

## 二、斷層在工程上的意義

謝 繼 義\*

### 一、前 言

所謂斷層在構造地質學上係指地盤或岩體受大地應力作用後發生破裂，此一破裂面稱之為節理 (Joint)，沿此破裂面再發生錯動者即為斷層。從力學上的觀點而言，某一地區之大地應力超過該地區地盤或岩體之最大強度時，即沿某一弱面發生破壞現象。由於大地應力主應力之分佈各地均不相同且依時而異，故產生張力破壞、壓力破壞，以及剪力破壞等相對應之所謂正斷層、逆斷層、平移斷層等不同類型之斷裂錯動型態。不論何種類型之斷層，對工程結構物而言，斷層為一破裂之弱面所在，斷層帶內岩體之強度弱化、破碎岩體之高透水性，以及因斷層存在所蓄積之應變能量而引發地震，使得一些工程師在規劃某一工程建設或設計某一結構物基礎時，幾乎“談虎色變”，因之避而遠之。事實上，斷層在工程上的嚴重性，應視斷層的特性、結構物的重要性，以及工程效益等加以適當的考量。台灣因位於太平洋板塊西側與亞洲板塊東側接壤處，地質演化上屬於一相當新期之構造活動地帶，除了數條縱貫全島南北之大構造斷層帶外，較新期之東西向斷層亦所在多有。此外，區域性及局部性之大小斷層亦無所不在。因此，在此種地質環境下，若對斷層沒有正確的認識，則在台灣地區即沒有任何地方可供大型工程建設了。本文之主旨，係以工程地質的觀點來探討斷層所引起的一些工程問題，俾供工程界決策人士以及從事於大地工程界之從業人員之參考。

### 二、斷層在地形與地質上所顯現之構造特性

斷層為一脆弱帶，因此，在地質作用的演變過程中，斷層的存在，在地形上以及地質構造上即呈現異常的地形與構造特性。斷層在定義上雖屬一破裂面，但此一破裂面的寬度範圍及其延伸長度，可由數公分至數公里不等，也因之，由於斷層規模的大小，其露出地表所顯現之地形異常與構造特性亦大小不一。更由於斷層受自然界風化與侵蝕以及沉積作用等之交替影響下，斷層存在的跡象，也隨年代之久遠而不易由地表之露頭加以觀察。但利用外太空衛星之掃描以及高空攝影所得之照片，大小斷層之存在，均有不同程度的地形與構造特徵在影像或照片上顯露出來。此即所謂遙感探測技術中的線型構造。斷層的存在，在地形上以及地質構造上最常顯現的特徵扼要加以說明如下：

#### 2.1 地形地貌之特殊景象

##### (1) 斷層崖及斷層線崖

沿新生斷層線所產生高程差異之斷崖地形稱之為斷層崖。在大地震之後，由地表斷裂所產生之地表高低差，亦可稱之。由於自然界之侵蝕作用以及人為之整修等，此類斷崖通常不易被長期保存下來。沿斷層線上，經長期侵蝕作用後，由於兩側岩層不同之抗蝕性而產生之地形起伏，則稱之為斷層線崖，如美國加州東側 Sierra Nevada 地區向東之陡崖即屬此類。

##### (2) 斷層線谷

\* 台灣電力公司專業地質師

沿斷層線所形成之山谷地形稱之為斷層線谷。在台灣東部地區，最顯著的此類地形為台東與花蓮間的台東縱谷。

(3) 斷層鞍部與斷層山丘 (Kerncol and Kernbut)

斷層切截某一山脊時，由於斷層之錯動以及斷層帶之強度弱化，形成一較低緩之鞍部地形與抗蝕性較強之分離孤立山丘成對存在，在地形上具有相當明顯之鞍部地形。

(4) 三角面或削切山嘴

(Triangular Facet or Faceted Spur)

若斷層與河流平行，則在河流側壁之山嘴部份，沿斷層面因受侵蝕而形成連續性倒“V”字型之平滑坡面。

## 2.2 構造地質上之特徵

- (1) 地質位態（走向與傾斜）之變化。
- (2) 地層之重複出現或消失。
- (3) 層面或節理面上之擦痕 (Slickenside or Striation)。
- (4) 岩脈、岩床或地層之錯動。
- (5) 破碎帶內斷層角礫及斷層泥之存在。
- (6) 構造線之突然改向與消失。

