

携帯型高周波式含水率計を用いた奈良県産スギ・ヒノキの正角および平角の水分管理(第1報)* —天然乾燥材に対する適切な密度補正值の検討—

成瀬達哉・寺西康浩

奈良県産スギ・ヒノキの正角および平角の水分管理を適切に行うため、3機種の高周波式含水率計の密度補正方法について検討した。奈良県産スギ・ヒノキの正角および平角の全乾密度の母平均の推定値を密度補正值とすることにより、メーカーの定める密度補正值を用いるよりも全乾法による値に近似するか否かを、天然乾燥した奈良県産スギ・ヒノキの正角および平角を対象として調べた。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 奈良県産スギ・ヒノキの正角および平角の全乾密度の確率分布を正規分布と仮定し、母平均の95%信頼区間を推定した結果、スギ材の母平均(ρ_s)の95%信頼区間は $0.365 \leq \rho_s \leq 0.370$ 、ヒノキ材の母平均(ρ_H)のそれは $0.464 \leq \rho_H \leq 0.473$ と推定された。これらの推定値は、含水率計メーカーの定める密度補正值以上であった。
- 2) スギ材ではメーカーの定める密度補正值と母平均の推定値との差が $0.02 \sim 0.03\text{g/cm}^3$ 程度と小さかったため、両密度補正值による含水率の測定結果に明らかな差が認められなかった。
- 3) ヒノキ材では密度補正值の差が $0.05 \sim 0.10\text{g/cm}^3$ 程度と比較的大きかったため、含水率の測定結果に差が認められた。1機種では、母平均の推定値を用いることでより適切な水分管理が行える可能性が示唆された。他の2機種では、含水率傾斜が大きくなるにつれて含水率計の値が低くなった結果、メーカーの定める密度補正值を用いた含水率計の値が全乾法による値に近似した。

1. はじめに

木材の含水率の測定は、全乾法により行うのが基本である。しかし、全乾法は製品の一部を切り出す破壊試験であるため、すべての製品の含水率を全乾法により求めることは現実的に難しい。したがって、全乾法による測定は少量のサンプルについて行い、製品の水分管理には非破壊で測定できる含水率計が用いられることが多い。なかでも携帯型高周波式含水率計は、被測定木材の厚さ方向に高周波電界を形成させ、この電界が到達した範囲の高周波容量から含水率を評価する。そのため、電極間の電気抵抗から含水率を評価する電気抵抗式含水率計に比べ、広い部位の含水率が評価できる。このことから、板材のみならず正角、平角等の測定にも用いられている。また、測定可能な含水率範囲が広い¹⁾こと、小型で携帯できること、価格が比較的安価であることから広く普及しており、県内においても携帯型高周波式含水率計は多くの工場で使用されている。

携帯型高周波式含水率計(以下、含水率計という。)での測定は密度の影響を大きく受けることから、全乾密度に応じた補正を行う必要があるため¹⁾、各含水率計メーカーは樹種毎に密度補正值を定めている。しかし、県内では古くから密植・多間伐

の施業が行われてきたため、県産スギ・ヒノキ材は年輪幅が狭い材が多い。針葉樹の場合、被圧木や老齢過熟材に見られるような極端に年輪幅の狭い材を除き、一般に年輪幅が狭い材は、大径・薄壁の早材の割合が少ないため、密度が大きいとされる²⁾。そのため、県産スギ・ヒノキ材の全乾密度の母平均は、各含水率計メーカーが樹種毎に定めた密度補正值(以下、メーカー補正值という。)よりも大きいと予想される。したがって、メーカー補正值を使用して県産スギ・ヒノキ材を測定した場合、含水率計の測定値(以下、含水率計値という。)が全乾法により求めた値(以下、全乾法値という。)よりも高くなると考えられる。そして、その含水率計値をもとに水分管理を行い、必要以上に乾燥した場合、製品の割れや変形、あるいは乾燥コストの増加を引き起こす危険性がある。

本研究では、このような含水率計を用いた水分管理上の問題に対処するため、県産スギ・ヒノキの正角および平角(以下、角材という。)に応じた密度補正值について検討した。まず、県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度の母平均を推定した。次に、推定値をもとに定めた密度補正值(以下、母平均補正值という。)を用いた場合、メーカー補正值を用いるよりも全乾法値に近似するか否か、測定精度が向上するか否かを調べた。また、製材のJAS認

