

# 臺北市敦化南北路及新中街行道樹 安全性評估

◎林業試驗所森林經營組·邱志明 (cmchiu@tfri.gov.tw)、劉錦坤、劉雯玲

## 都市內樹木安全評估重要性

都市內公園、行道樹、景觀綠化林木、老樹所營造之環境是人們嚮往及喜歡駐足休閒的場所，但若造成公安問題，則非我們所樂見。在臺灣樹倒傷人的意外時有所聞，尤其都市行道樹如何做好樹木健康管理和安全性評估達到預防功效，以免形成都市之不定時炸彈。

## 非破壞性檢測評估樹木安全

影響樹木結構體承載能力的因子有許多；若排除環境瞬間最大風力的作用，最關鍵的因子即為樹木木質部的健康程度，如：腐朽空洞發生的位置及殘留斷面積的多寡、生長應力分布不均造成的撕裂傷、或修枝和風折造成傷口感染等，都對樹木的力學行為有很大的影響。樹木外觀可觀察到的破壞，如開放性腐朽、傷口及裂縫等，有助於分析樹幹受外力作用時可能產生破壞的位置。但不可視、隱藏在樹木內部的缺點，乃目視檢測過程中最容易疏忽的問題，所以藉由適當的非破壞檢測技術在無損樹木的情況下，探究其樹幹的內部狀況，即為樹木應力分析及安全性評估之重點。聲學斷層影像屬侵入性相當低的非破壞檢測儀器，又因應力波檢測乃藉由聲波及震動原理，不涉及電磁波及輻射等問題，故對檢測人員的傷害可降至最低。樹木安全評估透過非破壞性檢測定量樹木內部損壞情形，國內外有許多研究案例，其中以聲學斷層影像掃描技術之應用最為適當與廣泛，目前已發展出可模擬立木內部3D影像的掃描技術，並可透過軟體處理後影

像即可描繪出立木內部損壞的位置。

## 檢測地點及樹種

101年度臺北市政府公園路燈管理處委託林業試驗所檢測敦化南、北路及新中街行道樹進行安全性檢測與評估，本所應用應力波斷層掃描影像及樹木外觀評估結果提出量化數據，並依樹木現況建議行道樹保養單位作出適當的處置。敦化南和北路共計檢測21株行道樹，樹種為樟樹(*Cinnamomum camphora*)；新中街僅檢測1株白千層(*Melaleuca leucadendron*)，共計22株胸徑介於37至66公分，樹高範圍約7至17公尺之行道樹。

## 現場評估方法

樹木的健康度及安全性是息息相關的，更攸關人、樹木與環境之間的共存及利益平衡關係，亦是許多領域科學的綜合，本篇研究是以非破壞檢測系統整合樹木健康度診斷方法，擬定一個適當的樹木安全性評估的流程，如圖1所示。

## 目視外觀評量標準

樹木外觀評量(Visual tree assessment method, VTA)，即利用眼睛觀察樹木外觀，藉此判斷樹木生長狀況及材質是否有問題。現場行道樹外觀現況指標包括樹幹通直性、樹形、生長勢、分岔、腐朽、空洞、病蟲害跡象、冠層枝葉繁茂程度、樹冠受風面積、風壓中心、樹幹損傷表面隆起及癒合狀況等等加以評估。表1為綜合樹木冠層、幹部、根部及生長環境的健

