ヒノキ材の捩りクリープについて

## 則元 京\*·宮野寛文\*\*·山田 正\*

Misato NORIMOTO,\* Hirobumi MIYANO\*\* and Tadashi YAMADA\* : On the Torsional Creep of HINOKI Wood.

## I 緒 言

木材にクリーブ現象が生ずる原因は、その高次構造の変形と微視的にはおもに木材実質中の 非結晶領域の存在,たとえば木材実質の構成分子のセグメントが飛び込むことができる空孔<sup>1)</sup>の 存在に起因していると考えられ、温度および湿度などの環境因子はおもに後者つまり非結晶領 域に存在する鎖状分子の運動に影響を与える。クリープ現象におよぼす温度の効果については、 たとえば Youngs は温度の効果は湿度の効果より著しいことを報告しており<sup>20</sup>,北原らはヒノキ 湿潤材の温度とクリープたわみの関係が指数関数で与えられることを示しており<sup>10)</sup>,DAVIDSON は White pine, Western red cedar, Sugar maple の曲げクリープおよびクリープ回復では、 温度 50°C と 60°C の間でクリープ曲線に大きな変化が現われることを示し<sup>10)</sup>, さらに山田ら はブナ飽水材の曲げクリープ実験から温度の上昇とともにクリープ速度が変化すること、およ び 30°C~50°C の温度範囲で木材には転移らしきものが存在することを報告している<sup>30,4)</sup>。 湿 度の効果については、たとえば HEARMON は Celtis 材のクリープ結果より温度 25°C では関 係湿度75%以下で含水率の影響はほとんどなく、それ以上の湿度では差を生ずることを報告し ており<sup>50</sup>, 竹村 らはブナの曲げクリープと含水率についての実験から、クリープ曲線が含水率 の増加とともに急昇すること、およびクリープ量が時間と湿度の2因子を変数とする変数分離 形であらわされることを示している<sup>10</sup>。

本研究においては木材の捩りクリープ現象に与える温度および水分の効果を調べた。捩り応 力を受けた場合の木材の変形機構は非常に複雑であるが,剪断の挙動がよく現われるため,と くに水分効果をみる場合には適当な方法であると考えられる。

## Ⅲ 実 験

2.1 試 片

試料としてヒノキ (Chamaecyparis obtusa ENDL.)の短冊状二方柾試片を使用した。試片の 比重,年輪密度,気乾含水率はそれぞれ 0.45,8~14年/cm,17.0%である。その寸法形状 を Fig. 1 に示す。実験は温度6段階 (15,30,40,45,50,60℃),湿度7段階 (3,10,30,50, 75,85,95% R.H.) について行ない,試片数は各条件で3~5本である。ただし,温度 15℃ と 45℃ における実験に用いた試片は他の条件で使用した試片とは異なる母材より採取したも のである。

2.2 装 置

Fig. 2 に装置の主要部の概略を示す。図において、 Aは捩りハンドル、 Bはピアノ線、C

\* 木材物理研究部門, Division of Wood Physics

\*\* 新宮商行株式会社, SHINGU SHOKO, LTD.

## 木 材 研 究 第34号 (1965)



はミラー,Dは試片室のふた,Eは高真空用油,Fは試片である。試片室は二重になつており, 外側を一定の温度の温水を循環ポンプにより環流させ,外部からの温度の影響を遮断し,内側 に一定の温湿度の空気をファンによつて循環させて恒温湿度に保つた。湿度調整にはシリカゲ ルおよび塩の飽和溶液を使用した。温度と関係湿度および含水率との関係を Table 1 に示す。

Salt	silic	agel	Zn	$Cl_2$	Mg	$Cl_2 \cdot d_2 O$	Mg (	$(NO_3)_2$	N	aCl	K	C1	Pb(I	$NO_3)_2$
temp. (°C)	R.H. (%)	m.c. (%)	R.H. (%)	m.c. (%)	R.H. (%)	m.c. (%)	R.H. (%)	m.c. (%)	R.H. (%)	m.c. (%)	R.H. (%)	m.c. (%)	R.H. (%)	m.c. (%)
15	3.0	2.5		5.3		11.0		13.2	75.9	18.0	86.7	19.2		22.8
30	3.0	2.3	10.0	5.1	31.5	10.4	50.9	12.6	75,9	17.3	84.5	17.9	96.5	21.7
40	3.0	2.1		4.7	31.0	10.0	48.3	12.2	75.9	16.5	82.0	17.3	95.5	20.6
45	3.0	2.0		4.6		9.7		11.7		16.1		16.6		20.0
50	3.0	1.8	10.0	4.3		9.3		11.4	74.9	15.7		16.2	-	19.6
60	3.0	1.7		4.0		8.9		10.7	74.9	14.9	80.7	15.5		18.3
		1											ł	

Table 1. Moisture contents of HINOKI wood\_at various temperatures and relative humidities.

