

國立臺灣大學理學院地質科學系暨研究所

碩士論文

Department of Geosciences

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis



龍門山斷層帶南段天全河沿岸河階  
的活動構造特性研究

Active tectonic characteristics of river terraces along the  
Tianquan River, southern Longmenshan fault zone, China

蔡原閔

Yuan-Min Cai

指導教授：徐浩德 博士

Advisor: J. Bruce H. Shyu, Ph.D.

中華民國 105 年 7 月

July, 2016



國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

龍門山斷層帶南段天全河沿岸河階  
的活動構造特性研究

Active tectonic characteristics of river terraces along the  
Tianquan River, southern Longmenshan fault zone, China

本論文係 蔡原閔 君 (R02224102) 在國立臺灣大學地質科學研究所所完成之碩士學位論文，於民國 105 年 7 月 28 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

徐三和

(指導教授)

李建政

黃國輝

林中日

陳秉光



## 誌謝

本研究能夠順利完成，特別要感謝國立中央大學地質遙測實驗室的張中白教授全力的幫忙，帶領我前往中國四川觀察研究區域地質概況並提供我論文的方向，且每次野外都與我同行，並給予許多協助與建議，使得本研究可以有一定的成果。此外也要感謝我的指導教授徐浩德老師這三年來的照顧與提攜，並且花費相當的心思，校對我的論文並給予我許多研究上的建議，讓本文更加流暢，最後要感謝口試委員李建成老師、葉恩肇老師及陳柔妃老師給予的諸多建議，讓本論文更加的完善。

能完成本研究，一路走來受到許多人的幫助，首先謝謝鍾令和學長願意陪著我前往中國北京地震局地質研究所，教導我判讀航照圖與帶領我認識所內的許多人，並且謝謝中國地震局地質研究所副研究員許冲博士，在本研究初期給予本人相當多的建議與文獻資料，且提供自己的研究成果給予本人參考，也謝謝所內的譚錫斌博士野外的幫助，以及孫鑫喆博士生帶著所內數名碩士生陪同我一起前往四川天全縣及始陽鎮兩城市，利用 RTK-GPS 量測河階的海拔高度，在你們的幫忙下，本研究量測時間大大的縮短，最後更要感謝所內一直提供資源給予本研究的徐錫偉副所長，幫助我們申請量測許可以及無償借用所內設備給予本研究使用，由衷的感謝中國地震局地質研究所提供協助的所有人，因為有你們讓本研究於國外的量測更加的順利。

除了中國地質所的幫忙外，也感謝許多老師、學長姐與朋友們，如中央大學徐乙君博士生於野外的教導，以及張修銓碩士於四川第一次野外的幫助。感謝台灣大學地質系的王崇哲、莊怡蓉、秦念祺於 ARC-GIS 軟體上的協助與教導，還有R02 的曾譯禾、洪嘉佳及曹友樵於學術上的建議與協助，特別感謝嘉佳於本研究後期的 coreldraw 及 word 的軟體的超高技術指導！還有 Yoko Ota 教授於階地繪圖上的建議，使本研究的繪圖更加完整。感謝王緯茹從師大以來就會彼此督促研究進度。葉恩肇老師，要是你當年沒有收我這位學生進入你的研究室，我可能也無法



這麼順利的進入台大就讀，還有中研院李德貴老師，也讓我無償使用研究室設備，此外更要感謝郭思廷學姊從我大學部的專題研究就無私心的幫助，也給予我很多推甄及研究上的建議。謝謝楊清淵的英文教導及李安昇、陳采薇、簡翊展給予的關懷和幫助。特別一提，號稱自己是學長的葉家志，謝謝你總是提醒我要寫論文和關心你，關心你真的很紓壓啊！此外感謝秦念祺給予許多關於 AGU 的資訊與幫助，還有於會期間給予我建議的 Mari 與 Rina。感謝玉秀於報帳上的協助。感謝所有師大的好朋友們給予的鼓勵與歡樂，使我即使在遇到挫折時也可以快快的恢復。以及謝謝這 3 年來在台大認識的朋友們，張姍姍、黃柏傑、林郁凱、李磬安、吳宗叡、李定宇、陳采蔚、曾衡之、黃柏翰等人。還有要感謝一直以來的好朋友的支持，王詩婷、顏鴻選、黃家玲、鄭年宏、陳致穎。

感謝 Bruce Lab 的所有人，徐灝德老師、王興麟學姊、玉秀、晏陞、佳穎、崇哲、怡蓉、小希、小杜、陳奕維、秦念祺、小班、陳承鴻、蔡元祿、劉思捷、袁宇威、蔡佳欣、殷瑀萱與吳俣。謝謝玉秀總是替大家處理帳務的事情，常常打擾你都覺得相當的不好意思。謝謝興麟學姊總是餵飽我們研究生飢腸轆轤的胃。謝謝崇哲於軟體上的教學與 RTK-GPS 的使用，還有怡蓉學姊總是可以解決我軟體上的問題。謝謝小希指導我光螢光定年的分析。謝謝陳奕維和秦念祺，在我剛進實驗室時給予我許多幫助與關懷。謝謝小班總是會維持實驗室寧靜的氣氛與出來主持公道！謝謝 CCH 在我剛進台大帶領我認識環境也認識了許多朋友，並且常常給予我研究上的指教。謝謝三兄弟出野外的幫助，謝謝蔡佳欣常常幫我檢查摘要和一起規劃 AGU 的行程，還有謝謝最厲害的學妹和總是吃不飽的學妹籌劃大家的生日。當然要謝謝最辛苦的老師，每次研究遇到問題的時候總是會立刻給予我們方向，也常常鼓勵我、激勵我、告訴我我的研究的重要之處，並且對於我未來人生的目標給予了方向。能進入這個實驗室，真的讓我 3 年的台大碩士生活過的相當的精采與快樂。

最後我要感謝我的家人，謝謝你們的支持，讓我選擇我想要的科系，還一路讀到碩士班畢業，謝謝你們。



## 摘要

龍門山斷層帶位於中國青藏高原與四川盆地之間，這個交界帶一直以來都被地質學家認為是構造活躍的區域，並且在近年來發生了兩起重大的地震。首先是 2008 年發生在龍門山斷層帶北段的汶川地震，此次的地震在地表上有大規模的破裂帶與錯移。五年後，發生在龍門山斷層帶南段的蘆山地震，卻沒有明顯的地表破裂。蘆山地震發生前，地質學家對這個區域的活動構造研究較少，所以到目前為止，蘆山地震究竟是由哪一條斷層所造成，還是有其爭議。

本研究利用構造地形學的方法，研究龍門山斷層帶南段河階之特性、年代與成因，來推測此地區的構造發育與其影響因素。首先藉由數值地形模型，調查蘆山地震區域的河階分布狀況，在天全河沿岸的天全及始陽兩個城市，發現有大規模階地群的分布。經由野外調查及測量之後發現，兩地的河階均僅有約 1-3 公尺厚的沉積層蓋在砂頁岩互層的底岩之上，沉積層中主要為與現今河道中大小及來源相似的礫石。透過利用 RTK-GPS 測量階地與河道之坡度，發現兩者的坡度相似。這些證據均顯示兩地的河階可能屬於被構造所抬升的底岩型河階。此外，RTK-GPS 的河階測量數據搭配 DEM 的分析，可以更有效判斷兩地的河階邊界與階面，結果顯示天全縣河階數約有 4 階，而始陽鎮則多達 11 階。本研究並利用天全縣河階的定年結果，計算 Terrace 1 形成後區域的下切速率約為介於 1-2 mm/year，這個速率相似於龍門山斷層北段汶川區域的構造活動速率，顯示龍門山斷層帶南北段近期的構造活動速率可能沒有太大的差異。此外由定年結果也發現近期天全縣構造速率變化有由慢轉快的趨勢，與前人青衣江河階之研究相似，因此可能表示著整個龍門山斷層帶南段近期的構造速率皆有由慢轉快的趨勢。

根據本研究的結果，顯示這個區域的構造活動對人類社會具有潛在的未來威脅，因此本研究成果將有助於該區域未來進一步的新構造研究，並且用於預防地震及相關地質災害，以保護該區域高達百萬人的生命及財產安全。

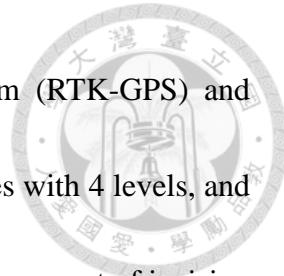
關鍵字：龍門山斷層帶、蘆山地震、天全河、河階。



## Abstract

The Longmenshan fault zone at the western edge of the Sichuan Basin has long been identified as an active tectonic belt. This has been clearly illustrated by the disastrous Wenchuan and Lushan earthquakes in the recent decade. The two earthquakes, however, have distinctive characters. In the north, the Wenchuan event occurred on major fault zones identified previously. But in the south, the Lushan event was not accompanied by surface ruptures. Before the Lushan event, there were not many active tectonic studies in this area, either. As a result, the seismogenic structure of the Lushan event is still under debate.

In order to further understand the neotectonic characteristics of the Lushan earthquake region, we analyzed fluvial terraces first by satellite images, in the hope that such geomorphic features would provide information of active structures of the area. Along the Tianquan River, river terraces are particularly well developed near two cities, Tianquan and Shiyang. After detailed field investigations, we found that underneath these terraces, early Tertiary bedrocks crop out below river sediments that are only 1-3 m thick. This indicates that the Tianquan River has incised into bedrocks. The slope of the terrace surfaces is similar to that of the present-day riverbed, and the river sediments in the terrace outcrops have similar grain size distribution as current riverbed sediments. Therefore, we suggest that the terraces along the Tianquan River were result of tectonic



uplift. Using the Real Time Kinematic-Global Positioning System (RTK-GPS) and Digital Elevation Model (DEM) results, we defined Tianquan terraces with 4 levels, and Shiyang terraces with 11 levels. With the ages of the terraces and the amount of incision, we obtained the incision rate of the Tianquan River. The incision rate of the Tianquan River is about 1-2 mm/year, very similar to the structural activity rate of the northern Longmenshan fault zone. We also found the structural activity rate in Tianquan area increased recently, and this trend is very similar to the results obtained from studies of Qingyi River terraces, in the southern region Longmenshan fault zone. Therefore, we speculated that the structures became more active recently in the entire southern Longmenshan fault zone.

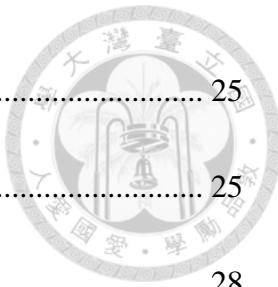
Based on our results, the tectonic activity poses potential threatening to this area. Therefore, we hope the results of this study would provide more information of neotectonic characteristics of the southwestern Sichuan Basin, as well as future earthquake hazards in this densely populated region.

**Key words:** Longmenshan fold-and-thrust belt, Lushan earthquake, Tianquan river, river terraces

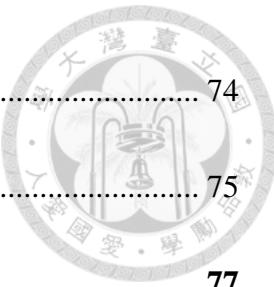


## 目錄

國立臺灣大學碩士學位論文口試委員會審定書 .....	I
誌謝 .....	II
摘要 .....	IV
Abstract .....	V
目錄 .....	VII
圖目錄 .....	X
表目錄 .....	XIV
第一章、緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
1.3 區域地質構造背景與地形形貌 .....	3
第二章、前人研究 .....	5
2.1 蘆山地震 .....	5
2.2 區域構造地形研究 .....	7
第三章、研究方法 .....	13
3.1 河階地形分析 .....	13
3.2 地形影像分析 .....	16
3.2.1 數值地形高程模型 .....	16



3.3 野外調查 .....	25
3.3.1 河階特徵 .....	25
3.3.2 RTK-GPS 測量 .....	28
3.4 定年分析 .....	32
3.4.1 光螢光定年分析(Optically Stimulated Luminescence Dating) .....	32
3.4.2 碳 14 定年分析(Carbon-14 Dating) .....	33
<b>第四章、研究成果 .....</b>	<b>35</b>
4.1 地形影像分析結果 .....	35
4.2 野外調查結果 .....	41
4.2.1 河階種類分析結果 .....	44
4.2.2 RTK-GPS 測量結果 .....	48
4.3 綜合分析 .....	61
4.4 定年結果 .....	64
4.4.1 光螢光定年結果 .....	65
4.4.2 碳 14 定年結果 .....	68
4.4.3 天全河下切速率計算結果 .....	69
<b>第五章、討論 .....</b>	<b>71</b>
5.1 天全縣及始陽鎮河階成因討論 .....	71
5.2 天全 A 斷層的活動影響 .....	72



5.3 天全河沿岸構造速率探討 .....	74
5.4 龍門山斷層帶構造抬升速率探討 .....	75
<b>第六章、結論 .....</b>	<b>77</b>
<b>參考文獻 .....</b>	<b>79</b>
<b>附錄 .....</b>	<b>85</b>
附錄一、天全縣及始陽鎮 RTK-GPS 測量點位 .....	85
附錄二、光螢光定年數據（天全縣 $\alpha$ 點） .....	117
附錄三、碳 14 定年數據（天全縣 $\beta$ 點） .....	119
附錄四、RTK-GPS 測量數據地形剖面圖 .....	120



## 圖目錄

圖 1.1.1 龍門山斷層帶，汶川地震及蘆山地震震央 .....	2
圖 1.3.1 蘆山區域地質圖 .....	3
圖 1.3.2 蘆山地震區域河流、斷層分布圖 .....	4
圖 2.1.1 汶川地震與蘆山地震主震和餘震分布位置圖 .....	6
圖 2.1.2 蘆山地震發震構造剖面模擬圖 .....	7
圖 2.2.1 青藏高原東緣的河川陡峭度指標 .....	8
圖 2.2.2 湟江及黑水河的坡度與陡峭度數值圖 .....	9
圖 2.2.3 天全河、青衣江及大渡河位置圖 .....	10
圖 2.2.4 大渡河河階分布圖 .....	11
圖 2.2.5 青衣江河階河拔高 .....	12
圖 3.1.1 研究區域衛星影像 .....	14
圖 3.1.2 研究方法流程圖。 .....	15
圖 3.2.1 DEM 高程套色圖 .....	18
圖 3.2.2 DEM 山體陰影模型 .....	19
圖 3.2.3 DEM 坡度模型 .....	20
圖 3.2.4 天全河水系圖 .....	21
圖 3.2.5 Flow accumulation 操作介面 .....	22
圖 3.2.6 Single output map algebra 操作介面 .....	23

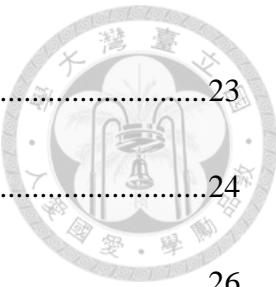


圖 3.2.7 Stream Order 操作介面 .....	23
圖 3.2.8 Stream to Feature 操作介面 .....	24
圖 3.3.1 河階類型型態 .....	26
圖 3.3.2 河階類型區分圖 .....	27
圖 3.3.3 RTK-GPS 測量原理示意圖 .....	29
圖 3.3.4 地面控制點基準站 .....	29
圖 3.3.5 RTK-GPS 手部控制器 .....	29
圖 3.3.6 RTK-GPS 野外測量情形 .....	29
圖 3.3.7 RTK-GPS 地面基準站與量測點位 .....	30
圖 3.3.8 量測河道點位模擬圖 .....	31
圖 3.3.9 河道高程量測實際圖 .....	31
圖 3.4.1 光螢光樣本定年前處理 .....	34
圖 4.1.1 坡度與天全河水系疊圖 .....	36
圖 4.1.2 天全縣河階分布圖（影像分析結果） .....	37
圖 4.1.3 天全縣河流流向與河階排列方向（影像分析結果） .....	38
圖 4.1.4 始陽鎮河階分布圖（影像分析結果） .....	40
圖 4.2.1 天全河及始陽鎮實景 .....	42
圖 4.2.2 始陽鎮 A 點古河道 .....	42
圖 4.2.3 始陽鎮 B 點古河道 .....	42

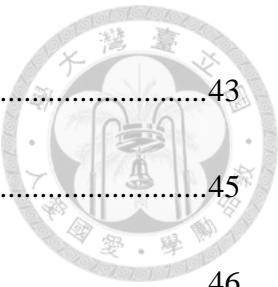
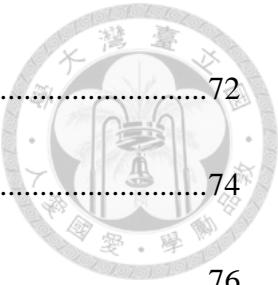


圖 4.2.4 天全縣斷層構造，C 點 .....	43
圖 4.2.5 天全縣河階底岩出露處 .....	45
圖 4.2.6 始陽鎮河階底岩出露處 .....	46
圖 4.2.7 天全河河道礫石 .....	47
圖 4.2.8 天全河河道坡度圖 .....	48
圖 4.2.9 天全縣 RTK-GPS 測量階面剖面及河道量測點分布圖 .....	50
圖 4.2.10 天全縣 a-f 地形剖面圖 .....	51
圖 4.2.11 始陽鎮 RTK-GPS 測量剖面及河道量測點分布圖 .....	55
圖 4.2.12 始陽鎮 g-k、k 1、l、m 及 m 1 地形剖面圖 .....	57
圖 4.2.13 天全縣及始陽鎮河道與階面坡度剖面比較圖 .....	61
圖 4.3.1 修正後天全縣河階地形分布圖 .....	62
圖 4.3.2 修正後始陽鎮河階地形分布圖 .....	63
圖 4.4.1 天全縣及始陽鎮野外調查觀測點與定年樣本採樣點位置 .....	64
圖 4.4.2 天全縣光螢光定年採樣點 .....	65
圖 4.4.3 光螢光定年樣本及採樣鐵管 .....	66
圖 4.4.4 年劑量測量砂樣本 .....	66
圖 4.4.5 始陽鎮光螢光定年採樣點 .....	66
圖 4.4.6 天全縣碳 14 定年採樣點 .....	68
圖 4.4.7 河川下切量示意圖 .....	69



- 圖 5.2.1 階崖高差示意圖 ..... 72
- 圖 5.2.2 天全縣河道坡度修改示意圖 ..... 74
- 圖 5.4.1 龍門山斷層帶前人研究位置對照圖 ..... 76



## 表目錄

表 1.1 汶川及蘆山地震震央位置及地震規模.....	1
表 2.1 大渡河各河段河階地河拔高度 .....	11
表 4.1 天全縣各階河階河拔高（影像分析結果）.....	37
表 4.2 始陽鎮各階河階河拔高（影像分析結果） .....	39
表 4.3 天全縣各階河階河拔高（RTK-GPS 測量結果） .....	50
表 4.4 始陽鎮各階河階河拔高（RTK-GPS 測量結果） .....	54
表 4.5 天全縣 $\alpha$ 點光螢光定年結果 .....	67
表 4.6 天全河下切速率範圍.....	70
表 5.1 天全縣及始陽鎮兩地河道坡度與河階坡度 .....	73
表 5.2 天全縣各河階形成年代，僅考慮 Terrace 1 的定年結果，其餘河階形成年代 為回推所得 .....	75
表 5.3 龍門山斷層帶各區構造抬升速率 .....	76



# 第一章、緒論

## 1.1 研究動機

龍門山斷層帶位於中國青藏高原與四川盆地之間，區域內因為有許多的活動構造的分布，長久以來都被認為是地質相對不穩定的區域(Burchfiel et al., 1995)，且常有規模大於 Ms 7.0 的地震發生，如 2008 年發生在龍門山斷層帶北段，Ms 8.0 的汶川地震，及 5 年後，距離上次汶川地震震央 100 多公里處，發生在龍門山斷層帶南段 Ms 7.0 的蘆山地震(表 1.1)。兩次地震雖然規模及震央相近，且都發生在同一個活動構造帶上（圖 1.1.1），但兩者所產生的地表特徵不甚相同。北段的汶川地震區域有大規模的地表破裂、變形及災害，也因為這些因素，在汶川地震的研究上可以透過地表同震變形量的測量與地表破裂方式，判斷此次引發地震的斷層，甚至可以透過斷層露頭的測量來推測地震發生的機制(Liu-Zeng et al., 2009; 張中白, 2010; 王煥等, 2010; 李海兵等, 2010; 譚錫斌等, 2013)。反之，南段的蘆山地震區域卻幾乎沒有任何的地表變形及破裂，因此使得學者無法有效推斷出蘆山地震其可能發生的機制，及其是由哪條斷層所引發的，再加上在地震發生前，此區域的新構造研究原本就較少，故基於以上因素，目前對於南段區域性的活動構造分布與特性，依舊還存在許多可以討論與研究的空間。

表 1.1、汶川及蘆山地震震央位置及地震規模（中國地震台網中心發佈資料）。

地震名稱	時間	震央	地震規模 (Ms)
汶川地震 ( Wenchuan Earthquake )	2008/05/12	四川省映秀鎮 ( 31.10°N, 103.28°E )	8.0
蘆山地震 ( Lushan Earthquake )	2013/04/20	四川省龍門鄉 ( 30.3°N, 103.0°E )	7.0

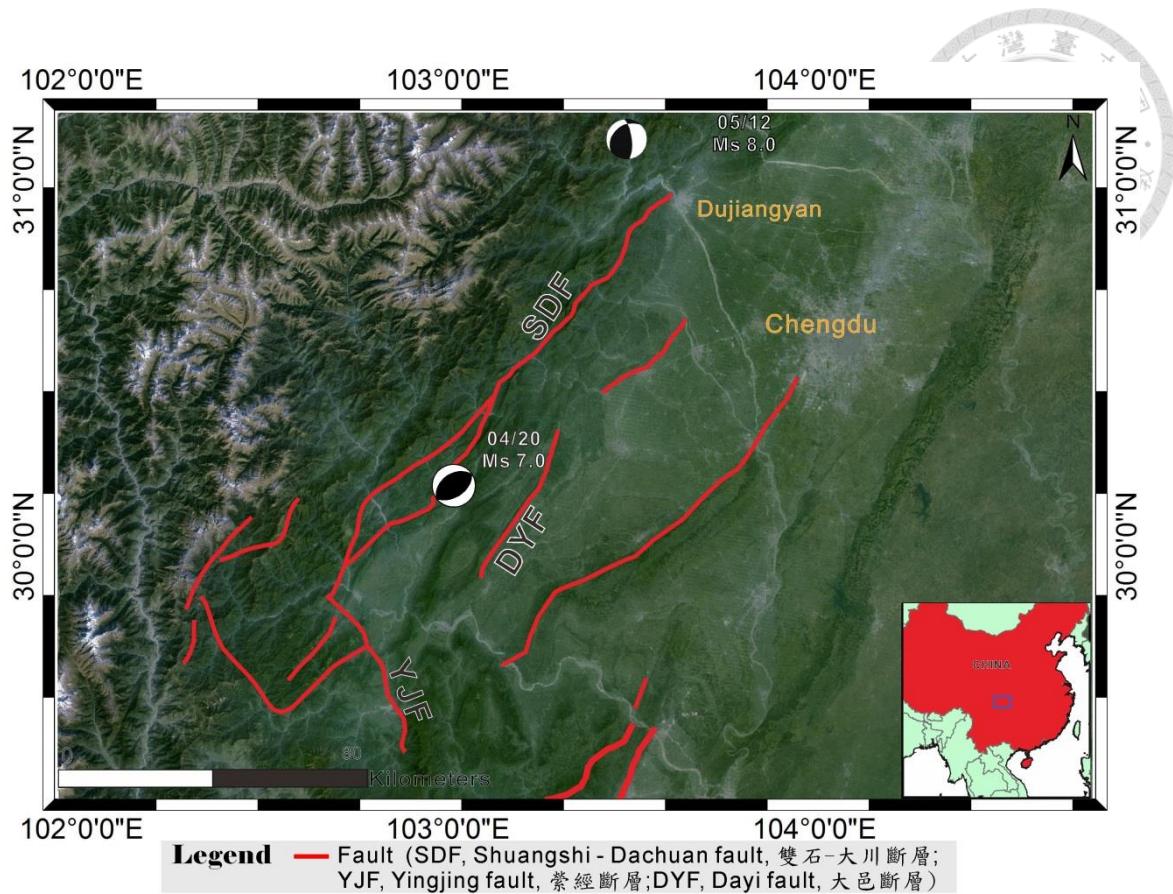


圖 1.1.1、龍門山斷層帶，汶川地震及蘆山地震震央(底圖來源：Google Earth)。

## 1.2 研究目的

對於第四紀造山帶的研究來說，研究河階的特性與變形程度，可以推測區域的構造活動機制（Burbank and Anderson, 2012; Lavé and Avouac, 2000; Ota et al., 2009）。然而，龍門山斷層帶南段區域在蘆山地震發生之前，有關於新構造特性相關的研究較少，也幾乎沒有任何河階特性方面的相關記錄，所以本研究希望從構造地型學的角度探討，使用衛星影像分析蘆山地震區域的河階分布，及該區域是否有其它構造活動造成的地形特徵，並且在影像模糊區域進行實地的野外測量調查，分析河階之特性、年代與成因，來推測此地區的構造發育與其影響因素，藉此了解龍門山斷層帶南段的新構造特性並探討其南北段的差異，在這個人口聚集且經常發生地震的區域，可以更有效的預防地震所造成的災害。



### 1.3 區域地質構造背景與地形形貌

蘆山地震區域位於四川盆地的西南側，屬於龍門山斷層帶南段，對於青藏高原東緣新生代造山帶的形成，目前地質學家主要有兩派不同的學說。其中之一的學說，指出龍門山斷層帶的抬升機制為地殼縮短與逆衝斷層帶的活動(Hubbard and Shaw, 2009)；另一種學說，指出可能是青藏高原的下部地殼流體(lower crust flow)碰撞到地殼相對堅硬與穩定的四川盆地，阻隔地殼流體持續向東的移動，因此青藏高原的地殼流體向上湧升造成地形的抬升(Royden et al., 1997, 2008)。不論是以上哪一種學說的成因，都使得這個新生代造山帶相對不穩定，構造及地形極為複雜。此外，因為蘆山地震區域位於造山帶上，所以構造與地層單位分布上比較複雜，區域上構造的分布，主要有南北向的雙石一大川斷層和東西向的榮經斷層等(圖 1.3.2)。至於地層單位則主要可以區分為東西兩側(圖 1.3.1)，位於龍門山斷層帶西側的上盤區域地層較複雜，且年代較老，從元古宇到中生界中段都有，位於東側的下盤地層較年輕，大多屬於白堊紀晚期形成的砂岩，如天全縣，還有一些為始新統的砂岩層，如始陽鎮(Cui et al., 2014)。

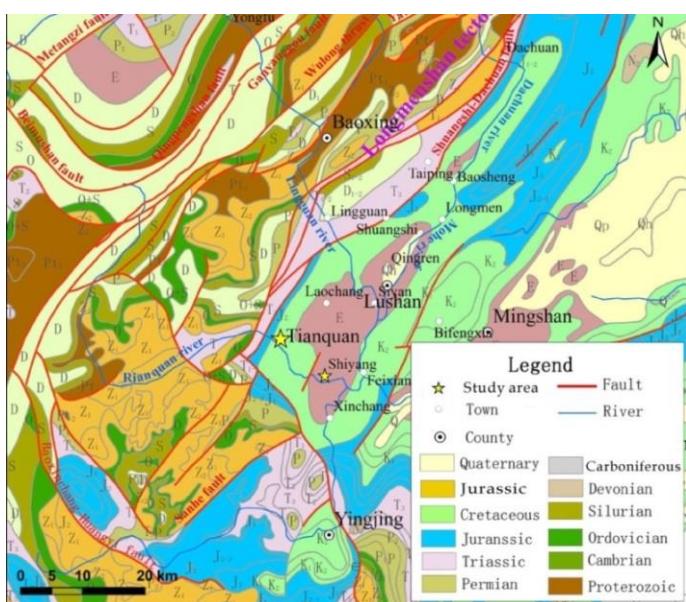


圖 1.3.1、蘆山區域地質圖（修改自 Cui et al., 2014）。星號地區為研究主要城市，天全縣 (Tianquan) 及始陽鎮 (Shiyang)。



蘆山地震區域包含中國四川省的寶興縣、蘆山縣及天全縣等 3 區，從地形形貌上來看，此區域地形上因為受到龍門山逆衝斷層帶的影響，西高東低，多為山地丘陵，區域內的主要城市與聚落分布在由主流的青衣江及支流的榮經河與天全河所流經形成的河階地上（圖 1.3.2），是很典型的山多平地少的造山帶地區地形（Liu et al., 2015）。但這個區域的實際河階分布狀況與形貌，除了 Tang et al. (2009) 與 Liu et al. (2015) 對青衣江幾處城鎮的河階有初步研究外，還有許多河階尚未被確認、研究與分析探討。

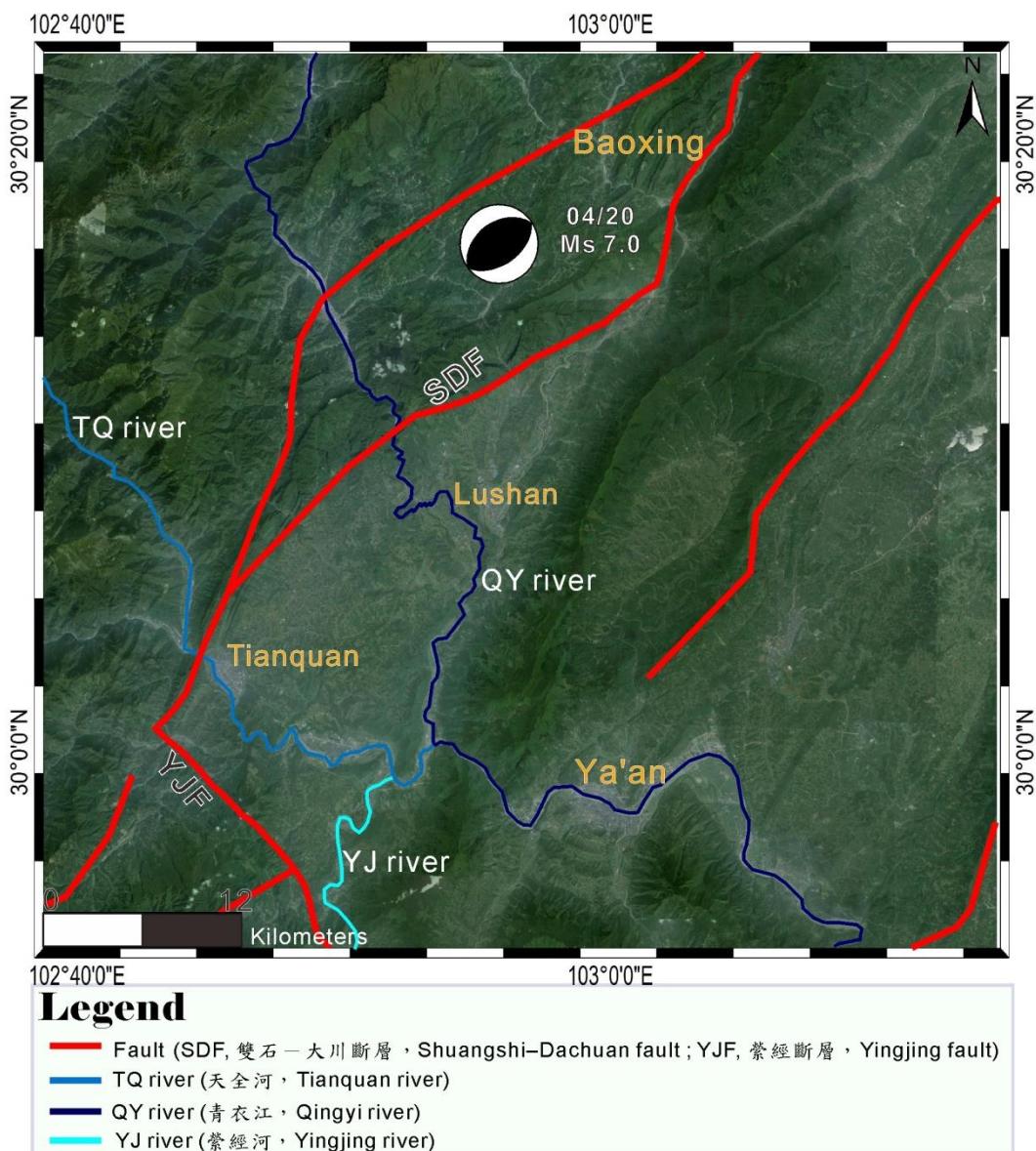


圖 1.3.2、蘆山地震區域河流、斷層分布圖(底圖來源：Google Earth)。



## 第二章、前人研究

### 2.1 蘆山地震

龍門山斷層帶的活動開始於中生代，於燕山期（200 Ma–135 Ma）有活動的紀錄，新生代時，斷層帶活動的機制主要是受到印度板塊及歐亞板塊碰撞所致（陳社發等，1994）。晚第四紀以來，斷層帶南段區域的活動性，主要受到青藏高原向東擴張及西南側鮮水河斷層帶的左移運動的影響，因而出現許多走向為東北向的斷層（圖 2.1.1），造成這個區域在晚第四紀時，常有地震發生（Burchfiel et al., 2008）。歷史地震紀錄中，龍門山斷層帶南段大約有 2 次規模可能大於 Ms 6.0 以上地震，分別是 1327 年天全縣，推測規模約為 Ms 7.0，及 1941 年瀘定一天全一帶，推測規模 Ms 6.0 的兩次地震（孫成民，2010）。在現代觀測紀錄中，也有兩次規模大於 Ms 6.0 以上的地震，分別是 1970 年大邑縣 Ms 6.2（孫成民，2010），以及最近在蘆山區域造成災情的 Ms 7.0 蘆山地震。

2013 年 4 月 20 日早上 8 點 02 分，龍門山斷層帶南段發生規模 Ms 7.0 的地震，造成約 200 人死亡，以及大量的房屋倒塌。根據中國地震台網中心的分析及公布的消息，這次的地震震央為北緯  $30.3^{\circ}$ 、東經  $103.0^{\circ}$ ，震源深度 13 km，鄰近雙石一大川斷層，約在四川省蘆山縣龍門鄉附近（圖 2.1.1）。雖然這次的蘆山地震規模達 Mw 6.6（數據來源：美國地質調查局），且有造成房屋倒塌，但地表上卻沒有任何明顯的破裂及變形，然而五年前，位於龍門山斷層帶北段，規模 Mw 7.9 的汶川地震（數據來源：美國地質調查局），卻有著超過一百公里長的地表破裂帶。和汶川地震相比，蘆山地震沒有地表破裂的現象顯得怪異，因為根據出現地表破裂的地震統計，當規模大於 Mw 6.5 以上，地表可能就會有數公里以上的破裂（Yeats et al., 1997）。也因為蘆山地震並沒有明顯的地表破裂，所以這次地震究竟是由哪條斷層所引發的，還有待商榷。



根據徐錫偉等（2013）的研究來看，確實整個蘆山地震區域都沒有發現明顯的地表破裂帶，只有在較為陡峭的地區發現一些和斷層走向一致的次生張裂。再來，從主震和餘震的時空分布，可以發現蘆山地震跟汶川地震的發震機制可能大不相同，因為汶川地震破裂有由西南往東北發展的趨勢，但蘆山地震卻沒有這種現象（圖 2.1.1）。此外，將蘆山地震餘震按照深度排序，發現大部分的餘震都是聚集在地表以下 9–19 km 的範圍，且餘震深度的分布形貌為面狀，型態似於 1983 年由盲斷層引發的美國科林加地震（Stein et al., 1984），再加上 9 km 以上深度幾乎沒有餘震的分布，這些證據都顯示出蘆山地震可能屬於盲斷層型地震（圖 2.1.2）。因此根據以上觀察推論，龍門山斷層帶南段的蘆山地震與北段的汶川地震應該屬於兩次獨立的地震事件。

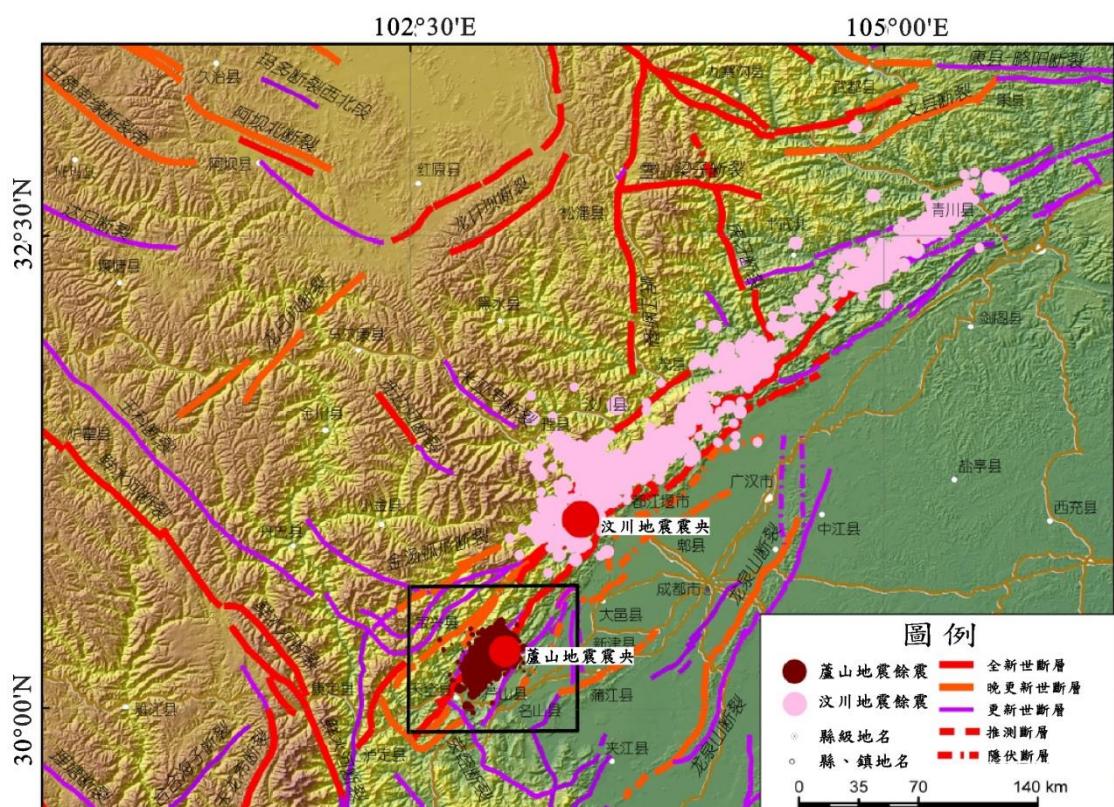


圖 2.1.1、汶川地震與蘆山地震主震和餘震分布位置圖（修改自徐錫偉等，2013）。

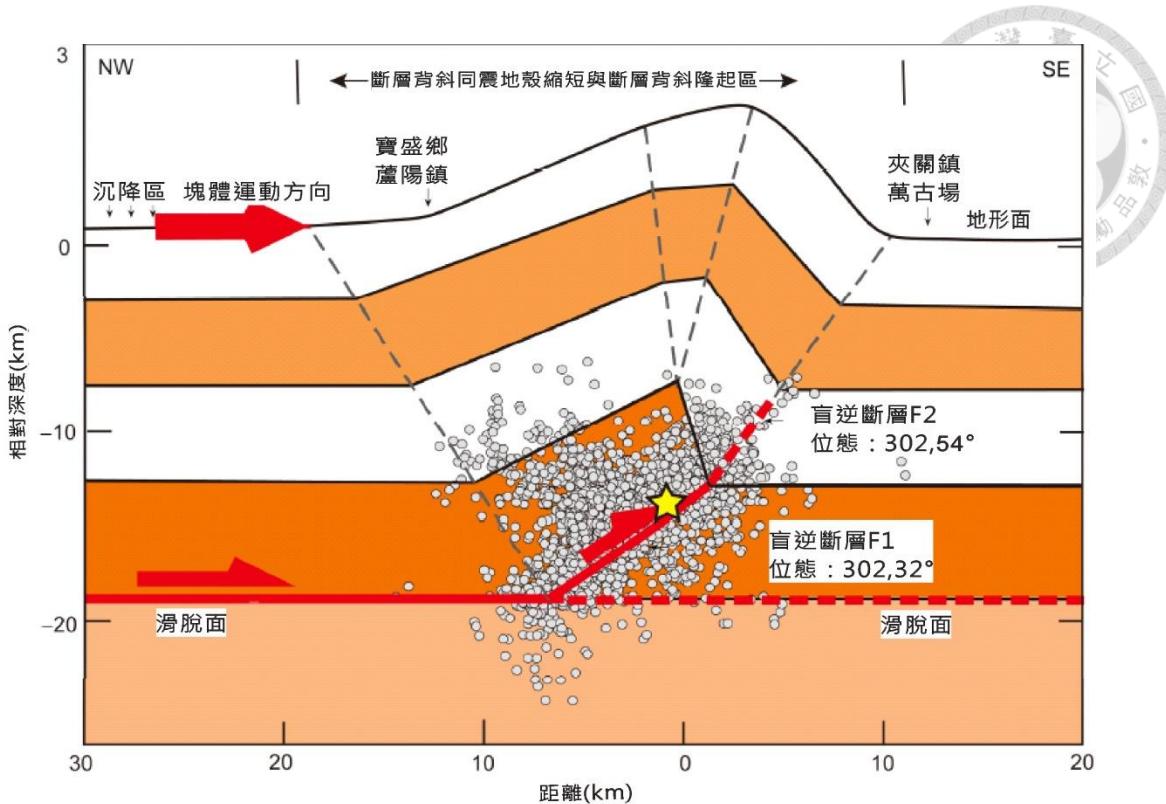


圖 2.1.2、蘆山地震發震構造剖面模擬圖。圖中星號為蘆山地震震源，可以看到在震源之上的餘震，主要分布在傾角  $54^\circ$  的面上，因此推測發生主震的盲斷層，可能由於傾角過大，不利於逆斷層的錯動，使得本次地震未能造成地表破裂的原因（修改自徐錫偉等，2013）。

