

腐朽診断の現状と課題

神庭正則

(樹木医、(株)エコル代表取締役)
(街路樹診断協会常任理事)



はじめに

樹木では、腐朽の有無また腐朽が樹木に対してどのように影響するかなどについては、子実体（キノコ）発生の有無が大きな鍵となっている。キノコが確認できる場合には、その種類によって樹体でなにが起きているかをある程度推察することができる。しかし実際には、キノコが確認できない場合が多く、幹や根株の腐朽の有無、また腐朽が存在する場合には白色腐朽か褐色腐朽など腐朽材の判定程度にとどまる場合が多い。

辺材腐朽の場合は、外観から樹皮の枯死、また枯れ枝の発生などの症状から判明しやすいものであるが、心材腐朽については内部でどの程度の被害が起こっているかを判定することは難しい。写真1は心材腐朽が大規模に進んだ結果、大枝や幹折れの被害を受けたスダジイ。キノコは確認できなかった。



写真1 大枝が折損したスダジイ
(2002年5月)

腐朽の有無の見分け方

キノコの発生を含め、心材腐朽の被害を外観から判断する手法（Visual Tree Assessment = VTA）を唱えたのがドイツのクラウス・マテック博士である。博士の提唱するVTA手法の内容は、例えば腐朽や空洞、クラックなど構造的に大きな欠陥が発生すると、樹木が力学的に反応し、樹体自身の強度を保持するために部分的な補強を起こすというものである。その結果、外観的に局部的な肥大成長など膨らみによる形の変貌（図1）や樹皮の色の変化（図2）を示すというものである。それら樹木の“表情”を詳しく観察することで樹体内部に起こっている強度の低下現象を察知できるのである。

樹体内部の腐朽規模が大規模となって、局部的に荷重が加わると“あて材”などの発達と共に、支持材（サポート材）が急激に発達する。その材の発達を見逃さないことが重要である（写真2）。

コフキタケやシイサルノコシカケなどの発生が見られた樹木では、内部が激しく腐朽し空洞化してい

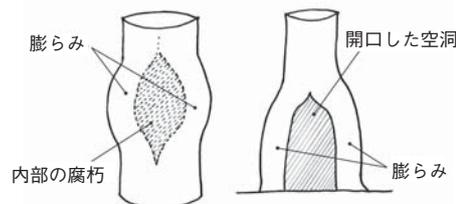


図1 内部の腐朽や空洞が大きくなると強度を補しようとして局部的に膨らみができる

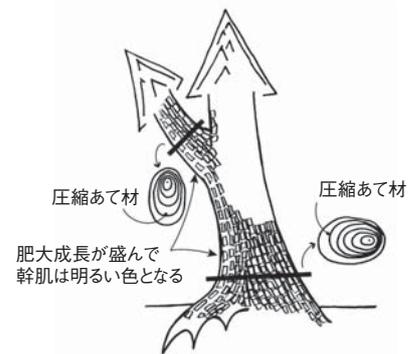


図2 局部的に荷重が懸かり続けるとあて材が発達して樹体を支えようとする

る可能性があるので、概ねそれらキノコの発生位置を主体として適切な診断機器を使用して空洞の規模（または健全な材の厚み）を確認しておく必要がある。また、キノコの発生が確認できない場合でも、木槌打診によって異常が確認できた場合、同様に機器による診断を行う必要がある。

機器による診断

樹木診断で使用される機器で樹木内部の空洞や腐朽規模を測定するものは、その機能で貫入抵抗の大きさを測定するもの、 γ 線の透過量の変化から測定するもの、そして打診音の伝達の変化で測定するものの概ね3種類ある。

レジストグラフ（半非破壊式）

レジストグラフは、内蔵された直径3mmのドリル歯を回転させながら一定速度で貫入してゆき、そのさいドリルの軸にかかる抵抗の大小で空洞や腐朽の位置をある程度正確に調べることができる器機である。（写真3、図3）マツやスギ等の針葉樹では年輪も明瞭に記される。

