

# 〈資 料〉

## 各種接着条件でのAPI接着剤の接着性能

柳川靖夫・増田勝則

3種類の水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（API接着剤）と、4樹種（ヒノキ、スギ、オウシュウアカマツ、スプルス）とを組み合わせ、2プライの積層材を作製した。種々の条件下で引張せん断試験を行い、接着剤および樹種が接着性能に及ぼす影響を調べた。また、ヒノキ精油成分がAPI接着剤の接着性能に及ぼす影響を調べるため、スプルス材の表面にヒノキ精油成分を塗布した後接着して作製した、2プライ積層材の引張せん断試験を行った。加えて、接着時の堆積時間およびラミナの密度が接着性能に及ぼす影響を、ヒノキ5プライ集成材を作製して調べた。引張せん断試験の結果、ヒノキでは、60℃温水浸せき処理後湿潤状態および煮沸処理後湿潤状態で試験を行った場合において、3種類の接着剤の間で接着性能に差が認められた。ヒノキ精油成分による、顕著な接着性能の低下は観察されなかった。ラミナの密度および堆積時間とも、接着性能に影響を及ぼした。

### 1. はじめに

水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（以下API接着剤とする）は、短時間の圧縮で接着強度が発現すること、接着層が目立たないこと、非ホルムアルデヒド系接着剤であること、等の特長を備えている。そのため今後とも幅広く、さまざまな条件で木材接着で使用されると予想されていることから、種々の接着条件下での接着性能を明らかにする必要がある。

そこで既報<sup>1)</sup>では、はくり試験を行いその結果を報告した<sup>1)</sup>。しかし接着性能の検討に際しては、はくり試験のみならず、せん断試験等の強度試験も重要である。そのため本研究では、まず、数種のAPI接着剤と複数の樹種とを組み合わせ作製した2プライ積層材の接着強度を、湿潤状態および気乾状態において、引張せん断試験により調べた。引張せん断試験片の接着面積は小さく、また厚さも薄い。そのため、木材の膨潤や収縮に伴って接着層に発生する応力が小さいと予想され、さまざまな試験条件下で樹種や接着剤が接着性能に及ぼす影響を、明確にすることができると考えられる。

一方既報<sup>1)</sup>では、ヒノキの接着性能が他樹種より劣っていたことが報告された。この一因として、ヒノキ抽出成分の影響が考えられる。抽出成分が接着性能を阻害する例は、多数報告されている（例えば<sup>2)</sup>・<sup>3)</sup>）。ヒノキについては、「接着条件の広い範囲にて容易に接着可能なもの」、とされている<sup>4)</sup>。しかし製造現場では、「スプルスより接着が難しい」とされており、レゾルシノール系樹脂接着剤を使用したヒノキ集成材では、低温時の接着性能がスプルスより劣っていたことも報告されている<sup>5)</sup>。そこで、ヒノキの精油成分が接着性能に及ぼ

す影響を、引張せん断試験により調べた。

さらに、既報<sup>1)</sup>で検討されなかった接着条件として、ラミナ密度および集成材作製時の堆積時間を取り上げ、これら要因が接着性能に及ぼす影響を、ヒノキ5プライ集成材の煮沸はく離試験により調べた。

### 2. 材料および方法

#### 2.1 引張せん断試験

##### 2.1.1 樹種および接着剤の種類と接着性能との関係

表1に、試験体の作製条件を示す。

樹種は、ヒノキ、スギ、オウシュウアカマツ、およびスプルスである。いずれも気乾材で、幅110mm、厚さ10mm、長さ400mmに調製した板材の密度を測定し、密度順に2枚ずつ組み合わせた。接着剤は、3種類のAPI接着剤（以下それぞれAPI-1、API-2およびAPI-3とする）を使用した。これらは、既報<sup>1)</sup>で使用した接着剤と同

表1 樹種および接着剤の種類と接着性能との関係（試験体作製条件）

樹種	ヒノキ	スギ	オウシュウアカマツ	スプルス
接着剤 <sup>a)</sup>	API-1・API-2・API-3			
接着剤塗布量 (g/m <sup>2</sup> )	250 (片面塗布)			
圧縮圧力 (MPa)	1.2	0.7	1.2	1.0
圧縮時間/雰囲気温度	60分/25℃			
試験片の数	12			

