

臺灣中部大甲溪至頭汴坑溪九二一集集地震 地表變形模式

黃文正¹ 陳致言¹ 劉思好¹ 林燕慧¹ 林啟文¹ 張徵正¹

摘要

九二一地震台灣中部大甲溪至頭汴坑溪之間的地表變形帶，為車籠埔斷層再活動所造成，全長約19公里。依變形帶的走向，以豐原市下南坑為界可分為南、北兩段：北段變形帶呈東北-西南走向，大部分位處山地與平地的交界；南段呈南北走向，大部份位在山區。大體上，變形帶的垂直抬升量由北往南遞減，最大抬升量約為5公尺。

變形帶有地表隆升的撓曲崖及地表錯移抬升的斷層崖兩種類型。本區中變形帶特徵以撓曲崖為主，斷層崖極少見。藉由河床的基岩所出露的斷層崖，與其鄰近表層未膠結沈積物所出露的撓曲崖相連接的現象，可證實撓曲崖仍為斷層作用所造成，僅因覆蓋材質不同所致。

各處的地表變形出現不同的構造，包括有（1）西向的主要逆斷層；（2）西向錯移量較小的次要逆斷層；（3）東向的逆斷層；（4）與變形帶走向平行與垂直的伸張裂縫；（5）與變形帶走向斜交的雁形裂縫及（6）塊體翻倒等，這些地表的變形帶形貌則受控於斷層的形態、地下岩層的岩性與層態，以及地表上覆蓋層的岩性。同時也顯示車籠埔斷層於淺部呈現覆瓦狀展開型斷層（imbricate splay faults）的構造形貌，於地表則為一斷層帶。本文認為此次的地震斷層應為車籠埔斷層帶中的一些分叉斷層，因此地震斷層與地質斷層應有所區別。

關鍵詞：地表變形、撓曲崖、斷層崖、地震斷層

1. 經濟部中央地質調查所

壹、前 言

台灣島位處環太平洋地震帶，地震發生頻繁。1999年9月21日凌晨臺灣中部發生芮式規模7.3的大地震，此一地震造成明顯的地表變形，形成一條約百餘公里長的變形帶。該變形帶北起於卓蘭以東之白布帆，往西南延伸至豐原後轉向，再往南延伸經台中、霧峰及名間，再往南過濁水溪於竹山南轉向西南切過清水溪上桶頭橋（經濟部中央地質調查所，1999a）。變形帶的位置與臺灣活動分布斷層圖（張徽正等，1998）中的車籠埔斷層跡及大尖山斷層跡息息相關，推論地震應為這兩條斷層之相關活動所引起。

本文藉由此次地震在大甲溪至頭汴坑溪間的地表變形特徵來分析地表破裂模式，並探討車籠埔斷層與地震斷層之間的關係。

貳、區域地質

一、地形

本研究區北起大甲溪，南至頭汴坑溪，在地形上本區呈現兩個差異明顯的地勢。東側豐原山地，其山麓線大致呈現南北走向的直線狀；西側為台中盆地，山地與盆地間為逆衝斷層接觸。

豐原山地屬西部衝上斷層地塊（林朝棨，1957），分佈於大甲溪以南，雙冬斷層以西，西臨臺中盆地，南界為烏溪所截斷，長約30公里，寬約10公里。山地的西半部主要由砂岩與頁岩的互層所構成，岩性差異加上降雨量多，形成本區具明顯的豚背脊地形。山地的東半部則出露膠結較差的礫石層，受雨水沖刷後則呈現惡地地形。山地的東北端有大甲溪遷徙所形成的新社階地群。

臺中盆地係一狹長的盆地，其南北縱長約40公里，北端於豐原附近寬約9.5公里，於台中附近約14公里，往南逐漸變窄，尖滅於濁水溪北岸。盆地的北邊為大甲溪截切，與大甲溪北岸的后里臺地隔溪相對，盆地西側為大肚臺地與八卦臺地，東側與西部衝上斷層山地以斷層相接觸。盆地北部為大甲溪古沖積扇，中部有由大里溪、烏子溪及頭汴坑溪造成的合成沖積扇及烏溪沖積扇。

二、地層

本區橫跨西部麓山帶及平原區（何春蓀，1975），出露地層包括錦水頁岩、卓

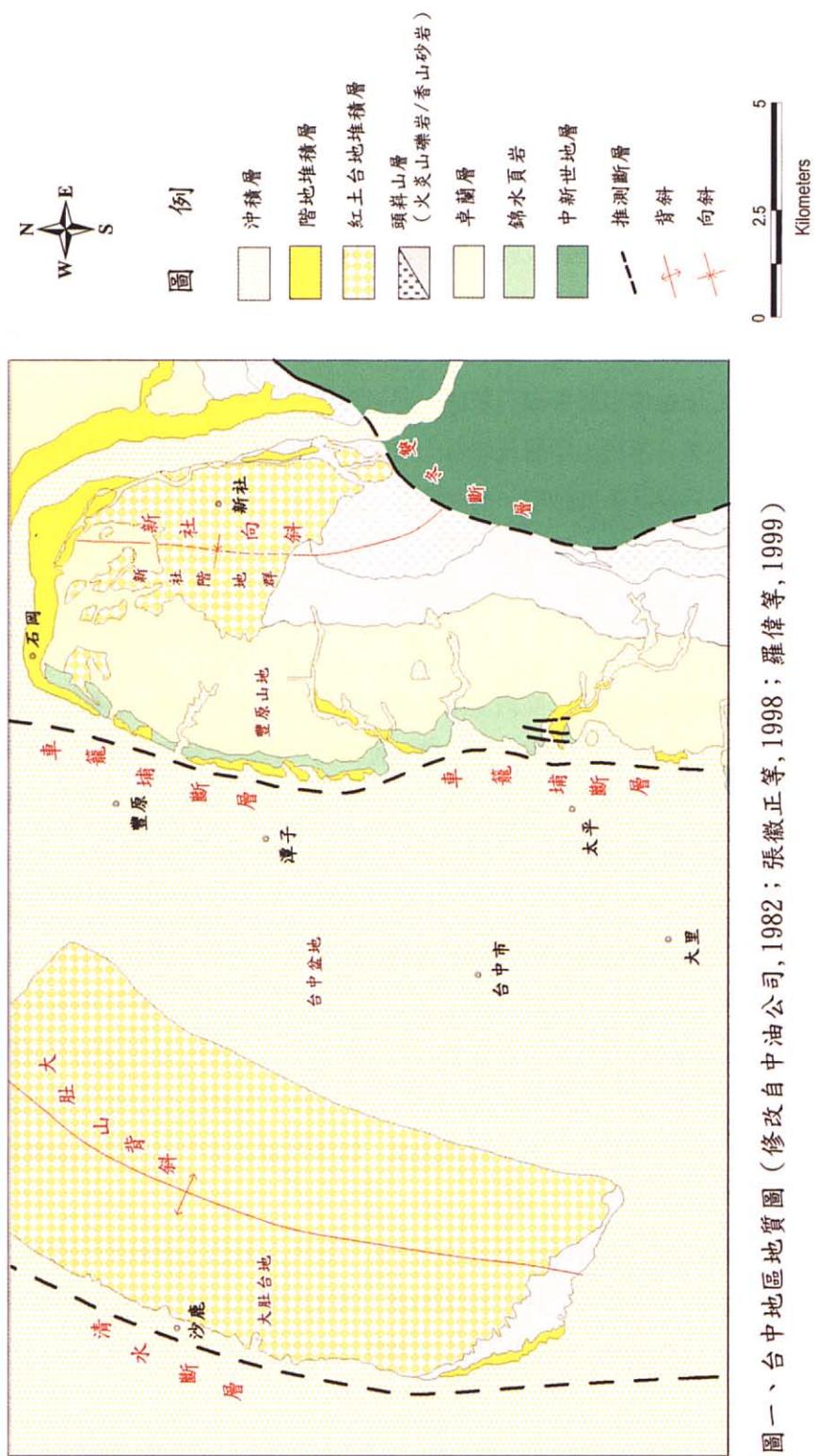
蘭層、頭料山層、紅土台地礫石層、階地堆積層及沖積層。錦水頁岩以深灰色頁岩為主，間夾薄層粉砂岩與泥岩，本層分佈於豐原山地的最西側，下部為車籠埔斷層所截而未出露。卓蘭層的岩性為青灰色至淡灰色細粒至粗粒泥質混濁砂岩、粉砂岩、砂質頁岩及砂岩與頁岩互層所組成，下部以砂質頁岩與砂岩互層為主，向上砂岩比例逐漸增加，其間夾有十數層約5~20公尺厚的砂岩，本層分布於豐原山區的西側。頭料山層主要由礫岩、砂岩或砂岩與礫岩互層所組成，可區分為以砂岩為主及以礫石為主的兩種岩體，兩者為犬牙交錯關係，分布於豐原山地的東側及大肚台地。紅土台地礫石層以礫岩為主，間夾透鏡狀薄至厚層之混濁砂岩一般台地面與地層層面平行，受紅土化作用影響礫石層最上部呈現紅色，分佈於大甲溪左岸之新社階地群，本層以不整合覆於卓蘭層及頭料山層之上。階地堆積層由未膠結的礫石及砂所組成，其間夾透鏡狀薄層砂岩，淘選度差，未受紅土化作用。現代沖積層由未固結之礫石、砂、粉砂及黏土等組成，分布於台中盆地、大甲溪及烏溪主支流河床及其沖積平原上，其厚度各地不等。本區的地層分布情形見圖一。

