應包括下列各項內容：①擬定監測計劃及方式②決定監測的目的與內容③選擇適當的監測儀器④監測地點、範圍與深度之決定⑤依據監測目的訂立記錄方式。

為幫助規劃監測系統之週全，應配合有下列工作：①收集已有的文獻資料、圖表及研判②遙測資料或航照資料之判釋③現地踏勘與調查④按置監測儀器以進行監測。如此具有充分的地質資料，現地踏勘，地質調查研判，當地地形特性、崩塌特性及該區降雨、植生等記錄及監測儀器記錄等輔助資料，方可對於研究地區崩塌地之崩塌發育情形如崩塌速率與崩塌種類有所了解，及探討其崩塌機制，並對於未來的滑動趨向，滑動區域面積可能擴張範圍，加以合理之預測與推估。

㈠監測構想

金門峭斷崖因具備有地形險峻，交通不便，不易現地監測之特性，若能以航照定期監測實為最佳之方式，其次為收集不同年份之遙測資料、空照圖及地形圖（像片基本圖）加以比對研判。可惜航照成本太高且現有收集到的航照圖尚未足夠做為監測之分析，仍需輔以不同年份之各種地形圖、地質圖之分析，並輔於現地埋設基樁與量測；及選擇固定的觀測點，使用各型式鏡頭定期或不定期拍攝記錄，以了解金門峭斷崖崩塌情形及獲致各項崩塌值與資料。

為進一步探討金門峭斷崖崩塌原因與發育機制，有必要收集分析該地區有關之氣候、植生、地形、地質等資料，及進行野外地質調查特別是不連續面之調查，另外運用地理資訊系統（GIS）加以分析其坡度、坡向、坡降等地形特性以比較分析其與崩塌之關係；對於特殊影響崩塌地之因子如地震、颱風、豪雨、梅雨期等，亦分別於其發生前後，進行乙次野外觀測工作及記錄，以了解其對崩塌

影響程度。而崩塌地之現地觀測工作主要係按地層、岩性與崩塌特性之差異分三區，沿其冠部崩崖面埋設木樁並使用各項儀器加以量測及記錄，以了解金門峒斷崖之崩塌速率及各區擴張情況（詳述於下節）。

最後為預測金門峒斷崖未來之崩塌演化趨向與推估河川襲奪時地，有必要建立該地區數值地形圖資料（DTM DATA），並參照附近地區之地質資料，特別是構造地質資料，再根據野外觀測基樁量測所得資料值與照片分析研判以預測及推估之。

㈡使用儀器（參照文後附圖照片）

本研究使用之監測及調查儀器，主要計有下列十項：

(1)測距儀：量測兩點之直線距離，可以一次量測50mm以內之距離。

(2)裂縫變位觀測儀(KYOWA DTP-1 MDS)及無人化自動集錄器(KYOWA RMH-1B)：以量測及自動記錄岩石裂縫之變位量。

(3)衛星定位儀(GPS)：野外各觀測點及崩坍控制點及不連續面調查點之衛星定位（測量經緯度之定點資料）。

(4)立體製圖儀(MPS-2)及立體數值地形圖(DTM)系統：以建立研究地區及鄰近區域之立體數值地形圖、航照判釋及展示金門峋斷崖崩坍地之各項地形及崩坍之變化或演化之趨勢。

(5)傾斜儀、地質鎚等地質調查工具：野外地質調查及不連續面位態(orientation)之量測，與崩坍地坡角之量測。

(6)求積儀(DIGITAL PLANIMETER)：量測崩坍地之崩坍面積。(使用各種年代及比例尺之地形圖或航照圖)。

(7)影像處理之資訊設備及地理資訊系統(GIS)：處理及記錄崩坍地各種影像與數值資料，並模擬其地形變化。

(8)木樁與捲尺：木樁長寬各5cm，高80cm，打樁於金門峋斷崖之上方崩崖處，輔以5m、10m及50m之捲尺，量向源侵蝕之速率。

(9)照像機(Nicon FM2與ZOOM自動像機)；配合24mm、28mm之廣角鏡頭、55mm標準及微鏡頭，35105mm伸縮鏡頭，及220mm、400mm長鏡頭，以定期定點觀測及拍攝金門峋斷崖之崩坍情形（如幻燈及照片）。

(10)錄影機(V8)：攝錄金門峋斷崖崩坍地之崩坍活動，及附近之地形、地質景觀可作為解說與製作地質影片之用。

二、基樁埋設與量測

本研究為了解金門峒斷崖向源侵蝕之速率及崩塌地發育情形，乃於民國76年11月10日時準備木樁八十支(A、B、C、D、E五號樁，每樁號各十六支)攜帶至八通關，並按金門峒斷崖地層，岩性與崩塌型態之差異，分為三區①C區八通關區(廬山層)包含A、B、C三樁號②D區金門峒斷層破碎帶(D號樁)③E區玉山區(佳陽層，E號樁)，沿著金門峒斷崖之冠部週邊埋設圖如圖3-1，埋設情形如圖3-2。其中A、B二號樁主要為觀測金門峒斷崖東側及東南側崩崖之崩塌速率；C 號樁主要觀測2940高地附近崩崖面向2940高地崩移之崩塌速率；D號樁主要為觀測金門峒斷崖鞍部處向南往分水嶺之崩移速率，此處據筆者野外之觀測將是陳有蘭溪與荖濃溪進行河川襲奪之起始處，並據以推算河川襲奪開始進行之時間，及影響玉山至八通關步道之最近時間；E號樁主要為觀測金門峒斷崖另一主要向源侵蝕作用，往西南側沿3443高地，3660高地向玉山北峰稜線侵蝕之速率。

有關本研究基樁埋設之材料、方式、及量測等資料分述如下：

㈠木樁：本研究所用基樁為長寬各5公分，高80公分之木樁，頂部15公分處四面漆白色油漆後寫上樁號，以英文字母為頭字代表樁位，後加二位數阿拉伯數字代表每樁位之木樁號數，如圖3-2。例如：

A號樁　A00……A15

B號樁　B00……B15

C號樁　C00……C15

D號樁　D00……D15

E號樁　E00……E15

㈡打樁方法：採與地面垂直及坡向垂直夾角之中間，以鐵鎚強力打入，下端深入約30公分，上端突出約50公分。

㈢樁位：①A、B二號樁沿金門峒斷崖東南側主崩崖冠部，每間隔30m設置乙樁位，A樁距崩崖面1m，B樁距崩崖面2m。

②C號樁設於八通關之2940高地處主崩崖之冠部，自崩崖面往2940高地起，每隔1m埋設乙樁，C00樁距崩崖1m。

③D號樁設於金門峒斷層位置所在之鞍部崩崖處，順南向往分水嶺，每間隔1m埋設乙樁，自D00～D15共16支，D00樁距崩崖1m。

④E號樁設於金門峒斷崖西南側主要向源侵蝕之主崩崖冠部處，順陳有蘭溪向源侵蝕方向往後每間隔1m 埋設乙木樁，自E00～E15共16支，E00距崩崖1m。

㈣樁距：76年之木樁埋設各樁位各樁距為直線距離1m，最前樁距崩崖面1m，惟E號樁因崩坍速率太大，自78年補樁起每樁樁距擴大為5m。

㈤打樁日期與數量：

NO	打樁日期	打樁性質	樁位分佈	打樁數量	打樁人員
1	76.11.10/13	主基樁埋設	崩崖冠部全區	80	陳逢陞暨巡山員等10人
2	78.6.26/29	增補木樁	E樁位點	15	陳隆陞暨巡山員等4人
3	78. 7.19/22	增補木樁	E樁位點	2	陳隆陞暨巡山員2人
4	80. 7.11/3	增補木樁	E樁位點	2	陳隆陞林淵源2人

㈥野外木樁量測：自76年11月10日設立基樁以觀測金門峒斷崖向源侵蝕速率後，前後觀測及記錄樁位變化情形計15次如附錄一。野外量測樁位變化為使用測距儀或捲尺量測。並記錄距崩崖最近木樁之樁號與距離。（木樁量測距離係採直線距離，若所量非直線距離，乃以傾斜儀量度傾角以換算之）。

圖3-1　金門坑斷崖崩塌速率監測木樁分佈圖

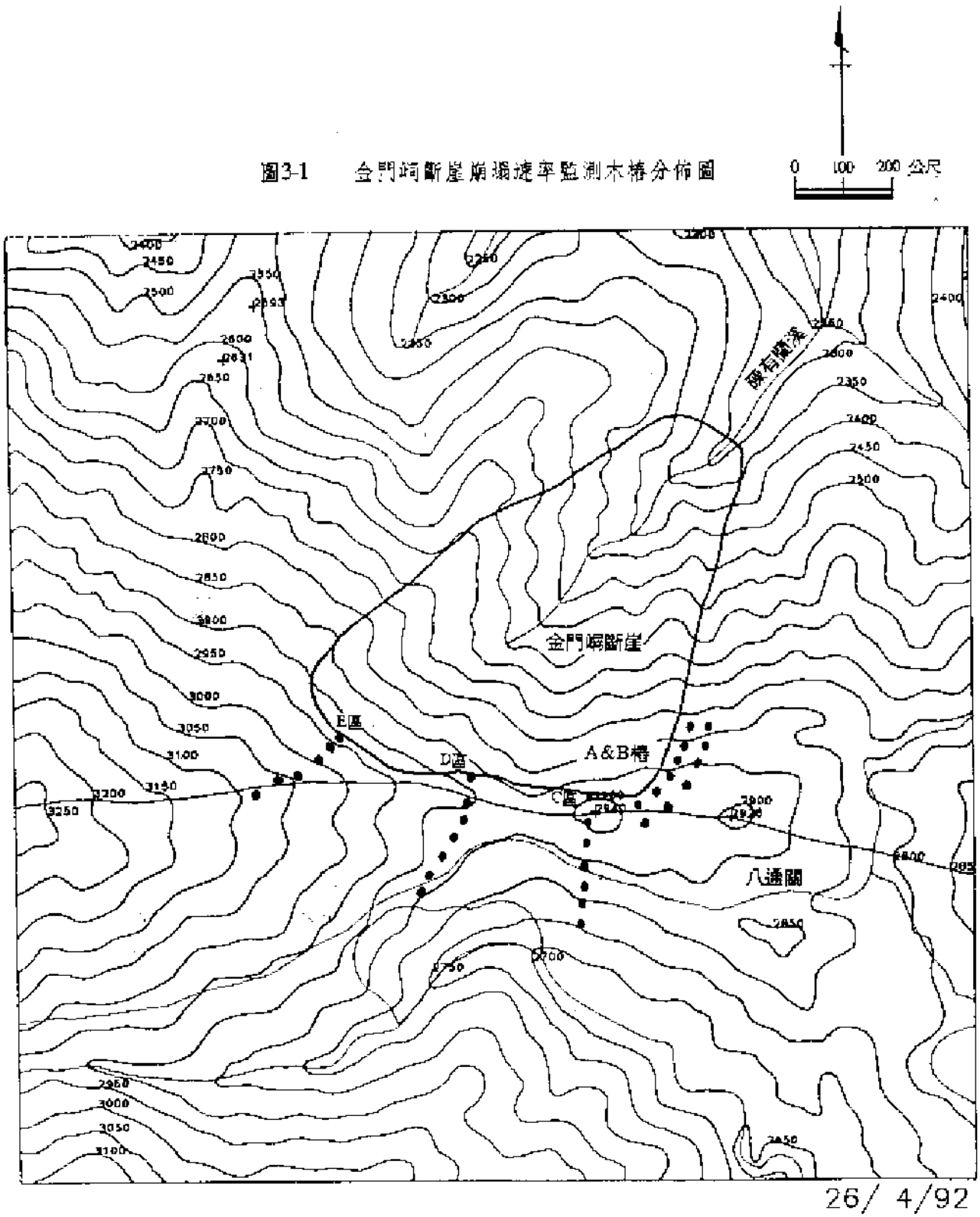
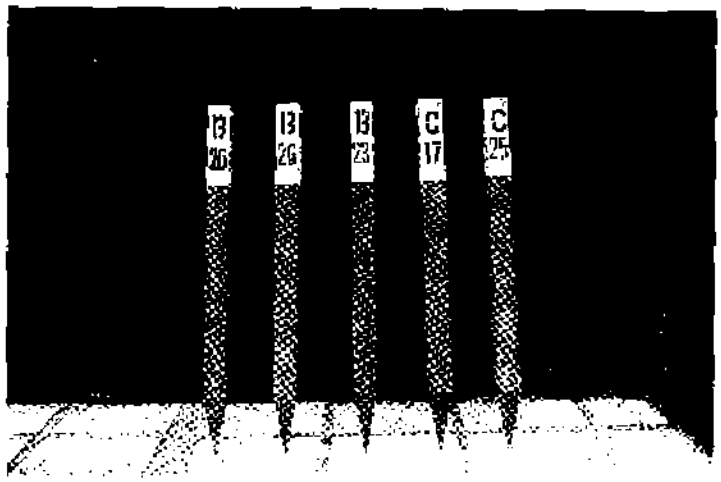


圖3-2　金門峒斷崖監測木樁與野外埋設圖



D區監測木樁之設置情形



野外監測之木樁



C區監測木樁設置情形



C區監測木樁之量測工作

三、定期定點觀測與攝影

本研究除埋設基樁針對金門峒斷崖(崩塌)向源侵蝕速率加以觀測外，對金門峒斷崖塌之進行及崩塌地形之變化除以航照圖及不同年份地形圖，像片基本圖觀測外及判釋，同時亦進行定期定點之野外觀測工作，例如：以55mm（微鏡頭）35～105mm，28.24mm（廣角鏡頭）200m m（長鏡頭）等鏡頭加以拍攝幻燈片及具60%重疊之相片，以長期觀測金門峒崩塌地之現況變化情形。另外為日後解說之用野外工作期間亦使用V8攝影機拍攝錄影。

㈠觀測點分佈與觀測重點：(參照圖 4-3)

從觀高至八通觀之八通關步道沿線選擇七處觀測視野良好，可以分別觀測金門峒斷崖崩塌地變化之不同角度之觀測點，如表3-3。

表 3-2 觀測點：(定點定期觀測與攝影，參照附圖三)

NO.	觀測點位置	主要觀測項目	衛星定位 (GPS data)
F1	觀高坪	崩坍地全貌	23° 30' 5857 N 121° 00' 4207 E
F2	觀高往八通關0.5K處	崩塌地全貌	NO Data
F3	觀高往八通關1.2K處	崩坍地側貌	23° 29' 2932 N 121° 00' 0203 E
F4	觀高往八通關1.5K處	崩坍地側貌	NO Data
F5	八通關A觀測點	C區崩坍地現貌	23° 31' 1182 N 120° 59' 5162 E
F6	八通關D觀測點	D區崩坍地現貌	23° 28' 5387 N 120° 59' 0475 E
F7	八通關E觀測點	E區崩坍地現貌	23° 28' 3575 N 120° 59' 4769 E

㈡重疊拍攝法：

於每一觀測點拍攝金門峒斷崖時均採平行間隔1m重拍二張方式，以產生60%重疊影像之效果，再於 MPS-2儀器中產生立體影像加以觀測分析。重疊原理如圖3-3。

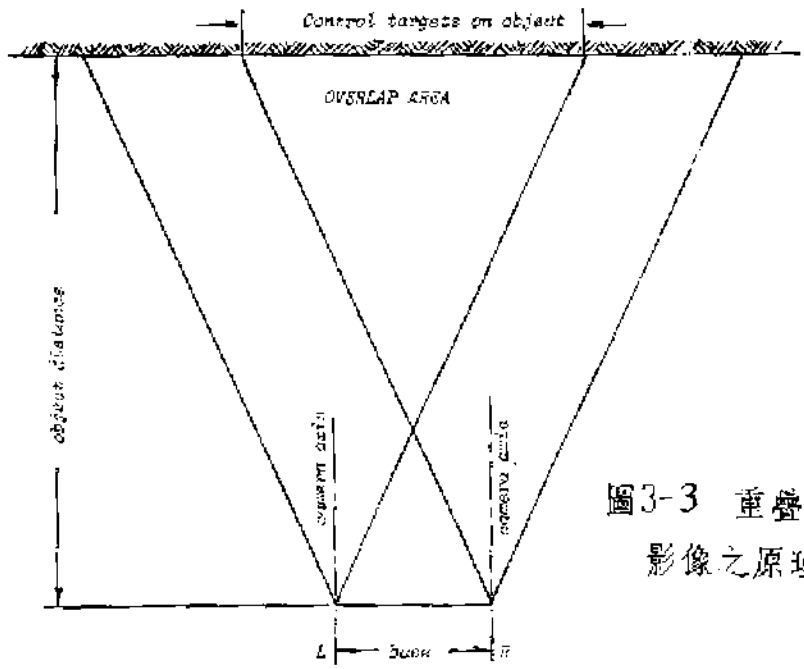


圖3-3 重疊拍攝產生重疊影像之原理 (Hoek 1981)

四、岩石裂隙量測

金門峒斷崖崩塌面上方平行主崩崖面及接近北峰稜線處發育有許多的張力裂縫，(Tension gash or crack)開口約從10cm～200cm不等，對於金門峒斷崖崩塌地發育影響重大，本研究係對於裂隙之分佈、間距（密度），及位態情形加以觀測、調查；並選擇一組變量較明顯之裂隙，按裝裂隙變位觀測儀(KYOWA DTP-1MDS)及無人化自動集錄器(KYOWA RNH-1B)。進行張力裂縫變位量之量測及自動記錄；惟本項儀器甫於 81年5月安裝完成，尚無有關之觀測值可供分析，需待後續研究時再予分析。

五、特殊崩塌影響因子之不定期觀測

特殊塌影響因子之不定期觀測，指豪雨、颱風、地震、梅雨季節及雪期冰蝕作用等影響因子，對金門峒斷崖塌地發育之影響程度加以觀測分析。

當梅雨季節及雪期來臨前先進行一次野外觀測工作，記錄基樁號，再於梅雨季節或雪期結束時，再進行一次野外觀測工作及量變基樁之變化，並與其他季節相比較即可了解梅雨及雪季對於金門峒斷崖之影響程序。

又每逢遇豪雨及颱風過後，立即進行野外之觀測及基樁量測工作，以了解短期樁位之變化情形，再比較一般時期之樁位變化情形，即可了解豪雨、颱風對於金門峒斷崖崩塌所造成的短暫急促的崩塌程度。

六、地理資訊系統之應用分析

地理資訊系統(Geographocal Information System,GIS)又稱作「空間資訊系統」(Spatial Information System,SIS)或稱作「土地資訊系統(Land Information System,LIS)。此通常為一個以電腦設備為基礎，並用於管理、經營及處理與自然資源或人文社會等有關空間分佈之資料的系統。它所需使用的資料，可經由最新科技的遙測系統來收集、分析、處理，然後納入本系統。GIS可說是建基於最新資訊科技的自然資源管理與經營的有效利器，可供應用的範圍極廣，例如：土地利用的清點、環境衝擊評估、森林之經營與管理、水資源經營與管理、農業調查、以及社會經濟研究等。

台灣山高、雨水充沛、山崩危害甚巨，本研究遂運用地理資訊系統來分析以金門峒斷崖崩塌實例的推演，其所用之素材為地形圖(1/25000與1/10000比例尺)，地質圖，等建立數值地形圖，再依野外調查資料，如衛星定位資料(GPS Data)，立體地形圖(MPS-2)及航照判釋資料加以分析，以監測及分析金門峒斷崖崩坍之各項資料，有助於金門峒斷崖崩坍擴大趨勢之預測。

再借由ARCinfor與Genamap軟體的分析以分析其坡度、坡向等分佈圖，有助於其大區域性潛在山崩的預測，若加上研究期間所觀測資料配合分析，將可對金門峒斷崖之崩塌地之地形及崩塌形態全盤掌握。有關之GIS應用分析坡度、坡向及建立金門峒斷崖三度空間地形圖將於第四章時詳加探討。其中GIS系統建立過程所需建立之金門峒斷崖之數值地形資料如附錄二。

第三節　野外地質調查

一、岩性之調查

金門峒斷崖在野外觀察時，很明顯的可以看出在斷崖的西上半部與東下半部有著截然不同的地層及岩性。本研究除參照前人的研究之外，也進行八通關及鄰近區域之野外地質調查及岩樣採集工作，尤其地形險峻的金門峒斷崖崩塌地及附近較為密集採樣工作，是前人的研究所沒有的工作，也是非常艱困危險的，調查結果與前人的研究相比較參照第二章之表2-1及圖2-3。本研究調查期間，為進一步了解金門峒斷崖之組成物質以探討崩塌特性，特採樣E區佳陽層之變質砂岩及板岩、D區鞍部地區之風化板岩及八通關地區之廬山層之板岩各二岩樣，此外為研判金門峒斷層位態及延伸情形，特深入金門峒斷崖趾部陳有蘭溪之岩樣各二個。

二、地層構造及不連續面調查

本研究在進行金門峒斷崖崩塌地野外觀測工作時及一般地質調查時，亦發現金門峒斷崖及附近有很明顯的構造及不連續面的存在。又因在相同的氣候及岩性條件之下，金門峒斷崖較鄰近區域之崩坍尤為劇烈，而判斷金門峒斷崖的崩坍機制中，構造作用必然是影響非常鉅大的因素。

因此本研究特別針對研究區域之構造及不連續面，特別是金門峒斷層及伴隨斷層作用發生的節理(Joint)及板岩中發達的板劈理 (slaty cleavage)。及金門峒崩崖冠部地區約平行崩塌面發育的張力裂縫(tension crack)做一詳細之調查，調查之重點例如：

(1)不連續面組數與主要、次要發育情形。

(2)不連續面之分佈(location in relation to map references or pit plan)。

(3)不連續面的走向、位態及傾角、傾向、傾斜(strike & dip & dip direction)。

(4)不連續面的密度或間距(Frequency or spacing)。

(5)不連續面的延伸情形(continuity or extent of discontinuity)
(6)不連續面的開口(width or opening of discontinuity)。
(7)不連續面的夾心(Gouge or infilling Between faces of discontinuity)。

第四節　坍滑區評估

本研究有關金門峒斷崖崩塌地之坍滑評估工作可分為二個重點：

(1)坍滑(向源侵蝕)速率：

根據不同年代地形圖與航照圖之判釋分析，再配合野外實際量測基樁變化情形，即可對照得出金門峒斷崖坍滑之速率或向源侵蝕之速率。再量出斷崖面至嶺線與玉山主峰線步道之距離，加以換算即可推估陳有蘭溪與荖濃溪河川襲奪之速率及影響玉山　八通關步道之時間。

(2)推估金門峒斷崖坍滑擴大之可能範圍、方位、規模與速率。

如上述運用航照判釋及基樁變化之觀測以了解金門峒斷崖之坍滑暨向源侵蝕速率後，再輔以地質調查之資料諸如地質構造作用及不連續面發育狀況與裂隙之發育情形，加以分析研判，即可推估金門峒崩坍地坍滑擴大之可能範圍、方位、規模等。

