

新城斷層的古地震研究

Paleoseismologic study of the Hsincheng Fault

陳文山¹、劉力豪¹、顏一勤¹、楊小青¹、李龍昇¹、游能悌¹、
張徽正²、石瑞銓³、陳于高¹、李元希²、林偉雄²、石同生²、
盧詩丁²

Wen-Shan Chen¹, Li-Hao Liu¹, Yi-Ching Yan¹, Hsiao-Chin Yan¹,
Long-Sheng Lee¹, Neng-Ti Yu¹, Hui-Cheng Chang², Ruey-Chyuan
Shih³, Yue-Gau Chen¹, Yuan-Hsi Lee², Wei-Hsiung Lin², Tung-Sheng
Shih², Shih-Ting Lu²

ABSTRACT

The Hsinchen Fault cut through Lt3, Lt2, Lt1, Ft2 and Ft1 river terraces. Relative heights of Lt3, Lt2, Lt1 and Ft2 terraces on both side of the fault appear to be offset by approximately 70 m, 55m, 40m, and 20m, respectively. Result of terrace correlation provides a detailed record of faulting since the latest Pleistocene.

Based on the outcrop in the Touchianshi river, we are able to first provide evidence of the timing of the penultimate event for less than 300 years ago. Based on the data from excavation and outcrop, it is indicate that the vertical uplift of the penultimate event is about 1.3-2.4 m height, and the minimum uplifted rate is about 3-8 mm/yr for the past 300 years.¹

前言

新城斷層 (Torii and Yoshida, 1931) 出露於頭份至竹東之間，呈東北走向；頭前溪南側上盤岩層為卓蘭層，下盤為頭料山層 (Tang and Hsu, 1970)；斷層介於新竹斷層與斗煥坪斷層等兩條右移逆斷層之間。由於斷層通過新竹科學園區東緣，921 地震

1 台灣大學地質科學系 (Dept. of Geosciences, National Taiwan University)

2 中正大學地球與環境科學系 (Dept. of Earth and Environ. Science, National Chung Cheng Univ.)

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

之後，政府與民間更是對於新城斷層的注意。本研究即針對新城斷層的古地震研究，尤其希望藉由槽溝開挖研究了解之前古地震事件發生的時間，以及藉由河階地形的研究了解斷層長期的活動性。

區域地質構造

從竹苗地區麓山帶的地質構造來看，以大平地斷層為界可畫分為兩個地質構造單元：斷層東側的內麓山帶，主要出露中新統，構造線大致為東北走向；斷層西側屬於外麓山帶，出露上一更新統以及晚期更新世以來的紅土化與未紅土化階地，構造線走向分為兩組，一組與內麓山帶的構造走向相同，另一組構造線為東北東走向。外麓山帶東北東走向的逆衝斷層應於晚更新世才形成，都具有右移型態，並截切前期東北走向的構造。從海岸線的形狀可以發現右移的逆斷層與海岸交會處都呈現階梯狀的海岸線。

從構造與地層的關係來看，大平地斷層以西的東北東走向構造線都截切晚期更新世紅土階地與未紅土化河階，並造成河階的變形與錯移；如湖口斷層、新竹斷層、新城斷層、竹東斷層與斗煥坪—大平地斷層造成紅土化河階與未紅土化河階堆積層的褶皺與錯移（Tang, 1968；Huang, 1984；石再添等，1985；楊貴三，1986；塗明寬與陳文政，1990；何信昌，1994；張瑞津等，1999）。從上述斷層與階地堆積層的關係來看（圖一），顯示大平地斷層以西的構造線於晚更新世至今還處於活動的狀態。

河階地形

頭前溪南側形成一系列的紅土河階（Lt1、Lt2、Lt3）與未紅土化河階（Ft1、Ft2）（圖一），這些階地的河階崖走向都與頭前溪平行排列，最老的 Lt3 階地位於最南側，依序由南向北，最年輕的 Ft1 階地位於頭前溪的南岸（圖一）。新城斷層截切這些河階，並於不同的階地形成高度不等的斷層崖（Huang, 1984；盧詩丁等，2000）。斷層兩側階地的高度差如下，Lt3 階地為 70 公尺，Lt2 階地為 55 公尺，Lt1 階地為 40 公尺，Ft2 階地為 20 公尺。從階地的分布可以發現，可能因新城與新竹斷層的活動，形成頭前溪南側河道抬升形成階地，同時也造成河道逐漸向北遷移。