以上各種地層層序問題以及構造變化等特徵，應由專業地質師加以分析與研究始能明瞭，不在本文討論範圍之內。

## 三、斷層在工程上的意義

### 3.1 大地應力的觀點

如前所述，斷層為岩體受大地應力後破壞的結果。此一大地應力的力學模式，曾在於地質學界引起相當長期之爭議。1920年代，德國 Alfred Wegener 所提出的大陸漂移學說雖可解釋當時許多地質學上的問題，但對於大陸漂移的動力來源，在當時因無法提出令人信服的論證而引發長期的辯論。迨至1960年代，由於 Dietz 及 Hess 所提出的海底擴張學說以及較早期 Holmes 的熱對流學說之後，經過數年的研究發展，直到1970年代經各方學者研究結果而提出板塊構造學說 (Plate Tectonics)。對於地球表面地殼的種

種地質現象，諸如造山運動、火山、地震、海陸分佈、古地磁的變化、海底地形等之成因等均可透過板塊構造學說而獲得合理的解釋。

根據板塊構造學說的原理，地球表面約30~50公里厚的地殼就像雞蛋的蛋殼一樣與地殼之下稱之為地函 (Mantle) 之間有一層稱之為 Moho 不連續面。在此一不連續面的深度附近及地函上部之間，可能存有一層較為軟質的地盤稱之為 “Asthenosphere”。根據 Holmes 的熱對流學說，地球表面的地殼受到由地心向地表發散熱對流的牽引，地殼即在 Asthenosphere 之上發生漂移的現象。地球表面各種地質作用以及地球物理現象等均由地殼漂移時，互相擠壓、推撞的結果。因此，所謂大地應力的來源實為地殼板塊漂移時的結果。從材料力學的基本理論觀之，岩體之受力情況，可利用三個主應力軸來加以表示。假設岩體的破壞係依據 Mohr-Coulomb 的破壞理論時，則斷層面將與最大或最小主應力軸呈  $45^\circ + \frac{\phi}{2}$  或  $45^\circ - \frac{\phi}{2}$  ( $\phi$  為岩體之內摩擦角) 的角度。因此，某一區域的斷層類型與發生斷層時之當地大地應力情況有異。若大地應力之最大主應力軸垂直於地表，則發生之斷層屬於重力斷層或正斷層；若中主應力軸垂直於地表，則斷層屬於平移斷層；若最小主應力軸垂直於地表，則將發生逆斷層或逆衝斷層。因此，根據大地應力情況與斷層面之相互關係，可作為某地區古應力情況評估之依據，對於某一地區進行工程地質調查時，若能詳細研究斷層的分佈與其對應年代，以及其相伴之節理型態，可據以評估該地區古大地應力的歷史。李錫堤博士與王源教授 (1988) 曾利用此一概念研究台灣北部第四紀以來大地應力之變化情況，並據以推論產生應力變化在大地構造上之意義。最近李錫堤博士亦利用此一概念，將現有記錄之地震資料中，以斷層面解之分析結果推論現今之大地應力情況，與以當地現存斷層類型推論其大地應力情況相互比照與對證，作為研判現有斷層是否為活動斷層的依據之一。