2.3 方法

あらかじめ調湿しておいた試片を装置にとりつけ,所定の温湿度に平衡させるため約1時間 放置した後,捩りハンドルAを回転してピアノ線の上端に180度の捩り角を与える。使用した ピアノ線の剛性率,直径,長さはそれぞれ 8×10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>,0.051cm,32.0cmであり,この場 合木材試片の捩られる角度は3度/cm 以下となり,ヒノキの捩り応力比例限度は約 16度/cm と報告されているため<sup>12)</sup>,比例限度の20%以下の捩り角が与えられたことになり,その挙動は 線型とみなせる。木材試片の捩り角の変位は望遠鏡でミラーCに反射させたスケールの読みを もつて測定し、その読みから木材試片の捩り角  $\theta'$  を計算し、次の方法でクリープコンプライアンス J(t) を求める。

ピアノ線の単位長さの捩りモーメント M は次式で与えられる13)。

$$M = \frac{\pi}{2} \cdot G \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^4 \cdot \frac{\theta}{l} \qquad (1)$$

ここに G はピアノ線の剛性率, d はピアノ線の直径,  $\theta$  はピアノ線の捩り角, l はピアノ 線の長さである。

一方木材試片の単位長さの捩りモーメント M' は次式で表わされる14)。

ここに G' は木材の剛性率, a, b, l' はそれぞれ試片の厚さ, 巾, 長さであり,  $f\left(\frac{b}{a}\right)$  は  $a \ge b$  とによつて定まる形状係数である。

木材試片とピアノ線の捩りモーメントは等しいため,(1)および(2)式より,クリープコンプ ライアンス J(t) が次式で表わされる。

$$J(t) = \frac{1}{G'(t)} = \frac{32l}{\pi d^4 G} \cdot \frac{a^3 b f\left(\frac{b}{a}\right)}{l'} / \left(\frac{\pi}{\theta'(t)} - 1\right)$$
(3)

ここに G'(t) および  $\theta'(t)$  は時間 t における木材の剛性率と捩り角である。

また、 $J(t) - \log t$  曲線の勾配より近似的に遅延スペクトル $L(\lambda)$  が次式によつて求められる<sup>15</sup>。

$$L(\lambda) = \frac{1}{2.303} \left( \frac{dJ(t)}{d\log t} \right)_{t=\lambda}$$
(4)

#### Ⅲ 結果および考察

3.1 結果

Table 2 および Fig. 3 はクリープコンプライアンス J(t) と時間 t の関係である。 Fig. 4 は Fig. 3 の J(t) – log t 曲線の勾配より式 (4) によつて求めた遅延スペクトル  $L(\lambda)$ であり, Table 3 は log J(t) – log t 曲線の勾配の値を示している。

3.2 考察

最初にクリープ現象の水分依存性について考察する。 HEARMON は関係 湿度 70%以上で Celtis 材のクリープ曲線に差が明確に生ずることを報告しており<sup>50</sup>,また動的測定の結果から も、平衡含水率10%以上で弾性係数の減少が著しく現われることが知られている<sup>60</sup>,。 Fig. 3 より本実験においても同様の傾向がクリープ速度についてみられるが、それも温度 40°C 以上 の場合に限られ、それ以下の温度では明確な差はみられない。とくに温度 45°C においては、ク リープ速度に与える水分の影響は著しく現われる。各時間におけるクリープコンプライアンス の値をみると、関係湿度10%近辺で最小値を示しており、クリープ速度も温度によつてあまり 変化を示さず、非常に安定な状態を示す。このことはブナおよびヒノキについて行なわれた繊 維方向の動的弾性率と水分との関係<sup>70</sup>で、含水率5%近辺で弾性率が最大値を示すことと一致 した傾向である。このように絶乾状態から含水率5%まで弾性率が増大する理由として配列の

## 木 材 研 究 第34号 (1965)

Table 2. Creep compliance J(t) of HINOKI Wood.

30°C

$(\times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{kg})$
--

...5°C

$(10^{-3} \text{ cm}^2/\text{ kg})$	(1	0-3cn	$n^2/k_f$	g)
-------------------------------------	----	-------	-----------	----

