

## 〈資 料〉

### 屋外ばくろ試験による集成材の接着耐候性評価 (第2報) 接着耐候性評価に要する期間の短縮のための促進劣化試験\*

宮崎祐子・和田 博・満名香織\*\*

防腐処理を施したラミナを接着して製造した集成材の接着耐候性を、短期間で評価することを目的とした促進劣化試験(煮沸はくり試験、減圧加圧試験、ブロックせん断試験片の屋外ばくろ試験、ブロックせん断試験片の減圧加圧試験)を行った。その結果、銅・アルキルアンモニウム化合物系防腐薬剤(ACQ)処理集成材は、プロピタンホス・アゾール化合物系防腐薬剤(AZP)処理集成材および無処理集成材と比較して接着性能が劣っていた。今後、各種の促進劣化試験のうち、どの処理が最も接着耐候性の予測に適しているかについて、集成材の屋外ばくろ試験の結果と照らし合わせ、解析することが必要である。

#### 1. はじめに

集成材の屋外使用などに対応するため、防腐処理を施した集成材が製造されている。集成材への防腐処理の方法は2種類に大別される。一つは集成材の製造後に防腐薬剤を加圧注入またはそれ以外の方法で処理したもの、もう一つはラミナに防腐薬剤を加圧注入した後に接着を行って集成材としたものである。ラミナ注入後に接着した集成材は、集成材製造後に処理したものと比較して、内部まで防腐薬剤が浸透しているため、防腐性能は高くなると予測される。一方、防腐薬剤がその種類によっては接着性能に悪影響を及ぼすという報告<sup>1-5)</sup>があり、防腐処理集成材の接着性能について評価する必要がある。

防腐処理集成材の屋外使用下での接着耐候性を評価する方法としては、実際の使用環境である屋外に集成材を設置して劣化の程度を観測する、屋外ばくろ試験が最も実際の劣化過程を再現すると考えられる。一方、屋外における接着層の劣化は急速に進行するものではないため、屋外ばくろ試験によって最終的に接着耐候性を評価するまでには10年程度という長い期間を要する<sup>6, 7)</sup>。試験開始時に主流であった防腐薬剤や接着剤の種類が、結果を得る頃には時代遅れになっているという事態を避け、時代の要請に迅速に対応するため、短期間で集成材の接着耐候性を予測する必要がある。

短期間で接着耐候性を評価する方法としては、これまで、水中あるいは沸騰水中に浸せきした後に乾燥する処理や、水中での減圧および加圧の後に乾燥する処理などが行われてきた。しかしながら、これらの方法では劣化因子が屋外における劣化因子と異なるため、最終的には

屋外ばくろ試験の結果と対応させることが不可欠となる。

本研究では、接着耐候性を短期間で評価するため、接着層の劣化を促進させる処理を施す、促進劣化処理方法を新たに考案した。考案した方法は、構造用集成材の日本農林規格(以下JASと略)で規定されたブロックせん断試験に用いる試験片を屋外ばくろに供した後、ブロックせん断試験を行い、せん断強さを測定する方法、さらに同試験片を減圧加圧試験に供した後、ブロックせん断試験を行い、せん断強さを測定する方法である。また、従来の促進劣化試験(煮沸はくり試験、減圧加圧試験)も併せて実施した。本報告では、これらの促進劣化試験の結果について報告する。

#### 2. 材料と方法

##### 2.1 試料

試料集成材の種類と各試験に用いた試験体数を表1に示す。試料は、当センターで1999年から行っている屋外ばくろ試験<sup>8)</sup>に供した集成材と同一の集成材、あるいは同様に作製した集成材を供試材料とした。試料集成材は6種類で、2種類の防腐薬剤、すなわち、銅・アルキルアンモニウム化合物系防腐薬剤(以下ACQと略)、ならびにシプロコナゾールとプロピタンホスを主成分とするプロピタンホス・アゾール化合物系防腐薬剤(以下AZPと略)を加圧注入したスギラミナおよび無処理のスギラミナを2種類の接着剤、レゾルシノール系樹脂接着剤(以下RFと略)および水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤(以下APIと略)を用いて接着を行った。いずれの集成材も5プライであり、木口面の断面寸法は

