

〔報告〕 ガンマ線を用いた木製円柱の内部劣化の検出

藤井 義久*・藤原 裕子*・木川 りか・川野邊 渉・
永石 憲道*²・中嶋 啓二*²

1. はじめに

X線などの放射線を用いた非破壊診断装置は、高分解能で物体内部の密度分布や欠点の分布を得られる優れた装置である。しかしこれは透過型の検出装置であるため、線源と検出器の間に測定物体を設置しなければならないという計測原理上の制約の他に、安全管理、装置の大きさや価格上の課題が多いことから、文化財建造物の柱の内部劣化の診断といった状況での装置としては不適とされてきた。

近年、ガンマ線を利用して樹木の内部空洞を評価するための小型軽量で比較的簡便な装置が開発され、樹木医などによる街路樹の内部空洞の診断などに用いられつつある^{1~4)}。同様の計測原理に基づく装置は海外でも開発事例がある⁵⁾が、本実験で用いた装置は国内で開発されたもので、線源と検出器、これらを保持および走査するガイドレール、制御駆動および計測用のバッテリーやパソコンなどの部品で構成されており、現場で短時間に組み立て使用することができる。

本装置は社寺建築などにおいて壁などとの関わりの少ない、独立した丸柱などの内部の評価に用いることができると考えられるが、乾燥した木材における内部の腐朽、虫害による空洞や低密度分布領域の検出事例はなく、基礎的データも乏しい状態にある。このため、本報告では、この装置を用いて内部に腐朽による空洞のある木製の円柱材について診断を行った結果を報告する。

2. 計測原理と装置の概要

放射線の1種であるガンマ線は物質を透過するが、透過の度合いは主に物質の厚さ及び密度に依存する。内部に密度低下部や空洞などの欠点のある物体を挟んでガンマ線源と検出器を相対して設置し、これらを物体の任意の横断面内で走査しながら透過線量を測定すると、そこで得られる線量の空間分布は、内部欠点の位置や密度分布を反映する。

本装置(図1:口絵参照)はこの原理に基づき、樹木などの内部欠点を検出するもので、線源と検出器の対は相対した状態で水平面内を同速度で平行移動しながら設定した積算時間毎に透過線量を測定する。この操作を直交する2方向から行い、得られた線量分布から物体内部の密度分布を測定する方式をとっている。実際の測定では、走査によって逐次的に得られる透過線量と外周形状を測定するために線源および検出器に取り付けた2台の反射型レーザ変位計の出力を、パソコンに取り込み、これらの分布を画面上に表示し、横断面内での密度分布の予測結果を図式的に表示するようになっている。

計測時には、設定した測定条件における線量の距離減衰を考慮するためにブランク計測(空測定試験)を行い、標準計量数値を求めるとともに、レーザ変位計で測定した物体の外周形状

*京都大学大学院農学研究科

*² 東邦レオ株式会社土壌樹木コンサルタント室

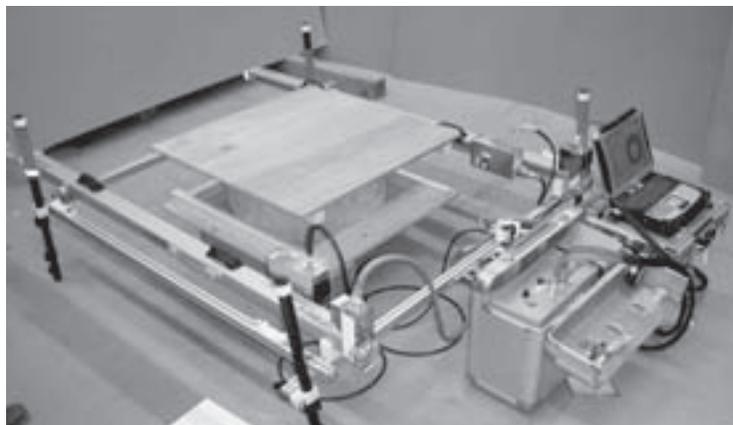


図1 測定の様子

から各測定ポイントでの試料の厚さを求め、内部に空洞などによる密度分布がなく中実である状態（健全）とした時の線量の分布を予測する。推定透過線量は、以下の式によって求める。

$$I = I_0 \exp(-\mu \rho t) \quad (1)$$

ここで、 I は透過放射線量、 I_0 は透過前放射線量、 μ は質量吸収係数、 ρ は測定対象物の密度、 t は測定対象物の厚さである。測定対象物の密度は樹種毎に適当な値を設定する。