* 本研究の一部は第67回日本木材学会年次大会(福岡 2017)において発表した。

定工場においては、含水率計値と全乾法値との誤差を前もって求めておき、その差の分だけ補正することにより、乾燥材が含水率基準に適合するか否かを判断できるようにしている。そこで、製材の JAS 認定工場における含水率計値の読替補正³⁾を行う場合を想定し、読替補正後についても、いずれの密度補正値を用いた場合に全乾法値に近似するかを調べた。

2. 材料および方法

2.1 奈良県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度の推定

県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度の母平均を推定するため、県内の4工場より、県産のスギ角材およびヒノキ角材の製材端材を収集した。また、当センターで実施した乾燥試験および強度試験用の試験材から、県産のスギ角材およびヒノキ角材の端材を得た。これらスギ角材916体、ヒノキ角材180体を試験に用いた。スギ角材の寸法は木口の短辺が75～135mm、木口の長辺が75～360mm、材長が約300～500mm、ヒノキ角材の寸法は木口の短辺が80～150mm、木口の長辺が95～308mm、材長が約300～500mmであった。それらの材から節を避けて繊維方向30mmの試験片を採取した。温度105℃に調整した熱風恒温乾燥機（エスベック株式会社製PH-401）を用いて、試験片を全乾付近まで乾燥し、その時点で直方体に調製した。そして、それを全乾まで乾燥し、全乾密度を測定した。

これらの全乾密度のデータから、県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度の確率分布を正規分布と仮定し、母平均の95%信頼区間を推定した。

2.2 各種の密度補正値を用いた含水率の測定

県産スギ・ヒノキ角材について、母平均補正値を用いた場合、メーカー補正値を用いるよりも含水率計値が全乾法値に近似するか否か、また、含水率計による測定精度が向上するか否かを調べた。さらに、製材の JAS 認定工場における含水率計値の読替補正を行う場合を想定し、読替補正後についても、いずれの密度補正値を用いた場合に全乾法値に近似するかを調べた。これらのことを調べるため、県産のスギ角材139体、ヒノキ正角64体を使用した。スギ角材の寸法は木口の短辺が135mm、木口の長辺が135～250mm、材長が約300～500mm、ヒノキ正角の寸法は木口の短辺および長辺が135mm、材長が約300～500mmであった。これら試験体は、当センターで実施した乾燥試験

用の試験材の端材で、天然乾燥された材であった。

含水率計は3機種（以下、含水率計A、含水率計B、含水率計Cとする。）を使用し、密度補正値にはメーカー補正値および母平均補正値を用いてスギ・ヒノキ角材の含水率を測定した。含水率計値の測定は、試験体の長さ方向の中央付近で節を避けて行った。試験体には背割りの施されたものも存在したが、背割りの施された試験体については背割りのない3材面を、背割りの施されていない試験体については4材面を測定し、それぞれ平均値を求めた。そして、その測定箇所から繊維方向30mmの含水率分布試験片（図1）を採取し、全乾法により含水率を求め、材内部の水分分布の状態を調べた。

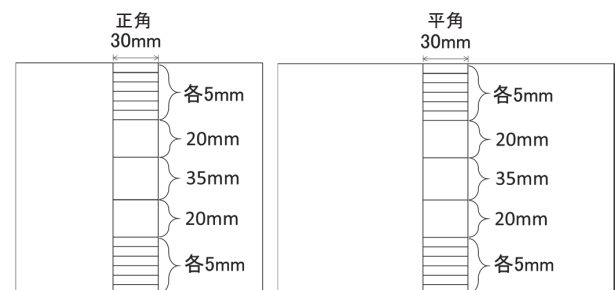


図1 含水率分布試験片

3. 結果および考察

3.1 奈良県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度の推定

図2に、県産スギ角材の全乾密度の分布を示す。スギ材の場合、0.34 g/cm³以上0.36 g/cm³未満の出現頻度が最も大きかった。また、図3に、県産ヒノキ角材のそれを示す。ヒノキ材の場合、0.46 g/cm³以上0.48 g/cm³未満の出現頻度が最も大きかった。出現した全乾密度の範囲は、スギ材では0.29～0.52 g/cm³、ヒノキ材では0.40～0.55 g/cm³であり、スギ材の方が範囲が広がった。

