

はじめに

木材工業における木材の水分管理のための含水率測定には、簡易な電気式水分計が多く用いられています。ところが、水分計の種類も多く、また測定対象となる木材の種類、材種も多いことから、水分計を選択する場合のとまどいや水分測定値の精度についての不満を訴えるユーザーがあります。水分計の使用法、使用限界等について、ユーザーサイドの実際の使用条件を考慮した説明が不足しているためであると思います。

折から、乾燥材の普及も促進される昨今では、乾燥材の正確な含水率を知る目的で水分計が使用されることを考えますと、水分計を使用した場合の測定値の精度については、単にメーカーの製品仕様書を信頼するだけでなく、実際に使用する側がこれらの水分計を使いこなしていく使用上のノウハウを持つことが望まれます。

特に、製材の断面形状（厚さ）が大きい場合の測定や、材内の水分が不均一な状態（水分傾斜のある状態）における測定では、測定値がそのまま製材の正確な水分を表示しませんので、特に測定値の評価に関する知識が必要です。

ここでは、タイプ、メーカーの異なる水分計を3種類用意しこれらを用いてトドマツ正角材の水分測定を行い、水分計による含水率測定値と、全乾法による含水率値の比較を通して、水分計の特徴を検討し、実際使用上の留意点についてまとめました。

1. 使用した水分計

木材の電気式水分計として一般的なものは、直流抵抗式と高周波容量式があります。前者は、木材に針状電極を打ち込んで測定する方法を取ります。また後者では、木材表面に平行電極を接触あるいは押しあてて測定します。したがって、抵抗式の水分計は、木材に傷がつきますが、高周波容量式では傷がつかないこととなります。そこで、現在手に入りやすく、現場で多く使用されている水分計、すなわち、

1) M水分計

高周波容量式

目盛り：デジタル式，2～150%

材厚さ：10～40mm

電 極：押し当て式

2) D水分計

高周波容量式

目盛り：0～50%，0～100%，2段切換

材厚さ：～100mmまで

電 極：押し当て式

3) T水分計

直流抵抗式

目盛り：4～35%，30～120%，2段切換

材厚さ：打ち込む針の長さにより変化

電 極：針状打ち込み式，打ち込み深さ8mm

以上、3つの水分計を使用して実際に水分測定をしました。いずれも含水率30%以上の高含水率表

示が可能なタイプで、温度補正、樹種（比重）補正、厚さ補正等の使用条件は、メーカー仕様書に準じて設定して用いました。厚さ補正では、105mmに合わせられない場合が生じましたが、その場合には最大の厚さレンジに合わせて測定を行いました。

2. 測定方法

測定した材は、105mm×105mmの断面を持つトドマツ正角で、これを一般的な乾燥スケジュール（乾球温度 60～80，乾湿球温度差 3～17）を用いて、生材から人工乾燥を行いました。図1に示すのは、この乾燥経過ですが、図中の矢印で示した時点で材を取りだし、材の木表および対面の木裏の2材面について3つの水分計による水分測定を行いました。水分計を当てた部分は、切り出して105の乾燥機に入れ、全乾法により正確な含水率および厚さ方向（木表 - 木裏方向）の水分の傾斜を測定し水分計の測定値と比較しました。