### 3.2 靜態力學上之意義

斷層為岩體內之弱面或不連續面。實際上，斷層並不是一個平滑的破裂面。大部份的斷層均為一長度與寬度大小不一的一個破碎帶。破碎帶中包含因受剪力而破碎之岩塊，稱之為斷層角礫 (Fault Breccia)，以及受劇烈剪切而成粉狀軟弱之黏土狀物質，稱之為斷層泥 (Fault Gouge)。部份斷層帶兩側之岩體因受此斷層之影響，岩體雖未呈現明顯之破碎或擾動，但岩層之位態均可能受到牽引而失序。岩體內之節理顯得特別發達，部份節理亦可能產生小規模之錯動而具有剪切面存在。因此，斷層帶內之岩體與其兩側未受斷層擾動之岩體相較，其力學強度顯著降低。更由於斷層帶內所含物質種類之不同以及含量之互異而具有不同之工程特性。例如斷層帶可能是一個透水層，若斷層物質大部份均為斷層角礫或節理發達之破碎岩體。若斷層帶內含有大部份之斷層泥，則斷層帶可能為一不透水層。在隧道施工時，所遭遇之斷層問題，即常發生此類力學上以及地下水的複雜問題。斷層帶內強度的弱化，使得隧道周圍岩壓增大，往往利用加強支保的方式即可加以克服，但對於斷層帶內，由於斷層所形成之不透水層，可能在斷層帶之兩側，形成不同之地下水區 (Groundwater Regime)，在較靠近水源區一側之斷層帶內可能蓄積成一封閉之地下水層，在岩體內形成相當大之孔隙水壓力。因此，隧道開挖時，當穿過此種斷層帶時，即常遭遇突然湧出之大量地下水，有時持續數星期或數月之久。甚至大量之湧水帶動斷層物質而發生大規模之塌落並阻塞原已開挖完成之坑道。另一方面，有些斷層由於年代相當久遠，且未再沿原斷層發生錯動，因此斷層帶之斷層角礫及斷層泥等因再度受到大地應力之壓密作用或由於地下水中之鹽類沉澱、再結晶，以及地下岩漿熱液之侵入等而產生固化作用，形成固化斷層角礫、壓細岩 (Cataclasite) 以及糜爛岩 (Mylonite) 等物質。此類所謂之癒合斷層 (Healed Fault or Crustified Fault) 有如斷

層帶內經過灌漿處理後之情況。因此，在工程上不致引起嚴重問題。

在岩盤基礎工程上，因岩盤之壓縮性甚小，故常加以不計。但有斷層存在時，則可能產生不均勻下陷現象，設計時不可不慎。例如，有些座落在坡地上的大型油槽或重型結構物，基礎設計前，若未經詳細的基礎地質調查，忽略了基礎範圍內斷層的存在。將來結構物完成後，可能產生三種情況：(1)斷層面若與邊坡呈順向關係時，由於坡面上結構物加載而產生邊坡滑動問題而引起基礎之下陷。(2)結構物基礎下方若有低角度斷層存在，但未露出地表，若該斷層含有寬度超過十公分以上之斷層泥等黏土物質時，則基礎之下陷量可能受此斷層泥之壓縮性所影響。進行平鈹載重試驗時，有時發現在堅實的岩盤上常有不正常的變形量，很可能即屬此種情況。(3)結構物基礎範圍內，若有斷層露出，施工時，若未加注意，致使部份基腳座落在堅實岩盤上，而部份基腳却座落在斷層帶上，而引起不均勻之下陷。

根據以上之討論，斷層之存在，除了需要瞭解其真實的位置、延伸方向與破碎帶之寬度外，斷層物質之種類及其力學特性，在基礎工程上相當重要。

### 3.3 動態力學上的意義

1970年代以前，板塊構造學說尚未建立，地震與斷層的因果關係不甚明瞭。一般而言，地震發生後，導致地表斷裂或錯動，因此地震是因，而斷層為果。但是，從地震的發生頻率與地質構造特性比較的結果，斷層分佈較多的地區，地震發生的頻率顯著增多。美國加州地區地震頻繁與加州斷層特多不無關係。1906年4月18日，加州發生規模達8.3的舊金山大地震之後，舊金山市政府曾組成調查團研究加州聖安德烈斯大斷層 (San Andreas Fault) 以及其他斷層帶與地震的關係。數年後，由 H.F.Reid 所提出的所謂彈性反跳學說 (Elastic Rebound Theory) 說明地震係斷層兩側之地盤發生相對移動時

