

# 湖口斷層新釋： 上盤活動背衝斷層之新發現及露頭構造分析

朱傲祖<sup>1</sup> 梁勝雄<sup>2</sup> 李建成<sup>3</sup> 陳建良<sup>1</sup>

## 摘要

目前調查資料顯示，湖口背斜北翼之湖口斷層，為第二類活動斷層，且為盲斷層。本研究藉由野外地表露頭，研判湖口斷層中段（楊梅市南側）在斷層上盤，距離地表推測斷層跡約 400 公尺處，有背衝斷層出露於地表之現象。斷層破裂帶以「強迫褶皺」方式呈現，斷層傾角約 40—45 度向南，破裂帶寬逾 4 公尺，可觀察到楊梅層逆衝侵入上覆之紅壤礫石層。斷層淨滑距約 2 公尺，水平滑距約 1.6 公尺，垂直滑距約 1.2 公尺。斷層破裂帶由數條 S 形菱狀體斷塊組成，斷塊間為逆衝斷層切割分隔，略成平行排列，形成複疊堆。斷塊及斷塊間產生剪切與拖曳褶曲，經斷層擦痕分析，求得最大壓縮性主應力軸方向為 N173°，近乎南-北方向。受逆衝褶皺之紅壤礫石層，粗礫石旋轉並逆衝覆蓋於地表紅壤與細礫砂層上，突破擠出地表；可能為全新世或晚更新世之紅壤礫石層，頂部受到明顯之拖曳彎曲褶皺，明確顯示湖口斷層上盤之背衝斷層為活斷層；也間接指示湖口主斷層可能亦為有地震災害潛能之活斷層，雖然斷層跡近地表被厚層的年輕沈積物所覆蓋。

**關鍵詞：**湖口斷層、背衝斷層、第一及二類活動斷層、S 形菱狀體斷塊、最大壓縮性主應力軸

## 前言

- 
1. 經濟部中央地質調查所（Central Geological Survey, MOEA）
  2. 國立臺灣大學地質科學研究所（Institute of Geosciences, National Taiwan University）
  3. 中央研究院地球科學研究所（Institute of Earth Sciences, Academia Sinica）

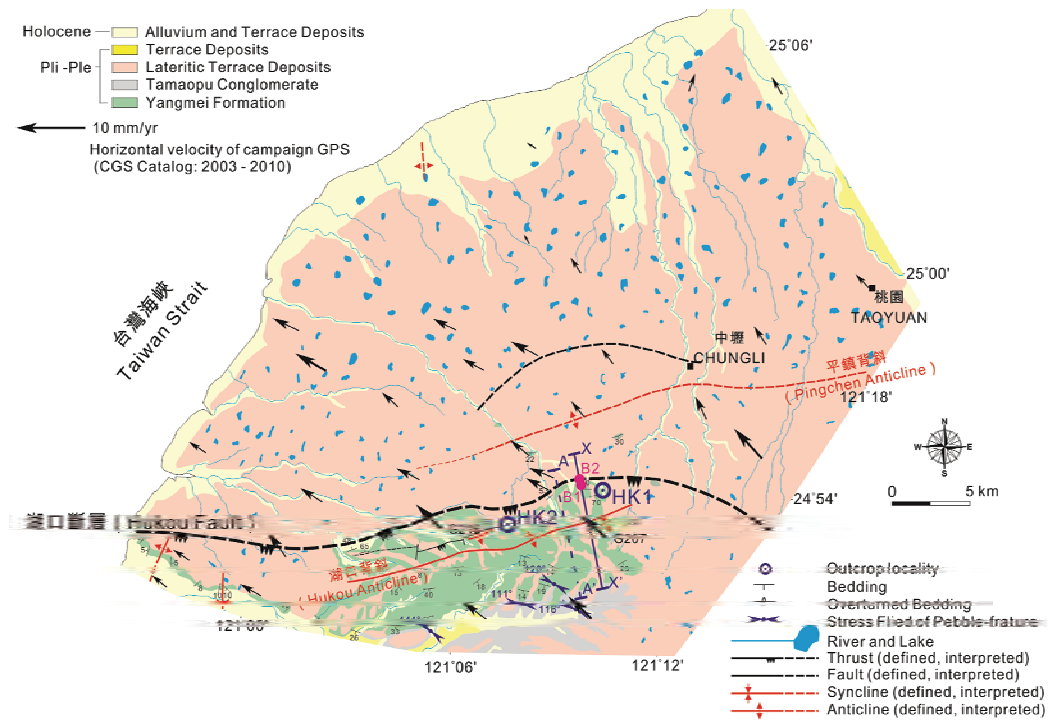
桃園地區人口已突破二百萬（根據桃園縣政府民政局2011年資料），人口居住已經相當密集，對於斷層活動及其地震潛能的評估也日趨重要。從過去的研究了解到，大桃園地區主要的潛在活動變形構造（圖一）由北而南有平鎮背斜、湖口斷層，以及湖口背斜。其中湖口斷層被普遍認為是本區主要可能之活斷層構造，走向東北東-西南西；間震期的大地測量模擬，推測斷層運動學行為為逆衝滑移、並帶有右移分量（饒瑞鈞，2010）；斷層跡地表分佈，由新竹湖口向東延伸至桃園平鎮，長約 21公里（圖一）（花井重次，1930；中國石油公司，1978；林啓文等，2007）。至於湖口斷層地表的長期滑移速率，估計從晚更新世以來的斷層上下盤平均垂直相對抬升速率約為1–1.7mm/yr（陳文山，2010）。

根據前人不同的研究，顯示湖口斷層的近地表幾何形貌有不同的構造解釋，例如（一）彈性或塑性的褶皺而無斷層錯位（Suppe and Namson, 1979；楊耿明，2002；黃旭燦，2004；圖二）、（二）潛伏於地底的盲斷層（林啓文等，2007）、（三）斷層滑移已出露近地表之非盲斷層（邵屏華等，2006）等。另外地表構造地形的分析，則顯示湖口斷層過去數萬年內，可能有斷層變形產生的地表累積位移造成之變形（楊貴三，1986；黃明哲和潘國樑，1987；諶凱英，1995；王昱，2003；陳怡葦，2003；鄧國雄等，2003；沈淑敏等，2005；張育仁，2008）。本研究於楊梅地區湖口斷層帶附近斷層上盤，距離過去文獻推估之斷層跡南側約400公尺處，發現一露頭，觀察到一背衝斷層穿出地表的近代沖積層，顯示確切而年輕的斷層構造活動。本文將詳細報導此露頭的地表破裂形貌，變形構造分析的結果；並結合主斷層之整體構造架構，進而提供湖口斷層的新思維。我們特別著重於近地表的斷層變形構造幾何形貌、斷層分支、露頭尺度的變形構造，並討論其與地表岩體流變性質（rheology）之可能密切關聯，及斷層活動性及地震災害之評估。

## 區域地層

研究區域出露地表地層主要是第四紀及全新世沈積物（中國石油公司，1978；何春蓀，1975 與 1986）。本文綜合前人研究，將湖口斷層出露處附近的地表地層，由老至新，區分為楊梅層、大茅埔礫岩、紅土臺地堆積層、晚第四紀臺地堆積層與全新世沖積層（圖一、圖二）。

依據中央地質調查所出版之1：50,000中壢地質圖幅（塗明寬與陳文政，1984；塗明寬與邵屏華，2001），大桃園地區之早更新世地層，由老至新可分為楊梅層照鏡段、楊梅層照門段與大茅埔礫岩（表一）。楊梅層照鏡段，可和頭料山層香山段對比，主要為厚層砂岩及砂岩、泥岩互層，其下部主要為砂岩，往上砂岩比例漸減，至頂部砂岩與泥岩比例略相等，估計厚度超過 800公尺。



圖一 本研究地區桃園地區區域地質圖（改繪自中國石油公司，1978；塗明寬與陳文政，1984；塗明寬與邵屏華，2001）。HK1：本研究露頭位置，AA'為 Suppe and Namson (1979) 繪製之湖口楊梅背斜地質剖面約略位置。XX'為林啟文等 (2007) 與本文繪製湖口斷層地質剖面圖位置。黑色箭頭為桃園地區 GPS 定期測量點結果顯示的地表水平速度場向量(Rau, 2010)，觀測時間為 2003 年到 2010 年，參考點澎湖白沙 S01R 站。HK2：桃園職訓中心露頭。

Fig. 1 Geologic map of the study area in the Taoyuan area (after Chinese Petroleum Corporation, 1978; Tu and Chen, 1984; Tu and Shao, 2001). HK1: the location of the outcrop in this study. AA' represents possible location of the geological cross section interpreted by Suppe and Namson (1979) for the Hukou-Yangmei anticline. XX' represents location of the geological cross section of the Hukou Fault interpreted by Lin *et al.* (2007) and this study. Black arrows: horizontal displacement vectors in the Taoyuan area based on campaigning GPS measurements from 2003 to 2010 (Rau, 2010). HK2: outcrop of the Taoyuan Vocational Training Council.

