

# アセチル化木材を使用した集成材の接着性能と寸法変化

誌名	奈良県森林技術センター研究報告
ISSN	13459864
著者名	柳川,靖夫 民谷,浩二
発行元	奈良県森林技術センター
巻/号	41号
掲載ページ	p. 59-67
発行年月	2012年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## アセチル化木材を使用した集成材の接着性能と寸法変化

柳川靖夫・民谷浩二\*

アセチル化処理されたラジアタパイン材（アセチル化木材）のみを使用した集成材、およびアセチル化木材とスギ材もしくはヒノキ材（無処理木材）とを混用した集成材を作製するための製造条件とそれら集成材の性能、および集成材の含水率と寸法変化との関係を調べた。接着剤塗布量を増加させることにより、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤および1液型ポリウレタン接着剤は高い接着耐久性を示した。アセチル化木材を使用した集成材の寸法変化を、各種はく離試験の実施時に湿潤状態および乾燥状態で調べた結果、無処理木材を使用した集成材よりも低い寸法変化率を示し、このことは厚さ方向（半径方向）よりも幅方向（接線方向）において明確であった。アセチル化木材と無処理木材とを使用した集成材（混用集成材）の減圧加圧はく離試験の結果、アセチル化木材と無処理木材との間の接着に問題は認められなかった。混用集成材の寸法変化を減圧加圧はく離試験および20℃室温中でのデシケーターによる調湿試験で調べた結果、無処理木材をヒノキ材目材とすることによりアセチル化木材と無処理木材との間の寸法変化の差は減少し、アセチル化木材と無処理木材との混用に際しては、無処理材の木理に配慮して積層することにより、同一方向における部位別の寸法変化の差を減少させ得ることが示唆された。

### 1. はじめに

木材のアセチル化は以前から研究されているものの<sup>1)</sup>、実用化例は少ない<sup>2)</sup>。しかし、近年ラジアタパインをアセチル化処理した木材（以下「アセチル化木材」とする）が開発され、国外では屋外用途に使用されている。国内においても、集成材に加工して木製サッシに使用することが検討されている。そこで、アセチル化木材を使用した集成材の製造条件およびそれら集成材の性質を明らかにする必要がある。アセチル化木材の製造や性質に関する研究は多く<sup>3)5)</sup>、接着性能も報告<sup>6)</sup>されているものの、集成材製造に使用される接着剤を使用した研究は報告されていない。そこで、アセチル化木材を使用した集成材（以下「アセチル化集成材」とする）を集成材用の市販接着剤で作製して、各種はく離試験およびブロックせん断試験により接着性能を調べた。また、各種はく離試験の実施時に試験体寸法を湿潤時および乾燥時で測定し、アセチル化集成材の寸法変化について調べた。

外観を重視する木製サッシでは、スギ材あるいはヒノキ材（以下両材を総称して「無処理材」とする）を室内側に使用し、室外側にはアセチル化木材を使用することも考えられる。この場合、アセチル化木材と無処理材との間の接着耐久性および寸法変化の差が問題

となる。そこで、アセチル化木材と無処理材とを接着して集成材（以下「混用集成材」とする）を作製し、減圧加圧はく離試験により接着耐久性を調べた。また、はく離試験時に試験片の寸法変化を調べた。更に、混用集成材を20℃雰囲気中で種々の相対湿度に設定したデシケーター中で順次調湿し、各調湿状態での寸法変化を調べた。

### 2. 材料および方法

#### 2.1 試験片の作製

##### 2.1.1 アセチル化集成材

表1にアセチル化集成材の作製条件を示す。なお、アセチル化集成材を使用した試験を以後「試験1」とする。

幅160mm、厚さ27mm、長さ4,000mmの気乾アセチル化木材13枚から長さ1,000mmのラミナを50枚採取し、ラミナ平均密度が均一となるように5枚を1組として区分した。これらラミナのほとんどは板目材であった。これらを幅150mm、厚さ22mmに調製し、木表を表面として木裏・木表を交互に組み合わせ5プライ集成材を作製した。接着剤として、2種類の水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（以下API1およびAPI2とする）、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤（以下PRFとする）、および1液型ポリウレタン接着剤（以下PUとする）を使用した。接着剤塗布は片面とし、API1、API2、およびPRFはゴムローラーにより、PUはヘラに

\* タミヤ株式会社

より表1に示す量を均一に塗布し、コールドプレスを使用して接着した。作製体数は各試験体とも2体ずつとした。解圧後1週間以上25℃以上の雰囲気中に静置した後、試験片の採取に供した。試験片の採取は図2に示すとおりで、試験体毎にブロックせん断試験片を18個ずつ採取した。また、3種類のはく離試験用の試験片として、木口断面はそのままに長さ75mmの試験片を試験体毎に18個ずつ採取した。

また、2.3.1での寸法変化試験で比較試験体とするため、幅110mm、厚さ110mm、長さ1,000mmのスギ集成材をPRFで作製した (C1-S)。

2.1.2 混用集成材

混用集成材にかかる試験は「試験2」とし、試験体の作製条件は表1に示すとおりで、断面構成を図1 (b) に示す。3プライの中、外層の1プライにアセチル化木材を使用し、他の2プライにはスギ材もしくはヒノキ材を使用した。

幅160mm、厚さ27mm、長さ4,000mmの気乾アセチル化木材2枚から長さ800mmのラミナを8枚採取し、接着前に幅110mm、厚さ22mmに調製した。スギ材およびヒノキ材は、幅110mm、厚さ22mm、長さ800mmの気乾ラミナをそれぞれ8枚ずつ調製した。なお、アセチル化木材およびスギラミナは板目材で、ヒノキラミナは心持ち材であった。アセチル化木材1枚と、スギラミナもしくはヒノキラミナ2枚を、木表を表面として木裏・木表を交互に組み合わせた。表1に示すとおり、接着剤はAPI2およびPRFを使用し、各2体ずつ作製した。接着作業は2.1.1と同じで、解圧後1週間以上25℃以上の雰囲気中に静置した後試験片を採取した。はく離試験

