

行政院農委會林務局委託專業服務案

拉拉山國家森林遊樂區巨木結構檢查計畫

成果報告



委託單位

行政院農業委員會林務局新竹林區管理處

執行單位

行政院農業委員會林業試驗所

111 年 6 月

中文摘要

拉拉山國家森林遊樂區位於臺灣桃園市復興區和新北市烏來區交界，面積約81.5905公頃，園區內巨木多為紅檜，由於紅檜老樹常發生腐朽，一旦殘存樹幹強度無法支撐全木重量或遭受強風、地震等，有發生破壞傾倒之風險。為保護珍貴巨木，本處委請林業試驗所針對拉拉山國家森林遊樂區已編號之巨木進行結構檢查。在避免對巨木產生破壞的前提下，本計畫首創結合非破壞檢測技術與攀樹技術等2項專業領域，由攀樹師於高空進行橫向打音、應力波及鑽孔阻抗等試驗，以評估受試樹之樹幹內部劣化程度，推估其殘留直徑比及可能面臨之風險，供管理單位對巨木傾倒風險之控管參考。

執行期間為 110 年 8 月 17 日至 111 年 6 月 30 日，期初階段著重在現場勘查及全案規劃，初步調查結果顯示，巨木生長狀況大致良好，部份樹冠樹幹比適中或偏大，枝條延伸，於颱風來時受風面積大，需予留意。首先依可及性之高、中、低將園區內巨木予以分群，結果園區內並無可及性高且可立即進行試驗之巨木；可及性中者有第 1、7、9、11、14、16、19、20、21 及 24 號等巨木、可及性低者有第 2、3、4、5、6、10、12、13、17 及 18 號等巨木，其中，第 2、3、4、5 及 11 號等巨木因以目視評估法判斷結果對遊客有潛在危害，故有儀器評估之必要。然因現場坡度陡峭，試驗人員及儀器難以接近，後續需架設平台或引入攀樹技術，方能進行試驗及相關評估。

為減少對地表的破壞，期中及期末階段研究團隊延請攀樹師協同進行試驗。本計畫以目視評估法或 3 種非破壞試驗進行檢測，主要結果如下：

- 一、樹木一旦倒伏可能影響的範圍以圖 7 圓圈呈現。
- 二、目視評估的成果：園區內巨木生長狀況大致良好，平時以維管紀錄表進行監測，維管紀錄表建議每半年檢視 1 次，之後再視現場狀況調整調查頻度，透過表內諸項評估標準，提早進行因應措施與預防危害之發生。
- 三、3 種非破壞試驗檢測結果：樹型相當橢圓之第 2 號巨木、第 3 號巨木以及第 4 號巨木，經儀器測試及攀樹師確認，內有大型空洞且延伸至樹幹底部，然因樹幹主要強度支持端之殘留壁厚尚且足夠，且樹木透過橢圓生長的策略，在沒有特別天然的災害下，暫時沒有立即的風險，平時除了以維管紀錄表進行監測，但仍建議以傾斜度計進行監測與預警，以因應側風或特殊天候條件。
- 四、下列幾種狀況建議預先移除潛在危險因子，如分叉枝幹生長旺盛且枝幹支撐處支撐力不足(如有孔洞)、分叉枝幹生長旺盛且量體大之樹幹位於步道上方或其他有潛在危險的樹木上方等，除建議應盡速移除，並應設立告示牌提醒遊客，或設置傾斜度計以利即時監測。
- 五、本計畫雖就園區內巨木本體進行檢測，然而，林木會發生破斷或傾倒尚有眾多原因，如地滑、土崩、雷擊、火災、暴雨、強風、根拔等，因此亦建議就園區內之土壤沖蝕面或坡面等不穩定處進行坡面沖蝕試驗以監測地面土體狀況；此外，亦應加強遊客愛護巨木，避免踐踏根系及用火安全等之宣導，減少巨木受危害之機會。

關鍵詞：拉拉山國家森林遊樂區、結構安全、紅檜

目錄

壹、計畫緣起與目的	1
貳、前人研究	2
一、目視檢測樹木健康狀況與活力	2
二、橫向打音法	2
三、應力波法	4
四、鑽孔阻抗技術	5
五、傾斜度計	7
參、研究方法	8
一、重要工作項目	8
二、工作項目說明	9
(一)、現地背景資料取得	9
(二)、樹木現況調查	9
(三)、目視檢測樹木健康狀況與活力	9
(四)、受試樹的確定	9
肆、執行情形	12
一、巨木現況初步診斷	12
二、檢視結果	15
(一)、1 號巨木	15
(二)、2 號巨木	17
(三)、3 號巨木	26
(四)、4 號巨木	31
(五)、5 號巨木	36
(六)、6 號巨木	41
(七)、7 號巨木	43

(八)、9 號巨木	45
(九)、10 號巨木	47
(十)、11 號巨木.....	49
(十一)、12 號巨木	54
(十二)、13 號巨木	56
(十三)、14 號巨木	58
(十四)、16 號巨木	60
(十五)、17 號巨木	62
(十六)、18 號巨木	64
(十七)、19 號巨木	65
(十八)、20 號巨木	67
(十九)、21 號巨木	69
(二十)、24 號巨木	71
(二十一)、001 號	72
(二十二)、002 號	73
(二十三)、003 號	74
(二十四)、004 號	75
(二十五)、005 號	76
(二十六)、006 號	77
(二十七)、007 號	78
(二十八)、008 號	79
(二十九)、009 號	80
(三十)、010 號	81
(三十一)、011 號.....	82
(三十二)、012 號	83
(三十三)、013 號	84

(三十四)、014 號	85
(三十五)、015 號	86
(三十六)、016 號	87
(三十七)、017 號	88
(三十八)、018 號	89
(三十九)、019 號	90
(四十)、020 號	91
(四十一)、021 號	92
(四十二)、022 號	93
(四十三)、023 號	94
(四十四)、024 號	95
(四十五)、025 號	96
(四十六)、026 號	97
(四十七)、027 號	98
伍、結果與討論	99
六、結論	102
陸、參考文獻	103
附錄 1. 紅檜人工造林橫向打音共振法之 $fr_1 \cdot C$ 之基礎值資料庫	116
附錄 2. 2 號巨木阻抗圖譜試驗結果	117
附錄 2. 3 號巨木阻抗圖譜試驗結果	122
附錄 3. 4 號巨木阻抗圖譜試驗結果	127
附錄 5. 11 號巨木阻抗圖譜試驗結果	137
附錄 6. 期初審查會委員審查意見回覆表	141
附錄 7. 期中審查會委員審查意見回覆表	145
附錄 8. 期末報告書初審意見回覆表	149
附錄 9. 期末審查會委員審查意見回覆表	154

附錄 10. 結案成果報告書審查意見回覆表	159
-----------------------------	-----

圖目錄

圖 1. 橫向打音試驗法操作(上)及原理(下)	3
圖 2. 應力波試驗法操作示意圖	4
圖 3. 鑽孔阻抗技術試驗法原理	6
圖 4. 傾斜度計液體擺動現象	7
圖 5. 本計畫之重要工作項目	8
圖 6. 將受試樹分為高、中、低三群	10
圖 7. 受試樹倒伏可能影響的範圍	13
圖 8. 1 號巨木生長情形與位置	16
圖 9. 2 號巨木主幹設立 2 目標高度示意圖	18
圖 10. 2 號巨木主幹上方分叉位置示意圖	19
圖 11. 2 號巨木打音試驗依槌擊方向與收音分為 4 種方向	20
圖 12. 2 號巨木應力波試驗位置圖	21
圖 13. 2 號巨木阻抗試驗位置	22
圖 14. 2 號巨木高點目標高度阻抗試驗結果	23
圖 15. 2 號巨木低點目標高度阻抗試驗結果	24
圖 16. 2 號巨木東北方大叉枝幹阻抗試驗結果	25
圖 17. 3 號巨木以空拍機進行建模	26
圖 18. 3 號巨木的 2 試驗目標高度示意圖	27
圖 19. 3 號巨木高點目標高度平面阻抗試驗結果	28
圖 20. 3 號巨木不同高度及低點目標高度平面阻抗試驗結果	29
圖 21. 3 號巨木內部孔洞照	30
圖 22. 4 號巨木的 2 試驗目標高度示意圖	32
圖 23. 4 號巨木阻抗試驗結果	34
圖 24. 4 號巨木內部孔洞照	35

圖 25. 5 號巨木主幹設立 2 目標高度	37
圖 26. 5 號巨木高點目標高度阻抗試驗結果	39
圖 27. 5 號巨木低點目標高度阻抗試驗結果	39
圖 28. 5 號巨木東南大叉根部阻抗試驗結果	40
圖 29. 6 號巨木生長現況	42
圖 30. 7 號巨木生長現況	44
圖 31. 9 號巨木生長現況	46
圖 32. 10 號巨木生長現況	48
圖 33. 11 號巨木主幹設立 2 目標高度.....	50
圖 34. 11 號巨木高點目標高度阻抗試驗結果.....	52
圖 35. 11 號巨木低點目標高度阻抗試驗結果.....	53
圖 36. 12 號巨木生長現況	55
圖 37. 13 號巨木生長現況	57
圖 38. 14 號巨木生長現況	59
圖 39. 16 號巨木生長現況	61
圖 40. 17 號巨木生長現況	63
圖 41. 18 號巨木生長現況	64
圖 42. 19 號巨木生長現況	66
圖 43. 20 號巨木生長現況	68
圖 44. 21 號巨木生長現況	70
圖 45. 24 號巨木生長現況	71
圖 46. 001 號受試巨木生長現況	72
圖 47. 002 號受試巨木生長現況	73
圖 48. 003 號受試巨木生長現況	74
圖 49. 004 號受試巨木生長現況	75
圖 50. 005 號受試巨木生長現況	76

圖 51.006 號受試巨木生長現況	77
圖 52.007 號受試巨木生長現況	78
圖 53.008 號受試巨木生長現況	79
圖 54.009 號受試巨木生長現況	80
圖 55.010 號受試巨木生長現況	81
圖 56.011 號受試巨木生長現況.....	82
圖 57.012 號受試巨木生長現況	83
圖 58.013 號受試巨木生長現況	84
圖 59.014 號受試巨木生長現況	85
圖 60.015 號受試巨木生長現況	86
圖 61.016 號受試巨木生長現況	87
圖 62.017 號受試巨木生長現況	88
圖 63.018 號受試巨木生長現況	89
圖 64.019 號受試巨木生長現況	90
圖 65.020 號受試巨木生長現況	91
圖 66.021 號受試巨木生長現況	92
圖 67.022 號受試巨木生長現況	93
圖 68.023 號受試巨木生長現況	94
圖 69.024 號受試巨木生長現況	95
圖 70.025 號受試巨木生長現況	96
圖 71.026 號受試巨木生長現況	97
圖 72.027 號受試巨木生長現況	98
圖 73. 傾斜度計接收器(攝於巨木區管理站).....	101

表目錄

表 1、綜合評估結果	106
表 2、綜合評估結果	108
表 3、2 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表	110
表 4、3 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表	111
表 5、4 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表	112
表 6、5 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表	113
表 7、11 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表	114

壹、計畫緣起與目的

檜木為柏科之常綠喬木，檜木在全球僅分布在北美、日本與台灣等三處，台灣是檜木分布的最南界。台灣的檜木由紅檜和台灣扁柏組成，適合生長在涼寒潮濕的環境。

拉拉山國家森林遊樂區位於雲霧帶，區內有許多寶貴之巨木，其中多為紅檜。紅檜老樹常發生腐朽，一旦殘存樹幹強度無法支撐全木重量，或遭受強風、地震等外力，有發生破壞傾倒之風險（Huang *et al.*, 2017; Huang and Hsu, 2021; Mattheck *et al.*, 2006; Ruxton, 2014）。為保護並維護管理珍貴巨木，本計畫期調查範圍為拉拉山國家森林遊樂區內已編號之巨木及部分未編號巨木進行目視評估法或3種非破壞試驗。

本計畫在避免破壞巨木前題下，主要以橫向打音及應力波等技術評估樹幹內部是否或孔洞的發生，再輔以鑽孔阻抗技術推估其殘留直徑比及可能面臨之風險（Bond, 2006; Hsu *et al.*, 2012）等技術，供管理單位對巨木傾倒風險之控管參考。

貳、前人研究

巨木因樹齡高，內部多少有腐朽產生空洞，致使殘留強度降低，故會有折損倒伏的危險，需要監控、評估危險程度，供管理上的參考。目前國內進行巨木分析研究，多以目視方法進行描述性評估，配合以應力波試驗，本研究除以上述方式進行評估外，另進行橫向打音法與鑽孔阻抗試驗，以提供不同原理的試驗結果，有利於綜合評估。

一、目視檢測樹木健康狀況與活力

Mattheck (1994) 等人提出以目視評估法 (visual tree assessment, VTA) 就樹木外觀如樹冠、枝葉繁盛、生長勢、樹枝分叉斷折、樹幹是否膨脹隆起、根部異常等特徵來判斷樹木可能的缺陷 (如腐朽、蟲害、開裂等)，並考量環境之風、雨、雪等強度，以推測樹木是否有傾倒危險。堀大才 (2004) 亦以樹勢、樹形、枝的伸長量、枝梢枯損、枝葉密度與樹皮的狀態等作為樹木衰退度檢測項目。

二、橫向打音法

橫向打音法之原理與寺廟巨鐘敲擊時之共鳴相似 (牧田康雄，1986)，如圖 1 上所示，以木槌橫向槌擊樹幹一側，樹幹在敲擊面會產生橫向振動，由於此一次振動頻率 (fr_1) 與敲擊處圓周長度 (C) 之乘積為一定值 (如圖 1 下，許富蘭等，2013；附錄 1)，因此，所測得之一次共振頻率 (fr_1) 與樹幹直徑成反比。透過圓盤伸縮振動理論式與中空腐朽樹幹之圓環撓區振動理論之比值，可知實心樹幹之 fr_1 最大，再與 t/R 值 (t 為殘存壁厚； R 為半徑) 進行比較，當此值越小，表示孔洞越大，經驗值係此值大於 0.3 時，樹木仍能直立，可作為推估樹幹之空心程度方法 (許富蘭等，2013；李金梅等，2014)。

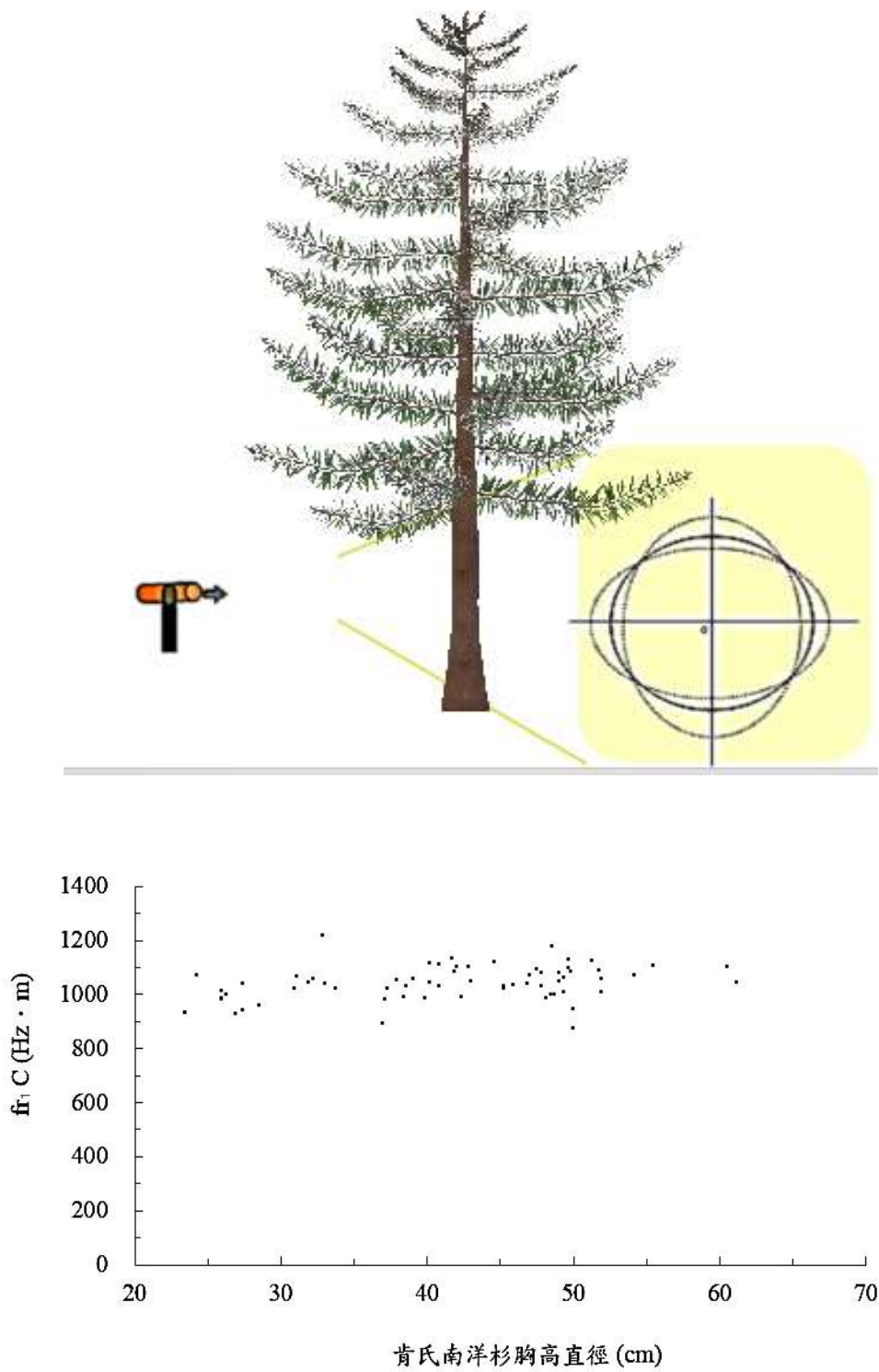


圖 1. 橫向打音試驗法操作(上)及原理(下)

(許富蘭等，2013)

三、應力波法

如圖 2 所示，以外力敲擊置於材料一端之感應器信號發射端，材料因此產生應力與波動，當此應力波傳遞到材料另端，被感應器信號接收端接收時，紀錄應力波傳送的時間，可藉由兩端之距離換算此應力波之速度。由於材料的傳音速度與其彈性係數有相關性，因此可以作為材料強度的檢測，並作為推估樹幹空心之用（邱志明等，2004；詹明勳等，2005；李金梅等，2011；許富蘭等，2012；李金梅等，2013）。當樹幹孔洞直徑的增加，應力波穿透圓盤所需的時間亦隨之增加，故徑向穿透時間率可做為預測孔洞大小之判斷指標；而弦向穿透時間率可做為預測孔洞位置指標而加以定位。

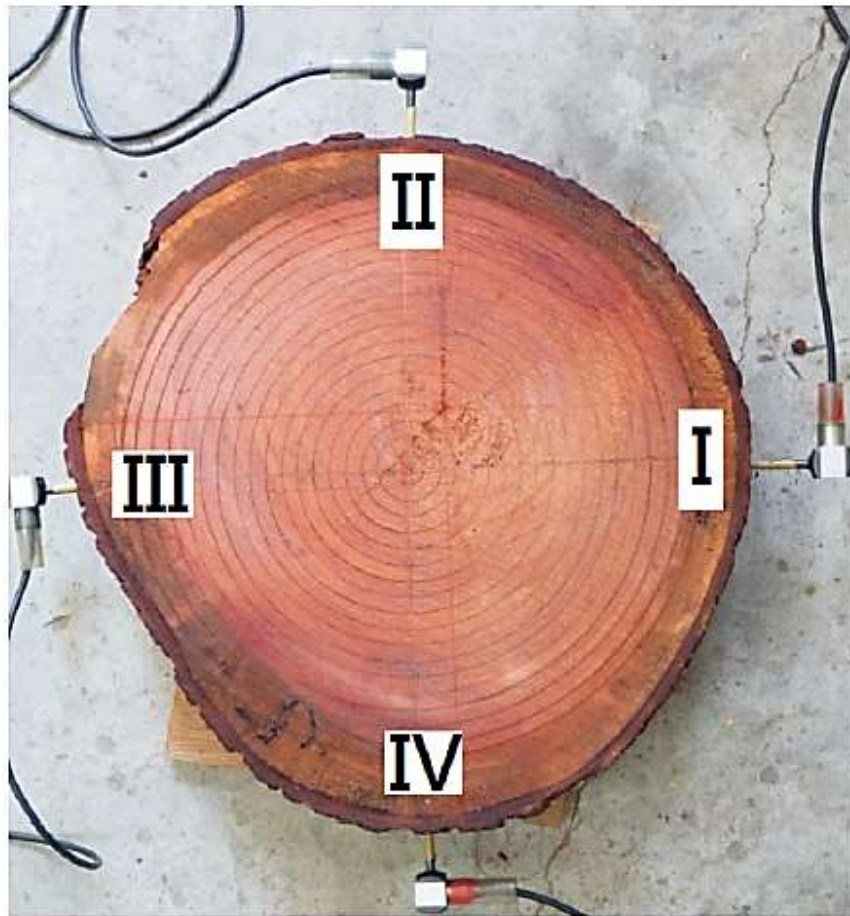
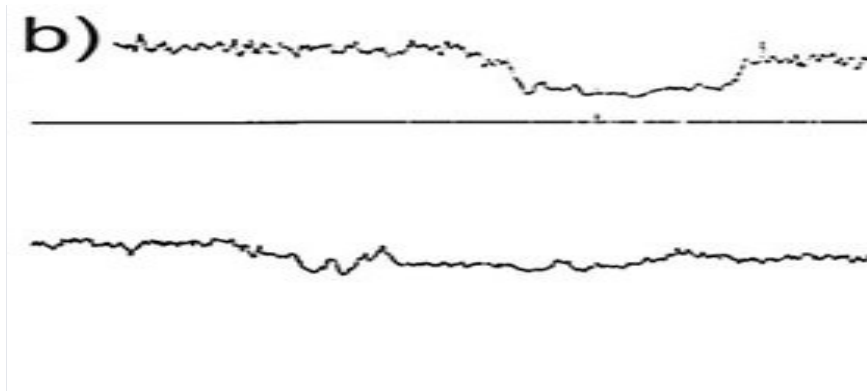
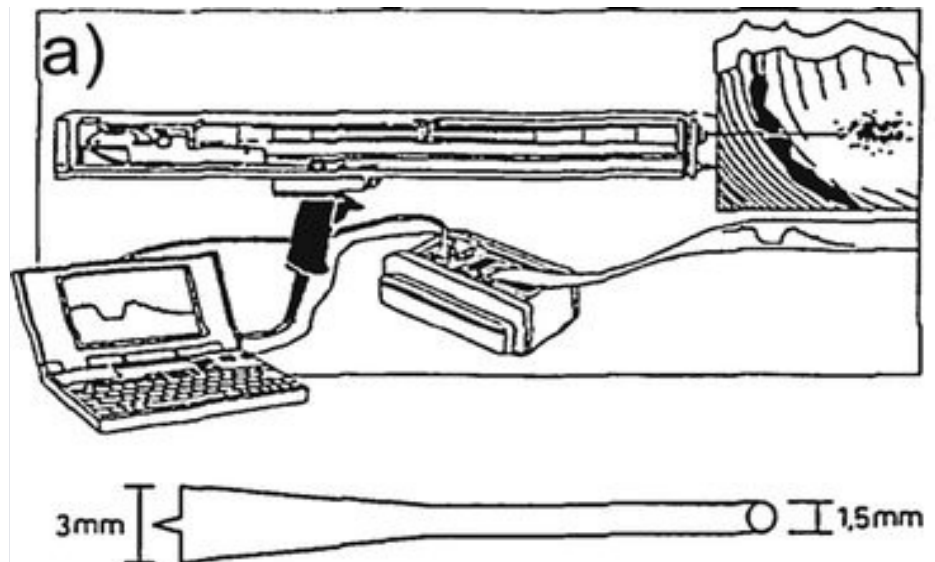


圖 2. 應力波試驗法操作示意圖

四、鑽孔阻抗技術

如圖 3a 所示，鑽孔阻抗係透過一馬達驅動探針進入材料，偵測材料對探針的抵抗強度，當材料密度高時，則材料對探針的阻抗高；當材料密度低時，則材料對探針的阻抗低（圖 3b），意即鑽孔抵抗值與密度間存有極高的相關性（圖 3c），因此鑽孔的阻抗的曲線，可轉變成密度曲線，作為評估樹幹內部材質劣化情形之指標（Rinn, 2012; 邱志明等，2008）。相關研究已證實對於真菌腐爛、木材缺陷具高度靈敏(Eckstein and Sass, 1994; Schwarze, 2008; Henriques et al., 2011; Sharapov et al., 2018)，可測量並確定木材如木結構中有關的腐爛程度、殘存橫截面，以及量化孔洞的情況(Sharapov et al., 2020; Branco et al., 2017; Frontini, 2017; Imposa et al., 2014)，已在澳洲、紐西蘭等處被應用於伐採前評估林分平均木材質量的工具(Downes et al., 2022)。



c)

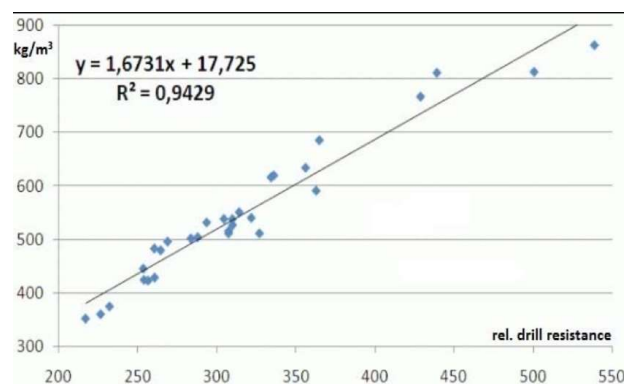


圖 3. 鑽孔阻抗技術試驗法原理

(a, b: Niemz and Mannes, 2012 ; c: Rinn, 2012)

五、傾斜度計

傾斜度計可以監測樹幹或巨型樹枝等標的物之傾斜角度，可分為簡易版及專業版 2 大類。其中簡易版優點為成本低，缺點為須至現場觀察記錄，無即時或預警之功能；專業版由傳輸器與接收器所組成，具有下列優點，如可以重複使用、可變更受試樹、可即時監測傳輸至管理至人員、可獲得並記錄不間斷的數據、可以在災害發生前示警、資料易長期紀錄有利於學術研究等，然其成本較高。

專業版傾斜度計內之感測器裝有電解液和導電觸點，當感測器發生傾斜度變化時，電解液液面相對觸點的部位發生了改變，導致輸出電量改變如圖 4。由於傾斜量與輸出電量呈對應關係，因此可測出被測結構物的傾斜角度，亦可顯示以零點為基準值的傾斜角變化的正負方向。在結構物（或巨木）安裝傾斜度計，可測得目標物的傾斜度；若搭配傳輸系統，可以進一步進行即時監測、紀錄與預警；透過架設安排（如二維方向或多點設立）更可獲得二維變形等。

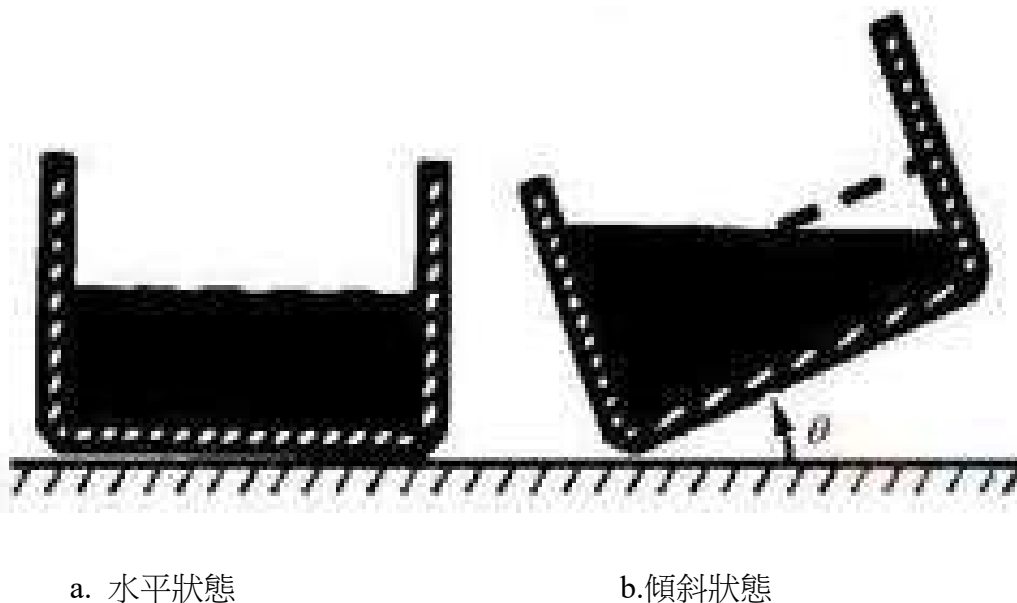


圖 4. 傾斜度計液體擺動現象

參、研究方法

一、重要工作項目

本計畫重要工作項目可以以圖 5 簡示，包含現地背景資料取得、樹木現況調查、目視檢測樹木健康狀況與活力、受試樹的確定、儀器檢測、風險評估等，詳細方法內容見以下工作項目說明。

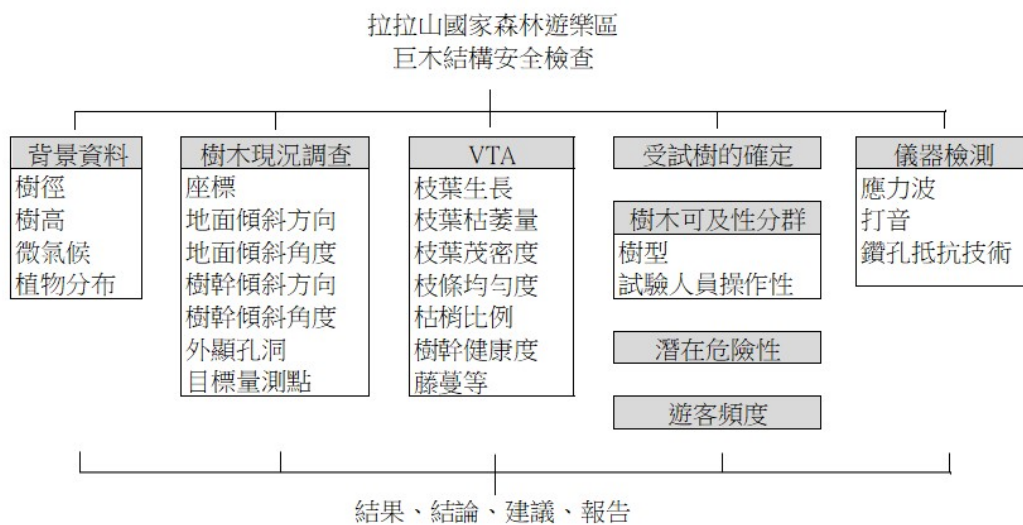


圖 5. 本計畫之重要工作項目

二、工作項目說明

（一）、現地背景資料取得

依據本案研究需要，針對新竹林管處拉拉山國家森林遊樂區巨木群轄區範圍內之巨木進行樹徑、樹高及環境等資料之收集。

（二）、樹木現況調查

園區內巨木之現地狀況，含樹木基本資料及形狀，如樹木座標、地面坡向、坡度、樹幹傾斜方向、傾斜角度、外顯孔洞、目標量測點之預定等。

（三）、目視檢測樹木健康狀況與活力

園區內於地面觀察樹幹、枝葉分佈及生長狀態（如葉色、大小、枯黃、萎縮、茂密度、枯梢比例等），以判定健康與活力狀況。

（四）、受試樹的確定

受試樹之確定包含3大考量，包含樹木可及性分群、潛在危險性及遊客頻度等。其中，有關樹木可及性分群之定義及分類法將依樹型之完整性與試驗人員操作的難易程度將受試樹如圖6分為下述3群：

1、可及性高：樹型完整（斷面接近圓形）；試驗人員無需輔具協助

即可進行應力波、橫向打音等技術及鑽孔阻抗技術等試驗之樹。

2、可及性中等：樹型不甚完整（斷面接近橢圓形）；試驗人員需簡

單輔具方可進行應力波、橫向打音等試驗之樹。

3、可及性低：樹型不完整（斷面非圓形或橢圓形）；試驗人員雖經

專業輔具尚難進行試驗。



圖 6. 將受試樹分為高、中、低三群

潛在危險性係考慮樹木與步道相對位置，一旦傾倒對遊客及周邊樹木影響。

遊客頻度係以遊客於步道行經該樹時停留時間分群，即高（停下腳步、拍照、稍作休息）、中（停下腳步、拍照）、低（快速通過）等三群。

（伍）、儀器檢測

經綜合考量樹木可及性分群、潛在危險性及遊客頻度等因子選定受試樹後，再進一步進行橫向打音、應力波及鑽孔阻抗技術等儀器分析。

1、橫向打音法

量取樹幹目標高度之周長（ C ），再以木槌橫向槌擊樹幹一側，另測以攜帶式 FFT 頻譜分析儀（Rion, Scantek, Columbia）測定頻譜一次共振頻率（ fr_1 ）。每敲擊點取 3 次槌擊之平均值，並計算樹幹周長度與一次共振頻率乘積（ $fr_1 \cdot C$ ）。此乘積將與正常實心樹幹之乘積相比，藉以推定樹幹之空心程度（李金梅等，2014）。

2、應力波法

於樹幹目標高度以雙偵測器之應力波儀器（Fakopp®, Agfalva, Hungary）或多偵測器之應力波儀器（Fakopp®, ArborSonic 3D）進行試驗。將探針固定入樹幹，敲擊後測量樹幹胸高應力波穿透所需時間。計算出不同方向穿透時間之比例，藉以推估樹幹斷面之空心程度及可能方位。

3、鑽孔阻抗技術

於樹幹目標高度以阻抗圖譜儀測量不同方位的阻抗。將 50 cm 微針鑽入樹幹，測定微針迴轉時，鑽孔阻抗儀（IML-RESI PowerDrill®）承受的相對動力能量消耗值，此相對動力能量消耗值即為鑽孔抵抗值。

肆、執行情形

一、巨木現況初步診斷

期初報告之執行期間為 110 年 8 月 17 日至 8 月 31 日，主要工作項目係就園區巨木進行背景資料收集與測量（含樹高、胸圍、經緯座標、坡向等）、樹木現況調查（樹型）、目視檢測（樹幹、枝葉分佈、葉活力等）及受試樹的確定（樹木可及性分群、潛在危險性及遊客頻度等）。

記錄園區巨木之經緯座標及坡向，收集樹高、胸圍等資訊後，將受試樹樹高之 1.5 倍範圍以圓圈標示，供作樹木一旦倒伏可能影響範圍之推估（圖 7，編號請參考表 1 及表 2）。

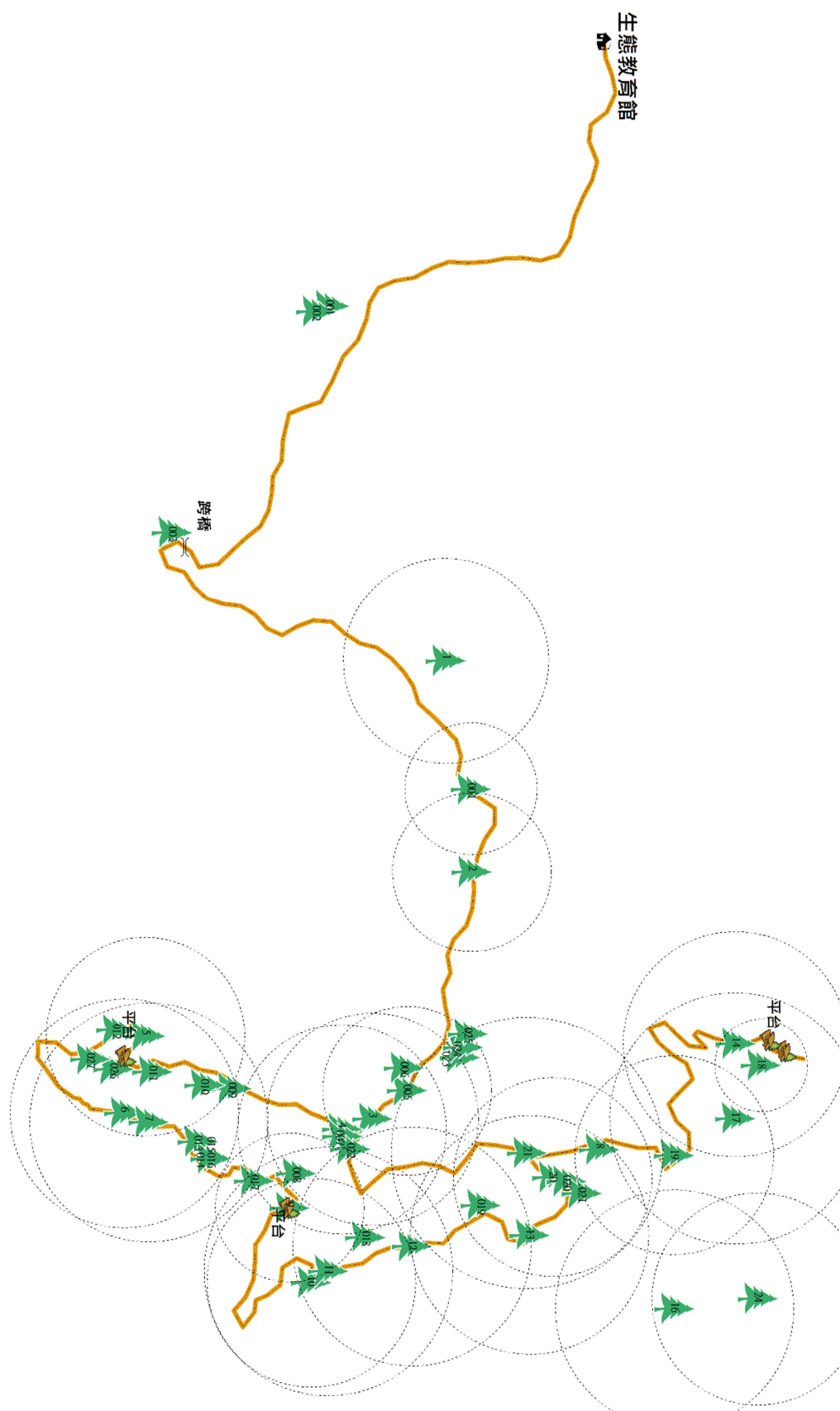


圖 7. 受試樹倒伏可能影響的範圍

現場勘查及初步調查結果，園區內巨木生長狀況大致良好，部份樹冠樹幹比適中或偏大，枝條延伸，於颱風來時受風面積大，需予留意。綜合評估結果依序逐株詳述於 P.15～P.99，另園區內已編號之巨木匯整摘列於表 1；非編號之巨木匯整摘列於表 2。

依可及性之高、中、低將園區內巨木予以分群，結果顯示園區內並無可及性高且可立即進行試驗之巨木；可及性中者有第 1、7、9、11、14、16、19、20、21 及 24 號等巨木、可及性低者有第 2、3、4、5、6、10、12、13、17 及 18 號等巨木。

其中，第 2、3、4、5 及 11 號等巨木因以目視評估法判斷結果對遊客有潛在危害，故有評估之必要，然因現場坡度陡峭，試驗人員及儀器難以接近，後續需架設平台或引入攀樹技術，方能進行試驗及相關評估。

二、檢視結果

園區內有編號之巨木共 24 株，其中有 4 株(編號第 8、15、22、23 號)未以 VTA 檢視亦未進行儀器分析，主要係因該巨木遭雷劈、火燒、風災倒伏或遊客用火不當等原因致使樹幹中空、開裂、折斷、傾倒而呈枯槁白木狀甚至死亡。其餘 20 株有編號之巨木進行背景資料調查及 VTA 檢視，另針對潛在危險性高之 5 株巨木進行儀器測試，試驗結果詳述如下，另彙整於表 1。

(一)、1 號巨木

1 號巨木樹高 41 m，胸圍 9.8 m，樹型為圓形（另側略扁）。樹冠下少枯枝及枯葉，面溪谷側有斷枝向西北延伸，不危及遊客；主幹部分枝條往步道上方延伸，樹幹基部有些微損傷，整體評估風險低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測。

由於 1 號巨木位於斜坡，下方陡峭，坡向 320 西北，順著坡向根張明顯，不利人員檢測操作，可及性中(若欲以儀器進行樹木健康度檢測，需架平台或請攀樹師執行)；全株在步道下方，且步道下的主幹已斷，對遊客危害風險低，且現場遊客頻度為中，故判斷該巨木儀器檢測必要性低（圖 8）。



圖 8.1 號巨木生長情形與位置

(二)、2 號巨木

2 號巨木樹高 32 m，胸圍 11.2 m，樹型極為橢圓，樹冠偏小，樹幹分叉後，主幹延伸不明顯。全株有許多斷枝及枯枝等，有落枝疑慮；主幹枝條向步道方向(北方)延伸，多處樹枝折斷所造成的孔洞延伸至樹幹內部。順著坡向根張強烈，根部落差大，有生物性危害，樹根裸露，有浮根跡象，且部分土壤掏空。

