

高温低湿処理を用いた複合乾燥技術の確立 — 「かごしま複合乾燥材」の製造技術—

日高富男*, 福留重人*, 小幡 透*, 山之内清竜*

Establishment of the Combination Dry Technology by High Temperature Damp Processing — Production Technology of Kagoshima Combination Dried Wood —

Tomio HIDAKA, Shigeto FUKUDOME, Toru OBATA and Kiyotatsu YAMANOUCHI

県内産スギ正角材を対象に、乾燥初期に発生しやすい材面割れを抑制する最適な蒸煮処理及び高温低湿処理を見いだした。さらに、その後の組み合わせ乾燥として、天然乾燥や人工乾燥（100℃未満の中温乾燥）による複合乾燥試験を行い、仕上がり含水率（20%）に達するまでの乾燥期間、乾燥速度及び割れの程度を明らかにした。その結果、材面割れや内部割れが少なく、また、材色や香りが優れた「かごしま複合乾燥材」の製造技術を確立した。

Keyword : 複合乾燥, 蒸煮処理, 高温低湿処理, 材面割れ, 内部割れ

1. 緒 言

平成12年4月に「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行されて以降、木造住宅の性能と品質に関する法規制が強化されている。また、平成22年10月に施行された「公共建築物等における木材の利用促進に関する法律」を受け、国や地方自治体及び民間での3階建ての低層建築物(学校, 老人ホーム, 図書館, 体育館, 病院, 休憩所等)を対象に、木材利用を推進する動きが広がっている。この法律では、使用する木材は日本農林規格(JAS)認定製品と同等品の使用が規定されており、含水率管理された構造材の供給が求められている。

本県における平成23年度の製材品の生産量は191千m³、全国19位であり、そのうち約9割が建築用材である。しかし、構造材に占める乾燥材の割合は約20%と全国平均(30%)に比べ低位であり¹⁾、乾燥材の供給体制を強化、拡充する必要がある。

現在、県内の木材乾燥の主流である高温乾燥の特徴は、蒸煮処理と高温低湿処理(以下、ドラインセット:DS処理)を行うことで、施主が嫌う材面割れは抑制できるが、高温(100℃以上)で仕上げまで乾燥すると、熱変成により材色や香りが変化し、また内部割れが発生する恐れもある。このため、県内の建築業や工務店サイドでは、材面割れが少なく、材色や香りを保持した乾燥材のニーズが高い。

そこで本研究では、蒸煮処理とDS処理した後に、天然乾燥や人工乾燥(100℃未満の中温乾燥)を行い、最適なDS処理条件の検討及び目標含水率20%に達する乾燥時間や

複合乾燥材の材面割れ等の評価を行ったので報告する。

なお、ここでは蒸煮及びDS処理と天然乾燥や中温乾燥を組み合わせることで生産した乾燥材を「かごしま複合乾燥材」と呼ぶ。

2. 実験方法

2.1 試験材

製材直後の乾燥前の製材品の含水率と重量は高い相関がある²⁾ことから、県内で製材されたスギ正角材(120×120×3,000mm)を予め重量選別した³⁾。重量区分は軽い材(以下、L材:28kg未満)、中間の材(以下、M材:28kg~32kg未満)、重い材(以下、H材:32kg以上)の3区分とした。

2.2 試験方法

2.2.1 蒸煮及びDS処理条件の最適化

試験材は、蒸煮(乾球温度95℃, 湿球温度95℃)の後、DS処理(乾球温度120℃, 湿球温度90℃)を連続して行った。蒸煮処理時間は、表1のとおり3条件、また、DS処理時間は4条件として、高温乾燥機(東北通商(株)製SDM型)を用いて処理を行い、材面割れの評価及び含水率の測定を行った。

表1 処理時間(hr)

	蒸煮	DS
各条件毎	6, 9, 12	12, 15, 18, 21

なお、試験には、各条件毎に各10本(L材, M材, H材)、計30本を用いた。また、材面割れは、目視にて測定可能な割れとし、材面割れ面積は、(式1)で求めた。

$$A = L \times W / 2 \dots \dots (式1)$$

A:材面割れ面積, L:割れの長さ(cm), W:割れ幅(cm)

2.2.2 蒸煮及びDS処理と天然乾燥による複合乾燥試験

蒸煮及びDS処理後の材は、屋内にて積積みして天然乾

*地域資源部

燥し、1ヶ月毎に重量測定を行い含水率と材面割れや乾燥末期に発生する内部割れ及び熱変成による影響として材色や香りの経過観察を行った。天然乾燥を開始した時期は、平成22年7月～平成23年9月の期間であり、その間重量測定と割れ等の観察を12回行った。