用の試験片数は2.1.1と同じで、各6個ずつとした。

また、2.3.2の寸法変化試験での比較試験体として、

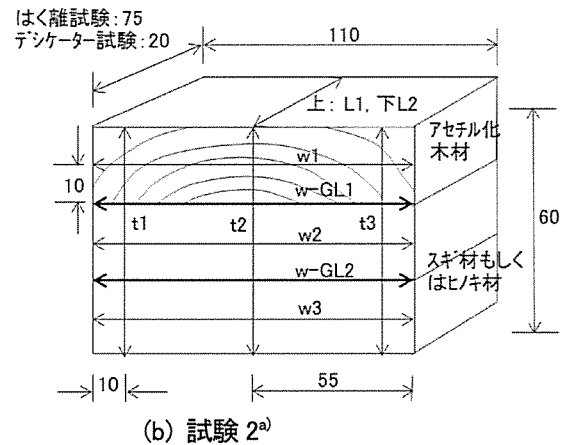
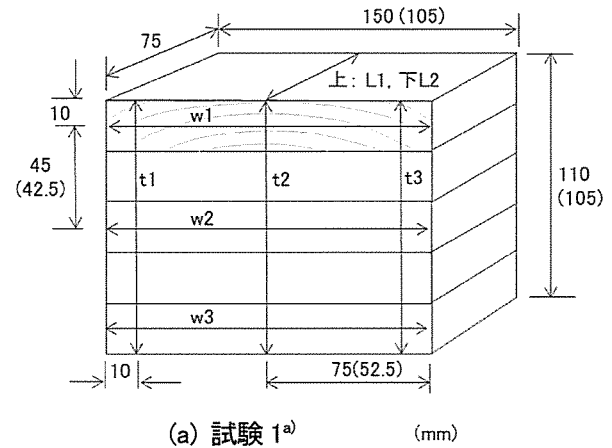


図1 寸法変化測定に使用した試験体

注：幅(w)および厚さ(t)は両木口面で測定、長さ(L)は相対する2面で測定、GL1およびGL2は接着層。( )内はスギ5プライ集成材。<sup>a)</sup>：表1を参照。

表1 各試験における試験体の種類および作製条件

表1 各試験における試験体の種類および作製条件			
試験1			
試験体	使用木材および積層構成	使用接着剤 <sup>a)</sup>	塗布量(g/m <sup>2</sup> )
A-API1		API	300
A-API2		API2	300
A-PRF300	アセチル化木材, 5プライ	PRF	300
A-PRF400		PRF	400
A-PU		PU	600
C1-S	スギ材, 5プライ	PRF	300
寸法および圧縮条件			
幅150mm(C1-Sのみ110mm) 厚さ110mm 長さ1,000mm			
圧縮圧力/雰囲気温度 : 1.2MPa/30℃			
圧縮時間 : API1 60分, API2 120分, PRFおよびPU 24時間			
試験2			
試験体	使用木材および積層構成	使用接着剤 <sup>a)</sup>	塗布量(g/m <sup>2</sup> )
AS-API2	アセチル化木材1プライとスギ材2プライ	API2	350
AH-API2	アセチル化木材1プライとヒノキ材2プライ	API2	350
AS-PRF	アセチル化木材1プライとスギ材2プライ	PRF	350
AH-PRF	アセチル化木材1プライとヒノキ材2プライ	PRF	350
C2-A	アセチル化木材のみ3プライ	PRF	300
C2-S	スギ材のみ3プライ	PRF	300
寸法および圧縮条件			
幅110mm 厚さ60mm 長さ800mm			
圧縮圧力/雰囲気温度 : 1.0MPa/30℃			
圧縮時間: API2 120分, PRF 24時間			

注:<sup>a)</sup> API1, API2:水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤、PRF:フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤、PU:1液型ポリウレタン接着剤。

表1に示すとおり寸法および積層数は同じでアセチル化木材のみを使用した集成材 (C2-A) およびスギ集成材 (C2-S) を、それぞれPRFで作製した。なお、C2-AおよびC2-Sに使用したラミナはいずれも板目材であった。

2.2 接着性能試験

2.2.1 はく離試験

試験1では、C1-Sを除く各試験体を使用してはく離試験を行った。ただし、A-PRF400は減圧加圧はく離試験のみとし、他の試験体は浸せきはく離試験、煮沸はく離試験、および減圧加圧はく離試験を行った。各はく離試験での試験片数はいずれも6個で、各はく離試験とも集成材の日本農林規格 (以下JASとする) に準拠して実施した。各はく離試験の1回処理の手順は以下のとおりで、処理回数は2回とした。

① 浸せきはく離試験

試験片を室温水中に24時間浸せき (湿) → 70℃ 雰囲気中で試験前質量の100~110%となるまで乾燥 (乾)

② 煮沸はく離試験

試験片を沸騰水中で4時間煮沸 → 室温水中に1時間浸せき (湿) → 70℃ 雰囲気中で試験前質量の100~110%となるまで乾燥 (乾)

③ 減圧加圧はく離試験

試験片を室温水中に浸せき → 0.085MPaの減圧5分 → 0.51MPaの加圧60分 → 減圧・加圧をもう1回繰り返す (湿) → 70℃ 雰囲気中で試験前質量の100~110%となるまで乾燥 (乾)

上記①~③中の (湿) および (乾) は、2.3.1で記す寸法変化試験で寸法を測定した時点を表し、(湿) は試験片が湿潤した状態で、(乾) は試験片が乾燥した状態である。

