

品確法に対応するための高品質乾燥材の生産技術の開発（Ⅲ）

ーオープンラボ装置によるスギ柱材の複合式乾燥の試みー

河崎弥生・三枝道生・野上英孝

1. はじめに

住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）や消費者契約法の施行により、住宅に対する消費者の意識が変化しつつある。これらの法律には、消費者保護の視点が強く反映されており、住宅の不具合に対しても、これまでよりも強い関心が持たれるようになってきている。

このような状況下において、木造住宅の主要部材である製材品の品質管理についても、一層厳格な対応が求められ、より高品質な乾燥材生産が求められている。乾燥処理は、木材の寸法安定性を確保する上での基本的加工処理であり、強度性能や耐朽性との関係も深く、木材の品質を担保する上では必要不可欠なものである。

本研究課題は、品確法に対応できる高品質乾燥材の生産技術について、現状の技術の検証も含め、新たな技術開発を行うことを目的として、5年計画の研究課題として設定されたものである。

研究期間の初年度は、建築業界はどのような品質の乾燥材を求めているのかという点を調査するとともに、県内の製材工場において、新しい手法として採用され始めている高温乾燥法を用いて生産された高温乾燥材の品質を分析し、問題点の抽出等を行った。

2年目である昨年度は、人工乾燥材を生産している各製材工場の乾燥装置、乾燥スケジュール、乾燥工程などを調査し、生産する乾燥材の高品質化を図るための改良方法などを検討した。さらに、高温乾燥において、内部割れや大きな変色の発生を問題点として指摘する声もあるため、より良質な高温乾燥材の生産を目的として、実験機による高温乾燥試験を行った。

これらの結果を踏まえ、3年目に当たる本年度は、オープンラボ装置を用いて、複合タイプの乾燥法によるスギ柱材の乾燥試験を行い、木材業界が今後実施する技術開発のための基礎資料を得ることを試みた。

2. 試験方法

1) 試験装置

当センターが平成14年度に導入した複合型乾燥装置（オープンラボ）を用いた。本装置は、熱風加熱、高周波加熱、減圧を複合的に組み合わせできる装置である。

2) 供試材

試験に用いた材は、スギ柱材で、心持ち・背割り無し状態の材である。寸法は、仕上げを 120 mm × 120 mm × 3 m を想定した、133 mm × 133 mm × 3.05 m の粗挽き状態の材である。また、製材後、あまり日数が経過していない生材状態のものを用いた。

まず、100 本の材を準備し、所定の測定を行った。その中から、含水率の状態を勘案し、1 回の実験あたり 34 本、合計 2 回分の 68 本を選別した。さらに、材色測定用の短尺試験材を採取するための 2 本（赤心材、黒心材）を選別し、長さ方向に 4 分割して、2 回の乾燥試験に用いた。試験材 68 本の心材色は、赤色系の材と黒褐色系が混在していた。

3) 乾燥スケジュール

乾燥スケジュールは、乾燥工程全体を 100 °C 未満の温度域としながら、なるべく変色と割れを抑制する方法を探求するものとした。具体的には、スギ柱材に対して中温域（100 °C 未満）でのドラインゲット処理を行い、その後、主に熱風減圧乾燥をするタイプを基本としている。しかし、今回の実験が、これまでの知見が少ない基礎的な実験であるため、乾燥途中で設定を変更するなど、当初から予定したものとは結果的に異なるスケジュールとなった。

乾燥スケジュールの概略は、以下の通りである。

[実験 1]

* 乾燥時間：約 9.5 日 (232hr)

- | | |
|----------|---|
| ①初期蒸煮 | 90 °C
(16hr) |
| ②中温セット処理 | 乾球温度 95 °C、湿球温度 80 °C、減圧約 350Torr、高周波加熱
(24hr) |
| ③乾燥工程 | 乾球温度 80 °C、湿球温度 65 ~ 50 °C、減圧 350 ~ 95Torr
(192hr) |

[実験 2]

* 乾燥時間：約 9.5 日 (232hr)

- | | |
|----------|--|
| ①初期蒸煮 | 90 °C
(16hr) |
| ②中温セット処理 | 乾球温度 95 °C、湿球温度 80 °C、減圧約 350Torr、高周波加熱
(24hr) |
| ③乾燥工程 | 乾球温度 80 °C、湿球温度 75 ~ 60 °C、減圧 350 ~ 150Torr
(120hr) |

