

〈資料〉

スギ梁材に対する高温乾燥条件および高周波・蒸気複合乾燥条件の検討*

寺西康浩・海本 一・久保 健*²

高温乾燥条件 3 種および高周波複合乾燥条件 3 種によりスギ梁材を乾燥処理し、各条件の違いによる乾燥特性を調べた。高温乾燥処理は材色の変化を制御することが困難であるものの、表面割れおよび内部割れを極力発生させずに乾燥処理するためには、高温低湿処理時間を48時間に設定することが経費（固定費）の面を考慮に入れても適当であると考えられた。このときの乾燥処理日数は12日間程度であった。高周波・蒸気複合乾燥処理は、材色の変化を制御できる可能性が示唆され、生産目的に応じて乾燥条件を使い分けることが適当と考えられた。また、いずれの乾燥法においても、乾燥後含水率を20%以下に調節することにより、その後の寸法変化の小さい乾燥材が得られることが確認された。なお、今回実施した高周波・蒸気複合乾燥条件においては、表面割れの発生を制御することが困難であった。

1. はじめに

これまでのスギ構造用製材品は、柱適寸丸太からの柱材一丁取りが主流であった。しかし近年、山元から供給されるスギ原木は、末口径18cm以上の中・大丸太の割合が増えるなど多様化が進んでいる。製材工場においては、スギ柱材の生産だけではなく、スギ梁材の生産も盛んになっている。

建築用製材品は乾燥材であることが求められて久しく、これまでにスギ柱材の乾燥技術を確認するための検証が多く行われてきた。その結果、高温乾燥や高周波・蒸気複合乾燥（以下、「複合乾燥」という）等の高速乾燥技術が実用化されている。しかし、これら高速乾燥技術をスギ梁材に対してどのように適用させるのかを検証した例^{1,2)}は散見されるのみで、生産現場へ供する技術情報量は乏しいといわざるを得ない。

今後、ますます多様化していくであろう消費者からの要望に対応し、高い品質が確保された製材品を供給していくためにも、スギ梁材の高速乾燥技術に関する資料を多く蓄積していく必要がある。そこで今回、スギ梁材を幾種類かの条件で高速乾燥処理し、それぞれでの乾燥日数、割れの発生量、材色の変化およびエネルギー使用量を調べるとともに、最終製品として問題がないかどうかを想定した仕上げ加工後の含水率変化、寸法変化および割れ発生量の変化を調べたので報告する。

2. 材料および方法

2.1 材料

県内製材工場より購入したスギ梁材48本（14cm×26cm、長さ約410cm、初期含水率47.6%～171.8%）を用いた。これら材料を図1上段に示すとおり長さ380cmに調整した後、表1のとおり、生材密度の範囲および平均値がなるべく等しくなるよう6つのグループ（1グループあたり8本）に選別した。

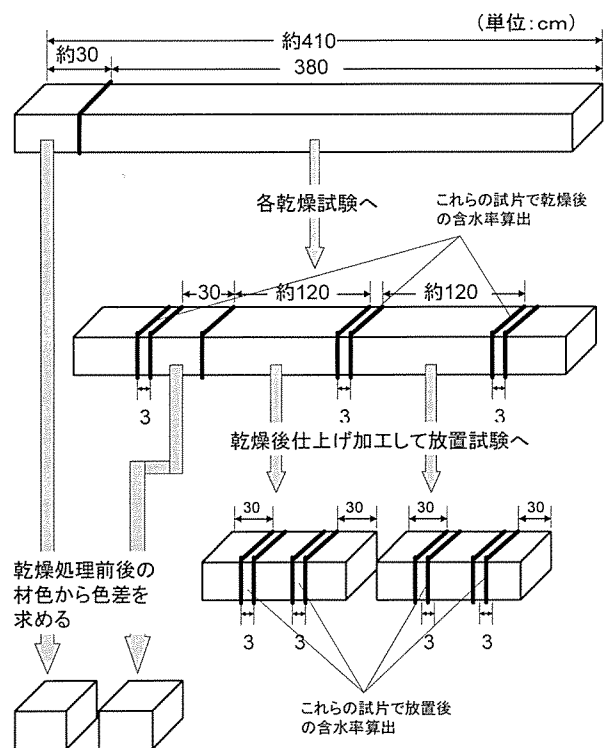


図1 試験材の調整方法

*1: 本研究は林野庁の平成16年度新技術研究成果現地実証事業により実施した。*2: 奈良県土木部住宅課

表1 各グループの初期含水率および生材密度

グループ 1			グループ 2			グループ 3		
試験体 No	初期含水率 (%)	生材密度 (g/cm ³)	試験体 No	初期含水率 (%)	生材密度 (g/cm ³)	試験体 No	初期含水率 (%)	生材密度 (g/cm ³)
1	58.1	0.49	9	58.1	0.53	17	73.6	0.51
2	66.7	0.55	10	52.0	0.54	18	51.5	0.54
3	95.5	0.57	11	68.5	0.58	19	72.5	0.58
4	95.5	0.60	12	67.2	0.59	20	83.2	0.59
5	83.6	0.62	13	78.3	0.64	21	78.1	0.64
6	83.2	0.68	14	88.7	0.64	22	77.1	0.65
7	109.9	0.69	15	108.5	0.77	23	94.7	0.71
8	155.8	0.94	16	136.2	0.80	24	117.8	0.80
平均		0.643	平均		0.634	平均		0.626

グループ 4			グループ 5			グループ 6		
試験体 No	初期含水率 (%)	生材密度 (g/cm ³)	試験体 No	初期含水率 (%)	生材密度 (g/cm ³)	試験体 No	初期含水率 (%)	生材密度 (g/cm ³)
25	56.7	0.45	33	47.6	0.50	41	58.0	0.51
26	94.6	0.56	34	65.7	0.54	42	80.2	0.54
27	71.6	0.57	35	72.7	0.58	43	68.9	0.58
28	75.1	0.61	36	85.1	0.59	44	76.7	0.59
29	75.6	0.62	37	76.7	0.63	45	86.6	0.65
30	104.0	0.69	38	87.2	0.66	46	93.2	0.66
31	108.1	0.69	39	89.4	0.69	47	100.5	0.71
32	171.8	1.01	40	112.0	0.80	48	89.4	0.80
平均		0.649	平均		0.624	平均		0.627

表2 乾燥条件（上：高温乾燥、下：複合乾燥）

	高温A			高温B			高温C		
	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(hr)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(hr)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(hr)
ステップ1	95	95	12	95	95	12	95	95	12
ステップ2	120	80	48	120	80	48	120	80	24
ステップ3	120	80	98	90	80	220	90	60	288
備考									

