

区分	受託研究
研究期間	令和2年度

令和2年度受託研究報告書

単板積層材の用途拡大に必要な耐久性能に
関するデータの整備

令和3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	1
1 LVLの耐朽性能に関する検討	2
1.1 目的	2
1.2 実験方法	2
1.2.1 屋外暴露試験（杭試験）	2
1.2.1.(1) 試験体の作製と設置	2
1.2.1.(2) 被害度の評価	3
1.2.2 実大寸法のLVL等を用いた強制腐朽処理方法	3
1.2.2.(1) 試験体の作製	3
1.2.2.(2) 腐朽源ユニットの作製	4
1.2.2.(3) 強制腐朽処理	4
1.3 結果と考察	4
1.3.1 屋外暴露試験（杭試験）	4
1.3.2 強制腐朽処理	6
1.4 参考文献	6
2 造膜形透明塗装によるLVLの耐候性能の向上に関する検討	6
2.1 目的	6
2.2 実験方法	7
2.2.1 試験体の作製	7
2.2.2 屋外暴露試験（耐候性試験）	8
2.2.3 塗膜欠陥率の測定	8
2.3 結果と考察	9
2.3.1 塗膜欠陥率の推移	9
2.3.2 参考文献	10
3 含浸形透明塗装によるLVLの変色抑制効果に関する検討	17
3.1 目的	17
3.2 実験方法	17
3.2.1 試験体の作製	17
3.2.2 屋外暴露試験（耐候性試験）	20
3.2.3 塗装面の評価	20
3.3 結果と考察	21
4 全体のまとめ	45

はじめに

単板積層材（LVL）は、製材や集成材に比べて強度のばらつきが少なく、寸法安定性が高いといった特徴がある。また、中小径木や曲がり材等も原料に用いることができるため、スギ、カラマツなど地域材の有効利用の点からも利用の増加が期待されている木質材料である。LVLの主な用途は構造材であるが、近年は屋外で利用したいという要望があるため、LVLの耐久性や簡易な処理による性能向上手法の把握、LVLの意匠を活かした透明塗装仕上げに関する耐候性能の把握が必要とされている。また、LVLの日本農林規格に保存処理規定が追加されており、実大製品寸法の耐朽性評価方法の開発が求められている。このようにLVLの耐久性に関するさまざまなデータを蓄積することが求められている。

このような背景の中、林産試験場では、2010年から全国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。また、2017年からは、実大断面寸法のLVLの強制腐朽処理を開始した。本研究では、これまでの受託研究において設置した試験体の評価を行い、さらなる知見の蓄積を目的とした。

1 LVL の耐朽性能に関する検討

1.1 目的

無処理の LVL および木材保護塗料で処理した LVL の屋外での耐朽性能を評価するため、林産試験場において屋外暴露試験（杭試験）を実施した。なお、被害度の調査は設置後 1 年毎に実施することとし、本受託研究では設置後 8 年目の調査を行った。また、未処理および保存処理 LVL の耐朽性能に関するデータを蓄積するため、実大寸法の LVL 等を用いた強制腐朽処理方法について検討を行った。

1.2 実験方法

1.2.1 屋外暴露試験（杭試験）

1.2.1. (1) 試験体の作製と設置

無処理のスギ LVL から $30 \times 30 \times 600$ mm の試験体を 100 体切り出した。切り出した試験体のうち 50 体は無処理 LVL とした。残りの 50 体は木材保護塗料（キシラデコール#103 チーク）を用いた表面処理（塗布量は 2 回の塗布で付着する量とした）を行い、これらを表面処理 LVL とした。それぞれの試験体 50 体のうち 10 体を暴露しない対照用とし、残り 40 体を林産試験場内にある暴露試験地に設置した。アースドリルを用いて林産試験場の暴露試験地の土壤に穴をあけたのち、試験体の中央（木口から 30 cm の位置）が地際と同じになるように垂直に設置した（図 1-1）。試験体は格子状に配置し、隣り合う試験体の距離は 50 cm とした。なお、比較のため無処理のスギ辺材についても同寸法の試験体を用意し設置した。



図 1-1 林産試験場屋外暴露試験地に設置した試験体

1.2.1. (2) 被害度の評価

所定期間経過後の試験体を抜き出し、地上部、地際部、地中部について、JIS K 1571 に準じて、表 1-1 に示す被害度を調査した。

表 1-1 被害度の評価基準

被害度	試験体の状況
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽
5	腐朽によって形が崩れる

1.2.2 実大寸法の LVL 等を用いた強制腐朽処理方法

腐朽源ユニット（プラスチック製容器内の寒天培地で培養した腐朽菌）を用いた実大断面を有する LVL 試験体の促進劣化方法について検討したところ、接着剤等の影響により、無処理の LVL であっても腐朽菌が試験体へ進展することを阻害した¹⁾。この要因として、LVL に用いられている接着剤の成分の影響が考えられた。そこで、本研究では腐朽菌に対する接着剤の影響を軽減するため、耐候操作を実施後に強制腐朽処理を行う方法を試みた。

1.2.2. (1) 試験体の作製

断面寸法 105×105 mm の無処理のスギ LVL から 150 mm の長さで切り出したものを試験体とした。試験体は 60℃ で 48 時間乾燥した後、40℃ の乾燥器内で約 2 時間静置し、直ちに重さを測定した。

耐候操作は下記の 2 条件を試みた。

72 時間の水浸漬処理：

試験体の体積の 10 倍の蒸留水に 72 時間静置後、60℃ で再度乾燥し、初期重量を計測した。

2 週間の水浸漬処理：

防腐薬剤の溶脱試験である AWP A E11-12²⁾ を参考にして実施した。試験体の体積の 5 倍の水道水に浸漬後、減圧処理 (0.01MPa, 20min) により水道水を注入した。その後、新しい水道水に入れ替え、2 週間の水浸漬処理を行った。この間、1、2、3、6、9、13 日後に水道水の交換を行い、浸漬時にはマグネチックスターラーを用いて常時攪拌した。耐候操作後、60℃ で再乾燥し、初期重量を計測した。

1.2.2. (2) 腐朽源ユニットの作製

腐朽源ユニットには、外寸法が 219×219×55mm のプラスチック製容器を用い、700mL ポテトデキストロース寒天培地を加えた。プラスチック容器内の寒天培地上に、約 1 週間プラスチックシャーレ内の PDA 培地上で培養したオオウズラタケを接種し、2 週間以上培養したものを強制腐朽処理に用いた。

1.2.2. (3) 強制腐朽処理

腐朽源ユニットに蔓延したオオウズラタケの上にプラスチック製の網を置き、その上に試験体を設置した（図 1-2）。試験体を設置した腐朽源ユニットをビニール袋に入れ、袋の口にシリコセンを取り付けた。試験体を設置した腐朽源ユニット 2 個ずつを、塩化カリウムの飽和塩水溶液の入った容器と共に、密閉式のバックルコンテナに入れ、蓋をした後、26℃の恒温槽内に入れた。

水浸漬 72 時間の耐候操作を行った試験体は 6 ヶ月経過後に回収し、60℃で乾燥後に質量減少率を計測した。水浸漬 2 週間の耐候操作を実施した試験体は 4 ヶ月経過後に回収し、質量減少率を計測した。



図 1-2 腐朽源ユニットに設置した試験体の様子

1.3 結果と考察

1.3.1 屋外暴露試験（杭試験）

本研究では、屋外暴露試験に供した試験体の 8 年目の被害度を調査した。試験体の地際部の暴露後 8 年間の平均被害度の推移を図 1-3 に示す。無処理 LVL の平均被害度は、無処理のスギ辺材よりも低い傾向にあるものの、暴露後 3～4 年間で耐用年数（地際部の平均被害度が 2.5）に達した後、その後さら

に高い値となった。一方、表面処理 LVL は無処理 LVL よりも平均被害度が緩やかに上昇し、7 年経過後に 3 に達していることから、6～7 年の間で耐用年数に達したものと考えられた。以上の結果から、木材保護塗料の塗布により LVL の腐朽の進行を遅らせることが可能であり、暴露後 2～3 年程度耐用年数を延長させることができると考えられた。

平均被害度に基づく耐用年数の評価では、各試験体がどのような状態にあったのかが明確ではない。そこで、無処理 LVL、表面処理 LVL およびスギ辺材の全試験体について、暴露後 6 年目～8 年目における被害度の発生割合を調べた（図 1-4）。暴露後 2～3 年の間で平均被害度 2.5 以上に達するスギ辺材では、6 年目以降、試験体すべてが被害度 4 以上の値を示していた。暴露後 3～4 年の間で平均被害度 2.5 以上に達した無処理 LVL の被害度 4 以上の試験体は、6 年目には 90% を超えていた。一方、表面処理を行った LVL の被害度 2.5 以上を示す試験体の割合は、6 年目で 40% 以上、7 年目で 60%、8 年目にはおよそ 80% を占めていた。以上の結果から、表面処理により高い被害度の発生する試験体の割合を低減させることが確認できたが、被害度が 2.5 を超える試験体の発生割合が高くなり始める、5 年目以前に再処理等を実施することが妥当であると考えられた。

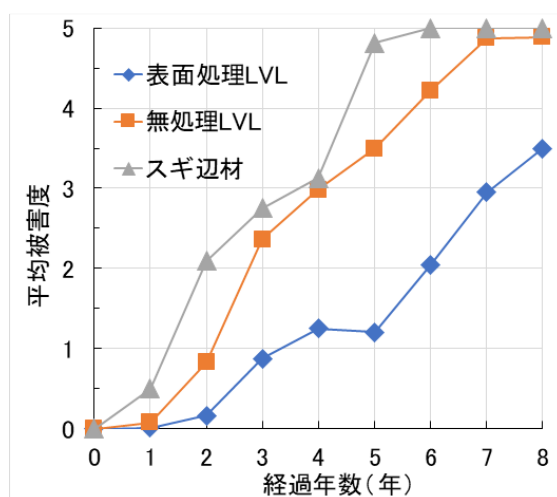


図 1-3 暴露試験体の地際部の平均被害度 (基材: スギ)
無処理と表面処理 LVL : N=31、スギ辺材 : N=8

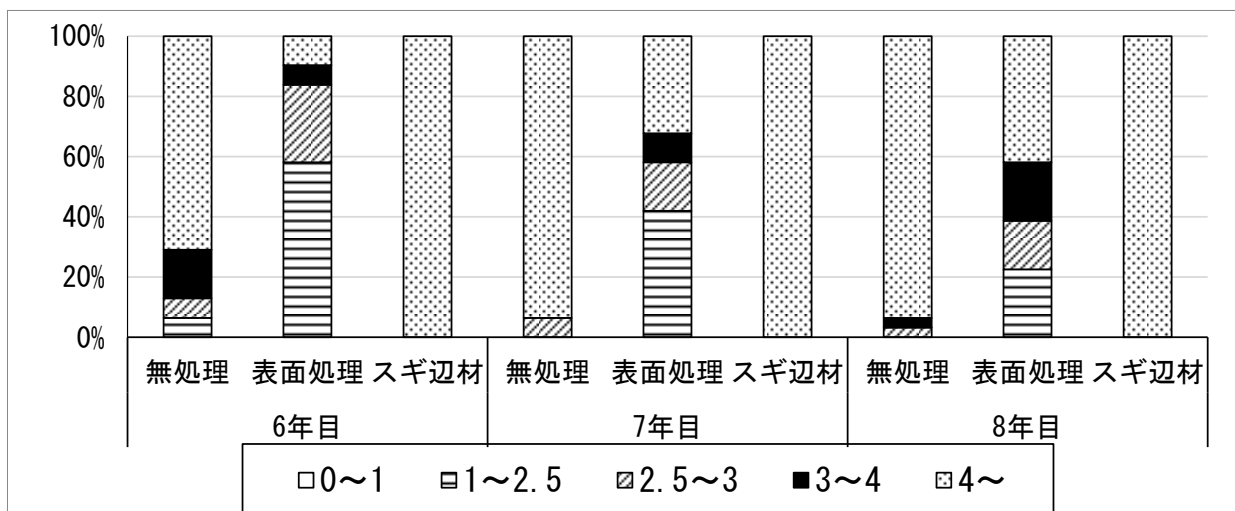


図 1-4 屋外暴露試験における被害度の発生割合
(無処理、表面処理は 31 体中、スギ辺材は 8 体中の割合)

1.3.2 強制腐朽処理

72 時間の水浸漬処理による耐候操作を実施した試験体は、6 ヶ月経過後においても腐朽が進行しなかった。一方、2 週間の水浸漬による耐候操作を実施した試験体については、質量減少率の平均値は 3.6%（試験体 4 体の平均）、最大値は 6.4% となり、腐朽菌を接触させた部位を中心に腐朽の進行が確認された（図 1-5）。よって、負荷の高い耐候操作を行うことで腐朽は促進されることが分かった。

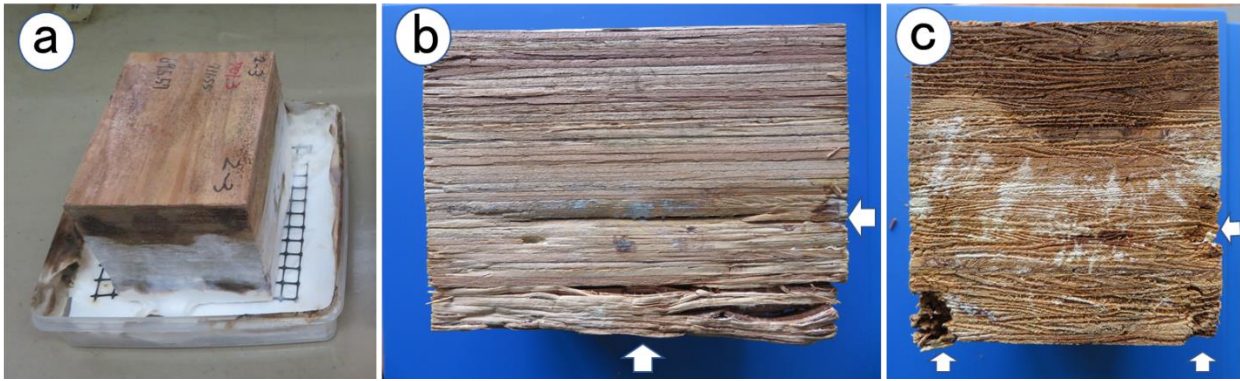


図 1-5 強制腐朽処理 4 ヶ月経過後の外観 (a) および絶乾後の試験体の外観 (b、c)
図中の矢印は腐朽部位を示す。

1.4 参考文献

- 1) 平成 30 年度 受託研究報告書, 単板積層材の用途拡大に必要な耐久性能に関するデータの整備
- 2) AWP A E11-12: Standard method for accelerated evaluation of preservative leaching, American Wood protection Association (2014).

2 造膜形透明塗装による LVL の耐候性能の向上に関する検討

2.1 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 の劣化傾向を明らかにすることを目的として、2013 年から屋外暴露試験による耐候性評価を実施してきた。本年度は、7 年経過後までの暴露結果を報告する。

2.2 実験方法

2.2.1 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 2-1）。それぞれの樹種について、単板面と積層接着面を暴露面（70×300mm）に用いた。

表 2-1 に、試験に用いた塗料の概要を示す。試験体の一覧と各塗料の塗布量を表 2-2 に示す。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。

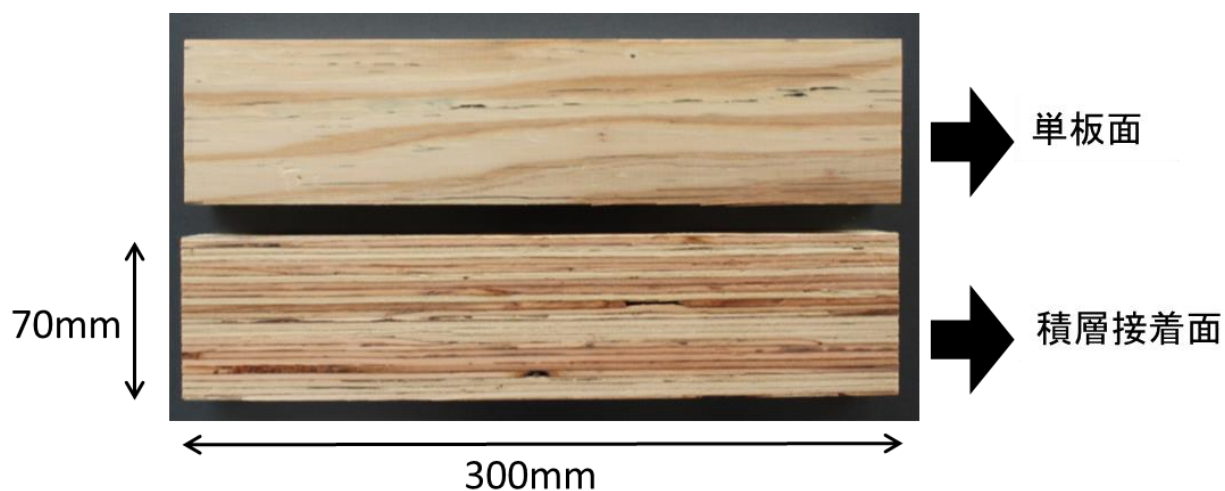


図 2-1 試験体の概要

表 2-1 使用した塗料

塗料記号	樹脂の種類	水系/有機溶剤系
K	アクリルシリコン	水系
S	アルキド	有機溶剤系
W	アクリルシリコン	水系
G	ウレタン	有機溶剤系
C	無塗装	

表 2-2 塗装条件

基材	暴露面	塗装記号	塗布量 (g/m ²)	塗布回数 (回)	基材	暴露面	塗装記号	塗布量 (g/m ²)	塗布回数 (回)
スギ	単板面	K1	498	3	カラマツ	単板面	K1	499	3
		K2	304	2			K2	304	2
		S	300	2			S	300	2
		W	299	2			W	298	2
		G1	496	6			G1	495	6
		G2	306	4			G2	306	4
	積層接着面	K	500	3		積層接着面	K	500	3
		K	309	2			K	302	2
		S	299	2			S	300	2
		W	299	2			W	298	2
		G1	495	6			G1	495	6
		G2	306	4			G2	306	4

2.2.2 屋外暴露試験（耐候性試験）

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2-2）。暴露は2013年12月から開始し、0度と南向き45度暴露の条件については、4年経過後（2017年12月）に回収し、補修方法の検討に用いた¹⁾。南向き90度の条件については、屋外暴露を継続しており、2020年12月に7年経過後の耐候性評価を実施した。