γ 線樹木腐朽診断器（非破壊式）

測定は樹幹を挟んで放射線源と放射線検出器を水平にスライドさせながら、刻々の放射線透過線量をパソコンに取り込み、樹木が健全である場合の放射線透過線量推定値（計算値）との比較を行うことで、内部腐朽状況を推測し、図化するものである。（写真4、図4）



写真2 折損した大枝下部の幹の樹皮に急激な肥大成長の表情（赤みを帯びた樹皮）を見せているシノキ

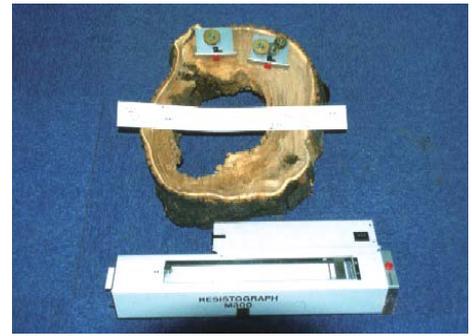


写真3 レジストグラフM300 材の硬さによってドリル歯の貫入速度を変えて測定する

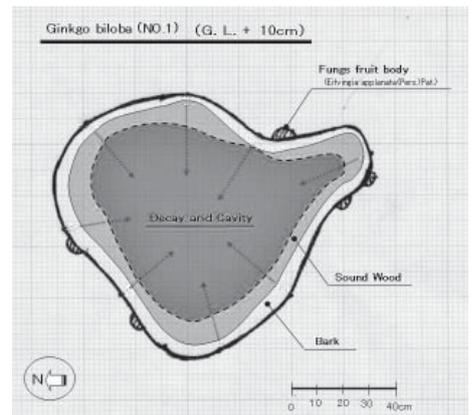


図3 レジストグラフによる調査結果の図



写真4 γ 線樹木腐朽診断器 直径約1.3m程度まで測定できる。写真は吊り下げタイプで直径約0.6mまで対応。

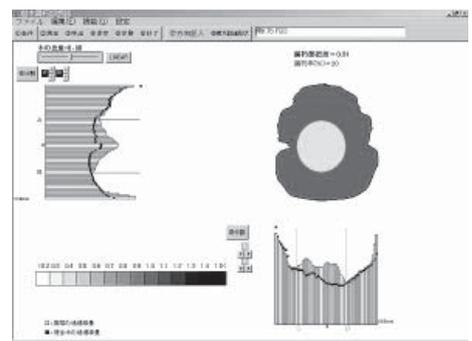


図4 γ 線の透過量から想定された空洞または腐朽の規模は断面に対する面積%で同時に計算される

ピカスおよびインパルスハンマー（半非破壊式）

ピカスおよびインパルスハンマーはいずれも幹の材部を伝わる音波の速度を計測して空洞や腐朽等がどの程度存在しているかを概ね想定する機械である。インパルスハンマーによる調査では、材が健全の場合、ケヤキ、サクラ類等の堅木でおよそ800～1000m/s以上、材の柔らかなヤナギでは300～400m/s以上という値を示し、空洞や腐朽の面積が50%程度以上となると、それぞれおよそ400m/s以下、200～100m/s程度以下の値を示す。ピカスは2点式であるインパルスハンマーを多点式に発展させたものである。(写真5、図5)

樹木のリスクマネジメント

大枝や幹折れは、樹木の生命を左右させることもあるほどの大きな要因であるとともに、人の命や財産へも被害を与える可能性をもっている。

(過去における大型台風の爪痕)

1979年10月19日(台風20号)

和歌山県に上陸したこの台風は、本州を縦断し八戸付近から太平洋に抜けた。沖の鳥島の南海上で最大風速70m/sを記録し、戦後最大級の台風といわれている。東京を真昼に襲い、最大風速38.2m/sを記録した。新宿副都心の超高層ビルは「震度4」に匹敵する揺れにみまわれ、ビル横に停車中の軽トラ

