

6. 4 天然乾燥に関する既往の知見の整理

6. 4. 1 天然乾燥に関する既往の知見

(1) 天然乾燥に関する内外の記述

天然乾燥について、内外の記述を紹介しながら定義を考える。

1) 日本国内の記述

田中勝吉は「木材乾燥論」(昭和14年)の中で、『木材の天然乾燥とはまた大気乾燥とも空気乾燥とも称せられ、木材に人工的に熱を与えずにただこれを大気中に暴露放置してその大部分の含有水分を放散せしめる操作である。そして原則としては何らの被覆もない屋外に堆積乾燥(これを屋外天然乾燥という)せしめるのであるが材料の如何によっては開放された倉庫の屋内で乾燥せしめる(屋内天然乾燥)場合もあるのである』¹⁾と述べている。

泉岩太は、「木材の乾燥」(昭和8年)の中で、『木材の天然乾燥は、人工乾燥に対する言葉にして英語でNatural seasoningあるいは空気乾燥(Air seasoning)と呼ばれ、木材を伐採後、野外に堆積放置して、自然に水分を蒸発せしむる方法なり』⁶⁾としている。

寺澤真は、『細い丸太、製材した板および角材を屋外の自然の状態で乾燥したり、半加工品を割れないように倉庫内で徐々に乾燥する方法』²⁾とした。また、天然乾燥は、『屋外に木材を堆積し、自然に乾燥させる方法』³⁾ともある。

満久崇麿は、『木材を戸外に栈積みして自然に乾燥させることを天然乾燥(Air seasoning, Natural drying)というが、天然乾燥だからといって“雨ざらし”の乾燥では板に割れやそりが出て使いものにならないものがたくさんできるから、覆いをかけ日光の直射や雨水を防ぎ、栈積み内の空気の循環を良くしてできるだけ均等にかつ速く乾燥させるように、栈積みの方法やその時期について考慮を払う必要がある』⁴⁾としている。

2) 海外の記述

① Wood Handbook (Forest Products Society, USA) の記述⁷⁾

天然乾燥の目的は、最終用途あるいは人工乾燥前に出来るだけ水分を蒸発させておくことである。天然乾燥で到達させる含水率は通常20%~25%程度である。工場の事情により、しばしば、それ以上の含水率で天然乾燥を切り上げ人工乾燥に移すこともある。天然乾燥は省エネ乾燥であり、また乾燥装置が不要なので設備費を削減できる。

天然乾燥の限界は、乾燥を制御できない乾燥法であるということである。例えば、乾燥速度は、冬季の数カ月は非常に小さい。他の暑い季節や風の強い季節は、表面割れ、木口割れにより歩留まりが低下したり品質が低下する。

温かく、湿度が高く、また風速が弱い季節には、化学的変色と同様に、菌類による変色の危険性がある。天然乾燥の他の限界は乾燥期間が延びれば延びるほど、高価な木材を在庫することによるコスト高の問題がある。含水率20%~25%までの天然乾燥時間は、樹種により、厚さにより、地域により、栈積み時期により、幅広く変化する。例えば、厚さ25mmの場合、パイン、スプルース、レッドアルダー、ソフトメープルなどの低比重材では、条件の良い時期における乾燥時間は15日~30日である。一方、比重が高いヘムロックやパイン、ナラ、カバ、などの難乾燥材や、北の地域や、天然乾燥に向かない季節では、200日~300日を要する。

② Joseph B.Wagner(Seasoning of wood,1917)の記述⁸⁾

天然乾燥をOut-of-door seasoningと表記している。天然乾燥は、適正に栈積みされ、太陽と風にさらされてゆっくり乾燥され、均一に乾燥されるという点では、最も効果的な乾燥方法であることは疑う余地がない。木材は常にこのようにして乾燥されてきたが、天然乾燥は通常の用途に対してはいまだに最良の方法である。

③ Forest Products Laboratory (Air drying of Lumber,1999) の記述⁹⁾

天然乾燥では、木材を栈木を用いて層状に栈積みして、外気が栈積み内を循環できるようにして水分を除去できるように屋外に暴露する。天然乾燥の修正版としては、小屋(shed)

での天然乾燥で、側面が解放された屋根付きの小屋内に木材を置いて乾燥するものである。屋根があることで、木材は雨水及び直射日光から保護される。一方、外気は栈積み内を自由に循環し、乾燥が促進される。

④ G.Bramhall,R.W.Wellwood (Kiln drying of western Canadian lumber,1976) の記述¹⁰⁾

人工乾燥と比較して天然乾燥の有利な点は、設備投資への巨額を投じなくて済むこと、あるいは燃料費が不要であることである。不利な点は、乾燥速度や仕上がり含水率の制御がほとんどできないことである。乾燥が遅く季節により異なるので、乾燥中の製材の中にあるいは、土地の形で多くの資本が束縛される乾燥方法である。天然乾燥は、乾燥材の計画的な生産計画を立てにくい。

⑤ R.G Batesonほか (Timber Drying and The Behavior of Seasoned Timber in USA,1938) の記述¹¹⁾

太古の昔より世界中で、現存するすべての木材について天然乾燥は行われてきた。しかし、時代がすすみ、いわゆる人工乾燥技術が進展するにつれて、また原材料価格が高騰するにつれて、地代が高騰するにつれて、天然乾燥は少なくなってきた。天然乾燥はしばしば、“自然な”乾燥として参照されるが、この言葉は、誤った使われ方である。

木材を伐採して製材し、決まり切ったやり方で栈積みすることは、加熱した乾燥室に入れるよりも全然自然ではない。人工乾燥は、“人工的”であり、それゆえ幾分有害である理由で、天然乾燥に対して“自然な”という言葉が充てられているがそれは残念なことである。なぜなら、人工乾燥でも天然乾燥でも乾燥原理は同じである。両方共、空気は栈積み内を循環する。異なるのは空気の質の違いである。すなわち、天然乾燥で使われる空気は外気の空気そのものである。一方、人工乾燥室内の空気は木材に相応しく制御されたものである。

天然乾燥の大きな利点は、特別な装置を必要としないことである。誰でも、裏庭で乾燥することができる。

⑥ H.D.Tiemann(The kiln drying of lumber -a practical and theoretical treatise, 1921)の記述¹²⁾

樹木が伐採され、製材されて得られる木材は、空気中で次第に乾燥する。あるいは栈積みして、その中を空気がめぐること、気候の平均湿度状態に応じて、ある一定のレベルまで乾燥する。このような乾燥を一般に天然乾燥 (Air Dry) と呼ぶ。到達できる含水率は、気候と年数により異なるが8%~18%程度である。

ニューヨークの近郊では、夏の間、雨と高湿環境から保護されていれば、木材の平衡含水率は14%である。木材が空気と平衡する含水率に達するには長期間を要する。その期間は樹種や、厚さ、初期含水率、暴露の方法、気候により異なる。25mm厚のナラ材は、例えば、1.5年~3年かかる。ホワイトパインは、4か月以内で平衡に達する。丸太の場合は、特に樹皮が残っている状態では、水分が蒸発するのに多くの年数を要する。実際丸太の状態では、ヒノキ、ホワイトオーク材など耐久性がある材を除いては、木材は乾燥する前に完全に腐朽する。

⑦ Hiram L. Henderson(The air seasoning and kiln drying of wood,1936)の記述¹³⁾

なぜ木材を乾燥しなければいけないのか？丸太から製材したばかりの木材は非常にぬれていてなおかつ重いので、しばしば“グリーン材”と呼ばれる。まれなケースを除いてこのままの状態では木材を使うことはない。木材を利用する前には、乾燥と収縮の工程を経ることが多い。この水分除去の工程とそれに伴う収縮は一般に、天然乾燥、あるいはたまたま硬化(curing)といわれる。これは非常に不明瞭な用語であるため、木材のバイヤーと木材生産者のあいだでしばしば議論の原因となっている。天然乾燥材の正しい定義は、適切に栈積みされ天然乾燥可能な全期間を通して乾燥された木材と言えるかもしれない。木材が一年のうちの、どの月かに土場に栈積みされ、すぐに乾燥が開始されたとしても、4月から10月までの期間のみが、温度が十分に高く、また湿度が十分に低い期間であり、急速な乾燥により低い含水率まで乾燥できる。天然乾燥に影響を及ぼす他の要因は多くある。例えば、気候、地域、土場の管理、栈積みの方法などである。

天然乾燥は、製材工場では常に重要な課題であるが、木材は比較的価値が低い材料なので、天然乾燥に伴う歩留まりの悪化は、それほど気に掛けていなかった。しかし最近の経済状況から、歩留まりの向上と、迅速な乾燥、そして品質の高い乾燥材が望まれている。

(2) 天然乾燥の定義

以上の内外の天然乾燥の説明および記述を参考にして天然乾燥の定義を考えると、熱源と乾燥場所を制約条件として定義づけることができよう。つまり、以下の1)と2)を満足する乾燥方法が天然乾燥である。

- 1) 自然に乾燥させる方法：人為的に加熱や集熱を行わないことを条件としているため、乾燥の到達点が大気の平衡含水率（気乾含水率）となる乾燥方法である。
- 2) 屋外または解放された屋内で行う乾燥方法：屋外あるいは屋根や覆いは附属していても外気環境に近い開放的な環境で乾燥させる方法である。

以上のように考えると、太陽熱利用乾燥は、自然エネルギーを使う点では天然乾燥的ではあるが、何らかの集熱による加熱を行うので、乾燥到達点が大気の平衡含水率よりも低いこともあるため天然乾燥に含めないことにしてはどうだろうか？また、地熱や田の自然の熱源を利用する乾燥も同様である。一方、林内での葉枯らしは、天然乾燥の一種とみなせよう。さらに、プレドライヤーのように大きな倉庫に主に広葉樹板材を積み重ねて低温をかけて予備乾燥する方法は倉庫内で乾燥するということは天然乾燥として許容できるが、やはり低温でも加熱する点で、天然乾燥とは言えないであろう。一方、倉庫内に送風機を設備して積み重ねた材に風を通して乾燥を促進させる乾燥方法は、送風機の電力は使用するが、それは加熱用ではないので、天然乾燥の促進法とみなしてよいように思われる。