④調湿工程

乾燥を兼ねた調湿処理（2ステップ）

（72hr）

・減圧下 48hr

・常圧下 24hr

*実験 1 とは、調湿工程を追加した点、湿球温度と減圧条件の組み立て方法が異なる点に違いがある。

乾燥後のさましは、2回の実験ともに、1日以上をかけて緩やかに冷却した。

4) 測定

a. 乾燥前の測定

乾燥前に、試験材の重量、含水率（モコ2による）、材面の状況などを測定した。また、短尺試験材については、測色色差計を用いて、材色を測定した。測色方法は、2度視野拡散受光方式で、スポット径は10mmとした。

b. 乾燥後の測定

乾燥終了後には、まず長尺材の状態では重量、含水率、材面割れなどを測定した。短尺材については、材色の測定を行った。

その後、長尺材については、乾燥後の経過を測定するための材を除いて、材長方向に分割して、5カ所の位置から小試片を採取し、全乾重量法による含水率や水分分布の測定を行った。さらに、切断した断面において内部割れの発生量などを測定した。

乾燥後の経過測定用の試験材については、屋根付きの天然乾燥場において養生試験を行い、経過観察を行っている。

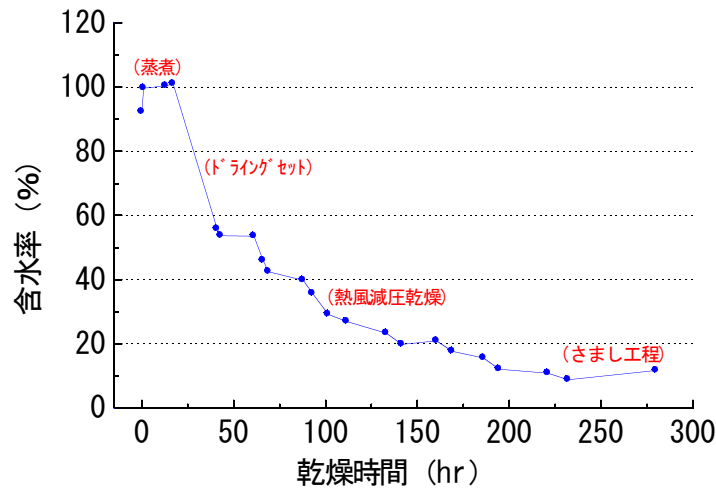
3. 実験 1 の試験結果

スギ柱材を乾燥した後、前述したように、引き続き養生試験を行っている材料があるので、乾燥実験に用いたすべての材料について、データが採取できてはいない。したがって、今回の報告書では、すべての測定が終了した試験材に限定して、結果を述べることとする。

1) 乾燥経過

ロードセル測定による、ロット全体の大まかな乾燥経過を、第3-1図に示した。これは、ロードセルの熱特性による測定誤差が内在したデータであることを前提としているが、大まかな傾向は把握できていると判断している。

乾燥初期の蒸煮で、わずかに含水率が増加する。その後のドラインゲットを生じさせる段階で 50 %近い含水率の低下が見られる。さらに、その後の熱風減圧乾燥工程では、乾燥条件の変化に敏感に反応しながら含水率の低下が生じていることが分かる。



第 3-1 図 実験 1 の乾燥経過の概略

2) 初期含水率及び仕上がり含水率

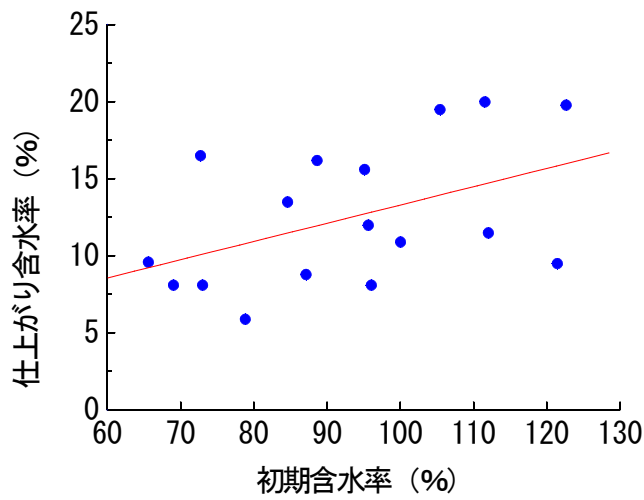
試験材の初期含水率と乾燥後の仕上がり含水率を、第 3-1 表に示した。全乾重量法による含水率（全乾含水率）で、乾燥前に平均 92.3 %であったものが、乾燥終了時に 11.8 %に仕上がった。仕上がり時の標準偏差は 4.2 %であり、過乾燥ぎみの個体が存在する状態にまで乾燥を行った状態である。個体の平均重量では、乾燥前に 35.170kg であったものが乾燥によって 20.796kg に減少した。乾燥前に重量選別を行っていない割には、標準偏差が 1.831kg に留まり、比較的ばらつきが少ない状態であると判断される。

また、表には示さないが、高周波式木材水分計モコ 2 による測定（水分計含水率）では、ほとんどの材が、9 ~ 12 %の範囲にあり、一見、ロット全体が均質な仕上がり状態であるように見て取れた。

