

行政院農委會林務局林業發展計畫 105 林發-07.1-保-87(5)

# 棲蘭山檜木林地質地地形文獻整理及 資源調查 (2/2)

A survey of Geological and Geomorphic Resources  
of Chilan Mountain Cypress Forest (2/2)

計畫主持人：藍世欽 助理研究員

委託單位：行政院農業委員會林務局

研究單位：財團法人成大研究發展基金會  
大地資源研究中心

中華民國一〇六年十二月



## 摘要

本計畫根據經濟部中央地質調查所現有資料，以及迄今中外研究文獻，針對棲蘭山檜木林所在的雪山山脈北段及其鄰近地區，整理出棲蘭山檜木林地質地形文獻目錄，並總結出一份棲蘭山檜木林及其鄰近地區的地質地形研究文獻回顧。

本計畫總期程為兩年，各年度計畫目標分別說明如下：

### 第一年度：

本年度計畫目標為研究區內地質及地形現有相關文獻之蒐集整理，工作重點說明如下：

1. 整理出本研究區內具代表性、特殊性的地形及地質景點。
2. 探討這些景點的地質、地形特性及背後所包含的地球科學意義，亦可視計畫需要進行研究區內之調查。
3. 依地形、地質景觀特性將本研究區棲蘭山檜木林區分成湖泊景觀、河流景觀、稜線景觀及地質景觀四大類。

### 第二年度：

第二年度之計畫目標為蒐集整理本研究區崩山生態相關之文獻及田野調查成果，確認本研究區內災害與資源的分佈情形。可作為日後經營管理參考，以及環境教育材料。工作重點說明如下：

1. 整理研究區內具代表性之崩塌地，並探討其崩塌類型及發生機制等特性。
2. 探討人為活動(如除林、道路開闢等)及自然(如河谷解壓、河流侵蝕等)等因素與研究區內山崩之相關性。
3. 蒐集整理研究區各項自然環境圖(地質分佈、地質災害區、落石或易崩塌區分佈等)。



# 目錄

|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| 目錄.....                    | I                 |
| 第一章 前言 .....               | 1                 |
| 1.1 計畫緣起 .....             | 1                 |
| 1.2 計畫目的 .....             | 1                 |
| 第二章 研究區概述.....             | 3                 |
| 2.1 地理位置及範圍.....           | 3                 |
| 2.2 氣候 .....               | 3                 |
| 2.2.1 氣溫 .....             | 5                 |
| 2.2.2 降水 .....             | 6                 |
| 2.3 地質構造 .....             | 7                 |
| 2.3.1 地質分區與地體構造分區 .....    | 7                 |
| 2.3.2 研究區的地質 .....         | 13                |
| 2.4 地形及水系 .....            | 20                |
| 2.4.1 蘭陽溪流域 .....          | 21                |
| 2.4.2 大漢溪流域 .....          | 22                |
| 2.4.3 大漢溪與蘭陽溪河流地形之比較 ..... | 26                |
| 第三章 工作成果 .....             | 29                |
| 3.1 地質及地形現有相關文獻之蒐集整理.....  | <b>錯誤！尚未定義書籤。</b> |
| 第四章 結論與討論.....             | 55                |
| 參考文獻.....                  | 57                |

## 圖目錄

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| 圖 2-1 臺灣山地氣候分區 .....             | 4           |
| 圖 2-2 中央山脈西翼地質區 .....            | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 2-3 上衝板岩帶之範圍 .....             | 12          |
| 圖 2-4 研究區地質圖 .....               | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 2-5 棲蘭附近的地質構造 .....            | 19          |
| 圖 2-6 大漢溪流域地形剖面 .....            | 25          |
| 圖 3-1 地形、地質景點調查流程.....           | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-2 廬山層清水湖段顯露於路基地下 .....       | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-3 明池森林遊樂區入口處.....            | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-4 三光溪上游進行河道工程整治中 .....       | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-5 明池森林遊樂區內部景觀之一 .....        | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-6 悠揚音樂飄動於森林與湖泊美景之中 .         | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-7 蘭陽溪河床寬廣並且堆滿礫岩 .....        | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-8 石頭溪沖積扇所形成河階因農業需求而進行整地..    | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-9 四稜砂岩露頭 .....               | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-10 四稜砂岩中泥質岩產狀與表本採樣位置 ...     | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-11 西村層露頭外觀 .....             | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-12 西村層露頭與沉積構造.....           | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-13 獨立山(左側)與蘭陽溪左岸之露頭岩層位態不一致 . | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-14 獨立山之高角度位態露頭.....          | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-15 蘭陽溪對岸之水平位態露頭.....         | 錯誤! 尚未定義書籤。 |

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| 圖 3-16 獨立山亦呈現環流丘的地形.....    | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-17 蘭陽溪左岸之崩塌地 .....      | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-18 蘭陽溪與土場溪匯流現貌.....     | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-19 蘭陽溪左岸崩塌處 .....       | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 3-20 廬山層仁澤段灰黑色硬頁岩近景 ..... | 錯誤! 尚未定義書籤。 |

## 表目錄

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| 表 2-5 臺灣地體構造單位 .....         | 11          |
| 表 2-6 研究區內雪山山脈出露的地層 .....    | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 表 2-7 石門水庫集水區主支流流域面積統計 ..... | 24          |
| 表 2-8 石門水庫集水區主、支流河床比降 .....  | 25          |
| 表 2-9 大漢溪與蘭陽溪河流地形之比較 .....   | 26          |
| 表 3-1 地形、地質景觀類型與景點名稱 ...     | 錯誤! 尚未定義書籤。 |



# 第一章 前言

## 1.1 計畫緣起

本規劃案的最終目的，是完成棲蘭山檜木林世界遺產的申請書類 (nomination dossier)，該申請書必須說明遺產地的內容以及棲蘭山檜木林為何具有潛在傑出之普世價值(Outstanding Universal Value)等緣由，全文也必須保持清晰一致的目的、資訊論述和結論，並盡量完整呈現其保育現狀以及影響遺產地的因素。依「棲蘭山檜木林世界遺產諮詢委員會」建議，總體規劃可分為自然資源與環境史、生物資源、經營管理、人文歷史、環境教育和社區參與及國際合作交流六大工作事項。

本項細部計畫為根據自然資源與環境史項目，對於地景生態，特別是崩山生態部份之研究，主要研究內容為依據經濟部中央地質調查所現有資料，以及迄今中外研究文獻，針對棲蘭山檜木林所在的雪山山脈北段及其鄰近地區，整理出棲蘭山檜木林地質地形文獻目錄，並總結出一份棲蘭山檜木林及其鄰近地區的地質地形研究文獻回顧。

## 1.2 計畫目的

本項細部計畫，預期完成棲蘭山檜木林所在的雪山山脈北段及其鄰近地區地質地形文獻目錄以及研究回顧，提供地質圖、地質災害圖、地質地形景觀分佈圖，並且說明其環境內涵和地球科學意義。兩年計畫期程的計畫目標如下：

第一年度：

1. 完成中文版的地質與地形研究文獻整理與回顧。
2. 整理、確認具有代表性、特殊性的地質地形景點，製作地質地形景觀分佈圖，並說明這些景點的地質地形特性，以及地球科學意義。

3. 參與規劃團隊的聚落工作坊、田野實察、工作會議。
4. 參與王鑫老師主持的世界遺產研討會。

第二年度：

1. 完成英文版的地質與地形研究文獻整理與回顧。
2. 整理區內具有代表性之崩塌地，探討崩塌類型、發生機制，說明人為活動(除林、道路開闢等)，以及自然作用(河谷解壓、河流侵蝕等)，與崩塌的相關性。蒐集、整理、編輯地質圖，以及地質災害圖。
3. 協助團隊，舉辦國際研討會，參與討論世界山地森林遺產的保育。
4. 參與規劃團隊的聚落工作坊、田野實察、工作會議。

## 第二章 研究區背景

### 2.1 地理位置及範圍

本計畫之研究區除林務局原公告之「棲蘭野生動物重要棲息環境」外，還包含「鴛鴦湖自然保留區」(面積 374 公頃)，其中「棲蘭野生動物重要棲息環境」位於臺北、宜蘭、新竹、及桃園等四縣之行政交界處東起中橫宜蘭支線、西至新竹縣尖石鄉秀巒村的鎮西堡部落，北迄中央山脈稜線的唐穗山，南達大霸尖山北鄰的大漢溪源頭塔克金溪一帶，面積達 54,748 公頃，地理位置上居雪山山脈的北段區域，包括大漢溪和蘭陽溪的上游地區。而「鴛鴦湖自然保留區」位於大漢溪上游支流塔克金溪支流的源頭，地理位置分佈在新竹縣尖石鄉、桃園縣復興鄉及宜蘭縣大同鄉交界處(行政區域屬新竹縣尖石鄉)，約為北緯  $24^{\circ}35'$ ，東經  $121^{\circ}24'$  附近，範圍涵蓋烏來、大溪、宜蘭、及太平山事業區所轄國有林班。

本區域因保有大面積原始檜木純林，2000 年 2 月 15 日經行政院農業委員會依野生動物保育法核定，公告為野生動物重要棲息環境，類別為森林生態系。

### 2.2 氣候

戚啟勳(1969)曾選擇臺灣山地測站約 50 處，整理這些測站 10 年間(1956-1965)的氣象資料，並依據緯度與河谷朝向的差異，將臺灣的山地劃分成六個氣候分區(圖 2-1)，分別是：I 東北丘陵區，II 西北山區，III 中部西側山區，IV 西部西側山區，V 南部東側山區，VI 中部東側山區；並介紹各氣候分區內的氣候特徵。

本研究區位於蘭陽溪與大漢溪(大嵙崁溪)兩溪上游地區。依循上述的氣候分區，研究區正好橫跨「西北山區」與「中部東側山區」兩個氣候分區。而兩氣候分區的分界線，正是本研究區內呈現東北—

西南走向的主要分水嶺（尖山 1852 公尺—稜山 1802 公尺—唐穗山 2090 公尺—東保津寒山 1963 公尺—島俱子 2346 公尺—眉有岩 2328 公尺—馬惱山 2580 公尺—邊吉巖山 2824 公尺）。因此本研究區的氣候狀況深受山脈走向所影響，西側屬於西北山區氣候區，而東側則屬於中部東側山區氣候區。



圖 2-1 臺灣山地氣候分區（戚啟勳，1969）

### 2.2.1 氣溫

依照棲蘭山測站所測得之氣象資料顯示，本區域全年平均溫度為 12℃；臺灣山地地區的年平均溫度隨著海拔高度的增加而遞減，年均溫攝氏 20 度的等溫線大致與海拔高度 1000 公尺等高線相符合，攝氏 10 度的等溫線大致與海拔高度 2500 公尺等高線相符合，攝氏 5 度的等溫線大致與海拔高度 3000 公尺等高線相符合（戚啟勳，1983）。

#### (一)研究區西側的氣溫

在戚啟勳的氣候分區中，本研究區之西側屬於西北山區氣候區，東側屬於中部東側山區氣候區。西北山區氣候區一般在夏季時山區呈現多雲，溫度較低；冬季則冷空氣下注，低地反而較冷，山地則多雲霧。海拔高度 2000 公尺處，一月的平均溫度為攝氏 5 度，七月約為攝氏 16.5 度；海拔高度 1000 公尺處，一月約為攝氏 9 度，七月約為攝氏 22.5 度。

#### (二)研究區東側的氣溫

中部東側山區氣候區在海拔高度 2000 公尺處，一月月均溫約為攝氏 5.5 度，七月約為攝氏 17.5 度；海拔高度 1000 公尺處，一月為攝氏 9.5 度，七月約為攝氏 23.5 度；海拔高度 500 公尺處，一月為攝氏 11.5 度，七月約為攝氏 27 度。

### 2.2.2 降雨

臺灣本島一年內雨量的變化不僅非常明顯，而且還能表現出冬夏季風的興衰交替，以及颱風雨控制的時期。山地雨量的變化深受盛行風和地形的影響。以下將研究區分為東西兩側，選擇位於研究區內或附近的水文測站，進一步瞭解研究區的降水特性。

#### (一)研究區西側的降雨

本區屬於石門水庫上游集水區，集水區內已設立二十多個雨量觀測站。本研究以位於研究區附近的 8 處雨量測站，從各測站的觀測資料中瞭解本區的降水特性。大致而言，本區雨季較短，大約始於五月，九月結束，九月後雨量銳減。較高山地的降水量以九月最多，大約在 500 公釐以上，深受颱風所影響

#### (二)研究區東側的降雨

本區位於蘭陽溪中上游集水區，本研究選取棲蘭、明池(池端)、留茂安、四季與南山等五個位於本區內或附近的雨量觀測站，從各測站的觀測資料中瞭解 本區的降水特性。

綜合資料分析結果，本區域內降雨量豐沛，年雨量多在 2,500mm 以上，且降雨大多集中在 7~10 月，全年雲霧瀰漫無乾濕季節區別，各月份相對濕度達 90%以上，屬恆濕型氣候，為台灣典型山地雲霧帶。

## 2.3 地質構造

### 2.3.1 台灣地質分區與地體構造分區

#### (一) 台灣的地質分區

台灣位於歐亞板塊以及菲律賓海板塊斜向碰撞的交界處；菲律賓海板塊每年以 7 公分的速度朝向西北移動(圖 2-2)，並且於距今約六個百萬年前開始碰撞造山，形成台灣島。歐亞板塊與菲律賓海板塊二者相互隱沒；在北邊，菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞板塊之下；而在南邊，歐亞板塊前趨之南中國海洋地殼向東隱沒至菲律賓海板塊之下。兩個隱沒帶的邊界分別為琉球海溝以及馬尼拉海溝(圖 2-3)。

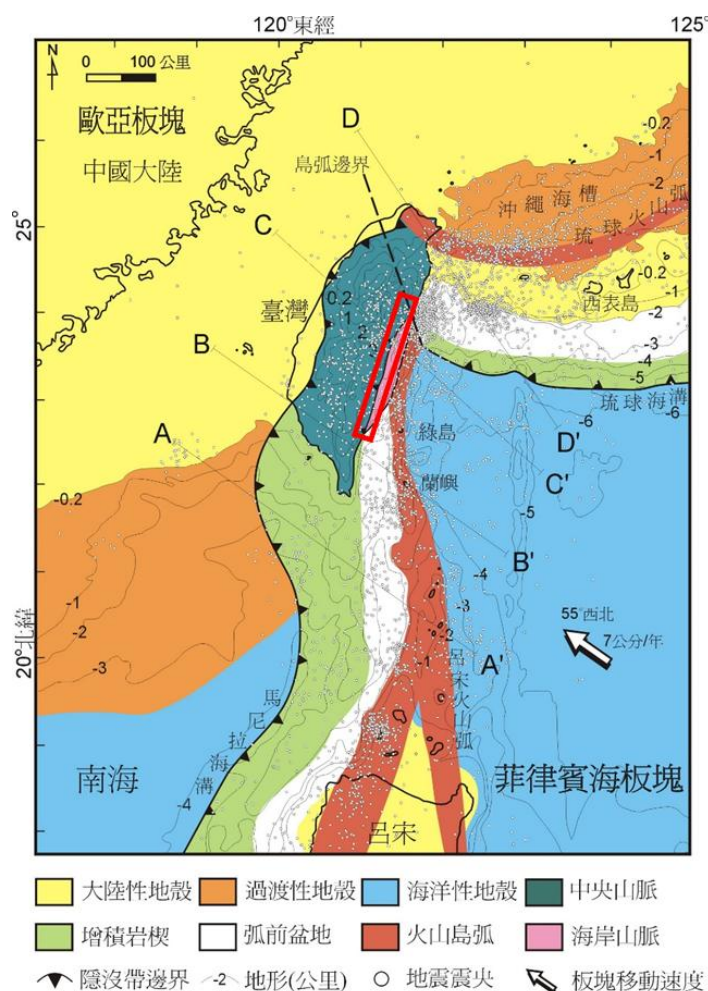


圖 2-2 台灣的板塊構造環境

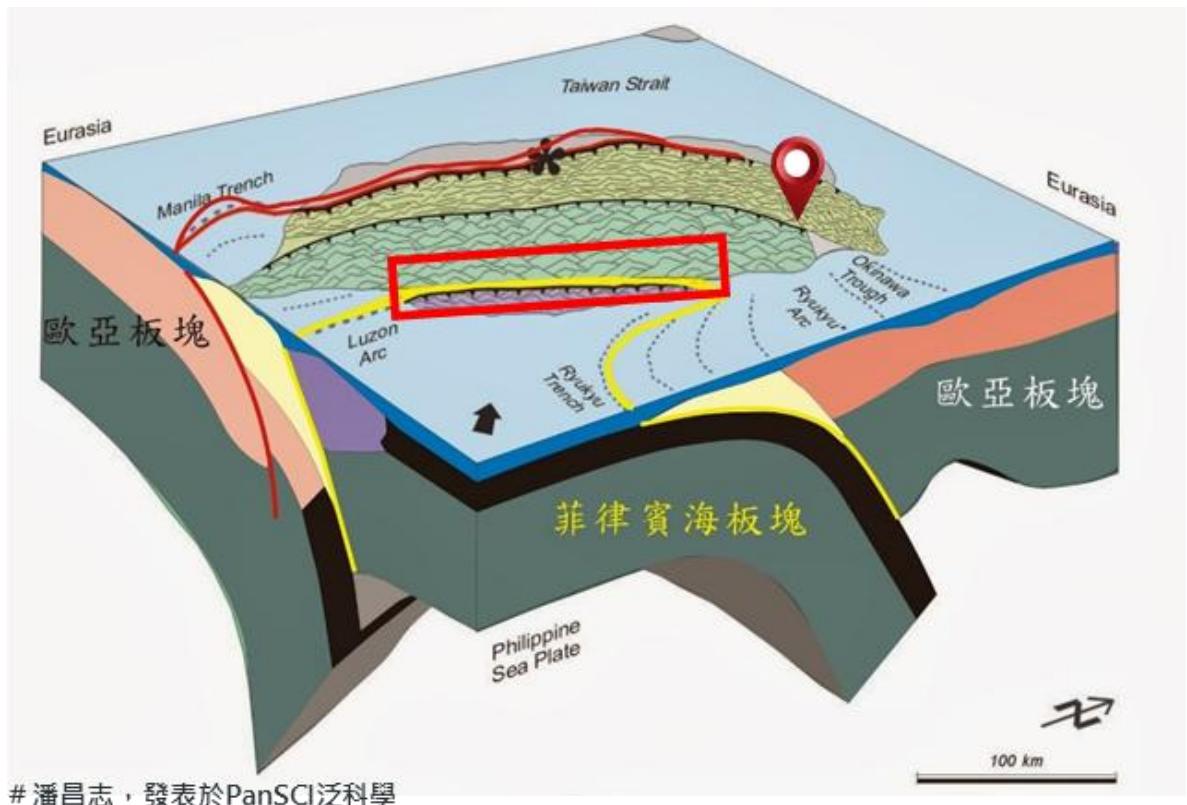


圖 2-3 兩個板塊互相隱沒示意圖(引用自潘昌志)

