ヒノキ高温乾燥材の強度・耐久性評価と乾燥方法の開発

誌名	愛媛県農林水産研究所林業研究センター研究報告
ISSN	13489534
著者名	松岡,真悟 加藤,眞吾
発行元	愛媛県農林水産研究所林業研究センター
巻/号	28号
掲載ページ	p. 13-20
発行年月	2010年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

愛媛県林研研報　28：13－20　2010

〈資料〉

ヒノキ高温乾燥材の強度・耐久性評価と乾燥方法の開発

松岡真悟・加藤眞吾
Shingo MATSUOKA, Shingo KATOH

乾燥による加熱がヒノキの耐久性・強度に及ぼす影響について小試験体試験を実施したところ、木材腐朽菌による腐朽度合いにおいては乾燥温度による差が無く、曲げ性能及び縦圧縮強度については、平衡含水率の影響から、乾燥温度が高いほど高くなる傾向が見られた。さらに、心持ち柱角実大材を用いて、割れの少ない高温乾燥スケジュールを検討したところ、乾球温度120℃の加熱を12～16時間程度施した後、100℃未満に下げる方法(乾湿球温度差30℃)で、表面割れと内部割れの発生をバランス良く抑制できることが実証され、これをもって、ヒノキ乾燥スケジュールの基本になるものと思われた。

キーワード － ヒノキ、高温乾燥、耐久性、強度、割れ

1. 緒言

愛媛県のヒノキの人工林面積は108千haと資源が豊富であり、平成19年の素材生産量は196千m³で全国第１位であった。また、本県のヒノキは民有林人工林蓄積の約40％を占めており、今後は伐採適期を迎えたヒノキ材の生産が増えていくものと予想される。一方で、木材の供給先である住宅においては、近年、使用木材に厳しい品質が要求されるようになっており、ヒノキ材についても割れや寸法の狂いが少ない人工乾燥材に対するニーズが高まっている。

ヒノキの人工乾燥は、今まで材色を重視する中温乾燥(乾燥温度100℃未満)が一般的であった。しかし最近ではヒノキ製材の価格低迷によって、乾燥コストの縮減や表面割れを抑制した仕上がり状態への要求が高まってきたため、現行の中温乾燥では対応できなくなりつつある。一方、高温乾燥は、乾燥温度を100℃以上に高めることによって急速に乾燥させ、表面割れを抑制できる。そのため、スギ乾燥材の実用技術として普及しているが、今後はヒノキに対しても高温乾燥技術の応用が避けられない状況になってきた。

しかしながら、高温乾燥はこのようなメリットが期待できる反面、高温での湿熱処理が木材の耐久性や強度に影響を与える恐れがあることがスギ材の事例で報告されている(例えば加藤ら(2006))。一般的にヒノキは、強度や耐久性の面でも優れており、加藤ら(2005)や松岡(2009)による野外暴露試験の結果でも高い耐久性評価を得ている。最近では、ヒノキは、土台等高い耐久性・強度が要求される部材にも多く使用されるため、ヒノキに高温乾燥を行う際には、耐久性・強度への影響を適正に評価することがより重要であると考えられる。

このため本課題では、乾燥によるヒノキへの加熱が、耐久性・強度に及ぼす影響について節等の欠点を含まない小試験体を用いて解明し、さらに、心持ち柱角実大試験体を用いて、割れの抑制も考慮した高温乾燥スケジュールを開発する。

2. 供試材料及び試験方法

2.1 小試験体試験

2.1.1 供試材料と乾燥方法

４本の愛媛県産ヒノキ原木から、乾燥条件ごとに辺材17本、心材12本の４cm角試験体(長さ120cm)を採取した(表－１)。なお、４cm角材は、次に行う乾燥処理の区分間(表－２)で、動的ヤング率に

