

# カラマツLVLの強度性能 (第4報)

- 曲げクリープ性能 (その1) -

森 泉 周

## The Strength Properties of Japanese Larch LVL (IV)

-Bending creep properties (Part 1)

Shu MORIIZUMI

A series of strength tests are being performed to determine an allowable unit stress for Japanese larch LVL. This paper reports on the bending creep properties of LVL. The creep tests were performed on small specimens and actual-size (2 × 4) specimens of both LVL and sawed lumber. The results are summarized as follows:

(1) The stress level at the creep limit was about 0.45 of the break stress in LVL, and 0.55 in the sawed lumber. Within the creep limit, the relative creep of LVL was about 1.5 times as large as that of the sawed lumber. The N values of the creep curves,  $c(t)=At^N$ , were almost the same for each stress level, and the N value was 0.23 in LVL and 0.27 in the sawed lumber.

(2) The relative creeps had a uniform magnitude, whether LVL had butt joints or not. At a low moisture content, the relative creep in the heartwood veneer LVL was larger than that in the sapwood, but in the sapwood veneer LVL it was larger than in the heartwood with a high moisture content.

(3) The N values of the creep curves in LVL and the sawed lumber were almost the same for every depth. Within the creep limit, the relative creep was larger in LVL than in the sawed lumber, with the small specimens. With the actual-size specimens, however, LVL and the sawed lumber had almost the same relative Creep.

(4) The magnitude of the relative creep of LVL was recognized to be affected by the dimension of the specimens; the relative creep became smaller, according as the depth became larger.

カラマツLVLについて、試験体寸法を変えて曲げクリープ試験を行い、LVLのクリープ性能を検討した。得られた結果を以下に示す。

クリープ限度は、LVLでは破壊応力の0.45前後、製材では0.55前後であり、クリープ限度内のLVLの相対クリープ量は製材より1.5倍程度大きく、クリープ曲線の定数N値は、LVLでは0.23、製材では0.27である。Butt Jointの有無にかかわらず、LVLの相対クリープ量は一定であり、異なった含水率における相対クリープ量は低含水率では心材単板LVLの方が大きいが高含水率では辺材単板の方が大きい。実大試験体では、LVLと製材で相対クリープ量はほぼ等しい。試験体寸法が大きくなるとLVLの相対クリープ量は小さくなり、寸法効果の影響が認められる。

1. はじめに

林産試型LVLの製造システムは、高能率生産を前提に、中小径材の加工を基本的な考え方として開発されたものである。その特徴は、製品の寸法を広範囲に取ることができ、用途の多様性をねらいとしている<sup>1)</sup>。

LVLは従来の木質材料に比べて大型の断面及び長さの製品を製造することが可能であり、その特徴を生かすには、構造的利用が最も重要であると思われる。そのためには許容応力度の設定が不可欠であり、その基礎データを得ることを目的として一連の試験を行っている。

末口径16 - 20cm前後のカラマツ原木から製造したLVLでは、心材単板はほぼ未成熟材部に、辺材単板はほぼ成熟材部に相当し、それらの混合比により、LVLの曲げ性能が異なることとLVLの製造工程で強度性能として3つのグループに分けることが出来ることを報告した<sup>2), 3)</sup>。

LVLのクリープ性能はButt Joint(以下BJと記す)や裏割れ等により製材などとは異なる可能性があるが、曲げクリープに関する試験は非常に少なく<sup>4)</sup>、それらのクリープ性能への影響は明らかではない。本報告は、曲げクリープ性能を製材と比較することと、曲げクリープ限度を推定することを目的として、試験体寸法を3種類(製材は2種類)変えて試験

を行った結果について述べる。なお、この報告の一部は第34回日本木材学会大会(名古屋市, 1984年4月)で発表した。

2. 供試材及び試験法

2.1 LVLの製造

一連のLVL製造試験に用いたものと同一の美瑛産造林カラマツ間伐材を使用し、常法<sup>3)</sup>によりLVLを製造した。接着剤はフェノール変性レゾルシノール樹脂を用いた。