台灣的地質分區大致可分為七個主要地質區，由西而東分別為變形前緣、海岸平原、西部麓山帶、雪山山脈、脊樑山脈、大南澳變質岩、海岸山脈(圖 2-4)。台灣原為中國大陸緣海的一角，因呂宋島弧的衝撞而開始造山運動；如今台灣東部的海岸山脈，原來是菲律賓海板塊上的呂宋島弧；而台東縱谷以西的地區，則屬於歐亞板塊上的中國大陸邊緣呂宋島弧在碰撞前後的變化，也使得台灣東西向的地質地地形大致呈現越往海岸山脈的地區地形愈陡，地層年代愈老，岩石的變質和變形程度也愈高(圖 2-5)。

而棲蘭山地區西側大部分位於雪山山脈帶北段，東側有部份位於脊樑山脈帶之北段。本區大部分是由經過變硬或變質的第三紀巨厚泥質沈積岩所組成，包括深灰或灰黑色劈理良好的硬頁岩 (argillite)、板岩 (slate) 以及千枚岩 (phyllite)。本區西部以硬頁

岩為主向東逐漸變為板岩或千枚岩，顯示本區的變質度由從西界向東邊的先第三紀基盤或中央山脈的核心地帶逐漸增強。



圖 2-4 台灣的大地構造以及地質構造分區

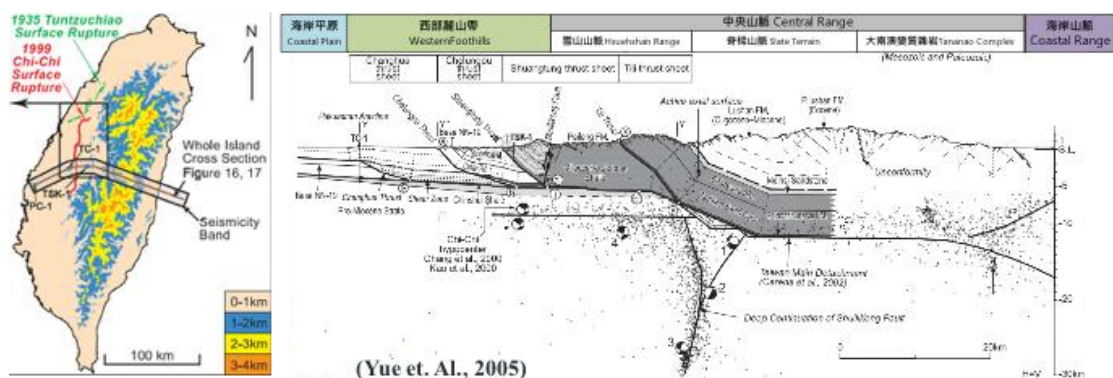


圖 2-5 台灣地質構造剖面與位置示意圖

## (二)地體構造分區

地體構造是指一地區受地殼變動後所呈現的構造單位或岩石單位。藉由不同的構造單位，我們可以瞭解地殼現在的結構，或過去演變的歷史。地球科學家採用不同的模式來解釋區域地體構造的演育，並劃分出不同的地體構造單元。

地槽學說與板塊構造學說先後影響了台灣地體構造演化的研究。在民國 56 年以前，十分流行地槽學說，許多國家，包括台灣，出版的地體構造圖都是依據地槽模式推演而成。但從民國 56 年以後，由於海洋學和地球物理學研究的突破，得到大量有關地殼運動的資料，進而形成了板塊構造學說，成為另一種地體構造模式，用以解釋地殼運動的作用力。

使用地槽或板塊構造學說來解釋地體構造的演化，一直是學術界爭論的議題。目前國內的學者融合了地槽學說與板塊構造學說，藉此說明台灣的特殊地質情況和重要的構造特徵，並劃分台灣主要的構造單元與單位。所持的理由是「台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊聚合的邊界上，因之應重視板塊運動所造成的構造，並以板塊構造學說來做本區地體構造的分析。但台灣地方太小，倘全用此說來討論當地構造，只能分出極少數構造單位，似乎過於簡單。相反的，台灣在地體構造上是一個造山褶皺帶，用褶皺帶的區劃來處理島上不同而複雜的構造應更實用。」（何春蓀，1982）

臺灣地體構造可分為東西兩個主要分區，兩區中間的狹長斷層谷地是主要的分隔界線。西區在地槽模式中稱為前陸褶皺衝斷帶，在板塊構造模式中稱為歐亞大陸板塊的大陸邊緣；本區可以細分成 9 個二級構造單位。東區在地槽模式中稱為優等地槽褶皺衝斷帶，在板塊構造模式中稱為菲律賓海板塊的前導邊緣；本區則可細分為

3 個二級構造單位（何春蓀，1982）。各級構造單位如表 2-1。

表 2-1 臺灣地體構造單位（何春蓀，1982）

| 西區 |                 |
|----|-----------------|
| W9 | 第四紀蓋層           |
|    | a 台地礫石層及現代沖積層   |
|    | b 更新世洪流式玄武岩     |
| W8 | 更新世安山岩          |
| W7 | 外緣褶皺衝斷帶         |
| W6 | 內緣褶皺衝斷帶         |
| W5 | 山間槽谷            |
| W4 | 上新更新世混同層及更新世沈積物 |
| W3 | 上衝板岩帶           |
| W2 | 褶皺衝斷帶的變質基盤      |
|    | a 超基性岩          |
|    | b 酸性深成岩、片麻岩及混合岩 |
|    | c 片岩及大理岩        |
| W1 | 分開東西地體構造區的構造縱谷  |
| 東區 |                 |
| E3 | 上新更新世蛇綠岩混同層     |
| E2 | 海岸山脈褶皺衝斷帶       |
| E1 | 中新世及更新的安山岩      |

上衝板岩帶(W3)是前陸褶皺衝斷帶最東側的一個構造單位，涵蓋的範圍以中央山脈山脊與其西翼斜面為主，由厚層的第三紀海相泥質沈積物構成（圖 2-2）。經過上新更新世的造山運動及區域變質作用後，這些泥質岩層大多變成硬頁岩、板岩及千枚岩，變質度由西向東逐漸增強。

本帶與西部麓山褶皺衝斷帶以一條主要的上衝斷層為界。此界限斷層通常在北部稱為屈尺斷層，在中部改稱為水長流斷層，在南部又稱為荖濃溪斷層。而梨山斷層則是將本帶分成雪山山脈與中央山脈主脊兩個次要構造單元的界線斷層。梨山斷層向南延伸逐漸與本帶西界的界限斷層在台灣南部六龜以北合而為一。位於這兩條界限斷層之間的地體構造單元就是雪山山脈上衝斷塊。而本研究區便

是位於此上衝斷塊的北部地區。

雪山山脈上衝斷塊，寬約 20 至 25 公里，其岩性特點是具有分布廣泛且富有石英和炭質的厚層砂岩，但幾乎不見其夾有石灰岩。此外，礫岩和火山碎屑岩在北部和中部發育比較良好。雪山山脈上衝斷塊北部及西部的岩層僅受到輕度硬化，且劈理不甚完美，因此可以判斷出一些寬廣的平行背斜與向斜構造，軸面走向大致為北 25 至 30 度東，傾斜頗陡（詹新甫，1971）。

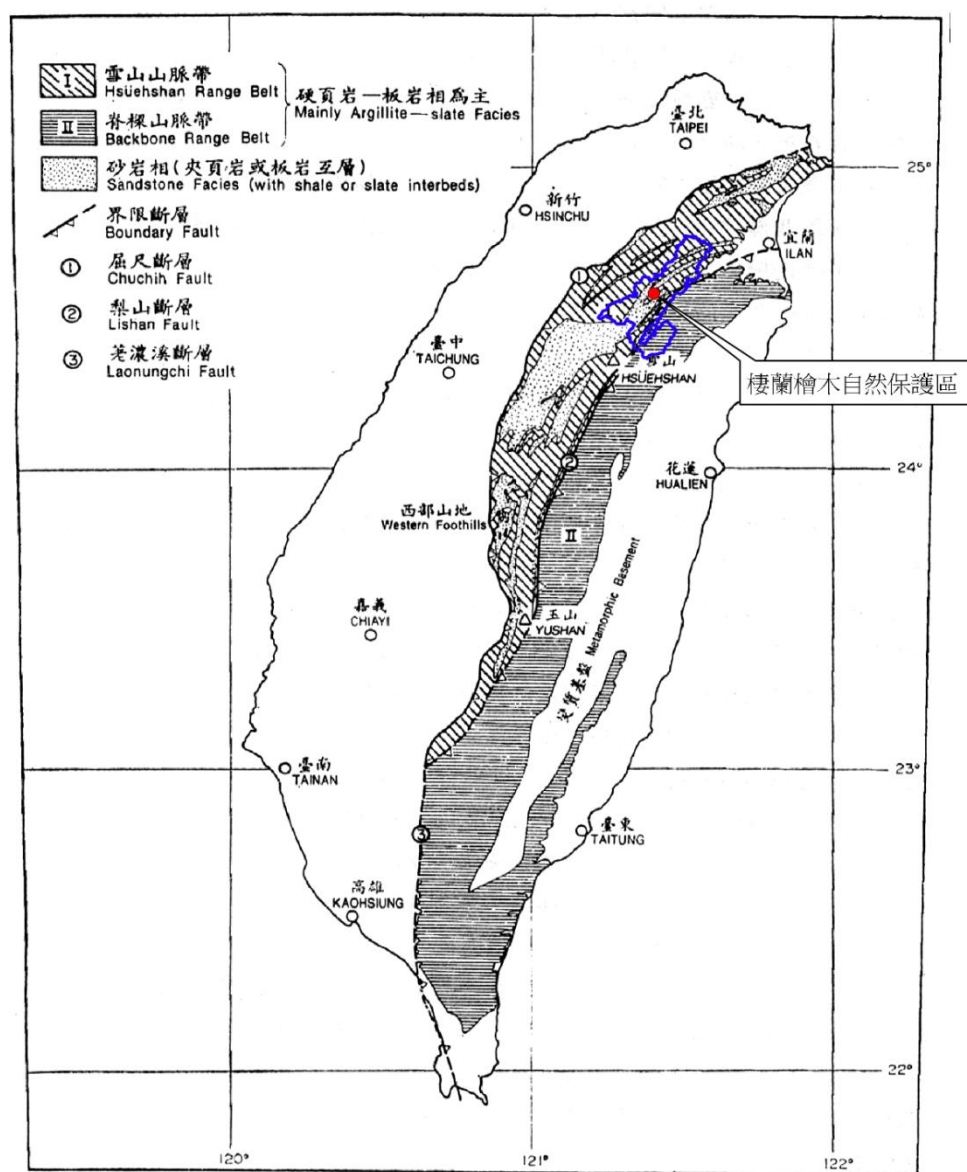


圖 2-6 上衝板岩帶之範圍（何春蓀，1982）

### 2.3.2 研究區的地質

#### (一)前言

本研究區範圍位於蘭陽溪中、上游河谷兩側的雪山山脈及中央山脈西斜面地區。雪山山脈出露的地層包括西村層、四稜砂岩、乾溝層、大桶山層等，都屬於輕度變質的砂、頁岩層。中央山脈西斜面地區出露有中新世廬山層，岩性為硬頁岩或板岩，偶夾砂岩。個別地層介紹如下：

#### 1、西村層

如圖 2-7 所示，本區域之北橫公路西村為標準剖面，具厚層硬頁岩偶夾薄層變質砂岩，厚度約為 600 公尺，未發現標準化石。本層具淺海底棲有孔蟲化石 *Cyclamina* sp. 以及 *Dentalina communis* d'Orbigny (Chang, 1973)；沈積構造有平行層理、低角度交錯層理、波狀紋理等風暴砂岩特徵，屬淺海～遠濱環境。目前認為西村層整合覆蓋於四稜砂岩之下，故地層年代推測為早始新式。

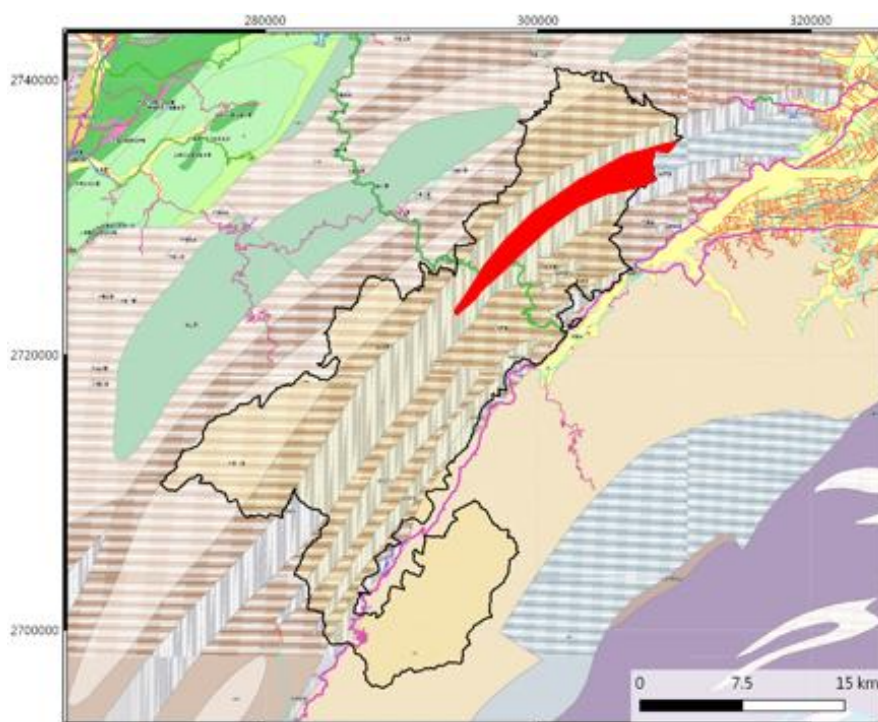


圖 2-7 本區域西村層位置示意圖

## 2、 四稜砂岩

如圖 2-8，本區域之北橫公路四稜為標準剖面，具厚層含礫質石英砂岩為主，夾硬頁岩與變質砂岩互層。本層於雪山山脈北段完整出露於西村背斜兩翼。具生痕化石 *Ophiomorpha* 及 *Thalassinoides*；四稜砂岩下部因為含大量植物樹葉及草根化石，指示為陸相河流-三角洲-沼澤環境；上部黑色頁岩與細砂岩/粉砂岩互層中存在有以膠結質為主(約 53%)的底棲有孔蟲，其中主要化石為: *Gaudryina hayasakai* Chang、*Spiroplectammina taiwanica* Chang、*Cyclammina pacifica* (Brady); 另外含鈣質(calcareous test)底棲有孔蟲化石以 *Hanzawaia asterizana* (Fichtel and Moll)為最主要特徵。由有孔蟲化石組合指示環境為河口-封閉沼澤-三角洲淺海環境(Huang, 2017)。

