

摘要

本研究之主要目的希望經由航空照片之地質判釋，野外實地之調查，並配合室內砂岩樣品之單軸抗壓強度之量測，了解玉山國家公園新中橫地區地質構造之特性，同實配合對研究區育內崩場地之調查，討論研究區內尤其是新中橫公路沿線崩塌災害與地質構造及岩性間之關係。

果研究區域內主要的地質構造包括和社背斜、同富山向斜、塔塔加斷層、隆華斷層與神木斷層。和社背斜與同富山向斜是影響全區的主要地質構造，它們同時為具有走向滑移特性之隆華斷層及神木斷層所截切。隆華斷層為左移斷層，神木斷層右移斷層，此二斷層呈共軛分佈，反應來自西北西-東南東之水平擠壓應力。除此之外，為數甚多之小規模褶皺分佈於以砂頁岩薄互層或厚頁岩夾薄層砂岩之下部南莊層及南港層(即本研究之構造地層單位B)中，而在上部南莊層及南港層(構造地層單位A)中則有甚為發達的破裂面存在。

研究區域內之新中橫公路沿線之崩塌現象極為普遍，崩塌的型式與規模均深受岩性與地質構造的影響。在關刀山砂岩與上部南莊層出露之地區，砂岩強度較強，岩體中之破裂面較為發達，而落石是邊坡最主要的破壞現象。在南港層與下部南莊層出露之區，頁岩所佔比例較高，砂岩層之厚度變薄，土石流、圓弧形破壞及平面型滑動是最常見之邊坡破壞型式。而就崩塌災害之規模而言，在主斷層帶及主要褶皺之軸部位置常有較大規模之破壞發生。

目錄

中文摘要	i
目錄	ii
圖目錄	iv
表目錄	vi
第一章 緒論	1
前言	1
研究區域之地理位置及交通狀況	3
地形概況	4
氣候概況	4
前人相關研究	6
第二章 崩塌之類型與影響其之因子	10
崩塌的定義與性質	10
影響邊坡穩定因子之探討	10
第三章	研
究方法	19
航照判釋	19
野外調查方法與項目	20
單軸抗壓實驗	29
第四章 研究結果	31
航照判釋結果	31
野外調查	35
地層	35
地質構造	36
崩塌地調查	40
岩石抗壓強度與構造地層單位	43
崩塌地之發育與地質構造及岩性之關係	53

崩塌地與岩性之關係 -----	53
崩塌與地質構造之關係 -----	55
第五章 崩塌地防治對策之研究 -----	58
楠溪林道入口停車場 -----	58
夫妻樹 -----	60
迴頭灣 -----	65
烏乾坑溪明隧道口 -----	68
121k崩塌地 -----	69
第六章 結論 -----	73
參考文獻 -----	75
附錄一 台18號公路83K-95K及台21號公路151K-127K沿線之邊坡 地形、現地破壞、分析結果說明 -----	77
附錄二 台18號公路83K-95K及台21號公路151K-127K沿線之邊坡 地質資料 -----	82

圖目錄

圖一	研究地區地理位置及等高線地形圖 -----	2
圖二	研究地區稜線及水系圖 -----	5
圖三	研究地區地質概況圖 -----	9
圖四	邊坡破壞型式示意圖 -----	12
圖五	剪力破裂面與伸張破裂面與主應力關係示意圖 -----	16
圖六	伴隨褶皺作用發育的破裂面位態與岩層位態關係示意圖	18
圖七	單軸抗壓實驗儀器裝置圖 -----	30
圖八	研究區域線型分佈圖 -----	32
圖九	研究區域航空照片線型判釋之玫瑰圖 -----	33
圖十	航照判釋之崩場地分佈圖 -----	34
圖十一	阿里山至同富地區地質圖 -----	
圖十二	研究地區之崩場地分佈圖 -----	42
圖十三	砂岩岩樣採集位置圖 -----	45
圖十四	阿里山至自忠段南莊層中砂岩樣品單軸抗壓強度分佈圖	46
圖十五	自忠至石山段南莊層中砂岩樣品之單軸抗壓強度分佈圖	47
圖十六	石山至塔塔加段南莊層中砂岩樣品單軸抗壓強度分佈圖	48
圖十七	塔塔加至同富山南莊層中砂岩樣品單軸抗壓強度分佈圖	49
圖十八	柱狀圖量測地點 -----	50
圖十九	南莊層中各區段量測之地層柱狀圖 -----	51
圖二十	公路沿線落石潛感圖 -----	57
圖二十一	楠溪林道路口停車場下邊坡 -----	59
圖二十二	楠溪林道路口停車場下邊坡北端縱向截洩溝 -----	59
圖二十三	夫妻樹景觀步道北端入口處公路邊坡 -----	61
圖二十四	夫妻樹景觀步道區公路邊坡北段上邊坡 -----	61
圖二十五	夫妻樹景觀步道區中段公路邊坡 -----	62
圖二十六	夫妻樹景觀步道區公路邊坡中段上邊坡 -----	62

圖二十七 夫妻樹景觀步道區公路邊坡南段上邊坡 -----	63
圖二十八 夫妻樹景觀步道區公路邊坡 -----	63
圖二十九 迴頭彎上坡段公路邊坡 -----	66
圖三十 迴頭彎中坡段公路邊坡 -----	66
圖三十一 迴頭彎公路邊坡全景 -----	67
圖三十二 迴頭彎下坡段公路邊坡 -----	67
圖三十三 迴頭彎上坡段公路邊排水溝設置不當情形 -----	70
圖三十四 迴頭彎上坡段公路邊排水涵管設置不當情形 -----	70
圖三十五 121K公路邊上邊坡土石崩落情形 -----	71
圖三十六 121K公路邊下邊坡路基情形 -----	71

表目錄

表一	Sharpe之山崩型式分類表 -----	11
表二	Varnes之山崩型式分類表 -----	11
表三	不連續面組數等級劃分標準 -----	22
表四	不連續面間距等級劃分標準 -----	23
表五	不連續面持續性等級劃分標準 -----	23
表六	不連續面內寬等級劃分標準(一) -----	24
表七	不連續面組數等級劃分標準(二) -----	25
表八	不連續面密度與岩塊體積之關係 -----	26
表九	不連續面滲水情況等級劃分標準 -----	27
表十	風化程度等級劃分標準 -----	22

玉山國家公園新中橫地區地質構造分析及其 對崩場地發育之影響

林慶偉¹ 吳銘志¹ 黃鎮臺²

1 國立成功大學地球科學系

2 工業技術研究院能源與資源研究所

第一章 緒論

前言

台灣位處於菲律賓海板塊與歐亞陸板塊的交界處，地質構造運動頻繁，岩體受到板塊間擠壓的應力作用後，破裂面、斷層、以及褶皺等構造現象極為發達。而存在於岩體中的不連續面如層面、破裂面與斷層面等，常將岩體分割為破碎的岩塊；加上台灣的地形山高水急，地形陡峻，地殼抬升的速率極大，河流之下切與側蝕作用劇烈，導至河流兩側之解壓作用劇烈，因而在河流兩側伴有解壓節理之發育，而且雨水充沛，因此先天上就相當有利於山崩的發生。

本研究之目的主要是討論阿里山到同富(和社)間地質構造之特性及其與崩場地發育間之關係。研究區域北起和社，南至自忠到塔塔加鞍部一線，東以沙里仙溪為界，西至阿里山山脈，共約110平方公里(圖一)。

研究區域內主要有新中部橫貫公路水里至玉山段(台21號公路)及阿里山公路(台18號公路)通過。新中橫公路自民國八十年元旦正式完工通車以來，至今只短短數年，公路旁的許多邊坡於公路開挖時因為坡腳受到擾動而至今仍處於不穩定的狀態，同時在道路開挖時許多廢土常棄至於道路之下邊坡，因此研究區域內公路沿線之崩塌現象極為頻繁。也由於公路開通未久，岩層露頭相當清晰，解壓作用與炸路之痕跡仍相當明顯，有利於觀察地質構造與破裂面發育的情形。因此本研究區域是觀察與研究地質構造及其與崩塌現

象間之關係的良好地點。除此之外，新中橫公路是連接嘉義縣阿里山鄉與南投縣信義鄉的重要連絡道路，也是通往玉山國家公園

圖一 研究區域地理位置及等高線圖。

西北側的唯一道路。而玉山國家公園又身負著觀光、遊憩、保育的功能，不論就交通的暢通、遊客的安全、及自然景觀保育的考量上，崩塌災害都具有相當大的危險性。故對於此路線的崩場地做一探討，有其必要性。也希望本研究對於研究區域之崩塌災害的防治與道路邊坡的保育有所助益。

本研究計畫的內容可分為兩大部份。第一部份主要是區域地質構造及其特性之調查與研究，第二部份則包括崩場地之調查及崩場地之發育與地質構造間關係的討論，並針對特定之崩場地進行防治方法之探討。就區域地質構造而言，研究區域內之走向滑移斷層(或是具有明顯走向滑移分量之斜滑移斷層)是調查之重點。就崩場地之調查而言，崩塌之類型及其與地質構造及岩性(構造地層單位)之關係是討論的重點，同時針對新中橫公路路標139.5公里處之迴頭彎大崩場地及路標147.5公里附近之夫妻樹停車場附近之上邊坡進行防治之討論。

本研究實際上延續上年度王豐仁先生執行之「玉山國家公園新中橫公路段之落石邊坡調查研究」，因此對公路沿線之邊坡資料即直接引用上年度之資料，不再重覆調查。

研究區域之地理位置及交通狀況

本研究之研究區域在行政區域上隸屬於嘉義縣之阿里山鄉和南投縣之信義鄉。其中部份研究區域則在玉山國家公園之園區內。研究區域內之交通幹線主要有由嘉義通達阿里山而至玉山國家公園塔塔加遊客中

心之阿里山公路(台18號公路)，由南投縣水里通達同富(和社)而至塔塔加遊客中心之新中部橫貫公路之水里至玉山段(台21號公路)。另外可由同富經由東埔道路(投61號公路)抵達東埔。除了上述鋪設柏油路面之道路外，研究區域中尚有數條未完全鋪設柏油路面或僅允許步行之林道。神木林道可由同富附近之神木村通達塔塔加遊客中心，玉山林道則由玉山登山口通至塔塔加鞍部，桐子林道可由同富通至桐林國小後轉接新中橫公路，沙里仙溪林道則可由東埔沿沙里仙溪通至林務局沙里仙工作站。

地形概況

本研究區域位於西部麓山帶之東緣，地形起伏甚大，以玉山(3952公尺)為頂點，研究區域東緣之外側為郡大山山脈，南有玉山山脈(玉山主峰(3952公尺)、鹿林山(2895公尺))，西則以阿里山脈(包括萬歲山(2351公尺)、大塔山(2663公尺)、對高山(2234公尺)等)為界，分別向西北逐漸降低，於而於和社地區沙里仙溪河床處達到全區之最低點(約900公尺)(圖二)。

研究區域中發育之水系主要均為濁水溪的上游沙里仙溪水系，由東至西分別為沙里仙溪、和社溪及其上游出水溪、及松山溪等(圖二)。除了沙里仙溪之外，在研究區域南側之外則即屬楠梓仙溪水系，其與沙里仙溪水系之分水嶺即在研究區域之南界之鹿林前山與塔塔加鞍部一線。而在研究區域東界之外則屬濁水溪上游之陳有蘭溪水系。

氣候概況

在研究區域附近的氣象站有阿里山氣候測站（海拔2406公尺）與同富氣象站（海拔981公尺）。根據王鑫（1991）由中央氣象局1933-1985年間此兩個氣象站所蒐集的資料分析顯示：阿里山站之年均溫為 10.6°C ，在和社站則為 20

圖二 研究區域線與水系圖。

℃；月均溫在阿里山站為5-15℃，在同富站為14-25℃。研究區域的平均年雨量為1681mm（同富站）-4129mm（阿里山站）之間，且各月雨量皆在30mm以上，最高者可達800mm以上。雨量多極中在5-9月，其中5、6月為梅雨期，降雨強度雖不大，但降雨時間較長，可以連綿數日不斷，累積雨量仍相當可觀；7-9月則為颱風時期，可帶來高強度、高降雨量的雨水。

