

玉山國家公園
關山地區地質調查
南橫公路地質潛在
危險區的研究分析

委託單位：內政部營建署玉山國家公園管理處

研究單位：經濟部中央地質調查所

目 錄

節 要	6
壹、前 言	8
貳、環 境	9
參、南橫地形.....	17
肆、地質概況.....	22
伍、邊坡穩定分析理論.....	28
陸、崩場地現況.....	33
柒、不連續面分析.....	71
捌、野外採樣及試測.....	93
玖、室內試驗結果	101
拾、工程地質圖說明	114
彩 圖	119
拾壹、結論與建議	146
參考文獻	149

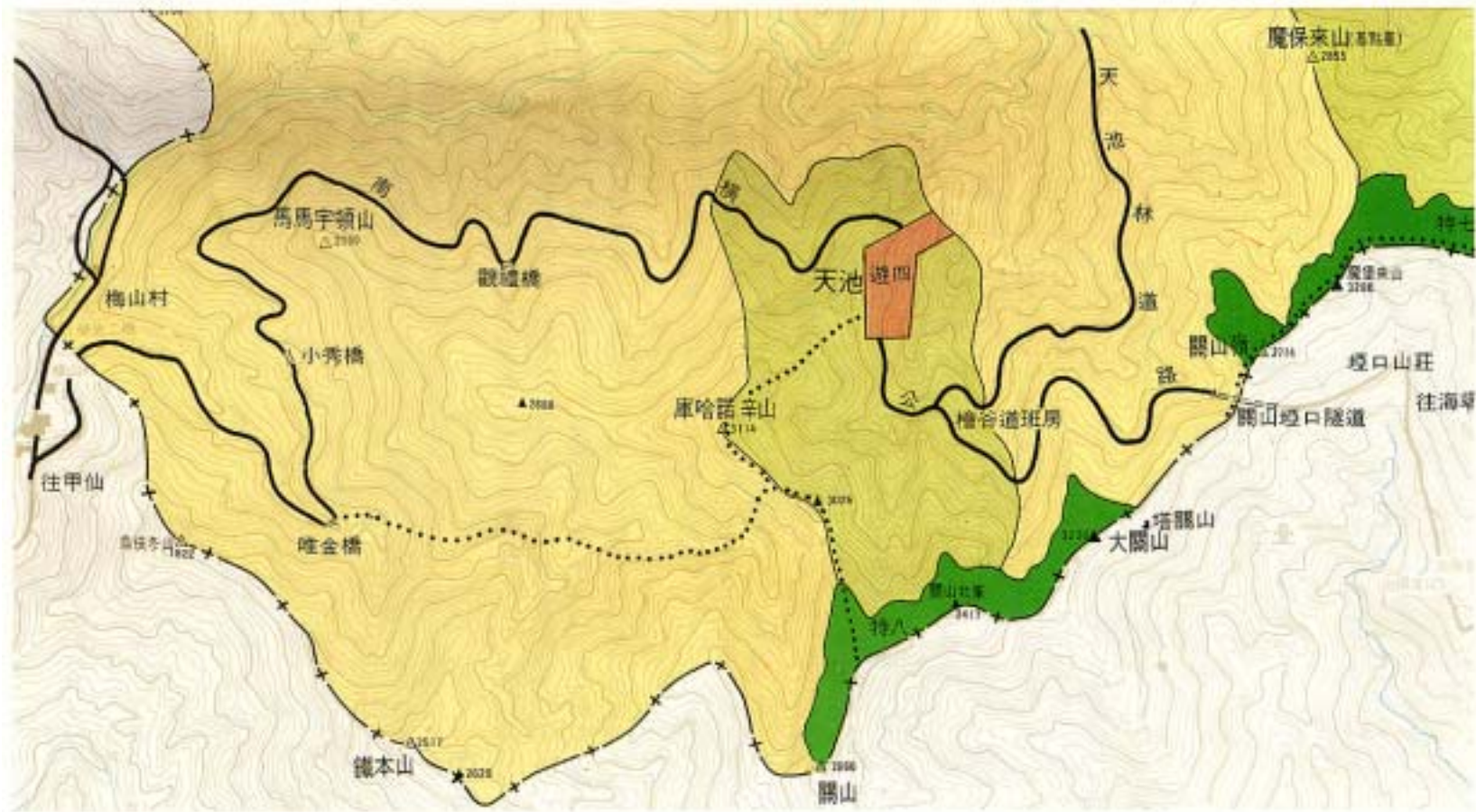
節 要

由南橫公路梅山至啞口約 37 公里長沿線公路邊坡統計共 74 處崩場地。主要的崩塌型態為岩塊掉落，佔 35.1%，其次為圓弧型滑動，佔 14.9%。二者的複合型式佔 12.1%，總計為 62.1%。其他則有土石崩落、平面滑動等型式和包括岩塊翻倒、楔型滑動等之各種複合式。造成崩塌的因素來自岩層岩性、地質構造（不連續面、斷層、摺皺等），護坡植生缺乏、岩坡坡角過大、表土風化作用、公路開挖方式、氣候（降雨量、氣溫）、地下水、護坡整治工程的闕如，人為開挖導致崩塌等。

本區主要地層及岩性為中新世梅山層之灰黑色硬頁岩、漸新世晚期至中新世早期之禮觀層中至細粒砂岩及始新世畢祿山層之板岩、綠色岩、變質砂岩、千枚岩等。其岩力強度可分為三級，1.硬頁岩和板岩，野外測試強度 $<35\text{Mpa}$ ，2.禮觀層砂岩和綠色岩， $35\sim 52\text{Mpa}$ ，3.變質砂岩， $>52\text{Mpa}$ 。室內試驗結果與野外測試者有相當之差值，其原因來自試驗體未遭到風化作用、不連續面合布的水的影響，但其結果使岩力強度可分成三類仍與野外測試者相同。岩石基本摩擦角則為硬頁岩 35.0° ，板岩 26.7° ，綠色岩 30.4° ，變質砂岩 27.0° 。

由 959 組節理與劈理的不連續面分析得知，地層受到複雜的旋轉和倒轉代表了構造活動的結果。構造活動使得本區岩體破碎、地形陡峭。不連續面的分布切過和岩坡坡角過大為造成岩塊掉落之崩塌型式的主要因素。板狀劈理與風化作用營力是造成圓弧型滑動之主因。由不連續面分析配合坡面等因素的分析，其結果與野外調查結果相同。

依照邊坡處理整治的目標，本次工程地質圖包括有地形、地質、不連續面分析、岩力強度分類、現有崩場地狀況、重要地形單位、採樣點和地下水位置等。



壹、前言

南橫公路本區調查的範圍爲由梅山村(110K)至啞口(146.5K)大關山隧道爲止，全長 36.5 公里，沿線地質狀況複雜，爲第三紀亞變質岩區，受到構造運動作用及變質作用的影響，全線岩層岩體破碎，地形陡峭，地質構造極多，同時邊坡的潛在危險崩場地所在多有，本次研究調查即係對此邊坡的崩塌問題加以研究分析，探討崩塌破壞的方式、規模及其發生的原因，以期做爲以後公路沿線改善的參考。以往南橫公路的工程地質方面的研究，除了民國 77 年度玉山國家公園管理處委託本所所做“關山地區地質調查暨解說規劃”一書中，有工程地質一章而外，其他皆付之闕如，因此本調查對南橫公路梅山至啞口一段的工程地質特性是第一次深入的研究。

研究邊坡問題，我們必須對不連續面的位態，邊坡坡角，岩石材質的種類和其抗壓強度，抗剪強度，基本指數性質，地下水的狀況，氣候因素以及摩擦角等加以整理分析，從而得出其確切的原則出來。本次調查的重點即在於這些方面的資料收集，實驗室的測試（包括單軸抗壓強度及抗剪強度）、不連續面的分析以及崩場地的統計資料等，並且提出一些處理方法以供邊坡處理的參考。

由於筆者等從事本調查研究時間匆促又遇多次大雨，道路崩坍等天災，使工作無法進行順利，因此報告內容疏誤處在所難免，希望先進諸賢能不吝指正則是爲筆者之幸。

貳、環境

一、人文交通

二、土地利用

三、氣候

一、人文交通

南橫公路梅山村為本次調查計劃的起點站，為一山地村落，居民主要為布農山胞，少部份為平地移民。其生活主要依靠種植農作物如玉米、雜糧以及養鹿為生，農閒之餘則出外作工或是經營雜貨生意等，村中主要人口很多均赴繁榮都市就學、就業，留下者老人、婦人、小孩所佔的比例很高。

由梅山村有梅蘭林道北往玉山方向行，可接楠溪林道，楠溪林道則行至玉山附近，目前經由小徑翻越玉山附近之嶺線可接沙里仙林道，往玉山的北邊而行。梅山村沿南橫公路往東方向去，可經由禮觀至天池地區，天池地區有林務局工作站及台汽客運之天池站、及天池警察小隊，再由天池經檜谷至啞口，啞口有救國團啞口山莊及啞口警察派出所，由啞口可至向陽並利稻至南橫公路終點海端，此地可通往台東市。在啞口附近有一啞口林道，原有採伐木材的活動，現已停止，因此林道已呈廢棄狀況。在梅山至啞口之間，有南橫古道斷續連接，現已不堪使用，僅留為古蹟而已。目前由梅山至啞口之間的南橫公路尚未鋪設瀝青而為碎石路面，沿途地形險峻，道路曲折迴轉，山坡上常易發生崩塌或落石，尤其是在下雨時或雨後更是如此。

二、土地利用

南橫公路沿線土地利用的情形主要分成二類，一為靠近梅山村地帶，居民沿邊坡種植玉米等雜糧（照片 2~1），一為天池啞口地帶主要是林務局的林相地，以森林培育為主（照片 2~2）。其他土地利用的情形在現階段的狀況之下尚未出現，實係因為受到地形陡峻，交通來往開發的程度等因素的影響，無法再有他種土地利用的可能性。

三、氣候

本區因為位於山區，受地形因子影響，使得氣候變化很大，往往早上為晴朗之天氣，而至中午以後即已雲霧上升，視域迷茫，影響行車的狀況和安全性。至冬季及雨季時，雲霧遮山，風速極強則更為經常性之現象。在本區之調查中發現降雨量對邊坡安全性有很大的作用，因為本區岩坡一半以上為裸露的狀況，或者植生不佳，根部不固，是以雨水的多寡直接引起岩體負荷重的增加，加以地處中央山脈

核心地區，岩體受過變質作用及構造運動的作用，破碎異常，因此岩坡支撐力大為降低，所以本區雨後公路沿線很易形成崩塌（照片 2-3,112.5K）或落石以下列出台灣省水利局測候站，包括梅山站、天池站、向陽站所測得的每月降雨量及降雨日數的資料做為氣候因素的參考。梅山站資料所提出的範圍應可包括禮觀地點、天池站的資料可指出檜谷及啞口林道的地區，向陽站的資料可指出啞口大關山隧道地區的情形。

圖 2-1 梅山站每月降水量分析

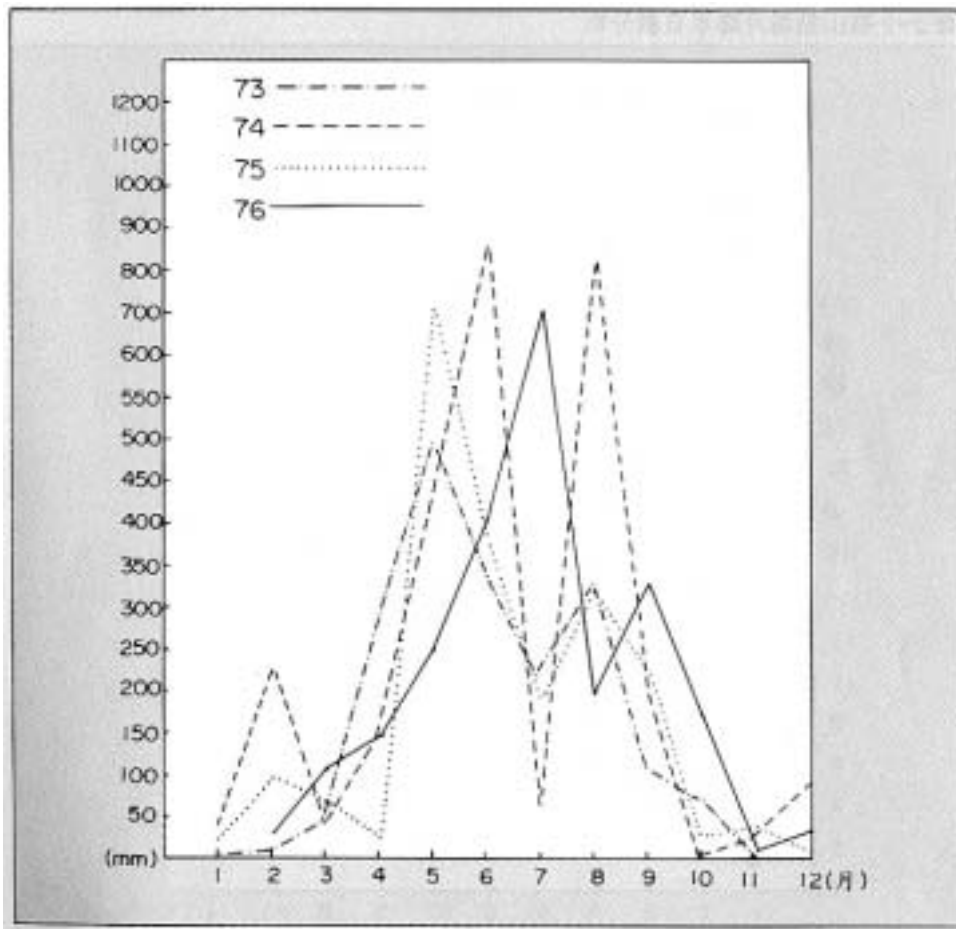


表 2-1 水利局梅山站每月降水量資料（73 年—76 年）

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73	12	106	492	2900	5944	3361	2168	3280	1117	697	33	12
74	393	2251	369	1514	3884	8671	638	8217	1984	42	297	875
75	228	987	652	328	7092	3844	1920	3716	2275	261	382	93
76		281	1081	1481	2481	4015	7131	1955	3284	1724	102	310

圖 2-2 梅山站每月降水日數分析

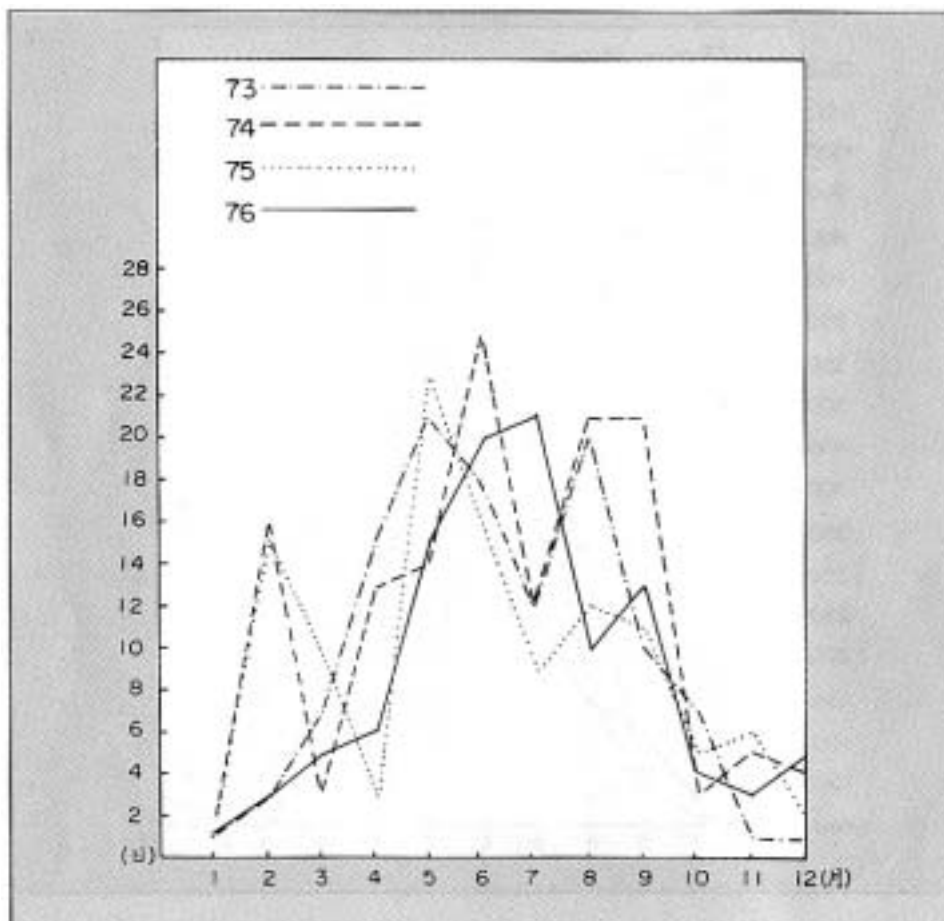


表 2-2 水利局梅山站每月降水日數資料（73 年—76 年）

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73	1	3	7	15	21	18	12	20	10	7	1	1
74	2	16	3	13	14	25	12	21	21	3	5	4
75	3	15	10	3	23	16	9	12	11	5	6	2
76	1	3	5	6	15	20	21	10	13	4	3	5

圖 2-3 天池站每月降水日數分析

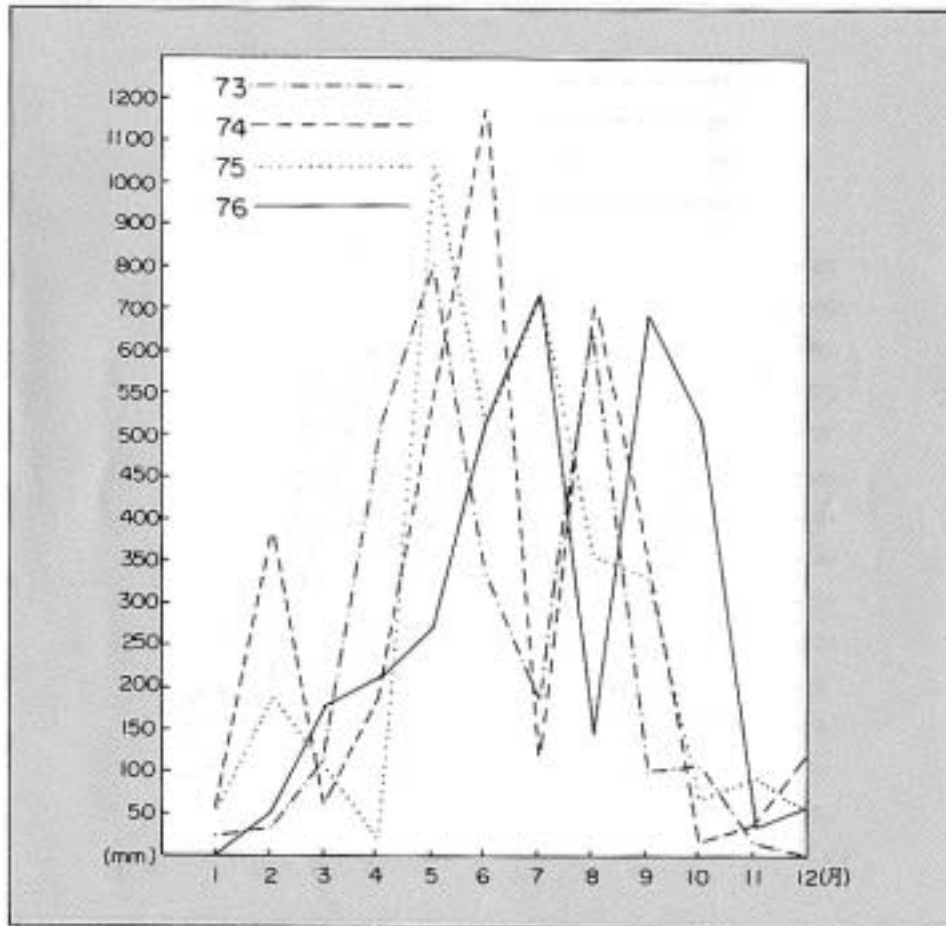


表 2-3 水利局天池站每月降水日數資料（73 年—76 年）

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73	238	343	1190	5046	8031	3378	1826	6399	1019	1096	164	32
74	539	3855	562	1896	5469	11817	1239	7150	3538	155	341	1269
75	540	1812	1011	214	10433	5131	7247	3603	3380	713	946	545
76	20	510	1756	2121	2702	4997	7396	1473	6929	5182	314	578

圖 2-4 天池站每月降水日數分析

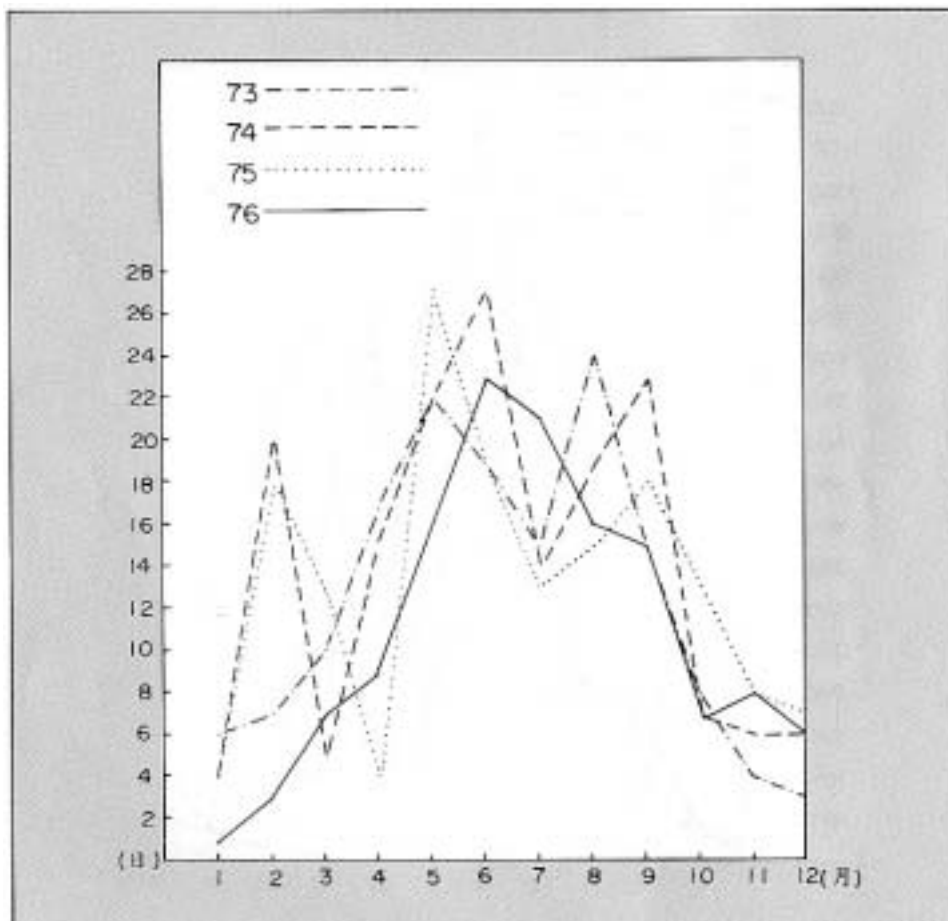


表 2-4 水利局天池站每月降水日數資料（73 年—76 年）

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73	6	7	10	17	22	19	15	24	13	8	4	3
74	4	20	5	15	22	27	14	19	23	7	6	6
75	4	18	13	4	27	19	13	15	18	10	8	7
76	1	3	7	9	16	23	21	16	15	7	8	6

圖 2-5 向陽站每月降水日數分析

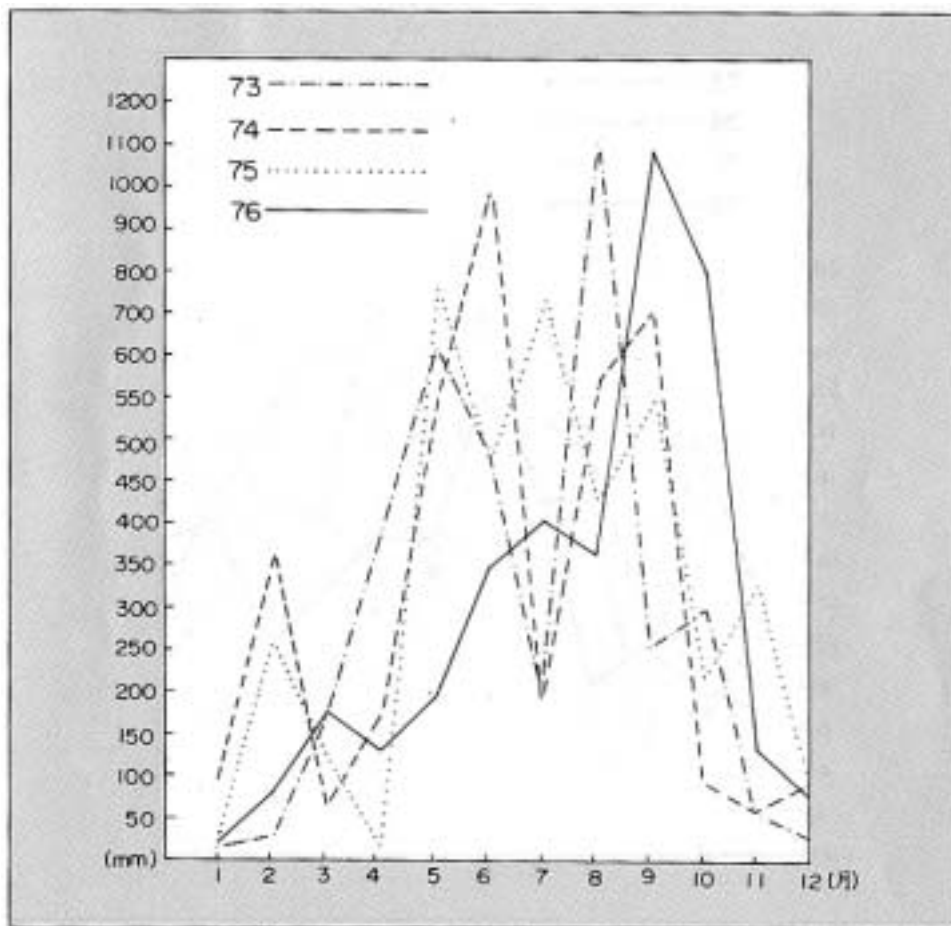


表 2-5 水利局向陽站每月降水日數資料（73 年—76 年）

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73	125	290	1225	4000	6150	4850	2020	11360	2540	3015	550	265
74	955	3680	650	1745	5500	9900	1880	5720	7105	975	640	970
75	370	2585	1255	195	7630	4750	7205	4320	5500	2195	3280	835
76	230	780	1780	1325	1910	3480	4040	3685	10860	8070	1305	750

圖 2-6 天池站每月降水日數分析

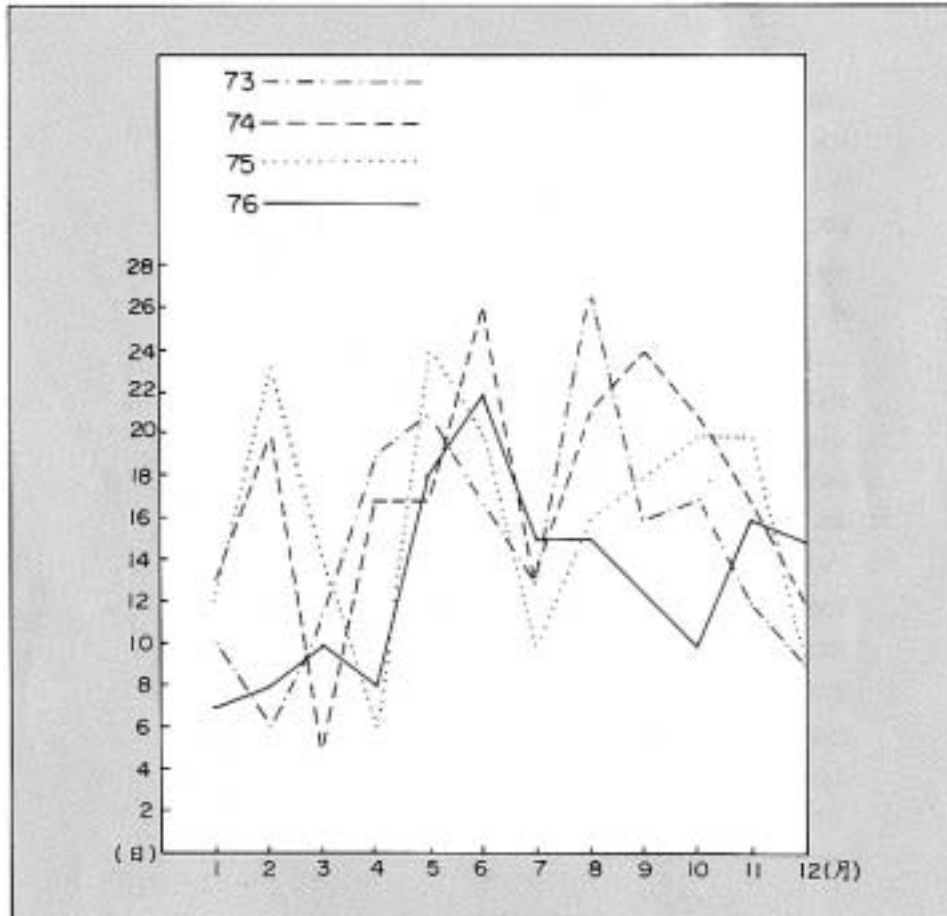


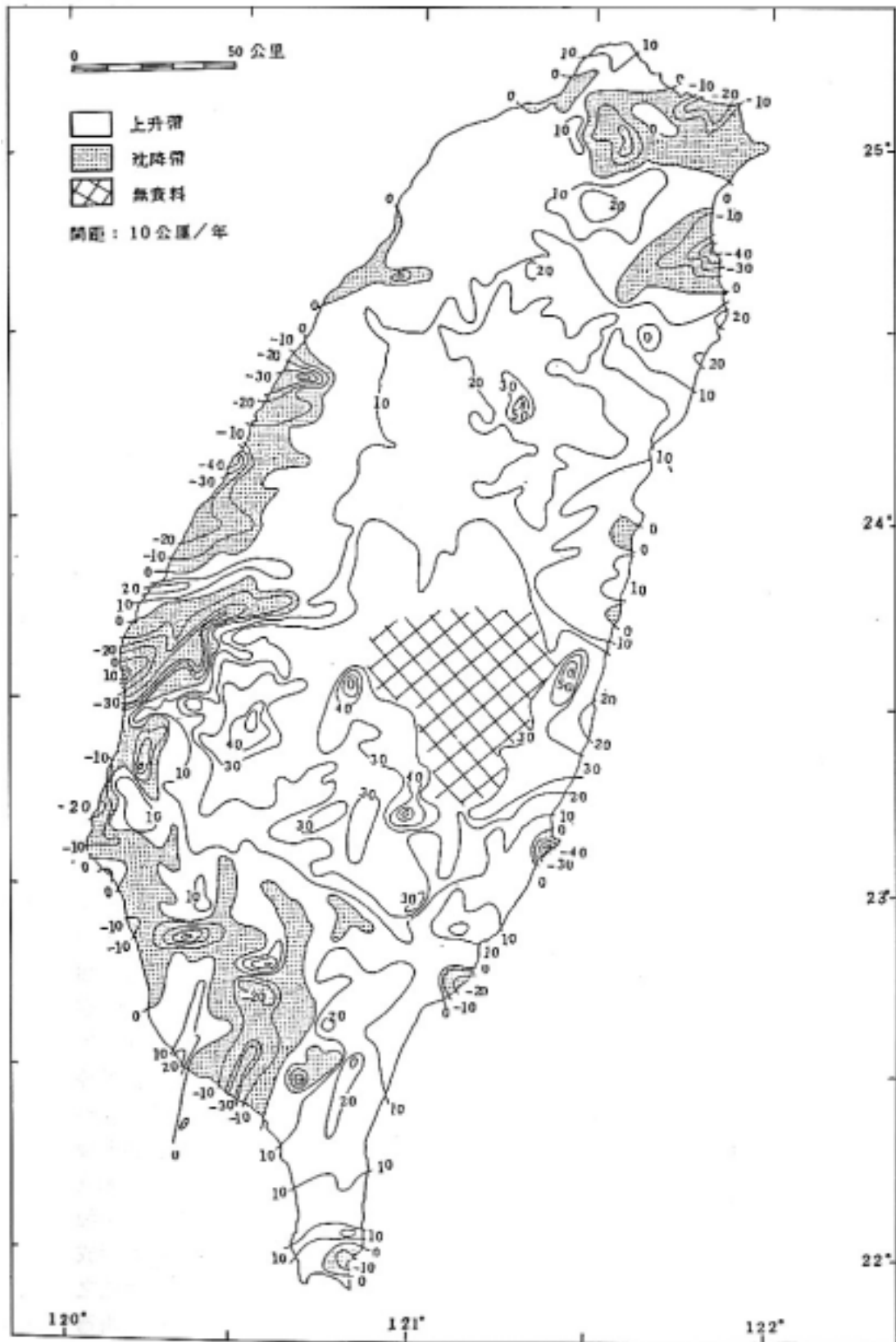
表 2-6 水利局天池站每月降水日數資料（73 年—76 年）

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73	10	6	11	19	21	17	13	27	16	17	12	9
74	13	20	5	17	17	26	13	21	24	21	17	12
75	12	23	14	6	24	20	10	16	18	20	20	9
76	7	8	10	8	18	22	15	15	19	10	16	15

參、南橫地形

如果我們攤開台灣的地質發育史來看，依據顏滄波教授所做的研究，一共包括五次不同時期的地殼變動：中生代中期的南澳運動、中生代晚期至新生代早期的太平運動、新生代中期漸新世的埔里運動、新生代中新世到上新世之海岸山脈運動、新生代晚期上新世到更新世之臺灣運動（又名蓬萊運動），五次運動對於臺灣之地殼分別造成不同程度的影響及不同類型的地質作用，由於各次運動在現存地層中都留下了或多或少作用的痕跡，因此我們可以辨認出這些不同地質時期所曾經發生過的運動。地形的發育深受地質作用（指內營力作用而言）的影響，也可以說是地殼變動作用的結果，南橫公路的地形發育最主要是受到臺灣運動（又名蓬萊運動）的影響，鄧屬予(1986)認為臺灣運動可以分為四個階段：最早期約在 650 至 300 萬年前開始，有溫和的抬升作用；接著於 300 至 47 萬年前間有主要的造山運動，使中央山脈被隆起；第三期發生於 47 至 13 萬年前，產生第二次主要的造山運動，並將已經隆起的山再次改造，最後一期的運動自 13 萬年前一直延續到現在。臺灣運動除了造成本島一系列高聳連綿的脊樑山脈以外，同時使原先沈積的厚層泥質岩層變質為硬頁岩、板岩、千枚岩及變質砂岩等輕度變質岩，更使得脊樑山脈的地質構造特別複雜。因此我們可以說南橫公路沿線的地形，基本構架是在最近三百萬年間，由臺灣運動作用所造成的結果，其中又以後面的三個階段較具決定性的貢獻，這種由地殼變動產生之內營力，形成南橫公路沿線特殊的地層及岩性、複雜多變化的地質構造、高聳的山稜及深切的峽谷。強烈的內營力作用表現在地形上，最明顯的證據就是高的隆升速率，從岩石、化石以及海底沈積物研究，推斷臺灣在過去百萬年間山地的平均隆起速率約為 5 公厘左右，陳惠芬(1981)以臺灣各三角點六十六年(1914—1979)間的新舊高程差異，計算臺灣各地區地盤升降變化的情形（圖 3~1），由於三角點均為堅硬耐蝕的花崗岩，因此所測得的高程變化應是代表該點絕對的隆升量，南橫公路梅山至啞口段在圖中顯示為極高的上升地帶，平均每年隆起 30 到 40 公厘左右，表示該區目前的隆起速率極高，遠大於過去百萬年的平均隆起量，或許可以認為臺灣運動第四階段的作用在此區非常劇烈，以致於出現如此大的隆升量。臺灣因為一直處於板塊活動頻繁，地殼變動劇烈的所在，因此如果依照戴維斯的地形循環觀點——將地形發育分成幼年、壯年及老年等三個不同的時期，南橫公路與臺灣其他地區一樣，地形發育階段應該屬於壯年期的早期，也就是所謂的早壯年期，由於局部地區可能存在特殊影響地形發展的因素，所以有時候某些地方會出現不屬於早壯年期的地形特徵。

圖 3-1 台灣各三角點升降率之等值線圖



南橫公路梅山至啞口段之地形除了受到上述內營力的控制之外，外營力的作用也強烈的影響著地形地貌特徵，河流侵蝕、雨水作用、溫度變化、風力吹蝕、化學作用、山坡崩坍等都是屬於各種不同形式的外營力，以連續不斷而且漸進漸深的步驟，塑造著由地殼變動所產生的原始地形面。內營力如果從地質的角度來分析，大多數可以歸納出影響每一個特殊地形的決定性因子，簡單的說不外是岩層特性或是地質構造兩項；外營力的各項影響因素多數並不是衡常的，經常僅具有短時間（以地質時代而言）的影響力，因此僅能粗略的概括描述，不易精確的研判何者較重要。最簡單的例子就是：冰河到底在此區地形的演變上佔有什麼樣的角色？臺灣與世界上其他地方一樣，在地質史上應該曾經受到不止一次的冰河侵襲，因此冰河所造成的各種特殊地形理應曾經出現在臺灣島上，但是在歷經了上萬年，甚至更長久的歲月，冰河時期早已遠離臺灣，其他的外營力作用已經改變冰河的地形地貌，並且凌駕冰河之上以主導的身份出現，使得我們更不易評估冰河在過去地形發育史中所扮演的角色，我們只能推論冰河在本區，對於過去的小地形特性可能有著顯著的影響作用，而且造成各種冰河地形，但是如今並沒有留下任何清晰可辨認的痕跡。

