

平成6年度 農林水産省補助事業  
技術開発研究推進事業  
技術開発推進事業

# 性能標準作成事業報告書

平成7年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



## まえがき

接着加工され製造されている木材製品は、その用途に応じた接着耐久性を確保することが重要である。しかし、接着性能に関しては、使用する接着剤の品質を十分に担保する試験法がないこと、国際的な観点から見直しが必要になっていること、開発された新しい接着剤を弾力的に使用する体制にないことなどの問題がある。

本事業は、こうした状況にかんがみ、国際的な視点にも留意しつつ、木材用各種接着剤の品質性能を適切に評価するための試験法と、各種木質建材の接着性能を適切に評価するための試験法をそれぞれ明らかにし、もって、J A S等公的規格への反映、接着剤で接合された木製品に対する利用者の信頼の昂揚及び木材や接着剤関係の産業の発展に資することを目的とするものである。

本年度は諸外国を含めた既往の木材接着剤性能試験方法・評価法の調査検討、建築材料・部材における接着耐久性評価試験方法の検討、接着剤の物性と性能評価の検討を行い、木材接着剤の評価試験方法（案）を提案した。

多忙な時間を割いて、報告書のとりまとめをいただいた委員各位と関係の皆様には厚くお礼を申し上げます。

平成7年3月

（財）日本住宅・木材技術センター

理事長 下川英雄



# 目次

ページ

まえがき

1 事業概要及び要約	-----	1
1. 1 事業概要	-----	1
1. 1. 1 事業の目的及び事業期間	-----	1
1. 1. 2 平成6年度の事業事業期間	-----	1
1. 1. 3 委員名簿	-----	1
1. 2 要約	-----	2
2 既往の木材接着性能試験方法と評価法	-----	3
2. 1 接着性能（耐湿、耐水、耐煮沸性）	作野 -----	3
2. 1. 1 我が国における接着性能試験方法	-----	3
2. 1. 2 諸外国における接着性能試験方法	-----	1 1
2. 2 耐熱性	-----	1 4
2. 2. 1 温度依存性	立花 -----	1 4
2. 2. 2 熱劣化性	水野 -----	1 7
2. 3 クリープ性	吉田 -----	1 9
2. 3. 1 各国規格にみる接着剤のクリープ試験方法	-----	1 9
2. 3. 2 既往の文献に見られる接着剤のクリープ試験	-----	3 3
3 建築材料・部材における接着耐久性評価試験方法の考え方	本橋 -----	3 6
3. 1 使用者側から見た建築材料・部材の耐久性能	-----	3 6
3. 2 木材用接着剤の側から見た耐久性評価	-----	3 6
3. 3 建築材料・部材の接着耐久性試験に対する考え方	-----	3 8
4 接着剤の物性と性能評価	-----	4 2
4. 1 主な木材用接着剤の粘弾的性質と性能評価	滝 -----	4 2
4. 1. 1 熱可塑性・エラストマー接着剤	-----	4 2
4. 1. 2 複合型接着剤	-----	4 4
4. 1. 3 熱硬化型接着剤	-----	4 6
4. 2 熱硬化性接着剤硬化物の力学的性質と接着強さ	樋口 -----	5 0
5 木材用接着剤の評価試験方法（案）	-----	5 7
5. 1 接着性能（耐湿、耐水、耐煮沸性）	作野 -----	5 7
5. 1. 1 浸せき剥離試験	-----	5 7
5. 1. 2 ブロックせん断試験	-----	5 8
5. 2 耐熱性	-----	5 9
5. 2. 1 温度依存性	立花 -----	5 9
5. 2. 2 熱劣化性試験	水野 -----	6 0
5. 3 クリープ性能	吉田 -----	6 2
おわりに	吉田 -----	6 4



## 1 事業概要及び要約

### 1. 1 事業の概要

#### 1. 1. 1 事業の目的及び事業期間

接着加工され製造されている木材製品は、その用途に応じた接着耐久性を確保することが重要である。接着性能に関しては、使用する接着剤の品質を十分に担保する試験法がないこと、国際的な観点から見直しが必要になっていること、開発された新しい接着剤を弾力的に使用する体制にないことなどの問題がある。

本事業は、こうした状況にかんがみ、国際的な視点にも留意しつつ、木材用各種接着剤の品質性能を適切に評価するための試験法と、各種木質建材の接着性能を適切に評価するための試験法をそれぞれ明らかにし、もって、J A S等公的規格への反映、接着剤で接合された木製品に対する利用者の信頼の昂揚及び木材や接着剤関係の産業の発展に資することを目的にする。

#### 事業期間

平成6年度から平成7年度までの2カ年間

#### 1. 1. 2 平成6年度の事業

- ①諸外国を含めた既往の木材接着剤性能試験方法・評価法の調査検討。
- ②建築材料・部材における接着耐久性評価試験方法の考え方。
- ③接着剤の物性と性能評価。
- ④木材接着剤の評価試験方法（案）の提案。

#### 1. 1. 3 委員名簿（敬称略）

委員長	吉田 弥明	静岡大学農学部	教授
委員	作野 友康	鳥取大学農学部	教授
”	樋口 光夫	九州大学農学部	教授
”	滝 欽二	静岡大学農学部	教授
”	小野 擴邦	東京大学農学部	助教授
”	本橋 健司	建築研究所有機材料研究室	室長
”	田村 彰	（財）日本合板検査会	
”	水野 泰嗣	合成樹脂工業協会	
”	立花 光雄	日本接着剤工業会	

## 1. 2 要約

本事業は、①諸外国を含めた既往の木材接着剤性能試験方法・評価法の調査及びまとめ、②建築材料・部材における接着耐久性評価試験方法の考え方のまとめ、③接着剤の物性と性能評価のまとめを行い、これらを踏まえて④木材接着剤の評価試験方法（案）の提案を試みた。

### キーワード

木材、接着、性能、試験、耐湿性、耐水性、耐煮沸性、耐熱性、温度依存性、熱劣化性、クリープ性、耐久性、建築材料、建築部材、評価、物性、粘弾的性質、熱可塑性、複合型、熱硬化性、接着強さ、浸せき剥離、ブロックせん断。



## 2. 既往の木材接着性能試験方法と評価法

### 2. 1. 接着性能（耐湿、耐水、耐煮沸性）

#### 2. 1. 1. わが国における接着性能試験方法

わが国における木材及び木質材料の接着あるいは関連接着製品は原材料が農林物質及び工業製品の両者にわたるため、それらの接着性能をみる試験方法及び評価法については日本農林規格（JAS）と日本工業規格（JIS）の両方に規定されている。JASに規定されている木質系接着製品に関する規格とそれぞれの接着試験方法（処理内容）を整理して表2-1～2に示す。このように接着試験における処理内容として、種々の耐水処理が行われることがわかる。そこでこの耐水処理条件毎に整理してみると表2-3のようにまとめることができる。耐水処理であるのでいずれの場合も水中に浸せきする方法をとっている。その処理水の温度が室温水、温水、煮沸水と順次過酷になつていく。さらに、単に浸せきするだけのもの（温水浸せき処理、連続煮沸処理）、浸せきして減圧と加圧をするもの（減圧加圧処理）、さらに、温度の異なる処理を加えるもの（ステーミング処理）、および浸せき処理と乾燥を繰返して行うもの（室温水浸せき乾燥繰返し処理、煮沸乾燥繰返し処理）がある。また、同一の処理方法でも浸せき時間、乾燥の温度と時間などを異にして何段階かに分けている。そして、各処理後の接着性能の判定方法としては、接着強度を測定する「せん断試験」と接着層がどの程度剥離するかを測定する「剥離試験」とがある。

以上のように処理方法を種々変化させて同一製品でも接着性能の違いによつて分類できるようにしている。例えば各種合板の分類、集成材、単版積層材の造作用と構造用の分類などが行われる。そこでさらに、集成材、単版積層材、構造用パネル及びたて継ぎ材について、各製品毎の試験方法と耐水処理法によつて分類して表2-4に示す。これによつて同一製品における接着性能による分類が明らかにできる。

次に、日本工業規格（JIS）に規定されている接着に関する試験法としては表2-5に示すものがあげられる。このうちで耐水接着性能の試験方法としては、JIS K6857-73「接着剤の耐水性試験方法」がある。この規格に規定されている耐水処理条件は表2-6に示す通りである。この処理条件は①水に浸せき（A～E）、②浸せきと乾燥の繰返し（F、G）、③高湿度に暴露（H）及び④高湿度と乾燥の繰返しの4つに大別できる。そして、①では処理温度（常温～100℃（煮沸水））と処理時間（3～720時間）をそれぞれ変化させている。②の（F）においては最初の浸せき時間を48時間と長くしているがその後の繰返しではすべて同様にしている。また、JIS K6801～6806に6種類の接着剤についての接着性能試験方法が規定されている。これらの試験方法の内容については整理して表2-7に示す。耐水処理を行うものは、処理条件を前述（表2-6）のものの中から適用しており、それぞれの記号（A～I）で表示されている。

表 2 - 1

各種日本農林規格 ( J A S ) の接着試験とその処理

規格の名称	試験の名称	処 理 の 内 容 等
普通合板	煮沸繰り返し試験 スチーミング処理試験 温冷水浸せき試験 常態試験 浸せきはくり試験 ( 1 類 ) ( 2 類 ) ( 3 類 )	沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、20 hr → 沸騰水中に 4 hr → 室温水中にて室温まで冷却 室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温水中にて室温まで冷却 温水浸せき $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温まで冷却 沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、20 hr → 沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ → 3 hr 温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr 温水浸せき $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr
コンクリート型 枠用合板	煮沸繰り返し試験 スチーミング処理試験	沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、20 hr → 沸騰水中に 4 hr → 室温水中にて室温まで冷却 室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温水中にて室温まで冷却
構造用 合板	連続煮沸試験 スチーミング繰り返し試験 ( 特類 ) 煮沸繰り返し試験 スチーミング処理試験 ( 1 類 ) 減圧加圧試験	沸騰水中に 72 hr → 室温水中にて室温まで冷却 室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $130 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 室温流水中 1 hr → スチーミング $130 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 室温水中にて室温まで冷却 沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、20 hr → 沸騰水中に 4 hr → 室温水中にて室温まで冷却 室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温水中にて室温まで冷却 室温水中に浸せき → 減圧 $63.5 \text{ mllg}$ 、30 min → 加圧 $4.6 \sim 4.9 \text{ kgf/cm}^2$ 、30 min
特殊合板	浸せきはくり試験 ( 1 類 ) ( 2 類 ) ( 3 類 )	沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、20 hr → 沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ → 3 hr 温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr 温水浸せき $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr
難燃合板	煮沸繰り返し試験 スチーミング処理試験 温冷水浸せき試験 浸せきはくり試験 ( 1 類 ) ( 2 類 )	沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、20 hr → 沸騰水中に 4 hr → 室温水中にて室温まで冷却 室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温水中にて室温まで冷却 温水浸せき $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温まで冷却 沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、20 hr → 沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ → 3 hr 温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr

表 2 - 2

## 各種日本農林規格 ( J A S ) の接着試験とその処理

規格の名称	試験の名称	処 理 の 内 容 等
防災合板	温水浸せき試験 浸せきはくり試験	温水浸せき $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温まで冷却 温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr
防火戸用合板	煮沸試験 乾湿繰り返し試験 浸せきはくり試験	沸騰水中に 3 hr → 室温水中に 1 hr 室温水中に 4 8 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、8 hr → (室温水中に 1 6 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、8 hr) × 2 → 室温水中に 1 6 hr 沸騰水中に 3 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $30 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 0 hr
パレット用合板	煮沸繰り返し試験 スチーミング処理試験	沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 0 hr → 沸騰水中に 4 hr → 室温水中にて室温まで冷却 室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温水中にて室温まで冷却
足場板用合板	連続煮沸試験	沸騰水中に 7 2 hr → 室温水中にて室温まで冷却
フローリング	浸せきはくり試験 曲げ試験	温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr 常態
集成材	浸せきはくり試験 煮沸はくり試験	室温水中に 6 hr → 乾燥 $40 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1 8 hr (造作用) 沸騰水中に 5 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1 8 hr (構造用)
構造用大断面集成材	浸せきはくり試験 煮沸はくり試験 ブロックせん断試験	室温水中に 2 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 4 hr 沸騰水中に 5 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 4 hr 常態
単板積層材	浸せきはくり試験	温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、MC 8 % 以下まで
構造用単板積層材	浸せきはくり試験 煮沸はくり試験 水平せん断試験	室温水中に 2 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 4 hr 沸騰水中に 5 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 4 hr 常態
構造用パネル	常態はくり試験 煮沸はくり試験	常態 沸騰水中に 2 hr
枠組壁工法構造用たて継ぎ材	煮沸繰り返し試験 減圧加圧試験	沸騰水中に 5 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1 8 hr 以上 減圧 $508 \sim 635 \text{ mmHg}$ 、3 0 min → $5.2 \pm 0.3 \text{ Kg/cm}^2$ 、2 hr → 乾燥 $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1 8 hr 以上 (MC 1 9 % 以下)

表 2 - 3

## 日本農林規格 ( J A S ) の耐水処理

処 理	処 理 の 内 容 等
スチーミング処理	室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $130 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 室温流水中、1 hr → スチーミング $130 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 室温水中にて室温まで冷却 (特類合板・引張りせん断)
	室温水浸せき 2 hr 以上 → スチーミング $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温水中にて室温まで冷却 (1 類合板・引張りせん断)
連続煮沸処理	沸騰水中に 7.2 hr → 室温水中にて室温まで冷却 (特類合板・引張りせん断)
	沸騰水中に 3 hr → 室温水中に 1 hr (防火戸用合板)
	沸騰水中に 2 hr (構造用パネル・はくり)
温水浸せき処理	温水浸せき $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr → 室温まで冷却 (2 類合板・引張りせん断)
減圧加圧処理	室温水中に浸せき → 減圧 $635 \text{ mmHg}$ 、30 min → 加圧 $4.6 \sim 4.9 \text{ kgf/cm}^2$ 、30 min (構造用合板・引張りせん断)
	減圧 $508 \sim 635 \text{ mmHg}$ 、30 min → $5.2 \pm 0.3 \text{ Kg/cm}^2$ 、2 hr → 乾燥 $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1.8 hr 以上 (MC 19% 以下) (枠組壁工法構造用たて継ぎ材・はくり)
煮沸繰り返し処理	沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2.0 hr → 沸騰水中に 4 hr → 室温水中にて室温まで冷却 (1 類合板・引張りせん断)
	沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2.0 hr → 沸騰水中に 4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ → 3 hr (1 類合板・はくり)
	沸騰水中に 5 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1.8 hr 以上 (枠組壁工法構造用たて継ぎ材・はくり)
	沸騰水中に 5 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1.8 hr (構造用集成材・はくり)
	沸騰水中に 5 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2.4 hr (構造用単板積層材、構造用大断面集成材・はくり)
	沸騰水中に 3 hr → 室温水中に 1 hr → 乾燥 $30 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2.0 hr (防火戸用合板)
温水浸せき乾燥繰り返し処理	温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr (2 類合板・はくり)
	温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、MC 8% 以下まで (単板積層材・はくり)
	温水浸せき $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、3 hr (3 類合板・はくり)
室温水浸せき乾燥繰り返し処理	室温水中に 4.8 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、8 hr → (室温水中 1.6 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、8 hr) × 2 → 室温水中 1.6 hr (防火戸用合板・はくり)
	室温水中に 2.4 hr → 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、2.4 hr (構造用単板積層材・はくり)
	室温水中に 6 hr → 乾燥 $40 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、1.8 hr (造作用集成材・はくり)

表 2 - 4

日本農林規格 ( J A S ) にみられる試験片の処理条件と対応性能

製 品	試 験	耐水類別 (用途)	処理試験の 名 称	処 理 方 法	規格対象 製 品
集 成 材	ブロッ せん断		常 態		構造用集成 材 構造用大断 面集成材
	浸せき はくり	造作用	浸せきはくり 試験	室温水浸中に6hr→乾燥 $40 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 18hr	造作用集成 材 構造用集成 材
		構造用	煮沸はくり試 験	沸騰水中に5hr→室温水中に1hr →乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 18hr	構造用集成 材
		構造用大 断面	浸せきはくり 試験	室温水中に24hr→乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 24hr	構造用大断 面集成材
煮沸はくり試 験	沸騰水中に5hr→室温水中に1hr 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 24hr				
単 板 積 層 材	水 平 せん断	構造用	常 態		構造用単板 積層材
	浸せき はくり	非構造用	浸せきはくり 試験	温水浸せき $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 2HR→乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , MC8%以下まで	単板積層材
		構造用	浸せきはくり 試験	室温水中に24hr→乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 24hr	構造用単板 積層材
			煮沸はくり試 験	沸騰水中に5hr→室温水中に1hr 乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 24hr	
構 造 用 パ ネ ル	剥 離 抵 抗	構造用	常態はくり試 験		構造用パネ ル
	浸せき はくり	構造用	煮沸はくり試 験	沸騰水中に2hr	
た て 継 ぎ 材	浸せき はくり	構造用	煮沸繰返し試 験	沸騰水中に5hr→室温水中に1hr →乾燥 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 18hr以上	枠組壁工法 構造用たて 継ぎ材
			減圧加圧試験	水中浸せき→減圧508~635mmHg 30min→加圧 $5.2 \pm 0.3\text{kgf/cm}^2$ , 2 hr→乾燥 $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , 18hr以上	

表 2 - 5

木材接着剤及びその試験法、木質系接着製品の接着に関連する日本工業規格 ( J I S )

分類番号	名 称
J I S A 1 6 1 1 - 8 4	木レンガ接着剤の接着強さ及びその接着工法の接着強さ試験方法
J I S A 1 6 1 2 - 8 4	天井用ボード類接着剤の接着強さ及びその接着工法の接着強さ試験方法
J I S A 1 6 1 3 - 8 4	壁用ボード類接着剤の接着強さ及びその接着工法の接着強さ試験方法
J I S A 5 5 3 7 - 8 4	木レンガ用接着剤
J I S A 5 5 3 8 - 8 4	壁用ボード類接着剤
J I S A 5 5 3 9 - 8 4	天井用ボード類接着剤
J I S A 5 9 0 3 - 8 7	化粧硬質繊維板
J I S A 5 9 0 5 - 7 9	軟質繊維板
J I S A 5 9 0 6 - 8 3	中質繊維板
J I S A 5 9 0 7 - 7 7	硬質繊維板
J I S A 5 9 0 8 - 8 6	パーティクルボード
J I S A 5 9 0 9 - 8 3	化粧パーティクルボード
J I S A 5 9 1 0 - 7 5	外装用化粧硬質繊維板
J I S A 5 9 1 2 - 8 5	インシュレーションファイバーボードサンドウィッチ畳床
J I S A 5 9 1 4 - 9 2	建材畳床
J I S A 6 3 0 4 - 7 2	吸音用軟質繊維板
J I S A 6 5 0 4 - 7 5	建築用構成材 (木質壁パネル)
J I S A 6 5 0 6 - 7 5	建築用構成材 (木質床パネル)
J I S A 6 5 0 9 - 7 5	建築用構成材 (木質屋根パネル)
J I S A 6 9 2 2 - 7 8	壁紙施工用澱粉系接着剤
J I S A 6 9 3 1 - 7 8	パネル用ペーパーコア
J I S K 6 8 0 0 - 8 5	接着剤・接着用語
J I S K 6 8 0 1 - 8 7	ユリア樹脂木材接着剤
J I S K 6 8 0 2 - 8 6	フェノール樹脂木材接着剤
J I S K 6 8 0 3 - 7 9	カゼイン木材接着剤
J I S K 6 8 0 4 - 7 7	酢酸ビニル樹脂エマルジョン木材接着剤
J I S K 6 8 0 5 - 7 9	メラミン・ユリア共縮合樹脂木材接着剤
J I S K 6 8 0 6 - 8 5	水性高分子-イソシアネート系木材接着剤
J I S K 6 8 3 3 - 8 0	接着剤の一般試験方法
J I S K 6 8 4 8 - 8 7	接着剤の接着強さ試験方法通則
J I S K 6 8 4 9 - 7 6	接着剤の引張り接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 0 - 7 6	接着剤の引張りせん断接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 1 - 7 6	接着剤の木材引張りせん断接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 2 - 7 6	接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 3 - 7 7	接着剤の割裂接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 4 - 7 7	接着剤のはくり接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 5 - 7 7	接着剤の衝撃接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 6 - 7 7	接着剤の曲げ接着強さ試験方法
J I S K 6 8 5 7 - 7 3	接着剤の耐水性試験方法
J I S K 6 8 5 8 - 7 4	接着剤の耐薬品性試験方法
J I S K 6 8 5 9 - 8 0	接着剤のクリープ試験方法
J I S K 6 8 6 0 - 7 4	接着剤の耐候性試験方法通則
J I S K 6 8 6 1 - 7 7	$\alpha$ -シアノアクリレート系接着剤の試験方法
J I S K 6 8 6 2 - 8 4	ホットメルト系接着剤の熔融粘度試験法
J I S S 6 0 4 0 - 8 1	一般工作用接着剤
J I S W 1 1 0 1 - 7 7	航空機用合板

表 2 - 6

J I S 耐水性試験の処理条件 ( J I S K 6 8 5 7 - 7 3 )

処理条件の 記 号	処理条件 <sup>(1)</sup>		
	処理時間 (h)	処理温度 (°C)	水分条件
A	3	30±1	水に浸せき
	1/6	20±1	水に浸せき
B	72	室 温	水に浸せき
C	720	室 温	水に浸せき
D	3	60±3	水に浸せき
	流水で室温まで冷却		
E	72	97~100	水に浸せき
	流水で室温まで冷却		
F	48	20±1	水に浸せき
	8	60±3	乾 燥
	16	20±1	水に浸せき
	8	60±3	乾 燥
	16	20±1	水に浸せき
	8	60±3	乾 燥
	16	20±1	水に浸せき
G	4	97~100	水に浸せき
	20	60±3	乾 燥
	4	97~100	水に浸せき
	流水で室温まで冷却		
H	72	室 温	85~90%RH
I	24	20±2	85~90%RH
	24	50±3	乾 燥
	72	20±1	85~90%RH
	48	50±3	乾 燥

