

研究簡報

應用應力波斷面影像法評估香杉鼠害立木材質

林振榮¹⁾ 邱志明^{2,4)} 楊德新³⁾ 唐盛林²⁾ 王松永³⁾

摘 要

本研究使用Arbotom儀器呈現2D影像的斷面影像法，進行非破壞性香杉立木的孔洞、腐朽及缺點等材質評估，結果得知，在立木斷面中決定缺點的存在、大小及位置是可能的，在分析評估法的基礎下，從建立在立木樹幹上所設置的六個轉換器，實施測定應力波傳播時間(或速度)的結果，可以廣泛地進行相關試驗分析，比較相同部位的樹木及圓盤橫斷面之斷面影像，觀察應力波速度降低及顏色轉變的結果，以評估木材的劣化缺點，其木材缺點可以快速且有效地加以確認，所以，此法可以提供作為一種有價值的工具及技術，實施在危險樹木，老樹或大徑造林木疏伐選木為對象，評估材質及後續經營管理之參據。

關鍵詞：非破壞性試驗、斷面影像、應力波。

林振榮、邱志明、楊德新、唐盛林、王松永。2005。應用應力波斷面影像法評估香杉鼠害立木材質。

台灣林業科學20(3):259-64。

Research note

Evaluation of Squirrel-Damage to Standing Trees
of Luanta Fir by Stress-Wave-Based TomographyCheng-Jung Lin,¹⁾ Chih-Ming Chiu,^{2,4)} Te-Hsin Yang,³⁾Sheng-Lin Tang,²⁾ Song-Yung Wang³⁾

【 Summary 】

In this study, acoustic tomography using the Arbotom tool provided a 2-D image. The method allows the nondestructive inspection of standing trees for cavities, rot, and defects. Determination of the presence, size, and location of defects in trees is possible. It is based on the simultaneous measurement of the transmission time (or velocity) of a stress wave by 6 transducers arranged

¹⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林利用組，10066台北市南海路53號 Division of Forest Utilization, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

²⁾ 行政院農業委員會林業試驗所森林經營組，10066台北市南海路53號 Division of Forest Management, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

³⁾ 台灣大學森林環境暨資源學系，10617台北市羅斯福路四段1號 School of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, 1 Roosevelt Rd., Sec. 4, Roosevelt Rd, Taipei 10617, Taiwan.

⁴⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail:cmchiu@tfri.gov.tw

2005年2月送審 2005年5月通過 Received February 2005, Accepted May 2005.

around the stem. The stress-wave-based tomographic method was extensively tested by comparison of the tomogram with not only the cross section of trees cut after the measurements, but also with data from disks obtained in the same plane. Defects are identified as soon as the wood is sufficiently deteriorated to reduce the stress wave velocity and change the color. Therefore, this method may become a valuable tool for hazard tree or plantation tree inspection, evaluation, and management.

Key words: nondestructive testing, tomography, stress wave.

Lin CJ, Chiu CM, Yang TH, Tang SL, Wang SY. 2005. Evaluation of squirrel-damage to standing trees of Luan-tai fir by stress-wave-based tomography. *Taiwan J For Sci* 20(3):259-64.

由於科技的進步，木材科學家藉由非破壞性技術(nondestructive testing, NDT)的發展，應用到木質材料材質的評估及監測，所謂非破壞評估，是指在不改變材料最終使用能力的試驗方法(Schad et al. 1996)；這個方式已經漸漸應用到立木材質評估(Chiu et al. 2004)。例如造林木、行道樹及貴重老樹為對象，NDT技術應用在樹木健康性的材質評估，可以提供進行材質監測及實務的重要資訊。而原木及立木的NDT材質評估有很多種技術(Schad et al. 1996, Divos and Szalai 2002, Pellerin and Ross 2002, Chiu et al. 2004)，例如超音波影像法(ultrasonic imaging)，音響斷層影像(acoustic tomography)，應力波斷層影像(stress-wave-based tomography)，電腦斷層攝影法(computed tomography, CT) (Rust 2000, Bucur 2003, Wang et al. 2004)。其中，應力波及超音波技術為基礎的影像技術(imaging techniques)是較為簡單低成本及有效率的，因為應力波的傳播(propagation)是基於機械性的現象，常使用監測木材內部缺點，木材應力波傳播(transmission)時間或衰減(attenuation)已證實是一種有效的參數去檢測評估木材劣化(deterioration)情形(Yamamoto et al. 1998, Lin et al. 2000)。而應力波及超音波技術由最初的兩個轉換器，漸漸結合較多的轉換器，並配合分析程式軟體，進而發展斷面影像系統，作為快速、可定位及定量材質評估方法之一，實務上可再結合其它定量性儀器(Mattheck and Breloer 2003)評估材質。