，在斷層帶內地盤因變形而累積大量之位能。當變形繼續進行而達到地層內岩體之最大強度時，岩體即達破壞而斷裂，斷裂之瞬間，聚集在斷層帶內之大量位能即釋放出來，而以震波的形態向四方發散。此一能量釋放的瞬間即為地震發生時之主震(Main Shock)。由於地盤內岩體之彈性，原受剪切變形之岩體，在斷裂發生後，因反彈而恢復原狀，此時產生所謂餘震(After Shock)。因此斷層是因，而地震為果。雖然彈性反跳原理可以解釋地震與斷層的因果關係。但對於斷層兩側的地盤為何會產生相對移動。當時 H. F. Reid 無法提出合理的解釋。因此，他的學說並未引起學者太大的重視。直到1960年代至1970年代，前述板塊構造學說建立之後，由板塊構造學說中之板塊漂移以及大洋脊中轉形斷層(Transform Fault)內地震震央之分佈特性，大多數學者才認同斷層實為板塊境界(Plate Boundary)之一。因此，彈性反跳學說在地震工程上才再度受到學者的重視。目前在結構物耐震設計中，地震發生時，地表最大加速度值之估計，即根據此一學說之概念而發展出來的。另一方面，並不是所有的斷層都可能引發地震。有些年代久遠的斷層，在地質調查中，由地層之層位、層序之關係，可以確認此一斷層自發生後，即不會在同一斷層上再發生地盤之錯動。因此，在地震工程學上，即有所謂活動斷層(Active Fault)及非活動斷層的分別。

活動斷層的存在為評估地震發生時，其規模大小，以及最大地表加速度值之重要因素之一。所謂活動斷層一詞，係於1923年由美國 Willis 及 Bailey 在他們所發表的「加州斷層分佈圖」中首先提出者。當時對於活動斷層並無明確的定義。僅表示沿斷層之兩側地盤可能發生移動者，可視為活動斷層。故與造山運動有關之斷層，以及歷史上曾記載發生地表斷裂者均屬之。1950年，Louderback 及 1965年 Allen 等人曾就地質與地震觀點解釋活動斷層之定義。若斷層穿截包括現代沖積層，而地形之特殊形態被認為係由最

近之地震所產生者，均屬活動斷層。反之，若斷層被現代沖積層所覆蓋，如更新世台地堆積物或第三紀地層等，則可視為非活動斷層。由上可知，距現在所發生之上一次地表斷裂或斷層作用之年代為確認斷層活動性之主要依據。1972年，美國原子能法規委員(USNRC)在 10 CFR Part 100 之附錄 A (Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power) 中，對於所謂活動斷層規定了一頗為明確之定義。該定義不再稱之為「活動」斷層，而稱之為可能活動斷層(Capable Fault)。根據該定義，若斷層具有下列一個或一個以上之特徵時，則可視為可能活動斷層。

(1)在斷層線上，在 35,000 年之內，曾在其地表或地表附近至少發生過一次移動者，或在 500,000 年之內，該斷層曾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)根據上列(1)或(2)點之特徵，由構造地質之相關性推斷該斷層上之錯動係由另一斷層上之錯動而引發者。

由上述之定義即可瞭解所謂活動斷層實包括兩個主要意義。其一為斷層之動態特性，另一為可能發生之或然率。前者表示活動斷層為一變動地盤，沿此斷層之兩側地盤均受到大地應力而變形，故在將來的某一時刻，在此斷層上之地盤因變形達到強度之極限而斷裂，並產生地震；另一方面，由於外來地震所引起之地盤振動，引起斷層兩側發生地盤斷裂。後者則表示活動斷層可能再發生活動之或然率與最近一年該斷層發生活動之時期成正比。定義中所規定之 35,000 年，似無理論上之根據，此一數字可能係配合碳-14 同位素年代鑑定之期限而設。因碳-14 同位素之半衰期較短，其年代鑑定界限約在 37,000 年左右精度較高。

