

台灣大地重大斷裂帶的特性及演化 與災難性岩土災害

洪如江

台大土木系名譽教授·地質學會(倫敦)會士

摘 要

台灣災難性岩土災害，與8條「重大斷裂帶」(圖三)的特性及演化，息息相關。本文，分析這8條「重大斷裂帶」的特性、演化、及相關的岩土災難。

最東的「東海岸與太平洋海床交界大斷崖」(圖三之①)，西臨中央山脈或海岸山脈高達2,000至3,000公尺陡峭的東坡，東臨3,000公尺至5,000公尺深的太平洋海床，經常發生崩塌與落石災害。2010年10月21日梅姬颱風豪雨在東海岸蘇花公路112K-116K引發嚴重坍方災害，20多人遇難。

最西北的「山腳斷裂帶」(圖三之③)，為林口台地與台北盆地間的正斷層。在康熙33年，台北盆地就曾經因地震而陷落成湖。何時重演故事，難以預測；即使沒有近憂，也必須有遠慮。

災難性岩土災害，最常發生在活斷層與溪流連接而成的重大斷裂帶(圖三之④、⑤)。其中的溪流，是水沖刷地表最脆弱的大斷層(帶)而誕生、而持續擴張(變寬)。許多沿溪岸而開闢的道路或開發的社區，常因溪流的擴張(變寬)而崩落溪中，許多跨溪的橋樑也常被洪水或土石流沖斷。

車籠埔斷層(圖三之⑥)在1999年9月21日的逆衝錯動，造成2478人(包括失蹤者)遇難，嚴重的財產損失，與大地環境的重大破壞。

其他尚未發生災難性岩土災害的重大斷裂帶，是許多專家學者擔憂之所在，需要嚴密監測。

關鍵字：重大斷裂帶，特性及演化，災難性岩土災害。

The Characteristics & Evolution of Major Fracture Zones of Taiwan Island and related Catastrophic Geotechnical Disasters

Ju-Jiang Hung

Department of Civil Engineering, National Taiwan University

Abstract

The catastrophic geotechnical disasters in Taiwan are closely related to the characteristics and evolution of major fracture zones on the main island of Taiwan.

The Great-Cliff of the East-Coast of Taiwan Island backs up 2,000 to 3,000 meters high cliff of the Central-Ranges or East-Coastal Ranges to the west, and faces down 3,000 to 5,000 meters deep of the Pacific Ocean bed to the east. Landslides and rockfall disasters occur frequently. On 21st October 2010, the heavy rainfall of Typhoon Maggie caused catastrophic landslides in the section 112K-116K of Su - Hua Highway. More than 20 people lost their lives.

The Shan-Giao Fracture Zone borders the Linkou Tableland and the Taipei Basin has been identified as a normal active fault along which Taipei Basin came down a few meters relative to Linkou-Tableland and became a lake in 1694, due to an earthquake of unknown magnitude.

Most of the catastrophic geotechnical disasters in Taiwan occur in the major fracture zones composed of active faults and streams. The streams sections of this kind of fracture zones were given birth due to the erosion of weak fault zones by surface water. The streams have long been, and still, in the process of widening. So, highways and communities constructed along stream banks lost in the flood torrent of streams during heavy rainfall period. Many bridges crossing the streams are destroyed.

On 21st September 1999, the thrust rupture of Che Lun Pu fault caused 2478 casualties, heavy losses of properties, and severe damages of the geo-environment of Taiwan.

註：「本文根據2011年海峽兩岸岩土工程/地工技術交流研討會之第二屆陳斗生博士紀念講座時發表原稿修訂」

So far, no catastrophic geotechnical disasters have been observed along other 3 major fracture zones. Geotechnical experts and scholars are looking into the possibilities of future catastrophic disasters.

Key Words : Major fracture zones , characteristics and evolution , catastrophic geotechnical disasters.

一、導 論

根據世界銀行(The World Bank)2005的研究,台灣73.1%的土地與人民,經常曝露在最多4種「天然災變」(Natural Hazards)的威脅,名列世界第一。該研究報告發表之後,部分國內人士不以為然,擬提出抗議;但爾後多次重大災變發生之後,證實其論述並不過分。

自從1999年921地震以來,台灣經歷多次重大「天然災變」(natural hazards),造成的全島性或局部性的嚴重「災害」(disasters)。這些災害的動力,固然是「地震」或「颱風豪雨」;但據筆者過去幾十年的觀察與研究,台灣歷來災難性岩土災害,實與台灣大地的「地體構造」與「重大斷裂帶」息息相關;相當大部分災害的發生,係由「人為因素」所造成。

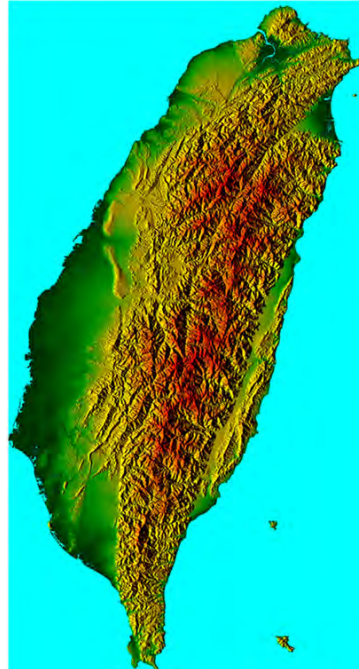
台灣地體構造的概念模式,眾皆推崇Angilier (1986, 2001) 富有藝術感的地體架構示意圖(圖一為洪如江修改加註自Angilier 2001版本)。