乾燥終了時における全乾含水率と初期含水率との関係を、第 3-2 図に示した。初期含水率が高い個体が仕上がり含水率も高い傾向にはあるが、高温乾燥で見られるほど顕著なものではないように思われる。これは、乾燥工程において、高周波を印加する段階があるためではないかと推察されるが、今回の実験のみでは断定はできない。

第 3-1 表 実験 1 における試験材の乾燥前後の含水率と重量

	全乾含水率 (%)		重量 (kg)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
最高	122.8	19.7	43.571	24.748
平均	92.3	11.8	35.170	20.796
最低	62.9	5.7	28.257	17.199
標準偏差	21.6	4.2	4.053	1.831
変動係数	23.4	35.3	11.52	8.80



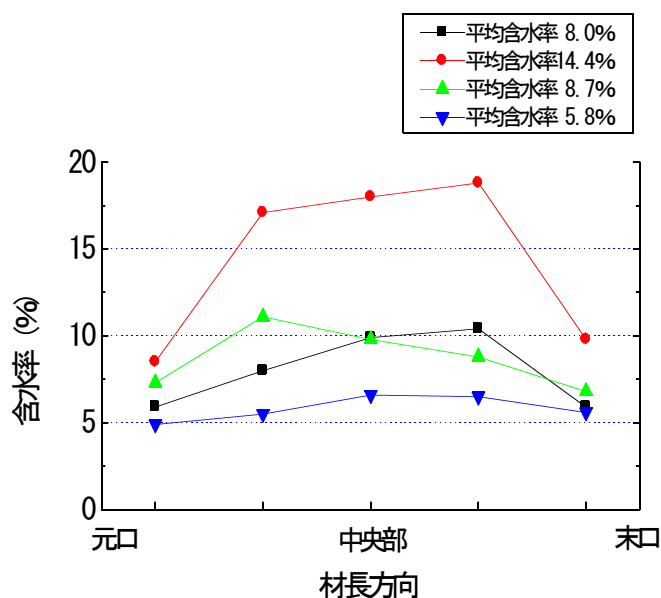
第 3-2 図 乾燥前後の乾燥材の含水率 (全乾重量法)

3) 水分分布の状態

a. 材長方向の水分分布

人工乾燥終了時の材長方向の水分分布を、第 3-3 図に示した。各測定箇所_の含水率は、断面の平

均含水率である。個体含水率（測定断面 5 箇所含水率を平均して求めた個体全体の含水率）が 10 %以下まで乾燥された試験材は、材長方向の水分分布の程度は比較的小さい。しかし、個体含水率が 14.4 %の材は、木口付近の含水率は 10 %を下回っているが、材の中央部は 17 ~ 18 %であり、最大で 10 %程度の含水率傾斜がある。