0度暴露



南向き45度暴露



南向き90度暴露

図 2-2 屋外暴露試験の様子

2.2.3 塗膜欠陥率の測定

試験体表面の両木口面50mm、および幅方向の10mmを除く200×50mmの範囲を、10×10mmのマス目で100箇所区切り、塗膜の割れやは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2-3）。測定は6カ月経過後ごとに実施した。

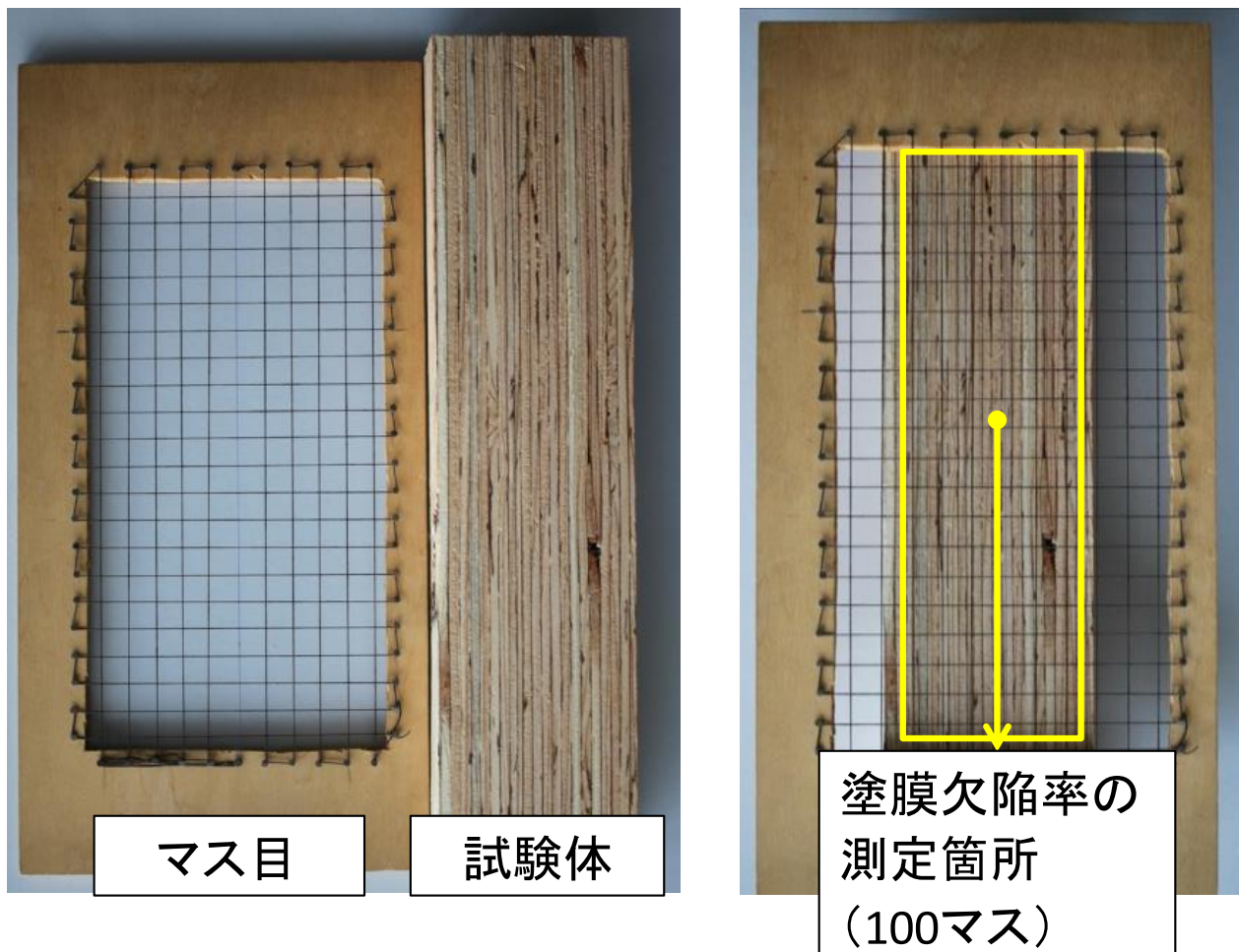


図 2-3 塗膜欠陥率の測定

2.3 結果と考察

2.3.1 塗膜欠陥率の推移

図 2-4～2-7 に、カラマツとスギの LVL に透明塗装を行った試験体の塗膜欠陥率の推移を、暴露角度ごとに示した。また、塗装面の劣化の一例として、84 ヶ月間（7 年間）の屋外暴露試験で最も塗膜欠陥率が少なかった塗料 K1、塗膜欠陥率の増加が短期間で発生した塗料 W の外観変化を無塗装の LVL と併せて図 2-8～2-11 に示した。

LVL が屋外で利用される際には、構造材や外装材などさまざまな使用環境が想定されるため、本研究では、造膜形透明塗装の暴露角度間の劣化速度の差異について調べた。塗膜欠陥率の平均値の推移から、0 度暴露と南向き 45 度暴露では比較的同様の傾向を示し、南向き 90 度暴露については、それらよりも値の増加が緩やかに増加する傾向を示した。これらの差異は、水分の滞留の程度や光の当たり方によって変化したものと推測される。

積層接着面と単板面を比較すると、単板面の塗膜劣化は、積層接着面より試験体内の差異が大きくなるケースが観察された（図 2-5、図 2-7 塗料 S と W）。辺心材や早晚材の塗装面への現れ方が劣化の程度に影響を及ぼしていると考えられた。

塗料 K を用いて塗布量を 500g/m² の条件で塗装した LVL（塗装記号：K1）については、他の塗装条件と大きく傾向が異なり、7 年を経過後においても塗装面の劣化がほとんど観察されず、高い耐候性能を有していることが明らかになった。塗料 K 以外の塗装条件については、どの暴露条件についても塗膜欠陥率が増加しており、数%の塗膜欠陥率が観察されると、その 1~2 年後のうちに値が急激に増加するケースが多かった。一度塗膜に割れなどの亀裂が生じると水分が侵入しやすくなるため、吸放湿に伴う寸法変動が生じやすくなり、塗膜劣化も進行しやすくなったと推測された。

これらの知見から、LVL に造膜形の透明塗装を施して利用する際には、塗装面の状態を定期的に点検し、亀裂などの劣化が生じた場合には早期に補修を行うといった作業を行い、美観の維持に努めることが必要になると考えられた。