筆者認為,台灣大地的大部分,自東部海岸至麓山帶與西部平原的交界線,都是板塊的接觸帶。而這種接觸帶必然是地質作用高度活躍之地,以褶皺或逆斷層形成疊瓦狀的山脈,並產生了許多斷裂帶。圖二為台灣數值地形彩繪明暗圖,也可以看到台灣島山地高度斷裂的線型。圖三示八條南北向的「重大斷裂帶」,有的已經發生災難性災害,有的具有發生災難性災害潛勢,特別值得注意。

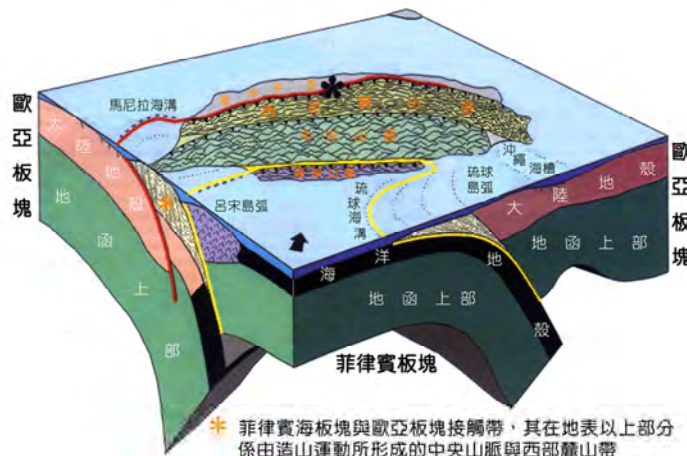
上述八條重大斷裂帶,其第①條斷裂帶(東海岸與太平洋海床交界大斷崖),是台灣島與太平洋的交界大斷崖。

其第②條斷裂帶(花東縱谷斷裂帶),是弧陸碰撞的縫合帶,縱谷中遍佈非常活躍的斷層與河流。

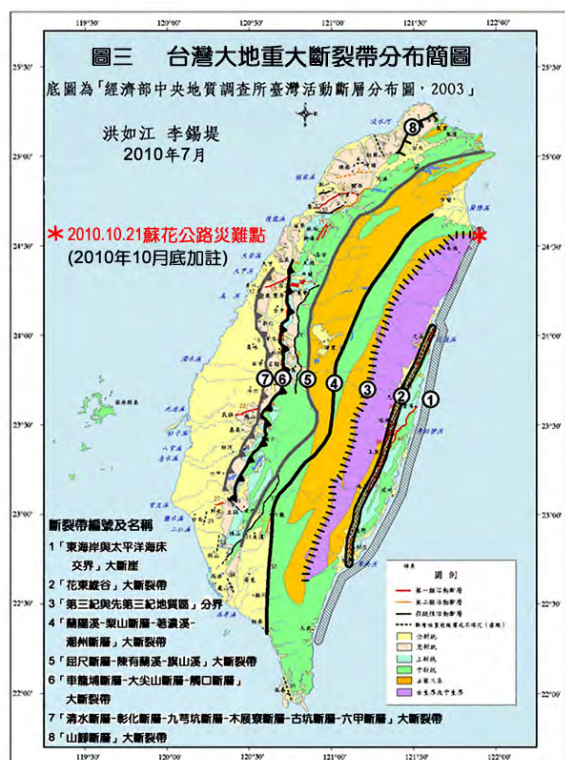
其第③條斷裂帶(第三紀與先第三紀地質區分界斷裂帶),是第三紀與先第三紀地質區分界斷裂帶,這一分界之西的新生代第三紀地層,年紀不超過6,500萬年;其東為古生代晚期至中生代地層,年齡以億年計。



圖二 台灣數值地形彩繪明暗圖 (李錫堤教授提供)



圖一 台灣地區之地體構造體架構示意圖(洪如江修改加註自Angilier 2001)



圖三 八條南北向的「重大斷裂帶」

其第④條斷裂帶（「蘭陽溪-梨山斷層-老濃溪斷層-潮州斷層」斷裂帶）與第⑤條斷裂帶（「屈尺斷層-陳有蘭溪斷層-旗山溪」斷裂帶），都是擴張性（變寬與向源侵蝕）的河川與南北向的大斷層連接而成；而且，擴張性河川幾乎都是水冲刷大斷層而誕生、而擴張。

其第⑥條斷裂帶（「車籠埔斷層-大尖山斷層-觸口斷層」斷裂帶）中的車籠埔斷層，曾經在1999年發生逆衝錯動，為第20世紀中最大的地殼變動之一。

其第⑦條斷裂帶（「清水斷層-彰化斷層-九芎坑斷層-木屐寮斷層-古坑斷層-六甲斷層」斷裂帶），大致上是丘陵及紅土台地西崖與西部大平原的分界帶，也是台灣造山帶的「逆衝前緣」（thrust front）或「西緣」，到目前為止，還沒有發生災難性災害；但不少學者擔憂會不會繼車籠埔斷層在1999年的事件之後，發生類似災難。