本研究以香杉(*Cunninghamia lanceolata*

Hook var. *konishii* Sasaki.)為材料，首先選擇香杉氣乾及受鼠害後有缺點的圓盤，經過儀器檢測後，再分別以人工挖洞約6及15 cm後，同樣再檢測；接著選擇一株外觀無損害的香杉立木，在胸高部位(離地130 cm高)進行檢測，接著將立木檢測之胸高部位以上，以鏈鋸加以伐倒，再檢測一次。應力波斷面影像檢測儀器，使用Arbotom儀(德國Rinn Tech公司製造)，研究使用六個轉換器，以Arbotom 1.51軟體執行收集資料並顯現2-D斷面影像圖形。

應力波檢測評估材質的原理，依據Wang et al. (2004)指出木材中的應力波傳播是一種動態過程方法，它直接密切關係到木材物理及機械性質，一般，在健全材質及高品質材中，應力波穿透時間比在有劣化狀況及低品質木材中為快，轉換成單位距離的傳播時間(transmission)加以比較，樹木材質可以獲得某一水準的瞭解。應力波檢測樹木腐朽劣化的觀念，它是藉由打擊裝置在樹木上，裝有加速度計(accelerometer)之衝擊設備(如鎚子)，係產生應力波，第二個加速度計，感應所引導激起的傳播應力波並傳送到停止信號的計時器，這個測定時間，轉變成單位長度為基礎的傳播時間(或以傳播速度[單位時間的速度]來表示)，這些可以泛指傳播(propagation)資訊。但傳播時間會因為樹種不同，有不同反應機制外，應力波特徵亦會隨著木理(纖維)方向的不同而變化，當木材存在劣化情形時，會影響傳播時間，愈嚴重時，其傳播時間有愈大的趨勢(Sandoz 1994)。

資料分析方面，一般，利用傳播時間的

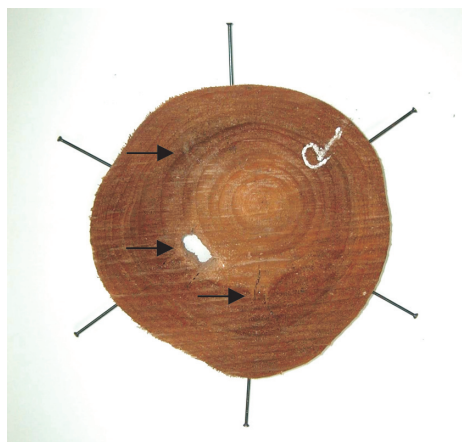
增加率和參考值比較，以作為評估材質的基準(Wang et al. 2004)。Divos and Szalai (2002)指出評估的過程是基於測定一個方向時，比較測定傳播時間及參考值資料間的差異，其假定的學說是，在測定的傳播時間若高於10%的參考值資料時，則定義為缺點線(defect line)，兩個缺點線交叉可以標示出缺點位置，此區域判定樹幹內部缺點，再從測定影像結果中及實際的腐朽位置重疊現象來看，會有相當的預估水準，影像解析度可以藉由轉換器(transducer, channel)的增加來增高。若以應力波速度觀點來看，則是測定速度低於90%的健全材質的樹木參考值時(假設值)，或稱為相對速度差異(relative velocity drop)值為基準，可判定樹幹中存在有缺點，當差異愈大時，其缺點愈嚴重。接著，再由程式軟體導算各個傳播速度及其差異性，並利用顏色管理，繪製其斷面影像圖形，以提供評估材質的依據。

