

原木の密度を測る

企業支援部 普及調整グループ 近藤佳秀

■はじめに

木材が十分に乾燥しているのかを判断するために、軽く持ち上げて手に伝わる重さの感触を確かめた経験はどなたにもあると思います。このとき、人間は目で体積を測り、手で重量を測って頭の中で密度を計算していると言えます。この判断は意外に正確で、実際検査ラインで水分計だけでなく手の感触をうまく活用して高速で正確な検査をされている方にお会いしたこともあります。

乾燥前の木材、さらには製材前の原木で同じことが出来るなら、乾燥材の品質は今よりも向上する可能性があります。また、乾燥コストの低減にも効果があるかもしれません。例えば、スギの黒心材やトドマツの水食い材などの高い含水率の原木を密度により分別することで、乾燥材の仕上がり含水率の均一化や、乾燥歩留まりの向上が期待できます。

しかし、原木は大きく重いためちょっと持ち上げるなんてことは出来ません。また、現実の生産ラインでは、栈積みをする作業員と乾燥機のオペレータは違うことがほとんどですので、オペレータが栈積み毎の、あるいは、栈積み内部の密度のばらつきを制御することは困難といえます。

栈積みに関しては、1台車あたりの材積はほぼ決まっているので、台車ごと重量を測って密度に読み換えることが可能と考えますが、原木については、形状も複雑ですので、簡単に密度を推定するのは難しいと思います。

そこで、今回はできるだけ簡単かつ正確に原木の密度を測る方法を試みたので、紹介します。

■密度測定法について

前章で軽く触れたように、密度は重さを体積で割ることで計算できます。重さは、重量計で正確に測れますので、体積をいかに正確に測るかが、密度測定では重要です。

原木の体積の測定法で一般的なのは、末口二乗法でしょう。これは、樹皮を除いた末口径を二乗して長さをかけることで計算します。例えば、末口が30cm、長さが3.65mの原木1本の体積は、

$$0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 3.65 \text{ m} = 0.329 \text{ m}^3$$

となります。この原木の重さが200kgならば密度は、
 $200 \text{ kg} \div 0.329 \text{ m}^3 = 609 \text{ kg/m}^3$
 になります。この値がどこまで正確かについては、後の章で検証します。

JISでは、密度の測定法として、「固体の密度及び比重の測定方法」(JIS Z 8807:2012)が規格化されています。この中で、浮力法と呼ばれる方法が使われています。浮力法は、水中の物体の重さと空気中の物体の重さから、密度を計算する方法です。重さを量るだけで、体積が測れるため、簡単に正確な体積が求められ、同時に重さも量っているためすぐに密度が計算できます。余談ですが、「木材の試験法」(JIS Z2101:2009)では、幾何形状を測定して体積を算出する方法のみが採用され、浮力法である水銀法は削除されています。

■試験方法

浮力法では、原木を水中に沈める必要がありますので、専用の装置を制作しました(図1)。この装置は、側面から見るとEの字形をしていることと、上に重りを載せることで、浮力で原木が水上に浮かび上がらないよう工夫されています。また、ロードセルを使って原木の重さが測れるようになっています。

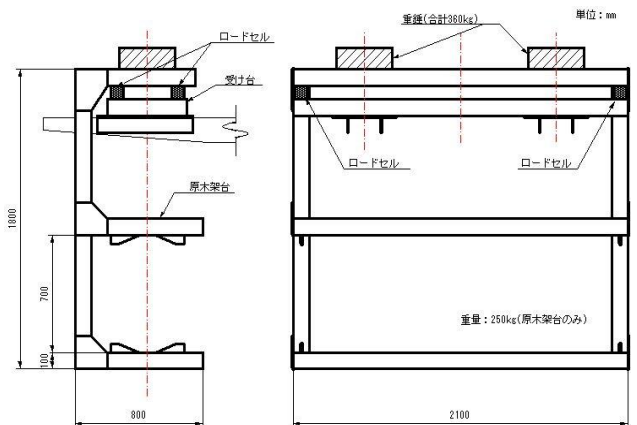


図1 浮力法による原木密度計測器具

密度の測定は、図2のように水中の原木の重さと、空気中の原木の重さを測定し、JIS Z 8807:2012に従って、次の式で算出しました。

$$\rho = \frac{W_1}{W_1 - W_2} (\rho_s - \rho_{air}) + \rho_{air} \quad (1)$$

ここで、

ρ : 温度tにおける試料固体の密度 (kg/m³)

W₁ : 空気中での試料固体のひょう量値 (kg)

W₂ : 試料固体の標準物質中でのひょう量値 (kg)

ρ_s : 温度tにおける標準物質の密度 (kg/m³)

ρ_{air} : 空気の密度 (kg/m³)

