

ホルトノキの乾燥に関する研究

井口 朝道・仲摩 和寛

1. はじめに

ホルトノキはホルトノキ科ホルトノキ属の常緑高木で、日本では関東南部から先島諸島まで分布し、低地から山地の林に広く生育する(大川・林、2016)ほか、街路樹や公園樹として植栽されている。沖縄県では、35種ある造林樹種の1つとして指定されており、記録の残る昭和60年から令和3年までの期間に12haが新植され、7~8齢級に達する人工林も現存し(沖縄県農林水産部森林管理課、2022)、今後の収穫および利用が期待される。

県産木材の利用については、沖縄県では、県産木材のブランド化を図り、家具や食器、さらに建築内装等、付加価値の高い用途である製材の利用拡大を目指しているが(沖縄県農林水産部森林管理課、2022)、一般に、広葉樹を製材利用する際は、針葉樹と比較した場合に、乾燥期間の長期化や、乾燥時のくわりや割れが生じやすい等、乾燥の困難性が大きな課題の1つとして挙げられる。

これまで県産広葉樹を対象にした木材乾燥に関する研究としては、天然乾燥試験は、イタジイ(嘉手苺、1992)、デイゴ(嘉手苺、1995)、モクマオウ・テリハボク・アカギ・タイワンフウ(嘉手苺、2007)について行われているが、ホルトノキの知見はない。また、それぞれ材厚や測定項目が異なっており、正確な樹種間の比較ができない状況にある。

一方、人工乾燥試験は、リュウキュウマツ(嘉手苺、1987)、イタジイ(嘉手苺、1992)について実施されているのみであり、ホルトノキを含め県産の主要樹種に関する基礎的なデータの蓄積は不十分な状態である。

そこで、本研究は、ホルトノキを対象に、乾

燥特性を把握するとともに、乾燥スケジュールについて検討することを目的に実施した。

2. 材料および方法

2.1 供試材料

試験には2022年7月上旬に金武町で伐採され、同月の下旬に企業組合キンモク(金武町)に搬入された3本のホルトノキの原木(No1~3)を供試した。2022年8月22、24日に材厚40mmで製材した後に、以下の3種類の乾燥試験を行った。

2.2 急速乾燥試験

ホルトノキの乾燥性の難易等を把握し、人工乾燥の適合性を評価するとともに人工乾燥の際のスケジュール条件を検討するため、無欠点小試験体を用いた急速乾燥による推定法(寺澤、1994)を行った。

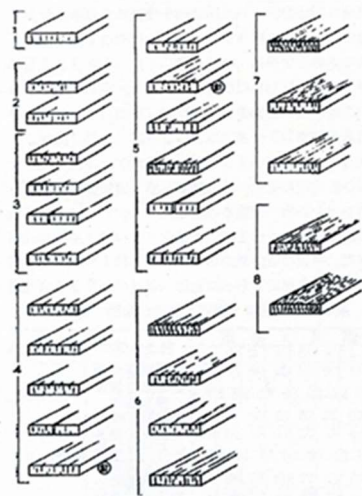
厚さ40mmで製材した翌日までに、寸法を20mm(厚さ;半径方向)×100mm(幅;接線方向)×200mm(長さ;繊維方向)した正板目無欠点小試験体の製作を行った。105℃に設定した恒温乾燥機を用いて、生材から全乾状態まで乾燥を行い、その間、試験体に発生する初期割れ、全乾状態に至った時点での断面の糸巻状変形、内部割れを観察・計測し、図-1(寺澤、1994)に従い損傷の段階を分類した。なお、各原木から計3~4枚ずつ試験体を製作し、2回に分けて試験を行った後、評価は損傷の種類毎に最も損傷の段階が大きいものを採用した。

この各損傷の段階から、人工乾燥スケジュール条件(初期乾球温度、初期乾湿球温度差、終末乾球温度)を作成する際は、表-1(寺澤、1994)のとおりとし、損傷の種類毎に選択され