## 2.2 區域構造地形研究

雖然目前鮮少有蘆山地震區域構造地形方面的研究，但在整個龍門山斷層帶區域，已經有相當多利用構造地形來研究構造活動與特性的前例。如 Kirby and Ouimet (2011) 使用河川陡峭度指標 (river steepness index)，來探討龍門山與四川盆地交界帶的活動特性 (圖 2.2.1)。從河川陡峭度指標來看，不同的造山帶有不一樣的數值，並且與區域的平均侵蝕速率具有正相關性。假設區域內的侵蝕與抬升達到平衡，就可以推得河川陡峭度指標與抬升速率應該呈現正相關。從結果上來看，龍門山區域的河川陡峭度顯示出，當河流位於斷層上盤時，都具有相當高的陡峭度數值，特別是在汶川地震區域的黑水河有極高的陡峭度數值。黑水河的高



陡峭度也可以從河道剖面得到驗證，在高數值的區域，河川坡度也會改變，呈現不均一的現象，剖面也透露出黑水河流過抬升增快的汶川地震區（圖 2.2.2）。這顯示出，在龍門山斷層帶與四川盆地交界邊緣處，由於受到構造作用影響，具有較高的抬升速率。

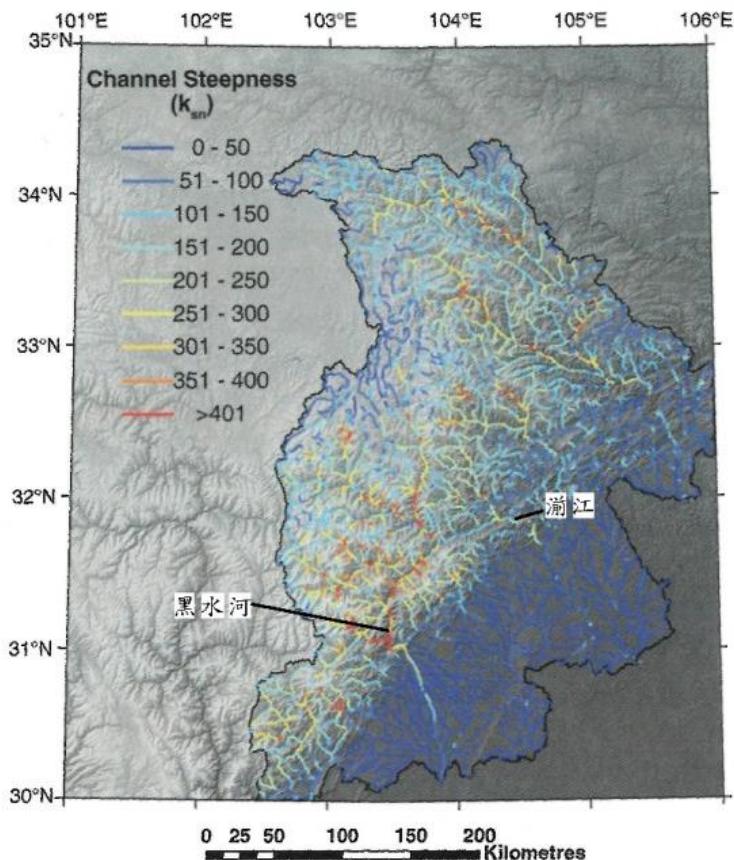


圖 2.2.1、青藏高原東緣的河川陡峭度指標（修改自 Kirby and Ouimet, 2011）。

圖中顏色偏向紅色系的河段代表有著較高的陡峭度，反之偏向藍色系的河段代表低陡峭度。其次，可以從研究結果圖中發現，高低陡峭度邊界大約也是龍門山與四川盆地的交界，代表龍門山斷層帶上盤區域的河流有很高的陡峭度，同時也表示位於上盤的區域河流有較高侵蝕率及抬升率。最後，可以看到雖然湔江與黑水河皆為流過龍門山斷層帶的河流，黑水河流經汶川地震區域，湔江則位於更北邊的北川區域，但兩者的河段的陡峭度數值卻不相同，顯示出龍門山斷層帶各段有著不同的抬升速率值。

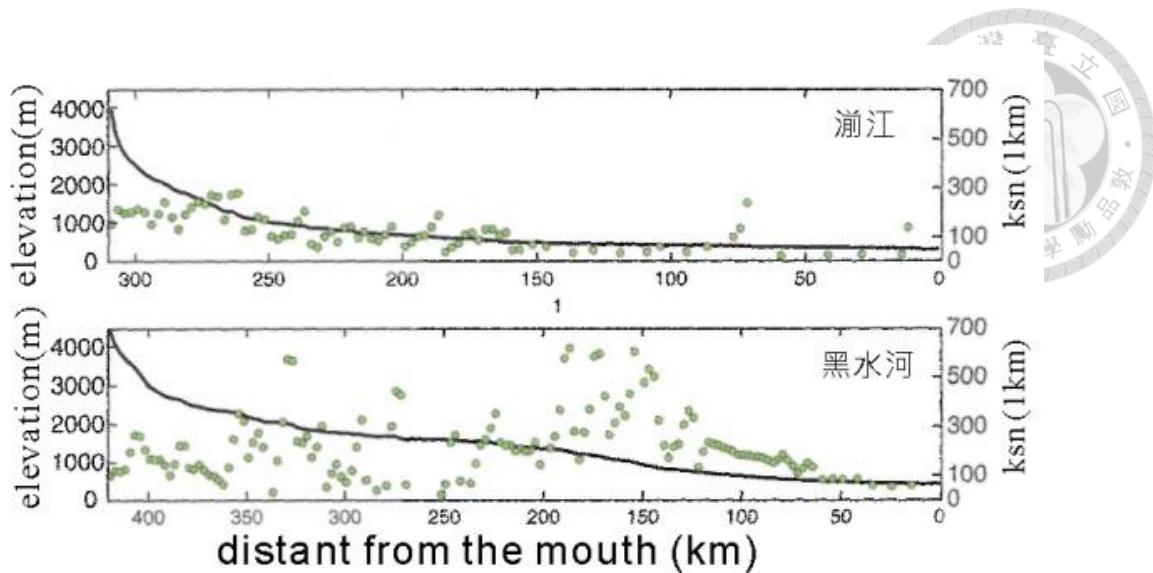


圖 2.2.2、渝江及黑水河的坡度與陡峭度數值圖（修改自 Kirby and Ouimet, 2011）。

X 軸為距離龍門山東緣邊界，綠圓點為河川陡峭度指標。渝江和黑水河在 200—150 公里處，陡峭度數值分布有顯著的不同，黑水河有相當高的陡峭度，渝江則否，根據河川陡峭度指標的理論，黑水河在此河段應該有較高的抬升速率，造成河道的不均夷現象。

另一方面，張世民等（2010）針對大渡河河階及 Liu et al. (2015) 對青衣江河階的研究也有類似的結果（圖 2.2.3）。大渡河流經四川省南部，青衣江流經龍門山斷層帶南段，兩者河谷多屬於峽谷的河流，但從上游到下游，兩河的沿岸卻存在許多寬廣的河階群分布。通常在峽谷中不易出現廣泛分布的河階地形，假使出現寬廣河階群的話，可能代表河流系統受到構造抬升影響而曾經出現變化。研究結果指出，大渡河沿岸的河階大多都是受到龍門山斷層帶抬升形成，並且比較大渡河上、中、下游 T1 的河階海拔高度，發現越接近活動斷層帶的河階，其海拔高度越高，表示河階受到構造活動影響越多，所造成的抬升量也更多（圖 2.2.4），甚至從結果圖表中指示出目前青藏高原東緣的主要構造運動，可能已經延伸到龍門山斷層帶最東緣的馬邊斷層（表 2.1）。類似的結果也可以從青衣江的河階研究看到，在青衣江中上游的思延鄉與靈關鎮，都有面積較大的河階面與階數較多的河階，且從河階的縱剖面來看，可以發現在始陽斷層的上盤河階海拔高度比相同位



階的河階還高。這樣的結果顯示出青衣江河階的抬升量，以始陽斷層上盤區域最大（圖 2.2.5）。更進一步來看，從大渡河及青衣江河階的研究可以發現，這 2 條河流有許多相似之處：

1. 皆有流經龍門山斷層帶南段區域，且流向幾乎垂直於斷層帶走向。
2. 兩條河流都發育峽谷地形。
3. 沿岸都有相當廣闊的河階群分布。
4. 位在斷層上盤的河階抬升量最大。

根據前人對於青衣江與大渡河的河階研究結果，本研究懷疑另一條同樣也是流經龍門山斷層帶南段區域，且流向幾乎垂直於斷層帶走向的天全河，可能也會有類似結果。基於以上研究成果的推論，加上目前天全河沿岸尚未有前人的相關研究，因而促使本研究集中針對天全河沿岸的河階展開研究。最後，從前人的結果中可以得知，不論是從河川陡峭度指標的結果，又或者是從大渡河及青衣江的河階研究結果，都指出位於青藏高原東緣的龍門山斷層帶，有著很高的抬升速率。

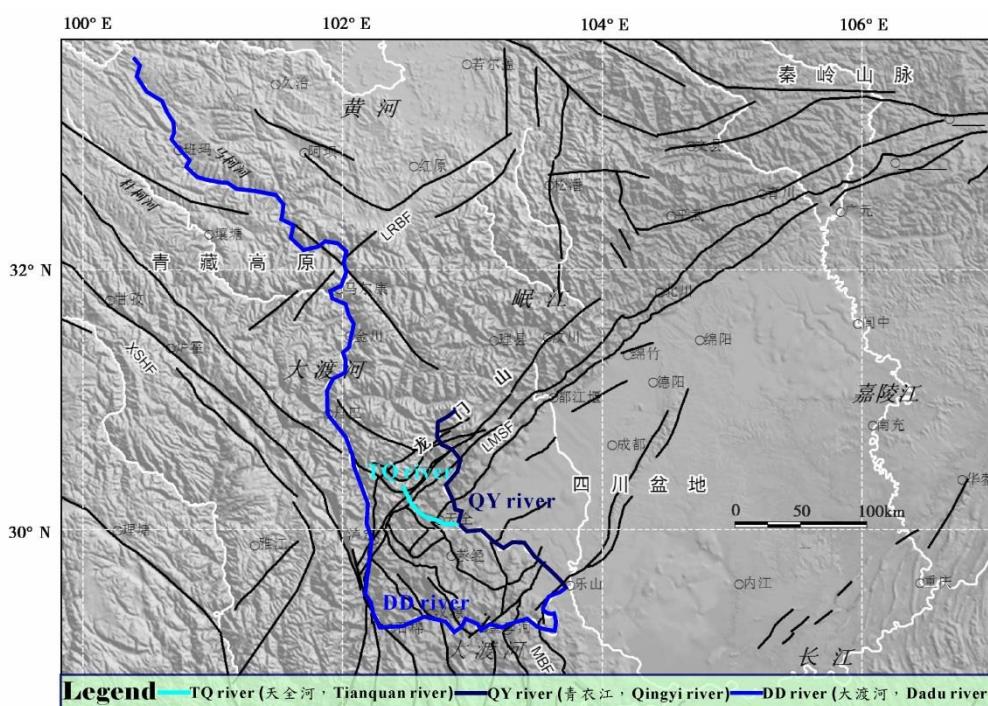


圖 2.2.3、天全河、青衣江及大渡河位置圖（修改自張世民等，2010）。

表 2.1、大渡河各河段河階地河拔高度，單位：M（整理自張世民等，2010）。

大渡河河階 龍門山斷層帶以西 龍門山斷層帶 龍門山斷層帶最東緣

T1 河階河拔高	3-7	8-13	14-18
T2 河階河拔高	15-25	30-40	32-48
T3 河階河拔高	47-65	75-120	91-124
T4 河階河拔高	104-140	181-210	140-185
T5 河階河拔高	220-220	240-270	230-250
T6 河階河拔高	260-270	340-360	380-390

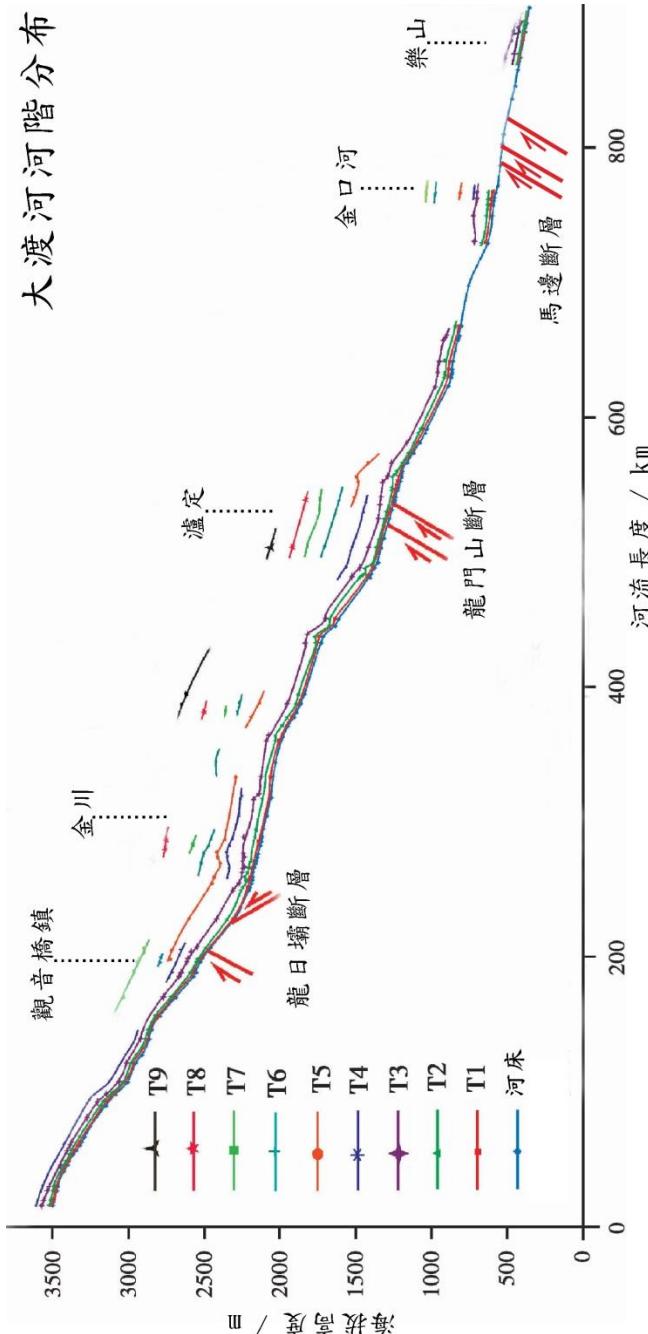


圖 2.2.4、大渡河河階分布圖（修改自張世民等，2010）。

本圖為大渡河從上游龍門山斷層以西的觀音橋鎮、中游流經龍門山斷層帶的瀘定，到下游的龍門山斷層帶最東緣的金口河口沿岸河階分布圖。大渡河的河階明顯受到馬邊斷層、龍門山斷層及龍日壩斷層所控制，並且從河階的坡度與海拔高度可以看出，中游瀘定區域的河階抬升量，高於上下游兩地，所以可以合理推測，龍門山斷層帶所造成的抬升量可能也比較多。

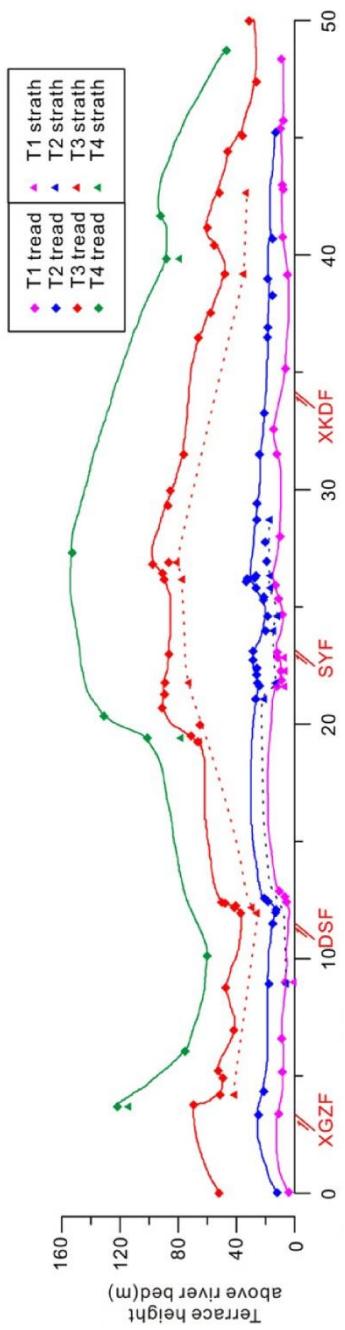


圖 2.2.5、青衣江河階海拔高 (Liu et al., 2015)。(XGZF, 小關子斷層；DSF, 雙十一大川斷層；SYF, 始陽斷層；XKDF, 新開店斷層)。此圖分別有河階面海拔高與底岩高度，從圖中可以看到始陽斷層上盤附近的河階面與底岩，高度都比其他相同階位的河階來得高，可見在青衣江河段，始陽斷層活動所造成的抬升量較其他斷層多。



## 第三章、研究方法

### 3.1 河階地形分析

構造地形學之研究經常利用河階地形探討研究區域內的活動構造特性。在許多造山帶的研究中，常使用河階在河流縱剖面上的分布來討論構造活動所造成的形變（Burbank and Anderson, 2012; Chan et al., 2007; Chen et al., 2007; Lavé and Avouac, 2000; Ota et al., 2009; Peters and van Balen, 2007; Simoes et al., 2007; Vassallo et al., 2007）。除此之外，從河階的類型、高度、坡度、階數及形成年代，也可以重建區域的活動構造模型。因此本研究著重在龍門山南段區域河階的研究，以釐清南段的活動構造特性。

到目前為止，蘆山地震區域的河階地形形貌與其分布範圍尚未有詳細的紀錄資料與研究，因此本研究首先使用 Google Earth 所提供的衛星影像，觀察區域的地形與河流，並紀錄其形貌及構造特徵，利用影像分析結果，確認未來區域內重點研究區塊與方向。從 Google Earth 的影像上，龍門山斷層帶南段的蘆山地震區域主要有 3 條河流（圖 3.1.1, A），分別是由西向東轉為向南流的青衣江、由南向北流的紫經河及由西向東流的天全河。3 條河沿岸的河階階數一般並不太多，且形貌細長，但是在天全河峽谷中的天全縣及始陽鎮兩地，地貌外形形成寬廣的盆地狀（圖 3.1.1, B），加上盆地的兩側都有高山峽谷，本研究最初懷疑天全縣及始陽鎮兩地的平坦地貌，其成因有可能是堰塞湖填滿而後下切所形成的河階地形，但是另一方面，也不無可能是受到區域構造活動而形成的河階群。若是如此，則兩地地形形貌的形成原因都有可能和龍門山斷層帶南段的活動有所關連。所以本研究在 Google Earth 影像分析後，將研究的方向專注於探討天全河沿岸的天全縣及始陽鎮兩地的河階成因。

由於 Google Earth 影像解析度不足，無法有效判斷天全縣及始陽鎮的河階形貌，



所以本研究分別透過室內分析高解析度的數值地形模型，搭配野外綜合調查分析、RTK-GPS 測量及河階定年等方式，來釐清兩城市的河階群成因及區域的活動構造特性，本研究流程如圖 3.1.2。

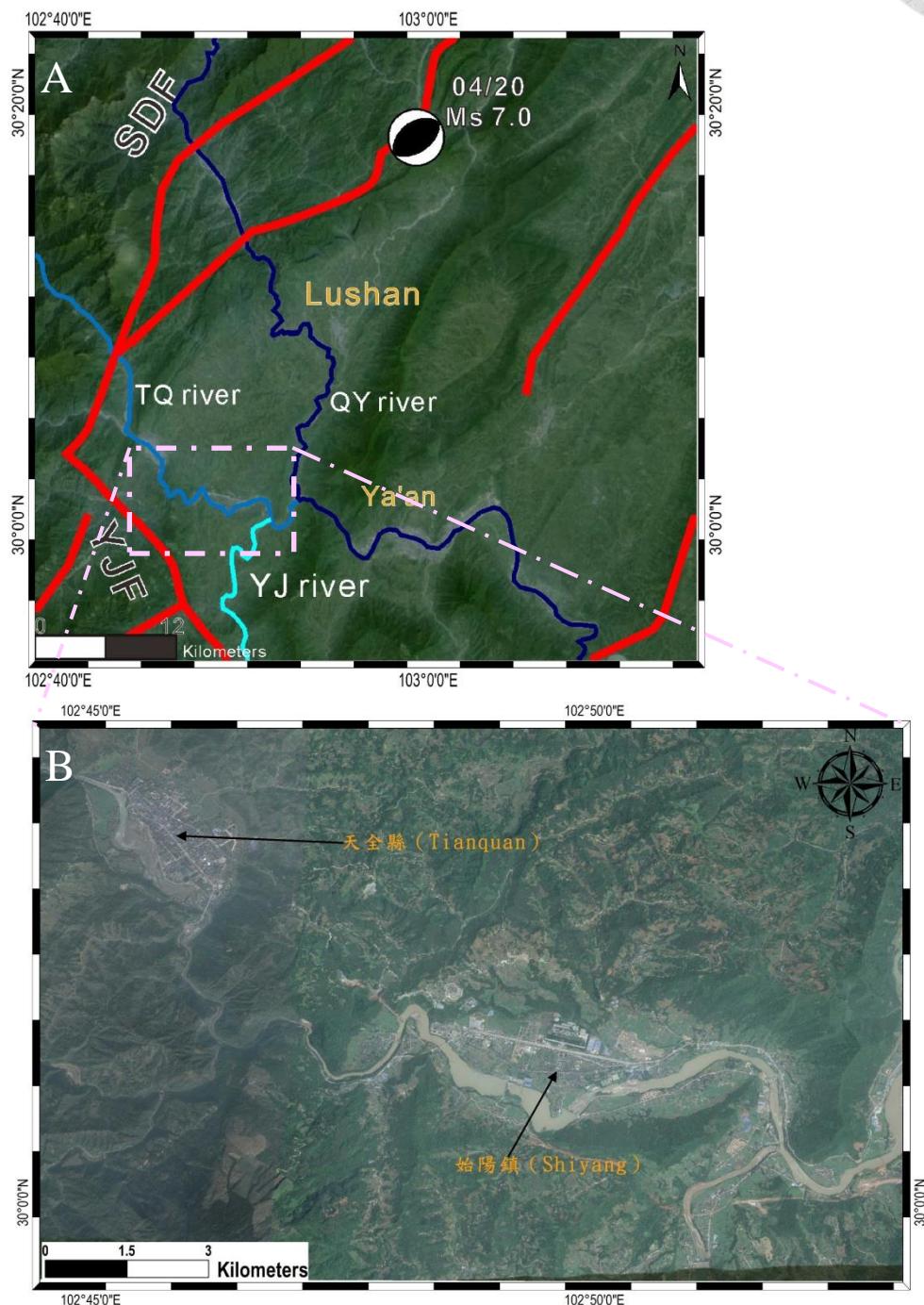


圖 3.1.1、研究區域衛星影像。A. 蘆山地震區域河流及斷層分布圖，B.天全河沿岸 Google Earth 影像。從衛星影像上，在整個蘆山地震區域裡（A 圖），只有在天全河沿岸天全縣及始陽鎮兩地地貌外型呈現寬廣的盆地形狀。

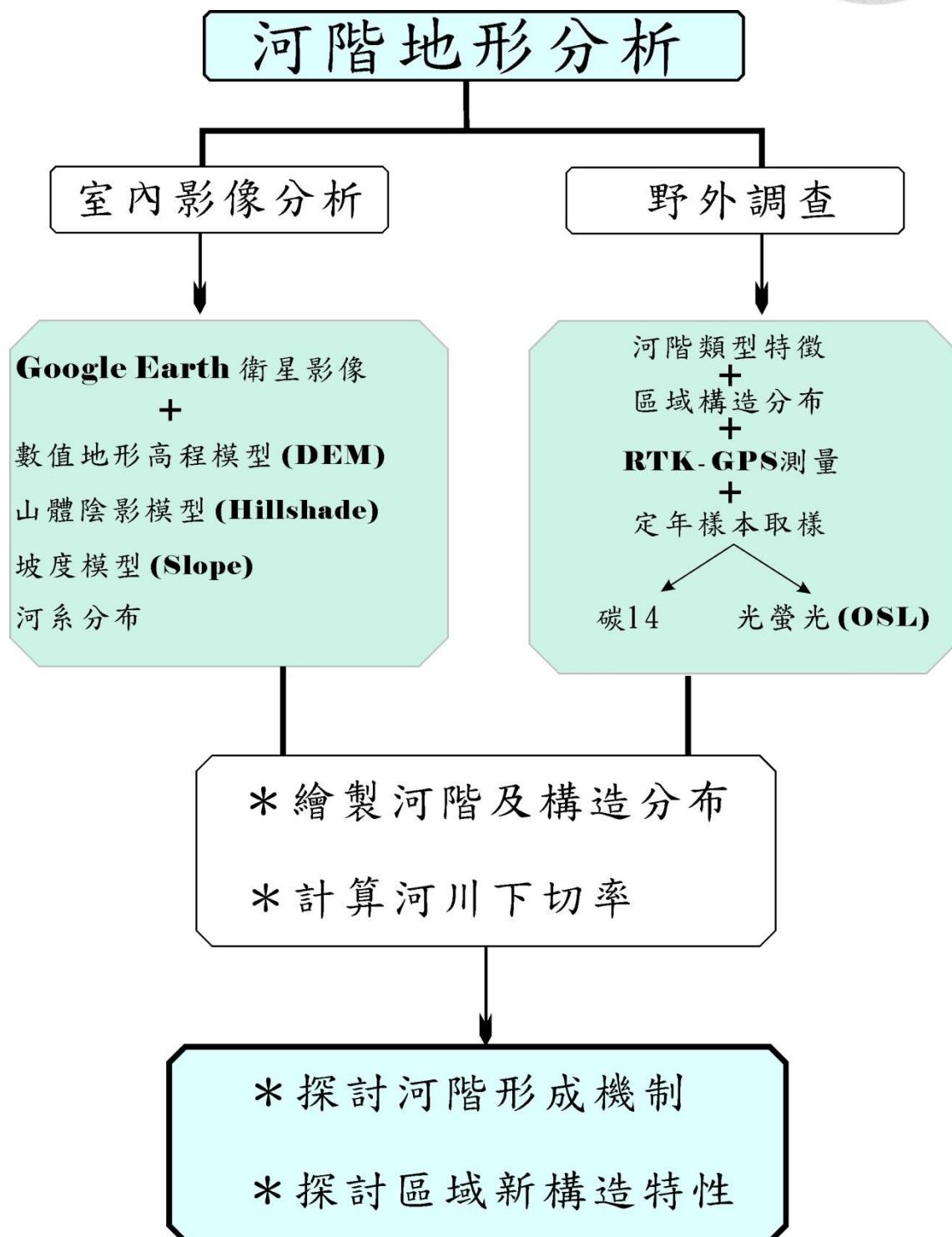


圖 3.1.2、研究方法流程圖。



## 3.2 地形影像分析

在現地野外調查前，室內的影像分析與處理可以快速地了解當地的地地形貌及構造分布範圍，並且預先規劃野外需要觀察的重點項目與選定合適的量測方式。本研究在地形影像分析上，主要包含 Google Earth 影像及 ALOS 5 m 的數值地形高程模型（Digital Elevation Model, DEM）兩部分。以本研究所取得的研究區域影像來說，前者影像取得容易，但解析度較差，適合研究區域大範圍的地地形貌初探；後者影像取得較為困難且昂貴，但解析度較高，適合分析重點研究區域的地地形貌、構造特性及分布。

### 3.2.1 數值地形高程模型

數值地形高程模型( DEM )是一種以二維矩陣方式儲存高程數據的資料格式，並利用矩陣內的高程數值來表現地形的一種方法。本研究使用解析度 5 m 的 DEM，是日本 NTT Data 公司利用 2006 年發射至太空的太陽同步軌道衛星 ALOS (Advanced Land Observing Satellite) 所拍攝資料所製作的地形模型。目前 ALOS 提供的影像時間區間為 2006-2011 年。

雖然 ALOS 的 5 m DEM 解析度較高，相對於 Google Earth 影像更有利於地形貌的判斷，但本研究取得的影像，部分區域的雜訊較高導致較難判讀。因此本研究利用 Google Earth 影像輔佐，共同分析影像模糊區域，減少因為城市、人工建物及水體所造成的雜訊影響，有助於避免因為高程雜訊而誤判河階之分布與邊界。

本研究從 NTT Data 公司取得的 5 m DEM 範圍為東經  $102^{\circ}45'00''$  至  $102^{\circ}52'30''$ ；北緯  $29^{\circ}59'30''$  至  $30^{\circ}05'00''$ ，由西向東的範圍大致是天全縣府到飛仙關鎮。本研究使用 ARC-GIS 軟體分析及處理數值地形高程模型，該軟體於本研究中主要使用的功能為高程分組配色、山體陰影模型（Hillshade）、坡度模型（Slope）及水系分析等功能，分析方法順序如下：



1. 高程分組配色：使用 ARC-GIS 軟體依序先將 DEM 先進行高程上的配色與區分，屬於同一個位階的階地面會有相似的高程數值，可初步將相似高程區域給予相同的配色並做分類（圖 3.2.1）。
2. 山體陰影模型：利用軟體模擬太陽光以不同角度照射物體所產生的陰影，利用陰影來判別階地的邊界。其判定原理為，如果屬於不同高程的階地，會在交界處產生陰影，反之較為平坦的地形會因為反射大多的太陽光而沒有陰影（圖 3.2.2）。
3. 坡度模型：利用程式計算高程間的坡度，求得坡度模型。由於不同位階河階交界處的階崖為高程變化較快速的區域，分析後會有較高的坡度數值，反之高程變化較為平緩的河階面，分析後則有較低的坡度數值（圖 3.2.3），根據兩者之間的差異，可以有效的區分出不同的河階階面及其邊界。
4. 水系分析：由於兩岸河階的排列方式，通常會平行現今主要河流的流向，因此繪製出來的河階若未依循此規則的話，則需要思考其河階分布原因是否有受到其它因素影響，所以判定河流分布及流向對於河階分析來說，有其必要性。本研究主要是使用 ARC-GIS 軟體內 ArcInfo 內建之水系生產功能，分析及繪製研究區域內的水系。ArcInfo 為 Esri 公司所開發之 GIS 軟體，可以用於分析及建構各種地理資訊，其中專門用來生產河流水系的功能為 Hydrology tools。Hydrology tools 採用單流向的 D8 法或稱八流向法生產水系，其過程主要包含 4 個步驟：窪地填充（Fill）、流向分析（Flow Direction）、匯流分析（Flow Accumulation）與流域特徵提取（Single Output Map Algebra），最後將研究區域 DEM 經由 D8 法所生產的水系，加上河流級數（Stream order）指令排除地表漫流後，即為本研究使用水系（圖 3.2.4）。



圖 3.2.1、

DEM 高程套色圖。經過套色後的 DEM，相近的高程會有相同的顏色，本研究認為這樣的配色最合適判斷河階面，之後再設定高程顯示範圍。因為研究區域最低海拔高度為 500 m，因此將顯示高度設定在 500 m~2000 m 之間，如此可以使高程的分組更為多樣，高程變化小的地形也較容易判斷。

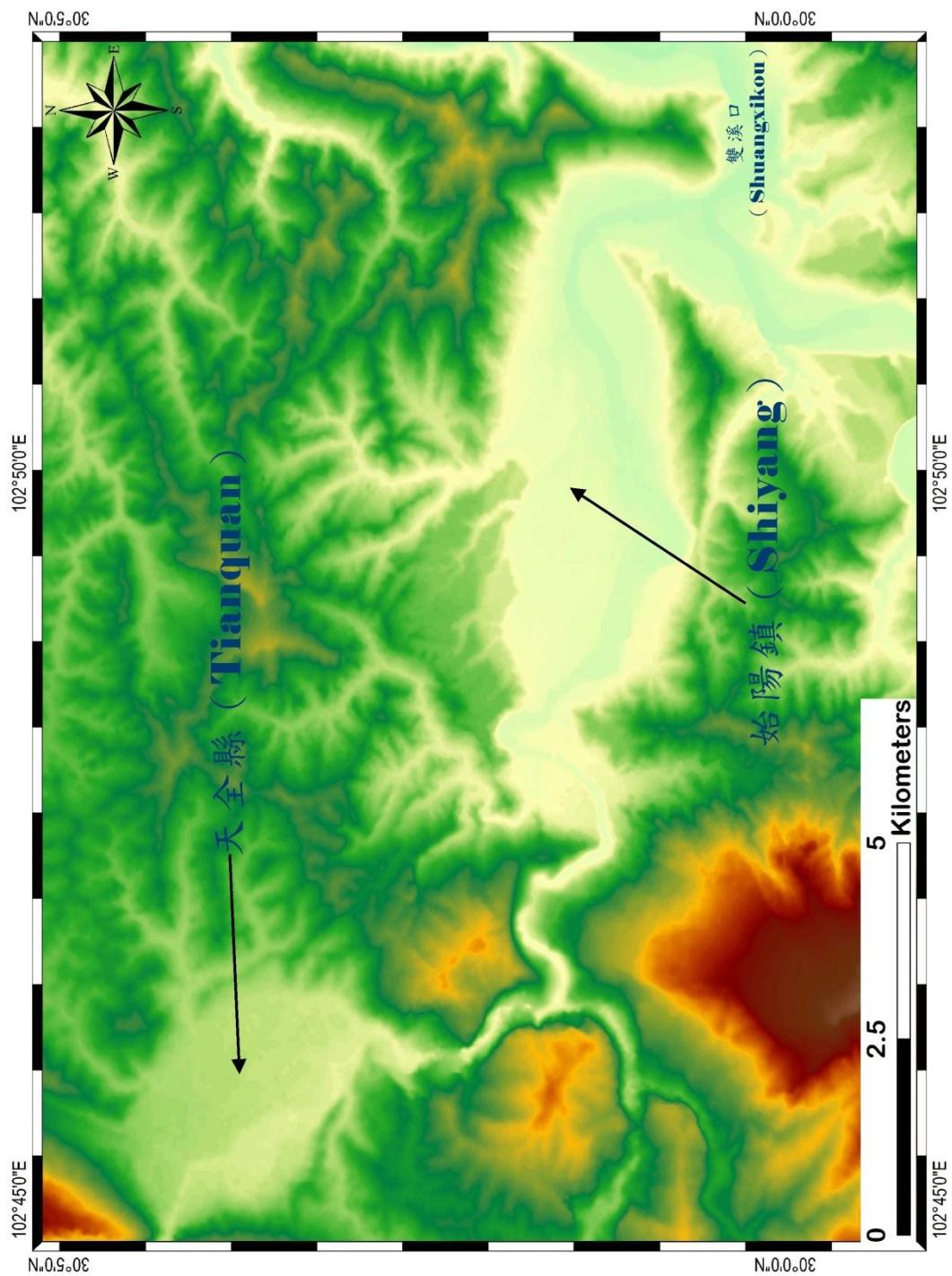




圖 3.2.2、  
DEM 山體陰影模型。

本研究在經過多次嘗試後，認為模擬光源方向為  $315^\circ$  而產生出來的陰影模型最適合本研究區域。

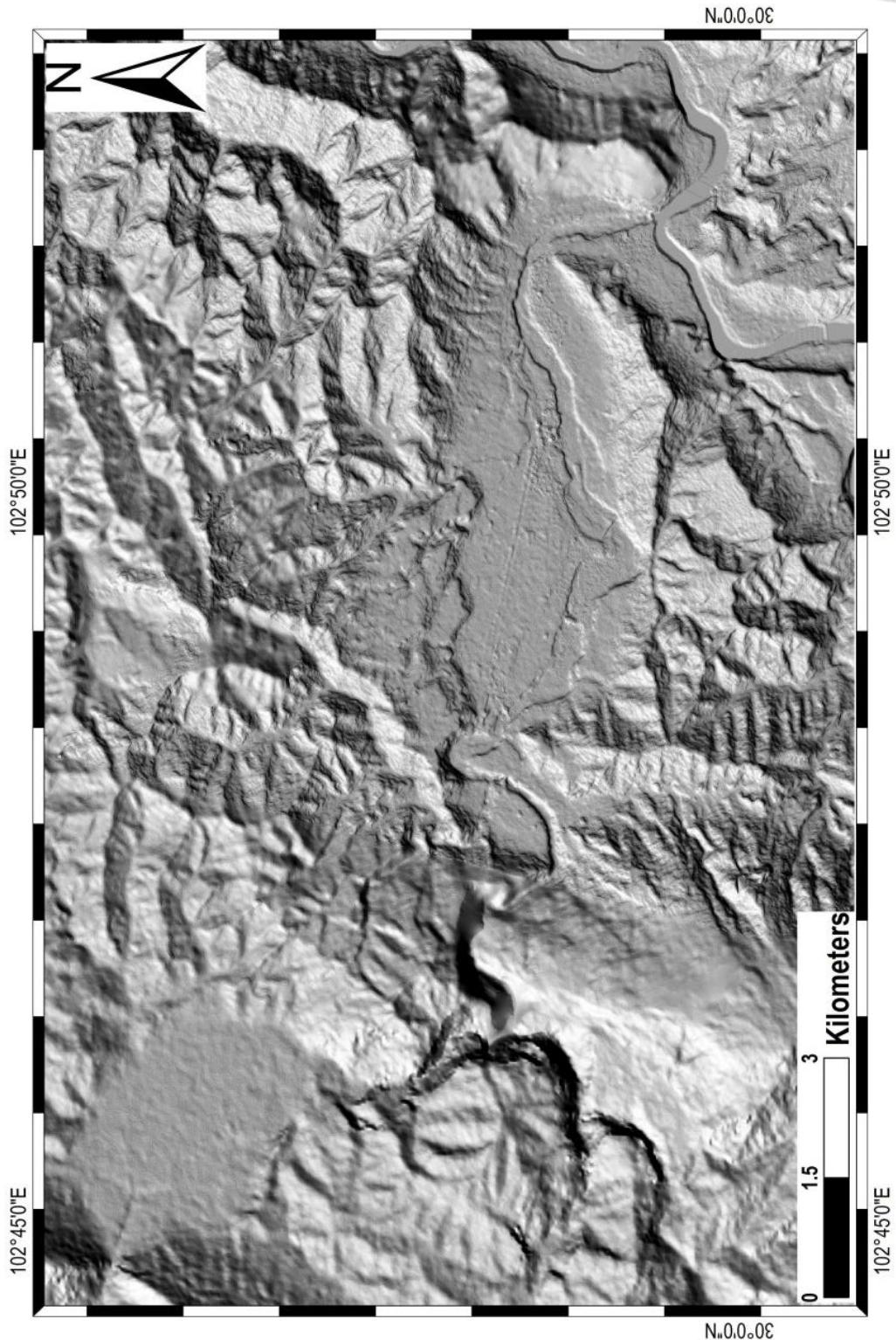




圖 3.2.3、

DEM 坡度模型。本研究在  
經多次嘗試  
後，認為模擬  
坡度角度為  
 $10^\circ \sim 90^\circ$ 之  
間，搭配灰階  
配色而產生  
出來的坡度  
模型最適合  
分析此區域。