新城斷層出露最佳地點是位在金山面東側河谷東岸的 Lt2 河階崖，可以發現卓蘭層逆衝覆蓋在 Lt2 階地礫石層之上，斷層向東南傾斜 38 度，此關係可以確定斷層於晚更新世還有活動（Huang, 1984）。位於新城斷層下盤的 Lt3 與 Lt2 階地，都受到

青草湖背斜的褶皺作用而形成撓曲的階面（圖一；石再添等，1985；楊貴三，1986；張瑞津等，1999）。

古地震研究

利用新城斷層與各階地的截切關係，加上階地年代，可以計算斷層的活動性，但是此方法所得結果是代表斷層的長期活動性，欲了解斷層近期的活動性以槽溝的研究最為適合，因為從槽溝剖面中可發現較近期的古地震事件，並計算出每次事件斷層的滑移量。本研究針對新城斷層共開挖 3 處槽溝，都位於新城斷層在 Lt3 階地上所形成的斷層崖之下（圖一），斷層上盤為卓蘭層構成的丘陵地，斷層沿著丘陵與 Lt3 階地的交接處，槽溝大致垂直斷層崖的走向開挖。以下分述 3 處槽溝及 1 處野外露頭的地層與構造特性，並探討新城斷層的古地震事件與活動特性。

（1）1 號槽溝（篤行營區，二度分帶座標：251622, 2740536）

（A）地層：槽溝位於篤行營區內，槽溝共開挖五階，長度約 150 公尺，深 10 公尺，寬 15 公尺（圖二）。開挖前經鑽探結果斷層兩側岩盤的落差為 15 公尺，而槽溝挖掘呈現的淺層剖面顯示上盤為卓蘭層的砂頁岩互層，上覆約 2 公尺厚的砂岩質河道礫石層。下盤由下而上分別為最下部為 1 公尺厚的變質砂岩質河道礫石層、砂層（碳 14 定年 > 50,000 年）、透鏡狀河道礫石層、紅土砂泥層、湖泊相砂泥層（碳 14 年代 ≤ 300 年）、砂層與最上層的回填土層（圖三）。

變質砂岩質河道礫石層之上的砂層經光螢光定年，年代為 66.9ka、63.4ka 與 63.4ka；與碳 14 定年所測年代（大於 50,000 年）吻合。砂層之上的透鏡狀河道礫石層所含的礫石以砂岩為主，從礫石岩性來看，此河道沉積物是屬於鄰近地區的河流堆積物，並非頭前溪的沉積物，本層所測得年代為 35.4ka。因此，1 號槽溝所處紅土台地的形成年代為 66.9-63.4ka。

湖泊相砂泥層超覆沉積於下盤的紅土層，接近斷層前端時逐漸變薄尖滅。湖泊沉積層下部為含大量碳質的黑泥，上部為砂層，總厚度約 1 公尺。砂層厚度約 20-30 公分，具平行層理與交錯層理，且呈現塑性變形構造，如火焰構造、旋捲構造、砂管構造，顯示砂層沉積後產生液化現象（圖四）。槽溝南側的斷層前緣厚達 4 公尺以上的湖泊相砂泥層，經碳 14 定年其年代至少為 1000 年（地表下 4 公尺）至 400 年（深度 1 公尺）。液化層大都是飽含水的砂層，淺層沉積層因上覆沉積層的負重太小而無法在自然狀態下產生液化，唯有地震強烈的剪應力使沉積物顆粒間的凝聚力突然喪失，才會產生液化現象（Bolt, 1999）。液化砂層位在下盤地表下約 1-2 公尺深，

