

國有林崩場地現行鋪網噴植 工法應用與問題分析

文/圖 林信輝 ■ 國立中興大學水土保持學系教授
黃保嚴 ■ 國立中興大學水土保持學系碩士生
程怡婕 ■ 國立中興大學水土保持學系專任助理(通訊作者)

一、前言

台灣地區國有林面積廣大，近年來受氣候變遷影響，多場超大規模降雨以及颱風夾帶大量雨水，造成國有林地產生為數不少之崩塌災害面積，且多次地震造成地質鬆動，連帶增加土砂崩落之機率。崩場地治理工法通常以坡面土砂安定處理配合植生工法進行，包括擋土牆構造物、排水設施、型框護坡、打樁編柵、鋪網噴植、撒播種子及苗木栽植等。其中鋪網噴植工法之規劃設計之必要性因涉及被覆網材之網材特性、基材配方應用以及後續植生演替、森林化成效之評估，目前相關應用資材規格檢核與監造過程等之相關問題，本文分別說明之，後續仍有再檢討改進及規格化之標準建立之必要。

二、現行鋪網噴植之應用被覆網材種類

被覆網材係指以人工方法鋪設於裸露地表達到防止土壤沖蝕的材料，其目的為穩定坡面、減少土壤沖蝕情形，及提供植物生長之基盤。被覆網材依其種類與適用性，可單獨或合併應用，亦需有輔助工法及設施方能達到效益。現行被覆鐵絲網通常使用菱形鐵絲網，但坊間仍有相關被覆網材產品可資參考應用，如表1所示。

三、噴植工法常用資材

噴植工法所混合之資材種類繁多，可概分為纖維材料、肥料、土壤改良劑、黏著劑、保水劑、種子及其他資材等種類，其分類及特性詳如表2所示。

表1 常用被覆網材之種類與應用

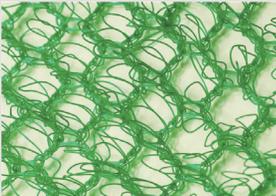
名稱		用途	網材照片	
鐵絲網	菱形鐵絲網	於較陡之岩石或鬆方之坡面，做為防落石網之功用，噴植基材穿透狀況良好，於地表形成一層敷蓋。一般菱形鐵絲網貼附地面後網材高度約0.5cm，立體鐵絲網因產品不同，網材高度約1.5-3cm。		
	立體鐵絲網			
編織立體網		組合結構性之立體網，適用於較緩坡地。可提供草種發芽之環境，防止植被未長成前受雨水冲刷流失。坊間產品如綠席網、矩形錐立體網等。		
				
非編織立體網		塑膠類一體成形之立體網具開放式多孔結構網材，具有多數獨立凸點結構較不適用於坡度變化較大之地區，可防止植生基材受雨水冲刷流失。		
複層網		為加勁格網和Nylon, PP, PE或PET塑膠經押出機熱熔擠出成連續細長膠條，膠條間不規則排列相互黏結而成。		

表2 常用噴植資材類別與特性

分類項目	用途特性	種類
纖維資材	利用現地天然纖維材料、農作副產物或可資利用之廢棄物回歸土壤，可提供種子發芽生長之介質及改善土壤結構，增加噴植基材的機械性強度。	泥炭苔、樹皮堆肥、菇類堆肥、甘蔗渣、稻殼堆肥、木屑堆肥、木質纖維、紙漿、椰纖等。
肥料	在自然環境養分不足或急需復育地提供種子發芽初期生長所需之肥分及改善土壤肥力。包括生物性堆肥、人工合成化學肥料與複合肥料等。	有機堆肥、化學肥料、有機肥、腐殖土等。
土壤改良劑	改良原土壤或噴植基材之物化性質，能有效解決土壤貧瘠，促進土壤內微生物活性，增加土壤保水性及肥料吸收功能。使用有機質材料通常具有不等程度之功能，用量需視基材配方及土壤物化特性而定。	苦土石灰、蚶殼粉、草木灰、矽酸礫渣、白雲石粉、甲殼素、硫磺粉等。
黏著劑	為貼附網材、固結土壤、噴植材料及種子，預防邊坡土壤流失，兼具有防沖效果。另團粒化劑亦屬類似黏著劑之功能，唯其較具保水及防沖功能，且可結合坩粘粒土壤形成團粒。	可分為被膜型(柏油乳劑)、滲透連結型(丙烯酸樹脂)及滲透填充型(水泥)三種。如高分子黏著劑、乳膠劑、CMC、團粒化劑等。
保水劑、吸水材料	以樹皮堆肥、蛭石、泥炭苔或其他高分子化合物等吸水性材料。提供乾燥性或保水力較差之土壤中，增加資材保水性及通氣性。不同材料之吸水倍率差異大。	蛭石、珍珠石、CMC、高分子保水劑、泥炭苔及其它有機纖維材料等。
土壤	土壤為自然之植生介質，可使用土壤硬度較低之表土，亦可使用經改良或調配後之客土材料，且能與其他噴植資材充分攪拌混合之土壤材料為宜。	通常為壤土、砂質土壤，且需過篩去除石粒、雜質。
種子	配合當地氣候環境及土壤性質選擇適生植物種子，混合於噴植基材內，以達到植生綠化及增加土壤根力。	有草本、灌木、喬木、藤本、綠肥植物類。
其它資材	土壤微生物、水泥、染色劑、種子發芽促進劑或鳥類忌食劑等。	波特蘭水泥、天然食用色素(綠色)、菌根菌、鳥類忌食劑等。