有意差が生じないようにグループ分けした。また、乾燥条件ごとの各原木からの採取本数は同じにした。

表－1　ヒノキ原木の性状

番号	年輪数	平均年輪幅 辺材 mm	平均年輪幅 心材 mm	長さ cm	直径 末口 cm	直径 元口 cm	密度 kg/m³	乾燥条件当りの4cm角試験体採取本数 辺材 本	乾燥条件当りの4cm角試験体採取本数 心材 本
1	35	3.5	3.6	449	29.6	42.7	689	5	4
2	39	2.4	2.9	409	28.2	31.3	643	4	2
3	45	2.4	2.9	435	29.6	35.7	629	4	3
4	40	2.4	3.7	450	29.5	41.4	638	4	3
							計	17本	12本

表－2　4cm各試験体の乾燥方法

処理区分	乾球温度[℃]	湿球温度[℃]	処理内容[時間]	試験体数
A	120	90	36	辺材17体 心材12体
B	105	75	36	辺材17体 心材12体
C	90	60	36	辺材17体 心材12体
D	75	45	36	辺材17体 心材12体
E	天然乾燥(恒量まで)			辺材17体 心材12体

乾燥後は、動的ヤング率を測定し、プレーナー処理によって二方まさの2cm角材に仕上げた(以後、小試験体原材料と言う)。

2.1.2　耐久性試験(木材腐朽試験)

小試験体原材料から、長さ1cmの無欠点試験体を2体ずつ切り出した。また、対照として、同サイズのスギ辺材も18個用意した(2種類のスギ辺材から9体ずつ採取)。これらの試験体は、60℃中での恒量(試験前重量)を計測した後、プロピレンオキシドを用いてガス滅菌した。その後、これらの試験体を2グループに分け、それぞれに、JIS K 1571-1998「木材防腐剤の性能基準及び試験方法」に準じた木材腐朽試験を施した。なお、使用した木材腐朽菌は、

糸状菌 *Fomitopsis palustris*(オオウズラタケ)
糸状菌 *Trametes versicolor*(カワラタケ)

の2種類で、これらは(独)農業生物資源研究所ジーンバンクから配布を受けた。

試験体は、12週間後に取り出し、汚れを取り除いた後に、60℃乾燥を施し、恒量(試験後重量)を測定し、次式により重量減少率を算出した。

重量減少率[%]＝
(試験前重量－試験後重量)/試験前重量×100

2.1.3　強度試験

小試験体原材料から、長さ32cm、30cm、4cmの無欠点試験体を1体ずつ切り出し、それぞれにJIS Z 2101「木材の試験方法」に準じた曲げ試験、縦圧縮試験、衝撃曲げ試験を施した(以後JIS試験と称する)。

2.2　実大材乾燥スケジュール試験

2.2.1　供試材料と乾燥方法

約13.5cm角×長さ3mの心持ち柱角生材を20本用意し、この3m材から90cmの短材を3本採取して、両木口面をシリコンシールした。これと同時に短材の端と間から、合計4枚の板(約2cm厚さ)を採取して含水率測定に供した。含水率測定では、所定の距離をもとに割裂して、髄から材表面までの含水率傾斜を計測した。なお、90cm短材の生材時含水率は、両端の含水率の平均とした。

得られた60体の試験体を10本ずつ6グループに分け、1期から6期までの6種類の乾燥スケジュールを試行した(表－3)。乾燥機は日本電化工機株式会社製の乾燥スケジュール試験機DK－IHE型を使用した。なお、1，3，6期、2，4，5期はそれぞれ試験体がエンドマッチしたものである。

表－3　90cm短材の試行別乾燥スケジュール

乾燥区分	蒸煮	乾燥工程 1	乾燥工程 2	乾燥工程 3	事後処理
1期	90℃ 6時間	120℃一定			
2期		105℃一定			
3期		120℃12時間	100℃24時間	90℃一定	
4期		120℃12時間	105℃一定		
5期		120℃18時間	100℃一定		調湿処理
6期		120℃18時間	100℃一定		

※乾球－湿球温度差は30℃

乾燥後は、表面割れ面積(割れ長さ×最大割れ幅×0.5)を測定した。さらに、長さ方向のおよそ半分の位置でカットして、内部割れ面積(割れ長さ×最大割れ幅×0.5)と含水率傾斜(前述の方法と同様)を測定した。