2.2 試験法

2.2.1 クリープ試験体の調整

2.1で製造したカラマツLVLとカラマツ間伐材製材を使用した。

試験体寸法を第1表左欄に示す。LVLでは梁せい25mm, 梁幅15.2mm(4ply, 小試験体), 梁せい156mm, 梁幅30mm(8ply, 実大試験体), および梁せい189mm, 梁幅45.6mm(12ply, 実大試験体)の3種類, 製材では梁せい125mm, 梁幅15mmおよび梁せい189mm, 梁幅38mmの2種類とした。これらの試験体を20, 65%R.H.の恒温恒湿室に2~4ヶ月入れて含水率の調整を行った。

その後、小試験体では2.2.2で述べる曲げクリープ試験と同様の荷重条件で、インストロン型万能試験機

第1表 試験体寸法とクリープ試験条件

	試験体寸法			クリープ試験条件							
	梁せい (mm)	梁幅 (mm)	BJ	応力 レベル	スパン (mm)	せん断 スパン (mm)	a/h <sup>a)</sup>	荷重 時間 (hr)	温・湿度 (°C)	R.H (%)	
LVL	①	25	15.2	有	8	600	180	7.2	120	20	65
	②	25	15.2	無	2	600	180	7.2	120	20	65
	③	25	15.2	有	2	600	180	7.2	120	20	75, 85
		56	30.4	有	1 <sup>b)</sup>	1340	420	7.5	720	20	65
		89	45.6	有	1 <sup>b)</sup>	2250	700	7.9	1440	20	65
製材	25	15	—	8	600	180	7.2	360	20	65	
	89	38	—	1 <sup>b)</sup>	2250	700	7.9	1440	20	65	

注) a) a/h: せん断スパン—梁せい比 b) 1: 応力度 (90kg/cm<sup>2</sup>)

を用い、各試験体の曲げ剛性試験を行った。それらの結果とみかけ比重により、クリープ試験体の組み合わせを定めた。次に材料の組み合わせの中から試験体を任意に選びだし、静的曲げ試験を行い、曲げ破壊係数と比例限度を求めた。

2.2.2 クリープ試験の条件

クリープ試験の条件を第1表右欄に示す。小試験体では3種類の試験を行った。

クリープ限度を推定するためのもの

静的曲げ試験の結果得られた破壊応力を基準にして、応力レベルを8条件、温・湿度条件を20℃, 65% R.H. とした。

BJの影響を検討するためのもの

BJの無いLVLを作製し、応力レベルを0.2~0.3の間で2条件、温・湿度条件を20℃, 65% R.H. とした。

湿度の影響を検討するためのもの

応力レベルを0.2~0.3の間で2条件、温・湿度条件を65% R.H., 75% R.H. 及び85% R.H. の3種とした。

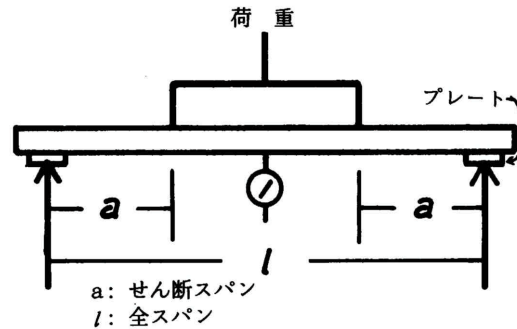
実大試験体ではカラマツ製材の長期曲げ許容応力度である90kg/cm<sup>2</sup>になるような荷重を設定した。温・湿度条件は20℃, 65% R.H. とした。

曲げクリープ試験の荷重方式は、第1図に示すように4点荷重方式を採用した。荷重方向は積層面に平行(パーティカル)に加えた。試験時のスパンは、試験体寸法にかかわらず、せん断スパン-梁せい比が7.5前後になるようにした。クリープたわみの測定は1/100m精度の変位計を用いて、梁中央の変位を測定した。クリープ継続時間は、LVLでは小試験体で120時間、実大試験体で1440時間、製材では小試験体で360時間、実大試験体で1440時間とした。