內營力作用（或者說是地殼變動的結果）產生了本區特殊的岩層及複雜的構造，這兩項特性對於本區的地形表現究竟發生了多大的影響力？本區特殊的岩層包括硬頁岩、板岩、千枚岩、變質砂岩等輕度變質岩、大理岩及綠色岩等，除了變質砂岩及大理岩較堅緻以外，其餘的岩層均易受風化侵蝕作用，但是變質砂岩及大理岩在此區並不發達，經常僅以薄層狀態出現，偶而局部有較厚層的變質砂岩出露，因此如果單純只考慮岩層對於本區地形特性的影響時，硬頁岩、板岩及千枚岩等三類岩石為最主要的控制因子，天池地形、圓弧形崩坍地及部份河岸階地地形之形成都是由於此類岩層之特性所造成，基本上三者都是因為所在地的岩層較為破碎，在邊坡不穩定的情況下，由於重力的牽引，發生大小碎塊及碎屑的滑動、流動、滾動等不同形態的搬移動作。天池崩坍的形成以後，由於地表水及地下水共同的作用，形成一個蓄水池；圓弧形崩坍地還是維持著原來的形貌，但是它的範圍一般都會向稜線繼續擴大，寬度也會加大；部份河岸階地之形成是由於山坡崩坍所造成，例如位於支流出口之沖積扇及崩積層成因之河岸階地，崩坍堆積物在以後又受到河水侵蝕或是其他外營力的作用，會稍微的改變外形，甚至擴大範圍，通常河岸階地的形成往往不單由一種成因造成，崩坍作用只是經中之一種影響因素。馬馬宇頓山東側之U字形鞍部則是因為不同岩性受到差異侵蝕作用的結果，U字形鞍部的西北側為

堅硬不易被侵蝕的變質砂岩，中間凹下的部份為硬頁岩層，相對於變質砂岩，屬於較易於被侵蝕的岩層，在硬頁岩的東南側，可能又是變質砂岩層或是變質砂岩與硬頁岩的互層，因此又呈較為凸出的地形。河流縱剖面存在的遷急點如果是屬於次生遷急點，多數是因為河床中存在對侵蝕抵抗力較大，岩性較為堅緻的岩層。

複雜的地質構造在此包括沈積之層面、變質之劈理面、剪裂之斷層面及節理面、張裂之張力裂縫及節理面、擠壓之背斜及向斜等，這些包含在岩體中所有可以觀測到的不連續面，在從事地質調查研究工作時，是一項最基本的資料來源，為野外調查的工作重點之一；在分析或研判地形的成因時，不連續面則是最重要的控制地形發育的因素。此區特殊地形景觀中的楔形蝕谷、三角形谷壁、格子狀水系、縱谷地形及部份肩狀平坦稜等都是因為受到或多或少地質構造的影響，發育完成的。楔形蝕谷及三角形谷壁都是順著不連續面發展成功的，楔形蝕谷包含兩組交會的不連續面，三角形谷壁僅有一組不連續面，當不連續面上覆的地質材料滑落以後，就分別形成兩種形態不同的小地形；格子狀水系主要是受到兩個垂直方向的不連續面控制的影響；縱谷則是順著主要地質構造線的方向，平行發育出來的河流。部份肩狀平坦稜的成因可能是受到斷層作用的影響，將稜線的一部份錯動分離，後來又經過外營力的作用，以致於形成今日的外觀。

還有一類地形景觀之成因主要是受到外營力的影響，內營力居功極少，譬如圓丘狀山頂及樹枝狀水系即是，不論何種岩層或是構造，都可能造成此種地形的構成。圓丘狀山頂地形大部份發生在潮濕多雨的氣候區，因為雨水強烈沖蝕所造成；樹枝狀水系經常順著最初的地形坡度發育，幾乎不受地盤岩性或地質構造的左右。

為了簡化問題的複雜性，為了易於瞭解問題真正的內涵，我們將南橫公路梅山至啞口段之複雜地形現象，簡單的歸納為三種主要成因，即內營力之特殊岩層、複雜構造和外營力等三項，幾乎出現在本區的每一種小地形特徵都可以歸併成一種主要的成因，當然可能也包含了許多其他較為次要的因素；內營力的機制主要可以推究到最近三百萬年間，由臺灣運動（又名蓬萊運動）作用所造成的基本構架之結果，因為臺灣運動的第四階段作用還是非常的劇烈，因此這一地區目前的隆起速率極高，遠大於過去百萬年間的平均隆起量，平均每年隆起 30 到 40 公厘左右，高的隆起速率加上快速的侵蝕速率，使得此區地形景觀的變化既多又複雜。

參考文獻

- 鄧屬予(1986)：蓬萊運動之地層記錄，臺灣第四紀地質第一次研討會論文摘要。p. 5-6.
- 陳惠芬(1981)：臺灣當今地盤的上升與下降。中國文化大學地學研究所地學組碩士學位論文。18pp

肆、地質概況

一、地層與岩性

二、地質構造

出露於梅山至啞口間的地層均屬於中央脊樑山脈帶的泥質沈積岩層，主要岩性為經過變質作用的變質砂岩、硬頁岩、板岩和千枚岩構成，間夾有凸鏡狀石灰岩體和火成岩體。

根據其所含岩性和化石的不同，調查區域出露的岩層可分為三個地層單位，即中新世早至晚期的梅山層，漸新世晚期至中新世早期的禮觀層、和始新世早中期至漸新世早期的畢祿山層；其中畢祿山層又可依其出露岩性的不同分為天池橋段、常仕橋段、啞口段和大關山段等四個亞層。各地層的主要岩性如表 4-1，全區岩性的分佈和地質構造如圖 4-1。現就各地層及地質構造型質分述如次：