僅被 1983 年的回填土層與含有磁碗碎片的河道沉積層覆蓋。液化層的年代小於 300 年，顯然此處於近數百年之間曾遭受大地震的影響。

(B) 構造：斷層位態 $N88^{\circ}E/30^{\circ}S$ 。地表受人為影響無法辨識斷層是否截切至地表，但斷層下盤的紅土層撓曲而向西傾斜，顯示紅土層形成後斷層還有活動。位於上盤的砂岩質河道礫石層被拖曳至斷層帶內(圖三)，且該層可與下盤的河道礫石層對比；從斷層兩側的層面研判，砂岩質河道礫石層的垂直抬升量至少有 1.8 公尺，沿斷層面的最小滑移量約 4 公尺。另外，上盤有另一截切岩盤與上覆砂岩質河道礫石層的斷層，傾角 40 度向南，垂直滑移量約 50 公分。

(2) 2 號槽溝 (篤行營區，二度分帶座標：251683, 2740639)

(A) 地層：槽溝位於 1 號槽溝北側約 50 公尺，槽溝開挖二至三階，長度約 30 公尺，深 4-6 公尺，寬約 8 公尺。上盤為卓蘭層的砂頁岩互層，上覆約 2-4 公尺的沖積層，由下而上的層序為淘選度良好的砂層、砂岩質河道礫石層、砂泥互層與紅土層。下盤岩層與上盤相同，為砂泥互層與紅土層。

(B) 構造：斷層截穿至最表層的紅土層，斷層位態 $N55^{\circ}E/25^{\circ}S$ (圖五)。從剖面的砂泥互層的錯移量計算，上下盤垂直落差 1.3 公尺，沿斷層面的最小滑移量約 3 公尺。主斷層的上盤亦可發現另一小斷層，切穿卓蘭層與砂層，但未截切砂岩質河道礫石層，但礫石層明顯受到撓曲，滑移量約 6 公分，傾角 $S15^{\circ}$ 。

(3) 3 號槽溝 (寶山路，二度分帶座標：250680, 2740086)

(A) 地層：可分為四層，最下兩層為黃褐色粉砂層，具黑褐色風化紋，下層較多；粉砂層之上為細粒的紅色土壤層，厚度不均，下盤厚度較厚；表層是回填土(圖六)。

(B) 構造：新城斷層出露於接近斷層崖的下側(西側)，槽溝中斷層位態 $N44^{\circ}E/29^{\circ}S$ ，近地表處傾角遞減至 10 度。紅土層受到斷層作用造成弧狀撓曲面。從斷層兩側紅土層的對比，顯示逆衝斷層具有 1.85 公尺之垂直位移，沿斷層的滑移量約 5.4 公尺(圖六)。槽溝中除新城斷層之外，下盤亦發現十數條小型的剪切構造，其傾向與新城斷層相反，為背衝斷層(back thrust)形式。背衝的剪切構造都被新城斷層所截切，顯示此構造屬於早期所形成。由於主斷層不僅切穿紅土層，可能為較近期的地震事件所造成。

(4) 頭前溪露頭

露頭位於頭前溪中正橋下游約 400 公尺處，河道北岸卓蘭層的砂頁岩層逆衝至

頭料山層的砂岩層之上，斷層剪切帶寬約 5 公尺。新城斷層走向約 N50°E，地表斷層傾角 SE30°，從斷層面擦痕顯示滑移方向為 NW40-60°，顯示為逆滑斷層（圖七）。

頭前溪南岸 Ft1 河階的河拔高約 5 公尺，斷層下盤地層分為四層，底部為香山相砂岩，其上不整合堆積一層厚約 1 公尺含人造物品的河相礫石層，之上為厚約 4.5 公尺的礫石層，最上層為厚約 2 公尺的現代砂礫層（圖八 a, b）。斷層所截切的階地礫石層，兩側岩盤的垂直錯移量約 3.4 公尺，但是斷層被最上層的近代砂礫層覆蓋，顯示近代形成的河階表面未受到擾動。第二層河相礫石層的礫石明顯受斷層的拖曳作用，造成礫石長軸方向與斷層面平行排列（圖 8a；李元希等，2002）。

頭前溪南岸的 Ft1 階面在斷層兩側沒有明顯的高差，可能原因是經常受到現今河流的沖蝕，因此現今 Ft1 階地的沉積層不是該階地形成初期的沉積物。從 Ft1 面最表層的現代沉積層，明顯指示頭前溪的沉積物可以堆積至現今 Ft1 階地表面，所以 Ft1 階地在斷層兩側未形成高差，且未具斷層崖地形。本研究在現代沖積層之下的礫石層中採取一漂木（圖八 a），經碳 14 年代測定為 270±35 yr. BP，斷層已截切此礫石層並造成礫石的順斷層面排列，顯示新城斷層於近 300 年之內曾經活動。

