

人工林作業道設計及施工原則

文／圖 ■ 劉忠憲 ■ 林務局集水區治理組簡任技正

一、前言

臺灣森林之經營管理，係在永續的基本原則下，積極培育森林資源，注重國土保安，以發揮森林之公益功能及經濟效益。故全面禁伐天然林，積極進行有計畫造林，加強造林撫育，改進林業技術及發展森林事業等工作，符合現今森林永續發展的目標。而為了達成上述的目標，「林道」與「作業道」，可以降低林業經營成本，均為森林經營管理所不可或缺之設施。

林道之開設，林務局早已訂有「林道設計規範」，依林道之規模及使用需求，分為甲、乙、丙種三級，可供設計者遵循；然而林地內之作業道，類似農地之園內道，其規模較小，因不屬於「道路」開設等級，因此，一直無相關規範可以使用。林務局為使各林區管理處瞭解作業道要如何開設，才能兼顧林地水土保持及林業省工經營之目標，特訂定「人工林作業道設計及施工原則」，並於 103 年 12 月 1 日函頒各林區管理處參據辦理，其名稱冠上人工林，主要在人工林相較於天然林而言，更有必要闢設作業道，進行造林撫育工作，以節省經營成本。

「人工林作業道設計及施工原則」包括作業道之定義、基本原則、設計規範、注意事項及參考圖例等內容，依其定義，「人工林作業道」係以營造健康的森林為目的，專供林業機械車輛運行，為降低林木經營成本而開設。人工林作業道因位於林地，受限於地形，在寬度、縱坡及最小轉彎半徑等條件，均難以達到林道設計規範之最低要求，因此並無法如同一般道路系統訂定完整的規範，而是在掌握其基本原則，遵守基本設計規範下，依其注意事項審慎辦理，並以開闢穩定且不易損壞之作業道為目標。



▲ 森林具有公益及經濟效益



▲作業道為林業經營管理所需之設施

二、作業道基本原則

作業道之開設，應先瞭解開設目的與所受到之環境限制，才不會因觀念偏差，對其有所誤解，導致不知該如何執行，所以在「人工林作業道設計及施工原則」中，訂有兩項基本原則，茲分別說明如下：

(一) 作業道有別於道路系統，並未考慮車行速度之安全規格，主要係配合林業機械車輛之運行，朝向開設及維護成本低，且不易損壞的設施加以規劃設置：

作業道專供林業機械車輛運行使用，主要目的在降低林木經營成本，因此與平常使用之道路需求及規格有所不同。行駛作業道之車輛，係為進行林業經營作業，車行方式及速度需配合路況調整，方能順利進行，無安全顧慮。類似辦理工程之挖土機、卡車、混凝土車等機具行駛於施工便道，並不需要設置一條舒適且快速的道路。此外，由於林地多位處中高海拔或偏遠山區，材料運送困難且施工不易，作業道應盡量減少開設及維護成本，因此作業道必需耐用、不易損壞及容易維護，否則就難達到降低林木經營成本之目標。

(二) 作業道應選擇於穩定的地點開設，考量造林地現場地質、地形等條件及使用林業機械車輛種類，採最小限度的挖土、填土，力求挖填平衡，並儘可能利用現地自然資材完成：

林地受到自然環境的限制，並不是每個地點都適合開闢作業道，必須考量林地現場地質、地形條件，選擇於穩定的地點開設。由於設置作業道之路幅及路型，必須進行開挖與回填，而採行最小限度的挖填，以減少破壞原有邊坡的樣態，則為確保作業道穩固的最佳選擇，亦為作業道選線的最高原則。同時，挖填平衡之設計，可避免產生剩餘土石方，因為在林地，很難覓得合適安全的棄土場所。另由於林地材料運送困難，因此必須儘可能利用現地自然資材，就近取材，才能降低成本，並符合維護森林生態及節能減碳之政策。



▲作業道應著重於開設維護成本低且不易損壞



▲作業道無法滿足車行速度之安全規格

三、作業道設計規範

在施設作業道時，必須符合設計規範之要求，才能開設符合規格的作業道。但是林地現場地質地形條件、林木作業方式及所使用林業機械車輛等狀況不一，要訂定統一的規範實屬不易。林務局為使各林區管理處在執行作業道開設時有所遵循，經參考日本經驗及農地園內道之設計規範，於頒訂之「人工林作業道設計及施工原則」，將作業道之最大寬度、平曲線最小半徑及最大縱坡規定如下：