R.	H. %)	2 10	20	50	0			R.H. (%)		10				
t (sec).	<u> </u>		, 30	) 50	00	95	)	t(sec.)	3	10	30	50	85	95
10	0.29	620.24	660.29	27 0. 29	680.37	140.28	361	10	0.4676	0 4762	0 4497	0 4761	0 4944	0 4995
20	0.29	760.24	720.29	38 0.29	77 0.37	450.28	395	20	0.4692	0.4778	0.4508	0.4777	0.4964	0.5022
50	0.29	930.24	860.29	490.29	920.37	77 0.29	917	50	0.4724	0.4808	0.4535	0.4812	0. 4995	0.5046
100	0.30	020 0.25	07 0.29	700.30	120.38	34 0.29	953	100	0.4743	0.4842	0.4562	0.4844	0.5034	0.5077
180	0.30	041 0.25	21 0.29	860.30	260.38	780.29	980	180	0.4782	0.4865	0.4585	0.4880	0.5073	0.5108
480	0.30	790.25	500.30	150.30	590.39	630.30	)35	480	0. 4855	0.4932	0.4646	0. 4954	0.5134	0.5172
1200	0.31	200.25	830.30	500.31	010.40	460.30	)99	1200	0.4923	0.5020	0.4732	0.5056	0.5250	0.5248
1800	0.31	400.25	98 0.30	0700.31	260.40	960.31	130	1800	0.5019	0.5094	0.4775	0.5102	0.5297	0.5300
3000	0.31	68 0. 26	520 0. 31	030.31	60 0.41	66 0. 31	181	3000	0.5125	0.5180	0.4838	0.5172	0.5372	0.5369
4500	0.31	89 0. 26	350.31	320.31	930.42	14 0.32	226	4500	0.5198	0.5221	0. 4895	0.5229	0.5441	0. 5431
7200	0.32	24 0. 26	620.31	71 0.32	37 0.42	68 0.32	278	7200	0.5312	0.5290	0.4974	0.5314	0.5503	0.5536
10800	0.32	46 0.26	87 0.32	160.32	780.43	160.33	326	10800	0.5357	0.5339	0.5039	0.5389	0. 5589	0.5594
18000	0.32	860.27	200.32	710.33	57 0.43	78 0.33	391 ·							tativa parriente de pros
والمتشادي ويجرب بمستقاد الكار	l l					l								
								45°C				$(\times 1)$	$0^{-3}$ cm <sup>2</sup>	(ka)
40°C				(×	<10 <sup>-3</sup> cr	n²/kg)	-	45℃ 	•			(×1	0-3cm <sup>2</sup> /	/kg)
40°C		[		( >	<10 <sup>-3</sup> cr	n²/kg)		45°C R.H (%		10	30	(×1)	0-3cm <sup>2</sup> /	/kg) 95
40°C R.H. (%)	3	10	30	( > 50	<10 <sup>-3</sup> cr 75	n²/kg) 85	95	45°C R.H (% t(sec.)	) 3	10	30	(×1)	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /	<sup>7</sup> kg) 95
40°C R.H. (%) t(sec.)	3	10	30	( >	<10 <sup>-3</sup> cr 75	n²/kg) 85	95	45°C R.H (% t(sec.) 10	) 3 0.322	10	30 70.3456	$(\times 10)$ 50 $60.3250$	0-3cm <sup>2</sup> / 85 60.3659	95 95 90.4161
40°C R.H. (%) t(sec.) 10	3 0. 4880	10	30 0.4983	( > 50 0.4648	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235	n²/kg) 85 0.5270	95 0.5134	45°C R.H (% t(sec.) 10 20	) 3 0.322 0.324	10 0.3497 90.3518	30 7 0.3456 3 0.3479	(×1) 50 60.325 90.327	0-3cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700	(kg) 95 90.4161 0.4216
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20	3 0. 4880 0. 4894	10 0.4750 0.4772	30 0.4983 0.5000	(> 50 0.4648 0.4679	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265	n²/kg) 85 0.5270 0.5304	95 0.5134 0.5150	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50	) 0.322 0.3249 0.3297	10 0.349 0.3518 70.3556	30 70.3456 30.3475 50.3535	(×1) 50 50.325 90.327 90.331	0-3cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803	(kg) 95 0.4161 0.4216 30.4327
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50	3 0.4880 0.4894 0.4931	10 0.4750 0.4772 0.4806	30 0.4983 0.5000 0.5038	(> 50 0.4648 0.4679 0.4762	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366	95 0.5134 0.5150 0.5189	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100	) 0.322 0.324 0.329 0.3348	10 0.349 0.3518 70.3556 30.3596	30 70.3456 30.3479 50.3539 50.3539	(×1) 50 50.3250 90.327 90.331 90.3350	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914	(kg) 95 90.4161 00.4216 30.4327 40.4445
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069	(> 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5426	95 0.5134 0.5150 0.5189 0.5235	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180	) 0.3221 0.3249 0.3297 0.3344 0.3402	10 0.349 0.3518 70.3556 30.3596 20.363	30 70.3456 30.3479 50.3539 50.3600 90.3668	(×1) 50 50.3250 90.327 90.331 90.3350 30.339	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4039	<pre>/kg) 95 90.4161 00.4216 30.4327 40.4445 90.4587</pre>
