

- 研究 -

カラマツLVLの水に対する性質 (第5報)

- 気象因子が吸/放湿と寸度変化に及ぼす影響 -

北 村 維 朗

Moisture-Concerned Properties of Karamatsu LVL ()

- Effects of meteorological factors on hygroscopical and dimensional behaviours of karamatsu LVL -

Tadao KITAMURA

Samples of laminated veneer lumber taken from the sapwood and the heartwood of karamatsu, Japanese larch, were left exposed to outdoor conditions for two years. One group of the samples had been given a protective treatment of coating or end-sealing, while the other had been given none of it. After two years of exposure, the effects of the protective treatment were evaluated from multiple regressional models determined from meteorological factors in the test period; those multiple regressional models were determined so that they might express changes in (1) the weight, or moisture balance, (2) the dimension in a width direction, and (3) the dimension in a thickness direction, of each LVL sample in terms of a constant, the total quantity of solar radiation (MJ/m^2), and the monthly quantity of precipitation (mm).

Then standard changes in weight and dimension, which correspond to changes in quantities of solar radiation and precipitation, were determined by analyzing the multiple regressional models. The changes determined thus were compared with the experimentally-obtained information on how effective the protective treatment was for making the LVL resistant to the influence of solar radiation and precipitation. Their influence upon the sapwood LVL and a the heartwood LVL, each of which was further divided into a treated group and non-treated group, were separately examined. The results obtained thus are summarized as follows:

(1) The quantity of solar radiation in the exposure period had a greater influence upon the hygroscopical behaviour of each sample than the quantity of precipitation in the same period.

(2) Very little difference was recognized in the influence of the monthly precipitation quantity upon the dimensional behaviour of a sample, whether the sample was taken from the sapwood or the heartwood, or whether it had been given a protective treatment or not, or whether the treatment was end-sealing or coating with polyurethane.

(3) Polyurethane coating on the whole surface of the sample was found to be effective for reducing the damage by the solar radiation, while the end-sealing was found to be hardly effective for the same purpose.

(4) The influence of meteorological factors upon the dimensional change in width of a sample showed a trend similar to that seen with their influence on the hygroscopical behaviour.

(5) Thickness change was recognized to be more influenced by the quantities of solar radiation and precipitation with a sample treated with end sealing than with a non-treated sample. This is probably because the non-treated sample had been affected greatly by the solar radiation and the precipitation in a relatively early stage of exposure, thereby attaining irreversible deformation in a relatively short period of time.

カラマツ単板により、辺・心材別々に調製した単板積層材 (LVL) を そのまま及び2種類の保護処理を加えた後、約2年間屋外暴露し、保護処理の効果を比較した。

暴露期間中の各月の(1)付加水分(試料重量)の変化、(2)積層単板の幅方向の寸度の変化、(3)積層の厚さ寸度の変化を同期間中の気象データと照合し、重回帰分析によって、定数項、全天日射量(MJ/m²)、降水量(mm)に関する3項によって表現した。得られた重回帰モデルにより、日射量と降水量の標準変化量に対応する付加水分と各寸度の変化量を求め、構成単板の辺/心材別、保護処理別の影響を比較した。その結果、以下の諸点が認められた。

- () 「日射エネルギー」の大小は試料の屋外暴露中の吸/放湿挙動に対して「月間降水量」よりも大きな影響を与える。
- () 「月間降水量」の寸度変化に及ぼす影響は、無処理、木口処理、ポリウレタン塗装の別を問わず、また、辺/心材の別を問わずほとんど差がない。
- () ポリウレタンによる表面塗装は日射の影響を軽減するのにきわめて効果的であるが、木口の防水処理の効果は明白でない。
- () 試料の幅方向(接線方向)の寸度変化に関する気象の影響と処理区分間、辺/心材別間の効果は、吸/放湿挙動と同様な傾向である。
- () 積層厚さ(放射方向)の変化へ及ぼす日射量、降水量の影響は無処理試料よりも、木口処理試料の方が大きい。
- () ()の理由としては、無処理試料は、暴露初期の段階での日射および降水の影響を大きく受けて、早期に非可逆的変形の領域に達したからと解釈される。

1. 目的

単板積層材(LVL)は多くの特長をそなえた新しい単板製品として大いに期待が持たれている。このLVLは強度的性質に関しては、近年、研究、調査が進み、我が国でも規格化が準備されている段階にまで至っているが、一方、耐久性に関しては全く資料を欠いていると言っても過言ではない。LVLは再構成によって適度に均質化された材料であって、各種の木材製品の部材用に期待される所が大きい。窓枠等、屋外気象に直接暴露される用途も予想される。筆者らは、カラ

