

# 臺灣東部池上斷層全段之地表破裂與變形帶 調查及構造特性分析

姜彥麟<sup>1</sup>、朱傲祖<sup>1</sup>、李建成<sup>2</sup>、黃志遠<sup>1</sup>

## 摘要

池上斷層位於台灣東部，為花東縱谷斷層系統中地表潛移活動最明顯、快速的一個區段。過去一、二十年來，池上斷層的地表破裂相關研究較集中於池上鄉附近地區 10 公里範圍內；然而 65 公里長之池上斷層沿線上，仍有一些未正式報導的地表破裂與構造地形。故本研究對池上斷層全段，進行仔細的構造地形與地表潛移破壞之野外調查。根據我們的調查結果，並綜合前人相關之資料，我們認為池上斷層在春日至泰林地區、觀音地區、東竹至羅山地區、電光地區、瑞源地區，除了主斷層外，尚有具活動性的分支斷層存在。而池上斷層的變形帶隨不同地區寬窄不定、從數十公尺到數百公尺。例如春日鍋蓋樑、東竹連續小丘、瑞源二層坪，這些大小不一的構造小丘，皆為受池上斷層活動而上盤隆起的變形帶。綜合本文地表破裂調查及前人地震特性的研究，本研究將池上斷層可分為兩個區段：北段春日至東竹地區約 30 公里長，地表破裂及構造地形較不明顯，且在近地表無明顯的地震事件；南段富里至瑞源地區約 35 公里長，則有明顯的斷層崖且近地表有明顯的地震事件。池上斷層不同地區的地表變形帶的詳細分布，仍需要更密集且持續的相關研究，方能將池上斷層之主斷層及分支斷層位置與變形帶範圍的精度提升。

**關鍵詞：**池上斷層、地表破裂、變形帶。

## 一、前言

---

1 經濟部中央地質調查所 (Central Geological Survey, MOEA)

2 中央研究院地球科學研究所 (Institute of Earth Sciences, Academia Sinica)

池上斷層位於臺灣東部，為花東縱谷斷層系統中地表潛移活動快速的一個區段(Bonilla, 1975; Yu and Liu, 1989; Angelier *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2003; 陳文山等, 2008)，約為北北東走向，為一向西逆移並帶左移分量之活動斷層(Lee and Angelier, 1993; Yu *et al.*, 1997; Yu and Kuo, 2001; 林啟文等, 2009)。池上斷層的命名使用及分佈範圍，不同學者有一些不同的用法(如Lee *et al.*, 2006; 陳文山, 2008; 林啟文等, 2009等)。本文沿襲中央地質調查所近期出版之活動斷層條帶地質圖(陳文山, 2008; 林啟文等, 2009)之用法：池上斷層北起於花蓮縣玉里鎮春日里，南至臺東縣鹿野鄉瑞隆村，全長約65公里。池上斷層的構造地形上，最明顯的斷層崖發展分佈在其中段之池上地區(Hsu, 1962; 石再添等, 1986; 楊貴三, 1986; 沈淑敏等, 2006)。大地測量資料亦顯示池上斷層在池上之大坡、錦園地區有明顯的潛移變形，間震時期的潛移速率約2-3 cm/yr (Lee and Angelier, 1993; Angelier *et al.*, 2000; Yu and Kuo, 2001)，且潛移速率的變化與乾濕季有關：溼季潛移速率比乾季快(Lee *et al.*, 2003; 2005)。淺層震測資料(Chow *et al.*, 2001; 黃宏元, 2002; 曾彥祺, 2008)則顯示池上斷層除了主斷層外仍有一些分支斷層(包含背衝斷層)，並可與地表觀察之人工建物破裂帶(Angelier *et al.*, 2000)及槽溝剖面中(陳文山, 2005, 2006; 朱曜國, 2007)沖積層的斷層及褶曲相對應。而1951年玉里池上地震(規模6.2) (Cheng *et al.*, 1996)、2003成功地震(規模6.8) (Lee *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2009)，在池上地區皆造成了明顯的地表破裂(Bonilla, 1977; 朱儼祖與游明聖1995, 1997; 鍾令和, 2003; Shyu *et al.*, 2006)，並可確認池上斷層為與上述地震事件有直接關聯的斷層。

然而在池上地區之外，池上斷層的斷層地形特徵比較不明顯、地表斷層跡位置較難以確認。尤其在春日至泰林地區，池上斷層的斷層崖並不清楚，過去歷史地震造成的地表破裂連續性亦較差(鍾令和, 2003)。而在玉里地區由於池上斷層位置通過玉里大橋 (Yu and Liu, 1989)，顯示池上斷層地表斷層跡有部分是花東縱谷的近代河流沖積層所覆蓋，因此可能不易觀察到明顯的地表破裂或是活動構造地形。另一方面，最近地表露頭的觀察配合利用InSAR影像，卻也發現池上斷層沿線上一些抬升速率較快的地區如關山電光等，有明顯的地表破裂(Champanois *et al.*, 2011)。因此我們認為池上斷層沿線可能仍有一些前人並未發現或未發表的地表破裂或構造地形。故本文之主要工作，是針對池上斷層全段再次進行野外構造地形與地表破壞調查，描述各個地表破裂露頭點的變形構造特徵。我們並參照前人相關之地質、大地測量、地球物理、鑽井與槽溝等資料，嘗試進一步探討池上斷層不同位置點之地表地質構造及地下構造特性。我們也

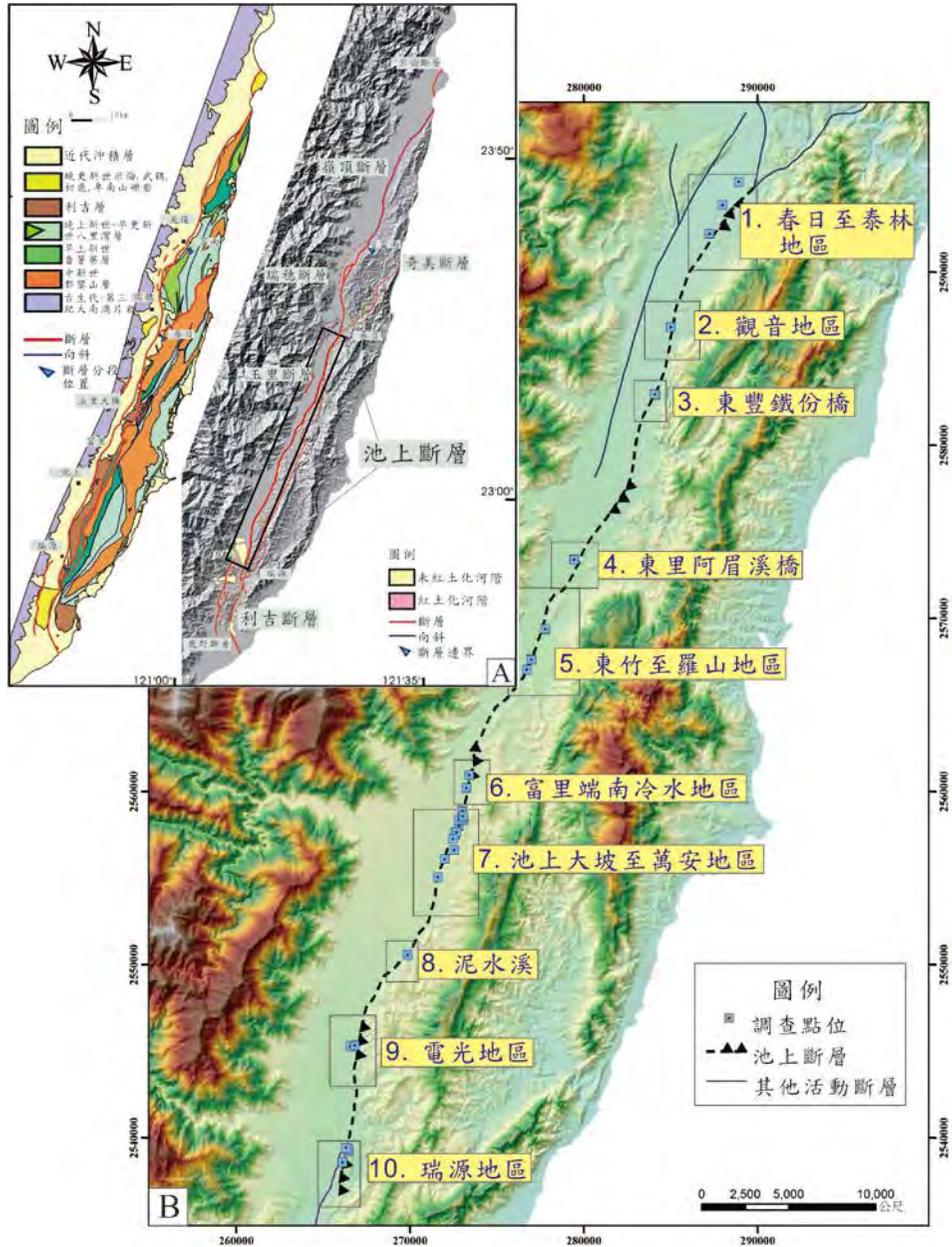
利用幾個有詳細測量及地質地物資料的地點，結合野外觀察，來探討與地表斷層帶之破裂變形範圍，作為地震地質災害評估之參考。

## 二、地質概況

池上斷層位於花東縱谷中南段（圖一A），本地區地表出露之地層包含縱谷西側中央山脈地質區（板岩、變質砂岩及片岩），縱谷東側之海岸山脈地質區（都鑾山層、蕃薯寮層、利吉層、階地堆積層），以及縱谷區域之舞鶴礫岩、階地堆積層、近代沖積層（Hsu, 1956；Teng, 1979；Chen et al., 2007；陳文山等，2008）。

中央山脈出露之板岩層偶夾有薄層之變質砂岩。海岸山脈出露之都鑾山層以安山岩質之火山岩為主，產狀有凝灰岩、集塊岩、角礫岩等；在其上部覆蓋有些許石灰岩。蕃薯寮層則為濁流沉積物為主之砂頁岩互層。利吉層為青灰色之混同層泥岩，夾有砂岩、基性和超基性之火成岩岩塊；泥岩具有受剪力作用之鱗片狀葉理。縱谷內之舞鶴礫岩為晚第四紀之礫石層為主，頂部則有紅土化的現象。階地堆積層與沖積層則由礫石、砂及黏土所組成，年代估計可能為晚第四紀到全新世。

池上斷層基本上位於海岸山脈西緣與縱谷交接處，為菲律賓海板塊和歐亞大陸板塊間縫合帶的主要斷層之一。接近地表處，斷層上盤為利吉層，下盤為縱谷河流沖積層。池上斷層在地表造成一系列之活動構造地形如壓力脊、反斜階地、斷層崖或斷層線崖等。在富里富池橋繫溪南岸可見斷層露頭，為利吉層向西逆衝至河階礫石層之上（Angelier *et al.*, 1997；林啟文等，2009）。另外經由槽溝開挖，在池上錦園、萬安及瑞源坪頂臺地，也可以觀察到淺層近地表之地下斷層露頭（陳文山等，2006；紀權宥，2007）。



圖一、A 左圖：花東縱谷及海岸山脈地質圖(Chen et al., 2007)；右圖：花東縱谷斷層系統地表分佈位置。池上斷層位於花東縱谷斷層中南段。B：本文之池上斷層地表破裂調查區域。

Fig. 1. (A) Left: Geologic map of the Longitudinal Valley and Coastal Range in eastern Taiwan (Chen et al., 2007). Right: Surface trace of the Longitudinal Valley Fault system. The Chihshang fault is located in the south central part of the Longitudinal Valley fault. (B) Study area and locations of the surface ruptures along the Chihshang fault.