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975 0.5017	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848 0.4904	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069 0.5101	(> 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846 0.4946	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369 0.5412	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5426 0.5495	95 0.5134 0.5150 0.5189 0.5235 0.5273	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180 480	) 0.322 0.324 0.324 0.329 0.3348 0.340 0.353	10 0.3497 0.3518 70.3556 30.3596 20.3639	30 7 0.3456 3 0.3479 5 0.3539 5 0.3600 9 0.3668 9 0.3830	(×1) 50 50.325 90.327 90.331 90.335 30.339 90.350	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4039 30.4322	95 90.4161 00.4216 30.4327 40.4445 90.4587 20.4895
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975 0.5017 0.5077	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848 0.4904 0.5172	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069 0.5101 0.5177	(> 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846 0.4946 0.5134	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369 0.5412 0.5547	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5426 0.5495 0.5652	95 0.5134 0.5150 0.5189 0.5235 0.5273 0.5376	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200	) 0.322 0.324 0.329 0.329 0.3348 0.3402 0.353 0.3682	10 0.3497 0.3518 70.3550 30.3590 20.3638 10.3740 20.3868	30 7 0.3456 3 0.3475 5 0.3535 5 0.3600 9 0.3668 0 0.3830 5 0.4041	(×1) 50 50.325 90.327 90.331 90.335 30.339 00.350 10.364	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4039 30.4322 60.4658	(kg) 95 0.4161 0.4216 30.4327 40.4445 0.4587 20.4895 30.5241
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975 0.5017 0.5017 0.5243	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848 0.4904 0.5172 0.5351	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069 0.5101 0.5177 0.5277	(> 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846 0.4946 0.5134 0.5348	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369 0.5412 0.5547 0.5707	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5426 0.5495 0.5652 0.5874	95 0.5134 0.5150 0.5189 0.5235 0.5273 0.5376 0.5581	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800	) 0.322 0.324 0.329 0.329 0.329 0.349 0.349 0.349 0.349 0.353 0.3682 0.3759	10 0.3497 0.3518 70.3550 20.3639 20.3639 20.3740 20.3865 90.3947	30 70.3456 30.3479 50.3538 50.3600 90.3668 90.3830 50.4041 70.4157	(×1) 50 50.3250 90.327 90.331 90.3350 80.3390 0.3500 10.3640 70.3699	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4039 30.4322 60.4658 90.4814	<pre>/kg) 95 90.4161 00.4216 30.4327 40.4445 90.4587 20.4895 30.5241 40.5401</pre>
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 200	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975 0.5017 0.5077 0.5243 0.5328	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848 0.4904 0.5172 0.5351 0.5427	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069 0.5101 0.5177 0.5277 0.5223	(> 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846 0.4946 0.5134 0.5348 0.5450	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369 0.5412 0.5547 0.5707 0.5783	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5495 0.5652 0.5874 0.5965	95 0.5134 0.5150 0.5235 0.5273 0.5376 0.5581 0.5690	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 3000	) 0.3221 0.3249 0.3297 0.3249 0.3297 0.3348 0.3402 0.3533 0.3682 0.3682 0.3759 0.3870	10 0.349 0.3518 0.3550 20.3639 20.3639 20.3740 20.3865 0.3947 0.4040	30 70.3456 30.3479 50.3539 50.3660 90.3668 90.3830 50.4041 70.4157 90.4305	(×1) 50 50.3250 90.327 90.331 90.3350 30.3390 0.3500 10.3640 70.3699 50.376	0-3cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4039 30.4322 60.4658 90.4814 40.4993	<pre>/kg) 95 90.4161 00.4216 30.4327 40.4445 90.4587 20.4895 30.5241 40.5401 30.5597</pre>