2.3.2 参考文献

- 1) 平成 30 年度 受託研究報告書，単板積層材の用途拡大に必要な耐久性能に関するデータの整備

カラマツLVL,積層接着面

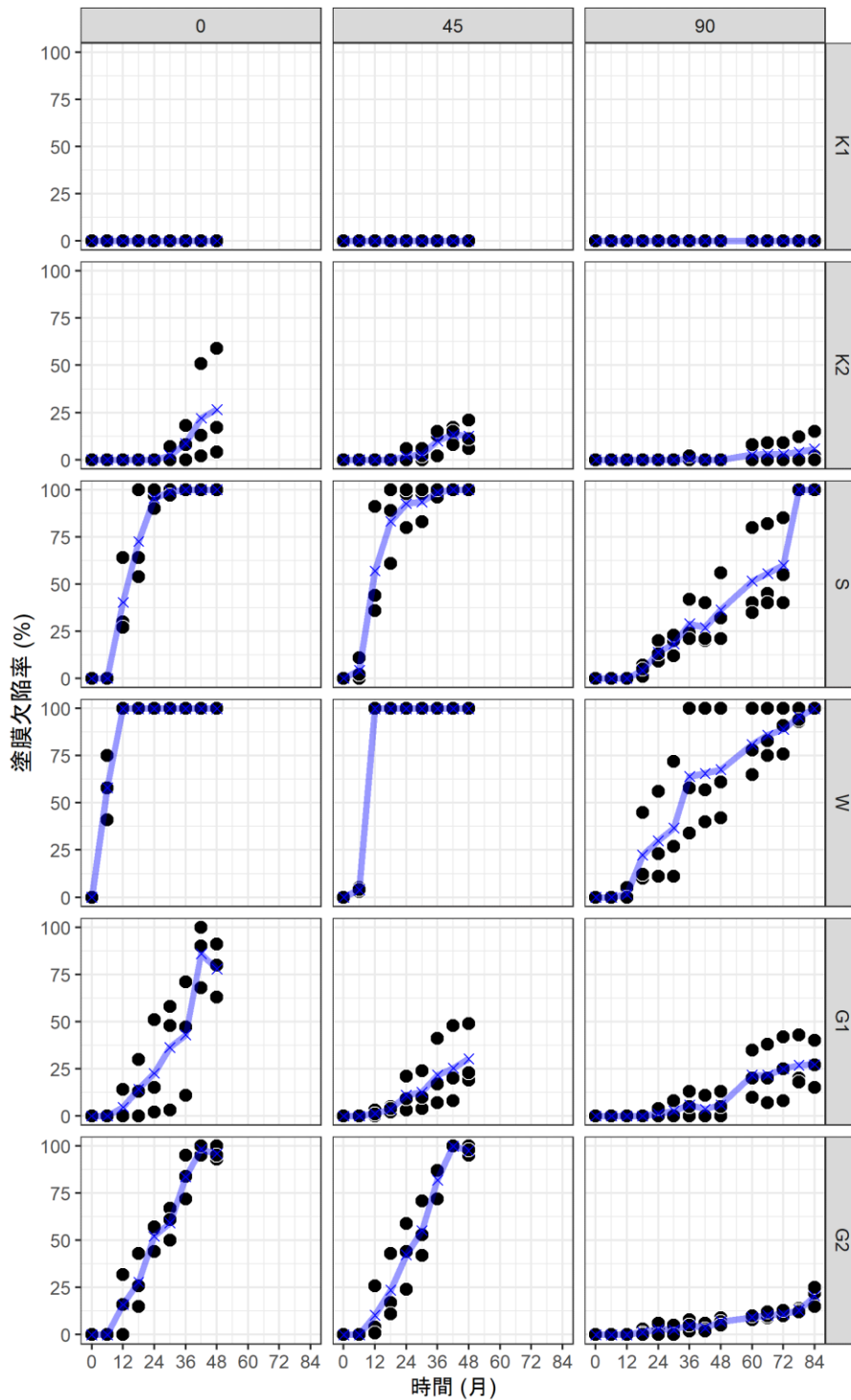


図 2-4 透明塗装した塗膜欠陥率の推移

試験体：カラマツ LVL、N=3

暴露面：積層接着面（図 2-1 参照）

図上部の 0、45、90 は、それぞれ 0 度暴露、45 度暴露、90 度暴露を示す（図 2-2 参照）

図右側の、K1、K2、S、W、G1、G2 は塗装記号を示す（表 2-2 参照）

図中の青線および×印は平均値の推移を示す

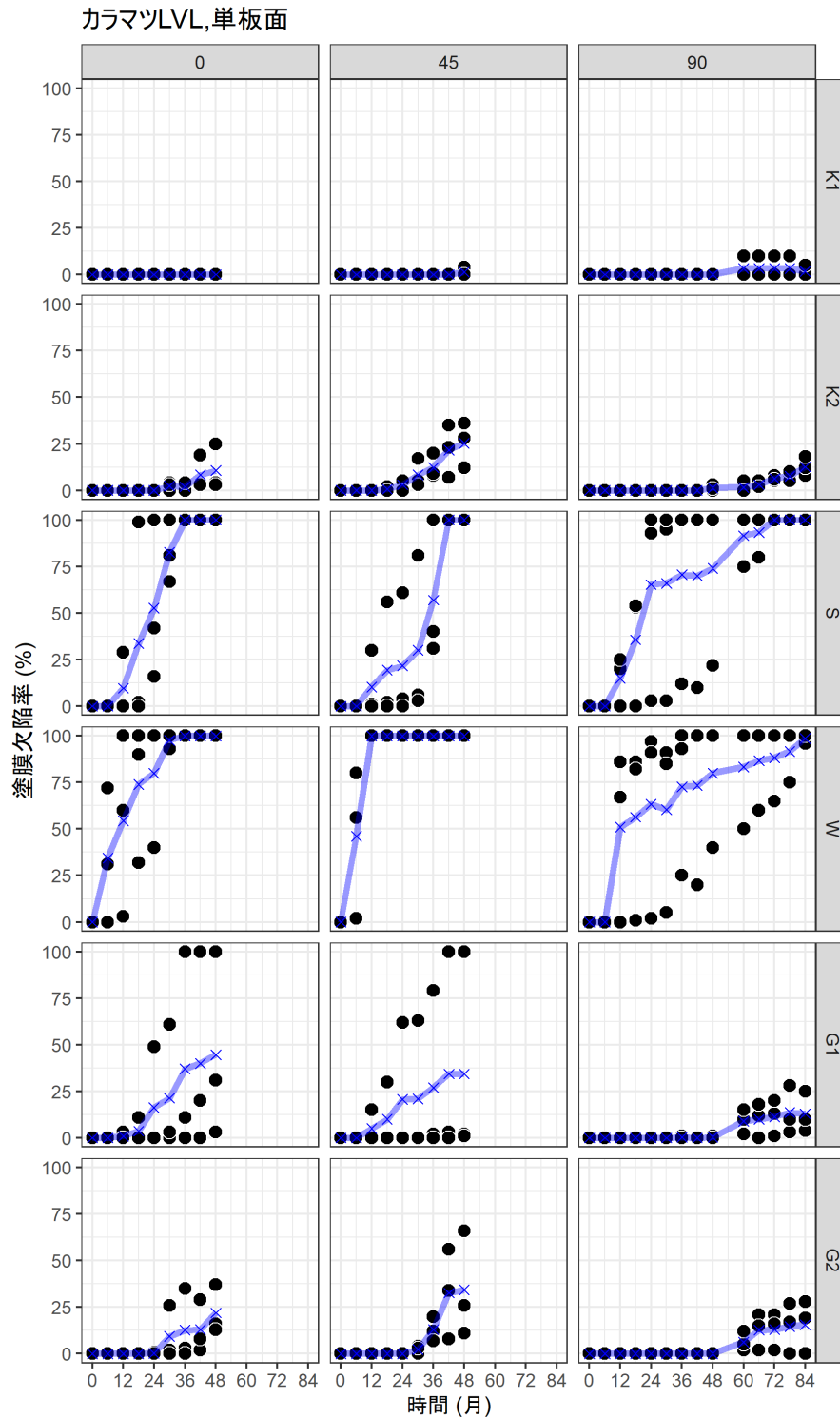


図 2-5 透明塗装した塗膜欠陥率の推移

試験体：カラマツ LVL、N=3

暴露面：単板面（図 2-1 参照）

図上部の 0、45、90 は、それぞれ 0 度暴露、45 度暴露、90 度暴露を示す（図 2-2 参照）

図右側の、K1、K2、S、W、G1、G2 は塗装記号を示す（表 2-2 参照）

図中の青線および×印は平均値の推移を示す

スギLVL,積層接着面

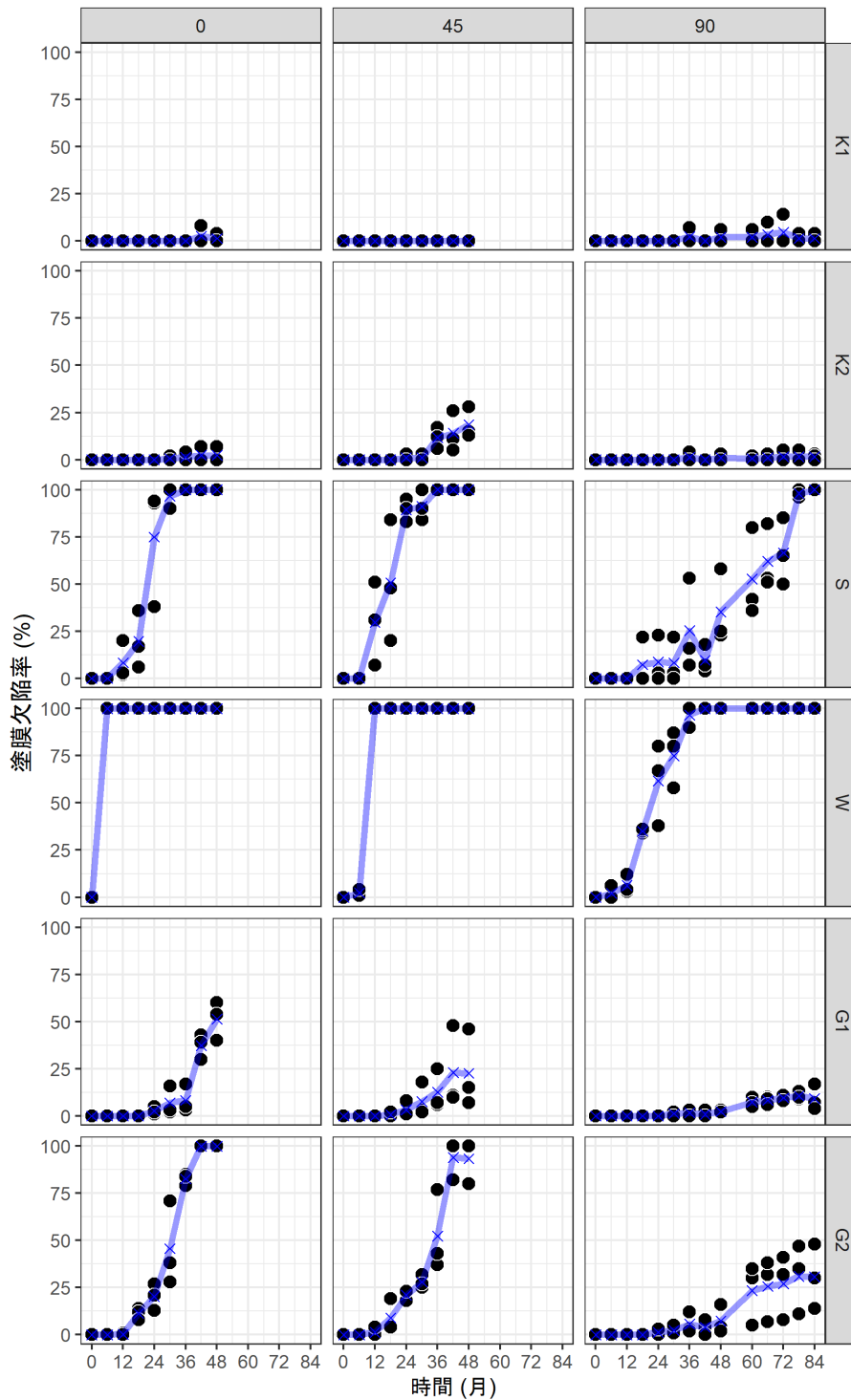


図 2-6 透明塗装した塗膜欠陥率の推移

試験体：スギ LVL、N=3

暴露面：積層接着面（図 2-1 参照）

図上部の 0、45、90 は、それぞれ 0 度暴露、45 度暴露、90 度暴露を示す（図 2-2 参照）

図右側の、K1、K2、S、W、G1、G2 は塗装記号を示す（表 2-2 参照）

図中の青線および×印は平均値の推移を示す

スギLVL, 単板面

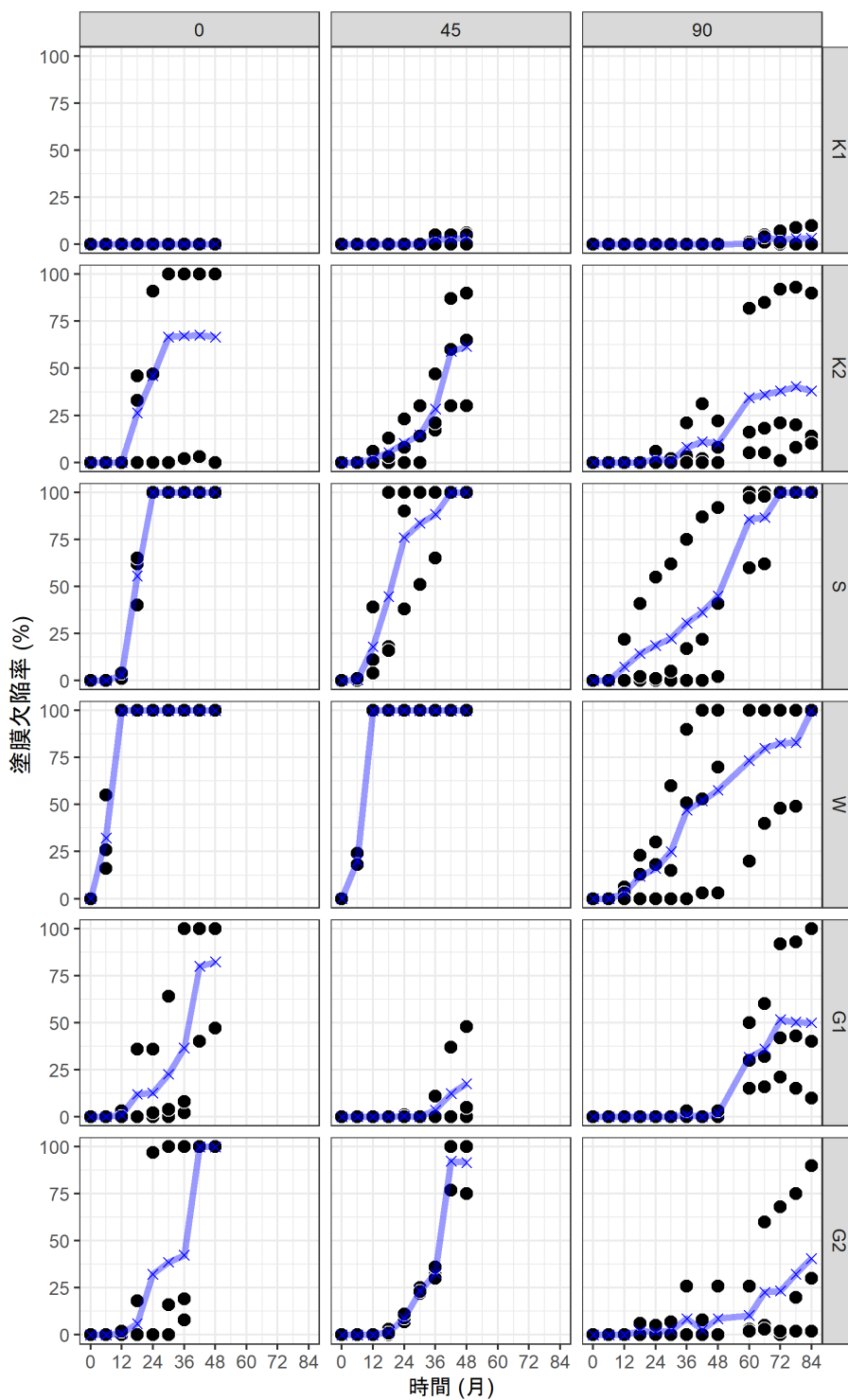


図 2-7 透明塗装した塗膜欠陥率の推移

試験体：スギ LVL、N=3

暴露面：単板面（図 2-1 参照）

図上部の 0、45、90 は、それぞれ 0 度暴露、45 度暴露、90 度暴露を示す（図 2-2 参照）

図右側の、K1、K2、S、W、G1、G2 は塗装記号を示す（表 2-2 参照）

図中の青線および×印は平均値の推移を示す



図 2-8 南向き 90 度暴露条件で 84 カ月間暴露したカラマツ LVL の積層接着面の塗装面の変化
上段:K1、中段:W、下段:C



図 2-9 南向き 90 度暴露条件で 84 カ月間暴露したカラマツ LVL の単板面の塗装面の変化
上段:K1、中段:W、下段:C



図 2-10 南向き 90 度暴露条件で 84 カ月間暴露したスギ LVL の積層接着面の塗装面の変化
 上段:K1、中段:W、下段:C



図 2-11 南向き 90 度暴露条件で 84 カ月間暴露したスギ LVL の単板面の塗装面の変化
 上段:K1、中段:W、下段:C

3 含浸形透明塗装による LVL の変色抑制効果に関する検討

3.1 目的

前項では、LVL の持つ意匠性を維持しつつも、可能な限り耐候性能を高めることを目的として、造膜形の透明塗装を用いたときの耐候性能を検討した。木部用透明系塗料には造膜形塗料とともに、塗膜形成が目立たない含浸形塗料も市販されている。また、水をよくはじく撥水剤と呼ばれる塗料も存在する。含浸形塗料や撥水剤を用いた透明塗装では、LVL の表面の変色や劣化を長期間維持することは難しいが、塗膜の形成が目立たないことから、LVL 表面の質感は損なわれにくい。また塗装を施さない未処理の状態を利用するよりは耐水性等が向上し変色抑制効果が維持されると期待されるが、これら塗料の測定例がほとんどないため、変色抑制効果の性能把握が求められている。

そこで本項では、含浸形塗料や撥水剤といった塗膜形成が目立たない塗料を用いたときの変色抑制効果、塗装面の劣化形態を把握するための屋外暴露試験を実施した。

3.2 実験方法

3.2.1 試験体の作製

塗装基材には、スギ、カラマツ、ラジアータパインの LVL (70×300×35mm) を用いた。それぞれの LVL について、第 2 章と同様に単板面と積層接着面を暴露面 (70×300mm) として用いた (図 2-1 参照)。

表 3-1 に、試験に用いた塗料の一覧を示す。また、表 3-2 に、塗布量を示す。撥水剤に分類した塗料の中で、防カビ剤等を含有していない塗料については、防腐・防蟻・防カビ剤 (有効成分：チアメトキサム、シプロコナゾール、チアベンダゾール) を塗布した後に、各種撥水剤を塗布した。塗装は刷毛塗りとし、各試片の暴露面と側面を塗装した。木口面は、吸水を防ぐために、合成樹脂塗料 (2 液性、ウレタン樹脂) を用いて塗装した。

表 3-1 使用した塗料の概要と塗装仕様

塗装記号	水系/有機溶剤系	製品の種類 ¹⁾	色	木部処理剤の有無 ²⁾ (防腐・防蟻・防カビ剤)	塗装条件	
					塗布回数 下塗り	塗布回数 上塗り
1	有機溶剤系	撥水剤	クリア	○	-	2
2	水系	撥水剤	クリア	○	-	2
3	水系	撥水剤	クリア	○	-	2
4	水系	撥水剤	クリア	○	-	2
5	水系	撥水剤	クリア	-	1	1
6	水系	撥水剤	クリア	-	1	1
7	水系	撥水剤	クリア	-	-	2
8	有機溶剤系	含浸形塗料	クリア	-	-	2
9	有機溶剤系	含浸形塗料	クリア	-	-	2
10	水系	含浸形塗料	クリア	-	-	2
11	水系	含浸形塗料	クリア	-	-	2
12	-	-	-	-	-	-

1) 撥水剤と含浸形塗料の分類は、メーカーの資料に基づいた。

2) 5～11については、防腐・防蟻・防カビ剤等の配合が確認されたため、木部処理は行わなかった。

3) 12は無塗装の試験体

表 3-2 各試験体の塗布量

基材	暴露面	塗装記号	塗布量(g/m ²)		
			木部処理剤	塗料	
				下塗り	上塗り
カラマツ	単板面	1	262	-	201
	積層接着面	1	235	-	177
スギ	単板面	1	263	-	192
	積層接着面	1	263	-	179
ラジアータ	単板面	1	238	-	190
	積層接着面	1	238	-	190
カラマツ	単板面	2	254	-	209
	積層接着面	2	236	-	187
スギ	単板面	2	243	-	178
	積層接着面	2	237	-	167
ラジアータ	単板面	2	238	-	182
	積層接着面	2	238	-	173
カラマツ	単板面	3	257	-	115
	積層接着面	3	250	-	105
スギ	単板面	3	262	-	107
	積層接着面	3	257	-	102
ラジアータ	単板面	3	238	-	190
	積層接着面	3	238	-	167
カラマツ	単板面	4	263	-	239
	積層接着面	4	260	-	223
スギ	単板面	4	270	-	261
	積層接着面	4	270	-	219
ラジアータ	単板面	4	238	-	214
	積層接着面	4	238	-	167
カラマツ	単板面	5	-	104	84
	積層接着面	5	-	94	77
スギ	単板面	5	-	96	77
	積層接着面	5	-	105	78
ラジアータ	単板面	5	-	95	86
	積層接着面	5	-	95	86
カラマツ	単板面	6	-	105	111
	積層接着面	6	-	106	107
スギ	単板面	6	-	123	134
	積層接着面	6	-	126	120
ラジアータ	単板面	6	-	119	119
	積層接着面	6	-	119	119
カラマツ	単板面	7	-	-	233
	積層接着面	7	-	-	211
スギ	単板面	7	-	-	194
	積層接着面	7	-	-	194
ラジアータ	単板面	7	-	-	186
	積層接着面	7	-	-	183
カラマツ	単板面	8	-	-	187
	積層接着面	8	-	-	182
スギ	単板面	8	-	-	173
	積層接着面	8	-	-	170
ラジアータ	単板面	8	-	-	168
	積層接着面	8	-	-	165
カラマツ	単板面	9	-	-	179
	積層接着面	9	-	-	176
スギ	単板面	9	-	-	176
	積層接着面	9	-	-	170
ラジアータ	単板面	9	-	-	171
	積層接着面	9	-	-	175
カラマツ	単板面	10	-	-	181
	積層接着面	10	-	-	180
スギ	単板面	10	-	-	177
	積層接着面	10	-	-	175
ラジアータ	単板面	10	-	-	171
	積層接着面	10	-	-	171
カラマツ	単板面	11	-	-	178
	積層接着面	11	-	-	179
スギ	単板面	11	-	-	193
	積層接着面	11	-	-	187
ラジアータ	単板面	11	-	-	180
	積層接着面	11	-	-	180

3.2.2 屋外暴露試験（耐候性試験）

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。スギとカラマツ LVL の屋外暴露は、2017 年 10 月に開始した。ラジアータパイン LVL の屋外暴露は、2018 年 10 月に開始した。暴露角度は南向き 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 3-1）。



図 3-1 屋外暴露試験の様子（左：南向き 45 度暴露、右：南向き 90 度暴露）

3.2.3 塗装面の評価

撥水剤や含浸形塗料を用いた場合には、LVL 表面にほとんど塗膜が形成されないため、第 2 章で実施した塗膜欠陥率の評価は行えない。また、これらの塗料を用いた際の劣化形態は、木材色から灰色への変色と透明塗装の場合に目立ちやすいカビ汚染である。変色の測定には、JIS K 5600-4-6 に基づく色差測定を行った。計測には、日本電色工業製の ZE6000 を用い、D65 光源、10 度視野の条件とした。1 体の試験体につき、3 箇所測定した。

カビ汚染の評価には、JIS K 5600-8-2 の図 A.1 を参照して、塗装面のカビの密度等級を 0（汚染なし）から 5（高密度の汚染）の 6 段階で評価した（図 3-2）。なお、カビ汚染が認められるものの、等級 2 より少ない場合を等級 1 とした。

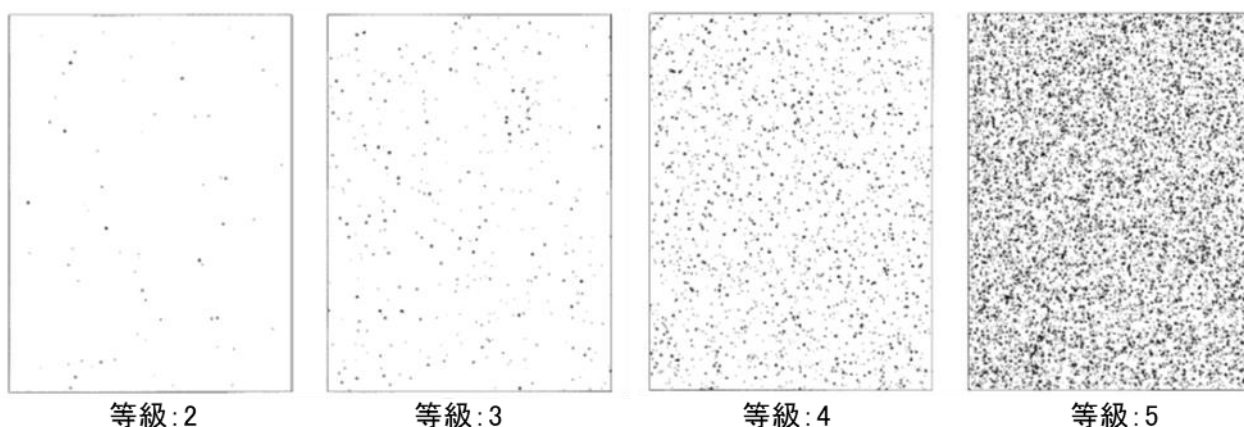


図 3-2 カビ汚染の密度等級の尺度表

3.3 結果と考察

本項では、撥水剤を7種類、含浸形塗料を4種類使用して試験を実施し、スギ、カラマツ、ラジアータパインのLVLを用いて試験を行った。図3-3～3-14に、色差変化とカビ等級の推移を示す。また、塗装面の変化の一例として、図3-15～3-20に南向き90度暴露した試験体の外観変化を示す。

撥水剤に関しては、変色の程度を示す色差値には塗料間の差異はほとんど見られなかった（図3-3左～3-8左）。この理由として、撥水剤の主目的は、耐水性を高めることにあり、木材の光安定性を高めることを目的とした添加剤を含有していないためと考えられる。一方、カビ等級の変化については、値の増減に塗料間の差異が認められた（図3-3右～3-8右）。防カビ剤の種類の影響はもちろんのこと、塗料間の撥水性の差異が水滴の残存性に影響を及ぼし、LVL表面のカビ汚染の程度に差異をもたらしたと推測された。時間の経過とともにカビ汚染が低下する場合も観察されたが、この理由として表層の塗膜や木部のはがれが考えられた。全体的な傾向として、撥水剤を使用した場合にはカビ汚染が目立つ傾向にあったため、実際の建築物で利用する際には、防カビ性能を高める方法を検討する必要があると考えられた。

含浸形塗料の色差変化は、撥水剤と比較すると小さい値で推移する傾向にあり（図3-9左～3-14左）、外観からも変色抑制効果が確認できた（図3-15～3-20）。ここで用いた塗料は透明塗装用として市販されている塗料であるため、光安定性を高めるための添加剤や顔料が変色抑制に寄与したと推測される。

撥水剤や含浸形塗料については、第2章で実施した造膜形塗料のような長期間の耐久性は期待できず、ほとんどの試験体で36ヵ月経過後には灰色への変色が進行しており、塗り替え時期に達していると判断された。36ヵ月経過後の試験体を切り出して、試験体内部を観察したところ、すべての塗装条件において、劣化層は表面のみであり、内部は割れなども発生しておらず健全な状態を維持していた（図3-21～3-24）。よって補修は表面研磨のみで十分であると考えられた。グラインダーを用いて表面を研磨したところ、図3-25に示したように、元の材色に戻すことが可能であった。

