

我們過度期待了森林在抑制崩塌的功能嗎？

◎國立臺灣大學森林環境暨資源學系·梁偉立

前言

臺灣特有之地形與氣候條件，使得集水區上游地區常因颱風、豪雨、地震等外力，破壞其邊坡穩定平衡，造成淺層崩塌、深層崩塌、地滑、土石流等土砂移動現象的發生，進而影響中下游地區人民生命財產與公共設施的安全。

在各種土砂移動類型中，崩塌為最常發生之類型，也是導致土石流發生的重要關鍵之一。若以破壞面是否侵入岩層作為分類基準，崩塌可分為淺層崩塌及深層崩塌。在臺灣或是日本的環境條件下，淺層崩塌的發生事件遠多於深層崩塌。

集水區上游多為森林坡地，森林在崩塌抑制上的功能也因此備受關注甚至期待，因此除了釐清森林與土砂移動機制之關連，評估崩塌潛勢區域、研訂中下游區域警戒及疏散發佈時機的基準，更是國土規劃上不可忽略的一環。本文將就森林在崩塌抑制上的正面及負面效益，簡述森林與崩塌的關係。

森林根系與土壤層厚度

森林在抑制崩塌的正面效益主要來自於根系對土壤抗剪力(shear resistance force)之補強，如圖1所示。若考慮破壞面或滑動面(圖1中之紅線)上根系與土壤之力學關係，除了土壤本身的內聚力(cohesion)外，根系作用於破壞方向之水平分力直接補強土壤抗剪力，而垂直分力的作用則是根系與土壤的摩擦力，若是根系深入岩層龜裂或大孔隙中且與岩層

緊密結合時，垂直分力則發揮更大的作用，如同打樁效果，這也是一般所認為根系抑制崩塌之效益。

雖然樹木根系在崩塌抑制上的正面效益備受期待，但對於幼齡林或是淺根系的樹種來說，根系的生長最多只達到1~2公尺深左右，一般也難達到基岩面甚至侵入岩層。如圖2所示之淺層崩塌跡地，外觀狀似一健全的森林，其根系深度不過1公尺左右，對於穩固土壤的作用以僅止於深度1公尺的範圍，因此根系的抑制崩塌效果只侷限於淺層土壤中。若是對深層崩塌或是大規模的地滑，甚至破

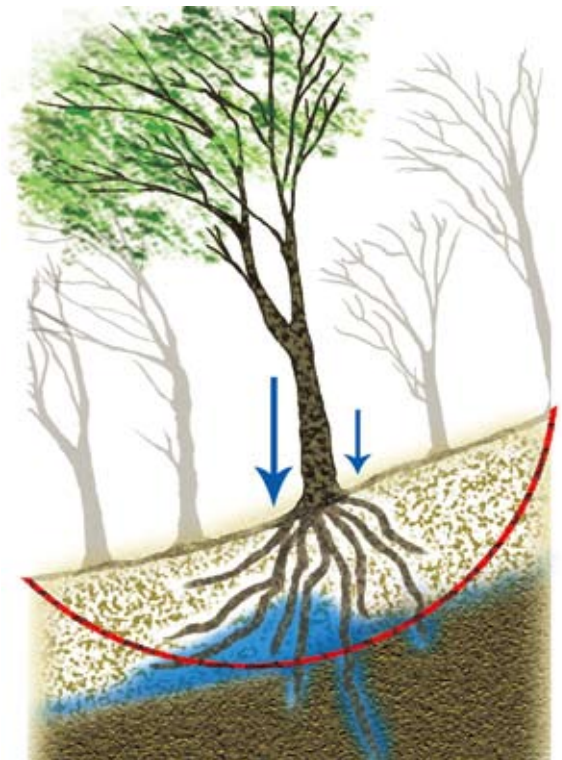


圖1 樹木根系、破壞面、棲止水之概念圖(梁偉立 繪)



圖2 淺層崩塌跡地與樹木根系(梁偉立 攝於日本京都府宮津市)

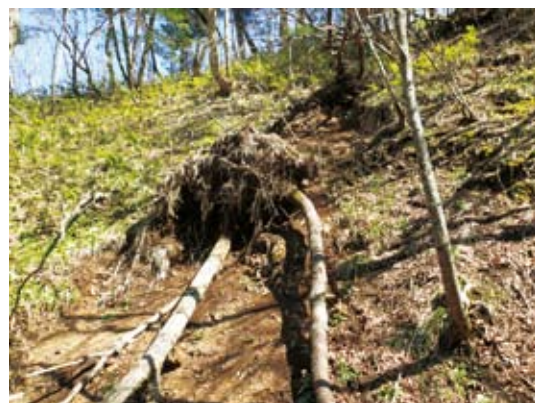


圖3 小規模淺層崩塌跡地與樹木根系(梁偉立 攝於日本岐阜縣高山市)