(注) a) : API-1~3: 水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤。

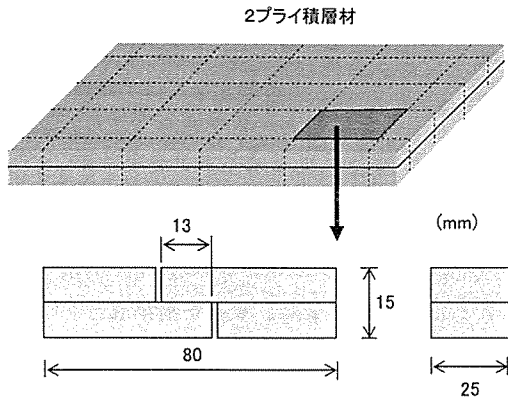


図1 引張せん断試験片の採取とその形状

一の製品であり、いずれも日本工業規格(以下JISとする) K6806(水性高分子-イソシアネート系木材接着剤)の1種1号を満たす構造用接着剤である。API-1およびAPI-2は回転プレスでの集成材製造等で使用され、API-3は、広葉樹集成材の製造等で使用されている。API-3は、他の2つの接着剤よりも長い圧縮時間が必要とされている。

板材を厚さ7.5mmにプレーナで調製後、表1に示す条件で接着し、厚さ15mmの2プライ積層材を、1条件で4体ずつ作製した。養生後、引張せん断試験片を採取した。図1に示すとおり、1体の2プライ積層材から12個ずつの試験片を採取し、それらから無作為に3個ずつを抽出し、4体の2プライ積層材から抽出した計12個を一組とし、これを各条件(4樹種と3接着剤の組み合わせで計12条件)で4組ずつ作製して、引張せん断試験に供した。

試験は、JIS K6851(接着剤の木材引張せん断接着強度試験方法)に準じて行い、以下の4試験条件下で引張せん断強度および木部破断率を測定した。

- ①常態試験(20℃65%RH条件下に放置し、恒量に達した後試験)
- ②耐温水試験(試験片を60℃温水中に3時間浸せきした後、室温水中に冷めるまで浸せきし、濡れたままの状態

で試験)

③煮沸・湿潤試験(試験片を沸騰水中に4時間浸せきした後、室温の水中に1時間浸せき、濡れたままの状態試験)

④煮沸・乾燥試験(試験片を沸騰水中に4時間浸せきした後、室温の水中に1時間浸せきし、70℃の空气中で24時間乾燥する。20℃65%RH条件下に放置し、恒量に達した後試験)

なお、常態試験および煮沸・乾燥試験では、試験終了後に含水率を測定した。

### 2.1.2 ヒノキ精油成分が接着性能に及ぼす影響

表2に、試験体の作製条件を示す。ヒノキ精油成分の影響に限定して調べるため、既報<sup>1)</sup>で比較的安定した接着性能を示したスプルーを使用した。幅110mm、厚さ10mm、長さ400mmに調製したスプルー気乾材を、2枚ずつ密度順に組み合わせ、各試験条件で密度分布がほぼ等しくなるように配分した。ヒノキ精油成分は、ヒノキ材を減圧乾燥した際に溜出したものを使用した。アセトンで希釈し、重量分率で10%および20%のヒノキ精油成分希釈液を調製した。スプルー材を厚さ7.5mmに調製後、刷毛を使用して、これを両接着面に50g/m<sup>2</sup>ずつ塗布した。したがって、10%希釈液では5g/m<sup>2</sup>、20%希釈液では10g/m<sup>2</sup>の、ヒノキ精油成分が塗布されたことになる。塗布前後のスプルー材重量をそれぞれ測定し、アセトンの蒸発を確認した後(約30分後)、接着した。なお、精油成分を塗布しなかったスプルー材には、アセトンのみを同様に50g/m<sup>2</sup>ずつ塗布し、乾燥後接着した。

接着剤は、API-1~API-3およびフェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤(以下PRFとする)を使用した。接着条件は表2のとおりであり、API-1およびAPI-2の圧縮時間を30分としたのは、工場での製造条件を想定したためである。2プライ積層材の作製体数は、API-1およびAPI-2は4体、API-3およびPRFでは2体とした。

表2 ヒノキ精油成分が接着性能に及ぼす影響(試験体作製条件)

樹種	スプルー			
	API-1	API-2	API-3	PRF
接着剤 <sup>a)</sup>	API-1	API-2	API-3	PRF
ヒノキ精油成分塗布量(g/m <sup>2</sup> )	0・5・10	0・5・10	0・10	0・10
接着剤塗布量(g/m <sup>2</sup> )	250(片面塗布)			
圧縮圧力(MPa)	1.0			
圧縮時間/雰囲気温度	30分/25℃		60分/25℃	24時間/25℃
試験片数 <sup>a)</sup>	24	24	12	12

(注) a) : API-1~3 : 表1と同じ。 PRF : フェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤。