2 號巨木順著坡向根張強烈，顯示橢圓樹幹在坡下側有強大壓縮反應材發生，此反應材有使樹幹朝上方生長之機能，故橢圓樹幹對樹木安全性能很有幫助。一般而言，橢圓樹幹具有較高的安全性，這也是 VTA 用來判定樹木安全性的重要依據，若非橢圓樹幹，斜坡上的樹木可能早已倒伏，難以形成巨木。2 號巨木樹根於上下坡高度差以卷尺垂降測得達 8.61m。

一般進行樹木非破壞試驗時，試驗點多設於樹幹胸高處，或特別需觀察處。本研究於現場進行儀器試驗時，為獲得非單一平面的試驗結果，於樹幹 2 高度處進行試驗。為獲取具代表性之 2 高度，於 2 號巨木上坡之胸高處為低點目標高度；另高點目標高度為避開上方無法測量部位，並考量與低點目標高度有相當距離，故訂為低點目標高度上方大於 1.5m 處。若由步道側（下坡）量測，高點目標高度與低點目標高度之高度分別為樹幹 10.56m 及 8.72 m；樹圍分別為 6.26 m 及 7.12m（圖 9）。



圖 9.2 號巨木主幹設立 2 目標高度示意圖

由圖 10 可見，2 號巨木於樹高 14.3m 處分為 3 叉，其中，往東北方大叉（黃色箭號）上再分出 2 中叉，往西北方之中叉（紅色箭號）已斷裂，2 號巨木經三種非破壞性儀器測試結果如下：

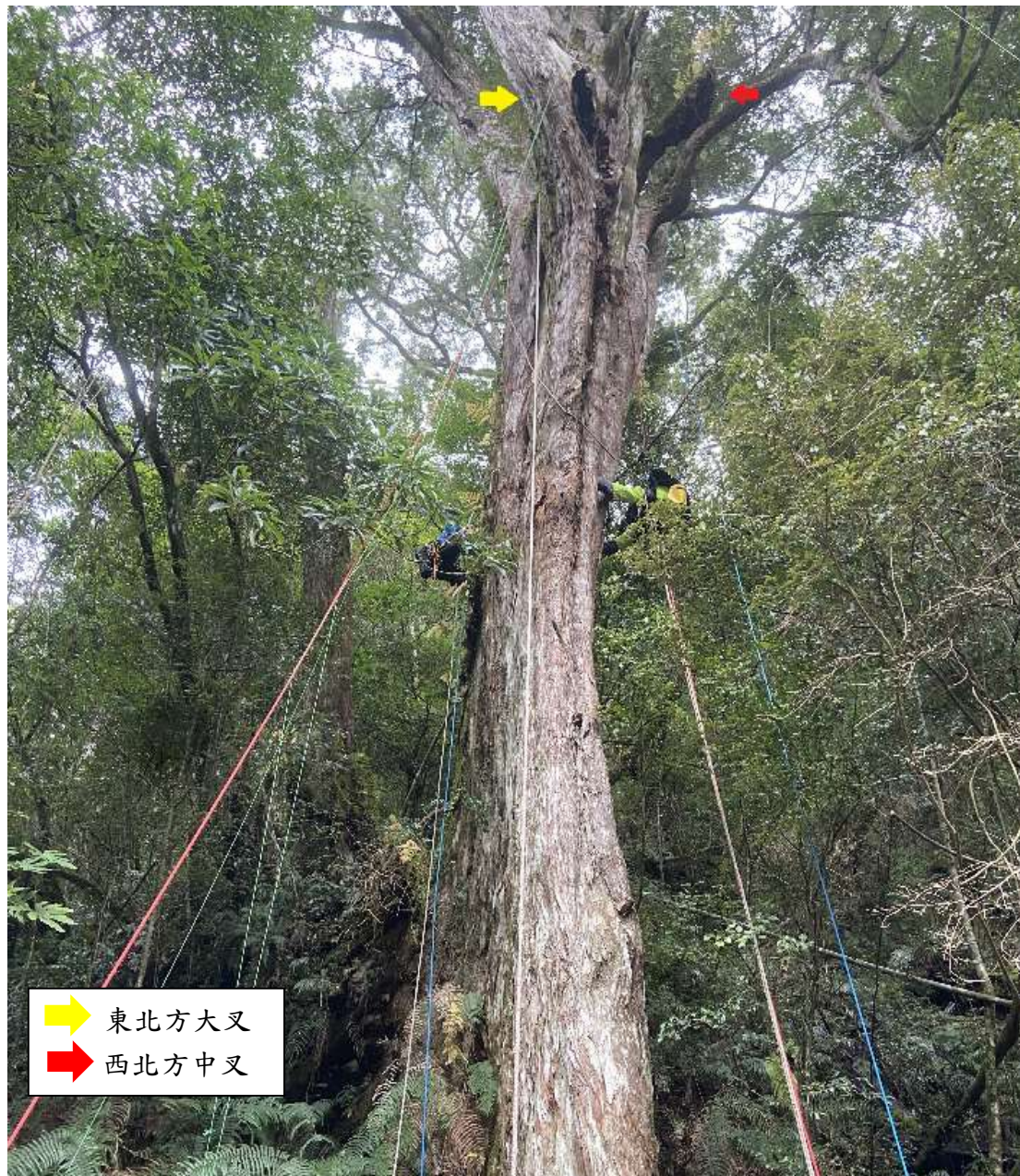


圖 10.2 號巨木主幹上方分叉位置示意圖

1. 橫向打音試驗

於 2 號巨木高點目標高度 (10.56m) 處以木槌槌擊樹幹一側，另測以攜帶式 FFT 頻譜分析儀 (Rion, Scantek, Columbia) 測定頻譜一次共振頻率 (fr_1)，每敲擊點取 3 次槌擊之平均值，槌擊方向與收音分為 4 種方向，如圖 11，由左到右分別為：長軸 180 度、長軸 90 度、短軸 180 度、短軸 90 度。



圖 11.2 號巨木打音試驗依槌擊方向與收音分為 4 種方向

將所測得之一次共振頻率 (fr_1) 與樹圍相乘，所得乘積 ($fr_1 \cdot C$) 與正常實心樹幹之乘積比較，藉以推定樹幹之空心程度。

經量測高點目標高度之樹圍 (C) 為 6.26m，以橫向打音法測得之一次共振頻率 (fr_1) 平均值為 55-120 Hz，故 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值為 344-751 Hz·m，較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz·m 低 (許富蘭等，2013；附錄 2)，屬於中高度劣化。

另於低點目標高度 (8.72 m) 處重複上述試驗，其樹圍 (C) 為 7.12m，橫向打音一次共振頻率 (fr_1) 平均值為 45-65 Hz，其 $fr_1 \cdot C$ 之值為 320-463 Hz·m，較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz·m 低，屬於高度劣化，劣化程度略大於高點目標高度。

2. 應力波

2 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測，高點目標高度與低點目標高度試驗位置如圖 12，應力波波速表如表 3，圖示結果顯示 2 號巨木內部有大孔洞。

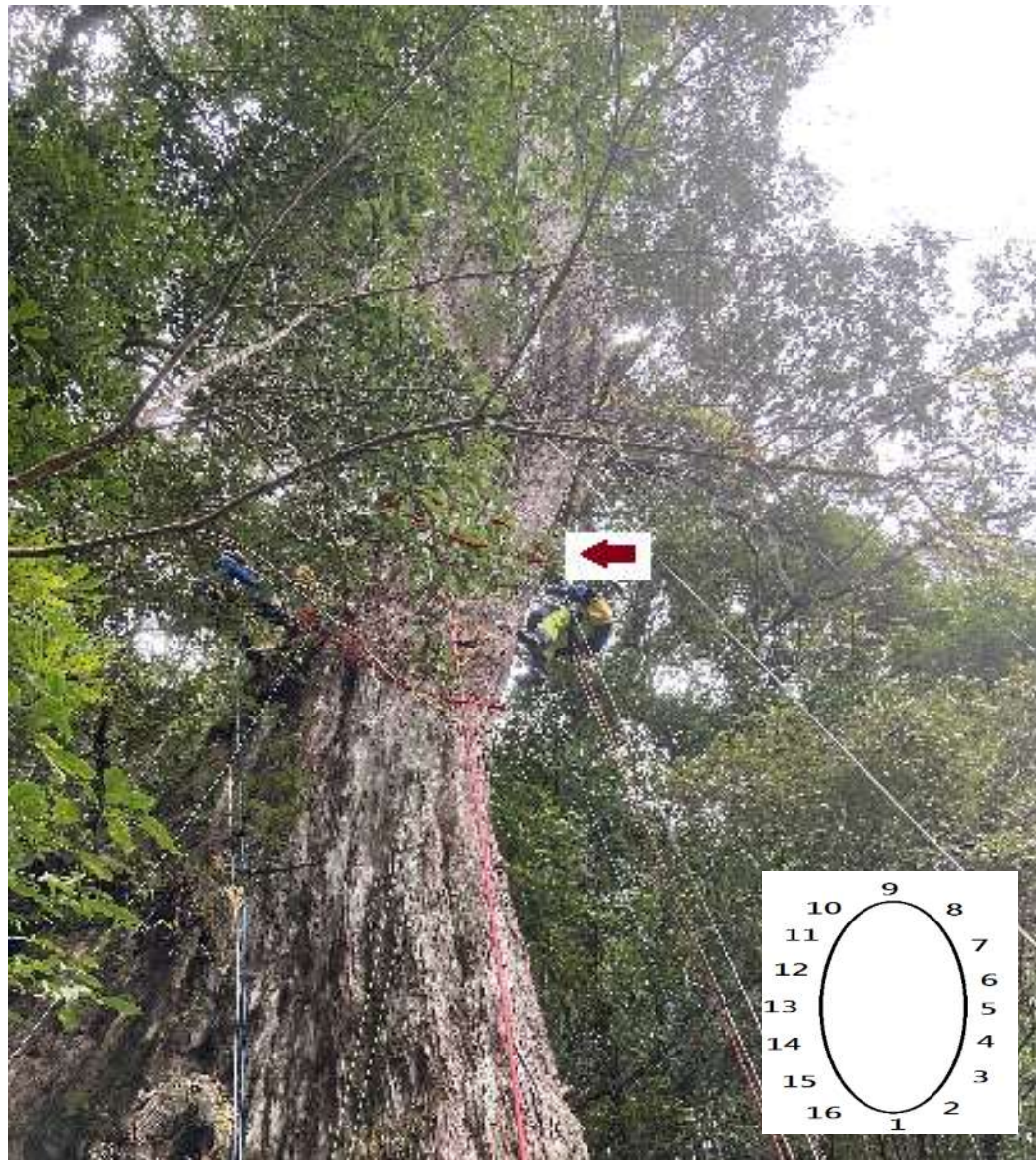


圖 12. 2 號巨木應力波試驗位置圖

經攀樹師於 2 號巨木分叉上方進行觀察，往西北方之中叉斷裂處所產生之孔洞之橫斷面成水滴狀，此洞往上有 30cm 直徑之孔洞，深度大於 2.5m，內部碳化無透空；此洞往下有短軸約 60cm、長軸約 90cm 之孔洞，其深度以卷尺垂降測量約 13.8m，洞內壁成焦黑狀，疑似曾遭雷擊所致；而往東北方之中叉枝葉茂密、生長旺盛，雖為封閉叉，然其下方有延伸至樹底之孔洞，且在步道上方，若此枝幹量體增大則有斷裂之風險，故另設試驗點並以鑽孔阻抗儀進行檢測。

3. 阻抗圖譜儀

2 號巨木以阻抗圖譜儀進行試驗（微鑽針長度 50 cm），試驗位置主要分為 3 區，如圖 13 由左至右分別為高點目標高度、低點目標高度及東北大叉之中叉。



圖 13.2 號巨木阻抗試驗位置

（由左至右分別為高點目標高度、低點目標高度及東北大叉之中叉）

於高點目標高度水平面之長短軸端點各 1 點進行量測（長軸約 262 cm，短軸約 126 cm）。試驗結果如圖 14 及附錄 2，長軸方向近下坡（步道），壁厚完整之長度超過 50 cm，長軸方向 t/R 大於 38%，強度良好且殘留壁厚足；長軸方向近上坡，壁厚長度亦超過 50 cm，惟部份（距壁 16, 20, 28-32, 36, 39, 41cm 處）強度較弱，長軸方向 t/R

大於 38%，強度好且殘留壁厚足。短軸方向近西方處，壁厚完整之長度約 48 cm，惟部份強度較弱，因短軸距短，故 t/R 達 76%，強度可且殘留壁厚足；短軸方向近東方處，壁厚長度超過 50 cm，惟部份強度較弱， t/R 大於 79%，強度好且殘留壁厚足。整體而言，2 號巨木高點目標高度以阻抗圖譜儀分析結果強度可。

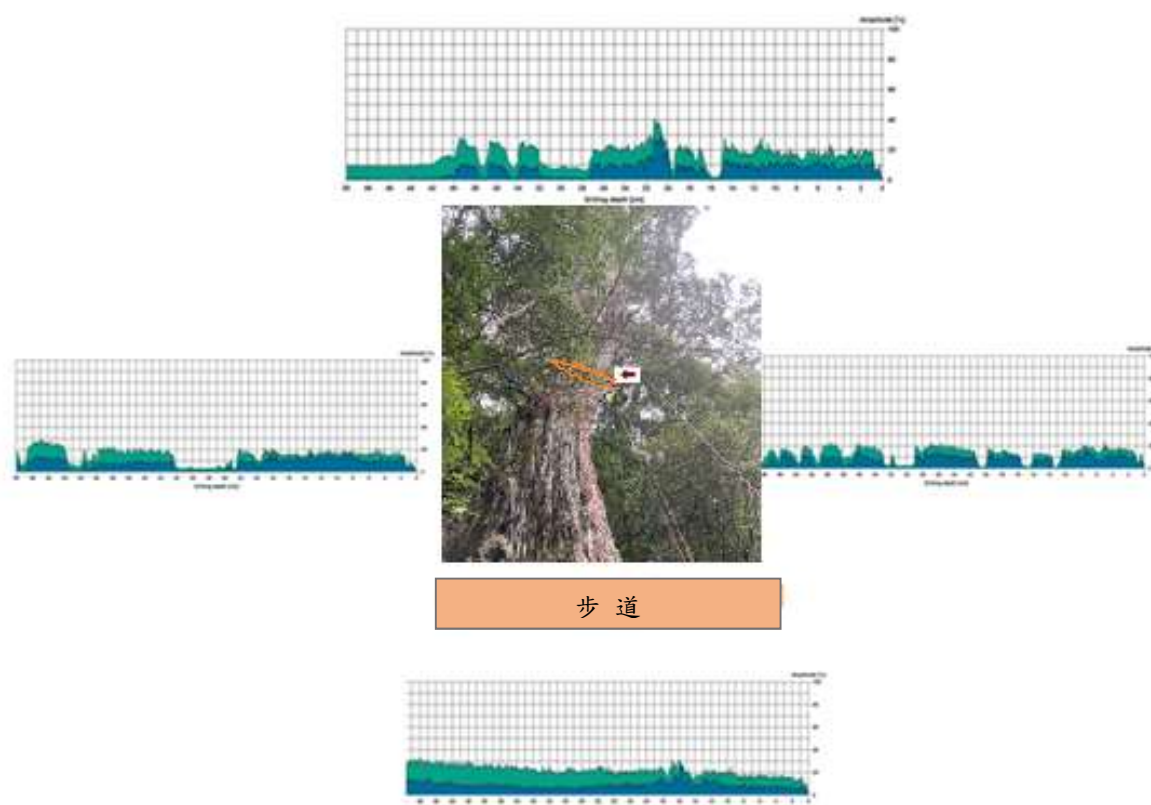


圖 14.2 2 號巨木高點目標高度阻抗試驗結果

低點目標高度水平面長短軸端點各 1 點進行量測(長軸約 310 cm，短軸約 112 cm)。試驗結果如圖 15 及附錄 2，長軸方向下坡(近步道)，壁厚完整之長度超過 50 cm，長軸方向 t/R 大於 32%，強度良好且殘留壁厚足；長軸方向上坡壁厚長度超過 50 cm，惟部份強度較弱，長軸方向 t/R 大於 32%，強度好且殘留壁厚足。短軸方向近西方處，具強度之壁厚約 31.5 cm，惟其中部份強度較弱，因短軸距短，

故 t/R 達 56 %，強度可且殘留壁厚足；短軸方向近東方處，壁厚完整之長度約 33 cm，惟部份強度較弱， t/R 大於 58%，強度可且殘留壁厚足。整體而言，2 號巨木低點目標高度以阻抗圖譜儀分析結果強度尚可，然較高點目標高度差。

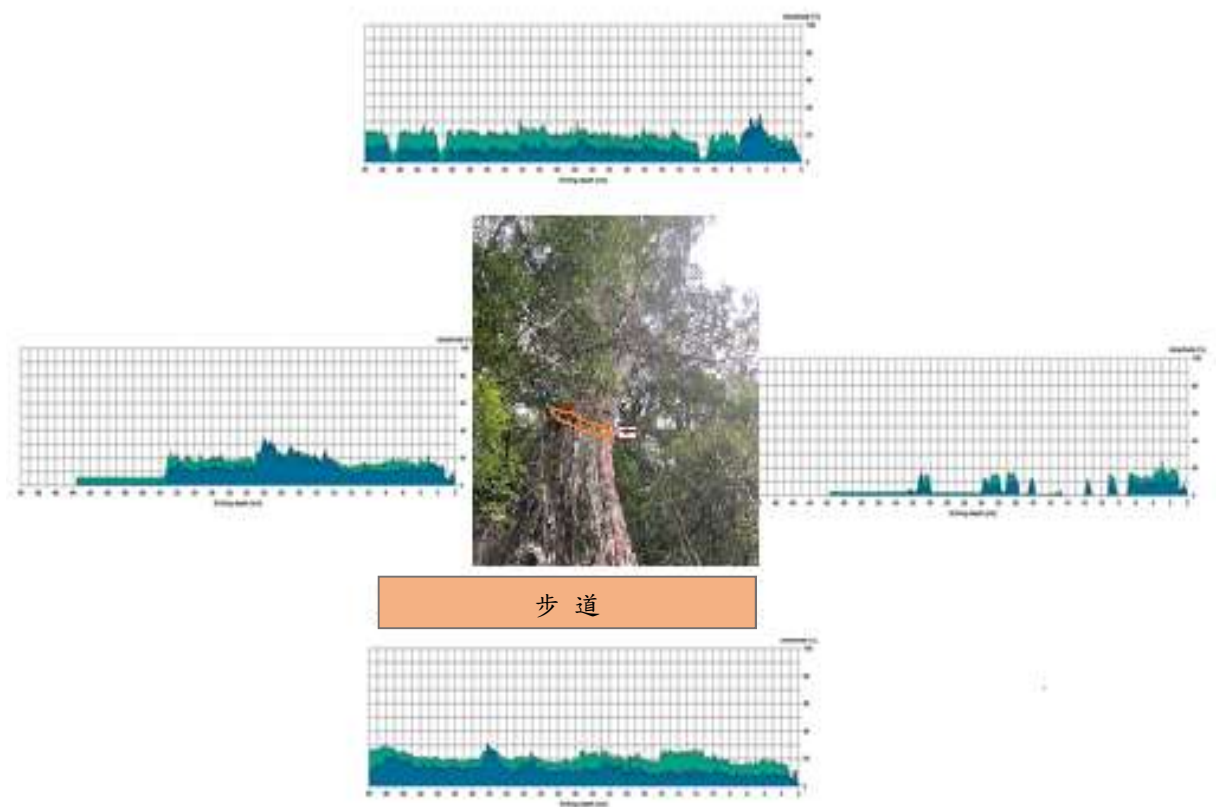


圖 15.2 號巨木低點目標高度阻抗試驗結果

東北大叉短軸於孔洞上下點各 1 處進行量測該處樹(圍 231 cm)，試驗結果如圖 16 及附錄 3，上方壁厚完整之長度約 19 cm，長軸方向 t/R 約 51%，強度良好且殘留壁厚足；下方壁厚完整之長度約 23 cm，長軸方向 t/R 約 56%，強度良好且殘留壁厚足。顯示孔洞上下方具相當強度，惟孔洞處壁薄，一旦上方枝條生長旺盛，量體擴大，恐孔洞處無法承受而斷裂。

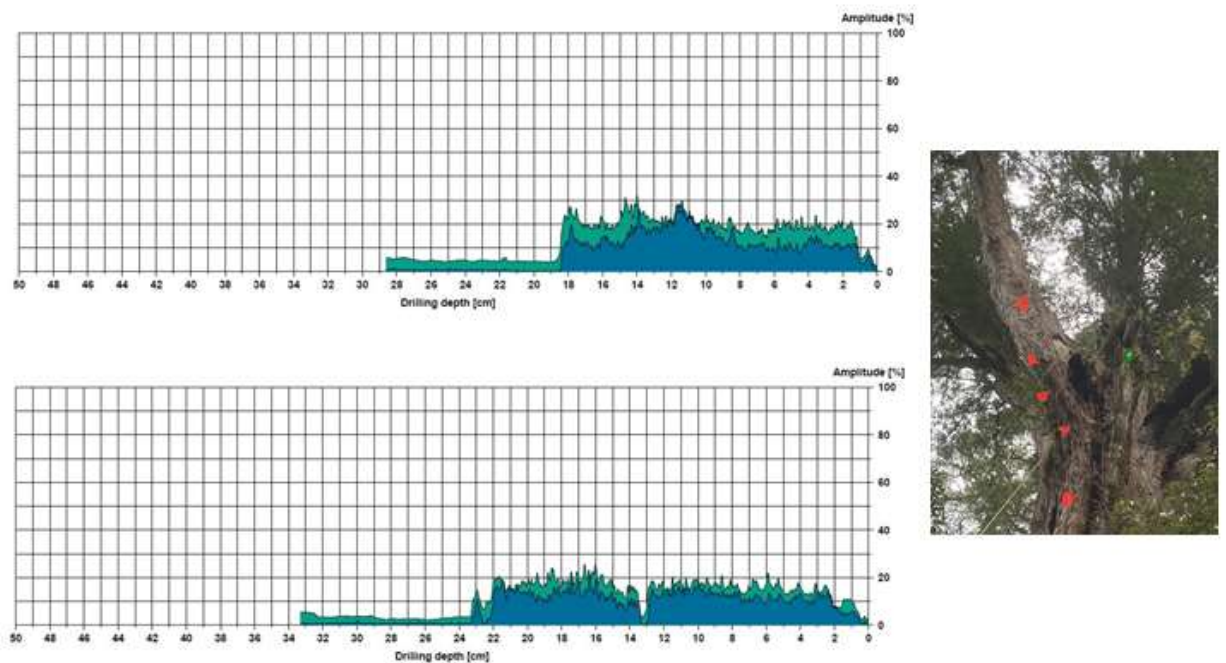


圖 16.2 號巨木東北方大叉枝幹阻抗試驗結果

比較三種非破壞試驗結果顯示，2 號巨木於臨下坡側非完整的橢圓形，該處是否為多樹合併後結果，建議後續另行試驗研究，惟應力波分析時，受軟體限制，以完整橢圓形概念下進行評估所得之圖示有略誇大其內部孔洞比例之傾向，故應配合應力波數值（表 3）、橫向打音及鑽孔阻抗試驗結果，綜合參考較佳。

綜上所述，2 號巨木主幹內部雖有孔洞，惟主幹支持部位強度尚足，然而中空部位過大有可能向廣場方向傾或先劈裂後再上半折斷；而樹幹上方分叉枝條因有脫落危險，建議應留意其量體，避免過大，並設立「請勿逗留」告示牌，請遊客注意，或盡早移除。另樹根土石略有掏空，建議進行傾斜度計監測，並進行坡面沖蝕測試，以免有土石掏空致使傾倒的風險。

(三)、3 號巨木

樹高 43 m，胸圍 10.2 m，樹型橢圓，樹冠樹幹比偏小，樹冠下方有許多枝條偏向步道(北北東)生長。主幹上方分叉為 2 支幹，靠上坡側之支幹斷裂，斷裂處孔洞沿樹幹往樹底延伸；沿步道側之支幹上方有枝條，生長旺盛並延伸至步道正上方，枯枝一旦掉落，可能落在 4 號神木的上坡處，一旦向下滾動將影響至 4 號神木。

樹根裸露有浮根，順著坡向根張強烈，顯示橢圓樹幹在坡下側有強大壓縮反應材發生，此反應材有使樹幹朝上方生長之機能，故橢圓樹幹對樹木安全性能很有幫助。為獲得立體模式 3 號巨木之立體圖示，另以空拍機進行建模（圖 17）。

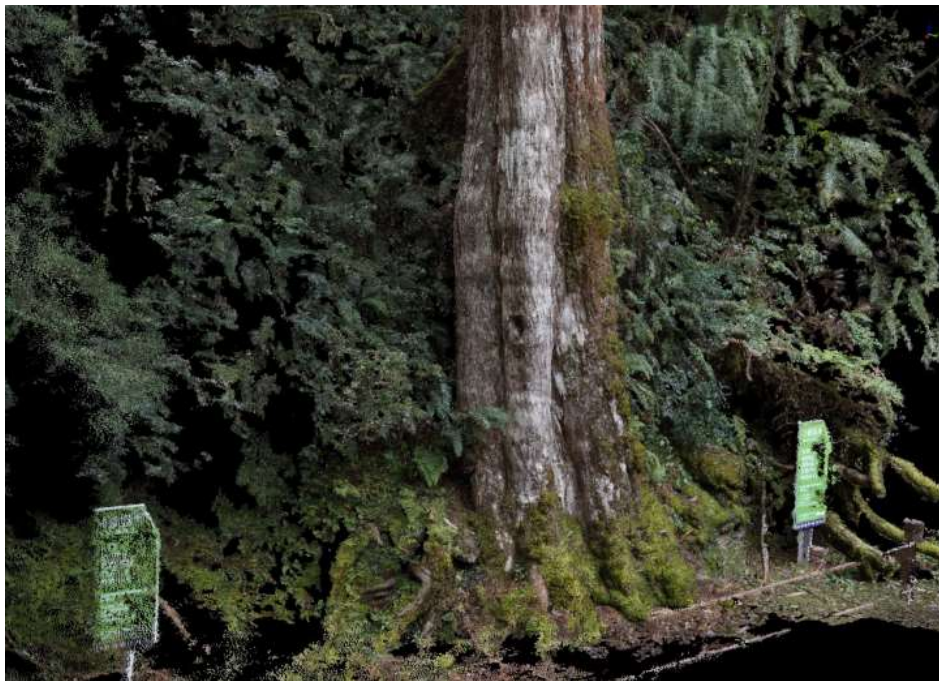


圖 17.3 號巨木以空拍機進行建模

為獲得非單一平面的試驗結果，現場進行 2 層高度之試驗，由上坡之胸高處為低點目標高度，另高點目標高度為避開上方無法測量部位，並考量與低點目標高度有相當距離，故訂為低點目標高度上方

1.5m 處。由步道側（下坡）量測，試驗高度分別為 9.69 m 及 8.16 m；量測結果由步道側（上坡）量測，試驗高度分別為 2.85 m 及 1.35 m，下坡高度差達 6.84 m，檢測之目標高度如圖 18，3 號巨木經三種非破壞性儀器測試結果如下：

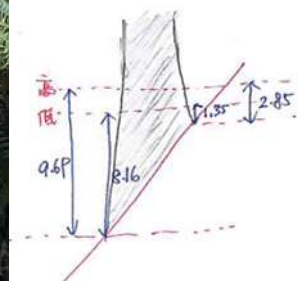
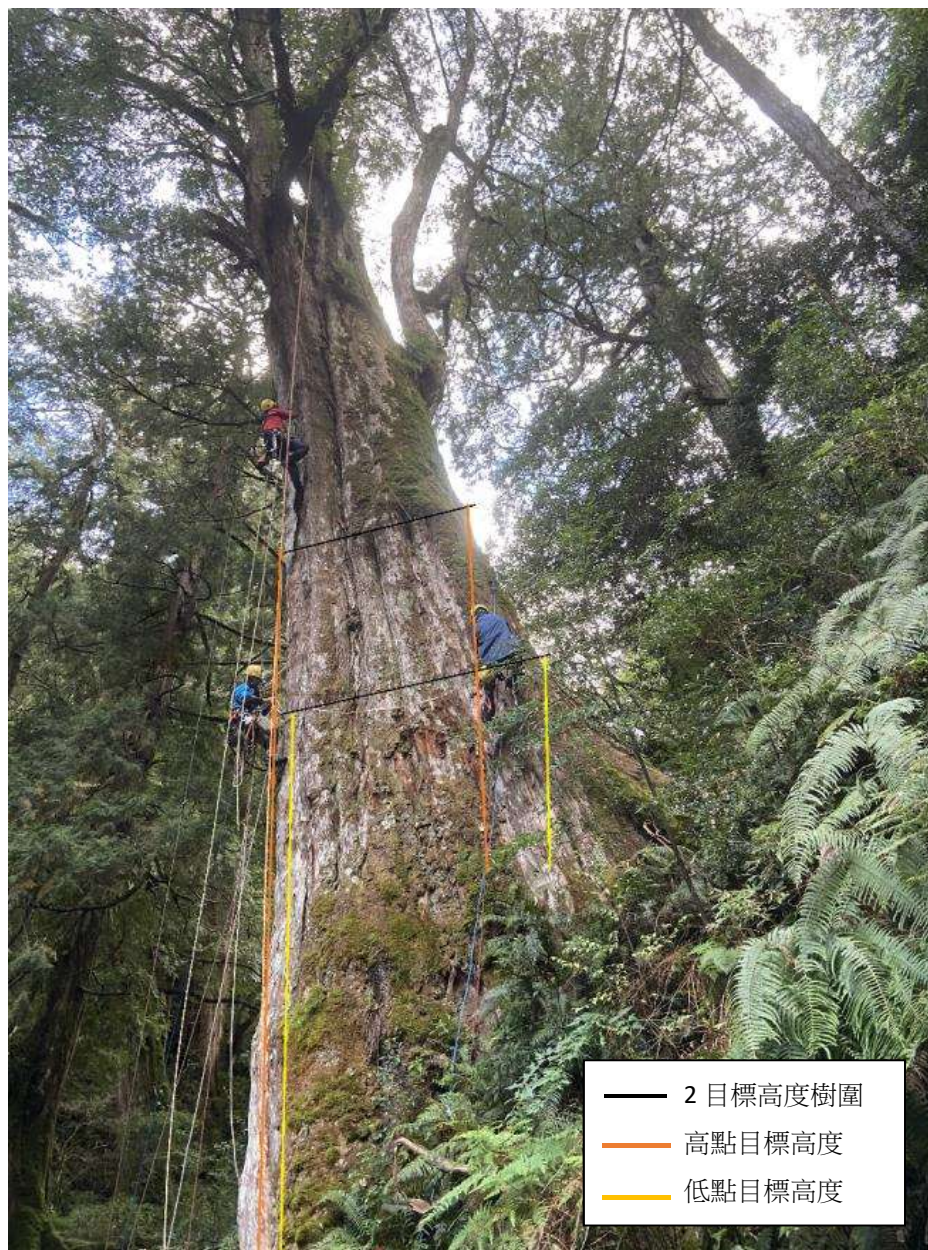


圖 18.3 號巨木的 2 試驗目標高度示意圖

1. 橫向打音試驗

3 號巨木低點目標高度之周長 (C) 為 8.50 m，橫向打音一次共振頻率 (fr_1) 為 25-40 Hz，其 $fr_1 \cdot C$ 之值為 212.5-340 Hz · m，較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz · m 低，屬於中高度劣化。

2. 應力波

3 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測，試驗結果因長軸方向波速低於儀器偵測極限，無法以圖呈現，其應力波波速詳表 4，顯示內部有大孔洞，此結果與橫向打音結果一致。

3. 阻抗圖譜儀

3 號巨木以阻抗圖譜儀（微鑽針長度 50 cm）試驗結果如圖 19 及附錄 3，藍色為鑽入推力曲線、綠色為材值阻抗曲線，以綠色曲線為主。於同一水平面試驗結果顯示：主幹近下坡處（圖 19 標示為 8、9、12）強度良好（達 20% 以上），且厚度超過 50 cm；主幹近上坡處（圖 19 標示為 10、11）強度 20% 以上之厚度較少，部份低於 40 cm，顯示 3 號巨木內部孔洞偏上坡處。

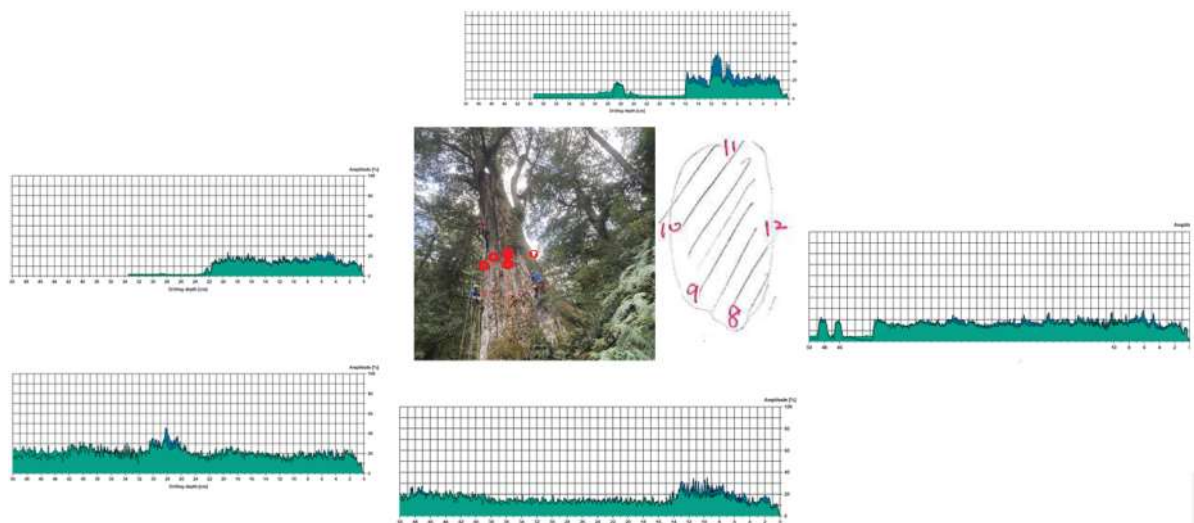


圖 19. 3 號巨木高點目標高度平面阻抗試驗結果

3號巨木不同高度及低點目標高度平面阻抗試驗結果如圖 20 及附錄 3，於低點目標高度平面試驗結果顯示：主幹近下坡處（圖 20 標示為 16）強度良好（達 20%以上），且厚度超過 50 cm；主幹近上坡處（圖 20 標示為 15）強度 20%以上之厚度較少，部份低於 40 cm，顯示 3 號巨木內部孔洞偏上坡處。主幹中軸不同高度顯示上下處強度好（達 20%以上）之厚度足，中間處強度達 20%以上者少，孔洞大。

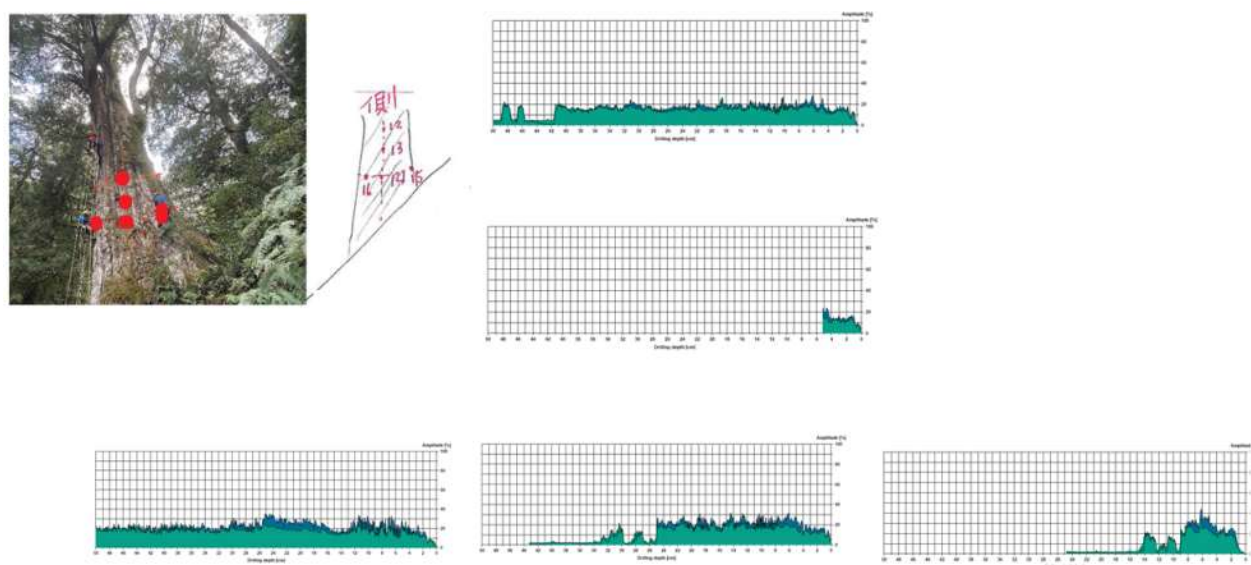


圖 20. 3 號巨木不同高度及低點目標高度平面阻抗試驗結果

經攀樹師於 3 號巨木樹幹分叉上方進行觀察，發現內部有孔洞由主幹延伸至樹底（圖 21），此孔洞由外部不易觀查。



圖 21.3 號巨木內部孔洞照

（左：內部孔洞照，由上往下方拍攝；右：巨木之立體圖示）

綜上所述，3 號巨木主幹內部雖有大孔洞，惟 $t/R > 30\%$ ，且主幹承重處（下坡處）之強度夠，故風險尚低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測；但因量體大且在步道旁，遊客逗留頻度高，故亦建議進行傾斜度計監測。另 3 號巨木亦屬於在斜坡上根張強極度橢圓之樹型，其應力波之測值易受軟體限制而有誇大其內部孔洞比例之傾向，故應配合應力波數值、橫向打音及鑽孔阻抗試驗結果，綜合參考較佳。該樹之極橢圓樹型是否為多樹合併後結果，建議後續可進行合併木研究。

(四)、4 號巨木

樹高 42 m，胸圍 9.8 m，樹型橢圓，樹冠樹幹比適中，樹冠下有許多枝條，偏北方向有枯枝。主幹分叉為 2 支幹，上坡側支幹的樹冠下方枝條多，斷枝亦多；下坡側支幹較傾斜，多有枝條。樹幹下方內部有大樹洞，高度超過 3 米，內有支持架及燒灼痕跡。傾斜樹幹下方樹皮剝離嚴重，樹根處有觀察到浮根、掏空、生物(真菌)危害等現象。

順著坡向根張強烈，顯示橢圓樹幹在坡下側有強大壓縮反應材發生，此反應材有使樹幹朝上方生長之機能，故橢圓樹幹對樹木安全性能很有幫助。由外觀即可看到樹幹內部有明顯孔洞。

為獲得非單一平面的試驗結果，現場進行 2 高度之試驗。一般試驗高度多以胸高處進行，或以有異常欲加以觀察之處為目標高度。本試驗由上坡之胸高處為低點目標高度，另高點目標高度為避開上方無法測量部位，並考量與低點目標高度有相當距離，故訂為距 1.5 m 處。由步道側(下坡)量測，試驗高度分別為 8.70 m 及 7.20 m(如圖 22)，4 號巨木經三種非破壞性儀器測試結果如下：

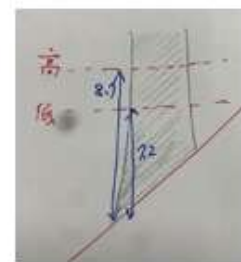


圖 22.4 號巨木的 2 試驗目標高度示意圖

1. 橫向打音試驗

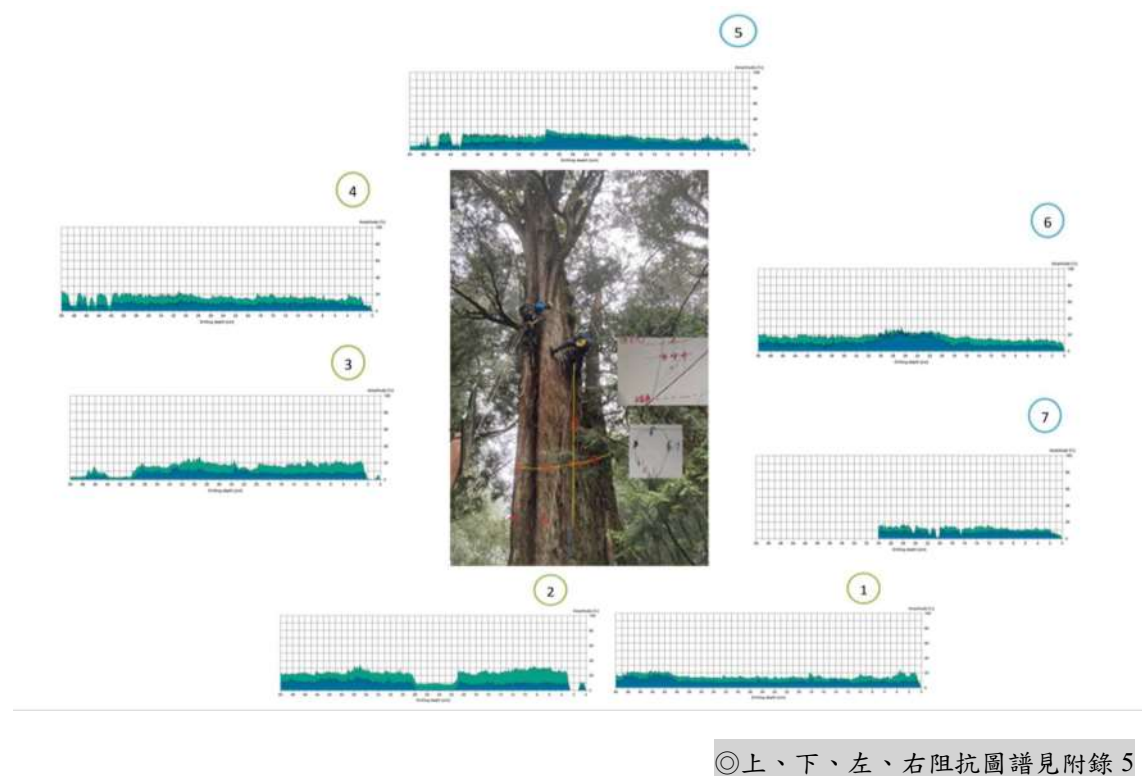
4 號巨木低點目標高度之周長 (C) 為 5.68 m，橫向打音一次共振頻率 (fr_1) 平均值為 18.75-80 Hz，其 $fr_1 \cdot C$ 之值為 106.5-454.4 Hz · m，較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz · m 低，屬於中高度劣化。

