

8 県産スギ大径材の乾燥技術に関する研究（県単：H20～27）

山口 修

1 目的

県内の人工林は、長引く木材価格の低迷により立木伐採が見送られ、齢級構成のピークが9～10 齢級（41～50 年生）へと移行していることから、樹木の大径化が進んでおり、森林資源の循環利用を進めていくうえで、これらを有効利用していくことが重要な課題となっている。

しかし、大径材から製材し、梁材や桁材として利用される木材は乾燥に長期間を必要とするため、需要に即応して乾燥材を供給することが難しい状況にある。

このため、品質の安定した県産スギ乾燥材を早期に生産・供給することができるよう、大径材の利用拡大の一つの方向としての無垢の梁・桁材に対応した乾燥技術を開発し、県産スギ材の利用拡大と森林資源の循環利用の推進を図るための資料を得る。

2 経過の概要

平成 20 年度から県内産スギ心持ち平角材の乾燥試験に取り組んでおり、平成 21 年度までに天然乾燥を 1 回、人工乾燥を 9 回実施した。平成 22 年度に木材乾燥機を更新し、人工乾燥試験を 4 回実施した結果、材の変色を抑え、表面割れを基準(◎または○評価：表面割れ長さ 50cm 未満・・・「大断面無垢材の乾燥推進に向けて P.3」木構造振興株式会社)以下に少なくすることには成功したが、内部割れを基準(◎または○評価：内部割れ長さ 100mm 未満・・・「大断面無垢材の乾燥推進に向けて P.3」木構造振興株式会社)以下に抑えることは困難と思われた。人工乾燥のみで仕上げる乾燥試験ではその成果として、供試材から黒心材を除去した方が、仕上がり含水率のばらつきが小さくなることが分かった。また、過乾燥が内部割れにつながるということが分かった。

そこで、平成 23 年度からは人工乾燥と天然乾燥との組み合わせ乾燥試験に着手し、乾燥開始から乾燥終了までの木材重量や含水率の推移、表面割れ、内部割れの発生状況を調査することで、県産材に適した乾燥方法を検討した。

なお、平成 23 年度は 4 回の乾燥試験を実施したが、天然乾燥に長期間を要した。

平成 24 年度は 5 回の乾燥試験を実施し、人工乾燥後、屋外の屋根下と屋内の 2 グループに分け天然乾燥を実施したが、天然乾燥に 3～10 ヶ月を要した。また、屋外の屋根下と屋内の天然乾燥における乾燥速度の有意差はなかった。

3 試験方法の概要

(1) 試験木

県産スギ心持ち平角材（255mm×135mm×4.00m）を 1 回の乾燥行程に 10 本ずつ、合計 80 本を供試した。

(2) 乾燥試験

乾燥試験は、人工乾燥の後、天然乾燥で仕上げる組合せ乾燥を 8 回実施した。

人工乾燥は、平成 22 年度に更新導入した蒸気加熱式高温木材乾燥機（収容材積約 4m³）

を使用し、高温処理を行った。

8回の乾燥試験の人工乾燥スケジュールを、表-1 及び図-1 に示す。

表-1 人工乾燥スケジュールの設定

乾燥試験	初期蒸煮			高温乾燥		
	乾球温度 湿球温度	時間		乾球温度 湿球温度	時間	
		昇温時間	継続時間		昇温時間	継続時間
①	85℃	1時間	8時間	120℃	1時間	18時間
②	85℃			85℃		24時間
③	95℃			120℃		18時間
④	95℃			90℃		24時間
⑤	85℃	16時間	16時間	120℃	1時間	18時間
⑥	85℃			85℃		24時間
⑦	95℃			120℃		18時間
⑧	95℃			90℃		24時間