マツ造林木から調製したLVLの小角材について、屋外に長期的に暴露し、その間の劣化の状況を調査するとともに、2~3の保護処理の効果について検討を行っている。前報¹⁾では2年間の屋外暴露の間の試料LVLの吸/放湿とそれに伴う寸度の変化状況を追跡したが、これらの挙動は単に時間的経過に対応しているだけでなく、(その中に包含される)様々な気象要因をも反映していると考えることが合理的と感じられた。そこで、LVL試料の屋外暴露期間中の公式気象記録を調査し、それらと試料の変化挙動との関連

を求めた。

2. 調査資料

2.1 暴露試験データ

LVL 試料の屋外暴露試験は1982年12月10日から1984年12月10日までと1984年6月10日から1986年10月10日までの期間、旭川市縁町12丁目の北海道立林産試験場内の暴露試験地(当時)で行われた。試料は寸法40mm(幅)×40mm(厚さ)×315mm(長さ)の正割状で、接着層が見える材面を南面または北面に向けて、地上高1mの高さで暴露架台上に垂直に立てて設置した。試料の重量と、厚さ方向(放射方向)と幅方向(接線方向)の寸度は、1か月ごとに毎月10日前後に測定した。試験の全般及びデータの詳細については前報¹⁾を参照されたい。なお暴露した試料は、(1)無処理、(2)両木口のみ特殊合成樹脂ワニスで浸漬一塗布を行ったもの、(3)ポリウレタン樹脂塗料(クリア)で全表面塗装したもの、の処理系3種類で、それぞれ、辺材による試料と心材による試料の6種類に区別される。

2.2 気象データ

暴露試験期間中の月ごとの気象諸元は旭川地方気象台の公式記録によった。調査した気象諸元は、全日日射量(MJ/m²)、平均気温(°C)、湿度(%)、蒸気圧(mb)、降水量(mm)、日照時間(時間)、日照率(%)、の8項目で、そのうち、降水量と日照時間は、その月の積算値、日照率は積算値による比率、その他の諸元は、各月の平均値である。

暴露試験期間中の気象記録は第1表のとおりである。

3. 重相関分析

3.1 吸/放湿と寸度変化の気象データとの相関

6種類のLVL試料の、(a)吸/放湿による重量変化(付加水分)、(b)幅寸度の変化、(c)厚さ寸度の変化を気象諸元のデータから求める重回帰モデルを求めるにあたって、モデル

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_p) + \varepsilon' \dots \dots \dots (1)$$

の説明変数 x_1, x_2, \dots, x_p を幾つかの有力なものに絞るため、上記(a)、(b)、(c)の各月の測定値 ξ_i を、これに対応する各月の気象諸元値 χ_i と対比して、その関係の大きさを比較評価した。

評価の基準としたのは、 n か月分のデータ対 $(\chi_1, \xi_1), \dots, (\chi_n, \xi_n)$ から(2)式で求めた試料相関係数によった。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})(\xi_i - \bar{\xi})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})^2 \sum_{i=1}^n (\xi_i - \bar{\xi})^2}} \dots \dots \dots (2)$$

(2)式による計算は、関数機能付電子式卓上計算機によったが、その結果は第2表の通りであった。

3.2 吸/放湿と寸度変化の重回帰モデル

3.1で得られた相関係数から(1)式の説明変数 x_1, x_2 (全日日射量と降水量)を選定した。これらの観測値、 x_{d1}, x_{d2} とこれに対応する目的変数の測定値(y_d :各試料の重量増加、幅寸度変化、厚さ寸度変化)から Y の x_1, x_2 に対する重回帰モデル、

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \dots \dots \dots (3)$$

を求め、幾つかの気象データから、各LVL試料の屋外暴露中の変化挙動を推定するモデルとした。 b_0, b_1, b_2 は、

$$\left. \begin{aligned} b_0 n + b_1 \sum \chi a_1 + b_2 \sum \chi a_2 &= \sum y a \\ b_0 \sum \chi a_1 + b_1 \sum \chi a_1^2 + b_2 \sum \chi a_1 a_2 &= \sum \chi a_1 y \\ b_0 \sum \chi a_2 + b_1 \sum \chi a_1 a_2 + b_2 \sum \chi a_2^2 &= \sum \chi a_2 y \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