養生後、2.1.1と同様にして引張せん断試験片を採取し、試験に供した。ただし、常態試験および煮沸・湿潤試験のみとしたことから、試験片数は、API-1およびAPI-2では24、API-3およびPRFでは12であった。常態試験終了後、試験片の含水率を測定した。

2.2 堆積時間およびラミナ密度と接着性能

幅110mm、厚さ24mm、長さ380mmのヒノキ気乾ラミナを密度により区分し、密度が近接したラミナを5枚ずつ組み合わせ、密度が約0.44 g/cm<sup>3</sup>および約0.49 g/cm<sup>3</sup>の組み合わせを、それぞれ6組ずつ作製した。堆積時間は、接着剤の塗布開始から圧縮操作終了(所定の圧縮圧力に達した時点)までとし、6条件設定した(それぞれ150、240、360、480、600、および720秒)。

接着剤はAPI-1を使用し、プレーナにより厚さ22mmに調製後、接着剤を片面に250 g/m<sup>2</sup>塗布して堆積し、コールドプレスで圧縮した。圧縮圧力は1.2MPa、圧縮時間は45分/28℃とした。養生後、集成材の両側面を切削して幅108mmに加工した後、長さ75mmの試験片を4体ずつ採取した。煮沸はくり試験はJASに準拠して行い、はく離率および最大はく離率(1接着層当たりでの最大のはく離率)を算出した。

3. 結果と考察

3.1 引張せん断試験の結果(1)

3.1.1 接着剤別の引張せん断強度

図2に、引張せん断強度を示す。表3には、各樹種および各試験条件での、接着剤間の分散分析の結果を示す。また表4には、常態試験での引張せん断強度の平均値に対する、他の3試験での引張せん断強度の平均値の割合を示す。

分散分析の結果、オウシュウアカマツでは、すべての試験で接着剤間に有意な差が認められた。これは接着剤に起因するのではなく、試験材強度のバラツキが原因であると推測される。

耐温水試験では、ヒノキおよびオウシュウアカマツにおいて、接着剤間の引張せん断強度に、5%の水準で有意な差が認められた。ヒノキでの引張せん断強度の平均値は、API-2>API-3>API-1、の順であり、常態試験での平均値と比較して、API-1で69%、API-2で80%、API-3で71%に、それぞれ低下した。