### 三、池上斷層地表變形及地表破裂調查

如前所述，本文中所採用之池上斷層的範圍，乃根據陳文山等（2008）及經濟部中央地質調查所2009年出版之臺灣東部與南部的活動斷層條帶地質圖說明書(林啟文等，2009)，範圍大致從春日到瑞源，長約65公里。本研究野外調查的主要工作包括：確認與斷層活動直接有關之地表破裂位置、地表破裂之露頭描述、及初步的構造分析。我們除了根據過去20多年以來的工作經驗及成果外，特別又從事了幾次有系統的野外全面勘察，共發現了32個地表破裂露頭點(附表一)；大部分與斷層跡之地表出露有直接關連，雖然少數幾個點還需要更多之資料來確認。在此有一點值得提出說明：本文使用‘地表破裂’一詞，來泛指在野外觀察到的地表於斷層作用相關之人工建物的破裂，通常以擠壓性的脆性斷裂來呈現。在盡可能排除純地表效應，例如重力滑移等後，我們將傾向於與深層逆斷層直接相關的地表破裂抽離出來，做為本文之報導露頭。以下由北至南將各露頭點分區逐一說明(圖一B)。

#### 1. 春日至泰林地區：

本區為池上斷層最北端，我們分別於鍋蓋樑、呂範溪南岸堤防、月眉溪南岸堤防等三個露頭點，觀察到與構造運動有密切關聯之地形及地表破裂(圖二A)。

**鍋蓋樑：**鍋蓋樑為一獨立狀小丘，我們於鍋蓋樑東南側山腳下觀察到一個地質露頭。露頭之岩層整體上約為向東傾斜，岩性可粗略分為下部的灰色塊狀泥質層與上部深褐色及淡褐色的粉砂層互層。從岩層的傾斜位態，本文推測露頭位於一背斜構造的東翼；此背斜的東西緣各有一反向的逆斷層(西緣為池上斷層之西分支，東緣為背衝斷層)。而露頭中的正斷層系統可能是同沉積時期發育的正斷層，或是在逆衝擠壓同時的彎拱作用(buckling)而造成的張力正斷層(圖二B)。

**呂範溪南岸堤防：**由鍋蓋樑再往南至呂範溪之間，存在一地形崖，崖西側為低位河階。往南通過泰林大橋，在呂範溪南岸堤防附近之水稻田間地形崖附近，觀察到灌溉溝渠受擠壓而破裂，並在破裂頂部有輕微的拱起(圖二C)，拱起

量約10至20公分，此地形崖及相伴之破裂面很可能為向西逆衝的池上斷層西分支活動所致，可與鍋蓋樑之西緣斷層地形崖相連接。

**月眉溪南岸堤防：**由泰林大橋再往南通過萬麗橋，在月眉溪南岸的堤坊上觀察到一明顯且連續性佳的破裂，破裂頂部之堤防有擠壓拱起的現象，拱起量約數公分至數十公分不等，破裂面約為向東傾斜(圖二D)，根據過去的觀測經驗，推測此破裂面附近很可能有斷層出露，因此解釋亦為向西逆衝的池上斷層西分支地表出露處。

在地表破裂所反應的地表地形特徵上，鍋蓋樑－呂範溪南岸堤防－月眉溪南岸堤防一系列的地表變形及地表破裂，基本上是沿著一條地形崖分佈。而此地形崖和沈淑敏等(2006)所提出之春日線形大致相同。值得注意的是，此地表破裂之地形崖與本研究採用之地質圖(林啟文等, 2009)所繪之池上斷層跡的位置略有不同，較地質圖之位置要再往斷層前緣西側約200~900公尺。因此本文傾向解釋此地形崖及沿線地表人工建物破裂為一新發育之分支斷層。在後面第四章中，將會再討論本區地表破裂、分支斷層及其隱含的地下構造。

## 2. 觀音地區：

本區觀察到一處與構造活動有關之地表破裂露頭點(圖三A)：在193線道高寮橋北側約300公尺後西轉東西向的小路上，有小溝渠拱起破裂(圖三B)，類似逆斷層形貌之破裂，顯示約東西向的擠壓。此地表破裂位置大致和地質圖之池上斷層位置接近，但似乎更向斷層前緣西側偏移一些(約偏移100公尺)。

另外，在斷層前緣可觀察到有一數百公尺寬的低位河階(圖三A綠色範圍)，表現了反傾(向東傾斜)的現象(圖三C)，暗示此階最西緣可能有一逆斷層活動構造存在，本文認為有兩可能：一、可能為池上斷層往西發展之新分支斷層；二、此即為池上斷層之主斷層位置。

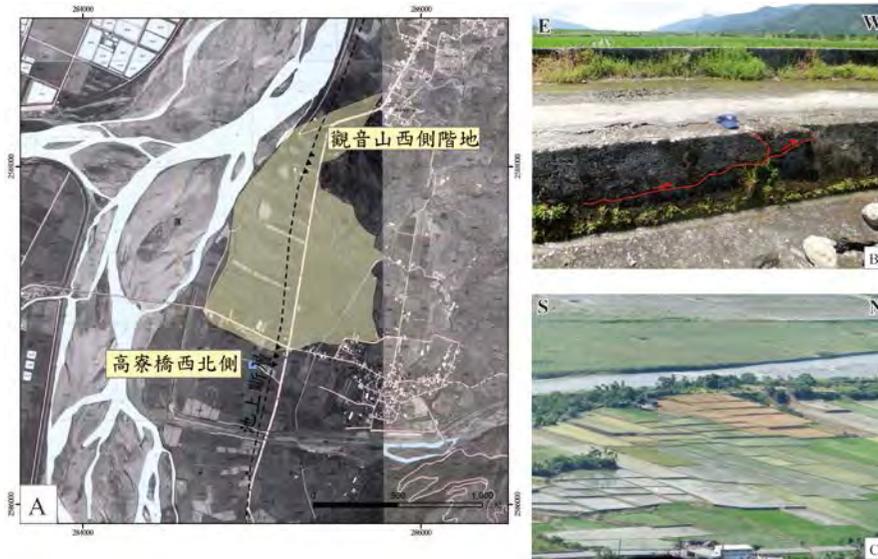
## 3. 東豐鐵份橋：

東豐里鐵份橋西側北岸堤防上，發現可能與斷層活動有關的兩處地表破裂，間隔約50公尺(圖四B、圖四C)。破裂位置與目前地質圖繪之池上斷層位置非常接近，約在池上斷層斷層跡東側約15至20公尺處，此區之地表破裂應為池上斷層活動造成。另外值得一提，西側破裂呈現向西逆衝之破裂特性；東側破裂則是呈現向東逆衝特性。我們傾向解釋此向東逆衝之破裂反應地下可能有一背衝斷層活動所致，當然還需要更進一步的資料佐證，例如水準測量。



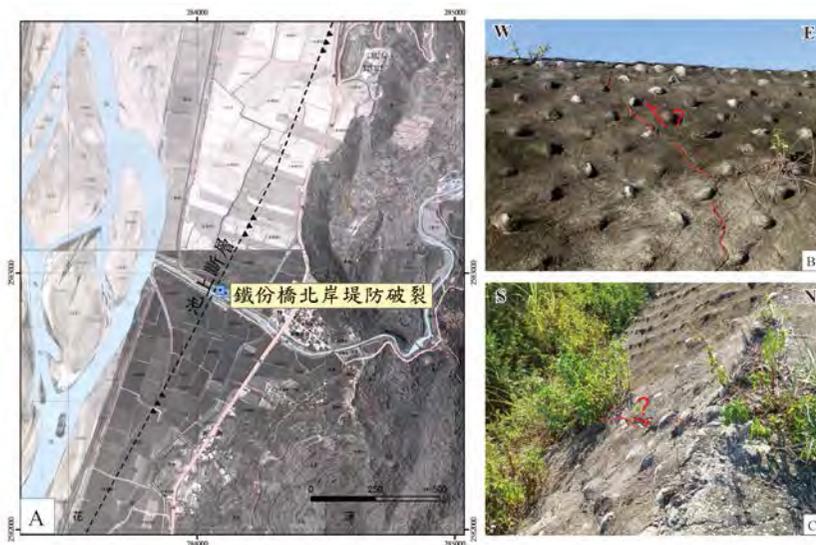
圖二、A：春日至泰林地區地表破裂位置圖。B：鍋蓋樑東南側之露頭，沉積層有向東傾斜的現象。C：呂範溪南岸堤防附近之逆衝破裂。D：月眉溪南岸河堤逆衝破裂。

Fig. 2. (A) Map of surface ruptures in the Chun-rih- Tailin area. (B) The outcrop is located in southeast Kuokailiang. The strata dip to the east. (C) Thrust-type ruptures on the embankment of the south bank of the Lufan River. (D) Thrust-type ruptures on the embankment of the south bank of the Yumei River.



圖三、A：觀音地區地表破裂位置圖。B：高寮橋西北側溝渠逆衝破裂。C：觀音山西側階地反傾(傾向東側)。

Fig. 3. (A) Map of surface ruptures in the Guanyin area. (B) Thrust-type ruptures on the embankment of the northwest side of the Gaoliao Bridge. (C) The anti-tilted terrace (tilted to the east), at the western side of the Guanyinshan.



圖四、A：東豐鐵份橋地表破裂位置圖。B：鐵份橋堤防逆衝破裂。C：鐵份橋堤防背衝破裂。

Fig. 4. (A) Map of surface ruptures on the Difen Bridge of Dongfong area. (B) Thrust-type rupture on the embankment of the Difen Bridge. (C) Back thrust-type rupture on the embankment of the Difen Bridge.

#### 4. 東里阿眉溪橋：

東里之阿眉溪橋(圖五A)西側北岸堤防上，可以觀察5個以上、但不是很明顯的破裂。其中有一比較清楚向西逆衝的破裂，並造成了堤防擠壓拱起(圖五B)，此處破裂約位於主池上斷層西側300公尺處。

#### 5. 東竹至羅山地區：

本區共發現有三處地表破裂(圖六A)，從北至南分別位於東竹富北國中、九岸溪橋西側南岸堤防、富里農會西南側水稻田間。

**東竹富北國中：**富北國中位於一獨立狀小丘頂部，條帶地質圖之池上斷層繪製位於此獨立小丘的西緣，本研究在小丘頂端，富北國中校門東側水泥護牆發現明顯之破裂(圖六B)，解釋可能是池上斷層上盤背斜接近軸部的伸張變形所致。

**九岸溪橋西側南岸堤防：**在九岸溪橋西側南岸堤防觀察一向西逆衝的破裂(圖六C)，並造成堤防頂端有輕微的拱起現象。此破裂位於條帶地質圖繪製之斷層線附近，同時也是沿著一條明顯的地形崖，本文認為此一破裂與池上斷層的活動有直接的關聯。

**富里農會碾米廠西南側附近：**在富里農會碾米廠西南側附近的水稻田間發現了一些地表破裂，其中在一大致為東西向的石堆田埂上，有一向西逆衝的破裂，並造成田埂破裂面頂部有輕微的拱起破壞(圖六D)。此破裂位置與條帶地質圖的斷層繪製位置幾乎一致，故本文認為此破裂與上述之九岸溪堤防破裂皆與池上斷層逆衝活動有直接的關聯。

整體來說，本區在北側的地形上呈現一連串獨立狀小丘，大致上位在池上斷層上盤，應與池上斷層活動息息相關。

#### 6. 富里南端冷水地區：

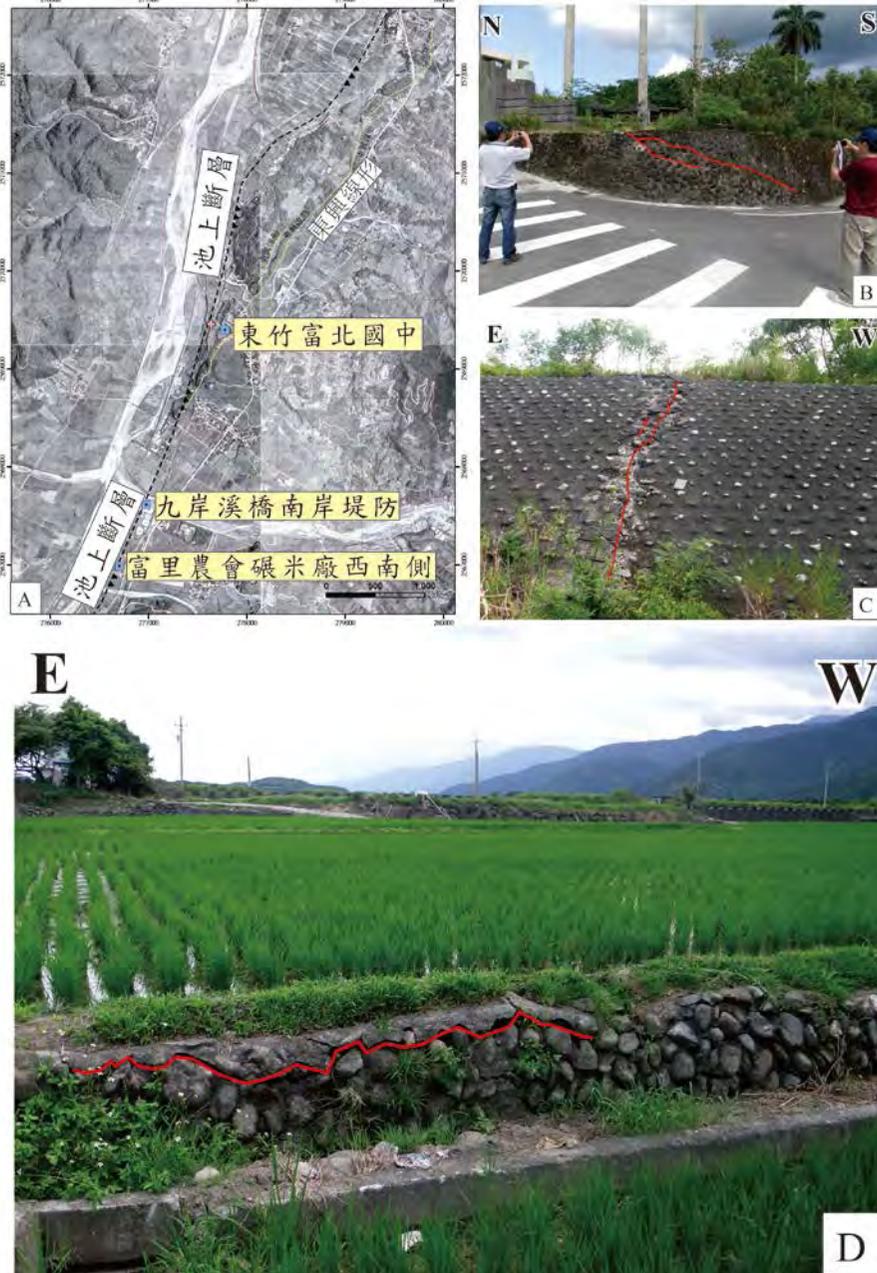
本區共發現兩處地表破裂(圖七A)：一處位於冷水堤防，另一處位於冷水堤防西南方約750公尺處一接近東西向的產業道路旁。冷水堤防可見溝渠經人工修補後之破裂痕，此破裂痕跡呈現向西逆衝的形貌，並使此破裂痕頂端之水泥結構物明顯的拱起(圖七B)，拱起量至少30公分；冷水堤坊西南方之產業道路旁可見有一農舍呈現輕微向西傾倒的現象，緊鄰農舍的水泥路面則有一些明顯的裂隙(圖七C)。

值得注意的是，本區破裂約位於條帶地質圖繪製之池上斷層西側100公尺處，亦即位於主要地形崖西側的低位階地上。如果上述之人工建物的破裂暗示斷層在附近出露地表，則可能池上斷層在此地區有一新分支，正在斷層前緣西側發展中。雖然此兩個地表破裂並不特別顯著，本文認為值得再進一步確認，例如實施近斷層的大地測量。



圖五、A：東里阿眉溪橋地表破裂位置圖。B：阿眉溪橋地表破裂逆衝破裂。

Fig. 5. (A) Map of surface ruptures near the Ameixi Bridge, Dongli area. (B) Thrust-type rupture on the embankment of the Ameixi Bridge.