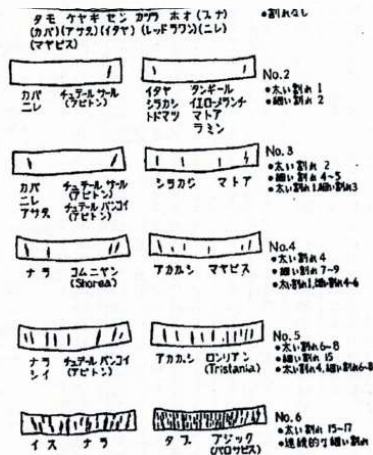
た各乾燥条件の中から最も緩やかな条件となる値を採用した。

表-1 損傷の種類と段階による乾燥条件

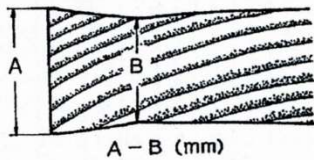
損傷の種類	損傷の段階	乾燥条件		
		初期温度	初期温度差	終末温度
初期割れ	1	70	6.5	95
	2	65	5.5	90
	3	60	4.3	85
	4	55	3.6	83
	5	53	3.0	82
	6	50	2.3	81
	7	47	2.0	80
	8	45	1.8	79
断面の糸巻状変形	1	70	6.5	95
	2	66	6	88
	3	58	4.7	83
	4	54	4	80
	5	50	3.6	77
	6	49	3.3	75
	7	48	2.8	73
	8	47	2.5	70
内部割れ	1	70	6.5	95
	2	55	4.5	83
	3	50	3.8	77
	4	49	3.3	73
	5	48	3	71
	6	45	2.5	70



第3図 乾燥初期にあらわれる割れの段階
◎は針葉樹の意球、段階の分類は割れの最も甚だしい時の状態で行う



第4図 内部割れの段階
No. 1で()をしてあるものは材質によて、No. 2~No. 3の割れの生ずる樹種



第5図 断面の糸巻状の変形の測定方法

かどの一番厚いAと1~2cm入ったところが一番薄くなっているBとの差

厚さの差 A-B(mm)	損傷の段階			
	1	2	3	4
0~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~0.2	
	5	6	7	8
1.2~1.8	1.8~2.5	2.5~3.5	3.5以上	

さらに、国産広葉樹の既往の文献値（寺澤、1994）を考慮して、乾球温度が45~60℃となる、より緩やかな条件についても作成した。

決定した乾燥条件をもとに、初期乾球温度は含水率35%まで一定とし、そこから含水率15%時に終末温度になるように、また乾湿球温度差については、初期含水率の2/3まで一定とし、そこから最終の温度差が15℃になるように調整し、乾燥経過中の含水率に応じた人工乾燥スケジュールを作成した。

2.3.1 人工乾燥試験①

ホルトノキの急速乾燥試験の結果を基に作成した人工乾燥スケジュール①の妥当性及び生材状態からの人工乾燥の適合性を検討するため、小板材を用いた人工乾燥試験を行った。

試験には、電気式木材乾燥機HD74(ヒルデブラント株式会社)を使用し、試験体は、寸法を35mm(厚さ)×150mm(幅)×600(長さ)mmとした

図-1 初期割れ(上)、内部割れ(中央)、断面の糸巻状変形(下)の損傷の分類

板目材(8枚)、追い柵目材(2枚)および柵目材(3枚)の計13枚を用いた。両木口面には、木口からの乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。供試体は試験体製作後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2022年10月24日から試験を開始し、調湿処理を経て11月4日に終了した。

本試験での乾燥スケジュール①は、急速乾燥試験の結果を基に作成した乾燥条件を使用し、乾燥温度は45~70℃とした(表-2)。

表-2 人工乾燥スケジュール①

含水率	乾球温度(°C)	温度差(°C)	湿球温度(°C)
生材 to 70	45.0	2.3	42.7
70 to 60	45.0	3.1	41.9
60 to 50	45.0	4.1	40.9
50 to 45	45.0	5.5	39.5
45 to 40	45.0	6.3	38.7
40 to 35	45.0	7.3	37.7
35 to 30	45.0	8.4	36.6
30 to 25	50.0	9.7	40.3
25 to 20	56.0	11.2	44.8
20 to 15	63.0	13.0	50.0
15 to final	70.0	15.0	55.0
Conditioning	70.0	10.0	60.0