6期乾燥では、内部割れの発生状況を確認するための、特別な試験を行った。すなわち10本中4本の試験体において、半分の長さに分割し、分割面をシリコンシールしたうえで、一方を120℃12時間経過時に取り出し、もう一方は18時間後に取り出して、120℃高温セット時の内部割れを調査した。

2.2.2 強度試験

乾燥前後の動的ヤング率を測定した(5期を除く)。

1期から4期までの乾燥後試験体(未仕上げ材)から、長さ30cm短柱を採取し、縦圧縮試験を実施した。

5期乾燥後試験体を120mm角にプレーナー仕上げし、材の長さ方向のほぼ中央部にて、めり込み試験を実施した。試験方法は財団法人日本住宅・木材技術センター(2000)構造用木材の強度試験法に準じ、めり込み板には幅9cmの鋼板を用いた。

2.3 3m材高温乾燥実証試験

4mの県産ヒノキ原木35本から、135mm角材を製材し、さらに、両端を50cmずつ切り落として3m材を採取した。これらを表－4のとおり18本と17本の2グループに分け、2回の乾燥試験を実施した。

表－4 使用したヒノキ原木の性状

乾燥区分	直径 末 cm	直径 元 cm	年輪数 全体	年輪数 心材	心材率 長さ %	密度 kg/m³	動的ヤング率 kN/mm²
1回目	20.1	24.3	36.9	25.7	74.3	783	10.4
	(1.7)	(2.4)	(6.9)	(6.0)	(5.3)	(71.6)	(1.0)
2回目	20.8	24.3	45.0	31.4	76.8	778	11.4
	(1.5)	(2.2)	(14.8)	(12.7)	(5.0)	(60.6)	(1.4)

※上段:平均値　下段():標準偏差

乾燥スケジュールは、2.2 実大材乾燥スケジュール試験の検討結果から判断し、表－5のとおりとした。なお、生材時含水率は、3m材の両端から採取した約2cm厚さの板を用いて、2.2.1に示した方法と同様に測定した。さらに乾燥前には、動的ヤング率を測定した。

乾燥後の材は、表面割れ面積及び動的ヤング率を測定後、材端の約30cm(以後　元、末と称す)及び材中央部(以後　中央と称す)をカットし、内部割れ面積(割れ長さ×最大割れ幅×0.5)及び含水率傾斜を測定した。

表－5 3m材高温乾燥スケジュール

区分	本数[本]	スケジュール[時間] 蒸煮	120℃	100℃	90℃	80℃	調湿(75-70℃)
1回目	18	80～90℃ 5時間	18	62	—	—	—
2回目	17	90℃ 6時間	12	-	24	103	12

3. 結果及び考察

3.1 小試験体試験結果

3.1.1 乾燥前後の動的ヤング率と含水率

4cm角材の乾燥前後の動的ヤング率と含水率を、それぞれ表－6、表－7に示す。

動的ヤング率は、乾燥前には、平均値が乾燥処理区分間でほぼ等しくなるようにグループ分けしていたが、乾燥後にも有意差は見られなかった。乾燥後の含水率は、人工乾燥のうち、90℃以上の乾燥では5%前後に、75℃の乾燥では6%前後に、そして、天然乾燥では12%台に仕上がった。

表－6 小試験体の乾燥前後の動的ヤング率

[kN/mm²]

	処理区分	A	B	C	D	E
辺材 n=17	乾燥前	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
		(1.3)	(1.3)	(1.3)	(1.4)	(1.4)
	乾燥後	11.9	11.6	11.6	11.3	11.2
		(1.5)	(1.4)	(1.4)	(1.4)	(1.5)
心材 n=12	乾燥前	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
		(1.0)	(1.0)	(1.1)	(1.0)	(1.1)
	乾燥後	12.2	11.9	11.9	11.8	11.4
		(1.2)	(1.1)	(1.2)	(1.2)	(1.2)

