

## 50. 斷層(Fault)

吳偉特\*

斷層係指當地盤或岩體受大地應力 (Tectonic Stress) 作用後發生之破裂面，當此破裂面再發生錯動時即稱之為斷層。

斷層之成因，主要是由於該地區之大地應力超過地層之最大強度時，即沿弱面發生破壞現象；由於大地應力主應力分佈之不同，遂產生張力破壞、壓力破壞與剪力破壞，而造成不同類型之正斷層、逆斷層與走向斷層等斷層型態（圖一(a)至(f))。

此種沿破裂面發生之永久性位移，大至數公里、小至數公分；最大規模之斷層為板塊運動交界之大規模斷層群；一般大規模之斷層，在破裂面上任意一點兩側之岩石，常不屬於同一地質年代，故一般斷層面亦為一重大不連續面。

斷層常以一平面或一條線表示之，實際上斷層之寬度，寬者數十公尺甚至數百公尺，窄者數公分者亦有存在；斷層所造成之不平地表，稱之為斷層崖 (Fault Scarp)，一般包括地壘 (Graben) 與地隆 (Horst) 兩種形態（圖二）。

斷層兩側之破碎岩體，會因斷層位移之繼續發生，使得破碎岩石會被壓碎形成相當寬之斷層碎屑，一般稱之為斷層礫 (Fault Breccia)；或破碎岩石被磨細形成斷層泥 (Fault Gouge)；而斷層礫與斷層泥又可能因大地應力之壓密作用固化成為斷層岩 (Fault Rock)。

此種因破裂弱面存在形成之斷層，其斷

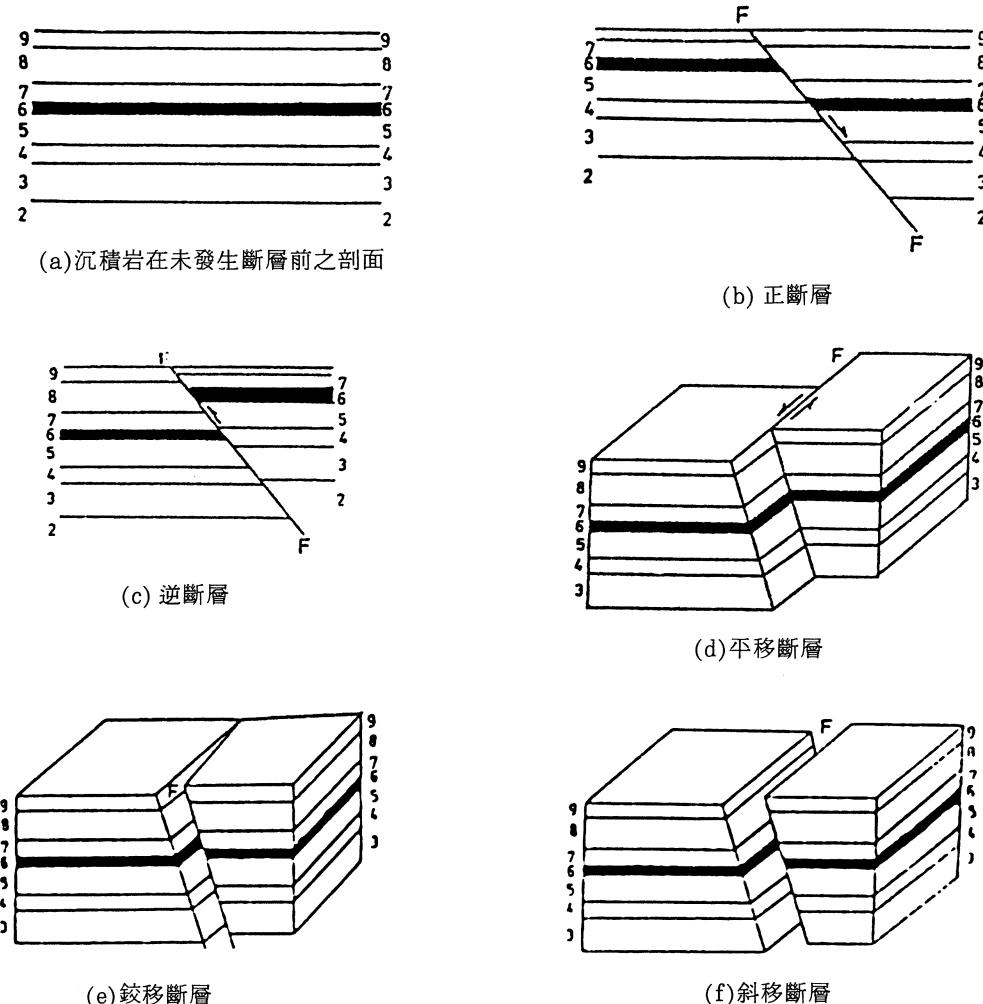
層帶內之剪力強度低，破碎岩體具有高透水性，再加上因斷層存在所累積之應變能量，有可能引發地震發生之種種現象，皆使得在工程規劃設計或施工時，視斷層為相當頭痛之問題，一般斷層對工程設施之影響程度，係視斷層特性，結構物重要性與工程效益而決定之。