の正規方程式を解くことによって得られるが、この式を解くに当たっては、 x_{d1}, x_{d2}, y_{d2} の偏差平方和及び偏差積和を利用することができる²⁾。

$$\left. \begin{aligned} S_{11} &= \sum (\chi a_1 - \bar{\chi} a_1)^2 = \sum \chi a_1^2 - n \bar{\chi} a_1^2 \\ S_{22} &= \sum (\chi a_2 - \bar{\chi} a_2)^2 = \sum \chi a_2^2 - n \bar{\chi} a_2^2 \\ S_{12} &= \sum (\chi a_1 - \bar{\chi} a_1)(\chi a_2 - \bar{\chi} a_2) = \sum \chi a_1 a_2 - n \bar{\chi} a_1 a_2 \\ S_{yy} &= \sum (y a - \bar{y} a)^2 = \sum y a^2 - n \bar{y} a^2 \\ S_{1y} &= \sum (\chi a_1 - \bar{\chi} a_1)(y a - \bar{y} a) = \sum \chi a_1 y a - n \bar{\chi} a_1 \bar{y} a \\ S_{2y} &= \sum (\chi a_2 - \bar{\chi} a_2)(y a - \bar{y} a) = \sum \chi a_2 y a - n \bar{\chi} a_2 \bar{y} a \end{aligned} \right\} (5)$$

第1表 LVL試料屋外暴露中の気象諸元

Table1 Meteorological data for the months . the exposure tests were taken place

年・月 year・ month	全天日射 total solar energy MJ/m ² ・D	平均気温 average temperature ℃	湿度 (R.H.) %	蒸気圧 vapor pressure mb	降水量 precipitation mm	日照時間 sunshine period hr	日照率 sunshine ratio %	風速 wind velocity m/sec
82・12	4.2	-2.3	81	4.2	85.5	67.6	24	1.8
83・1	5.6	-6.8	83	3.2	97.5	89.0	31	1.7
・2	8.7	-8.4	79	2.7	37.5	135.8	47	1.6
・3	13.5	-3.1	76	3.8	23.0	214.3	58	1.6
・4	16.0	8.6	57	6.3	19.5	232.8	58	1.6
・5	16.0	11.7	67	9.2	60.0	203.7	45	2.5
・6	15.3	12.8	76	11.2	91.0	134.5	29	2.0
・7	15.5	18.2	77	16.1	69.5	178.1	38	1.7
・8	15.2	21.5	80	20.6	87.0	195.6	45	1.5
・9	12.3	15.5	81	14.4	77.5	159.3	43	1.6
・10	8.0	6.7	79	7.9	203.5	132.3	39	2.0
・11	5.2	2.4	80	5.9	69.5	87.3	36	1.6
・12	4.6	-5.5	82	3.5	94.0	110.6	36	1.7
84・1	5.7	-9.0	85	2.8	86.0	136.5	38	1.3
・2	8.4	-10.4	81	2.3	44.0	166.4	43	1.3
・3	14.1	-4.5	74	3.3	21.0	252.0	60	2.0
・4	17.5	3.5	65	5.0	11.0	266.1	64	1.8
・5	18.6	11.9	67	9.1	30.0	257.8	53	1.8
・6	19.2	18.7	71	15.0	46.0	246.2	51	2.0
・7	18.4	22.7	75	20.6	78.0	252.5	51	1.8
・8	16.6	22.4	72	19.6	35.0	256.3	53	1.9
・9	13.2	15.5	77	13.5	60.0	208.9	52	1.5
・10	7.9	7.3	77	8.0	124.0	140.4	38	2.0
・11	5.6	1.0	76	5.2	127.0	111.7	37	2.3
・12	4.5	-4.8	79	3.6	65.0	107.7	32	1.8
85・1	5.9	-12.4	78	2.0	49.0	158.7	44	1.2
・2	8.2	-4.8	79	3.5	53.5	107.4	37	1.9
・3	11.4	-2.1	73	3.9	34.0	171.8	47	1.9
・4	14.8	6.8	68	6.7	57.0	204.5	51	2.0
・5	18.4	11.9	61	8.2	56.0	253.2	56	2.2
・6	19.0	15.3	69	11.7	29.5	228.3	50	1.8
・7	16.4	20.3	79	18.9	101.5	193.8	42	1.8
・8	15.2	23.6	79	22.8	86.5	207.9	48	1.6
・9	12.3	14.8	80	13.6	142.0	187.8	50	1.6
・10	8.7	8.5	79	9.0	132.5	158.2	46	1.8
・11	5.4	2.1	79	5.8	97.0	89.9	31	2.0
・12	4.7	-6.7	85	3.3	96.5	84.7	31	1.6
86・1	5.9	-9.9	80	2.5	49.0	90.3	31	1.8

