

## 非破壊でスピーディーな『樹木の健康診断サービス』

応用地質(株)	地球環境事業部	○ 芦 葉 弥 生
応用地質(株)	地球環境事業部	梶 野 健
応用地質(株)	地球環境事業部	石 澤 伸 彰
応用地質(株)	関西支社	野々山 一彦

### 論 文 要 旨

近年、高度経済成長期に植えられた街路樹等の樹木が倒れ、歩行者や車両に被害を及ぼす事故が全国で発生している。倒木の要因はさまざまであるが、外観からは把握できない樹木内部の腐朽が要因となっていることが多い。このような倒木を未然に防ぐために様々な樹木の腐朽・空洞診断機器が開発されている。しかし、それらの機器は対象木を傷つけたり、非破壊の方法では装置が大がかりで診断に要する時間も長くなるなど、一長一短がある。そこで筆者らは、共振測定技術及び地中レーダ技術を組み合わせた『樹木の健康診断サービス』を新たに開発した。この方法は非破壊の上、測定時間も短く、簡易診断によるスクリーニングを行うことにより、単価が高い精密診断の本数を絞ることでコストも抑えることができる。なお、同じ地中レーダ技術を用いて「根系の分布診断」も可能である。さらにこれらの診断結果を「樹木管理データベースシステム」で一元管理することができ、管理が多い街路樹や公園木等の活用にも有効である。

キーワード：樹木、腐朽診断、共振測定、地中レーダ、分布診断

### ま え が き

近年、高度経済成長期に植えられた街路樹等の樹木が倒れ歩行者や車両に被害を及ぼす事故が全国で発生している<sup>1)</sup>。街路樹は自然の樹木と異なり、強剪定や周辺の工事等により切断された大枝や根の傷口から木材腐朽菌に感染し根や幹が腐朽して倒れやすいことが指摘されている<sup>2)</sup>。国土交通省、自治体、地方道路公社の管理する全国の街路樹の本数は、平成24年3月現在で高木(樹高3m以上)が約675万本ある<sup>3)</sup>。現在、街路樹は老朽化が進行しており、メンテナンスが必要なインフラとして認識し、その診断と対策が必要な時代になりつつある。

これらの状況を踏まえて、街路樹の健全度調査等により、倒伏や枝折れ等によって発生しうる事故の可能性を事前に評価し、それに基づいた適切な改善処置を検討し、迅速に実施することが重要である<sup>2)</sup>。しかし、調査や事前の評価において、外観から明らかに異常木が判断できれば問題がないが、見た目も正常でも内部の腐朽が進んでいる樹木の場合は、危険木として認識されず、安全管理上の問題がある。昨今の街路樹等の倒木の多くは、ある日突然倒れることで、初めて危険木であったことが認識されることがある。

街路樹は、植栽されて少なくとも数十年の間、維持されることが多いため、多くの地域住民に愛着を持たれている。そのため、安全面を優先したとは言え、主観的な判断で伐採を決定することは、地域住民の理解を得られない恐れが

ある。地域住民への説明責任を果たすためにも、腐朽率などの客観的なデータを示したうえで伐採の判断を行うことは、今後ますます重要になってくると考えられる。

このような背景から、街路樹等の大量の樹木を対象に低コストで効率的に診断できる『樹木の健康診断サービス』を開発した。このサービスは、幹内部の腐朽状況を把握する「腐朽診断」、根系の分布状況を把握する「根系の分布診断」、これらの診断結果等を一元管理できる「樹木管理データベースシステム」から構成されている。

『樹木の健康診断サービス』では、幹内部の腐朽診断において、共振測定装置による樹木の健全度評価を簡易診断として実施する。この技術は「独立行政法人北海道立総合研究機構」が開発したものである。

### 1. 『樹木の健康診断サービス』の特徴

(1) 大量の樹木の迅速診断によるコストダウンの実現  
一般的な樹木診断としては、樹木医による診断に加え、機器を用いた精密診断がある。機器を用いた精密診断としては、最も普及している「貫入抵抗測定器」のほか、「 $\gamma$ 線樹木腐朽診断器」、「多点式応力波速度測定器」および「多点式音響波樹木内部診断器」等が用いられている<sup>4)</sup>。

樹木医による診断では、専門知識を持った樹木医が中心となって1本ずつ外観から診断していくため、やや時間がかかり標準的には3名の作業員で1日あたり約25本程度の診断となる<sup>5)</sup>。

機器を用いた精密診断も、表-1に示すとおり、樹木1本(1断面)あたりの現地における作業時間が20~60分程度かかるため<sup>4)</sup>、1度に大量の樹木を診断することは難しい。最も普及している貫入抵抗測定器は、作業時間は1断面あたり2名で20分程度と短いものの、キリの貫入による破壊的な診断であるため、図-1に示すとおり、その傷口から木材腐朽菌に感染してしまう危険性がある。