	複合A			複合B			複合C		
	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(hr)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(hr)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(hr)
ステップ1	95	95	12	95	95	12	95	95	12
ステップ2	120	80	48	120	80	24	120	80	24
ステップ3	90	85	146	90	85	240	70	60	240
備考	開始60時間後より高周波加熱開始			開始36時間後より高周波加熱開始			開始36時間後より高周波加熱開始		

2.2 乾燥試験

2.1のとおりグループ分けした試験材を、表2に示す

6種類の乾燥条件（高温乾燥法3種、複合乾燥法3種、以下各々を高温A、高温B、高温C、複合A、複合Bお

よび複合Cという。)により処理した。全ての乾燥処理は同じ乾燥機(山本ビーター製 MDW-8SR、容量4m³)で行った。複合A、複合Bおよび複合Cにおける高周波印加出力は、試験材の生材重量合計に応じて調節し、少なくとも、生材重量1kg当たり14W以上を投入した。また、一部の試験材の材中央部に光ファイバー温度計(高岳製作所製FT-1110)を挿入し、材温が最高で105℃となるよう高周波の発振・停止を調節した。

乾燥処理中においては、定期的に試験材の重量を測定するとともに、ボイラーで消費した灯油量を記録した。複合A、複合Bおよび複合Cにおいては、高周波発振器で消費した電力量をあわせて記録した。

乾燥処理後においては、図1中段に示すように、含水率測定用の試験体(長さ3cm)を採取し、試験材の含水率を全乾法により算出した。また、このとき露出した木口面で内部割れ発生の様子を観察した。内部割れ発生量の算出は、木口面に現れた内部割れの面積を求め、これを積算した。

加えて、図1中段のとおり採取した試験体(長さ約120cm、2体)を自動一面かな盤により仕上げ加工(12cm×24cm、長さ約120cm)し、表面割れの様子を観察した。乾燥後、所定の寸法に仕上げ加工した材は、美観的にも表面割れが発生していないことが望ましいが、微細な表面割れは、慣例上、容認されることが多く、針葉樹の構造用製材の日本農林規格においても表面割れに関する基準は設けられていない。そこで表面割れ発生量の算出は、奈良県地域材認証センターが運用する奈良県地域認証材品質基準を参考に、幅1.5mm以上の表面割れについて、延べ長さが1000mm以上発生しているか否かを調べることにした。

2.3 放置試験

2.2のとおり表面割れの様子を観察した後、各放置試験体を屋外にさん積みし、屋根をつけて約1年間放置し

た。放置期間中は重量、寸法および表面割れ長さの経時変化を測定した。放置終了後、図1下段に示すように、長さ3cmの試験体を採取し、放置試験体の含水率を全乾法により算出した。

なお本試験は、乾燥処理した実大材が最終製品としてどのような挙動を示すかを長さ120cmの試験体により調べるものである。したがって、放置するに当たっては試験体の長さを実大材の長さとの相違による影響(乾燥速度等)を極力小さくするため、両木口面をエポキシ樹脂系接着剤でシール処理した。

2.4 材色変化試験

図1上段および下段に示すように、乾燥処理前後に採取した材色変化試験用の試験体(14cm×26cm、長さ30cm程度)を1年間以上天然乾燥した。自動一面かな盤により鉋がけし、心材色(早材部)を測色色差計(日本電色製 NF333)で測定した。表色系はL*a*b*表色系を用い、光源はC、視野角は2°とした。求められたL*、a*およびb*から、(1)式により色差(ΔE)を算出し、これを各乾燥条件間で比較した。

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_0)^2 + (a^*_1 - a^*_0)^2 + (b^*_1 - b^*_0)^2} \dots (1)$$

ΔE：色差、L*₁：乾燥後のL*、L*₀：乾燥前のL*、a*₁：乾燥後のa*、a*₀：乾燥前のa*、b*₁：乾燥後のb*、b*₀：乾燥前のb*

3 結果

3.1 乾燥試験の結果

3.1.1 含水率経過

高温A、高温Bおよび高温Cで乾燥処理した試験材の含水率経過を図2に示した。いずれの高温乾燥条件においても、高温低湿処理工程(表2に示すステップ2の乾

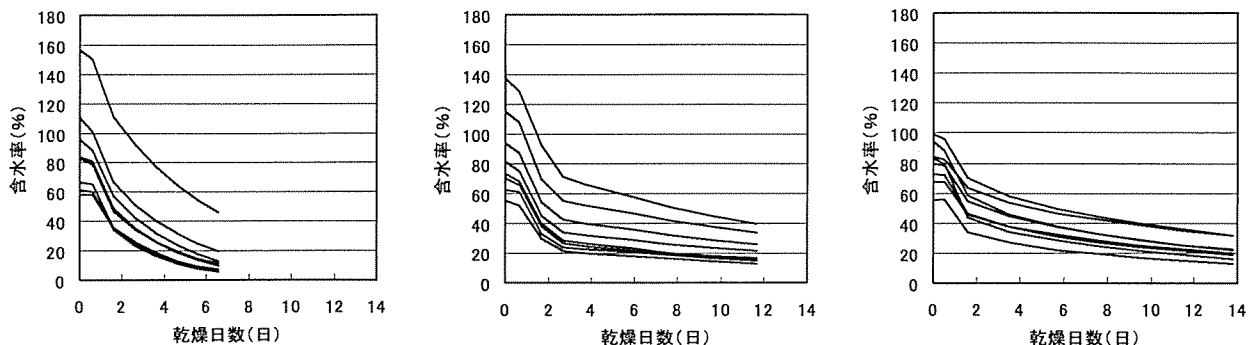


図2 高温乾燥3種の含水率経過 (左：高温A 中：高温B 右：高温C)

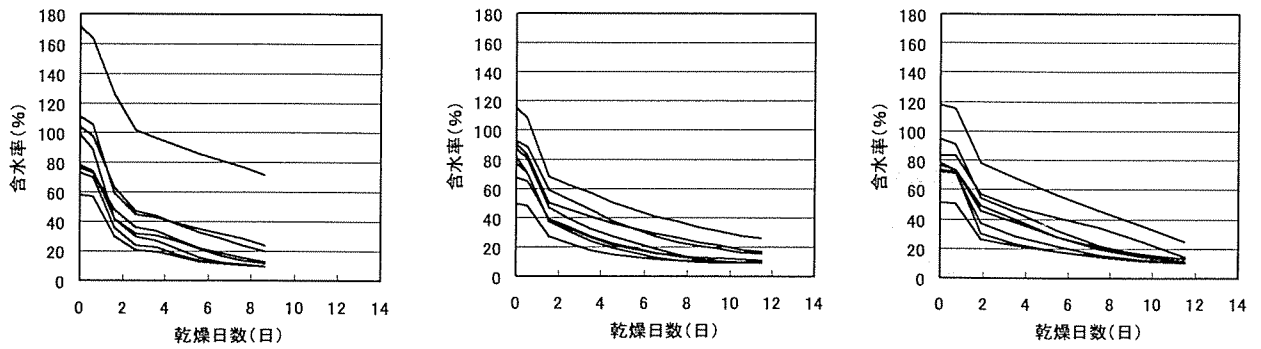


図3 複合乾燥3種の含水率経過 (左: 複合A 中: 複合B 右: 複合C)