なお、天然乾燥の英語表現は“Air Drying”あるいは“Air Seasoning”が最適であろう。

(3) 天然乾燥により到達できる乾燥度と天然乾燥の適用目的

天然乾燥は古くから広く行われている乾燥方法であるが、乾燥の仕方が気象条件によって著しく左右され、晴天の続く時期には比較的短時間で乾燥するが、雨季や積雪地の冬季はほとんど乾燥が進行しない。天然乾燥における乾燥度は我が国では15～16%(平衡含水率、気乾含水率)が限度で、一般には20%以上の乾燥度である。しかし家具用材としてはこの程度では不十分であるため、さらに人工乾燥を行う必要がある。天然乾燥の直接経費はきわめて少ないが乾燥に長期間を要し、特に含水率35%以下の乾燥速度ははなはだ遅い。それゆえ人工乾燥の前処理として乾燥費の節約、操作の簡易化、乾燥室能力の増進、仕上がり含水率の均一化などを図る目的で行う場合が多い^{2),5)}。

(4) 天然乾燥の得失

天然乾燥の得失に関して、泉岩太は「木材の乾燥」⁶⁾ (昭和8年)の中で人工乾燥法と比較して、以下のように述べている。

天然乾燥の有利な点は、

- 1) 特別の装置を必要とせずいずれの地方にありても容易に行うことを得。
- 2) 乾燥作業は容易にして、乾燥中に特殊の注意を払わずして結果割合に良好。
- 3) 十分に天然乾燥したる木材は、質軟らかなれば工作しやすく、かつ狂いを生ずること比較的少し。
- 4) 乾燥設備を要せざるがゆえに固定資金少なくして足る。

また天然乾燥の欠点は、

- 1) 木材を乾燥せしむるに、長き時日を要するがゆえに、広大なる乾燥場を要す。
- 2) 多量の木材を長期間放置するをもって多額の資本を固定せしむ。
- 3) 木材を屋外に放置するときは、含有水分の量は四季の変化によりて支配せらるるのみならず木材は風雨または太陽の直射光線にさらすため変色または割れを生じ、損失材を多くする。
- 4) 天候によりて著しく乾燥速度を異にするがゆえに一定の期間内に同一の程度に乾燥しえず。

以上のような得失を持っているのが天然乾燥であり、このことは現在も同じ状況にあるといえる。以上の得失の中で、特に問題となるのは、天然乾燥中に発生する表面割れであろう。特に昨今の針葉樹構造材、とくに心持ち材を天然乾燥する場合は、かなりの頻度で表面割れは発生する。これを防止する技術として、熱処理を施し、表面セツトを形成させた後に天然乾燥を実施して割れを少なくすることが行われている。

以上述べたように、天然乾燥法は人工乾燥技術が導入される以前は、木材の乾燥方法として主流であった。20世紀は天然乾燥から人工乾燥へと技術が動いてきた時代であった。天然乾燥は、したがって木材乾燥技術においてはローテクに属するものと見られがちである。しかし天然乾燥には問題点も多くあるが、乾燥に必要な熱エネルギーを太陽からの熱エネルギーでまかなうためエネルギー価格が非常に安価であるという点では、依然として、どの乾燥方法よりも優れている。

(5) 針葉樹構造用材の乾燥

針葉樹製材は住宅用部材用途が多く、従来積極的な乾燥処理が施されてはいなかった。これは、住宅建設の工期と関係がある。従来の住宅建設期間は現在の住宅建設期間(約60日)に比べればかなり長かった。したがって建て方を行っている間に自然にある程度乾燥効果が見込めた。ところが最近の工期短縮のニーズおよび大壁工法の進出に伴い、建て方中の製材の乾燥が見込めない状況が発生したため、針葉樹製材についても何らかの乾燥処理が強く求められるようになった。一方、国内で使用可能な製材はスギ・ヒノキ造林木の間伐材が多くなり、この丸太から得られる構造用材(柱材)は心持ち柱が多く、これが乾燥中の割れ発生を多くする原因ともなっている。現在、高温乾燥法をはじめとして、各種人工乾燥法によるこれら製材の乾燥技術開発^{14)・17)}が進展してきている。しかしながら人工乾燥材のシェアはまだ低位にある。

(6) 天然乾燥が見直される理由

以上の状況及び地球温暖化防止を視野に入れると、各産業分野で省エネルギーを考えることが重要であるが、木材乾燥分野においても、乾燥に必要な熱エネルギーが無料である天然乾燥は、見直されてしかるべきである(図6.4.1-1参照¹⁷⁾、図6.4.1-1は文献17中のコストデータをアレンジして作図)。

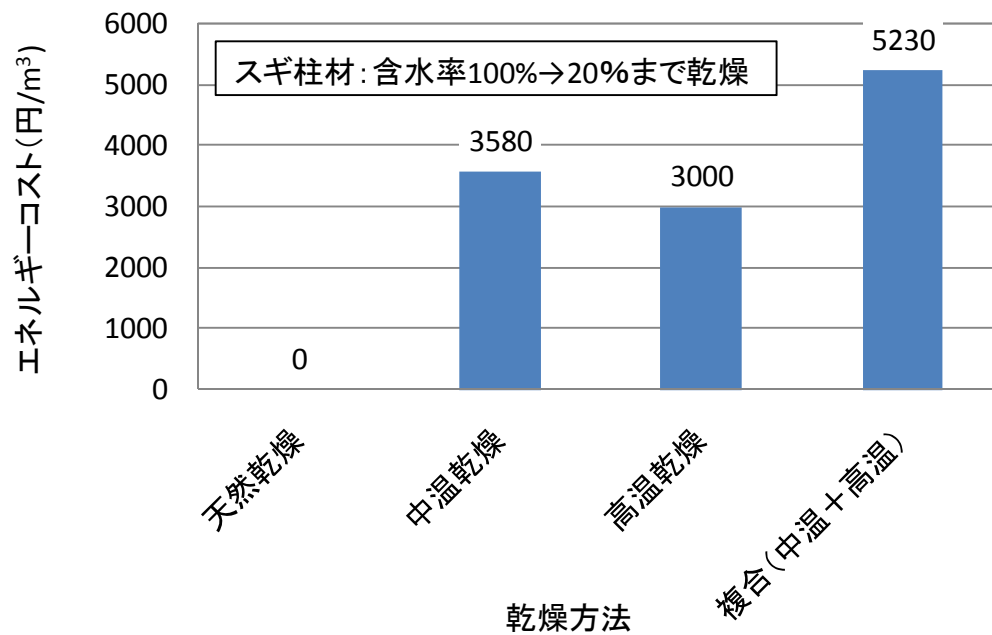


図 6. 4. 1-1 乾燥方法別のエネルギーコスト比較

しかし、天然乾燥の利用が広く普及しないのには理由がある。天然乾燥は通常、低温(10ー30℃)で乾燥が行われることから安全な乾燥法であると考えたいが、日本の気候では、湿度が以外に低いことがあり、乾燥初期の水分蒸発量が多くなり、結果として表面割れが発生しやすい。表 1 は日本の各都市で天然乾燥に伴う割れが発生しにくい時期をプロットした結果¹⁸⁾であるが、夏の高温高湿時期の1, 2カ月が割れの危険が少ない天然乾燥期間である。残りの季節は、針葉樹の心持ち柱材を天然乾燥するとすれば総じて表面割れ発生は免れない。割れを嫌う場合には、この点に注意が必要である。

表 6. 4. 1-1 表面割れの危険が少ない針葉樹製材の天然乾燥に適する時期(日本)¹⁸⁾

Name of City	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Name of city	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Wakkanai													Choshi												
Rumoi													Tsu												
Asahikawa													Hamamatsu												
Abashiri													Shizuoka												
Sapporo													Tokyo												
Obihiro													Owase												
Kushiro													Yokohama												
Nemuro													Ooshima												
Suttu													Hathijojima												
Urakawa													Saigou												
Hakodate													Matsue												
Aomori													Tottori												
Akita													Hamada												
Morioka													Kyoto												
Miyako													Hikone												
Sakata													Shimonoseki												
Yamagata													Hiroshima												
Sendai													Okayama												
Fukushima													Kobe												
Onahama													Osaka												
Wajima													Wakayama												
Aikawa													Shionomisaki												
Niigata													Nara												
Kanazawa													Izuhara												
Toyama													Fukuoka												
Nagano													Saga												
Takada													Oita												
Utunomiya													Nagasaki												
Hukui													Kumamoto												
Takayama													Kagoshima												
Matumoto													Miyazaki												
Karuizawa													Fukue												
Maebashi													Matsuyama												
Kumagaya													Takamatsu												
Mito													Kochi												
Turuga													Tokushima												
Gifu													Shimizu												
Nagoya													Murotomisaki												
Iida													Naze												
Koufu													Naha												

(7) 天然乾燥と日本の気候

天然乾燥を左右する物理的な因子としては、温度、湿度、風速、直達日射量が挙げられる。このうち、天然乾燥が屋根つきの天然乾燥場で行われるとすれば、直接日光が材料に当たりにくいので、直達日射量は木材の品に及ぼす影響が少なくなる。直射日光を受けるような天然乾燥場での天然乾燥では、栈積みの上方の材の温度は夏には60℃を越え¹⁹⁾、かつ低湿となるため、割れが発生しやすい厳しい環境に置かれることがあり、乾燥材品質、特に断面寸法が大きな柱材などの天然乾燥では、割れによる品質低下が顕在化する。

(8) 天然乾燥に向く条件

天然乾燥を適用して製材を乾燥することに向いている条件は、

- 1) (広大な) 土地を保有している。

天然乾燥のコストは、土地が借地である場合は金利負担が生じるので、自社の土地を保有していることはコストカットの面で有利である。

2) 住宅の工期を長く設定できる。

天然乾燥は時間がかかる乾燥法であり、到底推奨できる含水率までは乾燥することはできず、未乾燥材を用いて建て方をすることも多くなる。そのような場合、長時間をかけて家をたてるのであれば、建て方中に木材が乾燥する時の収縮や変形を調整しながら、建てることができる。