本層下部年代為早～中始新世，上部年代目前無化石資料，可能存在一不整合與乾溝層接觸

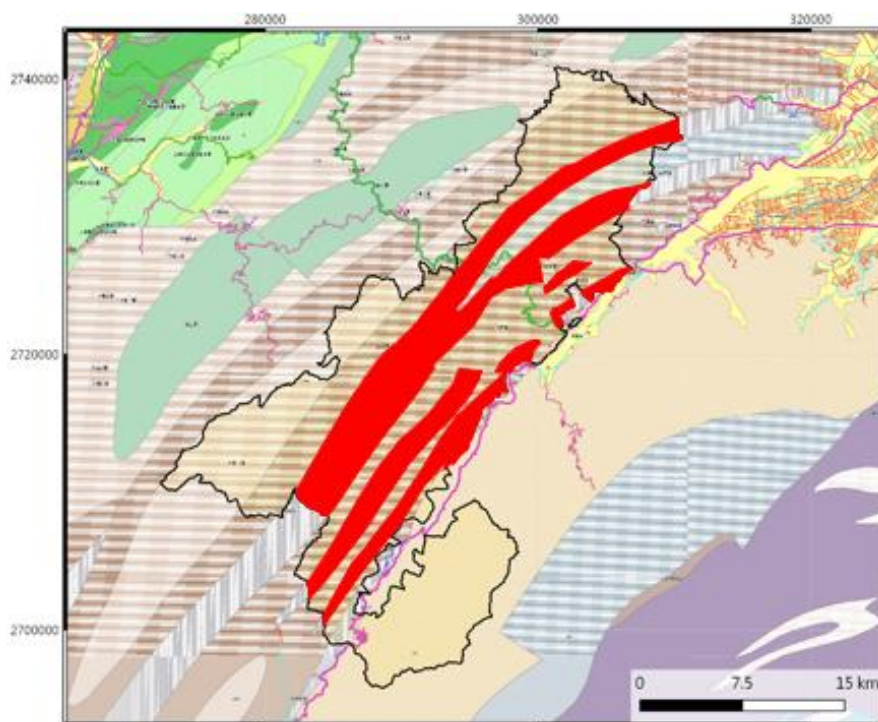


圖 2-8 四稜砂岩分佈位置示意圖

### 3、 乾溝層

如圖 2-9，乾溝層主要為暗灰色硬頁岩夾若干不超過 80 公分厚粉砂岩，偶爾夾玄武岩質火山碎屑岩，標準剖面位於新北市烏來乾溝，完整出露於烏來南勢溪(Tai and Teng, 1994)；粉砂岩層具透鏡狀；含 *Planolites*、*Chondrites*、及 *Zoophycus* 等生痕化石；具有翼足類化石、海膽化石；底棲有孔蟲以鈣質為主，指示沈積環境為內陸棚；具有孔蟲化石” *Globigerina ampliapertura*” (P20)及超微化石” *Sphenolithus predistentus - distentus - ciperoensis* ” 演化系列(NP23~25, Huang, 1977)、*Cyclicargolithus floridanus*，指示本層年代為早、中漸新世，本層底部與四稜砂岩界線未有明確的化石資料。

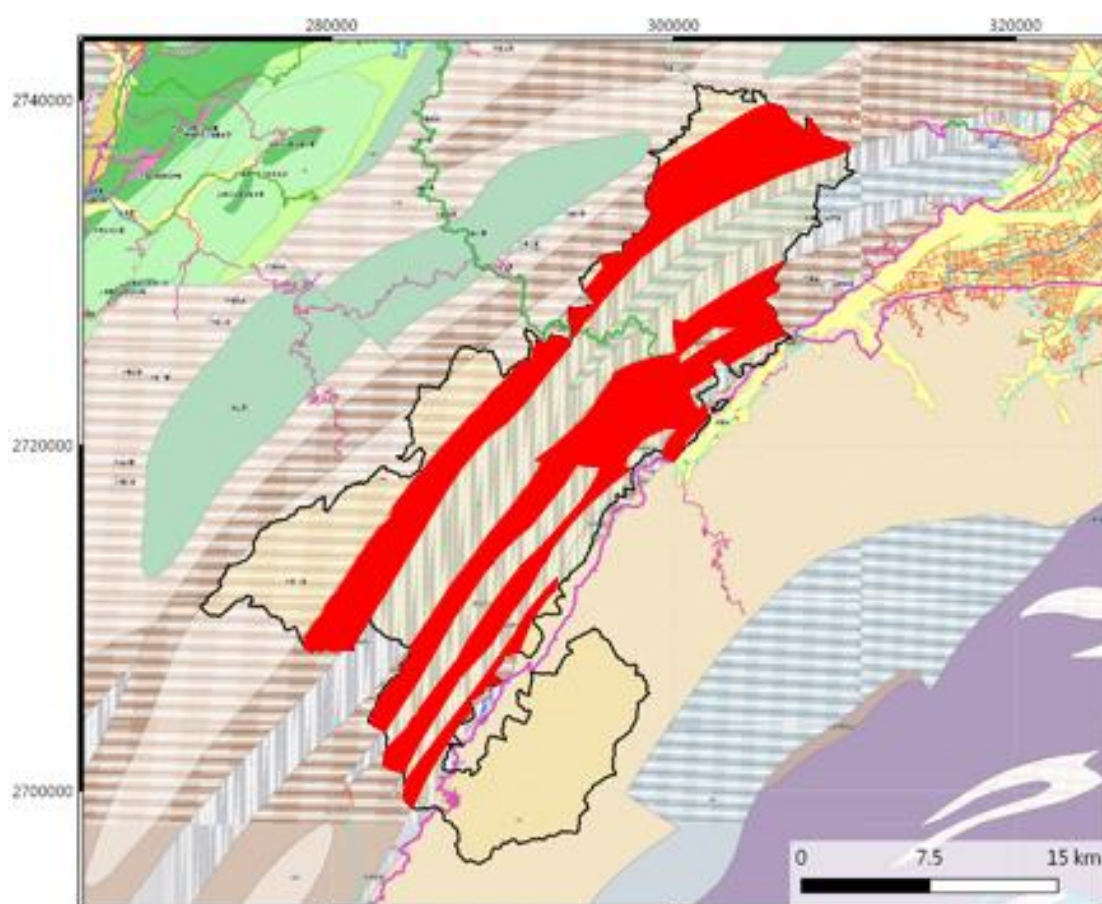


圖 2-9 乾溝層分布位置示意圖

#### 4、大統山層

如圖 2-10，大統山層的標準剖面位於新北市烏來區的大統山，為厚層硬頁岩夾薄層砂岩，夾玄武岩層(新竹油羅山)、玄武岩碎屑層(北橫公路)、凝灰岩(新竹錦屏)；具平行層裡、低角度交錯層理與波狀層理，屬於暴風波浪作用，為內遠濱帶環境；有孔蟲化石”

*Globigerinoides primordius*” (P22~N4)及超微化石” *Sphenolitus ciproensis*” (Upper NP25)指示本層年代為晚漸新世至早中新世。(Huang, 1977, Huang and Chen, 1983, Teng et al., 1988a)。

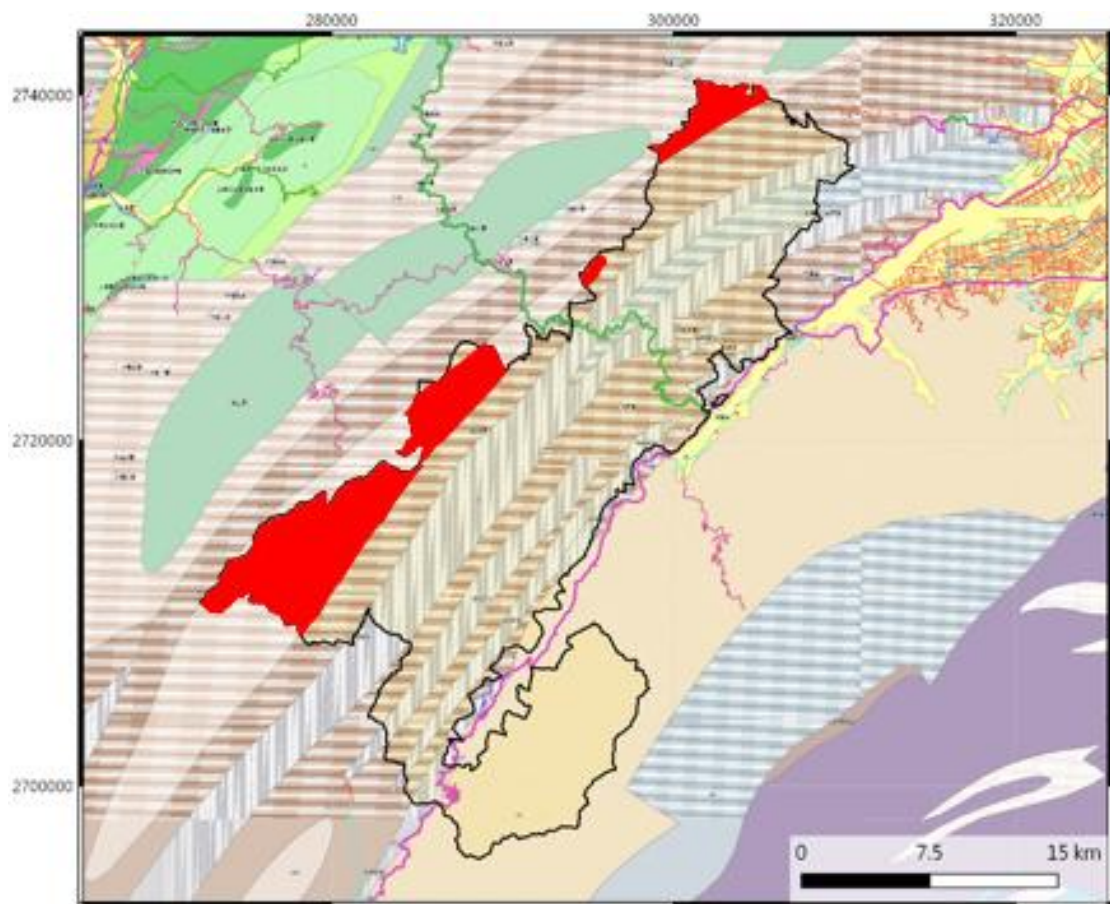


圖 2-10 大統山層分布位置示意圖

## 5、 廬山層

廬山層係何春蓀(1975)修改自張麗旭所定義之廬山階(Chang, 1963, 1971, 1972a, 1972b)，張麗旭所定義之廬山階係指分布於脊樑山脈中含中新世化石之板岩層。本層標準露頭位於脊樑山脈地質區中段。如圖 2-11，本區域廬山層含硬頁岩或板岩，偶夾數十公尺厚之砂岩層(具平行層裡、低角度交錯層理與波狀層理，屬於暴風波浪作用)，或薄層砂岩；古環境可能為陸棚邊緣至大陸斜坡環境。有孔蟲化石(*Orbulina suturalis* Bronnimann、*Orbulina universa*、*Globigerinoides bisphericus*，N5~N7 帶)及超微化石(*Sphenolithus belemnus*、*Helicosphaera ampliaperta*、*Sphenolithus heteromorphus*、*Cyclicargolithus floridanus*、*Reticulofenestra pseudoumbilica*)紀錄指示本層年代為早～中中新世。

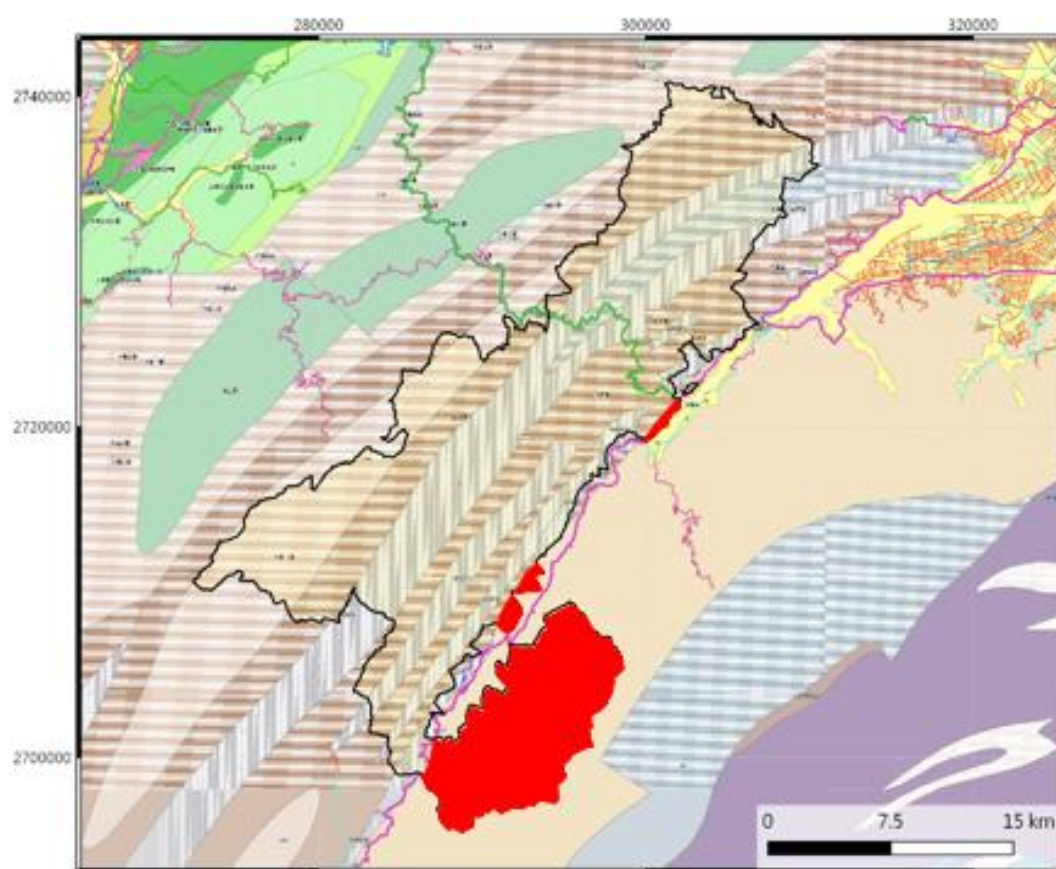


圖 2-11 廬山層分佈位置示意圖

## (二)地質構造概述

雪山山脈帶的區域構造呈現東北—西南走向，北側地質區內主要的地質構造為錦屏山向斜和西村背斜，褶皺軸往南傾沒；而南側地質區則以一大複背斜為主，褶皺軸向北傾沒（圖 2-12）。因此褶皺作用可能有兩期，第一期先形成東北—西南走向的褶皺軸，第二期再形成褶皺軸褶曲，而呈現蛋盒形構造圖樣（黃艦水、林偉雄，1999）。

棲蘭山地區附近以牛鬥斷層、四圍山斷層、梵梵溪斷層與西村背斜、錦屏山向斜為主要的地質構造（林啟文、楊昭男，1999）（圖 2-4）。牛鬥斷層大致呈北偏東 38 度至北偏東 45 度之間，斷層西北側出露四稜砂岩與乾溝層，斷層東南側出露留茂安砂岩與廬山層清水湖段。根據斷層兩側的地層分布、褶皺延伸方向及褶皺軸的特性研判本斷層是一左滑斷層。而右移的四圍山斷層與左移的梵梵溪斷層則是本區持續受到構造應力所產生的共軛平滑斷層（conjugate faults）。

本區附近以寬廣的褶皺為主，兩翼夾角寬緩，如西村背斜與錦屏山向斜；局部褶皺呈現尖頂褶皺（chevron fold），兩翼夾角緊密。受到岩性的控制及斷層的影響，褶皺最大波長的分布可從數十公尺到十多公里。褶皺軸大多為東北—西南走向，褶皺軸面除了少數成鉛直位態外，大多呈現高角度向東南傾斜，其伸向（vergence）指向西北。

本區的岩層中普遍發育次生葉理，包括無前理劈理（disjunctive cleavage）、鉛筆狀劈理（pencil cleavage）與板劈理（slaty cleavage）。劈理面大多呈現一組東北—西南走向，顯示劈理受同時期的應變場（strain field）或壓扁作用（flattening）所形成（林啟文、楊昭男，1999）。