表-1 精密診断機器の作業時間<sup>4)</sup>

精密診断機器名	現地作業時間(1断面)
貫入抵抗測定器	20分(2名)
γ線樹木腐朽診断器	30~60分(2名)
多点式応力波速度測定器	30分(2名)
多点式音響波樹木内部診断器	50分(3名)



図-1 キリ貫入傷口からの木材腐朽菌の感染事例

なお、精密診断の単価は、対象木の太さ等の条件や使用する機器によっても異なるが、通常1断面あたり1~8万円程度であるため、精密診断を実施する本数をできるだけ抑えることがコストダウンにつながる。

表-2に示すとおり、簡易診断は、1日あたり100~150本、精密診断は1日あたり40~50本の測定が可能のため、短時間で大量の樹木の測定が可能である。本サービスにおける簡易診断、精密診断はともに非破壊であることから、樹木を傷つける恐れがない。

『樹木の健康診断サービス』では、不健全木の疑いがある樹木を抽出する簡易診断(スクリーニング検査)を取り入れることで、高額な精密診断の対象本数を合理的に絞り込むことが可能である。

表-2 本サービスによる腐朽診断の作業時間

診断名	現地作業時間(1断面)	現地測定本数(1日あたり)
簡易診断	2分(2名)	100~150本
精密診断	2~10分(2名)	40~50本

(2) 掘削が必要ない根系の分布診断の実現

根系を把握するためには、根元の掘削が確実であるが、

その作業は大がかりとなる上、樹木の根を傷つける可能性がある。しかし、電波を照射する地中レーダを用いることにより、根系の分布状況を非掘削で把握することが可能である。根系の分布診断は、表-3に示すとおり1日あたり5本程度の測定が可能である。

表-3 本サービスによる根系の分布診断の作業時間

診断名	現地作業時間(1本)	現地測定本数(1日あたり)
根系の分布診断	1時間(3名)	5本程度

2. 幹内部の腐朽診断

幹内部の腐朽や空洞が大きくなると、樹木は倒伏しやすくなる。マテック博士<sup>6)</sup>の実態調査結果によると、腐朽・空洞半径が幹半径の70%を超えると、立っている樹木の本数よりも倒れる樹木の本数の方が多くなることが確認されている。この値を幹の断面積に換算すると49%(約50%)となるため、東京都の「街路樹診断マニュアル」では、腐朽率(幹の断面積に占める腐朽・空洞部の割合)が50%以上の樹木が「不健全(危険)」と判定され、撤去の対象となっている。

『樹木の健康診断サービス』における幹内部の腐朽診断では、腐朽率が高い危険木を効率的に抽出するため、図-2に示すとおり、外観診断、簡易診断、精密診断の3段階に分けて診断を行う。

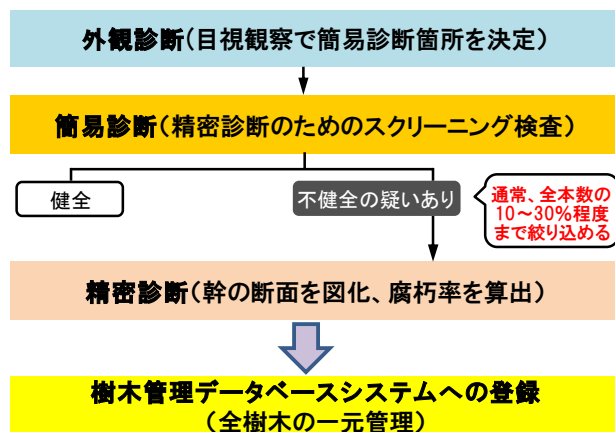


図-2 本サービスにおける幹内部の腐朽診断のフロー

(1) 外観診断

『樹木の健康診断サービス』における幹内部の腐朽診断の第一段階として、全樹木を対象に外観を観察、基礎情報である樹種名、樹高、幹回(幹径)、空洞の有無、腐朽の有無、キノコの有無、樹勢、病虫害被害を記録する。これらの基礎情報を踏まえて次の簡易診断を行う箇所(高さ)を決定する。簡易診断を行う箇所は、外観診断において腐朽や空洞等の異常が確認された箇所のうち、最も異常が進

行っていると判断できる箇所(高さ)を原則とする。外観から幹の異常が認められない場合は、倒伏の際に折れやすい根元付近のうち、精密診断機器を走査可能な高さである地表からの高さ 20~30 cm付近を簡易診断の対象箇所とする。