三、地質構造

本區位處褶皺衝斷帶，由三條約呈南北走向的逆移斷層所切割，各斷層間伴隨有褶皺構造。一般認為本區係受到來自東邊的推擠力，致使岩層產生向西上衝的逆滑斷層，於推擠力持續作用下，新斷層發育於舊斷層的西側，因此形成覆瓦狀斷層系統。這些斷層多為低角度斷層，但於出露地表時呈現高角度的彎曲斷面。

本區的斷層構造由東向西分別為雙冬斷層、車籠埔斷層及清水斷層。雙冬斷層為逆移斷層，斷層面向東傾斜，斷層上盤出露桂竹林層，下盤出露頭料山層，斷層跡約呈南北走向，斷層南起自烏溪南岸之雙冬，向北延伸至大甲溪畔的馬鞍寮與大茅埔斷層連接。車籠埔斷層為本區最重要的逆滑斷層，將在後節中作詳細敘述與討論。清水斷層（張徽正等，1998）最早由林朝棨（1956）根據地形特徵所提出並命名為彰化斷層，該斷層由於缺少斷層露頭證據，斷層性質並不明確，推測應屬盲斷層。

本區的褶皺構造包括新社向斜及大肚山背斜。新社向斜位在豐原山地的東側，褶皺軸約呈南北走向，為兩翼對稱的開闊褶皺。大肚山背斜位在大肚臺地，褶皺軸約呈北北東走向，為西翼略陡於東翼的開闊褶皺。本區主要的地質構造見圖一。



圖一、台中地區地質圖（修改自中油公司, 1982；張微正等, 1998；羅偉等, 1999）

參、地表變形帶特徵

九二一地震地表變形帶在大甲溪至頭汴坑溪之間，橫跨臺中縣豐原市、潭子鄉、臺中市北屯區及臺中縣太平市等地區，長約19公里。變形帶走向於下南坑南方呈現轉折，北段由埤豐橋東側經中等學校教師研習會、聯合新村、上南坑、中正公園至下南坑南方，呈東北--西南走向，長約5.0公里（圖二）；南段由下南坑南方經佛音寺、林牛山西方、湧底路、大坪、軍功國小、廊子、廊子坑口、至麗園別墅中斷，往南再現於坪林東方，延伸至頭汴坑溪，約呈南北走向，長約14公里（圖二、圖三及圖四）。變形帶位置於埤頭至上南坑間在山麓前緣的崩積坡上，於中正公園至下南坑間在山麓前緣，於下南坑南方至烏牛欄溪間在階地前緣，於烏牛欄溪至大里溪間在山區，於烏牛欄溪至廊子坑溪間在山麓前緣，於坪林東方至頭汴坑溪間在山區；總結上述：北段變形帶位置大部份在山麓前緣，南段則大部份在山區。

本區的變形帶特徵以東高西低的單斜（monocline）為主，僅數處河床基岩出現逆移斷層及朴子里與中正公園於變形前緣（leading edge）的東側出現西高東低的單斜。變形帶中另可觀察到伸張裂縫、雁形排列裂縫、斷層擦痕、小規模斷層及小規模褶皺等次生構造。本區主要露頭點的變形特徵見表一。

變形帶內具有相對高差，若其特徵為單斜者即撓曲崖；為斷層者即斷層崖。

其各處的抬升量（圖二至圖四），沿變形帶以埤豐橋為起點每500公尺間隔，取其中的最大抬升量繪製成圖五。其中北段變形帶的抬升量介於2.5~5公尺之間，抬升量呈現明顯往南遞減的趨勢；南段的抬升量呈現極大的差異，但整體而言具有往南遞減的趨勢。如此的變化趨勢與衛星定位測量（GPS）在本區地表位移量測量（經濟部中央地質調查所, 1999b）具有同樣結果，顯示出變形帶的抬升量，同時也反應斷層上下盤的錯動量變化。