ックを横転させるほどの暴風だったとの記録がある。この時、多くの街路樹で幹が折れ、枝が折れ、根こそぎ倒れるものも多くあった。

1996年9月22日(台風17号)

強烈な暴風雨が東京を襲った。最大瞬間風速36.1m/s、降雨量259.5mmを記録した。この大型台風で、街路で多くの樹木が倒れ、不幸にもそれが人命への被害につながった。

1998年9月22日(台風7号)

近畿、北陸を縦断し各地に鋭い爪痕を残して過ぎ去った。奈良県で国宝の室生寺五重の塔の一部が無惨にも幹折れした杉の大木の下敷きとなり、また春日大社の東回廊も杉の大木に押しつぶされるなど、近畿の各地で国宝などを含む文化財に大きな被害が出た。東京でも、天然記念物クラスの樹木が倒れ、街路樹にも多くの被害がでた。表参道のケヤキの大木もこのときに倒れた。

これらの危険性を予知する技術は、昔から望まれていた技術である。近年、樹木のリスクマネジメントとしてアメリカとドイツなどでの先進的な研究により、倒木の危険性についての評価基準が策定され、危険度の判定が可能となってきている。次に、それら先進的な国々から導入した診断技術と独自に開発した判断基準、そして日本の街路樹についての診断の歴史と現状を紹介し、その課題について検討する。



写真5 ピカス診断機器での調査 幹に取り付けたすべてのプローブを順次ハンマーで叩く

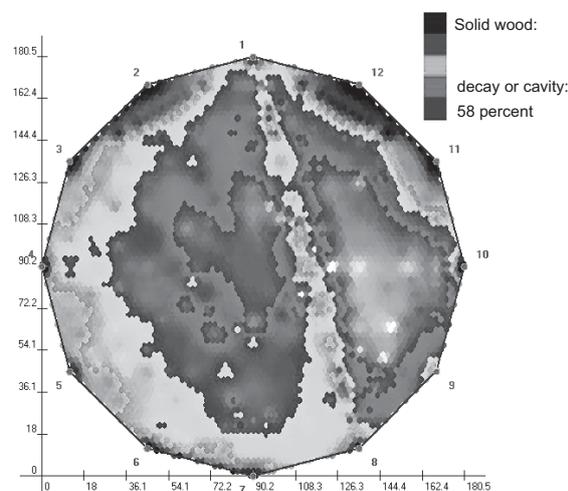


図5 ピカスによる教唆結果 材の状況は黒色から白色に段階的に色で分けられて表示される。赤、青、白色の腐朽および空洞範囲が図化され、同時に断面に対する面積%で表記される

日本における樹木の危険度評価導入までの歴史

1994年：堀大才氏と樹木医15名らがISAフランス大会に参加。倒木危険度判定に関する資料を持ち帰る。

1996年：(2月)日本で初めて樹体内診断機器レジストグラフを導入。(6月)「樹体の力学的適応とVTA法による樹幹内部の診断」をツリードクターNo4に掲載。(7月～)東京農工大学渡辺先生他によるレジストグラフ・インパルスハンマー性能実験、表参道ケヤキ並木でケヤキ164本をレジストグラフ・インパルスハンマーで調査。

1997年：(1月～)東京都、レジストグラフ・インパルスハンマーによる調査を試験的に発注。(11月)樹木医学会(研究会)にて「音速測定を用いた樹体内部欠陥診断」を発表。