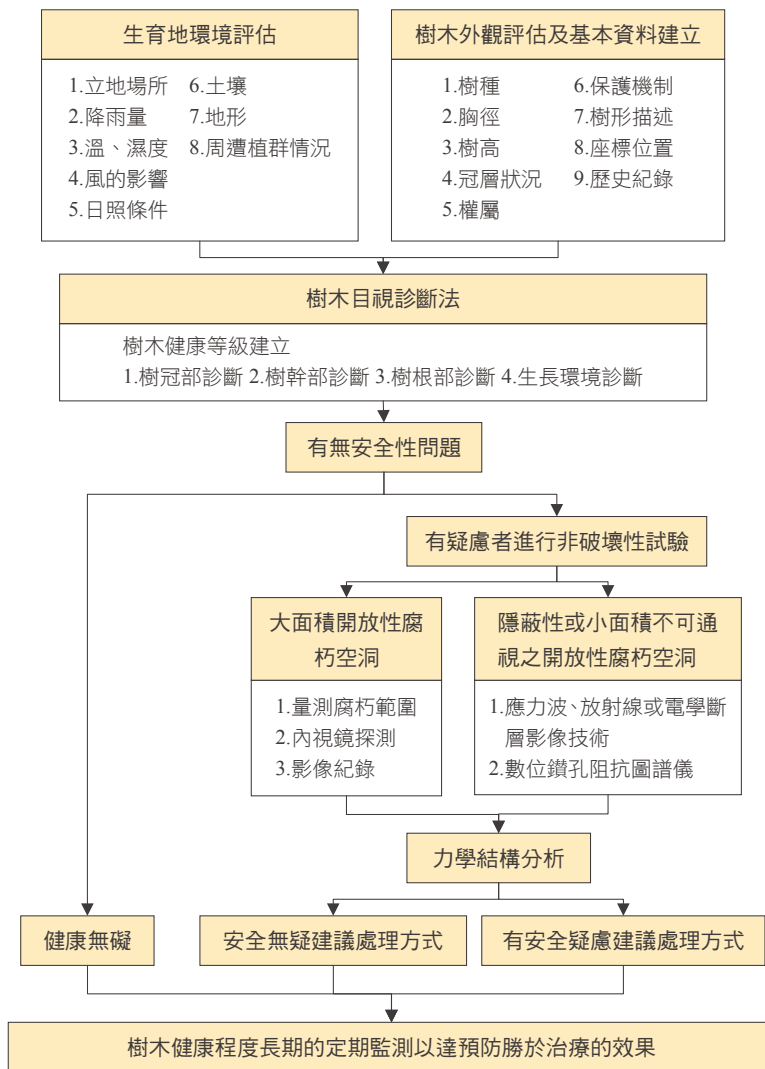


圖1 樹木安全性評估流程圖

表1 綜合樹木樹冠部、樹幹部、樹根部、生長環境的健康性評量診斷結果

樹木健康等級	樹冠部的診斷	樹幹部的診斷	樹根部的診斷	生長環境的診斷	綜合總計	診斷結果
1級	0~5點	0~5點	0點	0~5點	0~15點	樹木健康或正常
2級	6~10點	6~11點	1~2點	6~11點	16~34點	樹木輕微危害或衰退
3級	11~15點	12~17點	3~4點	12~17點	35~53點	樹木中度危害或衰退
4級	16~21點	18~24點	5~6點	18~24點	54~75點	樹木嚴重危害或衰退