この式の中で、標準物質は水になりますので、 ρ_s は温度によらず1000 kg/m³、空気の密度 ρ_{air} は無視することとして0 kg/m³としました。



a) 空中の重量測定



b) 水中の重量測定

図2 原木密度計測の様子

試験には、北海道産のトドマツ原木15本を用いました。原木の長さは、365cmに採材時の伸びを加えたものとしてしました。また、密度が出来るだけばつ

くよう選びました。

原木を剥皮した後、両木口の最小径と長さをコンベックスで測り、電子重量計で重量を測定してから、浮力法による密度測定を行いました。

密度測定においては、特に水中で重量が安定するまでに時間がかかることから、一本あたりにかかる測定時間は1分以上であると見積もられました。

■試験結果および考察

浮力法による密度測定は、(1)式からわかるように、重量を測るだけで密度がわかります。従って、測定の精度も重量の測定精度から計算できます。今回の重量の測定精度は、空中で1.5kg程度でした。水中では原木を沈めたときの水の揺れが残るため、空中の2倍程度と見積もって、3.0kgとしました。これらの値とJIS Z 8404-2:2008に従って算出した密度の測定誤差は、計測値の1%程度となりました¹⁾。

浮力法による密度の測定精度が十分高いことがわかりましたので、末口二乗法により求めた密度と比較してみました。表1に結果を示します。表1には末口二乗法の他に、円錐台近似法と末口円筒近似法も示してあります。

表1 浮力法密度と幾何近似による密度の比較

| | | N = 15 | | | |
|------------------|------|--------|--------|-------|-------|
| | | 円錐台近似 | 末口円筒近似 | 末口二乗法 | 浮力法 |
| 平均密度 | | 703.6 | 817.7 | 642.2 | 640.2 |
| 樹の入り口 浮力法測定誤差 | 平均 | 63.4 | 177.5 | 2.0 | - |
| | 標準偏差 | 30.5 | 55.6 | 38.1 | - |
| | 最大 | 122.0 | 252.3 | 67.9 | - |
| | 最小 | -4.0 | 79.6 | -54.2 | - |

単位: kg/m³

円錐台近似法は、末口径と元口径、長さから次の式で体積を求めます。

$$V = \frac{\pi}{12} \times (d_0^2 + d_0 \cdot d_1 + d_1^2) \times L \quad (2)$$

ここで、

V : 体積(m³)

d₀ : 最小末口径(m)

d₁ : 最小元口径(m)

L : 長さ(m)

この方法は、原木の細りを考慮しているので、研究目的でしばしば用いられます。

末口円筒近似法は最小末口径を直径とする円筒と見なす近似法で、式(2)の記号を使えば、

$$V = \frac{\pi}{4} d_0^2 \times L \quad (3)$$

で表されます。

サンプル数Nが15と少ないので、正確な比較とはいえませんが、末口二乗法の誤差の平均値が最も低くなりました。ただし、誤差の標準偏差（一本ごとの誤差のばらつき具合）は比較的大きいので、末口二乗法は、原木1本ごとではなく、数十本単位の材積や密度を求める用途に向いていると考えられます。円錐台近似法は、誤差の標準偏差が浮力法密度の平均値の4～5%と、今回検討した幾何近似法の中では精度が高かったのですが、過去に調べられた原木密度の標準偏差は平均値の10%(70～80kg/m³)程度であった¹⁾ことを考え合わせると、原木密度のばらつきに対し、円錐台近似法による計測で生じる誤差は大きいと言えます。

■おわりに

原木の密度を簡単かつ正確に測定する方法として、浮力法に着目して実験を行いました。結果として、精度は十分ですが、工場のラインに組み込むには測

定に時間がかかりすぎるのがわかりました¹⁾。

近年、ログスキャナと呼ばれる原木の形状測定装置が普及し始めています。この装置は、原木の曲がりや細り等を正確に測定して、木取りを計算し、製材歩留まりや価値歩留まりを改善するのが目的ですが、この装置に重量計を加えることで、密度も測定できるようになります。

しかし、ログスキャナの密度測定精度については別途検証する必要があります。この検証には、今回検討した浮力法が使えるのではないのでしょうか。

また、はじめにでは難しいと述べた原木体積の目視による見積もりですが、十分経験のある製材オペレーターなら、少し時間をかければ可能かもしれません。原木体積の目視による見積もりができれば、原木の重量を本機手前で測るだけで原木密度を推定できます。

原木を扱う際に、これまでの径級や長さ、節、腐れといった視点に密度、あるいは重量といった視点を加えることを、高品質で収益性の高い乾燥材の生産につながる技術として実用化できればと考えます。

■参考文献

1) 近藤佳秀：“浮力を用いた原木密度計測法の検討”，木材工業，68巻4号，p.156-160，2013