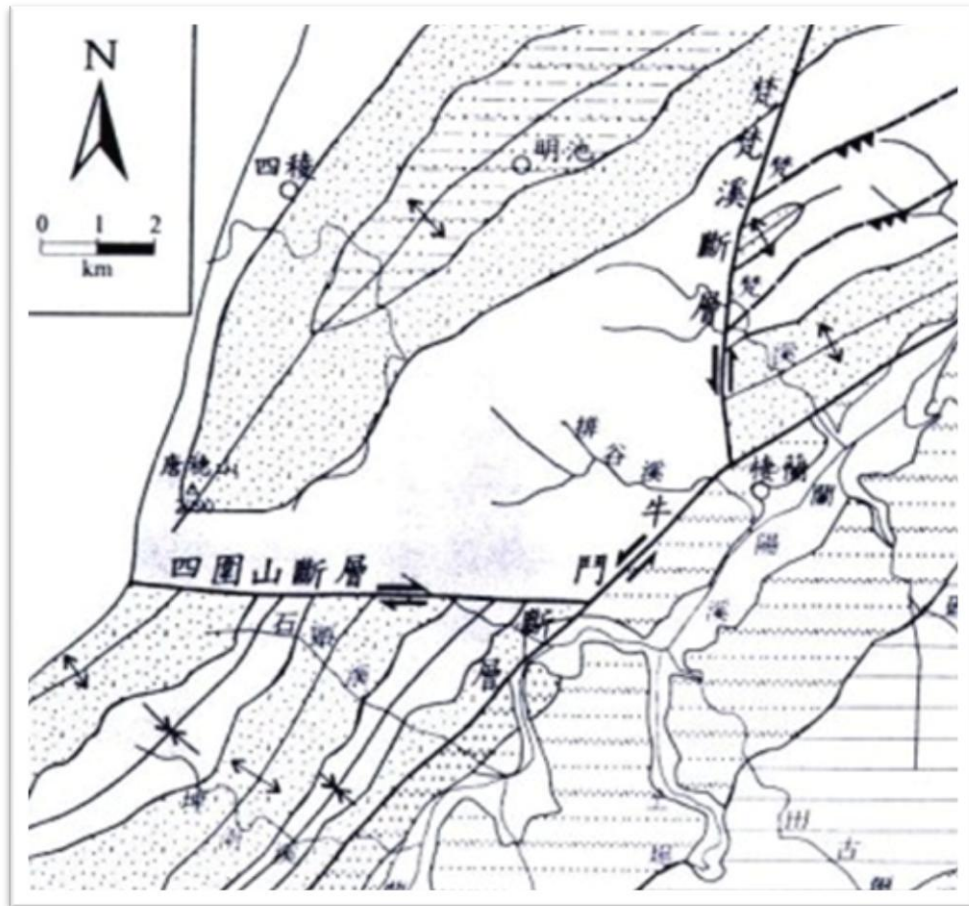


圖 2-12 棲蘭附近的地質構造（林啟文、楊昭男，1999）

## 2.4 地形及水系

雪山山脈主稜線將研究區分為東翼的蘭陽溪上游地區與西翼的大漢溪上游山地。其中，東翼山地由北而南，可分為梵梵溪集水區（位於北部橫貫公路以北）、排谷溪（棲蘭附近匯入蘭陽溪）、石頭溪（加蘭灣匯入蘭陽溪）、埤南溪（留茂安北方匯入蘭陽溪）等，在埤南溪南方約一公里另有一條支流，再向南即達思源啞口。這些溪流都源自雪山山脈主稜線，並匯入蘭陽溪。在地圖上，從稜線到蘭陽溪溪床的直線距離都不超過五公里。

雪山主稜線上山峰的高度由北而南分別是：

巴伯庫魯山（2101 公尺）

梵梵山（1713 公尺）

烏山（1626 公尺）

唐穗山（2090 公尺）

東保津寒山（1963 公尺）

馬惱山（2580 公尺）

邊吉巖山（2824 公尺）

留茂安附近，溪床高度約在 400—500 公尺之間。雪山主稜線在唐穗山（2090 公尺）南方約一公里處，向西延伸出稜線，並再折向北，至巴陵、三光附近。主稜線上的山峰有西丘斯山（2427 公尺）、雪白山（2444 公尺）等。三叉形的稜線構成桃園縣復興鄉、新竹縣與宜蘭縣大同鄉的邊界。

雪山山脈主稜線西側，由北而南則有塔曼溪（在巴陵東方附近匯入三光溪）、三光溪（在巴陵附近匯入大漢溪）、鴛鴦溪（匯入泰崗溪）、塔克金溪（即泰崗溪上游）等集水區。

鴛鴦溪上源之一即鴛鴦湖。鴛鴦湖向西流與塔克金溪會合後，即為泰崗溪，再向西即至司馬庫斯及鎮西堡附近。

### 2.4.1 蘭陽溪流域

#### (一) 蘭陽溪河流地形概述

蘭陽溪貫流於在雪山山脈與中央脊樑山脈之間，從蘭陽溪源頭—思源埡口，沿著中橫公路北支線下行，溪流在牛鬥附近流出出溪谷後，經宜蘭與羅東之間注入海域。全長約 66 公里，是宜蘭地區第一大河。蘭陽溪發源於思源土亞口附近，源頭分水嶺上的高峰包括喀拉業山（3132 公尺）、多加屯山（2793 公尺）、南湖北山（3539 公尺）等。由源頭向東北流，蘭陽溪上游匯入的支流包括馬當溪、逸久溪、米磨登溪、賓谷富溪、夫布爾溪、四重溪、加那富溪、多望溪、田古爾溪、瑪崙溪、梵梵溪、清水溪等，都是流路短、坡度陡的小溪谷。

蘭陽溪中、上游河床走向呈直線，與臺灣本島的長軸平行。由於上游地區降雨強大，地形陡峻，因此溪流的侵蝕力量旺盛，主流河床上有大量的砂石堆積。主流河床有著深厚的沖積層，而且兩岸之間少有基盤岩層出露，顯示著旺盛的堆積作用。小支流匯入主流的溪口附近，常發育著低平的沖積扇。蘭陽溪進入蘭陽平原之後，起初是礫石組成的沖積扇平原，越向下游，沖積物的顆粒大小逐漸降低，然後轉變成細沙。

蘭陽溪的特徵是盛行堆積；相對地，下游的侵蝕作用並不顯著。上述證據，加上蘭陽溪中上游的高山背景，指示區域性的地質環境是個下陷的地塊。這些現象進一步證明蘭陽平原、蘭陽溪中上游溪谷和沖繩海槽之間的相關性。

## (二) 雪山山脈

雪山山脈分布在臺灣本島的北部，呈東北到西南的走向，北起三貂角，向南延伸到濁水溪岸，全長約 180 公里，寬度約 28 公里。雪山山脈主峰高達 3886 公尺，是臺灣本島第二高峰。雪山山脈中高度超過三千公尺以上的著名山峰，包括喀拉業山、桃山、池有山、品田山、大霸尖山、雪山、火石山、大雪山、佳陽山、白狗大山等。

雪山山脈是大漢溪流域和蘭陽溪流域主要的分水嶺。這條向東北方延伸的主要分水嶺同時也是台北縣、桃園縣、新竹縣與宜蘭縣的縣界。縣界上（也是主要的分水嶺）的山峰包括灣坑頭山（617 公尺，大里附近）、鶯子嶺（942 公尺，北關附近）、金面山、大礁溪山（1161 公尺）、阿玉山（1419 公尺）、紅柴山（1138 公尺）、拳頭母山（1550 公尺）、棲蘭山（巴博庫魯山，2101 公尺）、烏山（1625 公尺）、唐穗山（2089 公尺）、喀拉業山（3132 公尺）、羅葉尾山（2715 公尺）等。

雪山山脈的東西兩翼毫不對稱，東翼遠較西翼陡峻，因此北部橫貫公路翻越分水嶺下降至蘭陽溪河谷的這一段路程不僅坡陡而且十分彎曲。除此之外，雪山山脈東翼上的溪流也普遍地短小陡急。從最北端到最南端，都是平行的小溪谷。

### 2.4.2 大漢溪流域

大漢溪（舊名大嵙崁溪）上游發源於雪山山脈北段，在石門東側的流向是由東向西，河谷橫切山脈，形成橫谷地形；山脈延伸的方向與岩層的走向平行，大致為北偏東 70 到 80 度，山峰的高度由東南向西北逐漸降低。河谷在石門始出山地，並右折北行，穿過桃園台地的東緣，流入臺灣海峽。

白石溪（舊名薩克雅尖溪）與泰崗溪（舊名塔克金溪）是大漢溪最上游的兩個源頭，分別發源於雪山山脈北段的大霸尖山（3573

公尺)、品田山(3529 公尺)和池有山(3301 公尺)諸峰之北麓，向北奔流，在秀巒附近匯流成玉峰溪(舊名馬里闊丸溪)，再流至玉峰，於巴陵附近東納發源於明池(舊名池端，1141 公尺)、唐穗山(2090 公尺)與西丘斯山(2427 公尺)的三光溪(舊名高干溪)之後，開始稱為大漢溪。此後溪水蜿蜒北流抵達羅浮附近，凡此直線距離約 14 公里之間，河谷呈現深切的峽谷，稱為高坡峽谷部。羅浮以下，開始進入石門水庫的範圍內，由此直到石門水庫壩址為止，有眾多的河階面，在地形上稱為角板山河階群。

大漢溪上游地區(玉峰溪與三光溪合流以上)在地質上屬於雪山山脈帶，以硬頁岩與板岩為主，板狀的石英砂岩亦十分發達，其中四稜砂岩更號稱東亞最堅硬的砂岩。由於本區大致位於地盤上升軸附近，地盤不斷地隆起，使得大漢溪上游地區層巒疊嶂，山勢巍峨。河道穿行於群山之中，大多呈現成育嵌入曲流的狀態。深峽險谷，水流湍急，景色優美，是本區地形的特色(圖 4-3)。在上游分水嶺附近可發現兩處深邃的湖澤，分別是位於北部橫貫公路途中的明池，以及鴛鴦溪上游源頭的鴛鴦湖。其中，後者依文化資產保存法已劃定為鴛鴦湖自然保留區，主要是為了保護山地湖泊生態系，以及紅檜、東亞黑三稜等稀有植物。

大漢溪一般以泰崗溪為其源頭，發源於品田山北麓約 3220 公尺處，距離石門水庫壩址的流路長約 111.3 公里。從主、支流域面積統計資料(表 2-2)可知，大漢溪上游(即玉峰溪與三光溪匯流點以上河段)集水區面積可達 507.53 平方公里，約佔石門水庫上游集水區面積的 2/3 左右。

從大漢溪主、支流河流剖面來看，除了大漢溪中游較為平緩外，其餘河段的河床比降均大(表 2-3)。上游河段如泰崗溪河床比降為

1/4，鎮西堡溪比降為 1/5，鴛鴦溪比降為 1/8，河床十分陡峻；而白石溪與三光溪的河床比降則較緩，分別是 1/16 和 1/20。由於研究區大致分布在泰崗溪、鴛鴦溪與三光溪上游地區，河流的等級大多為一級河～三級河，可知研究區內的河床呈現坡陡流急的情況，而河流的侵蝕情況應十分嚴重。

表 2-2 石門水庫集水區主支流流域面積統計（石再添等，1980）

| 流 域           | 面積 (Km <sup>2</sup> ) | 累加面積 (Km <sup>2</sup> ) |
|---------------|-----------------------|-------------------------|
| 泰崗溪 (源頭至鴛鴦溪口) | 95.48                 | 95.48                   |
| 鴛鴦溪           | 38.08                 | 133.56                  |
| ↓ 支流區間        | 9.54                  | 143.10                  |
| 鎮西堡溪          | 18.36                 | 161.48                  |
| ↓ 支流區間        | 6.05                  | 167.53                  |
| 雪白溪           | 13.90                 | 181.43                  |
| ↓ 支流區間        | 15.61                 | 197.04                  |
| 白石溪           | 122.68                | 319.72                  |
| ↓ 支流區間        | 32.86                 | 352.58                  |
| 馬里闊丸溪         | 10.88                 | 363.46                  |
| ↓ 支流區間        | 3.89                  | 367.35                  |
| 三光溪           | 107.40                | 507.53                  |
| ↓ 支流區間        | 19.18                 | 526.71                  |
| 寶里苦溪          | 13.47                 | 561.38                  |
| ↓ 支流區間        | 6.23                  | 567.61                  |
| 榮華溪           | 13.01                 | 580.62                  |
| ↓ 支流區間        | 0.31                  | 580.93                  |
| 西布喬溪          | 24.32                 | 605.25                  |
| ↓ 支流區間        | 26.69                 | 631.50                  |
| 義盛溪           | 19.56                 | 651.50                  |
| ↓ 支流區間        | 4.12                  | 655.62                  |
| 雲霞溪           | 24.20                 | 679.80                  |
| ↓ 支流區間        | 12.80                 | 692.62                  |
| 奎輝溪           | 12.24                 | 704.86                  |
| ↓ 支流區間        | 8.44                  | 713.30                  |
| 枕頭溪           | 10.45                 | 723.75                  |
| ↓ 支流區間        | 7.20                  | 730.95                  |
| 高遠溪           | 12.05                 | 743.00                  |
| 石門壩           | 20.10                 | 763.10                  |

表 2-3 石門水庫集水區主、支流河床比降（石再添等，1980）

| 河 段         | 河距（公里） | 落差（公尺） | 比降    |
|-------------|--------|--------|-------|
| 大漢溪（源頭至石門壩） | 111.3  | 2970   | 1/37  |
| （源頭至喀拉業山西麓） | 6.2    | 1210   | 1/5   |
| （喀拉業山西麓至秀巒） | 38.8   | 1180   | 1/33  |
| （秀巒至三光溪合流）  | 23.9   | 290    | 1/82  |
| （三光溪合流至羅浮）  | 25.5   | 270    | 1/94  |
| （羅浮至石門壩）    | 16.9   | 20     | 1/845 |
| 白石溪         | 36.0   | 2280   | 1/16  |
| 鴛鴦溪         | 9.0    | 1070   | 1/8   |
| 鎮西堡溪        | 6.5    | 1360   | 1/5   |
| 三光溪         | 27.6   | 1390   | 1/20  |
| 馬里闊丸溪       | 6.3    | 1430   | 1/4   |
| 拉拉溪         | 13.2   | 1200   | 1/11  |
| 寶里苦溪        | 7.2    | 1360   | 1/5   |
| 西布喬溪        | 13.1   | 1470   | 1/9   |
| 榮華溪         | 5.9    | 1300   | 1/5   |
| 義盛溪         | 9.2    | 1240   | 1/7   |
| 雲霞溪         | 8.7    | 850    | 1/10  |
| 奎輝溪         | 5.6    | 1050   | 1/5   |
| 高遶溪         | 6.9    | 940    | 1/7   |

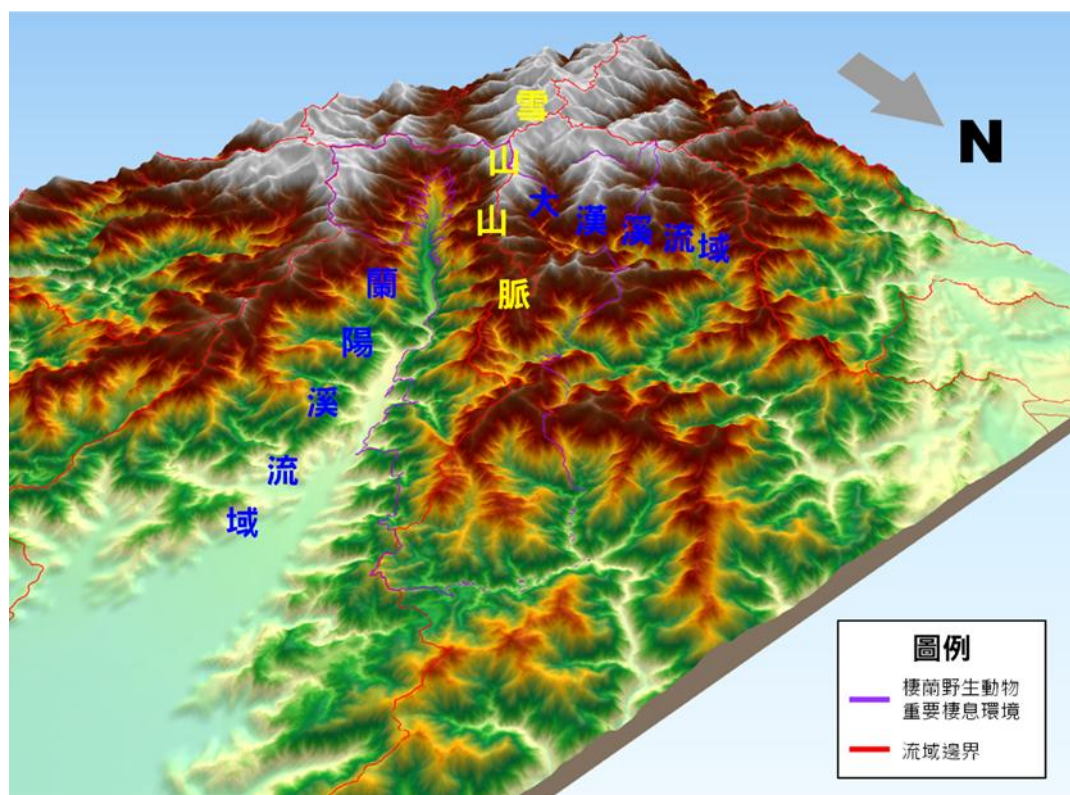


圖 2-13 蘭陽溪與大漢河流域地形俯視圖

### 2.4.3 大漢溪與蘭陽溪河流地形之比較

大漢溪與蘭陽溪兩流域範圍內，其地形表現特性差異甚大，主要是受到地盤升降之影響所致。

大漢溪與蘭陽溪發育於臺灣北部幅度約僅五十公里之地區內，其河流之地形表現絕然不同，其間之差異比較列於表 2-4 中。

兩流域唯一相同之處在於其下游地區皆有深厚廣泛的堆積物。大漢溪下游在大溪、龍潭、桃園一帶的沖積層分布至為廣泛，而蘭陽溪下游的沖積層亦頗為發達，且形成蘭陽三角洲平原。雖然如此，但實際上，即兩者有不同之成因，不可相提並論。蓋前者為上游侵蝕成果，早年河流至此而盛行堆積；後者則係整個中下游河谷都呈堆積作用，且堆積物皆由附近支流所供應。此點亦為上述溪流特性差異之處。