首先利用Arbotom儀，測定香杉圓盤的結果，其顯示在Fig. 1中，左側圖形是實際檢測的圓盤，右側圖形是Arbotom儀檢測後的斷面影像圖，在Fig. 1A中，圓盤在左側周邊有輕微腐朽之病理損害，包括一個空洞(約1.5 cm)及其附近沿著年輪部位有腐朽病害現象，經過斷面影像呈現的結果，可以解釋如下，影像結果是透過顏色管理進行及分辨，圖示在最右側棒狀圖形中，可以表示出顏色及波速度間的關係，是當顏色愈紅時，表示材質愈差，波速度較低；而顏色愈綠時，表示材質愈好，波速度較快，此可透過內建軟體程式的分析及轉換，在轉換器位置1, 4, 5, 6附近，靠近樹皮側的斷層影像是明顯的紅色。接著沿著原來圓盤的孔徑部位，以人工挖成約6 cm大小的孔洞，再檢測一次，結果顯示在Fig. 1B中，首先觀察，得知整個圓盤的斷面影像之顏色更加變紅，在轉換器位置1, 4, 5, 6附近靠近樹皮側的斷層影像是明顯的加深紅色且擴大的現象。再進一步試驗，將圓盤以人工挖成約15 cm大小的中央孔洞，再檢測一次，結果顯示在Fig. 1C中，得知整個圓盤的斷面影像之顏色更深紅，表示材質更加變劣化，由外側不能由肉眼得之，斷面以影像的結果與

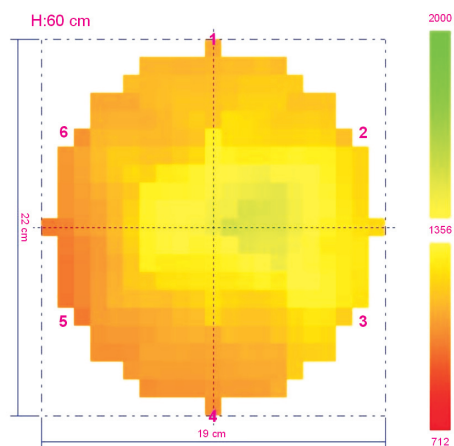
圓盤的實際缺點位置，材質隨著缺點面積的增加，而由影像的顏色顯示出顏色的轉變，由此，可大略的判斷材質的狀況。雖然，缺點的位置只能大略的呈現在某個象限或區域中，這是因為檢測的精確度尚不是百分之百的結果，但對現行材質缺點評估的定位及定量，已有很大的發展及瞭解，此外，準確度之提升，可藉由增加轉換器或感應器之數目或次數來達成。

接續，選擇一株樹幹外觀沒有鼠害缺點的香杉立木，檢測位置在胸高部位進行，其檢測結果顯示在Fig. 2A中，斷層影像顯示出的結果，是在轉換器2, 1, 6, 5及中央處的位置有偏紅色的現象，初步判斷，是這些區域位置可能有缺點的存在，而左下方位置是相對較好的材質表現；也就是說以在外觀上，肉眼檢視無缺點的樹幹，藉由儀器檢測的結果，有腐朽劣化的可能性存在。接著，將檢測點以上部位的樹體，以鏈鋸加以伐除之，再檢測當樹木失去部份樹幹及樹冠後的結果並比較，其斷面影像顯示在Fig. 2B中，由斷層影像顯示出的結果，與Fig. 2A有大略的趨勢，但是，其顏色較為淡些，這表示部份樹幹及樹冠伐除後，解除了樹幹自重及生長應力等影響，反應出較少的缺點干擾，但整體結果，仍是在轉換器2, 1, 6, 5及中央處的位置有偏紅色的現象，與最初判斷是這些區域位置有缺點存在的可能，而左下方位置是相對較好的材質表現，其結果有相似的傾向。最後再以鏈鋸鋸切檢測位置圓盤的下側，以圓盤再加以觀察，其結果顯示在Fig. 2C中，可見圓盤中央，但相對而言，是接近轉換器1, 6, 5位置。有孔洞及接近轉換器2位置的圓盤中央之間有腐朽損害部份，圓盤斷面亦含有兩個小腐朽痕跡，整體而言，斷層影像的結果可以由某象限或區域位置及顏色轉變，大略得知缺點的位置及大小。因此，Arbotom儀檢測樹幹中的缺點位置及嚴重程度，已提升現行NDT立木材質評估的精確度及應用性，即使，六個轉換器仍不能有百分之百預測材質的水準。