※上段:平均値　下段():標準偏差

表－7 小試験体の乾燥前後の含水率

[%]

	処理区分	A	B	C	D	E
辺材 n=17	乾燥前	108	105	101	106	102
		(23)	(33)	(24)	(28)	(26)
	乾燥後	5.16	5.08	4.82	5.77	12.8
		(0.10)	(0.09)	(0.10)	(0.31)	(0.29)
心材 n=12	乾燥前	39.7	37.0	33.4	32.0	37.5
		(5.2)	(5.4)	(3.0)	(2.9)	(6.7)
	乾燥後	5.05	4.98	4.90	6.07	12.9
		(0.23)	(0.22)	(0.09)	(0.40)	(0.46)

※上段:平均値　下段():標準偏差

3.1.2　耐久性試験(木材腐朽試験)結果

木材腐朽試験後の重量減少率を表－8に示す。

表－8　木材腐朽試験による重量減少率

[%]

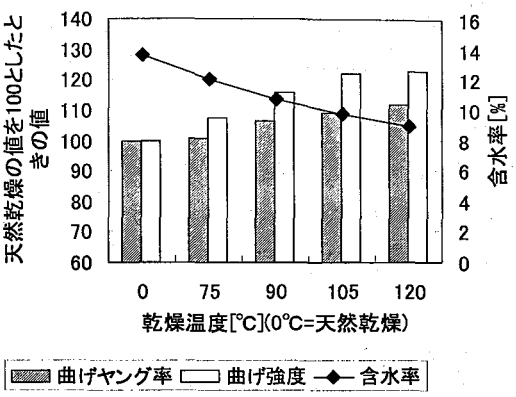
腐朽菌	処理区分	A	B	C	D	E	スギ
オオウズラタケ	辺材	50.9	46.0	51.0	61.2	58.4	58.9
		(24)	(24)	(24)	(4.8)	(16)	(3.4)
	心材	1.70	−0.83	6.25	6.38	5.89	
		(5.3)	(0.7)	(19)	(20)	(20)	
カワラタケ	辺材	0.38	0.59	0.77	−0.11	−0.01	2.29
		(0.3)	(0.5)	(0.8)	(0.7)	(0.5)	(5.1)
	心材	0.33	0.82	0.51	0.38	0.01	
		(0.5)	(0.7)	(0.4)	(0.6)	(0.3)	

※上段:平均値　下段():標準偏差

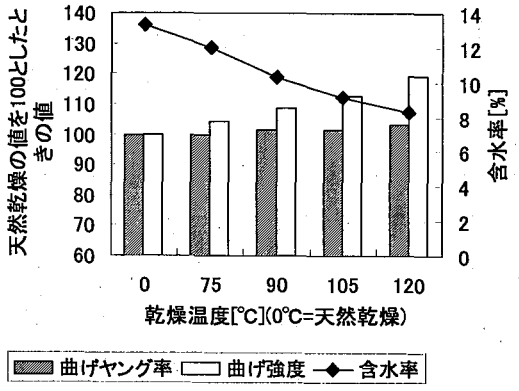
カワラタケでは、ほとんど重量減少が見られなかったため、もう一度検証が必要と思われたが、スギとの間では明確な差が得られた。一方でオオウズラタケでは、辺材部分で45%～60%程度、心材部分で2%～7%程度の重量減少が見られた。オオウズラタケの重量減少率は、個体によってバラツキが大きかったものの、辺材、心材ともに、乾燥処理区分間及び対照のスギとの間に、有意差は見られなかった。腐朽試験は、状態によりかなり結果が異なる場合もあると思われ、より深い検証が必要と考えるが、寺西ら(2006)の報告によると、オオウズラタケによる腐朽試験において、スギ心材では、高温乾燥で中温乾燥・天然乾燥と比べ、有意差をもって質量減少が高いとしているものの、ヒノキ心材では、乾燥条件間での明確な差を確認していない(一方、カワラタケでの試験では、ヒノキ心材において乾燥条件間に有意な差を確認している)。これらのことから、今後より詳細な確認作業が必要ではあるものの、乾燥温度は、ヒノキの耐朽性に特に大きくは影響しないものと推測した。

