

高周波静電容量による含水率測定

木材工業部 山之内清竜, 下戸哲博, 平野芳治*

The Indicator of the Moisture by the Capacity at Radio Frequency

Kiyotatsu YAMANOUCHI, Tetsuhiro SAGEDO, and Yoshiharu HIRANO

これまでに建築構造用材の平均含水率測定法として、構造用材を電極板で挟み込み、その電極間の高周波（1MHz）静電容量から平均含水率を推定する方法が有効である、という結果を得た。そこで、この結果をもとに実用化に向けた実大材測定法について検討を行い、企業と共同で構造用材の含水率測定装置を試作し、その性能評価を行った。

その結果、今回試作した構造用材含水率測定装置は、材厚（電極間距離）が10.5cm及び12.0cmの建築構造用材の平均含水率を、含水率30%以下の範囲で測定することができた。

1. 緒言

木材含水率の標準的な測定法は全乾法であるが、簡便な測定法として電気的な測定法も使われている。現在実用化されている電気的測定法としては、電気抵抗式と高周波式があるが、いずれも測定深度が浅いなどの理由で建築構造用材の平均含水率測定には適さない。¹⁾

そこで、これまでに筆者らが行った高周波静電容量によるスギ建築用材の含水率測定の実験結果をもとに、実大材を測定する方法について検討を行い、構造用材の含水率測定装置を企業と共同で試作し、その性能評価を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材

スギ10.5cm正角および12.0cm正角の3m材をそれぞれ40本ずつ使用した。供試したスギ材は、県産材（赤心材・黒心材）および北海道産材である。

2.2 測定法

一般に、木材は代表的な高分子物質であり、永久双極子を有する有極性物質である。このため、木材を高周波は電界中におくと分極が起こる。一方、水も有極性物質で同様に分極を起こすが、その分極の程度を示す誘電率は木材実質のそれに比べて著しく高い値を示す。²⁾例えば、水の誘電率は81.0に対して、全乾ブナ材は2.5である。従って木材は、含水率が増加するにつれて誘電率が増加するため、なんらかの方法で木材の誘電率を測定すれば、木材の含水率を測定することができる。ここで、一定の厚さの木材

（誘電体）を一定の面積を持つ2枚の電極板で挟み込み、この電極間に高周波を印可したとき、木材の静電容量は誘電率及び電極面積に比例し、電極間距離（材厚）に反比例する。つまり、木材の静電容量を測定することにより、木材含水率を求めることができる。このような手法による板材の含水率測定法は既に実用化されている。しかし、現在市販されている高周波静電容量タイプ含水率計は全て、その電極が同一平面上にある平面格子電極を採用している。³⁾この方式では測定深度がせいぜい2~3cm程度のため、建築用材等の断面の大きな材の測定には適さない。

そこで平成3年度までに、断面が12cmまでの構造用材の平均含水率測定法について検討を行い、スギ材における板厚別の誘電率・誘電正接特性や、インピーダンス成分の周波数特性を把握した。さらに、RC直列回路を利用した高周波静電容量測定法で、静電容量と木材含水率の関係を検討した結果、電極板で挟み込んだ構造用材の高周波静電容量から平均含水率測定が推定できるという結論を得た。⁴⁾

そこで実大材を測定する方法について検討するため、今回の実験では、電極板にいずれも幅10cm、厚さ2mmで長さ10cm、50cm、100cm、200cmの4種類の鉄板を使用した。

測定は、供試材を生材時から室内乾燥ならびに人工乾燥しながら材の静電容量と重量の経過を測定した。なお、静電容量をはじめとする試験材の電気的特性値の測定にはLCRメータ（HP4284A, YHP）を使用した。

一般に、木材の含水率を測定する場合、双極子分極をおこす放送周波数帯域の高周波が使用される。しかし、木材の誘電率は周波数の増大にともない減少する傾向があり、

* 山佐木材株式会社

しかも容量測定値に対する誤差要因となる誘電損失は、測定周波数が $10^5 \sim 10^6$ Hz付近で最低を、 $10^7 \sim 10^8$ Hz付近で最高になる傾向がある。このため、現在では木材含水率の測定に最適な周波数帯域は $10^6 \sim 10^7$ Hzであると考えられている。^{2) 5) 6)}