目標含水率は家具や内装材での利活用を念頭に8%とした。

試験中は、供試個体の平均含水率に標準偏差を加えた含水率に該当する試験体2枚を含水率コントロール材としてスケジュール管理を行うこととしていたが、うち1枚の含水率の減少が他と比べて著しく遅滞したため、全体的に過乾燥とならないよう、残りの1枚でスケジュールを管理した。また、平均含水率相当の2枚を加えた計4枚について、およそ24時間毎に重量と寸法、割れを計測した。

終了時には、全ての試験体を対象に寸法、木材のくるいである、ねじれと幅ぞり(図-2)、木表、木裏両面の割れを測定した。さらに、試験

体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥終了時点の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。また、試験体中央部を切断した際に、一部の個体に内部割れがみられたため、内部割れの有無についても確認を行った。

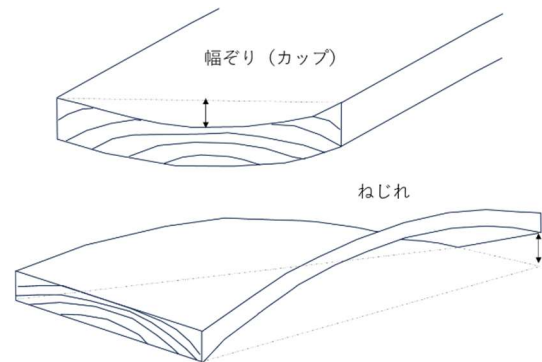


図-2 木材のくるい(幅ぞり、ねじれ)

以上の測定した項目から、方向別の収縮率、木目毎のくるいや割れ、経過日数と含水率の推移について解析し、人工乾燥スケジュール①における人工乾燥の適合性について検討した。

2.3.2 人工乾燥試験②

急速乾燥試験の結果と国産広葉樹の既往の文献値(寺澤、1994)を考慮して決定したより緩やかな乾燥条件(乾燥温度:45~60℃)から作成した人工乾燥スケジュール②(表-3)を用いて人工乾燥試験を行い、人工乾燥の適合性を検討するとともに、乾燥スケジュール①との比較を行った。

試験には、板目材(6枚)、追い柵目材(4枚)および柵目材(3枚)の計13枚を用いて、2022年10月4日から試験を開始し、調湿処理を経て10月19日に終了した。

試験体の寸法や目標含水率、および測定項目等については、人工乾燥試験①と同様である。

表-3 人工乾燥スケジュール②

含水率	乾球温度(°C)	温度差(°C)	湿球温度(°C)
生材 to 70	45.0	2.3	42.7
70 to 60	45.0	3.1	41.9
60 to 50	45.0	4.1	40.9
50 to 45	45.0	5.5	39.5
45 to 40	45.0	6.3	38.7
40 to 35	45.0	7.3	37.7
35 to 30	45.0	8.4	36.6
30 to 25	48.0	9.7	38.3
25 to 20	52.0	11.2	40.8
20 to 15	56.0	13.0	43.0
15 to final	60.0	15.0	45.0
Conditioning	60.0	11.0	49.0

2.4 天然乾燥試験

ホルトノキの天然乾燥の適合性を評価するとともに、人工乾燥との効率的な組み合わせ方法について検討するため、小板材を用いた天然乾燥試験を行った。

試験には、板目材(7枚)、追い柵目材(2枚)および柵目材(4枚)の計13枚を用いて、森林資源研究センター木材実験棟の屋根のある半屋内空間に積み重ねて行った(図-3)。なお、供試体の寸法や事前の処理は人工乾燥試験と同様である。

2022年8月31日から試験を開始し、乾燥期間中は、開始約1ヵ月間は週に2回、その後は1週間に1回の頻度で重量、寸法および割れを計測し、全ての試験体の重量が平衡状態となった2022年11月28日に終了した。



図-3 天然乾燥試験の積み重ね状況

終了時には、人工乾燥試験と同様に幅ざり、ねじれを測定し、試験体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥後の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。

以上の測定した項目から、乾燥後の方向別の収縮率、乾燥期間中の経過日数と含水率の推移、含水率と収縮率の関係について解析し、天然乾燥時の乾燥特性について検討を行った。

3. 結果及び考察

3.1 急速乾燥試験

急速乾燥試験によって確認された各損傷の程度は、初期割れ6、断面変形4、内部割れ6となった(図-4)。これらを評価することで得られた乾燥条件を表-4に示す。また、乾燥初期から終期までの乾燥スケジュール①は図-5のとおりとなった。