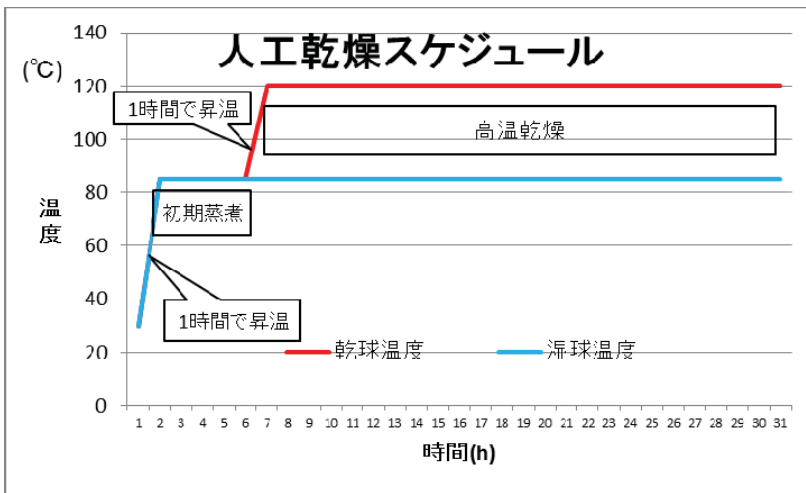


図-1 人工乾燥スケジュールの設定

人工乾燥の後、試験木を棧積みし、白色波板の屋根を付け、屋外で天然乾燥を行った。1ヶ月ごとに試験木の元口から15cm位置で、厚さ2cmの含水率試験片を採取し、全乾法による含水率を測定し、試験木10本中、9本以上の含水率が20%以下になった時点までを天然乾燥期間とした。



天然乾燥状況

(3) 調査内容

組合せ乾燥における各乾燥条件による試験木の乾燥状況を確認するため、人工乾燥前、人工乾燥後、天然乾燥1ヶ月ごとの含水率、木材重量、ヤング係数、表面割れ面積、内部割れ面積などを調査した。

○含水率

- ・試験木の元口から15cmの位置で、厚さ2cmの含水率試験片を採取し、全乾法により含水率を算出。
- ・測定は人工乾燥直前と直後及び天然乾燥期間中の1ヶ月ごとに実施。

○表面割れ

- ・供試材の木口以外の4面に生じた幅1mm以上の表面割れの長さを測定し、その長さを合計
- ・判定基準は、表-2-1のとおり。

表-2-1 表面割れの評価基準

表面割れ長さ合計	10cm未満	50cm未満	100cm未満	100cm以上
評価	◎	○	△	×

※表面割れの基準は、「大断面無垢材の乾燥推進に向けてp.3」平成23年3月 木構造振興株式会社による。

○内部割れ

- ・供試材の元口から15cmの位置で採取した含水率試験片において、木口面に現れた内部割れの長さを測定し、その長さを合計。
- ・判定基準は、表-2-2のとおり。

表-2-2 内部割れの評価基準

内部割れ長さ合計	20mm未満	100mm未満	200mm未満	200mm以上
評価	◎	○	△	×

※内部割れの基準は、「大断面無垢材の乾燥推進に向けてp.3」平成23年3月 木構造振興株式会社による。

○ヤング係数

- ・FFT アナライザー（エーアンドデー社製）を使用し、ハンマー打撃による固有振動数を測定し、併せて試験木の寸法、重量を測定し密度を算出。
- ・計算式 $E_f = 4L^2 f^2 \rho / g$ [tf/cm²] で動的ヤング係数を算出。E_f：動的ヤング係数、L：試験木の長さ、f：固有振動数、ρ：試験木の密度、g：重力加速度

4 試験結果

(1) 乾燥試験1回目

85℃の初期蒸煮9時間(1時間の昇温時間を含む)の後、乾球温度120℃、湿球温度85℃の高温乾燥を19時間(1時間の昇温時間を含む)の前処理人工乾燥を実施した後に、屋外での天然乾燥を4ヶ月間行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験1回目の人工乾燥スケジュールを表-3に示す。

表-3 平成25年度1回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	85	85	1	8
3	120	85	1	18
			2	26
			総乾燥時間	28

DBT:乾球温度(°C)、WBT:湿球温度(°C)

移行時間:直前ステップから当該ステップへの移行時間

維持時間:当該ステップの維持時間

②含水率

人工乾燥後の含水率は、29.7～59.3%、平均45.0%となり、28時間の人工乾燥で含水率は人工乾燥前の1/2以下となった。その後の天然乾燥で含水率は徐々に低下し、4ヶ月後に10本中9本以上の試験木が含水率20%以下となった時点で、天然乾燥を終了した。

