

專輯  
阿里山林業鐵路國際交流



圖 / 大山影像

## 阿里山林業鐵路營運之維護管理

文、圖 | 李嶸泰 | 嘉義大學森林暨自然資源學系暨研究所助理教授  
郭治平 | 明新科技大學防災技術研究中心主任（通訊作者）  
沈宜慶 | 林務局阿里山林業鐵路及文化資產管理處鐵路維護科科長  
陳柏旭 | 林務局森林育樂組設施管理科技士

阿里山林業鐵路自2009年莫拉克颱風後造成421處大小崩塌未能全線通車復駛，林務局嘉義林區管理處歷經十年戮力以赴，將莫拉克颱風引起的400餘處大小崩塌進行治理完竣；2015年杜鵑颱風又造成十字路至屏遮那之間42號隧道邊坡發生大規模崩塌，造成路基流失達約55公尺。面對大自然在阿里山地區造成的災害，阿里山林業鐵路之維護管理實非易事，阿里山林業鐵路有著不可抹滅的歷史價值與文化意義，行政院指示於2018年7月1日成立專責機構「阿里山林業鐵路及文化資產管理處」相關的營運維護管理工作更顯其重要性。

阿里山林業鐵路現為世界上著名的登山鐵路之一，具有申請登錄世界遺產的潛力，同時也是臺灣相當重要的林業文化與觀光資產，然因先天地質條件不佳，再加上後地震與颱風的摧殘，阿里山林業鐵路自2009年莫拉克颱風後造成421處大小崩塌未能全線通車復駛，在這十年期間林務局嘉義林區管理處的同仁們（現由阿里山林業鐵路及文化資產管理處負責相關維護與營運）戮力以赴，將莫拉克颱風引起的400餘處大小崩塌一一進行治理完竣。正當全線已準備恢復通車之際，2015年10月杜鵑颱風又造成十字路至屏遮那之間42號隧道邊坡發生大規模崩塌（58K+240），隧道被超過10萬立方公尺的土石沖擊，造成路基流失達約55公尺。在無「莫拉克颱風災後重建特別條例」的情況下，從規劃設計至提送環境影響評估又歷經了一段時間的努力。面對大自然在阿里山地區造成的災害，阿里山林業鐵路之維護管理實非易事，但為了臺灣珍貴的百年林業歷史，阿里山林業鐵路有著它不可抹滅的歷史價值與文化意義，行政院亦拍板持續動態保存，並指示於2018年7月1日成立專責機構「阿里山林業鐵路及文化資產管理處」相關的營運維護管理工作更顯其重要性。

## 先天與後天條件的挑戰

### 地形

阿里山林業鐵路由嘉義站開往阿里山，受地形影響沿途多為登山路段，且延線坡度也越來越陡，大致上可分為以下兩段：

#### 一、平地（嘉義站→竹崎站）

由嘉義站至竹崎站，鐵路沿線標高小於100m，且地勢起伏較不明顯，屬於嘉義縣市

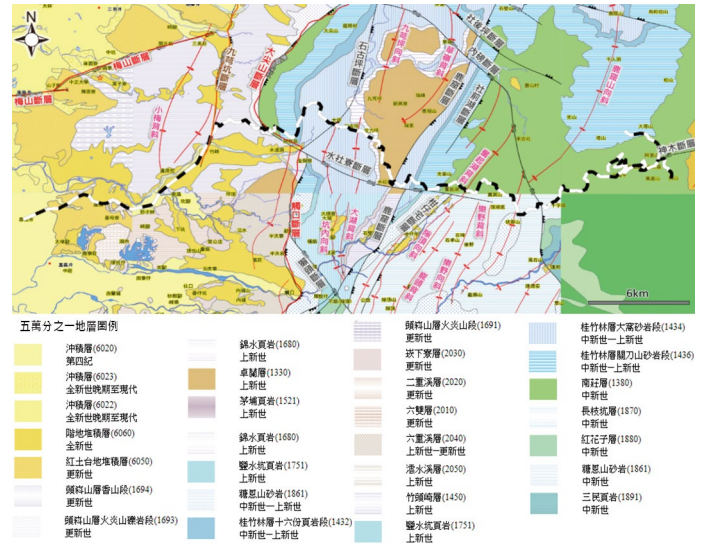


圖1、阿里山林業鐵路沿線地質分析圖。

丘陵及平原區域，坡度小於15%，坡度分級為二級坡。

#### 二、山坡地（竹崎站→祝山站）

由竹崎站一直到祝山站則大部分屬山坡地，自竹崎站起，坡度大於30%（三級坡），越往阿里山國家森林遊樂區地形起伏越大，竹崎站（14k+200）高程約130公尺、多林站（50k+884）高程約1,470公尺、二萬坪（62K）高程約為2,000公尺，而至祝山站高程已達2,450公尺。

### 地質

阿里山林業鐵路位於阿里山山脈南緣，臺灣地質分區屬西部麓山帶地質區，依據經濟部中央地質調查所「五萬分之一臺灣區域地質圖」（圖1）、經濟部中央地質調查所（2014）「山崩與地滑地質敏感區劃定計畫書（L0004嘉義縣市）」以及李嶸泰等人（2012）中華水土保持學報「阿里山林業鐵路災害調查及復建規劃」，可知此範圍出露地層受到地質構造控制，大致呈現北北東—南南西方向的條狀分布，且因流域範圍甚廣，故出露地層年代涵蓋範圍較大，包含始新世地層至現代沖積層。