図-5 各損傷の程度

(上：表面割れ、下：内部割れ)

表-4 急速乾燥試験から求めた乾燥条件

損傷の種類	評価値	乾燥条件 (単位: °C)		
		初期温度	初期温度差	終末温度
初期割れ	6	50	2.3	81
断面変形	4	54	4.0	80
内部割れ	6	45	2.5	70
総合評価		45	2.3	70

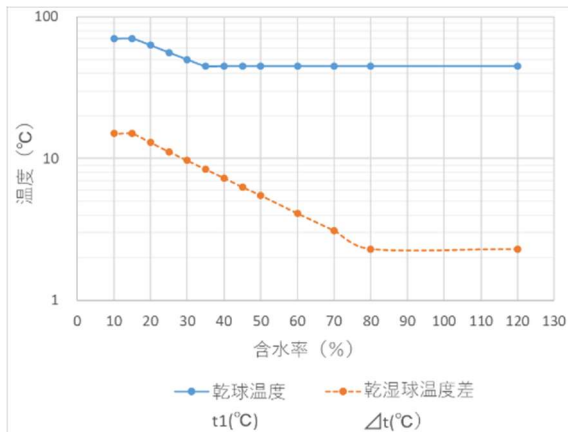


図-5 ホルトノキの乾燥スケジュール①

また、国産広葉樹の既往の文献値（寺澤、1994）を考慮してより緩やかになるよう設定した乾燥条件を表-5 に、その場合の乾燥スケジュール②を図-6 に示す。

表-5 より緩やかな乾燥条件

乾燥条件 (単位: °C)		
初期温度	初期温度差	終末温度
45	2.3	60

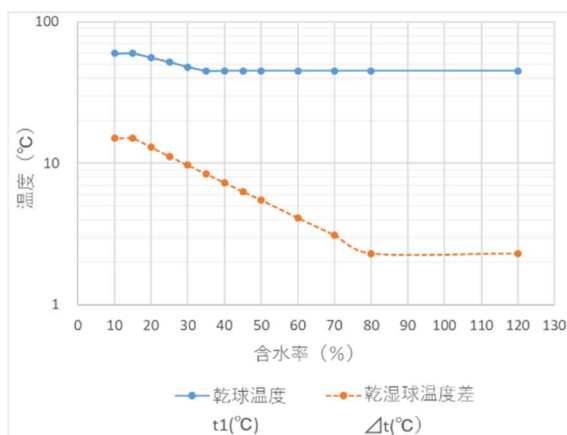


図-6 ホルトノキの乾燥スケジュール②

3.2.1 人工乾燥試験①

人工乾燥試験①(乾燥温度: 45~70°C)における木目毎の乾燥特性を表-6 に、また、試験中の管理材の含水率の推移を図-7 に示す。平均の最終含水率については、板目材では、生材状態から11日目に調湿処理を行うことで目標含水率に近い8%程度となった。一方で、追い桎、桎目材では10%を超え、一部で目標含水率に到達していない供試体がみられた。

平均の収縮率については、板目材では幅方向(6.3%)、桎目材では厚さ方向(6.3%)とそれぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられたが、国産の主要な広葉樹材(3.9~8.9%) (信田・河崎、2020)と比較して特に大きな値ではなかった。

表面割れは計5枚で確認されたが、板目材、追い桎のそれぞれ1枚については樹芯および節由来の割れであった。なお、平均表面割れ(cm)は、割れた供試体のみでの平均値を表す。

くるいについては、幅そりは特段大きい値を示さなかったが、ねじれは木目を問わず4~6mmとなった。内部割れは、全ての木目で確認され、計4枚であった。

次に、試験終了時の厚さ方向の含水率分布を図-8 に示す。追い桎目材である材番号3-4-2(個体番号-製材位置-鉛直方向位置)については、内部の含水率が30%以上と高い上に、材中央部と材表面との差も大きく、明らかに乾燥が不十分であった。また、桎目材の3-6-1、2-6-1、板目材の3-9-2についても平均の含水率が10%を超え、乾燥が不十分と判断された。これらの材の人工乾燥開始時点の含水率は97~144%で、他の試験体(81~106%)に比べ初期含水率が非常に高いとは言えず、乾燥が十分に進まなかった要因については不明である。材中央部と材表面との差が1.0%程度に抑えられており、全体的に8%程度であった供試体数は、13枚中2枚と少なかった。