\*: 本研究の一部は日本木材加工技術協会第21回年次大会(2003年11月東京)で発表した。

\*\* : 元 奈良県森林技術センター職員

ACQ処理集成材が105mm×117mm、AZP処理集成材および無処理集成材が105mm×105mm、長さはACQ処理集成材が3 m、AZP処理集成材が2 m、無処理集成材が1 mである。

2.2 はくり試験（煮沸はくり試験、減圧加圧試験）

JASに準じた煮沸はくり試験の繰返しと、減圧加圧試験の繰返しを行った。

煮沸はくり試験、減圧加圧試験ともに、各試料集成材から木口断面寸法をそのままとした長さ75mmのものをそれぞれ1個ずつ作製して試験に供した。なお、ACQ処理集成材16体からは1個ずつ計16個、AZP処理集成材は8体から2個ずつ計16個、無処理は8体から1個ずつ計8個とし、2種の接着剤別には、それぞれその半数であった（表1）。

煮沸はくり試験は、試験片を沸騰水中に4時間浸せきし、更に室温の水中に1時間浸せきした後、水中から取り出した試験片を70±3℃の恒温乾燥器中に入れ、器中に湿気がこもらないようにして24時間以上乾燥し、乾燥後の含水率が試験前の含水率以下となるようにした。以上の処理を1回として5回繰返し、各回の終了時にははくり率を測定した。減圧加圧試験は、試験片を室温の水中に浸せきし、0.085MPaの減圧を5分間行い、更に0.51±0.03MPaの加圧を1時間行った。この処理を2回繰返した後、試験片を水中から取り出し、70±3℃の恒温乾燥器中に入れ、器中に湿気がこもらないようにして24

時間以上乾燥し、乾燥後の含水率が試験前の含水率以下となるようにした。以上の処理を1回として5回繰返し、各回の終了時毎にははくり率を測定した。はくり率は以下の式により求めた。

$$\text{はくり率 (\%)} = \frac{\{(\text{両木口面のはくりの長さの合計}) / (\text{両木口面の接着層の長さの合計})\} \times 100$$

2.3 ブロックせん断試験片の屋外ばくろ試験

集成材の屋外ばくろ試験と同様に、屋外における日照による紫外線劣化や生物劣化を劣化の主要因としながら、より短期間で接着耐候性を評価するため、JASのブロックせん断試験片を用いて屋外ばくろ試験を行った。なお、試験片の幅が接着層の劣化に及ぼす影響を併せて調べるため、試験片の幅はJASで規定された25mm（以下JAS型試験片と略、図1）と10mmの試験片（以下薄型試験片と略、図1）とした。

試験片の屋外ばくろ期間は試験開始時から0、2、6、12、18、24ヶ月とした。ただし、無処理集成材にあつては、0、2、6、12ヶ月とした。防腐処理を施した集成材は接着剤と防腐薬剤の組み合わせ別にそれぞれ8体使用した。1体の集成材からは試験片を12個採取して屋外ばくろに供し、設定した屋外ばくろ期間を終了したものから2個ずつ、集成材8体分で計16個ずつ回収した。無処理集成材は接着剤別に4体ずつ使用した。1体の集成材からは試験片を16個採取して屋外ばくろに供し、屋外ばくろ期間を終了したものから4個ずつ、集成材4体分

表1 試料集成材の種類と各促進劣化試験に用いた試験体数

防腐薬剤	接着剤	煮沸および減圧加圧はくり試験試験片数	ブロックせん断試験片の屋外ばくろ試験試験片数 <sup>a)</sup>	ブロックせん断試験片の減圧加圧試験試験片数
銅・アルキルアンモニウム化合物系 (ACQ)	レゾルシノール系 (RF)	8	96 (16個×6)	16
	水性高分子イソシアネート系 (API)	8	96 (16個×6)	16
プロピタンホス・アゾール化合物系 (AZP)	レゾルシノール系 (RF)	8	96 (16個×6)	16
	水性高分子イソシアネート系 (API)	8	96 (16個×6)	16
無処理	レゾルシノール系 (RF)	4	64 (16個×4)	16
	水性高分子イソシアネート系 (API)	4	64 (16個×4)	16

<sup>a)</sup> JAS型試験片および薄型試験片は同数。屋外ばくろ試験開始から0、2、6、12、18、24ヶ月目に16個ずつ回収した。ただし、無処理集成材については0、2、6、12ヶ月目に16個ずつ回収した。