2. 應力波

4 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測，高點目標高度都顯示內部有明顯孔洞，其波速（介於 550 – 3300 m/s）詳表 5，此結果與橫向打音結果一致。

3. 阻抗圖譜儀

4 號巨木以阻抗圖譜儀（微鑽針長度 50 cm）試驗結果如附錄 4，由水平面試驗結果顯示：下坡處（圖 23 標示為 1、2、3、4）強度良好，且厚度超過 50 cm；樹幹上坡處（圖 23 標示為 5、6、7）強度良好處厚度較少，部份低於 40 cm，整體而言，主要承重處的強度尚足（圖 23）。



◎上、下、左、右阻抗圖譜見附錄 5

圖 23. 4 號巨木阻抗試驗結果

經攀樹師攀至 4 號巨木主幹上方分叉處觀察（圖 24），孔洞大且延伸至樹底，此洞口與步道處觀查之孔洞相通。4 號巨木除目視及儀器判視有明顯空洞，雖主幹支持部位強度尚足，然根部與土壤接觸面積不大，因此亦有倒伏之危險，建議立即設立告示牌，請遊客勿於樹下逗留，並建議以傾斜度儀進行長期即時監測，或增設拉力支持。另 4 號巨木亦屬於在斜坡上根張強極度橢圓之樹型，是否為多樹合併後結果，建議後續可進行合併木研究。



圖 24. 4 號巨木內部孔洞照

（左：內部孔洞照，由上往下方拍攝；右：外部孔洞照，近根處）

(五)、5 號巨木

5 號巨木樹高 40 m，胸圍 13.4 m，主幹分為 3 叉，坡向 75 東，樹冠下多有枝條及枯枝，其中，偏 100 東方向枝條脫落，下坡向(東北)及(東南)幹枝多且分別集中在 2 處步道上方；上坡向(西側)主幹枝條亦多，但不影響行人。樹根盤錯，順著坡向根張，有浮根、掏空之傾向，土壤退化。樹根順著坡向根張，顯示橢圓樹幹在坡下側有強大壓縮反應材發生，此反應材有使樹幹朝上方生長之機能，故橢圓樹幹對樹木安全性能有所幫助。下坡方向往東北 55 度之大叉，樹幹橢圓，呈 32.3 度傾斜（測斜 5.8 度），量體大，位於步道上方，一旦倒塌有可能影響到下方遊客，需以儀器進行分析；另一往東南 84.2 度之大叉，樹型橢圓，垂直向上生長，惟下方根部形狀特殊。

為獲得非單一平面的試驗結果，現場進行 2 層高度之試驗。為獲取具代表性之 2 高度，於 5 號巨木上坡之胸高處為低點目標高度；另高點目標高度為避開周邊闊葉樹的干擾，並考量與低點目標高度有相當距離，故訂為低點目標高度上方大於 3.74 m 處。若由下坡量測，高點目標高度與低點目標高度之高度分別為樹幹 14.7 m 及 11.3m；若由上坡量測，高點目標高度與低點目標高度之高度分別為樹幹 7.35 m 及 3.95 m，上下坡高度差達 7.35 m（圖 25），5 號巨木經三種非破壞性儀器測試結果如下：。



圖 25.5 號巨木主幹設立 2 目標高度

1. 橫向打音試驗

5 號巨木高點目標高度 (14.7 m) 處，其樹圍 (C) 為 3.72 m，橫向打音一次共振頻率 (fr_1) 平均值為 175-205Hz，其 $fr_1 \cdot C$ 之值為 632-760 Hz · m，較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz · m 低，屬於中度劣化。

另於低點目標高度 (11.3 m) 處重複上述試驗，其樹圍 (C) 為 4.40 m，橫向打音一次共振頻率 (fr_1) 平均值為 141-145Hz，其 $fr_1 \cdot C$ 之值為 616-638 Hz · m，較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz · m 低，屬於中度劣化，劣化程度略大於高點目標高度。

2. 應力波

5 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測，詳見表 6，試驗結果顯示高點目標高度中心略有孔洞，低點目標高度孔洞更大。

3. 阻抗圖譜儀

5 號巨木以阻抗圖譜儀進行試驗（微鑽針長度 50 cm），高點目標高度水平面於上坡處逆時針方向每 90 度取 1 點進行量測，共 4 點。試驗結果如圖 26 及附錄 5，4 點壁厚完整長度皆超過 50 cm，半徑約 59 cm，t/R 大於 84%，強度良好且殘留壁厚足。

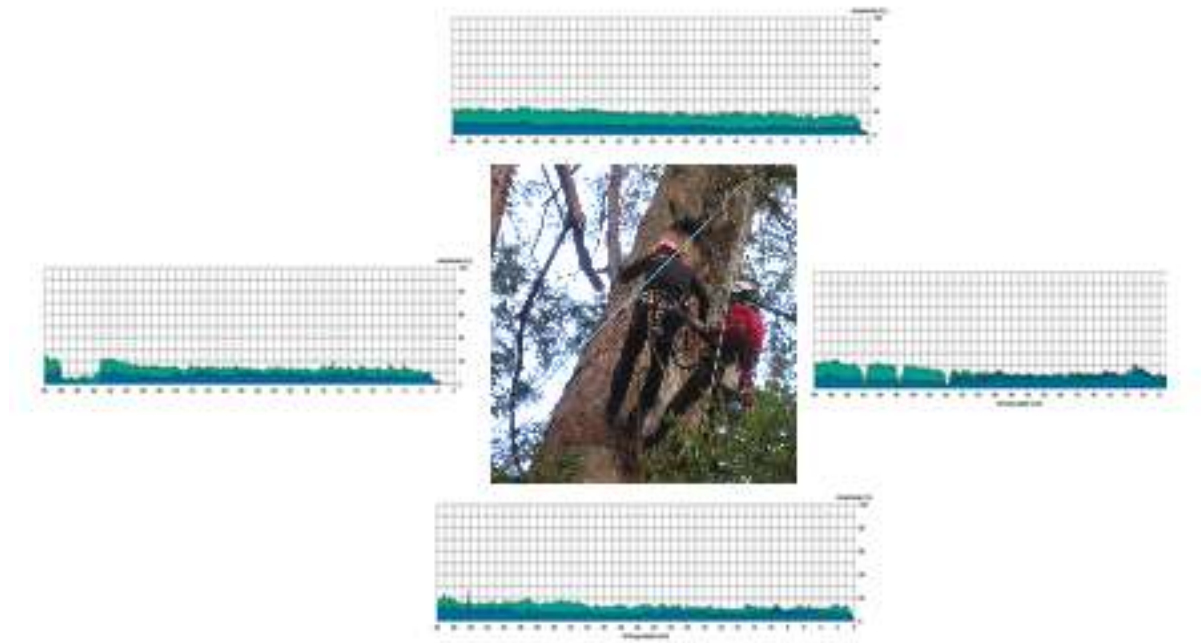


圖 26.5 號巨木高點目標高度阻抗試驗結果

低點目標高度水平面於上坡處逆時針方向每 90 度取 1 點進行量測，共 4 點。試驗結果如圖 27 及附錄 5，4 點壁厚完整長度皆超過 50 cm，半徑約 59 cm， t/R 大於 84%，強度良好且殘留壁厚足。



圖 27.5 號巨木低點目標高度阻抗試驗結果

另針對 5 號巨木根部往東南根部形狀特殊之大叉，以阻抗圖譜儀試驗。試驗結果如圖 28 及附錄 5，3 測點厚度皆超過 50 cm。

5 號巨木 3 種非破壞試驗結果良好顯示主幹殘留壁厚，建議平時以表 8 維管紀錄表進行監測。然而樹根盤錯，有浮根、掏空、土壤退化之傾向，建議設立告示牌，避免遊客踩踏土壤，並架設傾斜度計以利即時監測樹幹傾斜角度或進行坡面沖蝕試驗監測地面土體狀況。

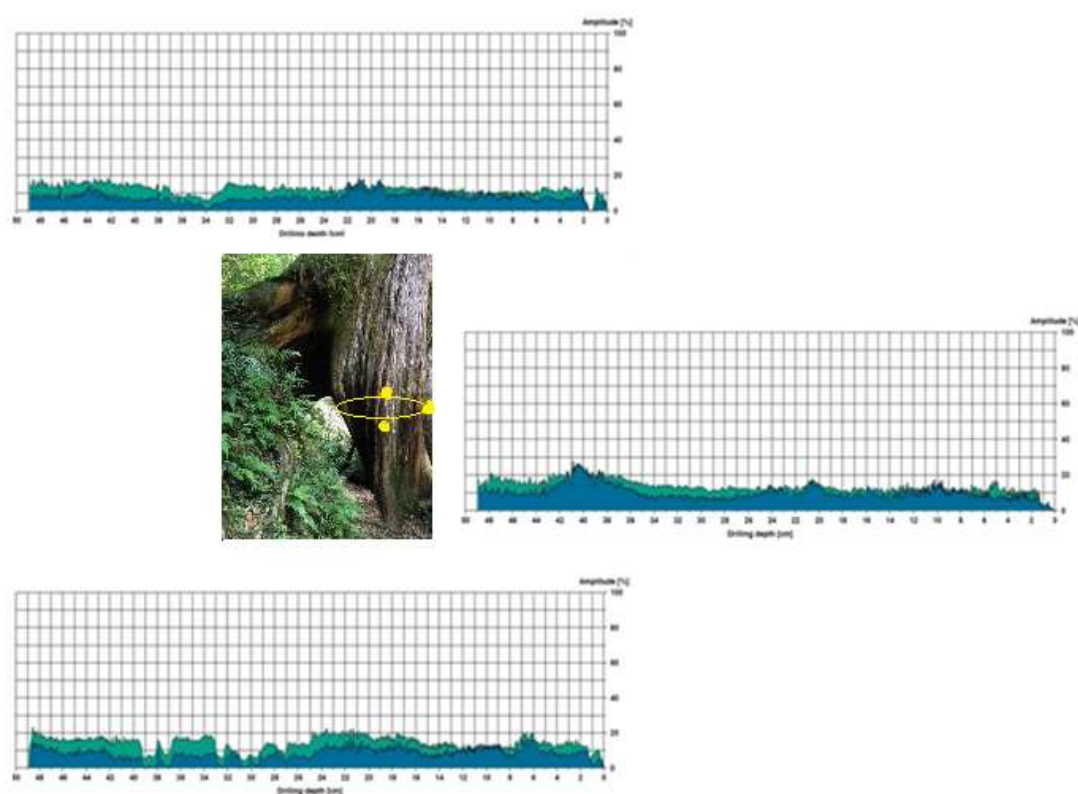


圖 28. 5 號巨木東南大叉根部阻抗試驗結果

(六)、6 號巨木

樹高 46 m，胸圍 7.6 m，樹型圓，主幹大，樹冠樹幹比大。樹冠下枝多，偏向 320 西北，枝條非常下垂(沿溪谷伸展)，多有折斷，主幹枝條向溪谷向(西南側)延伸，數量多且量體大，強風來襲時宜多留意，有殘存 2 枝粗大斷枝，樹幹上附生植物眾多。順著坡向根張，向溪谷面有反應材，有浮根。巨木位置在步道下方，對遊客危害風險不大，且遊客頻度低，綜合評估結果判定儀器檢測必要性低(圖 29)，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測。



圖 29.6 號巨木生長現況

（七）、7 號巨木

樹高 48 m，胸圍 7 m，樹型圓，坡陡，坡向 285 西，樹冠樹幹比大；樹冠下枝條多且非常下垂，偏向西沿溪谷伸展，枝條多有折斷及枯枝；主幹枝條茂盛，沿溪谷向延伸，宜注意強風斷枝；樹幹臨溪谷側樹皮翹起，附生植物眾多。順坡方向根張強烈，落差大，巨木位置在步道下方，對遊客危害風險低，且此區遊客頻度低，綜合評估結果判定儀器檢測必要性低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 30）。



圖 30. 7 號巨木生長現況

(八)、9 號巨木

樹高 30 m，胸圍 4.5 m，樹型圓，為區內唯一的扁柏巨木，坡向 20 北，樹冠樹幹比大，且下垂；枝條非常下垂，沿溪谷伸展，多有折斷；母株樹幹破斷，子株主幹存活，樹幹呈扭曲狀，樹皮開裂明顯可觀察到；上方可分為 4 支幹，枝條多、茂密、下垂，多沿溪谷方向，強風來襲時宜多留意；順著坡向根張強烈；根盤錯結，形成帳篷狀。巨木在步道下方，對遊客危害風險低，且遊客頻度低，整體評估風險低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 31）。



圖 31.9 號巨木生長現況

（九）、10 號巨木

樹高 42 m，胸圍 7.2 m，樹型圓，坡向約 220 西南，主幹多有枝條，向西南側粗大枯枝多，密集於步道上方延伸，強風來襲時宜多留意；樹幹西側表皮疑似有生物性危害，附生植物眾多，下坡樹皮翹起，樹高 1.5 倍範圍有可能影響下坡處，建議可以傾斜度監測，順著坡向根張強烈。巨木位置在步道下方，對遊客危害風險低，遊客頻度中，綜合評估結果判定儀器檢測必要性低，整體評估風險低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 32）。



圖 32. 10 號巨木生長現況

(十)、11 號巨木

11 號巨木樹高 50 m，胸圍 7.2 m，樹型圓，坡向 224 西南；主幹枝條多，上方可分為 3 支幹，西側有 2 支大型枯枝在步道正上方，西南向枯枝有折斷之垂枝；下坡樹皮翹；主幹木紋旋轉；順著坡向根張強烈。為獲得非單一平面的試驗結果，現場進行 2 高度之試驗。一般試驗高度多以胸高處進行，或以有異常欲加以觀察之處為目標高度。本試驗由上坡之胸高處為低點目標高度，另高點目標高度為避開上方無法測量部位，並考量與低點目標高度有相當距離，故訂為距 1.5 m 處，由步道側（下坡）量測，試驗高度分別為 4.36 m 及 2.86 m（圖 33），11 號巨木經三種非破壞性儀器測試結果如下：。



圖 33.11 號巨木主幹設立 2 目標高度

1. 橫向打音試驗

11 號巨木高點目標高度之周長 (C) 為 6.60 m，橫向打音一次共振頻率 (fr_1) 93-135 Hz，其 $fr_1 \cdot C$ 之值為 616-891 Hz·m，較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz·m 略低，屬於低度劣化；低點目標高度之周長 (C) 為 6.70 m，橫向打音一次共振頻率 (fr_1) 平均值為 70-110 Hz，其 $fr_1 \cdot C$ 之值為 460-1016 Hz·m。較人工林紅檜 $fr_1 \cdot C$ 之乘積值 910 Hz·m 略低，屬於低度劣化。

2. 應力波

11 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測，試驗結果下圖（波速介於 100 – 2500 m/s），顯示內部有孔洞，詳見表 7。

3. 阻抗圖譜儀

11 號巨木以阻抗圖譜儀試驗（微鑽針長度 50 cm），高點目標高度水平面於上坡處逆時針方向每 90 度取 1 點進行量測，共 4 點。試驗結果如圖 34 及附錄 6，4 點壁厚完整逆時針方向分別為 45、34.5、48、37cm，半徑約 105 cm，t/R 分別為 42.8、32.8、45.7、35.2%，強度良好且殘留壁厚足。

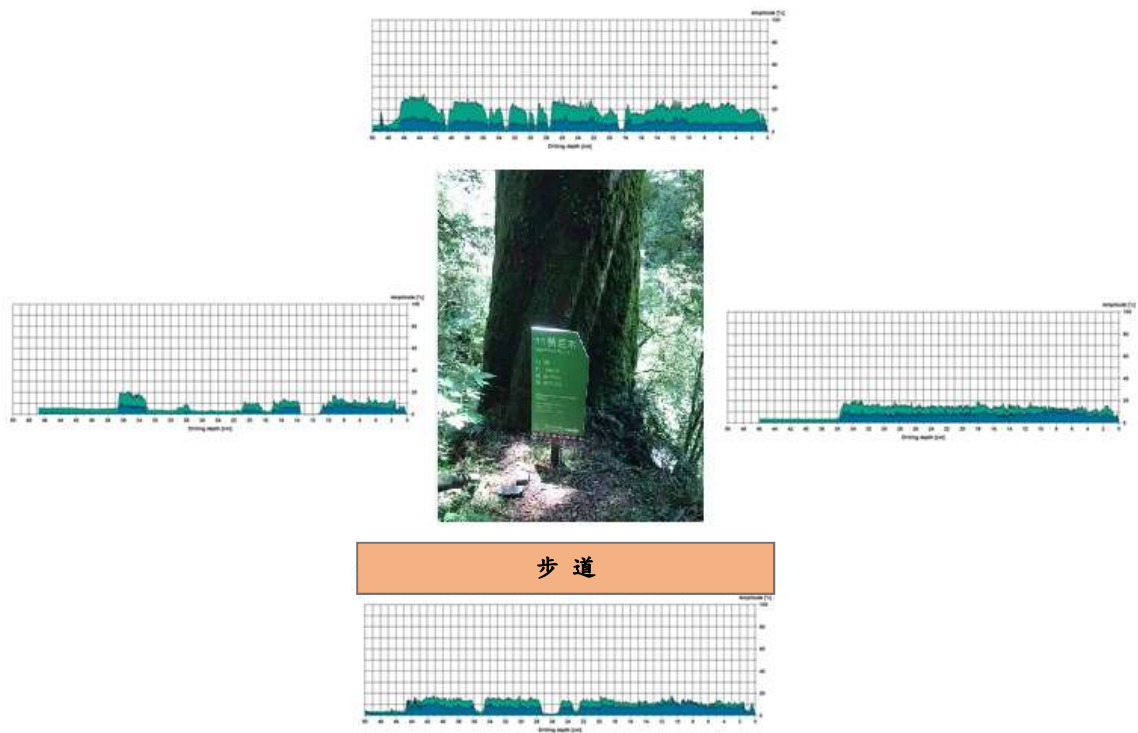


圖 34.11 號巨木高點目標高度阻抗試驗結果

低點目標高度水平面於上坡處逆時針方向每 90 度取 1 點進行量測，共 4 點。試驗結果如圖 35 及附錄 6，4 點壁厚完整逆時針方向分別為 49、36、>50、37.1cm，半徑約 108 cm，t/R 分別為 45.5、33.4、>46.4、37.1%，強度良好且殘留壁厚足。

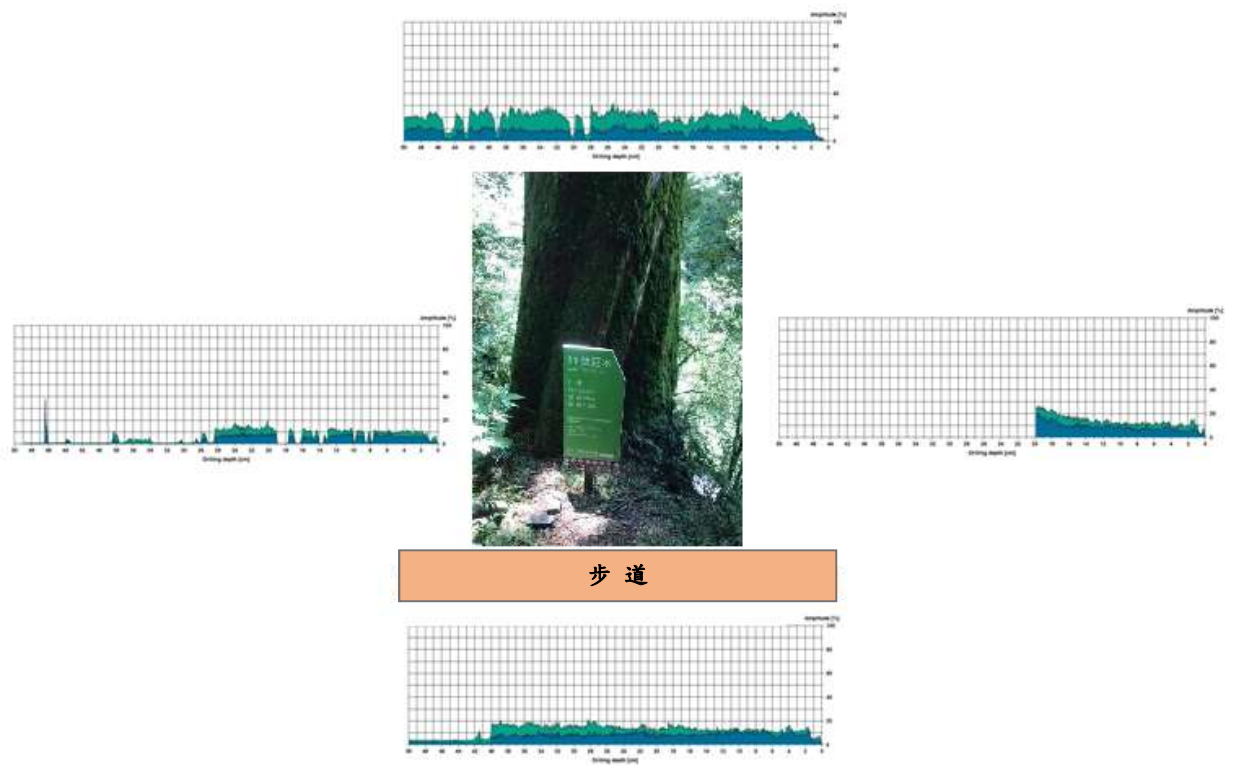


圖 35.11 號巨木低點目標高度阻抗試驗結果

11 號巨木 3 種非破壞試驗結果良好顯示主幹殘留壁厚，平時以表 8 維管紀錄表進行監測，其中，部分疑似枯死小枝及西側有 2 大型枯枝在步道正上方，應特別注意。

(十一)、12 號巨木

樹高 48 m，胸圍 13.6 m，樹型圓，坡向 278 西，樹冠樹幹比大，且下垂；南側(近步道)支幹上方有枯枝，東北側(中幹)支幹上方有枯枝，西側(外向)支幹多且粗大，不影響行人；主幹上可分為 5 支幹，呈豎琴狀，近下坡處樹皮翹起，樹根有浮根。巨木位置在步道下方，坡向 278 西，對遊客危害風險低，遊客頻度低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 38）。



圖 36. 12 號巨木生長現況

(十二)、13 號巨木

樹高 48 m，胸圍 10.8 m，樹型圓，坡向 227 西南，樹冠樹幹比大；樹枝下垂有枝斷；上方可分為 2 支幹，西側亞主幹巨大，於高度 7-8m 處有 2 枯枝條在步道上，中間主幹有多數大型枯枝，東側支幹亦有枯枝，強風來襲時宜多留意；下坡樹幹之樹皮翹起；順著坡向根張強烈，上坡處樹根有浮根(標牌木椅處)，東側樹根基部掏空(雨水沖刷)。後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測並留意土壤狀況（圖 37）。

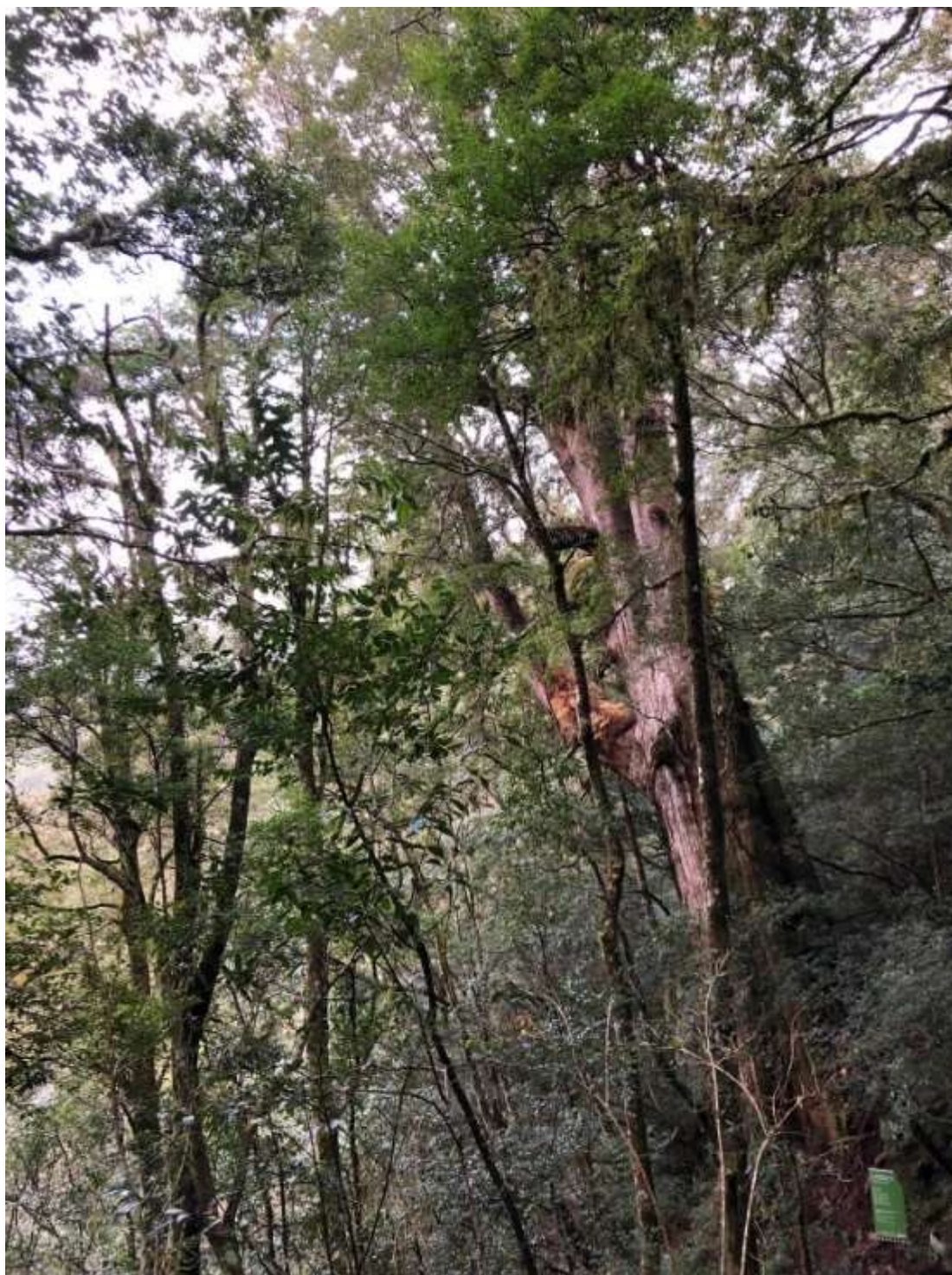


圖 37.13 號巨木生長現況

(十三)、14 號巨木

樹高 45 m，胸圍 9.4 m，樹型圓，樹幹 5m 高處分為 6 叉，其中 4 叉枯死，由於量體大且中空嚴重，建議移除。巨木位置在步道下方，對遊客危害風險低，遊客頻度低，綜合評估結果判定儀器檢測必要性低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 38）。



圖 38. 14 號巨木生長現況

(十四)、16 號巨木

樹高 48 m，胸圍 12.2 m，樹型橢圓，樹冠樹幹比較小；樹冠下有枝條；主幹枝條有枯枝，現場有側枝斷落打壞步道，部分枝條往步道上方延伸，宜注意強風斷枝；樹幹形狀奇特，有摩擦傷害，基部至中段肥大，中段至頂端驟減；樹根有根張之跡象(圖 39)；全株臨步道旁，可及性中，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測。

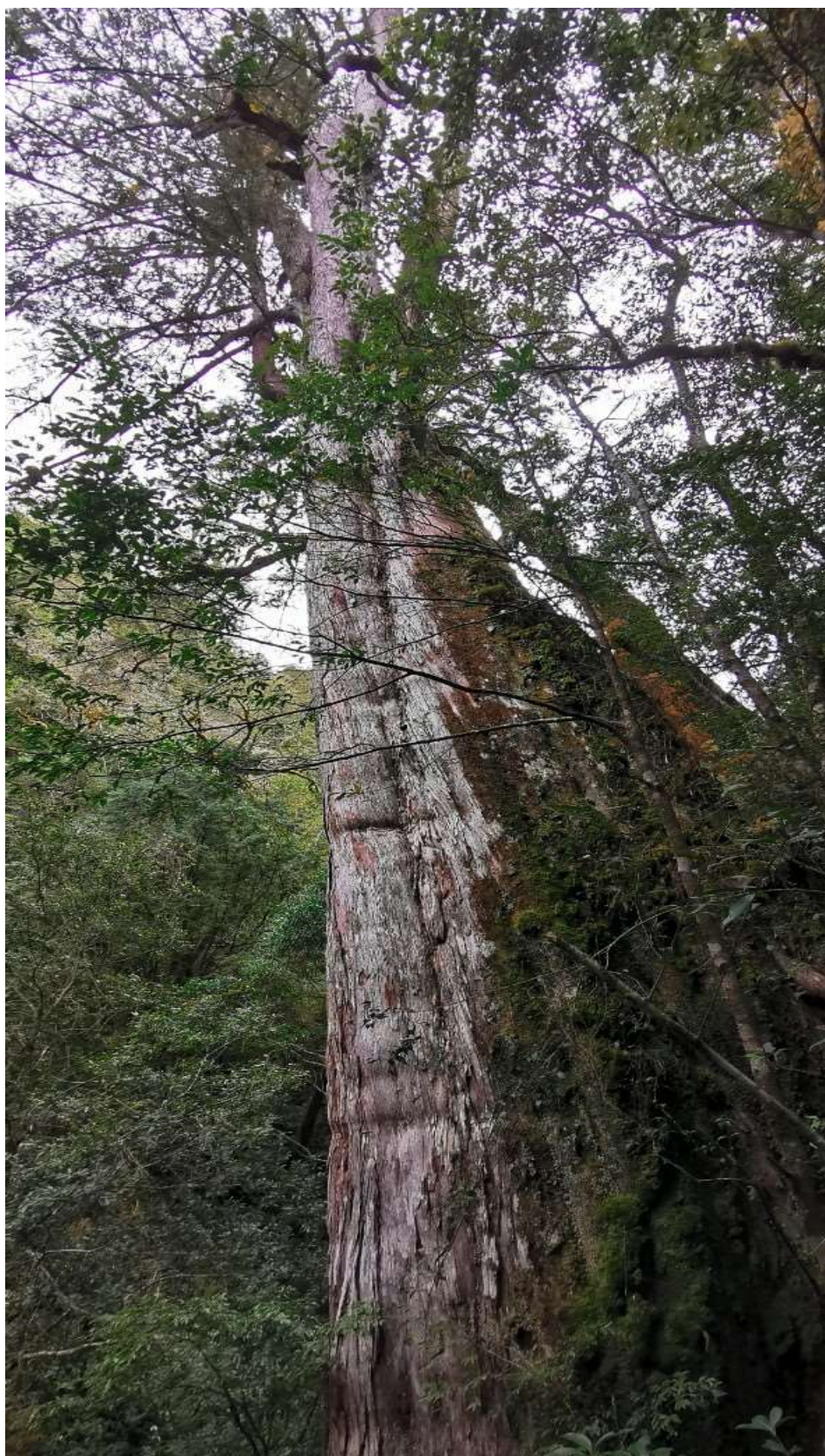


圖 39.16 號巨木生長現況

(十五)、17 號巨木

樹高 51 m，胸圍 12 m，樹型圓或橢圓，略有根張現象，全株風險在於主幹傾斜角度偏大(大於 40 度)、疑似有土滑風險，一旦溪谷及谷線枝土方遇雨掏空、主幹上方樹冠量體大等皆為其風險，故建議後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另應縮減樹冠減少其量體，或是立告示牌減少遊客逗留，再以傾斜度計監測樹幹傾斜角度，並進行坡面沖蝕試驗監測地面土體狀況（圖 40）。



圖 40.17 號巨木生長現況

(十六)、18 號巨木

樹高 42 m，胸圍 18.8 m，樹型圓，過去曾遭火燒過，外觀似枯立木，仍有些微枝葉生長；樹幹至中段開始分為多支幹，主幹有空洞及樹洞，巨木位置在步道下方，對遊客危害風險低，且此區遊客頻度低，綜合評估結果判定儀器檢測必要性低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測 (圖 41、42)。



圖 41. 18 號巨木生長現況

(十七)、19 號巨木

樹高 40 m，胸圍 5.3 m，樹型圓，坡向 287 西，樹冠樹幹比大，且下垂於下坡側；下坡樹皮翹，枝條下垂且折斷。主幹沿溪谷方向有多數茂密枝葉及多數枯枝，強風來襲時宜多留意；樹幹發展完整，上方可分為 2 支幹，目視結果良好；順著坡向根張，巨木位置在步道上，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，建議移除懸垂之樹冠（圖 42）。



圖 42. 19 號巨木生長現況

(十八)、20 號巨木

樹高 40 m，胸圍 19.2 m，樹型圓，坡向 32 東北。樹冠樹幹比大；枝條下垂且折斷，往西延伸之枝條在步道上方，應予以注意；主幹枝條多，往 208 西南方向，西側枯枝斷；主幹上方分為 2 支幹；臨下坡側之樹幹樹皮翹起，樹幹基部(西側)有孔洞；樹根順著坡向根張，有根露浮根之跡象。樹木主幹風險低，惟因巨木位置在步道上方，後續建議除依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另以傾斜度計監測樹幹傾斜角度，並設立告示牌，避免遊客踐踏樹根（圖 43）。



圖 43. 20 號巨木生長現況

(十九)、21 號巨木

樹高 55 m，胸圍 14 m，樹型橢圓，坡向 264 西，主幹枝條多且下垂，上方可分為 2 支幹，於 5m 高處分為 7 叉(建議後續可進行合併木研究)，沿溪谷向(西)有斷枝及叉斷(西向)，2 叉在平台上方，東南方位枝條一旦斷裂，將傷及遊客，應注意。主幹於步道與平台下方，對遊客危害風險低，綜合評估結果判定儀器檢測必要性低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 44）。



a. 21 號巨木基部照



b. 21 號巨木樹冠照

圖 44. 21 號巨木生長現況

(因現場拍攝困難，故分 a. 樹基部；b.樹冠部呈現)

(二十)、24 號巨木

主幹傾斜呈工字樑狀，樹體量大在步道上方，對遊客危害風險中，後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，並應以傾斜度計監測樹幹傾斜角度（圖 45）。



圖 45. 24 號巨木生長現況

園區內未編號之巨木以目視評估法或橫向打音及鑽孔阻抗等 2 種非破壞試驗進行檢測共 27 株下(由進園順序依序標示為 001-027)，樹木位置標示於圖 7，現況調查及 VTA 檢視等試驗結果如下，另彙整於表 2。

(二十一)、001 號

位於近入口處上坡處。樹冠下層與其他樹相近；樹幹量體大，臨步道側有大面積腐朽；樹根有浮根、掏空之跡象，後續除依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，另建議進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況或以傾斜度計監測樹幹傾斜角度（圖 46）。



圖 46. 001 號受試巨木生長現況

(二十二)、002 號

位於近入口處上坡處。樹冠下有枝條；主幹枝條生長在步道上方；樹幹基部損傷；樹根有浮根、掏空之跡象，後續除依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，另建議進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況或以傾斜度計監測樹幹傾斜角度（圖 47）。

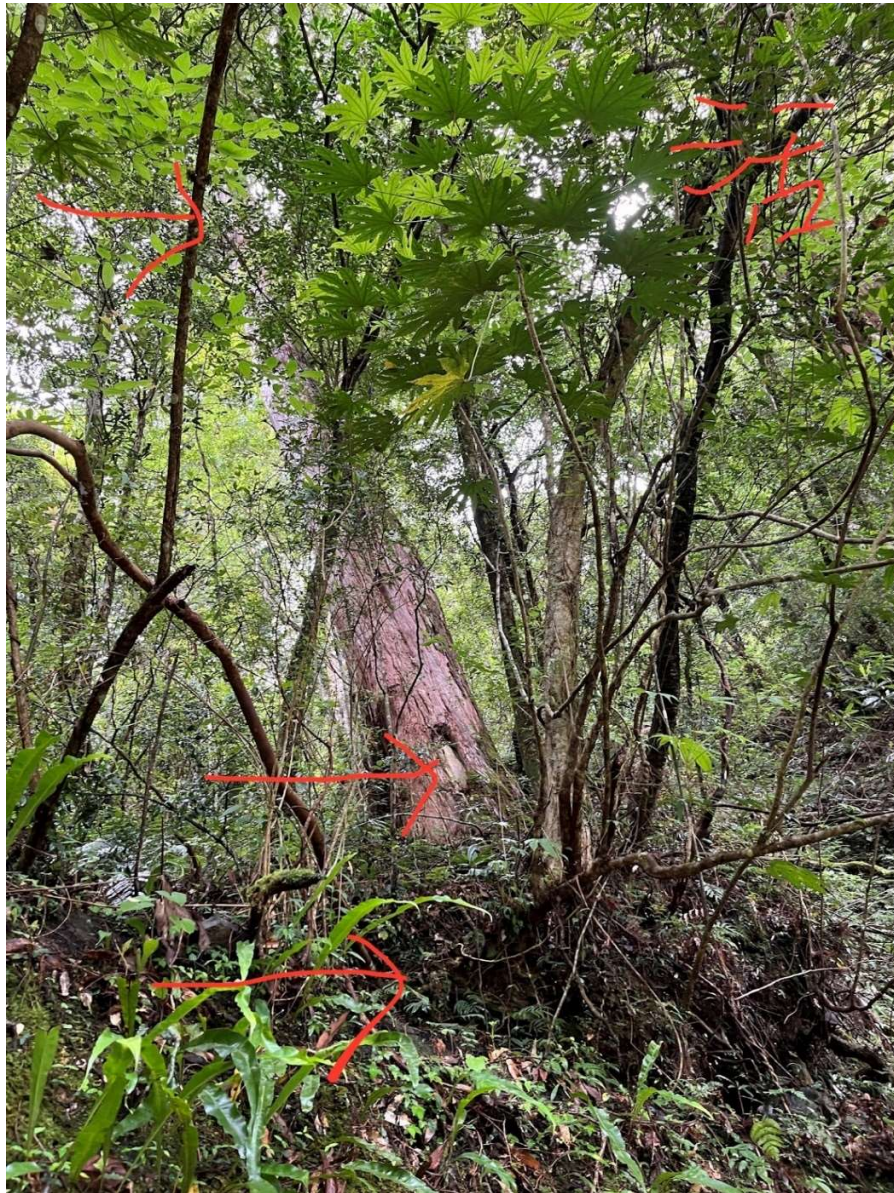


圖 47. 002 號受試巨木生長現況

(二十三)、003 號

位於步道入口 0.6k 處。樹型圓，樹冠下枝條眾多，主幹枝條多處折斷，折斷處產生孔洞，為強度弱點；樹幹近坡道側(西北)的孔洞有樹皮內捲現象，範圍從樹冠至樹幹中段處；樹根土壤疑似掏空。鄰近步道，對遊客有一定危害風險，故後續除依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另建議進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況或以傾斜度計監測樹幹傾斜角度遊客頻度低（圖 48）。

