

区分	受託研究
研究期間	平成27年度

平成 27 年度受託研究報告書

単板積層材の耐候性能および耐朽性能に
関する研究

平成 28 年 3 月

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場

目次

はじめに	2
1 木材保存剤および木材保護塗料等で処理したLVLの耐候性能に関する検討.....	3
1.1 目的	3
1.2 実験方法	3
1.3 結果と考察	8
1.4 まとめ	16
2 屋外暴露試験による無処理および木材保護塗料で処理したLVLの耐朽性能の検討.....	17
2.1 目的	17
2.2 実験方法	17
2.3 結果と考察	17
3 透明塗装によるLVLの耐候性能の向上に関する検討.....	19
3.1 目的	19
3.2 実験方法	19
3.3 結果と考察	21
4 室内光によるLVLの光変色と透明塗装による変色抑制に関する検討.....	37
4.1 目的	37
4.2 実験方法	37
4.3 結果と考察	39
5 全体のまとめ	44

はじめに

単板積層材(以下、LVL)は、中小径木や曲がり材等も原料とすることができることから、スギ、カラマツなどの地域材の有効利用に寄与することが期待されている。近年、LVLの用途拡大の一環として、仮囲いをはじめとした屋外構造物、さらには内装材料への利用が進められている。LVLを含む木材・木質材料を屋外で利用する場合、光等による変色や腐朽発生の恐れがある。また、内装材料として利用する場合には、室内光による色の変化が起こる可能性がある。しかし、LVLの耐候性能、耐朽性能、光変色に関する知見は少ないため、知見の蓄積とともに、簡便な処理による性能向上技術の確立が求められている。

このような背景の中、林産試験場では、平成22年度から全国LVL協会からの受託研究として、LVLの耐候性能および耐朽性能に関する検討を進め、この中で屋外暴露試験によるLVLの耐候性能と耐朽性能の評価、および木材保存処理や塗料を用いた性能向上効果を検討してきた。本研究では、これまでの受託研究において設置してきた試験体について、より長期間屋外暴露した場合の評価を行い、さらなる知見の蓄積を目的とした。さらに、本年度は新たな試験として、LVLを内装材料として利用する際に課題となる室内光によるLVLの色の変化や透明塗装による変色抑制効果に関する検討を開始した。

1 木材保存剤および木材保護塗料等で処理したLVLの耐候性能に関する検討

1.1 目的

木材保存剤や木材保護塗料の塗布による簡易な処理によるLVLの耐候性向上効果や強度性能への影響を明らかにすることを研究目的とした。

1.2 実験方法

1.2.1 LVLの作製

スギおよびカラマツの3.2mm厚さの単板を用い、11プライ、仕上がり厚30mmのLVLを作製した。スギLVLは表裏3層目に直交層が存在するが、カラマツLVLはすべての単板が平行積層されている。接着剤はフェノール樹脂を用い、標準タイプおよび接着剤混入タイプを用意した。なお、標準タイプはスギ単板、接着剤混入タイプはカラマツ単板を用いLVLを製造した。

表面の素地調製はプレーナーによる表面仕上げとし、試験材の寸法は910×130×30mm、1条件の繰り返し数は2体とした。

1.2.2 試験材の処理

試験材の処理方法を表1-1に示した。水系表面塗布にケミホルツオブティガード20EC(表1-1、記号W)、溶剤系表面塗布にキシラデコール#103チーク(表1-1、記号O)、接着剤混入処理にはケミホルツプライLIK(表1-1、記号WO)を用いた。塗布処理にはローラー刷毛を用い、各メーカーの仕様書に従い塗布処理を行った(図1-1)。

試験材の重量および打撃音による振動から動的ヤング係数(Efr)を測定し(図1-2)、暴露期間、暴露地域に偏りのないよう振り分けを行った(表1-2)。

表1-1 試験材の処理方法

記号	処理方法	使用樹種	使用薬剤	処理量
CT	無処理	スギ	-	
W	水系表面塗布	スギ	チアトキサム・チアメンダソール・シプロコナソール	20倍希釈液 300ml/m ² ×1回
O	溶剤系表面塗布	スギ	スルファミド・トリアソール・ピレスロイド	原液 0.85kg/m ² ×2回
WO	水系表面塗布+ 溶剤系表面塗布	スギ	チアトキサム・チアメンダソール・シプロコナソール+ スルファミド・トリアソール・ピレスロイド	20倍希釈液 300ml/m ² ×1回 1週間放置乾燥後 原液0.85kg/m ² ×2回
GA	接着剤混入	カラマツ	シプロコナソール・イミダクロプリド	2.5kg/m ³



図 1-1 ローラー刷毛による表面処理の様子



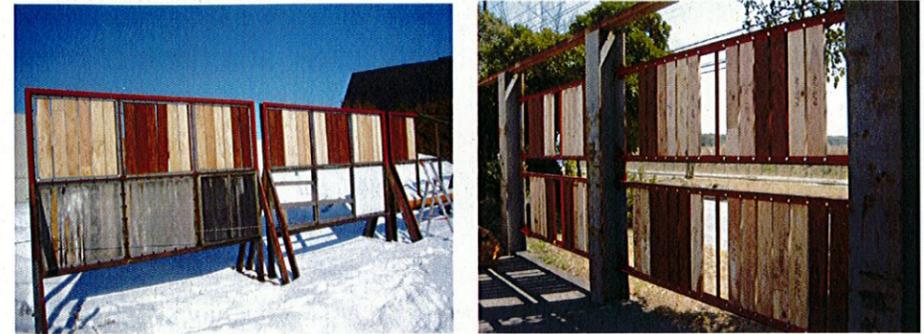
図 1-2 打撃音による動的ヤング係数の測定

表 1-2 屋外暴露試験体の振り分け表

地域	無処理スギ (GT)		水系表面塗布スギ (P)				溶剤系表面塗布スギ (O)				水系+溶剤系表面塗布スギ (PO)				接着剤混入カラマツ (GA)					
	No.	Efr (Gpr)	No.	Efr (Gpr)	No.	Efr (Gpr)	No.	Efr (Gpr)	No.	Efr (Gpr)	No.	Efr (Gpr)	No.	Efr (Gpr)	No.	Efr (Gpr)				
暴露前	1-1	7.75											53	14.25						
AV.	1-19	7.76											22	14.30						
6か月	1-25	7.18	1-6	7.51	4-40	7.24	4-26	7.67	5-30	7.38	5-20	7.62	6-34	7.23	6-38	7.54	54	13.93	42	14.08
AV.	1-8	8.56	1-17	8.12	4-22	8.34	4-34	7.94	5-7	8.28	5-25	7.85	6-2	8.15	6-21	7.80	25	14.60	40	14.39
1年	1-46	7.18	1-27	7.52	4-43	7.33	4-25	7.69	5-22	7.43	5-28	7.62	6-46	7.27	6-15	7.57	87	13.94	75	14.08
AV.	1-14	8.06	1-7	7.69	4-12	8.29	4-21	7.92	5-13	8.16	5-14	7.83	6-19	8.13	6-30	7.80	14	14.58	65	14.38
2年	1-45	7.20	1-35	7.53	4-37	7.45	4-33	7.71	5-34	7.44	5-38	7.54	6-23	7.30	6-40	7.59	77	13.94	63	14.15
AV.	1-24	8.03	1-18	7.66	4-28	8.22	4-42	7.88	5-15	8.12	5-26	7.82	6-20	8.12	6-10	7.78	88	14.57	15	14.38
3年	1-49	7.27	1-4	7.55	4-46	7.45	4-19	7.74	5-36	7.45	5-24	7.65	6-29	7.39	6-39	7.59	84	13.96	50	14.18
AV.	1-21	7.92	1-44	7.64	4-3	8.20	4-6	7.84	5-6	8.05	5-9	7.72	6-22	8.09	6-3	7.70	51	14.57	38	14.38
4年	1-51	7.31	1-42	7.55	4-41	7.48	4-24	7.75	5-49	7.47	5-43	7.67	6-27	7.41	6-35	7.67	57	13.97	93	14.18
AV.	1-2	7.87	1-22	7.61	4-18	8.14	4-30	7.82	5-18	8.03	5-27	7.70	6-17	8.07	6-36	7.67	19	14.57	66	14.21
		7.59		7.58		7.81		7.78		7.75		7.68		7.74		7.67		14.27		14.19

1.2.3 暴露期間

暴露開始は、平成 23 年 3 月、4 月とし、南向き 90 度（垂直）設置、暴露試験地は、キーテック（株）千葉県木更津工場内、旭川林産試験場敷地内とした。暴露期間は、0 ヶ月（暴露前）、1 ヶ月、3 ヶ月、6 ヶ月、1 年、2 年、3 年、4 年とし、それぞれの暴露期間終了後、後述する色差の測定および強度性能試験に供した。



林産試験場暴露試験地（北海道旭川市） キーテック（株）千葉県木更津工場暴露試験地

図 1-3 屋外暴露試験の様子

1.2.4 測色

暴露用試験体を用い、各試験体より 3 点、同一か所の測定を行い、色の変化を測定した。測定には、スガ試験機株式会社製ポータブル測色計 HA-C を用い、明度指数 L^* および色質指数 a^* 、 b^* の測定結果から、次式を用い、色差 (ΔE^*ab) を算出した (図 1-4)。

$$\text{色差} (\Delta E^*ab) = \{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2\}^{1/2}$$