- (一) 最大寬度：以 2.5 公尺為原則，倘地質及地形條件良好，則可放寬至 3 公尺。
- (二) 平曲線最小半徑：以 6.5 公尺為原則。
- (三) 最大縱坡：以 30% 為限，其在 20~30% 坡段長度不得超過 30 公尺為原則。

以設計規範限制作業道之最大寬度以 2.5 公尺為原則，主要在防止坡面開挖破壞，造成原來地形改變過大，無法利用現地自然資材達成保護，不合作業道開設之基本原則。而平曲線最小半徑以 6.5 公尺為原則，則是考量讓 2 噸的卡車可以順利轉彎，較大型車輛在人員指揮下，則能以緩速多次調整，通過迴頭彎。最小半徑無法放大的原因，也是要避免為了滿足設計規範，造成坡面大挖大填，影響林地水土保持。至於最大縱坡以 30% 為限，則是避免作業道縱坡太陡，不利林業車輛通行及影響作業道排水安全。

為了林地作業需要，倘地質及地形條件良好，可將作業道寬度放寬至 3 公尺，以利林木作業及機具通行；惟倘非必要，建議仍應堅守最大寬度小於 2.5 公尺之標準，才能確保作業

道不易損壞的目標。此外，因林地現場條件、伐採作業方式、所使用林業機械車輛及搬出木材的長度等狀況，倘無法依上述規範施設時，則應評估開設作業道對林地水土保持的影響，並考量通行安全，依林道相關規定辦理，也就是說必須以道路等級之相關程序來規劃設計與施工。



▲作業道應堅守寬度在2.5公尺以下

四、作業道設計及施工注意事項

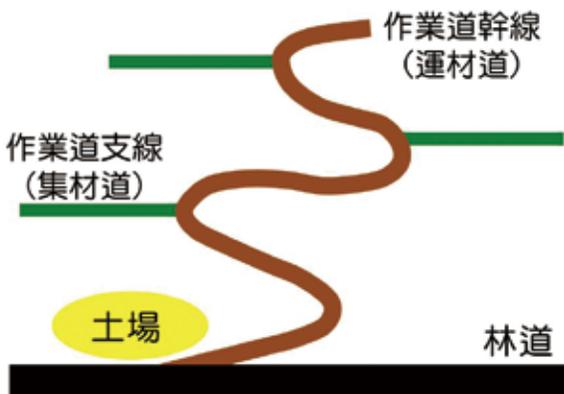
與前面提到之設計規範不同，注意事項係原則性列出作業道設計、施工及維護管理應考量之事項，實際執行時仍須因地制宜，適性適地進行規劃設計與施工，遵守設計規範並達成基本原則為目標。有關作業道之選線、材料、路面、排水、邊坡、施工及維護管理等事項，均已納入「人工林作業道設計及施工原則」，提供施設時參考，茲將其考量之重點說明如下：

- (一) 妥適規劃路網，配合林業需求，提升作業效率。

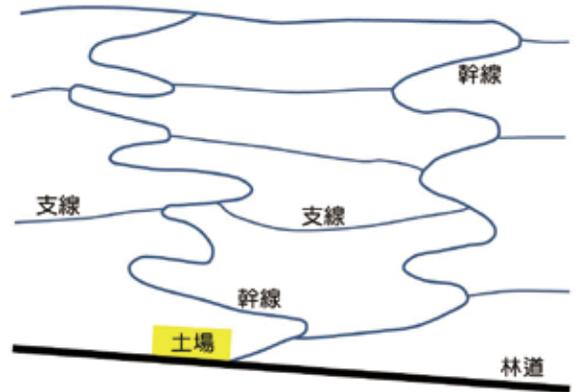
利用等高線地形圖與航照圖等圖資，考量林業經營需求，可先於電腦或圖上作業，初步規劃出作業道路線，尤其現今地理資訊系統發展快速，使得這項工作更加準確及便利。有了初步規劃的路線後再至現地踏勘，就可以很快地決定出可行的路線。

除單一線型的作業道外，採用路網可以提升作業效率，作業道路網包括幹線及支線，幹線是主要的搬出路徑，為能取得到鄰近林道或土場之最短距離，通常在安定的稜線部分描繪出S形，並配置迴頭彎。支線則為主要的集材路徑，可從幹線迴頭彎的外側依等高線來配置。

作業道幹線與支線之配置，須考量伐採等施業計畫之區域，路線形狀是否相互連結、是否為有效率的線形、預定的林業機械車輛之運行是否會有障礙。但於較不安定的地質及地形，則應審慎評估路網是否有危險性，必要時應縮小路網的規模及降低作業效率，以確保作業道可以穩定，沒有安全顧慮。



