植生覆蓋對邊坡穩定的作用

⊙林業試驗所集水區經營組・陸象豫(shiang@tfri.gov.tw)
⊙林業試驗所六龜研究中心・孫銘源

緒言

植生覆蓋對邊坡穩定的作用是一個廣泛被討論的話題，它們之間牽涉到土壤類型與深度、降雨型態、植被種類、坡度和岩石走向等多種因素，因而出現相當複雜且因地而異的關係，致難有一致的定論。雖然如此，許多研究者已針對此一問題進行廣泛探討，並可以大致理出一些頭緒。

邊坡穩定與否主要決定於坡面上的剪應力(shear stress)與剪切強度(shear strength)二者間之相互抗衡關係；剪應力為使邊坡滑動的因素，多屬外在誘發性的，剪切強度則為阻止滑動的因素，多由坡面內在因子所決定。簡單而言邊坡滑動乃肇因於外部因素使剪應力增加或內部因素使剪切強度降低，遂使滑動面上的剪應力大於剪切強度，因而導致邊坡滑動崩落。造成剪應力增加的外在原因大致為：邊坡性狀的改變(包括：坡腳掏刷、沖蝕溝、人為挖掘等)、負載變動(沖蝕、人為挖填方、堆積、土壤水含量改變等)、衝擊或震動(地震、機具壓輾、液化、固化等)、水位變動(河流、湖泊或水庫水位的變化等)、水分狀況改變(降水、流路變動、孔隙壓力增加等)。內在因素的變動則包括土層風化、凍融、乾燥、內聚力降低、膠結物質流失、掏空、地下水溶蝕與侵蝕、根系腐敗等因素。植被對邊坡穩定的作用亦屬於對剪應力及剪切強度的影響範疇，可概略分為：風襲之力矩、減少土壤水分，植被質量和根部的網結加固作用(anchoring)等四大類，其中風吹拂所產生的力矩及本身的重量可增加剪應力，減低土壤水分及根系的網結作用則可增加剪切強度。茲分述如下：

風襲的影響

植被在受強風吹襲之下，對樹幹及樹冠層會產生力矩，若力矩的作用力大於根系與土壤岩石間的抓握力，則樹木將會被拔根倒伏，使根圈土裸露並在原根盤附近形成窟窿，大雨時地表水會聚積於此等坑洞，除因蓄水而降低土層的剪切強度外，亦可能在坡面上形成



圖1 陡峭坡面的土壤層多屬淺薄，其上的植物多為稀疏的灌叢，難以成為邊坡不穩定的因素(孫銘源 攝)



圖2 衰老或遭受到病蟲害的林木較易遭風襲而傾倒，風倒木根圈土裸露，常為沖蝕溝的起源處(孫銘源 攝)



圖3 地質狀況為決定坡定穩定與否的最主要因素，逆向坡或厚層的岩石即使坡度陡，但甚少發生崩塌，此時植物對邊坡穩定幾乎無作用(陸象豫 攝)

蝕溝，不利於邊坡穩定。此外樹木被連根拔起後，根盤土壤勢必將遭受嚴重擾動，在倒木周遭亦可能形成土堆，使大量土壤石塊向坡面下方移動，不但會改變原有的地貌，亦可能因瞬間的劇烈震動，進而引發崩塌。然而林地樹木的根系相互糾結，其根盤往往相當大，需要有相當強的風速方能將其連根拔起；不似行道樹或庭院樹多為單一植株，且植穴通常受限於建築物而較小，故較易成為風倒木。此外森林中的林木多非常緊密地生長在一起，僅有樹冠層頂部或林緣木遭受風的影響較強烈，且林木枝幹柔性的結構和材質，在風襲時會擺動和扭曲，因而會吸收或消散風襲的能量，致造成森林風倒木的臨界風速(樹木發生倒伏或折斷破壞的最低風速，單一樹木倒伏臨界風速約為30 m/sec，相當於11級的狂風)遠較行道樹為高，因此森林中的林木被拔根倒伏的情形多係極強的風速所造成，且多發生在林緣處。風倒木為森林演化過程的自然現象，遭到風倒的林木多屬衰老、遭病蟲害者，或因開挖破壞原有的坡面，使邊坡形成斷崖，在崖邊的林木易遭風倒。風力所造成的另一破壞為幹折，主要係受風力的彎曲力矩或扭曲力矩所造成的破壞，此等力矩主要還是源自作用於樹冠層的風力；幹折對邊坡穩定的影響較拔根倒伏的影響為輕。無論拔根倒伏或折斷，主要決定於林木木材的抗剪強度、土壤結構、根盤大小(含厚度)、根盤土壤剪切強度、林木高度與直徑及樹冠面積等因素。在強風仍頻的區域，樹木在生長過程業已經歷過多次強風吹襲，能夠成長茁壯，多已具備抗強風的能力並屹立不墜，此等邊坡因林木受風吹拂而崩塌的機率已大為降低。