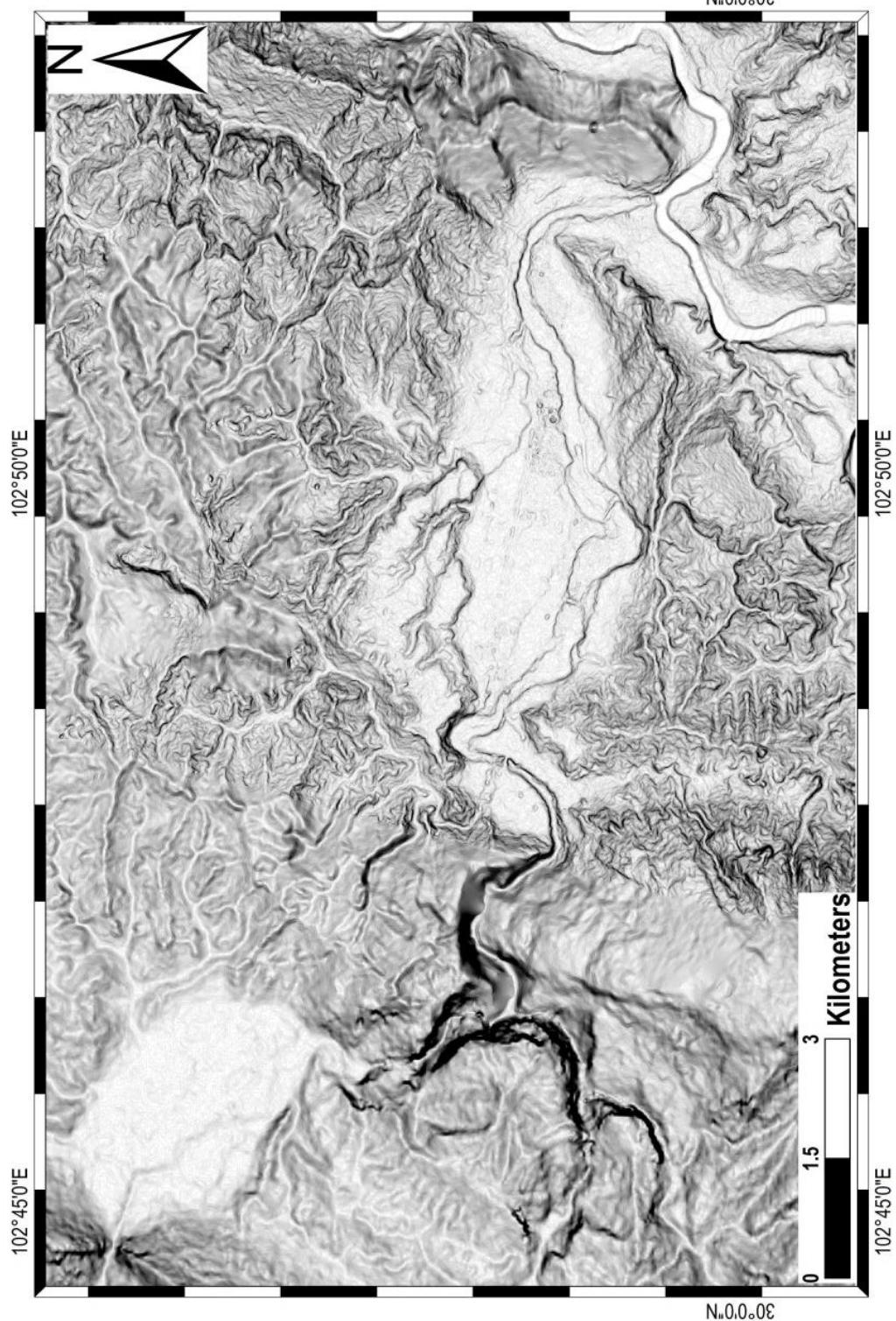
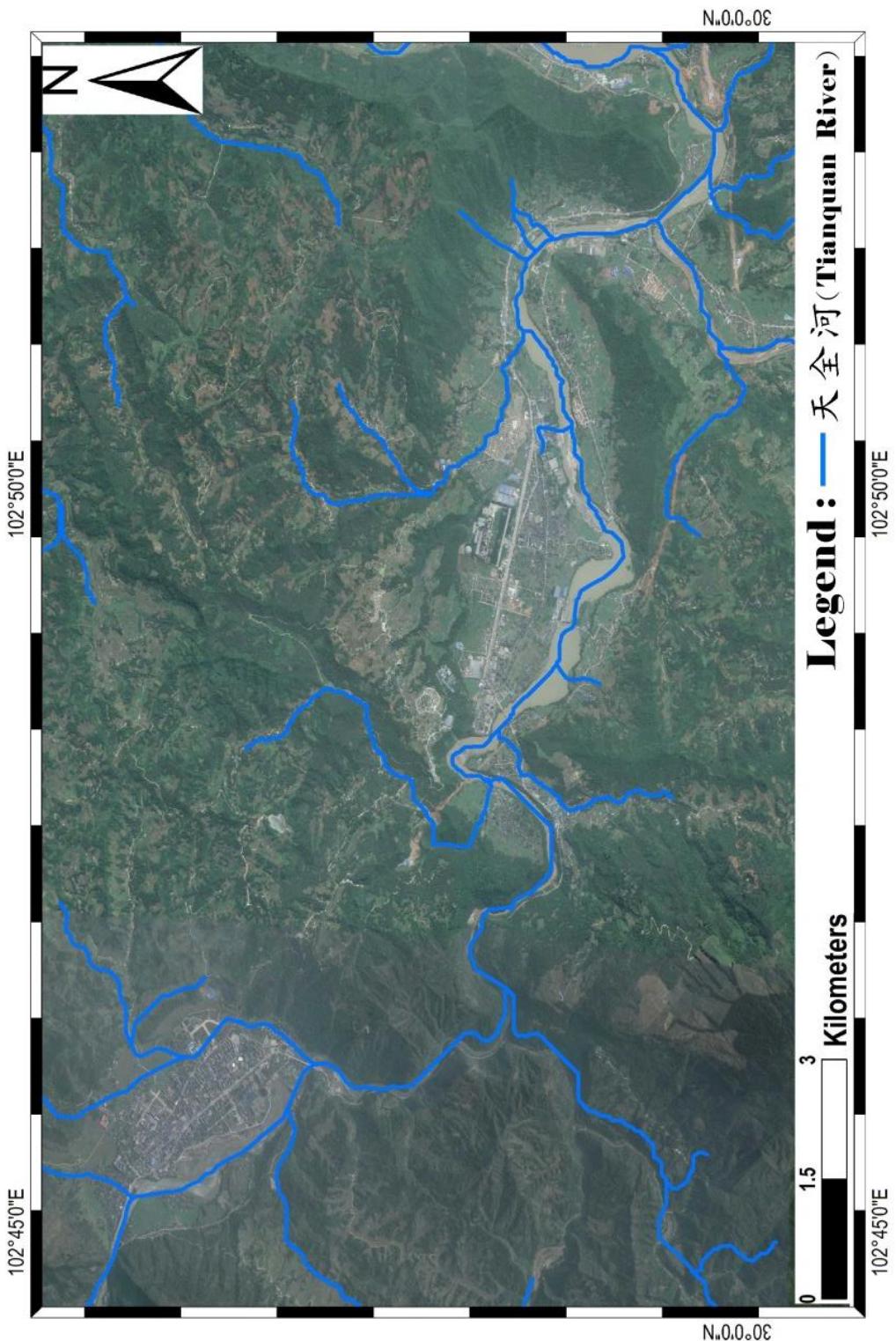




圖 3.2.4、天全河  
水系圖(底圖來  
源：Google  
Earth)。





Hydrology 的功能分析步驟，較為複雜，本研究整理後，其水系生產方法如下 6 步驟：

### \*Step 1: Fill

Arc Toolbox→Spatial Analyst Tools→Hydrology→按 Fill

### \*Step 2: Flow direction

Arc Toolbox→Spatial Analyst Tools→Hydrology→按 Flow Direction

Step 2 的主要功能為分析每個網格內的水流方向。

### \*Step 3: Flow accumulation

Arc Toolbox→Spatial Analyst Tools→Hydrology→Flow accumulation ( 圖 3.2.5 )。

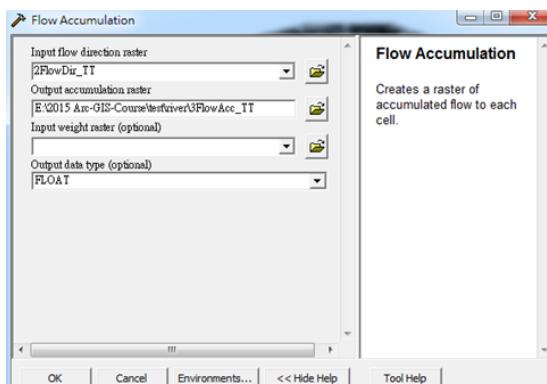


圖 3.2.5、Flow accumulation 操作介面。

Input flow direction raster: 選 Step 2 Flow direction 輸出的檔案。

Output accumulation raster: 輸出的檔名。

Output data type: 可以選擇輸出的資料型態是浮點數(float)或整數(integer)，本研究設定為 float。

這個階段完成後，暫時可以看到水系的雛形，屬於網格狀的資料型態。



### \*Step 4: Single output map algebra

Arc Toolbox→Spatial Analyst Tools→Map Algebra

→按 Single output map algebra (圖 3.2.6)。

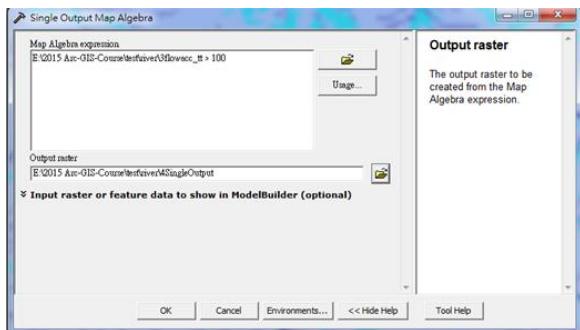


圖 3.2.6、Single output map algebra 操作介面。

Map Algebra expression: 輸入篩選條件，設定 Step 3 Flow accumulation 的分析結果

大於 100。

Output raster: 輸出的檔案。

### \*Step 5: Stream Order

Arc Toolbox→Spatial Analyst Tools→Hydrology→按 Stream Order (圖 3.2.7)。

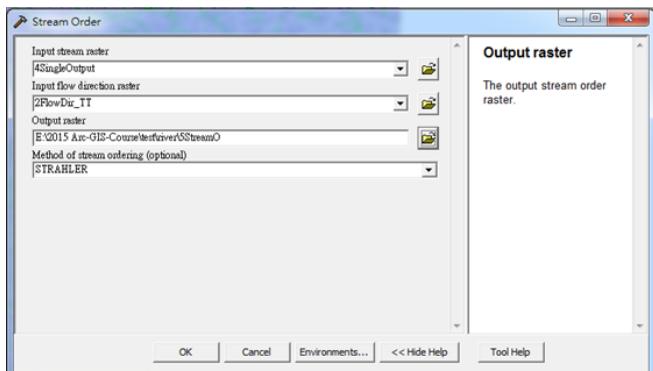


圖 3.2.7、Stream Order 操作介面。此步驟為分析河流級數，並取出河道的網格點。

Input stream raster: 選 Step 4 Single output map algebra 所輸出的檔案。

Input flow direction raster: 選 Step 2 Flow direction 所輸出的檔案。

Output raster: 輸出的檔案。

Method of stream ordering: 按 Strahter。



## \*Step 6: Stream to Feature

Arc Toolbox→Spatial Analyst Tools→Hydrology→按 Stream to Feature (圖 3.2.8)。

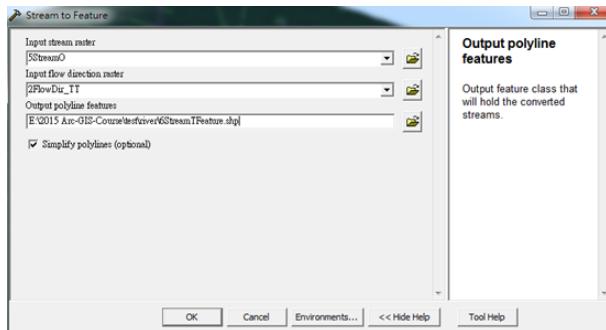


圖 3.2.8、Stream to Feature 操作介面，此步驟的目的是為了給河系一個線檔指令。

Input stream raster: 選 Step 5 Stream Order 所輸出的檔案。

Input flow direction raster: 選 Step 2 Flow direction 所輸出的檔案。

Output polyline features: 輸出的 shapefile 檔名。

Simplify polylines 要打勾。

根據以上 6 步驟，即可完成研究區域天全河流域線檔，之後可搭配其他的影像，如 Google Earth 作為調整河流分布及形貌的依據。

利用上述 DEM 分析方法，搭配上 Google Earth 影像，可以有效、精確且在不用出野外調查的狀況下，先劃定研究區域的河階階數與分布位置，並且利用繪圖結果，可以有助於規劃野外調查的重點區域與測量路線，及補足影像雜訊較大之區域。



### 3.3 野外調查

本研究在天全縣及始陽鎮兩地的野外調查主要分為 4 部分：

1. 找尋兩地的河階露頭，觀察河階類型及其形貌，判斷屬於何種型態的河階。
2. 觀察區域內是否有構造活動的證據。
3. 使用 RTK-GPS(Real Time Kinematic-Global Positioning System)，量測研究區域的地形高程。其目的主要是使用量測的地形高程數據製作地形剖面，補齊衛星影像雜訊較高的區域之地形高程資訊，並有助於區別河階的邊界。
4. 採集定年樣本，其主要目的是確定河階的形成年代。

#### 3.3.1 河階特徵

在影像觀測後，因為天全縣及始陽鎮兩地地貌外型為盆地狀的特徵，所以可能代表此形貌為堰塞湖事件堆積所致。假設真的如此，那麼應該可以在天全縣及始陽鎮兩地河階發現代表堰塞事件的湖相沉積，這是野外需要觀測的重點項目之一。此外，另一個野外調查重點是觀察河階之河道沉積厚度，及是否有底岩出露。因為由堰塞湖所致而形成的河階應屬於沉積型河階，這類型的河階通常有較厚的河道沉積層，且看不到河階的底岩；反之，如果兩地的河階河道沉積物較薄，且河階底岩出露，這類型的河階即為底岩型河階（圖 3.3.1），而其形成原因極有可能為受到構造活動抬升影響所致。此外，如果天全縣及始陽鎮的河階皆屬於底岩型河階，代表兩地河階可能皆為受到構造活動而形成，則找尋區域內的構造活動紀錄及分布位置更可以佐證這個假設。最後一個野外觀測重點是確認現在兩地的河階是否為天全河所形成的？其方式為觀察天全河河道上的礫石特徵，包含成分、大小及圓磨度等，是否和兩地河階河道沉積層相似。河階特徵判別重點整理於圖 3.3.2。

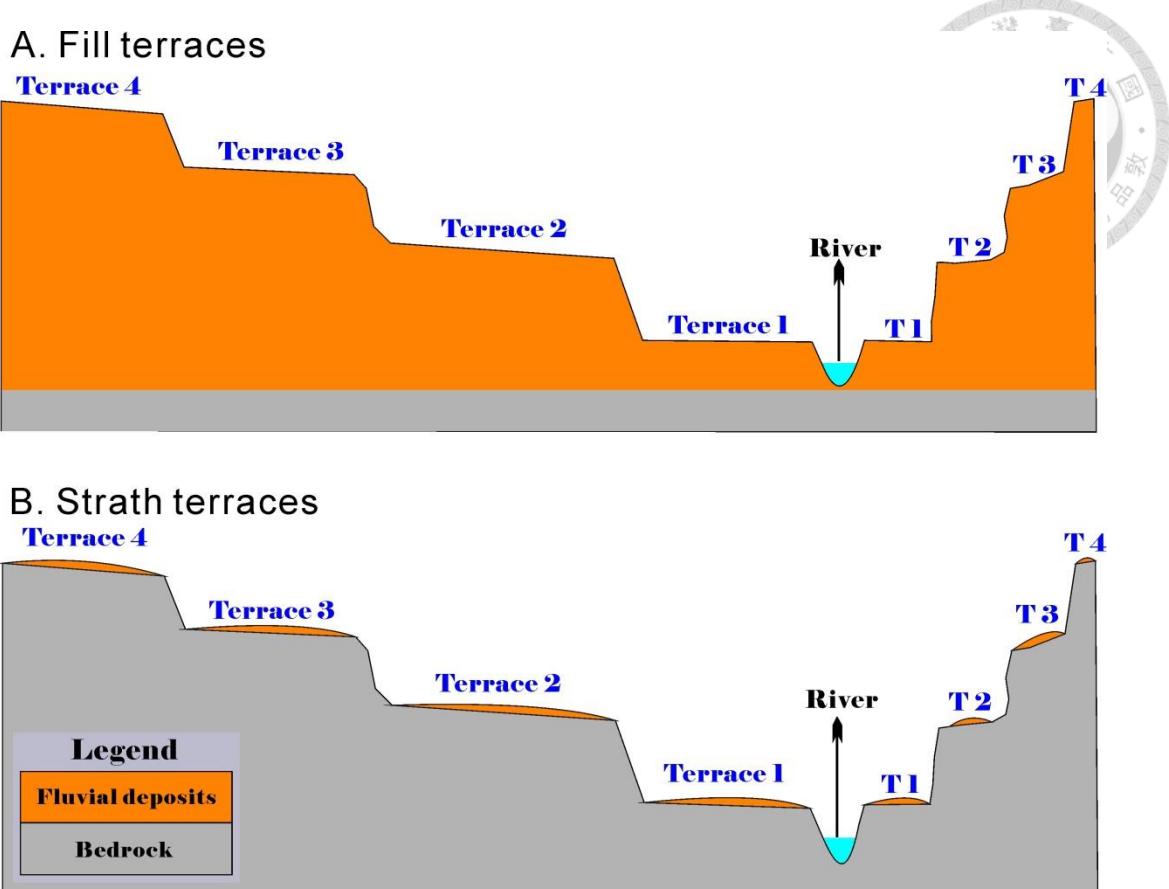


圖 3.3.1、河階類型型態。A. 沉積型河階 (Fill terraces)，其河階通常有較厚的河道沉積層，且幾乎不會有底岩出露；B. 底岩型河階 (Strath terraces)，其河階之河道沉積層較薄，且河流皆會下切到底岩，因此河階大多有明顯的底岩出露。

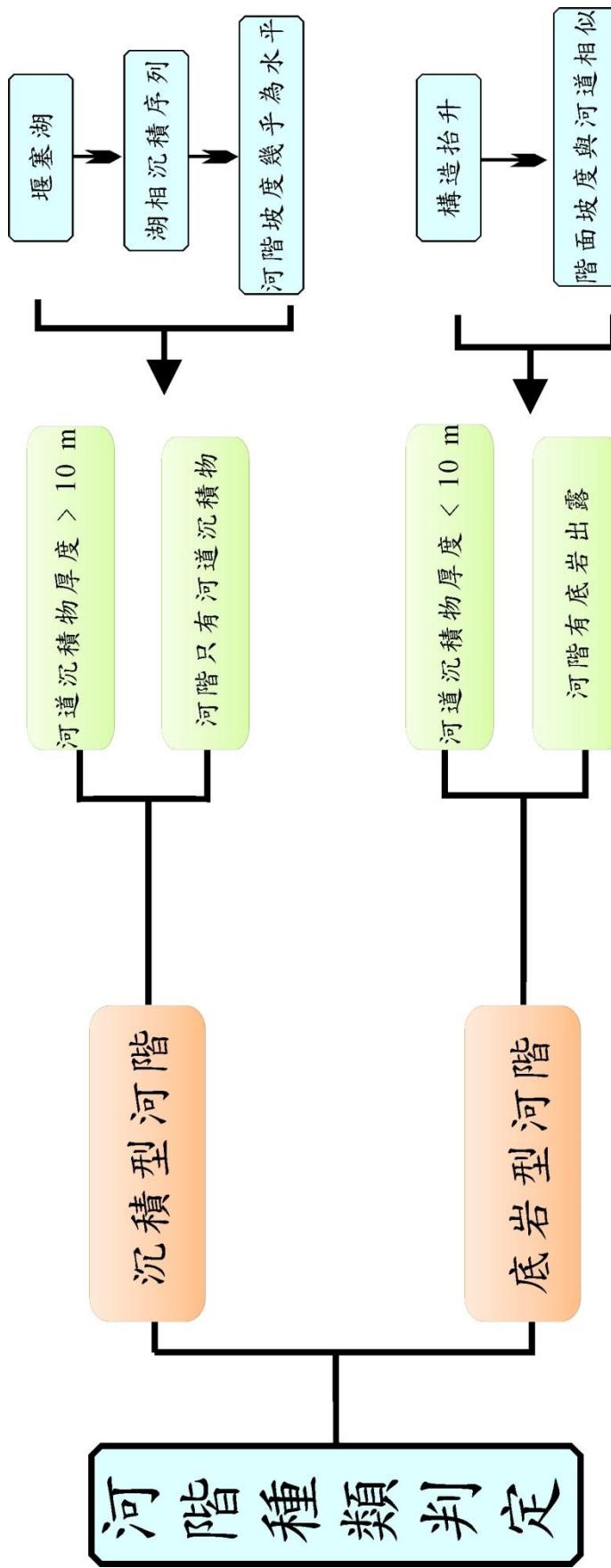
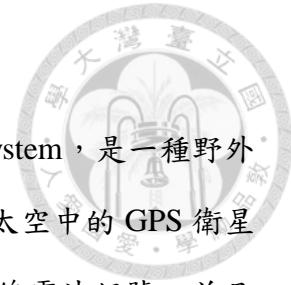


圖 3.3.2、河階類型區分圖。本圖為野外調查河階類型觀察重點，最右側為可能形成河階之因素及相對應的地質證據，如堰塞湖形成的沉積型河階，應該可以在地層發現湖相沉積物，反之受構造抬升而形成的底岩型河階，應該可以發現相對應的活動構造。如果沒有相對應的構造，比較河階的坡度與河道的坡度也是另一種判斷方式，受構造抬升的底岩型河階坡度會與河道坡度相似，如果是堰塞所形成的河階其坡度應幾乎為水平。坡度的測量方式可參考 3.3.2 章節 RTK-GPS 章節。



### 3.3.2 RTK-GPS 測量

RTK-GPS 全名為 Real Time Kinematic-Global Positioning System，是一種野外測量即時（Real Time）地點座標與高程的工具，主要是利用在太空中的 GPS 衛星發射的無線電波，讓地面上的移動站與地面基準站同時接收無線電波訊號，並且由地面基準站計算時間差並校正後，得到移動站即時的座標與高程（圖 3.3.3）。

由於本研究 DEM 部份區域雜訊較多，可能導致河階邊界判定錯誤，再加上因為兩地的河床沿線，皆有數座水力發電站，使得天全河河水水位在接近發電站時會受到影響，以致 DEM 中的天全河河道高程數據及利用影像分析而定的河階海拔高度數值可能會有誤差，進而影響天全河下切速率的計算。所以本研究使用 Trimble 公司的 RTK-GPS 量測天全縣及始陽鎮兩地河階階面及天全河河道高程，並將量測結果製作剖面，用於判定各河階邊界及計算河拔高度。此外亦可以比較天全縣及始陽鎮兩地河階階面坡度及天全河河道坡度，如果河階坡度近乎水平，則表示兩地河階可能是受到堰塞事件所形成的沉積型河階。反之如果河階坡度與河道坡度相似，則代表兩地的河階可能由古河床面直接下切而形成。

野外測量時，分別在天全縣及始陽鎮兩地，尋找較有利於無線電波傳遞的地點架設地面基準站，如遠離樹叢、房子等會影響電波訊號傳遞處或架設於制高點，這些條件皆有利於地面基準站的無線電波訊號傳遞。選定地點後，在天全縣及始陽鎮兩地架設地面基準站（圖 3.3.4），並於手部控制器設定地面基站離地距離與移動站高度（圖 3.3.5）。將這些資訊輸入手部控制器的目的，是為了在地面基站計算移動站即時的座標與高程過程中，自動把地面基站高度與移動站高度加入，使得點位量測高程為實際點位高程數值，不需要爾後再次計算獲取真實點位高程數值。手部控制器設定完畢之後，即可以開始在兩地進行測量，以兩人一組的方式，一人手持移動站，並選定測量地點，將移動站上的水平氣泡維持在中心點，待手部記錄器初始化數據獲得後，即可開始量測該點即時座標與高程（圖 3.3.6）。此外測量時需注意以下幾件事情：1. 如果獲取訊號之衛星的顆數不足六顆的點位，其量測的高程誤差值會偏高，此時需註記於手部記錄器，以利之後研究分析。2. 移動站



放置地點，需盡量以原始地貌為主，避開會使地形高程量測數據失真的人工建物，如街道、邊坡及擋土牆等。3. 對於地形有較大起伏的區域需要有更密集的測量點數，可以使得之後地形剖面的高程變化更加正確。本研究在兩地總共測量 1147 點，量測路線如圖 3.3.7。

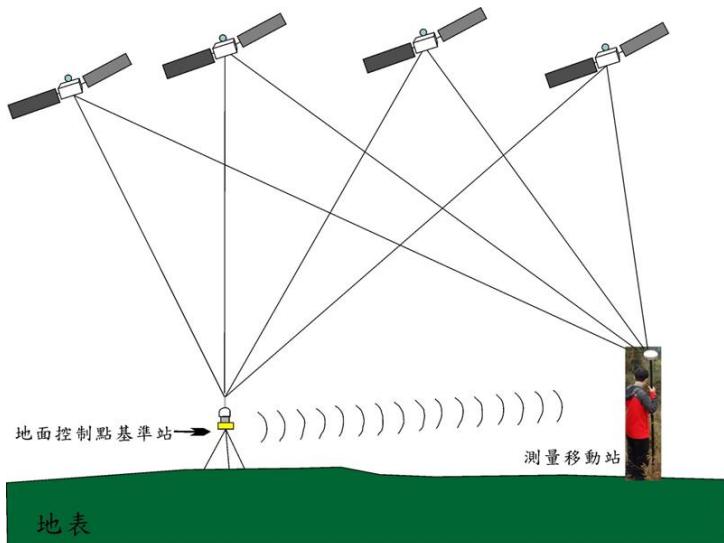


圖 3.3.3、RTK-GPS 測量原理示意圖。



圖 3.3.4、地面控制點基準站，左側為無線電波發射器將訊號傳遞給手部控制器。右側為碟形天線，主要功能為接收 GPS 訊號。



圖 3.3.5、RTK-GPS 手部控制器，可以記錄移動站即時座標與高程數據，並可以輸入且記錄現地點位環境等資訊。



圖 3.3.6、RTK-GPS 野外測量情形。一人拿接收器一人拿手部控制器，量測效率較高。



本研究測量河道高程點位如圖 3.3.7 中所示，河道量測之路線並未如河階一樣連續量測。是因為天全縣及始陽鎮之天全河沿岸有 5 座水壩式發電站，導致河水在接近發電站時，其水位會因發電站將河水擋住而上漲，故量測整段天全河高程並不能代表真實河道的高程數據。所以本研究修正量測天全河河道高程方法，僅量測水壩下游處及距離發電站較遠水位尚未被影響的地點之兩岸河道底岩高度（圖 3.3.8），並將其量測的點位連線計算，將其計算結果代表天全河在天全縣及始陽鎮兩地的河道坡度（圖 3.3.9），如此會比較接近真實河道的高程。

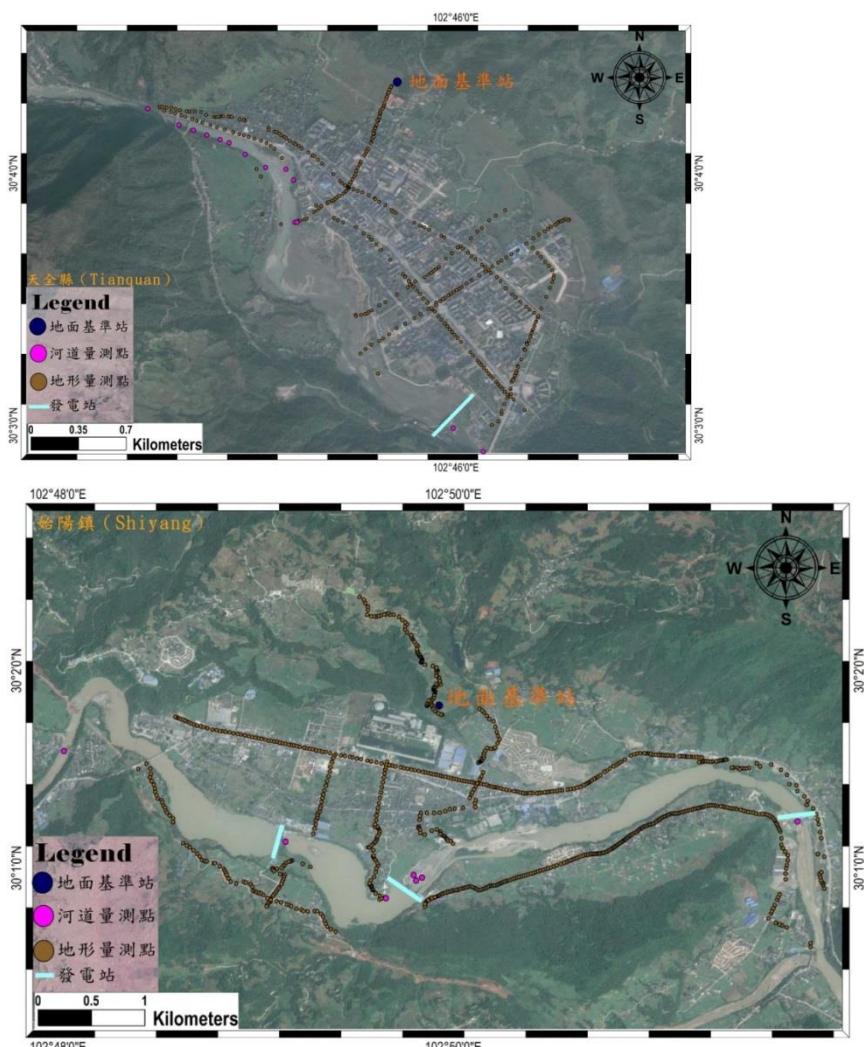


圖 3.3.7、RTK-GPS 地面基準站與量測點位。上圖為天全縣量測範圍，下圖為始陽鎮量測範圍，河道量測點多為發電站下游低水位處，如圖 3.3.8。

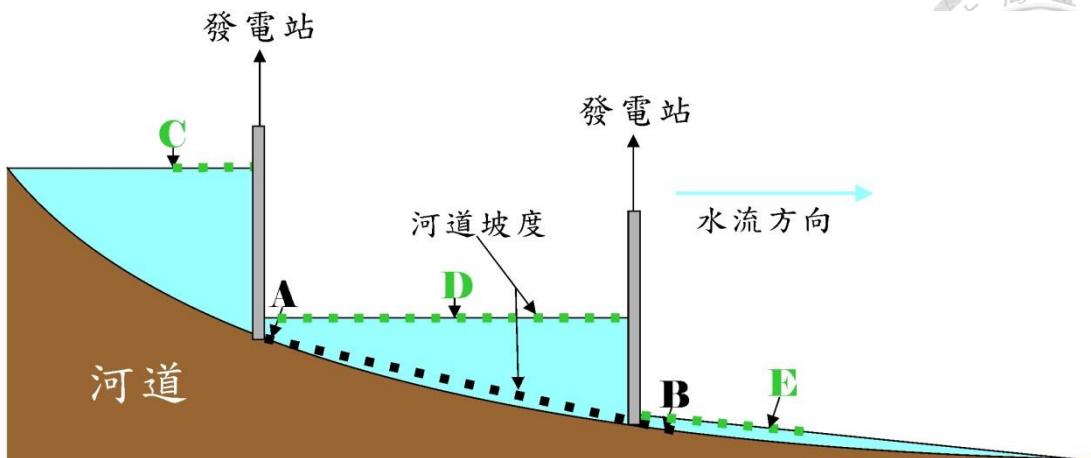


圖 3.3.8、量測河道點位模擬圖。在發電站下游處，通常水量最少，也較容易量測到河道底岩，使得量測出來的高程最接近真實的數據，如 A、B 點，這也是本研究河道高程量測點所選取之位置。假使使用水面量測的點位而模擬出來的河道坡度 (C—E 線)，所得的河道剖面坡度將無法代表真實河道坡度。



圖 3.3.9、河道高程量測實際圖，此圖地點為天全縣河道發電站下游處量測點。



### 3.4 定年分析

為了了解天全河沿岸的天全縣及始陽鎮兩地河階群的形成年代，本研究主要利用的定年方法為光螢光(Optically Stimulated Luminescence, OSL)，及碳 14(Carbon-14)兩種定年法。本研究會選定此兩種定年方法的原因是，光螢光採集樣本相對較容易，只要河階的河道沉積層中有適當顆粒大小的砂層即可採樣，但樣本處理與定年過程較為複雜困難、費時，且最後的測定結果年代誤差範圍較大；反之碳 14 樣本的採集，相對較為困難，必須在沉積層中找到含碳樣本，但其最後的測定結果年代較為準確。因此本研究兩種方法均嘗試使用。

了解河階的形成年代，其目的在於：

1. 河階的年代可以有助於探討該區域之河階形成特性，並與相鄰區域河階比較。
2. 將河階的形成年代與河階的河拔高度相除後，可以計算出河川的下切速率，假使區域的河階屬於受構造抬升的底岩型河階，此時河川下切速率，可能可以代表區域的構造抬升速率。

#### 3.4.1 光螢光定年分析(Optically Stimulated Luminescence Dating)

當礦物透過結晶作用形成時，會維持最穩定的晶格及其物理狀態，然而當礦物在地層內長期受到放射性元素（主要為<sup>238</sup>U、<sup>235</sup>U、<sup>232</sup>Th 及<sup>40</sup>K）及宇宙射線(Cosmic Ray)的輻射照射，會使得價帶(valence band)內電子被激發游離至導帶(conduction band)。過程中，游離的電子會被能隙中因為晶格缺陷所產生的電洞(hole)捕獲儲存。因此可以透過外加熱能或光線，使得儲存於電洞之電子回到價帶，過程中會使得礦物釋放光能，此現象稱之為曬退，並且透過礦物釋出的光量，計算而得到沉積物年代。此外透過加熱方式定年稱之為熱螢光定年，外加光線的定年方式稱之為光螢光定年 (Aitken and Smith, 1988；陳雅雯，2008)。

簡單來說，光螢光定年測定的方法為，把處理後的樣本放在暗房中進行自然螢光強度的測定，再搭配外加人工輻射照射劑量的模擬回歸，回推此礦物於地層



中所累積的等效劑量 (Equivalent Dose)，並且同時測定樣本中所含的放射性元素數量，即可求得每年樣本周圍環境提供此礦物之年劑量 (Annual Dose)，最後可得欲測樣本的光螢光年代為（式 3.4.1）：

$$\text{Age} = \frac{\text{Equivalent Dose}}{\text{Annual Dose}}$$

(式 3.4.1)

採集上，光螢光定年對於砂樣本大小有其規定範圍，約為 63-300  $\mu\text{m}$ ，但在定年前，需處理採集的砂樣本，因為光螢光屬於單一礦物定年，尤其經常利用石英，因為石英在沉積物中，不易受到侵蝕與酸鹼物質等影響，較容易被保存下來，因此在光照曬退石英的步驟前，需要將採集的砂樣處理分離出石英顆粒，處理過程主要分為 3 步驟(圖 3.4.1)：

1. 乾燥後利用顆粒大小不同分篩(Drying and sieving)。
2. 化學處理(Chemical preparation)。
3. 重液分餾(Density separation)。

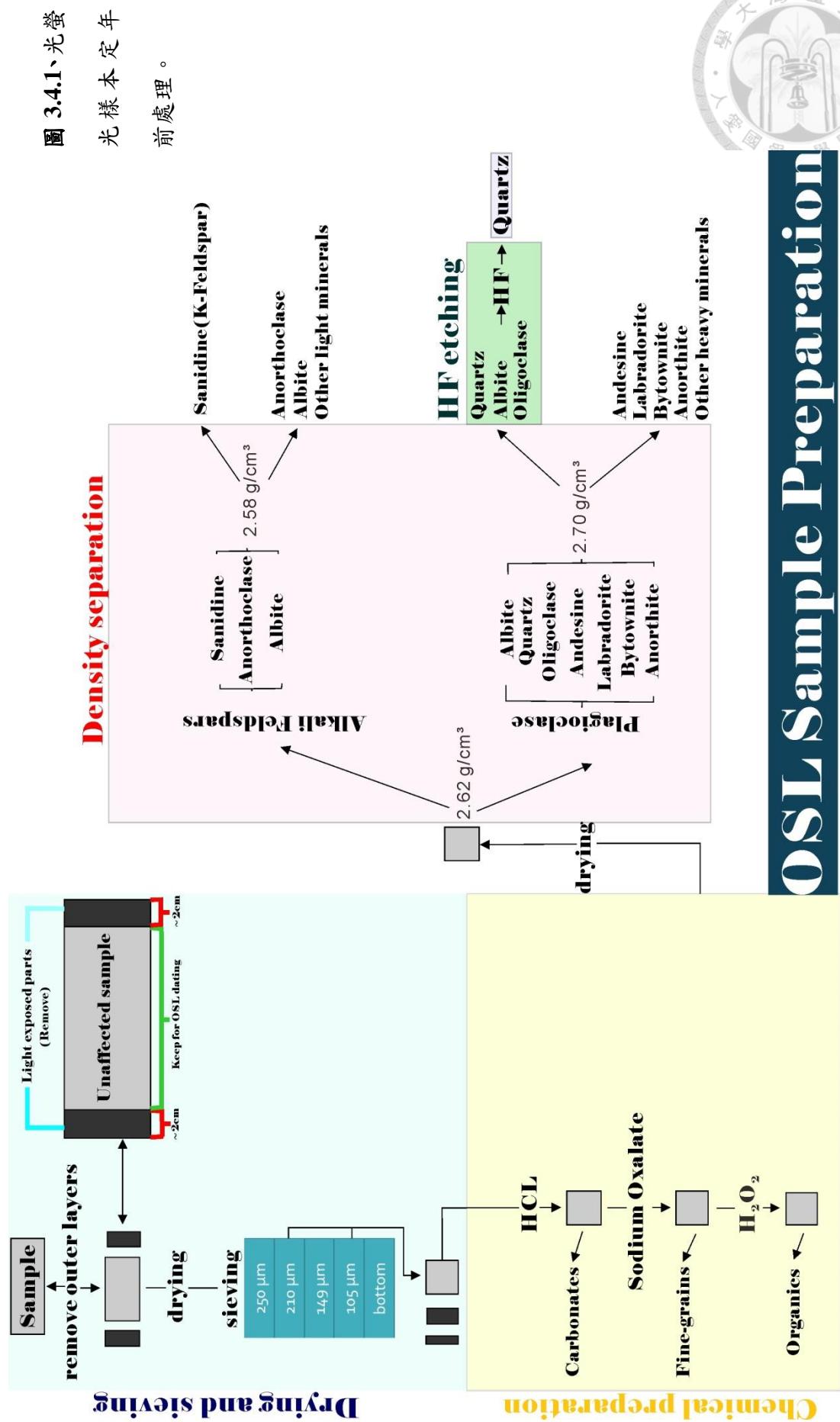
經過以上 3 步驟處理後的石英樣本顆粒，即可將樣本進行自然螢光強度測定。本研究所利用的石英顆粒大小約為 110-210  $\mu\text{m}$ 。

### 3.4.2 碳 14 定年分析(Carbon-14 Dating)

本研究於研究區域河階沉積物中，利用金屬製刮勺採集碳物質樣本，這樣的採集法是為了避免現代的碳物質污染樣本。此外採樣時需記錄其採樣資訊，如位置、高度、樣本狀況、所在河階階位及樣本沉積環境等資訊。之後將樣本寄送到美國 Beta Analytic Inc. 公司進行 Accelerator Mass Spectrometry (AMS) 加速質譜儀之碳 14 定年分析。



# OSL Sample Preparation





## 第四章、研究成果

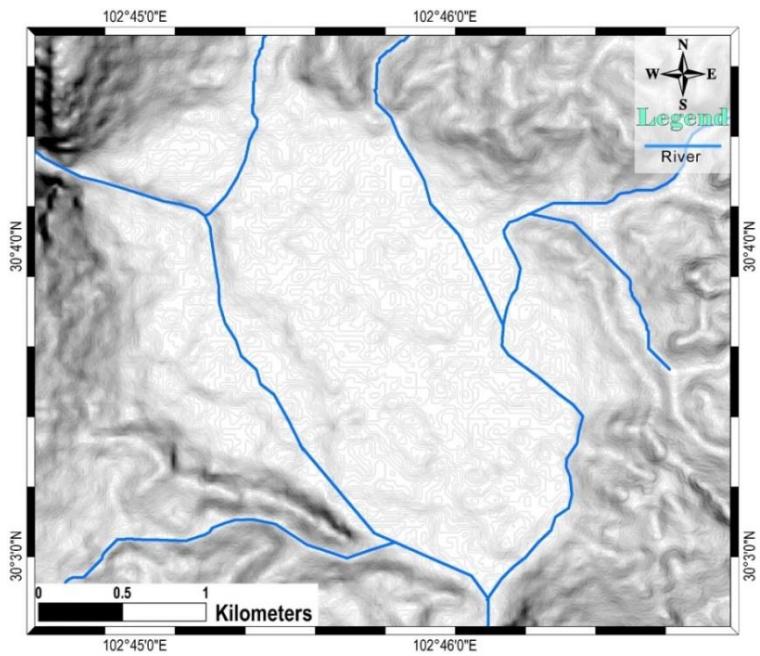
### 4.1 地形影像分析結果

本研究在室內影像數次分析後，發現以 Slope 模型（圖 3.2.3）與水系分析圖（圖 3.2.4）兩者套疊成圖的組合，其顯示出來的天全縣與始陽鎮疊圖影像，地形邊界清晰且影像雜訊少，使得地形判別較少模稜兩可的區域，有利於河階地的判定及繪圖（圖 4.1.1）。

