

臺灣集水區經營與 水土資源保育問題之我見

◎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

世界上很少有地方像臺灣一樣經歷頻繁的水文極端事件以及嚴峻的集水區經營挑戰。約兩千三百萬的眾多人口居住在三萬六千平方公里的土地上(590人/km²)，在有限的面積中將近74%是屬於坡度陡峭且地質脆弱的山坡地；地小、人稠、坡陡、地震與颱風仍頻，致水土資源保育與水資源供應自屬於困難。每年雖有約2,500 mm豐沛的降雨量，但其中約90%集中在5至10月，此期間發生的颱風帶來強大的豪雨，常造成水患、山崩與土石流，其它月份則有缺水之虞；此外，降雨在空間上分布亦極為不平均(北部多於南部，東部多於西部)，使水土資源經營與保育問題更為棘手。

為因應颱風帶來的強風與豪雨，臺灣的相關單位在山坡地及洪水平原區進行了許多工程處理措施，並實施全面禁止天然林砍伐；雖然如此，臺灣的居民仍然持續受到豪雨、土石流及崩塌的威脅，且因此而造成生命及財產的損失。此外，中南部地區在每年冬季因降雨稀少，則飽受乾旱缺水之苦。而受暖化現象影響，臺灣地區極端降雨事件更為頻繁，且強度更大，時空分布不均愈趨嚴重。因此，自然資源保育相關單位以及水利工程人員，面臨與時俱增的壓力同時去面對自然災害以及永續經營水土資源。然而更多的臺灣人士，對自然資源保育愈加重視，並希望能藉著經營森林以達到減少沖蝕、改善水質、維護健全生態系以及減輕洪澇與崩塌等災害的目的。

欲藉著全面性的森林經營以達到多目標的效果，臺灣森林與集水區經營者所面臨的問題計有：1. 極端降雨日趨頻繁下，所引發坡地崩塌，造成大量土石淤積並降低集水區水資源涵養功能 2. 森林能發揮多大的水土資源保育功能，以解決臺灣水資源供應的困境 3. 為減輕洪水危害，臺灣中下游河川多以護岸及堤防等工程構造物保護河岸，衍生出河川水泥化、溪流生態惡化及無法自然排除下游都會區降雨積水等問題。對此等問題，逐一說明如下：

一、土壤沖蝕與山崩，減少集水區水資源涵養的能力

延時長、強度大之豪雨所誘發坡面崩塌，已為臺灣集水區經營最大且最為棘手的問題。據地質調查所委託成大防災中心調查碧利斯、象神與莫拉克等肆虐臺灣的災害性



高強度降雨引發的崩塌，為對臺灣地區人民生命財產最具威脅的自然災害。(陸象豫攝)



近年來在碧利斯、象神與莫拉克等災害性颱風吹襲下，在臺灣山區造成大量的崩塌地，除降低水資源涵養能力外，崩塌的土石亦使各河川淤積量大增。(孫銘源 攝)

颱風，所造成臺灣地區至少三萬九千餘公頃的崩塌地。這些崩塌地中，有50%分佈於原地形高程600~1,600公尺間，坡度則主要分佈於30°~40°間，導致崩塌事件的短期累積降雨量在中高海拔山區約大於400 mm，低海拔山區則約為900 mm以上。若以保守的土壤孔隙率0.2及約50公分深的土壤計算，在全面性降雨的情況下，將減少三千九百萬立方米(39,000,000 m³)的土壤水蓄積量。如此的儲水空間在100 mm的降雨情況下，即可將之填滿；若以臺灣每年平均降雨2,500 mm計算，每年將減少975,000,000 m³的蓄水量。亦即原本可儲存於森林地土壤的降雨，將改變為地表逕流，並迅速流失，集水區水資源涵養能力因而減低，對低水期的供水更是雪上加霜。

泥砂淤積是坡地崩塌所衍生另一問題；根據行政院農業委員會水土保持局依照新增崩塌面積推估莫拉克風災的泥砂量約12億方(立方公尺)，其中坡面殘餘量約8億方，土砂流出量約4億方，包括1.5億方淤積於中上游河道，剩下的約2.5億方則淤積於下游區、水庫及出海。此外集集地震後，除在全臺灣誘發超過21,000處的崩塌地外，震後造成的土石鬆動讓觸發土石流所需要的雨量遠低於地震前。超強颱風與地震兩種因素，使臺灣各河川的淤積量大增，造成河床提高，暴雨後溪流濁度異常增高，致常造成自來水廠難以處理，而無法供應。

在山區闢建道路為人為活動中最能引發崩塌的因素之一。道路可使人跡進入新的領

域，隨之的開發與墾殖將破壞原有的地表覆蓋，開路時的挖填方將造成邊坡不穩定以及地表沖蝕，而路面匯聚的水流常為導致上邊坡坡腳破壞的因素。在多雨的臺灣，開闢道路對邊坡穩定的衝擊是長而顯著的，往往需要數十年的時間方能達到穩定。好在臺灣現在全面禁伐，已甚少再開闢新林道或作業道路，以往全面伐木時期的林道多已荒廢，或轉為登山步道，道路對山區的衝擊已較和緩。