注(1) 処理条件が2行以上にわたる場合は、順次連続して処理するものとする。

表 2 - 7

## 日本工業規格 ( J I S ) における木材用接着剤の種類と適用品質試験

接着剤の名称	種類	適用される品質試験*
ユリア樹脂木材接着剤 ( J I S K 6801-87 )	1 種 ( 常温接着用 ) 2 種- 1 , 2 号 ( 加熱接着用 )	外観、不揮発分、保存性、水混和性、酢ビ混和性、p H、遊離ホルムアルデヒド、圧縮せん断接着強さ ( 常態、耐温水 )、木材引張せん断強さ ( 常態、耐温水 : D )、粘度、ゲル化時間
フェノール樹脂木材接着剤 ( J I S K 6802-86 )	1 種 ( 常温接着用 ) 2 種 ( 加熱接着用 )	外観、不揮発分、保存性、水混和性、p H、遊離ホルムアルデヒド、圧縮せん断接着強さ ( 常態、煮沸繰り返し : G )、木材引張せん断強さ ( 常態、連続煮沸 : E )、粘度、ゲル化時間
カゼイン木材接着剤 ( J I S K 6803-79 )	—	外観、水分、ふるい分け、溶解性、p H、可使時間、圧縮せん断接着強さ ( 常態、耐水 : A )
酢酸ビニル樹脂エマルジョン木材接着剤 ( J I S K 6804-77 )	1 種 ( 一般用 ) - 1 号 : 常温用 - 2 号 : 低温用 2 種 ( ユリア樹脂混和用 )	外観、p H、粘度、蒸発残分、灰分、造膜性、木材汚染性、ユリア樹脂混和性 ( 硬化剤添加、未添加 )、接着強さ ( 常態、耐水 : A )
メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤 ( J I S K 6805-79 )	—	外観、不揮発分、保存性、水混和性、p H、遊離ホルムアルデヒド、木材引張せん断強さ ( 常態、煮沸繰り返し : G )、酢ビ混和性、粘度、ゲル化時間
水性高分子・イソシアネート系木材接着剤 ( J I S K 6806-85 )	1 種 ( 常温接着用 ) - 1 号 : 構造用集成材、体力パネル用 - 2 号 : 造作用集成材、家具、一般木工用 2 種 ( 加熱接着用 ) - 1 号 : 構造用合板用 - 2 号 : 化粧単板、一般合板用	外観、不揮発分、粘度、p H、水混和性、保存性、N C O 量、圧縮せん断接着強さ ( 常態、耐温水 : D、煮沸繰り返し : G )、木材引張せん断強さ ( 常態、耐温水 : D、煮沸繰り返し : G )、接着強さ保持時間

\* アルファベットは J I S K 6 8 5 7 の耐水処理に対応する。



## 2. 1. 2 諸外国における接着性能試験方法

諸外国においても木材及び木質接着製品の接着性能試験方法がそれぞれ規定されている。これらのうち、主要国規格としては、アメリカのASTM、PS、イギリスのBS、ドイツのDIN、ヨーロッパ共通のENなどがあげられる。これらの規格のうちから主として接着耐久性（特に耐湿・耐水、耐煮性）試験処理条件についての例をあげて紹介する。

まず、主要な外国の製品規格にみられる耐水性能試験に関する処理条件について整理してみると表2-8のようになる。これらのによる処理条件は主に①水中浸せき（冷水あるいは室温水、温水、煮沸水）あるいは②水中浸せき-乾燥繰返しである。

このほか、浸せき時に減圧-加圧する場合、煮沸に替えてステーミングする場合、さらに煮沸後耐菌処理をする場合などがあげられている。

また、ASTMの接着層に対する耐水性試験（D1151）に規定されている標準処理条件を表2-9に示す。この処理条件はあらゆる接着系に適用される規格で、処理温度と湿度条件（水中浸せきも含む）が組合わされており、これらの処理条件の組合わせをそれぞれの規格に対応させていくようになっている。

構造用集成材に関する規格について、米国、英国、カナダの各国あるいは欧州の規格をみると、いずれも試験方法は接着層剥離とブロックせん断試験である。耐湿、耐水処理は冷水浸せき（減圧-加圧を含む）、浸せきと乾燥の繰返しが主として採用されている。これらの試験方法については「林産物JAS国際化規格設定促進事業報告書」（平成6年3月、日本住宅、木材技術センター発行）に詳しくまとめられている。

なお、主な接着性能試験に関する米・英規格をあげれば ASTM D1151、2595、3110、3535、BSEN204、301、302-1~4、BS1203、1204、4169 などがあげられる。

表 2 - 8

主要外国製品規格にみられる試験片の処理条件と対応性能

製品	試験	規格	用途・類別 (耐水性能)	処理方法
合 張 せ ん 板	引 張 せ ん 断	P S	外 装 用 構 造 用	冷水浸せき→減圧63cmHg, 30min→加圧 5kgf/cm <sup>2</sup> , 30min
				煮沸4hr→乾燥63±3°C, 20hr→煮沸4hr →s室温水中にて室温まで冷却
		D I N	W B P (耐候・耐煮沸性)	大気圧条件下煮沸72hr または210kPa圧下スチーミング12hr または105kPa圧下スチーミング24hr
			1 類 (耐煮沸・耐菌性)	常態 煮沸1hr→標準大気下72hr 耐菌処理14day
			2 類 (耐 水 性)	状態 冷水浸せき96hr
			3 類 (耐 湿 性)	状態 冷水浸せき24hr
	B S	C B R (耐煮沸性)	煮沸4hr→乾燥60±3°C→煮沸4hr→室 温水中浸せき	
		M R (耐湿性)	温水浸せき67±2°C, 3hr	
		I N T (屋内用)	冷水浸せき15±5°C, 24±2hr	
	浸せき はくり	P S	内 装 用	43°C温水浸せき→減圧38cmHg, 30min→ 常圧4.5hr→乾燥67°C, 15hr
		B S	I N T	室温水中浸せき16~24hr
	耐熱性	P S	構造用・外装用	800~900°Cの炎で加熱10min
集 成 材	浸せき はくり	A S T M	屋外用	18~27°Cの水中に浸せき→(減圧508 ~635mmHg, 5min→加圧5.25±0.35kgf/ cm <sup>2</sup> )の2回繰返し→強制乾燥64~67°C 21~22hr (RH15%以下)、これらを2回 繰返す

表 2 - 9

ASTM耐水性試験の標準処理条件 (ASTM D1151)

番 号	温 度 <sup>1)</sup>		状 態
	° C	° F	
1	- 5 7	- 7 0	
2	- 3 4	- 3 0	
3	- 3 4	- 3 0	あらかじめ浸せき <sup>2)</sup>
4	0	3 2	
5	2 3	7 3 . 4	5 0 % R H
6	2 3	7 3 . 4	水中浸せき
7	3 8	1 0 0	8 8 % R H
8	6 3	1 4 5	乾燥器中、湿度調節せず
9	6 3	1 4 5	水面上の空間 <sup>3)</sup>
1 0	6 3	1 4 5	水中浸せき
1 1	7 0	1 5 8	乾燥器中、湿度調節せず
1 2	7 0	1 5 8	水面上の空間 <sup>3)</sup>
1 3	8 2	1 8 0	乾燥器中、湿度調節せず
1 4	8 2	1 8 0	水面上の空間 <sup>3)</sup>
1 5	1 0 0	2 1 2	乾燥器中、湿度調節せず
1 6	1 0 0	2 1 2	水中浸せき
1 7	1 0 5	2 2 1	乾燥器中、湿度調節せず
1 9 ~ 2 1 省 略			

1) 試験温度の範囲は82° C (180° F) までは±1° C (±1.8° F)、82° C (180° F) 以上では±1% (華氏換算)

2) 51cm (20in) Hgの減圧下で恒量に達するまで水中に浸せきする。

3) 関係湿度は通常95~100%となる。

## 2.2 耐熱性

### 2.2.1 温度依存性

接着剤の「耐熱性」を評価する場合「ある固定した温度に於ける接着強さ」で評価するとそれは接着剤のT<sub>g</sub>に大きく依存するため、その温度以上のT<sub>g</sub>を持つ接着剤とその温度以下のT<sub>g</sub>を持つ接着剤では、相対的な差が拡張されて評価される恐れがある。

すなわち例えば60℃に於ける接着強さで評価した場合、T<sub>g</sub>が70℃の接着剤ではまだ軟化が起こっていないためかなりの強度を示すが、T<sub>g</sub>が50℃の接着剤では、すでに軟化が起こり急激な強度低下を示すため両者の強度差は大きい。

しかしながら、同じものを80℃で接着強さの比較をした場合、両者ともT<sub>g</sub>を越えた温度となるため急激な強度低下を示し、両者の強度差は小さい。

このように測定する温度により「耐熱性に大差あり」と「耐熱性は微差」という2つの異なる評価を与えてしまう。

このような評価法は「接着剤の耐熱性評価法」としては適切とは言い難い。

常に1点の温度で評価することは危険であり、むしろ、温度を変えて評価を繰り返し、接着強さが急激に低下する温度を突き止めることこそ耐熱性の評価にふさわしい。

そこで指定の温度で次々と接着強さの試験を繰り返し、接着強さ/負荷温度曲線を得、接着強さの温度依存性を評価する方法を「接着剤の耐熱性評価法」とすることが試されている。

木材接着用接着剤の「接着強さの温度依存性」を構成する因子のうち重要なものとして以下の因子がある。

- (a) 固化した接着剤層そのものの熱的性質(熱軟化、熱硬化)
- (b) 固化した接着剤と被着材との界面の熱的性質
- (c) 加熱による被着材からの水分蒸気
- (d) 接着層からの残留水分、溶剤、可塑剤の揮散

これらの因子のうちとりわけ(a)固化した接着層そのものの熱的性質が大きなウェイトを占めていると思われる。

そこで固化した接着層のT<sub>g</sub>を測定することにより「接着強さの温度依存性」を表現できるのではとの意見もあるが(b),(c)の影響も無視できない上に接着剤の組成によっては「T<sub>g</sub>と接着強さの関係」が明確でないものがあり、さらにエマルジョンのようにT<sub>g</sub>測定そのものがむずかしいものがあるなど接着剤のT<sub>g</sub>で「接着強さの温度依存性」を表現することは現状では難しいと考える。

このような背景から「接着強さの温度依存性試験」として各種温度下での木材接着体

の圧縮せん断接着強さを測定する方法を選択した。

試験方法の設定にあたっては ASTM D1151 (EFFECT OF MOISTURE AND TEMPERATURE ON ADHESIVE BONDS) や ECAA-04-1994 (接着強さの温度依存性試験) [接着剤・接着評価技術研究会] を参考とした。

項目値としては 各温度別に「接着強さ」を表示する「絶対値的」な方法と標準状態からの増減率(維持率)で表示する「比較値的」な方法があるが これらを2つ組み合わせることが望ましい。

なお 内外の既存の試験方法との比較を表2-10に示した。

内外の既存試験方法との比較

表 2 - 1 0 既存の試験方法との比較

	提案試験方法	J I S	類似試験方法 E C A A -04-1994	A S T M D 1 1 5 1
負荷温度	-40, -20, 0, 23, 40, 60 80, 100, 120, 140		-40, -20, 0, 23, 40, 60 80, 100, 120, 140, 160 180	-57, -34, 0, 23, 38, 63 70, 82, 100, 105, 149 204, 260, 316
負荷温度範囲	-40, -20, 0 は± 2 °C 23, 40, 60, 80 は± 1 °C 100°C以上 は± 2 °C		± 2 °C	82 °C以下は± 1 °C 100°C以上は± 1 %
負荷時間	2 4 時間			2 4 時間
評価方法	接着強さ 23°Cでの強さとの 比較% (維持率) 木材破壊率		接着強さ 及び 木材破壊率	接着強さ 23°Cでの強さとの 比較% (維持率) 木材破壊率

## 2. 2. 2 熱劣化性

熱劣化性そのものの既往の適切な試験方法がみあたらないため、ASTM D4502-94 木材接着物の熱及び水分抵抗性標準試験法を参考とした。この規格は熱と水分による劣化促進試験結果から木材接着物の長期の接着寿命（耐久性）を推定するもので、曝露温度が100℃以下では試験の曝露環境を湿度73～76%に保ち、水分の影響を考慮に入れているが、120℃以上では考慮していない。従って、本試験では120℃以上の試験方法を熱劣化試験の参考とした。

ASTM D4502-94 における参考データを表2. 2. 2. aに示す。

TABLE 2.2.2.a Aging Temperatures and Approximate<sup>A</sup> Time Required for 25% Strength Loss in Solid Wood and Adhesive-bonded Joints

Condition	Temperature, °C	Solid	Less
		Wood/ Durable Adhesive, days	Durable Adhesive days
Wet	60	146	5.3
	70	50	1.25
	77.5	21.6	0.42
	85	10.8	0.17
	100	2.3	0.10
Dry	120	130	58
	130	55	17
	145	10.3	3.4
	160	2.4	0.85
	170	0.85	0.33

<sup>A</sup>The times are only guidelines intended to be used as a starting point for durable adhesives. They may change with species or the adhesive.

曝露温度は通常、直射日光、床暖房、暖房器具の近くにある場合等を想定すると80℃が妥当であるとみられるが、試験の時間を短縮したいこと、及び火災時の耐熱性もある程度

推定可能なことを意図とし、できるだけ高温に設定することとした。しかし、170～180℃以上では木材の一部劣化が生じる度合いが大きくなるため、接着剤の熱劣化性を検出しにくくなること等を考慮し、試験温度は結局、160℃に設定した。

劣化はブロック剪断試験片を所定日数加熱し、剪断接着力を測定する試験方法を採用したが、ASTM D4502-94 では加熱の前後に各々、2週間から4週間、試験片を標準条件下に置き、平衡になるまで調整することになっている。本法ではこの期間を省略するため、応力の影響を除去する方法として絶乾状態で比較することとした。すなわち、105℃、24時間加熱後、絶乾条件下で冷却したものを初期強度とした。所定日数加熱後は同様に絶乾条件下で冷却し、接着力試験に供し、初期強度に対する強度低下割合をみることにより、大幅に試験期間を短縮した。

また、熱劣化性をみるのであれば、接着剤だけで、例えばフィルムを作製し、そのフィルムの熱劣化をみればよいとの考えもあるが、熱可塑型はフィルム作製は容易であるが、熱硬化性の場合、フィルム作製が難しく、実際の接着条件とはかなり異なった条件でフィルムを作製しなければならないこと等から、フィルムによる試験は断念した。フィルムにせず接着剤そのものでの試験については今後の検討課題とした。尚、水分の存在下で加熱されることにより加水分解等が熱だけよりも促進されるが、この点は煮沸繰り返し試験により代用するものとして、本試験では除外することとした。



## 2.3 クリープ性

### 2.3.1 各国規格にみる接着剤のクリープ性能試験

#### (1) J I S K 6 8 5 9 接着剤のクリープ試験方法

金属、プラスチック材料とともに木材のクリープ試験方法を規定している。

##### 1) 材料

被着材として表-1に示したように木材及び木質材料をあげており、その材質と表面処理についても規定している(JIS K6848-87)

表1 被着剤の種類及び表面処理(JIS K6848-87, 抜粋)

被着剤の種類	材 質	表 面 処 理
木 材	含水率4~15%に乾燥した容積密度500~800kg/m <sup>3</sup> の、まさ目材又は容積密度450~600kg/m <sup>3</sup> の南洋材単板	接着面を平滑に仕上げる
木質材料	JAS製材、JAS普通合板、JAS構造用合板、JIS A 5906(中質繊維板)、JIS A 5907(硬質繊維板)、JIS A 5908(パーティクルボード)に規定するものなど	

##### 2) 試験片

図-1に示すように、厚さ約5mmのストリップスを用いて作成した幅25mm×長さ147mm、接着面積13×25mmのダブルラップ試験片を用いる。

単位 mm

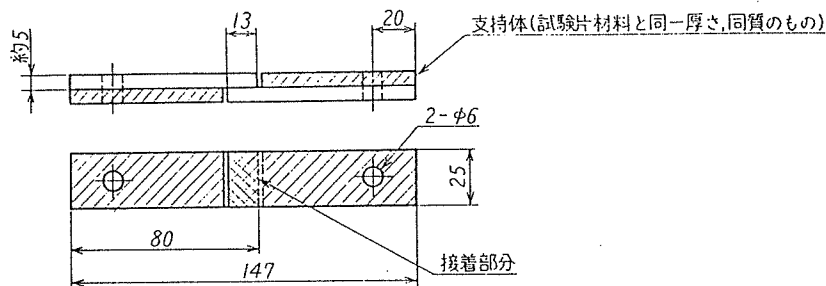


図1 木材用引張せん断クリープ試験片 (JIS K6859)

##### 3) 試験方法

試験は図-2、3及び4に示すような重錘式、てこ式あるいはスプリング式の装置を用いて行い、結果の表示は装置によって次ぎのような特性値で表すこととしている。

① 重錘式又はてこ式：破壊までの時間

②スプリング式：試験片が破壊するまでの応力と時間との関係図及び表

試験環境条件その他については、特に決められていない。また、試験法のみで評価についても全く記述されていない。

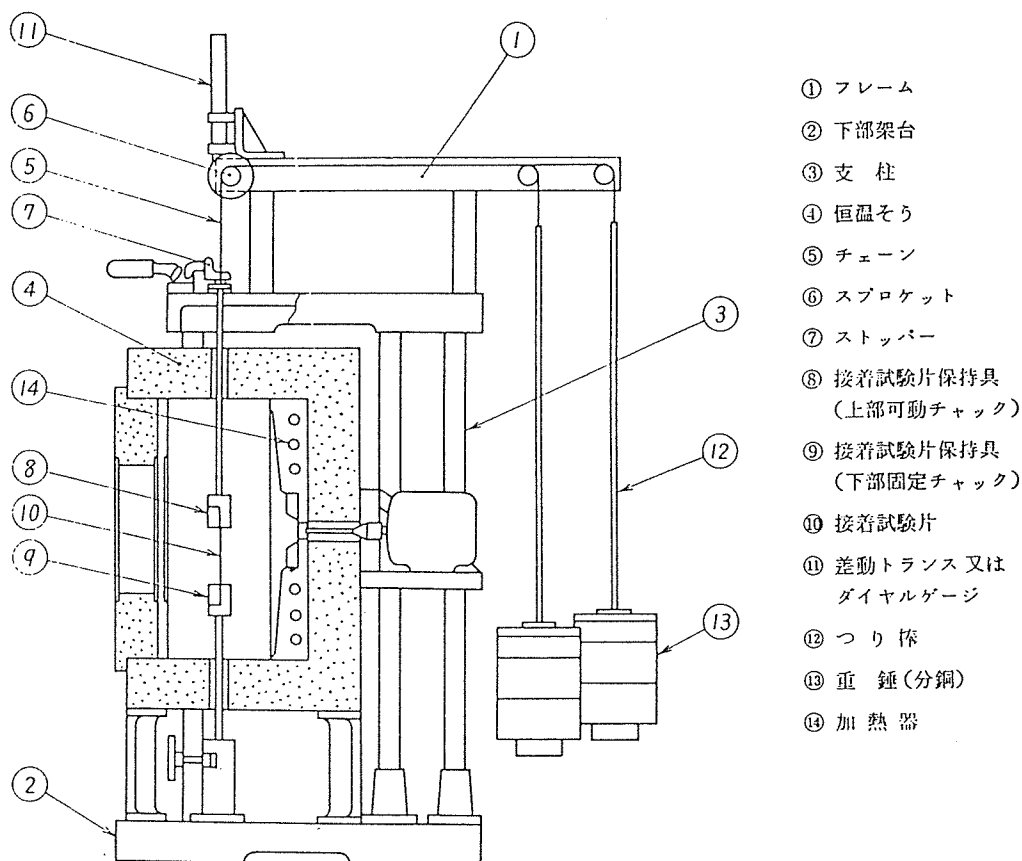


図2 重錘式クリープ試験装置の一例 (JIS K6859)