表-6 人工乾燥試験①における乾燥特性

測定項目	木目			
	追い柵	板目	柵目	
供試体数 (枚)	2	8	3	
乾燥後平均含水率 (%)	17.4%	8.3%	11.2%	
平均収縮率 (%)	長さ方向	0.1%	0.1%	0.1%
	厚さ方向	5.2%	3.3%	6.3%
	幅方向	4.1%	6.3%	3.8%
平均ねじれ (mm)	5.0	4.3	6.0	
平均幅そり (mm)	1.0	1.6	0.9	
表面割れ (枚)	1	4		
平均表面割れ (cm)	14.4	18.7		
内部割れ (枚)	1	3	1	

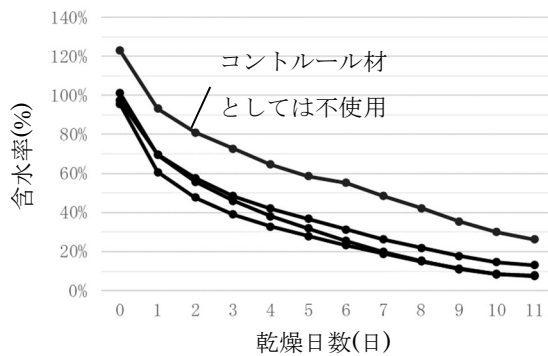
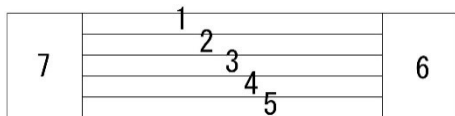
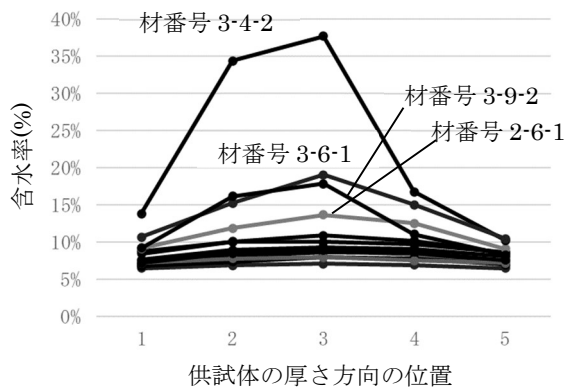


図-7 人工乾燥中の含水率の経過



含水率分布試験片の模式図

図-8 終了時の厚さ方向の含水率分布

3.2.2 人工乾燥試験②

人工乾燥試験②(乾燥温度：45～60℃)における木目毎の乾燥特性を表-7 に、また、試験中の含水率の推移を図-9 に示す。木目毎に平均した最終含水率については、板目材では、生材状態から15日目に調湿処理を行うことで目標含水率に近い8.1%となった。一方で、追い柵目材では約10%、柵目材では約11%となり、一部で目標含水率に到達していない供試体がみられた。

平均の収縮率については、板目・追い柵目材では幅方向(順に6.3%、5.2%)、柵目材では厚さ方向(6.8%)とそれぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられたが、国産の主要な広葉樹材(3.9～8.9%) (信田・河崎、2020)と比較して特に大きな値ではなかった。

表面割れは計4枚で確認されたが、追い柵目材、柵目材の3枚については樹芯由来の割れであった。平均のくりにについては、幅そりは特段大きい値を示さなかったが、ねじれについては、木目を問わず7～9mmとなった。内部割れは、追い柵目材、板目材でそれぞれ2枚が確認された。

試験終了時の厚さ方向の含水率分布を図-10 に示す。柵目材である材番号1-5-2(個体番号-製材位置-鉛直方向位置)については、全体的に含水率が10～32%と高い上に、材中央部と材表面との差も大きく、明らかに乾燥が不十分であった。また、板目材の3-2-2、追い柵目材の3-7-2についても含水率15%を超える部位が存在し、乾燥が不十分と判断された。これらの材の人工乾燥開始時点の含水率は103～137%で、他の試験体(81～113%)に比べ初期含水率が非常に高いとは言えず、乾燥が十分に進まなかった要因については不明である。材中央部と材表面との差が1%程度に抑えられており、全体的に8%以下であった供試体数は、13枚中6枚であった。