全乾密度の確率分布を正規分布と仮定し、スギ材の母平均 (ρ_s) の95%信頼区間を推定したところ、それは $0.365 \leq \rho_s \leq 0.370$ であった。同様に、ヒノキ材の母平均 (ρ_H) の95%信頼区間を推定したところ、それは $0.464 \leq \rho_H \leq 0.473$ であった。これらの結果より、次項の検討に用いる母平均補正値は、スギ材では0.37、ヒノキ材では0.47とした。なお、スギ材の全乾密度の文献値は0.32～0.35 g/cm³^{1,4,5)}、ヒノキ材のそれは0.36～0.40 g/cm³^{1,4,5)}であり、これらの値よりも県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度の母平均の推定値は大きかった。

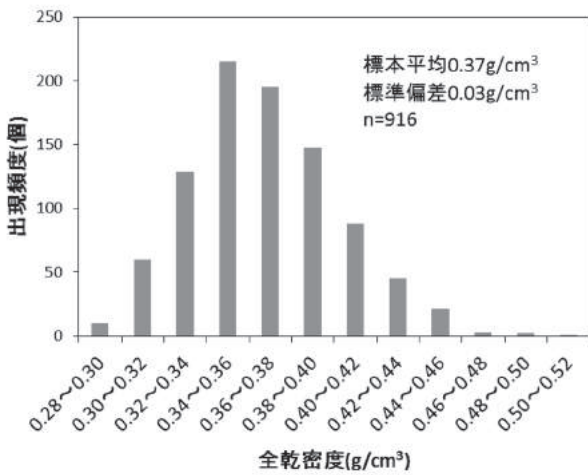


図2 奈良県産スギ角材の全乾密度の分布

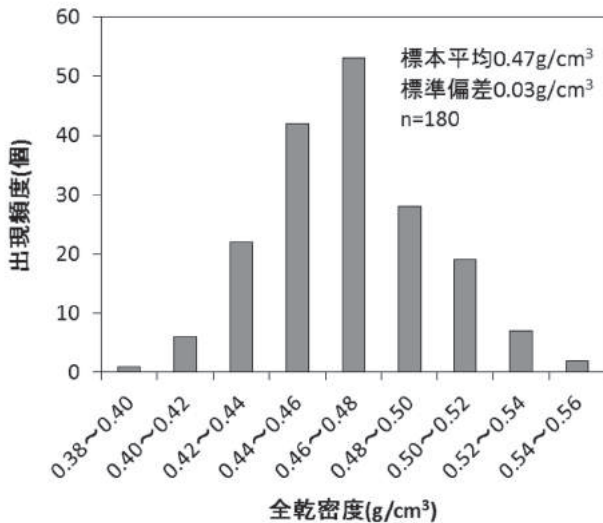


図3 奈良県産ヒノキ角材の全乾密度の分布

3.2 各種の密度補正值を用いた含水率の測定

図4に、スギ角材の全乾法値と含水率計値との関係を示す。なお、この図では、両者の関係を、密度補正值別、含水率計別に示しており、読替補正は行っていない。ただし、含水率計Bでは、メーカ補正值が母平均補正值と同一のスイッチ番号であったため、メーカ補正值による測定結果のみを示している。含水率計A、含水率計Cとも、メーカ補正值による場合と母平均補正值による場合との間で、全乾法値と含水率計値との関係に明らかな差は認められなかった。これは、スギ材ではメーカ補正值と母平均補正值との差が0.02～0.03g/cm³程度と小さかったことが一因と考えられる。また、メーカ補正值による測定精度と母平均補正值によるそれを比較するため、全乾法値と含水率計値との関係を示す回帰直線の決定係数に着目したところ、含水率計A、含水率計Cとも、メーカ補正值による場合と母平均補正值による場合との間で決定係数に明らかな差は認められなかった。

図5に、同じくヒノキ角材の全乾法値と含水率計値との関係を示す。ヒノキ材ではメーカ補正值と母平均補正值との差が0.05～0.10g/cm³程度とスギ材の場合に比べて大きかったため、両密度補正值による含水率の測定結果に差が認められた。含水率計Aの場合、メーカ補正值による含水率計値は全乾法値より高いものがほとんどで、母平均補正值による含水率計値が全乾法値に近似した。含水率計Bおよび含水率計Cの場合、母平均補正值による含水率計値は全乾法値より低いものが多く、メーカ補正值による含水率計値が全乾法値に近似した。この現象について考察するため、まず、回帰直線の傾き係数に着目する。回帰直線の傾き係数は、1より小さかった。この原因の一つとして、含水率傾斜の存在が挙げられる。