### (2) 簡易診断

外観診断で決定した簡易診断箇所において、共振測定装置による診断を行う(図-3)。共振測定装置による測定時間は一断面につき約2分と非常に短いため、短時間に大量の樹木を対象とすることが可能である。



図-3 共振測定装置による簡易診断の様子

この共振測定装置は北海道立総合研究機構が開発した樹木診断装置で、「安定した同一物質であれば共振によって得られる音速のばらつきが少なくなる」という原理を利用し、①各共振間での共振周波数のばらつき、②測定位置間の共振周波数のばらつき、③標準的な共振周波数とのずれの割合、の3つのパラメータによって、診断箇所の樹木の健全度(均質度)を「評価1」~「評価5」の5段階で簡易評価する。評価値が小さい樹木ほど均質度が低く、「不健全の疑いのある樹木」と評価され、評価値が大きいほど均質度が、より健全な樹木と評価される。

簡易診断の結果、「不健全の疑いのある樹木」と評価された樹木は、精密診断の対象木とする。幹内部の腐朽診断を効率的に行うためには、簡易診断により、精密診断対象樹木を可能な限り絞り込む必要があるが、その一方で、絞り込みによって対象外となった樹木の中に危険木が残っていない。そのため、東京都の街路樹診断マニュアルにおいて「著しい被害」とされる腐朽率30%を目安とし、腐朽率30%以上の樹木を抽出できる評価値の選定を行った。

簡易診断を実施した樹木の中から各評価値が含まれるようにプラタナス14本15断面、カラマツ6本6断面の計20本21断面を対象として伐採を行い、簡易診断結果と実際の腐朽率を比較検討した。その結果、腐朽率30%以上の

樹木を抽出するには、「評価1」及び「評価2」と評価された樹木を対象とすることが妥当と考えられた(図-4)。

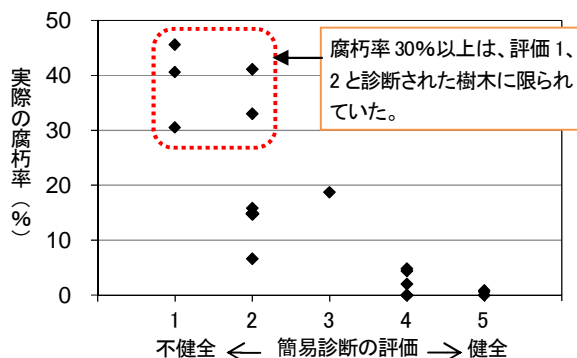


図-4 簡易診断の評価と実際の腐朽率

### (3) 精密診断

簡易診断で「不健全の疑いのある樹木」と判断された樹木について、地中レーダを用いた精密診断を行う(図-5)。精密診断では、幹内部に向かって電波を送信し、健全部と腐朽部の境界面から反射波が戻ってくるまでの時間から、内部の腐朽位置を把握する。精密診断は非破壊診断であるため、診断に伴う傷口から木材腐朽菌が侵入する心配はない。



図-5 地中レーダによる精密診断の様子

測定時間は1断面当たり2~10分程度と短く、1日あたり40~50本程度の測定が可能である。測定結果を基に幹の想定断面を図化し、腐朽率を算出できる(図-6)。算出した腐朽率を基に、撤去する(腐朽率50%以上)、短期周期での観察を継続する(腐朽率30~50%)等の判断が可能となる。

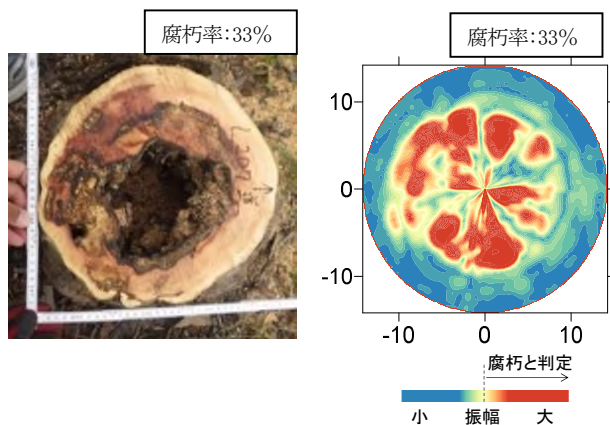


図-6 実際の断面と精密診断結果の例

以上のように、『樹木の健康診断サービス』における幹内部の腐朽診断では、外観診断・簡易診断によって、健康診断のように大量の樹木を診断することが可能である。その中から「不健全の疑いのある樹木」の精密診断を行い、腐朽率を算出する。初めから全樹木対象に精密診断をするのではなく、簡易診断により精密診断が必要な樹木を絞り込むため、低コストでも大量の樹木の幹内部の腐朽診断が可能である。