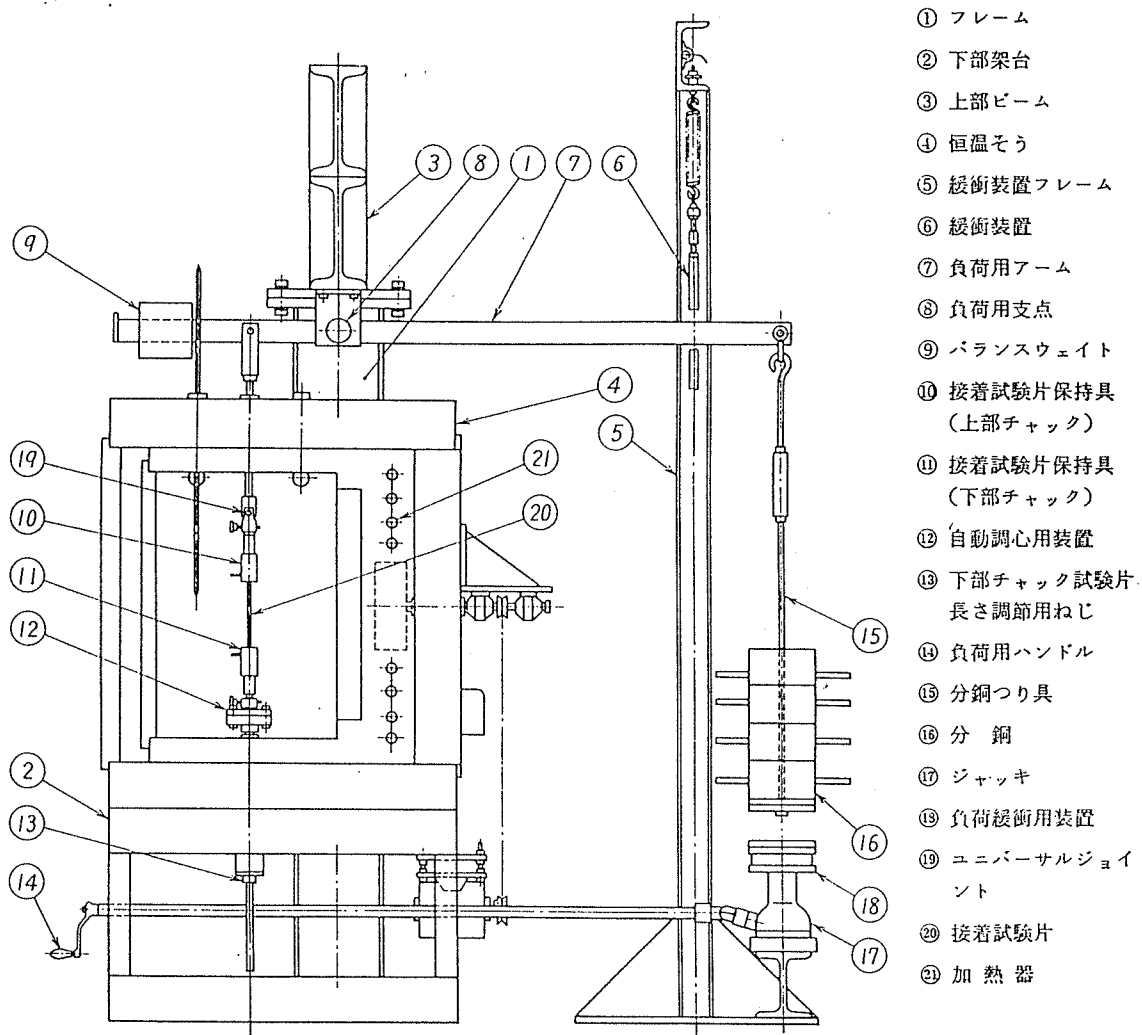
(2)ASTM D3535-92 屋外使用（湿潤使用）構造用集成材用接着剤の静荷重下における変形抵抗性試験方法

Resistance to Deformation of Under Static Loading for Structural Wood Laminating Adhesives Used Under Exterior(Wet Use) Exposure Conditions

表題のごとく屋外で使用される構造用集成材に用いられる接着剤の試験法と評価基準が ASTM D2559に規定されており、その中で長期荷重に対する変形抵抗性（クリープ）の試験及び評価をこの試験法により行うこととしている。

1)材料

使用樹種は針葉樹、広葉樹のいずれでも良いが、 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50 \sim 70\% \text{RH}$  ( $65\% \text{RH}$ が望ましい)で $8 \sim 14\% \text{MC}$  ( $9 \sim 12\%$ が望ましい)に調湿された材で、表面がクリーンに鉋削された健全ないた目材(ラミナ)を用いる。繊維傾斜は $1/15$ 、表面の仕上げ精度はラミナ間で $\pm 0.25\text{mm}$ 、同一ラミナ内で $\pm 0.20\text{mm}$ を越えないものとする。



- ① フレーム
- ② 下部架台
- ③ 上部ビーム
- ④ 恒温そう
- ⑤ 緩衝装置フレーム
- ⑥ 緩衝装置
- ⑦ 負荷用アーム
- ⑧ 負荷用支点
- ⑨ バランスウェイト
- ⑩ 接着試験片保持具 (上部チャック)
- ⑪ 接着試験片保持具 (下部チャック)
- ⑫ 自動調心用装置
- ⑬ 下部チャック試験片長さ調節用ねじ
- ⑭ 負荷用ハンドル
- ⑮ 分銅つり具
- ⑯ 分銅
- ⑰ ジャッキ
- ⑱ 負荷緩衝用装置
- ⑲ ユニバーサルジョイント
- ⑳ 接着試験片
- ㉑ 加熱器

⑫ 部拡大図

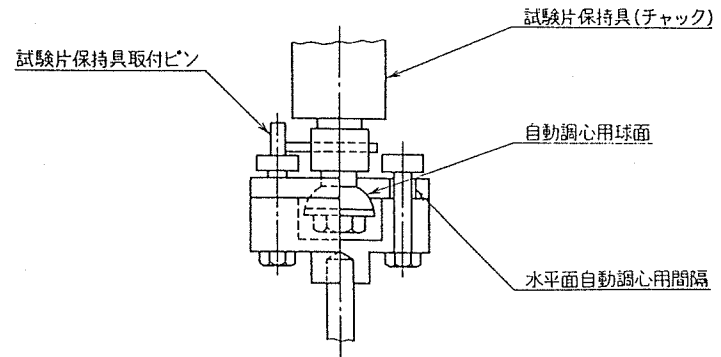


図3 てこ式クリープ試験装置の一例 (JIS K6859)

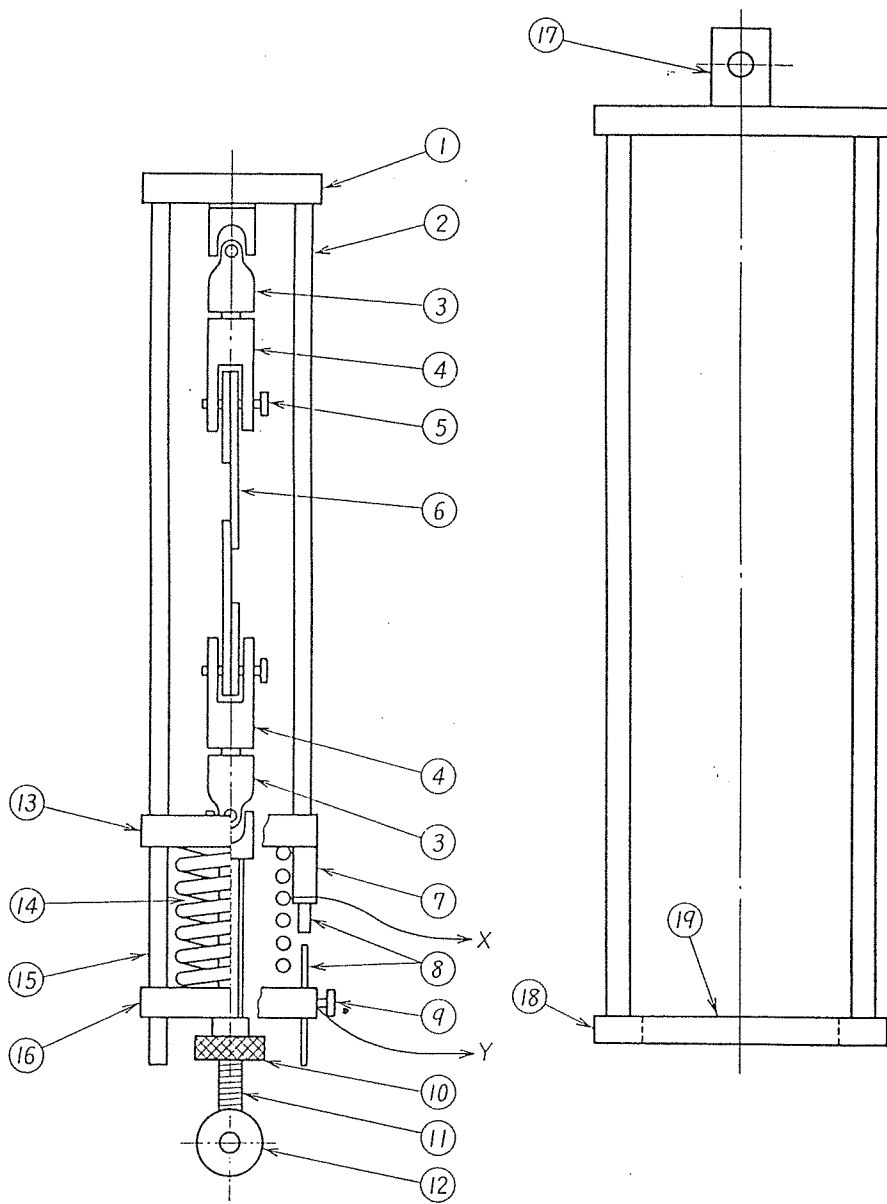


図4 スプリング式クリープ試験装置の一例 (JIS K6859)

- |                 |              |                   |
|-----------------|--------------|-------------------|
| ① 上部座板          | ⑧ 電気接点       | ⑮ ガイド支柱 (3本)      |
| ② 支柱 (4本)       | ⑨ 接点用ピン止めねじ  | ⑯ 可動座板            |
| ③ 自在継ぎ手 (上下)    | ⑩ ロックナット     | ⑰ 引張試験機ロードセルへの接続部 |
| ④ 接着試験片保持具 (上下) | ⑪ 荷重軸        | ⑱ 座板              |
| ⑤ 試験片取付用ピン (上下) | ⑫ 引張試験機への接続環 | ⑲ クリープ試験装置装着部分    |
| ⑥ 接着試験片         | ⑬ 下部座板       |                   |
| ⑦ 絶縁ロッド         | ⑭ スプリング      |                   |

## 2) 試験片

15.9(厚)×63.5(幅)×304.9(長)mmのラミナを用意し、図-5に示す試験片を作成する。中央部の空隙はスペーサーを挿入して形成させ、外側ラミナに溝を持つ全長276.22mm、幅50.8mmの試験片とする。1条件につき2体の試験片を用意する。

## 3) 試験方法

試験片を図-6に示す治具にセットし、万能試験機によって218.2kg(1655kPa)の荷重を加え、スプリングによってその荷重が保持できるようにナットを手締めし、表-2に示すの条件下に治具とともに所定の期間放置後、全試験片長の寸法の変化を測定する。

表2 放置温湿度条件と期間

温度(°C)	関係湿度(%)	期間(日)
71	規制せず	7
26.7	90	7

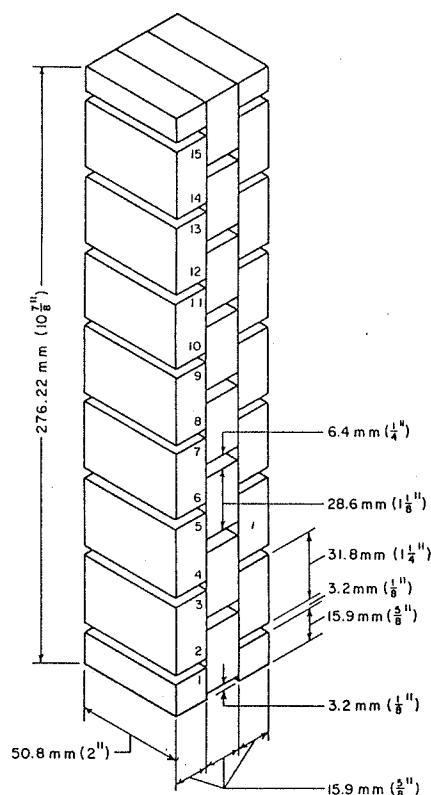


図5 クリープ試験片 (ASTM D3535)

放置期間終了後、試験片を治具から取り外し、4試験片について接着層の全滑り長(全変形量)を0.127mmの精度で測定し、条件ごとに両試験片の全変形量を合計する。

## 4) 評価

評価基準はASTM D2559に規定されており(D3535は試験方法のみ規定)、各放置条件における両試験片の変形の合計が3.63mmを越えないこと。いずれかの条件でこの要求条件が満たされない場合は、当該接着剤は不合格とする。

(3) ASTM D4680-92 静的圧縮せん断による接着剤のクリープ試験法及び破壊時間測定試験法(木材/木材)

Creep and Time to Failure of Adhesives in Static Shear by Compression Loading (Wood-to-Wood)

この規格は温湿度一定条件下の環境で様々な圧縮せん断応力が作用するときの構造用木材接着剤の時間依存性を決定する方法を規定している。比較的短期の本実験で得られるデータから比較的長期にわたる静的せん断力に対する接着剤の抵抗性を推定することができる。即ち、予想される使用環境、応力レベル、温湿度及び荷重期間にわたってクリープ試験を行い、各条件におけるクリープ速度、クリープ歪み、クリープ係数を算出する。これ

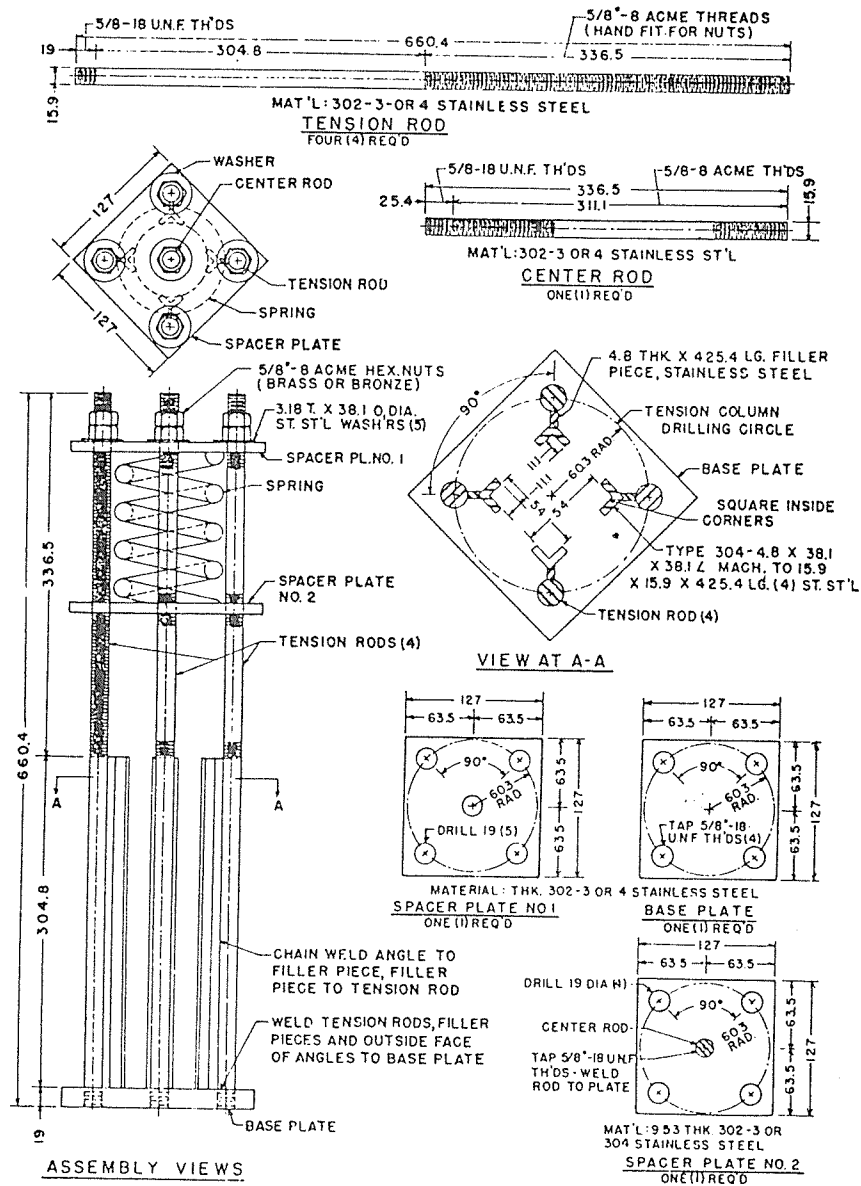


図6 圧縮タイプクリープ試験治具 (ASTM D3535)

らのデータは次のような目的に使用できる。

- ①長期荷重下における接着剤の性能の予測
- ②接着剤の特定
- ③接着剤の比較検討・仕様の決定
- ④接着剤を用いた部材の設計

この他に、新しい接着剤あるいは新しい接着製品の開発あるいは評価法として用いることができる。

#### 1)材料

標準材として全乾比重0.65以上のサトウカエデ(*Acer saccharum*)を用いる。当該接着剤とその樹種との関連でクリープ性を求める必要がある場合には、これ以外の樹種を用いて

も良い。しかし、サトウカエデより比重の軽い材を用いる場合には材自体の変形を生じることがあるので注意する。

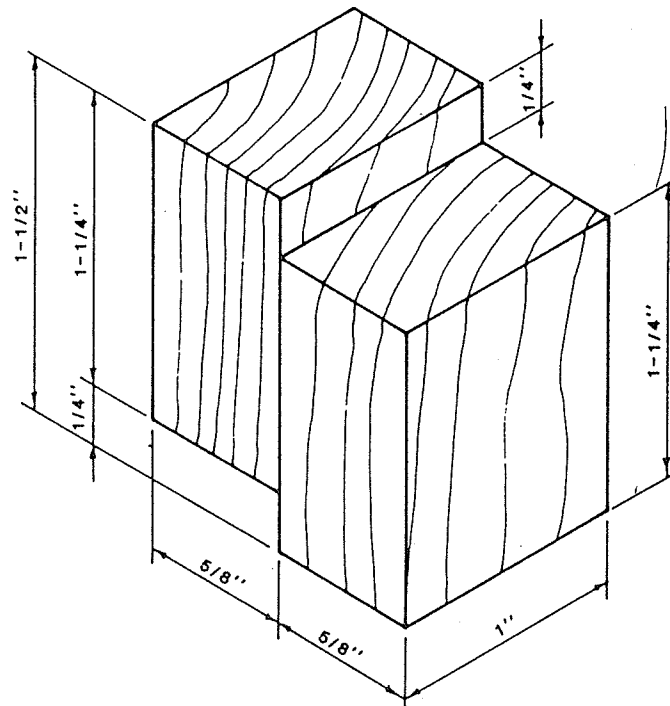


図7 ブロックせん断型クリープ及び破壊時間測定用試験片  
(ASTM D4680)

## 2) 試験片

図一七に示す接着面積 $2.54 \times 2.54$ cmのブロックせん断試験片を用いる。仕上げげた両側面にクリープ歪み測定用の基線をいれる。但し、破壊時間測定用試験片には基線は必要ない。

試験片個数は1条件につき少なくとも10個とする。

試験片の作成に当たっては供試材のカエデ材を $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 、 $65 \pm 2\% \text{RH}$ で恒量に達するまで調湿し(12% EMC)、16mm厚に仕上げ $30.5 \times 7.6$ cmの板材とし接着供試する。標準条件の場合はそのまま7日間調湿し、試験環境条件が異なる場合には更にその条件に応じて調湿した後クリープ試験あるいは破壊時間を求める。

## 3) 試験方法

### ① 装置

#### a. 圧縮試験機

容量5,000lb(350kg, 22kN)、クロスヘッドスピード0.3~10.2mm/min、垂直クリアランス508mmの試験機

#### b. 圧縮せん断試験用治具

ブロックせん断試験片の負荷面全体に均一な圧縮応力を負荷できるような治具

#### c. クリープ試験用治具

図-8に示す圧縮型クリープ試験用治具を用いる。スプリングを介して載荷し、それを保持する。このスプリングの設計荷重は2,300lb(1000kg, 10kN)であるが、これより大きくても小さくても良い。

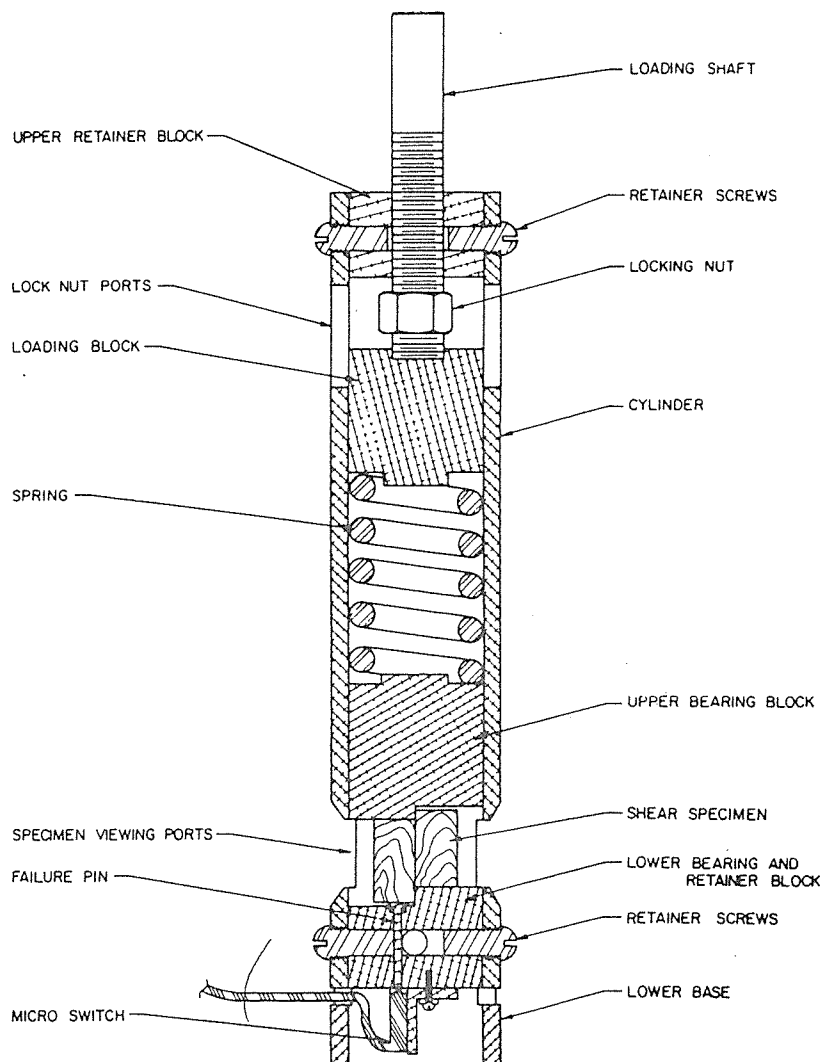


図8 ブロックせん断型クリープ試験用治具 (ASTM D4680)

d. マイクロスイッチ

図-8に示すような試験片が破壊したときに作動するマイクロスイッチ。タイムレコーダに接続し荷重期間(時間)を記録する。

e. マイクロスコープ

クリープ歪み(被着体間の基線のずれ)を測定する。また、接着層の厚さを測定する。精度は高精度のものが要求される(測定精度:0.001mm)。

f. 試験チャンバー

試験温湿度設定用(精度:  $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 5\% \text{RH}$ )。