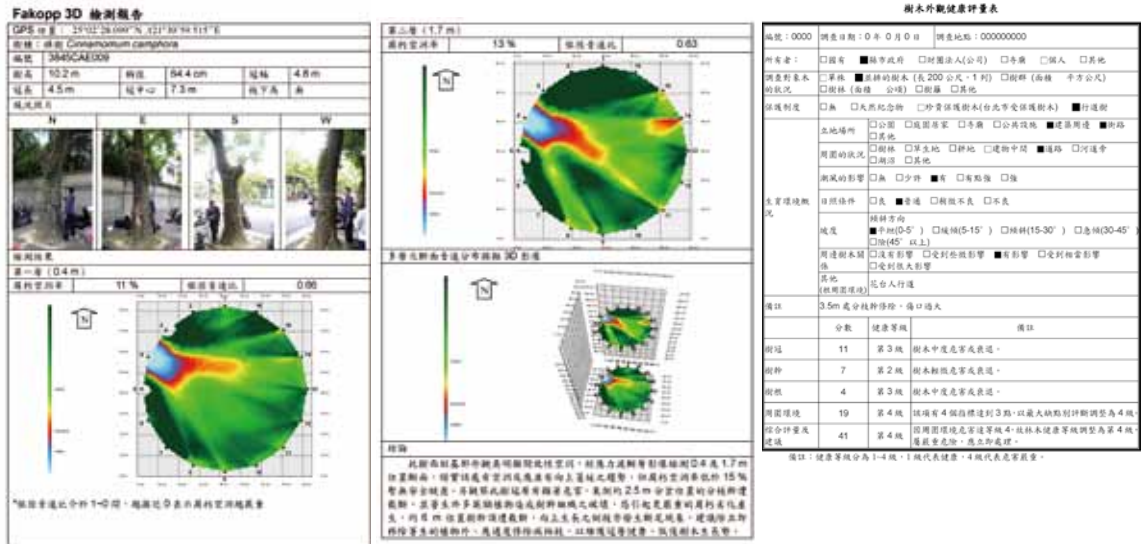


圖2 Fakopp 3D檢測報告及樹木外觀評量表範例

康性評量診斷結果，四大因子共計25項評估指標，每一項目分數0~3點，0表示無或最優，3表示最差。將四個部分指標項目分別加總後即可決定該部位之健康等級，最後25個項目之總分再計算出綜合總計等級，共可分為4級，1級健康，4級危害嚴重，以上計點皆採最大缺點制即關鍵之缺點，四大因子評估項目中只要有1個以上項目點數超過4級，綜合診斷即無條件調整為4級。亦即相同的綜合總計點數，雖點數加總未達4級，但只要四大因子有一因子列為4級，綜合總計等級即屬嚴重危害程度。

### 3D木材斷層影像儀

本檢測另採用應力波為原理之非破壞性檢測儀器，在最小損傷下期望可架構出樹幹內部腐朽空洞之情形；檢測流程首先依據目視外觀評估結果，決定樹木應力波斷層影像檢測之部位於何處，是否要建立多層次的

3D影像，建立樹木樹幹部危害程度之量化數據，輔助安全性及健康度的判斷，若經儀器檢測量化樹木內部腐朽空洞之結果大於50%，樹木健康等級應調整為4級。在進行外觀評量同時亦須紀錄樹木生育地周圍的環境狀況及基本狀況，包括立地場所、潮風狀況、日照條件、坡度、坡向及周圍狀況等等，以釐清環境、生長及病理的相互關係追溯危害的起因。圖2為3D檢測報告及樹木外觀評量表格式，其中亦包含受測樹木之基本資料。

### 目視外觀評量與應力波斷層影像判定結果

檢測由臺北市公園路燈管理處先行檢視篩選有安全疑慮者，再由本所進一步進行VTA及應力波檢測，共計檢測22株行道樹，結果如表2所示，得知22株樹木有21株樹幹部的健康都達4級，表示樹木嚴重危害有危險需

表2 北市敦化南北路及新中街行道樹安全性暨健康度評估結果

樹種編號	胸徑 (cm)	樹高 (m)	樹木目視外觀評估(VAT)等級					空洞腐 朽率(%)	安全性
			樹冠	樹幹	樹根	周圍環境	綜合總計		
C-4247CAE022	55.3	12	5(1)	11(4)	0(1)	11(2)	27(4)	0	危險 <sup>*1)</sup>
C-4248CAE212	55.8	11.3	7(2)	17(3)	1(2)	11(2)	36(3)	20,10,5	有疑慮
C-4248CAE259	56.8	12.7	6(2)	16(4)	0(1)	11(2)	33(4)	0,20	危險**
C-4247CAE297	48.5	10.7	11(3)	20(4)	0(1)	12(3)	43(4)	40	危險**
C-4247CAE301	37.4	10.0	10(2)	20(4)	0(1)	12(3)	42(4)	0,20	危險**
C-4248CAE435	45.8	10.5	8(2)	20(4)	1(2)	11(2)	40(4)	10	危險**
C-4246CAE029	45.5	10.8	6(2)	17(4)	2(2)	8(2)	33(4)	-	危險 <sup>*2)</sup>
C-4246CAE103	59.2	17	6(2)	18(4)	2(2)	8(2)	34(4)	-	危險 <sup>3)</sup>
C-4246CAE118	55.2	9.9	8(2)	18(4)	2(2)	8(2)	36(4)	0	危險 <sup>*4)</sup>
C-4247CAE133	55.3	13.4	7(2)	17(4)	1(2)	8(2)	33(4)	50	危險**
C-4246CAE135	48.0	10.8	8(2)	17(4)	2(2)	8(2)	35(4)	40	危險*
C-4246CAE139	45.5	13.4	6(2)	18(4)	2(2)	8(2)	34(4)	5	危險 <sup>**5)</sup>
C-4247CAE144	51.3	12.5	8(2)	17(4)	1(2)	7(2)	33(4)	15	危險**
C-4247CAE173	42.4	11.1	5(1)	19(4)	2(2)	8(2)	34(4)	20	危險**
C-4247CAE267	51.2	11.5	5(1)	18(4)	2(2)	15(3)	40(4)	-	危險**
C-4245CAE125	47.5	7.6	9(2)	19(4)	2(2)	4(1)	34(4)	0,5	危險
C-4245CAE128	57.0	8.0	5(1)	18(4)	1(2)	4(1)	28(4)	0	危險
C-4244CAE203	39.0	8.3	9(2)	18(4)	5(4)	8(2)	40(4)	50,15	危險
C-4244CAE271	62.5	15.3	10(2)	21(4)	4(3)	10(2)	45(4)	25,50	危險
C-4245CAE331	43.0	13.7	7(2)	19(4)	2(2)	9(2)	37(4)	0	危險
C-4244CAE239-P	64.0	17.0	5(1)	8(4)	3(3)	12(3)	28(4)	50	危險
M-4448CA0025	66.0	12.9	8(2)	17(4)	4(3)	16(4)	45(4)	60	危險**