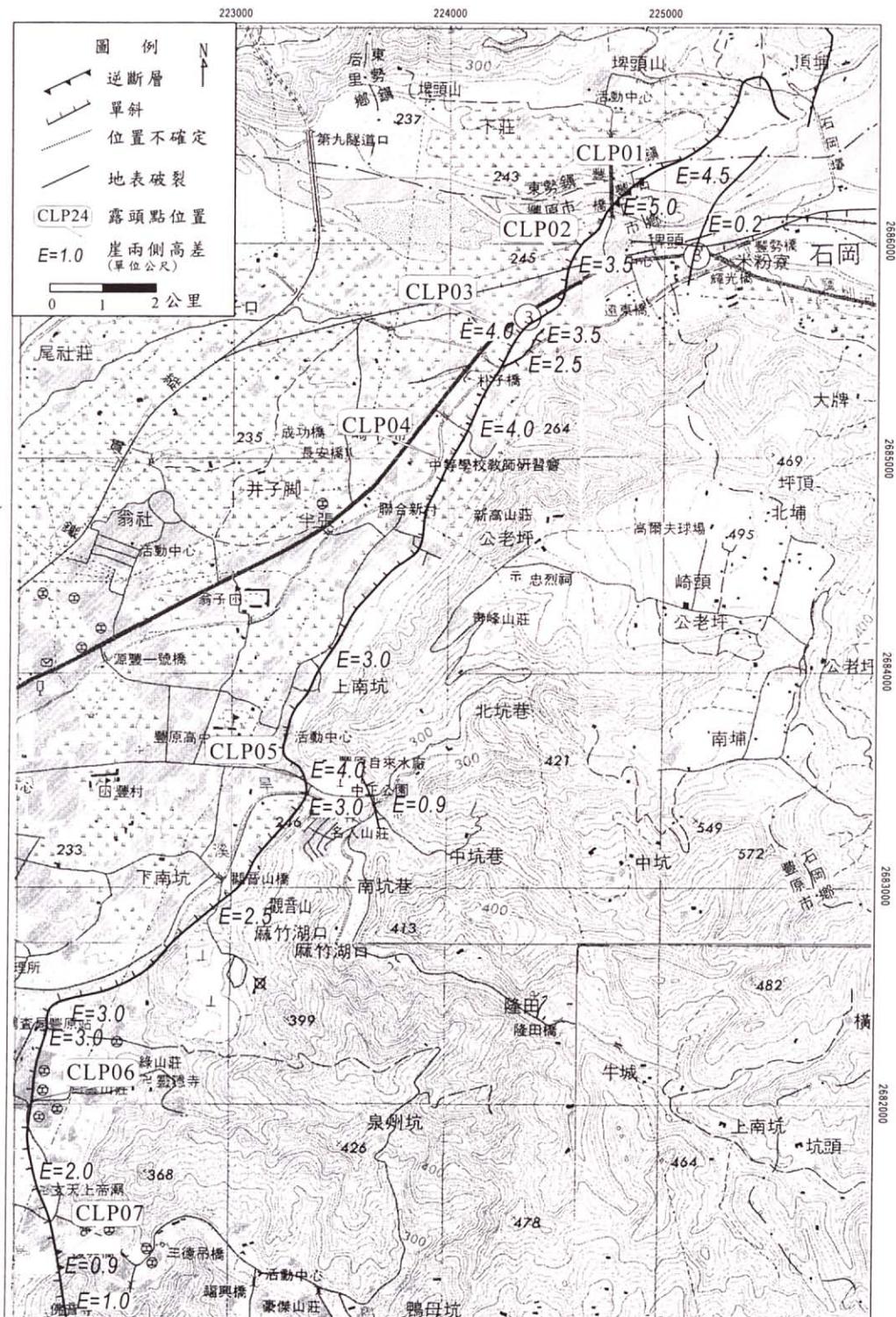
肆、地表變形模式的探討

九二一地震地表變形在本區有以下幾種構造形態（圖六）：

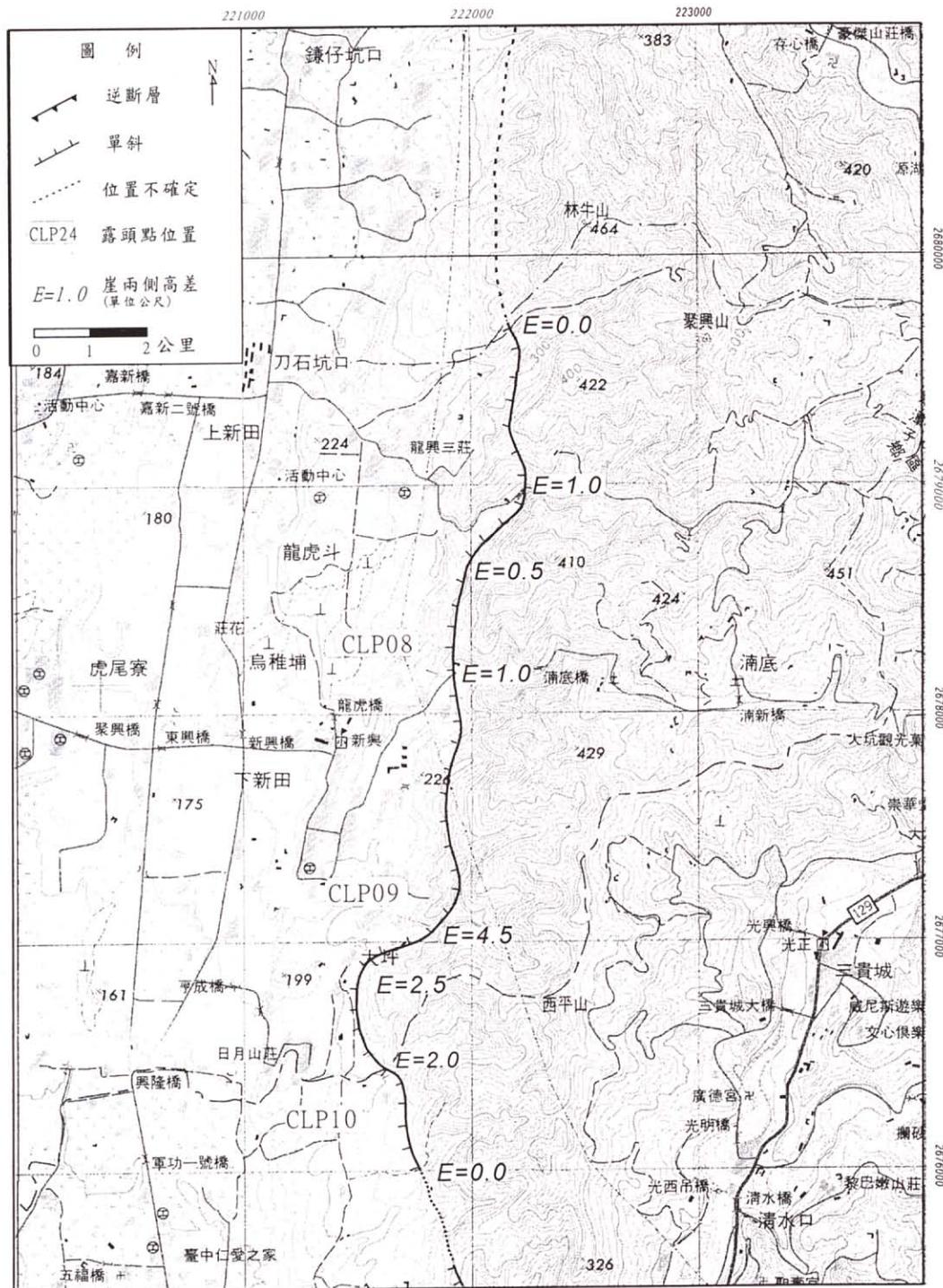
1. 斷層崖，斷面上具有擦痕（圖六A），以埤豐橋東側大甲溪河床之斷層崖為代表；有時則出現兩道斷層崖（圖六B），以大里溪河床之斷層崖為代表。
2. 地表明顯撓曲，未見斷層崖出露，有數組伸張裂縫出現（圖六C），以北陽里

表一 九二地震變形帶本區主要露頭相關資料表

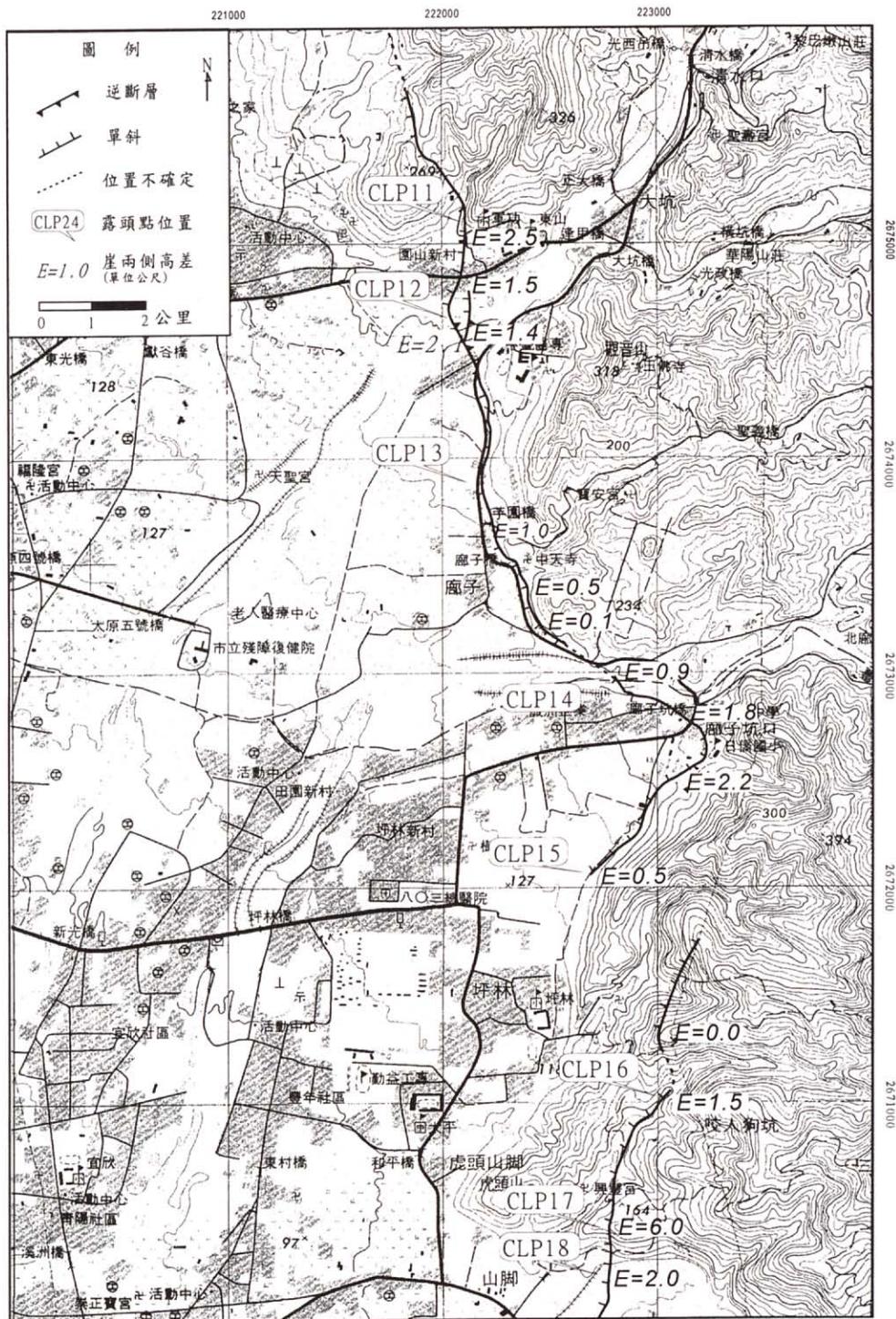
位置點	露頭編號	照片 (圖版)	垂直高差 (公尺)	變位基準	水平位移 (公尺)	變位基準	變形帶寬 (公尺)	錯動地層	次生構造
坤豐橋	CLP01	一.A 二.B	5.0 3.5	河床 馬路	左移 5.0 馬路 (NE75°)	10	錦水頁岩	斷層、斷層擦痕	單斜褶皺 (monocline)
東豐自行車道	CLP02	一.C 二.B	3.5	馬路	左移 5.0	10			
朴子里	CLP03	二.A 二.B	4.0 (西側) 3.5 (東側)	馬路 地面		400			單斜褶皺、伸張裂縫
教師研習會	CLP04		4.0	水稻田		30			單斜褶皺、伸張裂縫
中正公園	CLP05		3.0 (西側) 0.9 (東側)	馬路 馬路		250			單斜褶皺、小規模褶皺、伸張裂縫、雁形排列裂縫
南陽路	CLP06		3.0			20			單斜褶皺
烏牛欄溪	CLP07	二.C	0.9 3.5	河床 五米田	左移 2.5 (NW70°)	30	錦水頁岩	斷層、斷層擦痕	
楠底路	CLP08		1.0	馬路		30			單斜褶皺
大坪	CLP09		2.5	水泥路		30			單斜褶皺、伸張裂縫
6.7.8 號步道	CLP10					70~80			伸張裂縫
軍功國小	CLP11		2.5	馬路		100			單斜褶皺、伸張裂縫
大里溪	CLP12	三.A 三.B	2.1 (西側) 1.4 (東側)	河床 河床		150	錦水頁岩	斷層、斷層擦痕	
鄉子	CLP13		1.0	竹園		40			伸張裂縫
鄉子坑口	CLP14	三.C	1.8	馬路		500			單斜褶皺、伸張裂縫
麗園別墅	CLP15	四.A	2.2	馬路		10			單斜褶皺
開天寺南方	CLP16	四.B	1.5	馬路		10			單斜褶皺、伸張裂縫
山腳	CLP17	四.C	8.0	馬路	左移 10	馬路 (EW)	150		單斜褶皺、伸張裂縫
頭汴坑溪	CLP18		2.4	橋身		300			單斜褶皺、伸張裂縫
			2.0	河床					