3) 気候が温暖な地域である。

温暖な地域であれば天然乾燥が進むので適している。風が強い地域は一長一短がある。風が強すぎると初期の乾燥は進むが、同時に割れが生じやすい。

文献

- 1) 田中勝吉:木材乾燥論、77、丸善、1939.
- 2) 寺澤 真:木材乾燥のすべて(改訂増補版)、433、海青社、2004
- 3) 寺澤 真・筒本卓造:木材の人工乾燥(改訂版)、57、1976.
- 4) 満久崇麿:実用木材加工全書第2巻一木材の乾燥、102、森北出版、1962.
- 5) 農林省林業試験場編:木材工業ハンドブック(第3版)、263、丸善欄、1958.
- 6) 泉 岩太:木材の乾燥、35-37、(合)西ヶ原刊行会 1933.
- 7) Forest Products Society:“Wood Handbook—wood as an Engineering Materials”, 12-6, 1999.
- 8) Joseph B. Wagner: “Seasoning of wood”,154, D. Van Nostrand Company, New York 1917.
- 9) Forest Products Laboratory: “Air drying of Lumber”, 3, General Technical Report FPL-GTR-117, 1999.
- 10) G. Bramhall, R.W. Wellwood: “Kiln Drying of western Canadian lumber”,79,Canadian Forestry Service, Western Forest Products Laboratory, 1976.
- 11) R.G Bateson, B.A. (Oxon.): “Timber Drying and the Behavior of Seasoned Timber in USA”, 20-21, Crosby Lockwood & Son LTD.London, 1938.
- 12) H.D. Thiemann: “The kiln drying of lumber—a practical and theoretical treatise (Fourth edition revised)”,34,J.B.Lippicott Company Philadelphia and London,1921.
- 13) Hiram L. Henderson: “The air seasoning and kiln drying of wood”, 1, J.B.Lyon Company,Publishers, Albany New York, 1936.
- 14) (独)森林総合研究所:木材乾燥の研究成果・技術研究会「スギ乾燥の高速化と高品質化にむけて」講演資料、21-50、2004
- 15) (財)日本住宅木材技術センター:高品質乾燥材の生産技術マニュアル、1-104、2003
- 16) 木材乾燥低コスト化技術研究組合:“木材乾燥低コスト化技術研究成果報告書”、1-260、2003
- 17) (社)全国木材組合連合会:“わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル”、13, 27, 43, 53,65,92, 2000
- 18) Satoshi Shida, Taiga Ikeda, Stavros Avramidis: Surface checking in air-drying of boxed-heart softwood in Japan, Forest Products Journal, Vol.55, No.1, 67-71 (2005)
- 19) 信田聡:木材学会誌,Vol.38,13-19 (1992)

6. 4. 2 天然乾燥前処理に関する既往の実験

(1) 実験の概要

秋田県内でスギを対象として、水中貯木処理と散水貯木処理、葉枯らし、巻枯らしと立皮剥ぎなどの乾燥前処理が、製材後の乾燥速度や樹幹内の含水率に及ぼす影響を調べた。

(2) 水中貯木処理と散水貯木処理

1) 目的

水中に長期間保存された丸太は、細菌によって細胞壁の壁孔壁が破壊され、乾燥性が向上するとされている。貯木処理がスギの乾燥性に及ぼす効果を明らかにするため、水中貯木処理および散水貯木処理によるスギ丸太内の含水率の変化と、貯木処理後の丸太から製材したスギ正角材の乾燥速度とを調べた。

2) 実験方法

直径が25～30cmのスギ素材80本から、材長約3mの丸太を連続して2本採取し、1番玉を3、6、12、18、24、36および48か月間の水中貯木処理材または散水貯木処理材とした。2番玉は無処理材とした。貯木処理期間ごとに、それぞれ5本ずつの丸太を乾燥試験に供試した。貯木処理は、秋田県藤里町の旧養殖池で行われ、貯木池には川から流水が引かれた（写真6.4.2-1）。また、散水貯木処理は、貯水池の水面上に設置した矢倉上に積み上げた丸太に、スプリンクラーで貯木池の水を定期的に散水して行われた（写真6.4.2-2）。丸太の中央部から含水率分布測定用の円板を採取して、辺材、白線帯、心材に分割して含水率を求め、残部から2本の心持ち正角材（10.5×10.5×150cm）を製材して、1日10時間の間欠運転によって蒸気乾燥（乾球温度：40～60℃、乾湿球温度差：2～12℃）した。

3) 結果と考察

表6.4.2-1に水中貯木処理した丸太の含水率を、表6.4.2-2に散水貯木処理した丸太の含水率をそれぞれ示す。辺材含水率は無処理材でも200%以上あり、既に飽水状態に近いので、貯木処理による含水率の上昇幅は限定的である。白線帯の含水率は貯木3か月で顕著な上昇を示し、貯木18か月でほぼ飽和している。心材含水率は貯木3か月で上昇を示しているが、48か月の貯木処理でも平均130%程度であり、スギ心材の難注入性を示した。

図6.4.2-1に水中貯木処理材と散水貯木処理材の乾燥曲線を示す。水中貯木処理材では、貯木期間にかかわらず、無処理材と比較して乾燥速度が向上しており、スギ材の水中貯木処理の効果が確認された。一方、散水貯木処理材では、無処理材と貯木処理材との間に明確な差異は認められなかった。乾燥に用いた正角材は、貯木処理材の中心部分から採材されており、散水貯木処理材では、丸太の中心付近まで細菌が侵入しにくく、その結果として乾燥性の改善の程度に影響を与えたことが示唆された。



写真 6. 4. 2-1 水中貯木の風景



写真 6. 4. 2-2 散水貯木の風景

表 6. 4. 2-1 水中貯木処理丸太の含水率

貯木期間(月)	無処理丸太			処理丸太		
	辺材	白線帯	心材	辺材	白線帯	心材
3	228	68	79	254	121	101
6	221	75	89	261	158	115
12	206	68	82	252	185	106
18	214	60	85	270	261	127
24	214	61	85	271	235	120
36	228	74	88	292	290	128
48	223	67	84	276	250	133

表 6. 4. 2-2 散水貯木処理丸太の含水率

貯木期間(月)	無処理丸太			処理丸太		
	辺材	白線帯	心材	辺材	白線帯	心材
3	237	87	108	251	127	129
6	250	88	111	272	119	121
12	228	72	113	246	134	130
18	237	76	114	275	234	142
24	188	64	108	224	173	134
36	246	70	104	276	196	129
48	218	72	108	222	215	136

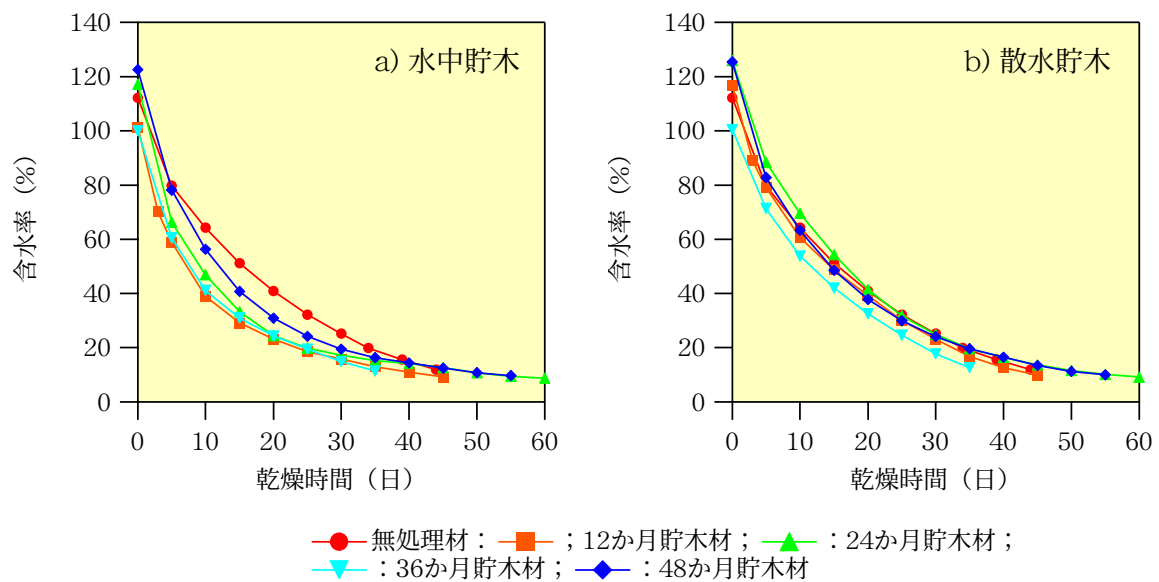


図 6. 4. 2-1 貯木処理後に製材した正角材の乾燥曲線

左図：水中貯木処理； 右図：散水貯木処理

(3) 葉枯らし

1) 目的

葉枯らしとは、立木を伐採後、枝葉を付けたまま林内に放置し、葉からの蒸散によって樹幹内の含水率を低減させる乾燥前処理である。葉枯らしによる含水率低減効果の季節変動を明らかにするため、1年間に渡って葉枯らししたスギ樹幹内の含水率を調べた。

2) 実験方法

秋田県仙北市田沢湖町のスギ人工林において、スギ立木を1回の伐採で斜面の山側と谷側にそれぞれ4本ずつ、計8本伐倒し、それを約2週間おきに25回繰り返した。したがって、伐採は1年間に渡り、試験木数は計200本であった。伐採直後に地際からの高さが約50cmに相当する部位から円板試料を採取して生材含水率を求めた。伐採した試験木を枝付きのまま葉枯らし乾燥し、4カ月後に木口から2～6m離れた部位から円板試料を採取して葉枯らし後の含水率を求めた。円板試料は、辺材、白線帯、心材外層および心材内層に分割して含水率分布を調べた。ここで、心材外層は白線帯との境界から10年輪分の心材、心材内層は髄から10年輪分の心材とそれぞれ定義した。

3) 結果と考察

伐採直後の生材含水率を図6.4.2-2に、伐採から4カ月間葉枯らしした後の含水率の年間変動を図6.4.2-3にそれぞれ示す。伐採時の生材含水率は、部位にかかわらず、年間を通して比較的安定していた。葉枯らしによる辺材含水率の低減効果は、春から初夏にかけての伐採時期に顕著に高く、4月下旬の伐採では約70%まで低下し、晩夏から冬にかけての伐採では150～200%で推移した。白線帯および心材の含水率の年間変動には、一定の傾向が認められなかった。生材含水率と葉枯らし後の含水率とを比較すると心材含水率が大きく低下しているように見えるが、これは樹幹内における樹高方向の含水率分布の影響であり、葉枯らしによる含水率低下はほとんどないことを確認している。