そこで、測定は図1のとおり4種類の電極板で供試材をはさみ、電極間に周波数1MHz、電圧1Vrmsの高周波を印可し、そのときの静電容量を測定した。静電容量測定終了後、全乾法で全試験材の平均含水率を算出した。

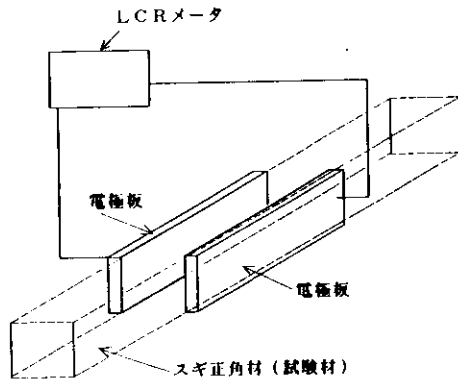


図1 高周波静電容量の測定法

なお、静電容量測定時の雰囲気温度は22~25℃であった。

3. 結果及び考察

図2に電極面積2000cm²におけるスギ正角材の静電容量と含水率の関係を示す。含水率30%以下では静電容量と含水率の間に比例関係がみられるが、含水率30%以上では静電容量と含水率間に、ばらつきがみられた。

上村²⁾や森山³⁾らの報告では、水分傾斜が極端に大きくなると、平均含水率と誘電率(つまり静電容量)の間にばらつきが認められている。今回の実験でも黒心材等の高含水率材では、乾燥過程で材表面と内部で100%以上の水分傾斜が生じたため、比較的高い含水率域では、平均含水率と静電容量間のばらつきが大きくなったものと思われる。また、上村³⁾は繊維飽和点以上での平均含水率と誘電率間のばらつきについて、繊維飽和点以上では材全体の誘電率に対して材中に含まれる自由水の誘電率が支配的になるためと指摘している。

スギ正角材の含水率30%以下における静電容量と含水率の関係について、図3に電極面積100cm²を、図4に電極面積500cm²を、図5に電極面積1000cm²を、図6に電極面積2000cm²を使用したときの散布図を示す。

含水率30%以下における含水率1%当たりの静電容量は、10.5cm角材の場合、電極面積500cm²で2.7 pF、電極面積

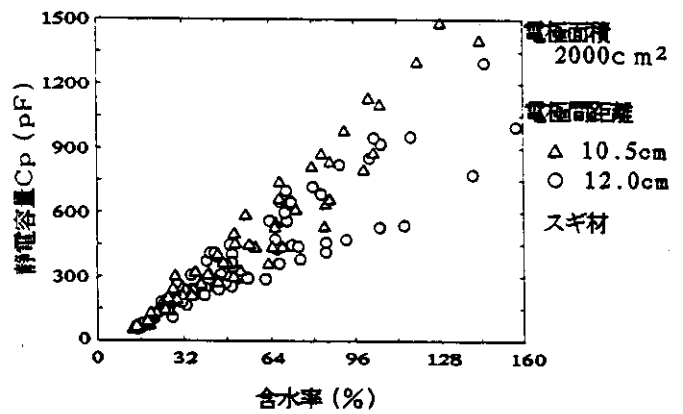


図2 全含水率域における静電容量と含水率の関係

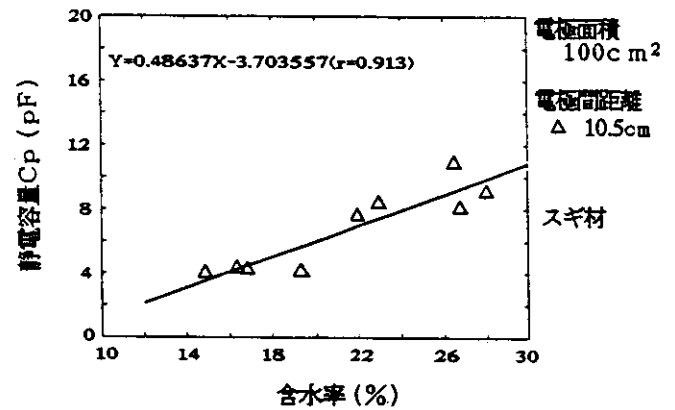


図3 静電容量と含水率の関係(電極面積100cm²)