各はく離試験とも1回処理毎に両木口面でのはく離を測定し、以下の式によりはく離率および1接着層における最大のはく離率 (以下「最大はく離率」とする) を算出した。

$$\text{はく離率} = \frac{\text{両木口面のはく離長さの合計}}{\text{両木口面の接着層長さの合計}} \times 100 (\%)$$

$$\text{最大はく離率} = \frac{\text{木口面の1接着層での最大はく離長さ}}{\text{当該接着層長さ}} \times 100 (\%)$$

試験2では減圧加圧はく離試験のみを行った。試験の手順は試験1と同じで、繰り返し数は2回とし、1回処理毎にはく離率および最大はく離率を求めた。

2.2.2 ブロックせん断試験

試験1ではブロックせん断試験を実施した。試験片形状および試験方法は図2に示すとおりで、以下の3種類の試験を行った。

① 耐温水試験

60℃ 温水中に3時間浸せき → 室温水中に浸せきして冷ます → 濡れたまま試験

② 減圧加圧試験

室温水中に浸せき → 0.085MPaの減圧5分 → 0.51MPaの加圧60分 → 濡れたまま試験

③ 常態試験

20℃ 65%RHで調湿後に試験

試験には (株) 東京衡機製造所製アムスラー型材料試験機を使用し、荷重速度9.8kN/分で破壊するまで加重し、せん断強度および木部破断率を求めた。

2.3 寸法変化試験

2.3.1 試験1

2.2.1の各はく離試験で、アセチル化集成材の寸法変化を測定した。測定した試験片数は各試験体とも3個ずつで、2.2.1のはく離試験手順中での (湿) および (乾) で測定した。測定箇所は図1 (a) に示すとおりで、幅方向および厚さ方向については1木口面でそれぞれ3カ所ずつ測定し、長さ方向は試験片の相対する2面で測定

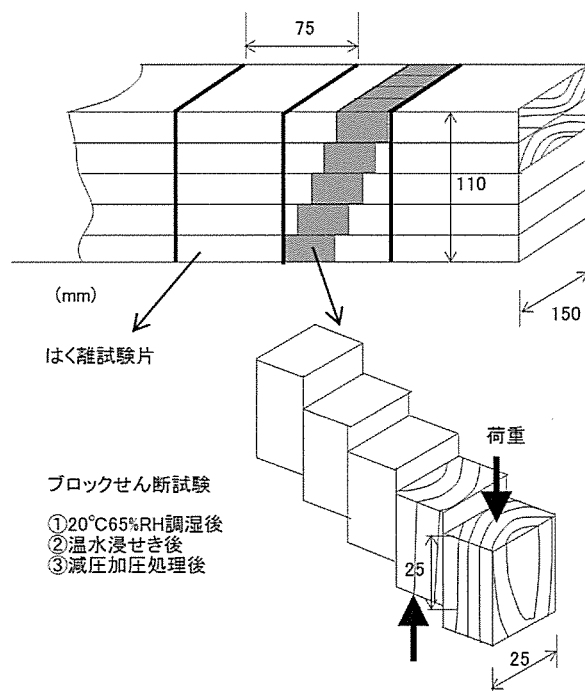


図2 試験片の採取およびブロックせん断試験

した。寸法変化率の算出に際しては試験前、すなわち気乾状態を基とし、下記の式により寸法変化率を算出した。

$$\text{寸法変化率(\%)} = \frac{\text{測定時寸法} - \text{気乾時寸法}}{\text{気乾時寸法}} \times 100$$

はく離試験の終了後、試験片を105℃で乾燥して全乾重量を求め、寸法変化を測定した各時点での含水率を算出した。

### 2.3.2 試験2

2.3.1と同様、減圧加圧はく離試験の(湿)および(乾)で試験片寸法を測定した。試験片は各試験体とも3個ずつとし、測定位置は図1(b)に示すとおりで、幅方向は木口面の5カ所(中2カ所は接着層)、厚さ方向は3カ所、長さ方向は上下面の2カ所とした。寸法変化率の算出は2.3.1と同様に気乾状態を基とし、また、はく離試験の終了後に試験片の全乾重量を求め、寸法測定時点における試験片含水率をそれぞれ算出した。

更に試験2では、20℃雰囲気中で3種類の相対湿度に調整したデシケーター中で試験片を順次調湿し、寸法変化を測定した。2.1.2で調製した各試験体より、断面寸法はそのままとした長さ20mmの試験片を3個ずつ採取して試験に供した。調湿条件および順序は以下のとおりとした。

気乾 → 1 (20℃/66%RH) → 2 (20℃/23%RH) → 3 (20℃/98%RH) → 4 (20℃/52%RH) → 5 (20℃/23%RH) → 全乾

上記1~5の調湿期間はいずれも2週間とした。なお、各調湿条件での平衡含水率は、1が12%、2および5が5%、3が29%、4が9.5%である<sup>7)</sup>。寸法測定位置は、図1(b)に示すとおり減圧加圧はく離試験と同じとした。寸法変化率の算出も気乾状態を基準とし、調湿試験の終了後に試験片の全乾重量を求め、各調湿状態での含水率