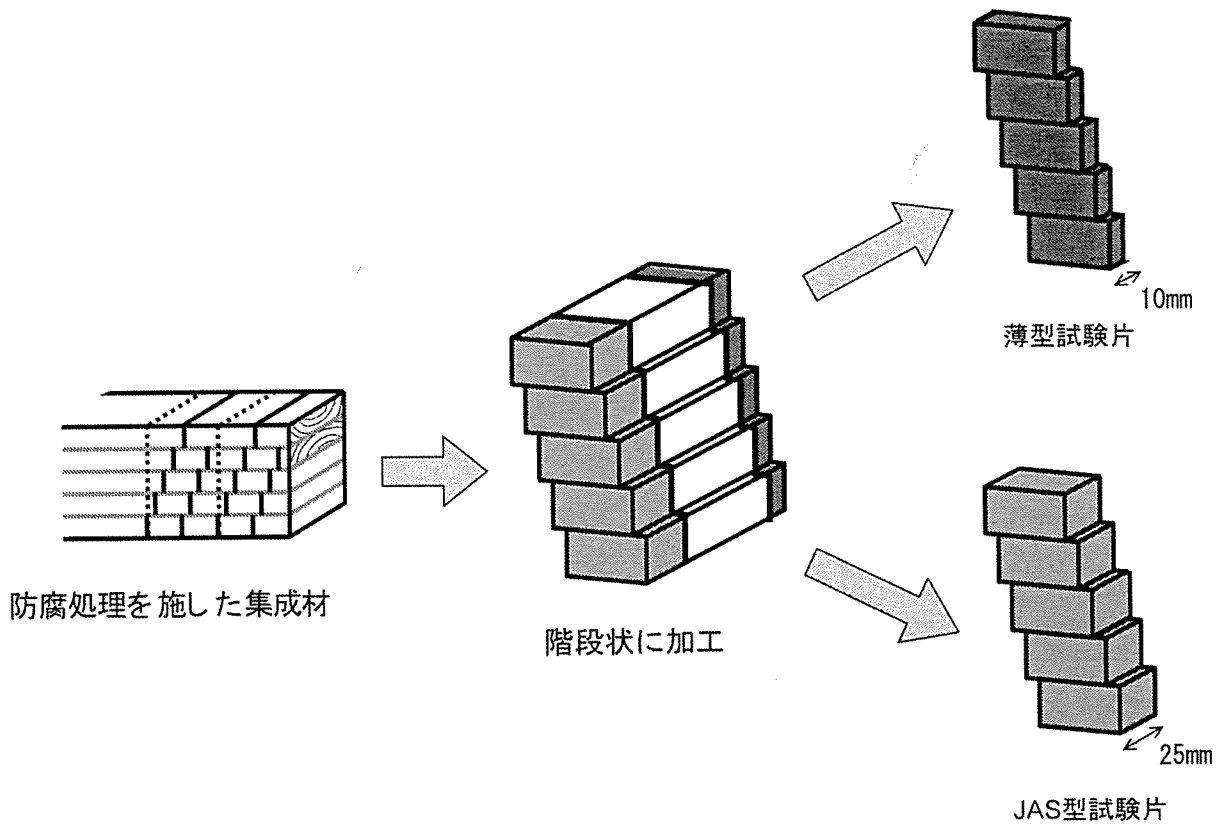


図1 ブロックせん断試験片（JAS型試験片および薄型試験片）の採取方法

で計16個ずつ回収した。したがって、接着剤、防腐処理あるいは無処理、ばくろ期間の条件別に、試験片数は各16個、接着層数は各64層となった（表1）。

屋外ばくろ試験は、JAS型試験片、薄型試験片ともに、集成材の側面であった面を上、接着層の垂直方向を南北にして、金網上で行った。回収した試験片は、1ヶ月以上調湿した後、ブロックせん断試験を行った。せん断強さは以下の式により求めた。

$$(\text{せん断強さ}) = (\text{試験片が破断したときの荷重}) / (\text{接着面積})$$

屋外ばくろ試験期間中に接着層が破壊した場合は、その接着層のせん断強さは0 N/mm<sup>2</sup>とした。

2.4 ブロックせん断試験片の減圧加圧試験

JASのブロックせん断試験片に対して、2.2に示した減圧加圧試験の処理を繰り返した後にブロックせん断試験を行った。処理回数は、防腐薬剤を注入したものに対しては、1、3、5、10、20回であり、無処理については1、5、20回で行った。