### 3. 根系の分布診断

当社は地中レーダと自動追尾トータルステーションを組み合わせ、位置情報を自動取得しながら探査を行うことにより、根系の分布状況を掘削することなく視覚的に把握できるシステムを開発した(図-7)。



図-7 根系分布診断の使用機器

このシステムでは、深度約 1m までの範囲にある太さ 2~3cm 以上の根系を検出することが可能である。図-8 に示すとおり、線状に連続した反射を根系と推定することで、根系の分布状況を把握できる。

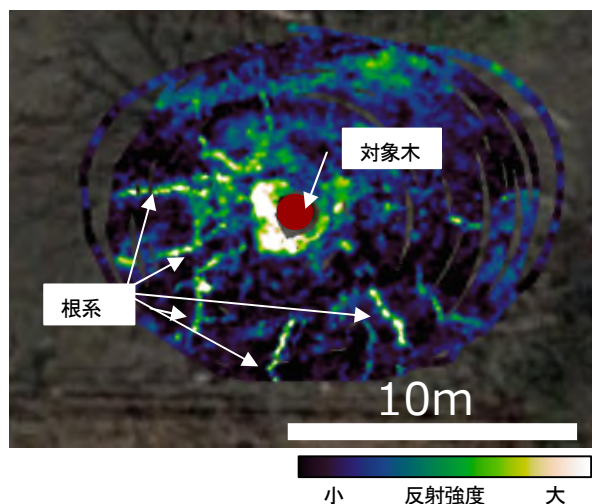


図-8 根系分布診断の結果の例

### 4. 樹木管理データベースシステム

樹木管理データベースシステムには、診断した全樹木の樹種、診断結果(健全度、腐朽率等)、次回診断すべき年度等の情報を登録し、これらの情報をシステム上で一元管理できる(図-9)。登録した情報を基に特定の樹木を検索して、図示、一覧表示、集計等の操作が可能のため、公園木や街路樹の毎年の診断計画や管理計画を効率的に策定することが可能である。



データベース



樹木番号	樹種	簡易診断		精密診断		次回診断年度	次回診断内容
		測定日	評価	測定日	健全度		
1	プラタナス	2016年7月13日	2	2016年8月23日	A	2021年度	予備診断+簡易診断
2	プラタナス	2016年7月13日	5	-	-	2021年度	予備診断+簡易診断
3	ケヤキ	2016年7月13日	5	-	-	2021年度	予備診断+簡易診断
4	ケヤキ	2016年7月13日	4	-	-	2021年度	予備診断+簡易診断
5	プラタナス	2016年7月13日	2	2016年8月23日	B1	2019年度	精密診断
6	プラタナス	2016年7月13日	3	-	-	2021年度	予備診断+簡易診断
7	プラタナス	2016年7月13日	1	2016年8月23日	B2	2017年度	精密診断
8	ケヤキ	2016年7月13日	4	-	-	2021年度	予備診断+簡易診断
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

図-9 樹木管理データベースシステム

### あとがき

幹の簡易診断で共振測定装置を用いるにあたり、北海道立総合研究機構林業試験場緑化樹センター研究主幹の脇田陽一農学博士の協力を得ました。記してここに感謝いた

します。

今後、街路樹等のさらなる老朽化や頻発する異常気象の発生を踏まえると倒木の危険性が増加し、迅速かつ高精度で低コストも実現した樹木診断のニーズは、さらに増えてくるものと予想される。しかし、今回紹介させていただいた『樹木の健康診断サービス』は端緒についたところであり、改良の余地は多く残されている。現地測定のさらなる迅速化、解析精度の向上と時間短縮、コストダウンなどの課題解決に向けて、さらなる技術開発に取り組んでいきたい。

## 参考文献

- 1) 飯塚康雄、栗原正夫：街路樹再生の手引き，国総研資料 第 885 号，国土技術政策総合研究所，H.28.3，285p.
- 2) 飯塚康雄、松江正彦：街路樹の倒伏対策の手引き，国総研資料 第 669 号，国土技術政策総合研究所，H.24.1，157 p.
- 3) 栗原正夫、武田ゆうこ、久保田小百合：わが国の街路樹Ⅶ，国土技術政策総合研究所資料 第 780 号，国土交通省国土技術政策総合研究所，2014.2，2p.
- 4) 東京都建設局公園緑地部：平成 26 年度 街路樹診断マニュアル，東京都建設局，H26.7，153p.
- 5) 日本樹木医会：調査・診断標準歩掛ガイドライン，1990.7.
- 6) クラウス・マテック：最新樹木の危険度診断入門 マテック博士のフィールドガイド，街路樹診断協会，平成 13 年，11 p.