表一 研究地區地表出露之地層系統與對比圖。

Table 1. Stratigraphy of Quaternary deposits in the study area and the comparison with previous studies (sources: this study; Tu and Chen, 1984; Ho, 1975 and 1986).

時代 Epoch	中壢圖幅 Tu & Chen, 1984	臺灣北部 Ho, 1975 & 1986	本研究 this Study
全新世 Holocene	沖積層 Alluvium and Terrace Deposits		
	臺地堆積層 Terrace Deposits		
更新世 Pleistocene	桃園層 Taoyuan F.	紅土臺地 堆積層 Lateritic Terrace Deposits	紅土臺地 堆積層 Lateritic Terrace Deposits
	中壢層 Chungli F.		
	店子湖層 Tientzuhu F.		
	大茅埔礫岩 Tamaopu Conglomerate	頭崙山層 Toukoshan F.	大茅埔礫岩 Tamaopu Conglomerate
	楊梅層 Yangmei F.		楊梅層 Yangmei F.
	照門段 Chaomen Member		
	照鏡段 Chaochin Member		

楊梅層照門段，可對比頭崙山層香山段至火炎山段的過渡帶，為礫石、砂岩與泥岩互層組成；本段由下至上礫石比例逐漸變高，礫石直徑數公分至 20公分，厚度約 350公尺。大茅埔礫岩，主要組成為礫岩，厚約 80公尺，可和頭崙山層火炎山段相對比。

紅土臺地堆積層由下部至上部，可細分為店子湖層、中壢層及桃園層（塗明寬與陳文政，1984；表一）。店子湖層為台地礫石層，上部地層紅壤化，礫石直徑數公分至30公分，偶有1公尺以上者，厚度數公尺至30公尺，以不整合覆蓋於照門段或大茅埔礫岩上。中壢層為礫石與砂所組成，頂部有紅土化，下部未出露，估計20公尺至30公尺厚。中壢層似為店子湖層之紅土受侵蝕後與新期之泥沙混合再沈積，且有部份如店子湖層呈紅色的磚紅壤，偶見下不易與店子湖層區別。桃園層為紅土與礫石構成，岩性與中壢層相似，大多出露於人為開挖剖面。

晚第四紀臺地堆積層為礫石、砂與泥等組成，無膠結，混雜無淘選。全新世沖積層為砂、礫石與泥組成（Tang, 1963a, 1963b；中國石油公司，1978；塗明寬與陳文政，1984；塗明寬與邵屏華，2001）。

## 地形特徵

花井重次（1930）根據地形崖特徵，在三〇年代即首先提出了湖口斷層。其後富田芳郎（1937）根據臺地與河流地形特徵，認為楊梅桃園地區之臺地群，大體為古石門溪(今大漢溪)形成之由西南斜向東北的河流沖積；但對於可能形成的年代所知不多。以臺地地形分類而言，本區之臺地群，爾後經林朝榮（1957）之整合，大致可歸類為湖口、桃園、中壢、平鎮與伯公岡等臺地。八〇年代，石再添等（1983）藉由航空照片判釋，在本研究地區繪製了兩條平行的線狀崖，最大高差約80公尺，北側崖稱「楊梅北斷層」，南側崖稱「楊梅南斷層」。迄二十一世紀，盧詩丁等（2000）利用航照及高精度地形資料重新進行地表調查，認為楊梅南斷層即為過去所認知的湖口斷層。

以往地形研究多認為湖口斷層可能有多次地表地震錯位活動的構造地形特徵（楊貴三，1986；黃明哲和潘國樑，1987；諶凱英，1995；王昱，2003；陳怡葦，2003；鄧國雄等，2003；沈淑敏等，2005）。進一步從近地表沈積物年代來看，湖口斷層下盤地層—平鎮與湖口臺地之間楊梅面—頂部的沈積年代約為6萬年前；而斷層上盤店子湖面頂部的沈積年代約於5萬8千年前（陳于高，2006），兩者大致可以年代相當可以對比，但有約80-100公尺的高差。諶凱英（1995）及王昱（2003）根據階地年代、地形測量等資料所作的研判，湖口斷層與楊梅北斷層鄰近桃園地區，最後活動時間約為3萬3千年，而斷層上盤之湖口背斜於最近3萬年內仍有持續活動。因此，桃園南部晚第四紀沈積之臺地群的地表形變，顯然與湖口斷層之近期持續的構造運動有相關聯。

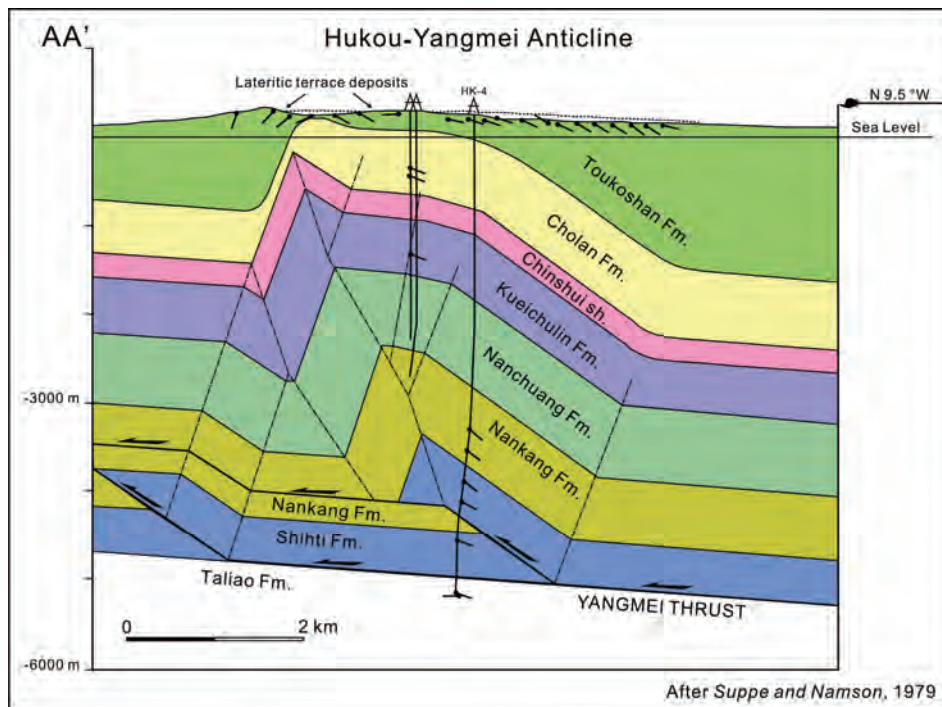
## 構造特徵

從1960年代起，本研究區之大區域性構造研究，特別是湖口斷層相關的地下構造之研究，大部分與中油區域探勘調查有相當關聯，如Tang(1963a, 1963b, 1964)、Wang(1964)、Chiu(1970)、Lim(1971)、Suppe and Namson

(1979)、石瑞銓(1999, 2009)、林良安(1999)、楊耿明(2002)，以及黃旭燦(2004)等。最早在70年代，Lim(1971)綜合震測、地表地質和井下地質資料，繪製湖口背斜剖面，並對斷層上盤湖口背斜褶皺軸部附近構造，開始有較仔細的描繪；然對於斷層下盤北翼地層之特性未多加說明。其後，Suppe and Namson(1979)、楊耿明(2002)及黃旭燦(2004)，利用同一資料，也分別解釋了湖口背斜之地下構造剖面(圖二)。雖然各家地下地質剖面繪製略有不同，可是皆不認為有湖口斷層的存在，而是一褶皺構造，包括西側的緩向斜及東側的劇烈背斜(亦即湖口背斜)。