討論與結論

（1）從 3 個槽溝剖面來看，新城斷層都已截切至地表的紅土層，並造成紅土層的擾動，但限於地層較老（Lt3 階地）及地表多已遭受人為擾動，無法分析古地震事件的發生年代。但由槽溝剖面來看，至少發現有兩次的古地震事件。如前所述，最近一次的地震發生約於 300 以來，比對台灣歷史地震紀錄，此期間可能在新竹地區發生的大地震共有三次，分別為西元 1811 年、1815 年與 1881 年，因為這些地震的受震範圍均可以遠至福建及台灣南部地區，並於桃竹苗地區造成重大傷亡，且陸續都有較大餘震發生（陳文山等，2002）。若以受震範圍評估地震規模，1811 年與 1815 年地震可能都屬於規模 7 以上的大地震（蔡義本，1978；徐明同，1983；鄭世楠與葉永田，1989）；而新竹地區於 1871 年撰寫淡水廳志，假若 1881 年是造成地表破裂的大地震，應有傷亡與建築物破壞的詳細記載。因此，可以排除 1881 年地震，而 1811 年與 1815 年兩者之一可能與新城斷層最近一次的活動有關。

（2）目前新城斷層的長期活動性或週期尚未有足夠的資料，但以目前資料可評估最近一次活動造成的地表抬升量。首先由頭前溪第二層礫石層的錯移量來看，地表垂直抬升高度可達 3.4 公尺。雖然各槽溝的古地震事件都沒有年代資料，但是頭前溪剖面的斷層活動可能是最近一次地震所造成，因此推測槽溝內最後一次的古地震事件可能代表最近期活動所造成的錯移。分析最近一次的古地震造成各槽溝地點的

垂直位移量如下：1 號槽溝 1.8 公尺、2 號槽溝 1.3 公尺以及 3 號槽溝 1.85 公尺，由此推論最近一次地震造成的地表變形量約 1.3-1.85 公尺之間。此種規模的地表變形量可以比擬於集集地震的地表變動，因此新城斷層上次活動的地震規模可能大於 7.0。

(3) 以最老的 Lt3 階地在新城斷層兩側所形成的高差，來計算階地形成後斷層的每年垂直位移量，再以此位移速率來估算 Lt2、Lt1、Ft2 與 Ft1 的可能形成年代。Lt3 的年代為 66.9-63.4ka，而新城斷層兩側的高差為 70 公尺；以此估算新城斷層上盤平均的抬升量約每年 1.0 公厘。假設新城斷層長期抬升速率是穩定的抬升，以此抬升速率來估算，Lt2 階地的年代約為 52ka，Lt1 階地的年代約為 38ka，Ft2 未紅土階地的年代則為 19ka。