斷層為岩體內之弱面或不連續面，此等弱面常呈一長度與寬度大小不一之不平滑破碎面，實際上常稱之為破碎帶；破碎帶中之斷層角礫或斷層泥，其強度甚低；斷層角礫之破碎帶，使斷層帶形成一透水層，而斷層泥之破碎帶，則使斷層帶形成一不透水層；此等強度甚低之透水層或不透水層，遂使得隧道施工時，常遭遇到力學上及地下水之複雜問題，或使斷層帶上之岩盤基礎，產生不均勻沉陷之現象發生。

斷層帶形成之不透水層，可使在斷層帶之兩側，形成不同之地下水區，此種在斷層帶內蓄積之封閉地下水層，在岩體內產生甚大之孔隙水壓，當隧道開挖穿透此斷層帶時，即會遭遇到大量湧入之地下水，時間常達數星期或數月之久；有時甚至引起隧道內大規模之塌落而阻塞已開挖之坑道。

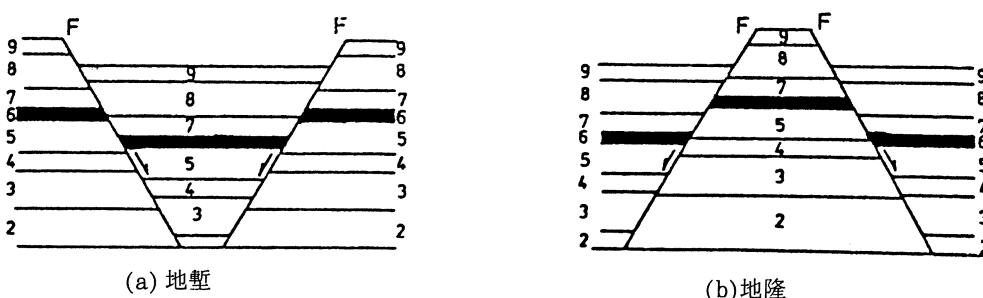
因此，一般基礎工程設計，若有斷層之存在，則須要了解其確實位置，延伸方向與破碎帶之寬度，以及斷層帶材料之種類與其力學特性，係為相當重要之事。

\*國立台灣大學土木工程學系教授



圖中數字示地層沉積次序，F示斷層面

圖一 常見斷層之示意圖（取自洪如江，1983）



圖二 地塹與地隆示意圖（取自洪如江，1983）

# 51. 活動斷層(Active Fault)

活動斷層係指某一斷層在過去經常發生週期性的活動，而此斷層的活動性可由歷史、地質、地震、大地測量及地球物理探測而得知。

活動斷層的存在，對於預測地震之發生、地震規模之大小、地表最大加速度值之高低，係為重要之評估因素。

活動斷層之認定，一直為衆多學者之爭議；最早提出者，為美國 Willis 與 Bailey 於 1923 年提出，係針對加州斷層之分佈，指出凡沿斷層兩側地盤有可能發生移動者，皆可視為活動斷層；此種定義實際上並不明確，因凡與造山運動有關之斷層，與歷史上曾記載發生之地表斷裂，均可屬於此種定義之活動斷層。