近年來，經濟部地質調查所在楊梅地區之大金山下1號井(圖一及圖四B1井)地質鑽井資料，顯示在地形分析推估中的湖口斷層跡地下80至102公尺處楊梅層砂頁岩互層中，有13組以上的不尋常的密集剪裂帶發育(林啓文等，2007)。

雖然林啓文等(2007)解釋湖口斷層可能為發育於向斜軸軸部的逆移盲斷層，斷層滑移尚未發展到近地表(圖三)，但我們更傾向於解釋大金山下1號井

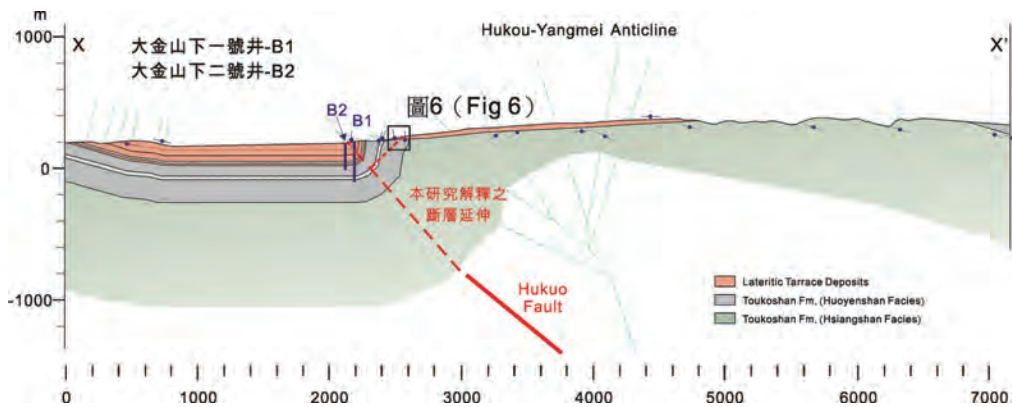


圖二 湖口楊梅背斜地區之上部地殼整體地質剖面解釋(引自 Suppe and Namson, 1979)。他們的解釋認為本研究地區的地質變形構造是以強烈明顯褶皺來表現，並沒有明顯的斷層作用在其中。

Fig. 2 Geologic cross section of the Hukou-Yangmei anticline (from Suppe and Namson, 1979).



之剪裂帶，很可能即為湖口斷層延伸至近地表的證據。此外，邵屏華與陳華玟（2006）在附近平行斷層約數百公尺之另一鑽井岩芯（TY-04井），於地下約27公尺可觀察到地層錯位現象：較老礫石（未紅壤化）逆衝於地表晚更新世的紅壤（可能是三萬年左右）之上；邵屏華等（2006）研判此為湖口斷層前緣之近地表錯動。由以上近地表鑽井資料來看，湖口斷層有可能不但存在，不只是個非斷裂性的區域褶皺，而且為非『盲斷層』，其斷層已經發展到近地表100公尺內。



圖三 林啟文等（2007）解釋之湖口斷層近地表地質剖面構造圖。他們解釋湖口斷層為盲斷層，斷層錯位並未達到地表（可能停在地下一公里以下）。本研究則提出新證據，解釋斷層錯動已經發展至近地表數十公尺內。

Fig. 3 Geologic cross section of the Hukou fault interpreted by Lin *et al.* (2007). They interpreted the Hukou fault as a blind thrust with a tip possibly buried under 1 km depth. However, this study tends to interpret the fault as having been developed into the shallow surface level, based on new observations.

## 區域構造應力及 GPS 速度場

根據位於桃園臺地群更新世大茅埔礫岩層礫石破裂軸分析，本區仍受到壓縮性構造古應力西北-東南向，大約 $N111^{\circ}E$ 至 $N141^{\circ}E$ （張育仁，2008）。由2003年至2010年間重複多次測量的GPS移動站的研究結果顯示，其中於雙連坡線形與湖口斷層附近，呈現跨越斷層之上下盤監測點位移量有逐漸往斷層上盤增加趨勢（陳建良等，2008；饒瑞鈞，2010）；應變速率分析暗示本區仍有著向西北方向微弱的壓縮應變作用（Hu *et al.*, 2002；饒瑞鈞，2010）。利用塊體彈性

錯位模型擬合臺灣西北部褶衝帶的斷層系統，結果顯示湖口斷層似乎淺部數公里為鎖定，而深部滑移速率（虧損速率）為8.5mm/yr（饒瑞鈞，2010）；滑移向量指示斷層運動型態為略顯右移之滑移。由此可瞭解到，本區應力從更新世以來持續受到西北-東南向壓縮應力作用，然而湖口斷層淺部現在是處於鎖定的狀態，可能正在累積能量中（圖一）。

## 露頭描述

本研究所觀察之露頭（圖四）位於湖口斷層跡南側（斷層上盤）約200–300公尺處，楊梅大金山北坡近坡角處，在楊梅市楊光國民中小學東南東方約500公尺、南北向之人工開挖剖面上（北緯24.904866度，東經121.173989度）（圖四）。出露情況良好，為連續露頭，寬度約70公尺。此開挖面的走向與地層的



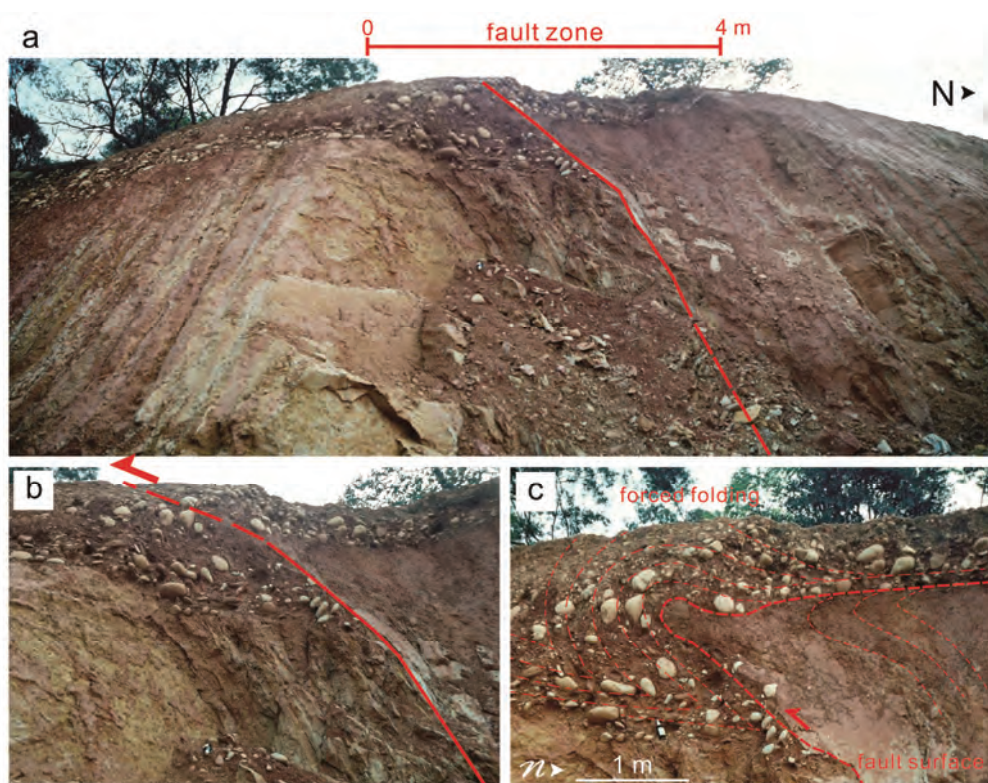
圖四 研究地區之航照地形圖及露頭點與湖口斷層之相關位置。湖口斷層之地表斷層跡位置根據林啟文等（2007）。

Fig. 4 Aerial photograph of the study area. The outcrop of this study is located about 300-400 m south of the surface geomorphic scarp, which was also interpreted as the surface trace of the Hukou fault (Lin *et al.*, 2007).