圖六、A：東竹至羅山地區地表破裂位置圖。B：東竹富北國中圍牆破裂。C：九岸溪橋堤防逆衝破裂。D：富里農會碾米廠西南側附近石堆田埂破裂。

Fig. 6. (A) Map of surface ruptures in the Dongzhu-Luoshan area. (B) Ruptures on the wall of the Fubei junior high school at Dongzhu. (C) Thrust-type rupture on the embankment of the Jiou'anxi Bridge. (D) Ruptures on the rubble ridge, southwestern side of the Fuli Farmers rice mill.



圖七、A：富里南端冷水地區地表破裂位置圖。B：冷水堤防逆衝破裂。C：冷水堤防西南方農舍向西傾斜，黑色箭頭指向為路面破裂。

Fig. 7. (A) Map of surface ruptures of the Lengshui area, southern part of Fuli. (B) Thrust-type rupture on the Lengshui embankment. (C) The cottage is tilted to the west, south west of the Lengshui embankment. The black arrows indicate the ruptures on the path.

## 7. 池上大坡至萬安地區：

本區位於池上斷層中段(圖八A)，為池上斷層潛移或同震造成地表變形及破裂報導最多的區域(鍾令和，2003；李易叡，2007；Barrier and Chu, 1984；Chu *et al.*, 1994；Angelier *et al.*, 1997, 2000；Lee *et al.*, 1993, 2000, 2001, 2003, 2005, 2006；Chow *et al.*, 2001)，包含有大坡溪河堤、大坡國小、大坡牆、南海天道、錦園橋、龍仔尾、萬安沖積扇等露頭點。本次調查除上述地點外，另外在池上建安宮東側、大坡橋北轉公頂山西緣、池上靈公祠、法林寺西南側凹谷、萬安國小等地，均觀察地表破裂及變形，描述如下：

**池上建安宮東側：**我們在建安宮東側的溝渠上觀察到向西逆衝的破裂，並造成溝渠有拱起破壞的情況，此破裂位置與地質圖之池上斷層地形崖非常接近(圖八B)。

**公頂山西緣：**沿著大坡橋北轉進入公頂山，在公頂山西緣的道路及擋土護牆，我們發現了一些地表破裂。這些破裂位於池上斷層主要的地形崖東側約250公尺，現階段尚無法確認是否為斷層活動之變形作用或是其他塊體運動，如地滑，所造成(圖八C)，還需要再進一步的詳細資料或研究分析。

**池上靈公祠：**靈公祠位於池上斷層之主要地形崖下，廣場內有明顯之建物破損(圖八D)。另外在斷層西側之沖積層上，靈公祠西北約100公尺(圖八E)、東北約170公尺之水稻田內，仍可發現灌溉溝渠有破裂的現象(圖八F)。似乎暗示有新分支正在斷層西側發展中，但也還需要再進一步詳加確認。

**法林寺西南方凹谷：**法林寺西南方約600公尺處可見一凹谷之地形(圖八G)，此區位於池上斷層東側約250公尺。我們發現此地區有許多地表破裂，雖然破裂機制也可能與地滑有關，但我們認為此凹谷也可能為兩活動逆衝斷層之間的低地，亦可能代表池上斷層主斷層上盤仍有活動分支斷層。

**萬安國小：**萬安國小校園內操場西側有明顯之地形崖，基本上為池上斷層之主要地形崖。我們觀察到在崖坡上有滑梯斷裂破損的現象(圖八H)；在此地形崖東側則可發現圍牆上有背衝破裂(backthrust)的現象(圖八I)，此背衝破裂約位於池上斷層地形崖東側50公尺處。

## 8. 泥水溪：

本處破裂位於泥水溪北岸堤防(圖九A)，堤防有壓縮並拱起破裂的現象(圖九B)，破裂位置基本上在池上斷層地形崖沿線上，此破裂近三、四年每年約有1.5公分的水平壓縮量(李建成等，未發表之釘網測量資料)，可確認為池上斷層活動所致。



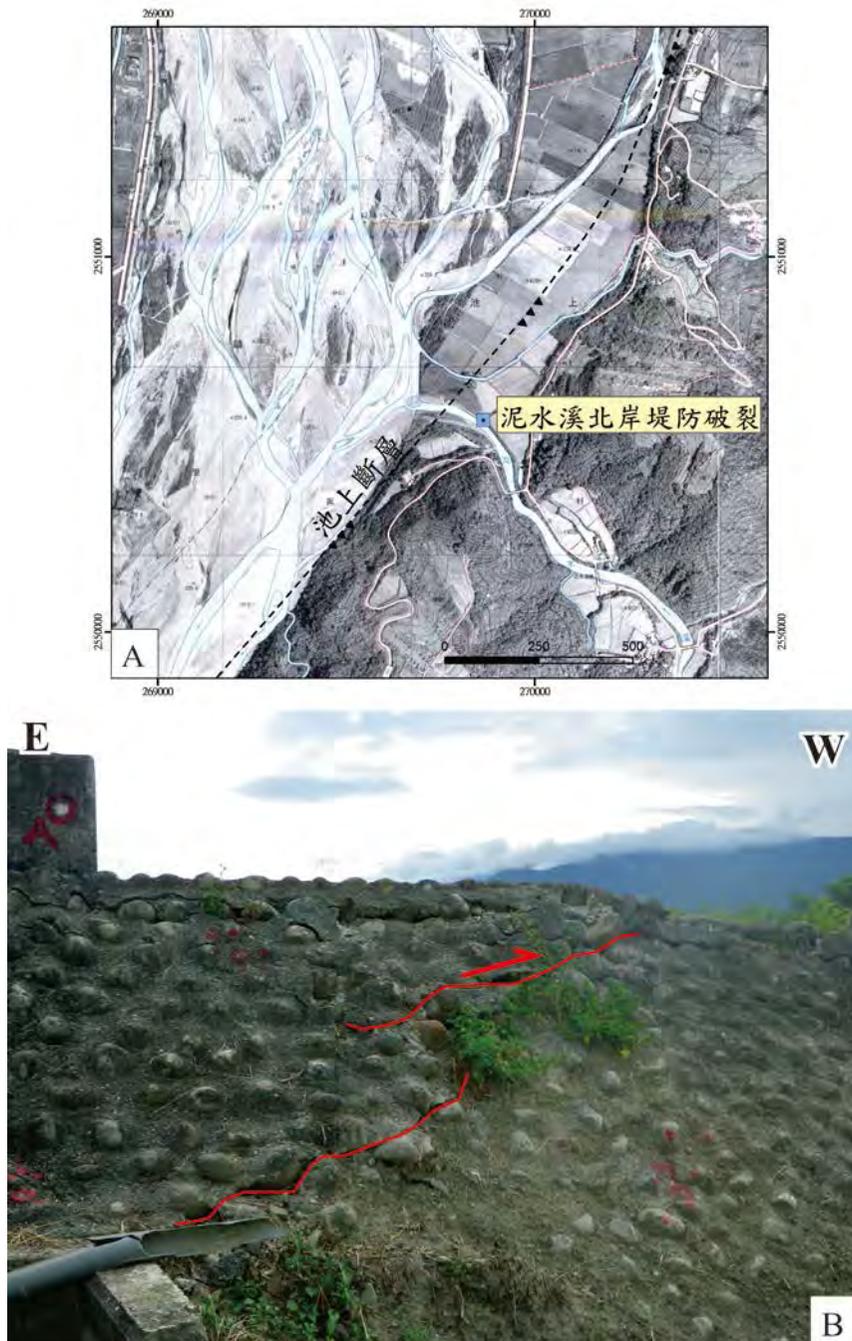
圖八、 A：池上至萬安地區地表破裂位置圖，綠色實線為沈淑敏等(2006)所判釋之構造線形。

Fig. 8. (A) Map of surface ruptures in Chihshang-Wan'an area. Green lines are lineaments from Shen et al. (2006).



圖八、B：建安宮東側逆衝破裂。C：公頂山破裂。D：靈公祠內圍牆擠壓破裂。E：靈公祠西北側溝渠破裂。F：靈公祠東北側溝渠破裂。G：法林寺西南側凹谷(可能與斷層活動有關)。H：萬安國小內地形崖上之滑梯破裂。I：萬安國小圍牆背衝破裂。

Fig. 8. (B) Thrust-type rupture on the ditch, eastern of Jian'an Temple. (C) Surface ruptures in the Guang' ding Shan. (D) Rupture on the wall of Ling'guang Temple. (E) Rupture on the ditch, northwest of the Ling'guang Temple. (F) Rupture on the ditch, northeast of the Ling'guang Temple. (G) Valley evolution by faults, southwest of the Fa'lin Temple. (H) The slide's ruptures on the scarp of the Wan'an elementary school. (I) Back thrust on the wall of the Wan'an elementary school.



圖九、A：池上南段泥水溪地表破裂位置圖。B：泥水溪北岸堤防逆衝破裂。

Fig. 9. (A) Map of surface ruptures of the Nishui River, southern part of Chihshang. (B) Thrust-type ruptures on the embankment, north bank of Nishui River.

## 9. 電光地區：

在台東縣電光村附近地區，條帶地質圖(林啟文等，2009)上所標示的池上斷層大致是沿著丘陵邊緣(圖十A)。但我們在更前緣的全新世階地上，觀察到兩處明顯地表破裂，一處位於階地前緣之地形崖前，離丘陵坡腳西側約450公尺，可觀察到水泥護牆拱起之逆衝破裂(圖十B)；另一處位於崖前破裂東側約260公尺，亦造成水泥護牆拱起破裂，但較不明顯(圖十C)。由空拍照片(圖十一)，可見西側破裂之地形崖有良好的南北線形延伸，崖前又有地表破裂相映，故我們解釋為池上斷層前緣的分支斷層。至於有幾條分支？西側分支斷層是否已經取代主斷層，而成為現階段地表最活躍的主要斷層？這些問題還有待將來更詳細之大地測量結果來回答。



圖十、A：電光地區地表破裂位置圖。B：地形崖前緣逆衝破裂。C：距B處破裂東側約260公尺，亦有逆衝破裂之現象。

Fig. 10. (A) Map of surface ruptures of the Dianguang area. (B) Thrust-type rupture on the ditch, front of the scarp. (C) Thrust-type rupture on the ditch, approximately 260 meters east of B.



圖十一、電光地區斷層崖空拍圖，階面上水稻田呈現階梯狀起伏。

Fig. 11. Air photo showing the fault scarp of the Dianguang area and the ladder-like feature on the terrace.

