

# 以橫向打音頻譜分析法檢測樹幹腐朽之可行性評估

文/圖 李金梅 ■ 農委會林業試驗所森林利用組助理研究員  
許富蘭 ■ 農委會林業試驗所森林化學組副研究員  
黃國雄 ■ 農委會林業試驗所森林利用組研究員兼組長  
黃彥三 ■ 農委會林業試驗所森林利用組研究員退休(通訊作者)

## 一、前言

自然環境一直為人類所嚮往，台灣擁有豐富的森林資源，從距離最近的校園、公園綠地及行道樹等都市林說起，人類與樹木已形成密不可分的關係；台灣計有18處國家森林遊樂區、3處平地森林園區及9個國家公園提供國人及外國遊客從事休閒活動，讓人類得以接近大自然並紓緩各項壓力，但樹為一有生命之生物體，因而會有生病之時，即遭受微生物、真菌類或白蟻等入侵而致使生病，造成樹幹腐朽中空，終因強風倒塌而死亡，若危急人類生命財產之損失將無法恢復。樹幹因腐朽中空致使傾倒危及行人、車輛或房舍等造成傷害及損害時有所聞，過去學者許多試驗研究已累積許多導致樹幹斷裂之因素，同時發展界定樹幹斷裂危險度的限界基準。惟對於樹幹中空腐朽之檢測技術仍須再加以研究，危險樹木之各項檢測方法一直為各界所關注的課題，本研究係藉由

2002年對巨竹進行橫向打音非破壞試驗之結果進一步應用於樹幹腐朽中空之研究上。

非破壞檢測技術為在不破壞整體情況下進行檢測，近年亦被應用在樹木的健康安全評估上，如超音波，應力波，鑽孔阻抗，X射線及 $\gamma$ 射線等技術，惟上述技術雖被應用在樹幹中空或腐朽程度之非破壞檢測技術上，但這些技術使用的儀器設備有些價格高昂，有些費時，有些需具備專業技術，絕非一般林業人員所能勝任。日本近年研發的「樹幹內診斷方法及裝置」商品名稱為「PONTA」，利用樹幹橫向打音的頻譜分析技術來評估樹木腐朽中空的健康程度，此裝置雖如同手機般輕巧的頻譜分析儀，一般人員即能使用，此一技術在日本亦正被推廣於樹木健康診斷上，惟此一技術應用於樹幹中空腐朽程度之評估係有賴於運用研究機關已測得之資料庫數據，在學理上尚有未臻完備之處，仍有待進一步探討研究。

## 二、樹幹橫向打音的原理

在健康且健全之樹幹側面作橫向槌擊時，會產生類似垂直懸臂梁的橫振動，因樹幹斷面呈圓形，故在打擊點位置，會產生類似圓盤的縱向伸縮振動。但樹幹若呈中空腐朽時，則會發生類似圓環的撓曲橫振動。一般物體縱振動的共振頻率遠高於橫振動，因橫向槌擊時樹幹橫振動的共振頻率一般僅止於個位數的頻率(Hz)，與樹幹斷面圓盤的共振頻率相差甚大而可被忽略。另一方面，依振動理論實心圓盤之縱振動共振頻率與圓盤圓周長之乘積(以下簡稱為 $K_0$ )有定值之關係存在。此 $K_0$ 值因樹幹橫向音速之大小而異，但不同樹種之健全樹幹亦各有不同 $K_0$ 值，然而樹幹內部若發生腐朽而使音速降低，則 $K$ 值隨之變小。另一方面，樹幹常因腐朽而造成中空，槌擊時會引起樹幹外周殘留壁之撓曲橫振動，此振動頗類似巨鐘受撞擊的共鳴振動，可說是一種板振動的變形，此圓環撓曲橫振動之共振頻率在理論上遠較實心圓盤之縱向伸縮共振頻率為小，且隨圓環厚度之減小而變小。換言之，實心樹幹有較大的橫向打音共振頻率，空心樹幹之打音共振頻率較小，且隨空洞直徑之變大而急速下降。理論上同一樹種實心樹幹之橫向打音共振頻率與樹幹圓周長之乘積 $K_0$ 可視為常數，亦即同一樹種不同直徑級之樹木均有相同 $K_0$ 值，這是很重要的觀念。首先就公園常見的景觀樹木及行道樹的健全木建立橫向打音的 $K_0$ 值基準資料庫，同時在實驗室用圓盤打洞法或現場調查方式建立不同殘留壁率 $t/R$ ( $t$ 為殘留壁厚度， $R$ 為樹幹半徑)空心樹幹之 $K$ 值與健全樹幹 $K_0$ 值之比值關係( $K/K_0$ )，作為評