走向（約東西向）呈高角度相交；露頭沈積岩性組成可分為兩部份（圖五），下部為泥岩和粉砂岩互層之岩層，含煤屑、植物化石與粘土，研判應屬楊梅層（但無法分辨為上段或下段）；岩層走向為北80度東至東西向，向北高角度傾斜60度至75度之間（圖五a）。地表為大致水平之薄層紅壤礫石層，不整合覆蓋於楊梅層上。紅壤礫石層由下至上，可細分為四層：粗礫紅壤層（礫石直徑由數公分至30公分，偶有大於30公分者）、紅壤層、細礫砂層（夾砂層），以及頂部有機紅土礫石層。除了細礫砂層假整合覆蓋於紅壤層之上外，其餘土層之沈積過程幾乎為漸變（圖六）。

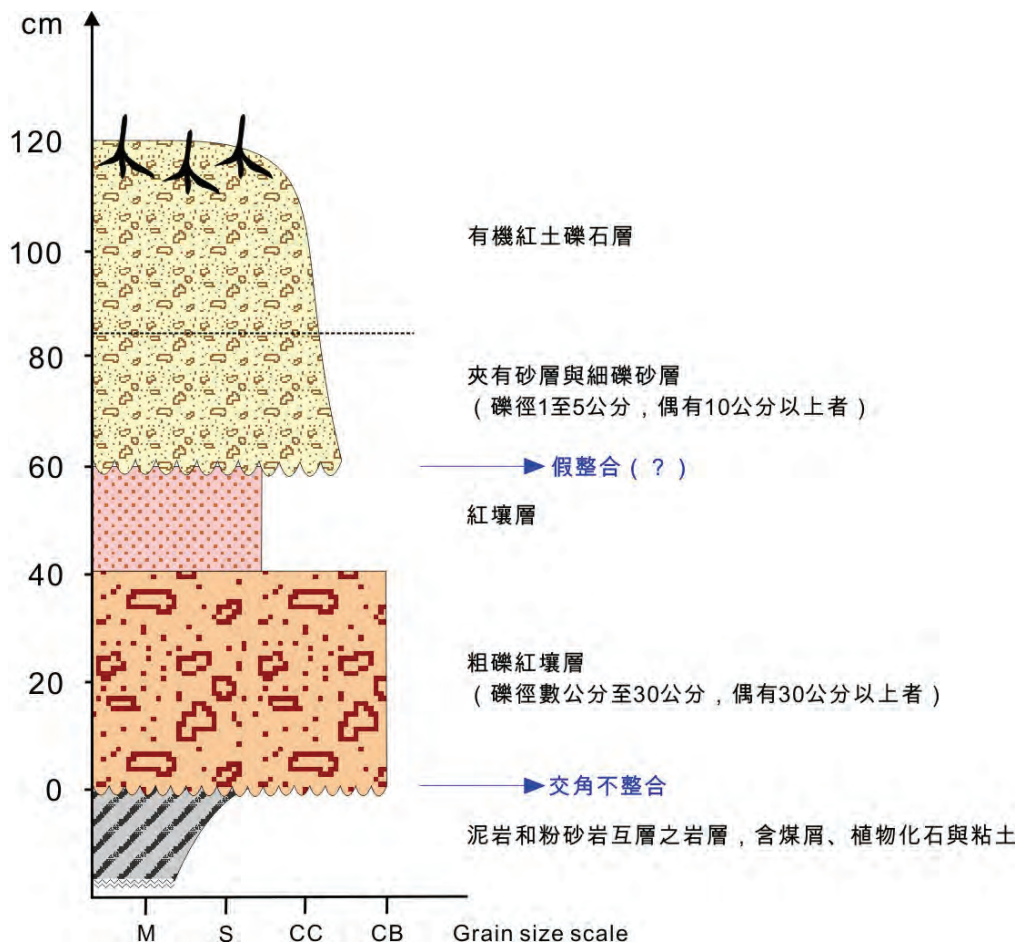
該70米寬之露頭可觀察到一約40–45度向北逆衝之背衝斷層，並伴隨著破裂小褶皺帶寬逾4公尺（圖五）。值得一提的是，我們發現在近地表，楊梅層逆



圖五 本研究之露頭照片。其沈積岩性組成可分為兩部份，下部為泥岩和粉砂岩互層之楊梅層；上部為礫石層。可觀察到一逆斷層（背衝斷層），沿著斷層面，楊梅層以40–45度傾角逆衝擠上地表之礫石層（b），並形成強迫褶皺（c）。

Fig. 5 Photograph showing outcrop HK1. The alternating thin beds of siltstone and shale of the Yangmei Formation is in the lower part of the outcrop, which is overlain by terrace deposits.

衝於年輕的紅壤礫石層之上，形成強迫褶皺（forced fold）（Price and Cosgrove, 1990）（圖七）；我們將在稍後詳細說明此褶皺的特色。此背衝斷層走向為北90-105度東，接近平行湖口斷層（斷層崖在露頭北側約300公尺）及湖口背斜（軸部在露頭南側約1公里）之走向（圖一）。斷層淨滑距約2公尺，水平滑距約1.6公尺，垂直滑距約1.2公尺。斷層破裂帶可觀察到由數條S形菱狀體之小斷塊（horse）（圖七）。斷塊間被幾個分支的逆衝斷層切割分隔，形成「複疊堆（duplex stack）」構造。斷塊及斷塊間產生剪切與拖曳褶曲（圖七）；每一斷

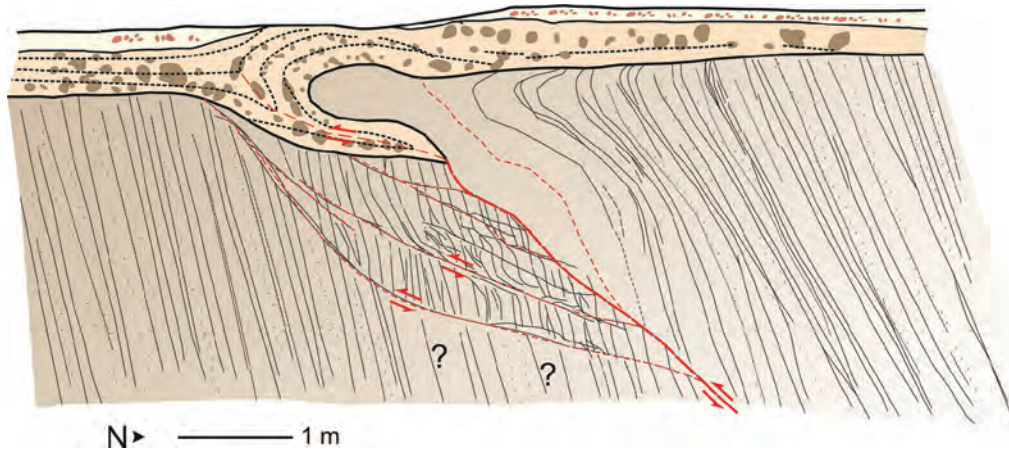


圖六 露頭礫石層岩性柱狀圖，從上而下分成四層：有機紅土礫石層、細礫砂層、紅壤層、粗礫紅壤層。顆粒大小以 M 表示泥岩，S 表示砂岩，CC 表示細礫砂層，CB 表示粗礫砂層。

Fig. 6 Stratigraphic column of the overlying conglomerate formation at outcrop HK1. Grain size scale: M is mudstone, S is sandstone, CC is sand-layer with cobble conglomerates and CB is a sand layer with boulder conglomerates.