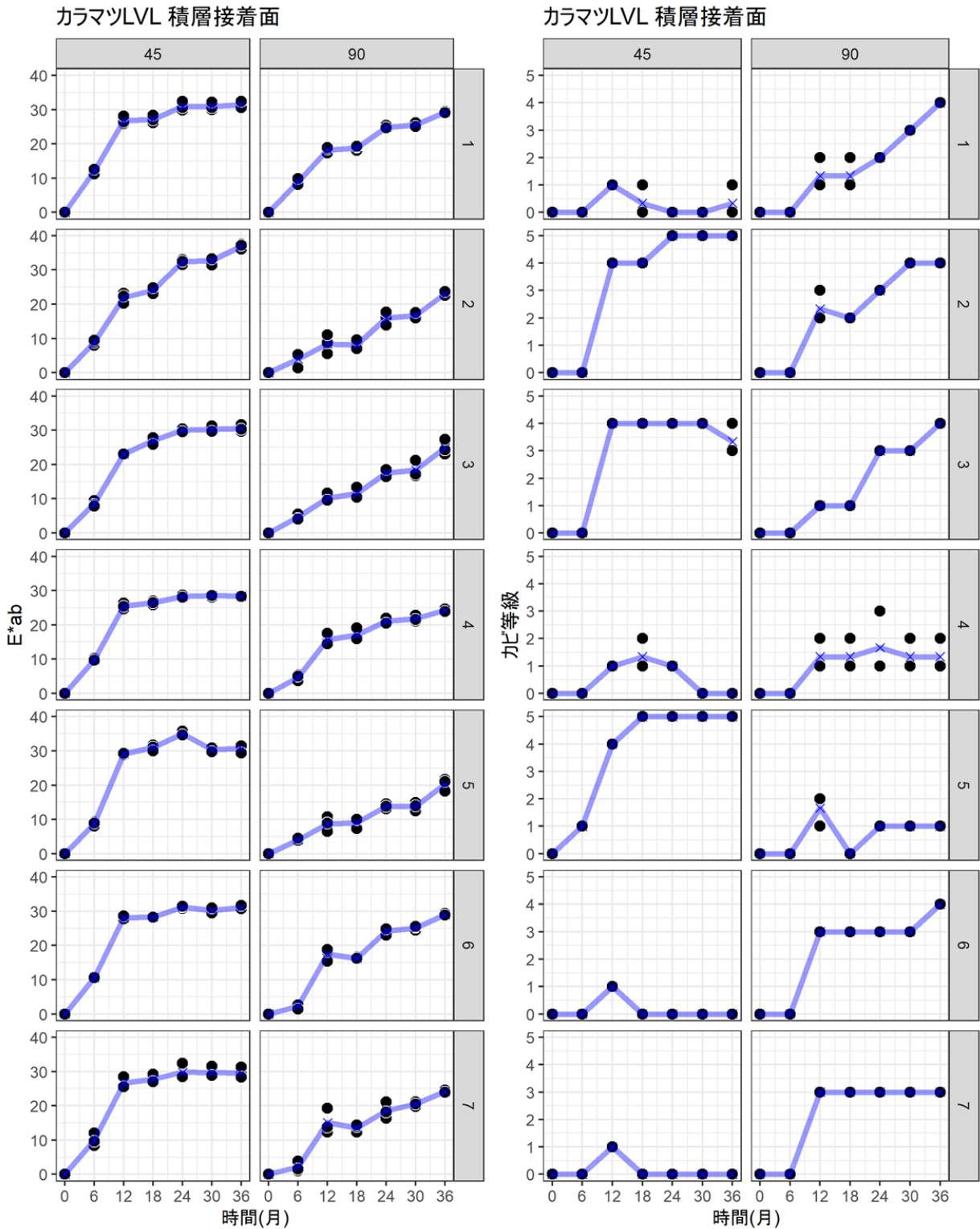


図 3-3 撥水剤を塗布した LVL における 36 ヶ月間の色差とカビ等級の変化
 基材：カラマツ 積層接着面、N=3

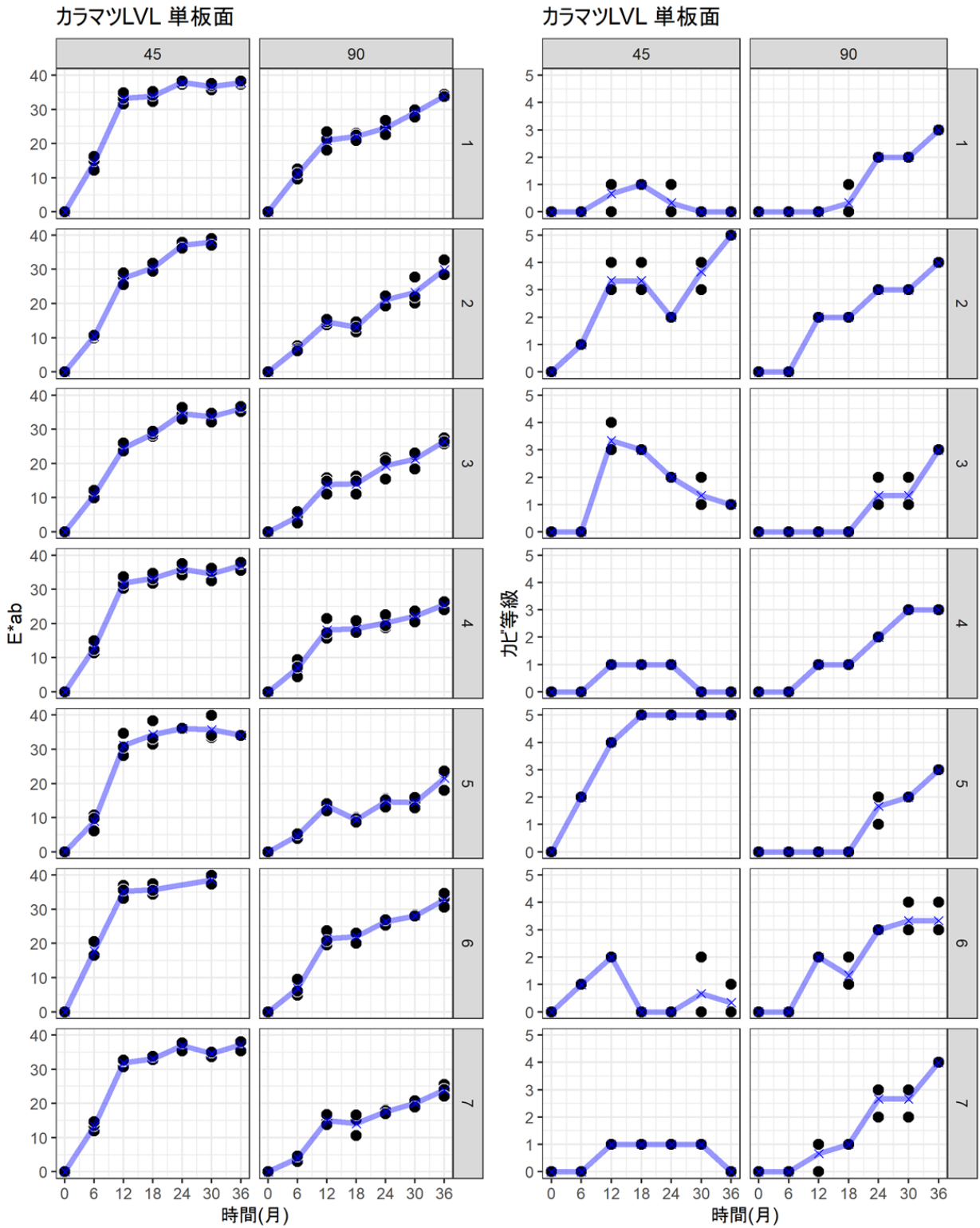


図 3-4 撥水剤を塗布した LVL における 36 カ月間の色差とカビ等級の変化
 基材：カラマツ 単板面、N=3

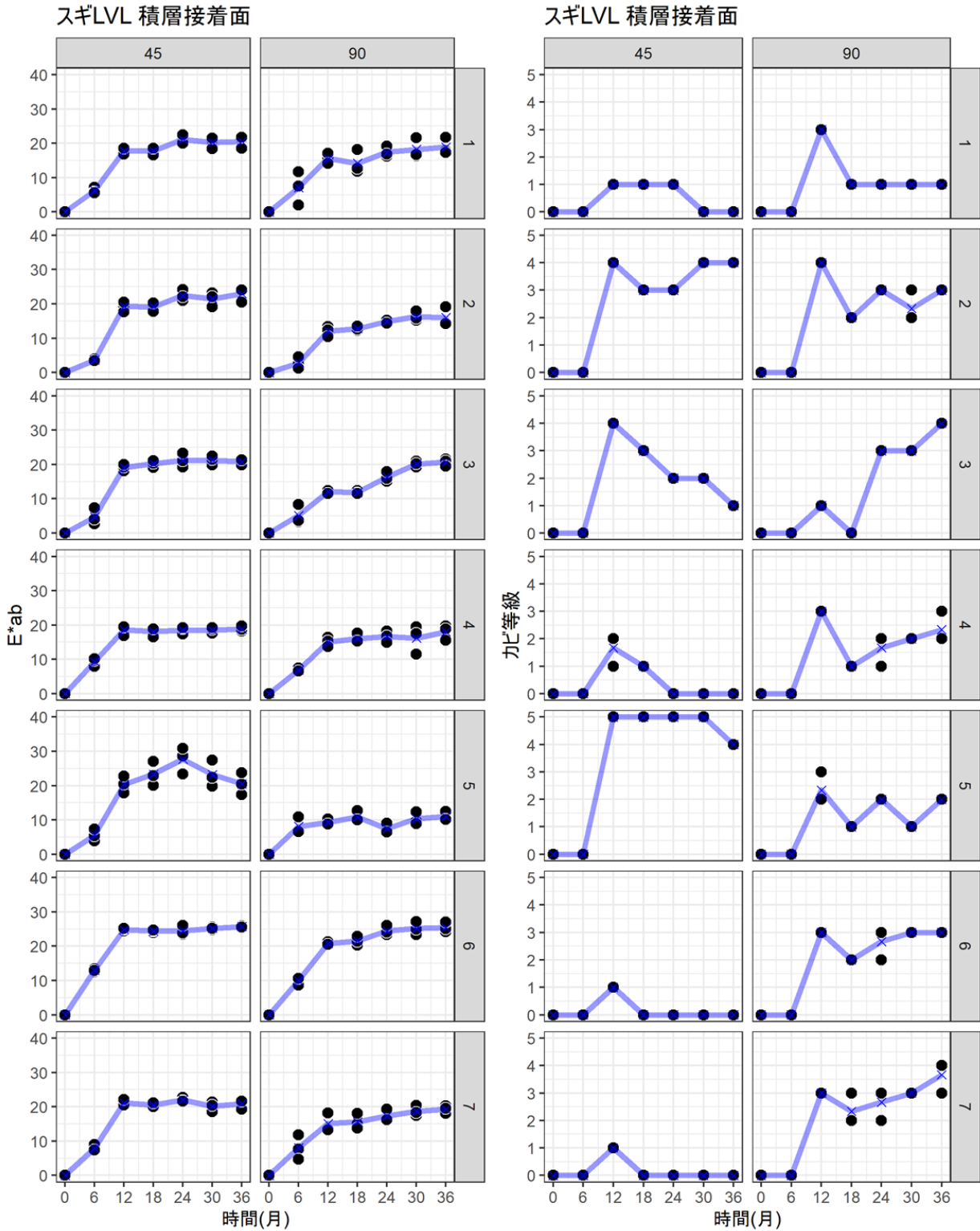


図 3-5 撥水剤を塗布した LVL における 36 カ月間の色差とカビ等級の変化
 基材：スギ 積層接着面、N=3

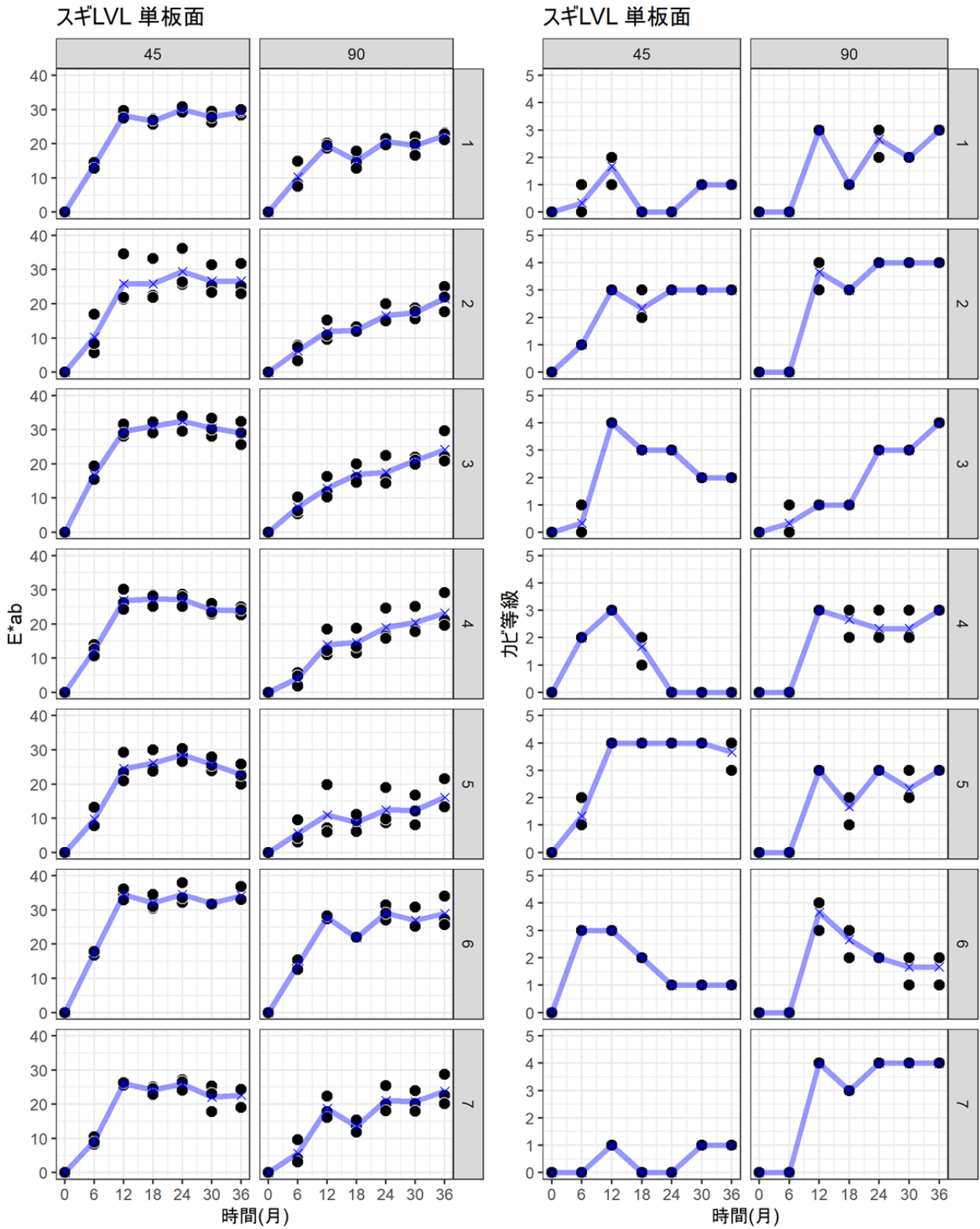


図 3-6 撥水剤を塗布した LVL における 36 ヶ月間の色差とカビ等級の変化
 基材：スギ 単板面、N=3

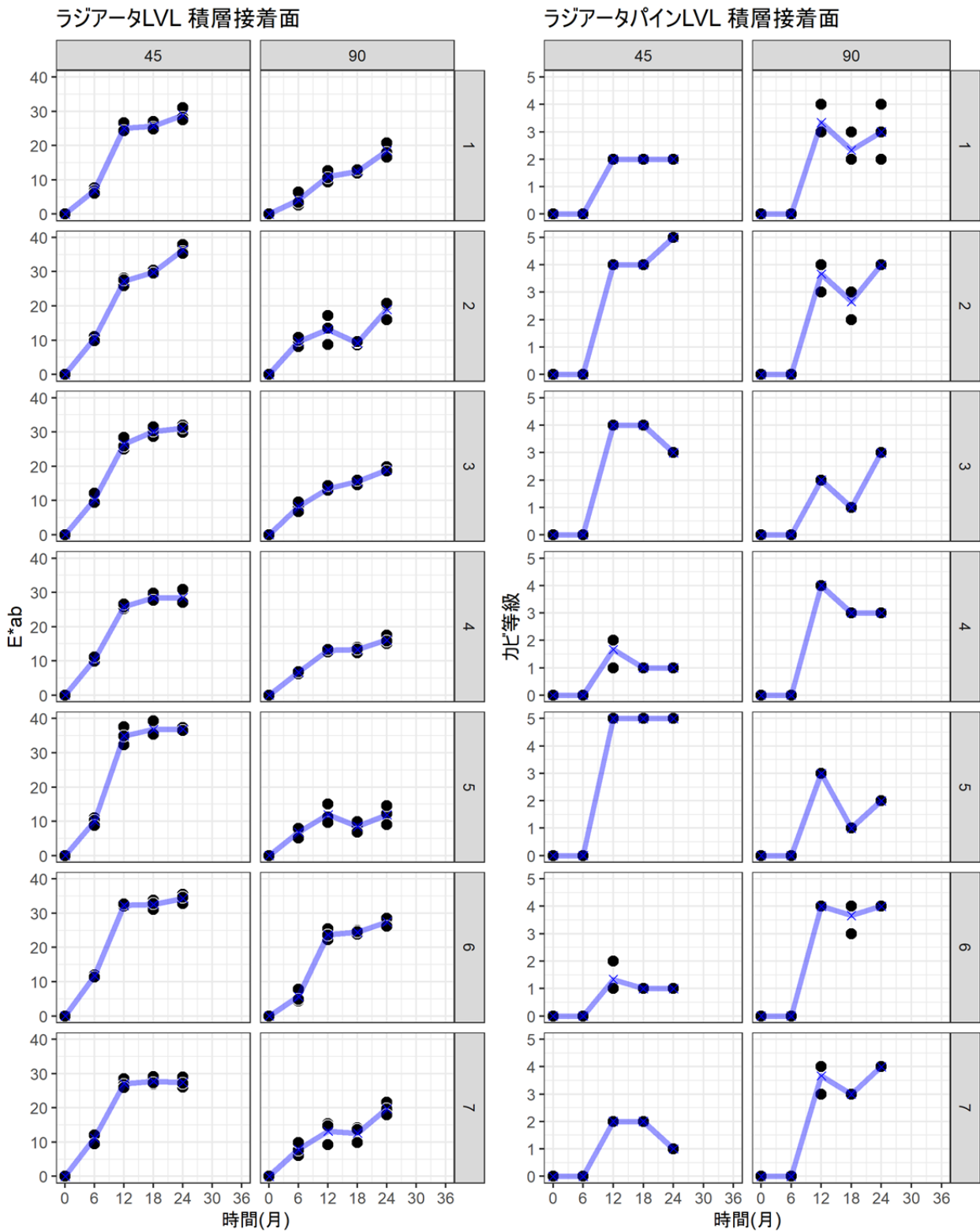


図 3-7 撥水剤を塗布した LVL における 24 ヶ月間の色差とカビ等級の変化