※旭川地方気象台資料
data from meteorological observatory Asahikawa

によって(4)式は以下のように簡略化され

$$\left. \begin{aligned} b_1 S_{11} + b_2 S_{12} &= S_{1y} \\ b_1 S_{12} + b_2 S_{22} &= S_{2y} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} S_{11}S_{22} \\ S_{12}S_{21} \end{vmatrix} = S_{11}S_{22} - S_{12}^2 \dots\dots\dots(7)$$

とおくと、

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= 1/\Delta(S_{1y}S_{22} - S_{2y}S_{12}) \\ b_2 &= 1/\Delta(S_{2y}S_{11} - S_{1y}S_{12}) \\ b_0 &= \bar{y} - b_1\bar{x}_1 - b_2\bar{x}_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

によって偏回帰係数 ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$) の最小2乗推定値を得ることができる。

実際の計算は既製のBASICプログラム³⁾により、パーソナルコンピュータで行った。

4. 結果と考察

4.1 相関係数

6種類のLVL試料の各月の、重量増加率（付加水分）、2種類の寸度変化率を、その月の各気象データと対照してその相関係数を求めた（第2表）。試料区分と、特性値（付加水分、寸度変化率）区分による違いはあるものの、^{かん}概観に見ると、「風速」以外の気象要因は全てある程度の相関を否定できない。一般的に表現するならば、付加水分については、全天日射の相関係数が高い値を示しており、寸度増加率については降水量の数値が高い。全天日射は負の相関係数を与え、降水量は正の値を与えている。

・付加水分について

日射に関する要因の相関係数が、降水に関するものより、はるかに（絶対値で）大きい。ポリウレタンによる全面塗装は、相関係数を低下させる。降水量との相関は、辺材試料より心材試料の方が大きい。この関係は一見矛盾しているように見えるが、付加水分が、1か月を通した結果を示しているため、降

水によって獲得した水分を容易に放出し易い辺材は、長期間水分を保持しにくいとすることを示していると考えられる。

・厚さ方向寸度について

無処理試料に対しては、日射の相関係数は小さく、降水量の相関係数は大きい。ポリウレタン塗装、木口処理の両保護処理は、降水量に関する相関係数を低くし、代りに日射に関する相関係数を高くする。

・幅方向寸度について

無塗装グループ（無処理と木口処理）は日射に関する相関係数が（負で）大きく、日射による幅収縮が顕著であることを物語っている。特殊合成樹脂ワニスによる木口処理は、日射の影響に対しての保護は期待できないが、降水に対してはその影響を軽減する効果があると判断できる。ポリウレタン塗料による全面塗装は、降水に対する保護よりも、むしろ、日射の影響を軽減する効果が大きいことを示している。Sell³⁾は窓枠の耐候性に関する研究の中で、塗装（アルキッド塗料）が日射エネルギーを遮断して木材の表面温度の上昇を抑止し、含水率の変動幅を縮小する経過を実証している。

調査した気象要因のうち、日照率、日照時間、平均気温、蒸気圧は全天日射と相関が大きく、湿度は降水量との関係が大きい。したがって重回帰モデルを作成するにあたって、説明変数は「全天日射量」(x_1)と「降水量」(x_2)の2つを選んだ。

4.2 重回帰モデル

「全天日射量」と「降水量」を2つの説明変数として、重量増加率（付加水分）と2方向の寸度増加率を求める重回帰モデルを、6種類の試料別に求めた（第3表）。全ての目的変数に関して、ポリウレタン塗装試料は、無処理、木口処理試料に比べて決定係数がはるかに小さい。このことはポリウレタン塗装が、日射と降水に対して保護効果を良く発揮して、これらによる重量変化と寸度変化を最小限に止めていることを示すものであろう。

第1~2図に、これらのモデルによって与えられる付加水分または寸度増加率（曲線）を、実際の測定値（点）

第2表 カラマツLVLの屋外暴露における水分付加と寸度変化の気象諸元との相関〔相関係数 (r)〕

Table 2 Correlations between meteorological factors and moisture gain as well as dimensional changes of LVL samples in outdoor exposure. [correlation coefficients (r)]