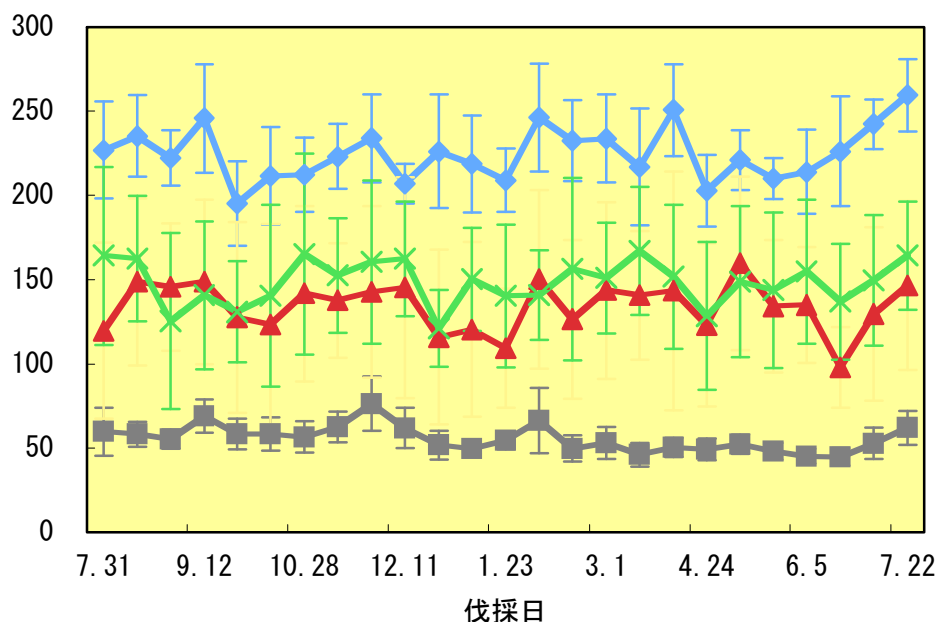


図 6.4.2-2 伐採直後のスギの生材含水率

凡例： ◆：辺材；■：白線帯；▲：心材外層；×：心材内層

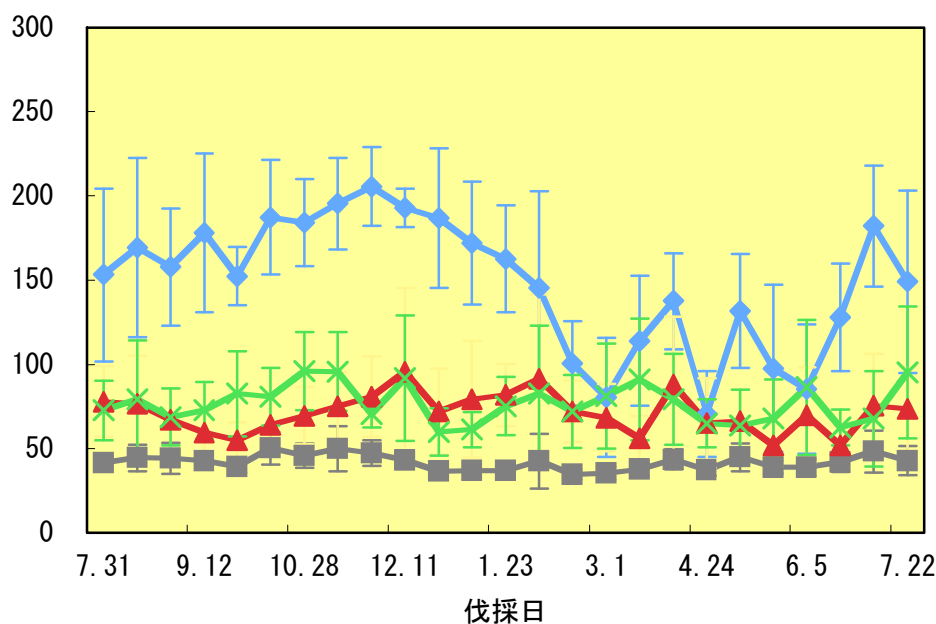


図 6.4.2-3 4 か月葉枯らししたスギの含水率変動

凡例： ◆：辺材；■：白線帯；▲：心材外層；×：心材内層

(4) 巻枯らしと立皮剥ぎ

1) 目的

巻枯らしとは、立木の樹皮を環状に剥皮することで、形成層を通じた根への養分の供給を停止して枯死させ、根からの吸水を止めて樹幹内の含水率を低減させる乾燥前処理である。立皮剥ぎ（たちかわはぎ）とは、秋田県内で伝統的に行われている乾燥前処理で、原理は巻枯らしとほぼ同様であるが、樹皮を広範囲に剥ぐことに違いがある。これらの立木処理の含水率低減効果の違いを明らかにするため、巻枯らしと立皮剥ぎをスギ立木に施して樹幹内の含水率の変化を調べた。

2) 実験方法

秋田県能代市のスギ人工林において、巻枯らしおよび立皮剥ぎをそれぞれスギ立木 9 本に施した。処理開始から 2 か月おきに各処理で 3 本ずつ伐採し、6 か月間、樹幹から円板を採取して含水率を調査した。処理木との比較のため、無処理の立木も 3 本ずつ伐採した。巻枯らしでは、地際から 50～100cm の高さで、ナタを用いて樹皮を 20～30cm の幅で環状に剥皮した（写真 6.4.2-3）。立皮剥ぎでは、巻枯らしと同様の方法で樹皮に環状の切れ込みを入れ、そこから樹皮を上方に引っ張って可能な限り広範囲に剥皮した（写真 6.4.2-4）。

3) 結果と考察

処理から 6 か月間の含水率の変化を図 6.4.2-4 に示す。辺材では、巻枯らしと立皮剥ぎとで含水率の低減効果が確認された。とくに、立皮剥ぎでは 6 か月で含水率が 50～100% まで低下した。これは、剥皮面積が大きいことにより、葉からの蒸散に加えて、剥皮部分からの水分蒸発が多いためであると考えられる。ただし、剥皮部分は菌類による汚染がひどく、辺材の市場価値は大幅に低下している。立皮剥ぎは辺材の利用を前提とした処理方法ではなく、丸太の重量減少を主眼とした処理方法であるといえる。一方、巻枯らしでは、根を枯死させ、樹幹内の含水率が低下するまでに時間がかかることがわかった。



写真 6. 4. 2-3 巻枯らしされたスギ立木



写真 6. 4. 2-4 立皮剥ぎの様子

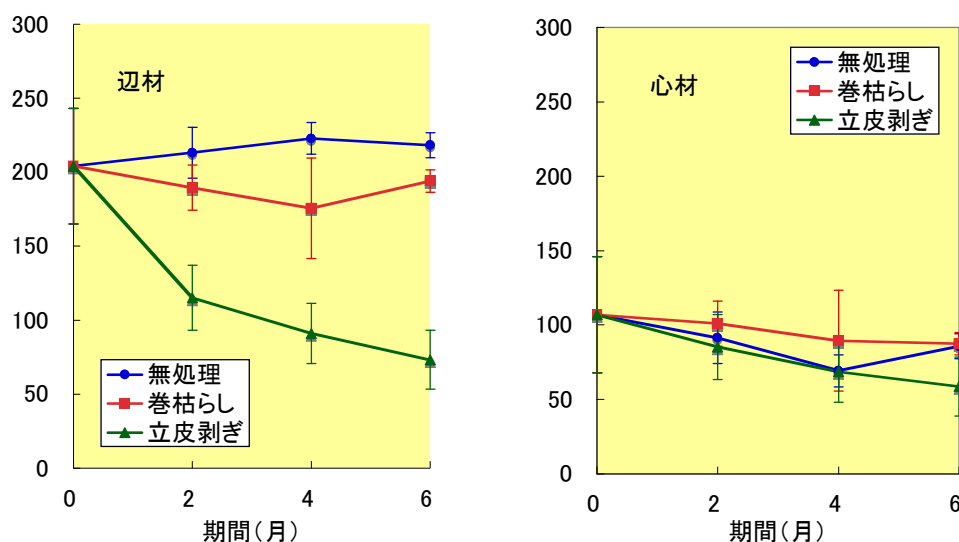


図 6. 4. 2-4 巻枯らしと立皮剥ぎによるスギの含水率の変化

左図：辺材含水率； 右図：心材含水率

(5) まとめ

秋田県における、天然乾燥前処理に関する既往の実験結果から得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- ①水中貯木処理では製材後の乾燥速度の向上に効果が認められるが、散水貯木では同様の効果は認められない。
- ②葉枯らしは、辺材含水率の低減に効果があるが、気温の低い時期にはその効果が小さくなる。
- ③巻枯らしと立皮剥ぎは、辺材含水率の低減に効果があるが、巻枯らしは含水率が低下するまで時間がかかり、立皮剥ぎでは菌類の被害により辺材の価値が大幅に低下する。
- ④葉枯らし、巻枯らし、立皮剥ぎなど、葉からの蒸散を利用する乾燥前処理は、辺材含水率の低減には効果があるが、心材含水率の低減にはほとんど効果がない。

6.4.3 水中貯木処理に関する既往の実験

6.4.3.1 滋賀県における既往の実験

(1) スギ丸太の水中処理と天然乾燥

水中処理と自然乾燥を行う目的は、切り旬に伐採したスギ丸太をため池で水中処理することによって、その後の良好なスギ乾燥材を地域に提供するシステムを確立することにある。丸太の水中貯木は新木場の鴨川商店(写真 6.4.3-1)¹⁾、伊勢神宮外宮山田工作所(写真 6.4.3-2)等で行われているが、地域産材のスギ丸太の水中処理は滋賀県甲賀市土山町で実施しているのが唯一であると思われる。丸太の水中処理は、水中乾燥²⁾や水乾燥³⁾として取り上げられたこともあったが、主として処理時間が長いという経済事情により、ほとんど注目をされてこなかった。しかし、樹木の生育期間と同じくらいの耐用年数を有する木造住宅の長寿命化が目指されることになり、森林から木造住宅をつくるシステムの中に琵琶湖で代表される滋賀県の水という地域の特性を活かしたスギ丸太の水中処理を組み込むための活動を進めることも十分な意義を有することになった。



