

〈資 料〉

水性高分子ー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り試験における接着性能

増田勝則・柳川靖夫

Bond Quality of Hinoki Glued Laminated Timber with Water-Based Polymer-Isocyanate Adhesives (API Resin)

Katsunori MASUDA and Yasuo YANAGAWA

水性高分子ーイソシアネート系接着剤の接着性能について、接着剤の種類、被着材の樹種が、はくり率に及ぼす影響を処理方法の異なる3種類のはくり試験によって検討した。ヒノキ、オウシュウトウヒおよびスギの各集成材について、浸せき、煮沸はくりおよび減圧加圧試験を行った結果、ヒノキを接着した場合、接着剤の種類によっては、煮沸はくり試験や減圧加圧試験において、はくり率の上昇が大きいことが確認された。この接着性能の低下は、ヒノキ集成材について煮沸はくり試験を行った場合に特に顕著であった。以上のことから、APIを構造用集成材に使用する場合、接着する樹種と、接着剤の選定を慎重に行う必要があることが確認された。

1. はじめに

水性高分子ーイソシアネート系接着剤（以下APIと記す）は構造用集成材のJASにおいて、レゾルシノール系接着剤と共に構造用集成材の積層および幅方向の接着に使用を認められている耐水性の高い接着剤である（使用環境2、小、中断面に限る）。APIは、レゾルシノール系接着剤と比較して耐水性は劣るが、圧縮時間が短く、接着層が目立たない、基本的にホルムアルデヒドを含有しない等の特徴を有する。上記特性から、APIはコールド回転プレスによる圧縮方式を採用することにより、効率の良い生産体制を組むことが可能となり、集成管柱の生産量増加と共に近年大きく需要を伸ばしている。しかし、最近日本産ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 材のラミナをAPIで接着した集成材の煮沸はくり試験の結果が不良になる場合があるという複数の情報を得た。

そこで、本報ではAPIを使用して接着したヒノキ集成材について、構造用集成材のJASに規定された3種類のはくり試験を行い、その結果を比較検討した。また、APIで接着した、オウシュウトウヒ (*Picea abies*)、スギ (*Cryptomeria japonica*) 集成材についても、上記3種類のはくり試験を行い、ヒノキ集成材の結果と比較検討した。

2. 材料と方法

APIの接着性能低下の条件を確認するため、以下に示す方法により、接着剤の種類および樹種の各要因が、浸

せき、煮沸および減圧加圧のはくり試験のはくり率に及ぼす影響について検討した。

(1) 構造用集成材に使用することが認められている3種類のAPIと1種類のレゾルシノール樹脂系接着剤でヒノキ材を接着し、煮沸はくり試験における接着性能の低下がAPIに特有のものかを検討した。また、上記3種類のAPIについて、煮沸はくり試験以外に浸せきはくり、および減圧加圧試験を行い、各接着剤の接着性能を煮沸はくり試験の結果と比較検討した。

(2) 上記検討(1)において、接着性能の低下が大きかった2種類のAPIについて、樹種による接着性能の影響を検討するため、広く集成材に利用されているオウシュウトウヒ（以下単にトウヒと記す）集成材とスギ集成材を製作し、これら集成材に対し3種類のはくり試験を行い、結果をヒノキ集成材の場合と比較した。

2.1 材料と接着条件

APIは、構造用集成材用として一般に使用されている市販の3種類（以下API-1、API-2、API-3とする）を供した。架橋剤の添加量は、いずれも15部とした。

レゾルシノール樹脂系接着剤は、市販の構造用集成材用のフェノール・レゾルシノール供縮合型接着剤一種類（以下PRと記す）を供した。

ラミナは幅（T方向）120mm、長さ（L方向）1,000mmのヒノキ、トウヒおよびスギ材を接着直前にプレーナで厚さ20mmに切削して供した。積層数は5プライとし、各条件につき4体ずつ幅120mm、長さ1,000mm、厚さ（積層