保護処理 Protection	無 処 理+ n i l		ウレタン塗装+ polyurethane coated		木口処理材++ ends sealed	
	辺 材 sapwood	心 材 heartwood	辺 材 sapwood	心 材 heartwood	辺 材 sapwood	心 材 heartwood
気象諸元 meteorological factors						
(付加水分) moisture added						
全日日射 solar energy	-0.819**	-0.796**	-0.612*	-0.564**	-0.801**	-0.853**
平均気温 temperature	-0.640**	-0.555**	-0.436*	-0.294	-0.719**	-0.724**
湿度 humidity	0.589**	0.546**	0.343	0.431*	0.626**	0.651**
蒸気圧 vapor pressure	-0.573**	-0.509*	-0.439*	-0.278	-0.608**	-0.613**
降水量 precipitation	0.341	0.448*	0.343	0.448*	0.158	0.224
日照時間 sunshine period	-0.684**	-0.683**	-0.412	-0.433*	-0.849**	-0.824**
日照率 sunshine ratio	-0.386	-0.423*	-0.212	-0.266	-0.793**	-0.785**
風速 wind velocity	-0.363	-0.274	-0.178	-0.153	-0.213	-0.214
(寸度増加率 ・H方向) dimension added ; radial						
全日日射 solar energy	-0.231	-0.375	-0.064	-0.495*	-0.674**	-0.571**
平均気温 temperature	0.202	0.019	0.299	-0.096	-0.344	-0.534*
湿度 humidity	0.264	0.287	0.122	0.155	0.632**	0.350
蒸気圧 vapor pressure	0.228	-0.019	-0.321	0.023	-0.253	-0.423*
降水量 precipitation	0.448*	0.707**	0.220	0.552**	0.554**	-0.158
日照時間 sunshine period	-0.161	-0.376	0.162	-0.598**	-0.663**	-0.504*
日照率 sunshine ratio	-0.192	-0.321	-0.334	-0.662**	-0.568**	-0.365
風速 wind velocity	-0.076	0.010	-0.081	-0.170	-0.153	-0.264
(寸度増加率 ・B方向) dimension added ; tangential						
全日日射 solar energy	-0.562**	-0.588**	-0.335	-0.201	-0.695**	-0.780**
平均気温 temperature	-0.317	-0.193	-0.029	0.003	-0.459*	-0.528*
湿度 humidity	0.388	0.449*	0.208	0.271	0.462	0.729**
蒸気圧 vapor pressure	-0.313	-0.198	-0.058	0.014	-0.379	-0.386
降水量 precipitation	0.395	0.687**	0.466*	0.383*	0.245	0.308
日照時間 sunshine period	-0.607**	-0.679**	-0.354	-0.123	-0.590**	-0.736**
日照率 sunshine ratio	-0.423*	-0.549**	-0.239	0.100	-0.474*	0.040
風速 wind velocity	-0.207	-0.052	-0.288	-0.095	-0.114	-0.311

* : 相関係数危険率5%で有意 correlation is significant upon 5% error size.
 ** : " " " " 1% " "
 + : 24対のデータによる calculated from 24 pairs of data
 ++ : 20対のデータによる " " 20 " " "

とともに示す。第1図は決定係数が最も高いもの、第2図はもっとも低いものの代表例である。決定係数が大きい場合はモデルは実測値と良く一致している。決定係数の低い、ポリウレタン塗装試料(辺材)の厚さ方向の寸度増加率も、かい離が大きいのは暴露の初期であり、暴露期間の延長とともに、モデル値と実測値が良く一致するようになる傾向を示している。これはポリウレタン塗膜の保護効果が次第に失われて行く経過を示しているものと思われる。

第2図を見ると、冬の初めに暴露を始めた試料は、冬期の低温多湿の時期、吸湿による寸度増はモデル値より小さく、夏期の乾燥期にはモデル値より収縮が少なく、翌年の春までは塗膜が吸湿膨張と乾燥収縮を効果的に抑制している様子が観察されるが、この時期を過ぎると、モデルと実測値が良く一致するようになり、塗膜の保護効果が次第に失われて行く様子を物語っていると考えられる。

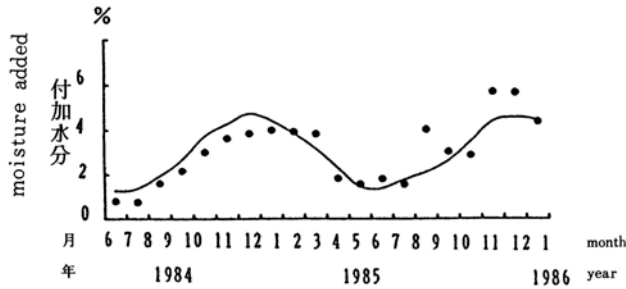
第3表 屋外暴露中のカラマツLVLの寸度および重量増加率の全天日射料 (x_1) と降水量 (x_2) に関する重回帰モデル