▲ 作業道幹線與支線配置圖



▲ 作業道路網示意圖

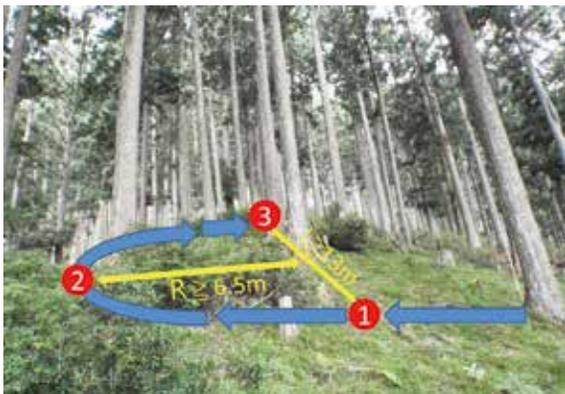
(二) 審慎選擇路線，符合設計規範，強調挖填平衡。

選擇作業道中心線時，可沿坡面之等高線方向，配合所需要之路幅及路型，儘可能降低挖填坡面之高度，選擇無須設置路側保護工之路線為佳。考量作業道之縱斷坡度時，也必須考量挖填高度、減少挖填土方量，並確保符合設計規範之坡度。為了車輛能安全行駛，應注意不要讓固定的縱坡持續太長，途中可製作反向坡，陡坡的前後則須適度設置緩坡區間，尤其應特別注意車輛下坡行駛是否安全。

作業道從坡面的下端到上端相通的主幹線，在轉彎處常設迴頭彎，迴頭彎通常也是支線之起點。選取迴頭彎的位置至為重要，稜線或凸型地形之坡面，因坡度較小及地質較一般坡面穩定，且地表逕流不易集中，通常為迴頭彎設置之適當地點。迴頭彎應設置 5% 左右傾斜的外低路體，可有效發揮排水功能，最小轉彎半徑係以 2 噸卡車能輕易迴轉的半徑 6.5 公尺來設計，坡度控制在 20% 以下。此外，作業道應注意路線終點車輛能否迴轉，沿線是否

需要加寬及施設避車道。

作業道開設為現地主義，實際施工時，若發現有崩塌之可能性，必須立即修正路線形狀，並在符合設計規範下，儘可能達成挖填平衡，減少剩餘土石方量，以避免土石方棄置處理發生問題。



▲作業道迴頭彎施做示意圖



▲作道路迴頭彎施做完成情形

(三) 堅持就地取材，善用自然資材，符合節能減碳。

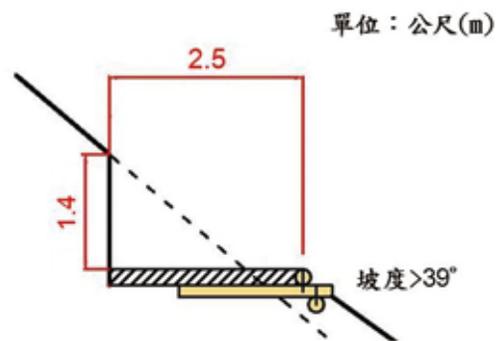
由於林地多位處中高海拔或偏遠山區，材料運送困難且施工條件不佳，如能就地取材，善用自然資材，則可確保生態環境之最低破壞，亦符合節能減碳之政策目標。

作業道開設應儘量利用障礙木及石礫等現地自然的資材，加強邊坡保護及路體穩定，以降低開設成本。另開挖時所掘取的小徑木根株，亦可作為填土區域的補強材料；闊葉樹的根株可萌芽更新，對填土坡面之強化及邊坡植生復育皆有幫助；伐採枝條鋪壓在路面上，則可防止沖蝕，對林業機械車輛行走，亦具有穩定的效果。

(四) 路面無需封底，但需不易損壞，維護整修容易。

為增加地表逕流入滲，防止逕流集中，並維持自然生態環境，作業道原則上不施做混凝土或瀝青混凝土路面，必要時得鋪設碎石級配。因此，路基的強度不穩定時，可在土中放入石礫，或將原木放入土中掩埋，藉以增加路面強度。為防止路面沖蝕，可將枝條鋪壓在路面上，亦有助於林業機械之運行。路體要能堅固，路肩也必須加強處理，木製構造物為快速有效之工法，對路肩部分的強化相當有幫助。