表 4-1 出露於梅山至啞口間各地層之性質（摘自賴典章等，1982，並修訂之）

地 層	岩性描述								
梅山層	暗灰色至黑色頁岩或硬頁岩偶夾 5~15 公分中至細粒砂岩互層組成。								
禮觀層	黃褐至暗灰色層狀，中至細粒變質砂岩，偶夾砂岩與硬頁岩互層組成。								
~~~~~	~~~~~ 不整合（沈積間斷）~~~~~								
畢祿山層	<table border="1"> <tr> <td>天池橋段</td> <td>灰褐至暗灰色劈理發達之板岩偶夾淡灰色薄層中至細粒變質砂岩組成。</td> </tr> <tr> <td>常仕橋段</td> <td>暗灰色劈理發達之板岩與淡灰至灰綠色變質凝灰質砂岩和綠色變質火成岩體組成，偶夾凸鏡狀石灰岩體。</td> </tr> <tr> <td>啞口段</td> <td>暗灰至灰黑色劈理發達之板岩或千板岩，偶夾薄層變質砂岩。</td> </tr> <tr> <td>大關山段</td> <td>灰褐色至暗灰色中至粗粒厚層變質砂岩，偶夾暗灰色至黑色硬頁岩或板岩組成。</td> </tr> </table>	天池橋段	灰褐至暗灰色劈理發達之板岩偶夾淡灰色薄層中至細粒變質砂岩組成。	常仕橋段	暗灰色劈理發達之板岩與淡灰至灰綠色變質凝灰質砂岩和綠色變質火成岩體組成，偶夾凸鏡狀石灰岩體。	啞口段	暗灰至灰黑色劈理發達之板岩或千板岩，偶夾薄層變質砂岩。	大關山段	灰褐色至暗灰色中至粗粒厚層變質砂岩，偶夾暗灰色至黑色硬頁岩或板岩組成。
天池橋段	灰褐至暗灰色劈理發達之板岩偶夾淡灰色薄層中至細粒變質砂岩組成。								
常仕橋段	暗灰色劈理發達之板岩與淡灰至灰綠色變質凝灰質砂岩和綠色變質火成岩體組成，偶夾凸鏡狀石灰岩體。								
啞口段	暗灰至灰黑色劈理發達之板岩或千板岩，偶夾薄層變質砂岩。								
大關山段	灰褐色至暗灰色中至粗粒厚層變質砂岩，偶夾暗灰色至黑色硬頁岩或板岩組成。								

## 一、地層

### (一)畢祿山層

畢祿山層分佈於天池附近檜谷斷層以東至啞口、利稻間的公路沿線上，其組成的岩性包括千枚岩、板岩、變質石英質砂岩、變質凝灰質砂岩和變質綠色火山熔岩流等，並夾有凸鏡狀之變質石灰岩體和礫岩夾層。其中的礫岩層內含有 *Nummulites-Discocyclina* 始新世中至晚期的有孔蟲化石。在板岩層中亦含有 *Chiasmolithus solitus* 和 *Reticulofenestra umbilica* 等始新世超微化石（黃廷章，1980）。

畢祿山層除分佈於檜谷斷層以東外，根據超微化石的研究，在檜谷斷層以西之

禮觀道班房附近複背斜軸兩側伏於禮觀層下之板岩層中，亦含有始新世之超微化石，這些岩層或可相當於本地層。

另畢祿山層，根據出露岩性之不同，在天池以東至啞口隧道之間公路沿線，由下而上可再劃分為大關山段、啞口段、常仕橋段和天池橋段第四個段，這些岩層，彼此間的接觸關係多以斷層為主，現就其岩性分述如次：

#### 1. 大關山段

大關山段分佈於大關山斷層以東至關山隧道內西側出口處 100 公尺附近，主要岩性由灰褐色至暗灰色中至粗粒厚層變質石英質砂岩，偶夾暗灰色至灰黑色硬頁岩或板岩互層構成。在變質石英質砂岩層中並夾有一層厚約 5 公尺含 *Nummulites-Discoeyclina* 始新世化石之石灰質粗粒至礫質變質砂岩。全段的厚度因斷層的切割而難以測算，可見的岩層厚度約為 250 公尺。

#### 2. 啞口段

啞口段分佈於關山隧道以東至啞口附近，整合覆於大關山段之上，主要由岩性為暗灰色至灰黑色，劈理發達的板岩或千枚岩構成，在其下部偶夾有薄層變質石英質砂岩。本段的上部已超出調查範圍，估計全段的厚度在 1000 公尺以上。

#### 3. 常仕橋段

本段分佈於進涇橋斷層以東至大關山斷層之間，主要岩性以暗灰色劈理發達的板岩與淡灰色至灰綠色變質凝灰質砂岩和綠色變質火成岩體構成，其中在變質凝灰質砂岩下部夾有凸鏡狀的石灰岩體。

另在啞口山莊以東，覆於啞口段（板岩或千枚岩）上的綠色變質凝灰岩層，或可相當於本地層。

#### 4. 天池橋段

本段分佈於檜谷斷層以東至進涇橋斷層之間，主要岩性以灰褐色至暗灰色板劈理發達的硬頁岩或板岩組成，偶夾有淡灰色至灰黃色薄層中至細粒變質砂岩。本地層由於兩側均為斷層切割，且並未完全出露，可見的地層厚度約 550 公尺，在本層之板岩中並含有了 *Chiasmolithus solitus* 和 *Reticulotenestra umbilica* 等始新世超微化石（黃廷章，1980）。

#### (二)禮觀層

禮觀層分佈於新關斷層以東至禮觀橋之間，標準剖面出露於禮觀附近之公路沿線及山坡上，主要岩性由中至厚層黃褐色至暗灰色層狀中至細粒變質砂岩組成，偶夾有薄層狀黃褐色中粒砂岩或硬頁岩互層，全層的厚度約在 900 公尺左右。本層中所含的硬頁岩層的厚度在其上部有逐漸發達的趨勢，而漸變為以硬頁岩為主的梅山層。

在禮觀層的底部並夾有一層厚約 3 公尺之含有孔蟲化石礫岩質石灰岩層，為一基底礫岩層，其下伏地層即為以板岩為主的始新世地層（畢祿山層）。

#### (三)梅山層

梅山層分佈於新關斷層以西至梅山村老濃溪左岸，標準出露地點位於梅山村至金溪橋之間，主要由暗灰色至灰黑色頁岩或硬頁岩組成，間夾有 5 公分至 15 公分厚之黃褐色至青灰色中至細粒薄層砂岩互層，全層的厚度約在 2,000 公尺左右。

在本層中所含有的有孔蟲化石包括 *Globigerinoides sicanus*, *G. sribus*, *Praeorbulina transitoria*, *Orbulina universa* 和 *Gaudryina* 等，其地質年代相當於中新世早期至中期（張麗旭，1975）。另根據黃廷章(1980)超微化石研究結果，本層所含的超微化石包括 *Sphenolithus belemnos*, *Helicosphaera ampliaperta* 和 *Discoaster exilis* 等化石帶，其地質年代由 NN3 至 NN7，相當於中新世早期至中期。

另外，基於化石及構造特性的對比，本層在禮觀附近的公路上方及禮觀橋以東至檜谷斷層間之天池一帶的公路附近亦有出露，惟這一帶的岩相已變為硬頁岩質，鮮有砂岩之夾層。

## 二、地質構造

調查區域的地質構造由於組成岩性軟弱，並遭受區域性變質作用和造山運動的影響，而顯得相當複雜。區域內的主要構造為不整合、斷層、和斷層與斷層間的摺皺構造。

### (一)不整合(unconformity)

不整合為沈積作用的間斷，主要原因乃由於地殼變動產生隆起而導致沈積作用的不連續。本調查區域的不整合發生於畢祿山層沈積完成後，至漸新世晚期禮觀層開始沈積時，其間即缺失漸新世早、中期的沈積岩層。主要的證據為化石的間斷或缺失及禮觀層底部基底礫岩層的沈積。然由於此基底礫岩與其下伏的畢祿山層岩層位態均為後期強烈造山運動所摺曲與變質，兩者岩層位態關係難以測定，因此兩者屬假整合(disconformity)或交角不整合(angular unconformity)則難以辨別；惟由此區地質構造和劈理發育情形，可能為一假整合，即發生於此區始新世晚期至漸新世早、中期的隆起，可能只是一大海退現象所形成，並無伴隨強烈的地殼擠壓與岩層摺曲。

### (二)斷層(fault)

當岩層遭受大地應力時即產生變形摺皺與斷裂，若岩層斷裂並伴隨相對的運動即為斷層(fault)；逆斷層即為斷層上盤的岩層往上相對運動或下盤岩層往下相對運動的斷層型式。

本區的斷層型式多屬逆斷層，且斷層兩側岩層的落差均很大，主要的斷層有新關斷層、檜谷斷層和大關山斷層，而在主要斷層附近，次要的斷層亦相當發達，其位態與性質均與主要斷層相似。現將主要斷層分述如次：

### 1. 新關斷層

新關斷層通過於公路 121K 附近，斷層的走向約略呈南北向，斷面傾向東約 60 度，為一逆斷層；斷層上盤的地層屬禮觀層，下盤為梅山層，斷層的落差估計在 1000 公尺以上。斷層的確認可由二側出露的岩層及地形表徵顯現之。

### 2. 檜谷斷層

檜谷斷層通過於天池附近 136K 處，斷層走向約為北 80 度東，斷面傾向南約 60 度，亦為逆斷層；斷層上盤的岩層為始新世畢祿山層天池橋段，下盤為中新世中晚期之梅山層，斷層的落差估計在 2000 公尺以上。斷層通過的地點可由公路沿線出露岩層的差異性和斷層剪力破碎帶確認之。

### 3. 大關山斷層

大關山斷層通過於啞口隧道前 500 公尺處，臨近亦有數條斷層通過，為一斷層帶。斷層的走向約為北 20 度東，斷面傾向東南約 70 度，亦為逆斷層；斷層上盤的岩層為畢祿山層的大關山段，下盤的岩層亦為畢祿山層之常仕橋段，斷層的落差可能在數百公尺以上。斷層的確認可由臨近岩層的破碎剪裂及厚約 8 公尺的斷層泥確認之。

### (三) 摺皺(folds)

當岩層遭受大地應力時，即產生波浪狀的起伏，此即為摺皺或摺曲；其中向上凸起者稱為背斜，向下凹陷者稱為向斜。本區域的摺皺相當發達，且由於岩性的軟弱及遭受強大的造山運動與區域性變質作用，摺皺的型式亦極為複雜。現就以主要斷層為界，將全區域的摺皺構造由西往東分述如次：

#### 1. 新關斷層以西至荖濃溪

出露於本區段的岩層以泥質為主，且岩性軟弱的梅山層，全區的摺皺型式由於遭受強大的大地應力作用，都屬緊密不對稱型摺皺，摺皺的轉向約為北 60 度東，軸面傾向東南約 60-70 度摺皺兩翼地層傾斜多在 45 度以上，且背斜的西翼（或向斜的東翼）地層多已倒轉，此現象在靠近梅山村附近更為顯著。

#### 2. 檜谷斷層以西至新關斷層

出露於本區段的岩層包括畢祿山層、禮觀層和梅山層，摺皺的型式亦屬緊密型摺皺，軸向約為南北至北軸向，軸面傾向東南約 60 度，地層亦顯現倒轉現象，顯示造山運動的猛烈。全區概可謂為一複背斜構造區，摺皺構造的核心出露於禮觀附近，經東西兩翼出露的地層愈來愈年輕。

#### 3. 大關山斷層以西至檜谷斷層

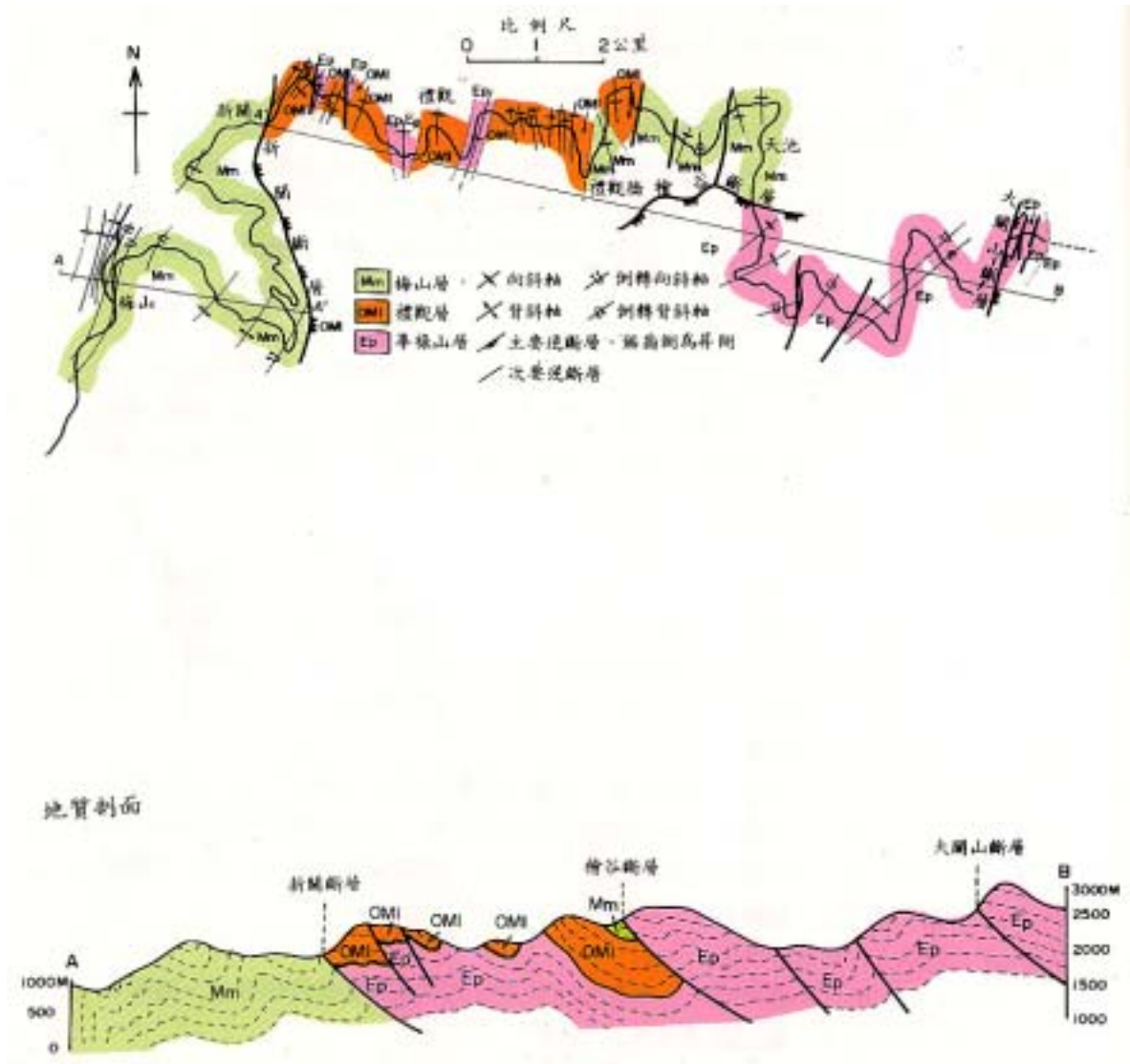
出露於本區段的地層為始新世畢祿山層，摺皺的型式亦屬緊密倒轉型，摺皺軸向約為北 40-60 度東，軸面傾向東南約 50 度。

#### 4. 大關山斷層以東

本區段出露的地層亦為始新世畢祿山層，全區的摺皺型式呈一單斜構造，即全區岩層層面傾向同一方向，本區段岩層即一致傾向東南 30-50 度；在其間並有數個次要逆斷層毗鄰穿過，惟斷層臨近地層的傾斜並無顯著變化，顯示其變形作用是在一較高溫與壓力作用下完成。

圖一 南橫公路梅山 - 啞口沿線地質圖

地質調查：劉憲德





# 伍、邊坡穩定分析理論

---

- 一、山崩類型
- 二、滑動的分類
- 三、邊坡穩定分析方法
- 四、考慮地震因素的邊坡穩定分析方法

邊坡破壞或山崩的類型，根據 VARNES(1978)的方法，是以運動的物質和運動的方式兩項因素做分類的標準，而將各類的山崩，歸類為墜落(Falls)，滑動(Slides)，流動(Flow)與複合運動(Complex)等四大類型，各類型又因被搬運的物質不同而有基岩(Bed rock)，岩屑(Debris)與土(Earth)等的型式，對於墜落與流動，至今尚無一套有效的安定分析方式，因為這類的機轉與作用力相當複雜。至於滑動則有一套發展很久的方式可以加以計算評估。

## 一、山崩類型

(一)山崩定義——組成山坡的岩石、岩屑、土壤等物質沿著坡面向下及向外發生的運動。

(二)影響邊坡穩定的因素：

- 1.自然因素：包括坡度、地質材料（岩性及結構）、地質營力（風化及侵蝕）、雨量（地下水）、地震等因素。
- 2.人爲因素：包括設計、整坡（開挖）、爆破、填方（棄土）、排水、農墾等因素。其中地質材料指岩性：包括岩石的均質度、強度、抗蝕性以及構造：包括層理、片理、節理、斷層等不連續面。而地質營力指重力、河流、地下水、風、潮水、火山、冰川、動物等。

(三)山崩時被搬運物質包括：

- 1.岩石
- 2.岩屑
- 3.土壤
- 4.水
- 5.冰
- 6.混合物質

(四)物質被搬運的方式包括：

- 1.墜落
- 2.翻倒
- 3.滑動（轉動及移動）
- 4.流動（滾動、跳動、懸浮）
- 5.複合運動。

(五)運動速率：依速率快慢可分爲：

- 1.極快（3 公尺／秒）
- 2.很快（0.3 公尺／秒）
- 3.快（1.3 公尺／天）
- 4.中等（1.5 公尺／月）
- 5.慢（1.5 公尺／年）
- 6.很慢（0.06 公尺／年）
- 7.極慢

(六)山崩分類的參數包括：

- 1.運動種類
- 2.運動速率
- 3.運動物質
- 4.山崩原因
- 5.山崩時間

6.地理位置 7.山崩規模 8.山崩坡向 9.山崩風險率 10.幾何形狀

(七)山崩分類

1.風險率分類：

- (1)低風險 (2)低至中度風險 (3)中度風險 (4)中至高度風險  
 (5)高度風險 (6)很高度風險

2.Sharpe 山崩分類表(1938)

表 5-1 塊體運動的分類

運動的性質和速度		冰 川 搬 運	冰雪增加	岩石或土壤	水分增加	河 流 搬 運
流	不易發覺		石冰川 解凍土流 ↓	蠕動(潛移) 岩石潛移 岩錐潛移 土壤潛移	解凍土流  ↓	
動	慢 至 快		冰雪崩 ↓	↓	土流 泥石流 岩屑崩	
滑 動	慢 至 快		崩移 岩屑滑動 岩屑墜落 岩石滑動 岩石墜落	↓		

摘自(何春蓀, 1981)

(八)山崩之幾何分類：

1. 圓弧型：斜坡材料沿一圓弧發生滑動，此種破壞常發生在較為均質之未固結岩層中，例如泥岩、礫積層、岩層堆積層。人為施工不當的填方、土石壩體及採礦廢石堆亦會發生此類山崩。
2. 平面型：斜坡材料沿著一平面發生滑動，此一平面為層面、節理或斷層等不連續面。平面型破壞最常發生於砂頁岩互層之順向坡。
3. 楔型：斜坡材料沿著兩不連續面的交線發生滑動，位移材料成楔形狀。
4. 複合型：包括上述一種類型以上的山崩。

二、滑動的分類

「滑動」根據 VARNES(1978)的分法，以運動型式分為轉動(Rotation)與移動(Translation)。而以物質分，則可分為岩石滑動，岩屑滑動與土塊滑動，這種分類方式，在調查既存的山崩方面，用處很多，分類也非常確實，但在做安定分析或評估方面，則有些不便，因此在分析方面較常使用的方法是以滑動面或滑動塊體的幾何形來分，因此可分為：

- (一)平面型破壞：滑動面為單一的平直面。
- (二)楔型破壞：滑動體是由兩個滑動平面形的楔形體，這種滑動及因實際滑動是沿兩個或一個平面而細分為：

1. 楔形滑動：楔形體順兩平面滑動。
2. 塊體滑動：模形體僅順一個平面滑動。

### 三、邊坡穩定分析方法

邊坡穩定方法，大體上可以分爲兩大類型，即

(一)極限平衡法(Limit Equilibrium)：利用各種幾何與力學方法，計算邊坡達到臨界破壞時，具有的抗阻力與驅動力，再求兩者之比爲安全係數，而以安全係數的大小爲評估安定與否的標準。

1. 力矩平衡法：圓弧破壞的分析方法，有較理想的化的力矩平衡法，把破壞土體視爲均質，而破壞弧線爲圓弧或對數螺線形，以計算安全係數。
2. 切片法：由於力矩平衡法太過於理想化，所以改用較接近實際狀況的切片法，分析方法是將邊坡切成數個薄片，再一一計算，最後累積其結果，較常使用的切片法包括：

(1)瑞典圓法：瑞典圓法的安全係數 F 可以下式表示：

$$F = \frac{cL + \tan \phi \sum (W_i \cos \theta_i - U_i \Delta l_i)}{\sum W_i \sin \theta_i}$$

(2)簡化 BISHOP 法：簡化 BISHOP 法求得之安全係數 F 可以下式表示：

$$F = \frac{\sum [cL \Delta x_i + (W_i - U_i \Delta x_i) \tan \theta_i]}{\sum W_i \sin \theta_i} \left[ \frac{1}{M_i(\theta)} \right]$$

$$M_i(\theta) = \cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \theta_i \tan \theta}{F} \right)$$

以上兩種方法，以瑞典圓法較簡單，但精確度較低，簡化 BISHOP 法則精確度較高，但因爲等式兩邊都有安全係數，所以要用嘗試改正(Trial & Error)的方法求出。

(二)平面破壞：

平面破壞的分析，首先要求出破壞面的抗剪力  $\tau$

$$\tau = \delta n \tan \phi$$

$$\phi = \text{JRC} \times \log(\text{JCS} / \delta n) + \phi_b$$

JRC：節理粗糙度             $\delta n$ ：正應力

JCS：岩石強度             $\phi_b$ ：基本磨擦角

然後利用  $\tau$  計算出抗剪力(R)與剪力(S)

$$\text{抗剪力 } R = A \cdot v_n \cdot \tan \phi \quad A = \text{滑動面積}$$

$$\text{剪 力 } S = W \cdot \sin \alpha \quad W = \text{滑動體積}$$

$$\text{再由抗剪力與剪力求出安全係數 } FS, FS = \frac{R}{S}$$

$\alpha$ ：滑動面傾角

(三)楔形破壞：

楔形破壞的分析與平面破壞方式相似，先求滑動之稜長，面積與體積(V)。

$$Aa = \frac{1}{2} \times l_1 \times l_5 \times \sin \theta_{15}$$

$$Ab = \frac{1}{2} \times l_2 \times l_5 \times \sin \theta_{25}$$

$$V = \frac{1}{6} \times l_3 \times l_4 \times l_5 \times K$$

$$K = (1 - \cos^2 \theta_{45} - \cos^2 \theta_{35} - \cos^2 \theta_{34} + 2 \cos \theta_{34} \cos \theta_{45} \cos \theta_{35})$$

$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5$  為楔形體的稜長線， $\theta_{45}, \theta_{25}, \theta_{34}$  為稜線間的夾角。再由以上的數據用類似平面破壞分析法的方式，求出各面之正應力  $n_a, n_b$  與基本摩擦角  $\phi_a, \phi_b$ ，然後求出各平面之抗剪力 RA 與 RB

$$RA = n_a \tan \phi_a \quad RB = n_b \tan \phi_b$$

$$\text{抗剪力 } R = RA + RB \quad \text{剪力 } S = W \sin \alpha_5$$

$$FS = \frac{R}{S} \quad \alpha_5 : l_5 \text{ 的傾角}$$

平面破壞與楔形破壞除了以上的方法計算外，還可以使用向量分析以及立體投影圖的方法求出。

#### 四、考慮地震因素的邊坡穩定分析

考慮地震因素的邊坡穩定分析法，通常有兩種分析法，即

- (一)類靜分析法(Pseudo Static Analysis)：就是將地震加速度換算成作用力，作用在分析之滑動體上，再分析其安定度，至於加速度值如何決定，以及作用力的方向，則需視需要與統計資料決定。
- (二)相對位移法(Relative Displacement Analysis)：由於類靜力分析法是將加速度視為一恆久的作用力，因此與地震的實際狀況不符，太過於趨向保守，而相對位移的方法，則由地震之震動加速度情形，與滑動體的抗震係數加以比較，將速度大於抗震係數的部份做兩次積分，求出位移量，再將所有位移量累積總位移量，然後以此位移量與滑動體能承受的變形量相比較，做為評估穩定性的參考。

# 陸、崩塌地現況

---

- 一、邊坡幾種破壞的型式
- 二、崩塌地現況調查
- 三、崩塌地崩塌因素之探討
- 四、現階段崩塌地與以往崩塌地之對照表
- 五、部份崩塌地之剖面分析
- 六、崩塌地處理方法之概述

本次調查之前有關南橫公路梅山至啞口沿線崩場地概況情形已載入“關山地區地質調查暨解說規劃調查書”之中，並且詳列出崩場地沿線位置及規模表，可參照該表使用。

## 一、邊坡幾種破壞的型式

南橫公路沿線邊坡破壞型式有：

### 1.岩塊掉落(Rock or debris fall)

這是一種本區最常見的崩塌型式，是由於鬆動的岩塊因日久其支撐點受到風化作用或外來震動的破壞而產生岩塊直接的跳落或掉落，岩塊的大小可由小至幾公分至2或3公尺直徑的大塊岩石，對沿線來往的人車安全構成極大的威脅，因為此種崩塌型式往往是在沒有預先警告的方式下發生的，甚難事先防範。消極的方式則是在可能落石的崩場地點豎立警示標號，建議來往的人車能事先注意再行通過，而天氣不佳時，如附雨量特多的情形下應儘量避免行駛來往於沿線，以策安全。

### 2.土石崩落(Slump)

這是表土風化層中相當容易發生的一種土壤及岩塊等大小不一的物質，因荷重之故而自由傾倒滾落的一種崩塌破壞。

### 3.圓弧型滑動(Circular failure)

此類型式發生在軟弱的岩層或土壤之中，因為其幾何形狀成一圓弧形，故以為名。本區之中此種型式的崩塌只在梅山層、禮觀層及畢祿山層板岩出露區域之中可看到，另外在林務局天池工作站的天池地區亦屬於此種型式的滑動地帶。

### 4.平面滑動(Planar sliding)

此種形式發生在軟弱的岩層中或是具有明顯的不連續面的岩體之中。在本區之中，平面滑動的型式較少，只有少數幾個地區的崩塌是屬於此類型態。

### 5.楔形滑動(Wedge failure)

二組相交的不連續面即可造成此種崩塌型式，如果其二平面的相交線之傾沒角(Plunge)方向斜坡方向一致，並且傾沒角度大過摩擦角(friction angle)就會發生滑動。本區之中，楔形滑動很少單獨構成一崩場地，均是與其他幾種型式複合在一起發生的。

### 6.複合式破壞(Compound failure)

在岩塊極端破碎或是不連續面發達的地點，此種破壞型式較多。它可由岩塊掉

落，圓弧型破壞、平面滑動、楔形滑動等共同組合而成。由於中央山脈核心地帶構造發達，岩層破碎，所以複合式破壞是較為少見的破壞型式之一。

造成邊坡破壞的原因很多，有：

- 1.地形因素，如坡角過高。
- 2.岩性如岩石的軟硬程度。
- 3.地質構造，如不連續面的情形。
- 4.氣候及地下水，如降雨量等。

本文以下將就所有沿線崩塌的分布、岩層、地質構造及崩塌地的破壞型式、以及破壞的原因列表討論。(P.42~P.60)

## 二、崩塌地現況調查

由崩塌地現況調查表可知，南橫公路沿線大部份崩塌型式以岩塊掉落為主要，其他則為圓弧型滑動及平面滑動等，邊坡破壞分類統計表如下：

表 6-1 邊坡破壞分類統計表

分	類	數量	比例(%)
岩	塊	26	35.1
圓	弧	11	14.9
平	面	2	2.7
土	石	7	9.5
楔	型	0	0
岩	塊	0	0
複 合 式	岩塊掉落+平面滑動	5	6.8
	岩塊掉落+圓弧型滑動	9	12.1
	楔型滑動+岩塊掉落	3	4.1
	土石崩落+圓弧型滑動	1	1.3
	平面滑動+土石崩落	2	2.7
	岩塊掉落+土石崩落	2	2.7
	岩塊翻倒+岩塊掉落	4	5.4
	其他(三種型式以上之組合)	2	2.7
合	計	74	100%

由此表可看出以岩塊掉落為最多，圓弧型滑動次之，岩塊掉落及圓弧型滑動二者之複合型佔三位，合計佔總數之 62.1%。

## 三、崩塌地崩塌因素之探討

由以上崩塌現況調查可知崩塌因素大致有以下數種：

- 1.岩層岩性
- 2.地質構造：如不連續面、褶皺、斷層現象等。
- 3.護坡植生缺乏
- 4.岩坡坡角過大
- 5.表土風化作用
- 6.公路開挖方式
- 7.氣候，如降雨量、氣溫等。
- 8.地下水
- 9.護坡整治工程的闕如。
- 10.人為開挖反導致崩塌。

以下就對每一崩塌因素加以討論：



■表 6-2 崩場地現況調查表

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
1	梅山村口 橋頭	梅山層 頁岩夾 薄層砂 岩（ 20 cm 厚）	層位： N21° SE,dip51° SE 節理： ① N12° E,dip38° NW ② N24° W,dip85° NE ③ N10° W,dip80° NE ④ N50° E,dip64° NW 倒轉向斜及背斜軸通過	岩塊掉落	80	150	70°	在崩塌地點，因岩層為頁岩層，岩性軟弱，加以又有小斷層及小褶皺的共生，使得岩體破碎，同時邊坡角度過大，又無植生，也沒有任何整治工程，是以落石不斷，如遇大雨則落石更多。（照片 6-1，剖面圖 6-1）
2	110.4K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N28° E,dip68° NW ② N56° E,dip50° SE 劈理： N40° E,dip62° SE	岩塊掉落	20	23	62°	岩層為黑色頁岩，本身岩性軟弱破碎，加以岩坡植生不佳，落石容易。
3	110.6K	梅山層 硬頁岩 夾薄層 砂岩（ 40 cm 厚）	節理： ① N22° W,dip90° ② N6° W,dip40° W ③ N26° W,dip68° NE 劈理： N8° W,dip70° NE	楔形滑落及岩 塊掉落	18	22	72°	本破壞為複合式破壞，一為受節理及岩性控制之岩塊掉落，一為沿劈理面之滑落而植生不佳，無法有效保護坡面（照片 6-2）

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
4	111.0K	梅山層 硬頁岩	劈理： N44° E,dip40° SE 節理： N4° W,dip52° W 與 N18° W dip52° NE 共軛	岩塊掉落	16	15	56°	岩體受節理及劈理之切過，而產生破碎岩塊，其岩坡植生不佳，無法有效保護坡面。(照片 6-2)
5	111.1K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N25° W,dip72° SW ② N48° E,dip14° SE 倒轉背斜軸通過	岩塊掉落	16	15	56°	植生不佳，岩性軟弱，劈理、節理穿過岩體使其破碎而易落石。