 基材：ラジータパイン 積層接着面、N=3

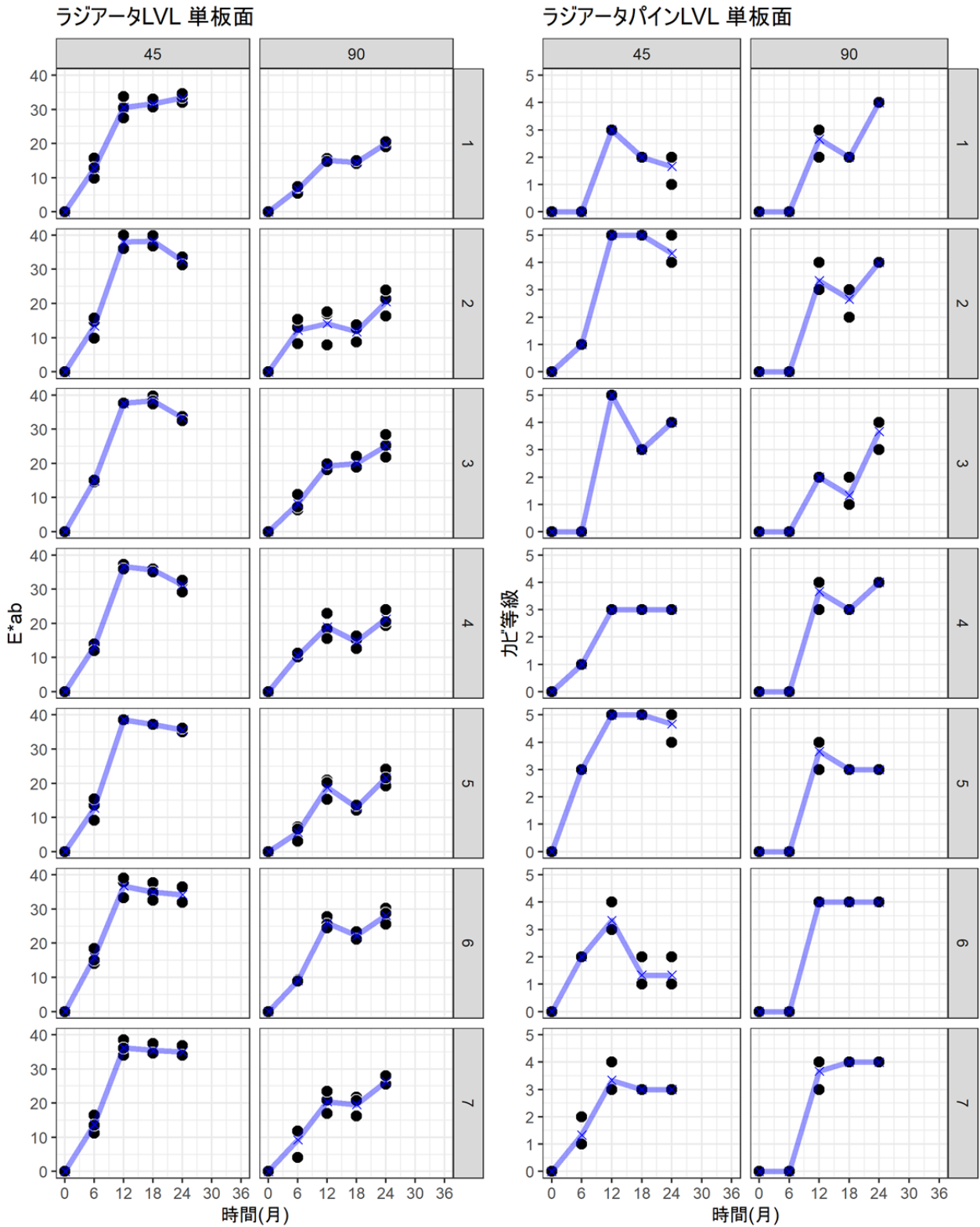


図 3-8 撥水剤を塗布した LVL における 24 ヶ月間の色差とカビ等級の変化
 基材：ラジアータパイン 単板面、N=3

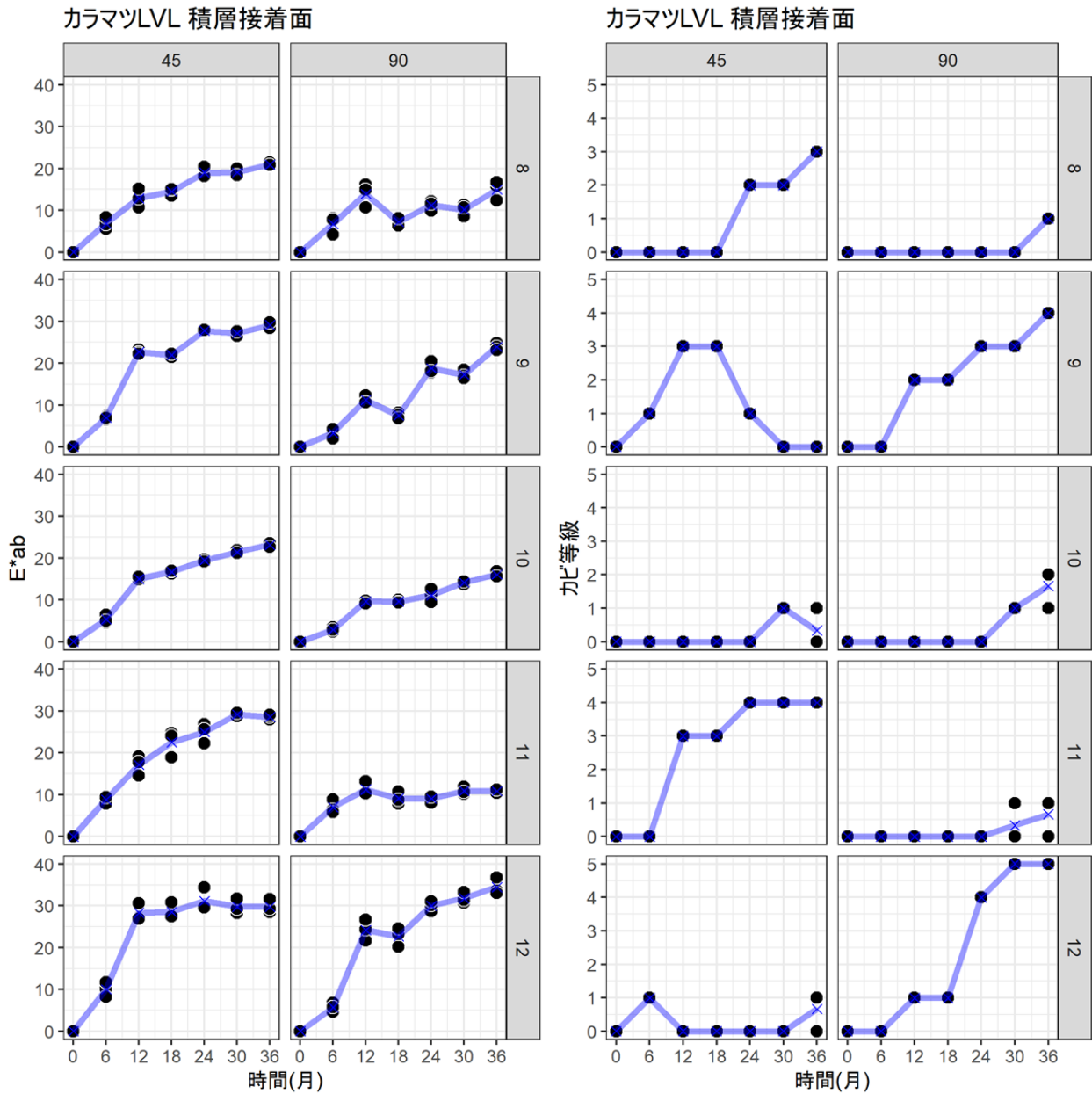


図 3-9 含浸形塗料を塗布した LVL と未処理 LVL の 36 カ月間の色差変化とカビ等級の変化
 基材：カラマツ 積層接着面、N=3

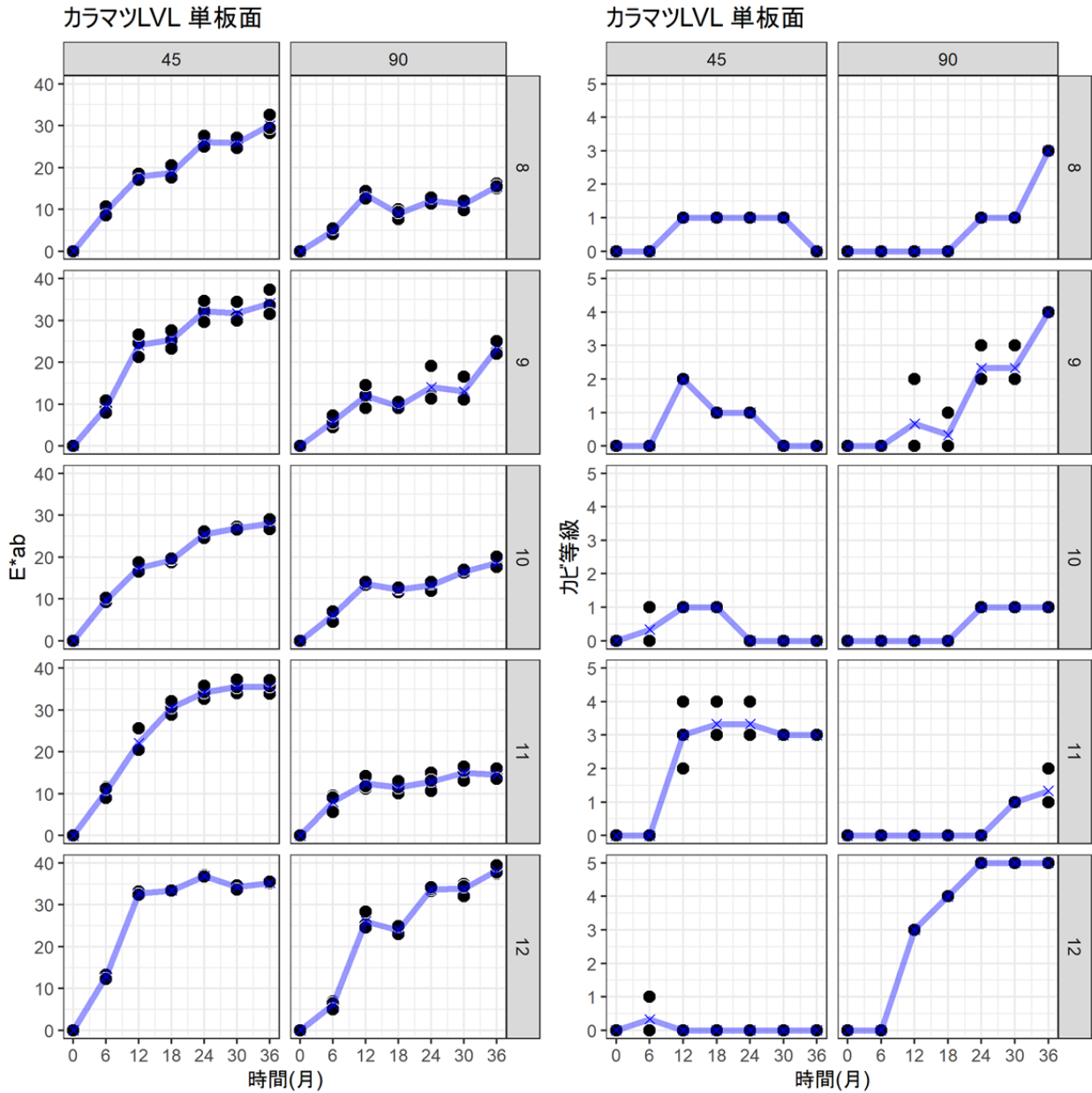


図 3-10 含浸形塗料を塗布した LVL と未処理 LVL の 36 カ月間の色差変化とカビ等級の変化
 基材：カラマツ 単板面、N=3

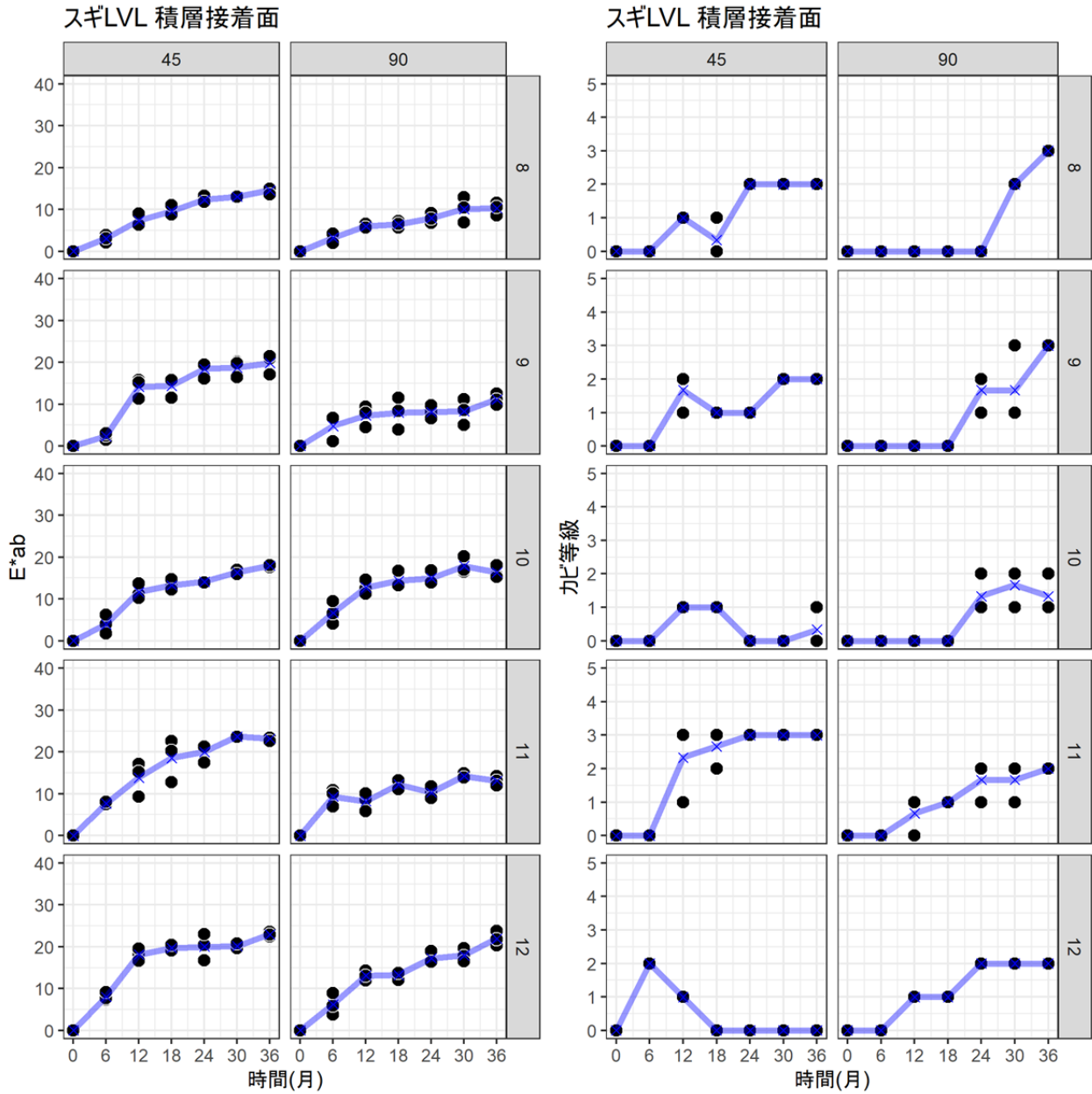


図 3-11 含浸形塗料を塗布した LVL と未処理 LVL の 36 カ月間の色差変化とカビ等級の変化
 基材：スギ 積層接着面、N=3

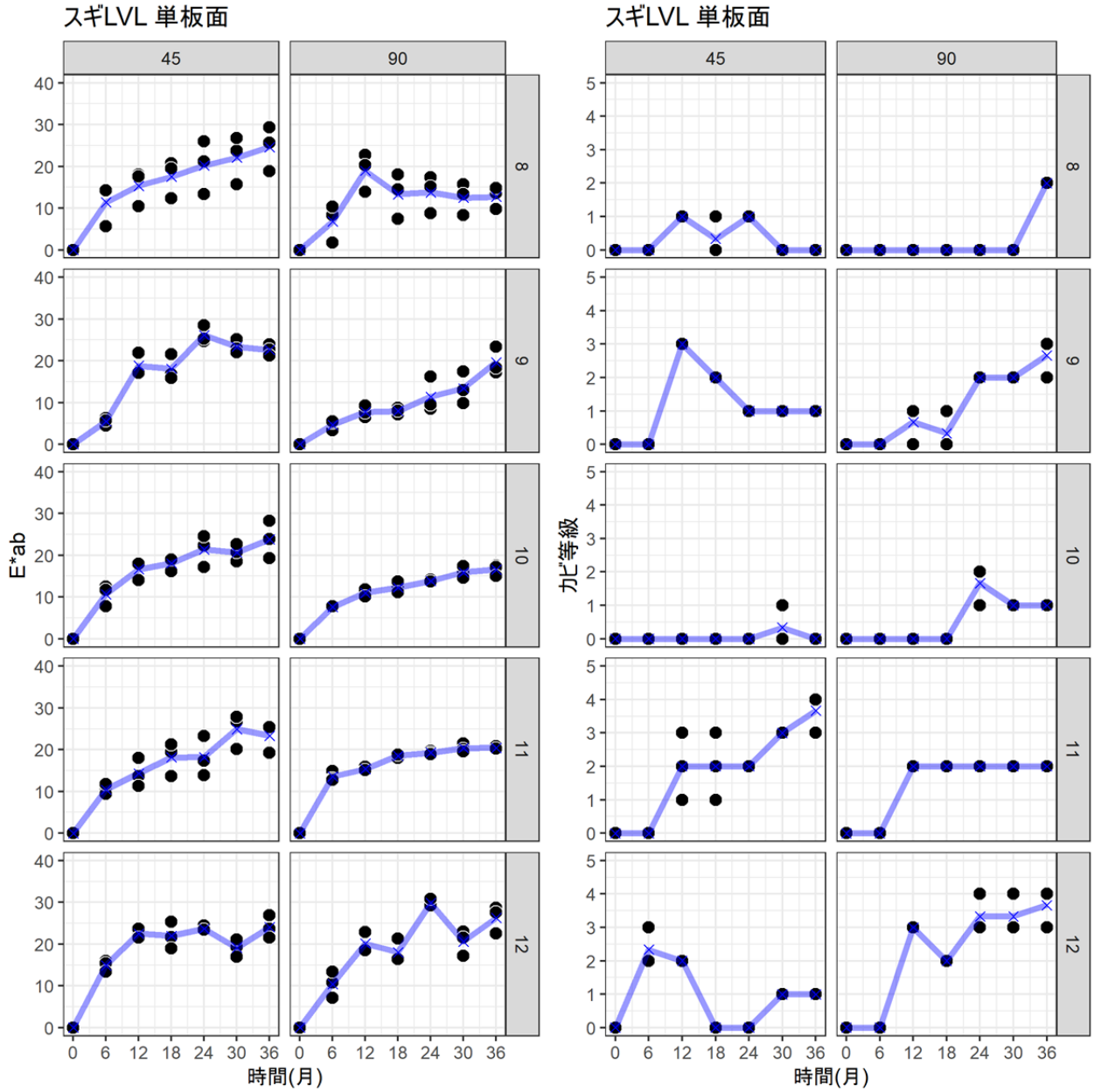