至於其崩塌發育之機制則於第四章資料分析時再予以探討。

第四章　資料分析與討論

第一節　金門峒斷崖崩塌及向源侵蝕之速率

一、金門峒斷崖崩塌地發育之監測值

本研究據第三章第二節所敘述之觀測方法針對金門峒斷崖崩塌地上方崩崖分三區(C區八通關區、D區金門峒斷層、E區玉山區佳陽層)。分別以A、B、C、D、E五種樁號木樁埋設，監測其向源侵蝕速率，其樁位分佈如圖4—1(參照圖 3-2)。

研究期間計進行17次之野外實地觀測工作及記錄，共計動員71人次，每次約四個工作天，如附錄一現地觀測工作表，所觀測得到樁位滑動資料如4—1表，再加以換算即可求得金門峒斷崖之向源侵蝕速率及預測河川襲奪開始進行之時間。

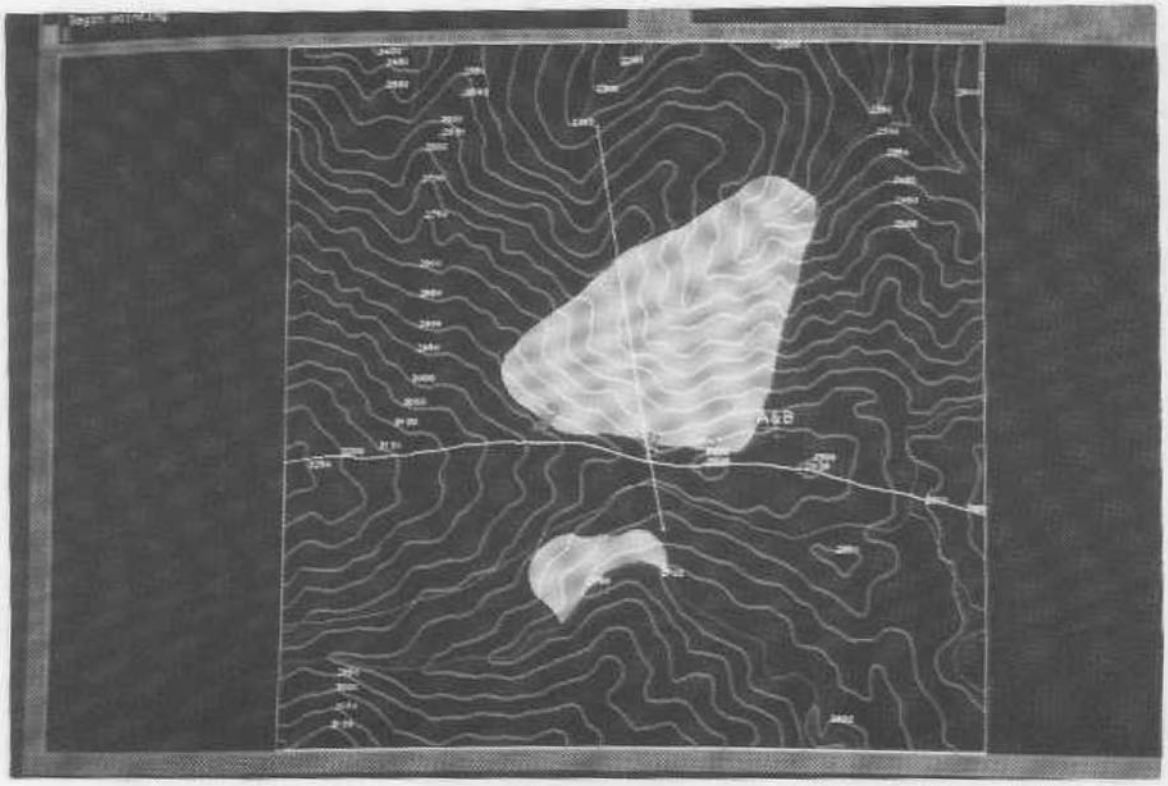


圖 4-1 金門峒斷崖監測木樁樁位分佈圖

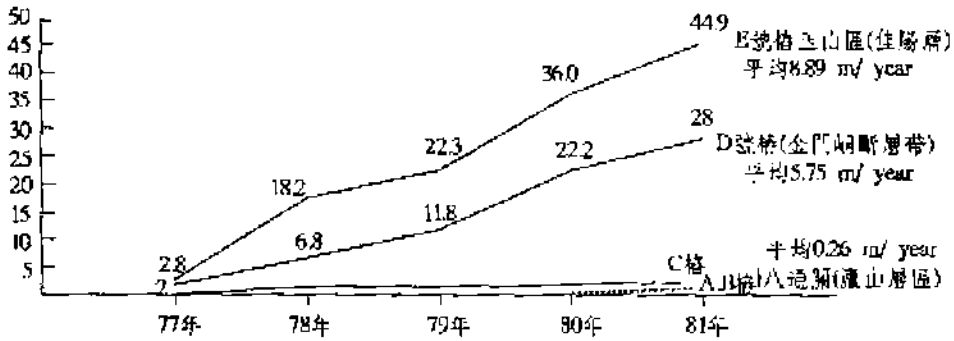
如照片A、B、C、D、E及打 "十" 記號處

表 4-1　金門峒斷崖崩塌地基樁觀測樁位滑動表

基樁分區 / 基樁位置 / 時間	八通關隔(廬山層) A.B測樁	八通關隔(廬山層) C測樁	斷崖帶 D測樁	尖山區(尖關層) E測樁	備註
76.11.11	0	0	0	0	基樁的埋設
76.12.13	0	0	0	0	
77.08.10	0	0	2 m	2.8 m	
78.04.12	0	0	3 m	3.8 m	
78.05.08	0	0	3.8 m	3.8 m	78年柯[illegible]
78.06.18	0	0.2m	5.0 m	13.0 m	78年[illegible]
78.06.28	0	0.2m	5.0 m	13.0 m	選E樁
78.07.21	0	0.2m	5.8 m	14.0 m	78年[illegible]
78.08.17	0	0.2m	6.8 m	18.2 m	78年[illegible]
79.11.01	0	0.3m	12.8 m	22.3 m	
80.07.13	0	0.3m	18.7 m	26.0 m	80年[illegible]
80.08.30	0	0.4m	20.6 m	31.0 m	80年[illegible]
80.10.31	0	0.8m	22.2 m	36.0 m	80年[illegible]
81.05.01	20cm	1.2m	25.9 m	40.0 m	81年[illegible]
平均滑動量(m/year)	0.044	0.26	5.75	8.89	

以上資料依時間順序累計　(77～81年)

圖4-2　77~81年金門峒斷崖A~E樁位後退滑動變化圖



註：81年因只觀測至5月乃以該區每年平均速率外插求得。

根據表4-1測樁量測情形(Data)繪圖如圖4-2，分析如下：

(1)金門峒斷崖八通關區即瓊山層板岩區包含A、B、C樁位，屬於崩塌穩定區域，每年之崩崖崩坍後退速率僅為0.044~0.26 m／year。

(2)金門峒斷層破碎帶，即金門峒斷崖之鞍部地區(D號樁位)則每年平均約以5.75m／year之速率向源侵蝕，換句話說，即自76年底以後金門峒斷崖D區崩崖面以5.75m／year之速率向南逐漸移近分水嶺。

而本研究因欲推測陳有蘭溪長期向源侵蝕金門峒斷崖終至開始襲奪荖濃溪上游之時間，有必要對金門峒斷崖D區鞍部地區之崩塌情形做較長期之觀測與分析，為此筆者收集參考76年本研究埋設基樁觀測以前之地形圖與航照圖等資料，例如

①昭和八年(民國22年)出版之新高登山地圖。(比例尺1／50000)。

②74年八通關地區之航照圖(比例尺1／20000)及1／25000比例尺之地形圖。

以配合76年起D區之基樁量測資料分析D區主崩崖面向分水嶺南移之速率如下：

自昭和八年(民國22年)D區崩崖面距分水嶺的250m距離，歷經59年的向源侵蝕作用，目前僅距分水嶺19.90m，(其中有約10m雖已下陷但未崩落)，向分水嶺南移速率為3.90m／year ，若以本研究調查量測資料分析則自76年11月設基樁觀測起至81年5月最後一次觀測止，其約以每年5.75m之速率接近分水嶺，不久即將進行河川襲奪之作用。

(3)金門峒斷崖之E崩塌區(玉山區佳陽層)於76年測樁埋設初，至80年梅雨季節前之崩塌速率尚屬相對小值，唯自80年5月梅雨季節起，即呈現大規模之崩塌，並成為金門峒斷崖向源侵蝕最主要之崩塌趨勢，據筆者每次在現場調查及觀測時，經常可見到E區岩塊或岩屑順著河溝崩落情景，並聽到轟隆轟隆的岩屑(塊)崩落聲不絕於耳，其向後崩塌速率約為8.89m／year。

(註：以上所述速率之數值均指年平均崩塌後退速率)

二、河川襲奪進行時間之預測

從金門峒斷崖的野外觀測結果顯示D區鞍部處將為金門峒斷崖受到陳有蘭溪向源侵蝕超越分水嶺，終而襲奪南側荖濃溪上游水源之最可能也是時間最快之區域，因為金門峒斷崖C區屬崩塌速率最慢之區域，而E區之平均向源侵蝕速率(8.89m／year)雖大於D區(5.75m／year)但由於E區的向源侵蝕方向係朝向西南發育，不若D區之直接逼近分水嶺，且D區之地勢亦為最低，其南側之荖濃溪谷地之上邊坡並已發育逐漸擴大之崩塌地，亦有助於河川襲奪作用之進行(參照4-1圖，金門峒斷崖與南側之較小崩塌地)，因此依據野外觀測所得之金門峒斷崖崩塌發育之監測值(表4-1)及金門峒斷崖(D區)至分水嶺之距離變化表(表4-2)所示，預測陳有蘭溪向南側荖濃溪進行河川襲奪之時間為3～5年，分析如下：

㈠以本研究調查期間自76年11月佈樁量測至81年5月止之D區崩移速率推算：

金門峒斷崖於本研究監測期間內以每年平均約5.75m的速率向分水嶺接近及向源侵蝕，目前D區崩崖面至分水嶺僅19.9m，按此向源侵蝕之速率，預估D區侵蝕至分水嶺時間為：

19.9m÷5.75m／year＝3.46(年)

㈡以昭和八年至本研究81年5月止之D區崩移速率推算：

金門峒斷崖若考慮較長時間之崩塌速率則自民國22年(昭和八年)至81年期間，以每年平均約3.90m的速率向分水嶺接近及向源侵蝕，目前崖面至分水嶺19.9m，按此向源侵蝕之速率，預估D區侵蝕至分水嶺時間為：

19.9m÷3.90m／year＝5.10(年)

綜而言之，快則3.5年，慢則5年，待D區向源蝕至分水嶺後，即是陳有蘭溪開始向荖濃溪進行河川襲奪作用的開始。

三、金門峒斷崖侵蝕玉山～八通關步道的時間預測，(D區嶺線至步道直線距爲58m)

金門峒斷崖崩塌至影響玉山到八通關步道的時間預測，同上河

川襲奪進行時間之預測以59年來及研究期間之D區二種向源侵蝕速率，推算如下：

(1)(58m＋19.9m)÷3.90／year＝19.97(年)

(2)(58m＋19.9m)÷5.75m／year

即在各項控制因素不變的情形下為13.5年～20年，然而當D區崖面侵蝕面超過嶺線以後，因坡度因素反而減緩緣故，將使侵蝕速率稍為降低。

因此採用較長期間可能性較高。(即比較接近20年之時間)

四、金門峒斷崖崩塌面積擴張速率

金門峒斷崖崩塌地面積在民國22年(昭和八年)時，依據比例尺五萬分之一之新高登山地圖使用求積儀(DIGITAL PLANIMETER)，求出約為0.350km²(86.48 Acre)，民國74年時，依據比例尺二萬五千分之一地形圖及二萬分之一之航照圖使用求積儀，求得之崩塌地面積已擴大至0.462km²～0.556km²，(114.10～137.33 Acre)，崩塌面積自22年至74年間每年平均擴大速率約為2153.84m²。

至民國79年時，依據五萬分之一比例尺之地形圖以求積儀求出崩塌地面積約為0.550km² (135.85 Acre)，較之74年最低面積比較，5年期間，每年崩塌面積平均擴大速率約為17600m²。

至81年研究結束時，以實際觀測值暨金門峒斷崖之數值地形資料(DTM DaTa)金門峒斷崖附近像片基本圖參考點DTM之2D坐標(參照附錄二)換算之。金門峒崩塌地面積約達0.886Km²(218.84 Acre)約為民國22年時之2.53倍，如表4-3。

79年至81年短短二年期間，金門峒斷崖之崩塌面積之所以擴張甚大原因，除了該期間有數次颱風侵玉山地區，造成嚴重災情之外(例如79年楊希颱風與80年艾美颱風)，金門峒斷崖亦於該期間內與其西北側之舊有崩塌地連接，而使其主崩塌面之規模迅速擴張，乃為主要之緣故。

表 4-2 金門峒斷崖面至分水嶺距離變化表

項次 / 時間 民國	金門峒斷崖崩崖面距分水嶺之距離	金門峒崩崖面平均每年後退速率	參考資料
22 (昭和八年)	250 m		昭和八年 1/50000地形圖
74	89 m	3.10 m／year	74年航照圖 及1/25000地形圖
76年 11月	45.80 m	14.40 m／year	76年 11月 佈樁量測值
80年 7月	27.10 m	5.10 m／year	80年 7月 野外監測值
80年 10月	23.60 m	14.00 m／year	80年 10月 野外監測值
81年 5月	19.90 m	6.34 m／year	81年 5月 野外監測值

註：金門峒斷崖平均每年向源侵蝕速率（崖面後退速率）

1、昭和八年至本研究81年5月止：
(250m－19.90m) ／59年 = 3.90 m/year

2、本研究調查期間自76年11月佈樁量測至81年5月止。
(45.80m － 19.90m)／4.5年 = 5.75 m/year

表 4-3 金門峒斷崖崩塌面積擴大表

項次 / 時間 民區	金門峒斷崖崩塌地面積	崩塌面積每年平均擴大速率	參考資料
22年 (昭和八年)	0.350 km^2 (86.48 Acre)		昭和八年 1/50000地形圖
74年	0.462 km^2 (114.10 Acre)	2153.84m^2/year	74年10月 1/25000地形圖
74年	0.556 km^2 (137.33 Acre)		74年航照圖 1/20000
79年	0.550 km^2 (135.85 Acre)	17600m^2/year	79年1/50000 地形圖
81年	0.886 km^2 (218.84 Acre)	168000m^2/year	實際觀測及 DTM換算值

第二節　金門峒斷崖不連續面調查及分析

根據第三章第二節所敘述之研究方法，調查金門峒斷崖及其附近地區之不連續面(discontinuity)如層面(Beddingplane)斷層(fault)節理(Joint)、板劈理(Slaty cleavage)張力裂縫(Tension crack)等之調查值如下列表及圖示：

㈠不連續面調查點(discontinuity point)之定點與分布如圖4-3地形圖所示。

㈡C區廬山層板岩（含觀高～八通關步道沿線露頭)之不連續面調查值如表4-4，主要為板劈理(Slaty cleavage)。

㈢D區斷層破碎帶不連續面之調查，因該區為金門峒斷層帶(fault zone)位置所在之處，岩體甚為破碎緣故，具代表性之不連續面不易量度，其不連續面調查值如表4-5。

又D區最主要之不連續面即為金門峒斷層；據前人的研究如張寶堂(1984)所稱F斷層為一自東向西之逆衝斷層，斷層面傾角向東，王文能(1978)推測金門峒斷層為一高度向東傾斜的逆衝斷層。然筆者於D區處之板岩露頭中發現有金門峒斷層作用前緣之拖曳褶皺(Drag fold)二處如圖4-6(上)所示，其軸面及兩翼之走向與傾角亦如圖4-6(下)所示，似乎又顯示金門峒斷層可能為一向西傾斜之逆衝斷層，因此有必要進一步探討於後，並於後續之研究調查時，加以求證。

㈣E區佳陽層不續面調查值如表4-6；主要為變質砂岩中發達的高角度節理，例如N42W 80E、N56W 80S、N70W 90 N42W 86 W、N80W 90、 N30E90、N50E 80E等節理組其促使E區產生傾覆型與岩崩瀉崩塌，乃控制E區崩塌的主要機制之一。

㈤金門峒斷崖上方崩崖處育有許多的張力裂縫(Tension crack)大致平行接近崖面，即其張裂方向大致與金門峒斷崖之崩塌方向吻合(N20E～N30E)，其張力裂縫調查值如表4-7所示，而其分佈圖則如圖4-7。

此張力裂縫形成的原因，可能是金門峒斷崖崩塌時的解壓作用而形成，解壓造成壓力不平衡，使表層岩石材料與其鄰近岩體之間產生近乎平行地表面的裂隙，又如表4-7之裂縫大致平行崖面發育即張裂方向與向源侵蝕方向一致。也可能是金門峒斷崖的重複冷熱(乾濕)的氣候環境所造成，(高山氣候)重複冷熱除了在冰點附近造成重複凍解之外，在常溫及高溫環境中（例如森林大火)也會使岩石破裂。不同的成份或不同的岩石有不同的膨脹係數，使得不均勻的岩石因內部膨脹量不均勻而造成破裂。重複乾溼除了影響化學性風化和溶質析出之外，也使粘土礦物重覆收縮或膨脹，因而加速岩石裂隙的發育。

(六)金門峒斷崖之節理調查值。分CE二區經史密特立體投影網分析(Schmidt Net)結果如圖4-8(a、b)，其主要之解理組位態資料如表4-8，其與崩塌發育之關係將於後節中加以探討。

(七)金門峒斷崖之板劈理(Slaty cleavage)經吳爾福立體投影網(wulff Net)分析結果如圖4-9(n=41)。其主要之板劈理位態資料亦如表4-9，其與崩塌發育之關係，亦將於後節中探討。

圖 4.3 不連續面調查定點分佈圖

圖4-4　金門峒斷崖D區步道旁廬山層發達之節理與板劈理



圖4-5　金門峒斷崖D區之張力裂縫區



圖 4-6(a) 金門峒斷層D區drag fold



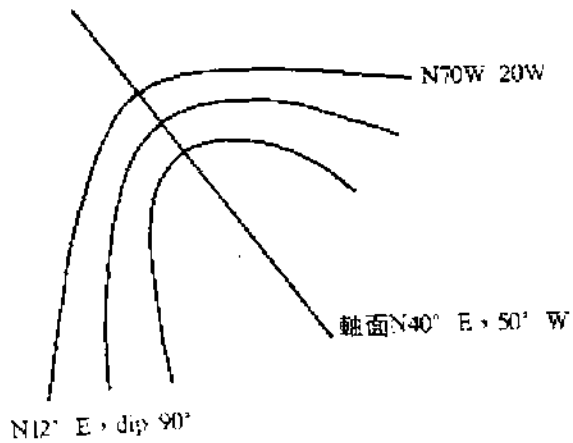


圖 4-6(b) 金門峒斷層D區drag fold



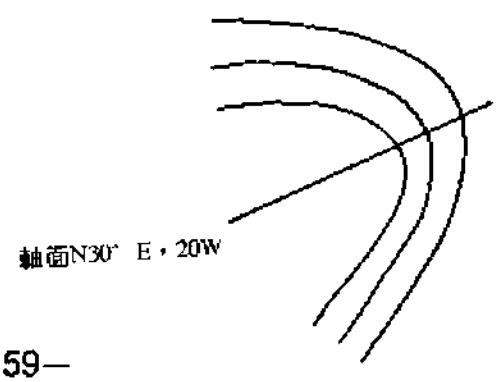


表 4-4 C區廬山層板岩不連續面調查表

Point NO	Bedding		Joint				Slaty Cleavage		Rock	P.S.
	Strike	dip	Strike	dip	Spacing	Freguency	Strike	dip		
P-01	N10E	60E					NS	45E	Slate	
P-02			N80E N38W	90S 72W	30cm 30cm		N68E	32E	Slate	
P-03			N42W N8E N70W	60W 60W 80N	10-50cm 10cm 10cm	 20組/5m	N20W	56E	Slate	
P-04			N22W N80W EW	45W 38W 72W	40cm 20cm 50cm		N12W	40E	Slate	
P-05			EW N50W	80S 50W		23組/5m	N8E	50E	Slate	
P-05 +10n			N80W	65N			N22E NS	30E 60E	Slate	
P-06			N48W N36W	46N 38S		 28組/5m	N28E	70E		
P-07			N74W N40W N76W N38W	80W 60W 58E 54W	 30cm 	24組/5m	N10E N20E N6W N24E	74E 48E 62E 64E	Slate	
P-08			N50W N60E	80E 80E	30cm 	 50組/5m	N22E	40E	Slate	
P-09			N12E N76W N84E	40W 36S 86S	3-5cm 	 43組/5m	N22W N18W	58E 60E		
P-10			EW N30W	76S 24W	30cm 	18組/5m	N2W N2W	64E 59E		
P-11			N80W N44W EW	80S 42S 58N	 10cm 	 45組/5m	N6E N10E NS	70E 68E 60E		

表 4-5　D區斷層破碎帶不連續調查表

Point NO	Bedding		Joint				Slaty Cleavage		Rock	P . S .
	Strike	dip	Strike	dip	Spacing	Freguency	Strike	dip		
P-12			EW N20W	60N 30S	30cm 5cm		N8E	66E	Slate	
P-13							NS N20W	30W 60W	Mata Sandston	砂岩 foliation 與Bedding相反
P-22							N25E	51E		
							N50E	60W		
							N48E	44W		
drag 1							N70W	20W		drag Fold右翼
							N12E	V		drag Fold左翼
							N40E	50W		軸　面
drag 2							N30E	20W		軸　面

表 4-6 E區佳陽層不連續面調查表

Point NO	Bedding		Joint				Foliation		Rock	P.S.
	Strike	dip	Strike	dip	Spacing	Freguency	Strike	dip		
P-14	N26E	10E							M.SS +SI	M.SS Beding =foliation
P-14 前20m			N40W N80E	80E 50E	5-10cm		N10E	32W	M.SS	
P-15			N24W N56W N10W	50E 80S 50E	3cm 30cm 30cm		NS NS	40W 50W	Slate M.SS	
P-16			N24W N60E	60E 40W	20-30cm 20-30cm		N10E	58W	M.SS	
P-17	N30E	60W	N32E NS N70W N84E	30E 56E 90 60S	5-10cm 10cm 5-10cm		N28E	60W	Sl+M.SS	
P-18			NS N42W	64E 86W	10cm		N20E	50W	M.SS	離主峰4.9km
P-19			N30E N80W N26E N80W	42E 70S 56E 90	30-40cm 50cm 20-30cm		NS NS	45W 50W	Slate Slate Slate Slate	
P-20							N4E	54W	Slate	
P-21			N30E	90						E巷附近
			N42W	50S						
	N12W	11S	N50E	80E						
			N30W	84E						