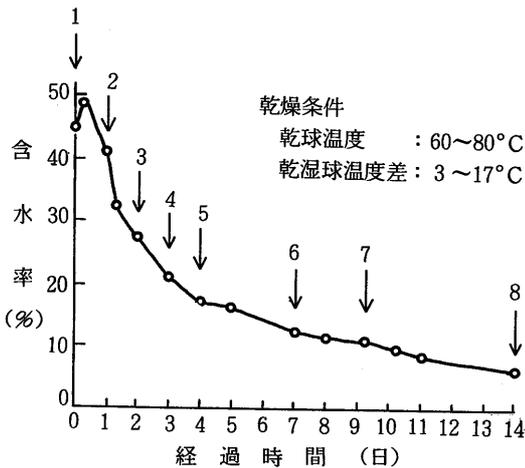


図1 トドマツ正角の乾燥経過と水分計による水分測定時点

注) 図中の矢印数値は表1に示す測定時点

3. 水分計の測定値

表1に、測定各時点（1～8）の水分計の測定値と全乾法による含水率を示しました。この表に

表1 水分計による測定値と全乾法による含水率

測定時点 No.	測定面	含水率 (全乾法) (%)	M水分計	D水分計	T水分計
1	木表	62.2	47.2	66.0	31.5
	木裏	27.2	—	—	—
	平均	44.7	—	—	—
2	木表	41.4	27.8	69.2	30.0
	木裏	24.0	19.1	22.0	20.3
	平均	32.7	23.5	45.5	25.5
3	木表	32.9	19.1	41.0	33.1
	木裏	22.5	13.2	18.1	18.1
	平均	27.7	16.2	24.5	25.6
4	木表	23.7	12.4	21.0	17.0
	木裏	18.8	8.8	11.0	12.9
	平均	21.2	10.6	16.0	15.0
5	木表	18.8	11.2	15.0	15.4
	木裏	15.6	8.8	8.0	10.3
	平均	17.2	10.0	11.5	12.9
6	木表	13.6	8.3	9.0	11.0
	木裏	11.1	8.0	6.0	9.0
	平均	12.4	8.2	7.5	10.0
7	木表	11.0	6.7	5.0	10.7
	木裏	10.7	6.9	5.0	11.0
	平均	10.9	6.8	5.0	10.9
8	木表	6.0	2.4	2.0	4.0
	木裏	6.4	2.5	1.0	6.8
	平均	6.2	2.5	1.5	5.4

注) 木表、木裏の含水率（全乾法）は両表層から探さ50mmまでの平均値として示した。

は、木表側および木裏側から水分計を当てた場合についての測定値とそれらの平均値、同じ箇所の全乾法による含水率測定値と平均値が示してあります。

測定に使用したトドマツ正角では木表側は含水率の高い辺材が多く、また木裏側は、比較的含水率の低い心材が多い、いわゆる辺心材込みの木取りの材でした。したがって、木表と木裏の測定面の違いにより含水率が大きく異なります。

4. 厚い材の水分測定誤差を少なくするには

図2は、トドマツ正角の材内の含水率の分布を

測定時点別（1～8）に連続して図示したもので、材から木表 - 木裏方向に細かく20等分に切り取った小片の含水率を全乾法で測定した結果です。これが示すように、材の中の含水率は表層で低く、中心に向かうほど高くなる傾向があり、さらに木取りの関係から木表側が高く、木裏側が低い含水率の分布を示しています。これと同じ傾向の分布は乾燥中継続して現れています。このような材内の含水率の異なる傾向を水分傾斜がある状態と言っています。通常の状態では、ほとんどの材でこのような傾向の水分傾斜が程度の差はあれ生じています。

この結果からわかる水分計の使用上の留意点のひとつは、正角のように比較的厚さが厚い物では、単に一材面の測定では水分測定誤差が大きくなる可能性があることです。この原因は、いうま

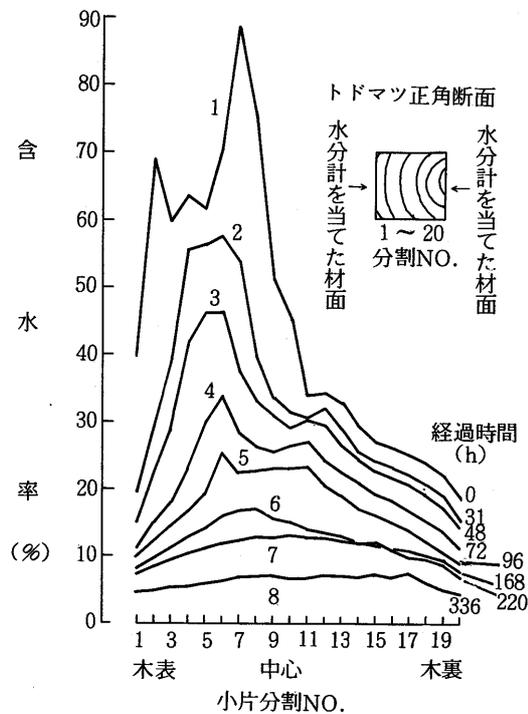


図2 トドマツ正角の乾燥中の材内水分分布

注 1) 1枚の小片は約5mm厚、20分割した正角は辺心材が混入
2) 図中数値1～8は図1と同様

でもなく、もともと材の中の水分の分布が不規則であること、あるいは乾燥により材内に水分傾斜が生じているためです。特に、生材では材内の含水率の分布は千差万別であるため、含水率を測定する場合には注意が必要です。したがって、最低でも対面する2材面の測定を行い、それらの平均値を調べることで含水率測定誤差を少なくする使用上のテクニックとなってきます。