表-4 乾燥試験①の含水率推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工乾燥後 (%)					
		人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後
乾燥試験①	10	53.8	29.7	26.4	20.8	19.8	17.3
	11	98.2	41.6	34.5	27.1	23.4	19.5
	12	150.4	56.8	39.8	25.8	22.2	17.9
	13	67.6	36.8	30.9	22.2	21.0	17.9
	14	60.5	35.7	29.0	21.8	20.3	18.1
	15	124.0	53.5	39.6	26.2	23.9	20.0
	16	77.2	37.5	33.3	22.9	21.4	17.1
	17	86.8	47.5	36.9	24.8	22.5	18.7
	18	119.0	52.0	39.6	24.5	21.1	18.0
	19	132.0	59.3	43.2	29.5	25.1	20.3
平均		97.0	45.0	35.3	24.6	22.1	18.5

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-5に示す。

人工乾燥後のヤング係数は、人工乾燥前より一旦低下し、天然乾燥の段階で増大していき、最終的に人工乾燥前より4.6～8.9tf/cm²増大した。

表-5 乾燥試験①のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	(tf/cm ²)					
		人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後
平均	10～19	61.1	57.7	59.3	59.9	61.9	64.5

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、幅1mm超の表面割れは僅かで、◎評価であった。(表-6)

表-6 乾燥試験①の表面割れ

区分	試験木 NO.	(cm)	
		幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	10～19	2.1	◎

表面割れの評価は、◎(平均10cm未満)、○(50cm未満)、△(100cm未満)、×(100cm以上)

(「大断面無垢材の乾燥推進に向けてp.3」平成23年3月 木構造振興株式会社)

⑤内部割れ

内部割れは人工乾燥直後から発生したが、内部割れ長さは○評価であった。

表-7 乾燥試験①の内部割れ

区分	試験木 NO.	人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	10~19	31.1	○

内部割れの評価は、◎(平均20mm未満)、○(100mm未満)、△(200mm未満)、×(200mm以上)
(「大断面無垢材の乾燥推進に向けてp.3」平成23年3月 木構造振興株式会社)

(2) 乾燥試験 2 回目

乾燥試験 2 回目は、乾燥試験 1 回目のステップ 3 を 6 時間延ばした乾燥スケジュールで実施した後に、屋外での天然乾燥を 4 ヶ月間行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験 2 回目の人工乾燥スケジュールを表-8 に示す。

表-8 平成25年度2回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	85	85	1	8
3	120	85	1	24
			2	32
総乾燥時間				34

②含水率

含水率の調査結果を表-9 に示す。

人工乾燥前の含水率が 54.3~121.4%、平均 77.4%だったものが、人工乾燥後の含水率は、18.5~51.4%、平均 32.6%となった。その後 4 ヶ月で天然乾燥を終了した。

表-9 乾燥試験②の含水率推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	(%)			
				1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後
乾燥試験②	20	54.8	23.9	20.7	18.6	17.6	17.2
	21	121.4	48.2	33.1	26.4	20.7	19.6
	22	63.7	26.1	22.3	20.6	18.8	17.3
	23	65.6	26.9	23.4	21.5	19.5	18.8
	24	57.6	31.0	25.1	21.2	20.0	19.0
	25	68.1	28.7	25.1	23.0	19.8	18.7
	26	118.7	51.4	31.3	23.0	19.8	19.3
	27	111.8	44.6	32.0	25.6	20.9	19.8
	28	57.5	26.2	23.4	21.8	19.1	18.5
	29	54.3	18.5	18.2	18.0	16.2	16.2
平均		77.4	32.6	25.5	22.0	19.2	18.4

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-10 に示す。

ヤング係数は、人工乾燥直後にいったん低下した後、天然乾燥の段階で増大していき、最終的に人工乾燥前より 0.5~6.6tf/cm² 増大した。

表-10 乾燥試験②のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	(tf/cm ²)			
				1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後
平均	20~29	55.2	54.9	55.0	55.8	57.8	59.5

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、大部分が僅かな表面割れに収まり、幅 1mm 超の表面割れ長さ平均は 20.9cm の○評価であった。(表-11)