1950 年之 Louderback 與 1965 年之 Allen 等人，則以距現今所發生之前一次地表斷裂或斷層作用之年代時間，做為確認斷層活動性之主要依據；亦即以地質與地震觀點來解釋活動斷層之定義；活動斷層係指斷層穿截包括現代沖積層，且地形之特殊形態被認為是由最近之地震所發生者；而非活動斷層，則指斷層被現代沖積層（如更新世台地堆積物或第三紀地層等）所覆蓋者。

1972 年美國原子能法規委員會開始對活動斷層有一較明確之定義，該定義不再稱之為活動斷層，而稱之為「可能活動斷層」(Capable Fault)；可能活動斷層之歸類，係具有下列所列一個或一個以上之特徵者：

(1) 在斷層線上曾在地表或地表附近，在三萬五千年內至少會發生過一次移動者；或在五十萬年內，該斷層會沿原有斷層再次發生斷層作用者。

(2) 使用地震儀曾精確記錄到大規模之地震與該斷層有直接關連者。

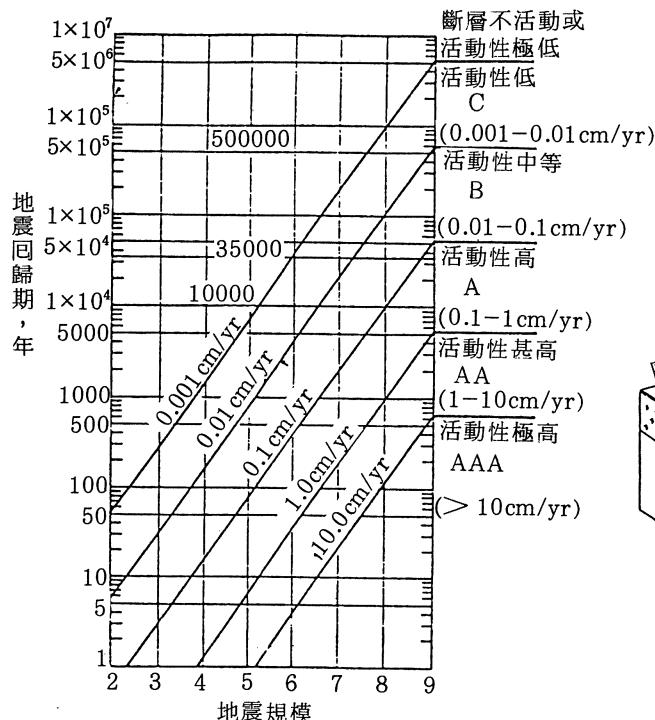
(3) 依據前述第一或第二種特徵，由構造地質之相關性推斷該斷層上之錯動，係由另外一個斷層之錯動而引發者。

美國原子能委員會之定義，係根據斷層之動態特性與可能發生之或然率；亦即視活動斷層為一活動地盤，而斷層兩側之地盤均受大地應力而變形，故在未來某一時間，該地盤將因變形達到強度極限而斷裂，並產生地震；或因別的地震引起之地盤振動，引發該斷層地盤發生斷裂者；而可能發生之或然率，則指該活動斷層可能再發生活動之或然率與最近一次該斷層發生活動之時期成正比關係。

1977 年 Slemmon 與 Mckiney 定義活動斷層係為在一萬年內會動過一次之斷層；而可能活動斷層則指三萬五千年內會移動一次，或在五十萬年內會動過兩次或更多次之斷層；死斷層 (Dead Fault) 係指在早先之造山運動中會為活動，但在目前之大地環境中則並不活動，亦即在新生代末期之地層中，未曾錯動之斷層。

Slemmons 與 McKiney (1977) 更進一步以地震規模、地震回歸期與斷層年位移率之關係（圖三），表示出斷層活動性之高低程度；由圖中可知若年位移為一公分之主要斷層，產生地震規模為七之回歸週期為二百年，而產生地震規模為八之回歸週期為一千年。