内部密度の評価では、低密度領域を判別して試料内部のその位置を示す。ある測定ポイントでの透過線量が、試料が健全であると仮定した時の推定透過線量を明らかに超えている場合にその測定ポイントが低密度部分を含むと判定する。内部に空洞があれば、ガンマ線の走査範囲内のある長さわたって低密度部分を含む測定ポイントが連続することになる。この長さを直交する2方向で求め、それぞれを楕円の長軸、短軸として試料内部での低密度領域を楕円で近似して表す（図2）。なお、本装置が採用している直交2方向の透過線量を測定する方式では、試料内部に低密度領域が3箇所以上存在する場合、個々の領域の位置を推定することはできない。

本装置のガンマ線源は微量放射性同位元素（法規制外）のセシウム（ ^{137}Cs , 3.7 MBq, 半減期30.3年, 662 keV）である。本装置は自然放射されるガンマ線をシンチレーション検出器で十分にカウントできるよう、3個の線源を搭載している。検出効率120-130 cpsである。プ

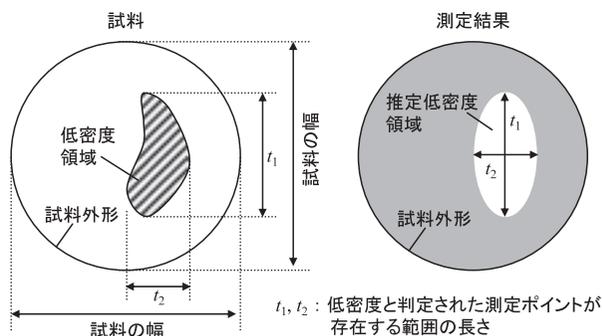


図2 低密度領域の推定方法

ランク計測時間は8秒で、ブランク当たりの目安カウント量は1000カウントである。試料を測定する際のカウント数は1点あたり自然放射線の3倍以上で、そのカウント数が取れる時間をサンプリング時間とする。統計誤差は、カウント数をNとすると $2\sqrt{N}$ 程度である。

線源と検出器は相対しながらガイドレール上をモーター駆動により移動する。ガイドレールの間隔は最大140cmまで広げることが可能で、およそ直径130cmまでの樹木や丸太の計測が可能である。

3. 実験試料と測定条件

試料はスギの円柱（気乾材）で、直径が約535mm、高さが約205mm、中心付近に直径が約250mmの腐朽による空洞がある。樹齢はおよそ110年である。

試料は図3のように高さ約200mmの台に載せ、試料の高さ方向の中央付近にガンマ線の線源と検出器、レーザ変位計が位置するように装置のガイドレールを設置した。この状態で試料の直径より少し大きい範囲を走査した後、試料を90度回転させ、同様の走査を行った。測定の際、サンプリング時間を6秒に、木材の密度を0.42に設定した。

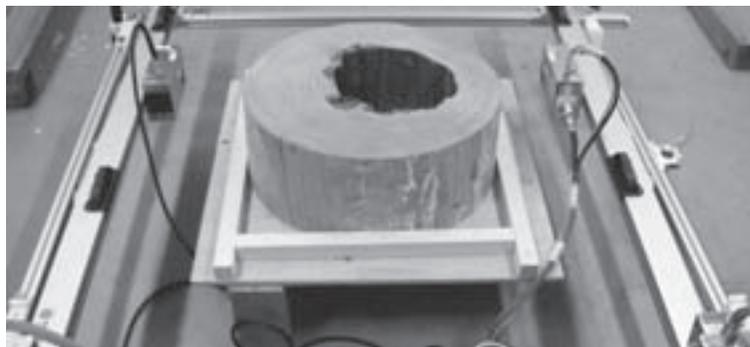


図3 測定時の試料，ガンマ線の線源，検出器の位置関係

4. 結果

図4は測定結果および測定時の空洞の位置を示す試料写真である。図中のグラフは、それぞれの測定方向について、各測定ポイントにおけるガンマ線の透過線量を棒グラフで、レーザ変位計で計測した円柱の外形プロフィールを■のプロットで重ねて表している。棒グラフは長いほどガンマ線がより多く透過したことを表す。左上グラフのAからB、右下グラフのCからDの間が低密度領域と判定された部分である。また、右上の模式図は左上グラフのAB間、右上グラフのCD間の長さを長軸または短軸として円柱内部の低密度領域を楕円近似して示したもので、黒線が円柱の外形、内部で色の白い部分が低密度領域、色の濃い部分がそれ以外の領域である。図より、測定結果の模式図で密度が非常に低いと判断された領域の位置や大きさは、測定時の試料の空洞の位置や大きさとほぼ一致していることがわかる。