於此範圍主要出露地層為南莊層 (Nc)、三民頁岩 (Si)、紅花子層 (Hh)、長枝坑層 (Cc)、糖恩山砂岩 (Tn)、桂竹林層 (Kcl)、鹽水坑頁岩 (Ys)、茅埔頁岩 (Mp)、錦水頁岩 (Cs)、竹頭崎層 (Ct)、澧水溪層 (Yh)、六重溪層 (Lu)、卓蘭層 (Cl)、頭料山層香山段 (Tks)、頭料山層火炎山段 (Tkh)、崁下寮層 (Kh)、二重溪層 (Ec)、六雙層 (Lh) 等；地質構造極為複雜，包括許多斷層與褶皺，地質構造線大部分呈西南—北北東走向，主要斷層分布由東往西為神木斷層、社後坪斷層、內磅斷層、社前湖斷層、鹿窟斷層、柑仔宅斷層、石古坪斷層、觸口斷層、大尖山斷層與九芎坑斷層。此外尚有水社寮斷層、瀨頭斷層與梅山斷層等橫移斷層。由經濟部中央地質調查所之活動斷層資料顯示，大尖山斷層、觸口斷層、梅山斷層屬於第一類活動斷層，九芎坑斷層屬於第二類活動斷層。

整體而言，大尖山斷層與觸口斷層將本計畫範圍地質切分為兩個部分，斷層以西為西南部外麓山帶，地質年代多為更新世至現代，主要由土壤與極軟弱岩層組成，除岩體強度低外，地層材料強度易受雨水或地下水入滲導致材料弱化影響邊坡穩定狀況；斷層以東為內麓山帶區域，地質年代較老，多為中新世至上新世，邊坡穩定情形受斷層與褶皺影響，剪裂及破碎帶發達，因此形成相當多崩塌規模不等崩場地，且地表覆蓋了厚度不一之崩積層，崩積層之組成材料極不規則，粒度大至巨石；小至細砂，質地疏鬆不具膠結，暴雨時易導致大量地表水下滲，使得地下水蓄積分佈不均，且於地表沖蝕出大小不一之侵蝕溝，並形成規模不等之崩崖。

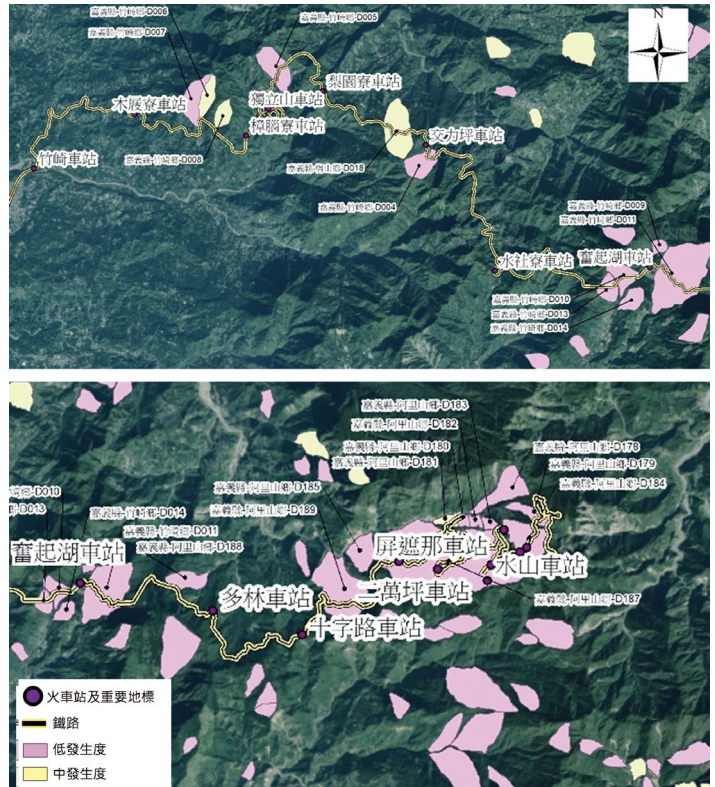


圖2、阿里山林業鐵路（竹崎-祝山）大規模崩塌潛勢區分布圖。（資料來源：林務局國有林大規模崩塌潛勢區判釋及危險度評估，2018年）

依據林務局（2015）「國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析」以及「107年國有林大規模崩塌潛勢區判釋及危險度評估計畫」中，圈繪大規模崩塌潛勢區並建立其風險度及保全重要性，阿里山林業鐵路沿線大規模崩塌潛勢區分布如圖2，（圖2上：竹崎站—奮起湖站）顯示此區間有3處（嘉義縣—竹崎鄉—D006、D008、及梅山鄉—D018）中發生度及8處低發生度的大規模崩塌潛勢區；（圖2下：奮起湖站—祝山站）顯示區間內有1處（嘉義縣—阿里山鄉—D181）中發生度及12處低發生度的大規模崩塌潛勢區，其中，中發生度大規模潛勢區鄰近第一分道。屏蔽那站至沼平站區間受阿里山溪側蝕影響，大小不等的大規模崩塌潛勢區幾乎涵蓋此區段。

## 軌道設施基礎資料建置

軌道運輸首重安全，為了落實相關安全之營運維護，阿里山林業鐵路及文化資產管理處成立之後，即訂定了嚴格的車輛檢修及軌道基礎設施巡查及維護作業標準，並積極針對軌道設施基礎資料收集建置，本篇文章特針對各項軌道設施基礎資料蒐集，包括邊坡巡查、軌道噴泥巡檢、橋梁檢測及隧道檢測。