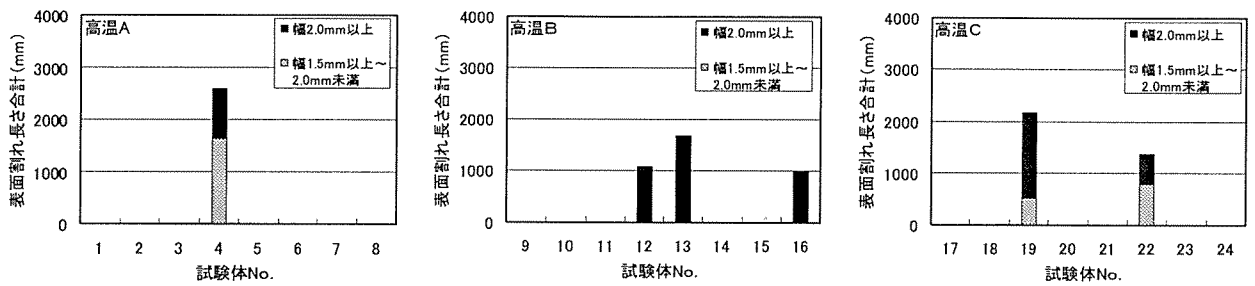


図4 高温乾燥処理後の表面割れ発生量 (左: 高温A 中: 高温B 右: 高温C)

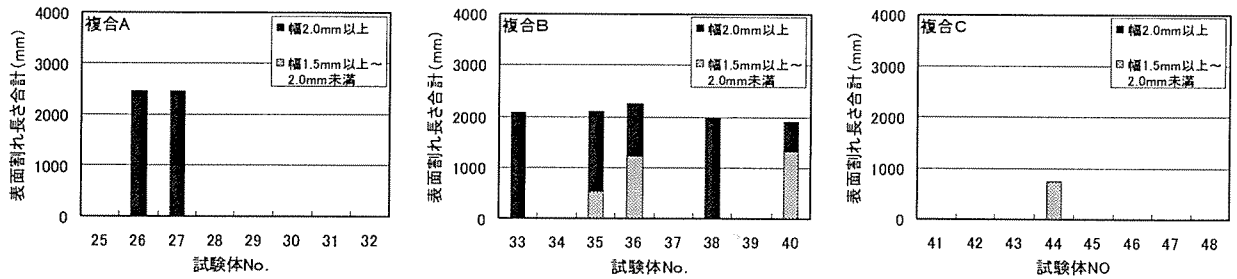


図5 複合乾燥処理後の表面割れ発生量 (左: 複合A 中: 複合B 右: 複合C)

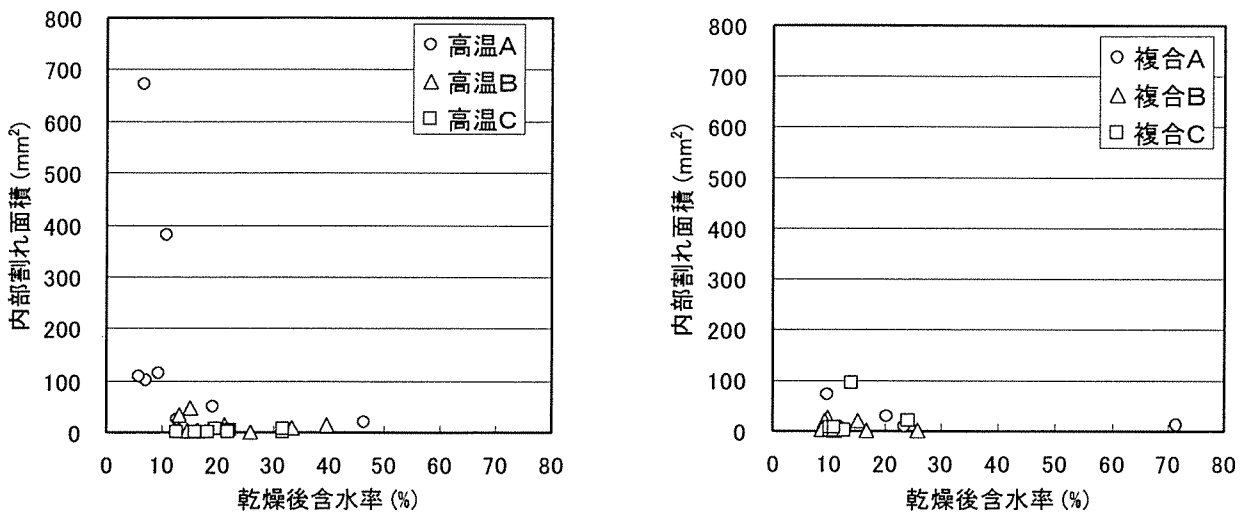


図6 高温乾燥処理および複合乾燥処理した材の内部割れの発生状況 (左: 高温乾燥 右: 複合乾燥)