表-11 乾燥試験②の表面割れ

区分	試験木 NO.	幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	20~29	20.9	○

⑤内部割れ

内部割れ測定結果を表-12 に示す。

内部割れは人工乾燥直後から発生したが、内部割れ長さは○評価であった。

表-12 乾燥試験②の内部割れ

区分	試験木 NO.	人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	20~29	23.5	○

(3) 乾燥試験 3 回目

95℃の初期蒸煮 9 時間(1 時間の昇温時間を含む)の後、乾球温度 120℃、湿球温度 90℃の高温乾燥を 19 時間(1 時間の昇温時間を含む)の前処理人工乾燥を実施した後に、屋外での天然乾燥を 9 ヶ月間行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験 3 回目の人工乾燥スケジュールを表-13 に示す。

表-13 平成25年度3回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	95	95	1	8
3	120	90	1	18
			2	26
			総乾燥時間	28

②含水率

含水率の調査結果を表-14 に示す。

人工乾燥前の含水率は、66.9~213.1%、平均 145.6%だったものが、人工乾燥後は 32.5~107.0%、平均 61.7%となった。その後の天然乾燥で含水率は徐々に低下し、9 ヶ月で天然乾燥を終了した。

表-14 乾燥試験③の含水率推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	(%)								
				1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後
乾燥試験③	30	169.1	60.2	39.2	31.8	28.8	27.0	26.1	24.1	20.3	18.2	17.7
	31	173.0	73.3	46.6	35.6	32.7	29.1	27.6	26.1	21.2	19.8	19.0
	32	130.3	56.5	37.5	30.2	28.2	26.4	25.4	24.2	21.3	19.4	18.8
	33	142.2	49.1	33.5	29.4	28.9	31.6	25.7	24.7	21.8	20.4	19.4
	34	189.0	96.1	57.0	43.8	40.0	35.6	31.8	29.0	24.6	20.7	19.7
	35	213.1	107.0	72.5	51.5	43.7	36.8	32.3	29.4	22.9	20.7	20.0
	36	121.7	39.5	28.8	27.6	25.3	24.6	23.7	22.3	19.5	17.7	17.7
	37	66.9	32.5	26.3	26.9	25.6	25.0	24.0	23.4	20.5	19.2	18.8
	38	136.6	67.4	46.9	38.9	34.8	32.0	29.9	27.0	21.8	19.6	19.0
	39	114.0	35.5	27.8	27.5	25.6	25.8	23.8	22.8	19.2	18.0	17.3
平均		145.6	61.7	41.6	34.3	31.4	29.4	27.0	25.3	21.3	19.4	18.7

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-15 に示す。

人工乾燥後のヤング係数は、乾燥の過程で増大していき、最終的に人工乾燥前より平均 16.3tf/cm² 増大した。

表-15 乾燥試験③のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	(tf/cm ²)								
				1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後
平均	30~39	46.4	49.4	54.1	56.2	57.3	58.4	58.9	60.9	61.5	60.5	62.7

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、大部分が僅かな表面割れに収まり、幅 1mm 超の表面割れ長さ平均は 1.9cm と◎評価であった。(表-16)

表-16 乾燥試験③の表面割れ

区分	試験木 NO.	(cm)	
		幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	30~39	1.9	◎

⑤内部割れ

内部割れ測定結果を表-17 に示す。

内部割れは、人工乾燥直後に発生したが、内部割れ長さは◎評価であった。

表-17 乾燥試験③の内部割れ

区分	試験木 NO.	(mm)	
		人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	30~39	3.7	◎

(4) 乾燥試験 4 回目

乾燥試験 4 回目は、乾燥試験 3 回目のステップ 3 を 6 時間延ばした乾燥スケジュールで実施した後に、屋外での天然乾燥を 9 ヶ月間行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験 4 回目の乾燥スケジュールを表-18 に示す。

表-18 平成25年度4回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	95	95	1	8
3	120	90	1	24
			2	32
総乾燥時間				34

②含水率

含水率の調査結果を表-19に示す。

人工乾燥前の含水率は、41.4～187.9%、平均91.3%であった。人工乾燥後の含水率は、18.1～99.7%、平均45.1%となり、その後の天然乾燥で含水率は徐々に低下し、9ヶ月後に天然乾燥を終了した。