前人相關之研究

本研究區域過去曾有若干學者做過地質與道路沿線邊坡的調查。在地質方面主要有：張麗旭等（1960）、詹新甫與耿文傳（1962,1968）、畢慶昌（1969）、劉占江（1971）、劉占江等（1976）、張郁生（1984）、程延年（1988）、劉桓吉等（1989）、邱紹康等（1992）、劉景仁（1993）、林慶偉與劉景仁（1994）等人在研究區域內從事過區域地質調查或相關之地質工作。在道路沿線邊坡方面主要則有王鑫和林耀源（1982），王鑫和楊建夫（1987），王鑫等（1991）在新中橫工路施工前、施工中、及施工後對道路邊坡之調查報告。

張麗旭等（1960）在阿里山地區做煤田調查時指出，阿里山附近之南莊層的主要岩性為淺灰色厚砂岩、厚層深灰色頁岩與砂頁岩薄互層所組成。

詹新甫等人（1962）在調查本區地質時則認為，除了褶皺與逆斷層之發育外，阿里山地區尚有兩組不同方位之平移斷層之發育。其中一組為走向西微北或

西北西之右移斷層，均橫切走向北東-西南的構造線；另一組為走向北西微北之斷層，其數有二，斜切縱向構造及前一組斷層，至少其中之一呈左移狀態。

畢慶昌（1969）則認為阿里山岩冪所屬的中新世岩層，可能原來都沉積在今日中央山脈的古第三紀岩層之上，後來受到了造山運動的影響，這些岩層被抬升舉起，再因重力俯衝作用而形成岩冪狀。

劉占江（1971），劉占江等（1976）調查研究區域內之地質構造及對油氣生成可能性予以評估時，認為本區之地質構造是以和社背斜為主，其東側與同富山向斜，西側與鹿窟山向斜相毗連（圖三）。和社背斜被數個斜滑移斷層（oblique-slip fault）所截切，這些斷層的傾斜滑距（dip slip）可能皆大於其走向滑距（strike slip）。上述斷層在研究區域出現者由北至南分別有：神木斷層、十八折坑斷層、兒玉斷層三者。

張郇生（1984）曾對研究區域中的礦產蘊藏做一調查，指出阿里山區的中新世沉積岩區，屬於淺海濱海相的陸棚堆積環境，因此有出產煤、石油、天然氣的潛能，但在調查之中，只發現數公釐厚的泥炭夾在頁岩層中，沒有發現任何可供開採的露頭，故認為阿里山區不可能有豐富的煤礦蘊藏。

程延年等（1988）則在玉山國家公園成立之初期曾對玉山國家公園中的地質現象的解說加以規劃，且亦何曾對塔塔加至同富山一帶進行初步之調查與規畫。

邱紹康等人（1992）在同富地區進行地質查核時，認為同富至塔塔加之間僅有兩條具有平移斷層特性之斷層即隆華斷層與神木斷層。依出露之地層及構造關

係推測，神木斷層應為斷面向南之正斷層，並伴有少量右移運動，斷面傾角亦甚陡，斷層走向約呈東西方向。

劉景仁（1993）與林慶偉與劉景人（1994）則對阿里山至同富山之間的路段，從構造地層學的觀點對公路沿線出露之南莊層，討論岩性與地質構造發育之關係。在其研究中依照野外構造現象的不同，輔以岩層岩石力學性質的差異，將阿里山至同富山沿線分成四個構造地層單位。

在道路工程方面，王鑫和林耀源（1982），王鑫和楊建夫（1987），王鑫等（1991）則針對新中橫公路的開闢，分為施工前、施工中、施工後三個時期，研究道路開挖工程對於邊坡穩定性的影響，並檢討施工方式與水土保持工法的適宜性。依其研究顯示：本區道路開挖工程對於邊坡穩定與景觀的衝擊、破壞非常大，尤其大迴頭彎段是破壞最嚴重的地方。

圖三 研究區域地質概況圖。

第二章 崩塌之類型與影響其之因子

崩塌的定義與性質

邊坡上的物質，包括岩屑、岩塊、土壤、出露的岩層等沿著邊坡向下方移動的運動現象，稱為"塊體運動"(mass movement)或"斜坡運動"(slope movement)。快速的斜坡運動一般統稱為山崩(landslide)。造成斜坡運動的主要驅動力是重力，至於其它的外力如：水力、風力、地震等，扮演的只是觸發與加速斜坡運動發生的角色。

在眾多對於山崩運動的分類中，各有不同的分類依據，因此產生不同的分類型式。目前最通用的山崩分類方式是依照"運動體的組成物質"(Sharpe, 1938)與"運動型式"(Varnes, 1978)(圖四)兩個分類依據來區別的(表一與表二)。一般而言，當一邊坡的組成物質受重力作用而向下發生滑落或掉落，促使其位能轉換為動能時，稱之為破壞。但是有時因為邊坡破壞的過程無法直接觀察，所以在野外要認定一個邊坡是否破壞常是一件見人見智之事。

影響邊坡穩定因子之探討

影響邊坡穩定的因素可分為自然因素與人為因素兩大類。自然因素包括地質、地形、降雨、地下水、河岸或海岸侵蝕、地震等。人為因素則包括坡址及坡面之開挖、邊坡上方之加重、及水庫蓄水等。其中自

然因子中的地質與地形兩項屬於與岩體本身特性有關之內部因子，其它項目則為受外界所控制的外在因子。因為外在因子（如降雨、降雪、地

表一 Sharpe之山崩型式分類表(摘自何春蓀，1981)

表二 Varnes之山崩型式分類表(摘自潘國樑，1992)。

圖四 邊坡破壞型式示意圖。

震等)與崩塌發生的關係相當複雜而且很難將之明確的定量化(黃景川,1984),同時外在因子產生的時機與程度常為人類的知識所難以準確預測。因此本研究僅針對研究區域內崩場地發育與其內在影響因子之間的關係進行探討,研究的重點尤其強調崩場地發育與地質構造間之關係,並從而深入了解崩塌發生的原因,以做為整治之參考及依據。

地形因子:

就地形因子而言,坡度、坡向與坡型是三種主要影響崩塌發生的因子。

1.坡度:在影響邊坡穩定的地形因子中,坡度是最常被討論者。一般而言,邊坡之坡度越陡者越不安定。根據統計(山地農牧局,1989)顯示,台灣山坡地最常發生破壞者之坡度在30度至40度之間,在高山地區則以40度至60度居多。因此當邊坡之坡角達到40度以上時,將會非常之不安定。如果邊坡之坡角在20度以內時,邊坡將較安定。

2.坡向:坡向與邊坡穩定之關係主要來自盛行風與降雨之影響(王鑫,1981)。以阿里山至嘉義間為例,盛行風以西風為主,因此面向西的山坡,其風化程度較為嚴重,因此較不穩定。

3.坡型、坡高與坡長:坡型、坡高與坡長主要影響到邊坡之各種水文參數及對土壤之沖蝕作用。一般而言,坡高與坡長值越大時,各種外營力對坡面破壞之影響越大,邊坡也越不穩定。而就坡型而言,凹型坡因

爲較易積聚地表水也較不穩定，其次爲平面坡與凸型坡。

地質因子

就地質的因子而言，組成物質(岩性)與地質構造是影響邊坡安定與否及其破壞類型的兩個最重要因子。

組成物質

一般而言，邊坡的組成物質可分爲岩盤與覆蓋在岩盤表層的崩積層及風化表土兩大類。就風化表土與崩積層而言，表層之蠕動(creep)、土石流與碎屑流是最常見之破壞形式，而在破壞之邊坡常具圓弧型破壞的特性。

就岩盤而言，研究區域中出露之岩性以上新—中新世之厚層砂岩、頁岩及砂頁岩互層爲主。一般而言，塊狀堅硬砂岩之強度與抗風化力較強，於地形上常形成陡峭的岩壁。而當其受到構造應力作用時，因爲岩層較厚，因此破裂面發育的密度較低。此時岩體中之不連續面如破裂面、層面及斷層面等常將岩體切割成較大的岩塊。當邊坡爲順向坡時，則岩體可能沿層面產生較大規模之平面滑動。如邊坡爲斜交坡或逆向坡時，此時邊坡之穩定與否常取決於岩體中不連續面及邊坡之位態，而其破壞形式常以岩塊之掉落或楔形滑落爲主。

若邊坡之組成以厚層之頁岩爲主時，因爲頁岩較易風化，因此在頁岩層所組成之邊坡常有較厚之風化

土層，如果風化的程度較為輕微時，頁岩常形成較小之岩屑。因此如果邊坡之坡度較陡且有較大之降雨時，或是邊坡之坡腳遭受擾動時，上覆厚風化土層的邊坡就易產生圓弧型之破壞。而對風化程度較差之邊坡則易發生岩石碎屑流之破壞。

以砂頁岩互層之特性而言，砂岩有較高之透水性，排水較易。而頁岩透水性較差，因此在砂頁岩之界面，常有較高之水壓，導至岩體之抗壓與抗剪強度的降低。因此對順向坡而言，砂頁岩層的界面常為地層滑動之滑動面，因此邊坡較易有平面型之滑動。如果岩體由砂頁岩之薄互層組成，當受構造應力作用時，薄層砂岩將有較高密度的破裂面發育，因此薄砂岩層將較為破碎，容易產生岩塊之掉落及楔型之破壞，但墜落岩塊之規模常較小。

地質構造

就地質構造而言，破裂面是影響岩體邊坡安定的最直接因子。而對在淺部地殼環境下形成之地質構造而言，岩體中之破裂面經常伴隨著斷層與褶皺作用而生。對伴隨斷層作用發育的破裂面而言，破裂面反應著與斷層生成時相同之應力場，因此破裂面的位態與斷層面呈特定的空間排列關係(圖五)。一般而言，在相同構造應力的作用下，當岩體破壞時，有三組破裂面之發育。這三組破裂面中有兩組是剪力破裂面(shear fracture)，另一組則為伸張破裂面(extension fracture)。兩組剪力面通常呈交角60度之共軛組分佈，而此共軛剪力破壞面之交線就是中等主應力(σ_2)之方向。除此之外，共軛剪力面之銳角平分線為最大

主應力 (σ_1) 作用之方向，且在最大與中等主應力所組成的平面上即是伸張破裂面發育之方向，同時最小主應力的方向則在共軛剪力破壞面的鈍角平分線上。除了破裂面之位態與斷層呈特定之關係外，岩體中破裂面發育之密度亦與斷層距離的位置有關。一般說來，距離斷層位置愈近的岩體有愈發達的破裂面發育，而破裂面發育的密度常與相距斷層的距離呈反比或指數函數之關係。因此在斷層位置附近之岩體常有極為發達之破裂面導至岩體特別破碎，因此特別有利於崩塌之發生。

圖五 剪力破裂面 (shear fracture) 及伸張破裂面 (extension fracture) 與主應力之關係示意圖。圖中 B 與 C 代表剪力破裂面，A 代表伸張破裂面。 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 分別代表最大、中等與最小主應力。

除了斷層之外，破裂面之發育亦常伴隨著褶皺作用而生，而且伴隨著褶皺作用發育之破裂面的位態變化遠較斷層來的大。一般在淺部地殼發育之褶皺常伴有四組以上之破裂面的發育(圖六)，而在每組破裂面中均有兩組的剪力破壞面與一組之伸張破裂面之發育。第一組破裂面的發育反應著最大主應力(σ_1)在平行地層傾向之方向，最小主應力(σ_3)在平行地層走向之方向。第二組破裂面反應著最大主應力在平行地層走向之方向，而最小主應力在平行地層傾向之方向。第三組與第四組之破裂面反應著如同橫樑撓屈在中性面之上與之下之應力場。對中性面之上的破裂面而言，最大主應力在垂直之方向，反應的是正斷層型態之應力場。對中性面以下之破裂面而言，最大主應力在水平方向，反應的是逆斷層型態之應力場。除了四組以上破裂面外，影響伴隨褶皺發育的破裂面之密度的主要因子則包括了岩石種類、岩層厚度、與岩體所在之構造位置等。一般說來，當其它條件均相同時，堅硬的岩層如砂岩將較軟弱岩層如頁岩等有較為發達的破裂面。對岩層之厚度而言，較薄岩層較厚岩層有較為發達之破裂面，且破裂面之密度常與岩層之厚度呈反比關係。就岩體所在之構造位置而言，在曲率較大的位置有較為發達之破裂面，所以岩體在褶皺的軸部常較為破碎，因此褶皺軸部位置較易有崩塌之發生。