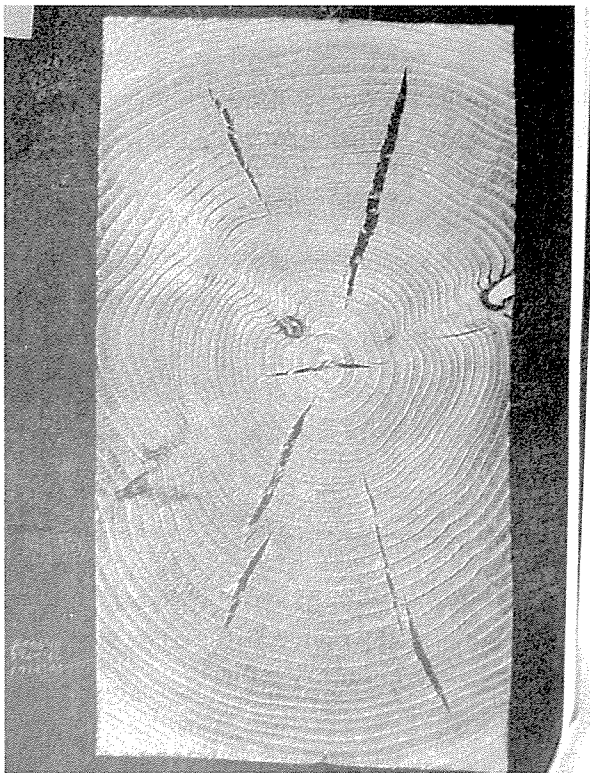


図7 乾燥後に発生した内部割れ

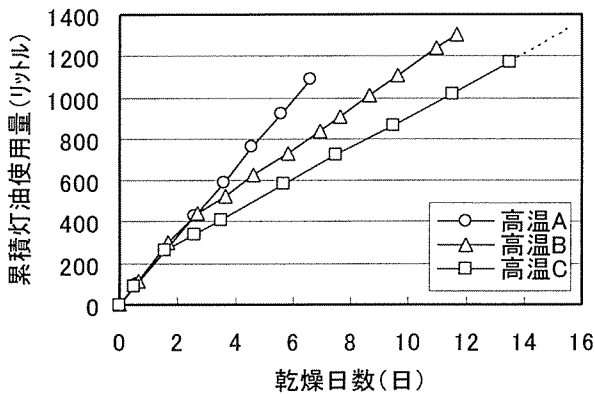


図8 各高温乾燥条件において使用した灯油量

湿球温度条件) に大幅な含水率低下がみられた。以降、乾燥温度を90℃に設定した高温Bおよび高温Cにおいては、経過に伴う含水率低下が緩やかになったが、高温低湿処理条件を継続した高温Aにおいては、引き続き大幅な含水率低下がみられた。

複合A、複合Bおよび複合Cで乾燥処理した試験材の含水率経過を図3に示した。いずれの複合乾燥条件とも高温低湿処理工程後に乾球温度を下げて高周波加熱を開始したが、この期間の含水率低下幅は、高温低湿処理工程中のそれに比べ小さいものであった。しかしいずれの複合乾燥条件とも、高温Bおよび高温Cの高温低湿処理後の条件(表2に示す高温Bおよび高温Cのステップ3)

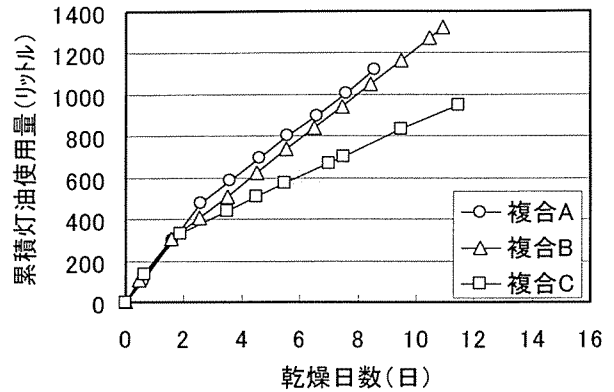


図9 各複合乾燥条件において使用した灯油量

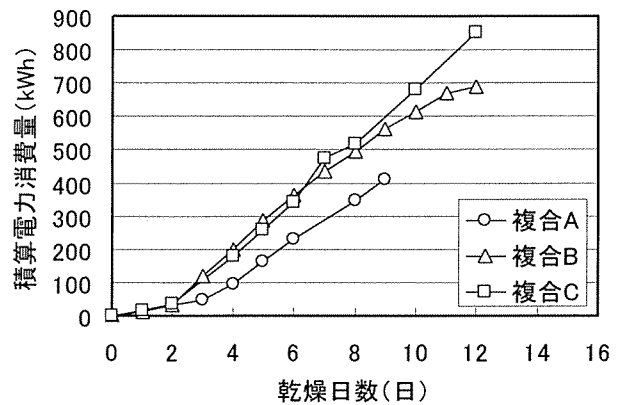


図10 各複合乾燥条件において使用した電力量

に比べ乾湿球温度差を大幅に小さく設定しているにもかかわらず、高周波加熱効果により高温Bおよび高温Cのステップ3と同等かそれ以上の含水率低下幅を示した。

3.1.2 乾燥処理に伴う割れの発生状況

高温乾燥処理した材から採取した試験体を、自動一面かんな盤により12cm×24cm、長さ約120cmに仕上げ加工した際の表面割れ発生状況を図4に示した。1試験材あたり2つの試験体を採取したので、図4には2つの試験体に発生した表面割れの合計を示している。

高温Aでは1試験材、高温Bでは3試験材、高温Cでは2試験材に幅1.5mm以上、延べ長さ1000mm以上の表面割れが発生していた。

複合乾燥処理した材から採取した試験体を、自動一面かんな盤により12cm×24cm、長さ約120cmに仕上げ加工した際の表面割れ発生状況を図5に示した。

複合Aでは2試験材、複合Bでは5試験材に幅1.5mm以上、延べ長さ1000mm以上の表面割れが発生していた。複合Cでは延べ長さ1000mm以上の表面割れは発生していなかった。

高温乾燥処理および複合乾燥処理した材の内部割れの発生状況を図6に示した。図6には各試験材の乾燥後含

水率と、発生した内部割れの面積合計との関係を示している。高温Aにより乾燥処理した材のうち、含水率10%以下に仕上がった材に大きな内部割れの発生したのがみられた。なお、著しい内部割れが発生した材の木口面の様子を図7に示す。

3.1.3 乾燥処理に使用した灯油量および電力量

高温A、高温Bおよび高温Cの灯油使用量を図8に示した。全工程にわたり高温低湿処理条件を継続した高温Aは、高温Bおよび高温Cに比べ、一日あたりの灯油使用量が多くなったが、灯油使用量の合計としては、高温Bが最も多く、続いて高温C、高温Aの順となった。

複合A、複合Bおよび複合Cの灯油使用量を図9に示した。また、複合A、複合Bおよび複合Cの電力使用量を図10に示した。高周波加熱中、乾球温度を90℃に設定した複合Aおよび複合Bは、乾球温度を70℃に設定した複合Cに比べ、一日あたりの灯油使用量が多くなった。灯油使用量は、複合Bが最も多く、続いて複合A、複合Cの順となった。一方、消費電力量としては、複合Cが最も多く、続いて複合B、複合Aの順となった。

3.2 放置試験の結果

3.2.1 放置試験中の含水率変化

高温乾燥後に採取した放置試験体の、経過に伴うその後の含水率変化を図11に示した。また、複合乾燥後に採取した放置試験体の、経過に伴うその後の含水率変化を図12に示した。いずれの乾燥条件から採取した材においても、放置開始時に含水率が高いものは経過とともに含

水率は低下し、放置開始時に含水率が10%未満であったものは経過とともに含水率は上昇して、1年後には含水率約15%に収束した。なお、放置開始時の含水率が30%以上のものであっても120~180日程度で概ね含水率20%程度に乾燥した。