Table 3 Multi-regressional models giving dimensional or moisture-changes of karamatsu LVL from two meteorological factors during outdoor exposure.

$$f = a + bx_1 + cx_2$$

x_1 : 日平均全天日射量 (MJ/m²)
average daily total solar energy
 x_2 : 月間降水量 (mm)
monthly precipitation

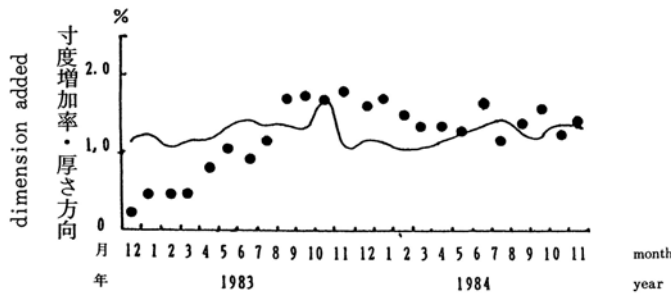
		a	b	c	r ² 決定係数 coefficient of determination	e 標準誤差 standard error
重量増加率 (付加水分) weight increment (moisture added)						
無処理 without protection	心材 heartwood	9.15	-38.62 × 10 ⁻²	-9.17 × 10 ⁻³	0.640	1.32
	辺材 sapwood	31.36	-124.64 × 10 ⁻²	-48.04 × 10 ⁻³	0.699	3.57
木口処理 ends sealed	心材 heartwood	5.99	-23.88 × 10 ⁻²	-3.05 × 10 ⁻³	0.731	0.72
	辺材 sapwood	11.53	-48.43 × 10 ⁻²	-11.22 × 10 ⁻³	0.657	1.72
ウレタン塗装 polyurethane coated	心材 heartwood	3.88	-12.13 × 10 ⁻²	0.75 × 10 ⁻³	0.319	0.90
	辺材 sapwood	10.95	-38.45 × 10 ⁻²	-9.24 × 10 ⁻³	0.365	2.31
寸度増加率 (B - 方向) dimensional increment (tangential direction)						
無処理 without protection	心材 heartwood	0.57	-2.45 × 10 ⁻²	2.13 × 10 ⁻³	0.411	0.20
	辺材 sapwood	1.67	-6.58 × 10 ⁻²	-3.35 × 10 ⁻³	0.610	0.11
木口処理 ends sealed	心材 heartwood	0.97	-2.73 × 10 ⁻²	0.27 × 10 ⁻³	0.610	0.11
	辺材 sapwood	1.15	-3.41 × 10 ⁻²	6.98 × 10 ⁻³	0.484	0.18
ウレタン塗装 polyurethane coated	心材 heartwood	0.63	-0.22 × 10 ⁻²	2.23 × 10 ⁻³	0.057	0.31
	辺材 sapwood	0.69	-1.22 × 10 ⁻³	1.30 × 10 ⁻³	0.083	0.30
寸度増加率 (H - 方向) dimensional increment (radial direction)						
無処理 without protection	心材 heartwood	0.50	-0.64 × 10 ⁻²	1.30 × 10 ⁻³	0.212	0.12
	辺材 sapwood	2.08	0.91 × 10 ⁻²	5.72 × 10 ⁻³	0.107	0.46
木口処理 ends sealed	心材 heartwood	0.69	-1.46 × 10 ⁻²	-1.25 × 10 ⁻³	0.467	0.08
	辺材 sapwood	1.85	-4.08 × 10 ⁻²	4.13 × 10 ⁻³	0.578	0.25
ウレタン塗装 polyurethane coated	心材 heartwood	0.02	-0.62 × 10 ⁻²	1.86 × 10 ⁻³	0.366	0.11
	辺材 sapwood	0.72	-2.23 × 10 ⁻²	3.65 × 10 ⁻³	0.056	0.43



第1図 屋外暴露中のカラマツLVLと重量増加率の重回帰モデルによる推定値(曲線)と実測値

試料: 木口処理, 心材, 重回帰モデル実測値
 実線: 重回帰モデル $f = 5.990 - 0.239x_1 - 0.003x_2$
 点: 実測値 x_1 : 日平均全天日射量 (MJ/m²)
 x_2 : 月間降水量 (mm)
 r_2 : 0.731

