

從環境與生態維護觀點談林道工程設計之新思維

◎林業試驗所集水區經營組·陸象豫 (shiang@tfri.gov.tw)

◎林業試驗所恆春研究中心·林照松

工程(engineering)是泛指建造機具、建築物、橋樑、道路等工作的總稱，而本文中所謂的林道工程則是指施用於林道上的土木工程，從最簡單的挖填方到複雜的鋼筋混凝土橋樑均屬之。而林道(forest road)則是指因林業經營、試驗研究、環境管理等作業之需所開設的道路，多位於丘陵地或山嶺區。林道受到地形影響，在闢建時常需要進行上下邊坡挖填方或鄰近溪流的護岸工程，這些措施會擾動地表，無可避免地對環境造成衝擊，甚至可能大規模且幾乎永久地改變地貌及原有的水流路徑，對生態系將造成嚴重的影響；因此林道闢建已成為集水區治理上頗受關注與爭論的議題。

工程介入林道主要目的是為了抵抗暴雨所帶來的沖蝕，維持邊坡穩定，使其能在設計年限內達到堪用的水準，並滿足開闢的目的。林道工程可概括分為路面工程、排水設施、邊坡穩定及溪流整治等四大類。

路面工程工項與設計規範

路面工程主要為路面整治、坡度調整及鋪面等項目，其目的為使行車安全與順暢並減少路面沖蝕。為便於排除路面的積水，林道的縱向(林道上升或下降的高程與水平距離的比率)坡度最好能維持在2~18%之間，但以小於10%為原則，惟在某些情形下坡度可酌予增減。易遭受沖蝕或砂質土壤地區，即使是5%的坡度也認為是過陡，但在具有堅硬岩盤的地區，坡度即使達15%仍屬合理。而為滿足

路面設計時的寬度以及橫斷面型式，橫向的挖填方亦屬於路面工程的一種。此類工程多屬必要的林道闢建措施，較無爭議，採用何種形式視當地地形、土壤條件而定。

林道鋪面有級配、瀝青混凝土、水泥混凝土等類型；其目的在增加輪胎摩擦力與維持林道的穩定。級配原是指材料粒徑的大小分布狀況，用在鋪面上則是指粗細不同的粒徑的石礫按照一定的比例組合在一起的物料，通常係以粒徑1~2公分為主的礫石組成。其優點是施作方便、成本低，且屬於透水性鋪面；缺點則是易遭車輪壓入土壤或跳離而流失，以及不適合用於過陡、泥濘、黏質土壤的路段。瀝青混凝土鋪面係將加熱之粒料、瀝青膠泥及填縫料等按照特定比例拌和均勻後，分層(或單層)鋪於路基上，再經滾壓至所欲之壓實度。其優點為車輛行駛較舒適、施工容易、挖填方少及修補容易、成本低等；缺點為不透水、不透氣、路面黑暗溫度高、使用壽



以原木構築的擋土牆可有效降低牆後方的孔隙水壓，並能收就地取材的優點。(陸象豫 攝)

命短、常需維修、高溫時強度降低、易被有機溶劑溶解、煞車起動及急轉彎路段易損壞、多雨潮濕地區易發生瀝青剝離損壞等狀況。水泥混凝土鋪面是指以水泥混凝土為主要材料做面層的路面，由於它比瀝青混凝土的強度高，亦稱剛性路面；它的強度要求約 $140\sim 350\text{ kg/cm}^2$ （強度的高低，取決於水灰比，水灰比愈高，則強度愈低；反之則強度愈高）。水泥混凝土路面優點為強度高、穩定性好、耐久性佳、養護費用低、抗滑性能好等；缺點為構築費用高、需要伸縮縫、養護與修復困難等。

林道排水設計與邊坡穩定設施

林道在林內造成了局部堅硬且被壓實的路面，使原本可進入地表的雨水因無法入滲而成為地表水。匯聚的地表水為沖蝕的原動力，是造成林道路面逕流、沖蝕及邊坡破壞的主要原因。林道排水工程主要是為了抵抗暴雨所帶來的逕流沖蝕而設置，項目包括邊溝、涵洞(culvert)、跌水等。排水邊溝多位於林道的內側，主要施用於內斜式橫斷面的路段，將路面的逕流水匯集並導入集水井，再以涵洞跨路面排入外(下)邊坡。除岩石路段可採自然邊溝外，大多邊溝多為混凝土構造物，但亦有以塊石、磚等襯砌溝面者，而在施工困難地區，可採用預鑄溝。排水邊溝不宜過長，且需於每百公尺間隔內設置涵洞等橫向排水設施，在縱坡度超過10%的地區，應每隔10~40公尺設截水牆，用以減緩水流速度。涵洞包括涵管、箱形涵洞、拱型涵洞等多種，採用何種形式需視地形及排水量而定。涵洞的優點為施工容易、快速施作、可迅速使用、經濟便宜，缺點為容易遭土石、