図 3-12 含浸形塗料を塗布した LVL と未処理 LVL の 36 カ月間の色差変化とカビ等級の変化
 基材：スギ 単板面、N=3

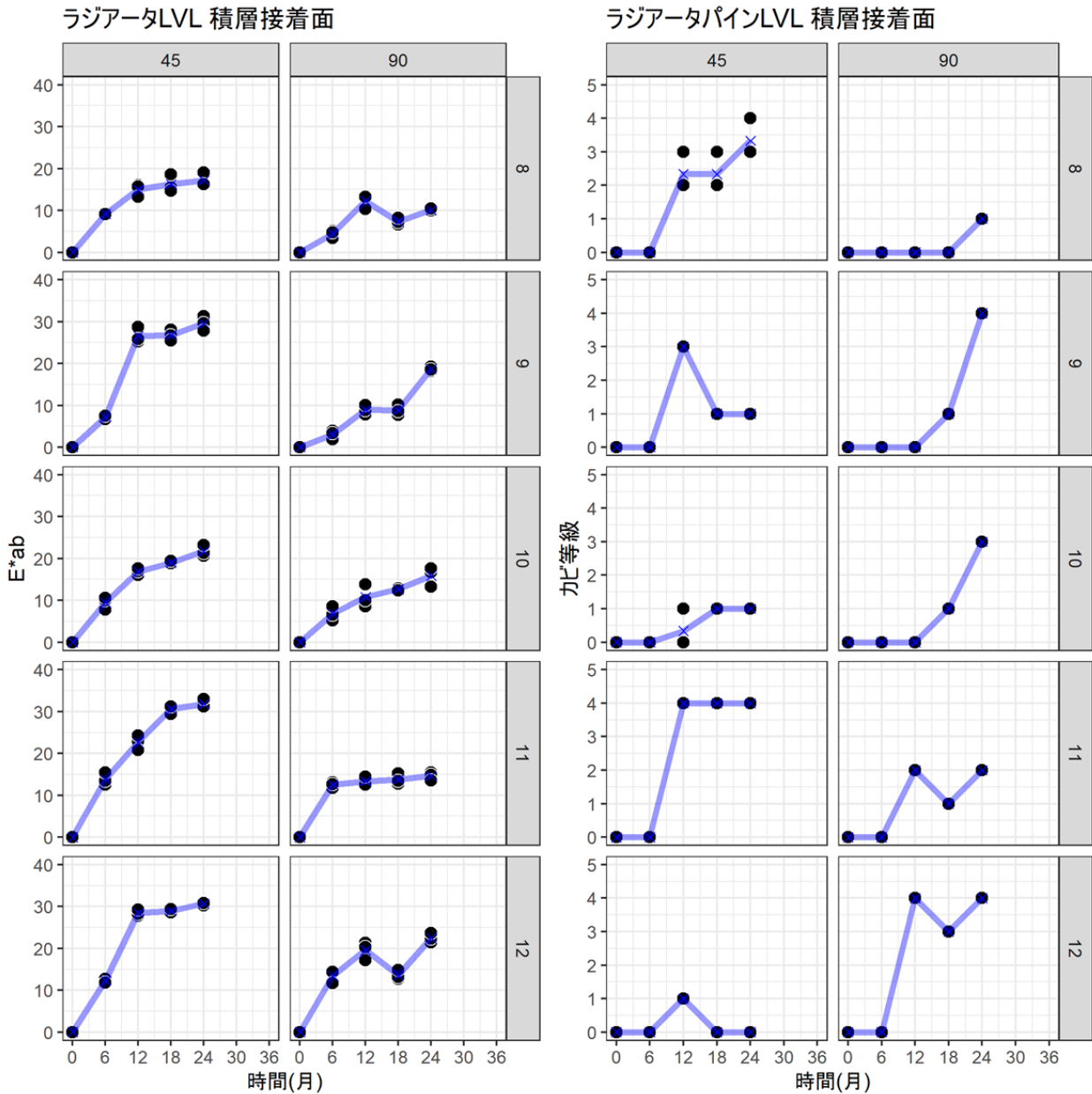


図 3-13 含浸形塗料を塗布した LVL と未処理 LVL の 24 カ月間の色差変化とカビ等級の変化
 基材：ラジータ 積層接着面、N=3

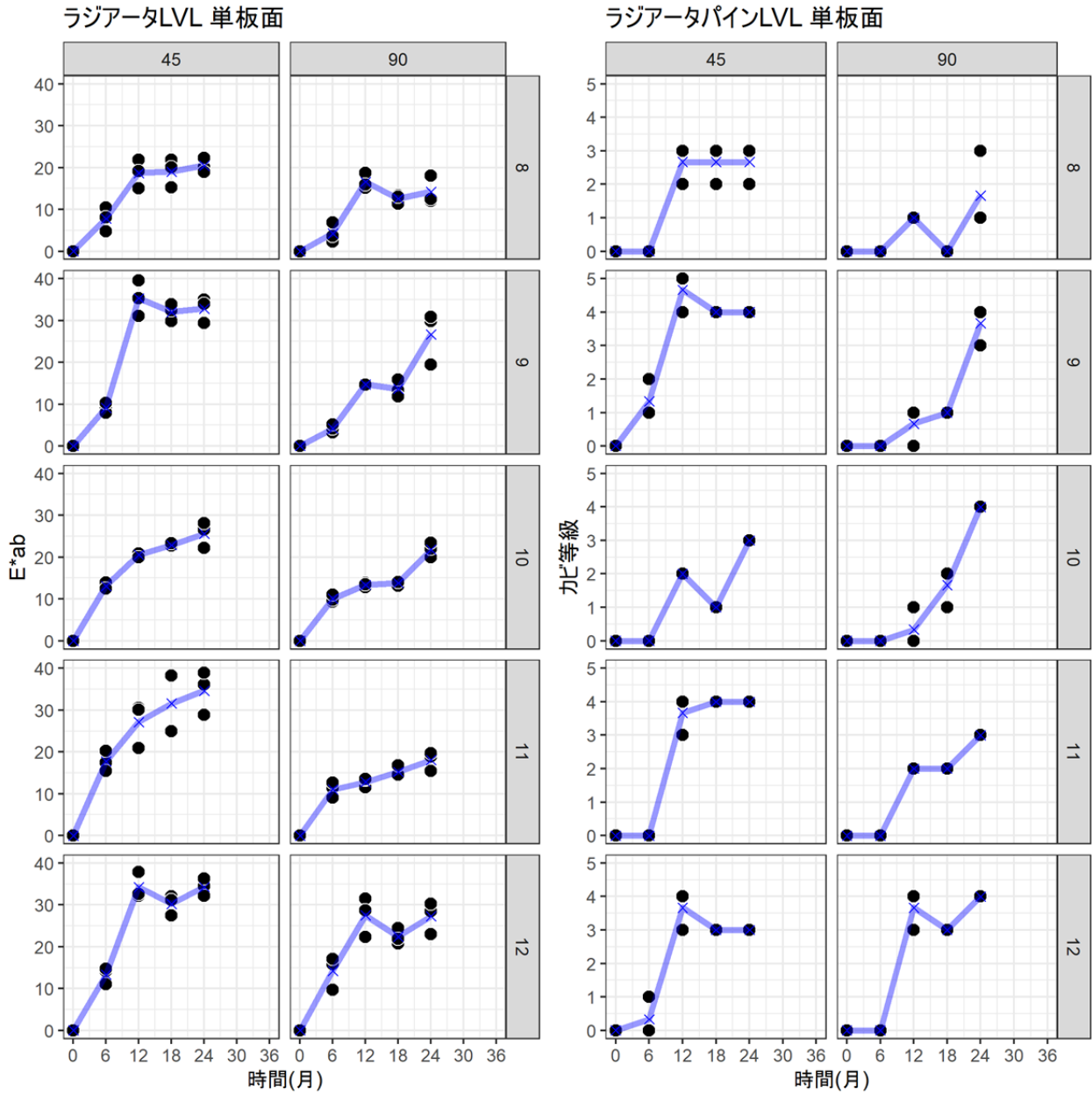


図 3-14 含浸形塗料を塗布した LVL と未処理 LVL の 24 カ月間の色差変化とカビ等級の変化
 基材：ラジータ 単板面、N=3

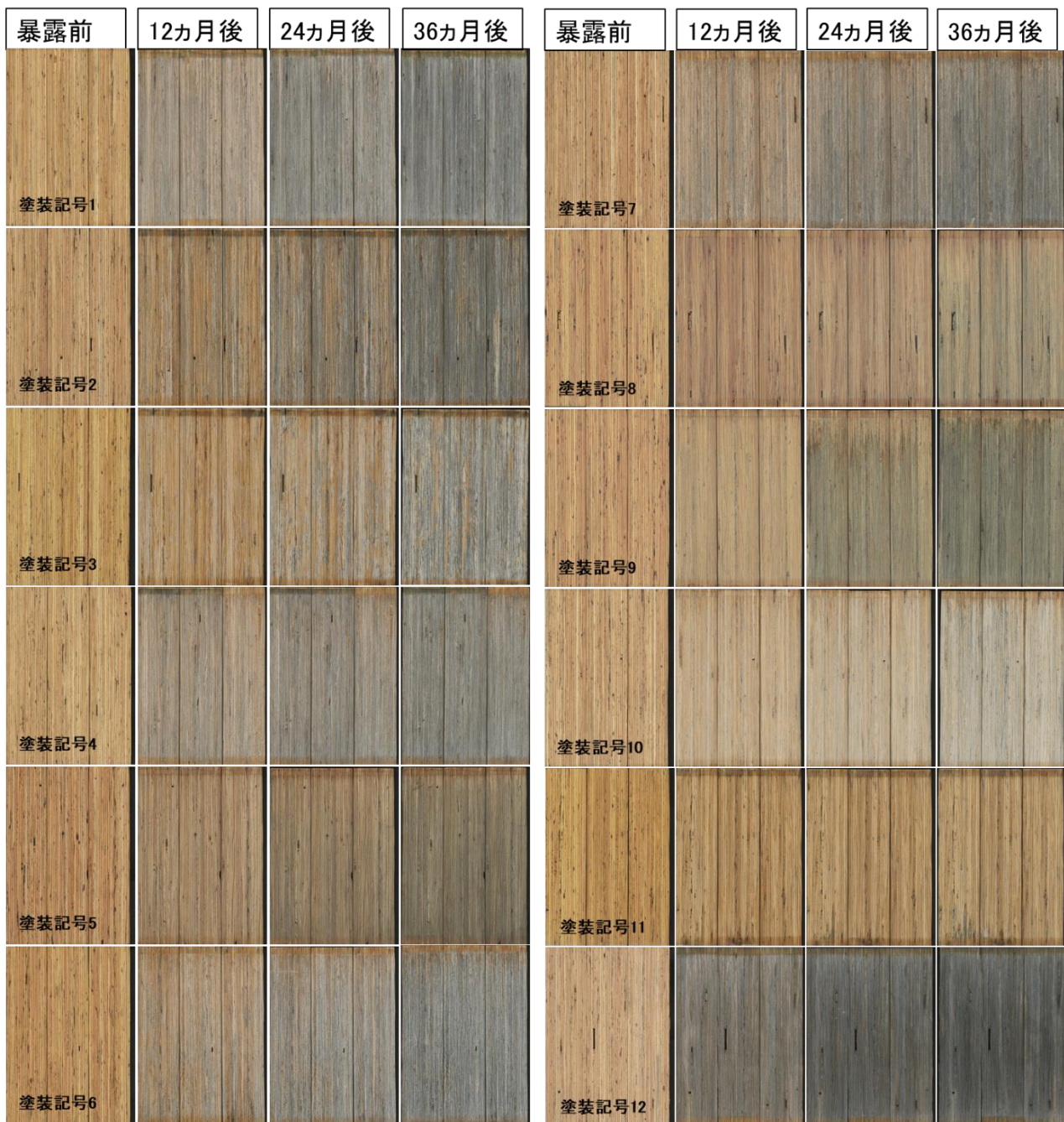


図 3-15 カラマツ LVL の屋外暴露 36 ヲ月間の外觀変化
 暴露面：積層接着面、暴露条件：南向き 90 度

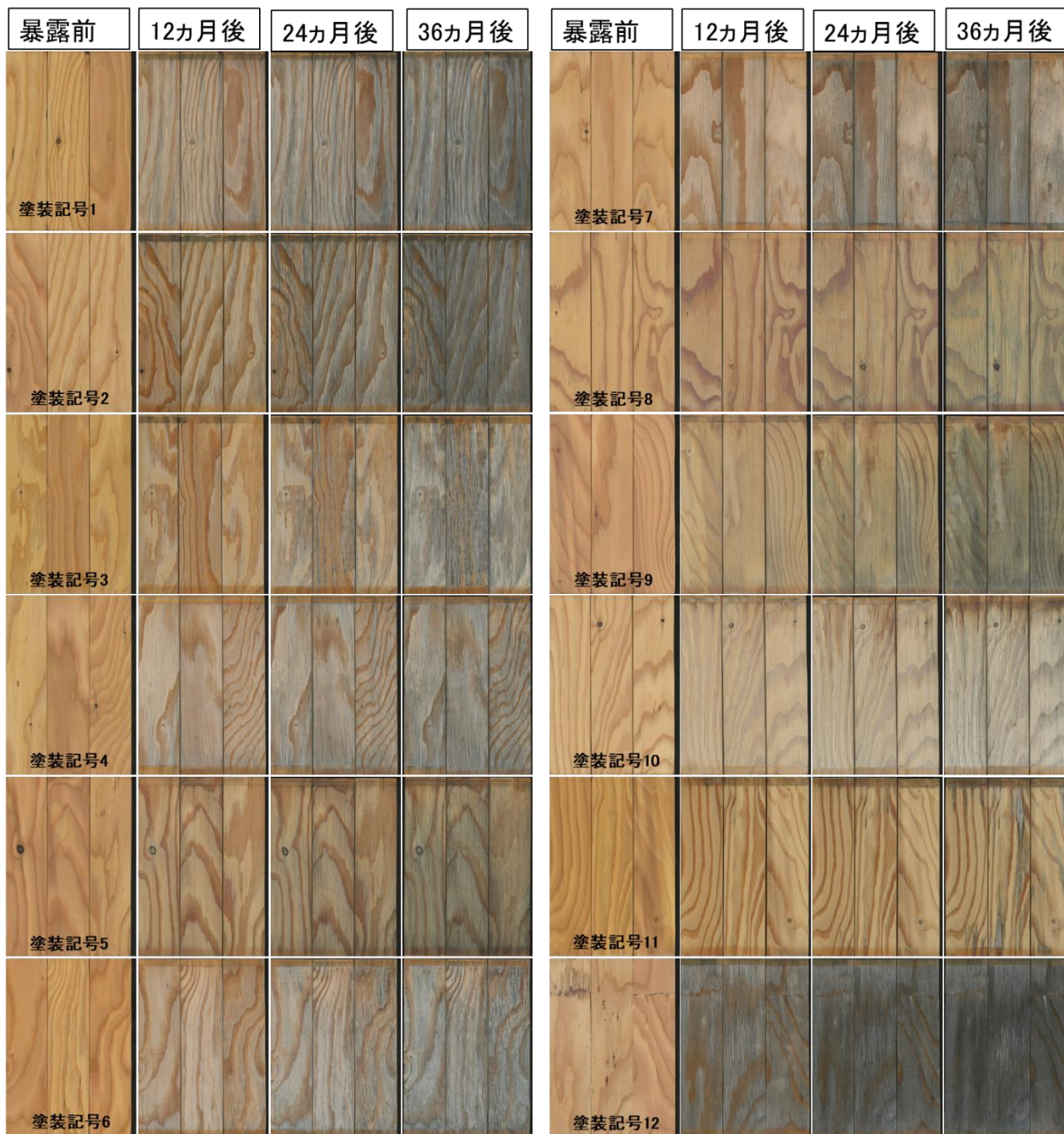


図 3-16 カラマツ LVL の屋外暴露 36 ヲ月間の外觀変化
 暴露面：単板面、暴露条件：南向き 90 度