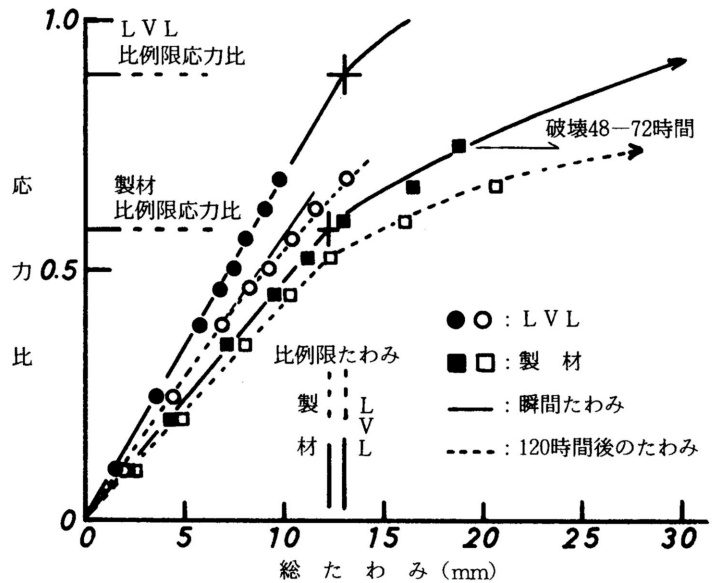
3. 結果及び考察

3.1 小試験体のクリープ変形

第2図に応力比と総たわみ(  $\sigma + c(t)$  ,  $\sigma$ :初期たわみ,  $c(t)$ :クリープたわみ)の関係を示す。実線は荷重負荷時、破線は荷重負荷後120時間の応力比と総たわみの関係である。LVLの値は辺材単板と心材単板によるものの平均値である。製材では比例限度応力は破壊応力の0.60前後で、LVLでは0.90前後と非常に高いが、比例限度たわみの大きさにはあまり差がなかった。このことはLVLが製材に比べてねばりの少ない材であることを示している。120時間後の総たわみは、製材の場合、比例限度応力附近までほぼ直線的に増加するが、それ以上の応力比になると急激にたわ



第1図 クリープ試験法



第2図 応力比と総たわみの関係

みは増加しており、応力比0.75では48~72時間の間で破壊した。LVLの場合、応力比0.45前後まで直線的にたわみは増加するが、それ以上の応力比になるとたわみの増加割合が大きくなり直線からはずれる傾向が認められた。

一般に木材のクリープ曲線の実験式は長時間側では $t^N$ 則で近似されるものが多く<sup>5)</sup>、クリープ曲線の実験式は変形量をたわみ  $\delta$  で示すと次の通りである。

$$\delta(t) = \delta_0 + \delta_c(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta_c(t) = A t^N \dots\dots\dots (2)$$

A, Nは定数である。(1), (2)式より相対クリープは次式で与えられる。

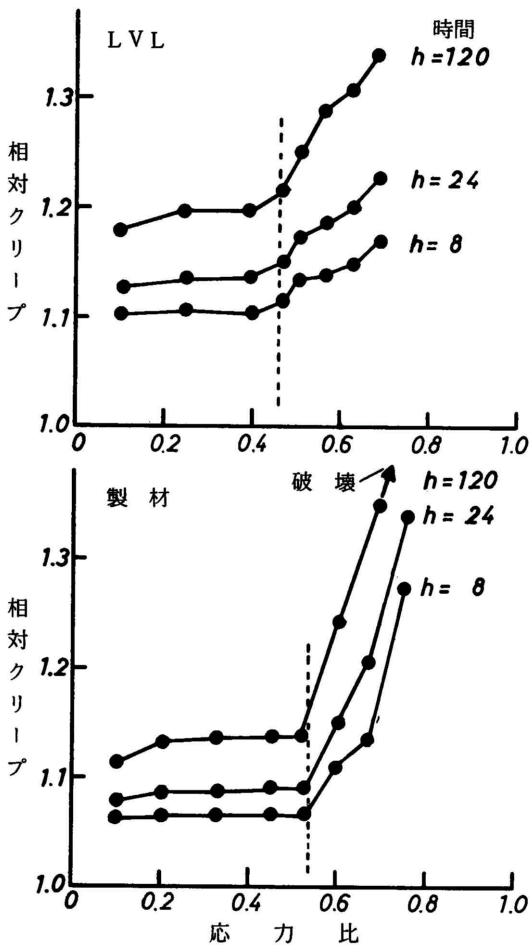
$$\delta(t)/\delta_0 = 1 + A/\delta_0 \cdot t^N \dots\dots\dots (3)$$