其第⑧條斷裂帶（「山腳斷層」斷裂帶），為台北盆地從林口台地相當高度陷落的斷層崖；中央地質調查所已經以幾十個深鑽孔研究山腳斷層的「位態」與「斷層活動性」。

各重大斷裂帶的特性、演化、與災難性岩土災害，分別說明於下。

二、東海岸與太平洋海床交界大斷崖（圖三之①）的演化與岩土災害

2.1 東海岸與太平洋海床交界大斷崖的特性與演化（圖四至圖十一，洪如江攝）

台灣島東海岸與太平洋海床的交界，是台灣島最大的斷崖。大斷崖之西是中央山脈或海岸山脈陡峭的東坡，東方是幾千公尺深的太平洋海床（圖四，圖五）。由南向北遠距離拍攝清水斷崖的景觀示如圖六；近觀其臨海的峭壁，可以見到高度發達的解壓節理（裂縫，圖七）；已放棄的舊蘇花公路，改為步道，原意是供遊客散步，觀賞太平洋波光，但因落石不斷（圖八），遊客卻步，已經荒廢。古蘇花公路改鑿清水隧道內移，不意清水隧道也向東移動而且開裂，只好放棄（圖九），再度內移，另鑿「匯德隧道」應用（圖十）。

台灣東海岸南段（台東）的臨海公路下邊坡，也常崩塌（圖十一）。

2.2 東海岸與太平洋海床交界大斷崖的災難性岩土災害

台灣東海岸的蘇花公路，自從拓寬為雙線道之後，岩土災害不斷。震驚兩岸的災難，發生於2010年10月21日，在梅姬颱風（Typhoon Maggie）豪雨侵襲之下，蘇花公路112K-116K路段上邊坡坍塌（圖十二至圖十六），公路多處被高速度的土石沖斷，20多人連同車輛被沖落太平洋而告失蹤，判斷已經遇難。

三、花東縱谷大斷裂帶（圖三之②）的演化與岩土災害

現今台灣島陸地上最活躍的斷層，也是台灣發生地震頻率最高的斷層（詳見陳文山等，2008之說明），多發生在花東縱谷。因此，在花東縱谷內的任何工程建設必須非常小心；跨越花東縱谷的工程建設更必須有妥善的防災考慮。

四、第三紀與先第三紀地質區分界斷裂帶（圖三之③）的演化與岩土災害

這一斷裂帶之西的新生代第三紀地層區，年紀不超過6,500萬年；其東為古生代晚期至中生代地層區，年齡數以億年計。二者岩性相差很大，未

來如有重大工程(例如長大隧道或高架陸橋)跨越此一斷裂帶的,必須有詳實的地質調查、地下水文調查、與妥善作業,方能避免災難。

個人很不贊成新建一條橫貫公路,部分考慮到通過此一斷裂帶的障礙與可能引發的災害。

五、「蘭陽溪-梨山斷層-荖濃溪斷層-潮州斷層」斷裂帶(圖三之④)的演化與岩土災害

5.1 「蘭陽溪-梨山斷層-荖濃溪斷層-潮州斷層」斷裂帶的特性與演化

由圖二與圖三都可以看到,蘭陽溪入海前的宜蘭三角洲,向內凹陷,而非如一般三角洲之凸出,係因沖繩海槽之擴張;一方面致宜蘭三角洲臨海的泥沙流失,海岸線後退與宜蘭三角洲平原地盤下陷,其趨勢且難以停止,容易在豪雨之時遭受淹水之災;另一方面,整條蘭陽溪持續張裂,並以向源侵蝕,沿圖三的第④條斷裂帶北段(也就是「梨山斷層」),向南發育,距梨山約30公里,距「思源啞口」不到2公里。

而且,宜蘭三角洲略呈三角形,其尖端向內,且與一條貫穿台灣島的南北向斷裂帶相接。根據中央大學應用地質研究所工程地質與防災研究室的台灣活斷層分布圖(Lee, 1999),由宜蘭三角洲的尖端開始,由北向南,劃上牛鬥斷層、四季斷層、環山斷層、梨山斷層、力行斷層、霧社斷層、萬大斷層、曲冰斷層、與武界斷層等活斷層;然後跳空約0.8緯度,至潮州斷層。

荖濃溪是水沖刷荖濃溪斷層而誕生。荖濃溪谷的擴張,在民國98年8月的莫拉克颱風豪雨事件中充分顯示。圖十七示荖濃溪在寶來一帶河岸崩塌、溪谷擴張變寬。荖濃溪的向源侵蝕,沿圖三的第④條斷裂帶中段(也就是「荖濃斷層」),向北發育,已達玉山主峰東邊的山腳。

5.2 「蘭陽溪-梨山斷層-荖濃溪斷層-潮州斷層」斷裂帶的災難性岩土災害

2010年10月21日,梅姬颱風(Typhoon Maggie)豪雨,宜蘭三角洲平原的蘇澳鎮、羅東鎮、冬山鄉、五結鄉、與三星鄉,淹水之災,最大水深近一層樓高。蘇澳鎮白雲寺背後山坡地坍方,9人遇難。

2009年8月8日,莫拉克颱風(Typhoon Morakot)豪雨,荖濃溪谷擴張,其東岸的新開部落被崩塌土石及高速度土石流埋沒(圖十八),31人遇難;其寶來地區,岸邊大型溫泉旅館原位未動但已在河道之中,參見圖十九至圖二十一。許多沿溪開闢的道路崩塌,橋樑斷落(圖二十二至圖二十七),也是因荖濃溪谷的擴張而發生。