3.1.3　強度試験結果

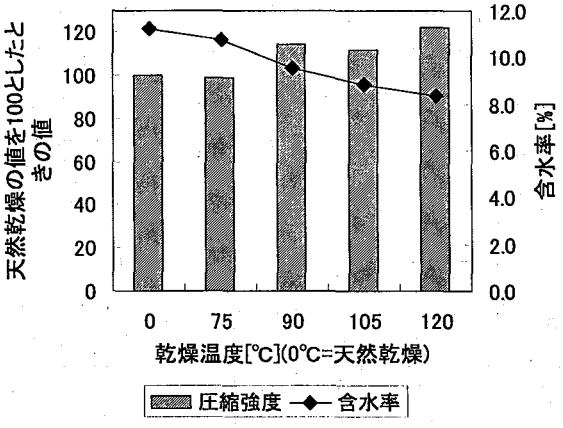
JIS 曲げ試験の結果(平均値)を図－1(辺材)及び図－2(心材)に、JIS縦圧縮試験の結果(平均値)を図－3(辺材)及び図－4(心材)に、JIS衝撃曲げ試験の結果(平均値)を図－5(辺材)及び図－6(心材)に示す。ただし、乾燥処理条件間の比較のため、強度指標については便宜的に「天然乾燥材の値を100としたときの値」とした。



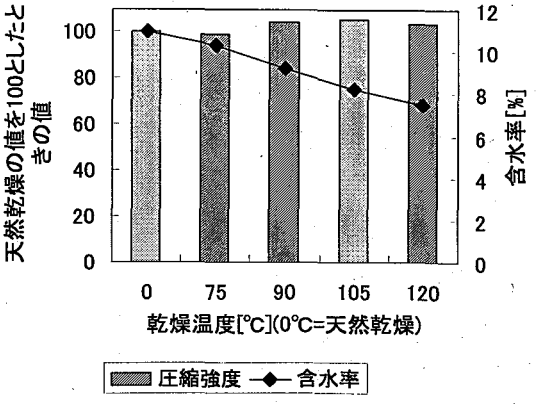
図－1　JIS曲げ試験結果(辺材)



図－2　JIS曲げ試験結果(心材)

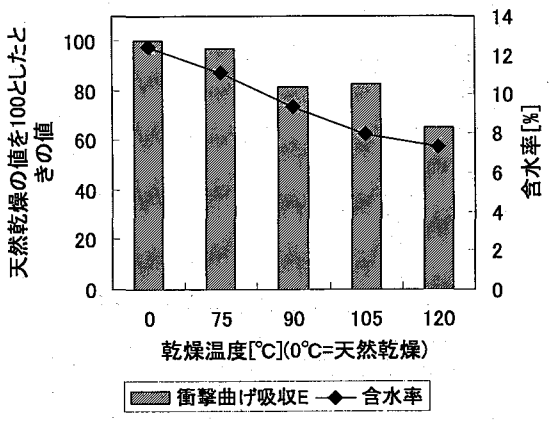


図－3　JIS縦圧縮試験結果(辺材)

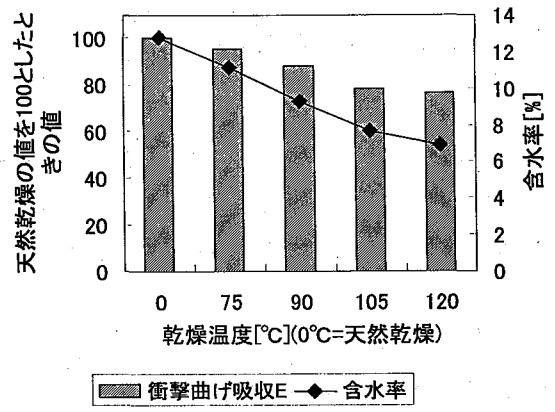


図－4　JIS縦圧縮試験結果(心材)