A/  $\delta_0$  は、瞬間たわみに対する負荷後単位時間(1

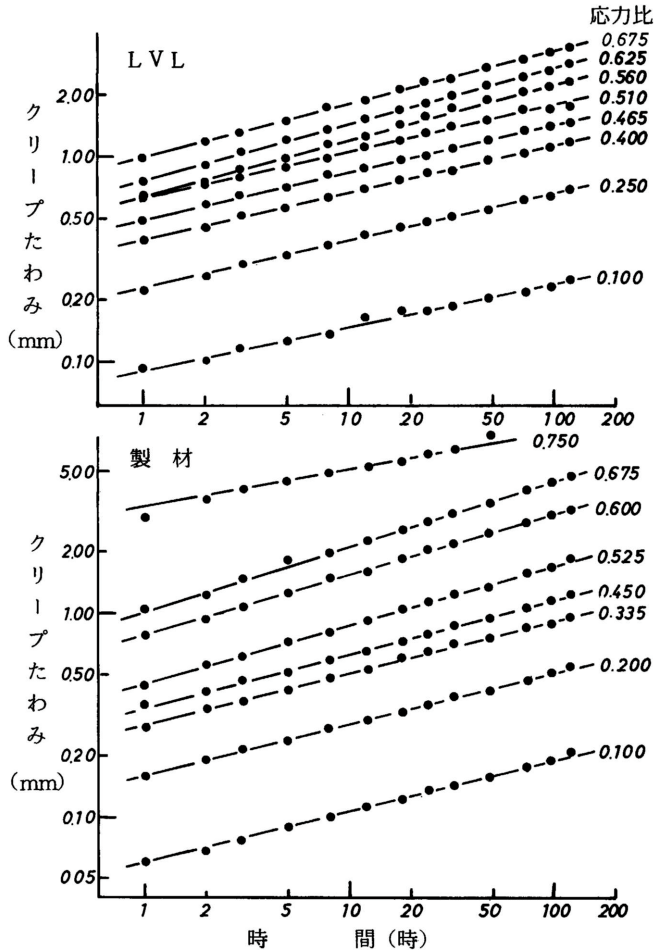
時間)後のクリープたわみの比率を示している。第3図に各応力比に対する相対クリープ値を8, 24, 120時間についてプロットしたものを示す。傾斜の異なる2つの折線の交点をクリープ限度として<sup>6)</sup>、図中に破線で示したが、その位置はLVLで応力比0.45前後、製材で0.55前後であった。LVLの場合、クリープ限度以上の応力比で相対クリープの増加割合は製材よりも小さいが、クリープ限度内での相対クリープは製材よりも1.5倍程度大きかった。ラワンLVLで試験した報告<sup>4)</sup>によると相対クリープの大きさは製材のみで、クリープ限度も0.6前後と高く、今回試験を行ったカラマツLVLよりもクリープ性能が良いことが認められている。この差異は中小径針葉樹材から剥いた単板品質がラワンLVL用の単板に比較して、裏割れ率や密度等が大きく、低品質であることから生じたのではないかと考えられる。

LVLと製材のクリープ曲線を両対数目盛で第4図に示す。応力比が大きい程クリープたわみが増加した。第4図の回帰直線から求めたクリープ曲線の実験定数とその実験定数から求めた負荷後10年及び20年後の推定相対クリープの値を第2表に示す。日本建築学会の木構造設計規準・同解説における長期ヤング係数を短期ヤング係数の1/2としているのはこの相対クリープが2であることを意味する。A値は応力の関数といわれているとおり、応力が高くなるにつれて大きくなった。N値は従来から材料によって一定値をとる<sup>7)</sup>とされているが、ここでも高応力レベルを除き応力比の大小にかかわらず、LVL及び製材ともほぼ一定値であり、LVLで0.24、製材で0.27であった。クリープ限度内で推定相対たわみの大きさは、LVLの10年後のものと製材の20年後のものとはほぼ等しい値である。

BJの影響をみるため、BJのあるLVLの応力比0.2~0.3に匹敵する荷重を加えて、BJの無いLVLのクリープ試験を行った。その時のクリープ曲線の定数を第3表に示す。第2表のBJのあるLVLの値と瞬間たわみが異なるため、A値の直接比較ができない。そこで、A/  $\delta_0$  で比較してみた。N及びA/  $\delta_0$  値ともBJのあるLVLと大差がなく、クリープたわみ