② 試験方法

a. クリープ試験



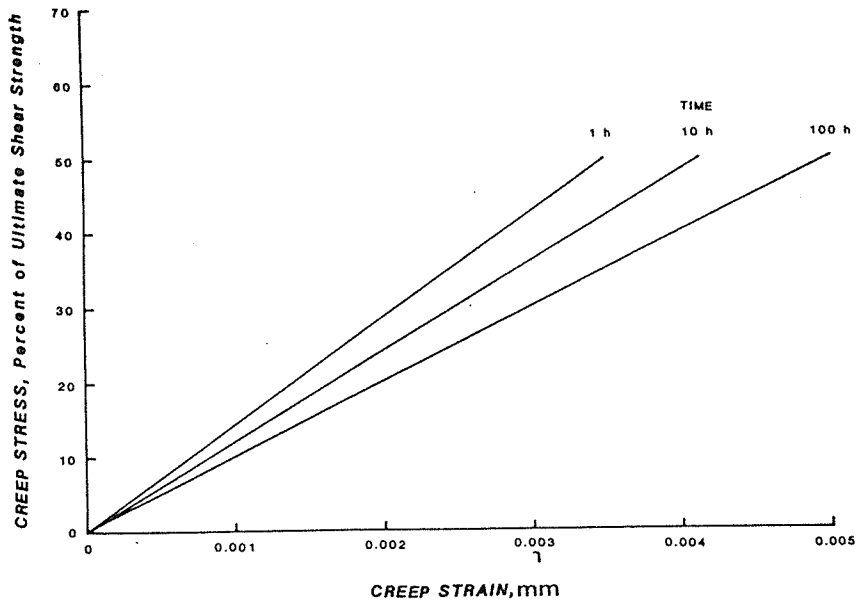


図9 荷重期間をパラメータとした応力-歪み線図 (ASTM D4680)

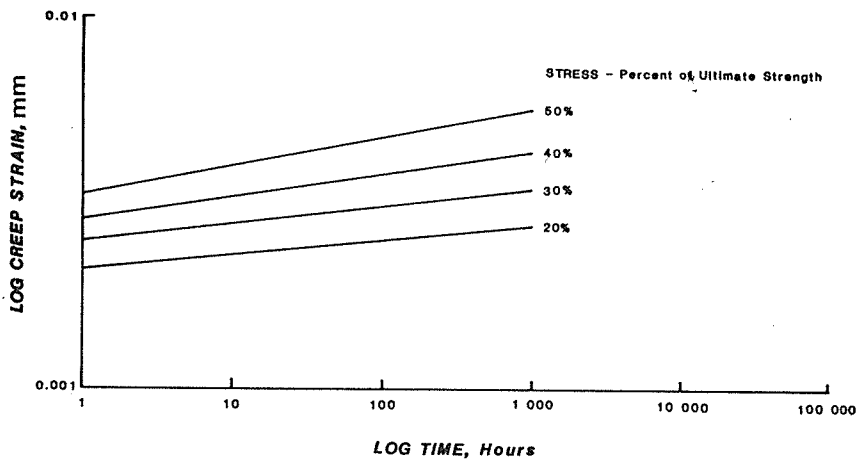


図10 応力レベルをパラメータとしたクリープ歪み (log)-時間 (log) (ASTM D4680) 図

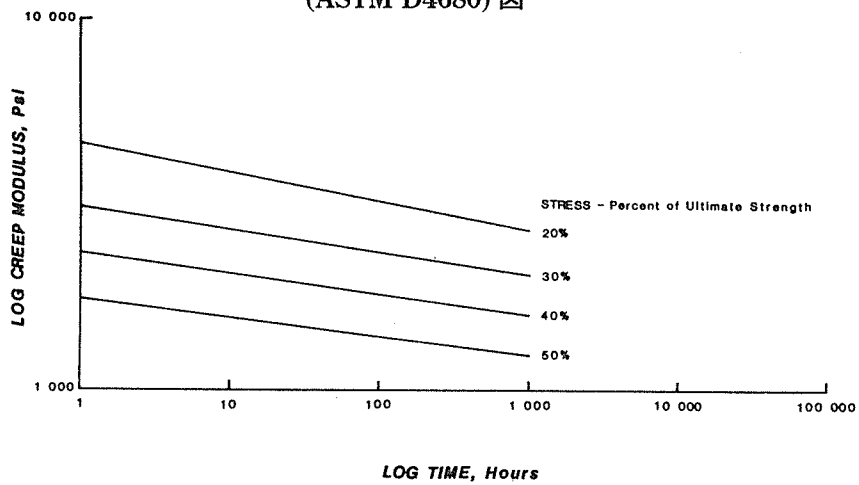


図11 応力レベルをパラメータとしたクリープ係数 (log)-時間 (log) (ASTM D4680) 図

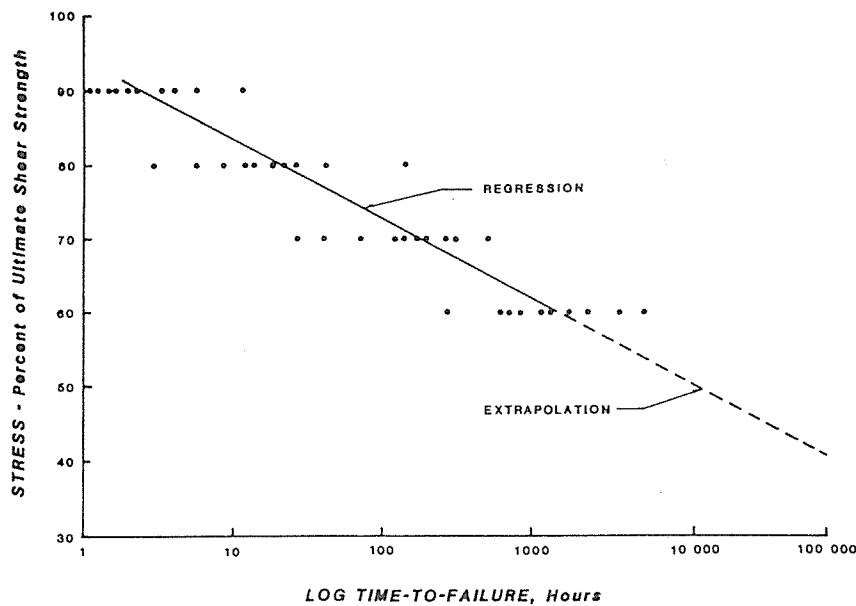


図12 応力 - 破壊時間 (log) 図 (ASTM D4680)

充分調湿後、せん断面積を求めるために寸度を0.25mm精度で測定し、接着層厚さを0.001m精度で測定する。その後、図-8に示した治具に試験片を取り付けて載荷し、ナットを締め込んでその荷重を保持する。せん断歪みの測定を次ぎのインターバルで行い、適当な荷重期間を見いだす。

- 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100(1°40'), 200(2°20'), 500(8°20'), 1000(16°40'),  
2000-100,000min(33°20'-1666°40').

測定間隔は対数換算で10ポイントの測定点がとれるように設定する。

クリープ破壊が生じる前に回復歪みを測定することが望ましい。その後荷重を再載荷してさらに破壊に達するまでクリープ試験を継続する。

#### b. クリープ破壊時間

接着面積、接着層厚さを前項と同様に測定する。

まず、20個の試験片を用いて標準状態における圧縮せん断試験を剛な接着剤についてはクロスヘッドスピード0.381mm/min(約1分で破壊に至る)で行う。軟らかい接着剤については、約1分で破壊が生じる適当なクロスヘッドスピードで実施する。これよりせん断接着強さ(kgf/cm<sup>2</sup>、kPa)を計算する。

応力レベルと破壊時間との関係を示すカーブの作成には、少なくとも4点、できればそれ以上の点を用いる。これらの点は試験した応力全般に平均にわたるようにとる。応力レベルは先に求めたせん断強さの90, 80, 70及び60%が適当と思われる。これ以外の応力レベルも選ぶことができるが、最低レベルは平均破壊時間が3000時間程度が望ましい。

#### ③結果の算出

##### a. 各試験片への適用応力の計算

初期接着面積に対する応力kPa(kgf/cm<sup>2</sup>)で算出する。最大せん断強さに対する試験せん

断応力の比(%)を求める。

b. クリープ歪み

各測定インターバルにおけるクリープ歪み、基線間の全歪み(両側の平均)を接着層厚さ(4点の平均)で除した値をmm/mmで求める。

c. クリープ係数

クリープ係数(初期応力を各インターバルにおけるクリープ歪みで除した値:kPa, kgf/cm<sup>2</sup>)を求める。

d. 破壊時間と応力レベルとの関係式の算出

破壊時間(log)と応力レベル(log)との回帰直線を各試験温湿度について最小自乗法によって求める。これらの回帰直線から実験した応力レベルよりも低く想定される応力レベルにおける破壊時間を予測する。通常、設計応力はかなり低く、実際のデータからはるかに離れて外挿されることになる。

e. クリープ(速度)の算出

荷重期間/クリープ歪み曲線から2次クリープ領域に一致する直線を引く。通常、この2次クリープ領域の勾配は、1次領域あるいは3次領域に比べて極めて緩やかである。この最低クリープ速度は、2次クリープ領域における直線の任意の時点のクリープ歪みを時間で除した値として得られる。

④結果の報告

次ぎの諸項目について詳細に記述する。

a. 被着体：樹種、比重、繊維方向、接着層に対するもく目、接着時の平衡含水率

b. 接着剤：種類、組成、商品名、製造年月日、ロット番号

c. 接着剤、接着操作：接着剤の配合・塗布・堆積、攪拌機器・攪拌時間と温度・可使時間・塗布作業時間(最初と終了までの)、塗布法・塗布量・解放及び閉鎖堆積時間、接着時の温湿度・圧縮方法・圧縮圧力・時間、硬化中の温湿度。

これらのデータは試験片の作成・準備について再現できるような、かつ矛盾があったときに追求できるような十分な情報提供する。

d. 全試験片のせん断面の寸法と接着層厚さ

e. 調湿条件と試験条件：温湿度とその条件にさらされた期間

f. 試験装置：製造型式、試験機器の容量・試験機・せん断試験用治具・タイムレコーダ・マイクロスコープ・環境設定チャンバの容量と性能、図-8に示すクリープテスト用治具の図面を含む。

g. 1条件当たりの試験片個数

h. クリープ試験及び破壊時間試験の荷重速度、並びにせん断強さ測定時の荷重速度

i. クリープ試験及び破壊時間試験における応力レベル

j. 各条件における全試験片のクリープ歪み及び時間の測定値と破壊時間測定値

k. 全試験片の2次クリープ領域の直線部から求めた最小クリープ速度域における時間-せん

## 断歪み曲線

- l. 時間をパラメータにとった温度条件ごとの応力-歪み関係図(図-9)
- m. 応力をパラメータにとった温度条件ごとのクリープ歪み(log)と時間(log)との関係図(図-10)
- n. 応力をパラメータにとった温度条件ごとのクリープ係数(log)と時間(log)との関係図(図-11)
- o. 応力レベルをパラメータにとったクリープ係数と温度との関係図
- p. 温度をパラメータにとったクリープ係数と応力との関係図
- r. 温度条件ごとの破壊時間(log)と応力レベルとの回帰直線(図-12)。実際のデータに基づく部分は実線で、応力レベルの低い外装法による部分は点線で表示する。

## 付録. 試験条件のガイドライン

さらに、試験条件の設定について以下のようなガイドラインが付属文書に記述されている。

(1) クリープ試験及び破壊時間試験における応力、荷重期間、温度、湿度条件の設定

- 1) 温度：想定される使用条件において最低3条件、できれば4条件
- 2) 湿度：水分に強く影響を受けるとされる接着剤については想定される使用条件における上限の温湿度
- 3) クリープ試験における応力レベル：データの使用目的によるが、応力依存性の低い接着剤では各温度条件に対して3レベル、応力依存性の高いものでは4～5条件が必要である。

(2) 破壊時間試験における応力レベル

本規格試験の目的が比較的短期の載荷試験から破壊時間と応力との関係を求め、外挿法によって通常の応力レベルにおける長期の耐力を近似的に求めることにある。一定死荷重下における材料の破壊時間の対数は応力レベルに反比例することはよく知られた関係で、この関係は木材や紙、繊維材料、プラスチック、金属の死荷重下での寿命の合理的な予測に用いられてきた。しかしながら、公にされているものの中で接着接合の挙動を予測する確かな関係式は極めて少ない。長期挙動推定における外挿法の信頼度は短期試験における測定精度に依存する。不正確な応力レベル、材料のバラツキ、評価できない破壊機構の変化によって誤差が生じる。したがって、外挿法については慎重な配慮をもって取り組まなければならない。とはいうものの、この外挿法に基づいた許容応力度が安全なものとして、長い間多くの材料に用いられている。

1) スケール：与えられた温度条件における破壊時間と応力の関係をlog scale でプロットすると負の勾配を持つ直線が得られる。しかし、応力をlinear scale、破壊時間をlog scale でプロットした時により直線的な線が得られる場合もある。

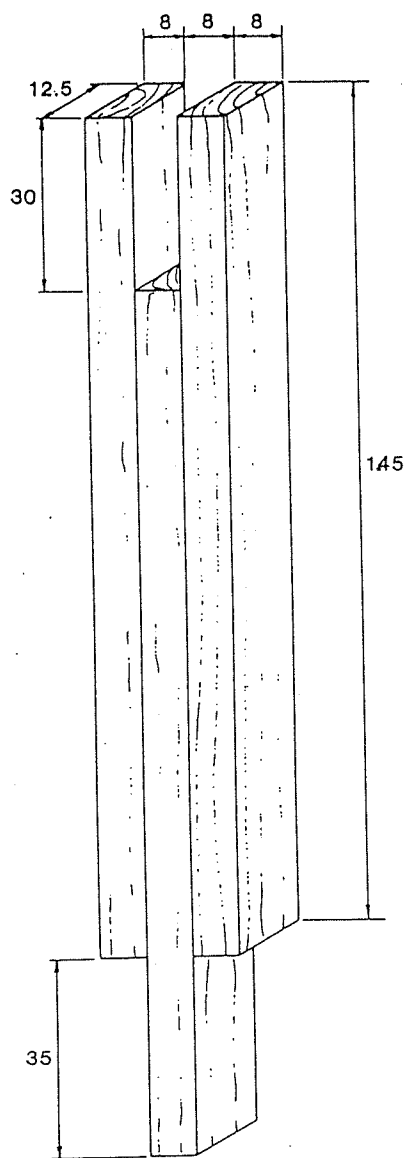
2) 応力レベルの設定数

高いクリープ係数を持つ接着剤では室温条件下、応力レベルが50%以下では1年以内に

クリープ破壊が生じない。したがって、このような場合には、通常、50~90%の応力レベルで試験が行われる。破壊時間と応力とのカーブを決定するための通常の方法としては、応力レベル90%を手始めにほぼ等間隔に4点以上のレベルを取る。応力は短期の接着強さの平均値に対する比(%)で表示される。各応力レベルに対して得られるデータの少なくとも1つは対数表示時間1桁サイクルごとにプロットできるものであることが望ましい。図-12は応力をlinear scaleで、破壊時間をlog scaleで表示したプロットの例である。点線は通常応力レベル下での寿命を予測するために外挿したものである。

### 3) 設定温度

静的長期荷重下での接着剤の寿命は使用環境温度に影響され、この影響は破壊時間から



SAMPLE DIMENSION (mm)

図13 W-せん断型クリープ試験片 (Steiner)

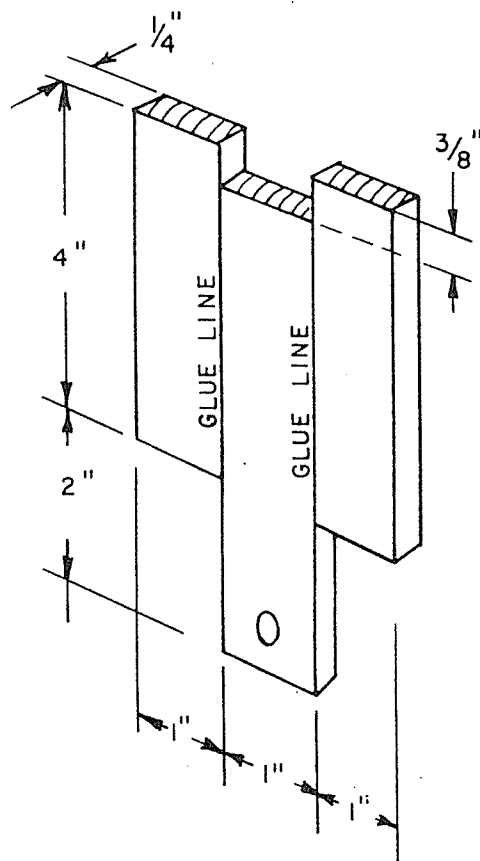


図14 W-せん断型クリープ試験片 (Dong & Hoyle)

求められ、破壊時間と応力とのカーブを想定される使用温度条件のいくつかについて求めることが必要である。温度の影響が極めて小さいときには、曲線はほぼ平行になり、1つのグループとなる。高温条件で曲線の勾配が変わる場合には、同様の勾配の変化が破壊時間曲線がより長期に及んで外挿される低温条件でも生じる。高温条件で勾配が変わらない場合は低温条件における外挿の信頼性も高い。

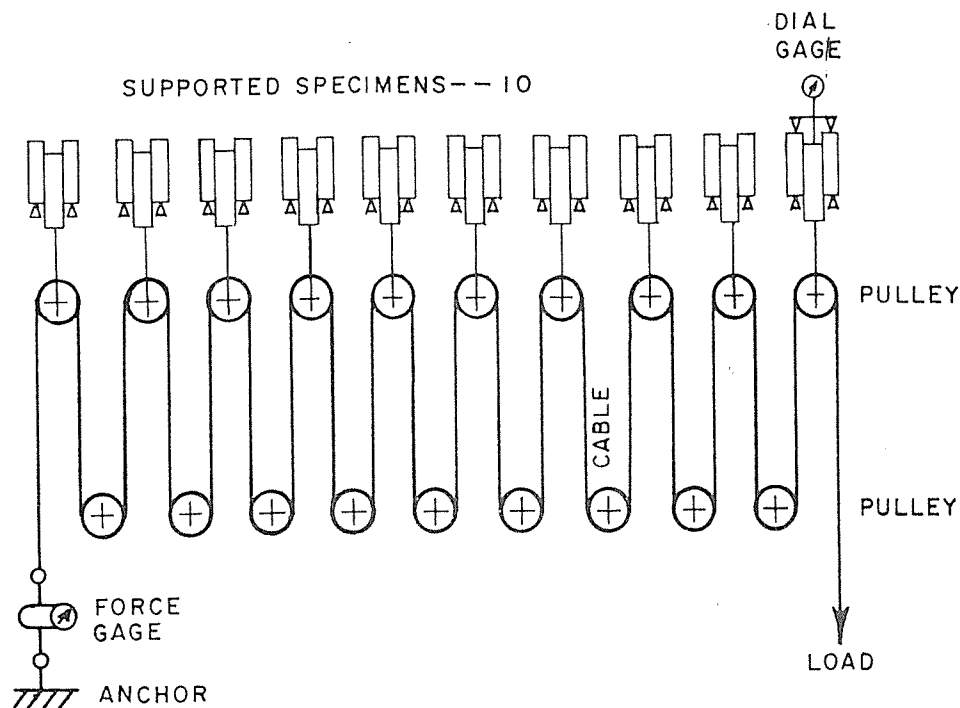


図15 荷重負荷方法 (Dong & Hoyle)

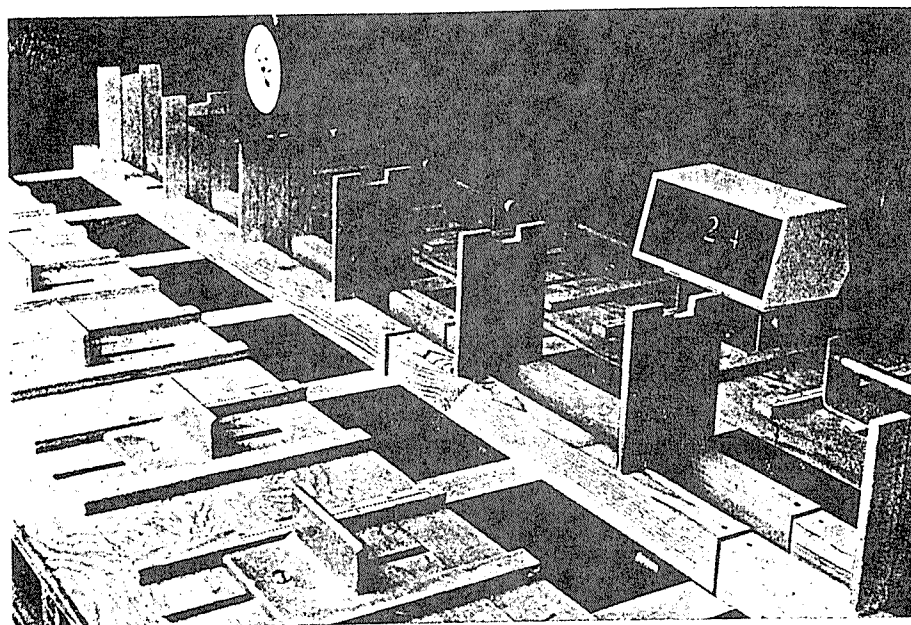


図16 クリープ試験の状況

### 2.3.2 既往の文献に見られる接着剤のクリープ試験

#### (1) W-せん断試験片による方法

Steiner, P. R.<sup>1)</sup> 及び C. C. Don, R. H. Hoyle Jr.<sup>2)</sup> らが用いている方法である。形状については図-13、14に示すとおりほぼ同様の試験片を用いているが、寸法は若干異なる。

即ち、Steinerの試験片は12.5(幅)×145(長さ)×8(厚さ)mmのいた目ストリップスを3枚平行積層し、両面に110×12.5mmの接着面を持つ。一方、Dong/Hoyleの場合は 両側のストリップスには1/4"(幅)×4"(長さ)×1"(厚さ)の、中心に1/4"(幅)×41/8"(長さ)×1"(厚さ)のいた目ストリップスを用い、接着面積は1/4"×25/8"である。さらに中心ストリップスは荷重負荷のための孔を持つ(図-14)。負荷は図-15、16に示すようにワイヤー

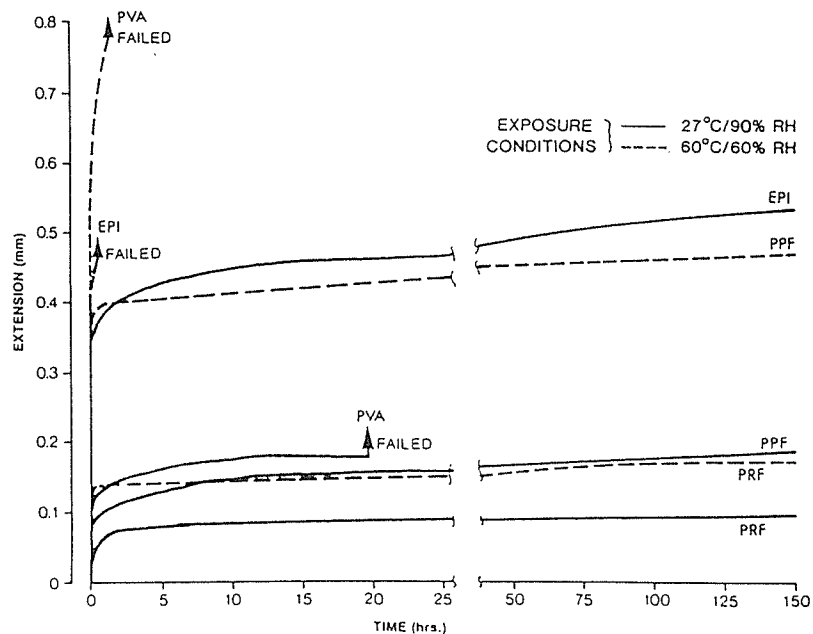


FIG  
hon.