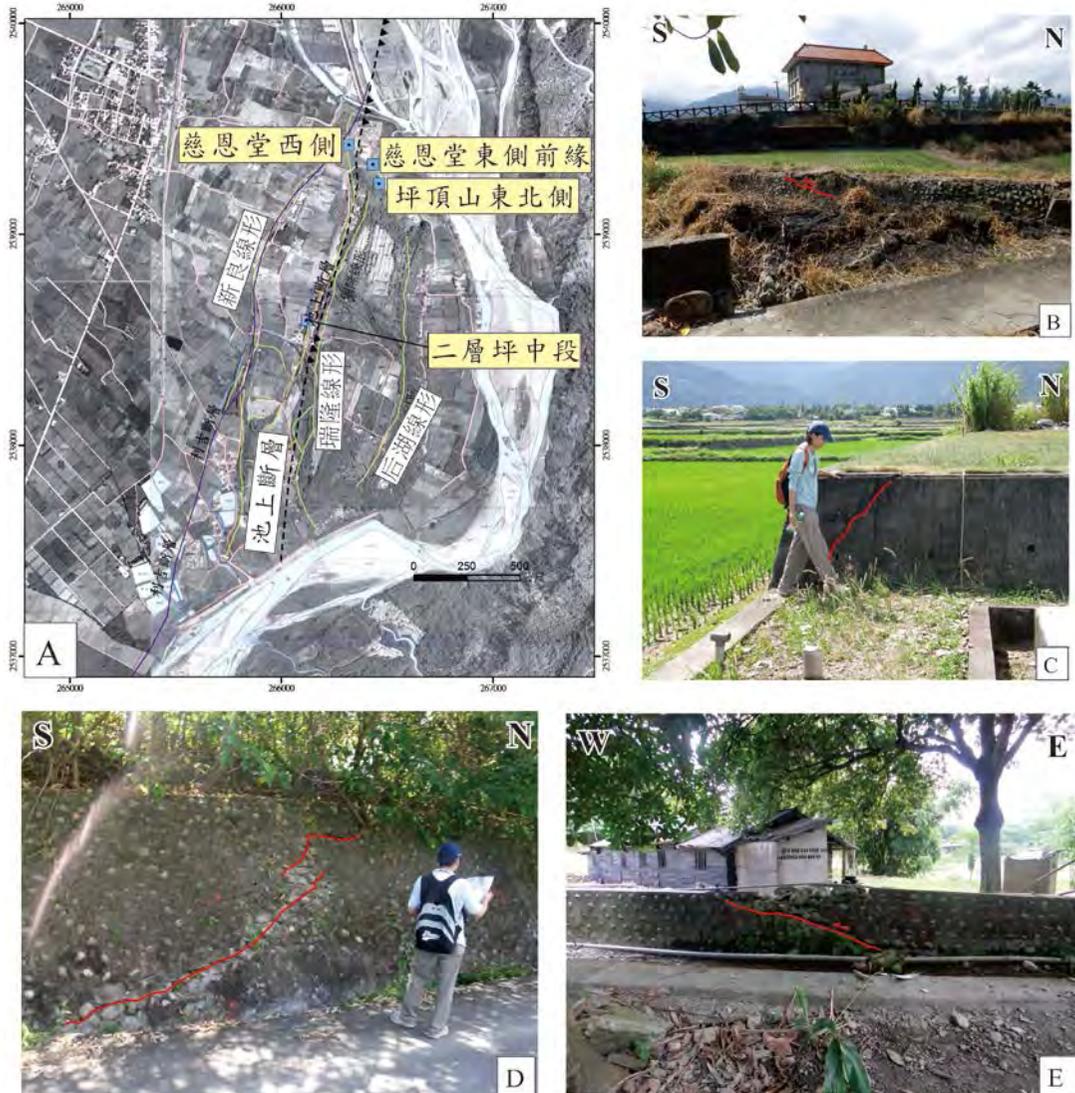
## 10. 瑞源地區：

在臺東縣瑞源地區，池上斷層最南端，地形上有一個突起的小丘(俗稱二層坪)，南北長約2.5公里、東西寬約1.4公里(圖十二A)，是個明顯的構造地形。二層坪有兩層：高層為緩起伏之坪頂山，低層為平坦之階地。由林啟文等(2009)所繪之池上斷層條帶地質圖中，池上斷層之地表位置位於高層之坪頂山西緣，亦即沈淑敏等(2006) 航照判釋之瑞隆線形。本區調查之地表破裂共發現有四處露頭點：坪頂山北端慈恩堂、坪頂山東北側、二層坪中段。以下分別敘述。

位於坪頂山北端的慈恩堂，東側前緣的溝渠有明顯之逆衝拱起破裂(圖十二B)，慈恩堂內及西側亦有水泥牆破裂情況(圖十二C)。坪頂山東北側則可見擋土護牆有明顯的逆衝形式的破裂(圖十二D)。二層坪中段破裂位於林啟文等(2009)條帶地質圖標示之池上斷層地表線上，本研究觀察到在一民宅旁之排水溝渠護牆有明顯的逆衝破裂(圖十二E)；此處已經有實施數年牆上釘網的定期測量，顯示有明顯的潛移及水平縮短 (李建成等，未發表資料)。

坪頂山西北緣慈恩堂及坪頂山東北側破裂位置，雖然都位於條帶地質圖標示之池上斷層帶附近，但其位置分布似乎與坪頂山東緣之后湖線形(沈淑

敏等，2006) 更貼近，故本文認為坪頂山東緣有可能為另一活動構造(本文暫時解釋為池上斷層之背衝斷層)。然而還需要更詳細之測量工作來佐證。而此可能之背衝斷層應可向北延伸經過坪頂山北緣崖面並與池上斷層之主斷層相接。



圖十二、A：瑞源地區地表破裂位置圖。B：慈恩堂東側溝渠逆衝破裂。C：慈恩堂西側圍牆破裂。D：坪頂山東北側護牆破裂。E：二層坪中段溝渠逆衝破裂。

Fig. 12. (A) Map of surface ruptures of the Ruiyuan area. (B) Thrust-type rupture on the ditch, east side of Tsz'en Pagoda. (C) Rupture on the wall, west side of Tsz'en Pagoda. (D) Rupture on the wall, north east side of Pingdingshan. (E) Thrust-type rupture on the ditch, central part of Ercengping.

## 四、池上斷層之地表變形及地下構造

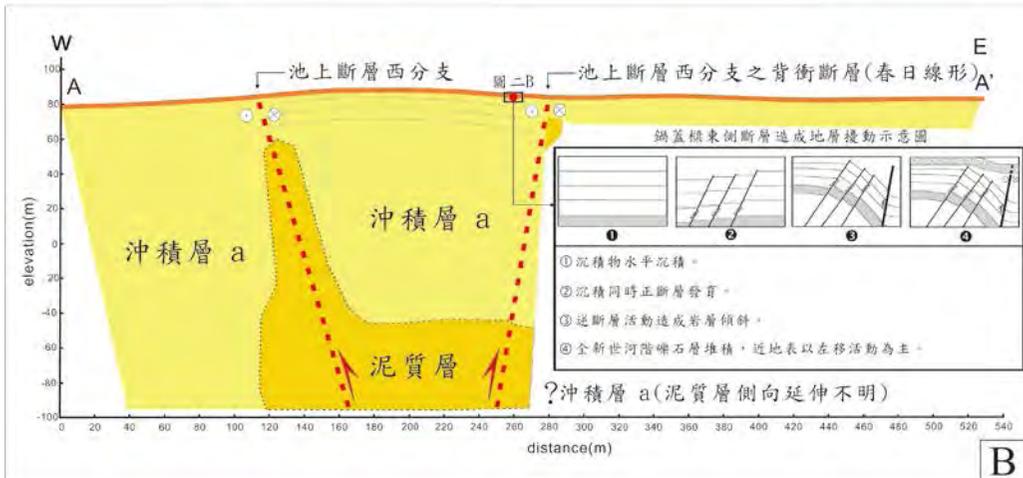
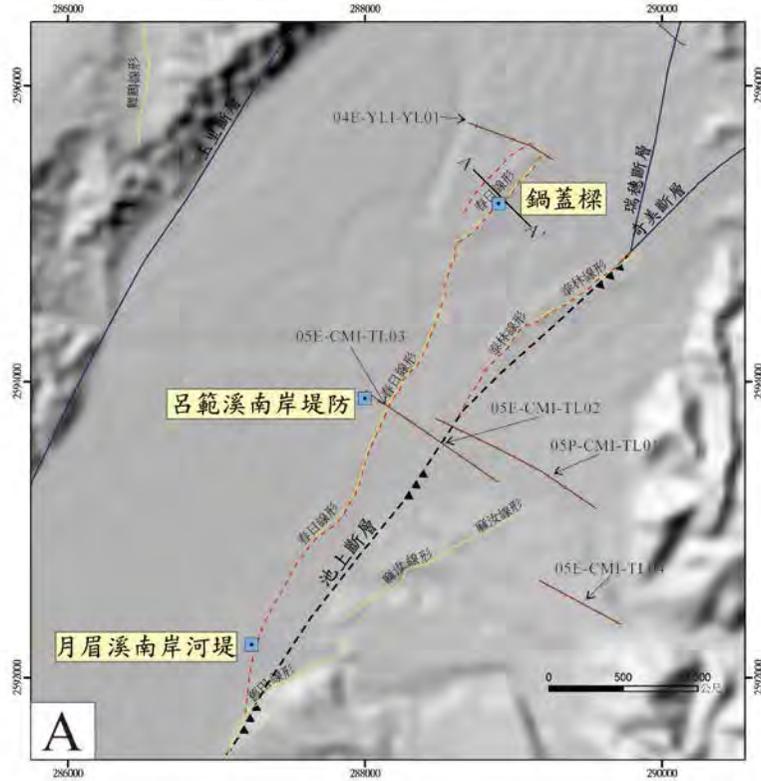
2003年台東成功地震之後，一些學者整理分析的主餘震序列、GPS、強地動(strong motion)資料，其中Wu et al. (2006)及Lee et al. (2006)指出池上斷層地下的斷層面傾角依深度的改變而有所不同，在深5~18公里處斷層傾角約為60度，深18~36公里處則約為45度；Hu et al. (2007)及Cheng et al. (2009)則更詳細的提出池上斷層南段(玉里至瑞源地區)的三維地下構造，斷層的傾角隨深度變深而有變緩的趨勢，斷層面呈現鏟狀(Listric)的幾何形貌。由上述與成功地震有關的研究成果，我們已經可以知道池上斷層主斷層近地表的地下斷層傾角約60度。然而由我們野外地表破裂的調查發現，池上斷層近地表的構造似乎不僅是單一的斷層面。以下我們將會對池上斷層近地表的地下構造幾何形貌做初步的描述。

本章節綜合本文第3章節之調查成果及前人相關研究，如構造地形研究(鍾令和，2003；沈淑敏，2006；李易叡，2007；Shyu et al., 2006)，大地測量研究(Yu et al., 1997；Yu and Liu, 1998)等；同時並參照前人有關地下地質與構造之研究發表之池上斷層條帶地質圖及前人地下構造相關研究(石瑞銓等，2003；陳文山等，2004, 2005, 2006；董倫道等，2007；林啟文等，2009)。以下將在池上斷層之地表沿線，包括春日至泰林地區、觀音地區、東竹至羅山地區、電光地區、瑞源地區，探討池上斷層的斷層位置與活動構造地形的關聯；同時在幾個具有代表性的露頭點，繪製近地表之地下構造剖面及地質解釋的示意圖。

### 春日至泰林地區

如第3節所述，池上斷層在本區中，除了2009年條帶地質圖(林啟文等，2009)所繪製的斷層位置(本文稱之為池上斷層主斷層)之外，現在正活躍的斷層分支有些地點似乎轉移到了更西側之構造地形崖邊(本文稱之為池上斷層西分支)。池上斷層西分支在鍋蓋樑東側崖有剖面露頭及槽溝研究，傾斜之沉積層具剪切構造(陳文山，2006)，本文解釋為受西分支的背衝構造所影響造成。

本區繪製了一條本文解釋之近地表地質構造剖面AA' (圖十三B)，橫跨鍋蓋樑背斜；並對照地電測線04E-YLI-YL01之判釋，來與解釋之地下地層及斷層構造傾向相比較(圖十三)。



圖十三、A：春日至泰林地區池上斷層及分支斷層(紅色點虛線)分布圖。B：AA'剖面，剖面跨越鍋蓋樑，可見鍋蓋樑兩側有高角度的左移斷層，地層分布參考地電測線 04E-YLI-YL01(董倫道等，2006)。

Fig. 13. (A) Map showing the distribution of Chihshang fault and branch fault (red dashed line) in Chunrih - Tailin area. (B) Profile AA', this profile crosses Kuokailiang, we can see two high angle left lateral faults along the both sides of Kuokailiang, the rock type distribution refers to the resistivity line: 04E-YLI-YL01(Dung et al., 2006).