をそれぞれ算出した。

## 3 結果と考察

### 3.1 はく離試験の結果

#### 3.1.1 試験1 (アセチル化集成材)

表2に試験1での各はく離試験の結果を示す。

本研究で使用したAPIの耐久性は、API2>API1とされており、ヒノキ集成材に関する各種はく離試験では、接着耐久性についてAPI2>API1なる結果が得られている<sup>8)</sup>。しかし、本研究での浸せきはく離試験および減圧加圧はく離試験で得られたはく離率平均値は、いずれもA-API2>A-API1であった。この一因として、接着剤粘度の相違に基づく接着剤の木材への浸透量の差が考えられる。すなわち、主剤粘度を比較すると、API1の10±3Pa·s/25℃に対しAPI2は6±2Pa·s/25℃と低く、加えて、アセチル化木材の含水率は約4%と低かったため接着剤が浸透し易い状態であったことから、より粘度の低いAPI2の木材中への浸透量はAPI1より多かったものと推測される。その結果、接着層に残存した樹脂量はAPI1>API2であったと推測され、浸せきはく離試験および減圧加圧はく離試験で、はく離率平均値がA-API2>A-API1なる結果が得られたものと推測される。

一方、煮沸はく離試験では、1回処理後のA-API1およびA-API2のはく離率平均値はほぼ同じであり、2回処理後ではA-API1>A-API2であった。この理由として、主剤がエマルジョンであるため煮沸処理による劣化は室温水中での浸せき処理よりも大きく、そのため、接着剤浸透の影響が相対的に小さくなり予測された接着耐久性の差が発現し、はく離率平均値はA-API1>A-API2を示したものと思われる。

接着剤が浸透した影響はPRFでも認められた。表2に示すように、塗布量300g/m<sup>2</sup>のA-PRF300では各はく

表2 試験1での各はく離試験の結果

試験体 <sup>a)</sup>	A-API1		A-API2		A-PRF300		A-PRF400		A-PU	
	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)
<b>浸せきはく離試験</b>										
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.56		0.58		0.57		—		0.58	
1回処理後	0	0	0	0	0	0	—	—	0	0
2回処理後	2	15	4	18	5	19	—	—	0	0
<b>煮沸はく離試験</b>										
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.56		0.58		0.57		—		0.58	
1回処理後	6	30	4	32	0	0	—	—	0	0
2回処理後	51	90	16	62	3	18	—	—	0	0
<b>減圧加圧はく離試験</b>										
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.57		0.57		0.57		0.57		0.58	
1回処理後	0	0	5	37	4	22	0	0	0	0
2回処理後	7	44	12	58	13	39	0	0	0	0

注: 平均値、n=6。<sup>a)</sup>: 表1を参照。

離試験とも2回処理後にはく離が発生した。集成材での接着剤塗布量は通常200~300g/m<sup>2</sup>とされている<sup>9)</sup>。しかし、減圧加圧はく離試験の2回処理後、塗布量300g/m<sup>2</sup>のA-PRF300はJAS基準値であるはく離率5%以下かつ最大はく離率25%以下を満たさなかった。これに対し、塗布量400g/m<sup>2</sup>のA-PRF400では、減圧加圧はく離試験の2回処理後ではく離は発生しなかった。これらの結果は、いずれも接着剤浸透の影響に起因するものと推測される。したがって、アセチル化木材をAPI1、API2、もしくはPRFで接着する際には塗布量に注意が必要で、概ね400g/m<sup>2</sup>ほどが必要であるものと考えられる。

一方、A-PUでは各はく離試験ではく離は発生しなかった。この理由として、塗布量が600g/m<sup>2</sup>と多かったことに加え、PUは幅広い材料の接着に適していることが挙げられる<sup>10)</sup>。

### 3.1.2 試験2 (混用集成材)

表3に、試験2の減圧加圧はく離試験の結果を示す。

スギ材とアセチル化木材とを混用したAS-API2およびAS-PRFでは、2回処理後ではく離は発生しなかった。接着剤塗布量が350g/m<sup>2</sup>と多めであったことに加え、スギ材-アセチル化木材間接着層GL1での接着剤浸透量は、試験1でのアセチル化木材-アセチル化木材間接着層における接着剤浸透量よりも少なかったことが一因と推測される。

ヒノキ材とアセチル化木材とを混用したAH-API2およびAH-PRFでは、1回処理後ではく離が発生し、はく離の長さAH-API2> AH-PRFであった。このはく離の内訳について、アセチル化木材-ヒノキ材間の接着層GL1と、ヒノキ材-ヒノキ材間の接着層GL2とを比較した結果、表3に示すように、AH-API2ではGL1>GL2、であったものの大きな差ではなく、AH-PRFでの接着層別はく離長さはGL2>GL1であった。この結果より、ヒノキ材を使用した混用集成材AH-API2ではく離率が高かったことはアセチル化木材が原因ではなく、既報<sup>8)</sup>のとおりAPIに対するヒノキ材の接着性能に起因する

ものと推測される。

### 3.2 ブロックせん断試験

試験1でのブロックせん断試験の結果として、図3にせん断強度を、図4に木部破断率を示す。

常態試験でのせん断強度平均値は、A-API1は14.4N/mm<sup>2</sup>、A-API2は13.5 N/mm<sup>2</sup>、A-PRF300は14.4 N/mm<sup>2</sup>、A-PUは14.4 N/mm<sup>2</sup>と推測される。

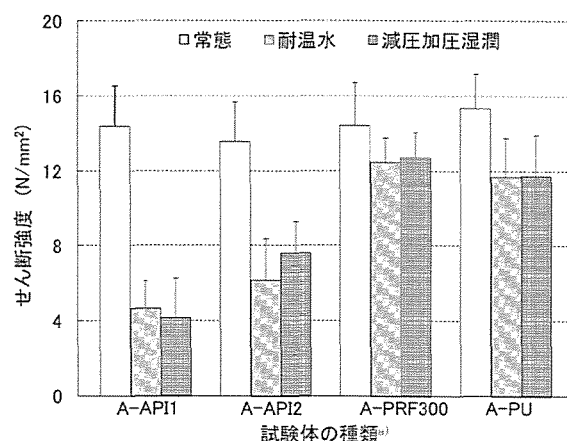


図3 ブロックせん断試験の結果 (1) せん断強度

注: 平均値、n=24、バーは標準偏差。常態: 20°C 65%RH 調湿後に試験、耐温水: 60°C温水3 時間浸せき後濡れたまま試験、減圧加圧湿潤: 減圧加圧処理後濡れたまま試験。a): 表1を参照。