表 4-7 金門峒斷崖張力裂縫調查表

NO	位 置	延伸方向	張裂方向	開 口	長 度	深 度	備 註
T1	A6椿處	N48E	N42° W	1.5m	5m	1.5m	
T2	D-E處	N60W	N24E	0.5~1m	2.5m	2m	23° 29' 2839 120° 59' 1345
T3	D→E處	N58W	N30E	40cm	1.5m	1m	
T4	D椿左下方	N50W		30~40cm			
T5	D椿左下方	N40W		2~3cm			
T6	D椿右下方	N70° W	N20E	20~30cm	4m		
T7	D椿右下方	N70° E	N20W	70~100cm	10m	1~1.5m	
T8	D椿正後方5m	N60W	N30E	2m	30m	80~100cm	
T9	D椿正後方	N70° W	N20E	20~30cm	8m	50cm	
T10	D椿後下方	N60W	N30E	3m	4m	1m	
T11	D椿後下方	N60W	N30E	50~100cm	5m	1m	
T12	E椿右下方	N70W	N20E	50cm			
T13	E椿右下方	N30W	N60E	25~50cm			
T14	D椿 處	N44W	N46E	40cm			
T15	D椿左上方	N44E					

圖 4-7 金門峒斷崖張力裂縫分佈圖

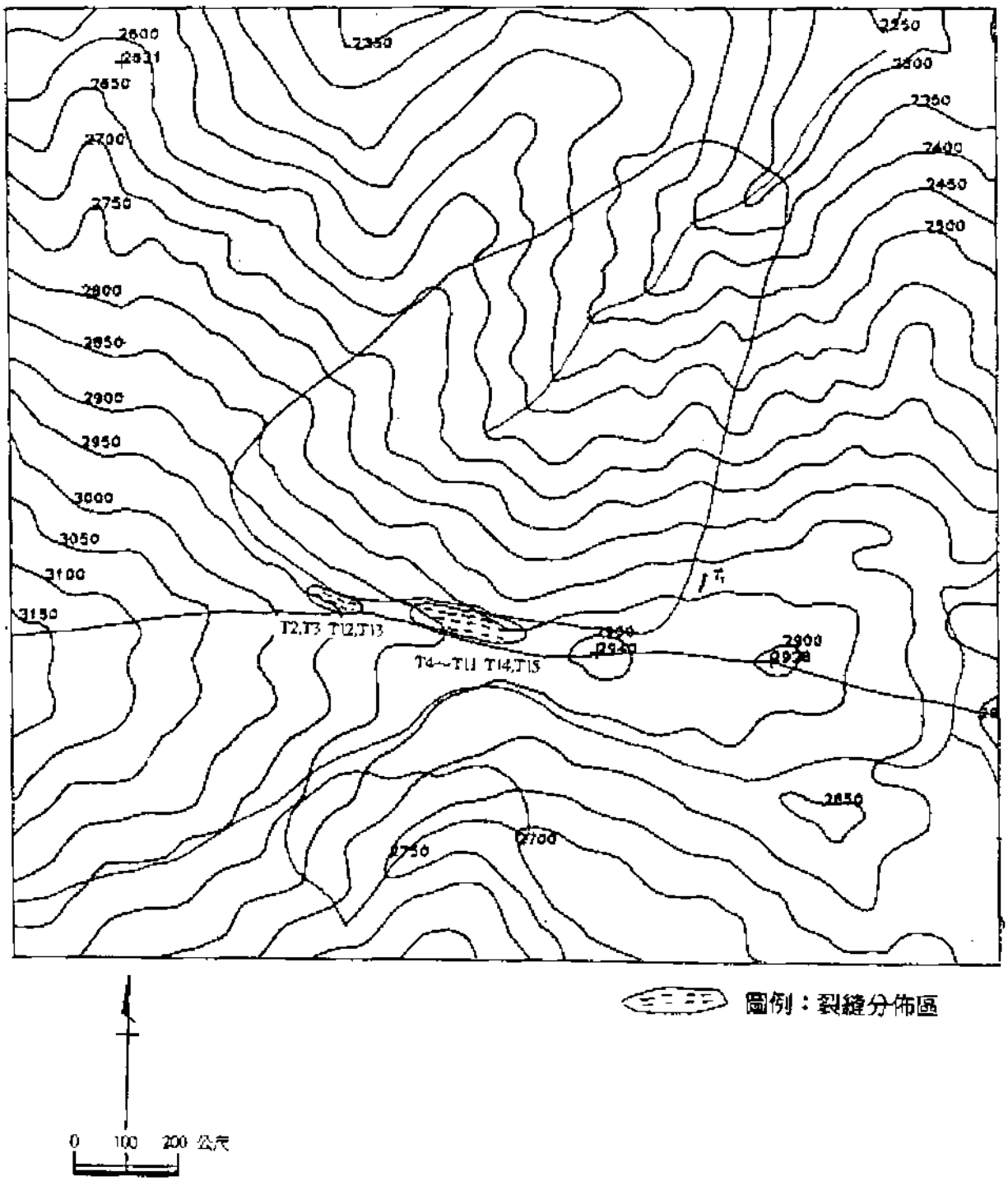
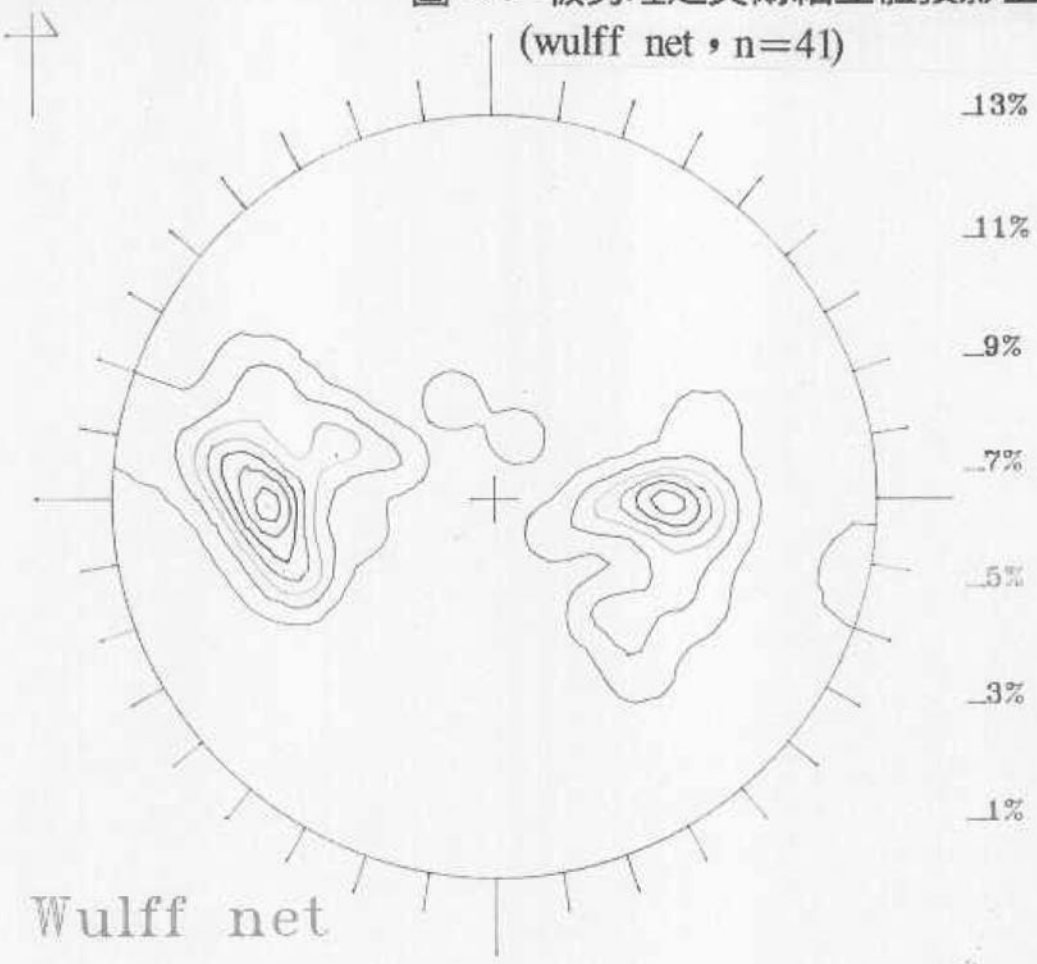
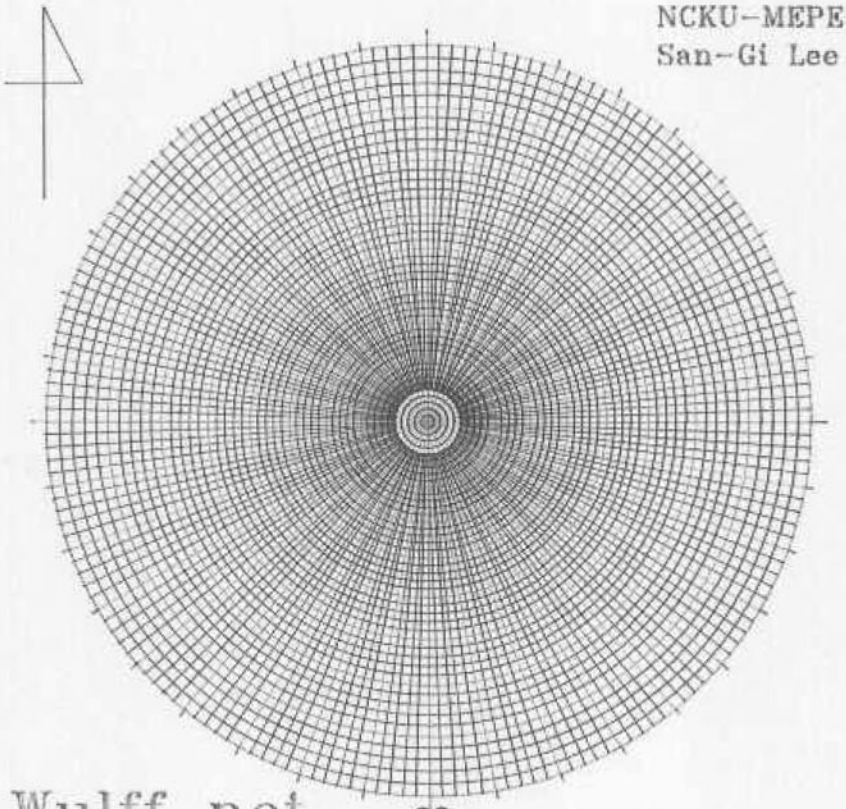


圖 4-9 板劈理之吳爾福立體投影圖





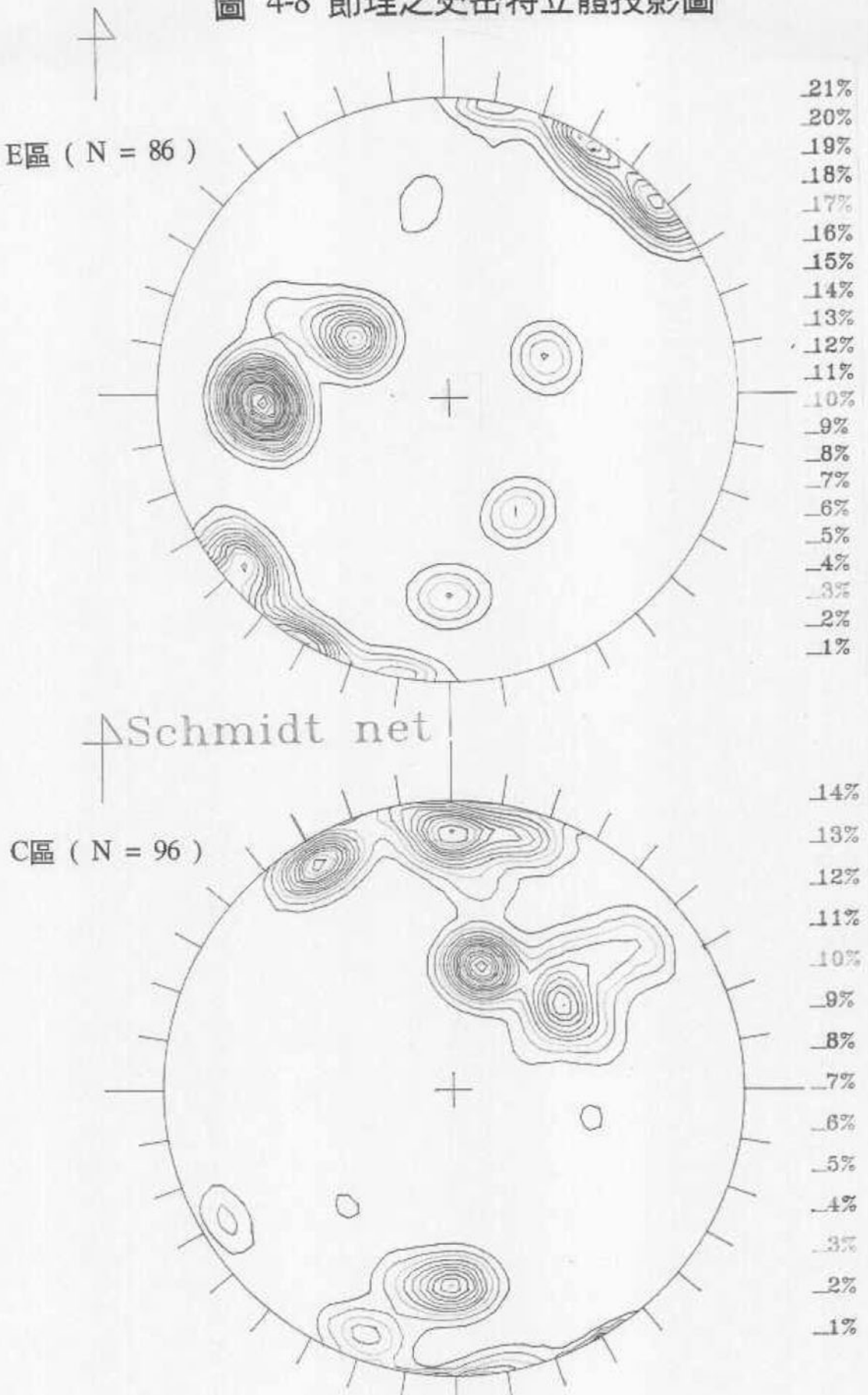
4-8 金門峒斷崖主要節理組之Schmidt Net 分析值

NO	E區(含D區) Joint		C區	Jiont
	strike	dip	strike	dip
1	N 3° W	65° E	N 75° W	48° SW
2	N 32 E	30° NE	WE	82° S
3	N 58 W	87SW	N 70° E	83° SE
4			N 46° W	50 S

4-9 金門峒斷崖主要板劈理之wulff net 分析值

NO	E區		C區	
	strike	dip	strike	dip
1	N 2° W	62 E	NS	50W

圖 4-8 節理之史密特立體投影圖



第三節　金門峭斷崖崩塌形態及特性之分析

金門峭斷崖之崩塌形態及特性分析，主要乃根據前三節之調查分析結果及野外調查記錄資料(崩坍地記錄表如表4-10)並運用地理資訊系統(GIS)加以分析，特別是崩坍地地形剖面、坡度坡向及不續面發育情形。再按Vernes山崩分類表如(表4-11)與cayson and kirkby 對岩體中邊坡不穩定的分類(圖4-10)探討於下：

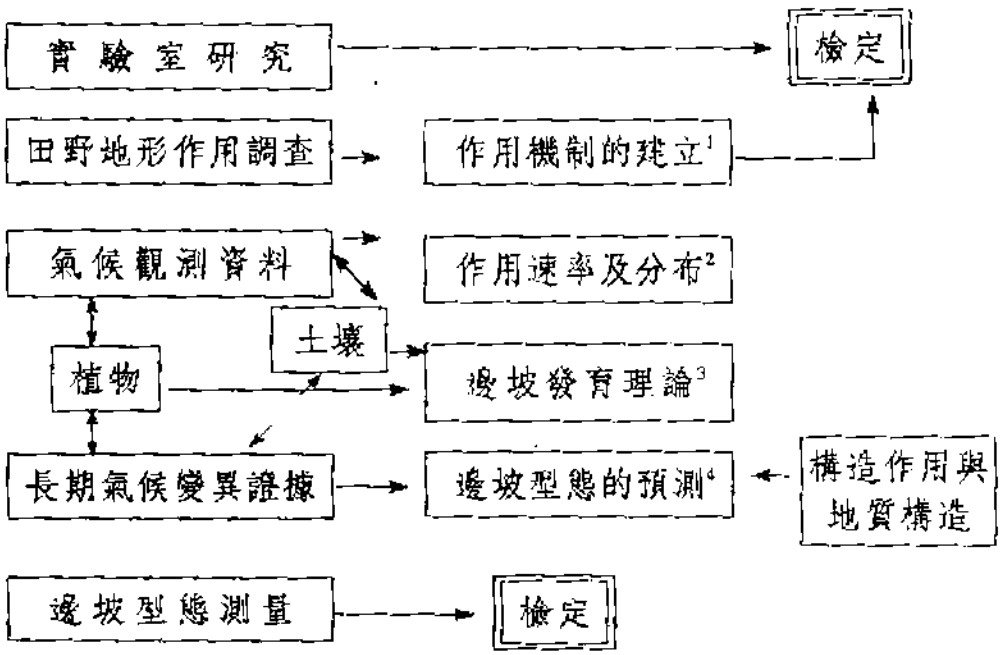


圖4-10　邊坡研究架構(Carson and Kirkby, 1972)

表 4-10 崩 坍 地 記 錄 表

日期： 年 月 日

集水區名稱：_____

地形圖編號：_____

崩坍地編號：_____

位 置：_____ 號公路 _____ K _____ m

離：_____ (縣、鄉等)東、西、南、北 _____ 公里

崩山類型：_____

(備 註：_____)

發生日期或存在期間：_____

崩坍物質估計量：

_____ < 5,000 m³

_____ 5,000 — 500,000 m³

_____ 50,000 — 500,000 m³

_____ 500,000 — 1,000,000 m³

_____ > 1,000,000 m3

廣 度：

寬：_____ m，長：_____ m，深：_____ m，

物質最大移動距離：_____ m

崩坍前原坡度：_____

移動速率估值：

_____ 慢(< 1.5m/month)

_____ 緩(1.5m/month—1.5/day)

_____ 快(1.5m/day—0.3m/min)

_____ 極快(>0.3m/min)

_____ 實測速率 _____ m per _____

崩坍前降雨條件：

_____ (A) 乾燥

_____ (B) 中度雨量

_____ (C) 暴雨或／長期降雨

_____ (D) _____

金錢損失估值：_____ 傷亡：_____

交通阻礙情形：_____

崩坍地形狀：1，2，3，4，5，6，7。

崩坍材料：基岩、土砂石、基岩與土砂石？

斜坡面線：平直、凹面凸面、複合(上凸下凹、上凹下凸)

崩坍位置：山脊、山腰、坡腳、河岸(攻擊坡、滑走坡)

基岩種類：_____，走向 N _____ 傾斜 _____

塊 體 積：_____ m³

風化情形：I、II、III、IV、V、VI。

地質構造：軸部、翼部、緩亂部、斷裂部。

地層名稱：_____，時代：_____

方向：坡向 _____，河流流向：_____

斜坡與地層之關係：順向、反插、斜交。

植生狀態：裸岩、草生地、散生林、密生林、闊葉地、其他。

崩坍原因：

(A) 重力 (B) 圍礫 (C) 粘土礦物

(D) 雲母類礦物 (E) 自由水、毛細管水

(F) 水含量因供應量而增加

(G) 水含量因流路阻塞而增加

(H) 地下水面突降

(I) 遠處含水層水位提高

(J) 因人工水源(水庫、運河)引起之滲透

(K) 自然原因之坡腳流失

(L) 建築原因移去坡腳

(M) 地震 (N) 開炸 (O) 溫度變化

(P) 凍裂 (Q) 傾斜節理面

(R) 因建築增加斜坡負荷量

(S) 因冰雪增加斜坡負荷量

(T) 因滑落物質增加斜坡負荷量

(U) 傾斜地層

(V) 傾斜片理

(W) 斷層面

(X) 化學分解作用(火成岩)

(Y)

處 理 狀 況：

成 效：

失敗原因之檢討：

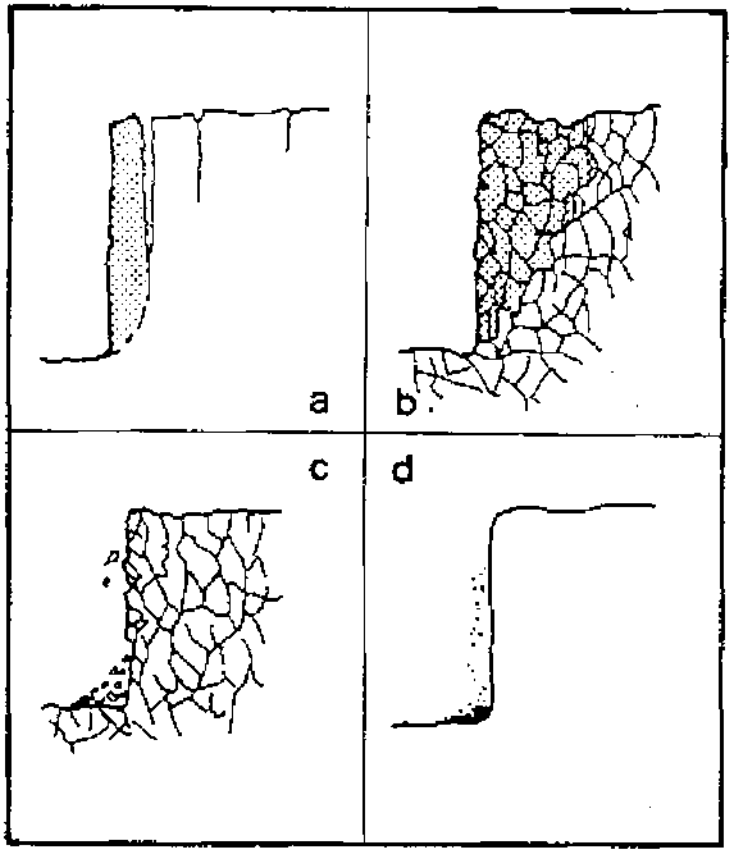
業建議之處理方法：

表 4-11 Varnes 山崩分類表(1979)

運動種類 Type of Movement		物質種類 (Type of Material)		
		基岩 (Bedrock)	工程土壤 Engineering Soils	
			粗粒為主	細粒為主
墜落 Falls		岩石墜落Rock Fall	岩屑墜落 Debris Fall	土墜落Earth Fall
傾覆 Topples		岩石傾覆 Rock Topple	岩屑傾覆Debris Topple	土傾覆Earth Topple
滑動 Slides	轉動 Rotational	岩石崩移 Rock Slump	岩屑崩移Debris Slump	土崩移Earth Slump
	移動 Translational	岩塊滑動Rock Block Slide(Glide) 岩石滑動Rock Slide	岩屑塊動Debris Block Slide 岩屑滑動Debris Slide	岩屑塊動Earth Block Slide 岩屑滑動Earth Slide
側落 Lateral Spreads		岩石側落Rock Spread	岩屑側落Debris Spread	土側落 Earth Spread
流動 Flows		岩石流動Rock Flow (深蠕動Deep Creep)	岩屑流動Debris Flow (土蠕動Earth Creep)	土流動 Earth Flow
複合運動 Complex		複合兩種或兩種以上之運動方式		