註1：(1)VAT綜合評估等級及各個部分等級評點準據如表1說明- ( )內的等級越高，顯示樹木危害越嚴重，1為健康，2為樹木輕微危害但無危險，3為樹木中度危害有安全疑慮建議改善及持續定期監測，4為樹木嚴重危害有危險需立即處理；(2)樹種編號中C表示樟樹，M表示白千層；(3)空洞腐朽率為3D應力波儀器量化結果，以5%為單位，-表示未檢測，檢測二層以上，各分層間由低至高以逗點區隔。四、安全性欄位中\*\*表示樹木已移除，\*表示樹木有架設輔助支撐。

註2：<sup>1)</sup>樹高1.8公尺分叉幹開放腐朽嚴重，1.3公尺部位健全，建議架設輔助支撐。<sup>2)</sup>主幹分叉處腐朽嚴重及膨大隆起，建議架設輔助支撐。<sup>3)</sup>樹高2.2公尺以上，有長2.5公尺、寬2.0公分、深度15公分之嚴重腐朽。<sup>4)</sup>樹高1.5~3公尺處，有深達15公分之嚴重腐朽，1.2公尺部位則健全。<sup>5)</sup>樹高1.6公尺以下嚴重腐朽，樹幹向東傾斜40度，檢測1.75公尺部位，僅5%空洞腐朽。

立即處理。為慎重起見，進一步以應力波斷層影像檢測定量樹幹之狀況，具有50%以上空洞腐朽者，建議應為優先移除的考量目標，其餘則視分岔幹與主幹的角度，並考量外觀或內部腐朽的位置關係，對樹木承受風載重時的抵抗能力而定。判定結果共計10株樹木

有立即危害應予以移除，其中有7株於砍伐時紀錄影像及採取樣本，進行立木檢測結果和砍伐後實際缺點之比對分析；4株樹木判定危險，公園處因此以鋼架輔助支撐；2株進行適度的修枝處理減輕自重及風載重的壓力；6株樹木由管理單位持續密切注意中。

## 受檢測樹木結構破壞類型

樹木結構破壞類型可分由地上部產生的劣化及由地下部產生的劣化兩種。在本案中22株受測樹木約有近70%為由地上部產生的劣化，此類劣化途徑共計有15株，其中已移除者6株約佔40%。另由地下部產生劣化者共計有7株，已移除4株約佔57%。由此數據我們可以發現由地下部產生的劣化雖然發生機率較小，但危害情形都較嚴重。

實際上樹木危害公共安全的情形有很多模式，其中以枝條、分岔幹和主幹的斷裂最常見，若是大型分岔幹或主幹腐朽引起的傾倒通常會產生嚴重問題，目前對樹木地上部的檢測，可透過儀器及目視外觀的綜合評估，獲取相當準確性的數據。唯樹木地下部之評估還未有成熟的科學方法可以精確達成，目前僅以金屬探測桿進行簡便檢查。此外，可透過環境和生物評估的方式加以分析預測，例如，土壤有效深度不足，讓樹木根系無法獲得良好的錨定，樹冠於風載重作用下樹根部承受最大力矩，尤其在向風側(Windward side)的土壤剪