表-19 乾燥試験④の含水率推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	(%)								
				1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後
乾燥試験④	40	46.3	22.7	26.0	25.6	25.8	26.3	24.7	23.8	21.8	19.7	18.2
	41	101.7	37.4	33.0	31.5	29.9	28.7	26.6	24.2	21.8	18.5	18.7
	42	41.4	18.1	21.3	21.4	21.2	21.2	21.2	19.8	18.7	17.0	19.8
	43	90.3	35.7	32.4	29.7	28.9	28.3	26.5	25.0	22.1	20.2	19.9
	44	57.8	28.6	28.4	28.6	27.6	26.7	25.7	23.9	21.2	19.4	19.7
	45	187.9	99.7	79.9	60.0	55.2	46.0	37.6	31.2	24.2	20.5	20.0
	46	152.6	83.9	70.9	61.9	50.8	42.3	37.4	29.2	23.0	19.1	23.5
	47	55.2	29.7	30.4	29.0	28.7	27.6	27.4	27.3	23.4	20.6	18.2
	48	111.2	58.5	45.6	40.8	35.2	32.8	30.1	26.7	21.9	19.5	19.1
	49	68.1	36.2	33.4	32.3	29.2	28.9	26.8	25.0	20.7	19.2	19.7
平均		91.3	45.1	40.1	36.1	33.3	30.9	28.4	25.6	21.9	19.4	19.7

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-20に示す。

人工乾燥後のヤング係数は、乾燥するにつれて増大していき、最終的に人工乾燥前より6.0～10.9tf/cm²増大した。

表-20 乾燥試験④のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	(tf/cm ²)								
				1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後
平均	40～49	60.6	58.5	61.8	62.6	64.0	65.1	65.9	66.4	66.1	67.5	68.7

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、大部分が僅かな表面割れに収まり、幅1mm超の表面割れは発生しなかった。(表-21)

表-21 乾燥試験④の表面割れ

区分	試験木 NO.	(cm)	
		幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	40～49	0.0	◎

⑤内部割れ

内部割れ面積測定結果を表-22に示す。

内部割れは人工乾燥直後に発生したが、内部割れ長さは○評価であった。

表-22 乾燥試験④の内部割れ

(mm)			
区分	試験木 NO.	人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	40~49	57.6	○



図-2 NO.42の内部割れ状況

(5) 乾燥試験 5 回目

85℃の初期蒸煮 17 時間(1 時間の昇温時間を含む)の後、乾球温度 120℃、湿球温度 85℃の高温乾燥を 19 時間(1 時間の昇温時間を含む)の前処理人工乾燥を実施した後に、屋外での天然乾燥を 10 ヶ月間行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験 5 回目の乾燥スケジュールを表-23 に示す。

表-23 平成25年度5回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	85	85	1	16
3	120	85	1	18
			2	34
			総乾燥時間	36

②含水率

含水率の調査結果を表-24 に示す。

人工乾燥前の含水率は、42.5~114.7%、平均 74.2%、人工乾燥後の含水率は、20.5~60.7%、平均 34.6%となった。その後の天然乾燥で含水率は徐々に低下し、10 ヶ月後に天然乾燥を終了した。

表-24 乾燥試験⑤の含水率推移

(%)													
乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後	10ヶ月後
乾燥試験⑤	50	69.3	31.2	30.1	28.6	26.7	26.2	22.0	18.3	19.1	19.2	19.1	17.4
	51	72.0	33.3	33.0	31.2	29.7	26.4	22.5	18.4	19.2	19.2	19.9	17.6
	52	42.6	21.9	23.7	23.2	23.9	23.2	21.4	18.7	19.3	19.0	19.8	18.0
	53	114.7	60.7	50.7	43.3	38.3	35.9	26.5	21.2	20.5	21.1	20.4	19.0
	54	86.6	32.6	32.4	29.5	28.2	26.0	21.2	18.9	19.1	19.3	19.6	18.1
	55	42.5	20.5	22.8	24.0	24.9	23.7	22.0	18.8	18.7	19.5	19.6	18.6
	56	113.1	44.4	39.6	37.3	34.4	30.9	23.3	19.4	19.0	19.3	19.4	18.1
	57	70.3	35.0	33.8	32.2	30.9	29.1	23.3	20.2	20.0	21.0	20.4	19.3
	58	66.6	34.5	32.9	31.8	32.0	29.9	24.1	20.9	20.9	20.4	19.3	18.8
	59	64.6	31.4	31.6	29.6	28.7	27.2	22.8	19.1	18.9	19.6	19.0	18.5
平均		74.2	34.6	33.1	31.1	29.8	27.9	22.9	19.4	19.5	19.8	19.7	18.3