六、「屈尺斷層-陳有蘭溪斷層-旗山溪」斷裂帶(圖三之⑤)的演化與岩土災害

6.1 「屈尺斷層-陳有蘭溪斷層-旗山溪」斷裂帶的特性與演化

屈尺斷層與陳有蘭溪斷層之西為年紀幾百萬年至兩千五百萬年前的沉積岩區,其東為年紀幾千萬年的亞變質岩區。

陳有蘭溪斷層帶比陳有蘭溪還要寬上許多。由於陳有蘭溪本來就是沖刷陳有蘭溪斷層而誕生;因此,由沖刷斷層而曝露的脆弱斷層材料,每每在山洪暴發之時被加速沖洗,使溪谷速擴張(變寬),圖二十八至圖二十九示陳有蘭溪谷在桃芝颱風豪雨之後擴張(變寬)的情形;由圖也可以看到陳有蘭溪兩岸坡地在桃芝颱風豪雨之後新生許多土石流溪流,近乎體無完膚。

陳有蘭溪,在南投縣內向南流至和社(同富),分兩支流,皆向南流至南投與嘉義縣界。東支流,沙里仙溪,向南逼近「塔塔加鞍部」及「東埔山莊」。西支流,和社溪,分成多條小支流,分別逼近阿里山山脊線;圖三十係由台21線公路夫妻樹一帶拍攝其中一小支流向源侵蝕逼近停機坪一帶的情形。

高屏溪的一大支流,旗山溪,在2009年8月的莫拉克颱風豪雨侵襲下,明顯擴張;其向源侵蝕,已經逼近東起「塔塔加鞍部」向西至「水山」(2609m)一線相連的山脊。

6.2 「屈尺斷層-陳有蘭溪斷層-旗山溪」斷裂帶的災難性岩土災害

陳有蘭溪(也是陳有蘭斷層的一部分)在莫拉克颱風豪雨事件中,幸無人命傷亡,係因多次受災之後,經驗豐富,及早撤退;但溪谷擴張非常顯著,災況嚴重。新山村臨河房屋及台21線公路皆坍落溪中,消失不見蹤影,只剩搖搖欲墜的後

排(山側)房屋半懸峭壁之上。溪岸陸地上的隆華國小，所有校舍已經在溪道之中，係因溪谷擴張變寬。陳有蘭溪上游沿溪岸所開闢的公路，全面崩塌，只剩下搖搖欲墜的落石棚(俗稱明隧道)。參見圖三十一至圖三十五。

旗山溪谷的擴張與變寬，因為台21線公路沿溪岸開闢，嚴重傷害溪岸的安定。多處順向坡滑動(圖三十六為例)，好幾條高速度土石流衝擊，造成道路中斷、河道淤積、社區被摧毀、溪流兩岸坡地裸露，災情比荖濃河流域更為嚴重。

莫拉克颱風豪雨事件中，災害最為嚴重而震驚世界者是遇難者5百多人的小林村大災變(圖三十七至圖四十二)。造成小林村大災難的因素很多，包括：

- 天：超大豪雨，累積降雨量1,800公厘
- 地：

- * 小林村背後山坡地順向坡滑動
- * 小林村背後山坡地逆向坡滑動
- * 小林村背後山坡地岩楔滑動
- * 小林村背後山坡地至少有一堰塞湖，其上方順向坡等等滑動使堰塞湖潰決
- * 小林村背後山坡地堆積舊崩積層，在順向坡滑動及堰塞湖崩潰後瞬間崩潰
- * 古土石流的復活
- * 小林村位於一片高河灘地及低位河階地，高於河床僅5-10公尺，易受到來自旗山溪主流河道堰塞湖潰決的洪流(水及土沙)攻擊

人：「近三十年來的林道及產業道路開闢，引入了大面積的土地開墾與農作物種植，此大面積的裸露地正是降雨進入地下水體的入滲區。」(李錫堤，董家鈞，林銘郎，2009)

當上述滑動及坡面堰塞湖潰決時，兵分兩路，主力衝向小林村，摧毀小林村大部分；另一股衝向小林村上游的旗山溪砂岩峽谷，形成堰塞湖。峽谷溪水迅速湧升，旗山溪堰塞湖潰決，滾滾洪流攻擊小林村，摧毀小林村其他部分，並使正在逃生的村民遇難。

綜言之，小林村大災難是一個典型的「複合型災害」。

七、「車籠埔斷層-大尖山斷層-觸口斷層」斷裂帶(圖三之⑥)的演化與岩土災害

7.1 「車籠埔斷層-大尖山斷層-觸口斷層」斷裂帶的特性與演化

車籠埔斷層、大尖山斷層與觸口斷層，皆為活動斷層，連接成為台灣麓山帶與西側平原及丘陵地的分界斷裂帶。大尖山斷層與觸口斷層具有明顯的斷層崖，受到密切注意。車籠埔斷層沿線多處被東西向溪流切斷，斷層崖較不明顯，較少受到關注，未料到會發生巨大錯動與強烈地震。