6	111.3K	梅山層 硬頁岩	倒轉背斜的東翼	岩塊掉落	10	18	66°	植生不佳，岩性軟弱，岩體被不連續面穿過造成破碎狀況，而易落石。
7	111.4K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N26° E,dip70° SE ② N20° W,dip42° SW ③ N84° E,dip60° NW ④ N40° E,dip60° NW	岩塊掉落及平面 N26° E,dip70° SE 滑動	30	93	70°	受節理影響，有部份岩體沿 N26° E, dip70° SE 滑動，形成平面型滑落，其他則因植生不佳，節理造成岩體破碎是以落石。
8	111.9K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N54° E,dip64° NW ② N62° E,dip40° NW ③ N62° E,dip29° SE 劈理：					

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
			N8° E,dip35° SE 小斷層的西側	岩塊掉落	7	50	58°	因硬頁岩岩性較軟，又被節理穿過造成破碎狀況，而易產生落石。
9	112.2K	梅山層 硬頁岩	節理： ① NS,dip90° ② N70° W,dip64° NE ③ EW,dip81° N 小斷層的東側	圓弧型滑落及 土石崩落	10	30	70°	植生不佳及風化表土層暴露，邊坡無整治。(照片 6-3,6-4)
10	112.4K	梅山層 硬頁岩		平面滑動及土 石崩落	8	35	60°	表土層風化暴露，植生不佳，風化層底部為一平面而沿平面滑動。
11	112.5K	梅山層 硬頁岩	向斜的西翼	圓弧型滑動	15	65	60°	表土層風化的崩落，表土植生之根部無法固定土壤及岩塊，並且隨之滑落。(照片 6-5)
12	113.2K	梅山層 硬頁岩	背斜軸的東側	土石崩落	40	20	30°	表土風化層的崩落。
13	113.65K	梅山層 硬頁岩	節理發達，以 N74° E,dip43° NW 為 主並且其頂部具有古 代溪床之礫石層	岩塊掉落及土 石崩落	25	50	80°	因人為開挖坡腳、整建水溝，適逢雨季，引起硬頁岩表土風化層的滑落和傾倒。
14	113.9K	梅山層 硬頁岩	倒轉向斜的西翼	岩塊掉落	20	42	84°	植生缺乏，岩坡過於陡直裸露，加以節理切過，使岩體破碎，因此落石容易。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
15	114.02K	梅山層 硬頁岩	劈理： N32° E,dip30° SE 節理： N30° W,dip90° 倒轉向斜軸的通過	土石崩落及平面滑動	60	40	45°	表土風化層的崩落，崩落的方向受到節理面或劈理面的控制，崩落的因素可能來自表土層暴露在外，地下水的滲入，使得因風化作用或落雨的緣故，表土層沿著不連續面因本身荷重以及坡腳沒有支撐點而滾轉傾倒滑落（照片 6-8）
16	114.4K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N53° W,dip90° ② N67° W,dip50° SW ③ N27° W,dip70° SW 劈理： ① N41° E,dip9° SE ② N16° E,dip38° SE	岩塊掉落	40	90	78°	受節理控制，節理面上有方解石脈，因此如遇雨時會使得 CaCO ₃ 溶解而造成岩塊鬆動，加上雨水本身可增加岩塊之荷重，岩坡又非常陡直，產生岩塊掉落。（照片 6-9）
17	117K	梅山層 硬頁岩	劈理： N20° E,dip30° SE 節理： ① N2° W,dip62° W ② N70° W,dip60° SW	圓弧型滑動	10	48	68°	表土風化層的移動。
18	117.6K	梅山層 硬頁岩		岩塊掉落	10	42	80°	表土風化層的移動。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
19	118K	梅山層 硬頁岩	劈理： N4° E,dip78° E 節理： ① N17° E,dip80° SE ② N30° W,dip26° SW ③ N15° E,dip38° SE ④ N5° W,dip47° E ⑤ N30° W,dip42° SW ⑥ N46° W,dip85° NE	岩塊掉落及土石崩落	55	70	76°	表土風化層的移動因植生缺乏，使得表土層直接暴露在地表侵蝕作用之下，岩體頂部的碎塊直接滾落岩坡之上，造成落石。(照片 6-10，剖面圖 6-2)
20	118.6K	梅山層 硬頁岩	劈理： N6° W,dip58° E 節理： N34° E,dip60° SE 層位： N3° E,dip24° W	土石崩落	15	30	50°	表土風化層的移動，植生缺乏。(照片 6-11)
21	118.7K	梅山層 硬頁岩	節理及劈理發達	岩塊掉落及平面滑動	20	100	52°	表土植生無法固定岩土及硬頁岩本身太過破碎疏鬆之故。(照片 6-12)
22	119.3K	梅山層 硬頁岩	層位： N3° E,dip24° W 節理： ① N53° W,dip90° ② N67° E,dip50° SW ③ N27° E,dip70° SW 背斜的東南翼	岩塊掉落	25	180	64°	因硬頁岩本身非常破碎，形成鉛筆狀構造，使得岩體破碎屑狀而剝落下來。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
22	119.3K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N46° W,dip74° SW ② N21° E,dip90° ③ N80° E,dip86° SE 背斜的東南翼	岩塊掉落	25	180	64°	因硬頁岩本身非常破碎，形成鉛筆狀構造，使得岩體破碎屑狀而剝落下來。
23	119.9K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N22° E,dip76° NW ② N66° E,dip50° SE 劈理： N5° E,dip29° E 背斜軸通過	岩塊掉落及圓 弧型滑動	40	50	70°	硬頁岩本身破碎，加上節理、劈理之穿過，以及表土植生缺乏，岩坡角度較大，超過安定角。
24	120K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N4° E,dip74° W ② N76° E,dip68° NW ③ N42° E,dip76° NW 劈理： N50° E,dip12° SE 背斜的東北翼	圓弧型滑動	12	55	72°	硬頁岩破碎，加上節理、劈理穿過，坡角近於陡直。
25	120.4K	梅山層 硬頁岩		圓弧型滑動	15	35	70°	表土風化層崩塌。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
26	119.3K	梅山層 硬頁岩	層位： N25° W,dip35° NE	圓弧型滑動	35	26	60°	硬頁岩破碎，表土植生不深，邊坡角大，無法形成一堅實之坡面。
27	119.9K	禮觀層 頁岩、 砂岩	新關斷層帶通過地點 的附近	岩塊掉落	150	100	60°	缺乏植生之固定，同時岩體破碎成塊狀碎屑，散布在邊坡表面之上。(剖面圖6-3)
28	122.1K  122.2K  122.3K  122.4K	禮觀層 頁岩、 砂岩	節理： ①N74° W,dip62° NE ②N28° E,dip35° NW ③N57° E,dip68° NW ④N68° W,dip8° NE ⑤N72° E,dip80° NW ⑥N85° E,dip50° N ⑦N26° E,dip70° SE ⑧N74° E,dip51° NW ⑨N72° W,dip90° ⑩N14° E,dip20° SE ⑪N8° E,dip7° E ⑫N67° E,dip42° NW ⑬N26° E,dip70° SE ⑭N45° W,dip16° SW ⑮N50° E,dip74° SE ⑯N30° W,dip60° SW 背斜、向斜及倒轉向 斜通過地帶	岩塊掉落	30	10 至 20	70°	因頁岩及砂岩受到節理的切割，已成塊狀，邊坡角度又約為 70 度，十分陡立，表面植生或不易或根部無法固結土塊因此形成岩塊掉落之現象。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
			⑭N45° W,dip16° SW ⑮N50° E,dip74° SE ⑯N30° W,dip60° SW 背斜、向斜及倒轉向斜通過地帶					
29	122.7K	禮觀層 頁岩、 砂岩	節理： ① N37° E,dip25° SE ② N50° E,dip24° SE ③ N55° W,dip82° NE ④ N47° W,dip78° SW ⑤ N23° E,dip35° SE 劈理： ① N38° W,dip58° SE ② N52° W,dip66° NE 畢祿山層板岩及禮觀層的地層交界	岩塊掉落	50	80	85°	解理切割岩體使成塊狀，坡頂有部份植生情形，掉落之岩塊可能即由該部份產生，因為坡頂植生風化情形較為強烈，岩塊易於鬆動。
30	122.75K	禮觀層 頁岩、 砂岩	劈理： N28° E,dip55° SE	岩塊及土石掉落、平面滑動	15	10	60°	沿劈理面，風化表土層滑落（照片 6-14）



編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
31	122.98K	禮觀層 頁岩、 砂岩	節理： ① N17° E,dip72° SE ② N62° E,dip30° NE 劈理： N47° W,dip42° SE 倒轉背斜軸通過	土石崩落	10	15	50°	表土風化層的移動。
32	124.5K	畢祿山 層板岩	節理： ① N17° W,dip34° SW ② N17° W,dip82° NE ③ N22° W,dip82° SW ④ N36° W,dip90° ⑤ N75° W,dip62° SW 劈理： N12° E,dip68° SE 背斜的東翼	岩塊掉落	35	57	80°	節理貫穿板岩層，板岩本身具有板狀劈理，加以植生情形不佳，無法保護坡面。
33	124.8K	禮觀層 砂岩	層位： N10° E,dip14° SE 節理： ① N12° E,dip22° SE ② N60° W,dip90° 或 70° NE	岩塊掉落	80	250	80°	岩坡表面缺少植生，無法保護坡面，坡頂植生較多，但也可能是風化層較厚的地點，岩塊可能在此產生鬆動情形而掉落。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
34	125.5K	禮觀層 頁岩、 砂岩	層面： N76° E,dip45° NW	地基沈陷（圓 弧型滑動）	向公路 底下延 伸 5m	1.5	70°	地表流水沖蝕，帶走土壤中部份細質顆 粒如黏土，使土壤疏鬆而無法承受荷 重，產生崩陷。（照片 6-15）
35	125.9K	禮觀層 砂頁岩 及畢祿 山層板 岩	層位： N24° E,dip60° SE 節理： ① N22° E,dip80° NW ② N49° E,dip49° NW ③ N60° W,dip80° NE 禮觀層及畢祿山層地 界在此通過	楔形滑動及岩 塊掉落	13	24	80°	為地表溪水沖蝕溝，且水量巨大，加以 地質上有斷層及背斜軸通過地帶，是以 岩體原本破碎而被溪水沖刷至路面之 上。（照片 6-16）
36	125.95K	畢祿山 層板岩	劈理： NS,dip29° E 背斜軸通過	岩塊掉落及圓 弧型滑動	60	60	68°	因板岩層原本即具有板狀劈理，使得岩 體破碎，植生不易，如坡角過大，則落 石受風化營力如水等作用而下滑掉落 ，形成碎石坡。（照片 6-17）
37	126.45K	畢祿山 層板岩	板狀劈理及小斷層背 斜軸通過 節理： ① N68° W,dip18° NE ② N28° E,dip52° NW 劈理： N16° E,dip31° SE	岩塊掉落及圓 弧型滑動	45 向公路 底下延 伸 50m	100	71°	因板岩層具有板狀劈理，又有小斷層切 過，造成斷層泥，使得坡面破碎異常， 同時坡角度過大，植生不良，完全裸露 在風化營力之下，崩塌情形將視降雨量 而定，降雨量多則易崩塌。由於崩塌緣

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
			劈理： N16° ,dip31° SE					故，坡面有向內移之趨勢，路面也因而寬度減少。由於坡角過大，有些部份近乎垂直，原因來自圓弧型滑動後，加以清理，形成坡角的過大現況，因之平時亦常有岩塊掉落的情形。(照片 6-18，部面圖 6-4)
38	126.55K	畢祿山層板岩	板狀劈理	岩塊掉落及圓弧型滑動	15	55	78°	板岩層板狀劈理發達使岩體破碎，表土風化作用使岩體更形鬆軟，表面植生已因開挖而全部剷除，新鮮裸露面無法產生植生，產生岩塊掉落及表土風化層的移動。
39	126.6K	畢祿山層板岩	板狀劈理	圓弧型滑動	15	15	64°	表土風化層的移動，岩坡表面缺乏植生，以及板狀劈理使得岩層破碎所致。
40	128K	禮觀層砂岩夾薄層頁岩	地層層面豎立成近垂直狀況， N9° W,dip77° SW 節理： ① N10° W,dip75° NE ② N43° W,dip40° SW	岩塊掉落	50	100	80°	因地層層面近垂直位態，並且岩坡高聳50公尺，坡角近乎垂直，且表面植生不佳，層面為薄層頁岩，本身膠結強度不足，因此岩體容易因荷重而產生損壞，風化營力也會加劇損壞情形，同時節理的生成也切割岩體使成塊狀。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
			① N5° E,dip78° SE ② N5° W,dip60° NE 背斜軸通過					如果支撐點破壞則岩塊掉滑落，地下水的出現也使岩體受到溶蝕的損壞情形，破壞岩體的支撐力。(照片 6-19)
41	128.1K	禮觀層 砂岩	同上 背斜的東翼	岩塊掉落	55	62	72°	坡角過大，岩層位態近於垂直情況，節理切割岩體使成塊狀，風化營力使得損壞情形加大。
42	128.8K	禮觀層 砂岩	舊崩場地	岩塊掉落及碎石坡（土石崩落）	30	500	30° ~60°	可能形成原因與 128K 者相同，唯已遭到損壞狀況，形成含巨量砂岩塊之碎石坡。(剖面圖 6-5)
43	130.4K	禮觀層 砂岩	背斜軸的西側	岩塊掉落及表土風化層的移動	16	42	80°	表土風化層的移動，因植生根部無法固定表土，且坡角過大，下方並無支撐點，無法阻止表土的下滑，另外節理穿過岩體，並且有稍許之位移情形，使岩體損壞而又無植生之保護，加以有少許地下水流過，岩坡角度近乎垂直，而其頂部節理較密，風化程度較高，使得岩塊容易掉落。(照片 6-20)
44	130.8K	禮觀層 砂岩		土石崩落	10	15	60°	表土風化層的崩落。(照片 6-21)
45	131.1K	梅山層 硬頁岩		土石崩落	6	20	60°	表土風化層的崩落。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
46	131.9K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N9° E,dip58° SE ② N54° E,dip40° NW ③ N40° W,dip73° SW ④ NS,dip48° E	岩塊掉落	35	65	70°	岩坡過陡，岩性容易破碎，表坡植生無法固結岩塊而產生掉落。(照片 6-22)
47	133.2K	梅山層 硬頁岩	節理： ① N54° W,dip82° NE ② N34° E,dip90° 劈理： WE,dip10° S 小斷層通過	岩塊掉落及楔形滑動	30	56	54°	二組節理控制及滑動方向為向北偏東20度，岩性為硬頁岩，本身很容易破碎，形成岩塊掉落，公路開挖的結果使得崩塌情況不時因坡濺缺乏支撐，而向下滑落。(照片 6-23)
48	134K	梅山層 硬頁岩	劈理： N16° E,dip32° SE 節理： ① N80° W,dip75° NE ② N20° E,dip23° SE ③ N8° W,dip57° NE 背斜的東翼	岩塊掉落及平面滑動	25	47	80°	節理切割岩體使之破碎，加以坡度過大而產生岩塊掉落，同時因層面明顯，部份岩塊沿層面滑落。(照片 6-24)
49	134.1K	梅山層 硬頁岩	節理： ① NS,dip56° E ② N40° W,dip90°	岩塊掉落	28	100	75°	因岩壁近乎垂直，且其上植生稀少，加以節理貫穿其中，岩性又為硬頁岩，很易破碎，受風化營力之影響。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
			ⓐ N35° W,dip90° 或 70° E 劈理： N14° E,dip68° SE					因此落石不時發生，如遇大雨則有時產生土石崩落情形。(照片 6-25)
50	134.7K	畢祿山層板岩及梅山層硬頁岩	崩積層	圓弧型滑動	12	90	50°	為一舊有之崩場地，因公路沿著其邊緣穿過，而產生邊坡之表土風化層的移動。(照片 6-26)
51	134.8K	畢祿山層板岩及梅山層硬頁岩	板狀劈理	岩塊掉落及圓弧型滑動	8	80	38°	為舊有之表土風化層及崩場地，板岩層中仍可看出部份板狀劈理的情形，在現場可看到較大塊之岩塊，有直徑約 1m 以上者，因此必定有節理組貫穿岩層，也是崩塌的控制因素之一。由於岩塊直徑較大，邊坡植生為草本植物，岩坡坡角傾斜至 50 度，所以岩塊掉落情形時有發生，而表土風化層受到公路穿過，使舊有崩場地移動，形成圓弧型滑動。(剖面圖 6-6)
52	136.45K	畢祿山層板岩及砂岩	層面： N58° E,dip16° NW 與 劈理同，板狀劈理	土石崩落	25	35	72°	板狀劈理使得板岩呈現破碎狀況，表土風化強烈，受流水沖刷後，表土風化層移動所致。(剖面圖 6-7)

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
53	136.9K	畢祿山 層板岩	板狀劈理	岩塊掉落及圓 弧型滑動	20	53	60°	表土風化層之移動及板岩的破碎狀況， 其植生無法固定表坡，公路開挖使其坡 角過大，缺少支撐點。
54	137.2K	畢祿山 層板岩	板狀劈理 背斜軸的東翼	岩塊掉落及圓 弧型滑動	18	120	50°	表土風化層之移動及板岩的破碎狀況， 其上植生無法固定坡表，公路開挖使其 坡角超過安定角，缺少支撐點。
55	138.5K	畢祿山 層板岩 砂岩	劈理： ① N56° E,dip63° SE ② N35° E,dip66° SE 節理： ① N58° E,dip74° NE ② N26° E,dip90° ③ N56° E,dip40° NW 小斷層通過附近	岩塊掉落	25	55	76°	岩坡過陡，植生不足，板岩岩性破碎。 (照片 6-27, 6-28)
56	139.4K	畢祿山 層	節理： ① N10° W,dip40° E ② N40° W,dip76° SW ③ N57° W,dip90° ④ N18° W,dip70° NE ⑤ N40° W,dip82° NE ⑥ N20° W,dip59° SW	岩塊掉落	40	150	50° ~70°	節理組切割岩體，且節理面傾斜角有近 乎垂直或已垂直者。

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
57	140.1K	畢祿山層板岩、板岩	板狀劈理	平面滑動	30	48	67°	沿著板岩之劈理面滑落。
58	140.5K	畢祿山層板岩、砂岩及凝灰岩等	斷層帶通過 劈理 ① N55° E,dip62° SE ② N45° E,dip32° SE	平面滑動及岩塊翻倒、岩塊掉落	650	150	50° ~80°	在斷層帶作用地點，砂岩呈現節理切割非常破碎狀況，板岩沿劈理面形成一滑動面，砂岩等在此與板岩相接，斷層泥發育在此界限上，約厚 1~2m，溪水由山坡上約 200 公尺高處流下，水量巨大，沖刷地基。山坡之東側砂岩、凝灰岩、隧石等形成之岩體破碎，並且坡角有近乎垂直者，為岩塊翻倒掉落之地點。西側板岩之劈理面為平面滑動之一面。 (照片 6~29,6~30,剖面圖 6~8)
59	141.05K	畢祿山層及綠色岩及少量大理石	節理： ① N57° W,dip90° ② N58° E,dip80° SE ③ N80° E,dip35° SE ④ N16° W,dip66° SW ⑤ N66° W,dip60° NE ⑥ N30° E,dip68° NW ⑦ N14° E,dip76° NW 背斜的東翼	岩塊掉落及岩塊翻倒	30	80	75°	① 受節理控制，岩塊破裂翻倒或掉落均沿節理面裂開。 ② 岩體含有許多方解石脈，遇雨水則易溶解，因此岩體因而鬆動，缺乏固結力，岩坡近於垂直，缺乏支撐。(照片 6~31)



編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
60	141.06K	畢祿山層板岩、板岩	板狀劈理	岩塊掉落	25	82	54°	板岩破碎。
61	141.2K	畢祿山層綠色岩	節理發達	岩塊掉落及岩塊翻倒	28	90	52°	同 No.59
62	141.3K	畢祿山層板岩、砂岩	層位： N14° E,dip49° SE 板狀劈理	岩塊掉落	15	38	70°	靠近小斷層地點，受到構造作用，岩體破碎，且有部份形成碎屑狀如斷層泥。
63	141.5K	畢祿山層板岩、砂岩、頁岩互層	節理： ① N45° E,dip64° NW ② N30° W,dip84° NE 劈理： N58° E,dip20° SE	圓弧型滑動	20	25	66°	表土風化層之移動。(照片 6-32)
64	141.8K	畢祿山層板岩	板狀節理： ① N55° E,dip29° SE ② N86° W,dip42° S	岩塊掉落	50	55	68°	板岩破碎
65	141.9K	畢祿山層	板狀劈理： N69° E,dip40° SE	岩塊掉落	10	25	50°	板岩破碎

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
66	142.0K	畢祿山 層板岩	層位： N38° W,dip44° SE 節理： ① N30° W,dip68° NE ② N60° E,dip64° SE ③ N42° E,dip70° SE ④ N73° E,dip44° NW ⑤ N88° W,dip60° SW ⑥ N52° W,dip68° SE 背斜的南翼	岩塊掉落及平 面滑動	15	26	78°	受多組節理組之穿過影響，岩體破碎。
67	142.3K	畢祿山 層綠色 岩	節理： N28° W,dip66° NE 劈理： N55° E,dip35° SE 背斜軸通過	岩塊掉落及岩 塊翻倒	40	150	40° ~70°	同 No.59。(照片 6-33)
68	143K	畢祿山 層板岩 夾石英 脈	節理： N66° W,dip60° NE 劈理： N20° E,dip40° SE	圓弧型滑動及 岩塊掉落	40	40	60°	板狀劈理，及表土風化層之移動

編號	位置	岩層	地質構造	破壞型式	破壞規模			破壞原因
					坡高(m)	坡寬(m)	殘留坡角	
69	143.2K	畢祿山層板岩	板狀劈理，向斜的西翼	岩塊掉落	40	64	54°	板狀劈理
70	144.2K	畢祿山層板岩	板狀劈理，背斜的西翼	平面滑動	30	60	45° ~60°	板岩劈理面之傾斜角過大，使劈理面成爲滑動面。(照片 6-34)
71	144.4K	畢祿山層板岩	板狀劈理	圓弧型滑動	20	20	60°	表土風化層之移動
72	145.1K	畢祿山層板岩	板狀劈理，小斷層通過	圓弧型滑動	15	30	45°	表土風化層之移動
73	145.2K~ 146.5K	畢祿山層砂岩、板岩	節理發達，大關山斷層及許多小斷層穿過	岩塊掉落、岩塊翻倒	100	1.3Km	70° ~90°	節理及斷層切割岩體使之破碎異常，岩坡表面沒有任何植生或護坡設施可憑以保護坡面，阻止岩塊掉落。(照片 6-35，剖面圖 6-9)
74	147K 及其附近	畢祿山層千枚岩及砂岩	節理發達、斷層及千枚岩之葉理，舊有崩積層等	圓弧型滑動、岩塊掉落、平面滑動	50-100	10-100	40° ~80°	1.表土風化層之移動 2.千枚岩葉理爲主要滑動面。 3.砂岩受節理切割而破碎。 4.岩坡缺少保護等。 (照片 6-36，6-37，6-38)

#### 4. 岩層岩性：

本區岩層共計三層。一為梅山層，主要係由灰色至灰黑色頁岩或硬頁岩之岩層所組成，間夾有 5 公分至 15 公分厚之黃褐色至青灰色中至細粒薄層砂岩互層。分布地點為梅山至天池附近。二為禮觀層，主要係由中至厚層黃褐色至暗灰色層狀中至細粒變質砂岩組成，偶夾有薄層狀黃褐色中粒砂岩或硬頁岩、頁岩互層。分布地點為 121.5K 新關附近至 131K 附近為止。三為畢祿山層，主要係由板岩、千枚岩、變質石英砂岩、變質凝灰質岩綠色岩等為主，由天池至啞口皆是此岩層分布地點。

梅山層因為硬頁岩或頁岩，其岩性強度依史密特槌測試 R 值一般為 15 至 25 之間，所以其單軸壓縮強度  $\delta c$  約為 180 至 300kg/cm² 之間，屬於用普通鐵槌可以輕易敲破的岩性亦即為 R1 或 R2 級之岩性（見表 8-4）。所以在梅山層分布的地點由梅山至天池這一段之中，可以看到硬頁岩或頁岩的岩性及其岩性強度是主宰崩塌的一個主要因素。

禮觀層主要岩性為砂岩，其岩性強度依史密特槌測試結果 R 值在 30 至 40 之間，所以其單軸壓縮強度  $\delta c$  約為 350 至 520kg/cm² 之間，岩力強度屬於 R2 或 R3 級之岩性。在禮觀層分布的地點如 121.5K 至 131K 附近為止，因岩性強度不足而導致崩塌的情形如同梅山層硬頁岩者就較為少見，尚須參考其他因素來加以決定。