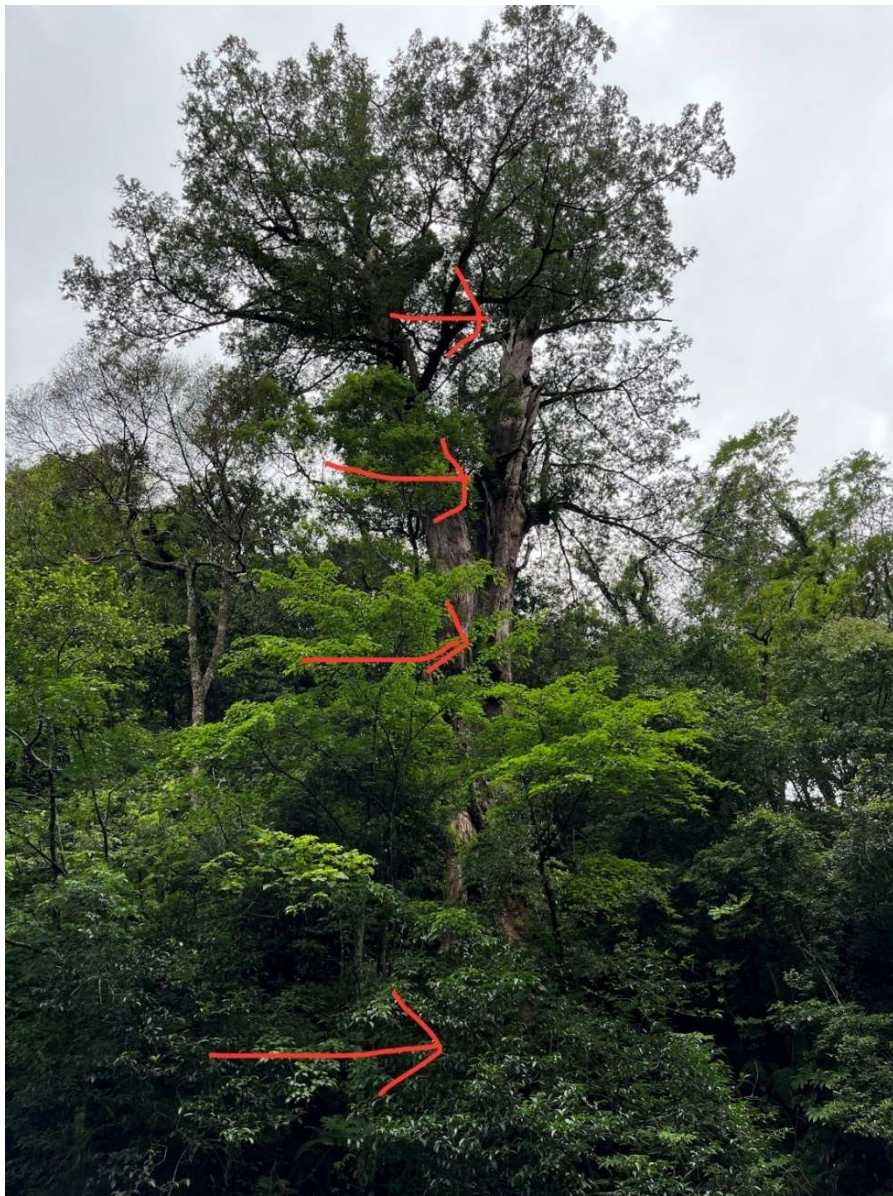


圖 48. 003 號受試巨木生長現況

(二十四)、004 號

位於第 1 號與第 2 號巨木之間，樹型圓，主幹枝條集中在步道上
方，強風來襲時宜多留意，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管
理監測（圖 49）。



圖 49. 004 號受試巨木生長現況

(二十五)、005 號

位於第 1 號與第 2 號巨木之間，坡向 5 北，樹冠生長良好；樹冠下有分枝，有些微枯枝，無枯葉，主幹枝條朝步道上方(東面)延伸；樹幹通直，3m 以下有些微有損傷及生物性危害；樹根有浮根、掏空之跡象。步行可達，於胸高斷面可直接進行操作，經阻抗圖譜試驗，顯示主幹結構健全。整體評估風險低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 50）。



圖 50. 005 號受試巨木生長現況

(二十六)、006 號

位於第 1 號與第 2 號巨木之間，樹冠生長良好，樹冠下多枝條、有部分枯枝，偏溪谷方向(北)，樹冠至主幹中段之主幹枝條延伸至步道上方，須留意。樹幹圓直，坡向 5 北；樹根曝露，有浮根及掏空現象。步行可達，於胸高斷面可直接進行操作，經阻抗圖譜試驗，顯示主幹結構健全。整體評估風險低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 51）。



圖 51. 006 號受試巨木生長現況

(二十七)、007 號

樹冠下枝條多，偏西北方向有枯枝，主幹枝條量體大且集中於沿溪谷方向(西向)，強風來襲時宜多留意；樹幹基部反應材明顯；地面土體狀況不佳，後續除依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另建議進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況或以傾斜度計監測樹幹傾斜角度（圖 52）。



圖 52. 007 號受試巨木生長現況

(二十八)、008 號

樹冠下有枝條及枯枝，主幹枝條量體大且集中於沿溪谷向(西北)，強風來襲時宜多留意；樹幹良好；樹根有曝露及浮根之跡象，後續除依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另建議進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況或以傾斜度計監測樹幹傾斜角度（圖 53）。

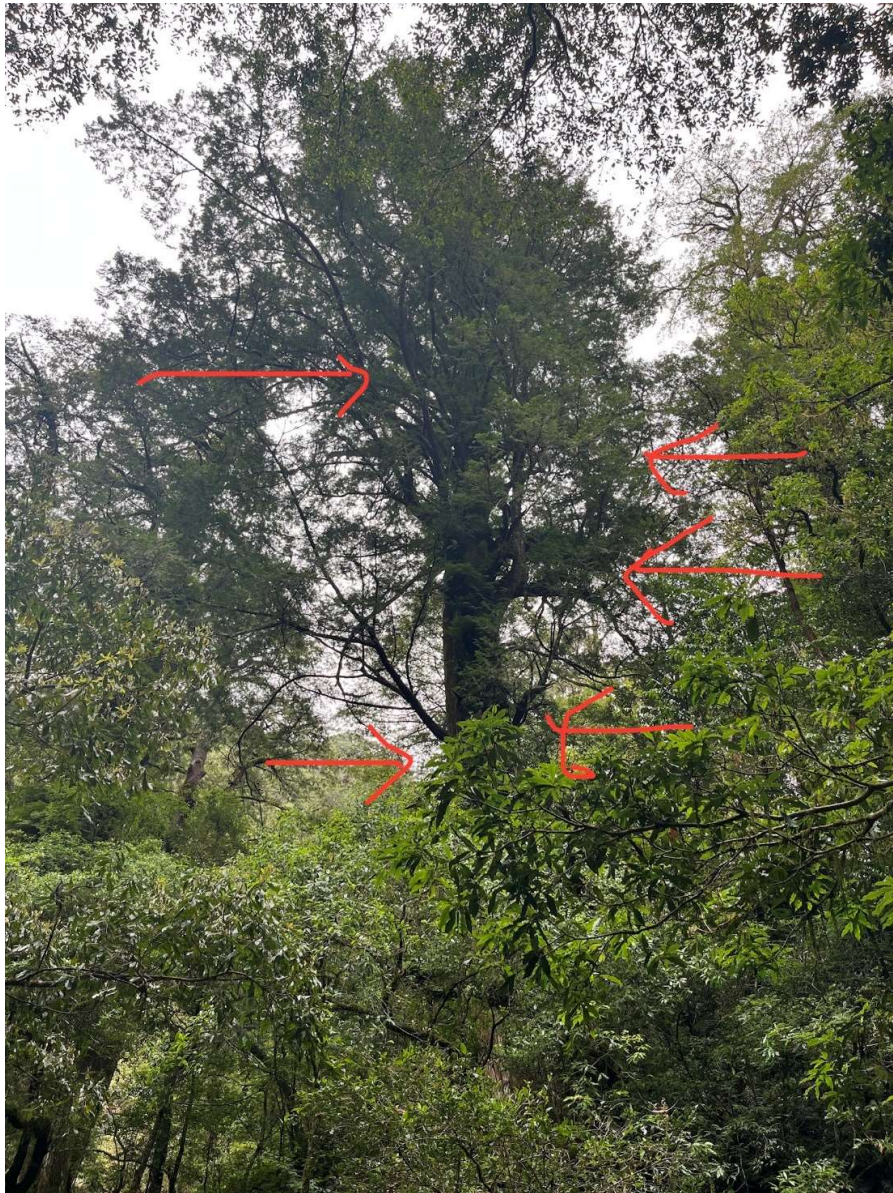


圖 53. 008 號受試巨木生長現況

(二十九)、009 號

位於第 4 號與第 5 號巨木之間階梯左側，樹冠下多枝，有枯枝，主幹枝條多而細，集中在下坡面(21 北)；樹幹圓直，坡向 34 東北；樹根有些微曝露及浮根(下坡處)之跡象。步行可達，胸高斷面可直接進行操作，經阻抗圖譜試驗結果顯示結構健全。巨木位置對遊客危害風險低，此區遊客頻度亦低，整體評估風險低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，惟枯枝多，部分於步道上方，應注意(圖 54)。



圖 54. 009 號受試巨木生長現況

(三十)、010 號

位於第 4 號與第 5 號巨木之間，樹冠生長良好；樹冠下多枝條，枯枝亦很多，主幹枝條多在步道上方(東北)，有大型枯枝；樹幹表面良好、通直。整體評估風險低，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，惟步道上方有大型枯枝，需注意（圖 55）

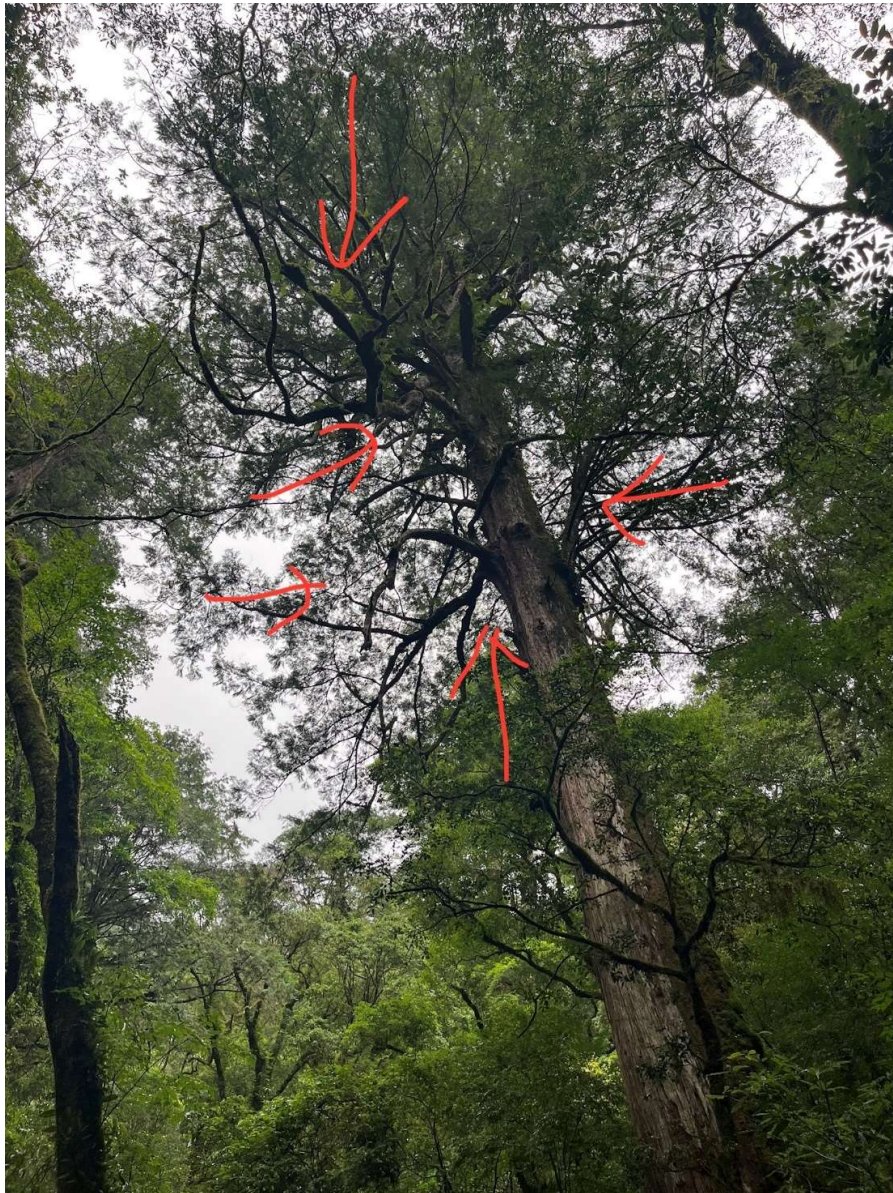


圖 55.010 號受試巨木生長現況

(三十一)、011 號

位於第 4 號與第 5 號巨木之間，枯立木，疑似中空，主幹上方折斷致使木質暴露；主幹量體大，往步道上方傾斜，有折斷風險，需留意（圖 56）。

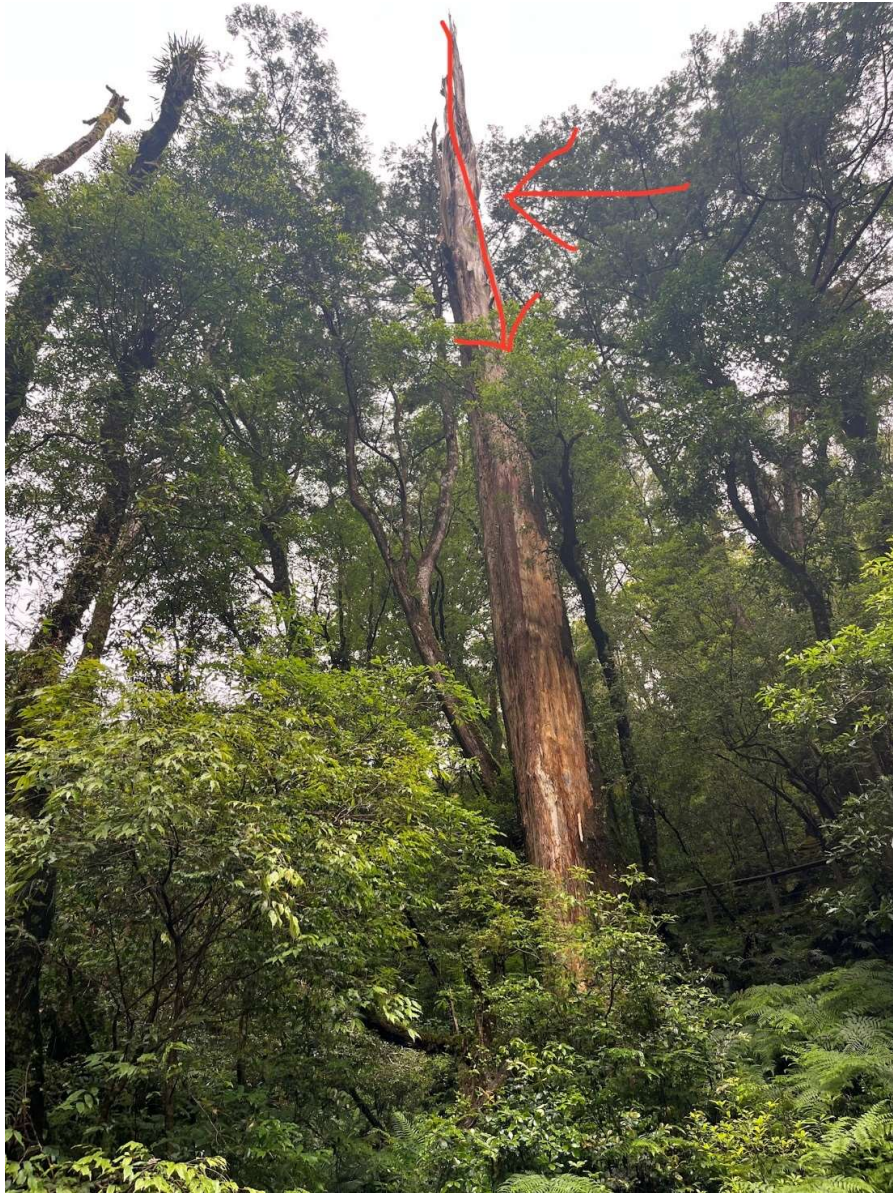


圖 56. 011 號受試巨木生長現況

(三十二)、012 號

位於第 5 號巨木上坡。樹冠下無枝條、無枯枝，偏 94 東，主幹枝條集中在上坡處(西向)；樹幹傾斜至步道上方，樹幹中段沿下坡方向反應材嚴重，根張明顯，後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另亦建議進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況或以傾斜度計監測樹幹傾斜角度（圖 57）。

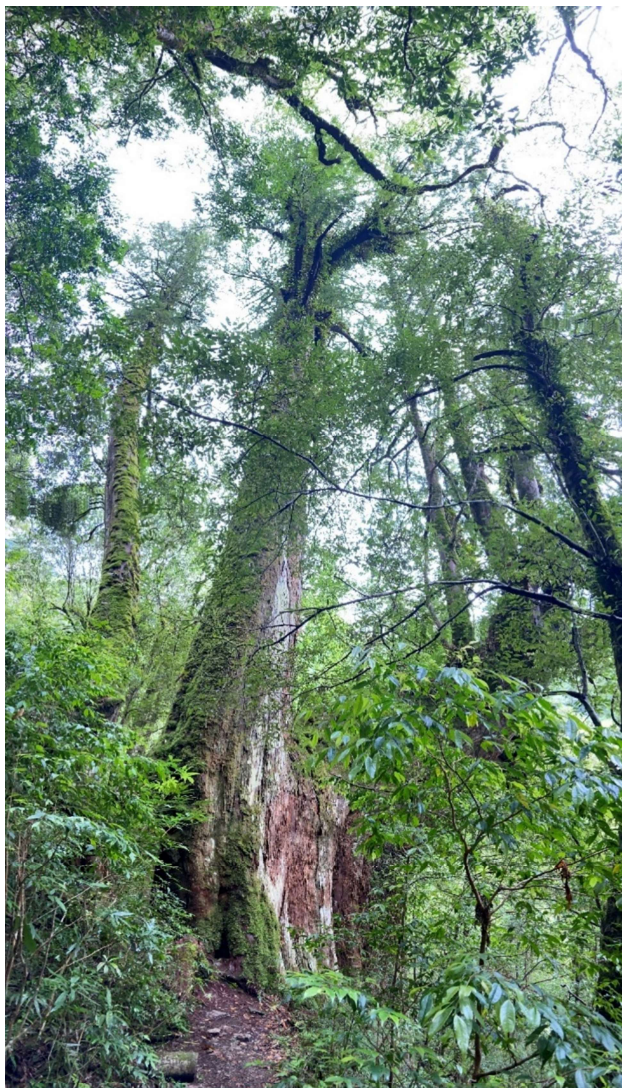


圖 57.012 號受試巨木生長現況

(三十三)、013 號

位於第 7 號與第 8 號巨木之間，樹冠下枝多，有枯枝，偏向溪谷向(西北)，主幹枝條大且多；靠溪谷側(下坡側)樹幹上方有孔洞，孔洞從上方到根部樹皮損傷，宜注意在強風下有傾倒之風險，後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另應以傾斜度計監測其傾斜角度（圖 58）。



圖 58. 013 號受試巨木生長現況

(三十四)、014 號

位於第 7 號與第 8 號巨木之間，主幹枝條大而多，有扭曲之大枯枝在步道上方，宜留意對遊客之影響，另傾斜角度大，且於斜坡上，一旦傾倒有可能波及下方 2 樹，因此，後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，另應進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況或以傾斜度計監測樹幹傾斜角度（圖 59）。



圖 59. 014 號受試巨木生長現況

(三十五)、015 號

位於第 7 號與第 8 號巨木之間，闊葉樹，主幹枝條粗大；樹幹直立於斜坡上，其上方傾斜樹木為其風險（圖 60），宜留意，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測。



圖 60. 015 號受試巨木生長現況

(三十六)、016 號

位於第 7 號與第 8 號巨木之間，主幹枝條少，集中在上坡處(東)，有斷枝，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測(圖 61)。

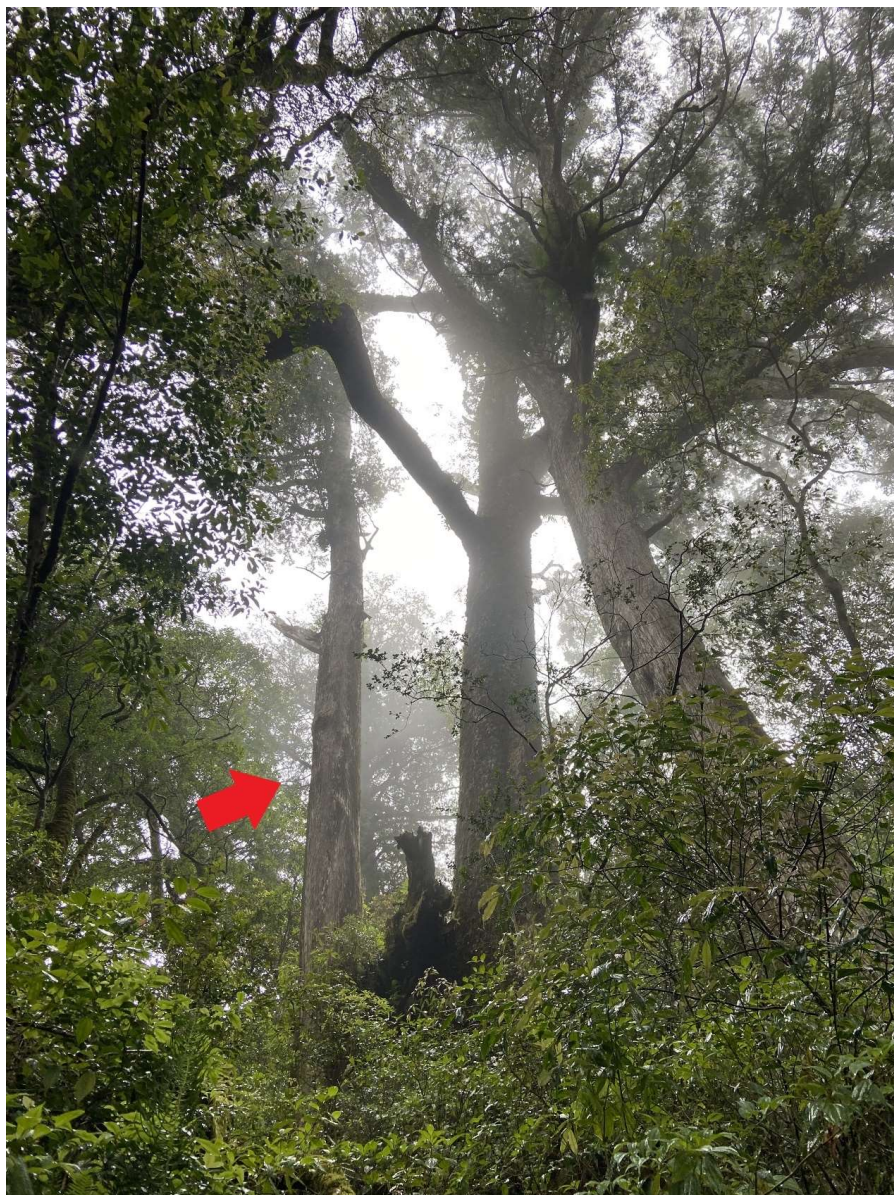


圖 61. 016 號受試巨木生長現況

(三十七)、017 號

位於第 7 號與第 8 號巨木之間，全株分為 2 大株，臨上坡之樹幹於約 7m 高處有樹皮損傷，邊材腐朽(長 70cm, 寬 40cm)；臨下坡近步道，雖大部分腐朽唯疑似尚存活，為避免其劈裂且根部與地面接處面積不大，建議移除並依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測(圖 62)。

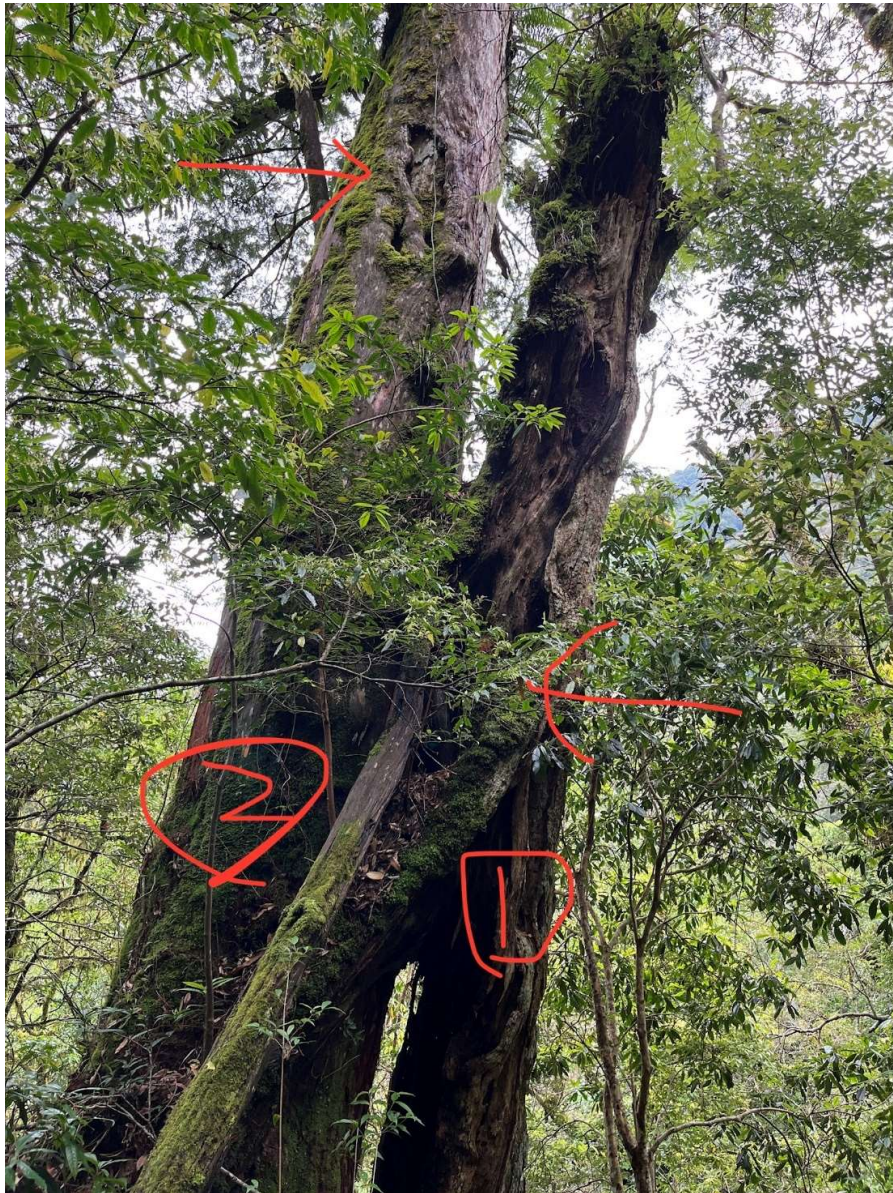


圖 62. 017 號受試巨木生長現況

(三十八)、018 號

位於第 11 號與第 12 號巨木之間，主幹枝條大而多，多沿溪谷向（西南）生長，步道上方較少（圖 63），後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測。



圖 63. 018 號受試巨木生長現況

(三十九)、019 號

位於第 12 號與第 13 號巨木之間，主幹枝條茂密，集中在西側；主幹往西傾斜；樹根之根系臨步道處浮出土表且凸起，有因踐踏而損傷之跡象，需留意避免繼續傷及樹根，及土表凸起高度。後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 64）。



圖 64. 019 號受試巨木生長現況

(四十)、020 號

位於第 13 號與第 20 號巨木之間，主幹分 2 叉，近上坡處之分叉已斷，斷處有空洞，為結構之弱點；上坡處樹根有裸露及浮根之跡象，可能係雨水沖刷，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測（圖 65）。

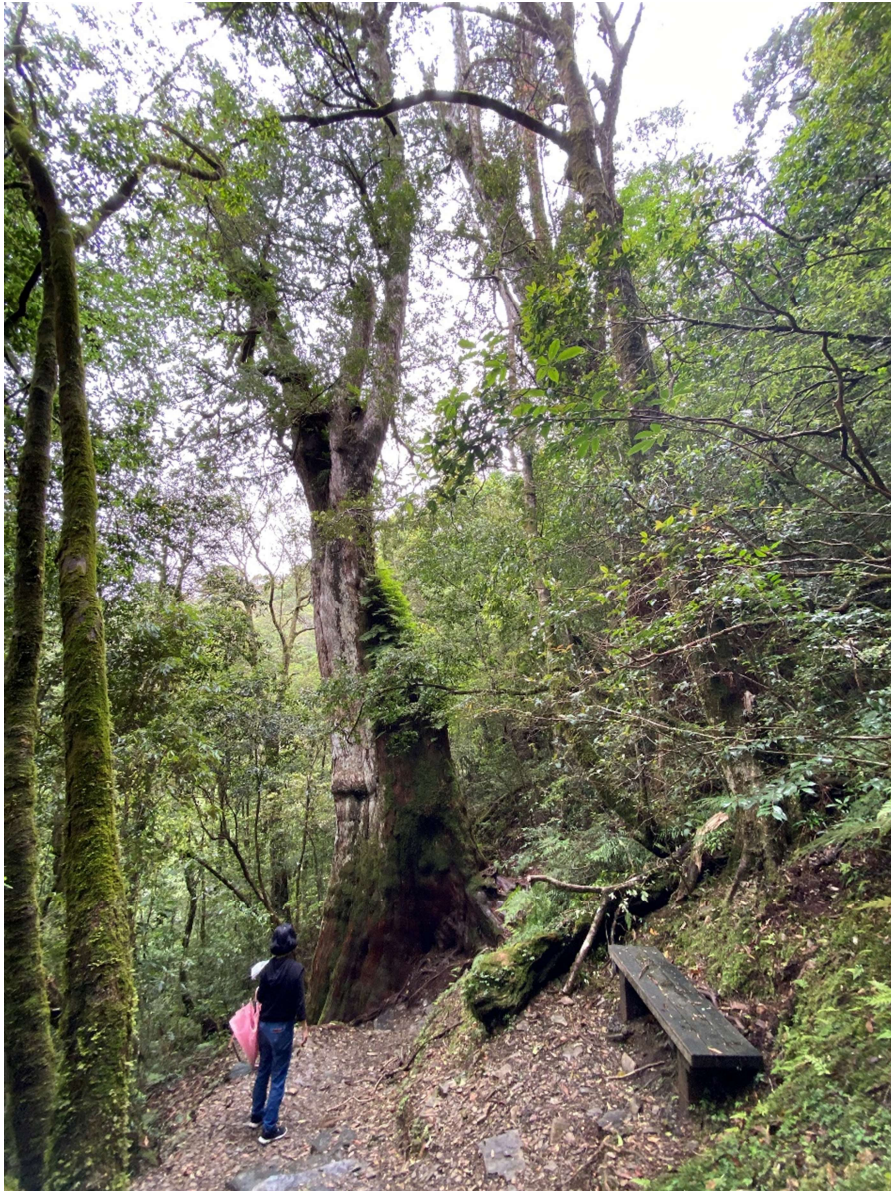


圖 65. 020 號受試巨木生長現況

(四十一)、021 號

位於第 13 號與第 20 號巨木之間，全株生長衰弱(接近枯死)，下方樹皮剝落，後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，或以傾斜度計監測其傾斜角度（圖 66）



圖 66. 021 號受試巨木生長現況

(四十二)、022 號

位於第 3 號與第 21 號巨木之間，公廁旁。主幹枝條茂密、粗大、有枯枝垂下；樹幹基部 50~80cm 處有凹洞(北側)，輕微腐朽。後續建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測，惟因有粗大之條，故須注意強風，建議修枝（圖 67）。



圖 67. 022 號受試巨木生長現況

(四十三)、023 號

樹冠稀少，主幹分 2 叉，靠上坡處叉幹枯死呈中空，靠下坡處(北向)之叉幹有斷枝，在步道上方，需注意；根系介質不良(主要為碎石)。後續建議除依表 8 以維管紀錄表長期維護管理監測外，尚建議修枝並以傾斜度計監測（圖 68）。



圖 68. 023 號受試巨木生長現況

(四十四)、024 號

枝條多，枯枝亦多，主幹枝條（向北）之中段處開裂，枝條朝步道上方生長，需注意；主幹往涼亭方向傾斜；樹根有浮根，根處的介質不良，根系介質不良(主要為碎石)，建議以傾斜度計監測或進行坡面沖蝕試驗監測土壤狀況（圖 69）。



圖 69. 024 號受試巨木生長現況

(四十五)、025 號

主幹枝條茂密，朝步道上方(向北)生長，有枯枝，需注意；樹根之根張明顯，根系介質不良(主要為碎石)，後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理，另建議以傾斜度計監測（圖 70）。



圖 70. 025 號受試巨木生長現況

(四十六)、026 號

樹冠下有枝條，無枯枝，偏 90 東；樹幹傾斜步道嚴重，反應材強烈，後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理，另建議以傾斜度計監測（圖 71）。



圖 71. 026 號受試巨木生長現況

(四十七)、027 號

樹冠下有枝條，無枯枝；反應材強烈；樹根有些微浮根，後續除建議依表 8 以維管紀錄表長期維護管理，另建議以傾斜度計監測（圖 72）。



圖 72. 027 號受試巨木生長現況

伍、結果與討論

園區內有編號之巨木共 24 株，其中有 4 株(編號第 8、15、22、23 號)因該巨木已死亡，故未進行目視評估法及非破壞儀器評估；其餘 20 株有編號之巨木進行背景資料調查及目視評估法檢視，另針對潛在危險性高之 5 株巨木進行儀器測試。園區內未編號臨近步道之巨木以目視評估法或橫向打音及鑽孔阻抗等 2 種非破壞試驗進行檢測共 27 株，綜合檢視結果如下：

- 一、樹木一旦倒伏可能影響的範圍以圖 7 圓圈呈現。
- 二、目視評估的成果：園區內巨木生長狀況大致良好，惟部分樹冠樹幹比偏大，或枝條延伸過大，遭遇強風可能發生破壞，須要特別留意或預先移除。
- 三、3 種非破壞試驗進行檢測中，第 5 號巨木和第 11 號巨木之主幹殘留壁厚足，試驗結果良好；而其他鄰近步道的巨木及非編號之巨木試驗結果也是狀況良好，平時宜以表 8 維管紀錄表進行監測。
- 四、3 種非破壞試驗進行檢測中，第 2 號巨木、第 3 號巨木以及第 4 號巨木之樹型相當橢圓，經儀器測試內部有明顯孔洞，經攀樹師由巨木上也證實內有空洞且延伸至樹幹底部。惟試驗結果因樹幹主要強度支持端殘留壁厚尚且足夠，且樹木透過橢圓生長的策略，在沒有特別天然的災害下，暫時沒有立即的風險，平時除宜以表 8 維管紀錄表進行監測，另建議以傾斜度計監測與預警，以因應側風或特殊天候條件。。
- 五、另下列幾種狀況亦建議以傾斜度儀進行監測
 1. 分叉枝幹生長旺盛，而枝幹支撐處支撐力不足(如有孔洞)
 2. 分叉枝幹生長旺盛，量體大且於步道上方

2. 巨木有大孔洞大

3. 樹木根部與土壤接觸面積小，或土壤疑似有掏空現象

4. 鄰近遊客出入路線，有監測其現況之必要，故建議後續應以傾斜度計予以持續即時監測。

六、下列幾種狀況建議預先移除，或設立「請勿逗留」告示牌。

七、巨木因樹齡很高，年代久遠，內部多少有腐朽產生空洞，致使殘留強度降低，故會有折損倒伏的危險，需要監控、評估危險程度，供管理上的參考。由於園區內編號之巨木無可及性高且可立即檢測之巨木，因此在無架設平台或攀樹師協助下，無法順利進行非破壞試驗，故後續管理透過定期觀察樹冠、樹幹、根部、環境等現況，紀錄進行維護管理作業（表 8）。維管紀錄表建議每半年檢視 1 次，其中基本資料含日照情形、面坡度及周圍設施等，可以了解該樹受環境影響或影響其周邊設施的可能性。透過觀察樹冠層是否有枯枝、枯葉、下方枝條、偏向等，了解是否有枝幹斷落影響步道遊客的可能性；透過觀察樹幹是否有外觀受損、傾斜、畸形等，了解是否有樹幹傾倒或幹折的可能性；透過觀察樹根是否有突出暴露、傷害、土壤逐漸凸起、土壤流失等，了解是否生長受影響或樹幹傾倒，便於提早進行措施與預防。最後，根據記錄結果給予受試樹現況一個總結描述(含樹冠、樹幹和樹根)，以及預計進行的改善措施，如：冠層下方有枝條且數量多時，由記錄人員或單位主管評估是否安排後續修枝作業。

八、若再搭配可回收及重複使用的傾斜度計，針對疑義之巨木進行即時監測與紀錄，不但可以在災害發生前提前示警，更可以做為其他環境因子（如颱風、風速、地震等）對巨木傾斜度即時變化與長期變化進行實務及學術上的貢獻。計畫期間曾於巨木區管理站

設接收站，惟訊號接收強度相當弱，無法穩定接收訊號(圖 73)，建議未來應將接收站移至生態教育館或 4 號巨木休憩平台以利訊號接收。



圖 73. 傾斜度計接收器(攝於巨木區管理站)

六、結論

本計畫以目視評估法或 3 種非破壞試驗進行檢測，主要結果如下：

- 一、樹木一旦倒伏可能影響的範圍以圖 7 圓圈呈現。
- 二、目視評估的成果：園區內巨木生長狀況大致良好，平時以維管紀錄表進行監測，維管紀錄表建議每半年檢視 1 次，之後再視現場狀況調整調查頻度，透過表內諸項評估標準，提早進行因應措施與預防危害之發生。
- 三、3 種非破壞試驗檢測結果：樹型相當橢圓之第 2 號巨木、第 3 號巨木以及第 4 號巨木，經儀器測試及攀樹師確認，內有大型空洞且延伸至樹幹底部，然因樹幹主要強度支持端之殘留壁厚尚且足夠，且樹木透過橢圓生長的策略，在沒有特別天然的災害下，暫時沒有立即的風險，平時除了以維管紀錄表進行監測，但仍建議以傾斜度計進行監測與預警，以因應側風或特殊天候條件。
- 四、下列幾種狀況建議預先移除潛在危險因子，如分叉枝幹生長旺盛且枝幹支撐處支撐力不足(如有孔洞)、分叉枝幹生長旺盛且量體大之樹幹位於步道上方或其他有潛在危險的樹木上方等，除建議應盡速移除，並應設立告示牌提醒遊客，或設置傾斜度計以利即時監測。
- 五、本計畫雖就園區內巨木本體進行檢測，然而，林木會發生破斷或傾倒尚有眾多原因，如地滑、土崩、雷擊、火災、暴雨、強風、根拔等，因此建議就園區內之土壤沖蝕面或坡面等不穩定處進行坡面沖蝕試驗以監測地面土體狀況；此外，亦應加強遊客愛護巨木，避免踐踏根系及用火安全等之宣導，減少巨木受危害之機會。

陸、參考文獻

- 牧田康雄 (1986) 現代音響學。OHM 社。290 頁。
- 李金梅、許富蘭、黃彥三、黃國雄 (2011) 利用應力波檢測樹幹腐朽可行性之研究。中華林學會。建國百年森林資源永續經營研討會。宜蘭。
- 李金梅、許富蘭、黃國雄、黃彥三 (2013) 以應力波檢測南方松建造涼亭遭受白蟻蛀蝕之情況。102 年森林資源永續經營研討會。
- 李金梅、許富蘭、黃國雄、黃彥三 (2014) 以橫向打音頻譜分析法檢測樹幹腐朽之可行性評估。台灣林業 40 (4) 41-44。
- 邱志明、王松永、林振榮 (2004) 森林經營的立木材質評估。林產工業 23 (3) : 263-274。
- 邱志明、林振榮、唐盛林、王松永 (2008) 應用鑽孔抵抗法推估六龜地區台灣杉不同疏伐處理之碳貯存量。中華林學季刊 41 (4) : 503-519。
- 許富蘭、李金梅、黃國雄、黃彥三 (2013) 以橫向打音法評估樹幹內部空洞——以肯氏南洋杉為例。102 年森林資源永續經營研討會。
- 黃彥三、許富蘭 (2010) 從樹木生物力學看樹木之安全係數、破壞及危險樹木之判定。林業研究專訊。17 (5) : 65-70。
- 黃彥三、許富蘭 (2013) 腐朽中空樹幹之留存強度評估法。林業研究專訊。20 (5) : 43-47。
- 黃彥三、許富蘭 (2014) 樹木根盤保持力之安全性判定法。中華民國專利證書。發明第 I457551 號。
- 黃彥三、李金梅、許富蘭 (2016) 應用樹木生物力學及工程學於危險樹木診斷。豐年雜誌 66 (17.18) : 64-69。
- 黃彥三、許富蘭、李金梅 (2017) 樹木之抗風力與臨界風速。林業研究專訊。24 (4) : 41-45。
- 詹明勳、曾郁珊、蔡明哲、高毓謙、李佳韋、郭佩鈺、黃憶汝 (2005) 三種非破壞檢測儀器應用於柳杉造林木立木材質之評估。國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 19 (3) : 207-216。
- 農文協 (2004) 図解樹木の診断と手当て 図解樹木の診断と手当て。171 頁。
- Branco, J.M.; Sousa, H.S.; Tsakanika, E. (2017). Non-destructive assessment, full-scale load-carrying tests and local interventions on two historic timber collar roof trusses. *Engineering Structures*, 140, 209–224.
- Bond J. (2006). Foundations of tree risk analysis: Use of the t/R ratio to evaluate trunk failure potential. *Arborist News* 15, 31-34.
- Downes, G.M.; Harrington, J.J.; Drew, D.M.; Lausberg, M.; Muyambo, P.; Watt, D.; Lee, D.J. (2022). A Comparison of Radial Wood Property

- Variation on *Pinus radiata* between an IML PD-400 ‘Resi’ Instrument and Increment Cores Analysed by SilviScan. *Forests*, 13(5), 751.
- Eckstein, D.; Sass, U. (1994). Measurements of drill resistance on broadleaved trees and their anatomical interpretation. *Holz Roh Werks*. 52, 279–286.
- Frontini, F. (2017). In situ evaluation of a timber structure using a drilling resistance device. Case study: Kjøpmannsgata 27, Trondheim (Norway). *Int. Wood Prod. J.* 8, 14–20.
- Henriques, D.F.; Nunes, L.; Machado, J.S.; Brito, J. (2011). Timber in buildings: Estimation of some properties using Pilodin® and Resistograph®. *In Proceedings of the International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal, 12th–15th April*, pp. 1–8.
- Huang Y.S., F.L. Hsu, C.M. Lee, J.Y. Juang (2017). Failure mechanism of hollow tree trunks due to cross-sectional flattening. *Royal Society Open Science* 4:160972.
- Huang Y.S., P.L. Chiang, F.L. Hsu, and J.Y. Juang* (2020). Cracking failure of curved hollow tree trunks. *Royal Society Open Science* 7:200203.
- Huang Y.S., and F.L. Hsu (2020). Analyses of cracking failure in curved laminated lumber due to transverse stress under a curvature-decreasing moment. *Results in Engineering* 8:10074.
- Huang Y.S., and F.L. Hsu (2021). Mechanism of cracking failure in curved stem due to transverse stress under bending. *Journal of Theoretical Biology* 509(21):110516-6.
- Hsu, F.L., C.M. Lee, G.S. Hwang, and Y.S. Huang (2012). Detection of internal holes in *Swietenia mahagoni* disks using stress wave device. *Taiwan Journal of Forest Science* 27(2) : 191-200. (EI)
- Imposa, S.; Mele, G.; Corrao, M.; Coco, G.; Battaglia, G. (2014). Characterization of decay in the wooden roof of the S. Agata Church of Ragusa Ibla (Southeastern Sicily) by means of sonic tomography and resistograph penetration tests. *Int. J. Archit. Herit.* 8(2), 213–223.
- Mattheck, C., & Kubler, H. (1997). *The Mechanical Self-Optimization of Trees—Five Theorems. Wood-The Internal Optimization of Trees.* Springer, Berlin: Heidelberg. pp. 21-21
- Mattheck, C. & H. Breloer (2003). *The body language of trees. A handbook for failure analysis.* London: office of the Deputy Prime Minister, Stationery Office.
- Mattheck, C., Bethge, K. & Tesari, I. (2006). Shear effects on failure of

- hollow trees. *Trees* 20, 329-333.
- Niemz P. & D. Mannes (2012). Non-destructive testing of wood and wood-based materials. *Journal of Cultural Heritage*, 13(3), S26-S34.
- Ruxton GD. (2014). Why are so many trees hollow? *Biology Letters* 10: 20140555.
- Schwarze, (2008). F.W.M.R. *Diagnosis and Prognosis of the Development of Wood Decay in Urban Trees.*: Rowville, Australia: ENSPEC Pty Ltd, pp. 1–336.
- Sharapov, E.; Brischke, C.; Militz, H.; Smirnova, E. (2018). Effects of white rot and brown rot decay on the drilling resistance measurements in wood. *Holzforschung*, 72, 905–913.
- Sharapov, E.; Brischke, C.; Militz, H. (2020). Assessment of Preservative-Treated Wooden Poles Using Drilling-Resistance Measurements. *Forests*, 11(1), 20.