塊均呈現受褶曲之現象，滑距約1至2公分；許多甚至有劇烈之塑性拖曳褶曲（圖八），強烈暗示可能有流體作用的參與。斷層面上擦痕以「雷多剪切」（Riedel shear）等構造形式出現（圖八）。本研究量測6筆斷層滑移資料與2筆地層走向資料，並利用Angelier所研發的斷層分析程式演算古應力方向（Angelier, 1979, 1984, 1994）。經計算後，得到壓縮性主應力軸（ $\sigma_1$ ）方向為N173°，傾角為18度北：近乎南北向的水平擠壓應力（圖九）。

至於在近地表產生強迫褶皺之紅壤礫石層，我們除了可以觀察到粗礫石旋轉並逆衝覆蓋於紅壤與細礫砂層上，另外從紅壤礫石層的礫石排列，可以發現到拖曳彎曲褶皺（drag fold）的呈現（圖五C、圖七）；這即是在構造地質學上曾經被學者提出的強迫褶皺作用（forced folding）（Price and Cosgrove, 1990; Cosgrove and Ameen, 2000）。強迫褶皺，原本起源於大尺度地殼的變形作用，因為基盤中的逆衝斷層作用，使覆蓋在堅硬基盤上面相對力學上（或流變學上）

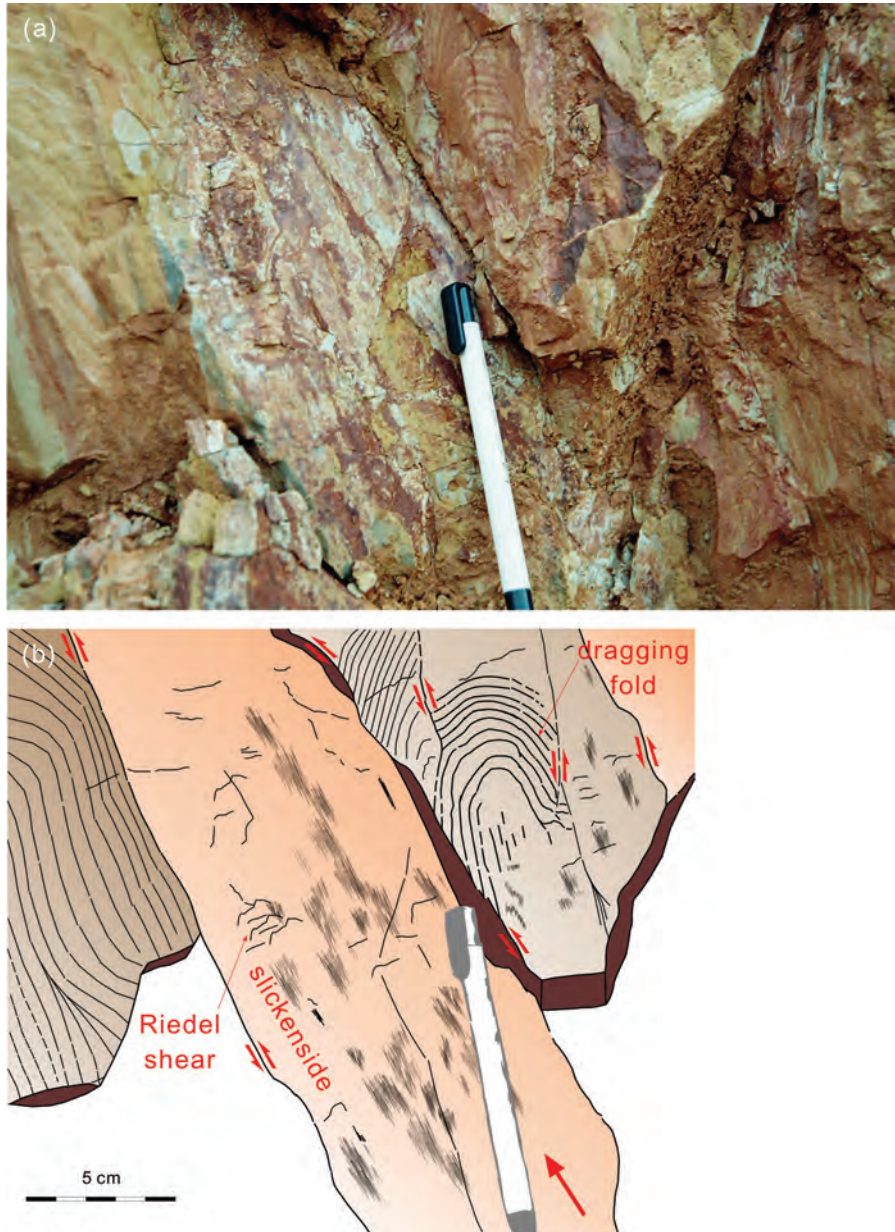


圖七 露頭地質構造剖面解釋圖。(a) 斷層破裂帶寬逾4公尺，可觀察到楊梅層逆衝於礫石層之上，其為逆衝斷層。斷層走向接近平行楊梅層，斷層淨滑距約2公尺，水平滑距約1.6公尺，垂直滑距約1.2公尺。斷層破裂帶由數條S形菱狀體之斷塊組成，斷塊間為逆衝斷層切割分隔，略成平行排列，形成複疊堆（duplex stack），由於斷塊受到壓縮性的應力作用，斷塊及斷塊間產生剪切與拖曳褶曲。

Fig. 7 Fault zone showing that the Yangmei Formation was thrust over the covering red soil conglomerate layer and the top soil layer was likely to be affected. The strike of the fault is nearly parallel to the Yangmei Formation with a net slip of about 2 meters. The fault zone, approximately 4 meters wide with vertical throw of about 1.2 meters and horizontal heave of about 1.6 meters, is composed of several stacked S-shaped lenticular horses separated by reverse faults with slickensides.



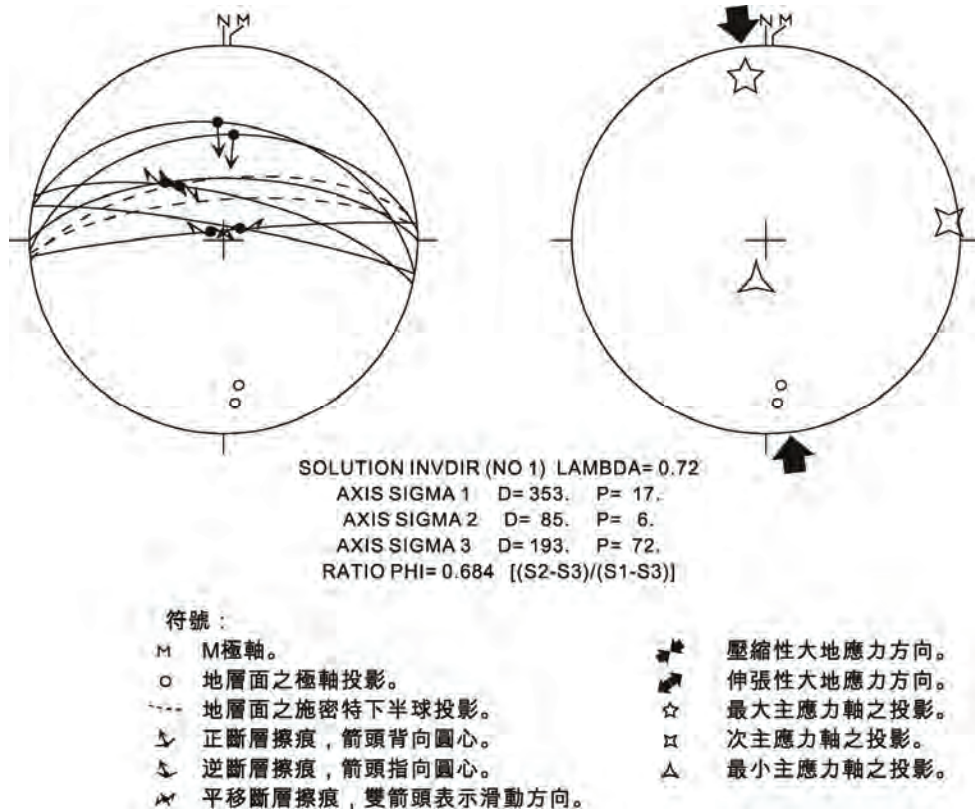
較柔性的岩層產生褶皺，或基盤中的正滑斷層作用使覆蓋在基盤上面的柔性岩層產生褶皺（Cosgrove and Ameen, 2000）（圖十）。在本研究中，借用此名詞之原理，將其應用在近地表的地質變形構造：以砂岩或砂頁岩為主的楊梅層，



圖八 具斷層擦痕與呈現拖曳褶曲之斷塊組成的複疊堆。

Fig. 8 Duplex stack of faulted and drag folded horses.