試験片の採取は2.3と同様に行い、接着剤、防腐処理あるいは無処理、処理回数の条件別に、試験片が各16個、接着層数が各64層になるよう用意した。処理中に接着層が破壊した場合は、その接着層のせん断強さは0 N/mm<sup>2</sup>

とした。

3. 結果

3.1 はくり試験

3.1.1 煮沸はくり試験

煮沸はくり試験の結果を図2に示す。結果は、各処理における全ての接着層の平均値および全ての接着層の中の最大値で示した。JASにおいては、試験の結果、試験片の両木口面におけるはくり率が5%以下であり、かつ、同一接着層におけるはくりの長さの合計がそれぞれの長さの4分の1（25%）以下であることと規定されている。全ての条件において、処理回数に伴ってはくり率は増加する傾向がみられた。ACQ処理集成材においては、レゾルシノール系樹脂接着剤を用いた接着（以下RF接着と略）および水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤を用いた接着（以下API接着と略）ともに処理回数2回目で、平均はくり率がJASの基準値である5%を超過し、最大はくり率もJASの基準値である25%を超過した。AZP処理集成材においては、API接着の場合に処理回数4回目で平均はくり率がJASの基準値である5%を超過したが、最大はくり率はRF接着およびAPI接着ともに処

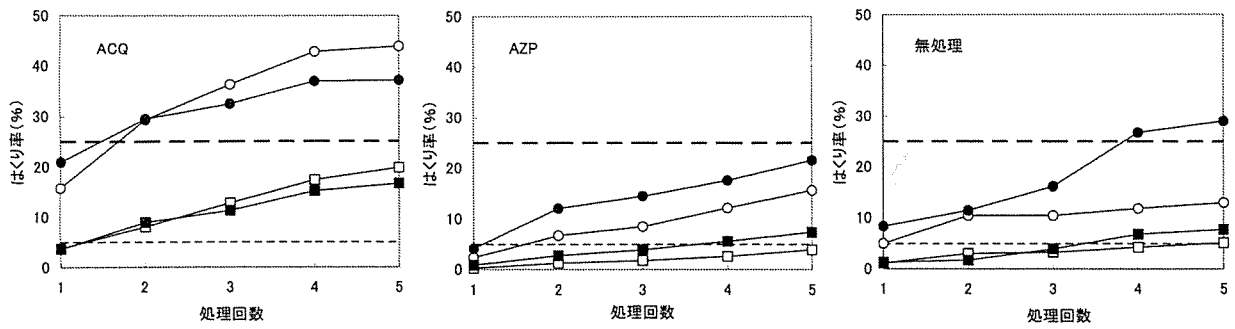


図2 煮沸はく離試験の結果

□、■はそれぞれRF接着、API接着の平均はく離率、○、●はそれぞれRF接着、API接着の最大はく離率を示す。細破線はJAS基準値の5%、太破線は25%を示す。

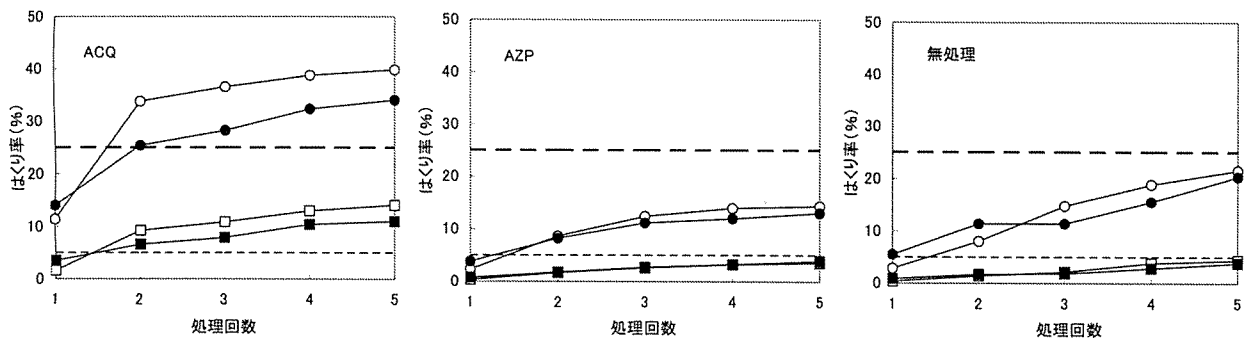


図3 減圧加圧試験の結果

□、■はそれぞれRF接着、API接着の平均はく離率、○、●はそれぞれRF接着、API接着の最大はく離率を示す。細破線はJAS基準値の5%、太破線は25%を示す。

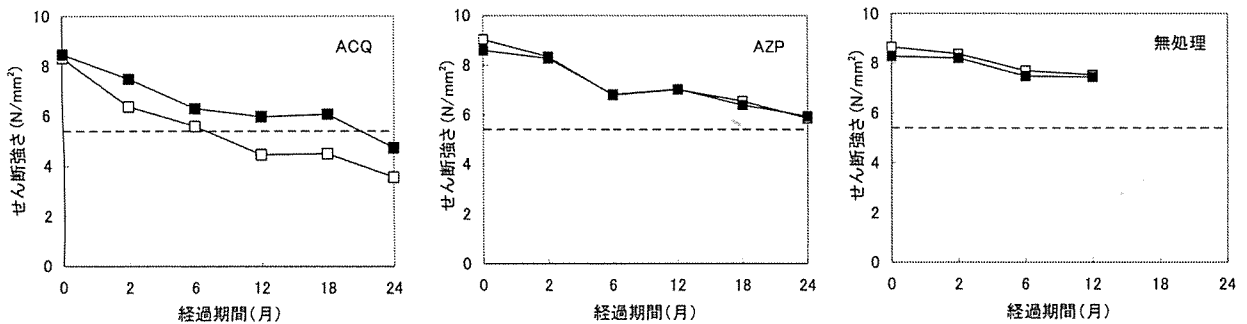


図4 JAS型試験片の屋外ばくろ試験の結果

□はRF接着、■はAPI接着、細破線はJAS基準値の5.4N/mm<sup>2</sup>を示す。