表 1、綜合評估結果

表 1、綜合評估結果(續)

表 2、綜合評估結果

表 2、綜合評估結果(續)

表 3、2 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表

高點目標高度（10.56 m）平面（速率:m/s）

速率	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		1161	2252	1203	1349	814	641	569	706	694	811	951	1183	1695	2481	2569
2	1161		2926	1296	1637	968	673	589	1049	586	718	892	1221	2185	3047	2249
3	2252	2926		2194	1549	832	649	597	578	564	693	1009	1404	2657	4463	3497
4	1203	1296	2194		2455	1333	1014	779	1063	510	627	786	1072	1543	2465	1595
5	1349	1637	1549	2455		1180	1067	928	759	500	592	724	1156	1526	2372	1878
6	814	968	832	1333	1180		1913	1580	1005	748	782	514	654	836	944	737
7	641	673	649	1014	1067	1913		1698	1253	943	958	680	624	683	767	641
8	569	589	597	779	928	1580	1698		1422	1126	1141	913	737	616	590	524
9	706	1049	578	1063	759	1005	1253	1422		2390	2101	1405	888	723	587	632
10	694	586	564	510	500	748	943	1126	2390		1818	1185	979	656	552	500
11	811	718	693	627	592	782	958	1141	2101	1818		1608	1061	854	787	680
12	951	892	1009	786	724	514	680	913	1405	1185	1608		2061	1152	782	852
13	1183	1221	1404	1072	1156	654	624	737	888	979	1061	2061		1756	1054	1087
14	1695	2185	2657	1543	1526	836	683	616	723	656	854	1152	1756		1451	1554
15	2481	3047	4463	2465	2372	944	767	590	587	552	787	782	1054	1451		2159
16	2569	2249	3497	1595	1878	737	641	524	632	500	680	852	1087	1554	2159	

低點目標高度（8.72 m）平面（速率:m/s）

速率	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		2529	2764	2030	776	732	512	542	789	500	1023	760	1259	2211	2531	2412
2	2529		2442	1794	1198	709	1903	576	1206	597	940	828	1231	2542	3183	3079
3	2764	2442		2627	689	601	637	500	720	515	665	884	1783	3350	5340	4495
4	2030	1794	2627		1606	1200	880	868	830	608	629	684	1275	2746	3269	2569
5	776	1198	689	1606		1811	1386	919	914	667	641	527	817	997	1101	896
6	732	709	601	1200	1811		1417	1060	1050	639	652	580	924	946	920	891
7	512	1903	637	880	1386	1417		1222	1255	897	913	775	648	684	651	563
8	542	576	500	868	919	1060	1222		1885	1872	1626	1029	844	678	595	563
9	789	1206	720	830	914	1050	1255	1885		2197	2390	1500	981	729	811	775
10	500	597	515	608	667	639	897	1872	2197		2146	1155	840	760	555	634
11	1023	940	665	629	641	652	913	1626	2390	2146		1565	1077	1030	834	797
12	760	828	884	684	527	580	775	1029	1500	1155	1565		1387	937	875	779
13	1259	1231	1783	1275	817	924	648	844	981	840	1077	1387		1734	1308	1156
14	2211	2542	3350	2746	997	946	684	678	729	760	1030	937	1734		1913	2128
15	2531	3183	5340	3269	1101	920	651	595	811	555	834	875	1308	1913		2382
16	2412	3079	4495	2569	896	891	563	563	775	634	797	779	1156	2128	2382	

表 4、3 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表

高點目標高度（9.69 m）平面（速率:m/s, N/A: Not available）

波速	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		1918	881	728	563	4152	1578	1784	N/A	N/A	814	659	462	1532	975	2849
2	N/A		1061	871	490	632	407	477	N/A	N/A	740	545	681	2648	2449	3111
3	2983	1024		1112	529	1498	419	506	345	N/A	N/A	279	447	1158	1114	830
4	1240	853	984		782	1357	1815	2394	2287	N/A	N/A	1189	469	1149	1059	764
5	3828	459	438	734		714	807	1183	1008	648	487	314	268	422	554	534
6	577	551	523	465	646		1353	2661	1373	932	688	466	283	450	451	573
7	2964	3567	327	507	884	1393		N/A	1235	943	810	569	442	338	325	390
8	N/A	3902	354	648	924	1329	1206		2158	1461	1044	690	492	442	348	358
9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1160	1263	692		1635	994	1469	N/A	N/A	N/A	N/A
10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	741	799	595	1490		1172	482	N/A	N/A	N/A	N/A
11	N/A	N/A	N/A	246	432	682	791	696	1049	1259		1350	571	512	383	N/A
12	N/A	N/A	N/A	410	331	518	559	550	1905	1103	1442		715	587	745	N/A
13	N/A	806	517	553	328	N/A	N/A	N/A	722	712	649	690		1088	858	503
14	N/A	2448	715	572	293	N/A	N/A	N/A	445	484	303	424	693		2151	1215
15	N/A	2642	1766	1186	674	641	556	610	488	N/A	N/A	696	752	2188		876
16	383	3156	1189	833	662	417	282	312	332	N/A	N/A	357	350	1330	654	

低點目標高度（8.19 m）平面（速率:m/s, N/A: Not available）

波速	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		910	744	712	660	489	378	368	N/A	N/A	N/A	426	764	1023	1046	1046
2	890		1595	874	616	625	261	417	N/A	N/A	N/A	317	734	775	779	747
3	1915	1607		1243	689	587	484	304	N/A	N/A	N/A	N/A	750	892	925	686
4	720	919	1226		1112	663	586	560	N/A	N/A	N/A	N/A	505	759	823	968
5	681	641	702	970		797	747	662	696	581	365	N/A	355	580	538	525
6	502	574	505	651	797		1161	988	910	750	562	N/A	276	156	372	465
7	449	520	432	577	716	1181		964	941	694	608	568	335	465	299	351
8	454	459	550	655	723	981	817		1163	746	580	555	496	503	468	444
9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	974	904	1013		1420	663	685	502	N/A	N/A	N/A
10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	533	309	474	1046		865	566	300	N/A	N/A	N/A
11	376	355	N/A	402	495	614	596	649	640	532		1243	691	614	680	496
12	2307	287	N/A	340	305	574	569	554	904	784	1321		934	606	1947	443
13	796	749	600	551	325	451	N/A	N/A	N/A	619	671	686		1315	603	581
14	837	569	819	552	320	334	N/A	N/A	N/A	414	561	541	758		409	519
15	1147	969	987	995	603	586	326	319	N/A	647	2018	2325	769	715		521
16	2200	895	743	914	461	635	359	381	N/A	353	357	291	521	632	617	

表 5、4 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表

高點目標高度（8.70 m）平面 （速率:m/s, N/A: Not available）

波速	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		2026	1877	1557	1114	933	1109	766	696	584	716	1159	1536	1419	1343	746
2	2026		1739	1606	1383	944	1075	926	778	647	979	1095	1393	2546	2402	1754
3	1877	1739		1829	1932	1889	1902	1488	1063	735	975	1058	1254	2527	2486	2071
4	1557	1606	1829		1967	1988	2387	2146	2010	906	1566	1044	911	1181	1412	1266
5	1114	1383	1932	1967		2016	2224	2350	2229	2164	2086	1748	1206	1057	1118	1069
6	933	944	1889	1988	2016		2207	2205	2113	2122	2048	1817	869	803	1031	965
7	1109	1075	1902	2387	2224	2207		1769	2081	2035	1997	1739	1795	977	960	945
8	766	926	1488	2146	2350	2205	1769		1830	2129	2074	1987	1834	1378	1382	1333
9	696	778	1063	2010	2229	2113	2081	1830		2329	2026	2044	2025	1620	1591	1537
10	584	647	735	906	2164	2122	2035	2129	2329		1539	1755	1592	839	1045	798
11	716	979	975	1566	2086	2048	1997	2074	2026	1539		2206	2247	1869	1900	2117
12	1159	1095	1058	1044	1748	1817	1739	1987	2044	1755	2206		1868	1645	1764	2098
13	1536	1393	1254	911	1206	869	1795	1834	2025	1592	2247	1868		1572	1828	2444
14	1419	2546	2527	1181	1057	803	977	1378	1620	839	1869	1645	1572		1696	2897
15	1343	2402	2486	1412	1118	1031	960	1382	1591	1045	1900	1764	1828	1696		5234
16	746	1754	2071	1266	1069	965	945	1333	1537	798	2117	2098	2444	2897	5234	

低點目標高度（7.20 m）平面 （速率:m/s, N/A: Not available）

波速	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		2234	1812	1682	1412	1011	1181	766	789	639	1129	1119	1079	1475	1802	639
2	2234		1657	1767	1376	1173	1552	935	837	661	1474	1392	1237	2436	3160	1718
3	1812	1657		1885	1991	1905	2001	1507	1283	813	1025	1102	879	2022	3094	1745
4	1682	1767	1885		1889	1948	2147	2184	2158	851	1388	1035	964	1511	2501	1607
5	1412	1376	1991	1889		2073	2438	2428	2479	2288	2214	1822	1409	1066	1906	1088
6	1011	1173	1905	1948	2073		2731	2193	2408	2230	2270	1945	1620	1100	1535	924
7	1181	1552	2001	2147	2438	2731		1425	2020	2021	2178	1918	1548	1257	1531	1275
8	766	935	1507	2184	2428	2193	1425		2511	2242	2420	2135	2104	1525	1467	958
9	789	837	1283	2158	2479	2408	2020	2511		1841	2288	2106	2141	1755	1729	1523
10	639	661	813	851	2288	2230	2021	2242	1841		2564	2239	2348	1130	998	852
11	1129	1474	1025	1388	2214	2270	2178	2420	2288	2564		2079	2432	2051	2076	2003
12	1119	1392	1102	1035	1822	1945	1918	2135	2106	2239	2079		2292	1678	1942	1985
13	1079	1237	879	964	1409	1620	1548	2104	2141	2348	2432	2292		1188	1716	1804
14	1475	2436	2022	1511	1066	1100	1257	1525	1755	1130	2051	1678	1188		1940	2240
15	1802	3160	3094	2501	1906	1535	1531	1467	1729	998	2076	1942	1716	1940		3260
16	639	1718	1745	1607	1088	924	1275	958	1523	852	2003	1985	1804	2240	3260	

表 6、5 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表

高點目標高度（7.35 m）平面（速率:m/s, N/A: Not available）

速率	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		1609	1695	1860	1895	1754	1516	1322	1333	1141	1549	1681	1689	1651	1607	1585
2	1609		1804	1839	1717	1634	1488	1342	1365	1133	1430	1549	1616	1638	1540	1542
3	1695	1804		1890	1707	1589	1458	1369	1421	1201	1492	1507	1633	1748	1681	1646
4	1860	1839	1890		1585	1559	1444	1392	1493	1358	1633	1531	1685	1887	1872	1873
5	1895	1717	1707	1585		1602	1491	1462	1638	1534	1888	1778	1627	1827	1879	1912
6	1754	1634	1589	1559	1602		1590	1554	1825	2091	2224	2094	1886	1693	1649	1722
7	1516	1488	1458	1444	1491	1590		1768	2113	2384	2365	2205	1975	1758	1637	1514
8	1322	1342	1369	1392	1462	1554	1768		2372	2223	2025	1877	1737	1592	1512	1403
9	1333	1365	1421	1493	1638	1825	2113	2372		1892	1704	1642	1579	1502	1478	1404
10	1141	1133	1201	1358	1534	2091	2384	2223	1892		1541	1526	1547	1479	1477	1222
11	1549	1430	1492	1633	1888	2224	2365	2025	1704	1541		1807	1763	1618	1645	1657
12	1681	1549	1507	1531	1778	2094	2205	1877	1642	1526	1807		1996	1724	1716	1745
13	1689	1616	1633	1685	1627	1886	1975	1737	1579	1547	1763	1996		1601	1713	1700
14	1651	1638	1748	1887	1827	1693	1758	1592	1502	1479	1618	1724	1601		1972	1848
15	1607	1540	1681	1872	1879	1649	1637	1512	1478	1477	1645	1716	1713	1972		1840
16	1585	1542	1646	1873	1912	1722	1514	1403	1404	1222	1657	1745	1700	1848	1840	

低點目標高度（3.95 m）平面（速率:m/s, N/A: Not available）

速率	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		1971	1948	1995	1659	1489	1220	1229	1007	815	1398	1520	1624	1743	1879	2081
2	1971		2056	1986	1689	1531	1395	1346	1311	528	1617	1765	1471	1524	1633	1878
3	1948	2056		1915	1650	1526	1397	1391	1394	1093	1842	2019	1491	1459	1583	1830
4	1995	1986	1915		1466	1638	1495	1543	1593	1161	2331	2555	1903	1351	1557	1863
5	1659	1689	1650	1466		1881	1696	1707	1860	1875	3051	2999	2350	1839	1493	1322
6	1489	1531	1526	1638	1881		1714	1691	1994	2806	3424	3108	2350	1870	1561	1382
7	1220	1395	1397	1495	1696	1714		1626	2098	3382	3142	2550	1983	1497	1285	1177
8	1229	1346	1391	1543	1707	1691	1626		2574	3517	2526	2007	1715	1490	1334	1152
9	1007	1311	1394	1593	1860	1994	2098	2574		2088	1716	1540	1420	1312	1226	967
10	815	528	1093	1161	1875	2806	3382	3517	2088		1481	1362	1106	1108	1001	907
11	1398	1617	1842	2331	3051	3424	3142	2526	1716	1481		1545	1538	1467	1451	1426
12	1520	1765	2019	2555	2999	3108	2550	2007	1540	1362	1545		1840	1778	1748	1752
13	1624	1471	1491	1903	2350	2350	1983	1715	1420	1106	1538	1840		1788	1837	1879
14	1743	1524	1459	1351	1839	1870	1497	1490	1312	1108	1467	1778	1788		2031	1981
15	1879	1633	1583	1557	1493	1561	1285	1334	1226	1001	1451	1748	1837	2031		2218
16	2081	1878	1830	1863	1322	1382	1177	1152	967	907	1426	1752	1879	1981	2218	

表 7、11 號巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力波偵測結果情形表

高點目標高度（4.36 m）平面（速率:m/s, N/A: Not available）

速率	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		2451	1278	1020	822	460	407	321	241	272	302	379	418	668	809	782
2	865		1256	1313	1112	945	515	447	896	276	718	430	403	452	922	989
3	988	1184		1505	1131	503	532	378	986	291	244	321	316	443	813	1067
4	1056	1278	1165		954	872	691	739	1045	558	953	685	338	410	743	1015
5	944	1259	1274	1228		799	999	607	1032	460	870	273	251	321	492	569
6	826	1136	1168	1161	791		859	517	575	440	371	390	251	293	353	458
7	441	559	648	753	1127	839		446	509	451	356	379	296	247	322	384
8	297	385	463	494	458	503	417		768	821	590	565	459	413	363	337
9	663	N/A	1013	1099	1124	597	539	1022		896	978	918	571	378	650	929
10	133	N/A	762	163	181	146	157	393	881		525	383	243	210	402	935
11	323	786	915	1018	336	292	397	864	1032	631		1100	1113	1195	1033	1216
12	394	649	785	898	270	352	413	500	1014	596	1063		956	1151	1113	1269
13	432	473	638	451	235	235	302	419	900	438	1021	769		891	1062	1300
14	581	635	478	491	313	261	245	347	903	449	1193	1099	834		1003	906
15	631	815	794	658	367	297	321	303	923	392	1188	1103	964	877		1328
16	642	929	896	812	439	401	354	275	258	310	912	935	797	918	1024	

低點目標高度（2.86 m）平面（速率:m/s）

速率	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		2187	2246	2032	1867	1508	791	663	556	500	739	902	1324	2042	2145	2044
2	2187		1987	1953	1899	1669	870	669	590	500	658	797	1070	1903	2063	2124
3	2246	1987		1899	2001	1754	994	868	667	500	602	697	865	1594	1936	2068
4	2032	1953	1899		2034	2093	1171	1009	767	500	598	554	761	873	1357	1631
5	1867	1899	2001	2034		2168	1802	1250	1014	500	664	543	596	740	868	966
6	1508	1669	1754	2093	2168		1835	1524	1237	604	782	687	592	609	673	792
7	791	870	994	1171	1802	1835		1658	1411	860	817	919	700	500	507	640
8	663	669	868	1009	1250	1524	1658		2333	1555	1276	1030	870	789	669	598
9	556	590	667	767	1014	1237	1411	2333		1236	1346	1056	901	686	551	500
10	500	500	500	500	500	604	860	1555	1236		1354	910	598	500	500	500
11	739	658	602	598	664	782	817	1276	1346	1354		1947	1499	1052	816	808
12	902	797	697	554	543	687	919	1030	1056	910	1947		1633	1479	1195	964
13	1324	1070	865	761	596	592	700	870	901	598	1499	1633		1815	1800	1263
14	2042	1903	1594	873	740	609	500	789	686	500	1052	1479	1815		1899	1966
15	2145	2063	1936	1357	868	673	507	669	551	500	816	1195	1800	1899		1847
16	2044	2124	2068	1631	966	792	640	598	500	500	808	964	1263	1966	1847	

表 8. 現場維管紀錄表

基本資料		日照情形	地面坡度	周圍設施	其 他：_____
編號		☐ 良 ☐ 普通 ☐ 稍不良 ☐ 不良	傾斜方向：_____	☐ 涼亭 ☐ 步道旁 ☐ 公廁 ☐ 其他	
胸徑(m)			☐ 平緩(<15°)		
樹高(m)			☐ 傾斜(15~45°)		
座 標			☐ 危險(>45°)		

樹 冠	冠層枯枝	冠層枯葉	冠層下方枝條	枝葉偏向 (生長不均)	其他：_____	結論 (改善措施)
無						
有						
備註						

樹 幹	外觀受損 (穿孔、開裂)	傾 斜	畸形 (腫大、歪曲)	枝 條	其他：_____	結論 (改善措施)
無						
有						
備註						

樹 根	突出暴露	傷 害	土壤凸起	土壤流失	其他：_____	結論 (改善措施)
無						
有						
備註						

記錄人員：_____

紀錄時間：_____ (每半年檢視)

附錄 1. 紅檜人工造林橫向打音共振法之 $fr_1 \cdot C$ 之基礎值資料庫

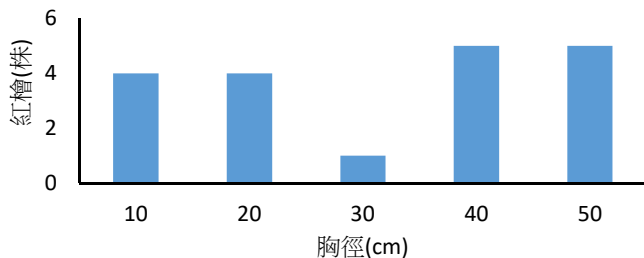
為建立健全紅檜林木之橫向打音共振法之 $fr_1 \cdot C$ 之基礎值資料庫，於林務局新竹林區管理處大安溪事業區第 30 林班紅檜人工造林地現場選取不同直徑之健全紅檜，每徑級取 3-5 株紅檜供後續進行橫向打音試驗用。

方法

先用目視法於造林地選取通直、樹型圓、無根張、無病枯等外部特徵之健全紅檜；再以鑽孔阻抗儀(IML-RESI PowerDrill[®]) IML RESI PD-500 (IML System GmbH, Wiesloch, Germany) 進行確認。鑽針呈細長型，表面為硬鉻塗層，尖端切削面直徑 3 mm 呈三角形，並帶有尖刺以確保鑽孔過程中穩定鑽頭的線性穿透，細軸直徑 1.5 mm，可量測長度 500 mm，鑽孔速度固定為 50cm/min、2,500RPM。

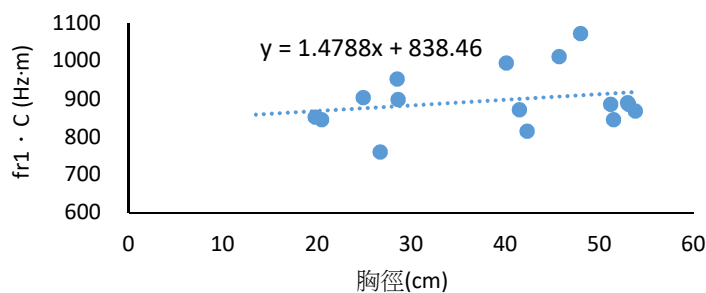
結果 1

試驗共選取 19 株紅檜，胸高樹徑 10-20cm 共 4 株、20-30cm 共 4 株、30-40cm 共 1 株、40-50cm 共 5 株、50-60cm 共 5 株。



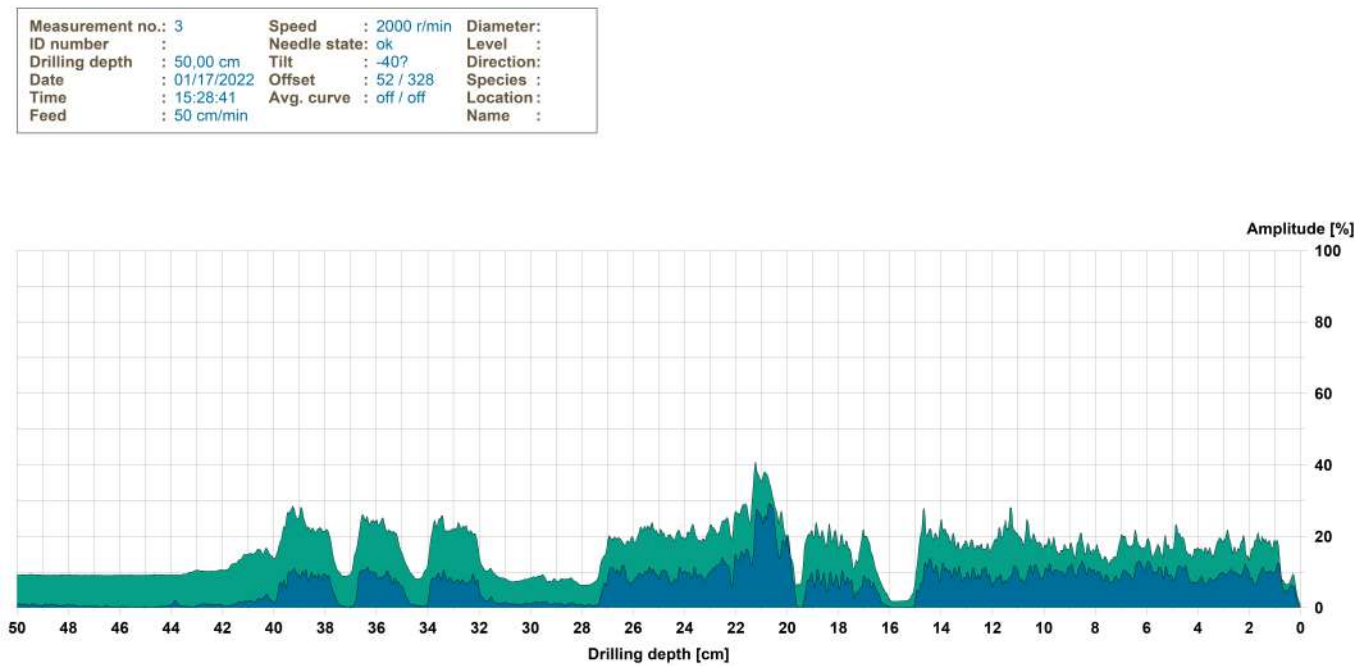
結果 2

19 株紅檜之 $fr_1 \cdot C$ 之平均值為 910 Hz · m。

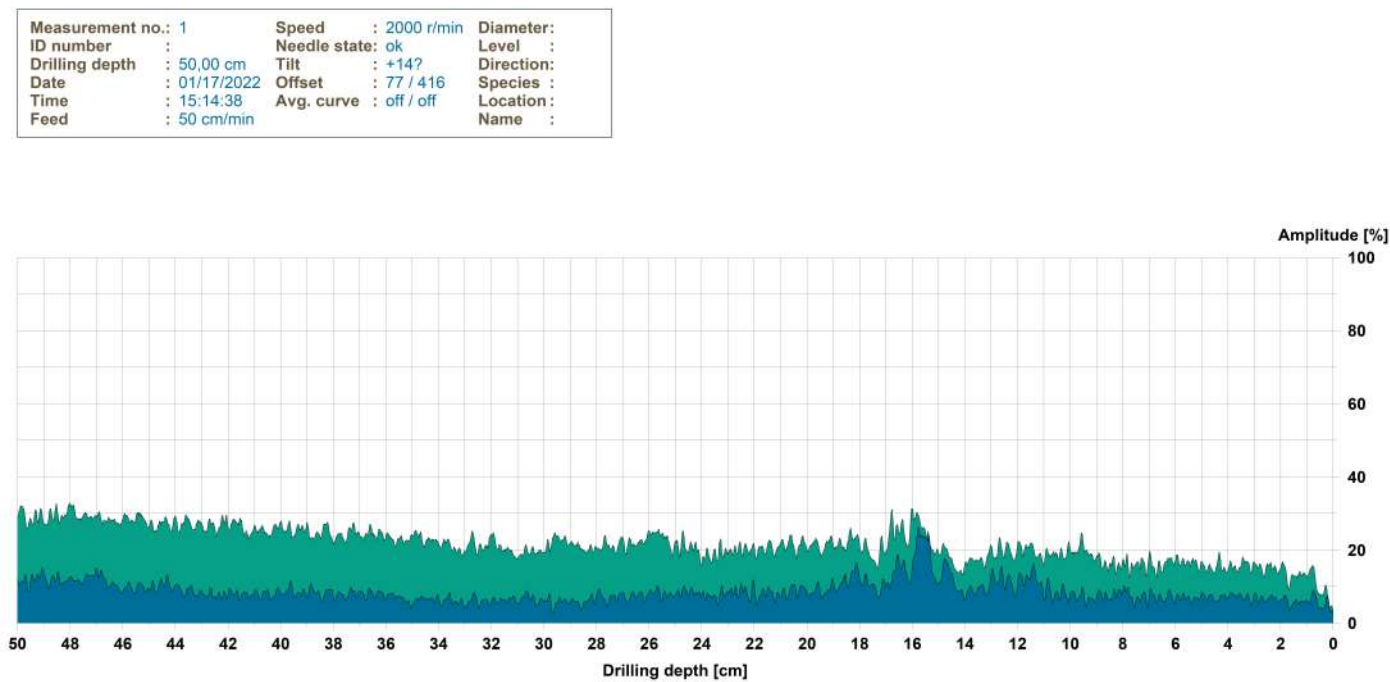


附錄 2. 2 號巨木阻抗圖譜試驗結果

圖 16 高點目標高度-上

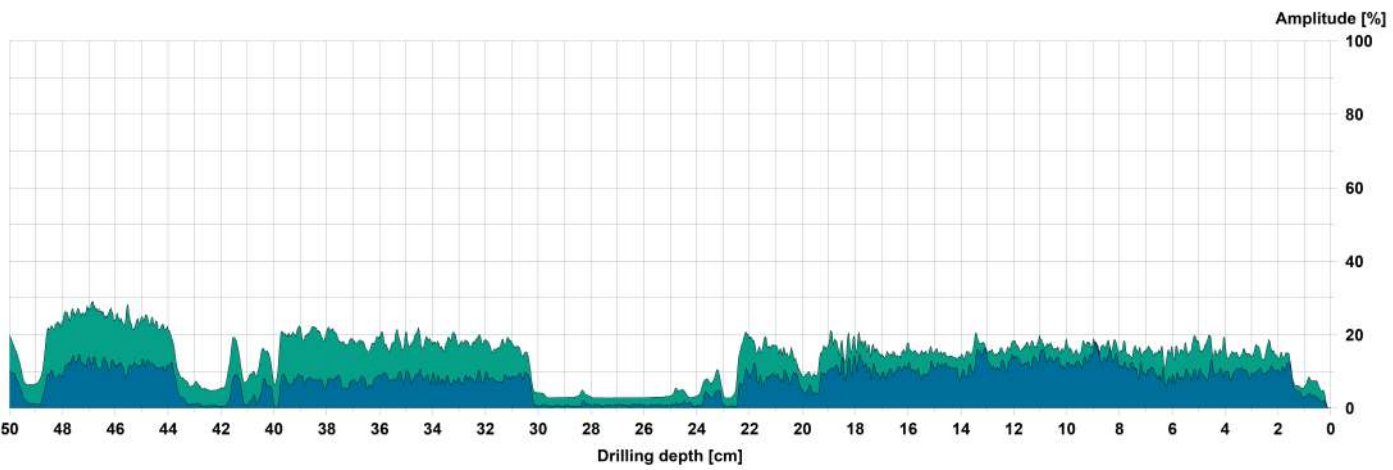


高點目標高度-下



高點目標高度-左

Measurement no.:	4	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: +2?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 62 / 281	Species	:
Time	: 15:36:28	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



高點目標高度-右

Measurement no.:	2	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: -2?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 66 / 306	Species	:
Time	: 15:23:42	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:

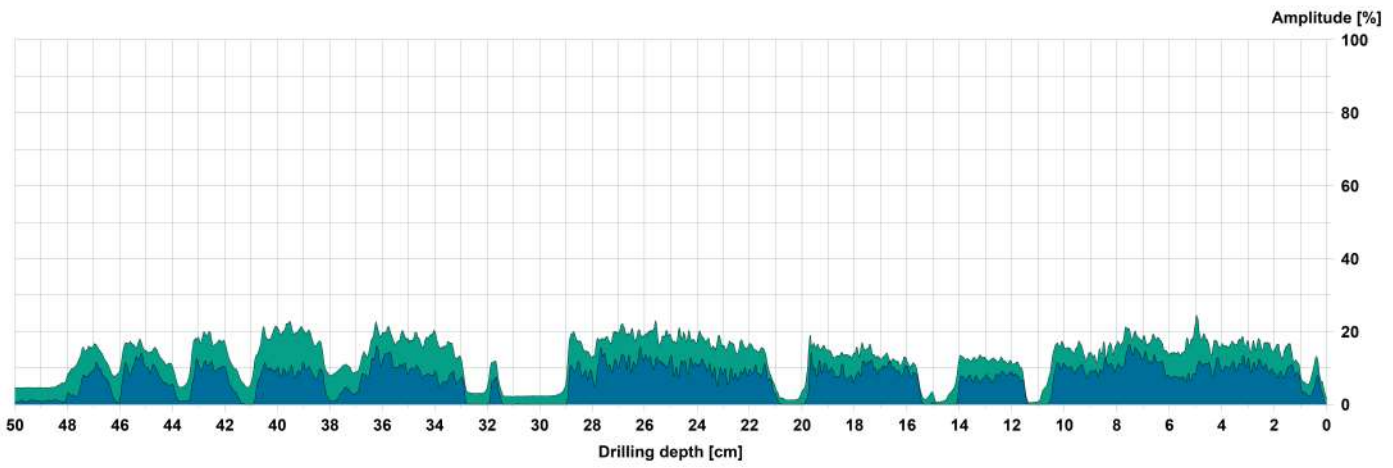
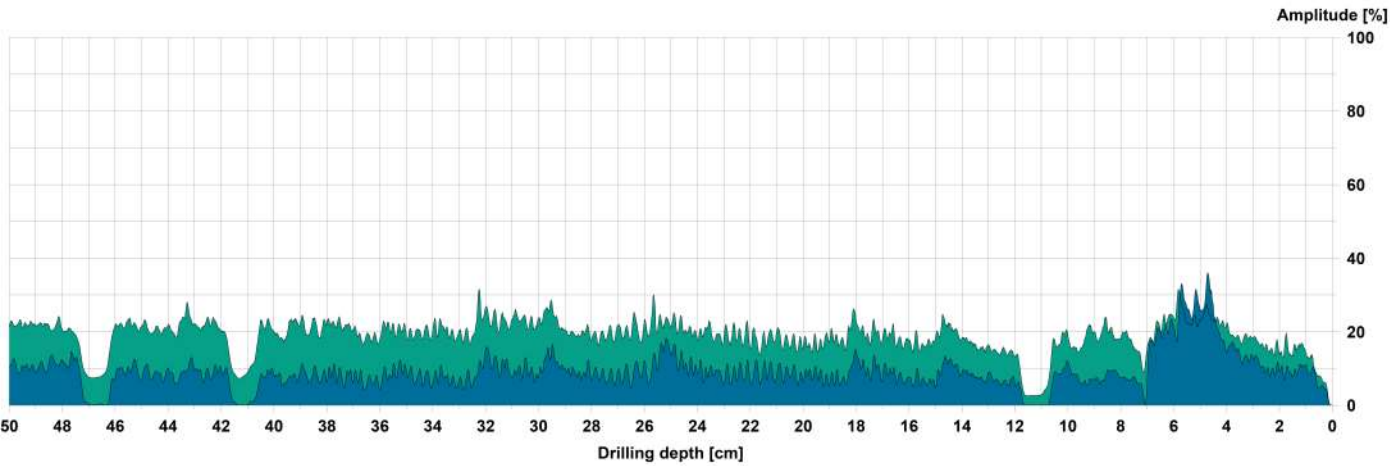


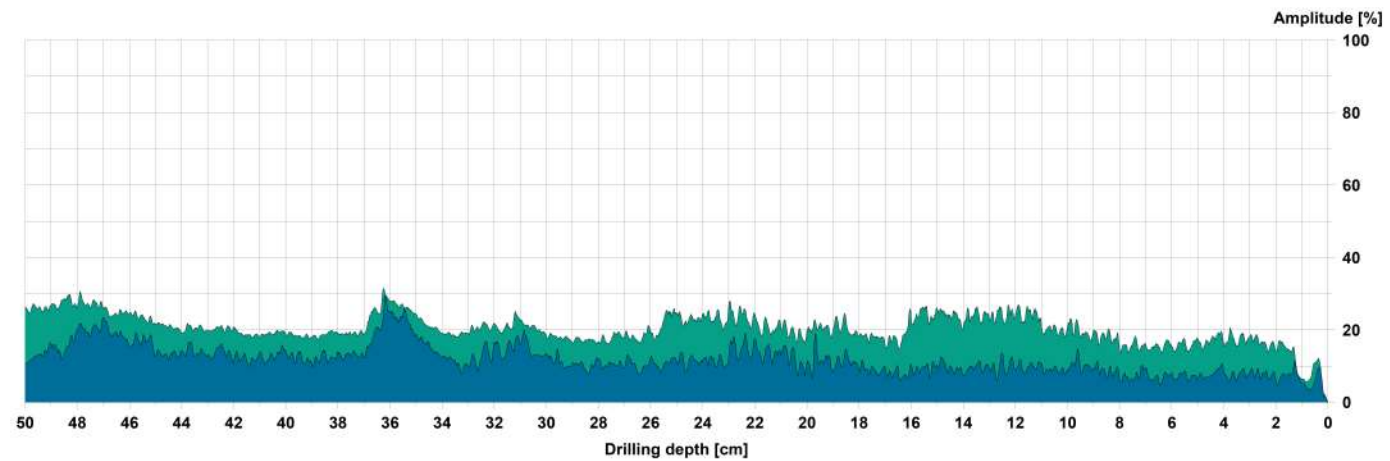
圖 17 低點目標高度-上

Measurement no.:	7	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: -49?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 55 / 282	Species	:
Time	: 15:57:47	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



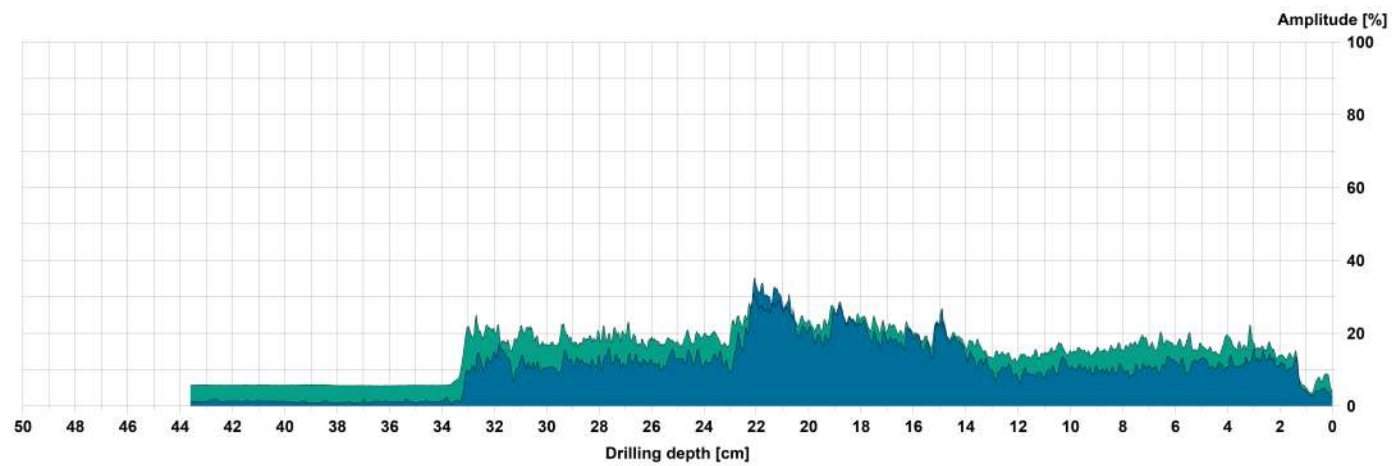
低點目標高度-下

Measurement no.:	5	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: +29?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 72 / 262	Species	:
Time	: 15:46:49	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



低點目標高度-左

Measurement no.:	8	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 43,60 cm	Tilt	: -14?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 60 / 363	Species	:
Time	: 16:01:02	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



低點目標高度-右

Measurement no.:	6	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 41,68 cm	Tilt	: +2?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 66 / 334	Species	:
Time	: 15:53:32	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:

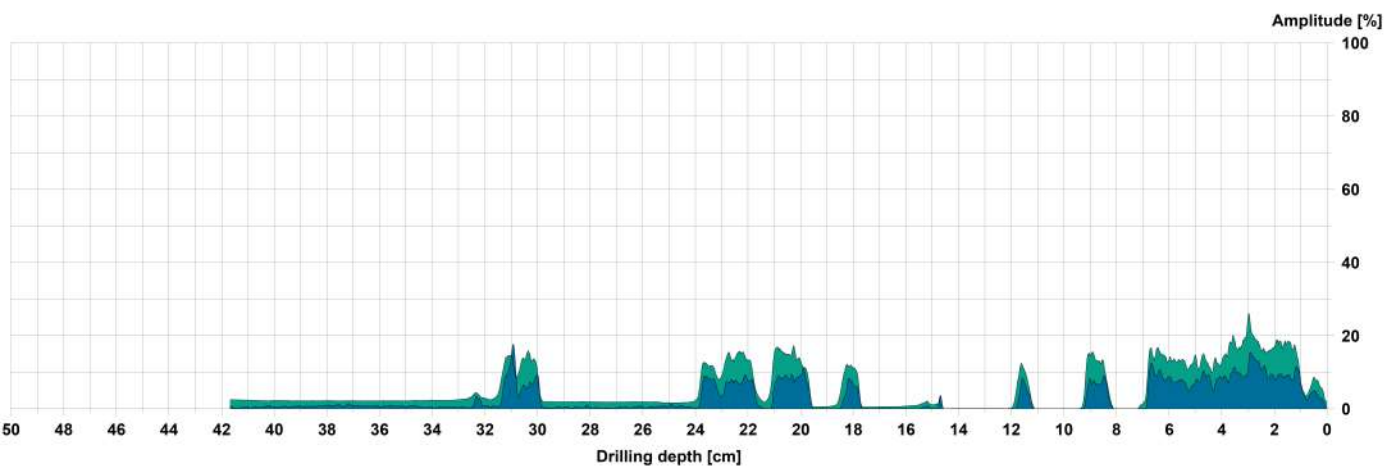
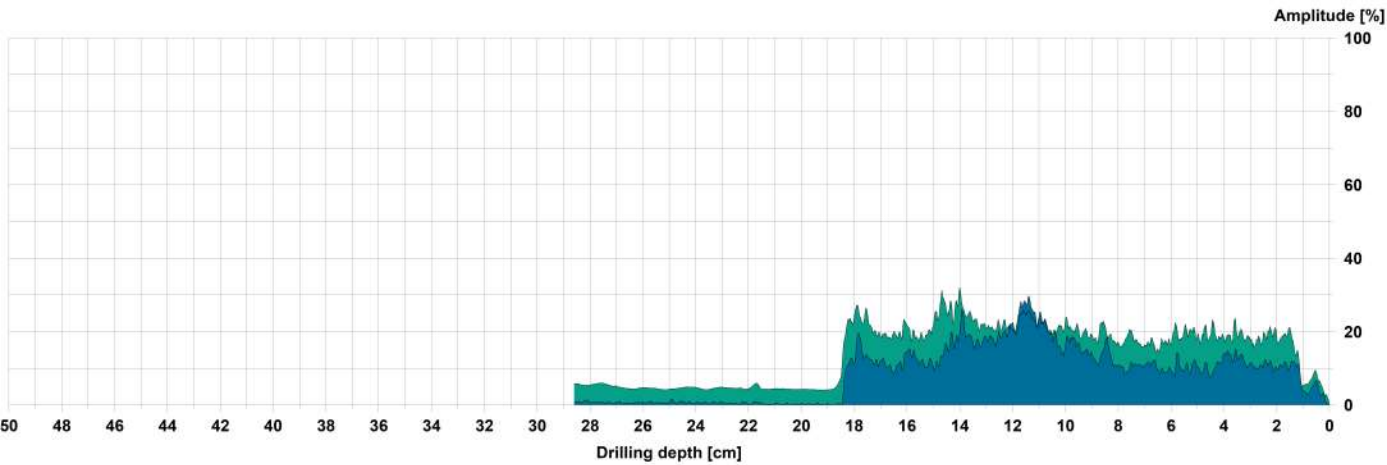


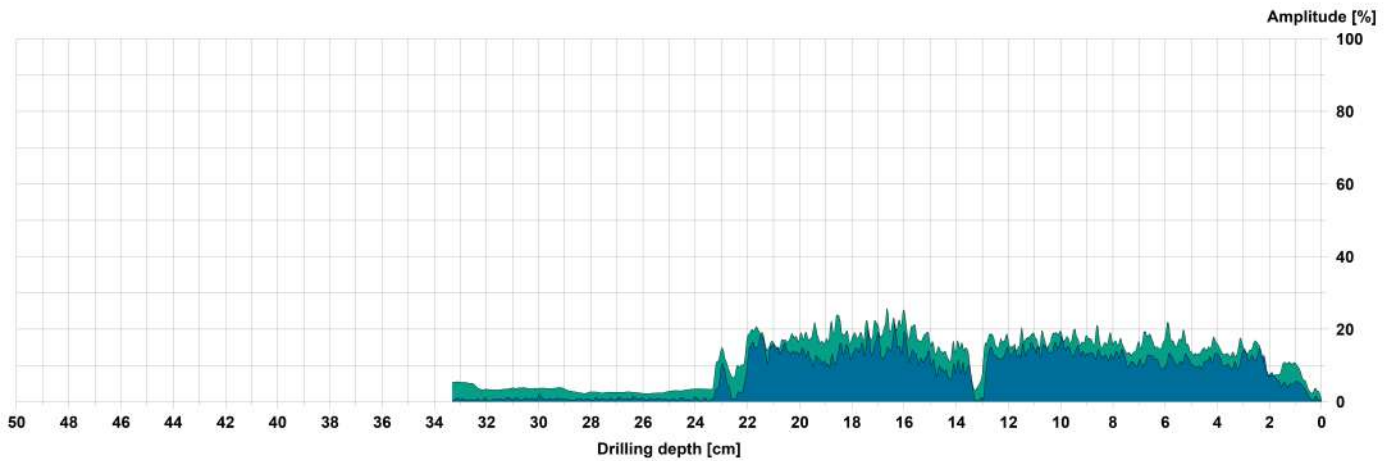
圖 18 東北大叉枝幹-上

Measurement no.:	9	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 28.60 cm	Tilt	: +2?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 66 / 317	Species	:
Time	: 16:11:05	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



東北大叉枝幹-下

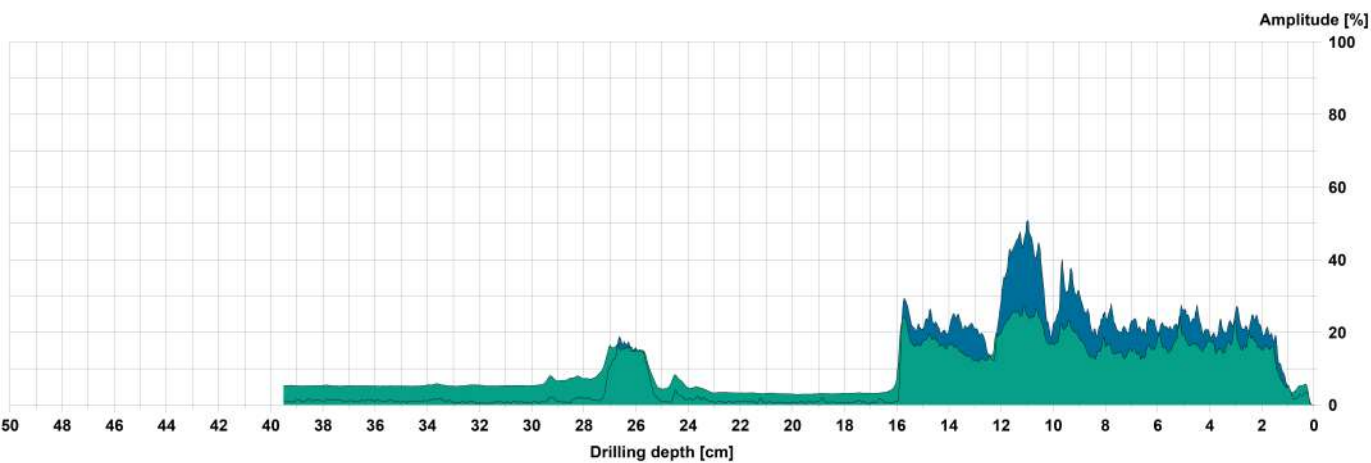
Measurement no.:	10	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 33.31 cm	Tilt	: 0?	Direction:	
Date	: 01/17/2022	Offset	: 66 / 344	Species	:
Time	: 16:16:09	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



附錄 2. 3 號巨木阻抗圖譜試驗結果

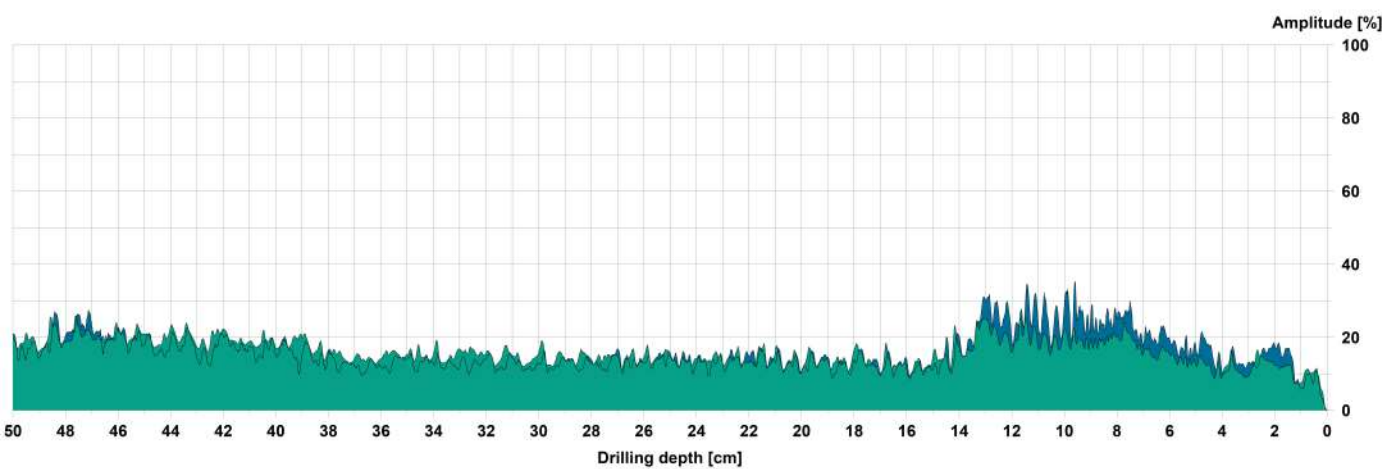
圖 21 高點目標高度-上

Measurement no.:	11	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 39.51 cm	Tilt	: -1?	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 61 / 280	Species	:
Time	: 14:34:14	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



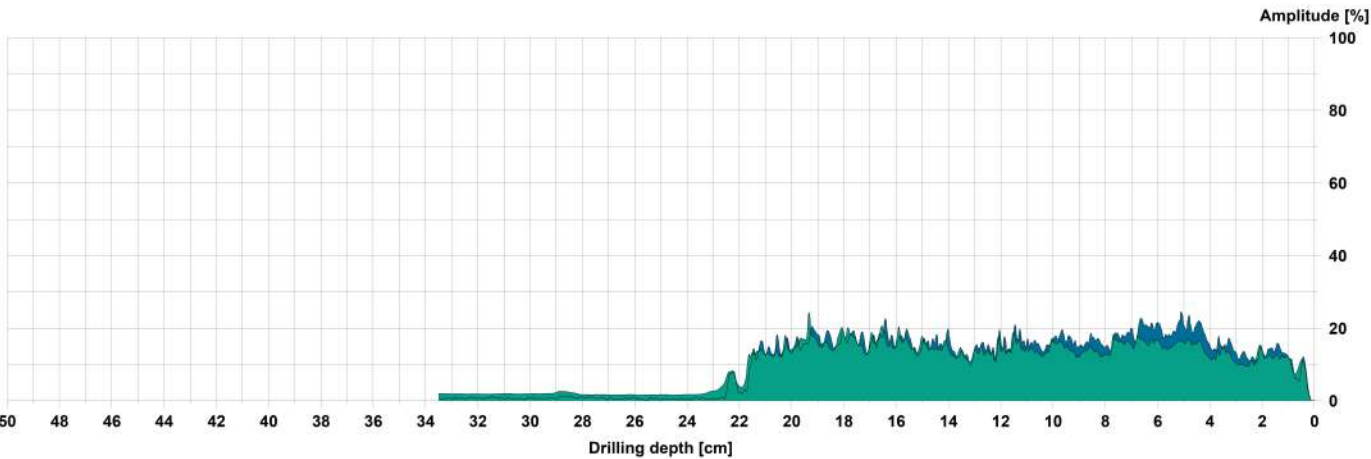
高點目標高度-下

Measurement no.:	8	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: 0?	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 70 / 301	Species	:
Time	: 14:01:41	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



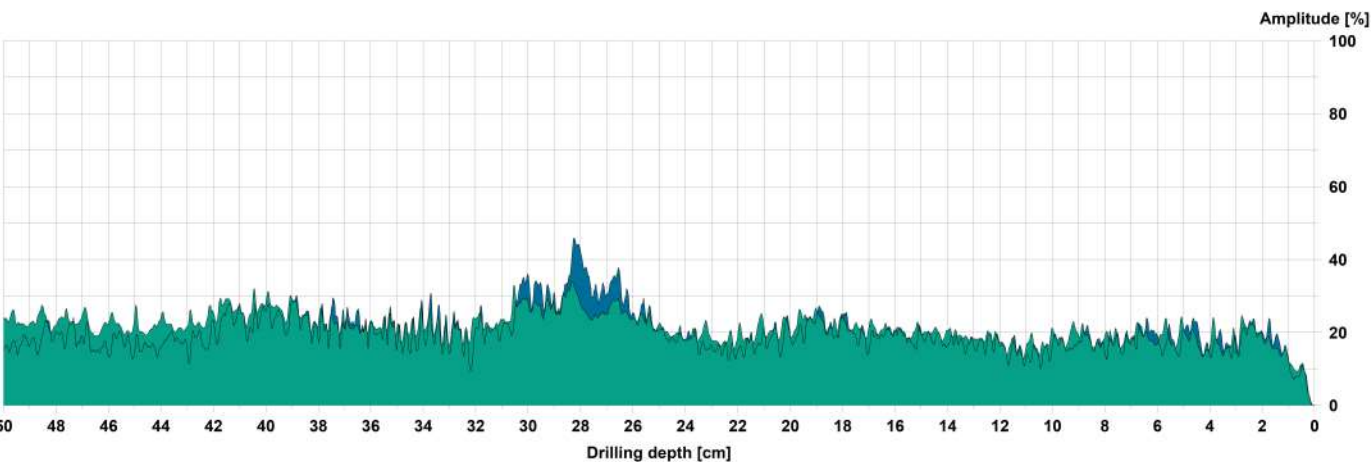
高點目標高度-左

Measurement no.:	10	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 33.50 cm	Tilt	: +1?	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 64 / 283	Species	:
Time	: 14:19:52	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



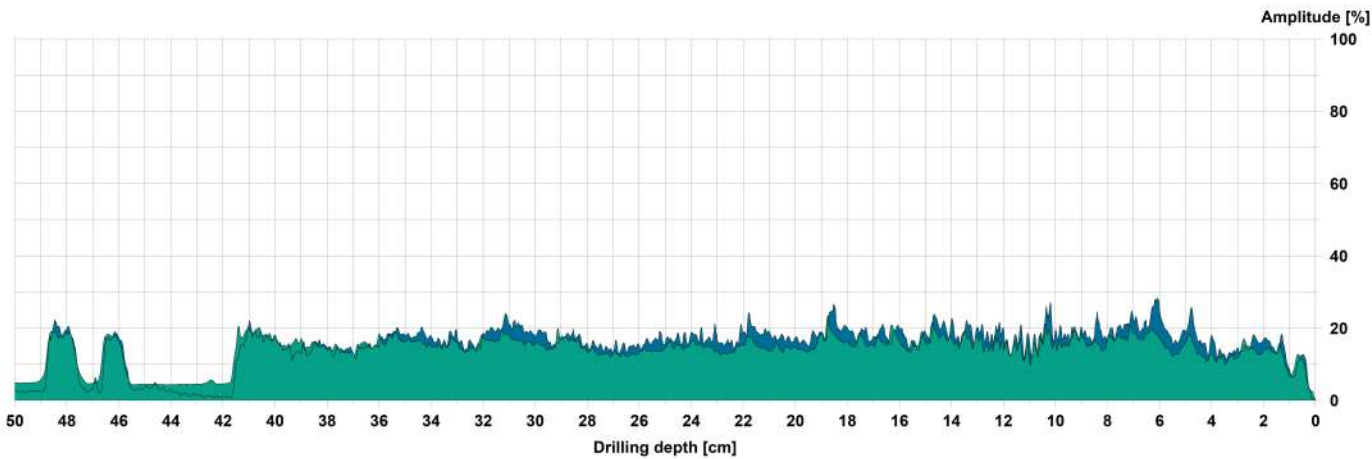
高點目標高度-左下

Measurement no.:	9	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: +1?	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 67 / 289	Species	:
Time	: 14:12:38	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



高點目標高度-右

Measurement no.:	12	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: +1?	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 64 / 275	Species	:
Time	: 14:43:19	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



不同高度-中上

Measurement no.:	12	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: +1?	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 64 / 275	Species	:
Time	: 14:43:19	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:

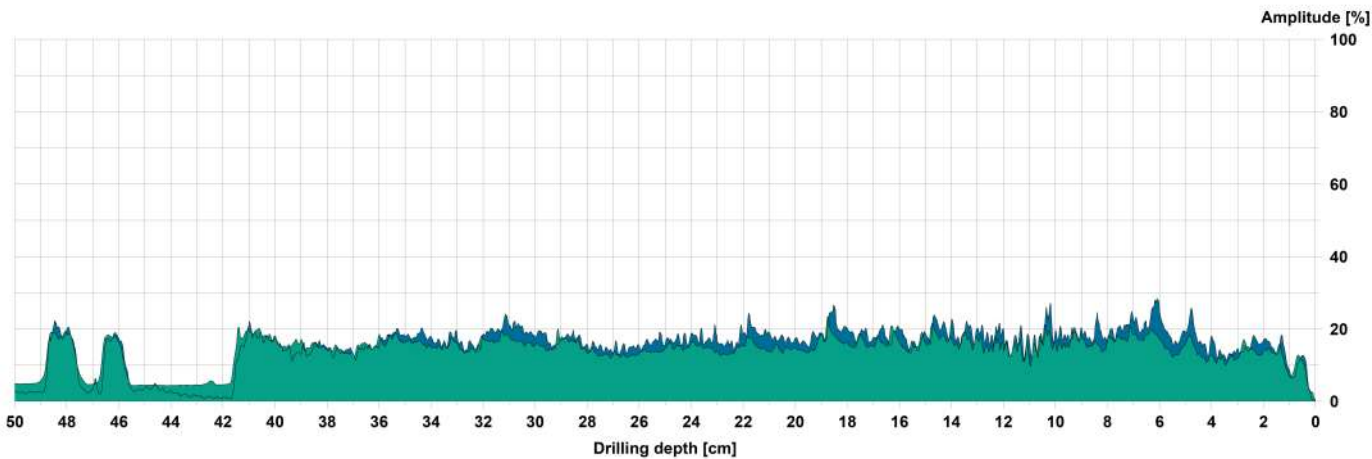
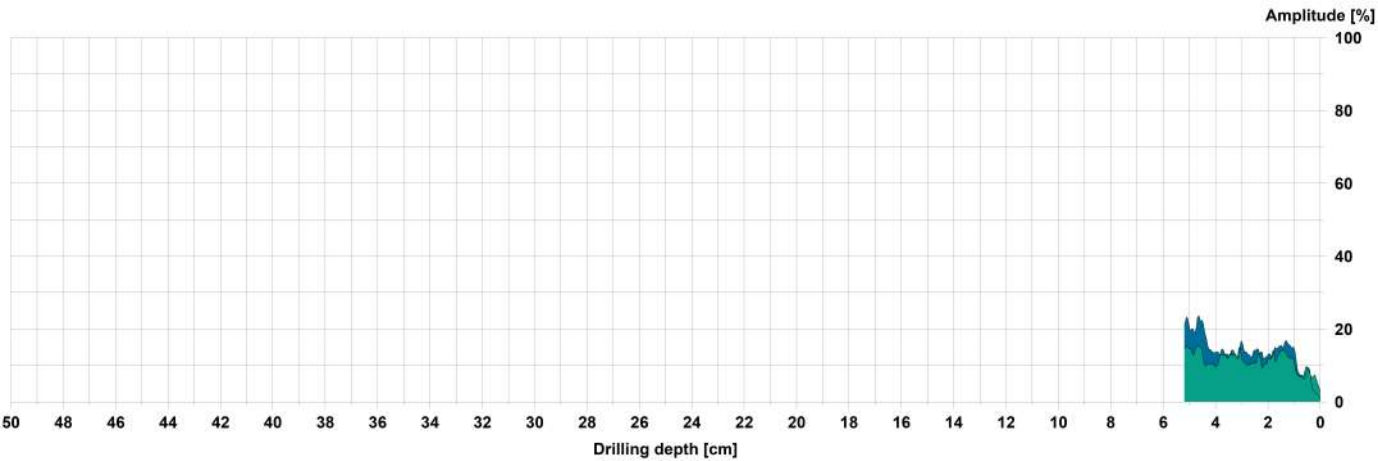


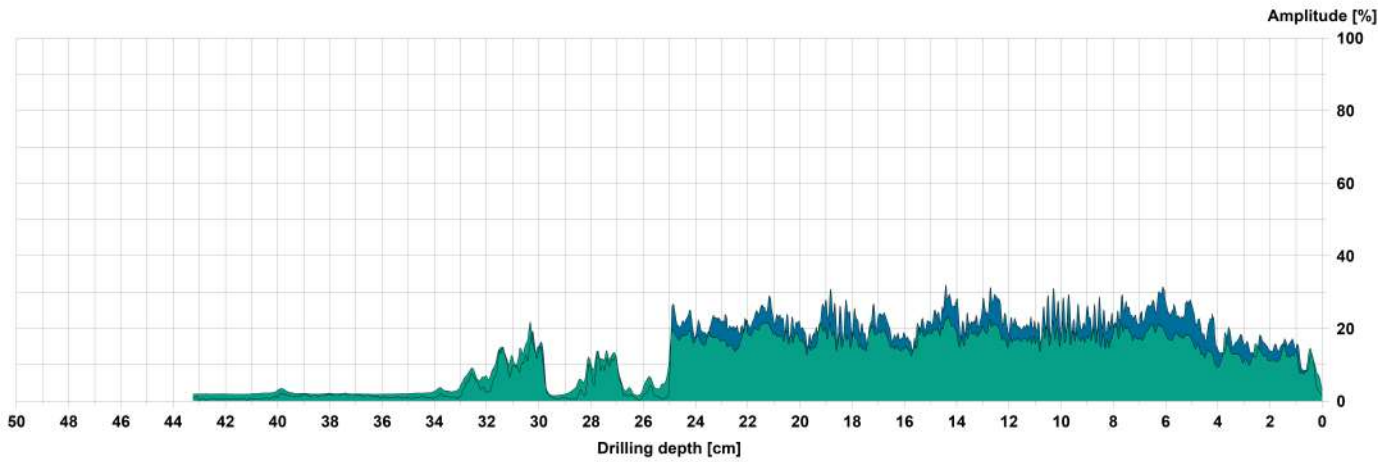
圖 22 低點目標高度-中中

Measurement no.:	13	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 5.19 cm	Tilt	: 0°	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 64 / 324	Species	:
Time	: 14:50:31	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min	Name	:		



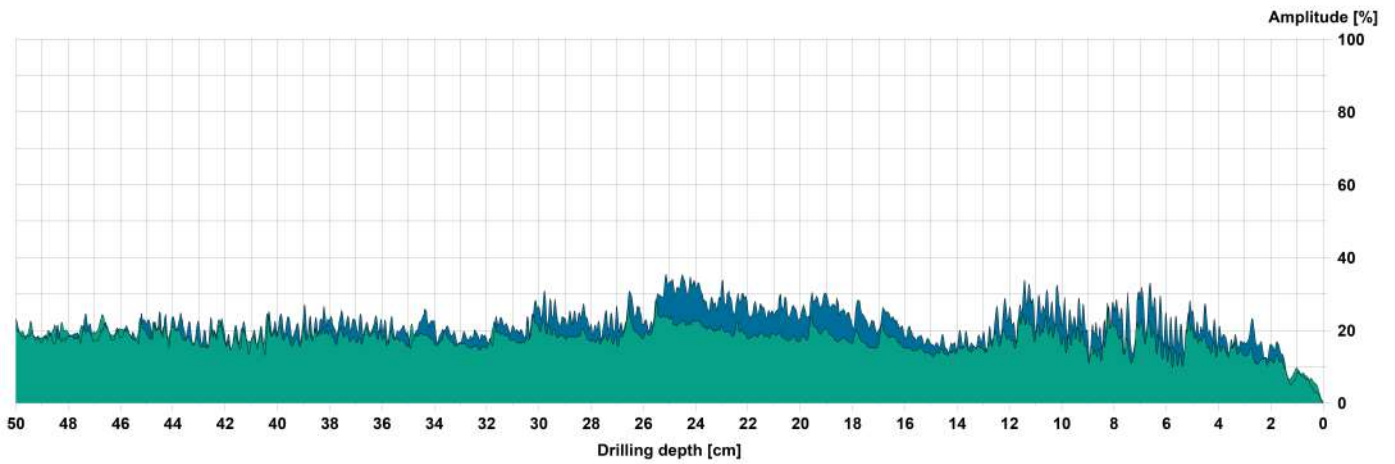
低點目標高度-中下

Measurement no.:	14	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 43.24 cm	Tilt	: 0°	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 61 / 318	Species	:
Time	: 14:51:52	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min	Name	:		



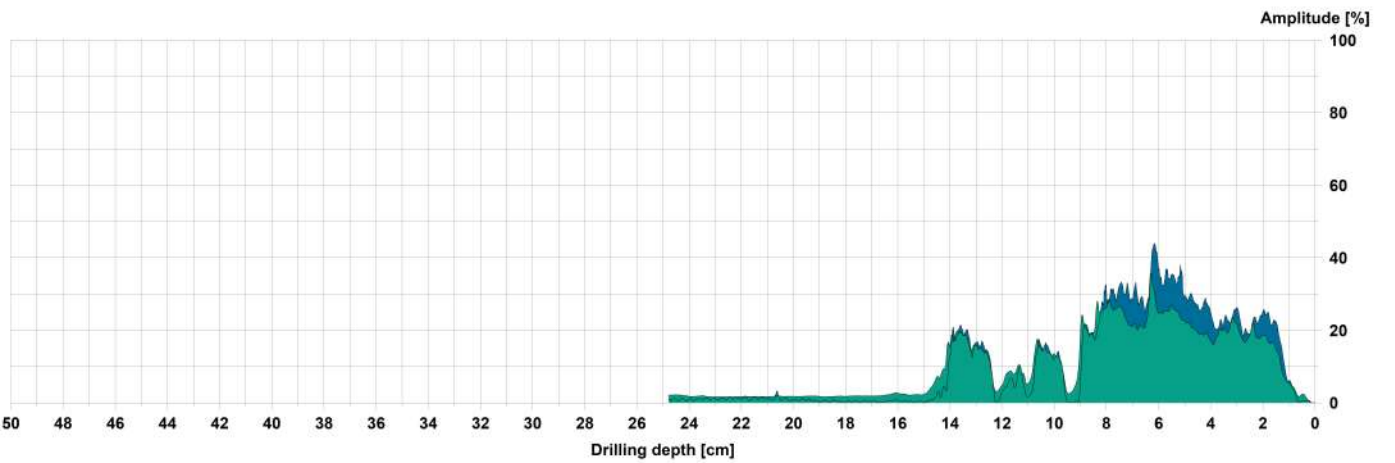
低點目標高度-左

Measurement no.:	16	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: 0°	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 61 / 296	Species	:
Time	: 15:00:02	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



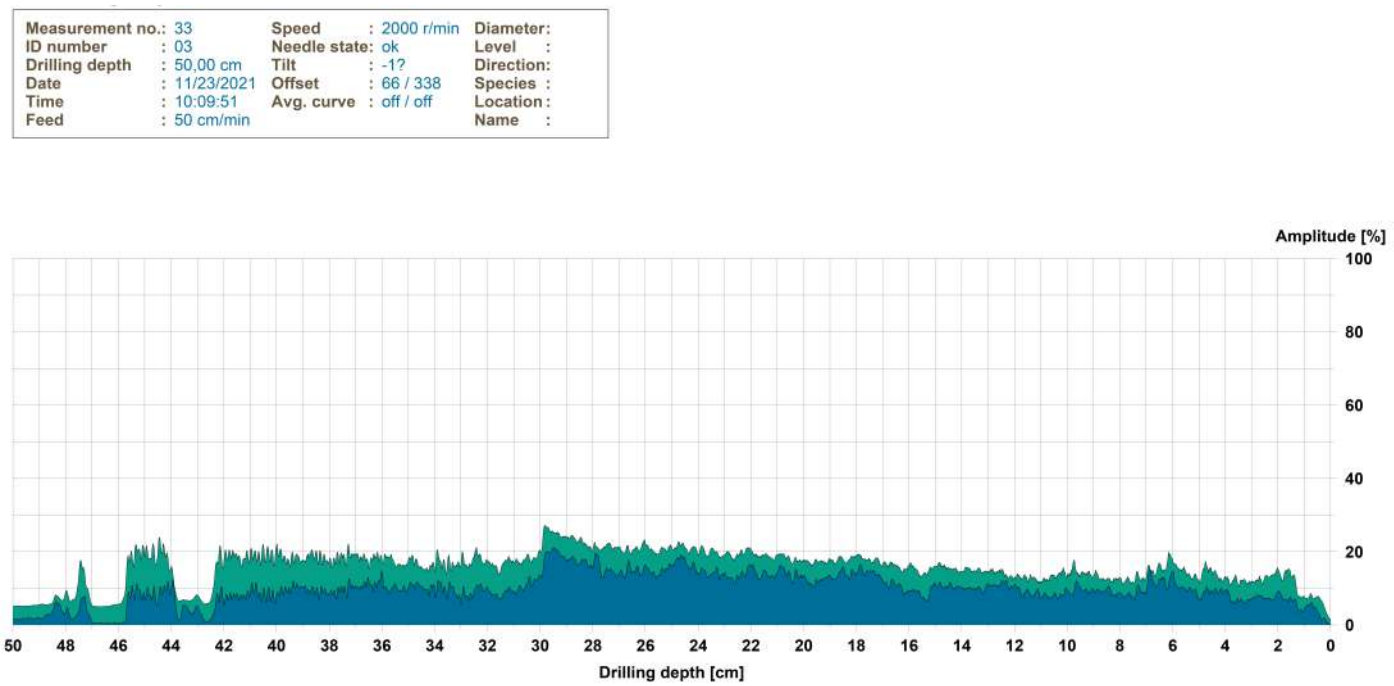
低點目標高度-右

Measurement no.:	15	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 24,78 cm	Tilt	: 0°	Direction:	
Date	: 11/11/2021	Offset	: 62 / 272	Species	:
Time	: 14:55:44	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:

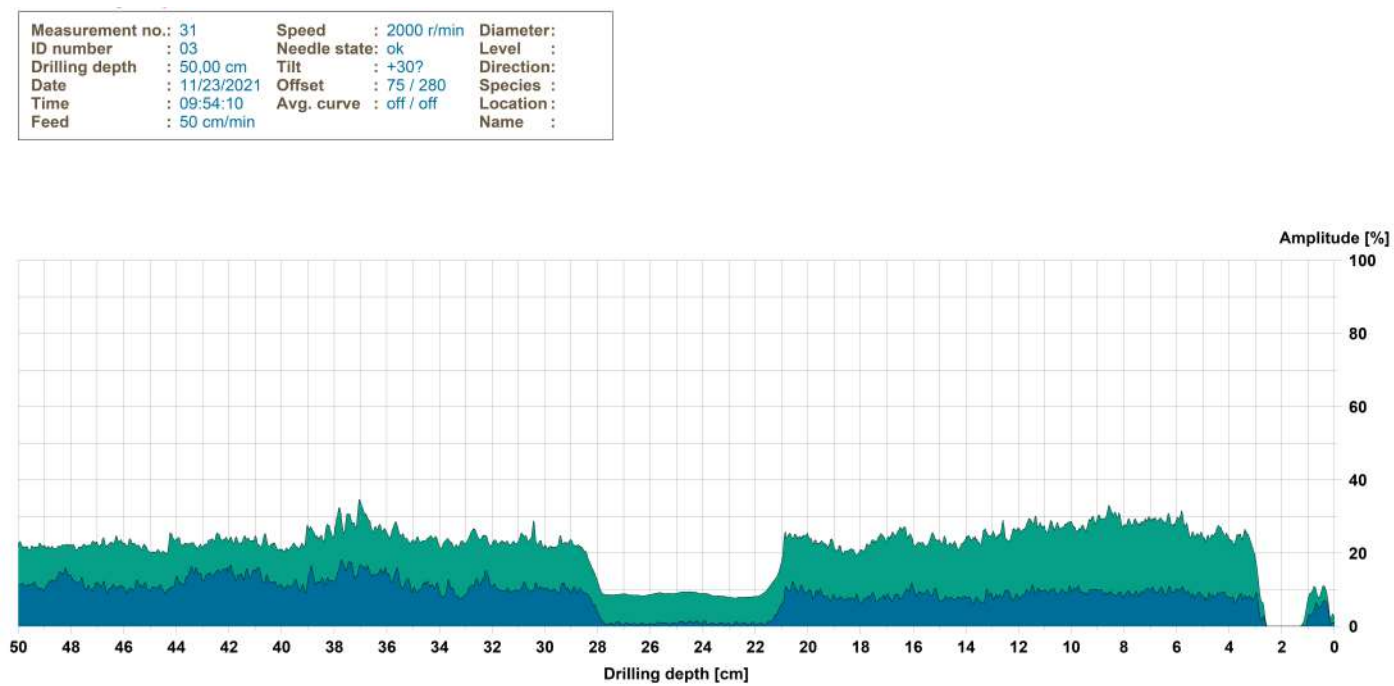


附錄 3. 4 號巨木阻抗圖譜試驗結果

圖 26 高點目標高度- 上

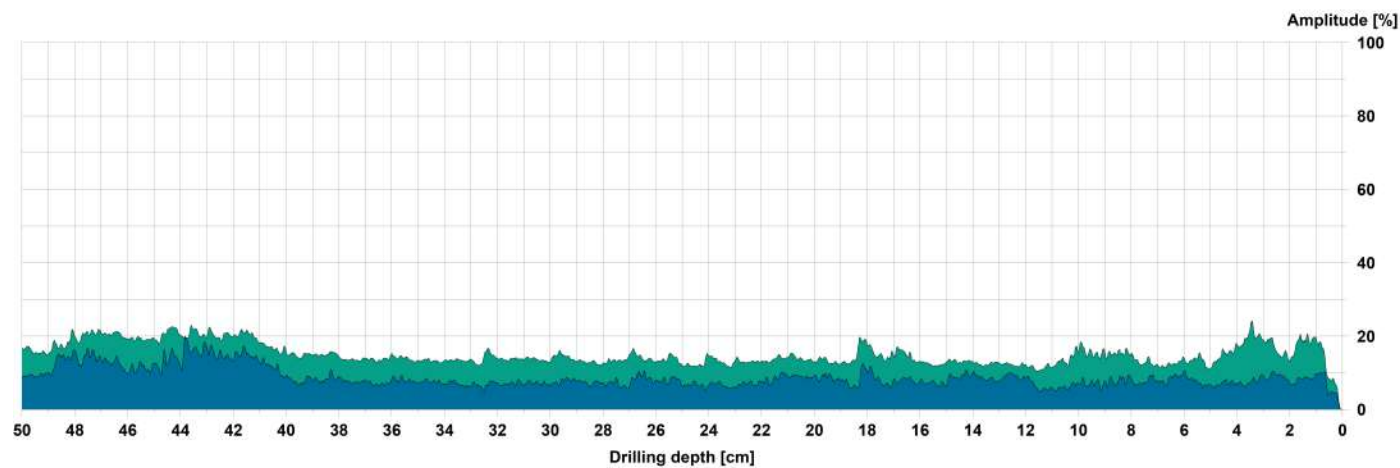


高點目標高度- 下左



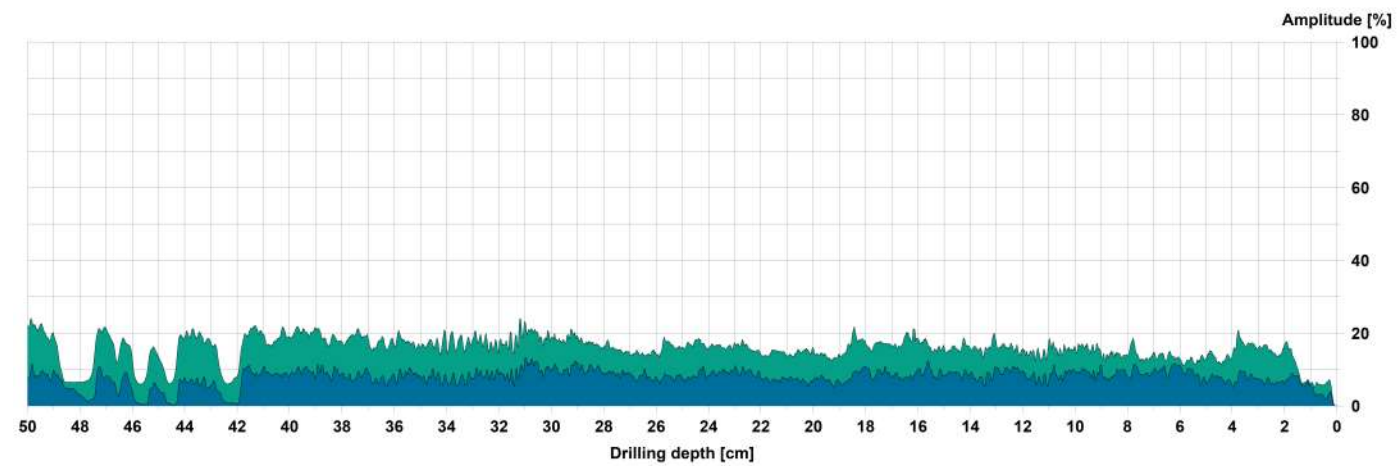
高點目標高度- 下右

Measurement no.:	29	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: 0?	Direction:	
Date	: 11/23/2021	Offset	: 73 / 307	Species	:
Time	: 09:40:01	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



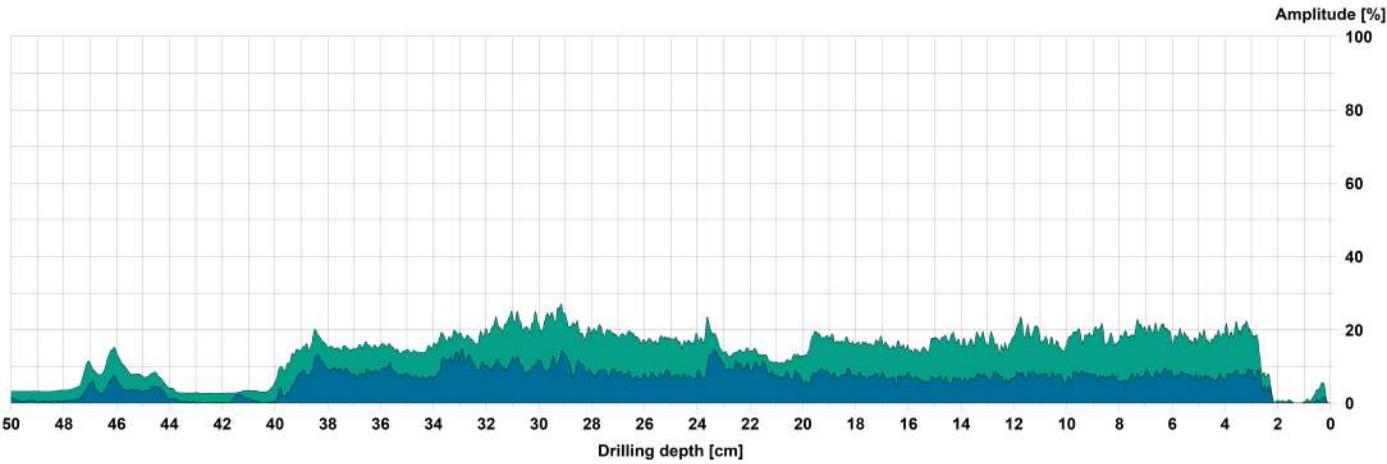
高點目標高度- 左上

Measurement no.:	32	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: +10?	Direction:	
Date	: 11/23/2021	Offset	: 70 / 284	Species	:
Time	: 10:02:40	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