曲げ強度性能と圧縮強度については、乾燥温度が高いほど高くなる傾向が見られた。これは、乾燥温度が高いほど平衡含水率が低くなることが一因と思われた。



図－5　JIS衝撃曲げ試験結果(辺材)



図－6　JIS衝撃曲げ試験結果(心材)

衝撃曲げ性能は、衝撃曲げ吸収エネルギーを指標としたが、曲げや圧縮性能と違い、乾燥温度が高いほど衝撃曲げ性能が低くなる傾向が見られた。乾燥温度が高く、平衡含水率が低くなることで、材の粘性が失われたことが原因と思われた。

構造用部材としての実用上、衝撃曲げ性能よりも、曲げ、圧縮性能の方がより問題が大きいため、ここでは曲げや圧縮性能の向上を評価し、その上で「高温乾燥でも強度性能の低下は確認されなかった。」と結論付けるが、スギの研究事例からみても、やはり高温乾燥は材に対し、細胞レベルまで変質を生むことが示唆されるので、長時間の高温乾燥は避けるべきであると思われた。

3.3.1　実大材乾燥スケジュール試験結果

表－9に、乾燥処理区分ごとの乾燥時間、含水率、割れ面積を示す。1期では120℃乾燥時間が長すぎたため過乾燥となり、2期では最高乾燥温度が105℃であったため、材表面の高温セット形成が不完全であり、表面割れが多い結果となった。焦点は120℃の乾燥時間に絞られたが、3期及び4期の表面割れの発生状況から、12時間を超える120℃乾燥時間(高温セット時間)が必要と判断し、さらに、6期で行った120℃加熱時間別内部割れ発生状況調査の結果から、18時間が限界と推定した。

表－9　乾燥処理区分ごとの乾燥時間、含水率、割れ面積

[平均値]

90℃6時間蒸煮後の乾燥スケジュール		乾燥時間(蒸煮除く)[時間]	含水率[%] 全体	含水率分布 表面から5mm	表面から15mm	中心部(髄含む)	表面から15mm	表面から5mm	表面割れ[mm²]	内部割れ[mm²]
1期	120℃一定	40	10.2	6.5	8.1	16.2	6.9	6.4	120	49
2期	105℃一定	100	12.6	5.7	10.7	21.8	8.6	5.5	364	2
3期	120℃12時間 100℃24時間 90℃一定	107	14.6	5.9	11.3	23.0	11.9	5.9	94	6
4期	120℃12時間 105℃一定	80	12.7	5.7	10.2	20.6	9.6	5.3	25	12
5期	120℃18時間 100℃一定	98	14.1	11.3	13.4	17.7	13.1	10.6	0	32
6期	120℃18時間 100℃一定	94	11.1	6.3	8.2	17.8	8.9	6.3	0	21
	一部の材で、120℃の加熱時間別(12,18時間)内部割れ発生状況を調査し、18時間が限界と推定した。									

※乾球－湿球温度差は30℃

この結果を受けて、3ｍ材高温乾燥実証試験では、5期及び6期の乾燥スケジュールを基に検討した。なお、5期では乾燥後に調湿を行ったが、その結果、調湿処理により高温セットを解くことなく表面含水率の過乾燥度合いを抑制している様子がうかがえた。

3.3.2　強度試験結果

乾燥前後の動的ヤング率を表－10に示す。なお、含水率の差による強度の違いをなくすため、有意差の検定には、財団法人日本住宅・木材技術センター(2000)　構造用木材の強度試験法に準じた15％時補正値を用い、さらに、比較指標には、乾燥前後比(動的ヤング率変化率)を用いた。