5. 正角に対する水分計の適用性

図3に示したのは、含水率の測定範囲が異なる場合の各水分計の測定値（2材面の測定値の平均値）と全乾法による正確な含水率の比較です。すなわち、高周波容量式（M、D水分計）、および抵抗式（T水分計）の各データです。各図の中の右上がり45度の角度に引いた実線は、全乾法による含水率と水分計の測定値が等しい場合の関係を示す線であり、プロットした点がこの線に沿って近いところにあるほど水分計の測定値が正確に材の平均含水率を測定したことになります。またこの線より上に点がある場合は、水分計の測定値は実際の材の平均含水率よりも低い値を測定したことを意味します。逆に、この線より下に点がある場合は、水分計の測定値が材の含水率よりも高く測定されたことを意味します。

この結果を見ますと、D水分計の結果（中段の図）における高い含水率範囲を示した測定点以外は、M、T、D水分計とも図中の点がこの斜めに引いた線よりも上に位置しています。したがって、水分計の測定値は、材の実際の含水率よりも、低い値を示したことになります。

水分計の測定値が実際の材の平均含水率よりも低いということの理由は、材の中の水分の状態が表層では含水率が低く、中心で高くなっているため、この状態の材に水分計を当てて測定した場合には（水分計の測定深さが仕様上浅いものが多いため）材の浅い部分の含水率しか測定できないことにあります。かろうじてD水分計では正角の、高い含水率範囲の測定ができますが、他のM、T水分計はこの仕様条件では正角の測定には無理

(実際よりも低い測定値を表示) があるという結果が得られました。

6. どの深さをはかれば平均含水率がわかる?
 図4に示すのは、全乾法により各時点(1~8)で調べた材内の含水率分布と、それらの平均含水率が材の表層からどのくらいの深さの含水率に等

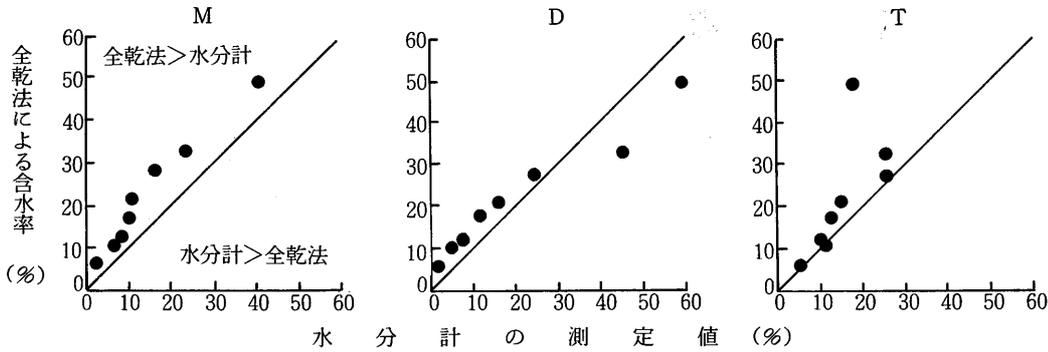


図3 水分計の測定値と全乾法による含水率の比較

注 1) MおよびD:高周波式水分計(押し当て式) T:抵抗式水分計(打ち込み式)

図5,6も同様

2) 水分計測定値: 木表, 木裏の2測定面の平均値

3) 全乾法測定値: 小片 20枚の含水率平均値

4) 測定材: トドマツ正角(105×105mm)