畢祿山層主要岩性以板岩、變質砂岩及綠色岩為主，其岩性強度經史密特槌測試結果，板岩 R 值一般約為 20 至 30 之間，即單軸壓縮強度  $\delta c$  約為 230 至 350kg/cm² 間，為 R1 或 R2 級之岩性，變質砂岩之 R 值一般均超過 40 以上， $\delta c$  約為 530kg/cm² 以上，是以為 R3 或 R4 級之強度岩石，綠色岩之 R 值在 30 以上， $\delta c$  約為 350kg/cm²，為 R2 或 R3 級之中弱或中強之岩性。因此在畢祿山層分布的地點，由天池至啞口之間，板岩、變質砂岩、綠色岩與其他的崩塌因素合在一起，各自形成崩塌的特徵尤其變質砂岩分布的地點、岩坡陡直，岩塊掉落為主要岩坡破壞型式。（參考野外採樣及測試，表一、二、三）

#### 5. 地質構造

由於地調查區位在中央山脈變質岩核心區域，受到變質作用及構造作用影響，公路沿線地質構造發達，不連續面（如節理、劈理）非常眾多，切割岩體使成異常破碎狀況，不連續面的損壞邊坡作用非常明顯，例如在畢祿山層分布的地點，啞口附近岩性非常堅硬，唯不連續面如節理、層面的發育，使得岩體破碎，而因岩坡高聳，引起岩塊掉落。在板岩分布的地點則因板狀劈理之故，許多板岩沿劈理面滑落。綠色岩分布的地區則岩塊的翻倒掉落係受到節理的左右。在禮觀層砂岩分布的地區，節理使砂岩形成塊狀，如果邊坡坡角過大則岩塊掉落，或是超過安全角，則引起平面滑動等。在梅山層分布的地點，不連續面與硬頁岩、頁岩的結合造成許多岩坡的落石及滑動，又因硬頁岩岩性強度強弱，被不連續面切穿過後，即已形成破碎異常情形，如坡角、植生等因素無法配合，崩塌破壞的情形隨處可見。

地質構造除節理、劈理等不連續面外，另有斷層及褶皺二種重要的構造，斷層與褶皺的形成，往往同時造成許多節理與劈理（參考不連續面分析一章）。對斷層及褶皺本身而言，以斷層對本公路沿線直接影響到崩塌之生成，斷層可分為主要

斷層（如逆衝斷層）和次要斷層（如附生之小斷層）。本區之中主要斷層所造成的崩場地最顯著之例即為常仕橋崩場地（照片 6-30），由於斷層作用的擠壓碾碎，使得砂岩、隧石、凝灰岩等都極為破碎，並造成黑色之斷層泥，而其下礮板岩層則為斷層之衝上面，地下水由斷層生成地點湧出，水量巨大，沖刷岩坡，形成規模龐大之崩塌破壞，所以斷層作用所產生的擠壓碾碎情形以及斷層泥、地下水等均會影響到公路邊坡的穩定性。

#### 6. 護坡植生缺乏

南橫公路沿線植生狀況固然普遍，但是在已崩塌公路邊坡上植生情形相當缺乏，在許多地點植生根本無法成活，如啞口附近之岩坡，梅山至禮觀一帶之硬頁岩岩壁等。因此岩坡或岩壁直接受到風化作用如雨水、風力、氣溫等侵蝕變化，時間一久，則崩塌乃是必然的結果。而在其他有些地點雖然具有許多植生，但植生種類為草本植物，根部短淺，不足以深植而起固定表土的作用，是以仍然會產生表土風化層移動，如 113K 附近及天池附近（照片 6-26）。此外，本區許多地區沿線原本均應具有植生情形，可能因為公路開挖結果破壞表土及植生而未與復原，所以許多邊坡上均未見植生狀況，崩塌情形也就此而生。

#### 7. 岩坡坡角過大

岩坡是否產生崩塌與其坡角的大小有相當重要的關係，如果坡角過大而又如南橫公路沿線這種中央山脈的變質岩區，構造複雜，節理發達，岩體破碎，那麼常見崩塌情形是為必然的。通常岩坡坡角應該是 1:1 或 1:1 1/2，也即是由 30 度至 45 度之間為最理想，如果再配合其他因素如節理、地下水等，30 度的坡角仍會有許多工程上的問題需要處理。而在本區公路沿線從已知的調查結果得知，除 113.2K 及啞口附近的一些崩場地，其坡角在 30 度左右而外，其他坡角全部超過 45°，並且有許多為 70 度或 80 度，此種岩坡的產生，固然來自地形因素，但是也來自開挖方式及路線選擇的決定。本區岩坡坡角的統計表如下：

表 6~3 南橫公路梅山至啞口岩坡坡角統計表

岩坡角度	數 量	百分比%
>80°	10	13.5
70° ~80°	21	28.4
60° ~70°	25	33.8
50° ~60°	14	18.9
45° ~50°	3	4.0
<45°	1	1.4
合 計	74	100%

由統計表可看出超過 45 度坡角之岩坡有 98.6%的比例，超過 60 度者則佔 75.7%的比例，依此統計數據可知，本區岩坡坡角過大的情形極為普遍。

#### 5. 表土風化作用：

風化作用包括物理及化學的二種變化作用。物理上的作用主要為岩體顆粒的支解(disintegration)及搬運。化學上的作用則包括了溶解作用(decomposition)這二

種作用使得岩體的特性如顏色、岩組、成份、強度或外形，均產生了改變，而形成了表土風化層。這些表土風化在梅山層分布的地區以及板岩地區和舊崩場地點最為常見，也可看到許多表土風化層的移動現象。表土風化是一種需要較長時間的變化過程，因此今日所見者則為過去數十年甚或百年以上的結果，因此需要採取適當的工程措施，諸如排水、植生、擋土牆等。本區表土風化層有許多均為公路開挖的結果，此外表土風化層上的許多植生均產生傾倒，顯示表土層的潛變移動情形正在進行之中（照片 6-20）。

## 6. 公路開挖方式

一條公路的建設，其開挖方式的選取，決定了所需要的投資經費，以及日後來往行車的安全和通暢，並且也對公路往後的維護工作及所需要的維護經費的多寡，有決定性的影響。本區沿線公路開挖採用炸藥開山，由於當時社會的生活水準並不若今日之繁榮進步，國家經費有限，是以並未考慮較為費錢但比較完美的施工法，同時在路線的決定上也往往不能考慮到公路切穿岩坡的角度，因而造成許多邊坡的不穩定和潛在危險區，並且沿線落石不斷，為往後開闢其他橫貫公路應可注意的例子。

## 7. 氣候

南橫公路的氣候情形已如環境一節中所列表的資料指出雨季及早季的狀況。通常由於本區邊坡大半裸露，雨季中公路沿線的山溪水量巨大，而且原本有地下水湧出的地點，水量亦變得很大，同時每次下雨或雨後均有許多落石產生，阻礙交通，因此可知降雨量的多寡，對南橫公路沿線的邊坡穩定性有很大的影響，降雨量最多的季節，依照民國 73 年以來的統計資料為四、五、六、七、八至九月等六個月，每月降雨量最高超過 1,000 公厘，平均在 310 至 530 公厘之間。

此外冬季時在天池至啞口地段往往在岩壁上有結冰情形並偶有降雪現象，因此岩石裂縫中（如節理）的冰楔作用(ice-wedging)也對岩坡的不穩定性有一定的影響，威信落石現象或造成岩體鬆動的作用是存在的。

## 8. 地下水

在公路沿線的現有崩場地之中，地下水的作用引起崩塌情形並不很多，比較特別的例子是常仕橋斷層崩場的地點，地下水的流量非常巨大，在 128K 的岩壁也有一些地下水流出，其他還有一些地點。地下水可以溶解方解石使節理之裂隙產生鬆動，這在許多有方解石出現的岩壁上可以觀察到，此外地下水也可以帶走一些顆粒而引起鬆動，亦可與黃鐵礦作用產生酸性而侵蝕其附近的岩體和礦物，造成岩體顆粒的毀壞。地下水也會對崩場地的內部形成水壓，而引起崩塌情形，在某些崩場地點如表土風化層的移動，應是在雨後當表土風化層充水的狀況下而產生破壞。

## 9. 護坡工程的闕如

本區沿線崩場地除少數有一些護牆措施而外，其他的崩場地護坡工程非常缺乏，護坡工程可包括岩栓(rock bolt)，擋土牆、排水設施、護網、植生、蓋覆土壤等，在本區並未有計劃進行此項目的保護工作。據現有的護坡設施地點所產生的效果來看，雖然僅僅只是擋土牆的設置，然而對岩坡的傾覆已起了相當程度的阻擋作用，如 118.7K，125.95K,133.15K（照片 6-39）等，可見護坡工程的缺少對本區崩場情形應具有很大的影響力。

#### 10. 人爲開挖反導致崩塌

人爲開挖方式的不當或是選擇開挖的時間不對，如雨季施工，會導致邊坡的迅速損壞，造成經費的浪費虛擲或是生命安全的威脅，例如在 113.65K 地點（照片 6-6，6-7）曾因從事排水溝渠的工程而開挖部份坡面，結果破壞坡面原有的平衡，又適逢大雨，表土層及硬頁岩遇水一併下落，形成坍方，影響來往交通之安全及便利。因此人爲開挖時須審慎評估前列各項崩塌因素，判斷開挖之後果如何，再行決定如何開挖，以避免各項損失的情形。

### 四、現階段崩場地（78 年）與以往崩場地之對照

由以下崩場地的對照表可以看出，新增加的崩場地有 18 處，其中大部份屬於土石崩落與圓弧型滑落二種，成因均爲表土風化層的崩場所致，此種現象可能來自近一年多來（77 年以後）雨量多且集中的關係，而直接促使表土風化層因含水負荷重過大及表土部份流失之故而產生此二類型的邊坡破壞型式。另外在 145.2K 至 146.5K 之間因岩層以變質砂岩爲主，坡高 100 公尺以上，坡角爲 70 度左右，節理切割岩體成爲極破碎狀況，破壞型式都爲岩塊掉落。是以將之列入爲同一崩場地，在 147K 附近，因已超出本調查區，唯因來往交通直接銜接本區，是以將 147K 及其附近之崩場地列入最後一個，以資代表。該地已由工程單位整修，建造公路邊牆、排水溝等初步工作，唯對邊坡之防治工程並未有適當之整建，如遇大雨等不利之氣候因素，崩塌情況極可能發生，危害來往交通安全。

表 6~4 有崩場地與以往紀錄之崩場地對照表

現 有 崩 場 地			以往崩場地紀錄（陳福將 1988）		
編號	位 置	備 註	編號	位 置	備 註
1	梅山村橋口		1	梅山村橋口	
2	110.4K		2	110.4K	
3	110.6K		3	110.6K	
4	111.0K		4	111.0K	
5	111.1K		5	111.1K	
6	111.3K		6	111.3K	
7	111.4K	坡高爲 30m	7	111.4K	
8	111.9K		8	111.9K	
9	112.2K	新增，圓弧型滑動及土石崩落			
10	112.4K	新增，平面滑動及土石崩落			
11	112.5K	圓弧型滑動	9	112.5K	平面滑動
12	113.2K	新增，土石崩落			
13	113.65K	新增，岩塊掉落 及土石崩落			
14	113.9K		12	113.8K	

現有崩塌地			以往崩塌地紀錄 (陳福將 1988)		
編號	位置	備註	編號	位置	備註
15	114.02K	新增，土石崩落及平面滑動			
16	114.4K		13	114.4K	
17	117K		14	117K	
18	117.6K		15	117.6K	
19	118K		16	117.98K	
20	118.6K	新增，土石崩落			
21	118.7K		17	118.7K	
22	119.3K	坡寬為 180m	18	119.3K	
			19	119.4K	併入 119.3K 中
23	119.9K	坡高增為 40m	20	119.9K	
24	120K		21	120K	
25	120.4K	新增，圓弧型滑動			
26	120.8K		22	120.8K	
			23	121.4K	併入 121.7K
27	121.7K	坡高、寬均擴大	24	121.7K	
28	122.1—122.4K	沿線 300 公尺連續性崩塌地出現故合併為一	25	122.1K	25.26 二者合併
			26	122.2K	
29	122.7K	新增，岩塊掉落			
30	122.75K	岩塊及土石掉落平面滑動	27	122.8K	
31	122.98K	新增，土石崩落			
32	124.5K		28	124.5K	
33	124.8K	坡高、寬均擴大	29	124.8K	
34	125.5K	新增，地基沈陷圓弧型滑動			
35	125.9K		30	125.9K	
36	125.95K		31	125.95K	
37	126.45K		32	126.45K	
38	126.55K		33	126.55K	
39	126.6K		34	126.6K	
40	128K	坡寬、坡角均增加	35	128K	
41	128.1K		36	128.1K	
42	128.8K	新增，舊崩塌地			

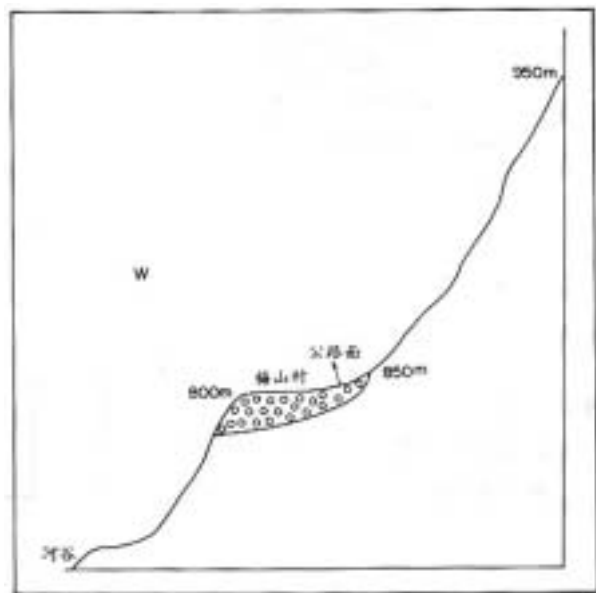


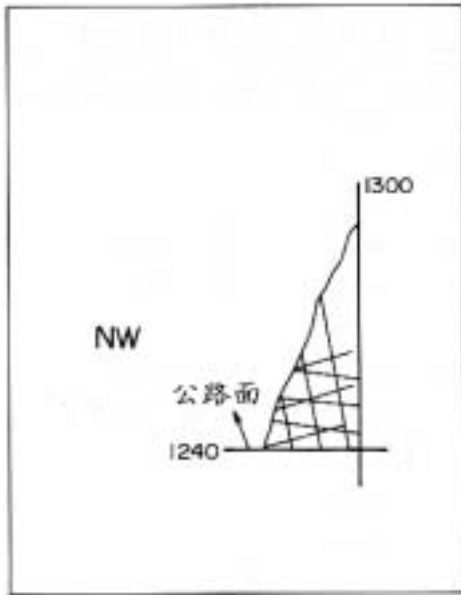
現有崩塌地			以往崩塌地紀錄 (陳福將 1988)		
編號	位置	備註	編號	位置	備註
43	130.4K	岩塊掉落及表土 風化層的移動	37	130.4K	
44	130.8K	新增，土石崩落			
45	131.3K	新增，土石崩落			
46	131.9K		38	131.9K	
47	133.2K	岩塊掉落及楔型 滑動	39	133.4K	
48	134K		40	134K	
			41	134.05K	合併入 134.1K
49	134.1K	坡寬增加	42	134.1K	
50	134.7K		43	134.7K	
51	134.8K	岩塊掉落及圓弧 型滑動	44	134.8K	
52	136.45K	新增，土石崩落			
53	136.9K		45	136.9K	
54	137.2K		46	137.2K	
55	138.5K		47	138.5K	
56	139.4K	新增，岩塊掉落			
57	140.1K		48	140.1K	
58	140.5K	岩塊掉落、岩塊 翻倒及平面滑動	49	140.2K	擴大範圍
59	141.05K	岩塊掉落及岩塊 翻倒	50	141.05K	
60	141.06K		51	141.06K	
61	141.2K	岩塊掉落及岩塊 翻倒	52	141.2K	
62	141.3K		53	141.3K	
63	141.5K		54	141.5K	

現有崩塌地			以往崩塌地紀錄（陳福將 1988）		
編號	位置	備註	編號	位置	備註
64	141.8K		55	141.8K	
65	141.9K		56	141.9K	
66	142.0K		57	142.0K	
67	142.3K	岩塊掉落及岩塊翻倒	58	142.2K	併入 142.3K
68	143K	圓弧型滑動及岩塊掉落	59	142.3K	擴大範圍
69	143.2K		60	142.5K	併入 142.3K
70	144.2K		61	143K	坡高、坡寬等均增加
71	144.4K		62	143.2K	
72	145.1K	新增，圓弧型滑動	63	144.2K	
73	145.2—146.5K	新增，岩塊掉落	64	144.4K	
74	147K 及其附近	新增，多種崩塌型式	65	147.7K	合併 148.8K
			66	148.8K	

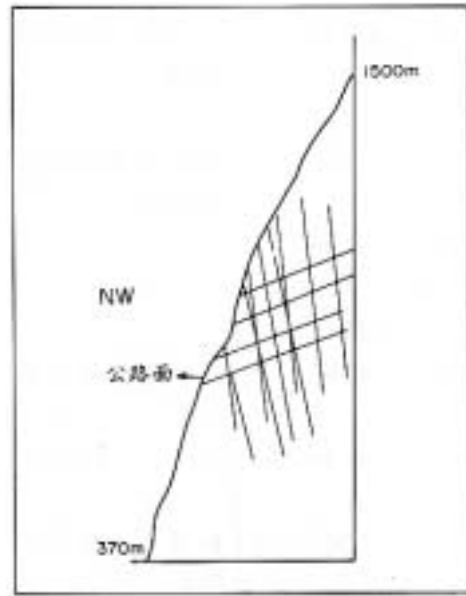
## 五、部份崩塌地剖面分析圖

- ▶ 圖 6-1  
梅山村  
岩坡方向為西偏南  $7.5^\circ$ ，  
岩坡角公路上方為  $53^\circ$



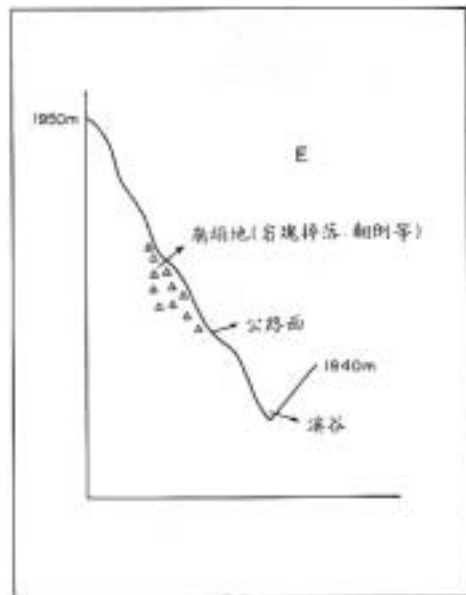
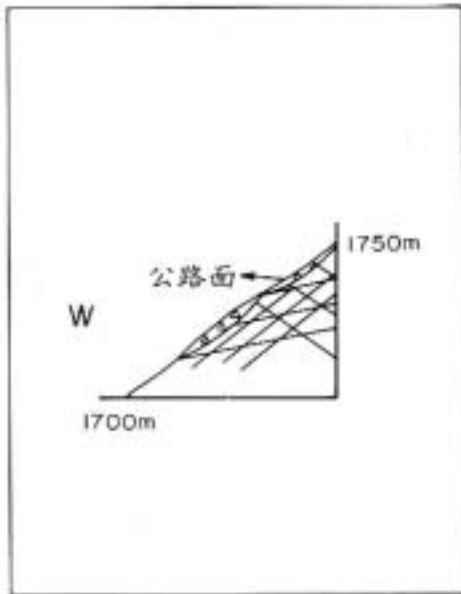


◀ 圖 6-2  
No.19,118K，岩坡方向北偏西 18.5°  
，岩坡角為 76°

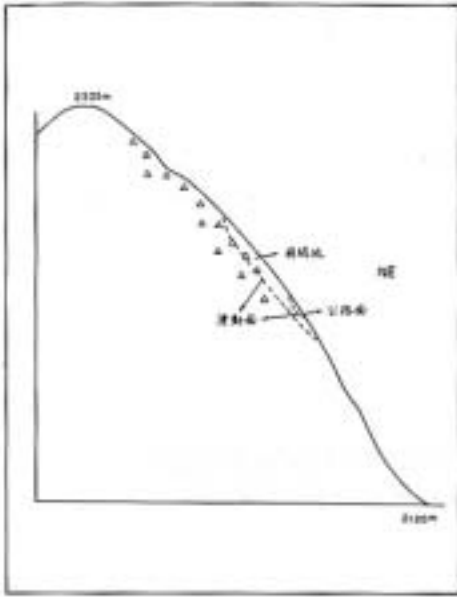


▶ 圖 6-3  
No.27,121.7K，岩塊掉落，岩坡面北  
偏西 66.5°，岩坡角公路上方為 67°  
，下方為 90°

◀ 圖 6-4  
No.37,126.45K，岩坡方向為南偏西  
68°，岩坡角為 71°

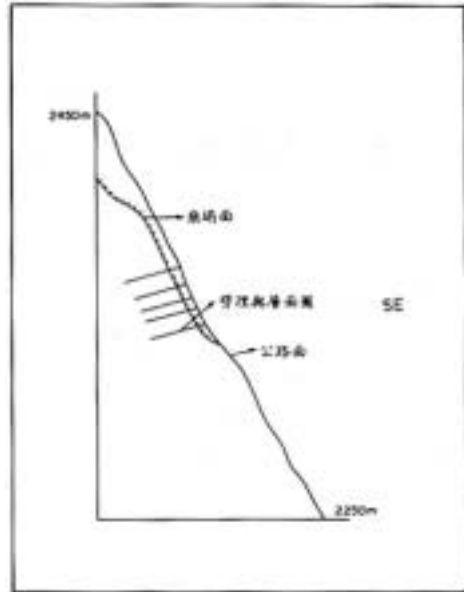


▶ 圖 6-5  
No42,128.8K，岩坡方向為北偏東 82°  
，岩坡角為 62°

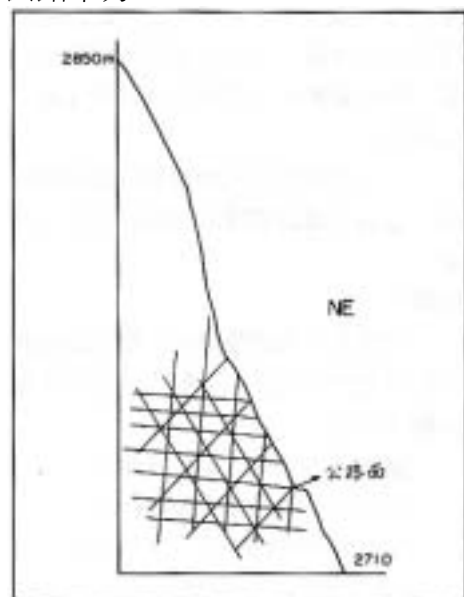
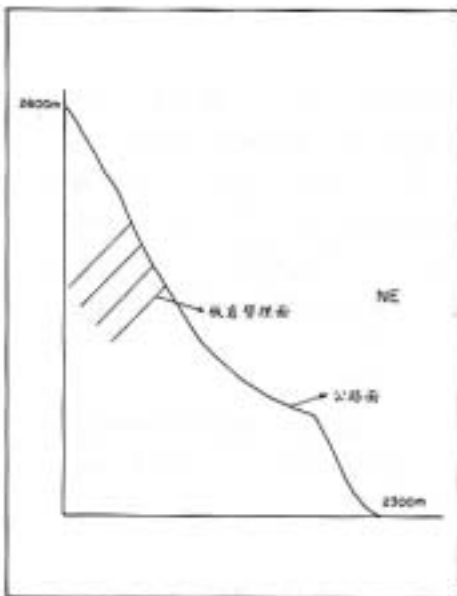


◀ 圖 6-6  
 天池地區，134.8K，岩坡面北偏東  
 $62^\circ$ ，平均岩坡角公路上方為  $38^\circ$ ，下  
 方為  $61^\circ$

▶ 圖 6-7  
 No.52,136.45K，岩坡方向為東偏南  
 $75^\circ$ ，岩坡角為  $72^\circ$



◀ 圖 6-8  
 No.58,140.5K，常仕橋，岩坡方向北  
 偏東  $16^\circ$ ，平均岩坡面公路上方  $56^\circ$   
 ，公路下方  $61^\circ$



▶ 圖 6-9  
 No.73,146K，岩塊掉落，岩坡面方向  
 北偏東  $10^\circ$ ，平均岩坡角  $87^\circ$

## 六、崩塌地處理方法之概述

本區崩塌地的狀況在“陸、崩塌地現況”中已做了相當程度的探討，對於崩塌地處理的方法很多，但處理的實際情形必須視經費及地工技術而定，以下介紹一些適合南橫公路上本區狀況的方法。

### (一)崩塌地處理之方法概述

#### (1)岩栓(rock bolt)

岩栓也可稱做預力岩錨，可用在固定邊坡之較大塊岩石，以避免掉落；或是在邊坡不穩時或由於開挖的關係而使邊坡有滑動坍塌的顧慮時，藉岩栓可幫助固定邊坡；岩栓也可對已有擋土牆的邊坡穩定性加以輔助。岩栓可用鋼製，亦有用樹脂製做。

#### (2)擋土牆或樁等

擋土設施如擋土牆主要目的是用來維持邊坡與公路地面二者高度不同時，防止高處土壤或碎石坡的坍塌。擋土牆的形式有非常多種，通常考量選擇何種擋土牆的因素有地形、地質、土壤、施工條件（經費、技術）和擋土牆本身必須的高度等。在本地區之中有少數幾個崩塌地採用擋土牆做為護坡方法，效果很好，減少崩坍發生的可能性（照片 6-39）。擋土牆對土石崩落，圓弧型滑動，平面滑動等邊坡破壞型式的防護效果相當顯著，因為擋土牆彌補了邊坡坡腳缺乏支撐點的問題。有關擋土牆的各種形式及細節請參考文獻 4。

#### (3)護網

護網是用來防止岩塊掉落路面的方法之一，其本身是用金屬質材料做成網狀製成，當遇有難以處理之大規模岩壁，護網為一簡便而有效的工具可保障過往人車之安全。

#### (4)噴漿

噴漿是將水泥噴灑至岩壁上以阻絕風化營力如雨水對岩壁直接的損害，從而防止崩落現象的發生，在較大的岩壁上噴漿也是一種有效防護的方法之一。

#### (5)排水設施

邊坡發生崩塌的因素之中，水是一個非常重要的因子，水可以增加岩體的荷重，可以潤滑岩體內部的裂隙，減少其摩擦阻力，也可以把風化作用帶入岩體的內部，破壞岩體的整體性質，水也會產生水壓，對岩坡有頂舉之力，這些結果都會影響邊坡的安全係數，超過某一界限時，使之產生崩塌，所以排水設施是公路邊坡穩定

及路基安固性的一個非常重要的設置。排水設施包括排水溝渠、排水管、洩洪溝，節制土具(crose check)等。

#### (6)坡面植生

坡面植生是南橫公路本區之中一個重要的問題之一，雖然公路沿線植生情形很普遍，但是因為岩性如硬頁岩容易風化，或是變質砂岩太過堅硬不易成長植生，所以在現有崩塌情形的地點，植生部份都非常缺乏，由於原有崩場地植生的缺乏，因此崩塌情形往往重複發生，並且崩塌地點有逐年擴大之趨勢（照片 6-40）。另外有些植生因表土層的下滑移動而呈現傾倒情形（照片 6-41,42），傾倒的植生中有許多為巨大的林木，這些林木構成南橫景觀的一部份，並且又因體積過大，如果傾倒下來對人車安全，來往交通有很大的妨害，必須想法固定，如加鋼索等。因此植生的問題可分成二部份，一為坡面植生的養護，一為已有的植生補強。

植生的優點是可以保護坡面免受風化營力如雨水等的直接沖蝕，又能以根部固定表土層，且能吸收部份水量，有助於邊坡的穩定性。植生時應注意景觀的配合和當地的生態狀況，因此對本區的植生情形應就教有關植物專家學者而再來從事之為宜。（照片 6-43）

#### (7)邊坡坡面角度之整治

有許多邊坡的崩塌來自邊坡坡角過大的因素，因此可利用各種方法如除土等來調整坡面角度，使不致過度傾斜，減少崩塌的可能性。但在坡面角度整治時應研究整治時是否反會產生不當的影響導致更大規模的崩坍，造成不必要的災變。

#### (8)明隧道

明隧道（照片 6-44，105.5K）的設置可以防制落石對過往人車的危險性，並且可以確保過往交通的順暢，避免因不斷的落石而引起的不便。通常明隧道設置的地點為常有崩塌情形的地方而其他整治方法都付之闕如時。明隧道一方面具有穩固坡腳的功能，形成擋土牆的功用，又因為其上頂蓋，可以防止落石、滾石的掉落，保護過往旅客之安全。

#### (二)現有崩場地的整治方法建議

崩場地的整治方法常並非只靠一種方法就可以奏功，往往要由許多種方法配合在一起方才可以有效防治，以下對崩場地整治方法的建議，係依照筆者粗淺的地工技術知識而加以決定，難免疏一漏萬。尚祈有關工作者能再依照地工技術的原則詳加考量方才進行整治，以避免金錢之浪費和不必要的災變發生。

表 6~5 各種崩塌破壞型式的可能整治方法詳下表

邊坡破壞型式	整治方法的建議
岩塊掉落	1.岩栓 2.護網 3.噴漿 4.明隧道 5.植生
圓弧型滑動	1.擋土牆 2.植生護坡 3.排水設施 4.坡面角度整治
平面滑動	1.擋土牆(樁) 2.岩栓 3.排水設施 4.坡面角度整治
土石崩落	1.擋土牆 2.植生護坡 3.排水設施 4.坡面角度整治
楔型滑動	1.擋土牆 2.岩栓 3.植生護坡 4.坡面角度整治
岩塊翻倒	1.岩栓 2.坡面整治 3.護網 4.明隧道

表 6~6 現有崩場地整治方法的建議表（與崩場地現況調查表對照）

編號	位置	破壞型式	整治方法的建議
1.	梅山村口橋頭	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿
2.	110.4K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
2.	110.6K	複合式③	1.護網 2.噴漿 3.植生
2.	110K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
3.	111.1K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
4.	110K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
5.	111.1K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
6.	111.3K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
7.	111.4K	複合式①	1.護網 2.噴漿 3.植生 4.坡面角度整治
8.	111.9K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
9.	112.2K	複合式④	1.擋土牆 2.植生 3.坡角整治
10.	112.4K	複合式⑤	1.坡面整治 2.植生 3.排水設施 4.擋土牆
11.	112.5K	圓弧型滑動	1.坡面整治 2.植生 3.排水設施 4.擋土牆等
12.	113.2K	土石崩落	1.坡面整治 2.植生 3.排水設施 4.擋土設施
13.	113.65K	複合式⑥	1.護網 2.坡面整治及植生 3.噴漿
14.	113.9K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.坡頂整治
15.	114.02K	複合式⑤	1.擋土設施 2.植生 3.排水設施
16.	114.4K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.坡頂整治
17.	117K	圓弧型滑動	1.坡面整治 2.排水設施 3.擋土設施
18.	117.6K	岩塊掉落	1.整治坡頂 2.噴漿
19.	118K	複合式⑥	1.整治坡頂 2.植生 3.噴漿 4.護網
20.	118.6K	土石崩落	1.整治坡面 2.植生 3.排水設施 4.擋土設施
21.	118.7K	複合式①	1.排水設施 2.植生 3.擋土

編號	位置	破壞型式	整治方法的建議
22.	119.3K	岩塊掉落	為景觀區，岩塊掉落並不嚴重，可不必做整治工作，但應注意公路路基之穩定性，排水設施及植生可幫助公路以下之邊坡穩定。
23.	119.9K	複合式②	1.坡面整治 2.植生 3.排水設施 4.擋土
24.	120K	圓弧型滑動	1.坡角整治 2.植生 3.排水設施 4.排水
25.	120.4K	圓弧型滑動	1.坡角整治 2.排水設施 3.擋土設施
26.	120.8K	圓弧型滑動	1.擋土設施 2.排水設施 3.坡面整治 4.植生
27.	121.7K	岩塊掉落	1.整治坡面。2.植生 3.護網
28.	122.1-122.4K	岩塊掉落	1.植生 2.護網
29.	122.7K	岩塊掉落	1.坡頂整治 2.護網 3.噴漿 4.岩栓
30.	122.75K	複合式③（三種以上）	1.整治坡面 2.植生
31.	122.98K	土石崩落	1.整治坡面 2.植生 3.排水設施
32.	124.5K	岩塊掉落	1.整治坡面 2.植生 3.護網
33.	124.8K	岩塊掉落	1.整治坡頂 2.護網 3.岩栓
34.	125.5K	地基沈陷	1.擋土設施 2.排水設施
35.	125.9K	複合式③	1.整治坡面 2.排水設施
36.	125.95K	複合式②	1.整治坡面及坡頂 2.排水設施 3.植生
37.	126.45K	複合式②	1.噴漿 2.植生 3.排水設施
38.	126.55K	複合式②	1.整治坡面 2.植生 3.擋土設施
39.	126.6K	圓弧型滑動	1.擋土設施 2.排水設施 3.植生
40.	128K	岩塊掉落	1.岩栓、鋼索 2.護網 3.坡頂整治 4.明隧道
41.	128.1K	岩塊掉落	1.岩栓、鋼索 2.護網
42.	128.8K	舊崩場地	植生已良好，排水問題須稍加留意
43.	130.4K	複合式②	1.岩栓、鋼索 2.護網 3.排水設施 4.擋土設施
44.	130.8K	土石崩落	1.植生 2.整治土方 3.排水設施
45.	131.3K	土石崩落	1.植生 2.整治土方 3.排水設施
46.	131.9K	岩塊掉落	1.護網 2.植生 3.噴漿



編號	位置	破壞型式	整治方法的建議
47.	133.2K	複合式③	1.擋土牆 2.護網 3.植生 4.排水設施
48.	134K	複合式①	1.整治坡面 2.岩栓、鋼索 3.護網
49.	134.1K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿
50.	134.7K	圓弧型滑動	1.擋土樁等 2.岩栓 3.排水設施 4.植生 5.設置測試應變儀器
51.	134.8K	複合式②	1.擋土設施 2.岩栓 3.排水設施 4.植生 5.設置測試應變器
52.	136.45K	土石崩落	1.擋土設施 2.植生 3.排水設施
53.	136.9K	複合式②	1.擋土設施 2.植生 3.排水設施
54.	137.2K	複合式②	1.擋土設施 2.植生 3.排水設施