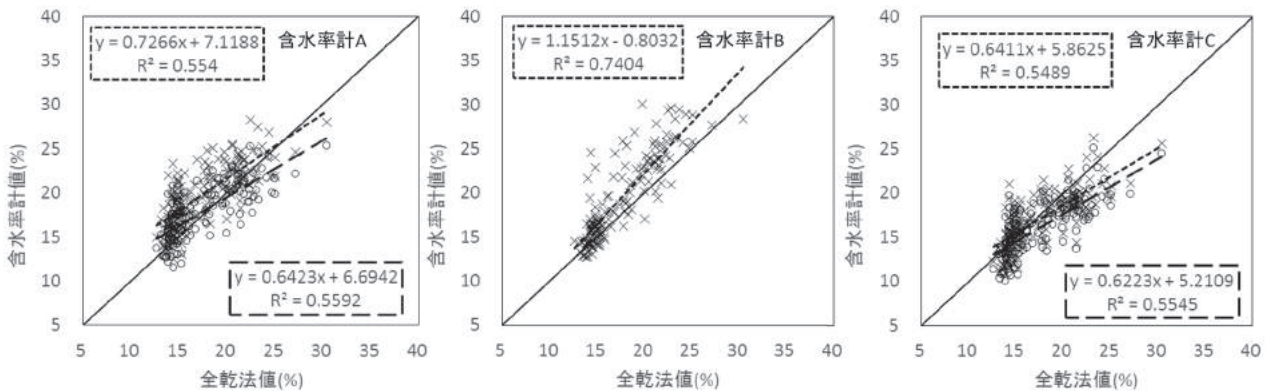


図4 スギの全乾法値と含水率計値との関係

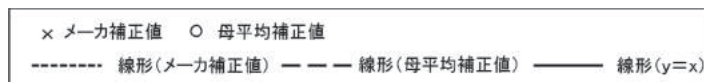


図6に、スギ・ヒノキ角材の含水率傾斜の一例を示す。全乾法値が高い個体には比較的大きな含水率傾斜が生じていた。含水率計での測定ではこのような含水率傾斜を十分に評価することができず、全乾法値の高い個体ほど、含水率計値が全乾法値よりも低い値となった可能性が考えられる。次に、図7にヒノキ角材の含水率傾斜と、全乾法値と含水率計値との差との関係を示す。なお、ここでは、全乾法値と含水率計値との関係において密度補正值間の違いが明らかであったヒノキ角材について示し、それが明らかでなかったスギ角材については省略した。また、含水率傾斜は、含水率分布試験片の含水率の最高値と最低値との差で表現した。この図によると、含水率傾斜が3ポイント以下と小さい場合、いずれの機種でも母平均補正值のプロットが $y = 0$ の直線付近に存在した。すなわち、母平均補正值による含水率計値が全乾法値に近似した。しかし、含水率傾斜が大きくな

るにつれて、いずれの密度補正值による場合も全乾法値に対して含水率計値が低くなった。その結果、母平均補正值による含水率計値よりも高いメーカ補正值によるそれが全乾法値に近似する場合があった。

なお、メーカ補正值による測定精度と母平均補正值によるそれを比較するため、図5に示す回帰直線の決定係数に着目したところ、いずれの機種とも、メーカ補正值による場合と母平均補正值による場合との間で、決定係数に明らかな差は認められなかった。

以上のように、ヒノキ角材では、含水率傾斜の影響により、全乾法値に近似する含水率計値が得られた密度補正值がメーカ補正值である機種と母平均補正值である機種とがあった。ヒノキ角材を含水率計Aで測定した場合、メーカ補正值による含水率計値は全乾法値より高いものがほとんどで、この含水率計値をもとに水分管理を行うと製品を