應力(Soil shearing)增加將導致土壤摩擦力(Soil friction)減少，而產生樹木風倒(Windthrow)現象(圖3)，此類型之樹木破壞非常不容易由儀器檢測預知，所以上述研究數據無法保證樹木未來可能會遭遇何種外力所產生何種破壞類型，僅能提供樹木安全性評估之依據和參考而已。

## 實際砍伐斷面照片與應力波斷層影像之比較

將公園路燈管理處審核之檢測報告後，經謹慎評估判定屬嚴重危及道路、行人、公共安全疑慮而砍伐之樹木，本案共記錄者7件案例，分為下列三種狀況。

### 一、中心空洞腐朽

此類腐朽雖可由檢視樹幹外觀是否出現腫大概略探知，但仍不易察覺，圖4中顯示之3件案例，左圖為未砍伐前檢測之應力波斷層影像結果，綠色區塊表示為橫向音速大於1,300 m/s之健康部木材，黃-紅區塊表示橫向音速介於1,300~800 m/s之間屬腐朽劣化部位，橫向音速低於800 m/s者以藍色區塊表示

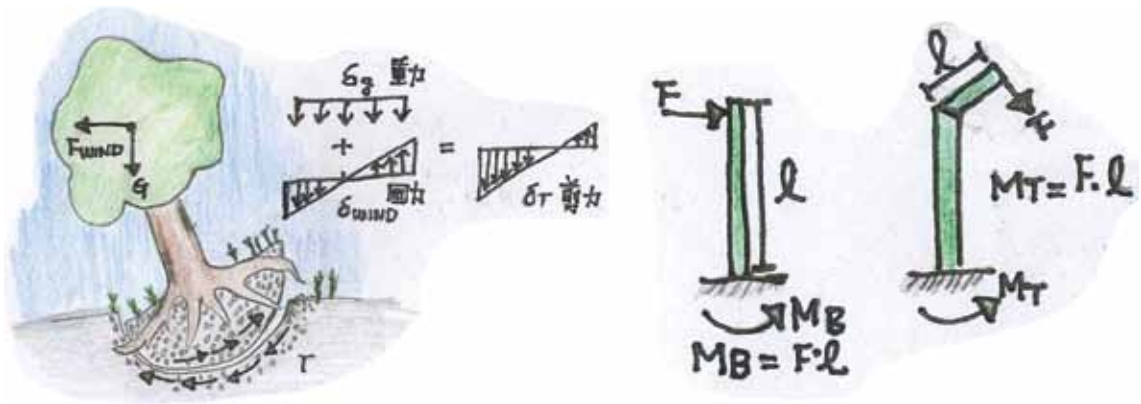


圖3 樹木風倒受力模式(MB：力矩(彎曲)；MT：力矩(扭轉)；F：風力；l：長度)(劉錦坤 繪)