2. 2. 3 蒸煮及びDS処理と人工乾燥による複合乾燥試験

ここでは、表1に示す条件の中で材面割れが最も少なかった条件（蒸煮処理を12時間、DS処理15時間）で処理した正角材について、表2に示す条件で人工乾燥を行った。供試材は、L材、M材、H材の各5本を用いて天然乾燥と同様に含水率と材面割れや内部割れ及び材色や香りの経過観察を行った。

表2 人工乾燥の設定温度

乾燥温度 (°C)	湿球温度 (°C)
80	50
70	40
60	30
60	40
50	30

3. 結果及び考察

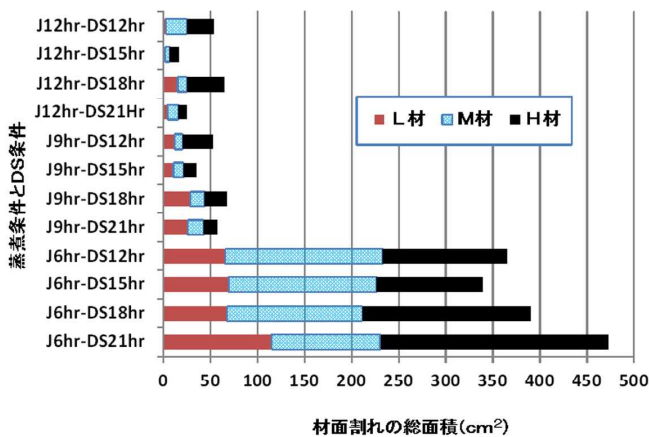
3. 1 蒸煮及びDS処理後の材面割れの評価

蒸煮処理とDS処理の組み合わせ条件毎のDS処理直後に発生した材面割れ総面積を図1に、DS処理直後に発生した材面割れの平均と標準偏差を表3に示す。

蒸煮時間6時間では全てのDS処理時間で大きな材面割れが発生し、DS処理時間が長くなるほど材面割れ面積が大きくなる傾向が認められた。

蒸煮処理条件9時間及び12時間におけるDS処理条件では、DS処理15時間で材面割れが最も少なかった。

このことから、かごしま材に適した高温低湿処理条件として、蒸煮処理9時間、DS処理15時間以上が必要であることが示唆された。



表示例 J6hr-DS21hr : 蒸煮6時間、DS21時間処理

図1 材面割れの総面積

また、重量区分した材の材面割れの発生は、L材、M材では蒸煮12時間－DS処理15時間で、H材では蒸煮12時間

－DS処理21時間で最も小さくなった。このことから、H材はL材、M材とは別の蒸煮、DS処理を行うことが必要であると思われる。

表3 DS直後の材面割れ面積 (cm²) の平均と標準偏差

蒸煮条件 DS処理条件	9hr-12hr	9hr-15hr	9hr-18hr	9hr-21hr	12hr-12hr	12hr-15hr	12hr-18hr	12hr-21hr
	L材	平均 11.7 標準偏差 9.5	平均 10.9 標準偏差 9.7	平均 28.5 標準偏差 23.6	平均 26.2 標準偏差 19.0	平均 2.7 標準偏差 4.6	平均 2.0 標準偏差 1.3	平均 15.2 標準偏差 8.5
M材	平均 8.8 標準偏差 9.2	平均 10.7 標準偏差 10.0	平均 15.5 標準偏差 17.6	平均 16.2 標準偏差 22.3	平均 21.9 標準偏差 17.1	平均 4.4 標準偏差 5.2	平均 8.4 標準偏差 7.0	平均 11.0 標準偏差 10.7
H材	平均 32.2 標準偏差 25.1	平均 13.6 標準偏差 13.3	平均 23.7 標準偏差 13.4	平均 15.4 標準偏差 10.4	平均 29.3 標準偏差 10.3	平均 9.9 標準偏差 16.9	平均 40.5 標準偏差 36.0	平均 9.6 標準偏差 11.8

3. 2 蒸煮処理及びDS処理後の含水率変化

蒸煮処理を12時間一定とし、DS処理時間を変化させた時の処理前後の試験材の含水率減少率を表4に示す。

蒸煮処理及びDS処理を行うことでL材、M材、H材ともに初期含水率が減少した。また、DS処理時間が長くなるほど含水率減少率が大きくなる傾向が認められた。このことから、蒸煮処理及びDS処理を行うことで乾燥時間の短縮に効果があることが認められた。

表4 蒸煮処理及びDS処理による含水率減少率 (%)