估樹幹空洞腐朽程度之依據，如此在遇有需要檢測是否為危險樹木時便可測試該樹幹之橫向打音 $K$ 值，再求出此 $K$ 值與此樹種健全木基準 $K_0$ 值之比值，進而評估該樹幹是否具有腐朽或中空之程度，依Mattheck氏之研究 $t/R$ 值小於0.3時，可視為危木，此一數值在樹木健康管理上可說是一個重要的指標。

## 三、試驗材料及方法

本次進行檢測評估之樹種有山黃麻、玉蘭花、台灣肖楠、檫木、楓香及二葉松等樹種，其中山黃麻進行評估之基準值即共振頻率與圓周長乘積即 $K_0$ 值為1,020，係檢測數株不同徑級之健全山黃麻所得。日本島根縣中山間地域研究中心就14種針闊葉樹健全立木打音檢測所得



圖1 現場進行打音檢測評估之情形

的Ko值約1,100，標準偏差約為平均值的10%，闊葉樹之Ko值較大，約為1,150，針葉樹較小，約為1,000可供作參考。玉蘭花、台灣肖楠、楓香、松及栓皮櫟之基準值Ko將設為1,100，樺木參考日所做之結果Ko值設為1,400進行檢測。

以攜帶式之精密音響FFT頻譜分析儀，檢測範圍為0-20kHz，解析精度達0.125%，測定範圍可依樹種或直徑等而作多段式設定。首先在欲量測之胸高處以皮尺量取樹幹圓周長度以m為單位，再以自製木槌橫向輕輕槌擊樹幹側面，測定頻譜上之單一次共振頻率，測得5次槌擊之平均值，計算K值，再與基準Ko值相比進行評估之，圖1為進行橫向打音頻譜分析法檢測之現況。

### 四、結果與討論

山黃麻之檢測結果其共振頻率與圓周長乘積之平均值Ko為1,020 Hz·m，標準偏差為46。圖2 A、B為胸高直徑41cm之山黃麻健全樹幹所測得頻譜與瞬間波形，共振頻率為819 Hz，K值為1,057 Hz·m。圖2C、D為現場檢測胸高直徑67cm之山黃麻樹幹所測得頻譜與瞬間波形，共振頻率為460 Hz，K值為966 Hz·m。

現場檢測之結果如表1所示，編號1及5之山黃麻之K值比為0.94及0.93，然樹木具有生物變異性，山黃麻之標準偏差為46，其95%安全性之範圍為1.96×46約等於90，亦即K值在1,020-90=930以上時在統計上可視為健全木，此時K值比為0.91，顯然此2棵山黃麻在95%可信範圍內尚可認定為健全木，惟此2棵山黃麻之徑級及樹高已頗大仍須注意其環境及枝條可能造成之問題。編號2、3、6、7之山黃麻及編號12之楓香其K值比介於0.5-0.8間，我們在實驗室以中空圓