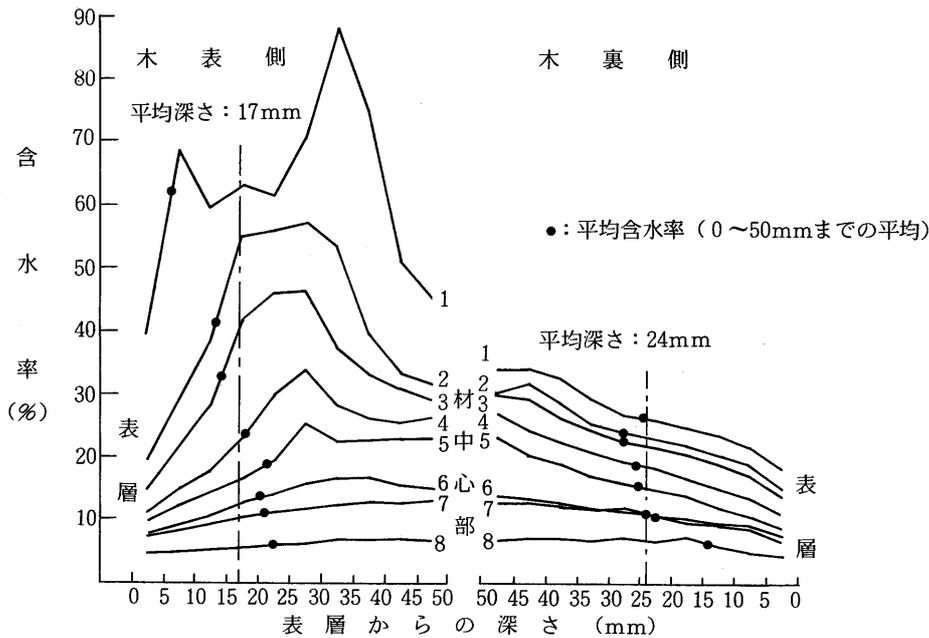


図4 平均含水率を示す材表面からの深さ

注) 測定材: トドマツ正角(105mm)

NO. 1~8は図1の測定時点を示す。

しいかを●で示したものです。すなわち、木表側表層および木裏側表層から深さ50mmまで5mmごとに切断した小片各々10枚について全乾法により含水率を求めて、これらを平均化した値を材の平均含水率としました。平均含水率を示す深さは、木表側では平均値17mm、木裏側では平均値24mmとなりました。このデータから推定すれば水分計で正角(厚さ105mm)の平均含水率を測定するには、水分計として、表層から17mm~24mmの深さの含水率が測定できるものが必要になります。

表層から材の中心まで直線的に含水率が増加している場合、平均含水率を示す深さは、材の表層から材厚の1/4の深さ辺り(正角では表層から約25mm)に到着くはずで、つまり、今回の測定における木裏側の傾向がそれに近いわけです。17mmと24mmという木表と木裏の平均含水率を示す深さの違いは、図からも見てとれるように水分傾斜の形が異なることが原因です。もし、木表側の水分傾斜が理想的に右上がりの直線であれば、平均含水率を示す深さは木裏側の示す24mmに近い値となるものと思われず。

7. 水分計の測定可能な材厚は？

今までに、正角の平均含水率を知るには、今回用いた水分計は不十分であったことを示しました。そこで、これらの水分計が実際には、どの程度の深さ、あるいは厚さの材まで測定できるかを検討してみました。その方法として、全乾法で求めた材表層から5mmごとの含水率を、深さ10、20、30、40、50mmごとに平均して、これらの深さごとの平均含水率を求めました。これらの深さ別の平均含水率と水分計の測定値を合わせて図5に示しました。

M水分計では、深さ10、20mmの平均含水率と水分計の測定値は比較的良く一致しました。しかし、深さ30、40、50mmまでの平均含水率と比較すると水分計の測定値は、実際の含水率より低い値を示してしまいます。したがって、M水分計は今回の場合、表層から20mmまでの平均含水率を測定

の40mm程度の材の含水率測定ができることが予想されます。M水分計の厚さ補正は、はじめから40mmまでであったので、水分計としては、仕様通りの測定が行える結果となりました。

D水分計では、MおよびT水分計と多少異なり、深さ10、20mmの平均含水率との比較ではあまり良い一致を見ませんでした。すなわち、比較的厚さの薄い材には不向きであると予想できます。しかし深さ40mmまでの平均含水率との比較において一応良い結果を得ました。つまり、D水分計は、ほかの水分計よりも測定深さが深いものと推定され、比較的厚い材の測定が可能であると思われる。すなわち測定可能な材の厚さは、80mm程度と予想されます。この水分計の仕様では、厚い材(100mm)の測定ができるとの記載がありましたが、今回使用した水分計の中では、確かに最も厚い材の測定に適していました。