L^*_1 、 a^*_1 、 b^*_1 : 試験前の試験体表面の色の測定値

L^*_2 、 a^*_2 、 b^*_2 : 試験後の試験体表面の色の測定値

L^* 、 a^* 、 b^* の増減と物体色との関係を表 1-3 に、色差の感覚的表現を表 1-4 に、 $L^*a^*b^*$ 系色空間のモデルを図 1-4 に示した。

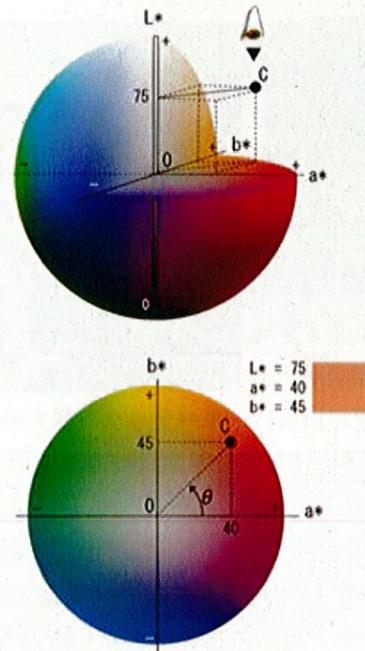


図 1-4 L*a*b*系色空間のモデル

表 1-3 L*, a*, b*の増減と物体色との関係

L*の増減	明るさの増減に対応
a*の増減	a* > 0 赤色度の増減に対応 a* < 0 緑色度の増減に対応
b*の増減	b* > 0 黄色度の増減に対応 b* < 0 青色度の増減に対応

表 1-4 色差とその感覚的表現

色差 ΔE^*_{ab}	感覚的表現
0~0.5	かすかに (trace)
0.5~1.5	わずかに (slight)
1.5~3.0	感知する程 (noticeable)
3.0~6.0	目立つ (appreciable)
6.0~12.0	大いに (much)
12.0~	非常に (very much)

1.2.5 強度性能試験

(1) 曲げ試験

色差測定後の屋外暴露試験体から、平使い方向（フラットワイズ）、縦使い方向（エッジワイズ）ともに 910×30×30 mm の試験体を採用した。打撃音による動的ヤング係数の測定後、単板積層材の JAS に準じて、スパンを厚さの 24 倍（720mm）とした 3 等分点 4 点曲げ

試験を行った（図 1-5, 1-7）。平均荷重速度は毎分 14.7 MPa 以下とした。比例域における荷重-変位曲線の傾きおよび最大荷重から、曲げヤング係数（Eb）および曲げ強さ（MOR）を求めた。試験は 20℃, 65%R. H. の恒温恒湿室内において、試験体重量が恒量に達するまで調湿した後に行った。試験体数は、各方向 1 条件あたり 4 体ずつとした。

(2) 水平せん断試験

曲げ試験終了後の試験体両端部の非破壊部から 30×30×180mm の寸法の試験体を採用し、単板積層材の JAS に準じて水平せん断試験を行った（図 1-6, 1-8）。スパンは厚さの 4 倍（120mm）とし、平均荷重速度は毎分 14.7 MPa 以下とした。試験体数は、各方向 1 条件あたり 8 体ずつとした。なお、破壊形態が曲げ破壊となった試験体においても、破壊時の最大荷重を用いて、見かけのせん断強さとして算出した。



図 1-5 曲げ試験の様子



図 1-6 水平せん断試験の様子

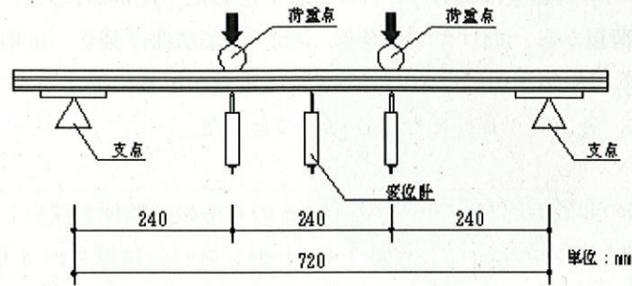


図 1-7 曲げ試験

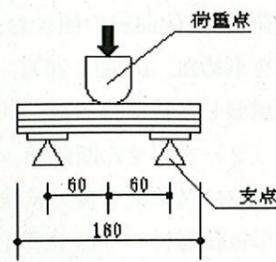


図 1-8 水平せん断試験

1.3 結果と考察

1.3.1 測色結果

屋外暴露開始および旭川における暴露1ヵ月、3ヵ月、6ヵ月、1年、2年、3年、4年後の暴露試験地の様子を図1-9に、暴露前～4年間暴露後の試験体の様子を図1-10、1-11に示した。無処理試験体（CT）、接着剤混入試験体（GA）は暴露1ヵ月後には退色が確認された。木材保護着色塗料である溶剤系表面塗布剤（0）を塗布した試験体は、無色透明の水系表面塗布剤（W）より変色の度合いが少ないものの、目視で確認できる僅かな変色を確認された。それぞれの試験材の色差測定結果を表1-5および図1-12に示した。無塗装の試験体であるCT、GA、そしてWは暴露期間の経過と共に大きく変色していることが分かる。0およびW0の変色は小さく抑えられており、両者に明確な差は見られなかった。これらの傾向は暴露2年目まで続いた。

暴露前から6ヶ月暴露後における、旭川で暴露された試験体の様子を図1-10に、暴露1年から4年の旭川および木更津で暴露された試験体の様子を図1-11に示した。旭川で暴露された試験体は1～6ヵ月暴露試験体と同じ4年暴露用試験材であるが、木更津で暴露された試験体は曲げ強度測定用の別々の試験体である。6ヵ月～1年の暴露では旭川、木更津暴露試験体ともCT、GA、Wに木材色が残っている。しかし、色質指数 a^* 、 b^* は1年を過ぎても低下し続け、無彩色に近づき、それに伴い、色差 ΔE^*ab も4年目まで上昇を続けている。それに対し、0、W0は暴露初期に若干の色差上昇は見られたが、2年目までほぼ一定の値を示した。3年目以降、色差は上昇し始め、W0は4年目も色差の上昇が見られた。これは溶剤系表面塗布剤の耐候性能が2～3年目で限界に近づき付着力が低下、一部がはく離し始めたためと考えられる。またこの傾向は、旭川より、木更津での暴露試験体の方が顕著であった。旭川で暴露された試験体における防かび効果は、W、0の各処理剤とも見られず、CT、GAも含め6月（3ヵ月暴露）、8月（6ヵ月暴露）の観察で、試験体表面の南面、北面とも孢子、菌糸が観察された。春先の観察では、肉眼で孢子、菌糸は観察されなかったものの、CT、GA、Wでは黒い斑点としてカビの痕跡が観察された。0、W0は着色塗料によりカビの痕

跡はそれほど目立ってはいなかった。3年、4年を経過した旭川、木更津暴露の全ての試験体とも、ささくれによる表裏単板のはく離は見られるものの、接着層のはく離は観察されなかった。



暴露1ヵ月（H23年3月31日）



暴露3ヵ月（H23年6月1日）



暴露6ヵ月（H23年8月31日）



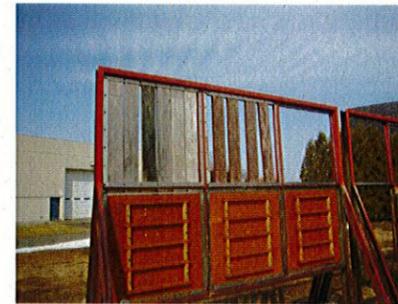
暴露1年目（H24年4月3日）



暴露2年目（H25年4月9日）



暴露3年目（H26年4月2日）



暴露4年目（H27年4月2日）

図 1-9 林産試験場暴露試験地（旭川）の様子



暴露前



暴露1ヵ月後

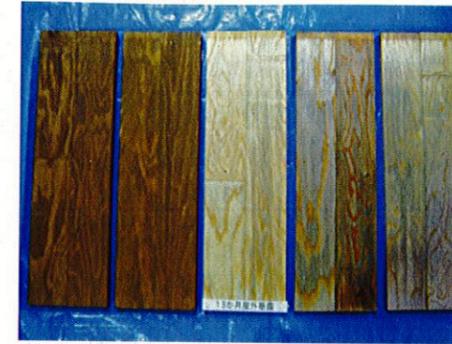


暴露3ヵ月後



暴露6ヵ月後

図1-10 暴露前から暴露6ヵ月後における、旭川で暴露された試験体
(左よりWO, O, W, GA, CT)



旭川暴露試験体 (暴露1年)



木更津暴露試験体 (暴露1年)



旭川暴露試験体 (暴露2年)



木更津暴露試験体 (暴露2年)



旭川暴露試験体 (暴露3年)



木更津暴露試験体 (暴露3年)



旭川暴露試験体 (暴露4年)



木更津暴露試験体 (暴露4年)

図1-11 暴露1から4年後の試験体 (左よりWO, O, W, GA, CT)