55.	138.5K	岩塊掉落	1.護網 2.噴漿 3.植生
56.	139.4K	岩塊掉落	1.岩栓等 2.護網 3.排水設施
57.	140.1K	平面滑動	1.岩栓 2.擋土設施 3.排水設施
58.	140.5K	複合式⑧	1.整治坡面 2.護網 3.排水設施 4.擋土設施(多種防護) 5.噴漿
59.	141.05K	複合式⑦	1.岩栓 2.護網 3.排水設施
60.	141.06K	岩塊掉落	1.整理坡面 2.護網 3.排水設施
61.	141.2K	複合式⑦	1.岩栓 2.護網 3.排水設施
62.	141.3K	岩塊掉落	1.擋土設施 2.排水設施
63.	141.5K	圓弧型滑動	1.整治坡面 2.植生 3.排水設施 4.擋土設施
64.	141.8K	岩塊掉落	1.整治坡面 2.植生 3.擋土設施 4.排水設施
65.	141.9K	岩塊掉落	1.擋土設施 2.排水設施
66.	142.0K	複合式①	1.護網 2.噴漿 3.排水設施
67.	142.3K	複合式⑦	1.整治坡面 2.護網 3.排水設施
68.	143K	複合式②	1.整治坡面 2.護網 3.植生 4.排水設施

編號	位置	破壞型式	整治方法的建議
69.	143.2K	岩塊掉落	1.岩栓 2.排水設施 3.護漿或護網
70.	144.2K	平面滑動	1.岩栓等 2.排水設施 3.護漿或護網
71.	144.4K	圓弧型滑動	1.擋土設施 2.植生 3.排水設施 4.整治坡面
72.	145.1K	圓弧型滑動	1.擋土設施 2.植生 3.排水設施
73.	145.2-146.5K	複合式⑦	1.護網 2.噴漿 3.岩栓、鋼索等 4.明隧道
74.	147K 及其附近	圓弧型滑動、岩塊掉落、平面滑動	1.擋土牆等 2.護網 3.岩栓 4.整治坡面 5.噴漿 6.植生

說明：複合式① 岩塊掉落＋平面滑動

③ 岩塊掉落＋楔型滑動

⑤ 土石崩落＋平面滑動

⑦ 岩塊掉落＋岩塊翻倒

② 岩塊掉落＋圓弧型滑動

④ 土石崩落＋圓弧型滑動

⑥ 岩塊掉落＋土石崩落

⑧ 三種以上崩塌型之組合破壞

### (三)現有崩場地落石危險性評估表

在南橫公路本區之中從事邊坡防護工作，岩塊掉落為最普遍之情形，同時也在防治處理上是相當困難的工作。由於吾人無法確切預測落石時間，因此除非進行整治工作，否則必須在高危險區的地點設置警告標示，請來往人車在警告地點看清狀況後方才前行而在視察狀況如何時，也必須保持對崩場地之安全距離，尤其是在雨天或強風之時更應如此。以下為落石危險之地點統計表。

表 6~7 落石危險性統計表：

編號	位置	落石危險性
1.	梅山村口橋頭	高
7.	111.4K	中
13.	113.65K	高
14.	113.9K	高
15.	114.02K	高
16.	114.4K	高
19.	118K	中
28.	122.1-122.4K	中—高

編號	位 置	落石危險性
29.	122.7K	高
32.	124.5K	中
33.	124.8K	中
35.	125.9K	中
36.	125.95K	中
37.	126.45K	高
40.	128K	高
41.	128.1K	中
43.	130.4K	中—高
46.	131.9K	高
48.	134K	中
49.	134.1K	中
55.	138.5K	中
56.	139.4K	高
58.	140.5K	高
59.	141.05K	高
61.	141.2K	高
64.	141.8K	中
66.	142.0K	中
67.	142.3K	高
73.	145.2-146.5K	高

# 柒、不連續面分析

---

- 一、不連續面的定義
- 二、不連續面對岩體的影響
- 三、不連續面的種類
- 四、不連續面的分析方法簡論
- 五、梅山至啞口之間不連續面電腦分析圖及其說明

在工程地質上，每一個邊坡穩定的分析都必須要了解不連續面的種類及分布的情形，因為與邊坡穩定有關的因素如地下水、風化作用、坡角、岩石力學性質等都會受到不連續面的影響而產生變化，諸如地下水的流動常是順著節理、斷層等破裂面的方向移動，同時在其中也會產生水壓對岩坡有使之崩塌的傾向。風化作用會順著岩體的損壞，即所為深成(deep-seated)損壞，影響邊坡的穩定性。坡角的安全度數有時須視不連續面分布的狀況來加以決定。岩石力學強度則視岩體之中不連續面的情形如其密度、厚度及所夾的物質膠結力和不連續問題都有極重要的價值。

不連續面的分析，本次調查一般採用普通而簡單的方法如以電腦製作等高密度圖來加以分析，至於較為深入的方法如與機率有關的分布觀念(Probability concept)，剪切變形能量觀念(Shear strain energy concepts)等因為要用到複雜而較深的數學知識，所以為此工作的簡便性，就不加以探討而留待有興趣者的研究。(請參考 Farmer & Attewell 著之 Principles of Engineering Geology 一書第八章不連續面的分析)。

屬於不連續面的岩層構造有 1.層面(bedding plane)2.節理(joint)3.劈理(cleavage)4.片理(schistosity)5.斷層面(fault plane)6.線理(lineation)7.流狀構造(flow structure)……等，因本公路地處中央山脈變質岩地區，曾受到強烈的構造作用及變質作用影響，包括有褶皺作用(folding)，斷層作用(faulting)使得公路沿線岩體破碎、節理發達，是造成本公路沿途的崩塌現象的一個主要控制因素之一。發生在本區的不連續面主要為層面、斷層面、石英脈或方解石脈等，因此本文將著重這幾種主要的不連續面來加以探討。

## 一、不連續面的定義

不連續面的定義，可分成由地層上來看及由構造地質上來看二種，在地層上來說，不連續面指的是任一個沈積作用的中斷，不論它的形成原因或中斷的時間長短，通常它表示為一沒有沈積作用的情形，並且常常伴隨著侵蝕作用的證據，如不整合面(unconformity)。在構造地質上來說，不連續面則是一個分開二岩石塊體中任何的平面。工程地質上所指的不連續面，即是包括此種岩石塊體中任何的平面，這些平面的發生通常均具有規律性的排列如節理或是其面的發生，可以由岩石顆粒的排列所造成如層面、不整合面等，實際上工程地質所指的不連續面，即包括了在地

層上和構造地質上所指的不連續面，並進而包括了岩體中任一個斷裂面。

## 二、不連續面對岩體的影響

不連續面因為能穿入或穿過岩體，因此對岩體的影響可包括有地下水、風化作用、岩體的變形與損壞、岩坡的穩定，岩體開挖的難易程度以及岩石材的品質等幾方面，分述如下：

### 1.地下水：

岩體的滲透率(permeability)受到不連續面的左右很大，因為不連續面如斷層、節理等穿過岩體，可以使得地表逕流水順著這些裂面而進入岩體之中，並且因岩石的種類的不同而有不同的吸收量與滲漏量(percolation)。

### 2.風化作用

不連續面的穿入岩體，使得岩體接觸外表的水和空氣等風化作用因子的表面積增加，並且隨著不連續面的數量增加，而其表面積愈增加。風化作用所造成的結果影響到岩體的自然物理與機械物理強度的範圍，而影響到變形，損壞、與穩定性等特徵。

### 3.岩體的變形與損壞

由於不連續面切過岩體，使岩體形成許多單一岩塊的組合體，因此岩體的變形與損壞的情形就可說是岩塊之間的互相運動；如果節理內含有充填物質如泥(clay)方解石(calcite)等，則這些充填物質對剪力作用而產生損壞的情形亦屬於此類，此外岩體材質本身的壓縮強度，以及節理內充填物質的壓縮性均係岩體的岩力學上所要探討的，而因為內部風化作用所造成的顆粒狀物質的移動，以及水對以上這些作用的幫助，均亦為岩體變形與損壞的一種物理和化學上的作用過程。

### 4.岩坡的穩定

控制岩坡穩定的因素很多，但與不連續面有關的因素則是不連續面會造成岩體的分裂，或是在岩體的下部產生損壞而導致崩塌，或者岩坡的基腳產生某些旋轉的損壞超過了某一臨界高度；有關流體方面的則是節理內的高水壓情形，或岩床的噴水狀況。又或如某一塑性物質岩層如黏土層的流出。至於岩體則常沿著不連續面如節理，移動而造成岩坡的不穩定。

### 5.開挖的難易

對岩體不連續面的徹底研究，可以使得開挖工作順利而且簡易行，並且也可以事先評估所需的工作設備及動力。

### 6.岩石的材質：

如果一個岩體的石材需要開發使用，則不連續面的存在及其發生密度的大小會影響到岩石材質的岩力強度，並且也影響到開採所需的設備及費用。

## 三、不連續面的種類

在本公路沿線中，不連續面主要有層面、節理、劈理、片理、斷層面以及方解石脈、石英脈等。分述如下：

### 1. 層面：

層面是屬於地層中的一個地質構造，它形成的原因是來自地層中沈積物的改變如成份、顆粒、岩組等所致，在本區之中因為變質作用，使得地層產生了許多褶皺，因此層面的位態極不一致，變化很大，所以可以看做為一個影響工程地質特性的岩體弱面。在公路沿線的野外調查，我們看到地層層面的情形，在畢祿山層、禮觀層及梅山層的出露地點等均有，但其對工程地質特性的影響，則需看地層岩性和其位態，如傾斜角的大小相配合的結果方可決定其影響的程度。

## 2. 節理：

節理是野外常見的一種地質構造，有人亦稱之解理，由英文 Joint 翻譯而來。節理是在岩體中的一個實際已存在或潛在的斷裂面，沿著裂面而沒有相對的移動。裂面通常是為一平面並且常常與一些互相平行的節理在一起形成節理組群，節理有連續的或不連續的二種情形，即是節理延伸的距離長短來加以分類。能夠延伸很遠，並且在相關的別的地點也有相同位態的節理出現，我們稱之為連續的，反之，則為不連續的。具連續性節理的岩體，因其已遭節理穿過，所以基於前述第二節所討論的結果，其岩體強度必然低於岩石之岩力強度值，因此我們在做節理的調查時，如果可能，則應確認節理的連續性與否。資料的齊全，將有助於對此問題的了解，有關節理的問題，以下將逐項討論。

### a、節理的種類：

節理的分類依照 Duncan (1976)有皺縮節理(shrinkage joint)，構造節理(tectonic joint)、張節理(tension joint)及應力解除節理(stress-relief joint)等，而依照 Billings (1972)的分類則由形成原因上分為構造應力、殘餘應力、收縮力和表層移動來造成節理，因此節理有延伸節理(extension joint)、解壓節理(release joint)、剪力節理(shear joint)、席狀節理(sheeting)、柱狀節理(columnar joint)等，在工程地質上，我們所要求的分類應依現地地質情況而定，如果地質環境造成某種特殊的節理，則必須先確定其節理的種類，再談節理的其他性質，工程地質上所要探討的是其對岩體穩定性及強度，或地下水狀況的影響。以下對南橫公路沿線較常出現的節理種類分述如後：

#### (1)構造節理(tectonic joint)

由構造應力所造成的斷裂面而且基本上是與構造活動同時期者稱之，許多這樣的節理都與褶皺(fold)生成在一起，因此如果節理位態垂直於褶皺軸(axis of fold)就稱之做延伸節理(extension joint)；如果節理位態平行褶皺軸則稱之解壓節理(release joint)，構造應力也可能造成張力(tension)產生節理通常發生在褶皺地層

的褶曲凸起部份，它的位態與解壓節理相同。

#### (2)應力解除節理(stress-relief joint)

應力解除節理通常發生在有冰河流動的山谷兩側，當冰河流過，壓力解除後就產生裂縫，在本區並未具有產生冰河的條件，應力解除的現象是來自地層原本深埋入地下，由於造山運動使之隆起受到侵蝕，其上的覆蓋地層逐漸移去，產生了解壓作用，而地層因之發生了有規律，間隔的、延展長的節理，其位態通常平行於地表或者傾斜角很小，不會大過 10 度或 15 度，本區之中以禮觀層及梅山層中發生最多。如 125K 附近。

#### (3)剪力節理(shear joint)

剪力節理在野外有時很難確認，因為如果其有相對的移動會產生擦痕(slickensides)等移動現象，而這卻不一定是可以做為認定係由剪力所造成的。所謂剪力節理是一個節理，它是屬於剪力斷裂，而剪力斷裂是由壓縮應力造成的。共軛節理組(conjugate system)通常是被考慮為屬於剪力節理的，尤其是如果其係對稱地繞著應變軸排列(Billings 1972)。在本區公路沿線有許多共軛節理組的出現，大部份應可看做剪力節理的現象。

#### (4)張節理(tension joint)

張節理是一個張斷裂，張斷裂是沿著垂直拉力方向發生的微小裂面，垂直拉力的方向即是垂直褶皺軸的方向。因此在南橫公路沿線也有許多張節理的存在。這些節理必然與地質構造的形成有關連，而且可以由地質構造的研究來加以辨明。

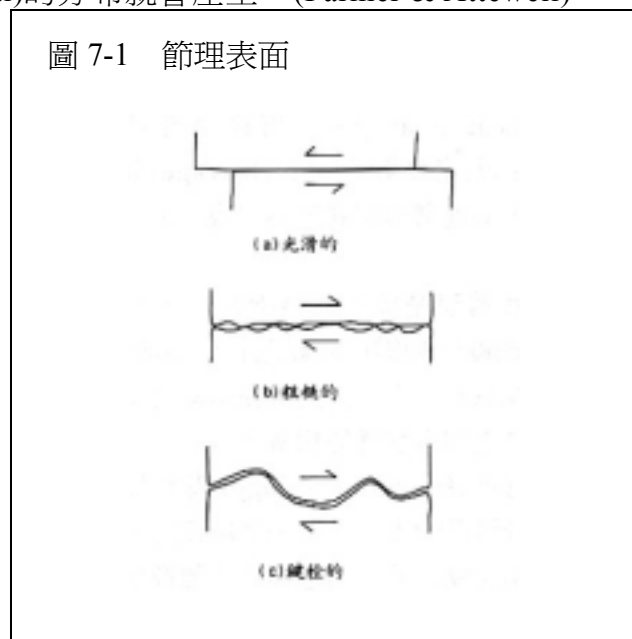
##### b、節理の間隔(spacing)

在任一組節理中，每個節理彼此之間相隔的距離稱之間隔，間隔範圍可以從小至 1 或 2 公分至十幾公分或幾公尺不等。節理の間隔產生影響岩體在載重之下變形的範圍。研究間隔的方法有指數間隔分布圖或是對數間隔分布圖，大體上說，如果節理の間隔很規律，那麼可能來自應力解除或與地溫度有關的應力梯度(stress gradient)範圍；如果節理是獨自產生的，而且其應力場(stress field)很均勻的分布，則其可對應於卜桑過程(Poisson process)。另一方面，如果形成節理的反應有很多重的過程，那麼對數性(log-normal)的分布就會產生。(Farmer & Attewell)

##### c、節理的表面性質

節理表面性質會影響到岩體兩邊移動時的阻力，因此如果是光滑的表面，則阻力較小，如果是粗糙的則阻力較大，如果成鍵栓的(keyed)則阻力最強，而可加強岩體的強度；另外表面性質也會影響岩體內部應力之分布。

簡言之，節理的表面可有光滑的、粗糙的至鍵栓的(圖 7-1)，其表面形狀有波浪狀、平面型、kink band……等。節理的表面性質可用接觸因數來表示(Duncan 1976，第 8 章)





#### d、節理的裂隙(aperture)

節理的裂隙厚度可以由 0.01 厘米至幾公分不等，通常它影響了風化作用進入的範圍，也影響了施加载重之下岩體可能產生變形或是節理間的岩石材質重大變形的範圍，也影響到地下水的移動。當越深入地下，則裂隙厚度越小，吾人可計算岩體體積減少係數(coefficient of volume decrease)或是岩體總壓縮性(Duncan 1976, 第 8 章)來確定工程性質。

#### e、節理區內之填料

填料的種類有很多種，如黏土、方解石、砂等，通常是由水沖入節理的裂面之中。在南橫公路最主要的填料物質為方解石(calcite)，石英在較高的變質帶如畢祿山層中也很普遍。

我們在考慮填料的問題時應注意其分布的範圍，其剪切應力值以及填料的種類和厚度。

### 3. 劈理及片理(cleavage & schistosity)

劈理(cleavage)是經由變質作用(metamorphism)所產生岩石中的一個沿著次生面排序有序的裂面或其他緊密間隔而成平板狀的岩組(texture)和岩石構造(structure)的破裂。片理(schistosity)是當在肉眼下能看到明顯的礦物再結晶生成的情形所產生的一些礦物如雲母等的平行排列，使成為葉理(foliation)的狀況。片理也可說是劈理的一種，本區產生片理的地點只有大關山隧道旁的千枚岩中。

劈理的種類很多有板狀劈理(slaty cleavage)、破劈理(fracture cleavage)、剪劈理(shear cleavage)、層面劈理(bedding cleavage)、軸面劈理(axial plane cleavage)及滑動劈理(slip cleavage)等，在本區中，劈理主要型式為板狀劈理及破劈理等，其他劈理型式亦有出現，但並非整個地區通貫的特性而可以成為主要的特徵。

板狀劈理是板岩的特徵之一，能造成板狀的破片，形成的原因來自平板狀(platy)的礦物如雲母或綠泥石(chlorite)等平行排列所致，或是來自橢圓形顆粒，如石英和長石的平行排列。在本區之中畢祿山層板岩為其主要岩性之一，因此由天池至啞口之間板狀劈理相當發達。

破劈理(fracture cleavage)基本上是緊密排列的節理，在岩石中礦物的排列並不平行於劈理的方向。每一劈理彼此的距離大約在厘米至幾公分之間。但是如果相隔距離超過幾公分，則應屬於節理較為適宜。本區公路沿線以梅山至天池地帶為破劈理生成之主要地段。

本公路沿線有關於軸面劈理、層面劈理及滑動劈理的情形，因屬於各地點的單獨生成情況，須要配合地質構造來加以研究，因此在各相關地點再予以討論。

#### 4. 斷層面(fault plane)

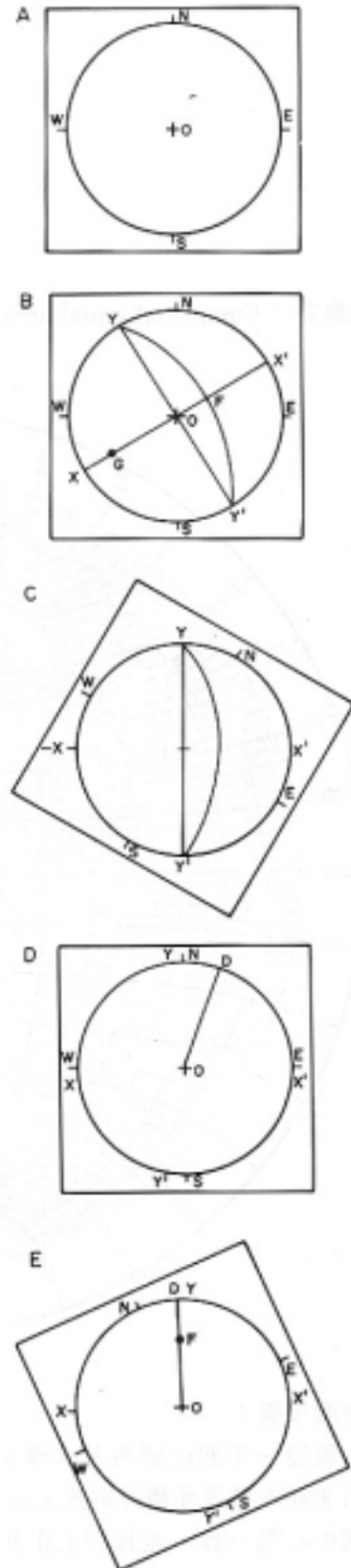
一個斷層其上下兩磬的岩體相對移動的平面，稱之斷層面，在斷層面上常生成有擦痕構造(slickensides)並伴隨有斷層泥、斷層角礫等物質。斷層面通常是位在斷層帶之中，大規模的斷層帶可寬至數十公尺、數百公尺，也可小至只有十幾公尺，至於小規模的斷層，其斷層面往往較為顯著，厚度也許由幾公分至幾公尺不等（照片 6-35）。在本公路沿線中除常仕橋這種大斷層帶的情形外，有很多是屬於小規模的斷層生成，它具有斷層面、斷層泥或斷層角礫，寬僅數十公分至幾公尺不等，通常在工程地質上會造成地下水的易於通過，因此會形成土石崩塌，將斷層面中所含的斷層泥、斷層角礫等碎屑物質沖刷出來，並且在邊坡上形成裸露岩面，使風化作用易於進行，而植生覆蓋不易，終究會擴大其裸露面而造成更廣大範圍的崩塌型態。

### 四、不連續面的分析方法

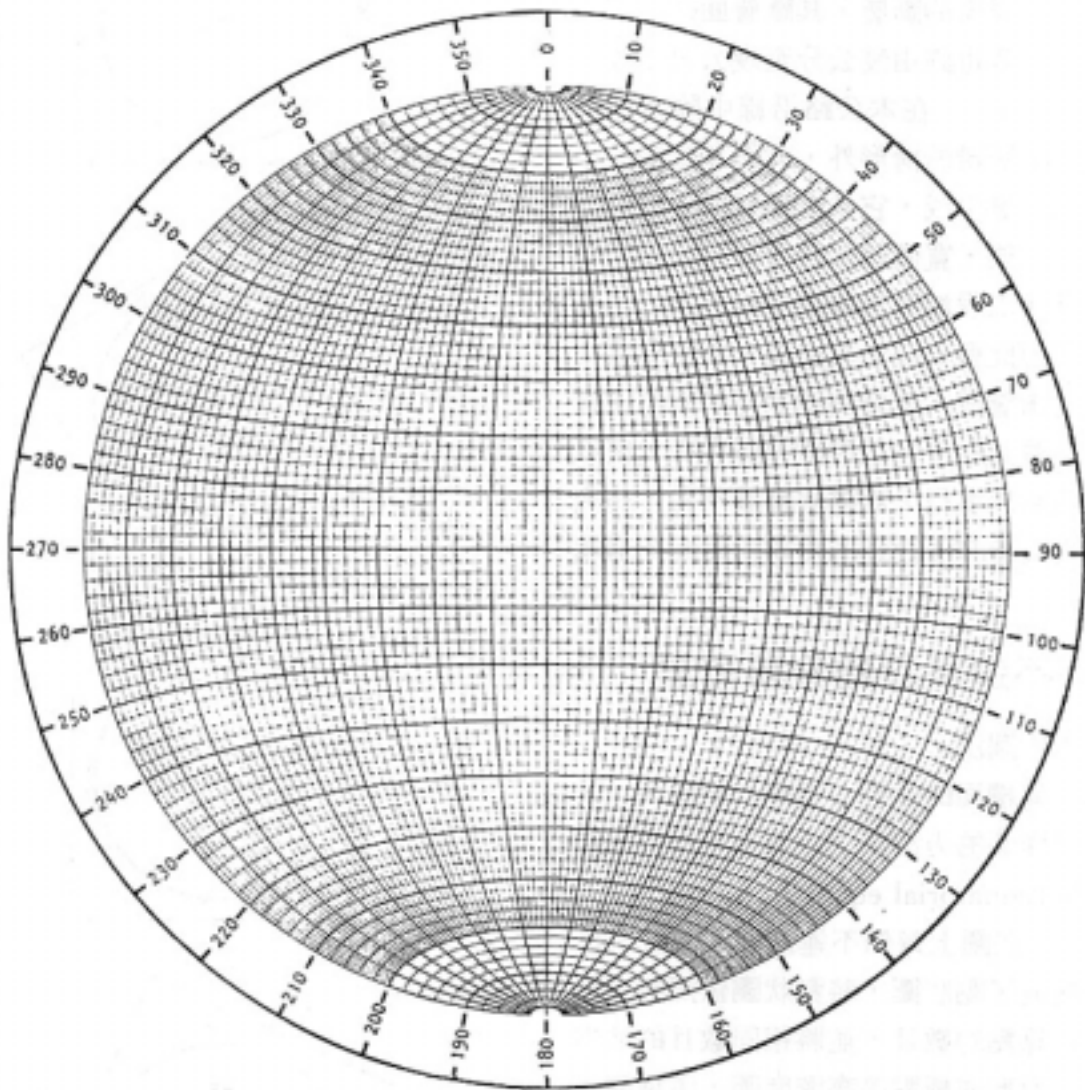
#### 1. 基本作圖法

不連續面的位態（走向及傾斜角）可以依照作圖的方法將之投影在赤道等面積投影圖(equatorial equal-area net)上（圖 7-2），在圖上每個不連續面都形成一個點，構成了點狀圖，將點狀圖依照特定面積內計算點的數目，並將相同數目的地方連線，而形成極點等密度圖，這種基本分析作圖方法，在構造地質學中被廣泛使用，能帶給我們相當多的便利和知識。這個方法的原理是利用投影法，使每一個平面均有一點的投影，不同的平面有不同的點位置，因此可以整理統計研究。以下我們簡略指出作圖方法，供作參考。

圖 7-2



▼圖 7-3 Equatorial equal-area stereonet marked in 2° intervals.



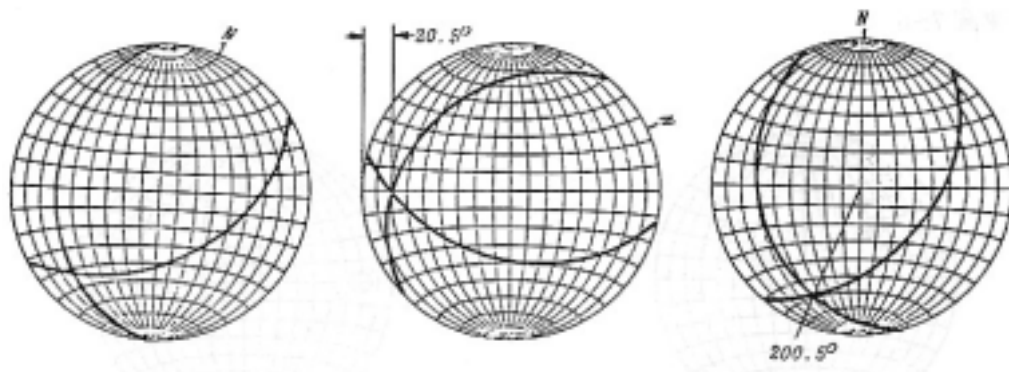
(1)作圖步驟：

假一平面位態為北偏西 30 度，傾斜角東北 60 度（圖 7-2）

a 首先在赤道等面積投影圖上放一張同樣大小之半透明紙（圖 7-3），中心點與投影圖中心點一致，並且標上正北點，然後由北向西延著圓周邊走 30 度（投影圖上每格為 2 度）劃出此點。

- b 將此點轉回正北的點上，劃出通過的直徑。
  - c 然後沿東西向之橫軸從圓周邊向裏數出 60 度，有二個大圓代表了此 60 度，再轉回北西 30 度之位置時，東北方向的大圓即為所需要的（亦可由東北向中的東或北單一指向來決定此大圓）
  - d 如果要找出極點(pole)，只要由大圓之頂點沿著東西向之橫軸向中心（可穿越中心點）開始數出 90 度的那一點即是。
- (2) 如果要決定兩個平面的交界線方向及傾斜角大小（圖 7-4）
- a 先將兩平面的大圓找出，二者有一交點。
  - b 將此點轉至東西向橫軸上，此點與圓周邊之間隔（每格 2 度）多少，即為此交界線之傾沒角(plunge)（20.5 度）
  - c 將此點再轉回原來的位置（正北點重回正北方向）由中心點與此點連線並延伸使與圓周相交，找出相交點的圓周上的度數，此度數即為交界線之方向（200.5 度）

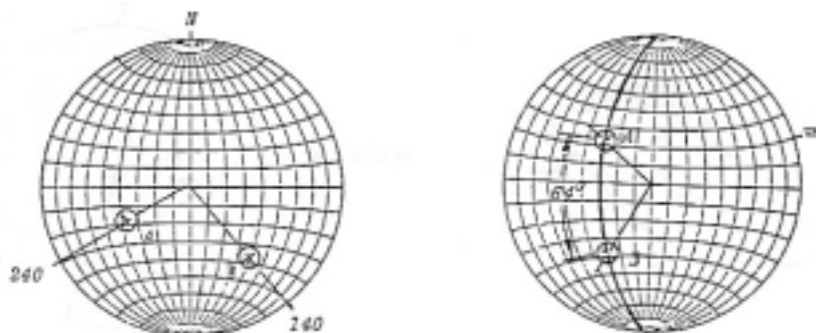
▼圖 7-4



(3) 如果要決定兩特定線之間的夾角（圖 7-5）

- a 每條線均有走向及傾沒角(plunge)，藉此找出此兩線之極點(pole)
- b 將半透明紙旋轉，找出穿過此兩點的大圓。
- c 沿此大圓量出兩點之間的相間隔格數即為夾角的大小。
- d 我們可以決定出包含此兩線的平面之傾斜角大小及傾斜角之方向，包含此兩線的平面即此大圓所代表的平面。

▼圖 7-5



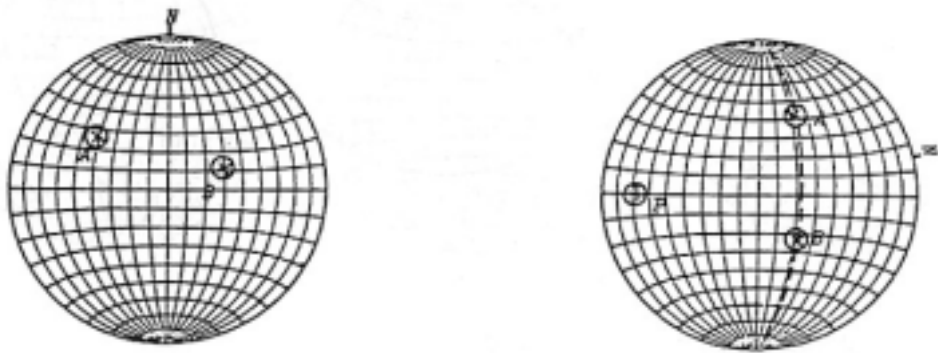
(4)另一種決定兩平面的交界線方向及傾沒角大小（圖 7-6）

a 找出包含此兩平面極點的大圓。

b 找出正大圓所代表平面的極點。

c 此極點的方向及傾沒角大小，即是原來交界線的方向及傾沒角大小，因為此大圓所代表的平面，包含了兩平面的交線，其極點所決定的線垂直此大圓所代表的平面，也即為兩平面的交線。

▼圖 7-6

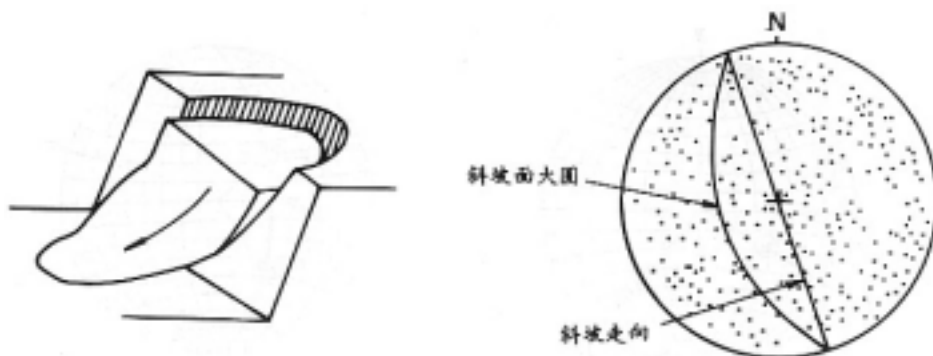


## 2. 各種崩塌型式的不連續面分析代表圖

由不連續面分析圖及坡面所代表的大圓相對的關係，每一種崩塌型式都有其獨特的型態，可以做為分析時的確認指標。

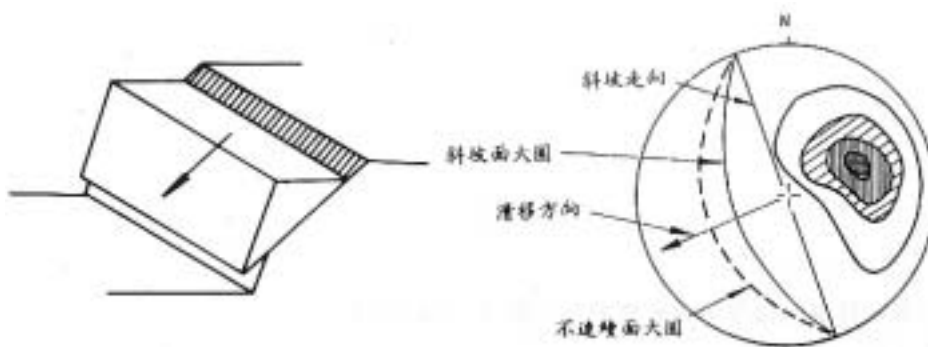
### a. 圓弧型崩塌(circular failure)

圖 7-7



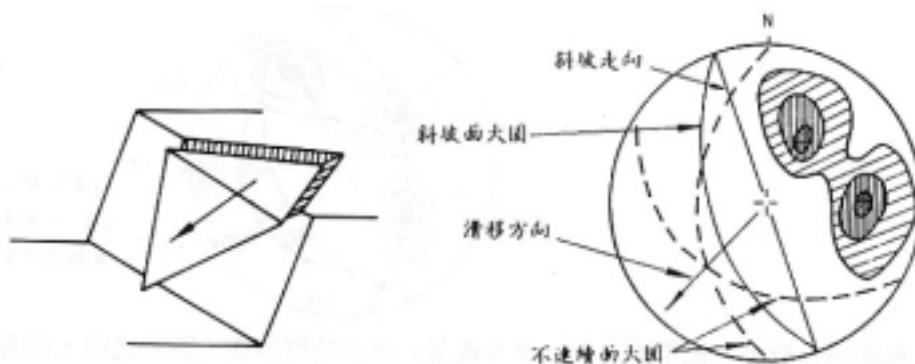
b. 平面型崩塌(plane failure)

圖 7-8



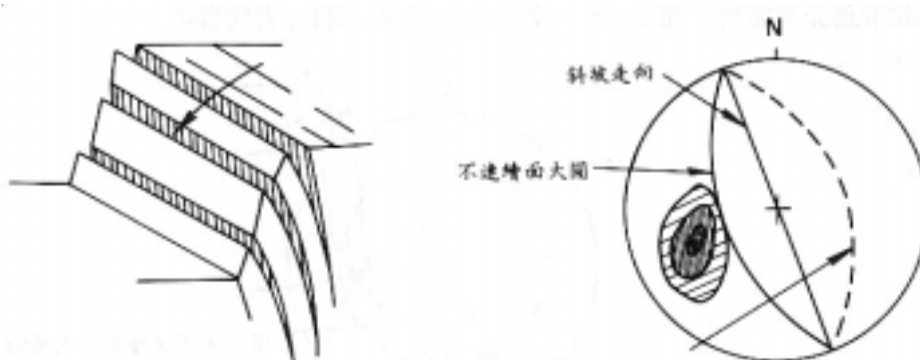
c. 楔型崩塌(wedge failure)

圖 7-9



d. 岩坡翻倒崩塌(toppling)

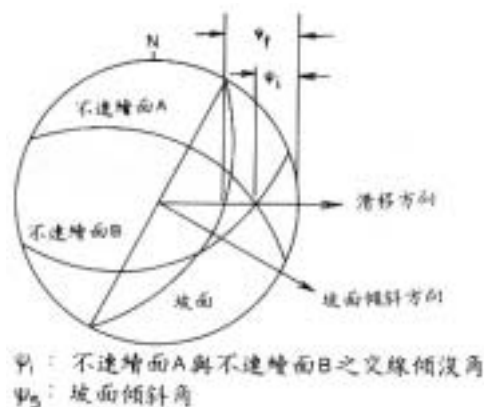
圖 7-10



3. 由不連續面分析圖形決定崩塌是否發生的基本方法

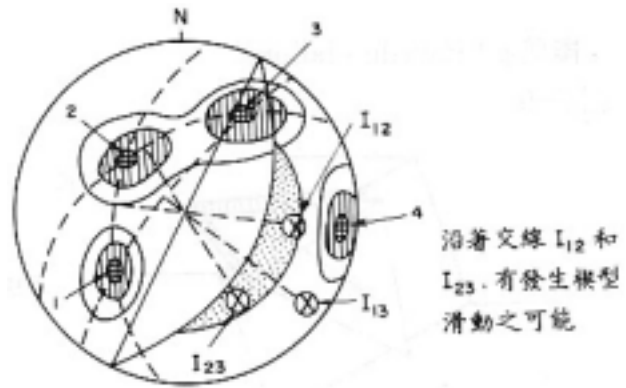
- a. 沿著平面 A 及 B 的交界線發生滑移，當此交界線的傾沒角小於沿著滑動方向量測的坡面傾斜角，即  $\phi_f > \phi_i$

圖 7-11



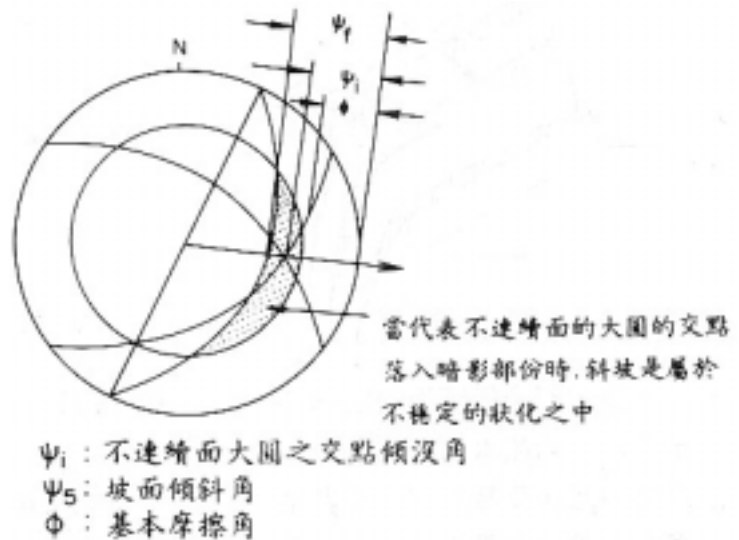
b.如果交界線的傾沒角大於摩擦角，即  $\phi_f > \phi_i > \phi$

圖 7-12



在圖形分析上，如果兩平面的交界線落入摩擦角所形成的圓域之內，就有發生滑移的危險，如下圖中之  $I_{12}$  及  $I_{23}$ 。平面 2 的極點落入山坡面及  $I_{23}$  的二個角度之間，因此滑動面可能為平面 2，另一滑動方向可能沿著  $I_{23}$  方向發生。

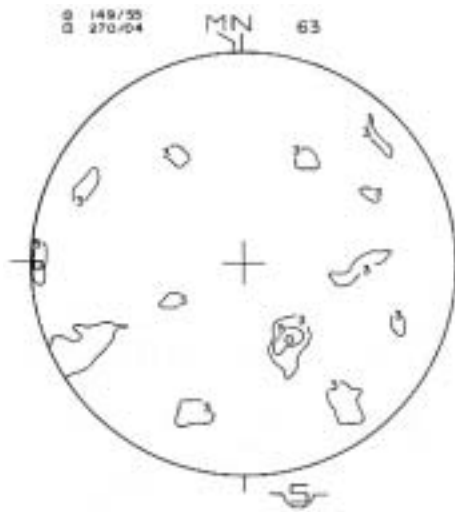
圖 7-13



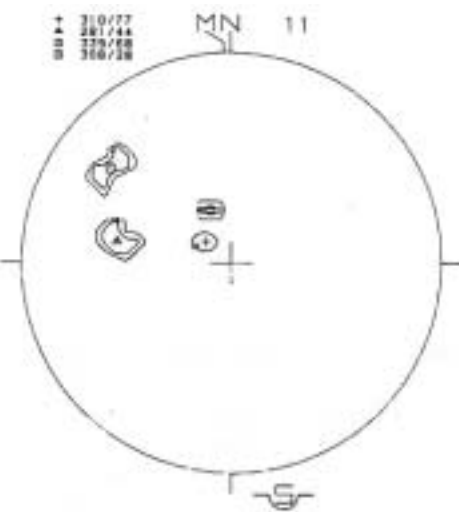
## 五、梅山至啞口之間不連續面電腦分析圖及其說明

本區所有不連續面的分析圖分成二部份，一為節理分析，一為劈理分析，並且按照實際地點的狀況，將所得的數值分隔成適當的部份，譬如以主要斷層為主要的分界線。或是以地層的不同為界限。或以地質構造不同，如褶皺區的分布為界。其區段的距離在考慮上述問題以後，也不能太過於遙遠，加上量測數值的多寡來決定多少公里之內為一區段，從而使得分析圖能合理的表現出來。

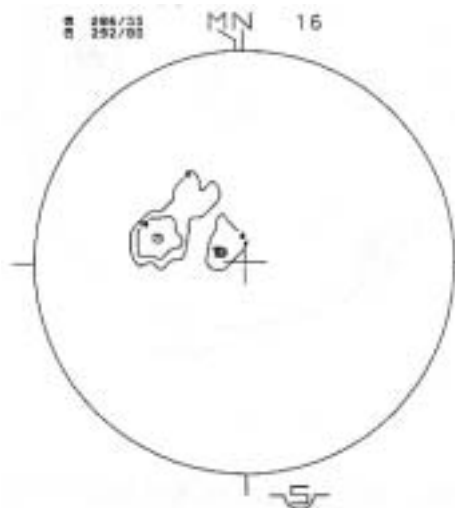
▼圖 7-14 (a)110-114K 節理統計分析圖



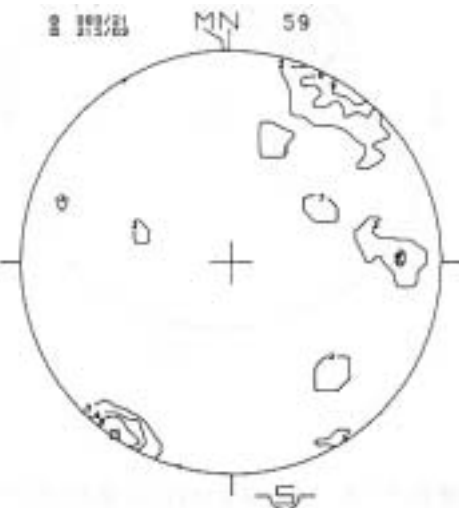
(b)110-114K 劈理統計分析圖



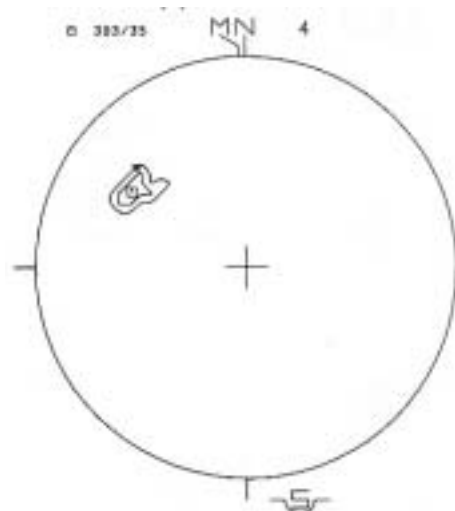
▼圖 7-15 (a)114-122K 節理統計分析圖



(b)114-122K 劈理統計分析圖



▼圖 7-16 (a)122-123.5K 節理統計分析圖

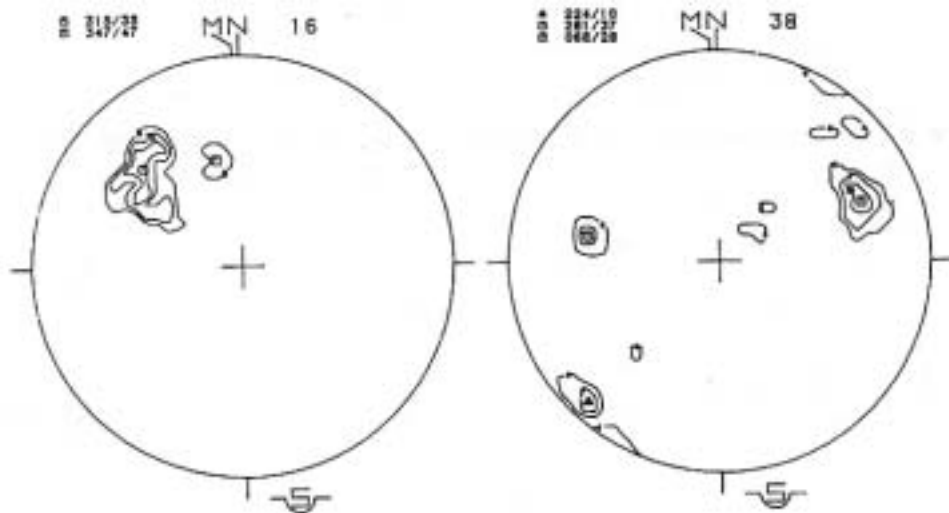


(b)122-123.5K 劈理統計分析圖

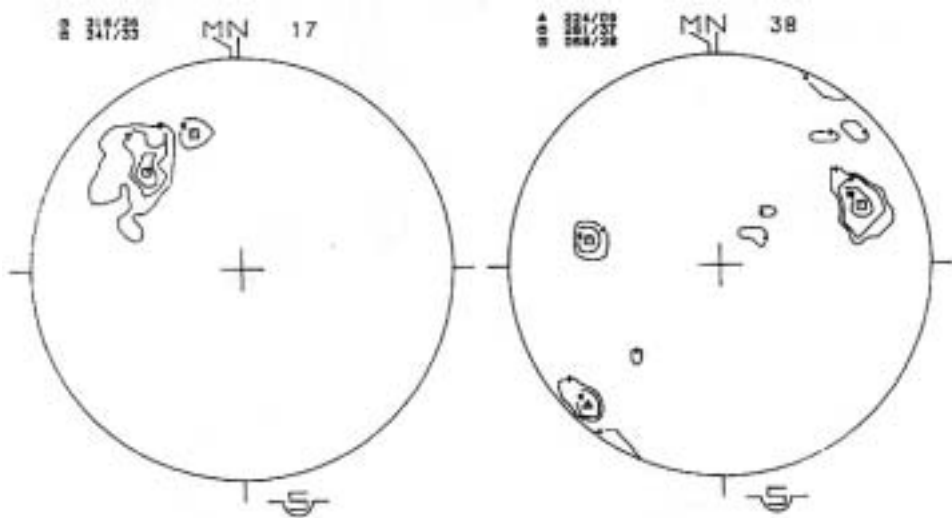




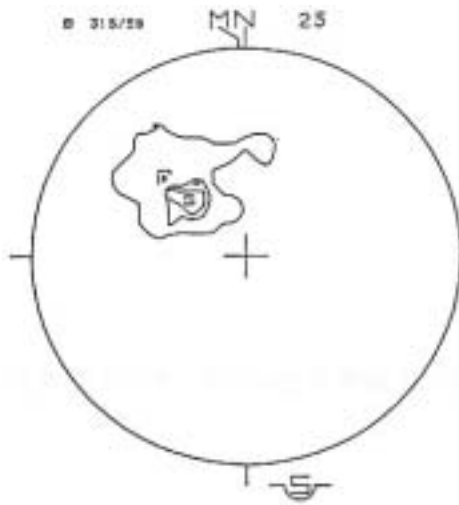
▼圖 7-17 (a)137.3-139.4K 節理統計分析圖 (b)137.3-139.4K 劈理統計分析圖



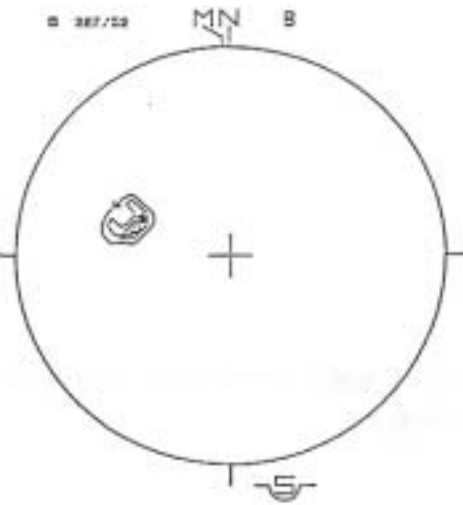
▼圖 7-18 (a)139.4-141.5K 節理統計分析圖 (b)139.4-141.5K 劈理統計分析圖



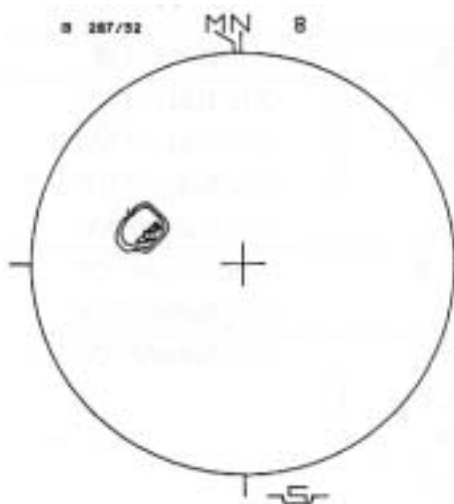
▼圖 7-19 (a)141.5-144K 節理統計分析圖



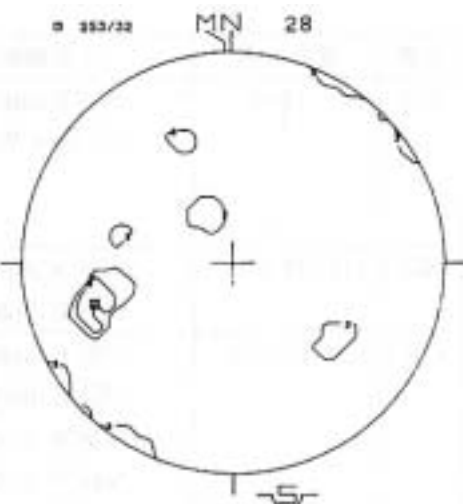
(b)141.5-144K 劈理統計分析圖



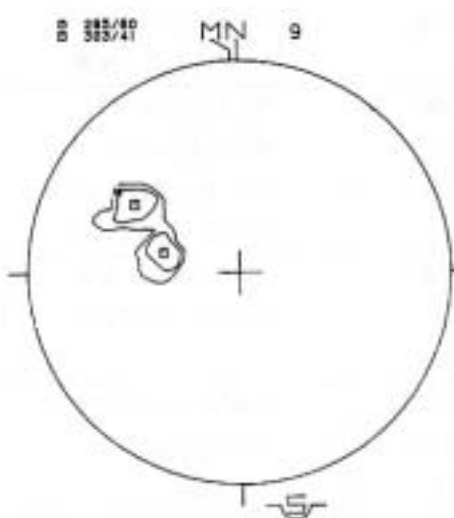
▼圖 7-20 (a)144-145.3K 節理統計分析圖



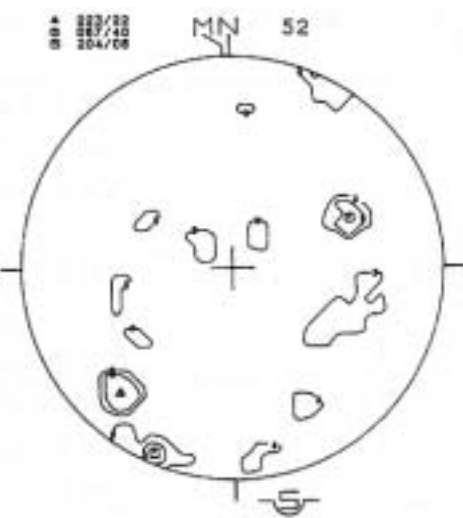
(b)144-145.3K 劈理統計分析圖



▼圖 7-21 (a)145.3-146.5K 節理統計分析圖



(b)145.3-146.5K 劈理統計分析圖



1. 由不連續面分析圖可知在各區段之中主要的不連續面走向如下（參考不連續面分析圖）

表 7~1。110~146.5K 沿線不連續面的主要位態

區號	里程位置	主要節理位態	主要劈理位置
A 區	110-144K	N59° E,dip45° SE NS,dip4° W	N10° E,dip46° NW N51° E,dip22° NW N52° E,dip62° NW N70° E,dip23° NW
B 區	144-122K	N55° W,dip88° SW N89° E,dip69° E	N16° E,dip45° NW N22° E,dip10° NW
C 區	122-123.5K	N20° E,dip68° NW N55° E,dip33° NW N28° W,dip5° SW N44° W,dip79° NE N74° W,dip62° SW	N33° E,dip55° NW
D 區	124-128K	N26° W,dip30° NE	N7° E,dip30° NE N19° E,dip71° NW