図17 クリープ試験結果 (Steiner)

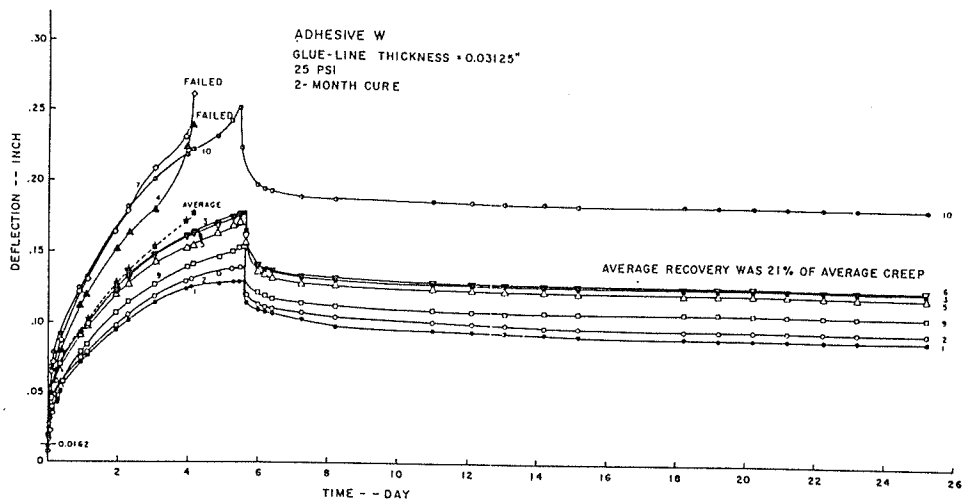


図18 クリープ試験結果 (Dong & Hoyle)

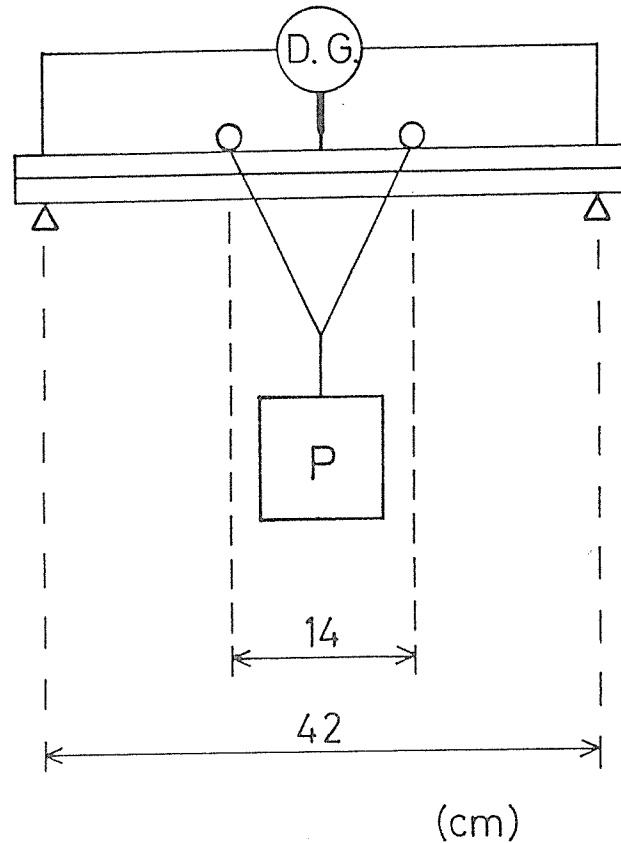


図19 曲げクリープ試験模式図(吉田)

を介して引張荷重により行われる。Steiner の場合は荷重方法は不明であるが、この試験片を用いPRF、PVAc、EPI(API)のクリープ試験を行っている。荷重レベルは乾燥状態で行った歪み-応力曲線から求めた比例限度力の28%、温湿度条件と荷重期間は27°C/90%RH/7days及び60°C/60%RH/7daysで、測定は最初の2時間は15分おき、その後は1時間おきに行っている。その測定例を図-17に示す。Dong/Hoyleは、試験材にダグラスファーを用いて空隙充填性構造用ウレタン系接着剤(1/32")のクリープ挙動を検討している。試験条件は試験環境12%EMC/70°F、荷重25psiで144時間負荷し、その後除圧し20間放置して歪みの回復を測定している。その結果の1例を図-18に示す。

(2) 2枚合わせ積層小梁試験片による方法

これは吉田ら<sup>3)</sup>が行っている方法で、10×25mmの断面を持つスカバ材トリップスを接着層を中心に2枚積層し25(幅)×20(厚さ)×480(長さ)mmの小梁とし、図-19に示すような曲げクリープ試験に供している。接着剤としてRF、PU(ポリウレタン)、EL(ゴム系)、PVAc、APIを用い、試験条件20, 30, 50°C/7.5, 12, 22%、荷重期間30日でクリープ試験を行っている。測定例を図-20に示す。



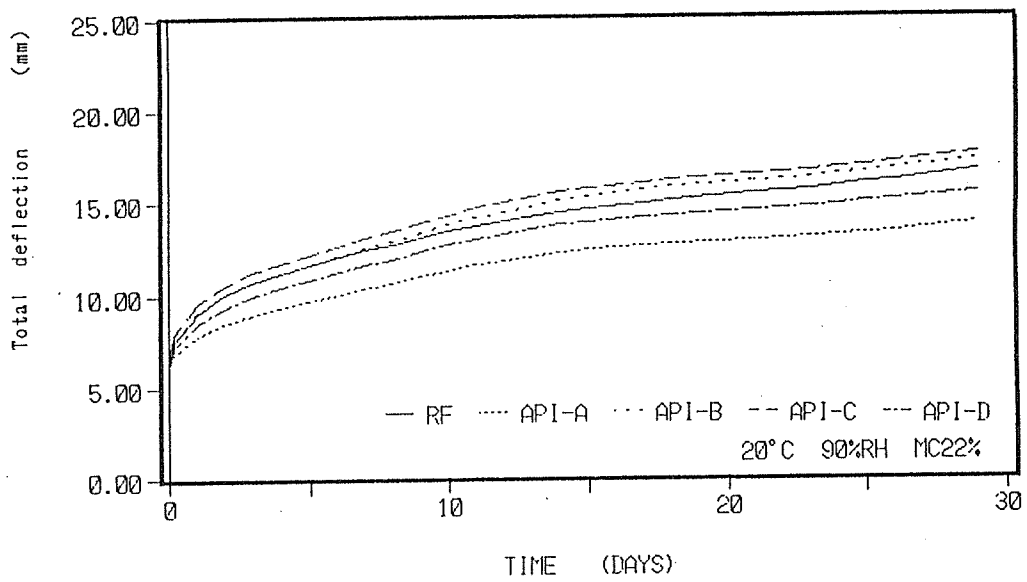
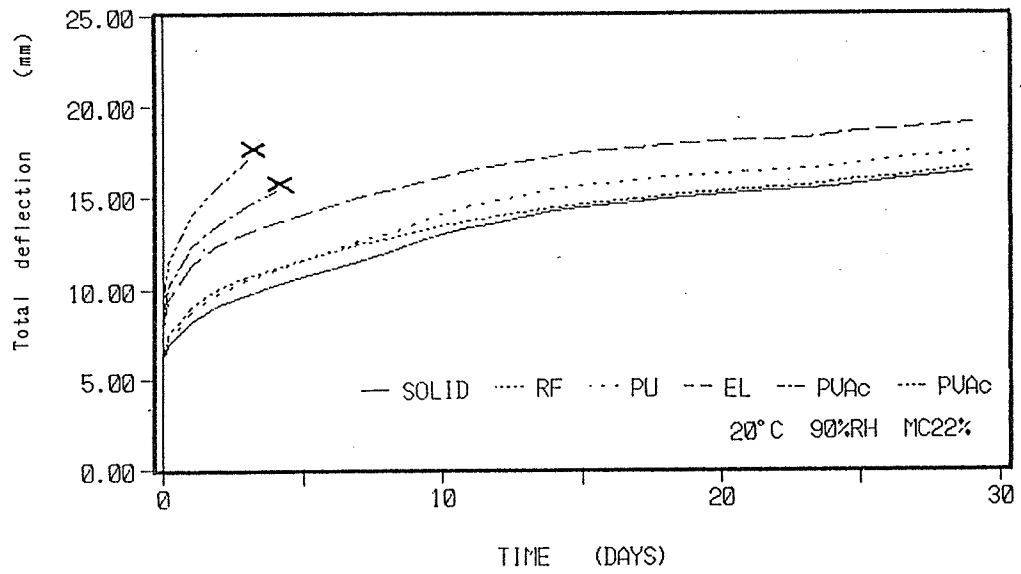


図20 曲げクリープ試験結果(吉田)

文献

- 1)Steiner, P. R. :J. Adhesion, Vol. 16, pp. 279-294(1984)
- 2)Don, C. C. and R. J. Hoyle, Jr. :Wood and Fiber, Vol. 8, pp98-106(1976)
- 3)吉田 : 第15回木材接着研究会講演要旨集, pp. 20-37(1994)

### 3 建築材料・部材における接着耐久性評価試験方法の考え方

#### 3.1 使用者側から見た建築材料・部材の耐久性

接着耐久性に限らず、耐久性に関連する研究は、多くの分野で、様々な目的意識の下で実施されている。耐久性は材料使用者にとって是非知りたい情報であり、耐久性の明確化に対する使用者サイドの要求は高まっている。材料メーカーが市場を拡大するためには、材料の改良・開発研究のみではなく、改良・開発した材料を使用した場合の性能向上について使用者を説得する必要がある。

特に、最近では、建築材料・部材の耐久性を建築費用、維持保全費用、及び解体・除却費用まで含めたライフサイクルコスト（生涯費用）で評価しようとする動向があり、一般使用者が参考にできるような情報を供給することが重要である。

耐久性に関する使用者側からの最も多い質問は、「対象とする接着製品・部材が何年持つか？」あるいは「接着剤の耐久性は何年であるか？」という単純な質問である。また、材料製造業者側や使用者側で耐久性評価を実施している建築技術者からは「どのような試験を実施すれば、あるいはどのような試験データを提示すれば接着耐久性が〇〇年と説明できるのか？」というような質問が多い。このような質問に対する回答は簡単ではないし、合意を得られた回答を示すことは難しい。

専門的な質問であれば、例えば、「接着剤の性質と接着強さの関係について」、「被着材である木材の含水率と接着強さの関係について」、「接着試験方法による接着強さの差異について」というような質問であれば、回答は、ある意味で、簡単である。今まで蓄積されている研究成果を基に回答ができる。

問題なのは、前段で例示したような「対象とする接着製品・部材が何年持つか？」あるいは「接着剤の耐久性は何年であるか？」という質問である。このような単純な質問に対する回答が困難な理由の一つは、接着耐久性をどのように考えるかを明確にしなければ、回答できないからである。即ち、建築材料・部材の耐久性について言えば、建築物の耐久年数に関する考え方を明確にし、その考え方を前提として、建築材料・部材の耐久年数を示す必要がある。そして、建築材料・部材が接着製品であるなら、そのような考え方に基づいて接着耐久性を論じる必要がある。

特に、建築材料・部材の耐久性を考える場合には、単に材料の品質のみではなくて、施工条件の影響、使用時の環境条件、維持保全の条件等が大きく影響する。このような一連の要因を踏まえた上で耐久性を論じなければ、施主や設計者の理解が得られにくい。

#### 3.2 木材用接着剤の側から見た耐久性評価

木材用接着剤の接着耐久性試験としては、まず、耐水試験、耐温水試験、煮沸繰返し試

験、連続煮沸試験等が挙げられる。これらの試験方法は木材用接着剤の J I S 規格、および合板、パーティクルボード、集成材などの J I S 規格、J A S 規格等に採用されている。

周知のように、カゼイン系接着剤、ユリア系接着剤、メラミン・ユリア共縮合系接着剤、フェノール系接着剤、レゾルシノール系接着剤は、一般に記した順序で耐水性、耐温水性、耐煮沸性が向上する。従って、各接着剤の J I S 規格（レゾルシノール系接着剤は J I S 化されていない）では品質試験の一つとしてこれらの試験を規定している。また、同様の促進処理方法は木質材料の J I S 規格、J A S 規格等に採用されている。従って、接着性については、対応する接着剤を使用することにより規格に合致する木質材料を製造することができる。

「煮沸等の処理が使用条件下における木質材料の耐久性とどのような関連性があるのか？」という議論はしばしばされている。大熊ら<sup>1)</sup>はパーティクルボードの耐久性評価方法として、繰返し荷重試験を提案しており、実際に床下地として使用されていたパーティクルボードとの関連を検討している。床下地に対するこのような耐久性評価の考え方は、使用者側にとって理解しやすいものと考えられる。大熊らは報告<sup>1)</sup>の中で煮沸や温水処理等の問題点を以下のように指摘している。

①実際使用とこれらの促進処理との関連性：水分存在化で熱を加えて時間結果を短縮する反応速度論の単純な適用は、温度範囲、接着剤の種類による化学的劣化機構の違いを考慮すると実に問題が多い。特に今後、フェノール、ユリア・メラミン共縮合、ユリア樹脂以外の接着剤が用いられる場合を考えると、実際使用時に作用する劣化因子との合理的対応のある促進処理を採用すべきである。

②これらの試験方法では、パーティクルボードの長期使用後の性能を明確に示しえない。何年もつか、10年使用後強度、ヤング係数はいくらになるかという住宅の構造部材として用いるために是非必要な数値を示しえない。

建築サイドの耐久性評価では「建築材料が（用途が決定された場合に）、使用環境下において、要求性能をどの位の期間発揮できるかを知りたい」のである。実際には、もっと多くの複雑な要素が考えられる。例えば、床下地に使用するパーティクルボードの寿命を決定するのは、場合によっては腐朽かもしれないし、厚さ膨潤等によるふくれかもしれないし、打つける釘間隔や釘の保持力等が問題になるかもしれない。即ち、どのような劣化現象が材料・部材の寿命を決定づけるのかを先ず考える必要があり、同一材料でも用途や部位（要求される性能）によって対象とする劣化現象が異なることが有りえる。このように、耐久性を決定づける（交換や補修などの理由となる）劣化現象を先ず第一に把握する必要があるが、これらの点は建築物の実態調査等により建築サイドでもある程度の情報を得ることができる。もし、これらの情報が少ないとしたら建築サイドも主体的に情報を収集する必要がある。しかし、これら劣化現象が把握できたら、その様な劣化現象になるまでの年数、それを評価するための試験方法について材料メーカーも協力して考える必要がある。

一方、接着剤の側からすれば、大熊らの指摘に代表されるような耐温水試験や煮沸試験等に関する批判は理解できるが、多くの用途がある接着製品についてすべて実際条件と対応した耐久性評価を実施することは容易ではない。経験的に、接着剤自身の品質評価の一方法として、耐温水試験や煮沸試験を使用してきたと考えられる。問題が生じるとしたなら、このような接着剤側から観た特定な試験による品質評価を複雑な建築材料・部材の耐久性能に無条件に対応つけた場合である。

煮沸試験等に関して言えば、以下のものであろう。ユリア系接着剤、メラミン・ユリア共縮合系接着剤、フェノール系接着剤、レゾルシノール系接着剤等ホルマリン系熱硬化性樹脂接着剤の耐久性（劣化に対する材質的な抵抗性）を評価する方法としては、簡便で効果的な方法である。例えば、素性の分からないホルマリン系の熱硬化性樹脂接着剤があり、その品質グレードが未知であるなら、先ず、煮沸試験等を実施して耐久性に関する目安をつけるということは充分考えられる。つまり、煮沸試験等は、少なくともホルマリン系の熱硬化性樹脂接着剤の耐久性に関する品質レベル（特定な劣化に対する材質的な抵抗性、複雑な要求性能や使用環境を想定していない）を区分する方法として経験的に使用されており、そのような利用方法についてはある程度のコンセンサスが得られていると考えられる。

問題は、大熊らの「水分存在化で熱を加えて時間効果を短縮する反応速度論の単純な適用は、温度範囲、接着剤の種類による化学的劣化機構の違いを考慮すると実に問題が多い。」に代表される使用者側の指摘に対する検討であろう。この点に関して、接着剤の側からの説明は不十分ではないかと考えられる。接着剤の側から観て、煮沸試験により接着剤の耐久性を検討できる範囲と適用できない範囲を明確にする必要がある。即ち、実際の接着製品に要求される種々の性能の中でどのような劣化要因に対する試験なのか、どのような劣化メカニズムを考えている試験なのかをできるだけ明確にすべきである。単に、品質規格に採用されている試験と言うだけでは、実際の建築材料・部材の耐久性につながっていない。

### 3. 3 建築材料・部材の接着耐久性試験に対する考え方

一般に建築材料・部材の耐久性を評価する手段は以下の3種類に大別できる。

- ①使用条件下での暴露試験：最も確実な方法である。しかし、時間がかかること、場所を占有すること、暴露条件が個別的であり環境条件等の多くの記述が必要である。
- ②劣化実態調査：信頼性のあるデータがどの程度得られるかが問題である。調査はヒアリングや非破壊試験が主であり、環境条件の把握、過去の履歴を調べることも容易ではない。これらの点が十分に調査できれば、結果を解析しあらかじめ想定した劣化要因と劣化実態との関連性を検討できる。また、実際的な問題点の発見にも有用できる。
- ③促進試験：標準的条件を設定し、実験室内で共通に実施できる。常に問題となるのが実

際との整合性である。

耐久性に関しては多くの分野で様々な議論があり、対象とする物や現象によりその考え方も異なると考えられる。本文では、建築材料・部材の接着耐久性試験を考える上で重要な建築分野での二つの考え方について示す。

まず、建築材料・部材の耐久性に関しては性能論に基づく考え方の重要性が強調されている。即ち、建築材料・部材の性能評価においては建築物の構成部材として要求される性能があり、耐久性評価も要求性能に基づいて評価する必要がある。したがって、促進試験や実際条件下での整合を図る上でも、劣化の程度を評価する上でも最終的には要求性能に対する性能（本文では以下、実用特性と言葉を変える）をパラメーターとして検討されることが望ましい。換言すれば、建築物の耐久性を検討するために役立つ接着耐久性試験であるなら建築物に要求される要求性能に基づいた検討が必要である。用途や使用条件等が考慮されてない、単なる接着剤の材質的な評価、物理化学的な評価のみでは使用者が望んでいる耐久性に直接的に結びつかない。