煮沸・湿潤試験では、ヒノキは1%水準の危険率で、オウシュウアカマツは0.1%水準の危険率で、それぞれ接着剤間で有意な差が認められた。ヒノキ、オウシュウ

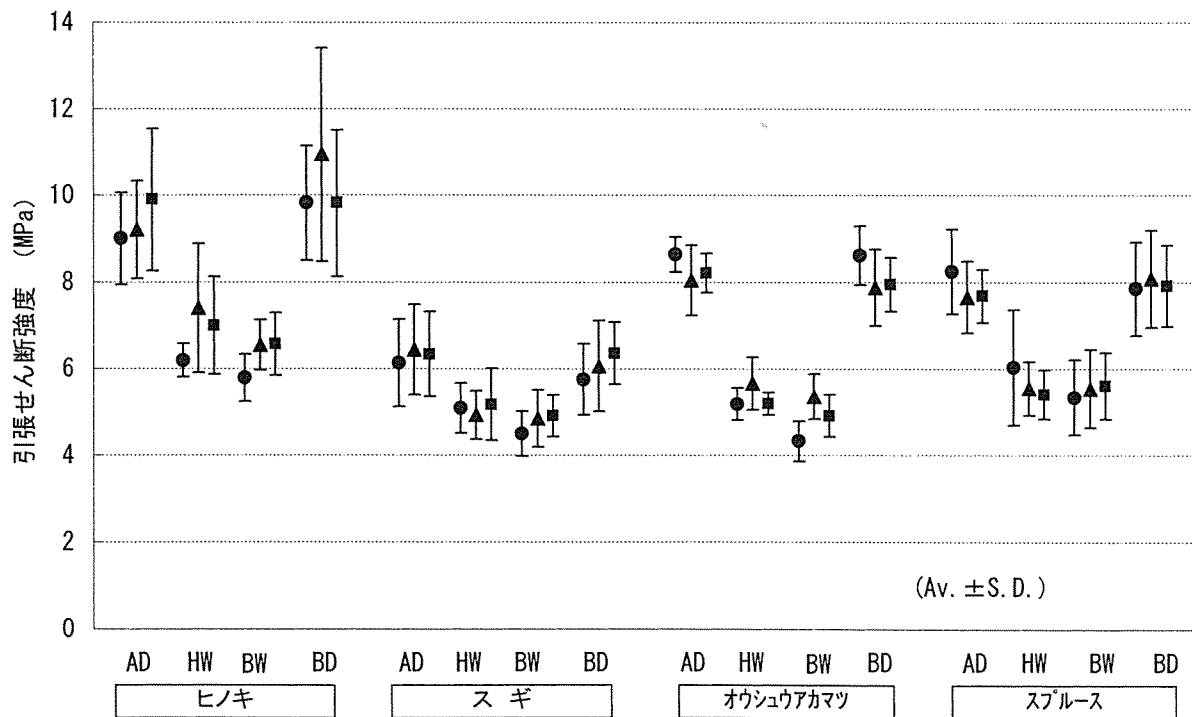


図2 引張せん断試験の結果(1) 樹種別・試験条件別・接着剤別の引張せん断強度

(注) ●: API-1 ▲: API-2 ■: API-3 AD: 常態試験 HW: 耐温水試験  
 BW: 煮沸・湿潤試験 BD: 煮沸・乾燥試験

表3 引張せん断強度の接着剤間の分散分析の結果

常態試験			
ヒノキ	スギ	オウシュウアカマツ	スプルス
—	—	5%	—
耐温水試験			
ヒノキ	スギ	オウシュウアカマツ	スプルス
5%	—	5%	—
煮沸・湿潤試験			
ヒノキ	スギ	オウシュウアカマツ	スプルス
1%	—	0.1%	—
煮沸・乾燥試験			
ヒノキ	スギ	オウシュウアカマツ	スプルス
—	—	5%	—

注：数字は有意水準を示す。—は有意差無し。

表4 常態試験の引張せん断強度に対する各試験の引張せん断強度の割合 (単位：%)

樹種	接着剤 <sup>a)</sup>	耐温水試験	煮沸・湿潤試験	煮沸・乾燥試験
ヒノキ	API-1	69	64	104
	API-2	80	71	119
	API-3	71	66	99
スギ	API-1	83	73	94
	API-2	77	75	94
	API-3	82	77	100
オウシュウアカマツ	PI-1	60	50	100
	API-2	71	67	98
	API-3	63	60	97
スプルス	API-1	73	65	
	API-2	73	72	106
	API-3	70	73	103

(注) いずれも平均値で比較した。 a)：表1と同じ。

アカマツとも、耐温水試験に比較して、接着剤間の差はより大きくなった。ヒノキにおける引張せん断強度の平均値は、API-3>API-2>API-1、の順であり、常態試験の平均値に比較して、API-1で64%、API-2で71%、API-3で66%に、それぞれ低下した。またオウシュウアカマツの引張せん断強度の平均値は、API-2>API-3>API-1の順であり、常態試験の平均値に比較して、API-1で50%、API-2で67%、API-3で60%に、それぞれ低下した。このように、API-1の接着性能は、耐温水試験および煮沸・湿潤試験において、他よりも劣っていた。これは、はく離試験の結果<sup>1)</sup>とも一致している。

なお煮沸・乾燥試験では、いずれの樹種でも、常態試

験で得られた数値に近い値を示した。しかしばらつきは、常態試験より大きくなる傾向であった。接着剤間の差は、オウシュウアカマツにおいて5%水準で認められたのを除き、他樹種では認められなかった。

常態試験での試験片の平均含水率は13~14%であり、同じく煮沸・乾燥試験では11~12%であった。

### 3.1.2 樹種別の引張せん断強度

常態試験での引張せん断強度は、ヒノキ>オウシュウアカマツ>スプルス>スギの順であり、これは、JASの樹種区分とも対応している。

常態試験でのオウシュウアカマツの引張せん断強度は、スプルスと同等以上であるものの、耐温水試験および煮沸・湿潤試験ではスプルス以下となり、スギに近い値まで低下している。

スギは、常態試験での引張せん断強度は多樹種より低かった。しかし表4に示すとおり、煮沸・湿潤試験においては、引張せん断強度の平均値は常態の70%以上の値を示し、湿潤状態で引張せん断強度が低下する割合は、他樹種よりも小さかった。

ヒノキとスプルスは、湿潤状態で引張せん断強度が低下する割合は、同じ程度であった。

### 3.1.3 木部破断率

図3に、樹種別、試験条件別および接着剤別に木部破断率を示す。表5には、常態試験の平均値を基準とした場合の、他の試験で得られた平均値の割合を示した。

常態試験での木部破断率の平均値は、いずれもほぼ100%であり、接着剤間で差は認められなかった。

耐温水試験において、各樹種の木部破断率の平均値を接着剤間で比較すると、ヒノキではAPI-2>API-1およびAPI-3>API-1、スギではAPI-3>API-1、オウシュウアカマツではAPI-3>API-1およびAPI-2>API-1、スプルスではAPI-3>API-1であり、いずれも5%水準で差が認められた。また図3に示すように、API-1の木部破断率のバラツキは、他の接着剤より大きい傾向であった。