### 邊坡巡查工作方法

#### 一、邊坡調查項目及評估標準

阿里山林業鐵路沿線巡查需透過步行目視調查紀錄林業鐵路沿線現況，並搭配其他相關資

料與分析，給予評估改善建議，鐵路沿線邊坡巡查至少包含坡面、穩定設施、排水設施、攔石設施及路基構造之調查，範圍以鐵路兩側10米目視為原則，惟巡查時若於範圍外發現高嚴重之異常徵兆時仍應紀錄。邊坡調查項目內容說明如表1，其各項檢查項目評估影響程度分級標準如表2至表6所示。

### 二、現場調查流程

於阿里山林業鐵路沿線邊坡調查工作之執行流程如圖3，主要分為4階段：（1）行前準備作業，（2）現場調查評分，（3）基本資料建置，（4）覆核階段；各階段工作內容詳細說明如下：

表1、各項步行目視調查內容

編號	項目	調查內容
一	自然坡面	坡面裂縫、鼓起、沖刷、滲水等現象
二	穩定設施	構造物裂縫、傾斜、鋼筋外露、基礎掏空、異常滲漏、錨頭異常等現象
三	排水設施	斷裂、破損、堵塞、淤積、沖刷等現象
四	攔石設施	支柱異常情況、落石堆積情形
五	鐵路路基	道碴情況、噴泥現象、枕木、防落護欄劣化狀態

表2、自然坡面評估項目影響程度分級表

項次	檢查項目	影響程度		
		低	中	高
		坡面 / 設施功能性良好 不需採取維護作業	不影響邊坡安全性，維護作業 不具急迫性	對邊坡安全性可能影響， 維護作業具有急迫性
1	邊坡坡頂裂縫或陷落	無明顯異常裂縫	有差異沉陷產生	明顯裂縫或凹陷
2	坡腳龜裂或局部陷落、隆起	坡腳無明顯異常現象	坡腳張力裂縫不大，無陷落	坡腳出現陷落或隆起
3	坡面鼓出、滑移、坍塌或崩落	無明顯異常裂縫或坍塌	輕微裂縫或僅有小坍塌發生	明顯裂縫或有大坍塌
4	坡面侵蝕、沖刷、回填材料流失	植被良好	坡面有裸露	有沖蝕、雨蝕溝之現象
5	坡面異常滲水	無異常滲水	有異常滲水但影響輕微	有異常滲水
6	超載堆積物（含垃圾）	無堆積現象	僅少數堆積，且未位於坡頂	堆積量大，且位於坡頂
7	樹木傾倒、植生枯損、雜草異常茂盛	無傾倒或目視不明顯	現象輕微	多處有傾倒或明顯異於周邊
8	危木、危石	無見危木、危石	有危木、危石，未來可能威脅鐵軌	明顯不穩定之危木、危石

表3、穩定設施評估項目影響程度分級表

項次	檢查項目	影響程度		
		低	中	高
		坡面 / 設施功能性良好 不需採取維護作業	不影響邊坡安全性，維護 作業不具急迫性	對邊坡安全性可能影響，維 護作業具有急迫性
1	混凝土（噴凝土）裂縫、龜裂	無明顯異常裂縫、龜裂現象	輕微裂縫	多處發生且位於下部位置
2	擋土設施沉陷、傾斜、移位或基礎掏空	無明顯整體沉陷移動	輕微整體沉陷移動	明顯整體沉陷移動
3	護坡設施變形、鼓出或凹陷	無明顯異常龜裂變形或僅表層龜裂	有明顯裂縫但無傾斜外凸	明顯傾斜或外凸
4	設施接縫異樣、開裂分離或劣化	不明顯	有少數裂縫但無傾斜或位移	多處發生，且有明顯異於周邊之傾倒或位移情形
5	箱籠、加勁擋土牆牆面破損、土石外露	無破損	牆面破損，土石外露但未流失	牆面破損且土石嚴重流失
6	混凝土材料劣化、剝落或其他異常	無或少數僅發生於上部位置	發生於中間位置	多處有損壞或發生於下部位置
7	鋼筋外露銹蝕	無或少數僅發生於上部位置	發生於中間位置	多處有損壞或發生於下部位置
8	框梁、格梁周圍沖刷及淘空	無明顯沖刷及淘空	輕微沖刷及淘空	明顯沖刷及淘空
9	設施表面異常滲水	無異常滲水	有異常滲水但影響輕微	有異常滲水
10	地錨保護座（蓋）破損、掉落、鋼腱外露	無破損、掉落、鋼腱外露	少數破損、掉落、鋼腱外露	錨頭破損、掉落、鋼腱外露情形普遍
11	地錨錨頭周圍沖蝕及淘空	無明顯沖刷及淘空	輕微沖刷及淘空	明顯沖刷及淘空
12	地錨承壓結構體破損掉落	無承壓結構體損壞現象	少數承壓結構體損壞現象	承壓結構體嚴重損壞