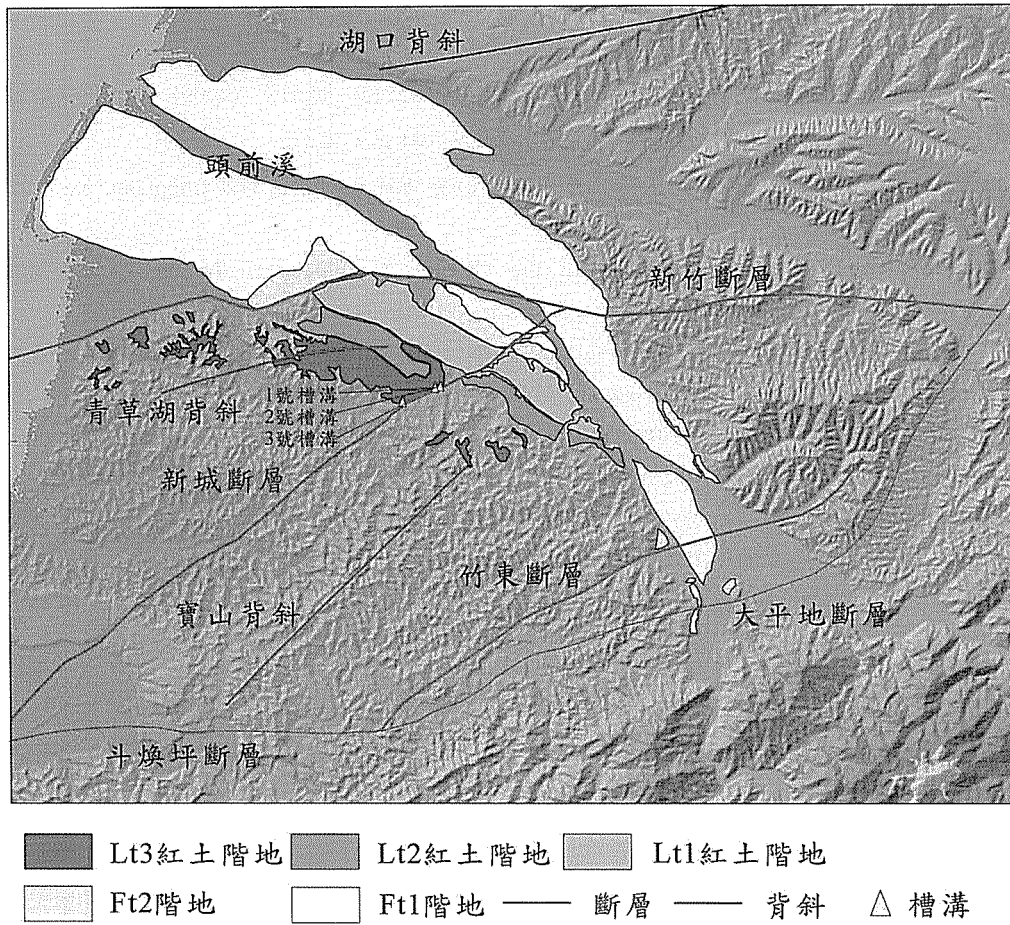
誌謝

本研究經費來自經濟部中央地質調查所之九十年『斷層活動性調查』—新期構造、古地震與槽溝開挖研究，以及九十一年『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(1/5)(計畫編號：91ECA38104)，特此致謝。

參考文獻

- 石再添、鄧國雄、張瑞津、楊貴三(1985)竹東台地的活動斷層與地形面。國立台灣師範大學地理教育，第 9 期，1-16 頁。
- 何信昌(1994)苗栗圖幅，五萬分之一地質圖幅第十二號。經濟部中央地質調查所，共 69 頁。
- 李元希、石同生、盧詩丁、林燕慧、林偉雄(2002)新城斷層與新竹斷層活動性研究。「台灣之第四紀」第九次研討會論文集，12-15 頁。
- 徐明同(1983)明清時代破壞性大地震規模之震度評估。中央氣象局氣象學報，第 29 卷，第 4 期，1-18 頁。
- 張瑞津、鄧國雄、劉明錡(1999)頭前溪階地之地形學研究。地理研究報告，第 31 期，61-81 頁。
- 陳文山、李昆杰、李龍昇、張憲卿(2002)車籠埔—大尖山斷層的歷史地震紀錄。地質，53-60 頁。
- 蔡義本(1978)二十世紀以前台灣西部強烈地震之回顧。科學月刊，第 9 卷，第 11 期，31-35 頁。
- 楊貴三(1986)台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，178 頁。
- 鄭世楠、葉永田(1989)西元 1604 年至 1988 年台灣地震目錄。中央研究院地球科學所，255 頁。

- 塗明寬、陳文政 (1990) 中壢圖幅，五萬分之一地質圖幅第七號。經濟部中央地質調查所，共 31 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) 台灣北部新竹地區活動斷層調查。中國地質學會年年論文集，308-310 頁。
- Bolt, B. A. (1999) *Earthquakes*: (ed. by Bruce A. Bolt), W.H. Freeman and Company, New York, p.235-237.
- Huang, C. S. (1984) Quaternary Faults in the Coastal Area Between Hsinchu and Chunan, Northwestern Taiwan: *Spec. Publ. Cent. Geol. Surv.*, 3, 103-126.
- Tang, C. H. (1968) Photogeological Observations on the Low Hilly Terrain and Coastal Plain Area of Hsinchu, Taiwan: *Petrol. Geol. Taiwan*, 6, 71-79.
- Tang, C. H. and Hsu, C.H. (1970) Subsurface Geology and Petroleum Deposits in the Hsinchu Area: *Petrol. Geol. Taiwan*, 7, 89-101.
- Torii, K. and Yoshida, K. (1931) *Report of the geological survey of the Miaoli and Chutung oil fields*: Bureau of Productive Industries, Government-General of Taiwan, Publ. no, 585.