煮沸・湿潤試験において、各樹種の木部破断率の平均値を接着剤間で比較すると、ヒノキではAPI-3>API-1であり、スギではAPI-2>API-1およびAPI-3>API-1であった。オウシュウアカマツではAPI-2>API-1およびAPI-3>API-1であり、スプルスではAPI-2>API-1であった。いずれも5%水準で差が認められた。またAPI-1の木部破断率のバラツキは、他の接着剤より大きい傾向であった。

煮沸・乾燥試験では、木部破断率は各樹種とも100%に近い値を示し、接着剤間での差は認められなかった。

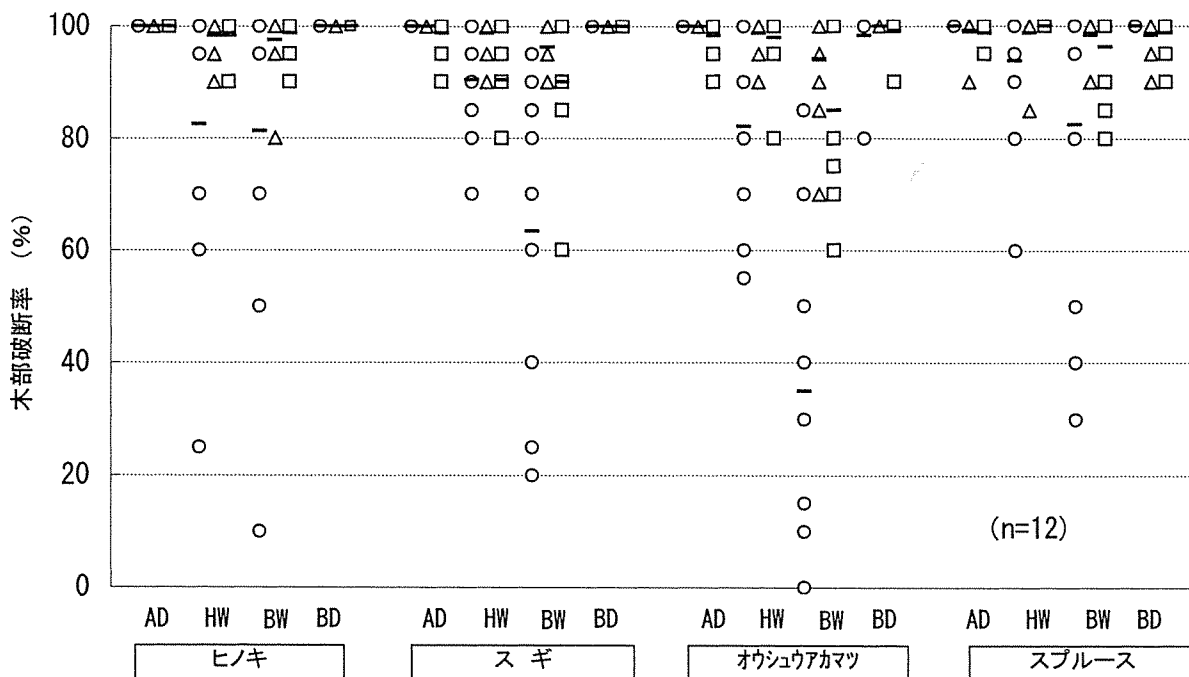


図3 引張せん断試験の結果(2) 樹種別・試験条件別・接着剤別の木部破断率

(注) ○：API-1 △：API-2 □：API-3 ー：平均値 AD、HW、BW、BD：図2と同じ

表5 常態試験の木部破断率に対する各試験の木部破断率の割合 (単位：%)

樹種	接着剤 <sup>a)</sup>	耐温水試験	煮沸・湿潤試験	煮沸・乾燥試験
ヒノキ	API-1	83	81	100
	API-2	98	98	100
	API-3	98	99	100
スギ	API-1	90	63	100
	API-2	99	96	100
	API-3	98	91	101
オウシュウアカマツ	API-1	82	35	98
	API-2	99	94	100
	API-3	100	86	101
スプルース	API-1	94	83	100
	API-2	100	99	99
	API-3	101	97	100

(注) いずれも平均値で比較した。 a)：表1と同じ。

表5より、木部破断率の低下が大きかった組み合わせは、煮沸・湿潤試験におけるAPI-1-オウシュウアカマツであり、常態試験の35%まで低下した。次いで煮沸・湿潤試験でのスギ-API-1の63%であった。その他の組み合わせでは、すべて常態試験の80%以上であった。しかし、それらの組み合わせでも、耐温水試験および煮沸・湿潤試験では、木部破断率が低い試験片が出現した。