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 3000 4555	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975 0.5017 0.5017 0.5243 0.5328 0.5328	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848 0.4904 0.5172 0.5351 0.5427 0.5551	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069 0.5101 0.5177 0.5277 0.5323 0.5320	<pre>(&gt; 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846 0.4946 0.5134 0.5348 0.5450 0.5564</pre>	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369 0.5412 0.5547 0.5707 0.5783 0.5895	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5426 0.5495 0.5652 0.5874 0.5965 0.6074	95 0.5134 0.5150 0.5235 0.5235 0.5273 0.5581 0.5581 0.5690 0.5868	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 3000 4500	) 0.3227 0.3249 0.3249 0.3297 0.3348 0.3409 0.3537 0.3682 0.3759 0.3870 0.3948	10 0.3497 0.3518 0.3590 20.3639 20.3639 20.3639 20.3639 20.3865 20.3947 20.3947 20.3947 20.3947 20.4040	30 70.3456 30.3479 50.3539 50.3600 90.3668 90.3668 90.3830 50.4041 70.4157 90.4309 20.4402	(×1) 50 50.325 90.327 90.331 90.335 30.339 90.350 10.364 70.369 50.376 20.381	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4039 30.4322 60.4658 90.4814 40.4993 70.5125	<ul> <li>(kg)</li> <li>95</li> <li>90.4161</li> <li>0.4216</li> <li>0.4327</li> <li>40.4445</li> <li>0.4587</li> <li>20.4895</li> <li>30.5241</li> <li>40.5401</li> <li>30.5597</li> <li>50.5734</li> </ul>
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 180 1800 3000 4500	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975 0.5017 0.5017 0.5243 0.5328 0.5445 0.5537	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848 0.4904 0.5172 0.5351 0.5427 0.5551 0.5607	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069 0.5101 0.5177 0.5323 0.5323 0.5390 0.5450	<pre>(&gt; 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846 0.4946 0.5134 0.5348 0.5450 0.5564 0.5810</pre>	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369 0.5412 0.5547 0.5783 0.5783 0.5895 0.6001	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5426 0.5495 0.5652 0.5874 0.5965 0.6074 0.6171	95 0.5134 0.5150 0.5235 0.5273 0.5376 0.5581 0.5690 0.5868 0.5976	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 3000 4500 7200	) 0.322 0.324 0.329 0.3348 0.349 0.353 0.3682 0.3682 0.387 0.387 0.3682 0.399 0.3682 0.399 0.3682 0.399 0.3682 0.399 0.399 0.3682 0.399 0.399 0.399 0.399 0.3348 0.3682 0.399 0.387 0.3882 0.387 0.3887 0.399 0.399 0.399 0.3682 0.399 0.399 0.387 0.399	10 0.3497 0.3518 70.3550 30.3590 20.3639 0.3639 20.3639 20.3639 20.3639 20.3639 20.3639 20.3649 20.3649 20.3649 20.3649 20.3649 20.3649 20.3649 20.3649 20.3659 20.3649 20.3659 20.355	30 70.3456 30.3475 50.3535 50.3600 90.3668 90.3668 90.3668 90.3630 50.4041 70.4157 90.4305 20.4402	(×1) 50 50.325 90.327 90.331 90.335 30.339 00.350 10.364 70.369 50.376 20.381 50.387	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4033 30.4322 60.4658 90.4814 40.4993 70.5125 70.5261	<pre>/kg) 95 0.4161 0.4216 30.4327 40.4445 0.4587 20.4895 30.5241 40.5401 30.5597 50.5734 10.5876</pre>
40°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 180 1200 1800 3000 4500 7200	3 0.4880 0.4894 0.4931 0.4975 0.5017 0.5017 0.5243 0.5328 0.5445 0.5537 0.5655	10 0.4750 0.4772 0.4806 0.4848 0.4904 0.5172 0.5351 0.5427 0.5551 0.5607 0.5668	30 0.4983 0.5000 0.5038 0.5069 0.5101 0.5177 0.5277 0.5323 0.5390 0.5450 0.5503	<pre>(&gt; 50 0.4648 0.4679 0.4762 0.4846 0.4946 0.5134 0.5348 0.5450 0.5564 0.5810 0.5810</pre>	<10 <sup>-3</sup> cr 75 0.5235 0.5265 0.5318 0.5369 0.5412 0.5547 0.5707 0.5783 0.5895 0.6001 0.6131	n²/kg) 85 0.5270 0.5304 0.5366 0.5426 0.5495 0.5652 0.5874 0.5965 0.6074 0.6171 0.6271	95 0.5134 0.5150 0.5189 0.5235 0.5273 0.5376 0.5381 0.5690 0.5868 0.5976 0.6098	45°C R.H (% t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 3000 4500 7200 10800	) 0.322 0.324 0.329 0.329 0.329 0.329 0.340 0.340 0.353 0.3682 0.3682 0.3758 0.3870 0.3948 0.4020 0.4090	10 0.3497 0.3518 70.3550 20.3639 20.3639 20.3869 20.3869 20.3869 20.3947 20.4040 30.4102 50.4178 20.4246	30 7 0.3456 3 0.3475 5 0.3535 5 0.3600 9 0.3668 9 0.3668 9 0.3830 5 0.4041 7 0.4157 9 0.4305 2 0.4402 3 0.4505 5 0.4582	(×1) 50 50.3250 90.327 90.331 90.3350 80.3390 0.3500 10.3640 70.3699 50.376 20.381 50.387 20.385	0-3 cm <sup>2</sup> / 85 60.3659 70.3700 10.3803 00.3914 40.4039 30.4322 60.4658 90.4814 40.4993 70.5125 70.5261 26.5369	(kg) 95 90.4161 00.4216 30.4327 40.4445 90.4587 20.4895 30.5241 40.5401 30.5597 50.5734 10.5876 90.5979