## 觀音地區

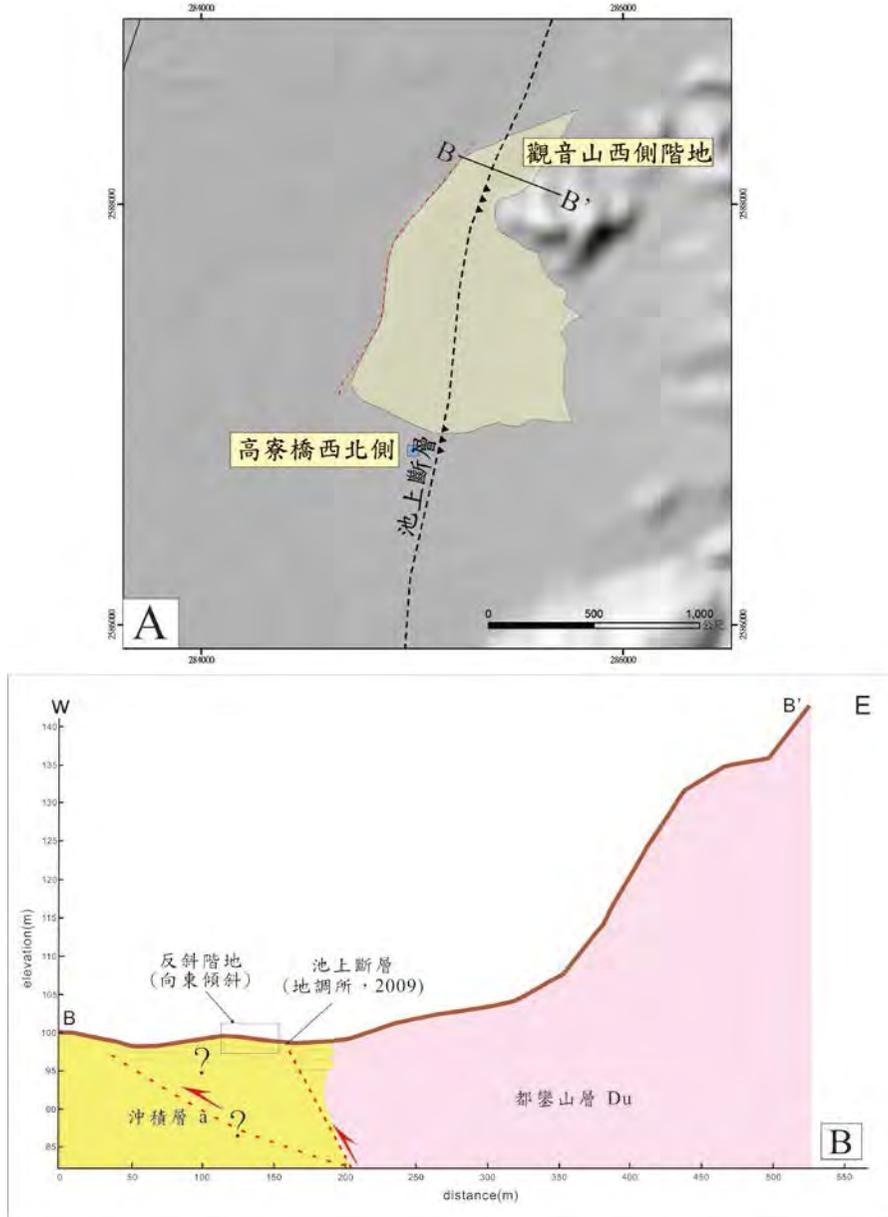
如第3節所述，觀音地區觀音山西側具一反斜階地，顯示池上斷層除了分佈在丘陵坡腳(如條帶地質圖所繪)，另外很有可能有一西分支在更西側之全新世階地西緣。如果可以加強調查或佈設測量網，對於了解此反斜階地是否有良好地延伸及連續性，及此可能西分支的活動性，將有實質的幫助(圖十四)。

## 東竹至羅山地區

東竹至羅山地區，池上斷層主斷層之東側可以觀察到一系列之高起的小丘。構造上一般多解釋為斷層上盤之背斜。此背斜構造在富北測線反射震測剖面(石瑞銓和陳平護，2001)中，也可以觀察得到。本研究解釋褶皺西翼為池上斷層主斷層，為一向東傾斜之逆衝斷層；而褶皺東翼則為向西傾斜之背衝斷層(圖十五)，雖然近幾年來的大地測量資料顯示此背衝斷層的滑移速率相對很小(李建成等，未發表資料)。

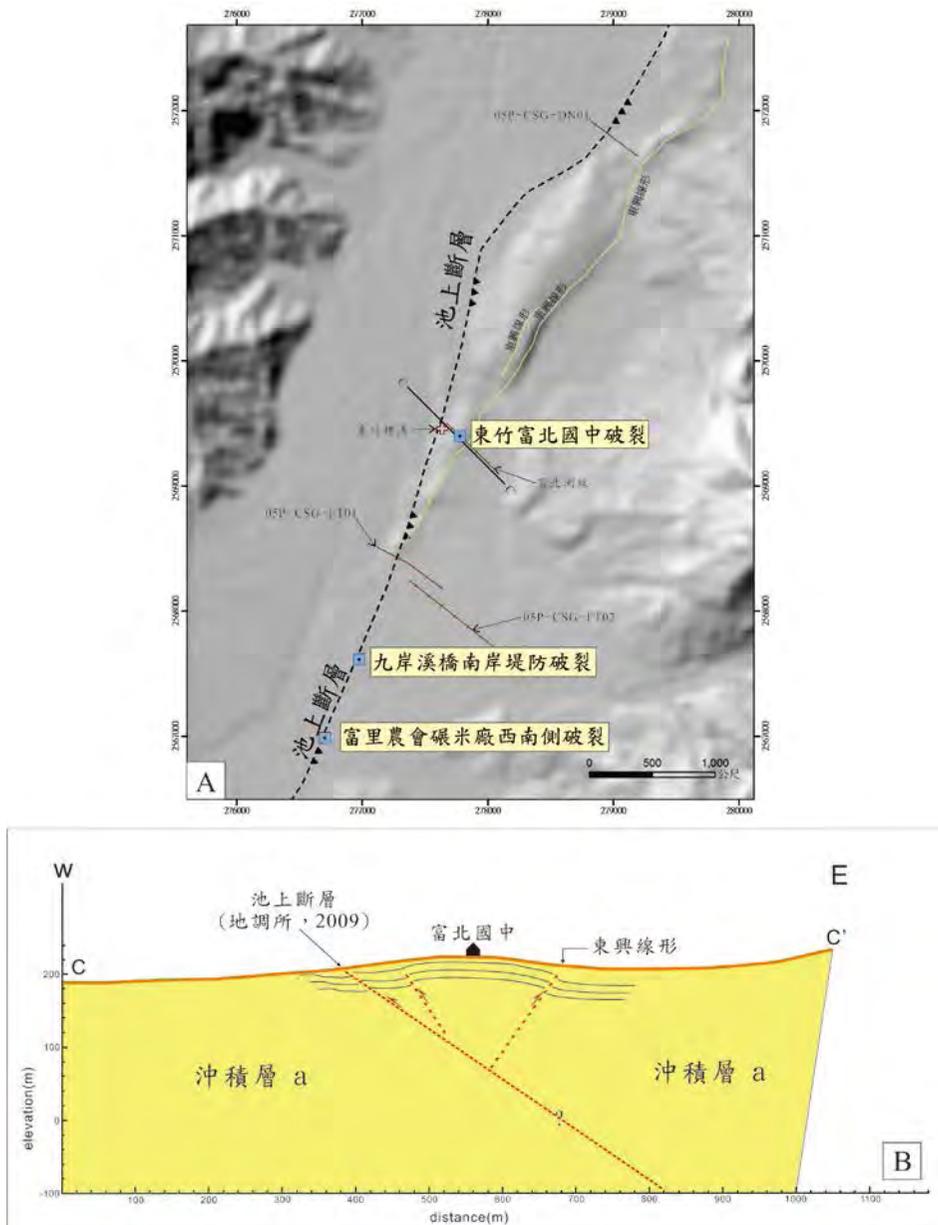
## 電光地區

如第3節所述，本區所見之地表破裂明顯地可與全新世階地之地形崖互相對應(圖十六A)；由於條帶地質圖繪製之池上斷層在丘陵與階地交界處，本文稱此西側階地地形崖為池上斷層的西分支斷層。除了在此西分支斷層對應的地形崖崖面上，在鄰近東側階地上之溝渠也發現有一逆衝破裂，本文推測可能還有一逆衝的小分支斷層存在，亦即本區除了條帶地質圖中所繪池上斷層之外，西側前緣仍有兩個分支斷層有明顯的活動(圖十六B)。



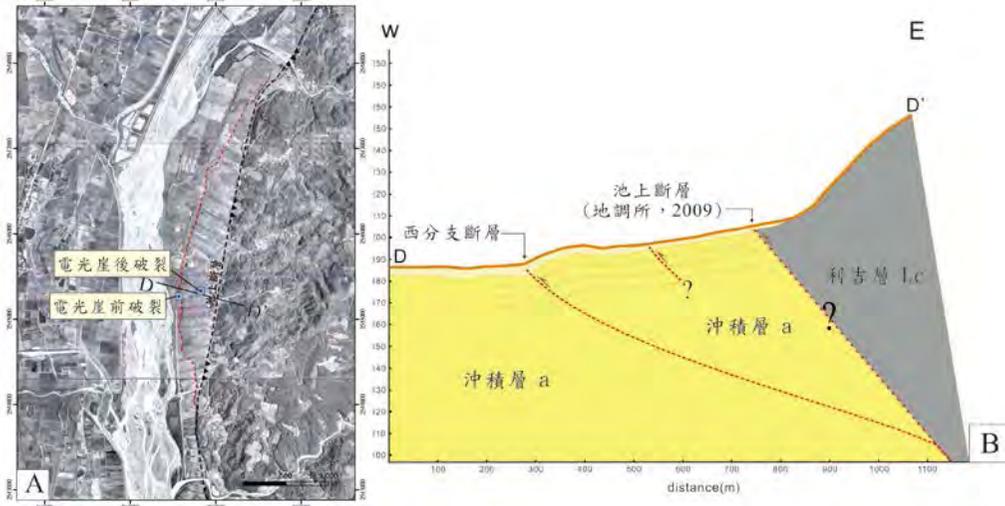
圖十四、A：觀音地區池上斷層及分支斷層(紅色點虛線)分布圖。B：BB'剖面，剖面跨越池上斷層及其分支斷層。

Fig. 14. (A) Map showing the distribution of the Chihshang fault and branch fault (red dashed line), Guanyin area. (B) Profile BB' , this profile crosses the Chihshang fault and branch fault.



圖十五、A：東竹至羅山地區池上斷層及東分支斷層(綠線-東興線形)分布圖。B：CC'剖面，剖面跨越池上斷層及分支斷層(東興線形)，地下構造形貌參考富北測線震測資料(石瑞銓，2001)。

Fig. 15. (A) Map showing the distribution of the Chihshang fault and eastern branch fault (green line is the Dongxing structure lineament) from Dongzhu to the Luoshan area. (B) Profile CC', this profile crosses the Chihshang fault and branch fault (Dongxing lineament), the fault geometry refers to the Fubei seismic reflection profile (Shih, 2001).



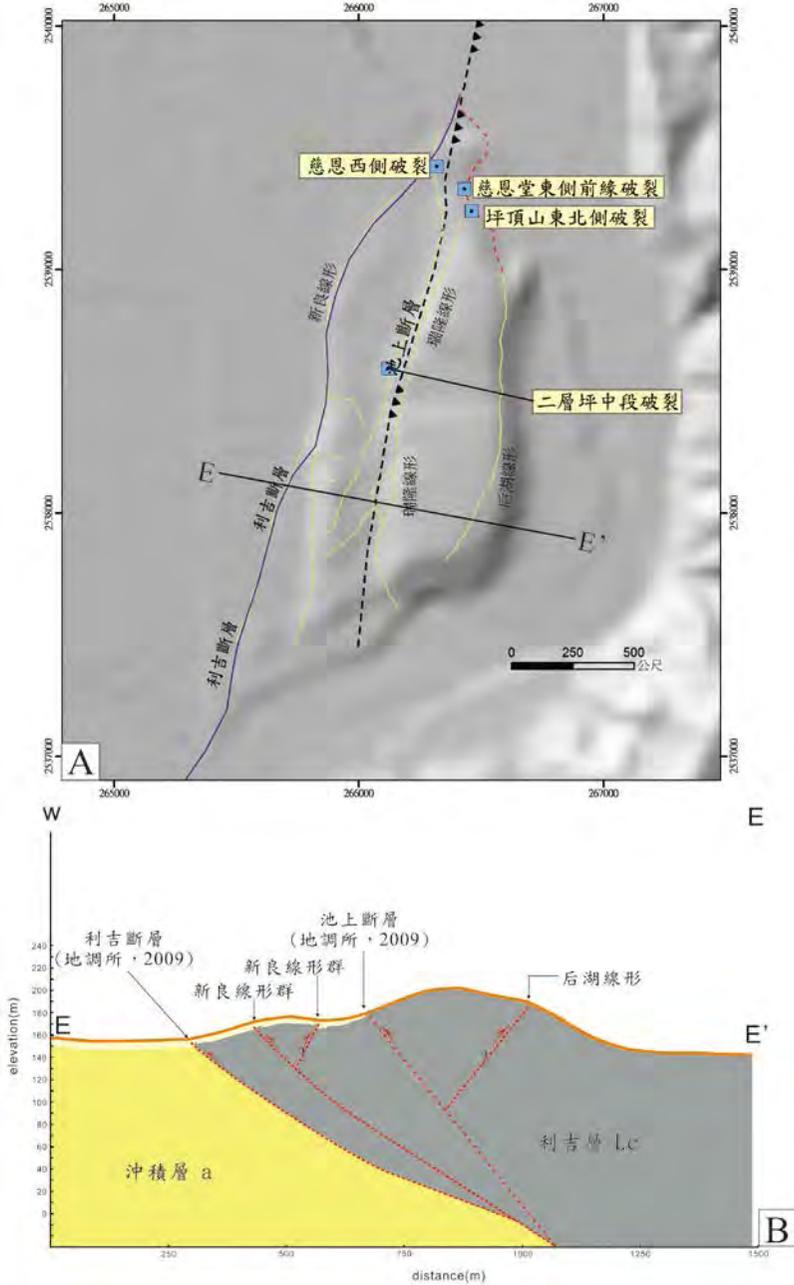
圖十六、A：電光地區池上斷層及西分支斷層(紅色虛線)分布圖。B：DD'剖面，剖面跨越池上斷層及西分支斷層。

Fig. 16. (A) Map showing the distribution of the Chihshang fault and western branch fault (red dashed line) in the Dianguang area. (B) Profile DD', this profile crosses the Chihshang fault and western branch fault.