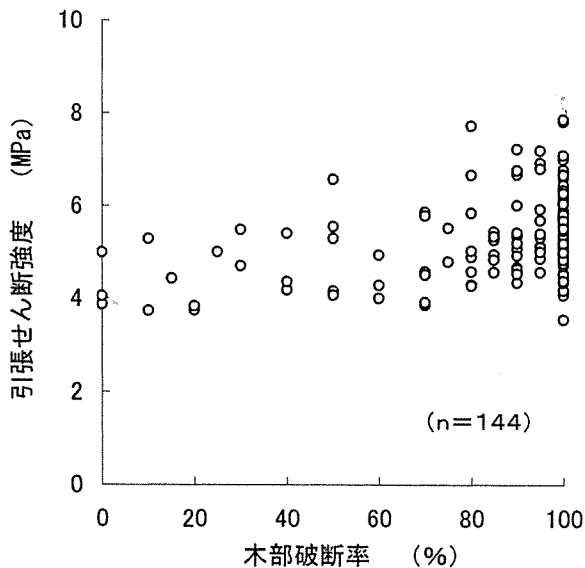


図4 煮沸・湿潤試験での木部破断率と引張せん断強度との関係

### 3.1.4 引張せん断強度と木部破断率との関係

煮沸・湿潤試験での、すべての試験片の引張せん断強度と木部破断率との関係を図4に示す。

木部破断率とせん断強度との間に、相関は認められなかった。木部破断率が低い試験片は、高い引張せん断強度を示すことはなく、また著しく低い引張せん断強度を示すこともなかった。

3.2 引張せん断試験の結果 (2)

ヒノキ精油成分が接着性能に及ぼす影響

図5に引張せん断強度を、図6に木部破断率を示す。  
常態試験および煮沸・湿潤試験とも、いずれの接着剤でも、ヒノキ精油成分を塗布してもせん断強度は低下しなかった。

木部破断率の平均値については、常態試験および煮沸・湿潤試験とも、いずれの接着剤でも、ヒノキ精油成分の塗布の有無による有意な差は認められなかった。煮沸・湿潤試験での木部破断率のバラツキは、いずれも常態試験より大きくなった。しかし木部破断率が最も低い試験片でも、70%以上の数値を示した。また煮沸・湿潤試験における木部破断率のバラツキは、ヒノキ精油成分の塗布・無塗布にかかわらず観察された。これらより、ヒノキ精油成分がAPI接着剤の接着性能に及ぼす影響は、小さいと考えられる。なお常態試験での試験片の平均含水率は、いずれも12%であった。

3.3 ラミナ密度および堆積時間と接着性能

表6に、煮沸はくり試験の結果を示す。また表7には、密度別、堆積時間別および接着層別の、はくり発生状況を示す。

はくり率および最大はくり率の平均値は、150秒が最も低かった。240秒以後、堆積時間が長くなっても顕著

表6 堆積時間とはくり率との関係 (1) (全試験片)

堆積時間(秒)	150	240	360	480	600	720
はくり率 最大値 (%)	13	22	13	19	14	11
はくり率 平均値 (%)	3	9	7	6	8	6
はくり率 最小値 (%)	0	1	0	0	4	2
最大はくり率 最大値 (%)	39	78	44	70	60	57
最大はくり率 平均値 (%)	12	34	25	26	35	26
最大はくり率 最小値 (%)	0	4	3	0	17	9

な増加は認められなかった。一方、JASの基準を満たした試験片は、堆積時間が150秒では6体であり、堆積時間が480秒までは3~4体で推移し、更に堆積時間が長くなると少なくなった。

表7より、JASの基準を満たした試験片19体のうち、密度が高い集成材から採取したものは3体のみであり、低密度の試験片の接着性能の方が優れていた。また接着層別にはくりの発生状況を観察すると、本試験では、特定のラミナがはくりに関与したと推測される場合が認められた。表7中、塗りつぶした接着層がその組み合わせを示す。これらの、1接着層のはくり長さ、もしくは隣接した2接着層の合計はくり長さは、いずれも全試験片の合計はくり長さに占める割合が高かった。例えば堆積