表 2-4 大漢溪與蘭陽溪河流地形之比較

| 河谷形態 | 大漢溪       | 蘭陽溪       |
|------|-----------|-----------|
| 階地   | 多級階地發達    | 階地甚少      |
| 曲流   | 切入曲流眾多    | 河谷平直      |
| 河谷   | 峽谷        | 廣闊河谷      |
| 沖積扇  | 支流溪口少有沖積扇 | 支流溪口多有沖積扇 |
| 支流   | 支流發達      | 支流少且短促    |
| 河床   | 河床基岩出現    | 河床沖積物深厚   |
| 河流類別 | 順向河       | 後成河       |
| 河流特性 | 侵蝕        | 堆積        |

(資料來源：徐鐵良、李建堂，1985)

#### 2.4.4 南勢溪

南勢溪為新店溪上游支流，南勢溪流域於本區域包含南勢溪主流、以及扎孔溪支流流域。前者發源於哈盆南方烏來鄉與宜蘭縣交界處之分水嶺山幾(雪山山脈主嶺)，後者源頭為巴博庫魯山(2101公尺)。本區域地形分區屬雪山山脈西北部，屬山高谷深壯年期地形特徵；流域主要流經西村層、四稜砂岩、乾溝層、大統山層、以及部分澳底層。本區域內普遍發育至少兩組節理，兩組均呈高角度(>60 度)傾斜，使風化作用沿節理面進行，造成落石與坍方；局部地區沿節理可能發育成剪裂帶，可能為造成邊坡崩塌之重要因素。

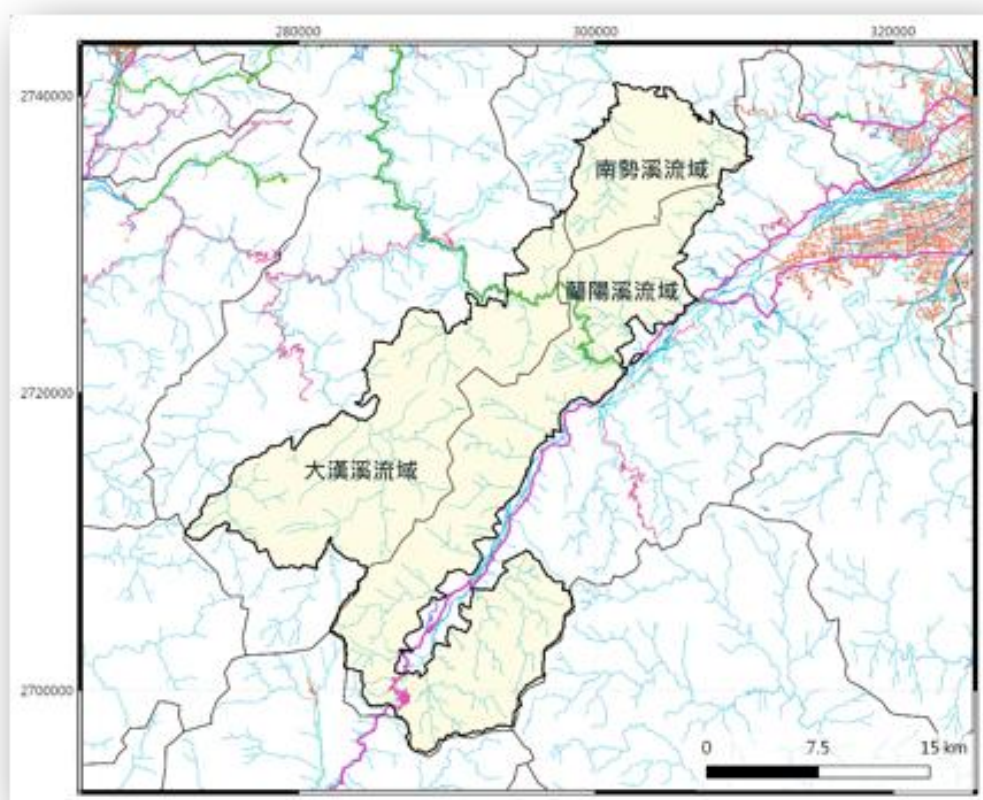


圖 2-14 本區域三流域分佈位置示意圖



## 第三章 工作成果

### 3.1 研究區內具代表性之崩塌地、崩塌類型、發生機制

#### 3.1.1 崩塌定義

崩塌(Landslide)係指岩體材料(岩石、土壤)於斜坡上，其本身的重量大於岩石內部摩擦力，導致岩體材料脫離，產生崩落、滾動、以及堆積於斜坡波腳的地質現象；崩塌包含了山崩、地滑、土石流等現象。

自然地質現象，如地震、地層下陷、山崩、及土石流等，若發生於人類活動範圍內，影響到人類生命與經濟活動，及稱為地質災害(Geological Hazard)。

#### 3.1.2 崩塌發生機制

透過力學角度檢視崩塌運動，崩塌發生時，材料受到兩個方向的應力：

1. 剪應力(Shear Stress)：使塊體產生延斜面下滑的作用力，其主要來源包括土石本身的重量、外加的荷重或應力；
2. 抗剪強度(Shear Strength)：描述物質對抗剪應力之強度，其強度取決於材料之間的內摩擦力。

崩塌的發生取決於剪應力與抗剪強度之間對抗的結果：當斜坡上的塊體的剪應力不大於抗剪強度時，斜坡上的材料便能處於臨界狀態穩定不動；若剪應力大於抗剪強度時，材料間的聚合便會被破壞，以致於產生崩塌。

藉由莫爾-庫倫破壞準則(Mohr-Coulomb Failure Criterion)討論崩塌發生機制，發現影響剪應力與抗剪強度的消漲的因素有很多，包含岩體本身重量、斜坡坡度大於土石安定角、地震或其他因素導致岩體產生裂隙並連接成不連續面、水分的孔隙壓及潤滑作用，均會導致岩

體之剪應力上升，或有效抗剪應力減弱，進而產生崩塌。下章節將討論邊坡的穩定性對崩塌發生的影響。

### 3.1.3 影響邊坡穩定因素

洪如江(1984)曾指出，造成邊坡崩塌的重要因素可分為地質材料質構造、地形與環境因素、以及工程及其他人為因素。

#### 1、地質材料：

地質材料為邊坡的母體，基本組成包括礦物的種類、組織、膠結情形；外在表現則為岩性、土壤種類、強度、抗風化能力。胡麟吉(1988)曾針對高雄壽山地區之邊坡作調查研究,指出穩定區多為岩性佳，尚穩定區岩性略差，不穩定區則岩性差。鄭元振(1992)針對中橫公路天祥至太魯閣段岩性不同的邊坡作研究，結果指出以大理岩最穩定，崩積層次之，片岩再次之，片麻岩最差。莊光澤(1994)考慮邊坡組成物質，研判不同組成物質會影響邊坡破壞的形式，認為其主因為差異侵蝕造成。黃啟修(1995)在北橫公路的邊坡潛感分析中，認為岩石品質對穩定性有極大影響，應考量岩石品質的差異。

#### 2、地質構造

地質構造包括斷層、摺皺、不連續面...等，這些因素會弱化邊坡整體強度而影響穩定性。

吳坤洲(1990)對石灰岩覆蓋泥岩的地質構造作邊坡穩定分析，認為有無此構造確實會影響邊坡安定。王豐仁(1994)研究新中橫公路邊坡落石發生原因，研究發現構造線為最主要影響因素。陳琨銘(1995)研究花蓮銅門村土石流災害，認為該災害區的不連續面發達，為土石流來源的影響原因之一。

### 3、地形與環境因素

地形為表現於地表的外觀是由許多營力造成，邊坡上的地形因素包括坡度、坡寬、坡高等。環境因素則常為不易察覺的影響因素，也可能為突發性的狀況，包括地下水、地震、降雨等。

洪如江(1996)指出地下水為山崩的頭號殺手，其對邊坡造成的不利影響包括：(1)水壓作用於垂直裂縫，將岩坡或土坡推向下方；(2)上頂力作用於潛在滑動面，降低了該面的摩擦力；(3)對片狀礦物，尤其是黏土礦物，產生潤滑作用；(4)溶解岩石中的膠結物質；(5)其他物理化學作用，使岩質、土質變壞。且認為持續性的豪雨是影響自然邊坡穩定性的最不利環境因素，因為豪雨會對邊坡造成侵蝕，並將脆弱的地質材料軟化。李德河(1996)利用地質鑽探及透地雷達，對阿里山公路低海拔路段進行滑動面位置探測，結果顯示地下水位升降與邊坡滑動有密切關係。

鄭序華(1996)以邊坡崩塌因子與降雨因子作回歸，分析阿里山公路降雨與崩塌之關係，再利用降雨及累積雨量預測崩塌。王豐仁(1994)研究新中橫公路邊坡落石發生原因，指出坡度對落石發生有明顯的影響。劉盈劭(2001)對陳有蘭溪支流沿線邊坡的地形作敏感度比較，發現 80%的崩塌邊坡坡度約在 20-50 度之間。

林慶偉(1998)指出當活動斷層發生時，會伴隨兩種機制產生：一、為斷層活動時穿透地表處的岩盤而出露到地表，造成地表錯移和地裂；二、為伴隨斷層活動產生強烈地動，造成建築物破壞及山崩的發生。

#### 4、工程及其他人為因素

為的活動，諸如造路開挖、造景、採礦等，皆可能直接或間接影響邊坡的穩定。

莊光澤(1994)在分析阿里山公路時考慮道路開挖為一項因素，指出道路開挖會使邊坡破壞機率提高 3~5 倍。紀宗吉等(1998)針對林肯大郡災變原因研究探討，認為滑動區屬於標準順向坡地形，而邊坡坡腳遭挖除，岩體滑動面出露，在人工支撐力不足下，是主要造成地層滑動的原因。

#### 3.1.4 崩塌型態分類

最常為人採用的崩塌型態分類法為 Varnes(1978)依據「斜坡向下移動的材料及方式」，將崩塌分類為墜落、傾覆、滑動、側落、流動、複合運動等六類(表 3-1)。Varnes 的山崩分類方法型態如圖 3-1 所示。

表 3-1 Varnes 山崩分類方法

| 運動型態  |     | 材料種類           |                         |
|-------|-----|----------------|-------------------------|
|       |     | 岩石             | 工程土壤                    |
|       |     |                | 岩屑      土               |
| 墜落    |     | 岩石墜落           | 岩屑墜落      土墜落           |
| 傾覆    |     | 岩石傾覆           | 岩屑傾覆      土傾覆           |
| 滑動    | 圓弧形 | 岩石滑動           | 岩屑滑動      土塊滑動          |
|       | 平面型 |                |                         |
| 側滑    |     | 岩石側滑           | 岩屑側滑      土側滑           |
| 流動    |     | 岩石流動<br>(深層潛移) | 岩屑流動      土流動<br>(土壤潛移) |
| 複合型運動 |     | 綜合兩種或兩種以上之運動方式 |                         |

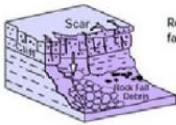
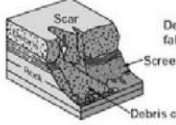
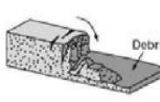
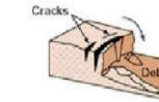
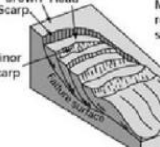
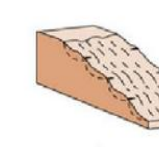
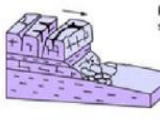
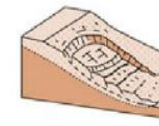
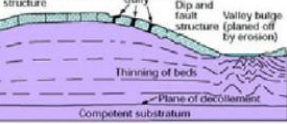
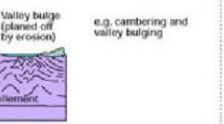
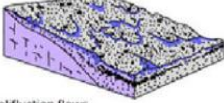
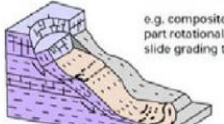
| Material      |                        | ROCK                                                                                                                                                                                                                                                                               | DEBRIS                                                                                            | EARTH                                                                                |
|---------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Movement type |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                   |                                                                                      |
| FALLS         |                        |                                                                                                                                                                                                   |                  |    |
|               |                        | Rock fall                                                                                                                                                                                                                                                                          | Debris fall                                                                                       | Earth fall                                                                           |
| TOPPLES       |                        |                                                                                                                                                                                                   |                  |    |
|               |                        | Rock topple                                                                                                                                                                                                                                                                        | Debris topple                                                                                     | Earth topple                                                                         |
| SLIDES        | Rotational             |                                                                                                                                                                                                   |                  |    |
|               | Translational (Planar) |                                                                                                                                                                                                   |                  |    |
| SPREADS       |                        |                                                                                                                                                                                                  |                 |   |
|               |                        | Cap rock<br>Clay shale<br>Normal sub-horizontal structure<br>Gully<br>Dip and fault structure (planned off by erosion)<br>Valley bulge structure (planned off by erosion)<br>e.g. cambering and valley bulging<br>Thinning of beds<br>Plane of décollement<br>Competent substratum |                                                                                                   |                                                                                      |
| FLOWS         |                        |                                                                                                                                                                                                 |                |  |
|               |                        | Solidification flows (Periglacial debris flows)                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                   | Earth flow (mud flow)                                                                |
| COMPLEX       |                        |                                                                                                                                                                                                 |               |                                                                                      |
|               |                        | e.g. Slump-earthflow with rockfall debris                                                                                                                                                                                                                                          | e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe |                                                                                      |

圖 3-1 崩塌型態分類示意圖(Varnes, 1978)

目前國內相關官方單位(經濟部地質調查所、行政院農業委員會水土保持局、內政部營建署)皆參考 Varnes 的分類方式，並以我國區域地質特性及使用需求進行修改，如

表 3-2、表 3-3 所示

表 3-2 經濟部中央地質調查所山崩分類方法(楊樹榮等，2011)

| 運動型態 |     | 材料種類 |      |   |
|------|-----|------|------|---|
|      |     | 岩石   | 工程土壤 |   |
|      |     |      | 岩屑   | 土 |
| 墜落   |     | 落石   | 岩屑崩滑 |   |
| 傾覆   |     |      |      |   |
| 滑動   | 圓弧形 | 岩體滑動 |      |   |
|      | 平面型 |      |      |   |
| 流動   |     | 土石流  |      |   |

表 3-3 農委會水土保持局山崩分類方法(楊樹榮等，2011)

| 運動型態 |     | 材料種類 |      |   |
|------|-----|------|------|---|
|      |     | 岩石   | 工程土壤 |   |
|      |     |      | 岩屑   | 土 |
| 墜落   |     | 山崩   |      |   |
| 傾覆   |     |      |      |   |
| 滑動   | 圓弧形 | 地滑   |      |   |
|      | 平面型 |      |      |   |
| 流動   |     | 土石流  |      |   |

陳天健等人(2015)認為國內外對於土石流之研究，較多關注於溪流型土石流(Channelized debris flows)，對於影響山區部落，或座落於河階地的聚落影響較大的坡面型土石流(Hillslope Debris Flow)，其產狀與好發地形等報導較為稀少，因此歸納出坡面型土石流之地形特徵、機制與產狀特徵，並訂定 12 項產狀特徵準則，作為坡面型土石流之現地調查與室內影像判釋作業應用。

A. 坡面型土石流之地形特徵：

坡面型土石流集水區較溪流型土石流小，多為河岸小集水區之新生崩塌於溝壑或坡面地形，屬零級河序。位置多發生於山腹區位，上游源頭處災前地形略呈碗狀，並連接一隘口地形，其發生區與流動區不易區分且坡度較陡，惟隘口地形常為土石流動之起始而至坡趾處堆積。

B. 坡面型土石流機制與產狀特徵包括：

土石流料源為上游發生區之小規模新生崩塌地，由崩塌直接轉化成土石流，沿重力方向或溝渠流動。流動過程中有劇烈槽化作用；土石之流動距離短，集水區出口材料常堆積成堆積扇且坡度較陡，堆積區材料稜角較為明顯。邊坡上方可能存在向源侵蝕作用且尚未發展至嶺線，因此坡面型土石流扮演由溝壑演化至野溪之階段作用期。

C. 12 項特徵摘錄如下：

1. 災前地形為凸坡或平直坡
2. 發生於溝壑或坡面地形,且不具明顯溪谷
3. 屬零級河序 (zero order river)
4. 河道長度短(約 100~400 公尺)
5. 發生區多位於坡腹或向源侵蝕區位