方向) 約100mmの集成材を作製した。設定した条件を表1に示す。

2.2 はくり試験の方法

表1 接着剤と圧縮時の条件

条件	接着剤	被着材	圧縮圧力 (kgf/cm ²)	圧縮時間 (分)	塗布量 (g/m ²)
1	API-1	ヒノキ	12	50	250
2	API-2	ヒノキ	12	50	250
3	API-3	ヒノキ	12	240	300
4	PR	ヒノキ	12	360	250
5	API-1	スギ	12	50	250
6	API-1	オウシュウトケ	12	50	250
7	API-2	スギ	12	50	250
8	API-2	オウシュウトケ	12	50	250

(塗布面は片面、圧縮時の温度は18~22℃)

上記集成材を解圧後約1週間養生した後、長さ方向に75mmの試験体を採取した。これら試験体について、構造用集成材のJAS使用環境2に規定された方法に準拠して各種のはくり試験を行った。

(1) 接着剤の種類による影響

ヒノキ材を3種類のAPIと1種類のPRで接着した集成材(表1の条件1から4)1条件につき4体から3体ずつ、計12体試験体を採取し、煮沸はくり試験を行った。また、ヒノキ材を3種類のAPIで接着した集成材(表1の条件1から3)のうち、浸せきはくり試験では2体の集成材から3体ずつ計6体、減圧加圧試験では4体の集成材から3体ずつ計12体試験体を採取し、浸せきはくり試験と減圧加圧試験を行った。

(2) 樹種の影響

API-1とAPI-2を使用して接着したスギおよびトウヒ集成材(表1の条件5から8)の各条件4体から、3体ずつ計12体試験体を採取し、煮沸、浸せきおよび減圧加圧の各はくり試験を行った。

3. 結果と考察

3.1 接着剤の種類による影響

各接着剤で接着したヒノキ集成材の3種類のはくり試験におけるはくり率を図1に、最大はくり率を図2に示す。

構造用集成材のJAS使用環境2の基準(以下単に使用環境2の基準と記す。)に適合するための条件は、はくり率が5%以下で、かつ1接着層における最大はくり率が25%以下の試験体が全体の90%以上なければならない。

煮沸はくり試験の結果についてみると、PRはすべての試験体において、はくり率、最大はくり率ともに上記基準を満たした。API-3は1試験体のみはくり率5%を少し上回ったが、それ以外の試験体はすべて上記基準を満たした。一方、API-1およびAPI-2のはくり率は、すべての試験体において5%を上回り、最大はくり率も、ほとんどの試験体において基準に適合しなかった。

レゾルシノール樹脂系接着剤は、唯一、構造用集成材のJASにおいて使用環境1の大断面集成材の接着に使用が許可されている。今回のヒノキ集成材を使用した実験の結果からも接着性能の高い安定性を示した。また、API-3は高比重材の接着にも使用され、耐水性の高い接着剤であるが、ヒノキ集成材の接着においても、特に接着性能の低下は認められなかった。一方、API-1およびAPI-2はほとんどの試験体において基準に適合しなかったことから、同じ構造用集成材用のAPIであっても、その種類によって、ヒノキ集成材の煮沸はくり試験におけるはくり率に大きな差が生じることが確認された。

