

道南スギ材の乾燥

奈良直哉 橋本博和
千葉宗昭 大山幸夫

まえがき

道南地方におけるスギの造林は非常に古い歴史を持っているが、その造林体系に比較して利用体系は確立されていない。従って、製品の需要は伸びなやみ市場性ももとより地場消費も少ない現状と言われている。しかしながら、一方では人工造林の進展により主伐、間伐木の生産は増加していることから、これら生産量に対する利用開発を早急に確立すると同時に製材、乾燥、加工工程における付加価値の向上も図らなければならない。

このようなことから、本試験は建築用材として製材されたスギ心去り、心持正角の乾燥特性及び乾燥に伴う損傷についての検討を行い、乾燥工程における経済性を高める可能性についての検討を行った。また、小径木利用の一つとして丸太のまま利用（寺院の柱、床柱等）することも考慮して丸太乾燥についても検討を行った。

なお、本報告の一部は、昭和50年度林業技術研究発表大会において発表したものである。

1. 試験方法

1.1 製材（正角）の乾燥

昭和50年7月に渡島支庁管内松前町の民有林で伐採された樹令30年生程度の原木から心去り、心持正角（10.5cm×10.5cm×3.65m）を採材して供試材とした。供試材の概要は第1表に示すとおりである。この供試材は第2表に示す条件に区分し、天然乾燥、低温高湿スケジュール(L.H)、高温高湿スケジュール(H.H)、ポリエチレングリコール(PEG)処理による高温低湿スケジュール(H.L)の順で試験を行った。各条件の仕上がり含水率は、天然乾燥約15%（気乾状態）、人工乾燥は約8%を目標とした。天然乾燥試験にお

第1表 供試材の概要

供試材種	丸太径級 (cm)	気乾比重		平均年輪幅 (mm)	備考
		辺材部	心材部		
心持正角	15	0.35	0.38	4.5 (3.1~6.5)	渡島管内 松前町産
	(14~16)	(0.29~0.42)	(0.32~0.44)		
心去正角	28	0.30	0.34	5.8 (4.2~6.7)	
	(26~30)	(0.27~0.34)	(0.28~0.44)		

注) 1. 丸太径級, 比重, 年輪幅の上段は平均値, 下段の()は範囲。
2. 比重測定時の含水率は約14%。

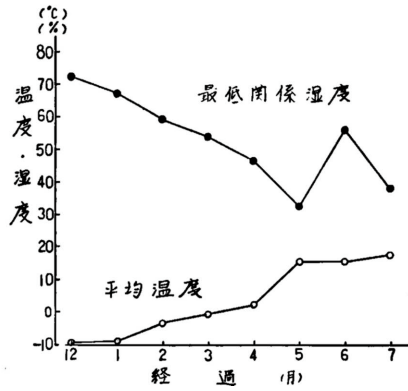
第2表 試験条件

No.	乾燥スケジュール	供試材材種	圧縮別	供試材本数	処理別
1	天然乾燥	心持正角	非圧	10	無処理
2		心去正角	非圧	10	
3	低温高湿(L.H)	心持正角	旋圧	10	無処理
4		心持正角	非圧	10	
5	高温高湿(H.H)	心持正角	旋圧	10	無処理
6			非圧	10	
7		心去正角	平圧	10	
8	高温低湿(H.L)	心持正角	旋圧	5	PEG-1
9				5	PEG-2

注) PEG-1の処理条件はPEG #1000, 濃度60%, 浸漬温度20, 7日間浸漬。
PEG-2の処理条件はPEG 1000, 濃度60%, 浸漬温度70, 7時間浸漬。
非圧; 圧縮なし 旋圧: 旋回圧縮 平圧: 平面圧縮

る積積みは常法により行い、乾燥期間は昭和50年12月上旬から昭和51年7月上旬の210日間である。乾燥期間中の旭川地方における温湿度は第1図に示すとおりである。なお、温度は1日の最高最低温度の平均値を月毎にまとめたものであり、湿度は同じく1日の最低関係湿度の平均値を月毎にまとめたものである。

人工乾燥試験における試験装置は、材積2m³入りの蒸気、電熱併用の乾燥室を用い連続運転で行った。また、乾燥による狂いを抑制するため心去正角（以下心去り材）、心持正角（以下心持ち材）の一部はそれ



第1図 月別平均温湿度(旭川地方)