表 1-5 旭川暴露試験体の明度指数 L*, 色質指数 a*, b*, 色差 (ΔE*ab) の測定結果

処理		暴露前	1か月	3か月	6か月	1年	2年	3年	4年
CT	L*	76.76	69.33	64.43	56.42	55.81	51.30	51.79	46.11
	a*	0.17	3.27	7.47	2.93	3.20	5.19	0.85	2.30
	b*	26.39	35.54	16.82	10.64	14.67	5.98	3.38	3.20
	ΔE*ab	0.00	12.19	17.23	25.87	24.19	33.39	33.96	38.49
W	L*	78.49	72.28	66.96	61.32	58.36	62.57	58.33	54.31
	a*	0.00	2.22	-2.09	3.74	6.49	7.04	-6.14	4.36
	b*	26.54	33.00	20.10	14.20	15.75	6.40	6.48	5.33
	ΔE*ab	0.00	9.23	13.37	21.48	23.75	26.63	29.10	32.47
O	L*	32.97	33.50	32.28	28.72	27.85	33.01	34.06	28.55
	a*	9.34	6.66	7.39	11.72	11.12	9.56	7.82	8.41
	b*	16.66	16.17	14.93	17.82	14.98	12.25	10.46	13.05
	ΔE*ab	0.00	0.98	2.69	5.01	5.68	4.42	6.47	5.78
WO	L*	34.74	33.45	34.46	30.65	30.37	36.80	37.36	37.26
	a*	11.61	11.94	9.29	12.27	11.14	9.29	7.00	5.88
	b*	19.99	19.04	18.42	21.84	17.43	14.23	10.60	10.86
	ΔE*ab	0.00	1.64	2.82	4.53	5.08	6.55	10.79	11.07
GA	L*	67.03	58.14	54.36	49.41	43.57	47.75	41.03	38.31
	a*	4.88	8.03	6.63	10.26	8.64	7.81	1.01	4.30
	b*	27.42	33.44	25.69	18.04	17.56	7.83	3.67	4.05
	ΔE*ab	0.00	11.19	12.91	20.67	25.73	27.64	35.43	37.03

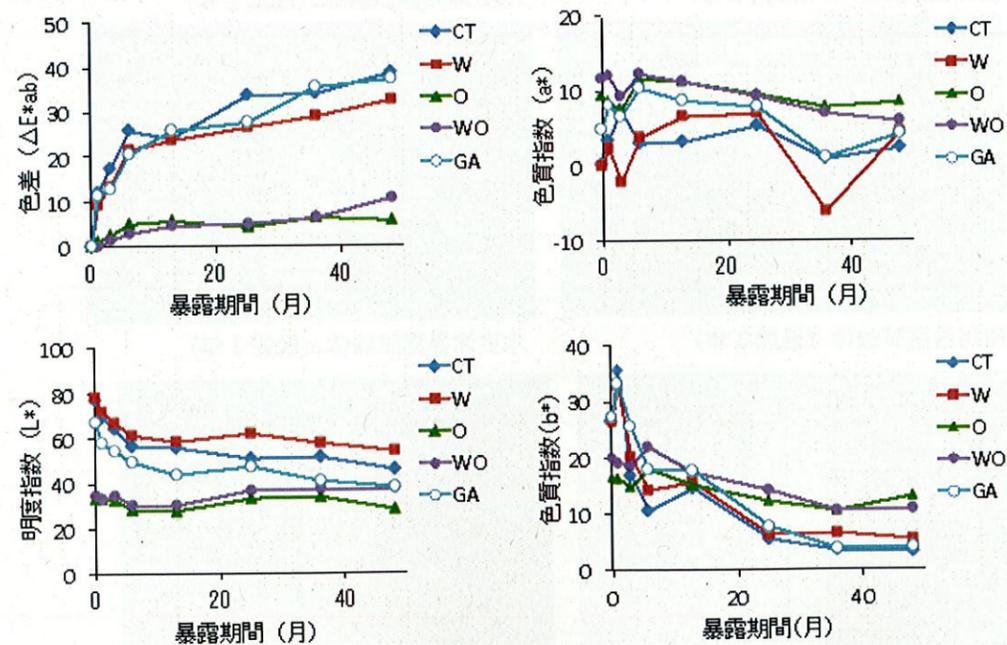


図 1-12 旭川暴露試験体の色の变化

1.3.2 強度性能試験の結果

暴露前の LVL の強度試験結果を表 1-6 に示す。スギ LVL では、曲げ強さ、せん断強さともに縦使いよりも平使いが低い値を示した。これは、スギ LVL の直交層の存在による影響と考えられる。曲げ強さ残存率の経時変化を図 1-13, 図 1-14 に、曲げヤング係数の経時変化を図 1-15, 図 1-16 に示す。曲げ強さ、曲げヤング係数ともに、時間経過に伴い残存率は低下しているものの、3年目を過ぎるとその低下割合は緩やかとなった。4年経過後の曲げ強さ残存率は 0.6~0.8 程度、曲げヤング係数残存率は 0.8~0.9 程度であり、3年目と同程度であった。4年間の暴露期間内では、曲げ強さ、曲げヤング係数ともに旭川と木更津の残存率に明確な差は認められなかった。曲げ強さ残存率における荷重方向の差に着目すると、概ね縦使いよりも平使いの残存率が低い値を示した。平使いでは、表層単板が試験時の上下面となり、表層部に大きな曲げ応力が作用するため、表層単板の劣化の影響を受けやすいためと考えられる。表面処理の効果に着目すると、2年経過後までは、CT よりも WO の残存率が高い傾向が認められるが、3年経過後には両者の性能が逆転している場合もあり、明確な傾向は認められなかった。これは、1.3.1 で述べたように、溶剤系表面塗布剤が 3年目以降で付着力の低下によりはく離し始めたため、表層単板の劣化が進行したことによるものと推察される。

暴露期間と打撃音による動的ヤング係数の関係を図 1-17 に示す。旭川、木更津ともに 4年経過後も 0.9 以上の高い残存率を示した。曲げヤング係数は、表層部の性能に大きく依存するのに対し、動的ヤング係数は、断面内の平均的な性能を示すことから、この結果は、内層単板が健全であったことを示唆している。

せん断強さ残存率 (平使い) の経時変化を図 1-18 に示す。せん断強さ残存率は、4年経過後も 0.8~0.9 程度に留まっており、概ね曲げ強さ残存率よりも高い値を示した。これは、断面内における曲げ応力は表層部が最大となるのに対し、せん断応力は中央部が最大となるためであると考えられる。

水平せん断試験時の破壊形態の割合 (図 1-19) では、暴露前は全試験体の 98% がせん断破壊であったが、屋外暴露期間の増加とともにせん断破壊の割合が低下し、曲げ破壊が増加した。この結果についても、内層単板が健全であったのに対し、表層単板がやや劣化したことで曲げ破壊が生じやすくなったためと考えられ、図 1-18 における見かけのせん断強さの低下は曲げ性能の低下の影響を含んだ結果であるものと推察される。

表 1-6 暴露前の LVL の強度試験結果

記号	樹種	ρ (kg/m ³)	E_f (kN/mm ²)	平使い			縦使い		
				E_b (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	E_b (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)	τ (N/mm ²)
CT	S	455 (4.13)	7.56 (0.37)	6.81 (0.28)	32.1 (5.6)	3.91 (0.33)	7.21 (0.21)	36.4 (2.9)	4.85 (0.51)
W	S	450 (6.66)	7.68 (0.21)	6.74 (0.35)	35.7 (3.0)	3.94 (0.17)	7.47 (0.23)	37.9 (1.1)	5.21 (0.57)
O	S	468 (9.79)	7.42 (0.31)	6.96 (0.64)	34.8 (7.3)	4.17 (0.26)	7.31 (0.19)	36.8 (4.0)	5.40 (0.27)
WO	S	458 (5.44)	7.69 (0.50)	6.49 (0.38)	34.7 (7.2)	3.89 (0.46)	7.12 (0.55)	37.0 (2.2)	5.12 (0.29)
GA	K	612 (4.20)	14.45 (0.40)	13.22 (0.30)	60.6 (6.0)	6.99 (0.59)	12.50 (0.29)	59.3 (4.4)	8.50 (0.45)

注: ρ :密度、 E_f :縦振動によるヤング係数、 E_b :曲げヤング係数、MOR:曲げ強さ、 τ :せん断強さ、S:スギ、K:カラマツ
()内は標準偏差

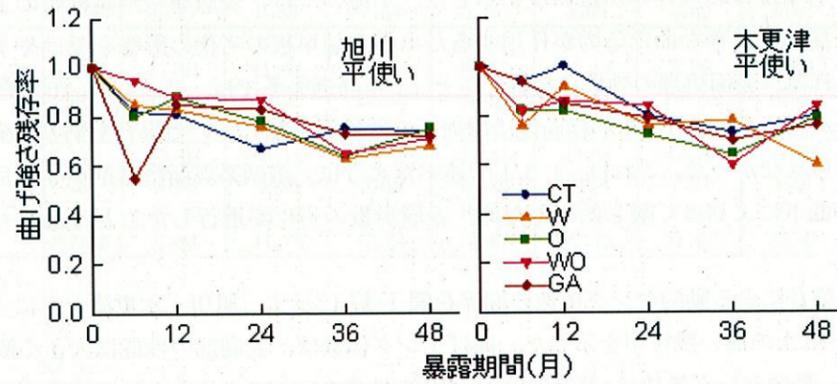


図 1-13 曲げ強さの経時変化 (平使い)