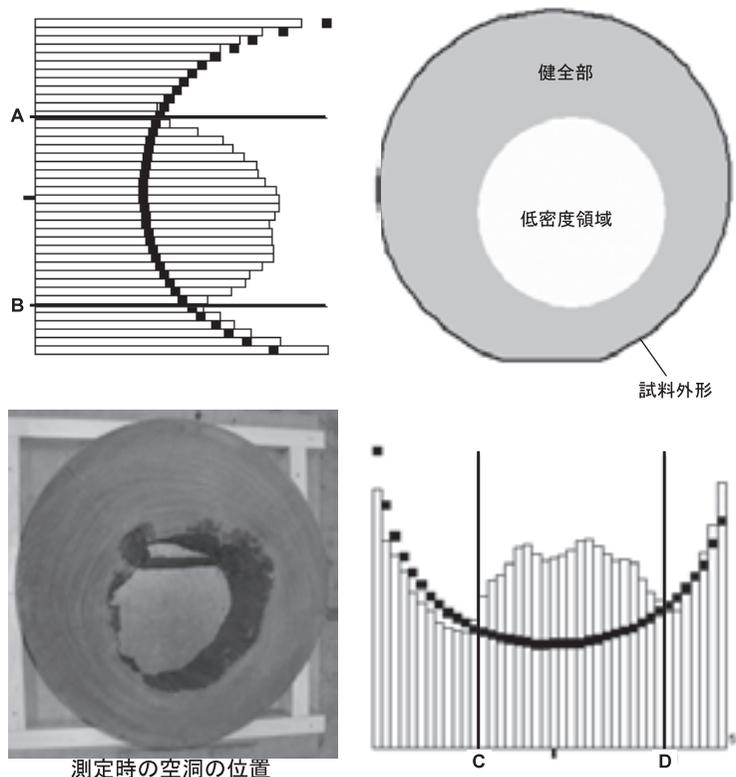


図4 測定時の空洞の位置および測定結果

5. おわりに

一例ではあるが、本装置は乾燥した木製円柱の内部空洞について、その位置や大きさがある程度、把握することができることがわかった。今後、密度低下はあるが空洞化していない腐朽部位の検出、水分の影響、クラックなどの検出性についてさらに検討していく。

参考文献

- 1) 飯塚康雄, 藤原宣夫: γ 線を利用した樹木腐朽調査: 腐朽診断器の開発, 樹木医学研究 8 (1), 45 (2004)
- 2) 飯塚康雄, 神庭正則: γ 線樹木腐朽診断機による診断事例, 国土技術政策総合研究所資料, p.355 (2006)
- 3) 飯塚康雄: 街路樹の危険性と診断機の開発, 都市緑化技術 (64), 29-33 (2007)
- 4) 特許第2997764号: 樹木腐朽の非破壊検査装置
- 5) Adolf Habermehl, Hans-Werner Ridder: Gamma-ray tomography in forest and tree sciences, Proceedings Vol.3149, Developments in X-ray Tomography, pp.234-344 (1997)

キーワード: ガンマ線 (Gamma ray); 内部空洞 (inner cavity); 非破壊検査 (nondestructive inspection); 木造建築 (wooden construction)

Nondestructive Detection of Inner Cavity of Wooden Pole Using Gamma-ray

Yoshihisa FUJII*, Yuko FUJIWARA*, Rika KIGAWA
Wataru KAWANOBE, Norimichi NAGAISHI*² and Keiji NAKAJIMA*²

The inner cavity of an air-dried wooden pole was estimated using gamma-ray. The apparatus used consists of a gamma-ray source, a detector, laser displacement sensors and guide rails. This apparatus is portable and does not take long to set up at a site. The two guide rails were placed across the sample and parallel to each other, and each rail held the source or the detector, positioned to face in opposite directions. The displacement sensors were installed to both the source and the detector. The source, the detector and the displacement sensors moved from one end to the other of the sample, and the attenuation of gamma-ray and the outer shape of the sample were measured at the same time. Density distribution inside the sample was estimated using the attenuation property and the width of the sample at each position. The result shows that the position and size of the inner cavity can be detected with the apparatus used. The challenges will now be to estimate other defects, such as low-density rotted area and cracks, and the effect of moisture content on detection performance.

* Kyoto University

*² TOHO-LEO Co.