1999年：(4月)東京都で街路樹の倒木危険度評価にあたる“街路樹診断”事業を本格的に開始。

その後現在に至るまで、診断機器に関しての多くの学会などでの発表や国外からの専門家を招いたりスクマネージメントに関するシンポジウム(2003年5月クラウスマテック博士講演会、2008年6月トーマスマイリー博士、オリバーウィテック弁護士らによる国際シンポジウム：街路樹診断協会主催、協賛(財)日本緑化センター、日本樹木医会)によりこれら樹木の腐朽と診断の必要性が広く知られるようになり、現在、首都圏および大都市周辺で倒木の危険度診断が行われるようになってきている。

また、これら広がりつつある樹木のリスクマネージメントや街路樹の診断に関して、診断技術の技術の平準化と普及を目的として活動している街路樹診断協会の研修資料を利用して、街路樹における外観診断から精密診断への移行基準や危険性の判定内容について紹介する。

外観診断

外観診断は、街路樹の状態を目視と簡易な道具によって行うものである。診断結果はチェックリスト及びスケッチ(平面図・立面図)に記入する。また、樹木の全景及び被害箇所を撮影し、記録する。

【調査方法】目視。木槌で幹を叩く。ナイフで樹皮をわずかに削り、材を見る。シャベルや銅棒で根元の材を調べる。梯子などで上部の幹や大枝を調べる。

【調査項目】樹木の形状寸法、植栽形態、支柱の状態と処置方法、活力(樹勢・樹形)、樹皮枯死欠損・空洞などの被害、被害の種類、被害の程度、キノコ、木槌打診による空洞音、樹幹傾斜、病害、虫害、揺らぎ、銅棒貫入異常、ルートカラーの有無、露出根の被害。

【記録】(「街路樹診断カルテ」の記入)路線名、診断日、樹木医名、樹種名、樹木番号、調査結果、診断結果、健全度判定、処置及び処置方法などを記入。

精密診断

精密診断は、外観診断によって樹幹内部に大きな空洞などの異常があると推測された樹木について、機器を使用して樹幹内部の腐朽状況やその腐朽量を調査するものである。

①貫入抵抗測定(レジストグラフ)。樹幹に電動式の細い錐を一定の速度で押し込んで行き、そのときの貫入抵抗を波型グラフでシート出力する。測定する幹断面の直径が30cm未満の樹木では直行する2方向から測定を行う。その直径が30cmを超える樹木では、直行する4方向から測定する。直径が非常に大きな樹木では6～8方向から測定を行う。樹幹に錐を貫入するため、損傷するので、注意を要する。

②γ線樹木腐朽診断器。樹体に傷をつけないことが必要となる場合に使用する。また、幹内部の腐朽が複雑となりやすいサクラなどではレジストグラフなどでは測定が難しいため、本機種が有効。作業効率はレジストグラフよりも悪い。

③ピカス。レジストグラフやγ線樹木腐朽診断器では測定しづらい大径木で有効。作業効率はγ線樹木腐朽診断器よりも悪い。

判定

診断の判定は、大きく5段階に分類される。

健全度1：健全で被害なし。樹勢正常以上で今後の良好な生育も期待できる。

健全度2：やや被害が認められるが目立たない。

健全度1と3の中間に位置する。樹勢の状況が

左右する。

健全度3：目立った被害が現れる。樹勢の状態によって症状が下降する可能性もある。

健全度4：大きな被害があり、健全度3と5の中間に位置する。健全度3に近いが、樹勢によっては悪化する可能性がある。樹勢に関係なく健全度5に近づく可能性がある。

健全度5：不健全。倒木の危険性大、早急な対策必要。特に危険なキノコの発生、空洞率が50%を超えるなど。

街路樹（樹木）診断における課題

地上部における診断方法及び判定に関しては概ね整った段階にあるが、地際部付近の根株から太根部分での腐朽が原因での倒木が発生している。特に時を経た大径木での発生が多いように感ずる。