3種類のAPIで接着したヒノキ集成材の浸せきはくり試験と減圧加圧試験における結果についてみると、API-3については、浸せきはくり試験、減圧加圧試験と

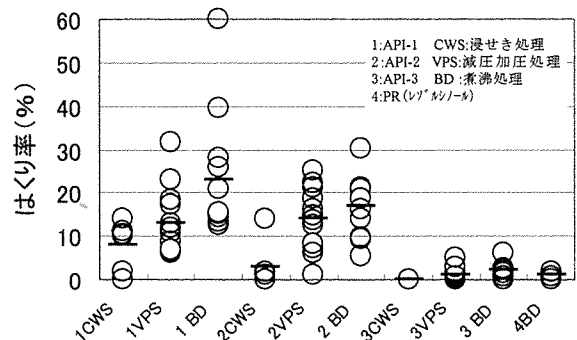


図1 ヒノキ集成材に使用した接着剤の種類が3種類のはくり試験のはくり率に及ぼす影響

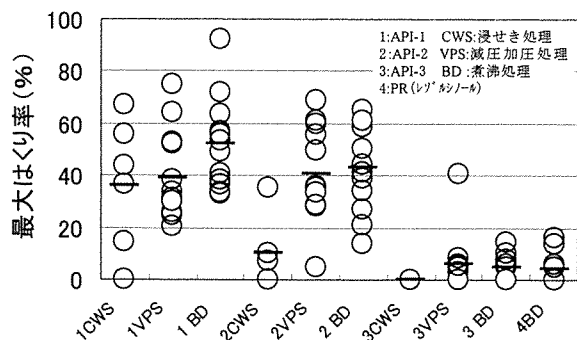


図2 ヒノキ集成材に使用した接着剤の種類が3種類のはくり試験の最大はくり率に及ぼす影響

もに、使用環境2の基準に適合した。浸せきはくり試験においては、ほぼすべての試験体において、はくりは認められなかった。減圧加圧試験についても、1体を除きすべて基準を満たし、これら試験のはくり率は、良好であった煮沸はくり試験のはくり率をさらに下回った。

API-1では、浸せきはくり試験および減圧加圧試験ともに、煮沸はくり試験と同様、ほとんどの試験体が使用環境2の基準を満たさなかった。最大はくり率も同様であった。このことからヒノキ材の接着にAPI-1を使用することは適当でないと判断された。API-2についてみると、浸せきはくり試験においては、一体を除き、はくり率、最大はくり率ともに使用環境2の基準を満たしたが、減圧加圧試験においては基準を満たさないものがほとんどであった。よってAPI-2についてもヒノキ材の接着については構造用集成材のJASの基準に適合しない可能性があるかと判断された。

API-1は他の処理に比較して煮沸処理による接着性能の低下が大きい傾向が認められた。有意差検定の結果(二元配置分散分析Tukeyの多重比較法による。以下同様。)においても煮沸処理と他の2種類の処理の間では、ともに1%水準で有意差が認められた。API-2については、他の処理に比較して浸せき処理による接着性能の低下が小さかった。浸せき処理と他の2種類の処理の間では、ともに1%水準で有意差が認められた。API-3については、はくり試験の処理方法にはくり率の影響はほとんど認められなかった。

3.2 樹種の影響

上記試験において接着性能の低下が大きかったAPI-1とAPI-2で接着したトウヒおよびスギ集成材について、

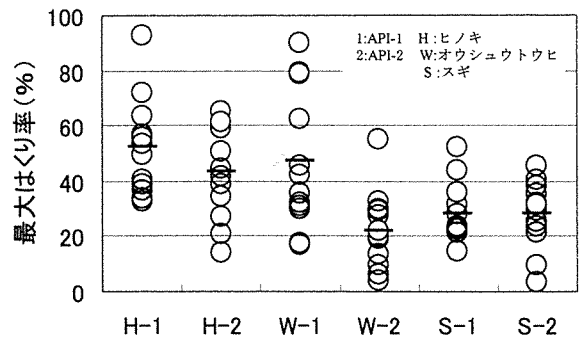


図4 2種類のAPIで接着した集成材における樹種が煮沸はくり試験の最大はくり率に及ぼす影響

3種類のはくり試験を行った結果をヒノキ集成材と比較した。

煮沸はくり試験におけるはくり率を図3に、最大はくり率を図4に示す。はくり率の平均はAPI-1、API-2ともにスギ、トウヒ、ヒノキ集成材の順に上昇した。API-1では最大はくり率においても同様であった。API-2については最大はくり率はヒノキ集成材が最も高かったが、トウヒ集成材とスギ集成材の値は、ほぼ同じであった。

API-1のはくり率の平均値についてみると、スギ集成材の値はヒノキ、トウヒ集成材と比較して低く、これら2樹種との有意差検定(一元配置分散分析Tukeyの多重比較法による。以下同様。)の結果はヒノキとスギ集成材の間で5%水準で有意であった。API-2についてみると、ヒノキ集成材と他の2樹種間の差が大きく、ヒノキ集成材とトウヒおよびスギ集成材の平均値の差は、ともに1%水準で有意であった。