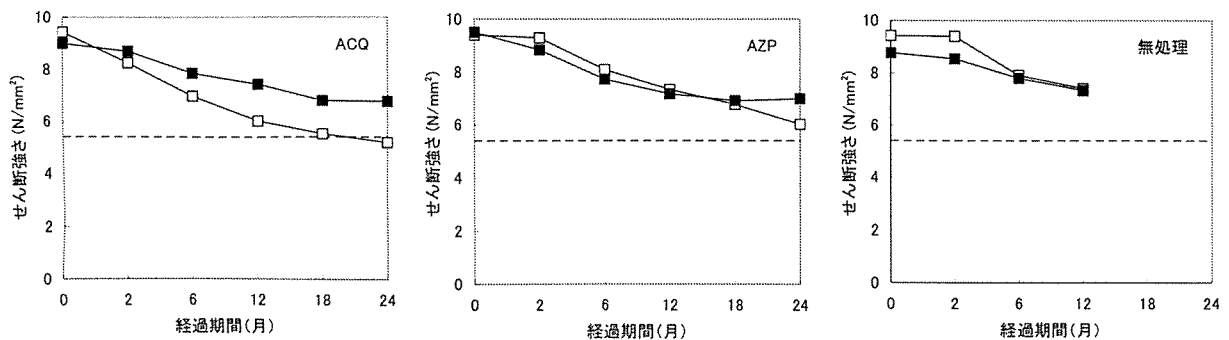


図5 薄型試験片の屋外ばくろ試験の結果

□はRF接着、■はAPI接着、細破線はJAS基準値の5.4N/mm<sup>2</sup>を示す。

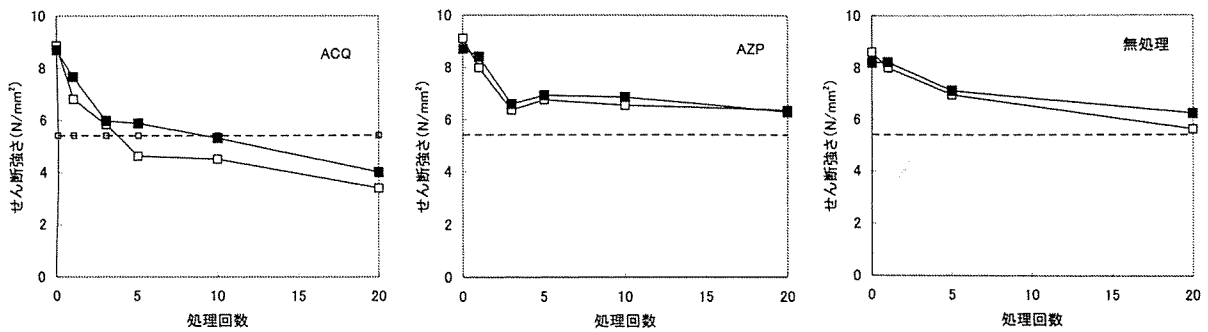


図6 ブロックせん断試験片の減圧加圧試験の結果

□はRF接着、■はAPI接着、細破線はJAS基準値の5.4N/mm<sup>2</sup>を示す。

理回数5回目においても25%以下であった。無処理集材材においては、RF接着の場合に処理回数5回目で、API接着の場合に処理回数4回目で平均はくり率が5%を超過した。最大はくり率はAPI接着の場合に処理回数4回目で25%を超過したが、RF接着の場合は処理回数5回目においても25%以下であった。

### 3.1.2 減圧加圧試験

減圧加圧試験の結果を図3に示す。結果は、各条件における全ての接着層の平均値および全ての接着層の中の最大値で示した。JASにおけるはくり率の規定は3.1.1と同様である。全ての条件において、処理回数に伴い、はくり率は増加する傾向がみられた。ACQ処理集材材においては、RF接着およびAPI接着ともに処理回数2回目で平均はくり率が5%を超過し、最大はくり率も25%を超過した。AZP処理集材材および無処理集材材においては、RF接着およびAPI接着ともに処理回数5回目でも平均はくり率は5%以下であり、最大はくり率も25%以下であった。

## 3.2 ブロックせん断試験片の屋外ばくろ試験

### 3.2.1 JAS型試験片

JAS型試験片の屋外ばくろ試験の結果を図4に示す。結果は、各条件における全ての接着層の平均値で示した。JASにおいては、試験の結果、試験片のせん断強さが5.4N/mm<sup>2</sup>以上、および木部破断率が70%以上と規定されている。全ての処理において、屋外ばくろ期間の増加に伴ってせん断強さが低下する傾向がみられた。ACQ処理集材材においては、RF接着の場合に12ヶ月目で、API接着の場合に24ヶ月目でせん断強さが5.4N/mm<sup>2</sup>を下回った。AZP処理集材材においては、RF接着およびAPI接着ともに24ヶ月目でもせん断強さは5.4N/mm<sup>2</sup>以上を示した。また、無処理集材材においては、RF接着およびAPI接着ともに12ヶ月目でもせん断強さは5.4N/mm<sup>2</sup>以上を示した。木部破断率は全ての条件および期間におい