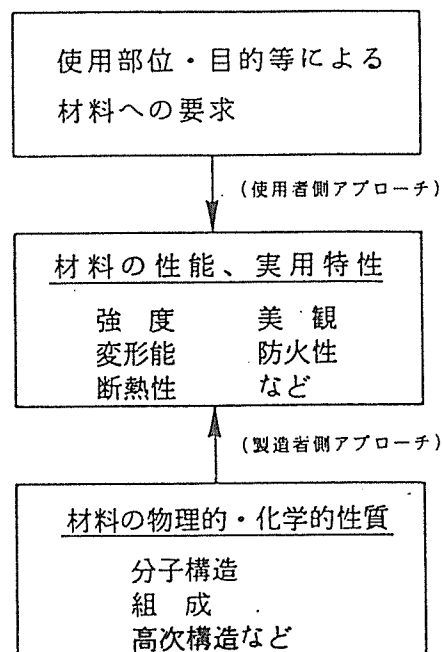


図 3 - 1 建築材料の性能と基本的性質の関係

次に、逆の側面から観た、促進試験方法の合理化を進める上で重要な、もう一つの考え方がある。すなわち、実用特性のみをパラメーターとした場合、暴露試験と促進試験における科学的な劣化メカニズムは究明されず、暴露試験・促進試験はブラックボックスになってしまう。したがって、新規の材料・新規の実用特性については、その相関を調べるため、新たに網羅的な実験が必要となる。劣化メカニズムをブラックボックス化し、実用特性のみを対応づけるような促進試験は一般使用者には理解しやすいが、試験が大変であり、結果の科学的な分析が難しい。このような状況を打開するためには、暴露試験・促進試験における材料の劣化メカニズムを解明するための材料科学的なアプローチが必要であると考えられる。図3-1に示すように材料の実用特性は構成物質の分子構造、組成、高次構造等により記述される。材料の劣化メカニズムを調べるためには、その変化を基本的性質の変化として記述する必要があり、材料の基礎的研究分野においては従来よりこのような目的意識のもとに研究が進められているものと理解される。一方、建築サイドでは従来このようなアプローチが不十分であった。

建築材料の耐久性においても劣化メカニズムをできる範囲で解明し、それをモデル化しようとする国際的動向は活発であり、すでにASTMでは「Standard Practice for Developing Accelerated Test To Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials」(ASTM E 632)という、促進試験開発のための方法論を規格として提案している。そこでは促進試験開発のためのフローを図3-2のように示している。

I 問題の明確化

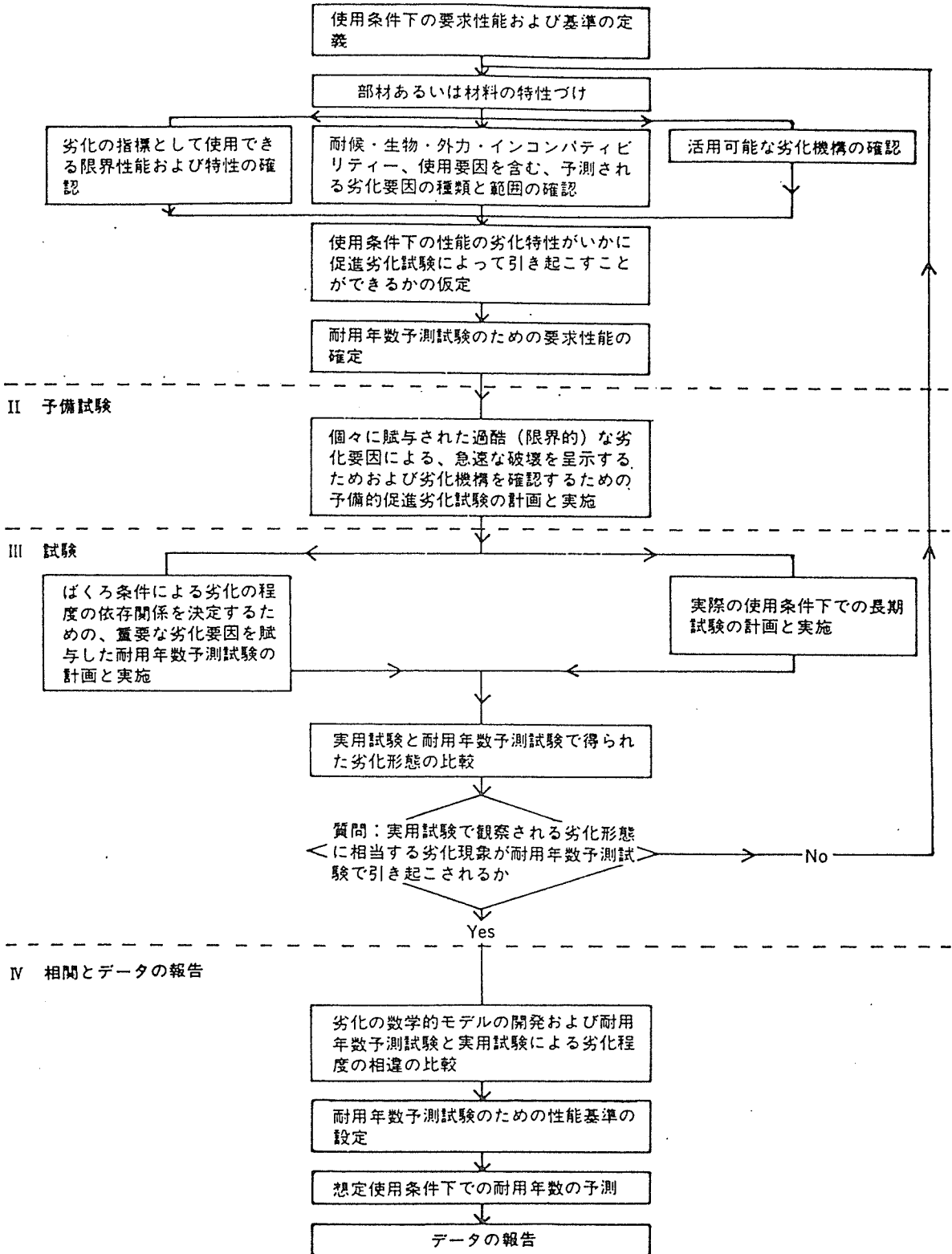


図 3 - 2 ASTMで提案された促進試験方法開発のための推奨手順

## 4 接着剤の物性と性能評価

### 4.1 主な木材用接着剤の粘弾的性質と性能評価

#### 4.1.1 熱可塑性・エラストマー接着剤

木工用、家具用の主流であるポリ酢酸ビニル樹脂は水分が散逸して皮膜形成する接着剤である。この接着剤は汎用さ、価格面からみて市場では多量に使用されており、乳白色の「ボンド」として知られている。接着剤は硬化すると透明な樹脂になる。図4-1は実験室合成ポリ酢酸ビニル樹脂の動的粘弾性を示す。損失弾性率 $E''$ のピーク温度（ガラス転移温度 $T_g$ に近い）は $40^{\circ}\text{C}$ 付近に存在し硬さの程度を表す貯蔵弾性率 $E'$ は $40^{\circ}\text{C}$ 以下では硬いガラス状態であるが、この温度を境に $E'$ 値は急激に低下している。ピュアなポリ酢酸ビニル樹脂の $T_g$ は一般に $29^{\circ}\text{C}$ といわれ、市販の酢酸ビニル樹脂はその内容物に共重合ポリマーや可塑剤などの含有によって $20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 付近に $T_g$ が存在する。

上記の合成ポリ酢酸ビニル樹脂を用いてアルミニウム同士あるいはカバ材同士を接着して $-80$ から $100^{\circ}\text{C}$ までの広い範囲で接着試験した例である（図4-2）。アルミニウム同士またはカバ材同士を十字型に垂直に力を加えるクロスラップ引張試験では、 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 付近に接着強さのピークが表れ、この温度域より高い温度では接着剤は軟らかいゴム状になり、強度低下が大きく $80^{\circ}\text{C}$ ではほとんど接着強度はない。また $40^{\circ}\text{C}$ 以下の温度をみると、 $30^{\circ}\text{C}$ までは一気に接着強度が低下し、それより低温の $-70\sim -80^{\circ}\text{C}$ までほぼ同程度の強度を示す。しかし接着層にせん断力がかかるような引張せん断試験すると、アルミニウム同士の場合は $35^{\circ}\text{C}$ をピークに高または低温域になるにつれて減少が大きい。低温域ではクロスラップ引張と同様にほぼ同程度の接着強度を示すが、高温域では急激に大きく低下し、 $100^{\circ}\text{C}$ では接着強度はなくなる。しかし、木材同士の引張せん断試験値の傾向をみると、 $35^{\circ}\text{C}$ 以上の温度域ではアルミニウム試片と同等な数値を示し、接着強さが急激に低下し、 $100^{\circ}\text{C}$ ではほとんどなくなる。一方 $35^{\circ}\text{C}$ 以下では $20^{\circ}\text{C}$ までは接着強さはやや低くなるものの、さらに低温の $-80^{\circ}\text{C}$ まではほぼ同程度の $70\sim 80\text{ kgf/cm}^2$ 程度を保持している。このことは木材同士の場合は接着剤が導管等の木材空隙部に侵入固化し、それがくさびの働きをしてせん断に対して抵抗を示し、アルミニウム同士では木材のような接着剤のくさび効果がほとんどなく接着強度は低下するが、接着剤自体の硬さ（凝集力）により一定の接着強度を示している。

一方ポリ酢酸ビニル樹脂の $T_g$ 以上の温度域では接着剤の物性はゴム状の性質を示し、軟らかくなって引張せん断、クロスラップ引張とも接着強度は大きく低下し、 $80^{\circ}\text{C}$ 以上では強度はほとんど示さない。すなわちこのポリ酢酸ビニル樹脂は接着剤の物性が接着性能に大きく反映している。一般的には $25$ 、 $50$ 、 $100^{\circ}\text{C}$ の暴露後（ $48$ 時間）でみれば、右下がりの傾向を示す（図4-3）。勿論素材そのものもせん断強度は除々に低下するが、それよりも接着強度は大きく減少する。同様に家具用の市販の酢酸ビニルの接着強



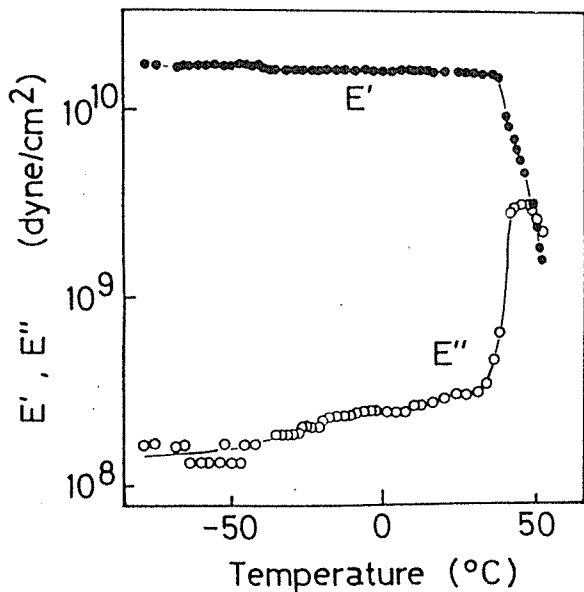


図4-1 PVA cの動的粘弾性

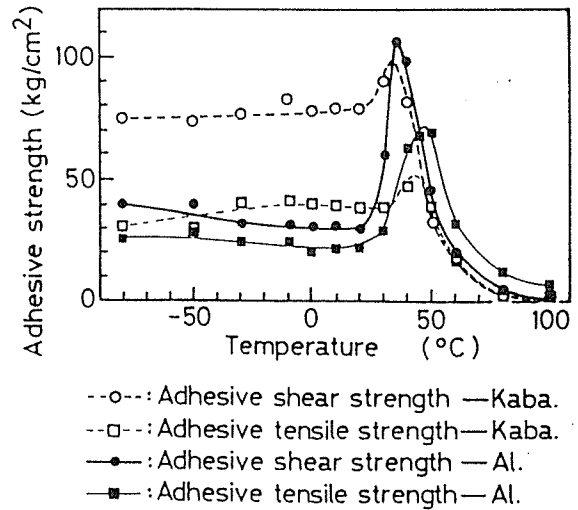
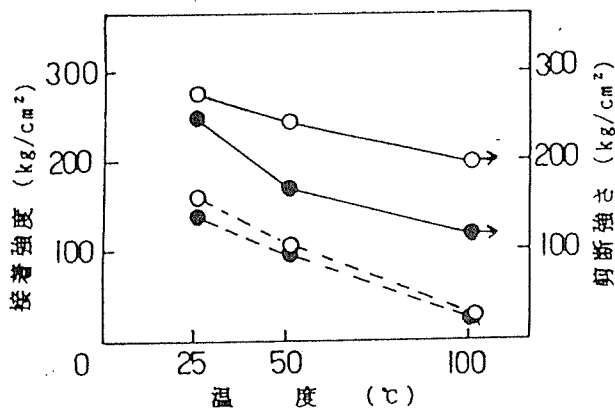
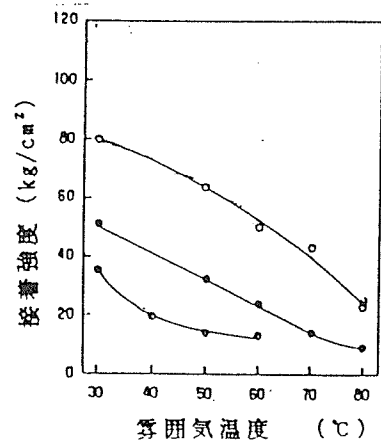


図4-2 PVA cの接着強度の温度依存性



常態及び乾熱暴露後の接着強度  
50, 100℃48時間連続暴露後その温度で  
試験, ○; クヌギ, ●; ニセアカシア,  
—; 素材剪断強さ, ----; 接着強度

図4-3 PVA cの乾熱暴露後の接着強度



酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤  
接着剤; ○フラッシュ用, ●高残分速  
乾型フラッシュ用, □反り防止型フラ  
ッシュ用, プナ, 引張剪断接着力試験

図4-4 各種家具用PVA cの接着強度

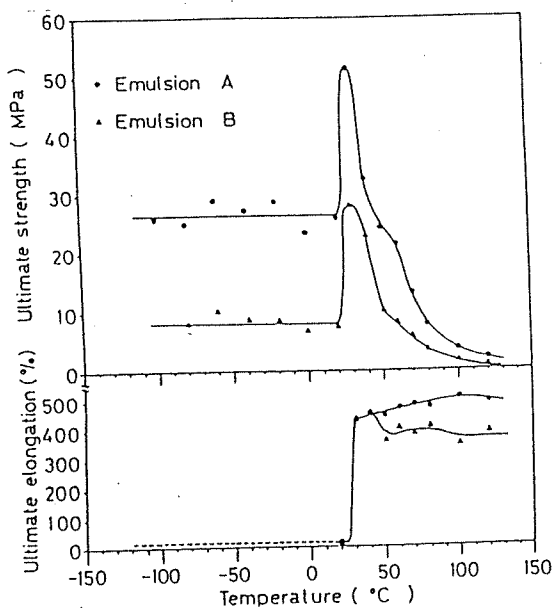


図4-5 合成PVA cフィルム引張強度

度の温度依存性を図4-4に示す。

ポリ酢酸ビニル樹脂自体の接着剤フィルム強度の温度依存性をみると(図4-5)、約30℃に最大値を示し、この温度より低温域ではガラス状ポリマーの破壊によって2種類の接着剤ともそれぞれほぼ同程度の強度を示し、伸びは全然みられない。一方30℃以上では伸びが大きく逆に強度は急激に減少する。すなわちこれらのフィルム強度はガラス転移温度付近にピークが存在する。

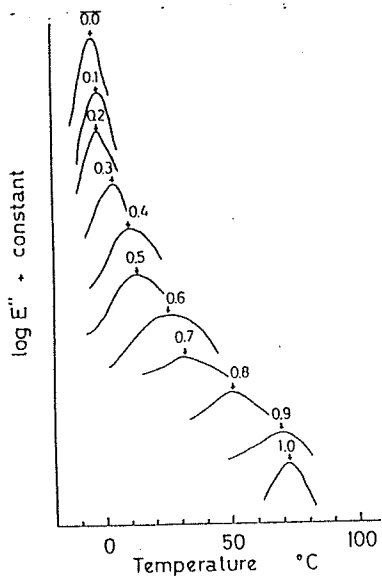
硬いポリ塩化ビニル(PVC1、 $T(E''_{max}) \approx 70^\circ\text{C}$ )に軟らかいアクリロニトリルブタジエン共重合体(NBR、 $T(E''_{max}) \approx -9^\circ\text{C}$ )をブレンドした接着剤は完全に相溶系となり、 $T(E''_{max})$ のピークは一つで(図4-6)、ブレンド割合によってピーク温度は変化する。アルミニウムの接着強さはPVC1/NBR比が0.5のときに最大値となる(図4-7)。木材の場合もPVC1/NBR比が0.5付近に大きな値となるが、それ以下のPVC1/NBRの割合ではやや減少し、NBRが多くなれば軟らかくなって強度は減少する。また最大フィルム強度も接着強さと同様の温度域に存在する。

これらは接着剤の物性とそのフィルム強度の温度依存性に強く影響し、同時に木材、アルミニウムの接着強度にも影響を与えることを表している。すなわちポリマーの $T_g$ 付近にフィルム強度や接着強度のピークをもつようになり、 $T_g$ より高温側では接着剤は軟らかくなってそれぞれ強度は減少する。一方 $T_g$ より低温側ではポリマーの分子運動が凍結されてガラス状態となり強度はやや減少し、かなり低温になってもある程度強度は保持される。同様な挙動はエチレン・酢酸ビニル樹脂でも確認されている。

#### 4. 1. 2 複合型接着剤

水溶性、水性高分子体にイソシアネートを添加し、ポリマーの一部とウレタン架橋を形成するタイプの水性高分子イソシアネート系接着剤(API)は昭和40年代後半に非ホルムアルデヒド系接着剤として我国で開発された接着剤である。熱可塑性のポリビニルアルコール(PVA)やスチレンブタジエンラテックス(SBR)にイソシアネート(NCO)を添加する二液混合型のAPIは使い易さと耐水性の点から家具、木工、集成材用接着剤として年間1万トンを越える使用量がある。図4-8はモデルAPIの粘弾性を示す。二つの主成分の $T_g$ が現われており、二相系接着剤である。また架橋剤のNCOの添加量によって80℃以上の温度域では貯蔵弾性率 $E'$ の値が大きくなる。図4-9は同じくモデルAPIでカバ材を接着したときの接着せん断強度の温度依存性を示す。0℃付近にSBRに基づく大きなピークと80℃付近にPVAに基づく小さなピークが現われている。また80℃以上の温度域ではNCO量の増加にともない接着強さも全体にわたって大きい。

市販の各社のAPIの木材引張せん断強度(図4-10)およびAPIの動的粘弾性(図4-11)を示す。APIといえどもその物性が異なるタイプのものが市販されていることに留意すべきである。



$E''$  at 110 Hz vs. temperature curves for a series of PVC1/NBR blends. Number in the figure refers to the weight fraction of PVC1 in the blend