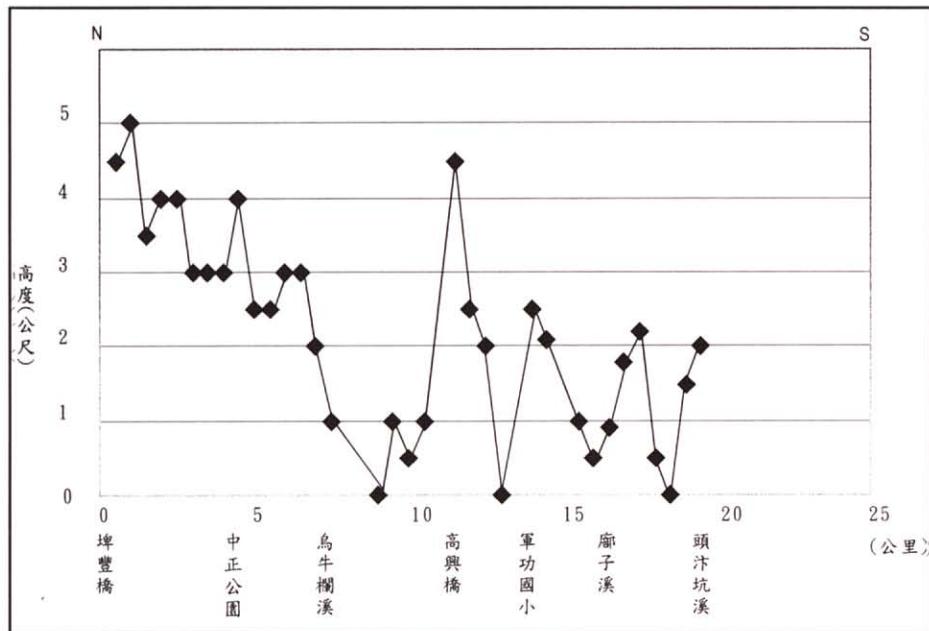
圖二 台中縣豐原市地表破裂露頭點位置與相對抬升量圖。



圖三 台中縣豐原市、潭子鄉及台中市北屯區地表破裂露頭點位置與相對抬升量圖。



圖四 台中縣太平鄉地表破裂露頭點位置與相對抬升量圖。

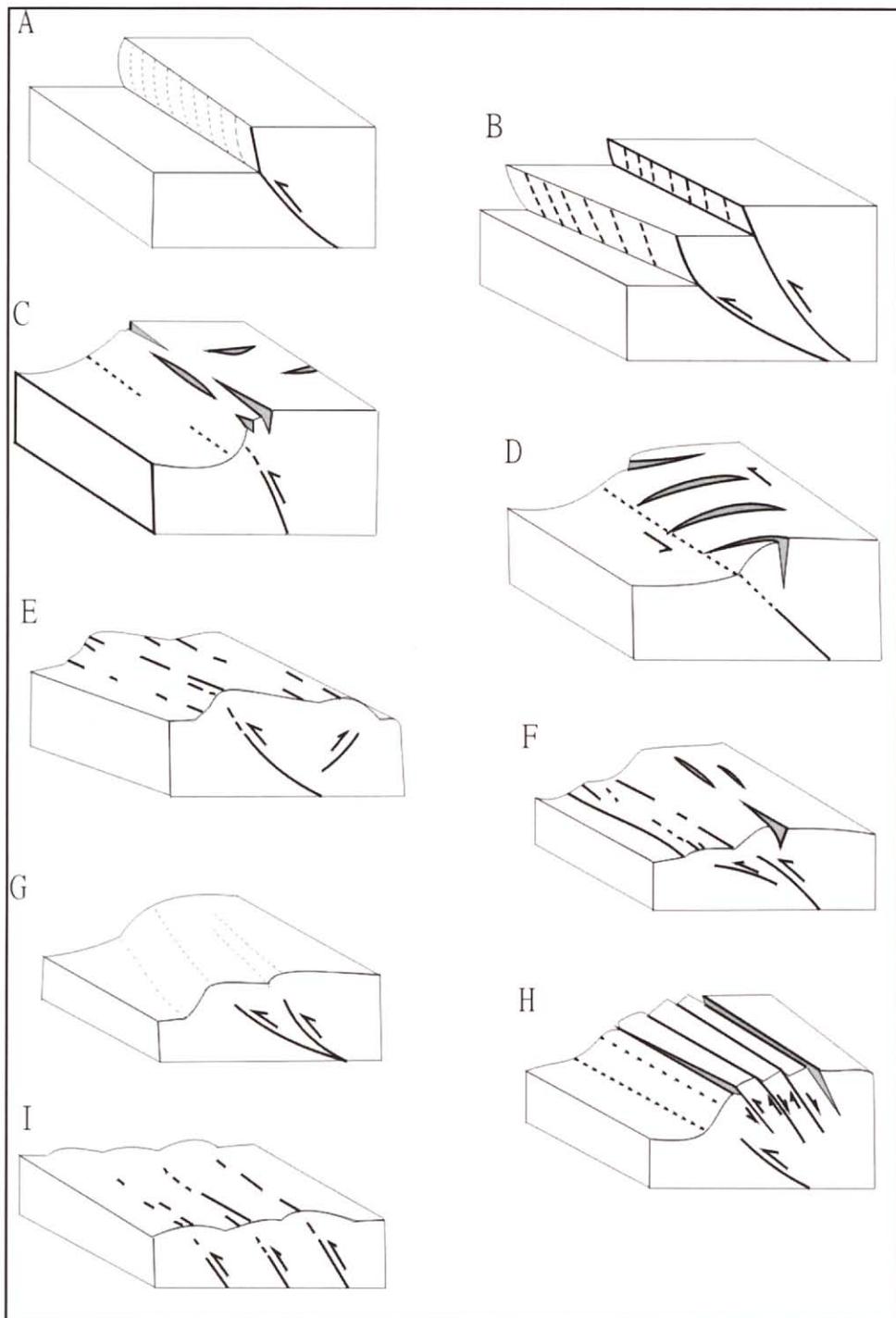


圖五 集集地震斷層大甲溪至頭汴坑溪段的抬升量，橫坐標為與埤豐橋的距離，縱座標為相對抬升量。

變形帶為代表。其中一組伸張裂縫平行撓曲軸，出現在最大彎曲度的位置；另一組伸張裂縫垂直撓曲軸，以中等學校教師研習會旁水稻田之伸張裂隙為代表。有時在崖坡上也會出現雁行的伸張裂縫，指示除了逆滑外尚具有左移或右移分量（圖六D），以豐原中正公園之公園一號橋南端的變形即具有左移分量。