圖六 伴隨褶皺作用發育的破裂面之位態與岩層位態
關係示意圖。

第三章 研究方法

在本研究中，經由航空照片之地質與崩場地之判釋、野外地質與崩場地之調查以及室內岩石樣品之單軸抗壓實驗，得知研究區域內之區域地質構造與崩場地之分佈並了解區域地質構造及岩性對崩場地發育之影響。

航照判釋

航照判釋的工作是判釋研究區域中航空照片影像所具有的特徵。航照判釋的工作須在野外調查展開之前完成，初步的航照判釋不僅提供了規劃野外工作的基本資料，也減少了相當大的野外工作量，經由航空照片的判讀可以進行適當的路線規劃，以及應實地核對的地區及適當的剖面，以節省調查的時間。

航照判釋工作同時可針對研究區域中的地質條件，地形條件做概略性的判讀。判讀的項目包括：河流流向、水系分佈、地形起伏、坡度、坡向、岩層出露範圍、崩塌範圍等項。由於研究區域幅員廣闊，山勢高峻且植生密佈，以航空照片做線型的判釋，可以了解全區構造線的分佈趨勢，作為進一步探討構造型態及應力來源的資料。

在從事航空照片之地質判釋時，首先選取涵蓋研究區域的航空照片，將照片置於帶有目鏡的反射式立體鏡（mirror stereoscope）下，調整照片的位置以獲得立體影像，並開始判讀區域性的地形、地質、崩塌狀況，並將立體影像中判讀的線型以油性簽字筆描繪於透明膠片上。由於每一張航空照片的拍攝高度並不完全相同，各張照片的比例已有誤差，且同一張照片的中央往四周會有誇張放大

的現象，故須將判讀的線型轉繪於地形圖上。在線型轉繪於地形圖之後，以量角器量測線型的走向，並輸入個人電腦中，以司密特投影網（Schmidt net）加以投影，投影後得到線型玫瑰圖（Rose Diagram of Lineament）。

野外調查方法與項目

野外調查的三個大項目分別為：現地破壞現象的調查、地質資料的調查及室內砂岩岩樣之單軸抗壓強度之測試。首先對研究區域尤其是新中橫公路沿線的邊坡破壞型式加以調查，同時對邊坡上的組成物質、地質構造、地形等因素，會影響斜坡運動（包括落石）穩定的因子加以觀察。現地破壞現象的調查，目的為調查研究路線中具有破壞現象（即處於不穩定狀態）的邊坡的位置與範圍，同時針對邊坡的組成物質、破壞特徵、破壞體的運動方式等項，加以區分各不穩定邊坡的破壞型式。

地質資料之調查主要在於地層、岩性、主要構造型態與構造現象的分佈。地質構造現象是地質資料中重要的一環，不同的構造現象對於邊坡組成物質的各項性質有重大影響，且研究區域位於西部麓山帶的最東緣，構造運動頻繁，更顯得構造現象的重要性。而在常見的地質構造現象如斷層、褶皺與破裂面中，斷層與破裂面之發育更是直接影響到岩石邊坡之安定。

完整的岩體之所以會被分割、破碎而產生獨立的岩塊，都是由於不連續面如層面、斷層面與破裂面的存在。故不連續面為邊坡破壞的重大影響因素之一，因此對於不連續面叫的調查需做較詳盡的描述。

一般在不連續面之調查時，常參照國際岩石力學學會（ISRM，1981）所建議的標準對不連續面性質進行描述與分級的標準。現將其敘述如下：

a.不連續面的種類與位態（attitude）：不連續面的種類可以分爲原生（primary）不連續面與次生（secondary）不連續面。原生不連續面有層面及不整合面；次生不連續面有：斷層（fault）、節理面（joint）、剪裂帶（shear zone）、劈理（cleavage）、片理（schistosity）、裂隙（fissure）、張裂縫（tension crack）、葉理（foliation）等。在野外除了記錄邊坡中所出露的不連續面種類並量測其位態外，由於不連續面的數量極多，各位態並不十分一致。爲了取得具有代表意義的主要位態資料，並避免因取樣造成位態量測的誤差，則在野外量測數十至百組的位態資料，回到室內將位態資料輸入電腦中的司密特投影網（Schmidt net）程式中，繪出不連續面的等密度投影圖，由等密度投影圖中判讀主要的位態，同時可判別不連續面的組數；而不採用在野外現地直接觀察後量測位態的方式，以避免人爲主觀判斷的誤差。同時爲了使量測的位態資料能具有統計上的代表意義，野外量測時注意使量測樣本平均分佈於邊坡上，並且同一個邊坡的數量要達數十或至百組資料以上。

b.不連續面的組數（number of sets）：不連續面的組數愈多，則代表岩體中不連續面的位態分佈愈廣泛，岩體被切割而成的岩塊的空間組合方式更多變化。雖然研究路線中的不連續面具有相當的規則性，但爲求數據的客觀性，減少人爲觀察與主觀判斷的誤差，採用繪製等密度投影圖的方式，由圖中不連續面位態的分佈趨勢，來判定其組數。

野外樣本測量的方法與不連續面等密度圖的繪製，皆如上述量測位態的方法中所述。組數的等級劃分則如下所示：

表三 不連續面組數等級劃分標準（ISRM,1981）

描述	等級
塊狀岩體,只有少數不規則不連續面	一級
具有一組不連續面	二級
具有一組不連續面,另加少數不規則不連續面	三級
具有二組不連續面	四級
具有二組不連續面,另加少數不規則不連續面	五級
具有三組不連續面	六級
具有三組不連續面,另加少數不規則不連續面	七級
具有四組以上不連續面	八級
極破碎,似土方	九級

c.不連續面的間距（spacing）：岩體中兩條屬於同一組規則性不連續面的垂直距離，稱為間距。量測的方法是選定一條定長的測線，將測線垂直於不連續面的方向，計數測線內的不連續面的數目，以正交的測線長度除此數目，即得相鄰不連續面中心距的平均值。為了減少測量的人為誤差並取得具代表意義的資料，量測時要注意：（1）在同一應力場、同一岩性的岩層中，不連續面發育的間距和岩層的厚度有關；岩層厚度大者，其間距較大，厚度較小者，間距也較小。為了減少此項差異，讓不同邊坡得到的

間距數據具有比較意義，量測時應針對某一固定厚度範圍的岩層來量測。故選定全線出現較多的 30-50 cm 厚度左右的砂岩層，來做為間距量測的對象。（2）同組或不同組的不連續面間距亦會不同，故在同一邊坡要在不同位置施測多次，求取平均值，以取得能夠代表這個邊坡不連續面間距的數據。

量得不連續面的間距之後，可依 ISRM（1981）的建議加以分級，其分級標準如下：

表四 不連續面等級劃分標準（ISRM,1981）

描述術語與等級	間距大小
極密（一級）	< 2cm
很密（二級）	2-6cm
密（三級）	6-20cm
中度（四級）	20-60cm
疏（五級）	60-200cm
很疏（六級）	2-6m
極疏（七級）	> 6m

d.不連續面的持續性（persistence）：由坡面上觀察不連續面，通常只能看到一條線，因此，只能由坡面上所看到的線長來加以評估。量測時仍採用在邊坡不同位置多次量測，取得平均值的範圍。持續性等級的劃分標準如下：

表五 不連續面持續性等級劃分標準（ISRM,1981）

線持續性	長度	等級
很低	< 1m	一級
低	1-3m	二級
中度	3-10m	三級
高	10-20m	四級
很高	> 20m	五級

e.不連續面的內寬(opening)：不連續面的內寬愈大其岩體的變形性愈大，透水性也愈大，若無充填物膠結，則不連續面的凝聚力也消失。且岩塊的周圍也將具有可供移動的空間，岩塊鬆動的可能性也愈高。ISRM對不連續面的內寬等級劃分如下：

表六 不連續面內寬等級劃分標準(一)(ISRM,1981)

內寬大小	說明
< 0.1 mm	很緊閉
0.1-0.25 mm	緊閉
1.25-0.5 mm	半開
0.5-2.5 mm	張開
2.5-10 mm	中寬
> 10 mm	寬
1-10 cm	很寬
10-100 cm	極寬
> 1 m	很空洞

但配合在野外的實際觀察測量發現到，當不連續面的內寬在1mm以下時，精確的內寬測量有其困難，意即內寬大小由 $< 0.1\text{mm}$ 到 0.5mm 的三個等級在實際的野外測量中很難分別出其中的差異，故爲了配合這項測量的進行，將國際岩石力學學會的劃分標準略爲修改，把 $< 0.5\text{mm}$ 者劃分爲同一級，做爲本研究的劃分標準（如表七所示）。

表七 不連續面內寬等級劃分標準(二)(修改自ISRM)

內寬大小	說明	等級
$< 0.5\text{mm}$	緊閉至半開	一級
$0.5\text{-}2.5\text{mm}$	張開	二級
$2.5\text{-}10\text{mm}$	中寬	三級
$> 10\text{mm}$	寬	四級
$1\text{-}10\text{cm}$	很寬	五級
$10\text{-}100\text{cm}$	極寬	六級
$> 1\text{m}$	很空洞	七級

f.不連續面密度與岩塊的幾何形狀：不連續面的平均密度與岩塊的體積規模大小有關，由單位體積的不連續面數，可以估計邊坡岩塊的大小。單位體積的不連續面數（volumetric count of discontinuities）一般又稱爲單位體積節理數（volumetric joint count， J_v ）：

$$J_v = (N_1/L_1) + (N_2 / L_2) + (N_3 / L_3) + + (N_n / L_n)$$

(N_n 爲第 n 組不連續面，在 L_n 長度中的條數。)

(L_n 爲第 n 組不連續面的調查長度，須垂直走向。)

由單位體積的不連續面數，可用以簡單估計邊坡岩塊的大小，由ISRM所建議的關係如下：

表八 不連續面密度與岩塊體積之關係(ISRM,1981)

J_v (條/公尺)	說明	等級
< 1	岩塊很大	一級
1-3	岩塊大	二級
3-10	岩塊中等	三級
10-30	岩塊小	四級
> 30	岩塊很小	五級
> 60	粉碎岩石	六級

g.不連續面的軟弱夾心（filling）：不連續面間軟弱夾心的存在對於其摩擦角的影響非常大，尤其當軟弱夾心爲斷層泥、斷層碎屑時，摩擦角可能相當的低。除了斷層泥、斷層碎屑外，其它可能成爲軟弱夾心者尚有黏土、方解石、石膏等，在野外調查時以說明種類和數量爲主。

h.不連續面滲水情形：滲水狀況對於岩坡安定性相當有影響。ISRM對於岩石不連續面滲水的分級如表九所示。

除了不連續面之性質外，岩體的風化程度也是影響其安定之重要因子。岩石的風化程度影響岩石顆粒間之緊密程度，一般而言，風化程度較高者，顆粒間較為疏鬆，亦較不穩定。根據國際岩石力學學會所建議的岩石風化程度分級標準，可將風化程度分成六級，分級的詳細描述，詳見表十。

表九 不連續面滲水情況等級劃分標準(ISRM,1981)

1.不含軟弱夾心的不連續面

滲水分級	滲水情況
一級	極緊閉、乾燥，不可能滲水者
二級	乾燥，無滲水跡象
三級	乾燥但有滲水跡象
四級	潮濕，但無流水
五級	滲水，偶有水滴但無連續流水
六級	連續流水