図

表-7 人工乾燥試験②における乾燥特性

測定項目	木目		
	追い柵	板目	柵目
供試体数 (枚)	4	6	3
乾燥後平均含水率 (%)	9.8%	8.1%	11.2%
平均収縮率 (%)	長さ方向	0.2%	0.2%
	厚さ方向	5.1%	3.5%
	幅方向	5.2%	6.3%
平均ねじれ (mm)	8.7	8.2	7.1
平均幅ぞり (mm)	1.6	1.3	2.1
表面割れ (枚)	1	1	2
平均表面割れ (cm)	11.0	42.8	35.7
内部割れ (枚)	2	2	0

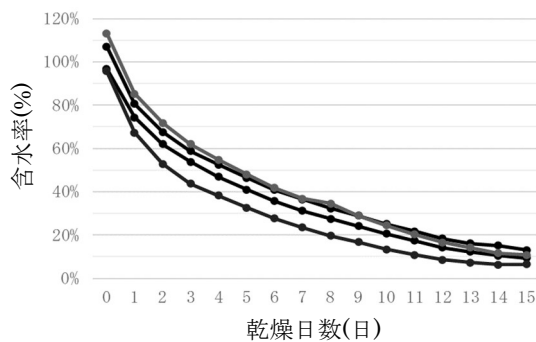


図-9 人工乾燥中の含水率の経過

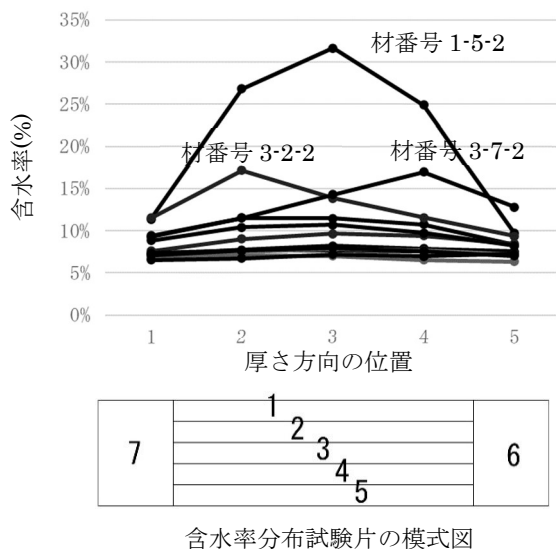


図-10 終了時の厚さ方向の含水率分布

3.2.3 人工乾燥試験①、②の評価

今回、スケジュールを変えて 2 回の人工乾燥試験を77行った。終末温度が高いスケジュール①では、乾燥終了までの日数は11日となり、スケジュール②の15日に対して4日間の短縮となった。しかし、2つの乾燥初期の条件は同一（初期乾球温度：45℃、初期乾湿球温度差：2.3℃）であったのに対し、含水率が70%以下に下がるに、①では1日、②では3日と乾燥初期の段階で2日間の差が生じており、これはコントロールに用いた供試体の初期含水率に10%程度の差があったことに起因していると考えられ、スケジュールの違いが4日間の差を生じさせたものではないと推察された。

次に2つのスケジュールの違いによる木材のくるいについて比較したところ図-11のとおりとなった。ここで、くるいに着目したのは、製材時の歩留まりに大きな影響を及ぼすためである。なお、くるいの発生に影響を与える木目と含水率については条件を揃えるため、対象は柵目を除いた板目と追い柵目材とし、含水率が目標含水率に近い9%以下のものとした。

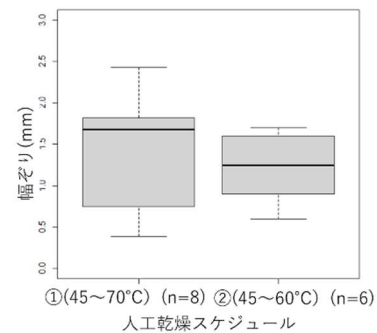
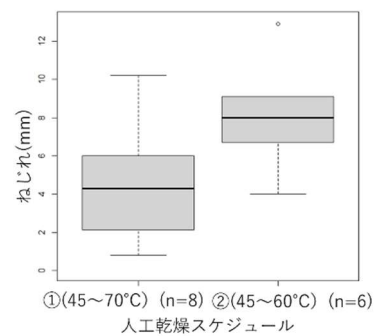