雖然板塊構造學說可以相當合理的解釋地震與斷層的因果關係，但地震發生的地與時，均屬隨機性(Stochastic)之分佈，迄至

目前為止，我們的科技知識，尚無精確予測地震發生的時與地。因此，對於結構物的耐震設計，僅能根據過去地震發生的歷史與經驗來加以分析與研究。目前地震研究的分析方法，大致上可分為兩個步驟。第一個步驟需先評估對結構物可能產生損害之最大地震 (Maximun Credible Earthquake, 簡稱 MCE) 以作為估算設計地表最大加速度值之依據。故又稱之為設計地震 (Design Basis Earthquake, 簡稱 DBE)。對於安全考慮要求甚高的結構物，例如核能電廠，此種設計地震的考慮更為嚴苛與周詳。根據美國核能法規委員會之規定，對於核能電廠，應先評估所謂安全停機地震 (Safe Shutdown Earthquake, SSE)，然後根據安全停機地震 (SSE) 所求之地表加速度值，以它的 50% 或 50% 以上作為運轉設計地震 (Operating Basis Earthquake, OBE) 之加速度值。上述 SSE 與 OBE 兩者之間對結構物設計概念最大的不同為時空的問題。SSE 僅指明在電廠附近可能發生之最大地震，但未指明該地震發生之周期或或然率；該地震也許 100 年才發生一次，也許 200 年才發生一次。OBE 則明確規定在電廠運轉期間可能發生影響電廠運轉之地震。核能電廠運轉法規中規定，若電廠運轉期間發生之地震，其地表最大加速度值大於所設計之 OBE 時，電廠必須立刻停機。經過周密檢查與試驗，證明電廠之機件、操作等均無問題時，由主管之政府核能委員會批准後，方能繼續運轉，由此可知，SSE 之決定主要係基於安全之考慮，而 OBE 之決定則係基於工程經濟之觀點來考慮。對於最大地震或設計地震之評估目前亦有兩種方法被廣泛採用。第一種方法係在工址附近，例如半徑 50~100 公里範圍內，調查是否有活動斷層存在，因活動斷層如前所述，可視為將來引發地震之震源。由此一活動斷層的長度大小，根據統計學上之方法將過去歷史上已知之活動斷層與地震之關係資料，求出地震規模與斷層長度之關係式，由此關係式即可得由該活動斷層將來可能發生地震之規模

。第二種方法係根據過去歷史上所發生之所有地震中，在工址地區發生最大損害之地震作為最大地震或設計地震。第二個步驟係根據前述第一個步驟中評估所得之設計地震，以經驗公式或統計方法，依震央與結構物工址之距離長度所得之衰減距離，計算最大地表加速度值。由於各地區之地盤特性不同，因此地表最大加速度值與地震規模大小之經驗公式亦有相當之差異 (謝敬義, 1970)。最近幾年來，有些地震學家，將台灣地區、歷史上已發生之地震，把各地震之規模大小與地表加速度值，以統計回歸方法，求出地震規模與地表最大加速度值之數學公式。由此一公式求出地表最大加速度值 (葉永田等人, 1985)。另有一種利用地震震度與震央距離之衰減關係而求得者。其衰減曲線係根據某一已知強震之等災線圖 (Isoseismal Map) 推估而得。不論利用經驗公式或統計公式，此一步驟中最重要的是計算時，設計地震所發生的位置。如前所述，若有活動斷層存在，則設計地震必須放在離結構物工址最接近之活動斷層線上。因此，活動斷層的確實位置及其長度，在評估某一工址之耐震設計甚為重要。台電公司數年前規劃台灣南部雲林地區某一大型基載電廠時，即曾研究台灣南部著名之梅山斷層對該基載電廠將來可能產生之最大地表加速度值，以作為廠址選擇考慮因素之一 (謝敬義, 1987)。

#### 四、對斷層應有的認識

綜上所述，斷層在工程上的重要性自不待言。以台灣地區而言，大小斷層幾乎無所不在。因此工程師在面對目前正大力推展工程建設之努力時，在工程規劃、設計或施工當中，遭遇斷層乃為無可避免的事情。事實上，斷層並不足慮，重要的是對地質上所謂的斷層應有正確的認識。如前所述，把斷層兩極化而分為活動斷層與非活動斷層兩大類並不切實際。難道所謂的非活動斷層將來真的就不會引發地震嗎？而被區分為活動斷層就真的會引發地震！當然沒有人能夠提出肯