## 向上7,や有効鎖8,の増加が考えられている。 次にクリープコンプライアンス曲線より求め た遅延スペクトルについて考える。木材につ いて求められた緩和および遅延スペクトルに 関する報告は非常に少ない。たとえばブナ湿 潤材のクリープおよび応力緩和より求められ た遅延スペクトルおよび緩和スペクトルによ ると<sup>9)</sup>, 温度の上昇とともに短時間側にスペ クトルは移動し、104分以内にピークの存在 することが報告されている。 Fig. 4 より本 実験において遅延スペクトルに山が 103秒と 104 秒の間にみられ、含水率の増加とともに ピークが短時間側に移動し、40℃以上の温 度では含水率の増加とともに遅延スペクトル のピークは大きくかつ平になる傾向を示して

 $(\times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{kg})$ 

R.H. (%)	2	10	20	50	75	05	. 05	
t(sec.)	3	10	30	50	15	85	95	
10	0.4753	0.4559	0.4944	0.4863	0.5075	0.5196	0.5479	
20	0.4775	5.4580	0.4973	0.4879	0.5100	0.5200	0.5498	
50	0.4798	0.4612	0.5011	0.4922	0.5132	0.5253	0.5549	<sup>cm2</sup> %a)
100	0.4822	0.4631	0.5040	0.4968	0.5179	0.5296	0.5601	(×10 <sup>-3</sup>
180	0.4842	0.4654	0.5076	0.5009	0.5241	0.5336	0.5654	J(t)
480	0.4892	0.4693	0.5154	0.5113	0.5391	0.5404	0.5779	. ,
1200	0.4969	0.4736	0.5258	0.5270	0.5618	0.5520	0.5956	
1800	0.5010	0.4766	0.5317	0.5356	0.5736	0.5568	0.6020	
3000	0.5066	0.4780	0.5394	0.5475	0.5901	0.5642	0.6134	
4500	0.5125	0.4856	0.5491	0.5580	0.6007	0.5719	0.6222	
7200	0.5190	0.5001	0.5613	0.5716	0.6158	0.5797	0.6343	
10800	0.5240	0.5074	0.5760	0.5837	0.6328	0.5892	0.6464	
14400	0.5316	0.5124		0.5946			0.6540	
				_				
60°C					(×1	0-3cm²	/kg)	
60°C R.H. (%)		10	20		(×1	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup>	/kg)	
60°C R.H. (%) t(sec.)	3	10	30	50	(×1 75	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85	/kg) 95	
60°C R.H. (%) t(sec.) 10	3 0.4906	10 0.4776	30 0.5090	50 0.5188	(×1 75 0.5132	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85 0.5058	/kg) 95 0.5338	
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20	3 0.4906 0.4922	10 0.4776 0.4790	30 0.5090 0.5100	50 0.5188 0.5294	(×1 75 0.5132 0.5143	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070	/kg) 95 0.5338 0.5364	ſ
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50	3 0.4906 0.4922 0.4949	10 0.4776 0.4790 0.4817	30 0.5090 0.5100 0.5135	50 0.5188 0.5294 0.5254	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5184	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> / 85 0.5058 0.5070 0.5120	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511	11 2
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5181	50 0.5188 0.5294 0.5254 0.5293	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5144 0.5215	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5162	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455	ן ע ל
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4870	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5181 0.5213	50 0.5188 0.5294 0.5254 0.5293 0.5337	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5184 0.5215 0.5242	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5162 0.5200	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506	「どうい
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003 0.5069	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4843 0.4870 0.4929	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5181 0.5213 0.5305	50 0.5188 0.5294 0.5254 0.5293 0.5337 0.5447	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5184 0.5215 0.5242 0.5324	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5162 0.5200 0.5295	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506 0.5506	「おナい国派
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003 0.5003 0.5069 0.5148	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4843 0.4870 0.4929 0.5010	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5181 0.5213 0.5213 0.5390	50 0.5188 0.5294 0.5254 0.5293 0.5337 0.5337 0.5447 0.5589	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5184 0.5215 0.5242 0.5242 0.5324	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5162 0.5200 0.5295 0.5427	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506 0.5506 0.5629 0.5784	「シナ、厚汁ナ
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003 0.5069 0.5148 0.5197	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4870 0.4929 0.5010 0.5051	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5181 0.5213 0.5305 0.5390 0.5482	50 0.5188 0.5294 0.5254 0.5293 0.5337 0.5447 0.5589 0.5682	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5143 0.5215 0.5242 0.5242 0.5324 0.5324 0.5472	0 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070 0.5162 0.5200 0.5295 0.5427 0.5503	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506 0.5529 0.5784 0.5862	旧名ナし 国 沿ナン
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 180 1200 1800 3000	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003 0.5069 0.5148 0.5197 0.5251	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4870 0.4929 0.5010 0.5011 0.5114	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5181 0.5213 0.5305 0.5390 0.5482 0.5532	50 0.5188 0.5204 0.5254 0.5293 0.5337 0.5337 0.5589 0.5589 0.5682 0.5817	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5184 0.5215 0.5242 0.5324 0.5324 0.5472 0.5540 0.5655	0-3cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5162 0.5295 0.5427 0.5503 0.5602	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506 0.5529 0.5784 0.5862 0.5976	「おナい国津ナス」
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 180 1200 1800 3000 4500	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003 0.5069 0.5148 0.5197 0.5251 0.5310	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4870 0.4929 0.5010 0.5051 0.5114 0.5166	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5131 0.5213 0.5213 0.5390 0.5390 0.5482 0.5598	50 0.5188 0.5204 0.5254 0.5293 0.5337 0.5447 0.5589 0.5682 0.5682 0.5817 0.5934	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5184 0.5215 0.5242 0.5324 0.5324 0.5472 0.5540 0.5655 0.5723	0-3cm2 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5120 0.5295 0.5295 0.5427 0.5503 0.5503 0.5602 0.5687	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506 0.5629 0.5784 0.5862 0.5976 0.6071	「おナい 冒 汁 ナス・・・
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 3000 4500 7200	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003 0.5069 0.5148 0.5197 0.5251 0.5310 0.5381	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4870 0.4929 0.5010 0.5051 0.5114 0.5166 0.5228	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5135 0.5305 0.5390 0.5482 0.5532 0.5538 0.55711	50 0.5188 0.5294 0.5254 0.5293 0.5337 0.5447 0.5589 0.5682 0.5682 0.5817 0.5934 0.6061	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5184 0.5215 0.5242 0.5324 0.5472 0.5540 0.5655 0.5723 0.6071	0-3cm2 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5162 0.5295 0.5427 0.5503 0.5602 0.5602 0.5687 0.5820	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506 0.5529 0.5784 0.5862 0.5976 0.6071 0.6159	「おナい国社ナンシーター
60°C R.H. (%) t(sec.) 10 20 50 100 180 480 1200 1800 3000 4500 7200 10800	3 0.4906 0.4922 0.4949 0.4980 0.5003 0.5069 0.5148 0.5197 0.5251 0.5310 0.5381 0.5381	10 0.4776 0.4790 0.4817 0.4843 0.4870 0.4929 0.5010 0.5051 0.5114 0.5166 0.5228 0.5286	30 0.5090 0.5100 0.5135 0.5213 0.5213 0.5305 0.5332 0.5532 0.5598 0.5598 0.5711 0.5800	50 0.5188 0.5294 0.5254 0.5293 0.5337 0.5447 0.5589 0.5682 0.5817 0.5934 0.5934 0.6061 0.6193	(×1 75 0.5132 0.5143 0.5143 0.5143 0.5215 0.5242 0.5242 0.5324 0.5324 0.540 0.5655 0.5723 0.6071 0.6102	0-3cm <sup>2</sup> , 85 0.5058 0.5070 0.5120 0.5200 0.5295 0.5427 0.5503 0.5602 0.5687 0.5820 0.5952	/kg) 95 0.5338 0.5364 0.5511 0.5455 0.5506 0.5529 0.5784 0.5862 0.5976 0.6071 0.6159 0.6224	「おナい国洲ナスシー実工」