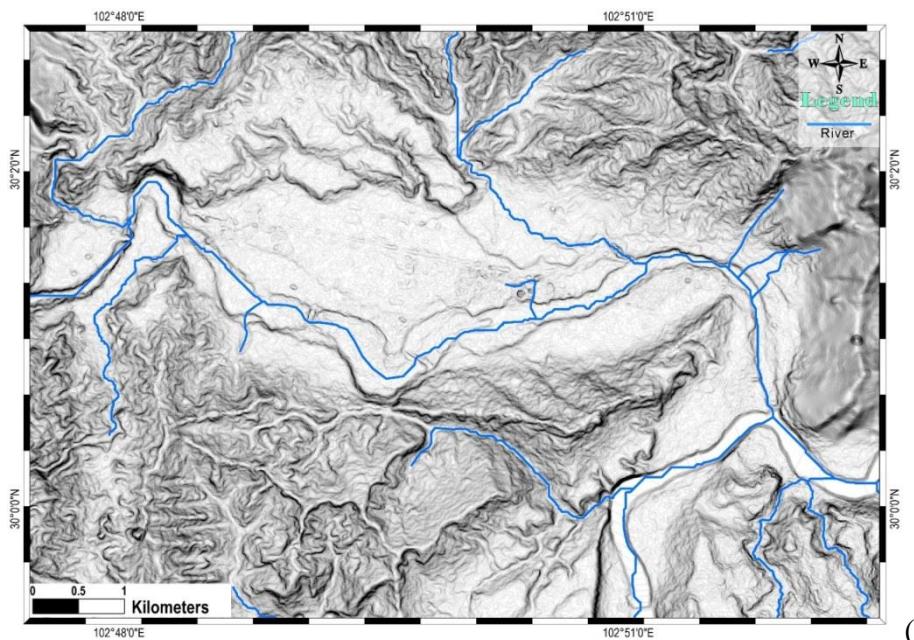
本研究根據坡度與天全河水系疊圖結果，並搭配上 Google Earth 影像、山體陰影模型、高程圖與河水流向的補助，判別出天全縣河階大致可以繪製 6 階河拔高度不同的河階（表 4.1）及 1 個沖積扇（圖 4.1.2）。但是本研究發現天全縣河階影像分析結果有些怪異。原因在於河階的分布方向並沒有按照河階河拔高度垂直於天全河流向，而是由上游排列到下游（圖 4.1.3）。出現這樣的現象有兩種可能：

1. DEM 影像雜訊較高，導致誤判。
2. 天全縣的河階並非由現在天全河下切所造成的河階。

為此本研究將影像重新檢視，假使天全河過去曾經改道過，是有可能會使得天全縣河階分布型態不垂直現今天全河流向，但是由於天全河旁並沒有出現現今天全河下切形成帶狀分布之最低位階地，在加上在繪製河階圖時，有很多區域雜訊偏高，地形邊界不明顯，造成地形判斷上的困難。因此本研究認為天全縣影像分析結果河階分布較不合理之原因比較傾向第 1 項因素。所以本研究認為天全縣河階之分布及形貌，還需要搭配野外調查及 RTK-GPS 的測量結果，以重新修改繪製成較為合理的河階分布圖。



(A)



(B)

圖 4.1.1、坡度與天全河水系疊圖。A 圖為天全縣，B 圖為始陽鎮。

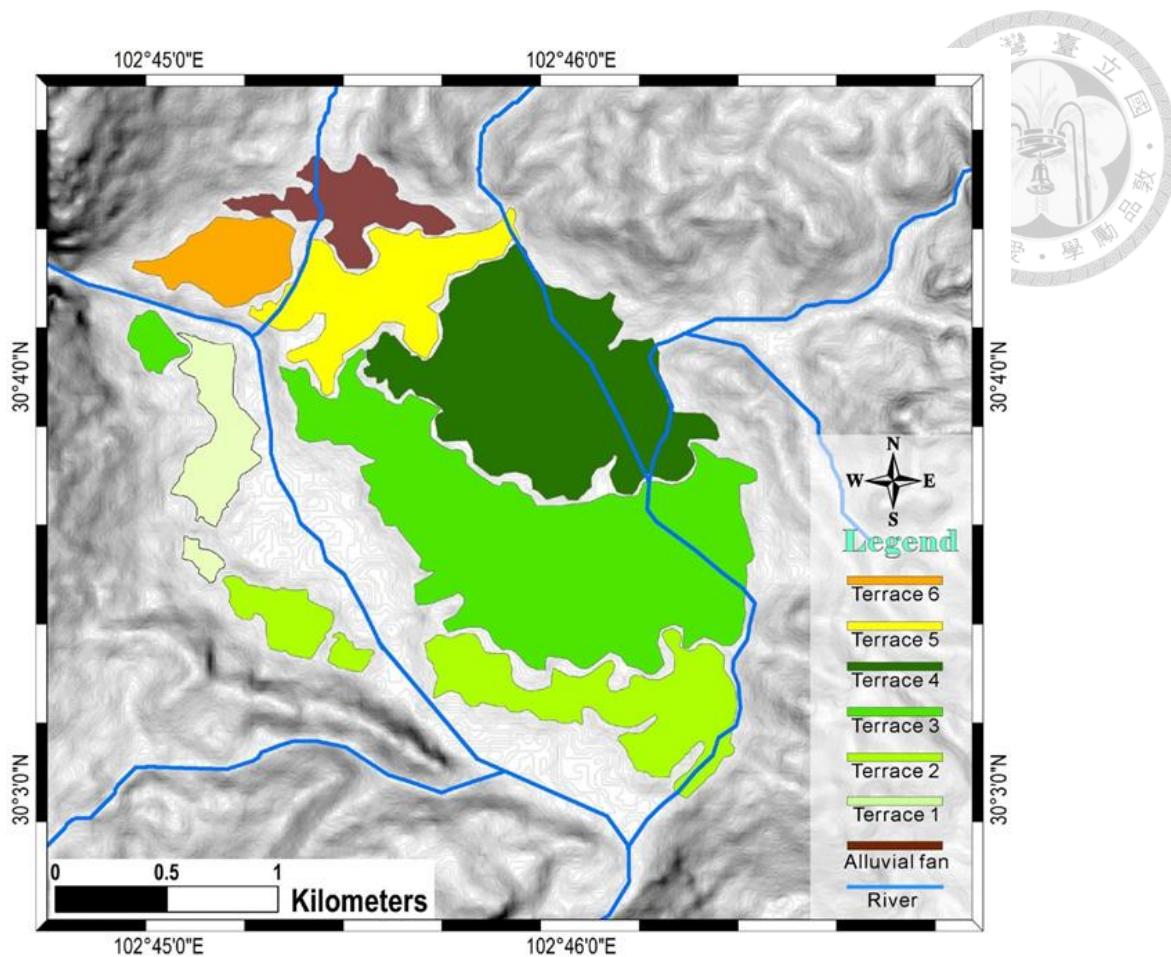


圖 4.1.2、天全縣河階分布圖（影像分析結果）。

表 4.1、天全縣各河階海拔高（影像分析結果）。

天全縣河階位階	河拔高度 (m)
Terrace 1	0—5
Terrace 2	5—10
Terrace 3	15—20
Terrace 4	21—25
Terrace 5	26—30
Terrace 6	31—35

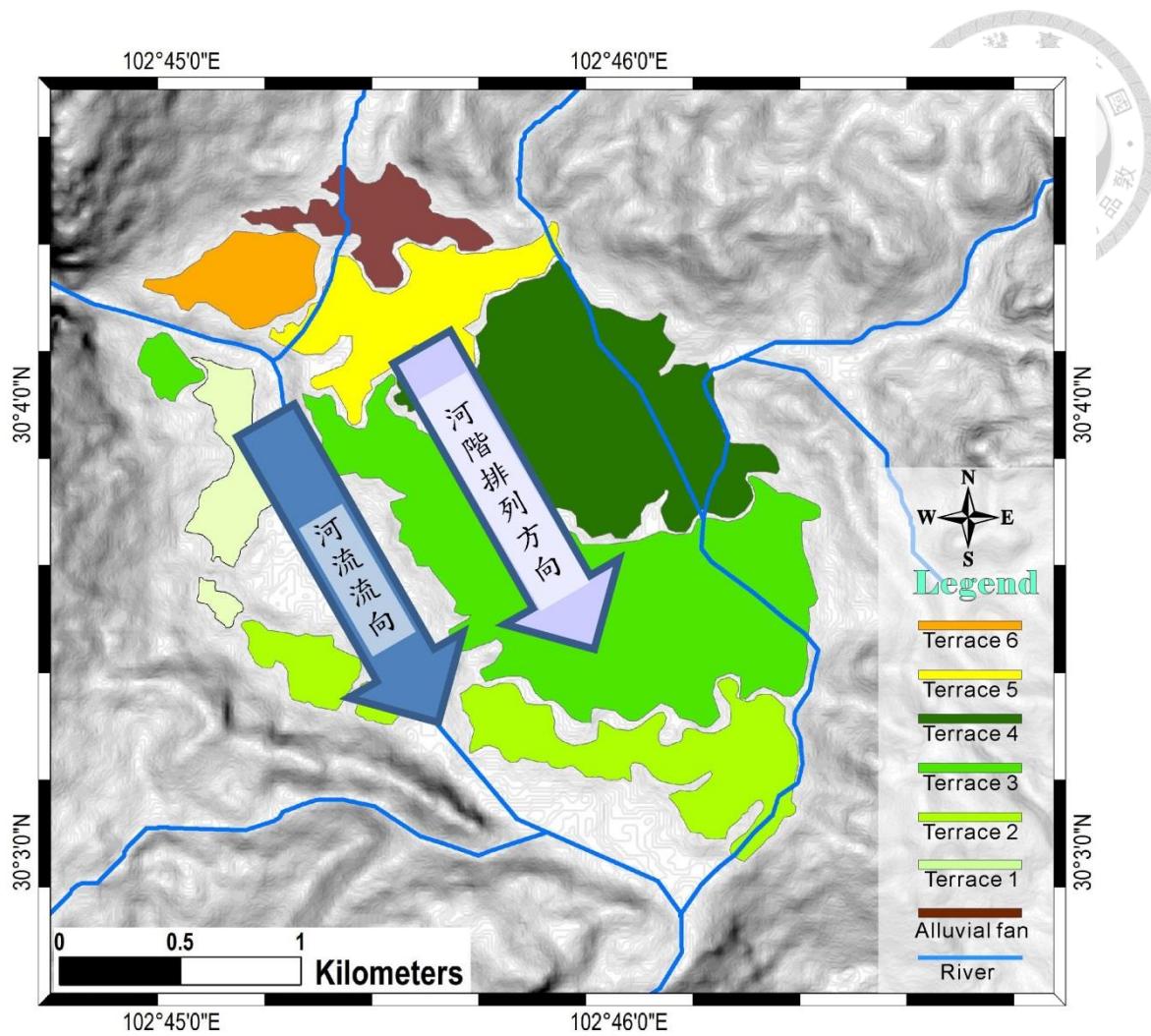


圖 4.1.3、天全縣河流流向與河階排列方向（影像分析結果）。



然而始陽鎮的 DEM 影像上，模糊區域較少，且河階面的邊界清楚，因此較少有難以判斷地形之區域。根據疊圖分析結果，可以大致繪製出 11 階高程不同的河階（表 4.2）及 2 個沖積扇（圖 4.1.4），河階數量明顯多於天全縣。此外從河拔高程分布發現，始陽鎮的河階還可以大致區分成 Terrace 1—Terrace 7 的低河拔河階，與 Terrace 8—Terrace 11 的高河拔河階兩群，兩者間存在約 50 m 高的間隔，且高河拔河階之排列方向較不像是由現今的天全河所形成，因此推測兩組河階群的形成原因與過程可能不完全相同，然而由於資料較少，有關於高河拔河階的形成原因，可能還需要其他研究方法來釐清。

表 4.2、始陽鎮各河階河拔高（影像分析結果）。

始陽鎮河階位階	河拔高度 (m)
Terrace 1	0—5
Terrace 2	6—10
Terrace 3	11—20
Terrace 4	21—30
Terrace 5	31—35
Terrace 6	36—40
Terrace 7	41—50
Terrace 8	90—95
Terrace 9	100—105
Terrace 10	110—140
Terrace 11	150 以上

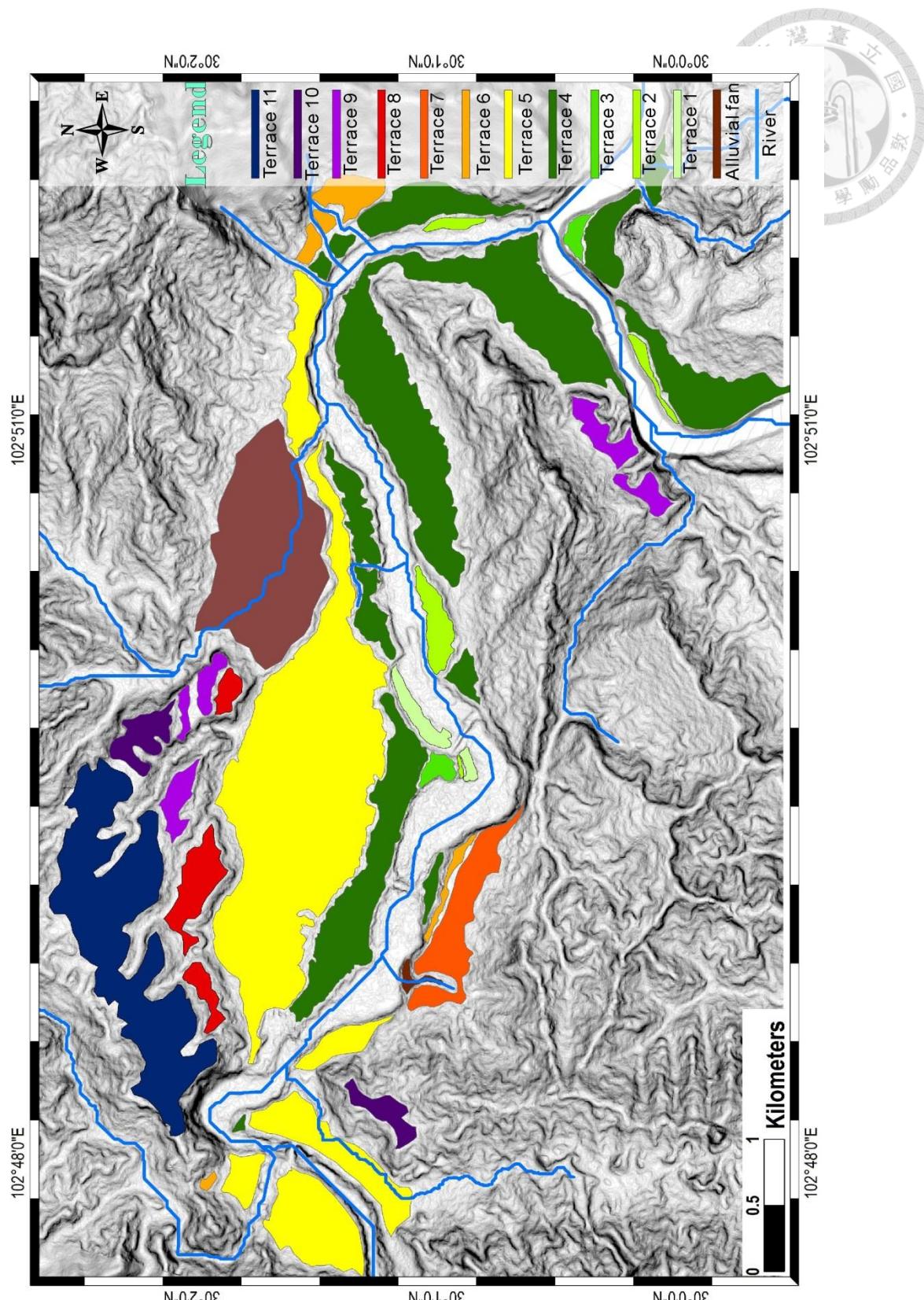


圖 4.1.4、始陽鎮河階分布圖（影像分析結果）。



## 4.2 野外調查結果

根據野外調查結果，兩城市的地形地貌皆為峽谷中的平坦階地，周圍被群山環繞（圖 4.2.1）。兩城市的聚落主要發展在面積最大且最平緩的河階面上，其海拔高約為 20 m 左右。兩地的階地與地形形貌則在蘆山地震過後，受到當地政府的西進政策與重建影響，地形形貌略微被破壞。以開發程度上來說，天全縣的重建與建設速度較快，因而階地與地形形貌的保存較始陽鎮差。在本研究後期，天全縣甚至有許多原始的地形受到人為開發與重建，而變緩或者被填平。幸好本研究野外調查大多處於兩地開發初期及中期，因此還有機會記錄到現地較為原始的地形形貌，並且因為建設時所開挖出的露頭，有機會觀察並記錄當地地下的地質狀況。基於上述因素，本研究在天全縣及始陽鎮皆有發現屬於底岩型河階的證據，像是兩城市大部分的河階都可以看到清楚的底岩出露。另一方面，於始陽鎮 A、B 兩點處（圖 4.4.1），發現其河階海拔高度較兩側階地略低，本研究認為此地形形貌可能為古河道改道所形成的次生階地（圖 4.2.2、4.2.3），顯示天全河在始陽鎮可能曾經改道過，因此在製圖時另外定義次生河階。此外在天全縣 C 點位置（圖 4.4.1），調查結果發現疑似一斷層構造切過河道的證據（圖 4.2.4）。

根據以上野外調查結果，有利於本研究規劃兩城市 RTK-GPS 的重點量測路線，可以有效縮短測量時間，並將 RTK-GPS 的測量結果，作為兩地河階與構造分布修改繪製依據，補齊影像分析結果模糊難以判斷的河階邊界，並修正天全縣河階分佈問題與雜訊較高之區域地形（這兩部分詳細結果列於章節 4.2.1 及 4.2.2）。



圖 4.2.1、天全河及始陽鎮實景。



圖 4.2.2、始陽鎮 A 點古河道（古河道位置在圖 4.4.1, A 點）。



圖 4.2.3、始陽鎮 B 點古河道（古河道位置在圖 4.4.1, B 點）。

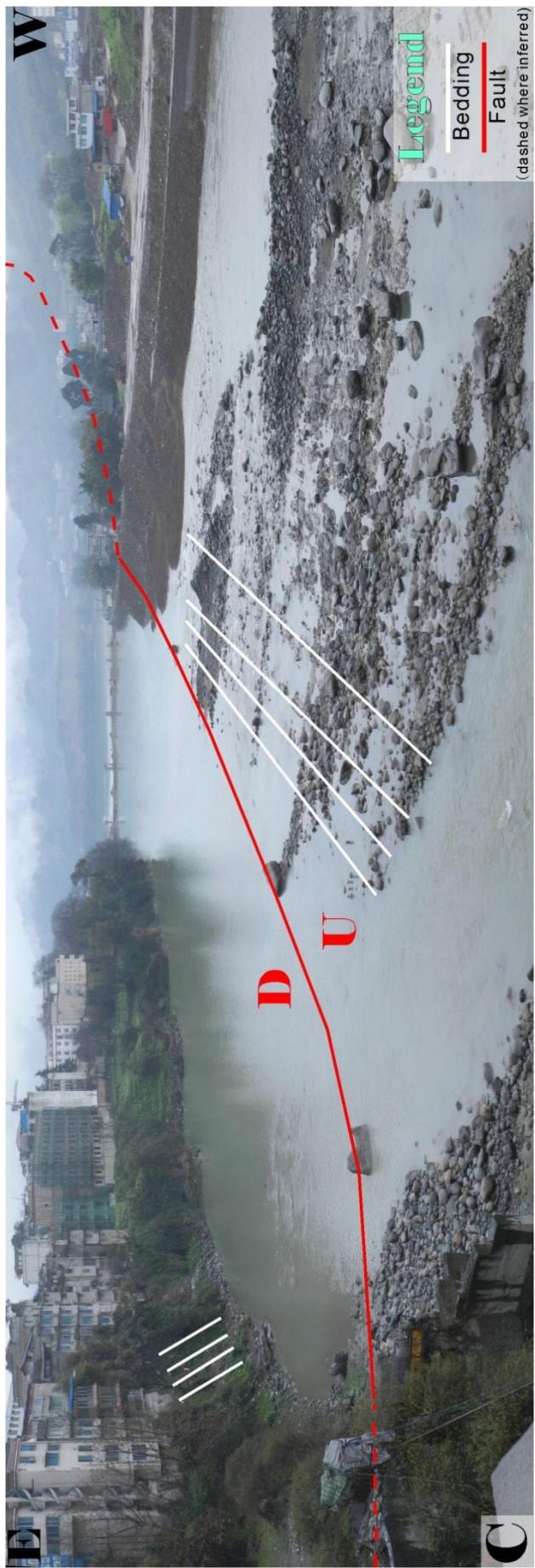


圖 4.2.4、天全縣斷層構造，C 點。因為西側河道底岩位態（河道白色線段）與東側河岸階地底岩位態（白色線段）完全不同，且在圖中天全河只有西側河道有出露底岩，代表底岩消失處極有可能為斷層交界帶，有出露河道底岩的西側為上盤，沒有出露的東側為下盤。



#### 4.2.1 河階種類分析結果

根據圖 3.3.2 所示，要判斷河階的類型，主要判別的項目有兩項：

1. 河階是否有底岩出露。
2. 河道沉積物的厚度，其厚度判別的分界線通常以 10 m 為準，如果屬於底岩型河階的話，河道沉積層應小於 10 m，反之厚於 10 m 則多為沉積型河階。因此上述兩項判別標準為本研究在天全縣及始陽鎮兩地河階的調查重點。

本研究分別在天全縣 D 至 F 點（圖 4.2.5）及始陽鎮 G、H 點（圖 4.2.6）的河階露頭觀察到底岩出露的現象。兩地的河階露頭大致可區分為兩層，分別為上層厚約 1—5 m 的河道沉積層覆蓋在下層可能為白堊紀的砂頁互層底岩上。在上層河道沉積層裡，D—H 點的露頭都充滿著顆粒大小不一的河道礫石，圓滑度中等，與現今天全河河道上的礫石類似（圖 4.2.7），這可以表示兩地的河階應該都是現今的天全河在相似的環境下所形成的。以上結果更加使本研究確認 4.1 章節的 DEM 分析結果，亦即天全縣的階地分布可能是有問題的。此外下層底岩層的位態，兩地略有不同，天全縣的河階底岩位態（右手定則）為  $250^\circ, 30^\circ$ （圖 4.2.5, F），始陽鎮的河階底岩位態（右手定則）為  $250^\circ, 5^\circ$ （圖 4.4.5）及  $210^\circ, 14^\circ$ （圖 4.2.6, H），從量測數據上可以得知天全縣的地層傾角較陡，始陽鎮的地層傾角則幾乎為水平。根據以上河階類型調查結果，本研究認為天全縣及始陽鎮的河階形態，應屬於底岩型河階而不是沉積型河階，再加上天全縣河道出現的斷層構造，本研究推測天全縣及始陽鎮兩地河階應都有受到區域構造所影響，為受構造抬升所形成的底岩型河階。

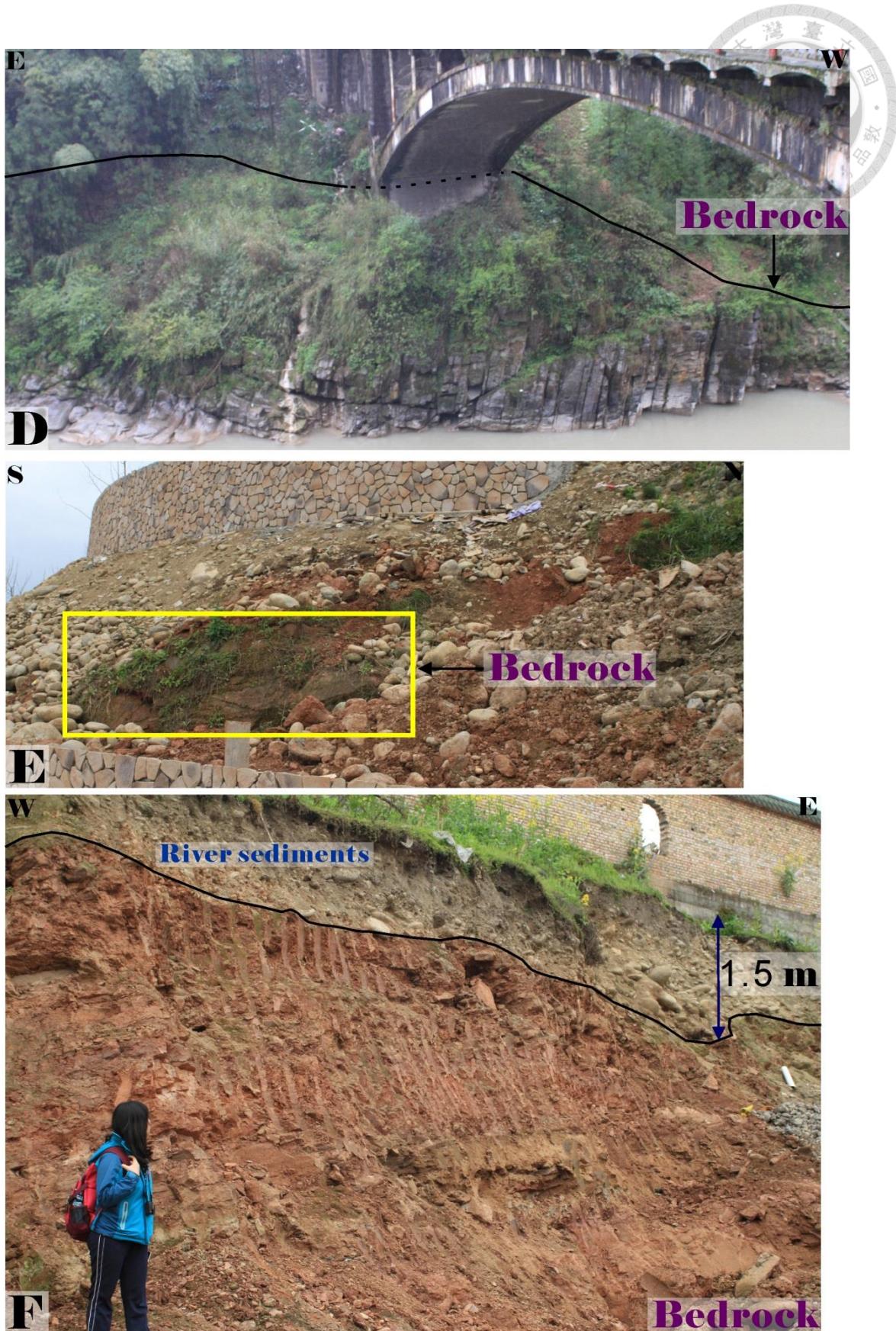


圖 4.2.5、天全縣河階底岩出露處（觀察位置標示在圖 4.4.1）。

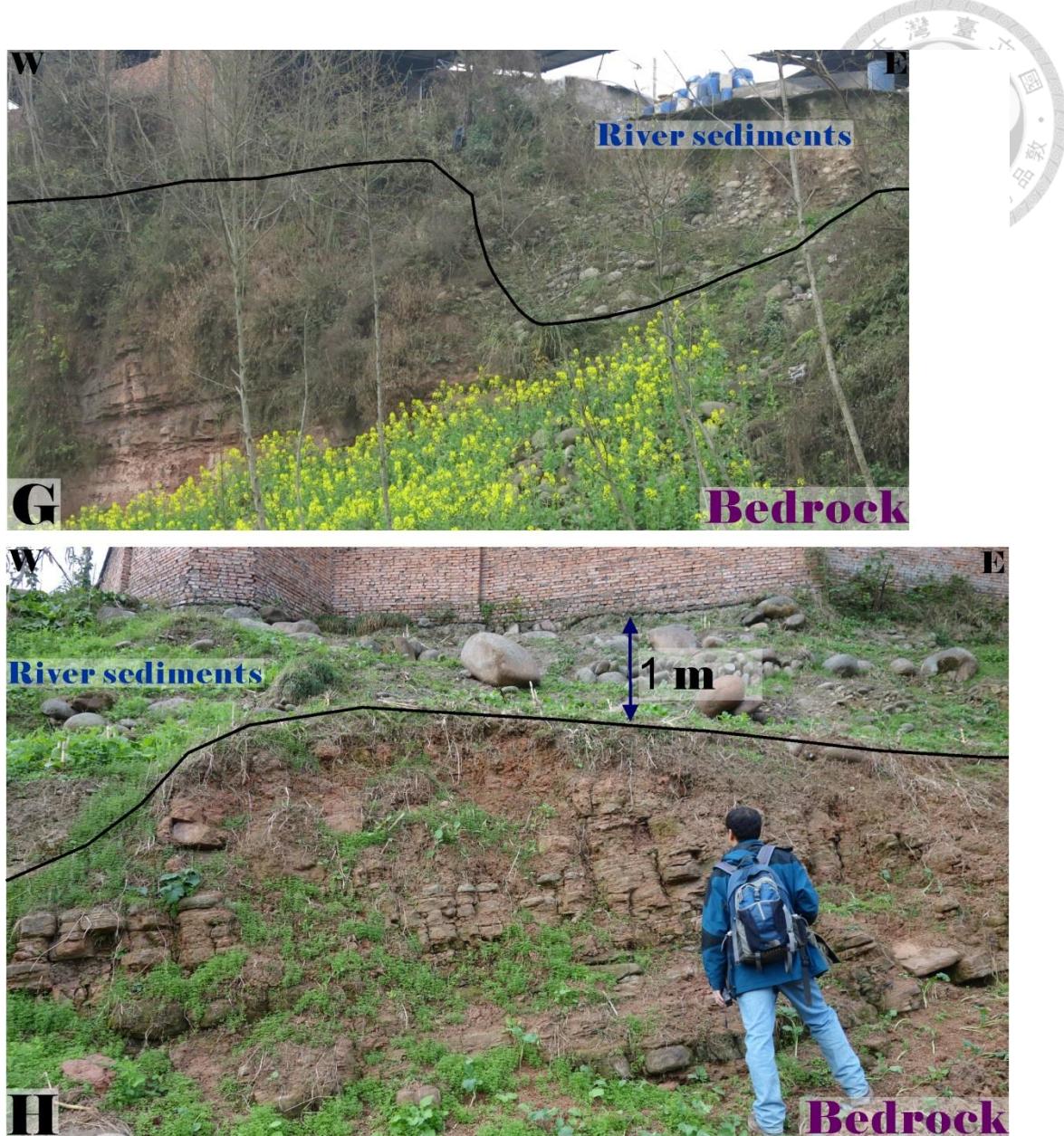


圖 4.2.6、始陽鎮河階底岩出露處（觀察位置標示在圖 4.4.1）。



圖 4.2.7、天全河河道礫石。I 為天全河，天全縣段河道礫石，J 圖為始陽鎮段河道礫石（觀察位置標示在圖 4.4.1）。



#### 4.2.2 RTK-GPS 測量結果

本研究將 RTK-GPS 測量的 1147 個數據，區分成天全縣及始陽鎮兩組表格(附錄一)，並先將兩地河道高程量測數據，整理並扣除因為發電站所造成的滿水位高程誤差點位後，計算繪製天全縣及始陽鎮河道坡度剖面(圖 4.2.8)。之後將兩地的河階高程數據，依照量測路徑區分成 a—m 共 15 條地形高程剖面(圖 4.2.9、4.2.10)。本研究利用這 15 條剖面，除了可以確定先前影像分析模糊區域的河階面邊界，並且搭配兩地河道坡度，可計算河階河拔高度，並將河階依照其河拔高度做分組，最後將河階階位分組結果於 4.3 章節綜合分析中，重新繪製較為正確的天全縣及始陽鎮河階分布圖。

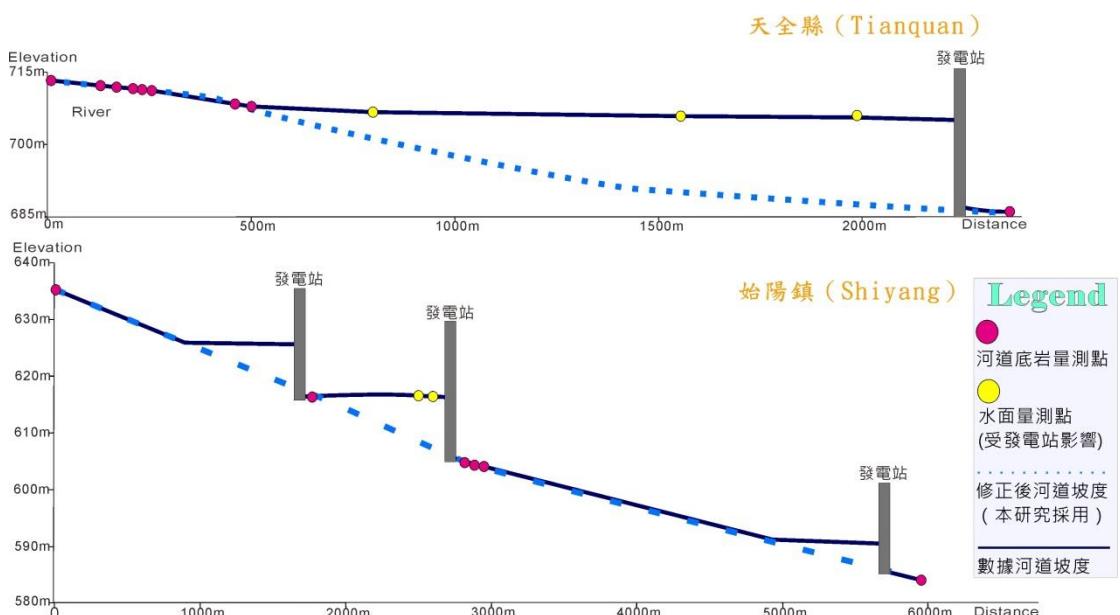


圖 4.2.8、天全河河道坡度圖，上圖為天全縣段，下圖為始陽鎮段，從圖中可以清楚看出，假使不去除受發電站影響的水面測量點位，兩地所繪製的河道坡度剖面，在經過發電站時，河道高度會遽降，這不符合天然河道的坡度形貌，因此本研究繪製河道剖面時，只採計不受發電站影響的河道高程點，並且利用數學內插法計算可以得到兩地河道的坡度。(河道量測點為附錄一、表 1. 點 335-350 及表 2. 點 787-797)。



分析過後，兩地剖面與河階階數詳述如下：

### 天全縣：

天全縣有 a—f，共 6 條剖面測線，及 16 個河道高程測量點，位置如圖 4.2.9 所示，並利用圖 4.2.8 所得之天全縣段河道坡度剖面，計算天全縣各河階河拔高度。結果顯示出天全縣河階大致可以區分成 Terrace 1—Terrace 4，共 4 階河階（各組河階所代表的河拔高度如表 4.3）。最後將各階河階代表色，標示在 a—f 的剖面上，加上野外調查量測結果所得的天全縣大致底岩位態及天全縣平均河階河道沉積層的厚度後，投影至剖面線上，繪製成地形剖面圖（圖 4.2.10）。

從繪製的結果上來看，a—f 的剖面清楚的指示出各個河階在天全縣的大致邊界與分布，如 Terrace 1 和 Terrace 2 兩者是天全縣面積較大且平緩的河階面，聚落也大多建立在上面，而河階基本上沿現今天全河流向排列，且從 a—c 剖面顯示出 Terrace 1 和 Terrace 2 間有明顯崖面。若是僅由影像分析的結果，Terrace 1 和 Terrace 2 兩者分布方式並未順著現今天全河流向，且兩者之間並無法看出明顯的高程差邊界。然而本研究於野外調查中，明確發現一階崖邊界位於 Terrace 1 和 Terrace 2 之間，同時 Terrace 1 基本上連續分布於天全縣之天全河北岸。由此可見影像分析具有誤差，而需以 RTK-GPS 之測量結果為準。另外，c 剖面中存在另一階較高的 Terrace 4，但是可能因為城市的開發，因此並未在其他剖面上看到 Terrace 4 的存在，僅 c 剖面上量測到小範圍的 Terrace 4。在 e 及 f 剖面，則顯示出本研究在野外調查發現的斷層，可能有切過 Terrace 2 並造成其錯動，使得位在上盤的階面較高，與下盤的階地面出現明顯的高差，因而造成影像分析時將其區分成不同河階。綜合 RTK-GPS 測量顯示的河階高程差異及野外量測地層傾角的不連續（圖 4.2.4），本研究推測在天全縣發現的斷層很有可能為一活動的逆斷層。

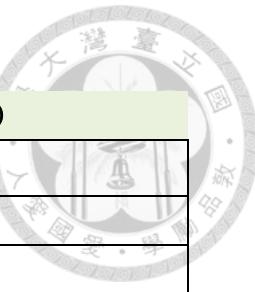


表 4.3、天全縣各階河階河拔高 (RTK-GPS 測量結果)。

天全縣河階位階	河拔高度 (m)
Terrace 1	16-20
Terrace 2	22-30
Terrace 3	32-35
Terrace 4	40

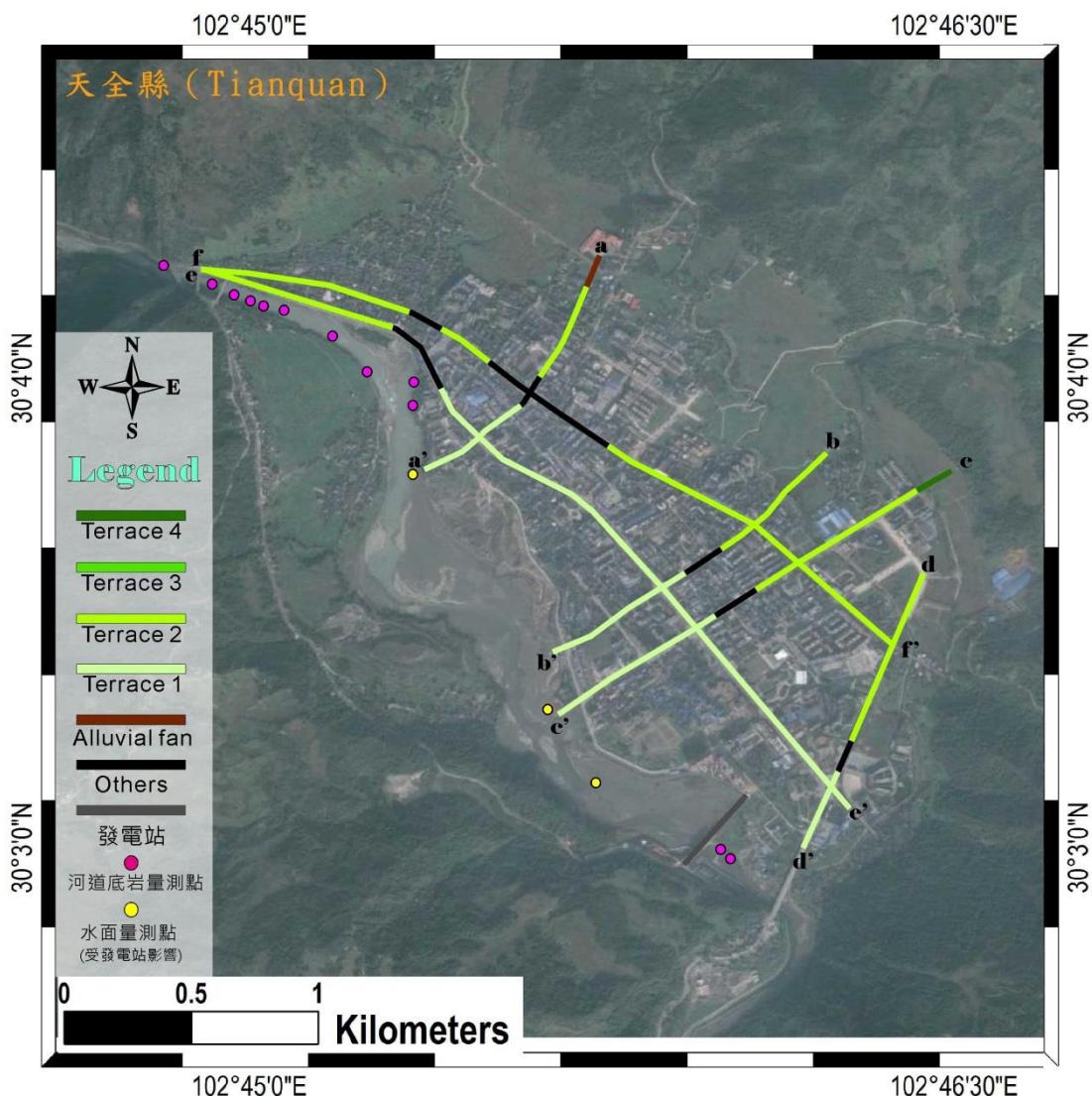
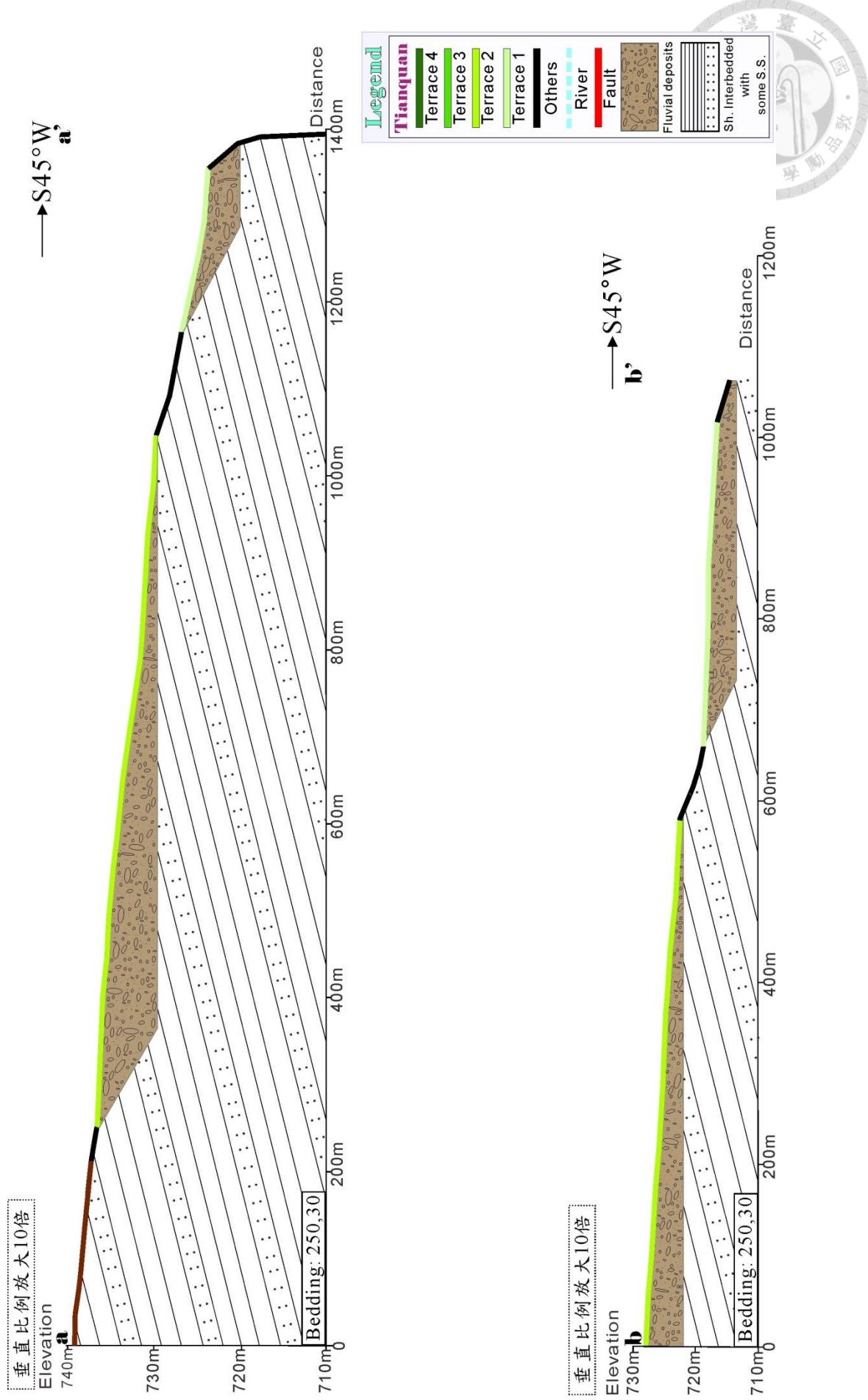