ぞれ平面，旋回圧縮を行ったが圧縮圧力は供試材1本
当り1000kgとし，各椽木にかかる圧力を10kg / cm²
以下になるよう椽木本数を調整した。

乾燥経過中及び終了後，各供試材は常法により含水
率経過，損傷（ねじれ，曲がり，割れ），収縮率及び
水分傾斜，乾燥応力等の測定を行った。なお，ねじ
れ，曲がりについてはスパン3.5mとし，ねじれは角
度計，曲がりにはスケールにより最大矢高を測定，割れ
は木口割れ（木口より発生した表面割れ），表面割れ
とに分けテーパゲージ，スケールにより長さ，最大
幅を測定した。また，測定を終了した人工乾燥試験材
の各条件より一部の供試材を20℃，65%RH及び20℃
C，85%RHの雰囲気順に30日間づつ放置し吸・放
湿過程における供試材の変動についても測定した。

1.2 丸太の乾燥

供試丸太は前項の製材（正角）乾燥試験に用いたも
のと同様である。供試丸太の概要と試験条件を第3表
に示した供試丸太は乾燥前の木口割れ，表面割れ，ね

第3表 供試丸太と試験条件

No.	丸太径級 (cm)	本数	剥皮別	処理別	乾燥スケジュール
10	15	3	皮付	無処理	高温高湿 (H,H)
11		3	剥皮		
12	(14~16)	3	剥皮	PEG-1000	高温低湿 (H,L)
13		3		PEG-4000	

注) PEG-1000の処理条件はPEG#1000，濃度60%，浸漬温度20℃，7日間浸漬。

PEG-4000の処理条件はPEG#4000，濃度60%，浸漬温度20℃，7日間浸漬。

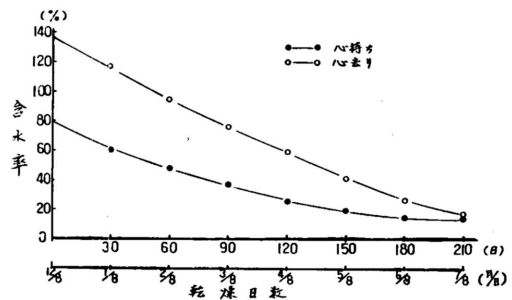
じれ，曲がりを測定した。なお，割れ，曲がりについ
ては前項と同様な方法で測定したが，ねじれはまず，
丸太の両木口に木片を打ちつけた後，材長3.65mの供
試材を架台上に載せ，末口に向かって右側（元口から
は左側）にくさびを入れて材を傾斜させながら固定，
次に丸太の両木口に打ちつけた木片の上に鉄製のパー
（30×5×110mm）を載せ，その上に角度計を置き，
両木口の角度を測定した。測定後，供試丸太は各条件
別に連続運転で試験を行ったが，仕上がり含水率，試
験装置，測定項目等は前項の製材の場合と同じであ
る。

2. 試験結果と考察

2.1 正角

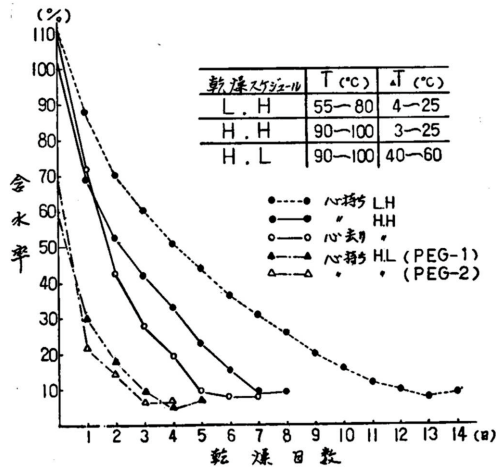
(1) 含水率経過

天然乾燥における材種別の含水率経過を第2図に，
人工乾燥における各条件別の乾燥スケジュールと含水
率経過を第3図に示した。天然乾燥開始時の初期含水
率は心去り材約140%，心持ち材は約80%であり，心



第2図 天然乾燥経過

持ち材は約60%も低い含水率であった。これは心
去り材の場合，高含水率の辺材部を多く含んでい
ること，心持ち材は低含水率の心材部が多いこと
からこのような値を示したものと考えられる。しか
し，高含水率の辺材部は水分の蒸発が比較的容
易なことから心去り材の含水率低下は心持ち材よ
り大きく，同じ乾燥期間内（210日間）で含水率
は心去り材約17%，心持ち材は約15%と両者ほ
ぼ同程度の含水率となった。