50°C

則元・宮野・山田:ヒノキ材の捩りクリープについて

- 41 -

## 木 材 研 究 第34号 (1965)

# Table 3. $n = \frac{d(\log J(t))}{d \log t}$ vs. time.

15°C

15°C						45°C					
t (sec.) R.H.(%)	10	10²	10 <sup>3</sup>	$n_{max} = 10^3 < t < 10^4$	104	t(sec.) R.H.(%)	10	10²	103	$n_{max} \\ 10^3 < t < 10^4$	104
3	0.007	0.911	0.017	0.021	0.021	3	0.009	0.027	0.032	0.038	0.032
10	0.005	0.008	0.015	0.022	0.022	10	0.008	0.021	0.035	0.044	0.036
30	0.006	0.010	0.012	0.021	0.021	30	0.011	0.017	0.021	0.028	0.026
50	0.005	0.008	0.017		0.029	50	0.009	0.019	0.029	0.032	0.033
85	0.013	0.022	0.029	0.041	0.023	85	0.013	0.037	0.042	0.072	0.049
95	0.010	0.015	0.026	0.034	0.030	95	0.024	0.042	0.074	0.078	0.061
									1		

30°C

t (sec.) R.H.(%)	10	102	103	$n_{max} \\ 10^3 < t < 10^4$	104
3	0.006	0.011	0.027	0.044	0.030
10	0.008	0.009	0.024	0.036	0.033
30	0.006	0.009	0.024	0.036	0.034
50	0.007	0.013	0.023	0.040	0.027
85	0.007	0.011	0.022	0.034	0.020
95	0.007	0.010	0.019	0.046	0.025
				1	

50°C					
t(sec.) R.H.(%)	10	10²	103	$n_{max}$ $10^{3} < t < 10^{4}$	104
3	0.006	0.007	0.017	0.024	0.024
10	0.006	0.007	0.010	0.029	0.029
30	0.008	0.011	0.023	0.038	0.030
50	0.010	0.014	0.034	0.057	0.057
75	0.010	0.014	0.035	0.057	0.055
85	0.008	0.014	0.028	0.039	0.034
95	0.010	0.015	0 2031	0.056	0.052
	1			1	

40°C

t (sec.) R.H.(%)	10	102	103	$n_{max} = 10^3 < t < 10^4$	104	/
3	0.008	0.013	0.025	0.040	0.040	
10	0.009	0.013	0.023		0.035	
30	0.007	0.011	0.021	0.034	0.031	
50	0.018	0.030	0.041	0.056	0.056	
75	0.011	0.016	0.041	0.053	0.048	
85	0.013	0.020	0.037	0.045	0.038	
95	0.008	0.012	0.043	0.053	0.045	
	1	· · ·		1 *		

6(	)°	C

-	<i>t</i> (sec.) R.H.(%)	10	10²	103	$n_{max}$ $10^{3} < t < 10^{4}$	104
0	3	0.006	0.008	0.022	0.033	0.025
5	10	0.006	0.008	0.019	0.032	0.024
1	· 30	0.007	0.010	0.022	0.039	0.030
6	50	0.009	0.013	0.043	0.052	0.048
8	75	0.007	0.013	0.024	0.050	0.046
8	85	0.009	0.013	0.037	0.056	0.050
5	95	0.010	0.010	0.025	0.045	0.042

### 則元・宮野・山田:ヒノキ材の捩りクリープについて



いる。またブナ材の曲げクリープコンプラ イアンス曲線より近似的に求めた内部摩擦 tan  $\delta$  の値は気乾で0.015,湿潤で0.038を とることが報告されているが<sup>9</sup>, Table 3 より log J(t) – log t 曲線より求めた勾配 n の値は 10<sup>3</sup> 秒および 10<sup>4</sup> 秒の間で最大 値を示し,一般に含水率の増加とともに大 きな値を示している。以上のように高含水 率領域においてこのようにクリープ現象に 含水率の効果が現われる理由の一つとして, 木材実質の非晶領域の隣接鎖状分子間に形 成されている水素結合が水分子によつて切 断され,水分子が可塑的な効果を示すため と考えられる。