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-25 に示す。

人工乾燥後のヤング係数は、乾燥するにつれて増大していき、人工乾燥前より 5.0～9.4tf/cm² 増大した。

表-25 乾燥試験⑤のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	(tf/cm ²)											
		人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後	10ヶ月後
平均	50～59	64.9	64.9	66.2	67.8	67.8	69.1	67.5	68.3	70.7	69.5	70.0	71.9

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、大部分が僅かな表面割れに収まり、幅 1mm 超の表面割れは発生しなかった。(表-26)

表-26 乾燥試験④の表面割れ

区分	試験木 NO.	(cm)	
		幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	50～59	0.0	◎

⑤内部割れ

内部割れ面積測定結果を表-27 に示す。

内部割れは人工乾燥直後から発生したが、内部割れ長さは◎評価であった。

表-27 乾燥試験⑤の内部割れ

区分	試験木 NO.	(mm)	
		人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	50～59	4.6	◎

(6) 乾燥試験 6 回目

乾燥試験 6 回目は、乾燥試験 5 回目のステップ 3 を 6 時間延ばした乾燥スケジュールで実施した後に、屋外での天然乾燥を行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験 6 回目の乾燥スケジュールを表-28 に示す。

表-28 平成25年度6回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	85	85	1	16
3	120	85	1	24
			2	40
総乾燥時間				42

②含水率

含水率の調査結果を表-29 に示す。

人工乾燥前の含水率は、47.3～159.4%、平均 101.1%、人工乾燥後の含水率は、20.1～

69.0%、平均 39.9%となった。その後の天然乾燥で含水率は徐々に低下した。

表-29 乾燥試験⑥の含水率推移

乾燥区分	試験木 NO.	(%)										
		人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後
乾燥試験⑥	60	47.3	22.0	23.9	22.4	22.6	21.2	20.0	19.1	19.2	19.6	18.4
	61	112.6	45.5	40.2	35.8	32.2	29.2	26.0	22.8	22.6	21.3	20.4
	62	64.6	29.8	29.5	29.7	28.2	26.7	24.8	22.2	22.3	21.7	20.5
	63	58.2	31.0	30.4	29.6	29.3	27.1	24.1	21.5	21.9	20.8	19.9
	64	147.6	38.2	32.8	31.5	27.2	25.3	23.9	19.9	19.6	18.8	18.9
	65	159.4	63.0	48.5	40.5	33.3	29.2	27.1	21.7	21.2	12.1	20.6
	66	132.9	69.0	66.1	58.0	48.7	42.2	32.9	25.0	23.0	21.2	20.3
	67	96.1	38.1	34.4	32.2	30.2	28.0	24.5	21.8	21.1	20.0	20.2
	68	143.1	41.9	36.4	30.9	30.5	27.0	24.7	20.3	20.5	19.5	19.6
	69	49.3	20.1	21.4	22.9	22.7	21.7	19.6	18.6	20.0	19.1	18.7
平均		101.1	39.9	36.4	33.4	30.5	27.8	24.8	21.3	21.1	19.4	19.8

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-30 に示す。

人工乾燥後のヤング係数は、乾燥するにつれて増大していき、人工乾燥前より 5.1～13.1tf/cm²増大した。

表-30 乾燥試験⑥のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	(tf/cm ²)										
		人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後	7ヶ月後	8ヶ月後	9ヶ月後
平均	60～69	63.2	63.7	65.4	64.9	65.2	65.9	66.6	67.9	68.0	68.3	70.7

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、大部分が僅かな表面割れに収まった。(表-31)

表-31 乾燥試験⑥の表面割れ

区分	試験木 NO.	幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	60～69	6.8	◎

⑤内部割れ

内部割れ面積測定結果を表-32 に示す。

内部割れは人工乾燥直後から発生したが、内部割れ長さは◎評価であった。

表-32 乾燥試験⑥の内部割れ

区分	試験木 NO.	(mm)	
		人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	60～69	17.9	◎

(7) 乾燥試験 7 回目

95℃の初期蒸煮 17 時間(1 時間の昇温時間を含む)の後、乾球温度 120℃、湿球温度 90℃の高温乾燥を 19 時間(1 時間の昇温時間を含む)の前処理人工乾燥を実施した後に、屋外での天然乾燥を行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験 7 回目の乾燥スケジュールを表-33 に示す。

