

遇到活動斷層的工程對策

潘國樑

活動斷層是用年齡來定義的, 所以非常符合工程師們凡事愛用數據的習慣。凡斷層的發生, 其年紀未超過 11,000 年者即為活動斷層; 如果套用地質學的術語, 那就是在全新世時代發生的斷層就叫做活動斷層。全新世乃是地質年代的最後一個階段 (最後 11,000 年左右), 是第四紀 (亦稱為大冰期) 的最後一個間冰期階段, 構成了人類歷史的年代學骨架。考古學家將它作為追索人類進化, 以及經濟、藝術與建築的時間標準。對於重大工程而言, 如核電廠的廠址選擇, 活動斷層的定義則更趨嚴格, 而將它的年齡界定為 35,000 年, 正好是放射性碳 (碳十四) 年代測定的最高可定年數。像這種一刀兩面的定義方法是否合理, 例如 11,000 或 35,000 年前發生的斷層是不是活動斷層, 遇到這種情況, 最好用藝術的方法來定奪。

在工程意義上, 活動斷層是強烈地震的發源地。工址及其鄰近地區的活動斷層未來將發生多大地震、發震部位及發震時間等等都是工程師們所要關注的。同時, 活動斷層的地面錯動及其兩側所伴生的地表變形, 往往會直接損害跨斷層興建或建於其鄰近的建築物。活動斷層所發生的地震對工程構造物的破壞可分為直接的與間接的。直接的破壞如地震動、地表錯動、地表變形等對結構物直接產生震動、錯動或變形破壞等; 間接的破壞如地震所造成的土壤液化、噴砂、地裂、崩塌、震陷等。

活動斷層出現在地表之處, 其錯動力量之大是難以抗拒的。根據統計資料顯示, 世界上大多數活動斷層於地震時的最

大錯距小於 6 公尺, 平均錯距小於最大錯距的二分之一, 即 3 公尺。因此, 在有活動斷層分佈的地震區設計土石壩時, 平均錯距可取 3 公尺。一般而言, 祇要震源深度足夠的淺, 無論多小的地震都會產生地表斷裂 (即產生地震斷層)。斷層蠕動時, 當覆蓋層極薄時也可能產生地表斷裂; 當覆蓋層較厚時一般在地表不易發生斷裂 (即斷裂發生於地下而未露出地面), 因為此時蠕動速率及工程使用期內的總蠕動量會被覆蓋層所吸收。就地震規模而言, 對一般淺源地震, 當地震規模達到 6 時就可能出現地表斷裂; 而當規模超過 7.2 時, 則幾乎必然產生地表斷裂。地表斷裂可分成主斷裂 (主斷層)、副斷裂 (副斷層) 及分支斷裂 (分支斷層) 三種。主斷裂即為主要的活動斷層; 分支斷裂與主斷裂在地表及地下相連, 從主斷裂向外分散; 副斷裂與主斷裂在地表近乎平行, 但較短且不若主斷裂明顯, 其在地下仍與主斷裂相連。上述三種斷裂組成擾動帶; 擾動帶的寬度從幾公尺至幾百公尺不等。擾動帶的面積 (擾動帶寬度乘上地震斷層的錯動長度) 與地震所釋放的能量有一定的關係。基本上, 地表斷裂大都發生在斷層的上盤斷塊; 同時地表斷裂作用及斷層錯動主要發生在一條單一的主斷層跡線上。由斷層活動的地質及歷史記錄都顯示, 未來地表斷裂的位置最可能出現在最近活動的主斷層跡線上或其附近。這個特性稱為活動斷層的繼承性。

對於活動斷層的工程評估, 一般要先判斷其是否屬於發震斷層 (即會發生地震的

斷層),以及工址可能產生的最大地震強度。在詳細調查階段即應取得抗震設計的有關參數,其中最主要的有:活動斷層的性質、斷層可能產生的最大錯動量(錯距)、平均位移速度及活動周期(再現期)等。活動斷層的活動方式基本上有兩種,即以地震方式產生突然的錯動(發震型活動斷層),以及連續緩慢的滑動(蠕動型活動斷層);兩者對工程結構體都會造成直接的損害,但前者因為伴生地震,所以威脅性更大。發震斷層大都發生於岩層强度高、斷層帶之鎖固能力強、能不斷累積應變能,而當應力達到一定強度極限後產生突然的滑動,迅速而強烈地釋放應變能,造成地震。已有資料證明,產生錯動的活動斷層之長度愈長,則地震規模愈大。

活動斷層兩次突然錯動之間的時間間隔,稱為活動周期或再現期,可以根據保存在近代沉積層中的古地震現象或地質證據判定,例如可以調查沉積物中於錯動時產生的地震所引起之土層液化所造成的噴砂現象,確定其錯動的時代及兩次錯動的時間間隔。由於較老的地層受到錯動的時間及次數多於較新的地層(故前者的錯距較大),所以測定它們之間的錯距差及個別的年代即可同時求得位移速度及再現期。一般而言,如果能在活動斷層線上找到兩個以上不同年代的被錯斷地層即可達到上述目的。台灣地區有數條已知而且有名的活動斷層,如梅山、紙湖(又稱獅潭)、屯子腳、新化等,提供許多可調查研究的體材;國家若能編列預算及進行系統性研究,相信對地震預報及公共工程的抗震設計將助益良多。

由於活動斷層具有復發性及繼承性,所以重要的工程結構體必須避開近代曾發生過地震,尤其是歷史上發生過地震規模大於

5的發震性活動斷層,特別應避開下列斷層應力集中帶:斷裂交匯處、斷裂複合處、斷裂之轉折處、斷層之兩個端點、及活動斷層之閉鎖段(即不動部位)等。在工程無法避開時,主體結構也應盡量徹底避離,以防止斷裂、錯動的直接破壞。大壩及核電廠等重要及失事後果很嚴重的結構物最好不要在活動斷層附近選擇壩址及場址。對於重要性較次的結構物原則上仍應儘可能避開主斷層帶;如為正斷層或逆斷層類型,應儘可能避開有強烈地表變形及有副斷層與分支斷層發育的斷層上盤(即正斷層的下降側或逆斷層的上昇側)。

活動斷層對鐵路或公路的影響主要在斷層的位移及斷層兩側的地表變形。位移量很小的活動斷層對道路工程不會造成直接的危害,但當發生強烈錯動並發生地震時,在斷裂附近其地表移動及變形是工程結構物所無法抗拒的,不過其影響範圍是有限的,最危險的地方還是在主斷層的位置。實際上儘管建築物距離活動斷層不遠,祇要不直接建在位移帶上,且基礎土層堅實,工程抗震性良好,即可免受嚴重損害。路線通過發震型活動斷層時,應選擇在斷層帶較窄處,以簡單路基工程(土堤會優於高架),並以垂直方向或大夾角方向切過。

日本山陽新幹線的新神戶車站建於兩隧道之間的高架橋上,該橋恰好跨越六甲山活動斷層。該斷層的位移速度是有一側每年要上昇1mm。在結構設計上乃採用中央軌道與兩側月台成為相互分離的獨立結構,使其連接處允許產生扭轉及水平變位。如果使用年限為50年,則最大上昇量為5cm,中軸線偏轉 $0^{\circ} 23'$,兩側緣的垂直變位量為10cm。

我們在台灣遇到活動斷層時是否太過謹慎遲疑了?