表－10　実大材の乾燥前後の動的ヤング率

処理区分	乾燥前 [kN/mm²]	乾燥後[kN/mm²] 無補正値	乾燥後[kN/mm²] 含水率15%時補正値	含水率 [%]	乾燥前後比 (乾燥後[15%]／乾燥前)×100
1期 n=10	9.47 (1.5)	10.9 (1.7)	10.1 (1.6)	10.2 (2.1)	106.7 (4.5)
2期 n=10	9.95 (0.7)	11.1 (0.8)	10.6 (0.9)	12.6 (3.0)	107.0 (4.6)
3期 n=10	10.0 (1.1)	10.6 (1.2)	10.6 (1.4)	14.6 (4.4)	106.2 (6.7)
4期 n=10	10.0 (0.7)	10.9 (0.8)	10.5 (0.9)	12.7 (2.0)	105.0 (2.8)
6期 n=6	9.88 (1.1)	11.2 (1.2)	10.5 (1.2)	11.1 (1.5)	106.0 (1.5)

※上段:平均値　下段():標準偏差

どの処理区分においても、乾燥により動的ヤング率が向上しているが、乾燥前後比が示す向上度合いでは、乾燥処理間に有意差は見られなかった。この結果は、乾燥3.1.1に示す4㎝角試験体の動的ヤング率の結果とも一致するが、実大材の場合では、全体の動的ヤング率に差が無くても、動的ヤング率の材内分布には、含水率傾斜などに応じて乾燥処理区分間差が見られると思われる。

次に縦圧縮試験結果を、表－11に示す。

圧縮強度では、それぞれの乾燥材の平均値は、35.1～36.7N/㎟の間にあり、乾燥処理区分の違いによる有意差は無かった。また、内部割れとの関係においては、明確な傾向は得られなかった。

次に、めり込み試験結果を表－12に示す。

表－11　実大材の縦圧縮試験結果

処理区分	圧縮強度 [N/mm²]	含水率 [%]	内部割れ面積[mm²]
1期 n=10	36.7 4.9	9.83 0.7	168 91
2期 n=10	36.3 2.2	11.3 2.0	86.4 68
3期 n=10	35.1 1.7	12.1 2.2	86.0 75
4期 n=10	36.6 2.2	11.3 0.9	66.4 45

※上段:平均値　下段():標準偏差

表－12　実大材のめり込み試験結果

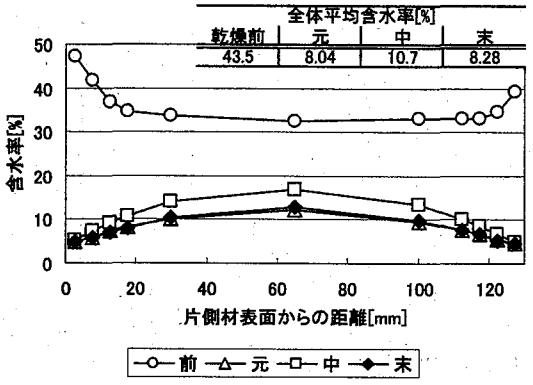
乾燥区分	めり込み降伏強さ N/mm²	めり込み強さ N/mm²	内部割れ面積 mm²
5期 n=10	10.4	11.4	141
	8.89	10.2	31.8
	5.69	6.76	0

※上段:最大値　中段:平均値　下段:最小値

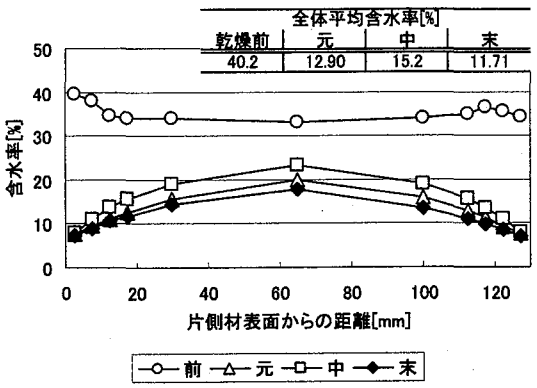
5期乾燥材のめり込み強度では、最小－平均－最大が6.8-10.2-11.4N/㎟であり、国交省告示のヒノキめり込み基準強度7.8N/㎟を十分に満たす可能性が示唆された。