E 區	128-137.3K	N26° E,dip65° NW N46° E,dip49° NW N50° E,dip70° NW	N2° E,dip55° W N5° E,dip40° W N60° E,dip43° NW N49° W,dip82° NE
F 區	137.3-139.4K	N11° E,dip53° NW N22° E,dip62° NE N46° W,dip80° SW	N46° E,dip54° NW N71° E,dip57° NW
G 區	139.4-141.5	N11° E,dip53° NW N22° W,dip62° NW N46° E,dip80° SW	N45° E,dip57° NW N77° E,dip43° NW

區號	里程位置	主要節理位態	主要劈理位置
H 區	141.5-144K	N17° E,dip38° NW	N45° E,dip31° NW
I 區	144-145.3K	N17° W,dip58° SW	N17° E,dip38° NW
J 區	145.3-146.5K	N23° W,dip50° NE N47° W,dip68° SW N66° W,dip84° SW	N15° E,dip30° NW N33° E,dip49° NW

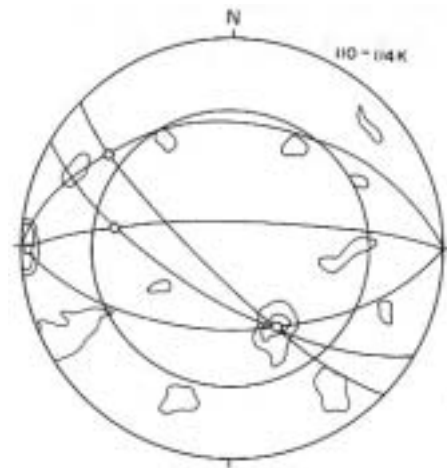
2. 由各區的節理、劈理分析圖依不連續面基本分析圖法，可將①邊坡的坡面方向及傾斜角資料（可由工程地質圖上崩場地資料得到）

②相關岩石材質的摩擦角繪製在相關區域的分析圖形上，而研究出在崩場的型態，或是崩塌破壞發生的可能性（圖 7-22 至圖 7-31），以下是各區段的一些主要分析。

#### A.110-114K（圖 7-22）

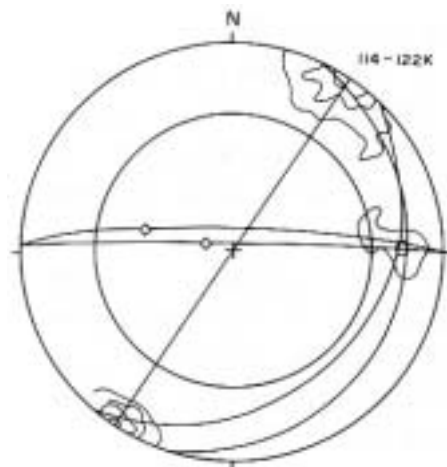
硬頁岩的摩擦角為 35°

主要崩塌型式有平面滑動、圓弧型滑動、岩塊掉落、楔型滑動等，劈理與節理交界方向主要是 N29° W,dip55° 。



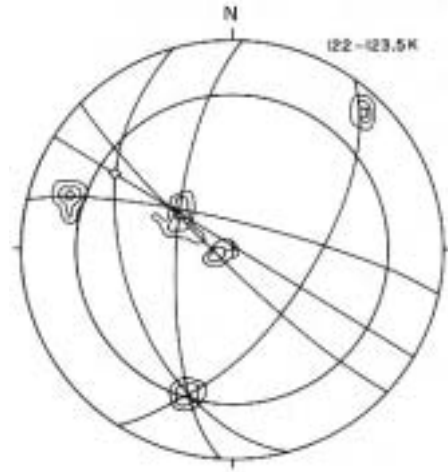
#### B.114-122K（圖 7-23）

由坡面方向及傾斜角做圖可知，本段的崩塌型式有平平面滑動、楔型滑動、圓弧型滑動、岩塊掉落等，而劈理與節理主要交界方向是 E W , d i p 2 3 ° ，另一方向是 N55° W,dip88° 。硬頁岩摩擦角為 35° 。



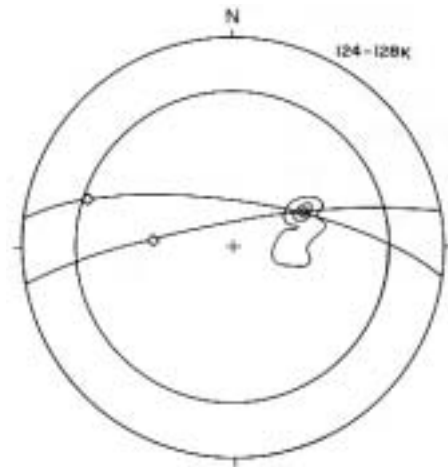
C.122-123.5K (圖 7-24)

劈理與節理交界的主要方向一為  $N62^{\circ}W$ ,  $dip65^{\circ}$ 。另一為  $N11^{\circ}E$ ,  $dip28^{\circ}$ 。將坡面的資料繪上圖形可發現本段崩塌型式可有平面滑動、圓弧型滑動（為土石崩落）、岩塊掉落（岩塊翻倒）等。



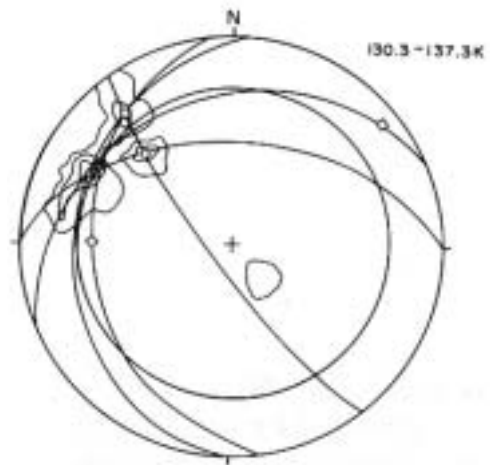
D.124-128K (圖 7-25)

本區段的節理集中情形較少，主要為  $N36^{\circ}W$ ,  $dip30^{\circ}$  NE，有二組劈理的存在，屬於畢祿山層的板岩所具有，因此在此區段之崩塌情形中，岩塊掉落與圓弧型滑動二者為主，而 4 公里長的範圍內，崩塌情形比較少，並且與板岩層的特性相關，具有節理的砂岩層依圖形分析岩塊掉落是普遍的情形。板岩摩擦角為  $26.7^{\circ}$ 。



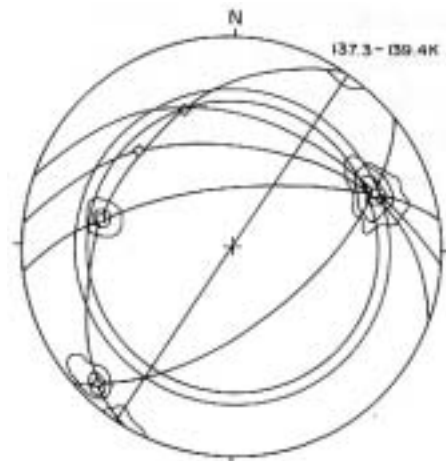
E.128-137K (圖 7-26)

本區段有三組節理呈現相集中的情形，集中的方向大約是  $N40^{\circ}W$ ，傾沒角在  $20-40$  度之間，這種集中的情形，顯示出岩體在向  $N40^{\circ}W$  的方向是有較為密集的節理，也即是岩體呈現特別破碎的地點。崩塌型式有岩塊掉落、圓弧型滑動、平面滑動、楔型滑動等。板岩摩擦角為  $26.7^{\circ}$ 。



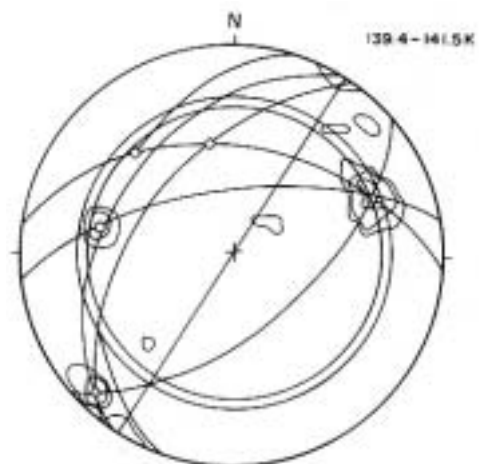
F.137.3-139.4K (圖 7-27)

三組節理中有二組與另二組劈理是屬於同一大圓上，將坡面的資料做圖則可看出屬於岩塊掉落的破壞型式為主，圓弧型滑動的型式次之。板岩摩擦角為  $26.7^{\circ}$ 。



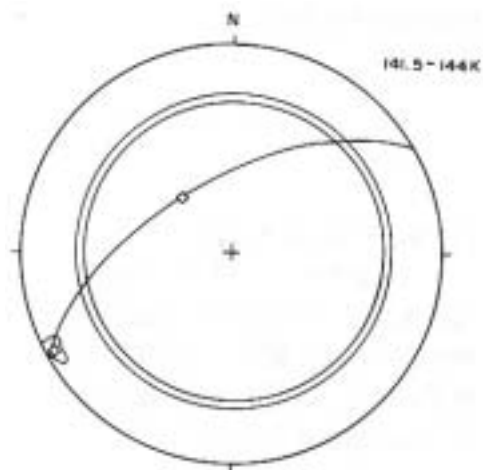
G.139.4-141.5K (圖 7-28)

此區段劈理面與節理面相交的大圓非常多，顯示不連續面切割岩體使成塊狀，岩塊掉落及岩塊翻倒為主要崩塌型式，平面滑動及圓弧型滑動次之。綠色岩摩擦角為  $30.4^{\circ}$ ，板岩為  $26.7^{\circ}$ 。



#### H.141.4-144K (圖 7-29)

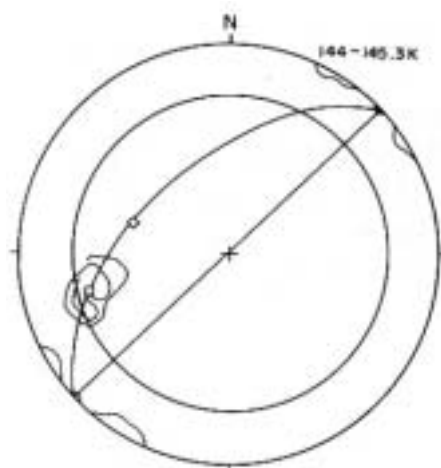
本區劈理為主要岩塊掉落的成因，同時因為節理只有一組與劈理形成的大圓只有一個，代表岩體並非破碎異常，因此崩塌型式除受板狀劈理影響的岩塊掉落，尚有因表土風化層而產生的圓弧型滑動，從坡面做圖上也可看出岩塊掉落為主要型式。綠色岩摩擦角為  $30.4^\circ$ ，板岩為  $26.7^\circ$ 。



#### I.144-145.3K (圖 7-30)

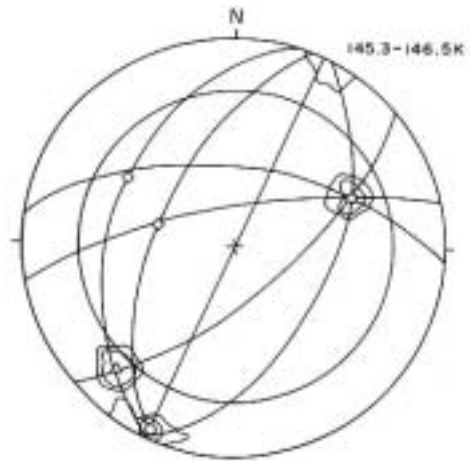
本區段節理與劈理只有一組，因此岩體並不十分破碎，所以崩塌型式以沿板岩劈理面滑落和表土風化層及一些岩塊掉落為主要型式。

從坡面方向等的做圖上可看出岩塊掉落為主要型式。變質砂岩摩擦角  $27^\circ$ 。



J.145.3K-146.5K (圖 7-31)

此區段節理與劈理連成許多大圓，顯示其切割岩體使成破碎狀況，因此岩塊掉落及岩塊翻倒乃為主要崩塌破壞型式，而岩塊滑落的方式來自楔型滑落。變質砂岩摩擦角為  $27^\circ$ 。



綜觀以上各分析圖，如果大圓數目很多即為岩塊掉落，岩塊翻倒的主要崩塌型式，因為其代表了岩體受到過多劈理節理切割的情況，使成破碎。如果大圓只有一、二個則代表了平面滑動，圓弧型滑動等型式，岩塊掉落較少，因為在劈理節理較少的狀況下，岩塊掉落往往來自沿劈理面的滑落，崩塌的型式為平面滑動，圓弧型滑動等。由此種分析的結果顯示與野外調查的結果相同。





# 捌、野外採樣及測試

---

一、野外採樣

二、野外測試

## 一、野外採樣

野外採樣的目的是供做岩石力學工程實驗室從事單軸抗壓及直接剪力試驗，以及岩石光性薄片的觀察。所採取的岩塊通常其厚度應超過 20 公分，同時爲了多提供可用做試驗的標本，每岩塊應最少提供鑽取 2 個岩心的長度，即約爲 30 公分長，同時岩塊以未受到風化作用者爲宜，並且儘量沿著節理面、層面等弱面採取。此外岩塊的採取也需要具備公路沿線的岩石種類的代表性，這樣方可使得實驗所產生的數據可以涵蓋整個範圍，把相關的工程岩石力學特性顯示出來。以下是野外採樣的地點及岩性的說明表。

表 8-1、野外採樣說明表

里程數	位 態	不連續面	地層名稱	岩 性	備 註
114K	N25° W,dip40° W	J	梅 山 層	硬頁岩	
121.35K	N30° E,dip18° E	B	梅 山 層	砂岩	
122.7K	N24° E,dip27° E	J	禮 觀 層	硬頁岩	
123K	N20° E,dip90°	J	禮 觀 層	砂岩	
125K	N10° E,dip14° E	B	禮 觀 層	砂岩	
128K	N5° E,dip85° W	B	禮 觀 層	砂岩	
130.3K	N85° E,dip20° S	B	梅 山 層	砂岩	照片 8-1
131.8K	N40° E,dip50° W	J			
	N4° E,dip60° E	B	梅 山 層	硬頁岩	
132.5K	N12° E,dip39° E	J	梅 山 層	砂岩	
133.95K	N21° E,dip58° E	C	梅 山 層	硬頁岩	
134K	N4° E,dip34° W	B	梅 山 層	砂岩	
137.5K	N54° E,dip52° S	C	畢祿山層	板岩	照片 8-2
138K	N52° E,dip54° S	C	畢祿山層	板岩	
138.5K	N54° E,dip52° S	C	畢祿山層	板岩	
139.1K	N50° E,dip65° S	J	畢祿山層	凝灰質砂 岩	照片 8-3
140K	N23° W,dip62° W	J			
	N29° E,dip36° E	C	畢祿山層	板岩	
141.4K	N66° W,dip69° E	J	畢祿山層	綠色岩	

里程數	位 態	不連續面	地層名稱	岩 性	備 註
141.5K	N30° W,dip90°	J	畢祿山層	板岩	
141.9K	N80° W,dip55° N	J	畢祿山層	綠色岩	
142.3K	N65° W,dip75° W	J	畢祿山層	綠色岩	照片 8-4
143.3K	N15° E,dip8° E	J	畢祿山層	板岩	
145.35K	N49° E,dip25° E	B	畢祿山層	變質砂岩	
145.5K	N24° E,dip24° E	C	畢祿山層	板岩	
146K	N50° E,dip27° S	B	畢祿山層	變質砂岩	
146K	N35° E,dip29° E	B	畢祿山層	變質砂岩	照片 8-5

J：節理 B：層面 C：劈理

## 二、野外測試

野外測試所使用的儀器有點荷重儀及史密特槌(Schmidt hammer)二種，主要工作是以 L 型史密特槌為主，其攜帶方便、操作簡單，測試數據可以馬上得到，使工作者在現場中立刻可具有當地之岩力強度的概念。其沿線數值（簡稱 R 值）表列如下：

表 8-2、南橫公路梅山至啞口沿線 R 值表

里程數	R 值	敲擊時與不連續面之關係	岩性	岩力強度 (Mpa)
110.5K	25-30		A	22-26
110.6K	17-25		A	16-22
111K	15-18		A	15.5-17.5
111.5K	20-26		A	18-22.5
112.25K	20-26		A	18-22.5
112.8K	22-28		A	19-25
114.3K	25-30	⊥節理	A	22-26
	33-36	⊥劈理		28-30
	38-45	⊥帶有方解石之節理表面		34-39
114.9K	25-36	" 帶有石英質之劈理面	A	22-30
	15-25	⊥劈理		16-22
117.9K	25-32	⊥劈理	A	22-28
118K	15	" 劈理	A	16
	10-15	⊥劈理		13.5-16
118.4K	35		SS	36
119.5K	20-25		A	17-22
120.3K	20-22	⊥劈理		17-19
120.9K	34		SS	35
122.1K	38-43		SS	40-47
122.4K	45		SS	50

表 8-2、南橫公路梅山至啞口沿線 R 值表

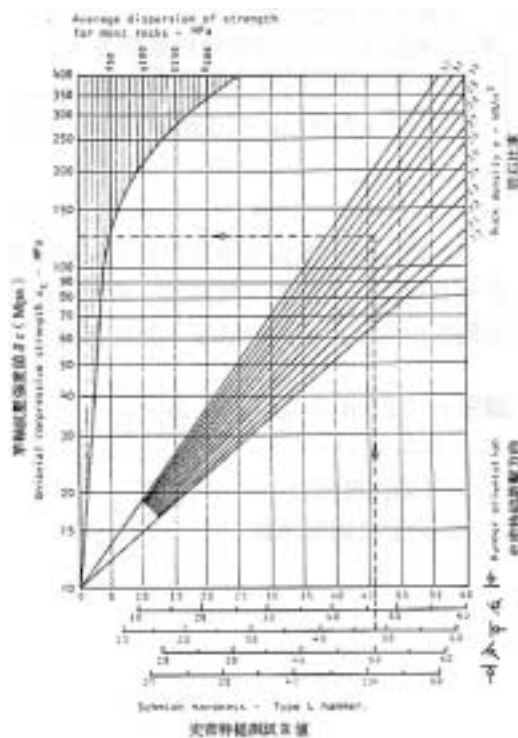
里程數	R 值	敲擊時與不連續面之關係	岩性	岩力強度 (Mpa)
122.7K	25-30		SS	25-29
	32-36	⊥節理		32-37
	35-37	⊥層面		36-38
123K	44		SS	48
123.4K	33		SS	34
124.02K	38-45		SS	40-49
124.5K	32-40		SS	32-42
125K	40		SS	42
125.47K	30-34		SS	29-36
125.52K	32-38		SS	32-40
125.9K	24-28		A	21-25
	28-38			25-34
126.4K	20-25		A	17-22
127.3K	30		SS	29
130.5K	30-35		SS	29-49
132K	28-33		SS	28-34
135.1K	23		A	20
139K	21		S	19
140K	30-40		S	27-36
140.3K	28-30	// 劈理	S	27
140.95K	28		MSS	45
141.03K	30-40		Gr	35-60
141.5K	20-30		MSS & Sh	28-49
141.9K	20-30		S	18-26
142K	31	// 劈理	S	26
	22	⊥ 劈理		20

表 8-2、南橫公路梅山至啞口沿線 R 值表

里程數	R 值	敲擊時與不連續面之關係	岩性	岩力強度 (Mpa)		
142.53K	45-50	含方解石脈及石英	Gr	85-115		
	30-40			35-60		
143K	22-25			S	19-22	
144K	34-37			S	29-32	
144.2K	24-30			S	21-26	
144.5K	32-40			MSS	53-83	
145.3K	46			MSS	120	
145.5K	42-45			MSS	98-115	
145.6K	36			⊥ 劈理	S	30
145.8K	40-48			// 節理	MSS	83-135
145.9K	35-40		MSS	63-83		
146K	36		S	30		
	32			27		
146.5K	40		MSS	83		
A：硬頁岩、SS：砂岩、S：板岩、Gr：綠色岩 Sh：頁岩、MSS：變質砂岩						
Density 比重 (粗略估計)	板岩 14.51kg/m ³	硬頁岩 14.02kg/m ³	砂岩 17.06kg/m ³	綠色岩 27.25kg/m ³	變質砂岩 25.78kg/m ³	

有關 R 值大小所代表的岩力強度數值可以由下圖得之。

圖 8-1 史密特槌測試值與岩石單軸抗壓強度之關係



對照 R 值數據表與岩力強度表，由下表可知岩石係屬於何種軟質、硬質等強度範圍的岩石，大體上，南橫公路沿線越往中央山脈核心地帶，岩性硬度越高，即變質度越大，但因構造破碎也相對降低了整體岩石工程性質的強度。

表 8-4、岩體凝聚性強弱之分類表

No.	描 述	單軸壓縮強度	例 子
R1	極弱岩石——可用鐵槌尖輕易敲破並且可用小刀劃開岩石	1—25 Mpa	岩鹽
R2	中弱岩石——小刀僅可劃開微痕，刮取困難。鐵槌尖須用力敲擊，才有深痕。	25—50 Mpa	煤、片岩、泥岩
R3	中強岩石——無法用小刀割或刮，鐵槌尖敲擊用力，才有淺痕。	50—100 Mpa	砂岩、板岩、頁岩
R4	強度岩石——以鐵槌用力打擊才有小塊狀樣本掉落。	100—200 Mpa	大理石、花崗岩、片麻岩
R5	極強岩石——須要鐵槌敲擊多次，才能得到完整的岩塊標本。	7200 Mpa	石英岩等
$1 \text{ Mpa} = 1 \text{ MN/m}^2 = 10.2 \text{ kg/cm}^2 = 145 \text{ lb/m}^2$			

點荷重儀在本調查中使用的次數並不多，使用地點在梅山層之硬頁岩部份，因為硬頁岩破碎時採取大塊標本不易，即以現場測試來取得數據以供參考之用，點荷重儀測試的結果須經過計算，其計算方法如下：

■圖 8-2 Point load Index  $I_s = \frac{P}{D^2}$

$\delta c = 24I_s$

$\delta c$ ：單軸抗壓強度

$I_s$ ：點荷重儀強度係數

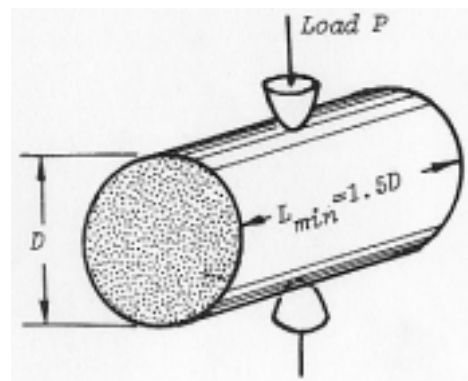
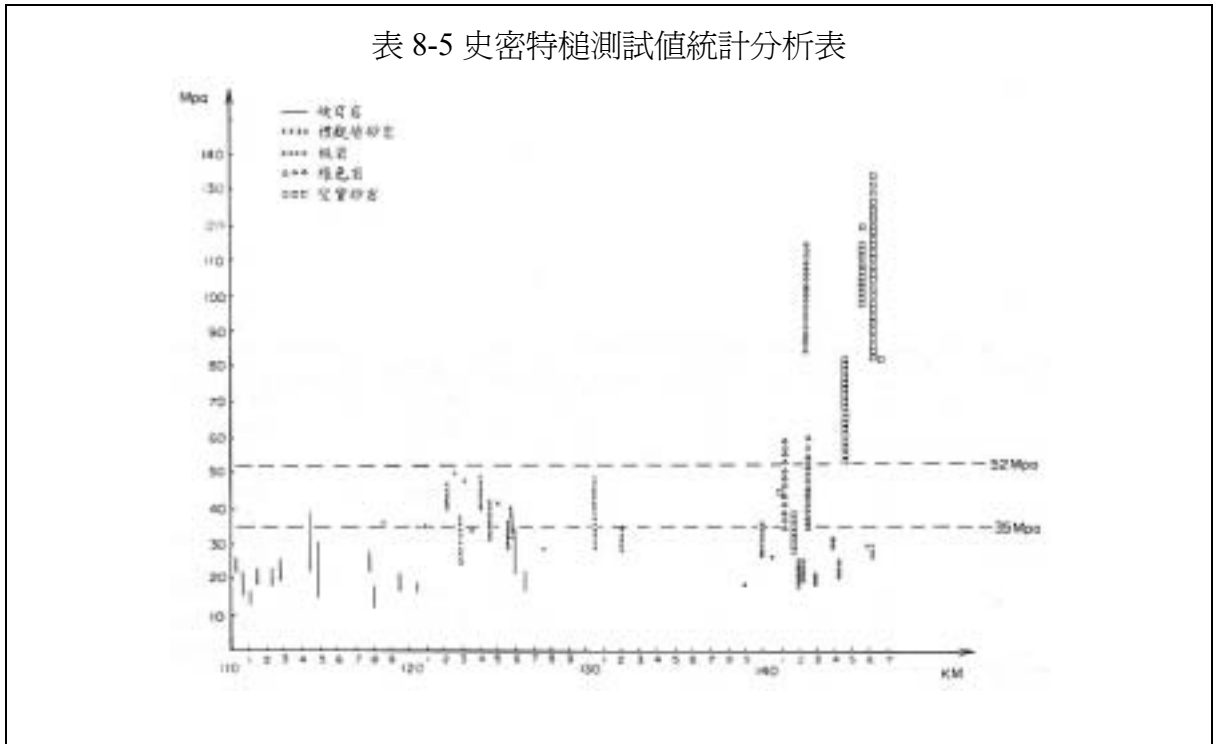


表 8-5 史密特槌測試值統計分析表



在式中 24 代表 54mm 的岩心 (D 值)，對其他 D 值其數據如下：

表 8-6、點荷重儀 D 值常數表 ( 摘自 Hoek & Bray, 1981 )

D	20mm	30mm	40mm	50mm	54mm	60mm
常數	17.5	19	21	23	24	24.5

本次調查所測得的數值如下：

表 8-7、點荷重儀測試值

里程數	D 值(cm)	P 值(kg/cm ² )	IS	$\delta c$ (kg/cm ² )	岩 性
112.1K	5.2	27	1.00	23.20	硬頁岩(沿劈理)
梅山村橋口	4.3	25	1.35		硬頁岩(沿劈理)
113.65K	6.1	24	0.65	15.87	硬頁岩(沿劈理)
119.5K	1.9	45	12.47	216.8	硬頁岩
	2.3	47	8.88	159.5	硬頁岩
	2.5	42	6.72	122.64	硬頁岩
120.9K	5.4	48	1.65	39.51	硬頁岩(沿劈理)
123.4K	6.2	67	1.74	43.22	禮觀層砂岩
	6.3	83	2.09	51.86	
130.5K	2.5	90	14.4	262.8	硬頁岩
	2.6	70	10.36	190.5	硬頁岩



里程數	D 值(cm)	P 值(kg/cm ² )	IS	$\delta c$ (kg/cm ² )	岩 性
	4.1	55	3.27	69.3	硬頁岩
	3.2	74	7.23	150.3	砂岩
	2.7	170	23.32	420.9	砂岩
	4.1	155	9.22	195.5	砂岩
	3.7	200	14.61	298.0	砂岩
132k	2.7	57	7.82	145.0	硬頁岩
	3.9	25	1.64	34.4	硬頁岩(沿劈理面)
	1.8	50	15.43	272.4	硬頁岩(沿劈理面)
	4.2	192	10.88	232.9	硬頁岩(沿劈理面)
134.1K	3.5	150	12.24	244.9	硬頁岩
	3.1	100	10.41	200.8	硬頁岩
	4.2	135	7.65	162.2	硬頁岩
	3	70	7.78	147.8	硬頁岩
138.5K	5.25	17	0.62	14.42	板岩(沿劈理面)
141.5K	4.75	115	5.10	114.68	板岩( $\perp$ 劈理面)
1 Mpa = 10.2kg/cm ² = 145 lb/m ²					

# 玖、室內試驗結果

---

- 一、單軸抗壓強度試驗
- 二、直接剪力試驗
- 三、結 論
- 四、野外測試與室內試驗結果之比較

為初步了解南橫公路沿線各種不同岩性之岩石力學性質，以為進一步評估各類岩石在南橫公路邊坡穩定所扮演的角色，在調查公路邊坡之同時，採取各種岩性之岩塊，在實驗室鉗取 Nx 岩心，進行單軸抗壓強度及直接剪力強度試驗。各項試驗工作之進行步驟分別以下列二種試驗準則為依據：

- 1.ASTM: Part 19, soil and rock; building stone.
- 2.VUTUKURI: Mechanical properties of rocks.

## 一、單軸抗壓強度試驗（包括 Es, Vs）

鉗取之岩心經以切割機及岩心修平機修裁成長徑比為 2.5:1 之試體，並將試體兩端整修，使其兩面皆垂直於岩心長軸並且相互平行，然後在每一試體側面相對位置各貼上一片雙向垂直之箔式應變計（其貼法為將岩心長軸方向中間處之岩心圓周分成二等份，以砂紙及丙酮將欲貼應變計之範圍處理平整乾淨後，在對稱之等份分別貼上縱橫雙向應變計各一片），鉗上導線後，靜置 24 小時以上，然後上機進行抗壓強度試驗。

本試驗採取美國 SBEL 100 噸抗壓試驗機，其加壓速率均勻控制，使每個試體在 15-20 分鐘左右破壞。試驗過程輔以日本 kyowa 公司之 Data Scanner(UCAM-5B)記錄荷重及試體之應變，據以處理試驗結果。試驗結果列如表 9-1 及圖 9-1 至圖 9-21。

表 9-1 單軸抗壓強度試驗結果

編號	採樣位置	岩 性	單壓強度 $\delta c, \text{kg/cm}^2$	靜態彈性模數 $E_s, \times 10^5 \text{kg/cm}^2$	蒲松氏比 Vs	備 註
1	114.0K	硬 頁 岩	708.47	3.08	0.33	平行劈理破壞圖一
2	121.0K	硬 頁 岩	353.12	2.27	0.38	平行劈理破壞圖二
3	121.35k	變 質 砂 岩	1847.24	6.31	0.18	平行劈理破壞圖三
4	122.7K	硬 頁 岩	527.49	3.25	0.26	平行劈理破壞圖四
5	123.0K	變 質 砂 岩	1485.25	5.38	0.35	平行劈理破壞圖五
6	125.0K	變 質 砂 岩	943.90	3.04	0.25	平行劈理破壞圖六
7	128.0K	變 質 砂 岩	1138.29	5.69	0.10	平行劈理破壞圖七
8	130.3K	變 質 砂 岩	1222.08	5.07	0.13	平行劈理破壞圖八

編號	採樣位置	岩 性	單壓強度 $\delta c, \text{kg/cm}^2$	靜態彈性模數 $E_s, \times 10^5 \text{kg/cm}^2$	蒲松氏比 Vs	備 註
9	131.8K	硬 頁 岩	698.92	4.45	0.23	平行劈理破壞圖九
10	132.5K	變 質 砂 岩	883.14	3.18	0.35	平行劈理破壞圖十
11	133.95K	硬 頁 岩	700.77	2.75	0.24	平行劈理破壞圖十一
12	134.0K	硬 頁 岩	604.28	2.31	0.19	平行劈理破壞圖十二
13	137.5K	板 岩	852.28	3.74	0.34	平行劈理破壞圖十三
14	138.0K	板 岩	231.68	5.68	0.25	平行劈理破壞圖十四
15	139.1K	凝灰質砂岩	549.87	3.97	0.10	平行劈理破壞圖十五
16	141.4K	綠 色 岩	1295.63	4.80	0.35	平行劈理破壞圖十六
17	141.9K	綠 色 岩	725.34	5.07	0.31	平行劈理破壞圖十七
18	142.3K	綠 色 岩	1015.93	4.35	0.24	平行劈理破壞圖十八
19	143.3K	板 岩	69.35	2.61	0.39	平行劈理破壞圖十九
20	146.0K	變 質 砂 岩	1783.40	6.29	0.20	平行劈理破壞圖二十
21	146.0K	變 質 砂 岩	750.03	3.58	0.10	平行劈理破壞圖廿一

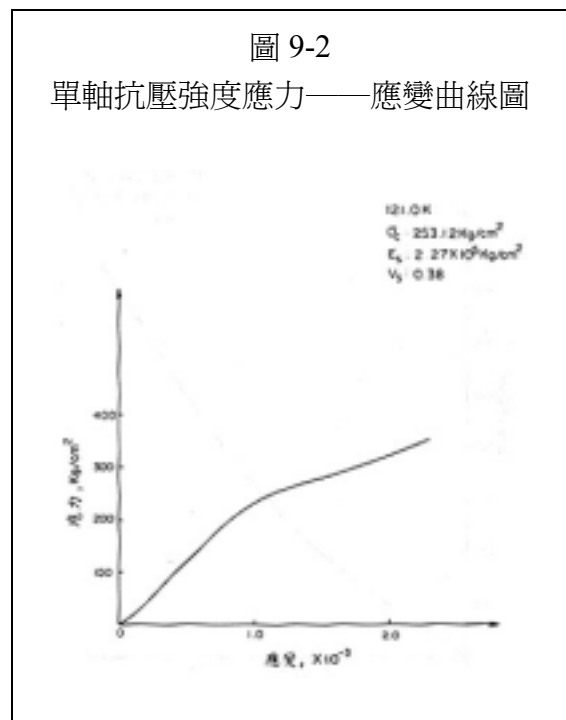
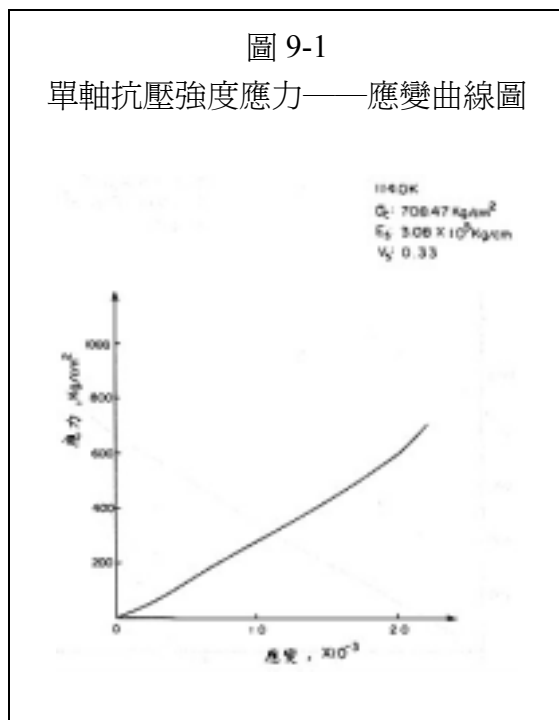


圖 9-3  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

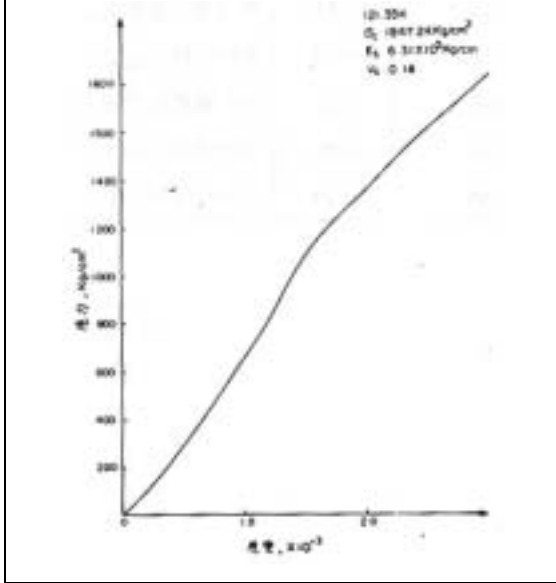


圖 9-4  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

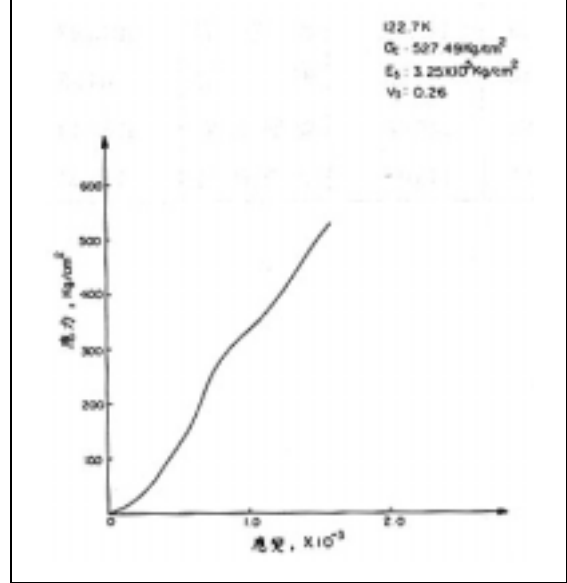


圖 9-5  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

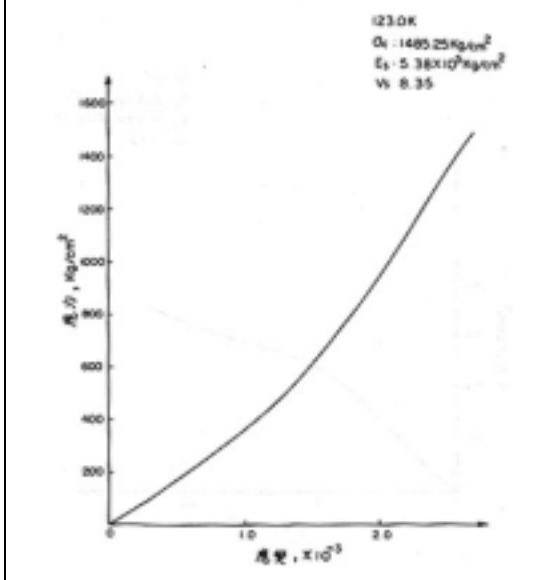


圖 9-6  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

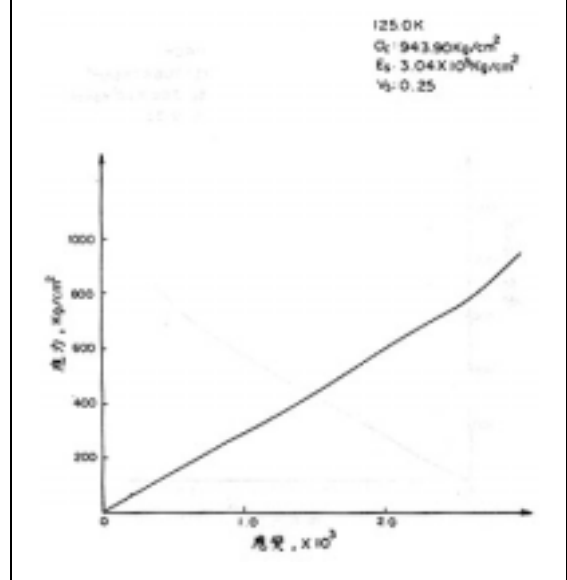


圖 9-7  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

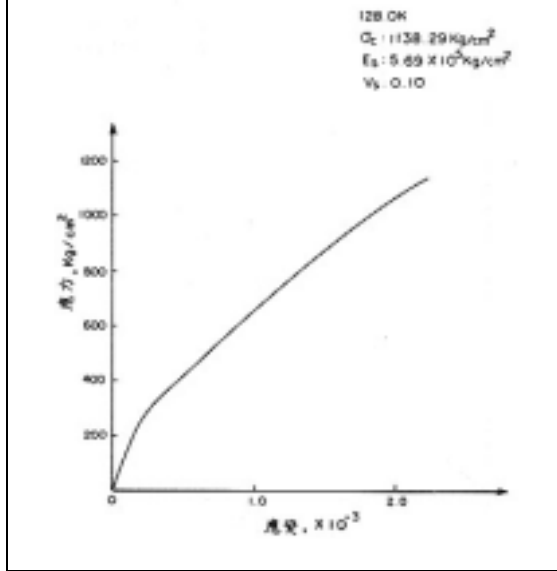


圖 9-8  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

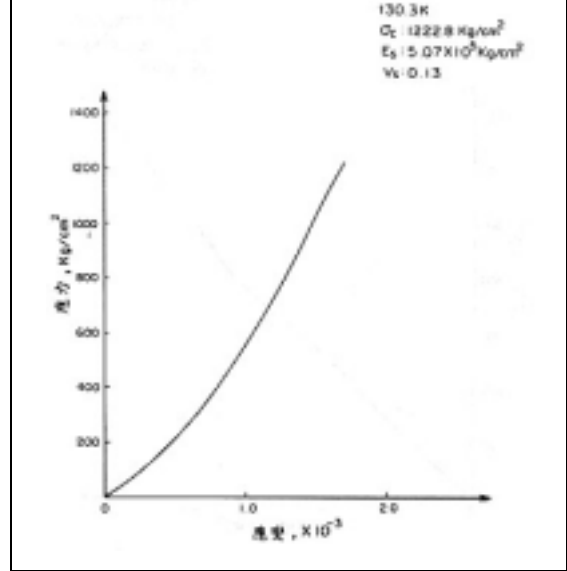


圖 9-9  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

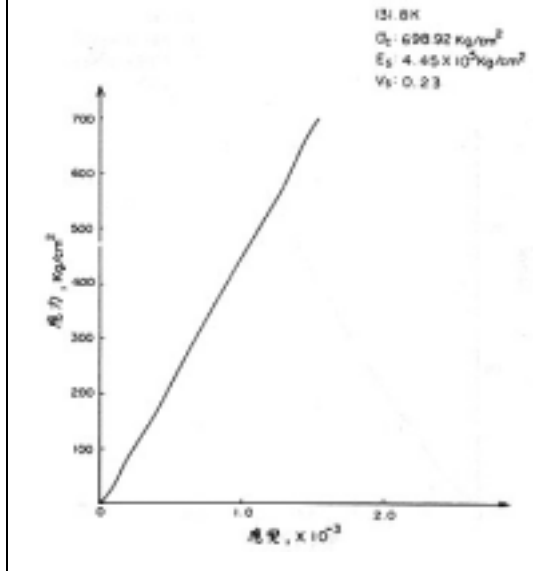


圖 9-10  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

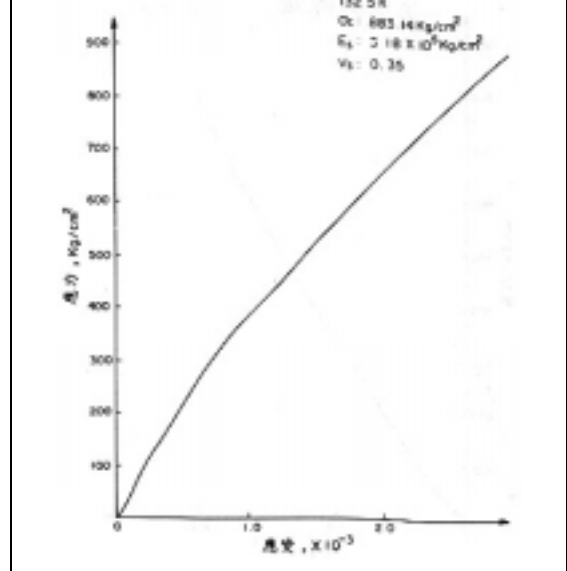


圖 9-11  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

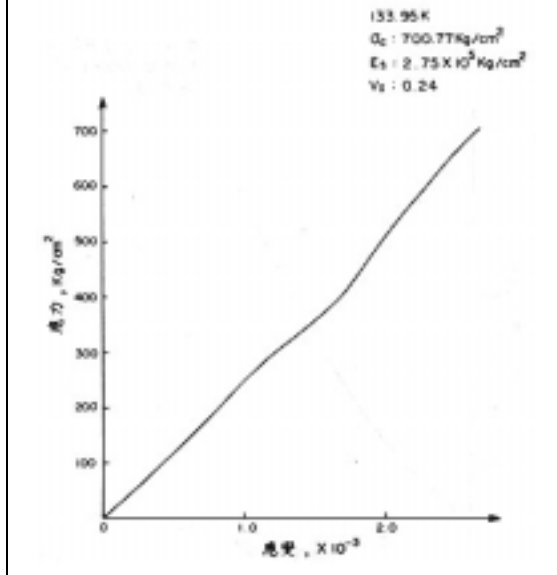


圖 9-12  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

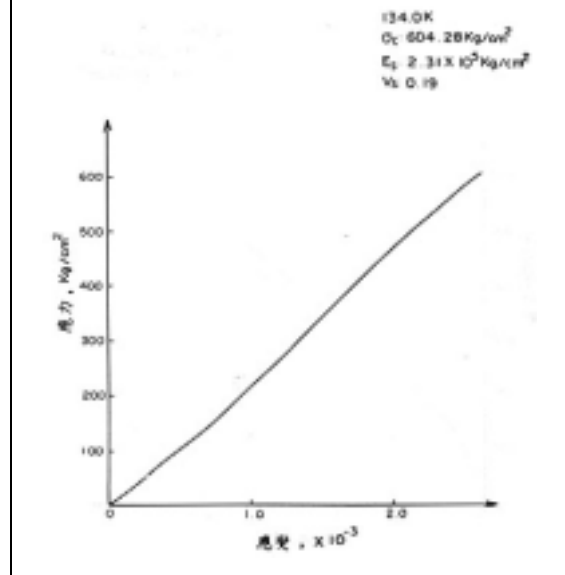


圖 9-13  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

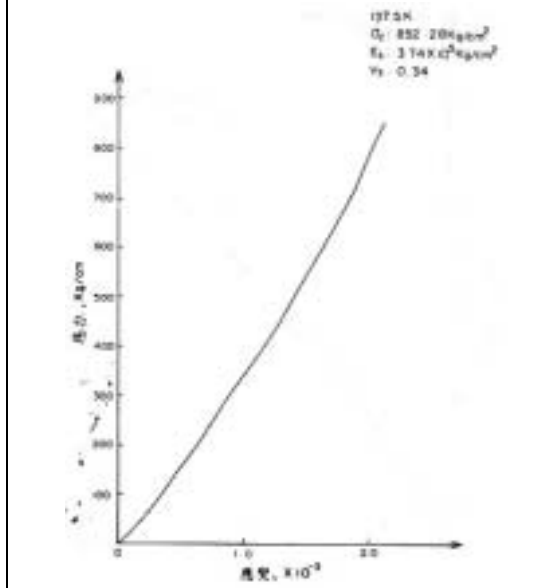


圖 9-14  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

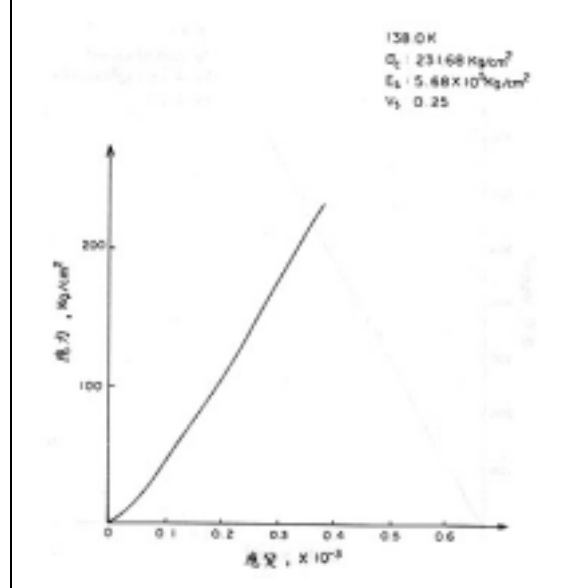


圖 9-15  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

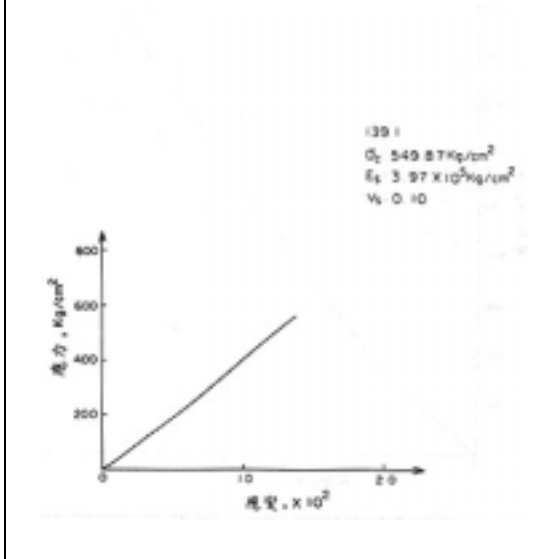


圖 9-16  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

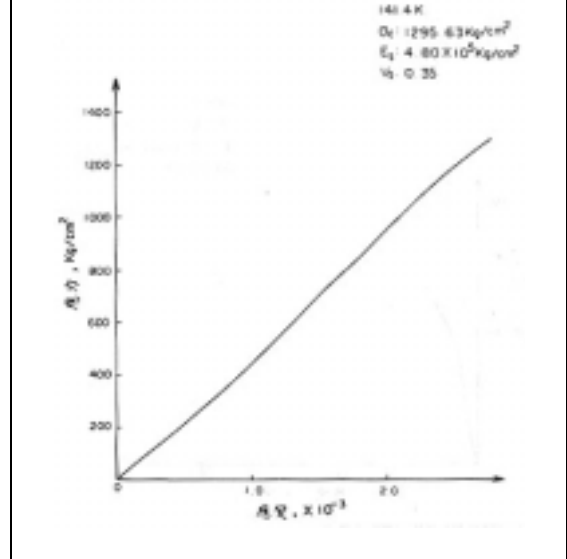


圖 9-17  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

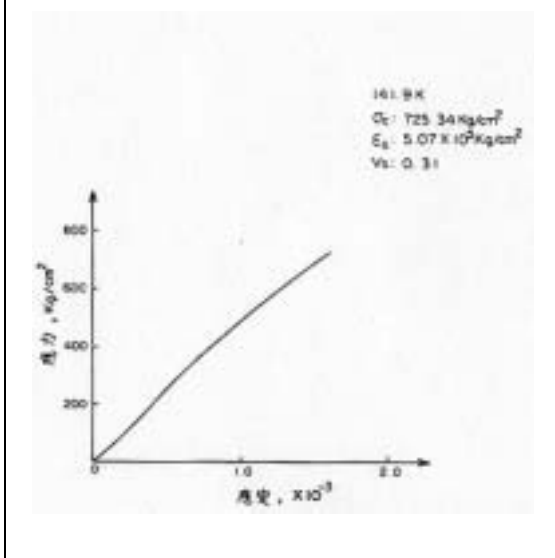


圖 9-18  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

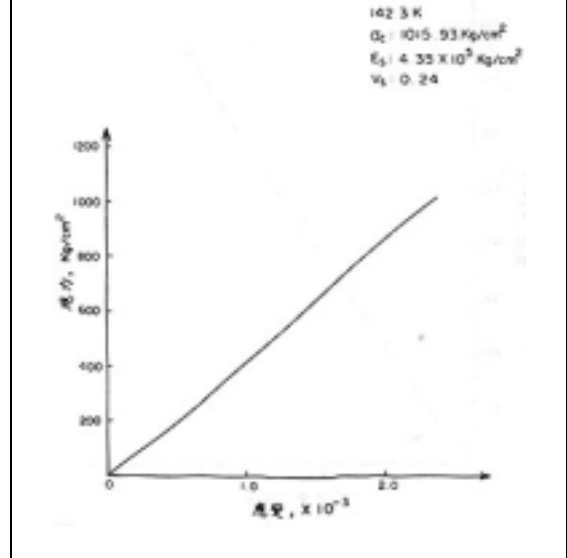




圖 9-19  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

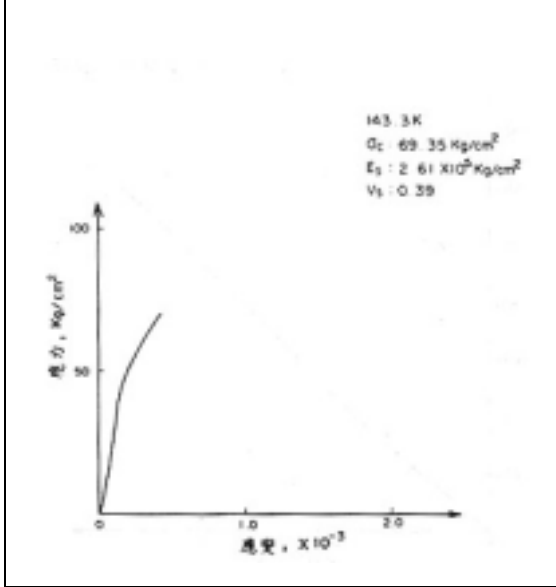


圖 9-20  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖

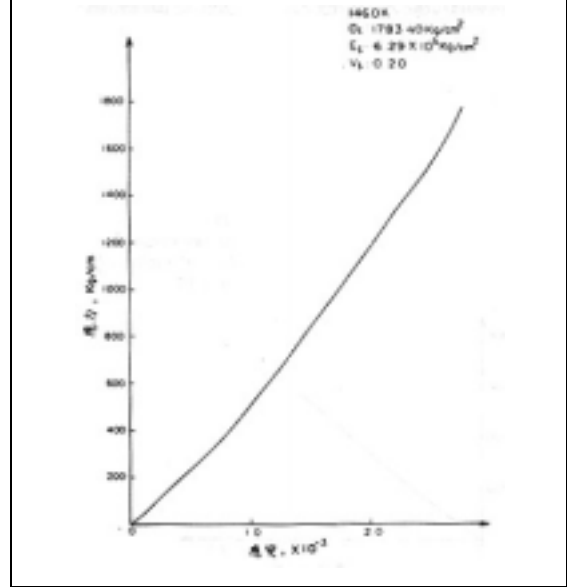
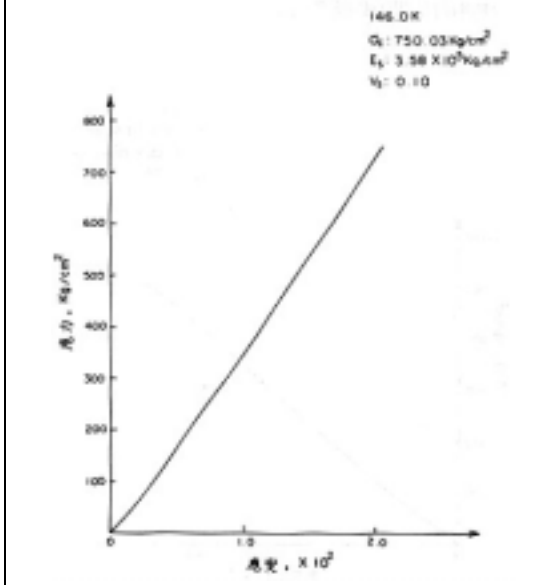


圖 9-21  
單軸抗壓強度應力——應變曲線圖



## 二、直接剪力試驗

本調查計畫所採之岩樣多屬新鮮堅硬，為有助於實際邊坡破壞狀況評估分析之參考，採行將試體切割後將受試面磨平，試驗求取岩石材料之基本摩擦角(Basic friction angle)。

本實驗採單段式，即一個試體僅作一次加壓試驗；每組試驗則以三個試體分別在不同之正向壓力下進行剪力試驗。將適當長度（長徑比約 1.5~2.0）之岩心試體切割成二後，將切割面整修平滑，然後將試體固定於英國 Whykham 公司 10 噸剪力儀之剪力盒中的調整器，在預定之正向應力下施加剪應力，直至剪應力不再變化為止。

將試驗所得之結果繪製剪位移—剪力線及正應力—剪應力關係圖，並以 Least-squares method 求得  $\phi_b$  (basic friction angle)。試驗結果列如表 9-2 及圖 9-22 至圖 9-29。

表 9-2 直接抗剪強度試驗結果

編號	岩性	基本摩擦角, $\phi_b(^{\circ})$	備註
1	變質砂岩	27.0	圖 9-22, 圖 9-23
2	綠色岩	30.4	圖 9-24, 圖 9-25
3	硬頁岩	35.0	破壞面垂直劈理; 圖 9-26、圖 9-27
4	板岩	26.7	破壞面垂直劈理; 圖 9-28、圖 9-29

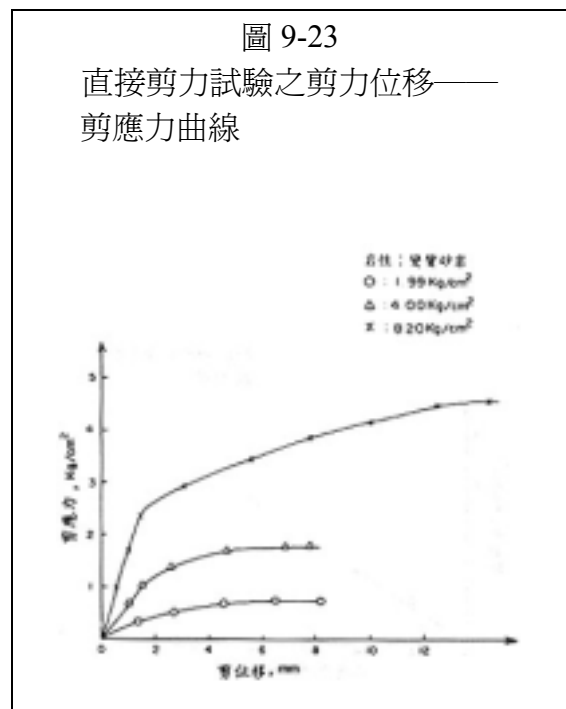
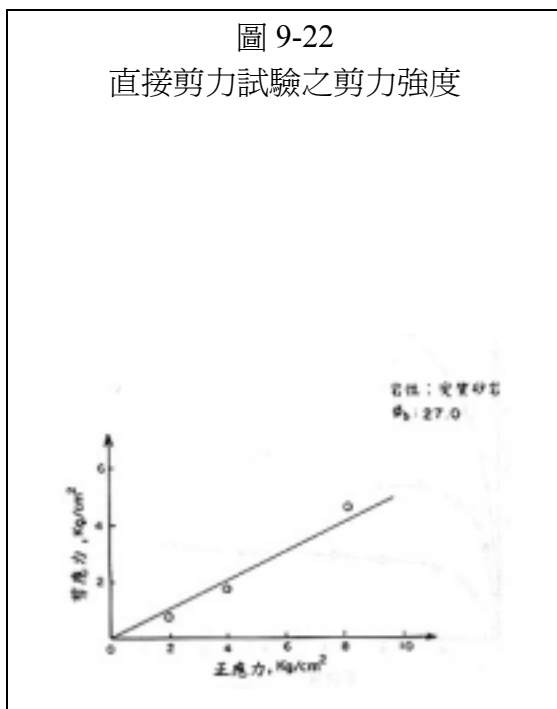


圖 9-24  
直接剪力試驗之剪力強度

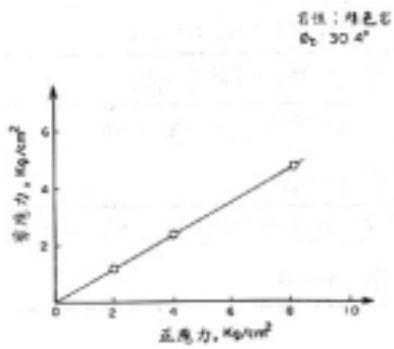


圖 9-25  
直接剪力試驗之剪力位移——  
剪應力曲線

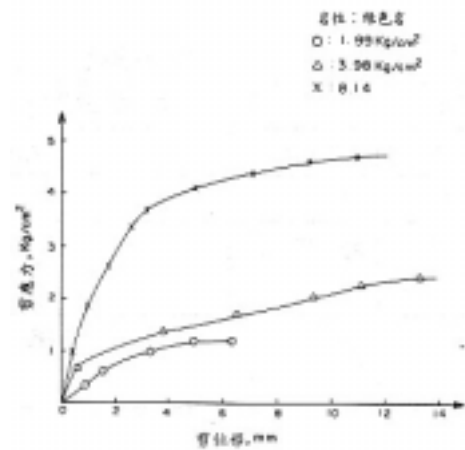


圖 9-26  
直接剪力試驗之剪力強度

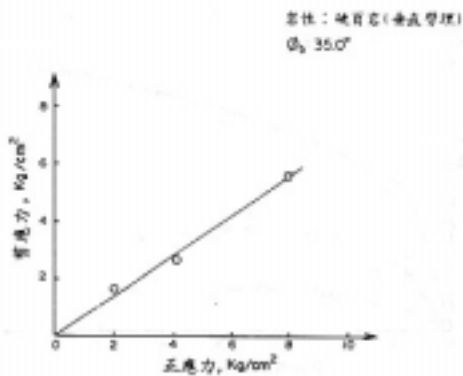


圖 9-27  
直接剪力試驗之剪力位移——  
剪應力曲線

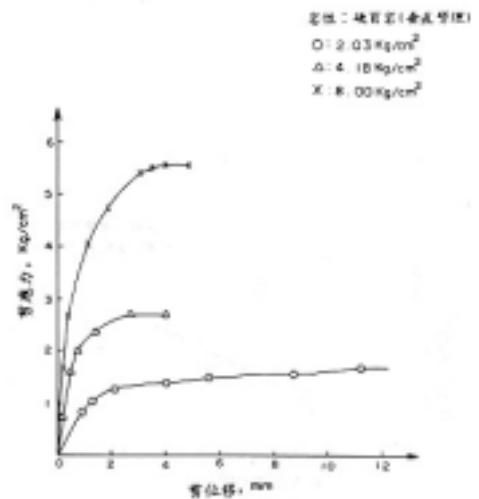


圖 9-28  
直接剪力試驗之剪力強度

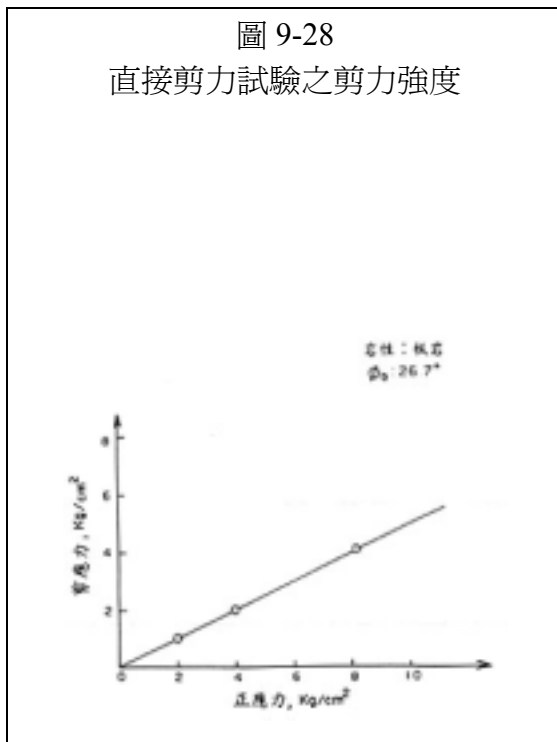
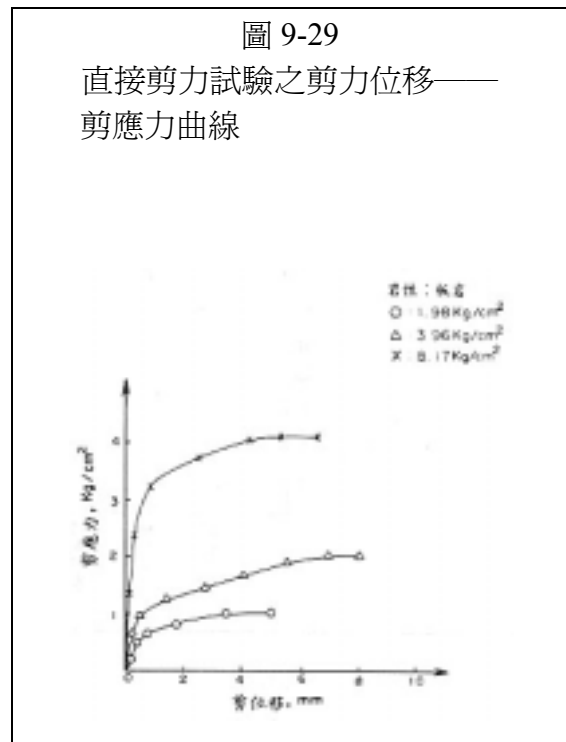


圖 9-29  
直接剪力試驗之剪力位移——  
剪應力曲線



### 三、結論

本計畫送至實驗室試驗之岩心試體包括變質砂岩、硬頁岩、板岩及綠色岩等。綜合分析試驗過程各試體所表現之力學現象及試驗結果，可獲致下列之結論。

(一)受試之四類岩石中，硬頁岩及板岩視劈理之發達程度而具有較可觀之力學不等向性，其抗壓強度及抗剪強度可能隨著岩心軸向與劈理交角之角度不同而有顯著之差異，通常平行劈理方向之抗壓強度及抗剪強度較垂直劈理方向小。相對地，變質砂岩及綠色岩則較具有力學等向性。

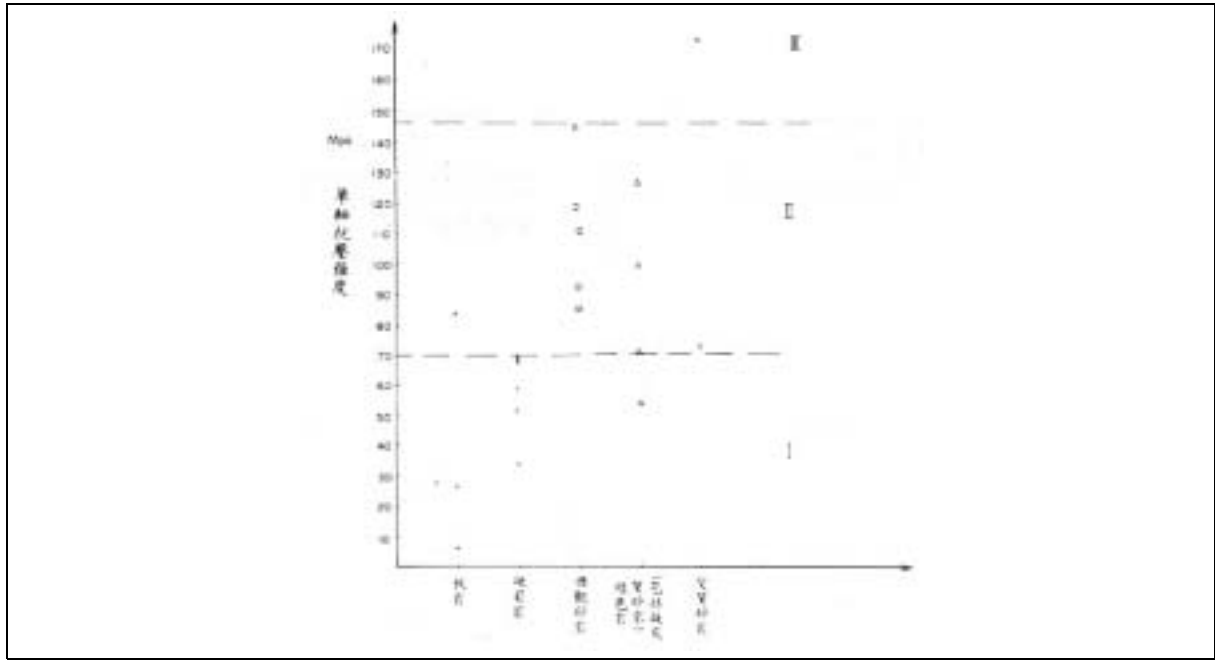
(二)四類受試岩石之抗壓強度以變質砂岩為最高，顯示其輕度變質之再膠結作用極為良好；而板岩之強度則變化最大( $69 \sim 850 \text{ Kg/cm}^2$ )。

(三)大多數試體在抗壓強度試驗時，多以脆性破壞模式破壞，在壓破之剎那，爆裂聲響，碎片飛跳。

(四)在求取岩石材料基本摩擦角( $\phi_b$ )之試驗狀況下，受試之平滑面已無凝聚力存在( $C=0$ )，其抗剪強度實際上僅有新鮮岩石平滑面之摩擦力。基本摩擦角主要受岩石所含之礦物成份所影響，本計畫區內四種岩石之基本摩擦角介於  $27.0^\circ \sim 35.0^\circ$  之間，其中以硬頁岩最大，而板岩最小。

(五)送試之試體皆為新鮮堅硬，其抗壓抗剪強度當然遠比風化後之產物或具有不連續面者來得大，因此邊坡自完整岩石材料破壞之可能性並不高，亦即邊坡穩定分析仍應著重於岩體之不連續面情形或塊狀岩塊之崩落行爲。

表 9-3 室內試驗單軸抗壓強度統計分析表



(岩石種類)

表 9-4、試驗結果比較表

岩性	野外測試	室內試驗	計算差值
硬頁岩	20~35Mpa	35—70Mpa	15~35
禮觀砂岩	28~50Mpa	87—146Mpa	55~96
板岩	18~36Mpa	23—84Mpa	5~48
綠色岩	35~115Mpa	54—127Mpa	19~8
變質砂岩	45~135Mpa	73.5—175Mpa	28.5~40

#### 四、野外測試與室內試驗的比較

(一)造成野外測試結果與室內試驗結果不同值的原因可能來自

1. 風化作用使野外測試的岩體已喪失若干膠結力。
2. 不連續面的分布使得岩體鬆動。
3. 野外測試的岩體往往含有若干水份，試體並非完全乾燥或近於乾燥。

(二)野外測試與室內試驗結果的意義與應用

1. 野外測試結果雖然不精確情形較高，但卻較能反應實際地狀況。

2. 室內試驗的岩體在較乾燥及較少風化的情形下，其數值較能反映真正岩體未受外力影響下的強度，可稱之為理論上的數值。
3. 如果只是進行邊坡處理而非大規模開挖或整建（如隧道的修築）野外測試的結果較室內試驗結果為重要，尤其本區內表層風化情形極為普遍和不連續面構造甚為發達下更是如此。
4. 野外測試的結果與室內試驗結果的差值可能代表了風化作用及不連續面分布對整體岩力強度的影響程度。（表 9-4）
5. 室內試驗的結果由統計分析圖上（表 9-3），可看出能分成三類不同強度的岩石即
  - a. 硬頁岩與板岩
  - b. 禮觀砂岩與綠色岩
  - c. 變質砂岩與野外測試結果分成三類的岩石相同（表 8-5）。

# 拾、工程地質圖說明

---

工程地質圖的用途在許多大地開發計劃之中是非常重要的環，因為工程地質家將各種研究及測試的結果依照實際的需要繪製在圖上，計劃開發者可以根據工程地質圖上的這些資料來決定何種開發計劃的可行性，並且可以事先了解大地的岩石、土壤、地下水等特性而迴避可能的工程災變及金錢的浪費，其價值可謂極大。

一份工程地質圖通常必須包括地形圖，基本地質圖，各種岩石，土壤的資料，水文及氣候的測試結果，地表植生情形，舊有人類活動的紀錄……等等。這些資料通常是依照下述原則而列上去的。(1)岩石和土壤的特性，如分布、層位、構造順序、年代、生成原因、岩性、產狀和它們的物理及機械特性。(2)水文狀況，即含水層、含水之不連續面、地下水面、泉水等。(3)地形因素，如地表地形和重要的地形單位。(4)地質動力的(Geodynamic)狀況，如侵蝕、沈積作用、邊坡的移動、活斷層等。

本區的工程地質圖因為用來做為公路邊坡穩定的處理之用，因此所包括的資料有地形等高線圖、地質（岩層單位、岩性、地質構造），不連續面及其分析，岩石工程分類性質，現有崩塌地位置及規模，重要地形單位（如天池區、梅山村地區），岩石工程數據，部份水文資料如泉水、溪流等。同時包括有重要崩塌地的剖面圖。

在工程地質圖中必須要解釋的是有關岩石工程分類的問題，岩石的工程分類在目前並沒有很適當的分類法，因為岩石是不均質的(inhomogeneous)及非常向的(non-isotropic)，所以很多分類法都有相當多的爭議。在本報告中採用 Hoek & Bray 所著岩石邊坡一書中所列的分類是由凝聚力(cohesion)做基礎即 R1、R2、R3、R4、R5 等，基本上是非常簡單的，也很容易瞭解（見本報告捌，野外採樣及測試）。在本調查研究中，決定岩石壓縮強度的依據有二，一為史密特槌測試的資料，一為室內實驗所得到的數據，因以斷定其單軸壓縮強度值。本區由基本地質及岩石力學數據的分析，可知全區的岩石力學特性可分成幾種岩性，即梅山層的硬頁岩，禮觀層的砂岩，畢祿山層的板岩，變質砂岩及綠色岩等。將之分成極弱、中弱、中強、極強等種類，如此在整體的製圖上也一目了然，分層顯明。

地質構造上在工程地質圖上繪出者為新關斷層，檜谷斷層，大關山斷層，至於重要的小規模斷層也將之標定出。褶皺情形在有崩塌的地點或有潛在危險的地區將之標示出來，不過本區之中構造複雜，地質調查研究仍有眾多的問題，褶皺的種類及分布即是其一。岩層的單位為梅山層、禮觀層及畢祿山層，將之配合岩性做圖，



梅山層大體上視做均一岩性，其岩力強度  $\delta c$  為 180 至 300kg/cm² 之間，亦即為 R1 或 R2，因此可以一個單位視之。禮觀層情形亦然， $\delta c$  為 350 至 520kg/cm² 之間，岩力強度為 R2 或 R3。畢祿山層中岩性較為多種，可以構成有關岩力強度的基本單位為板岩、變質砂岩、綠色岩等。板岩之  $\delta c$  為 230 至 350kg/cm² 為 R1 或 R2 級，變質砂岩之  $\delta c$  一般均在 520kg/cm² 以上為 R3 或 R4 級，而綠色岩之  $\delta c$  為 350kg/cm²，屬 R2 或 R3 級之岩石強度。

#### P.199

地形上，除地形等高線圖之外，並註明舊有崩積層之情形，如 116K 附近，天池地區等。河階台地如在調查範圍之內也一併表示出，如梅山村。構成主要的地形要素。

野外採樣地點也在圖上標示，採樣後所做的試驗報告，請參考玖、室內試驗結果。

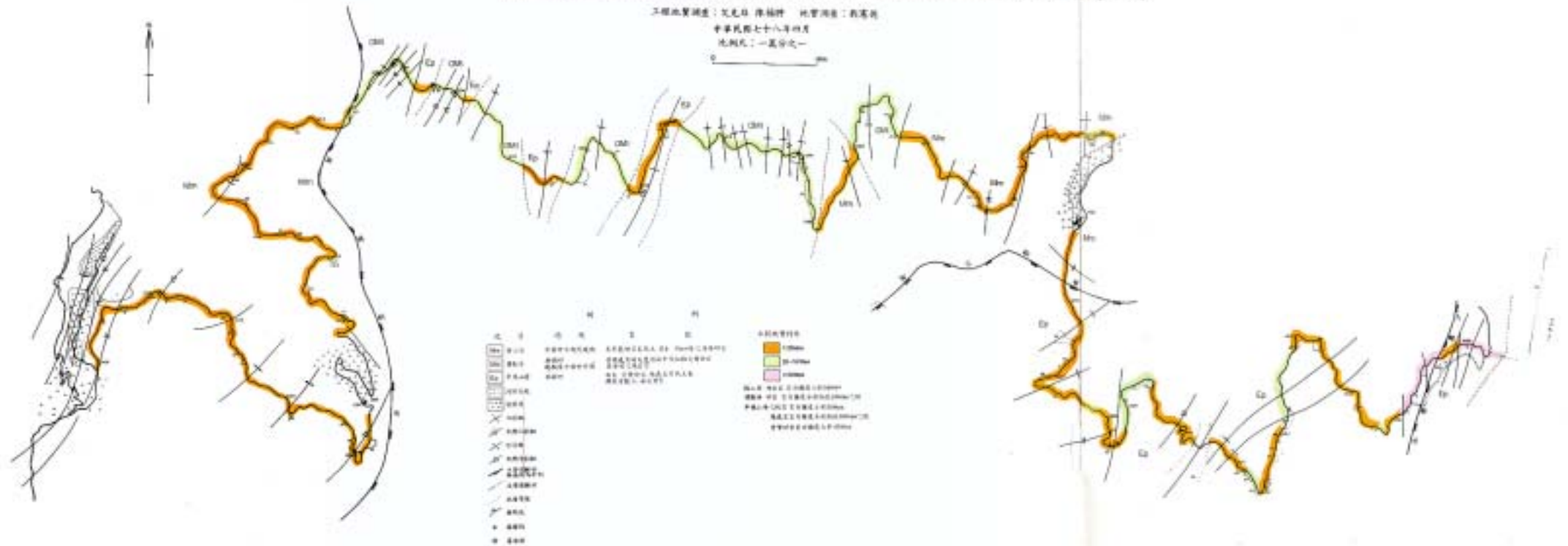
本工程地質圖的比例尺為五千分之一，是由一萬分之一的底圖經放大一倍而成，在報告中所附的工程地質圖摺頁，是由一萬分之一的底圖縮小而成，供做附加簡圖以便利閱讀。有關各種地質及岩石力學性質和地形等符號請參考圖例。

# 南橫公路梅山至啞口沿線工程地質圖

工程地質調查：沈光華 徐錫輝 地質調查：戴憲邦

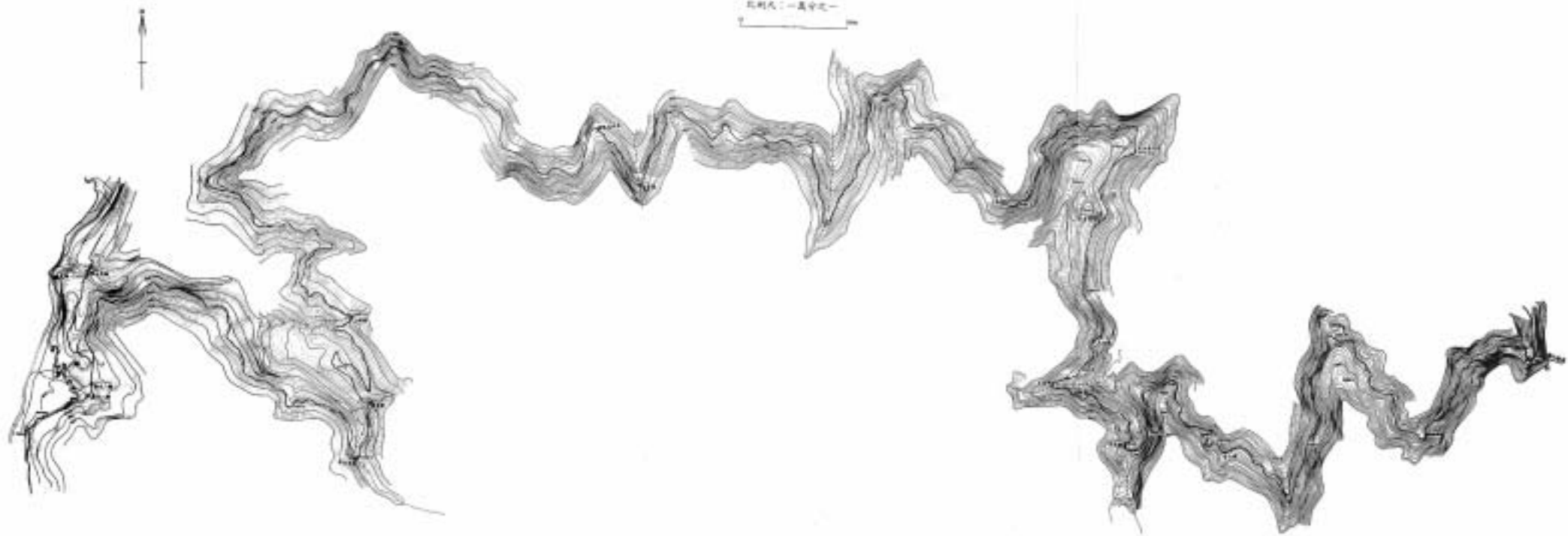
中華民國七十八年四月

比例尺：一萬分之一



# 南橫公路梅山至啞口沿線地形圖

中華民國三十八年四月  
比例尺：一萬分之一





◀ 照片 2-1

由 118.7K 往西南 40 度方向拍攝玉米及雜糧在山坡上種植的情形。此種農墾的行為容易導至表土流失的現象。

▼ 照片 2-2

天池林務局後山上培育林木的情形，此地區為一舊崩場地，岩性為梅山層硬頁岩。





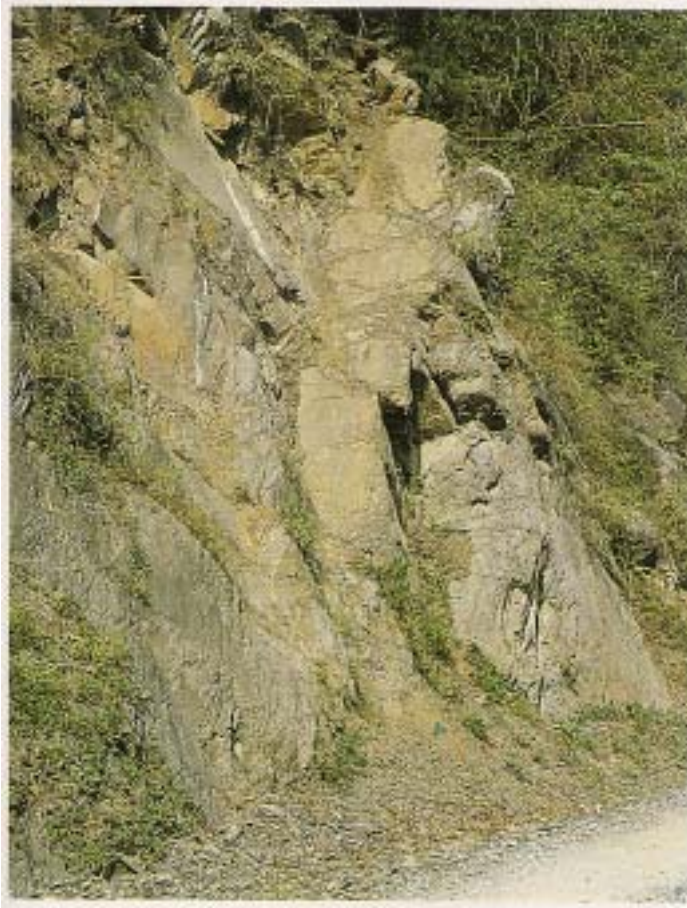
照片 2-3

112.5K 大雨後產生崩塌的情形，由於大量的雨水會增加岩體的荷重，如果岩力強度不夠，或是不連續面之間的膠結力不足，則很容易在雨後產生崩塌。



▲照片 6-1

No.1 梅山村橋口，岩塊掉落。附近有許多褶皺的通過，節理發達，地層為梅山層硬頁岩夾薄層砂岩，硬頁岩性軟弱，產生岩塊掉落情形。



◀ 照片 6-2

No.4 111.0K 附近。岩塊掉落。梅山層硬頁岩，岩體受節理、劈理影響呈現破碎而產生落石。



▲照片 6-3  
No.9 112.2K 圓弧型滑動。及土石崩落之遠觀。

▼照片 6-4  
No.9 112.2K，土石崩落及圓弧型滑動。表土風化層因受到公路開挖切過以及大雨對表土的沖刷而產生土石崩落及圓弧型滑動的情形。梅山層硬頁岩。





▲照片 6-5

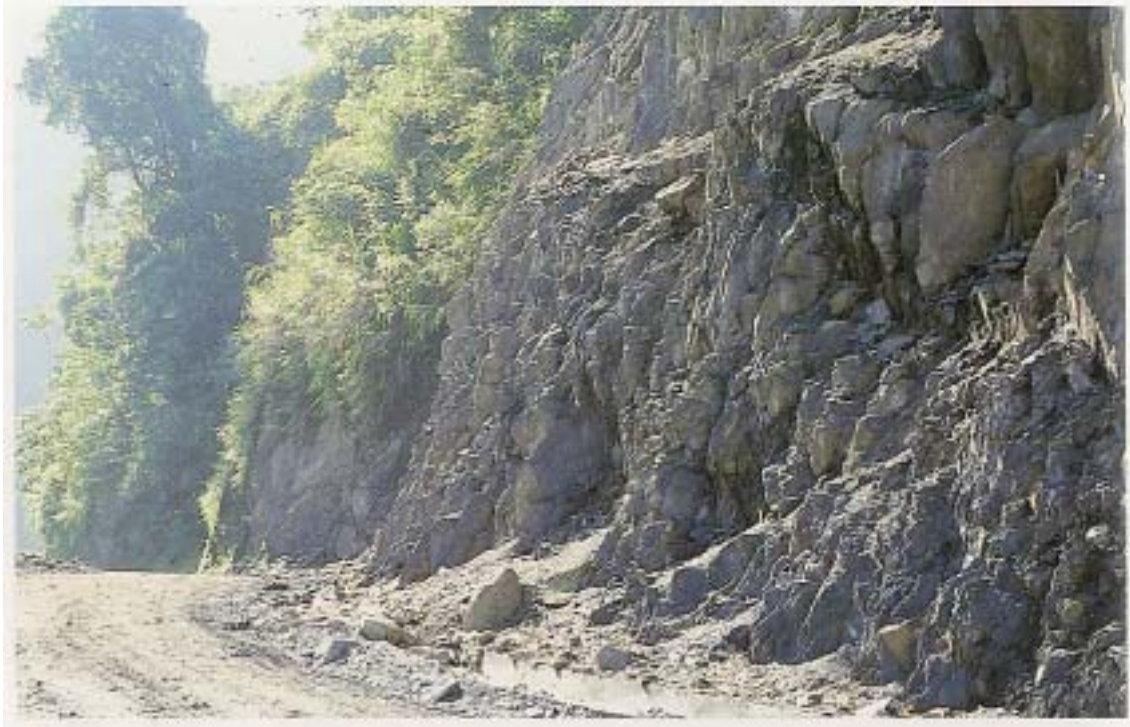
No.11 112.5K，圓弧型滑動。表土風化層因受到大雨的沖蝕，本身邊坡坡角又過大，使邊坡上的表土層因雨水增加的荷重而產生滑動，連同坡上的草本植生一起滾落。

▼照片 6-6

No.13 113.65K，岩塊掉落及土石崩落。圖中左為灰黑色硬頁岩，右為古河床沖積礫石。此地因為修築公路排水渠道，適逢大雨使岩坡上表土風化層傾瀉而下，形成裸露之岩壁，梅山層。







▲照片 6-7

No.13 113.65K，岩塊掉落及土石崩落。同前圖：裸露之岩壁上，可看到許多節理穿過的情形，主要節理呈現垂直的傾斜角。梅山層硬頁岩。

▼照片 6-8

No.15 114.02K，土石崩落及平面滑動。表土風化層因受到其旁溪流的地下水滲入，加上風化作用，如大雨使得表層土壤流失，而其上植生狀況無法有效保護坡面，便沿著劈理面、節理面的方向產生滑落。梅山層硬頁岩。





▲照片 6-9

No.16 114.4K，岩塊掉落。節理組切過岩體，使岩體破碎，節理面上有些含有方解石脈，遇到雨水，一方面因為岩體荷重增加，一方面因為方解石溶於水中而蝕去，減少岩體節理的膠結力，而產生岩塊掉落的情形。梅山層硬頁岩。

▼照片 6-10

No.19 118K，岩塊掉落及土石崩落。由圖上可看到坡頂的表土風化層及硬頁岩碎塊已完全呈現滾落之情形，如遇大雨之沖蝕，土石岩塊的傾瀉可以想見。梅山層硬頁岩。





▲照片 6-11

No.20 118.6K，土石崩落。邊坡受到雨水的沖刷而產生表土風化層的移動。梅山層硬頁岩。

▼照片 6-12

No.21 118.7K，岩塊掉落及平面滑動。由圖中可以看到邊坡護牆對阻止岩體滑落有相當的影響力。梅山層硬頁岩。





▲照片 6-13

No.22 119.3K，岩塊掉落。硬頁岩的脈絡狀劈理產生了鉛筆狀構造，形成碎屑掉落坡腳，這種剝蝕現象對當地地基的穩固有相當大的影響。梅山層。

▼照片 6-14

No.30 122.75K，岩塊及土石掉落、平面滑動。表土風化層受節理切割過岩體之岩塊受風化營力如雨水的作用，而產生掉落滑動。禮觀層砂岩、頁岩。





▲照片 6-15

No.34 125.5K，地基沈陷，圓弧型滑動。來自人為接駁水管，水管破裂，流水帶走較細之土壤，地基因而失去支撐力，產生下滑禮觀層砂岩、頁岩。

▼照片 6-16

No.35 125.9K，楔形滑動及岩塊掉落。左為岩塊掉落所形成之碎石坡，由溪水沖帶出來，右為楔形滑動，為沿著節理面滑落。畢祿山層板岩及禮觀層砂頁岩石層。





▲照片 6-17

No.36 125.95K，岩塊掉落及圓弧型滑動。邊坡裸露之表面佈滿碎石塊，並且裸露面有向上擴大之趨勢。畢祿山層板岩。

▼照片 6-18

No.37 126.45K，岩塊掉落及圓弧型滑動。此地為圓弧型滑動，並向公路下方延展 50 公尺以上，在公路上方部份受到整治工作，岩坡呈現近乎垂直狀況，岩層為板岩層，因此亦會產生岩塊掉落情形。畢祿山層板岩。





◀ 照片 6-19

No.40 128K，岩塊掉落。由圖上可看到岩層近乎垂直狀況，岩坡高達 50 公尺以上，坡角 80 度，岩體又被層面及節理穿過有許多鬆動面，禮觀層砂岩夾薄層頁岩。

▼ 照片 6-20

No.43 130.4K，岩塊掉落及表土風化層的移動。由圖上可看到大樹傾倒的現象，代表了表土風化層的移動。禮觀層砂岩。





- ▲照片 6-21  
No.44 130.8K，土石崩落。  
禮觀層砂岩。
- ◀ 照片 6-22  
No.46 131.9K，岩塊掉落。  
梅山層硬頁岩。





▲照片 6-23

No.47 133.2K，岩塊掉落及楔形滑動。節理切割岩體形成破碎狀狀況，裸露之岩坡並且向上  
延展 30 公尺。梅山層硬頁岩。

▼照片 6-24

No.48 134K，岩塊掉落及平面滑動。圖中向左下方傾斜者為層面，部份岩塊即沿此面滑動。  
梅山層硬頁岩。



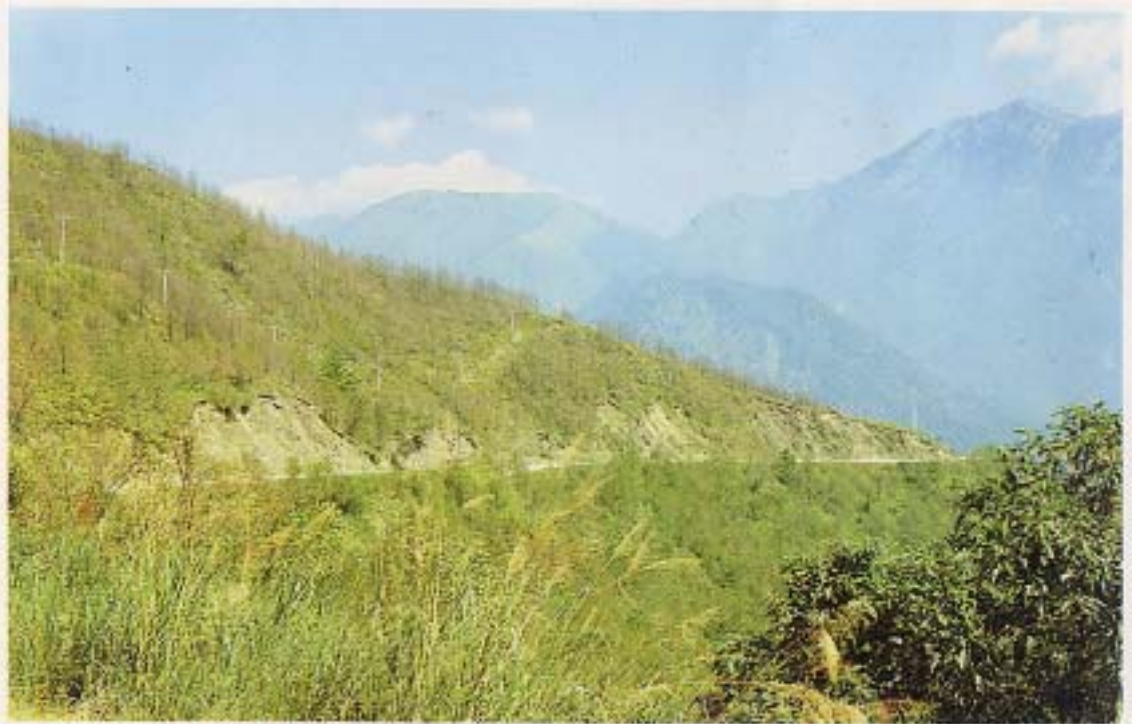


▲照片 6-25

No.49 134.1K, 岩塊掉落。因坡角過大，坡高 28m，岩性為硬頁岩，節理切過岩體，易形成岩塊的掉落情形。梅山層硬頁岩。

▼照片 6-26

No.50 134.7K, 天池地區。圓弧型滑動。天池為一舊有崩積層，崩積層厚約 20m 左右，由於公路切過，使邊坡的邊緣地帶暴露於風化營力作用下，破壞了邊坡的休止角，逐漸產生潛變 (creep)。梅山層硬頁岩。





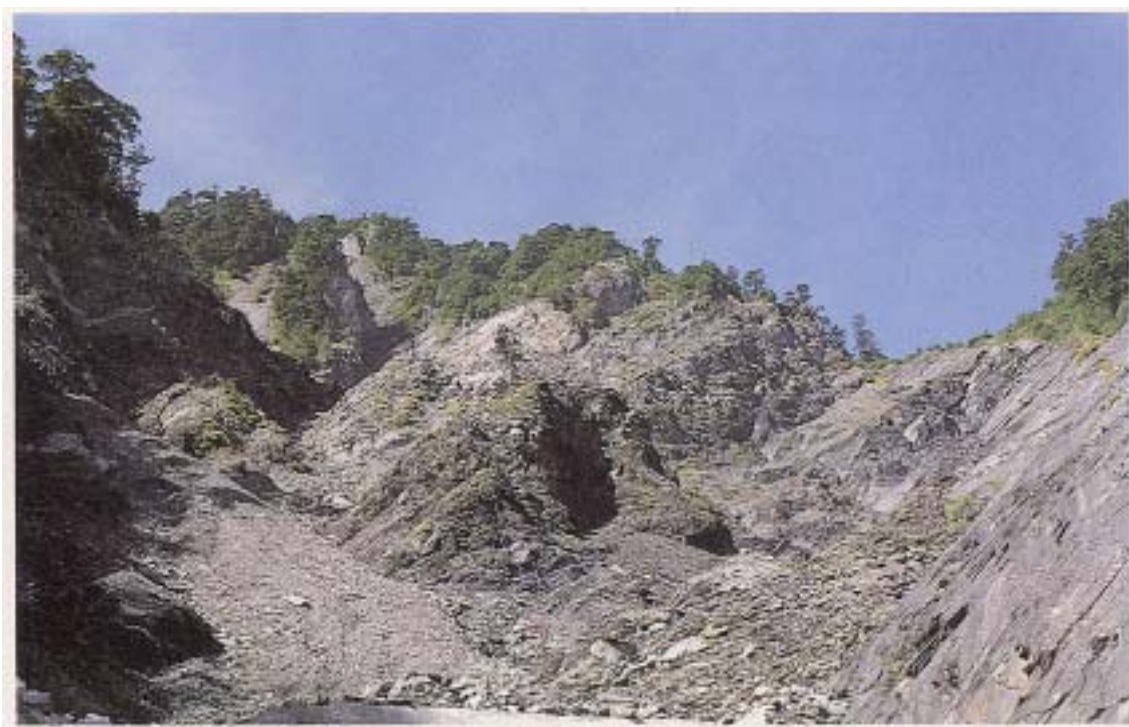
▲照片 6-27

No.55 138.4K，進涇橋旁，岩塊掉落。板岩劈理發達，岩坡角約為 76 度。畢祿山層板岩。

▼照片 6-28

No.55 138.62K，進涇橋旁，岩塊掉落。由圖上可看到岩坡表面有一些岩石碎塊散布，並且裸露之岩坡有向上展的趨勢。圖中公路旁邊，板岩之節理面呈現向岩體內部傾斜的位態。畢祿山層板岩。





▲照片 6—29

No.58 140.5K，常仕橋崩塌地。圖右為板岩，劈理面向左傾斜，圖中間右邊有溪流從地下流出，沖刷碎石，帶到公路上。圖中左邊為碎石坡，是由山頂之隧石、砂岩、凝灰岩等崩塌而形成的。畢祿山層。

▼照片 6—30

No.58 常仕橋崩塌地遠觀。此崩塌地已發展至山稜線的頂部。畢祿山層。





▲照片 6-31

No.59 141.05K，岩塊掉落及岩塊翻倒。崩塌地的上端部份為大理石凸鏡體，大理石與綠色岩由於雨水的溶蝕方解石，以及節理切割岩體，產生崩塌。畢祿山層板岩及少量大理石。

▼照片 6-32

No.63 141.5K，圓弧型滑動。表土風化層的崩移結果，並有向上逐漸產生潛變的可能。畢祿山層。





▲照片 6-33

No.67 142.3K，岩塊掉落及岩塊翻倒。畢祿山層的綠色岩本身因受到節理穿過而呈現碎的狀況，極易產生崩塌的情形。

▼照片 6-34

No.70 144.2K，平面滑動，板岩的劈理面非常發達，坡表面的破碎塊狀等岩石和岩屑沿著劈理面下滑。畢祿山層板岩。





▲照片 6—35

No.73 145.7K，小斷層及其旁之小溪谷碎石坡，岩塊掉落，圖左黑灰色的層狀物為斷層泥並具有斷層面的構造，圖右的碎石坡為溪水沖帶出來的岩塊掉落的碎塊。畢祿山層板岩、砂岩。

▼照片 6—36

No.74 啞口，舊有崩積層、厚約 5m 不等。這些崩積層是來自風化營力的作用而形成的，其上植生並不密集，有逐漸潛變的可能。畢祿山層千枚岩、砂岩等。





▲照片 6-37

No.74 啞口，圓弧型滑動。舊有的崩積層在公路旁邊形成圓弧型滑動，由圖上可看到坡表面有一層薄層的草本植生覆蓋情形。圖右的山嶺為向陽山，其上有一層綠色岩。畢祿山層。

▼照片 6-38

No.74 啞口 千枚岩劈理及沿劈理面滑動情形。灰黑色的千枚岩劈理發達，岩性軟弱，很容易沿著劈理面產生大規模的滑落。







▲照片 6-39，133.15K。護牆產生有效之阻擋作用。

▼照片 6-40，136.5K，天池橋上方。此崩塌地有逐漸擴大的趨勢，為圓弧型崩塌及土石掉落。





▲照片 6—41，121.35K。大樹傾倒及樹根淘空。

▼照片 6—42，139.65K。大樹傾倒。





▲照片 6—43，132.5K。公路沿線植生良好之情形。

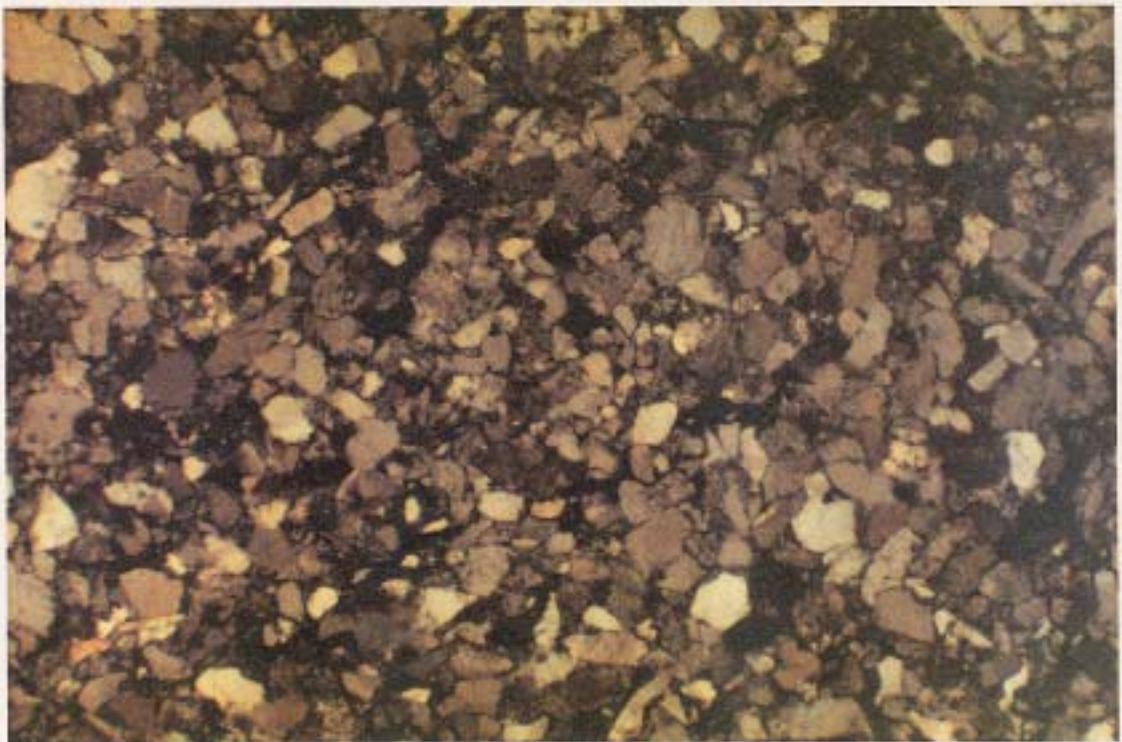
▼照片 6—44，105.5K。明隧道。

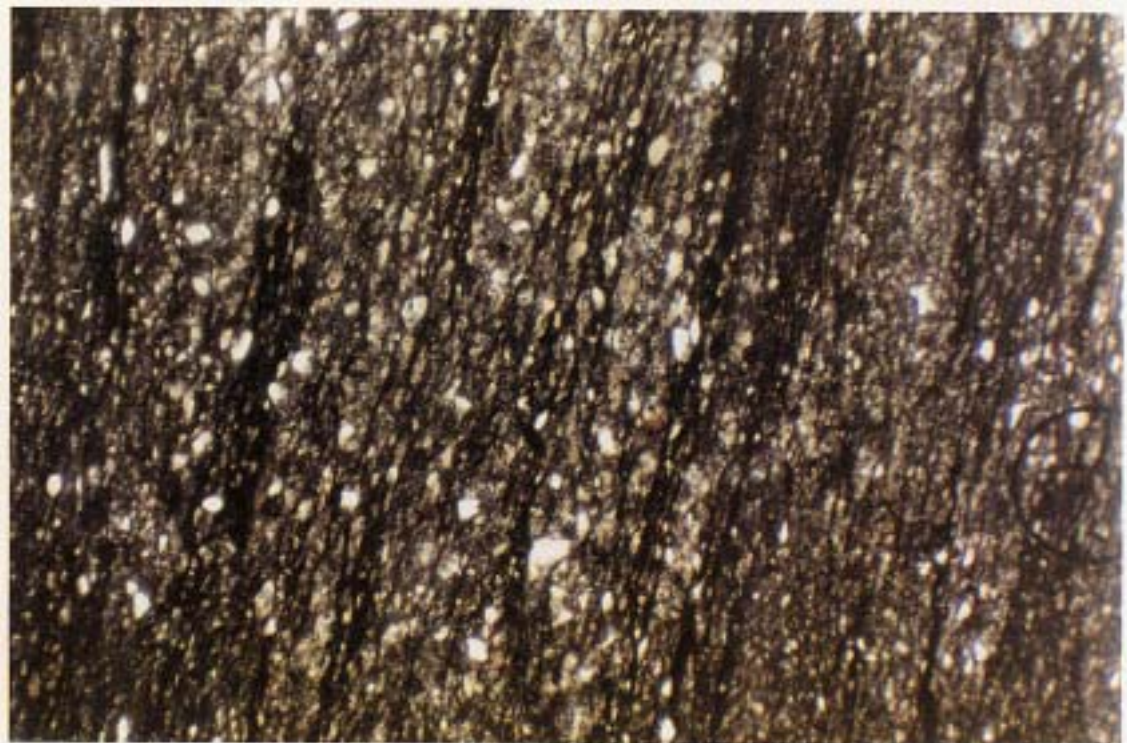




▲照片 8-1，128K 禮觀層砂岩。中至細顆粒，仍保有沈積岩之構造，成份為石英，長石與不透明礦物等。(open)

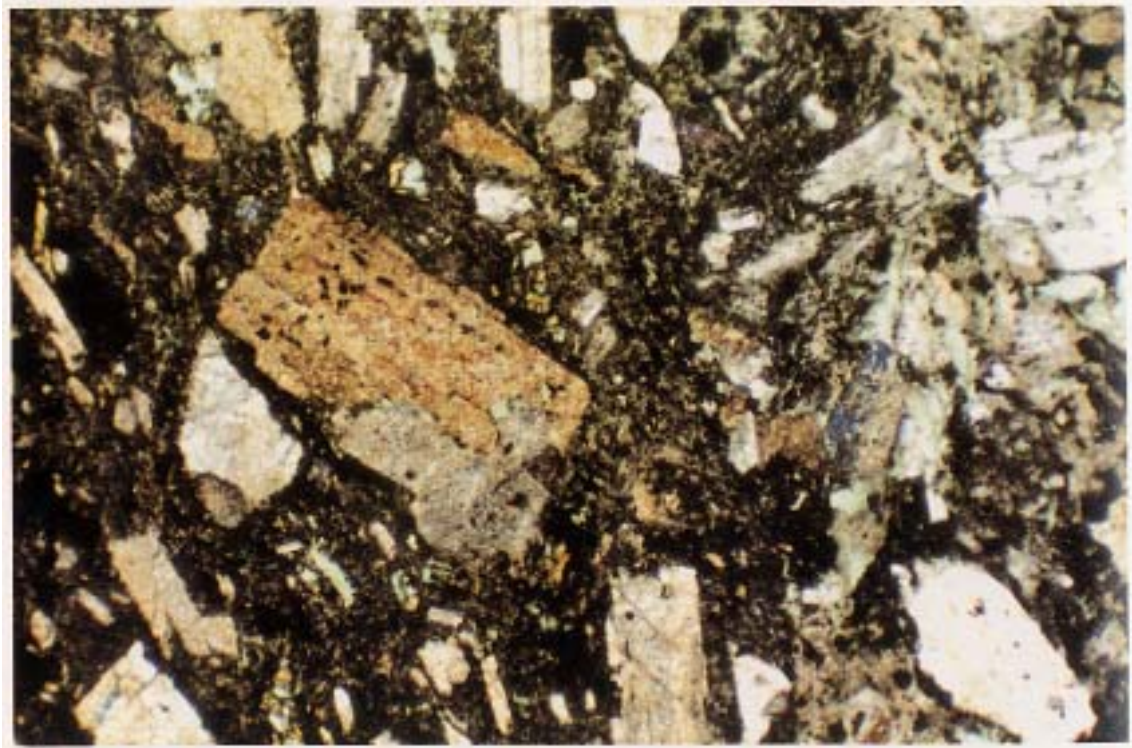
▼照片 8-2，134K 梅山層砂岩。中顆粒，保有沈積岩之構造，成份為石英、長石及不透明礦物，有部份已受到風化作用影響，產生變化。(closed)





▲照片 8-3，138.5K 板岩劈理情形，如圖中呈黑色條紋者。白色的顆粒為石英及長石，由圖中可看出有部份已受到風化作用的影響。

▼照片 8-4，142.3K 綠色岩（凝灰質岩石）。長石顆粒為主，有少量不透明礦物，充填物為綠泥石。





▲照片 8-5, 146K 畢祿山層變質砂岩。成份以石英為主，石英顆粒為角狀或次圓狀，鑲嵌在一起，此為其岩力強度大過 52Mpa，甚至可高達 174.8Mpa 的緣故。

# 拾壹、結論與建議

---

一、結論

二、建議

## 一、結 論：

南橫公路梅山至啞口地區沿線的崩塌情形是受到 1.地質條件如岩層岩性及地質構造。2.工程地質條件如岩力強度，不連續面分布，及各種護坡工程等。3.人爲因素如公路本身的設計及開挖方式等。4.自然因素如氣候、地形等的影響而產生的。

南橫公路的崩塌狀況以岩塊掉落爲最多佔 35.1%，圓弧型滑動次之佔 14.9%，複合式者以岩塊掉落及圓弧型滑動二者的共同複合式爲最多佔 12.1%合計爲 62.1%，而楔形滑動，岩塊翻倒的各別單一存在方式爲零（見邊坡破壞統計圖）

本區各種影響崩塌的因素之中，不連續面的分布，板岩及硬頁岩的風化情況，岩坡的坡角過大是相當主要的控制崩塌因素，其他的崩塌因素如岩性、植生、氣候、地下水、護坡工程、人爲因素等亦爲控制崩塌的因子，也是相當重要的。

本區的不連續面分析顯示出地層的位態受到相當多的旋轉及傾覆(overtum)，而不連續面的贅多及複雜是構成本區主要崩塌情形的因子，岩塊掉落及岩塊翻倒即來自於此。

梅山層硬頁岩因爲 R1 級岩層即是岩力弱質岩層，很易受到風化作用造成表土層及受到不連續面影響而形成岩塊，因此再加上其他的各種因素則產生表土層的移動即圓弧型滑動或是岩塊掉落。

畢祿山層的板岩層因爲具備有板狀劈理，使得板岩呈現破碎狀況，風化營力容易進入岩體之中，產生風化作用，同時其岩力強度爲 R1 至 R2 級岩層，因此岩塊掉落，沿劈理面滑落，圓弧型崩塌的情形是很常見。

畢祿山層的綠色岩所佔整體的數量的並不多，但其出露的地點，形成中等規模的崩塌，爲岩塊掉落及岩塊翻倒二種，其岩力強度爲 R2 至 R3 級岩層。畢祿山層的變質砂岩層其岩力強度超過 R4 及其以上，但因接近中央山脈核心地帶，受到強烈的地質構造運動及變質作用的影響，不連續面切割岩體使成破碎，加以公路開闢地點、地形陡峭邊坡坡角近於垂直，所以崩塌的型式以岩塊掉落，岩塊翻倒二種爲主。

禮觀層的砂岩，岩力強度爲 R2 至 R3 級，在這地層分布的地點岩層崩塌的情形較其他爲少，也比較不嚴重，崩塌的因素爲岩坡坡角過大，所產生的崩塌型式爲岩塊掉落和表土風化層的移動如土石崩塌，圓弧型滑動等。本區的崩塌情況雖然因爲產生崩塌因素有 10 種之多，而地質狀況又特別複雜，但綜合整理則可區分爲梅山層硬頁岩、禮觀層砂岩、畢祿山層的板岩、綠色岩、變質砂岩等五個主要的地質



區分，崩塌型式也是以岩塊掉落、表土風化層的移動（如土石崩落、圓弧型滑動）等為最多。岩力強度則可區分為三種，一為 $<35\text{Mpa}$ ，一為 $35-52\text{Mpa}$ ，一為 $>52\text{Mpa}$ 以上，再加上降雨量的分析，可知邊坡崩塌的產生及地點和大概的時間性。

## 二、建 議

本地區崩塌型式有六種基本型態，因此在處理方法上必須因應不同的崩塌型式而有不同的處理方法，並且也必須視諸經費而定，以下為六種基本破壞型式的處理方法建議

- 1.岩塊掉落——護網、明隧道、岩栓
- 2.圓弧型滑動——植生護坡、排水設施、擋土牆、坡面角度整治
- 3.平面滑動——岩栓、排水設施、植生、坡面角度整治
- 4.土石崩落——植生護坡、排水設施、坡面角度整治
- 5.楔型滑動——擋土牆、岩栓、植生護坡、坡面角度整治
- 6.岩塊翻倒——岩栓、護網、明隧道、坡面整治

以上每種邊坡破壞型式的處理方法，並非絕對固定而不可變動，也並非缺一不可，必須視每一崩場地的當地狀況而決定。這是須要配合施工技術及經費的多寡的考量，必須經由主管人員的決策方可。大體上較需要經費多的方法有明隧道、護網、岩栓及擋土牆，經費並不需要太多的則為植生護坡和排水設施，中等的則為坡面整治。需要較高的施工技術則為岩栓、明隧道、其次則為護網、擋土牆等。當然，如果崩塌整治的規模很大，則任何整治方法，其所須經費都會相對的增高。

# 參考文獻

---

## 一、中文部份

1. 何春蓀(1981)：普通地質學 PP.630 五南圖書公司出版
2. 陳惠芬(1981)：台灣當今地盤的上升與下降。中國文化大學地學研究所地學組碩士學位論文
3. 鄧屬予(1986)：蓬萊運動之地層紀錄，台灣第四紀地質第一次研討會論文摘要 P.5-6
4. 山坡地建築開發工程——設計——(1984) 財團法人台灣營建研究中心
5. 台灣坡地社區工程地質研討會講義(1980) 經濟部中央地質調查所
6. 台灣坡地社區工程地質研討會論文專集(1985) 經濟部中央地質調查所
7. 關山地區地質調查暨解說規劃調查報告書(1988) 內政部營建署玉山國家公園管理處
8. 工程地質與岩石力學 Neil Duncan 著(1977) PP.375 科技圖書公司出版
9. 水利局梅山站、天池站、向陽站降雨量紀錄資料(1984~1987) 台灣水利局未發表資料

## 二、英文部份

1. ASTM(1981): Part 19, Soil and Rock; Building Stone. PP.650. ASTM
2. Attewell.P.B. & Farmer. I. W. (1976) Principles of Engineering Geology PP.1045. Chapman and Hall.
3. Bieniawski. Z. T.(1976): Rock Mass Classification in Rock Engineering. Proc. Symp. on Exploration for Rock Engineering. Johannesburg Vol. 1. P97-106
4. Billings M. P. (1972): Structural Geology PP.606. Prentice Hall Inc.
5. Engineering geological maps(1976) The Unesco Press
6. E. Hoek & J. W. Bray(1981): Rock slope Engineering. 3rd Edition PP.358 IMM. London.
7. Lambe & Whitman(1979): Soil Mechanics PP.553 SI Version John Wiley & Sons
8. David D. Pollard & Atilla Aydin (1988): Progress in understanding jointing over the past century. Vol. 100. P1181~1204, Geological Society of America Bulletin
9. Vutukuri, V. S. (1974): Mechanical Properties of Rocks. Vol.1 PP.280. Trans Tech Publications.