3.2.2 放置試験中の寸法変化

高温乾燥後に採取した放置試験体の、経過に伴う収縮率変化を図13に示した。また、複合乾燥後に採取した放置試験体の、経過に伴う収縮率変化を図14に示した。図13および図14は、乾燥後の含水率に応じて凡例分けしており、収縮率がマイナスであるものは寸法が長くなったことを示す。

収縮率の変化は、いずれの乾燥条件から採取した材においても放置中の含水率変化に連動しており、放置開始時に含水率20%以下であった試験体の寸法変化量は小さく、放置開始時に含水率25%より高かった試験体の寸法変化量は相対的に大きなものであった。

3.2.3 放置試験中の表面割れ長さの変化

高温乾燥後に採取した放置試験体の、経過に伴う表面割れ長さの変化を図15に示した。1試験材あたり2つの放置試験体を採取したので、図15には2つの放置試験体に発生した表面割れの合計を示している。乾燥後の含水率が25%以下であった試験体では、新たに表面割れが発生したものはなく、放置開始時から表面割れが発生していた試験体についても、その後の割れ長さはあまり変化がみられなかった。乾燥後の含水率が25%よりも高かっ

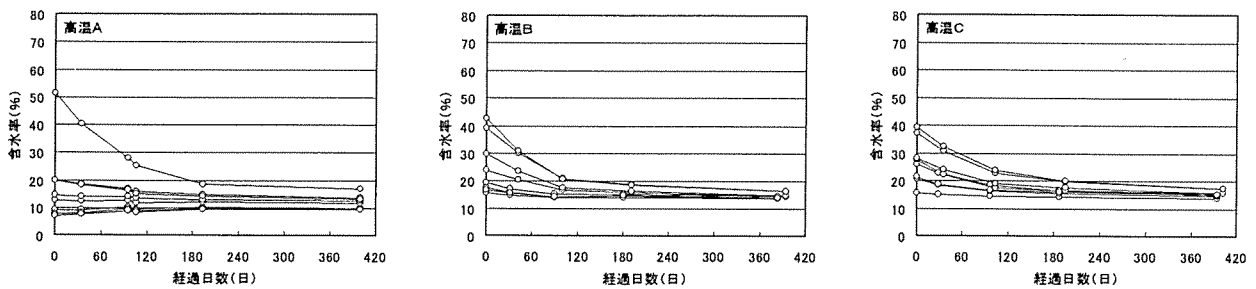


図11 放置中の含水率変化 (左: 高温A 中: 高温B 右: 高温C)

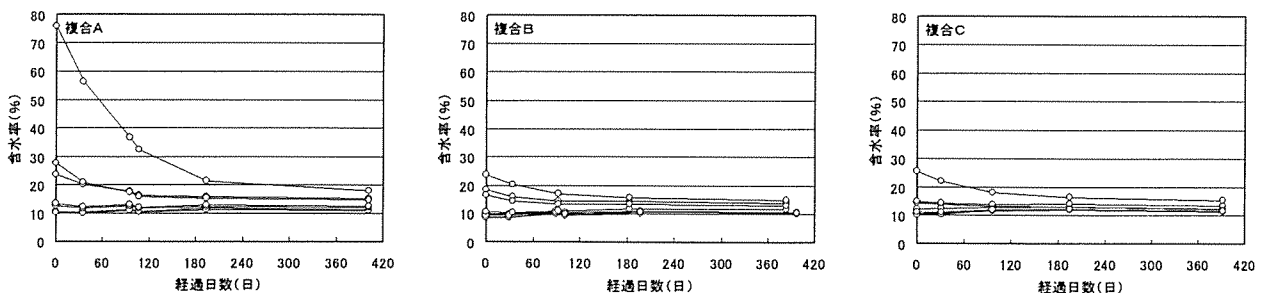


図12 放置中の含水率変化 (左: 複合A 中: 複合B 右: 複合C)

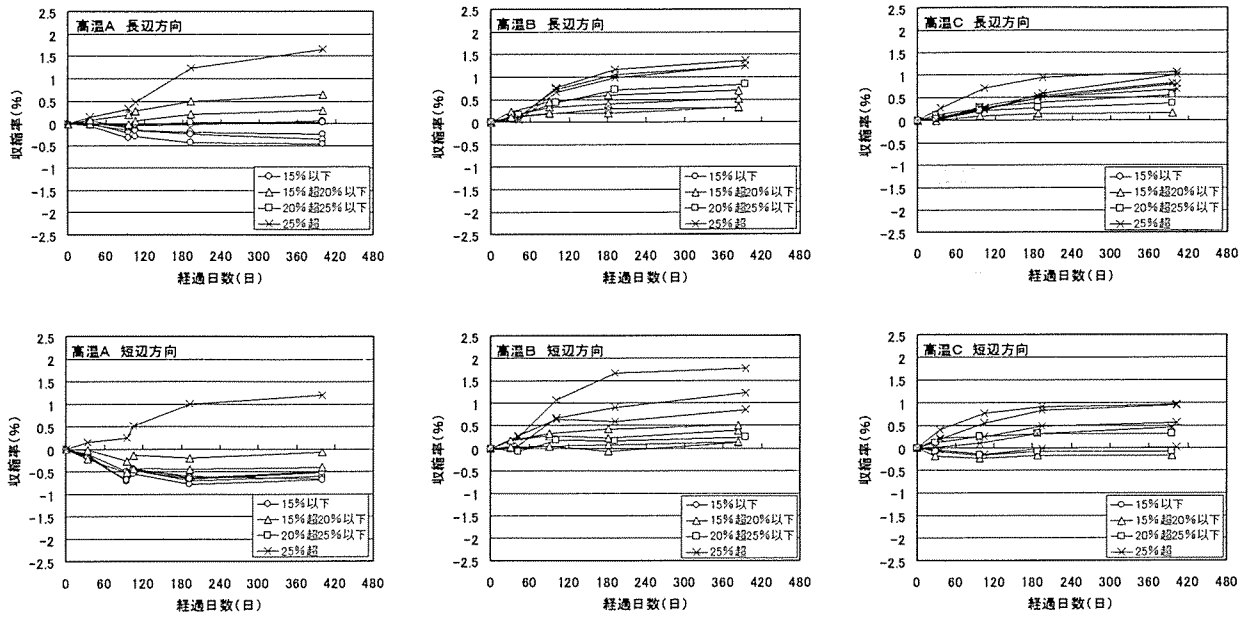


図13 放置中の寸法変化 (左：高温A 中：高温B 右：高温C、上：長辺方向 下：短辺方向)