7.2 「車籠埔斷層-大尖山斷層-觸口斷層」斷裂帶的災難性岩土災害

車籠埔斷層在1999年9月21日的逆衝錯動(斷裂總長度約100公里，最大垂直與水平錯動都達到10公尺)，引發規模7.6的強烈地震(稱921地震)，是20世紀中世界陸地上最大的地殼變動之一。遇難者2478人(包括失蹤者)，倒塌房屋類別最多者為中小學校舍(293校必須拆除重建)，主要係因工程外行人爭做工程所致。倒塌的高樓高度多在49.5公尺上下，逃避樓高50公尺以上必須通過結構外審的規定。中部的台三線公路沿線橋樑全部被震垮，顯然是與當初台三線公路選線與車籠埔斷層重疊有關。參見圖四十三至圖五十。

大尖山斷層與觸口斷層的斷層崖，在歷年的大地震與颱風豪雨事件中，都發生崩塌；也曾經在颱風豪雨沖蝕下，引發土石流。

八、「清水斷層-彰化斷層-九芎坑斷層-木屐寮斷層-古坑斷層-六甲斷層」斷裂帶(圖三之⑦)的演化與岩土災害

這一連串由大甲溪到曾文溪之間的幾條斷層所構成的斷裂帶，大致上是丘陵及紅土台地西崖與西部大平原的分界帶，也是台灣造山帶的「逆衝前緣」(thrust front)或西緣，小規模岩土災害不斷，但所幸尚未發生災難性災害。但不少學者專家擔心會不會是下一次引發烈震的斷層。

九、「山腳斷層」斷裂帶(圖三之⑧)的演化與岩土災害

9.1 「山腳斷層」斷裂帶的特性與演化

台北盆地之誕生，筆者(洪如江，1966)曾引用林朝榮教授在台北縣志地理志上及台灣通志

稿土地志地理篇第一冊所述，台北盆地之之地史如下：

1. 林口期：形成林口臺地，堆積臺地礫石層。
2. 於特殊氣候下，發生赭土化作用，臺地表面形成赭土(Laterite)之殘留土壤。
3. 發生斷層作用，形成台北構造盆地。

...

11. 康熙三十三年大地震發生，盆地之一部分陷落，海水又侵入盆地中，成為「康熙台北湖」。

12. 陸地又輕微上升，新店溪、與大嵙崁溪之泥砂亦逐漸淤填「康熙台北湖」，該湖亦終於完全消失。」

林啟文等(2000)在其臺灣活動斷層概論(第二版)中，根據眾多學者的研究及經濟部中央地質調查所在五股地區的鑽井資料顯示：

- 山腳斷層為正斷層，且斷層可能仍有持續活動；

- 在關渡地區斷層帶寬約170公尺，在泰山地區80斷層帶寬約80公尺；

邱俊穎等(2008)對山腳斷層再活動的研究，與侯進雄等(2008)對台北地區近期的地殼變形的研究，都顯示：台北地區處於伸張應力的環境，山腳斷層仍有活動的趨勢。

9.2 「山腳斷層」斷裂帶的災難性岩土災害

台北盆地，在古地質演化史之中，曾經因地震而陷落成為一構造湖，最近一次發生於康熙33年。從康熙33年至今，台北盆地雖經滄海桑田的變化，所幸尚未發生災難性災害。

由以上(9.1節)的討論顯示，台北盆地，至少台北盆地的一部分，可能再度因為山腳正斷層的活動而陷落。但何時再度陷落，尚無法預測。筆者意見，在台北盆地的重大工程建設，適可而止；接近山腳斷層斷裂帶的重大工程建設，尤應該避免。

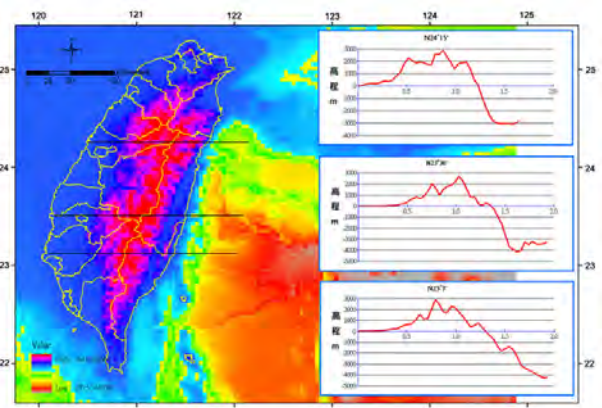
十、結 論

本文所討論的八條重大斷裂帶，有的在近年來或近十多年來發生災難性災害；有的在很久以前曾經發生過災難性災害，但已經沈寂多時；也有的還未曾發生過災難性災害，但不少學者擔憂其在近期內發生災難性災害的可能性。

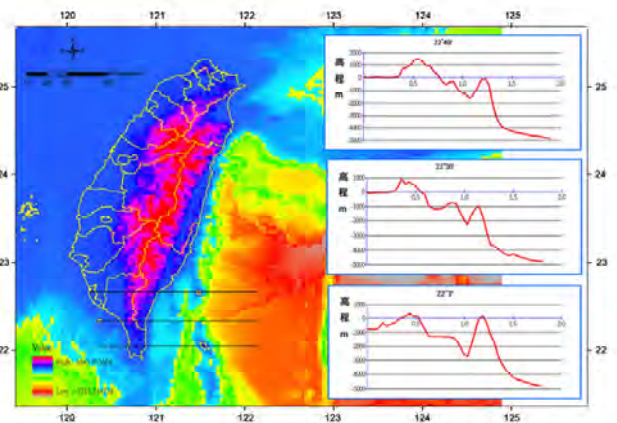
台灣一些工程建設，在選線或選址的時候，無視於(或不知)台灣這八條重要斷裂帶的動態演化，冒然與之交會或重疊，當強烈地震或屢破紀錄的豪雨來襲的時候，難免人命與財產的損失，甚至於使原來敏感的大地環境變得更加脆弱，難以善後。