6. 源頭崩塌地成碗狀
7. 集水區內崩塌規模(面積)較小
8. 發生區與流動區不易區別,且坡度較陡(15 度以上)
9. 具隘口地形並連接一土石流流槽
10. 由新生崩塌地轉化為土石流
11. 流動區劇烈槽化作用(“河深/河寬”比上升)
12. 堆積區顆粒稜角明顯

### 3.1.5 崩塌引致因子

不同的崩塌型態，可能由不同的崩塌引致因子所造成，在自然環境中，常可以看到多項因子組合在一起導致崩塌。Terzaghi(1950)將影響山崩發育的因子分為「內在因子」與「外在因子」；前者泛指降低斜坡上抗剪強度的因子，包括岩體的組成、岩石物性、構造單元、風化作用、不連續面等；後者指增加斜坡上岩體剪應力的因子，包括地震震動、降雨、以及人為活動等。

李三畏(1984)將崩塌與土石流主要誘發因子分為潛在因子(Potential Factors)以及誘發因子(Triggering Factors)。潛在因子包含 Terzaghi 所分類之內在因子；誘發因子則為 Terzaghi 所分類之外在因子以及所有直接引發邊坡破壞或土石流的環境因素。

依據 Terzaghi(1950)所分類的內容，陸續有學者(Koukis and Ziourkas, 1991、Popescu, 2002、溫振宇，2005、李馨慈，2010、李佩玲，2016)蒐集整理引致山崩的因子種類，其種類最多可分類至 64 種。

李馨慈(2010)研究九二一震災後幾年的崩塌事件後指出：全台灣「重大地震」以及「高強度降雨」二事件容易誘發山崩；地震除當下造成嚴重的崩塌，震後鬆動的土石遇到接踵而來的強降雨將會造成更多的崩塌災害，兩者實有時間延續關係。透過預測強降雨引致崩塌的

預測率逐年下降的特性發現，地震所造成土石鬆動，進而促成崩塌事件的影響力可以延續好幾年才衰落。誘發山崩的因子，在李馨慈(2010)的研究中主要為岩性以及坡度。

李佩玲(2016)年透過不同時間長度資料，討論全台灣與曾文水庫集水區兩個不同尺度下的 9 項促崩引致因子(高程、坡度、坡向、雨量、與溪溝距離、土地利用、最大地震強度、岩性、與構造距離)。影響崩塌因子前五名為、岩性、高程、土地利用、年雨量、坡度；最小相關因子為「與溪溝距離」。在短時間/區域尺度下，促崩因子們的影響力可因乾季、雨季、強降雨事件而有所不同；在乾季時，土地利用、坡度、高程、坡向與崩塌事件的相關性較高；在雨季時，土地利用、與構造距離、高程、坡度的相關性比較高；在強降雨事件時，主要影響崩塌的因子為與溪溝距離、土地利用、月雨量。其比較結果如下表 3-4：

表 3-4 曾文水庫集水區短時間崩塌因子權重排序

| 排序 | 乾季   | 濕季    | 強降雨   |
|----|------|-------|-------|
| 1  | 土地利用 | 土地利用  | 與溪溝距離 |
| 2  | 坡度   | 與構造距離 | 土地利用  |
| 3  | 高程   | 高程    | 月雨量   |
| 4  | 坡向   | 坡度    | 高程    |
| 5  | 月雨量  | 岩性    | 岩性    |

(表格修改自李佩玲，2016)

李佩玲(2016)的研究結果顯示在不同時間以及不同範圍尺度下，某些因子的影響力會被消滅或拉升至一個平均值；在短時間及區域尺度下，人為土地利用方式為主要影響崩塌的因子。

陳志豪(2002)研究南橫公路啞口至新武段的變質岩公路岩石邊坡

之破壞潛勢，認為影響該區域變質岩邊坡穩定的因子主要有坡面風化程度、節理持續性(坡體表面之節理延伸長度)、坡高(上覆岩體重量)、植生狀況。一般認為影響邊坡崩塌較為顯著性質的特性如岩性、雨量、坡向、坡度等因素則被判定為影響力居中。陳(2002)的研究區域內岩性主要為板岩-千枚岩-片岩等中、高變質度岩石為主，其研究結果顯示影響邊坡穩定因子成分與李(2016)的研究(主要為砂、泥、或者砂泥互層之沉積岩區)有顯著差異，兩者的研究結果均對於棲蘭山區域崩塌相關研究有很好的參考價值。

張元碩(2008)討論棲蘭山檜木老林區域河川所造成崩塌，單透過「河川兩岸平均坡度」和「蝕溝強度」2因子，得知棲蘭山檜木老林區域位於大蝕溝與中蝕溝的敏感區範圍內，說明檜木老林有必要加以規劃及保護，以避免未來崩塌造成檜木林區面積減少。

### 3.1.6 研究區內具代表性的崩塌地

藉由現地調查的結果，本研究發現研究區內規模較大、較具代表性的崩塌地幾乎都集中於蘭陽溪的兩側，其餘規模普遍較小。

#### 1、 台七線四季國小茂安分校附近崩塌地



圖 3-2 四季國小茂安分校附近崩塌地

本崩塌地位於蘭陽溪左岸，宜蘭縣台七線的宜蘭縣大同鄉四季國民小學茂安分校對面(圖 3-2)，左側崩塌地坡趾寬約 80 公尺，高約 100 公尺；右側崩塌地坡趾寬約 225 公尺，高約 120 公尺。本二崩塌地發生於坡面，崩塌規模小，崩塌的發生、流動區域不明顯，坡度陡，崩塌後形成一溝槽，坡趾堆積區從照片可觀察到明顯帶有稜角之岩石。依照 Varnes(1978)的分類方法應為岩石滑動，依照地調所分類方法應為岩體滑動，依照水保局分類法應為地滑。本崩塌地地形與產狀特徵符合陳天健(2015)所描述之坡面型土石流特徵，故本崩塌地可視為

一零級河序，所演育之溝槽未來將逐漸發育為新的野溪。

## 2、台七線留茂安溪附近崩塌地



圖 3-3 留茂安溪附近崩塌地

如圖 3-3 所示，本二崩塌地位於兩個尚未命名的野溪中間，靠近下由埤南溪方向的野溪位於本照片右側，左側為上游靠近保養溪的野溪。如圖 3-4，照片左側為蘭陽溪上游方向。



圖 3-4 Google Map 顯示本崩塌地與上下游兩個野溪的相對位置

左側崩塌地坡趾約有 400 公尺，坡高約 350 公尺左右，唯一大型崩塌地。以本區域 DEM 資料轉換成坡度資料數據顯示，本崩塌地之坡度約為 30 度。波頂無沉積物覆蓋部位之坡度接近 50 度，為一高角度邊坡。依據 Varnes (1978)分類方法，本崩塌地應屬於複合型崩塌地，同時包含有岩石墜落(Rock Fall)以及土流動(Slump-earthflow)。依照地調所及水土局分類依據應分類為土石流。由照片顯示地形及產狀特徵，本崩塌地符合陳天健(2015)所描述之坡面型土石流。

右側崩塌地位於山坡坡腹，頂端略成碗狀，坡趾無明顯堆積物，整體崩塌地直批覆蓋較為左側崩塌地為完整。坡趾約有 50 公尺，坡高約有 350~400 公尺，坡度經查詢後為 35 至 40 度，為 Varnes 所描述之岩屑滑動，為地調所分類之岩體滑動、為水保局所分類之地滑，亦為陳天健所描述之坡面型土石流。



圖 3-5 本區育之崩塌地側面照

如圖 3-5，由叫下游處側面拍攝本崩塌地，可以發現右側崩塌地頂端為山稜線(後方為下游野溪出口)，可以看到山稜線後方緩坡之岩

層位態，其位態朝向北北東，並向野溪方向傾斜。由圖 3-5 可以觀察到崩塌地上方稜線後的岩層正以岩石墜落的形式崩落至下游野溪內，推測產生崩落的原因為河谷區域岩石解壓之結果，確切狀況應待詳細現地調查完成後另做推論。另外由圖 3-4 可以觀察到本崩塌地位於蘭陽溪之攻擊坡處，故波腳崩塌後堆積物應被河水搬運至下游，幾乎無大量堆積物堆積，導致坡趾不斷受到河水沖擊侵蝕的影響。未來本崩塌地應持續不斷發育，再加上河川侵蝕沖刷，最後形成一大型支流河口。

圖 3-5 最左側可以觀察到古階地地形，有可能為早期崩塌物穩定堆積之結果。



圖 3-6 崩塌地上游野溪出口有小型沖積扇堆積

由圖 3-4、圖 3-6 另外可觀察到本崩塌地上游未命名野溪出口有小型沖積扇堆積，野溪上游可以觀察數個向野溪方向彎曲弧形陡坡波面，蓋因於野溪前身為溪流型土石流發生位置，經過一段足夠的時間發展後形成現今的野溪樣貌。

### 3、 新北市烏來福山部落附近之崩塌地



圖 3-7 福山部落附近之崩塌地

本崩塌地位於新北烏來屈服山部落附近，於南勢溪右岸。崩塌地坡度約 39~46 度，坡度陡、崩塌地範圍小，發育於一野溪旁之山坡上，為一典型之土滑動(坡面型土石流)。

## 3.2 研究區內各項自然環境圖

本章節蒐集整理研究區域內各項自然環境圖，例如地質圖、地質災害去、落石或易崩塌區域分布等。本研究區同時透過 DEM 以及 DTM 圖資整理出本區域立體剖面圖、坡度圖、坡向圖、棲蘭山植被高度分布圖等，茲列於下並進行簡述。

### 3.2.1 地質圖

本研究區地層包含雪山山脈區的西村層、四稜砂岩、乾溝層、大桶山層等(由老至年輕)，以及中央山脈西斜面地區出露之中新世廬山層。本區域地質圖為參考自經濟部中央地質調查所出版之兩萬五千分之一地質圖幅，地質描述以及數化圖已介紹於本報告書章節 2.3.2 之圖 2-7 至圖 2-11。

圖 3-8 為本計畫參考地質圖以及前人研究進行台七線沿公路西村層與四稜砂岩分布現地調查後之結果。

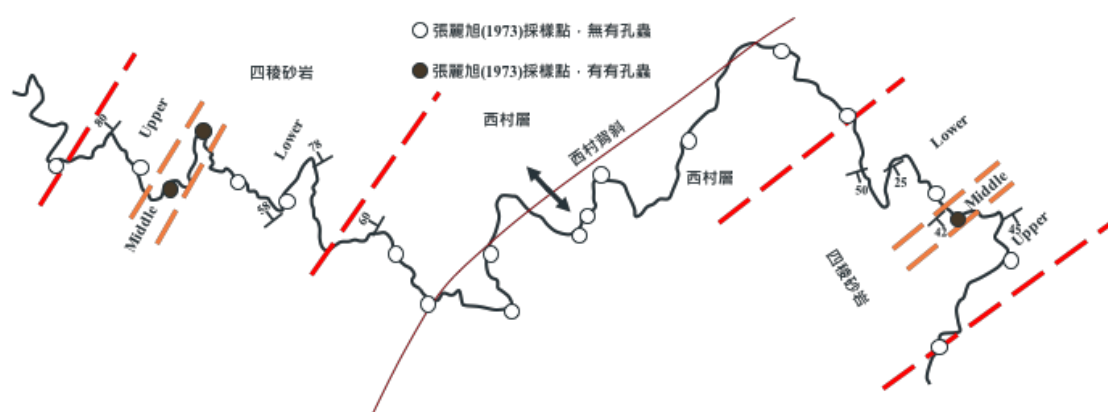


圖 3-8 台 7 線沿公路西村層與四稜砂岩分佈位置示意圖

### 3.2.2 立體剖面圖以及地形剖面圖

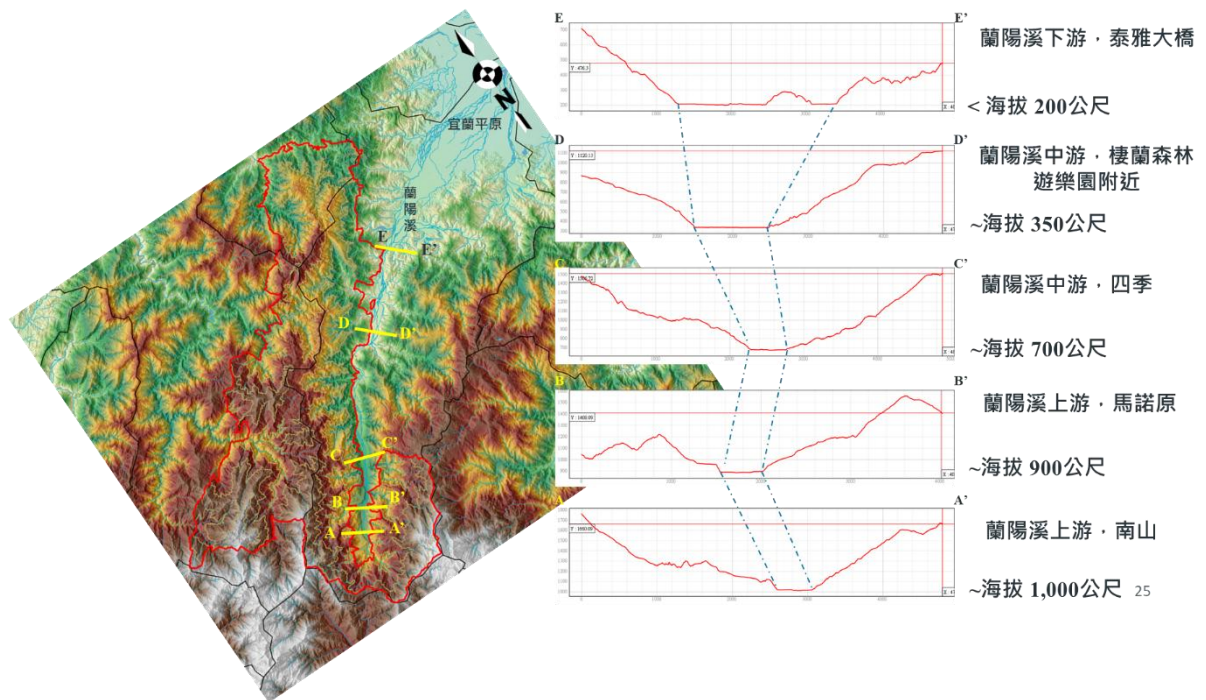


圖 3-9 立體剖面圖及蘭陽溪河道地形剖面圖示意圖

如圖 3-9 所示，本研究利用研究區範圍內 DEM 資料製作立體圖，並且依照研究需求製作特定區域地形剖面。圖 3-9 顯示蘭陽溪河道自上游至下游有下列幾項特徵：

1. 河道寬度向下游加寬，整體呈現一喇叭狀，朝向宜蘭平原張開；
2. 河床海拔高度降幅快速，上游到下游距離約為 30 公里，海拔及下降約 1 公里。
3. 上游河床兩岸可以觀察到河階台地，下游河床兩岸幾乎為陡坡。