T水分計は、針状電極(打ち込み深さ8mm)を持つ、打ち込み式の水分計でしたが、深さ20、30mmの平均含水率と良く一致しました。針の打ち込み深さが8mmであることから単純に計算しますと、32mmの厚さの材の測定が可能となりますが、測定結果から推定しますと材の厚さとしては、40~60mmの測定が可能であると思われます。ただし、含水率30%以上の範囲を測定する場合には測定誤差が大きくなる傾向があり、これは抵抗式の特徴です。この水分計の仕様書にもこのことについては明記されています。低い含水率範囲とくに10%以下の測定では、他の水分計よりも正確であったように思われます。

8. 水分計の測定深さは？

図6に示したのは、各水分計の測定値が材のどの深さにおける含水率と等しかったかを調べたものです。つまり、水分計は材の表層からどのくらいの深さの含水率を測定したかを推定したものです。

抵抗式水分計では、打ち込んだ針の深さのなかで最も高い含水率の部分が表示されると考えられていて、かつ実際の材は水分傾斜があるため中心

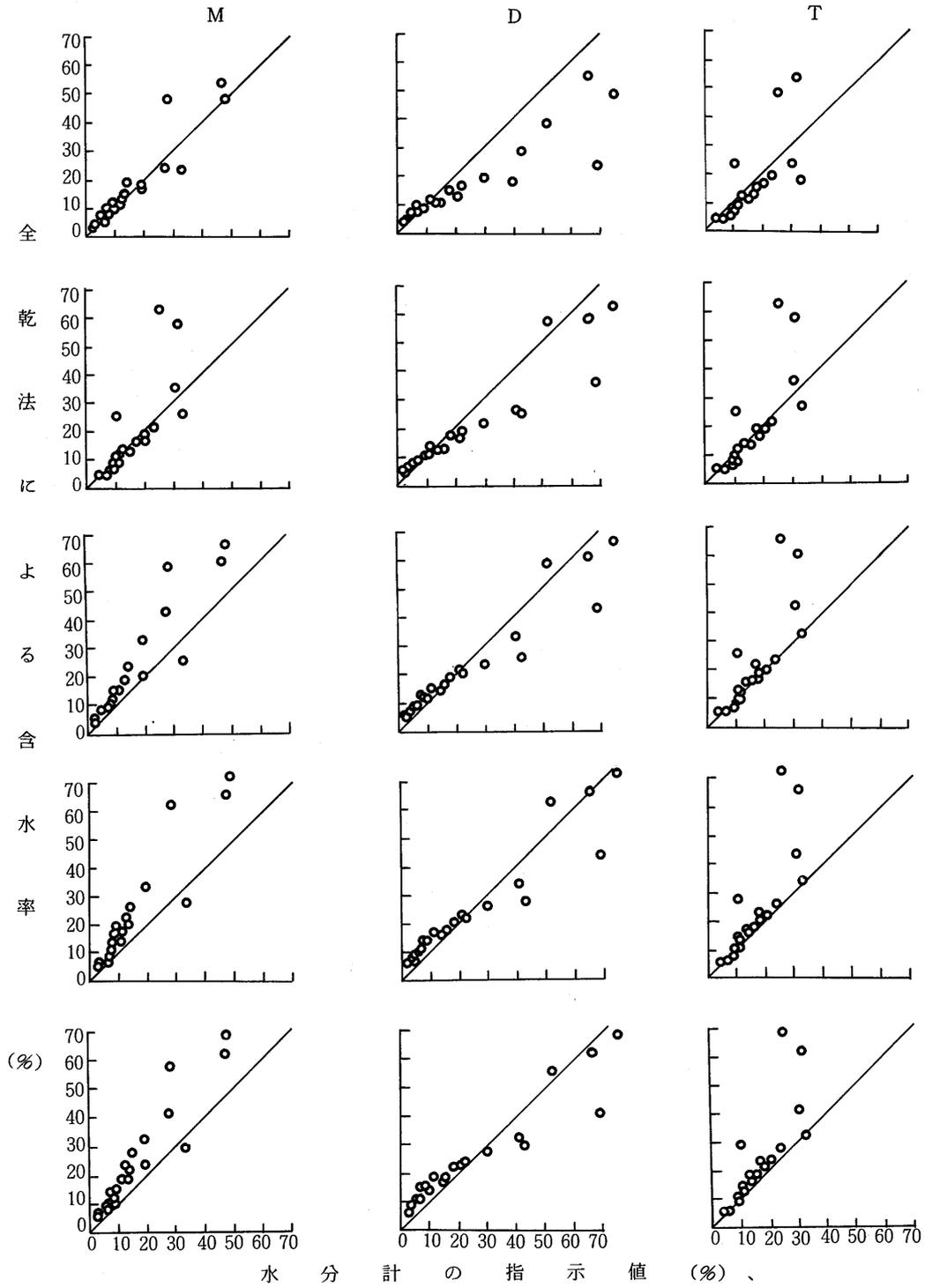


図5 水分計指示値と材の深さ別平均含水率の比較

注) 材の深さは上段から10, 20, 30, 40, 50cm

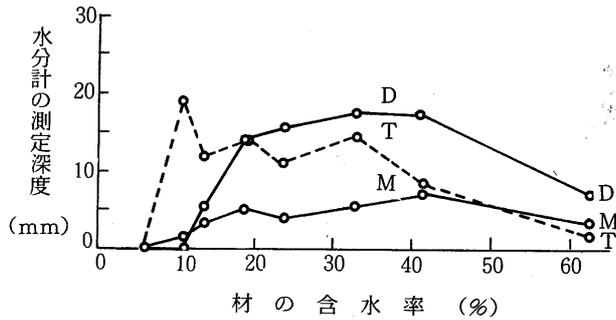


図6 水分計別測定深度

注) M, D: 高周波容量式水分計

T: 直流抵抗式水分計

材の含水率は全乾法による平均含水率

にゆくほど含水率が高いので、通常は針の先端深さの含水率を測定しているとみなせます。一方、容量式水分計では、ある深さまでの平均的な含水率を表示するという通説がありますが、今回の測定により高周波水分計でも、ある深さの範囲の平均含水率よりも高い値を表示したデータ（表1の2回目測定の水計Dの値）もあることから、高周波容量式もある深さの範囲内でもっとも高い含水率に影響されると考えた方が良く思われました。したがって、容量式でも測定値=最も高い含水率部分という仮定をして、図6を作成しました。