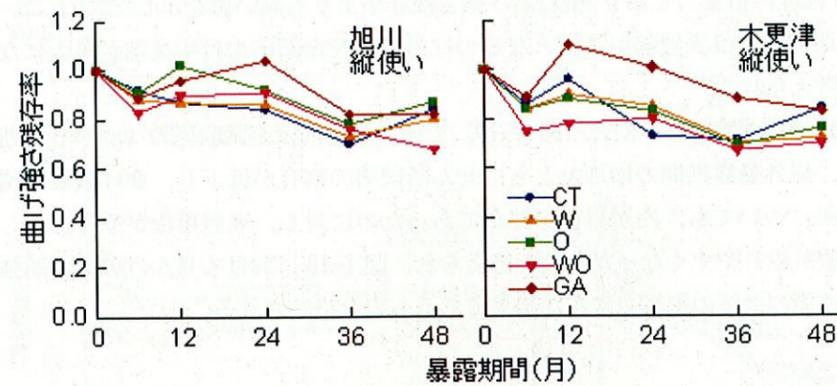


図 1-14 曲げ強さの経時変化 (縦使い)

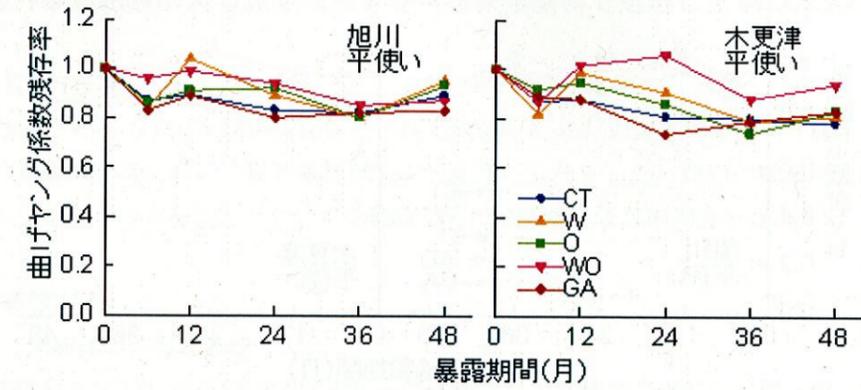


図 1-15 曲げヤング係数の経時変化 (平使い)

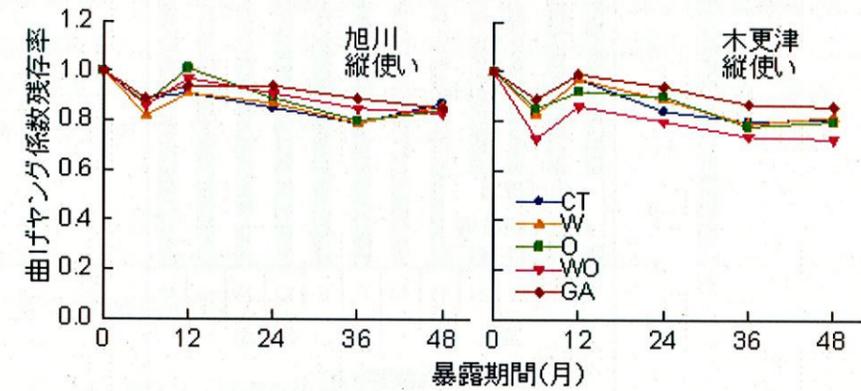


図 1-16 曲げヤング係数の経時変化 (縦使い)

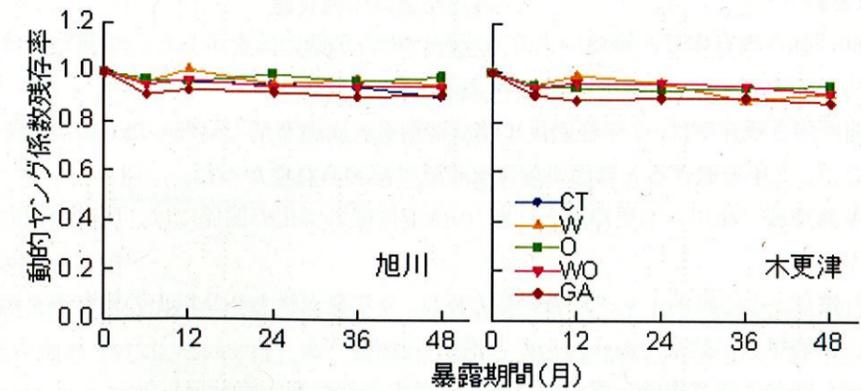


図 1-17 動的ヤング係数の経時変化

進行を遅らせることができると考えられた。処理の効果をより明らかにするためには、さらに長期間暴露した試験体の評価を実施する必要がある。



図 2-1 林産試験場屋外暴露試験地に設置した試験体

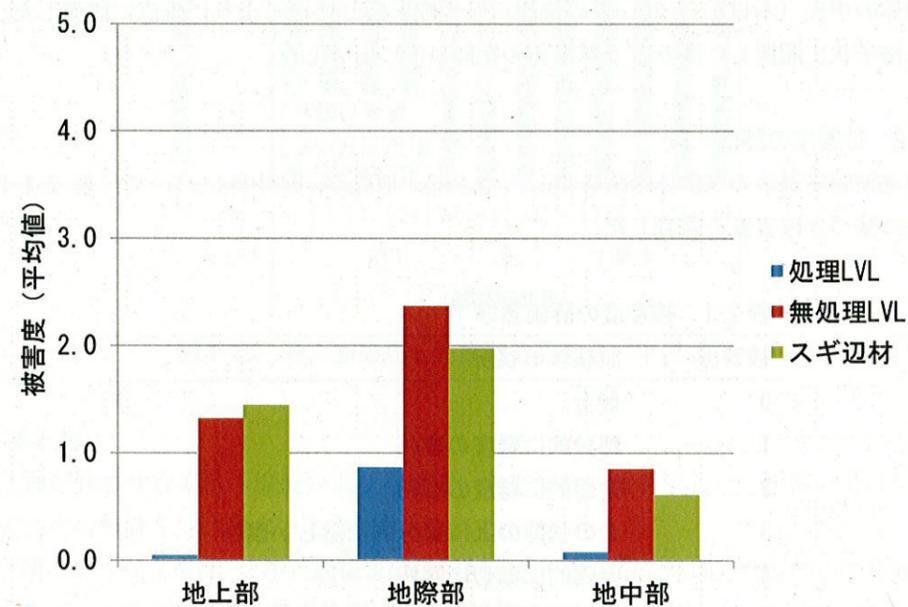


図 2-2 暴露試験体の平均被害度

3 透明塗装による LVL の耐候性能の向上に関する検討

3.1 目的

LVL の主な用途は梁や柱などの軸材であるが、外装材等への利用も進められている。LVL の屋外利用を進める上で不安視されるのが、塗装後の耐候性能に関する問題である。塗装面を長期間に渡り健全な状態で維持するためには、隠ぺい性の高い着色顔料を多く含む塗料を用いることが必須である。しかし、LVL の持つ特徴的な意匠を活かして、透明塗装で仕上げたいという要望も多い。

そこで、LVL に適した透明塗料の選定および透明塗装された LVL の耐候性能の把握のため、屋外暴露試験による耐候性評価を実施した。

3.2 実験方法

3.2.1 試験体の作製

塗装基材には、スギとカラマツの LVL (70×300×35mm) を用いた (図 3-1)。それぞれの木材について、単板面と積層接着面を暴露面 (70×300mm) に用いた。

表 3-1 に、試験に用いた塗料の概要を示す。表 3-2 に、試験体の一覧と各塗料の塗布量を示す。塗装は刷毛塗りとし、各試片の全面を塗装した。塗料が乾燥した後、木口面は 2 液性のエポキシ樹脂を用いてシールした。

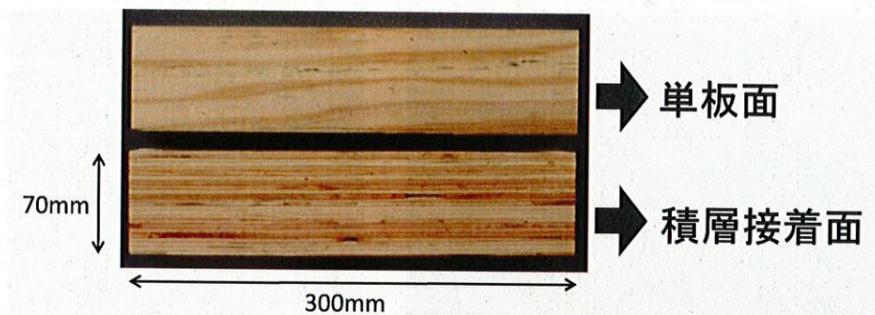


図 3-1 試験体の概要

表 3-1 使用した塗料

塗装記号	樹脂の種類	水性/油性
K	アクリルシリコン	水性
S	アルキド	油性
W	アクリルシリコン	水性
G	ウレタン	油性
C	無塗装	

3.2.2 屋外暴露試験

屋外暴露試験は、北海道旭川市の林産試験場屋外暴露試験地で実施した。暴露期間は、2013年12月から2014年12月の24ヵ月間とした。暴露角度は、0度、南向き45度、南向き90度とし、各暴露角度につき3体の試験体を暴露した(図3-2)。

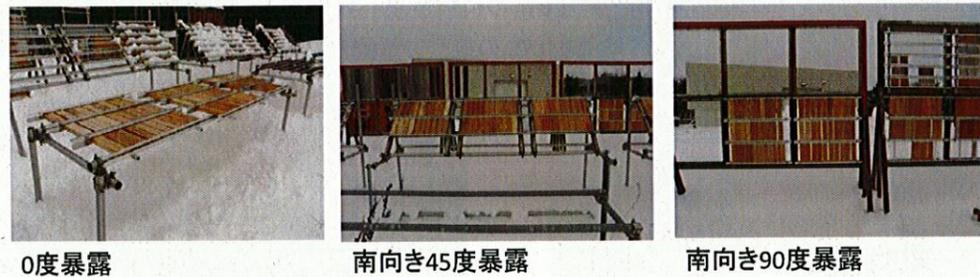


図3-2 屋外暴露試験の様子

3.2.3 表面欠陥率の測定

試験体表面の両木口面50mm、と幅方向の10mmを除く200×50mmの範囲を、10×10mmのマス目で100箇所を区切り、塗膜の割れや剥がれが生じたマス目の個数を計測して百分率で表した(図3-3)。