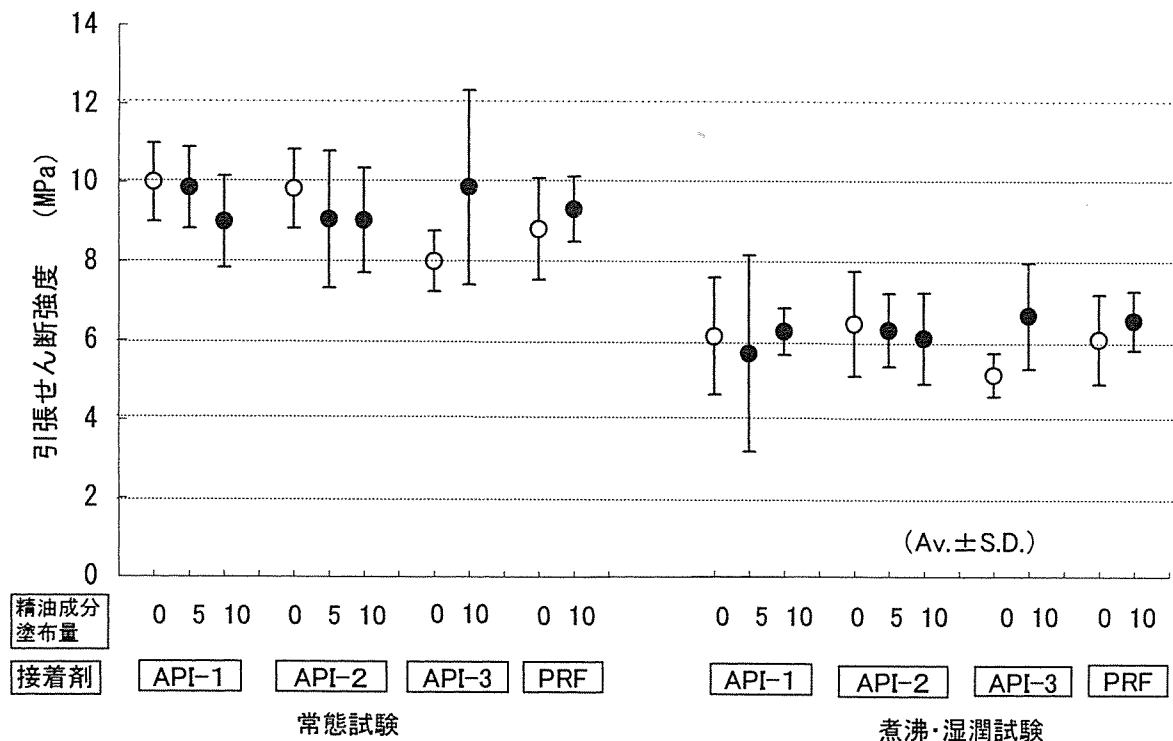


図5 ヒノキ精油成分が接着性能に及ぼす影響 (1) 引張せん断強度

(注) ○、●：平均値、バーは標準偏差  
精油成分塗布量 0：無塗布、5：5 g/m²、10：10 g/m²  
API-1~API-3、PRF：表2と同じ。

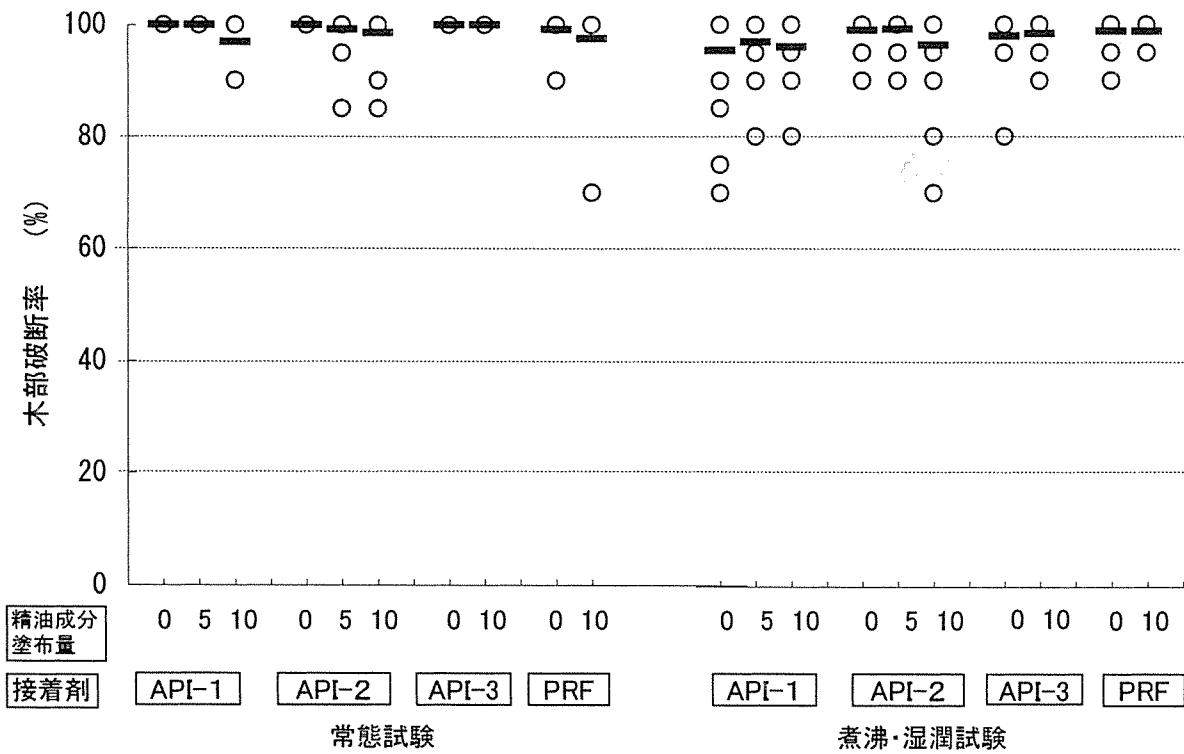


図6 ヒノキ精油成分が接着性能に及ぼす影響(2) 木部破断率

(注) ○:測定値 -:平均値 API-1およびAPI-2:n=24、API-3およびPRF:n=12

表7 堆積時間とはくり率との関係(2) (密度別・接着層別のはくり)

堆積時間(秒)	150		240		360		480		600		720		
密度区分	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	低	高	
試験片数 <sup>a)</sup>	4(4)	4(2)	4(3)	4(0)	4(3)	4(0)	4(4)	4(0)	4(1)	4(0)	4(1)	4(1)	
密度 平均値(g/cm <sup>3</sup> )	0.44	0.49	0.45	0.49	0.44	0.49	0.45	0.49	0.45	0.49	0.45	0.49	
はくり長さ合計(mm)	41	249	157	497	110	365	80	527	333	440	141	273	
各接着層ではくり	① <sup>b)</sup>	17	32	24	4	85	0	0	4	39	15	51	9
長さが全はくり長さ(%)	②	42	52	3	45	0	20	0	76	25	80	40	41
に占める割合	③	12	14	0	49	0	66	25	20	13	5	3	25
	④	29	2	73	2	15	14	75	0	24	0	6	25

(注) a) : ( )内はJASの基準を満たした試験片の数に起因すると推測されるはくり。

b) : ①~④:接着層番号。塗りつぶしは、特定のラミ