2.含軟弱夾心的不連續面

滲水分級	滲水情況
一級	軟弱夾心為高度過份壓密者，

	透水性低，不易有顯著滲流。
二級	軟弱夾心潮溼，尙無流水。
三級	軟弱夾心潮濕，偶有水滴。
四級	少部份軟弱夾心被水沖失，水流連發。
五級	部份軟弱夾心被水沖失，顯著水流。
六級	軟弱夾心全部沖失，挖開之初水壓很高。

表十 風化程度等級劃分標準（ISRM,1981）

風化等級	風化現象
一級	新鮮至極微風化。岩石材料未見到風化跡象或不連續面上稍見褪色。
二級	微風化。全部岩材均已變色。
三級	中度風化。一半以下的岩材分解或崩解為土壤。
四級	高度風化。一半以上的岩材分解或崩解為土壤。
五級	全風化。所有岩材均已分解或崩解為土壤，但岩層原結構仍清晰可見。
六級	土壤。所有岩材均已變為土壤，岩層原結構已不復見。

單軸抗壓實驗

室內岩石標本之單軸抗壓實驗之主要目的在於了解南莊層中所夾砂岩之力學性質，並配合野外量之地層厚度，以建立南莊層之構造地層單位。

單軸抗壓實驗之步驟如下：

一、岩心樣品之準備：

- 1.將野外採集之砂岩樣品於室內利用岩心取樣機鑽取直徑3.18公分之岩心，並將岩心切成長度7.95－9.53公分，以使樣品之長度與直徑比在 2.5與3之間。
- 2.利用磨床將岩心的上下兩面磨平，並使其相互平行，同時利用游標尺(精確至0.01mm)量取岩心長度(L)。

二、單軸加壓及資料記錄

- 1.使用成功大學資源工程系岩石力學實驗室之萬能壓力機(Contral Model 901)(圖七)，外接荷重儀(Load Cell)及測微儀(Dial Gage)並連接至訊號括大器，最後將訊號連接到XY-記錄器上。
- 2.實驗進行時利用控制閥門控制荷重速率>Loading Rate)在0.5-1.0MPa/s，同時利用XY-記錄儀記錄荷重值(單位噸)及樣品軸向縮短量(單位mm)。樣品荷重量在樣品受壓後呈線性增加，在樣品破壞之時呈瞬間降低，此轉折點所對應的荷重質經由換算可求出岩石之抗壓強度。同時樣品破壞瞬間所對應之軸向壓縮量經由計算可求岩樣在破壞前所能承受之應變量，並經由應力與應變間之關係求得岩樣之楊氏係數。

圖七 單軸抗壓實驗儀器示意圖。

第四章 研究結果

航照判釋結果

航空照片的判釋，首先針對研究區域的交通狀況、地形條件等做一了解，並用航空照片對研究區域進行崩塌地及線型的判釋，以便對全區的主要線型與分佈及崩塌地的分佈有一概略性了解。研究區域內線型判釋所得到的結果，可經由線形方位的量測與線型玫瑰圖的投影後，可得到研究區域線型玫瑰圖。

由線型判釋的結果(圖八與圖九)顯示：整個研究區域中的線型以東北-西南方向者最多，此與台灣本島之主要地質構造線及研究區域中主要褶皺之褶皺軸的方向相近。除了東北-西南向之線型外，研究區域中尚有兩組線形較為明顯，一組之方位接近西北-東南向，另一組則接近東西向或東微偏北-西微偏南向。若以台灣在蓬萊運動以來之受力狀況推論，呈西北-東南向與東-西向或東微偏北-西微偏南向之線型應是反應主應力在西北-東南向之共軛組平移斷層。其中西北-東南向之線型如具明顯的剪力錯動時，當具有左移斷層之特性。而東-西向或東微偏北-西微偏南向之線型如為斷層時當具有右移斷層之特性。而這兩組平移斷層系統應是在呈東北-西南向之褶皺與逆斷層發育的後期因為應力狀態局部調整的產物。

除了線型之分佈，航空照片對崩塌地判釋之結果(圖十)顯示研究區域中有甚多之崩塌地，而其可分為新崩塌地與舊崩塌地二類。新崩塌地在照片上顯現出裸露之岩坡或缺乏植生，而舊崩塌地都已為植生所覆蓋。整體而言，崩塌

地的分佈有集中在新中橫公路沿線尤其在迴頭彎與烏乾坑溪一線附近之趨勢，且多位於公路之上邊坡與下邊坡上。

圖八 研究區域航空照片之線型判釋圖。

圖九 研究區域航空照片線型判釋之玫瑰圖。

圖十 研究區域航空照片判釋之崩塌地分佈圖。

野外調查

地質資料

地質資料的蒐集是採用野外地質調查並配合航空照片之研判，同時配合前人的研究資料，以中國石油公司邱紹康等先生繪製之地質圖(1992)為基準，對研究區域尤其是公路沿線之地質構造及研究區域中之走向滑移斷層(或是斜滑移斷層)作詳細之調查。所得結果則繪成區域地質圖（如圖十一）。而對研究區域地質資料的討論可分為地層與地質資料兩部份。

地層

整個研究區域中所出露的岩層主要為中新世的南港層、南莊層及屬於中新世上部與上新世下部桂竹林層之關刀山砂岩。在研究區域之東緣，中新世之沉積岩以塔塔加斷層(陳有蘭溪斷層)與始新世之新高層的板岩為界(圖十一)。

南港層：南港層為研究區域中出露最老之沉積岩層，而其主要分佈於研究區域之北段和社至神木村附近以及研究區域之東界。研究區域出露之南港層主要由深灰色厚層頁岩夾薄砂岩或粉砂岩層所組成，局部地區可見較厚砂岩層出露。砂岩層之厚度多在10－30公分間但部份可達數公尺厚，砂岩部份含鈣質與碳質物，於層面見到雲母之富集，風化後表面呈棕灰色或黃棕色。本層中之頁岩相當緻密，風化後常呈楔狀碎屑剝蝕。

南莊層:南莊層是在研究區域內分布最為廣泛的一個岩層單位。本層主要由青灰色之細粒砂岩與暗灰色之頁岩及砂質頁岩之互層所組成。南莊層中砂岩層厚自數公分至十數公尺不等，其間夾有一公分以下之薄層而成帶狀構造者。而砂岩層厚度在數十公分者常於層面上見有漣痕，而於岩層中亦常見有交錯層理及紋層構造等反應淺水沉積環境的沉積構造現象而於紋層面上常有碳質物及雲母碎屑之富集。南莊層於本區中富含生痕、貝類及有孔蟲化石，偶爾並可見數層化石密集層。在研究區域中可見到少數之玄武岩質凝灰岩與岩脈分佈於本層中。整體而言，研究區域內出露之南莊層在本層之上部砂岩層之厚度較厚，且砂岩所佔之比例較高。而在本層之下部，砂岩層之厚度較薄，且岩體主要由砂頁岩互層所組成。

關刀山砂岩:桂竹林層下部之關刀山砂岩是研究區域中出露之最年青地層。本層之砂岩主要出露於研究區域西緣之阿里山山脈的頂部，而出露之砂岩則為關刀山砂岩之底部。研究區域中出露之本層砂岩由塊狀缺乏層理之青灰色泥質砂岩所組成，結構緻密，且部份含鈣質，同時含有甚多之有孔蟲及貝類化石。因為相較於研究區域中其他的出露岩層，關刀山砂岩具有較大的抗侵蝕力，因此本岩層在地形上常形成較陡的崖面，著名的塔山即為關刀山砂岩形成之崖面。

地質構造

研究區域中出露之主要地質構造有和社背斜、同富山向斜、塔塔加斷層、隆華斷層與神木斷層。除了區域性尺

度之地質構造之外，露頭尺度下尚有極為發達之褶皺與斷層之發育。

和社背斜:和社背斜是影響全區最為主要的地質構造，研究區域之大部份均位於本背斜的範圍內。和社背斜軸呈北北東－南南西走向，背斜軸之位置約略在自忠經神木村至和社西方一公里處一線，然而本背斜並不是非常完整，在研究區域內本背斜被二條較具規模且具明顯走向滑移分量的斜滑移斷層(隆華斷層與神木斷層)所截切。除了走向滑移斷層之外，和社背斜軸部尚有條與褶皺軸平行之縱向斷層，然而因為露頭出露狀況不佳，無法判斷這

條縱向斷層是伴隨褶皺作用產生之逆斷層或是僅發生於褶皺軸部地區中性面以上之正斷層。和社背斜在研究區域中向南傾沒圈合，從岩層位態之資料研判其圈合處當在自忠附近，但因在自忠處之南莊層由砂頁岩組成，露頭尺度之褶皺發育良好導至岩層位態之變化極大，因此不易見到和社背斜圈合之處。

同富山向斜:同富山向斜位於和社背斜與塔塔加斷層之間，褶皺軸約略呈南北走向，為一較寬廣而緩和的向斜構造，向斜之北端為東埔斷層截失，中段則為隆華斷層與神木斷層截切，而於台二十一號公路150公里附近切過公路面。故研究區域內之台二十一號公路由塔塔加遊客中心到同富山一段之大部份都在同富山向斜的東翼蜿蜒而行。由於此一褶皺構造位於台灣中南部麓山帶構造區之東緣，東側受陳有蘭溪斷層的推擠，故岩層受到擠壓而產生的變形與破碎相當嚴重，呈現出頻繁的褶皺與破裂。

塔塔加斷層:塔塔加斷層(陳有蘭溪斷層)位於研究區域之東緣切過塔塔加鞍部，為臺灣西部麓山帶與中央山脈西斜面之分界斷層。本斷層在地表為一傾向朝東之高角度逆斷層，斷層之上盤為古第三紀之硬頁岩、板岩及變質砂岩，斷層之下盤則為新第三紀之沉積岩。本斷層之北段呈西北—東南走向而在東埔附近轉呈北北東—南南西走向。於塔塔加斷層旁有一東埔斷層，與塔塔加斷層相會於烏乾坑溪附近，為一傾向朝東之高角度逆斷層，其可能為塔塔加斷層之分支。

隆華斷層:隆華斷層為研究區域北段具有左移走向滑移分量之斜滑移斷層。早期前人的研究(如劉占江等，1971)將本

斷層命名為神木斷層，然而經過邱紹康等人(1992)之查核後對本斷層之分佈予以修正，並命名為隆華斷層。本研究則沿用邱紹康等人使用之隆華斷層一名。本斷層之走向呈西北－東南走向，斷面傾角甚陡近乎垂直，不易判斷其傾斜方向。由斷層附近破裂面上之擦痕得知本斷層具有明顯之走向滑移分量且為左移之特性。野外觀察顯示地層界線被本斷層所錯動之量並不大，加上斷層附近的岩體並非極為破碎，因此本斷層之滑移量不致於太大。與航空照片線型判釋之資料相比較，本斷層反應的就是西北-東南向之線型分佈。

神木斷層:神木斷層主要切過研究區域之中南段。神木斷層於前人之研究中曾被命名為十八折坑斷層(劉占江等，1971)，但在本研究中則沿用邱紹康等人(1992)使用之神木斷層一名。本斷層之走向為東微偏北－西微偏南向，斷面傾角甚陡近乎垂直。野外量測之擦痕資料顯示本斷層基本上為一走向滑移斷層但具少許之傾向滑移分量。本斷層在台二十一號公路路標139－139.5公里迴頭彎處有明顯之出露，而在此處，斷層帶由數條斷層所組成，多數斷層之走向與主斷層帶相似，但亦可見少數之斷層之走向與主斷層呈共軛(西北－東南走向)之平移斷層，而在部份斷層上亦見明顯之正斷層運動之分量。而迴頭灣延至烏乾坑溪之嚴重崩塌帶就是受到此斷層之影響。與航空照片之線型資料相比較，本斷層反應的是東微偏北向之線型，它與走向為西北-東南向之斷層呈共軛組之空間分佈，反應主應力在西北西-東南東的擠壓方向。