図4-6 PVC1/NBR比の $E''$ ピーク曲線

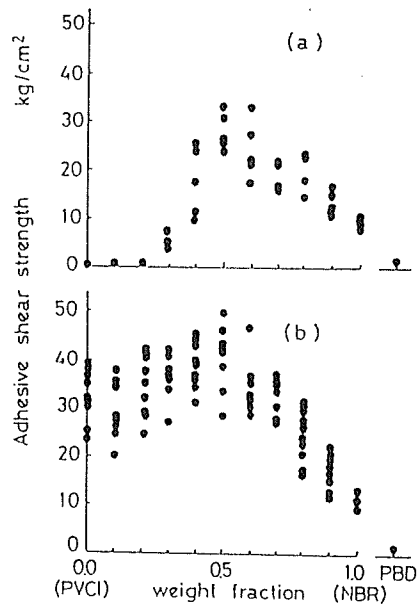


図4-7 PVC1/NBRブレンドと接着強度

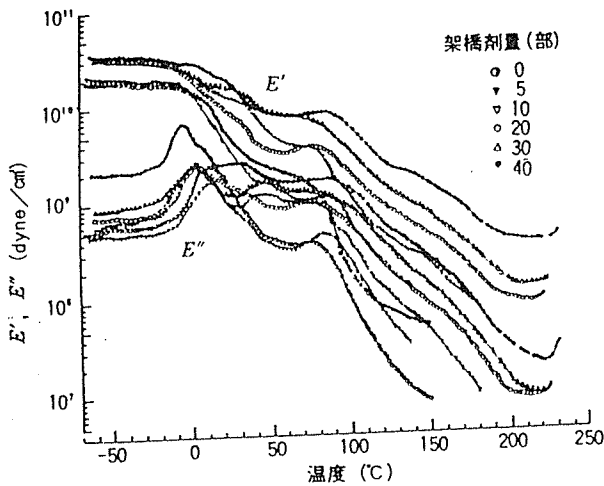


図4-8 モデルAPIの動的粘弾性

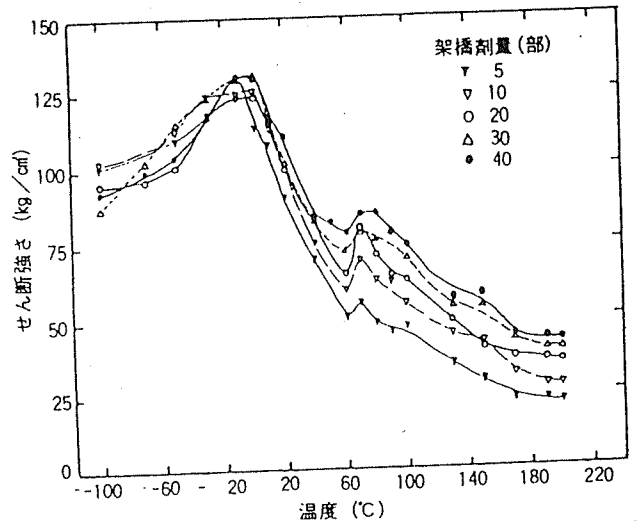


図4-9 モデルAPIの接着強度の温度依存性

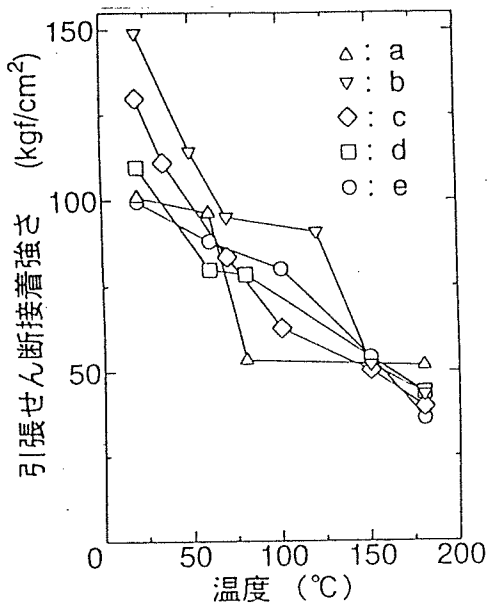


図4-10 各社APIの引張せん断強度の温度依存性

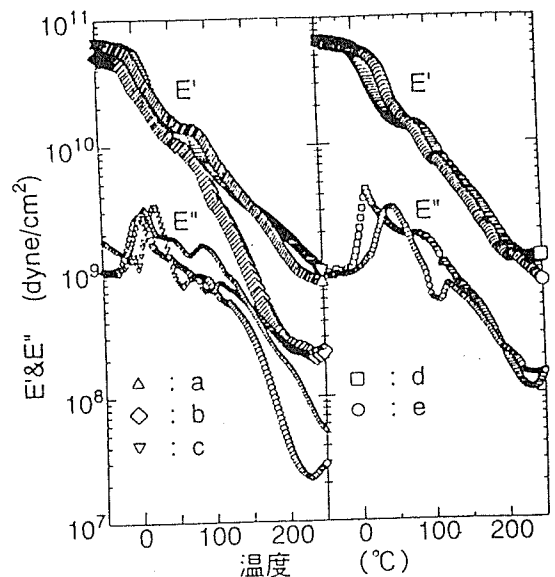


図4-11 各社APIの動的粘弾性

ポリ酢酸ビニル樹脂に予め熱硬化性のフェノール樹脂などの初期縮合物をブレンドしておき、それに酸性硬化剤を添加することによってフェノール初期縮合物を硬化させ、また高周波加熱などによってさらに硬化を促進するタイプが酸硬化型ポリ酢酸ビニル樹脂（C-PVAc）といわれる。この接着剤はAPIと競合して市場で使用されている。ただし酸性が強い接着剤である。図4-12、13は市販のC-PVAcの動的粘弾性を示す。図4-12によれば主剤のみの場合40℃付近に $T(E''_{max})$ があり、これに酸性硬化剤を5phr添加してもピーク温度は変化せず、貯蔵弾性率も大きな変化はない。しかし硬化剤添加系フィルムを60、100℃熱処理するとピーク温度が高温度側に存在している。図4-13では接着剤フィルムを熱処理したものは53-60℃にピークが存在している。いずれも耐熱性が増加している。C-PVAcのフィルム強度を図4-14、15に示す。タイプによってやや挙動が異なるものの0℃以上の温度になればフィルム強度はいずれも大きく減少する。図4-16は木材接着せん断強度の結果である。主剤のみに比べて40℃以上の温度域で耐熱性が表れている。

#### 4. 1. 3 熱硬化型接着剤

木材接着には余り使用されていないエポキシ樹脂のような架橋型接着剤の物性と接着性について述べる。二種類のエポキシ樹脂をブレンドした場合の $T(E''_{max})$ を図4-17に示す。Epikote828の $T(E''_{max})$ は120℃、Epikote871のそれは-20℃で、ブレンドの割合によってこの両温度間にピークが現われている。これらのフィルム強度は図4-18に示すが、ほぼ直線的に $T(E''_{max})$ の低い成分の割合が多いほどフィルム強度は小さい。接着強度も同様で $T(E''_{max})$ の高い成分の割合が多いほどガラス状の性質を持ち、樹脂は硬くなって木破率も大きく現われてくる（図4-19）。

ユリア樹脂、フェノール樹脂、レゾルシノール樹脂のようなホルムアルデヒド系熱硬化型接着剤はフィルム状による粘弾性測定は大変困難であるが、レゾルシノール樹脂（RF）の例を図4-20に示す。RFは室温から200℃まで硬いガラス状態である。接着強度を図4-21に示す。耐熱性がないPVAcは室温以上は接着強度は大きく減少していくが、RFは全体にわたって安定した接着強度がある。

床、現場接着剤として認知されている熱可塑性をベースにしたポリウレタン接着剤（PU）、M-PVAc（C-PVAc）ともあわせて検討すると、全体にRFの接着強度がやはり大きく、次いでAPI、PU、C-PVAcそしてPVAcの順となる（図4-22、21）すなわちこれらの接着せん断強度は接着剤が硬いガラス状態にあるか、軟らかいゴム状態にあるか、その中間状態にあるかによって大きく変動し、接着剤の物性とその接着性能は相対的にみれば関連があるといえる。

ただし耐水性の点についてみれば、接着剤の水に対する物性の変化は動的粘弾性測定からは判断できないので、別の物性測定を考慮する必要がある。架橋型、半架橋型接着剤については水浸漬処理前後の接着剤の動的粘弾性測定が可能なものもある。

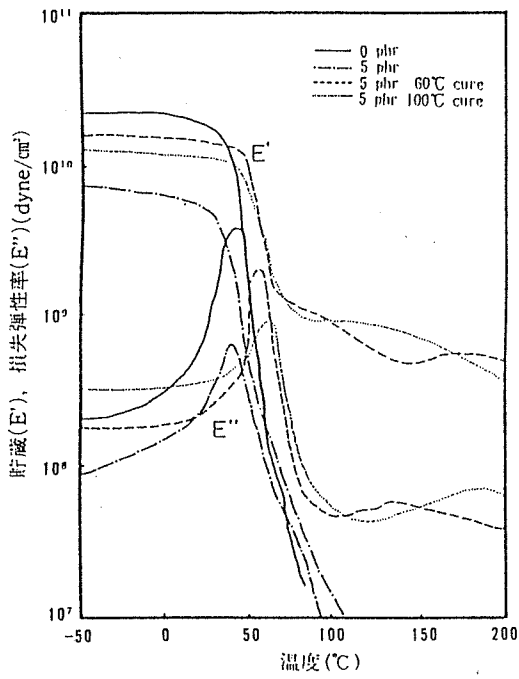


図4-12 C-PVAc (1) の動的粘弾性

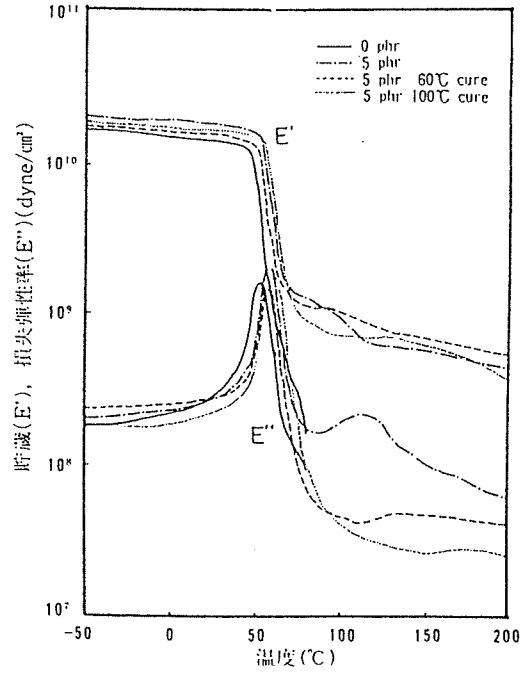


図4-13 C-PVAc (2) の動的粘弾性

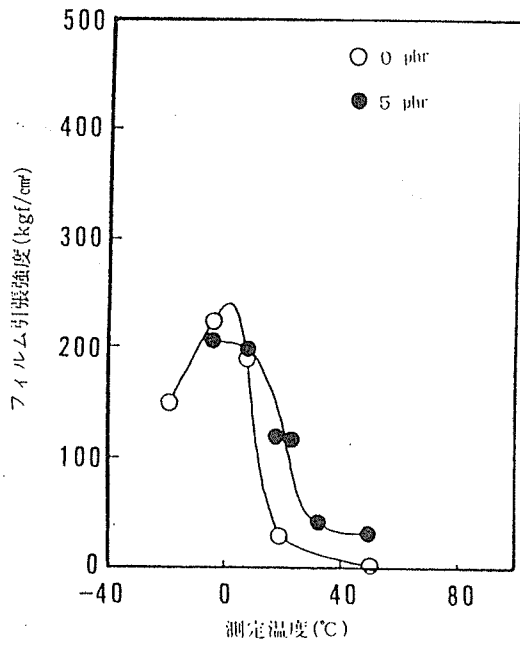


図4-14 C-PVAc (1) のフィルム引張強度

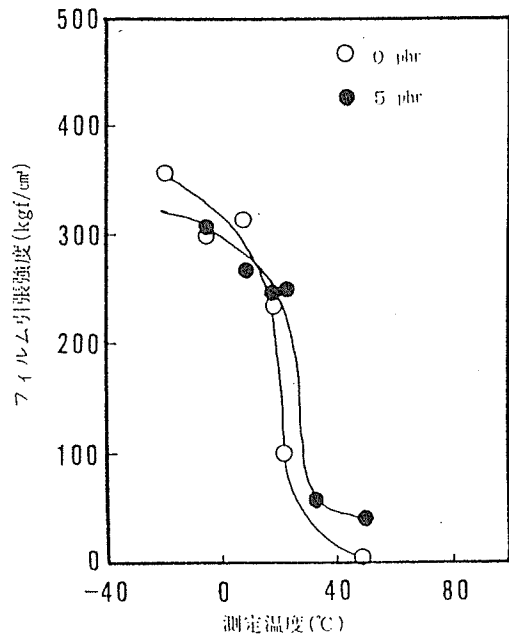


図4-15 C-PVAc (2) のフィルム引張強度

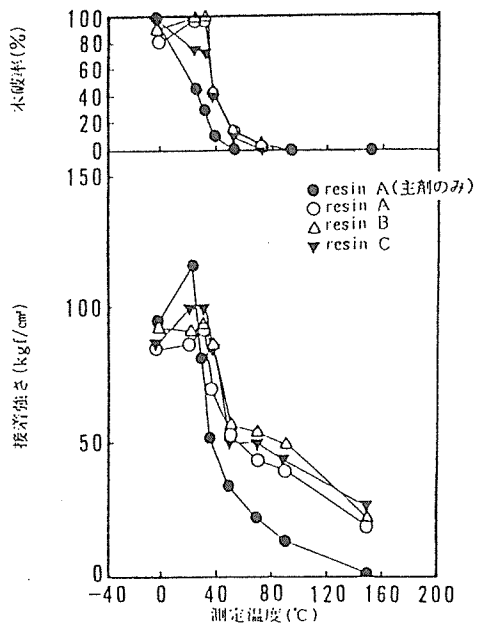


図4-16 三種類のC-PVA cの接着強度の温度依存性

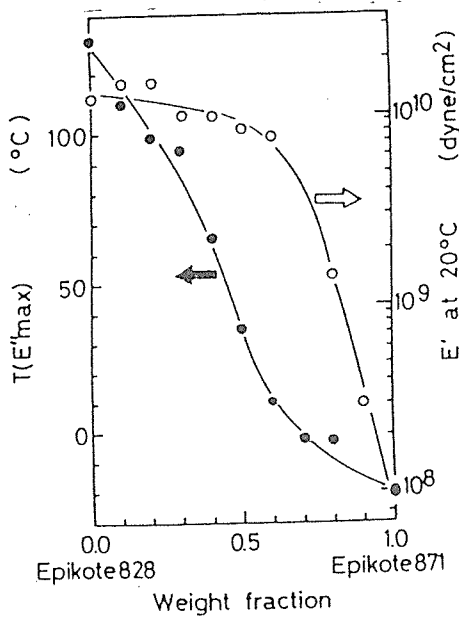


図4-17 エポキシ樹脂のT(E''max)

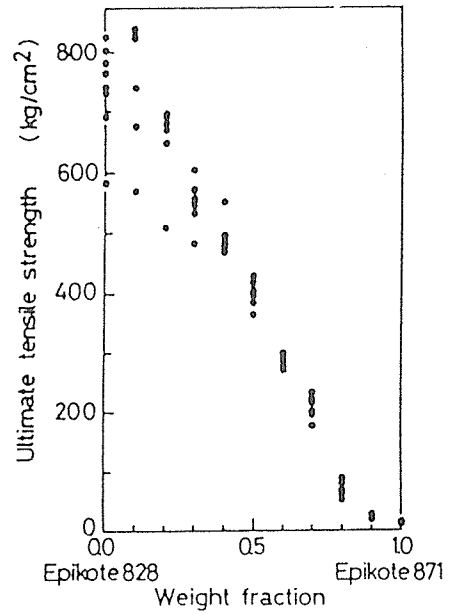


図4-18 エポキシ樹脂のフィルム引張強度

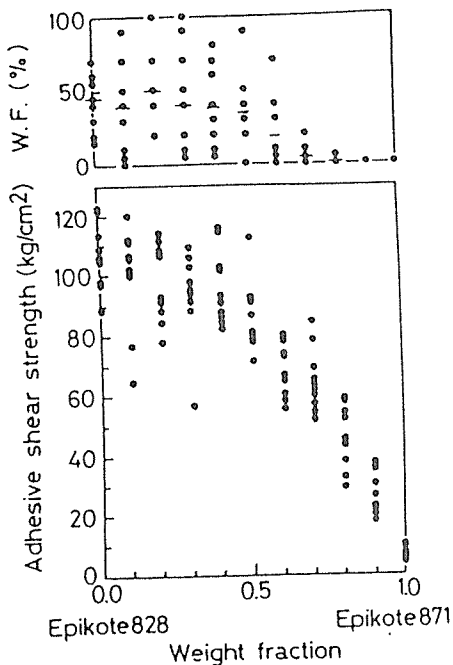
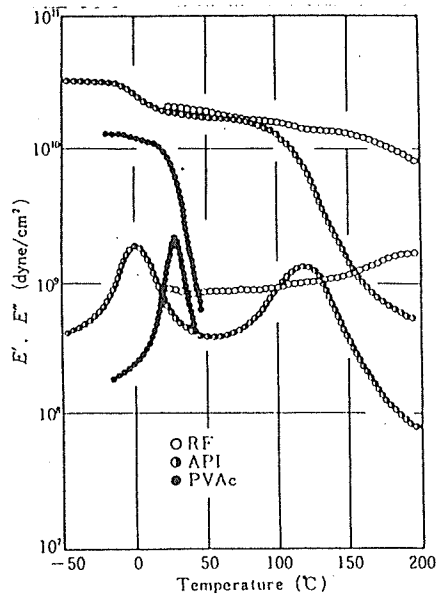
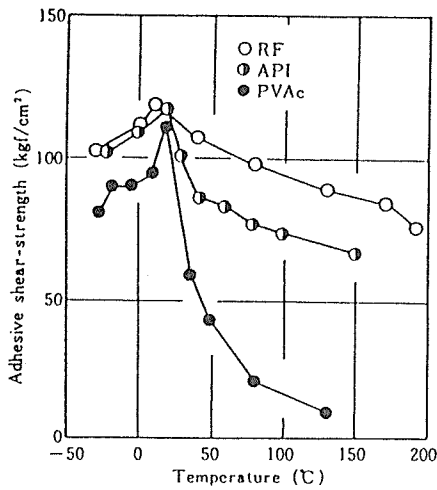


図4-19 エポキシ樹脂の接着強度(カバ)と水吸率



Dynamic viscoelastic properties of various cured resin films at 10 Hz.

図4-20 RF、API、PVAcの動的粘弾性



Temperature dependence of adhesive shear strengths for various adhesives.

図4-21 RF、API、PVAcの接着強度の温度依存性

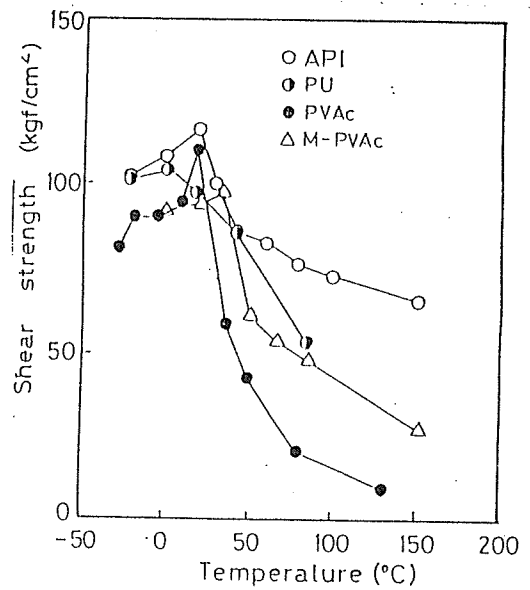


図4-22 PU、APIの接着強度の温度依存性

#### 4. 2 熱硬化性接着剤硬化物の力学的性質と接着強さ (樋口光夫)

接着剤単独硬化物あるいは接着剤含浸紙などの力学的性質から接着強さあるいは接着耐久性に関する情報が得られるかどうか、という問題については未だ明確な解答が得られていない。接着剤層の凝集破壊が起こるような接着系では接着剤の破壊強度が接着強さを支配すると考えられる。あるいは、接着界面での接着破壊が起こるような系では接着剤の硬さ(弾性率)が接着強さに関係し、接着剤の破壊強度が増加しても逆に接着強さが低下することもある。熱可塑性の接着剤の場合は研究は比較的容易であるが、重合によって三元橋かけ硬化する熱硬化性接着剤の系では事は単純ではない。硬化物の力学的性質を測定するにも実験的な困難が多い。以下には、研究例のいくつかを述べ、問題点について考察する。

##### a) フェノール樹脂の硬化時濃度(水分含量)と硬化樹脂の破壊強度<sup>1)</sup>

図1は、接着剤に水を添加して濃度の異なる接着剤液を調整し、内径2mmのガラス管に封じて硬化物試料を作製し、乾燥前と乾燥後、および再吸水後の剪断強さを調べた結果である。硬化条件は130℃で10分間である。樹脂濃度は100gあたりのフェノール単位モル数で表されているが、通常フェノール樹脂接着剤の濃度は0.3前後である。

当然ではあるが、接着剤硬化物の破壊強度は硬化時の樹脂濃度に大きく依存する。アルカリ性フェノール樹脂の場合は、樹脂と水分の相分離が起こらないので、水分が揮散しない条件下で硬化させると、樹脂は水で膨潤した状態で固化する。この状態での剪断強さは濃度0.32 (mol/100g)において50 kgf/cm<sup>2</sup>強でしかない。この値は弱い木材のそれと同程度かそれ以下である。これが半分に希釈されると剪断強さは1 kgf/cm<sup>2</sup>程度とほぼゼロに近くなる。硬化物を乾燥すると剪断強さは1桁大きくなる。しかし、再吸水させると、乾燥前より若干高めではあるが、剪断強さは元に戻ってしまう。これは、フェノール樹脂がアルカリ性であるため、硬化樹脂が吸水して膨潤するからである。

以上の結果から言えることは、アルカリ性フェノール樹脂接着剤の場合、接着層の水分含量が高い状態あるいは水分が揮散しにくい状態(高含水率材の接着や蒸気噴射プレスなど)では十分な接着強さが得られないであろうということである。接着層の含水率が高いと、接着剤の材中への過剰浸透とその結果としての欠膠状態が生じるが、接着剤層自身の湿潤時強度も非常に小さいと考えられる。

この研究例は、接着剤硬化時の濃度と硬化物の破壊強度の関係を見るということで、試料の作製と強度の測定は比較的容易に行なえた例である。しかし、研究目的を、「接着剤硬化物の力学的性質から接着強さを推定する」とすると、困難な問題がある。上述の実験結果に見られるように、接着剤硬化物の破壊強さは硬化時の条件に依存する。実際の木材接着系では、硬化時に水分の移行や揮散が起こるが、これをどう見積もって接着剤硬化物試料の作製条件を設定するかということが問題となる。種類の異なる接着剤を比較して優劣を判定するとなると、その条件設定は極めて慎重に行なわれなければならない。

##### b) フェノール・メラミン共縮合樹脂硬化物の力学的性質と接着耐久性<sup>2, 3)</sup>



フェノール・メラミン共縮合樹脂接着剤はすぐれた特徴を持っているが、合板製造用として使われる場合には、その接着耐久性に注意する必要がある。アミノ樹脂なみの熱圧縮条件で接着がおこなわれると、その接着耐久性はメラミン樹脂のそれに劣ると考えたほうがよい。これは、アミノ樹脂なみの熱圧縮条件では、メラミン部の硬化しか進行せず、フェノール部は未硬化の状態にとり残されるからである。つまり、メラミン樹脂がフェノール樹脂で希釈された状態で固化しているのである。このフェノール部の硬化は常温では極めて遅い。しかし、煮沸試験をするとその間に硬化が進行し、JAS特類合板の規格に合格するような事態が起こる。

このフェノール・メラミン共縮合樹脂のフィルム状硬化物試料を作製し、樹脂の硬化状態と力学的性質の関係を調べた結果が図2である。この樹脂のフィルム状硬化物試料を作成することは非常に難しいが、樹脂を濃縮してテフロンシートに挟み、60℃のホットプレスで圧縮して厚さ0.2 mmの予備硬化フィルムを作り、この予備硬化フィルムに測定用試験片の寸法の切り込みを入れてから、120℃でホットプレスにより加熱硬化させた。図では横軸に硬化度の指標として溶剤不溶部率をとり、縦軸にヤング率、引張り破断強さ、および破断伸びを示した。

ヤング率は樹脂の硬化度の増大につれて増大するが、破断強さは不溶部率が50%を越えるあたりから増加が止まり、乾燥状態では減少傾向にある。破断伸びは不溶部率が50%を越えると急激に減少する。ここで用いた樹脂はフェノールとメラミンのモル比が1のもので、不溶部率50%の時点は、120℃における加熱時間では5分に相当し、メラミン部の硬化度（不溶化率）は80%、フェノール部のそれは10%である。通常の合板製造の加熱圧縮条件ではこの樹脂の硬化度はこの程度に止まる。なお、120℃における加熱60分で不溶部率は65%、120分で75%である。

この樹脂の硬化度と力学的性質の関係から単純に考えれば、接着強さは不溶部率50%を越えると低下してもよいように思える。しかし、実際の合板接着系では以下のようなことになる。

表1は、120℃での熱圧縮を2、4、60、180、720分と時間を変えて行い、合板の常態接着強さを調べた結果である。

常態接着強さは加熱時間が60分を越えると若干低下する。しかしながら、木部破断率が100%となるので、木材自身の熱劣化による値の低下と考えられる。つまり、接着剤の強度が木材のそれよりはるかに高く、その性質の変化は接着強さに現れてこないと考えられる。

一方、72時間連続煮沸という促進劣化処理を行なうと、図3の結果が得られた。この場合、接着強さは熱圧縮時間の増加とともに増大する。これは、煮沸によりメラミン部の分解劣化が起こるので、フェノール部の硬化が進行していない熱圧縮時間の短い試料ではそのメラミン部の分解の影響を大きく受けるためであり、図2と図3を直接に対比して論ずる訳にはいかない。しかし、このことから分かるように、接着剤硬化物の力学的性質が

接着強さに現れてこない領域があること、および、接着耐久性については接着剤硬化物の力学的性質のみを見ても何も言えないということが言える。接着耐久性については、接着剤硬化物の力学的性質を接着劣化要因との関連で調べる必要がある。

以上に二つの研究例を挙げたが、ホルムアルデヒド系接着剤は一般に木材にある程度浸透し、接着層は木材-接着剤複合材とも呼べる状態になるため、熱可塑性高分子で接着された系とは事情が大きく異なる。したがって、実際の接着層のモデルとなる接着剤硬化物試料を作製することは極めて難しい。この点を考慮した研究手法の開発が望まれる。

[文献]

- 1) 山口東彦, 谷山恵一, 樋口光夫; 第43回日本木材学会大会研究発表要旨集 p302, (1993).
- 2) 廬正官, 樋口光夫, 坂田 功; 木材学会誌, 33, 963-968 (1987).
- 3) 廬正官, 樋口光夫, 坂田 功; 木材学会誌, 36, 36-41 (1990).