写真 6.4.3-1 鴨川商店の海を利用した水中貯木 写真 6.4.3-2 山田工作所でのヒノキの水中貯木

1. 1 実験室規模のスギ材の水中処理と天然乾燥

最初にスギ材(約 1m の長さ)の 4 寸角と樹皮無し丸太と樹皮有り丸太の 3 種の水中貯木と天然乾燥の実験を写真 6.4.3-3 と写真 6.4.3-4 に示すように行った。水中貯木の容器はセメント保管用の円筒状容器 2 個を使用した。写真 6.4.3-3 の手前を容器 A、後ろのものを容器 B とすると、それぞれの実験条件は次のようになる。容器 A : 0.1m³、木材合計 : 0.0571m³、角材 0.0138m³、樹皮無し丸太 0.0217m³、樹皮有り丸太 0.0216m³、容器 B : 0.1m³、木材合計 : 0.0672m³、角材 0.0139m³、樹皮無し丸太 0.0216m³、樹皮有り丸太 0.0317m³である。また、写真 6.4.3-4 は天然乾燥期間が 187 日のものである。

水中処理の評価方法としては、以下に示した重量増加率(Wh)と FSP(繊維飽和点)以上の空隙率充填度(Sr)を用いた。なお、Sr は自由水の占める重量を自由水の占めることが可能な最大重量で除した割合である。3 種類のスギ材の水中処理と天然乾燥の経過並びに FSP 以上の空隙率充填度の結果を表 6.4.3-1 と図 6.4.3-5 にそれぞれ示した。なお、図 6.4.3-5 で示した含水率(MC)は高周波式含水率計で木口を測定した参考データである。角材と樹皮無し丸太及び樹皮有り丸太の水中処理と天然乾燥では、角材は丸太よりも吸水率が大きく、樹皮有り丸太は角材や樹皮無し丸太に比べると緩やかに水分を放出することなどの試験体の形態的な特性が認められた。また、空隙率充填度も推定の域を出ないけれども、水中処理の指標として使える可能性が認められた⁴⁾。

$$Wh = (Ww - Wy) / Wy \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

Ww: 水中及び自然乾燥処理での重量 (kg)

Wy: 伐採後 2 週間以内の丸太及び角材の重量 (kg)

$$Sr = (Ww - W_{28\%}) / \{(S_0 - S_c) \cdot V \cdot 1.0\} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$W_{28\%}$:FSP での木材実質と水分の重量 (kg)

S_0 :スギの絶乾時の空隙率(77.96%)⁵⁾、絶乾比重 0.309⁶⁾

Sc :絶乾から FSP までの空隙率の減少定数(8%)⁷⁾、 V :木材容積(m^3)、木材実質の比重 1.50



写真 6.4.3-3 3 種のスギ材の水中処理の状況



写真 6.4.3-4 3 種のスギ材の天然乾燥の状況

表 6.4.3-1 FSP 以上の空隙率充填度と推定重量及び含水率

試料の種類	空隙率充填度(%)	推定最大重量(kg)	水中処理終了時重量(kg)	左記推定 MC(%)	見かけの比重	乾燥中の推定 MC(%)
No.2 角材	57.6	15.2	11.1	161	0.80	24
No.4 角材	66.5	15.4	12.1	182	0.87	22
No.6 皮無丸太	82.3	24.0	21.3	217	0.98	17
No.8 皮無丸太	77.9	23.9	20.5	207	0.95	17
No.10 皮付丸太	83.7	23.8	21.4	221	0.99	18
No.11 皮付丸太	86.6	35.2	32.1	227	1.01	36

※ {最大含水率 $U_{max}=28+(1.50-\gamma_0)/1.50 \cdot \gamma_0 \times 100$ (%)

$\gamma_0=0.309$ の時 $U_{max}=285$ (%)となる。}

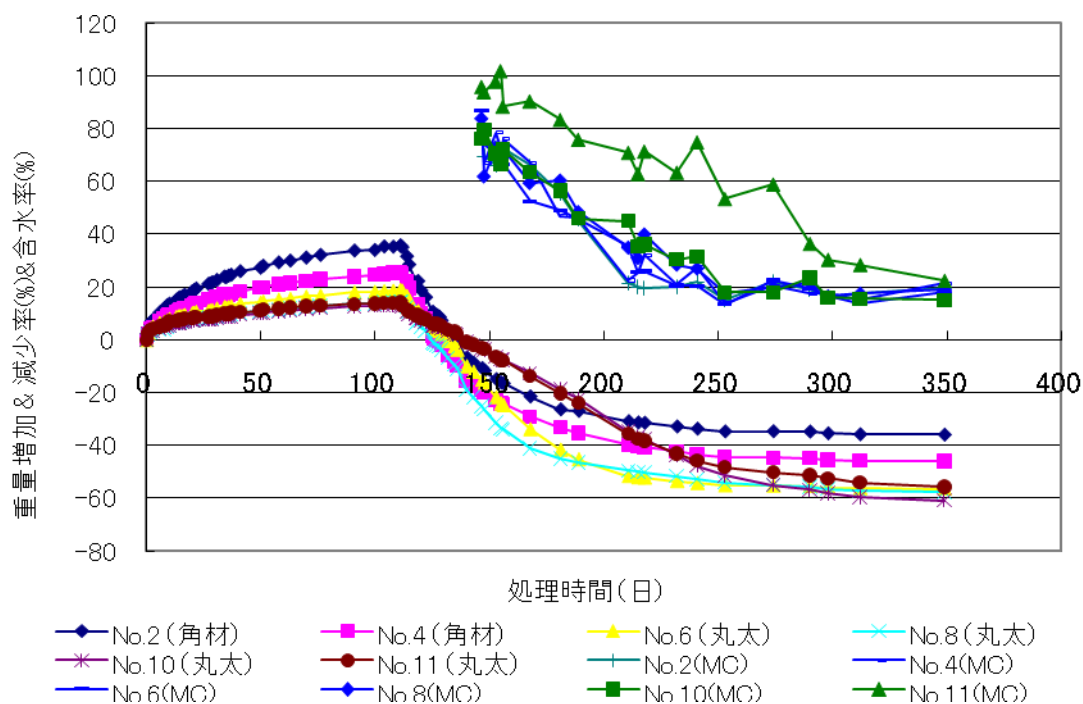


図 6.4.3-5 3 種のスギ材の水中処理+自然乾燥の状況

次に、スギ材の水中処理過程においては、写真 6.4.3-6 に示したように心材部や節などから樹脂成分が滲み出てくるのが大きな特徴である。スギ丸太心材部からの抽出物質の定性試験は、滋賀県近江八幡市の（株）日吉の環境計量士山本司氏の分析より表 6.4.3-2 に示した結果となった。

表 6.4.3-2 スギ心材部の抽出物質定性試験結果



写真 6.4.3-6 心材部から滲み出てくる樹脂

物質名	分子量	化学式
Oxime-methoxy-phenyl	184.0	$C_{13}H_{28}$
δ-Cadinol	222.2	$C_{15}H_{260}$
δ-Cadinene	204.2	$C_{15}H_{24}$
Calamenene	202.2	$C_{15}H_{22}$
Phyllocladanol	290.3	$C_{20}H_{340}$
1-Naphthalenepropanol に類似	306.3	$C_{20}H_{3402}$
4-P-Hydroxyphenyl-2,2,4-trimethylthiachroman に類似	284.1	$C_{18}H_{200S}$
Ferruginol	286.2	$C_{20}H_{300}$

1. 2 農耕地用ため池での水中処理と天然乾燥

水中処理したスギ材を用いて伝統的木造住宅をつくる機会ができたので、滋賀県甲賀産の中小径木の樹皮付き丸太 367 本（長さが 4m と 6m のもの）を写真 6.4.3-7 に示したように平成 17 年 11 月 25 日に水中貯木した。スギ丸太のため池からの搬出作業は平成 18 年 3 月 21 日に行ったので、水中処理期間は 117 日（約 4 ヶ月）である。貯木中に池底に沈んでしまった 29 本を除く 338 本についてスギ丸太の重量増加率を測定した。その結果を図 6.4.3-8 に示した。水中処理されたスギ丸太 338 本の平均値は重量増加率=18.27%、標準偏差=7.21%、最小値=7.55%、最大値=95.50%となった。実験室規模のスギ材（約 1m 長）で実験した樹皮付き丸太の重量増加率は長さが 4m、6m と長くなった場合にもほぼ対応することが分かった。

水中処理後のスギ丸太は輪掛けにして上部にタイベックス（外装下地用透湿・防水シート）を張り、丸太木口断面にゴム系接着剤を塗って平成 19 年 3 月末まで甲賀市土山町の森林内の土場で写真 6.4.3-9 に示したように天然乾燥させた。その後、正角材と平角材及び板材にあら挽き製材した後に製材所内で平成 20 年 1 月末まで棧積み上部を養生シートで覆って天然乾燥させた。このあら挽き材をモルダーで所定の断面に仕上げて大工下小屋に納入した。納入時の木材の含水率について、6m 材 193 本の含水率の結果を表 6.4.3-3 に示した。同表の含水率測定位置は 6m 材を元口から約 1.2m ごとに測定したものであり、位置 1（元口より約 1.2m）、位置 2（元口より約 2.4m）、位置 3（元口より約 3.6m）、位置 4（元口より約 4.8m）である。モルダー処理後の 193 本の含水率の平均値は 35.8%となり、触感で推定した含水率よりもやや高い結果となった。また、あら挽き材の天然乾燥において、棧積み解体してローテーションを行う一般的な操作を行わなかったため、表 6.4.3-3 の標準偏差と最小値及び最大値から分かるように、含水率の測定結果についてはばらつきを生じた。

次に、大工下小屋に納入されたモルダー処理された水中処理木材は、滋賀県大津市の京町の礎

石建ての伝統的木造住宅の建築材料として用いられ、平成 20 年 11 月に住宅は竣工した（写真 6.4.3-10）。その伝統的木造住宅の施工中の平成 20 年 5 月 2 日に梁と柱などの構造材について、高周波式含水率計を用いて測定が可能な箇所について部材の含水率を測定した。含水率の測定箇所は、横架材については柱間隔のスパンをほぼ等間隔に部材の元口から 4 箇所測定し、柱についても等間隔で 4 箇所測定した。含水率の測定結果を表 6.4.3-4 に示した。大工下小屋に納入されたモルダー処理後の 6m 材の平均含水率が 35.8%であったことから、構造部材の刻み工程と建て方に要した約 3 か月間で約 10%あるいはそれ以上の含水率の低下が見られた。推定の域をでないけれども平成 20 年 11 月の竣工時には、構造用部材の含水率は 20%以下になっているものと考えられる。