一、金門峋斷崖崩塌種類

山崩發生的地點常常是岩層出露的崖面；出露的岩石材料本身具有不連續面，而且在不斷的風化作用及各種干擾之下逐漸趨向不穩定，最後使邊坡崩壞。根據主要不連續面發達的情況，可將山崩分為板狀傾覆、岩塊崩瀉、落石、岩屑崩落等(圖4-11)，此間現象是連續漸變的。



(a) 板狀傾覆，　(b) 岩塊崩瀉，
(c) 落　石，　(d) 岩屑崩落，

圖 4-11 岩體中邊坡不穩定的種類(Carson and Kirkby, 1972)

而關於金門峒斷崖的崩塌地剖面分析，本研究乃運用地理資訊系統(GIS)方法，將金門峒斷崖之縱剖面分二區，橫剖面選擇三條(於金門峒崩塌地陳有蘭溪河床之上端，中端及下端各擇乙段) 予以分析說明如下：

①金門峒斷崖E區陳有蘭溪河床之GIS縱剖面分析如圖 4-16，其分析距離共1753m,而E椿處為該剖面最高點 (海拔2900m)，圖上河床(0點)為剖面最低點(海拔2250m) 海拔落差650m。L 點為金門峒斷崖之趾部位置。又此段剖面再依據野外觀測結果，繪製崩塌剖面圖如4-19(a)。

②金門峒斷崖D區沿陳有蘭溪河床之GIS從剖面分析如圖4-17，其分析距離共1588m，而D椿處為該剖面最高點 (海拔2850m) 圖上河床(0點)為剖面最低點 (海拔2250m)，海拔落差600m，L點為金門峒斷崖之趾部位置。又此段剖面依據野外觀測結果，繪製崩塌剖面圖如4-19(b)。

③金門峒斷崖之上端，中端及下端各選擇一段橫剖面分析，以了解陳有蘭溪源頭及金門峒崩塌地之橫剖面地形概況如圖4-18，而下端之橫剖面依野外觀測結果，繪製之崩塌剖面圖如圖4-19(c)。

金門峒斷崖之崩塌型式經十餘次的野外觀測及對不連續面的調查結果顯示屬以上之綜合式之崩塌型態如圖4-12，茲分四點描述於下：

1、一般而言，金門峒斷崖因金門峒斷層的作用及節理板劈理等不連續面的交互作用下，造成圖(b)(c)所示之破碎岩體，在豪雨期或梅雨期或梅雨季節時，即產生圖(b)之石塊崩瀉式崩塌。

2、如當崩崖後退至張力裂縫為主要控制之不連續時產生(a)圖之板狀傾覆崩坍。

3、在一般季節的D區及E區及雨季時的C區(含A、B、C巷號)，會產生像圖(C)所示之落石式崩塌。

4、在乾季時，或穩定期的D區及E區及一般時期之C區，則僅產生圖(D)所示之岩層崩落。

二、坡腳條件

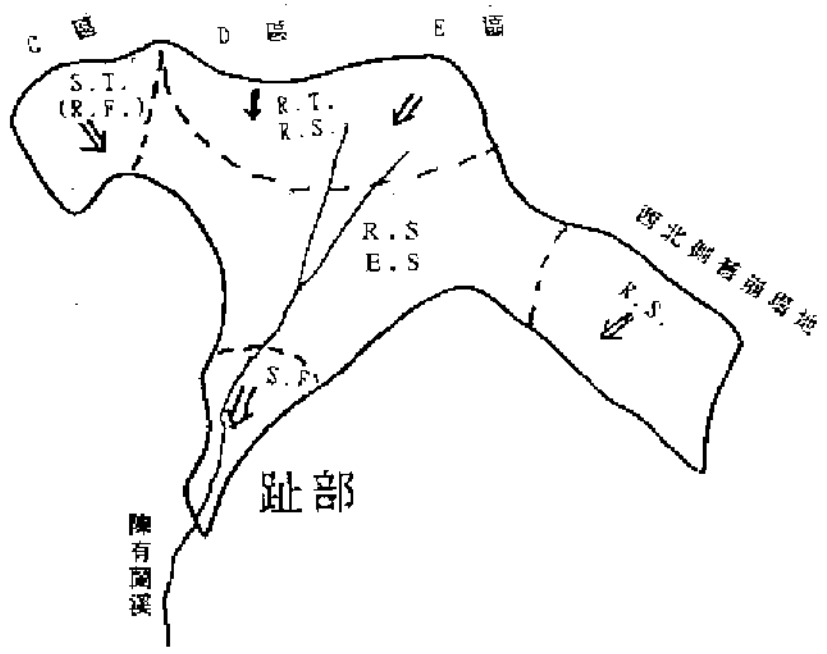
整個邊坡發育的動向受到坡腳條件的限制及影響甚大，金門峒斷崖的崩塌發育也不例外。通常坡腳條件、地質材料原始地形構成了邊坡發育的始初條件。坡腳條件是以風化控制條件和搬運控制條件為兩個極端的連續現象。它可以底式1表示之(Kirkby, 1971)：

$$-\frac{y}{t}=K(C-S)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{式1}$$

其中 $(-\frac{y}{t})$ 為地形變化量，C為地形作用的搬運潛力，S為實際搬運速率，K為侵蝕常數。當C>>S，坡腳物質全數被移除，邊坡表層堆積物都是新鮮的風化岩屑，並且有裸岩出現；這時候K→0，而地形變化量則視為風化速率而定。當C=S，地形作用只能搬運部分或無法搬運風化作用所提供的堆積物。此時鬆軟的材料使K→∞，搬運速率就決定了地形變化量。一般邊坡的坡腳條件經常介於這兩個極端現象之間，稱為侵蝕控制條件。

金門峒斷崖的崩塌形，即屬於搬運控制的坡腳條件，自崩塌地上方崩落的物質並未在坡腳形成堆積，坡腳物質全數被移除。

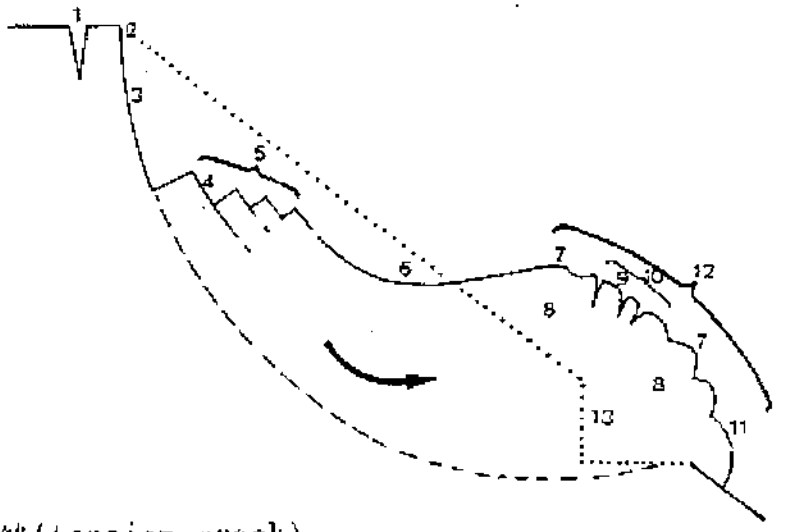
圖 4-12 金門峒斷崖崩塌型態標示圖



R-T	rock topple 岩石傾覆
R-S	rock slide 岩石崩移
R-B	rock block slide 岩塊滑動
S-F	solifluction 土石流（坡角迅速搬運不堆積）
S-T	stable area 穩定區
R-F	rock fall 岩石墜落
E.S	Eareh slide

三、金門峒斷崖之崩坍剖面分析

山坡縱斷面之分析中，其目的是將縱斷面形狀分為若干段落，可求出坡長(L)與坡角以探討邊坡穩定，並分別說明其特性，一般理想化和簡化之崩塌剖面示意圖如圖4-13。



剖面圖

S-1 張力裂縫(tension crack)
S-2 主崩崖(main scarp)
s-3 裸土／裸岩
S-4 次崩崖
S-5 雁行排列之次崖
S-6 排水不良或積水
S-7 橫向隆起
S-8 擾動之土石
S-9 橫向張裂縫(traverse crack)
S-10 雁行排列之橫向張力裂縫
S-11 傾斜之樹籬
S-12 丘狀地形
S-13 河流切割或道路開挖

圖 4-13 理想化且簡化之弧形崩塌剖面示意圖及其上各部位名稱(劉進金 1986)

圖 4-16 金門峒斷崖E區沿陳有蘭溪河床之GIS剖面圖

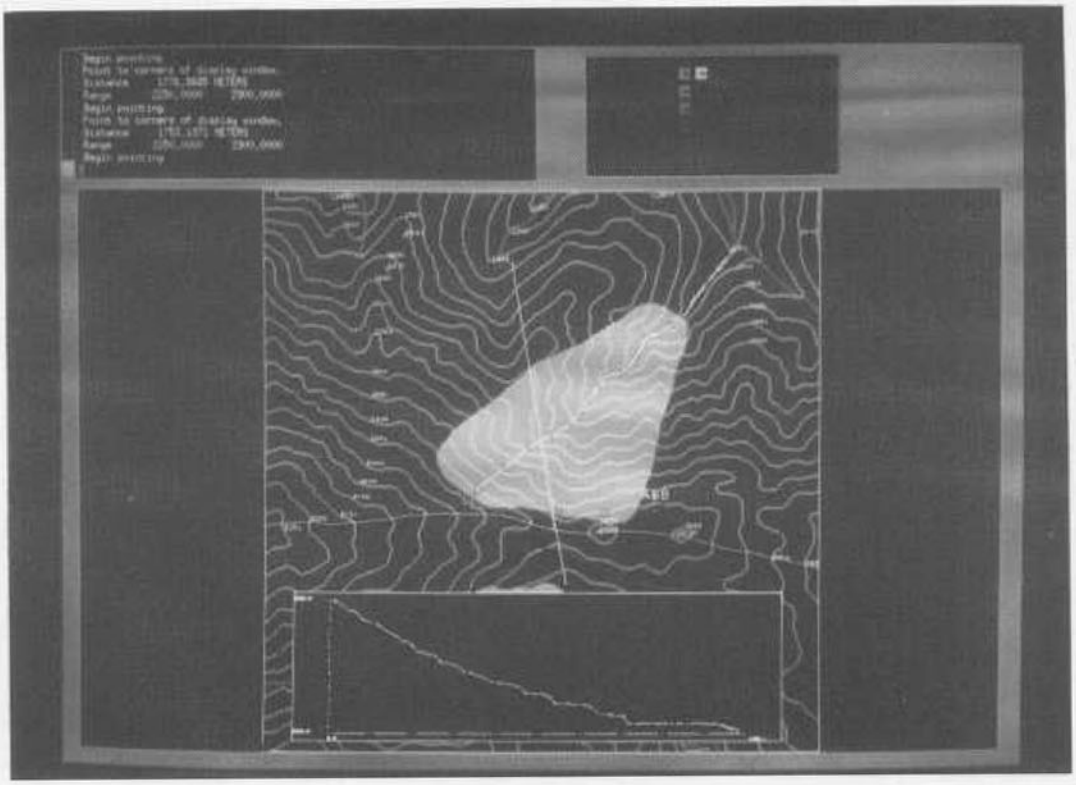


圖 4-17 金門峒斷崖D區沿陳有蘭溪河床之GIS剖面圖

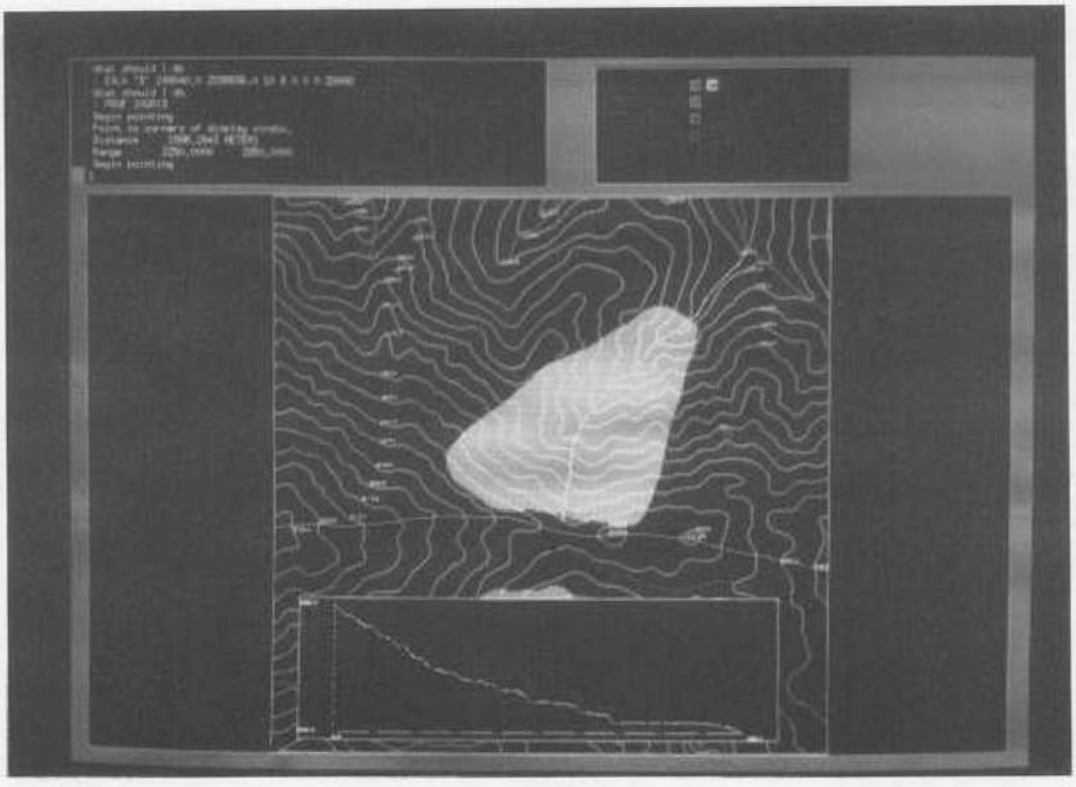


圖 4-18 金門峒斷崖崩塌地之三處橫向剖面圖

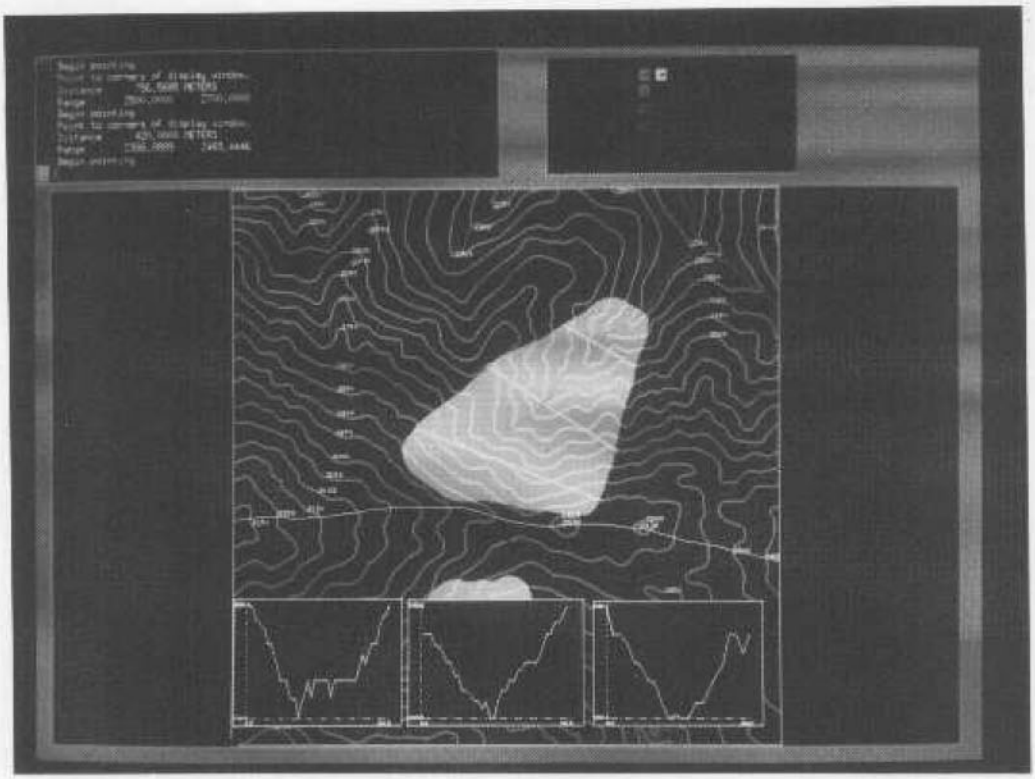


圖 4-19 金門峒斷崖附近之3D地貌圖

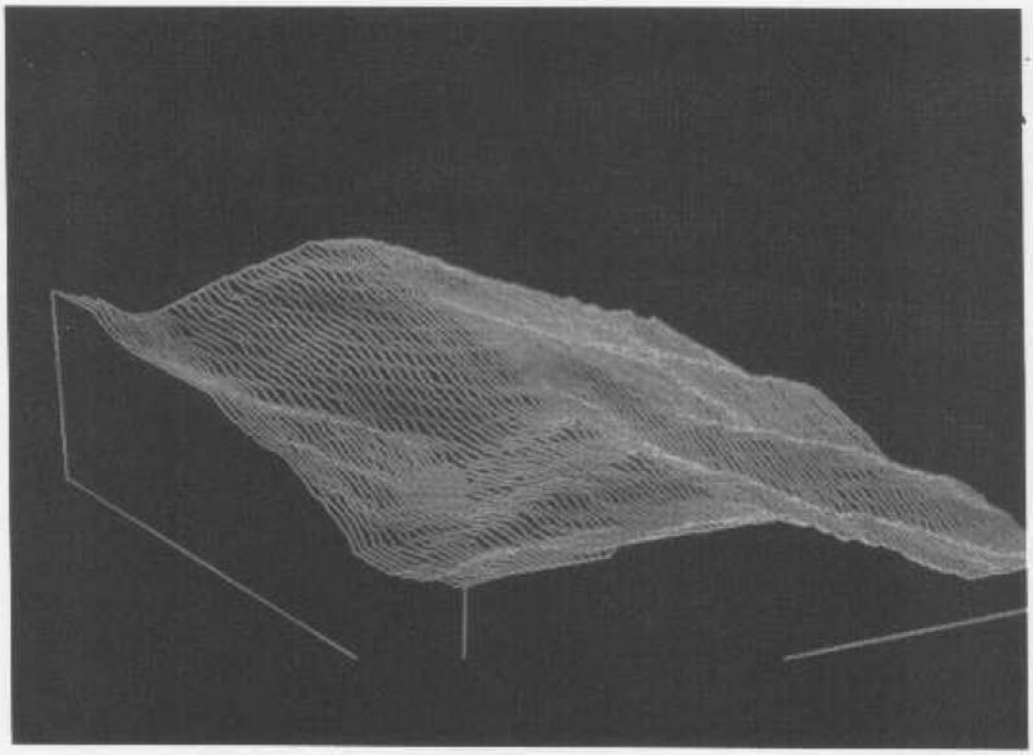
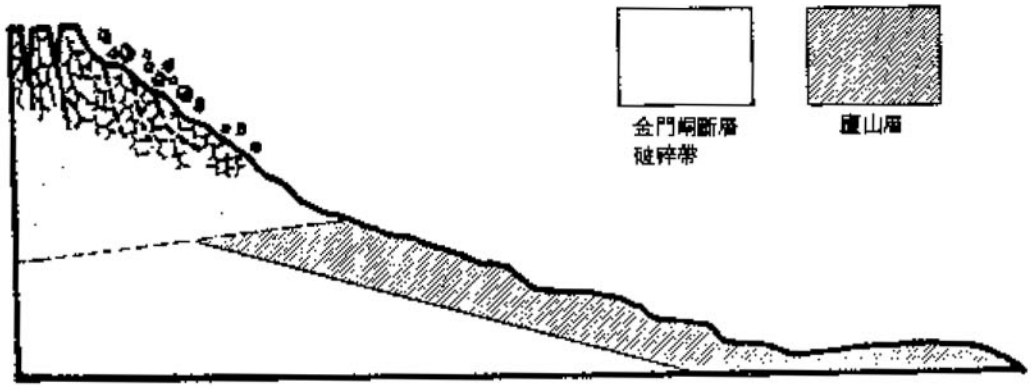
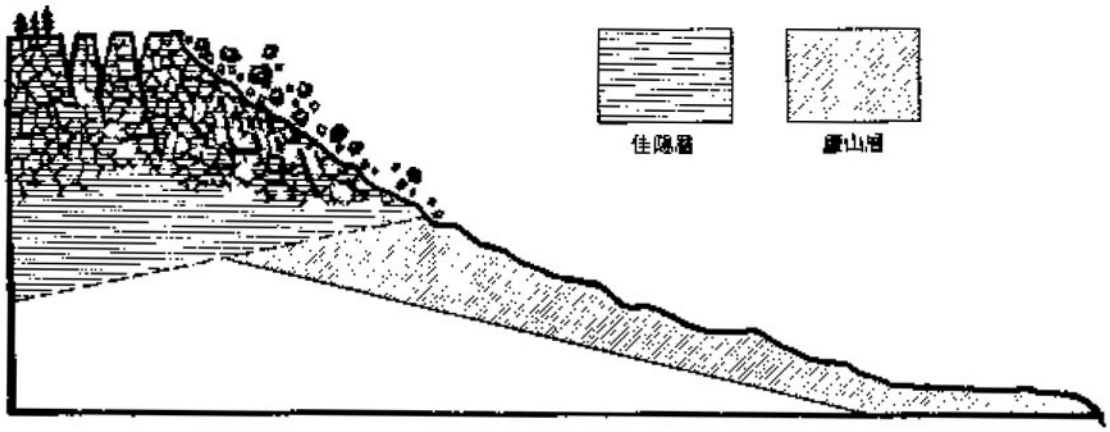


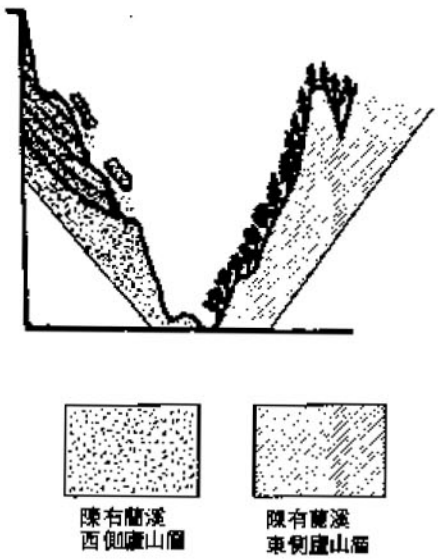
圖4-19(a)金門峒斷崖C區崩塌剖面示意圖



(b)金門峒斷崖E區崩塌剖面示意圖



(c)金門峒斷崖崩塌橫剖面圖



第四節　金門峒斷崖崩塌控制機制之探討

一、氣候與植生因子之影響

㈠氣候因子之影響

降雨可說是造成金門峒斷崖崩塌最主要的外營力作用，一般而言降雨會直接沖蝕崩塌地，增加崩崖岩層荷重，減低岩層強度例如孔隙水壓的增加，使磨擦強度縮減，因而降低岩層之抗剪強度，而使岩層更易滑動，如破壞力學中庫倫(Coulomb)定律描述岩層抗剪強度如下公式：$S=C+\delta \tan \phi$

