

順向滑動

潘國樑

順向坡為斜坡傾斜方向與岩層傾向一致的坡面；這種坡面可以是天然的，也可以是人為開挖出來的。人造順向坡係指人為開挖出來的坡面順著地層傾斜的方向下傾者，其斜度可以比地層的傾角大或小。廣義而言，凡是傾斜方向與岩體不連續面(如層面、斷層面、節理面、土岩交界面、不整合面等)相同，但傾角不一定相等的天然坡面或開挖斜面都可稱為「順向坡」。

天然的順向坡與逆向坡常共同組成一個山稜線或山頭；天然順向坡常常出現在背斜或向斜的一翼，其與岩層傾向一致的坡即為順向坡，一般長而緩；其與岩層傾向相反的坡即為逆向坡，一般短而陡，由於多是經外力剝蝕作用所形成，故又稱為剝蝕坡。如果岩層的傾角超過 40° ，則兩坡的坡度與長度均相差不大，其所形成的山嶺外形很像豬背，故又稱為豬背嶺。

不管是天然順向坡，或是人造順向坡，如果坡面或斜面的坡度大於地層的傾角，則地層的層面或不連續面會出露在坡面上，而且呈現水平的狀態，在這種露層(daylight)的狀況下，很容易發生順層滑動，或稱順向滑動。民國86年8月溫妮颱風在汐止所造成的林肯大郡災變，即是典型的順向滑動。要發生順向滑動必須符合三個基本條件，第一個是山坡地必須是順向坡；第二是地層或不連續面的傾角要小於斜坡的坡角(即坡度)，因此地層的層面或不連續面才會露出斜坡的坡面；第三個條件是地層或不連續面的傾角要大於潛在滑動面的內摩擦角。因此，河流、水庫

或湖泊的沖刷及淘刷，或者人工的開挖坡腳，在適當的情況下，將發生順向滑動。故開挖邊坡時需特別注意，不要平行於地層或不連續面的走向開挖，即坡緣不能與地層或不連續面的走向平行，而且坡面不要順向；最保險的情況是開挖方向與地層或不連續面的走向垂直，或者以大夾角與之相交，且夾角不要小於 70° 。

如果一定要開挖成順向坡，則必須考慮使開挖面的斜度要小於地層或不連續面的傾角，以避免發生露層現象。如果工址不具備這種優良的條件，則應採取跳島開挖方式，即隔帶順向開挖，每一完成一帶的開挖就應從事穩固措施，以避免坡腳有時間進行應力的改變與集中而發生事故。岩栓、岩錨及擋牆是鎖固順向滑動的常用措施。岩栓長度一般可達8公尺，它們在埋入岩體後要進行張拉，以便在岩體內產生壓縮而提高潛在滑動面的抗剪強度。它們斜交於潛在滑動面比直交於該面能夠提供更大的抵抗力。在使用岩栓時必須考慮由於裂隙水引起的浮托力及孔隙水壓的影響，還必須考慮這種水的凍結作用之影響。為了消除這些不利因素，可實施裂縫灌漿，或者從邊坡用水平孔排除地下水的措施。岩錨一般用於重要工程的鎖固，特別是和擋牆聯合使用時，它們的長度可超過30公尺，常用預力鋼腱加大不連續面的法向壓力，以提高順向坡的穩定性。

順向滑動是岩質斜坡變形破壞失穩的主要破壞形式，它與鬆散岩體的失穩有很大的不同。岩質邊坡的失穩幾乎都是沿

著或部份沿著已有的各種不連續面(層面也是不連續面的一種)產生。因此順向滑動的滑動面多數是明確而清楚的，不需要經過試算，祇要弄清楚滑動面的深度、幾何形狀(位態)及性質就能判斷斜坡的穩定性。

根據極限平衡分析方法原理，順向滑動的安全係數為滑動面的抗滑力與滑動體的下滑力之比，即

$$F_s = \frac{\tan \Phi}{\tan \alpha} + \frac{4c}{\gamma h \sin 2\alpha} \dots\dots(1)$$

式中Fs=安全係數

h=滑動體的高度(即坡緣主滑動面的垂直距離，注意h不是坡高)

γ=滑動體的單位重

α=滑動面的傾角(從水平面量起)

c、Φ=滑動面的凝聚力與內摩擦角

由上式可知，當α<Φ時，邊坡始終是穩定的，且安全係數的大小除與滑動面上的抗剪強度有關之外，僅與滑動體的高度h成反比。

當Fs等於1時，意味著邊坡處於極限平衡狀態，這時的邊坡也就是極限高度；若將Fs=1代入(1)式，且經過轉換後，可得

$$h_{\max} = \frac{2c}{\gamma \cos^2 \alpha (\tan \alpha - \tan \Phi)} \dots\dots(2)$$

$$H_{\max} = \frac{2c \sin \beta \cos \Phi}{\gamma \sin(\beta - \alpha) \sin(\alpha - \Phi)} \dots\dots(2')$$

式中H_{max}=邊坡的極限高度(從坡腳至坡頂的垂直距離)

β=斜坡的傾角(從水平面量起)

從(2)及(2')式可以看出，對於滑動面不具凝聚力的滑動體，祇有在滑動體的高度h=0的情況下，H才等於0，否則將不成立。

在自然界，一般在滑動體的後緣經常存在著張開的裂隙，地表水從張裂隙滲入後，沿滑動面滲流，並在滑動面露出坡面的地方滲出。一方面張裂隙的裂縫水對滑動體產生一個靜水壓力；另一方面地下水

沿滑動面滲流時則對滑動面產生一個垂直向上的水壓力。這兩種壓力對滑動體的穩定性產生一定的影響，因此(1)式變成

$$F_s = \frac{(W \cos \alpha - u - v \sin \alpha) \tan \Phi + c \ell}{W \sin \alpha + v \cos \alpha} \quad (3)$$

式中W = 滑動體的重量 = γ · ℓ · $\frac{h}{2}$ cos α

L=滑動面的斜向長度

u=作用於ℓ上的水壓力合力

$$= \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot Z_w \frac{H_w - Z_w}{\sin \alpha}$$

v=作用於Z_w的靜水壓力 = $\frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot Z_w^2$

ℓ=裂隙水作用於滑動面上的斜向長度

γ_w=水的單位重

H_w=滑動面露出坡面之高程與裂隙水水壓面高程之差

Z_w=張裂隙中的水柱高(自滑動面算起)

若考慮地震力，則應計算慣性力對邊坡穩定性的影響；式(3)將變為

$$F_s = \frac{(W \cos \alpha - u - v \sin \alpha - P \sin \alpha) \tan \Phi + c \ell}{W \sin \alpha + v \cos \alpha + P \cos \alpha} \quad (4)$$

式中P=地震對滑動體所產生的水平慣性力

$$= \frac{a}{g} \cdot W$$

a=地震加速度

g=重力加速度

順向滑動僅考慮一個滑動面(不連續面)。屬於一種平面滑動的問題。如果不連續面由二個甚至二個以上的平面組成，且其走向不僅相互不一致，還與斜坡的走向不一致時，它們相互切割成稜錐體，屬於一種空間性的問題。在自然界，平面問題與空間問題都存在，不過，空間問題較為普遍，而且是複雜的；相反的，平面問題是個別的，而且是特殊的。對於平面問題不僅理論上易於解決，而且對於解決複雜的空間問題有一定的啓示作用。