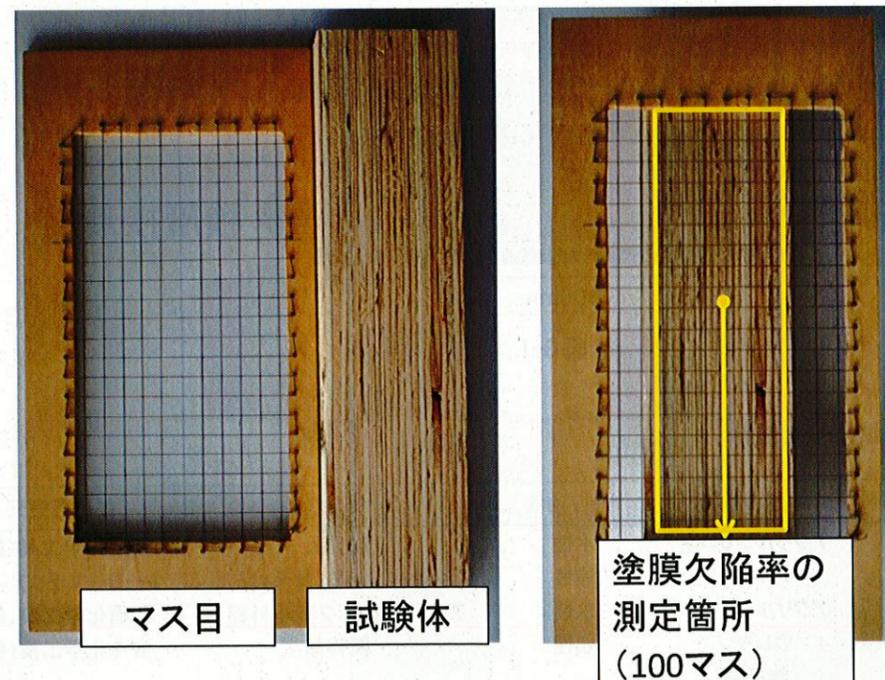


図3-3 表面欠陥率の測定

3.3 結果と考察

表3-2, 3-3に屋外暴露2年間の表面欠陥率の変化を示す。また、試験体の外観の変化の一例を図3-4から3-17に示す。塗料KとGにおける塗布量500g/m²の試験体については、屋外暴露2年を経過しても塗装面の劣化が観察されない試験体がほとんどであった。特に塗料Kについては、3条件の暴露角度ともに表面欠陥率は0%を維持し、高い耐候性能を有することが明らかになった。これら2種類の塗料における塗布量300g/m²の試験体については、塗布量500g/m²の試験体に比べると塗装面の劣化抑制効果は弱くなった。このことから、2年以上の耐候性能を付与するには、塗布量500g/m²は必要となることが明らかになった。併せて、透明塗装の耐候性向上効果を確認するためには、より長期間の屋外暴露試験を行う必要があると考えられた。

表3-2 スギLVLにおける試験条件と屋外暴露2年間の表面欠陥率の変化

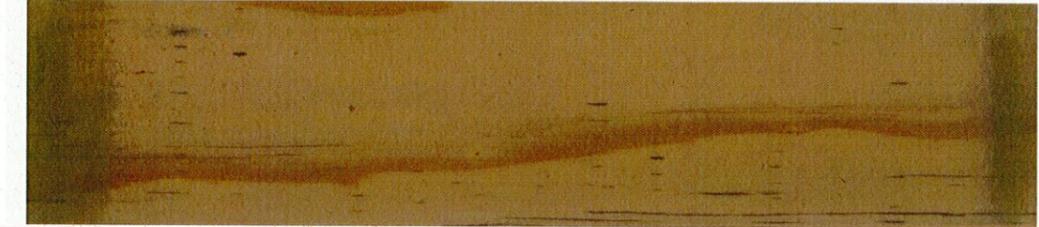
基材	暴露面	塗装記号	塗布量 (g/m ²)	塗布回数 (回)	暴露角度	表面欠陥率(%)			
						6ヵ月後	12ヵ月後	18ヵ月後	24ヵ月後
スギ	単板面	K	498	3	0度	0	0	0	0
					南向き45度	0	0	0	0
					南向き90度	0	0	0	0
		K	304	2	0度	0	0	26	46
					南向き45度	0	2	5	10
					南向き90度	0	0	0	2
	S	300	2	0度	0	3	56	100	
				南向き45度	0	18	45	76	
				南向き90度	0	7	14	19	
	W	299	2	0度	32	100	100	100	
				南向き45度	20	100	100	100	
				南向き90度	0	3	12	16	
G	496	6	0度	0	1	12	13		
			南向き45度	0	0	0	0		
			南向き90度	0	0	0	0		
G	306	4	0度	0	1	6	32		
			南向き45度	0	0	1	9		
			南向き90度	0	0	2	2		
積層接着面	K	500	3	0度	0	0	0	0	
				南向き45度	0	0	0	0	
				南向き90度	0	0	0	0	
		K	309	2	0度	0	0	0	0
					南向き45度	0	0	0	1
					南向き90度	0	0	0	0
	S	299	2	0度	0	8	20	75	
				南向き45度	0	30	51	89	
				南向き90度	0	0	7	9	
	W	299	2	0度	100	100	100	100	
				南向き45度	2	100	100	100	
				南向き90度	2	6	35	62	
G	495	6	0度	0	0	0	3		
			南向き45度	0	0	1	3		
			南向き90度	0	0	0	0		
G	306	4	0度	0	0	11	20		
			南向き45度	0	1	9	21		
			南向き90度	0	0	0	1		

表 3-3 カラマツ LVL における試験条件と屋外暴露 2 年間の表面欠陥率の変化

基材	暴露面	塗装記号	塗布量 (g/m ²)	塗布回数 (回)	暴露角度	表面欠陥率(%)			
						6ヵ月後	12ヵ月後	18ヵ月後	24ヵ月後
カラマツ	単板面	K	499	3	0度	0	0	0	0
					南向き45度	0	0	0	0
					南向き90度	0	0	0	0
		K	304	2	0度	0	0	0	0
					南向き45度	0	0	1	3
					南向き90度	0	0	0	0
		S	300	2	0度	0	10	34	53
					南向き45度	0	10	19	22
					南向き90度	0	15	36	65
	W	298	2	0度	34	54	74	80	
				南向き45度	46	100	100	100	
				南向き90度	0	51	56	63	
	G	495	6	0度	0	1	4	16	
				南向き45度	0	5	10	21	
				南向き90度	0	0	0	0	
	G	306	4	0度	0	0	0	0	
				南向き45度	0	0	0	0	
				南向き90度	0	0	0	0	
積層接着面	K	500	3	0度	0	0	0	0	
				南向き45度	0	0	0	0	
				南向き90度	0	0	0	0	
		K	302	2	0度	0	0	0	0
					南向き45度	0	0	0	2
					南向き90度	0	0	0	0
		S	300	2	0度	0	40	73	96
					南向き45度	4	57	83	93
					南向き90度	0	0	4	14
	W	298	2	0度	58	100	100	100	
				南向き45度	4	100	100	100	
				南向き90度	0	2	22	30	
	G	495	6	0度	0	5	14	23	
				南向き45度	0	1	4	11	
				南向き90度	0	0	0	1	
	G	306	4	0度	0	16	28	52	
				南向き45度	0	10	24	42	
				南向き90度	0	0	1	3	



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:単板面, 塗料K, 塗布量:498g/m²

図 3-4 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:単板面, 塗料K, 塗布量:304g/m²

図 3-5 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



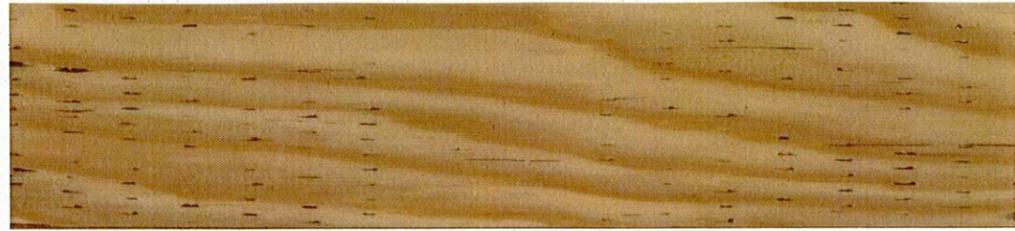
45度暴露 24ヵ月後



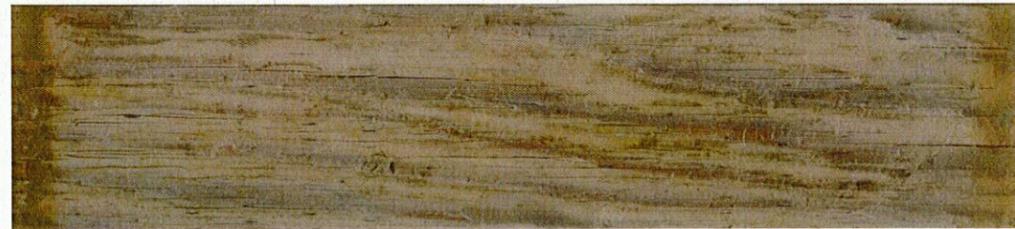
90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:単板面, 塗料S, 塗布量:300g/m²