定的答覆。斷層的存在，對於我們的工程設施，將來到底會發生什麼影響，工程師應該歸根究底的是，斷層使地盤弱化，強度減低，工程技術上能否克服，經過地質改良後，是否可一勞永逸？是否合乎經濟效益？這些問題的答案，表面上繫於一個大前提，也就是這一個斷層是否為活動斷層。前述有關活動斷層的定義僅不過是界定一個斷層活動性的指標 (Guide) 而已。因此，定義中稱之為“Capable Fault”而不再稱之為“Active Fault”。事實上，某一個斷層的活動性，並不是考慮這一個斷層將來是否會復發地震的可能性 (Possibility) 問題，而是這一個斷層將來復發地震的或然率問題 (Probability)。因此，所謂“活動斷層”與“非活動斷層”其實僅不過是斷層將來發生地震的或然率大小之別而已。法規中並未規定或然率多少才能視為活動斷層，定義中規定斷層在 37,000 年才發生一次地震或 500,000 年發生 2 次以上者視為活動斷層，其真正的含義是斷層發生時機愈新 (Recency) 以及發生地震的頻率愈高，則將來沿此斷層發生應變累積而引發地震的或然率愈高。至於或然率之推估目前多根據過去歷史上之地震規模與發生頻率作統計上之分析。此種或然率的概念非常重要。茲試舉核能電廠規劃之實例稍加說明。如前所述，由於核能電廠的安全要求甚高，因此評估設計地震時，多為安全停機 (SSE) 地震及運轉設計地震 (OBE)。前者係基於安全之考慮，而後者為考慮工程之經濟效益。設計規範之取決運轉設計地震 (OBE) 必須為安全停機地震 (SSE) 之 50% 或以上，基礎或結構物之耐震設計，地震係數越低，則工程越經濟。因此，運轉設計地震，原則上，選擇 50% 已符合法規，何必增列 50% 以上呢？假定根據地震分析的結果，安全停機的地表最大加速度值為 0.4g，而運轉設計地震的地表最大加速度值依規定可在 0.2g 或以上，如 0.22g 或 0.25g 等數值，再依過去地震發生之頻率與地震規模大小，自統計分析中在此工址發生 0.2g, 0.22g, 0.25g 等地震在某一段週期

內 (例如以 100 年為計)，其發生之或然率分別為 2%, 1.8% 以及 0.5%。決策人員若為了節省工程費用，決定採用運轉設計地震為 0.2g，則電廠運轉期間，若發生地震，其地表最大加速度值大於 0.2g 時，依規定，電廠必須停機檢查，檢核期間與試驗期間，電廠不許商業運轉，這段期間的發電損失依停機時間之長短而定。若運轉設計地震採用 0.25g，則在電廠運轉期間，發生地震時，其地表最大加速度值大於 0.25g 之或然率僅為 0.2g 之 1/4，雖然所需之工程費較低，但前者將來停機之次數相對增多，其損失可能遠超過後者工程費之增加。

在斷層上復發地震的或然率，除了以上所提的斷層發生年代之晚近 (Recency) 以及斷層上發生地震的頻率有關外，斷層的延伸大小亦有密切關係。因為沿斷層發生地震主要係應變累積之位能。若斷層規模長度太小，則沿斷層線上可能不產生應變累積，或應變速率甚小，使其位能消散，如地殼深部地盤之塑性流動 (Rock Flowage)。有些應變累積之位能，雖以震波型態發生地震，但因能量太小，震波無法傳遞到地表引起地盤斷裂。但是斷層的長度大小，到底多少距離方能忽略其活動性？迄至目前為止，尚無合理的方法可供分析。前述美國核能法規中規定此距離為 1 哩。此一數據並無理論上之依據。主要可能係依美國加州大斷層聖安德烈斯 (San Andreas) 斷層與此斷層上發生地震之歷史記錄所評估之結果。根據記錄，在 1900 年至 1974 年共計 74 年之間，在加州沿聖安德烈斯斷層上發生震度大於 VI 級以上者共計 62 次，而聖安德烈斯之長度約為 650 哩，經統計分析結果每哩發生地震之或然率如下：

震度	次數	每哩發生之或然率		
		74年	每年	每百年
> IX	2	0.03	0.00004	0.004
> VIII	5	0.08	0.0001	0.01
> VII	18	0.28	0.0004	0.04
> VI	37	0.57	0.00037	0.077