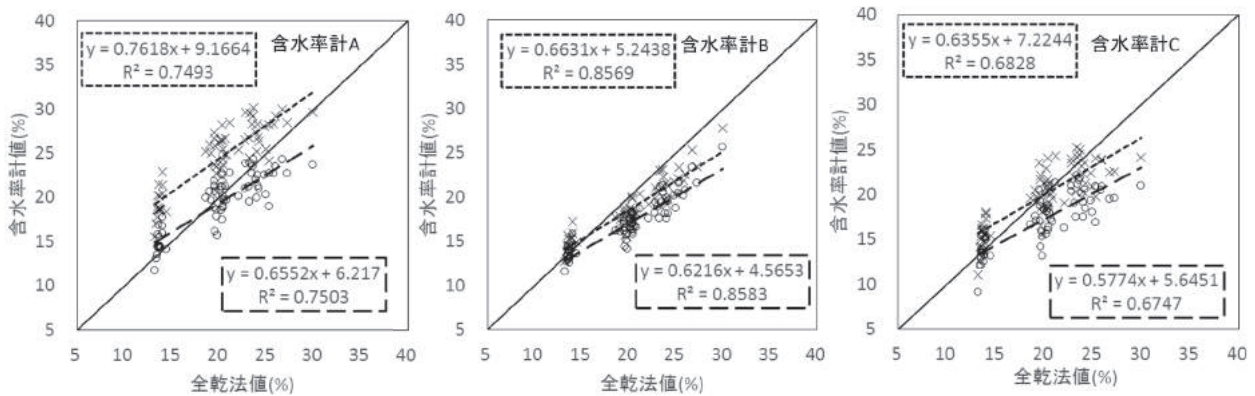


図5 ヒノキの全乾法値と含水率計値との関係

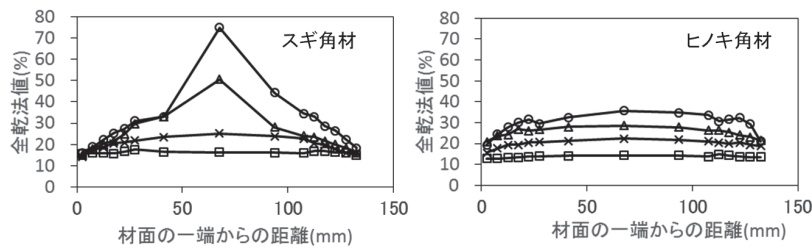
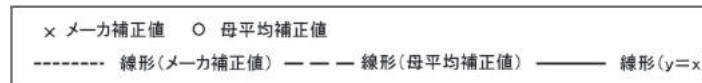


図6 スギおよびヒノキの角材の含水率傾斜の一例



必要以上に乾燥させる恐れが考えられた。含水率計 A においては、母平均補正值を密度補正值とすることで、より適切な水分管理が行える可能性が示唆された。

また、全乾法値と含水率計値との関係を示す回帰直線の決定係数に着目したところ、いずれの機種においても、メーカー補正值による場合と母平均補正值による場合との間で、回帰直線の決定係数に明らかな差は認められなかった。今回の検討において、母平均補正值を用いることで測定精度が向上するといった効果は認められなかった。

図 8 に、含水率計値の読替補正を行った場合について、スギ角材の全乾法値と読替数値との関係を示す。読替数値は、含水率計値が全乾法値より低いものがあった場合、その差の最大値をすべてのものの含水率計値に一律に加算して求めた。いずれの結果においても、読替補正を行うことで、読替数値は全乾法値以上の値となった。また、含

含水率計 A および含水率計 C の場合において、メーカー補正值による読替数値と母平均補正值によるそれを比較したところ、両者の間に明らかな差は認められなかった。

図 9 に、同じくヒノキ角材の全乾法値と読替数値との関係を示す。いずれの機種の場合においても、メーカー補正值による読替数値と母平均補正值によるそれとの間に明らかな差は認められなかった。

以上のように、含水率計値の読替補正を行うことで、メーカー補正值による読替数値と母平均補正值によるそれとの間に明らかな差は認められなくなった。読替補正は製材の JAS 認定工場での水分管理に適用されている。製材の JAS 認定工場が母平均補正值を用いることで、天然乾燥材に対する水分管理技術が向上するといった効果は認められなかった。