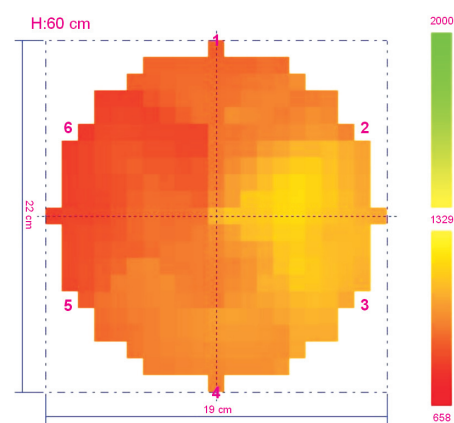
有關檢測斷面影像的再現性，即以相同儀器，檢測相同位置狀況的立木時，第一次、第二次或多次時的影像結果是否會有一致性，所



A. Lateral pathology



B. Internal cavity and lateral pathology



C. Centered cavity

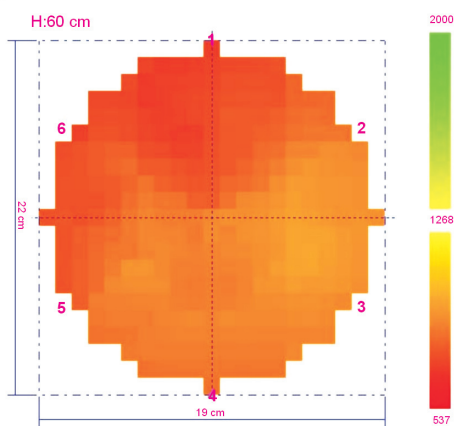
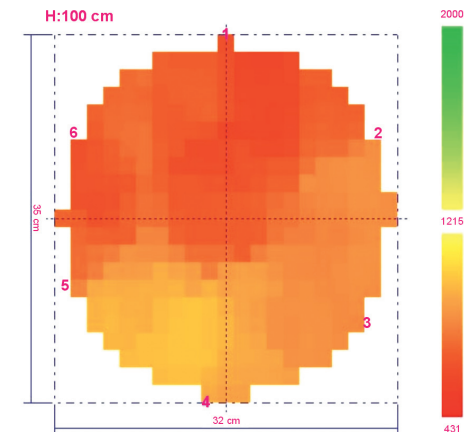
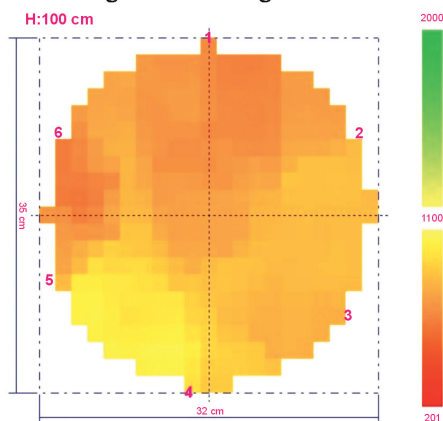


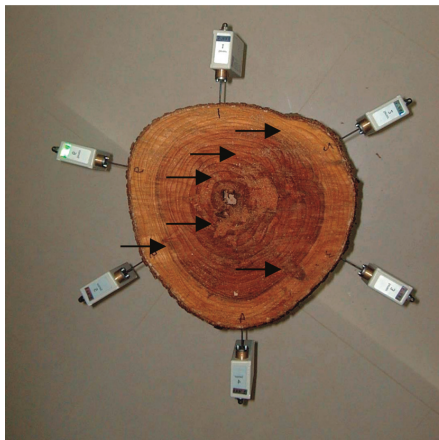
Fig. 1. Visual confirmation of the stress wave diagnosis of China-fir samples. Left side, photograph of a disc; Right side, 2-D image. Arrows (→) point to defects.



A. 2-D image of a standing tree



B. 2-D image of the tree after being felled



C. Photograph of the disk

Fig. 2. Evaluation of Luanta China-fir standing tree by acoustic tomography. The defects were invisible from the outside. Arrows (→) point to defects.