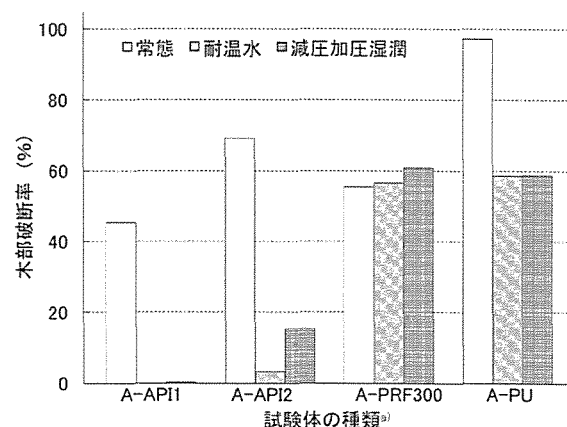


図4 ブロックせん断試験の結果 (2) 木部破断率

注: 平均値、n=24。他は図4と同じ。

表3 試験2 での減圧加圧はく離試験の結果

試験体 <sup>a)</sup>	AS-API2		AH-API2		AS-PRF		AH-PRF	
	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)	はく離率 (%)	最大はく離率 (%)
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.49		0.57		0.50		0.54	
1回処理後	0	0	13	64	0	0	2	12
2回処理後	0	0	13	64	0	0	2	12
2回処理後の接着層別はく離長さ <sup>b)</sup> (mm)								
GL1	0		365		0		0	
GL2	0		307		0		80	

注: a): 表1を参照。b): 図1を参照。

mm<sup>2</sup>、A-PUは15.3 N/mm<sup>2</sup>であり、一元配置分散分析（以下「分散分析」とする）の結果A-API2とA-PUとの間のみで0.5%水準の有意差が認められた。

耐温水試験および減圧加圧湿潤試験でのA-API1およびA-API2のせん断強度低下は顕著で、かつ、せん断強度平均値はA-API2>A-API1であり、分散分析の結果両試験とも1%水準で有意差が認められた。A-PRF300とA-PUとの間では、耐温水試験および減圧加圧湿潤試験ともせん断強度に有意差は認められなかった。

以上のとおり、ブロックせん断試験の結果とはく離試験の結果とは異なり、得られた接着耐久性の順位は当初予測された順位、すなわち大→小の順でA-PRF300→A-API2→A-API1であった。

木部破断率平均値については、常態試験でのA-PUは90%以上を示し、他の3試験体よりも顕著に高かった。しかし、耐温水試験および減圧加圧湿潤試験でのA-PUの木部破断率は大きく低下し、A-PRF300とほぼ同じ60%弱を示した。A-PRF300の常態試験での木部破断率は約50%であり高い値とは言えないものの、耐温水試験および減圧加圧湿潤試験では常態試験とほぼ同じ値を示した。A-PRF300での木部破断率が常態試験で低かった理由としては、3.1.1.で記したとおり接着剤浸透の影響が考えられる。一方、APIでは、湿潤状態で接着強度および木部破断率が著しく低下すると報告<sup>11)</sup>されているとおり、A-API1およびA-API2の耐温水試験および減圧加圧湿潤試験での木部破断率は顕著に低下した。

せん断試験の結果、屋外環境下で使用するアセチル化集成材の接着剤としては、PUおよびPRFが適当と考えられる。本研究でのA-PUでは接着剤塗布量が多かったため、アセチル化木材の接着剤としてPUはPRFより

も適しているとは明言し難い。しかし、PUはプラスチック等との接着に適していることから<sup>10)</sup>、親水性が低下しているアセチル化木材<sup>12)</sup>の接着にも適していると推測される。

### 3.3 寸法変化試験の結果

#### 3.3.1 試験1（アセチル化集成材）

図5 (a) ~ (c) に、試験1の全試験片の寸法変化率と含水率との関係を測定方向別に示す。

各アセチル化集成材とスギ集成材（C1-S）とを比較すると、幅方向の寸法変化率で差が認められた。すなわち、C1-Sでの寸法変化率の範囲は概ね-2~3.5%であったのに対し、各アセチル化集成材は概ね0.5~1.5%であった。また、減圧加圧はく離試験の寸法変化率を幅方向で比較すると、図6 (a) に示すとおり、アセチル化集成材は乾・湿双方でC1-Sよりも小さい寸法変化率を示した。ただし、同一の試験段階でそれぞれ含水率を比較すると、アセチル化集成材は常にC1-Sよりも低い含水率を示した。したがって、既知のとおりアセチル化処理による細胞壁のバルキング（かさ効果）と親水性の低下により寸法変化が減少したと考えられる<sup>12)</sup>。

厚さ方向についても、図5 (b) に示すとおりアセチル化集成材はスギ集成材C1-Sよりも小さい寸法変化率を示した。しかし、図6 (b) に示すとおり、アセチル化集成材とC1-Sとの間の差は幅方向ほど顕著ではなかった。長さ方向については、図5 (c) に示すとおりアセチル化集成材およびC1-Sとも寸法変化率は小さく、両者に差は無いと考えられる。