第3図 正角の乾燥スケジュールと含水率経過

人工乾燥における各条件の仕上がり日数は、心持ち材のL・Hスケジュールで約14日間を要したが、H・Hスケジュールでは心去り材が約7日間、心持ち材は約8日間で仕上がった。また、PEG処理のH・LスケジュールはPEG-1の条件が約5日間、PEG-2の条件は約4日間で仕上がり、乾燥日数は標準的なスケジュールであるL・Hスケジュールに比較してH・Hスケジュールは約1/2、H・Lスケジュールでは約1/3に短縮された。なお、H・Hスケジュールの心去り材と心持ち材、H・LスケジュールのPEG-1と2の条件でそれぞれ乾燥日数が若干相違しているのは前者は供試材に含まれている辺心材の比率、後者はPEG

第4表 正角の狂い

No.	ねじれ度/3.5m		曲り (mm)			
			一 面		二 面	
	平均 ¹⁾	範 囲 ²⁾	平均 ¹⁾	範 囲 ²⁾	平均 ¹⁾	範 囲 ²⁾
1	1.9	-0.2~-4.1	4.6	- 8.0~-1.5	4.6	- 3.5~ 11.0
2	0.8	-0.6~ 0.9	6.9	-24.0~ 4.0	4.1	-15.5~ 6.5
3	2.1	-3.1~ 2.8	2.6	- 3.0~ 7.0	3.2	- 5.0~ 8.0
4	2.1	-0.4~-5.6	4.4	- 7.5~ 8.0	6.0	-14.0~ 5.0
5	1.2	-1.1~ 2.3	4.8	- 1.5~ 8.0	3.2	- 7.5~ 5.0
6	1.5	-2.8~ 1.1	5.2	- 9.5~ 12.0	6.9	-11.5~ 17.5
7	0.9	-2.4~ 0.4	2.8	- 5.0~ 7.0	5.3	-12.0~ 7.0
8	0.9	-1.5~ 0.9	2.2	- 4.0~ 2.0	3.8	- 7.0~ 2.0
9	1.1	-1.7~ 2.1	2.3	- 2.5~ 5.0	2.5	- 2.5~ 6.0

注) 1) 絶対値の和の平均, 2) 負号(-)はZ旋回(ねじれ) または測定材面が凹(曲り)。

浸潤量の差による影響からこのような結果を示したもののと思われる。

(2) 狂い

天然乾燥と人工乾燥による正角の狂いを第4表に示した。天然乾燥におけるねじれは平均値で心去り材は0.8度、心持ち材は1.9度であり、心持ち材は心去り材の約2倍のねじれであった。しかし、曲がりには心去り材が若干大きい値を示している。なお、心持ち材におけるねじれの方向はすべて右(Z)旋回を示し、これはカラマツ心持正角が左(S)旋回するのに対し全く逆な結果を示した。

人工乾燥におけるねじれはH・Hスケジュールの非圧縮乾燥で心去り材は1.5度、心持ち材は2.1度であった。このねじれ量から心持ち材の圧縮乾燥は圧縮解除後のねもどり量も考慮して約3度左方向(S旋回)へ旋回しながら圧縮、心去り材はねじれの方向が一定でなかった(供試材10本中、S方向7本、Z方向3本)ことから平面圧縮のみを行った。この結果、ねじれは心去り、心持ち材ともそれぞれの非圧縮乾燥におけるねじれの約1/2に減少した。しかし、L・Hスケジュールのねじれは旋回圧縮したにもかかわらずH・Hスケジュールの非圧縮乾燥材と同じであった。この原因としては、木材の可塑性が大きな影響を持つ圧縮乾燥は、高温高湿の条件が適しているということから、このような結果を示したものと考えられる。従がっ

て、L・Hスケジュールによる旋回圧縮乾燥の場合は圧縮圧力を若干大きくする必要があるように思われる。また、H・LスケジュールのPEG処理材のねじれは2条件とも無処理材より小さい値を示した。なお、H・Hスケジュールの非圧縮乾燥におけるねじれ(絶対値)をカラマツ心持正角と比較すると、スギ心持正角のねじれはカラマツ心持正角の約1/3~1/4の大きさであった。