四、鋪網噴植施工機具

一般噴植施工方法以氣壓式噴植較為常見。氣壓式噴植是將種子、黏著劑、纖維材料、有機肥料、化學肥料、保水劑、土壤改良劑及其他資材等材料依一定比例混合後，透過氣壓式噴漿機(12 kg/cm²)將植生基材噴布於坡

面上，形成一層類似表土的結構，提供植物生長基材。其能在岩石邊坡等難以綠化地區實現快速綠化並建立灌、喬木為主之植物群落，達到恢復自然森林環境之目標。氣壓式噴植機依其噴植機之結構可分為乾式噴植與濕式噴植。乾、濕式噴植比較說明如表3所示。

表3 乾、濕式噴植比較表

	乾式噴植	濕式噴植
噴植方式	1.噴植厚度約3-6 cm。 2.水泥噴漿機(A-Li-Ba)壓力約8-12 kg/cm ² 。 3.基材攪拌時不添加水，於噴頭處含水管，最後混合水噴出，較易出現反彈料現象。	1.噴植厚度約3-10 cm。 2.氣壓式噴漿機(八角金鋼)壓力約5 kg/cm ² 。 3.基材攪拌時即添加水於壓力箱內攪拌，噴植時基材較能附著坡面。
規格特性	1.噴植機具為一般水泥噴漿機，外型如漏斗狀。 2.噴頭內管徑2吋、外管徑2又1/2吋。 3.管徑較大噴植料管可伸展長度較小(約50m)。 4.噴植施工速度較快，但噴頭基材噴出高度較低。	1.常用八角金鋼噴植機外形如葫蘆狀。 2.噴頭內管徑1又3/4吋、外管徑2吋。 3.管徑較小噴植料管可伸展長度較大(300-500 m)。 4.噴植施工速度較慢，噴頭基材噴出高度較高。
優缺點	1.適用於小面積或交通路面較窄地區。 2.乾式噴料易有反彈料產生及沖蝕掉落情形。 3.基材攪拌時需較乾燥，適合中南部多晴地區。 4.噴植機具較便宜。	1.目前施作以濕式噴植較多，較適用於大面積施工。 2.噴植基材貼附性較高，抗沖蝕較佳。 3.濕式噴植較無氣候影響，晴、雨天皆可施工。 4.進口噴植用八角金鋼機具較貴。



乾式噴植情形(1)
使用水泥噴漿機



濕式噴植情形(1)
使用八角金鋼噴植機



乾式噴植情形(2)



濕式噴植情形(2)

照片1 鋪網噴植工法施作照片

五、現行鋪網噴植工法問題分析與改善對策

鋪網噴植工法在崩場地治理與植生導入及復育上利用範圍廣，在不同治理區域進行鋪網噴植規劃設計及施工時，其所應考量注意之項目受環境條件、工程經費及施工方法等影響。不同施工區域其所面臨之規劃施工問題亦有所差異，就現階段鋪網噴植工法施工常見問題類型及其分析說明如表4所示。

大溪事業區第153林班6號崩場地處理工程位於桃園縣復興鄉桃113線3K處，因現地

地形陡峻、地質脆弱、土壤鬆軟，加上前期921地震造成土質鬆動，且受近年颱風(艾利、馬莎)帶來超大雨量衝擊，造成崩塌災害問題。於民國95年進行鋪網噴植施工作業。主要工程內容為鋪設高抗拉噴植網並噴植草本植物，現地坡面上方有成熟羅氏鹽膚木及相思樹母樹，可成為坡面上天然下種之來源，因此在鋪網噴植1年7個月後，坡面除原有噴植草本植物覆蓋外，另有羅氏鹽膚木及相思樹小苗進入生長；完工後7年後坡面植生演替情形良好。