作業道路面形成後，可使用履帶機械車輛進行輾壓，履帶輾壓不到的地方，可以挖土機鏟斗處理。



▲作業道路面處理示意圖



▲作業道路面利用原木加強處理情形

(五) 加強排水安全，防止沖蝕崩塌，維持路體穩定。

排水處理為作業道開設成敗之關鍵，通常作業道配合自然地形之波浪狀線型，可以讓整條路線在數公尺到數十公尺之間隔區內，利用地形的變化，就地分散排水。無常流水之小谷地，因容易聚集水流，須抬高路面。有常流水之水際處及稜線處，也須將路面稍微抬高，以利排水。縱斷坡度較陡時，路面水流的流速會增加，容易發生淘刷沖蝕，縱橫向排水均須謹慎處理，做好適當的排水對策。稜線處有湧水或常有逕流水時，可設計外斜路面，讓斜坡前後之排水安全流出。

利用障礙木及石礫等簡易的材料，例如在路面埋入原木，設置橫向排水，埋入方向不與作業道垂直，而採 30 度左右斜向，讓水流容易流向下邊坡，在水流末端，堆放現地伐取的根株或碎石，以防止淘刷產生。谷地之排水，不使用鋼筋混凝土涵管，而是利用原木及石礫施做過水路面。作業道之排水處理，將障礙木及石礫做最大利用，即使破損，也容易利用現地材料重做。



▲作業道利用簡易材料或原木施做橫向排水



▲作業道橫向排水下邊坡鋪排塊石

(六) 減少邊坡開挖，避免大挖大填，利用木構工法。

坡面坡度愈大，挖填土量會愈多，不僅土方量會增加，而且必須做填土路面及路肩的保護。因此，從成本面及保全面考量，儘可能在較緩坡面開設作業道，使開設的效率提高，成本降低。

作業道之邊坡不設置混凝土構造物，而是以現地障礙木之原木及挖除根系等自然資材加強處理。考慮伐開幅度及掘削土石量的抑制，上邊坡開挖坡面高度，原則應控制在 1.4 公尺以下，並以降雨不會直接打到開挖坡面

的直切方式為原則，但谷地流路有堆積土的地方，則只能在 0.7 公尺以下。若碰到邊坡坡度 33 度以上，或垂直開挖高度大於 1.4 公尺，或軟弱土質處時，則需使用原木擋土工法，亦即利用疏伐下來或開路伐開之原木對上邊坡進行保護。另可保留開挖上邊坡之穩定立木，藉由根系緊縛力來安定坡面。

下邊坡填土區域的基礎部分，加以掘削及鋪平，可防止填土滑落。填土基礎部分以下的坡面，也須考量坡度及土質，抑止填土崩壞的發生。填土區域基礎部分影響之障礙木，可從地表起 30 公分左右高度處伐採。障礙木伐倒時產生的樹幹及枝條，可以放置在填土基礎部分的下側，以防止土壤流失；開設時所掘取的小徑木根株，可供為填土部分的補強材料。伐採根株設置於填土處，可提高填土的高度，設置於填土基礎部分時，可強化基礎，闊葉樹的小伐根株也可萌芽更新，對填土的強化及植生復育皆有幫助。若碰到邊坡坡度 39 度以上，則需使用原木擋土工法，對下邊坡進行保護。

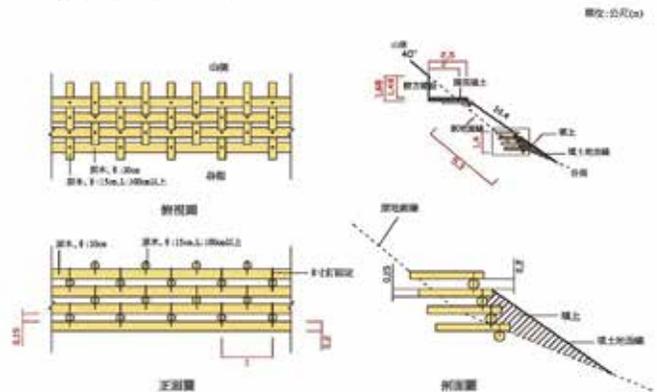
開挖及填土坡面恢復植生綠化，有助於坡面穩定。完成之作業道經過一段時間將會自然復育到有植生的狀態，以植生來強化邊坡的穩定，形成安定的路網。



▲作業道上邊坡原木擋土工法



▲作業道下邊坡原木擋土工法



▲作業道原木擋土工法示意圖

(七) 確實設計施工，依現況做調整，確保最小破壞。

作業道開設為現地主義，作業道施工使用之小型土木工程機械，可以挖掘的岩石粒徑較小，遇較大的岩塊應儘可能迴避，障礙木邊做邊伐開，避免因路線變更而造成先前之伐木浪費，並以最低限伐開為原則。