これらの被害に対する診断方法については、試行は行われているもののマニュアル化された資料などは欧米を除き、日本にはいまだ見られない。

本年6月に開催された国際シンポジウム“世界の樹木管理とリスクマネジメント”へ出席のために来日した米国バートレット樹木調査研究所のトーマスマイリー博士が、街路樹診断協会員を対象として現地研修の中で根株腐朽の診断方法を披露してくれたのでその概要を紹介する。

根株診断の現地研修は傾斜したケヤキを対象に行われた。傾斜の進み具合の定期的な調査の必要性指摘とともに、根元を掘削し直径1.5mmほどのドリル



写真6 根株部へのドリリングによる調査風景
写真はスマイリー博士

歯を根株に貫入。そのさいの手に伝わる抵抗と取り出された木屑から腐朽の存在と程度を判定。危険な状態にあるため、さらに深く土壌を掘削して根系の状態を観察する必要があると指摘した。(写真6)

今後、これら諸外国の根株調査方法の収集と国内での試行によって根株診断の手法が確立されて、地上部とあわせて、はじめて樹木の倒木予知などに関しての樹木のリスクマネジメント手法が確立できるものであるため、街路樹診断協会ではこの根株診断について研究を開始しているところである。

腐朽被害の予防と対策について

樹木の腐朽病は、枝折れや不適切な剪定、根系の切断などいわば外傷による樹皮の欠損部が門戸となって樹体内に広がってゆく。これら傷口に対する処置を適切に行うことで、樹体が抱える問題の多くをなくすることができる。そのために、大枝や幹または根系を切断する場合には、切断は鋭利な刃物で行い、切断面を平滑にし、切り口には殺菌剤（チオファネートメチル剤など）を塗布し、切り口を保護する。特に大枝の剪定に関しては位置が重要となる。

ここでは枝折れの切戻しや剪定、双幹の剪定に関して、腐朽病害が拡大しにくい、シャイゴ博士の提唱する“正しい剪定位置”について説明する。

枝の正しい剪定

幹に腐朽などのダメージを与えない剪定位置を決定する時に注意する点は、次の3点となる。

- ①ブランチカラー（BC）とバークリッジ（BBC）を切り取らないこと。
- ②保護帯（プロテクションゾーン）を取り除かないこと。
- ③幹に一番近い位置で切ること。

正しい位置での剪定が行われると、幹内部への腐朽の進行を最小限にとどめることができ、また、巻き込みも切り口の全周から始まり閉鎖される。正しい剪定位置は図6となる。ブランチカラー（BC）が明確な場合には、ブランチバークリッジとブランチカラー（BBC）を結んだ線で剪定するのが最適の位置となる（図6左）。また、針葉樹のようにブラン

チカラーが枝の全周を取り囲むような場合には、ブランチカラーの頭の部分で剪定する（図6右）。

誤った剪定を行うと、将来、幹に腐朽を拡大させるなどの悪影響を及ぼしてしまう。つまりBCやBBCを切り取ってしまうような剪定（フラッシュカットという）では、幹の細胞までも切り取ることとなり、腐朽は幹表面から内部へ拡大してしまうことになる。（図7）

腐朽被害の処置に関して、過去に著されている処置方法は、幹や大枝における心材腐朽の結果生じる空洞などを対象とするものがほとんどである。

日本で初めて腐朽部や空洞部の処理技術つまり“樹木の外科手術”に関する書物が著されたのが、1937年の「樹木の外科手術」（関谷文彦）である。腐朽部を完全に削り取り、コールタールやクレオソート等の防腐材を塗る。空洞がある場合は、蓋をすだけのものや、中にコンクリートやアスファルト、木片等を詰め込むという充填法等が紹介されている。その後、1964年の「樹木の保護と管理」（上原敬二）では、腐朽部の削除方法、空洞の補強や充填方法等、日本における事例をあげて紹介している。1976年にはイギリスで「Tree Surgery」がブリッジ