図-11 スケジュール毎のくるい (上：ねじれ、下：幅ぞり)

ねじれは、終末の乾燥温度が高いスケジュール①のほうが優位に小さい値となった（ウェルチのt検定、 $P < 0.05$ ）一方で、幅ぞりについては有意な差はみられなかった。緩やかな乾燥条件である②でねじれが大きく発生したことの原因は不明であるが、少なくとも終末の乾球温度を60℃から70℃に高くした場合でもくるいが大きく発生することは確認されなかった。

内部割れは、両スケジュールのいずれも13枚中4~5枚と3割以上の高頻度で発生した。この内部割れは、木材の利用価値を大きく損なうことになる上、材表面からは確認できず、木工事業者が乾燥板材を購入後、自身で製品製作のために加工する際に初めて明らかになるため、県産木材のイメージを大きく低下させる懸念がある。内部割れは、乾燥初期に材表面と中央部との間の含水率差により、材中央において圧縮応力によるドラインゲット（圧縮セット）が形成され、その後、乾燥終期の含水率差が小さくなる段階で、相対的に中央部で収縮が進み引張応力が生じることで発生することが知られている（信田・河崎、2020）。

今回、乾燥初期の温度を45℃と十分に低くした場合においても内部割れが発生したことから、ホルトノキについては乾燥初期に材表面と中央部で大きな含水率差を生じる要因となる、生材からの人工乾燥については好ましくないと考えられた。

3.3 天然乾燥試験

供試した13枚を木目毎に分けて、天然乾燥試験における乾燥特性を示す（表-8）。乾燥後の平均含水率はいずれも約17%程度で、一般的な気乾含水率である15%より若干高い値となった。

平均収縮率は、板目、追い柵材では幅方向（順に4.0%、3.2%）、柵材材では厚さ方向（5.1%）と、それぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられたが、人工乾燥時の平均収縮

率より小さくなった。

平均のねじれは木目毎に2~5mm程度、幅ぞりは1mm程度であり、くるいについても、人工乾燥時よりそれぞれ小さい値を示した。

表面割れは、樹芯の影響により板目材の1枚に木表・木裏計で40cm程度が確認されたが、それ以外では大きな割れは確認されなかった。

また、人工乾燥の際に確認された内部割れは天然乾燥では見られなかった。

表-8 天然乾燥試験における乾燥特性

測定項目	木目			
	追い柵	板目	柵目	
供試体数 (枚)	2	7	4	
乾燥後平均含水率 (%)	17.2%	16.6%	16.7%	
平均収縮率 (%)	長さ方向	0.0%	0.1%	0.0%
	厚さ方向	2.5%	2.5%	5.1%
	幅方向	3.2%	4.0%	2.2%
平均ねじれ (mm)	1.9	5.0	5.0	
平均幅ぞり (mm)	1.1	1.5	0.8	
表面割れ (枚)	1	1	0	
平均表面割れ (cm)	7.5	38.9	-	
内部割れ (枚)	0	0	0	

図-12 に天然乾燥中の含水率の推移を示す。初期含水率が80%~104%と比較的低かった試験体は、開始後40日程度で平衡状態に達したが、初期含水率が95~141%程度とやや高かったものは、平衡状態に達するまで90日程度を要した。個体差はあるものの、初期含水率が乾燥期間に大きな影響を与えることが確認された。含水率と収縮率の関係については図-13に示すとおりである。含水率が高い状態から収縮が始まる供試体ほど、最終の収縮率が大きくなる傾向が見られた。試験終了時の厚さ方向の含水率分布については、材中央部が材表面と比較して高く、差が1%程度に抑えられている供試体は13枚中6枚であった（図-14）。