除了區域性尺度之地質構造現象外，在台二十一號公路沿線的所出現露頭尺度之構造現象，以褶皺、斷層、不

連續面爲最多。在公路沿線裸露岩坡上有明顯褶皺的位置有：台十八號公路的83.5k、85.0k、87.5k、90.0k、92.2k，台二十一號公路的144.4k、132.6k、130.5k、127.8k、107.5k等處。其中，85.0k、87.5k、132.6k、130.5k、127.8k等位置，都是一系列緊密而連續的中視褶皺，此現象與當地岩性爲薄層砂頁岩互層有很大的關連。上述這些顯現中視尺度褶皺的露頭其岩層厚度都不大，一般多在數十公分的範圍內，但厚者可達三公尺左右。故所見到的褶皺現象都是波長小而緊密的尖頂褶皺。這些褶皺的褶皺軸延伸方向多在北偏東30度至南北向的範圍中，與研究區域中和社背斜、同富山向斜等大架構的褶皺軸方向相當一致。

露頭尺度下有明顯斷層的位置有：台十八號公路的85k、87.5k、台二十一號公路的148k、146.7k、139.9k、139k、138.5k等處。其中，85k與87.5k處的斷層皆與中視褶皺同時出現，有明顯斷層泥，由露頭觀察判斷，應是褶皺發生時爲了調整岩層的空間而產生的斷裂；148k處的斷層面之走向爲北偏西70度，向西傾斜60度，且規模不大，而由斷層擦痕及斷面旁之拖曳現象判斷此斷層主要是有正斷層型態之運動方式；146.7k處的斷層面之走向爲北偏西20度，向東傾斜60度，是一正斷層；139.9k處的斷層面爲北偏西54度，向西傾斜64度，具有五公分厚的斷層泥，且有明顯擦痕，由斷面的拖曳現象可看出具有正斷層的分量，再由擦痕的方向可判斷其爲一斜滑移斷層，且在斷層兩側與斷層同位態的破裂面相當多，爲一明顯的錯動帶；139k處的斷層面爲東西向，向北傾斜40度，由拖曳現象亦可看出具有正斷層的分量。由於研究路線內的南莊層的岩性相當接近，對比不易，故難以估計這些斷層的落差規模。在

130.5K及127.8K處之連續褶皺亦有因在褶皺作用發生需調整空間所形成之斷層，但其規模均不大，影響不多。

在中視構造中分佈最廣的是破裂面，在所有的裸岩邊坡中都有存在。在野外調查時，除了對研究區域的地質狀況做詳細調查，以求了解全線的地質狀況。對新中橫公路路標125K至151K一線具有破壞現象的邊坡，各項有關的地質因子記錄如岩石種類、砂頁岩比例、岩層厚度、層態、中視構造現象、風化程度等則直接引用王豐仁同學之調查資料(附錄一、二)。

崩塌地調查

野外工作除了地質資料的調查之外，崩塌地之調查亦是工作的重點，尤其是在新中橫公路沿線道路邊坡之調查。

就崩塌地之分佈範圍而言，除了航空照片所判釋之崩塌地之外，沿新中橫公路野外工作時尚可見到數處具有明顯破壞現象之崩塌地(圖十二)，然而由工作的經驗得知，新中橫公路沿線邊坡的破壞往往是由降雨所直接觸發，而在雨季時又往往不利於野外的調查工作，因此目前調查的資料與實際情形可能尚有些微的出入。但是整體而論，新中橫公路同富至玉山段沿線的邊坡破壞現象極為嚴重，除了地質構造(如隆華斷層、神木斷層等)通過處會有規模較大的邊坡破壞之外，幾乎在所有水系匯集之處都有崩塌現象之發生。而在所有崩塌地至中，規模最大也最不易整治的有兩處。其中之一在同富西南500公尺左右至車寮橋一線長約一公里以上之公路沿線的上下邊坡，整個崩塌地的影響範圍最少在一平方公里以上，而崩塌之型式則屬圓弧型及平面型破壞之複合型式之崩塌，圓弧型之破壞主要發

生在崩積層與風化表土，而當破壞面延伸至岩盤時則沿南港層中之砂頁岩層之界面上滑動。除了同富附近之崩場地外，迴頭灣(公路路標139.5K)處沿烏乾坑溪溪谷發育而通達至烏乾坑溪明隧道(公路路標128.5K左右)一線則是新中橫公路沿線另一嚴重之崩場地帶。本段崩場地之破壞以岩石之碎屑流為主，而造成岩體破碎之主因則是神木斷層通過此處，同時伴有為數甚多之小斷層之發育，加以斷層之傾角甚陡，因此整個崩場地及破碎帶呈高角度之分佈。

圖十二 研究區域崩場地分佈圖。

岩石抗壓強度與構造地層單位

在本研究中針對新中橫公路阿里山到同富山一線出露之南莊層，採取新鮮的砂岩樣品(圖十三)於室內進行單軸抗壓實驗，以求知砂岩之單軸抗壓強度與楊氏係數。在砂岩樣品之採樣僅以隨機取樣之方式採取新鮮岩樣。在採取之實驗樣品中，所有樣品在破壞前之應力-應變曲線均近乎成線性關係，且樣品在破壞前所能承受的應變量均小於1%，呈現標準的脆性變形行為。同時由實驗結果顯示，所有砂岩之強度與其楊氏係數有呈正比之關係，樣品之單軸強度值愈高則其楊氏係數愈大。

在實驗資料的處理上，先求取不同區段樣品抗壓強度之平均值與其標準差，以表示樣品分散之程度。各區段樣品之平均值加減標準差則代表樣品抗壓強度分佈之主要範圍。

砂岩樣品單軸抗壓實驗量測的結果顯示在阿里山到自忠之間，岩樣的抗壓強度分佈之區間在 $52.19 \pm 10.24 \text{ MPa}$ (圖十四)，其標準差最小，抗壓強度之分佈較為集中。在自忠至石山一段，岩樣之抗壓強度分佈之範圍在 $77.04 \pm 14.85 \text{ MPa}$ (圖十五)。自石山到塔塔加遊客中心一段，岩樣之抗壓強度在 $106.35 \pm 31.77 \text{ MPa}$ (圖十六)，其標準差最大。在塔塔加遊客中心至同富山一段，岩樣之強度在 $117.07 \pm 27.04 \text{ MPa}$ (圖十七)。由砂岩強度之分佈趨勢得知塔塔加遊客中心至同富山一段之岩樣有最大之強度值，由石山至塔塔加遊客中心間則次之，而由阿里山至自忠間之砂岩岩樣相對的則有較小的強度值。

在求得砂岩岩樣之抗壓強度之後，配合野外觀察之岩層厚度(圖十八、十九)及露頭中所見之地質構造現象，可將研究區域內所見之地層單位畫分為兩個構造地層單位A與B。單位A包括關刀山砂岩與南莊層之上部，其組成以厚層砂岩及砂頁岩互層為主，砂岩層厚度較厚，最厚者可公達十數公尺，砂岩佔岩體比例較高，在50%-75%之間，出露之地質構造現象以破裂面及斷層為主，但偶爾亦可見到波長較長之褶皺。單位B則包括南莊層之下部及南港層，其主要組成爲砂頁岩互層與厚層頁岩夾薄砂岩層，砂岩層之厚度較薄，一般多在數十公分間但少數可達三至四公尺，砂岩佔岩體體積之比例較低，約在50%左右，出露之地質構造以短波長之褶皺為主，且褶皺之規模均小而其側向之延伸亦相當有限。

整體而言，本研究並未將研究地區中之構造地層單位予以完全的界定清楚，但對公路沿線構造地層單位之分界則較明確。以研究區域中之阿里山公路及新中橫公路而言，由阿里山至石山一段之南莊層以及同富山至同富一線之南莊層與南港層屬於構造地層單位B，而由石山到同富山一段之南莊層則屬構造地層單位A。

圖 十三

圖十四 阿里山至自忠段南莊層中砂岩樣品之單軸抗壓強度分佈圖。

圖十五 自忠至石山段南莊層中砂岩樣品之單軸抗壓強度分佈圖。

圖十六 石山至塔塔加遊客中心段南莊層中砂岩樣品之單軸抗壓強度分佈圖。

圖十七 塔塔加遊客中心至同富山段南莊層中砂岩樣品之單軸抗壓強度分佈圖。

圖十八

圖十九

較高，在50%-75%之間，出露之地質構造現象以破裂面及斷層為主，但偶爾亦可見到波長較長之褶皺。單位B則包括南莊層之下部及南港層，其主要組成爲砂頁岩互層與厚層頁岩夾薄砂岩層，砂岩層之厚度較薄，一般多在數十公分間但少數可達三至四公尺，砂岩佔岩體體積之比例較低，約在50%左右，出露之地質構造以短波長之褶皺為主，且褶皺之規模均小而其側向之延伸亦相當有限。

整體而言，本研究並未將研究地區中之構造地層單位予以完全的界定清楚，但對公路沿線構造地層單位之分界則較明確。以研究區域中之阿里山公路及新中橫公路而言，由阿里山至石山一段之南莊層以及同富山至同富一線之南莊層與南港層屬於構造地層單位B，而由石山到同富山一段之南莊層則屬構造地層單位A。

崩塌地之發育與地質構造及岩性之關係

研究區域內之崩塌地可分為自然發生及受人為影響而發生的兩類崩塌地。就自然發育的崩塌地而言，其規模多較大，例如同富旁之崩塌地其滑動面積可達一平方公里以上。人為影響而發生的崩塌地主要指的是新中橫公路沿線之上邊坡及下邊坡，因為道路開發，導致邊坡之破壞。就自然發育或人為影響之崩塌地而言，崩塌地之類型與規模大小均受當地地質構造與岩性之影響。

崩塌地與岩性之關係

岩體的組成及其上覆的風化表土層的情況常與崩塌地之類型有著密切之關係。一般而言，均質材料如厚層的崩積土與頁岩因為在岩體中不具明顯的非均質性與非均向性，因此破壞時較易產生屬於圓弧形破壞之土石崩塌或潛移。而對具有明顯層面與破裂面等不連續面的岩體而言，因為不連續面切割岩體，導致岩體破碎，此時如果不連續面的密度並非太高，岩坡則易產生岩塊墜落、傾翻、平面滑動或楔型滑動。而當岩體中具有高密度及多方向之不連續面，則岩體將被切割的極為破碎，因此有利於落石及土石流破壞之發生。

就研究區域內出露之岩層、表層土壤及崩積層而言，表層土壤及崩積層的厚度均不大，因此產生圓弧型破壞之崩塌地的規模均不大。而由實地崩塌地之調查得知，此類表層風化土壤及崩積層上發育之崩塌地較多集中於地形較為低緩處，此因低緩處多為岩屑與風化土壤堆積處，因此當有較大降雨時，因為孔隙壓力之增加導致崩塌之發

生時。在研究區域中，同富至神木村一帶，地勢較為低緩，因此有較多崩積層與表土產生之潛移與圓弧型破壞。

研究區域中在南港層與下部南莊層(即構造地層單位B)分佈的區域，岩體主要為厚層頁岩與砂頁岩薄互層所組成，因為頁岩之抗風化力較差，因此岩坡表面常風化成頁岩之碎屑或是有較厚的風化土層，因此有利於小規模之圓弧型破壞之發生，同時因為在砂頁岩互層的岩性中，砂岩常為良好的透水層，頁岩則為不透水層，此時在砂頁岩的界面常為一高孔隙壓之界面。因此岩體的強度將於此界面上達到最低，導致岩體沿著砂頁岩層的界面產生滑動。研究區域北緣和社村落西邊之崩場地(83年7月道格與提姆颱風來襲時，造成之大規模滑動)即屬此類。除此之外，在砂頁岩互層的岩層受到應力作用時，常有利於小規模褶皺之發育。而在褶皺形成的過程，層面會發生層面間的滑動因而降低層面的強度，而更有利於岩體沿層面產生平面型之滑動。除此之外，因為下部南莊層與南港層中所夾砂岩的厚度多在數十公分之間，因此雖然在褶皺或斷層作用中，岩體均會有破裂面之發育，但因為砂岩層之厚度較薄，因此被破裂面所切割的岩塊較小，同時因為頁岩較易風化，所以岩坡之坡角通常較小，因此不易產生岩塊直接的墜落，如若產生落石，落石的規模通常亦小。