### 3.2.3 研究區坡度圖

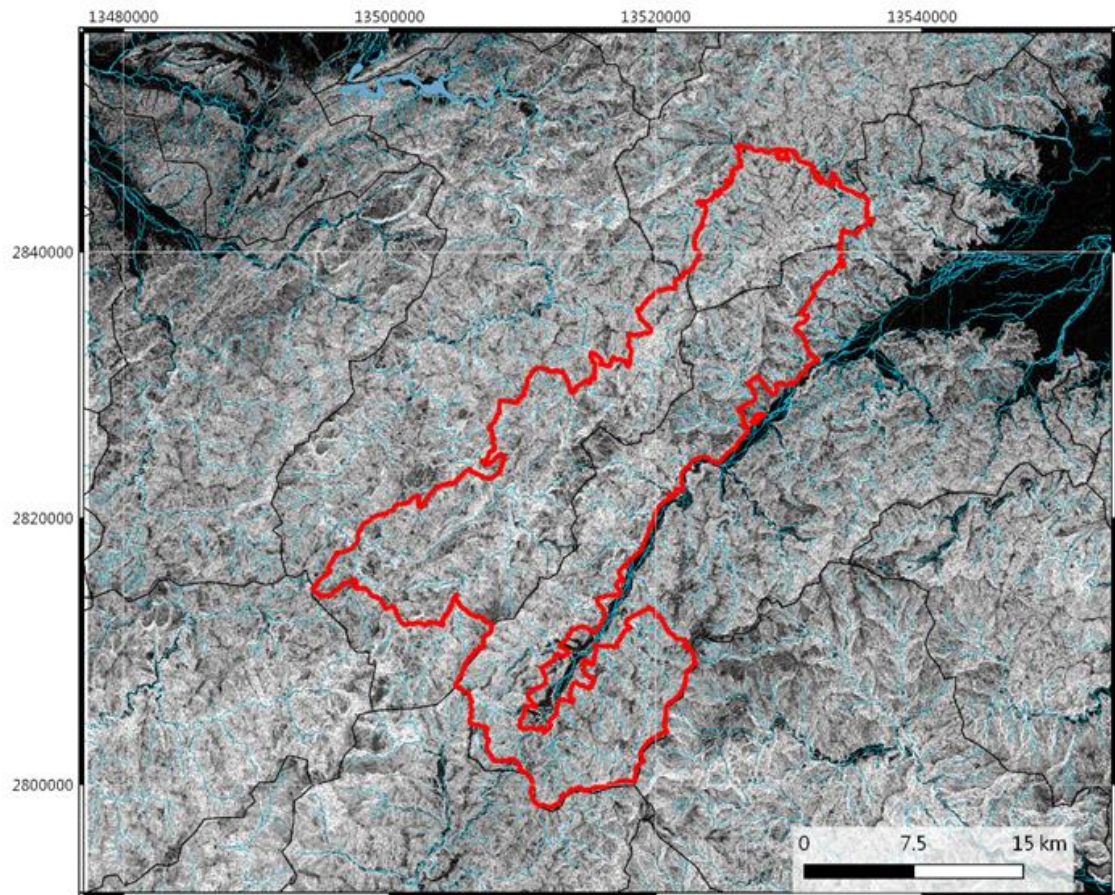


圖 3-10 本研究區坡度圖

坡度為邊坡傾斜斜率，與邊坡穩定性有極大相關性；邊坡越傾斜，坡地物質向下的滑動力越強，因此坡度越陡，助長崩塌發生機率相對越大。利用 DEM 產製之棲蘭山區域坡度圖(圖 3-10)，以每 10 度為間距分成九組。經由資料統計結果，本區域之坡度組合以  $31^{\circ} \sim 40^{\circ}$  區間為最高，共佔全體比例之約 33.9%；第二、第三名為  $41^{\circ} \sim 50^{\circ}$  ( $\sim 30\%$ )，以及  $21^{\circ} \sim 30^{\circ}$  ( $\sim 16\%$ )。坡度  $60^{\circ}$  以上之資料約佔 7.93%，大部分分布於河道兩側(圖 3-11)。本區地形陡峭， $30^{\circ}$  以上之山坡地約佔本區之 7 成。

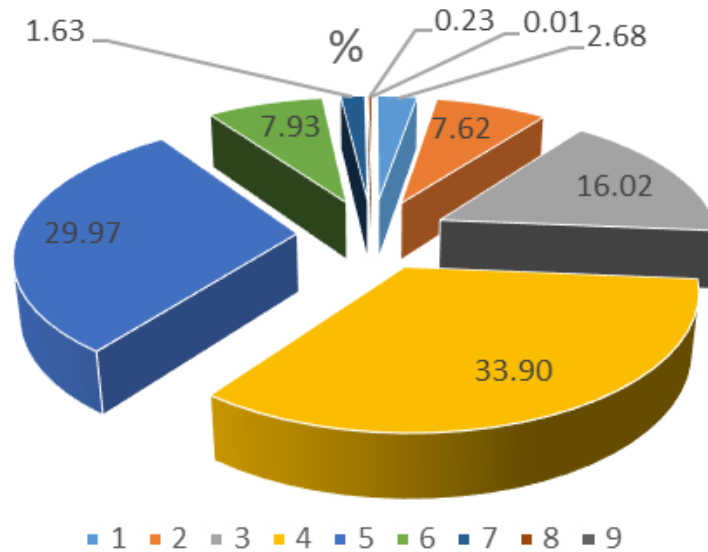


圖 3-11 坡度統計分析結果

#### 3.2.4 研究區坡向圖

坡向是指邊坡坡面的傾向，本因子易受季節變化所影響，例如日照角度、降雨、或是方向。因此迎風坡所受影響將較背風坡嚴重以及不穩定。

地形坡向與地層位態的關係亦容易影響邊坡的穩定性，因此，不同方向之邊坡應具有不同的山崩特性(圖 3-12)。

所蒐集資料顯示，本區域各坡向之資料比例略顯均勻；偏北之西北、北、東北三個方向之坡向為本區域之主要坡向；正西方之坡向資料筆數為最少(圖 3-13)

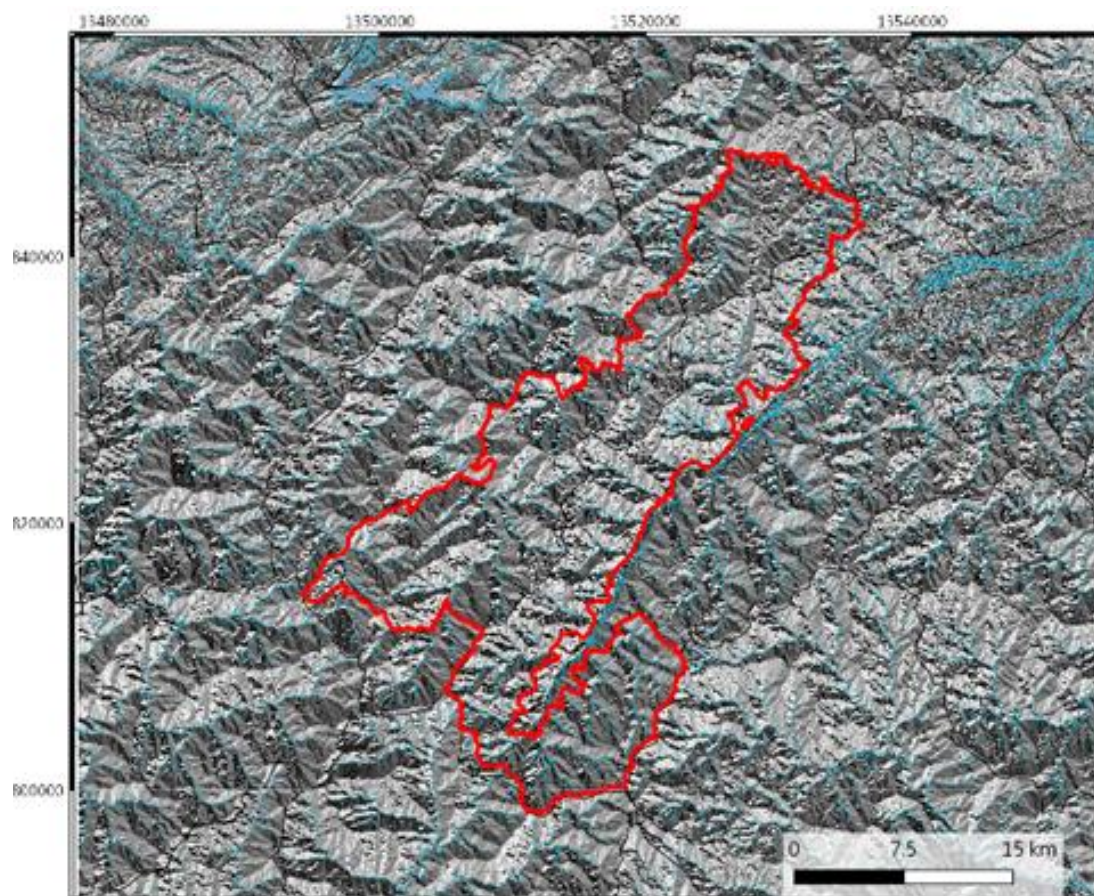


圖 3-12 棲蘭山區域坡向圖

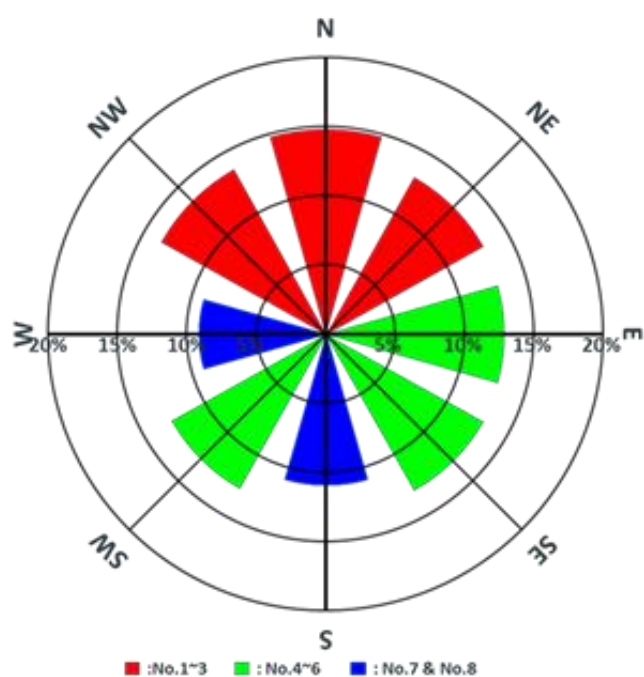
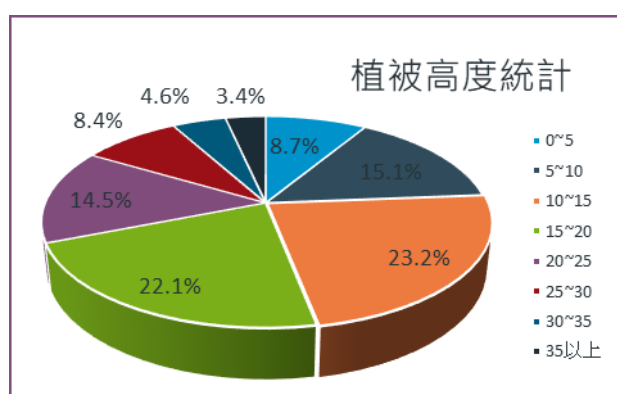
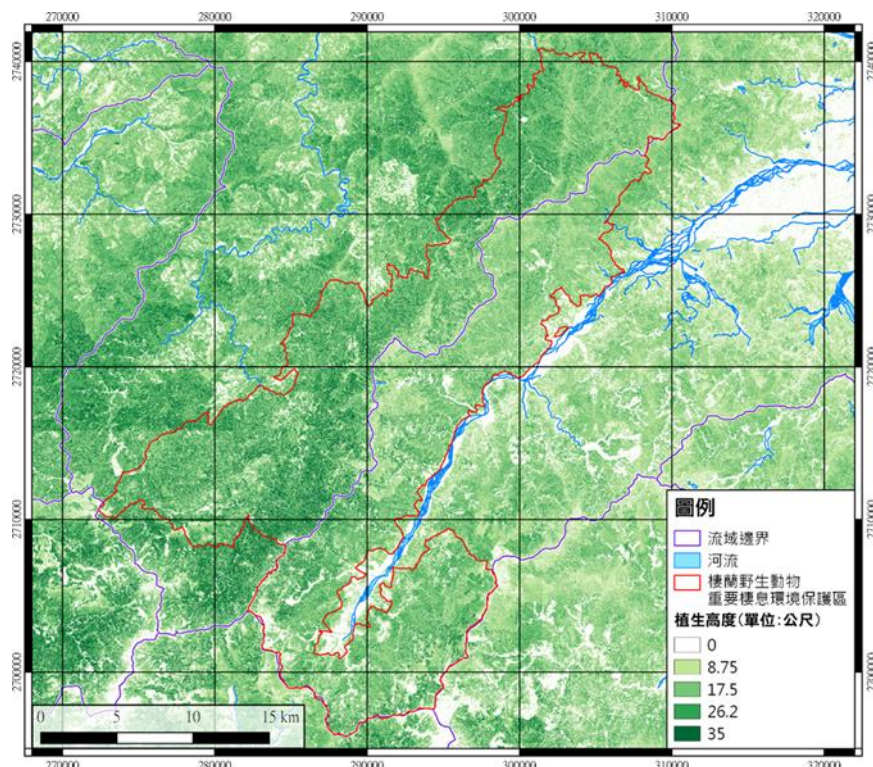


圖 3-13 棲蘭山坡向資料分組計數結果

### 3.2.5 棲蘭山植被高度分布

由 DSM 及 DEM 之高程差異，可獲得本區植生之高度及空間分佈狀態。本區內西側之淡水河流域(南勢溪及大漢溪)之植生高度有明顯較高於東側蘭陽溪之趨勢(圖 3-14、圖 3-15)。



### 3.2.6 地質敏感區(山崩與地滑)

由中央地質調查所公告之地質敏感區(如圖 3-16)：山崩與地滑位置圖，並將其與棲蘭山區域之 DEM 建立成 3D 立體模型(圖 3-17)，並以亮黃色區塊標示山崩與地滑位置。

結果顯示，相較於大漢溪與南勢溪，蘭陽溪流域以及蘭陽溪左岸的廬山層與相當地層，其所劃定的山崩與地滑區域較為稠密，推測其與岩層、地形及沖蝕強度有較多關連性。

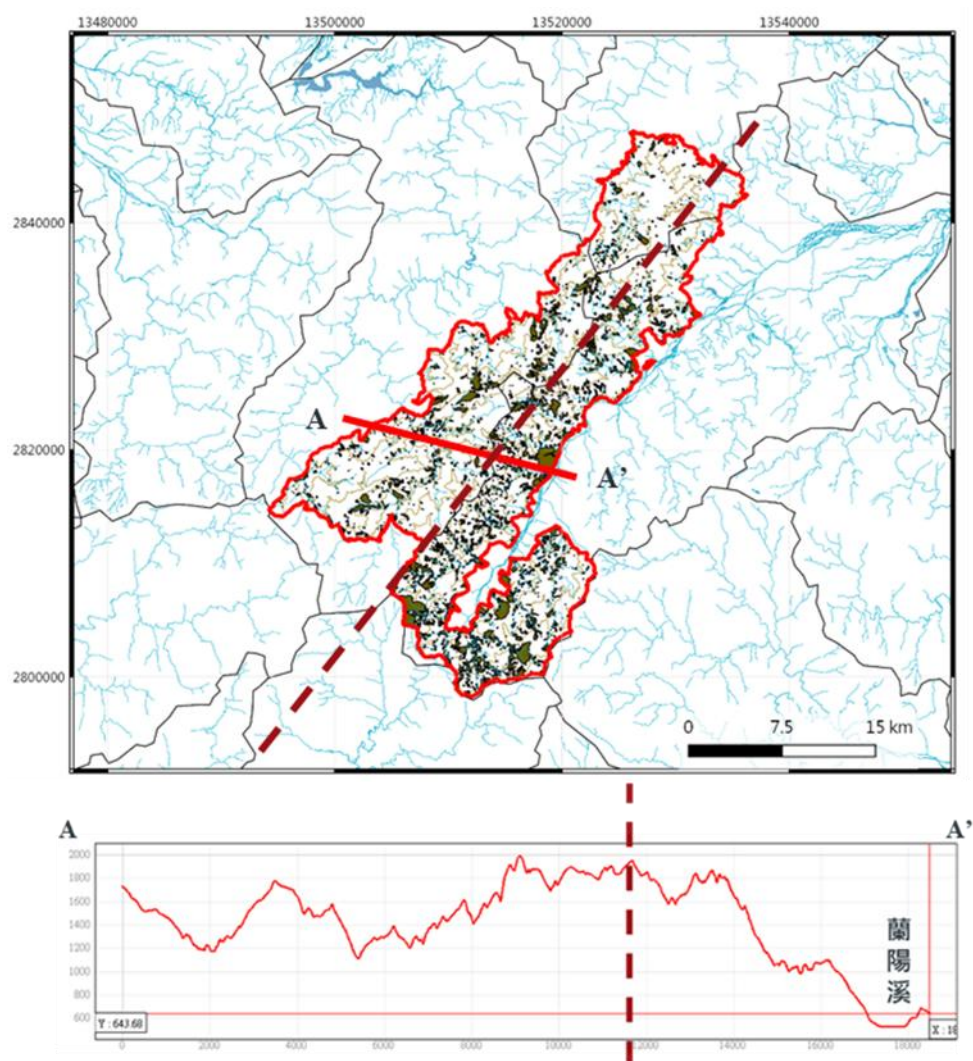


圖 3-16 地質敏感區與地形剖面比較示意圖

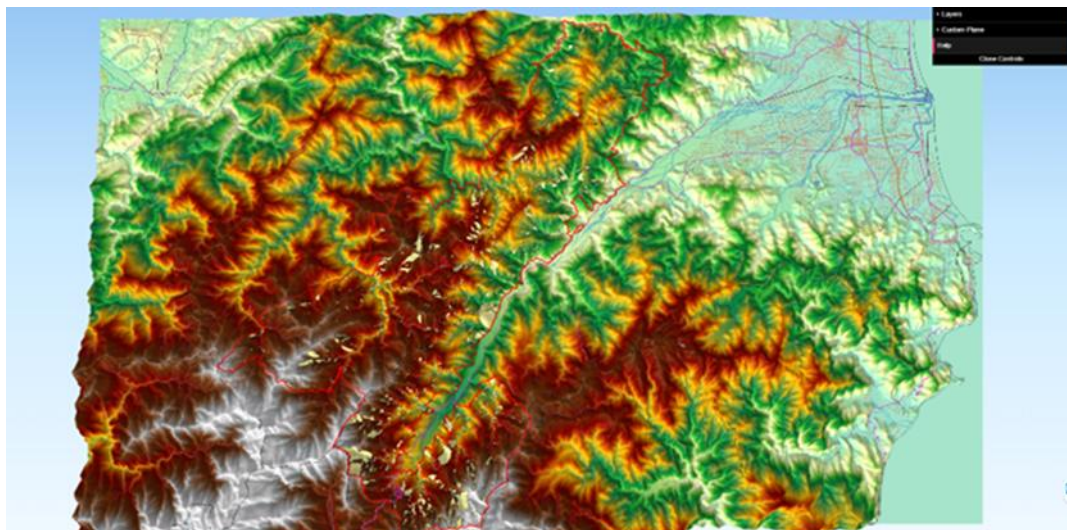


圖 3-17 本區域 3D 建模並疊加地質敏感區塊位置

### 3.2.7 土石流潛勢河川區域分佈位置圖

本研究蒐集林務局於本區域所繪製之民國 103 年至民國 106 年土石流潛勢河川區域圖；並將資料與河川水系圖層進行套疊(圖 3-18)。套疊結果顯示，本區域內之蘭陽溪流域，其具有土石流潛勢之河川較為密集；尤其以蘭陽溪上游之四季、南山，以及位於蘭陽溪右岸之廬山層板岩帶最為密集。蘭陽溪每年沖刷大量的土石沈積物至下游，亦側面反應其中、上游發生山崩、土石流之頻繁、密集。