活動性極高（年位移大於 10 公分者）之斷層，發生在板塊下插帶或海槽位置；活動性甚高（年位移 1 至 10 公分者）之斷層，發

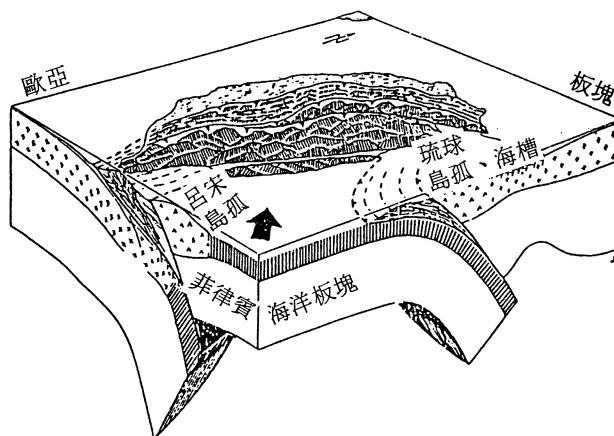


圖三 地震規模，地震回歸期與斷層位移率  
( 斜線上數字所示 ) 之關係  
( 取自 SLEMMONE & MCKINEY,  
1977 )

生於主要板塊之交界上，且為明顯可見者；活動性高之斷層（年位移 0.1 至 1 公分者），其活動性常可測得，或偶而中斷；活動性中等之斷層（年位移 0.01 至 0.1 公分者），在地形上有中等至明顯之斷層活動證據者；活動性低之斷層（年位移 0.001 至 0.01 公分者），在地形上僅有稀少之斷層活動證據者；不活動或活動性極低斷層，則指年位移低於 0.001 公分者。

台灣地區在地質構造上，係位於新期造山作用之活動帶，亦即台灣位於太平洋板塊西側與亞洲板塊東側之接連處，其接觸位置為台東縱谷，台東縱谷即為兩板塊相互衝撞之縫合處；加以在花蓮以北之菲律賓板塊向北下插現象，遂使得台灣地區地震頻繁（尤

其是台灣東部宜蘭、花蓮、羅東一帶），常引起斷層產生再次移位之情形發生（圖四）、台東縱谷兩側之三角點，每年皆分別向台東縱谷接近約兩公分之多，可分類為「活動性甚高」斷層。



圖四 台灣地區之地體構造架構 ( 取自 Angelier, 1986 )

台灣自更新世早期發生之造山運動後，到今之地殼運動仍在進行，故地震頻頻發生，而造成台灣本島上有四十條以上之淺成斷層，以及幾條與台灣島軸平行之深成斷層；這些斷層中部份仍然活動，部份屬於可能活動者，茲根據美國原子能委員會所訂之標準，台灣目前之活動斷層可再細分為地震斷層、現代斷層與現代再活動斷層（徐鐵良，1983）；茲分別列表分類如下：

(1) 地震斷層（在 10,000 年內。隨伴地震產生）：

獅潭地震斷層、神卓山地震斷層、屯子腳地震斷層、梅山地震斷層、新化地震斷層、玉里地震斷層、米崙地震斷層、瑞穗地震斷層。

(2) 現代斷層（切穿現代堆積物，於現代堆積以後，即 10,000 年內發生之斷層）：

木屐寮斷層、後甲里斷層、小崙山斷層、赤崁斷層、右昌斷層、仁武斷層、鳳山斷層。

(3)現代再活動斷層（更新世或更古遠時期發生之斷層於現代中有明顯再活動痕跡者，10,000年至500,000年間）：

大甲斷層、潮州斷層、池上斷層、鹿野斷層、利吉斷層、中央山脈斷層。

至於台灣本島目前具有可能活動能力之斷層，亦即稱之為「可能活動斷層」者，可再細分為更新世斷層，與經由微震觀測資料研判尚未正式命名之可能活動斷層；茲分別列表分類如下（徐鐵民，1983）：