(3) 割れ

天然乾燥と人工乾燥により発生した割れを第5表に示した。天然乾燥における心持ち材の割れ発生は非常に大きく、供試材1本当た

第5表 正角の割れ(供試材1本当たり)

No.	木口割れ			表面割れ		
	本数	幅(mm)	長さ(mm)	本数	幅(mm)	長さ(mm)
1	6.7	13.2	2,205	23.1(27.9)	32.6(35.2)	11,153(12,590)
2	1.2	0.4	168	3.6(3.7)	1.4(1.5)	1,030(1,036)
3	1.9	4.9	655	7.9(9.6)	16.7(19.5)	2,596(2,973)
4	0.6	1.7	189	4.3(5.7)	8.6(10.2)	1,147(1,272)
5	1.4	2.5	399	4.4(5.9)	4.7(6.8)	645(945)
6	0.2	0.1	14	0(0)	0(0)	0(0)
7	0	0	0	0(0)	0(0)	0(0)
8	0	0	0	0(0)	0(0)	0(0)
9	0.8	1.7	376	0.2(0.2)	0.04(0.04)	11(11)

注()はバンドソーのカスガイ傷からの割れを含む。

完全に割れの発生を防止した。従がって、無処理の心去り、心持ち材を乾燥するには天然乾燥より人工乾燥することが乾燥効率、損傷防止の面で有利であることが分かるが、心持ち材に発生する割れは完全に防止できず今後も検討を行うことが必要と思われる。PEG処理を行った2条件は非常に苛酷なスケジュールにもかかわらずPEG - 1の条件は完全に割れの発生を防止し、PEG - 2の条件も供試材5本中3本に木口割れが若干発生した程度でPEG処理による割れ防止効果は極めて顕著に認められた。

(4) 収縮率

りに発生した割れ長さを心去り材と比較すると木口割れで約13倍、表面割れは約11倍も大きく発生し、心持ち材乾燥の困難性が明らかに現われている。

人工乾燥における無処理の心持ち材に発生した割れはL・Hスケジュールが最も大きく、次にH・Hスケジュールの非圧縮乾燥、旋回圧縮乾燥の順となり、割れ長さのみを比較すると約10 : 4 : 3の割合となった。また、心去り材は非圧縮、平面圧縮乾燥ともほぼ

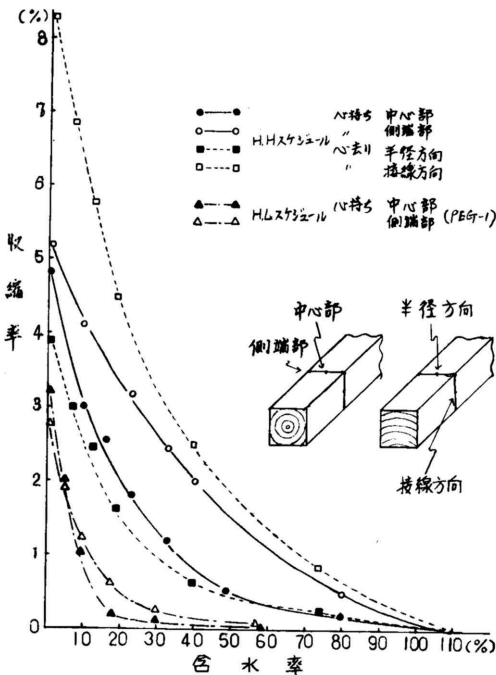
人工乾燥のH・HスケジュールとH・Lスケジュール(PEG - 1の条件)における供試材の収縮率を第4図に示した。心去り、心持ち材の測定箇所を図に示したが、心去り材は半径方向と接線方向別の各3箇所、心持ち材は供試材の側端部4箇所と中心部の2箇所である。H・Hスケジュールの仕上がり含水率時における収縮率は、心去り材の半径方向約2.6%、接線方向約6.5%、心持ち材は中心部約3.2%、側端部約4.3%であった。また、H・LスケジュールのPEG - 1の条件は中心部、側端部とも約1.3%の収縮率で無処理材と比較して非常に小さい値であった。