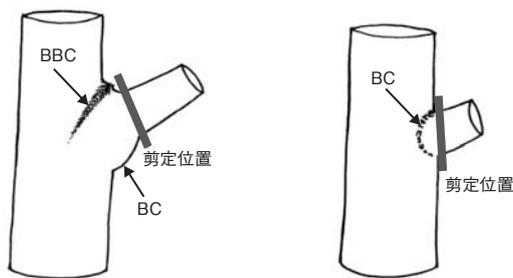


図6 正しい剪定位置 BBCとBC

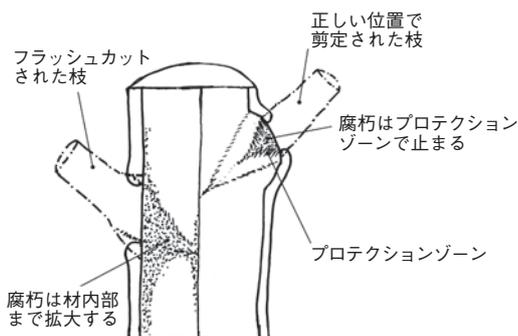


図7 フラッシュカット（左側）では腐朽は内部に拡大する

マンにより著され、空洞部に硬質ウレタン材を充填する方法が紹介された。この書物の中では腐朽部を完全に削り取るローターカッターと称する専用の機械も登場している。1980年代後半になると、シャイゴ博士（Alex L. Shigo 1930～2006）の「CODITモデル」が世界中で広く受け入れられるようになり、空洞部や腐朽部についてはなにもしない方がよいという支持者が多くなり現在に至っている。

CODITモデルとは、樹木が腐朽の進行に反応して強固な壁を形成し、その壁で作った区画の中に腐朽に感染した材を閉じこめ隔離することで、腐朽から身を守る方法を示したものである。区画化は4つの壁のモデルからなっている（図8）。

第1の壁は感染によって始めて生まれ、主に化学的反応で上下方向へ広がるのを防ぐ壁である。第2と第3の壁は感染が内側へ広がることに対して抵抗する年輪と横方向に広がるのに抵抗する放射柔組織で構成され、感染前から存在するもので、感染と同時に化学的にも強化される。しかし、以上の3つの壁はさほど強いものではない。最も強い壁は第4の壁である。第4の壁は内部に入った感染が外側（形成層側）に広がることに抵抗する壁で、樹木の形成層の働きによって作られる。樹木に空洞ができるのは、第4の壁が腐朽菌に対して強い結果である。