表4、排水設施評估項目影響程度分級表

項次	檢查項目	影響程度		
		低	中	高
		坡面 / 設施功能性良好 不需採取維護作業	不影響邊坡安全性，維護 作業不具急迫性	對邊坡安全性可能影響，維 護作業具有急迫性
1	排水溝（井、管涵、箱涵）銜接不良、斷裂、破損、變形	無異常	僅有少部分斷裂、破損，不影響排水功能	排水溝斷裂、破損、變形導致排水流失或水流溢流至排水溝外
2	排水溝（井、管涵、箱涵）堵塞、淤積	僅局部淤積	排水不良且有積水現象	堵塞、淤積情形嚴重，導致水流溢流至排水溝外
3	水平排水管、洩水孔堵塞或細粒料流失	排水功能良好	細粒料伴隨排水流失	排水功能喪失，由坡面或其他設施表面滲水
4	排水溝（井、管涵、箱涵）外側或底部沖刷、下陷	無明顯沖刷及下陷	輕微沖刷及下陷	明顯沖刷及下陷
5	排水溝（井、管涵、箱涵）混凝土裂縫、剝落、鋼筋外露銹蝕	無異常裂縫、剝落	僅有少分裂縫，不影響排水功能	混凝土多處裂縫及剝落，造成鋼筋外露銹蝕
6	端牆（翼牆、人孔）結構損壞、裂縫、剝落、連接不良、鋼筋外露銹蝕銹蝕、基礎掏空、沉陷、滑動	無異常裂縫、剝落、淘空、滑動	有明顯裂縫但無傾斜外凸；輕微沖刷及淘空	混凝土多處裂縫及剝落，造成鋼筋外露銹蝕與傾斜外凸；明顯沖刷及淘空造成沉陷移動

表5、攔石設施評估項目影響程度分級表

項次	檢查項目	影響程度		
		低	中	高
		坡面 / 設施功能性良好 不需採取維護作業	不影響邊坡安全性，維護 作業不具急迫性	對邊坡安全性可能影響，維護作業 具有急迫性
1	材料銹蝕、破損、彎曲、 變形	無異常	材料僅有輕微銹蝕、 破損、彎曲、變形情形	材料已嚴重銹蝕、破損、彎曲、 變形情形且不堪負荷落石重量
2	落石堆積情形	無落石堆積	有少量落石堆積	落石堆積嚴重
3	支柱於擋土牆固定情形	牢固於擋土牆	有輕微搖晃，惟仍可 支撐落石	嚴重晃動，已無法支撐落石

表6、鐵路路基評估項目影響程度分級表

項次	檢查項目	影響程度		
		低	中	高
		坡面 / 設施功能性良好 不需採取維護作業	不影響邊坡安全性，維護 作業不具急迫性	對邊坡安全性可能影響， 維護作業具有急迫性
1	道渣流失狀況，軌道周邊有 不足、軌道懸空	道床寬度及厚度充足， 道渣粒徑正常	道渣粒徑偏小，軌道周邊 道床厚度不足	道渣嚴重不足，軌道局部 懸空
2	枕木損壞情況，表面損壞、 內部腐爛	無異常	枕木表面破損、陳舊	枕木外觀損壞，內部出現 腐爛
3	噴泥現象，疑似泥漿痕跡、 泥漿覆蓋道渣	道渣外觀清潔、無異常 情形	道渣層有局部、輕微遭泥 漿覆蓋現象	道渣明顯被厚層泥漿覆 蓋，分布面積較廣
4	防翻落護欄劣化狀態	無異常	輕微搖晃或局部破損	嚴重搖晃，護欄材料劣 化，已無法成在外力

## 噴泥現象

在傳統的鐵路路床中，常發現鐵路部分路段道渣表面有噴泥污染的現象（圖4），在嚴重的部分甚至影響鐵軌之平穩性，導致列車通過時明顯晃動，輕則影響乘客之搭乘舒適度，重則可能發生脫軌意外，因此鐵路相關單位噴泥的巡檢工作非常重視。

### 一、噴泥的發生機制

傳統鐵路路床是由原地面向上構築而成，由下而上分別為道渣、枕木最後是列車行走之軌道，為了將列車之較大載重均勻分布於地盤上，而路基噴泥指包含路盤及路床之材料因侵蝕、風化等破壞，遇水軟化、液化成泥，當列

車通過時鐵路結構反覆受壓使軌枕上下起伏或道渣嵌入路盤及路床，導致泥漿因荷載作用擠壓抽吸而通過道床孔隙湧升，造成道渣污染、喪失彈性、路基永久變形甚至擴散破壞等現象（圖5）。

依據上述噴泥發生機制說明，可以推測在鐵道路床的材料與設計上，除了要承受且分散鐵軌所傳遞之載重及衝擊外，還需要兼顧排水才能減緩噴泥的發生。而位在傳統隧道內的鐵道路床，因隧道結構中並未使用襯砌與原始地盤作分隔，地下水位的高度通常又高於隧道地表面，故導致路床常因含水的影響而有更明顯、嚴重之噴泥現象。