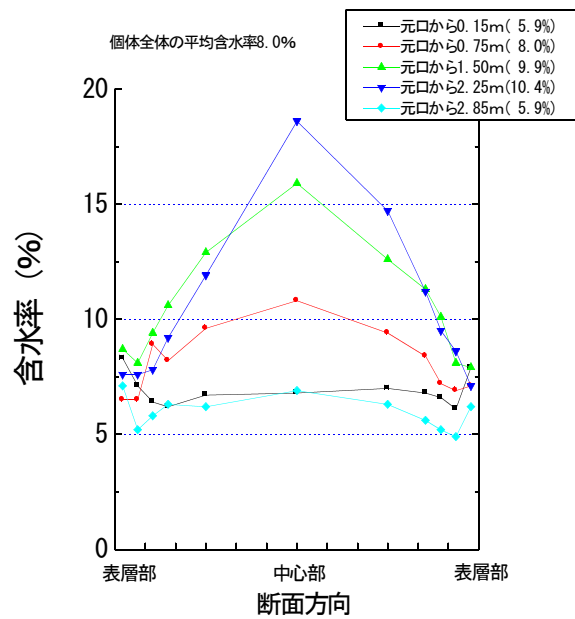


第 3-3 図 乾燥終了時の材長方向の水分分布

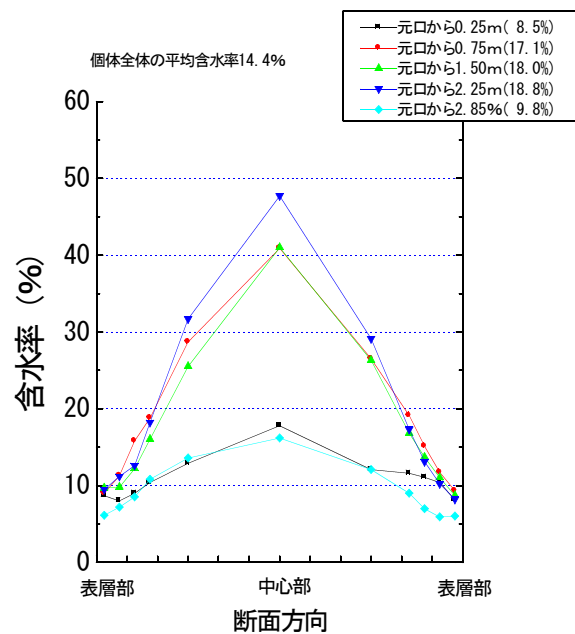
b. 断面方向の水分分布

第 3-3 図に示した個体の断面方向の水分分布を、第 3-4 図～第 3-7 図に示した。個体含水率が 5.8 %と最も低い K-48 では、断面方向の水分傾斜は緩い凹型であり、表面に吸湿の履歴が認められる。個体含水率が 8.0 %の K-1 と 8.7 %の K-24 では、木口付近の断面はほぼフラットな水分分布で、材長の中央部付近に近くなるに従って凸型が顕著になる状態にあった。

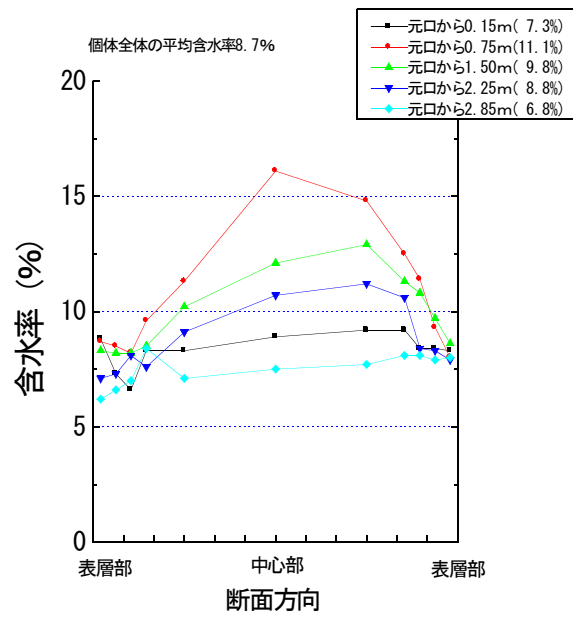
これらに対して、個体含水率 14.4 %の試験材 K-6 では、元口から 0.75 m、1.50 m、2.25 mの箇所において、表面は 10 %前後であるが断面の中心部には自由水が残存するという極めて大きな凸型の水分傾斜が認められた。このように大きな水分傾斜が存在する個体は、そのまま使用した場合、材長方向において断面寸法に大きなばらつきが生じることが懸念され、十分な養生工程が必要であることが示唆される。このことは、前年に実施した高温乾燥においても、同様に認められたことである。