## 瑞源地區

本區位於池上斷層最南端，二層坪為此區受構造運動隆起的小丘(圖十七A)，地形上則有明顯的兩個階面及三條北北東走向的線形，東側階地較高，西側階地西緣的斷層陳文山等(2008)另外命名為利吉斷層，連接到南側卑南山東側。林啟文等(2009)的條帶地質圖中亦採用陳文山等(2008)的命名。如第3節所述，目前主要的地表斷層破裂的活動構造分佈在中間的線形，亦即東側高階地(坪頂山)西緣；另外在坪頂山東北緣也似乎有地表活動破裂的現象。

紀權竇(2007)觀察到在坪頂山西緣南端，有利吉層逆衝至河階礫石層之上。本區內三條主要線形都為斷層崖，且二層坪最西緣崖底有利吉層出露(紀權竇，2007)。地質鑽井(紀權竇，2007)及地電阻測線06E-CSG-JY02、06E-CSG-JY03亦顯示二層坪最西緣為利吉層和沖積層的交界，並存在一斷層(董倫道等，2007)，故本文認為二層坪地區所之三條地表線形構造(包含利吉斷層)可視為同一池上斷層系統(圖十七B)。



圖十七、A：瑞源地區池上斷層、利吉斷層和其他構造線形(綠線)分布圖，紅色虛線可能為池上斷層最東側分支向北延伸。B：瑞源地區地下構造剖面卡通圖(EE')。

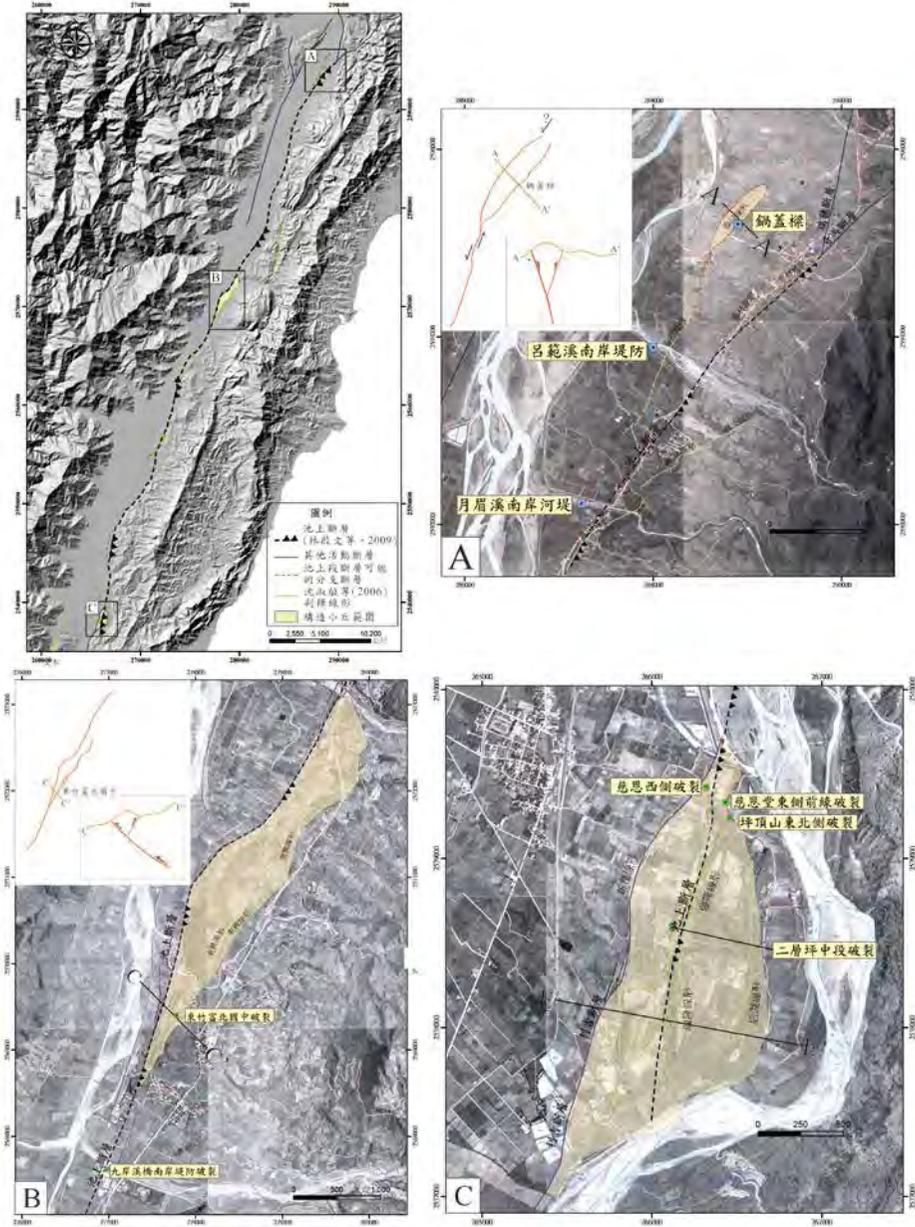
Fig. 17. (A) Map showing the distribution of the Chihshang fault, Lichi fault and other lineaments in the Ruiyuan area. The red dashed line is the eastern most branch of the Chihshang fault (extends to the north). (B) Profile EE' shows the fault geometry in the Ruiyuan area.

## 五、討論

### 池上斷層的斷層破裂變形帶有多寬？地表破裂及變形均勻嗎？

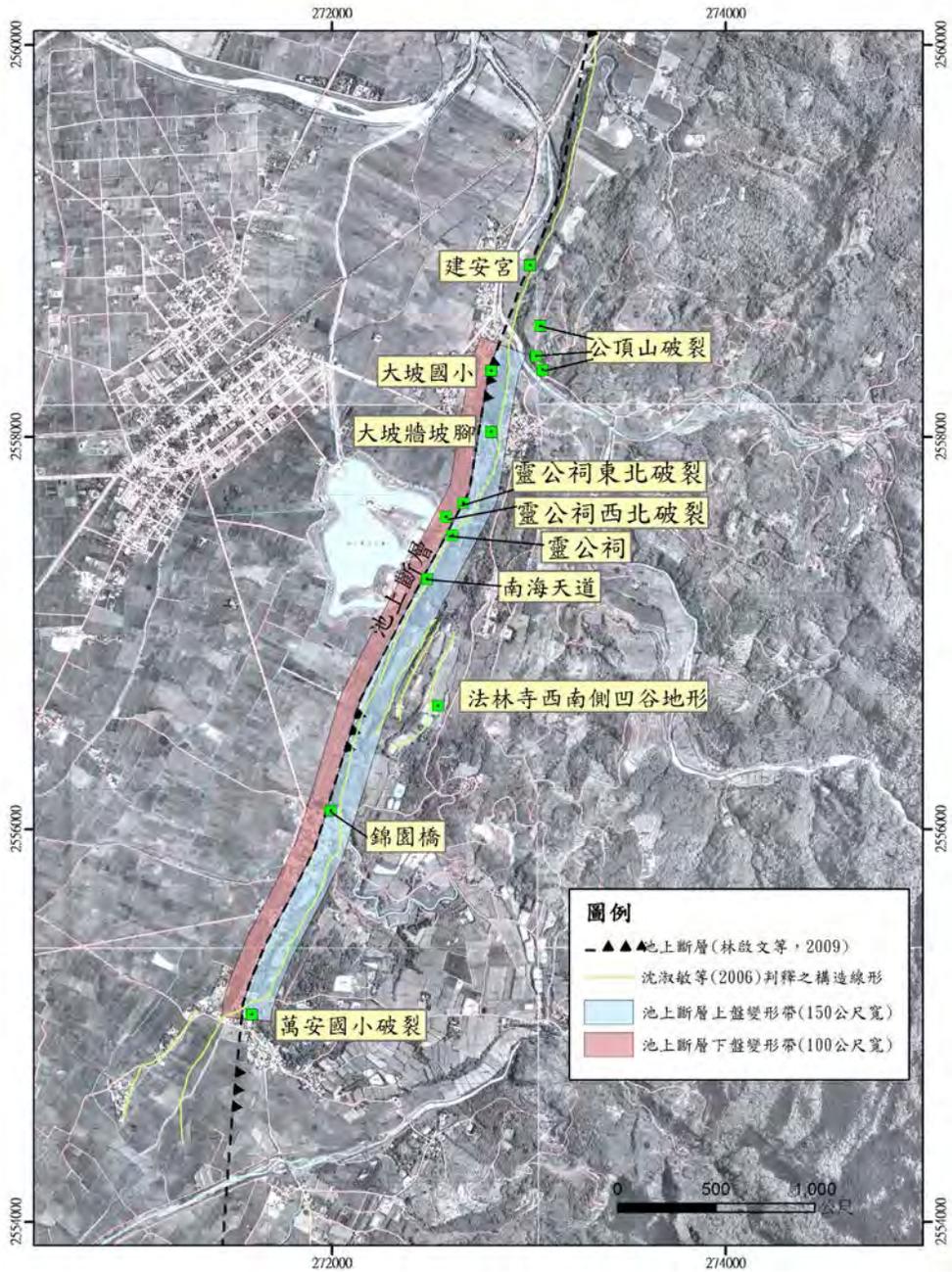
從地表破裂調查中，發現有多處地表破裂位置或是構造地形與池上斷層息息相關：部分位於目前條帶地質圖的斷層跡，部份則可能是新的西分支斷層、抑或是背衝斷層。換句話說池上斷層活動造成的地表破裂，不僅只集中在主斷層的斷層跡上，而可能是一個帶狀的範圍內有幾個地表破裂斷層分支。例如東竹的背斜狀小丘，除了在小丘的邊緣為池上斷層的逆衝構造及東分支的背衝構造活動影響之外，位在背斜軸部的富北國中亦有明顯的地表破裂，暗示整個背斜狀的小丘在不同位置都有地表變形的現象，變形帶的範圍可能就是整個小丘。然而，在池上斷層及分支斷層的沿線上不僅有東竹地區這一系列的構造小丘，春日的鍋蓋樑、瑞源地區的二層坪等皆是明顯的隆起構造，我們傾向將這些隆起的小丘的範圍來代表池上斷層的地表變形帶或破裂帶(圖十八)。值得一提的是，這些小丘的大小不一，隆起的機制也可能不盡相同，如春日的鍋蓋樑小丘有學者(鍾令和, 2003; Shyu *et al.*, 2006) 認為是左移活動所致。而東竹富北國中的小丘除了上述的機制外，我們認為較有可能是池上斷層主斷層的逆衝活動形成的背斜狀構造，並伴隨背衝斷層發育。

在池上至萬安地區中，池上斷層在地形上以連續性佳的構造崖為主。2003年成功地震的地震地表變形破裂及大地測量資料顯示，池上斷層上盤在大坡國小、南海天道、錦園橋約有150~200公尺寬的同震或震後地表破裂變形帶，並呈現背斜狀的形貌(Lee *et al.*, 2006)。本研究的地表破裂調查則在慶豐村內池上斷層前緣約100公尺，發現地表破裂(靈公祠西北側破裂，圖八D)，故推測此區池上斷層下盤還有新的分支往西側至少有100公尺發展(圖十九)。



圖十八、池上斷層沿線構造小丘位置。A：池上斷層變形帶-鍋蓋樑，可能為抑制彎曲(restraining bend)作用形成。B：池上斷層變形帶-東竹連續構造小丘，可能為池上斷層逆衝活動造成，並有背衝斷層發育。C：池上斷層變形帶-瑞源地區二層坪。