第3図 応力比と相対クリープの関係



第4図 クリープ曲線

に対してBJが影響しないことを示している。

辺材単板LVLと心材単板LVL別に各含水率における120時間後の相対クリープを第5図に、クリープ定数を第4表に示す。辺材単板LVLと心材単板LVLとで平衡含水率が多少異なっている<sup>8)</sup>ので、それぞれの平衡含水率を基準に示してある。含水率の増加に伴って120時間後の相対クリープは直線的に大きくなっており、その増加割合は辺材単板LVLのほうが大きかった。これは、辺材単板LVLのほうが心材単板LVLよりクリープ変形に対して、水分の影響を大きく受けていることを示している。この現象はLVLの製造工程で、乾燥に伴う収縮やプレスによる単板のつぶれなどが辺材単板と心材単板で異なること<sup>8)</sup>に起因していると考えられる。クリープ定数のN値は、各含水率で同一の値であるが、 $A/\delta_0$ は含水率が高くなると大きくなった。LVL全体ではパーティクルボードほど<sup>25)</sup>ではないが、裏割れの存在などで高湿下の相対クリープは、製材などより大き

第2表 小試験体におけるLVLおよび製材のクリープ定数と推定相対クリープ

	応力比	A <sup>a)</sup>	N <sup>a)</sup>	A/ $\delta_0$ <sup>b)</sup>	$\delta_0$	$\delta_{10}/\delta_0$ <sup>c)</sup>	$\delta_{20}/\delta_0$ <sup>c)</sup>	J <sup>d)</sup>
LVL	0.100	0.09	0.21	0.0652	1.38	1.71	1.82	0.954
	0.250	0.23	0.23	0.0627	3.67	1.86	2.01	1.020
	0.400	0.39	0.23	0.0671	5.81	1.91	2.07	0.985
	0.467	0.49	0.23	0.0712	6.88	1.98	2.15	1.051
	0.510	0.62	0.23	0.0820	7.56	2.13	2.33	1.069
	0.560	0.64	0.27	0.0792	8.08	2.72	3.07	1.082
	0.625	0.77	0.27	0.0869	8.86	2.86	3.25	1.062
	0.675	1.00	0.26	0.1008	9.93	336時間で破壊		1.048
製材	0.100	0.06	0.26	0.0365	2.06	1.64	1.76	0.837
	0.200	0.16	0.25	0.0393	4.19	1.69	1.82	0.820
	0.335	0.28	0.26	0.0389	7.07	1.76	1.90	0.930
	0.450	0.34	0.27	0.0367	9.24	1.84	1.96	0.901
	0.525	0.45	0.28	0.0410	10.96	1.97	2.12	0.826
	0.600	0.78	0.30	0.0594	13.12	2.79	3.21	0.870
	0.675	1.04	0.33	0.0631	16.41	284時間で破壊		0.877
	0.750	3.26	0.19	0.1850	17.60	72時間で破壊		0.917

注) a) A, N: クリープ定数 b)  $\delta_0$ : 瞬間たわみ (mm)

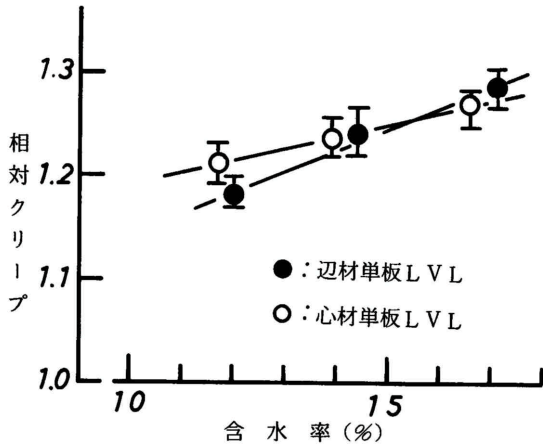
c)  $\delta_{10}/\delta_0$ ,  $\delta_{20}/\delta_0$ : 10, 20年後の推定相対クリープ

d) J: コンプライアンス ( $\times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kg}$ ), LVLは4体の平均, 製材は2体の平均

第3表 無ジョイントLVLのクリープ定数

応力比	A <sup>a)</sup>	N <sup>a)</sup>	A/ $\delta_0$ <sup>b)</sup>	$\delta_0$	J <sup>d)</sup>
0.30	0.26	0.23	0.0654	3.97	0.910