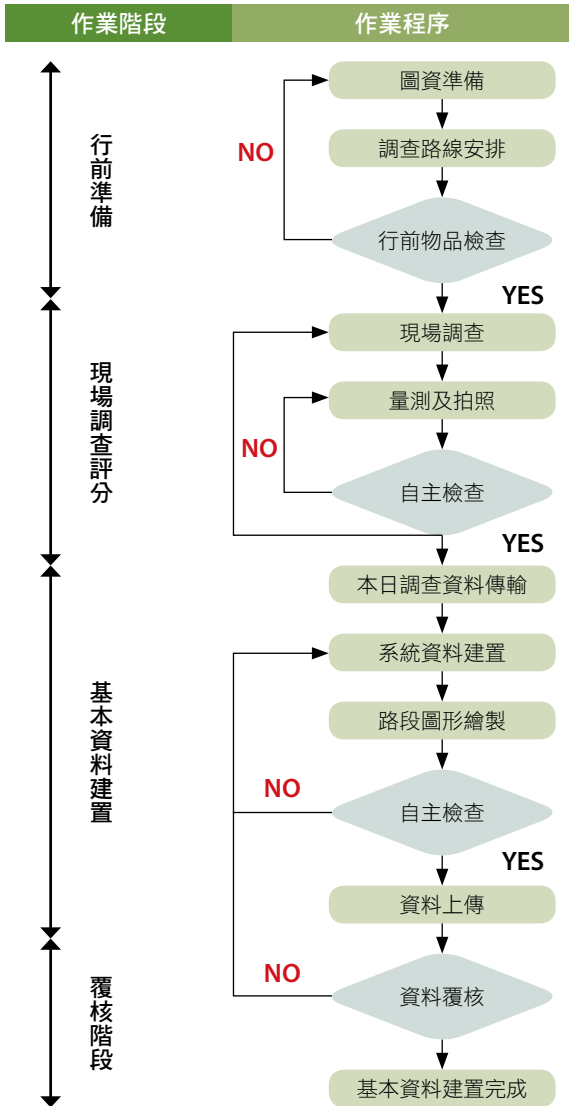


圖3、阿里山林業鐵路沿線邊坡現場調查作業標準流程圖。

## 二、軌道噴泥巡檢及結果

如上節所述，噴泥的發生可能影響鐵道路床品質及安全，目前噴泥的巡檢方法是於列車停駛期間，以人工進行地表噴泥的判釋，表7為整理部分於阿里山林業鐵路進行初步的噴泥巡檢紀錄。

從上表調查結果可以發現，部分噴泥處已覆蓋枕木，尤其位於隧道處較為明顯，但整體於地面上目視情形並未發現嚴重至道碴沉陷之



圖4、噴泥示意圖。

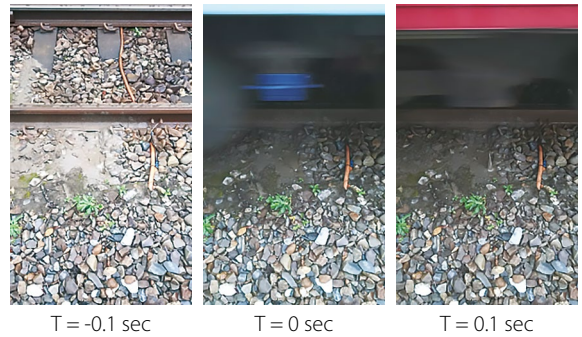


圖5、列車通過引發噴泥連續攝影照片，可看出噴泥發生於受力階段，且為不可逆過程。（攝影/郭治平）

程度。從現場觀察噴泥材料多為粉土質土壤，顯示於道碴下方材料可能以粉土質土壤為主，遇水加上反覆載重後帶至地表。目前尚為穩定狀態，至山地段與平地段之差異情形有待後續長期觀測及研究。

## 三、以透地雷達進行噴泥檢測

在噴泥的發生過程是長時間的變化結果，降雨以及地下水位會增加期發生的速率與頻率，而尚未污染至地表的噴泥或是已經發生沉降但位於地表顯現的地區，則較難以目視的方式巡檢，因此國內外便以非破壞性檢測之透地雷達（圖6），進行二維或三維之路床掃描，取得各區段之道碴沉陷情形，除了在巡檢工作上更為簡便外，更能掌握未污染至地表的噴泥情形。

表7、阿里山林業鐵路噴泥調查記錄

里程	噴泥發生情形	里程	噴泥發生情形
51K-800		41K+730	
41K+690		40K+750	
34K+920		39K+945	
40K+767		40K+7	
34K+900			





圖6、透地雷達進行鐵道噴泥檢測。(攝影/郭治平)

### 橋梁檢測

阿里山林業鐵路橋梁基本資料主線+支線共98座橋梁，種類包含：鋼筋混凝土橋、混凝土箱涵、混凝土拱橋、鋼構橋及木造橋，其中以鋼筋混凝土橋佔總檢測數量之89%，為最大宗。

為落實橋梁檢測、評估、維修與補強工作，俾確實掌握橋梁現況，早期發現構件劣化及研析劣化原因，適時辦理維修與補強，以維持橋梁安全，橋梁檢測工作流程如圖7所示。

阿里山林業鐵路橋梁檢測採用D.E.R.U.檢測評估系統，以目視檢測方式，檢視橋梁基本之結構之損壞及材料劣化情形，並初步評估損壞發生之原因及對橋梁結構安全之影響，本法將構件劣化分為「劣化程度」(Degree)、「劣化範圍」(Extend)及該劣化現象對該構件之「重要性」(Relevancy)以及「維修急迫性」(Urgency)予以評估，並將構件劣化情形分為1、2、3、4級。參考交通部2018年頒布之「鐵路橋梁之檢測及補強規範」，規範中鐵路橋梁D.E.R.U.檢測評估系統檢測項目共使用20項，而依照林鐵橋梁之特性，刪減「引道路堤」、「人行道板」、「避車台」、「橋墩/橋基保護設施」等較不適用之項目，並新增「道碴與枕木」、「擋碴牆」、「維修走道」等項目。檢測項目如表8所示，其中1-9項為一般檢測項目，DER&U評估準則如表9。