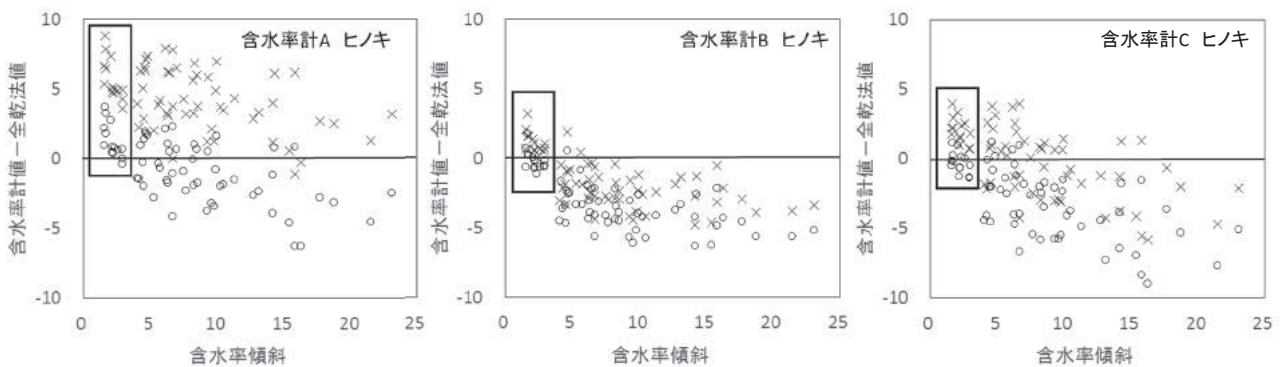


図7 含水率傾斜により異なる全乾法値と含水率計値との差

x メーカー補正值 o 母平均補正值 — 線形(y=0) □ 含水率傾斜が3ポイント以下のプロット

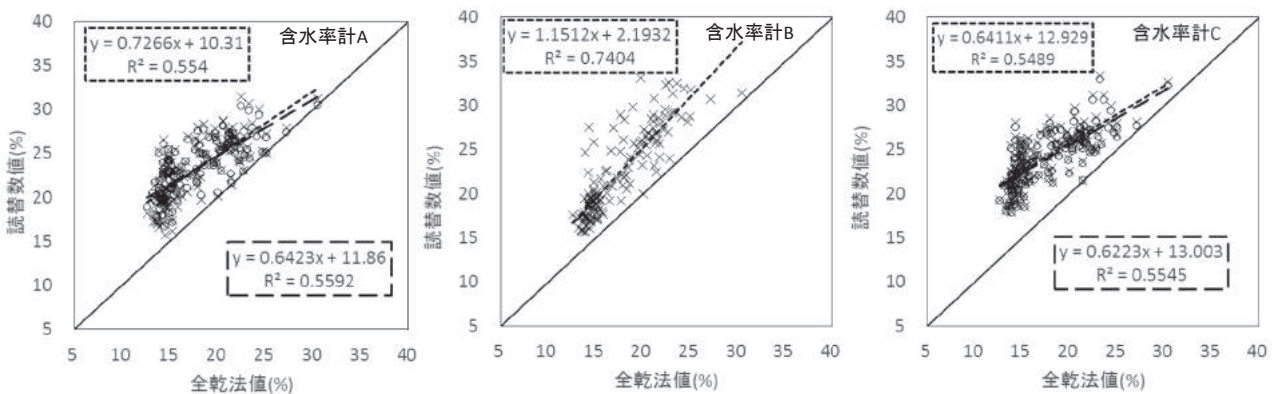


図8 スギの全乾法値と読替数値との関係

x メーカー補正值 o 母平均補正值
 - - - 線形(メーカー補正值) - · - 線形(母平均補正值) — 線形(y=x)

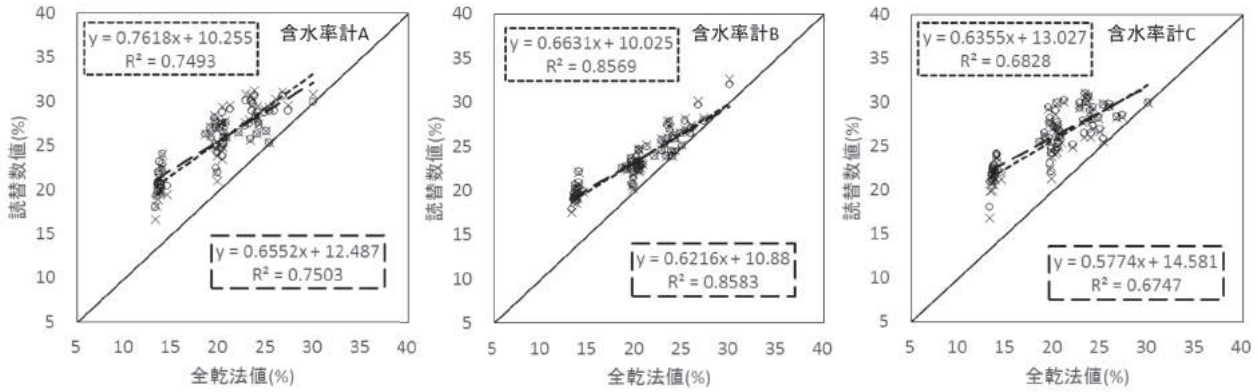
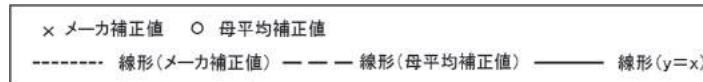