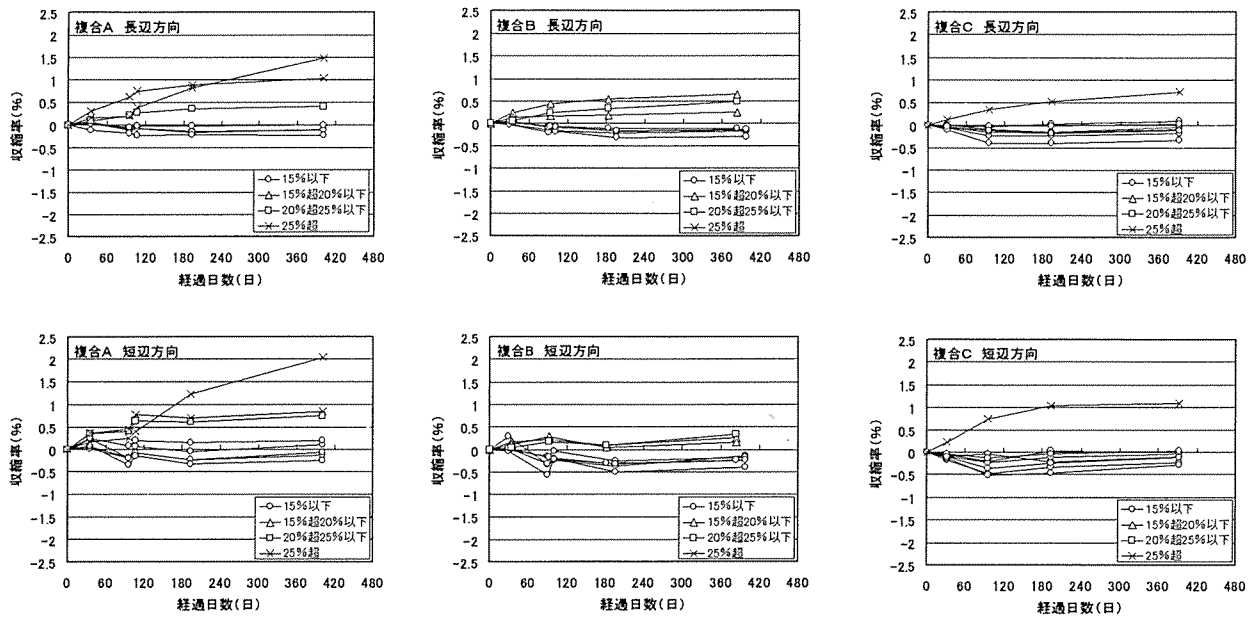


図14 放置中の寸法変化(左：複合A 中：複合B 右：複合C、上：長辺方向 下：短辺方向)

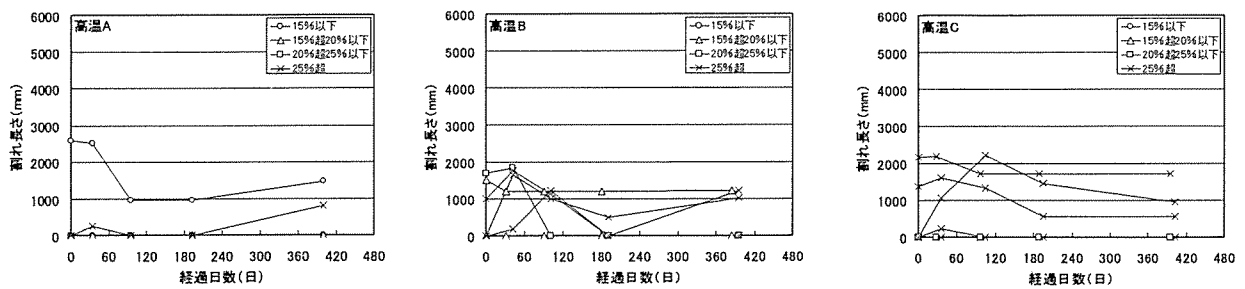


図15 放置中の表面割れ長さの変化 (左：高温A 中：高温B 右：高温C)

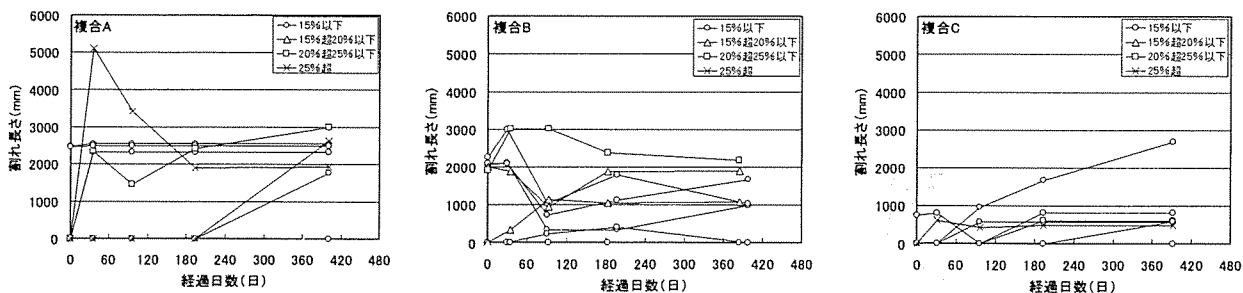


図16 放置中の表面割れ長さの変化 (左: 複合A 中: 複合B 右: 複合C)

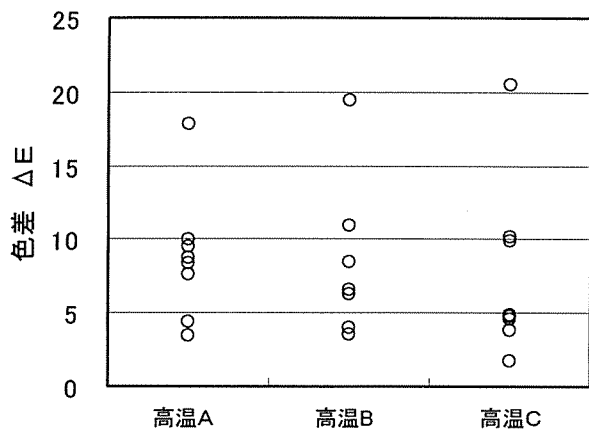


図17 高温乾燥処理した試験材の心材色の变化 (色差)

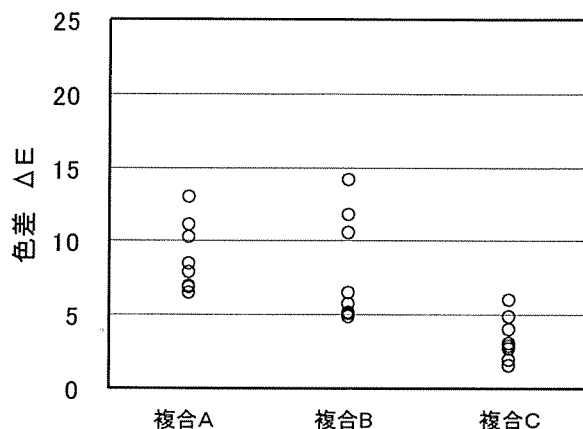


図18 複合乾燥処理した試験材の心材色の变化 (色差)