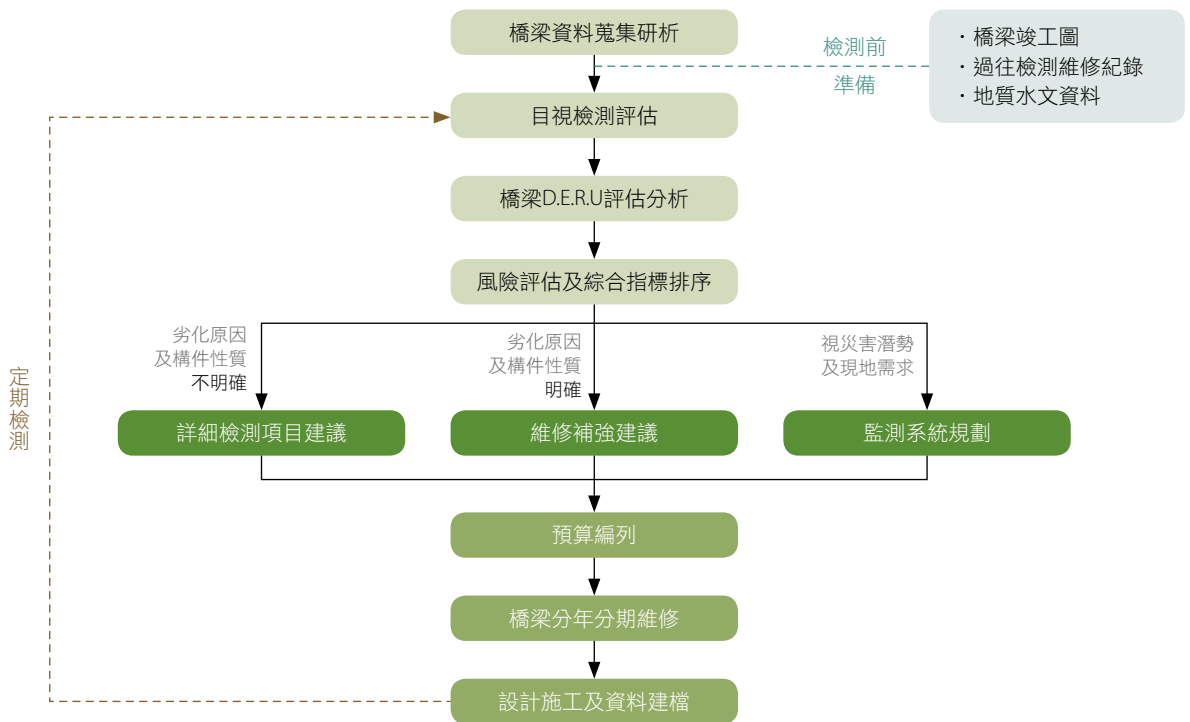


圖7、鐵路橋梁目視檢測作業流程。

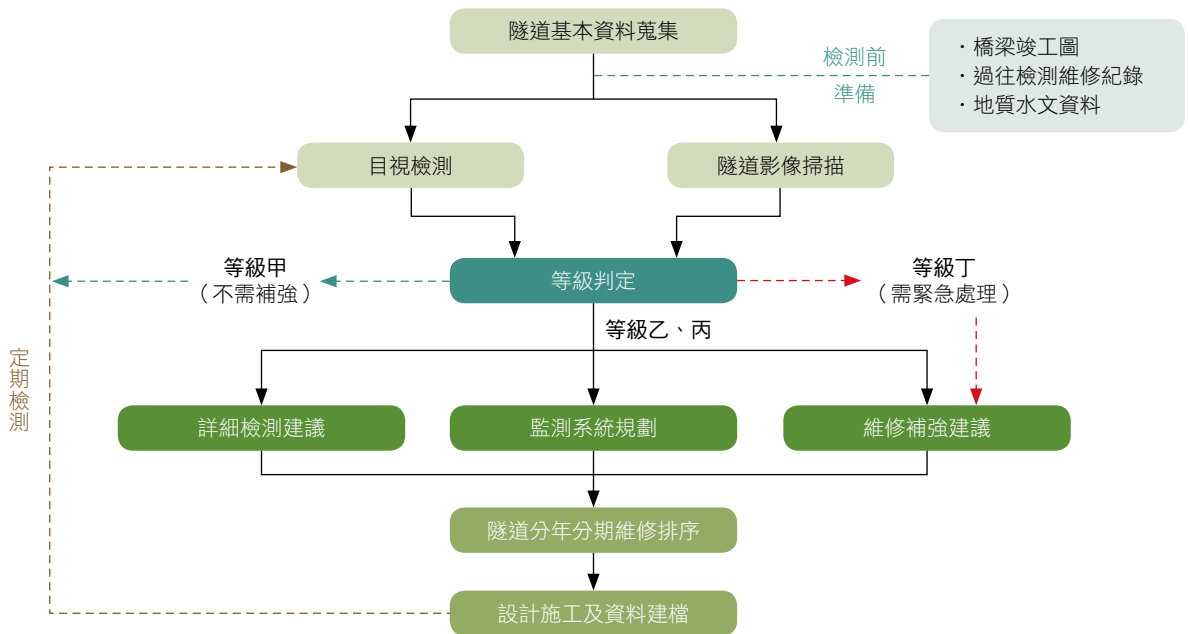


圖8、鐵路隧道檢測作業流程。

表8、D.E.R.U.檢測評估系統檢測項目

編號	檢測項目	編號	檢測項目
1	欄杆及護牆	10	支承墊
2	擋渣牆	11	防震設施
3	橋台基礎或沉箱	12	收縮縫
4	橋台	13	避車台
5	翼牆或擋土牆	14	維修走道
6	河道	15	主構件(大梁)
7	橋面排水設施	16	隔梁系統(橫隔梁)
8	橋墩基礎	17	橋面版(鉸接版)
9	橋墩墩體	18	其他附屬設施