#### 3.3.2 試験2（混用集成材）

##### 3.3.2.1 減圧加圧はく離試験での寸法変化

図7に、試験2の減圧加圧はく離試験時における幅方向の寸法変化率を、アセチル化木材とスギ材とを混用

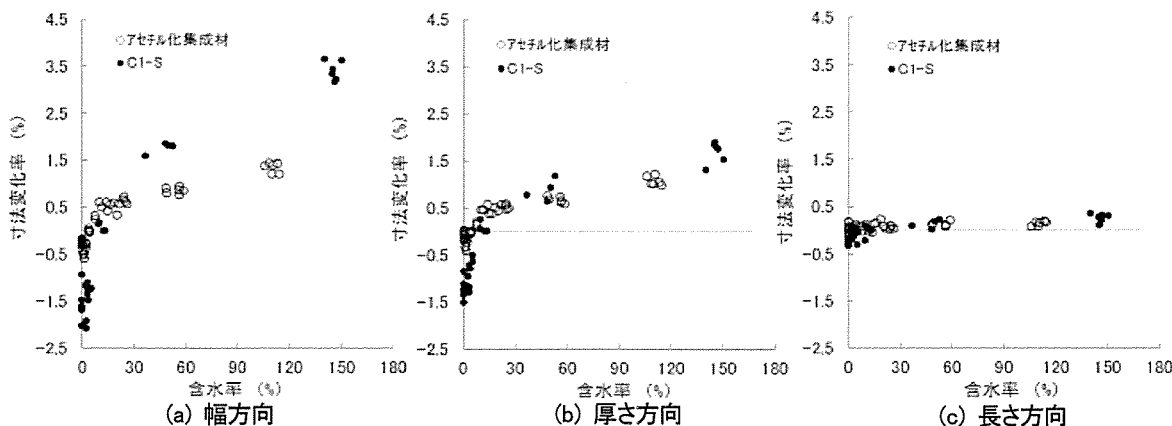
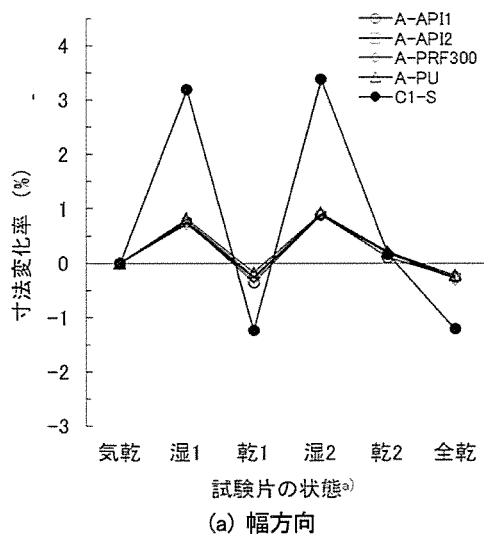


図5 試験1での各はく離試験における試験片含水率と寸法変化率との関係

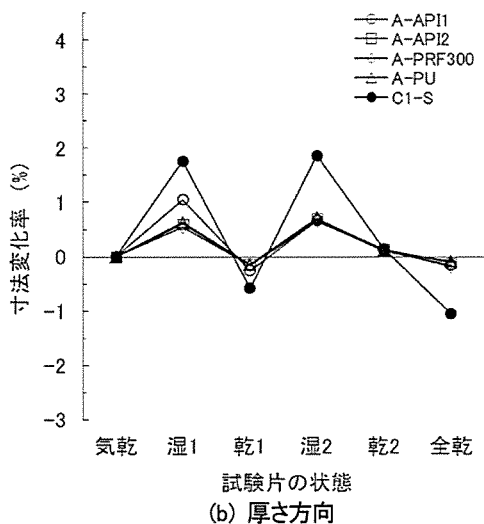
注：寸法変化率は1試験片での平均値。アセチル化集成材はn=36、C1-S（スギ集成材）はn=9。気乾状態を基準として寸法変化率を算出。寸法測定位置は図1(a)を参照。

した集成材 (AS-API2)、およびアセチル化木材とヒノキ材とを混用した集成材 (AH-API2) について示す。

両試験体とも、寸法変化はアセチル化木材から離れるに従い大きくなる傾向が認められた。すなわち、湿潤時および乾燥時ともアセチル化木材部分であるw1での寸法変化が最も小さく、w1とw-GL1との間の増加はわずかで、w-GL1とw2との間で顕著に増加した。以下、寸法変化はw2→w-GL2→w3の順で大きくなった。この結果に加え、湿潤時の幅方向寸法変化率について、図6 (a) に示すアセチル化集成材と、図7 (a) に示す混用集成材のw1との間で差が見られなかったことから、混用集成材でのアセチル化木材は隣接する無処理材の寸法変化の影響を受け難いと考えられる。



(a) 幅方向



(b) 厚さ方向

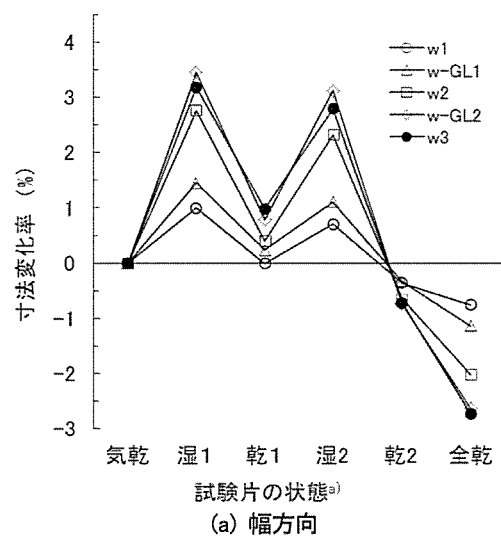
図6 試験 1 の減圧加圧はく離試験での寸法変化率  
注：平均値、n=3。試験体の種類は表1を参照。寸法測定位置は図1(a)を参照。<sup>a)</sup>: 湿1: 1回目処理での湿潤状態、乾1: 1回目処理での乾燥状態、湿2: 2回目処理での湿潤状態、乾2: 2回目処理での乾燥状態。