スギ丸太の水中処理から大工下小屋納入までの処理時間は、水中処理に約 4 ヶ月、輪掛けでのスギ丸太の天然乾燥に約 1 年、あら挽きの製材後の天然乾燥に約 10 ヶ月を要したことになり、26 ヶ月が必要であった。また、伝統的木造住宅の刻みと施工工程により含水率が穏やかに低下することが分かった。人工乾燥材であれば所要日数の単位が月→日に代わるけれども、水中処理と天然乾燥を行ったスギ材は建築主、大工職人、1 級建築士の全ての方が満足する品質を有することができた。水中処理と天然乾燥は大変スローな技術であるけれども、長期住宅をつくるための森林から木造住宅をつくるシステムに組み込むことで十分に再評価を受けるべき技術であると思われる。



写真 6.4.3-7 ため池での水中貯木の状況



写真 6.4.3-9 スギ丸太の自然乾燥状況



写真 6.4.3-10 大津市の京町の木造住宅

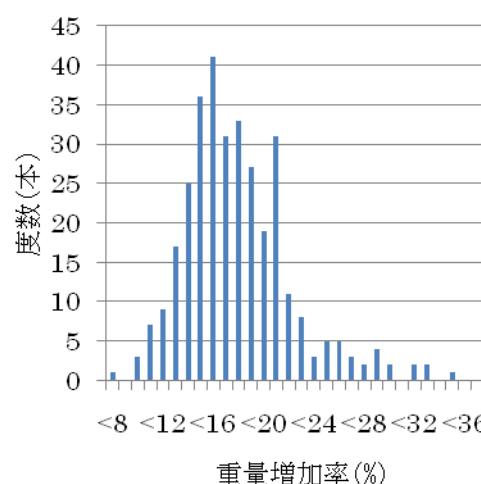


図 6.4.3-8 約 4 ヶ月の水中貯木の重量増加率

表 6.4.3-3 あら挽き材をモルダー処理した直後の角材の含水率

	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	全体	モルダー後の角材数
平均値(%)	32.6	37.8	38.1	34.9	35.8	193 本
標準偏差(%)	9.2	13.5	13.6	11.2	10.4	
最小値(%)	15.0	16.0	16.0	14.5	17.8	
最大値(%)	76.5	108.0	114.0	86.0	82.1	

表 6.4.3-4 施工中の構造部材の含水率の測定結果

	小屋梁上部	小屋梁下部	1 階梁上部	1 階梁下部	柱
平均値(%)	21.8	20.7	25.1	25.2	23.4
標準偏差(%)	3.1	3.7	3.4	4.8	2.7
最小値(%)	16.9	12.1	21.1	16.9	18.4
最大値(%)	27.3	26.4	29.9	37.5	26.9
測定部位(箇所)	80	152	36	84	40

(2) 水中処理したスギ丸太の燻煙熱処理と自然乾燥

水中処理したスギ丸太は、表 6.4.3-1 と図 6.4.3-8 で示した空隙率充填度と重量増加率の結果から、ある程度の水分を吸収しており、それぞれのスギ丸太の含有水分はほぼ均一化されているものと推測が可能である。このような条件の木材については、乾燥温度を調整することで熱処理による乾燥の損傷が少ないと思われる。そこで、製材所の端材を 100%用いた滋賀県内の燻煙熱処理装置で水中処理されたスギ丸太の熱処理効果を検討することにした。また、燻煙熱処理は燻煙乾燥と呼ばれることも多いが、現時点では木材乾燥の分野において熱処理工程の位置づけである。そのため、燻煙熱処理後の丸太を正角材に製材し、室内の自然乾燥用専用倉庫で自然乾燥を行って含水率等の変化について検討した^{8,9)}。

2. 1 水中処理されたスギ丸太の燻煙熱処理

平成 18 年 3 月 21 日にため池から取り出したスギ丸太 338 本の中から、4m 材と 6m 材の樹皮付き丸太を合計で 60 本選定し、燻煙熱処理を行った。燻煙熱処理装置は滋賀県大津市堅田の(株)伊藤源で研究開発用に自作されたものを使用した。樹皮付き丸太を燻煙熱処理したときの装置内のスギ丸太の配置と燻煙炉内の処理温度を図 6.4.3-11 に示した。同図のチャンネル 2 と 5 はスギ丸太の試料番号 39 と 115 の材中で、チャンネル 3 と 6 はそれぞれのスギ丸太の表面温度を表している。なお、スギ丸太の材中の温度測定は、丸太中央部までドリルで穴をあけて熱電対を入れ紙粘土で密封して測定を行った。また、表面の温度測定についても 10mm 程度の深さの穴をあけて熱電対を入れ紙粘土で密封した。図 6.4.3-11 の左図の処理時間と炉内温度の関係から、スギ丸太の試料番号 39 と 115 のチャンネル 2 と 5 の材中温度は 80℃以上に達していることが分かる。燻煙熱処理後のスギ丸太の状況を写真 6.4.3-12 と写真 6.4.3-13 にそれぞれ示した。丸太木口に樹液が付着していることと樹皮が黒色となっていることがそれぞれの写真から分かる。

この燻煙熱処理後のスギ丸太試験体の重量変化率を式(3)のように定義した結果を表 6.4.3-5 と表 6.4.3-6 にそれぞれ示した。それぞれの表にはスギ丸太の配置を示すセル内に伐採後の重量と水中処理後の重量及び燻煙熱処理後の重量を記入してある。また、式(3)の重量変化率が 20%未満、20%以上、30%以上、40%以上で分類を行っている。表 6.4.3-5 の燻煙熱処理装置の奥に栈積みした 4m 材のスギ丸太については、栈積み内部のものが 20%未満の重量変化率となっており、熱処理が十分に行われていないことが分かる。一方、表 6.4.3-6 については 6m のスギ丸太を 2 段組

みし、この上部に 4m のスギ丸太を栈積みしていることから、長さの差と段数が少ないことによる空間の確保によって、重量変化率が 20%以上になったと考えられる。

重量変化率(%)=-(燻煙処理後の丸太重量-伐採後の丸太重量)/伐採後の丸太重量*100 (3)

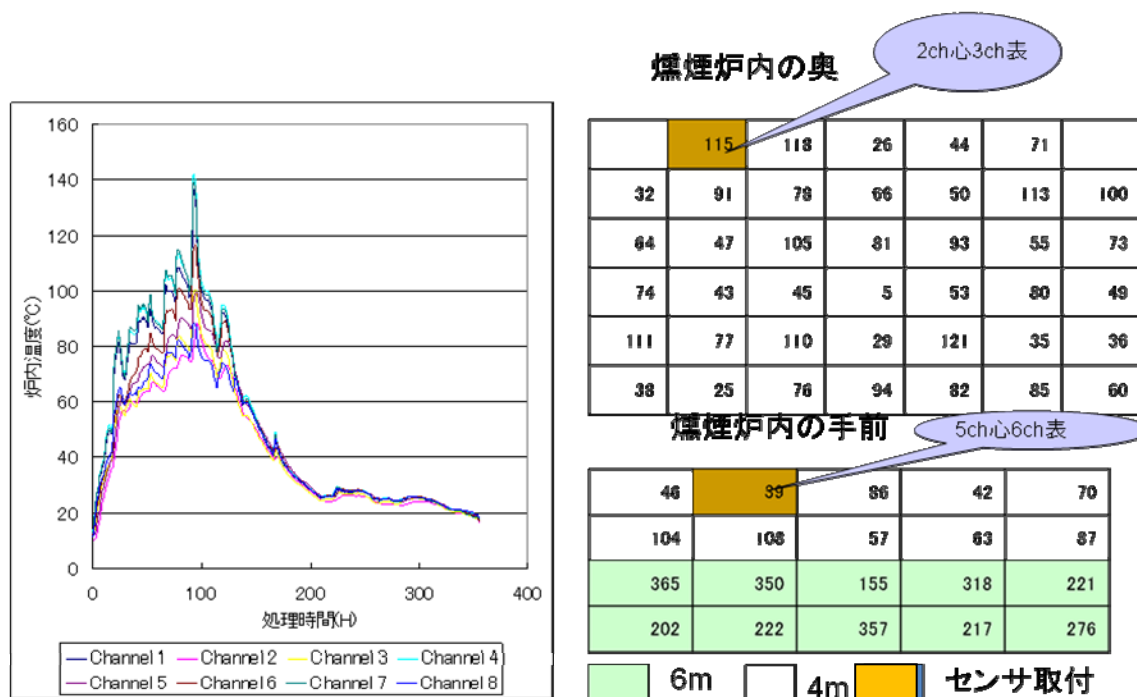


図 6.3.3.-11 燻煙熱処理の炉内の熱処理温度とスギ丸太の配置状況



写真 6.4.3-12 燻煙熱処理後のスギ丸太の木口



写真 6.4.3-13 燻煙熱処理後のスギ丸太の樹皮

表 6.4.3-5 燻煙熱処理後の重量変化率（奥）

1. 20%未満 20%以上 30%以上 40%以上

伐採後 水中-乾燥	86	86	83	75	94	単位 kg
	103-49	122-58	96-47	85-45	109-57	
93	86	53	83	80	68	74
107-55	103-55	69-50	96-52	92-52	81-46	86-46
72	83	71	68	79	79	84
86-42	98-55	85-52	80-46	92-61	90-55	98-50
79	84	70	82	94	75	84
94-48	100-60	82-53	98-58	112-70	87-52	96-52
83	77	79	74	77	76	83
101-56	86-61	102-85	89-60	90-58	90-56	97-56
93	81	84	77	46	62	50
111-65	91-58	100-87	89-57	65-45	72-43	74-56

表 6.4.3-6 燻煙熱処理後の重量変化率（前）

2. 20%未満 20%以上 30%以上 40%以上

60	80	73	70	63
76-47	91-44	85-42	90-39	72-37
96	72	94	74	106
113-57	84-45	113-61	90-43	129-65
136	155	124	189	172
167-88	176-108	145-76	221-136	193-112
データ不備	データ不備	175	193	153
		204-117	224-141	184-109

2 水中処理と燻煙熱処理後のスギ正角材の自然乾燥

水中処理したスギ丸太の燻煙熱処理後の木口は写真 6.4.3-14 に示したように髄を含む未成熟部分に乾燥割れが発生するものが多かった。この熱処理後のスギ丸太を 3 寸 5 分～5 寸の正角材に製材した (写真 6.4.3-15)。同写真から分かるように正角材に製材されたスギ材は燻煙熱処理による色の変化などは全くなく、スギが本来有している色合いであった。