資料來源：整理於公路養護手冊橋樑定期檢測目視檢測項目。

### 隧道檢測與分級

阿里山林業鐵路現有59座隧道，主線包含其中47座，而眠月線共有12座隧道。參考相關文獻資料，林鐵隧道形式為常見之馬蹄型隧道及明隧道，其內襯砌種類主要以鋼筋混凝土為主、輔以預力支架，或天然岩壁輔以鋼筋混凝土或預力支架等。多數隧道建造年代久遠，且修建歷史不一，結構年久老化、或是強震侵襲造成襯砌龜裂，為了瞭解阿里山林業鐵路沿線隧道之現狀或早期發覺其異常現象，因此辦理隧道檢測，隧道檢測作業流程如圖8所示。

表9、D.E.R.U.檢測評估準則

等級	0	1	2	3
D	無此項目	良好或微	尚可	差
E	無法檢測	0%-10%	10%-30%	30%-60%
R	無法判定重要性	微	小	中
U	無法判定急迫性	例行維護	3年內維護	1年內維護

## 一、全斷面隧道影像掃描

係利用自動化掃描技術建立各隧道影像掃描資料之完整圖資，並進行隧道表面異狀判釋及描繪工作，以利後續之異狀追蹤、比對及規劃維修補強對策之參考依據，隧道掃描調查對象為阿里山林業鐵路沿線隧道，隧道編號#01-#41，#43-#48共47座隧道，總長為11,110公尺，如圖9與表10所示。

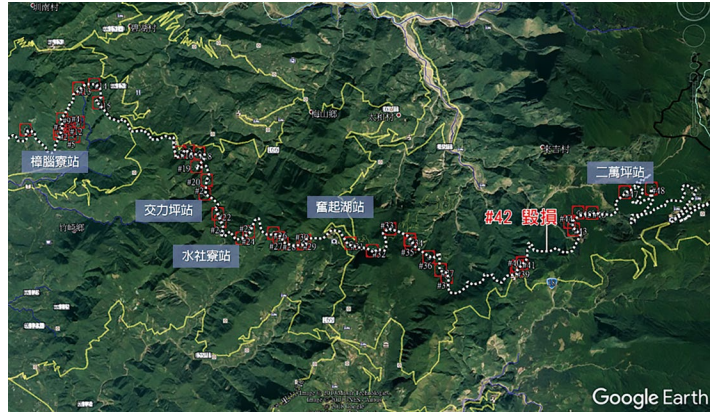


圖9、阿里山林業鐵路隧道影像掃描位置。

表10、阿里山林業鐵路隧道里程與特性

編號	起點（座標）		海拔（m）	淨高（m）	淨寬（m）	坡度（%）	長度（m）	
#1	21K+364.30	208364	2603748	458.8	3.85	3.55	5	391
#2	23K+443.50	209552	2603579	556.6	3.96	3.57	5	75.5
#3	23K+565.00	209622	2603692	577.1	3.86	3.58	5	670.5
#4	24K+291.20	210241	2603962	601.4	3.64	3.32	5	189.6
#5	24K+843.00	210092	2603474	630.6	3.72	3.24	5	226.5
#6	25K+516.00	209719	2603823	688.1	3.73	3.58	5	360
#7	26K+000.00	210134	2603880	684.8	3.92	3.60	5	57.5
#8	26K+373.00	209995	2603558	705.6	3.90	3.61	5	124.5
#9	27K+242.60	209733	2604050	741.5	3.94	3.60	5	177.4
#10	27K+354.00	209903	2603930	742.7	3.87	3.51	水平	125.5
#11	27K+618.00	209892	2603686	751.8	3.99	3.54	5	70
#12	27K+760.00	209999	2603732	761.8	3.79	3.62	5	166.8
#13	29K+510.80	210353	2605069	857.0	3.79	3.49	5	538.1
#14	30K+130.70	210909	2605194	883.8	3.79	3.23	5	317.6
#15	30K+970.80	211024	2604577	904.1	3.85	3.57	5	176.2
#16	35K+313.00	213846	2602895	1003.4	3.8	3.5	5	104.7
#17	35K+705.00	214139	2602952	1024.5	3.8	3.25	5.25	258.3
#18	36K+078.50	214485	2602867	1040.6	3.8	3.5	5	214.1
#19	36K+993.50	214411	2602407	1074.0	3.8	3.4	1.6	60.5
#20	37K+910.00	214761	2601954	1113.8	3.8	3.25	5	90
#21	38K+416.50	214700	2601492	1143.6	3.8	3.5	5	325
#22	39K+545.80	215137	2600825	1181.0	3.8	3.5	2.2	96.2
#23	39K+805.00	215225	2600571	1185.4	3.8	3.6	0	29.3

