

以非破壞檢測技術評估白千層腐朽劣化研究

◎林業試驗所森林經營組·彭炳勳 (bspeng@tfri.gov.tw)、邱志明

前言

都市環境中，樹木可以維護都市景觀及自然生態，凝固了一段時代裡的記憶和感受，構築與人的共同回憶，傳承許多文化故事，樹木具備有美學價值、生物多樣性價值、環境價值、文化價值、學術研究價值、解說教育價值以及觀光遊憩價值，但當樹木枯死或結構產生缺陷時，將威脅到公共安全，若未即時處理，可能導致有形及無形財產損失、人身傷害甚至於喪生，因此，各縣市政府制定不同方式保護樹木不受危害，維護樹木健康及風險管控成為樹木管理單位的關鍵任務，相關管理人員須具備豐富的經驗以及妥善的工具，才能在樹木種類豐富，樹種多樣性和樹木疾病種類繁多的都市林中快速的完成篩選、評估及診斷。

當樹木外觀有不健康或不安全的表徵，擔心會對不特定對象產生風險危害時，需要以科學的方法進行檢測評估，為了不影響樹木生長，保全樹木既存的各項價值，目前多採用非破壞檢測(或稱無損檢測)技術，偵測其中的缺陷或異常現象，另配合標的物類型與停留時間等進行風險評估。

非破壞檢測方法繁多，考量儀器的可攜性和操作的安全性，以聲學原理為主的應力波與超音波檢測技術，計算其音速及音速衰減率等，以評估樹木橫斷面是否劣化腐朽空洞，或者利用鑽孔抵抗儀，藉由鑽孔抵抗值的高低變化，評估探針通過的路徑其材質是否產生變化，皆為現場檢測時較可採行的技術。國內林

業研究已對此技術進行相當的介紹及分類，可用於林木材質及腐朽程度的評估、老樹或行道樹管理應用以及蟲害程度偵測等。

高雄市列管特定紀念樹木—白千層

本所受台灣中油股份有限公司委託，本次共檢測34株位於楠梓區的特定紀念樹木白千層(*Melaleuca leucadendron*)，初期先依據目視外觀檢查，如果樹幹健全無缺點，以樹高1.3 m處進行檢測，如果樹幹有明顯缺陷，則檢測該區域。檢測儀器使用Fakopp ArborSonic 3D應力波斷層影像儀，利用多顆探頭與接收器組成水平面環形的檢測區域，由外力觸發單一探頭產生應力波，其餘探頭接收到應力波傳遞訊號後，計算傳遞時間(μs)並繪製斷面音速分佈影像圖，窺視樹幹內部的生長情形，如果對於內部的特定區域存有疑問，再使用IML RESI F500-SX 阻抗圖譜儀，以固定功率的電鑽迫使一探針進入木材內部，以鑽入時的速度變化推算鑽孔阻抗值，阻抗值較高代表可能為秋材、節或健全組織等，阻抗值較低代表可能為春材、劣化腐朽或空洞等(圖1)。

檢測結果

結果顯示有23株外觀健全且內部無腐朽劣化之白千層，其直徑方向應力波音速最小平均值為2,090 m/s，最大平均值為2,556 m/s，整體平均值為2,289 m/s(表1)；另有11株目視已發現劣化或內部有腐朽孔洞，直徑方向應力波音速最小平均值為704 m/s，最大平均值為1,418 m/s，整體平均值為978 m/s(表2)。已



圖1 高雄市列管特定紀念樹木白千層及非破壞檢測儀器(圖1左下: ArborSonic 3D, 圖1右下: IML, RESI F500-SX)。(邱志明 攝)

表1 健全白千層直徑方向應力波音速值

傳遞直徑 (cm)	音速值(m/s)			傳遞直徑 (cm)	音速值(m/s)		
	最小	最大	平均		最小	最大	平均
72.3	2,068	2,528	2,247	48.7	2,257	2,554	2,443
51.0	2,200	2,486	2,287	53.5	1,986	2,572	2,169
54.1	1,986	2,319	2,169	58.6	2,125	2,433	2,270
57.0	2,030	2,487	2,256	59.6	2,161	2,711	2,321
57.0	1,964	2,636	2,256	62.4	2,210	2,550	2,394
57.3	1,955	2,523	2,237	49.4	2,206	2,405	2,283
59.9	2,103	2,668	2,312	98.1	2,144	2,615	2,295
64.0	1,996	2,667	2,311	47.8	2,121	2,554	2,345
65.6	2,164	2,709	2,381	82.8	2,246	2,515	2,365
66.9	2,101	2,616	2,261	46.8	2,015	2,453	2,154
67.8	2,185	2,583	2,397	69.4	1,763	2,599	2,176
48.7	2,075	2,606	2,325				
平均值	2,090	2,556	2,289				
標準差	119	100	80				