注) a), b), d): 第2表参照

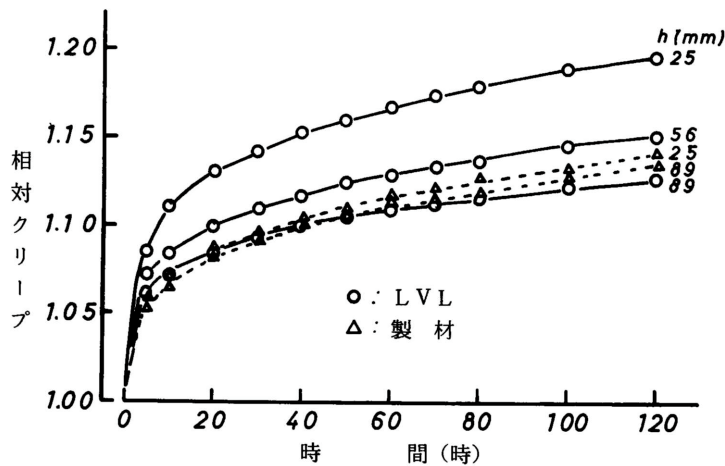


第5図 含水率と120時間後の相対クリープの関係

第4表 含水率の異なるLVLのクリープ定数

湿度 R.H.(%)	LVL 種類	含水率 (%)	応力比 <sup>c)</sup>	A <sup>a)</sup>	N <sup>a)</sup>	A/ $\delta_0$ <sup>b)</sup>	$\delta_0$
65	辺材単板	12.2	0.23	0.24	0.23	0.0613	3.87
	心材単板	11.9	0.26	0.21	0.23	0.0676	3.47
75	辺材単板	14.6	0.25	0.28	0.24	0.0770	3.67
	心材単板	14.1	0.27	0.29	0.24	0.0742	3.95
85	辺材単板	17.3	0.27	0.39	0.23	0.0961	4.02
	心材単板	16.9	0.25	0.38	0.22	0.0880	4.31

注) a), b): 第2表参照 c): クリープ試験後, 破壊試験で応力比を決めた



第6図 梁せいの異なる書式験体の相対クリープ曲線

[林産試月報 No. 394 1984年11月号]

いのではないかとと思われる。

今後, 実際に使用されるであろう条件を設定して, 乾湿繰り返し条件下におけるクリープ挙動を検討する必要がある。

### 3.2 実大試験体のクリープ変形

第6図に各梁せいにおける相対クリープ曲線を示す。実線がLVLで, 破線が製材である。相対クリープ曲線は, 小試験体(25mm)ではクリープ限度内の応力比で試験を行ったものでLVLで16体, 製材で8体, 実大試験体ではLVLで56mmで3体, 89mmで6体, 製材で89mm4体の平均値である。小試験体と実大試験体とではせん断スパン-梁せい比(7.2~7.9)および荷重条件はほぼ同一であると判断してよいと思われる。LVLでは梁せいが大きくなるに伴って, 相対クリープの大きさは小さくなるが, 製材ではほとんど差異がなかった。