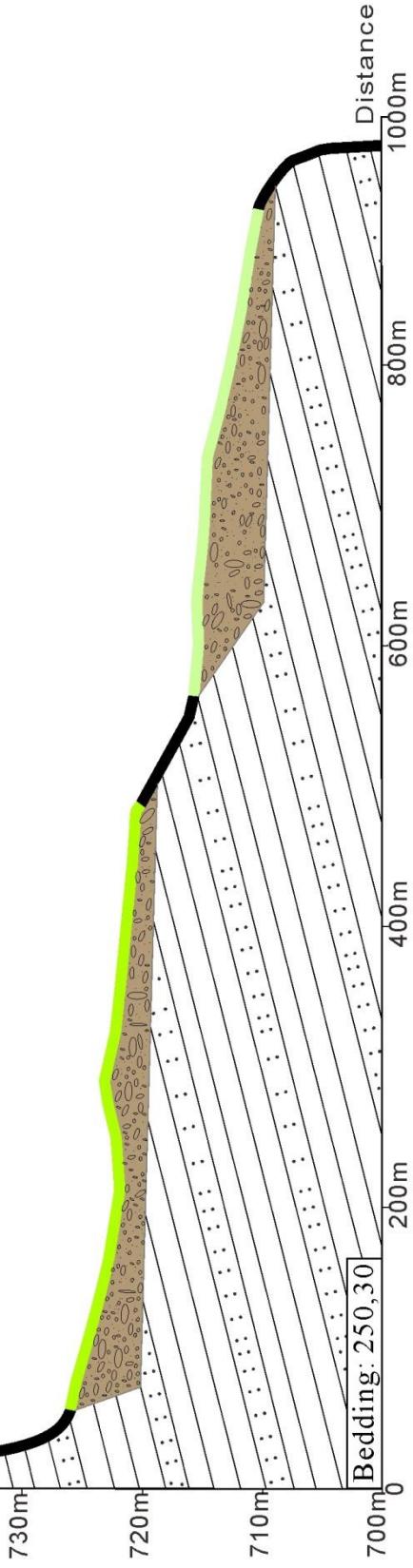
圖 4.2.9、天全縣 RTK-GPS 測量階面剖面及河道量測點分布圖。RTK-GPS 測量剖面給予所對應的河階顏色，有助於將量測結果與影像分析結果比對，繪製河階分佈圖。此外，圖中亦表示，為了減少發電站所造成滿水位的影響，本研究量測的河道高程點位，僅採用不受高水位影響之點位，如遠離發電站或者是發電站壩體下游處（桃紅色點）。



垂直比例放大10倍

Elevation  
740m

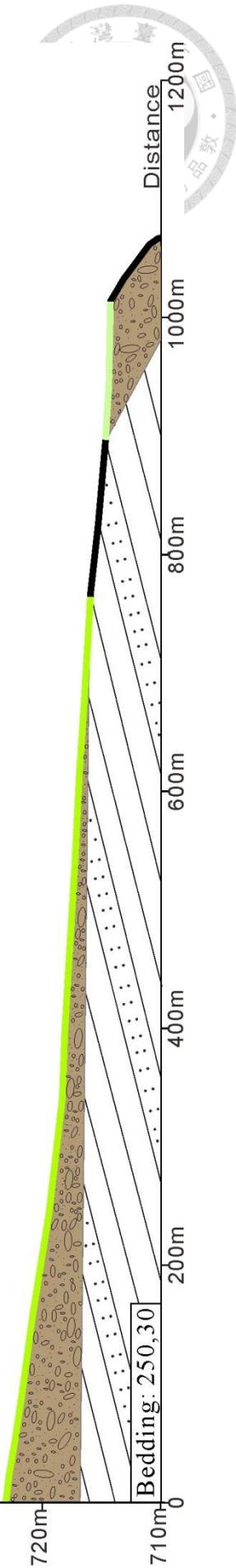
→S45°W  
**c'**



垂直比例放大10倍

Elevation  
730m

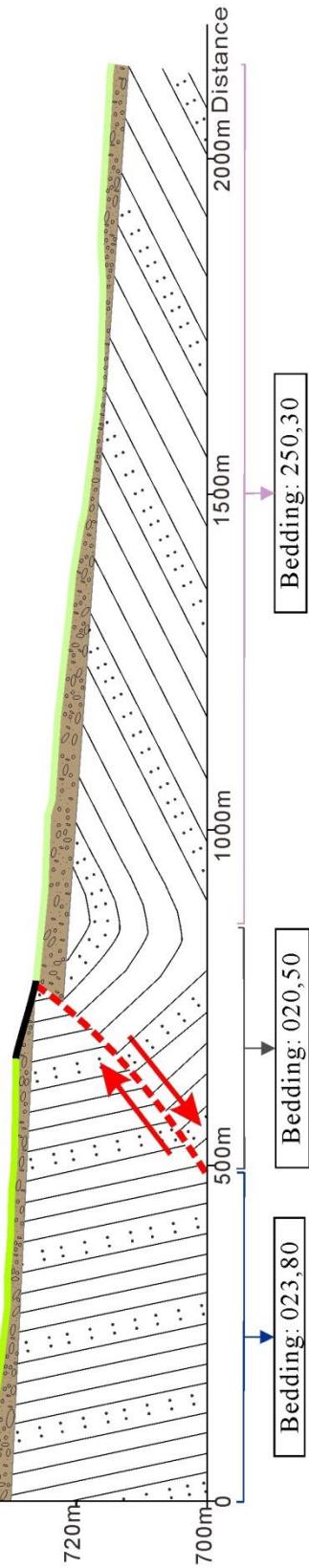
→S45°W  
**d'**



垂直比例放大10倍

Elevation  
740m

→S45°E  
**e'**



垂直比例放大10倍

Elevation  
740m

→S45°E  
**f'**

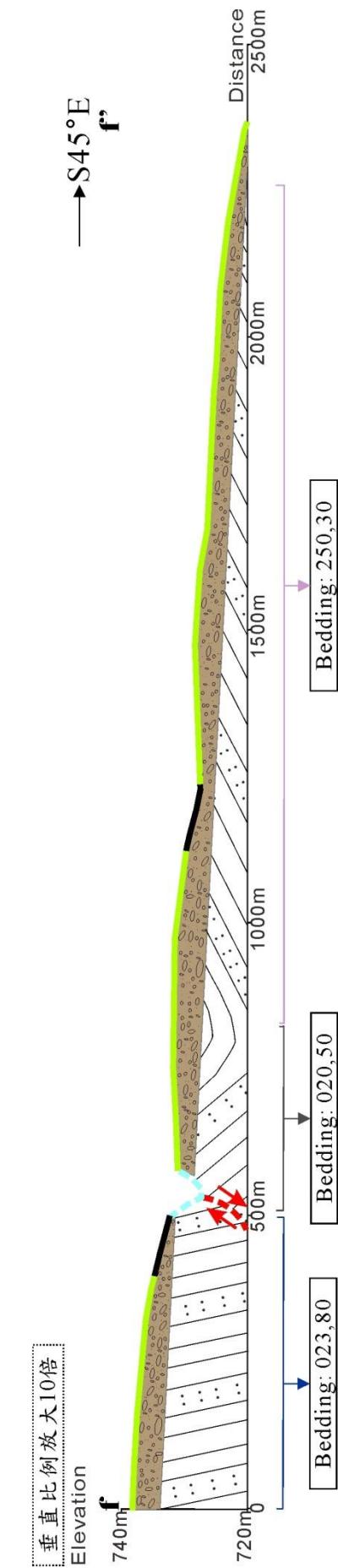




圖 4.2.10、天全縣 a—f 地形剖面圖。地層傾角依據野外量測數據繪製，天全縣地層大致傾角為 30°向北傾。但在斷層附近時，地層傾角有改變，從向北傾 30°轉為向東傾 50°，從出露地層形貌及數據判斷該處應有一向斜，在斷層上盤處，斷層的傾角更陡，為向東傾 80°，其中 a—d 之地形剖面圖為垂直河道；e 及 f 剖面為平行河道。

#### 始陽鎮：

始陽鎮共有 g—k、k 1、l、m 及 m 1，9 條剖面測線及 11 個河道測量點，位置如圖 4.2.11 所示，並利用圖 4.2.8 始陽鎮段河道坡度剖面，計算各河階河拔高度。結果顯示始陽鎮的河階大致可區分成 Terrace 1—Terrace 11 及 2 個古河道所形成的次生階地，本研究將其定義為 4A 與 9A 兩階（圖 4.2.2、4.2.3），因此共有 13 階河階（各階河階所表示的河拔高度如表 4.4）。之後將 9 條剖面上通過河階的區段，標示所屬階位代表顏色，再加上始陽鎮野外量測所得的大致底岩傾角及平均河階河道沉積層厚度，投影至剖面線上，繪製成地形剖面圖（圖 4.2.12）。

表 4.4、始陽鎮各河階階位河拔高（RTK-GPS 測量結果）。

始陽鎮河階位階	河拔高度 (m)
Terrace 1	5—9
Terrace 2	11—14
Terrace 3	16—22
Terrace 4	24—27
Terrace 4A	23
Terrace 5	30—35
Terrace 6	41—43
Terrace 7	47—55
Terrace 8	110—115
Terrace 9	124—126
Terrace 9A	122
Terrace 10	148—158
Terrace 11	160—170

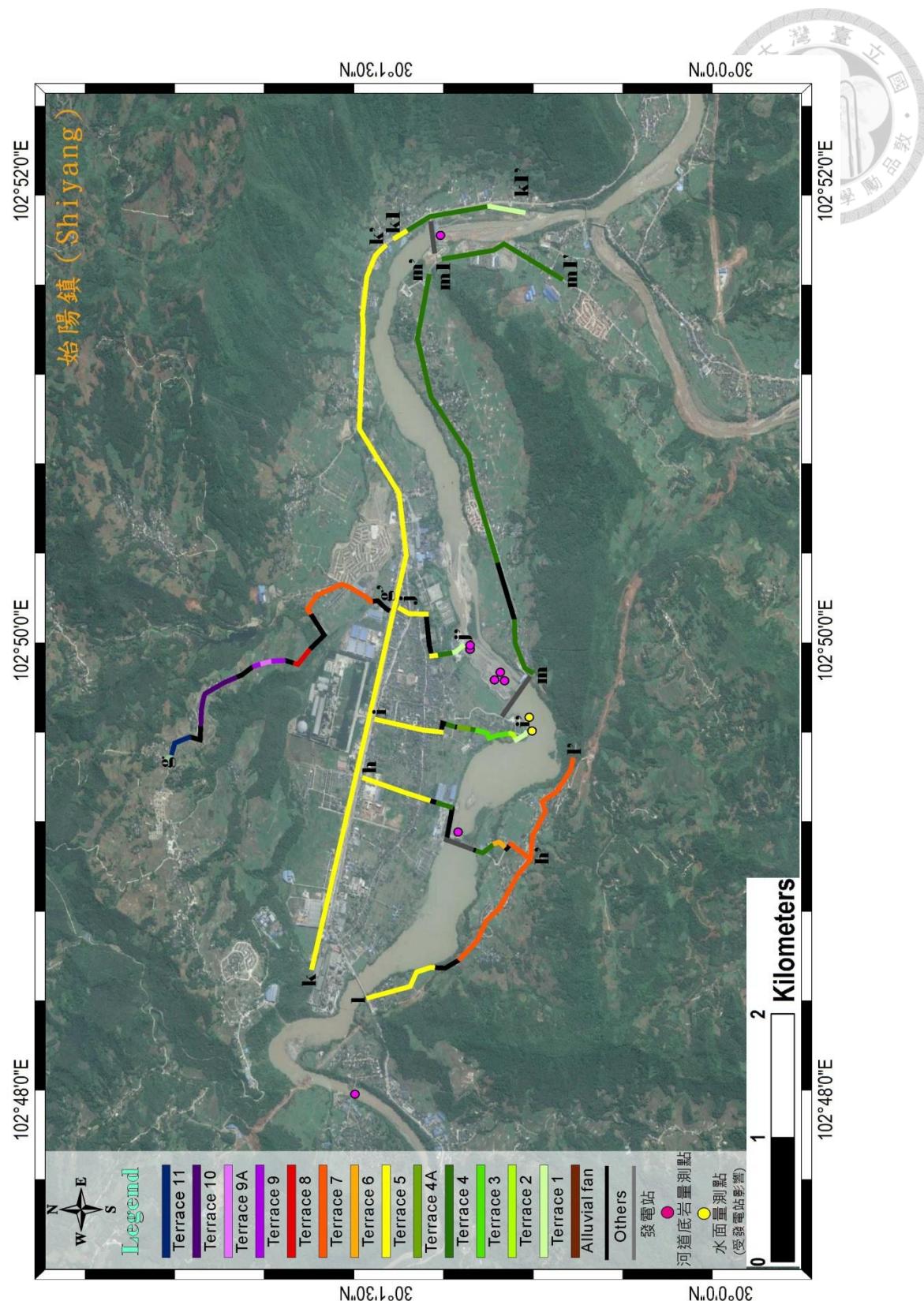
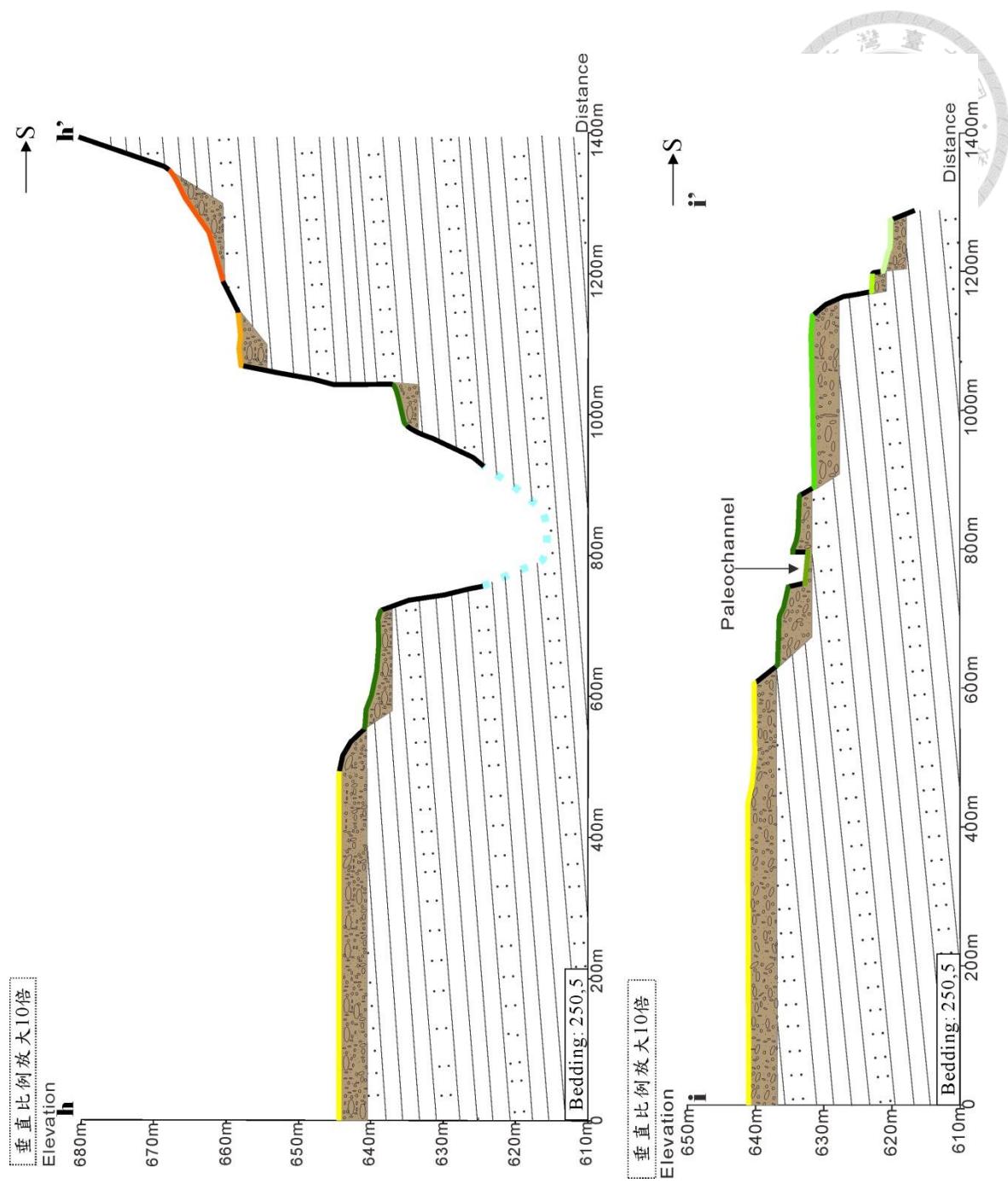
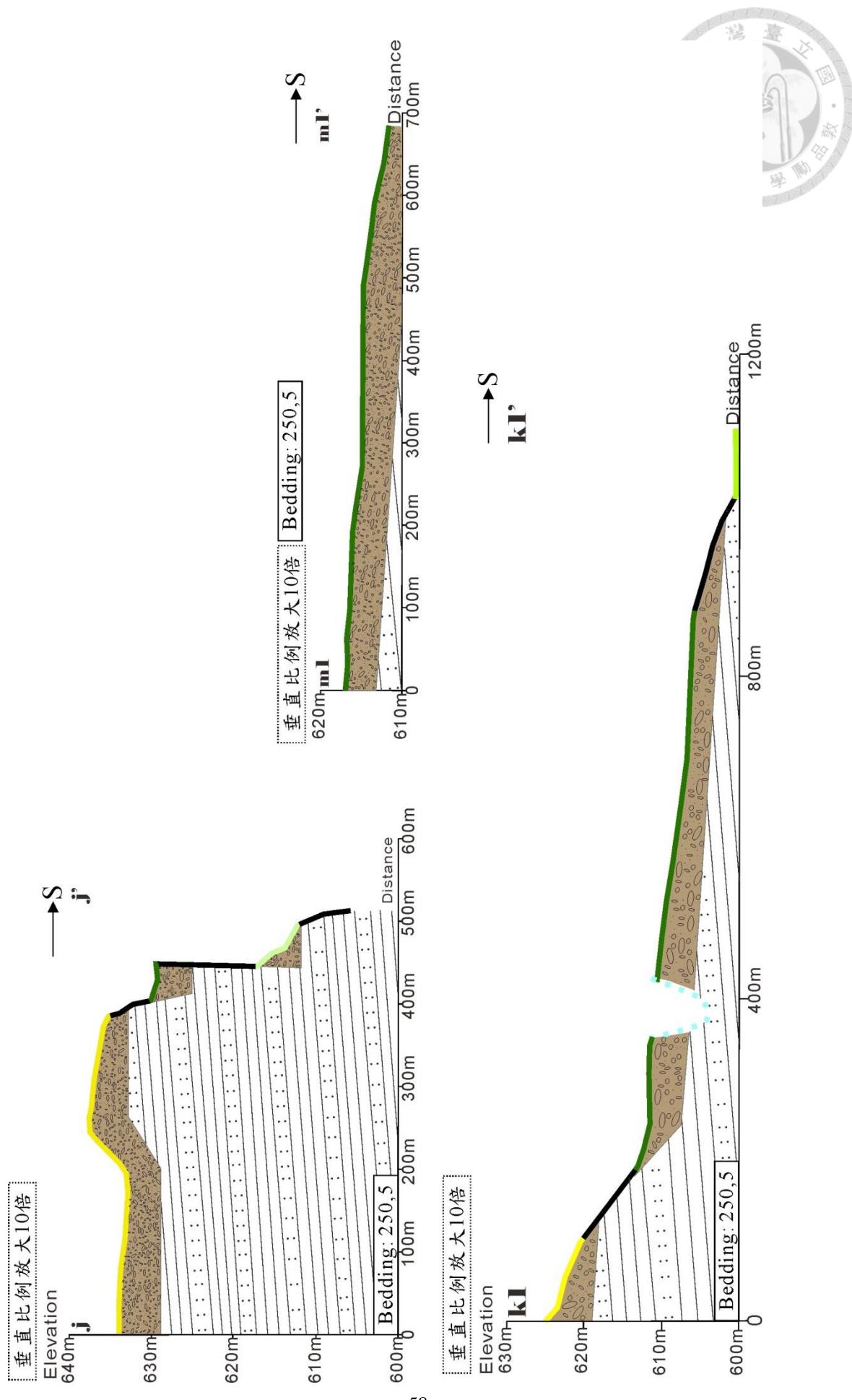


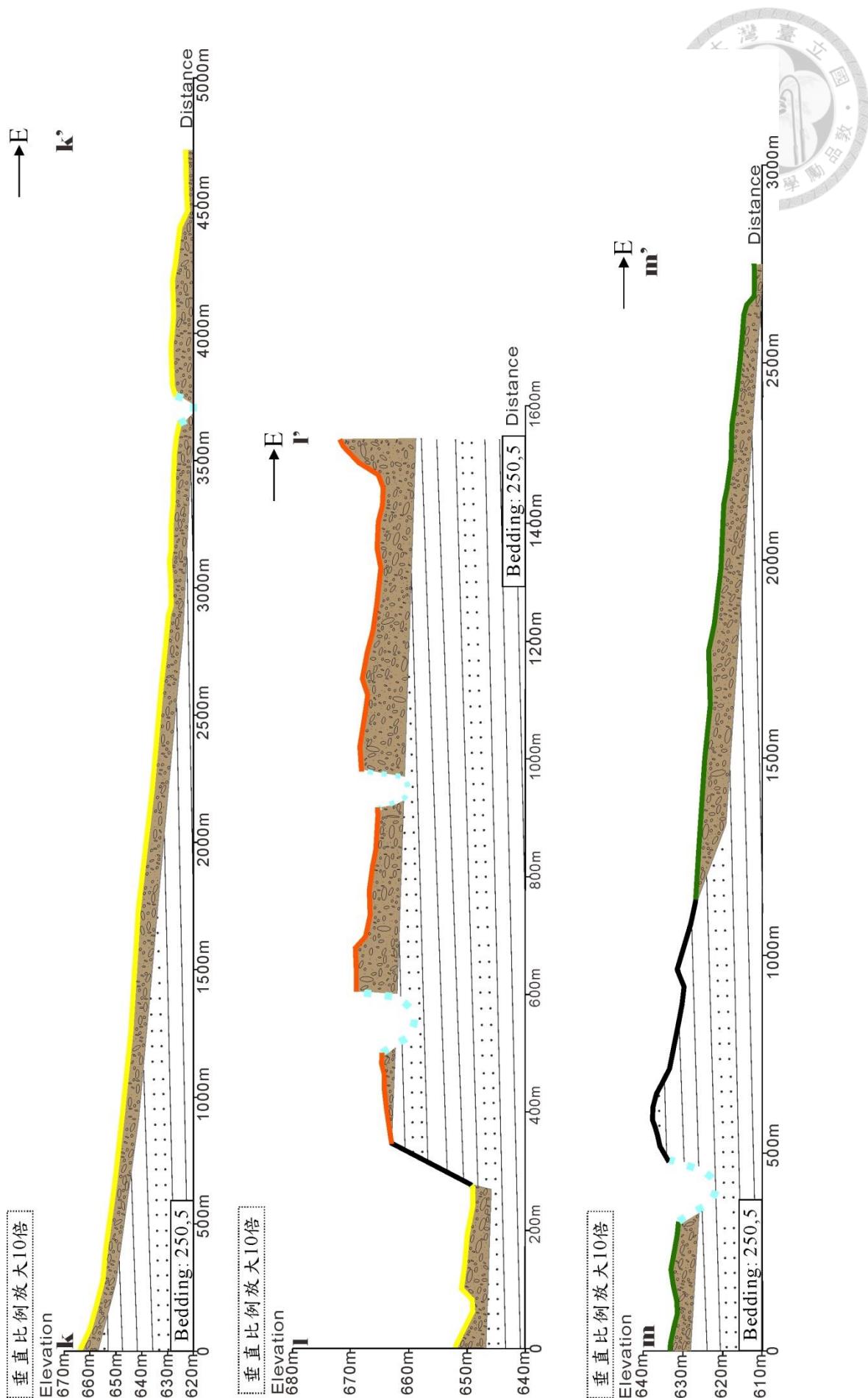
圖 4.2.11、始陽鎮 RTK-GPS 測量剖面及河道量測點分布圖。始陽鎮總共有 3 個發電站，因此電站水位影響河道高程之狀況更為嚴重，故始陽鎮的河道高程測量點基本上只有發電站壩體下游處的數個點。



從河階海拔高度分組結果來看，始陽鎮的河階階位及數目明顯多於天全縣，並且還可以從始陽鎮 13 階河階中再區分出兩大群，一群海拔高度低於 55 公尺以下，另一群為 110—170 公尺，此外可以從 g 剖面看到兩群河階之海拔高度差距達 50 公尺以上。特別的是，此一高海拔河階群，本研究並未在始陽鎮南岸及天全縣階地中發現。從以上的調查結果推論，始陽鎮高低海拔兩群河階形成的過程與機制可能不太相同，由於高海拔階地群的資料較少，未來還需要利用其他方法研究，以釐清其成因上的差異。 $g + h$  剖面為本研究唯一橫跨天全河兩岸的剖面，從剖面上來看，兩岸的河階階位分布並不相同，數量上南岸少於北岸，且北岸河階面積大於南岸，顯示此處的河階並非對稱分布。其次，在  $h - k1$  剖面均可以發現 Terrace 5 為始陽鎮分布最廣且面積最大的階面，也是聚落主要聚集的地方，但是在天全河南岸，從 m 和 m1 剖面結果可以發現，分布最廣且面積最大的階面是 Terrace 4，而不是如同北岸是 Terrace 5。 $k$ 、 $k1$ 、 $m$  及  $m1$  為始陽鎮平行於天全河河道的 4 條地形剖面，從四組剖面中皆未發現有同階的河階面高度突然高起的區域，因此本研究推測始陽鎮並不像天全縣有斷層活動造成河階錯動，使剖面出現明顯的高程差。最後，由剖面 g 及 i 的結果均可發現，疑似由古河道所形成的 Terrace 4A 及 Terrace 9A 均與其兩側階面具有一明顯的小高差，而高度差異又不及其他各階之間的高程差異，顯示本研究認為其為古河道所形成，應該是合理的推測。







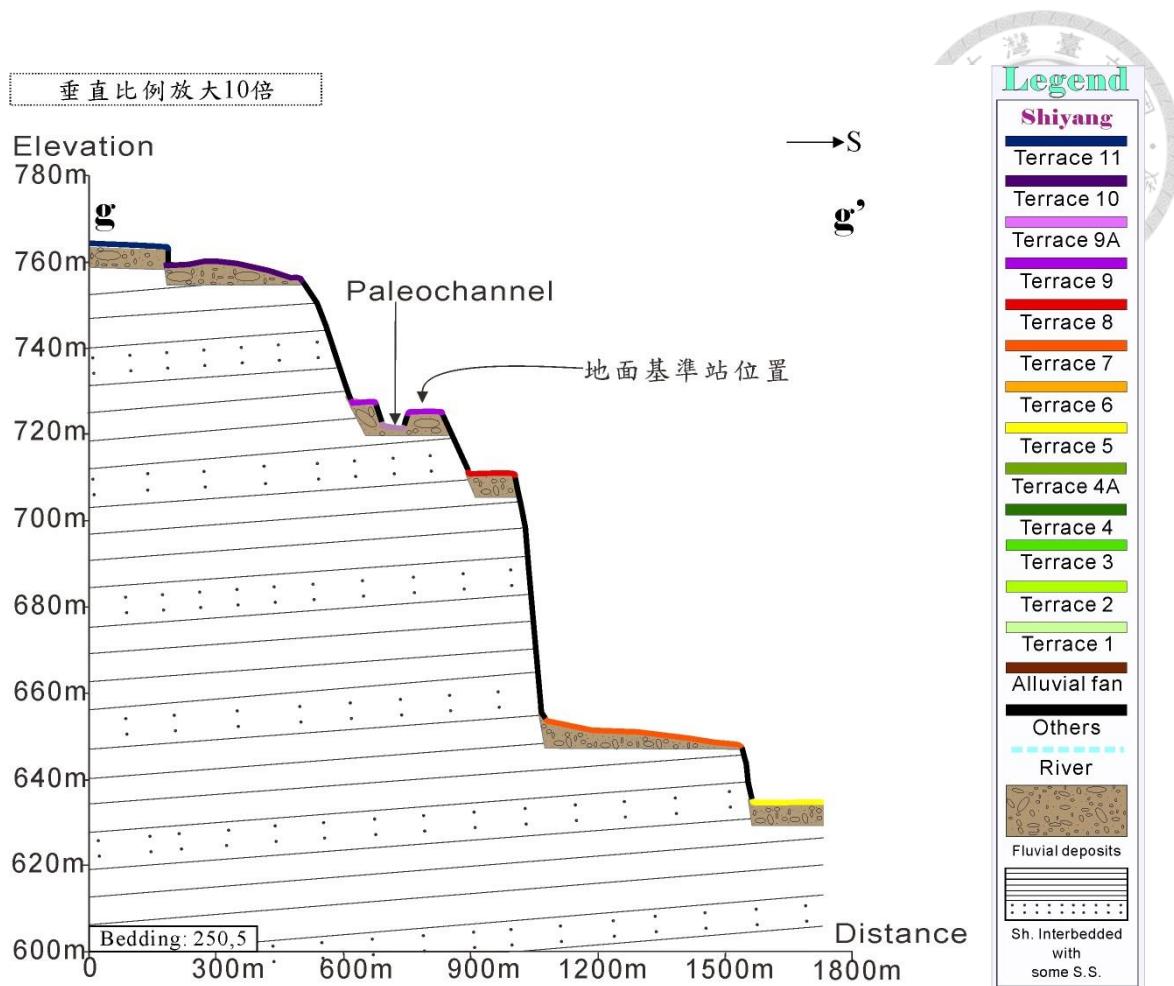


圖 4.2.12、始陽鎮 g–k、k 1、l、m 及 m 1 地形剖面圖。地層傾角主要是依據野外量測數據繪製，始陽鎮地層大致傾角為 5° 向北傾。

最後，本研究將平行於現今天全河河道的階地剖面，與兩地修正後的河道坡度剖面結合，比較兩者的坡度差異如果相同，代表兩地的底岩型河階只是單純受到河水快速下切所形成；如果相異且河階坡度呈現近乎水平的狀態，則表示兩地的河階很有可能是堰塞湖所形成的沉積型河階。

兩城市河道坡度與河階坡度之比較，於天全縣是取用圖 4.2.10 的 f 剖面，將其與天全縣河道剖面比較差異；始陽鎮則取用圖 4.2.12 的 k 剖面，比較始陽鎮河道與階面坡度的差異（圖 4.2.13）。從圖中，可明顯看出不論是天全縣或者是始陽鎮，兩地的階面坡度皆和天全河河道坡度相似，表示兩地的河階應該都為現今的天全河下切所形成之底岩型河階，而不是受堰塞事件所形成的沉積型河階。

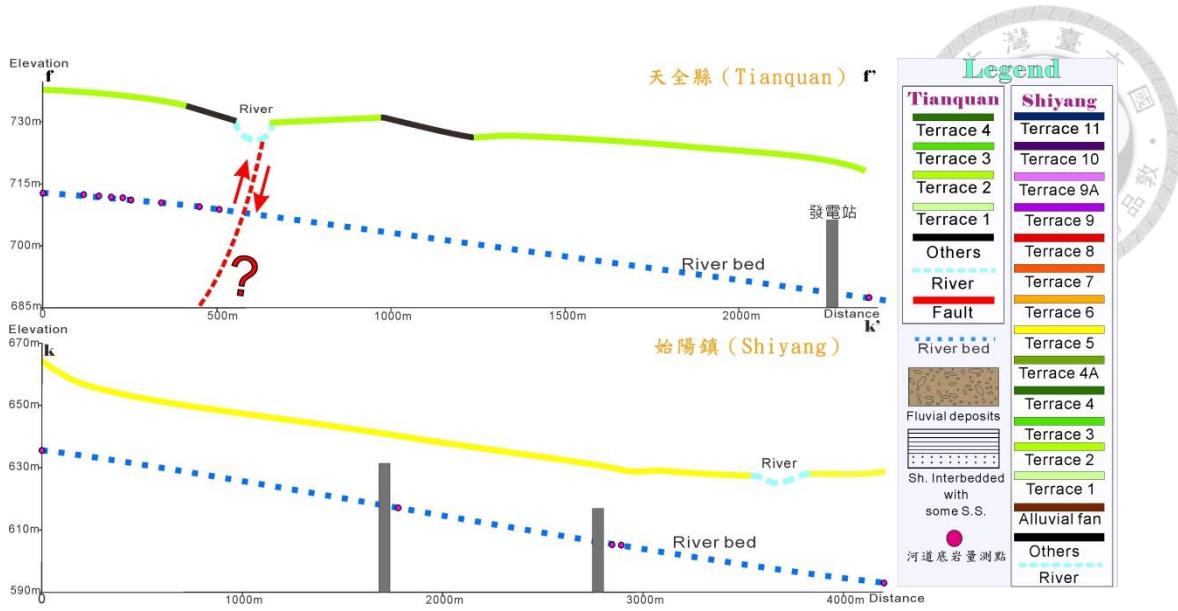


圖 4.2.13、天全縣及始陽鎮河道與階面坡度剖面比較圖。

### 4.3 綜合分析

綜合及交叉分析 4.1 章節的 DEM 分析與 4.2 章節的野外調查測量結果，本研究在河階階面邊界的判定上，主要採用 RTK-GPS 量測數據，數值地形影像分析的結果則僅作參考。因為在天全縣的 DEM 中，判定出來的河階分布情況與現今天全河流向不符，且在某些區域的河階階面邊界上，影像雜訊高，導致判斷上容易有誤差。但是 DEM 的分析結果還是可以輔助判斷階面範圍，因此本研究綜合兩種方法結果重新判定兩地河階分布與階位，此外加上野外調查的其他結果，如古河道形成之次生河階及斷層，修正影像地形分析之結果圖，繪製天全縣及始陽鎮兩地的河階地形分布圖（圖 4.3.1、4.3.2）。在修正的河階分布圖中，除了將野外觀察到的斷層構造加入之外，還可以看到天全縣河階分布的狀況與先前 DEM 分析的結果大不相同（圖 4.1.2），河階的排列方向按照河拔高度依序排列垂直於現今天全河流向。



始陽鎮河階分布圖修改與增加的部份，為野外調查所觀察到，由古河道形成的次生河階。另外在 DEM 分析繪圖中，高低河階群交界處的沖積扇，也依據 RTK-GPS 量測數據，區分成 Terrace 6 及沖積扇兩部分。其修改的程度並沒有天全縣多，主要由於始陽鎮的影像雜訊較少，使得階地判別誤差較小。