填土與原坡面的接合部份，除須將有機物與表土除去外，應注意填土與地面的密著良好。障礙木的根基部伐除木頭不能棄置於林內，路體開設時，可作為路面擋土材料加以活用，以防止粗大廢棄物產生。開設作業道之具體作法為半挖半填，做到鄰接地挖土、填土量

的平衡，希望儘量減少土石搬運及棄土產生。

施工須極力避開雨季，降雨時及降雨剛過皆不宜進行開設作業。填土材料以利用所挖取土壤為主，原則上填土每一層為 30 公分左右，充分碾壓後再往上堆填，確實完成緊固壓實。表土部分因有很多有機質及種子，土石掘削時，儘可能將表土部分與其他土石分開，並用於路面外側之表層填土，藉以期待填土坡面儘速恢復植生。

原木擋土工法施工時，基礎部的形成，先碾壓、設置橫木，並以錨釘固定，將掘削土壤回填，再設置縱向原木，間隔為 1 公尺左右，進行回填。可將期待會萌芽的小型伐採根株，放置於填土側，進而再設置第 2 層橫木，以錨釘固定，到預定計畫高度前，一再反覆的施工。原木組合時，可以在兩根原木相接處做個切口，較容易組裝。為路肩部分的補強及抑制路盤移動，可從路盤起稍微高出一些的位置設置橫木。



▲作業道施工應視現地條件隨時調整



▲作業道施工應以最低限度伐開為原則

(八) 加強維護管理，辦理巡查檢修，回復植生復育。

作業道開設完成後，應定期及不定期進行巡檢，並做必要維護及修整工作，避免發生損壞，以充分發揮作業道的功能。檢查排水是否已適切的處理，可於降雨後立即巡視，以確認排水對策有無不妥當之處。林業機械車輛使用造成路面輪跡，會使雨水蓄留，成為通行的障礙，必須實施必要的修補。

為林業作業機械車輛設計之作業道，不適一般車輛通行，故應禁止其他車輛進入作業道，以防止事故發生。於造林或伐木作業完成後，所施行之作業道應即封閉，並完成植生復育。

(九) 其他注意事項

林務局對於承租林地作業道之申請，訂有「租地造林作業道設置規範及審核注意事項」，俾供遵循，其中包括應符合森林法第 9 條第 2 項「地質穩定、無礙國土保安及林業

經營」規定，且對林政、保林無影響。同時作業道應依水土保持法之規定，依開設規模擬具水土保持計畫或簡易水土保持申報書，送請水土保持主管機關審查核可。因此，開設作業道前，仍應依相關法令規定辦理，完備程序後，始得進場施設。

五、結語

作業道雖對林業經營管理有很大的助益，但是一般民眾普遍存在山區開路不利水土保持的既定印象，所以臺灣人工林很少開闢作業道。事實上，作業道雖為降低林木經營成本而開設，但是仍以營造健康的森林為目標，作業道開設的前提應無礙林地水土保持，如果開設作業道反而造成崩塌、土壤流失等問題，不只無法節省林業經營成本，也無法營造健康森林，這就失去施設作業道的目的，此一觀點，在訂定作業道的基本原則中，即有明確宣示。因此，要求開設時遵守作業道之設計規範，並依循注意事項辦理，即在確保林地水土保持安全無虞。從日本的經驗也可以得到驗證，只要確實遵守設計及施工原則，要開設成本低且不易損壞的作業道，並非難事。

林務局為推動人工林作業道，考量日本地形環境與臺灣相似，其所使用作業道技術，應可利用於臺灣林業經營，遂於 102 年 12 月 2-5 日辦理「造林地作業道實務訓練」，邀請對於作業道實務具有相當經驗之清光林業株式會社會長岡橋清元先生擔任講師，對各林區管理處相關人員進行講習，並實地於南投林區管理處人倫工作站附近之柳杉人工林進行作業道

實務操作，讓參與人員瞭解作業道開設方式。日本藉由作業道與林業機械的輔助下，使得人工林疏伐作業更為省工，已有成功的經驗與實績。利用作業道進行疏伐工作，雖能有效提高效率，降低疏伐材生產的成本，但臺灣林地地形複雜且缺乏日本使用之小型林業機械，因此建議可先建立標準作業流程，藉由設置小型樣區，實際操作累積經驗，並監測林地環境改變，以瞭解開設作業道後對於林地環境之影響，再逐步推展實施人工林作業道之開設。▲



▲作業道實務操作訓練現場解說情形



▲作業道實務操作教育訓練現場操作情形