表4 鋪網噴植工法規劃與施工問題與改善對策

問題類型	說明	改善對策
災害尺度與規模(設計之必要性)	<ol style="list-style-type: none"> 1.規劃設計面積過小，後續自然植生演替快，不符合經濟效益。 2.崩塌面積或土砂災害過大或屬向源侵蝕嚴重之崩塌地不適用噴植作業，應以整體性土砂災害控制為主。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.對於大面積土砂災害區以整體土砂災害控制以及防砂工程規劃為考量。 2.小面積崩塌區則可考量崩塌土方清除後，讓其自然穩定復育或配合撒播種子。
坡面條件與設計	<ol style="list-style-type: none"> 1.坡面湧水處可能造成錨釘脫出、基材脫落，工程施作困難，或後續植物生長不良之情形。 2.坡面上方存在不穩定土砂石塊，可能影響後續網材鋪設。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.坡面湧水區應配合縱橫向坡面排水規劃設計，以減少對噴植工法施作之影響。(常使用暗管排水與縱橫噴漿溝之組合設計) 2.坡面上方不穩定土砂石塊應配合規劃清除作業，避免造成二次崩塌問題。 3.平緩坡面或已有植生入侵生長區域，需視實際需求進行規劃設計，若為穩定則應考量自然復育。
特殊地質區考量	<ol style="list-style-type: none"> 1.紅土台地地質特性多礫石，不利網材鋪設與後續噴植。 2.泥岩地區因地質特性影響，乾季地質乾裂、雨季土壤易受沖刷滑落，導致噴植基材不易附著。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.紅土礫石地區在較緩坡面進行鋪網噴植工程時，應儘可能清除坡面礫石，避免網材無法貼附坡面造成破壞。較陡坡面宜以坡腳檔土設施配合緩衝區之設置為原則。 2.泥岩地區因土壤地質條件影響，進行噴網噴植作業時，應加強坡頂、坡面排水設施。
應用種子材料問題	<ol style="list-style-type: none"> 1.種子材料之種類或品系使用錯誤，或儲存不當影響品質，造成後續發芽率低。 2.可使用之本地木本植物種類缺乏相關研究資料。 3.未進行種子前處理(促進發芽預措處理)，或處理不確實可能影響後續種子發芽率。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.種子材料選用應於購買前進行確認，以避免購買錯誤種子。 2.木本種子材料發芽速度較慢，使用前應進行預措處理，以提高發芽率縮短發芽時間。 3.現地木本植物種子材料仍有研究開發之必要。
施工期網材脫落	<ol style="list-style-type: none"> 1.鋪網施工期未能及時穩固網材，造成後續網材脫落破壞問題。 2.錨釘、土釘、螺釘及預力錨釘之尺寸長度規格，需依現地坡面條件調整。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.網材鋪設後應立即進行穩定作業，避免受外在因素影響導致網材脫落。 2.網材以錨釘固定時，需以細鐵線絞接繃緊，必要時上覆鋼索固定。 3.鋪網坡面之上方可配合混凝土噴漿溝，其施作寬度應為2-5公尺以上或視現地條件增加噴漿寬度。
噴植基材乾裂收縮	<ol style="list-style-type: none"> 1.噴植纖維材料如以短纖維材或木屑等材料菇類廢棄木屑(太空包)為主，常見噴植基材乾裂收縮及其與被覆材料分離情形。 2.乾裂收縮後，可能造成噴植厚度不足及網材露出情形。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.添加具較長纖維材或樹皮堆肥、紙漿等材料，能有效減少水分損失，增加水分於基材中的停留時間，減低乾裂收縮及表層硬化情形。 2.增加噴植厚度或減少噴植基材之含水量。
噴植基材沖刷問題	<ol style="list-style-type: none"> 1.噴植基材膠結力低或沖蝕造成滑落。 2.因強降雨影響，或施工時基材含水量太高，產生施工坡面基材滑落或網材沖刷破壞。 3.施工不當造成網材與噴植基材無法緊密貼合，造成破壞脫落情形。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.加強坡面縱橫向排水系統，減少基材受雨水沖刷而滑落。 2.在坡度較陡之地區應加強基材膠結性材料，避免基材受沖蝕而滑落。(依日本之規範，以能抵抗20mm/hr雨量為準) 3.噴植施工時，噴頭應與坡面垂直方向噴射，可使基材深入底層及網材緊密貼合。
網材伏貼性不佳與支撐力不足	<ol style="list-style-type: none"> 1.崩塌地形狀一般為扇形，橫向搭接處呈上小下大，搭接處易翹處無法服貼，造成無保護之裸露空隙，可能成為沖蝕攻擊處。 2.塑膠網材抗拉力低，受外力影響造成網材拉撐破壞情形。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.加強整地作業，若為較難施工處，考量採取階段式整地作業，鋪網以階段式鋪設以確保服貼於治理坡面。 2.塑膠類網材與鐵絲網複層鋪設，亦為常見之施工設計。
網材規格與適宜性問題	<ol style="list-style-type: none"> 1.網材種類多樣，規劃設計常有圖示與內容說明不符情形。 2.鋪設網材過厚，或以多層組合型網材覆蓋，易造成噴植資材無法與表土結合，水份之毛細作用亦被阻絕。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.現場監工人員應注意應用網材與設計圖是否相符，若有問題須立即反應。 2.避免設計多重網材覆蓋，應考慮後續植物生長，選用網孔較大且不影響種子材料生長之網材，以確保導入種子順利發芽生長。