(5) 水分傾斜と応力

人工乾燥における乾燥末期と調湿処理後の水分傾斜と応力(歪量)を第5図に示した。水分傾斜は各条件とも乾燥末期で表層と中心層で約2~7%の含水率差があったが調湿処理を行うことにより約2~4%に減少した。乾燥末期の応力はすでに転換して各条件とも“W”字型の現象を示しているが、これはカラマツ心持ち正角に現れた現象とほぼ一致しており、カラマツ心持ち正角に限らず針葉樹心持ち角に現れる独得なパターンと考えられる。従がって、カラマツ心持ち正角と同様、乾燥末期は表層と中心層の中間部に割れを発生しやすいものと思われる。なお、PEG処理材の応力は無処理材より若干小さい傾向を示している。

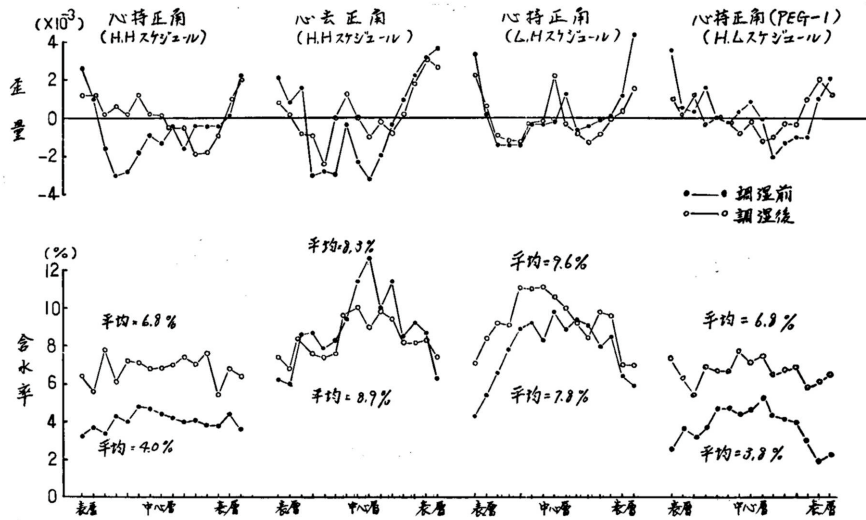
(6) 浸潤量

PEG処理材に浸潤したPEGの量を第6図に示し

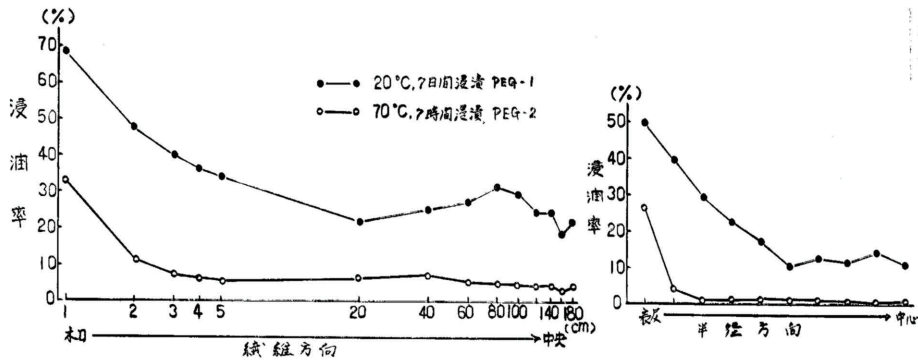


第4図 収 縮 率

道南スギ材の乾燥



第5図 水分傾斜と応力



第6図 PEGの浸潤率

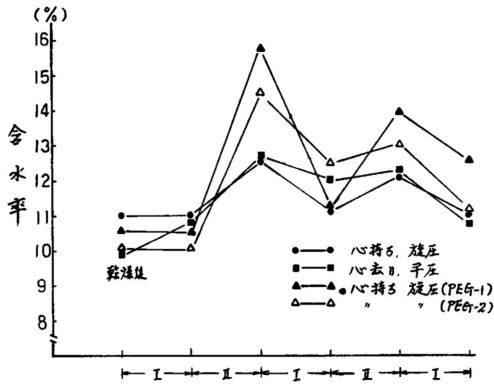
た。繊維方向の浸潤量は木口より5cmまでは1cm間隔, 5cmより180cmの中央部までは20cm間隔からそれぞれ繊維方向1cmの試験片を採材, 半径方向の浸潤量は供試材中央部(木口より180cm)から繊維方向1cmの試験片を採材してこれを10等分(1片の厚さは5mm)にスライスした。これらの試験片を全乾後約60~70度の熱水にして毎日1回抽出を6日間繰り返した後, 試験片を再び全乾にしてその重量差から固形分を算出した。なお, 浸潤率は試験片から固形分を抽出後の全乾重量に対する固形分の割合である。