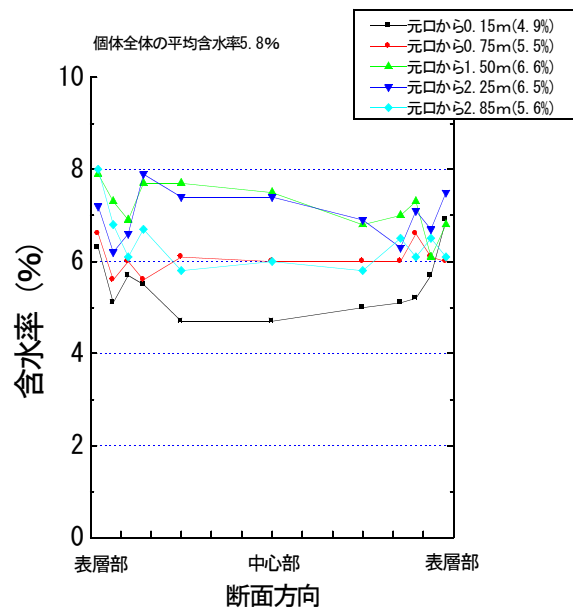
第 3-4 図 試験材 K-1 の断面方向の水分分布



第 3-5 図 試験材 K-6 の断面方向の水分分布



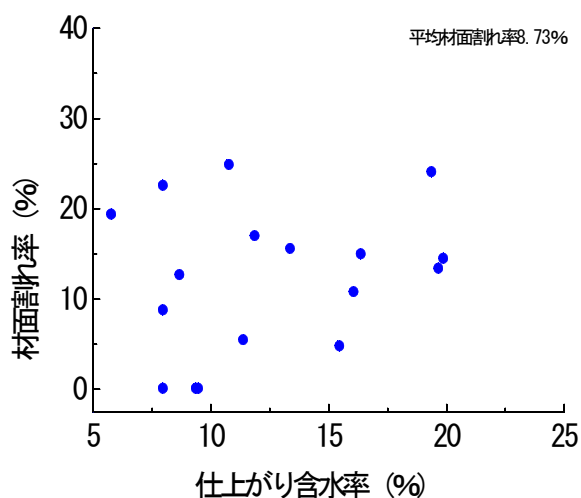
第 3-6 図 試験材 K-24 の断面方向の水分分布



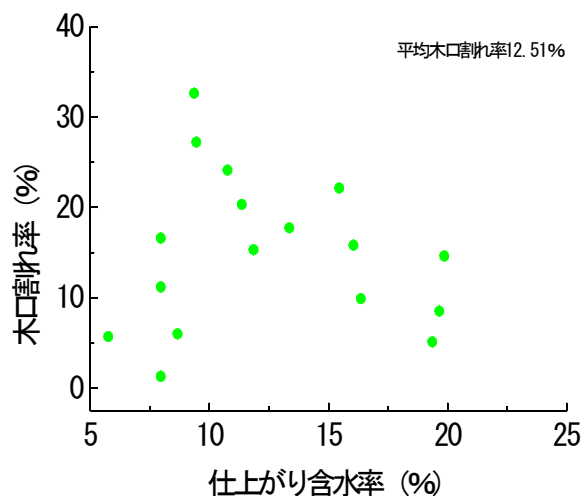
第 3-7 図 試験材 K-48 の断面方向の水分分布

4) 材面割れと木口割れの発生状況

材面割れと木口割れの発生量を仕上がり含水率との関係で、第 3-8 図及び第 3-9 図に示した。割れ率は、4材面の総長さに対する発生した割れ長さの合計を百分率で示したものである。材面割れは、材面に単独に発生した割れを、ヘアークラック状のものは言うに及ばず、閉塞している割れであってもなるべく詳細に見てカウントした。木口割れは、木口から材面に及んでいる割れについて、材面部の割れ長さをカウントしたものである。



第 3-8 図 仕上がり含水率と材面割れとの関係

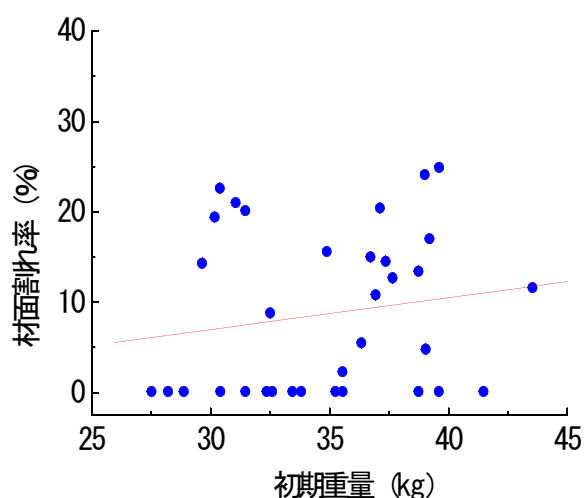


第 3-9 図 仕上がり含水率と木口割れとの関係

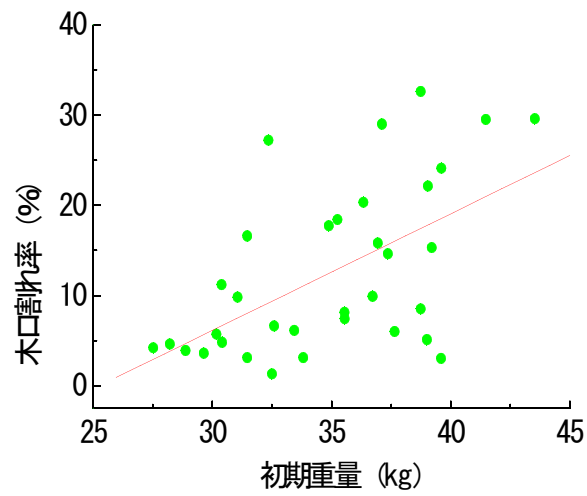
試験材には、全体的に比較的大きな割れが発生し、ロット全体の評価としては、材面割れと木口割れの抑制が不十分であると判断される。しかし、全く割れが発生しなかった個体や少量に留まった個体も4割程度あり、設定した乾燥条件が改良の余地もないほど不適切なものであったとは思われない。今回用いた複合乾燥法は新しい乾燥方法であり、乾燥に際して制御しなければならない因子の数が多く、最適な条件の組み合わせを十分には把握できていない。したがって、条件の設定が言わば手探りの状態の部分もあって、目標とする品質レベルを十分には達成できなかった。しかし、複合乾燥法が新しい乾燥法として成立する可能性があることについては、今回の実験から確認できたと考えている。

材面割れ及び木口割れのいずれにおいても、仕上がり含水率との間に明確な相関は見られなかった。また、今回の特徴として、材面割れよりも木口割れの発生量が多く、木口部が起点となって割れが発生することが多かったことが知られる。このことは、減圧の因子が影響を与えているのではないかと推察され、減圧の制御に改良を要するものと考えられる。今回の複合乾燥法において、減圧は重要な因子の一つであり、今後、慎重な基礎実験が必要であることを示唆している。