S 作用於滑動面上之剪應力(即為產生滑動時，所須之剪應力，C 為凝聚力，δ為作用於滑動面正應力，ϕ為土壤或岩石的內摩擦角。

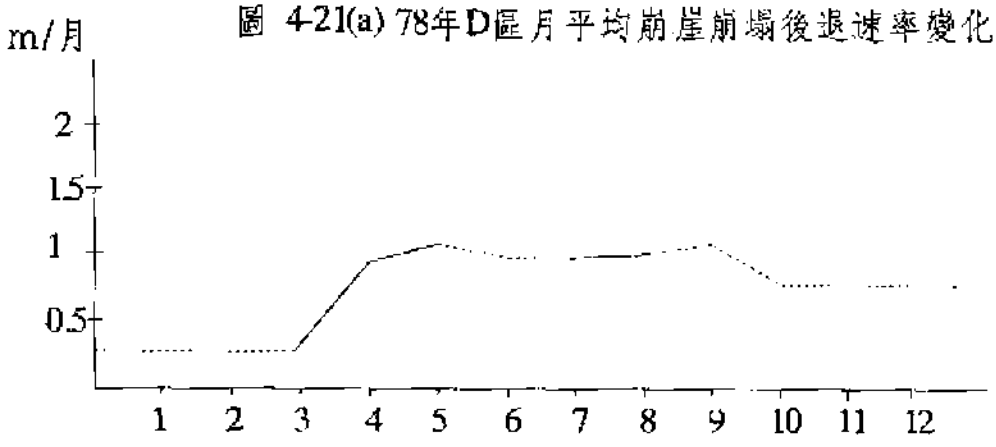
而土壤顆粒間的孔隙空間，或是岩石裂縫中的水份，對其四週物質會使出壓力。因此：

$$S=C+(\delta-\mu)\tan\phi$$

式中，μ為孔隙水壓(pore water pressure)。如此由於孔隙水壓而導致在較低的坡角時，便有可能發生滑動使作用於滑動面上之正應力降低，因而減少了產生滑動所需之剪應力。

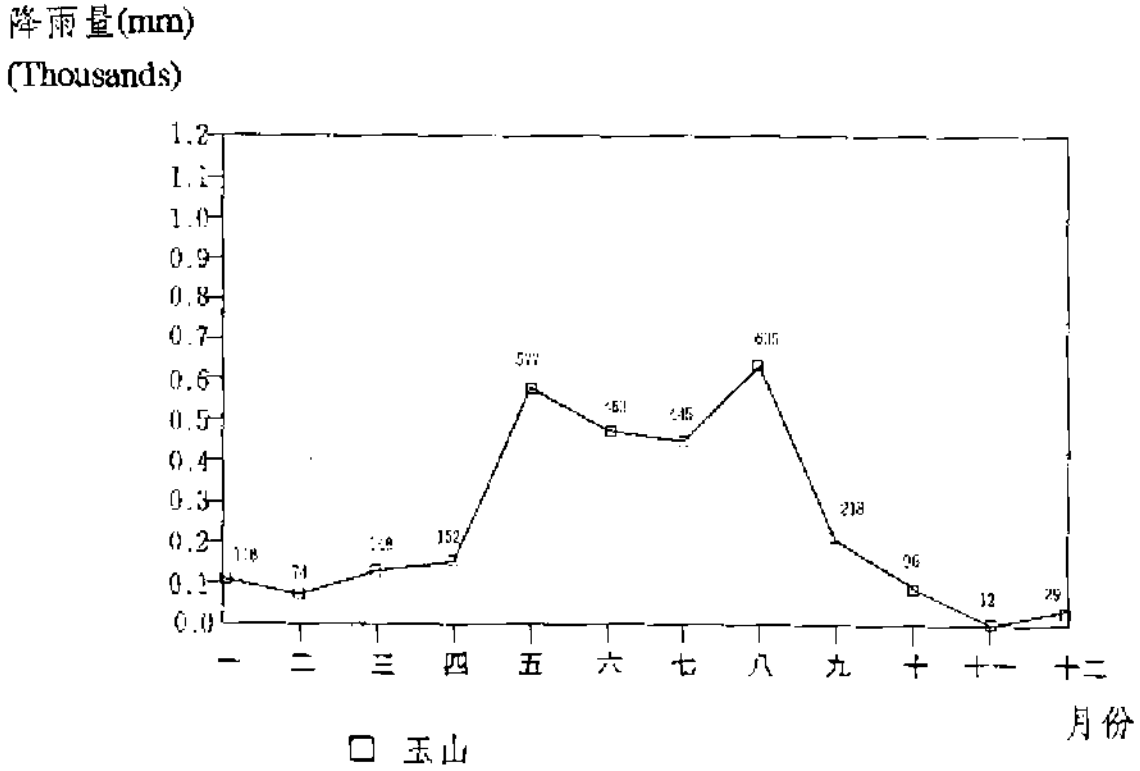
野外調查基礎之觀測值結果顯示及印證降雨，特別是豪雨期、梅雨季節時之金門峋斷崖崩塌量均特別大。以78年之D區崩崖後退速率情形述明如下：

圖 4-21(a) 78年D區月平均崩崖崩塌後退速率變化圖



註：1、5～6月為梅雨季節。
2、7～9月為雨季及豪雨期。
3、虛線部份為平均崩崖後退值。

圖 4-22(b) 玉山地區氣候因子之季節變化



(二)植生

植生系統對於控制山坡上水侵蝕的重要性已超出地面水流與地下水流間的簡單比例以外，例如草木茂盛的山坡地面水流由於草木層的摩擦，減緩了流速，其侵蝕量也就降低，同時一層緊密草皮會有效的阻止水流與土壤礦物質間的接觸，如此，不但使草木茂盛的山坡地面流水較少，同時流給流水的侵蝕能力亦同樣降低，同理草木可阻止雨點對地面發揮其全部衝擊作用。

根據台大森林系陳信雄教授研究一般森林地涵養的水量每公頃為六百噸左右，草生地及裸露地涵養水量則更低。

金門峒斷崖之植生情形，大體而言，為以草生為主，主要是玉山箭竹及高山芒，並零星點綴著醉木、二葉松及玉山杜鵑，如表2-5及圖2-11。植生的存在減低了降雨直接對金門峒斷崖岩層的沖蝕作用，雖然金門峒斷崖因地形陡峭，陳有蘭溪激烈的向源侵蝕作用，與斷層、節理、板劈理、張力裂縫等發達不連續的作用影響之下，並無法停止崩塌的持續擴張，甚至有愈崩愈烈的情勢，但從野外的觀察結果，仍可清楚的了解植生對於金門峒斷崖的邊坡穩定作用上，仍然發揮了相當的作用，因為植生茂密的地方及灌木生長較好的地區，乃為崩塌地較不易崩塌之處。

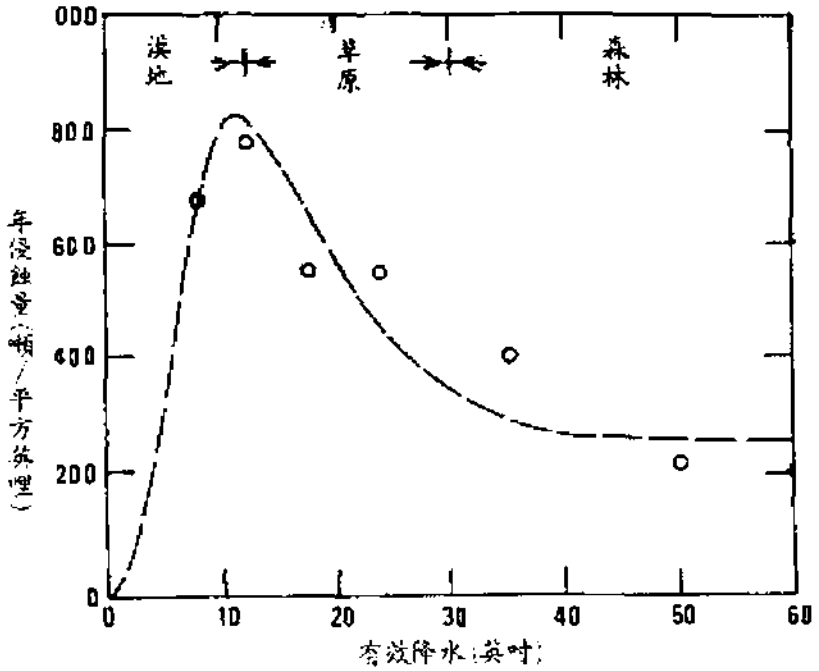


圖 4-23 降水、侵蝕量與植被的關係(Carson and Kitrkby, 1972)

二、地形因子之影響

(一)坡長與坡角

崩塌地在決定發生多少侵蝕時，坡長(L)與坡角(α)兩項因數頗為重要，一般而言，山坡愈陡，侵蝕愈大(其他條件相同)如圖4-24(a)所示的形狀，乃表示侵蝕量，隨著山坡的陡峭的增加，其增加速率愈益增加。

當坡長增加時，表面流水的速度與深度亦隨之增加，因之，侵蝕亦可能隨著坡長而增加。坡長與侵蝕間之關係如圖4-24(b)所示。

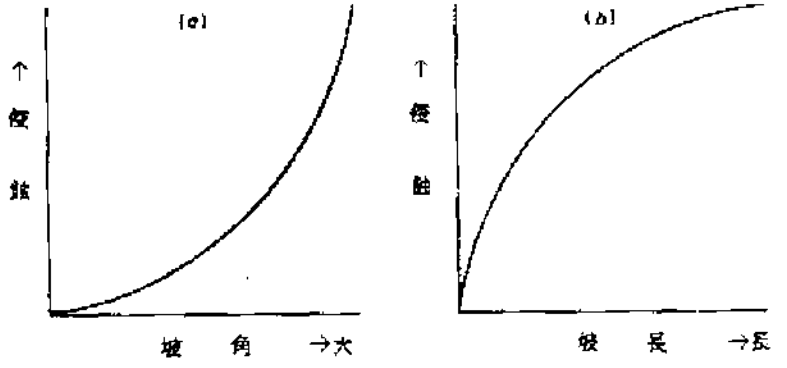


圖 4-24 侵蝕與坡角及坡長間的關係

就金門峒斷崖而言，坡長(L)變化量甚小，對崩塌地發育之影響不大，相對的在各個地形因子中，坡度對其發育的影響最為顯著，如圖4-25坡角與邊坡安全係數(Factor of Safety)之關係。有關金門峒斷崖之坡度以 GIS分析於後，又研究地區之三度空間地貌圖展示如圖4-15。

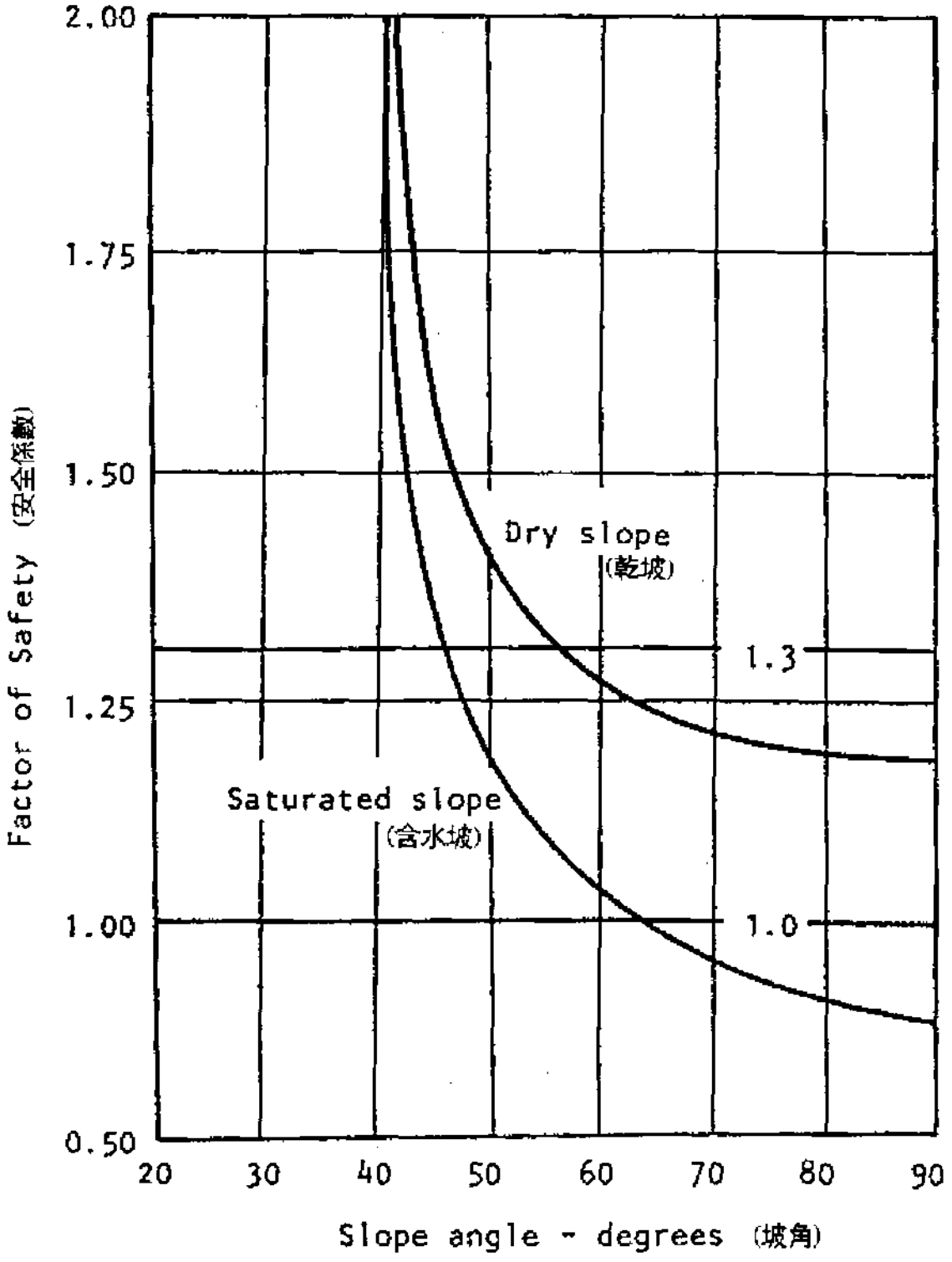


圖 4-25 坡角與邊坡安全係數之關係 (Hoek 1981)

㈡坡度

金門峒斷崖之坡度分析，係運用地理資訊系統(DIS)方法對其附近2Km²之範圍，以20×20 picso，共10000個 picso ，以每10°為一級共分九級各以不同顏色表示，例如

第一級	白色表示	0° ～10°
第二級	紅色表示	10° ～20°
第三級	黃色表示	20° ～30°
第四級	綠色表示	30° ～40°
第五級	淺藍色表示	40° ～50°
第六級	深藍色表示	50° ～60°
第七級	粉紅色表示	60° ～70°

第八級及第九級部份金門峒斷崖並無此坡度之分析值。詳見圖4-15金門峒斷崖之GIS坡度分析圖及說明。

很明顯的金門峒斷崖的主要崩塌方向均為沿著坡度最陡處發育50° ～70°（圖4-15深藍色及粉紅色部份），週圍崩塌量較低處大都屬坡度較緩者。甚至金門峒右側及右上側之坡度較陡處也逐漸發育形成崩塌。另陳有蘭溪的源頭落差達600m，而南側菴濃溪谷則為180m，亦是造成陳有蘭溪之向源侵蝕作用大於菴濃溪及分水嶺逐漸南移之原因之一。

㈢坡向

金門峒斷崖之坡向分析亦同上坡度之分析運用地理資訊系統(GIS)予以分析，以正北為0° 順時針旋轉每30° 之坡向為乙級，共分十二級，例如：

第一級	白色表示	0° ～ 30°
第二級	紅色表示	30° ～ 60°
第三級	黃色表示	60° ～ 90°
第四級	綠色表示	90° ～120°
第五級	淺藍色表示	120° ～150°
第六級	深藍色表示	150° ～180°

第 七 級	粉紅色表示	180° ～210°
第 八 級	該分析地區無此坡向	210° ～240°
第 九 級	該分析地區無此坡向	240° ～270°
第 十 級	深灰色表示	270° ～300°
第十一級	中灰色表示	300° ～330°
第十二級	淺灰色表示	330° ～360°

有關坡度分析圖如圖4-14及說明。

金門峒斷崖E區，D區之主要崩塌地區之坡向為第一級白色及第二級紅色(0° ～30° 及30° ～60° 部份)即朝東北向崩塌，此與該二區之不連續面傾角方向大致相同，因此而形成較激烈之向源侵蝕作用。而C區部份之坡向為第十一級中灰色即300° ～330° ，此因與該區之不連續面之傾角大致相反，故形成崩塌較穩定之現象，(參照圖4-14及表4-4、4-5、4-6)

三、組成物質

(1)土壤與基岩

金門峒斷崖依山坡地貌學的理論歸納應屬風化限制型（Weathering Limited）。亦即侵蝕潛能大於風化速率；在風化岩石形成土壤以前即被移走，山坡發展受到風化限制，風化限制山坡最明顯的例子是垂直峭壁，其風化物受到重力影響即被移走。

因此金門峒斷崖亦屬基岩型之崩塌地形態，僅有在八通關區（廬山層板岩）A.B號樁位一帶，因係穩定坡，方屬運搬限制（transport Limited）山坡，即風化速率大於搬運沖蝕之速率，土壤覆蓋隨時間而加厚，植生（草生）均較斷層區及玉山區（佳陽層）緻密，且邊坡亦穩定。

(2)黏土礦物

黏土礦物（Clay minerals）係因矽酸鹽礦物質遭到化學風化而形成，土壤中的黏土礦物例如：蒙脫土（montmorillionite），高嶺土（kaolinite）與伊利土（illite），其中某些成份會隨著水量的增加或減少，分別發生膨脹或收縮。

因此由於土壤含水量改變而發生膨脹或收縮的作用過程，也是一個使物質發生下坡移動的動大影響力。但在金門峒斷崖崩塌地之研究中因屬基岩型及侵蝕速大於風化速率之。風化限制型（we athering limited）有關黏土礦物之作用本研究忽略而不加以探討。

(3)岩性

金門峒斷崖附近之岩性如同椿位觀測分區，可分為三區如圖2-3。其岩性分析表參照表2-1、2-6。

D區為金門峒斷層帶之破碎帶，E區為支第三紀始新世佳陽層之變質砂岩及板岩，C區為新第三紀中新世廬山層之板岩。

由於受到金門峒斷層主構造之作用，伴隨而成幾組節理，其中佳陽層即E區因岩性含砂質較高，節理之密度較高，廬山層即C區則因板岩含泥質較高，節理之密度較低，然而板劈理（Slaty

cleavege) 卻甚為發達，因此金門峒斷崖之崩塌發育機制中岩性之影響，如抗剪強度或抗張強度，在斷層，節理暨板劈理特別發達及岩層極為破碎情形下，本研究巨觀上將之視為主要不連續面上之岩層，如同碟岩之崩塌特性，而非完整岩盤之型態，因而岩性之控制因子就金門峒斷崖之崩塌而言，僅為間接及次要之控制因素，其重要性遠低於不連續面及降雨等控制因素。也因此本研究亦未進一步就岩性部份加以分析及探討。

四、不連續面及地質構造之影響

㈠金門峒斷層

金門峒斷層對於金門峒斷崖崩塌地發育之直接作用，無疑的是最重大的地質構造作用，除了促使D區之岩體破碎以外，也是造成研究地區一系列不連續面發育的主要因素，前人的研究與文獻資料均顯示金門峒斷層通過金門峒斷崖的位置大多一致，如圖4-1之斜線所示。

王文能(1978)所稱之金門峒斷層與張寶堂所稱之F斷層(1984)在航照圖之線型分中並未能辨認，於野外調查時也殊為懷疑，有待進一步之查核。根據張寶堂之調查，該F斷層於望鄉山、郡大山之東坡延伸，約略平行於郡大溪谷而位於其西，其南延穿過郡大林道而於對關之北切入陳有蘭溪河段轉成西北一東南走向。其為一自東向西之逆衝斷層，斷層面傾角向東，分隔廬山層與其西之古第三紀片岩層。王文能所提出之金門峒斷層自金門峒斷崖處呈北北西走向，沿陳有蘭溪上游向北延伸，於樂樂與附近之古道斜切向東北延伸。據王之調查斷層東側為中新世之廬山層，西側為始新世之玉山主山層，推測斷層為一高角度向東傾斜的逆衝斷層。

程延年、劉進金等1988年之調查分析如圖2-15東埔玉山區線型構造分析圖(jjj)虛線所示，並述明金門峒斷層之存在有待進一步查證之點包括：①通過金門峒斷崖顯然有一組以上之斷裂面通過，表現於斷崖面本身地形、茅濃溪谷之近九十度急速轉彎、八通關以西廬山層與古第三紀佳陽層之接觸；唯斷層之延伸與特性有待詳細查證；②望鄉山、郡大山東西坡部面岩層之差異；③樂樂一對關以南陳有蘭溪側岩層之差異；以及④最重要的在於野外對廬山層之板岩與古第三紀板岩層之辨識與區分。

本研究在野外調查中，在金門峒斷崖D區處，觀察到伴隨著斷層而生之小規模褶皺，褶皺軸面之傾角向西，若以逆斷層構造現象之觀點而論，則這些褶皺軸面傾角的方向應與斷層之傾角相同，如圖4-6(a、b)所示，基於此點似乎又顯示金門峒斷層為一向西傾斜之逆衝斷層，因此有必要在後續的研究調查時，進一步求證。

二、節理

金門峒斷崖附近之節理(Joint)因受到附近主斷層及金門峒斷層之直接作用非常發達，且從D區斷層破碎帶節理密度逐漸向兩旁有漸小之趨勢，換句話說，愈靠近斷層帶(D區)的節理數密度愈高幾達40～50組數／5m之高，而兩旁之密度僅有20～30組數／5m之數，更遠者，僅及1～20組數／5m之數。

有關節理分三區之調查值如本章第二節4-4，4-5，4-6表所述，本文為探討不連續直接對金門峒斷崖之影響與關係，特將節理調查資料分二部份(E區及C區)作史密特等面積投影圖分析(因為D區與E區之崩塌速率均遠大於C區，且D區之節理調查資料不多緣故，合併於E區作Schmidt Net 茲分析如下：

