

不連續面對岩體穩定性的影響

*潘國樑

岩體與岩石的概念不同。岩石可以理解的是一種材料，其性質可用岩塊的變形及強度等特徵來表述。岩體則是由各種岩石組成的，並且在其生成以及以後發展的漫長過程中經過冷縮作用、沈積作用、構造變動、風化作用及解壓作用等各種內外力的改造或破壞，因而具有各種不同的分割面。凡分割岩體的任何地質面統稱為不連續面(Discontinuity)。因此岩體是由岩塊及不連續面兩部份所組成。

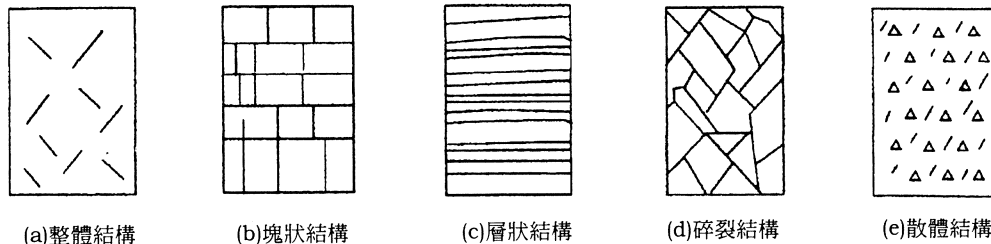
不連續面是使岩體成為多裂隙的不連續介質，它也是使岩體的工程性能顯著下降的重要結構因素。不連續面的種類，按成因分，有原生不連續面及次生不連續面兩大類型。前者如層面、葉理面、不整合面、冷縮節理、軟弱夾層等；後者如節理、斷層、劈理、解壓節理等。

在工程應用上，對不連續面的調查研究十分重要。1978年國際岩石力學學會為了統一研究內容而提出不連續面的十項特性，分別為位態、間距、延續性、粗糙度、不連續面側壁的抗壓強度、張開度、被充填情況、滲流、組數及塊體大小等。不連續面在空間按不同的組合，將岩體切

割成不同形狀及大小的塊體。這些被不連續面所圍限的塊體即稱為岩塊。岩塊的大小係以體積節理數(Volumetric Joint Count)來加以定義，例如1立方公尺的岩體內有1至3條不連續面通過時就稱為大岩塊，3至10條時稱為中岩塊，10至30條時稱為小岩塊，30條以上時則稱為細岩塊。

為了概括岩體的破壞機制及評估岩體穩定性的需要，尚可根據不連續面的密度將岩體分為整體、塊狀、層狀、破碎及散體等五種基本類型(見圖一)。其定義及性質如表一所示。

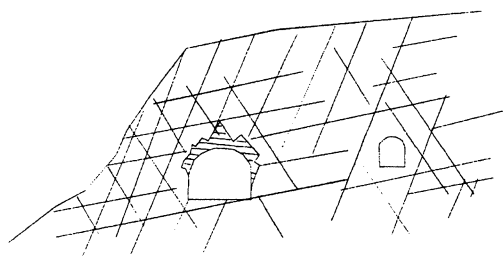
在進行不連續面分割後之岩體分類時，除需考慮不連續面的間距及組數外，還需考慮不連續面的密度與工程尺寸的關係。因為同樣的不連續面密度，因工程尺寸不同，其穩定性也不同；如圖二所示，不連續面密度與整個邊坡相比，兩者的尺寸相差達數十倍以上，所以應歸類為塊狀岩體。又對於左隧道而言，其圍岩亦屬於塊狀類型，如果不連續面性質較差時，頂盤將發生落盤掉塊；對於右隧道而言，由於其尺寸小於不連續面之間距，故可視為完整岩體。