	DS12hr	DS15hr	DS18hr	DS21hr
L材	30.9	35.4	49.5	52.1
M材	33.7	34.4	46.9	49.6
H材	25.0	34.2	46.9	49.1

3. 3 蒸煮及びDS処理と天然乾燥による複合乾燥

屋内での天然乾燥の様子を図2に、蒸煮12時間、DS処理15時間の天然乾燥による含水率の経過を図3に示す。



図2 屋内での積みによる天然乾燥

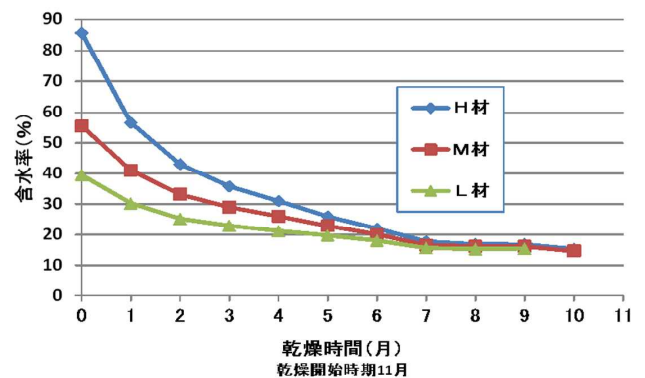


図3 天然乾燥による含水率の経過

蒸煮12時間、DS処理15時間後に屋内で行った天然乾燥ではL材で5ヶ月、M材で6ヶ月、H材では6.5ヶ月が目

標含水率20%に達した。

蒸煮時間は12時間で一定とし、DS処理時間ごとの天然乾燥の所要時間を表5に示す。DS処理時間でL材<M材<H材の順で乾燥時間が長くなる傾向が認められた。

表5 含水率20%に達する平均時間(月)

	DS12hr	DS15hr	DS18hr	DS21hr
L材	3.5	5.0	2.5	5.0
M材	4.5	6.0	4.0	5.0
H材	5.0	6.5	3.5	6.0
乾燥開始時期	9月	11月	7月	12月

このうち開始時期に近いDS処理15時間とDS処理21時間を比較すると、DS処理21時間のM材とH材では、DS処理15時間より乾燥時間が8~17%短くなった。これは表4でも示したようにDS処理時間が長くなることで初期含水率が低下したためと考察される。

また、天然乾燥時間は、乾燥開始時期の影響が大きく、7月<9月<11月・12月の順に長くなった。特に、夏季は冬季に比べて乾燥時間が20~50%短くなった。

蒸煮及びDS処理と天然乾燥との複合乾燥は、燃料費が抑えられ、かつ、仕上がりが天然乾燥材に近いことから、乾燥時間と乾燥場に十分な余裕があれば有効な乾燥方法であると思われる。

さらに、DS処理直後と天然乾燥6ヶ月後の平均材面割れ面積の変化を表6に示す。DS処理直後に発生した材面割れは、天然乾燥終了時には、L材、M材及びH材の全ての割れにおいて割れ幅や割れの長さが小さくなり、中には完全に閉じてしまうものも見られた。

表6 DS処理直後と6ヶ月後の平均材面割れ面積(cm²)

	DS15hr		DS18hr		DS21hr	
	DS直後	6ヶ月後	DS直後	6ヶ月後	DS直後	6ヶ月後
L材	3.3	1.5	10.8	3.2	4.0	2.3
M材	6.3	5.1	9.4	2.3	12.1	2.3
H材	3.4	0.3	6.8	0.4	14.6	3.9

全ての条件の正角材を切断して内部割れを観察したところ、両木口付近に小さな内部割れはあったものの高温乾燥材に散見される大きな内部割れは認められなかった。さらに、材色と香りを観察した結果、天然乾燥したスギ材と遜色のない材色と香りが保たれていることが確認できた。

表7 DS処理後の中温乾燥条件と含水率20%までの乾燥時間(hr)と平均乾燥速度(%/hr)

	D. B. T80℃-W. B. T50℃			D. B. T70℃-W. B. T40℃			D. B. T60℃-W. B. T30℃			D. B. T60℃-W. B. T40℃			D. B. T50℃-W. B. T30℃		
	DS後のMC(%)	乾燥時間(hr)	乾燥速度(%/hr)	DS後のMC(%)	乾燥時間(hr)	乾燥速度(%/hr)	DS後のMC(%)	乾燥時間(hr)	乾燥速度(%/hr)	DS後のMC(%)	乾燥時間(hr)	乾燥速度(%/hr)	DS後のMC(%)	乾燥時間(hr)	乾燥速度(%/hr)
L材	51	70	0.440	51	80	0.390	39	160	0.119	46	170	0.155	52	220	0.147
M材	59	85	0.455	76	120	0.467	73	200	0.266	72	210	0.245	65	220	0.205
H材	86	108	0.614	84	150	0.427	83	280	0.226	78	280	0.209	78	320	0.183