3.3　3ｍ材高温乾燥実証試験結果

乾燥後の全体含水率及び含水率傾斜を図－7(1回目乾燥)及び図－8(2回目乾燥)に示す。また、発生した割れの面積と、割れを指標とした乾燥歩留りを表－13(1回目乾燥)及び表－14(2回目乾燥)に示す。乾燥歩留りの評価では、表面割



図－7　乾燥後の全体含水率及び含水率傾斜(1回目)



図－8　乾燥後の全体含水率及び含水率傾斜(2回目)

れにおいては、材の両端に20cm以上の割れが無いものを合格とし、内部割れの場合では、材端30cm付近に、仕口加工の支障になると予想される大きな割れが無いものを合格とした。

表－13　割れの面積と、割れを指標とした乾燥歩留り(1回目)

1回目乾燥

内部割れ mm²	元	中	末	乾燥歩留り[本/本	%]
	95.6	43.0	55.4	5/18	28
表面割れ mm²	75.1			15/18	83

表－14　割れの面積と、割れを指標とした乾燥歩留り(2回目)

2回目乾燥

内部割れ mm²	元	中	末	乾燥歩留り[本/本	%]
	9.0	2.3	12.8	14/17	82
表面割れ mm²	300.6			13/17	76

1回目の乾燥(蒸煮と調湿の時間を除き80時間)では、2回目の乾燥(蒸煮と調湿の時間を除き139時間)よりも短い乾燥時間で、材中央内部までを含水率20%以下にすることができたが、内部割れの発生が大きかった。2回目の乾燥では、内部割れの発生は抑えられたが、材中央部の含水率が高く、表面割れも大きかった。ただし、2回目の乾燥では、大きな表面割れが発生したものは17本中4本であり、1回目の乾燥で大きな内部割れが発生した割合(18本中13本)を大きく下回った。また、含水率についても、土台としての利用においては十分な範囲である。これらの結果から、ヒノキの高温乾燥では、12～16時間の120℃乾燥を基本とし、その後は乾燥温度を100℃以下に下げ、用途に応じて乾燥時間を決定するべきであると判断した。

4.　結論

小試験体試験の結果、高温乾燥による強度低下は確認されず、また、腐朽試験の結果から、高温乾燥による耐久性への影響は特に大きくはないと推測した。しかしながら、衝撃曲げ性能は、乾燥温度が高いほど劣る傾向にあったため、長時間の高温乾燥は避けるべきであると判断した。

実大試験体の強度評価においても、乾燥温度105℃及び120℃(乾燥時間を変えるなど3条件)での合計4種類の乾燥条件別による実大圧縮試験の結果、乾燥方法の違いによる有意差は無かった。また、めり込み強度でも、国土交通省告示のめり込み基準強度を十分に満たすことが示唆された。

乾燥スケジュールの検討においては、最終的な実証試験の結果、表面割れ、内部割れ、含水率分布から判断して、120℃12時間～16時間程度の乾燥を施した後、100～90～80℃の乾燥で目標含水率まで仕上げる方法が有効と考えられた(なお、乾球－湿球温度差は30℃)。これを基準として、土台と柱など、仕上げ含水率が異なる部材ごとに詳細を決定し、用途に応じた乾燥を行う必要がある。

参考文献

加藤英雄、長尾博文、井道裕史、桃原郁夫、大村和香子(2006)森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集8「スギ材の革新的高速乾燥システムの開発」、pp.115-120.

加藤真吾・村口良範・松岡真悟(2005)愛媛県産スギ・ヒノキ・マツ円柱加工材の耐久性に関する研究：愛媛県林業技術センター研究報告第23号：18-28

松岡真悟(2009)愛媛県産スギ・ヒノキ・マツ円柱加工材の重量減少率から見た耐久性評価：愛媛県林業研究センター研究報告第27号：9-13

寺西康浩、酒井温子、岩本頼子(2006) 4種類の方法で乾燥したスギ、ヒノキ正角材の耐久性：木材工業Vol.61 No.6：248-253

財団法人日本住宅・木材技術センター(2000)住宅資材性能規定化対策事業地域材性能評価事業・報告書＜構造用木材の強度試験法＞