浸せきはくり試験におけるはくり率を図5に、最大は

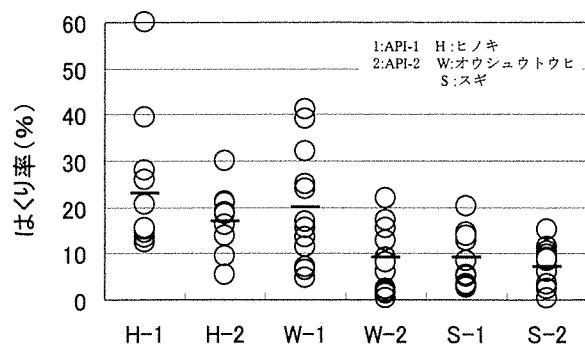


図3 2種類のAPIで接着した集成材における樹種が煮沸はくり試験のはくり率に及ぼす影響

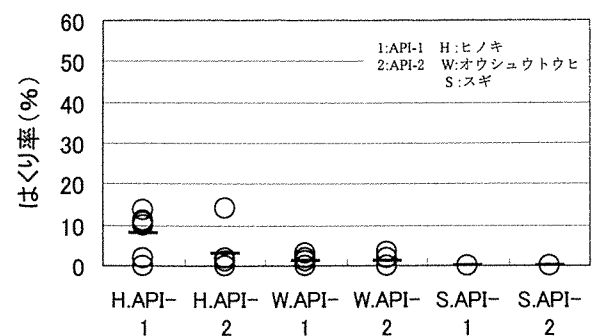


図5 2種類のAPIで接着した集成材における樹種が浸せきはくり試験のはくり率に及ぼす影響

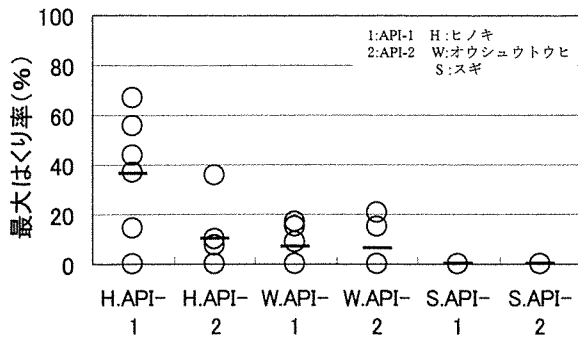


図6 2種類のAPIで接着した集成材における樹種が浸せきはくり試験の最大はくり率に及ぼす影響

くり率を図6に示す。浸せきはくり試験においてはAPI-1で接着したヒノキ集成材の他は、はくり率、最大はくり率ともに、すべての試験体において使用環境2の基準を満たした。スギ集成材についてはAPI-1、API-2ともに、すべての試験体において、はくりは認められなかった。API-1についてはヒノキ集成材のはくり率が高く、他の2樹種との間で1%水準で有意であった。

減圧加圧試験におけるはくり率を図7に、最大はくり率を図8に示す。減圧加圧試験では、はくり率、最大はくり率ともに煮沸はくり試験と浸せきはくり試験の中間の値を示した。他のはくり試験と同様にAPI-1、API-2ともに、ヒノキ集成材のはくり率の平均値が最も高い値を示した。接着剤別にはAPI-1の平均値はいずれの樹種もおよそ10%の値を示し、樹種間に有意差はなかったが、API-2については、ヒノキはAPI-1とほぼ同じ値、他の2樹種はこれより低く、ともにヒノキとの間に1%水準の有意差を示した。