厚さ方向の寸法変化率は、無処理材の木理を反映した結果が得られた。すなわち、スギ板目ラミナを使用したAS-API2およびAS-PR10では幅方向より小さい寸法変化率を示し、ヒノキ心持ちラミナを使用したAH-API2およびAH-PR10は幅方向以下の寸法変化率を示した。厚さ方向の部位別で寸法変化率を比較すると、t1~t3間の差は幅方向w1~w3間での差よりも小さかった。

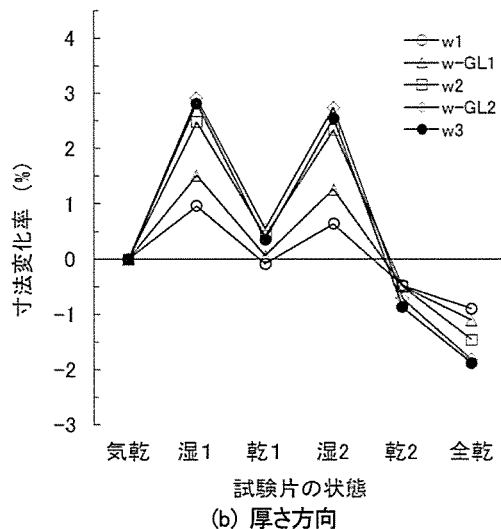
長さ方向の寸法変化率はいずれも小さく、概ね±0.5%の範囲で変化した。

### 3.3.2.2 デシケーター調湿試験での寸法変化

図8 (a) ~ (d) に、デシケーター調湿試験での寸法変化率をAS-API2、AH-API2、C2-A、およびC2-Sの幅



(a) 幅方向



(b) 厚さ方向

図7 試験 2 の減圧加圧はく離試験での幅方向寸法変化率  
注：平均値、n=3。<sup>a)</sup>: 図6と同じ。<sup>b)</sup>: 表1を参照。w1~w3: 図1(b)を参照。



方向についてそれぞれ示す。

アセチル化木材とスギ材とを混用したAS-API2では3.3.2.1の減圧加圧はく離試験とほぼ同じ結果が得られ、アセチル化木材より離れるに従い寸法変化は増加した。一方、アセチル化木材とヒノキ材とを混用したAH-API2では、減圧加圧はく離試験とは異なった結果が得られた。図8 (b) に示すとおり、アセチル化木材から離れた部分でも寸法変化の顕著な増加は見られず、w2、w2-GL2、およびw3での寸法変化率の変動幅は全乾を除くと1%以下であった。この理由として、AH-API2のヒノキラミナの幅方向は半径方向であったことが挙げられる。しかし、含水率差の影響も考えられることから、図9にデシケーター調湿試験での含水率変化をAS-API2、AH-API2、およびC2-Sについて示す。

図9に示すとおり調湿条件により含水率に差は見られるものの、調湿条件が2および5でのAS-API2およびAH-API2の含水率は近似していたにもかかわらず、

AH-API2はAS-API2よりも小さい幅方向寸法変化率を示した。したがって、AH-API2での寸法変化率小さかった主たる原因はヒノキラミナの木理に起因するものと考えられる。

AH-API2の幅方向寸法変化率で、デシケーター調湿試験と減圧加圧はく離試験とで異なる結果が得られた一因として、以下のことが考えられる。すなわち、減圧加圧はく離試験では強制的に水を木材中に注入したためヒノキ材は限度まで膨潤し、アセチル化木材部分とヒノキ材部分との間で寸法変化率に差が生じた。しかし、デシケーター調湿試験では、図9に示すとおりいずれの調湿条件でもヒノキ材は平衡含水率に至っておらず、そのため、アセチル化木材部分とヒノキ材部分との寸法変化率の差が小さかったものと推測される。

アセチル化木材の寸法変化に及ぼす隣接する無処理材の影響については、図8 (a) のAS-API2の結果が示すとおり、wGL1とw2との間で寸法変化率に顕著な増加が見られた。3.3.2.1の

減圧加圧はく離試験での寸法変化と同様、デシケーター調湿試験でもアセチル化木材は隣接する無処理材の寸法変化の影響を受け難いことが確認された。

厚さ方向の寸法変化率は、3.3.2.1で記した減圧加圧試験での寸法変化に類似した結果が得られた。長さ方向の寸法変化率は、各試験体とも、気乾 → 1 (20°C 66%RH) → 2 (20°C 23%RH)、の調湿により減少した後はほぼ同じ値で推移した。低含水率への調湿段階で寸法変化率が減少した後、高含水率への調湿段階ではわずかに回復したものの、気乾時の寸法に復元しなかった。この理由は明らかではなく、全試験体で同様の結果が得られたことからアセチル化木材に起因する現象で