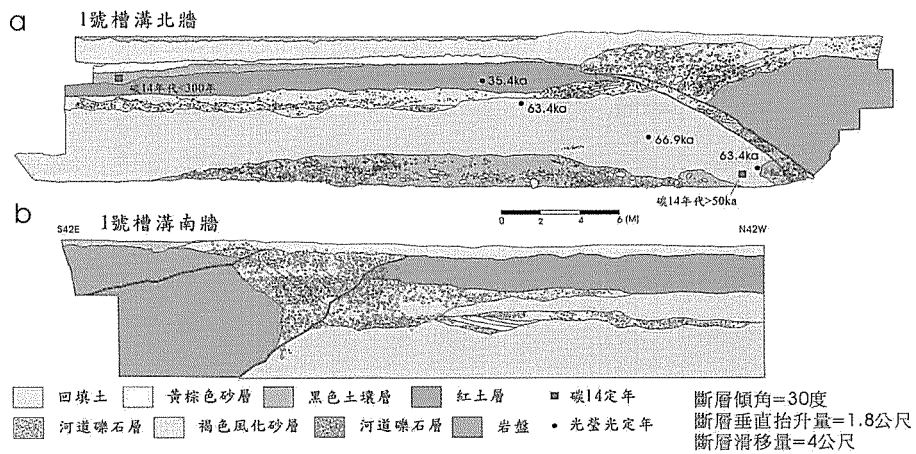
圖一 竹苗地區晚更新世所形成的構造主要呈東北東走向，包括新竹斷層與斗煥坪-大平地斷層。新竹與新城斷層截切頭前溪南岸晚更新世至全新世階地。槽溝開挖位於 Lt3 紅土階地的斷層崖。

Fig.1 Sketch map of river terraces for DTM. All these terraces (Lt1-3, Ft1-2) have been offset by the Hsincheng fault. Trenches (yellow triangle) are located at Lt3 lateritic terrace.



圖二 1號槽溝北牆的斷層帶,共有5階,卓蘭層逆衝到晚更新世的河流相砂礫層之上(洪如江教授攝)。

Fig.2 Northern-wall profile of Trench 1. The Hsincheng fault cut through the late Pleistocene fluvial and colluvial deposits.



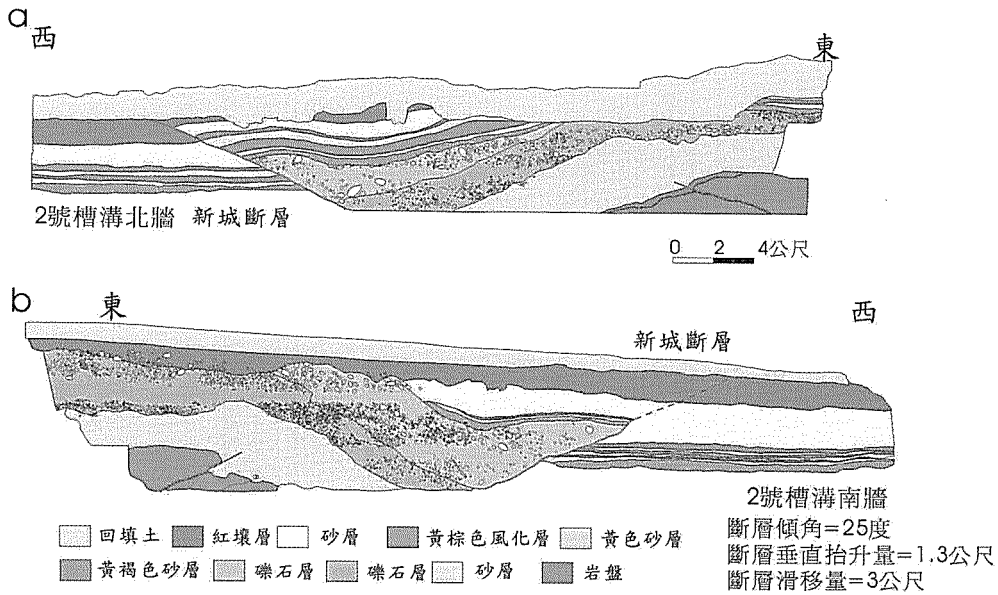
圖三 1號槽溝南北剖面圖。(a) 北牆剖面,卓蘭層逆衝至晚更新世紅土與砂礫層之上,紅土層上覆沉積近代湖泊相砂泥層。(b) 南牆沉積層與北牆剖面相似,但於主斷層上盤另具有一小斷層截切卓蘭層與上覆的砂礫層。