水中処理と燻煙熱処理を施されたスギ正角材は写真 6.4.3-16 に示したように、滋賀県草津市の宮内建築に特別につくった自然乾燥専用倉庫で平積みと縦置きで自然乾燥させた。同図の手前に平積みされているのが 3 寸 5 分角の平積みの条件、同図の奥の左側が末口を下にした 4 寸角以上の縦置き条件、右側が元口を下にした 4 寸角以上の縦置き条件をそれぞれ示している。正角材の自然乾燥の一例を図 6.4.3-17 に示した。同図の試料 318 (4 寸角) は同じ材料を 2 分割して元口と末口を下にした条件で自然乾燥を行った。この 2 種の試験体の自然乾燥時の初期重量は大きく異なるけれども、初期含水率についてはほぼ同じ値であった。約 400 日間の自然乾燥による含水率変化を見ると、末口を下にした方がやや含水率の低下が大きい傾向を示しているが、ほぼ同じような自然乾燥経過であると見なしてよいと思われる。また、試料 85 (3 寸 5 分角) は乾燥初期に高周波式含水率計による測定値が逆転しているが、それ以降の自然乾燥の特徴は乾燥日数が 200 日を超えた後の測定値が 4 寸角の試料 318 よりも高い値となっていることである。これは平積みと縦置きでの自然乾燥経過の違いを表わしているものと推測できるが、最終的には断面の大きさによって試料 85 の方が含水率は小さな値となった。自然乾燥日数が 400 日を経過すると、正角材の含水率は断面の大きさによって異なるが、20%程度あるいはそれ以下となることが分かった。

次に、自然乾燥中の正角材の乾燥状況を写真 6.4.3-18 と写真 6.4.3-19 にそれぞれ示した。芯持ちの正角材であるのに乾燥割れがあまり発生しないのが大きな特徴である。



写真 6.4.3-14 燻煙熱処理後の丸太木口の割れ



写真 6.4.3-15 燻煙熱処理後の製材（正角材）



写真 6.4.3-16 自然乾燥専用倉庫での乾燥

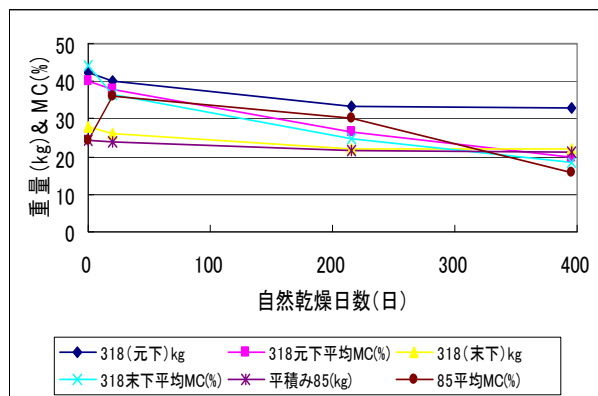


図 6.4.3-17 正角材の重量と含水率の変化



写真 6.4.3-18 3寸5分角の自然乾燥状況



写真 6.4.3-19 4寸角以上の自然乾燥状況

正角材の含水率は断面の大きさによって異なるが、20%程度あるいはそれ以下になった。また、乾燥割れが少ないことから、水中処理と燻煙熱処理を行って自然乾燥を行う一連の乾燥システムの可能性を確認することができた。

6.4.3.2 山梨県における既往の実験

(1) 山梨県産アカマツ丸太の水中処理と天然乾燥

滋賀県のスギ丸太の水中貯木処理と天然乾燥による木材の提供システムを参考として、山梨県北杜市に平成21年1月に貯木池をつくり、山梨県産アカマツを水中処理した後に天然乾燥を行い構造物として提供する研究に着手した¹⁰⁾。山梨県はアカマツ、カラマツ、スギ、ヒノキが代表的な樹種であり、特にアカマツは関西地域よりも品質が良くて価格も安価であるという特徴を有する。また、アカマツは伐採期間が冬季の12月～1月に限られるために保管の意味においても水中貯木処理に期待するところは大きい。本報告は水中貯木後のアカマツ丸太の水分吸収と天然乾燥による重量変化率について主に取り扱った。

1. 1 水中処理施設とアカマツ丸太の水中処理

アカマツ丸太の水中貯木処理を行うための貯木池は、八ヶ岳家造りの会 木の香（このか）が写真6.4.3-20に示した田圃を改良して図6.3.3-21に示したような配置で平成21年1月につくった。この田圃の立地位置は水路の最終にあたるために他の地権者の了解を得ることが可能であった。また、排水の安全対策を講ずるために写真6.4.3-22に示したように貯木池の水は排水パイプを通して木炭を敷設した浄化用池を経由して水路に流すように設計した。なお、貯木池の運用中にアカマツ丸太貯木中の水の水質検査を秋田県立大学で行ってもらったが、問題はないという報告を得た。

アカマツ丸太の水中貯木実験は、貯木池の貯水試験を数回行った後、平成21年2月15日から貯木を開始した。貯木前のアカマツ丸太の測定項目は長さ、重さ、年輪数、元口径、末口径、直・曲がり度とし、最終的に145本のアカマツ丸太の貯木を行った。写真6.4.3-23に平成21年3月26日時点のアカマツ丸太の貯木状況を示した。

次に、水中処理の終了時期は貯木期間を約10ヶ月と設定して、平成21年12月5日、6日、12日、13日に貯木池からアカマツ丸太の水揚げを行った。水中処理終了時のアカマツ丸太は、写真6.4.3-24に示したようにデジタル秤量計で重量測定を行った後に丸太乾燥用の専用土場で輪掛けに組んで自然乾燥の準備を行った。水中処理終了後に貯木池から取り出したアカマツ丸太の木口には写真6.4.3-25に示したような樹液が出ているのがほとんどの丸太で確認できた。スギ丸

太心材部から抽出された樹液成分については表 6.4.3.2 に示したが、アカマツ丸太の樹液成分については木口円盤を試験機関に提出している状況である。

約 10 ヶ月の水中処理期間のアカマツ丸太の重量増加率の結果を図 6.4.3-26 に示した。同図にはアカマツ丸太の末口径が 30cm 程度の 56 本について整理したものである。アカマツ丸太 56 本の重量増加率は平均値=12.04%、標準偏差=7.37%、最小値=1.07%、最大値=37.50%となった。約 4 ヶ月の水中処理期間の滋賀県のスギ丸太の重量増加率の平均値=18.27%と比べると、アカマツ丸太の水分吸収はスギ丸太よりも小さいことが分かった。