對上部南莊層與關刀山砂岩(即構造地層單位A)分佈的區域而言，岩體主要由塊狀砂岩或厚層砂岩夾薄頁岩層所組成，由砂岩的單軸抗壓強度顯示，此段砂岩之強度較高，因此受應力作用時，岩體會有較多破裂面的發育，同時因為頁岩含量較少，所以岩體不易風化。因此岩坡之坡角通常較大。如新中橫公路沿線塔塔加遊客中心至同富山一段，上部南莊層分佈之區域其岩坡坡角通常在70~90度

的範圍。此時被破裂面所切割的岩塊就易產生岩塊的墜落與傾覆。尤其研究區域內之河流下切侵蝕之速率甚高，有利於河岸兩側解壓節理之發育，因此更是有利於落石的發生。除了落石的發生之外，因為道路開挖，切割坡角。因此在順向坡處亦有岩體沿層面發生的平面滑動，但在新中橫公路除了和社至神木村一段外，沿線順向坡之數目相當有限(附錄二)，因此極少見到平面式之滑動。同時因為關刀山砂岩與上部南莊層的砂岩層通常較厚(有時厚可達十數公尺)，因此常有較大尺寸的落石。

崩塌與地質構造之關係

斷層、褶皺與破裂面是岩體在淺部地殼環境下，受到應力作用時，最易發生的地質構造現象。而在斷層與褶皺發育的過程中亦會伴有破裂面之發育，其中破裂面之多寡直接影響到岩體之安定與否。

就區域性尺度而言，研究區域中主要受到和社背斜與同富山向斜的影響，因此在此二褶皺形成的過程中，岩層會有破裂面之發育，尤其在褶皺軸部附近，因為曲率較大，所以會有較為發達之破裂面。如在新中橫公路沿線146k至148k處，道路邊坡有著極為發達之破裂面。除了因為堅硬砂岩較有利於高密度破裂面的發育外，此段岩坡接近同富山向斜之軸部亦是破裂面特別發達之主要原因之一。推測相似的現象亦在和社西北側和社背斜軸附近出現，但因未有道路開挖的新鮮剖面，因此不易確認。

除了區域性尺度的和社背斜與同富山向斜之外，在南港層與下部南莊層中常有規模較小且波長較短的褶皺發育。雖然伴隨這些小規模之褶皺亦有破裂面之發育，但是

因爲岩體多爲砂頁互層，且砂岩層的厚度多在數十公分的範圍內，而最多亦僅在三公尺左右，同時因爲頁岩比例較高，風化後岩坡坡角較緩，所以僅有較小規模小落石發生。

與褶皺相比較，斷層對研究區域內崩塌地的影響遠較褶皺來的明顯。就區域尺度的斷層而言，隆華斷層與神木斷層爲兩條主要的走向滑移斷層。神木斷層是影響新中橫公路迴頭彎(139.5k)至烏乾坑溪一線主崩塌地的主要地質構造。因爲斷層面之傾角甚陡(近乎90度)，而在主斷層附近尚有規模較小且與主斷層位態平行或是與其呈共軛分佈的走向滑移斷層。因爲在這些斷層附近有著極高密度的破裂面的發育(見附錄二)，加上岩體組成以砂頁岩及頁岩夾厚層砂岩(厚約1.5m)爲主，導致岩體極爲破碎，因此又有利於侵蝕及搬運作用的進行，而形成匯水的凹谷，如此更有利於崩塌的發生，加以岩體極爲破碎，因此破壞的型式類似土石流，加以規模甚大，且凹谷之落差極高，導致整治極爲困難。

與神木斷層相似，隆華斷層是一西北走向之高角度左移斷層，斷層切過處在地形上亦成匯水的山谷，但與神木斷層相比較，隆華斷層附近的岩體其破裂面發育的密度較低，岩體中頁岩所含之比例也高，加上斷層切過處的地形落差不若神木斷層的大，因此雖然在斷層處亦有崩塌的發生，但其規模不如迴頭彎處來的大。

除了神木與隆華兩條主要的走向滑移斷層之外，研究區域的東緣即塔塔加斷層與東埔斷層交會處亦有一規模較大崩塌地的發育。雖然不曾對此崩塌地進行詳盡的調查，但崩塌地的發育應直接受到斷層的影響。

除了區域性尺度的斷層之外，研究區域內亦有為數甚多位移較小的斷層，雖然這些小斷層對岩坡崩塌的影響較小，但在斷層附近岩體亦會較為破裂，因為常有落石的發生，此類現象在公路沿線均相當普遍(圖二十)。

圖二十 新中橫公路沿線落石災害發生潛感圖。

第五章 崩塌地防治對策之研究

道路邊坡破壞現象（崩塌地）的調查，目的在調查研究路線中具有邊坡破壞現象（或具有不穩定狀態）之邊坡的位置與範圍；同時針對邊坡的組成物質、破壞特徵、破壞體的運動方式等元素，予以區分各不穩定邊坡的破壞形態。本研究除了對全區做一般性的調查與研究之外，並針對下述各定點：楠溪林道入口停車場（臺18； 95K）、夫妻樹（臺21；147.5K）、迴頭彎（臺21；138.5K至140K）、烏乾坑溪明隧道口（臺21；128.5K），及（臺21；121K）等，研討其可能之整治方法。

邊坡保護工程係爲了邊坡及其斜面的安定而做，通常就景觀及工程費用而考慮；利用工程與植生方法將崩塌地加以整治，使之達到安全穩定之目的。邊坡保護工程應以採用植生來保護邊坡較適宜，然而由於地質狀況、邊坡材料、坡面斜度、水文狀況，及當地氣候等的不同，而分別有以工程結構物體及邊坡植生保護工程併用者，以及只有以工程結構物體保護邊坡者。防治工程之規模及方式可視崩塌之嚴重性、保全對象之重要性及經費之狀況而定。

一、 楠溪林道入口停車場（臺18； 95K）

楠溪林道入口停車場的下邊坡，其邊坡組成材料主要爲崩積土及岩塊。據觀察，坡面上已有打樁編柵及植草，植生之生長良好，整個坡面目前看起來已達到其穩定狀態。然而，其下坡段部份之南段坡腳（如圖二十一所示），因無擋土牆之設置，部份的樹木已因受地表土壤蠕動(creep)之故而傾斜。很明顯地，此部份應及早予以處置，以免影響到整個坡面結構之完整性，以及整個坡面結構之穩定性。

圖二十一

另有其北端之縱向截洩溝（如圖二十二所示），此種排水設施為邊坡排水之重要方法之一，唯其溝牆邊之積土不夠夯實，因此已有部份流失。溝牆邊之積土流失的另一個原因，為此段坡面上未有橫向截流溝之設置。因此，坡面上之漫流匯聚於牆邊，並沿著邊牆沖刷而下，積土因而流失。此部份問題之解決方法有；於溝牆邊積土流失的部份，予以填土，並確實做好夯實之工作。另外，應於現有之坡面上，約略平行於等高線的位置，構築數條橫向之截流溝，以便將坡面上之漫流水導往縱向截洩溝內。尤其是坡頂和坡腳的部份，更需要設置橫向之截流溝，以便將地表漫流水導入縱向截洩溝內排除。

以上兩點，應及早予以處置，以免影響到整個坡面及其上附屬結構體之穩定性。

二、 夫妻樹（臺21； 147.5K）

夫妻樹景觀據點之停車場及遊客步道區全長約200公尺，其公路東側之邊坡（即上邊坡）不穩定帶，包括南北兩端可能造成影響之區段全長約300公尺。此邊坡不穩定帶，依其崩塌形式可分為北、中、南三個區段。北段和南段之崩塌形式主要以落石為主（如圖二十三、二十四及圖二十七、二十八所示）。而中段部份則可分為上、下兩區段（如圖二十五、二十六所示），下區段部份以土石流形式為主，其中夾雜著由上區段部份所崩落下的滾石。

此區段之邊坡組成材料由上而下可分為：上段厚層砂岩、中段薄層砂頁互層、及下段之厚層砂岩夾薄層頁岩（如圖二十五所示）。由邊坡組成材料而言，其間所夾之頁岩乃屬軟弱岩層，尤其是厚層砂岩與薄層砂頁互層間，常因其岩性之不同產生差異侵蝕，而使砂岩呈吊懸狀，加上其上、下兩段砂岩中之解壓節理發達，故岩層之崩落乃常見之現象。若吊懸的岩塊巨大，則日久之後將因重力的關係從岩層上崩解、傾翻後沿著坡面滑落。此種傾翻滾落的崩塌現象，當然會對公路

圖二十二

圖二十三

圖二十四

造成直接之影響；然而因其將沿著坡面滑落，故對停車場及遊客步道區將不至造成直接之影響。唯，其中較小粒徑之岩塊則會因滾落與跳動之故，而對公路、停車場及遊客步道區造成直接之影響，甚至造成危險。因此，適當的邊坡坡腳和坡面整治及維護是必須的。建意此區段邊坡的坡腳和坡面之整治方式，分述如下：

(1) 北段部份（如圖二十三、二十四所示）： 首先應將目前坡面上不穩定之石塊；如，吊懸或鬆動之岩塊，予以清除。再將下部之擋土牆向北延伸，以穩定整個邊坡之坡腳。然後利用岩錨將上部岩塊（如圖二十四之左半部所示）予以固定。若不考慮景觀性，則其坡腳之擋土牆上亦可考慮設置攔石柵，以防止落石直接掉落到公路上而造成危險。在其南面部份的邊坡上（如圖二十三之右半部所示），除了應設置坡頂及坡面之導、排水溝，以防邊坡上現有之沖蝕面繼續擴大外，亦可考慮設置覆網植生，以減少坡面直接受到雨水之沖刷。其中覆網植生並非邊坡植被之唯一作法，打樁編柵或框網客土亦是可行。

(2) 中段部份（如圖二十五、二十六所示）： 其處理方式與北段部份略同，然其分成上、下兩區段。整體而言，首先應將目前坡面之上、下兩區段間不穩定之岩塊予以清除。其次應將下部之擋土牆向南延伸，藉以穩定此區邊坡的南半段之坡腳。其上區段之砂岩層目前尚無崩落之慮，然因岩層之解壓節理發達，故應利用岩錨以加強其上部岩塊之穩定性，並可以灌漿方式，在岩層之節理及裂縫中注入膠結物，藉以固定部份鬆動之岩塊，並強化岩錨之功能。

其下區段崩積土部份（如圖二十五所示），則應考慮設置覆網及植生，以穩定坡面並防止坡上之土石因受雨水沖刷而滑落。尤其是其北半邊部份（如圖二十五之左半部所示），坡面上已有侵蝕溝之雛形，為免其繼續擴大，應設置截洩溝以排水，並於坡頂設置導、排水溝，以減少坡面直接受到雨水之沖刷。

(3) 南段部份（如圖二十七、二十八所示）：其處理方式亦與北段部份略同。首先應將目前坡面上不穩定之岩塊予以清除，再利用岩錨加強岩塊之穩定性。其上部之厚砂岩層目前尚無崩落之慮，然應再以灌漿方式，在岩層之節理及裂縫中注入膠結物，藉以固定部份鬆動之岩塊，並強化岩錨之功能。另外，亦應在可能傾動之岩塊的底部構築楔形物，以填充岩塊傾動之空隙，改變岩塊受重力之分力的方向。然而，上部厚砂岩層中因解壓節理而可能傾動之岩塊，其崩落之方向約為西南向，主要會影響到公路之通行，應不至影響停車場之安全性。

以上，僅針對邊坡之穩定性問題予以討論，然而為了遊客之安全的考量，於此景觀駐留區廣設警告標示，並視情形做季節性之關閉亦是可行之方法。尤其是此景觀駐留區之南、北兩端的公路側，其地點位置處攝影取景之最佳方位及距離，而其亦為受邊坡上不穩定岩塊墜落威脅最嚴重之地。