㈠E區(含D區)之節理調查值Schmidt Net 分析圖如4- 8(a)，主要密度較高之節理組依序為

1、N3W 65E

2、N32E 30NE

3、N58W 87SW

其中N3W 65E 及 N32E 30NE之二組主要節理組之傾角方向(dip direction)均朝向東北及東方，此約與金門峒斷崖之主崩塌方向(N20° —40° E)一致及E區、D區之主崩崖面坡向一致，(參照圖4-16金門峒斷崖坡向GIS分析圖)。乃為促使該二區之向源侵蝕速率激烈之重要因素。

又第三組節理組屬高角度之節理組，此節理組同金門峒斷崖D區及E區所發育的張力裂縫更是造成金門峒斷崖D區、E區產生傾覆式崩塌(Topping)的快速崩塌的主要原因。

㈡C區之野外節理調查資料之Schimidt Net 分析圖如圖4-8(b)。

其主要之節理組依序為：

1、N 75W 48SW

2、WE 82S

3、N70E 83SE

4、N46W 50S

由上可得知C區主要節理組之傾角方向，大致為向西南或南方傾斜，是與金門峒斷崖之主崩塌面坡向(N30° ~40° E)及C區之主崩崖面之坡向(約N30° W)不一致，使得該不連續面組未對崩塌構成直接的促動影響，或可解釋為C區目前較為穩定崩塌輕微的原因。

然而C區與E區為何在相距不大的空間範圍裡，具有那麼多組密度甚高的解理？且二區的解理又具備著不同的層態，按理如果該地區僅受到金門峒斷層的作用，不應會是如此之情形，顯然金門峒斷崖附近地區的構造極為複雜，不僅僅是受到金門峒斷層的作用而已，這在前人的研究中特別是程延年、劉進金(1988，1989)均曾提及八通關地區可能係多組構造線之彙集處，但因本研究僅在探討不連續面對金門峒斷崖之崩塌控制機制，此複雜的構造問題，並非本文研究之範疇，謹待後人之研究探討。

三、板劈理

金門峒斷崖附近不論C區廬山層或E區佳陽層之板岩均發育著非常發達的板劈理，有關之調查資料及wulff net分析如本章第二節表4-4，4-5，4-6及圖4-9。其中經wulff net (N＝41)分析出二個主要板劈理之層態：

1、E區之N2W 62E

2、C區之NS 50W

同前小節之節理分析一樣，E區板劈理之傾角方向(dip direction) 62° E與金門峒斷崖之主崩塌面及該地區之坡向同向，對金門峒E區之崩塌有顯著之促動作用；而C區之板劈理之傾角50W與金門峒斷崖之主崩塌方向相反，亦有助於該地區之穩定作用。

四、張力裂縫

金門峒斷崖張力裂縫的發育對金門峒斷崖的崩塌速率及崩塌型態甚至未來的發育趨勢均造成重大之影響。

㈠C區之張力裂縫不發達，僅發現乙組，而C區之崩塌也最穩定。

㈡D區及E區均發現多組平行崩崖面發育的裂縫，其方向(N20° E — N 40E)約與金門峒斷崖之主崩塌方向一致，為D區及E區激裂崩塌之主要促動機制之一。

㈢D區，E區張力裂縫開口約從數十公分至3m，並逐日擴張，其配合著該地區之高角度之節理組，乃造成板狀傾覆崩塌型態之主要因素。

㈣E區後方沿著北峰稜線順3443高地及3630高地目前均已發育大小不同等的張力裂縫，張裂方向大致與金門峒斷崖主崩塌方向相同，經研究期間之野外觀測均顯示其迅速擴張，並有與金門峒斷崖相接之趨勢。

五、地震、積雪等其他特殊因子之影響

(一)地震作用

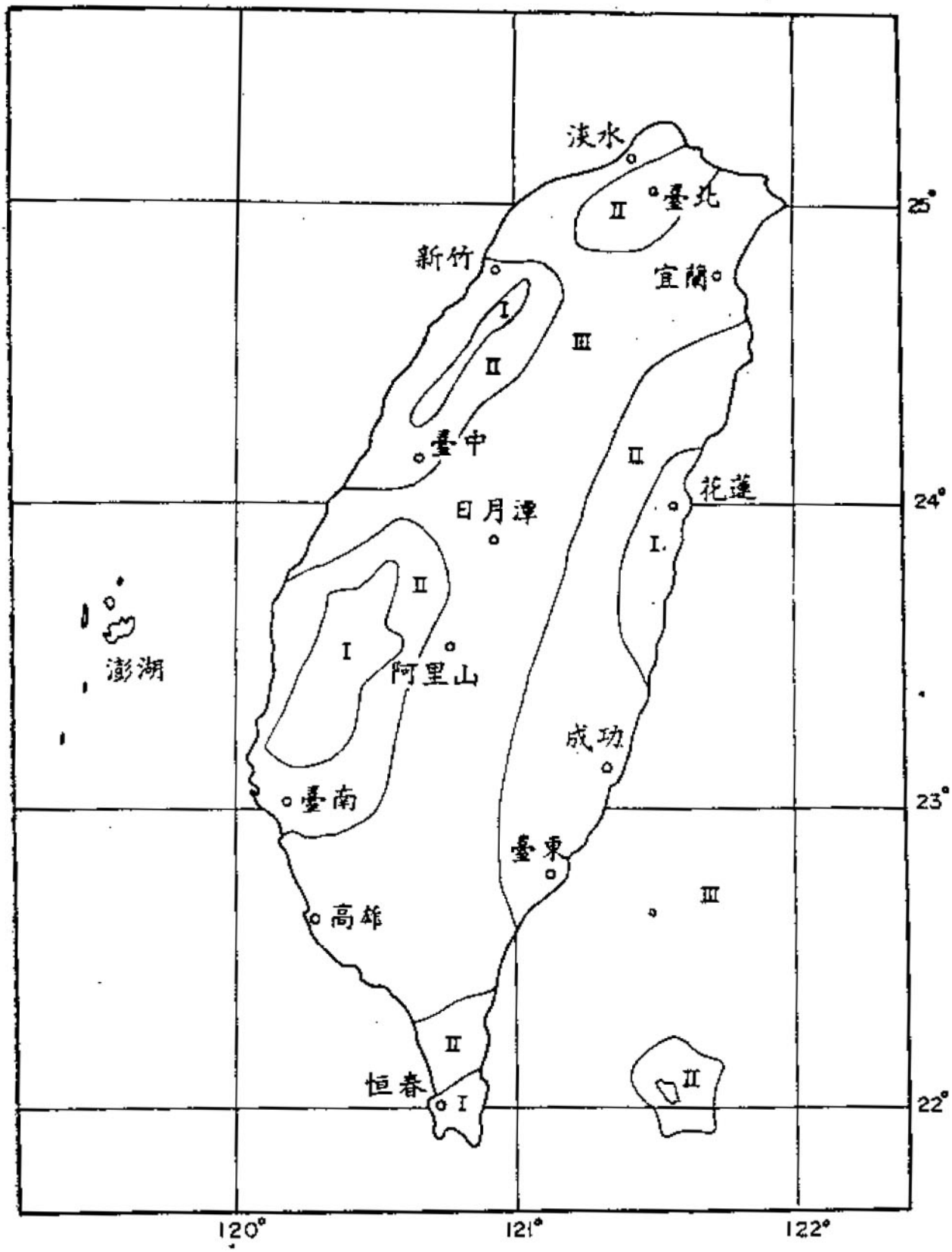
地震是一種天然的災害，非人力所能克服，地震所產生的加速率與振動，由於各不同頻率的振盪所引起的暫時性應力變化，亦能影響邊坡的平衡，也會促使崩塌地的岩層更為破碎及崩落，惟玉山地區僅屬輕度地震區域，如台灣震度區分圖（圖4-26）雖然微震頻繁，但研究期間之最高震度僅達芮氏3~4級，因此本研究之特殊影響因子之觀測，雖曾考慮地震因子之影響觀測但因尚未有規模5~6級以上之地震出現，故而仍未有相關之監測值。

U.T.C（格林威志時間）

表 4-12 玉山地區1991年地震記錄資料表

年	月	日	時	分	秒	緯度	緯度（分）	經度	經度（分）	深度（公里）	規模 芮氏
1991	6	23	3	20	16.80	23	35.32	120	58.63	2.88	3.58
1991	7	15	18	41	32.12	23	18.07	120	57.16	3.00	3.08
1991	7	31	16	47	31.51	23	39.11	120	46.47	13.92	3.51
1991	8	1	0	24	50.42	23	40.89	120	52.20	15.83	3.12
1991	8	3	6	10	17.52	23	36.26	120	51.49	14.92	3.27
1991	8	3	6	27	20.78	23	35.71	120	47.00	11.40	3.09
1991	8	7	12	29	48.66	23	41.27	120	47.39	15.22	3.26
1991	8	21	20	30	32.63	23	44.93	121	0.58	18.41	3.31
1991	8	26	9	37	25.91	23	42.03	120	52.51	6.82	3.16
1991	9	1	10	25	30.41	23	14.48	120	59.49	2.00	3.82
1991	11	23	15	21	3.88	23	40.31	120	58.52	7.84	2.91
1991	11	25	9	48	8.13	23	39.72	120	42.89	8.57	3.20
1991	12	12	12	19	49.83	23	21.27	120	48.21	7.52	2.86

註：以玉山測站半徑30公里（1991年6月～12月）內規模2.8以上之地震記錄。



說明：I 強烈地震區域

II 稍強震度區域

III 輕度地震區域

圖 4-22 台灣震度區分圖(徐明同, 1975)

㈡凍霜作用及冰雪溶蝕作用

金門峭斷崖崩塌地發育機制中有一非常特殊的影響因子，是其他地區之崩塌地所不具有的即為冬季及寒流來襲時之冰雪覆蓋所產生的凍霜作用與冰蝕作用，均對金門峭斷崖之崩塌造成當大的作用，尤其75年、80年冬季的大雪覆蓋即深且廣，亦及八通關地區，整個金門峭斷崖均為大雪積蓋，為期亦較長，而其他季節之積雪情形較不嚴重，僅陸續而短暫的薄雪覆蓋而已，（參照第二章之氣候資料）。

冰蝕作用：在冬季雪期結束時，金門峭斷崖會因下列之冰蝕作用而加速崩塌。例如：

(1)雪崩 (snow avalanche)

在金門峭斷崖陡峻的山崖上，大片積雪因積壓過重而無法留存，向下崩落。

(2)冰楔作用 (Frost Action)

在岩石裂隙內所含冰川中融化的水，經過反覆凍結和融解，體積時漲時縮，其張力作用可以使岩層破碎，成為碎塊，或從陡坡上向下墜落。

(3)磨蝕 (Abrasion) 與拔蝕 (作用Plucking) 則因金門峭斷崖之積雪未達冰川之流動規模緣故，磨蝕及拔蝕作用不大。

(4)凍霜作用：在岩石裂隙內的水份結冰後其體積增加，將裂隙加大受到裂隙穿入的岩石，一般都具較低的凝聚力。並且表層的水份結冰時將阻礙邊坡的排水作用，因此地下水位增加，亦將破壞邊坡的平衡。

(5)冰雪之溶蝕：

冰雪溶解後所產生的大量水流對於金門峭斷崖之破碎岩層造成直接與巨量的沖蝕作用。

表 4-13 金門峭斷崖氣候與向源侵蝕速率比較表

項次 / 向源侵蝕速率之比較	一般乾季	月平均速率	颱風及豪雨期	積雪期	梅雨季
向源侵蝕速率(m/mouth)	0.125m／月	0.479m／月	1.6~1.9m／月	0.831m／月	1.2m／月

(參考表 4-1 以D號樁位基礎量測值比較分析求得，77~81年)

㈢颱風之崩塌影響

颱風的發生不但帶來了強風，有時也帶來了豪雨，對崩地之崩塌亦直接造成短期激烈的促動作用。研究期間77年～80年之侵台颱風如表4-14。颱風期間之激烈崩塌速率與其他季節之對照如圖4-27。

圖 4-27　金門峋斷崖氣候與向源侵蝕之關係比照圖（參考表 4-19）

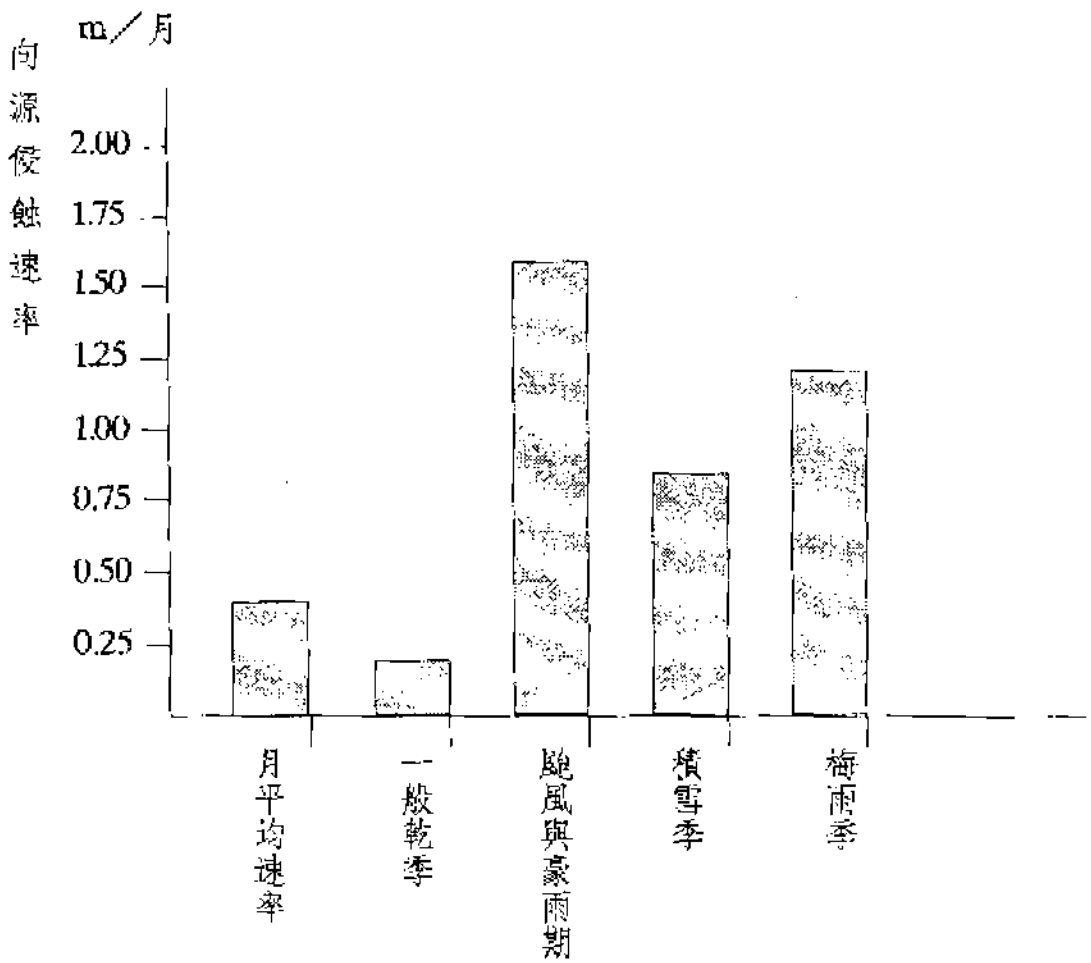


表 4-14 77～80年侵台颱風及災情紀要表

號次	名稱	編號	生成地點	侵(近)台日期	發布時間	解除時間	發布報數	警報內容 最大強度	警報內容 近中心最大風速(公尺/秒)	侵台路徑分類	登路地段	災害紀要
1	蘇珊 (SUSAN)	8802	呂宋島西北方海面	77.年6.月2.日	海上：5月31日 21時15分 陸上：6月1日 4時25分	陸上：6月2日 20時55分 海上：6月2日 20時55分	9	中度	40 (13級)	6	高雄至恆春間	災情輕微
2	莎拉 (SARAH)	8919	硫磺島西南方海面	78.年5.月11.日	海上：9月6日 9時50分 陸上：9月8日 15時0分	陸上：9月13日 15時20分 海上：9月13日 20時30分	23	強烈	51 (16級)	4	花蓮至成功間	(1)全省均有災情。 (2)中南部水災嚴重；中山高速公路水上、新豐路段間坍塌，造成通車以來最大災害。
3	瑪麗安 (MARIAN)	9003	菲島西方海面	79.年5.月19.日	海上：5月18日 9時30分 陸上：5月18日 15時40分	陸上：5月19日 14時50分 海上：5月19日 14時50分	6	中度	40 (13級)	6	東石至高雄間	南部略有災情。
4	歐菲莉 (OFFLIA)	9005	菲島東南東方海面	79.年6.月23.日	海上：6月21日 18時0分 陸上：6月21日 21時30分	陸上：6月24日 4時30分 海上：6月24日 15時10分	13	中度	38 (13級)	2	花蓮至成功間	東部地區有嚴重災情，尤以花蓮最為嚴重。
5	楊希 (YANCY)	9012	硫磺島西南方海面	79.年8.月19.日	海上：8月17日 9時50分 陸上：8月18日 4時40分	陸上：8月20日 4時15分 海上：8月31日 9時10分	9	中度	40 (13級)	1	彭佳嶼至宜蘭間	中、北部有嚴重災情。
6	亞伯 (ABE)	9014	關島西方海面	79.年8.月30.日	海上：8月29日 9時20分 陸上：8月29日 16時15分	陸上：8月31日 3時45分 海上：8月31日 9時10分	9	中度	45 (14級)	1	未登陸	北部略有災情。
7	黛特 (DOT)	9017	雅浦島北方海面	79.年9.月7.日	海上：9月6日 9時50分 陸上：9月8日 18時0分	陸上：9月8日 21時10分 海上：9月8日 21時10分	11	中度	38 (13級)	2	花蓮至成功間	北部及東部均有災情，其中尤以花蓮地區豪雨成災最為嚴重。
8	艾美 (AMY)	9107	呂宋島東方海面	7.月19.日	海上：7月17日 16時00分 陸上：7月18日 9時45分	陸上：7月19日 21時10分 海上：7月19日 21時10分	10	強烈	51 (16級)	3	未登陸	以花、東、高、屏地區災情較嚴重，有人員傷亡失蹤。核三廠因線路受損，有兩部機組停機，曾造成全省各地約四十六萬四千餘戶停電。
9	愛爾 (ELLIE)	9111	硫磺島東方海面	8.月18.日	海上：8月16日 3時30分 陸上：8月16日 15時15分	陸上：8月18日 15時45分 海上：8月18日 20時10分	12	中度	33 (12級)	1	彭佳嶼至宜蘭間	全省各地無重大災情。
10	耐特 (NAT)	9112	恆春西南方近海	第一次發布 9月23日	海上：9月22日 10時45分 陸上：9月22日 15時10分	陸上：9月23日 21時10分 海上：9月24日 18時30分	20	強烈	51 (16級)	7	台東至恆春間	1、本省東、南部受災嚴重，多處山區山洪爆發，尤在南迴公路多良段淵梅旁嚴重塌方，造成多輛汽車掩埋損毀，人員傷亡。另台南、屏東、台東部份沿海地區曾發生海水倒灌，而蘭嶼更是近十年來受災最大的一次。
			呂宋島西方海面	第二次發布 10月1日	海上：9月30日 10時45分 陸上：9月30日 15時50分	陸上：10月2日 6時30分 海上：10月2日 6時30分		輕度	30 (16級)		—	2、花東地區受到回撥的耐特颱風外圍環流影響，一度豪雨，又造成山洪爆發，農作物受損嚴重。

第五節　金門峒斷崖崩塌演化趨勢之推測

金門峒斷崖之崩塌地據研究期間之實地野外監測結果與各項控制因素之分析後其崩塌演化趨勢推測如下：

㈠金門峒斷崖之C區屬穩定區域，向源侵蝕後退情形在未來100年內應在10m以內。

㈡金門峒斷崖D區及E區，乃目前及未來之崩塌發育主要之地區，其中D區約以5.75m／year向分水嶺及南側荖濃溪谷快速接近中。而E區則78年以後即轉為崩塌及向源侵蝕最主要之方向，其向源侵蝕甚至大於D區，預計其不斷向西南侵蝕，逐漸會與日漸擴大的北峰稜線及3443高地裂隙及新崩坍地接合，而使其崩塌地之規模及面積迅速擴增。

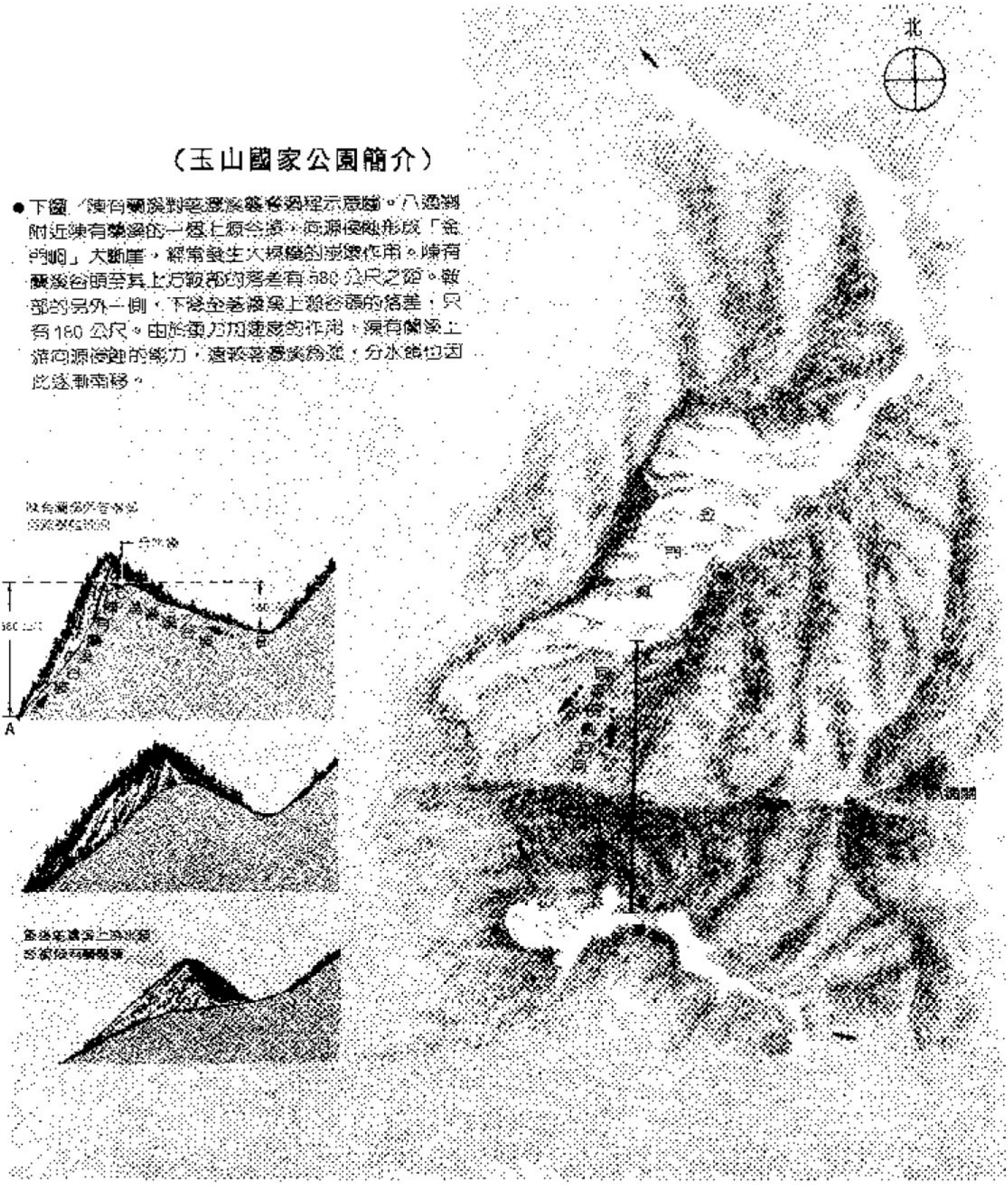
㈢金門峒斷崖右側之原崩坍地亦逐漸擴張已於81年時與金門峒斷崖連接使金門峒斷崖地面積已達民國22年時之2.5倍之大。