図 3-6 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:単板面, 塗料W, 塗布量:299g/m²

図 3-7 暴露試験体の外観の様子



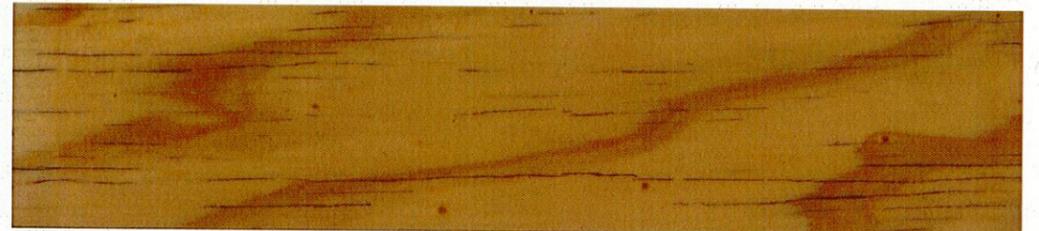
0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



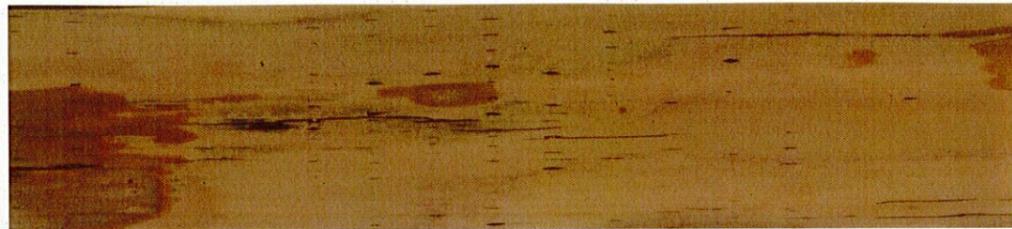
45度暴露 24ヵ月後



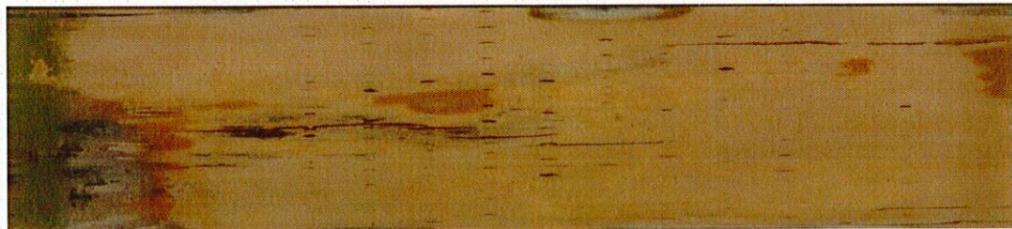
90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:単板面, 塗料G, 塗布量:496g/m²

図 3-8 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



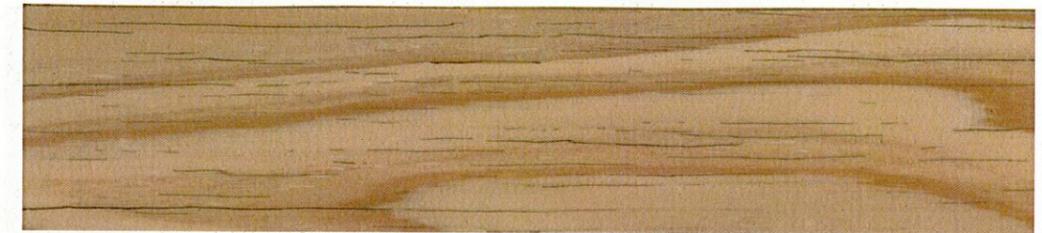
45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:単板面, 塗料G, 塗布量:306g/m²

図 3-9 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:単板面, 無塗装

図 3-10 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:積層接着面, 塗料K, 塗布量:500g/m²

図 3-11 暴露試験体の外観の様子



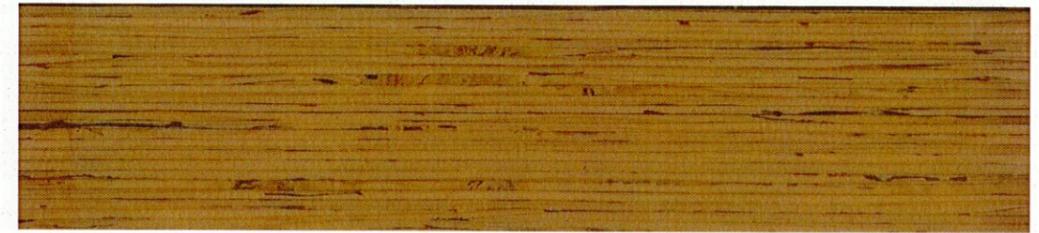
0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



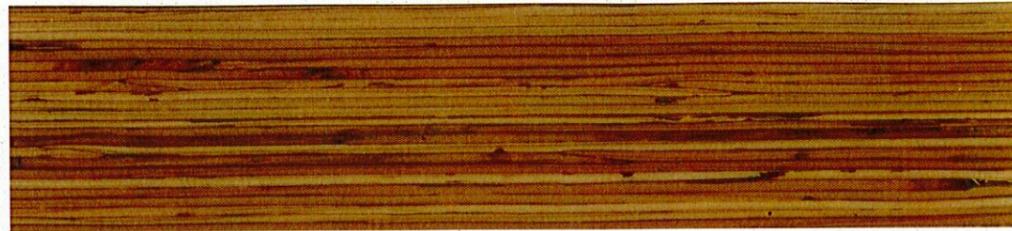
45度暴露 24ヵ月後



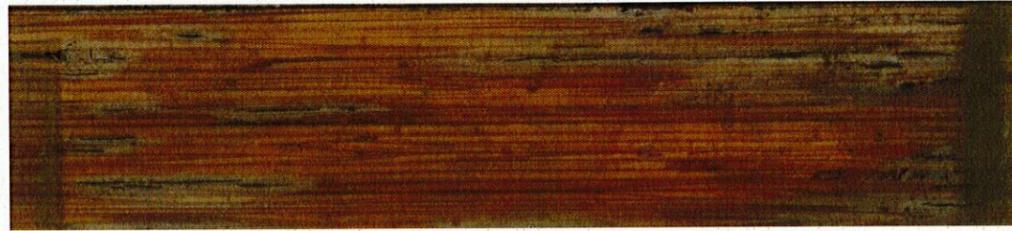
90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:積層接着面, 塗料K, 塗布量:309g/m²

図 3-12 暴露試験体の外観の様子



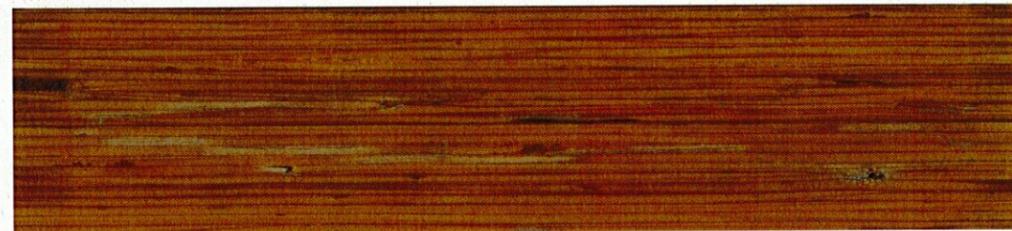
0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



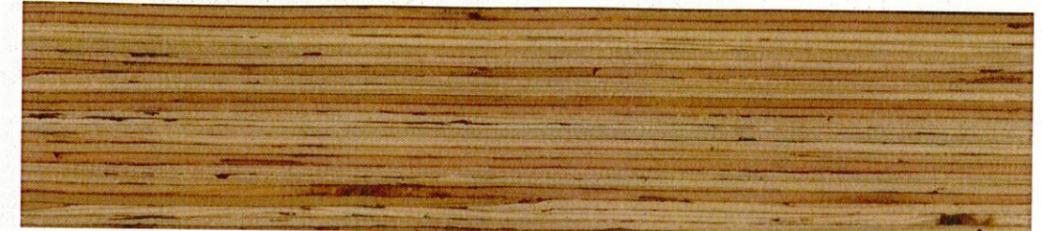
45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:積層接着面, 塗料S, 塗布量:299g/m²

図 3-13 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



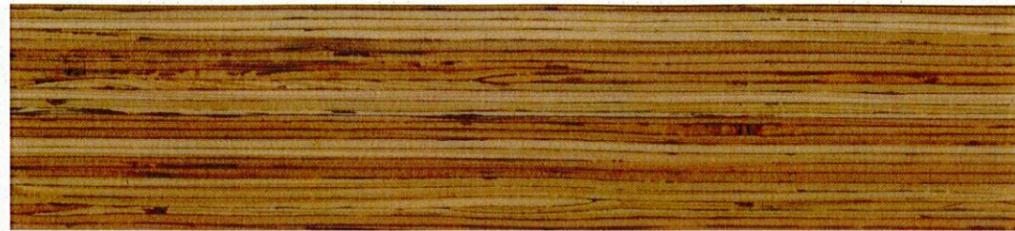
45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:積層接着面, 塗料W, 塗布量:299g/m²