三、迴頭彎（臺21；137.5K至140K）

迴頭彎位處公路迂迴之區，全長約2500公尺，整個區段之岩層因受斷層構造(神木斷層)之影響非常之破碎。因此，崩塌之形態主要為邊坡上之岩塊隨著碎石粒之滑動而滾落；其中亦夾雜著較大之岩塊直接從岩層上崩落下來，而碎石粒之滑動主要應是受雨水之沖刷之故。整個區段可分為：上坡段（如圖二十九、三十所示），中坡段（如圖三十所示），及下坡段（如圖三十一、三十二所示）。

(1) 上坡段中之北半段（如圖二十九及圖三十右上所示），由此區段可以很明顯地看到植生的重要性（如圖二十九所示）。有植生處其坡面較安定，既使坡面上之土壤及碎石飽含水，其亦較另一邊之裸岩坡面穩定。然而為使邊坡能更穩定，首先建意應將擋土牆予以向北延伸，

圖二十五

圖二十六

並在坡面上規劃好橫向之截流溝及縱向之截洩溝。於裸岩坡面上更應利用植樁編柵及格網客土之方式予以植生，加上導水及排水設施，如此應可使裸岩坡面漸趨穩定。而公路兩側之排水溝內之堆積物應予以清除，以維持排水溝之排水功能。

(2) 中坡段（如圖三十左下部所示），部份邊坡已有處理，且其成效以目前之狀況看來似乎不錯。且很明顯地，有經過處置之坡段受雨水之影響較小，而未經過處置之坡段受雨水之影響較大，並有再崩塌之慮。此區段不穩定之重要原因乃岩層破碎，因此，利用岩層內灌漿，以膠結破碎之岩體，使岩層穩定。其次，在坡面上規劃好導水及排水工事，減少坡面上因水流匯集而沖刷；水流匯集沖刷將細粒材料帶走而使岩體之膠結程度減低，導至岩層穩定性被破壞。除了灌漿膠結破碎之岩體外，坡面上之覆被植生應同時進行，以減少坡面受雨水及地表漫流水之直接沖刷。

(3) 下坡段（如圖三十一、三十二所示）。迴頭彎公路迂迴區之下坡段，亦即為烏乾坑溪明隧道口之上坡段部份，其崩塌形式與整治方法建意將於下段中討論。

四、 烏乾坑溪明隧道口（臺21；128.5K）

烏乾坑溪明隧道口之上部坡段（如圖三十一、三十二所示）；此區段之邊坡依其外觀，可以很明顯地分為南、北兩段。其中邊坡南段（即圖三十一中較遠之部份，或如圖三十二所示）之崩塌形態主要為坡面受雨水沖刷而產生之土石流，此區段之土石流的材料來源部份來自其上面迴頭彎之邊坡崩塌物。而北段（即圖三十一中較近之部份）則為烏乾坑溪之源頭，受烏乾坑溪之向源侵蝕作用所影響。兩區段之坡面因受雨水沖刷之故，而有很嚴重之侵蝕溝發育的情形（如圖三十二所示）。因此，蝕溝整治為此區段所必需。其目的在穩定蝕溝，防止沖蝕擴大，並攔阻泥砂往下邊坡沖刷。另外，在坡面上加以植生覆

被以穩定坡面。整治方法之一為沿沖蝕溝構築節制壩，目的在調整溝床之降坡，固定水道，攔阻排水溝內之泥砂，及穩定蝕溝。節制壩之構築應以耐久性之透水壩為佳；包括堆石壩、蛇籠壩、籬樁壩、及格籠壩等。並做好截流溝、截洩溝、與跌水消能等工事。

最重要的是，要確實規劃好此區段邊坡上部之迴頭彎公路兩側的排水溝之構築。如圖三十、三十三、三十四所示，公路兩側可以說是未有任何排水溝之設置（如圖三十、三十三所示）。而如圖三十四所示，排水涵管之出水口處及其下部，毫無截洩溝或跌水消能之工事；此為一嚴重錯誤之排水溝規劃的情形。排水溝之構築應特別注意導水及排水的去處；將水集中於排水溝之後，利用截洩溝將水導向坡底，避免水流直接漫流於坡面上。例如於烏乾坑溪之源頭（即坑頭）部份，向源侵蝕即是受水流之向下沖蝕所形成，更應以構築截洩溝之方式予以整治。

五、 台21號公路路標121K處

本區段之崩塌形式（如圖三十五、三十六所示），主要為土石流方式，即坡頂之風化層土壤和碎石因下雨天而飽含水，加上重力之影響，由坡頂沿著坡面滑落。本區段之崩塌形式並非受邊坡岩層破壞之故，因此，處理方式與前述者不同。本區段之整治應從坡頂做起。按瞭解本區段之坡頂已有農耕，因此首要者應予完成坡頂之排水及導水設施，以穩定坡頂之土壤；並防止坡頂之土石因受雨水沖刷而再滑落。因本區段之公路面開挖於基岩岩層上，逆岩層之走向而行，屬於逆向坡之邊坡形式，應該屬於穩定邊坡；其下坡段之部份（如圖三十六所示），可以以植樁方式加強路基之穩定，重要的是排水溝工程的設置。因此，只要做好坡頂及坡腳（即公路兩側）之排水及導水設施，此區段之邊坡應無再崩塌之慮。

圖二十七

圖二十八

圖二十九

第六章 結論

玉山國家公園新中橫地區位處台灣西部麓山帶之東緣，褶皺與斷層等地質構造作用極為發達。存在於本區的主要地質構造包括和社背斜、同富山向斜、塔塔加斷層、隆華斷層與神木斷層。和社背斜與同富山向斜是影響全區的主要地質構造，其褶皺軸之走向分別呈東北-西南向及南-北向，它們同時為具有走向滑移特性之隆華斷層及神木斷層所截切。隆華斷層為一西北-東南走向之左移斷層，神木斷層則為一東北東-西南西走向的右移斷層，此二斷層呈共軛分佈，反應的是來自西北西-東南東之水平擠壓應力。

除了區域性尺度之褶皺與斷層之外，本區尚有為數甚多之露頭尺度之褶皺、斷層以及破裂面之發育。小規模之褶皺主要分佈於以砂頁岩薄互層或厚頁岩夾薄層砂岩之下部南莊層及南港層(即本研究之構造地層單位B)，而在上部南莊層及南港層(構造地層單位A)中則有較為發達的斷層及破裂面的存在。

研究區域內之新中橫公路沿線之崩塌現象極為普遍，崩塌的型式與規模均深受岩性與地質構造的影響。在構造地層單位A中，砂岩佔岩體之比例較高，岩層厚度較厚，砂岩強度較高，加上邊坡較陡峻，因此邊坡之破壞主要受到破裂面位態及邊坡方位間之關係所控制，而落石是邊坡最主要的破壞現象。在構造地層單位B中，頁岩所佔比例較高，砂岩層之厚度變薄，邊坡較緩，風化程度較為嚴重，土石流、圓弧形破壞及平面型滑動是最常見之邊坡破壞型式。而就崩塌之規模而言，在主構造線附近發育之崩塌地的規模均較大，神木斷層是造成迴頭彎至烏乾坑溪明隧道一線崩塌之最主要因子，而塔塔加遊客中心至同富山一線之道路邊坡上破裂面的發育則是受到同富山向斜之影響。

研究區域內降雨是直接觸發崩塌發生之最主要因子。針對特定地點(如夫妻樹、迴頭彎、楠溪林道路口)所提出之崩塌地防治之對策顯示，

除了以植生或工程方法幫住邊坡之穩定外，排水良好與否直接關係到崩場地防治之成敗，而在新中橫公路沿線常可見到排水設施的損毀與維護之不當，此當需極速改進以避免邊坡因為排水不良導至的破壞。而對已經發生破壞或具高危險性之邊坡地區而言，應廣設警告標示、或做季節性之關閉，同時應利用覆被植生之方法及構築防護工事予以整治。

參考文獻

中國石油公司臺灣油礦探勘總處（1986），十萬分之一"嘉義"

幅地質圖。

王鑫，林耀源（1982）。新中橫公路水里支線的自然與工程環

境。國立台灣大學地理學系研究報告，第十一期，pp15-

31，

王鑫，李光中（1988），新開挖道路邊坡之穩定性預測及追蹤

查證。國科會防災科技研究報告77-21號。

王鑫等（1991），山地道路工程對邊坡的影響（新中橫公路東

埔段）。國科會防災科技研究報告80-23號。

台灣省交通處公路局第二工程處第七工務段內部資料(1994)。

何春蓀（1982），臺灣地體構造的演變-臺灣地質圖說明書。經

濟部中央地質調查所，台北，153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，台北，163頁。

何春蓀（1981），普通地質學。五南圖書出版公司，台北，

pp201-222

邱紹康等（1992），南投縣和社構造核查報告。中國石油公司

內部報告。

林慶偉、劉景仁(1994)，新中橫公路阿里山至同富山間之構造地層特性。經濟部中央地質調查所特刊第八號，pp121-136。

耿文溥（1974），臺灣西南部之南莊層。臺灣省地質調查所彙

刊，第二十四號，pp75-78。

徐鐵良（1991），地質與工程。中國工程師學會，第九版。

畢慶昌（1969），俯衝作用在臺灣地體構成中的作用。臺灣省

地質調查所彙刊，第二十號，pp1-39。

張郇生（1984），臺灣嘉義-玉山-水里公路沿線之地質。中央

地質調查所特刊第三號。

張麗旭、詹新甫、李朝雄（1960），阿里山煤田地質。臺灣省

地質調查所彙刊，第十二號，pp1-18。

黃景川（1984），落石災害之預知與對策。山坡地開發專輯

(一)(二)，營建世界雜誌社，pp284-290。

程延年、葉貴玉、劉進金、盧佳遇（1988），玉山國家公園東

埔玉山區地質調查與解說規劃報告。內政部營建署玉山

國家公園管理處出版。

劉占江（1971），臺灣南投縣和社背斜之地質。臺灣石油地

質，第九號，pp107-121。

劉占江等（1976），南投縣和社構造地質（覆查）報告。中國

石油公司內部報告。

劉桓吉、方中權、莊德永（1989），臺灣新中橫公路嘉義觸口

至塔塔加鞍部沿線地質。中央地質調查所彙刊，第五

號，pp19-31。

劉景仁（1993）。新中橫公路阿里山到同富山間南莊層之構造

地層研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，

1993。

潘國梁（1992），山坡地地質分析。科技圖書有限公司，共208

頁。

I.S.R.M. (1981) Suggested Method for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Mass, Libson.