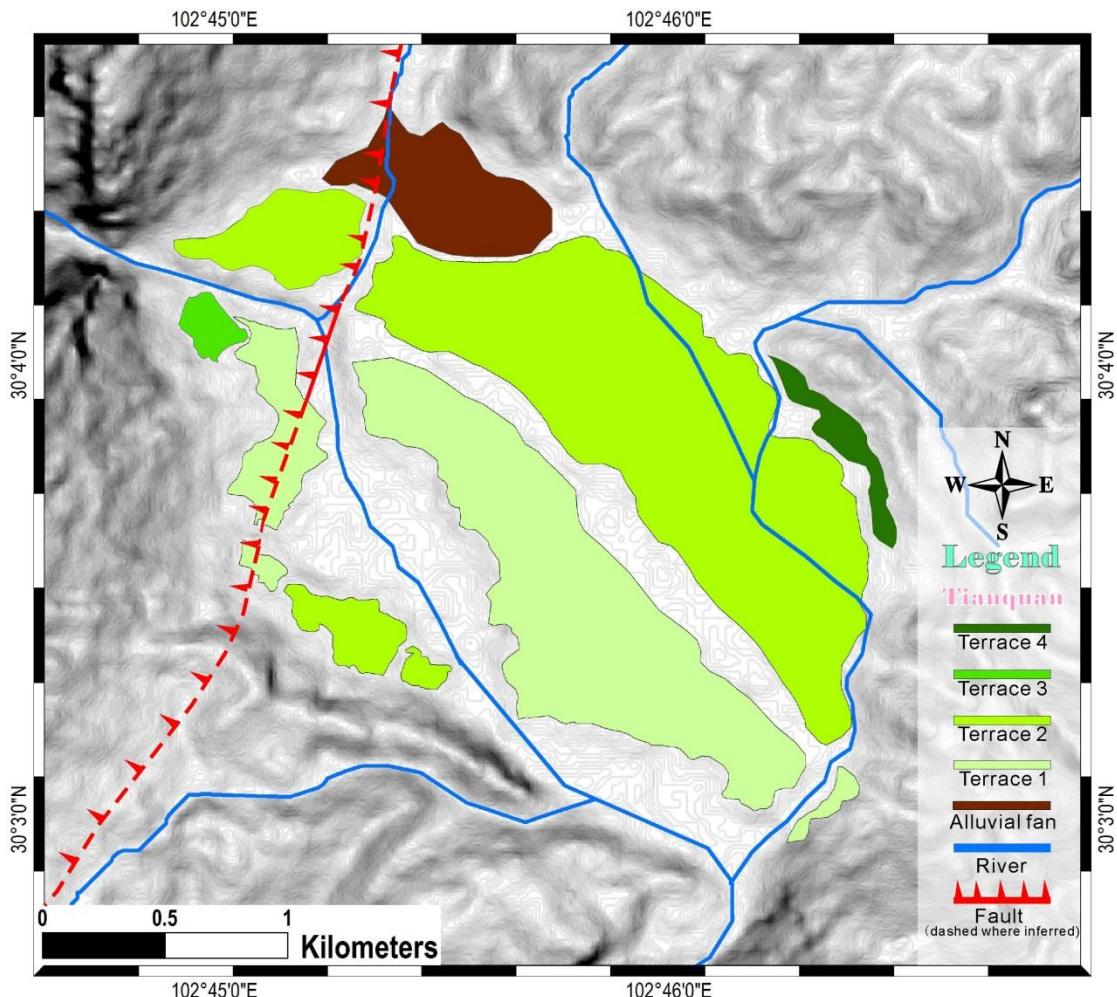


圖 4.3.1、修正後天全縣河階地形分布圖。

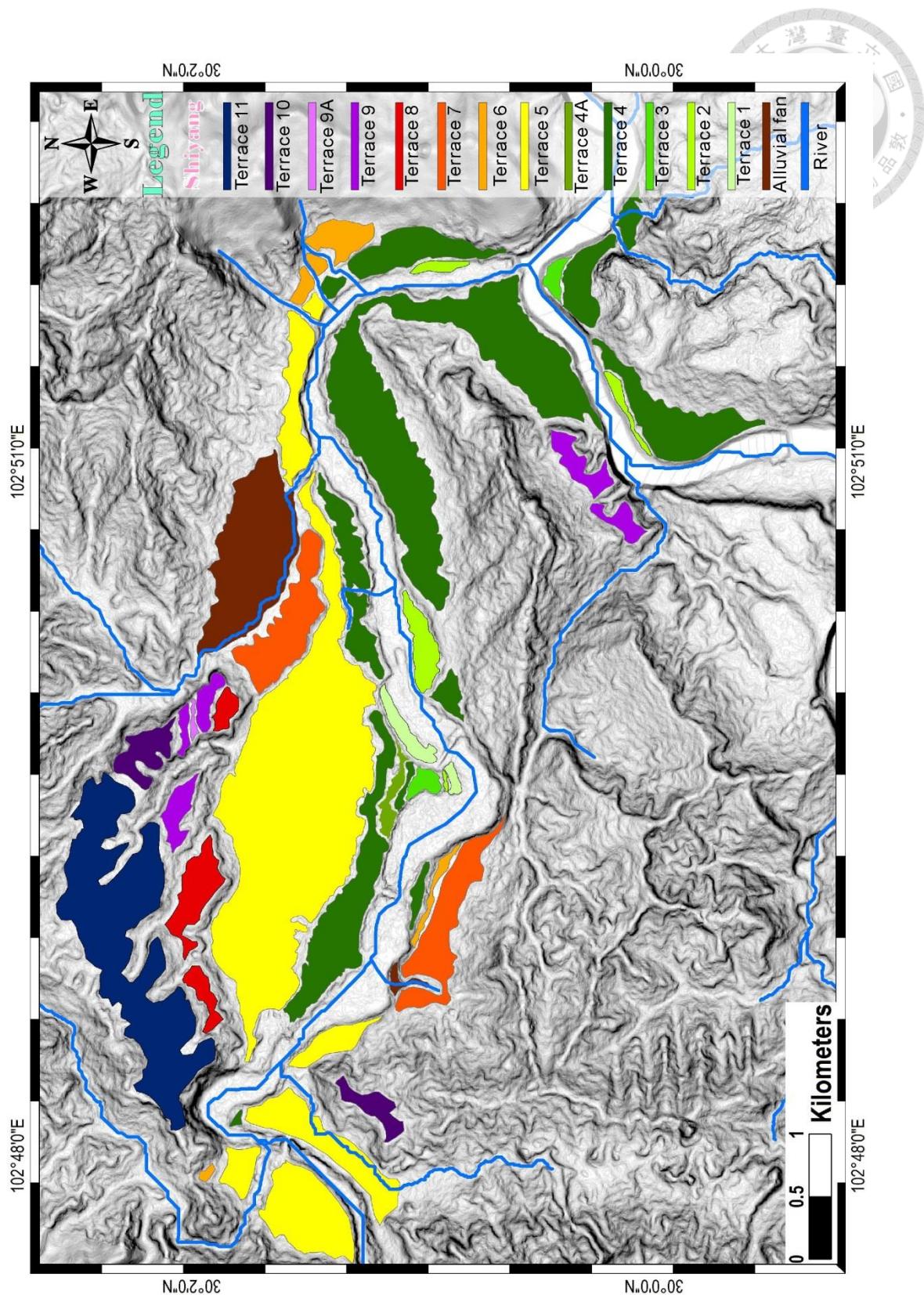


圖 4.3.2、修正後始陽鎮河階地形分布圖。



## 4.4 定年結果

河階的形成年代，有助於推測區域構造活動的時間，為解釋兩地河階成因一個不可或缺的資訊。因此本研究在天全縣  $\alpha$  點採集砂樣本及  $\beta$  點採集碳樣本；始陽鎮  $\gamma$  點採集砂樣本（圖 4.4.1），分別進行光螢光定年及碳 14 定年，以下本研究分別討論兩地兩種定年方法之結果，並將所得河階年代，計算天全河的下切速率。

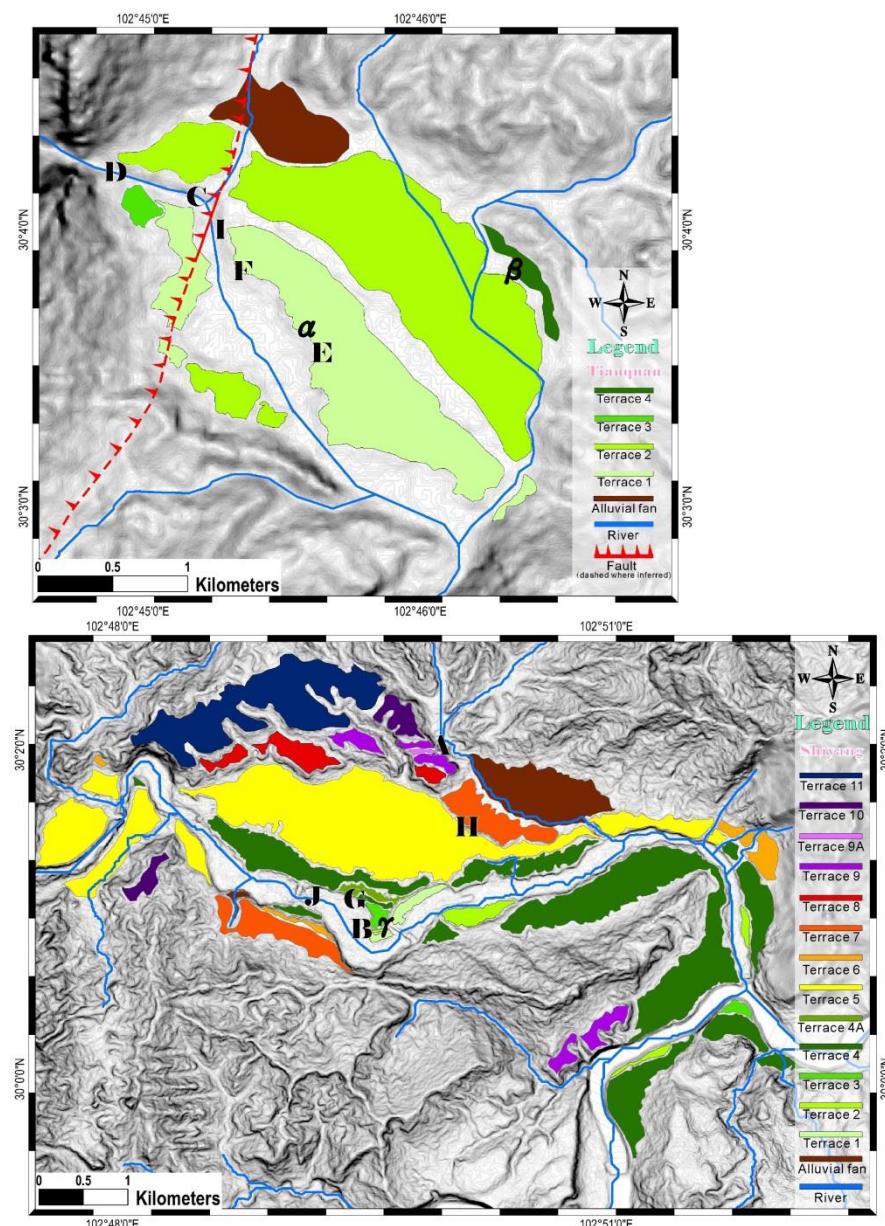


圖 4.4.1、天全縣及始陽鎮野外調查觀測點與定年樣本採樣點位置（A—J 點為野外調查記錄位置， $\alpha$ — $\gamma$  為定年樣本採樣點位置）。



#### 4.4.1 光螢光定年結果

天全縣  $\alpha$  點 ( $N30^{\circ} 03'36.53''$ ,  $E102^{\circ} 45'33.46''$ , 圖 4.4.1) 為一處工地所開挖的露頭，在此發現屬於 Terrace 1 的河道沉積層裡出現一層薄砂層，且該砂層距離階面頂端約 1 公尺，可以避免砂樣本被宇宙射線影響後曬退，而無法利用光螢光定年得到河階年代。

因此本研究於該砂層選定採樣點，利用鐵管打入砂層中（圖 4.4.2），密封開口後取出樣本管（圖 4.4.3），並記錄露頭及砂樣本特性後，將砂樣本送回實驗室先進行前處理，只保留樣本中的石英顆粒，之後將處理後的石英顆粒於暗房內利用外加光線使其曬退，則可得到等效劑量。此外還需要在樣本附近，採取周圍約一公斤重之砂樣本（圖 4.4.4），這部份砂樣本不需以鐵管採取，主要是測量周圍環境每年由放射性元素所之放射量，也就是光螢光定年所謂的年劑量（Annual Dose）。年劑量的測量結果還可以得知放射性元素種類，並且可以得知樣本是否含有 Cs-137。假使樣本放射性元素種類裡含有 Cs-137，代表該樣本應為西元 1950 年核子試爆後所沉積的，則此樣本可不需要再耗時測量計算等效劑量含量。



圖 4.4.2、天全縣光螢光定年採樣點， $\alpha$  點採集示意圖。



圖 4.4.3、光螢光定年樣本及採樣鐵管。



圖 4.4.4、年劑量測量砂樣本。

本研究於始陽鎮  $\gamma$  點 ( $N30^{\circ} 00'59.58''$ ,  $E102^{\circ} 49'34.22$ , 圖 4.4.1), Terrace 3 的河道沉積層裡也發現有合適的砂樣本 (圖 4.4.5),  $\gamma$  點的砂層距離階面也約為 1 公尺, 但該砂層裡面含有許多植物碎屑, 推測此處沉積層可能受過人為開墾的影響, 有可能會影響定年結果。因此採樣時選定植物碎屑較少處, 利用鐵管採集定年用砂樣本, 並在  $\gamma$  點周圍採取約 1 kg 的砂樣本, 之後將砂樣本送回實驗室進行光螢光定年分析以得到等效劑量與年劑量數值。

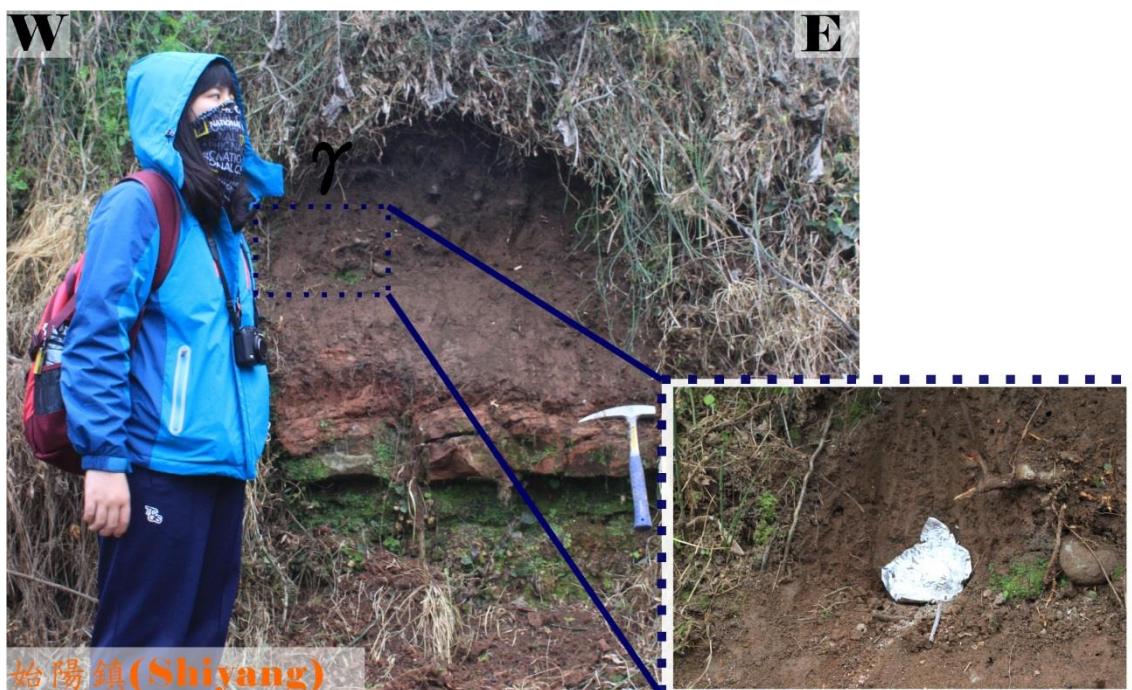


圖 4.4.5、始陽鎮光螢光定年採樣點,  $\gamma$  點採集示意圖, 此處露頭的底岩位態為 (250, 5)。



$\alpha$  及  $\gamma$  點所採集的砂樣本送回國立台灣大學地質科學系光螢光定年實驗室進行分析，測定樣本的等效劑量與年劑量。首先年劑量的結果顯示，始陽鎮  $\gamma$  點樣本有顯著的 Cs-137 訊號，代表此樣本可能受到後期人為的影響擾動或者為西元 1950 年之後才沉積，因此  $\gamma$  點之砂樣本不再進行等效劑量的測定。然而天全縣  $\alpha$  點的結果並沒有 Cs-137 訊號，因此可以繼續進行等效劑量的測量，其結果如附錄二。之後將等效劑量除以年劑量，即可得到  $\alpha$  點河道沈積物年代為  $8.42 \pm 1.29$  ka (表 4.5)，即為天全縣 Terrace 1 的形成年代。

表 4.5、天全縣  $\alpha$  點光螢光定年結果。

等效劑量 (Equivalent Dose)		
	De(Gy)	Err(Gy)
	31.93	4.72
年劑量 (Annual Dose)		
	Value(Gy/ka)	Err (Gy/ka)
	3.79	0.15
$Age = Equivalent\ Dose / Annual\ dose$		
天全縣 $\alpha$ 點 Terrace 1 的年代	Age(ka)	Err(ka)
	8.42	1.29

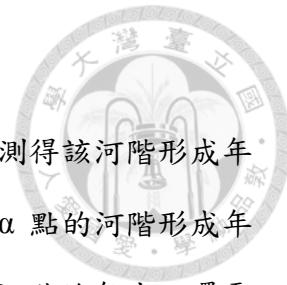


#### 4.4.2 碳 14 定年結果

本研究於天全鎮  $\beta$  點 ( $N 30^{\circ} 03'47.84''$ ,  $E 102^{\circ} 46'23.53''$ , 圖 4.4.1), Terrace 4 的河道沉積層裡採得樹木碳樣本。該樣本所在的沉積層露頭厚度約 5 公尺，主要還可分為上下三層，分別為上層厚約 2 m 的 overbank 沉積物，中層厚約 2.5 m 的礫石層及最下層厚約 0.5 m 的泥層(圖 4.4.6)，其中最下層的泥層也是本研究採取樣本的所在位置。由於此泥層厚度不厚，推測形成的原因應該只是河川氾濫事件，而不是堰塞事件。採樣時為了避免現代碳物質的影響，需使用蒸餾水與金屬製括杓採取碳樣本，並記錄樣本為何種類型後，將樣本寄送到美國 Beta 公司進行 AMS 加速質譜儀分析，測得年代為大於 5 萬年。該定年結果顯示樣本年代已經老於碳 14 定年之上限，因此無法得知天全縣 Terrace 4 的形成年代，只能得知河階形成年代老於約 5 萬年。詳細定年結果，列於附錄三。



圖 4.4.6、天全縣碳 14 定年採樣點， $\beta$  點採集及採樣露頭沉積層分層示意圖。



#### 4.4.3 天全河下切速率計算結果

在天全縣及始陽鎮兩地的定年結果，僅有在天全縣  $\alpha$  點有測得該河階形成年代，其餘二採樣點皆無法實際測得年代，因此僅能運用天全縣  $\alpha$  點的河階形成年代計算天全河的下切速率。要計算河川的下切速率，除了要有河階的年代，還需要有河流的下切量。下切量的計算方式為河階底岩面高度扣除河床底岩高度，但是由於天全河河寬且深，無法量測到河道中心的底岩高度，因此本研究以兩岸旁河道底岩高度數據替代（圖 4.4.7）。此外，由於本研究 RTK-GPS 測量之河階河拔高度包含河道沉積層厚度，所以河階河拔高度也需扣除河道沉積物厚度，才是真實的底岩面高度。

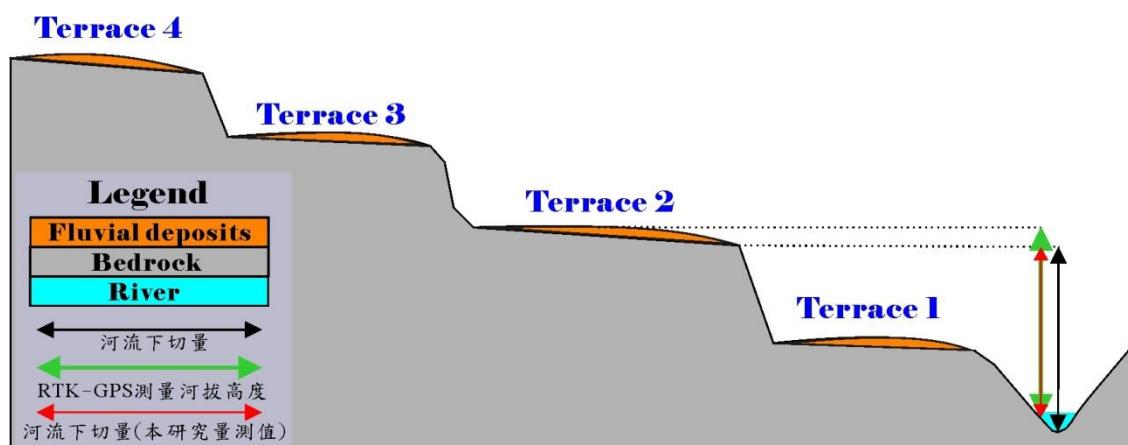


圖 4.4.7、河川下切量示意圖。從圖中可以得知，由於本研究所量測的下切量未考慮河水深度，故會小於真實河道的下切量，因此計算出來的河道下切速率，應為最小值。



天全縣的  $\alpha$  點位在天全縣 Terrace 1，其階面河拔高度約為 16 m，此外由野外調查記錄顯示，天全縣的河道沉積層平均厚度約為 1—5 m，因此天全縣 Terrace 1 的底岩面高度應介於 11—15 m 之間，所以可將此計算結果視為天全縣  $\alpha$  點的底岩高度。將下切量範圍除以河階形成年代，即可獲得天全河下切速率之最大值及最小值，如表 4.6。

本研究計算所得之天全河下切速率介於 2.10 mm/yr~1.13 mm/yr。此一下切速率範圍較大的原因，在於底岩面高度有範圍與河階年代誤差值比較大，導致計算出來的下切速率範圍較大。假設近期內天全河之侵蝕基準面不變，且其河道達到平衡，本研究所得的下切速率可以等於天全縣區域的構造抬升速率，所以天全縣區域的構造抬升速率約介於 2.10 mm/yr~1.13 mm/yr。

表 4.6、天全河下切速率範圍。

下切速率最大值	下切速率最小值
15000 mm / 7130 yr = 2.10 mm/yr	11000 mm / 9710 yr = 1.13 mm/yr



## 第五章、討論

### 5.1 天全縣及始陽鎮河階成因討論

根據本研究第四章的研究成果顯示，天全縣及始陽鎮兩地的河階群形成原因，並不是因為堰塞事件所形成的沉積型河階，而是屬於受構造抬升而形成的底岩型河階。本研究的判斷準則乃是根據以下 5 點觀察成果：

1. 天全縣及始陽鎮兩城市河階露頭，均無發現屬於堰塞事件的湖相沉積序列，所以兩地河階應該不是因為堰塞事件所形成的沉積型河階。
2. 兩地河階露頭的河道沉積層均小於 10 m，且沉積層中的礫石與現今天全河相似，顯示出兩地河階應該皆為現今天全河下切所形成的底岩型河階。
3. 兩城市的河階露頭皆有底岩出露，這也是典型底岩型河階的特徵之一。
4. 透過 RTK-GPS 的高程量測結果，河階坡度與河道坡度趨勢一致，且河階坡度並非水平，表示兩地河階群不是受到堰塞事件後推積所形成的河階，皆為現今的天全河所形成。
5. 本研究在天全縣河道中發現有斷層構造出露，代表此處的確可能受到新構造作用所影響，此項結果更加證明了兩地河階的形成原因極有可能是受到構造所抬升而形成底岩型河階。

雖然天全縣及始陽鎮兩地河階皆為受構造抬升所形成，但從本研究量測及統整結果，兩地的河階階數及河拔高度所呈現的差異（表 4.3、4.4），表示兩地河階的形成機制及年代應該存在有差異。然而由於本研究的定年樣本不足，無法有效對比兩地河階的形成年代，使得推測兩地階地形成上的差異有所難度，這部份還需要未來其他研究來釐清，但是可以確定的是，兩地河階形成原因應該和天全 A 斷層較無關連，因為兩地的河階地皆位於斷層的下盤，因此造成兩地抬升的構造極有可能是東側的大邑斷層、新開店斷層甚至更東緣的龍泉山斷層（圖 2.2.1）。



## 5.2 天全 A 斷層的活動影響

本研究於天全縣的天全河河道中，發現一個疑似斷層的構造（圖 4.2.4），由於該構造尚未有前人研究提及，故本研究暫且先稱之為天全 A 斷層。天全 A 斷層是否為一活動構造，造成天全縣地表變形，又或者早已不再活動，對於區域的構造活動性及地區性的地震防災來說，都是極為重要的議題。因此本研究從以下幾個地形特徵，來探討天全 A 斷層是否在近代仍有活動，且對於現今天全縣的地形造成影響：

1. 河階是否有被錯動變形及造成明顯的抬升。從 RTK-GPS 的 f-f' 剖面顯示出，位於斷層上盤的 Terrace 2 坡度並未有太大的改變，但與下盤的 Terrace 2 却存在有 5 公尺左右的高差（圖 5.2.1）。上盤的河階坡度在量測剖面上變化並不明顯的原因，可能是受到人為因素，如開墾與建物的影響，導致量測到的坡度並沒有太大的變化。整體來說，天全 A 斷層的活動可能有造成 Terrace 2 在上下盤之間，出現了高程差。

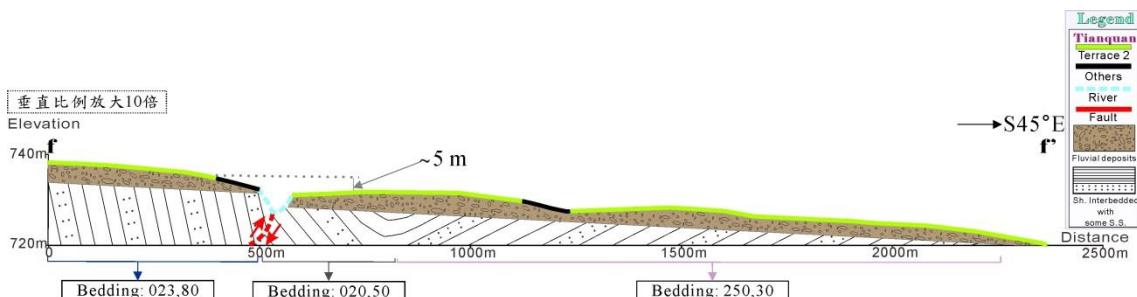


圖 5.2.1、階崖高差示意圖。

2. 從 RTK-GPS 河道高程坡度的計算結果，發現天全縣河道的整體坡度相較於始陽鎮河道坡度約陡  $0.1^\circ$ （表 5.1）。為此本研究重新審視天全縣河道剖面，發現河道坡度在經過斷層的時候，位於斷層下盤的河道剖度比斷層上盤的河道剖度陡。然而本研究懷疑這可能是因為斷層下盤僅有一個河道坡度高程量測點，再加上未考慮天全 A 斷層是否有造成上盤河道抬升，使得原始繪製的天全縣河道



剖面出現下盤河道坡度較陡的現象。野外的觀察也顯示，位於斷層交界帶附近的河道，僅有上盤出露底岩，而下盤則不見底岩，可能代表天全 A 斷層的活動造成河道上的斷層交界處出現少許底岩落差（圖 4.2.4）。基於上述推測，本研究考慮天全 A 斷層的活動，先將天全縣河道數據區分成上下盤兩組數據重新計算，結果位於斷層上盤的河道坡度為  $0.45^\circ$ （圖 5.2.2,b）與始陽鎮的河道剖面類似。由於上盤河道的量測點較多，此一坡度應較為準確。然而本研究亦考慮上盤河道有受到天全 A 斷層影響而坡度變得較緩，故下盤河道採用始陽鎮河道之  $0.49^\circ$  坡度，利用下盤唯一的河道量測點，回推河道剖面至斷層位置，顯示斷層可能造成河道出現數公尺的高程差（圖 5.2.2,c）。由此可知，天全 A 斷層可能在近期仍有活動，甚至造成了底岩河道在上下盤兩側出現了高差。

不論是河階面或是河道剖面，均顯示出天全 A 斷層的活動有對其造成影響，所以天全 A 斷層並不是一條不活動的古斷層。因此從本研究的推測結果，應持續觀測天全 A 斷層的活動性，了解該斷層的構造特性，以提前預防未來地震災害所造成的影響。此外，從野外底岩位態量測結果，從圖 5.2.1 中可以看到有一向斜，且位於斷層上盤其傾角為  $80^\circ$ ，再加上河道與河階上下盤之間的高程差，透過以上的野外調查結果，本研究推測天全 A 斷層應為逆斷層系統。

**表 5.1、天全縣及始陽鎮兩地河道坡度與河階坡度（計算數據取自於附錄一 RTK-GPS 測量結果）。**

城市	河道坡度	河階坡度
天全縣	$0.57^\circ$	$0.5^\circ$
始陽鎮	$0.49^\circ$	$0.48^\circ$

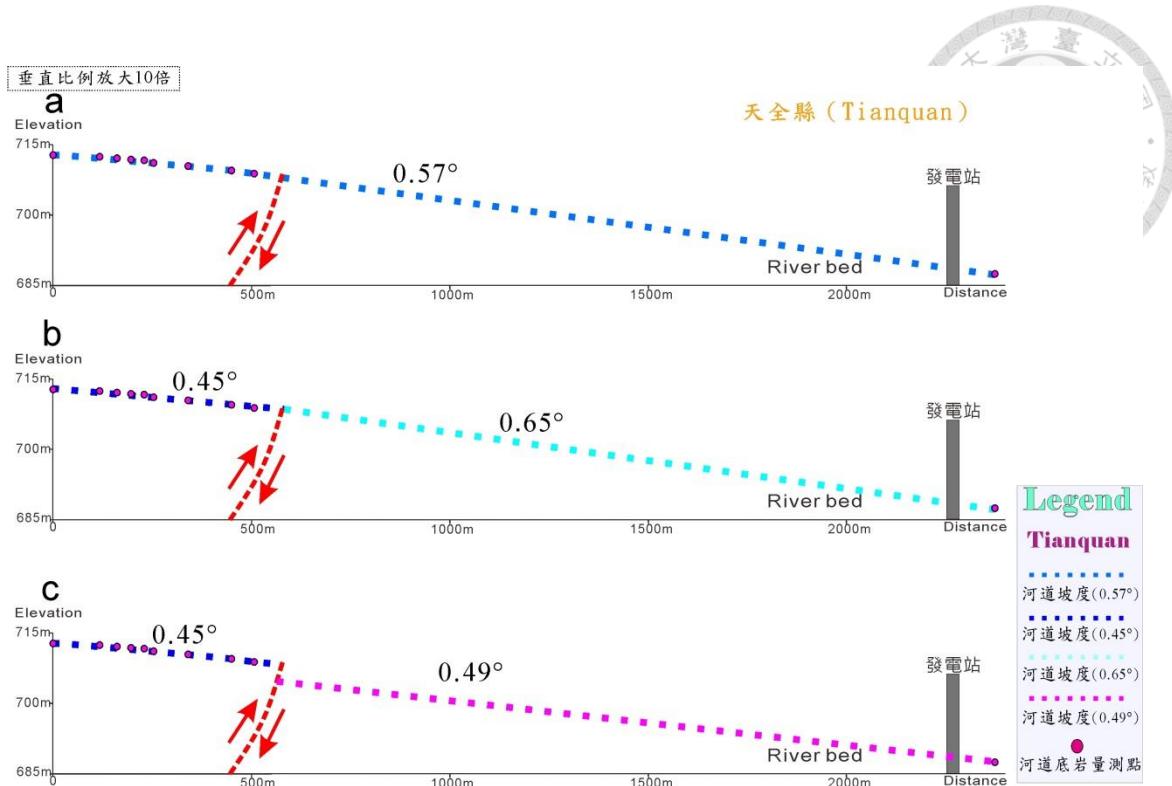


圖 5.2.2、天全縣河道坡度修改示意圖，A 圖為原本未修正天全縣天全河河道坡度，B 圖為斷層上下盤河道坡度（分成上下盤計算河階坡度），C 圖為修正後天全縣天全河河道坡度圖。

### 5.3 天全河沿岸構造速率探討

本研究推測天全縣及始陽鎮兩城市河階群皆為受到構造抬升的底岩型河階，但由於該區域河階的定年結果僅有一個，對於推測該區域的活動構造特性略有難度，為此本研究嘗試利用兩地的河階海拔高度，加上既有定年結果的河階年代，來推算各河階的大致形成年代，期望從河階的形成年代獲取更多有關於區域活動構造特性的資訊。因此本研究利用天全縣各河階之海拔高度（表 4.3），除以天全縣構造抬升速率之中間值，以獲得各河階之大致形成年代。計算結果如表 5.1，但表中天全縣 Terrace 4 的年代僅有 2 萬年，遠小於碳 14 定年的結果。從兩者的年代差異，可能表示天全縣的構造抬升速率過去曾經小於  $1.5 \text{ mm/year}$ ，而後方才增快，如此 Terrace 4 的形成年代才會大於 5 萬年。如此的區域構造速率變化結果與 Liu et



al. (2015) 研究同屬於龍門山斷層帶南段的青衣江河階所得結果相似，這部份將於 5.4 節討論及比較。

**表 5.2、天全縣各河階形成年代，僅考慮 Terrace 1 的定年結果，其餘河階形成年代為回推所得。**

天全縣河階位階	河階形成年代
Terrace 1	8420±1290
Terrace 2	11700
Terrace 3	15000
Terrace 4	20000 (C-14 定年結果大於 50000)

## 5.4 龍門山斷層帶構造抬升速率探討

在蘆山地震區域，青衣江是另一條流過此區域的河流，同時也是該區域的主流。Liu et al. (2015) 對於青衣江沿岸的思延鄉河階群（圖 5.4.1），曾進行河階特性相關的研究，並計算該區域的構造抬升速率，其結果如表 5.3 所示，會選定該區域進行比較的原因在於該處也位於雙石-大川斷層下盤，此外也屬於峽谷中出現的寬廣河階群，所在位置以及地貌條件均相似於本研究天全縣及始陽鎮河階。從其結果顯示出青衣江的活動構造抬升速率有由慢轉快的趨勢，這部份與本研究天全河天全縣的構造抬升速率相似。從同屬龍門山斷層帶南段的兩區域都有相似的結果，可能代表著整體龍門山斷層帶南段的構造抬升速率都存在著早期較慢，近期速率才轉快的趨勢。

此外前人因為汶川地震與蘆山地震兩者存在迥然不同的地表破裂特性，而懷疑龍門山斷層帶南北段的構造抬升速率應該有差異。然而本研究將天全河的構造抬升速率，與龍門山斷層帶北段前人研究之構造抬升速率，如李勇等 (2005) 於岷江紫坪鋪與馬保起等 (2005) 於岷江汶川等地之研究進行比較，本研究選定兩研究全新世以來的河階定年結果，且都位於上次汶川地震的發震斷層，北川映秀



斷層下盤。其結果均顯示出構造抬升速率大概都介於 1-2 mm/year 之間，顯示龍門山斷層帶北段與南段全新世以來的構造抬升速率並沒有存在明顯的差異。

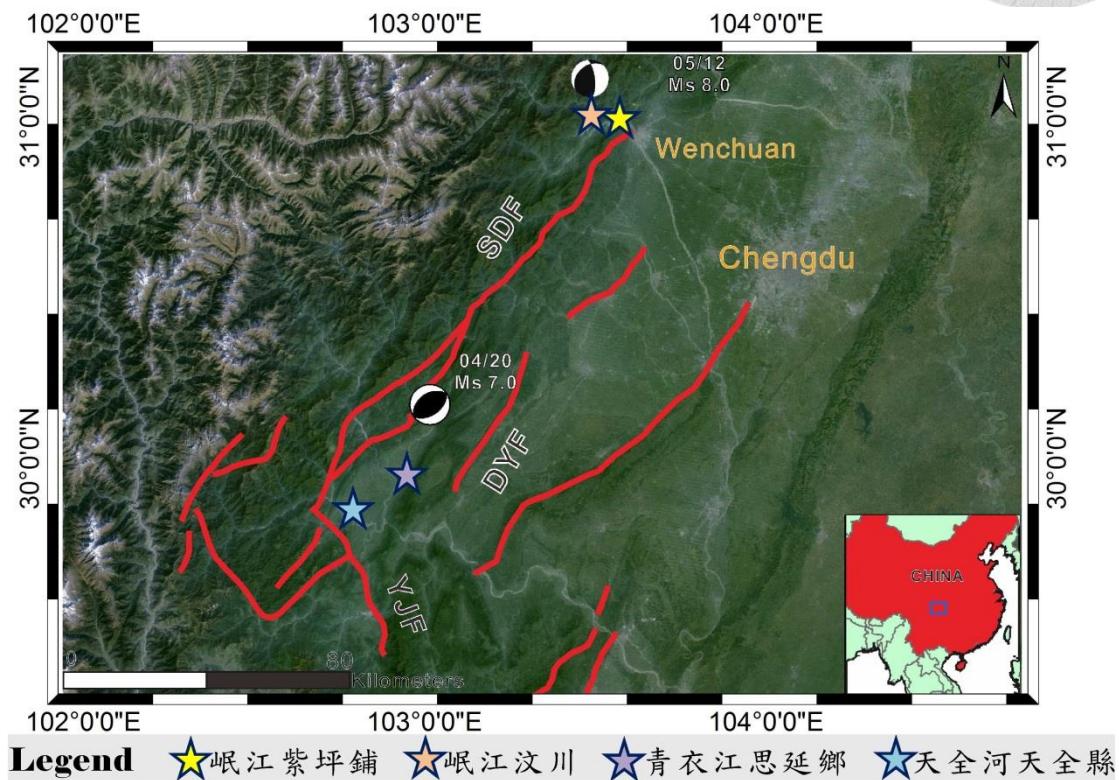


圖 5.4.1、龍門山斷層帶前人研究位置對照圖（各區域構造抬升速率如表 5.3）。

表 5.3、龍門山斷層帶各區構造抬升速率。

地點	河階年代(定年方法)	構造抬升速率 (mm/year)	引用來源
岷江紫坪鋪	12 ka (TL)	1.6	李勇等, 2005
岷江汶川	8.8 ka (TL)	0.8~1.2	馬保起等, 2005
青衣江思延鄉	5 ka (C-14)	1.6	Liu et al., 2015
	30 ka (ESR)	0.36	唐熊等, 2009
天全河天全縣	>50 ka (C-14)	<0.8	本研究
	8.4 ka (OSL)	1~2	本研究



## 第六章、結論

1. 四川天全河沿岸天全縣及始陽鎮兩地出現似盆地形貌之地形，本研究透過 ALOS 5 m DEM 分析的結果顯示兩地平坦的地形形貌皆為河階。
2. 本研究使用 RTK-GPS 實地量測天全縣及始陽鎮兩地河階地形的高程，其量測結果有效修正原本因影像雜訊較高難以判斷河階邊界的區域，有助於繪製及判定河階的階數及分布。
3. 天全縣及始陽鎮兩地河階，透過野外調查的結果，發現兩地的河階均有明顯的底岩出露，且河階露頭大致皆為上層厚約 1-5 m 的河道沉積層，覆蓋在下層應為白堊系砂頁互層的底岩上。此外兩城市的河道沉積層中的礫石特性及大小與現今天全河河道上的礫石相似。這樣的河階特徵，表示天全縣及始陽鎮兩地的河階皆為現今天全河下切所形成的底岩型河階。
4. 本研究並未在天全縣及始陽鎮兩地河階露頭，發現屬於堰塞事件的湖相沉積序列。此外從 RTK-GPS 的河階坡度與河道坡度測量結果，顯示出兩者坡度一致，河階坡度並沒有呈現代表堰塞事件堆積的水平坡度。因此兩城市的河階不是因為堰塞事件所形成的沉積型河階，而是由天全河下切造成的底岩型河階。
5. 統整野外調查與影像分析結果，繪製及判定兩地河階數及分布，天全縣河階主要有 4 階，其中最大的階面為 Terrace 2；始陽鎮的河階階數較多，可分為 13 階，並包含 2 階古河道支流所形成的次級河階，始陽鎮最大的階面為 Terrace 5。
6. 本研究於天全縣河道中發現之天全 A 斷層，根據河階剖面、野外河階底岩出露型態與河道坡度修正結果，都顯示出其活動性對於天全縣的地形形貌有造成影響，此外此結果更隱示天全縣及始陽鎮兩地的河階極有可能為受到構造抬升所形成。
7. 本研究於天全縣 Terrace 1 採集了砂樣本，進行光螢光定年，其年代結果為 8420 ±1290 年。利用此一河階年代進行計算，得到天全縣的河道下切速率範圍介於



1-2 mm/year 之間。假設近期內天全河之侵蝕基準面不變，且其河道達到平衡，本研究所得的下切速率可以等於天全縣區域的構造抬升速率。

8. 本研究利用天全縣 Terrace 4 的 C-14 定年結果，與 Terrace 1 的光螢光定年結果比較，發現天全縣構造速率有由慢轉快的趨勢，前人研究同屬龍門山斷層帶南段的青衣江河階所得的構造抬升速率也有相同的現象。所以這樣的相似結果可能表示著整個龍門山斷層帶南段近期的構造速率皆有由慢轉快的趨勢。
9. 本研究所得天全縣構造抬升速率與前人研究龍門山斷層帶北段的汶川地區河階所得之構造抬升速率相似，表示龍門山斷層帶北段與南段近期構造抬升速率並沒有太大的差異。
10. 本研究以構造地形學方式，繪製河階與構造分布、分析階地的成因及特性並討論天全 A 斷層的活動性，初步討論四川省天全縣及始陽鎮兩城市區域的新構造特性。本研究成果將有助於該區域未來進一步的新構造研究，並且用於預防地質災害，以保護該區域高達百萬人的生命及財產安全。



## 參考文獻

### References

- Aitken, M., & Smith, B. (1988). Optical dating: recuperation after bleaching. Quaternary Science Reviews, 7(3-4), 387-393.
- Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). Tectonic geomorphology: John Wiley & Sons.
- Burchfiel, B., Zhiliang, C., Yupinc, L., & Royden, L. (1995). Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China. International Geology Review, 37(8), 661-735.
- Chan, Y.-C., Chen, Y.-G., Shih, T.-Y., & Huang, C. (2007). Characterizing the Hsincheng active fault in northern Taiwan using airborne LiDAR data: detailed geomorphic features and their structural implications. Journal of Asian Earth Sciences, 31(3), 303-316.
- Chen, Y.-G., Hung, J.-H., Lai, K.-Y., Lin, Y.-N. N., Wilcox, T., & Mueller, K. (2007). River terrace development in response to folding above active wedge thrusts in Houli, Central Taiwan. Journal of Asian Earth Sciences, 31(3), 240-250.
- Cui, P., Zhang, J., Yang, Z., Chen, X., You, Y., & Li, Y. (2014). Activity and distribution of geohazards induced by the Lushan earthquake, April 20, 2013. Natural hazards, 73(2), 711-726.



Der Hilst, B. (2008). A geological and geophysical context for the Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Sichuan, People's Republic of China. *GSA today*, 18(7), 5.

Hubbard, J., & Shaw, J. H. (2009). Uplift of the Longmen Shan and Tibetan plateau, and the 2008 Wenchuan ( $M= 7.9$ ) earthquake. *Nature*, 458(7235), 194-197.

Kirby, E., & Ouimet, W. (2011). Tectonic geomorphology along the eastern margin of Tibet: Insights into the pattern and processes of active deformation adjacent to the Sichuan Basin. Geological Society, London, Special Publications, 353(1), 165-188.

Lavé, J., & Avouac, J.-P. (2000). Active folding of fluvial terraces across the Siwaliks Hills, Himalayas of central Nepal. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5735-5770.

Liu, S., Zhang, S., Ding, R., Ren, J., Liu, H., Jiang, D., & Xie, F. (2015). Upper crustal folding of the 2013 Lushan earthquake area in southern Longmen Shan, China, insights from Late Quaternary fluvial terraces. *Tectonophysics*, 639, 99-108.

Liu-Zeng, J., Zhang, Z., Wen, L., Tapponnier, P., Sun, J., Xing, X., Ding, L. (2009). Co-seismic ruptures of the 12 May 2008,  $M_s 8.0$  Wenchuan earthquake, Sichuan: East–west crustal shortening on oblique, parallel thrusts along the eastern edge of Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 286(3), 355-370.