繊維方向への浸潤率はPEG-1の条件が平均約32%, PEG-2の条件は平均約8%であり, PEG-1の条件が24%程度多く浸潤している。また, 半径

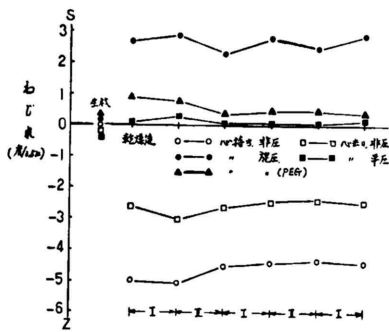
方向への浸潤率もPEG-1の条件が平均約22%, PEG-2の条件は平均約4%と繊維方向と同様PEG-1の条件は約18%も多く浸潤した。この結果と割れ防止の効果から今回の適正処理条件を推察するとPEG-2の条件でほぼ十分と考えられる。

(7) 乾燥材の環境による変動

乾燥終了後の供試材を温度20度, 65%RHと温度20度, 85%RHの室内に約1ヶ月間づつ交互に放置したときの含水率とねじれの変動を第7, 第8図に示した。含水率は吸・放湿の繰り返しによって各条件ともかなりの変動が認められるが, 特に高温条件におけるPEG処理材の含水率は著しい高い値を示している。これはPEGの吸湿性が分子量の大きさによって



第7図 環境による含水率の変動
:20, 65%RH, :20, 85%RH



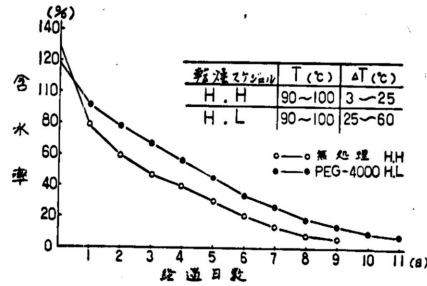
第8図 環境によるねじれの変動
:20, 65%RH, :20, 85%RH

異なり低分子量 (#1000以下) のものの平衡含水率は木材より高いという性質からくる影響と考えられる。しかし、ねじれは全条件ともあまり環境に支配されず安定した状態を保っており、特にPEG処理材と心去り材の平面圧縮乾燥の条件は小さい値を示している。

2.2 丸太

(1) 含水率経過

丸太乾燥における乾燥スケジュールと含水率経過を第9図に示した。無処理材は約11日間、PEG処理材は約9日間で仕上がり含水率の8%に達した。しかし、無処理材の乾燥日数は前項の正角材(H・Hスケジュール)の仕上がり日数に比較してかなり速いようであるが、これは丸太には比較的乾燥の容易な辺材部が多いこと、乾燥経過中に丸太の材面に多数の割れが発生して丸太内部の乾燥を容易にしたことが考えられる。



第9図 丸太の乾燥スケジュールと含水率経過

(2) 狂い

丸太乾燥における狂いを第6表に示した。ねじれは無処理の皮付丸太で0.6度、剥皮丸太は1.8度であり、

第6表 丸太の狂い

No.	ねじれ度/3.65		曲り (mm)			
	平均 ¹⁾	範囲 ²⁾	一面		二面	
			平均 ¹⁾	範囲 ²⁾	平均 ¹⁾	範囲 ²⁾
10	0.6	-0.1~-1.2	3.2	-4.0~-1.5	1.3	-2.0~2.0
11	1.8	-1.5~-2.4	0.7	-2.0~0	2.0	-5.5~0
12	1.2	-0.2~-1.8	5.2	-7.0~4.5	9.8	-18.5~0
13	1.7	-1.0~-2.2	1.7	-2.0~2.5	18.0	-3.5~25.0

注 1) 絶対値の和の平均, 2) 負号(-)はZ旋回(ねじれ) または測定材面が凹(曲り)。

皮付丸太は剥皮丸太の1/3のねじれであった。また、ねじれ方向は心持正角と同様右(Z)旋回であった。処理材の2条件はねじれ、曲がりともPEG-1000の条件がPEG-4000より若干小さい傾向を示しているが、無処理材との比較では処理材が若干大きい値を示した。なお、無処理の皮付丸太と剥皮丸太及び無処理材と処理材におけるねじれがそれぞれ異なったことの原因については明らかでなかった。