以，在立木狀況時，檢測了二次，並利用直線迴歸方程式來分析，應力波穿透時間(儀器檢測值)的相關性，其顯示在Fig. 3中，結果有極顯著的高相關性存在，此結果表示，Arbotom儀檢測立木斷面的影像有好的重覆性存在，亦即再現性良好。其次，在相同檢測部位的立木及圓盤間應力波傳播的相關性，由直線迴歸方程式來分析，其顯示在Fig. 4中，結果有極顯著的高相關性，此表示影像斷面檢測缺點時，受到立木狀況時的生長應力及樹冠自重等因素的影響較小，所以，可以應用此儀器進行大徑造林木之疏伐選木或老樹樹幹的材質評估，具有一定預測水準。

影響斷面影像檢測材質的精確度，除了儀器限制、腐朽、孔洞、枝節性缺點，立木狀態時的生長應力及樹幹自重外，尚有木材比重之變異、木材含水率(量及分佈)、年輪的走向及排列(規則性)、圓周的弧度(外圍狀況)、髓心偏心生長之反應材狀況、解剖學特性及木材變異性存在等等。這些均有待進一步探討，以提升其應用性及精度。

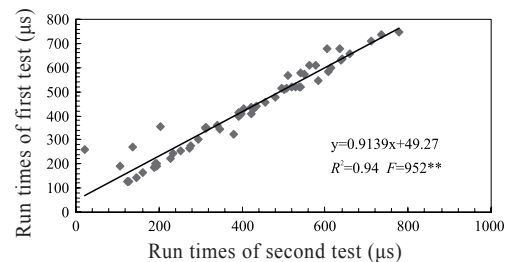


Fig. 3. Relationship between run times of the first and second tests in the same cross section.

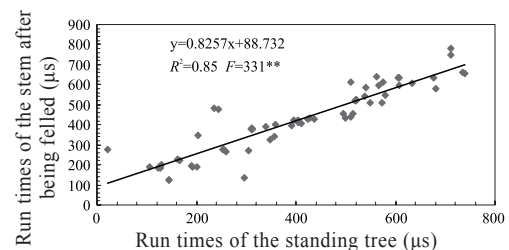


Fig. 4. Relationship between run times of a standing tree and a stem after being felled.

謝 誌

本研究承行政院農業委員會林業試驗所補助經費(計畫編號：92農科-2.3.2-森-G1(04))，謹此致謝。

引用文獻

Bucur V. 2003. Nondestructive characterization and imaging of wood. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. p 181-90.

Chiu CM, Wang SY, Lin CJ. 2004. The evaluation on standing tree quality of forest management. Taiwan For Prod Indust 23(3): 263-74. [in Chinese with English summary].

Divos F, Szalai L. 2002. Tree evaluation by acoustic tomography. Proceedings of the 13th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. August 19-21, 2002. Univ. of California, Berkeley, CA. p 251-6.

Lin CJ, Chiu CM, Wang SY. 2000. Application of ultrasound in detecting wood decay in squirrel-damaged standing trees of Luan-ta China fir. Taiwan For Sci 15(2):267-79. [in Chinese with English summary].

Mattheck C, Breloer H. 2003. The body language of trees. A handbook for failure analysis. London: Office of the Deputy Prime Minister, Stationery Office. p 202-9.

Pellerin RF, Ross RJ. 2002. Nondestructive

evaluation of wood. Madison, WI: For Prod Soc. p 149-56.

Rust S. 2000. A new tomography device for the nondestructive testing of tree. Proceedings of the 12th International Symposium on Non-destructive Testing of Wood. September 13-15, 2000. Univ of Western Hungary, Sopron. Sopron, Hungary. p 251-6.

Sandoz JLJ. 1994. Valorization of forest products as building materials using nondestructive testing. Proceedings of the 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. September 22-24, 1993. Inn on the Park, Madison, WI. p 103-9.

Schad KC, Schmoldt DL, Ross RJ. 1996. Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs. Madison, WI: Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture. General Technical Report FPL-RP-546.

Wang X, Divos F, Pilon C, Brahaw BK, Ross RJ, Pellerin RF. 2004. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools. Madison, WI: Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture. General Technical Report FPL-GTR-147.

Yamamoto K, Sulaiman O, Hashim R. 1998. Nondestructive detection of heart rot on *Acacia mangium* trees in Malaysia. For Pro J 48(3): 83-6.