以上3種類のはくり試験に共通する傾向として、ヒノキ集成材のはくり率の平均値が最も高かった。詳細な検

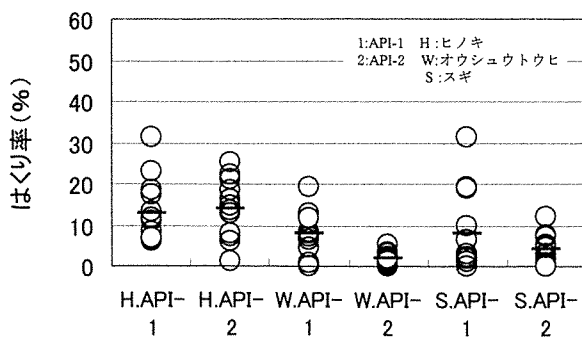


図7 2種類のAPIで接着した集成材における樹種が減圧加圧試験のはくり率に及ぼす影響

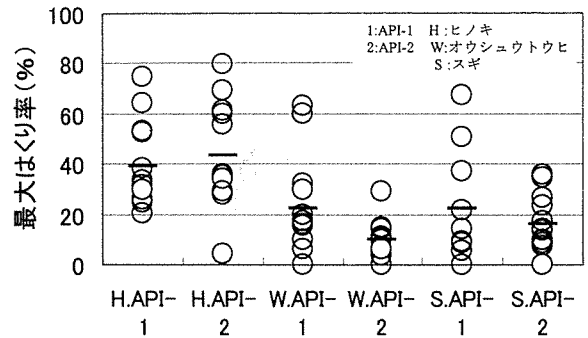


図8 2種類のAPIで接着した集成材における樹種が減圧加圧試験の最大はくり率に及ぼす影響

討を要するが、この原因の一つとして、ヒノキ材中の樹脂成分による接着阻害が考えられる。今回の試験に供したヒノキ材は、プレーナによる切削直後であっても、晩材部において肉眼で樹脂成分の存在が確認された。

また、いずれの樹種においても、はくり率の平均値は煮沸はくり試験の値が最も高く、次に減圧加圧試験の値が高かった。一般に、浸せき処理に比較して、煮沸処理と減圧加圧処理は試験体への水分浸入量が多く、特に煮沸処理においては、加熱を伴うため、接着層への影響は、大きいと考えられる。

一般にAPIの主剤には熱可塑性樹脂であるPVA(ポリビニルアルコール)、PVAc(ポリ酢酸ビニル)、SBR(スチレンブタジエンラテックス)などのエマルジョンが使用されることが多く、これらのポリマーは、加熱と共に接着力が低下する¹⁾。APIのように架橋剤を添加して耐水性を向上させるタイプであっても、通常、架橋率は100%になることはないと考えられる²⁾ため、この影響は残ると考えられる。API-1およびAPI-2についても、主剤のベースポリマーにこれらの樹脂が使用されている可能性が高く、これら接着剤において煮沸はくり試験のはくり率が特に高かった一因と考えられる。API-3は、高比重材接着用に開発された性能の高い接着剤であり、今回の実験における他のAPIと明らかに異なる良好な結果から推測しても、上記の物質以外の有効成分が添加されていると推測された。

構造用集成材のJASに定められた接着の程度に関する基準のうち、はくり試験に関するものは、「浸せきはくり試験と煮沸はくり試験」または「減圧加圧試験」を選択できる。APIの場合、加熱処理を伴う煮沸はくり試験では、はくり率が上昇する傾向にあることを念頭に置く必要がある。

4. まとめ

APIは構造用集成材のJASにおいて、一部使用を認められた耐水性の高い接着剤であるが、その種類によって、一定の条件のもとでは接着性能が充分発揮されない場合があることが今回の実験によって確認された。その条件は、煮沸や減圧加圧などの厳しい処理を伴うはくり試験を行った場合、特に、加熱を伴う煮沸はくり試験において接着性能の低下が大きかった。

また、これらAPIは、被着材の樹種によっても接着性能に差が生じた。ヒノキ、トウヒ、スギのうちではヒノキにおいて接着性能の低下が大きく、スギが最も小さかった。また、接着性能の低下はこれら条件が複合した場合、すなわち、ヒノキ集成材において、煮沸はくり試

験を行った場合に特に顕著であった。

以上のことから、APIを構造用集成材に使用する場合、接着する樹種と、接着剤の選定を慎重に行う必要があることが確認された。

引用文献

- 1) 滝 欽二, 富田文一郎, 水町 浩: 水性ビニルウレタン系接着剤に関する研究(第1報). 木材学会誌. 28, 143-149 (1982)
- 2) 滝 欽二, 水町 浩, 山岸祥恭: 水性ビニルウレタン系接着剤の接着性(第1報). 木材学会誌. 24, 237-242 (1978)

(2004年12月28日受理)