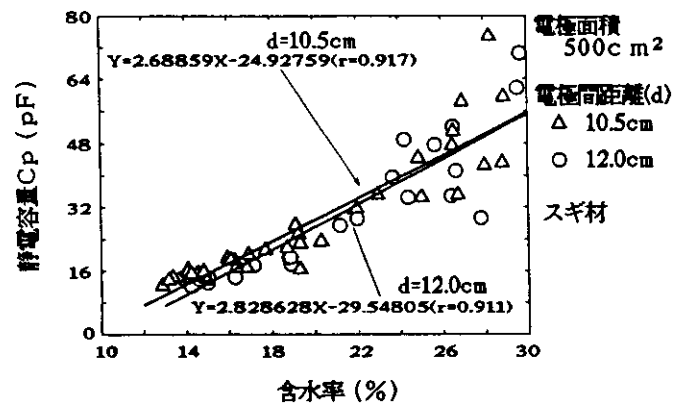


図4 静電容量と含水率の関係(電極面積500cm²)

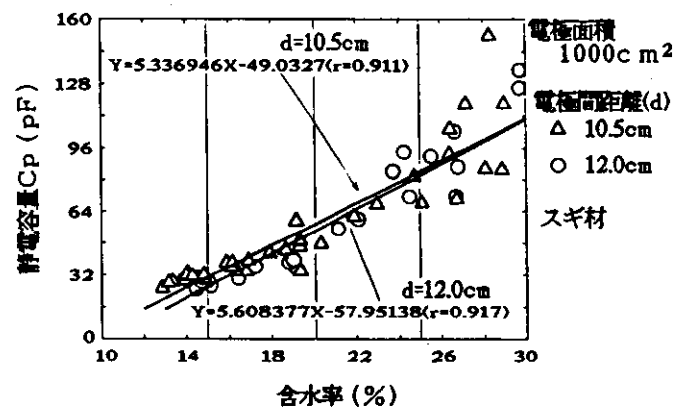


図5 静電容量と含水率の関係(電極面積1000cm²)

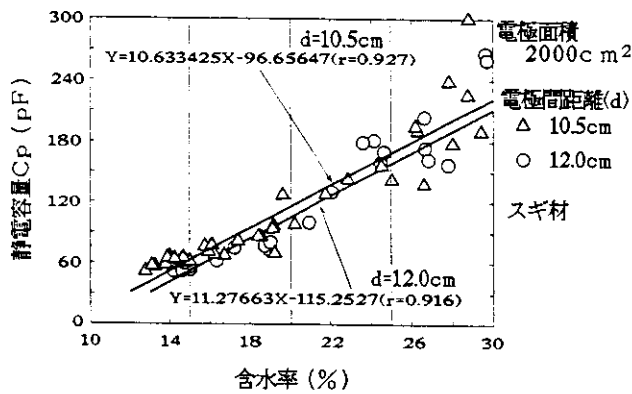


図6 静電容量と含水率の関係 (電極面積2000 cm^2)

1000 cm^2 で5.3 pF, 電極面積2000 cm^2 で10.6 pF, 12.0cm角材では電極面積100 cm^2 で0.5 pF, 電極面積500 cm^2 で2.8 pF, 電極面積1000 cm^2 で5.6 pF, 電極面積2000 cm^2 で11.3 pF となり, いずれも静電容量と強い正の相関関係がみられた。図3から図6に表示した単回帰直線は全て, 単回帰直線のあてはまりが有意水準1%で有意であった。しかし, 10.5cm角材の電極面積100 cm^2 では静電容量測定はできなかった。これは, 電極間距離に対して電極面積が小さすぎ, 電極間の電気力線に乱れが生じたためと思われる。