網材伏貼性不佳造成噴植基材脫落



網材過厚致使噴植草類根系初期無法深入土層生長



坡度陡峭且坡長較長地區施工時常致網材脫落情形



使用菇肥堆肥材料常見噴植基材乾裂收縮情形



網材錨釘固定施工情形



坡頂需有混凝土噴漿排水溝穩定上邊坡網材



噴植完工後以稻草席覆蓋情形



噴植基材膠結力低或施工初期豪雨造成基材滑落情形

照片2 鋪網噴植施工及常見問題照片



施工前坡面裸露(2007.03)



完工後坡面情形(2007.04)



完工後20天已有草類發芽生長(2006.07)



完工後1年7個月，有羅氏鹽膚木及相思樹小苗入侵生長(2008.11)



完工後3年坡面羅氏鹽膚木及相思樹群落生長情形(2009.09)



完工後7年坡面植生演替狀況良好(2013.05)

照片3 噴網噴植施工成果(大溪事業區第153林班6號崩塌地處理工程)案例照片

六、驗收與維護管理

鋪網噴植工法完工後需進行之驗收及後續維護管理。噴植基材施工後應以使鐵絲網不見露出為原則。但因崩塌地地形變化起伏大，且部分岩石岩層突出地面，如設計噴植厚度5 cm 以下時，應可容許少部分鐵絲網表面露出之情

形，但總噴植基材之數量配比、施工厚度及允許出露面積比率(通常以5-10%以下為宜)等應合乎相關契約、施工規範之規定。

植生覆蓋率或綠覆率應之調查以自坡面垂直上方之植株投影面積比率為準。經人工整坡之土層坡面或均勻厚容土之坡面，一般施播草

種並予以妥善維護4個月後，其覆蓋率應達90%以上。但崩塌地自然裸坡或僅局部客土之坡面導入植物後，其平均覆蓋率可設計為達80%(或依契約規定辦理)。

噴植作業使用外來草種，應注意其後續是否影響木本植物發芽生長，若有阻礙木本植物發芽生長，應立即進行刈除作業，以提高木本植物存活率。而木本植物成長後應注意是否有藤蔓類纏繞問題，如小花蔓澤蘭、爪哇大豆等，如有相關問題應立即進行刈除作業。

七、結語

植生復育工程與一般土木工程的不同，在於工程施工後植物依序繁殖生長而致達到預期目標之植物群落，亦即應以工程施工後植物之發芽、生長評估為首要要點。一般而言，評估所播種的植物達到植物群落形成之成果，草本群落約為1-2年，木本類植物群落約為3-5年。因此，在施工後2-3個月要弄清楚是否可以達到預期目標之植物群落甚為困難。針對鋪網噴植工法後續成效調查評估注意事項，羅列如下：

1. 植生工程施工地區，常因坡面排水功能具有缺失而造成部分植生基材流失或崩塌之情形，需

特別加以確認。

2. 植生成效之判定需依使用植物、施工時期、施工目的等，在經過一定時間後進行確認。
3. 植物之生長狀態，因坡面方位、地形、地質、水分狀態等不同，於生長初期會產生部分的不均勻，所以植生成果應以坡面全體狀態來判斷。
4. 植生標的植物以外之植物覆蓋率若超過10%時，需檢討彼此間之消長關係，若呈現對原預期植生覆蓋、預期演替系列產生不良影響時需立即加以去除。
5. 播種工法施工基地整體成長植株數量，受施工後氣象因子之影響甚大。成長數量不足時，必須觀察並確認其原因後，再進行追播工作。
6. 草本類與木本類植物混播時，若草本類植物過度生長則容易造成競爭，木本類就無法生存，應注意草本類植物之過度生長。
7. 需持續觀察植生植物是否出現衰退、枯萎、病蟲害等現象。
8. 使用木本植物種子噴植成功案例仍甚缺乏，木本植物種子材料之開發、噴植基材配方改善設計，以及草木本種子發芽生長競爭之機制等，仍待進一步之試驗研究。⚠