圖一 岩體類型

表一 岩體被不連續面分割後之類型

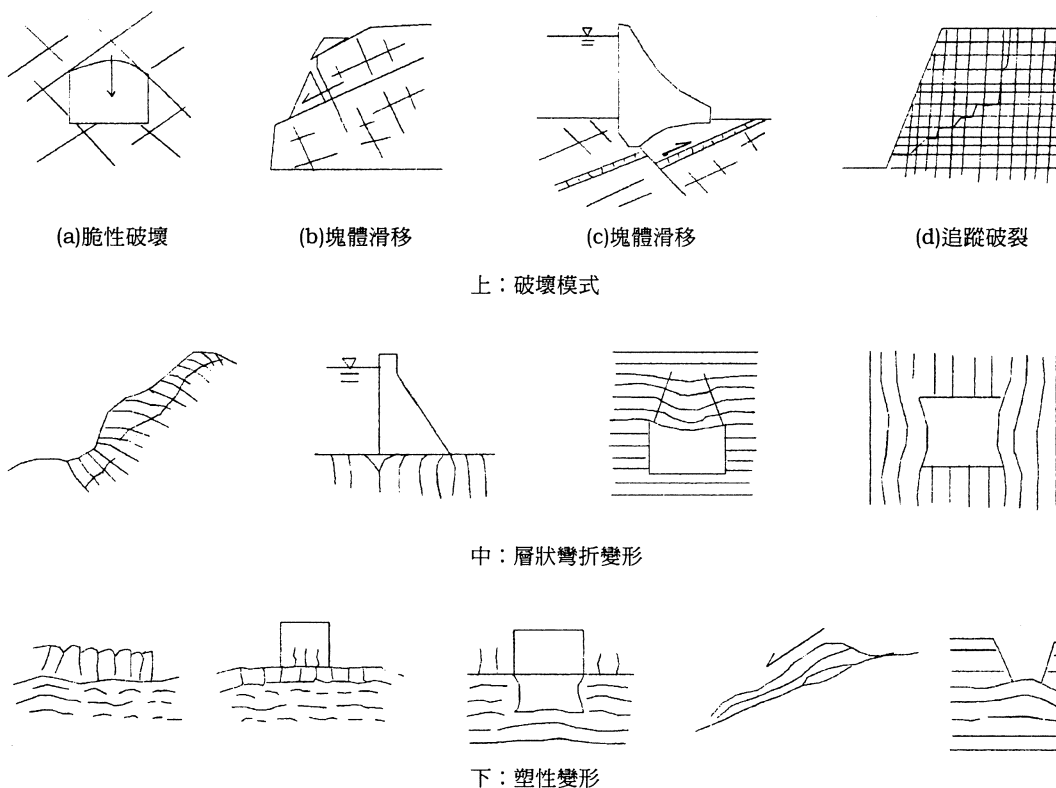
岩體類型	不連續面 間距(m)	每米不連 續面條數	不連續面 組 數	性 質	不連續面密度與 工程尺寸之關係
整體型	>1	<1	1~2	<ul style="list-style-type: none"> • 可視為均質彈性體 • 岩體的力學性質主要取決於岩性 • 透水性不佳 • 不連續面的摩擦角大於30° 	間距大於工程尺寸，或雖小，但岩體結構緊密
塊 狀	0.5~1	1~2	2~3	<ul style="list-style-type: none"> • 岩體的力學性質受岩性及完整性控制 • 透水性弱至中等 • 不連續面的摩擦角約介於22° 至30° 之間 	工程尺寸大於間距數十至數百倍
層 狀	<0.5	>2	主要為1	<ul style="list-style-type: none"> • 岩體的力學性質取決於岩性、岩性組合、層厚及層間摩擦力 • 岩層及不連續面位態對岩體穩定性有重要影響 • 不連續面的摩擦角約介於17° 至27° 之間 	—
破 碎	<0.5	>2	>3	<ul style="list-style-type: none"> • 岩體強度低、易變形 • 地下水的不良作用明顯 • 不連續面的摩擦角介於11° 至22° 之間 	岩塊分類時可不考慮工程尺寸
散 體	—	—	雜亂無序	<ul style="list-style-type: none"> • 鬆散、強度低、塑性變形明顯 • 地下水不良作用突顯 • 不連續面的摩擦角在11° 上下 	—



圖二 岩體類型與工程尺寸的關係

岩體不連續面之特徵，不僅控制了岩體的變形、破壞及應力傳遞等岩石力學作用，也控制了地下水的儲存、滲流等規律。一般當岩體類型不同時，其破壞失穩的方式也不同。從宏觀加以分析，岩體的破壞方式有脆性破裂、塊體滑移、層狀彎折、追蹤破裂及塑性流動等(如圖三)。岩石在

圍壓較小、溫度較低、岩性堅硬的情況下，多呈脆性破壞，其特性為岩石在變形很小時，由彈性變形直接發展為急劇、迅速的破壞，破壞後的壓力降低較大；脆性破壞大多發生在塊狀岩體中。塊體滑移是一定形狀的岩體沿岩體中原有的不連續面或潛在剪切面發生滑移，大多發生在塊狀、層狀及散體狀岩體中。斜坡中的這類變形往往可在滑動體的後緣直接觀察到拉裂縫；發生在壩基的這類變形，可使壩踵部份的岩體拉裂，從而造成防滲帷幕失效。隧道側壁或頂拱圍岩中遇到這類變形，將增高圍岩對支撐的壓力。層狀彎折主要發生在層狀，尤其是薄層狀的岩體中，其表現為層狀或板狀岩體的彎折，並伴以層間拉裂；岩體傾翻(Toppling)即屬於此類變