許多沿溪岸而建的公路，常因溪谷的擴張而崩塌，使得交通中斷，山地村落成為孤島。其實，溪流的誕生，絕大多數是找地表最脆弱的地帶(大斷裂帶、斷層、層面、節理面、劈理、等等)沖刷出來。在豪雨或地震的動力作用，溪道不斷擴張(變寬)，溪流源頭因向源侵蝕而不斷切向山巔。

人類偏偏在脆弱的溪岸或溪流源頭挖、填、或放置龐大而非常沉重的工程結構物，例如所謂的「明隧道」(正式學名為「落石棚」，rockshade)；一但發生災難，卻常在「天災」與「人禍」之間爭執不已，徒然浪費社會資源。



圖四 台灣陸地及東部太平洋海床剖面圖(北緯23度至25度)(洪如江根據USGS TOPO 30資料繪製)



圖五 台灣陸地及東部太平洋海床剖面圖(北緯22度至23度)(洪如江根據USGS TOPO 30資料繪製)



圖六 台灣東海岸清水斷崖段



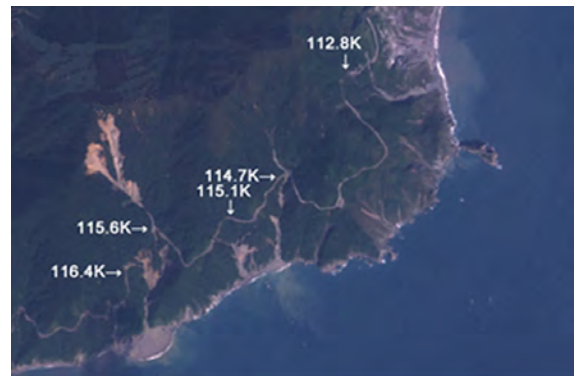
圖十 由滙德隧南口北望蘇花公路與舊清水隧道南口



圖七 台灣東海岸解壓節理發達



圖十一 台灣東海岸段(台東)公路臨海下邊坡崩塌



圖十二 2010年10月21日梅姬颱風豪雨在東海岸蘇花公路112K- 116K引發嚴重坍方災害，20多人遇難(災害防災科技中心，太遙中心)



圖八 濱臨太平洋的舊蘇花公路崩塌不斷，早已棄用



圖九 舊清水隧道東臨3000公尺深的太平洋，西為2000公尺的高山，因位移及破碎而棄用，照片為其北口



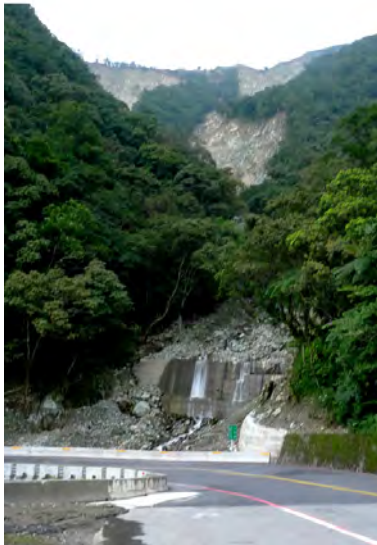
圖十三 2010年10月21日梅姬颱風豪雨在東海岸蘇花公路112K-116K引發嚴重坍方災害，20多人遇難(國家災害防救科技中心，太遙中心)



圖十四 2010.10.21台灣東海岸蘇花公路112K-116K 路段坍方土石墜落於崖底(洪如江攝, 2011.2.16)



圖十七 莫拉克颱風災後, 寶來地區的荖濃溪岸崩塌, 溪谷擴張變寬(洪如江攝)



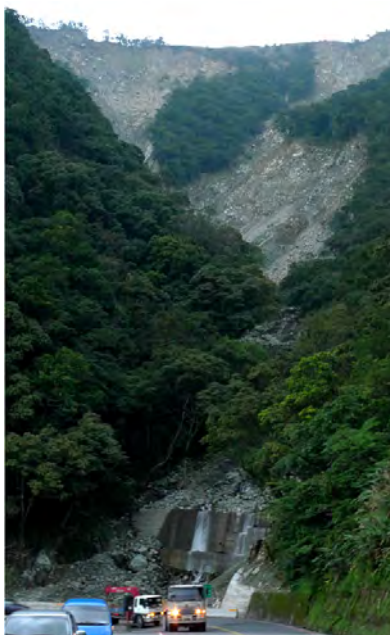
圖十五 2010.10.21台灣東海岸蘇花公路116K坍方災害點, 照片示公路復建後之狀況(洪如江攝, 2011.2.16)



圖十八 莫拉克颱風豪雨引發山崩及土石流, 將高雄縣新開部落埋沒31人遇難(洪如江攝)



圖十九 荖濃溪寶來地區溫泉區的新寶來溫泉旅館, 莫拉克颱風前(洪如江攝)



圖十六 2010.10.21台灣東海岸蘇花公路116K坍方災害點, 公路復建後通車之狀況(洪如江攝, 2011.2.16)