Fig.1 Multi-regressional estimates and observed values of dimensional changes for karamatsu LVL in outdoor exposure.
 specimen: ends sealed heartwood LVL
 solid line: multi-regressional estimates
 filled circle: observed
 x_1 : average daily total solar energy
 x_2 : precipitation in a month



第2図 屋外暴露中のカラマツLVLと寸度増加率の重回帰モデルによる推定値(曲線)と実測値

試料: ウレタン塗装, 辺材重回帰モデル実測値
 実線: 重回帰モデル: $f = 0.72 - 0.022x_1 + 0.004x_2$
 点: 実測値 x_1 : 日平均全天日量 (MJ/m²)
 x_2 : 月間降水量 (mm)
 r_2 : 0.056

Fig.2 Multi-regressional estimates and observed values of dimensional changes for karamatsu LVL in outdoor exposure.
 specimen: polyurethane coated sapwood LVL
 solid line: multi-regressional estimates
 filled circle: observed
 x_1 : average daily total solar energy
 x_2 : precipitation in a month

4.3 日射量および降水量の影響の大きさ

第3表に与えられたb, c値は, それぞれ全天日射

量と降水量の単位変化量に起因する試料LVLの付加水分と両方向の寸度変化の量を示すことになる。ただし, 単位量変化の「起り易さ」は全天日射量と降水量とは異なる。そこで, 日射量と降水量の影響を考察するに当っては, これらの「起り易い」変化量に対応する目的変数の変化量について考察するのが妥当であると思われる。

「起り易い」変化量として, 暴露期間中の日射量と降水量のデータから試料標準偏差σを求め, これを利用した。これとbおよびcとの積

$$\Delta f_1 = b\sigma x_1$$

$$\text{および } \Delta f_2 = c\sigma x_2$$

は, それぞれ各月の平均全天日射量と降水量によってもっとも起り易い, 付加水分と寸度の変化量を代表している。さらに, 求められた重回帰モデルは各々標準誤差(Se)を持っているので, これを除して,

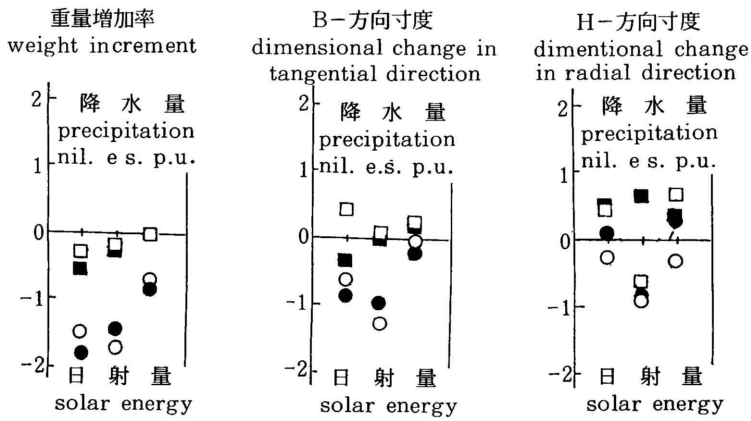
$$\beta = \Delta f_1 / Se$$

$$\gamma = \Delta f_2 / Se$$

をそれぞれ, 全天日射量と降水量の, 付加水分と, 寸度変化への影響の大きさを表すものとして, 第3図のようにグラフ化した。全天日射の影響は, 重量および寸度を減少させる方向に働くから, 効果の大きさをマイナス側に目盛った。

試料の吸放湿傾向を示す重量増加率では, ポリウレタン塗装によって, 日射の影響による重量減少が著しく抑制されることが示されている。特殊合成樹脂ワニスによる木口の保護

処理は, 日射による放湿を抑制するのに有効ではないことを示している。辺心材の別による差は明確ではな



第3図 月間降水量と日平均全日射量がカラマツLVLの重量増加(付加水分)率と寸度増加率に与える効果

Fig.3 Effects of solar energy or monthly precipitation on changes of dimension and weight of samples of karamatsu LVL during outdoor exposure.