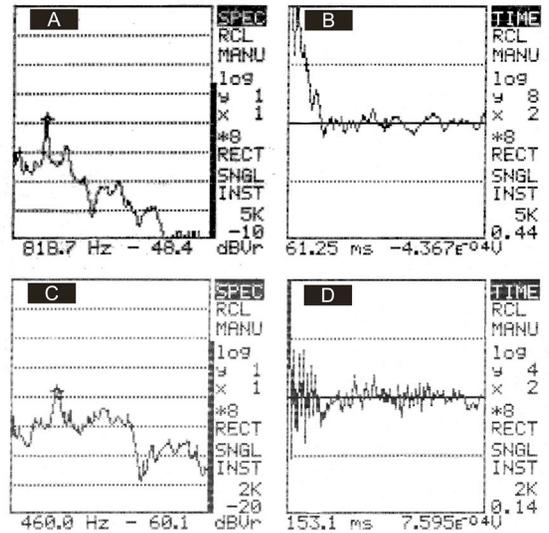


圖2 A、B是以FFT頻譜分析儀檢測胸徑41cm之健全山黃麻樹幹；C、D則為現場檢測胸徑67cm之山黃麻樹幹所測得頻譜(A、C)與瞬間波形(B、D)。

表1 以橫向打音頻譜分析法檢測樹幹中空之面積率

編號	樹種	圓周長 (cm)	橫向打音		
			K	K值比 (K/Ko)	中空面積率 評估值 (%)
1	山黃麻	324	960	0.94	0.4
2	山黃麻	177	671	0.65	12
3	山黃麻	298	509	0.5	25
4	山黃麻	106	442	0.43	32
5	山黃麻	210	952	0.93	0.5
6	山黃麻	301	811	0.8	4
7	山黃麻	189	743	0.73	7
8	玉蘭花	111	1,234	>1	0
9	台灣肖楠	246	410	0.37	39
10	台灣肖楠	226	460	0.42	33
11	樺木	85	1,660	>1	0
12	楓香	105	692	0.63	13
13	二葉松	201	1,281	>1	0
14	栓皮櫟	279	1,170	>1	0
15	栓皮櫟	245	434	0.4	36

註：山黃麻Ko：1,020 Hz·m；玉蘭花、台灣肖楠、楓香、松及栓皮櫟等Ko：1,100 Hz·m；樺木Ko：1,400 Hz·m



圖3 編號2山黃麻實際檢測位置之橫斷面，白線圈出之範圍為腐朽之位置，面積率約為14%。

盤進行測試的結果顯示此K值比約等於t/R值，故評估中空之面積率介於4-25%間，推估其中空已形成且可見，評估此4棵山黃麻因其中空已形成達輕度危險，雖不會有立即之危險，但生處野外受周邊不確定因子之影響，仍須密切觀察注意，以防患於未然。將編號2之山黃麻砍伐下之樹幹圓盤(圖3)實際計算其腐朽之面積率約為14%，與打音頻譜分析所檢測出之面積率12%相近，顯然打音頻譜分析利用於檢測樹幹是否中空腐朽不失為一好方法。

編號4之山黃麻K值比已降至0.43，中空面積率達32%，而編號15號之栓皮櫟K值比為0.40，中空之面積率則為36%，此2棵樹幹之安全性已進入中度危險，須隨時嚴密監測此棵樹之變化，以降低危及生命財產之機率。

編號8、11、13及14之白玉蘭、檉木、二葉松及栓皮櫟其K值比大於1，表示樹幹中空尚

未可見，僅就樹幹之考量則尚未危急其安全性，惟仍須檢視樹體與枝條之整體關係。

編號9、10之台灣肖楠K值比為0.37及0.42，中空之面積率則為39%及33%，已達中度危險等級。為驗證利用K值比所評估樹幹發生空洞之殘留壁率t/R值，實際以生長錐鑽取編號9之台灣肖楠樹輪計算出空洞之殘留壁率t/R為0.36，與打音頻譜分析檢測所評估t/R為0.37相近，顯然橫向打音頻譜分析法對於檢測樹幹中空是可行的。

## 五、結語

本文探討以樹幹橫向打音頻譜分析評估幹內空洞腐朽的理論與實際檢測結果一致，而後須積極檢測本土重要樹種的打音資料，以取得基準資料建立檔案供作樹木健康評估之依據。然腐朽中空樹幹的留存壁強度與樹幹破斷荷重息息相關，相同的留存壁厚度，在材質堅硬的樹種如台灣檉所能承受的風力自然較大，另一方面高大的樹冠承受的風力也較大，故應從力學的角度來評估樹木的抗風能力。以拉樹試驗來評估樹木的抗風能力是最有效的方法，這方面我們已有先進的裝置正在積極測試中，希望未來能應用在公園樹木及行道樹的安全性評估上。🌲

### 謝誌

感謝林務局東勢林區管理處處長李炎壽、麗陽工作站主任吳貞純及八仙山國家森林遊樂區協助，使本試驗得以順利進行。