次に温度依存性 に ついて 考察する。 Youngs はクリープに 与える温度の 影響 は水分よりも著しいという報告 を して お り<sup>20</sup>,北原らは湿潤材では温度とクリープ たわみの関係が指数関数で与えられること を示している<sup>100</sup>。またブナ湿潤材の応力緩 和の結果から Time-Temperature Superpositionは 成立せず,木材は熱レオロジ ー的に単純な物質ではないことが示されて いる<sup>90</sup>。温度と弾性率の関係はある温度範 囲では一般に近似的に直線関係にあり<sup>110</sup>,

温度の上昇とともに弾性率は低下を示す。 Fig. 2 より繊維方向の捩りクリープにおいては, クリープコンプライアンスの値には明確な差は生じなかつた。しかしクリープ速度に関しては 関係湿度30%以上で温度の上昇とともに増大を示し,とくに 45℃ 近辺では著しい増加を示し, 木材にはこの温度近辺で転移らしきものの存在がうかがえる。同様の結果がブナ湿潤材の曲げ クリープ<sup>3)</sup> およびブナ湿潤材の板目面に一定荷重で鋼球を圧入した場合の圧入深さと時間の関 係からも報告されている<sup>4)</sup>。 低湿度では温度によつてあまりクリープ速度に差異は認められな い。以上の結果から木材の捩りクリープに与える効果は温度より湿度に大きく現われ,その現 われ方は温度によつて加速されるものと考えられる。

## IV 要約

ヒノキ二方柾目の捩りクリープに与える温度および湿度の影響を調べた結果次のことが明ら かになつた。

(1) 温度 30°C までは湿度の効果はあまり現われず, 40°C 以上になるとかなり含水率効果 が著しくなり,一般に含水率の増加とともにクリープ速度は増大し, クリープコンプライアン スの値は増加する。

(2) 遅延スペクトルは 10<sup>3</sup> と 10<sup>4</sup> 秒との間にピークをもち,一般に含水率の増加とともに若 干ピークの位置が短時間側に移動し,40°C 以上では含水率の増加とともに ピークは大きくか つ平になる。

(3)  $\log J(t) - \log t$  曲線の勾配 n は 10<sup>3</sup> と 10<sup>4</sup> 秒との間で最大を示し、一般に含水率の 増加とともに増大し、関係湿度85%以上で温度 45°C 近辺に転移らしきものが存在する。

## Summary

In this report we investigate the effect of relative humidity and temperature on the torsional creep of HINOKI (*Chamaecyparis obtusa* ENDL.) wood. The results obtained are shown in Figs. 3, 4 and Tables 2, 3 and summarized into the following three points.

(1) Above 40° C the effect of relative humidity on creep arises remarkably, and in general the creep rate and the value of creep compliance  $J_{i}(t)$  increase with increasing relative humidity.

(2) The peak of retardation spectrum  $L(\lambda)$  appeares in the range of time scale between 10<sup>3</sup> and 10<sup>4</sup> sec. and its position sifts to shorter time with increasing relative humidity. Above 40°C the height of the peak greatly increases and it becomes broad at high relative humidity.

(3) The values of n, the slope of log J(t)-log t curves, generally increase with increasing relative humidity and have the maximum in the range of time scale between 10<sup>3</sup> and 10<sup>4</sup> sec. At higher relative humidity above about 85% R. H. there exists something like a transition at about 45°C.

#### 献

- 1) EYRING, H. and G. HALSEY, High Polymer Physics, Remsen Press Division, New York, 61 (1948).
- 2) YOUNGS, R. L., F. P. J., 7, 315 (1957).
- 3) 山田 正, 京都大学農学部附属演習林報告, No. 34, 159 (1960).
- 4) 大迫, 山田, 木材研究, No. 33, 29 (1964).
- 5) HEARMON, R. F. S., The Mechanical Properties of Wood and Paper, Interscience Pub. Inc. New York (1953).

文

- 6) CARRINGTON, H., Phil.Mag., 43, 871 (1922).
- 7) 梶田,山田,鈴木,木材誌,7,31 (1961).
- 8) HERMANS, Physics and Chemistry of Cellulose Fibers, 277 (1949).
- 9) 山田, 佐道, 白石, 材料試験, 11, 50 (1962).
- 10) 北原, 岡部, 木材誌, 5, 12(1959).
- 11) HEARMON, R. F. S., Forest Product Res. Special Rep., No. 7. (1948).
- 12) 浦上,山田,未発表.
- 13) 太田友弥, 材料力学, 山海堂, 172 (1961).
- 14) 小野鑑正, 材料力学, 丸善, (1938).
- 15) TOBOLSKY, A. V., Properties and Stucture of Polymers, John Wiley & Sons., 118 (1960).
- 16) DAVIDSON, R. W., F.P. J., 12, 377 (1962).
- 17) 竹村,福山,春名,島根農科大学研究報告,第9号,104(1961).