実用面から考慮すると, 電極面積 500 cm^2 では含水率1%当たりの静電容量が2.7~2.8 pF と分解能が小さい。このため, 測定中の外乱により含水率1%当たりの分解能以上の誤差が測定値に混入する可能性がある。そこで, 電極面積が大きくなるほど含水率1%当たりの静電容量が大きくなり, 含水率の測定精度が高まるため, 材厚 (電極間距離) が10.5cm及び12.0cmの建築構造用材の平均含水率を測定する場合, 電極板は1000 cm^2 以上の面積を有するものが必要と思われる。

また, 電極板と供試材は密着させる必要がある。今回供試した試験材の表面は帯鋸仕上げであるが, 試験材に押し当てる電極板の圧縮圧を5 kg/ cm^2 以上により, 測定値の再現性が認められた。

静電容量に対する温度の影響をみるため, 電極板 (電極面積2000 cm^2) で挟んだ試験材を人工乾燥機内に設置し, 乾燥機内の温度を室温 (15 $^{\circ}\text{C}$) ならびに, 30 $^{\circ}\text{C}$ および40 $^{\circ}\text{C}$ に設定し, 試験材の静電容量を測定した。なお, 試験材の含水率変化を補正する目的で, 実験前後に試験材の重量を測定した結果, 試験材の測定中における含水率変化は1%未満であった。

その結果, 測定雰囲気温度が上がると静電容量が大き

くなる傾向がみられた。含水率30%以下の試験材は測定雰囲気温度が15 $^{\circ}\text{C}$ のとき約55 pF, 40 $^{\circ}\text{C}$ では61.6 pFであった。含水率50%程度の試験材は15 $^{\circ}\text{C}$ 雰囲気温度で164.6 pF, 40 $^{\circ}\text{C}$ 雰囲気温度で238.3 pFとなった。

40 $^{\circ}\text{C}$ 雰囲気時と室温雰囲気時で測定した静電容量の差と室温雰囲気時で測定した静電容量に対するその差の割合 (以下, 変化率) をみると, 含水率30%以下では差が6.5 pF 変化率が11.8%となった。また, 含水率50%では差が73.7 pF, 変化率が44.8%となり, この傾向は含水率30%以上の試験材にみられた。このように, 含水率30%以上の試験材では測定雰囲気温度により静電容量の変化が, 含水率30%以下の試験材のそれより大きくなる。含水率30%以下の試験材では, 測定を15~40 $^{\circ}\text{C}$ の雰囲気で行う場合, 測定値が1割程度変動するため測定の際には, 測定する雰囲気温度を一定に保つか, 測定値の温度補正を行う必要があると思われる。

誘電率は比重に大きな影響を受けることが知られている。²⁾ 今回は, 供試材にスギ材を用いており, 得られた検量線はスギ材に対応したものである。今後, 測定可能な樹種を増やすためには, 樹種ごとの検量線つまり比重別の含水率と高周波静電容量の検量線データベースを作成することが必要となる。

4. 建築構造材用含水率測定装置の試作

これまでの実験結果をもとに, 山佐木材(株)では平成4年度鹿児島県中小企業技術改善費補助金を得て, 建築構造材用の含水率測定装置の試作を行った。

今回試作された装置の概観を図7に示す。



図7 含水率測定装置の概観

本装置では、搬送テーブル上に供給された構造用材が測定部まで搬送され含水率が計測される。その計測結果をもとに、日本農林規格（針葉樹構造用材の含水率区分）に沿った材の含水率別仕分けがされる。これらの工程は自動的に行われる。なお、一連のラインにはさらに自動的に強度を測定し、同じく日本農林規格に沿った強度の機械等級区分を行う機能を備わっている。なお、試作装置の電極面積は1200cm²とした。