表2 有腐朽空洞白千層直徑方向應力波音速值

傳遞直徑 (cm)	音速值(m/s)			傳遞直徑 (cm)	音速值(m/s)		
	最小	最大	平均		最小	最大	平均
84.1	758	1,703	1,270	107.3	508	1,760	768
81.8	821	1,280	963	87.3	621	1,040	921
65.0	807	1,016	920	72.6	597	1,574	1,163
55.4	750	1,138	940	91.1	604	1,779	897
62.4	924	1,533	1,185	84.4	500	1,189	690
98.4	855	1,587	1,045				
平均值	704	1,418	978				
標準差	145	291	176				

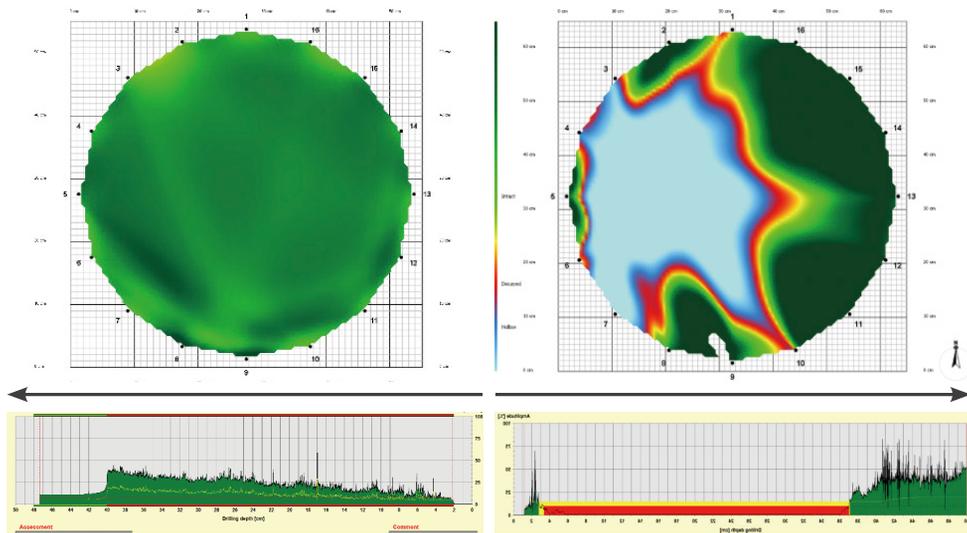


圖2 健全與腐朽之白千層於應力波斷層影像與阻抗圖譜檢測結果。

經產生劣化腐朽的白千層其平均音速值(最小、最大、整體)明顯低於健全的白千層；由音速分佈影像圖可得知木材健全者其音速值較高且高低值差異較小，若樹幹內部產生腐朽空洞，則健全的區域有較高的音速值，腐朽空洞的區域呈現較低的音速值。

相關研究指出當受測木的應力波音速值低於健全者的70%，可能代表木材強度已經嚴重的降低，本次檢測中，根據ArborSonic 3D檢測軟體所計算的音速值進行比較，可知健全的白千層其平均音速值介於2,090~2,556 m/s之間，則1,463~1,789 m/s應可視為以應力波

評估白千層之木材是否產生劣化的門檻值，若與已經產生腐朽空洞的11株白千層進行比較，其平均音速值為704~1,418 m/s，低於建議之門檻值，檢測結果相似。

另配合阻抗圖譜儀所取得的樹幹壁殘存厚度與內部腐朽空洞資料，可佐證應力波檢測技術對於樹幹內部缺陷位置與材質變化的量測能力，兩者間具有相似性，結合使用能更有效並快速進行樹幹缺陷檢測，亦可透過不同高度之多層斷面架構立木腐朽狀況之立體模型，建立樹木樹幹部危害程度之量化數據，做為風險管理的科學數據客觀判斷(圖2)。