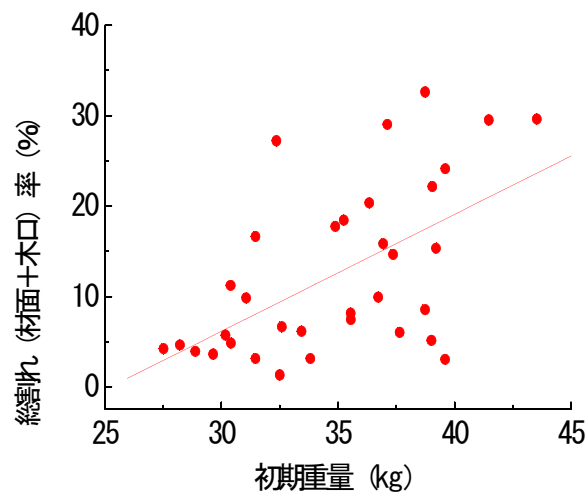
試験材の初期重量と材面割れ及び木口割れとの関係を、第3-10～3-12図に示した。材面割れでは必ずしも明確な関係は見られないが、木口割れでは初期重量が大きい個体ほど木口割れの発生量が多い傾向が明確に見て取れる。これは、初期含水率が高い個体は、乾燥工程における減圧処理期に材長方向の含水率傾斜が大きくなり、木口付近にきっかけとなる初期割れが発生したのではないかと推察される。しかし、明確なことは、追試を行わなければ分からない。



第3-10 初期重量と材面割れ率との関係



第 3-11 図 初期重量と木口割れ率との関係



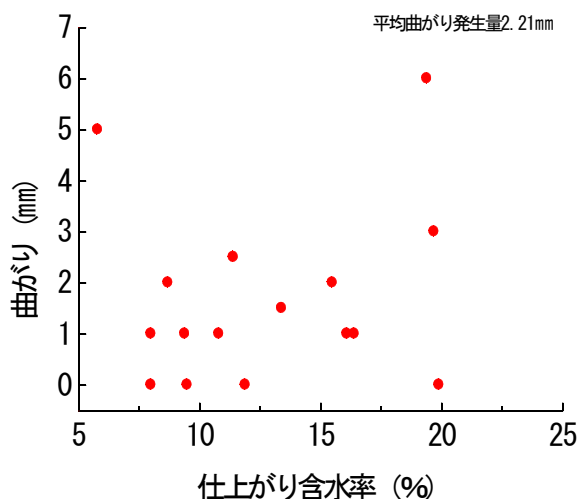
第 3-12 図 初期重量と総割れ率（材面＋木口）との関係

5) 内部割れの発生状況

内部割れは、2 個体において、腐れがある箇所には長さ 10 mm 程度のものが発生している断面があったが、その他の個体では、すべての断面において全く観察されなかった。

6) 曲がり

曲がりの発生量と仕上がり含水率との関係を第 3-13 図に示した。発生した曲がりのロット全体の平均値は約 2.2 mm であり、小さいと判断される。5～6 mm の曲がりが発生した個体は、偏心材から木取りされた材であった。乾燥に際しては、油圧プレスによって载荷しているが、これが曲がりの抑制に良好な効果を与えていると考えられる。しかし、载荷によって人工乾燥時に曲がりを抑制できたとしても、人工乾燥後の養生期間あるいは使用後に、载荷による拘束が解放されて狂いが発生することもあり、今後の挙動を確認しておく必要がある。過度な载荷は、人工乾燥の段階で各個体の材質特性に由来する狂いをあらかじめ出させ、使用後のリスクを軽減させるという木材乾燥の本来の理念に反するものではないかとも考えられる。



第 3-13 図 仕上がり含水率と曲がり量との関係

7) 変色の発生量

材色測定用試験材（赤心材）の乾燥前、乾燥後および表面仕上げ後における材色の状態を、第 3-14 図～第 3-19 図に示した。ここで用いているのは、 $L^* a^* b^*$ 表色系で、明度指数 L^* は明るさ、クロマティックネス指数 a^* は赤みの成分、クロマティックネス指数 b^* は黄色みの成分を表現するものである。

辺材では、明度指数 L^* は、乾燥によって値が小さくなり明るさが減少しているが、表面仕上げをした新しい材面では、乾燥前よりもむしろ値が大きくなり明るさが増加している。クロマティッ