この結果では、高周波式D水分計がもっとも深い測定深度20mmを示しました。またM水分計はもっとも浅い測定深度10mm以下を示しました。抵抗式T水分計は、これら両者の中間でした。しかし、含水率20%以下の測定においては、測定深度が他の水分計よりも深く、厚い材でもこの範囲の測定では高い精度の結果を得ました。高周波水分計(M, D)では、材の含水率範囲が低くなると(10%以下)、測定深さが極端に浅くなり実際の材の含水率よりも低い指示値を示しました。

この結果からも測定可能な材の厚さが推定できます。測定深さ×4=測定できる材の厚さ、と考えると、M水分計は30mm、D水分計では80mm、

T水分計40mmまでの厚さの材の測定ができると推定されます。

おわりに

水分計による厚材の水分測定を通して得られた水分計の特徴、使用上の留意点を掲げると、

- ・厚材（正角）を測定するには、最低でも向かい合う2材面について水分計を当て測定し、平均値を求めることが必要。
- ・厚材の水分計による測定では、ほとんどの水分計の指示値は、実際の含水率よりも、低い値を示す。
- ・材の平均含水率を測定するには、材の厚さの約1/4の深さの含水率を測定する必要がある。ただし、材の中の水分傾斜が表層から中心まで直線的に変化している場合である。
- ・高周波容量式水分計は、含水率10%以下の範囲では、実際よりも低い指示値を示す。
- ・直流抵抗式水分計は、20%以下の低い含水率範囲では、厚い材でも高周波容量式水分計より正確であった。
- ・厚い材で、とくに高い含水率範囲での測定には、測定深さが深いD水分計が有効と思われた。

〔林産試験場 乾燥科〕
現東京大学 農学部