この理論は1960年代からのシャイゴ博士の実験の結果で、現在では世界中から支持され樹木の取り

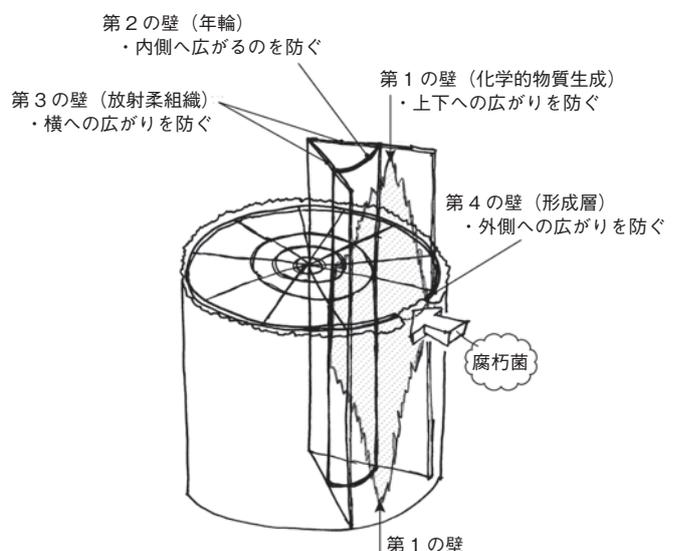


図8 Alex L. Shigo 博士のCODITモデル

扱い上での重要な内容として扱われている。以上が主に心材腐朽病に対する基本的な考え方である。

幹心材腐朽被害の処置対策

心材腐朽被害では、前述の CODIT モデルから基本的に腐朽部の処置を行う必要がないとされているが、ウレタンなどを使用して開口部の閉鎖が行われるケースが多い。これは、被害箇所（開口部）に雨水が入り込む等腐朽が進行し易い状況では、開口部の閉鎖や屋根をかけるといった方法は腐朽拡大に対して阻止効果があるという理由からである。腐朽の進行を遅くさせる方法としては、これら開口部の閉鎖処置と共に活力の向上のための管理が重要である。別の目的で空洞部の開口部の閉鎖が行われる事例が都市部の公園に多く見られる。これは、開口部での正常な巻き込みを促すという意味の他に、美観の向上または空洞部にゴミやタバコなどの投げ捨防止対策として行われている。このような状況の樹木に対しての処置は、樹木の防御機構を念頭におき、病害の種類や空洞の規模、その樹木の活力、周辺環境などを総合的に判断し、処置の内容を十分検討しなくてはならない。被害の程度によっては、支柱の設置、樹冠縮小のための剪定等の処置が重要となる。

根株心材腐朽被害の処置対策

幹心材腐朽同様、基本的に腐朽部の処置を行う必要がないとされている。しかしながら、被害が大きくなると地際部での折損の可能性が高くなるので、支柱の設置または樹高を低減させたり樹冠の縮小剪定が最も重要な対策である。当然であるが、活力向上のための施肥なども重要となる。

辺材腐朽被害の対策

心材腐朽病害とは異なり、辺材腐朽病は形成層や師部組織また養分の蓄積場である柔組織など生きた細胞を攻撃し壊死させる病害である。かつてからこの種の病害に関しては取り除く、削るなどの処置を行い、殺菌剤を塗布することで対応している。

ならたけ病やならたけもどき病などで病原性の強い辺材腐朽菌による加害や永年性がん腫病等のよう

に形成層を侵すような病気では健全な材部まで削り罹病部を削らなくてはならない。

また治療の成果は樹木の活力に大きく影響されるので、これら治療にあたっては、先ず活力を良好にさせることが基本となる。これらの被害対策は、健全な材が出るまで罹病部をすべて切削し、削除面にチオファネートメチル剤などを塗布し防菌する。

根株辺材腐朽被害の対策

幹辺材腐朽と同様、根株辺材腐朽も健全な材が出るまで罹病部をすべて切削するか、または罹病根をすべて切除する。削除（切除）面にチオファネートメチル剤を塗布し防菌する。なお、削除（切除）部からの発根を促進させるために、削除（切除）部周囲を完熟の堆肥で覆い、新鮮な土壌で埋め、新たな発根を期待する。

おわりに

樹木と腐朽については、樹木の外科手術の技術や考え方の変遷に見るように、樹木保護の上で腐朽とどのように向き合い、どのように対処すべきか、昔から多くの人が悩んできたテーマである。しかし現在では、都市の中に樹木が多く増えてきたこともあり、安全管理の面から腐朽が樹木の被害のみならず、人間への被害、つまり枝折れや倒木によって人命や財産に関係する被害に目が向けられてきた。

樹木のリスクマネージメントは欧米で発達したが、日本でもその考え方が、街路樹など人の生活と接する樹木を対象として広まりをみせている。

街路樹などでは腐朽の進んだ樹木に対して強固な支柱や十分な手当てを施すほどの空間が与えられていないこともあり、“植え替え”の診断を下す処置となることが多い。樹木の生育する適切な環境の整備と腐朽診断技術の進展によって予防措置が十分にとられることで、健全な巨木が都市の中で育っている姿を常々想像している。

キーワード：樹木のリスクマネージメント、腐朽、倒木危険度診断、街路樹診断、レジストグラフ、γ線樹木腐朽診断器、ピカス