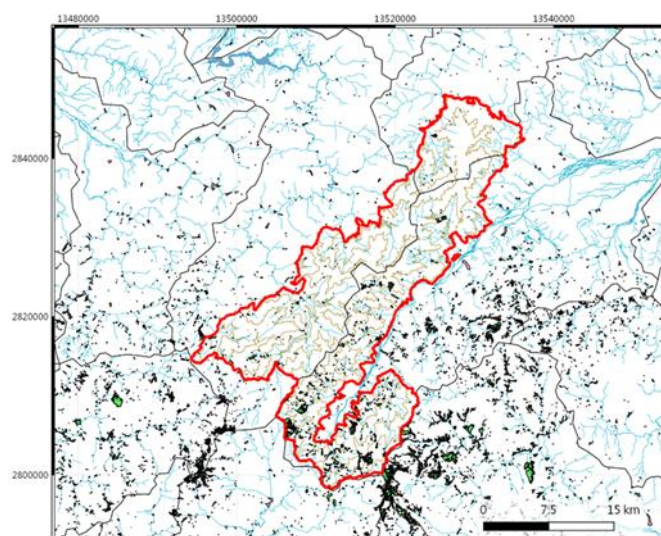


圖 3-18 本區域土石流潛勢河川區域分佈位置圖

### 3.3 參與規劃團隊的聚落工作坊

本計畫研究成員於 106 年 3 月 18 日與總計畫、各項子計畫伙伴一同至宜蘭縣大同鄉參與與部落耆老見面會談，各計畫負責人除向部落耆老介紹計畫工作內容，同時與耆老們交流意見，獲得豐碩成果。

3 月 19 日與各位伙伴至宜蘭縣大同鄉公所外停車場空曠處，利用空拍機進行本研究部分區域空拍掃描工作。

以下以照片記錄進行檢要概述：



圖 3-19 2017 年 3 月 18 日與鄉公所賴秘書進行會談



圖 3-20 3 月 18 日晚上與部落耆老們見面並交流意見



圖 3-21 子計畫主持人王進發教授進行意見發表



圖 3-22 2017 年 3 月 19 日上午觀察本研究區古崩塌地及古階地分布

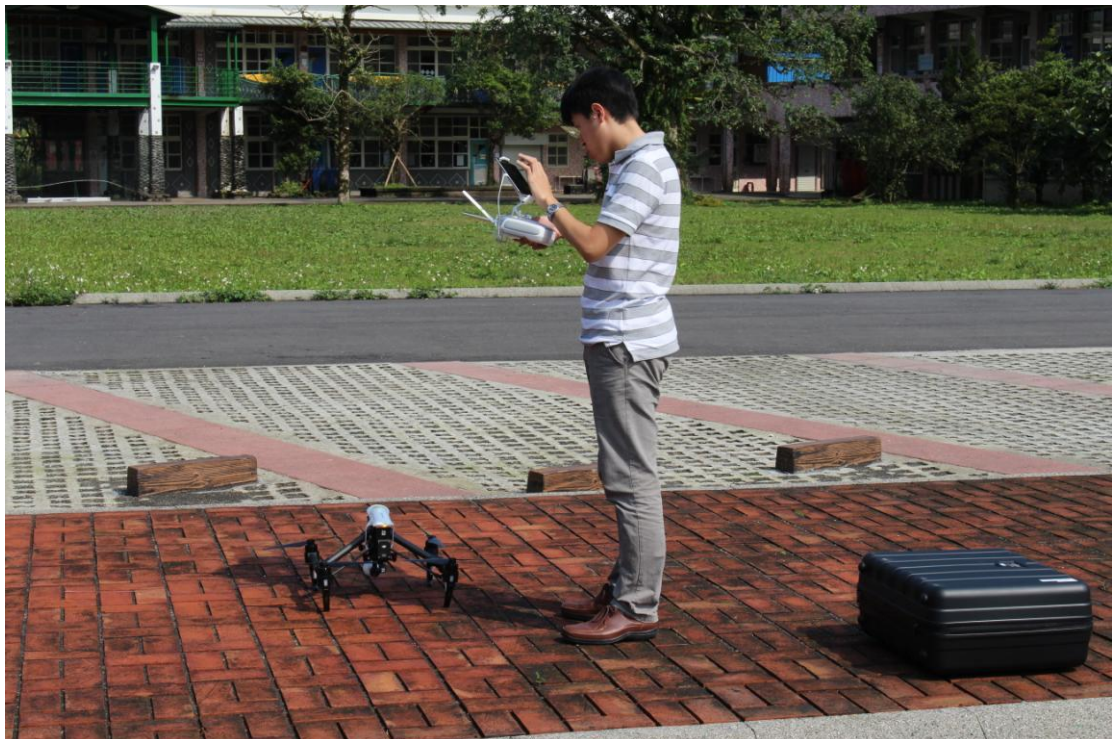


圖 3-23 3 月 19 日上午參與空拍機拍攝本研究區地景工作

## 第四章 結論與討論

### 一、結論

本研究第一年(民國 105 年)已進行研究區域內地質分布、地形狀況、地景等資料蒐集、討論、分析等工作。本(106)年度進一步完善上述資料之地質與地形資料內容，並且本報告書第二章「研究區背景」內進行介紹。本研究今年其他工作成果如下

- 1、 探討崩塌地之崩塌類型、發生機制、影響邊坡穩定因素、崩塌地引致因子等資訊。透過 Varnes(1978)、經濟部中央地質調查所等文獻對於崩塌地進行定義與分類，本研究今(106)年整理、分類研究區內具有代表性之崩塌地。
- 2、 蒐集並整理研究區各項自然環境圖：蒐集經濟部中央地質調查所公告之地質圖以及地質敏感區分布圖，以及農委會林務局所公告之土石流潛勢溪流分布圖。除此之外，本研究另利用 DEM 資料產製圖資，包括：立體剖面圖、地形剖面圖、坡度、坡向、植被高度分布等。部分圖資額外進行資料歸納統計、以及分析工作，以供後續進一步研究使用。
- 3、 參與規劃團隊的聚落工作坊：本研究於 106 年 3 月 18 日參與拜訪宜蘭縣大同鄉部落耆老會談，並於 3 月 19 日參與空拍機拍攝本研究區地景工作。

## 二、建議

茲對於棲蘭山地區的地形、地質調查及未來規劃管理兩方面建議如下：

### (一)地形、地質方面之調查研究

1. 透過地質敏感區、土石流潛勢區分布圖、本研究自行產製DEM 相關圖資、以及實地進行野外調查工作，本研究認為蘭陽溪流域為崩塌以及土石流之好發區。沿蘭陽溪主流河道可觀察到大量新、舊崩塌地發育。
2. 本研究區為中低度壓力變質岩區且全年有雨，透過前人文獻可以瞭解控制本區域之崩塌引致因子除了坡度、坡向、雨量外，岩體的風化程度、節理面的延伸長度、坡高、以及植被亦為重要且必須列入考慮的因子。建議相關單位增加監測本研究區邊坡穩定狀況之工作頻率，並輔以航拍、空照、遙測等工具以掌握研究全區之動態。

### (二)經營管理規劃方面

1. 山區部落以及聚落分布的位置通常位在小坑溝的出口或是鄰近邊坡的河階地，這些地方恰為易出現坡面型土石流之地形，建議相關單位對部落及聚落居民進行相關地質、地質災害、社區互助、避難求生等教育訓練，以實現維護居民生命財產安全之預防措施。
2. 邊坡穩定監測工作方面，建議建立社區參與機制，以增加監測頻率以達成效。

## 參考文獻

1. Chang, L.S. (1973) A biostratigraphic study of the so-called Slate Formation in Taiwan based on small foraminifera: 3. Sankuang-Hsiuluan Area along the Upper Courses of the Tanshuiho and the Yulochi: Proc. Geol. Soc. China, 16, 69-84.
2. Chang, L.S. (1974) A biostratigraphic study of the so-called Slate Formation in Taiwan based on small foraminifera: 4. Northernmost part of the Central Range: Proc. Geol. Soc. China, 17, 85-93.
3. Fong, Christopher C. K., Huang, Tunyow and Shea, K. S. (1994) New occurrence of larger foraminifera in northern Taiwan and its stratigraphic significance: Special Publication of The Central Geological Survey, No. 8, P. 205-212.
4. Huang, C., Y., (2016) A foraminiferal study on Middle Eocene-Oligocene break-up unconformity in northern Taiwan. JAES v.138, p.439-465.
5. Lee, T.Q., Lin, H.S., Liew, P.M., (1998) Magnetic analysis on lacustrine deposits of Yuan-Yang Lake, Northern Taiwan, Journal of the Geological Society of China, 41(1):143-158
6. Mataumaru, K. (2005) Nummulites junbarensis and Assilina formosensis (late Early to early Middle Eocene) from Taiwan (Formosa): Rev. Paleobiol., Geneve, v.24, no.2, p.551-561.
7. Miller, J.R., Ritter, D.F. and Kochel, R.C. (1990) Morphometric assessment to lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Uplands,
8. Schumm, S.A. (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, Geological Society of America Bulletin, 67:597-646.

9. south-central Indiana, American Journal of Science, 290:569-599.
10. Strahler, A. N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, Geological Society of America Bulletin, 63:1117-1142.
11. 王鑫 (1979) 石門水庫集水區的地勢分析。國立台灣大學地理學系研究報告，10：43-72
12. 王鑫 (1979) 石門集水區河川形態的研究，中華水土保持學報，10 (1)：27-50。王鑫 (1990) 宜蘭縣的地質與地形，宜蘭縣政府委託中華民國國家公園學會研究。
13. 石再添、鄧國雄、張瑞津、黃朝恩、石慶得 (1980) 台灣地區集水域地形計測分析圖集，國立台灣師範大學地理學系。
14. 石門水庫管理局 (1968) 石門水庫集水區治理調查規劃報告，台灣省森林水利水土保持聯合工作技術小組與石門水庫集水區治理規劃小組聯合辦理。
15. 石門水庫管理局 (1990) 石門水庫集水區第二階段治理規劃，中華水土保持學會辦理。
16. 何春蓀 (1975) 台灣地質概論，中華民國經濟部。
17. 何春蓀 (1982) 台灣地體構造的演變—台灣地體構造圖說明書，台北：經濟部中央地質調查所。
18. 何春蓀 (1986) 台灣地質概論第二版，經濟部中央地質調查所。
19. 何春蓀 (1994) 台灣地質概論—台灣地質圖說明書，二版，台北：經濟部中央地質調查所。
20. 宜蘭縣政府 (1994) 宜蘭縣地理圖集。
21. 林啟文 (1998) 台灣東北部板岩帶與片岩帶之構造特性與構造演化。國立台灣大學地質研究所博士論文。
22. 林啟文、楊昭男 (1999) 台灣東北部板岩帶與片岩帶之斷塊研究，

- 經濟部中央地質調查所彙刊，12：39-62。
23. 林啟文、林偉雄(1995b)臺灣東北部蘭陽溪中下游地質構造研究。  
經濟部中央地質調查所彙刊，第十號，第 23-49 頁。
24. 林朝榮（1957）台灣地形，臺灣省通志稿卷一，臺北市：臺灣省  
文獻委員會。
25. 徐潔（1978）台灣中部山地氣候之研究，師大地理研究所碩士論  
文。
26. 徐鐵良、李建堂(1985)臺灣大漢溪與蘭陽溪之河流地形及其在近  
期地殼運動之意義，國立臺灣大學地理學系研究報告，12:27-34。
27. 戚啟勳(1969)台灣之山地氣候，台灣銀行季刊，20(4):155-207。
28. 戚啟勳（1981）氣象與工程（下篇），台灣工程基本資料叢書之  
一。台北：科技圖書股份有限公司。
29. 戚啟勳（1983）登山與氣象，台灣實用登山/求生/自然全集。台  
北：張正雄發行。陳邦禮（1996）蘭陽溪上游沖積扇的地形演育，  
國立台灣大學地理學研究所碩士論文。
30. 陳惠芬（1981）台灣當今地盤的上升與下降，中國文化大學地學  
研究所地理組碩士論文。
31. 詹新甫（1971）台灣雪山山脈南部之地質構造。中國地質學會會  
刊，14：62-75。黃艦水、林偉雄（1999）雪山山脈的地質研究，  
八十八年度中央地質調查所年報，37-38。
32. 臺灣省農林廳山地農牧局（1974）蘭陽溪中上游集水區水土保持  
初步勘查規劃報告，農復會補助 73-B21-N-820-A2-B 計畫執行報  
告。
33. 齊士崢（1991）池端的地形發育過程，中國地理學會會刊，19：  
33-41。

34. 潘俊富(1996)自然保留區經營管理手冊初稿，台灣省林業試驗所生物系。台北：行政院農業委員會。
35. 中興工程顧問社(1990)國道南港宜蘭快速公路工程路線評選階段坪林隧道段地質調查工作期末報告。交通部台灣區國道新建工程局。
36. 張麗旭(1954)台灣下部漸新世之魚行有孔蟲化石組及其地層學上之意義。台灣省地質調查所彙刊，第五號，101-116 頁。
37. 張麗旭(1959)臺灣西部中新世地層之基於小型有孔蟲之生物地層學研究（其一：浮游性有孔蟲）。中國地質學會會刊；第 2 號，第 47-72 頁。
38. 張麗旭(1973)臺灣變質區第三系基於小型有孔蟲之生物地層學研究（三：淡水河上流三光一秀巒區）。中國地質學會會刊，第十六號，第 69-84 頁。
39. 張麗旭(1974)臺灣變質區第三系基於小型有孔蟲之生物地層學研究（四：中央山脈最北部）。中國地質學會會刊；第 17 號，第 85-93 頁。
40. 曾長生(1978)宜蘭縣清水及土場區地質及地熱產狀，臺灣石油地質，第十五號，第 11-23 頁。
41. 黃廷章(1978)台灣北部上部烏來群與下部汐止群（漸新世到中新世）之超微化石，古沉積環境，年代和對比。中國地質學會會刊，第二十一號，第 128-150 頁。
42. 黃奇瑜、鄭穎敏(1983)臺灣北部漸新統及中新統之浮游性有孔蟲生物地層學研究。中國地質學會會刊，第二十六號，第 21-56 頁。
43. 黃敦友(2007)台灣雪山山脈東北端金面山地區四稜砂岩之貨幣石化石及其意義。台灣礦業，第五十九卷，第二期，第 18-36 頁。

44. 謝凱旋、黃敦友(2003)台灣第三系的地層層序。台灣礦業，第 55 卷，第 4 期，第 17-27 頁。
45. 大江二郎(1931)李棟山圖幅與說明書。臺灣總督府殖產局，第 608 號。(日文)
46. 洪崇勝、陳國航、林俊宏(2011) 台灣北部橫貫公路低度變質岩之岩石磁學兼論雪山山脈與中央山脈之地層對比，經濟部中央地質調查所特刊，第 25 號，第 167-169 頁。
47. 陳天健、王振宇、陳柏龍(2015)坡面型土石流之地形特徵與判定方法。中華水土保持學報，第 46 卷，第三號，第 133-141 頁。
48. 陳志豪(2002)變質岩公路邊坡之破壞潛勢分析-以南橫公路啞口至新武段為例，國立成功大學碩士論文。
49. 李馨慈(2010)重大地震地表擾動衰減特性於震後高強度降雨之山崩潛勢分析，國立成功大學博士論文。
50. 李佩玲(2016)以遙測影像實施大尺度變異點自動化比對與整治績效評估，國立成功大學碩士論文。
51. 鄭祈全(2008)遙測技術於棲蘭山林區崩塌潛在敏感區之監測研究，中國文化大學碩士論文。
52. 楊樹榮(2011)台灣常用山崩分類系統，第十四屆大地工程研討會。