壤面比根系生長範圍還深或廣的淺層崩塌而言，根系並無抑制作用，類似的情形可以從許多崩塌跡地的現場勘查得知。

若是土壤厚度不夠，根系又無法深入岩層緊密結合時，樹木的重量、降雨時土壤飽和帶的快速形成、甚至強風的吹襲下，也具有淺層崩塌發生的潛勢。圖3所示之小規模淺層崩塌及倒木的狀態則為此例。一般而言，地形、土壤厚度、土壤內摩擦角、內聚力、水力傳導係數等因子常用來評估淺層崩塌可能發生之地點。就具有相同土層厚度的坡地而言，坡度較大的區域具有較高的崩塌潛勢，但實際上因為坡地中不均一的土層厚度分布，再加上其對土壤層中水分集流特性的影響，使得在崩塌潛勢的選定上無法只單靠可視的地表面資訊，不可視的地表下資訊亦是重要的關鍵。日本近年的研究就發現，在眾多影響因子中，除了地表地形外(坡度)，土壤厚度的空間分布及基岩面地形是最能反映出崩塌潛勢地點。因此，土壤層厚度不僅影響根系生長範圍，更對土壤水分分布有重要的影響。

森林、雨水滲透、崩塌間的關係

許多的研究報告中指出樹木的存在對土壤水分動態有相當大的影響，其中樹木根系吸收水分使得根系周遭之土壤水分較低，是較為人知之現象；而當降雨發生時，距離樹木越近，其周遭之土壤水分相對較高，是較鮮為人知之現象。筆者曾長期觀測樹木的存在對雨水滲透的影響，結果發現距離樹木越近，降雨時土壤水分含量也越高，這是由於幹流水的集中入滲導致。林地所發生的降雨，一部分被樹冠及下層植生所截留，剩下來的部分以穿透水及幹流水的形式到達地面，雖然過去的研究報告中對幹流水的集中滲透效應已經多加證實，但幹流水以繞流或旁通流(bypass flow)的形式沿著土壤中根成孔隙快速滲透至深層，造成土壤水分在垂直方向的不規則分布，則極少被論及。圖4為筆者將藍綠色的染色液噴灑於樹幹上，之後挖取土壤觀察以瞭解幹流水入滲的結果，圖中可以清楚地發現根系周圍藍綠色部分為幹流水所到達之範圍，特別是根徑較大的水平根附

近有大範圍的染色區域，說明了幹流水不僅沿著垂直根往深層滲透，並且有隨著水平根或斜向根之方向，進行側向滲透的特性。

此外，幹流水的集中入滲也導致基岩面上局部飽和帶，也就是棲止水(perched water)的形成(圖1中之藍色區域)。生長於坡地中的樹木，因坡度及重力之影響，有朝下坡傾斜的趨勢，此樹形的特性也使得幹流水大量集中在樹幹下坡側，更增強了集中入滲的程度，導致樹木上坡側及下坡側有著不同的土壤水分分布樣式，使得在樹木下坡側的基岩面上可以頻繁地觀測到棲止水的形成。土壤水動態以及基岩面上棲止水的分布是淺層崩塌發生時間・地點預測上的重要資訊，至今有多數的研究以數值計算的方法模擬森林集水區中的降雨-滲透-逕流的過程，並結合邊坡穩定分析來評估淺層崩塌發生的時間與地點。筆者曾評估因幹流水所導致的基岩面上



圖4 幹流水入滲之染色試驗(梁偉立 攝於日本京都市)

棲止水對淺層崩塌發生的影響，藉由Bishop圓弧滑動邊坡穩定分析法發現，棲止水的形成不但會降低邊坡安全係數，當有樹木存在時，其安全係數會比無樹木存在時還早低於1.0(邊坡安全係數低於1.0意味著崩塌的發生)，並且崩塌部位也會有所差異。就如圖3所示，崩塌發生於倒木原本的生長位置，除了前述樹木重量與土壤厚度之因子外，可以推斷降雨時樹木周遭棲止水之形成亦為崩塌發生的原因之一，也顯示了因樹木所造成土壤水動態以及基岩面上棲止水分佈的不均，對淺層崩塌發生之時間・地點有重要的影響。

結語

長久以來，森林在崩塌抑制上的機能備受期待，主要來自於樹木根系穩固土壤或是侵入岩層的觀測或思考，然而對於根系未到達破壞面或是土壤厚度較大的狀態下，樹木

根系的抑制崩塌效果只侷限於淺層土壤中。此外降雨時樹木周遭土壤水分的集中、不均一、快速的入滲現象也降低了坡地的穩定性。綜合以上，森林在崩塌抑制機能上的有其限界，就邊坡穩定及坡地水文過程的觀點而言，森林公益功能有再評估的需要，除了多面向評估各項因子間的關係，如何定量地評估森林在崩塌抑制上的正面及負面效益，瞭解其限界，會是吾等今後必須努力的方向。☸