圖二十 荖濃溪寶來地區溫泉區的新寶來溫泉旅館, 莫拉克颱風前(洪如江攝)



圖二十一 莫拉克颱風豪雨風災後，寶來溫泉區河邊新寶來旅館孤立河流之中 (洪如江攝)



圖二十二 莫拉克颱風豪雨導致許多橋樑受洪水沖走，在河床構築便道(洪如江攝)



圖二十三 莫拉克颱風豪雨導致許多橋樑受洪水沖走，在河床構築便道(洪如江攝)

老澗溪流域



圖二十四 莫拉克颱風豪雨所引發的洪水及土石流造成許多橋樑斷落，便道改走河床(洪如江攝)



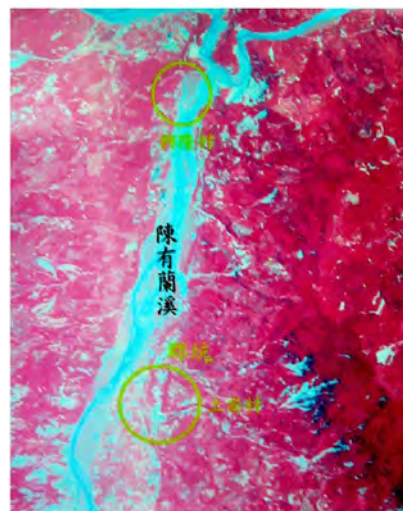
圖二十五 莫拉克颱風豪雨導致許多橋樑受洪水沖走，在河床構築便道(洪如江攝)



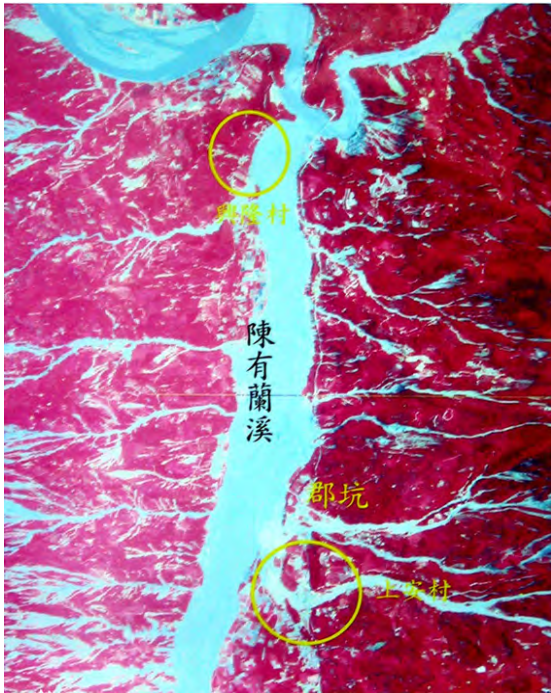
圖二十六 莫拉克颱風豪雨之洪水沖毀許多橋樑，使許多山地部落成為孤島 (洪如江攝)



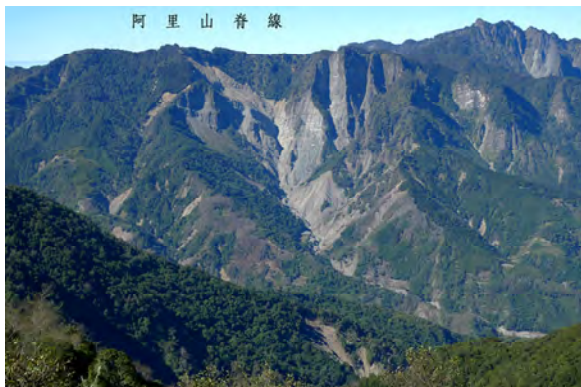
圖二十七 莫拉克颱風豪雨之洪水沖毀許多橋樑，使許多山地部落成為孤島 (洪如江攝)



圖二十八 陳有蘭溪及兩岸坡地在桃芝颱風豪雨之前的空載多譜掃瞄影像(農委會水保局提供，農委會農航所與工研院能資所製作)



圖二十九 桃芝颱風暴雨過後，陳有蘭溪主河道擴張(變寬)，兩岸坡地新生許多土石流坑溝，近乎體無完膚(農委會水保局提供，農委會農航所與工研院能資所製作)



圖三十 陳有蘭溪支流和社溪源頭向源侵蝕，在莫拉克颱風災後，已經逼近阿里山脊(由台21線公路夫妻樹一帶遠眺，洪如江攝)



圖三十一 新山村在莫拉克颱風暴雨風災中，臨河房屋及道路皆坍塌只剩下搖搖欲墜陳有蘭溪中，只剩搖搖欲墜的後排屋(洪如江攝)



圖三十二 在莫拉克颱風暴雨事件中，陳有蘭河流域中的隆華國小全毀(洪如江攝)



圖三十三 在莫拉克颱風暴雨事件中，陳有蘭河流域中的隆華國小全毀(洪如江攝)



圖三十四 陳有蘭溪上游段的公路全面崩塌，剩下搖搖欲墜的落石棚(洪如江攝)



圖三十五 在莫拉克颱風暴雨災變，陳有蘭溪上游段公路全面崩塌(洪如江攝)



圖三十六 台21線公路，沿旗山溪谷岸順向坡開挖，在莫拉克颱風豪雨侵襲下，全面崩滑(洪如江攝)