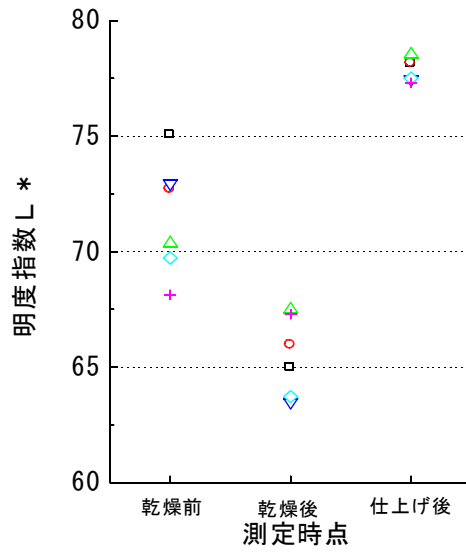
クネス指数 a^* は、乾燥によって値が大きくなり赤み成分が増加しているが、表面仕上げ後の材面では測定点全体が収束を見せ、全体平均では乾燥前と大差が無い状態にある。クロマティックネス指数 b^* も、乾燥によって値が大きくなり黄色み成分が増加しているが、表面仕上げ後の材面では測定点全体が収束を見せ、クロマティックネス指数 a^* と同様に全体平均では乾燥前と大差が無い状態にある。

一方、心材では、明度に関しては辺材と同様な傾向が見られるが、クロマティックネス指数 a^* と b^* では異なった挙動が見られる。すなわち、これらの2つのクロマティックネス指数は、ともに人工乾燥によって値が小さくなり、表面仕上げ面ではさらに値が減少している。このことは、心材部では一種の退色現象が生じ、スギ特有の赤みがかった色彩が若干失われる傾向にあることを示している。しかし、これらの変色の度合いは、高温乾燥と比較すると極端に小さなものであり、変色を抑制するという視点においては、今回の複合乾燥法は目標を達し得るものであると判断される。

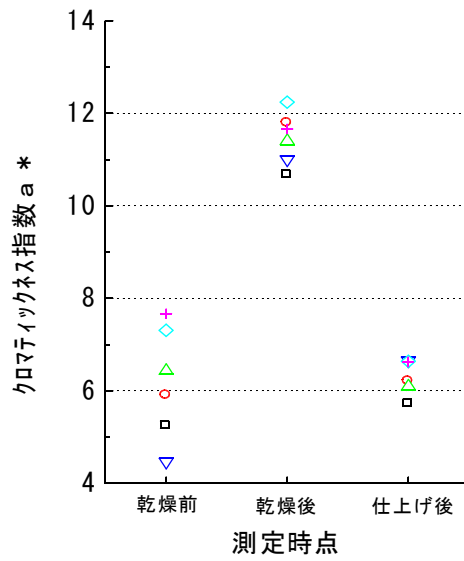
材色測定用試験材の材色の変化を、総括して第3-2表に示した。

第3-2表 乾燥による材色の変化（表面仕上げ後）

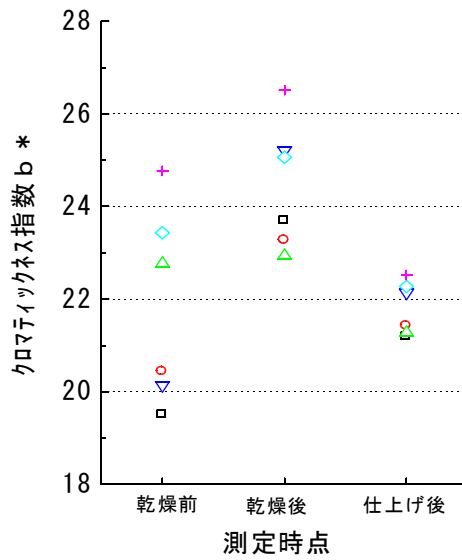
心材色	部分	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
赤色系	辺材	+6.36	+0.15	-0.04	6.36
	心材	+0.99	-3.28	-2.59	4.29
黒色系	辺材	+0.79	-0.42	+1.69	1.75
	心材	-1.39	-3.40	-0.06	3.67



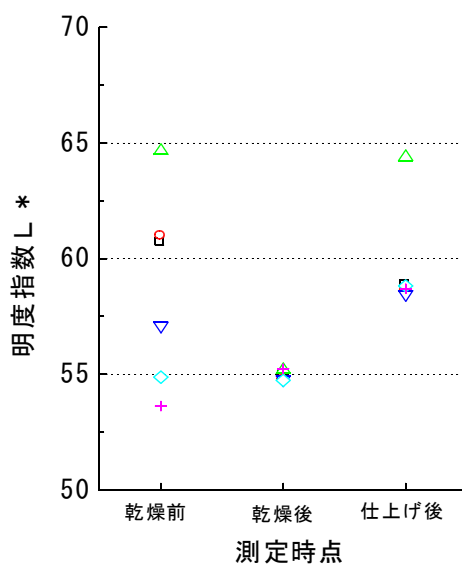
第 3-14 図 辺材の明度指数 L^* の変化 (赤心材)