3. 地表隆升成地壘狀，兩側皆有撓曲崖（圖六E），以豐原中正公園為代表。
4. 地表出現階梯狀的隆升崖及伸張裂縫（圖六F、G），以大里溪河床沖積層上之檳榔園為代表。
5. 地表突然隆升加上重力作用，造成撓曲崖上岩體翻倒（toppling，圖六H），以豐原市第二公墓為代表。
6. 地表出現一道或數道平行的隆升（圖六I），僅有一道隆升現象以廊子溪河床礫石層之隆升為代表，數道平行的隆升現象則以武齡殿東方100公尺處的地表變形為代表。

根據野外調查結果，地表變形形貌的差異，與近地面覆蓋物質的岩性、厚度及地下構造的差異有關。本區地表的覆蓋物質有基岩、第四紀膠結不佳的砂層及礫石層，以及土壤或草坪。一般而言，在基岩出露時出現斷層崖；在未膠結沉積物作為覆蓋層時，則因沉積物厚度不同而出現不同的形貌。當斷層的錯移由基岩過渡到沉



圖六 大甲溪至頭汴坑溪地表破裂形貌。A：單一斷層崖；B：兩道斷層崖；C：地表撓曲，兩組正交之伸張裂隙；D：地表撓曲，一組雁行排裂之伸張；E：地壘狀隆升；F：階梯狀隆升崖及伸張裂隙；G：數道不平行之隆升崖；H：撓曲崖上岩體翻倒；I：數道平行之隆升崖。

積物時，沉積物內產生顆粒間滑動（intergranular sliding），使得覆蓋層內局部變得更疏鬆，局部位置則變得更緊密，亦即沉積物充當為調適層，因此覆蓋層的層厚影響錯動面是否出露地表。此外，在覆蓋層為土壤及草坪時，則呈現塑性變形特徵，而使地面未出現斷裂的現象。控制地表變形特徵的另一項重要因素為地下構造的型態，將在後節予以討論。

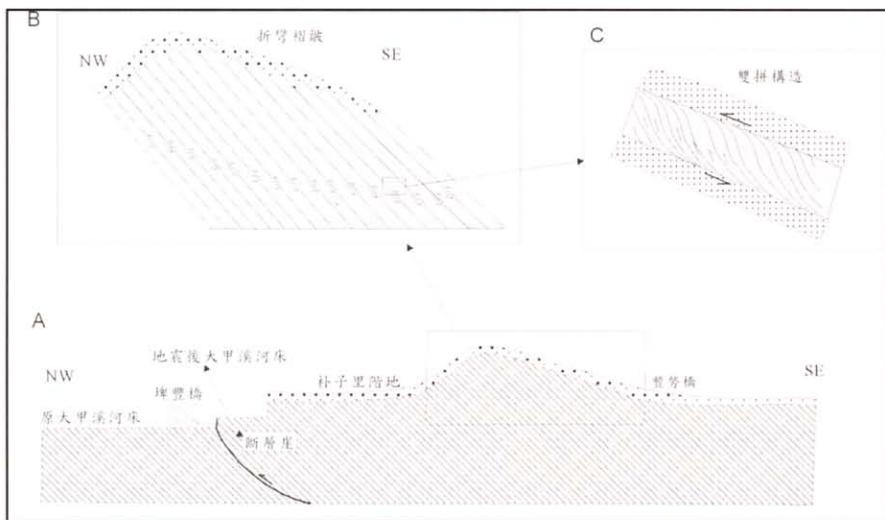
伍、變形帶的地下構造

九二一地震本區中的地表變形，雖僅在大甲溪、烏牛欄溪及大里溪的河床出現斷層崖，但對於其他為第四紀沉積物所覆蓋的變形帶之地下構造卻有關鍵性的指示。根據野外數個地點的調查結果，河床基岩出露斷層崖時，其側向延伸即連接未膠結沉積物所構成的撓曲崖，可以說明撓曲崖下的基岩亦有斷層面錯動。大甲溪、烏牛欄溪及大里溪的斷層崖，又分別位於本區北、中、南的位置，因此本區地表變形帶的變形前緣（leading edge）的崖差，應即為斷層所造成撓曲崖或斷層崖。然而其他地區變形帶的情況為何，是否其地下構造皆如上述一樣基岩皆存在斷層？根據野外的調查，以兩個例子作討論：

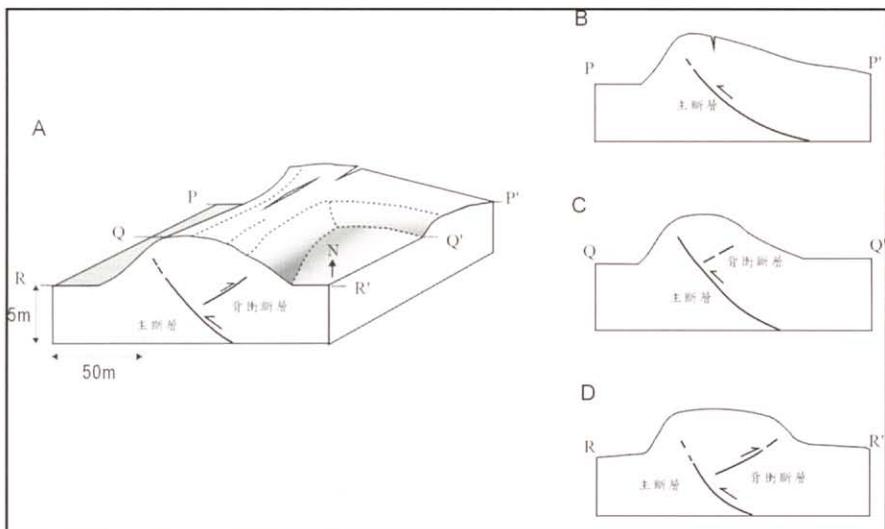
1. 石岡鄉豐勢路北側（見圖二）有一道約呈東西向的地表撓曲（圖版五A）。豐勢橋西側河床出露基岩，基岩層態為N55°E/45°SE。基岩上並未發現斷層，但可發現層面上具有滑痕，且於兩厚層砂岩所夾的薄層頁岩內出現雙拚構造（duplex）（圖版五B）。

2. 埤豐橋東方有一道東北走向的地表變形帶（見圖二），造成朴子里地面隆升破裂，房屋傾斜，最大垂直高差約0.2公尺（圖版五C），該變形帶往東北延伸於大甲溪河床可清楚發現為岩層沿層面相對滑動所造成。

由上述的例子可以得知，層面間的差異滑移（differential bedding slip）亦可形成褶皺。以石岡鄉豐勢橋附近的變形形貌為例（圖七），其最前端在埤豐橋左側基岩上形成斷層崖（圖七A），朴子里階地頂部覆蓋未膠結的沉積物，形成西北翼較陡而東南翼較緩的褶皺形貌，由於位於後翼（東南翼）上的建築物及護牆均顯示折彎作用（bending）的現象，且未有擠壓等挫拱作用（buckling）所形成的特徵，顯示未膠結沉積物受到被動褶皺作用（passive folding）（Price & Cosgrove, 1990；林啓文與楊昭男，1991）。由覆蓋層下的基岩中層面上具滑痕與雙拚構造（圖七B、C），可以說明被動褶皺作用或折彎褶皺的機制來自於層面間的差異滑移，亦



圖七 豐原市朴子里豐勢橋東北側地表變形示意圖。A：由埤豐橋至豐勢橋東北側的剖面；B：豐勢橋西東北側因岩層間差異滑移所形成的折彎褶皺（bending fold）；C：層面滑移所形成的雙拼構造。