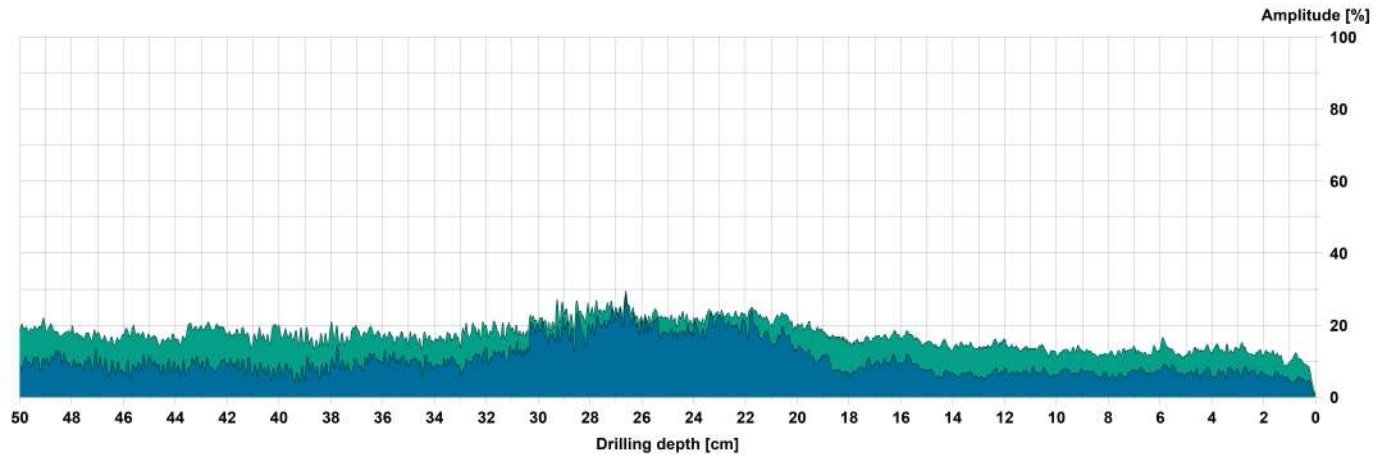
高點目標高度- 左下

Measurement no.:	30	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: +1?	Direction:	
Date	: 11/23/2021	Offset	: 67 / 289	Species	:
Time	: 09:49:35	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



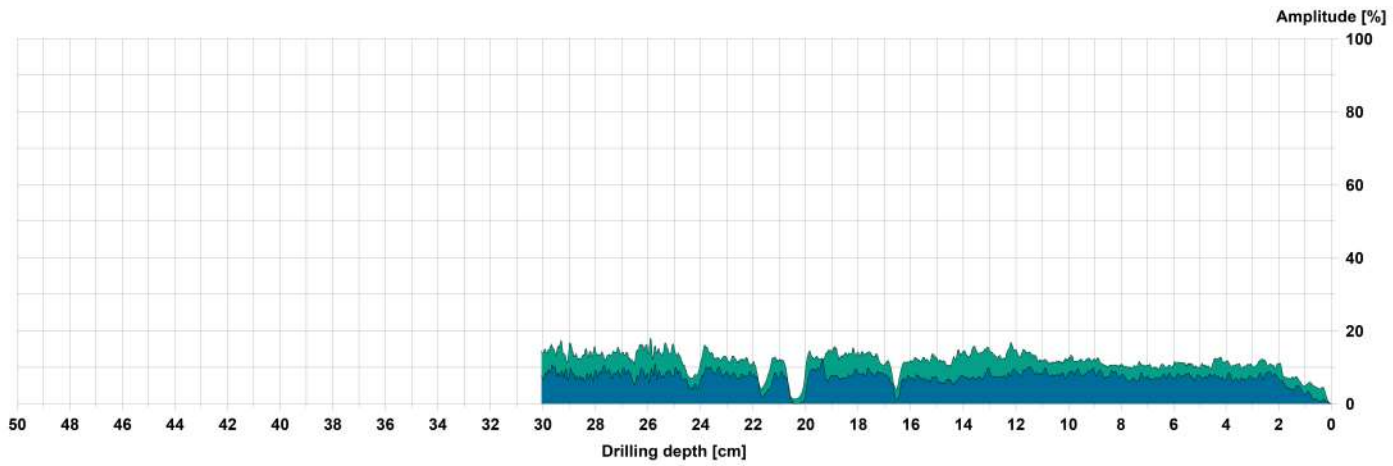
高點目標高度- 右上

Measurement no.:	34	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: -25?	Direction:	
Date	: 11/23/2021	Offset	: 59 / 303	Species	:
Time	: 10:21:03	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



高點目標高度- 右下

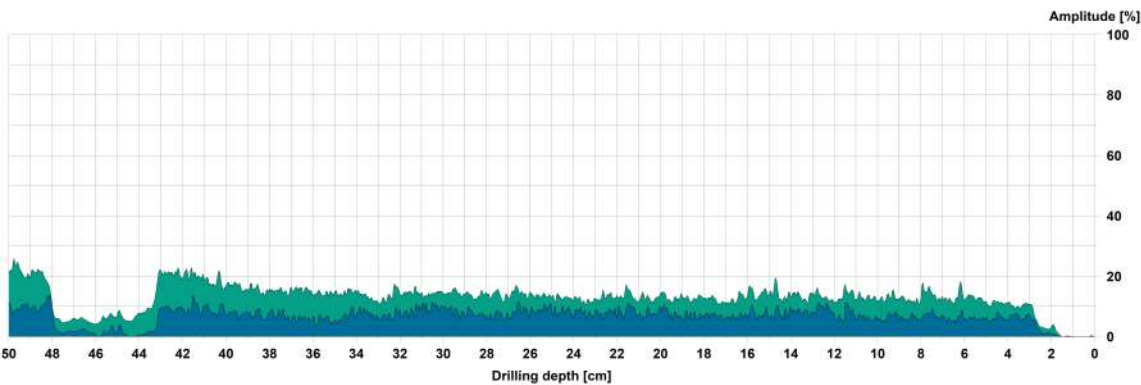
Measurement no.:	35	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	: 03	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 30.05 cm	Tilt	: -1°	Direction:	
Date	: 11/23/2021	Offset	: 67 / 315	Species	:
Time	: 11:28:01	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



附錄 4.5 號巨木阻抗圖譜試驗結果

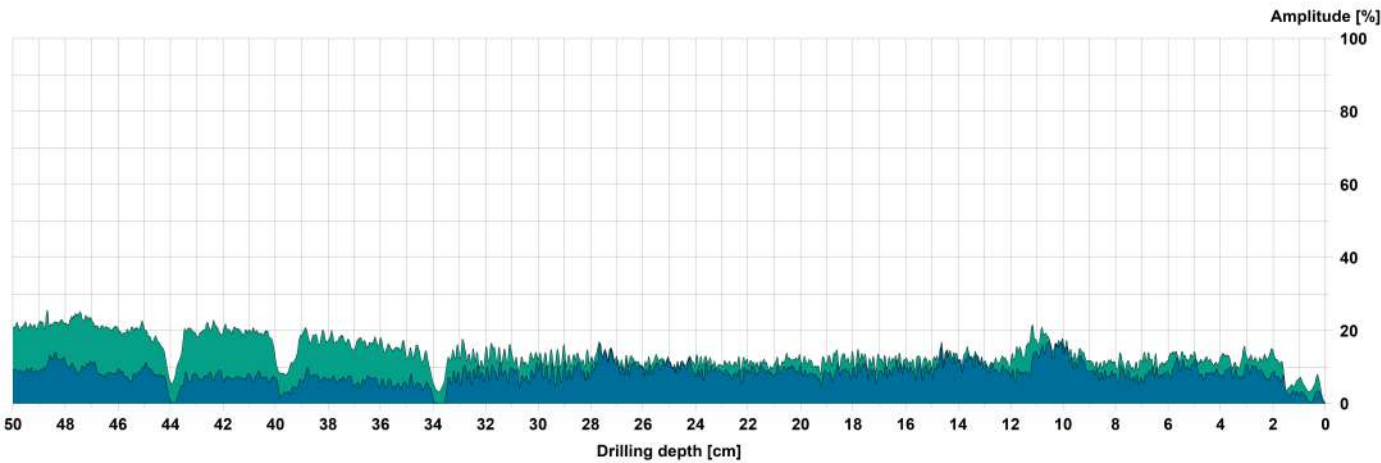
圖 30 高點目標高度- 上

Measurement no.:	14	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: 0°	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 65 / 321	Species	:
Time	: 13:40:38	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



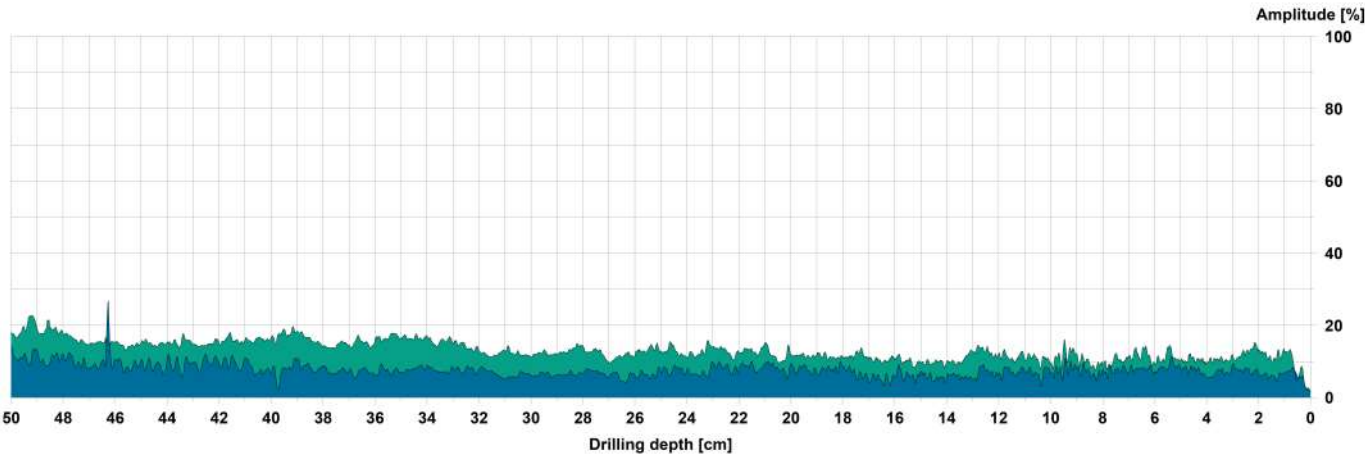
高點目標高度- 下

Measurement no.:	12	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: +1°	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 68 / 362	Species	:
Time	: 13:26:42	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



高點目標高度- 左

Measurement no.:	11	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: -35?	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 62 / 441	Species	:
Time	: 13:20:02	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



高點目標高度- 右

Measurement no.:	13	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50.00 cm	Tilt	: +13?	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 71 / 276	Species	:
Time	: 13:37:31	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:

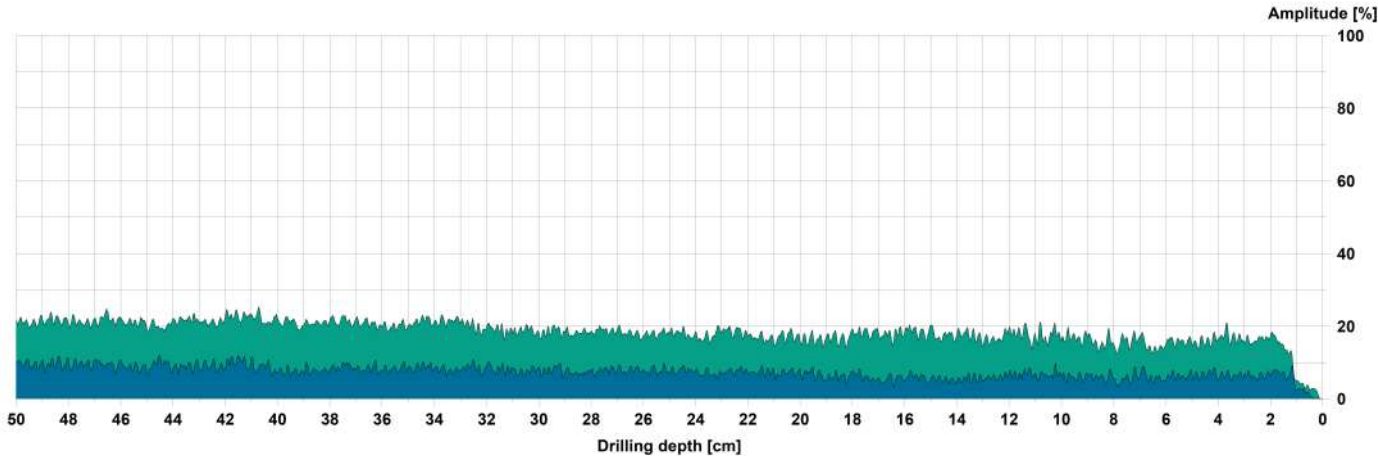
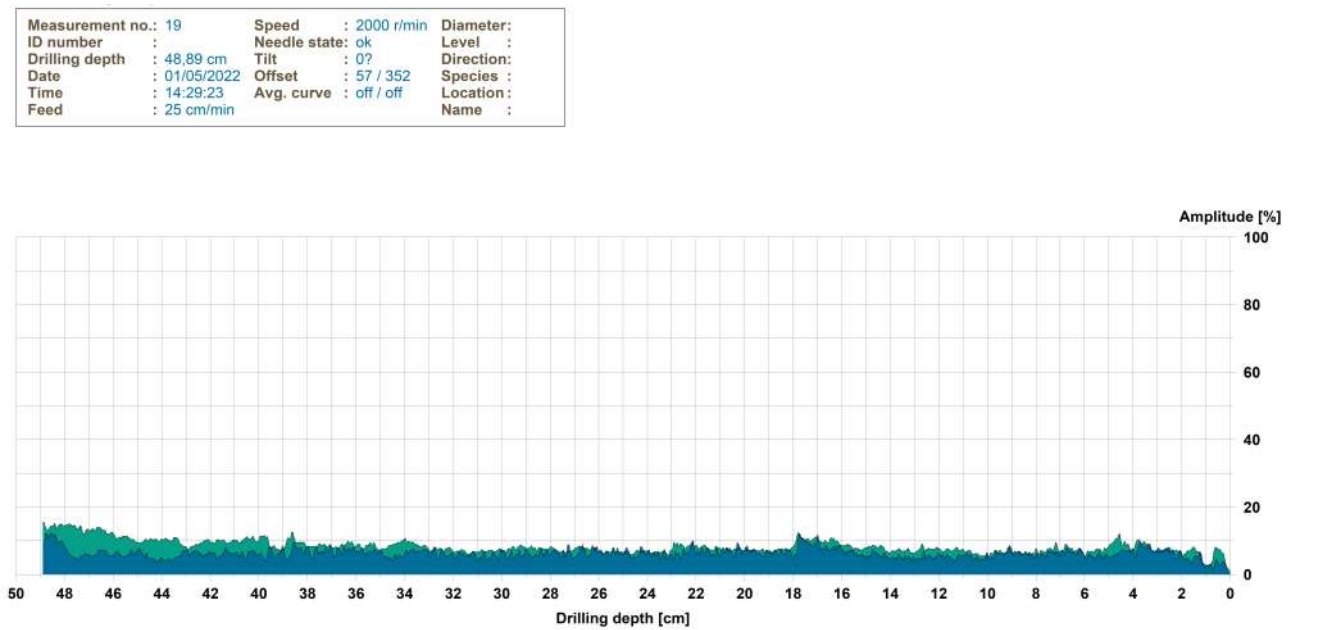
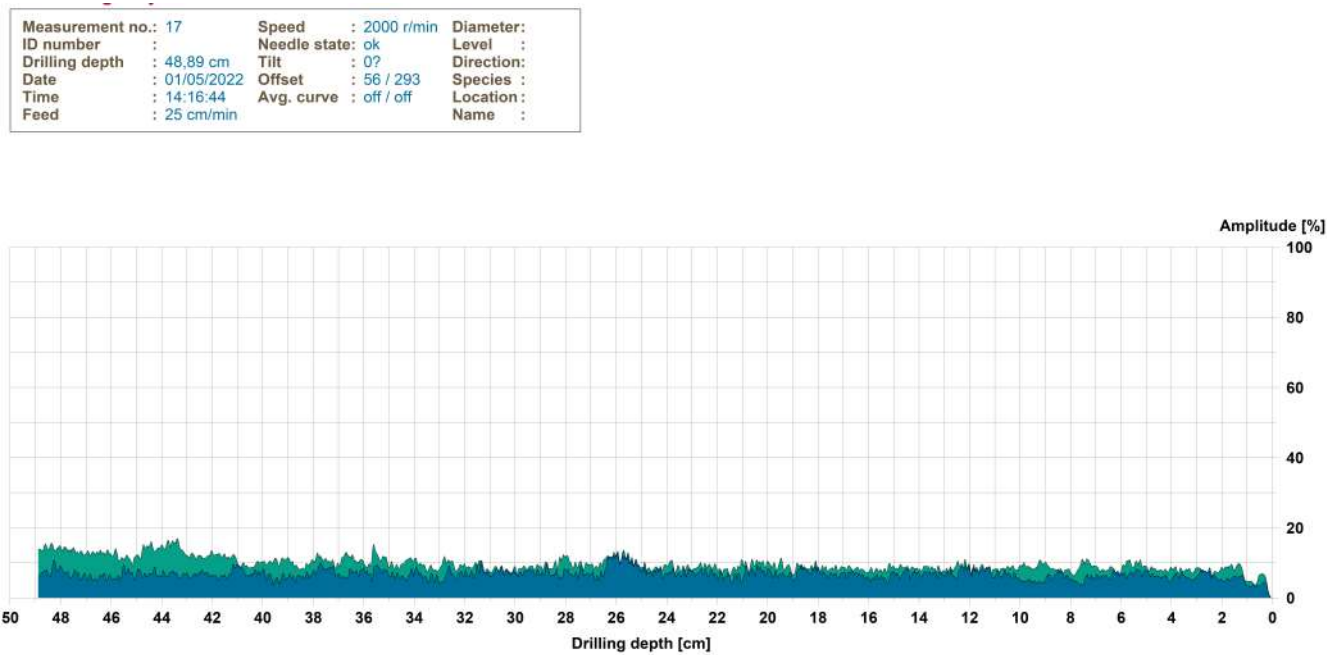


圖 31 低點目標高度- 上

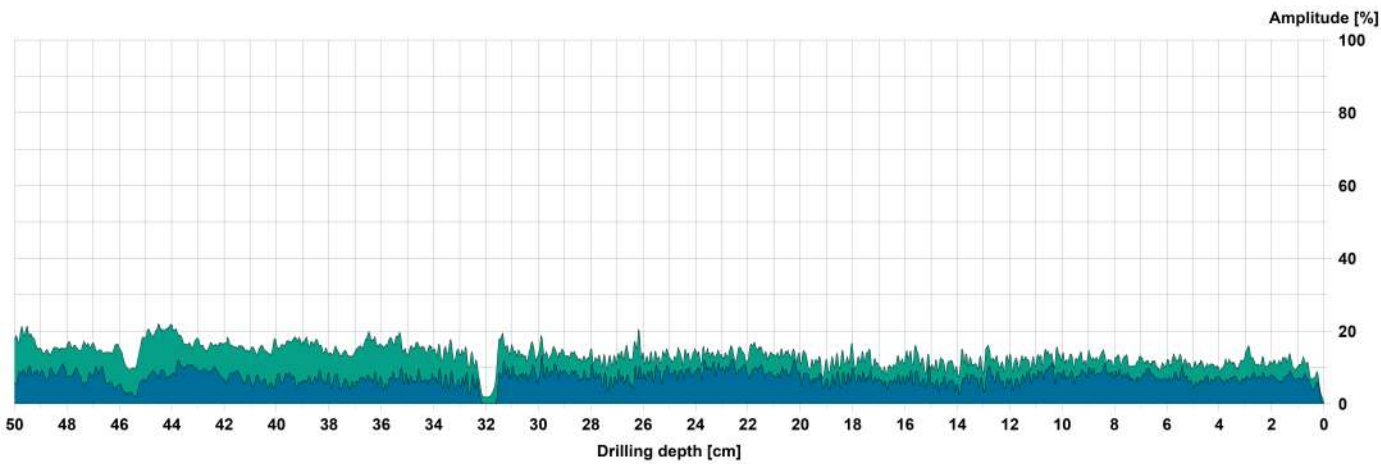


低點目標高度- 下



低點目標高度- 左

Measurement no.:	15	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 50,00 cm	Tilt	: -22?	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 60 / 340	Species	:
Time	: 13:48:28	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



低點目標高度- 右阻

Measurement no.:	18	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 48,89 cm	Tilt	: +3?	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 56 / 276	Species	:
Time	: 14:24:07	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 25 cm/min			Name	:

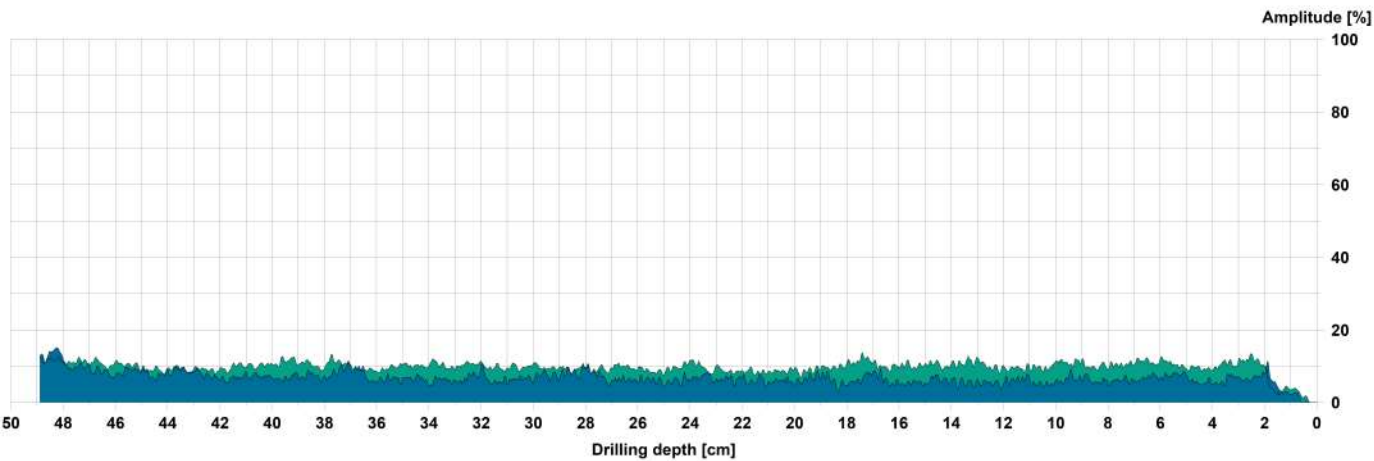
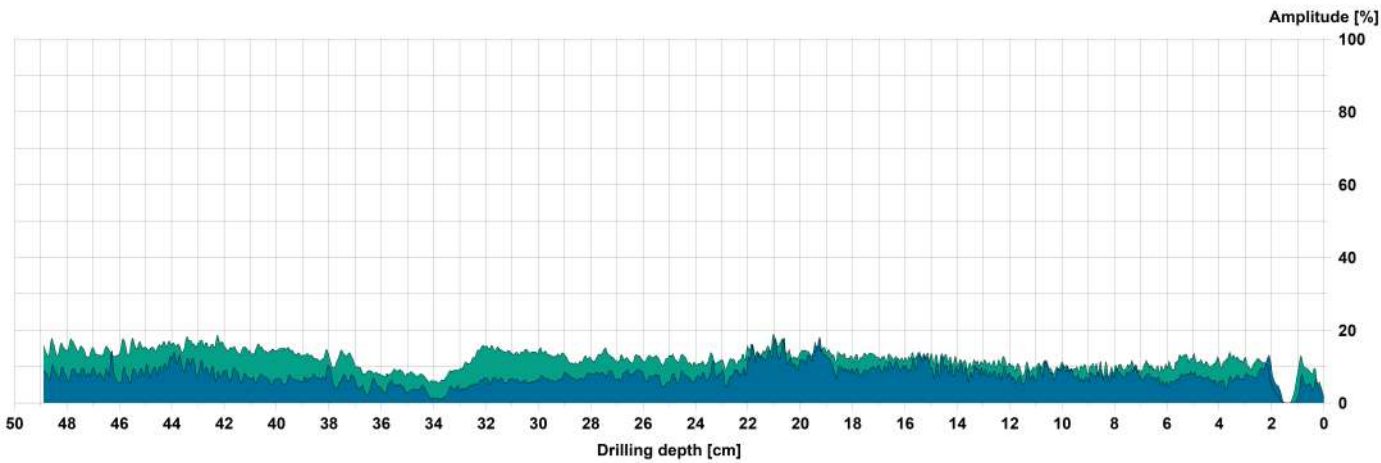


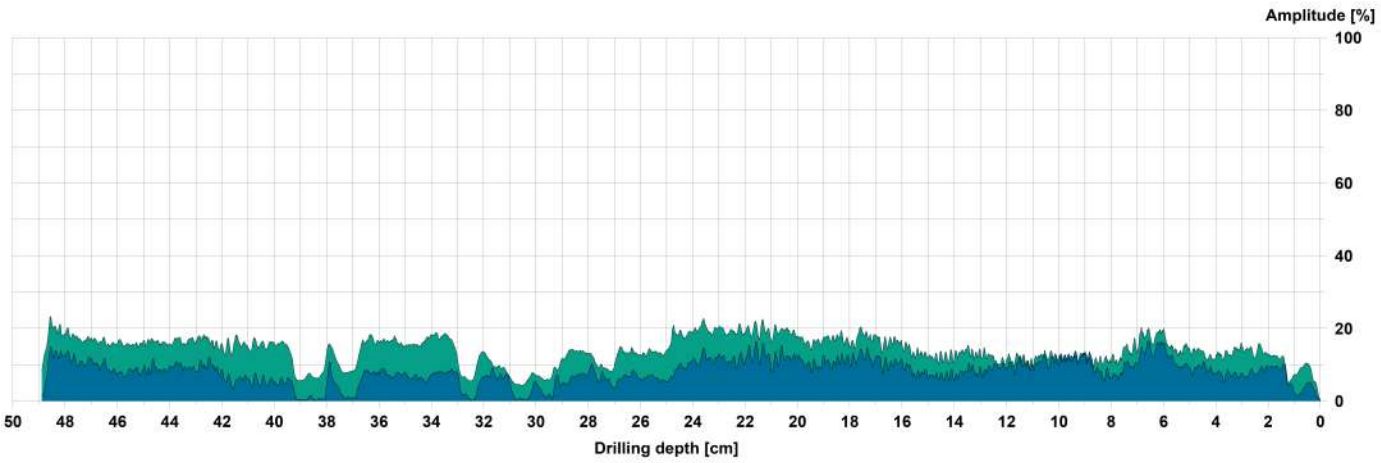
圖 32 東南叉樹幹根部- 上

Measurement no.:	22	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 48.89 cm	Tilt	: 0?	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 65 / 408	Species	:
Time	: 15:59:48	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



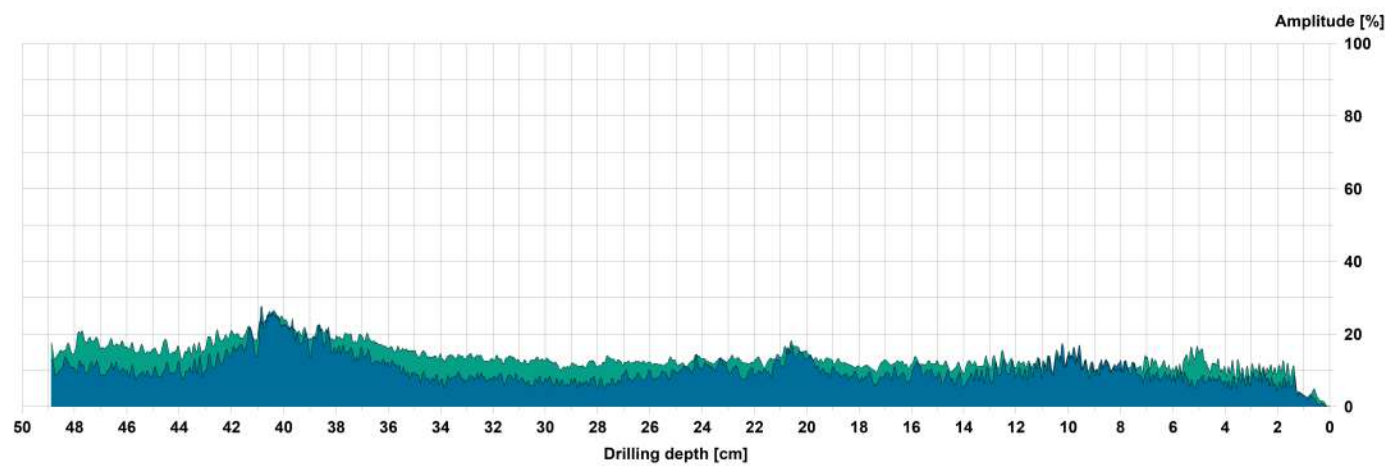
東南叉樹幹根部- 下

Measurement no.:	20	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 48.89 cm	Tilt	: +2?	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 69 / 320	Species	:
Time	: 15:41:33	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



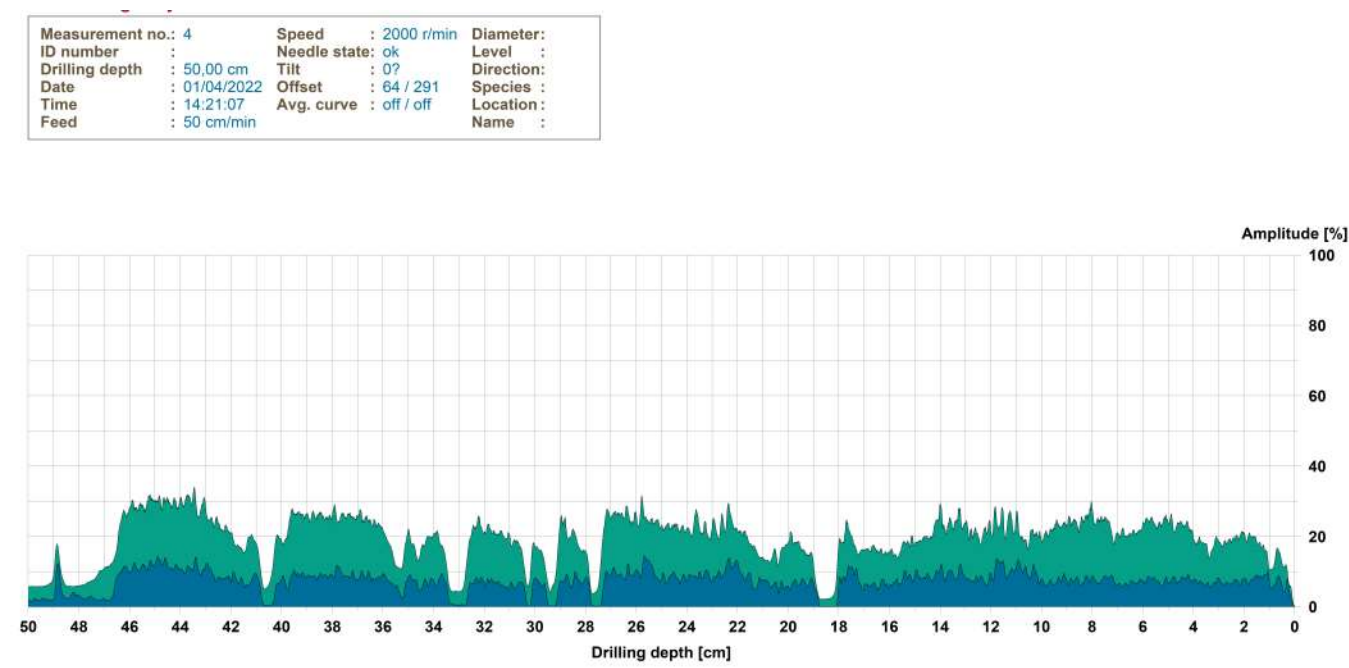
東南叉樹幹根部- 右

Measurement no.:	21	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 48.89 cm	Tilt	: 0°	Direction:	
Date	: 01/05/2022	Offset	: 65 / 301	Species	:
Time	: 15:46:59	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:

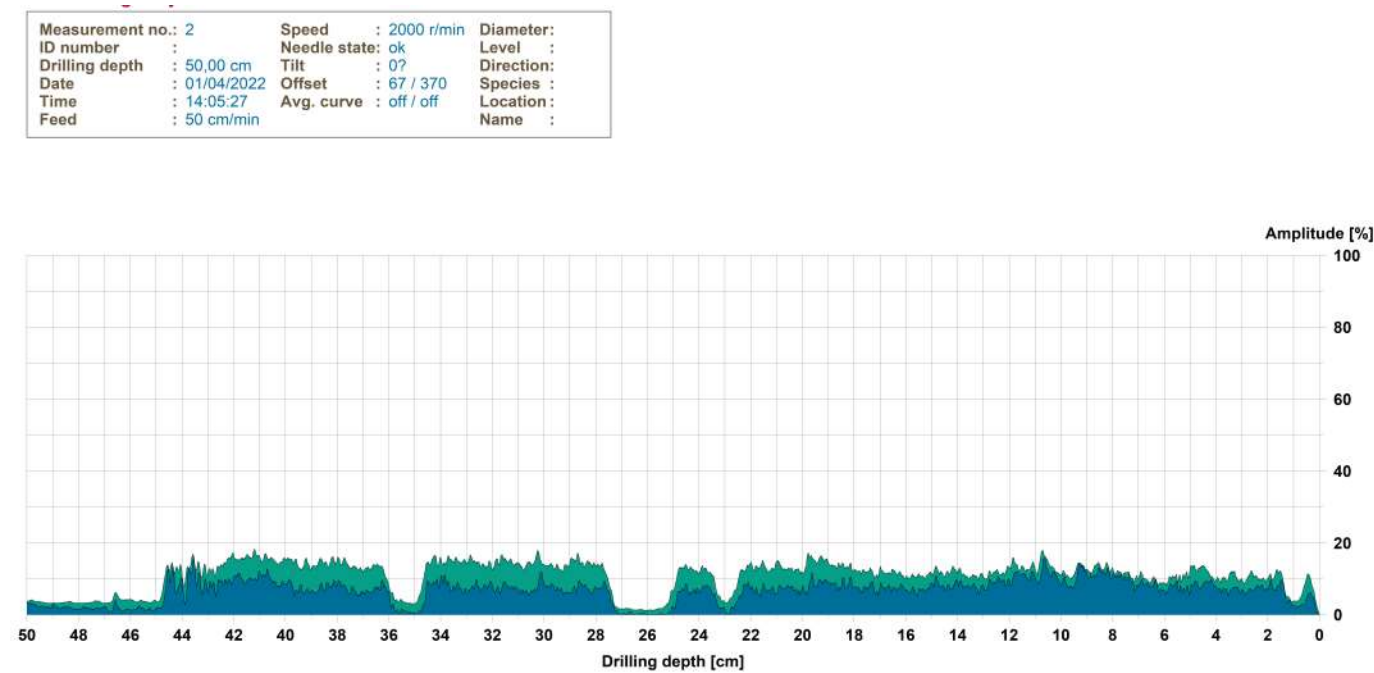


附錄 5.11 號巨木阻抗圖譜試驗結果

圖 39 高點目標高度- 上

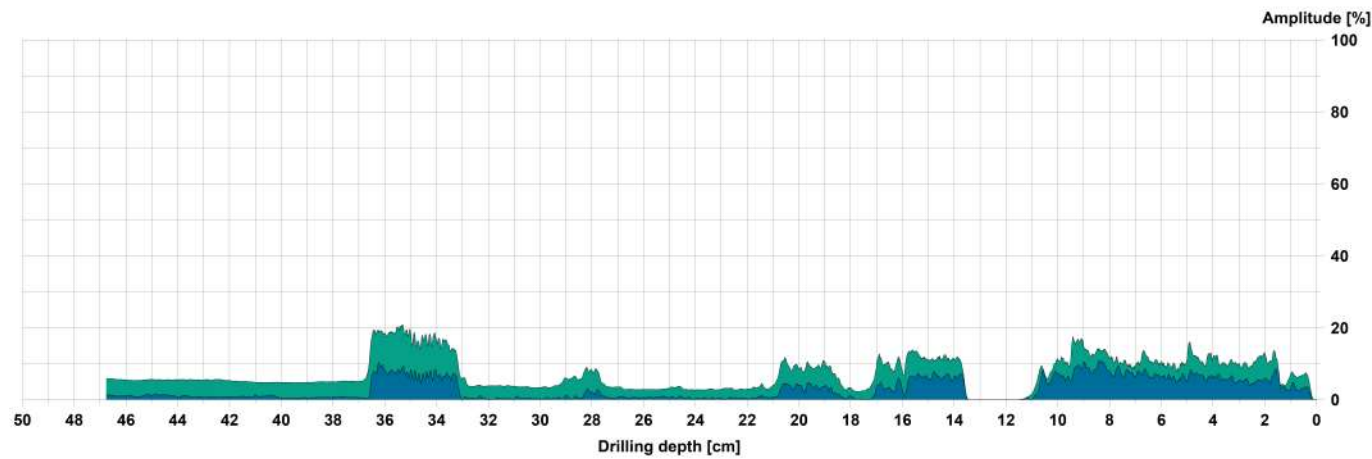


高點目標高度- 下



高點目標高度- 左

Measurement no.:	5	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 46.76 cm	Tilt	: 0°	Direction:	
Date	: 01/04/2022	Offset	: 60 / 289	Species	:
Time	: 14:27:35	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:



高點目標高度- 右

Measurement no.:	9	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 45.90 cm	Tilt	: -1°	Direction:	
Date	: 01/04/2022	Offset	: 60 / 307	Species	:
Time	: 14:45:05	Avg. curve	: off / off	Location:	
Feed	: 50 cm/min			Name	:

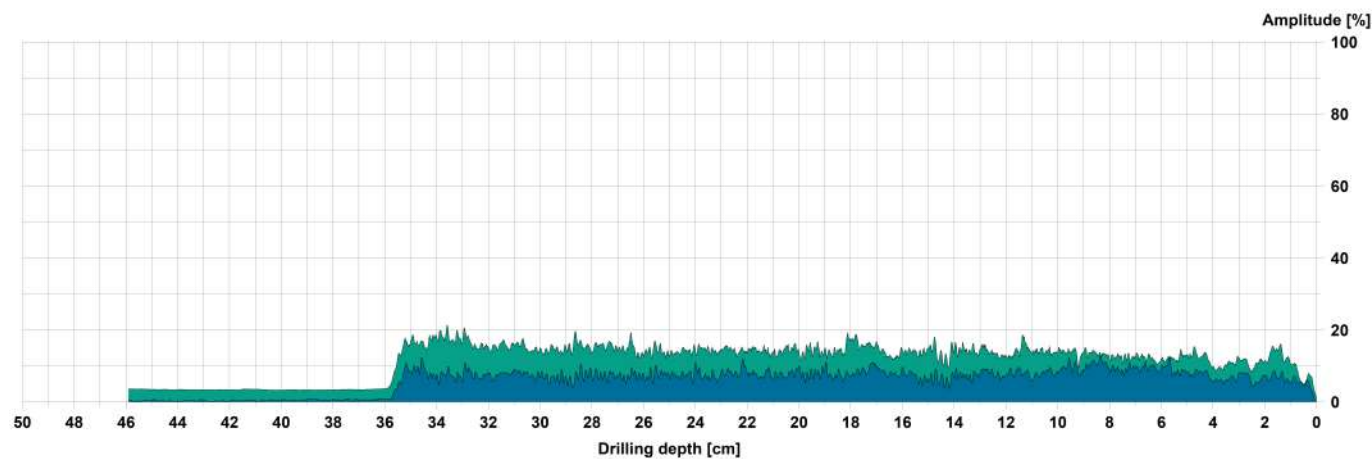
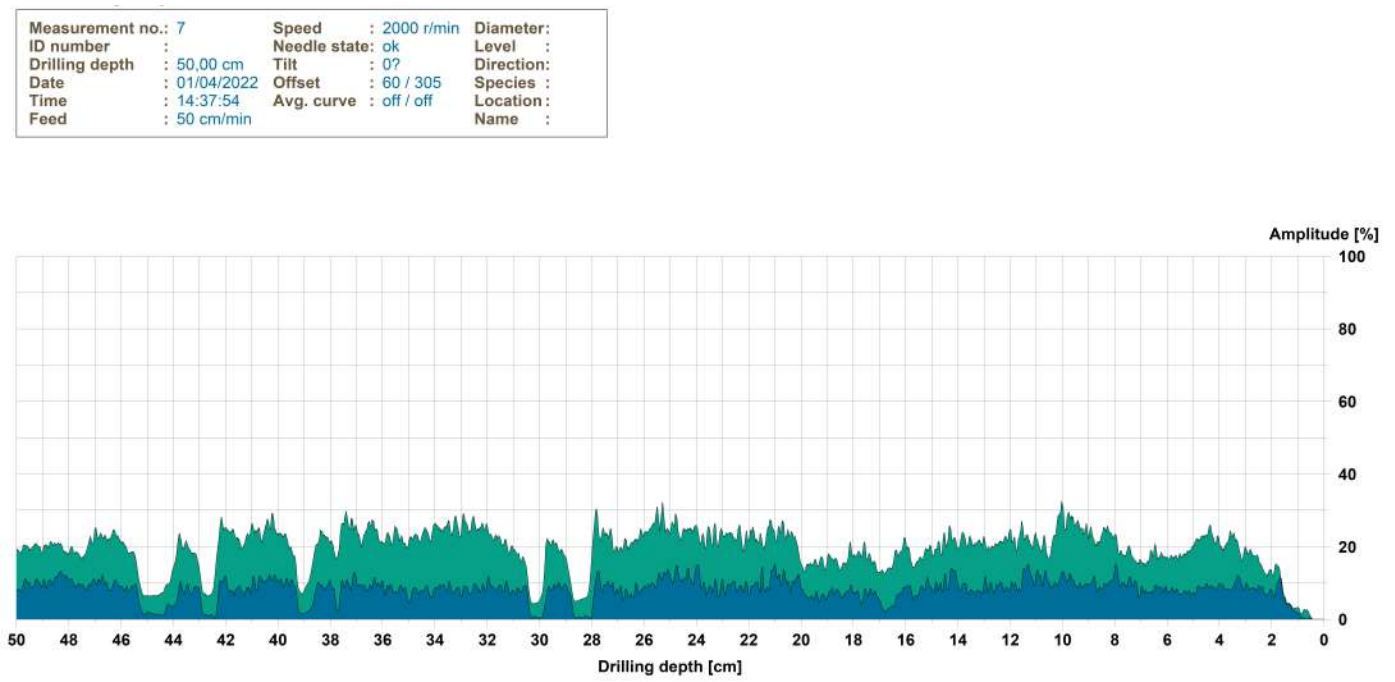
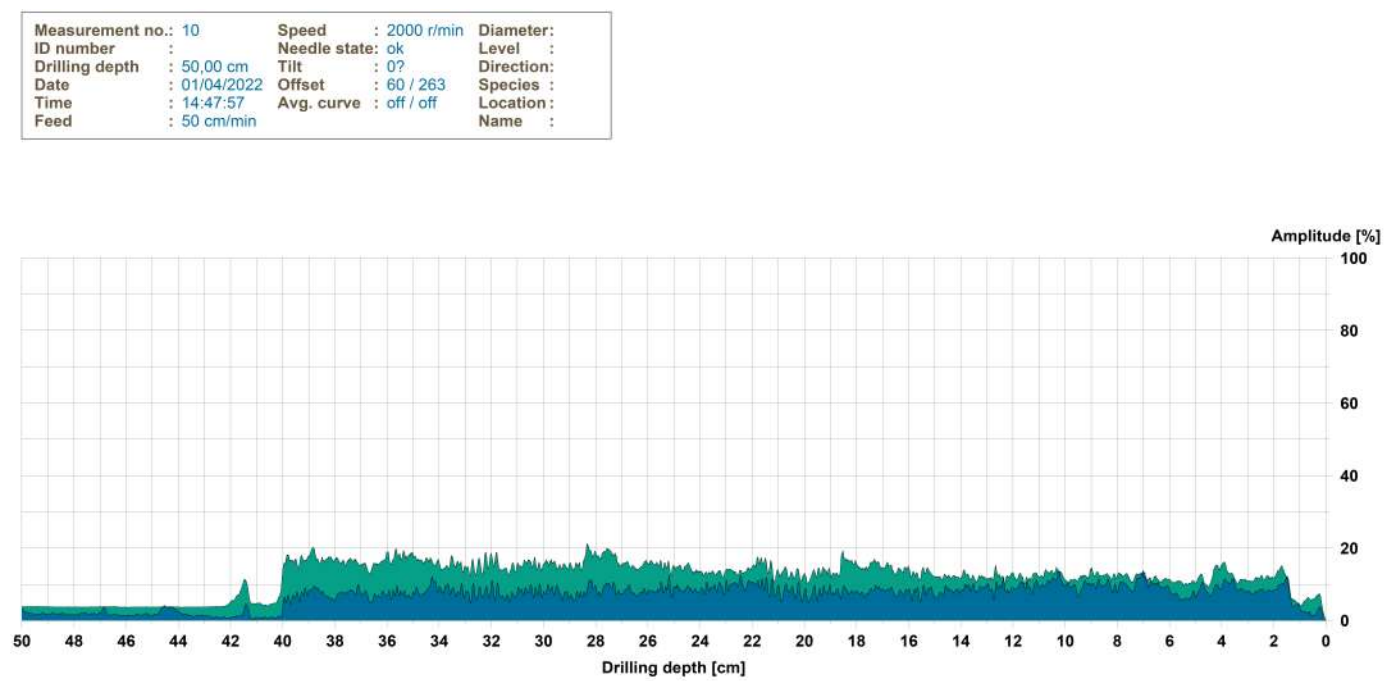