た試験体では、新たに表面割れの発生したものがみられ、その後の割れ長さについては、一定の傾向は示さないものの、大きく変化する場合が多かった。しかし、いずれの試験体においても、割れ長さが1000mmを超えたものは少なく、放置期間中に表面割れが著しく伸びるなどの問題は見受けられなかった。

複合乾燥後に採取した放置試験体の、経過に伴う割れ長さの変化を図16に示した。放置開始時から表面割れが発生していた試験体については、その後の割れ長さにあまり変化はみられなかったものの、放置開始時に表面割れのなかった試験体については、乾燥条件や乾燥後含水率に関わらず、経過とともに表面割れが発生し、これが伸長していくのがみられた。放置開始時に表面割れが発生していた試験体を含め、最終的に割れ長さが1000mmを超えたものが多くみられた。

3.3 材色変化試験の結果

高温A、高温Bおよび高温Cで乾燥処理した試験材の心材色の变化(色差)を図17に示した。いずれの高温乾燥条件においても、 ΔE は3~20程度の範囲に分布し、乾燥条件の違いによる差は明らかでなかった。なお目視する限りにおいては、いずれの高温乾燥条件においても乾燥後に心材色が黄変した材が多くみられた。

複合A、複合Bおよび複合Cで乾燥処理した試験材の

心材色の变化(色差)を図18に示した。乾球温度を低く設定した複合Cの ΔE が他の乾燥条件のそれに比べ低い値であった。Kruskal-Wallisの検定(代表値の差の検定)を行った結果、乾燥条件間で有意差($\chi^2=10.241, P<0.05$)がみられた。U検定により多重比較したところ、複合Aと複合Cの間および複合Bと複合Cの間に有意差(いずれも $P<0.0167$)がみられた。なお目視する限り、複合Aおよび複合Bで乾燥処理した材は心材色が黄変したものが多くみられたが、複合Cで乾燥処理した材の心材色は顕著な変化が認められなかった。

4. 考察

4.1 スギ梁材に対する高温乾燥処理

3種類の高温乾燥条件で試験材を乾燥処理したところ、乾燥条件の違いにより含水率経過に差が認められた。ここで、各高温乾燥条件における適正な乾燥日数について考える。一般に、スギ製材品の初期含水率は大きくばらつくことが知られており、図2でも明らかなように、初期含水率の高い材は乾燥処理後の含水率も高い。したがって、全ての材を一律に乾燥処理する日数を決定するのは困難である。一方で図19に示すように、今回用いた試験材の初期含水率と生材密度との間には強い相関関係があ

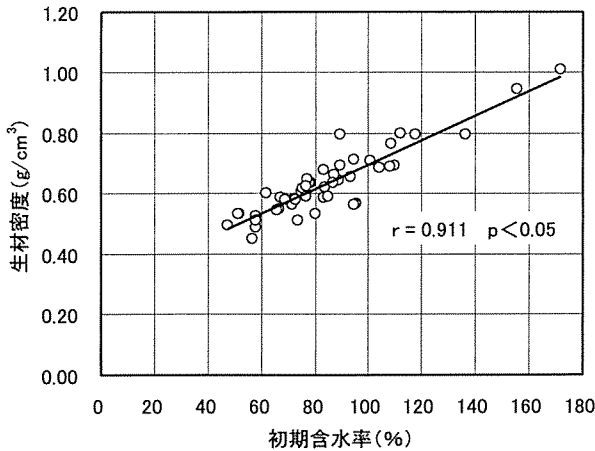


図19 試験材の初期含水率と生材密度との関係

り、初期含水率110%以上の材の生材密度は概ね0.80g/cm³程度となる。当該材の出現確率が5%前後と推測される³⁾ことから、初期含水率110%未満の材が概ね含水率20%前後に乾燥し得る時間を適正な乾燥日数と考え、高温Aでは適正な乾燥日数は6日程度と判断された。同様に、高温Bでは適正な乾燥日数は12日程度と判断された。高温Cにおいては、初期含水率100%程度の材が14日後でも含水率約30%にしか乾燥されておらず、2日間程度乾燥期間を延長させる必要があると考えられ、高温Cでの適正な乾燥日数は16日程度と判断された。

このように、高温低湿処理時間の長い高温乾燥条件ほど、この期間に多くの水分を除去でき、結果として短時間で含水率20%程度に乾燥することが可能となった。しかし、過度に高温低湿処理時間を長くすると、高温Aでみられたように内部割れが多く発生するので、注意が必要である。

乾燥後の表面割れ発生状況に注目すると、いずれの高温乾燥条件においても、幅1.5mm以上延べ長さ1000mm以上の表面割れが発生した材は全体の半数以下であった。小野ら⁴⁾は、スギ梁材を温度80°Cで14日間中温乾燥した後、2次乾燥あるいは天然乾燥により含水率20%以下に調節した際に、割れ発生防止に関する処置を施さない場合、1試験材あたり2.7本、長さ2927mm(いずれも平均値)の表面割れが発生したことを報告している。小野らの検証と今回の結果を比較すると、高温低湿処理を24時間以上施すことにより、一定の割れ防止効果が得られることは明らかである。また、放置試験中における表面割れの伸長状況については、割れ長さが増大するなどの問題点は見受けられなかった。この原因は高温乾燥処理によって材層付近に残留した圧縮応力が、仕上げ加工後および放置後においても保持されたためと推測される。

乾燥後の寸法変化に注目すると、収縮率の変化は乾燥後含水率の違いにより傾向が異なった。乾燥後含水率が15%~20%であった材のその後の収縮率は0.5%程度、乾燥後含水率が15%未満であった材のその後の収縮率は-0.5%程度であった。これに対し、乾燥後の含水率が20%以上の材はその後の収縮率は1%程度か、あるいはそれ以上のものもみられた。ここで、寸法変化からみた適正な乾燥後含水率を考える。針葉樹の構造用製材の日本農林規格では表示された寸法と測定した寸法との差は+側で1.5mm以内、-側で0mm以内と定められている。例えば、断面を120mm×240mmと表示させるスギ梁材の場合、寸法基準上限の121.5mm×241.5mmに仕上げ加工し、その後の収縮率が0.5%程度であれば、概ね規格製品のままで使用可能と考えられる。このことから、乾燥後含水率は20%以下に調節することが望ましいと考えられた。