張力裂縫是邊坡崩塌的徵兆之一，道路鋪面及擋土牆等人為構造物最易顯現此現象。(林照松 攝)

樹枝等雜物阻塞。涵洞橫越林道時，宜儘量與其成正交，以達經濟有效的目標。此外，排水溝渠如坡度過陡或涵洞出口與自然溪流落差大之處，為消滅水流能量並減少沖刷約束流心，須以混凝土或石塊做成水墊，稱之為跌水(drop structure 或 cascade)。

邊坡穩定是指坡面上土壤等覆蓋物能抗拒下滑的力量；使上述覆蓋物不至於滑落的現象，是由剪切應力(shear stress，或稱驅動力)與剪切強度(shear strength，或稱抵抗力)兩者間相互力量所決定。邊坡穩定常受到自然與人為因素影響而遭受破壞，而發生破壞的原因大致可歸納為驅動力增加(如填土、重壓、蓋結構物、土壤水增加、地震等)及抵抗力減少(如開挖、水流沖刷、結構物移除等)兩種原因。林道構築後，由於開挖、路面匯聚水流沖刷、重壓、擾動或阻礙淺層地下水的流動等因素，更易導致路基上下邊坡的不穩定，此時就必須在坡腳以工程方法穩固之。此等工程除加強邊坡抵抗力的擋土工程外，與之配合的排水及坡面保護工程均屬邊坡穩定工程的範疇。邊坡穩定擋土工程，是利用構造物來抵抗滑動力，此構造物統稱擋土牆，以其建構的方式與材料的不同，概分為重力、半重力、三明治、懸臂、板樁、地錨、蛇籠等多種形式；其材質以土石、石塊、混凝土、鋼筋混凝土、木材等為主。邊坡排水工程目的在以明



坡面植生是坡面保護工程之一，可兼具綠美化效果。
(林照松 攝)

或暗渠攔截匯聚的水流，並加以誘導排至安全處，以降低孔隙水壓，提升抗剪強度。坡面保護工程是藉植草、植生帶、噴漿、框架、錨定、鋪砌石塊等處理，達到降低坡面風化、防止沖刷、減少落石，穩定坡面等效果。

林道關建對溪流穩定之影響

林道常沿著溪流開闢或與溪流交會，因此溪流的穩定對林道至關重要。溪流亦常因為林道關建，使溪岸更易發生侵蝕、掏刷、淤積、崩塌等現象；為減輕或防止河道侵蝕、河岸掏刷或崩塌，並控制土砂生產與移動，達到穩定溪流所實施的工程稱之為溪流治理工程。此類工程包括堤防護岸、節制壩(check dam, 潛壩、丁壩等)、固床工、滯洪壩(池)等。堤防係限制河川流水在一定的河道內之人工構造物，在豐水期其功能為防止洪水氾濫，在枯水期用以維繫河川正常機能。節制壩係指由河岸向河心方向按一定間距構築的構造物，目的是穩定水流及防止河床受到過多的沖刷；依照壩體與水位的關係，沒於正常水位下者稱潛壩，高出者為丁壩。固床工則是為避免溪床受水流之侵蝕、沖刷之溪床保護工程，目的為防止河床縱向侵蝕以穩定溪床，但較少應用於野溪。此項工程所採用的材料以混凝土、蛇籠、石塊、木樁為主，需視實際需要及以就地取材為原則。



在無明確保全對象且對人民生命財產不構成威脅的地方施工，為不當的工程介入。(陸象豫 攝)

尊重及順應自然之新思維

由於現今的科技進步，任何施作於林道上的工程，在技術上均不構成問題，所需考慮者應為經費及其必要性。當人民生命財產沒有受到威脅時，工程即不宜貿然介入，工程施作必須適地、適量。以往人定勝天、以阻擋為主的重型硬式工程、強調工程反覆修設、不考慮環境及生態資源成本、開發大於保育、片段式管理、無鋼筋水泥非工程等舊思維宜加以調整；而應改採尊重及順應自然、採用疏導為主的軟性生態工法、著重永續性、開發與保育並重、管理重於治理的新思維去進行環境工程，以達與自然和諧且滿足經濟、安全的要求。

林道關建後的養護工作，是維持林道工程堪用的必要措施，適時適當的維修可使林道對自然環境的衝擊減至最低。林道必須依其使用狀況或當地環境，儘可能地巡視檢查(在雨季來臨前應完成檢查)，隨時留意溝渠及涵洞出入口是否遭到阻塞，坡面或道路上有無張力裂縫(tension crack, 可滲入大量地表水，為邊坡穩定的大忌)、路面排水(若有靜止的積水或車轍表示路基或路面的強度正在惡化)等情形，以確認所需的維修作業。早期花少量的維修費，可以節省日後大量的道路修復費用，並可使林道維持最佳的狀態。⊗