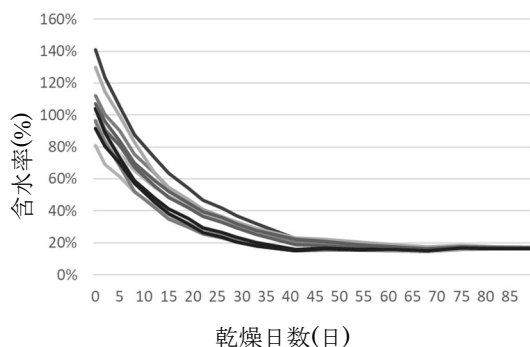


図-12 天然乾燥中の含水率の推移

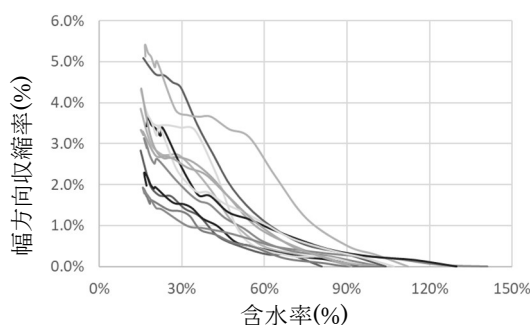


図-13 含水率と幅方向の収縮率の関係

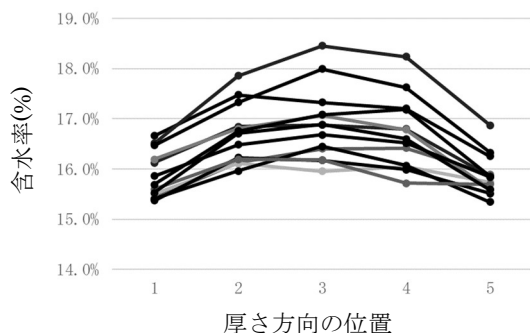


図-14 終了時の厚さ方向の含水率分布

4. まとめ

今回、ホルトノキを対象に急速乾燥試験を経てスケジュールを変えた 2 回の人工乾燥試験および天然乾燥試験を行い、その際の、小板材の材の収縮やくるい、割れの発生状況等、材の乾燥特性について評価を行った。

天然乾燥では、8 月末という比較的暑い時期から開始したが、初期含水率が 100%を超える 35mm のホルトノキ材は平衡状態に達するまで約 3 カ月程度を要した。しかし、終了時の 11

月末時点の含水率は 17%とやや高止まりしている傾向がみられた。冬季には大気中の湿度が下がり、平衡含水率は下がっていくため、これ以降も緩やかに乾燥は進んでいくものと予想されることから、実際の現場において天然乾燥を行う場合は、乾燥が一定程度進んだ状態で冬季を経過することが望ましいと考えられた。

生材から人工乾燥を行った場合、2 週間程度で板目材の平均含水率は目標含水率の 8%に到達することが確認され、人工乾燥により乾燥期間が大幅に短縮されることは明らかとなった。その一方で、人工乾燥材では、より緩やかなスケジュールにした場合でも高頻度で内部割れが生じることが判明したため、生材からの人工乾燥については控えたほうが良いと推察された。

また、全体的に天然乾燥の材が人工乾燥のものと比較して、収縮やくるい、割れが抑えられている結果となったが、これは試験終了時の含水率が異なっていることが大きく影響していると考えられ、今後は、天然乾燥後に仕上げの人工乾燥を行い、含水率を揃えた状態で乾燥特性を把握することが求められる。

さらに、これまで沖縄県内で造林され、今後利用が期待される沖縄県産樹種は他にも多数存在しており、これらの主要樹種を対象に、条件を揃えた同様の試験を行うことで、樹種間の乾燥特性の比較検証を可能にし、木材利用に適した沖縄県産樹種の選定を進めていくことが、将来の沖縄県の林業・木材産業の発展には重要と考える。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材研究部門 木材加工・特性研究領域 木材乾燥研究室の吉田室長および齋藤チーム長から調査手法についてご教授頂き実施しており、この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

- 嘉手苺幸男(1987)沖縄県林試研報 30 : 111-115
- 嘉手苺幸男(1992)沖縄県林試研報 35 : 19-30
- 嘉手苺幸男(1995)沖縄県林試研報 38 : 55-58
- 嘉手苺幸男(2007)沖縄県林試研報 50 : 23-31
- 信田聡・河崎弥生編(2020)木材科学講座 7 木材の乾燥 I 基礎編 : 79-81、91
- 沖縄県農林水産部森林管理課(2022)沖縄の森林・林業 令和4年版:17、40
- 大川智史・林将之(2016)ネイチャーガイド琉球の樹木:81-89
- 寺澤眞(2004)木材乾燥のすべて—改訂増補版— : 230-246、394-402