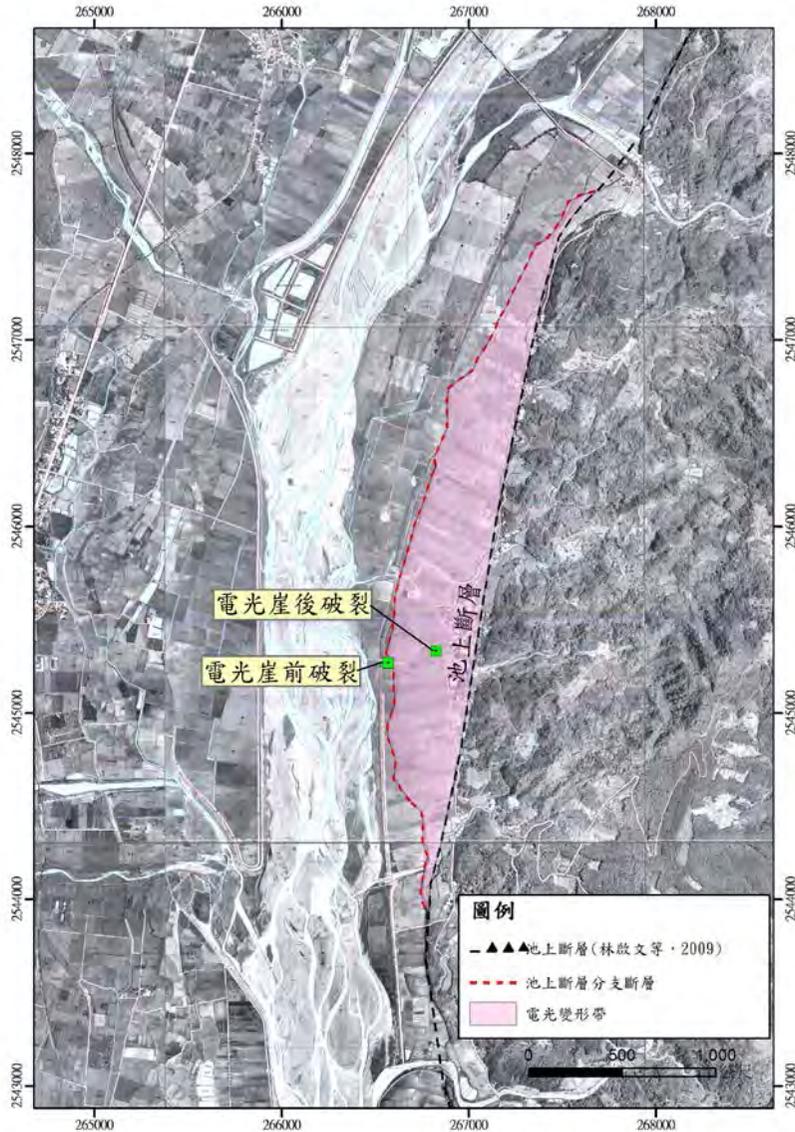
Fig.18. Anticlinal folds and pop-ups along the Chihshang fault. Upper left: Location map. (A) Kuokailiang area, possibly due to a restraining bend. (B) Dongzhu area, which might be uplifted by thrusting and back-thrusting. (C) Ercengping, Ruiyuan area, showing a two-step fault scarps due to two thrust branches.



圖十九、池上斷層變形帶-池上大坡至萬安地區，變形帶寬度約 250 公尺(上盤約 150 公尺，下盤約 100 公尺)。

Fig. 19. Chihshang fault deformation zone, Tapo to Wan'an, Chihshang. The deformation zone is about 250 meters wide (150 meters wide on the hanging wall and 100 meters wide on the foot wall).

在電光地區中，我們由航空照片發現，池上斷層主斷層(丘陵坡腳處)至西側分支斷層的階面範圍上的水稻田，有明顯的階梯狀，暗示著在此範圍內可能有不等量的抬升作用。故我們認為這個長約4.5公里，最寬約450公尺的階面為池上斷層變形帶的一部分(圖二十)。更詳細的變形量、變形的幾何形貌、變形範圍則仍需精密的大地測量工作：如精密水準測量、更密的GPS觀測網等。



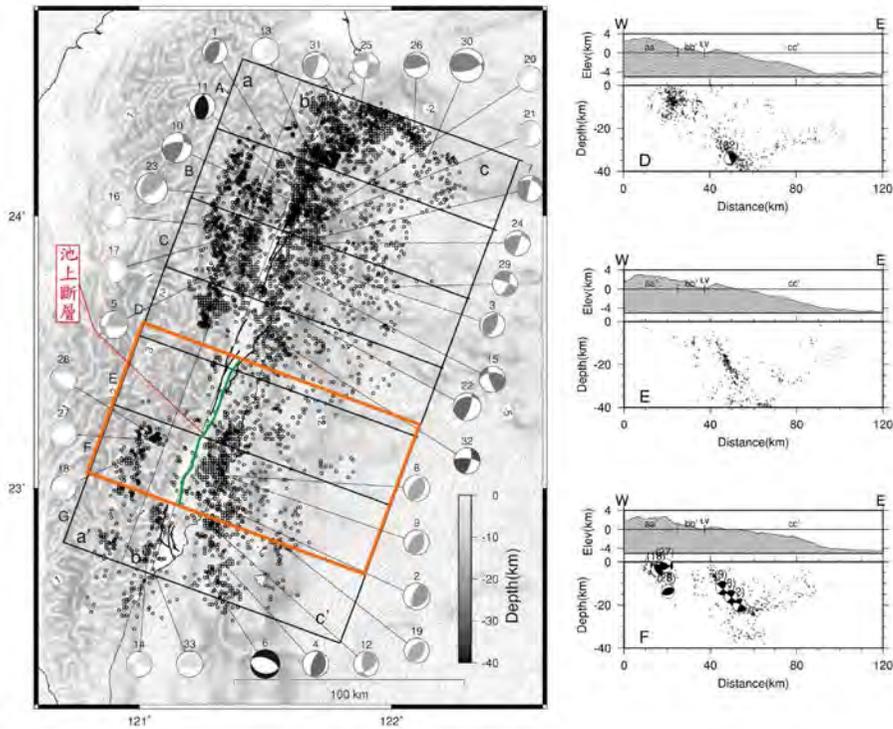
圖二十、池上斷層變形帶-電光地區，最寬約 450 公尺。

Fig. 20. Chihshang fault deformation zone-the widest deformation zone is 450 meters.

綜合本文之地表破裂調查與前人構造地形分析，我們發現池上斷層的變形帶應不是限制於一條狹窄的線。在池上斷層北段-春日至竹山地區沿線上的構造小丘大小不一，地表破裂也較為分散，似乎暗示了池上斷層北段的地表破裂與變形是不均勻的。而在池上斷層中段-池上至萬安地區，池上斷層變形帶的寬度較為明確，地表破裂也較集中在斷層跡上，我們解釋池上斷層在此區可能地表應變較為集中的區段。在池上斷層南段-萬安以南至瑞源二層坪之間，池上斷層的地表構造形貌大致上仍是以貼著海岸山脈東緣丘陵的線形崖為主，而二層坪則是斷層上盤隆起的小丘；值得注意的是，在電光地區池上斷層主斷層西側的低位階面崖前發育了一分支斷層，此西分支與主斷層間的階面上仍有地表破裂及變形的現象，但詳細的變形帶範圍仍需更全面的調查研究。

## 池上斷層南北區段地表特性不同？

從池上斷層沿線的構造地形、地表破裂、變形帶範圍來看，池上斷層北段-春日至東竹地區與中段、南段似乎有一定的差異：池上斷層北段不像中段、南段有連續性較佳的線形崖，地表破裂也不如中段密集。事實上，不僅地表特性不同，南北段在地下之地震特徵也不同。Kuochen et al. (2004)針對臺灣東部1991~2002年間，震源深度四十公里以上且地震規模( $M_L$ )大於3(包含33個  $M_L \geq 5$ 的地震事件)的地震所進行的地震學分析研究，顯示池上斷層範圍可以區分成北段之E區塊及南段之F區塊兩個不同地震行為的區域(圖二十一)。而E區塊與F區塊的地震事件的不同，似乎反應了池上斷層可分為兩個區段：北段的E區塊中無地震規模( $M_L$ )大於5的事件(1991~2002年間)，且在地表至地下深度10公里的範圍內幾乎沒有地震規模( $M_L$ )大於3的地震事件；南段(F區塊)與北段明顯不同的是，南段有數個地震規模( $M_L$ )大於5的事件，其中有3個地震事件明顯可能分佈在池上斷層南段的斷層面上，且地表至地下深度10公里的範圍內仍有許多地震規模( $M_L$ )大於3的地震發生。因此，不論是從地表破裂及地形現象或是地下的地震資料都可以發現，目前條帶地質圖中的池上斷層可再細分為兩個行為不同的區段：北段範圍約是從春日自東竹地區，南段範圍則是從東竹至瑞源地區。事實上，李建成等人(2004；2006)即把北段稱之為「玉里斷層區塊」、南段稱為「池上斷層區塊」。



圖二十一、1991~2002年間台灣東部地震規模( $M_L$ )大於3的地震事件的震央及 $M_L \geq 5$ 的震源機制解分布位置與剖面圖(修改自 Kuochen et al., 2004)。池上斷層(綠色實線)的範圍大致在E和F區塊。

Fig. 21. Epicenters ( $M_L \geq 3$ ) and focal mechanisms ( $M_L \geq 5$ ) of earthquakes from 1991 to 2002, eastern Taiwan (modified from Kuochen et al., 2004). Chihshang fault (green line) is located in block sections E and F.

## 六、結論

由本文對池上斷層全段的地表破裂調查並綜合前人研究，我們整理成32個露頭點；我們並且發現，地表變形帶破裂的分佈除了在最近剛發表條帶地質圖的池上斷層主斷層之外，有明顯的分支斷層的地表破裂。其中東竹至羅山地區的分支在主斷層東側，可能為背衝斷層；電光地區的分支則是在主斷層西側前緣的逆衝斷層，瑞源地區則較為複雜，在主斷層的東側及西側皆有逆衝和背衝構造。而在池上斷層沿線上，有一些大小不一的構造小丘（斷層上盤之背斜構造）-如春日鍋蓋樑、東竹地區、瑞源二層坪等，顯示了池上斷層的變形帶不是一條狹窄的斷層線。我們從池上斷層的地表破裂及構造地形與地下地震特性的

分析研究皆可發現，池上斷層似乎可區分為兩個不同的區段：北段(春日至東竹)地表破裂及線形崖連續性較差，近地表深度約10公里範圍內幾乎沒明顯的地震事件；南段(池上至瑞源地區)則有連續性較佳的線形崖及地表破裂，除了在近地表深度10公里範圍內仍有明顯的地震事件外(1991~2002年， $M_L \geq 3$ )，亦有地震規模( $M_L$ )大於5的地震事件分佈於池上斷層的斷層面上。池上斷層是潛移速率很快的活動斷層，針對池上斷層全段作更密集的大地測量，對於了解地表變形帶範圍及變形形貌有很大的幫助，尤其是在構造地形較不明顯但卻有明顯地表破裂的地區著實重要。

## 誌謝

感謝本所賴慈華科長、高銘健技士、陳致言技士在野外工作上的諸多協助支持，另外亦感謝劉彥求技士、陳柏村技士、莊釗鳴先生提供寶貴意見，最後感謝本文審稿委員費心審閱文稿，使本文能更加完善，特此申謝。

附表一：地表破裂露頭點位位置

地表破裂露頭點 (由北至南)	X 座標 (TWD67)	Y 座標 (TWD67)	破裂形態	備註
鍋蓋梁	288901.264	2595205.102	沉積層傾斜，並有小正斷層	春日至泰林地區：圖四 B
呂範溪南岸堤防	288001.158	2593888.393	溝渠拱起破裂	春日至泰林地區：圖四 C
月眉溪南岸堤防	287239.151	2592223.058	堤防拱起，向西逆衝之破裂	春日至泰林地區：圖四 D
高寮橋以北東西向小路間	285005.401	2586828.155	溝渠拱起破裂，可能為逆衝活動	觀音地區：圖五 B
鐵分橋西側北岸堤防 a	284090.282	2582934.064	逆衝破裂	圖六 B
鐵分橋西側北岸堤防 b	284110.761	2582921.931	背衝破裂	圖六 C
阿厝溪橋北岸堤防	279439.198	2573373.457	逆衝破裂	圖七 B
東竹富北國中	277778.906	2569400.411	背斜小丘軸部，校園圍牆破裂	東竹至羅北地區：圖八 B
九岸溪橋西側南岸堤防	276977.413	2567616.550	堤防頂部拱起，逆衝破裂	東竹至羅北地區：圖八 C
富里農會碾米廠西南側	276722.615	2567031.641	石堆頂部拱起破裂	東竹至羅北地區：圖八 D
富里南端冷水堤防	273416.457	2560951.179	堤防逆衝拱起，有人工修補殘跡	富里南冷水地區：圖九 B
冷水堤防西南方產業道路旁	273177.122	2560137.987	農舍向西傾斜，路面破裂	富里南冷水地區：圖九 C
池上建安宮	273007.095	2558875.322	溝渠拱起，逆衝破裂	池上至萬安地區：圖十 B
公頂山 a	273070.420	2558342.783	可能為地槽造成	池上至萬安地區
公頂山 b	273038.559	2558412.495	可能為地槽造成	池上至萬安地區
公頂山 c	273059.820	2558566.452	可能為地槽造成	池上至萬安地區：圖十 C
池上大坡國小	272811.308	2558337.941	逆衝破裂	池上至萬安地區
大坡圍坡腳	272810.776	2558026.772	逆衝破裂	池上至萬安地區
靈公祠內	272611.882	2557499.355	水尾圍拱起破裂	池上至萬安地區：圖十 D
靈公祠西北方水稻田間	272579.985	2557592.323	田間溝渠圍牆破裂	池上至萬安地區：圖十 E
靈公祠東北方水稻田間	272668.984	2557662.227	田間溝渠圍牆破裂	池上至萬安地區：圖十 F
南海天道	272482.148	2557277.681	溝渠逆衝破裂	池上至萬安地區
法林寺西南側	272540.519	2556629.967	凹谷地形，路面破裂	池上至萬安地區：圖十 G
鐘園橋	271995.378	2556096.486	溝渠逆衝破裂	池上至萬安地區
萬安國小	271594.374	2555057.628	溝渠破裂及圍牆背衝破裂	池上至萬安地區：圖十 H 及 I
泥水溪北岸堤防	269864.833	2550564.311	堤防逆衝破裂	圖十一 B
電光壩前破裂	266569.197	2545269.610	堤防逆衝破裂	電光地區：圖十二 B
電光壩間破裂	266825.389	2545331.425	堤防逆衝破裂	電光地區：圖十二 C