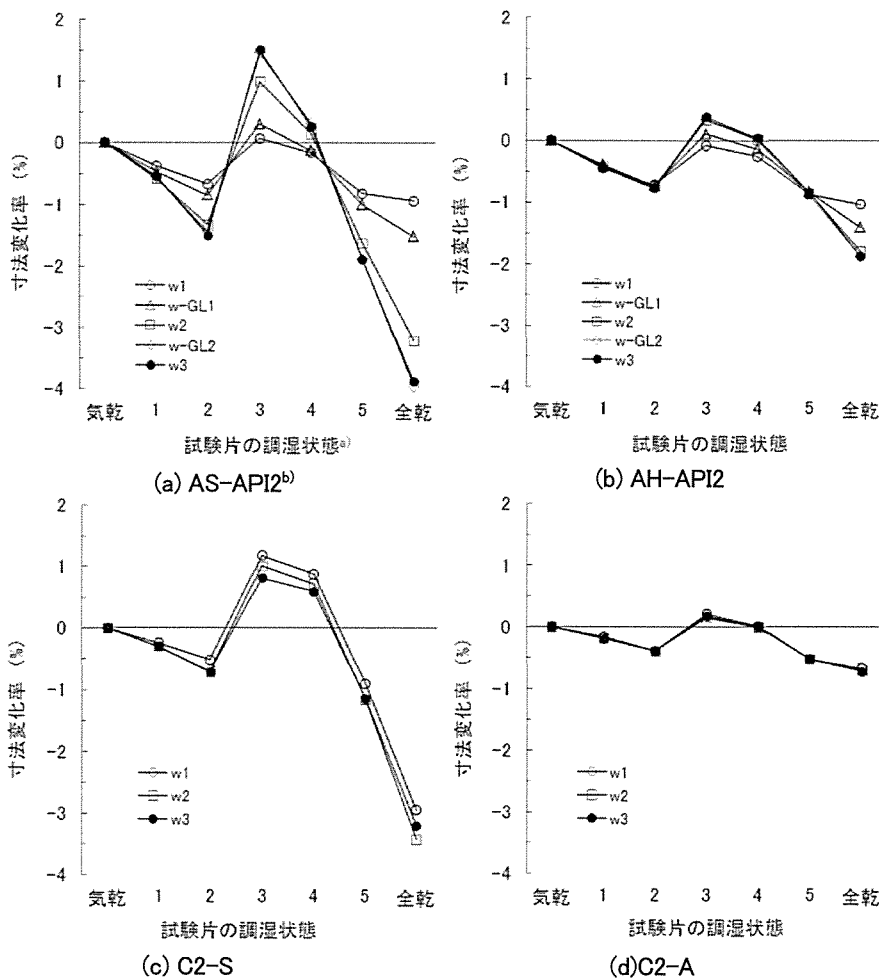


図8 試験2のデシケーター調湿試験における幅方向寸法変化

注：平均値、n=3。w1~w3：図1(b)を参照。<sup>a)</sup>：1：20°C66%RH2週間，2：20°C23%RH2週間，3：20°C98%RH2週間，4：20°C52%RH2週間，5：20°C23%RH2週間。  
<sup>b)</sup>：表1を参照。

はないものと考えられる。

以上に示すとおり、デシケータ調湿試験でも混用集成材の幅方向および厚さ方向で部位により寸法変化に差が生じ、その差は幅方向でより大きいことが示された。しかし、減圧加圧試験での結果とは異なり、無処理材部分では接線方向および半径方向で寸法変化の差が認められたことから、本研究でのラミナ積層方法では、無処理材ラミナの幅方向を半径方向とすることにより、混用集成材の幅方向における部位別の寸法変化の差を減少せしめることが可能と思われる。

#### 4. 結論

ラジアタパインをアセチル化処理した木材（アセチル化木材）を使用した集成材、あるいはアセチル化木材とスギ材もしくはヒノキ材とを混用した集成材の接着性能および寸法変化を調べた。アセチル化木材を接着するには接着剤塗布量に留意すべきで、通常よりも多い塗布量が必要であることが示唆された。塗布量が多い場合、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤および1液型ポリウレタン接着剤は高い接着耐久性を示した。アセチル化木材の寸法変化を各種はく離試験の実施時に調べた結果、板目材の幅方向、すなわち接線方向の膨潤率および収縮率が低下していることが確認された。アセチル化木材1枚とスギ材2枚もしくはヒノキ材2枚とを混用した集成材の減圧加圧はく離試験の結果、アセチル化木材とスギ材もしくはアセチル化木材とヒノキ材との間の接着は、スギ材同士もしくはヒノキ材同士の接着とほぼ同じ耐久性を示した。減圧加圧はく離試験時に寸法変化を調べた結果、アセチル化木材は隣接するスギ材もしくはヒノキ材の寸法変化の影響を受けなかった。20℃雰囲気中に静置したデシケータの相対湿度を23～98%の範囲で変化させ、アセチル化木材とスギ材もしくはヒノキ材とを混用した集成材を調湿して寸法変化を調べた。その結果、スギ材あるいはヒノキ材の木理を考慮すれば、集成材断面における寸法変化の差を減少させることが可能であることが示された。

#### 引用文献

- 1) Satish Kumar : Chemical Modification of Wood, Society of Wood Science and Technology, 26(2), 270-280 (1994)
- 2) 佐立 正人 : 木材工業, 44 (11), 622-625 (1989)
- 3) 趙 広傑, 則元 京, 田中文男, 山田 正, ロジャーロウエル : 木材学会誌 33 (2), 136-142 (1987)
- 4) Roger M. Rowell, Rume Simonson, Sabine Hess, David V. Plackett, Dave Cronshaw, Elizabeth Dunningham : Wood and Fiber Science, 26 (1), 11-18 (1994)
- 5) Kazuya Minato, Ryosuke Takazawa, Kenji Ogura : J. Wood Sci. 49 (6), 519-524 (2003)
- 6) 小幡谷英一, 大澤晃司, 梶山幹夫 : 木材学会誌, 57 (1), 20-25 (2011)
- 7) 梶田 茂 : 木材工学, (株) 養賢堂, p87, 1961.
- 8) 増田勝則, 柳川靖夫 : 奈良県森林技術センター研究報告, 34, 91-96 (2005)
- 9) (社) 日本木材加工技術協会 : 構造用集成材の製品計画および製造に関する講習会テキスト, p118, 2008.
- 10) 高橋正比古 : 先端接着接合技術, (有) エヌジーティー, p133, 2003.
- 11) 滝 欽二 : 木材工業, 41 (8), 359-364 (1986)
- 12) 今村 浩人 : 木材活用事典, (株) 産業調査会事典出版センター, p453, 1995.

(2012年1月4日受理)