Fig.3 Northern-wall (a) and southern-wall (b) profiles of Trench 1 of the Hsincheng fault. The Plio-Pleistocene strata overthrust onto the late Pleistocene fluvial and colluvial deposits.



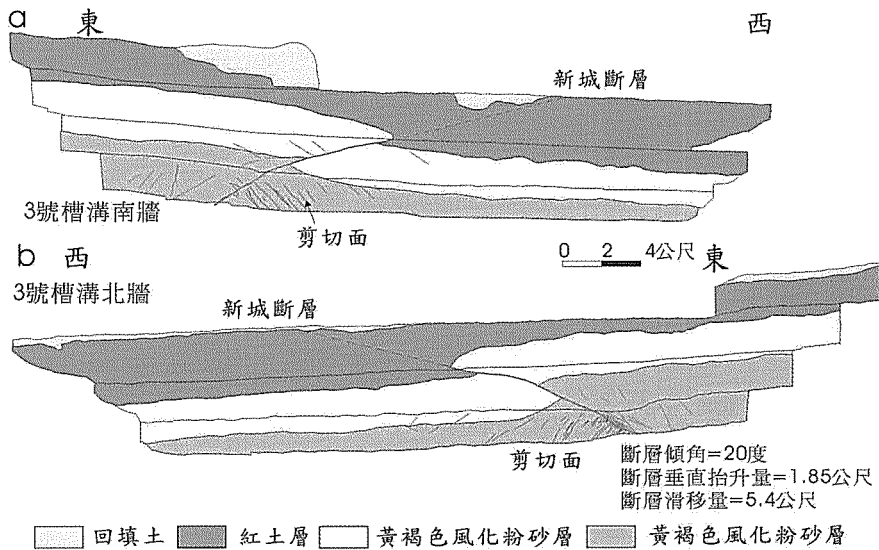
圖四 底部黑色泥層受到上覆砂層液化作用的擾動形成不平整的接觸面，砂層向下擠壓產生荷重構造，泥層形成旋捲或火焰構造。

Fig.4 Lacustrine sediments consist of loading and flame structures due to coseismic liquefaction. The radiocarbon dates of lacustrine deposits yield the modern age (<300 BP yr) for the C14 dating.



圖五 2號槽溝南北剖面。南北剖面都可以發現礫石層之上的砂泥互層被斷層錯移，另外在主斷層上盤中有一剪切構造，截切卓蘭層與上覆砂層。

Fig.5 Northern-wall (a) and southern-wall (b) profiles of Trench 2 of the Hsincheng fault. The late Pleistocene fluvial deposits and laterite are offset by the fault.