降水量 : 月間降水量 (mm)
 precipitation : monthly precipitation
 日射量 : 日平均全日射量 (MJ/mm²)
 solar energy : average daily total solar energy

降水量の影響 precipitation 心材LVL ■
 heartwood
 辺材LVL □
 sapwood
 日射量の影響 solar energy 心材LVL ●
 heartwood
 辺材LVL ○
 sapwood

nil. 無処理 without protection
 e.s. 木口処理 ends sealed
 p.u. ポリウレタン塗装 polyurethane coated

の影響よりは大きいようである。日射が寸度を減ずる効果は、木口処理試料のみに認められ、無処理試料、ウレタン塗装試料とともにこの傾向が認められたが、その理由はそれぞれ異なるものと思われる。すなわち、無処理試料はスプリングバック性膨張によって可逆性寸度変化の感度を失ったものであり、ウレタン塗装試料の場合は、塗膜の保護作用と拘束作用が効果的に働いた結果であると考えられる。

以上、(線形)重回帰モデルの2つの説明変数に関する偏回帰係数の最小二乗推定値によって、2つの説明変数(全日射量と降水量)が目的変数(重量増加率と寸度変化率)の変化に与える影響の大きさを考察した訳であるが、ここでは、

い。降水量の付加水分への影響は小さいが、日射量の多い月は時とし降雨量の多い場合があり、降水の影響が日射のマイナス効果によって相殺された結果と考えられる。

幅方向寸度への影響は、一般的傾向は、重量増加率への影響と同様である。降水量の影響は小さく、明らかな一般的傾向は認め難い。日射量が幅方向寸度を縮小させる効果はウレタン塗装によって著しく軽減させるが、木口処理はその効果が薄い。無処理試料が木口処理試料より寸度変化が小さいが、暴露初期に、主に厚さ方向に起るスプリングバック性膨張の影響で、可逆性寸度変化が減少した結果であると考えられる。

厚さ方向寸度への影響は、降水量に関するものは小さく、その一般的傾向も明白でないが、幅方向寸度へ

試料暴露後、ある日数を経て安定した後の、そこからの変化量を考察していることになる。現実には、保護効果の小さい試料は、暴露直後に、既に大きな変化を経験しており、それ以後の、日射または降水に対する感度を失っているかも知れない。第3図において、無処理試料が予想に反して、小さな変化量(重量、寸度ともに)を与えたのは明らかに、この理由による。1か月単位ではなく、暴露開始以後の全変化量を問題にする場合は、定数項を含めたモデルの全体で評価しなければならない。

5. まとめ

窓枠等、屋外気象に影響を受ける用途を考慮する場合、LVLの気象要素に対する挙動を把握しておくこ

とが必要である。

造林カラマツの辺材と心材で別々に調整したLVL（単板厚；4mm）の小角試料にポリウレタン塗装または特殊合成樹脂ワニスで木口処理を行った後，無処理試料とともに2年間屋外暴露を行った。暴露中の吸放湿を示す重量変化と，収縮膨張を示す寸度変化を追跡して，同期間中の気象データとの関係を求めた。

試料LVLの重量変化と寸度変化は，各種の気象要因のうち，平均全天日射量と降水量との関係が認められ，これらを2つの説明変数とする線型重回帰式で表すことができた。6種類のLVL試料ごとに求めた重回帰モデルによって，試料ごとの，両気象要因に関する挙動を考察した。

（ ）「日射エネルギー」の大小は，LVLの屋外暴露中の吸放湿挙動に対して支配的であり，「月間降水量」の影響はこれより小さい。

（ ）「月間降水量」の影響は，無処理，木口処理，ポリウレタン塗装の処理区分の差，および辺心材別の差も認め難い。

（ ）ポリウレタン塗料（透明）による表面塗装は日射の影響を軽減するのに極めて効果的であるが，特殊合成樹脂ワニスによる木口処理は，これに対しての効果は明白でない。

（ ）試料LVLの幅方向（接線方向）の寸度変化に関する気象の影響と試料の処理区分間，辺心材別間の効果の一般的傾向は，吸放湿挙動と同様である。

（ ）積層厚さ（放射方向）寸度の変化への影響は日射量，降水量ともに無処理試料よりも，木口処理試料の方が大きい。

（ ）（ ）の理由としては，無処理試料は，暴露初期の段階で，日射および降水の影響を大きく受けて，早期に非可逆的変形の領域に達しているからと解釈される。

文 献

- 1) 北村維朗：林産試験場報，1（7），22（1987）
- 2) 奥野忠一，久米均，芳賀敏郎，吉澤正；多変量解析法，日科技連出版社（1972）
- 3) L・プール，大矢建正訳：基礎数値計算BASIC，マグロウヒル（1983）
- 4) Sell, J. ; Holz Roh-u. Werkstoff, 43, 259 (1985)

- 性能部 主任研究員 -
(原稿受理 昭63.7.4)