Ota, Y., Lin, Y.-N. N., Chen, Y.-G., Matsuta, N., Watanuki, T., & Chen, Y.-W. (2009).



Touhuanping Fault, an active wrench fault within fold-and-thrust belt in northwestern Taiwan, documented by spatial analysis of fluvial terraces. *Tectonophysics*, 474(3), 559-570.

Peters, G., & van Balen, R. T. (2007). Pleistocene tectonics inferred from fluvial terraces of the northern Upper Rhine Graben, Germany. *Tectonophysics*, 430(1), 41-65.

Royden, L. H., Burchfiel, B. C., King, R. W., Wang, E., Chen, Z., Shen, F., & Liu, Y. (1997). Surface deformation and lower crustal flow in eastern Tibet. *science*, 276(5313), 788-790.

Royden, L. H., Burchfiel, B. C., & van der Hilst, R. D. (2008). The geological evolution of the Tibetan Plateau. *science*, 321(5892), 1054-1058.

Simoes, M., Avouac, J. P., & Chen, Y. G. (2007). Slip rates on the Chelungpu and Chushiang thrust faults inferred from a deformed strath terrace along the Dungpuna river, west central Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B3).

Stein, R. S., & King, G. C. (1984). Seismic potential revealed by surface folding: 1983 Coalinga, California, earthquake. *science*, 224(4651), 869-872.

Vassallo, R., Ritz, J. F., Braucher, R., Jolivet, M., Carretier, S., Larroque, C., Bourlès, D. (2007). Transpressional tectonics and stream terraces of the Gobi - Altay,

Mongolia. Tectonics, 26(5).



Xiao-feng, T. X. T. (2009). Analysis on Characteristics of Qingyi River Quaternary Terrace in Ya'an Area. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1, 019.

Yeats, R., Sieh, K., & Allen, C. (1997). *The Geology of Earthquakes*, 568 pp: Oxford Univ. Press, New York.



## 中文參考文獻

- 王煥、李海兵與裴軍令 (2010) 汶川地震破裂帶結構、岩性特徵及其與地震活動的關聯。第四紀研究，第 30 卷，第 4 期，第 768-788 頁。
- 李勇、曹叔尤與周榮軍 (2005) 晚新生代岷江下蝕速率與其對青藏高原東緣山脈隆升機制和形成時限的定量約束。地震地質，第 79 卷，第一期，第 28-37 頁。
- 李海兵、司家亮與裴軍令 (2010) 汶川地震地表破裂過程探討。第四紀研究，第 30 卷，第 4 期，第 667-698 頁。
- 馬保起、蘇剛與侯治華 (2005) 利用岷江階地的變形估算龍門山斷裂帶中段晚第四紀滑動速率。地震地質，第 27 卷，第 2 期，第 234-242 頁。
- 孫成民 (2010) 四川地震全紀錄（下卷）。成都市：四川人民出版社，共 607 頁。
- 徐錫偉、韓竹軍與陳桂華 (2013) 四川蘆山 7.0 級強震：一次典型的盲逆斷層型地震。科學通報，第 58 卷，第 20 期，第 1887-1893 頁。
- 張中白 (2010) 汶川地震小魚洞破裂帶與北川地區地表變形構造探討。國際地震動態，第 6 期，第 9 頁。
- 張世民、丁銳與毛昌偉 (2010) 青藏高原東緣龍門山山系構造隆起的地貌表現。第四紀研究，第 30 卷，第 4 期，第 791-802 頁。
- 陳社發、鄭起東與趙小麟 (1994) 龍門山中段推覆構造帶及相關構造演化歷史和變形機制（一）。地震地質，第 16 卷，第 4 期，第 404-412 頁。
- 陳雅雯 (2008) 螢光定年法於台灣第四紀沈積物之定年研究：以台灣西部活動構造為例。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 126 頁。
- 譚錫斌、袁仁茂與徐錫偉 (2013) 汶川地震小魚洞地區的地表破裂和同震位移及其機制討論。地震地質，第 35 卷，第 2 期，第 247-260 頁。



## 網路參考資料

ArcGis 9.2 Destop Help. (Esri) Website: [http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#Welcome\\_to\\_the\\_ArcGIS\\_Help\\_Library/00qn0000001p000000/](http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#Welcome_to_the_ArcGIS_Help_Library/00qn0000001p000000/)

汶川地震與蘆山地震規模(Ms) (中國地震台網) 網址：<http://www.ceic.ac.cn/history>

汶川地震與蘆山地震規模 (Mw) (美國地質調查局) 網址：<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

蘆山地震區域衛星影像資料 (Google Earth) 網址：<http://www.google.com.tw/intl/zh-TW/earth/>



## 附錄

### 附錄一、天全縣及始陽鎮 RTK-GPS 測量點位

表 1、天全縣 RTK-GPS 量測點位數據

天全縣量測點位編號	緯度(UTM，公尺)	經度(UTM，公尺)	高度(公尺)	量測剖面編號
地面校正基準站	3328961.600	284359.615	752.266	
1	3328924.822	284320.952	738.983	a-a'
2	3328914.860	284314.859	738.727	a-a'
3	3328896.864	284304.597	739.040	a-a'
4	3328879.624	284299.444	738.614	a-a'
5	3328864.727	284294.447	738.342	a-a'
6	3328847.231	284288.727	738.168	a-a'
7	3328828.487	284282.520	737.899	a-a'
8	3328800.274	284271.240	737.705	a-a'
9	3328788.880	284268.341	737.519	a-a'
10	3328775.422	284264.296	737.142	a-a'
11	3328765.635	284261.202	737.097	a-a'
12	3328747.934	284248.516	736.865	a-a'
13	3328733.202	284243.939	736.667	a-a'
14	3328723.400	284242.028	736.596	a-a'
15	3328700.864	284237.789	736.343	a-a'
16	3328682.576	284231.485	736.221	a-a'
17	3328669.976	284227.107	736.142	a-a'
18	3328641.653	284217.825	735.777	a-a'
19	3328622.220	284210.319	735.808	a-a'
20	3328607.647	284204.556	735.364	a-a'
21	3328594.177	284199.748	735.211	a-a'
22	3328577.533	284203.022	734.934	a-a'
23	3328553.958	284195.850	734.848	a-a'
24	3328539.993	284189.807	734.678	a-a'
25	3328513.812	284181.106	734.301	a-a'
26	3328466.018	284159.888	733.632	a-a'
27	3328450.645	284151.603	733.451	a-a'
28	3328435.530	284144.844	733.125	a-a'

29	3328421.395	284135.317	732.638	a-a'
30	3328375.739	284114.140	731.710	a-a'
31	3328366.742	284109.872	731.490	a-a'
32	3328352.197	284103.575	731.291	a-a'
33	3328330.971	284094.063	730.917	a-a'
34	3328305.156	284084.345	730.641	a-a'
35	3328284.225	284075.326	730.648	a-a'
36	3328267.242	284068.136	730.569	a-a'
37	3328245.258	284055.793	730.348	a-a'
38	3328223.651	284045.059	729.957	a-a'
39	3328207.879	284037.709	729.668	a-a'
40	3328201.347	284034.239	729.518	a-a'
41	3328196.464	284031.655	729.471	a-a'
42	3328191.456	284028.853	729.265	a-a'
43	3328185.357	284030.273	729.322	a-a'
44	3328176.296	284030.504	729.148	a-a'
45	3328169.303	284020.934	729.048	a-a'
46	3328159.846	284013.340	728.683	a-a'
47	3328151.968	284006.071	728.464	a-a'
48	3328140.486	283994.776	728.020	a-a'
49	3328124.897	283968.788	727.370	a-a'
50	3328114.560	283954.468	727.119	a-a'
51	3328102.647	283945.500	726.866	a-a'
52	3328096.964	283935.930	726.678	a-a'
53	3328091.451	283924.867	726.442	a-a'
54	3328081.176	283904.958	726.053	a-a'
55	3328075.710	283893.960	725.896	a-a'
56	3328052.241	283855.406	725.158	a-a'
57	3328039.887	283846.351	724.746	a-a'
58	3328021.614	283827.571	724.453	a-a'
59	3328012.356	283804.929	724.110	a-a'
60	3327965.218	283758.329	723.493	a-a'
61	3327957.062	283744.198	721.702	a-a'
62	3327950.388	283719.223	720.981	a-a'
63	3327946.503	283706.076	719.879	a-a'
64	3327938.603	283683.563	717.141	a-a'
65	3327249.984	284091.723	714.745	b-b'

66	3327256.077	284117.600	715.072	b-b'
67	3327260.000	284128.279	715.373	b-b'
68	3327269.785	284142.245	715.939	b-b'
69	3327282.380	284159.567	716.479	b-b'
70	3327319.054	284210.478	717.106	b-b'
71	3327341.833	284249.593	717.526	b-b'
72	3327395.443	284324.473	717.887	b-b'
73	3327445.707	284394.166	718.131	b-b'
74	3327464.694	284406.492	718.277	b-b'
75	3327490.099	284442.506	718.294	b-b'
76	3327518.721	284504.231	718.826	b-b'
77	3327536.633	284527.522	719.052	b-b'
78	3327536.603	284527.539	719.071	b-b'
79	3327548.735	284544.238	719.469	b-b'
80	3327555.711	284553.009	719.906	b-b'
81	3327566.101	284565.434	720.655	b-b'
82	3327575.223	284574.476	721.393	b-b'
83	3327591.708	284593.830	722.347	b-b'
84	3327653.101	284641.421	723.365	b-b'
85	3327690.873	284679.069	723.943	b-b'
86	3327733.079	284719.066	724.606	b-b'
87	3327741.497	284736.686	724.758	b-b'
88	3327798.030	284802.840	725.186	b-b'
89	3327844.021	284846.942	725.760	b-b'
90	3327872.851	284874.710	726.301	b-b'
91	3327927.914	284923.060	726.930	b-b'
92	3327961.666	284964.662	727.403	b-b'
93	3328000.990	285025.528	727.985	b-b'
94	3326967.510	284082.030	708.484	c-c'
95	3326999.489	284115.867	711.498	c-c'
96	3327032.564	284153.964	712.132	c-c'
97	3327058.134	284205.080	712.599	c-c'
98	3327075.436	284228.898	713.138	c-c'
99	3327105.737	284267.835	713.696	c-c'
100	3327149.306	284315.547	714.803	c-c'
101	3327179.451	284372.618	715.745	c-c'
102	3327220.671	284430.819	716.021	c-c'

103	3327249.790	284470.620	716.228	c-c'
104	3327284.550	284522.085	716.631	c-c'
105	3327313.022	284570.618	716.614	c-c'
106	3327330.532	284572.094	716.922	c-c'
107	3327342.926	284597.213	716.924	c-c'
108	3327356.849	284616.625	717.165	c-c'
109	3327365.818	284629.500	717.574	c-c'
110	3327382.497	284652.442	718.558	c-c'
111	3327394.410	284668.944	719.322	c-c'
112	3327405.627	284685.220	720.055	c-c'
113	3327419.861	284704.933	720.832	c-c'
114	3327429.999	284720.119	721.391	c-c'
115	3327442.956	284736.994	721.692	c-c'
116	3327466.727	284769.960	722.026	c-c'
117	3327491.211	284802.534	722.175	c-c'
118	3327523.328	284849.596	722.545	c-c'
119	3327552.266	284890.643	722.927	c-c'
120	3327587.909	284936.244	723.348	c-c'
121	3327614.958	284972.863	724.111	c-c'
122	3327630.788	284994.739	724.520	c-c'
123	3327653.422	285026.624	723.834	c-c'
124	3327676.655	285059.400	723.513	c-c'
125	3327704.892	285100.382	723.195	c-c'
126	3327753.812	285155.636	724.318	c-c'
127	3327789.406	285200.056	725.103	c-c'
128	3327815.728	285237.939	725.838	c-c'
129	3327839.777	285274.734	726.638	c-c'
130	3327856.671	285297.514	727.016	c-c'
131	3327873.063	285314.734	728.269	c-c'
132	3327886.707	285340.343	730.889	c-c'
133	3327892.565	285351.874	736.164	c-c'
134	3327901.794	285359.579	736.973	c-c'
135	3327907.286	285366.207	737.362	c-c'
136	3327911.750	285374.792	738.163	c-c'
137	3327914.133	285388.918	738.682	c-c'
138	3327921.833	285397.045	738.982	c-c'
139	3327926.905	285410.596	739.188	c-c'

140	3327917.123	285426.970	742.006	c-c'
141	3327921.397	285432.293	743.067	c-c'
142	3327518.659	285326.953	723.117	d-d'
143	3327495.670	285325.312	722.790	d-d'
144	3327466.400	285315.612	722.299	d-d'
145	3327426.188	285300.305	721.701	d-d'
146	3327360.841	285274.998	720.770	d-d'
147	3327273.412	285242.333	719.396	d-d'
148	3327220.441	285222.454	718.307	d-d'
149	3327175.307	285205.362	718.250	d-d'
150	3327123.606	285187.110	718.064	d-d'
151	3327071.795	285167.775	717.742	d-d'
152	3327014.477	285146.437	717.447	d-d'
153	3326972.814	285132.228	717.169	d-d'
154	3326904.451	285107.443	716.800	d-d'
155	3326850.210	285087.021	716.485	d-d'
156	3326806.362	285071.623	716.207	d-d'
157	3326754.111	285052.320	715.942	d-d'
158	3326692.296	285034.019	715.576	d-d'
159	3326625.192	285012.905	714.873	d-d'
160	3326578.392	284991.395	714.536	d-d'
161	3326530.817	284974.562	714.308	d-d'
162	3326507.911	284973.960	714.146	d-d'
163	3326452.862	284952.975	710.407	d-d'
164	3326427.675	284909.306	704.796	d-d'
165	3326652.841	285036.819	715.174	d-d'
166	3326689.526	285034.555	715.618	d-d'
167	3326742.601	285044.906	716.035	d-d'
168	3326762.511	285055.271	716.092	d-d'
169	3326784.771	285063.614	716.182	d-d'
170	3326797.108	285067.964	716.175	d-d'
171	3326818.949	285075.680	716.365	d-d'
172	3326857.198	285084.021	716.665	d-d'
173	3326978.151	285128.596	717.365	d-d'
174	3327020.209	285144.007	717.592	d-d'
175	3327042.927	285157.504	717.609	d-d'
176	3327072.912	285168.624	717.810	d-d'

177	3327097.772	285177.323	717.960	d-d'
178	3327118.219	285184.690	718.130	d-d'
179	3327150.297	285195.706	718.238	d-d'
180	3327180.520	285207.347	718.293	d-d'
181	3327209.828	285218.404	718.281	d-d'
182	3328772.350	282867.742	733.886	e-e'
183	3328760.632	282908.365	734.179	e-e'
184	3328750.744	282936.459	734.030	e-e'
185	3328735.252	282974.174	733.558	e-e'
186	3328724.568	283000.078	733.151	e-e'
187	3328706.247	283044.904	732.613	e-e'
188	3328694.786	283072.786	732.283	e-e'
189	3328680.098	283108.534	731.830	e-e'
190	3328659.608	283158.675	731.259	e-e'
191	3328642.711	283201.000	730.703	e-e'
192	3328625.297	283248.071	730.487	e-e'
193	3328605.197	283303.019	730.210	e-e'
194	3328591.142	283340.779	730.013	e-e'
195	3328579.980	283371.029	729.846	e-e'
196	3328568.762	283401.312	729.695	e-e'
197	3328555.575	283437.037	729.499	e-e'
198	3328539.727	283480.109	729.315	e-e'
199	3328521.750	283514.486	729.180	e-e'
200	3328500.027	283540.413	729.154	e-e'
201	3328479.597	283564.391	729.146	e-e'
202	3328410.293	283609.885	728.280	e-e'
203	3328330.641	283637.750	727.176	e-e'
204	3328243.176	283682.684	726.058	e-e'
205	3328055.594	283821.046	724.621	e-e'
206	3327962.834	283932.942	724.078	e-e'
207	3327946.379	283958.276	723.569	e-e'
208	3327929.454	283989.281	723.448	e-e'
209	3327896.544	284071.632	722.959	e-e'
210	3327846.478	284121.148	722.561	e-e'
211	3327821.245	284153.691	722.266	e-e'
212	3327799.283	284170.142	722.012	e-e'
213	3327765.735	284198.611	721.605	e-e'

214	3327726.622	284228.281	721.223	e-e'
215	3327649.480	284286.016	720.602	e-e'
216	3327543.744	284364.526	719.172	e-e'
217	3327524.256	284378.820	718.940	e-e'
218	3327492.997	284400.598	718.610	e-e'
219	3327470.922	284415.378	718.411	e-e'
220	3327451.851	284429.587	718.183	e-e'
221	3327418.783	284455.049	717.765	e-e'
222	3327396.289	284469.874	717.641	e-e'
223	3327362.020	284495.201	717.305	e-e'
224	3327331.110	284517.236	717.099	e-e'
225	3327289.153	284541.190	716.750	e-e'
226	3327282.362	284548.446	716.530	e-e'
227	3327262.534	284562.649	716.481	e-e'
228	3327233.665	284583.019	716.193	e-e'
229	3327206.447	284603.393	715.924	e-e'
230	3327175.821	284625.276	715.700	e-e'
231	3327155.679	284641.182	715.608	e-e'
232	3327134.294	284655.530	715.575	e-e'
233	3327114.461	284670.319	715.585	e-e'
234	3327094.007	284684.515	715.633	e-e'
235	3327068.307	284703.149	715.776	e-e'
236	3327039.366	284723.895	715.976	e-e'
237	3326963.954	284783.411	716.307	e-e'
238	3326939.724	284800.290	716.257	e-e'
239	3326902.162	284827.228	716.066	e-e'
240	3326886.572	284838.566	716.040	e-e'
241	3326868.872	284851.754	716.036	e-e'
242	3326845.941	284868.463	715.886	e-e'
243	3326824.627	284883.745	715.790	e-e'
244	3326803.236	284899.122	715.700	e-e'
245	3326786.603	284911.353	715.627	e-e'
246	3326771.134	284922.834	715.601	e-e'
247	3326743.531	284943.358	715.517	e-e'
248	3326726.201	284956.090	715.394	e-e'
249	3326708.821	284969.796	715.349	e-e'
250	3326692.109	284980.462	715.299	e-e'

251	3326667.210	284997.185	715.291	e-e'
252	3326647.874	285014.915	715.298	e-e'
253	3326632.746	285034.262	715.014	e-e'
254	3326612.450	285052.470	714.549	e-e'
255	3326532.793	285122.355	709.332	e-e'
256	3327244.376	285198.720	718.505	f-f'
257	3327269.496	285168.160	718.901	f-f'
258	3327291.420	285145.533	719.380	f-f'
259	3327328.923	285109.818	720.096	f-f'
260	3327359.196	285081.215	720.626	f-f'
261	3327383.491	285059.189	721.083	f-f'
262	3327428.402	285016.129	721.690	f-f'
263	3327478.996	284985.174	722.240	f-f'
264	3327509.927	284962.619	722.523	f-f'
265	3327540.955	284927.424	722.897	f-f'
266	3327563.995	284913.039	723.217	f-f'
267	3327585.726	284889.686	723.232	f-f'
268	3327604.954	284869.617	723.393	f-f'
269	3327644.884	284829.714	723.675	f-f'
270	3327669.477	284804.398	724.010	f-f'
271	3327691.540	284782.993	724.262	f-f'
272	3327725.075	284749.397	724.697	f-f'
273	3327741.195	284736.337	724.705	f-f'
274	3327808.187	284635.168	725.180	f-f'
275	3327821.067	284615.173	725.453	f-f'
276	3327865.211	284539.170	726.547	f-f'
277	3327884.154	284507.047	726.745	f-f'
278	3327897.697	284483.492	726.895	f-f'
279	3327920.514	284444.765	727.054	f-f'
280	3327991.569	284327.070	726.895	f-f'
281	3328003.988	284312.481	726.798	f-f'
282	3328015.039	284299.497	726.700	f-f'
283	3328052.497	284261.872	726.319	f-f'
284	3328076.735	284223.600	726.013	f-f'
285	3328095.731	284199.132	726.150	f-f'
286	3328102.754	284195.864	726.291	f-f'
287	3328126.537	284157.919	726.947	f-f'

288	3328147.173	284116.745	727.847	f-f'
289	3328160.203	284089.358	728.361	f-f'
290	3328173.733	284060.811	729.016	f-f'
291	3328186.550	284031.808	729.448	f-f'
292	3328203.040	284008.255	729.503	f-f'
293	3328219.617	283990.199	729.934	f-f'
294	3328234.836	283976.289	730.069	f-f'
295	3328284.975	283933.860	730.953	f-f'
296	3328364.846	283865.944	730.751	f-f'
297	3328393.438	283838.501	730.345	f-f'
298	3328417.937	283817.568	730.430	f-f'
299	3328427.868	283803.448	730.243	f-f'
300	3328446.970	283779.362	730.475	f-f'
301	3328480.269	283736.216	730.370	f-f'
302	3328496.430	283717.412	730.279	f-f'
303	3328508.654	283700.186	730.232	f-f'
304	3328519.390	283687.452	730.206	f-f'
305	3328538.592	283661.462	730.176	f-f'
306	3328554.093	283641.254	730.127	f-f'
307	3328563.959	283628.083	729.830	f-f'
308	3328576.265	283610.148	729.412	f-f'
309	3328589.136	283596.724	729.165	f-f'
310	3328600.453	283578.323	729.089	f-f'
311	3328605.384	283564.916	729.257	f-f'
312	3328618.153	283528.849	730.117	f-f'
313	3328694.653	283371.315	734.069	f-f'
314	3328633.693	283529.907	730.155	f-f'
315	3328633.774	283529.870	730.109	f-f'
316	3328691.973	283377.044	734.061	f-f'
317	3328698.903	283345.371	734.213	f-f'
318	3328718.843	283295.405	735.114	f-f'
319	3328720.235	283287.444	735.211	f-f'
320	3328721.949	283272.130	735.331	f-f'
321	3328725.266	283241.532	734.553	f-f'
322	3328721.603	283211.561	734.931	f-f'
323	3328718.713	283201.288	736.049	f-f'
324	3328721.781	283219.486	735.852	f-f'

325	3328725.036	283231.963	735.744	f-f'
326	3328725.847	283241.110	735.643	f-f'
327	3328718.496	283193.409	736.131	f-f'
328	3328720.543	283183.851	736.214	f-f'
329	3328735.538	283132.147	736.668	f-f'
330	3328757.027	283101.218	737.252	f-f'
331	3328759.709	283059.765	737.734	f-f'
332	3328761.475	283028.404	737.679	f-f'
333	3328765.785	283008.840	737.624	f-f'
334	3328773.287	282966.033	739.502	f-f'
335	3328783.364	282762.697	712.340	river
336	3328783.358	282762.736	712.326	river
337	3328667.978	282958.444	712.095	river
338	3328621.998	283051.622	711.827	river
339	3328587.212	283137.093	711.586	river
340	3328553.799	283219.039	711.492	river
341	3328530.421	283278.904	710.981	river
342	3328444.605	283374.196	710.272	river
343	3328333.148	283445.532	709.432	river
344	3328277.020	283472.406	708.701	river
345	3328000.303	283476.931	708.725	river
346	3327251.076	284055.779	708.547	river
347	3326818.712	284190.848	708.601	river
348	3326406.406	284664.656	687.457	river
349	3326406.423	284664.661	687.417	river
350	3326172.460	284889.944	686.938	river



表 2、始陽鎮 RTK-GPS 量測點位數據。

始陽鎮量測點位編號	緯度，UTM（公尺）	經度，UTM（公尺）	高度(公尺)	量測剖面編號
地面校正基準站	3324180.097	290869.593	710.800	
1	3325160.016	290324.302	763.519	g-g'
2	3325133.873	290359.127	763.469	g-g'
3	3325099.911	290369.448	763.673	g-g'
4	3325067.791	290391.243	763.587	g-g'
5	3325037.302	290389.976	763.677	g-g'
6	3324993.115	290384.035	763.851	g-g'
7	3324976.484	290415.685	763.886	g-g'
8	3324975.251	290440.425	762.729	g-g'
9	3324974.173	290450.482	762.199	g-g'
10	3324976.998	290471.088	761.479	g-g'
11	3324982.812	290492.772	761.001	g-g'
12	3324989.453	290521.386	760.867	g-g'
13	3324992.988	290537.447	760.745	g-g'
14	3325002.004	290557.067	760.097	g-g'
15	3324986.964	290574.269	759.696	g-g'
16	3324988.645	290598.496	759.719	g-g'
17	3324967.480	290642.041	759.739	g-g'
18	3324936.970	290668.686	759.732	g-g'
19	3324915.821	290691.043	759.777	g-g'
20	3324896.400	290705.650	760.390	g-g'
21	3324874.607	290690.139	760.807	g-g'
22	3324848.975	290687.338	760.849	g-g'
23	3324822.910	290703.682	760.094	g-g'
24	3324793.924	290737.330	759.614	g-g'
25	3324776.993	290738.343	759.289	g-g'
26	3324770.991	290741.019	758.793	g-g'
27	3324756.571	290749.925	758.494	g-g'
28	3324732.370	290763.119	757.759	g-g'
29	3324703.501	290777.354	757.436	g-g'
30	3324691.837	290786.624	756.758	g-g'
31	3324661.794	290780.749	756.002	g-g'
32	3324647.162	290783.794	754.585	g-g'
33	3324634.444	290784.869	753.626	g-g'
34	3324623.896	290793.331	751.423	g-g'

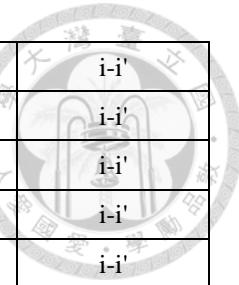
35	3324614.773	290792.576	748.564	g-g'
36	3324611.122	290800.570	746.350	g-g'
37	3324602.965	290803.813	744.195	g-g'
38	3324590.819	290807.672	741.883	g-g'
39	3324584.428	290811.683	740.043	g-g'
40	3324580.264	290817.268	738.670	g-g'
41	3324575.035	290819.264	736.835	g-g'
42	3324566.052	290821.421	734.353	g-g'
43	3324555.773	290821.831	732.264	g-g'
44	3324545.609	290819.442	731.352	g-g'
45	3324539.995	290811.894	729.385	g-g'
46	3324535.925	290814.652	727.311	g-g'
47	3324515.480	290843.458	726.695	g-g'
48	3324501.255	290908.625	726.779	g-g'
49	3324485.690	290937.345	726.950	g-g'
50	3324473.133	290934.926	725.022	g-g'
51	3324466.813	290940.100	722.646	g-g'
52	3324466.270	290939.925	721.987	g-g'
53	3324455.858	290945.807	722.110	g-g'
54	3324439.174	290935.872	722.101	g-g'
55	3324408.570	290934.612	722.263	g-g'
56	3324405.876	290938.510	723.375	g-g'
57	3324393.894	290954.089	723.408	g-g'
58	3324390.898	290955.353	724.045	g-g'
59	3324363.876	290962.029	724.134	g-g'
60	3324349.600	290961.553	724.570	g-g'
61	3324328.259	290969.602	724.582	g-g'
62	3324328.791	290956.296	724.638	g-g'
63	3324332.303	290934.466	724.689	g-g'
64	3324331.137	290933.860	724.255	g-g'
65	3324319.149	290933.478	724.306	g-g'
66	3324308.436	290928.190	722.608	g-g'
67	3324303.479	290916.855	721.352	g-g'
68	3324299.037	290911.607	718.881	g-g'
69	3324295.246	290910.899	717.440	g-g'
70	3324288.556	290909.015	715.959	g-g'
71	3324280.590	290909.563	713.995	g-g'

72	3324272.702	290915.226	713.309	g-g'
73	3324269.251	290918.000	711.517	g-g'
74	3324261.476	290924.393	711.251	g-g'
75	3324253.282	290923.846	711.384	g-g'
76	3324232.270	290915.811	711.393	g-g'
77	3324210.112	290912.728	711.072	g-g'
78	3324196.073	290905.390	710.995	g-g'
79	3324183.431	290892.574	710.789	g-g'
80	3324170.874	290887.306	710.274	g-g'
81	3324160.994	290882.861	710.431	g-g'
82	3324153.607	290872.404	710.383	g-g'
83	3324150.312	290858.535	707.955	g-g'
84	3324141.534	290861.311	703.695	g-g'
85	3324134.208	290854.115	699.914	g-g'
86	3324130.221	290855.445	697.688	g-g'
87	3324139.008	290888.417	709.470	g-g'
88	3324129.377	290901.403	708.821	g-g'
89	3324105.111	290903.478	709.002	g-g'
90	3324081.410	290919.647	708.789	g-g'
91	3324058.098	290946.246	708.885	g-g'
92	3324047.215	290967.144	708.091	g-g'
93	3324045.218	290977.495	706.605	g-g'
94	3324092.648	291280.749	655.354	g-g'
95	3324075.436	291302.106	653.915	g-g'
96	3324060.225	291317.449	653.342	g-g'
97	3324027.647	291338.734	652.705	g-g'
98	3323996.575	291358.348	652.153	g-g'
99	3323975.748	291393.189	651.597	g-g'
100	3323921.405	291406.405	651.451	g-g'
101	3323873.738	291416.656	651.300	g-g'
102	3323836.518	291425.486	650.899	g-g'
103	3323805.480	291438.930	650.190	g-g'
104	3323768.028	291421.701	649.605	g-g'
105	3323728.486	291401.352	649.361	g-g'
106	3323721.401	291391.066	648.547	g-g'
107	3323719.799	291366.294	648.614	g-g'
108	3323726.203	291336.685	648.873	g-g'

109	3323700.035	291320.563	648.893	g-g'
110	3323677.443	291309.148	648.653	g-g'
111	3323655.978	291306.049	648.422	g-g'
112	3323637.995	291306.432	647.939	g-g'
113	3323631.920	291294.457	647.581	g-g'
114	3323619.237	291295.020	647.480	g-g'
115	3323613.538	291291.774	643.552	g-g'
116	3323609.535	291288.661	642.402	g-g'
117	3323605.235	291285.633	640.242	g-g'
118	3323604.056	291281.940	638.309	g-g'
119	3323598.380	291272.652	636.108	g-g'
120	3323591.082	291260.483	635.663	g-g'
121	3323498.665	291299.721	635.323	g-g'
122	3323463.212	291284.678	634.826	g-g'
123	3323432.185	291271.810	634.196	g-g'
124	3322279.600	289514.766	680.883	h-h'
125	3322290.008	289519.783	677.504	h-h'
126	3322305.814	289528.146	672.810	h-h'
127	3322316.636	289538.339	670.237	h-h'
128	3322328.391	289544.422	668.180	h-h'
129	3322342.816	289547.424	667.619	h-h'
130	3322354.621	289552.406	666.001	h-h'
131	3322373.465	289565.085	665.096	h-h'
132	3322390.276	289576.189	663.956	h-h'
133	3322408.316	289588.316	662.940	h-h'
134	3322425.415	289599.933	662.047	h-h'
135	3322444.387	289612.167	661.111	h-h'
136	3322458.115	289621.651	660.652	h-h'
137	3322485.625	289637.836	660.310	h-h'
138	3322508.885	289645.857	659.295	h-h'
139	3322527.459	289654.243	658.596	h-h'
140	3322551.106	289658.755	658.164	h-h'
141	3322569.090	289667.316	657.926	h-h'
142	3322577.576	289629.605	658.334	h-h'
143	3322607.160	289578.844	657.650	h-h'
144	3322622.169	289568.575	648.256	h-h'
145	3322633.093	289569.655	645.223	h-h'

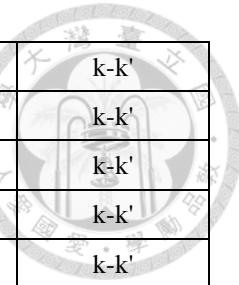
146	3322630.614	289604.832	639.621	h-h'
147	3322634.753	289641.933	637.113	h-h'
148	3322654.664	289653.692	636.428	h-h'
149	3322661.379	289665.942	636.038	h-h'
150	3322681.802	289676.818	635.468	h-h'
151	3322694.371	289699.857	634.906	h-h'
152	3322694.633	289709.250	634.440	h-h'
153	3322696.821	289719.908	633.522	h-h'
154	3322705.173	289729.826	631.428	h-h'
155	3322950.684	289904.265	637.949	h-h'
156	3322998.793	289917.044	638.485	h-h'
157	3323039.943	289927.604	639.106	h-h'
158	3323074.376	289928.719	639.784	h-h'
159	3323096.825	289939.414	640.580	h-h'
160	3323122.317	289943.569	641.067	h-h'
161	3323140.141	289946.447	642.828	h-h'
162	3323157.183	289959.730	643.778	h-h'
163	3323185.864	289966.213	644.260	h-h'
164	3323208.289	289972.005	644.230	h-h'
165	3323248.047	289977.372	644.243	h-h'
166	3323283.458	289986.236	644.262	h-h'
167	3323317.491	289994.114	644.259	h-h'
168	3323355.573	290003.935	644.282	h-h'
169	3323398.327	290016.729	644.220	h-h'
170	3323441.072	290027.680	644.219	h-h'
171	3323484.983	290038.339	644.192	h-h'
172	3323530.736	290051.016	644.196	h-h'
173	3323572.063	290058.747	644.309	h-h'
174	3323619.157	290070.694	644.217	h-h'
175	3323656.171	290082.172	644.188	h-h'
176	3323675.461	290088.285	644.293	h-h'
177	3323614.295	290518.036	641.118	i-i'
178	3323586.673	290511.541	640.861	i-i'
179	3323563.792	290509.322	640.876	i-i'
180	3323542.085	290503.349	641.069	i-i'
181	3323505.178	290497.013	641.173	i-i'
182	3323467.546	290490.283	641.153	i-i'

183	3323421.602	290481.644	641.100	i-i'
184	3323374.944	290473.202	641.140	i-i'
185	3323326.404	290464.139	640.992	i-i'
186	3323274.762	290454.751	640.865	i-i'
187	3323227.827	290446.300	640.888	i-i'
188	3323183.767	290437.370	641.258	i-i'
189	3323150.963	290431.057	640.640	i-i'
190	3323112.391	290423.677	640.470	i-i'
191	3323070.423	290419.967	640.233	i-i'
192	3323029.321	290410.328	640.145	i-i'
193	3323007.748	290407.067	640.053	i-i'
194	3323006.468	290429.688	640.515	i-i'
195	3323001.034	290431.226	638.437	i-i'
196	3322991.771	290435.637	637.809	i-i'
197	3322986.604	290437.878	637.339	i-i'
198	3322966.061	290446.083	636.832	i-i'
199	3322943.647	290442.337	636.893	i-i'
200	3322920.463	290428.968	637.034	i-i'
201	3322908.922	290425.196	637.035	i-i'
202	3322898.172	290421.325	635.654	i-i'
203	3322882.440	290419.720	635.178	i-i'
204	3322865.630	290408.805	634.542	i-i'
205	3322861.739	290404.470	632.810	i-i'
206	3322847.880	290392.871	632.464	i-i'
207	3322832.540	290376.347	632.302	i-i'
208	3322816.522	290360.654	632.293	i-i'
209	3322816.482	290349.633	634.253	i-i'
210	3322788.806	290389.310	633.644	i-i'
211	3322739.394	290394.212	633.185	i-i'
212	3322733.328	290388.311	633.088	i-i'
213	3322731.543	290389.438	631.890	i-i'
214	3322718.068	290394.704	631.808	i-i'
215	3322696.290	290406.553	631.806	i-i'
216	3322666.036	290422.927	631.827	i-i'
217	3322646.393	290429.565	631.682	i-i'
218	3322617.849	290412.929	631.747	i-i'
219	3322583.610	290405.570	631.592	i-i'



220	3322539.074	290393.891	631.942	i-i'
221	3322506.797	290365.471	631.875	i-i'
222	3322477.749	290355.315	631.258	i-i'
223	3322476.128	290354.647	629.849	i-i'
224	3322467.168	290354.537	629.448	i-i'
225	3322456.374	290364.751	629.748	i-i'
226	3322455.851	290370.074	628.179	i-i'
227	3322451.241	290369.036	625.809	i-i'
228	3322448.700	290369.558	624.334	i-i'
229	3322446.939	290369.188	623.643	i-i'
230	3322445.061	290368.983	623.192	i-i'
231	3322430.949	290373.150	622.641	i-i'
232	3322419.835	290377.810	622.443	i-i'
233	3322413.536	290380.723	621.423	i-i'
234	3322385.842	290402.081	620.280	i-i'
235	3322385.853	290402.101	620.278	i-i'
236	3322361.351	290437.284	619.973	i-i'
237	3322336.091	290451.579	619.801	i-i'
238	3322861.690	291023.633	606.137	j-j'
239	3322864.599	291001.546	609.036	j-j'
240	3322878.769	290995.961	611.989	j-j'
241	3322887.662	290989.538	612.355	j-j'
242	3322896.891	290981.466	612.869	j-j'
243	3322907.737	290973.963	613.904	j-j'
244	3322911.832	290962.106	614.995	j-j'
245	3322927.880	290939.181	617.165	j-j'
246	3322926.062	290811.700	629.119	j-j'
247	3322942.701	290777.672	629.134	j-j'
248	3322970.619	290776.960	630.052	j-j'
249	3322975.119	290773.820	632.296	j-j'
250	3322987.706	290765.803	633.943	j-j'
251	3322990.484	290763.654	635.049	j-j'
252	3323003.815	290765.631	635.790	j-j'
253	3323066.609	290773.102	636.893	j-j'
254	3323101.306	290777.591	637.180	j-j'
255	3323129.397	290785.925	637.370	j-j'
256	3323176.522	291228.624	633.182	j-j'

257	3323210.067	291226.394	632.835	j-j'
258	3323260.943	291184.001	633.219	j-j'
259	3323295.451	291197.986	633.694	j-j'
260	3323313.021	291207.904	633.812	j-j'
261	3323342.265	291223.333	633.932	j-j'
262	3323374.672	291237.634	633.872	j-j'
263	3324065.353	288805.014	664.029	k-k'
264	3324063.493	288809.046	663.793	k-k'
265	3324055.620	288824.762	662.889	k-k'
266	3324047.292	288842.467	662.249	k-k'
267	3324039.358	288861.747	661.762	k-k'
268	3324030.798	288880.380	660.972	k-k'
269	3324023.050	288894.445	660.255	k-k'
270	3324013.542	288912.272	659.376	k-k'
271	3324003.903	288929.955	658.734	k-k'
272	3323992.416	288953.656	658.174	k-k'
273	3323981.911	288979.090	657.729	k-k'
274	3323972.669	289007.818	657.093	k-k'
275	3323965.150	289032.147	656.328	k-k'
276	3323954.918	289065.184	655.525	k-k'
277	3323942.737	289102.793	654.937	k-k'
278	3323936.356	289138.593	654.559	k-k'
279	3323928.983	289163.627	654.206	k-k'
280	3323926.057	289183.350	653.917	k-k'
281	3323918.885	289208.756	653.581	k-k'
282	3323913.317	289242.673	653.251	k-k'
283	3323905.582	289273.482	652.855	k-k'
284	3323896.616	289307.590	652.438	k-k'
285	3323889.846	289333.543	652.138	k-k'
286	3323889.855	289333.549	652.134	k-k'
287	3323882.015	289367.297	651.674	k-k'
288	3323874.334	289398.507	651.523	k-k'
289	3323865.479	289424.969	651.267	k-k'
290	3323859.590	289453.449	650.619	k-k'
291	3323853.370	289476.654	650.350	k-k'
292	3323846.553	289502.008	650.058	k-k'
293	3323839.050	289534.227	649.590	k-k'



294	3323829.195	289557.468	649.326	k-k'
295	3323825.545	289580.609	649.006	k-k'
296	3323819.783	289604.413	648.744	k-k'
297	3323817.290	289625.556	648.459	k-k'
298	3323807.577	289649.333	648.192	k-k'
299	3323803.174	289670.979	647.994	k-k'
300	3323796.120	289695.707	647.748	k-k'
301	3323788.653	289721.833	647.583	k-k'
302	3323784.539	289738.710	647.450	k-k'
303	3323779.715	289760.961	647.236	k-k'
304	3323773.657	289787.852	647.002	k-k'
305	3323766.663	289811.791	646.832	k-k'
306	3323757.148	289846.195	646.529	k-k'
307	3323752.245	289867.146	646.324	k-k'
308	3323746.634	289889.477	646.187	k-k'
309	3323740.140	289916.567	645.890	k-k'
310	3323731.619	289943.426	645.676	k-k'
311	3323724.833	289969.278	645.474	k-k'
312	3323718.658	289995.115	645.236	k-k'
313	3323714.072	290020.372	644.994	k-k'
314	3323704.096	290058.094	644.706	k-k'
315	3323690.404	290102.732	644.319	k-k'
316	3323681.363	290144.047	644.002	k-k'
317	3323673.232	290177.838	643.739	k-k'
318	3323663.440	290217.349	643.371	k-k'
319	3323658.355	290239.388	643.180	k-k'
320	3323648.557	290274.941	642.893	k-k'
321	3323640.956	290308.253	642.617	k-k'
322	3323627.249	290356.816	642.200	k-k'
323	3323619.384	290389.221	641.936	k-k'
324	3323610.050	290431.417	641.585	k-k'
325	3323598.643	290474.550	641.217	k-k'
326	3323585.767	290512.838	640.874	k-k'
327	3323580.363	290534.950	640.691	k-k'
328	3323575.562	290558.156	640.453	k-k'
329	3323567.661	290587.468	640.176	k-k'
330	3323558.589	290628.708	639.755	k-k'