圖三十七 莫拉克颱風豪雨前的小林村(潘國樑加註於 Google Earth底圖)



圖三十九 莫拉克颱風豪雨前的小林村與土石流潛勢溪流DF006(紅色)的關係(潘國樑加註於 Google Earth底圖)



圖三十八 小林村莫拉克颱風災前影像(陳清泉教授主持中國土木水利工程學會報告981009號圖3.2.9)



圖四十 莫拉克颱風後的五里埔高位河階地(安全)與小林村(滅村)(齊柏林攝)



圖四十一 莫拉克颱風豪雨災後，小林村災區全景(齊柏林攝)



圖四十二 莫拉克颱風豪雨災後，小林村災區崩塌堆



圖四十三 921大地震，光復國中操場的逆衝斷層與小小勘災者(洪如江攝)



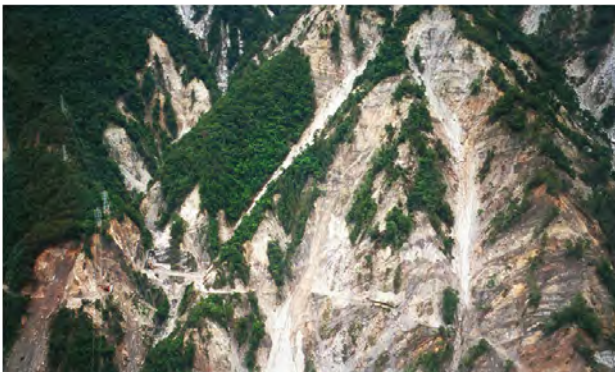
圖四十四 車籠埔斷層在大甲溪河床隆起,埤豐橋塌落中(洪如江攝)



圖四十五 石岡壩因斷層錯動而破壞(連永旺攝)



圖四十六 天塹可以飛渡:一億立方公尺土石連同簡家降落在倒交山(洪如江攝於921大地震之後)



圖四十七 921大地震,中部橫貫公路谷關-德基段全面崩潰(林銘郎攝)

誌謝

國立中央大學應用地質研究所李錫堤教授,經濟部中央地質調查所林啟文先生,行政院農業委員會,提供多項資料。行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會,高雄縣政府,台大農學院實驗林管理處,林務局,安排訪問災區,方便拍攝照片。李錫堤教授,對文稿提出修改意見,並代為修編附圖。大地技師公會也曾經邀請撰寫專文。2011年海峽兩岸地工技術岩土工程交流研討會邀請擔任第二屆陳斗生博士紀念講座,發表演講。讓筆者對本文所牽涉到的問題,有認真加以思考的機會。一併在此敬表感謝之意。

為撰寫本文所參考、引用的寶貴資料甚多,不及一一在本節中列名誌謝,只好另在圖、表、及參考文獻中加註,也在此對原著者敬表謝意。

參考文獻

- 李三畏,吳慶彬,周揚國,莊文寬,黃台豐,林慶偉(2009),莫拉克颱風災後原居住地安全初步評估表,來義鄉來義村。
- 李錫堤,董家鈞,林銘郎(2009),小林村災變之地質背景探討,地工技術,第122期,第87-94頁。
- 林美聆,陳樹群(2009),莫拉克颱風期末報告,重點勘災坡地組II,國家災害防救科技中心。
- 林啟文,張徽正,盧詩丁,石同生,黃文正(2000),臺灣活動斷層概論(第二版),五十萬分之一,臺灣活動斷層分布圖說明書,經濟部。
- 邱俊穎,胡植慶,陳致言,劉桓吉(2008),山腳斷層再活動對於台北盆地內地形變化之探討,新期構造研究專輯(一),經濟部中央地質調查所特刊第二十號,第97-110頁。
- 洪如江(1966),台北盆地各土層土壤之物理特性,國立台灣大學工程學刊,10期,第194-217頁。
- 洪如江(2010),台灣順向坡滑動災害的回顧與災害防治的原則,土木水利,第三十七卷,第三期,第1-7頁。
- 洪如江(2010),台灣大地環境與工程建設,大地技師創刊號,第18~31頁。
- 侯進雄,陳于高,胡植慶,林啟文(2008),台北地區近期的地殼變形研究,新期構造研究專輯(一),經濟部中央地質調查所特刊第二十號,第193-221頁。
- 財團法人地工技術研究發生基金會(2009),莫拉克颱風地工災害,地工技術,第122期。
- 陳文山等十三氏(2008),從古地震研究與GPS資料探討縱谷斷層的分段意義,新期構造研究專輯(一),經濟部中央地質調查所特刊第二十號,第165-191頁。
- 潘國樑(2009),歷史重演~小林村的宿命,地工技術,第122期,第153-155頁。
- Angelier, J., et al (2001), The Chichi Earthquake, 1999, and its role in the Taiwan orogen, Earth and Planetary Sciences 333, 5-21.
- Lee, C. T. (1999), Neotectonics and active fault in Taiwan, 1999 Workshop on Disaster Prevention/Management & Green Technology, Foster City, CA, USA, 61-74.
- Li, Yuan-Hui (1976), Denudation of Taiwan Island since the Pliocene Epoch, Geology 4:2, Geological Society of America, pp105~107.
- The World Bank (2005), Natural Disaster Hotspots – A Global Risk Analysis, Disaster Management Series No. 5.