扮演較堅硬的基盤，而全新世未固結紅壤礫石層則扮演上覆之柔性岩層；當楊梅層砂岩逆衝擠到紅壤礫石層之中，造就了礫石層柔性的褶曲。



圖九 斷層作用及其後褶皺作用（地層傾動）之投影圖。（a）左側為逆斷層面、擦痕與地層面之施密特下半球投影，右側為計算所得之壓縮性應力軸之投影。

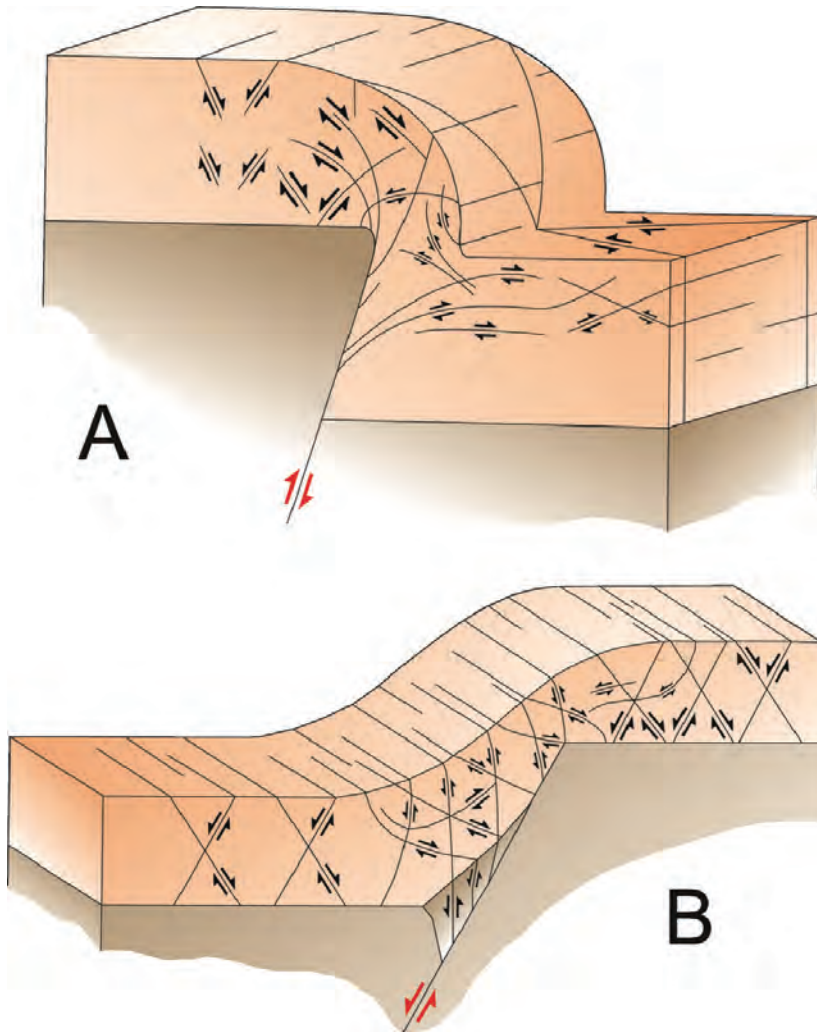
Fig. 9 Diagram shows Schmidt's stereographic projections of the lower hemisphere of fault-slip data sets. (a) Faults shown as thin lines; slickenside lineations shown as small dots on fault planes with small, thin inward directed arrows (reverse slip). Computed paleostress axes  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  and  $\alpha_3$  shown as 5-, 4- and 3-pointed stars respectively. Large black arrows indicate computed directions of compression. Open circle indicates the pole of bedding. The compression stress axis  $\alpha_1$  plunges  $18^\circ$  degrees towards  $N188^\circ$ .

## 討論與結論

綜合整體區域構造演化，由更新世至今，桃園地區在臺灣造山帶之前緣前陸地區持續受到西北-東南向壓縮應力作用。隨著褶衝帶構造系統逐漸往西側發



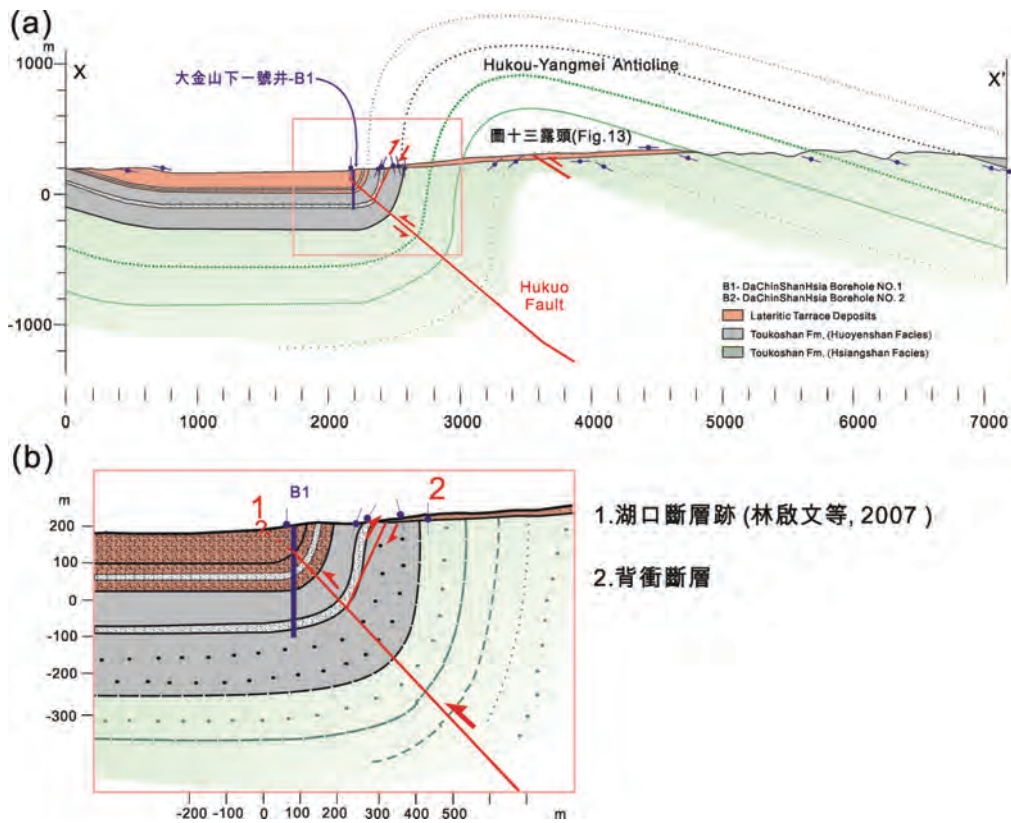
展，前緣逆衝斷層發育至楊梅地區，產生了湖口斷層。雖然長期累積之斷層滑移量在年輕的湖口斷層上還不是很大，因此在大尺度的震測剖面上無法清楚評估及計算；但是從構造地形及地質淺井的證據上，確實反映出湖口斷層穿出全



圖十 強迫褶皺作用（forced folding）示意說明圖。（A）基盤中的逆衝斷層作用使覆蓋在基盤上面的岩層產生褶皺。（B）基盤中的正滑斷層作用使覆蓋在基盤上面的岩層產生褶皺。（Cosgrove and Ameen, 2000）

Fig. 10 Schematic block diagrams showing potential geometry and sense of movement of macro-faults in experimentally produced forced folds above (A) reverse (B) normal basement faults. (Cosgrove and Ameen, 2000)

新世地層覆蓋之地表紅土礫石層。本研究整理野外調查與鑽探之地層層態與剪裂帶資料，利用Busk, (1929、1939)發展之「圓弧與手描並用法 (arc method combined with free hand method)」，重新解釋林啟文等 (2007) 之剖面構造，並繪製湖口斷層地質剖面 (圖十一)。我們解釋湖口背斜為湖口斷層上盤之背斜褶皺，它的波長約有3-5公里長；而斷層下盤之向斜則為短波長之褶曲 (小於一公里)；因此，湖口斷層造成上下盤不對稱之褶皺。而湖口斷層之地表出露位置 (斷層跡)，根據地質鑽探 (大金山下1號井、TY-04井) 結果向地表延伸，應在地表地形崖前端處 (圖十一b)。