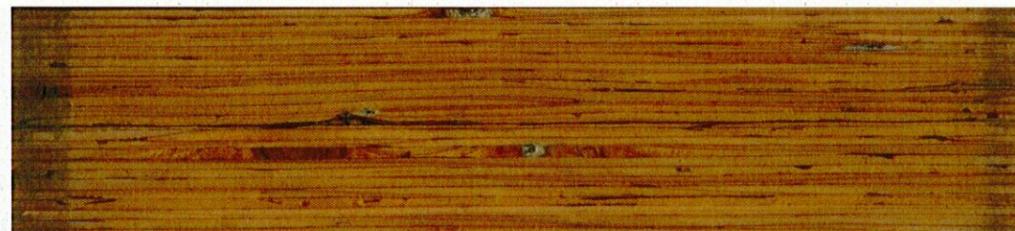
図 3-14 暴露試験体の外観の様子



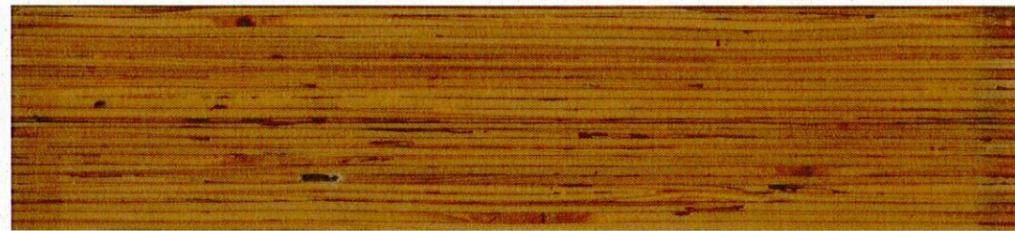
0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:積層接着面, 塗料G, 塗布量:495g/m²

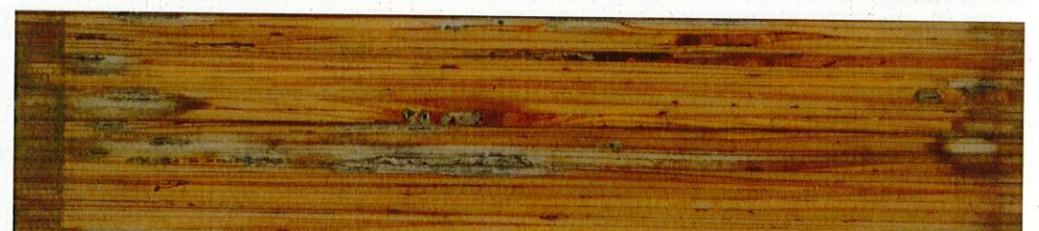
図 3-15 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:積層接着面, 塗料G, 塗布量:306g/m²

図 3-16 暴露試験体の外観の様子



0度暴露 暴露前



0度暴露 24ヵ月後



45度暴露 24ヵ月後



90度暴露 24ヵ月後

基材:スギ, 暴露面:積層接着面, 無塗装

図 3-17 暴露試験体の外観の様子

4 室内光による LVL の光変色と透明塗装による変色抑制に関する検討

4.1 目的

LVL は, その特徴的な意匠を活かして内装材料としても利用されている。LVL に限らず, 木質材料は室内光に曝されることで色の変化が起こる。このため, 材色がどのように変化するのかを把握しておくことは, 内装を円滑にデザインしていく上で重要な課題である。この項目では, LVL と無垢材を室内光に曝したときの色の変化および透明塗装による変色抑制効果を検討した。

4.2 実験方法

4.2.1 試験体の作製

試験体には, スギとカラマツの柾目板材 (70×150×10 mm) およびこの 2 樹種の LVL (55×150×10 mm) を用いた (図 4-1)。LVL については積層接着面を暴露面に用いた。透明塗装による変色抑制効果を確認するために, 表 4-1 に記した 5 種類の塗料を用いて塗装した試験体を作製した。表 4-2 に試験体の一覧を示す。各条件につき 5 枚の試験体を作製し, 4.2.2 に記す 2 条件の暴露試験で各 2 枚ずつ使用した。残りの 1 枚は, 保管用とした。

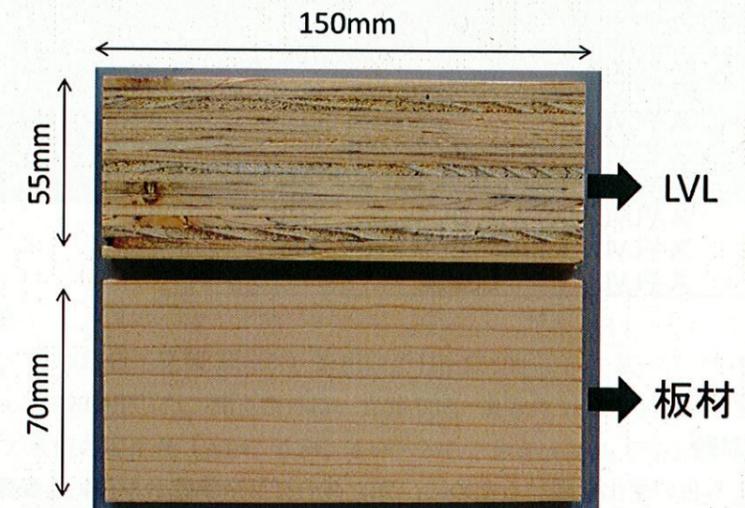


図 4-1 試験体の寸法

表 4-1 使用した塗料

塗装記号	樹脂の種類	水性/油性	製品名	製造販売元
A	植物油脂	油性	オスモカラー #3032フロアークリアー艶消し	オスモ&エーデル(株)
B	ウレタン樹脂	油性	モーエンタフ 艶消し	キャピタルペイント(株)
C	ウレタン樹脂	水性	ウッズスキンコートマット	大洋塗料(株)
D	ウレタン樹脂	水性	No.3750 アクウレックス 素材感	和信化学工業(株)
E	アクリル樹脂	水性	キシラデコールインテリアファイントップコート 艶消し	大阪ガスケミカル(株)

表 4-2 試験体の一覧

試験体記号	基材	塗料	
		塗料記号	塗布量 (g/m ²)
K1	カラマツ	A	94
K2	カラマツ	B	139
K3	カラマツ	C	102
K4	カラマツ	D	99
K5	カラマツ	E	97
K6	カラマツ	無塗装	
S1	スギ	A	99
S2	スギ	B	200
S3	スギ	C	101
S4	スギ	D	101
S5	スギ	E	101
S6	スギ	無塗装	
KLVL1	カラマツLVL	A	97
KLVL2	カラマツLVL	B	195
KLVL3	カラマツLVL	C	98
KLVL4	カラマツLVL	D	100
KLVL5	カラマツLVL	E	100
KLVL6	カラマツLVL	無塗装	
SLVL1	スギLVL	A	99
SLVL2	スギLVL	B	213
SLVL3	スギLVL	C	98
SLVL4	スギLVL	D	103
SLVL5	スギLVL	E	106
SLVL6	スギLVL	無塗装	

4.2.2 暴露試験

室内光による色の変化を調べるために、アンダーグラス暴露台を用いた暴露試験、および実際の室内の壁に設置する暴露試験を実施した。前者は林産試験場内の屋外暴露試験に設置された暴露台（北緯 43 度 70 分，東経 142 度 38 分）であり，暴露条件は，南向き 45 度である（図 4-2）。暴露試験は，2015 年 10 月 6 日に開始し，35 日間実施した。後者の暴露試験は，林産試験場内の試験室（窓は東の方角のみ）で実施した（図 4-3）。この暴露試験についても 2015 年 10 月 6 日に開始した。本報告では 112 日間暴露した結果を示すが，より長期間の暴露データを蓄積するために，112 日以降も試験は継続している。

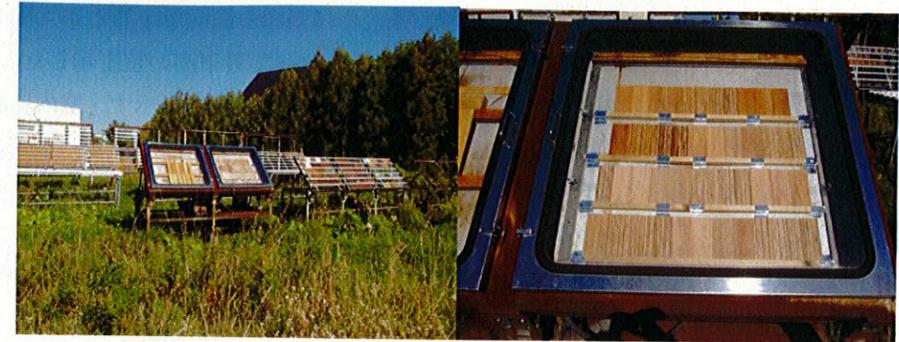


図 4-2 アンダーグラス暴露台に設置された試験体の様子

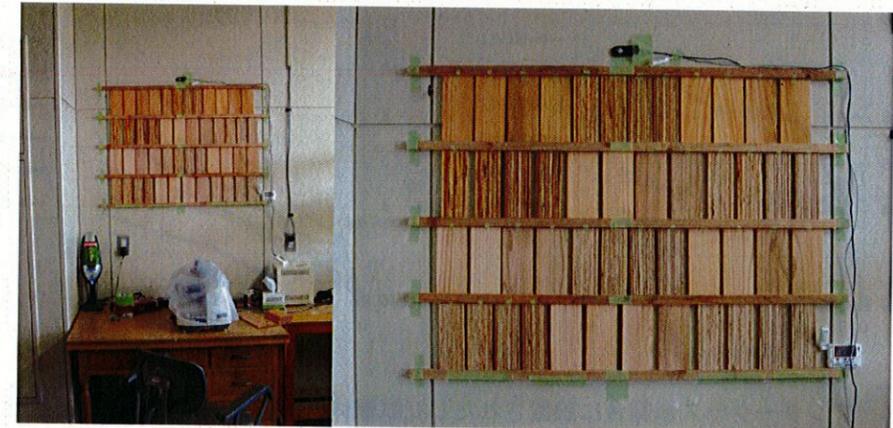


図 4-3 室内に設置された試験体の様子

4.2.3 測色

測色には，日本電色工業製 ZE-6000 を用い，JIS-K5600-4-6 に基づき，CIELAB 空間における L*，a*，b* を測定した。測色条件は，光源 D65，視野角 10°，測色部の直径 30mm とした。これらの数値の変化量（ ΔL^* ， Δa^* ， Δb^* ）から，色差 ΔE^*_{ab} を下記式より算出した。

$$\Delta E^*_{ab} = \{ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \}^{1/2}$$