時間240秒の高密度集成材では、94%のはくりが2層目と3層目の接着層で発生した。これは、これら接着層にはさまれる、3層目ラミナの影響と考えられる。はくりにはくり影響が大きかったラミナを観察すると、他のラミナと比較して、晩材の幅が広い傾向であった。晩材では、接着強度が低下することが報告されている<sup>6)</sup>。そのためはくり試験でも、晩材がはくりの発生に影響を及ぼしていることが推測される。

#### 4. おわりに

API接着剤は組成により接着性能の差が大きく、使用にあたっては種類を適切に選択する必要がある。またラミナの材質によっては、はくりが発生するおそれが高くなるため、相対的に密度の高いラミナを使用する場合や、あるいは晩材と早材との区分が明瞭な樹種などは、接着条件の設定や接着剤の選択に注意を払う必要がある。

本研究の遂行に当たり、御指導いただいた鳥取大学名

誉教授・作野友康先生に深甚の謝意を表すとともに、接着剤を提供していただいた接着剤メーカー各社に対し謝意を表します。

### 引用文献

- 1) 増田勝則, 柳川靖夫: 水性高分子イソシアネート系接着剤で接着したヒノキ集成材の接着はく離試験における接着性能. 奈良県森林技術センター研究報告. 34, 91-96 (2005)
- 2) 今村博之他 5 名: カプル材の抽出成分が接着性および塗装性に及ぼす影響について. 林業試験場研究報告. 232, 65-96 (1970)
- 3) Chung-Yun Hse ; Mo-lin Kuo : Influence of extractives on wood gluing and finishing—a review. Forest Products Journal. 38(1), 52-56 (1988)
- 4) 堀岡邦典: 材質改良に関する研究 (第 6 報) 接着に関与する木材の性質. 林業試験場研究報告. 89, 105-150 (1956)
- 5) 柳川靖夫: 冬期 (低温時) のヒノキの接着性能. 奈良県林業試験場木材加工資料. 21, 19-21 (1992)
- 6) 池上皓造: 規格から見た接着試験法. 接着の技術. 24(2), 1-15 (2004)

(2005年12月16日受理)