

地工小百科 技術

談深層滑動

潘國樑 *

自從小林村發生土石流埋村事件之後，因為日本人提出深層滑動之說，深層滑動才開始引起國人的注意及重視。但是深層滑動（Deep-Seated Landslide）一詞尚未有國際公認的定義。當初將滑動稱為深層，應是以相對深度作為形容；也就是滑動體的厚度比一般常見的地滑體還要大，所以才用深層的字眼加以區別。職是之故，當初深層只是一種定性的形容詞而已，意即滑動面的深度異常的深，甚至深入岩層之間。

後來雖然有人給『深層』定出一些數字，但是卻莫衷一是；例如中央地質調查所認為是10~20公尺，日本人則以3公尺為界；Wikipedia則稱深層滑動的滑動面一般在地表下10公尺以下，即位於樹根所不可及的深度；因此，中央地質調查所的看法跟Wikipedia比較接近。

由於深層滑動體必須從衛星影像上進行初步檢出，所以對於滑動面的深度不能作出定量的規範。理論上，滑動面愈深，則滑動體愈大，即厚度愈大，寬度也愈大。一般而言，規模大的滑體於滑動一段短距離之後，雖然可能會開裂成少數幾個裂塊，但是基本上仍然可以保持其完整性，即不易潰散。因此，滑動體是否保持其原來的基本型體乃成為辨識深層滑動的一個最重要的指標。第二項可用的指標是看滑動面是否切入岩層內部。這兩項指標，不論在野外，或在遙測影像上都不難辨識。因此，為了從遙測影像上可以辨認深層滑動，我們必須為深層滑動下一個可以操作的定義為：凡是滑動體的厚度大、寬度廣、滑動面切入岩層，且運動後雖然可能裂成數個塊體，但是基本上仍然保持其完整的型體者，即為深層滑動。

當然在上述的定義下，難免會有例外。例如小林村地滑係屬於一種深層滑動，乃是公認的事實，但是它卻在猛烈暴雨的助威下，完全潰散於無形。推測其發生滑動的原因，可能是因為它係

由順向坡與逆向坡共同組成一個長型V槽，由於岩層受到旋扭式地質力（Vortical Stress）的作用，遂造成螺旋狀的垂直張力裂縫，其深度可能達數百公尺，於飽水後突然發生快速運動，並且由地滑轉變成土石流。另外再舉一個例外就是草嶺地滑，它是在規模7.3的地震力之強烈搖晃下而呈現全體潰散，其滑動面切入岩層，形成順層的平面型滑動。上述兩個例子，因為滑動速度都很快，而且運動距離也都很長，所以比較容易潰散。臺灣大部份的深層滑動之運動距離都不長，所以滑動體容易保留原型。

深層滑動體的檢出方法非用衛星影像難竟其功；主要是因為衛星影像有廣域鳥瞰的優點，加上太陽光陰影的加強，使其立體感十足，所以比較容易鑑別深層滑動體的滑崖、型體、以及其本體與周緣不動體的斷錯關係。這些表徵都是鑑定及檢出深層滑動的重要指標。以下即藉用Google Earth的影像，舉出幾個深層滑動的例子，以饗讀者。

(1) 台中縣和平鄉松茂附近

影像一顯示一個非常完美的半圓弧，指示滑動面是圓弧型；其滑崖（Scarp）非常明顯，尤其在陰影的強化下，益加凸顯其立體感。在滑體內明顯可見脫離的岩塊及層面，意指滑動面有深入岩層。同時，滑崖的輪廓極其鮮明，表示這是一個活動中的深層滑動。但是為什麼大甲溪的曲流（Meander）沒有被壓扁？可能的原因是滑動速度非常慢，致使曲流的側蝕速度與滑體的下滑速度相當，所以可以保持一個近乎平衡的狀態。但是仍然存在著孰快孰慢的問題，似乎值得作精密的監測，因為這個結論會影響到德基水庫的進水、松茂地區的產業活動、以及中橫公路宜蘭支線的服務功能。

(2) 郡大溪中游

郡大溪是濁水溪的一條支流，其走勢蜿蜒曲折，呈正弦曲線狀，幾乎南北延伸；這是受到斷

* 成功大學土木研究所/中央大學應用地質所 兼任教授

層的影響所致。因為斷層橫斷了數層堅硬砂岩（屬於白冷層），使它們向同一個方向錯開而形成犬牙交錯之特殊地形。如影像二所示，A、B代表著兩層被錯開的堅硬砂岩。其中 A 砂岩的西段（即斷層的西側）發生了順層滑動（由 C 滑到

D）；三角形的滑體(D)由西向東滑向郡大溪，並將郡大溪推向東邊，因而形成一個大的 M 型曲流。從滑面上還可以非常清楚的辨識滑動過程中所造成的擦痕，如箭頭所示。



影像一 松茂附近的深層弧型滑動(滑崖位於白線的內圈)



影像二 郡大溪中游的古平面型深層滑動

土工技術

(3)北港溪上游

影像三為北港溪的上游，它發源於梨山地區福壽山農場的西側；就在其發源端的 2.5 公里處發生了這一起深層滑動；其滑體的橫寬約 750 公尺，縱長約 600 公尺。此處的岩層向東傾斜，而滑動方向為向西，所以是一種逆傾向滑動，又稱為逆向坡滑動，或稱為崩滑（Slump）。根據作者的經驗，臺灣地區的深層滑動大多屬於這一類逆向坡滑動。從影像中尚可見到滑體將河道阻斷（見 D）之後，北港溪又逐漸的向源頭侵蝕（見 A, B, 及 C），以延伸其河道，將來 A 可能又與 D 連上。

(4)苗栗縣馬達拉

影像四有一大及一小的滑體。大滑體呈橢圓形，縱長約 1,000 公尺，橫寬最寬約 350 公尺；在接近冠部及趾部的地方可見到數塊脫離的岩塊，尤其冠部的一塊最為明顯。其趾部的地方已經慢慢的被河水所沖失，因而形成尖筆狀。大滑體的上游側則形成一個新月形的堰塞湖（Landslide Lake），使得河道變寬。大滑體的東側尚有一個小滑體，大約只有大滑體的四分之一規模而已；

它也在其上游側形成一個小堰塞湖。此處的岩層因為向東南傾斜（從影像的左側可以明顯的看出岩層三角面），所以大小滑體都屬於逆向坡滑動。

(5)某不知名河流

影像五顯示環流丘（Meander Core）的左右兩側均發生深層滑動，其深可見“骨”（岩層）；兩個滑體的冠部已經快要接觸在一起了。B 滑體的滑動面較深，規模較大，在其冠部尚可見到張力裂縫，意指這是一種後退式滑動，而且還在活動中。未來，B 滑體的冠部會越過脊嶺，而侵入 A 滑體的頭部，使得 A 滑體越變越小，而 B 滑體則越變越大；可見深層滑動也會發生襲奪現象。從影像五尚可見到 A、B 滑體均在其上游側形成胃狀（如 A）或新月形（如 B）的堰塞湖。所以河流中如果發現河道變寬，或者有新月形或胃狀河道，均有可能是堰塞湖的遺跡，值得進一步調查。

深層滑動儼然已經成為下一波防災研究的重要課題，所以作者特別拋出磚頭，希望能夠引出更多的寶玉來。



影像三 北港溪上游的逆向坡深層滑動

地工技術



影像四 逆向坡滑動及堰塞湖



影像五 環流丘的深層滑動及堰塞湖