邊坡破壞的原因可歸納為驅動力(shear stress)之增加及抵抗力(shear strength)之減少兩種原因，驅動力增加可能是因為填土、建構造物、地下水、土壤水或地表水增加、地震等作用力；而造成抵抗力減少的原因則為移除結構物、基腳沖刷，開挖等。然破壞面(滑動面)上方之剪應力與抵抗力參雜許多因素，且破壞面難以精確推斷，致崩塌難以預測。一般而言，易崩塌的地質多屬崩積土、火山堆積土、破碎岩層，且常伴隨頁岩等所構成的水分不易滲漏的岩層；而逆向坡與堅硬岩層所構成的地質，則較不易崩塌。崩塌防治相當困難，但穩定邊坡工作宜因地制宜，依現地實際需要進行規劃設計，在坡腳以工程方法穩固之，再配合排水與坡面植生綠化，並需妥善的管理維護。

二、藉經營森林以達水資源保育的功能

臺灣森林的覆蓋率達全島面積的六成，水資源及國土保安相關單位均高度期望能借助森林的水土資源保育功能，以減緩臺灣澇旱與崩塌等問題。森林已被證實為水土資源保育最佳的土地利用方式，茲將其水土保育功能略述如下：

(一) 降低地表沖蝕

森林的樹冠層、林下層和枯枝落葉層能保護土壤，減緩雨水對土壤的直接衝擊，因而減少地面沖蝕。林地土壤有機質含量高，有助於化育土壤團粒結構，增加滲透率及孔隙率。所以降入林地的雨水多能滲入地表下，覆蓋良好的森林地很少發生地表逕流，能有效防止與減低地表沖蝕。

(二) 減少集水區水量

林木生長會消耗相當多的水分，林地的蒸發散量(包括截留雨水的蒸發)通常比其他植生覆蓋或裸露地區高，所以單純就長期水生產量而言，林地通常比草地或裸露地為低，森林對集水區水資源總生產量的影響是負面的。許多試驗都證明若未嚴重擾動地表，森林伐採會使包括豐水期和低水期溪流流量增加。

(三) 水資源涵養功能

森林地的入滲率通常較其他土地利用型態的入滲率為高，下降至森林的雨水多能進入地表，蓄存於土壤孔隙間，以補注地下水層或地下水庫，成為基流量(baseflow)的水源。所以，森林集水區涵養水資源的功能高於其他土地利用的集水區。森林集水區之高低流量的比例(暴雨流出量/基流量)，一般說來低於其他土地利用之集水區，這是森林涵養水源功能的關鍵所在。

(四) 減輕洪澇災害

洪水主要是因總量大且強度高的暴雨，引起非常高的暴雨流出量所造成的。林地因蒸發散量較高，可消耗較多土壤水分，但

所消耗的水量與引起洪水的暴雨量相比實屬微量，故森林對減低洪水水量的功效幾乎微不足道。然而，森林能借其水土保持功能，顯著地降低進入溪流的土砂量，溪流中雜質含量少，其衝擊破壞力將大為降低，且不會阻塞排水渠道，使水流迅速排除；因此森林覆蓋能使沖蝕、崩塌和泥砂減少，能減輕洪水災害，但對降低洪水的洪峰流量幾乎無效果。

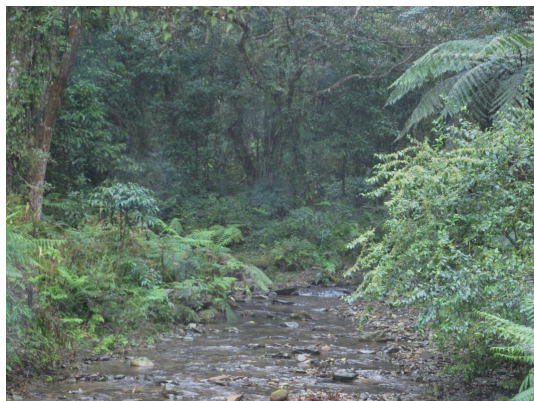
(五) 改善水質

落入森林地的降雨多能滲入地表下，且覆蓋良好的林地也較少發生沖蝕，因此，源自森林地的溪流水多經由土壤層的過濾及離子交換作用，致濁度較低、離子含量高，對水質具有改善作用。而林地的土地利用型態較普通農地或其他較高度開發地區單純，污染源較少，水質多屬較佳者。

(六) 減少崩塌

林木根系對土壤的網結作用，確實能減少淺層崩塌的發生；但深層崩塌的破壞面多深於植物根系所到達的範圍，林木對防止此類崩塌幾乎無作用。而林木本身的重量以及風之吹拂，會增加崩塌的驅動力，是否因此而引發崩塌仍屬爭論的課題；概土層淺坡度陡的坡面，鮮有成林的大樹，坡面上植物的重量通常遠低於土壤的重量。