4.3 結果と考察

図 4-4 に，アンダーグラス暴露台に 35 日間設置した LVL 試験体の色差変化を示す。また，一例として，スギ，カラマツ LVL 試験体の色の変化を図 4-7，4-8 に記す。カラマツ LVL 試験体では，5 種類の塗料すべてにおいて，無塗装試験体よりも色差変化が小さく，変色は抑制される傾向を示した（図 4-4，左図）。スギ LVL 試験体については，5 種類中 4 種類の塗料について無塗装よりも色差変化が抑えられた（図 4-4，右図）。この両者の色差変化や透明塗装による変色抑制効果が異なるのは，樹種によって化学成分が異なるためと考えられる。図 4-5 に，LVL 試験体と同様，アンダーグラス暴露台に設置した板材の試験体における

35 日間の色差変化を示す。概ね、両試験体の色差変化は同様の傾向を示したが、同じ暴露期間で比較すると板材試験体の色差値は LVL のそれらに比べて若干高い値を示した。

図 4-6 に、室内において 112 日間暴露した LVL 試験体の色差変化を示す。室内に設置した試験体の色差変化は、112 日間経過後においても 4 以下の値を示し、アンダーグラス暴露台に設置した試験体と比べて、色差値の変化は小さかった。これらの結果は、光の受光量の差異を反映しているものと考えられる。実際の室内での暴露試験とアンダーグラス暴露台による暴露試験とで色差の変化傾向を明らかにするためには、より長期間の暴露データを取得する必要があるが、両暴露試験の結果から、透明塗装には、ある程度の変色を抑制する効果があると考えられた。

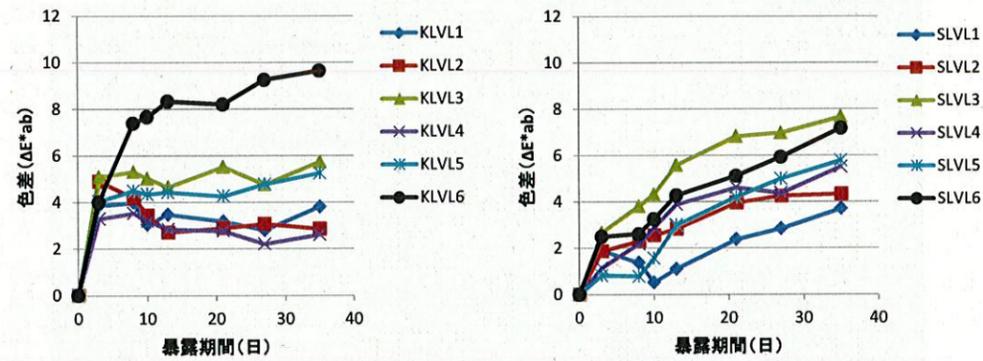


図 4-4 アンダーグラス暴露台に設置された LVL 試験体における、35 日間の色差変化 (左 : カラマツ LVL, 右 : スギ LVL)

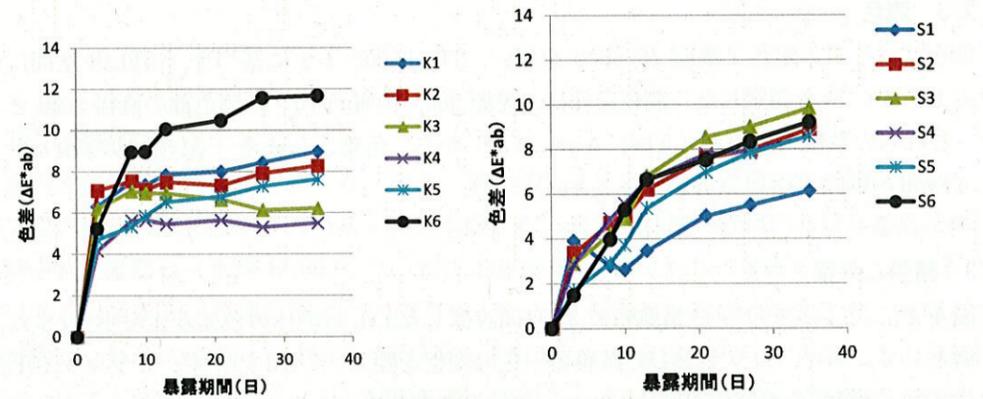


図 4-5 アンダーグラス暴露台に設置された板材試験体における、35 日間の色差変化 (左 : カラマツ, 右 : スギ)

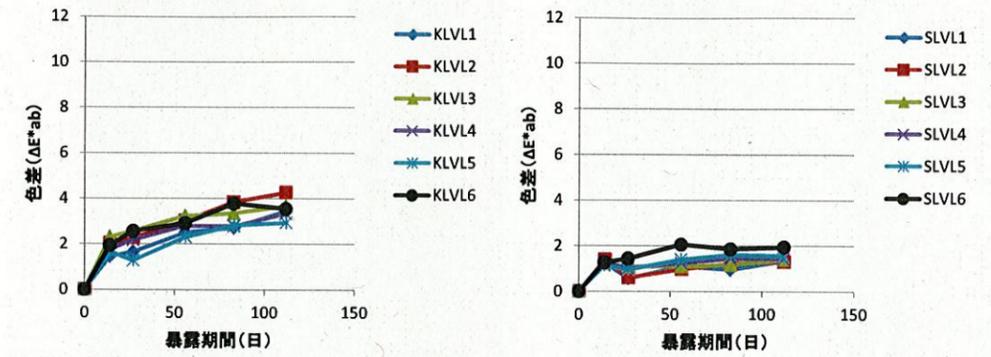


図 4-6 室内に設置された LVL 試験体の 112 日間の色差変化 (左 : カラマツ, 右 : スギ)



塗料A



塗料B



塗料C



塗料D



塗料E



無塗装

図 4-7 室内光で暴露したスギ LVL 試験体の外観 (各写真, 左から順に, 暴露前, アンダーグラス暴露台で 35 日間暴露後, 室内で 112 日間暴露後の試験体を示す)



塗料A



塗料B



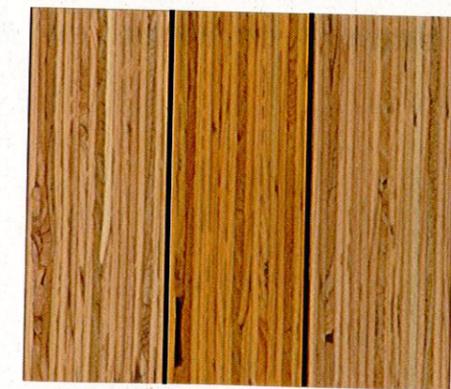
塗料C



塗料D



塗料E



無塗装

図 4-8 室内光で暴露したカラマツ LVL 試験体の外観 (各写真, 左から順に, 暴露前, アンダーグラス暴露台で 35 日間暴露後, 室内で 112 日間暴露後の試験体を示す)

5 全体のまとめ

本研究では、塗料や木材保存剤といった簡易な処理による耐候性や耐朽性向上効果を明らかにすることを目的として、各種暴露試験を行った。

4年間の屋外暴露試験の結果からは、木材保護塗料の使用は変色の抑制に効果があることが明らかになった。強度性能（曲げ強さ残存率、曲げヤング係数残存率、せん断強さ残存率）の測定結果からは、暴露地や表面処理の影響は明確には認められないこと、4年間の屋外暴露の結果、これらの値は1から2割程度低下することが明らかになった。

3年間屋外暴露による腐朽被害度の測定結果からは、木材保護塗料の表面処理によって、腐朽の進行を遅らせる効果があること、より長期的なデータの蓄積が必要であることが明らかになった。

LVLに適した透明塗装を明らかにするために開始した屋外暴露試験については、本年度で2年間までの結果が得られ、2年経過後においても塗装面の劣化が観察されない塗料もあることが確認され、LVLについても透明塗装が利用できる可能性が示唆された。

LVLの室内光による光変色、透明塗装による変色抑制効果を調べた結果、透明塗装によってある程度変色を抑制できる可能性が示唆された。

研究担当者

地方独立行政法人北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場

性能部 保存グループ 研究主任 伊佐治 信一

研究主任 宮内 輝久

利用部 バイオマスグループ 主査（成分）平林 靖

技術部 生産技術グループ 研究主任 古田 直之