編號	起點 (座標)			海拔 (m)	淨高 (m)	淨寬 (m)	坡度 (%)	長度 (m)
#24	41K+300.00	215942	2600022	1226.9	3.8	3.6	5	167
#25	41K+676.00	216191	2600233	1251.3	3.8	3.5	5.4	351.9
#26	43K+163.00	217016	2600193	1308.6	3.8	3.4	5	133.5
#27	43K+416.70	217196	2600036	1323.3	3.8	3.5	5	140.3
#28	43K+666.00	217314	2599844	1339.3	3.8	3.5	3	534.2
#29	44K+437.50	217994	2599857	1341.3	3.8	3.6	5	60
#30	44K+560.00	218072	2599955	1341.3	3.8	3.6	5	340
#31	46K+614.00	219571	2599862	1454.7	3.8	3.4	5	94
#32	47K+489.00	220288	2599624	1505.2	3.8	3.4	5	779.8
#33	48K+594.00	220879	2600341	1515.7	3.8	3.4	5-水平	540.5
#34	49K+376.00	221527	2599976	1516.1	3.8	3.25	1.6	51.5
#35	49K+489.00	221551	2599848	1516.2	3.8	4.2	水平	556
#36	50K+279.00	222144	2599411	1516.2	3.8	3.6	水平	65.6
#37	51K+281.00	222538	2598992	1516.2	3.8	3.25	水平	278.5
#38	51K+581.00	222737	2598759	1516.2	3.8	3.25	水平	99
#39	55K+218.60	225023	2598951	1541.8	3.8	3.25	5	74.7
#40	55K+322.00	225070	2599108	1548.9	3.8	3.6	5	106.8
#41	55K+581.40	225206	2599208	1559.1	3.8	3.6	5	100
#43	59K+005.50	226873	2600312	1654.5	3.8	3.6	5	238.5
#44	59K+274.50	226739	2600558	1664.5	3.8	3.6	5	83.8
#45	59K+688.00	227018	2600861	1683.5	3.8	3.6	5	45.3
#46	60K+178.00	227463	2600851	1233.0	3.8	4.2	5	1233
#47	62K+028.80	228488	2601512	1787.2	4.19	3.25	5	45.7
#48	65K+494.50	229285	2601627	1935.76	3.9	3.6	5	146

## 二、隧道目視檢測

由於眠月線#1隧道坍方情形如圖10，由於全斷面雷射影描儀無法安裝於台車上通過，前述檢測方法無法施作，眠月支線上之12座隧道係採用傳統目視檢測法，詳細目視執行方式說明如下：

### (一) 隧道目視檢查方法

目視檢測 (Visual Inspection) 是利用眼睛的視覺或加上輔助工具、儀器等，檢視待測物

體表面瑕疵的一種非破壞檢測方法。檢測之正確性受檢測人員的視力與檢測環境因素而影響，CNS 12847目視檢測通則法即針對檢測作業規定如下：

1. 採用直接目視檢測時眼睛要與被檢物 (待測物體) 表面600mm以內。
2. 眼睛與被檢物之連線與水平線夾角要小於90度。



圖10、眠月線#1隧道坍方現況。



3. 一般目視檢測時被檢物之表面照度要大於 161 Lux (15呎燭) 以上。
4. 精細之目視檢測，被檢物之表面照度必須大於 538 Lux (50呎燭) 以上。

## (二) 隧道目視檢測現場作業流程

目視檢測係最方便、最經濟的非破壞性檢測技術，也是在進行其他所有檢測作業之前、中、後經常必須進行的檢測方法，參考交通部 2008年「隧道非破壞性檢測技術之開發」，應用在隧道襯砌檢測時，目視檢測會針對異狀種類、發生位置與分布型態等予以測繪、輔以照相或攝影記錄。

### 1. 隧道里程標註

利用皮尺或鋼捲尺標定長度，並於每10公尺以噴漆定位於隧道壁面。

### 2. 現場異狀記錄及繪製

為調查襯砌表面裂縫、滲水位置、分布及發展性，將隧道頂拱及兩側壁之襯砌狀態繪製於表格，記錄異狀包括 a. 裂縫尺寸及位置、b. 襯砌有無剝落之虞、c. 滲水白華、d. 鋼筋外露或鋼支保鏽蝕、e. 漏水情形、f. 導水工失效、g. 其他異狀等。

### 3. 拍照或錄影

利用影像或照片記錄每處異狀之現況，照片將搭配文字一同建檔，未來可做為異狀是否有發展性之比對。

## 三、隧道分級評估準則

參照交通部「隧道非破壞性檢測技術之開發」及「老舊交通隧道安全檢測技術手冊」報告書中隧道等級評定標準如表 11，評定不同隧道之安全等級，判定等級丁之異狀對於行車安全性造成危害，應立即採取處理對策；判定為等級乙、丙之異狀，應重點監視，並擇期實施處理對策；而等級甲則代表無異狀或異狀輕微，對行車安全無影響，進行定期檢查即可。經過隧道影像掃描判釋及目視檢測結果，針對各類異狀初步評定隧道等級後，將依不同等級採取相對應之對策。

## 強化環境監測機制，確保鐵路永續發展

阿里山林業鐵路自1912年開通嘉義至二萬平段後開始營運，之後因應需求陸續開通支線，近年來受颱風及地震之影響導致部分路線停駛及營運主體因政策多次移轉，為確保阿里山林業鐵路之行車安全及降低災害衝擊，林務局阿

表11、隧道分級之處理對策



里山林業鐵路及文化資產管理處成立後，旋即透過持續辦理鐵路路線養護工作及枕木汰換等工程等，同步實施沿線林木監測調查及加強調查專業人員之訓練，以確保路線維護作業之完善性。

除基礎路線邊坡、軌道、橋梁、隧道之資料收集建置及維護外，另針對沿線環境調查及建立監測機制，透過蒐集鐵路沿線之地形、水文及相關災害潛勢等基本圖資，結合高機動性、即時迅速、時效性佳無人飛行載具（UAV）、雨量監測及影像判釋技術，彙整建立鐵路沿線邊坡分級及安全性評估機制，藉由基礎資料建置並運用於監測維護管理，將有效掌握易致災區域資訊，更可簡化調查所需之人力，降低人

員傷亡顧慮。期透過沿線鐵路維護機制、環境監測科技導入及模擬等維管方式相輔相成，進而創造阿里山林業鐵路永續、安全、舒適及趣味之乘車環境。🚧