灯油使用量に注目すると、高温Bが最も多く、続いて高温C、高温Aの順となった。しかし前述したとおり、高温Cは2日間程度乾燥期間を延長することが望ましいと判断されたので、図8の点線で想定するように、灯油使用量合計は高温Bとほぼ同程度になるものと思われた。

以上のことを考えあわせ、さらに、乾燥条件を変化させても材色変化については明らかな差は認められなかったことを考慮すると、スギ梁材の高温乾燥処理は、材色の変化を制御することが困難であるものの、乾燥後含水率を20%以下に調節することにより、その後の寸法変化の小さい乾燥材が得られることがわかった。また、表面割れおよび内部割れを極力発生させずに乾燥処理するためには、今回の検討では、高温低湿処理時間を48時間に設定することが経費(償却費などの固定費)の面からも適当であると考えられた。このときの乾燥処理日数は12日間程度であった。

4.2 スギ梁材に対する複合乾燥処理

3種類の複合乾燥条件で試験材を乾燥処理したところ、乾燥条件の違いにより含水率経過に差が認められる場合があった。ここで各複合乾燥条件における適正な乾燥日数について考える。同様に、初期含水率110%未満の材が概ね含水率20%前後に乾燥し得る時間を適正な乾燥日数と考え、複合Aでは適正な乾燥日数は9日程度と判断された。また、複合Bでは10日程度、複合Cについても10日程度と判断された。このように高温低湿処理時間の長い乾燥条件は、この期間中に多くの水分を除去することができ、わずかではあるが、より短い期間で含水率20%程度に乾燥可能であった。

灯油使用量および電力使用量に注目すると、乾燥条件の違いにより差がみられた。高温低湿処理期間中に多く

の水分を除き去った複合Aは、他の複合乾燥条件に比べ、電力使用量が少なく、複合Bに比べ灯油使用量も少なかった。したがって、今回の検討においては、複合Aは最も経費が安い乾燥条件であったといえる。一方、複合Cは高周波加熱中の乾球温度を70℃に設定したため、他の複合乾燥条件に比べ灯油使用量は少なかったが、乾球温度と高周波加熱された材の温度（100℃程度）との差が他の複合乾燥条件に比べ大きいので、電力使用量は最も多かった。したがって、複合Cは経費（変動費）が高む乾燥条件であったといえる。

材色変化に注目すると、複合Cは、複合Aおよび複合Bにくらべ、色差（ ΔE ）が小さい値となった。このことから、複合乾燥は乾燥条件を調節することによって材色の変化を制御できることが示唆された。前述したとおり、複合Cは経費が高む乾燥条件であるものの、材色変化を嫌う用途で用いる製材品の乾燥処理には適用可能と考えられた。複合Cで乾燥した材の色の変化が小さかった原因は、他の複合乾燥条件よりも乾球温度を低く設定して処理したことが一因として挙げられるが、乾球温度の違いによる材色変化については、乾燥時間や高周波による加熱温度との関係を踏まえ更なる検討が必要である。

表面割れ発生状況および表面割れの伸長状況に注目すると、複合乾燥においては乾燥後、多くの材に表面割れが発生したり、放置期間中に新たな割れが発生し、経過とともにこれが伸長する様子が観察された。この原因は次のように考えられる。今回実施した3種の複合乾燥条件においては全て乾燥工程前半に高温低湿処理を施しており、その際、材の外周部に引張りセット層が形成されていると予想される。しかし一方で、徳本ら³⁾は高温低湿処理後、乾球温度85℃湿球温度80℃（乾湿球温度差5℃）で複合乾燥したスギ材と乾球温度90℃湿球温度60℃（乾湿球温度差30℃）で複合乾燥したスギ材に残留する応力の違いを計測し、前者の材に残留する圧縮応力が後者の材のそれに比べて小さくなることを報告している。今回実施した複合乾燥条件3種については乾球温度90℃湿球温度85℃（乾湿球温度差5℃）あるいは乾球温度70℃湿球温度60℃（乾湿球温度差10℃）であり、徳本らの検証に当てはめると前者の条件（乾球温度85℃湿球温度80℃）に類似する。したがって、今回複合乾燥処理した試験体についても、材表層に残留する圧縮応力が小さくなった可能性があり、高温乾燥処理した試験体のそれに比べ、表面割れが多く発生したものと推測される。加えて、今回放置試験に供した試験体は仕上げ加工として表層の5～8mmを切削したことを考慮すると、複合乾燥処理後、たとえ含水率15%に乾燥した材であっても、放置期

間における大気中の平衡含水率の変化で材表層に割れが発生するに足る応力が生じた可能性がある。

なお、乾燥後の寸法変化については高温乾燥処理した材と同様の傾向がみられ、複合乾燥処理した材においても、乾燥後含水率は20%以下に調節することが望ましいと考えられた。

以上のことから、スギ梁材の複合乾燥処理は、材色の変化を制御することが可能と考えられ、生産目的に応じて乾燥条件を使い分けることが適当と考えられた。今回の検討においては、乾燥経費をできるだけ抑える場合、高温低湿処理時間を48時間に設定することが適当であると考えられた。材色の変化を抑える必要のある製品を乾燥処理する場合、高温低湿処理時間を24時間とし、高周波加熱中における乾球温度を70℃に設定することが適当であると考えられた。いずれの場合においても乾燥後含水率を20%以下に調節することにより、その後の寸法変化の小さい乾燥材が得られることが可能で、これにかかる乾燥処理日数は9～10日程度と大差はなかった。ただし材色の変化を抑える必要のある製品を生産する場合、経費（変動費）が高むので、このことに注意する必要がある。

一方で、今回実施した複合乾燥条件においては、表面割れの発生を制御することが困難であった。高温低湿処理時間を長くして大きな引張りセットを形成させたり、高周波印加中の乾湿球温度差を大きくして乾燥後、材表層に残留する圧縮応力を大きくするなど、乾燥条件の改善と、改善効果に関する検証が必要である。

引用文献

- 1) 小野広治ほか：地域産材の低コスト乾燥技術の開発（Ⅲ）. 奈良県森林技セ木材加工資料. 31, 21-24 (2002)
- 2) 武智正典ほか：スギ心持ち角材の高温乾燥条件. 愛媛県林技研報. 22, 46-56 (2004)
- 3) 海本一ほか：未発表
- 4) 小野広治ほか：地域産材の低コスト乾燥技術の開発（Ⅱ）. 奈良県森林技セ木材加工資料. 30, 7-11 (2001)
- 5) 徳本守彦ほか：異なる乾燥条件による心持ち直角D15材の応力解析. 日本木材加工技術協会第20回年次大会講演要旨集. 日本木材加工技術協会編. 大阪. 2002-10, 日本木材加工技術協会. 2002, 76-77.

(2006年10月6日受理)