㈣金門峒斷崖之D區崩坍發育趨勢暨河川襲奪預測圖示如4-28圖。

㈤金門峒斷崖E區之崩坍發育趨勢如圖4-29。

㈥金門峒斷崖繼續自然的崩坍發育之下，除了會因陳有蘭溪襲奪南側荖濃溪的上游，而改變八通關地區之地形地貌外，E區的迅速向源侵蝕終至也會影響到玉山北峰，甚至玉山主峰的坡腳，而影響整個玉山的地形與地貌，而玉山主峰—八通關之步道按目前的侵蝕速率之下約在15—20年後受到影響而必須改道。其崩塌演化推估圖如圖4-30。

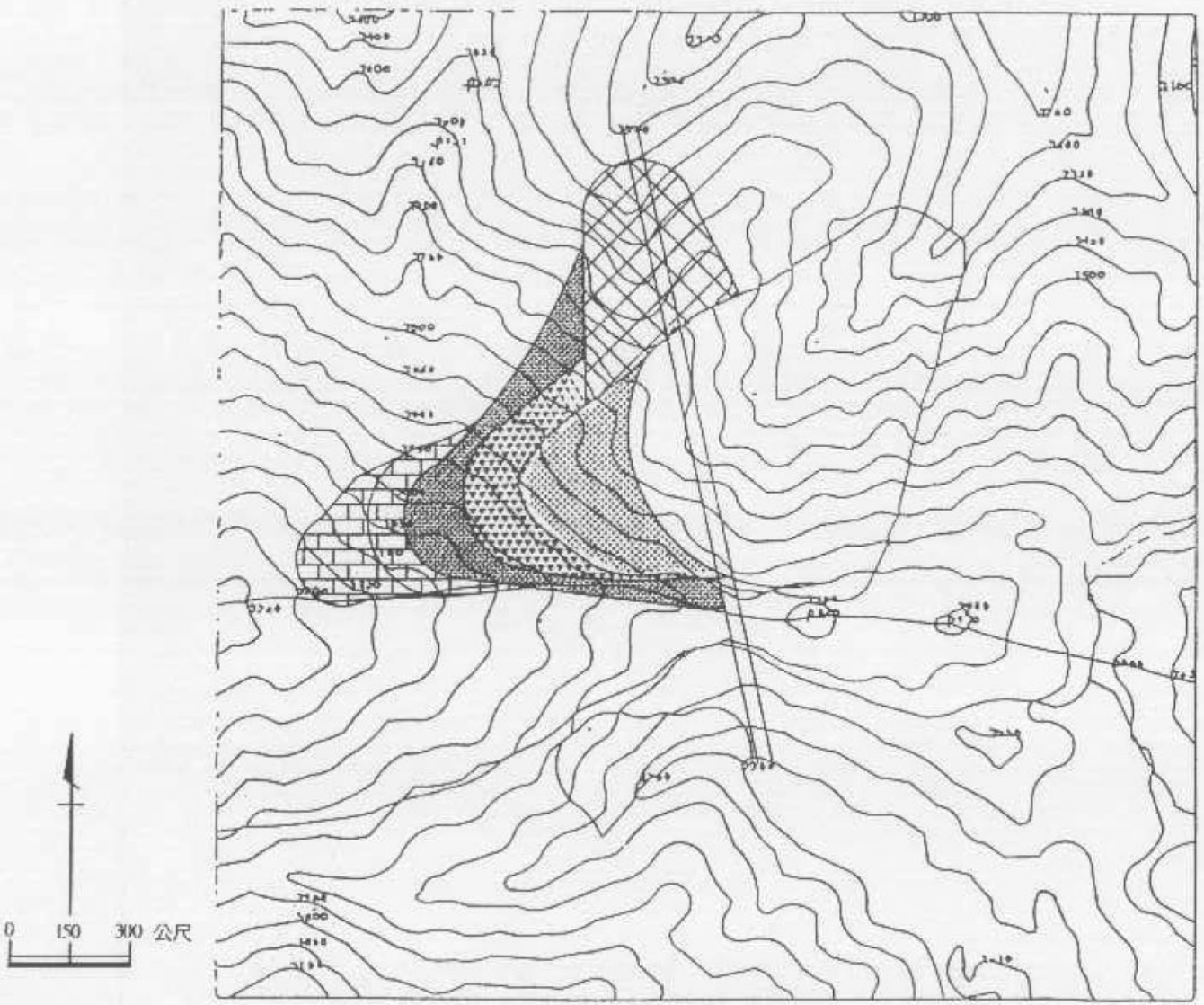
圖 4-28 陳有蘭溪與荖濃溪河川襲奪預測圖



（玉山國家公園簡介）

- 下圖，陳有蘭溪對荖濃溪襲奪過程示意圖。八通關附近陳有蘭溪的一條上源谷溪，向源侵蝕形成「金門關」大斷崖，經常發生大規模的崩塌作用。陳有蘭溪谷頭至其上方鞍部的落差有 580 公尺之強。鞍部的另外一側，下降至荖濃溪上源谷頭的落差，只有 160 公尺。由於重力加速度的作用，陳有蘭溪上游向源侵蝕的能力，遠較荖濃溪為強，分水嶺也因此逐漸南移。

圖4-29　金門峋斷崖D區及E區向源侵蝕預測圖





吳明勳繪

第五章　結論與後續研究

㈠金門峒斷崖向源侵蝕之速率：D區鞍崩崖面向分水嶺後退南移速率為5.75m／year，E區向西南崩移速率為8.89m／year，C區則屬較穩定之邊坡，崩塌量微小。

㈡陳有蘭溪與南側菎濃溪進行河川襲奪之時間預測為3～5年後開始進行，即快約3年，慢則5年期間，金門峒斷崖鞍部(D區)受到陳有蘭溪激烈向源性侵蝕的結果，崩崖面將超越目前山嶺線，其後之向源侵蝕率將因坡度降緩而稍減緩，推計15～20年時間，影響到目前玉山～八通關之步道。

㈢金門峒斷崖之崩塌機制為受到金門峒斷層主構造之影響，使得岩體破碎，特別是鞍部D區，另伴隨著斷層發育的幾組節理，及因解壓作用形成的張力裂縫，板岩的板劈理，均使金門峒斷崖的岩體特性，破碎的有如膠結疏鬆的礫岩一般，加上外在營力作用，例如降雨沖蝕、豪雨、颱風、地震、重覆冷熱(乾濕)作用、與凍霜作用，使金門峒斷崖以5.75m／year ～ 8.89m／year速率急速的向源侵蝕，其崩坍面積更於59年內擴張達2.5倍，預計3～5年之時間，可達分水嶺開始進行河川襲奪之作用(陳有蘭溪襲奪荖濃溪)，再約15年之時間會影響到玉山至八通關之步道，其崩塌發育趨勢更有向北峰稜線迅速擴大崩塌之趨向，終致會影響到整個玉山山脈之地形與地貌。

㈣金門峒斷崖崩塌形態依組成物質，不連續面、與外營力作用程度之不同影響，分三區如下：

(1)C區廬山層之板岩，落石或岩屑(豪雨期)

(2)D區金門峒斷層之破碎帶板岩夾變質砂岩，板狀傾覆或岩塊崩瀉。

(3)E區佳陽層之變質砂岩與板岩，板狀傾覆或岩塊崩瀉。

㈤金門峒斷層在金門峒斷崖D區鞍部沿北北西方向順陳有蘭溪北流沿伸，使始新世佳陽層地層逆衝於中新世廬山層之上，而造成D

區寬約50—100m之破碎帶，前人的文獻中金門峒斷層為高角度向東傾斜之逆衝斷層，但本研究在D區所觀測拖曳褶皺(drag fold)二處之軸面資料對比，又似乎應為向西傾斜，因此仍有待進一步之求證。

(六)金門峒斷崖因其坡高較其南側之茗濃溪邊坡為陡及其主崩塌方向約與該地區主要不連續面如節理、板劈理之傾斜方向大致一致，且北側之陳有蘭溪河谷坡降亦較南側茗濃溪為大之緣故，使得其向源侵蝕之速率遠大於南側邊坡，而導致分水嶺南移趨向，終至造成河川襲奪作用。

(七)金門峒斷崖之崩塌發育趨勢，未來將朝三個主要崩塌趨向發育：

(1)向南之向源侵蝕，於D區處每年約以平均5.75m速率向分水嶺南移，侵蝕超越分水嶺後因坡度減緩而促使向源侵蝕作用稍減緩，終至陳有蘭溪襲奪茗濃溪之玉山東峰至八通關之上游河流。

(2)向西北之向源侵蝕，沿金門峒斷層帶(zone)發育，連接其右側舊有崩塌地並逐漸擴張。

(3)向西(西)南之向源侵蝕，沿北峰稜線順3443及3630高地迅速激烈向源侵蝕，並與目前既有裂縫逐漸擴大之崩塌地迅速連接，促使金門峒斷崖之崩塌地規模大幅擴張，假以時日，其向源侵蝕作用或將直抵玉山主峰及北峰之東側邊坡，使得玉山—八通關地區之地形、地貌大幅改觀。

(八)後續研究：本研究除上述金門斷層之位態及八通關地區極為複雜的構造尚待進一步求證外，仍待後續研究之工作項目簡述如下：

(1)繼續收集研究地區之遙測資料，以進行後續之監測工作。

(2)借由裂縫變位觀測儀所記錄收集資料，以分析金門峒斷崖之裂縫發育情形。

(3)對南側之茗濃溪邊坡上即有崩塌地進行監測，進一步求證河川襲奪作用之速率。

(4)對玉山—八通關間之地質構造加以詳細調查，俾更精確監測及推估金門峒斷崖之長期發育趨勢。

參考文獻

王　鑫、林耀源. (1982) 玉山國家公園地質景觀資源調查。

王　鑫 (1988) 地形學 大學科學叢書，聯經出版事業公司。

王文能、陳清義， (1978) 東埔南玉山間之沿線地質概述。礦業技術，第16卷，第7期。第382～386頁。

丹桂之助 (1944) 鳥來統の諸層特に四稜砂岩層、白冷層、新高層の同時性に就いへ。臺灣博物學會會報，第34卷，第248～250頁。

何春蓀 (1986) 臺灣地質概論：臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所。

李春生 (1979a.) 臺灣中部南投縣水里鄉——玉山地區之古第三紀地層。礦業技術，第17卷，第7～12期，第217～248頁。

李德和 (1983) 邊波破壞時間之預測，地工技術雜誌 第七期。第 07 -- 12頁。

周瑞燉 (1990) 臺灣中央山脈及雪山山脈之古第三紀地層，經濟部中央地質調查所特刊第四號，第193 -- 200頁。

林晉祥 (1984) 坍崩相關之現場計測，山坡地建築開發工程--施工與管理；台灣營建中心。

徐鐵良 (1984) 地質與工程 中國工程師學會。

陳肇夏、朱傚祖、莊德永 (1983) 臺灣中央山脈的一些構造問題。經濟部中央地質調查所彙刊，NO. 2,pp1～16。

程延年、葉貴玉、劉進金、盧佳遷 (1988) 玉山國家公園東埔玉山區地質調查暨解說規劃研究報告。

張石角 (1971) 曾文溪上游崩塌地之地質學研究，礦業技術第九卷第三期(上)，第四期(下)。

張石角、蔡金郎 (1980) 曾文溪上游十號崩塌地之研究；中華水土保持學會學報 Vol . 4 ,N O .2,PP 1-15。

張郁生 (1984.) 臺灣嘉義——玉山——水里公路沿線之地質。經濟

部中央地質調查所特刊，第三號，第75～89頁。
張寶堂 (1984) 南投縣東埔溫泉區地質，經濟部中央地質調查所特刊第三號，第 91—102頁。
梁　昇 (1986) 臺灣全省沖蝕率數量化的芻議　礦業技術等24卷第3期第172～181頁。
郭城孟 (1990) 八通關草原生態之研究。
劉進金、彭森祥 (1991) 澎湖地區資源與環境資料庫整合建立之研究，工研院能資所。
劉進金 (1984) 航照在工程地質上之應用—崩塌調查之實例，遙感探測第四期。PP 97～123。
劉進金 譯 (1984) 斜坡穩定分析之地質資料圖解法，礦業技術等22卷第1期。
劉進金、莊明勇 (1984) 利用不連續面估測岩坡崩塌型態與最大安定角之電腦分析法 中國礦冶工程學會會刊第28卷第2期。PP 106～122頁。
劉進金 (1986) 地理資訊系統及其在區域邊坡穩定之應用實例，中國礦冶工程學會會刊第30卷第2期PP128～141頁。
楊應塘、王文能 (1976) 新中部橫貫公路（水里—鳳林）踏勘報告。礦業技術。
顏滄波、吳景祥、莊德永 (1984) 臺灣新中部橫貫公路（玉山線）沿線之地質。中國地質學會專刊：NO. 9, PP. 1-27.
羅　偉 (1990) 廬山階與廬山層，經濟部中央地質調查所特刊第四號，第 193—200頁。
羅正彥、陳宏宇 (1991) 新店磺窟地區崩積層崩塌機制與敏感度之研究，台大地質所碩士論文。
Carson.M.A. and M.J.Kirkby, (1972) Hillslope form And Process, Cambridge university press.
CHANG,L.S. (1976) The Lushanian stage in the Central Range of Taiwan and its fauna:Process in Micropaleontology,U.S.Nat.

Mus.pp.27-35.

Chiu,H.T.(1972) miocene stratigraphy and its relation to the paleogene rocks in westcentral Taiwan: Ibid.,no. 12,pp.5180.

E.Hoek & J.W.Bray，(1981) Rock Slope Engineering Revised Third edition ; the Institution of mining and Metallurgy.

Edward N.Bromhead(1987) groundwater and landslides:principles and practice; memoir of the geological society of china , no.9. pp.147-158。

Finlayson & Statham (劉柏宏譯述)，Hillslope Analysis (1989)

Hongey Chen (1989) Mineralogical and physical properties of colluvium at chitan,taiwan acta geological taiwanica science reports of the national taiwan university no.27. pp 55—78。

Hongey Chen (1989) The stability and mechanical behaviour of colluvium slopes, journal of the geological society of china vol,35,no.1,pp95—114。

John N.Hutchinson (1987) Mechanisns producing large dispacement in landslides on pre-existing shears; memoir of the geological society of china , no.9.pp.175-200 。

Kimura,T. (1973) Relations between the minor structures of the Tanano Schist and the slate formation in Central Range of Taiwan Contr,Geol.Paleon.Southeast Asia,vo l.11,pp.137-160。

Lee,C.S. 1979b. Paleogene rocks of the Yushan-Shuili area,Nantou, central Taiwan: Memoir Geol.Soc.China,NO.3,PP.237-247。

Liu,C.C. (1971) Geology of the Hoshe Anticline,Nantou, Taiwan:Potroleum Geo l.of Taiwan,NO.9,PP.107-121.

Liou,J.G. (1981) Petrology of metamor phosed Oceanic rocks in the Central Range of Taiwan:Memoir Geol. Soc.China.NO.4,PP. 291-341.

Liu,Jiu-King (1986) Remote sensing for identifying landslides and for landslide prediction cases from Taiwan; Reprinted from mining technology vol.24, no.1,march1986.

Pan Kuo-Liang (1987) Assessment of geoloogic hazards for slopeland-for slopeland-use planning in Taiwan; memoir of the geological society of China ,no.9.pp.367-382。

Quido Zaruba, (1982) Vojtech mencl landslides and their control, ddevelopments in geot echnical engineering 31。

Wataru Hashimoto, Itsuro Kawasaki,Chih-Hsien Chen,and Naoaki Aoki (1977) topograph jic analysis of the landsat-1 satellite imagery of Taiwan on the Lineament Pattern of the Mt. Yushan Area,Central Taiwan。mining teshnology vol.15,no.7。

[附圖一]



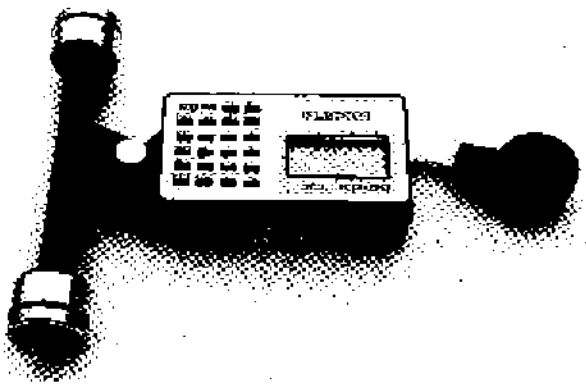
測距儀



監測照像機(廣角及長鏡頭)



衛星定位儀(GPS)



求積儀(DIGITAL PLANIMETER)

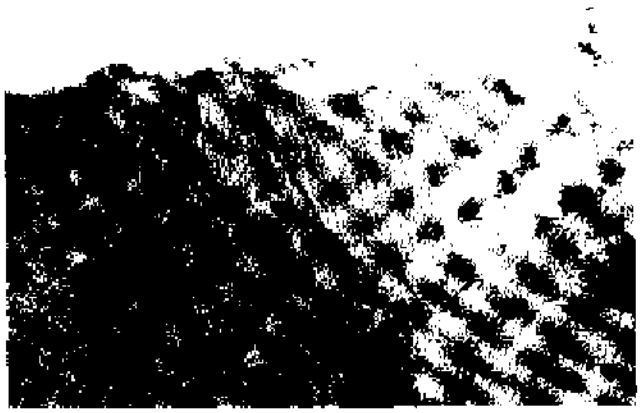
[附圖二]



1986年之金門峒斷崖崩塌情形



1987年之金門峒斷崖崩塌情形



1988年之金門峒斷崖崩塌情形



1989年之金門峒斷崖崩塌情形

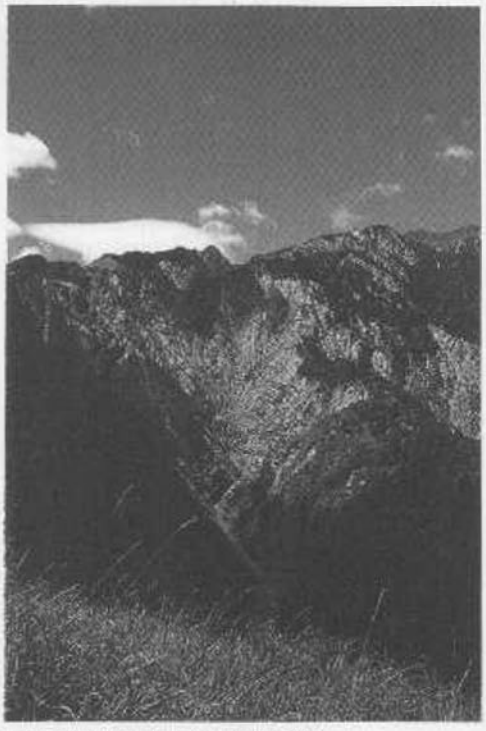


1991年之金門峒斷崖崩塌情形



1992年之金門峒斷崖崩塌情形

[附圖三]



F1觀測點(觀高坪)之觀測照片



F2觀測點之觀測照片



F3觀測點之觀測照片



F4觀測點之觀測照片

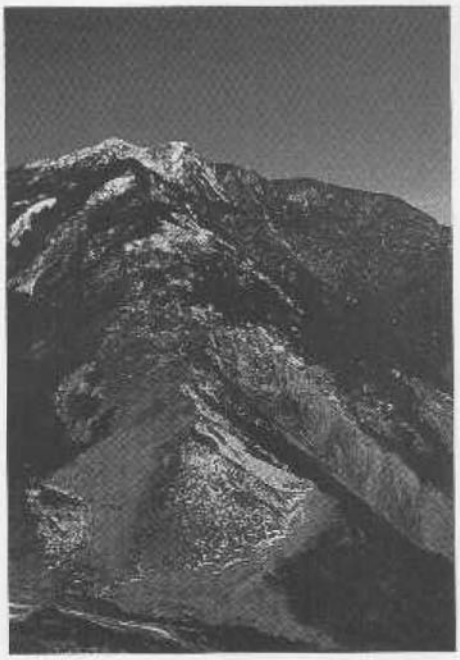


F6(D區)觀測點之觀測照片



F5(C區)觀測點之觀測照片

[附圖四]



金門峋斷崖與玉山北峰稜線(張正雄攝)



金門峋斷崖冬季積雪景觀(阮勞攝)



金門峋斷崖西南側高地之張力裂縫崩塌發育情形



3630高地前之地質構造之崩塌近照



金門峋斷崖西視崩塌發育情形(蘇日棠攝)



金門峋斷崖C區崩塌輕微地區

[附錄—]現地觀測工作表：(75~81年)

(觀測日期，研究人員與觀測工作)

NO.	觀測日期	觀測人員	主要觀測工作
<1>	75.10.26/29	程延年、陳隆陞 蕭炎宏、陳惠芬 呂理昌、潘常武 謝瑞祥	玉山地區地質 基本資料調查
<2>	76.05.13/16	程延年、陳隆陞 葉貴玉、盧佳遜	觀高八通關地區 與郡大林道之地 質構造調查
<3>	76.11.10/13	陳隆陞、伍玉龍 伍金山等巡山員九人	1.基樁埋設 2.選定觀測點
<4>	76.12.12/15	陳隆陞、伍金山	1.崩塌速率觀測及攝影 2.不連續面調查
<5>	77.8.9/13	陳隆陞、伍金山	1.觀測及攝影 2.植生調查
<6>	78.4.11/14	陳隆陞、江啓明	1.觀測樁位 2.攝影
<7>	78.5.7/10	陳隆陞、程延年(顧問) 何恭算 方有水 山青四人	八通關地區之 地質調查
<8>	78.6.16/19	陳隆陞、顏文博	觀測梅雨對崩坍 之影響
<9>	78.6.26/29	陳隆陞 林淵源 方有水 杜順發	1.崩塌速率觀測及攝影 2.補設E觀測點木樁
<10>	78.7.19/22	陳隆陞 羅禎墀 陳道政 林淵源	1.崩塌速率觀測及攝影 2.增補設 E觀測點