331	3323550.297	290657.120	639.541	k-k'
332	3323543.229	290685.749	639.246	k-k'
333	3323535.305	290714.768	639.008	k-k'
334	3323528.565	290743.080	638.679	k-k'
335	3323520.947	290775.520	638.310	k-k'
336	3323511.542	290806.433	637.985	k-k'
337	3323506.291	290828.901	637.718	k-k'
338	3323502.358	290847.250	637.504	k-k'
339	3323495.836	290870.058	637.236	k-k'
340	3323488.648	290891.435	637.029	k-k'
341	3323485.660	290910.587	636.824	k-k'
342	3323479.318	290929.198	636.619	k-k'
343	3323474.552	290947.510	636.424	k-k'
344	3323468.625	290962.535	636.245	k-k'
345	3323462.463	290991.802	635.925	k-k'
346	3323456.486	291015.085	635.655	k-k'
347	3323450.012	291036.497	635.505	k-k'
348	3323445.522	291055.526	635.365	k-k'
349	3323438.794	291079.409	635.177	k-k'
350	3323430.804	291097.208	635.056	k-k'
351	3323426.429	291119.107	634.866	k-k'
352	3323422.436	291141.372	634.718	k-k'
353	3323418.000	291160.970	634.575	k-k'
354	3323412.948	291180.310	634.447	k-k'
355	3323408.853	291202.140	634.267	k-k'
356	3323405.209	291217.875	634.164	k-k'
357	3323398.999	291236.136	634.033	k-k'
358	3323395.138	291257.275	633.870	k-k'
359	3323389.691	291276.852	633.694	k-k'
360	3323387.019	291299.181	633.519	k-k'
361	3323380.979	291322.396	633.333	k-k'
362	3323373.327	291335.208	633.165	k-k'
363	3323367.059	291351.707	632.978	k-k'
364	3323364.314	291369.999	632.853	k-k'
365	3323359.305	291384.078	632.675	k-k'
366	3323356.573	291398.994	632.558	k-k'
367	3323352.545	291415.741	632.421	k-k'

368	3323346.400	291441.167	632.176	k-k'
369	3323338.886	291462.523	632.026	k-k'
370	3323333.475	291485.387	631.748	k-k'
371	3323325.758	291509.915	631.510	k-k'
372	3323318.716	291543.630	631.216	k-k'
373	3323318.438	291560.231	631.048	k-k'
374	3323313.467	291574.370	630.902	k-k'
375	3323304.746	291595.940	630.687	k-k'
376	3323299.260	291617.699	630.445	k-k'
377	3323296.258	291635.386	630.258	k-k'
378	3323296.658	291649.540	630.071	k-k'
379	3323297.876	291675.370	629.686	k-k'
380	3323298.595	291696.015	629.427	k-k'
381	3323295.584	291731.655	628.950	k-k'
382	3323297.763	291751.173	628.728	k-k'
383	3323299.589	291769.224	628.612	k-k'
384	3323302.881	291794.699	628.660	k-k'
385	3323305.312	291816.280	628.813	k-k'
386	3323307.257	291832.198	628.955	k-k'
387	3323309.763	291855.054	629.098	k-k'
388	3323311.637	291873.798	629.151	k-k'
389	3323313.373	291896.431	629.135	k-k'
390	3323321.404	291919.947	629.091	k-k'
391	3323318.621	291940.172	628.976	k-k'
392	3323324.534	291982.506	628.845	k-k'
393	3323329.605	292008.426	628.764	k-k'
394	3323332.339	292035.661	628.711	k-k'
395	3323340.522	292060.669	628.554	k-k'
396	3323348.949	292087.398	628.525	k-k'
397	3323363.665	292115.668	628.427	k-k'
398	3323370.796	292129.769	628.380	k-k'
399	3323379.205	292143.642	628.248	k-k'
400	3323384.241	292150.780	627.450	k-k'
401	3323393.124	292163.184	628.168	k-k'
402	3323405.134	292181.033	628.137	k-k'
403	3323418.806	292200.161	628.024	k-k'
404	3323426.682	292213.285	627.984	k-k'

405	3323436.847	292229.621	627.922	k-k'
406	3323453.609	292253.420	627.852	k-k'
407	3323482.321	292286.730	627.769	k-k'
408	3323496.632	292307.363	627.723	k-k'
409	3323514.830	292330.029	627.567	k-k'
410	3323535.918	292361.891	627.314	k-k'
411	3323543.894	292379.853	626.995	k-k'
412	3323554.879	292395.581	626.677	k-k'
413	3323567.010	292411.527	626.341	k-k'
414	3323578.448	292427.593	626.047	k-k'
415	3323597.424	292454.632	625.532	k-k'
416	3323632.848	292506.351	625.541	k-k'
417	3323645.786	292531.652	626.275	k-k'
418	3323652.982	292554.929	626.932	k-k'
419	3323654.750	292581.338	627.346	k-k'
420	3323652.667	292615.188	627.849	k-k'
421	3323652.107	292627.883	627.998	k-k'
422	3323650.064	292639.719	628.155	k-k'
423	3323647.379	292664.473	628.220	k-k'
424	3323639.359	292679.580	628.188	k-k'
425	3323637.143	292706.897	628.130	k-k'
426	3323636.260	292727.507	628.112	k-k'
427	3323635.073	292743.527	628.081	k-k'
428	3323633.430	292760.955	628.057	k-k'
429	3323631.650	292782.160	627.984	k-k'
430	3323629.934	292802.393	627.972	k-k'
431	3323628.092	292818.484	627.929	k-k'
432	3323626.153	292840.955	627.943	k-k'
433	3323625.501	292855.484	627.918	k-k'
434	3323621.352	292900.397	627.797	k-k'
435	3323620.274	292916.520	627.892	k-k'
436	3323618.286	292934.373	627.903	k-k'
437	3323617.891	292940.621	627.932	k-k'
438	3323617.009	292954.962	628.028	k-k'
439	3323614.385	292978.410	628.137	k-k'
440	3323613.231	292988.284	628.225	k-k'
441	3323611.914	293010.848	628.502	k-k'

442	3323610.721	293035.283	628.847	k-k'
443	3323608.343	293055.348	629.096	k-k'
444	3323606.415	293079.885	629.512	k-k'
445	3323561.274	293057.392	626.475	k-k'
446	3323563.007	293069.100	626.545	k-k'
447	3323563.801	293081.123	626.498	k-k'
448	3323567.566	293093.529	626.786	k-k'
449	3323570.885	293106.836	627.381	k-k'
450	3323568.365	293128.549	626.957	k-k'
451	3323562.606	293148.664	626.538	k-k'
452	3323566.606	293166.274	626.028	k-k'
453	3323566.381	293197.947	625.554	k-k'
454	3323571.615	293213.640	624.207	k-k'
455	3323569.987	293214.711	625.384	k-k'
456	3323575.421	293230.107	625.062	k-k'
457	3323574.737	293238.238	624.043	k-k'
458	3323573.081	293244.483	624.068	k-k'
459	3323577.272	293256.918	623.302	k-k'
460	3323578.653	293273.209	621.966	k-k'
461	3323582.678	293283.265	621.245	k-k'
462	3323489.885	293387.244	623.589	k-k'
463	3323505.230	293323.980	622.687	k-k'
464	3323505.252	293338.620	623.186	k-k'
465	3323501.929	293371.179	623.616	k-k'
466	3323499.146	293400.634	623.626	k-k'
467	3323496.760	293417.725	623.413	k-k'
468	3323493.187	293440.826	623.058	k-k'
469	3323500.178	293463.166	622.316	k-k'
470	3323543.094	293526.357	623.629	k-k'
471	3323530.972	293643.897	624.173	k 1-k 1'
472	3323513.109	293553.968	622.454	k 1-k 1'
473	3323476.737	293725.220	621.279	k 1-k 1'
474	3323429.935	293772.546	618.994	k 1-k 1'
475	3323343.919	293789.916	612.259	k 1-k 1'
476	3323330.259	293845.610	614.152	k 1-k 1'
477	3323274.984	293853.348	610.482	k 1-k 1'
478	3323224.851	293909.019	610.626	k 1-k 1'

479	3323182.005	293936.719	610.078	k 1-k 1'
480	3323143.965	293925.806	606.424	k 1-k 1'
481	3323110.379	293978.927	609.226	k 1-k 1'
482	3323054.394	294003.365	608.608	k 1-k 1'
483	3323006.902	294014.026	608.203	k 1-k 1'
484	3322962.231	294019.268	607.647	k 1-k 1'
485	3322889.776	294031.416	606.567	k 1-k 1'
486	3322832.546	294039.092	605.688	k 1-k 1'
487	3322657.267	294062.381	604.919	k 1-k 1'
488	3322511.917	294033.043	600.177	k 1-k 1'
489	3322495.113	294019.494	599.103	k 1-k 1'
490	3322467.899	294024.451	599.036	k 1-k 1'
491	3322438.608	294028.343	599.107	k 1-k 1'
492	3322420.215	294036.475	599.117	k 1-k 1'
493	3322032.157	290071.195	672.370	l-l'
494	3322053.480	290031.168	671.592	l-l'
495	3322078.668	290003.597	669.863	l-l'
496	3322106.934	289988.305	668.103	l-l'
497	3322133.371	289982.507	666.030	l-l'
498	3322176.868	289970.568	664.556	l-l'
499	3322201.450	289954.690	664.234	l-l'
500	3322224.050	289923.049	664.055	l-l'
501	3322229.014	289902.008	664.888	l-l'
502	3322226.697	289847.945	665.010	l-l'
503	3322228.716	289811.519	665.122	l-l'
504	3322243.926	289795.809	664.790	l-l'
505	3322253.403	289753.985	665.314	l-l'
506	3322276.102	289712.331	666.135	l-l'
507	3322289.272	289698.909	666.685	l-l'
508	3322294.283	289676.776	667.126	l-l'
509	3322312.587	289630.324	668.039	l-l'
510	3322327.091	289595.517	667.079	l-l'
511	3322339.137	289546.496	668.014	l-l'
512	3322354.647	289520.991	668.494	l-l'
513	3322384.991	289491.159	668.650	l-l'
514	3322400.642	289469.254	667.953	l-l'
515	3322407.185	289453.627	666.278	l-l'

516	3322413.592	289435.263	662.350	1-I'
517	3322421.273	289424.820	662.741	1-I'
518	3322427.407	289408.480	665.280	1-I'
519	3322464.690	289400.730	665.252	1-I'
520	3322486.250	289385.941	664.946	1-I'
521	3322504.312	289348.174	665.726	1-I'
522	3322513.505	289330.796	665.506	1-I'
523	3322498.639	289269.395	666.873	1-I'
524	3322516.774	289226.707	666.506	1-I'
525	3322546.391	289206.696	666.802	1-I'
526	3322578.391	289194.385	666.846	1-I'
527	3322598.938	289186.417	667.414	1-I'
528	3322616.895	289179.854	668.341	1-I'
529	3322634.140	289173.943	668.971	1-I'
530	3322662.015	289138.199	669.045	1-I'
531	3322690.079	289099.096	668.951	1-I'
532	3322690.604	289091.160	668.461	1-I'
533	3322711.317	289032.860	660.956	1-I'
534	3322713.498	289018.029	662.558	1-I'
535	3322722.583	288993.882	664.368	1-I'
536	3322755.741	288977.885	664.761	1-I'
537	3322781.398	288956.656	664.109	1-I'
538	3322814.275	288927.009	664.333	1-I'
539	3322842.307	288897.476	663.983	1-I'
540	3322858.863	288874.814	663.548	1-I'
541	3322883.701	288842.766	662.963	1-I'
542	3323083.544	288765.612	649.152	1-I'
543	3323117.597	288765.333	649.100	1-I'
544	3323144.337	288739.977	649.090	1-I'
545	3323169.611	288720.747	649.093	1-I'
546	3323189.348	288709.796	649.599	1-I'
547	3323219.391	288704.881	649.465	1-I'
548	3323237.071	288691.272	650.017	1-I'
549	3323268.190	288681.427	650.053	1-I'
550	3323290.761	288676.695	650.157	1-I'
551	3323304.289	288646.321	650.823	1-I'
552	3323334.907	288637.169	650.213	1-I'

553	3323368.522	288626.268	650.194	l-l'
554	3323399.237	288625.098	650.213	l-l'
555	3323433.022	288616.140	650.684	l-l'
556	3323469.244	288599.499	650.719	l-l'
557	3323505.438	288588.010	650.748	l-l'
558	3323536.865	288594.993	649.349	l-l'
559	3323587.339	288590.337	649.174	l-l'
560	3323631.895	288562.211	648.866	l-l'
561	3323584.216	288492.958	651.581	l-l'
562	3322412.139	294044.278	597.329	m-m'
563	3322392.959	294045.606	597.390	m-m'
564	3322359.466	294053.720	598.375	m-m'
565	3322269.843	290802.671	634.886	m-m'
566	3322282.018	290804.135	634.407	m-m'
567	3322295.044	290811.482	634.062	m-m'
568	3322304.909	290820.220	633.984	m-m'
569	3322313.383	290830.719	633.958	m-m'
570	3322321.870	290843.530	633.817	m-m'
571	3322328.326	290855.316	633.615	m-m'
572	3322333.728	290869.006	633.367	m-m'
573	3322337.854	290880.716	633.169	m-m'
574	3322342.552	290892.465	632.949	m-m'
575	3322347.275	290903.323	632.841	m-m'
576	3322352.420	290914.335	632.746	m-m'
577	3322359.297	290926.768	632.626	m-m'
578	3322366.739	290938.078	632.266	m-m'
579	3322374.329	290952.864	631.715	m-m'
580	3322378.428	290967.450	631.567	m-m'
581	3322382.944	290982.681	631.696	m-m'
582	3322387.187	290998.037	631.854	m-m'
583	3322391.581	291012.761	632.078	m-m'
584	3322395.299	291025.792	632.497	m-m'
585	3322399.450	291041.741	632.884	m-m'
586	3322403.105	291058.074	633.071	m-m'
587	3322405.845	291071.568	633.078	m-m'
588	3322409.682	291088.430	633.080	m-m'
589	3322413.101	291101.473	633.012	m-m'

590	3322416.785	291115.633	632.570	m-m'
591	3322421.888	291130.827	632.089	m-m'
592	3322426.229	291144.360	631.723	m-m'
593	3322430.323	291158.472	631.443	m-m'
594	3322433.406	291174.602	631.310	m-m'
595	3322427.596	291189.978	631.239	m-m'
596	3322421.781	291202.379	631.069	m-m'
597	3322416.092	291214.015	630.410	m-m'
598	3322406.733	291228.169	629.385	m-m'
599	3322397.822	291244.202	628.691	m-m'
600	3322401.561	291260.099	629.243	m-m'
601	3322406.308	291274.275	629.384	m-m'
602	3322410.213	291287.100	629.635	m-m'
603	3322415.236	291300.909	630.470	m-m'
604	3322424.976	291317.938	631.224	m-m'
605	3322431.391	291327.595	631.998	m-m'
606	3322437.478	291340.302	633.455	m-m'
607	3322438.760	291353.741	634.518	m-m'
608	3322439.193	291368.023	635.082	m-m'
609	3322442.061	291382.808	635.748	m-m'
610	3322446.917	291396.795	636.258	m-m'
611	3322451.906	291408.666	636.325	m-m'
612	3322456.988	291420.529	636.390	m-m'
613	3322463.058	291431.854	636.579	m-m'
614	3322471.544	291447.893	637.400	m-m'
615	3322476.571	291459.744	637.566	m-m'
616	3322480.621	291473.296	637.607	m-m'
617	3322485.962	291491.805	637.490	m-m'
618	3322493.314	291511.018	636.911	m-m'
619	3322499.779	291529.715	636.209	m-m'
620	3322505.068	291545.879	635.351	m-m'
621	3322511.839	291567.060	634.063	m-m'
622	3322516.589	291582.688	633.369	m-m'
623	3322522.983	291603.414	633.002	m-m'
624	3322529.185	291624.357	632.516	m-m'
625	3322535.697	291644.625	631.953	m-m'
626	3322542.843	291666.445	631.343	m-m'

627	3322549.587	291685.502	630.931	m-m'
628	3322556.136	291704.084	630.679	m-m'
629	3322563.039	291724.313	630.358	m-m'
630	3322570.097	291744.613	629.781	m-m'
631	3322577.163	291766.054	629.469	m-m'
632	3322583.311	291785.554	629.536	m-m'
633	3322590.967	291808.605	629.793	m-m'
634	3322598.705	291830.081	630.971	m-m'
635	3322607.625	291856.100	630.536	m-m'
636	3322617.612	291880.643	629.638	m-m'
637	3322629.260	291917.091	628.826	m-m'
638	3322639.240	291939.807	628.528	m-m'
639	3322647.304	291958.547	628.119	m-m'
640	3322654.057	291973.977	627.607	m-m'
641	3322661.992	291992.750	626.956	m-m'
642	3322668.516	292008.327	626.619	m-m'
643	3322674.711	292022.820	626.404	m-m'
644	3322681.513	292039.177	626.157	m-m'
645	3322688.213	292055.559	625.955	m-m'
646	3322696.824	292075.572	625.858	m-m'
647	3322704.560	292097.136	625.798	m-m'
648	3322711.826	292113.543	625.718	m-m'
649	3322712.442	292130.932	625.576	m-m'
650	3322714.587	292145.096	625.462	m-m'
651	3322720.509	292160.246	625.229	m-m'
652	3322718.751	292174.696	625.119	m-m'
653	3322720.476	292189.290	625.051	m-m'
654	3322721.262	292201.682	625.052	m-m'
655	3322721.261	292213.451	625.002	m-m'
656	3322721.196	292227.703	624.987	m-m'
657	3322721.434	292241.241	624.941	m-m'
658	3322727.640	292254.267	624.807	m-m'
659	3322729.687	292269.118	624.737	m-m'
660	3322735.447	292282.016	624.547	m-m'
661	3322741.416	292294.872	624.567	m-m'
662	3322748.582	292307.479	624.487	m-m'
663	3322755.687	292317.997	624.394	m-m'

664	3322763.206	292328.590	624.384	m-m'
665	3322770.731	292339.581	624.276	m-m'
666	3322779.014	292350.339	624.182	m-m'
667	3322785.857	292360.149	624.020	m-m'
668	3322793.154	292369.540	623.942	m-m'
669	3322801.509	292381.107	623.867	m-m'
670	3322809.885	292392.543	623.771	m-m'
671	3322817.783	292403.231	623.746	m-m'
672	3322825.037	292412.240	623.742	m-m'
673	3322832.195	292422.255	623.785	m-m'
674	3322837.989	292429.568	623.725	m-m'
675	3322844.851	292438.957	623.626	m-m'
676	3322852.682	292449.644	623.527	m-m'
677	3322864.073	292457.564	623.483	m-m'
678	3322871.979	292468.477	623.494	m-m'
679	3322880.065	292478.685	623.427	m-m'
680	3322889.016	292490.250	623.430	m-m'
681	3322896.626	292501.233	623.355	m-m'
682	3322905.795	292514.002	623.186	m-m'
683	3322911.000	292528.451	623.189	m-m'
684	3322919.606	292538.713	623.246	m-m'
685	3322928.357	292547.006	623.192	m-m'
686	3322937.654	292556.582	623.182	m-m'
687	3322945.492	292566.981	623.153	m-m'
688	3322952.817	292577.374	623.230	m-m'
689	3322960.245	292588.555	623.208	m-m'
690	3322966.910	292600.074	623.210	m-m'
691	3322972.370	292615.422	623.202	m-m'
692	3322979.612	292627.133	623.174	m-m'
693	3322983.384	292640.573	623.059	m-m'
694	3322986.288	292652.328	622.947	m-m'
695	3322992.381	292669.225	622.773	m-m'
696	3322995.616	292683.296	622.593	m-m'
697	3323006.788	292694.384	622.320	m-m'
698	3323014.992	292703.836	622.056	m-m'
699	3323023.582	292714.494	621.904	m-m'
700	3323033.149	292726.613	621.812	m-m'

701	3323041.825	292737.017	621.795	m-m'
702	3323050.072	292747.869	621.807	m-m'
703	3323056.246	292760.405	621.596	m-m'
704	3323060.921	292771.687	621.417	m-m'
705	3323066.887	292784.700	621.147	m-m'
706	3323072.746	292797.250	620.939	m-m'
707	3323078.474	292809.589	620.838	m-m'
708	3323083.710	292821.306	620.834	m-m'
709	3323087.147	292835.737	620.868	m-m'
710	3323086.637	292852.139	620.803	m-m'
711	3323084.837	292867.086	620.651	m-m'
712	3323087.352	292882.643	620.270	m-m'
713	3323091.549	292895.660	620.152	m-m'
714	3323096.087	292911.867	619.960	m-m'
715	3323100.380	292926.638	619.865	m-m'
716	3323104.589	292942.042	619.800	m-m'
717	3323108.544	292956.750	619.734	m-m'
718	3323114.125	292975.611	619.718	m-m'
719	3323119.044	292991.739	619.595	m-m'
720	3323124.032	293006.873	619.587	m-m'
721	3323126.137	293023.378	619.462	m-m'
722	3323130.452	293038.829	619.208	m-m'
723	3323133.287	293048.887	619.051	m-m'
724	3323137.065	293061.836	618.736	m-m'
725	3323140.125	293074.305	618.539	m-m'
726	3323145.377	293090.563	618.238	m-m'
727	3323150.662	293108.073	618.064	m-m'
728	3323153.069	293125.608	617.734	m-m'
729	3323154.950	293142.193	617.801	m-m'
730	3323154.994	293159.780	617.640	m-m'
731	3323155.758	293177.074	617.482	m-m'
732	3323150.479	293193.666	617.471	m-m'
733	3323143.816	293226.683	617.177	m-m'
734	3323141.177	293243.291	616.997	m-m'
735	3323137.774	293258.404	616.960	m-m'
736	3323133.198	293278.337	616.668	m-m'
737	3323128.078	293297.355	616.473	m-m'

738	3323124.068	293315.428	616.359	m-m'
739	3323120.525	293334.131	616.186	m-m'
740	3323116.215	293354.015	615.953	m-m'
741	3323107.972	293386.876	615.632	m-m'
742	3323102.021	293408.280	615.554	m-m'
743	3323096.947	293426.571	615.516	m-m'
744	3323090.932	293447.805	615.379	m-m'
745	3323084.989	293468.797	615.335	m-m'
746	3323082.031	293490.243	615.004	m-m'
747	3323072.685	293512.501	614.073	m-m'
748	3323066.461	293538.612	612.164	m-m'
749	3323067.265	293562.487	611.783	m-m'
750	3323063.869	293582.378	611.934	m-m'
751	3323060.437	293601.209	612.264	m-m'
752	3323053.158	293617.484	612.473	m-m'
753	3323042.885	293633.476	612.510	m-m'
754	3323028.278	293650.077	612.951	m-m'
755	3323013.795	293660.608	612.746	m-m'
756	3323003.080	293666.285	612.533	m-m'
757	3322986.181	293674.259	612.475	m-m'
758	3322968.678	293681.765	612.467	m-m'
759	3322954.524	293687.010	612.733	m-m'
760	3322936.667	293692.459	613.534	m-m'
761	3322917.043	293700.746	614.886	m-m'
762	3322901.084	293708.449	616.379	m-m'
763	3322835.040	293716.519	617.207	m-m'
764	3322775.221	293715.314	616.917	m 1-m 1'
765	3322742.798	293725.180	616.715	m 1-m 1'
766	3322712.033	293742.829	616.747	m 1-m 1'
767	3322677.638	293762.724	616.496	m 1-m 1'
768	3322630.081	293763.261	616.323	m 1-m 1'
769	3322584.361	293754.627	616.096	m 1-m 1'
770	3322555.208	293749.109	615.811	m 1-m 1'
771	3322505.718	293742.254	614.947	m 1-m 1'
772	3322453.045	293741.774	614.840	m 1-m 1'
773	3322311.419	293690.868	614.959	m 1-m 1'
774	3322284.337	293679.232	614.695	m 1-m 1'

775	3322263.187	293668.779	614.479	m 1-m 1'
776	3322213.965	293649.409	613.792	m 1-m 1'
777	3322182.058	293636.498	613.378	m 1-m 1'
778	3322155.464	293624.353	612.771	m 1-m 1'
779	3322137.047	293615.697	612.224	m 1-m 1'
780	3322089.190	293596.836	611.515	m 1-m 1'
781	3322047.880	293654.725	607.551	m 1-m 1'
782	3322031.062	293685.198	606.151	m 1-m 1'
783	3322020.354	293706.673	605.380	m 1-m 1'
784	3322001.190	293742.248	603.645	m 1-m 1'
785	3321852.885	293931.302	598.010	m 1-m 1'
786	3321817.614	293934.014	597.792	m 1-m 1'
787	3322326.781	290433.481	617.208	river
788	3322342.361	290473.295	617.262	river
789	3322555.485	290714.193	607.122	river
790	3322542.093	290716.128	606.889	river
791	3322498.292	290735.918	604.685	river
792	3322519.069	290782.152	604.627	river
793	3322642.323	289875.074	617.210	river
794	3322878.103	289672.412	616.453	river
795	3323769.077	287897.843	635.203	river
796	3322837.482	291041.952	601.712	river
797	3322997.679	293852.751	584.260	river

## 附錄二、光螢光定年數據（天全縣 α 點）



Luminescence Dating Laboratory

Department of Geosciences, National Taiwan University

### Age Report Form for Submitter

Sample ID: TC01

Lab ID:

Operator: Ya-Lin Chen

Contact Details: littlephen@gmail.com / yalinchencc@ntu.edu.tw

Results approved by: Yue-Gau Chen      09/16/2015

(Signature)

### Age Results

Age:  $8.42 \pm 1.29$  ka

g-value (% per decade):

fading uncorrected age:

Equivalent dose (Gy):  $31.93 \pm 4.72$

Number of aliquots used for De calculation: 29

Age model: MAM (Minimum Age Model)

Annual dose rate (Gy/ka):  $3.79 \pm 0.15$

Comments

### Measurement Conditions

Mineral: quartz

Grain size ( $\mu\text{m}$ ): 105-210

Aliquot type: stainless steel

Aliquot size (mm): 4

Type of protocol  SAR  post-IR IRSL  MAAD  Other:

OSL reader model: TL-DA-15

Name of reader: Risoe 1

Location of OSL reader: Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei

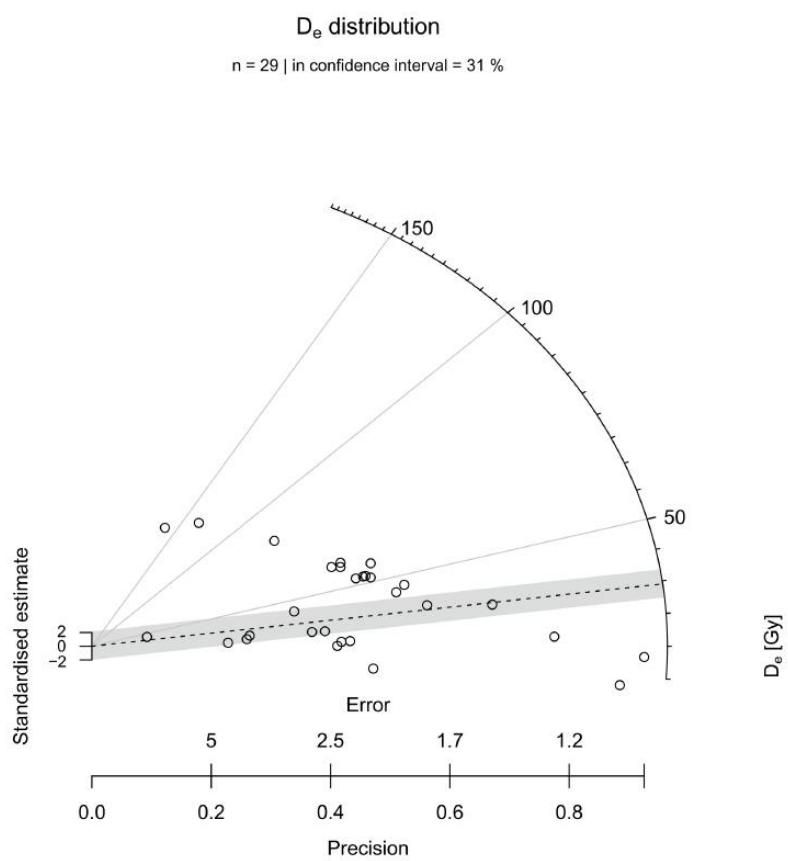
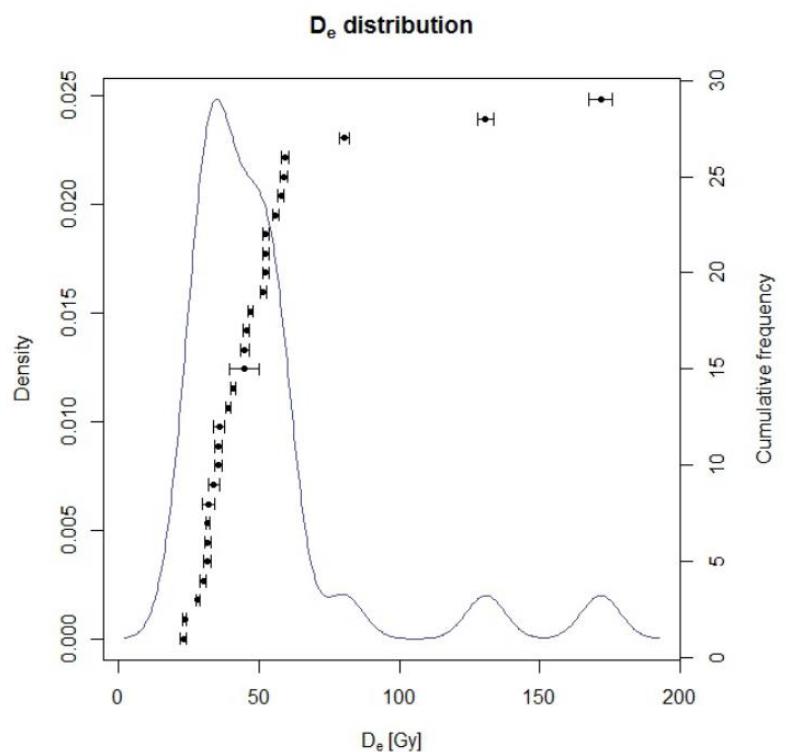
Dose rate of reader at time of measurement (Gy/s): 0.0721      Radioactive source: Sr-90

OSL type: blue LED      Wavelength (nm): 470      Time (s): 40      Temperature (°C): 125

Optical filter  Hoya U-340  Corning CN 7-59  Schott BG 39  other:

PH time (s): 10      PH Temp. (°C): 160      CH time (s): 10      CH Temp. (°C): 160

Comments: The measurements were also measured by TL-DA-15 SG reader model / Risoe 2/ dose rate 0.2273 Gy/s





### 附錄三、碳 14 定年數據 (天全縣 β 點)



### REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Dr. Hao-Te Hsu

Report Date: 2/1/2016

Sample Data	Measured Radiocarbon Age	d13C	Conventional Radiocarbon Age(*)
Beta - 428535 SAMPLE : LD-BH2-309 ANALYSIS : AMS-Micro-sample Analysis; Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (organic sediment); acid washes 2 SIGMA CALIBRATION : Cal BC 19410 to 18905 (Cal BP 21360 to 20855)	17480 +/- 90 BP	-25.5 o/oo	17470 +/- 90 BP
Beta - 428537 SAMPLE : LS-C14-1 ANALYSIS : AMS-Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (charred material); acid/alkali/acid 2 SIGMA CALIBRATION : Cal AD 1470 to 1650 (Cal BP 480 to 300)	340 +/- 30 BP	-26.2 o/oo	320 +/- 30 BP
Beta - 428538 SAMPLE : TQ06 ANALYSIS : AMS-Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (wood); acid/alkali/acid COMMENT: (1) The 14C activity was extremely low and almost identical to the background signal. In such cases, indeterminate errors associated with the background add non-measurable uncertainty to the result. Always, the result should be considered along with other lines of evidence. The most conservative interpretation of age is infinite (i.e. greater than). (2) A Measured Radiocarbon Age is not reported for infinite dates since corrections may imply a greater level of confidence than is appropriate.	NA	-27.2 o/oo	> 43500 BP

Dates are reported as RCYBP (radiocarbon years before present, "present" = AD 1950). By international convention, the modern reference standard was 95% the 14C activity of the National Institute of Standards and Technology (NIST) Oxalic Acid (SRM 4990C) and calculated using the Libby 14C half-life (5568 years). Quoted errors represent 1 relative standard deviation statistics (68% probability) counting errors based on the combined measurements of the sample, background, and modern reference standards. Measured 13C/12C ratios (delta 13C) were calculated relative to the PDB-1 standard.

The Conventional Radiocarbon Age represents the Measured Radiocarbon Age corrected for isotopic fractionation, calculated using the delta 13C. On rare occasion where the Conventional Radiocarbon Age was calculated using an assumed delta 13C, the ratio and the Conventional Radiocarbon Age will be followed by \*\*. The Conventional Radiocarbon Age is not calendar calibrated. When available, the Calendar Calibrated result is calculated from the Conventional Radiocarbon Age and is listed as the "Two Sigma Calibrated Result" for each sample.

Page 3 of 9

(綠色方框所圈選樣本，為天全縣 β 點之碳樣本)

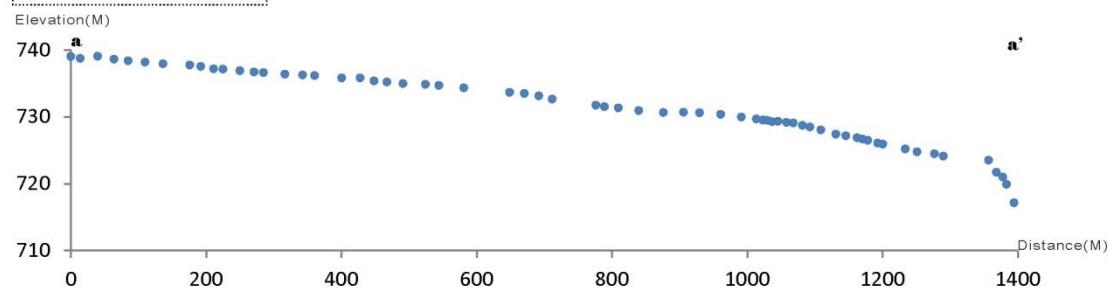


## 附錄四、RTK-GPS 測量數據地形剖面圖

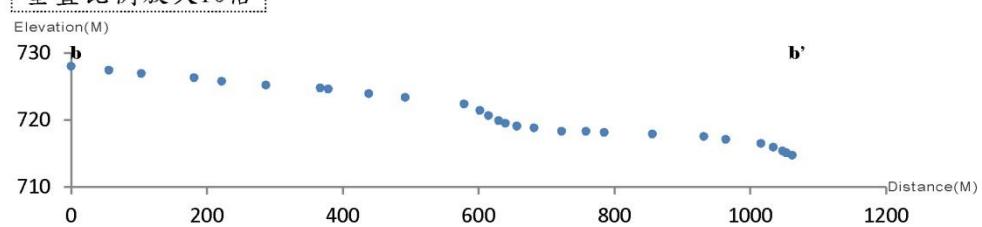
\* 天全縣剖面圖

Tianquan

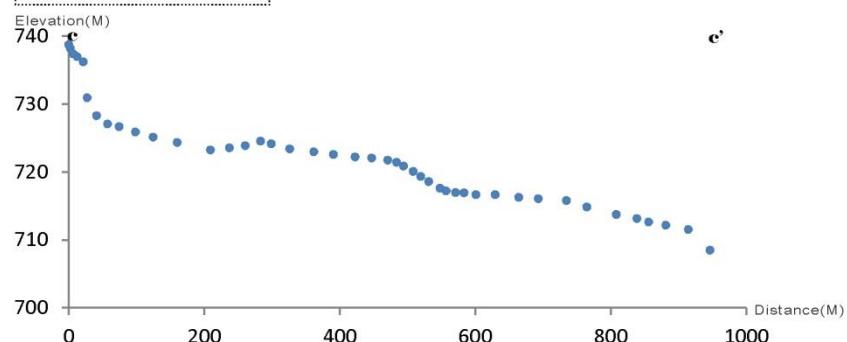
垂直比例放大10倍



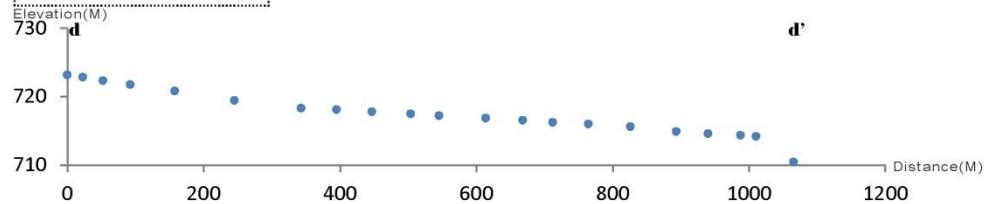
垂直比例放大10倍



垂直比例放大10倍



垂直比例放大10倍



### Tianquan

垂直比例放大10倍

Elevation(M)

740

e'

e

730

720

710

700



垂直比例放大10倍

Elevation(M)

740

f

f

730

720

710

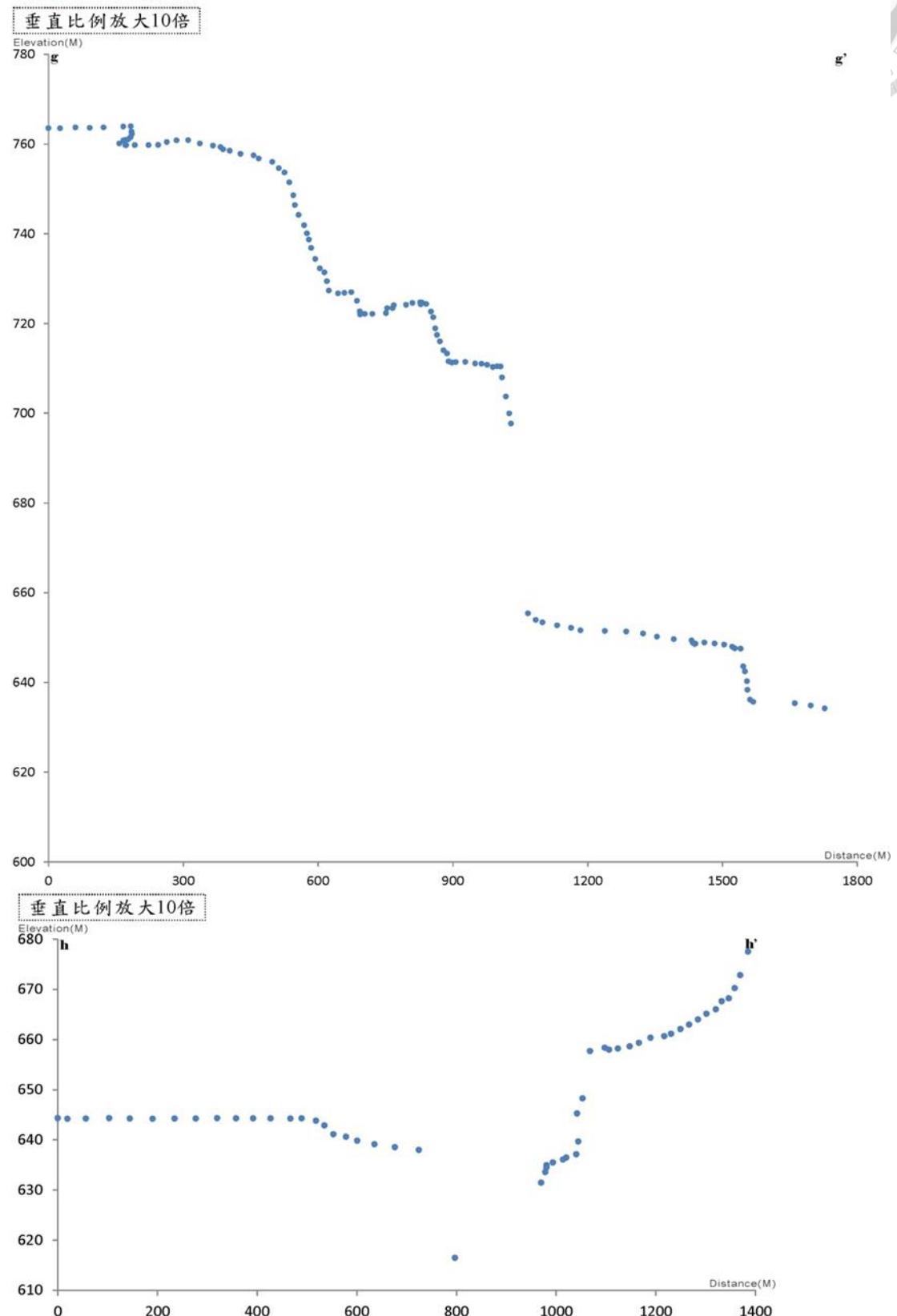
700





## \*始陽鎮剖面圖

**Shiyang**



### Shiyang