(3) 割れ

丸太乾燥で発生した割れを第7表に示した。無処理材の木口割れは皮付、剥皮丸太ともほぼ同程度の割れが発生したが、表面割れでは皮付丸太15,680mm、剥皮丸太5,704mmの割れが発生し、皮付丸太は剥皮丸太の約3倍の大きさであった。しかし、PEG処理によるPEG-1000の条件は完全に割れの発生を防止し、PEG-4000の条件も丸太取扱い時に付いたガンタ、トビ傷からの割れが若干発生した程度であり、PEG

第7表 丸太の割れ(供試木1本当たり)

No.	木口割れ			表面割れ		
	本数	幅 (mm)	長さ (mm)	本数	幅 (mm)	長さ (mm)
10	2.3	16.2	1,963	48.0	115.5	15,680
11	2.7	15.9	2,105	9.7	33.3	5,704
12	0	0	0	0	0	0
13	0(1)	0(4.2)	0(945)	0(1)	0(3.0)	0(1,641)

注()は原木扱い時におけるガンダ、トビ傷からの割れ。

処理の効果は顕著に認められる。なお、無処理材の表面割れで皮付丸太が剥皮丸太より大きく割れが発生したこの原因については明らかでない。

3. まとめ

スギ心去り、心持正角及びスギ丸太の乾燥特性、損傷についての試験を行い、以下の結果を得た。

(1) 天然乾燥における心去り、心持正角の狂い、割れの発生はいずれも心持正角が大きく、特に割れの発生は心去正角の約11~13倍も大きく発生した。また、人工乾燥の損傷と比較すると心去り、心持正角とも人工乾燥が小さい値を示した。従って、損傷の抑制乾燥効率の向上からは両者とも人工乾燥することが望ましい。

(2) 人工乾燥における心去正角は、平面圧縮を行い高温高湿スケジュール(H.H)で乾燥することにより、狂いも小さく割れの発生もほぼ完全に防止することができる。また、乾燥時間も従来の乾燥スケジュール(L.H)を用いる場合の約1/2で仕上がり大巾な時間短縮も可能である。

(3) 人工乾燥の心持正角も旋回圧縮してH.Hで乾燥することにより、ねじれは非圧縮乾燥の約1/2、割れはL.Hの約1/2~1/3に減少したが割れの発生を完全に防止することはできなかった。

(4) 心持正角をPEG処理して人工乾燥することにより、狂いも小さく割れの発生もほぼ完全に防止することができた。また、乾燥時間もL.Hの約1/3、H.

Hの約1/2に短縮され乾燥効率は極めて高くなった。

(5) 今回の試験におけるPEGの適正処理条件は、割れの防止効果から推察してPEG-2の条件(PEG #1000, 濃度60%, 浸漬温度70, 浸漬時間7時間)程度でほぼ十分と考えられ、この処理条件におけるPEGの浸潤量を求めると約500~600g/本(10.5×10.5cm×3.65m)である。この浸潤量と割れ防止効果及び乾燥速度から推察して乾燥工程の経済性は十分高められるものと考えられる。

(6) 環境による供試材の変動では、高湿度雰囲気におけるPEG処理材の含水率は著しく高い傾向を示したので、PEG処理を行う場合は分子量の大きいPEG(#1000~4000)を使用することが望ましい。

(7) 心持正角及び丸太の乾燥によるねじれは比較的小さく、カラマツよりも非常に小さい値であった。

(8) 丸太乾燥の無処理材に発生した割れは、2条件とも非常に大きい値を示し、今回の乾燥スケジュールでは抑制することができなかった。

(9) 丸太のPEG処理による割れ防止効果は心持正角同様極めて高く、1条件のみが若干発生した程度であった。この結果から、特殊用途として小中径木の丸太を利用する場合、PEG処理を行いH.Hで乾燥することにより割れることなく速やかに乾燥できることが分かった。また、PEG処理することにより材の一部が黄変するといわれているが、今回の試験では正角には認められず、丸太の一部が若干黄変した程度であった。

文献

- 1) 大山幸夫ほか：本誌. 6月号(1971)
- 2) 同上：同上 5月号(1974)
- 3) 奈良直哉ほか：同上, 9月号(1975)

- 木材部 乾燥科 -
(原稿受理 51.9.15)