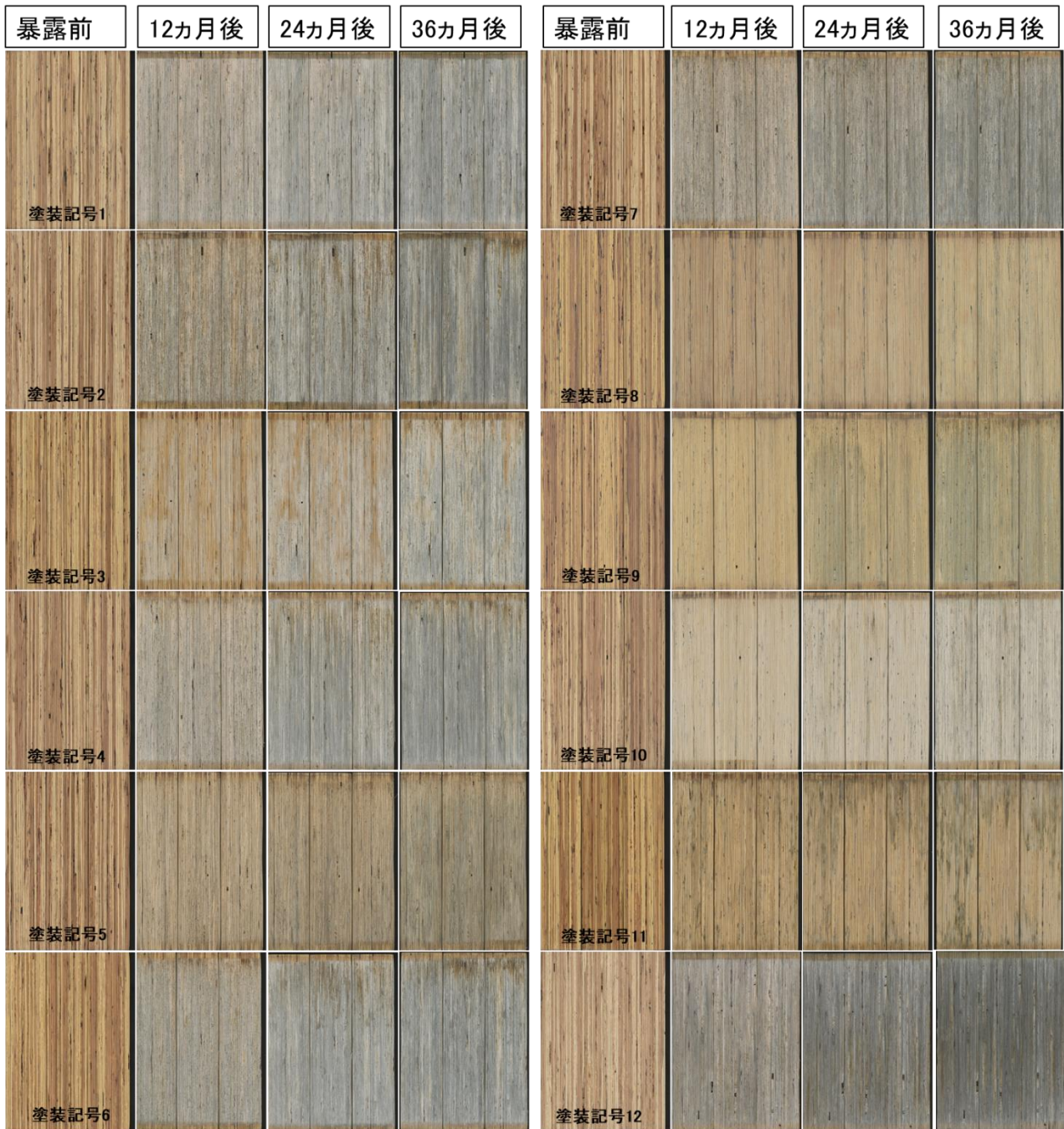


図 3-17 スギ LVL の屋外暴露 36 ヲ月間の外觀変化
 暴露面：積層接着面、暴露条件：南向き 90 度

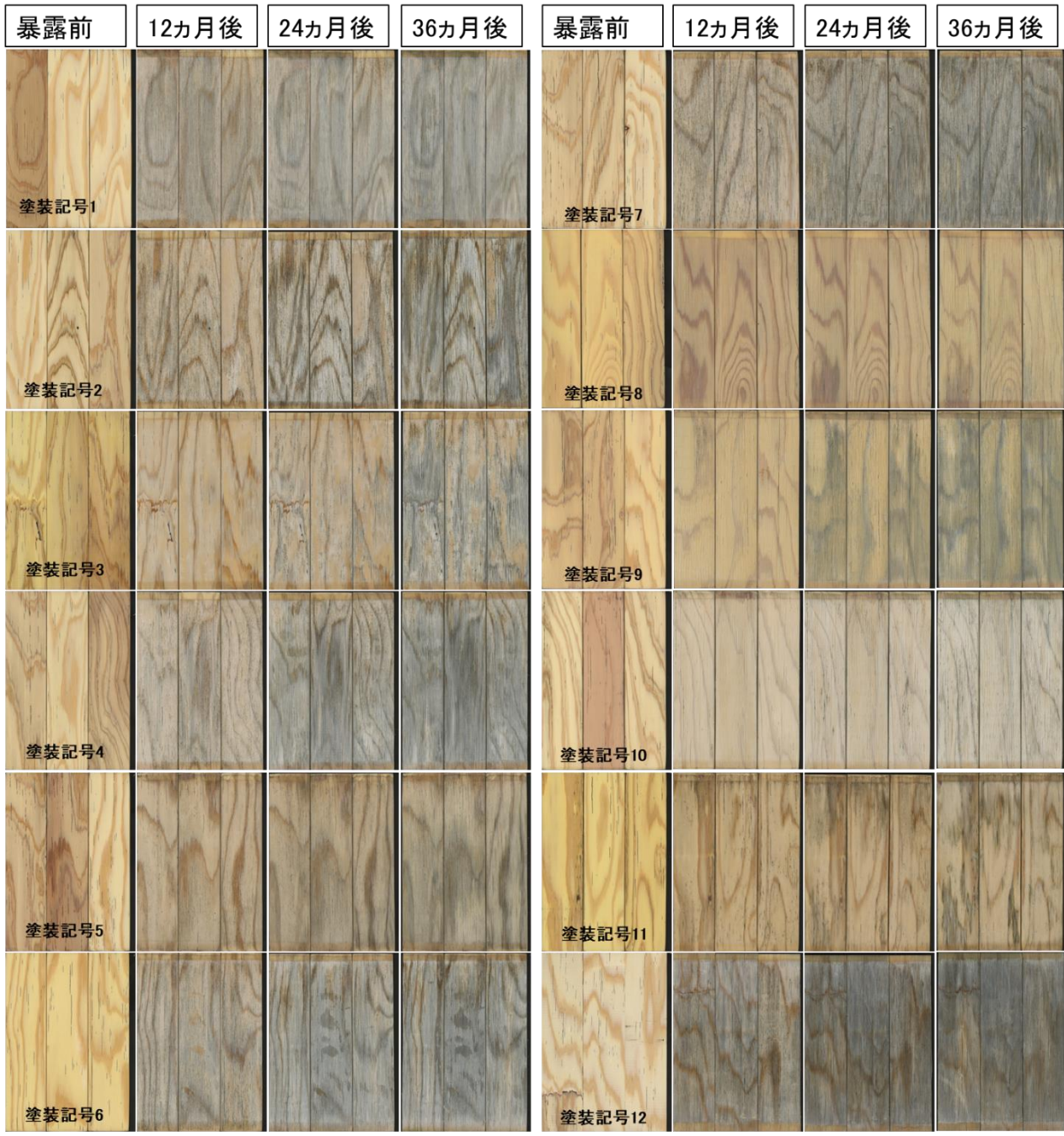


図 3-18 スギ LVL の屋外暴露 36 ヲ月間の外觀変化
 暴露面：単板面、暴露条件：南向き 90 度

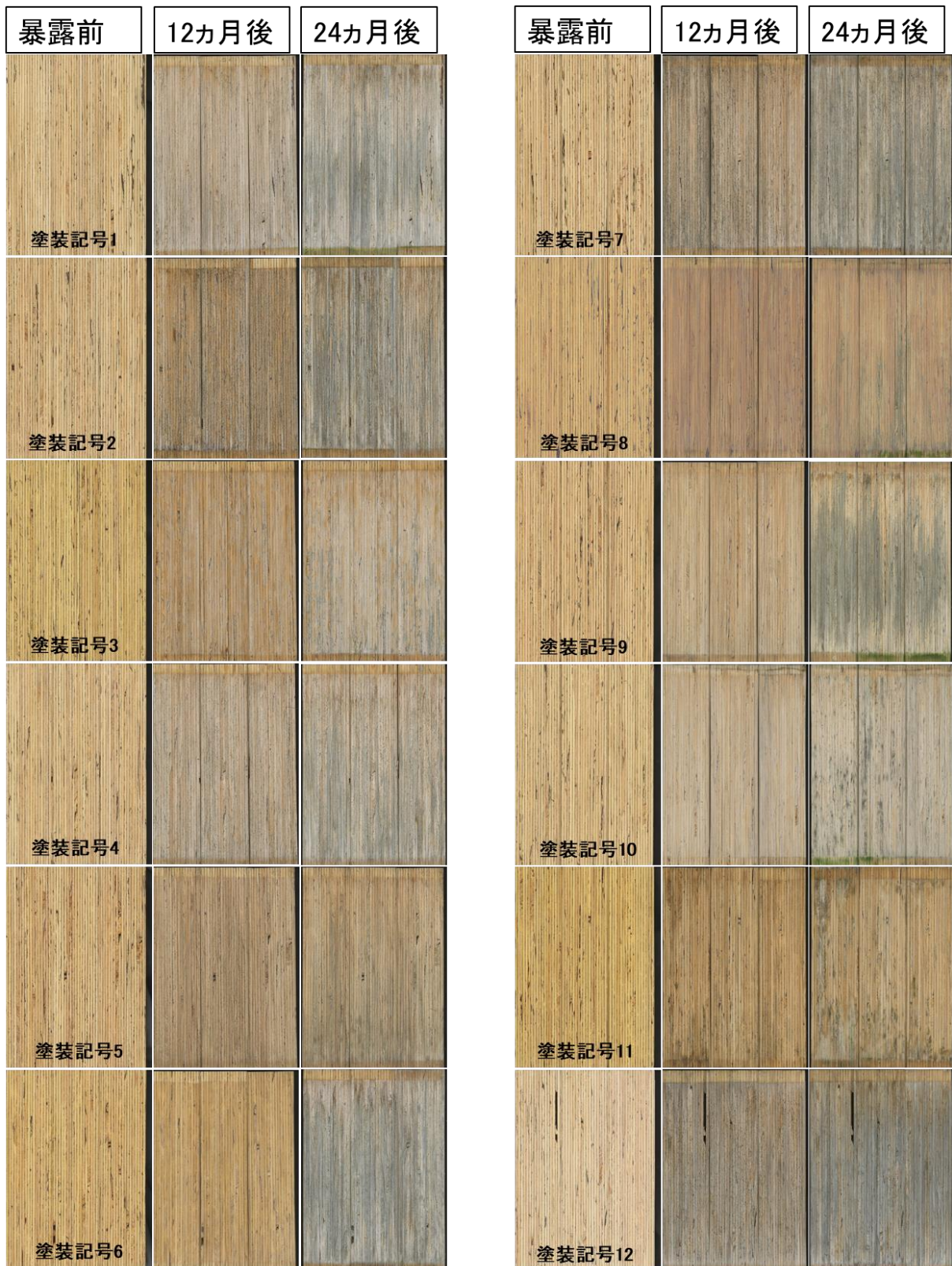


図 3-19 ラジアータパイン LVL の屋外暴露 24 ヶ月間の外観変化
 暴露面：積層接着面、暴露条件：南向き 90 度

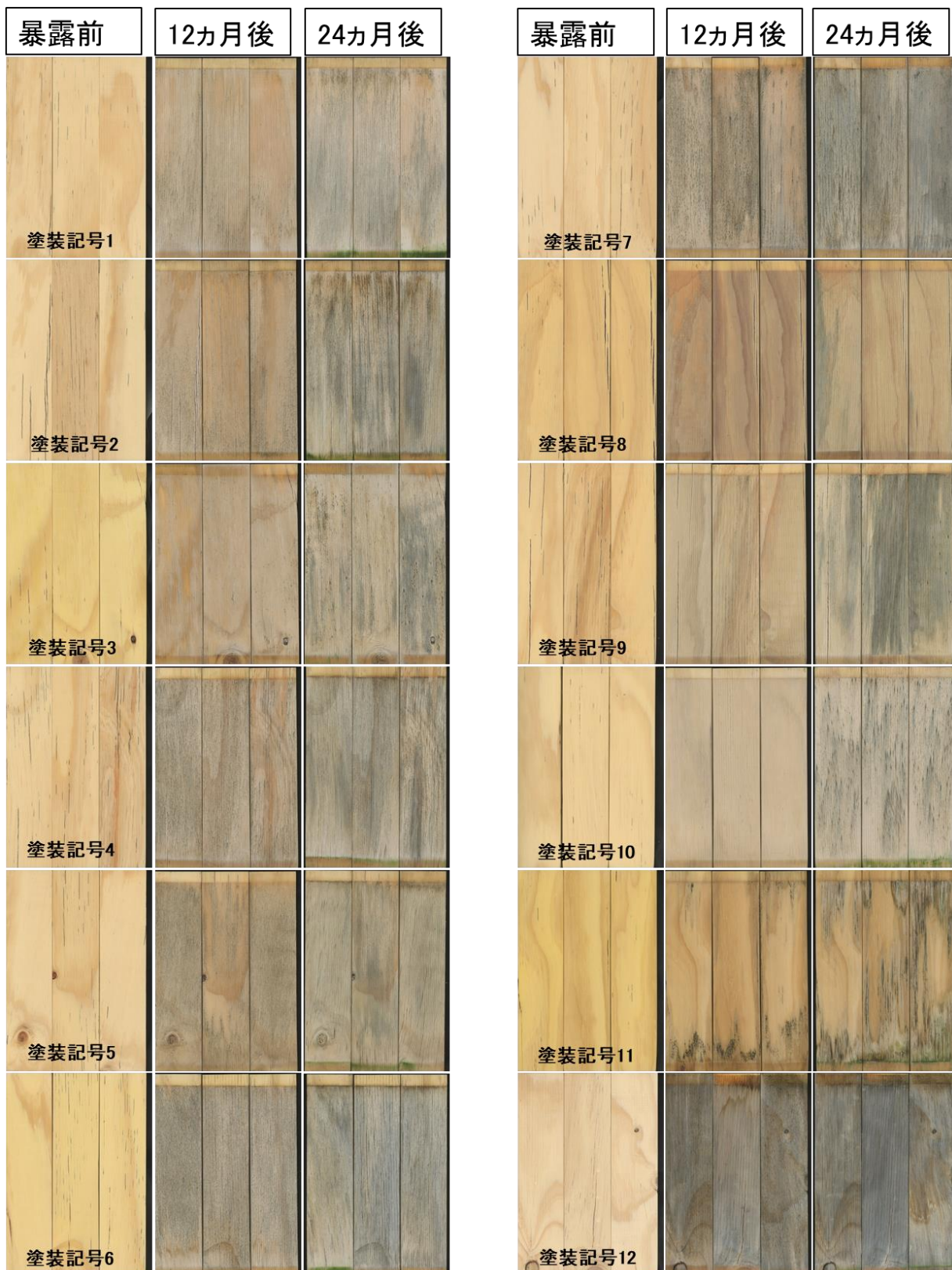


図 3-20 ラジアータパイン LVL の屋外暴露 24 ヲ月間の外觀変化
 暴露面：単板面、暴露条件：南向き 90 度

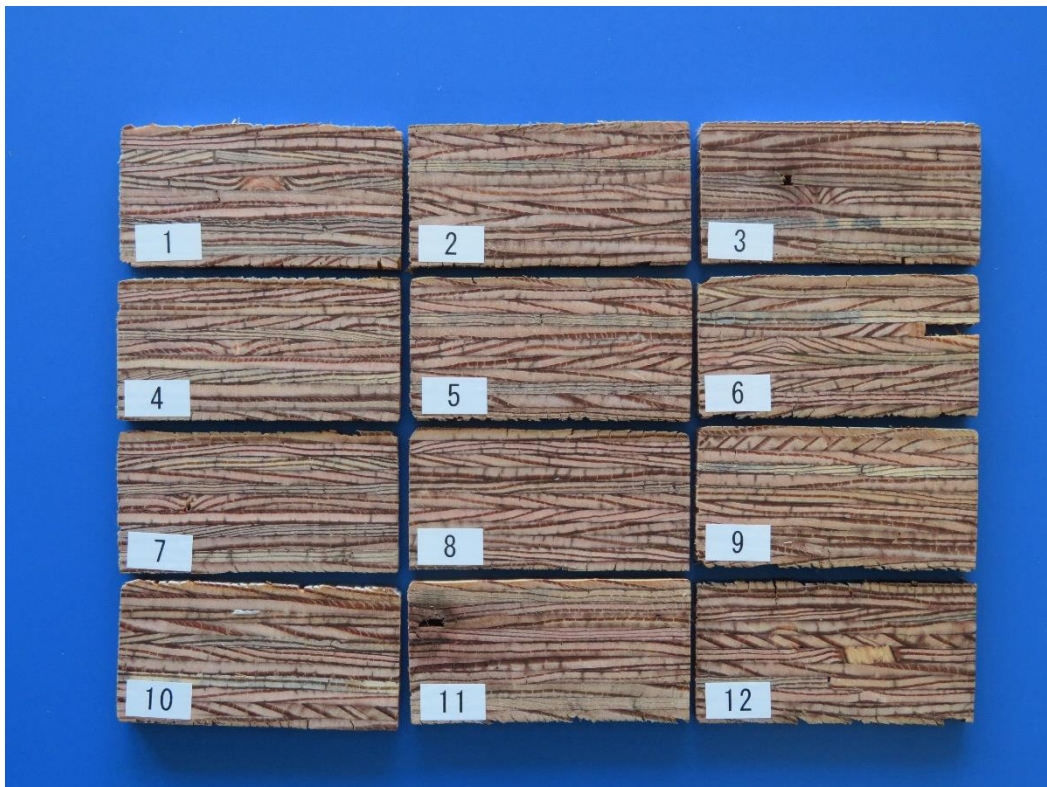
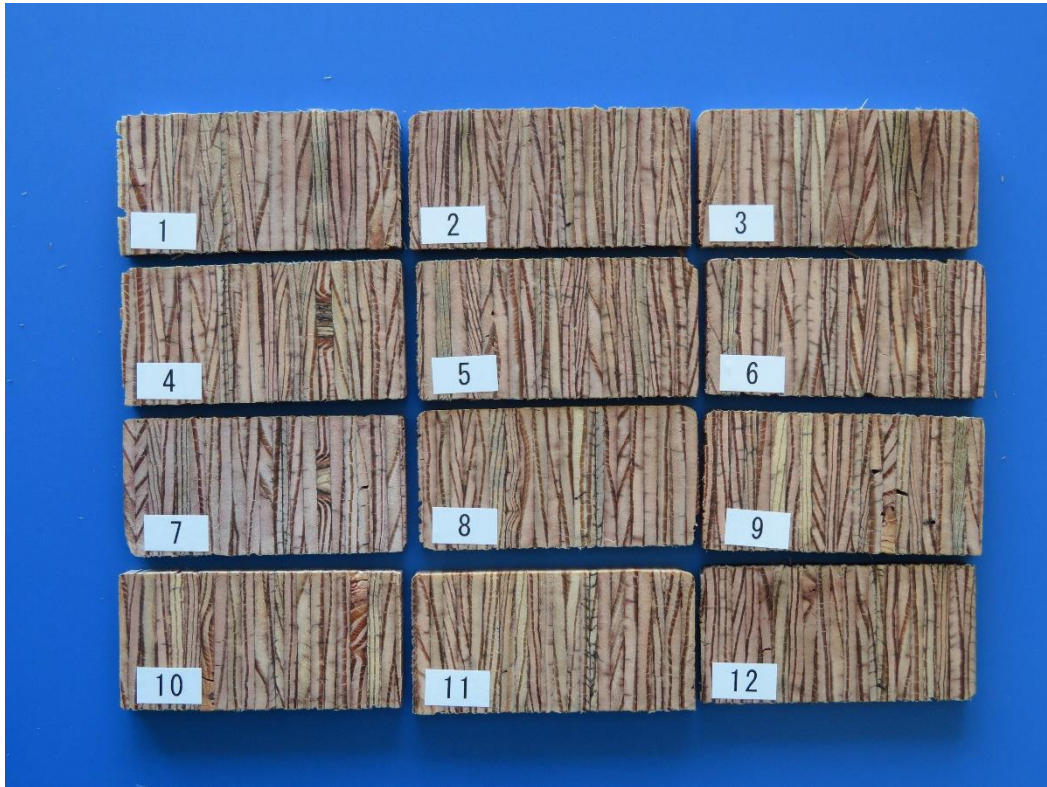