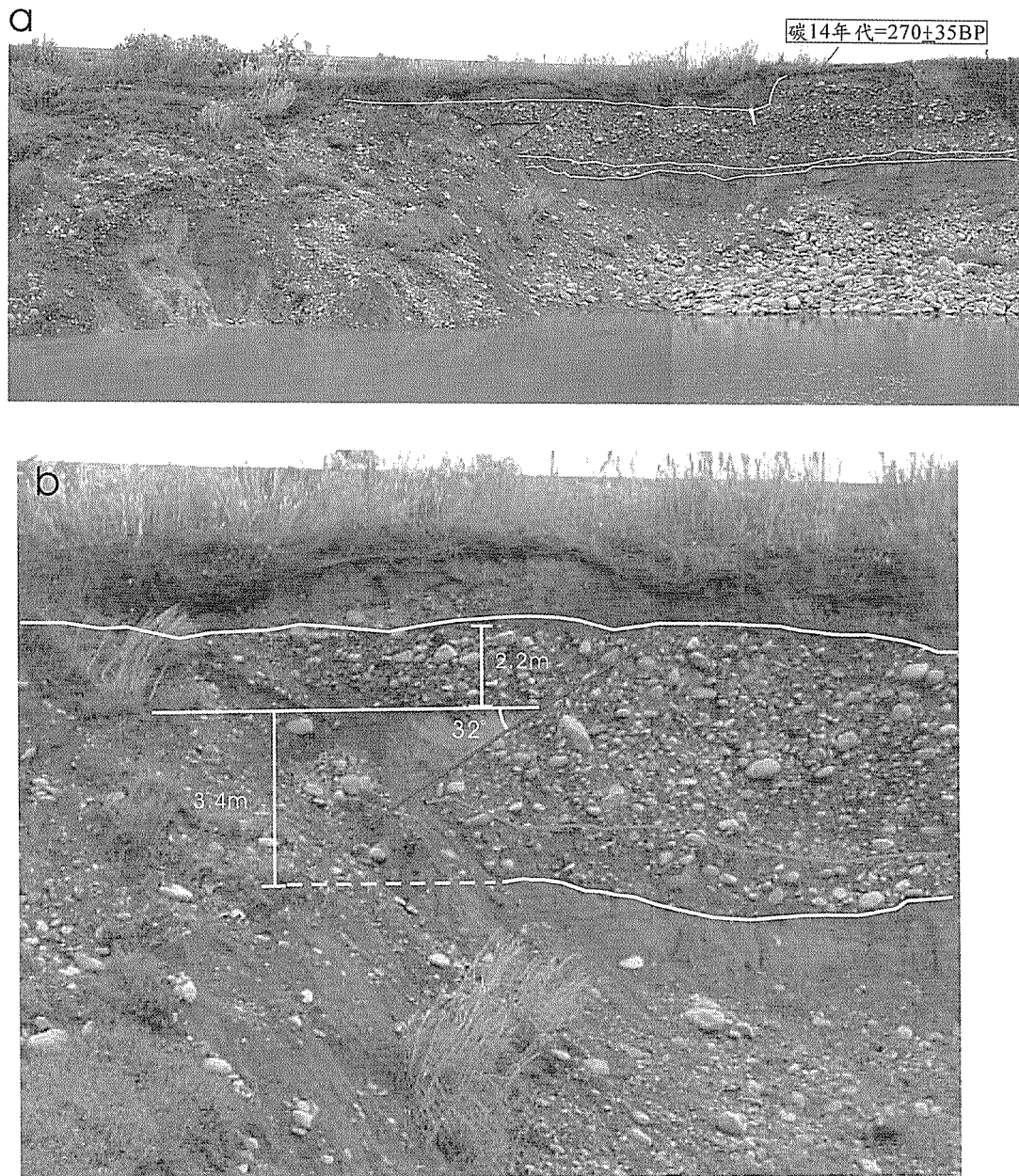
圖六 3號槽溝南北剖面皆可以發現紅土層與粉砂層被斷層截切，於斷層下盤的粉砂層具有與主斷層反向的逆衝作用的剪切構造，這些構造都被向西逆衝的主斷層截切。

Fig.6 Southern-wall (a) and northern-wall profiles (b) of Trench 3 of the Hsincheng fault. Several minor backthrusts are offset by the major thrust which cut through Lt3 laterite.



圖七 頭前溪北岸新城斷層露頭，形成一寬約 5 公尺斷層帶。上盤卓蘭層逆衝至層面近乎水平的香山相砂岩之上。

Fig.7 Outcrop in northern bank of the Touchienhsi River. The Cholan Formation overthrust onto the Toukoshan Formation.



圖八 (a) 新城斷層逆衝至 Ft2 河階礫石層之上, 碳 14 定年標本採至第二層礫石層。(b) 斷層的垂直抬升高度約 3.4 公尺, 最表層的現代沖積層覆蓋於斷層之上。

Fig.8 (a) outcrop in southern bank of the Touchienhsi River. (b) The Hsincheng Fault cut through fluvial gravel deposits which date by the C14 dating yielding the modern age (<300 yr. BP).