試作した装置で自動測定した静電容量と含水率の関係を、10.5cm正角スギ材を図8に、12.0cm正角スギ材を図9に示す。

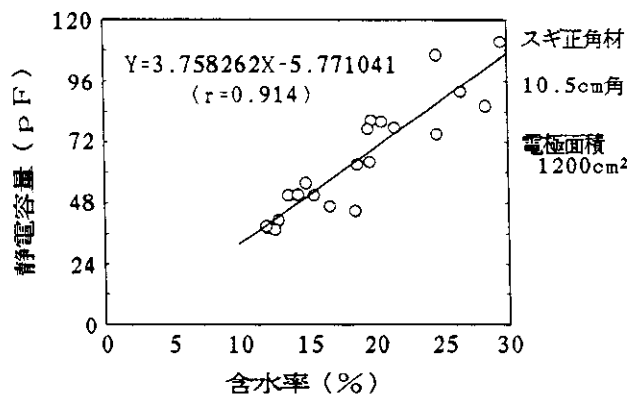


図8 静電容量と含水率の関係（10.5cm正角材，試作装置）

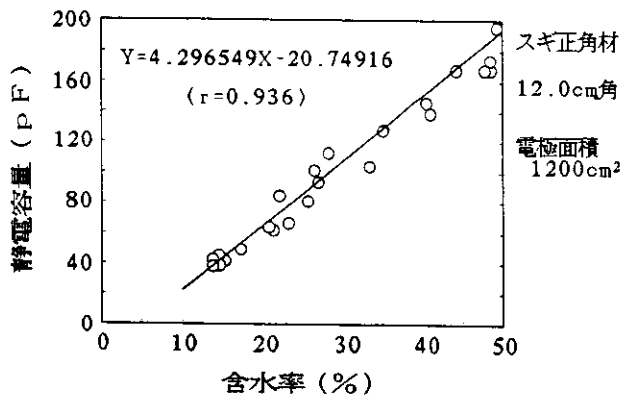


図9 静電容量と含水率の関係（12.0cm正角材，試作装置）

既に行った基礎実験と同じように静電容量と平均含水率

の間には強い正の相関がみられた。なお、12.0cm正角スギ材については、試験材の水分傾斜が比較的小さかったため、含水率50%以下で強い相関がみられた。すなわち、今回試作された構造材用含水率測定装置は、材厚（電極間距離）が10.5cm及び12.0cmの建築構造用材の平均含水率を、一定の温度雰囲気下において、含水率30%以下の範囲で測定可能であると思われる。

5. 結 言

構造用材を電極板で挟み込み、その電極間の高周波（1MHz）静電容量から建築構造用材の平均含水率を求める方法をもとに、実用化に向けた実大材測定法について検討を行い、企業と共同で構造用材の含水率測定装置を試作し、その性能評価を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 含水率30%以上では、スギ材正角材の静電容量と含水率にばらつきがみられた。
- (2) 含水率30%以下においても、10.5cm角材の電極面積100cm²では静電容量の測定はできなかったが、それ以外の条件では静電容量と含水率間に強い相関が認められた。
- (3) 試験材に押し当てる電極板の圧縮圧を5kg/cm²以上にするこゝで、測定値の再現性が認められた。
- (4) 測定雰囲気温度が上がると静電容量が大きくなる傾向がみられた。
- (5) 今回試作した構造材用含水率測定装置は、材厚（電極間距離）が10.5cm及び12.0cmの建築構造用材の平均含水率を、含水率30%以下の範囲で測定可能であった。

参 考 文 献

- 1) 久田卓典：木材工業，41，1，24～27(1986)
- 2) 上村 武：林試報告，119，95～167(1960)
- 3) 森山正幸ら：木材工業，141，7，37～39(1986)
- 4) 山之内清竜：鹿児島県工業技術センター平成3年度研究成果発表界予稿集(1992)，p.28～31
- 5) 堤 壽一：九大農演習林報告，42，109～168(1967)
- 6) 浜野義昭ら：鳥取県工試研究報告，12(1990)