[附錄二] 金門峒斷崖崩塌地之數值地形資料 (DTM DaTa)

1	1	247555.1917	2599155.7053	0.0000	00
1	2	247553.6115	2599125.6785	0.0000	00
1	3	247558.3522	2599084.5892	0.0000	00
1	4	247555.1917	2599051.4077	0.0000	00
1	5	247580.4756	2599015.0534	0.0000	00
1	6	247619.9815	2598994.5088	0.0000	00
1	7	247642.1049	2598969.2231	0.0000	00
1	8	247661.0677	2598954.9998	0.0000	00
1	9	247667.3887	2598909.1694	0.0000	00
1	10	247703.7342	2598894.9462	0.0000	00
1	11	247782.7462	2598868.0801	0.0000	00
1	12	247845.9557	2598887.0444	0.0000	00
1	13	247902.8413	2598866.4998	0.0000	00
1	14	247943.9306	2598830.1515	0.0000	00
1	15	248008.7204	2598842.7944	0.0000	00
1	16	248067.1692	2598896.5266	0.0000	00
1	17	248087.7323	2598967.6427	0.0000	00
1	18	248117.7569	2599034.0177	0.0000	00
1	19	248163.5838	2598999.2499	0.0000	00
1	20	248215.7317	2598954.9998	0.0000	00
1	21	248266.2993	2598994.5088	0.0000	00
1	22	248291.5832	2599008.7856	0.0000	00
1	23	248248.9167	2599184.1517	0.0000	00
1	24	248290.0029	2599348.5090	0.0000	00
1	25	248321.6077	2599384.8572	0.0000	00
1	26	248338.9803	2599430.6876	0.0000	00
1	27	248361.1137	2599459.1340	0.0000	00
1	28	248383.2970	2599473.3573	0.0000	00
1	29	248406.9406	2599476.5180	0.0000	00
1	30	248429.0640	2599476.5180	0.0000	00
1	31	248446.4466	2599492.3216	0.0000	00
1	32	248459.0885	2599511.2859	0.0000	00
1	33	248487.5328	2599512.8662	0.0000	00
1	34	248492.2735	2599541.3127	0.0000	00
1	35	248511.2364	2599560.2770	0.0000	00
1	36	248522.2981	2599585.5627	0.0000	00
1	37	248546.0017	2599625.0716	0.0000	00
1	38	248560.2238	2599661.4199	0.0000	00
1	39	248133.5592	2599659.8395	0.0000	00
1	40	248106.6952	2599645.6163	0.0000	00
1	41	248071.9299	2599639.2949	0.0000	00
1	42	248051.3868	2599615.5895	0.0000	00
1	43	248054.5473	2599599.7659	0.0000	00
1	44	248068.7694	2599565.0180	0.0000	00
1	45	248094.0533	2599527.0894	0.0000	00
1	46	248065.6090	2599470.1963	0.0000	00
1	47	248043.4856	2599413.3037	0.0000	00
1	48	248032.4239	2599392.7590	0.0000	00
1	49	247997.6587	2599375.3751	0.0000	00
1	50	247978.6958	2599346.9286	0.0000	00
1	51	247907.5851	2599302.6786	0.0000	00
1	52	247861.7581	2599272.6518	0.0000	00
1	53	247822.2521	2599274.2322	0.0000	00
1	54	247819.0917	2599367.4733	0.0000	00
1	55	247814.3509	2599405.4019	0.0000	00
1	56	247814.3509	2599474.9376	0.0000	00
1	57	247820.6719	2599557.1162	0.0000	00
1	58	247815.9312	2599583.4377	0.0000	00
1	59	247758.4995	2599629.8127	0.0000	00
1	60	247687.9073	2599663.0002	0.0000	00
1	61	247691.0923	2599539.7323	0.0000	00
1	62	247659.4875	2599493.9019	0.0000	00
1	63	247670.5492	2599434.9108	0.0000	00
1	64	247672.1294	2599275.8125	0.0000	00
1	65	247668.9689	2599229.9821	0.0000	00
1	66	247652.1666	2599199.9583	0.0000	00
1	67	247626.3025	2599171.5089	0.0000	00
1	68	247599.0858	2599178.8660	0.0000	00

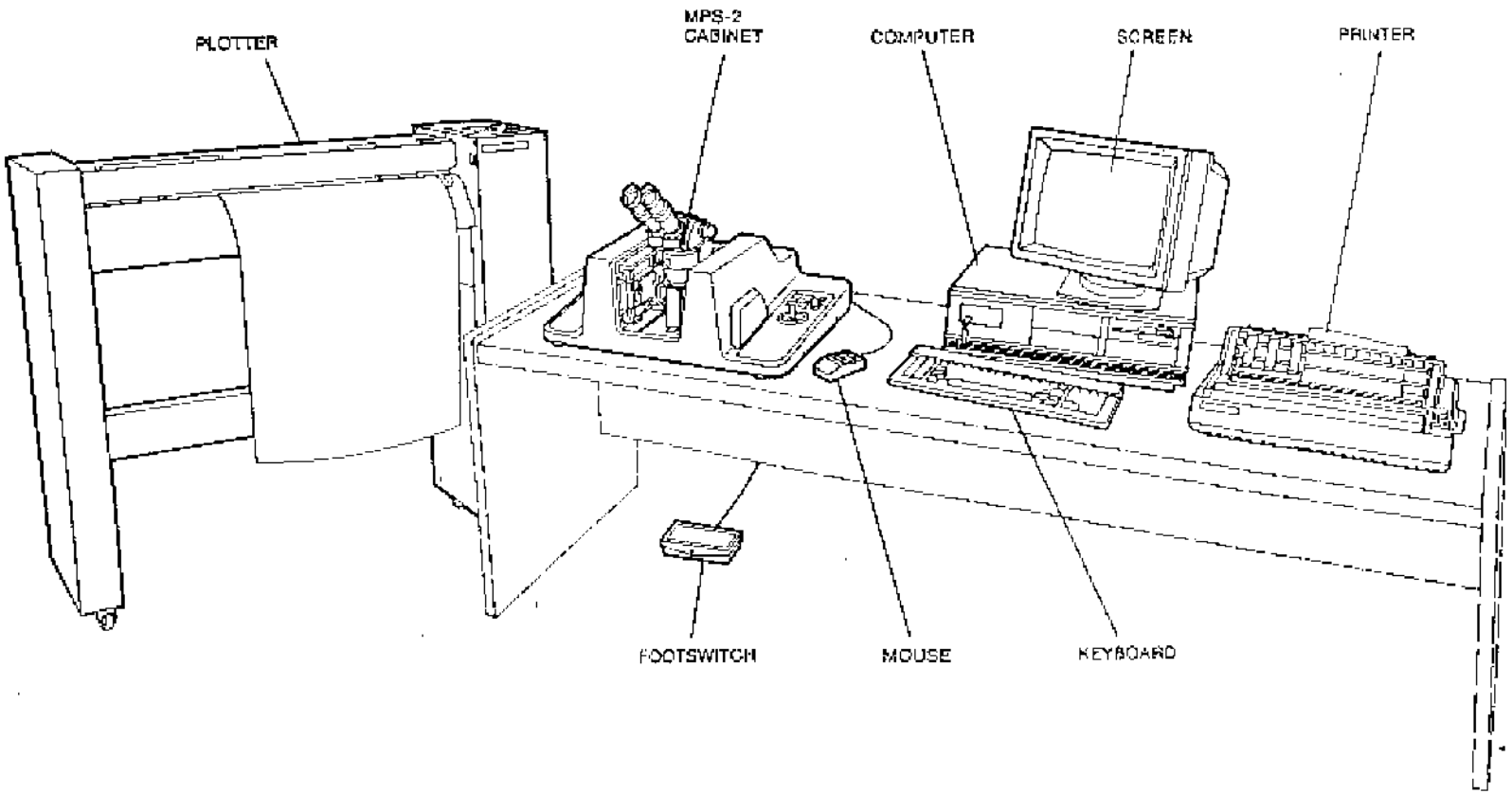
[附錄三]金門峒斷崖附近像片基本圖參考點DTM之2D坐標

NO.	地　　點	X	Y
1	E區(塔)	247644.4191	2598961.8502
2	D區(椿)	247845.9557	2598887.0444
3	C區(椿)	248212.2077	2598851.6667
4	A、B(椿)	248363.7200	2599114.8828
5	2940高	248208.6162	2598783.3408
6	2928高地	248493.0204	2598775.6537
7	八通關	248583.1902	2598520.9619
8	輜部步道	247834.6461	2598835.6986
9	陳有蘭溪源頭	248020.2511	2599124.1551
10	E區西端	247555.5073	2599154.9037
11	北北峰	244980.3161	2598869.4053
12	北　　峰	245031.2653	2598489.9816
13	3630高地	245913.3047	2598624.7460
14	3443高地	246545.0746	2598716.4872

〔附錄四〕金門峒斷崖重要控制點之GPS Data

P H I	L A M D A	Y	X	Scale
23 31 .6500	121 00 43.1570	2601526.0494	251224.1987	.99990002
23 29 32.1270	121 00 2.1470	2598802.9220	250060.9135	.99990000
23 29 31.8770	121 00 .6580	2598795.2315	250018.6684	.99990000
23 31 10.6510	120 59 51.4150	2601833.6439	249756.4816	.99990000
23 28 36.6450	120 59 47.6540	2597096.2358	249649.6856	.99990000
23 29 28.2210	120 59 11.8810	2598682.8321	248634.7839	.99990002
23 29 27.8160	120 59 11.8220	2598670.3740	248633.1088	.99990002
23 28 54.9000	120 59 5.1720	2597657.8584	248444.3298	.99990003
23 30 35.9200 -23.39	120 59 1.3550	2600765.3665	248336.3798	.99990003

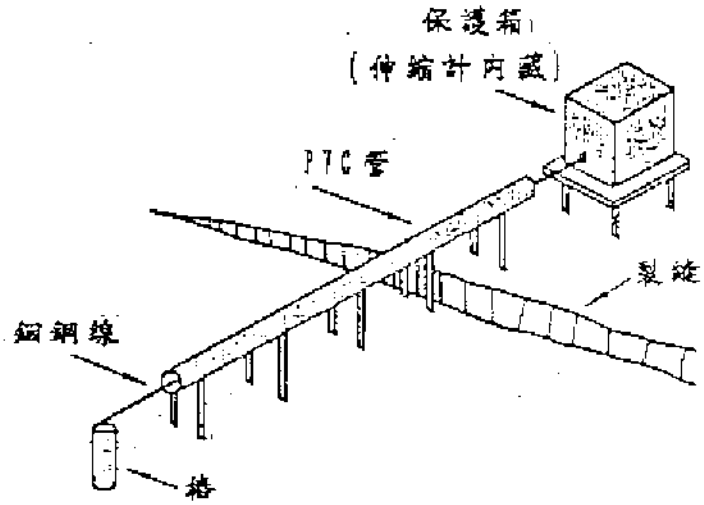
			木樁
<11>	78.8.15/19	陳隆陞　許英文 蘇志峰　巡山員五位	1.崩塌速率觀測及攝影 2.拍設錄影帶
<12>	79.10.31/11.3	陳隆陞　劉居賜 謝佑龍	1.觀測及攝影 2.量測不連續面層態
<13>	80.7.11/13	陳隆陞　顏文博 全秋雄　黃金進	1.觀測及岩石採樣 2.量測不連續面層態 3.補 E 觀測點木樁
<14>	80.8.28/30	杜順發　劉居賜 謝佑龍	1.量測樁位 2.採 G 區岩樣
<15>	80.10.11/15	陳隆陞　林慶偉(顧問) 高忠義	1.崩塌速率觀測及攝影 2.構造機制勘查探討
<16>	81.04.01/02	陳隆陞　林慶偉(顧問) 賴文基　莫凌霄	遊步道嚴重坍方未 克調查
<17>	81.05.01/04	陳隆陞　王仲平 顏君毅	1.觀測及岩石採樣 2.量測不連續面層態

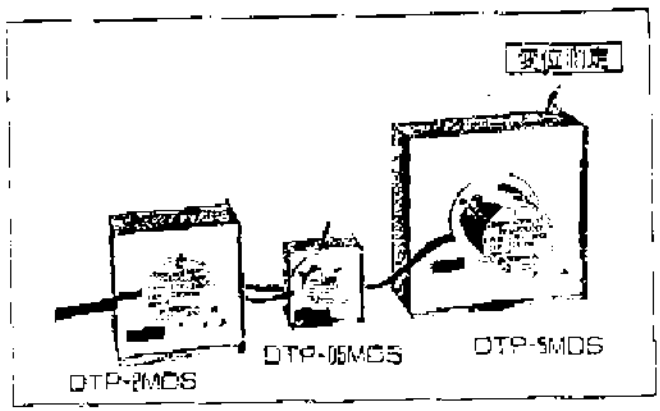


微縮影立體製圖儀

A TYPICAL MPS-2 MICRO PHOTOGRAMMETRIC SYSTEM
WITH PLOTTER AND PRINTER

[附錄五b] 裂隙變位觀測儀(KYOWA DTP-1 MDS)





主要規格：

1.定格出力：5MV/V(10000 X 10^-6應變量)

2.非直線性：0.3%RO

3.入出力抵抗值：350Ω

4.張力：伸長：120G 捲入：60G

5.最大反應速度：200MM/SEC

6.量測範圍：100CM以上

7.容許過負荷：120%

8.使用溫度範圍：-10-55℃

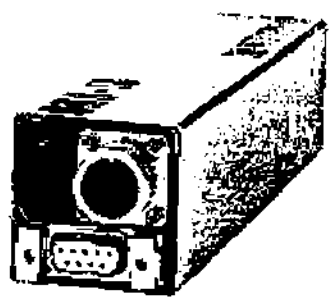
9.重量：260G

[附錄五c] 無人化自動集錄器(KYOWA RMH-1 B)

硬體：

1.測定對相：應變規式(STRAIN GAGE TYPE)應變計，變換器

2.適用出力抵抗值：100-1000Ω



3.測定點數：1點

4.測定範圍：+-10000 X 10^-6 應變量

5.解析度：1 X 10^-6 應變量

6.測定精度：+-0.1% F.S+1 讀數

7.記錄方式：CMOS RAM 自動計測記錄，儲存後不受斷電影響

8.記錄容量：最大 6450筆

9.設定與回收資料方式：透過標準RS-232C介面與PC電腦連線

10.可設定功能：A.日期，時間校正

B.量測週期：1分 -99小時 59分間自由設定

C.開始量測時間

D.初始值測讀設定

E.校正係數

F.物理量單位

11.附自我診斷功能

12.使用溫濕度範圍：-10-+40℃ 10-95% RH

13.使用電源：DC 7-15V

14.重量：1KG

軟體：

1.適用MS-DOS3.X版本以上之PC XT/AT或筆記型相容電腦

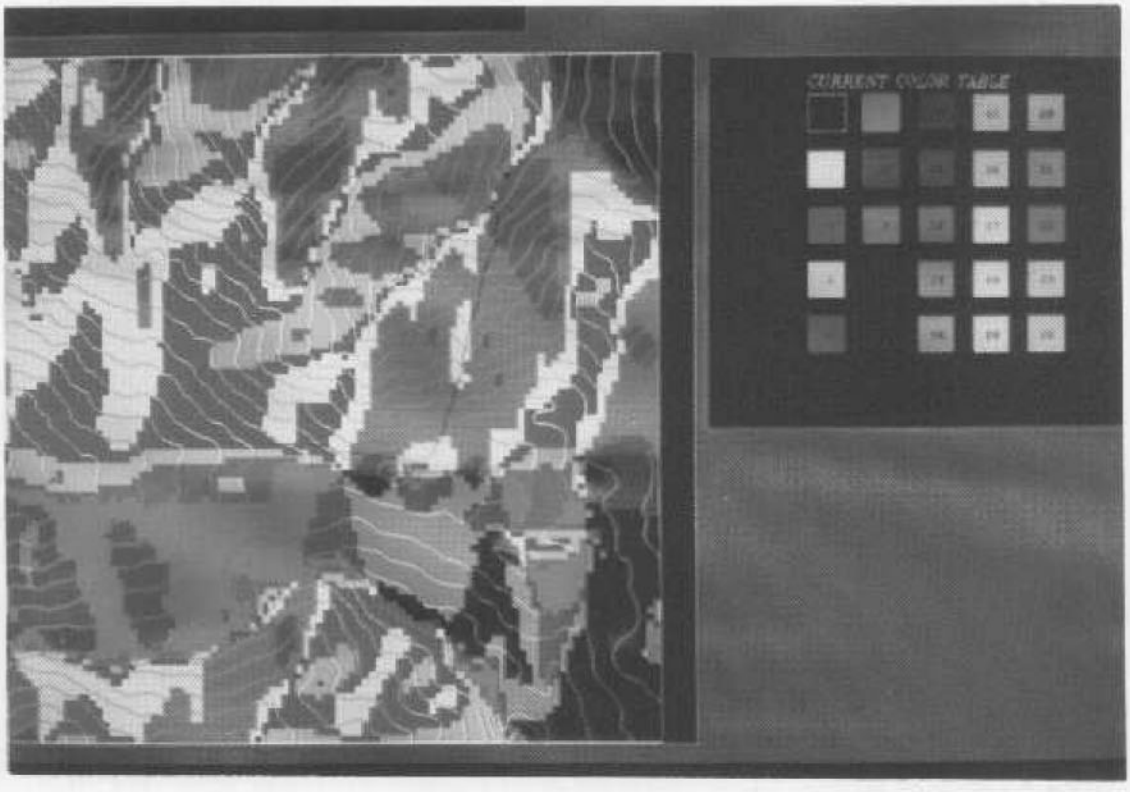
2.直接由PC設定及回收資料，操作RMH-1B之所有功能

3.回收檔案以ASCII文字檔儲存可由其它套裝軟體使用，如LOTUS1-2-3，DBASE III，PE2等

4.全中文化操作模式


金門峒大斷崖現況鳥瞰圖(西元1989年)
玉山南峰
玉山東峰
玉山主峰
玉山北峰
北北峰
3630m
3443m
玉山登山步道
E點
老濃溪
D點
金門峒大斷崖
2940
2828
八通關小屋
陳有蘭溪

圖 4-14 金門峒斷崖之GIS坡向分析圖
(每30° 爲一級，計分12級)



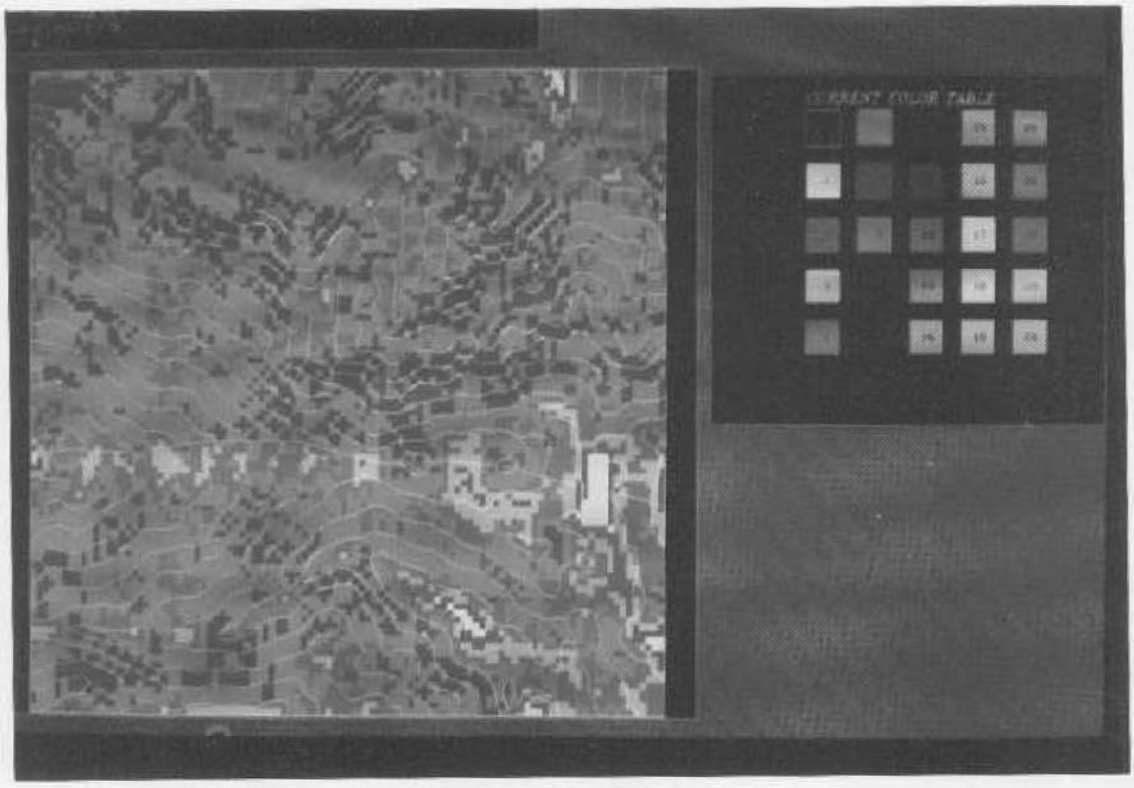
(1)金門峒斷崖之坡向分析，以30° 為一顏色分析如圖4-14，主要向源侵蝕為第一級白色0° ～30° 及第二級紅色30° ～60° 部份

(坡向分12級資料如下)

12 CATEGORIES IN MAP ASPECT

ID	VALUE	FREQUENCY	LABEL
1	30.0000	1742.0	30
2	60.0000	1998.0	60
3	90.0000	849.0	90
4	120.0000	688.0	120
5	150.0000	754.0	150
6	180.0000	546.0	180
7	210.0000	420.0	210
8	240.0000	348.0	240
9	270.0000	358.0	270
10	300.0000	217.0	300
11	330.0000	584.0	330
12	360.0000	1,496.0	360

圖 4-15 金門峒斷崖之GIS坡度分析圖
(每10° 爲一級，計分9級)



(2)金門峒斷崖之坡度分析，以每10° 為一級，各以不同顏色表示，分析如圖4-15，可看出金門峒斷崖主要崩塌方向為6～7級圖上藍色及粉紅色部份，坡度50° ～70° (坡度分9級資料如下)

9 CATEGORIES IN MAP SLOPE

ID	VALUE	FREQUENCY	LABEL
1	10.0000	69.0	10
2	20.0000	179.0	20
3	30.0000	488.0	30
4	40.0000	2,190.0	40
5	50.0000	4,322.0	50
6	60.0000	2,224.0	60
7	70.0000	528.0	70
8	80.0000	0.0	80
9	90.0000	0.0	90

玉山國家公園金門峒斷崖崩塌速率及演化趨勢之研究

發行人：黃　萬　居

主持人著作：陳　隆　陞

出版者：內政部營建署玉山國家公園管理處

地　　址：南投縣水里鄉民生路112號

電　　話：(049) 773121－3

印　　刷：台興印刷行

地　　址：南投市內興里新興路二八六號

電　　話：049－324873

初　　版：中華民國81年8月