図 3-21 屋外暴露 36 カ月経過後の木口断面の外観
基材：カラマツ LVL 暴露条件：南向き 45 度



図 3-22 屋外暴露 36 ヲ月経過後の木口断面の外観
基材：スギ LVL 暴露条件：南向き 45 度

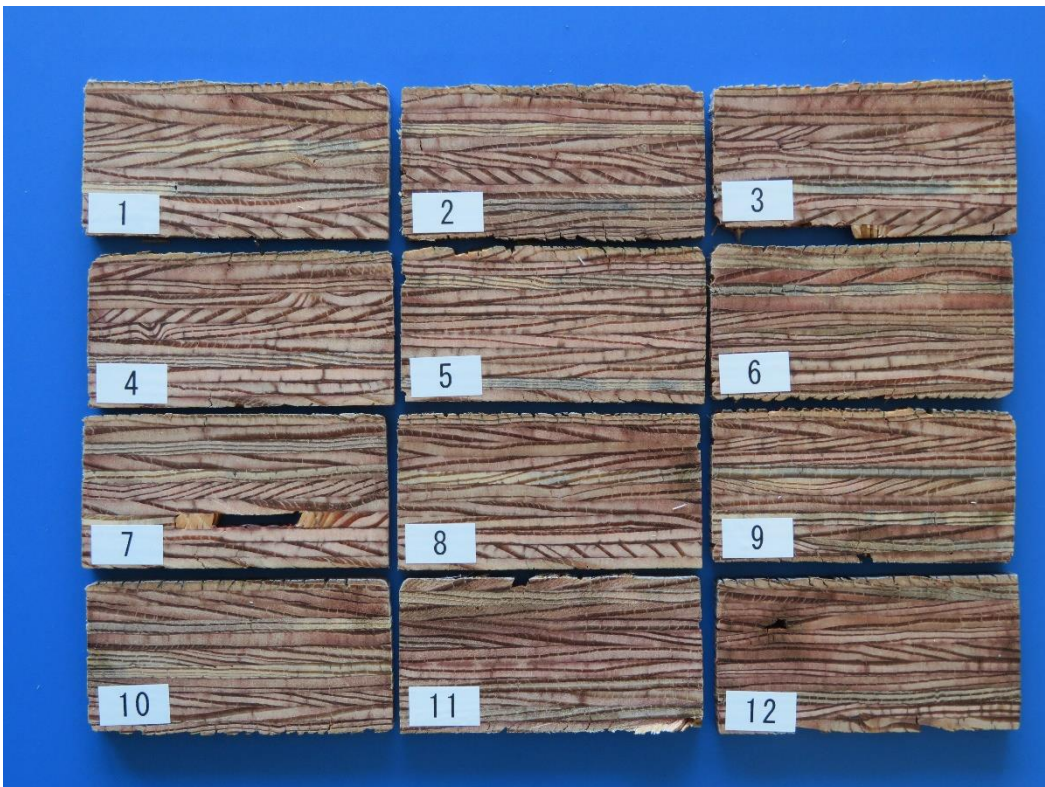
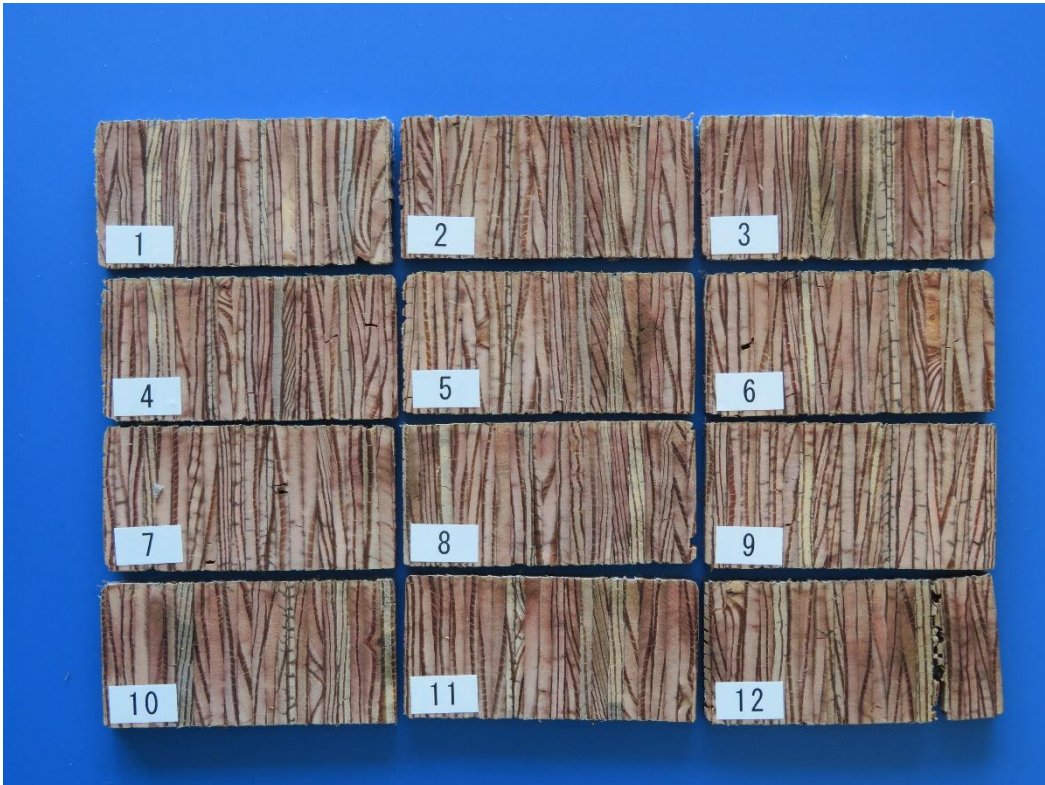


図 3-23 屋外暴露 36 カ月経過後の木口断面の外観
基材：カラマツ LVL 暴露条件：南向き 90 度

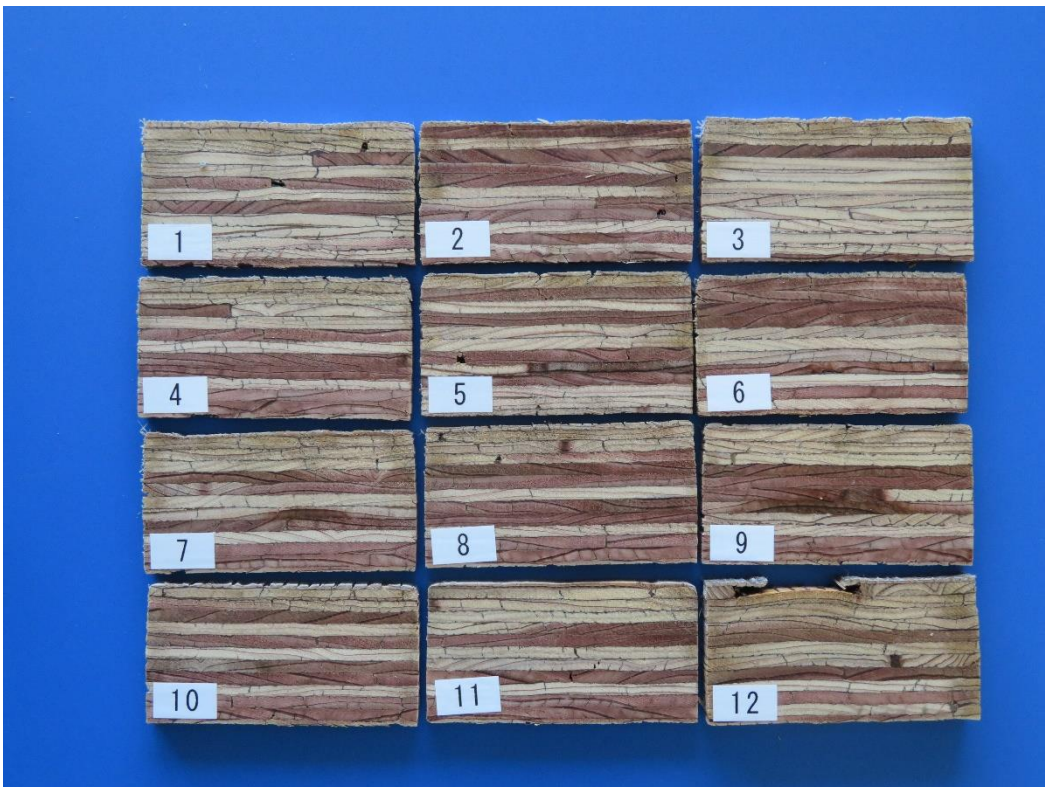
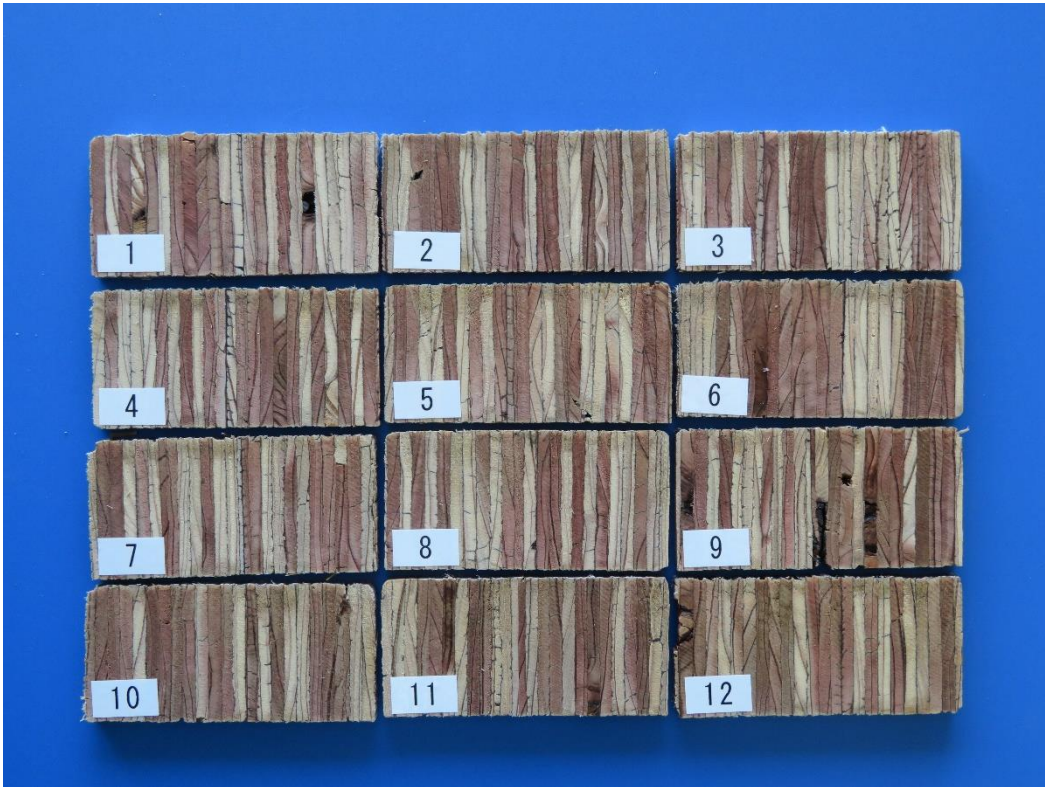


図 3-24 屋外暴露 36 ヲ月経過後の木口断面の外観
基材：スギ LVL 暴露条件：南向き 90 度

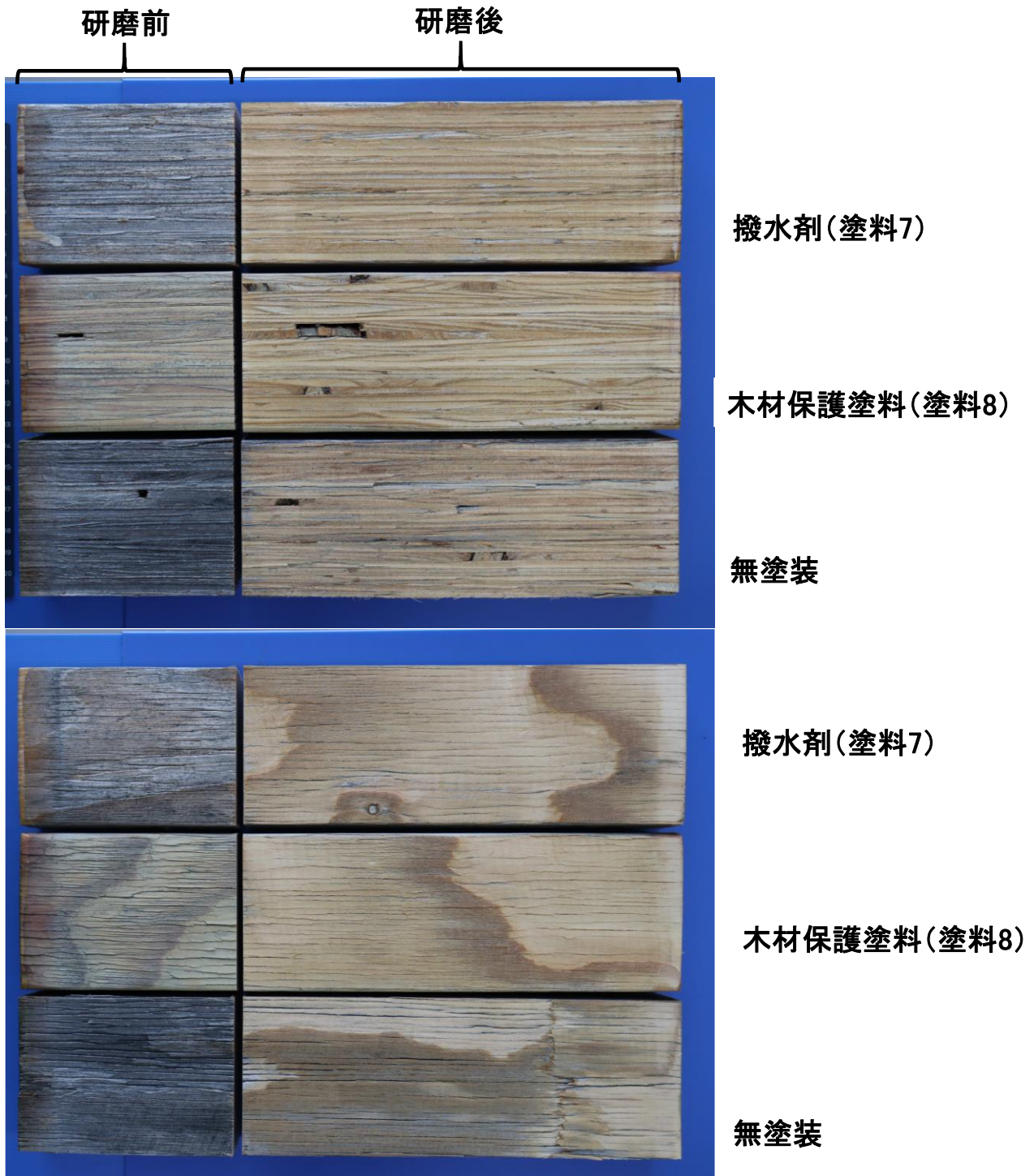


図 3-25 36 ヶ月間屋外暴露した試験体の研磨前後の外観の一例
 (上段：積層接着面暴露、下段：単板面暴露、基材：カラマツ LVL)

4 全体のまとめ

LVLの屋外利用用途拡大に向け、LVLの耐候性能および耐朽性能に関するデータの蓄積を図るために各種暴露試験を実施した。

- ・屋外暴露試験（屋外杭試験）8年間の結果から、木材保護塗料による表面処理は、腐朽の進行を抑制する効果があることを明らかにするとともに、被害度の発生割合の推移を考慮し、再処理などの補修を設置後5年以内実施することが妥当であるとの知見が得られた。
- ・製品寸法のLVLの耐朽性能を把握するため、腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理を検討した。耐候操作後に強制腐朽処理を行うことで、腐朽は進行しやすくなることを明らかにした。
- ・造膜形透明塗料による塗装は、南向き90度の暴露条件で屋外暴露試験7年間を経過しても塗膜の欠陥が発生しない塗装仕様もあることを明らかにした。
- ・撥水剤と含浸形塗料による透明塗装仕上げされたLVLの屋外暴露試験を実施し、撥水剤については、実際の建築物で利用していく際には、防カビ性能を高める工夫が必要であると考えられた。含浸形塗料は撥水剤と比較すると変色抑制効果は高いものの、3年程度で塗り替えが必要な時期に達した。3年経過後の断面を切り出して観察したところ、LVL内部に割れなどの劣化は観察されていなかったため、表層の研磨のみで補修可能であることが分かった。

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
		主査	宮内 輝久
		研究職員	渋井 宏美
技術部	生産技術グループ	専門研究員	平林 靖