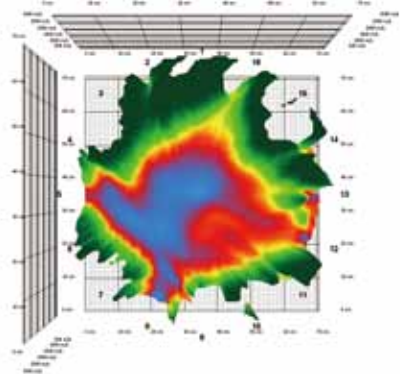

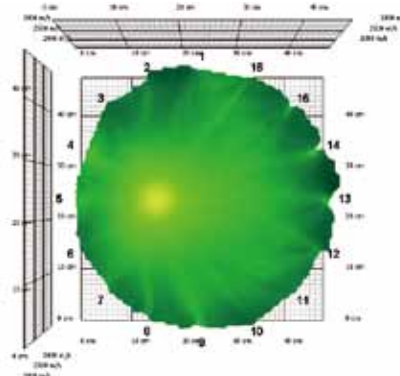

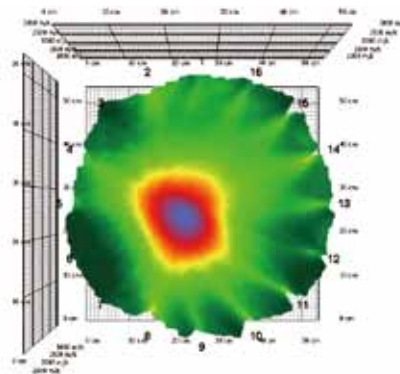

編號：M-4448CA0025，地點：新中街，檢測位置：1.3公尺斷面	
	
Fakopp ArborSonic 3D斷層影像	砍伐後斷面實際照片
編號：C-4246CAE139，地點：敦化北路，檢測位置：1.75公尺斷面	
	
Fakopp ArborSonic 3D斷層影像	砍伐後斷面實際照片
編號：C-4247CAE144，地點：敦化北路，檢測位置：1.4公尺斷面	
	
Fakopp ArborSonic 3D斷層影像	砍伐後斷面實際照片

圖4 中心空洞腐朽樣木砍伐後斷面實際影像與應力波斷層影像之比較(劉錦坤 攝)

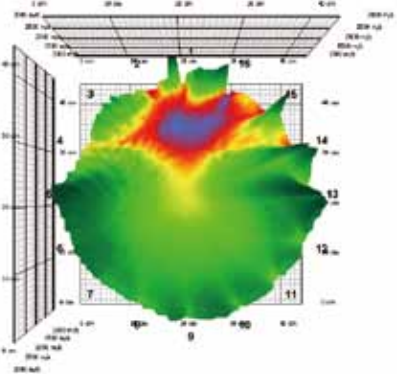

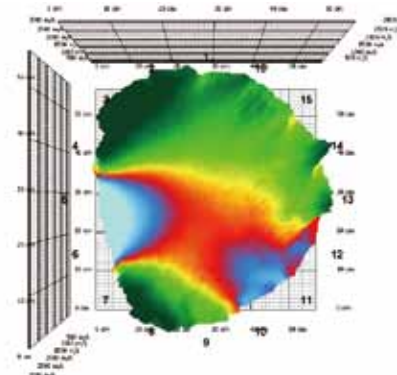

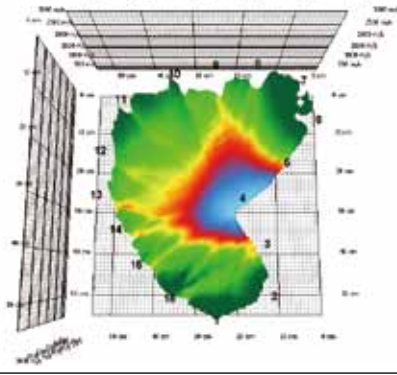

編號：C-4247CAE173，地點：敦化北路，檢測位置：1.3公尺斷面	
	
Fakopp ArborSonic 3D斷層影像	砍伐後斷面實際照片
編號：C-4247CAE133，地點：敦化北路，檢測位置：1.3公尺斷面	
	
Fakopp ArborSonic 3D斷層影像	砍伐後斷面實際照片
編號：C-4247CAE297，地點：敦化北路，檢測位置：1.3公尺斷面	
	
Fakopp ArborSonic 3D斷層影像	砍伐後斷面實際照片

圖5 開放性腐朽樣木砍伐後斷面實際影像與應力波斷層影像之比較(劉錦坤 攝)