(1)更新世斷層（於更新世晚期至現代可能有活動痕跡者，35,000至180,000年間）：

金山斷層、台北斷層、三義斷層、觸口斷層、大茅埔—雙冬斷層、新城斷層、大坪地斷層、竹東斷層、鐵砧山斷層、大尖山斷層、車籠埔斷層、左鎮斷層、旗山斷層、六龜斷層。

(2)其他可能活動斷層：均由微震觀測而推測，未命名。

上述經微震資料判定之可能活動斷層，目前共有七處（蔡義本等人，1975, 1976），均尚未命名。

活動斷層之定義，由前述得知係僅為界定斷層活動性之指標(Guide)，因此定義中之「可能活動斷層」取代以往通稱之「活動斷層」；而斷層的活動性，從字面上似乎是考慮該斷層將來是否會再發生地震之可能性問題，而事實上應該是該斷層將來再發生地震的或然率(Probability)問題，因此，活動或非活動斷層之分別，就成為斷層在將來發生地震之或然率大小的分別。

換句話說，斷層發生的時機愈新，與地

震發生的頻率愈高，則將來沿該斷層發生應變累積最後導致地震發生的或然率也愈高；而或然率的推估，則可根據過去歷史中之地震規模與發生頻率，進行統計分析而算出。

此外，斷層再發生地震之或然率，亦與斷層之延伸大小有關，因地震之發生主要為沿斷層之累積應變位能之釋放，故斷層規模延伸太小之斷層，則累積之應變位能，不是因為能量太小，無法引起地盤斷裂，就是位能逐漸消散而無法引發地震發生；美國原子能委員會規定斷層長度小於1英哩者，其將來發生地震之或然率甚低，並認定即使發生地震亦不致對結構物造成嚴重損壞現象；至於此一英哩之規定，主要係根據美國加州之聖安德烈斯(San Andreas)大斷層之活動性資料加以統計分析得出。

斷層是否發生之活動性，亦與斷層兩側之位移率高低有關；位移率高者，未必產生地震，因其滑動可能屬塑性變形，位移率雖高，但却不會釋放能量；而若位移率不高之斷層，或甚至數千年或萬年不動者，則累積之位移能量可能突然大錯動而產生滯動變形(Stick-slip)，釋放出累積之大能量，遂產生大地震。

因此，有關地震之活動性高低，則必須對斷層進行周詳透澈的調查，包括斷層帶的確實位置、延伸長度、斷層物質材料之組成與力學特性，地震與斷層構造之關係等等，再配合工程環境對工程效益，以及對公眾安全性所引發之衝擊性程度，進行評估後即可對靠近斷層之工程建設安全考慮程度，加以正確而合理之判斷。

工程設施建設之工址若有斷層存在，並不表示該工程設施不能建設；若經過仔細調查分析，該斷層屬於非活動性斷層，則可視為軟弱地盤以工程特別設計或地盤改良加

以處理；若為活動性高之可能活動斷層，除非為安全性要求極高之工程設施外（如核能電廠絕不允許工址有活動斷層存在）・一般工程只要避免將重要結構物直接跨越在活動斷層線上，並對工程設施加以補強加勁與特別設計，再配合完善良好的施工，應可克服斷層對工程建設安全之威脅性。

## 參考文獻

- 洪如江(1983), “岩體中之弱面”，地工技術雜誌第4期，第111～118頁，民國72年10月。
- 洪如江(1986), “工程地質中之環境因素”，地工技術雜誌第15期，第91～104頁，民國75年7月。
- 徐鐵良(1983)，地質與工程，台灣工程基本資料叢

- 書之四，中國工程師學會，民國72年。
- 謝敬義(1989), “斷層在工程上之意義”，工程地質技術應用研討會論文集，工業技術研究院能源與礦業研究所，台北，民國78年3月。
- 蔡義本等人(1975), “新店～宜蘭地區微震活動與斷層之關係”台灣石油地質第12號，第149～168頁。
- 蔡義本，邱哲明(1976)，“台灣西南部曾文溪口附近之活性斷層”，台灣石油地質第13號，第209～224頁。
- LOUDERBACK, G.D. (1950), Faults and Engineering Geology, *The Geological Society of America, Berkeley Volume*, 125-150P.**
- SLEMMONS, D.B. & MCKINEY, R. (1977) "Definition of Active Fault", *U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station*, Vicksburg.**