圖 40 低點目標高度- 上

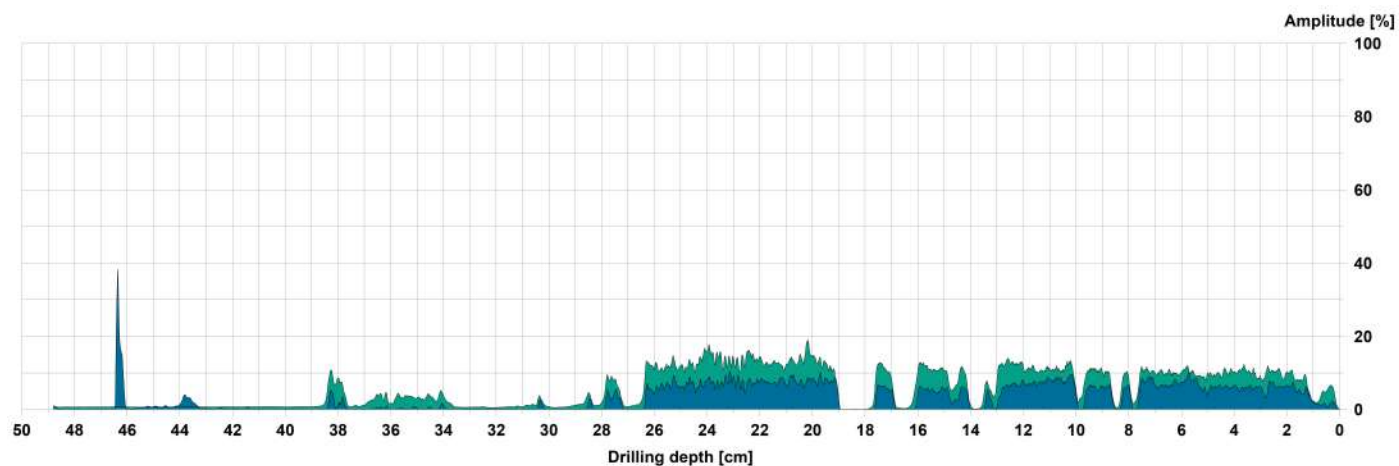


低點目標高度- 下



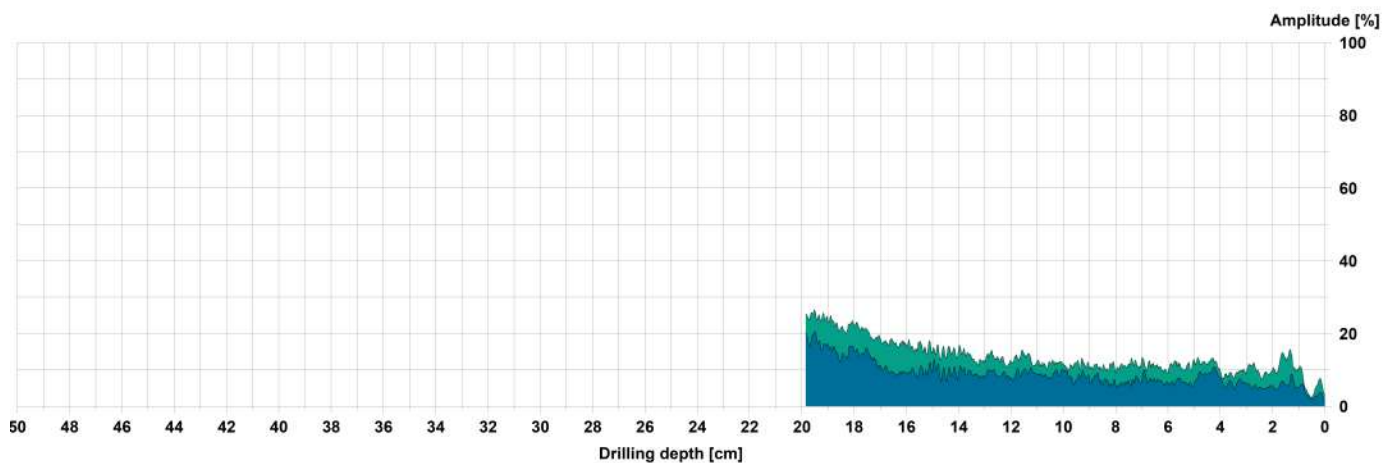
低點目標高度- 左

Measurement no.:	6	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 48,80 cm	Tilt	: -1?	Direction:	
Date	: 01/04/2022	Offset	: 63 / 361	Species	:
Time	: 14:31:27	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



低點目標高度- 右

Measurement no.:	8	Speed	: 2000 r/min	Diameter:	
ID number	:	Needle state:	ok	Level	:
Drilling depth	: 19,85 cm	Tilt	: 0?	Direction:	
Date	: 01/04/2022	Offset	: 63 / 385	Species	:
Time	: 14:42:57	Avg. curve	: off / off	Location	:
Feed	: 50 cm/min			Name	:



附錄 6. 期初審查會委員審查意見回覆表

審查委員 夏委員榮生		
項次	審查意見	意見回覆
1	請補充應力波、打音等技術原理說明資料，並請補充其他林木健康檢測的方式，比較其差異。	有關應力波、橫向打音等技術原理說明資料見 P. 3-4，另亦補充鑽孔阻抗技術於 P. 5-6。
2	後期維護管理的方式或表單要讓現場同仁好操作，不要設計得太難，要考量實務面，現場同仁的能力及能量。	謝謝委員的寶貴意見，此亦本計畫之努力目標。
3	預期效益提到設計教育說明，其具體內容為何，是否也是用圖示呈現的方式，請補充說明。	目前嘗試以海報或影片方式呈現。
4	請補充說明技術轉移的項目有哪些，並預計用何種方式。	試驗進行過程中，有多方單位表示極有興趣，唯尚有技術問題待克服。
5	24 棵列管巨木已倒伏了 4 棵，由管理處提供該 4 棵巨木倒伏的時間、周邊環境的狀況，如土壤的狀況、坡向等，及當初推測可能的原因，請本案林試所團隊進行專業技術上的評估，以利進行後續其他巨木健檢的評估。	樹木倒伏的原因眾多，樹木結構僅為其中之一，其他尚有許多可能，如樹冠太大、根盤不強健、根盤與土壤接觸過小、樹木衰老死亡等。建議可以傾斜度計進行無原因差別之監測與預警。
審查委員 邱委員志明		
項次	審查意見	意見回覆
1	本案以樹木的可及性分為 3 群，建議還應以標的物，遊客或建物損害程度、步道距離等進行風險評估。	謝謝委員的寶貴意見，已參照並詳見表 1 及 P. 8。
2	風險評估，需有標的物存在，並進行樹木結構、健康安全進行考量（樹木高度 1.5 倍）	謝謝委員的寶貴意見，已參照並詳見表 1 及圖 1。
3	目視評估（樹冠、樹幹、樹根、生長環境）有破壞或傾倒風險者，再進行非破壞檢測。	謝謝委員的寶貴意見，已依此選出 5 株巨木進行非破壞檢測。

4	非破壞檢測、打音及應力波原理為一平面非 3D，應說明在何種程度具有破壞或傾倒風險。	目前測試巨木採 2 目標高度進行試驗，以提供 3D 結果，供作立體之呈現。
5	老樹幹形易不規則、及有合併木，檢測技術可能必須克服（透過輔具、搭架），請一併考量。	謝謝委員的寶貴意見，老樹幹形易不規則及有合併木等問題，經請攀樹師協助後，仍有諸多問題待克服，目前透過儀器參數的修正已大致改善。
6	非破壞檢測以多探頭（16 個以上）多斷面之斷層影像評估，結果較準確，若能搭配鑽孔抵抗儀，精度更高。	謝謝委員的寶貴意見，受試巨木已改用 16 個探頭應力波進行試驗。
7	評估後，建議依風險程度進行緩解措施之處置，建議風險等級高的必須定期監測。	謝謝委員的寶貴意見，有關風險程度進行緩解措施等部份將於期末全數完成後一併討論。

審查委員 詹委員明勳

項次	審查意見	意見回覆
1	30 株巨木在計畫裡要建立倒伏的風險等級，另外巨木對遊客方面也要建立風險等級。	謝謝委員的寶貴意見，有關風險程度進行緩解措施等部份將於期末全數完成後一併討論。針對對遊客有危害風險者，有建議立告示牌，或建議長期監測。
2	拉拉山巨木 2020 年曾有倒伏紀錄，樹為什麼會倒？建議初步搜集樹木結構及生育地資料，作為本調查之前期檢查方向。	樹木倒伏的原因眾多，樹木結構僅為其中之一，其他尚有許多可能，如樹冠太大、根盤不強健、根盤與土壤接觸過小、樹木衰老死亡等。建議可以傾斜度計進行無原因差別之監測與預警。
3	檢查樹木部位僅有樹幹基部，建議就 VTA 目視評估骨架枝條、主幹傾斜度、樹幹基部、結構根盤進行整體樹木結構分析，藉以評估風險等級及減緩。	本計畫並非僅就樹幹基部進行檢測，受試巨木採 2 目標高度進行試驗，另針對基部有疑慮者另就基部進行試 3D 試驗；另對目視診斷亦有綜合評估入表 1。有關風險程度進行緩解措施等部份將於期末全數完成後一併討論。
4	依樹木生物學活力評估，樹冠葉子、枝條是否有攀樹檢查？生育地的坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕或生育地的動都對樹木生長有影響，建議評估。	本計畫以結構檢查為主，並輔以目視判定與樹木活力綜合狀況，已彙整入表 1。
5	人為步道設施、建物、涼亭等對	謝謝委員的寶貴意見，將於期末全數完成後

	樹木結構產生何種應力作用，建議評估。	一併討論。
6	目視評估結構腐朽缺陷部分，建議應詳細進行儀器檢查，並應針對腐朽情形及位置，選擇適當的檢測儀器及方法。	謝謝委員的寶貴意見，已採納。

審查委員 林委員純徵

項次	審查意見	意見回覆
1	巨木結構檢查的方法，依受試樹的可及性分級有不同的搭配，是否都可以得出各巨木的結構狀況，希望可以多加說明。	謝謝委員的寶貴意見，將就 2、3、4、5、11 等試驗結果與說明詳 P. 11-16，並彙整如表 1。
2	透過巨木的結構檢查可以了解到巨木的健康狀態，但是只以結構檢查的結果做風險評估可能也是不足，建議將期初報告中有提到與立地因子及遊客因素、使用強度等具體點入做風險評估的判斷因子。另外亦可加入現地經常有災害發生的熱點位置一併做判斷。	謝謝委員的寶貴意見，將於所需試驗完成後，綜合考量討論。
3	後續制定維護管理策略時，建議可依輕重緩急分級做建議或撰寫。	謝謝委員的寶貴意見，此亦本計畫之努力目標。

審查委員 周委員文郅

項次	審查意見	意見回覆
1	傾倒與幹折發生的位置或不相同，故採用應力波或打音的位置，有無測量高度的標準。	一般試驗位置通常有最脆弱點、胸高、固定距離法等考量。本試驗採 2 目標高度進行試驗，其原因已補充說明於 P.11、13、15。
2	風險評估有無等級區分。	本計畫擬以風速對樹幹產生之應力做為評估標準，將於期末全數完成後一併討論。
3	園區內巨木很多，在做風險評估時，除臨近步道之巨木外，亦要	謝謝委員的寶貴意見，已採納，於期末一併討論。

	考量巨木與整體步道位置關係，如若巨木有倒伏危險，會一併影響到下坡的步道，請納入評估。	
4	何謂「拉樹法」，請說明。	拉樹法系透過施予樹幹一拉力，量測樹幹角度與應變，藉以理解根盤強度。唯巨木所需之拉力需以大器械協助，目前已排除於此計畫中。
5	編號 23 號之巨木已倒伏，已非本計畫標的巨木。	謝謝委員的提醒，已排除。
6	可否提供圖示呈現應力波及打音法的原理及結果，可供未來設施解說牌誌及環境教育之教材。	已補充說明於 P. 3-4。
7	請一併考量生育環境，包含民眾踐踏是否對巨木健康有影響。	目前觀察結果傾向認同踐踏對巨木根部有影響。

附錄 7. 期中審查會委員審查意見回覆表

審查委員 吳委員學平		
項次	審查意見	意見回覆
1	請將計畫涵蓋的 30 株巨木，依可及性、潛在危險性作分群，再依分群結果，系統性的逐株列表說明，並每株巨木需檢附全景照片，及製作位置圖，編號與附圖位置需清楚明瞭，尤其是有儀器檢測巨木，相關資料更需填寫完整。	謝謝委員的寶貴意見，有關計畫涵蓋巨木，已依可及性、潛在危險性作分群，並依分群結果系統性的逐株列於表 1；編號與附圖位置詳圖 1；受試樹外觀照片見圖庫檔；受試巨木相關完整資料已彙整於表 1。
2	報告書請依學術研究報告格式進行修正。	謝謝委員的寶貴意見，已修正如裝訂版期中報告書。
審查委員 邱委員志明		
項次	審查意見	意見回覆
1	受試樹木 30 株，以樹木可及性分為三群，危及遊客性是否也需分群，因若無遊客及步道之標的物在，風險即可降低。	謝謝委員的寶貴意見，受試樹木已依可及性分為三群，危及遊客性亦已分群，見表 1 及 P.8。
2	橫向打音每敲擊點求取 35 次平均值（報告書第 6 頁），並計算樹幹周長與共振頻率乘積，依據原理為何？如何確定樹幹劣化程度，並報告書第 11 頁卻為每敲擊點求取 3 次槌擊之平均值，請說明。	橫向打音每敲擊點求取 3 次平均值，繕打錯誤部分已修正（P.9），其依據原理補充於 P.3。
3	#3 號巨木呈現橢圓形，宜註明為橫斷面橢圓形。	謝謝委員的寶貴意見，補充於 P.11。
4	橫向音共振頻率之頻譜分析，宜說明，否則不易瞭解，且不同高度，可能不同。	謝謝委員的寶貴意見，補充於 P.11-16。
5	不同巨木經各種檢測評估後，宜分別每株或部位說明其腐朽、劣化率，僅以打音試驗結果良好及鑽孔阻抗試驗結果良好評估巨木，稍嫌模糊，因將來必須依劣化程度做定期之監測或採取不同之減緩風險之措施，並劣化程度也應該以量化的方式呈現。	不同巨木經各種檢測評估後已量化並與文獻值進行比較 P.11-16。
6	最後需做一總表，分東南西北側及不同部位之腐朽或風險等級，結合 VTA，以便管	受試樹皆有進行不同部位的分析試驗，有關風險等級及結合 VTA 方式之

	理單位風險控管。	等部份將於期末全數完成後一併討論。
審查委員 詹委員明勳		
項次	審查意見	意見回覆
1	上次委員意見應列於期中報告，並詳附回覆意見。	期初審查意見及回覆見 P. 43-46。
	外觀目視評估請以系統性的方式整理圖表，如照編號排列，然後分生物學的樹冠、骨架枝條、主幹上接合的骨架枝條、主幹、根株，敘述每株巨木那裡有劣化，以方便管理單位了解巨木健康狀況。	本計畫以結構檢查為主，並輔以目視判定與樹木活力綜合狀況，已彙整入表 1。
2	本次期中已選取 2.3.4.5.11 號巨木進行檢測（可及性低），內部詳細檢查部位，橫向打音法、應力波、鑽孔抵抗儀之巨木初步綜合風險評估結果。	謝謝委員的寶貴意見，已就 2、3、4、5、11 等試驗結果與說明詳 P. 11-16，並彙整如表 1。
3	計劃目標有 30 株巨木，需要儀器檢查的株數有多少？範圍為何？樹木崩壞倒伏風險及減緩措施為何？	本計劃目標期末 30 株巨木，需儀器檢查有 5 株，詳表 4。有關風險及減緩措施將於期末全數完成後一併討論。
4	檢查每株巨木全景照片（包含生育地），生育地狀況照片、根株、樹幹、骨架枝條缺陷或有問題部位樹冠照片，以作為本計畫完成後後續監測管理基礎。	巨木照片見圖庫檔 1，有關後續監測將於期末全數完成後一併討論。
5	每株巨木經過外觀目視評估及內部詳細檢查後，分析有可能破壞的部位及崩壞的可能性。	巨木經外觀及內部檢查後之破壞部位及可能性推測，預計於期末全數完成後一併討論。
6	建議攀樹師檢查合併木直立優勢骨架枝條，樹幹接合部位及樹幹龍骨狀突起接合部位及結構根的位置有無腐朽裂縫或縱向剪力開裂，可進行整體結構力學分析。	2、3、4 號巨木有合併木之可能，將於後續試驗並於期末一併討論。
7	傾斜度計在傾斜多少度時預警或處理，並建議可配合拉鋼纜處理。另施工處上方的巨木，下方是否有崩塌，建議要監測	巨木傾斜的預警值以傾斜度（對時間）的變率來預警較為準確，參照建物倒塌前的特性，皆有傾斜度對變率陡增的現象，有足夠的時間疏散人群。當然也可以設定傾斜度的門檻值作為預警。但每株巨木的樹勢與現況各不相同，其傾斜度預警值亦各不相同，需逐一測量評估。

		已超過傾斜預警值的巨木，可能傾斜度變率尚在不穩階段；也有可能即將倒塌巨木（傾斜變率陡增者），離傾斜度預警值尚遠。
審查委員 林委員純徵		
項次	審查意見	意見回覆
1	巨木背景資料： 一、 資料項目順序建議調整為：1.樹高、胸圍（徑）；2.樹型（幹型）；3.其他/坡向、坡度……；4.可及性；5.危及遊客性（程度）；6.綜合結果。 二、 資料項目亦請再定義、確認。 三、 「綜合結果」項，除了有否必要儀器檢測外，建議將管理措施或處理措施入，另外操作性（儀器）或操作過程等都可以納入。	謝謝委員的寶貴意見，已修正，詳表 1。
2	檢測結果的呈現： 一、 成果內文撰寫建議依檢測方法，依序說明，並輔以各株各儀器或方法檢測圖，以及檢測數據表，予以說明。 二、 檢測結果亦應在「結果與討論」的章節中做一個綜合性的說明。	謝謝委員的寶貴意見，已修正，詳 P. 11-16。 「結果與討論」詳 P. 17。
3	檢測方法及檢測過程或情形撰寫說明： 一、 檢測法的定義、理論及可得結果等理論敘述應再補充。 二、 全區 30 株的使用檢測方法從報告中無法清楚了解，建議做一總表呈現。 三、 目前檢測過程、情形似是各株撰述，建議也要稍作全區 30 株的小結。 四、 各株打音或應力波檢測位置、部分的選定規則的因子是 麼？應該也要做說明。	檢測法的定義、理論及可得結果等理論敘已補充，詳 P. 3-6。 全區使用方法已以表 1 做一總表呈現。 各株撰述後小結詳 P.10 與表 1。 各檢測位置選定規則詳 P. 11、13、15。
4	報告書格式請補正。	謝謝委員的寶貴意見，已補正。

審查委員 周委員文邺		
項次	審查意見	意見回覆
1	檢測原理建議將簡報呈現的圖形原理放在報告中，以利閱讀與理解。	檢測法的定義、理論及可得結果等理論敘已補充，詳 P. 3-6。
2	調查過程的影片或照片資料是否有提供、俾利未來能做為對外解說的媒材。	預計於期末全數完成後一併呈現。
3	報告書第 11 頁，#3 號巨木樹幹內部在上坡處有大程度之劣化，所謂大程度是否可分級或明確定義，以利了解其劣化的狀況，如分為 1~10 分，10 是最劣化，則此樹種之劣化在多少的位置。	不同巨木經各種檢測評估後已量化並與文獻值進行比較 P. 11-16。
4	報告書第 13 頁，此支幹內部有輕微劣化，建議也是要有分級，否則無法和#3 號巨木的大程度劣化相比較。	不同巨木經各種檢測評估後已量化並與文獻值進行比較 P. 11-16。
5	報告書第 9~10 頁，#3 號巨木之後就是 19 號巨木，14~18 號巨 不要漏了。	預計於 2 號及 5 號巨木完成後進行。

附錄 8. 期末報告書初審意見回覆表

項次	審查意見	意見回覆
一.	形式審查	
1	報告書封面格式，封面中各行均須置中，包括「計畫名稱」、「報告書適用期間（期末報告）」、「委託單位」、「執行單位」、「日期」。	謝謝委員提醒，已增加報告日期，並再次確認報告書封面格式。
2	報告書雙面列印，封面以及每章仍請以奇數頁起排。標題寫法，以「壹、一、（一）1.（1）a.（a）」為序	謝謝委員的寶貴意見，已修正如裝訂版期末報告書。
3	報告書中「四、執行情形」內容部分，請依三、研究方法（二）工作項目說明中各項工作，撰寫執行情形；另受試樹儀器檢測結果，亦請依格式編碼標號。	謝謝委員的寶貴意見，已修正如裝訂版期末報告書（詳 P.14 - P.62）。
4	報告書中「五、結果與討論」內容亦請依前述意見辦理。	謝謝委員的寶貴意見，已修正「五、結果與討論」內容如 P.63。
5	參考文獻排列順序，請依照年代先後順序排列，舊在前、新在後，中文文獻（依作者姓氏筆畫數）在前，外文文獻（依作者姓氏字母順序）在後。參考文獻格式，作者（年代）。報告名稱。政府部門委託報告名稱（報告編號：XXX），未出版。作者（年代）。報告名稱。政府部門委託之專題研究成果報告（報告編號：XXX）。出版地點：出版者（商）。	謝謝委員的寶貴意見，已修正參考文獻格式（詳 P.65）。

二	報告書內文	
1	中文摘要：其內容應包含論述重點、方法或程序、結果與討論及結論，文中多為執行情況說明，故請以前述原則在 1~2 頁內撰寫。	謝謝委員的寶貴意見，已修正中文摘要如 P.i – P.ii。
2	前人研究部分，雖有研究者的目的，但對於研究的成果（或運用）缺如，請補述；另本計畫中所使用儀器的原理及使用方法等說明過於簡單；及監測工作提及建議使用傾斜度計，其原理及使用方法，亦請一併補述。	前人研究部分、儀器的原理及使用方法等說明已補充（詳 P. 4-9）。
3	研究方法，目前內文較屬於研究架構（或是工作架構），請再著重於本案擬從何種角度切入去探討主題與相關問題，以及如何蒐集與處理（分析）資料的程序與手段，另外類此案例比較常見的研究方法為何？是觀察法？調查法？或是做實驗？等，煩請補充。	謝謝委員的寶貴意見，已補充入報告書（詳 P.63）。
4	執行情形部分，內文撰寫請依一、形式審查（三）意見辦理，另有關巨木現況診斷，依契約規定為 30 株，惟內文中資料及說明只有 20 株，是漏列或是未完成？請確認並補正。	謝謝委員的寶貴意見，已補齊巨木調查資料，包含編號巨木與非編號巨木共 31 株，如表 1 與表 2。
5	儀器檢測執行情形，係應依據現況診斷（目測）結果中列為可以或必須進行儀器檢測的對象，6 株或是 8 株？進行說明與闡述，故前言說明內容太單薄，請再補述。	謝謝委員的寶貴意見，必須進行儀器檢測對象為 5 株（詳 P.15）。

6	儀器檢測結果 P41，21 號巨木資料撰述與 2、3、4、5 等相較過於簡單，內文格式請比照前述各株巨木辦理。	21 號為非必要檢測對象，已刪除。
7	結果與討論的內文撰寫，請依一、形式審查（四）意見辦理，另依契約應提出「巨木維護管理計畫」、「定期監測方法步驟」等，經核缺如，請再補充。	「巨木維護管理計畫」、「定期監測方法步驟」等，已補充於 P.63 及表 8。
8	內文中所有有關巨木之描述中有提及樹木部分，請一併檢視改為「巨木」。	謝謝委員的寶貴意見，已修正報告書全文。
9	報告書中附錄一、巨木照片與外觀簡述，只有 20 株資料（其中編號 23 巨木已倒伏，於期初會議已有敘明此棵巨木不在本計畫）與合約規範不符，應為 30 株，請補附。	已刪除編號 23 巨木，並補齊完成調查之巨木資料（含編號巨木與非編號巨木），共 31 株。
10	報告書中附錄二、三、四無資料，請補附。	謝謝委員提醒，已補齊附錄內容。
三	圖表形式	
1	報告書中的圖，大多為照片，若是為照片，不宜視為圖面；又圖與圖名不符，其中多有補充說明文字，若有須加以說明，應於內文中撰述，再輔以圖面或照片佐證，如此，圖目錄可較為清楚。另圖面中有標示不同圖形、顏色以為結果呈現時，請製作圖例，俾利辨識。例如：P17. 圖中應力波顏色代表的意義？、P19 圖 13 的阻抗試驗的圖小不清楚，及 P30 圖 23 所列	謝謝委員的寶貴意見，已修正報告書內文。

	①③④所代表意義是??等。	
2	P2. 受試巨木位置圖太簡單，請放圖例及鄰近設施位置，並所列巨木株數不足 30 株，編號奇怪，如「處長指定」等字眼不妥。	謝謝委員的寶貴意見，已重新繪製 P.2-P.3 受試巨木位置圖，重新編號並加入鄰近設施位置。
3	表 2「巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力偵測結果」，表名應改為「巨木以逆時針方向於樹幹進行 16 點之應力偵測結果情形表」；另 P46~50 共計有 10 張表格，僅以表 2 表示不妥，至少應為各號巨木的偵測結果情形表。	謝謝委員的寶貴意見，修正如表 3-表 7。
4	P45 表 1 綜合評估結果，沒有資料空白，表 1-1 印刷倒頁、表 1-2 資料不齊，座標系統請統一，編號意思不明，如「小黃」，字型不同。	謝謝委員的寶貴意見，已修正（詳表 1 及表 2）。
5	承上，表 1-1 的內容有全部的檢測結果及管理建議，內容完整但卻不宜以表格方式呈現，例如：管理建議即為前述二、報告書內文（七）意見不符契約規定部分，表 1-2 亦同，請團隊再重新製表，並注意字體大小，須以文字描述呈現的項目內容，仍應於報告書內文中呈現。	已將本團隊建議之巨木維護管理計畫與定期監測方法加入結果與討論，如 P. 63 及表 1、表 2。
四	其他	
1	5 號巨木敘述「已架好繩，預計於 12 月進行應力波、橫向打音……」應為誤植，	謝謝委員提醒，已修正。

	請修正	
2	18 號巨木無資料，並為何照片與 17 號巨木相同	謝謝委員提醒，已修正如 P.57，編號 18 巨木刪除。
3	期初報告所提設計教育說明，文內未見。	謝謝委員提醒，將於期末審查時提繳。

附錄 9. 期末審查會委員審查意見回覆表

審查委員 夏委員榮生(召集人)		
項次	審查意見	意見回覆
1	監測建議使用的「傾斜度計」的原理為何？現場人員如何使用或操作，請補充說明。	「傾斜度計」的原理詳見 P.7.，現場人員能依監測數據與示警訊號採取即時緊急避險措施。
2	表8 現場維管紀錄表，有些部分對現場人員並不是這麼好操作，如真菌判別等，並建議填寫紀錄表之頻率為多久。請以現場人員易於操作為考量，再次檢視修正表單內容及項目。	表 8 之現場維管紀錄表已修正，以利現場人員易於操作，並建議每年 2 次檢視，或於特殊狀況下(如颱風、暴雨、地震等前後)再補充檢視。
審查委員 邱委員志明		
項次	審查意見	意見回覆
1	本計畫以目視評估及儀器檢測，包括橫向打音、鑽孔抵抗及應力波法進行30 株巨木之安全評估，並以遊客之頻度作為管理之依據。經評估有5 株有安全疑慮，建議進行定期監測及考慮安全的減緩措施，如修剪或告示牌。	謝謝委員提醒，受檢視之巨木之進行定期監測及考慮安全的減緩措施，已詳述於各株描述(P.19~95)、結果與討論(P.96~98)、結論 (P99)、表 1 及表 2。
2	橫向打音、木槌橫向槌擊樹幹一側，產生橫向振動一次振動頻率 F_{r1} 與敲擊處周長 C 之乘積為一定值和理論值之比較值，可推測樹幹中空程度，惟此定值是否依樹種或位置而不同，一般針葉樹的 $F_{r1}.C$ 之乘積值為1100Hz.m，建議以量化數據表示劣化程度。	$Fr1.C$ 之乘積值受樹種或位置有些微差異。為獲得紅檜的 $Fr1.C$ 之乘積值之資料庫，已於林務局新竹林區管理處 大安溪事業區第 30 林班紅檜人工造林地現場選取不同直徑之健全紅檜 19 株，其方法及結果詳述於附錄 1。
3	阻抗儀檢測原理，建議加強說明，使閱讀者更易明瞭，或者把阻抗值差距變大，以易於	阻抗儀檢測原理已補充於內文(P.5)，亦新增多篇文獻供參考。

	理解。	
4	應力波和阻抗圖儀應互相搭配，相互佐證，兩者各有優缺點。	橫向打音、應力波和阻抗圖儀等三種儀器原理各異，各有優缺點，皆非萬能，需視現場狀況判斷選用、互相搭配佐證。
5	P75.表8 應有每株巨木之基本資料、樹幹、樹冠、根、生長環境、定期監測，並有結論供管理依據。	表8之現場維管紀錄表已精簡以利現場人員易於操作，內含基本資料、樹幹、樹冠、根、生長環境、定期監測及結論等，其意義及用法詳見 P.97。

審查委員 詹委員明勳

項次	審查意見	意見回覆
1	目視評估、樹冠主幹內骨架枝條已掉落或腐朽空洞超過50%以上，以及縱裂超過3 公尺以上的長度，應將方位標示於照片，提供給林管處監測參考。	謝謝委員建議，相關缺陷及其方位已補充於逐株說明並標示於照片，另亦存於圖庫檔。
2	樹幹儀器檢測部位應標示，殘存壁厚、木材強度性質，評估破壞可能性及安全性，提供減緩建議參考。	儀器檢測部位於逐株說明之內文及照片皆有說明與標示，減緩建議參考已詳述於各株描述(P.19~95)、結果與討論(P.96~98)、結論 (P.99)、表 1 及表 2。
3	樹幹基部根冠及結構根檢測結果，宜系統性及定量將調查資訊整理分析，呈現結構性穩定情形。如5 號根部強度數值夠，但必須避免踐踏等；如4 號巨木根冠、結構根腐朽空洞，會發生什麼破壞？提醒遊客注意。	已詳述於各株描述(P.19~95)、結果與討論(P.96~98)、結論 (P.99)、表 1 及表 2。
4	每株巨木各部位的缺陷用目視評估及儀器詳細檢測，建議數量化說明結構穩定及破壞的結果。	已詳述於各株描述(P.19~95)、結果與討論(P.96~98)、結論 (P.99)、表 1 及表 2。

審查委員 林委員純徵		
項次	審查意見	意見回覆
1	建議將圖1 的a、b 合併成一張，用不同顏色表示，便於閱讀及明瞭位置。	合併成圖 7，並以不同號碼標示。
2	受試樹的定義是什麼？是指本計畫中應評估的30 株(編號及非編號內)嗎？沒有看到全部30 株的評估結果，無法可及者，也應有目視檢視的結果。	謝謝委員建議，受試樹含已編號及非編號之巨木，共 45 株；全部受試樹評估結果已增加入報告 P.15 ~ P.99。
3	P15.可及性分群有高、中、低3 群，只有中、低，共16 株，另外14 株為何？	已修正(P.14)。
4	表 1 及表 2，沒有說明何時該看表 2，沒有連結性，請再說明。	謝謝委員提醒，已加入說明，詳見 P.69。
5	表2 的敘述較少，生物性觀察的內容缺少，如目視檢測結果，請補充。	已補充於內文(P69~P95)及表 2。
6	表8 在管理上如何運用，請補充說明。	其意義及用法已補充於 P.97。
審查委員 周委員文郢		
項次	審查意見	意見回覆
1	中文摘要內容 (1) 面積約75 公頃，請修正為81.5905 公頃。 (2) 文中出現台灣紅檜、紅檜，建議請統一。 (3) 總計30 株，結果有31 株，建議一致。 (4) 巨木的稱呼建議要一致性，如○號巨木。 (5) 12 號巨木出現在可及性中，也出現在可及性低，是否誤植？ (6) 施工處之樹木，是否可改成步道入口 0.6K 處。	謝謝委員建議，已修正中文摘要內容。
2	P2.圖1 中，編號有缺漏，建議將所有有編號巨木均呈現，另14號位置可能有偏移。	謝謝委員建議，已修正於圖 7。

3	P4.前人研究的內容感覺比較像研究方法。	已補充內容。
4	P4.t/R 是否可定義清楚。	謝謝委員提醒補充於內文(P.5)。
5	P5.上方的圖，是否可以加以圖示說明。	謝謝委員提醒，已抽換圖示使有利於了解(P.3)。
6	P7.鑽孔阻抗簡報中表示有施用 50cm 及 100cm 建議寫出來。	本報告中呈現之阻抗圖譜皆使用 50 cm 長度之微鑽針，已補充於內文(P.11)。
7	方法論中的數據資料所表示的意義，建議在方法論中呈現，以利後續判讀，方便閱讀者理解。	已補充於內文有進行儀器分析之巨木(P18~36，49~53)。
8	風險評估建議可以先定義達到何種程度叫風險低，何種稱呼風險中。	t/R、拉樹試驗、外周缺刻法等皆可用以判斷風險，其原理及應用各不同。本研究多採 t/R，當比值大於 0.3 時，樹木仍能維持直立。
9	阻抗圖議中，藍、綠色是何意思？	藍色為鑽入推力曲線、綠色為材值阻抗曲線，以綠色曲線為主。
10	「千年巨木」的用詞建議再酌。	謝謝委員提醒，已修改用詞，詳見 P.18。
11	橫向打音中，較一般針葉樹1100HZ.m 是只針對台灣紅檜嗎？如果不是會不會造成誤判。	Fr1.C 之乘積值受樹種或位置有些微差異。為獲得紅檜的 Fr1.C 之乘積值之資料庫，已於林務局新竹林區管理處 大安溪事業區第 30 林班紅檜人工造林地現場選取不同直徑之健全紅檜 19 株，其方法結結果詳建附錄 1。

吳秘書學平

項次	審查意見	意見回覆
1	建議報告書的圖要用彩色的，比較好分辨圖要表達的意思。	謝謝委員建議，成果報告以彩色輸出。
2	表1、表2 應附在內文敘述文字的後方，並有	謝謝委員建議，列印方式已調整。

	倒頁，列印方式應調整。表3~表7 應力波偵測情形，圖表應轉譯為文字，使管理單位易於瞭解，也符合實際需求，並相關數值應該用科學驗證的方式表達清楚。	
3	目視檢測結果也要說明，敘明有哪些是需要管理機關留意的部分。	謝謝委員提醒，需要管理機關留意的部分，已詳述於各株描述(P.19~95)、結果與討論(P.96~98)、結論 (P.99)、表 1 及表 2。
4	幾種儀器檢測的結果，應有系統的將巨木分群並各結果敘明，便利管理單位明瞭及後續監測管理。	謝謝委員建議，幾種儀器檢測的結果及後續注意事宜，已歸納並分群結果與討論(P.96~98)。
5	請加強補充管理建議，如哪幾棵巨木有潛在的危險，需特別注意的地方，提供給管理機關，方便後續監測。	有關管理建議已補充各株描述(P.19~95)、結果與討論(P.96~98)、結論 (P.99)、表 1 及表 2。

朱主任劍鳴

項次	審查意見	意見回覆
	表 8 維護管理表，希望能夠簡單明瞭，方便現場人員使用。	表 8 之現場維管紀錄表已修正，以利現場人員易於操作，並建議每年 2 次檢視，或於特殊狀況下(如颱風、暴雨、地震等前後)再補充檢視。

業務課室

項次	審查意見	意見回覆
1	報告書中沒有16、18 號巨木的資料(背景資料、檢測資料等)，是否漏作，請補充。	已說明於 P.15
2	表 2 的背景資料有缺少，請補充。	謝謝委員提醒，已補充於表 2。
3	期初報告所提設計教育說明，請在文內補充說明。	已製作一部影片供教育說明用。

附錄 10. 結案成果報告書審查意見回覆表

業務課室		
項次	審查意見	意見回覆
1	依期末報告業務課室審查意見指出缺漏16號及18號巨木背景及檢測等相關資料，惟結案成果報告書仍未見，請補充，並請一併連動修正報告書中有關結構檢查編號、數量等相關數字及敘述。	謝謝委員提醒，已補充於 P.60~61、P.64~65 和表 1 等處。
2	表 1 所列 11 號巨木潛在危險性(危及遊客性)，指出對遊客危害風險高，惟管理建議為風險低，請確認。	謝謝委員提醒，表 1 潛在危險性欄位已略作修正。 茲補充說明如下： 因 11 號巨木雖在上方步道之下方，但亦在下方步道之上方，對遊客有潛在風險，但經儀器量測結果，主幹強度可，故判定風險低，後續建議依表 1 管理建議進行 VTA。
3	P. 17 標號圖 8 位置偏移，請修正。	謝謝委員提醒，已修正圖 8 排版。
4	P. 113 表 8 現場維管紀錄表，請補充填表說明(如「冠層下方枝條有無」代表的意義是什麼？「結論」應該是要述明什麼？)，另基本資料中「GPS」，建議改為「座標」。	表 8 現場維管紀錄樹冠、樹幹和樹根評估後所代表的意義，於 P. 100 已詳述，另亦補充範例於 P. 100 第七點段末或可參考表 1 與表 2 的作法。 另已修改「GPS」為「座標」。