※乾燥時間: 目標含水率20%に達するのに要した時間

3.4 蒸煮及びDS処理と中温乾燥による複合乾燥

蒸煮及びDS処理に引き続き行った中温乾燥条件と含水率20%に達した平均時間及び平均乾燥速度を表7に示す。

各条件では、L材<M材<H材の順で乾燥時間が長くなった。また、乾球温度80℃-湿球温度50℃と乾球温度50℃-湿球温度30℃の乾燥速度を比較すると、L材では3.2倍、M材では2.6倍、H材では3.0倍速くなるなど、乾球温度が高いほど乾燥時間が短くなり、乾燥速度も速くなる傾向が認められた。

蒸煮及びDS処理と中温乾燥での複合乾燥では、中温乾燥機を用いて乾燥を行うために、天然乾燥に比べて乾燥経費を要するが、高温乾燥ほどの燃料費はかからない。

さらに、乾球温度を高め、乾・湿球温度差を大きくすることで、乾燥時間の短縮を図ることが可能である。

乾燥温度毎の材色や内部割れ、香りを比較すると乾球温度が70℃以上で材色が若干褐色化し、乾球温度80℃以上で小さな内部割れが発生するものも見られた。

乾燥終了後の材の香りは、乾球温度90℃で乾燥しても天然乾燥材とほぼ同等だった。

蒸煮処理及びDS処理と70℃以上の温度域での中温乾燥との複合乾燥は、乾燥時間を短縮できる方法として有効と思われる。

3.5 重量区分の見直し

今回、試験に供したスギ正角材150本の初期重量を図4に示す。当初の重量区分は閾値を28kgと32kgとしたが、初期重量が35kg以上の材は乾燥時間がかかったため、35kgでの区分けが有用と考えられ、含水率が高く乾燥性が悪い材は、正角材ではなく平割材や板材として利用することが有効であると推察された。

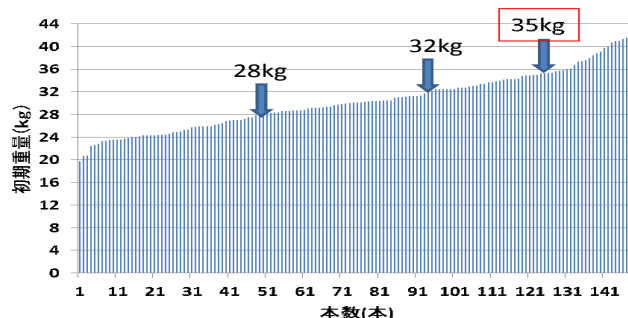


図4 試験材150本の初期重量の分布

4. 結 言

蒸煮及びDS処理条件の検討と天然乾燥や中温乾燥との複合乾燥を行うことで以下のことが明らかになった。

- (1) かごしま材に適した高温低湿条件は、L材、M材では蒸煮12時間、DS処理15時間で、H材では蒸煮12時間、DS処理21時間で材面割れが最も小さくなった。
- (2) 蒸煮及びDS処理を行うことで、初期含水率が25～52%減少した。
- (3) 蒸煮及びDS処理と天然乾燥との複合乾燥では、含水率20%に達するのに要した時間は、夏季で2.5ヶ月、冬季で6.5ヶ月と乾燥に長期間を要した。
- (4) 蒸煮及びDS処理と中温乾燥との複合乾燥では、乾球温度が高いほど乾燥時間が短くなり、乾燥速度も速くなった。
- (5) 天然乾燥、中温乾燥いずれにおいても、L、M、H材

ともに乾燥時間が異なることから仕上がり含水率を管理する上で、重量区分を行うことの重要性が確認できた。

- (6) 蒸煮及びDS処理と天然乾燥や中温乾燥を組み合わせた最適な複合乾燥を行うことで、材面割れや内部割れが少なく、また、材色や香りの優れた「かごしま複合乾燥材」の製造技術を確立した。

参 考 文 献

- 1) 鹿児島県環境林務部 平成23年度鹿児島県森林・林業統計, 11
- 2) 石橋正樹, 藤田勝: 島根県中山間地域研究センター研究報告, 7, 51-57 (2011)
- 3) 寺西康浩, 海本一, 大森拓: 奈良県森林技術センター研究報告, 40, 21-26 (2011)