姜彥麟等：臺灣東部池上斷層全段之地表破裂與變形帶調查及構造特性分析

地表破裂點 (由北至南)	X 座標 (TWD67)	Y 座標 (TWD67)	破裂形態	備註
慈恩堂東側破裂	266433.676	2539333.020	溝渠逆衝破裂	瑞源地區圖十四B
慈恩堂西側破裂	266319.630	2539425.167	水尾壩破裂	瑞源地區圖十四C
坪頂山東北側	266462.268	2539240.777	圍牆逆衝破裂	瑞源地區圖十四D
二層坪中段	266121.176	2538594.461	溝渠逆衝破裂	瑞源地區圖十四E

## 參考文獻

- 石再添、鄧國雄、張瑞津、石慶德、楊貴三 (1986) 臺灣活斷層的地形學研究。師大地研所地理研究報告, no.12 1~44。
- 石瑞銓、陳平護 (2001) 活動斷層地球物理探勘計畫 (4/5) -臺灣東部地區活動斷層地球物理探勘。經濟部中央地質調查所, 共103頁。
- 石瑞銓、黃宏元、林啟文 (2003) 池上斷層中南段之淺層反射震測調查。經濟部中央地質調查所特刊, 第14號, 193~201。
- 朱微組、游明聖 (1995) 花東縱谷活動斷層調查研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, NSC-83-0202-M47-001, 共176頁。
- 朱微組、游明聖 (1997) 台東縱谷地震與斷層關係之研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, NSC-86-2116-M-047-002, 共133頁。
- 朱曜國 (2007) 池上斷層的古地震研究。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文, 共110頁。
- 李易叡 (2007) 池上斷層在萬安沖積扇的構造地形研究。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文, 共77頁。
- 沈淑敏、張瑞津、楊貴三、林雪美、林宗儀 (2006) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫-活動構造地形判釋及資料建置分析。經濟部中央地質調查所報告第95-13 號, 共174頁。
- 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村 (2009) 臺灣東部與南部的活動斷層, 二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊, 第23號, 31~80。
- 紀權育 (2007) 南段花東縱谷之新期構造研究-利吉斷層與鹿野斷層的活動性。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文, 共84頁。
- 陳文山 (1988) 海岸山脈沉積盆地之演化及其在地體構造上之意義。國立台灣大學地質學研究所博士論文, 共304頁。
- 陳文山、王源 (1996) 臺灣東部海岸山脈地質。臺灣地質之七, 經濟部中央地質調查所出版, 共101頁。
- 陳文山 (2004) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫-槽溝開挖與古地震研究計畫(3/5)

- 「一、槽溝開挖與古地震研究」。經濟部中央地質調查所報告第93-6號，61~77。
- 陳文山 (2005) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫-槽溝開挖與古地震研究計畫(4/5)  
- 「一、槽溝開挖與古地震研究」。經濟部中央地質調查所報告第94-08-1號，75~129。
- 陳文山 (2006) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫-槽溝開挖與古地震研究計畫(總報告)- 「一、槽溝開挖與古地震研究」。經濟部中央地質調查所報告第94-08總號，93~96；103~125。
- 陳文山、林益正、顏一勤、楊志成、紀權宥、黃能偉、林啟文、林偉雄、侯進雄、劉彥求、林燕慧、石同生、盧詩丁 (2008) 從古地震研究與GPS資料探討縱谷斷層的分段意義。經濟部中央地質調查所彙刊，第20號，165~191。
- 黃宏元 (2002) 利用反射震測觀察池上斷層中、南段於淺地層之表現。國立中正大學應用地球物理研究所碩士論文，共85頁。
- 曾彥祺 (2008) 池上斷層南段之地下構造研究。國立中正大學地震研究所碩士論文，共62頁。
- 楊貴三 (1986) 臺灣活斷層的地形學研究-特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共173頁。
- 董倫道、陳文山、李奕亨 (2007) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫-地球物理探勘計畫(總報告)。經濟部中央地質調查所報告第95-09總號，164~185。
- 鍾令和 (2003) 1951年池上-玉里地震地表破裂與其所指示之新構造意義，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共138頁。
- Angelier, J., Chu, H.T. and Lee, J.C. (1997) Shear concentration in a collision zone: kinematics of the Chihshang Fault as revealed by outcrop-scale quantification of active faulting, Longitudinal Valley, eastern Taiwan: *Tectonophysics* 274, 117-143.
- Angelier, J., Chu, H.T., Lee, J.C., and Hu, J.C. (2000) Active faulting and earthquake risk: The Chihshang Fault case, Taiwan: *J. Geodyn.*, 29, 151-185.
- Biq, C. (1984) Present-day manner of movement of the Coastal Range, eastern Taiwan, as reflected by triangulation changes: *Mem. Geol. Soc. China*, no.6, 35-40.
- Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan: *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.*, 75-41, 1-72.
- Bonilla, M.G. (1977) Summary of Quaternary faulting and elevation changes in Taiwan: *Mem. Geol. Soc. China*, no. 2, 43-56.
- Chang, L.S. (1968) A biostratigraphic study of the Tertiary in the Coastal Range, eastern Taiwan, based on smaller Foraminifera: II: Northern Part. *Proc. Geol. Soc. China* 11, 19-33.
- Cheng, S.N., Yeh, Y.T. and Yu, M.S. (1996) The 1951 Taitung Earthquake in Taiwan: *Jour. Geol. Soc. Chian*, 39(3), 267-285.
- Chow, J., Angelier, J., Hua, J.J., Lee, J.C. and R. Sun (2001) Paleoseismic event and active faulting: From ground penetrating radar and high resolution seismic reflection profiles across the Chihshang Fault, eastern Taiwan: *Tectonophysics*, 333, 241-259.

姜彥麟等：臺灣東部池上斷層全段之地表破裂與變形帶調查及構造特性分析

- Chen, W.S., Yen, I.C., Fengler K., Rubin, C., Yang, C.C., Yang, H.C., Chang, H.C., Lin, C.W., L, W.H., Liu, Y.C., Lin, Y.H. (2007) Late Holocene paleoearthquake activity in the middle part of the Longitudinal Valley fault, eastern Taiwan: *Earth Plant. Sci. Lett.*, 264, 420-437.
- Cheng, L.W., Lee, J.C., Hu, J.C., Chen, H.Y. (2009) Coseismic and postseismic slip distribution of the 2003  $M_w = 6.5$  Chengkung earthquake in eastern Taiwan: Elastic modeling from inversion of GPS data: *Tectonophysics*, 466, 335-343.
- Champanois, J., Fruneau, B., Pathier, E., Lin, K.C., Hu, J.C. (2011) Monitoring of the Longitudinal Valley Fault (Eastern Taiwan) using PS-InSAR method with ALOS data: *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-8106
- Hsu, T.L. (1956) Geology of the Coastal Range, eastern Taiwan: *Bull. Geol. Surv. Taiwan*, no.8, 39-64.
- Hsu, T.L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan: *Mem. Geol. Soc. China*, no.1, 95-102.
- Hu, J.C., Cheng, L.W., Chen, H.Y., Wu, Y.M., Lee, J.C., Chen, Y.G., Lin, K.C., Rau, R.J., Kuochen, H., Chen, H.H., Yu, S.B., Angelier, J. (2007) Coseismic deformation revealed by inversion of strong motion and GPS data: the 2003 Chengkung earthquake in eastern Taiwan: *Geophys. J. Int.*, 169, 667-674.
- Kuochen, H., Wu, Y. M., Chang, C. H., Hu, J. C., and Chen, W. S. (2004) Relocation the eastern Taiwan earthquakes and its tectonic implications. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15, 647-666.
- Lee, J.C. and Angelier, J. (1993) Location of active deformation and geodetic data analyses: An example of the Longitudinal Valley fault, Taiwan: *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 164(4), 533-570.
- Lee, J. C., Jeng, F. S., Chu, H. T., Angelier, J., and Hu, J.C. (2000) A rod-type creepmeter for measurement of displacement in active fault zone: *Earth Planets Space*, 52(5), 321-328.
- Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H. T., Hu, J.C., and Jeng, F.S. (2001) Continuous monitoring of an active fault in a plate suture zone: A creepmeter study of the Chihshang active fault, eastern Taiwan: *Tectonophysics*, 333, 219-240.
- Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H. T., Hu, J.C., Jeng, F.S., and Rau, R.J. (2003) Active fault creep variations at Chihshang, Taiwan, revealed by creep meter monitoring, 1998-2001: *J. Geophys. Res.*, 108(B11), 2528, doi:10.1029/2003JB002394.
- Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H. T., Hu, J.C. and Jeng, F.S. (2005) Monitoring active fault creep as a tool in seismic hazard mitigation: Insights from creepmeter study at Chihshang, Taiwan: *C. R. Geosci.*, 337(13), 1200-1207, doi:10.1016/j.crte.2005.04.018.
- Lee, J.C., Chu, H.T., Angelier, J., Hu, J.C., Chen, H.Y. and Yu, S.B. (2006) Quantitative analysis of surface coseismic faulting and postseismic creep accompanying the 2003,  $M_w = 6.5$ , Chengkung earthquake in eastern Taiwan: *J. Geophys. Res.*, 111, B02405, doi:10.1029/2005JB003612.
- Shyu, J.B.H., Kerry, S., Avouac, J.P., Chen, W.S. and Chen, Y.G. (2006) Millennial slip rate of the Longitudinal Valley fault from river terraces: Implications for convergence across the active suture of eastern Taiwan: *J. Geophys. Res.*, no.111, B08403.

- Teng, L.S. (1979) Petrographical study of the Neogene sandstones of the Fanshuliao Formation, northern Coastal Range, eastern Taiwan: I. Northern Part. *Acta Geol. Taiwanica*, no.20, 129-155.
- Yu, S.B., and Liu, C.C. (1989) Fault creep on the central segment of the longitudinal valley fault, eastern Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, 32, 209-231.
- Yu, S.B., H. Y. Chen, and L. C. Kuo (1997), Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Yu, S.B. and Kuo, L.C. (2001) Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan: *Tectonophysics*, vol.333, 199-217.
- Wu, Y.M., Chen, Y.G., Shin, T.C., Kuo, H., Hou, C.S., Hu, J.C., Chang, C.H., Wu, C.F. and Teng, T.L. (2006) Coseismic versus interseismic ground deformations, fault rupture inversion and segmentation revealed by 2003 Mw 6.8 Chengkung earthquake in eastern Taiwan: *Geophys. Res. Lett.*, 33, L02312, 1-4

# Investigation and Characterization of Surface Ruptures and Deformation Zone of the Chihshang Fault, Eastern Taiwan

Yen-Lin Jiang<sup>1</sup>, Hao-Tsu Chu<sup>1</sup>, Jian-Cheng Lee<sup>2</sup>, Chih-Yuan Huang<sup>1</sup>

## ABSTRACT

The Chihshang fault is the most obvious and has the most rapid surface creeping rate of 2 to 3 cm/yr among the several active segments of the Longitudinal Valley Fault in eastern Taiwan. Previous studies of the Chihshang fault in terms of surface ruptures have mostly focused on the area around Chihshang Town where the fault length is about 10 km. In this study, we conducted detailed field investigations along the entire 65 km-long surface ruptures of the Chihshang fault. Combining our results with findings from previous studies, we propose that instead of single fault there exist a few active branches of faults in several places, including Chun-rih- Tailin, Guanyin, Dongzhu-Luoshan, Dianguang, and Ruiyuan areas. We find that the deformation zone containing surface ruptures of the Chihshang fault differs in width at different sites, ranging from tens of meters to hundreds of meters. One type of the deformation zone is characterized by a few surface branches of faults in the immediate hanging wall of the primary fault. For example, Kuokailiang in Chun-rih, anticlinal ridges in the Dongzhu—Luoshan area, and Ertzengping in Ruiyuan show this type of branching. The other type of deformation zone involves a newly developing branch further downward in the footwall side, like that in the Tianguan area. According to previous seismological studies, the Chihshang fault can be divided into two segments with different seismological behavior: the north segment, Chun-rih- Dongzhu area, is about 30 km in length with the interseismic earthquake events occurring at the deeper part of the fault; the south segment, Fuli- Ruiyuan area, is about 35 km in length with very clear surface fault scarps and interseismic earthquake events on the shallow part of the fault.

**Key words:** Chihshang fault, Surface ruptures, Deformation zone

---

1 Central Geological Survey, MOEA

2 Institute of Earth Sciences, Academia Sinica