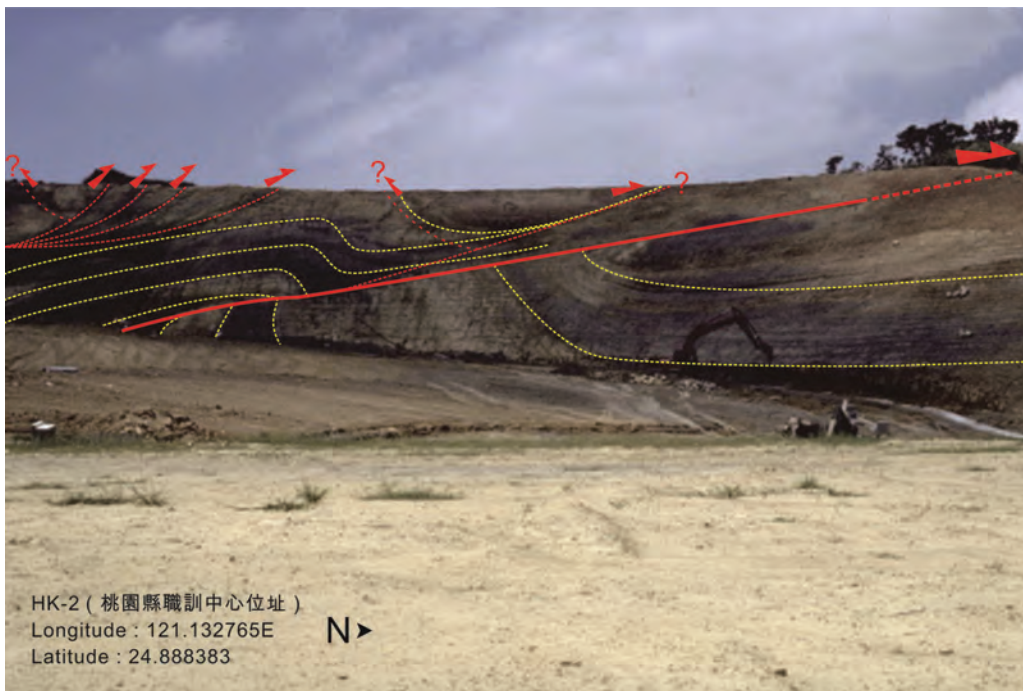


圖十一 本研究解釋之湖口斷層地質剖面圖。(a)大範圍區域剖面，包括湖口斷層上盤之明顯背斜構造 (修改自林啟文等，2007)。(b)近斷層及淺部近地表之斷層相關變形構造剖面。

Fig. 11 (a) Geologic cross section of the Hukou fault (Lin *et al.*, 2007). (b) Geologic cross section of the Hukou fault.

本研究之斷層露頭，事實上不在湖口斷層之主斷層上，而是位於湖口斷層上盤距離地表斷層地形崖約400公尺處之背衝斷層。以整體地質構造考量，此背衝斷層似乎宜以湖口斷層系統一併視之；其近地表之斷層帶（包括主斷層及背衝斷層中間的地帶）寬度逾500公尺，也暗示著在地震防災評估地表斷層破裂帶的範圍上，也許要更仔細地將背衝斷層納入思考中。事實上，曾有報導在湖口斷層上盤接近背斜軸部附近，距離主斷層跡約1公里遠（桃園縣職訓中心工地），觀察到有明顯大規模逆斷層帶（圖十二；李錦發與蘇泰維，1994）。顯示除了主斷層與背衝斷層之外，有些地段還有其他分支斷層存在的可能；也使得地表斷層破裂敏感帶的評估與劃分，要必須更小心避免將斷層帶以「斷層線」視之。

本文之結果支持湖口斷層不屬於盲斷層，而已經是出露至地表或近地表。然而為確立湖口斷層在近地表作用變形之可能年代，我們以目前僅有之光螢光定年的結果來討論如下。平鎮與湖口臺地之間楊梅面沈積年代約為6萬年前，店



圖十二 在研究露頭西側數公里之過去發現之湖口斷層分支斷層露頭。位置接近桃園職訓中心，見圖四之詳細位置。

Fig. 12 This outcrop at site HK-2 (also in Figure 4) represents a major branch fault in the hanging wall of the Hukou fault. It shows complex deformation structures, including upthrust faults verging towards north with a few branches of fore-thrust as well as back thrust above and drag folds in the footwall. The main Hukou fault is located about 1.3 km further north from this site.

子湖面沈積年代約於5萬8千年前（陳于高，2006），特別是在湖口斷層下盤的楊梅面上方還覆蓋了數十公尺厚的沖積層。要了解斷層最近活動的年代，定年資料實略顯不足，宜增加宇宙射線定年（cosmic ray exposure dating）與地表土壤定年（soil chronosequence）等方法（Siame, *et al.*, 2007；Tsai, *et al.*, 2008, 2010）方得以建立較完整的地表紅壤礫石層與地表土壤層之年代，進而瞭解湖口斷層活動確切之年代。此外，湖口斷層破裂帶寬度可能達500公尺，應對此區域進行槽溝開挖或排型鑽探等古地震調查相關工作，進一步評估斷層活動週期及近期滑移速率，並考慮判釋是否改列入為第一類的活動斷層，做為未來地震災害評估與活動斷層地質敏感區劃設的重要依據。

## 誌謝

感謝行政院國家科學委員會（委託計畫編號：NSC 99-2116-M-047 -001-與 NSC 100-2116-M-047-001-）支援經費，本文方能順利進行與推展。本文承蒙楊耿明博士及一位不具名學者，熱心審稿並惠賜卓見，使本文更臻完善，謹此申謝。

本文紀念臺灣活動斷層研究先驅徐鐵良先生。

## 參考文獻

- 中國石油公司（1978）10萬分之1臺灣地質圖-桃園圖幅。中國石油公司臺灣油礦探勘總處出版。
- 石再添、張瑞津、石慶得、黃朝恩、楊貴三（1983）臺灣北部與東部活斷層的地形學研究。臺灣師範大學地理研究所地理研究報告，第9期，第20-72頁。
- 石瑞銓（1999）北部地區活動斷層地球物理探勘，經濟部中央地質調查所88年度報告，共80頁。
- 石瑞銓（2009）地震地質與地變動潛勢分析，斷層帶地下構造調查研究（3/4）。經濟部中央地質調查所報告第98-11號，共137頁。
- 王昱（2003）桃園-新竹臺地區構造活動與地形特徵。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共105頁。
- 何春蓀（1975）臺灣地質概論，臺灣地質圖說明書。經濟部中央地質調查所，共153頁。
- 何春蓀（1986）臺灣地質概論，臺灣地質圖說明書（增訂）第二版。經濟部中央地質調查所，

共163頁。

沈淑敏（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置，活動構造地形及資料庫建置分析（1/2）。經濟部中央地質調查所報告第94-13號，共91頁。

李錦發與蘇泰維（1994）羊喜窩斷層露頭-楊梅秀才窩。地質，第14卷，第1期，第250-251頁。

林良安（1999）湖口斷層淺層反射震測之研究。中央大學地球物理所碩士論文，共109頁。

林啓文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）50萬分之1臺灣活動斷層分布圖說明書。經濟部中央地質調查所，第13號，共107頁。

林啓文、盧詩丁、石同生、陳致言、林燕慧（2007）臺灣北部的活動斷層，2萬5千分之1活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所，第19號，共118頁。

林朝榮（1957）臺灣地形。臺灣省文獻委員會，共424頁。

花井重次（1930）臺灣桃園地臺地の活斷層。地理學評論，第6卷，第778-789頁。（日文）

邵屏華、陳華玟與游舒麟（2006）基本地質調查研究：北部地區第四紀地質調查。經濟部中央地質調查所年報，94年度，第34-38頁。

桃園縣政府民政局（2011）桃園縣100年1月~12月現住人口數、原住民人口數人數統計表：一月份現住人口及原住民人口數。（桃園縣政府民政局網站，2011年7月15日檢索。）  
[http://www.tycg.gov.tw/site/site\\_index.aspx?site\\_content\\_sn=9514&site\\_id=029](http://www.tycg.gov.tw/site/site_index.aspx?site_content_sn=9514&site_id=029)

陳文山（2010）地震地質與地變動潛勢分析計畫，斷層長期滑移速率與再現週期研究總報告，經濟部中央地質調查所報告第99-09總號，共141頁。

陳于高（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置，槽溝開挖與古地震研究計畫（5/5）一、「槽溝開挖與古地震研究」與「光螢光定年」。經濟部中央地質調查所報告第95-08-1號，共67頁。