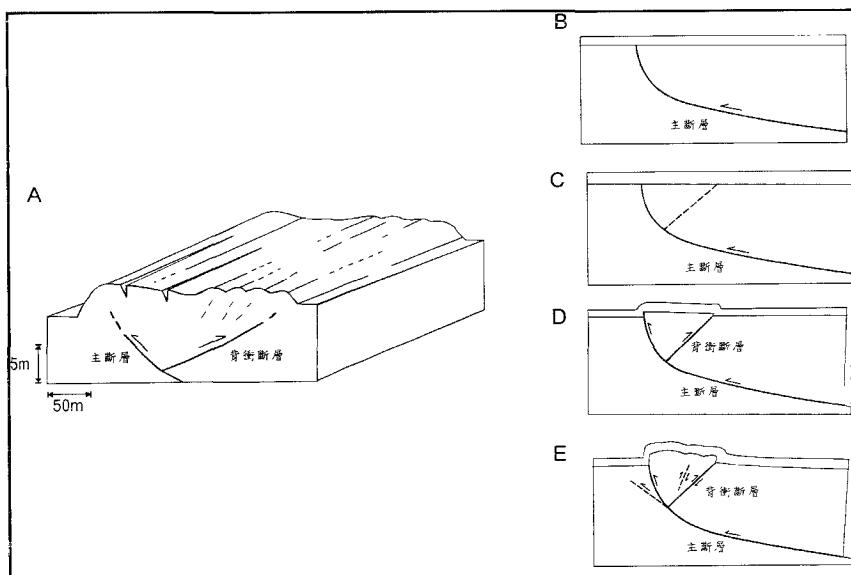
圖八 豐勢橋東南側地表變形模式。A：地表變形形貌；B：斷層滑動阻力較小時，斷層前緣往前移，地表形成前翼陡後翼緩的褶皺形貌；C：斷層滑動阻力稍大時，地表形成兩翼傾角約相等的圓弧形褶皺形貌；D：斷層滑動阻力較大時，形成與主斷層面滑動面及傾斜方向均相反的背衝斷層，地表為類似箱形褶皺形貌。

足以說明撓曲崖或褶皺的形成並非斷層作用直接造成。至於主斷層可能在變形帶的最前緣（例如埠豐橋下），或地下更深處。

陸、背衝斷層（back thrust）

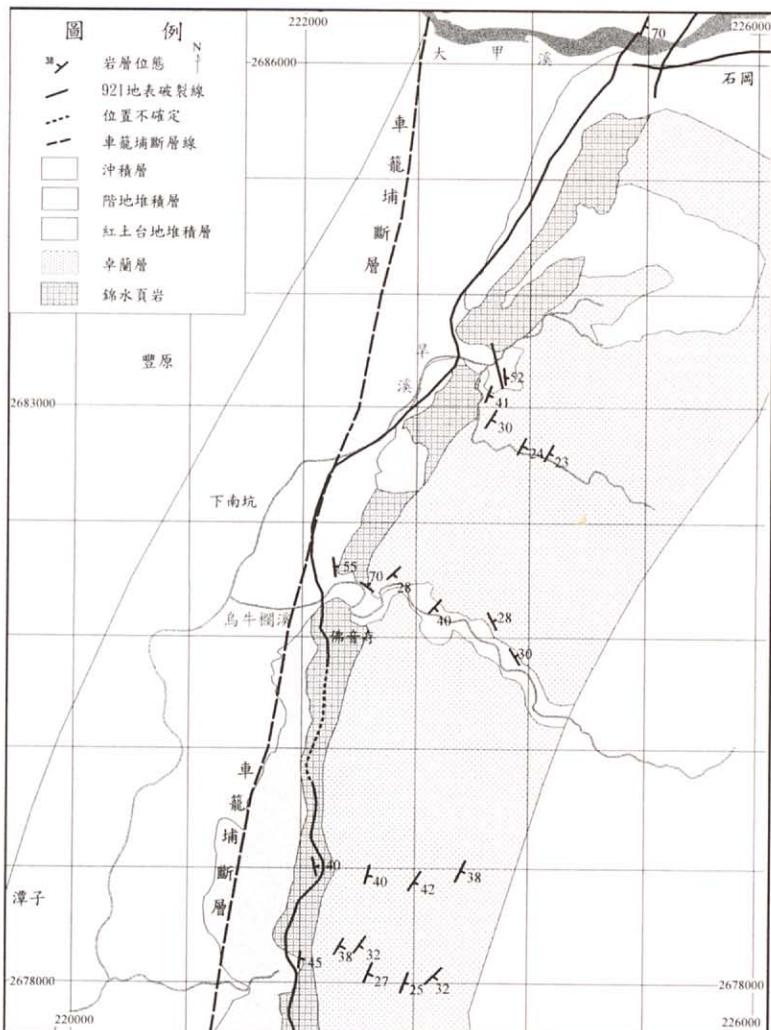
朴子里（豐勢路東南側）及中正公園的地表變形屬本區中較特別，主要的斷裂方式為背衝斷層作用，以下分別探究可能成因。

1. 朴子里：由力學的分析得知岩層在一磨擦係數有變化的面上滑動時，將會在岩層各位置出現差異的次生構造（Berger and Johnson, 1982）。豐勢路東南側的地表變形帶有特殊的變形特徵（圖八）。該處變形帶東南側地形的差異，可能為岩層沿斷層面滑動時，由於各處的阻力不同所造成。一岩層沿滑動面作相對運動時，（1）當前進阻力大時（圖八D），由於作用力未使主斷層作持續向前滑動，而水平作用力仍持續壓縮，致形成與主斷層傾向相反的斷層，稱為背衝斷層，其地表形貌類似前翼陡而後翼緩的箱形褶皺（box fold）外貌；當（2）斷層向前運動的阻力較較小時（圖八B），變形前緣往前移，形成前翼陡而後翼緩的不對稱褶皺形貌；（3）若斷層滑動的前進阻力介於前述二者之間，則形成過渡帶的形式（圖八C），如地表形貌為兩翼約略相等的圓弧形褶皺。至於前進阻力的大小可能與岩性、層態、斷層面傾角有密切關係。



圖九 中正公園地表變形形貌及其演化示意圖。A：地表變形形貌；B至E為背衝斷層的形成與地表變形演化圖。

2. 中正公園：中正公園地表變形，於250公尺寬的範圍內整體抬升，東西兩側皆出現撓曲崖（圖九）。由理論實驗的結果（Hafner, 1951），逆滑斷層在接近地表時斷面將會變陡，主要是臨進半界面（half space），材料不再保有均質與等向性（isotropic），故應力軌跡（stress trajectories）彎曲。在中正公園的例子中，地表變形下的斷層因斷面傾角較大，上盤岩層沿斷面滑動時形成阻力，當作用力持續時，形成另一與主斷層傾向相反、滑動方向相反的次生斷層—背衝斷層。此後上盤岩層繼續往西逆衝，但阻力依舊存在，造成兩斷層間楔形岩體相對抬升，其演化過程如圖九所示。