表-33 平成25年度7回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	95	95	1	16
3	120	90	1	18
			2	34
総乾燥時間				36

②含水率

含水率の調査結果を表-34に示す。

人工乾燥前の含水率は、51.7～161.6%、平均 96.1%、人工乾燥後の含水率は、25.6～57.9%、平均 39.1%となった。その後の天然乾燥で含水率は徐々に低下した。

表-34 乾燥試験⑦の含水率推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工乾燥後 (%)							
		人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後
乾燥試験⑦	70	71.6	38.2	34.8	25.6	24.6	23.3	22.3	19.7
	71	67.0	34.8	30.2	25.9	24.6	23.8	22.5	20.7
	72	238.8	116.4	74.4	49.6	39.9	30.1	24.6	21.2
	73	85.0	37.6	28.7	25.0	22.7	21.9	22.0	19.7
	74	51.7	25.6	25.0	34.8	22.7	21.9	22.3	19.6
	75	110.2	58.2	46.0	37.8	35.6	30.5	27.9	24.7
	76	161.6	57.9	36.6	26.7	24.4	21.9	22.1	19.3
	77	92.0	38.8	30.8	25.7	25.1	23.5	24.3	21.2
	78	172.5	70.0	41.7	31.1	28.9	25.0	26.3	20.8
	79	136.4	41.9	31.2	27.8	26.7	23.8	25.6	20.8
平均		118.7	51.9	37.9	31.0	27.5	24.6	24.0	20.8

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-35に示す。

人工乾燥後のヤング係数は、乾燥するにつれて増大していき、人工乾燥前より 2.7～5.9tf/cm²増大した。

表-35 乾燥試験⑦のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工乾燥後 (tf/cm ²)							
		人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後	5ヶ月後	6ヶ月後
平均	70～79	51.2	50.2	50.6	50.7	50.8	51.6	51.8	53.8

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、大部分が僅かな表面割れに収まった。(表-36)

表-36 乾燥試験⑦の表面割れ

区分	試験木 NO.	(cm)	
		幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	70～79	16.5	○

⑤内部割れ

内部割れ面積測定結果を表-37に示す。

内部割れは人工乾燥直後から発生したが、内部割れ長さは◎評価であった。

表-37 乾燥試験⑦の内部割れ

(mm)			
区分	試験木 NO.	人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	70～79	12.3	◎

(8) 乾燥試験 8 回目

乾燥試験 8 回目は、乾燥試験 7 回目のステップ 3 を 6 時間延ばした乾燥スケジュールで実施した後に、屋外での天然乾燥を行った。

①乾燥スケジュール

乾燥試験 8 回目の乾燥スケジュールを表-38 に示す。

表-38 平成25年度8回目乾燥スケジュール

ステップ	DBT	WBT	移行時間	維持時間
1	30	30		
2	95	95	1	16
3	120	90	1	24
			2	40
			総乾燥時間	42

②含水率

含水率の調査結果を表-39 に示す。

人工乾燥前の含水率は、63.0～147.1%、平均 99.2%、人工乾燥後の含水率は、23.8～64.3%、平均 43.1%となった。

表-39 乾燥試験⑧の含水率推移

(%)							
乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後
乾燥試験⑧	80	87.3	29.7	26.8	25.0	21.3	19.8
	81	72.4	23.8	21.5	21.6	18.8	18.2
	82	116.8	64.3	50.4	46.6	34.9	28.4
	83	128.7	46.0	37.6	31.4	25.9	22.8
	84	70.9	35.6	34.5	28.3	24.0	21.0
	85	88.6	36.9	30.0	27.0	22.8	16.6
	86	63.0	32.7	29.5	28.5	25.1	22.3
	87	147.1	57.2	44.8	37.4	28.1	22.5
	88	119.4	53.8	42.6	35.5	29.2	25.7
	89	97.9	51.4	43.8	37.2	31.4	27.0
平均		99.2	43.1	36.2	31.9	26.2	22.4

③ヤング係数

ヤング係数の調査結果を表-40 に示す。

人工乾燥後のヤング係数は、乾燥するにつれて増大していき、人工乾燥前より 0.1～8.3tf/cm² 増大した。

表-40 乾燥試験⑧のヤング係数推移

乾燥区分	試験木 NO.	人工 乾燥前	人工 乾燥後	(tf/cm ²)			
				1ヶ月後	2ヶ月後	3ヶ月後	4ヶ月後
平均	80~89	60.4	59.3	60.7	60.1	62.8	63.6