陳怡葦（2003）桃園地區活斷層與地形面之研究。國立彰化師範大學地理學系碩士論文，共85頁。

陳建良、林啓文、侯進雄（2008）臺灣西北部桃竹苗地區地殼變形初步研究。經濟部中央地質調查所，第20號，第223-254頁。

張育仁（2008）桃園南部臺地群地表變形與地下構造之研究。中央大學地球物理所碩士論文，共200頁。

富田芳郎（1937）淡水河河岸段丘の地形面對比に就て，臺灣地學記事，第8卷，第10-12號，第101-119頁。（日文）

黃旭燦（2004）斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究，臺灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究（5/5）臺灣西部麓山帶地區地下構造綜合分析。經濟部中央地質調查所報告第93-13號，共59頁。



- 黃明哲與潘國樑（1987）桃園新竹地區活動斷層調查研究(II)，國科會防災科技研究報告 75-51號，共62頁。
- 楊耿明（2002）斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究，臺灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究（3/5）新城斷層及其附近地區。經濟部中央地質調查所報告第91-4號，共52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，中國文化大學地學研究所博士論文，178頁。
- 塗明寬與陳文政（1984）中壢圖幅及說明書，5萬分之1臺灣地質圖。經濟部中央地質調查所，共53頁。
- 塗明寬與邵屏華（2001）中壢圖幅及說明書，5萬分之1臺灣地質圖（第2版）。經濟部中央地質調查所，共47頁。
- 鄧國雄、董德輝、陳建汝、葉柏舜（2003）桃園台地湖口活動斷層及其構造河階之相關研究。臺北市立師範學院學報，第34期，第135-155頁。
- 盧詩丁、石同生、林啓文、黃文正、陳華玟、李元希、陳致言、張徽正（2000）臺灣北部新竹地區活動斷層調查。中國地質學會89年年會論文集，第308-310頁。
- 譚凱英（1995）桃園臺地群崖地形之研究。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共114頁。
- 饒瑞鈞（2010）地震地質與地變動潛勢分析，地變動監測分析（4/4）。經濟部中央地質調查所報告第99-10總號，共182頁。
- Angelier, J. (1979) Determination of the Mean Principal Directions of Stresses for a Given Fault Population: *Tectonophysics*, vol. 56, T17-T26.
- Angelier, J. (1984) Tectonic Analysis of Fault Slip Data Sets: *J. Geophys. Res.*, vol. 89, 5835-5848.
- Angelier, J. (1994) Fault Slip Analysis and Paleostress Reconstruction: In Hancock, P. L. (ed.), *Continental Deformation*, Pergamon Press (Oxford), 53-100.
- Busk, H. G. (1929) *Earth Flexures*: Cambridge University Press. 1-104.
- Busk, H. G. (1939) Explanatory note on the block diagram of the Great Rift Valley from Nakuru to Lake Magadi: *Q. Jl geol. Soc. Lond.*, vol. 95, 231-233.
- Chiu, H. T. (1970) Structural Features of the Area between Hsinchu and Taoyuan, Northern Taiwan: *Proc. Geol. Soc. of China*, no. 13, 63-75.
- Cosgrove, J. W. and Ameen, M. S. (2000) A Comparison of the Geometry, Spatial Organization and Fracture Patterns Associated with Forced Folds and Buckle Folds. In Cosgrove, J. W. and Ameen, M. S. (eds.), *Forced Folds and Fractures*, Geological Society, London, Special Publications, vol. 169, 7-21.
- Cui, Z. J., Yang, C. F., Liu, G. N., Zhang, W., Wang, S., Sung, Q. C. (2002) The Quaternary

- Glaciation of Shesan Mountain in Taiwan and Glacial Classification in Monsoon Areas. *Quat. Int.*, vol. 97-98, 147-153.
- Hu, J. C., Yu, S. B., Chu, H. T., and Angelier, J. (2002) Transition Tectonics of Northern Taiwan Induced by Convergence and Trench Retreat: Geology and Geophysics of Arc-Continent Collision, Taiwan: *GSA Special Paper*, vol. 358, 147-160.
- Lim Y. K. (1971) A Petrographic Study of the Miocene Formations of the Hukou Structure In Northern Taiwan: *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 9, 67-78.
- Lacombe, O., Mouthereau, F., Angelier, J., Chu, H. T., Lee J. C. (2003) Frontal Belt Curvature and Oblique Ramp Development at an Obliquely Collided Irregular Margin: Geometry and Kinematics of the NW Taiwan Fold-thrust Belt: *Tectonics*, vol. 22, 1025, doi:10.1029/2002TC001436.
- Nicolas, A. (1984) Les Plis: in Nicolas, A. (ed.), *Principes de Tectonique*: Masson Press (Paris), 123-146.
- Price, N. J. and Cosgrove, J. W. (1990) *Analysis of Geological Structures*. Cambridge University Press, Cambridge, 502pp.
- Siame, L., Chu, H. T., Carcaillet, J., Lu, W. C., Bourlès, D. L., Braucher, R., Angelier, J., (2007) Glacial Retreat History of Nanhuta Shan (north-east Taiwan) from Preserved Glacial Features: the Cosmic Ray Exposure Perspective: *Quat. Sci. Rev.*, vol. 26, 2185-2200. doi: 10.1016/j.quascirev.2007.04.016.
- Suppe, J. and Namson, J. (1979) Fault-bend origin of Frontal Folds of the Western Taiwan Fold-and-thrust Belt: *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 16, 1-18.
- Tang, C. H. (1963a) Contemporaneous Deformation in the Pleistocene Yangmei Formation of the Hukou Area, Hsinchu: *Proc. Geol. Soc. China*, no. 6, 75-79.
- Tang, C. H. (1963b) Geology and Oil Potentialities of the Hukou Anticline, Hsinchu: *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 2, 241-252.
- Tang, C. H. (1964) Subsurface Geology and Oil Possibilities of the Taoyuan District: *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 4, 35-52.
- Tsai, H., Maejima, Y., Hseu, Z. (2008) Meteoric  $^{10}\text{Be}$  Dating of Highly Weathered Soils from Fluvial Terraces in Taiwan: *Quat. Int.*, vol. 188, 185-196. doi: 10.1016/j.quaint.2007.06.007.
- Tsai, H., Hseu, Z. Y., Huang, S. T., Huang, W. S., Chen, Z. S. (2010) Pedogenic Properties of Surface Deposits Used as Evidence for the Type of Landform Formation of the Tadu Tableland in Central Taiwan: *Geomorphology*, vol. 114, 590-600. doi: 10.1016/j.geomorph.2009.09.020.
- Wang, Peter C. M. (1964) Reflection Seismic Survey Conducted on the Hukou-Yangmei Structure, Taiwan: *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 3, 185-191.

# A new view of the Hukou Fault: Discovery of an active backthrust in the hanging wall and its structural analyses

Hao-Tsu Chu<sup>1</sup>, Shen-Hsiung Liang<sup>2</sup>, Jian-Cheng Lee<sup>3</sup>, and Chien-Liang Chen<sup>1</sup>

## ABSTRACT

Lying to the north of the Hukou Anticline, the Hukou Fault has historically been classified as an active blind fault of category II. This paper reports a newly found outcrop showing apparent surface ruptures of an active backthrust of the Hukou Fault in the hanging wall about 400 m away from the primary fault. The fault zone is sheared in forced folding, showing that the Yangmei Formation is thrust over the covering red soil conglomerate layer and the top soil layer. The strike of the fault is nearly parallel to the Yangmei Formation with a net slip of about 2 meters. The fault zone, approximately 4 meters wide with a vertical throw of about 1.2 meters and horizontal heave of about 1.6 meters, is composed of several stacked S-shaped lenticular horses separated by reverse faults with slickenside. Fault slip analyses showed that the maximum compressive stress  $\sigma_1$  is trending approximately N-S with slight tilting towards the north.

**Key words:** Hukou Fault, backthrust, active blind fault of category II, S-shaped lenticular horse, maximum compressive stress

- 
1. Central Geological Survey, MOEA
  2. Institute of Geosciences, National Taiwan University
  3. Institute of Earth Science, Academia Sinica