て70%以上であり、経時的な変化はみられなかった。

### 3.2.2 薄型試験片

薄型試験片の屋外ばくろ試験の結果を図5に示す。結果は、各条件における全ての接着層の平均値で示した。全ての処理において、屋外ばくろ期間の増加に伴ってせん断強さが低下する傾向がみられた。ACQ処理集材材においては、RF接着の場合に24ヶ月目でせん断強さが5.4N/mm<sup>2</sup>を下回ったが、API接着の場合には24ヶ月目でもせん断強さは5.4N/mm<sup>2</sup>以上を示した。AZP処理集材材においては、RF接着およびAPI接着ともに24ヶ月目でもせん断強さは5.4N/mm<sup>2</sup>以上を示した。また、無処理集材材においては、RF接着およびAPI接着ともに12ヶ月目でもせん断強さは5.4N/mm<sup>2</sup>以上を示した。木部破断率は全ての条件および期間において70%以上であり、経時的な変化はみられなかった。

## 3.3 ブロックせん断試験片の減圧加圧試験

ブロックせん断試験片の減圧加圧試験の結果を図6に示す。結果は、各条件における全ての接着層の平均値で示した。ACQ処理集材材においては、RF接着の場合に処理回数5回目で、API接着の場合には処理回数10回目でせん断強さが5.4N/mm<sup>2</sup>を下回った。AZP処理集材材および無処理集材材においては、RF接着およびAPI接着ともに処理回数20回目でもせん断強さは5.4N/mm<sup>2</sup>以上を示した。木部破断率は全ての条件および処理回数において70%以上であり、経時的な変化はみられなかった。

## 4. 考察

JASでは、「構造物の耐力部材として、接着剤の耐水性、耐候性又は耐熱性について高度な性能が要求される環境」を使用環境1と定め、使用環境1が要求される材料については、煮沸はくり試験の場合、処理を2回繰り返すこととなっている。この規定に準じた場合、ACQ処