植物消耗水分的作用

植物根系吸收的水分，大約只有1%留在體內，以用於各種生理過程和成長，其他的99%會通過蒸散作用將水分經由氣孔排至大氣中，蒸散作用散失水分累計量是相當大的。因此植生覆蓋可降低土壤水分含量，進而減少土壤孔隙水壓力和坡面的載重，從而減輕作用於破壞面的剪應力，有利於邊坡穩定。許多研究已證實蒸發作用對土壤水分含量有顯著的影響，其中包括在美國Appalachians試驗集水區對土壤水分含量的長期監測，顯示土壤水分含量在該地區生長季節高峰期(七月至八月)與在休眠期的土壤水分含量可相差達100公分。林業試驗所蓮華池研究中心滲漏計的試驗研究，亦記錄到栽植間距1.5公尺的成齡檳榔園每日因蒸發散最大可消耗6.2公分的水分，皆顯示蒸散作用對降低土壤水分含量的效率是相當顯著的。



圖4 在人為開挖邊坡上的林木，根圈土遭破壞，易遭受風襲而傾倒，形成所謂的危木，為邊坡不穩定的因素之一(陸象豫 攝)



圖5 在林相良好的林地，植生覆蓋對邊坡穩定的作用利大於弊，在無超強降雨或地震等極端外力事件，邊坡鮮少有崩塌現象(陸象豫 攝)

根系的固土作用

根系為植物的主要器官之一，由主根、側根、鬚根所構成，主要功能為支撐地上部分的枝幹與莖葉、吸收與儲存水分和養分等功能。為了使枝幹不致傾倒，根系在生長過程中即不斷將土壤顆粒及石塊推擠並緊密束縛住，發展出縱橫交錯的根系網，因而能有效抑制地表沖蝕。而根系和土體相互結合，形成根土合一的根盤，根盤能增加土體移動的阻力，提高土層對滑動的抵抗力，並因根系與土壤間的握裹力作用，可提高含根土壤層的抗剪強度。多數植物的根系能分泌化學物質，並與土壤顆粒發生膠結作用，能提高根與土壤介面間的摩擦力及土體的凝聚力。而無論有無生命的根系，均能增進土壤的滲透性能，除能因入滲率提高而減少地表沖蝕外，亦能促使土壤團粒的化育，改善土壤結構。植物根系藉著網結土壤、增加土層抗剪力、提高滑動面的摩擦力等作用，因而可有效增加邊坡的穩定性。許多研究報告顯示，在砍伐或嚴重病蟲害後8至10餘年間的砍伐跡地或受災林地，發生淺層崩塌的情形較頻繁，顯示此期間根系已開始腐敗，根盤土的抗剪力與摩擦力業已衰弱，崩塌乃較易發生。雖然根系的生長茁壯將推擠周邊的土石，使土壤緊密並降低孔隙率或穿透岩層而破壞岩石結構，不利於邊坡穩定。根系生長所產生的推擠力雖然很強烈，但此種作用是極緩慢進行的，其影響遠低於風化及根系對土壤的生物化學作用。然而植物根系所產生的生物化學、水文因子改變及機械式的網結等作用，僅限於根系所能到達的淺層土壤區，對因地質等因素所導致深層崩塌之影響是相當有限的。