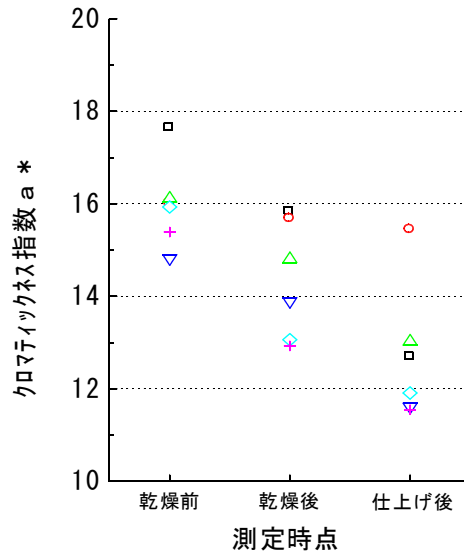
第 3-15 図 辺材のクロマティックネス指数 a^* の変化 (赤心材)



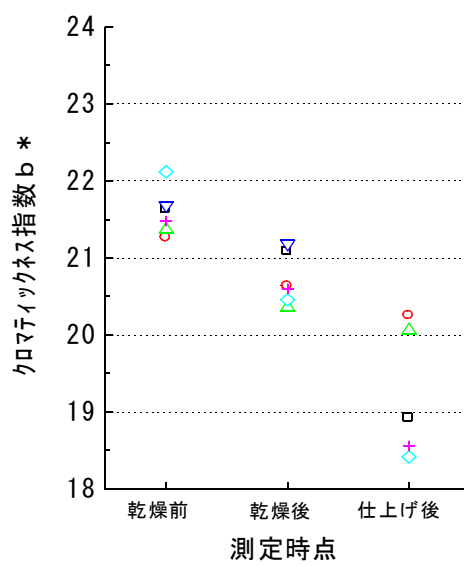
第 3-16 図 辺材のクロマティックネス指数 b^* の変化 (赤心材)



第 3-17 図 心材の明度指数 L^* の変化 (赤心材)



第 3-18 図 心材のクロマティックネス指数 a* の変化 (赤心材)



第 3-19 図 心材のクロマティックネス指数 b* の変化 (赤心材)

8) 実験1のまとめ

この実験の目的は、無背割りのスギ心持ち柱材に対して、材面割れ抑制のために、中温域（100℃未満）でのドライグセット形成の可能性を探求することであった。さらに、その後の乾燥速度も比較的大きな状態を確保すると同時に、内部割れと変色を抑制することも目標とするものであった。

今回の実験結果を総括すると、用いた複合乾燥法は、各種の因子の設定条件を工夫すれば、ある程度、当初の目的を達成できる可能性があることを示唆するものであると判断される。ただし、今回用いた複合乾燥法は、乾燥を制御するために条件を設定しなければならない因子の数が多く、今後、基礎実験を継続して行う必要がある。

4. 実験2の結果

実験結果は、概ね実験1と同様であるため、詳細な記載は省略する。詳細については、さらに乾燥試験が進行した段階で、まとめて考察を行うものとする。

実験2では、乾燥工程に調湿を意識したステップを入れたが、現段階では必ずしも十分な効果が得られていない。断面が大きな建築用材の乾燥における調湿工程の難しさを改めて認識させられ、今後課題を残している。

また、この実験では、乾燥に用いたアルミ波形電極板の性能について疑問が持たれるなど、ハード面における改良点も示唆された。熱風高周波乾燥の段階で、意図する材間風速を確保するために電極の形状を波形としているが、実験結果を分析すると風循環の状態に疑問が持たれた。次回の実験に際しては、電極の形状の改良を行うなどハード面での対応も図りながら、乾燥条件の検討を進めることが重要であり、今後の対応を検討している。

5. まとめ

本年度から、オープンラボ乾燥装置を用いた新しい複合乾燥法の開発を開始した。今後、継続して基礎的な実験を行い、高品質な乾燥材生産に向けて利用ができるように、メカニズムと効果の概略を明らかにしたいと考えている。

乾燥材の生産量は乾燥設備の導入により徐々に増加しつつあるが、乾燥材の品質自体は必ずしも向上していない。本県の製材業界が針葉樹の構造用製材の人工乾燥を開始した25年前、業界関係者は、人工乾燥によって自社製品に付加価値を与え、高品質な製品を出荷する気概に満ちていた。あれから四半世紀を経た現在、自社製品が高品質な乾燥材であると自認できている企業は、果たして数多いのであろうか。低コスト化と、心持ち無背割り材の材面割れ抑制への対応のために、不本意な仕上がり状態の製品を出荷せざるを得ないとの意見も、業界関係者から聞かれることもある。

これらの状況を踏まえ、次年度も、引き続き研究を継続する予定である。