為空洞反應。右圖為砍伐後以鏈鋸裁切出相同檢測位置樣本之實際斷面影像，對照這些案例，可以明顯的發現音速矩陣建立之樹木

內部材質模擬影像，黃-紅-藍色塊之區域與實際腐朽空洞之位置及範圍相當符合，對樹木內部腐朽的定量及定位能力效果甚佳。其中

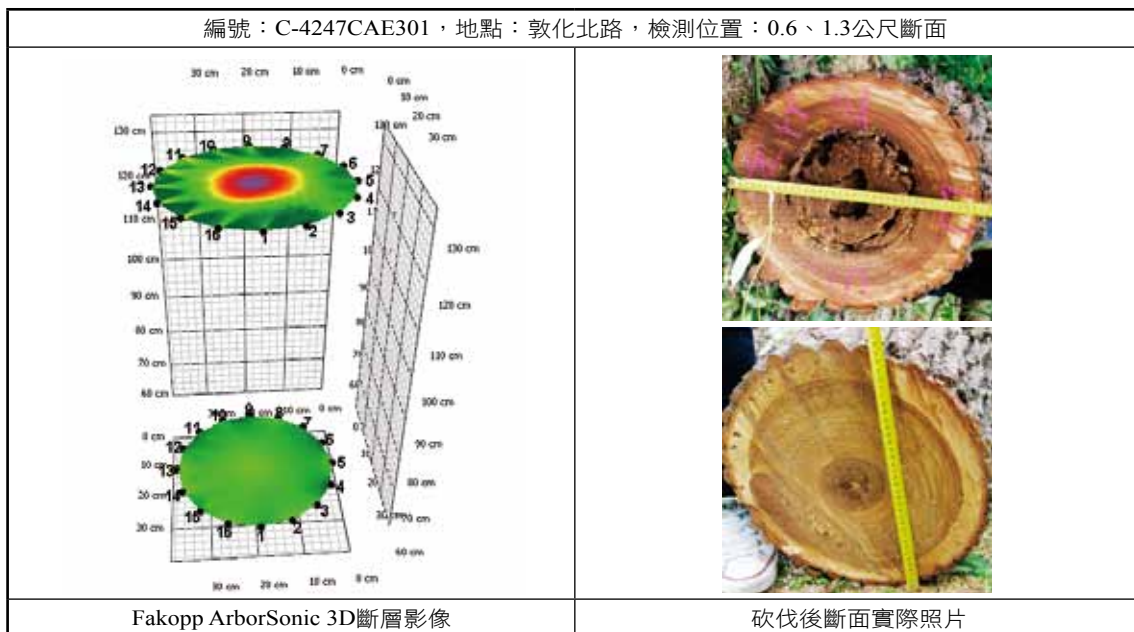


圖6 樹木砍伐後斷面實際影像與多層次應力波斷層影像之比較(劉錦坤 攝)

025及139號樹是由地下部引起之劣化，144號樹則為地上部引起之劣化。

## 二、開放性腐朽

此類腐朽可藉由外觀檢視觀察到明顯徵狀，但仍無法憑此精確定量腐朽程度，比對圖5所呈現的3件開放性腐朽案例，於173及279號樹之結果顯示出應力波斷層影像對開放性腐朽仍具相當優秀的定位和定量能力，而133號樹之應力波斷層影像於左側出現的藍色空洞反應，推測乃是受到樹木內部壓縮應力造成的環裂及應力集中現象影響所導致，屬裂縫模式該產生的現象。其中133號樹屬由地下部引起之劣化，173及297號樹則為地上部引起之劣化。

## 三、多層次應力波斷層影像建立劣化模型

圖6為依樹高0.6及1.3公尺所建立之分層應力波斷層影像模型，可清楚表示樹木的劣化是由地上部向根部發展，說明力矩最大之樹基部仍有足夠之健全材質可抵抗外力作用，樹木腐朽劣化是連續性的，可能從基部

或冠層開始蔓延，亦可能同時進行，了解腐朽入侵的途徑有利於樹木結構力學行為的分析，為評估安全性的有效方法。

## 結語

行道樹及老樹的安全性評估涉及公共安全及保育上的議題，有相當大的風險存在，更具備決策的責任，所以評估的過程必須謹慎，防範於未然，至少要使評估之結果可達到警告或預防效果。由本檢測現場案例證實應力波斷層影像檢測應用於立木腐朽之評估，具備有快速、方便及最小危害性的條件。合理而適當的檢測方法、步驟、流程和機制之架構，需要按部就班建立好完善的資料庫後，再藉由不斷的累積檢測案例，採經驗法則找尋更有效的新方法和技術進行改良。最後則是人才的培訓，目前台灣樹木醫學中心還在起步、試驗階段，若可結合不同科學領域的知識和人才，整合至一個機制中，相信未來一定具有前瞻性，可提供協助建置一個安全的都市和生態環境。⊗