理集成材においてはほぼ全ての接着層が基準値を満たさない。RF接着のACQ処理集成材の接着性能については、先行研究において、減圧加圧試験において試験2回目ではくり率が5%を超過し、最大はくり率も25%を超過したという報告<sup>2)</sup>があり、本研究で得られた結果と一致するものであった。また、減圧加圧試験、ブロックせん断試験片の屋外ばくろ試験、およびブロックせん断試験片の減圧加圧試験においても、ACQ処理集成材はAZP処理集成材および無処理集成材と比較して接着性能は劣っていた。RFおよびAPIにおいては、RFでは銅を添加することにより、またAPIではACQを添加することにより、硬化が抑制されることが報告されている<sup>4), 5)</sup>。このことから、RF接着およびAPI接着のACQ処理集成材において接着性能が劣っていた原因の一つとして、ACQ中に含まれる銅が接着を阻害していた可能性が考えられる。

JAS型試験片と薄型試験片のせん断強さを屋外ばくろに供する前の値で比較すると、薄型試験片のせん断強さが若干高い傾向がみられた。接着面積とせん断強さの関係については、接着面の幅が変化してもせん断強さには影響がないとする報告<sup>9)</sup>や、接着面積が小さくなるとせん断強さが高く評価されるという報告<sup>10)</sup>がある一方、接着面の幅が小さくなるとせん断強さは減少し、また接着面積が小さくなるとせん断強さが低く評価されるとする報告<sup>11)</sup>もある。今後、ブロックせん断試験片の屋外ばくろ試験の結果と集成材の屋外ばくろ試験の結果とを照らし合わせる際には、試験片の幅がせん断強さに与える影響について考慮する必要がある。

現在、防腐処理集成材の屋外ばくろ試験は5年を経過し、データが蓄積されつつある。促進劣化試験により接着耐候性の予測を可能にする方法を導くためには、本研究で得られた結果を集成材の屋外ばくろ試験が終了した時点で改めて解析を行うことが必要である。

## 引用文献

- 1) 酒井温子、増田勝則：圧縮法を導入した薬剤注入法による木材の改質（第1報）防腐集成材の作製と防腐性能および接着性能の評価。奈良県林試木材加工資料。28, 30-36 (1999)
- 2) 和田 博、高橋真紀子、藪岡貞治：防腐剤を加圧注入したラミナを用いた集成材の接着性能（第1報）JASによる3種類のはくり試験5回繰りかえし：奈良県林試研究報告。29, 29-35 (1999)
- 3) 宮崎淳子、中野隆人、平林 靖、岸野正典：接着性能に及ぼす防腐薬剤の影響。木材学会誌。45(1), 34-41 (1999)
- 4) 宮崎淳子、中野隆人：接着性能に及ぼす防腐薬剤の影響（第2報）銅によるレゾルシノール樹脂接着剤の硬化反応への影響。48, 178-183 (2002)
- 5) 宮崎淳子、中野隆人：接着性能に及ぼす防腐薬剤の影響（第3報）防腐薬剤による水性高分子イソシアネート系接着剤の硬化への影響。48, 184-190 (2002)
- 6) 宮武 敦、藤井 毅、林 知行：集成材の接着耐久性：屋外暴露した集成材の接着性能低下。第44回日本木材学会大会研究発表要旨集。奈良, 1994-4, 日本木材学会。1994, 414.
- 7) 菅野襄作、森屋和美：エゾマツ集成材の耐候性。木材工業。38 (11), 530-533 (1983)
- 8) 満名香織、和田 博：屋外ばくろ試験による集成材の接着耐候性評価（第1報）。奈良県森技セ研究報告。32, 83-87 (2003)
- 9) Bendsten B.A. and Porter S. : Comparison of results from standard 2-inch with 1-1/2-inch shear block tests. Forest Products Journal. 28 (7), 54-56 (1978)
- 10) Okkonen E.A. and River B.H. : Factors affecting the strength of block-shear specimens. Forest Products Journal. 7 (9), 299-301 (1989)
- 11) Lang E.M. and Kovacs Z. : Size effect on shear strength measured by the ASTM method. Wood Engineering. 51 (3), 49-52 (2001)

(2004年12月28日受理)