図9 ヒノキの全乾法値と読替数値との関係



まとめ

奈良県産スギ・ヒノキ角材の水分管理を適切に行うため、携帯型高周波式含水率計の密度補正方法について検討した。まず、県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度を調べ、それら全乾密度の母平均を推定した。次に、得られた推定値を密度補正值とし、天然乾燥した県産スギ・ヒノキ角材に対して3機種種の含水率計による測定を行った。メーカ補正值による測定および全乾法による測定も行い、製材のJAS規格で運用されている読替補正を考慮しながら、いずれの密度補正值を用いた測定が全乾法値に近似するかを調べた。さらに、全乾法値と含水率計値との関係を示す回帰直線の決定係数を指標とした、含水率計の測定精度に関する若干の考察を行った。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 県産スギ・ヒノキ角材の全乾密度の確率分布を正規分布と仮定し、母平均の95%信頼区間を推定した結果、スギ材の母平均 (ρ_s) の95%信頼区間は $0.365 \leq \rho_s \leq 0.370$ 、ヒノキ材の母平均 (ρ_H) の95%信頼区間は $0.464 \leq \rho_H \leq 0.473$ と推定された。これらの推定値はメーカ補正值以上であった。
- 2) 読替補正を行わない場合、スギ角材では、メーカ補正值と母平均補正值との差が $0.02 \sim 0.03\text{g/cm}^3$ 程度と小さかったため、メーカ補正值による場合と母平均補正值による場合との間で、全乾法値と含水率計値との関係に明らかな差は認められなかった。

同じくヒノキ角材では、メーカ補正值と母平均補正值との差が $0.05 \sim 0.10\text{g/cm}^3$ 程度と

スギ材の場合に比べて大きかったため、両密度補正值による含水率の測定結果に差が認められた。全乾法値に近似する含水率計値が得られた密度補正值は、使用する機種によってメーカ補正值である場合と母平均補正值である場合があった。含水率計Aによるヒノキ角材の測定では、母平均補正值を用いることでより適切な水分管理が行える可能性が示唆された。

- 3) 読替補正を行った場合、メーカ補正值による読替数値と母平均補正值によるそれとの間に明らかな差は認められなくなった。製材のJAS認定工場が母平均補正值を用いることで、天然乾燥材に対する水分管理技術が向上するといった効果は認められなかった。
- 4) 全乾法値と含水率計値との関係を示す回帰直線の決定係数に着目したところ、いずれの含水率計においても、メーカ補正值による場合と母平均補正值による場合との間で、回帰直線の決定係数に明らかな差は認められなかった。母平均補正值を用いることで測定精度が向上するといった効果は認められなかった。

謝辞

奈良県産スギ・ヒノキの角材の全乾密度を調べるにあたり、試験材料をご提供いただきました西垣林業株式会社、高田木材協同組合、川上さぷり川上産吉野材販売促進協同組合および十津川村森林組合に深く感謝いたします。

本研究を行うにあたり、ご助言を賜りました国

立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所木材加工・特性研究領域物性研究室長鈴木養樹氏及び同所同領域木材乾燥研究室主任研究員渡辺憲氏に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 寺澤眞, 筒本卓造: 木材の人工乾燥. 東京, 社団法人日本木材加工技術協会, 1976, 18, 88-89.
- 2) 古野毅, 澤辺攻: 組織と材質. 滋賀, 海青社, 1994, 127-128. (木材科学講座2)
- 3) 一般社団法人全国木材検査・研究協会編: 製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説. 東京, 一般社団法人全国木材検査・研究協会, 2013, 199.
- 4) 寺澤眞: 木材乾燥のすべて. 滋賀, 海青社, 1994, 618.
- 5) 比留間重次郎: 木材の電気伝導試験. 林業試験場研究報告. 10, 61-71(1913)
(2017年4月28日 受理)