

土工小百科

河谷邊坡的穩定性

潘國樑*

流水自源頭至河口切割而成的負地形便是河谷。發育完善的河谷，其基本型態可分為谷底與谷岸兩大部份。本文即針對谷岸加以說明。

谷岸分佈在河谷兩側，其型態極不一致，大致可以分為等坡度的、凸坡的、凹坡的及複合型的(如階梯型)四種。谷岸的上、下界之坡度突然發生變化，其上界稱為坡緣，其下界稱為坡麓或坡腳。由坡緣至谷底的垂直距離為河谷深度。在有些情況下，垂直切深發達的河谷並無坡麓。一條河谷的形成主要需要經過三種作用，即河谷的加深、河谷的加寬及河谷的延伸。河谷受河流的下蝕作用、河水所攜帶的砂礫在河底的磨蝕作用，以及河床的風化作用與水力作用沖去風化物質而加深。河谷內由於河流的側蝕作用，加上水力作用及沖蝕作用，搬走河谷邊緣的泥砂岩塊，使谷面不斷展寬，岩層愈疏鬆，拓寬速度愈快；谷岸上的雨蝕及片蝕也是河谷加寬的重要方式；風化作用與邊坡破壞作用也會使河谷加寬；支流的匯注往往使河谷顯著展寬，因為該處河谷的谷岸受到來自兩個方面的水流作用。其實河谷的加寬過程就是谷岸的發育過程。

河谷的延伸可能經過三種途徑：第一是向源侵蝕，使小河谷不斷的向上游一直延伸。第二是由於地殼的上昇(如中央山脈)或海平面的下降，相對地使侵蝕基準面下降，以致河流不但加深而且延長。第三種途徑是河流的彎曲增加，由於曲流的發育而使得河谷加長。

在河流的中、上游段，尤其是在山區，由於山高坡陡，再加上谷岸解壓及各種坡體受不連續面的切割，風化侵蝕及河

流側蝕等作用，邊坡容易失穩而發生崩塌。這些河谷有可能是道路通過或建壩的地段，故對河谷邊坡的穩定性加以探討相當具有積極性的意義。

河谷邊坡(包括天然邊坡與人工邊坡)的形成過程中，坡體內部原有的應力狀態將發生變化，引起應力重分佈及應力集中等效應。坡體為適應應力的改變，將發生不同型式及不同規模的變形與破壞，使邊坡有向穩定的方向調整之趨勢；這是邊坡演變的內在原因。同時，在各種自然或人為營力作用下，邊坡的外形、內部結構，以及所處的應力狀態都在不斷變化著；這些營力則是邊坡演變的外在因素。

邊坡在上述新的應力狀態下將發生顯著的變形與破壞，但在破壞之前，將要經歷一段變形的過程；對於天然邊坡而言，這一過程往往是一個相當長的自然歷史過程；但對於人工邊坡而言，則有可能比較短暫。

邊坡的變形階段主要包含解壓回彈及潛變兩個過程。解壓回彈是由坡體內所積存的彈性應變能釋放後而產生的，在高地應力區(如中央山脈)的岩質邊坡尤為明顯。在形成過程中，坡體向自由面回彈膨脹，使岩體原有結構鬆弛；在應力集中及殘餘應力作用下，產生一系列新的表生不連續面，平行於坡面。在過程中當然也含有潛變的部份，但它是由岩體中積存的內能所造成的，所以一旦失去約束的那一部份之內能釋放完畢，這種變形即告結束。

邊坡的潛變是在坡體應力(以自重應力為主)長期作用下所發生的一種緩慢而持續的變形。這種變形也包含某些局部破

*經濟部水資源局

裂，甚至產生一些新的表生裂面，坡體隨著潛變的發展而逐漸鬆弛。

在河谷邊坡的演變過程中，一旦出現了與外界貫通的破壞面，並使分割體以一定的加速度脫離母體，則進入了邊坡破壞的階段。就破壞機制而言，河谷邊坡之破壞可分為拉裂破壞及剪切破壞兩種主要型式。

拉裂破壞是坡體中被陡傾的張力破裂面所分割的岩塊，因根部折斷或壓碎而傾倒，突然脫離母體翻滾而下；落石及傾翻(Toppling)(岩塊先傾斜後翻倒而滾落)即屬於此類破壞。解體的岩塊相互撞擊破碎，最後堆積於坡趾，形成崩積錐。這種破壞多半發生在岩質邊坡的陡坡(一般坡度大於60°)前緣。如果坡體中具有一組與邊坡走向近乎平行的陡傾(傾向坡體內)不連續面(或拉裂面)，則最有利於傾翻的發生。另外，由於平緩的軟弱面對陡傾的拉裂面產生一種阻隔作用，使傾翻不利於向深部擴展；因此，巨型的傾翻常發生在塊狀厚層的坡體邊坡，而平緩的層狀或互層狀邊坡則多以落石為主。

在各種外界因素中，風化作用、地表水沖刷坡腳作用、張力破裂面內的孔隙水壓作用、水沿細微裂縫的楔入作用及地震力等，都可能成為促進落石及傾翻的主要因素。地震引起坡體晃動，或特大暴雨造成孔隙水壓劇增，均可觸發崩塌突然發生。

另外一種邊坡破壞是坡體沿貫通剪切破壞面或帶，在重力作用下以一定加速度下滑。該剪切面(帶)稱為滑動面(帶)。滑動面呈平面型的稱為平面型滑動；滑動面呈弧型的稱為弧形滑動，或稱旋滑。旋滑大都發生在岩層或土層的性質均一之情況下，如塊狀厚層的岩層、嚴重風化或密集切割的岩體，其滑動面受最大剪應力的控制。平面型滑動又稱順向滑動(請參閱地工技術第71期的地工小百科)，大都沿層

面、不整合面(尤其是第四紀地層與更老的岩層之界面)、斷層面、節理面、風化層與新鮮岩盤的界面或岩土、界面等發生。但自然界的滑動大多是複合型的滑動，即在單一的滑動面上，有一部份為平面型滑動面，另外一部份為弧形滑動面。

從力學的特徵來看，有些岩體的滑動，首先發生在前緣坡腳處，前部滑動後，後部失去支撐而下滑，稱為牽引式滑動；大多是因坡腳處遭河流沖刷或人工開挖而引起的。另外一種滑動是從岩體的後部首先失穩下滑，然後推動前部岩體一起下滑，稱為推擠式滑動；大多是由於坡體上部增加荷重或地表水沿拉張裂縫滲入滑動體等原因所引起的。

引起河谷邊坡失穩的主要因素包括地形、地質及地下水等。容易發生邊坡變形與破壞的地形條件是深切的狹谷及陡峭的岸坡。一般說來，坡度愈陡、坡高愈大，對穩定愈不利。在平面上呈凹型的邊坡較凸型邊坡穩定，而曲流的曲力半徑愈小愈有利於穩定。

地下水對河谷邊坡的穩定關係極大，其作用包括使岩石軟化或溶蝕、產生靜水及動水壓力、增加岩體重量及凍脹作用等。地下水活動可以使黏土質軟弱夾層軟化及泥化，形成最危險的滑動面，也可使厚層的黏土層發生塑性蠕動，導致上覆岩體被牽動而解體；雨水由地表滲入地下的作用也常使崩積層與岩盤之間的界面之強度降低，促使滑動發生。

【訂正】：《地工技術》第71期第98頁右欄公式(3)中W修正為

$$W = \text{滑動體的重量} = \gamma \cdot L \cdot \frac{h}{2} \cos \alpha$$