保護森林確實能達到水土資源保育的功能，並減輕災害程度，但其防洪、防旱及防止崩塌的功能有其限度，對超大豪雨所導致的洪水或長期無雨所造成的乾旱，森林的



覆蓋良好的森林地能降低地表沖蝕、減輕洪水災害、改善水質、提高水資源涵養能力。(陸象豫 攝)

防範作用多屬不顯著。在降雨型態改變、時空分佈益趨不均的臺灣，欲藉森林覆蓋免於集水區災害，似乎難以達成；因此，無論各級政府與環保團體，全區再提出類似「種樹救水源」、「森林防洪」、「森林是水的故鄉」等不切實際的口號。

三、河川經營管理問題

河川亦為集水區的一部分，概任何集水區均有水流的出口，此種出口多為河川溪流。臺灣主要以中央山脈與雪山山脈為全島降雨的分水嶺，此二分水嶺偏向東部，故河川東短西長。而臺灣地形陡峭，降雨豐富且強度大，各河川具有長度短、坡度大(最長的濁水溪長僅186公里，而坡度則達四十六分之一)、水流急等特徵。又因降雨在時間上的分布極為不平均，主要降雨集中於夏季的梅雨與颱風季節，尤以南部更為明顯，故南部河川在冬季時經常因降雨量過少造成枯水期，而颱風雨梅雨的大豪雨，致此期間河川洪峰流量十分龐大，面積兩、三千平方公里的集

水區域，經常出現每秒一萬立方公尺以上的洪水量。地形陡、地質脆弱，豪雨輒降，致使崩塌與沖蝕異常劇烈，河川含砂量大亦為臺灣河川特色之一。

臺灣人口眾多，在西部人稠的地區勢必與水爭地，因此許多行水區都被開發利用。為免洪水危害都市居民，西部河川下游區多築以堤防(主流幾乎如此，支流亦達八成以上)；由於堤防阻隔，落於西部平原區的降雨多無法就近排入河川，而勢必要借助雨水排水系統及抽水機，方能將積水抽入或經由閘門排入下游區的河川，惟當排水渠道遭堵塞(主要是家庭垃圾)，恐將造成淹水。此種高築堤防，主要以排除上游集水區降雨的溪流型態，為臺灣多年「河川整治」的結果。

除洪流外，臺灣河川枯水期河床裸露，且部分河灘地拓墾為農地，導致每年10月至翌年4月東北季風盛行，揚起大片灰塵，造成懸浮微粒濃度大增，致使揚塵問題亦為各級政府關注的問題。根據水利署發布資料，臺灣河川揚塵問題以濁水溪及卑南溪最為嚴重，大安溪、大甲溪、烏溪、高屏溪、蘭陽溪、和平溪、花蓮溪及秀姑巒溪則是零星發生。於高灘裸露地引水漫灘與植生綠覆蓋等定砂工法，為減少揚塵有效方法，水利署已以此種方法治理面積達450餘公頃，並獲得良好效果。

洪峰流量甚大為臺灣各級河川另一特性，為免於洪水衝擊河岸、攔阻淤砂，各級河川主管單位多以堤防、丁壩、攔砂壩等水泥構造物進行所謂的河川治理，致使臺灣諸多河川「水泥化」與「渠道化」現象相當嚴重。河川水泥化將摧毀溪流生態，加快河水流速，減少地下水水源補助，亦破壞景觀。



水泥化及渠道化的溪流與沿岸景觀甚不協調，亦會摧毀生態，加快河水流速，減少地下水水源補助；在人民生命財產未受立即危害的河段進行此類工程，實有檢討的必要。(陸象豫攝)

從源頭到洪氾平原區域的渠道化和相關河流的改變，已對下游區洪水水量及洪峰到達時間產生變化。自然河川不應該變成大型水溝，民間團體已向公部門大聲疾呼，盼停止河川施工或以生態工法取代水泥構造物，希望能改變水泥構造物至上的思維。

臺灣的山坡地除偏遠或高海拔無道路可達的地區仍保持良好的森林覆蓋外，其它地區的土地利用多屬複雜；為減少崩塌、土石流及洪水等自然災危及人民生命與財產安全，攔砂壩、擋土牆、護岸、丁壩等各項水泥構造物早已大量構築於集水區及溪流。歷年山坡地開發已改變集水區原貌，此等人為因素對集水區流量與土砂量所造成的累積效應尚不明瞭；然此種效應在極端降雨下，勢必顯現出來，所引發的土砂災害不得忽視。減少自然災害，除改變自然環境外，亦須改變居民行為；而修改自然系統須徹底了解自然環境，改變人類行為亦須從社會、經濟與法規等多方面著手。⊗