### クリープ定数と推定相対クリープ

を第5表に示す。N値

は3.1と同様にLVL, 製材内ではほぼ同一の値であり, 形状による差異は認められなかった。A/ $\delta_0$ をみるとLVLでは梁せいが大きくなると

その値は低下しているが, 製材ではほとんど差が認められなかった。10年及び20年後の推定相対クリープをみると,

梁せい125mmのものではLVLのほうが製材よりも大きい

が, 梁せい189mmでは逆にLVLのほうが小さくなっている。

第7図に梁せいと120時間後の相対クリープの関係を示す。

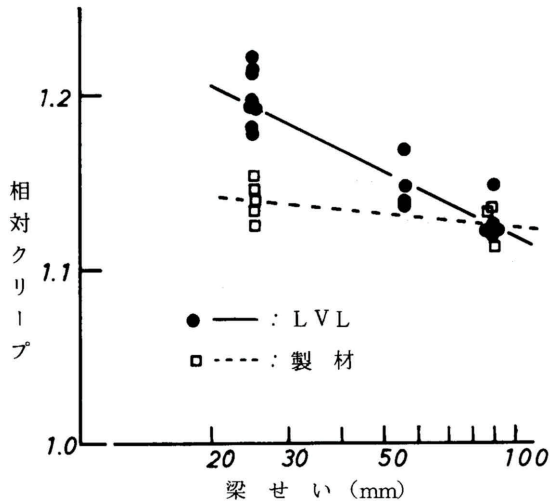
製材では梁せいの大きさによって相対クリープは変わらない

が, LVLでは梁せいが大きくなるに伴って相対クリープは小さくなり, 寸法効果の影

第5表 梁せいの異なるLVLおよび製材のクリープ定数と推定相対クリープ

	$h^d$ (mm)	$\sigma^e$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E^f$ (ton/cm <sup>2</sup> )	$A^a$	$N^a$	$A/\delta_0^c$	$\delta_0$	$\delta_{10}/\delta_0^c$	$\delta_{20}/\delta_0^c$
LVL	25	90	98	0.19	0.23	0.0647	2.91	1.87	2.04
	56	90	110	0.36	0.24	0.0476	7.56	1.74	1.87
	89	90	107	0.45	0.23	0.0416	10.81	1.58	1.68
製材	25	90	114	0.16	0.26	0.0385	2.50	1.74	1.89
	89	90	123	0.33	0.27	0.0341	9.68	1.73	1.89

注) a), b), c): 第2表参照 d): 梁せい e): 曲げ応力度 f): ヤング係数



第7図 梁せいと120時間後の相対クリープの関係

響が認められた。製材の場合、製材品等が節等級が特級の材を実大試験体として用いたが、多少節等があり、同一寸法では無欠点材よりも相対クリープが大きくなる可能性がある。しかし、試験体寸法による相対クリープの大幅な低減は考えられない。

一定条件下で試験体寸法を変えて、クリープ試験を行い寸法効果を検討した試験は、製材を含め見当たらない。今回試験を行った範囲において、LVLと製材における寸法効果によるクリープ変形量の差異が大きいが、これは、LVLと製材の形態的相違の特徴であるBJ、裏割れ及び接着層(積層数、接着剤等)の存在などが関与して生じたのではないと思われる。しかし、BJについては、3.1で述べたようにBJの有無にかかわらず、相対クリープ量に差がなく、あまり関与していないように見える。裏割れ及び接着層の関

与については集成材のクリープデータなどとの関連で検討する必要がある。

試験体寸法の相違はLVLの相対クリープの大きさに影響を与えているが、3.1で述べたクリープ限度応力レベルの大きさにも同様の関係があるのか、今後、実大試験体を用いて検討する予定である。

#### 4.まとめ

林産試験場で現在標準的に製造されたカラマツLVLについて、試験体寸法を変えて曲げクリープ試験を行い、LVLのクリープ性能を検討した。得られた結果を以下に示す。

(1) クリープ限度応力は、LVLでは破壊応力の0.45前後、製材では0.55前後であり、クリープ限度内の相対クリープ量はLVLのほうが製材より1.5倍程度大きかった。クリープ曲線、 $c(t) = AtN$ の定数N値は、各応力レベルで同一であり、LVLでは0.23、製材では0.27であった。

(2) LVLの相対クリープ量は、BJの有無にかかわらず一定であった。異なった含水率における相対クリープ量は、低含水率では心材単板LVLのほうが大きいが、高含水率では辺材単板のほうが大きかった。高湿下の相対クリープ量は製材に比べて大きいものと思われる。

(3) クリープ曲線の定数N値は、梁せいが大きくなっても、LVL及び製材とも同一であった。クリープ限度内のLVLの相対クリープ量は、小試験体では製材より大きいが、実大試験体では製材と同程度であった。

(4) LVLの相対クリープ量に対して寸法効果が認

められ、梁せいが大きくなると相対クリープ量は急激に小さくなった。

発に関する研究，，（1981）

- 5) 有馬孝禮ほか2名：建築研究報告No. 95（1981）
- 6) 杉山英男：“木構造”彰国社，P28 - 32，（1971）
- 7) 三輪雄四郎ほか2名：木材工業，25，314（1970）
- 8) 真田康弘ほか2名：林産試月報，387，1（1984）

## 文 献

- 1) 小倉高規：，木材工業，36，589，（1981），37，9（1982）
- 2) 森泉 周ほか3名：林産試月報，384，1（1984）
- 3) 森泉 周ほか3名： 同上 ，388，1（1984）
- 4) 高宮庄一：“合板・積層材の構造部材への利用開

- 試験部 合板試験科 -  
（原稿受理 昭59.5.31）