写真 6.4.3-20 貯木池の予定地



写真 6.4.3-22 浄化用池の木炭の施工状況

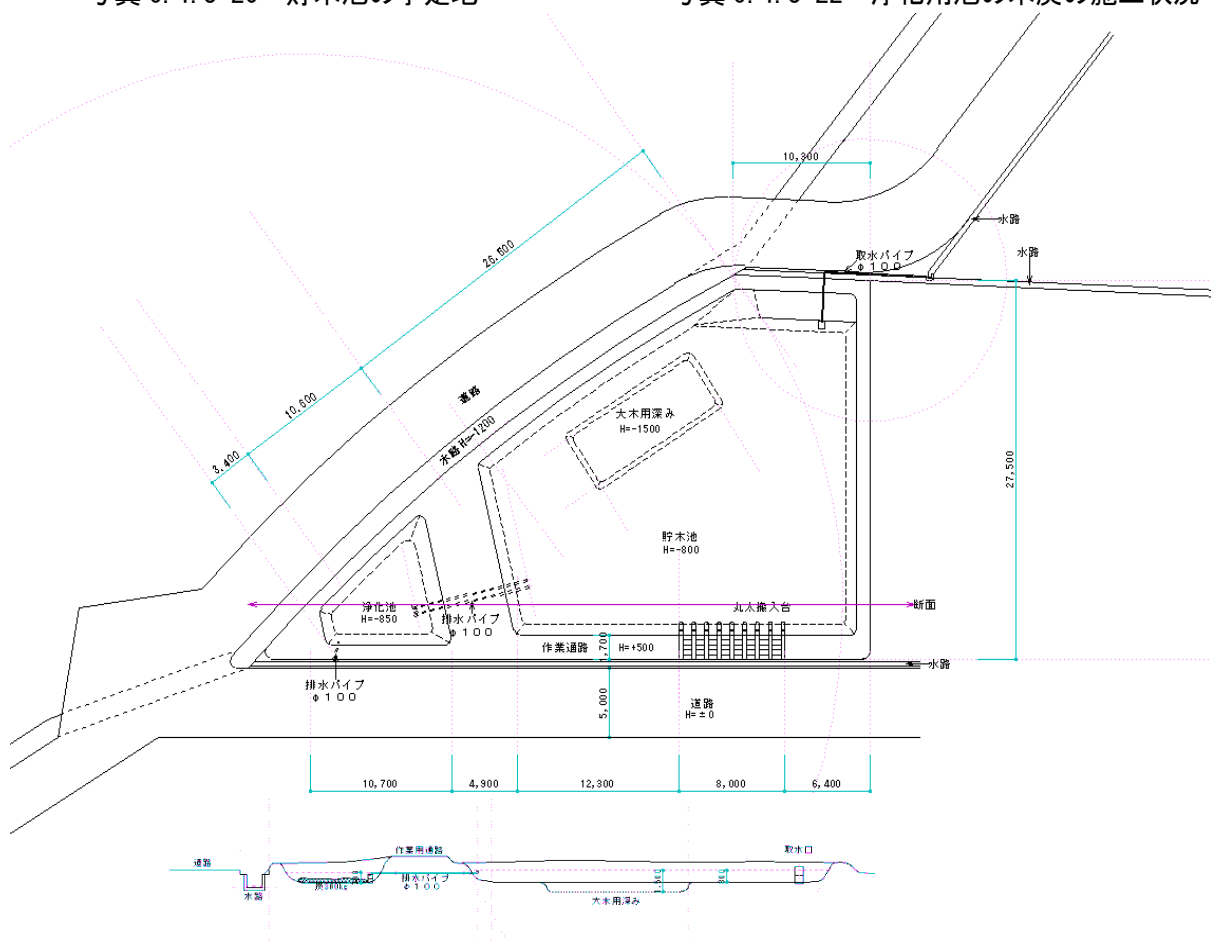


図 6.3.3-21 山梨県北杜市武川町につくった貯木池の平面図と断面図



写真 6. 4. 3-23 アカマツ丸太の貯木状況



写真 6. 4. 3-24 アカマツ丸太の水揚げ状況



写真 6. 4. 3-25 水中処理後の元口の樹液状況

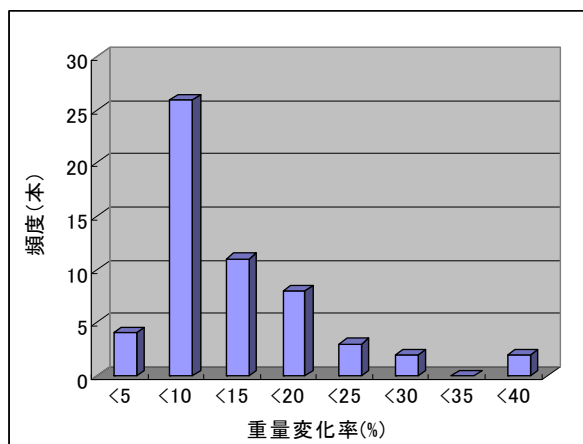


図 6. 4. 3-26 約 10 ヶ月の水中貯木の重量増加率

1. 2 水中処理されたアカマツ丸太の天然乾燥

水中処理後のアカマツ丸太は、写真 6.4.3-27 に示したように屋根をかけない状態で 2 箇所の専用土場で輪掛けにして天然乾燥を開始した。水中処理を行ったスギ丸太については樹皮が付いていても輪掛けにして天然乾燥すれば、穿孔虫による被害が少ないことは滋賀県のスギ丸太の水中処理実験で分かっている。アカマツについてもその効果を確認すべきであったが、今回の実験に供するアカマツ丸太は構造部材として使用することが予定されているので、春季に一般的に行われる樹皮の剥皮を行った（写真 6.4.3-28）。この剥皮作業と並行してアカマツ丸太の重量測定を行い、約 3 か月の自然乾燥による重量減少率を求めた。その結果の一例としてアカマツ丸太 9 本について表 6.4.3-7 と図 6.4.3-29 にそれぞれ示した。山梨県産のアカマツは同表から分かるように比較的大径のものが得られる場合がある。図 6.4.3-29 はその丸太の末口径の大きさと約 10 ヶ月の水中処理（正の値）と約 3 ヶ月の天然乾燥（負の値）の関係を示しており、重量増加率には一定の傾向を見つけることができないけれども重量減少率には末口径と長さが大きいほど小さくなる傾向が認められる。これは一般的な木材の乾燥経過を示すものである。このように重量増加率の測定は天然乾燥の乾燥状況を推測するために重要な指標であるが、栈積み解体する必要があるため数か月単位で行う作業である。そこでその天然乾燥期間の水分状態を知るための参考としてアカマツ丸太の元口と末口の両木口を高周波式含水率計で定期的に測定した。その測定結果の中から表 6.4.3-7 に対応したものを図 6.4.3-30 に示した。天然乾燥日数が 30 日の測定では、丸太木口からの乾燥が促進されたことが分かる。一方、90 日の測定では雨による栈積み内のアカマツ丸太の位置の影響がでており、雨に打たれやすいところの丸太はやや高い含水率を示した。こ

の結果を参考として、屋根のない井桁組での天然乾燥では梅雨時期の雨の影響を大きく受けられると思われるので、写真 6.4.3-31 と写真 6.4.3-32 に示したように輪掛けの上に屋根をかけて天然乾燥を継続している。天然乾燥中のアカマツ丸太にはある程度の乾燥割れは発生しているけれども、一般的な樹皮を剥皮して自然乾燥させているアカマツ丸太で観察されるものよりは穏やかな乾燥割れであると思う。

山梨県産のアカマツ丸太の水中処理及び滋賀県産のスギ丸太の水中処理と天然乾燥を行った木材は経験的に色合いや乾燥割れの低減などの優れた特性があることが、既往の実験で定性的に確かめられている。今後は、平成 22 年 12 月より（独）建築研究所で水中貯木されているスギ丸太の乾燥実験によって水中処理と乾燥割れの影響が定量的に明らかにされることを期待する。



写真 6.4.3-27 輪掛けでの天然乾燥



写真 6.4.3-28 アカマツ丸太の樹皮の剥皮作業

表 6.4.3-7 アカマツ丸太の水中処理・天然乾燥における重量変化の一部の例

番号	直曲	L (m)	W0 (kg)	年輪	末口 (cm)	元口 (cm)	水揚げ日	W1 (kg)	測定日	W2 (kg)
81	直	3.1	648	128	50	60	H21.12.6	709	H22.3.7	633
48	小曲り	4	288	67	30	34	H21.12.6	328	H22.3.7	244
39	直	4.04	548	85	43	46	H21.12.6	566	H22.3.7	496
47	直	4.1	368	100	36	39	H21.12.6	398	H22.3.7	325
43	直	4.16	354	80	35	40	H21.12.6	390	H22.3.7	301
44	直	4.22	296	60	30	33	H21.12.5	318	H22.3.7	252
90	直	4.77	565	105	43	49	H21.12.6	623	H22.3.7	549
79	小曲り	6.07	717	103	38	45	H21.12.6	772	H22.3.7	669
75	直	8.15	737	79	31	36	H21.12.6	787	H22.3.7	715

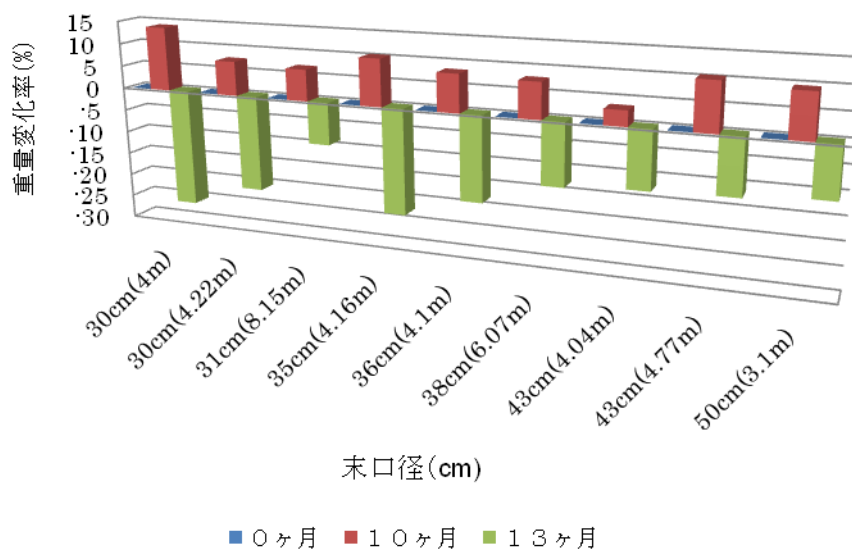


図 6. 4. 3-29 水中処理と天然乾燥によるアカマツ丸太の重量変化率

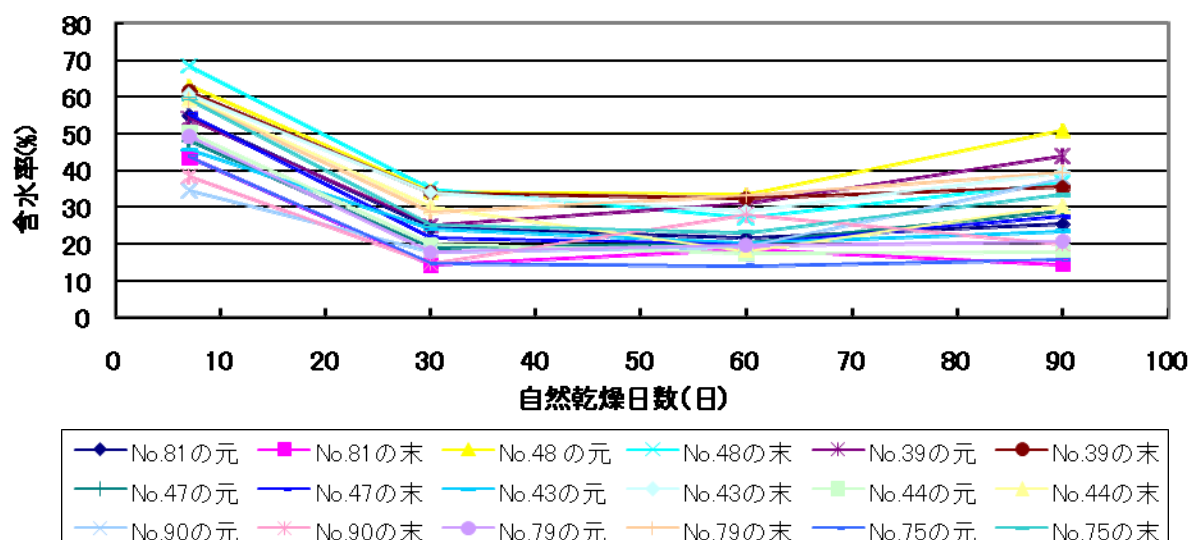


図 6. 3. 3-30 天然乾燥中の高周波式含水率計による元口と末口の含水率の変化（参考）



写真 6. 4. 3-31 アカマツ丸太の天然乾燥状況



写真 6. 4. 3-32 アカマツ丸太の天然乾燥の全景

参考文献

- 1) 荒俣宏、『江戸の醜聞味』、光文社（2008）PP. 180-185
- 2) 松本文三、『木材乾燥法』、工業図書株式会社(1941)P. 162
- 3) 泉岩太、『木材の乾燥』、西ヶ原刊行会(1933)PP. 72-73
- 4) 定成政憲、滋賀県甲賀産スギ丸太の水中処理について、第 56 回日本木材学会大会(2006 年秋田)
- 5) ～7) 松本文三、『木材乾燥法』、工業図書株式会社(1941)PP. 7-29
- 8) 定成政憲、水中貯木した県産スギの燻煙熱処理と自然乾燥について、第 57 回日本木材学会大会(2007 年広島)
- 9) Masanori SADANARI, Smoking heat-treatment and natural drying of Cryptomeria logs in a reservoir, 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki(2008)
- 10) 定成政憲、山梨県産アカマツの水中処理について、第 60 回日本木材学会大会（2010 年宮崎）