林木荷重的影響

林木自身的重量及攔截的雨、雪或冰等的重量，會增加坡面的負荷，但是否能顯著地影響坡面的穩定需視林木大小、位於坡面上的位置、坡度及土壤水含量而定。在平坦坡面，土壤及植被荷重的作用力絕大部分均垂直作用於地表，側方的橫向分力較小，因此有利於邊坡穩定；但在較陡的坡面，橫向的分力即顯著地增加，因而滑動面上的剪應力亦增加，形成坡面不穩定的因素。流體可以支撐壓縮力，但不能抵抗剪切力，因此荷重有利於乾燥土壤層的穩定，但對土壤水充裕的土體則否，故植生的重量在土壤水近飽

和時的坡面方對邊坡穩定將有所影響。根據本所育林組在福山試驗林的研究資料，臺灣天然闊葉林地上部的生物量約270 ton/ha，地下粗根最多約佔地上部生物量之30%，因此每公頃之天然闊葉林的林木重量約350公噸。臺灣地區最容易發生崩塌的坡度約為30~45%，此等坡度的土壤深度的推估值約為100公分，而土壤的比重平均約為2.65 g/cm^3，故每公頃的土壤重約為26,500公噸。植生重量佔易崩塌坡度土壤層的總重量僅約為1.32%。由於樹木的重量與土壤重量相比很小(多在10%以下)，植生在坡面上所增加的剪應力當屬不顯著。此一推估尚未考慮土壤水，通常森林土壤多屬較潮溼，其孔隙長約有一半以上被土壤水所填充，因此多數情況下森林植被的生物量與土壤層重量之比率均屬可忽略的範圍。只有當坡面被開挖後，留在坡面上的大樹因支撐的土壤層被破壞，植被的質量再加上風襲所產生的剪應力才可能影響斜坡的穩定性。

其他水文現象的作用

除上述影響外，林木的樹冠層及地表的枯枝落葉層可藉截留作用阻止雨滴直接打擊地表，以機械式的保護作用防止土壤顆粒分離及土壤孔隙被密封；除可減緩土壤沖蝕並增加入滲率外，更因地表粗糙度的增加，使地表逕流的流速將大為降低，從而防阻土壤遭沖刷侵蝕，間接地減少崩塌的可能性。無論死的或是活的樹均可藉其物理上的攔阻作用減緩或延遲土石或枯枝落葉等有機物質向下坡處移動，間接地達到穩定邊坡的作用。因此在無人為干擾的情況下，植被覆蓋(尤其是森林)對邊坡穩定的優點大於不利的影響，已是不爭的事實。

結論

導致邊坡崩塌的原因可分為遠因及誘因等兩大類，遠因主要為地質、地形及土地利用等，主要誘因則為降雨、地震、水流沖刷、急速融雪或解凍及人為干擾等。地質條件是影響邊坡穩定最大的因素，又可概分為岩石的走向及岩石特性(軟弱度、破碎、節理、斷層、風化程度等)兩大類。逆向的坡面多屬穩定者，反之順向坡則較易發生崩塌與地滑等。地質條件佳者，如堅硬的岩層、膠結良好的礫石層，縱使坡度陡峭，仍不致崩塌；然而高度破碎的岩層、層理片理發達的不連續岩層，則為崩塌好發的地質結構。地形的影響主要為坡度、土壤深度與距流動水體的距離等。坡度對崩塌的影響需與地質結構土壤深淺一併討論，逆向坡及地質條件良好的坡面，坡度的陡峭與否對崩塌的影響已不顯著，而在破碎岩石的坡面，坡度則為影響崩塌的顯著因子。大致上坡度若小於土壤層的安息角，則坡面屬於穩定，反之則否。匯聚的地表水是沖蝕的原動力，亦對坡面穩定有顯著的影響，當坡腳遭水流沖刷，常為構成坡面不穩定的因子之一。誘因中的暴雨、地震及融雪為自然因素難以掌握，但人為的干擾則可避免或減緩。避免大規模的開挖，分散地表逕流，強化坡趾(設擋土牆、安裝地錨、堆載等)、植生覆蓋等措施均可增加外部的抵抗力，進而減低崩塌發生的可能性。植生為土地利用的一種方式，雖非邊坡穩定的顯著因子，但植物覆蓋對邊坡穩利大於弊，森林乃為水土資源保育最佳的土地利用方式。