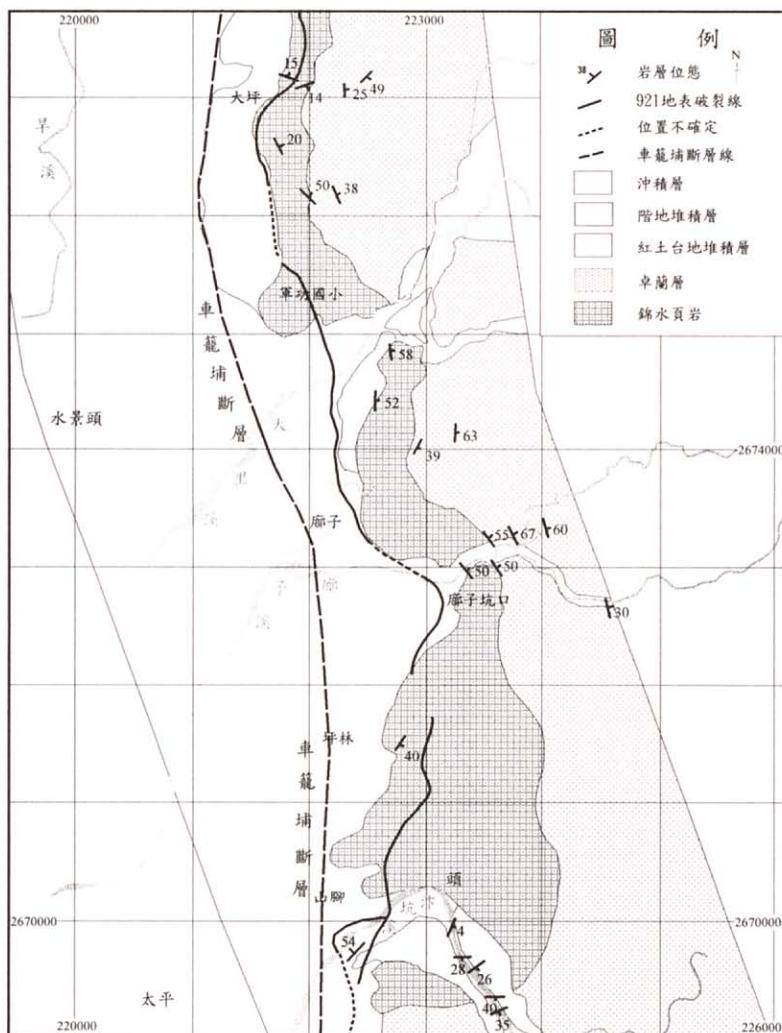


圖十 大甲至潭子間車籠埔斷層帶地質圖（原圖比例尺二萬五千分之一，格線數字為二度分帶座標）。

柒、車籠埔斷層與集集地震斷層

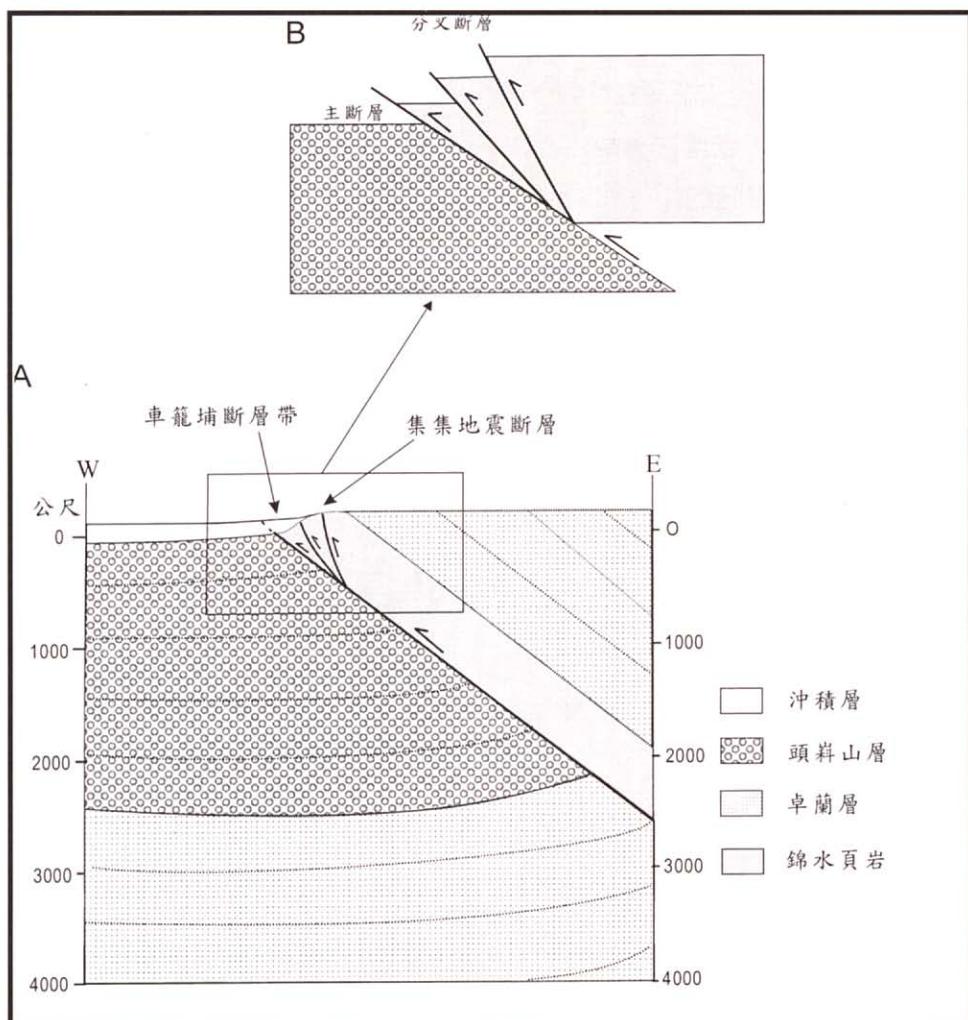
作者等於九二一地震前後，陸續完成大甲溪至頭汴坑溪段車籠埔斷層的地質條帶圖（圖十、圖十一）。根據野外調查結果，原車籠埔斷層的地表斷層跡幾乎為沖積層所覆蓋，斷層跡的確實位置無法確定，由山麓前緣往東出露的岩層為錦水頁岩及卓蘭層，岩層走向介於N30°W~N30°E之間，皆向東傾斜，其中於大坪及頭汴坑溪出露的岩層（錦水頁岩）受小斷層錯動，岩層位態差異極大。

根據地面地質的調查結果及震測資料（Chang, 1971）所繪製之地質剖面圖（圖十二A）。顯示車籠埔斷層於近地表處上盤為錦水頁岩，下盤為頭嵙山層，地層斷



圖十一 潭子至頭汴坑間車籠埔斷層條帶地質圖（原圖比例尺為二萬五千分之一，格線數字為二度分帶座標）。

距達3,000公尺以上。然而本次的地震斷層皆錯動在錦水頁岩內，主要是由於車籠埔斷層於淺部呈現覆瓦狀展開型斷層（imbricate splay faults，圖十二B）的構造形貌（Dahlstrom, 1969），亦即主斷層衍生出數條向上分叉斷層（branch fault），表現在地表上則為一斷層帶。在此類斷層帶中將滑距最大的斷層以主斷層稱之，其餘的斷層以分叉斷層稱之，本次的地震斷層即為車籠埔斷層帶中的某些分叉斷層反應在地表面上的結果，由於其代表一次的地質事件，因此本文認為應以「集集地震斷層」將其與「車籠埔斷層」應予以區別。



圖十二 車籠埔斷層的構造剖面示意圖。A：參考地質及震測資料（Chang, 1971）所繪之構造剖面圖；B：覆瓦狀展開型斷層（Dahlstrom, 1969）由數條分叉斷層構成斷層帶，集集地震斷層位於車籠埔斷層的上盤。

捌、結論

九二一地震大甲溪至頭汴坑溪段的地表變形有以下幾種構造形態，包括有（1）西向的主要逆斷層、（2）西向錯移量較小的次要逆斷層、（3）東向的逆斷層、（4）與變形帶走向平行與垂直伸張裂縫、（5）與變形帶走向斜交的雁行裂縫及（6）塊體翻倒等，這些地表的變形帶形貌則受控於斷層的形態、地下岩層的岩性與層態，以及地表上覆蓋層的岩性。此外，藉由大甲溪、烏牛欄溪及大里溪的河床岩層出現的斷層崖，證實變形前緣（leading edge）的崖差，應即為斷層所造成撓曲崖或斷層崖。

車籠埔斷層為逆移斷層，於近地表處上盤為錦水頁岩，下盤為頭科山層，錯動量達3,000公尺以上。主斷層在地表下淺部衍生出數條分叉斷層，而呈現覆瓦展開型斷層的構造形貌，表現在地表上則為一斷層帶。本次的地震斷層亦即為車籠埔斷層帶中的某些分叉斷層的作用所展現出的地表形貌。

誌謝

調查期間本所何信昌先生與陳勉銘先生提供台中圖幅草稿供參考，作者敬致謝忱。

參考文獻

- 中國石油公司臺探總處（1982）。台中地質圖，比例尺十萬分之一，中國石油公司出版。
- 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118頁。
- 何春蓀（1982）。臺灣地體構造的演化變，臺灣地體構造圖說明書，經濟部中央地質調查所，共110頁。
- 林啓文、楊昭男（1991）。簡介褶皺形成的理論。地質，第十一卷地第一期，第47~65頁。
- 林朝棨（1957）。臺灣地形。臺灣省文獻委員會，共424頁。
- 張徽正、林啓文、陳勉銘、盧詩丁（1998）。台灣活動斷層概論，五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊第十號，共103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178頁。
- 經濟部中央地質調查所（1999a）。車籠埔斷層沿線地表破裂分布圖，比例尺二萬五千分之一。