④表面割れ

表面割れ面積は全体的に小さく、大部分が僅かな表面割れに収まった。(表-41)

表-41 乾燥試験⑧の表面割れ

区分	試験木 NO.	幅1mm超の表 面割れ長さ	表面割れ評価
平均	80~89	39.4	○

⑤内部割れ

内部割れ面積測定結果を表-42 に示す。

内部割れは人工乾燥直後から発生したが、内部割れ長さは◎評価であった。

表-42 乾燥試験⑧の内部割れ

区分	試験木 NO.	(mm)	
		人工 乾燥後 (元口15cm)	人工乾燥後の 内部割れ評価
平均	80~89	37.2	○

5 考察

表-43 に、初期蒸煮の温度と高温乾燥の湿球温度の違いによる表面割れ及び内部割れの発生状況をまとめた。

表-43 蒸煮と高温乾燥乾燥条件の違いによる表面割れと内部割れの長さの評価

幅 1 mm 超 の 表 面 割 れ	蒸煮条件 高温乾燥時間	85℃ 8h (高温乾燥の 湿球温度 85℃)	95℃ 8h (高温乾燥の 湿球温度 90℃)	85℃ 16h (高温乾燥の 湿球温度 85℃)	95℃ 16h (高温乾燥の 湿球温度 90℃)
		18h	◎ 2.1cm	◎ 1.9cm	◎ 0.0cm
	24h	○ 20.9cm	◎ 0.0cm	◎ 6.8cm	○ 39.4cm

内 部 割 れ	蒸煮条件 高温乾燥時間	85℃ 8h (高温乾燥の 湿球温度 85℃)	95℃ 8h (高温乾燥の 湿球温度 90℃)	85℃ 16h (高温乾燥の 湿球温度 85℃)	95℃ 16h (高温乾燥の 湿球温度 90℃)
		18h	○ 31.1mm	◎ 3.7mm	◎ 4.6mm
	24h	○ 23.5mm	○ 57.6mm	◎ 17.9mm	○ 37.2mm

人工乾燥と天然乾燥の組合せ乾燥により、表面割れは○評価以上の仕上がりとなった。

蒸煮温度 85℃と 95℃、蒸煮時間 8 時間と 16 時間とで、表面割れ発生に差がないことから、蒸煮条件は 85℃、8 時間以下で充分と考える。高温乾燥時間も 18 時間、24 時間とも、表面割れは○評価以上であり、人工乾燥直後に含水率を 30%程度まで下げるためには 24 時間かけた方が有利と思われる。

内部割れは、すべての人工乾燥条件で平均○評価以上となり、24 時間までは高温時間を継続しても適当と思われる。内部割れの面からも、蒸煮は 85℃、8 時間以下で充分と考える。

天然乾燥期間は 4～10 ヶ月を要した。春に天然乾燥を始めた試験では、4 ヶ月ですべての試験材が 20%以下の含水率となった。晩秋から冬に天然乾燥を始めた試験では、天然乾燥に 10 か月を要した。屋外での天然乾燥については、棧積み場所や日当り、さらには、温室を利用した天然乾燥など検討の余地がある。

6 これまでの経過と今後の課題

平成 25 年度は初期蒸煮の温度を 85℃と 95℃の 2 パターン、時間を 8 時間と 16 時間の 2 パターン、高温乾燥時間は 18 時間と 24 時間の 2 パターンで実施した。人工乾燥終了時点の含水率が 30%程度を目標とし、天然乾燥が 6 ヶ月以内に仕上がることを目標に、棧積みの上に波板の屋根を付けた屋外乾燥を実施した。

これまで、人工乾燥スケジュールの初期蒸煮条件は、85℃または 95℃で昇温 1 時間、継続 4 時間と時間を固定してきたが、初期蒸煮時間の長さによって乾燥速度の違いがあるのかどうかなど確認できていなかったことから、初期蒸煮時間を延ばした乾燥試験を実施した結果、蒸煮時間は長くしてもあまり意味がないことが分かった。人工乾燥後の天然乾燥条件など、まだ解明すべき課題があり、今後も、より効率的な乾燥スケジュールを検討する。