## 五、結 語

因美國加州之聖安德烈斯為世界上已知地震最頻繁之活動斷層，其斷層與地震活動之相關資料亦最周全。根據上述之統計結果，在斷層線上，每哩每年發生地震之或然率，每100次中，震度大於VI者僅0.00077次。對於其他斷層活動不明顯之地區或斷層長度在1哩以下者，其或然率當更遠低於此一數字。此種分析雖然並不十分妥切，但由此可以大致瞭解，斷層長度小於1哩者，將來引發地震之或然率甚低，即使發生地震亦不致對結構物造成嚴重之災害。

由以上之討論，任何工程建設之工址若有斷層存在，並不可慮。經過詳細的斷層調查後，該斷層若屬非活動斷層，則斷層帶可視為軟弱地盤加以處理。經過地盤改良後，結構即使座落在斷層亦無問題。目前剛完工不久之明湖下池壩即座落在寬達10餘公尺之斷層上（高呈毅、謝敬義，1983）；大甲溪青山壩之基礎亦有一平行於河道寬約3公尺之斷層。其他各先進國家亦不乏斷層上建造大型結構物之實例。即使有活動斷層存在之地區，除非如核能電廠等要求極高之安全性，電廠廠址絕不允許活動斷層存在外，其他的工程建設，只要避免將重要結構物直接跨越在活動斷層上即可。如以目前正籌備中之中正大學為例，校址位置因有著名之梅山活動斷層，因此引起部份學者之爭議，有人認為明知梅山活動斷層存在，實不應將校址在此設立。此種說法有如因噎廢食。實際上，梅山斷層目前雖歸類於所謂的活動斷層，但自從1906年3月17日發生規模達7.1級之大地震以來，迄至目前為止已歷80餘年在梅山斷層上尚未有再發生大規模地震之記錄，雖然80餘年的時間尚不足以驗證將來引發大地震或然率之大小，但若以學校建設工程而言，校舍規劃設計時，只要儘量避免將結構物直接跨越在梅山斷層上，即使將來發生大地震，其所冒之風險與其他南部地區並無太大之差異。

綜上所述，斷層為地盤之脆弱帶以及引發地震的禍源。台灣本島位處構造複雜、地震活動頻繁地區，斷層無所不在，其中不乏屬於活動斷層，面對此種地質環境，進行任何工程建設時，若工址遭遇斷層，甚至為活動斷層，亦不必躊躇不前。以目前的工程技術，雖無法百分之百防止因地震所引起之災害，但至少可將損害減至最低的程度，重要的是應對斷層進行周詳而透徹的調查，包括斷層帶的確實位置，延伸長度以及斷層物質的組成及力學特性，以及地震與斷層構造之關係等，並配合工程環境對工程效益以及對公眾安全性所引起的沖擊程度等因素經廣泛評估再作最後之決定。個人認為除了核能電廠因涉及高度的安全性以外，其他一般的工程建設，經過審慎的規劃與設計並有良好的施工品質，在本省的任何地方應無不可行性。

## 參 考 文 獻

- 謝敬義(1970) 板塊構造學說在地震工程學上之應用：  
台電工程月刊，第388期，24~36頁。
- 洪如江(1973). 岩體中之弱面，地工技術雜誌，第4期，111~118頁。
- 高呈毅、謝敬義(1973). 明湖抽蓄工程下池壩基礎之斷層處理，地工技術雜誌第3期，5~14頁。
- LOUDERBACK, GEORGE D. (1950) *Faults and Engineering Geology*, Geol. Soc. America Berkey Volume, 125-150P.
- LEE, C.T. and WANG, Y. (1988) "Quaternary Stress Changes in Southern Taiwan and Their Tectonic Implication", *Proc. Geol. Soc. China* Vol. 31, No. 1.
- LACOPI, ROBERT (1971) *Earthquake Country*, Lane Books, Menlo Park, California, 160P.
- SHIEH, CHING, I. (1987) "Engineering Aspect of The Meishan Fault in Southern Taiwan", *Memoir of The Geological Society of China*, No. 9, 383-396P.
- YEH, Y.T., WEN, K.L., and TSAI, Y.B. (1985) Seismic Risk Evaluation on Possible Sites for Taiwan Power Company's Base Loading Power Plant: *Rep., Inst. Earth Sci. Academia Sinica*, 95P.