- 一，經濟部中央地質調查所。
- 經濟部中央地質所（1999b）。九二一地質調查報告，經濟部中央地質調查所出版。
- 羅偉、吳樂群、陳華玟（1999）。國姓圖幅暨說明書，五萬分之一臺灣地質圖，第二十五號。經濟部中央地質調查所出版。
- Chang, S. L. (1971). Subsurface geologic study of the Taichung Basin. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.8, 21-45.
- Berger, P. and Johnson, A. M. (1982). Folding of passive layers and forms of minor structures near termination of blind thrust faults-application to central Appalachian blind thrust. *J. Struct. Geol.*, vol.4, no.3, 343-352.
- Dahlstrom, D. C. A. (1969). Balanced cross section: *Canadian Journal of Earth Science*, vol.6, 743-757.
- Hanfer, W. (1951). Stress distribution and faulting: *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol.61, 1369-1437.
- Ho, C. S. (1976). Foothill tectonics of Taiwan. *Bull Geol. Surv. Taiwan*, no.25, 9-28.
- Lee, T. S. (1949). The topographic reflection of subsurface structure as shown by the gravity anomaly in the western plain of Taiwan. *Chinese Geophys. Soc. Jour.*, vol.1, no.2, 205-212.
- Pan, Y. S. (1967). Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies over west-central Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.5, 99-115.
- Price, N. J. and Cosgrove, J. W. (1990). *Analysis of Geological Structures*. Cambridge University Press, Cambridge, 502pp.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. I. (1987). *The Techniques of Modern Structure Geology, Vol.2 : Folds and Fractures*. Academic Press, London, 700pp.

圖版一



A. 大甲溪河床東側抬升，崖兩側高差約4.5公尺，錦水頁岩內之斷層滑動面出露地表，由魚池的錯移判斷有視左移現象。

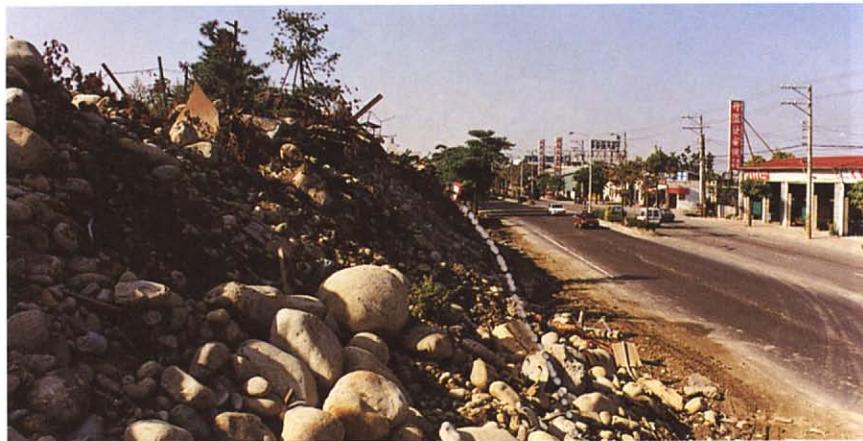


B. 大甲溪河床因岩層錯動形成斷層崖及瀑布，東側抬升，崖兩側高差約5公尺，右側坪豐橋錯斷。



C. 原豐原鐵路改建之自行車道東側抬升，崖兩側高差約3.5公尺，視左移約5公尺。

圖版二



A. 豐勢路南側抬升，東側高而西側低，崖兩側高差約4公尺。



B. 豐勢路南側水稻田，地面隆升，西側高而東側低，崖兩側高差約3.5公尺。



C. 烏牛欄溪河床抬升約0.9公尺，斷層滑動帶位於錦水頁岩內。

圖版三



A. 軍功國小南方的軍營南側河堤錯斷，東側抬升，崖兩側高差約1.5公尺，視左移約1.3公尺。



B. 大里溪北岸檳榔園東側抬升，崖兩側高差約0.4公尺。



C. 廟子溪河床東側抬升，崖兩側高差約0.9公尺。

圖版四



A. 麗園別墅南方路面隆升約0.5公尺，橋身向西側擠壓。



B. 坪林開天宮南方，水泥路面隆升龜裂，隆升量約0.5公尺。



C. 一江橋東北方地面隆升，造成寬約10公尺之變形帶，垂直抬升量約8公尺，視水平左移約10公尺。

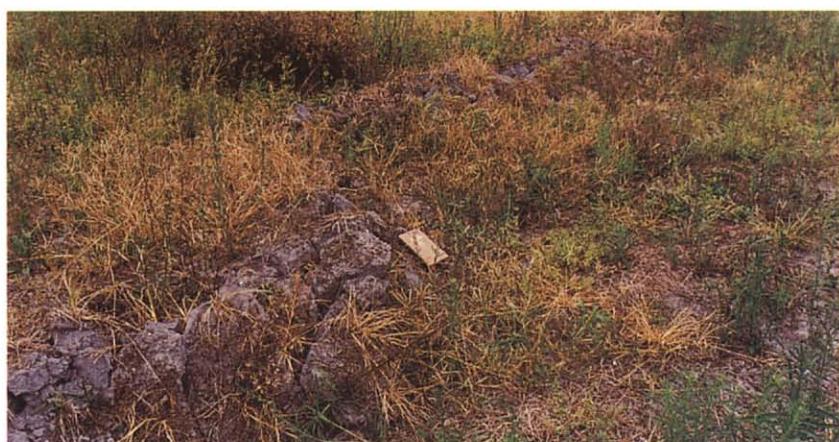
圖版五



A. 豐勢橋北側地面抬升形成北側高南側低，房屋傾斜。



B. 豐勢橋北側地面抬升處底下岩層中的雙拼構造（duplex），代表層面間的滑動。



C. 朴子里地面隆升破裂，形成一道約呈東北走向之破裂。

SURFACE DEFORMATION MODELS OF THE 1999 CHI-CHI EARTHQUAKE BETWEEN TACHIACHI AND TOUPIENKENGCHI, CENTRAL TAIWAN

Wen-Jeng Huang¹, Zih-Yan Chen¹, Szu-Yu Liu¹, Yen-Hui Lin¹, Chii-Wen Lin¹,
and Hui-Cheng Chang¹

ABSTRACT

As a result of the reactivation of the Chelungpu fault, a 19-kilometer long deformation zone was formed between Tachiachi and Toupienkengchi during the Chi-Chi earthquake in September 21, 1999. On the basis of the trace bearings, the zone can be divided into two segments. The northern one orients northeast and mostly coincides with the mountain front, whereas the southern one strikes north-to-south and is mostly distributed in the mountainous area. The vertical displacement of the deformation zone gradually decreases from north to south and has a maximum of about 5 meters.

The types of deformation include flexure scarps and fault scarps. The flexure scarps are the main features, appearing in surfaces where unconsolidated sediment overlies. The fault scarps, on the other hand, are observable when bedrock is exposed on the surface, but these are comparatively less common. Nevertheless, some flexure scarps are closely connected to the fault scarps, especially along the riverbank. Therefore, it is concluded that the fault scarps or flexure scarps are products of the rock and/or soil type near the surface.

Various deformed features are found in this area: (1) west-vergence reverse faults associated with large slip; (2) west-vergence reverse faults with comparatively small slip; (3) east-vergence reverse faults; (4) fissures parallel and/or normal to the scarp; (5) fissures oblique to the scarp; and (6) toppling of rock masses. These features were probably affected by the lithology of the bedrock, attitude of the bedrock, the thickness and lithology of the covering strata and the geometry of the subsurface structure. In addition, they are believed to be closely related to the splay faults, which are usually associated with a thrust fault at a shallow depth. Consequently, it is determined that the earthquake faults which occurred during the Chi-Chi earthquake most likely resulted from the partial reactivation of the Chelungpu fault zone.

Key words: surface deformation, flexure scarp, fault scarp, earthquake fault

1. Central Geological Survey, MOEA, Taipei, Taiwan, ROC