圖三 岩體的變形破壞模式(上：破壞模式；中：層狀彎折變形；下：塑性變形)

形。傾翻即為斜坡的陡立層狀岩體經過應力釋放及在自重應力作用下發生向臨空方向的彎曲，並於後緣造成拉裂。壩基之下的陡立層狀岩體在壩體的垂直剪應力作用下發生彎曲，並於壩踵部位發生拉裂，同樣可導致防滲帷幕的破裂失效。隧道的層狀圍岩遇到層狀彎折變形可引起頂拱下陷及仰拱隆起(在水平的層狀岩體內)，或發生側壁突出(在陡立的層狀岩體內)。變形的發展可使彎曲的層狀岩體被折斷，導致拉斷破壞。追蹤破裂大多發生在碎裂岩體中，在平行於坡面的最大主應力作用下，變形岩體沿緩傾角不連續面的兩

側或上側產生垂直方向的張開裂隙(稱為被拉節理)，並且逐步向上發展，就會慢慢形成由平緩的不連續面與陡傾的張開裂面組成的階梯狀變形裂面。塑性流動主要見之於軟硬相間的互層狀岩體中。由於下伏軟弱層(或破碎帶、壓碎帶等)的塑性流動導致上覆岩體的彎折拉裂。變形發展可使上覆岩體解體或造成剪切破壞。塑性流動也見之於層狀岩體，表現為層狀軟性岩體順著下伏硬岩的層面發生滑移並伴以彎曲；彎曲過度時會在彎曲部位的內部出現層間拉裂。

從大量岩石不連續面剪力試驗中發現，在試驗過程中，剪應力與剪位移並不總是穩定地變化，即剪應力時常出現斷斷續續的鬆弛現象；剪位移則時常發生急躍，這種現象稱為黏滑。而黏滑並不僅僅出現在光滑的剪切面上，在較粗糙的不連續面上，更容易發生黏滑現象。

進行粗糙不連續面的剪力試驗時，常會發現隨著剪切位移的增加，黏滑運動會多次發生，而且在各次黏滑中，黏滑速度及摩擦阻力降低的幅度並不一定相同。由於不連續面的表面上存在著大量的凸起物，且一般都呈嵌合接觸。如果剪切面上法向壓力大到足以抑制上部滑動體升高而沿凸起物爬坡時，在剪力作用下會將凸起物剪斷，或使凸起物在相對面上刻出凹槽。顯然，當凸起物一旦破碎或犁槽作用一旦發生，抵抗力即突然下降。從運動的形成來看，就出現急躍式的滑動。經過一小段滑移後；另一些凸起物又會嵌合起來，阻止滑動繼續進行，直到再次被剪壞。這就是黏滑的脆性破壞機制。

黏滑的機制可以應用於活動斷層的位移說明。地殼中存在的活動斷層常呈這種運動型式。斷層面在穩定剪切位移過程中突然發生快速滑動而產生地震。然後應

力被釋放，斷層面又被鎖固在一起，直到某一時間再次發生突然滑動。

其實，沿著不連續面的滑移運動有蠕滑與黏滑兩種基本類型。蠕滑的產生條件不僅與不連續面的特徵有關(如不連續面較為平坦或夾有足夠厚的夾泥等)，並且還必須與不間斷的勻速滑動有關。世界著名的美國安德魯斯大斷層的某些段是自然界宏觀蠕滑斷層的極佳實例。該斷層較為平直，斷層泥充填物的分佈可達12公里深，並且一直保持平均約3mm/year左右的蠕滑速率。可以想見，任何處於蠕滑狀態的活動斷層面，都會因滑動速率的陡然增減而引起黏滑或孕育著新的黏滑。

總而言之，由於岩體內存在各種不連續面。岩體的變形是岩塊、不連續面及充填物三者變形的總和；通常情況下，後兩者的變形起著控制作用。由於不連續面的地質成因很複雜，同一連續面由於充填物的成分與厚度常不均勻，粗糙起伏亦多變化，用少量試塊試驗難以得知整個不連續面的性質，因此在工程上的應用，首先在試驗之前應對不連續面進行分類(見表一)，然後在不同類型的地段佈置若干試驗，最後用數理統計的方法求出綜合的強度指標。