表1. フェノール・メラミン共縮合樹脂で製造された合板の常態接着強さ

120℃での熱圧縮時間 (min)	2	4	60	180	720
引張り剪断強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )	20.5	26.8	25.7	24.4	23.8
木部破断率 (%)	65	95	100	100	100

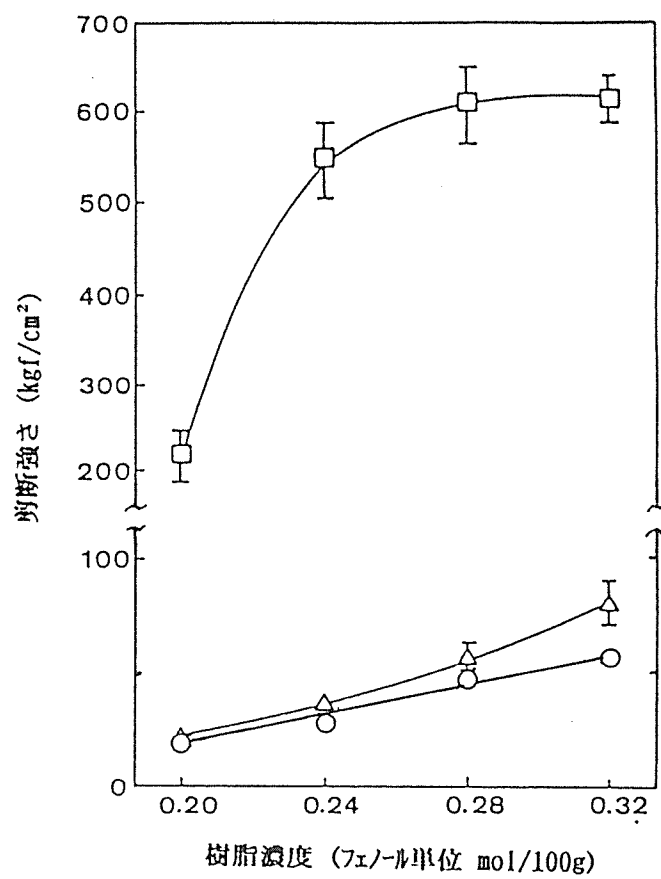


図1. フェノール樹脂の硬化時濃度と硬化物の剪断強さの関係

○: 乾燥前, □: 乾燥後, △: 再吸水後

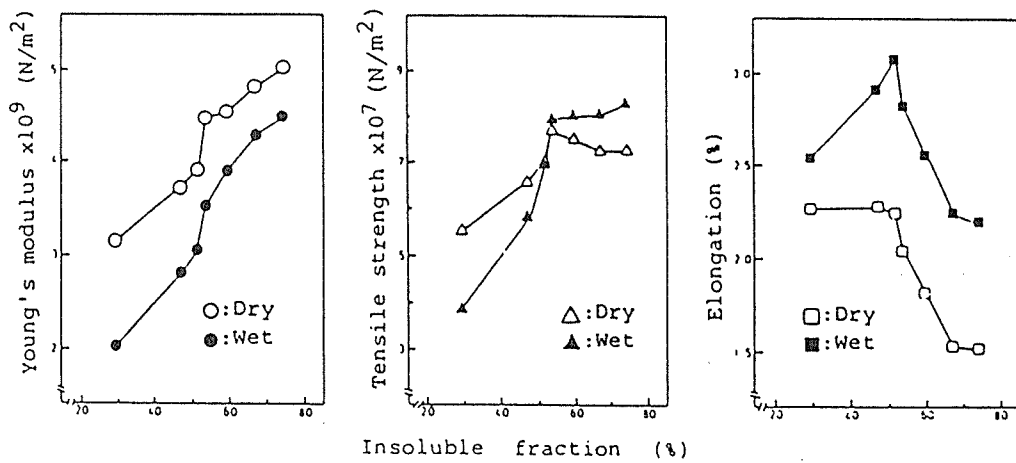


図2. フェノール・メラミン共縮合樹脂の硬化度（不溶部率）による力学的性質の変化

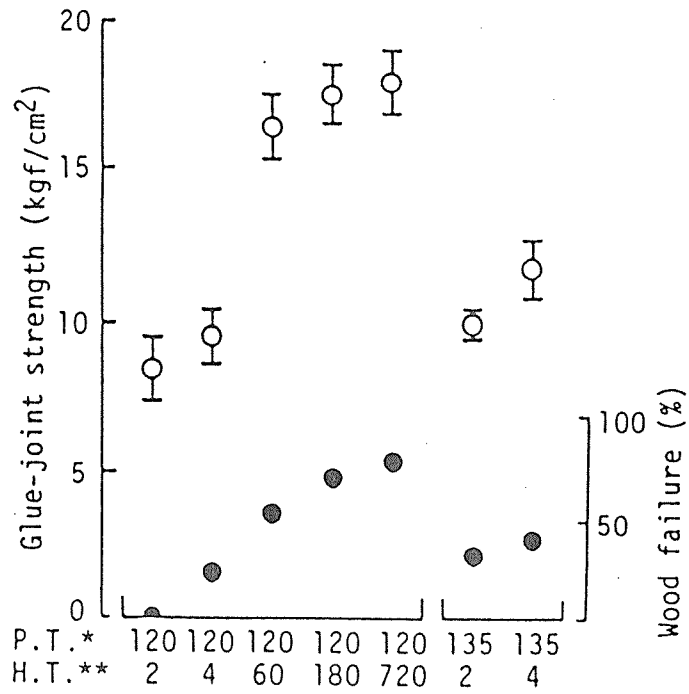


図3. フェノール・メラミン共縮合樹脂で製造された合板の接着耐久性—熱圧縮条件による変化

P.T.\* : 熱板温度. H.T.\*\* : 加熱時間  
 促進劣化処理 : 72時間連続煮沸

## 5. 木材用接着剤の評価試験方法（案）

接着剤性能を評価する試験であり、特別な事情の場合を除き標準材及び標準試験方法によつて試験を行い評価する。試験法の制定にあつてはJ I SやJ A S等既存の規格にあるものはできるだけこれらを利用し、その他の場合でもこれらとの整合性を十分に考慮した試験法にする。

### 5. 1 接着性能（耐湿、耐水、耐煮沸性）

#### 5. 1. 1 浸せき剥離試験

##### （1）処理条件

##### 1）室温水（冷水）浸せき乾燥繰返し試験

構造用：室温水（冷水）に24時間浸せき後 $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ で24時間乾燥を繰返す。

非構造用：室温水（冷水）に6時間浸せき後 $40 \pm 3^{\circ}\text{C}$ で18時間乾燥を繰返す。

##### 2）温水浸せき乾燥繰返し試験

非構造用： $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の温水中に2時間浸せきした後 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ で3時間乾燥を繰返す。

##### 3）煮沸水浸せき乾燥繰返し試験

構造用：煮沸水中に4時間浸せきした後室温水（冷水）にて1時間冷却し、 $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ で19時間乾燥を繰返す。

##### 4）減圧加圧注水浸せき乾燥繰返し試験

構造用：室温水（冷水）に浸せきし、 $635\text{ mmHg}$ で5分間減圧した後 $5.2 \pm 0.2\text{ kgf/cm}^2$ で1時間加圧の操作を3サイクル（直交は2サイクル）繰返して注水した後 $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ で21 - 22時間乾燥を繰返す。

非構造用： $40^{\circ}\text{C}$ の温水中に浸せきして $375\text{ mmHg}$ で30分間減圧した後大気圧下で4.5時間浸せきして注水し、 $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ で15時間乾燥を繰返す。

##### （2）試験片

標準材として針葉樹のベイマツ（比重0.4 ~ 0.5）及び広葉樹の力心（比重0.6 ~ 0.7）を用いる。ただし、比重0.7以上の重硬材については当該材種についてその都度試験を実施する。

試験片は10又は15あるいは20mm厚さのラミナを3枚積層したもので $75 \times 75\text{ mm}$ 又は $75 \times 150\text{ mm}$ 寸法のものを用いる。ただし、寸法とラミナ厚さについては、これらの違いについて実験を行つた結果を検討して決定する。しかしながら、ラミナ厚さについては、ブロックせん断試験と共通の材料とすることを考慮すると10mmが好ましいと思われる。

##### （3）評価

評価方法（剥離率の算出及び適合基準）は集成材のJ A S規格の規定による。

## 5. 1. 2 ブロックせん断試験

### (1) 処理条件

処理条件は浸せき剥離試験に準ずるが、繰返し最後の乾燥操作は行わず、ぬれたままでブロックせん断試験を行う。

### (2) 試験片及び評価

標準材は浸せき剥離試験と同じ。試験片の形状、寸法、試験方法及び評価については J I S K 6 8 5 2 に準ずる。



## 5.2 耐熱性

### 5.2.1 温度依存性

#### (1) 接着方法

接着に必要な時間は 常温硬化型は 168 時間、加熱硬化型は 48 時間。

#### (2) 試験方法

J I S K 6 8 5 2 圧縮せん断接着強さ試験方法に準じる。

使用木材含水率は 8 - 12 % R H。

#### (3) 試験の一般条件

J I S K 6 8 4 8 . 3

#### (4) 試験温度

指定の温度に 24 時間保持後 取り出し、直ちに同温度で測定する。

負荷時間が短いと 接着剤層の後硬化や残留水分、溶剤の揮散及び木材中からの水分蒸気の影響がまだ不安定で 接着強さを大きく変動させることから 24 時間とした。

また、負荷温度によっては 負荷温度が接着層に到達するまでの所要時間が異なるが 24 時間とすることでこれらの差を解消した。

温度は  $-40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $0 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $40 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $100 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $140 \pm 2^{\circ}\text{C}$ の中から必要な温度群を選ぶ。

少なくとも 3 点以上の温度で測定し 急激な強度低下温度を見極めるようにつとめる。

## 5. 2. 2 熱劣化性試験

### (1) 試験片の材料

厚さ10mm, 幅80mm, 長さ(繊維方向)300mmのカバの板目またはベイマツの板目を用いてカバ材どうし5組またはベイマツ材どうしを5組接着する。各材の密度及び含水率は5. 1. 2と同様とする。

### (2) 試験片の作成

接着後1組につき幅方向に2列、繊維方向に7列、計14片作成する。その他、含水率、接着操作等は全て5. 1. 2のブロック試験片の作成と同様とする。

### (3) 試験の方法

#### ア. 常態試験(A試験)

各ロット(ロット数5)から2片ずつ、計10片につき、5. 1. 2に示すブロック剪断試験を行う。

#### イ. 絶乾時試験(B試験)

各ロット(ロット数5)から2片ずつ、計10片を $105 \pm 2^\circ\text{C}$ の循環式熱風乾燥器中に置き、24時間加熱後、シリカゲルを入れた温度 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ のデシケーター中に24時間放置後、5. 1. 2のブロック剪断試験を行う。

#### ウ. 熱劣化性試験(C試験)

構造用にあっては、以下の試験を行う。各ロット(ロット数5)から各2片ずつ計10片を1組として、2組を $160 \pm 2^\circ\text{C}$ の循環式熱風乾燥器中に置き、3日間加熱後シリカゲルを入れた温度 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ のデシケーター中に24時間放置冷却後、5. 1. 2のブロック剪断試験を行う。

ブロック剪断強度の平均値 $c_3$ を求め、B試験の平均値 $b_1$ に対する百分率を求め、次の表により加熱日数を決定する。

$\frac{c_3}{b_1} \times 100$	加熱日数(日)
90%以上	5, 10, 15, 20 または 5, 10, 15, 30
89~75%以上	1, 2, 4, 5 または 1, 2, 5, 10
74%以下	1, 2, 4, 5

各加熱日数の試験片は前記と同様に2片ずつ計10片とする。各日数加熱処理後の操作も同様とする。

エ. 熱劣化性試験D (D試験)

非構造用にあつては、試験温度を120℃としてウの試験と同様の試験を行う。

(4) 試験の適合基準

常態試験にあつては、カバ材で10.0 N/mm<sup>2</sup>以上 (102 kgf/cm<sup>2</sup>以上)、ベイマツ材で7.0 N/mm<sup>2</sup>以上 (71 kgf/cm<sup>2</sup>) であつ木部破断率が65%以上であること。

B, C, D試験にあつては、構造用は  $b_1$  及び  $\frac{c_x}{b_1} \times 100$  が次の数値以上であること。非構造用は  $b_1$  及び  $\frac{d_x}{b_1} \times 100$  が下表の数値以上であること。

	カバ	米マツ
$b_1$	7.0 N/mm <sup>2</sup> 以上 (71 kgf/cm <sup>2</sup> )	5.0 N/mm <sup>2</sup> 以上 (51 kgf/cm <sup>2</sup> )
$\frac{c_x}{b_1} \times 100$	75%以上	75%以上
$\frac{d_x}{b_1} \times 100$	75%以上	75%以上

$b_1$ : 105℃, 加熱1日後の剪断強さの平均値

$c_x$ : 160℃, 加熱x日後の剪断強さの平均値

$d_x$ : 120℃, 加熱x日後の剪断強さの平均値

$\frac{c_x}{b_1} \times 100$  または  $\frac{d_x}{b_1} \times 100$  が70~75%未満の数字である場合は、加熱処理3日も含め、各処理日数の測定データをもとに次の式のkを決定し、 $c_x$ または $d_x$ を算出した値を用いて、70%以上となれば合格とする。

$$\log y = \log b + k t$$

y: 剪断強さ

t: 加熱日数

b: 初期剪断強さ ( $b_1$ )

k: 劣化定数

### 5.3 クリープ性能

接着剤のクリープ性能試験のための規格試験には、前項で述べたようにJ I SあるいはA S T Mに規定されているが、実験の難易・得られる特性値とその評価の難易等を考慮するとASTM D4680-92「静的圧縮せん断による接着剤のクリープ試験法及び破壊時間測定試験法（木材／木材）：Creep and Time to Failure of Adhesives in Static Shear by Compression Loading(Wood-to-Wood)」の破壊時間測定法をわが国の状況に合わせて修正した方法が適当と判断される。同じく構造用集成材のA S T Mに採用されている方法も現場的で極めて有用で将来このような方法も取りうると考えられるが、ここで採用されている評価基準がわが国の集成材・接着剤に適合するのか、バックデータを持たない現在ではより汎用性のある前述したASTM D4680の方法から接着剤の耐用年数を推定するのが適当と判断される。

#### 5.3.1 材料

標準材としては全乾比重0.50以上のカバ材を用いる。

針葉樹からも標準材を選ぶことも考えられるが、接着剤の性能を試験・評価するという観点から材の変形等を避けるため、高比重材のしかも接着性に優れたカバ材とした。

#### 5.3.2 試験片

基本的には、図-7に示したASTM D4680の形状を踏襲する。但し、寸法についてはわが国の実状に合わせて調整する。

即ち接着面積は25×25mmとし、20°C, 65%RHで調湿した厚さ15mm, 30×8cmの板材を用いた2枚合わせ試験体から裁断する。試験片個数は1条件10個とする。

#### 5.3.2 試験方法

##### 1)装置

##### ①クリープ試験用治具

図-8に示す圧縮型クリープ試験用治具を用いる。スプリングを介して載荷し、それを保持する。このジグにはマイクロスイッチが備えられ、タイムレコーダに接続されており試験片が破壊したときに作動し荷重期間(時間)を自動的に記録する。

##### ②恒温恒湿チャンバー

試験温湿度設定用のチャンバーで、精度：±2°C, ±5%RHのもの。

##### 2)クリープ破壊時間の測定

##### ①常態せん断強さの測定

まず、20個の試験片を用いて標準状態(20°C, 65%RH)における圧縮せん断試験を行い、これより平均せん断強さ(kgf/cm<sup>2</sup>、kPa)を求める。試験は約1分で破壊に至るような荷重速度で行う。

##### ②クリープ試験

応力レベルと破壊時間との関係を表すカーブを作成するために、少なくとも4点できればそれ以上の点を取る。これらの点は試験した応力全般に平均にわたるようにとる。応力

レベルは先に求めたせん断強さの90, 80, 70及び60%ととする。これ以外の応力レベルも選ぶことができるが、最低レベルは平均破壊時間が3000時間程度が望ましい。

### 3)試験条件

破壊時間試験における応力、荷重期間、温度、湿度条件の設定については以下のように設定されたい。

①温度：想定される使用条件において最低3条件、できれば4条件、即ち20, 30, 50°Cを基本条件とし、でき得れば60°Cの温度条件を加える。

②湿度：水分に強く影響を受けるとされる接着剤については想定される使用条件における上限の温湿度、即ち12, 18, 22% EMCの3条件とする。

### 4)結果

破壊時間と応力レベルとの関係試験温度ごとに求める。破壊時間(log)と応力レベル(log)との回帰直線を各試験温湿度について最小自乗法によって求める。この回帰直線を用いて設計応力に対する耐力推定する。設計応力は実験に用いた応力レベルよりもはるかに低い応力レベルであるから、実際のデータからはるかに離れて外挿されることになる。

### 5)評価

使用環境条件に応じて以下の試験条件で行い、応力レベル70%で破壊時間100年のオーダーの場合を一応の目標とする。

使用環境 1	①構造物における使用中に、集成材の含水率が長期にわたって継続的に又はしばしば19%を越える状態にいたる環境、②外気に接する環境、③太陽熱等により長期にわたりしばしば高温になる環境、④構造物の火災時でも高度の接着性能を要求される環境など、接着剤の耐水性、耐候性又は耐熱性の面でも高度な性能が要求される使用環境。	60°C/22% EMC
使用環境 2	構造物における使用中に、集成材の含水率が19%を越えることは希である環境など、接着剤の耐水性、耐候性又は耐熱性の面で構造物として通常の性能が要求される使用環境。	60°C/18% EMC
使用環境 3	上記以外の屋内環境	30°C/18% EMC

おわりに

再構成木材、木質複合材など現在の木質材料は接着という手法なしには考えられず、従来の非構造的用途から構造的用途への展開がますます顕著になっている。このような状況から接着製品の信頼性に対する要求はますます厳しくなっている。接着製品は被着材である木材と接着剤の性能、これらをつなぐ接着操作とが的確に機能しないと十分な性能が付与できない。中でも接着剤の性能は支配的であり、先ずこの接着剤の性能を明らかにしなければならない。その性能が製品として確保されているか否かとは分離して、試験・評価すべきだと考える。このことによって、例えば接着不良等の問題が生じたときの責任の所在が明確になり、より信頼性のある製品を提供できるものと考えられる。

この報告では、手始めに集成材用接着剤、特に構造用に焦点を絞り、それに必要な接着剤としての性能の試験・評価法について内外の文献、規格を調査した。そしてそれらを参考に試験・評価法(試案)としてまとめた。もとより不十分な点が多々あり、実験的な検証を行ったわけではない。次年度、実験的検証をも含めて取り組み、実行しやすく分かりやすいものにしたいと考えている。皆様のご批判、ご助言をいただければ幸甚である。