附錄一 台18號公路83K-95K及台21號公路151K-127K沿線之邊坡地形、現地破壞、分析結果說明

編號	坡面走向	邊坡角度	坡面傾向	邊坡外形	邊坡型式	邊坡大小 (長×高)	突懸性質 (註一)	運動路逕 是否散射	落石顆粒 大小	穩定性分析結 果(註二)	形成機制說 明(註三)
02	N74W	52	N	凹凹坡形	逆向坡	10×10	無或極少	否	岩塊小	0.96 W	1,3
03	N70W	44	N	凸凸坡形 凸平坡形	斜交坡	50×20	少部份	是	岩塊中等	0.701 W	1
06	N24E	62	ES	平平坡形	-----	15×12	少部份	否	岩塊小	no daylight	4
08	N58E	44	NW	平平坡形	順向坡	50×30	少部份	否	粉碎岩石	0.77 W	1
09	N32E	45	NE	平平坡形	斜交坡	35×20	少部份	否	岩塊小	no daylight	3
11	N20E	46	E	平平坡形	順向坡	50×10	無或極少	否	岩塊中等	2.148 P	1
12	N22E	56	E	平平坡形 凹凹坡形	順向坡	70×20	無或極少	否	岩塊很小	0.811 W	1,3
13	N20W	40	E	平平坡形	斜交坡	60×40	少部份	否	岩塊中等	1.036 W	1,2,4
14	N45W	75	NE	凸凸坡形	-----	50×25	相當明顯	是	岩塊中等	1.1	1,2
15	N45W	60	NE	平平坡形 凸凸坡形	逆向坡- 斜交坡	30×10	相當明顯	是	岩塊中等	0.641 P	1,2,4
16	N75W	60	N	平平坡形	斜交坡	100×20	少部份	否	岩塊大	0.6 P	1

20	N20E	60	W	平平坡形 凹平坡形 凸平坡形	逆向坡	50×10	相當明顯	是	岩塊小	14.04 W	4
22	N50E	50	NW	平平坡形	逆向坡	40×25	相當明顯	否	岩塊中等	no daylight	2
24	N22W	60	W	平平坡形 凸平坡形	逆向坡	70×10	相當明顯	是	岩塊小	no daylight	2
25	N35E	80	NW	平平坡形	斜交坡	90×30	少部份	否	岩塊很小	0.95	1,2
26	NS	50	W	平平坡形 平凹坡形	斜交坡	40×40	少部份	否	岩塊很小	3.826 W	2,1
27	N20W	70	W	凸平坡形	逆向坡	70×20	少部份	是	岩塊很小	0.294 P	1,2
29	N10W	50	E	平平坡形	斜交坡	20×8	無或極少	否	岩塊小	7.627 W	3
34	N25W	56	NE	凸平坡形	斜交坡	30×15	無或極少	是	岩塊很小	1 W	1
38	N40E	50	NW	平凹坡形 凸平坡形	逆向坡	100×20	少部份	是	岩塊中等	0.688 P	1,2
40	N54W	66	NE	平平坡形	斜交坡	50×20	相當明顯	否	岩塊中等	3.87 W	4,1
41	N18E	60	E	平平坡形 平凸坡形	順向坡	200×25	相當明顯	否	岩塊中等	0.598 P -0.75 W	1,2

43	NS	45	W	凹平坡形 凸平坡形	逆向坡	50×15	無或極少	是	岩塊中等	1.073 W	1,2
45	N20W	52	E	平平坡形	順向坡	160×8	無或極少	否	岩塊小	0.641 P	1,3
55	N20W	64	W	凸平坡形	斜交坡	100×10	無或極少	是	岩塊中等	2.305 W	2
59	N10W	50	W	凸平坡形	斜交坡	50×10	無或極少	是	岩塊小	1.924 W	3
62	N20E- N20W	70	W	平凹坡形 平凸坡形	斜交坡	140×20	少部份	否	岩塊中等	2.315 P	2
63	NS-N70E	60	W-NW	凹凹坡形 平凹坡形	逆向坡	100×25	少部份	否	岩塊很小	3.366 W	
64	N22E	60	W	凹凹坡形 平平坡形	斜交坡	100×40	相當明顯	否	岩塊小	2.715 P	2,4
65	N24E	80	NW	平平坡形	順向坡	100×20	相當明顯	否	岩塊小	0.122 P	1
66	N10W	80	W	平平坡形	斜交坡	300×20	無或極少	否	岩塊中等	0.101 P	2
67	N28W	80	NW	凹凹坡形	斜交坡	100×50	相當明顯	否	岩塊中等	3.133 W	
68	N20E	80	W	平平坡形	逆向坡	120×20	少部份	否	岩塊小	no daylight	1
70	N20E-EW	70	NW-N	凸凸坡形	斜交坡	85×20	無或極少	是	岩塊小	4.956 W	3
71	N40E	70	NW	平平坡形	逆向坡	×30	相當明顯	否	粉碎岩石	1.079 W	1

73	N30W- N60E	80	W-NW	凹平坡形 凸平坡形	斜交坡	300×30	相當明顯	是	岩塊小	2.316 P	2,4
77	N34W	68	NE	凹平坡形	斜交坡	50×20	無或極少	否	岩塊中等	0.755 W	1,3
79	EW	70	N	平平坡形 凹平坡形	逆向坡	100×15	少部份	否	粉碎岩石	no daylight	4
83	N40W	70	NE	凹平坡形 凸平坡形	斜交坡	30×10	無或極少	是	岩塊中等	0.28 P	1,4
89	EW-N50E	80	N-NW	凹平坡形 凸平坡形	逆向坡	100×20	少部份	是	岩塊小	3.878 P	2,4
93	NS-N10E	60	W	平平坡形	斜交坡	1000×70	少部份	否	粉碎岩石	0.375 P	1,2,4
97	EW	80	N	平平坡形	斜交坡	100×25	少部份	否	岩塊小	0.13 P -1.29 P	1,4
98	N80W	70	N	平平坡形	逆向坡	350×20	少部份	否	岩塊中等	0.333 P	1,4
99	N40E	75	ES	凸平坡形	順向坡	40×20	無或極少	否	岩塊很小	no daylight	4
104	EW	60	N	凹平坡形	斜交坡	50×20	無或極少	否	岩塊中等	no daylight	3
106	N80W	80	N	凹平坡形 凸平坡形	斜交坡	80×20	無或極少	是	岩塊很小	0.101 P -0.52 P	1

107	N45E	60	ES	凹平坡形 平平坡形	順向坡	75×15	相當明顯	否	岩塊很小	0.61 W	1,4
109	N70E	65	S	平平坡形	順向坡	100×30	相當明顯	否	岩塊中等	0.333 P	1,4
111	EW-NS	75	S-E	平凹坡形 凸平坡形	逆向坡	200×80	少部份	是	粉碎岩石	0.81 P	1,2,3
112	N45W	70	NE	凹平坡形 凸平坡形	斜交坡	500×50	少部份	是	岩塊小	0.421 W -0.77 P	1,4
115	EW	80	N	凹凹坡形 平平坡形	斜交坡	50×30	相當明顯	否	岩塊小	0.123 P	1,2

註一：突懸性質由野外現地觀察，可以分爲三級：無或極少、少部份岩塊突懸、突懸相當明顯。

註二：穩定性分析結果中，P代表是平面形破壞；W代表是楔型破壞。

註三：形成機制說明中：1 代表是因大地構造運動所產生的不連續面的作用。

2 代表是解壓節理的作用。

3 代表是差異侵蝕的作用。

4 代表是炸孔與爆炸破裂面的作用。

附錄二 台18號公路83K-95K及台21號公路151K-127K沿線之邊坡地質資料

編號	里程位置	岩性	砂頁岩比例	層態	岩層厚度	中視構造現象	風化程度
02	83.5k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	8 : 2	N52W,40S	ss:20-30cm sh:5-10cm	節理面	3級
03	83.55k	層狀砂岩	10:0	-----	ss:50-150cm	偃臥褶皺	1級
06	83.8k	層狀砂岩	10:0	-----	ss:50-150cm	節理面	1級
08	84.4k	厚層砂岩	9:1	N18E,66W	ss:50-200cm	節理面	1級
09	84.5k	薄層砂頁岩互層	5:5	N70E,30N	ss:5-30cm	小斷層 節理面	2級
11	84.694k	厚層砂岩	10:0	N28E,16E	ss:50-100cm	節理面	2級
12	84.8k	薄層砂頁岩互層	6:4	N50E,40W	ss:10-30cm sh:5-10cm	一系列小斷層 節理面	3級
13	84.98k	厚層砂岩	10:0	N40E,70E	ss:80-150cm	節理面	1級
14	85k	層狀砂岩	9:1	-----	ss:30-60cm sh;10cm	尖頂褶皺 斷層 節理面	2級
15	85.15k	厚層砂岩,偶夾薄層頁岩	8:2	N30E,40E	ss:30-300cm	尖頂褶皺 斷層 節理面	2級
16	85.6k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	-----	ss:10-70cm	尖頂褶皺 節理面	2級
20	86.4k	層狀砂岩,偶夾	9:1	N50E,20S	10-50cm	節理面	2級

		薄層頁岩					
22	86.8k	層狀砂岩,偶夾 薄層頁岩	9:1	N70E,20S	50-100cm	節理面	2級
24	87.3k	薄層砂頁岩互層	7:3	N28E,38E	10-50cm	小斷層 節理面	2級
25	87.36k	砂頁岩互層	5:5	-----	10-40cm	尖頂褶皺 斷層 節理面	2級
26	87.6k	砂頁岩互層	6:4	EW,15S	10-50cm	節理面	2級
27	87.8k	層狀砂岩,偶夾 薄層頁岩	9:1	N15E,16E	5-50cm	斷層 節理面	1級
29	88.6k	砂頁岩互層	7:3	N60E,38E	5-50cm	節理面	2級
34	89.6k	層狀砂岩,偶夾 薄層頁岩	9:1	N34E,40W	30-40cm	節理面	2級
38	90.2k	厚層砂岩	10:0	-----	30-50cm	節理面	2級
40	90.45k	薄層砂頁岩互層	7:3	N34E,44E	6-30cm	小斷層 節理面	2級
41	90.5k	層狀砂岩,偶夾 薄層頁岩	9:1	N36E,44E	40-150cm	節理面	1級
43	91k	砂頁岩互層	7:3	N10E,30E	10-100cm	節理面	2級
45	91.5k	層狀砂岩	10:0	N12E,42E	20-30cm	節理面	3級
55	95.1k	砂頁岩互層	8:2	EW,34N	40-60cm	節理面	2級

59	150k	砂頁岩互層	8:2	N60E,22W	20-50cm	節理面	3級
62	148.8k	厚層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	N34W,14W	50-180cm	節理面	1級
63	148.7k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	N50E,18E	10-40cm	節理面	1級
64	148.45k	極厚層砂岩	10:0	N54W,12W	50-400cm	節理面	1級
65	148.3k	砂頁岩互層	6:4	N20W,12W	20-60cm	節理面	1級
66	147.9k	砂頁岩互層	9:1	N50W,18W	ss:50-150cm sh:10cm	斷層 節理面	2級
67	147.7k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	N60E,22E	ss:20-200cm sh:20cm	節理面	2級
68	147.37k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	N60E,26E	ss:30-120cm sh:10-20cm	小斷層 節理面	2級
70	147.2k	砂頁岩互層	6:4	N70E,20S	ss:10-100cm sh:5-10cm	節理面	3級
71	146.75k	砂頁岩互層	7:3	N48E,24S	ss:30-40cm sh:10cm	小斷層 節理面	2級
73	146.1k	砂頁岩互層	7:3	N34E,14E	ss:30-150cm sh:15-30	節理面	1級
77	145.3k	砂頁岩互層	6:4	N50E,58W	ss:30-80cm sh:20-30cm	節理面	3級
79	144.8k	砂頁岩互層	8:2	N58E,16E	ss:20-30 or 120-150cm	節理面	2級

					sh:10-20cm		
83	144k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	N56E,36E	ss:30-100cm sh:10cm	節理面	1級
89	141.7k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	EW,20S	ss:30-100cm sh:15cm	節理面	1級
93	139.9k	砂頁岩互層 + 厚層砂岩	7:3	N60W,18S	ss:5-150cm sh:5-15cm	正斷層 節理面	2級
97	138.45k	砂頁岩互層	8:2	N10E,24W	ss:40-150cm sh:20cm	斷層 節理面	1級
98	138k	層狀砂岩,偶夾薄層頁岩	9:1	N64W,12S	ss:50-150cm sh:15-20cm	節理面	2級
99	136.9k	層狀砂岩	10 : 0	N44E,20E	ss:50-200cm	節理面	1級
104	134.4k	砂頁岩互層	7:3	N40E,70E	ss:10-100cm sh:5-10cm	節理面	2級
106	132.6k	薄層砂頁岩互層	5:5	-----	5-20cm	一系列緊密褶皺 節理面	2級
107	132.5	厚層砂岩	10:0	-----	ss:100cm	節理面	1級
109	132k	厚層砂岩	9:1	N40E,60E	ss:40-100cm	節理面	1級
111	131.5k	砂頁岩互層	5:5	-----	-----	一系列緊密褶皺 正斷層 節理面	2級
112	130.1k	砂頁岩互層	5:5	N30E,60E	ss:10-80cm sh:10-15cm	尖角褶皺 節理面	1級

115	127.8k	砂頁岩互層	7:3		ss:20-100cm sh:10-20cm	一系列緊密褶皺 節理面	1級
-----	--------	-------	-----	--	---------------------------	----------------	----